

平成7年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成7年10月11日～12日

東京・機械振興会館

社団法人 日本建設機械化協会

平成 7 年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成 7 年10月11日～12日

東京・機械振興会館

社団法人 日本建設機械化協会

「建設機械と施工法シンポジウム」論文集

目 次

\*印 口述発表者

【1】『コンクリートとその機械』

|  |    |
|--|----|
| 1. 鉄筋コンクリート構造物の制御爆破解体工法<br>.....鹿 島： *原田 実, 中村健次郎, 石田雅利...   | 2  |
| 2. 形状が複雑で、高精度を要求されたコンクリート構造物の施工法<br>～リニアガイドウェイ直付側壁～<br>.....日本鉄道建設公団：乗田治己, 早瀬邦仁<br>鹿 島： *重藤正治..... | 8  |
| 3. スリップフォーム工法用コンクリートディストリビュータの開発<br>.....飛島建設(株)：名倉政雄, *笠井 和弘, 佐藤暁生...                             | 14 |
| 4. 日吉ダムの骨材製造設備.....水資源開発公団：清永勇治, *中村淳一...  | 20 |
| 5. 型枠材自動搬送装置の開発.....(株)鴻池組：井上光治, *吉岡由郎, 西村 敦...  | 26 |
| 6. スリップフォーム工法における最新の装置と計測制御管理システム<br>.....(株)大林組：*伊藤正己, 原田 恒則...                                   | 30 |
| 7. ダム建設への自走式破碎設備の導入と実績<br>.....水資源開発公団：木下健三, *三雲孝二, 岩井敬治...  | 34 |
| 8. 逆打ちコンクリート自動打設システム<br>.....清水建設(株)：阿曾田栄, *梶岡保夫, 許斐慎一...  | 40 |
| 9. ダムコンクリートにおける砕砂の表面水率安定処理<br>.....大成・佐藤・ハザマ共同企業体：小林 昭<br>大成建設(株)：市原正一, (株)北川鉄工所：*永久利夫...          | 46 |
| 10. CRS 工法（炭素繊維を用いた既存 RC 構造物の耐震補強工法）<br>.....(株)大林組：小島信男...  | 52 |
| 11. 富郷ダムコンクリート打設設備の自動化<br>.....水資源開発公団：大塚明克, *京井幸源...  | 56 |

## 【2】『トンネルとその機械』

12. シールド自動測量ロボットの開発  
.....自動測量研究会：\*島崎恵早，横崎照将，伊東 泰三... 62
13. ガントリー台車を利用した掘削ワークステーション  
(北陸新幹線小田井トンネル西工事)  
.....日本鉄道建設公団：山岸 明  
(株)奥村組：\*五十嵐勉，萩原靖俊... 68
14. シールド総合管理システムの開発と適用  
.....清水建設(株)：菊池雄一，後藤 徹，\*藤井 攻... 72
15. 複合円シールド工法用掘進管理システムの開発  
.....鹿 島：玉井達郎，樋口安夫，\*柴田 学... 76
16. シールド機の圧力制御推進方式による大断面，大深度工事の施工  
.....飛鳥建設(株)：西 明良... 82
17. レーザ換気システム.....東亜建設工業(株)：平島信幸，福井浩二，\*峯吉武志... 88
18. シールド自動化統合システムの開発  
.....(株)鴻池組：井上光治，\*日置昌治，古川和義... 94
19. 地中レーダによるシールド掘進機の前方探査  
.....大阪市役所：高崎 肇，熊谷・鉄建・不動共同企業体：富永克己  
コマツ：\*桑原壽朗，新保哲也..... 100
20. 矩形断面泥土圧シールドによる下水道トンネルの計画と施工  
.....日本下水道事業団：成田愛世  
大豊・銭高・安藤建設共同企業体：赤地秀実... 106
21. New PLS 工法の大断面トンネルへの適用  
.....日本道路公団：本村 均  
ハザマ：篠崎秀敏，\*芳賀佳之... 112
22. NTL 工法～トンネル一次覆工の機械化施工～  
.....日本道路公団：東 保彦，大嶋健二  
鴻池組・一宮建設共同企業体：\*酒向龍實... 118
23. J-PLAD 工法の開発 .....新日本製鐵(株)：長谷川久，野崎啓太，\*作田憲一... 124
24. シールド掘削鉛直精度管理システム.....大成建設(株)：\*三神克己，近藤高弘... 128
25. セグメント立坑自動搬送システム～おはこび・ごうるす～  
.....(株)フジタ：\*蒔田充男，間野 実，伊藤大輔... 134

26. セグメント・掘削土砂の自動搬送システム  
 .....三井建設(株)：井上一敏， \*川原啓一， 升形 剛... 138
27. 通信用シールドに用いられた急勾配搬送システム  
 .....NTT：大学久男， 日本コムシス(株)：清水悦司  
 大豊建設(株)： \*池田奉征 ..... 142
28. ASYST～地下坑内搬送工法～ .....(株)フジタ：森 利夫， \*岩岡 聡， 船津和弘... 148
29. 真空吸着パッドを利用した全自動セグメント搬送・供給システム  
 .....三井造船(株)： \*松中信恭  
 (株)大林組：井上幸芳， 富岡 彰... 152
30. 長距離トンネルのための自動搬送システム～ジオ・シャトル～  
 .....佐藤工業(株)：梅香家俊文， \*高橋 浩， 村上 裕二... 158

### 【3】『基礎とその機械』

31. 自動化深礎工法～SH-SHINSO 工法～の開発  
 .....(株)白石： \*藤田宏一， 太田和男， 木村 明弘... 164
32. 新しいソイルセメント地中連続壁工法（トレーダー工法）の施工特性と実績  
 .....(株)神戸製鋼所：青井 實， \*芦田恵樹  
 北辰工業(株)：北中壮彦..... 170
33. 地中連続壁掘削制御の自動化システムの開発と適用  
 .....清水建設(株)： \*出口種臣， 渡辺俊雄， 乾 純司... 174
34. スーパーRD工法（大口径立孔掘削工法）の開発と実施例～  
 .....鹿 島：植田政明， 嶋井森幸， \*川田正敏... 180
35. 自動化オープンケーソン工法（SOCS）の開発と実証施工実験  
 .....建設省（土研）：中野正則， (株)先端建設技術センター：前田 諭  
 PC ウェル工法研究会：伊佐 秀， \*谷 善友 ..... 186
36. ウォータージェットによる既設杭切断処理工法  
 .....大阪市役所：高崎 肇  
 (株)鴻池組：松井和彦， \*小橋 創一... 192
37. 深礎工事機械化施工システム（弁慶工法）...三井建設(株)： \*魚住雅孝， 伊藤達男... 198
38. 無人掘削機， 回収システムによるニューマチックケーソンの施工  
 .....佐藤工業(株)：佐藤勝男  
 大豊建設(株)：後藤哲男， \*安藤祐二... 204

39. 地中連続壁工法の高精度掘削管理システム  
 .....(株)鴻池組：\*松生隆司，外蘭伸二，鶴留久夫… 210
40. 低空頭マッハシステムの開発と実用化  
 .....大成建設(株)：牧野松明，西野誠二，\*大矢 浩  
 (株)利 根：川崎博行…………… 216

#### 【4】「建築とその機械」

41. 超高層 RC 造建設(HiRC 工法)施工システムの開発～高強度材を用いた  
 鉄筋コンクリート造超高層集合住宅の施工システムおよび施工機械～  
 .....鹿 島：\*鶴岡松生，久保正道… 222
42. クライミングエレベータ“ルーパー”の開発  
 .....三井建設(株)：早川賢司，弘中千行，\*柴田時男… 228
43. 路線上空大規模ビルにおけるトラベリング工法の計画と実施  
 .....(株)竹中工務店：\*小坂則夫，落合 実… 232
44. ALC パネル施工機“カルカッタ”の開発  
 .....コマツ：\*大野茂雄，渡辺健太郎  
 旭化成建材(株)：笠 高…………… 236
45. エンジン式大型高速工事用エレベータの開発  
 .....清水建設(株)：\*箕輪晴康，川崎節夫，岡野 正… 242
46. 鉄骨建方システムの開発……………(株)熊谷組：\*高田秀行，時岡誠剛，渡辺英彦… 246
47. クレーン作業領域管理システム  
 .....清水建設(株)：奥隈和美，今村隆次，\*西村 淳… 252
48. 全天候合体トラベリング工法(TAIT 工法)の開発と実施  
 .....(株)竹中工務店：\*西村卓也，上浦 直樹，高橋 弘… 258
49. 建築鉄骨柱用現場溶接ロボットの作業効率の研究  
 .....大成建設(株)：\*坂本 成  
 三井造船(株)：吉野正和…… 262
50. 自動ビル建設システムの開発～リフトアップシステムの開発と施工実験結果～  
 .....ハザマ：\*木川田一弥，須沢 覚，丸山能生… 266
51. ルーフブッシュアップ工法の開発  
 .....(株)竹中工務店：\*宮口幹太，藤井卓美，三井 建… 272
52. 大屋根リフトアップ工法によるプール施設メインアリーナの施工

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| .....(株)大林組：亀谷真彰…               | 276 |
| 53. 超音波振動こてを利用した左官ロボットの開発       |     |
| .....ハザマ：*小林正明，三菱商事(株)：相馬 勝     |     |
| .....(株)エロイカコーポレーション：鳴原学徳.....  | 280 |
| 54. 支柱格納式連続ブッシュアップ工法による傾斜ドームの施工 |     |
| .....(株)竹中工務店：*小山良樹，野本和章，古川政彦…  | 286 |

## 【5】『土木・維持とその機械』

|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| 55. 無人化施工におけるオートブレードコントロール    |                           |
| .....西松建設(株)：*石井正典，小西 保，桑原資孝… | 292                       |
| 56. GPSによる海上作業台船の誘導 .....     | 鹿 島：長津浩太良，*青野 隆… 298      |
| 57. 浅層地盤改良工事の施工実績.....        | 日本国土開発(株)：工藤 憲，*鈴木正人… 302 |
| 58. テレアースワークシステムの開発と実施        |                           |
| .....(株)フジタ：大森嘉朗，源 雅彦，*榊田秀芳…  | 306                       |
| 59. 画像処理技術による粒度測定.....        | 日 工(株)：松島雅也… 312          |
| 60. ブルドーザ操作シミュレーションの開発        |                           |
| .....建設省(土研)：吉田 正，石松 豊，*三村茂男… | 318                       |
| 61. 密閉式移動ミキサによる流動化処理土の製造      |                           |
| .....フドウ技研(株)：*谷口利久，佐藤啓雄…     | 322                       |
| 62. 接触防止型油圧ショベルの開発.....       | コマツ：橋本晴夫… 326             |
| 63. 大規模橋梁補修工事におけるウオータジェット工法   |                           |
| .....日本道路公団：森山 守              |                           |
| .....(株)大林組：*登坂知平，小澤郁夫，上村泰邦…  | 330                       |
| 64. 高濃度薄層浚渫を行うSWAN21工法 .....  | 五洋建設(株)：寺本 昭… 336         |
| 65. 建設機械足廻り自動洗車システムの開発        |                           |
| .....コマツ：小野田匠，*鴨志田安洋，池上勝博…    | 340                       |
| 66. 汚染土処理工事における無人化施工          |                           |
| .....(株)大林組：風間慶三，田中暉一郎，*高橋栄次… | 346                       |
| 67. 法面植栽緑化工法の開発               |                           |
| .....ハザマ：*澤 正樹，畠山 修           |                           |
| .....青山機工(株)：吉井秀雄.....        | 350                       |
| 68. 水中位置計測システム.....           | 東洋建設(株)：*牧野栄一，杉本篤史… 354   |

69. 交通への影響に配慮したトンネル内装板清掃機械の開発  
 .....建設省（東北技術）：江本 平， \*鈴木邦昭... 358
70. 締固め砕石ドレーン工法による砂地盤の液状化防止対策  
 .....(株)鴻池組：今井省三， 小池忠夫， \*田村和広... 362
71. カラーホットロールド施工用チップスプレッタの開発  
 .....鹿島道路(株)：浅井和充， \*山口達也... 368
72. 建設副産物（建設発生木材）の処理技術  
 .....建設省（東北技術）：江本 平， \*布宮明道... 372
73. 路面上に発生する氷膜及び氷板の検出器  
 .....日本道路公団：武田正利  
 (株)拓 和：奥田政仁， \*榊田堯一... 376
74. 除雪トラックの自動化技術の開発（ブレード押付の自動制御）  
 .....建設省（北陸地建）：前田孝司， \*本間政幸  
 岩崎工業(株)：甲斐 賢 ..... 380
75. ワンマン除雪車の開発.....日本道路公団：蒲倉善長， \*森 邦義... 384
76. 都市型ロータリ除雪車の開発 .....建設省（東北技術）：江本 平， \*澤田敏樹  
 (株)日本除雪機製作所：吉田弘明 ..... 390
77. 三次元位置自動制御型アスファルトフィニッシャーによる舗装施工技術の研究開発  
 .....建設省（土研）：桐山 孝晴  
 (株)先端建設技術センター：福田 実， 住友建機(株)： \*進藤聞一郎... 394
78. 大口径シールドトンネルの発生土改質方法  
 .....前田建設工業(株)：山下純一郎， (株)大林組：徳留正男  
 秩父小野田(株)： \*越智 恭二..... 400
79. 新運土機構採用の超大型ブルドーザの開発  
 .....コマツ： \*永瀬秀一， 伊戸川博， 神川信久... 406



# 1. 鉄筋コンクリート構造物の制御爆破解体工法

鹿 島：\*原田 実・中村健次郎  
石田 雅利

## 1. はじめに

土木構造物、地下構造物及び原子力発電施設などの大規模鉄筋コンクリート構造物は、鉄筋コンクリート部材が厚いうえに太径鉄筋でしかも鉄筋量が多く、堅固であり解体撤去がしにくい特徴がある。このような大規模鉄筋コンクリート構造物の解体撤去では、全体的に解体撤去する場合と部分的に破碎解体する場合とがあり、目的に応じて破碎・解体・撤去を計画的に行う必要がある。

制御爆破は、爆薬を装薬孔内に空隙をもたせて装填し、この空隙を緩衝材として爆破時の衝撃力を弱めたもので、被解体部（残存部）の損傷を少なくできる爆破技術である。この制御爆破による解体工法は、マシブな鉄筋コンクリート構造物を合理的に解体撤去するのに適しており、破砕片の飛散、振動・騒音等を極力抑制し、残存部の損傷がなく効率良く解体することができる特徴がある。

本報文では、制御爆破における最適な薬種の選定、破壊挙動のシミュレーション解析、装薬仕様及び破壊特性などの概要について記述する。

## 2. 最適な爆薬の選定実験

### (1) 実験因子と水準及び測定項目

表-1に最適な爆薬の選定実験に用いた3種類の爆薬と測定項目を示す。爆薬の種類は爆速で分類し、低速(2,500m/s以下)のアーバナイト、中速(2,500~4,500m/s)のスラリー爆薬、高速(4,500 m/s以上)の2号樫ダイナマイトとした。本実験での装薬量は、爆薬の単体による破砕効果の比較ができるような量とした。また、測定項目の一次破砕は爆破直後の破砕状況の測定であり、二次破砕は破砕後にブレーカ等による処理状況の測定である。

表-1 薬種・装薬量及び実験因子

| 因子                       | 水 準  |        |           |
|--------------------------|--|--------|-----------|
|                          | 1  | 2      | 3         |
| 爆薬の種類                    | アーバナイト   | スラリー爆薬 | 2号樫ダイナマイト |
| 装薬量(g)                   | 200  | 300    | 400       |
| 容積密度(kg/m <sup>3</sup> ) | 0.35   | 0.53   | 0.70      |
| 測定項目<br>(評価項目)           | ①コンクリート圧縮強度、引張強度<br>②一次破砕(ひびわれ本数とその長さ、剥落コンクリート重量、鉄筋の伸び、膨脹体積)<br>③二次破砕(破砕体積、作業測定・効率)<br>④環境特性(飛行、粉じん、振動、騒音) |        |           |

### (2) 試験体の形状・寸法

試験体は破砕効果を明確に把握すると同時に、断面内で破壊応力が均等に作用させるために円柱体とし、寸法は直径900mm×高さ2,700mmとした。配筋と径は、横筋D10@50mm、縦筋D19@150mm(鉄筋比0.35%)とした。装薬位置は円柱試験体の上下面中央部に装薬孔34mmφ、深さ1.35mとした。コンクリート圧縮強度は29~34MPa(中軽).

### (3) 実験結果

写真-1に爆破後における一次破砕の試験体の破壊状況を示す。また、図-1に薬種とひびわれ本数の関係を示す。ひびわれ発生の本数はアーバナイトが最も多く、2号樫ダイナマイト、スラリー爆薬が同程度であった。また、装薬量に対するひびわれ



写真-1 制御爆破（かぶりコンクリートによる一次破碎）の剥離状況の例

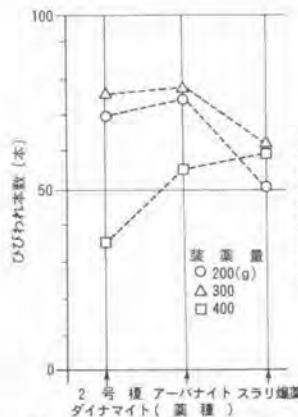


図-1 薬種・装薬量とひびわれ本数の関係

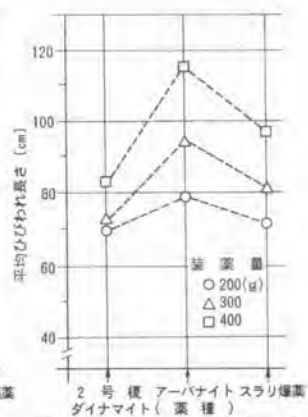


図-2 薬種・装薬量と平均ひびわれ長さの関係

本数は、300gのときが最も多く、200g、400gの順に少なかった。2号種ダイナマイトはコンクリートが集中的に破碎し、アーバナイトとスラリー爆薬はひびわれ発生が疎になって拡散的な破壊力を有していることが分かった。

図-2に薬種と平均ひびわれ長さの関係を示す。アーバナイト、スラリー爆薬は2号種ダイナマイトに比べて平均ひびわれ長さが大きく、アーバナイトの装薬量400gが最も顕著で、ひびわれ本数からみても拡散性があった。つまり2号種ダイナマイトは、平均ひびわれ長さがアーバナイト、スラリー爆薬に比べて小さく、ひびわれ本数がスラリー爆薬と同程度であり破壊力が集中していた。この結果、爆薬による鉄筋コンクリート構造物の破碎特性は高速爆薬ほど局部的であり、中・低速爆薬はひびわれが広い範囲にわたって拡散していることが分かった。

次に、コンクリートブレーカによる二次破碎の破碎効率( $m^3/h$ )はアーバナイトが最も良く、スラリー爆薬と2号種ダイナマイトでは同程度であった。

環境特性のうち、振動加速度レベルが比較的にかかった薬種はアーバナイトであった。振動加速度レベルと装薬量は相関関係にあり、振動加速度レベルは装薬量が増えると大きくなる傾向にある。また、騒音レベルは振動と同様な特性を示し、装薬量が増えると大きくなった。2号種ダイナマイトは最も大きく、スラリー爆薬が最も低くなった。一方、粉じん濃度(粒径 $10\mu m$ 以下)は全薬種とも破碎体積が大きくなると高くなった。また、単位膨脹体積当たりの粉じん濃度は2号種ダイナマイト、アーバナイト、スラリー爆薬の順で小さくなった。

以上の結果、最適な爆薬の薬種は低爆速で爆発エネルギーの大きいアーバナイト、装薬量は $400g/l$ (単位装薬量 $0.70kg/m^3$ )であることが分かった。

### 3. 爆破破壊挙動のシミュレーション

爆薬を装薬孔で爆破した場合、装薬孔の内壁に作用する衝撃圧力が数 $\mu s$ という極めて短い時間で最大値に達し、通常数万気圧に及ぶ圧力波が生じる。その後、爆破に伴って発生するガス圧力により装薬孔が破壊して外部に解放される。この衝撃圧力は、装薬孔周辺に半径方向の圧縮主応力と接線方向の引張主応力が生じる。従って、装薬孔近傍では、まず衝撃圧力により半径方向にひびわれが発生し、その後、生成ガスによる静的な圧力でひびわれが拡張される。また、装薬孔より離れた自由面近傍では爆破

点からの進行波と自由面からの反射波によって複雑な応力状態となる。装薬条件によりその性状は多少異なるが、通常装薬孔から自由面に向かってほぼ円錐状に破壊面が生じることになる。しかし、鉄筋コンクリート構造物のように内部が鉄筋などで補強されている複合構造物は、複雑な応答性状を示すことが考えられる。

本研究では、制御爆破による鉄筋コンクリートの破壊挙動を明らかにするために行った鉄筋コンクリート試験体の爆破実験の結果と個別要素法（DEM）、衝撃解析用有限要素法（DYNA3D）による解析シミュレーションの結果について評価した。

### （1）爆発圧力の評価法

本解析では、試験体爆破実験における装薬孔の内部の衝撃圧力の解析はエマルジョン爆薬の円柱型爆薬を対象として、水中衝撃波の圧力伝播を爆発生成気体の状態式であるJWL式を用い衝撃解析コードDYNA3Dで行った。ここで用いたJWL式及びアーバナイトの特性を考慮した補間パラメータは次の通りである。

$$P = A \left(1 - \frac{\omega \eta}{R_1}\right) e^{-R_1 \omega \eta} + B \left(1 - \frac{\omega \eta}{R_2}\right) e^{-R_2 \omega \eta} + \omega \eta \rho_0 E, \quad \eta = \rho / \rho_0 \quad \dots (1)$$

ただし、P：圧力、 $\rho_0$ ：初期密度、E：単位体積当りの比内部エネルギー、 $A = 659 \text{TPa}$ 、

$B = 13.4 \text{TPa}$ 、 $R_1 = 5.74$ 、 $R_2 = 1.50$ 、 $\omega = 0.352$ 、 $E = 4.87 \text{TPa}$

また、空気の状態式は、熱による効果を無視し、 $P = 0.0103 \eta$ とした。

解析対象範囲は、装薬孔中心から装薬孔のコンクリート内壁までの範囲とし、コンクリートは剛であるとした。時刻歴は時刻 0 $\mu\text{s}$ でアーバナイトの中心に点火し、約10 $\mu\text{s}$ までが空気層の圧力時刻である。この圧力波形では、約 3 $\mu\text{s}$ で最大値6.600MPaに達し、その後、4 $\mu\text{s}$ から10 $\mu\text{s}$ まで急速に圧力が低下して約980MPaとなった。なお、爆破試験体に対する解析では、この圧力を簡略化し、更に20 $\mu\text{s}$ から 100 $\mu\text{s}$ まで80.3MPa のガス圧力が作用し、その後 250 $\mu\text{s}$ で圧力が0MPaになるものと仮定した。

### （2）鉄筋コンクリート試験体に対する破壊挙動シミュレーション解析

DEM及びDYNA3Dの解析コードでは、鉄筋コンクリート試験体を爆破した場合、コンクリート及び鉄筋の各部には大きなひずみが発生し、大変形を伴った破壊挙動が引き起こされることを考慮して定式化したものを用いた。

DEMは試験体上部の 1/2を軸対称でモデル化した。コンクリートの構成則は、動的倍率係数を考慮したモルクーロン則を用いた。一方、DYNA3Dは試験体の 1/8を3次元でモデル化し、ドラッカー-ブラウナー則をコンクリートの構成則として採用した。また、ひずみ速度依存性を考慮して圧縮強度と引張強度に対する動的倍率係数は、それぞれ 2.0倍に設定した。また、鉄筋はパイリニア型の非線形特性を有するものとし、装薬孔のタンピング材はコンクリート強度の10倍とした。

以上の定数を用いて解析した結果、コンクリートは引張ひずみが約 100~500 $\mu$ でひびわれが発生し、鉄筋は引張ひずみが約 1.500 $\mu$ で降伏することが分かった。

### （3）破壊領域の評価

試験体爆破実験における鉄筋コンクリートのダブル配筋の実験では、コンクリートの表面に主筋と帯

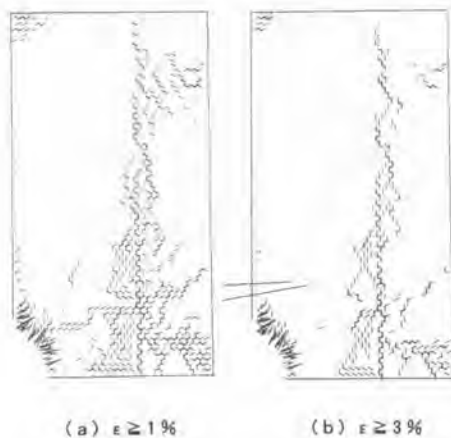


図-3 DEMの破壊領域の評価

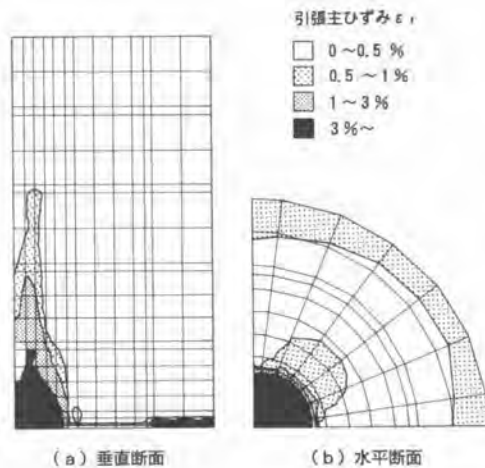


図-4 DYNA3Dの破壊領域の評価

筋に沿って微小のひびわれが生じ、爆破直後に装薬孔に近い表面中央のひびわれから生成ガスが吹き出すのが高速ビデオカメラによって観察された。このことから装薬孔の周辺にはひびわれが多く発生しているが、その多くはダブル鉄筋の拘束によりひびわれの進行が抑えられており、鉄筋に沿ったひびわれだけが表面まで達していることが分かった。また、鉄筋のひずみは約  $500\mu$  を越えていることから、装薬孔周辺の鉄筋とコンクリートの付着は無くなっていることが推測された。

破壊挙動のシミュレーション解析では、コンクリートの破壊領域を評価する指標として、破壊が終了して十分な時間が経ったと見なせる時刻  $1,000\mu\text{s}$  での引張ひずみを採用した。図-3にDEMによる引張ひずみ  $\epsilon_t$  が3%を越えた領域を要素間の線分で示す。また、図-4にはDYNA3Dの第1主ひずみ（引張ひずみ）をコンター図で示した。これらの結果からDEMでは  $\epsilon_t$  が3%を越えた領域を、DYNA3Dでは第1主ひずみ  $\epsilon_1$  が1%を越えた領域を、それぞれ破壊領域とすれば試験体爆破実験の結果と整合することが分かった。

#### 4. 実建造物の制御爆破解体工事の例

##### (1) 爆破建造物の形状寸法

制御爆破工法を適用した鉄筋コンクリート建造物は、円筒状厚壁構造物であり内壁直径約3.5m、壁厚1.1~2.8m、高さ16mで、内壁部に13mm鋼板が張付けられている。配筋は縦筋・横筋ともD-29mm-@150mmのダブル鉄筋で構成されている。なお、この建造物のコンクリートの圧縮強度は、コア試験の結果では30~40MPaであった。

##### (2) 爆破設計

制御爆破の装薬設計の要点は、最適な爆薬の配置と装薬量及び段発時間差等の仕様を適正に計画することである。そこで本工事では円筒状厚壁構造物の内側面を剥離破砕する場合、内側面の1/4周程度を8ヶ所の装薬孔で爆薬を斉発すると、アーチアクション作用により構造物外周部に亀裂が発生する危険性があるので、芯抜き・払いの段発方法を採用した。

本装薬設計では、従来から適用されているハウザーの公式  $L = C \cdot W^3$  をもとに本研究で行った各種のベンチカット爆破実験の結果から次式を誘導し、これより装薬量を算定した。

$$L = C \cdot W \cdot D \cdot H \cdot \alpha \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、L：1孔当たりの装薬量(kg/孔)、C：発破係数(kg/m<sup>3</sup>) [爆破対象物の強度・周辺の拘束条件により定まる係数で、 $W \geq 0.25m$  のとき有筋部の  $C = 0.75$ 、無筋部  $C = 0.60$ 、 $W \geq 0.40m$  のとき有筋部  $C = 0.60$ 、無筋部  $C = 0.45$ ]、W：最小抵抗線長さ(m)、D：孔間隔(m) [装薬孔の孔間隔で本工事では  $D = W \sim 1.5W$ ]、H：ベンチカット高さ(m) [本工事では  $H = 0.3 \sim 2.0m$ ]、 $\alpha$ ：背面部損傷の可否に関する係数 [最小抵抗線長さWとの関係で、背面部厚さBとから、可  $= 0.85$  ( $B \leq 2.5W$ )、否  $= 0.65$  ( $B \geq 2.5W$ )]

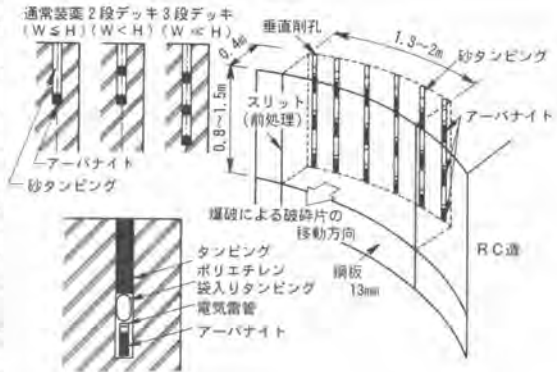


図-5 制御爆破の装薬方法の概念図

図-5に本工事での制御爆破の装薬要領の概念を示す。また、円筒状厚壁構造物の内側部の制御爆破では、破砕範囲の厚さを  $W = 0.40m$  とし、13mm鋼板と鉄筋を予めアブレイシブ水ジェットで切断した。ただし、壁厚が薄い部分では  $W = 0.25m$  とし、2層に別けて発破した。制御爆破による解体手順は、円筒状厚壁構造物の上部から下部の範囲の16mを14段に区分し、最上段から順次下方に向けて1段ずつ実施した。装薬方法は、ファイルローティング(軽装填)とデッキチャージ装薬とした。デッキチャージ装薬ではWとベンチ発破の高さHの関係から2段及び3段のデッキチャージとした。

(3) 爆破による破砕特性

爆破による破砕効果は、破砕片の粒径、飛散状況及びコンクリートブレイカによる二次破砕作業の難易度等により判定した。発破原単位と金属量(鋼板、鉄筋・配管等の重量)との関係は図-6に示す通りであり、発破原単位は金属量が多くなるとそれに比例して増加している。これらの破砕状況から鉄筋コンクリート部材に対する適装薬の発破原単位は、次式で表すことができる。

$$S = 0.51M + 0.33 \quad (\text{相関係数} = 0.70) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、S：発破原単位(kg/m<sup>3</sup>)、M：金属量(t/m<sup>3</sup>)

これより金属量の状態によって発破原単位は、①埋め込み金物・鉄筋が多い部位：  $S = 0.65 \sim 0.80$ 、②埋め込み金物・鉄筋が少ない部位  $S = 0.50 \sim 0.55$  となった。また、破砕片の粒度分布では、過装薬の場合は粒径が大きく、微粒径が極端に少なくなった。一方、弱装薬の場合は粒径の大きいものは少なく、5~40mm程度の破砕片が多かった。このことから装薬量の過不足状態を推定することができた。

(4) 残存構造物への影響評価

衝撃波によって外壁部(残存部)に生じる変位とひずみ及びコンクリートの破壊ひずみの関係、衝撃波の伝播特性は次式で表される。

$$a = A / (2 \pi f)^2, \quad \varepsilon_1 = a / B, \quad \varepsilon_2 = \sigma t / E \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$A = K \cdot L^{0.75} / r^{1.0} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 $a$  : 衝撃波による変位(m)、 $A$  : 衝撃波による加速度(G)、 $f$  : 衝撃波の周波数(Hz)、 $\varepsilon_1$  : 衝撃波によるひずみ、 $B$  : 壁の厚さ(m)、 $\varepsilon_2$  : コンクリートの破壊ひずみ、 $\sigma_t$  : コンクリート引張破壊強度(MPa)、 $E$  : 弾性係数(MPa)、 $L$  : 装薬量(kg/孔)、 $r$  : 距離(m)、 $K$  : 係数 [本実験では $K=7.59 \times 10^6$ ]

本爆破による衝撃波加速度の実測値は100~1,700 G (距離 $r=1.0\sim 2.5$ m)、周波数3,000~8,000Hzであった。これより、爆破によって残存部の変位 $a$ は、最大加速度 $A=1,750$  G、その時の周波数 $f=6,649$ Hzの場合、 $a=9.8 \times 10^{-4}$ cmとなる。この変位を壁厚1.5mに対するひずみに換算すると $\varepsilon_1$ は $0.7 \times 10^{-6}$ となる。これに対して、コンクリート引張破壊強度 $\sigma_t=2$ MPa、弾性係数 $E=20 \times 10^3$  MPaとした場合、破壊ひずみ $\varepsilon_2$ は $1 \times 10^{-4}$ となる。図-7に式(5)を用いた爆破時のコンクリート内部のひずみ分布の計算結果を示す。

以上の結果から、爆破の衝撃波によって残存部に生じるひずみは、コンクリート部材特有の破壊ひずみの約1/100であり、残存部への影響はないものと推定された。

また、弾性波トモグラフィ法による弾性波速度分布と目視観察で残存部のひびわれ状況を測定した結果、ひびわれはなかった。

## 5. むすび

制御爆破工法は、今回の実地実験で対象にした特殊な鉄筋コンクリート構造物である円筒状厚壁構造物でも計画線近傍で部分的に剥離破砕ができる解体撤去工法であることが実証された。

現在はこれまでに行った各種の制御爆破実験と実構造物の解体工事などの結果をもとに、実用的な装薬設計の仕様を整理しており、今後は本工法の特徴が十分に発揮できるような実構造物へ積極的に適用していく予定である。

最後に、本研究は日本油脂(株)武豊工場・研究開発部との共同研究であり、特に、試験体の爆破実験について協力を頂いた。また、研究全体については横浜国立大学・工学部教授 小川輝繁博士のご指導を受けた。ここに関係各位に感謝の意を表します。

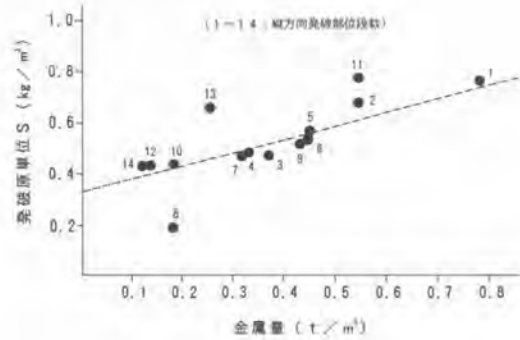


図-6 発破原単位と金属量の関係

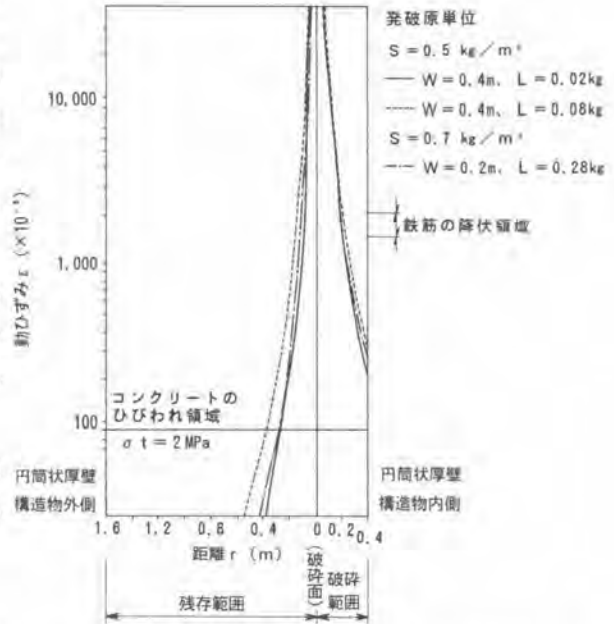


図-7 制御爆破によるコンクリート内部のひずみ分布

## 2. 形状が複雑で、高精度を要求された コンクリート構造物の施工法

～リニアガイドウェイ直付側壁～

日本鉄道建設公団： 乗田 治己・早瀬 邦仁  
鹿 島：\*重藤 正治

### 1. はじめに

山梨リニア実験線のリニアモーターカー走行のためのガイドウェイは、直付方式、パネル方式、ビーム方式の3タイプがあり、日本鉄道建設公団は、直付方式の開発を担当した。

この直付方式は、コンクリート路盤上に型枠を高精度で設置し、直接コンクリートを打設することにより、ガイドウェイ側壁を構築するもので、その後、地上コイルを取り付けていく方式である。

直付方式は他の2方式より、構造が単純で、部材厚を薄くし鉄筋量を減らせる反面、コイル位置が狂った場合の修正可能量が小さいため土木構造物としては非常に精度が高く、凹凸が非常に多いコンクリートを現場施工する必要がある。

このため、実物大の試験施工を行い、以下の課題に取り組んだ。

- ①高精度の型枠製作
- ②型枠設置方法の確立および精度確認
- ③コンクリート壁の凹凸を壊さないような脱型方法

この試験施工の結果を踏まえて、型枠の改良・側量方法の改善等を重ね、現在、直付方式の本工事を施工中である。

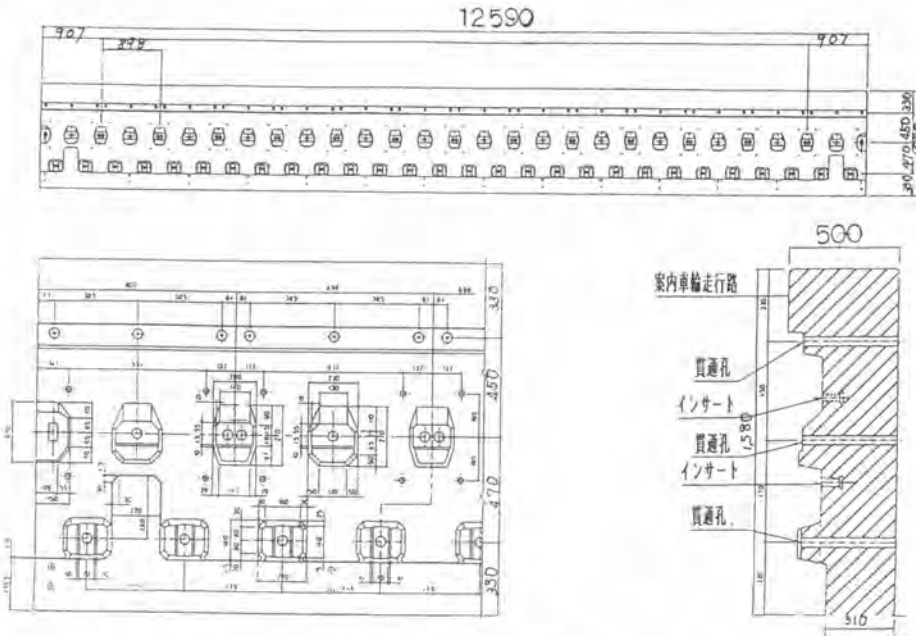


図-1 側壁コンクリート詳細図

## 2. 精度

側壁コンクリートの施工精度は、以下の値を目標とする。

なお、X方向とは、線路方向を示し、Y方向とは通り方向、Z方向は、高さ方向を示す。

表-1 設置位置

| 項           | 目    | 許容誤差     | 記            | 事        |
|-------------|------|----------|--------------|----------|
| 案内車輪走行路     | 前後端  | ± 3 mm   | ガイドウェイ基準点からの | X位置      |
|             | 走行路面 | ± 3 mm   | ガイドウェイ基準点からの | Y位置      |
|             | 上端   | -3~+13mm | ガイドウェイ基準点からの | Z位置      |
|             | 下端   | ± 3 mm   |              | 〃        |
|             | 目違い  | 3 mm     | 隣接する走行路面との   | 段差 (Y方向) |
| 推進コイル用インサート |      | ± 3 mm   | ガイドウェイ基準点からの | X、Y、Z位置  |
| 昇上コイル用貫通孔   | 取付け面 | ± 3 mm   | ガイドウェイ基準点からの | Y位置      |
|             | 中心位置 | ± 4 mm   | ガイドウェイ基準点からの | X、Z位置    |

表-2 コイル取付け面寸法

| 項          | 目         | 許容誤差     | 記            | 事     |
|------------|-----------|----------|--------------|-------|
| 推進コイル用     | インサート中心位置 | ± 1 mm   | 側壁コンクリート面内での | X、Z位置 |
| インサート部     | コイル取付け面精度 | 2mm/1コイル | コイル取付け面の凹凸   | (Y方向) |
| 昇上コイル用貫通孔部 | 貫通孔中心位置   | ± 2 mm   | 側壁コンクリート面内での | X、Z位置 |
| 突起部        | 形状寸法      | ± 2 mm   |              |       |
|            | コイル取付け面精度 | 2mm/1コイル | コイル取付け面の凹凸   | (Y方向) |

## 3. 試験施工

### (1) 型枠台車

試験施工用に型枠台車（試作機）を製作した。この試作機は、型枠と台車から構成され、その間を片側Y方向ジャッキ10本、X方向ジャッキ1本、Z方向ジャッキ2本、計13本のジャッキで結合した。

このジャッキは手動式のスクリュウジャッキである。

内型枠面板は3分割にして9mm厚の鋼板を使用し、接合部フランジにずれが生じないようにノックピンを打った。突起部の型枠は複雑な形状に対応するため鋳物とし、突起部と面板取付箇所は精度確保のため機械加工とした。

### (2) 型枠設置方法

型枠台車はおおよその目標位置まで自走し、固定後、三次元測定機（ソキア製マンモス）を用いて、台車上の4定点を測定する。この測定値と設計値との離れをコンピュータで求め、離れの分だけジャッキ操作をして、型枠を所定の位置に設置する。設置位置の確認のため、型枠側に取付けた6定点で



チェックする。

### (3) コンクリート配合

側壁コンクリートは鉄筋以外に、突起補強筋、コイル取付用の貫通孔・インサートが多数あり、精度良く施工するためには締固めが不要のコンクリートを使用して、型枠の隅々まで充填できる流動性の非常に高いコンクリートが必要であると考えたが、施工予備試験で、パイブレッタによる締固めが可能であることが判明し、超流動コンクリートでなくても施工が可能であることが明確になった。

その後、流動コンクリートとしたが、コンクリート表面の気泡が多いこと、ブリージングによる表面の状態が良くないことから、流動化コンクリートを採用することとした。

### (4) 脱型

図-2に示すように、上下動の許容限界が非常に小さく、その限界は上部の案内走行路下端部（A部）において、型枠の水平移動距離 1.0mmの時に上方向の限界が0.07mmであり、また、下段突起部（B部）においては、1.0mmの時下方向の限界が0.14mmである。

これに対し、型枠重量は約4t、長さ12.6mである。

脱型は1回につき0.5mm程度全ジャッキを操作することにより試みたが、離型時に型枠の上下動、縦断勾配方向への微動が発生した。

### (5) 欠損防止対策

試験施工当初は、写真-1～2に示すように、脱型時に突起部等に欠損が多く発生したので、脱型時強度を50kgf/cm<sup>2</sup>から100kgf/cm<sup>2</sup>に変更するとともに型枠の改良、脱型方法の検討を実施した。

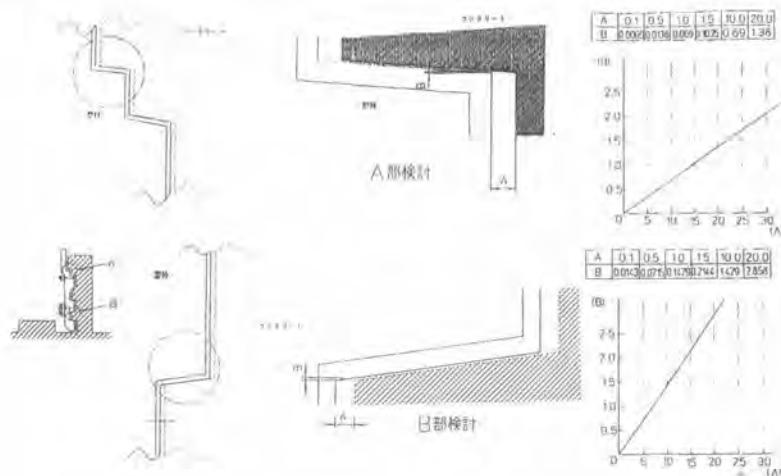


図-2 上下動限界図



写真-2 側壁コンクリート欠損状況（端部突起部）

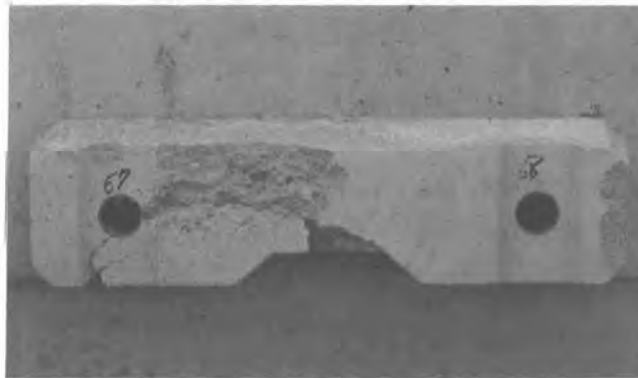


写真-3 側壁コンクリート欠損状況（下端突起部）

このほかの欠損防止として、以下に示す対策を実施した。

a. 鉄筋のピッチ・形状変更

端部の主鉄筋を太くし、ピッチを広げることにより、締固めを容易にし、さらに、突起部補強筋を鉄筋からCFRPに変更した。→有効性を確認した。

b. 脱型用水平リンクの設置

X型で交点部をピン構造にして型枠上部と台車を結んだ構造で、スクリュウジャッキの引込みによって型枠を水平に移動させようというものである。→有効性を確認したが、構造上の検討が必要である。

c. 脱型用ローラーの設置

型枠下端の両端と中央の3箇所にローラーを取付け、型枠が上下動しないようにした。→有効性を確認した。

d. プレキャスト突起

別の突起部型枠で製作し、圧縮強度が 200kgf/cm<sup>2</sup>以上ある突起部コンクリートを型枠にはめ込み、本体と一緒に打設した。→有効性を確認したが、急速施工を目標としているサイクル上問題があるので、取り止めた。

e. 突起部形状変更

計画上許される範囲まで、面取りをつける等の形状を変更した。→有効性を確認した。

f. 剥離シート貼付

型枠の離型性およびコンクリートの出来栄えのために、剥離シートを使用した。→有効性を確認した。

g. ゴム加工、貼付

突起部型枠の全面に緩衝材としてゴム（厚さ 5～10mm）を貼付し、さらに、その上に剥離シートを貼付した。→有効性を確認した。

II. 変位計による型枠台車の変形測定

測定結果によると、『脱型初期においては、型枠は移動せずに反力台としている台車のフレームが変形するのみで、離型する段階になると型枠は一気に移動し、フレームの変形も放たれる』挙動を示しており、脱型当初の数mmのジャッキの引込みでは、突起部では離型していないことが分った。

(6) 出来形精度

X方向およびY方向の精度については、概略±3mm以内に収まっていた。

Z方向は、型枠のたわみと考えられる中央部で-5mmのたわみが生じた。

4. 実施工に向けての改良

試験施工の結果、実施工に向けては表-3に示す改良点を実施した。

| 改良点               | 試験施工実施による実施工改良内訳  |
|-------------------|---|
| 台車の変形量を減らす        | 台車剛性向上：主要部材の変更（S-150×150 → S-200×200）<br>構造変更（開口部をなくし、一体構造） |
| 突起部コンクリートの欠損防止    | 突起部型枠全面にウレタンゴム（厚さ10mm）の貼り付け                                 |
| 型枠製作の精度向上         | 内張り材：面取および穴の機械加工  |
| ジャッキ操作性向上         | デジタル表示によるジャッキ長表示、集中調整                                       |
| 型枠中央部のたわみを減らす     | 主要部材の強化、中央部に高さ調整用（Z方向）ジャッキを増設                               |
| 設置精度の向上           | 型枠の位置決めターゲットを4点→6点に増設                                       |
| 設置精度を目標で確保        | 目標位置に到達した際にアラームを発音する  |
| 調整精度の向上（ターゲットの改良） | 調整精度向上のための調整用（Z方向）ジャッキを増設                                   |
| 端部（上部・左右）のたわみを減らす | ジャッキ位置を端部に近付け、片持ち梁部延長を短くする                                  |
| 型枠表面の離型性向上        | フェロハードコーティング剤またはフロンシートまたは離型シートの貼付                           |
| 型枠下縁処理の施工性向上      | ゴムまたは積木+チューブシール   |

表-3 実施工に向けての改良点

## 5. 実施工

試験施工の実績を踏まえて、前記したような改良を加えることにより、写真-3に示す型枠台車を製作し、平成7年7月15日現在までで、直付方式のガイドウェイは総延長5,140mの内4,210mを完了している。写真-4に示すようにコンクリートの欠損はまったくなく、精度も許容値の範囲内に収まっている。

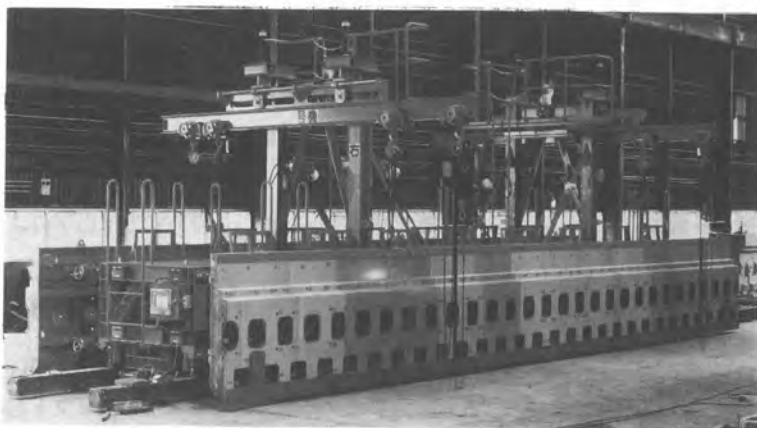


写真-3 型枠台車



写真-4 出来形状況

### 3. スリップフォーム工法用コンクリートディストリビュータの開発

飛鳥建設(株)：名倉 政雄・\*笠井 和弘  
佐藤 暁生

#### 1. はじめに

スリップフォーム工法は、側面だけの型枠に、昼夜連続で層状にコンクリートを打設しながら、この型枠を油圧ジャッキにより連続上昇させて、塔状構造物を構築してゆく急速施工法である。スリップフォーム装置は図-1に示すように三層構造となっており、コンクリートの供給は地上から上段足場までヨーヨーホイストと称するバケットでコンクリートを運搬し、上段ホッパーにストックしたコンクリートを各ホッパーから中段足場へ分配する方法をとっている。従来、この各ホッパーへのコンクリート分配は一輪車(ネコ)、カート車等で行っていたが、この方式では以下のような問題点があった。

- ①上段足場でのコンクリート運搬にヨーヨーホイスト1台当たり片番6~7名の作業員が必要で、労務費が多くなる。
- ②分配能力を上げるためにネコ台数を増やしても、コンクリート荷受けの待機時間が長くなるだけで施工能力は頭打ちとなる。能力アップのためにはヨーヨーホイスト台数を増やさなければならない。

そこで、このような問題点を解決するため、スリップフォーム工法の自動化・省人化のテーマの一環として、レール走行式のコンクリートディストリビュータを開発し、技術研究所内の性能基礎実験を経て超高層煙突の実施工現場へ適用し、所要の成果を得ることができた。本論文はこのコンクリートディストリビュータについて、機械の仕様、性能、技術研究所の性能基礎実験の結果、実現場への適用例等について述べるものである。

#### 2. 開発したコンクリートディストリビュータの概要

今回開発したコンクリートディストリビュータの外観図を図-2に、また仕様を表-1に示す。

本機は、高所作業に使用するため、安全性に十分配慮するとともに、十分な強度を有し、かつ機械重量の削減を図り、運転作業の簡便化、省力化・省人化に配慮した設計がなされている。

本機は、スリップフォーム構台上に敷設するレール部分、レールを走行する台車部分、アームを搭載する架台部分、駆動機器である油圧ユニット等を装備している。レールはスリップフォーム構台の上段足場上に敷設され、ディストリビュータはこの軌道に沿って

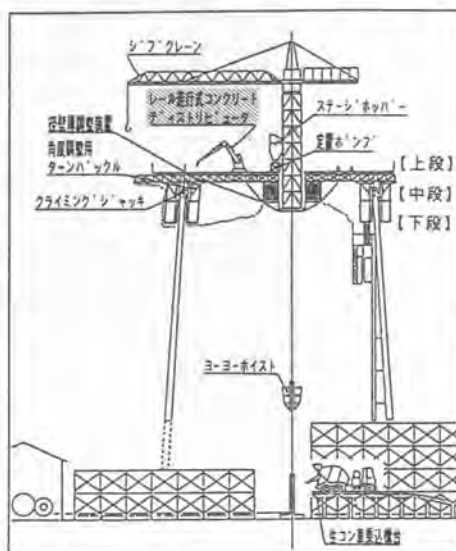


図-1 スリップフォーム概要図

周回移動する。そして、4ヶ所の停止位置にディストリビュータを固定し、アームを旋回させることによって各ホッパーにコンクリートを分配するものである。

本機の主な特徴は、以下の通りである。

- ①コンクリートホースがケーブルベアに格納され、このケーブルベアがレール内に配置されているため、ホースの引回しの必要がない。
- ②走行中は他の一切の動作ができないように、インターロックが設けられている。
- ③停止位置で固定ストッパーがロックされない限り、アーム旋回およびアーム傾動の作動ができないようにインターロックが設けられている。
- ④固定ストッパーが解除されない限り、台車が走行できないようにインターロックが設けられている。
- ⑤アームの傾動・水平動作は、高さ2m以上の位置で行われる。

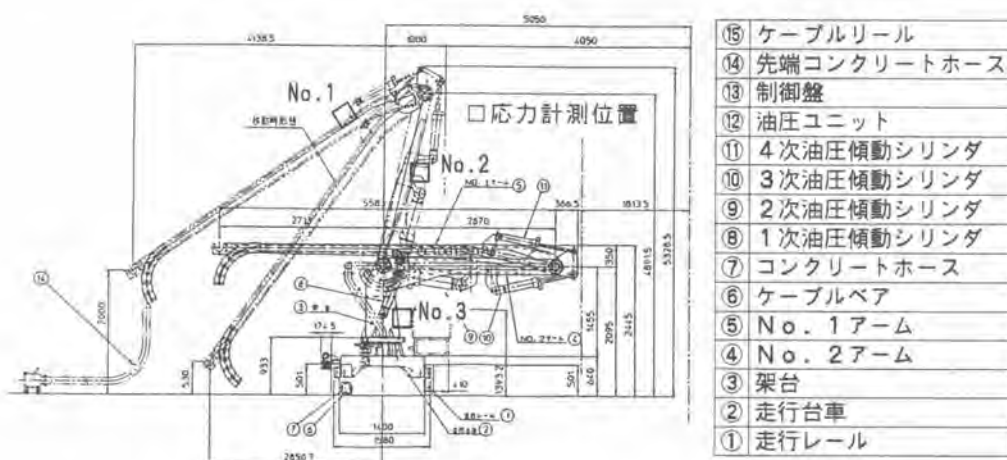


図-2 ディストリビュータ外観図

表-1 ディストリビュータ仕様一覧表

|           |                        |  |
|-----------|------------------------|--|
| 供給電源      | AC200V/220V×50/60Hz×3φ |  |
| 稼働時間      | 最大24hr/日、平均16.5hr/日    |  |
| 装置重量      | 走行用レール                 | 3,070kgf                                 |
|           | ディストリビュータ本体            | 1,641kgf                                 |
|           | 油圧ユニット                 | 260kgf                                   |
|           | 制御盤                    | 40kgf                                    |
|           | ケーブルリール                | 100kgf                                   |
|           | ケーブルベア                 | 460kgf                                   |
|           | ベア内コンクリートホース           | 110kgf                                   |
| 先端重量      | 200kgf                 | 総重量=5,881kgf<br>コンクリートを含む場合<br>=6,276kgf |
| 台車走行速度    | 最大 1rpm (調整可能)         |  |
| アーム旋回速度   | 最大 4rpm (調整可能)         |  |
| アーム旋回運転範囲 | 通常±90°、最大±175°         |  |

### 3. 性能基礎実験

機械の性能の確認および設計上の不具合事項を確認するため、技術研究所内で実現場を想定した性能基礎実験を行った。実験状況写真を図-3、主な実験項目を表-2に示す。



図-3 実験状況写真

表-2 性能基礎実験の主要項目

|           |   |
|-----------|---|
| (1)作業能力試験 | 無負荷状態において1/8平面の打設に要する時間を測定              |
| (2)圧送性試験  | 通常配合 (sl=12cm) と低スランプ配合 (sl=8cm) の圧送性試験 |
| (3)施工性試験  | 総合的な運転性能試験                              |
| (4)耐久性試験  | コンクリートホップ稼働時の各部応力測定                     |

実験の結果を列挙すると、以下の通りである。

(1)作業能力試験：ディストリビュータの移動時間を実測し、次式によりディストリビュータのコンクリート分配能力を算定した。算定結果を表-3に示す。

$$Q = 3,600 \times V_h \times \eta / T$$

ここに、 $Q$ ：ディストリビュータのコンクリート分配能力 ( $m^3/hr$ )

$V_h$ ：1層厚さを30cmとした場合のコンクリート量 ( $m^3$ )

$\eta$ ：作業効率=0.9

$T$ ：1層を打設するのに要する時間(秒) =  $T_1 + T_2 + T_3$

$T_1$ ：コンクリート吐出時間(秒) =  $3,600 \times V_h / q$

$T_2$ ：移動に際するコンクリート待ち時間(秒) =  $H_h \times t_w$

$T_3$ ：ディストリビュータの移動時間(秒) =  $T_{31} + T_{32} + T_{33}$

$q$ ：コンクリートホップ実吐出量 ( $m^3/hr$ ) =  $20m^3/hr$

$H_h$ ：各高さのホップ数(個)

$t_w$ ：ホップ1箇所当りの待ち時間(秒) = 5秒または10秒

$T_{31}$ ：アームの伸縮・旋回による各ホップへの移動時間(秒)

$T_{32}$ ：次の停止位置に台車が走行し、固定ピンをセットするのに要する時間(秒)

$T_{33}$ ：最終停止位置から開始停止位置に台車が走行し、固定ピンをセットするのに要する時間(秒)

算定の結果、本機のコンクリート分配能力は地上部付近でも  $12.2m^3/hr$  であり、所要の目標能力を満足することがわかった。

表-3 コンクリートディストリビュータの分配能力

| 躯体高さ (GL+)                                | 単位       | 0m    | 20m   | 70m   | 150m  | 190m  |
|---|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (a) $V_h$                                 | $m^3$    | 28.4  | 24.5  | 13.8  | 9.2   | 7.3   |
| (b) $t_w$                                 | 秒        | 10    | 10    | 5     | 5     | 5     |
| (c) $H_h$                                 | 個        | 64    | 56    | 40    | 40    | 40    |
| (d) $q$                                   | $m^3/hr$ | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    |
| (e) $T_1=3,600 \times (a) / (d)$          | 秒        | 5,112 | 4,410 | 2,484 | 1,656 | 1,314 |
| (f) $T_2=(b) \times (c)$                  | //       | 640   | 560   | 200   | 200   | 200   |
| (g) $T_{a1}$ =実測結果                        | //       | 1,320 | 732   | 526   | 526   | 526   |
| (h) $T_{a2}$ =実測結果                        | //       | 170   | 170   | 170   | 170   | 170   |
| (i) $T_{a3}$ =実測結果                        | //       | 300   | 300   | 300   | 300   | 300   |
| (j) $T_3=(g) + (h) + (i)$                 | //       | 1,790 | 1,202 | 996   | 996   | 996   |
| (k) $T=(e) + (f) + (j)$                   | //       | 7,542 | 6,172 | 3,680 | 2,852 | 2,510 |
| (l) $\eta$                                | —        | 0.9   | 0.9   | 0.9   | 0.9   | 0.9   |
| (m) $Q=3,600 \times (a) \times (l) / (k)$ | $m^3/hr$ | 12.2  | 12.9  | 12.2  | 10.5  | 9.4   |

(2) 圧送性試験：同じ配合の場合、アームの姿勢や作業半径の違いによるピストン前面圧の違いは認められなかった。また低スランプ配合の場合、通常配合に比べてピストン前面圧は約 $2kgf/cm^2$ （推力換算約 $402kgf$ ）増加することがわかった。さらにディストリビュータ本体の水平換算長を森永方式および「コンクリートポンプ工法施工指針」（日本建築学会）方式に基づいて計算した結果、約110mとなった。

(3) 施工性試験：各パーツは設計通りに動作し、基本的な問題はなかった。ただし筒先にタイヤ式キャスターを製作したが、中間ホースが硬いため人力で引き回すことが困難である、筒先の重心が高く水平力に対して安定性がない等の理由から、筒先は5m程度のコンクリートホースを使用することとした。また操作盤は安全面、維持管理面を考慮して開発当初は有線方式としたが、作業性、操作性を優先して無線方式とすることとした。

(4) 耐久性試験：コンクリートポンプが稼働中の応力を、図-2中の□位置にて計測した。このうち測定No.2および3で応力が大きかったため、耐久性を考慮して補強することとした。

#### 4. 現場適用例

技研での性能基礎実験の成果を踏まえ、本機を超高層煙突の施工現場に適用した。本煙突は東京電力（株）の横浜火力発電所増設工事に伴う煙突外筒工事である。構造物の概要を図-4および表-4、スリップフォーム構台の平面図を図-5、実施工状況写真を図-6に示す。


ディストリビュータは図-5中、のレール上をS1→S2→S3→S4の順に停止し（○の位置）、各小ホッパー（■の位置）にコンクリートを分配する。S4まで終了するとS1まで周回し、同じ作業を繰り返す。構台上に置いたコンクリートポンプは技研での性能基礎実験と同様の（株）シンテックのMK W-35SMである。



表-4 超高層煙突構造物概要

|      |  |
|------|--|
| 形状   | 糸巻型変形四角形                                 |
| 構造   | 鉄筋コンクリート造<br>コンクリート量=9,200m <sup>3</sup> |
| 頂部辺長 | 19.6m                                    |
| 底部辺長 | 28.1m                                    |
| 頂部壁厚 | 300mm                                    |
| 底部壁厚 | 1,120mm~800mm                            |
| 躯体高さ | GL+200m                                  |

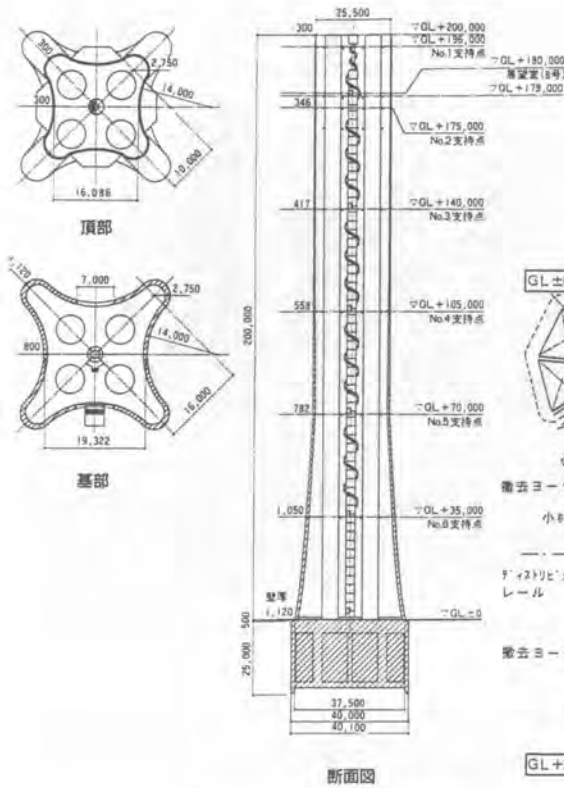


図-4 超高層煙突断面図

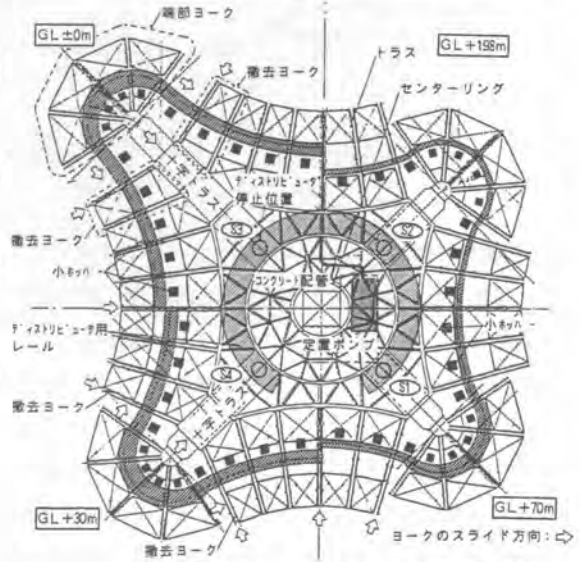


図-5 スリップフォーム構台平面図



図-6 実施工状況写真

ディストリビュータが所要性能を満足していることを確認するため、実現場において、スリップフォーム上昇高さGL+50m付近のディストリビュータのコンクリート分配時間およびヨーヨーホイスによるコンクリート供給のサイクルタイムを計測し逆算により各高さのコンクリート分配能力と供給能力を比較した。GL+50mにおける分配時間と供給時間の計測結果を表-5、

表-6に、またこれらから逆算した各高さにおけるコンクリートの分配、供給能力の比較を表-7および図-7に示す。

表一 5 ディストリビュータのコンクリート  
分配能力の実測値

|          |       |
|----------|-------|
| コンクリート打設 | 1'12" |
| 移動時間     | 0'28" |
| 固定ピン抜き   | 0'51" |
| 固定ピン差し   | 0'46" |
| 隣への走行    | 0'50" |
| 1周走行     | 1'45" |

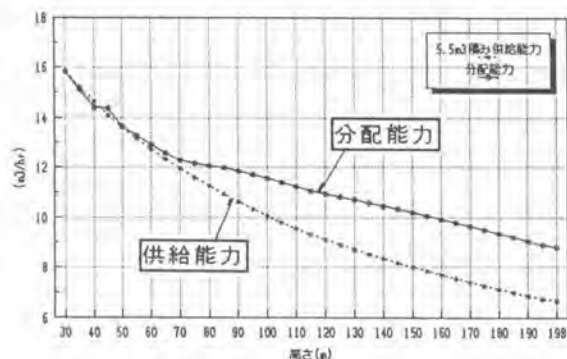
表一 6 ヨーヨーホイスのコンクリート  
供給能力の実測値

|          |       |
|----------|-------|
| ホイス投入時間  | 1'16" |
| 上昇時間:速   | 0'55" |
| 上昇時間:遅   | 0'55" |
| ホッパー投入時間 | 0'26" |
| 下降時間:遅   | 0'32" |
| 下降時間:速   | 0'47" |

表一 7 コンクリートの分配能力と  
供給能力の比較

| 高さ<br>(m) | 分配能力<br>(m <sup>3</sup> /hr) | 供給能力<br>(m <sup>3</sup> /hr) |
|-----------|------------------------------|------------------------------|
| 198       | 8.81                         | 6.67                         |
| 180       | 9.38                         | 7.11                         |
| 160       | 9.95                         | 7.68                         |
| 140       | 10.47                        | 8.34                         |
| 120       | 10.93                        | 9.12                         |
| 100       | 11.54                        | 10.07                        |
| 80        | 12.05                        | 11.24                        |
| 60        | 12.92                        | 12.71                        |
| 40        | 14.39                        | 14.63                        |
| 30        | 15.81                        | 15.82                        |

上表中、 は躯体高さに関係ない因子である。



図一 7 コンクリートの分配能力と供給能力の比較図

これらの図表から明かなように、ディストリビュータのコンクリート分配能力は、ヨーヨーホイスのコンクリート供給能力を十分に上回っている。

施工中はディストリビュータ本体のトラブルや配管内のコンクリートの閉塞もなく、順調な施工ができた。問題となっていた作業員数については、従来6~7人程度の土工が一輪車、カート車でコンクリートを運搬していたのに対し、本機の採用によりコンクリートポンプのオペレータ、ディストリビュータ操作員、筒先引回し兼合図マンが各1人の合計3人で対応して、労務費を半減することができた。

## 5. まとめ

スリップフォーム工法用に開発したコンクリートディストリビュータは、実施現場への適用で成果を挙げることができ、所要性能を満足することはもとより、作業員数の削減、苦渋作業からの解放等にも対処できることを確認した。今後は本機にさらに汎用性を持たせ、他現場、多工法にも適用させたいと思っている。また本開発成果が建設機械、強いては建設業の近代化に寄与できれば幸いである。

最後になりますが、本機の開発に際して多大なる御協力を頂いた東洋運搬機(株)に対し、紙面を借りて御礼申し上げます。

## 4. 日吉ダムの骨材製造設備

水資源開発公団：清永 勇治・\*中村 淳一

### 1. はじめに

日吉ダムは、淀川水系水資源開発の一環として桂川に建設される多目的ダムである。

桂川は、淀川三大支川の一つでありダムの下流には、保津川下りで有名な保津峡・渡月橋で有名な嵐山等の名勝地がある。

日吉ダムでは、RCD工法を採用しているが、施工計画の特徴の一つとして、2種類の原石（砂岩および頁岩）を使い分け、コンクリート用骨材としている。

本稿では、こうした特徴を踏まえ、日吉ダムで採用した一次破碎にジャイレトリークラッシャ、二次破碎にインパクトクラッシャ、製砂設備にオートフォールミル等について概要を紹介するものである。

### 2. 日吉ダムの概要

#### (1)ダムの諸元

|             |                              |
|-------------|------------------------------|
| 形 式         | ： 重力式コンクリートダム                |
| 堤 高         | ： 約 70m                      |
| 堤 頂 表       | ： 約 440m                     |
| 堤 体 積       | ： 約 700,000 m <sup>3</sup>   |
| 総 貯 水 容 量   | ： 約66,000,000 m <sup>3</sup> |
| 有 効 貯 水 容 量 | ： 約58,000,000 m <sup>3</sup> |

ダムの位置  
(京都府船井郡日吉町字中)



### 3. 骨材の特徴

日吉ダムの骨材については、原石山の地質構造上および骨材の有効利用の観点から各種試験を実施し、その結果材料として2種類（砂岩および頁岩）の原石を使用することとした。

この内、特に頁岩は、従来利用されなかった骨材であるが、材料の合理化の一環として使用が決定されたものである。

- (1)骨材Ⅰ（砂岩CM級以上）： 細骨材および外部コンクリート用粗骨材
- (2)骨材Ⅱ（頁岩CM級以上）： 内部コンクリート用粗骨材

4. 骨材製造設備の計画条件とフローの決定

設備計画上の条件は次のとおりである。

(1) 2種類の原石を使用し、それぞれ粗骨材の最大粒径は、80mmとし、分級数は3とする。

(2) 設備能力は、一次破碎投入量で約550t/hである。

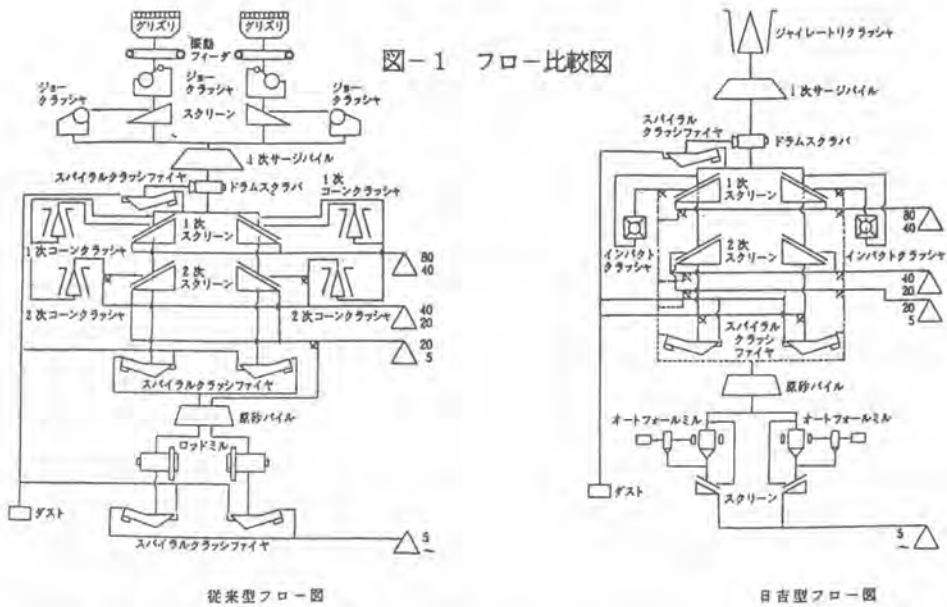
(3) 頁岩は、葉片状になり易い傾向があるため、偏平・偏表の改善が期待できる破碎機構を取り入れる。

(4) RCD用コンクリートの配合に対応できる微粒分を細骨材製造の過程で生産する。

上述の条件を踏まえ、設備フローの簡素化および骨材粒径の改善等を図るべく、以下に示す日吉型フローを採用した。

骨材製造設備の選定経緯（表-1）

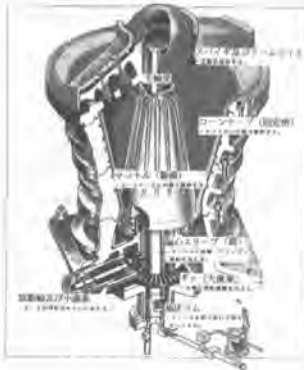
| 対象・設備       | 審 査 目 的 点  | 対 応 策   | 結 果  |  |
|-------------|--|---|--|--|
| 1次大石破碎機選定   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・フローの簡素化</li> <li>・粗骨材が2種類</li> <li>・G<sub>max</sub> 80mm</li> <li>・セット寸法が小さくなる</li> <li>→ 処理能力も小さくなる</li> <li>・破碎機構を変える</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>→ 粒径比が大きいこと</li> <li>→ 処理能力が大きいこと</li> <li>→ セット寸法が小さくても処理能力が大きいこと</li> <li>→ 粒形改善を図う</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・機種（ジョークラッシャー）を変更する</li> <li>↓</li> <li>「ジャイレートクラッシャーとする」</li> <li>「計画上骨材1の粗骨材は1次だけで生産が可能となり、余剰分を直送製砂できれば大幅な簡素化が可能となる」</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ジョークラッシャー4台がジャイレートクラッシャー1台となりフィーダ等も省略された。</li> <li>・粒形がやや良くなる</li> </ul>   |
| 2・3次石皮破碎機選定 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・フローの簡素化</li> <li>・破碎機構を変える</li> <li>・粗骨材が2種類</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>→ 処理能力が大きいこと</li> <li>→ 粒形改善を図う</li> <li>→ 計画上は骨材1の粗骨材を1次で生産できるので2・3次破碎は、骨材1だけが対象となり、ロッドミルに供給するための破碎は、不要となる</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・機種（コークラッシャー）を変更する</li> <li>↓</li> <li>「インバクトクラッシャーとする」</li> <li>「能力的には3次破碎が不要となる」</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・コークラッシャー4台がインバクトクラッシャー2台となる（3次破碎不要）</li> <li>・粒形がやや良くなる</li> </ul>   |
| 製砂機選定       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・大塊から一挙に製砂が可能なこと</li> <li>・大量の処理が可能なこと</li> <li>・製砂時に微粒分調整及び回収が容易なこと</li> <li>・粒形改善を図う</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>→ フローの簡素化</li> <li>→ 供給原料のG<sub>max</sub>を25mm以下にする必要がなければ2・3次破碎は不要となる</li> <li>→ 乾式による製砂及び分級</li> <li>→ 粉砕機構を変える</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・機種（ロッドミル）を変更する</li> <li>↓</li> <li>「オートフォールミルとする」</li> <li>「粗骨材については骨材1のみから製造するため1次破碎の余剰分を直送投入できるので大幅なフローの簡素化ができる」</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・G<sub>max</sub> 300mmまで供給可能</li> <li>・乾式なので製砂と同時に任意の微粒分回収が可能であるので粗骨材中の微粒分の配合が任意に変更される</li> <li>・2次・3次破碎不要</li> <li>・高水処理及び排水設備の負荷も軽減される</li> </ul> |



日吉型フローは、他業種では汎用されている破碎機をオリジナルに組み合わせた新方式を採用している。

### 5. 破碎機械の概要

#### (1) 一次破碎設備 (ジャイレートリクラッシャ)



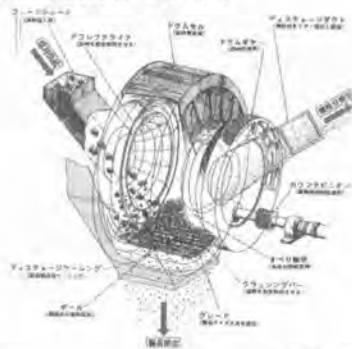
| 項目         | 単位     | 諸元           |
|------------|--------|--------------|
| 供給口寸法      | mm     | 950×2380     |
| 最大供給寸法     | mm     | 650×900×1300 |
| 電動機出力      | kW     | 250          |
| 横軸回転数      | rpm    | 545          |
| 標準破碎能力/OSS | t/h/mm | 900/115      |

#### (2) 二次・三次破碎設備 (インパククラッシャ)

| 項目     | 単位  | 諸元          |
|--------|-----|-------------|
| 供給口寸法  | mm  | 775×1525    |
| 最大供給寸法 | mm  | 110×150×220 |
| 電動機出力  | kW  | 130         |
| ロータ回転数 | rpm | 255～510     |
| 標準破碎能力 | t/h | 125         |

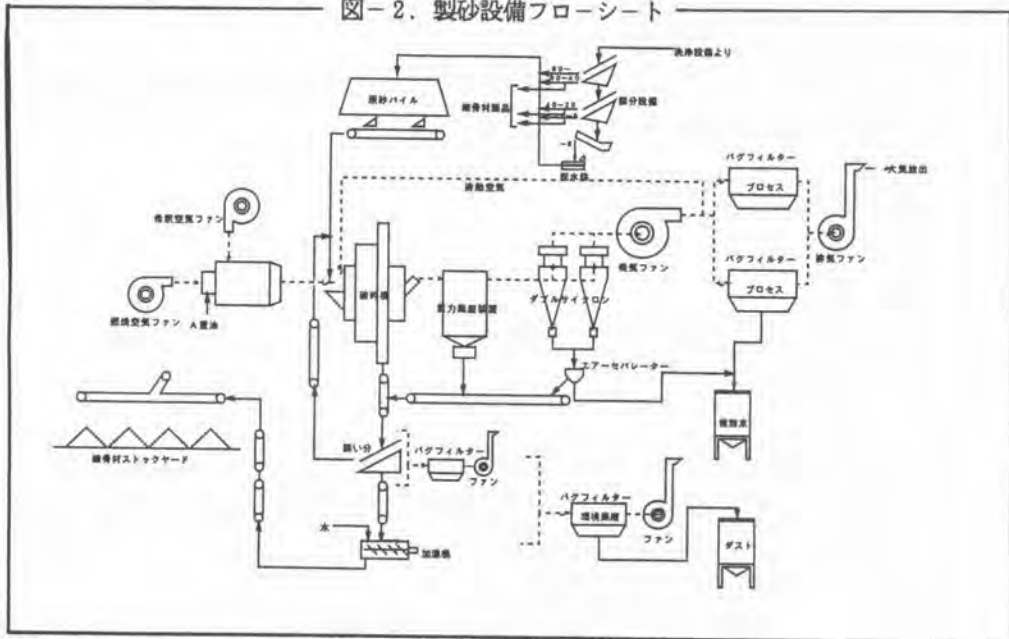


(3)製砂設備(オートフォールミル)



| 項目     | 単位  | 諸元              |
|--------|-----|-----------------|
| 供給口寸法  | mm  | 1000×1500       |
| 最大供給寸法 | mm  | 300 × 200 × 300 |
| 電動機出力  | kW  | 700             |
| セル回転数  | rpm | 12.4            |
| 標準破碎能力 | t/h | 70              |

図-2. 製砂設備フローシート



製砂設備は原砂供給設備・オートフォールミル・熱風発生装置・微粒分吸引装置・微粒分回収装置加湿器等から構成される。

オートフォールミルは、回転する円盤内で次のような各段階での主として原石と原石との接触によって破碎される。(自生破碎)

- ・供給口から供給された原石が、先に入っている原石上への落下
- ・クラッシングバーによりかき上げられる原石と滑り落ちようとする原石のせめぎ合い
- ・各粒径のバランスの崩れる高さからの底部原石上への落下
- ・投入ボールによる押さえ込み作用

## 6. 破碎機械の運転状況報告

### (1) ジャイレトリークラッシャ

原石運搬の45t重ダンプトラックとジャイレトリークラッシャの組合せによって一次破碎のシステムが非常に簡単となり、品質・能力的には、当初計画どおりの効果を発揮している。また、マントル・コンケーブの破碎面の摩耗についても局部的な進行のなく問題はない。

### (2) インパクトクラッシャ

本機は主に骨材Ⅱ（頁岩）の再破碎用として使用しており運転管理上、順調に稼働している。

### (3) オートフォールミル

本機はダムの分野で新規に採用された機種であり、砂岩の大塊を一気に乾燥粉碎し、製粒された細骨材と微粒分が同時に製造できる特徴を有している。

細骨材の品質および能力確保に影響するのは、原砂の粒度・硬度は勿論であるが、本機の特徴上、次の因子が製砂の重要なポイントとなる。

- ① 原砂の水分率
- ② ミルレベル (KW)
- ③ ボール量
- ④ エアセパレータ回転数・スクリーングランパ
- ⑤ ミル回転数・グレート寸法

特に①は本機が乾式分級であることから計画値（4%）以下にすることが重要である。

水分率が高いと、原砂の乾燥不足になり、空気分級がうまくいかず、微粒分が粗粉に付着したり、微粒子同士のひっつき等により吸引能力が低下するとともに過破碎状態になり、能力低下や製品に含まれる微粒分が増加する現象となる。

また、②および③は現場における運転特性確立のため有効性のあるものであり、現在も一定期間ごとに変化させ、最適値の確認をしているところである。

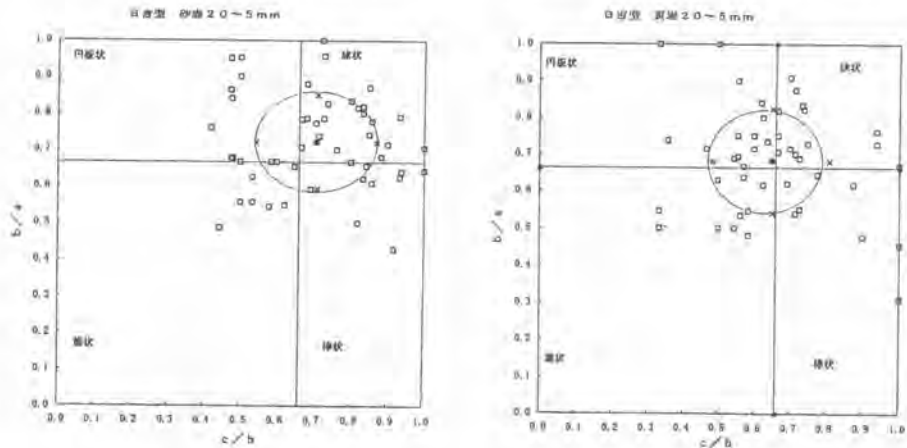
## 7. 日吉型破碎設備の評価

### (1)骨材粒径について

実稼働時における製品骨材の形状係数結果によると、ほぼ球状に近い形状が製造されていることが確認されている。

粗骨材分数の形状係数（小砂利の場合）

a : 長径    b : 中間径    c : 短径     $c/b$  : 扁平度     $b/a$  : 偏表度



### (2)粉体の評価

日吉ダムの製砂設備は、オートフォールミル（乾式周辺排出型自主粉碎ミル）を採用しており従来は骨材製造の洗浄過程でスラッジとして廃棄していた骨材微粒分を製砂過程で空気分級により、乾燥状態の2種類（粗微粒分と細微粒分）の採取を可能とした。

そしてこの微粒分を使用したRCDコンクリートの配合試験により最適単位水量 $83\text{kg}/\text{m}^3$ における最適微粒分置換量 $100\text{kg}/\text{m}^3$ （細骨材と微粒分の置換）を決定している。

このように日吉ダムではコンクリートの質の向上、資源の有効利用及び骨材製造費の削減を図っている。

## 8. おわりに

日吉ダムは、平成6年10月から本体コンクリート打設を開始し、平成7年7月現在、約240千 $\text{m}^3$ の打設を行い、平成8年度完成を目指して鋭意施工中である。

骨材製造設備は、日吉ダムの独特な骨材使用計画に基づき、フローの合理化を図るべく設備導入した。

今後は、コンクリート材料としての骨材の検証、日吉型フロー導入時の考えの実証等を含め多面的な検討をさらに進めていきたい。



## 5. 型枠材自動搬送装置の開発

(株)鴻池組：井上 光治・\*吉岡 由郎  
西村 敦

### 1. はじめに

本装置は、建築躯体工事のうち労務量の多い型枠工事に於いて、現状、手送りやクレーンを使用している型枠材の上層階への搬送作業を効率化し、苦渋危険作業の解決を図ろうとするものである。開発された2種類の型枠材自動搬送装置が現場で使用されるイメージを図-1、図-2に示す。

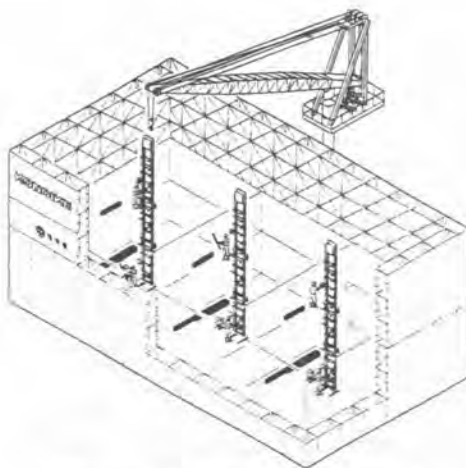


図-1 マンション用イメージ図

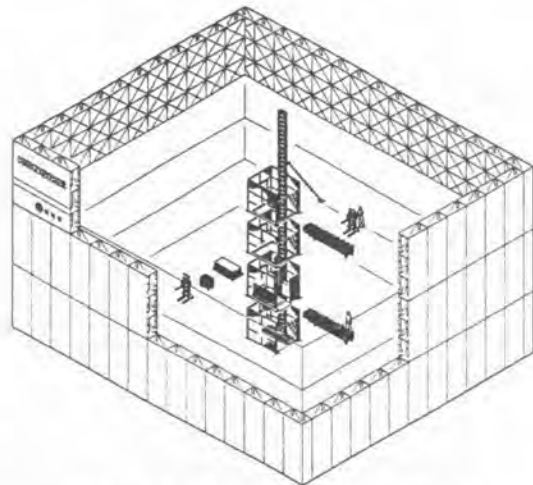


図-2 事務所ビル用イメージ図

### 2. マンション用装置

#### 2-1 概要

当装置は、集合住宅などで各戸ごと床に設けた小開口（300mm×1000mm程度）から型枠材を単品ずつ手送りで搬送する方式に対応するもので、表-1に仕様、図-3に全体図を示す。装置は、各種金具が取り付けられた二列のコンベアチェーンとフレーム、および駆動装置から構成され、金具により各種型枠材が積載可能である。荷卸階で荷卸完了鉤が押され、積み込み階で運転鉤が押されると1階分上昇し自動停止する。

主な特徴を下記に示す。

1)手送り方式の床開口寸法より、少し大きな開口寸法（650mm×1100mm）に設置可能。

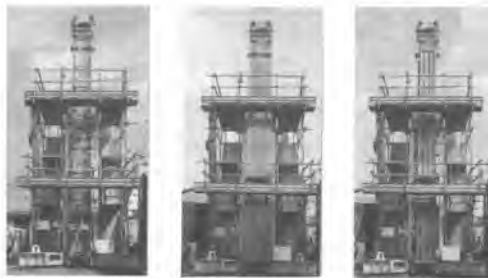
表-1 マンション用装置仕様

|       |   |
|-------|---|
| 種類    | コンベアチェーン  |
| 積載荷重  | 70kg  |
| 搬送速度  | 15m/min   |
| 外形寸法  | 990W×460D×10155H(mm)                                  |
| 設置開口  | 650mm×1100mm  |
| 最大揚程  | 9m  |
| 電動機   | 0.4kw (1基)  |
| サービス階 | 3階  |
| 操作方式  | 作業階押し釦運転方式  |
| 安全装置  | トルクリミッタ<br>ロープスイッチ<br>非常停止押し釦<br>荷卸確認押し釦<br>材料はみ出し警報器 |
| 供給電源  | 単相交流, 100/110V, 50/60Hz                               |

2) 調節・交換の必要がない2.8mピッチに取り付け  
た搬送用金具により、各種型枠材を上階、上々階  
に垂直搬送可能。(2m以下の角パイプは2本、ベ  
ニヤは2枚積載可能、他は単品積載) 写真-1に  
各種型枠材の積載状況を示す。

3) 安全装置として、トルクリミッタ、非常停止用  
押し釘・ロープスイッチ、材料はみ出し警報器を  
具備。

4) 荷卸階で荷卸完了釘が押されないと、積み込み  
階で運転釘が押されても上昇不可。



(1)角パイプ(L=2m) (2)ベニヤ (3)ベニヤパイプ

写真-1 各種型枠材の積載状況

## 2-2 性能試験

### 1) 試験状況

フィールド試験を経て、大阪府堺市にある当社  
施工のマンション新築工事現場にて実用試験を実  
施した。図-4に現場基本平面と装置設置位置を  
示す。写真-2に装置の設置状況を示す。

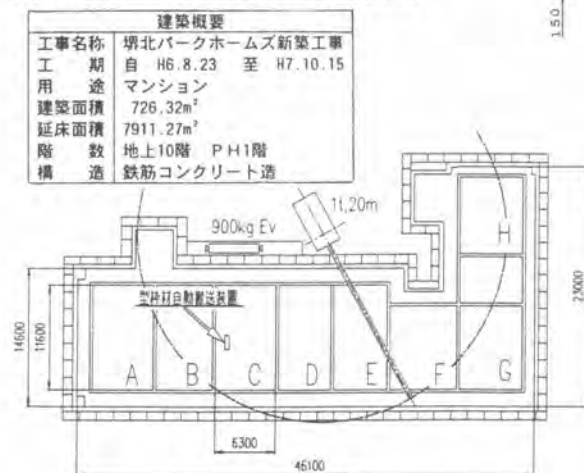


図-4 現場基本平面図

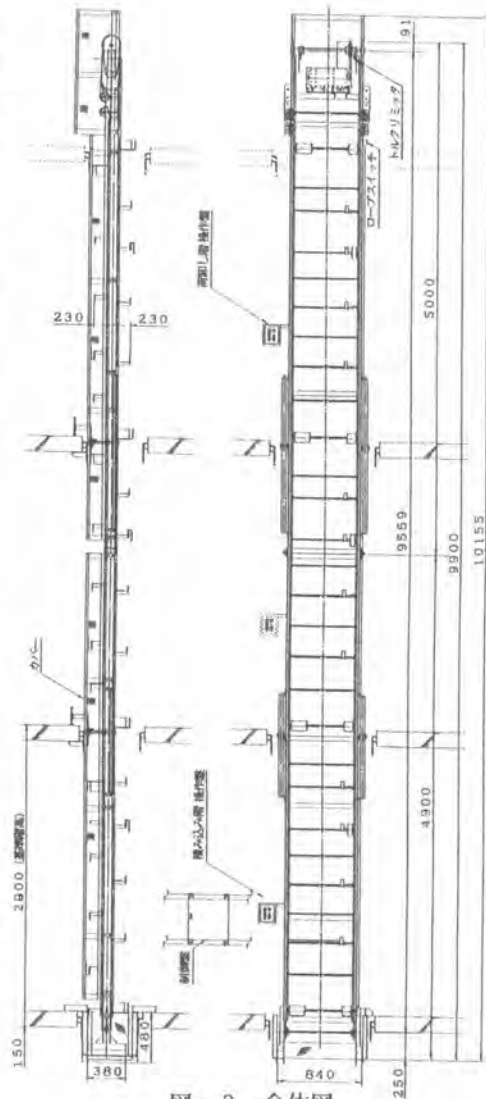


図-3 全体図



写真-2 装置設置状況

## 2) 試験結果

平成7年2月13日に装置を搬入してから6月1日に搬出するまでの間、3階から9階まで7階分の型枠材を搬送した。1フロア約18日サイクルで、実際に装置が使用されたのは2～4日であった。

表-2に6階施工時の工程表を示す。コンクリート打設の翌日から、型枠組立に合わせて断続的に使用されている。

次に、各種型枠材に対する装置による自動搬送と手送りとの搬送サイクルタイムの測定結果を表-3に示す。自動搬送は、手送りに比べサイクルタイムが角パイプ、サポートで約1.4倍、ベニヤパネルは約1.1倍となっており、ベニヤパネルなどの幅が広く、重い型枠材は手送りで上げやすく、自動搬送の効果が現れている。また、当現場において

2階下から搬送される梁床材の数量は少ないが、標準的な工法では1階下に対比2階下からの搬送数量が多くなり、手送りによる搬送サイクルタイムは表の値より遅くなり、自動搬送で手送りと同等以上の搬送効率が得られると思われる。その他の効果として、作業員の疲労度や、安全性は大きく改善された。

## 3) 今後の課題

今後の課題として、以下の項目が考えられる。

### ①搬送速度の増速

### ②不定形、小物型枠材の積載搬送

### ③軽量化、小型化、一体化によりクレーンを使用せずに組立、解体、クライミング可能

## 3. 事務所ビル用装置

### 3-1 概要

当装置は、建物外部に設けたステージや床に設けた大開口(2m×5m程度)から型枠材をクレーンで揚重する方式に対応するもので、表-4に仕様、図-5に全体図を示す。装置は、ベース部、昇降用ガイドレール、昇降装置、長尺ラック用伸縮装

表-2 6階施工時の工程

|         | 4/5 |    |    |    |    | 4/6 |    |    |      |    | 4/7 |    |    |    |    | 4/8  |    |    |    |    |
|---------|-----|----|----|----|----|-----|----|----|------|----|-----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|
|         | 8   | 10 | 12 | 14 | 16 | 8   | 10 | 12 | 14   | 16 | 8   | 10 | 12 | 14 | 16 | 8    | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 角パイプ    |     |    |    |    |    |     |    |    | 5本   |    |     |    |    |    |    | 4本   |    |    |    |    |
|         |     |    |    |    |    |     |    |    | 1.2分 |    |     |    |    |    |    | 1分   |    |    |    |    |
| パイプサポート |     |    |    |    |    |     |    |    |      |    |     |    |    |    |    | 3.2本 |    |    |    |    |
|         |     |    |    |    |    |     |    |    |      |    |     |    |    |    |    | 7分   |    |    |    |    |
| ベニヤパネル  |     |    |    |    |    |     |    |    |      |    |     |    |    |    |    |      |    |    |    |    |
|         |     |    |    |    |    |     |    |    |      |    |     |    |    |    |    |      |    |    |    |    |
| ベニヤ板    |     |    |    |    |    |     |    |    |      |    |     |    |    |    |    |      |    |    |    |    |
|         |     |    |    |    |    |     |    |    |      |    |     |    |    |    |    |      |    |    |    |    |
| クレーン作業  |     |    |    |    |    |     |    |    |      |    |     |    |    |    |    |      |    |    |    |    |
|         |     |    |    |    |    |     |    |    |      |    |     |    |    |    |    |      |    |    |    |    |

表-3 搬送サイクルタイム

| 品名      | 型枠材自動搬送装置による搬送 |      |            | 手送り方式による搬送(上階への揚重のみ) |     |            |
|---------|----------------|------|------------|----------------------|-----|------------|
|         | 搬送時間合計         | 搬送数  | 単位当たりの搬送時間 | 搬送時間合計               | 搬送数 | 単位当たりの搬送時間 |
| 角パイプ    | 1800s          | 126本 | 14.3s      | 200s                 | 20本 | 10.0s      |
| パイプサポート | 1311s          | 95本  | 13.8s      | 146s                 | 15本 | 9.7s       |
| ベニヤパネル  | 1620s          | 108枚 | 15.0s      | 428s                 | 31枚 | 13.8s      |
| ベニヤ板    | 945s           | 54枚  | 17.5s      | —                    | —   | —          |

考 ・ベニヤ板の手送り方式による搬送時間は測定できず。(クレーンにて揚重)  
 ・手送り方式において「搬送数」欄には搬送速度を測定したもののみ記載。  
 ・型枠材自動搬送装置による搬送の場合 1階下からの揚重数:347ピース  
 2階下からの揚重数:36ピース 計 383ピース

表-4 事務所ビル用装置仕様

|          |                         |
|----------|-------------------------|
| 種類       | 建設用リフト(二本橋リフト)          |
| 積載荷重     | 600kg                   |
| 速昇降      | 10m/min (高速時)           |
|          | 2m/min (低速時)            |
| 伸縮       | 7.2m/min (高速時)          |
|          | 1.8m/min (低速時)          |
| 度クライミング  | 2m/min                  |
| 荷台有効寸法   | 2000mm×1100mm           |
| 設置有効開口   | 2300mm×1855mm           |
| 昇降工程     | 14.000m (MAX)           |
| ガイドレール高さ | 18.355m (MAX)           |
| 速度制御方式   | インバータ制御(回生制動付)          |
| 電動機昇降    | 5.5kw (1基)              |
| 電動機伸縮    | 1.5kw (1基)              |
| サービス階    | 4階                      |
| 操作方式     | 作業階押し卸運転方式              |
| 安全装置     | 各種リミットスイッチ              |
|          | 各階扉自動ロック装置              |
|          | 非常停止押し卸スイッチ             |
|          | 人体検知センサ、昇降警報装置          |
| 供給電源     | 三相交流, 200/220V, 50/60Hz |

置、クライミング装置から構成され、型枠材料を収納した車輪付きラックを搬送する。

主な特徴を下記に示す。

- 1)比較的小さな開口（有効2300mm×1855mm）から長尺物（4m）を上階へ搬送可能。
- 2)セルフクライミングが可能で、型枠材転用終了階より開口部を閉塞可能。
- 3)型枠材は全て車輪付きラックに収納され、装置での材料の積み替え作業無しに垂直水平搬送可能。
- 4)人体検出センサにより、作業者の装置への搭乗を検知し、昇降動作をさせない制御を行う。また、開口部には全周に安全柵を設置。

### 3-2 工場試験

現在、工場での試験を繰り返し、当社事務所ビル建築工事現場での実用試験を予定している。写真-5に長尺ラックの積み込み状況を示す。

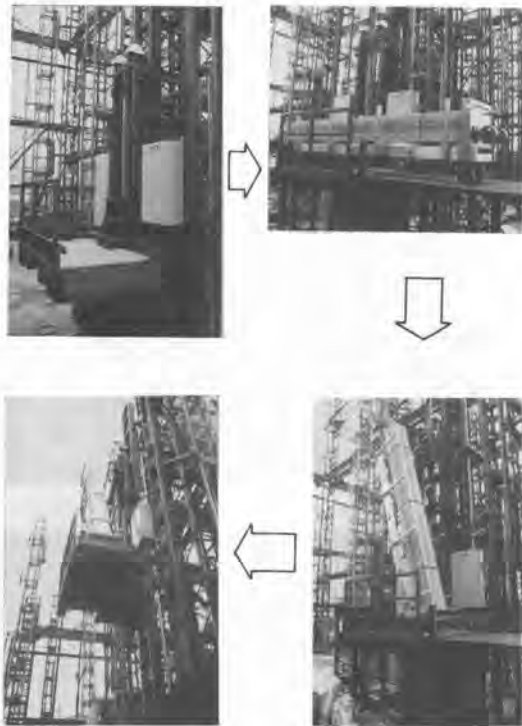


写真-3 長尺ラック積み込み状況

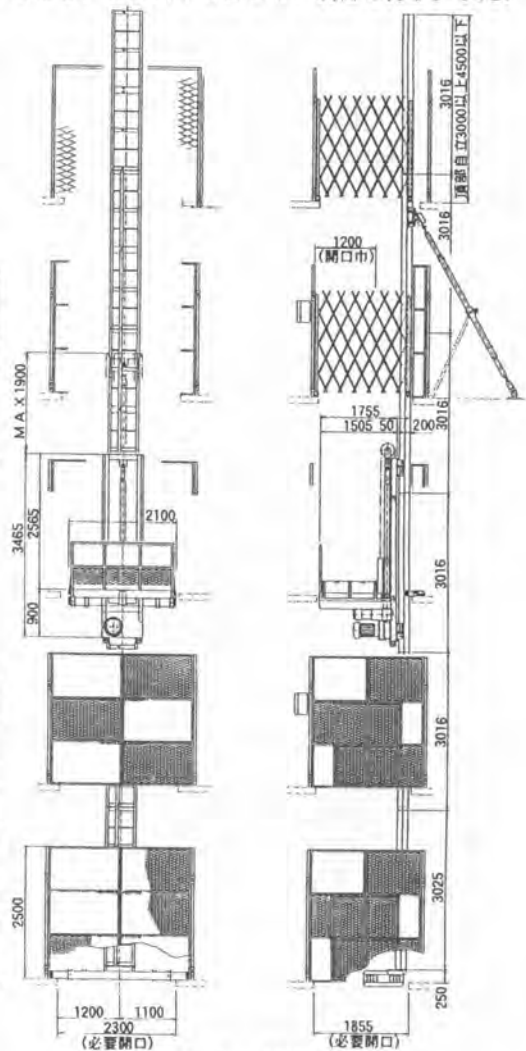


図-5 全体図

### 4. おわりに

両装置とも現場での実用試験を踏まえ実用化していく予定である。両装置によって型枠材の搬送が効率化され苦渋危険作業が軽減されることにより、熟練した型枠大工が本来の仕事に専念できる作業環境が実現されることを期待したい。

最後に、本装置の開発にあたり、御指導、御協力して戴いた関係者の方々に感謝の意を表します。

## 6. スリップフォーム工法における最新の装置と計測制御管理システム

(株)大林組：\*伊藤 正己・原田 恒則

### 1. はじめに

「スリップフォーム工法」は、型枠（FORM）をジャッキで押し上げ滑らせて（SLIP）、上昇させながら連続的にコンクリートを打設していく工法で、主に超高煙突等のRC塔状構造物の工期の短縮・打ち継ぎのない躯体による品質の向上を目的に採用されている。

最近施工されているRC塔状構造物は、周囲の景観にマッチする「融和性」、新しい景観要素となる「ランドマーク性」、周辺地域となじむ「調和性」等が重要視され、複雑な形状をしたデザインを採用する事が増えてきている。

そこで、従来のスリップフォーム装置では施工困難な形状も円滑に施工できる、新しいスリップフォーム装置・各種計測制御システム・周辺機械を開発した。以下にこれらの詳細を述べる。



### 2. 装置の概要

主な構成は、スリップフォーム装置、計測制御装置、コンクリート荷揚機械、タワークレーン、簡易クレーン、人荷エレベーターからなっている。

(図-1 全体の装置構成参照)



| 装置、機器主要仕様            |                    |   |
|----------------------|--------------------|---|
| 機械名称                 | 用途                 | 仕様  |
| コンクリートポンプ            | コンクリートの供給          | ポンプ本体：主材 L-90×90×7 1800×1800 高さ=7300<br>バケット容量：1.0m <sup>3</sup> ステップ量：1.2m <sup>3</sup><br>巻上速度：低速時 9m/min 高速時 90m/min |
| 荷揚げエレベーター<br>(超高煙突用) | 資材荷揚げ装置<br>(主に種資材) | 作業半径：5m 定格荷重：1000kg<br>巻上速度：低速時 6m/min 高速時 45m/min  |
| 荷揚げエレベーター            | 観覧客荷揚げ             | 形式：NKCJ-2020-OC 改造型 作業半径：20m<br>定格荷重：2t-20m 2.8t-2~10m<br>巻上速度：低速時 6.8m/min 中速時 20m/min 高速時 40m/min                     |
| 人荷エレベーター             | 作業員昇降用             | 形式：HE-500型 制限荷重：500kg又は定員7名<br>電動機：5.5kw-4p 2基 ケーブル寸法：1300×1000×2200<br>床面積：1.3m <sup>2</sup> 駆動方式：ワイヤレール方式             |
| コンクリート搬送車            | コンクリートの搬送          | 形式：大林組にて新規開発 モーター出力：1.5KW×2-3KW<br>移動速度：前、後速 23m/h 重量：650kg   |

### 1) スリップ・フォーム装置

コンクリートを成形させる型枠、型枠を上昇させ壁厚・半径を移動させる機器、ヨーク（型枠・作業床等を支持する架構）部材、ヨークに支持されコンクリート打設・鉄筋挿入等の作業を行うビーム、及びセンターリング等から構成されている。

（図-2 スリップフォーム装置詳細図参照）

主な特長は、どんな形状にも対応でき鉄筋の三段配筋等も施工可能な大型上昇用ジャッキ（15 TON）を組み込んだスリップフォームフレームの新規設計・採用、及び個別遠隔操作可能な上昇用ジャッキ・径伸縮用ジャッキ・壁厚調整ジャッキの採用である。

ジャッキ主要仕様

| 機 械 名 称  | 用 途    | 仕 様   |
|----------|--------|---|
| 上昇用ジャッキ  | 鉄壁の上昇  | 形式：20-15型 セトキキ 作動荷重：15000kg<br>軸圧：125ka/cm <sup>2</sup> ステップ：25mm ジョイント：鋼管φ76.3mm |
|          |        | 形式：15-10型 セトキキ 作動荷重：10000kg<br>軸圧：155ka/cm <sup>2</sup> ステップ：25mm ジョイント：鋼管φ48.6mm |
|          |        | 形式：7-3型 セトキキ 作動荷重：7000kg<br>軸圧：80ka/cm <sup>2</sup> ステップ：25mm ジョイント：鋼棒φ32mm       |
|          |        | 形式：250H-50型 作動荷重：2000kg<br>軸圧：250ka/cm <sup>2</sup> ステップ：200mm 重量：7ka             |
| 径伸縮用ジャッキ | 壁位置の移動 | 同上  |
| 壁厚調整ジャッキ | 壁厚調整   | 同上  |

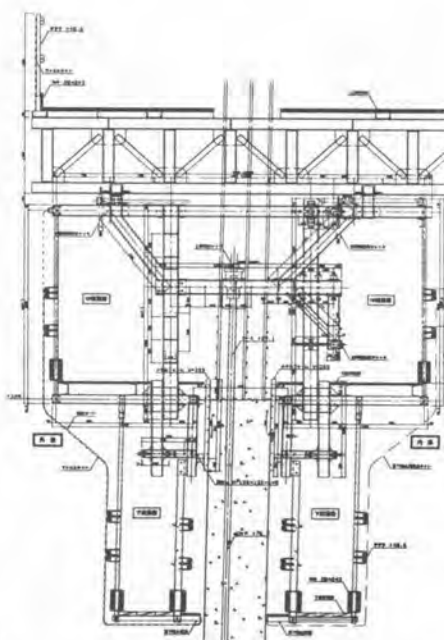


図-2 スリップフォーム装置詳細図

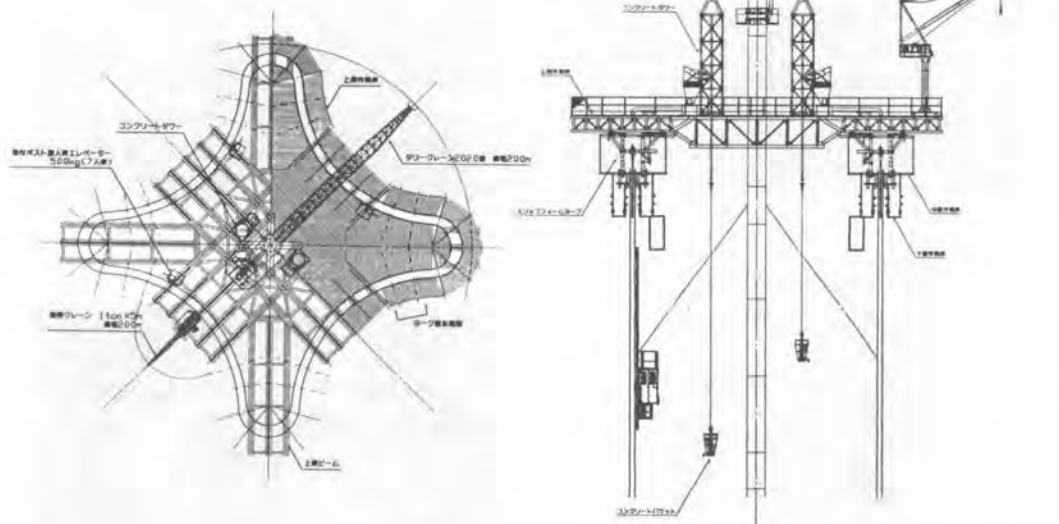
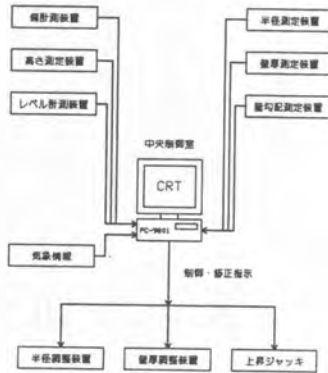


図-1 全体の装置構成

## 2) 計測制御システム

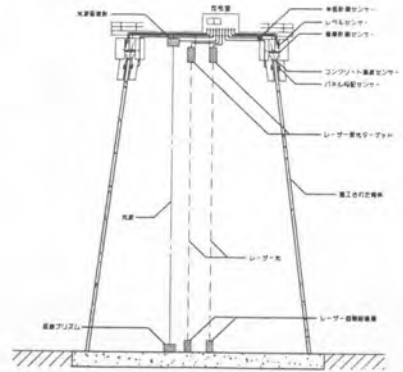
コンピューターと各種センサーを使用し、構造物の精度管理を高度に自動化したシステム。施工中のあらゆる情報が自動的に計測され、中央制御室に集中し計算・表示が行われ、各施工機能が自動的にコントロールされる。



① ストロークセンサーを利用した  
半径・壁厚計測システム



③ 磁歪式レベル計を利用したレベルセンサー



中央制御室

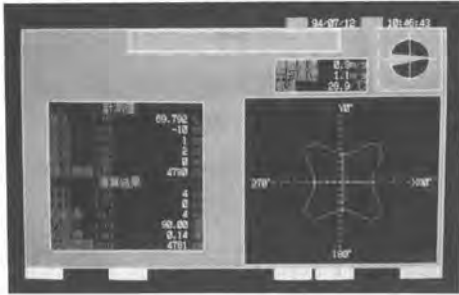
② 傾斜計を利用した型枠計測システム



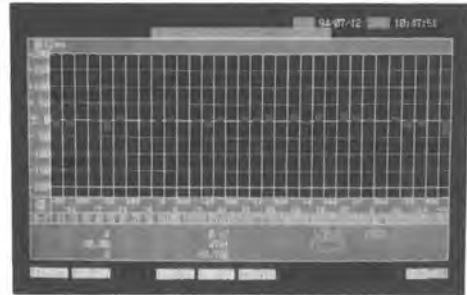
④ 鉛直自動補正機構を装備した  
下向型光波距離計



⑤ CCD画像処理装置を利用した精度測定システム

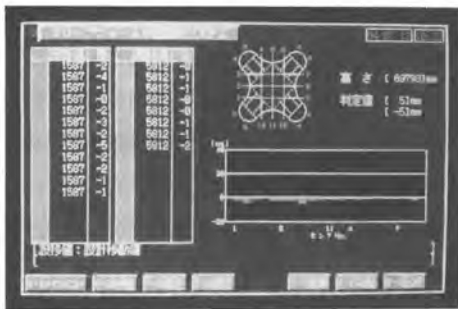


中心変位

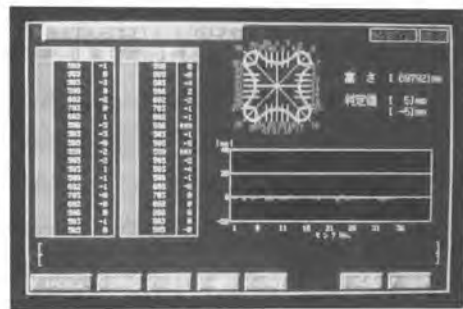


レベル

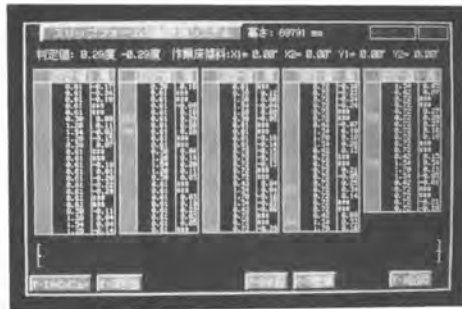
⑥ 常時各高さ毎の設計値と測定値の差を表示し、制御信号を送るソフトプログラム



半径計測システム



壁厚計測システム



勾配計測システム

| 計測機器主要仕様      |             |   |
|---------------|-------------|---|
| 機械名称          | 用途          | 仕様  |
| 偏計測制御装置       | 中心の変位       | イメージチェッカー : 松下ANS314V3  |
|               | 装置の回転角      | レーザー受光装置 : CCDカメラ付松下FAN830  |
|               | 装置レベル測定     | レベル表示装置 : 石川島計測   |
|               | レベルセンサー     | レベルセンサー : GYTL型   |
|               | 風向・風速<br>温度 | 風向風速検出器 : 大田計器 111-T63 4201<br>温度検出器 : 大田計器 DW-1                                    |
| 半径・壁・勾配計測制御装置 | 半径移動量       | ポテンシオメーター : 緑野器 CPT-45-200LS<br>行程 0~2000mm 直線度 ±0.1%                               |
|               | 壁厚移動量       | データロガー : 東京測器 FWP-20TA-V13  |
|               | 傾斜計         | 傾斜器 FWP-20TA-V13<br>計測角 ±20° 直線度 ±1.5%  |
|               | デジタル指示計     | 傾斜器 DCD-20TA-1<br>デジタル表示 ±18.99°  |
|               | 光距離測計       | 装置(箱体)形式 : DM-4データロガー<br>高さ測定 : 精度 ±5mm/3PPM 最長 19999.999m                          |
| オートレーザーレベル    | 精度測定用       | 精度 : 1/20000  |
|               | レーザーの種類     | レーザーの種類 : ペリネック   |
|               | 出力          | 出力 : 1mW<br>入力電源 : 交流100V(200V←使用)、又は直流12V<br>ビーム径 : φ13.4mm(収束点 150Mで)<br>重量 : 7kg |
| コントローラ強度      | コントローラ強度    | データロガー : 東京測器 TRS-301   |
| 管理システム        | 管理用         | 温度センサー : 熱電対 14点  |
| データロガー        | 精度測定用       | 形式 : 9801型  |



## 7. ダム建設への自走式破碎設備の導入と実績

水資源開発公団：木下 健三・\*三雲 孝二  
岩井 敬治

概要 比奈知ダムは、淀川の総合開発の一環として淀川水系木津川支川名張川に建設される、堤体積約394,000 m<sup>3</sup>の重力式コンクリートダムの多目的ダムである。

今日、ダム建設は、RCD・ELCM工法などの合理化施工がなされている中で、施工機械設備もいろいろな技術開発改善がなされている。比奈知ダム建設では、施工機械設備のうち、特に、骨材製造の一次破碎設備として、自走による移動ができることで、原石山での骨材製造の一連作業に、合理化が確信できる自走式破碎設備（以下「クローラクラッシャ」という。）を導入した。

この、ダム建設での施工機械設備は、計画の適否が、ダム本体工事の工期・品質に大きく影響を及ぼすものであるが、今回、当ダム建設でのクローラクラッシャ導入後の施工は、順調に進んでいる。

比奈知ダム建設における施工計画上の一次破碎設備としての条件は、次のとおりである。

①本体打設工法は、近年の合理化施工の一貫であるダンプ直送方式による拡張レアー工法（ELCM）を採用した面状工法であり、打設スケジュールからの必要骨材生産能力は、約310t/hである。

②骨材岩種は、領家複合岩類の花崗岩及び片麻岩である。

③原石山はダムサイトより1.5 km上流にあり、地形・地質的に定置式破碎設備が設置できる適地がなく、また、周辺環境の条件としても問題があった。

④骨材の一次破碎半製品の運搬路（ダム完成後は、市道）は、幅員が4 mである。

本報告は、このクローラクラッシャが、比奈知ダム建設における一次破碎設備としての合理性について検討を行った結果、導入に至った技術的経緯と一部施工実績について報告するものである。

### 1. 一次破碎設備計画検討の基本事項

比奈知ダムの一次破碎設備計画を策定するうえの基本事項は、次のとおりである。

#### 1.1 コンクリート打設計画

ダム本体の打設計画は、表-1 打設計画総括表のとおりであり、堤体設計から、粗骨材径Gmax=150 mmとし、粗骨材3分級とした。

また、骨材破碎試験より、比重=2.62%以上(>2.5%)、吸水率=1.3%(<3.0%)、偏平度=0.67%(>0.3%)、偏長度=0.71%(>0.6%)、平均圧縮強度が約2,000kgf/cm<sup>2</sup>の結果が得られ、傾向としては、硬質な圧壊力の高い岩石に属する骨材で偏平・鋭利な破碎傾向となった。

表-1 打設計画総括表

|          |                        |
|----------|------------------------|
| 総コンクリート量 | 394,000 m <sup>3</sup> |
| 実打設月数    | 24ヶ月                   |
| 月最大打設量   | 27,200 m <sup>3</sup>  |
| 日最大打設量   | 1,900 m <sup>3</sup>   |

## 1. 2 骨材プラント能力

プラント能力は、コンクリート打設計画、コンクリート示方配合及び現場条件等により決定した。

### 1. 2. 1 骨材の生産量

製品骨材は、粗骨材3分級、細骨材1分級の計4分級とし、コンクリートはA<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、B、C配合の4種類（モルタル含まず）で、平均骨材量は表-2のとおりとなった。

また、骨材プラント能力は表-3のとおりとなった。

### 1. 2. 2 破碎機の製品粒度分布曲線

破碎機は、ダムの一次破碎設備として一般的に用いられている機種であるジョークラッシャとした。

なお、製品の粒度分布曲線は、骨材破碎試験の結果により求めた。

### 1. 3 原石採取及び半製品運搬条件

原石採取を行う原石山は、ダムサイトより1.5 km上流に位置している。

この原石山における施工条件は、次のとおりであった。

- (1)地形・地質は、急峻・狭隘箇所であり、定置式破碎設備を設置する有効な適地がない。
- (2)原石山直上流（赤岩大橋上流）広場の基礎岩盤は深く、定置式破碎設備を設置する場合、基礎工費用が高価となる。
- (3)安全上及び比較的均一な粒度の岩塊を得るためにベンチカット工法とする。

また、原石半製品の運搬条件は、次のとおりであった。

- (1)左岸旧国道及び左岸付替市道は、幅員が4 mと狭く、重ダンプトラックによるダムサイトの骨材生産設備への運搬はできない。
- (2)重ダンプトラック専用道路の新設には、巨額な費用がかかる。

### 1. 4 基本事項のまとめ

以上の事項を、一次破碎設備の能力及び施工性としてまとめると次のようになり、これら諸条件を整理することで、一次破碎設備としてのクローラクラッシャ導入の合理性を確認した。

- (1)骨材製造設備の投入量は、310t/hが必要である。
- (2)骨材製造設備構成としては1系列とする。
- (3)クローラクラッシャには、ジョークラッシャを搭載し、投入原石は爆砕原石の全量破碎とする。
- (4)クローラクラッシャによる原石採取は、ベンチカット工法によっても、一定リフトまでは直接にクローラクラッシャが乗り込むことはできないため、施工方法に工夫がいる。
- (5)原石半製品を重ダンプトラックによる運搬ができないため、図-1のとおり左岸旧国道及び左

表-2 平均骨材使用量

| (t)                       | (mm)   |       |      | 計    |        |
|---------------------------|--------|-------|------|------|--------|
|                           | 粗      | 骨     | 材    |      |        |
|                           | 150~60 | 60~25 | 25~5 | 5~   |        |
| コンクリート1 m <sup>3</sup> 当り | 472    | 540   | 505  | 553  | 2.07   |
| 平均骨材使用量                   | 22.8   | 26.1  | 24.4 | 26.7 | 100(%) |

表-3 骨材プラント能力

|           |          |
|-----------|----------|
| 骨材生産月作業日数 | 21 日     |
| 骨材生産日作業時間 | 10 h     |
| 骨材製造工程損失  | 13 %     |
| 総骨材所要量    | 812,000t |
| 月最大所要量    | 56,300t  |
| 総骨材生産量    | 933,000t |
| 月最大生産量    | 65,000t  |

岸付替市道の2ルートのループ方式とすれば、11t積ダンプトラックによる運搬は可能である。

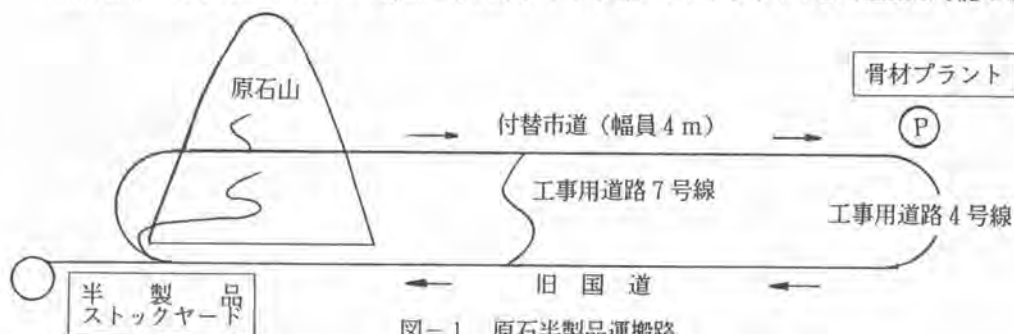


図-1 原石半製品運搬路

## 2. 一次破碎設備としてのクローラクラッシャ導入の検討

一次破碎設備における破碎計画は、二次サージパイルへの310t/hの原石半製品を安定的に供給することにあり、基本事項のまとめに基づき以下の点について検討した。表-4 採用修正係数

### 2. 1 クローラクラッシャの所要能力の確認

#### 2. 1. 1 破碎機所要能力の算定

破碎機は、定置式の破碎機と何ら変わりなく、破碎機の所要能力としては石灰石ベースとなっており、破碎量に出口間隙以下の細粒分を加えた処理量とし、以下により所要能力 $Q_s$ を算定した。

$$Q_s = Q_e \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \gamma / 1.6 \quad (\text{式-1})$$

$$Q_e = [310\text{t/h} \times (1 + 0.15)] / 0.85 \approx 420\text{t/h}$$

| $Q_s$    | 算定処理能力    |
|----------|-----------|
| $\alpha$ | 15% (余裕率) |
| $K_1$    | 0.85      |
| $K_2$    | 1         |
| $K_3$    | 1         |
| $\gamma$ | 1.6       |

#### 2. 1. 2 原石粒度分布

表-5 原石推定粒度

爆破原石の粒度

は直接推定するこ

とはできないため、

| 粒度(mm) | ~150 | 150~60 | 60~25 | 25~5 | 5~2.5 | 2.5~ | 計   |
|--------|------|--------|-------|------|-------|------|-----|
| 百分率(%) | 78.0 | 10.0   | 4.7   | 3.7  | 0.6   | 3.0  | 100 |

「ダム施工機械設備設計指針(案)」の爆破原石粒度曲線の値を用いた。

また、原石最大寸法は1,200×900×500mmと想定した。

#### 2. 1. 3 クローラクラッシャの破碎機能力

各メーカーの搭載している破碎機は、ジョー形式がシングルトッグル型及びダブルトッグル型があり、公称能力は、石灰岩換算処理量(OSS150mm)で440t/hから549t/hであった。

表-6 破碎機能力

|           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| 供給口寸法     | 1,200×1,050                    |
| ジョー形式     | ダブルトッグル                        |
| 公称能力(t/h) | 440t/h<br>石灰岩処理量<br>(OSS150mm) |
| 判定        | 440 > 420                      |

比奈知ダムで使用する骨材での試験施工では、破碎比が大きく堅牢で粗粒破碎に適した結果となったこと、また、ダム現場ではそのほとんどがダブルトッグル型であるという実績より、表-6の破碎能力を有する破碎機を搭載するクローラクラッシャとすることで、骨材生産設備への310t/hの安定供給は可能と判断した。

## 2. 2 原石山における作業性の検討

クローラクラッシャは、破碎機としては定置式と何ら変わることなく、設備として自走できるこ

ことに特徴があり、自走式としたことによる原石山での作業性の確認が必要となる。

したがって、クローラクラッシャの効率良い稼働方法を確立することを前提とし検討整理した。その結果、組合せ機械と作業方法については、次のとおりとした。

- ①クローラクラッシャへの原石積込み機種は、アームの長いバックホウとする。
- ②二次サージパイルへの原石半製品運搬は、11t 積ダンプトラックを使用する。
- ③クローラクラッシャが直接切羽内へ進入できない期間の原石破碎箇所への爆砕原石の運搬には、11t 積ダンプトラックを使用する。
- ④絶えず作業場所を移動、フレキシブルな対応とし、骨材採取と廃棄岩処理は並行作業とする。
- ⑤採取ベンチ以外での破碎作業の場合は、原石山ストックパイルで一次破碎を行い、原石半製品は仮置する。
- ⑥採取ベンチに進入しての破碎作業の場合は、一次破碎した半製品をそのまま二次サージパイルへ運搬する。

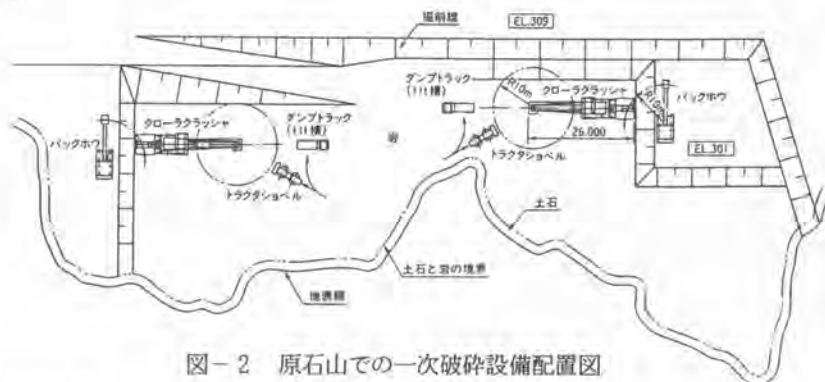


図-2 原石山での一次破碎設備配置図

### 2. 3 クローラクラッシャ導入の総合評価

クローラクラッシャの導入について、基本的な能力、施工性について合理性の確認を記述したが、総合的に検討した結果、メリットとしては

- ①設備のための基礎工費、電力設備等が不要となり、労務配置が軽減される。
- ②設備の設置撤去期間が、短期間の機械のクレーン車と同様な分解・組立だけとなる。
- ③組合せ機械としては、汎用機種が選択でき、且つ、フレキシブルに対応できる。
- ④汎用の11t 積ダンプトラックによる運搬で直送可能となり、貯蔵場対応の自由裁量ができる。

デメリットとしては、

- ①ベンチヤード面積の確保が必要となる。
- ②移動速度が遅く、発破時等の退避で運転時間に対し実質破碎時間は小さくなる。

等が考えられたが、比奈知ダム建設におけるクローラクラッシャが一次破碎設備として、能力、施工性等について問題ないことを確認するに至った。

### 3. クローラクラッシャ諸元

比奈知ダム建設で導入したクローラクラッシャの主要諸元は表-7のとおり決定した。

なお、図-3は全体図である。

また、構成機器が表-8、システム構成図が図-4となった。

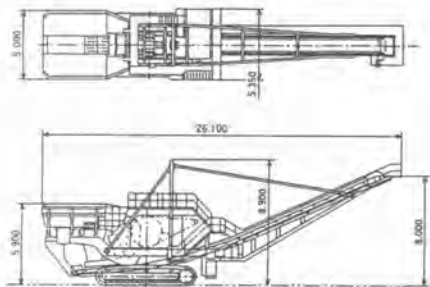


図-3 クローラクラッシャー 全体図

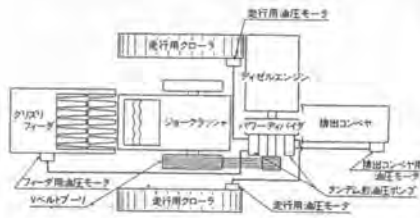


図-4 クローラクラッシャーシステム 図

表-7 クローラクラッシャー諸元

|          |                           |
|----------|---------------------------|
| 寸 法      | L:26,100×W:5,350 ×H:8,900 |
| 全 重 量    | 約135t                     |
| 最大嚙込寸法   | 1,350 ×910 ×650           |
| 連続最大嚙込寸法 | 850 ×600 ×425             |
| エンジン出力   | 約274KW(372PS)             |
| 走行速度     | 0～8m/min・0～15m/min        |
| 登板能力     | 最大約15°                    |
| 処理能力     | 440t/h(石灰岩換算)             |

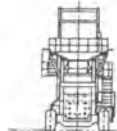


表-8 構成機器一覧表

|           |   |
|-----------|---|
| 投入ホッパ     | W:5,000 ×L:6,200                            |
| グリズリフィーダ  | W:1,400 ×L:4,200<br>(グリズリバー 目開き200~2130mm)  |
| ジョークラッシャー | ダブルトルク型<br>(W:1,200×L:1,050(OSS:125~190mm)) |
| パワーユニット   | ディーゼルエンジン式 372PS/1500rpm                    |
| 排出コンベヤ    | W:1,050×L:24,000 (速度:75m/min)               |
| 走行用クローラ   | 履帯幅 710mm×接地長 5,930mm                       |
| 制御装置      | 無線式リモートコントロール付                              |
| 付属設備      | エンジン発電機、散水装置、照明装置                           |

#### 4. 原石破碎の実態調査

クローラクラッシャーを導入後、8日

間の短期的な実施工での原石破碎性についての調査を行った結果、以下のとおりの能力を確認した。

##### (1) 原石及び一次半製品の粒度分布

原石仮置ヤードでのクラッシャーOSS155mmにおける粒径150mm以上の残留率は、原石の場合18～32%、一次破碎半製品の場合2～6%、原石山でのクラッシャーOSS140mmにおける粒径150mm以上の残留率は、原石が38%程度、一次破碎半製品は0%で、いずれにしてもOSS以下に破碎されていた。

##### (2) 骨材試験

一次破碎半製品の比重は2.6以上、吸水率が1.4%以下であり、コンクリート用碎石の基準(比重2.5以上、吸水率が3%以下)を十分に満足していることから、骨材として、物性的には特に問題ない骨材であった。

また、圧縮強度はC<sub>M</sub>級で、1,200～1,700kgf/cm<sup>2</sup>、C<sub>N</sub>級で、1,800～2,000kgf/cm<sup>2</sup>の値となり、全試料とも、圧縮強度は1,000kgf/cm<sup>2</sup>以上で、強度的にも特に問題のない骨材であった。

### (3) クローラクラッシャ稼働状況(写真-1)

クローラクラッシャの破碎時間等は、平均的に表-9のとおりとなり、故障はクラッシャ投入口での原石詰まり、ベルコン上の過積載によるベルコン停止、油圧ラインのオイル漏れ等が発生したが、操作不慣れ・初期故障の類で、故障内容により修理時間もまちまちであった。

### (4) 実態調査結果

以上より解析を行った結果、単位時間における破碎能力としては440t/h～545t/h、1日当りのみた時の破碎能力としては365t/h～410t/h程度となる。瞬時能力と日作業能力の差が生じたが、これは、短期的にみた時の移動時間なり、作業不慣れなりの影響が考えられ、長期的にみた時には、日作業能力としても製造能力は上がり、クローラクラッシャ導入検討時の計画能力との差はないものと判断した。



写真-1 クローラクラッシャの稼働状況

表-9 1日当りの稼働状況

|             |       |
|-------------|-------|
| 破 碎 時 間     | 約4.7h |
| 積込み待ち時間     | 約1.0h |
| ト ラ ブ ル 時 間 | 約0.5h |
| 移 動 時 間     | 約1.1h |
| 日常点検・整備時間   | 約1.0h |

## 5. 今後の課題

比奈知ダム建設において導入したクローラクラッシャは、平成6年8月より本格的な稼働を開始し1年を経過したが、現在順調に稼働し、骨材製造プラントへの一次破碎半製品の安定した供給を行っており、本設備の導入は成果があったと認められる。

しかしながら、何ら問題がないわけではなく、例えば、移動時のクローラ傾斜への対応、設備全体の細部の振動対策等、設備改良の検討を行い、現在までに一部ではあるが振動による共振を改善する処置などの改造等を行ってきた。今後、クローラクラッシャの改良・改善を図り、ダム建設の汎用機種として、高い信頼性を得る設備となる必要がある。また、本設備の自動化により省人化が図れる要素もあり、本報告が、今後、ダム建設での施工計画において参考となれば幸いである。

以上、クローラクラッシャがダム建設の主骨材生産設備として、初めての導入に至れたのも、関係各位の貴重な御指導・御助言等を頂いた賜物であり、この誌上を借り謝意を表するものである。

### 参考文献

- 1) 財団法人ダム技術センター編集：ダム施工機械設備設計指針(案)，1990
- 2) 財団法人日本建設機械化協会編：骨材の採取と生産，1975

## 8. 逆打ちコンクリート自動打設システム

清水建設(株)：阿曾田 栄・\*梶岡 保夫  
許斐 慎一

### 1. はじめに

近年、建築工事においては、工期短縮・周辺環境の維持・省資源といった時代の要請にマッチした特性から、逆打ち工法を採用する事例が増加している。地下躯体工事に着目してみると、施工については機械化・自動化から遠い人力依存型工法が主流となっている。なかでも、コンクリート打設についてはその傾向が強い。今回の事例のように、壁厚・打設リフト数等規模が大きくなってくると、打設能率の低下・打ち継ぎ部品質確保といった解決すべき課題がクローズアップされてくる。

そこで、

- ① コンクリート締め固め、打ち継ぎ部処理等の品質確保
- ② 大規模逆打ちコンクリート工事の打ち込み能率の向上
- ③ 施工上の安全確保

を目的に逆打ちコンクリート自動打設システムの開発を行った。現在、地下変電所の新築現場で稼働中であり、ここに開発システムの概要と施工状況について報告する。

### 2. コンクリート打設計画

今回、システムを導入している地下変電所の外壁は外周部の仮設連続壁の内側に構築されるRC躯体で、外部直径14.4m・壁厚2mの大型構造物である。工事は逆打ち工法により行われており、1リフト高さ約4mの躯体を構築しては内部掘削を行い、その下に逐次躯体を構築して行くものである。



写真-1 現場全景

コンクリート打設の基本計画は次のとおりである。

#### 2-1 打設部位（区画割り）と1回の打設量

打設は、全周を9区画に分け、1区画毎に2台のコンクリートポンプ車を使用して行う。ポンプ車1

台に対し1セットの打設システムが使われる。当現場では計4セットのシステムを2セットずつ交互に使ってコンクリート打設を行っている。

1区画あたりの打設量は約420m<sup>3</sup>であり、約6時間で打設される。(図-1)

## 2-2 鉄筋、型枠

躯体内の配筋は前後4列に格子状鉄筋(D29~D38、ピッチ:200)が組み、これに直交して1mピッチでせん断補強筋等が入り組んだ構造である。

型枠は大型枠とし、1ユニットの幅2.5mで、側型枠は木製、底型枠は鋼製とした。側型枠上部に開口を設け、層打ち時には先端ホース・パイプレータを挿入し、圧入時には圧入用鋼製型枠を取り付け、打設を行う。

## 2-3 打設時のコンクリート落下高さ

側型枠の上部にコンクリート水平配管を設け、型枠ユニット毎に取り付けた分岐弁の分岐側にデリバリホースを接続し型枠内に挿入する。コンクリート打設の進行にしたがって上昇するコンクリート天端面に対し、長さの違うホースを付け替えることにより打設時の落下高さ1.5m以内を確保する。また、層状に打ち込まれたコンクリートに対しては、逐次パイプレータによる締め固めを行う。(図-2)

## 3. 自動打設システムの概要

システムはコンクリート自動打設装置、締め固め装置、圧入管理装置の3つの要素から構成されている。本工事に先立ち、モックアップテストにより施工性・打ち継ぎ部品質の確認を行うとともにシステムの基本性能を把握した。(写真-2)

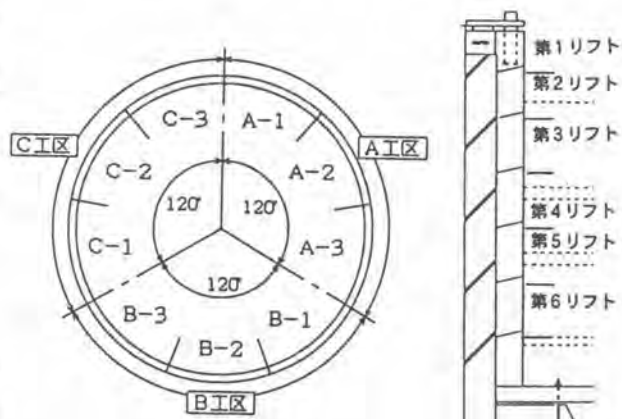


図-1 躯体全周の区画割りとリフト断面

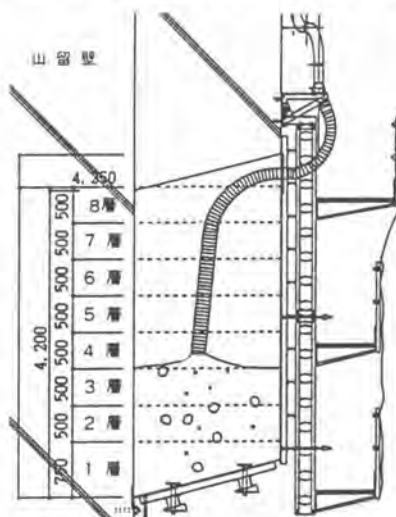


図-2 打ち込み状況(断面)



写真-2 モックアップテスト供試体



### 3-1 コンクリート自動打設装置 (図-3)

基本部分は分岐弁、制御盤、油圧ユニットで構成されている。ポンプ車側の制御装置と連動し、打設量カウント、分岐弁の切り替え、鉛直配管直下部の油圧シャッター弁開閉、異常時のポンプ緊急停止等の制御を行いながら、各分岐弁から定量ずつコンクリートを分配打設する。1セットのシステムは制御盤・油圧ユニット1台に鉛直配管直下部シャッター弁1台と分岐弁を最大10台まで組み合わせて構成される。(写真-3)

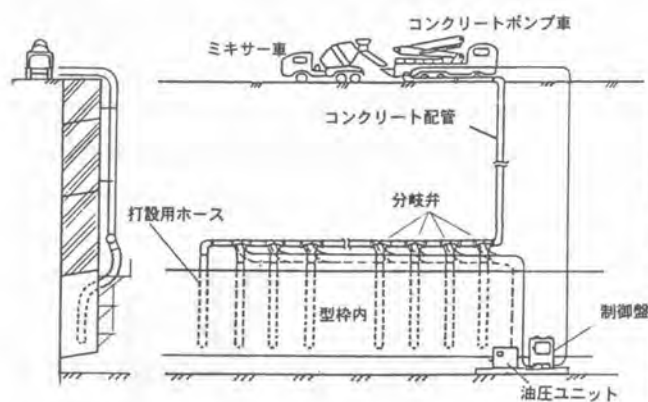


図-3 コンクリート自動打設装置



写真-3 打設状況

#### ① 分岐弁 (写真-4)

新たに開発した分岐弁は、油圧シリンダーによりパタフライ弁を反転させて方向を切り替える2方向切替弁である。油圧シリンダーのロッド取り付け部は、スプリングクッションにより骨材の噛み込み時に遊びを生ずる構造となっている。また、弁を閉じた場合、管路の直通側が完全な円形断面を保っており、摺動部のシール耐圧強度も十分である。したがって、配管クリーナーが確実に通過するので、作業終了時に現位置のままで直ちに残コン処理および管路洗浄を行うことができる。転用性にも優れている。



写真-4 分岐弁

#### ② 制御盤、油圧ユニット (写真-5)

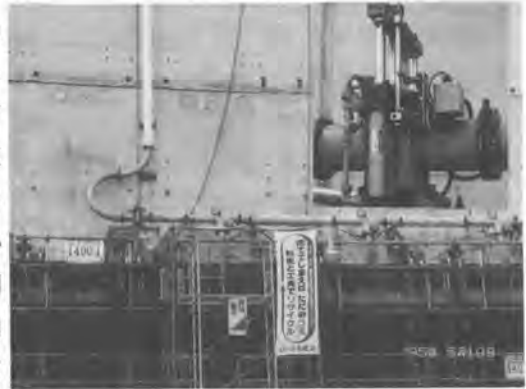
制御盤、油圧ユニットは、ポンプ車側の制御盤からコンクリート圧送信号(圧送、停止、ピストンストロークカウンタ信号等)を取り込み、油圧ユニットの電磁弁を逐次切り替えて各分岐弁の開閉を行うものである。後述のパイブレータ制御盤とともに共通架台上に搭載し、打設工区への移動の便を図った。



写真-5 制御盤、油圧ユニット

### ③ 油圧シャッター弁（写真－6）

コンクリート鉛直配管直下部に設けられる油圧駆動のシャッター弁である。コンクリートの供給が中断した場合、鉛直配管部のコンクリートが自重で自然流下し、管路に空隙を生じてコンクリート分離・閉塞の原因となる場合がある。シャッター弁はこれを防止するために設けられるもので、圧送中断信号により速やかに管路を閉じる。また、圧送開始時には、ポンプ車側の制御盤からの圧送信号により先ずシャッター弁を開け、シャッター弁からの開信号の立ち上がりをもって圧送を開始する。



写真－6 油圧シャッター弁

### ④ コンクリートポンプ制御盤

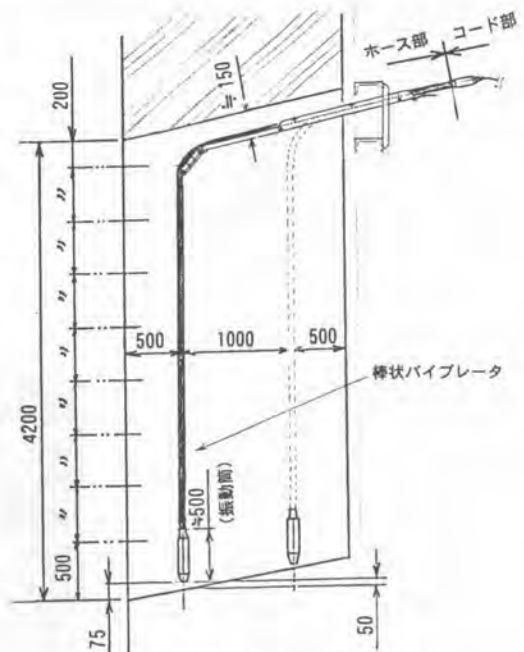
自動打設に伴い、ポンプ車側に新たに設けた制御盤は次のような機能を有している。

- ・自動打設制御盤側にコンクリートポンプ運転信号・ピストンストロークカウンタ信号を送る。
- ・油圧スイッチより、圧送元圧の異常を検出（例えば、定常時圧力60 kg/cm<sup>2</sup>の場合、異常圧力として80 kg/cm<sup>2</sup>と設定しておき、これを越えれば信号を発する等）し、コンクリートポンプの運転を停止する。
- ・圧入時、圧力センサーから設定圧以上で停止信号を発生し、ポンプ車の運転を停止する。
- ・ポンプ車の運転・停止に伴い、コンクリート鉛直管直下部の油圧シャッター弁の開閉を行う。

### 3-2 締め固め装置

一般的な逆打ち壁の締め固めには、型枠面からの人力によるタタキ作業による方法あるいは型枠パイプレートを効果の及ぶ範囲に適宜配置し、打設の進行に伴いパイプレートをかけては移設して締め固める方法がとられる。しかし、今回の逆打ち壁においては壁厚が大きいので、型枠パイププレートによる型枠面からの締め固めでは限界がある。型枠内に人が入り、鉄筋上に配置した足場上から棒状パイププレートによる締め固め作業を行っている事例もあるが、今回は鉄筋が細かく入り組んでおり、人が中に入ることは安全上不可能であった。

そこで、型枠上部に所定間隔で開口部を設け、パイププレート用伸縮ガイドを設置し、このガイドに沿って棒状パイププレートを吊下げ締め固めを行う方法を新たに考案した。（図－4）



図－4 バイププレートの配置

### ① バイブレータ用伸縮ガイドおよび棒状バイブレータ

側型枠1ユニット（幅：2.5m）あたり2箇所、1.25mピッチで型枠上部の開口部にバイブレータ用伸縮ガイドを取り付け、60φ棒状バイブレータを吊下げて使用した。1系統（コンクリートポンプ1台）あたり、型枠ユニット10セット、棒状バイブレータ20本を使用した。

自動打設装置により一定の高さで層打ちされた（今回の事例では50cm/層）コンクリートの面に対し、ガイドにより奥側・手前側の鉄筋際にバイブレータ吊下げ位置をシフトしながら、振動部を所定深さ貫入させて締め固める。各層毎のバイブレータの引き上げは、側型枠に設けられた作業足場上から人力により行われる。予めバイブレータの蛇管（フレキシブルホース）部にマーク（目印）を設けておき、これを基準として、引き上げ位置を決めている。

### ② バイブレータ制御盤

バイブレータ制御盤は、合計20本の棒状バイブレータの起動・停止を行うもので、4本1組みの群で運転される。各群のバイブレータの締め固め位置が決まったら、作業足場上から、オペレータがリモコン操作ボックスの起動ボタンを押し、その群のバイブレータを運転する。4本のバイブレータは設定時間（10秒間）作動した後停止する。なお、足場上を移動しながらの運転であり、複雑なケーブル引き回し作業を無くすため無線リモコンを採用している。

### ③ 型枠のタタキ作業

本工事に先立ち行ったモックアップテストにおいて、型枠際の締め固め実験を行った。その結果、今回は型枠バイブレータの採用を見合わせ、人力によるタタキ作業によるものとした。このため、今回採用した側型枠には3段の作業足場を取り付けている。

### ④ 槍型バイブレータによる上部層の締め固め

打ち継ぎ部へコンクリートを圧入する直前の上部層（8層目）のコンクリート打設時には、打設高の関係でバイブレータガイドは使用できない。この場合には、型枠上部に鋼性の圧入型枠（槍型バイブレータ挿入用開口部・回転蓋付き）を取り付けて置き、この開口部から槍型バイブレータを挿入し、最奥部まで締め固める。槍型バイブレータは45φ、長さ2.5mのものを使用した。

## 3-3 圧入管理装置の概要と使用方法

圧入管理装置は打ち継ぎ部へのコンクリート圧入時の充填性（圧入品質）確保、および施工の安全性（型枠の許容荷重以下に圧入圧力を維持）確保のため使用されるもので、圧力センサとアンプ、制御盤より構成される。ポンプ車1台（1系統）に対して3台の圧入管理装置が使用される。

### ① 圧入管理装置（写真-7）

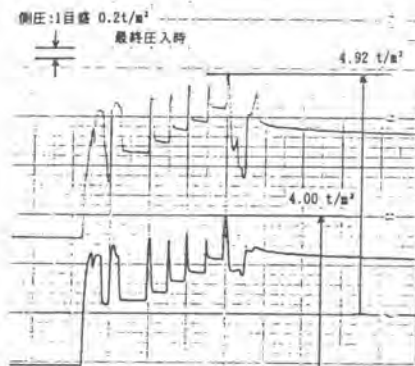
圧力センサとして歪みゲージ式圧力変換器を使用しており、検出部は圧入型枠のコンクリート圧入口部にワンタッチで取り付けられるよう専用のカプラと一体化した構造となっている。制御盤は、静歪み測定器をベースに表示灯と信号伝送ケーブルで構成される。



写真-7 圧入管理装置

## ② 使用方法

上流（又は下流）側の分岐弁を逐次開閉しながら片押しにより圧入を行う。この場合、現在圧入中の圧入口部および引き続いて圧入する圧入口部計3箇所に圧入センサを取り付け、同時に圧力を計測管理する。充填に十分な設定圧力値（例えば4 t/m<sup>2</sup>）を確保した時点で、その圧入口からの圧入を終了し圧入型枠の回転蓋を閉じる。そして、圧入センサを取り外し下流側の圧入口部に付け変える。これを次々と繰り返して圧入を行ってゆく。なお、制御盤では、充填設定圧力値を越えた時点で緑色



図一六 圧入時の圧力変化

灯による表示と、過大圧力設定値（型枠設計荷重6.5 t/m<sup>2</sup>に対し、5.5 t/m<sup>2</sup>）を越えた時点での赤色灯による危険表示およびポンプ運転停止信号の伝送を行っている。また圧入圧力値を直接デジタル表示器で読み取ることできる。

図一六にモックアップテスト時に行った圧入時圧力の計測結果の一例を示す。

表一三 施工時の人員構成

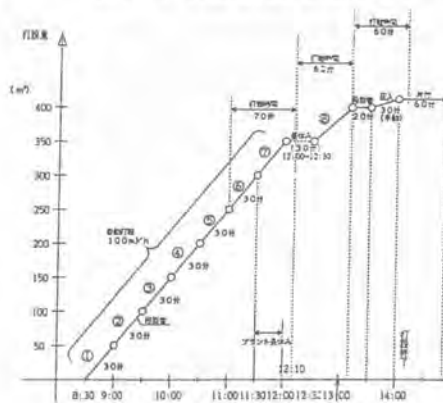
| 職 種                 | 作業内容                                  | 人員数    |
|---------------------|---------------------------------------|--------|
| ポンプ工                | ポンプ操作                                 | 1      |
|                     | 筒先操作                                  | 2      |
| コンクリート工             | パイプレータかけ及び型枠・キタジョンホース<br>設置セット（型枠足場上） | 2 + 2  |
|                     | パイプレータリモコン操作                          | 1      |
|                     | 型枠ナナキ（下回り）及び圧入作業時補機・調整                | 2      |
| 作業指導員               | コンクリート打設統制・指導                         | 1      |
| *ポンプ車1台当たり（1日働行進系機） |                                       | 合計 11人 |



写真一八 打設を完了した外周壁

## 4. 稼動状況

打設は実働6時間を要し、極めて良好である。打設を完了し、型枠を取り外した外周壁の状況を写真一八に示す。また、施工時の人員構成について表一三に、コンクリート打設タイムチャートを図一七に示す。



図一七 打設タイムチャート

## 5. おわりに

今回の開発は、計画段階から実際の導入までに2年近くを要した。開発スタッフと現業ライン、協力業者が意見をぶつけあい問題点を解決してきた。締め固め・圧入等の不明確な課題に対しては全て実証試験により対応した。現在、システムは順調に稼動中であり、耐久性等も立証されて行くと思われる。今後は、システムの改良・改善とともに、更に簡易化を進め、汎用システムとして一般的な逆打ち地下躯体への展開を図って行きたい。

## 9. ダムコンクリートにおける砕砂の表面水率安定処理

大成・佐藤・ハザマ共同企業体：小林 昭  
大成建設(株)：市原 正一  
(株)北川鉄工所：\*永久 利夫

### 1. まえがき

四万川ダムは、群馬県四万川の上流に建設される堤長 330m、堤高89.5mの、洪水調節、流水の正常な機能の維持と水道用水及び発電用水の供給を目的とした多目的ダムである。

四万川ダム堤体工事では、均質なダムコンクリートを製造する上で最大の懸案とされている細骨材（砕砂：以降、砂と呼ぶ）の表面水率安定化に取り組み、新たに安定化処理設備を導入、平成6年3月から稼働を開始した。本稿では、この砂の表面水率安定化処理設備の概要と、その効果について報告する。

### 2. 表面水率安定化処理の必要性

#### (1) DM工法の採用

四万川ダム堤体工事に於けるコンクリート練混ぜ方式は、着工時点ではシングルミキシングであったが、仮設備完了時点からダブルミキシング（以降、DM工法と呼ぶ）に変更された。

当ダム堤体工事では、外部コンクリートとして従来コンクリートを用い、内部コンクリートにはRCD用コンクリートを用いている。

表-1にコンクリートの示方配合を示す。なお、コンクリートの総打設量は約50万 $\text{m}^3$ である。

この表に示すように、DM工法でRCD用コンクリートを製造する場合の一次水(W1)は44kg、W1/Cは37.0%である。この場合、砂の表面水率を6%以下になるように管理しなければ、W1/Cの値が確保されずDM工法は成り立たなくなる。

表-1. コンクリートの示方配合表

| 配合種類 | 記号 | Gmax<br>(mm) | スランブ<br>(cm)<br>VC値<br>(秒) | air<br>(%) | s/a<br>(%) | W/<br>(C+F)<br>(%) | W1/<br>(C+F)<br>(%) | F/<br>(C+F)<br>(%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |    |     |     |                      |                     |                     |                     |                |                  |
|------|----|--------------|----------------------------|------------|------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|----|-----|-----|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|------------------|
|      |    |              |                            |            |            |                    |                     |                    | W                          |    | C+F | S   | G                    |                     |                     |                     | 混和剤            |                  |
|      |    |              |                            |            |            |                    |                     |                    | W1                         | W2 |     |     | 150<br> <br>80<br>mm | 80<br> <br>40<br>mm | 40<br> <br>20<br>mm | 20<br> <br>05<br>mm | ポリアリス<br>No. 8 | ポリアリス<br>No. 202 |
| 外部用  | A  | 150          | 3±1                        | 3±1        | 24         | 49.1               | 30.2                | 30                 | 108                        |    | 220 | 511 | 1652                 |                     |                     |                     | 0.55           | 14A              |
|      |    |              |                            |            |            |                    |                     |                    | 66                         | 42 |     |     | 413                  | 413                 | 413                 | 413                 |                |                  |
| RCD用 | B1 | 80           | 20±10                      | 1.5±1      | 32         | 83.3               | 37.0                | 30                 | 100                        |    | 120 | 732 | 1584                 |                     |                     |                     | 0.30           | -                |
|      |    |              |                            |            |            |                    |                     |                    | 44                         | 56 |     |     | -                    | 538                 | 623                 | 523                 |                |                  |

#### (2) 処理前の砂の物理的性質と問題点

表-2に処理前の砂の物理的性質を示す。

湿式ロッドミルで破碎し、分級機で砂と水を分級したのち振動ふるいでふるい分けと脱水をした砂の表面水率は、この表および表-3、表-4に示すように20%前後でバラツキている。

この砂をコルゲート貯蔵槽に入れ、水切り期間をおいた後にゲートから引出して測定した表面水率の

表-2. 処理前の砂の物理的性質

|        |                     |
|--------|---------------------|
| 岩質     | 石英閃緑岩               |
| 粗粒率    | FM=2.6±0.2          |
| 微粒分量   | 0.15mm以下が1.2%前後     |
| 比重     | 2.65                |
| 吸水率    | 1.7%                |
| 単位容積重量 | 1.6T/m <sup>3</sup> |
| 表面水率   | 2.0%前後              |

経日変化を図-1に示す。

この図に示すように3日経過後の表面水率は7%前後、6日後においても6%前後であり、前述したDM工法の制約条件となる6%以下の表面水率を確保することがコンクリート打設の工程上無理となった。

一方、砂の引出し時において、コルゲート貯蔵槽のゲート付近でアーチング現象による閉塞が生じ、コンクリートプラントへの砂の供給が停止するなどの問題も発生した。

(3) 予備試験と実用設備の導入

当ダム堤体工事JVでは、砂に加わる遠心力が50Gである連続処理式のタイプ（以降、SA機と呼ぶ）と、遠心力が200Gであるバッチ処理式のタイプ（以降、サンドスタビライザと呼ぶ）の二つの遠心式の脱水機を使用して、多量な水を含む製造直後の砂の表面水率を安定化させるための予備試験を実施した。なお、サンドスタビライザはSS-05型（1バッチ当りの処理量0.5m<sup>3</sup>）を使用した。

SA機およびサンドスタビライザを使用した予備試験の結果を表-3および表-4に示す。

SA機の場合には、表-3に示すように処理後の表面水率は7.8%となり、また、微粒分量は処理前に比べ4.2%減少している。

一方、サンドスタビライザを使用した場合の処理後の表面水率は5.9%になり、微粒分量についてもほとんど変化は無く初期の目的を達成している。なお、より詳しい微粒分の変化をみるために、ふるい分け試験に代えて、処理中にサンドスタビライザから排出される濁水量とそのSS濃度から微粒分の流出量を求める方法を試みた。なお、その結果については、4項（表-6）に詳細に記述する。これらの予備試験結果から実用砂処理設備としてサンドスタビライザを導入することとした。

表-3. SA機の試験結果

| 処理条件<br>遠心効果 回転数 | 処理前  |      |      | SA機通過後 |      |      |
|------------------|------|------|------|--------|------|------|
|                  | 粗粒率  | 表面水率 | 微粒分  | 粗粒率    | 表面水率 | 微粒分  |
| 50-G 375         | 2.30 | 23.1 | 14.8 | 2.26   | 9.9  | 12.5 |
| 50-G 375         | 2.41 | 21.6 | 11.9 | 2.84   | 6.7  | 6.3  |
| 50-G 375         | 2.41 | 23.1 | 12.6 | 2.96   | 7.0  | 4.9  |
| 50-G 375         | 2.42 | 21.6 | 13.4 | 2.57   | 8.7  | 10.2 |
| 50-G 375         | 2.49 | 20.7 | 12.7 | 2.87   | 7.2  | 8.1  |
| 50-G 375         | 2.65 | 21.1 | 10.0 | 2.81   | 7.4  | 7.0  |
| 50-G 375         | 2.77 | 21.1 | 9.3  | 2.92   | 7.8  | 6.3  |
| 平均値              | 2.49 | 21.8 | 12.1 | 2.75   | 7.8  | 7.9  |

表-4. サンドスタビライザの試験結果

| 処理条件<br>遠心効果 回転数 | 処理前  |      |      | サンドスタビライザ通過後 |      |      |
|------------------|------|------|------|--------------|------|------|
|                  | 粗粒率  | 表面水率 | 微粒分  | 粗粒率          | 表面水率 | 微粒分  |
| 200-G 545        | 2.57 | 19.3 | 13.1 | 2.59         | 6.2  | 13.2 |
| 200-G 545        | 2.37 | 21.6 | 13.0 | 2.44         | 6.6  | 13.8 |
| 200-G 545        | 2.79 | 17.5 | 11.5 |              | 5.5  |      |
| 200-G 545        | 2.50 | 18.8 | 12.9 |              | 5.0  |      |
| 200-G 545        | 2.65 | 18.8 | 13.1 |              | 5.6  |      |
| 200-G 545        | 2.47 | 21.1 | 14.0 |              | 6.6  |      |
| 平均値              | 2.56 | 19.5 | 12.9 | 2.52         | 5.9  | 13.5 |

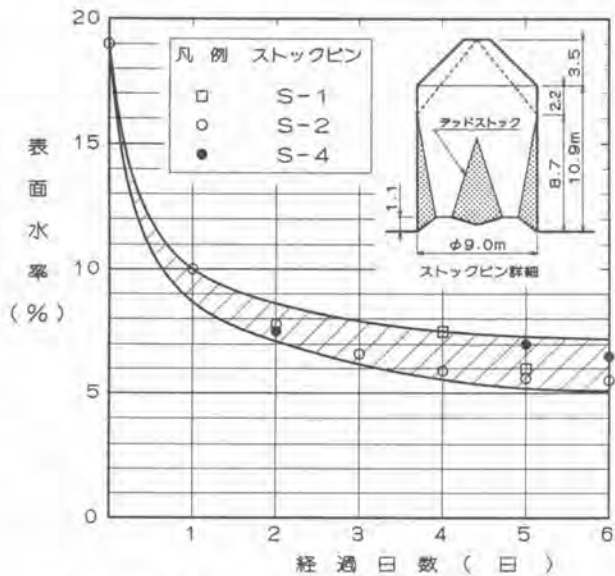


図-1. 自然水切りに於ける表面水率の経日変化

### 3. 表面水率安定化処理設備の概要

#### (1) 概要および特長

予備試験後導入した砂の表面水率安定化処理設備（以降、砂処理設備という）は、既存の製砂プラントの製造能力63T/Hが確保できる処理能力とし、製砂工程、搬送、安定化処理工程、貯蔵および供給が一連のライン上を流れるよう配置した。砂処理設備のフローを図-2に示す。

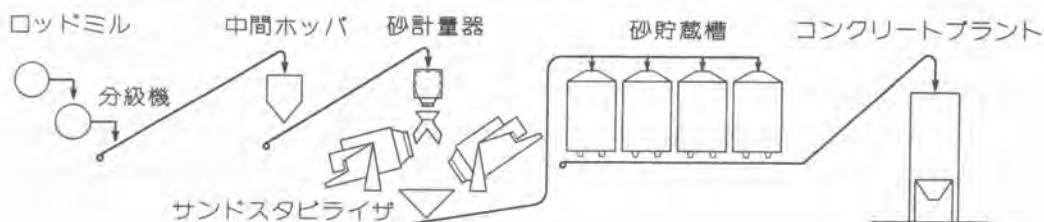


図-2. 砂処理設備のフロー図

砂処理設備は、サンドスタビライザと呼ばれる遠心脱水機、1バッチ当りの処理量を設定する砂計量器、処理前後の砂を搬送するベルトコンベアおよびこれらの機器を自動運転するための制御盤等で構成されている。

写真-1に砂処理設備の外観を示す。砂脱水設備の看板のある建物の中にサンドスタビライザSS-12型が2基設置されている。

湿式ロッドミルで製造された砕砂は、写真左手前のコンベアから中間ホッパを中継して搬送され、このサンドスタビライザで遠心脱水されて低表面水率の安定した砂になる。

この砂処理設備の特徴は以下のとおりである。

- ①ダム施工機械設備設計指針による「貯蔵後少なくとも24時間経過させるなど水切りのサイクルを考慮する。」という必要がなくなる。
- ②砂の余剰な表面水を脱水し、6%以下に、しかも均一な表面水率安定化処理ができるため、コンクリート中の単位水量が一定する。
- ③処理中に於ける微粒分の流出が少なく、砂の物理的性質も変化しない。
- ④処理後の表面水率が、長時間にわたりほとんど変動しない。



写-1. 砂処理設備の外観

#### (2) サンドスタビライザの仕様

サンドスタビライザの構造およびドラム断面を図-3に示す。

本機の動作方法は、低速回転中のドラム内に砂を投入して内壁に一様に付着させた後、ドラム回転速

度を上昇させて遠心力を増大（最大200G）させ、砂表面の水分を遠心脱水するものである。

ドラム回転速度と、脱水時間を適切に設定することにより、所定の表面水率の安定化を行なうことができる。表-5にサンドスタビライザの仕様を、図-4に表面水率安定化の運転モードを示す。

予備試験の結果から脱水時間を40秒としたため、1バッチ当りのサイクルタイムが135秒となっている。

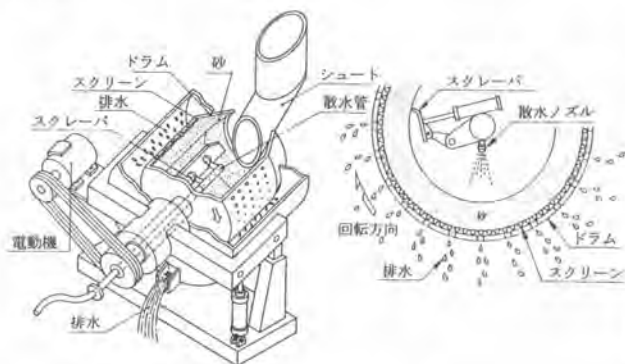


図-3. サンドスタビライザの構造図

表-5. サンドスタビライザの仕様

|       |                        |
|-------|------------------------|
| 型式    | SS-12                  |
| 動力    | 110kw (直流モータ、サイリスタ制御)  |
| ドラム容量 | 1.2m <sup>3</sup>      |
| 回転数   | 0~485rpm               |
| 遠心効果  | 0~200G                 |
| スクリーン | ウェッジスクリーン スリット巾 0.25mm |

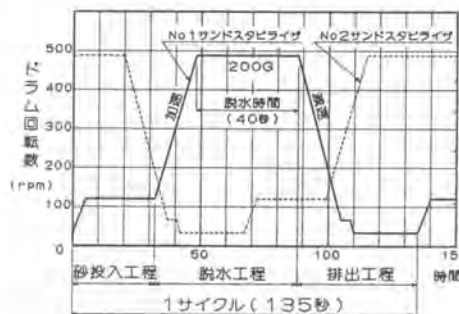


図-4. サンドスタビライザの運転モード

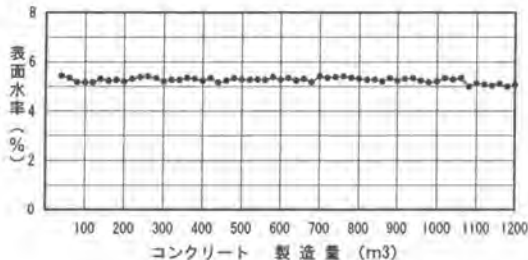


図-5. 砂の表面水率の品質管理状況

#### 4. 表面水率安定化処理後の砂の品質

##### (1) 表面水率

図-5には砂処理設備導入後に実施した1200m<sup>3</sup>のコンクリート連続製造時の砂の表面水率の品質管理状況を示す。

この図は、表面水率安定化処理した砂を一旦コルゲート貯蔵槽に貯蔵したのち、翌日コンベアで搬送し、コンクリートの製造直前にコンクリートプラントの計量ゲートから採取して測定した砂の表面水率である。連続1200m<sup>3</sup>のコンクリート製造完了までの間、5%~5.5%の範囲で表面水率の安定した砂が供給できたことを示している。

##### (2) 微粒分の流出率

表-6に予備試験における0.15mm以下の微粒分の流出結果を示す。



この表に示すように平均流出率は、処理前の砂重量（絶乾重量）に対して、0.11%である。

これは、処理中にサンドスタビライザから排出された濁水量とそのSS濃度から微粒分の流出量を求めたのち、次式により流出率を算出した。

$$\text{流出率} = \frac{\text{微粒分の流出量}}{\text{処理前の砂重量（絶乾重量）}} \times 100 (\%)$$

この値から、処理砂の微粒分の残存率を求めると、

$$\begin{aligned} \text{残存率} &= \frac{\text{処理前の微粒分率} - \text{流出率}}{\text{処理前の微粒分率}} \times 100 (\%) \\ &= \frac{12.9 - 0.11}{12.9} \times 100 = 99.1\% \end{aligned}$$

ここに、表-4より処理前の微粒分率=12.9%

これは、処理前に含まれていた0.15mm以下の全微粒分量のうち0.9%が流出したことを意味するもので、砂の物理的性質に影響を与えるほどのものでないことが判る。

### 5. サンドスタビライザの消費電力

図-6にサンドスタビライザ運転中に記録したモータの負荷状況を示す。脱水工程において、ドラムの加速中に最大の電力を消費しており、ドラムが最高回転数に達すると電力をほとんど消費していない。次に排出工程に入り、ドラムが減速し始めると電力線図はマイナスに振れている。これは、ドラムの回転力を制動する際にモータが発電作用を起こすことによるもので、その値は加速中の消費電力の約70%となっている。このような現象を伴うサンドスタビライザの、運転中の電力収支を検証するために、サンドスタビライザの一次側電源に積算電力計を設置し、1日当りの電力消費量と稼働時間及び処理バッチ数を調査した。その結果を次に示す。

- 1日の電力消費量 : 117.5 Kwh
- 1日の処理バッチ数 : 223 バッチ
- 1日の稼働時間 : 8.7 H
- 1バッチ当りの砂処理量 : 1.2 m<sup>3</sup>

この調査結果より

1時間当りの消費電力は、

$$\frac{117.5 \text{ Kwh}}{8.7 \text{ H}} = 13.5 \text{ Kwh/H}$$

となり、サンドスタビライザの稼働中の消費電力量は、モータ定格出力110KWの13%と非常に小さいことが判る。

表-6. 処理後の微粒分の流出量

| No. | SS濃度 (mg/l) | 濁水量 (l) | 微粒分の流出量 (g) | 流出率 (%) |
|-----|-------------|---------|-------------|---------|
| 1   | 9,320       | 96      | 895         | 0.14    |
| 2   | 8,050       | 92      | 740         | 0.12    |
| 3   | 6,440       | 94      | 605         | 0.10    |
| 4   | 6,440       | 82      | 530         | 0.08    |
| 5   | 10,300      | 80      | 820         | 0.13    |
| 平均  | 8,110       | 89      | 718         | 0.11    |

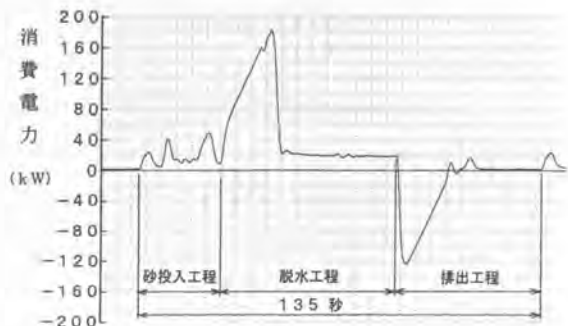


図-6. サンドスタビライザの負荷状況

参考までに砂 1 m<sup>3</sup>を処理するに必要な消費電力量をもとめると次のようになる。

$$\frac{117.5 \text{ Kwh}}{228 \text{ B} \times 1.2 \text{ m}^3/\text{B}} = 0.44 \text{ Kwh/m}^3$$

## 6. 砂のクーリングシステムへの応用

### (1) 砂のクーリングシステムへの応用と概要

当ダム堤体工事JVでは、コンクリートのプレクーリング用として既に粗骨材の真空冷却システムを採用しているが、このサンドスタビライザを使用すれば砂のクーリングシステムへの応用が可能である。

本システムは、ダムコンクリート等マスコンクリートの打設時に於けるコンクリート温度の上昇による温度ひび割れを防止するためのプレクーリング工法として、サンドスタビライザによって砂を冷却しようとするものである。

図-7にクーリングシステムのフローを示す。

図-3に示したように、サンドスタビライザのドラムの内壁に一様に付着した砂に、チラー（冷却機）で造られた冷水を散水して砂を冷却しながら、ドラム回転速度を上昇させて冷水を遠心脱水し、表面水率の一定した冷砂を造るシステムである。

### (2) クーリング後の砂の温度

図-8にサンドスタビライザによる砂の冷却

効果（研報88-1より抜粋）を示す。3℃の冷水を砂重量の40%散水することによって、30℃の砂を8℃に冷却可能である。

既に、1990年の明石海峡大橋の3P主塔基礎工事に採用され、良好な結果が得られたことが報告（平成2年度 同シンポジウム）されている。

## 7. おわりに

四万川ダム堤体工事では、上下2段ミキサ式のDM対応型コンクリートプラントを導入していたため、DM工法への変更に対しても混乱なく対応できた。更に、平成6年3月からサンドスタビライザによる砂の表面水率安定化処理を実施しており、コンクリートの品質に良好な結果が得られると共にDM工法によるダムコンクリートの打設が順調に推移している。今後も、コンクリートダムの合理化施工の開発と耐久性向上に向け努力を惜しまない所存である。



図-7. 砂のクーリングフロー

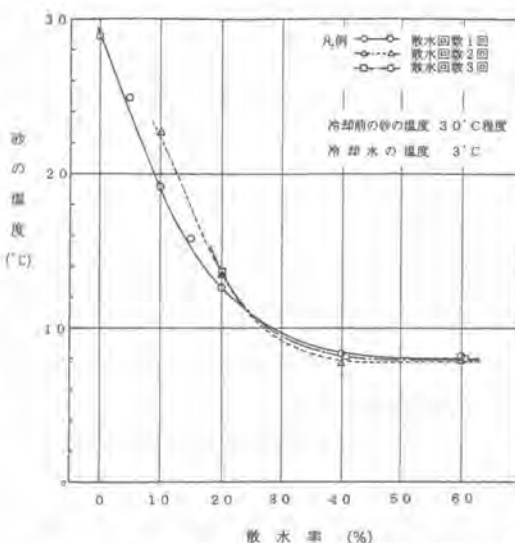


図-8. サンドスタビライザによる砂の冷却効果

## 10. CRS 工法

(炭素繊維を用いた既存 RC 構造物の耐震補強工法)

(株)大林組：小島 信男

### 1. まえがき

炭素繊維を用いて既存鉄筋コンクリート構造物を耐震補強する CRS 工法 (Carbon Fiber Retrofitting System) を開発し、平成 3 年には財団法人日本建築防災協会から耐震性を確保できる補強工法であるとの技術評価を初めて取得した。本工法の適用事例は、煙突、電波塔、鳥居、橋脚、建物など多岐に渡り、施工実績も増加の一途をたどっている。また、阪神大震災で被災した構造物の復旧工事にも一役買っている。本稿では、最近注目を集めるようになった CRS 工法について、その概要や施工方法、施工事例などを紹介する。

### 2. 概要

炭素繊維シート (炭素繊維を同一方向に配列してシート状に加工したもの、以下 CF シートと呼ぶ) や炭素繊維ストランド (炭素繊維を同一方向に配列して糸状に加工したもの、以下 CF ストランドと呼ぶ) をコンクリート表面に接着させることにより、鉄筋の増設と同様の効果を得るもので、CF シートや CF ストランドの接着にはエポキシ樹脂を用いる。

炭素繊維を用いた基本的な補強方法としては、

- ① CF シートの縦 (軸) 方向貼付けによる曲げ補強 (主鉄筋の増設)
  - ② CF シートか CF ストランドの横 (周) 方向巻付けによるせん断補強 (帯鉄筋の増設)
- の 2 種類があり、このうち、曲げ補強は煙突や電波塔などの塔状構造物が、せん断補強は道路や鉄道の橋脚、建物の柱などが補強対象となる。

### 3. 特長

炭素繊維の持つ「鉄の 10 倍の強度、鉄と同等の弾性、鉄の 4 分の 1 の軽さ、さびない耐久性」と言った利点を全て利用しているため数々の特長を有す。

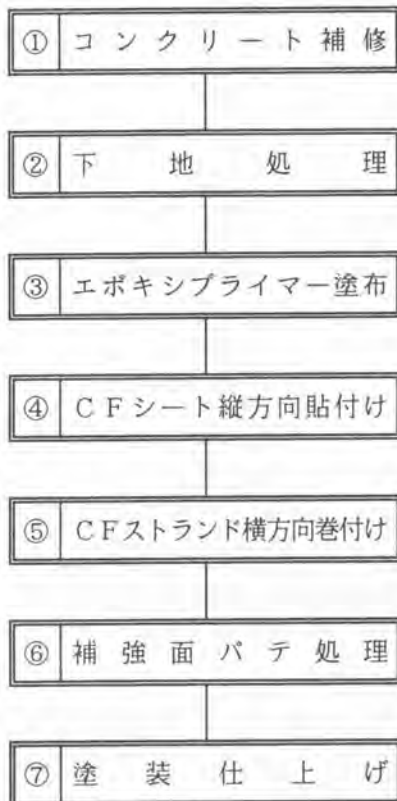
- ① 柔軟性に富んだ必要最小限の合理的な補強が行える
- ② 補強後の重量や寸法の増加がほとんどない
- ③ 補強の効果が長期間 (20~30 年以上) 持続する
- ④ 炭素繊維面がコンクリート保護層として機能する

### 4. 施工方法

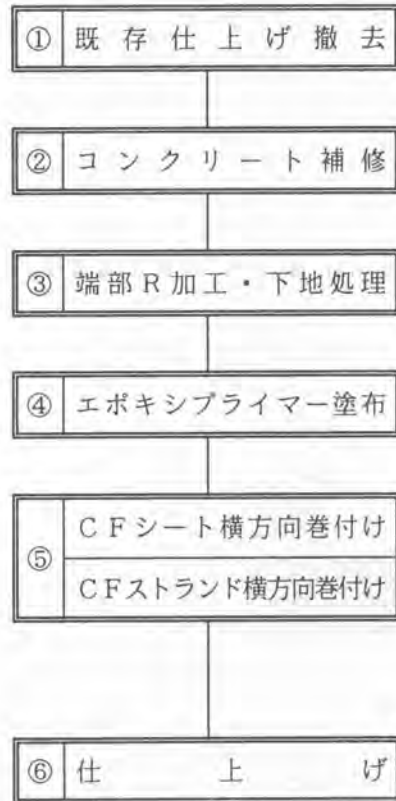
曲げ補強とせん断補強で施工方法が異なる。コンクリート補修 (ひび割れ補修や浮き補修など) や下地処理 (カンナ掛けによる表面ケレンや不陸調整など) も含めた曲げ補強及びせん断

補強は概略以下の手順で行う。

④ 曲げ補強施工手順



④ せん断補強施工手順



5. 施工機械

(1) 曲げ補強用施工機械

CFシートの縦方向貼付け用、CFストランドの横方向巻付け用、RC煙突など塔状構造物の補修・補強・塗装工事用として、

- ① CFシート貼付け装置
- ② CFストランド巻付け機（ゴンドラ搭載型）
- ③ 円形ゴンドラ（4台連結式及びスライド足場を組み込んだ6台連結式の2タイプ）を開発している。

(2) せん断補強用施工機械

建物柱へのCFストランド横方向巻付け用として、

- ① CFストランド巻付け機（自立型）を開発している。

## 6. 施工事例

### (1) 曲げ補強の事例



写真1 RC煙突へのプライマー塗布



写真2 同CFシート縦方向貼付け



写真3 同CFストランド横方向巻付け

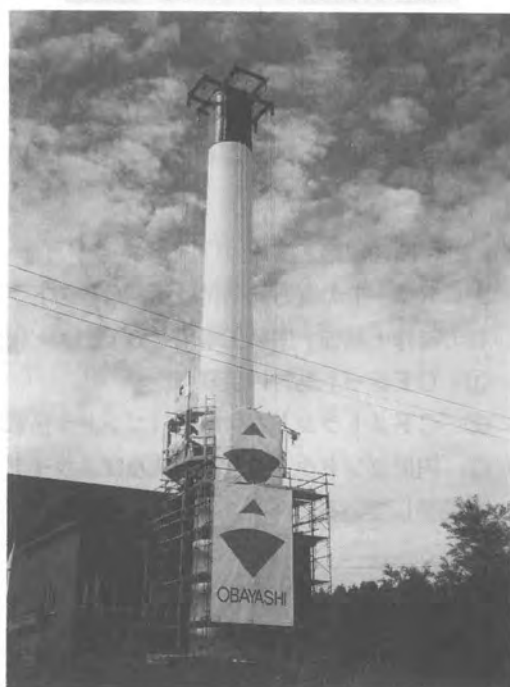


写真4 同仕上げ塗装

(2) せん断補強の事例



写真5 校舎RC柱へのCFシート横方向巻付け



写真6 同CFストランド横方向巻付け

7. あとがき

CRS工法は耐震補強以外にコンクリートの補修や保護と言った保全用途にも適用することができ、その汎用性は極めて高いことが実証されている。ただし、施工の機械化や自動化については遅れている面があり、今後は工事を通じてその分野の技術開発に取り組む所存である。

# 11. 富郷ダムコンクリート打設設備の自動化

水資源開発公団：大塚 明克・\*京井 幸源



## 1. はじめに

四国三郎吉野川支流銅山川に水公団で富郷ダムを施工している。富郷溪谷の急峻な地形に重力式コンクリートダムが徐々に姿を見せつつある。

富郷ダムでは、コンクリートダムの合理化施工として、RCD工法及びELCM工法により施工するが、コンクリート運搬設備としては、急峻な地形から固定式ケーブルクレーンによることが一般的であるが、当ダムの場合さらに放流設備等多くの堤内構造物の据付に用いること、上部をELCM工法で施工すること等より約22m上下流に水平移動のできる20t級両端移動式ケーブルクレーンを採用した。

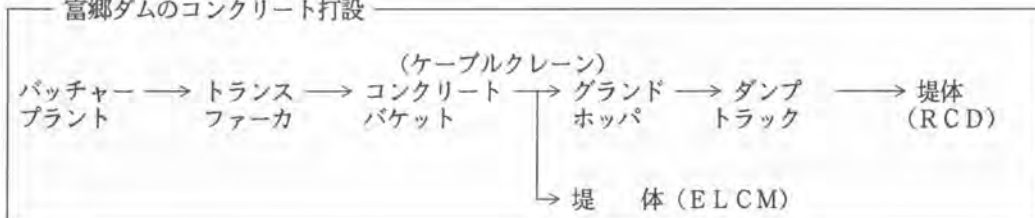
この新しいタイプの両端移動式ケーブルクレーンの特長と、このクレーンを用いてのコンクリート自動打設システムを合わせて紹介する。

## 2. 富郷ダムと施工機械設備の概要

### 富郷ダムの概要

|     |                            |                        |
|-----|----------------------------|------------------------|
| 目的  | 洪水調節・水道用水・工業用水の供給・発電の多目的ダム | 放流設備                   |
| 形式  | 重力式コンクリートダム                | オリフィス B3. 6m×H4. 5m×1門 |
| 堤高  | 約 111m                     | コンジット B4. 0m×H5. 0m×2門 |
| 堤頂長 | 約 250m                     | クレスト B7. 2m×H10. 9m×4門 |
| 堤頂幅 | 7m                         | 利水放流設備                 |
| 堤体積 | 約 600, 000 m <sup>3</sup>  | 取水 φ1. 65m×6段×1門       |
|     |                            | 調節 JFG φ0. 9m×1門       |

### 富郷ダムのコンクリート打設



富郷ダムの施工

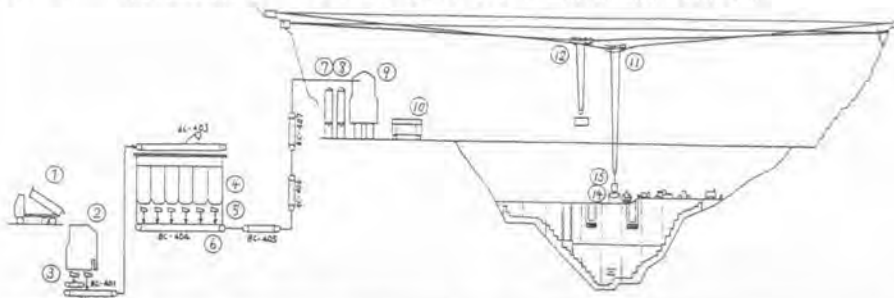
コンクリートダムの合理化施工法として、ダムを広い範囲で一体として打ち上げていく面状工法であるRCD工法及び拡張レアー工法（ELCM）を併用する。

RCD工法は、超硬練りコンクリート（スランプゼロ）をブルドーザで敷均し、振動ローラで締固める。一方ELCM工法は、有スランプコンクリートを内部振動機で締固める。

1日当りの打設量を出来るだけ均等にするため1リフト厚をRCD部では0.75mと1.0m、ELCM部では、1.5mとリフト厚を変えて施工する。

富郷ダムの施工機械設備（ダムサイトプラント）

コンクリート最大生産能力 120 m<sup>3</sup>/hのプラントの概要は次のとおり。



| No | 名 称        | 形 状・規 格                               | 出力(kw) | 数 量 | 備 考                            | No | 名 称          | 形 状・規 格           | 出力(kw) | 数 量 | 備 考                            |
|----|------------|---------------------------------------|--------|-----|--------------------------------|----|--------------|-------------------|--------|-----|--------------------------------|
| 1  | ダンプトラック    | 11t                                   |        |     |                                | 8  | セメントサイロ      | サイロ容積 500t        | 18.3   | 1   | 31t・70t 40t/h<br>40t・15t・40t/h |
| 2  | 固定ホップ      | 鋼製                                    |        | 1   | 1式 1×25m×2 基                   | 9  | バッチプラント      | 全自動2軸的連続リ         | 183.5  | 1   | 2m <sup>3</sup> ×2m            |
| 3  | 電動式回轉式フィーダ | 900×1,500 Max 530t/h                  |        | 2   |                                | 10 | トランスフォーカ     | 8m <sup>2</sup>   | 30     | 1   |                                |
| 4  | 3軸式ピン      | 鋼製円形 514φ×2分<br>212m <sup>2</sup> ×5基 |        | 1   | 1式                             | 11 | 主リフトケーブルクレーン | 同規格式 20t(吊6m)     | 544    | 1   |                                |
| 5  | 電動式回轉式フィーダ | 900×1,500 Max 530t/h                  | 1.7    | 4   |                                | 12 | 伸縮式ケーブルクレーン  | 同規格式 4.5t 吊       | 130    | 1   |                                |
| 6  | カットオフゲート   | 空胴式 500×500                           |        | 8   |                                | 13 | コンクリートリケット   | 8 m <sup>2</sup>  |        | 1   |                                |
| 7  | フライアッシュサイロ | サイロ容積 400t                            | 14.8   | 1   | 31t・70t 20t/h<br>40t・15t・40t/h | 14 | グラブドホップ      | 12 m <sup>2</sup> |        | 1   |                                |

3. 両端移動式ケーブルクレーンの特長

(1) 走行路を鋼板溶接構造のボックスガーダ形状（固定ガーダ）とする。

この固定ガーダは、主索からの水平荷重（Max 264 t）は、ガーダ固定金具、バックステー基礎金具を介してバックステー基礎で、鉛直荷重（Max 196 t）は、すべり平軸受、ガーダ受金物を介してガーダ基礎で受ける。

(2) 固定ガーダには、上面2条 側面2条 計4条のレールがあり、このレール上を主索固定装置に取付けた車輪が上下流に滑らかに移動する。

(3) 主索固定装置は、上流側に配置した走行ウインチの正逆転により、上・下流側に移動する。走行スピードは荷重の大小及び移動方向にかかわらず、20 m/minで一定。

(4) 主索固定装置の両岸の同調は、それぞれの走行ウインチのドラム回転数により位置を検出し、左右岸の位置ずれが起きない制御を行う。



ケーブルクレーンの仕様一覧表

|        |                           |                |
|--------|---------------------------|----------------|
| 形 式    | 両端移動式                     |                |
| 荷 重    | 公称 20t級                   | 定格荷重 21t       |
| 径 間    | 391.5m<br>(左右岸固定ガーダ 中心距離) |                |
| リフト高   | 約 125m                    |                |
| 走行範囲   | 22m(ダム軸上流2m、下流20m)        |                |
| 横行範囲   | 約 270m                    |                |
| バケット容量 | 6m <sup>3</sup>           |                |
| ワイヤロープ | 主 索                       | φ86 ロッドコイル E   |
|        | 巻上索                       | φ32 6 × Ws(31) |
|        | 横行索                       | φ28 6 × Ws(31) |
|        | 走行索                       | φ32 6 × Ws(31) |

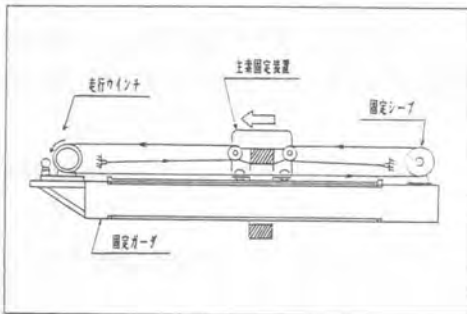
| 制 御 方 式 |               |            |      |
|---------|---------------|------------|------|
|         | 速度<br>(m/min) | 速度制御方式     | 出力Kw |
| 巻上(実)   | 125           | サイリスタレオナード | 430  |
| 巻上(空)   | 200           |            |      |
| 巻下(実)   | 160           |            |      |
| 巻下(空)   | 200           |            |      |
| 横 行     | 400           | サイリスタレオナード | 353  |
| 走 行     | 20            | インバータ      | 45   |
| 主索張力調整  | 2.7           | 可逆直入起動     | 11   |



固定ガーダと主索固定装置



ケーブルクレーン全景



走行機構図



走行ガーダバックステー  
及びガーダ受金物

#### 4. コンクリート打設設備の自動化

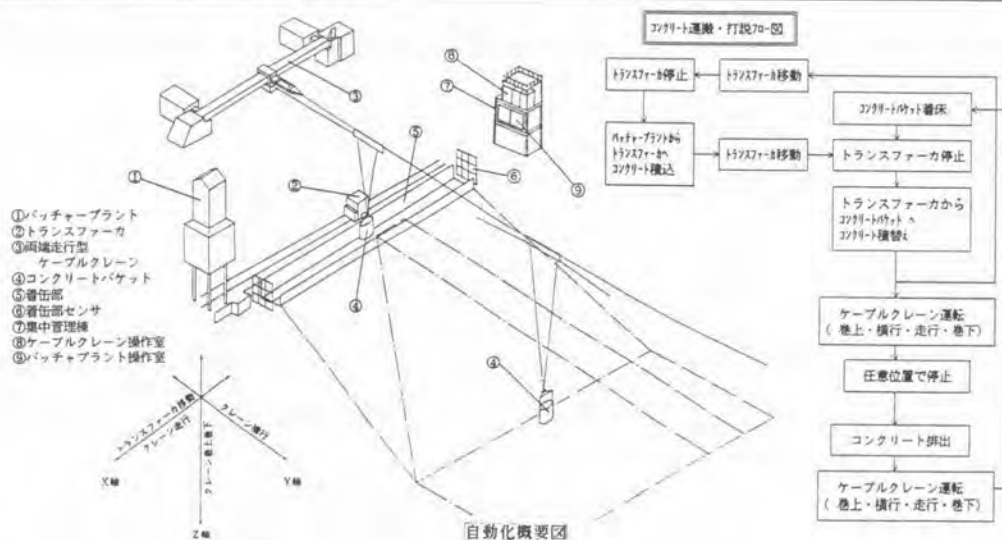
##### 自動化の概要

ケーブルクレーンの自動運転は、固定式つまり、横行・巻上下方向の二次元で実施しているのが一般的であり、富郷ダムでは、さらに上下流方向も加え三次元の自動化を行う。

概要図に示すように自動化の範囲は、バッチャープラント位置でのコンクリート積み込みから堤体内グランドホッパ又は、打設場所での放出までのコンクリート打設を自動化する。

自動化を行うにあたって、次の点を留意した。

- (1) ケーブルクレーンとコンクリート運搬に係わる機械を統合した、一連の自動運転システムとする。
- (2) 従来の機側手動運転と同等の施工能力を有することとする。
- (3) 操作が簡単で、緊急時の対応が迅速かつ確実にできるものとする。
- (4) 安全が十分確保できるものとする。



コンクリートバケット  
・トランスファー



コンクリートバケット  
・グランドホッパ

施工方法と運転方式

・ R C D部打設 (Y・Z軸の2次元)

バッチャープラントでのコンクリート積み込みから、あらかじめコンピュータに入力された座標点 (グランドホッパー) でのコンクリート放出までのコンクリート運搬作業を、繰り返し自動で行う。〔自動運転〕

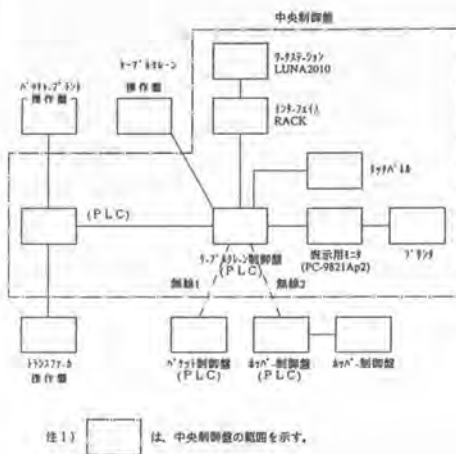
・ E L C M部打設 (X・Y・Z軸の3次元)

バッチャープラントでのコンクリート積み込みから、あらかじめコンピュータに入力された打設範囲でのコンクリート放出位置を自動的に変化させ、その位置に巻下げるまでを自動で行いコンクリート放出 (バケット開) のみ押し釦手動操作を行う。〔半自動運転〕

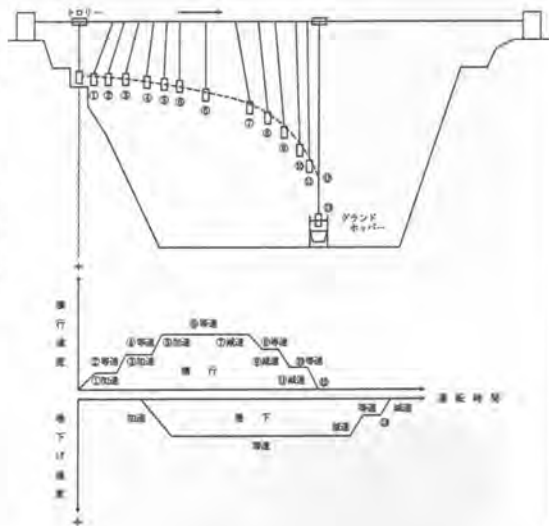
制御方式

機器の制御は、集中管理棟に設置した中央制御装置のコンピュータの指令にて行う。中央制御装置では、パソコンCRT画面にバケットの動きをリアルタイムに表示することにより自動運転状態を監視し、座標位置・速度・コンクリート配合品種・数量・運搬回数等常時内容を具体的に把握する。

システム構成図



基本運転パターン



(1) ケーブルクレーン

振れ止め制御 ..... バケットの振れを予測し、前もって制御するフィードフォワード (F・F) 制御により行う。

位置決め制御 ..... X・Y・Zを傾斜計・エンコーダ・光波距離計でとらえ、管理することにより行う。

## (2) トランスファーカ

停止位置決め制御 …………… トランスファーカとバケットの相対位置は、トランスファーカ及びケーブルクレーン走行用エンコーダのパルスと比較し算出するバケット手前1mで一時停止（粗位置決め）し、光センサーで正確に検知し停止（静位置決め）する。

## (3) コンクリートバケット

バケットへの圧縮空気自動給気 …………… 定停止位置でトランスファーカからノズルが伸びバケットの給気マウスを通じバケットのエアタンクに給気する。

バケットのコンクリート放出 …………… グランドホッパー上でバケットは中央制御室から無線操作でバケットの電磁弁を動作させコンクリートを放出する。

## — 安全装置 —

通常の安全装置に加え自動化のため次の項目における安全装置を備える。

- (1) 位置異常      バケットが所定の位置をはずれした場合、位置異常をレーザーセンサーにより確認し自動停止する。
- (2) 横振れ異常      バケットの横振れは、ハンガー部に取り付けられた振動ジャイロにより計測し設定値以上になると自動停止する。
- (3) 過負荷      過負荷の検出は、巻上索の端部にロードセルを取付け、バケットの重量を計測します。過負荷検出の場合は、非常停止する。
- (4) インタロック      トランスファーカー・コンクリートバケット及びグラウンドホッパーには、各々の動作を確実にするため、条件がそろわないと動作しないよう互いにインタロックをとる。コンクリート・バケットの移動中は電源を断として、バケットが絶対に開かないインタロックをとる。

## 5. おわりに

富郷ダムは、平成7年4月に本体コンクリート打設、6月定礎式を行い、ダム建設も最盛期を向えている。

ケーブルクレーンを中心とした自動打設システムもRCD部での2次元で計画時の能力を発揮しつつある。

今後ダム堤体上部のELCM部では、自動打設システムが3次元の立体動作となるが、特に打設地点をどのように移動させていくか等検討課題もふまえ、安全保護装置の最適設定、サイクルタイム短縮の方策等、より完成度の高いシステムをめざす。

合わせて、従来の人間操作から自動操作+人間監視のシステムを確立し、ダム建設の省人力化や安全施工の一助としていく。

## 12. シールド自動測量ロボットの開発

自動測量研究会：\*島崎 恵早・横崎 照将  
伊東 泰三

### 1. はじめに

シールド工法は推進工法とともに都市において電話、電力、上下水道などのライフライン施設を構築するための主要なトンネル技術となっている。施工技術が発展し、シールド工事の測量の自動化が進む一方で、施工対象地域の状況は立坑建設場所の選定や路線計画に対する条件が厳しくなり、長距離、急曲線の計画・施工が余儀なくされている。また、工事規模も幹線から枝線へと推移するとともに小口径シールドの比率が増加している。

本論分は、主に中・小口径シールドトンネルを適用対象とし、高精度に自動測量を行うロボットの開発について述べるものである。

### 2. シールド測量ロボットの概要

シールド自動測量ロボットは、通常、現場の測量技術者がトータルステーション等で行っている作業そのものを自動化するもので、走行計測ロボット・格納台車・無線伝送装置・ターゲットプリズム・中央制御装置等から構成される。

システムの全体構成を図-1に、またシステムの開発仕様を表-1に示す。

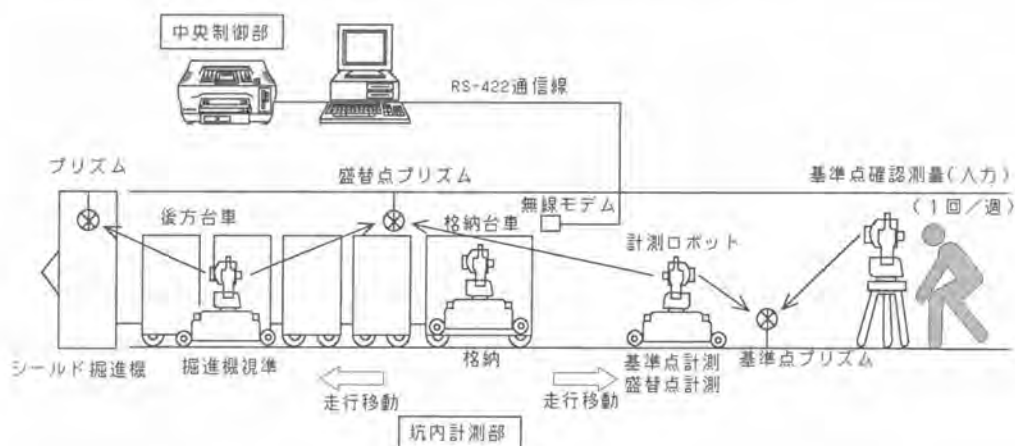


図-1 シールド測量ロボット全体構成図

本ロボットは、坑内に設置したプリズムを視準・移動を繰り返すことにより坑内に開トラバースを展開し、シールドマシンに取り付けたターゲットプリズムの座標を計測する。

測量結果と、マシンの姿勢データ（方位角、傾斜角、中折れ角等）を演算することにより、最終的にマシン先端中心の位置座標を求める。

自動測量は人力測量と同様に、掘進の休止中すなわち休憩時間、昼夜の作業交代時間に行われるよう設計されている。このため、測量所要時間を1時間以内としている。

表-1 開発仕様

|        |                                   |
|--------|-----------------------------------|
| 目標測量精度 | 測量延長100mで誤差±20mm以内                |
| 測量所要時間 | 1時間以内（休憩時間内で処理完了）                 |
| 計測可能曲率 | 10mR以上                            |
| 対象工法   | 限定なし（ミニシールドを含む）                   |
| 対象口径   | セグメント内径φ900mm以上                   |
| 走行速度   | 最高5km/h                           |
| ロボット諸元 | 1830mm×330mm×590mm 重量100kg $\Psi$ |

### 3. システム構成

トンネル測量ロボットは大きく分けて走行計測ロボット、格納台車および中央制御装置より構成されている。

（走行計測ロボット）

走行計測ロボットは、自動追尾トータルステーションを中核とし、これを自動整準する整準台、走行制御を行うプログラマブルコントローラ、無線モデム、ボードコンピューター、走行距離計などの機器と、車軸を折り畳むことが可能な走行台車から構成されている。

走行計測時には車軸を拡げ、410mm～610mmのレールゲージで敷設された、通常の作業台車が走行する坑内軌条上を最高速度5km/hで走行し、またシールド掘進時には車軸を折り畳んで、330mm程度の幅員にして格納台車に収納することで作業台車の運行に支障がないような機構にしている。

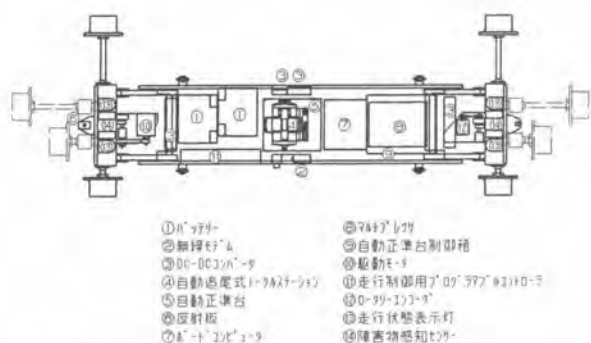


図-2 走行計測ロボット

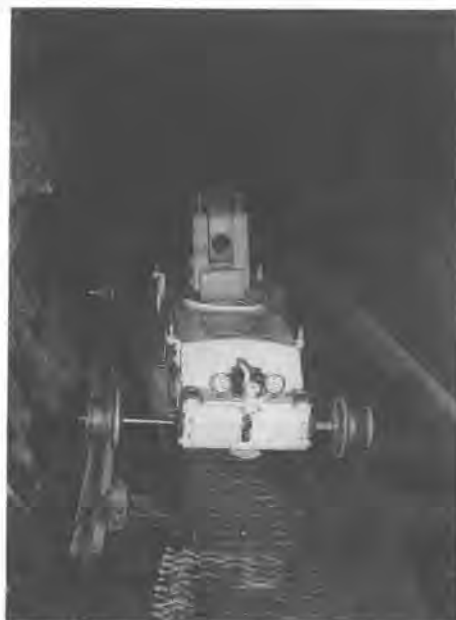


写真-1 走行計測ロボット

### (格納台車)

格納台車には、走行計測ロボットを吊り込む格納装置、掘進距離計測センサ、計装信号を収集するボードコンピューター、計測ロボットの充電器、無線モデムなどが搭載されており、シールド坑内で走行計測ロボットを格納する機能ならびにシールドマシンのデータを受信・収集する機能を備えている。

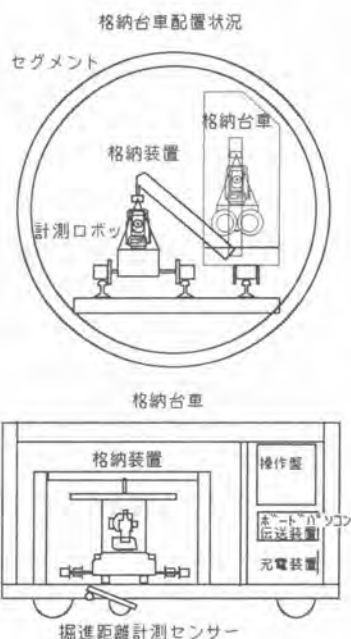


図-3 格納台車



写真-2 格納台車

### (中央制御装置)

現場事務所等の監視場所に設置されたコンピューターで、格納台車とは有線通信回線により接続されている。計測ロボットに対し、走行距離、トータルステーションの旋回角など測量動作のデータを与え、測量終了時には計測結果を受信する。また、収集された測量データをもとに、現在のシールドマシンの先端中央の位置座標を演算・表示する。

## 4. 計測サイクル

計測サイクルは、掘進が停止し路線の測量範囲から作業台車および作業員が退去した時点で開始する。まず走行計測ロボットが格納台車より吊り下ろされ、中央制御部より計測手順データを受信する。受信完了とともに後方にある基準点プリズムが視準可能な器械点まで走行、停止してトータルステーションの整準を行う。トータルステーションは後方のプリズムから自己の位置姿勢を計測・演算し、次に前方の中継プリズムを視準してその位置を計測する。この動作を終えると、次の器械点へ移動して、第1器械点で得られた中継プリズムの座標をもとに前方のプリズムを計測する。この動作を

繰り返し、シールド機に設置されたプリズムに達すれば計測を終了して格納台車まで戻る。計測結果は無線モデムを介して中央制御部へ伝送され、他の計装信号と併せて演算処理が行われ、シールド機の前端中心座標が得られる。計測終了後、走行計測ロボットは格納台車に収納され、休止中はそのバッテリーを充電する。

図-4に、計測サイクルのフローチャートを示す。



図-4 計測サイクル

坑内に後続台車を有しないミニシールド工法については、走行計測台車は立坑を発着点とする。格納設備は充電器、無線モデムなどに集約される。

## 5. 現場実証実験

### (実験の概要)

本ロボットを実現現場へ導入し試験を行った。実証現場の概要を表-2に、計画路線を図-5に示す。この現場実験では25Rの急曲線区間を含む発進立坑から約250mの区間を試験対象とした。

精度は人間による測量結果と比較し、その差を求めることで検証した。人力測量には5秒読み、測距精度 $\pm(3\text{mm} \pm 2\text{ppm})\text{ m. s. e.}$ 、測角精度3秒のトータルステーションを使用し開トラバース測量を行った。図-6は、実証現場の計測動作を示す。



|     |                                  |
|-----|----------------------------------|
| 工 法 | 泥土圧シールド工法                        |
| 延 長 | 885.25m                          |
| 口 径 | 仕上がり内径φ1350mm<br>セグメント内径 φ1850mm |
| 曲 率 | 25R 2ヶ所<br>100R 1ヶ所<br>190R 1ヶ所  |
| 軌 間 | 610mm（作業車輛用）                     |

表-2 実証現場工事概要

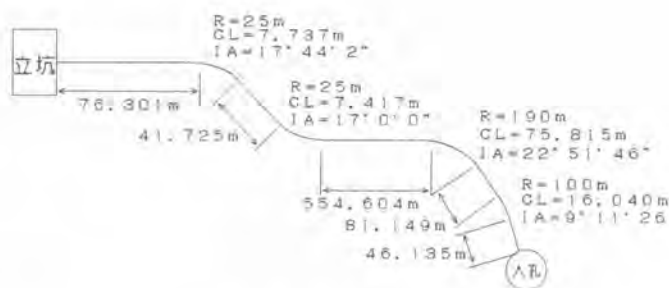


図-5 計画路線平面図

（実験結果）

器械点を3回盛り替えて自動測量を行ったときの誤差はXY軸ともに20mm以内に収まっており、本ロボットの設計仕様を満足していることが確認された。誤差の傾向としては、軸方向より軸直角方向の誤差が大きいことが認められるが、これは測距誤差よりも測角誤差が要因として寄与しているためと推測される。自動測量結果を図-7にまとめる。

測量に要する時間は延長250mで約30分と、本ロボットの設計仕様である約1時間以内の目標を達成した。内訳は、1器械点あたり約5分（対回計測）で3器械点当たり約15分間、器械点間の走行時間が約250mで約8分間、データの送受信が約7分間であった。延長250mは、坑内の後方基準点からシールド機までの距離である。掘進が進むにつれ後方基準点は盛り替えられるので、施工期間にわたってこの距離は大きく変化しないものと考えられる。よって、今回得られた計測時間は運用中の目安として捉えることができる。

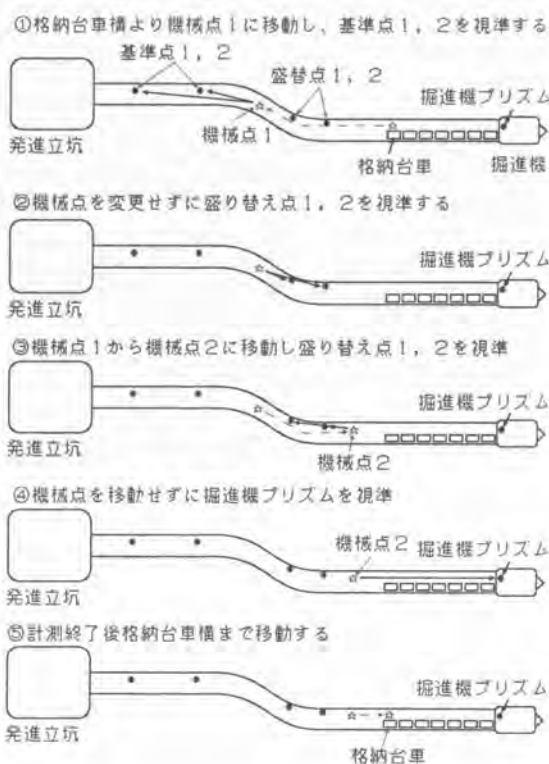


図-6 実証現場における自動測量手順

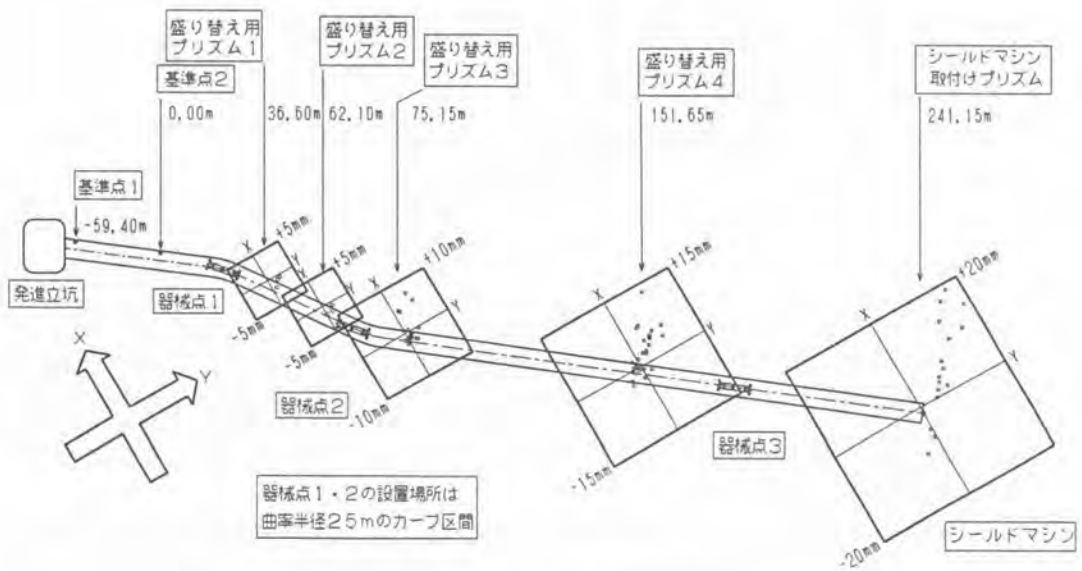


図-7 自動測量結果のまとめ

## 6. おわりに

今回報告したロボットは、自動測量研究会で開発されたものである。この研究会はゼネコン18社、メーカーなど7社で構成され、施工の自動化、省力化にかかわる技術を開発することを目的として運営されている。

今後は、引き続きシールド工事へ本ロボットを導入し計測技術の改良と実用化に取り組む予定である。

共同開発参加会社（五十音順）：

(株)青木建設、(株)浅沼組、(株)新井組、奥村組土木興業(株)、小田急建設(株)、(株)クボタ建設、  
 大都工業(株)、大日本土木(株)、日産建設(株)、不動建設(株)、(株)松村組、三菱建設(株)、(株)森本組

# 13. ガントリー台車を利用した掘削ワークステーション

(北陸新幹線小田井トンネル西工事)

日本鉄道建設公団： 山岸 明

(株)奥村組：\*五十嵐 勉・萩原 靖俊

## 1. はじめに

早期閉合が望まれるインバートコンクリートを伴う土砂トンネルの場合、これまでスライド栈橋、トレンローダー等の設備を利用して極力、切端からの離隔距離を短縮する努力がなされてきた。しかし、掘削機械設備の多様性、また職制からくるいわゆる“後向き”と言う言葉で代表される施工の優位序列から、その離隔距離は伸びる傾向にあり、インバートコンクリートから切端間の走行路盤の維持には多大の労力と経費を必要とした。

これらの問題点の解消を図ると同時に、地山の緩みを極力防止し、早期閉合を行うために、切端からインバートコンクリートまでの離隔距離をガントリータイプの掘削搬出設備によって固定することとし、また切端周辺機械設備のガントリー上への搭載を図ることによって、機械入れ替え時の複雑性、及び危険性の低減を図ることとした。

この結果、ガントリー内で掘削からインバートコンクリートまでの一連の作業の集約化がなされ、切端周辺設備の簡素化、及び現場管理上多大な効果があったので、ここに報告する。

## 2. 工事の概要

北陸新幹線(高崎～長野)は、98年長野冬季オリンピックへの共用を目指して、現在鋭意施工中である。小田井トンネルは長野県小諸市の南東で浅間山南麓の裾野、佐久市内に位置しており、この内、当工区は山岳トンネル区間(NATM)818m、開削トンネル区間532mを含む1,350mを担当し、山岳トンネル区間は昨年2月28日に掘削を開始し、本年同日に無事貫通式を迎えている。



図-1 北陸新幹線路線図

・工事名称 北幹 小田井T(西)

- ・発注者名 日本鉄道建設公団北陸新幹線建設局
  - ・工 期 平成5年6月29日～平成8年4月28日
  - ・施工業者 奥村・不動・大木特定建設工事共同企業体
- 小田井トンネルは千曲川沿いに発達した扇状地の中間部に位置し、浅間山火山性噴出物である第一軽石堆積層を掘削の主体としている。透水係数は $10^{-4}$  cm/sの中位の値、N値は30～50と良好な固結度を示し、乾燥状態では自立性に富むものの、スコリヤ、軽石を含み細粒分の少ない火山灰より構成されており、湧水による崩壊性の高い地質と判断した。

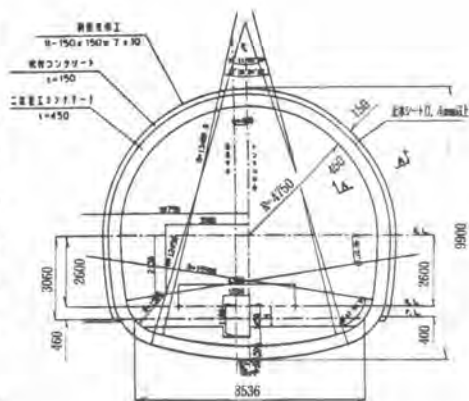


図-2 標準断面図

トンネルの平均土被り16m（最大20m、最小4m）で土被り1.6を示す。直上部分は田畑、果樹園が大半を占めるが、一部で上信越道佐久インターへのアクセス道路下を横断し、周辺にはガソリンスタンド等を抱える。

地下水位はGL-4.5mで記録されているため、事前検討からデープウエル（片側50m間隔、25mの千鳥配置）を全線に互り採用することとした。デープウエルは掘削の対象となる第一軽石堆積層が比較的、水の抜けにくい層であることから、下部に連なる塚原泥流層（ $10^{-1} \sim 10^{-2}$  cm/s）の水位を下げることを主眼として深さ（平均42m）を定めた。

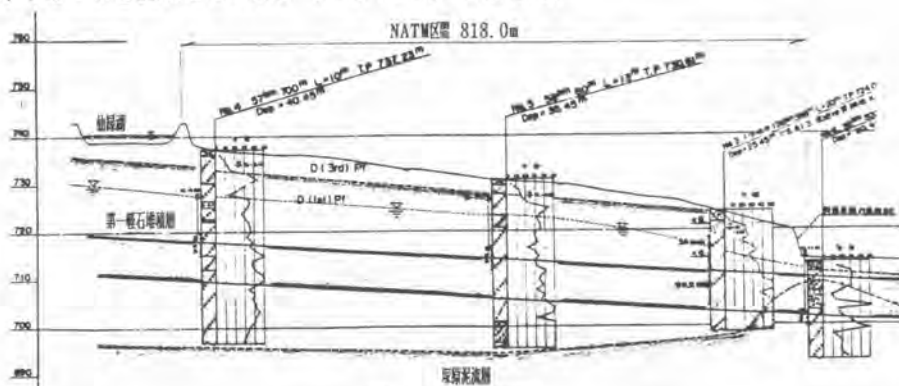


図-3 地質縦断面図

### 3. 掘削ワークステーション概要

デープウエルにより地下水位低下は図るものの、残留水位による路盤の泥寧化は避けられないものと考え、ガントリー台車を利用した掘削ワークステーションを開発・採用することとした。

以下、開発条件、概要を示す。

- ①ガントリー 上半盤に前部ガントリーを、インバートコンクリート上に後部ガントリーを設置し、中間をトラス鋼材により構成し、諸設備の積載を可能とする。
- ②上半作業 下半ベンチによる水切り効果を有効に利用するため、ベンチ長は極力、短くする。また、湧水時の上半盤の泥寧化を防ぐために、掘削機械は車体重量の軽い設備（カッタ

ローダーCL101)とする。

- ③下半作業 下半切端とインバート間は極力、短いものとするが、作業性を考慮し、15m程度を標準とする。掘削は同一機械(0.7m<sup>3</sup>バックホウ)で行うようにする。
- ④インバート 中央通路を含む型枠は、ガントリー台車から懸下し、移動できるようにする。
- ⑤ずり出し トレンローダー方式とする。ベルコンはガントリー台車に設置したモノレールで懸下し、前後へ移動することにより、上半掘削ズリを直接積込める構造とする。
- ⑥走行方式 前部ガントリーを油圧クローラー方式とし上半盤で走行し、後部ガントリーは車輪のみとする。方向制御はクローラー部に設けた修正ジャッキによりおこなう。
- ⑦高さ調整 上半盤の不陸に伴う高さ調整は後部ガントリーに設置した光電管により行うものとし、このための高さ修正ジャッキをガントリーとクローラー間に設ける。
- ⑧資材搬入 後部ガントリーから上半盤まで、両側に設けたテルハークレーンにより行う。
- ⑨掘削設備 ドリフター(2基)、マンゲージ(2基)、吹付け用マニピュレーターを前部ガントリーに搭載する。また、吹付け機は後部ガントリー付近に搭載する。
- ⑩換気設備 換気は給排気方式とし、排気用としてφ1200軸流ファンを台車上部レール上に設置する。レール(28m)を利用することにより、風管の接続作業の簡便化を図る。

表-1 装備一覧

|         |   |
|---------|---|
| メインフレーム | H=8.0m L=50m 油圧クローラー式走行                 |
| 主要装備    | チャージングジャッキ(2基)                          |
|         | 2.8t電動チェーンブロック付トロリスライド装置(2基)            |
|         | HD75ドリフター(2基)                           |
|         | トレンコンベヤー(B=1.05m L=27.5m 懸下スライド装置付き)    |
|         | インバートスライドセトル(中央懸下付き L=5.25m)            |
| 搭載設備    | 吹付け用マニピュレーター(1基)                        |
|         | 吹付け機(アリバ-280)                           |
|         | 排気用送風機(φ1200軸流ファン 55kw×2)<br>400kvATランス |

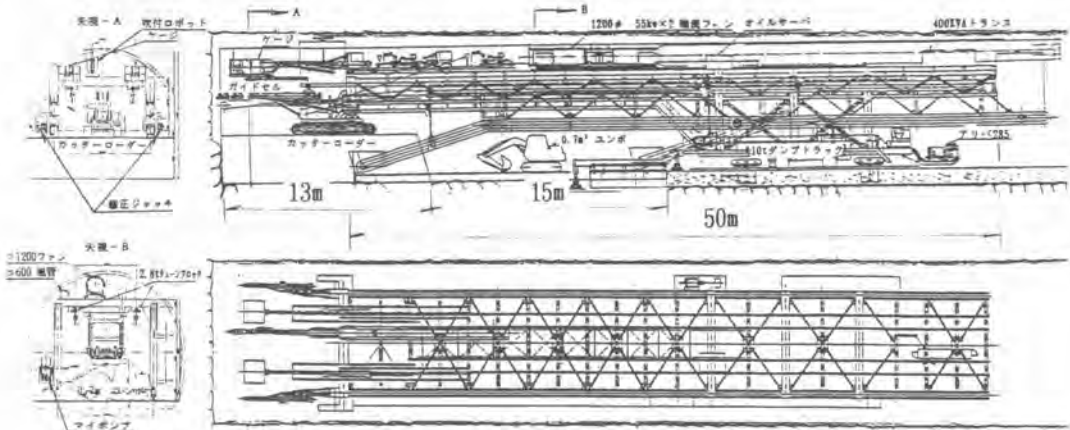


図-4 ガントリー台車概要図

#### 4. 施工実績

表-2 施工実績一覧

|                      |       |                             |           |
|----------------------|-------|-----------------------------|-----------|
| 工 区 名                |       | 北幹・小田井T (西)                 |           |
| 延 長                  |       | 818.0m                      |           |
| 掘削機械                 | 上 半   | カッターローダー (CL101)            |           |
|                      | 下 半   | 0.7m <sup>3</sup> バックホウショベル |           |
| 搬出機械                 |       | トレンローダー                     |           |
| 上半からインバート<br>までの離隔距離 |       | 平均25m                       |           |
| 進 行                  | 日 進   | 平均 3.8m                     | 最大 7.0m   |
|                      | 月 進   | 平均87.4m                     | 最大115.0m  |
| 変 位                  | 土 被 り | 平均16.0m                     |           |
|                      | 地表面沈下 | 平均16.2mm                    | 最大 30.0mm |
|                      | 天端 沈下 | 平均12.8mm                    | 最大 27.0mm |
|                      | 内空 変位 | 平均 6.0mm                    | 最大 17.0mm |
| デンプウエル稼働日数           |       | 一本当たり100日                   |           |

#### 5. あとがき

上述したようなガントリータイプ掘削ワークステーションを用いることによって、上下半掘削作業からインバートコンクリート作業まで、一体となった施工形態を得ることができた。また、機械入替え時に伴う危険性もかなり低減でき、かなりの効果が得られたものと判断している。反面、コンクリート作業に掘削作業が影響を受ける等の問題点もあり、台車の剛性を考慮して、バックホウ稼働範囲を広くとる必要があったことを今後の課題としている。

最後に新しい試みにもかかわらず、指導・御協力戴いた関係各位に誌上を借りて御礼申し上げます。

山岸 明<sup>1)</sup> 日本鉄道建設公団北陸新幹線局佐久鉄道建設所元所長

五十嵐 勉<sup>2)</sup> 奥村・不動・大木 小田井トンネル共同企業体所長

萩原 靖俊<sup>3)</sup> 奥村・不動・大木 小田井トンネル共同企業体機電課長

## 14. シールド総合管理システムの開発と適用

清水建設(株)： 菊池 雄一・後藤 徹  
\*藤井 攻

### 1.はじめに

現在のシールド工事のように各設備の自動化・機械化が進んでくると認識する情報量は膨大になり従来の個別システムでの対応では制御の遅れや誤操作、異常発見の遅れが生じてしまう。このような弊害を回避するために各種情報の統合と制御の集約化を実現させることが必要不可欠になってきている。

シールド総合管理システムとは、全てのシステムをパソコン間のネットワークで結び統括管理することによってこれまで個別に行われていた各設備の操作・監視を1つのシステムにまとめることにより、情報の一元化と操作の集約化を可能とし、施工管理の高度化をめざしたシステムである。

(図-1)

### 2.システム構成

#### 2.1ハードウェア構成

本システムは処理装置としてのパーソナルコンピュータ（PC）、各設備（シールドマシン、泥水輸送、泥水処理、裏込め装置、セグメント自動搬送システム、自動労務管理システム、ガス検知システム）のシーケンサ（PLC）と総合管理システムのPCを接続するためのイーサネット用拡張ボード、イーサネットに対応していないPLCに対してのRS-232C用拡張ボード、LANシステムを構築するためのハブ、電話回線を使用して外部端末から情報監視するためのモデムから構成されている。図-2にシステムの構成例を示す。

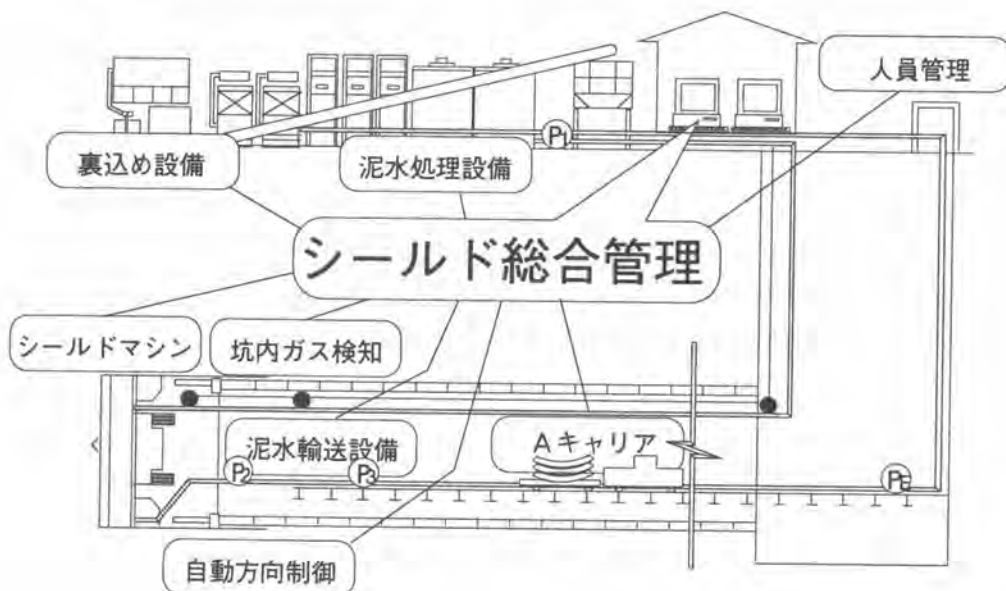


図-1 システム概念図

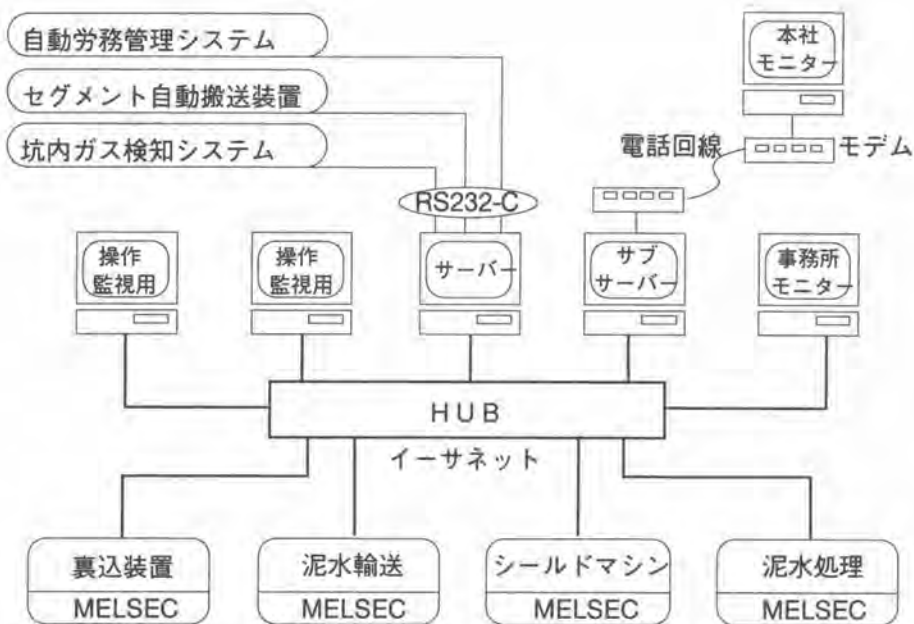


図-2 システム構成図

## 2.2ソフトウェア構成

システムを稼働させるソフトとしてはwindows上で動作するリアルタイム監視・制御画面作成ソフトを使用した。これは大きく分けて監視・操作モジュールと画面作成用モジュールとから構成されている。通常は監視・操作用モジュールを使用し、画面の修正・変更時は画面作成用モジュールを使用する。ソフトウェアの構成は図-3のようになる。



図-3 ソフトウェア構成

## 2.3画面構成

画面構成はメイン画面を中心に、通常の掘進管理に必要な最低限の情報をここに集約させている。このメイン画面の下に各設備の操作・監視画面を作り、設備の詳細情報を知りたい場合には画面を切り替えて情報を得る。さらに設備ごとに警報画面を設けて、ここで異常や故障の詳細を知ることが可能である。常時監視しているメイン画面では設備ごとの警報を表示している。

## 3.システム適用の結果

### 3.1情報の一元管理

掘進開始時刻、終了時刻、リングナンバー等これまで各設備でそれぞれ管理していたため、違いが生じていたが本システムではこれらの情報を定義し、統一した。それにより従来のような設備間の複雑なデータ交換の必要がなくなりデータの共有化が簡単に行えるようになった。



### 3.2 システムの簡素化、汎用性の向上

従来の設備ごとのシーケンスロジックはそのまま使用し、各設備のマンマシンインターフェイス(MMI)を構築することにより各設備の操作・監視を行った。これにより、煩雑な処理を省くことができ、システムの簡素化が可能となった。また、市販のソフトウェアを使用することにより大幅な開発費の低減、システム構築の時間短縮が可能となり、汎用性という面でも柔軟なシステムになった。(図-4)

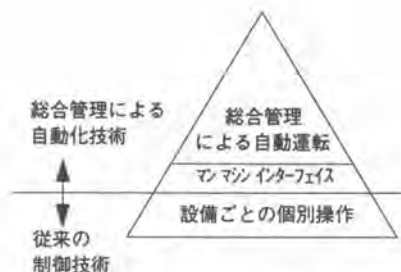


図-4 システムの簡素化

### 3.3 データ転送の高速化

データ転送にはイーサネット(10Mbps)を使用し、PCとPLCを直接イーサネットで結ぶことにより、伝送速度と応答速度の向上を計った。応答速度に関してはシールドマシンを例にとると、扱うデータ数がアナログ信号約240点(1点は16ビット)、接点信号約1000点で1秒前後と、十分実用に耐えるものであった。

### 3.4 音声による警報

故障信号や各種情報(送排泥流量、送排泥圧力、切羽水圧、注入流量、注入圧力、調整槽比重、受槽水位など)に上下限值や重要度を設定し、これを越えた場合に異常とみなし、画面表示とともに音声警報によってオペレータに知らせるため、異常の早期発見と迅速な対応ができるようになった。

### 3.5 遠隔監視

PCにモデムをつなぎNTT回線(デジタル回線)を使うことにより本社端末から各設備の稼働状況がわかるようになった。今回は安全性(誤操作による設備の運転)や情報量を考慮して、工事の流れが把握できる程度の情報をピックアップして端末から監視することにした。

今後は端末からの掘進データの取り込みや入坑管理用登録データファイルの変更などが行えるように考えている。

## 4. 適用事例

### 4.1 工事概要

以下に、本システムを導入した工事の概要を示す。(表-1)

表-1 適用現場

| 工事名                          | 工法  | 掘削距離  | 土被り    | 掘削外径    |
|------------------------------|-----|-------|--------|---------|
| 東京ガス<br>扇島シールド               | 泥水式 | 1448m | 26~56m | 9080mm  |
| 東京湾横断道路<br>川崎T浮島南工事<br>(その1) | 泥水式 | 900m  | 平均15m  | 14140mm |

### 4.2 掘進管理状況

例として東京湾横断道路の中央管理室の写真と操作画面の一部を示す。(写真-1, 2)

東京湾横断道路では総合管理用モニターとして40インチプロジェクター4台、坑内監視用モニターとして29インチモニター6台を使用してガス検知、掘削量管理、自動方向制御、組立ロボット監視、入坑管理、セグメント搬送も同時に監視している。

両現場に共通して発生した問題としては3.2で述べた考えのシステム構築のため、通常の運転には支障ないが、初期調整時、トラブル発生時に一部対応できない場合（油圧ポンプ、バルブの開閉などの個別操作）が生じたことである。これはシステム構成上やむを得ないが、今後これらについても検討、対処する必要がある。

2現場で行った改善点は次のようなことである。

#### ①通信速度の向上

総合管理専用のアドレスを各設備に用意し、データを読み書きするアドレスを1カ所に集めた。これによりデータ転送の回数を減らす事ができ、通信速度が向上した。

#### ②データ取り扱いの統一

アナログデータは必要のない限り各設備でリミッターをかけてもらい、分割数0~4000で取り扱い設定値（ジャッキ速度、テールシーラー打ち込み時間）などはパルス数やパルス長で判断するのではなく、数値データで扱うようにした。

### 5.今後の課題

本システムのこれからの課題としては次のようなことが挙げられる。

#### 5.1収集データの管理、保存

現在のシステムはwindows上で動作するソフトを使用しておりデータの収集、変換も容易である。今後はこのデータを掘進状況の分析、材料管理、データの変換、グラフ作成など広い範囲でデータを活用できるようにし、シールド計画の貴重な資料として利用できるようにしたい。

#### 5.2システムの標準化

今後、このシステムを多くの現場に導入するためには設備ごとに共通するデータと固有のデータに分け、データをグループ化し、操作方法や数値設定なども統一してシステムの標準化を目指す必要がある。

#### 6おわりに

本システムの導入によりシールド工事の全体的な状況監視、及び操作ができることが実証できた。今後はこのシステムをさらに操作性の良いものにし、コストダウンをすすめて多くの現場に適用していきたい。

最後に本システムの開発に協力していただいた応用技術㈱ならびに現場適用に御協力をいただいた関係者の皆様に深く感謝いたします。



写真-1 中央管理室

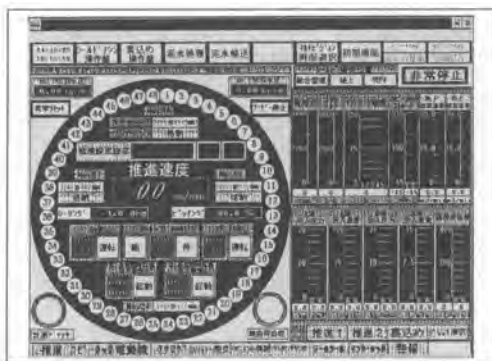


写真-2 操作画面

# 15. 複合円シールド工法用掘進管理システムの開発

鹿島：玉井 達郎・樋口 安夫  
\*柴田 学

## 1. はじめに

複合円シールド工法は、複数の円形断面の一部分を重ね合わせて掘進するもので、鉄道、道路のような大断面シールドトンネルを経済的に構築出来る工法として、今後の地下開発に大きな役割を担うものと考えられている。

大阪市交通局地下鉄第7号線の大阪ビジネスパーク駅の建設工事は、この工法による世界初の3連シールドトンネルの一括施工で実施した。本駅は大阪ビジネスパーク地区の一角に位置するIMP (International Market Place) ビルの直下に建設され、ホーム階を幅 17.3m 高さ 7.8 m の3連MF (Multi-Circular Face) シールド機で 107m の掘削を行い構築した。

本工事にあたっては、3連MFシールド機、流体輸送・裏込め注入設備などのハード面、また施工法などのソフト面について数多くの項目を開発する必要があり、モデル機、モデル設備による実証実験を行った。その実験によりシールド機の姿勢制御、切羽安定制御、裏込め注入方法など貴重なデータを得る事ができ、実工事のシールド設備の設計や施工計画への組み込みを行なった。また、一般のシールド工事と同様の管理項目もありに特に直下を通過するIMPビル、下水幹線などの近隣構造物に影響与えないよう細心の施工管理が必要であった。



写真-1 シールドトンネル全景

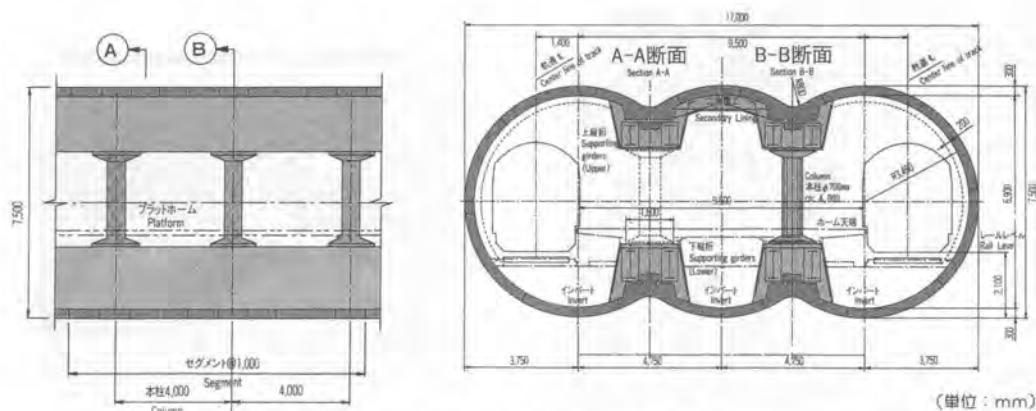


図-1 シールドトンネル構造図

## 2. 開発の目的

複合円シールド工法では、切羽の特殊な形状、大掘削断面積の施工に対応した能力を持つシールド機、泥水輸送設備、泥水処理プラント、裏込め注入設備を設置し、精度良く安定した施工を行うために、通常のシールド工事の施工管理のほか工法特有の施工管理も必要となる。また、多数の機械設備の運転を行う運転員の負担を軽減するために、分かりやすく、操作しやすい運転環境を整え、異常時でも迅速、的確に処置可能な運転システムが必要となる。

本開発では、3連シールドの実験工事をもとに計画した設備の設計、施工計画に合致するシステムの構築を実施した。開発項目を下記に示す。

- ① 3連シールド工事の施工管理に必要なデータ処理のツール化
  - ・姿勢・線形管理：掘進軌跡、シールド機姿勢による線形管理  
セグメント組立に悪影響のない姿勢管理
  - ・掘進管理：3つのチャンパーの切羽の安定を維持する掘進管理
  - ・裏込め注入管理：4カ所からの同時注入の注入管理方法
- ② 通常シールド工事の3倍の規模を持つ仮設備の運転管理を統合する。
- ③ 運転設備を統合化して効率的な運転環境にして運転員の負担を軽減する。
- ④ セグメント組立状況を地上操作室で把握可能とする。
- ⑤ 蓄積したデータの解析用に通常のパソコン、汎用ソフトが使えるようにLANで結合。
- ⑥ セグメント組立支援のCADシステム、現場計測システムへ必要な計測データを自動転送する。

## 3. システム概要

3連シールド工事に用いる運転・施工管理用システムとして、すでに開発、実用化し実績を上げている単円用のシールド総合施工管理システムを大幅に拡張し、3連シールド工事の大規模な設備を集散的に運転・管理するシステムを構築した。

本システムの最大の特長は、通常のシールド工事のほぼ3倍の大量の入出力データをリアルタイムに処理し、3連MFシールド機の運転、流体輸送設備、泥水処理設備、裏込め注入設備の全ての運転、監視を集中してリアルタイムに中央制御室（写真－2）で一括して行えるところにある。

構成は操作パネル3面、制御ステーション2面（制御ステーション内に収納）、管理用コンピュータ2台で構成している。図－2に構成図を記す。

シールド機、泥水処理設備、流体輸送設備、裏込め注入設備とは、制御ステーションを介して接続している。現場計測用ワークステーション、CADとの通信はシリアル通信（RS232C）で行い、解析用パソコンとは、LAN（イーサネット）で結合している。

管理用コンピュータは、施工中データの保管、加工を行い線形管理、掘進管理の管理グラフ、



写真－2 中央制御室操作状況

計測数値の画面表示や帳票の打ち出しを行う。さらに、施工データを計測用ワークステーション、CADシステム、解析パソコンに転送することにより解析結果から、施工管理に有効なデータを迅速にフィードバックできる構成にした。

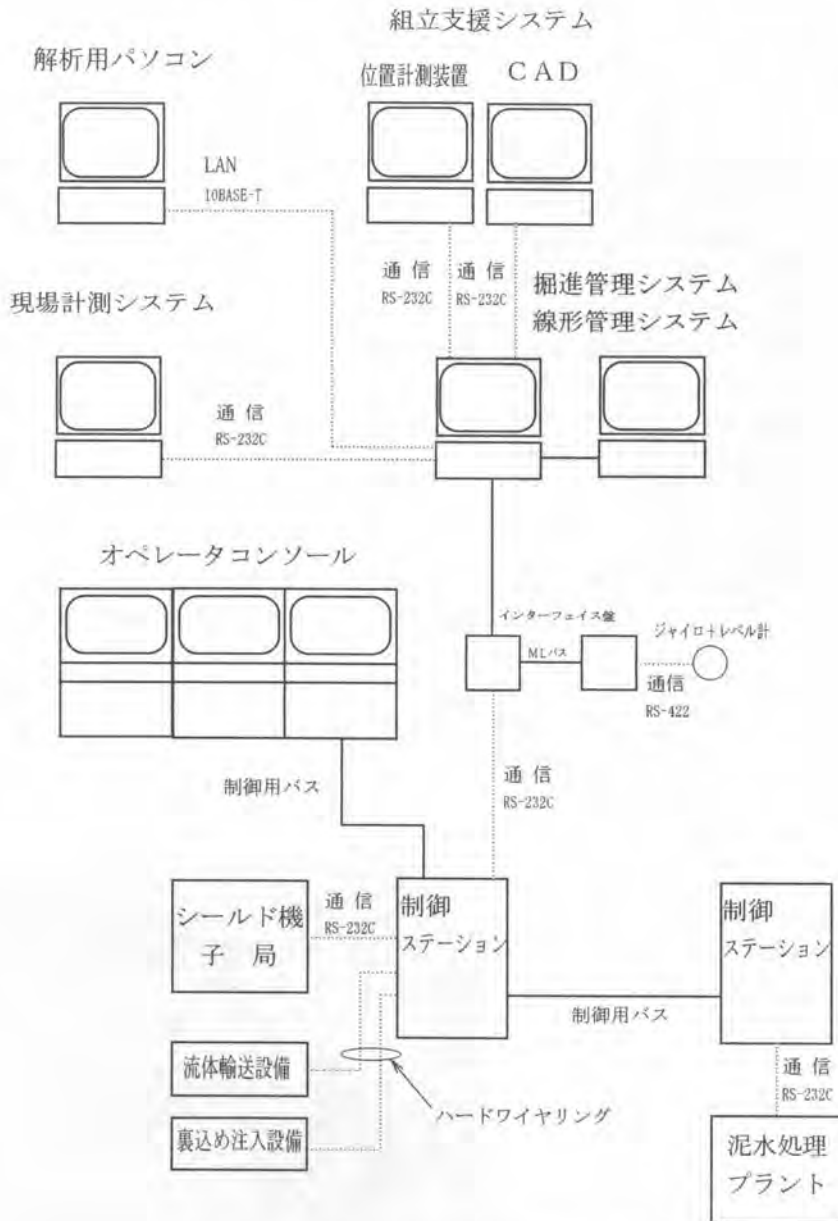


図-2 3連MFシールド総合監視システム構成図

#### 4. 掘進管理システムの管理機能

本掘進管理システムの開発で作成した運転機能、施工管理機能について概略を述べる。

##### (1) 運転機能

3連MFシールド機、3系統の流体輸送設備、3系統の泥水処理設備、4系統の裏込め注入設備の操作を3面のタッチパネルで運転を行う。各設備ごとに表-1の画面を作成した。

運転用画面は、設備ごとに一画面の中に入れ、分かりやすく操作の容易な配置になるよう設計した。製作した総画面数26面を3面のタッチパネルに切替え表示にし、通常の運転時には、シールド機ジャッキ操作画面(写真-3)、流体輸送設備(写真-4)、裏込め設備(または、泥水処理設備)を表示し、極力画面の切替えを少なくするようにした。特に流体輸送設備と連動自動運転については、シーケンス上の条件が多いので、条件の不成立による制御の渋滞理由を直ちに把握することが可能な監視画面も用意した。

表-1 運転用画面内訳

|         | 操 作 | 監 視 | 警 報 | 設 定 |
|---------|-----|-----|-----|-----|
| シールド機   | 3   | 4   | 1   | 3   |
| 流体輸送設備  | 3   | 2   | 1   |     |
| 裏込め注入設備 | 2   |     | 1   | 1   |
| 泥水処理設備  | 1   |     | 1   | 1   |
| 連動自動運転  | 1   | 1   |     |     |



写真-3 ジャッキ操作画面

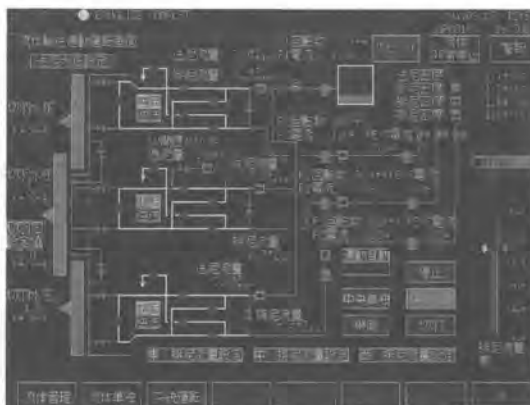


写真-4 流体輸送設備操作画面

##### (2) 線形管理機能

このシステムでは、シールドの躯体の計画線形=掘進計画線として線形管理を行う。今回の3連MFシールド機では、中央カッターフェイスの中心先端とマシン中心の後端点を結ぶ線と掘進計画線の離れ量の現在値と軌跡の表示を行う。施工ではその値、傾向により掘進計画線に沿う様に掘進を行い線形管理を行う。また、東西両側のトンネル部分の掘進線形は、ローリング、ピッチングを計画値になるように運転を行う事により管理を行う。特にローリングに関しては、東西の線形に悪影響を及ぼすほかに、シールド機とセグメントのクリアランスがなくなりセグメントの組立が難しくなるので、

より厳しい姿勢管理が必要であった。そのために一般的な傾斜計では精度不足となったのでシールド機東西両側に水張り式のレベル計を設置しその値をもとに管理した。

また、姿勢に影響を与えるジャッキパターンによる水平・鉛直モーメント、カッター回転トルクも表示している。



写真-5 線形管理画面

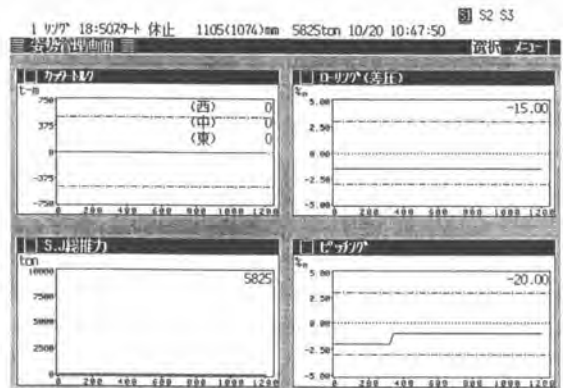


図-3 姿勢管理画面

### (3) 掘進管理機能

本システムでは掘進中の切羽地山の崩壊、逸水などの切羽状況を送・排泥水の流量、密度により計算した偏差流量、乾砂量の値や変化を監視することにより把握して、安全な掘進を可能にする。

また、掘進速度に応じた裏込め注入が設計通りの注入圧、注入率で確実に実行されているか監視することにより周辺地山への悪影響を無くす。

下記の画面を使用し掘進管理を行った。

#### ① 掘進管理画面

総合の偏差流量、乾砂量の管理用グラフ、切羽水圧、送排泥流量、送排泥密度などの表示

#### ② 偏差流量個別グラフ

総合、東・中・西各チャンバーの偏差流量の管理グラフの表示

#### ③ 乾砂量個別グラフ

総合、各チャンバーの乾砂量の管理グラフの表示

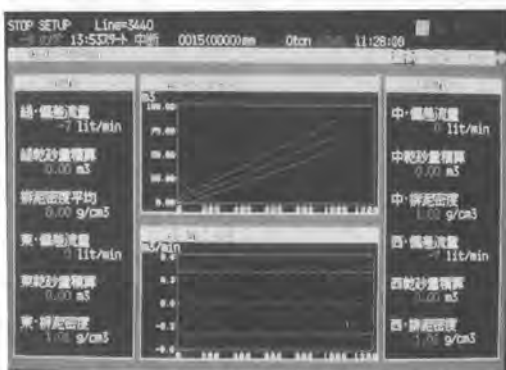


写真-6 掘削管理画面

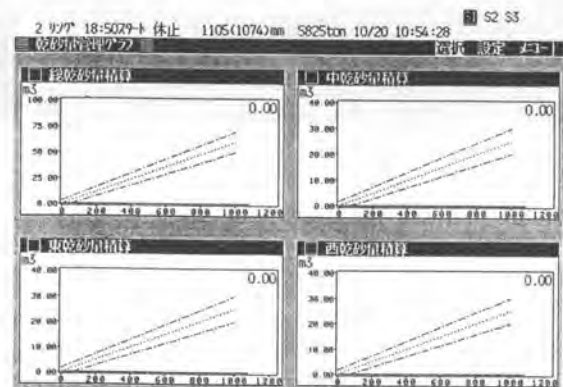


図-4 乾砂量個別管理画面

#### ④ 裏込め注入管理用画面

総合の裏込め積算注入量、注入率、注入圧の管理用グラフ、各注入ポンプ流量表示

#### (4) 監視機能

##### ・セグメント組立監視画面

本工事のシールド機のセグメント組立装置は、手動であるが組立が長時間に渡ることから地上での組立状況を把握する必要があった。画面からは現在のセグメントの組立位置の表示と3台のエレクトラ機器の動作状況を表示した。



写真-7 セグメント組立監視画面

#### 5. 保存データの解析例

偏差流量の解析例を記す。

掘削断面積 117.37m<sup>2</sup>で偏差流量が±0.3 m<sup>3</sup>/min以内で推移して安定した掘進が行われていることがわかる。このグラフは管理コンピュータに保存したデータをLANを経由して解析用パソコンにより取り込み解析したものである。

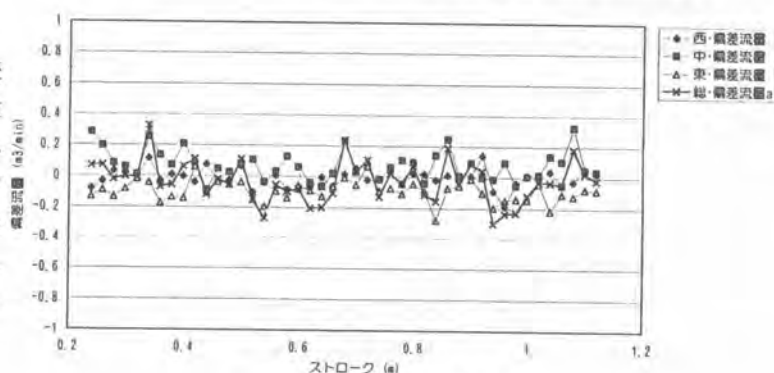


図-5 偏差流量グラフ

#### 6. 効果

本システムの開発の効果を記す。

- ①特殊な大断面のシールド工事においても数値に基づいた科学的な施工管理ができ、安全で安定した施工が可能になった。
- ②施工における様々な現象を数値、グラフから把握でき、それを元に検討を行うことができトラブルを未然に防ぐことが出来た。
- ③多数の設備、機器の運転を通常2名で行うことができ、運転員に対する負担も少なかった。
- ④解析用パソコンを事務所内に置くことにより迅速に解析を行えるようになり効率的な施工管理が可能になった。

#### 7. 今後の課題

本工事のシールド機の姿勢制御は、姿勢制御実験により作成した姿勢制御方案により運転を行った。今後、本施工より得たデータをもとに姿勢制御の自動化を進める。また、全体的な機能を更にブラッシュアップを図り、本システムを複合円シールド工法の総合施工管理システムとして標準化を図っていく。

#### ※参考文献

葛野 高崎 植林 山田、「大阪城の北を抜くMFシールドの施工計画」

大阪市地下鉄第7号線大阪ビジネスパーク駅、トンネルと地下 1994.11 土木学会 他



## 16. シールド機の圧力制御推進方式による大断面、大深度工事の施工

飛島建設(株)：西 明良

### 1. はじめに

シールド工法は、密閉型シールド機の発達により、適用土質の拡大、施工の信頼性、安全性が飛躍的に向上し、長距離、大深度、大断面化が進んでいる。反面、作業員の高齢化、熟練者の不足が深刻化し、また、近年工事コスト低減の要求から、高品質化はもとより、省力化、合理化を同時に実現できる実用的な技術開発が注目されている。我々は、トンネル覆工品質の向上を第一の目的に、操作の簡易化と将来の急速施工への対応などを考慮したシールド機の圧力制御推進方式による方向制御システム「FLEX」を開発し、実用化を進めてきた。今回、大断面、大深度である東京湾横断道路工事、元宮支線下水道整備工事への適用により、ほぼ全タイプのシールド工事への検証が完了したため、その有効性について述べる。

### 2. ジャッキ選択システムの課題

シールド機の姿勢制御は、計画線との偏差を修正するような推進ジャッキの作動パターンを選択することにより行っていた。すなわち、複数の推進ジャッキのうち、修正動作に適した作動ジャッキを過去のデータなどを参照して選択し、さらに1～2本のポイントになるジャッキを選択して、作動、停止させることにより微調整を行っていた。これには以下のような問題がある。

- ・一旦停止させた推進ジャッキは既設セグメントからはずれるため、再び作動させる場合には、その推進ジャッキがセグメントに当たるまで掘進を停止させなければならず、進行の妨げとなる。
- ・ジャッキパターンの選択では、制御が個々のジャッキのオン、オフによる段階制御となり、さらに、上下左右以外のジャッキのオン、オフでは、水平と鉛直の両方向の操作量が同時に変化するため、高い掘進精度を期待できない。
- ・上記の理由からPID制御等の一般的なフィードバック制御システムが適用できず、過去のデータに基づく統計判断やオペレータの経験判断を必要とする複雑な制御システムになる。
- ・ジャッキパターンの選択には経験技術が必要であり、オペレータの技量によりトンネル覆工品質にバラツキが生じる。

### 3. 圧力制御推進方式の開発

#### 1) 概要

以上の課題を解決するため、推進ジャッキの圧力を制御する新しいシールド機の推進方式を開発した。この方式は、図-1に示すようにシールド機の推進ジャッキを複数のグループに分割し、目標方向に向かうように各グループのジャッキ推力をリアルタイムに無段階に制御するものである。これには以下の

特徴がある。

- ・推進ジャッキの合力の作用点を表すジャッキ操作点の入力により容易に目標方向が設定できるため、経験の浅いオペレータでも正確にシールド機の姿勢を制御できる。
- ・常に全ジャッキ推進となるため、作動ジャッキの追加による停止がなく、効率的に掘進できる。
- ・なめらかな一定勾配により推力を設定するため、セグメントに偏加重をかけない。
- ・水平方向と鉛直方向の姿勢を独立して制御できるため、PID制御などの一般的なフィードバック制御により容易に自動化できる。
- ・ジャッキ推力を広範囲に制御できるため、姿勢制御能力が高く、急曲線にも対応できる。

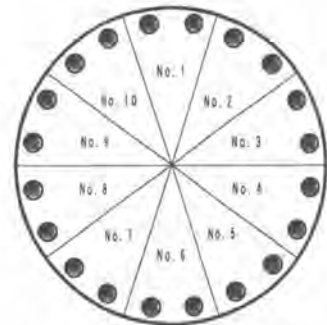


図-1 グループの分割例

## 2) 必要総推力の検出制御

推進ジャッキの圧力制御は、圧力調整弁の使用により容易に実現できるため、早い時期からシールド機の方角制御に利用することが提案されていた。しかし、地盤を切削し、土砂を取り込みながら推進するシールド機の場合、地盤の堅さや土砂の取り込み状況、さらに構築したセグメントの拘束状況により推力は刻々と変化するため、実用化には至っていなかった。

本方式では、設定されたジャッキ操作点から各グループが負担する推力の割合（以下推力分担とする）を求め、それを維持しながら、常にその合計値がシールド機の現在の必要総推力に一致するよう制御することにより解決した。以下、図-2により制御の手順を示す。

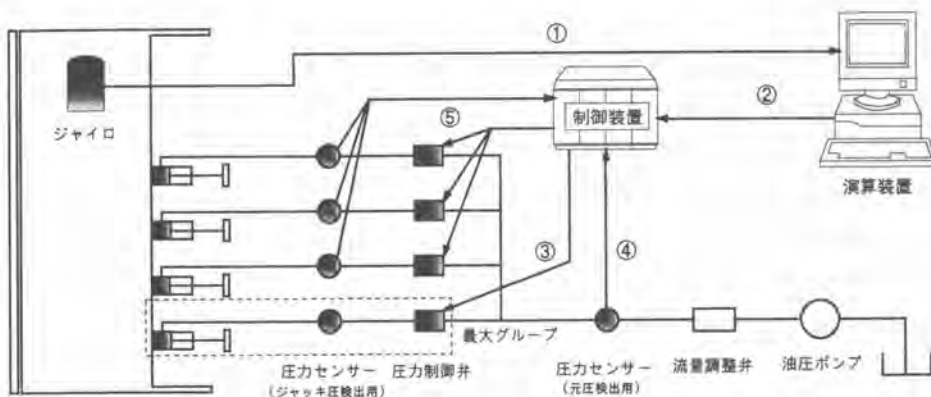


図-2 ジャイロによる自動方向制御の手順

- ①ジャイロによりシールド機の現在の掘進姿勢を計測する。
- ②目標方向との偏差を演算し、それを修正するジャッキ操作点とそのジャッキ操作点に見合う各グループの推力分担を計算する。
- ③上記で求めた推力分担の内、最も大きいグループの圧力調整弁を規定の最大圧力値に設定し、推力検出用グループとする。
- ④シールド機を所定の速度で掘進させ、全推進ジャッキに共通に油を供給するポンプの元圧を検出して、このときのシールド機の必要総推力を求める。
- ⑤推力分担と検出した必要総推力から最大圧力に設定したグループ以外のグループの目標推力を演算し、その推力を維持するように各グループの圧力を制御する。

以上を連続的に繰り返すことにより、シールド機は、姿勢修正のための推力分担を維持しながら、必要総推力になるように制御される。

### 3) 推力分担の算出法

ジャッキ操作点から各グループの推力分担の算出法について、10グループを例に説明する。図-3のジャッキ操作点から、 $\theta$ 方向を最大とした $r$ の勾配の円筒状の推力分布を定義する。各グループの推力分担( $P_i$ )は、そのグループが配置される位置の値を採用することにより求める。

### 4) ジャッキ操作点の算出法

推進ジャッキの合力の操作点を表すジャッキ操作点( $r, \theta$ )は、図-4のシールド機の水平方向と鉛直方向の目標方向に対する偏差( $\theta_x, \theta_y$ )から求めることができる。本システムでは、PID制御演算式を用いている。

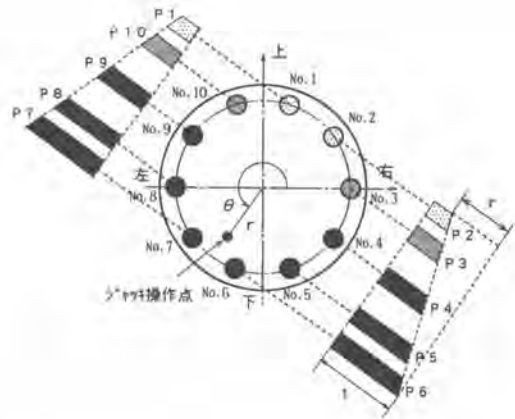


図-3 各グループの推力分担の算出法

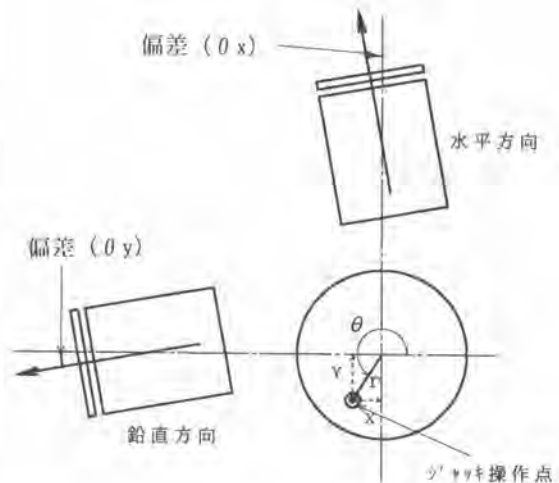


図-4 ジャッキ操作点の算出法

## 5) 油圧システムの検討

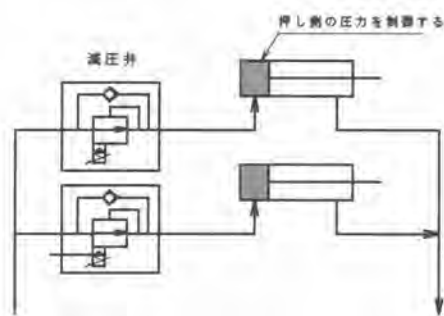


図-5 メータイン方式

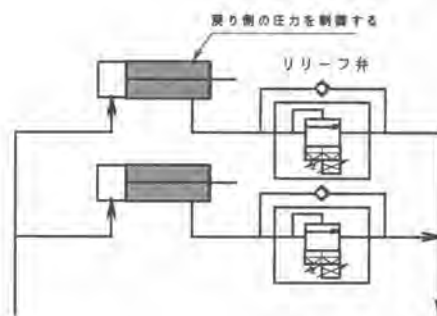


図-6 メータアウト方式

圧力の制御には、ジャッキの押し圧を制御する図-5のメータイン方式と、戻り圧を制御する図-6のメータアウト方式がある。メータイン方式は、推進側に圧力制御機構を直接設けるため、地山圧力の変動などの外的要因による影響を考慮しながら制御する必要がある。これに対して、メータアウト方式は、推進ジャッキにブレーキをかける制御であり、外的要因による影響は推進側で吸収され、それとは無関係に戻り圧を制御できるため、あらたな工夫を必要としない。しかし、メータアウト方式は、推進ジャッキの押し側と戻り側の面積比の関係から、押し側の最大圧力時の30%程度しか推力を制御できいため、高推力を必要とする大深度施工や、大きな旋回モーメントを必要とする急曲線施工では十分な制御能力を発揮できない。本方式では、2) 必要総推力の検出制御により、制御能力の高いメータイン方式を可能とした。

## 6) 実証実験

制御性能を検証するため、泥土圧式シールド工事（時期：平成元年4月～12月、外径：φ2,120mm、延長：1,217m、砂礫土質N値50以上、ジャッキ本数8本、4分割制御）に適用し、実証実験を行った。

土圧変動の最も大きい条件の悪い区間を選定し、掘進速度とジャッキ圧力の変動状況について確認した。その結果、掘進速度と圧力の変動幅は、ジャッキ選択方式と同程度に押さえることができ、砂礫地盤など土圧変動の激しい悪条件下においても安定した掘進が可能であることを確認した。また、当初、懸念されていた圧力調整弁の相互作用による圧力変動の問題も全くないことを確認した。

## 4. 大深度工事への適用

### 1) 適用工事の概要

工事件名：横浜市新羽末広幹線元宮支線下水道整備工事

工 法：泥水加圧式シールド工法

外 径：φ6,150mm(ジャッキ本数20本、10分割制御)

施工延長：842m

土かぶり：最大 62m

土質：固結シルト、細砂(N値50以上)

時期：平成6年4月～平成6年12月

当現場は、最大土かぶり62mの大深度工事であり、水圧 6kgf/cm<sup>2</sup> を切羽前面から常時受けるため、シールド機には相当な推力が必要になる。そのため、全ジャッキ推進により姿勢制御できる圧力制御推進方式を適用した。

## 2) 施工結果

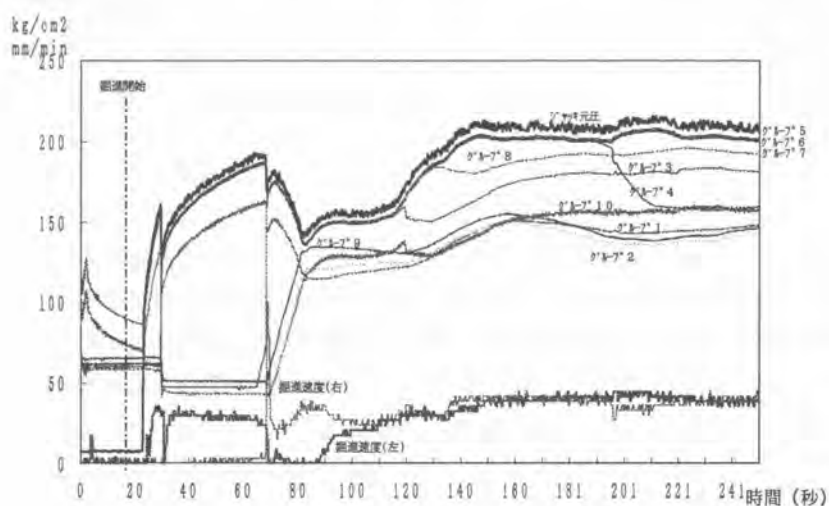


図-7 ジャッキ圧力と掘進速度の推移

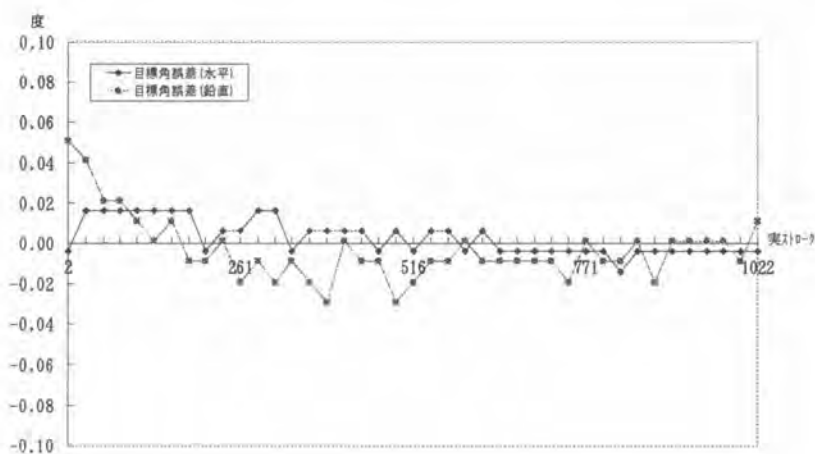


図-8 目標方向に対する誤差のリング内推移

図-7は、掘進開始後4分間のジャッキ圧力と掘進速度の変化を示したものである。開始直後より、左側のジャッキが伸び始め、50秒後に右側が伸び、約1分後に速度が35~40mm/minで安定していく状況が確認できる。その後の大きな掘進速度の変動は見られず、安定した掘進を行っている。また、各グループの圧力が、姿勢制御に従ってリアルタイムに微妙に制御されているのが確認できる。

図-8は、目標方向に対する誤差のリング内の推移を示したものである。水平方向と鉛直方向の姿勢を同時に迅速に制御している。

表-1に、ジャッキ選択による手動掘進との精度比較表を示す。圧力制御推進方式による自動掘進の誤差は、水平 0.012度、鉛直 0.005度であり、ジャッキ選択による手動掘進の、水平 0.042度、鉛直 0.024度と比較すると高精度に制御されている。また、バラツキが小さく、常に安定した制御が行われたことを示す。

#### 5. おわりに

圧力制御推進方式は、シールド機の姿勢制御からみれば理想的な方式である。しかし、地山を切削しながら推進するシールド機の場合、切羽安定が最も重要であり、どのような条件下でも安定した掘進を約束するものでなければならない。そのため、種々のタイプの工事に適用し、不具合について改良を重ねてきた。今回、大断面、大深度である東京湾横断道路工事、元宮支線下水道整備工事に適用し、良好な結果を得たことで、本推進方式の技術は、ほぼ確立されたと考えている。今後は、この方式の特徴を生かし、セグメントを組み立てながら推進する同時施工システムに応用し、急速施工などの新技術発展に努める所存である。

なお、東京湾横断道路工事（外径：φ14,140mm、ジャッキ本数48本、12分割）の施工事例については、現在、データ取集中であり、結果については発表時に報告する予定である。

表-1 ジャッキ選択との精度比較表

|               | 自動掘進    |         | 手動掘進   |        |
|---------------|---------|---------|--------|--------|
|               | 水平目標偏   | 鉛直目標偏   | 水平目標偏  | 鉛直目標偏  |
| 平均            | 0.012   | 0.005   | 0.042  | 0.024  |
| 標準誤差          | 0.003   | 0.000   | 0.005  | 0.004  |
| 中央値           | 0.002   | 0.004   | 0.030  | 0.019  |
| 最頻値           | 0.001   | 0.002   | 0.067  | 0.001  |
| 標準偏差          | 0.040   | 0.006   | 0.033  | 0.022  |
| 分散            | 0.002   | 0.000   | 0.001  | 0.000  |
| 尖度            | 26.144  | 23.233  | 0.486  | 1.955  |
| 歪度            | 4.957   | 4.139   | 0.926  | 1.538  |
| 範囲            | 0.274   | 0.052   | 0.135  | 0.086  |
| 最小            | 0.000   | 0.000   | -0.002 | 0.000  |
| 最大            | 0.274   | 0.052   | 0.133  | 0.086  |
| 合計            | 2.353   | 1.021   | 1.542  | 0.873  |
| 標本数           | 259.000 | 259.000 | 37.000 | 37.000 |
| 信頼区間<br>(95%) | 0.006   | 0.001   | 0.011  | 0.007  |

# 17. レーザ換気システム

東亜建設工業(株)： 平島 信幸・福井 浩二  
\* 峯吉 武志

## 1. はじめに

トンネル工事が在来工法からNATMに変わり、またレール工法からタイヤ工法に変わり、吹付コンクリートによる粉塵やディーゼル排気ガスによりトンネル坑内の環境は飛躍的に悪化している。このことにより、従来の換気計画はCOガス100ppm以下であったが、1991年より建設業災害防止協会においてNOx 25ppm以下に改訂された。

これに先立ち、1987年頃より大型のコントラファン(80KW×2連, 110KW×2連)が導入され、効率的に風量を制御するために粉塵センサーで出力を調整する時代となっていった。

しかしながら、この方式は坑内環境をスポット的にとらえているため、全体坑内環境を制御すると様々な問題が発生する。(例：粉塵センサーの個数が増える、追いきり時間の設定等)

レーザー換気システムは、レーザー光の粉塵等による減衰特性を利用してコントラファンの風量を制御するもので、レーザー光をトンネル軸方向に50~200m程度発振することにより、坑内環境を空間的に把握し、全体坑内環境を制御するものである。

## 2. システム概要

### 2-1 システムの構成

本システムはレーザー光が粉塵により減衰する特性を利用して、反射ミラーからの反射光の減衰の程度によりコントラファンの回転数を制御し、換気風量をコントロールしている。

図-1はレーザー換気システムの内容を示したものである。本システムはコントラファン、インバーター、コントローラー、レーザーヘッド、反射ミラーの5装置から構成されている。

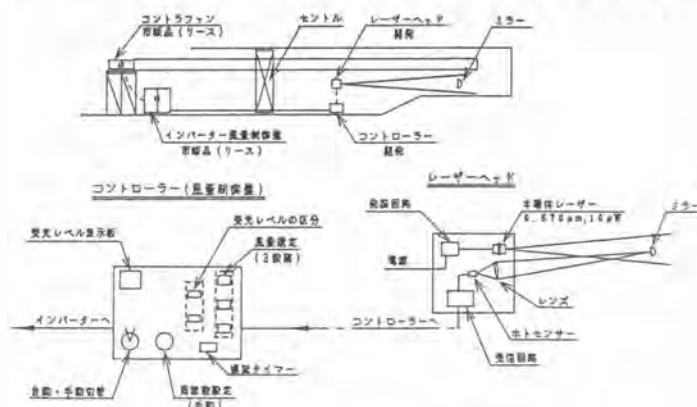


図-1 レーザ換気システムの内容

## 2-2 レーザヘッド及びコントローラー

レーザ光は装置の軽量化をはかるため、赤色半導体レーザ（出力10mW、波長0.670 $\mu$ m）を使用し、出力一定化回路（ACP）を組み入れることにより電源の変動やレーザ自体の耐久性に対処している。また、変調回路を採用しレーザ光は太陽光、照明の影響を受けない機構となっている。半導体レーザから発振されたレーザ光は反射ミラーで反射し、この反射光をレンズを通して収束した光をフォトセンサーで受け、坑内の汚れを受光レベルの減衰としてとらえている。図-2がこれらのブロック図である。

レーザ光は岩質によりその減衰量が異なるため、現場状況に応じてコントローラーで減衰量を3段階に区分し、各段階に応じて任意にコントラファンの回転数を設定することによって作業環境に応じた適切な風量を得ることができる。また、コントローラーには自動利得調整機能、チャタリング防止機能、瞬断補償機能を有することにより円滑にコントラファンの風量を制御している。

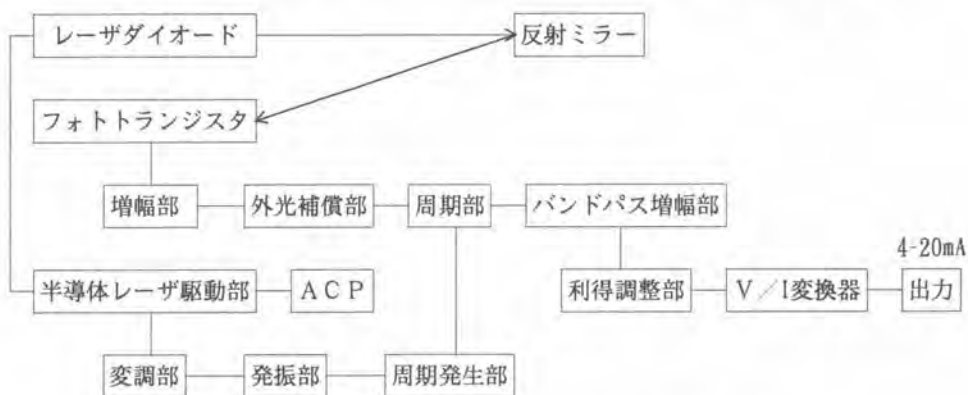


図-2 レーザ換気システムのブロック図



写真-1 レーザヘッド部



写真-2 コントローラー



### 3. 岩質によるレーザー光減衰特性

本システムの岩質（花崗岩、砂岩、凝灰岩）によるレーザー光の減衰特性については、室蘭工業大学吉田豊助教授との共同研究により以下のように判明した。

レーザー光の減衰は粒径分布及び複素屈折率により影響を受ける。共同研究においては岩石試料の鉱物の成分割合を求めることにより複素屈折率を設定した（表-1）。また岩石試料を粉砕器（小型クラッシャー、振動ボールミル）にて粉砕し、 $10\ \mu\text{m}$ 以下の粒子群について光透過式粒子分布測定器にて粒度分布を求めた。求めた粒度分布を理論的に重量割合から個数割合に変換し図-3及び表-2の個数粒径分布を得た。

表-1 試料の複素屈折率

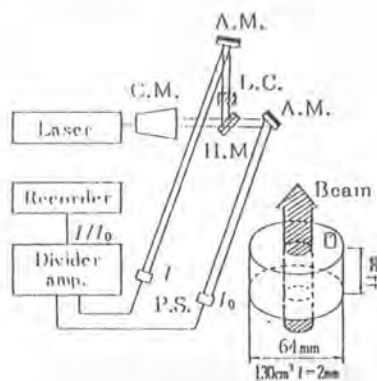
| 記号  | 種類  | 複素屈折率      |
|-----|-----|------------|
| R A | 花崗岩 | 1.550-j0.1 |
| R B | 砂岩  | 1.600-j0.1 |
| R C | 凝灰岩 | 1.590-j0.1 |

表-2 試料の粒径分布係数值

| 記号  | 種類  | a    | b    | $r_L$ | $r_c$ |
|-----|-----|------|------|-------|-------|
| R A | 花崗岩 | 3.06 | 5.61 | 2.11  | 0.01  |
| R B | 砂岩  | 2.90 | 7.57 | 2.25  | 0.30  |
| R C | 凝灰岩 | 2.69 | 4.75 | 2.10  | 0.30  |



図-3 個数粒径分布



(a) C.M.: Collimator H.M.: Beam splitter P.S.: Photodetector  
 (b) A.M.: Mirror L.C.: Sample cell

図-4 レーザ光減衰特性計測装置

これらの粒子群について、図-4に示す計測装置を用いて液体中における岩質によるレーザー光減衰特性を求めた。この結果を図-5に示す。この図はHe-Neレーザー（出力10 mW、波長 $0.6328\ \mu\text{m}$ ）での $\alpha$ -W特性を示したものである。図において横軸はレーザー光路内重量 $W_0$  (mg)でありセル内に投入した粉塵量から光路体積中の量を算定したものである、対応する縦軸は総減衰量 $\alpha_0$  (dB)であり、光路長200m当たりの減衰率 $\alpha$  (dB/200m)と同じである。

この結果より表-2の粒径分布値を用い、複素屈折率を液体中から大気状態に変換し、波長0.67 $\mu$ mの本装置による $\alpha$ -W特性を理論的に算定した。その結果が図-6である。一般に浮遊粒子群は粒径分布の $a$ 値が3付近をとる。そこで $a$ 値を2.5~3.5とし、 $b$ 、 $r_L$ 値については従来の結果より5としてその値の範囲を示した。この場合 $r_L$ については表-2の値を用いている。

この結果より粒径分布値 $a=3.5$ (従来の隧道での浮遊粉塵)に着目すると、砂岩と凝灰岩はほぼ同じ減衰量を示すが、花崗岩はそれより小さくなっている。このことは岩質により減衰量は異なることを示しており、岩質にあったレーザー光減衰特性を把握する必要がある。

また、排気ガスに対してもレーザー光減衰特性の調査を実施したが、照射距離が40m以上になると光量減衰はほとんど現れないことが判明した。

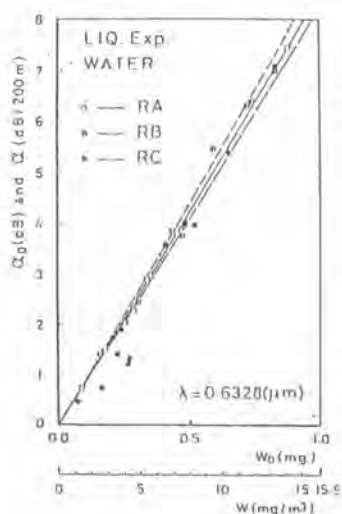
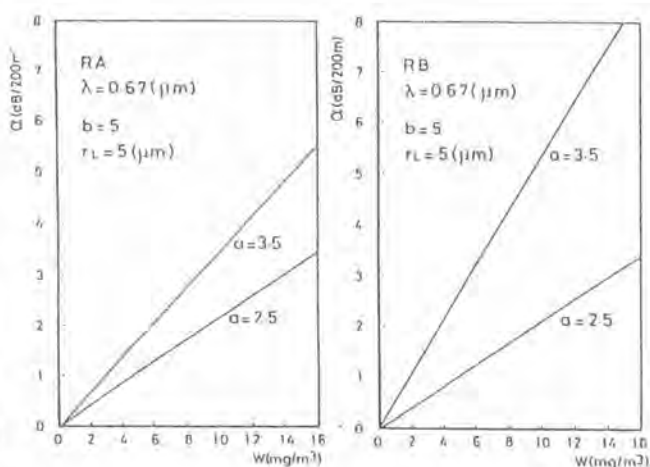


図-5 レーザ光減衰特性



(a) 花崗岩

(b) 砂岩

図-6 レーザ光減衰特性理論的推定値

#### 4. 坑内環境とレーザー光量の変異

実際に坑内作業が行われている状態でレーザー光量の減衰状態と坑内環境の調査を行った。

坑内環境の測定項目としては粉塵量、NO<sub>x</sub>、CO、CO<sub>2</sub>について行った。測定位置は図-7に示すように坑口から90m、切羽から690mの位置でセントルの後方10mで測定を行った。

レーザー換気システムは測定位置より後方100mにミラーを設置し、光路長200mにてレーザー光の減衰量を測定した。

坑内環境の測定結果を図-8に示す。この結果より以下の事項について判明した。

- ①COは発破後70分程度でピークを迎え、その後は減少し続ける。ゆえにCOは発破時に発生するガスがほとんどであると考えられる。
- ②粉塵量は発破後80分で一つの山のピークを迎えるが、この山は発破及びズリ出し時のものでありもう一つの山(吹付時)のピークが大きくなっている。

- ③NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>に対してはほぼ同じような動きをしており、発破後80分程度でピークを迎え、吹付時にもう一つの山ができています。
- ④レーザ光の減衰は発破後50分で減衰しはじめ作業休止時にもとに戻っている。
- ⑤レーザ光は後方に向かって発振しているため、他の環境測定機器と比べ反応の始まりは同時であるがおわりは遅くなっている。

前述のとおりレーザ光は排気ガスや水蒸気に対してはあまり影響を受けないとのことであったが、レーザ光が減衰している時間は、粉塵、ガスともに環境が悪化している時間よりも長くなっており、より坑内環境を代表しているのではないかと考える。これによりレーザ光が減衰している場合に大風量で換気を行えば、粉塵以外のガスに対しても対応できることがわかる。またレーザ光の減衰と粉塵量の関係は図-9の関係より一定の関係にあることがわかる。

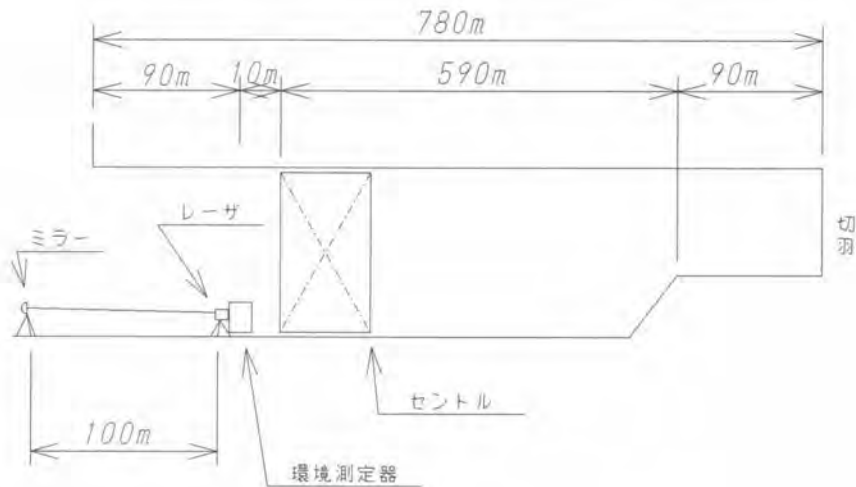


図-7 坑内環境測定位置図



写真-3 環境測定機器

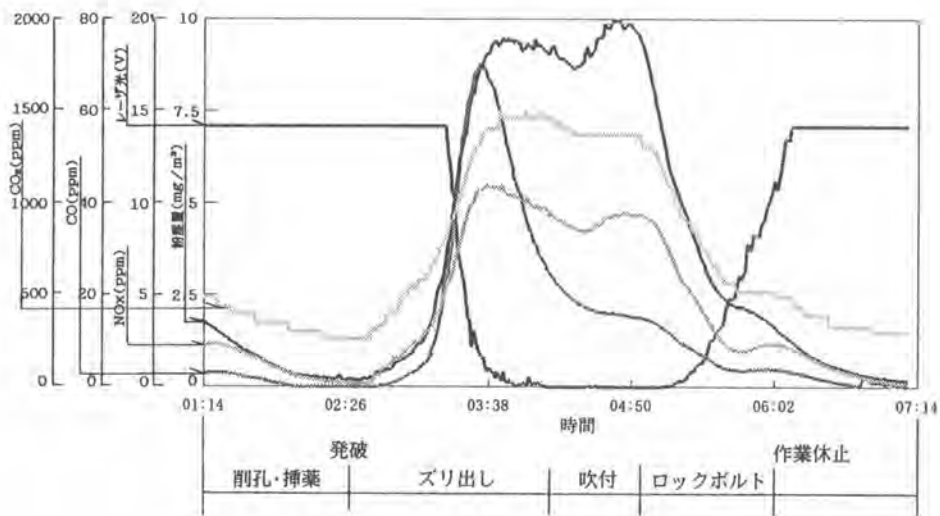


図-8 トンネル坑内環境経時変化

## 5. おわりに

トンネル工事は施工延長、岩質、使用機械、所轄官庁、施工責任者、作業員等により坑内環境に対する考え方が異なり、既成のものでは現場が希望するものに合致しない場合がよくある。坑内換気に対しても現場によって考え方も状況も異なることより、施工責任者が全ての状況を判断し風量を決定するようにするべきであると考えている。

レーザ換気システムはトンネルの坑内環境を空間的にとらえるものであり、従来からの粉塵センサーによる換気制御と比較すると、より現実に即した坑内環境を代表するものであると考える。

レーザ光の減衰量は岩質により変化するので、施工管理者は現場状況に応じて減衰量の区分及び換気風量を設定することができる。これによりきめの細かい風量制御を行うことができる。

よって、レーザ換気システムを使用することにより、坑内全体を均一な環境に保つことができると考える。

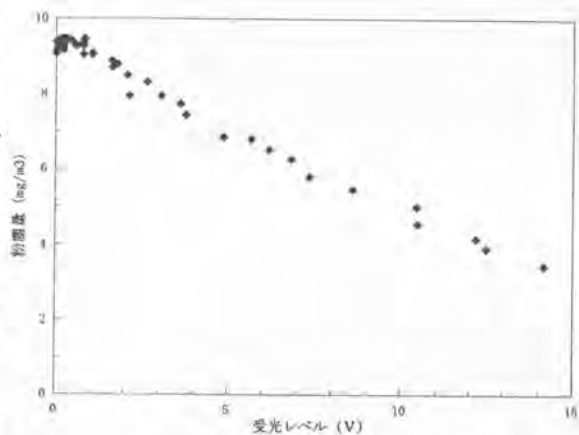


図-9 レーザ光と粉塵量の相関

# 18. シールド自動化統合システムの開発

(株)鴻池組：井上 光治・\*日置 昌治  
古川 和義

## 1. はじめに

近年、シールド工法は、都市部におけるトンネル工事において、道路、ガス・電力、上下水道などライフラインを構築する技術として主要な工法となっている。

シールド工事においては機械化が他工種に比べ進んでいたことから比較的早いうちに、掘削やセグメント組立の自動化が進められている。当社においても1980年代から自動化システムの開発を行い、現在7システムが実用化レベルに達している。

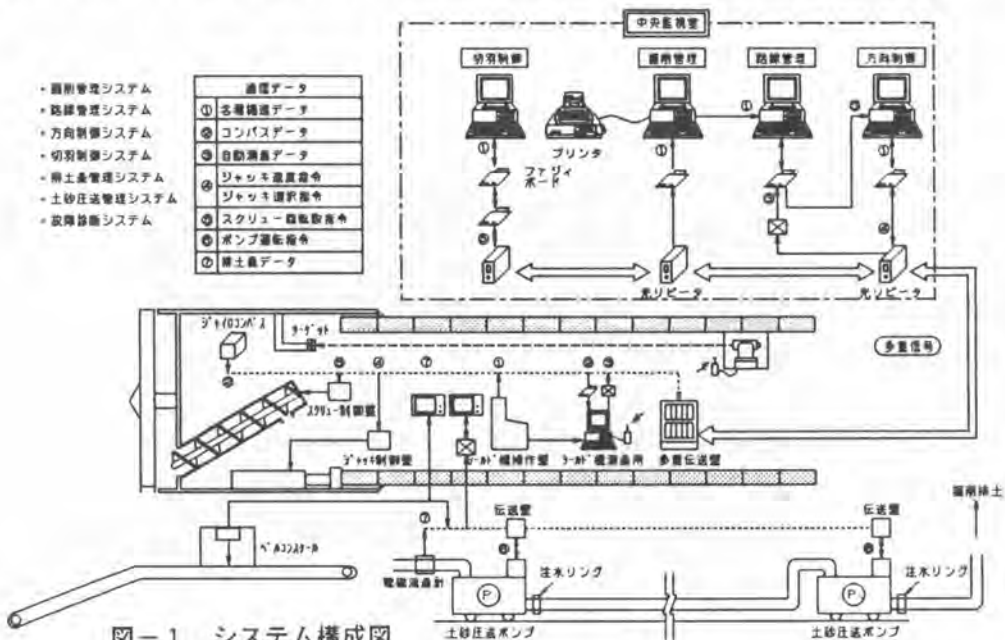
この度、これらのシステムを多重伝送とLANにて結合し、シールド自動化統合システム(K-EASIS : Konoike Easy-operating Automatic Shield Integrated System)を構築した。

本稿ではこれらシステムの概要を示すと共に、適用結果を紹介する。

## 2. 概要

本システムは、シールド機及び坑内に配置された各種センサー、計測機器及び制御盤と地上の中央監視盤とを多重伝送装置と現場内LANで結んだ統合化コンピュータシステムである。中央管理室における集中管理・ワンマンコントロールを目的とし、現場規模に応じたシステムの組合せが可能である。システム構成の概要を図-1に示す。

本システムは7サブシステムにより構成されている。以下に各サブシステムの概要を示す。



### (1) 掘削管理システム

シールド機の運転状況や裏込め材作泥材の注入状況、排土や泥水の輸送状況などシールド掘進に必要なデータを、地上の中央監視室に設置したパソコンの画面に、リアルタイムに表示する。これらのデータを各種演算し、リング毎のトレンドグラフとして同じ画面に表示する。さらに、掘進長5mmピッチに記録保存するデータ蓄積機能、1リング毎や1口毎の掘進記録表を出力する帳票処理機能や他のサブシステムとのネットワークの機能を有する。

### (2) 路線管理システム

現場の条件に応じて、レーザー・トータルステーション・ジャイロコンパスなどの測量装置を適宜組み合わせ、掘進中のシールド機の位置・姿勢を自動測量し、それらのデータを演算処理することにより施工計画線からの現在のシールド機のずれ量・ずれ角を求める。測定したデータは中央監視室・マシン運転席に表示する。

なお、中～大口径の現場で適用する自動追尾式トータルステーションは、当社が独自に開発したもので以下のような特徴がある。

- ①測距精度±1mm、測角精度±2秒のトータルステーションを使用しているため高精度な測量が可能である。自動追尾時の精度は、100mで1cm程の誤差になる。
- ②自動追尾できる距離は200m程度である。
- ③坑内に設置されている基準点をもとに、トータルステーション本体の座標を演算処理する機能があるため盛り換え作業を容易に行える。
- ④計測部と演算部は無線でデータ通信をしているため、日々の掘進に応じてケーブルを延長しなくてもよい。

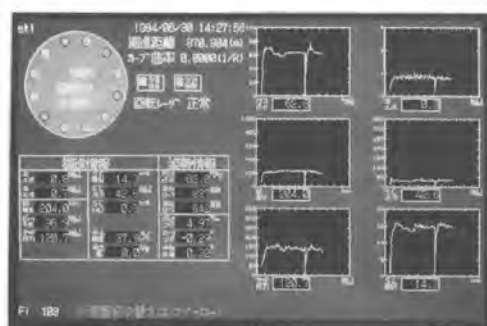


写真-1 掘削管理システム画面



写真-3 トータルステーション取付状況

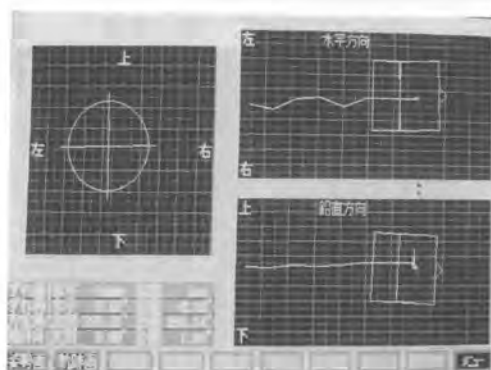


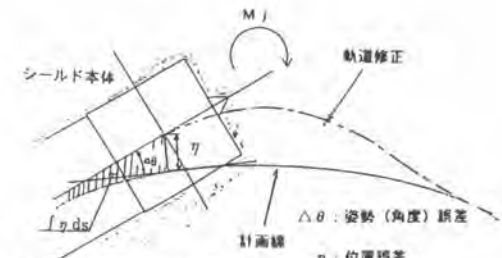
写真-2 路線管理システム画面

### (3) 方向制御システム

路線管理システムからのシールド機の位置・姿勢データをもとに、シールド機を計画線どおりに施工させるために最適なジャッキパターンを自動的に選択する。制御方法は、学習機能を有したPID制御もしくはファジー制御の選択が可能で、地山やシールド機の方向特性の変化に対応できる。このシステムは、制御対象となるシールド機が、その位置や姿勢を変化しながら運動する時の施工計画線からの位置・姿勢のずれ、すなわちずれ量及びずれ角の検出データをもとに、このずれ量及びずれ角を修正するようなジャッキモーメントを演算しジャッキパターンを求め、制御要素であるジャッキのON、OFF信号として出力するものである。この発生したジャッキモーメントによって新たに生ずるシールド機の位置・姿勢の変化は再び位置・姿勢検出システムから本システムにフィードバックされ、リアルタイムに検出したずれ量、ずれ角の信号に対し制御を行うことができる。位置・姿勢の検出は10秒おきに、またジャッキ制御は、10cmごとに行っている。

本システムの主な特徴を以下に示す。

- ①シールド機の施工計画線からの位置・姿勢のずれを、平面内・縦断面内について同時に軌道を修正するシステムである。
- ②施工地山に対する学習機能を有する。現在の地山の性質を見直すもので地山の変化に対応しかつ各施工地山の土質にあった制御をすることができる。
- ③ジャッキストロークを約10cmごとに、ジャッキパターンの選択・変更ができるため、緻密な制御が可能である。
- ④あらかじめ施工計画線データを入力しておくことにより、曲線区間を事前に予測し、直線から曲線に入る場合のカーブを切るタイミングなど、熟練オペレータの操作に合わせた制御方法を採用している。なお、本システムは平成元年建設省の建設技術評価を取得している。



施工計画線に対するずれ量(η) ずれ角(Δθ)を10cm毎に認識し、

次式により、シールド機に与えるべきモーメントを算出する。

$$M_j = \underbrace{-\alpha \cdot \eta}_{(1)} - \underbrace{\beta \int \eta ds}_{(2)} - \underbrace{\gamma (\Delta\theta + K22)}_{(3)} - \underbrace{\frac{K14}{K11}}_{(4)} \quad (5)$$

- (1) P(Proportion) 比例項: ずれ量(η)により比例的に与えるモーメント
- (2) I(Integral) 積分項: ずれ量の積分値(ずれ面積)より与えるモーメント
- (3) D(Differentia)微分項: ずれ量の微分値(ずれ角)より与えるモーメント
- (4) ⑤基本モデル係数 ④: フィードフォワード制御項

なお、 $\alpha: \beta: \gamma: K11: K14: K22$ は、学習機能より求められる係数

図-2 ジャッキモーメント演算アルゴリズム (PID制御時)

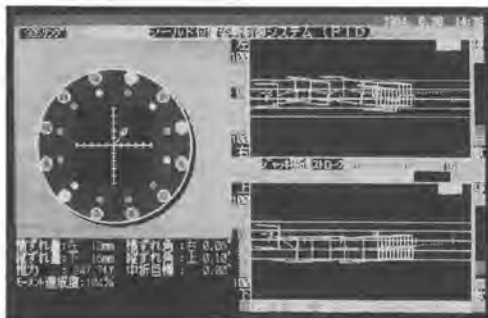


写真-4 方向制御システム画面

#### (4) 切羽土圧制御

泥土圧式シールド工法においては、チャンパー内に掘削土砂を充填させ、土圧と水圧に応じて添加材を注入し、掘削土砂の塑性流動化を図りながら連続的に排土を行う。このとき、オペレータはチャンパー内土圧の変化を観察し、観測値と目標の偏差を小さくするように掘削速度やスクリュウコンベア回転数を調整する。図-3は、ファジィ推論概念図で前件部に切羽土圧・掘削速度・カッタトルク・推力・スクリューコンベア回転数・の掘進データを設定、後件部には制御対象となるスクリュウコンベアの回転数と掘削速度を設定している。

本システムはこれら従来、熟練オペレータが行っていた作業を自動化したものである。

制御方法の基本的なアルゴリズムは以下の通りである。

- ①チャンパー内土圧を目標値に対して偏差が小さくなるように掘進する。
- ②予め設定した目標値どおりの速度で掘進する。
- ③推力・カッタトルクが予め設定した注意レベルを超えないように掘進する。



図-3 ファジィ推論概念図

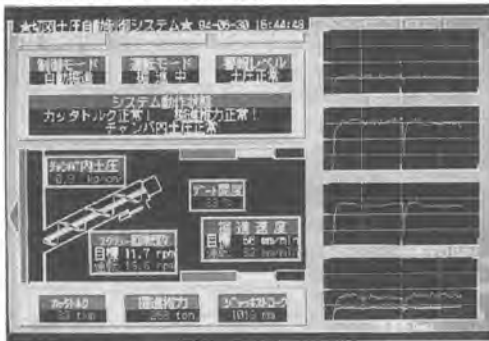


写真-5 切羽土圧制御モニタ画面

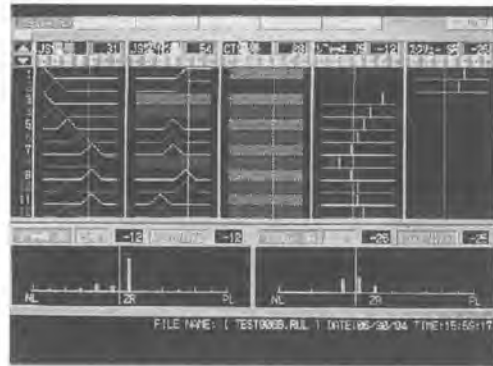


写真-6 ファジィルール

#### (5) 土砂圧送管理システム

複数の土砂ポンプを直列に接続して使用する場合、1台のポンプが閉塞気味であれば全体の圧送能力に大きな影響が現われる。本システムは、掘削管理者やシールド機のオペレータが全てのポンプの運転管理・監視をいち早くできるようにしたシステムで、以下のような機能を有している。

- ①中央管理室とシールド機運転席に設置した表示パネルに、土砂圧送ポンプと注水ポンプの運転状況と各データを表示する。

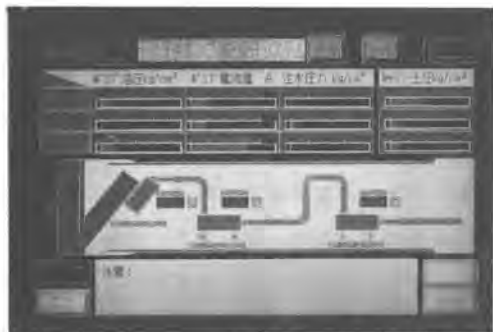


写真-7 圧送管理モニタ画面



②ポンプの土砂ホッパー内の土圧を監視することにより、ポンプを自動運転・停止する。

③ポンプに異常が発生した場合には、そのポンプより切羽側のポンプやシールド機を自動的に停止させて掘削を中断させる。

#### (6) 排土量管理システム

システムは、各種センサーで計測された排土体積とシールドジャッキストローク値とから得られる掘削管理グラフを、ディスプレイ上にリアルタイムに表示し、数値データよりも判断の早い視覚情報を提供するシステムである。

#### (7) 故障診断システム

本システムはシールド機の機器の稼働状況を常に監視し、異常時には警報を発するとともに故障機器の特定を行い、その機器の設置場所と原因、簡単な点検・処置方法を中央管理室及び運転席内のタッチパネルに表示するものである。これを設置することにより、専門的な知識がなくても故障の状況が明確に把握できるため、対応時間の短縮が図れる。

### 3. システム適用結果

本システムにおける方向制御、切羽土圧制御、各サブシステムにつきそのシステム適用結果につき、以下に述べる。

#### 3-1 方向制御システム

本システムの適用結果を図-5に示す。これらの図から、自動運転時の施工計画線に対するずれ量は、直線部で±10mmまた曲線部では±15mm内に収まっていることがわかる。

#### 3-2 切羽土圧制御システム

本システムの適用結果を熟練オペレータとの比較により行う。表-1に自動掘削と手動掘削の代表的な掘進データを、図-6に、自動と手動で各々5リングずつ連続運転したときの掘進データのうち、チャンパー内土圧の目標値からの偏差の度数分布の比較を以下に示す。

①チャンパー内土圧の変動については、ファジーコントローラによる制御のほうが熟練オペレータによる制御にたいして小さくなっており、良好な制御をしている。



写真-8 排土量管理モニタ画面

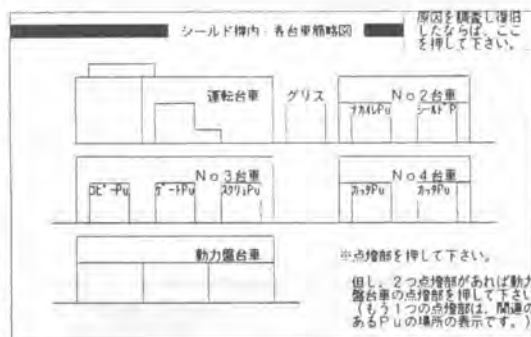


図-4 故障診断システム管理画面

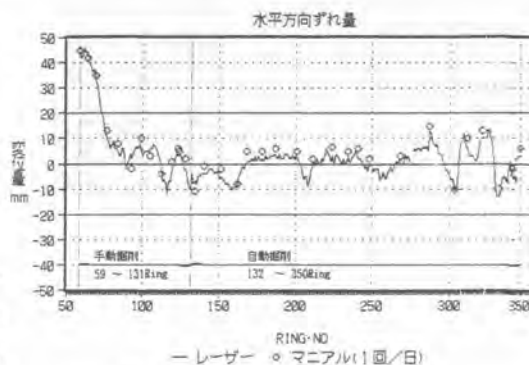


図-5 横ずれ量適用結果

②チャンパー内土圧の目標値からの偏差については、ファジーコントローラによる制御のほうが熟練オペレータによる制御に対して小さくなっており、良好な制御をしている。

③掘進速度は、ファジーコントローラによる制御のほうが熟練オペレータによる制御より若干遅くなっているが、予め設定したカッタトルクの注意レベルを超えないように制御しているため、実用上十分な制御をしている。

④カッタトルクは、ファジーコントローラによる制御のほうが熟練オペレータによる制御に対して予め設定したカッタトルクの注意レベルを超えないように制御している。

⑤スクリュウコンベアの回転数については、ファジーコントローラによる制御のほうが熟練オペレータによる制御に対して、チャンパー内土圧に応じて頻繁に変化させている。

以上、本システムが実用上十分な制御機能を有していると評価される。

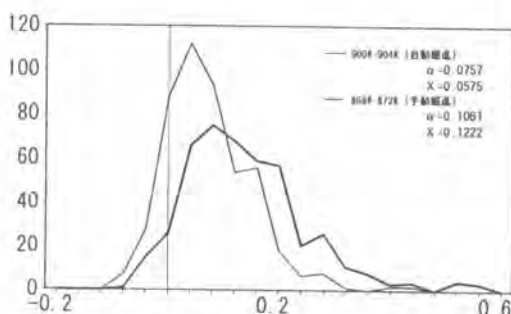


図-6 切羽土圧偏差度数分布

表-1 手動・自動運転の比較

|       | 手動  | 自動  |
|-------|---|---|
| 条件設定値 | 切羽土圧目標値 0.8kg/cm <sup>2</sup><br>スクリュウコンベア目標値 70rpm/min<br>カッタトルク注意レベル 40Nm<br>推力注意レベル 300t | 切羽土圧目標値 0.8kg/cm <sup>2</sup><br>スクリュウコンベア目標値 70rpm/min<br>カッタトルク注意レベル 40Nm<br>推力注意レベル 300t |
| 変更部分  | 手動掘進  | 自動掘進  |
| 実     |   |   |
| 種     |   |   |
| 精     |   |   |
| 果     |   |   |

#### 4. あとがき

以上、シールド自動化統合システムについて述べた。現在、本システムは10数現場で実施され、良好な結果を得ているが、今後さらに改良改善を加え、より使い易くまたより広い土質をカバーできるシステムへ機能アップをしていきたいと考えている。また、シールド工事の完全自動化へと発展させるよう努力する所存である。

# 19. 地中レーダによるシールド掘進機の前方探査

大阪市役所：高崎 肇  
 熊谷・鉄建・不動共同企業体：富永 克己  
 コマツ：\*桑原 壽朗・新保 哲也

## 【はじめに】

シールド掘進機ではその構造上、掘進中に切羽前方を直接見ることは不可能である。

都市部でのシールド工事では計画線上に地中埋設物や地上建造物の基礎、遺構といった様々な障害物があり、時としてそれらを避けられない場合も出てくる。その際、事前にそれらを発見することが出来れば最適な手当を講ずることでシールドマシンへのダメージを少なくでき、施工の効率、安全性が大きく向上する。そこで従来から様々な方法で切羽前面の情報を得る装置の開発が試みられてきたが電磁波式小型地中レーダ技術を応用し、切羽前面を探索し事前の異物・障害物発見に効果のある切羽探査装置「フロントシーカ」を開発し地下鉄施工に採用、実用化したので以下に紹介する。

## 【構造・機能】

カッタヘッド前面に取り付けられた2つのアンテナより電磁パルス波を放射し、シールドマシン前方に杭などが存在した場合にはそこからの反射波を受信することによって、シールドマシン前方の障害物を検知する（図1）。受信された電磁波の波形情報は、カッタヘッド内のコントロールユニット

から地上のオペレータ室におかれたパーソナルコンピュータまで伝送される。地上のコンピュータでは、他にカッタヘッドの回転角度信号、ジャッキストローク長信号、掘進開始信号、回転方向信号を受け取ることで探査結果を表示させる。また、それらの信号を処理した結果、シールドマシン前方に障害物が検知されたと判断した場合には、警報を発生しオペレータに知らせる。さらに、その検知した物の形状を判断し、シールド断面を上下に貫通した形状であれば「杭」の画像、そうでなければ「？」の画像を画面に表示し、その位置と距離を示す事が出来る。

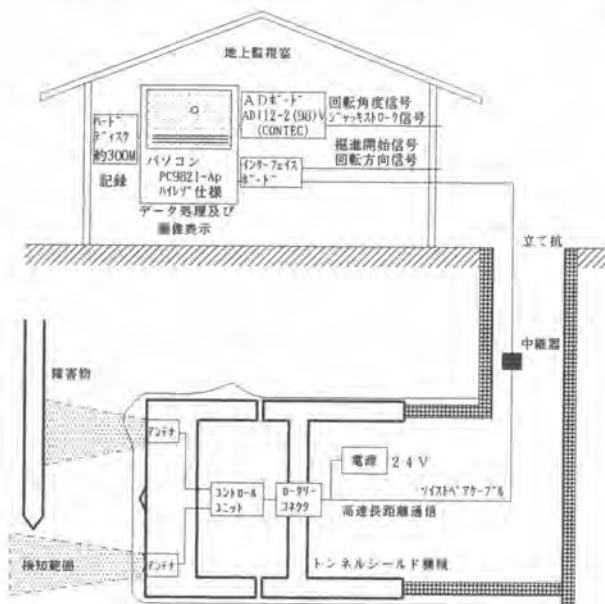


図1. フロントシーカシステム図

**【障害物検知の原理】**

カッターヘッドから切羽に向かって2個のアンテナから電磁波を送出し返ってくる反射波を計測する。各々1つのアンテナ内部には送信アンテナと受信アンテナが両方組み込まれていて互いに直交した位相で配置される(図3)。このことにより電磁波の偏波特性を利用して杭状の検知対象の検知精度を上げている。

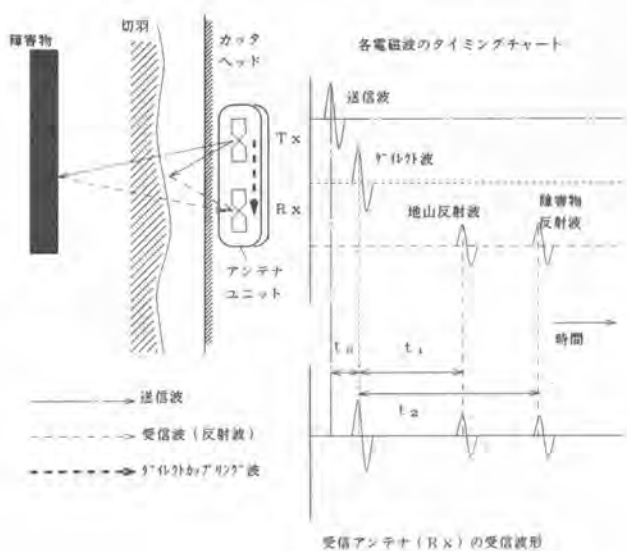


図2 電磁波の反射による異物検知の原理



図3-1 アンテナの配置

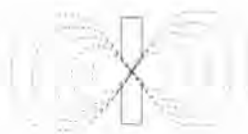


図3-2 アンテナ指向性のイメージ図

受信アンテナの捉えた波形を地上コンピュータで処理・解析を行い、障害物に反射して返ってきた波形(障害物反射波)の到達時間(上図t<sub>2</sub>)を以下の式により距離に換算して表示する。

$$L = \frac{C}{2\sqrt{\epsilon r}} \cdot t$$

L : 障害物までの距離      ε r : 比誘電率 (土質に固有の数値)  
 C : 真空中の電磁波伝播速度 (3x10<sup>8</sup> m/s)      t : 反射時間

ここで土の比誘電率 ε r は土質によって大きく異なるため障害物までの距離を求める際には現場毎に比誘電率を推定する必要がある。フロントシカでは障害物からの反射波を捉えた後、カッターヘッドが数回転する間の計測結果を用いて障害物からの反射波の近づき方(掘進に応じて短くなる反射の時間)とマシンの掘進ストロークを比較して比誘電率の推定を行い障害物までの距離を算定した。

〔シールド掘進機の装着例〕



受信した波形のデータは1波形毎に高速サンプリングされて波形の強弱を14段階に分けてそれぞれの段階に白黒のグラデーション処理を施してカッタの回転角1度につき1ライン(1波形分)のドット集合を生成してゆく(図4)。

これを360ライン並べて表示画像の1面が構成される(図5)。

この画像はリアルタイムで地上コンピュータの画面に表示され、異物を検出した画像は地上のハードディスクに自動記録される。記録データは異物を検出した画像は全データ、異物を検知しない場所は1リングにつき1画像を保存する。

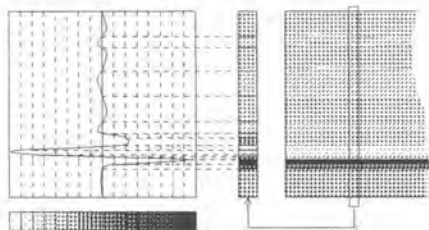


図4 受信波形から表示画像の生成

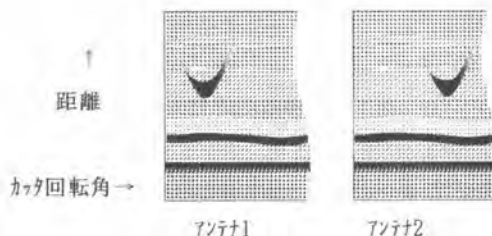


図5 各アンテナの受信画像

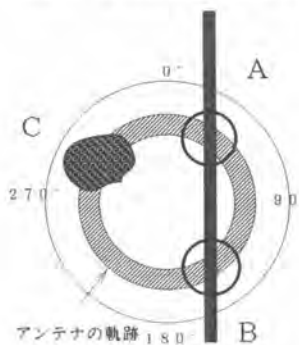


図6 杭と異物の検知

検知した物体の「杭」「異物」の判別は検知した角度による。カッタヘッドの回転により描かれるアンテナの軌跡中に反射を検知したポイントが2カ所あってそのポイントを結んだ線がほぼ鉛直になる場合(図6A~B)「杭」として判断するが、

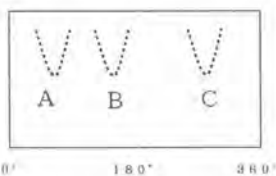


図7 図6の場合の画像例

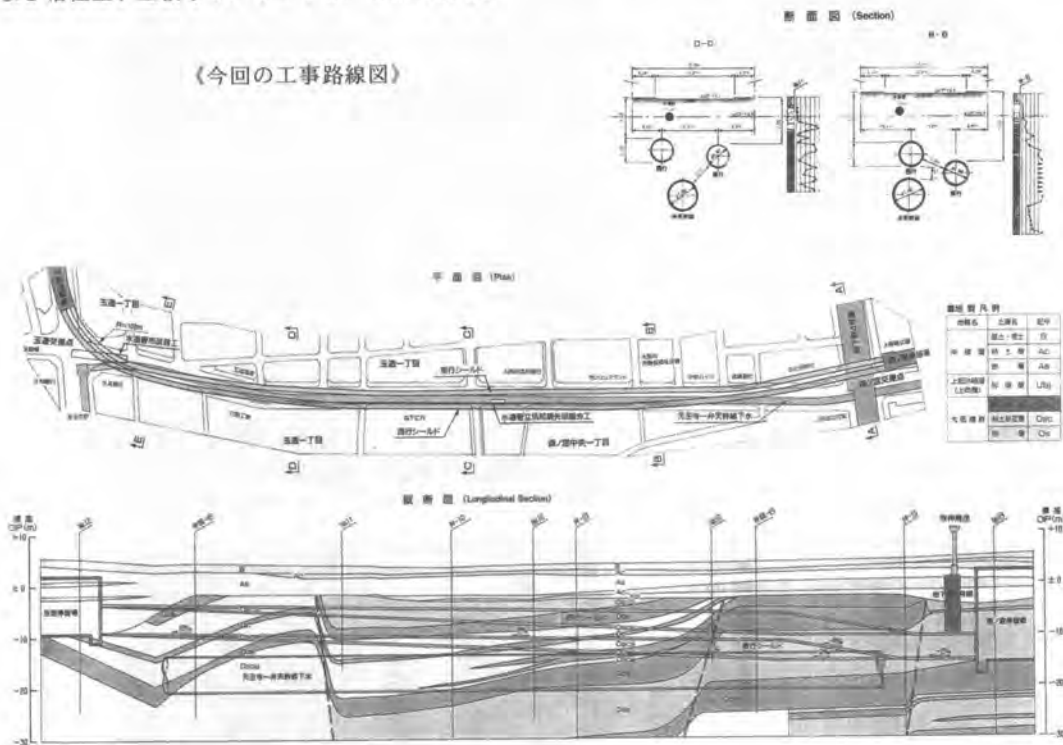
1点のみの検知(図6C)や2点が鉛直でない場合(図6A~Cなど)では「異物」として判断する。

【現場実証試験例】

実際の工事現場で適用したときの例を以下に示す。

施工箇所は大阪市高速電気軌道7号線地下線路工事第10工区（地下鉄7号線森ノ宮～玉造・西行）である。シールド機はφ5430、泥土圧式（前頁写真参照）、掘進延長845m、土質は砂質土および粘性土、土被り9.0～15.8mである。

《今回の工事路線図》



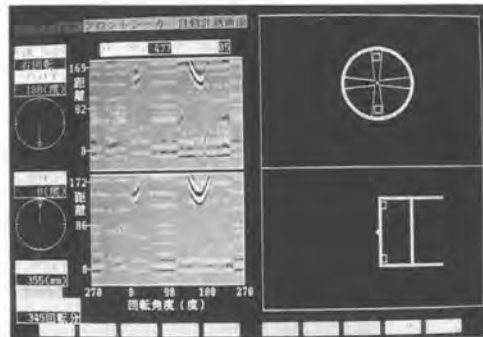
（「フロントシーカ」は「西行」シールドに搭載した。）

本現場では既設の下水道幹線（φ7100）及びφ1500水道管が近接して平行しており埋設物等に関して細心の注意を払って施工する必要があることから地中レーダ（フロントシーカ）にて障害物を早めに検知してトラブルを未然に防ぐ方法が採られた。実際には掘進に支障の出る障害物はなかったがレーダでは上記下水道幹線と交差する区間を中心にφ40～60の鋼管（ロッド）を検出している。検知されたロッドはカタチャンバに取り込まれた後、スクリュコンベヤ後方の捕捉装置により回収されているが、カタチャによるロッドの細かい切断や掘削径外への排出などから回収物と検知画像との相関が完全にとれたとは言い難い。画面からの推定ロッド長の合計と回収ロッドの合計長を比較すると、約50%がシールド機後方で回収された計算になった。ロッドの反射波形の推移と掘進ストロークの比較を行って測定したことにより距離表示の精度は±10%以内であった。

《同一リング内で検出の様子を時系列的に捉えたデータ》

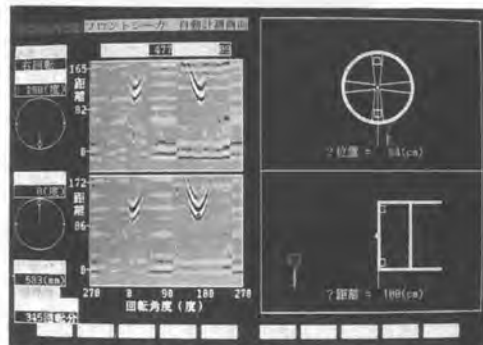
1) ストローク355mm

画面にロッドの  
反射波形が現れ  
始める。



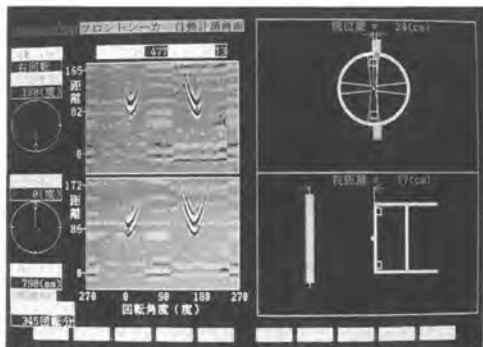
2) ストローク583mm

180度位置の  
反射波ピークを  
検知して異物「？」  
として表示。



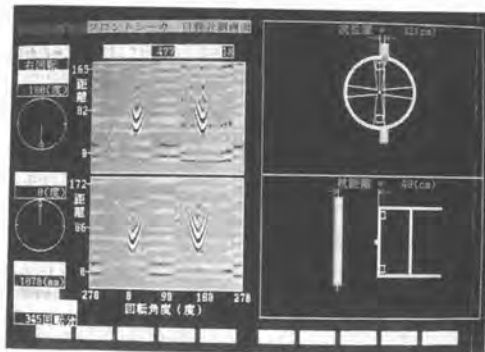
3) ストローク798mm

0度と180度の  
ピークを両方検知  
したので「杭」と  
して表示。



4) ストローク1078mm

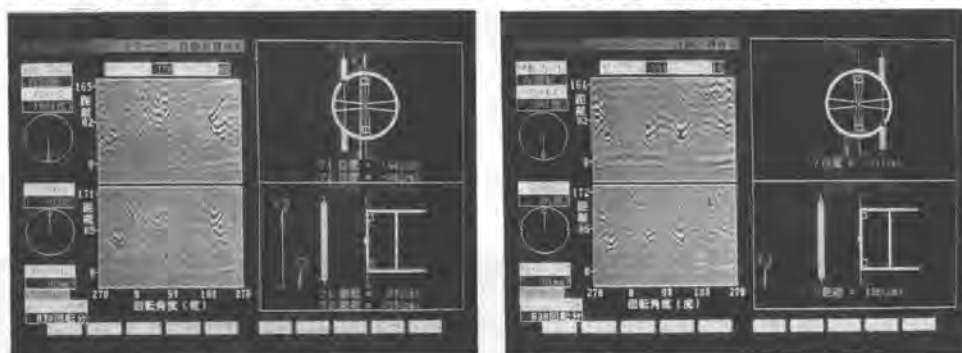
「杭」の表示が  
近づいてくるのが  
わかる。



《「異物」と「杭」が複合的に検出された画面》

リングNo.150 データNo.1 (H7年1月26日)

リングNo.151 データNo.11 (H7年1月27日)



画面向かって左半分の画像が反射電磁波によるデータ画像でカッタヘッド1回転毎に1画面が構成される。右側は「杭」や「異物」を検知したときにその位置と距離を表示するための警報画面である。検知時は障害物シンボルの表示と共にブザーにより警報を発する。この画面の中で表されている「?」マークは「異物」、「|」マークは「杭」をそれぞれ表している。各位置はアンテナの機械的取付位置と反射を検出した角度、反射時間、マシンの掘進ストロークなどから算出して表示している。

【あとがき】

シールド掘進機による施工技術は年々向上しているが、切羽前方が見えない事による不安感が残されている。障害物に遭遇（それが予測されているにないに関わらず）したときの前方の障害物をリアルタイムで確認しながら掘削できるということはマシンの損傷やそれに伴う施工の中断が最小限に押さえられ、有意義なことである。今回の現場では幸い工事を中断せざるを得ない障害には遭遇しなかったが安定した施工の一助として地中レーダ（フロントシーカ）が貢献できたことを確認した。

特に、障害物等を検出したときに、検出された位置によって障害物を掘削径の外に排除する方向へとカッタの回転方向を事前を選択するといった予防的措置をとったことで掘削の安全性が大きく増した。現在、このような探査装置に求められる機能としては装着の容易化につながる小型化と、より速くを検知することの出来る長距離化であろうと思う。今回は1リング手前で検出し、必要な手当の出来るよう探査距離を1メートル（障害物を検知・判別して「杭」または「異物」の警報を発することのできる距離）としたが探査距離を長くするとアンテナの大きさが大きくなってしまいう宿命を持っているので長距離化のためにはまずこの課題を解決しなければならない。

次に、この長距離化以上に求められる機能としては障害物の性状判別であろう。今回の方式では電磁波の偏波特性の利用と検出ポイントの鉛直度を判断して検知対象が杭やシートパイルなどの棒状の物か転石などの塊状の物かの判別にはベンチテストレベルでは成功しているがその物質まで特定することは出来ない。電磁波の反射係数の違いにより木と金属の区別はある程度可能であるがあらかじめ一定条件でセットされた実験室では可能であっても実際の施工現場では様々な物体が予想されるので特定するのは容易ではない。以上、紙面の都合で一部のデータしか紹介できなかったが実施工に於ける前方探査の有効性についてはこれからの様々な土質において施工事例を積み重ねていくことによりより一層確かな物として認識されていくことと思われる。今回は初めての事例であったが、地中レーダによる前方探査の実用性について今後のシールド施工のご参考になれば幸いである。



## 20. 矩形断面泥土圧シールドによる 下水道トンネルの計画と施工

日本下水道事業団：成田 愛世  
大豊・銭高・安藤建設共同企業体：赤地 秀実

### § 1. はじめに

千葉県習志野市津田沼地区は急激な都市化に伴い、雨期や集中豪雨時には、しばしば浸水被害が多発する地域として知られている。

このため、津田沼地区を南北に流れる菊田川流域の低部や、隣接する船橋市の浸水被害を防止する菊田川2号幹線の整備事業が昭和59年度より進められている。

この幹線工事は、主に開削工法にて施工されてきたが、本文で述べる「その18・22」工事は習志野市藤崎1～4丁目の交通量の多い市道下に敷設することと、路線途中にて県道旭・船橋線（東金街道）を横断することから、シールド工法で計画された。

さらに、円弧状矩形断面泥土圧（DPLEX）シールド工法が採用された理由としては、市道の道路幅員が狭く、必要な断面を有する下水道管渠を、2本の円形シールドにて築造すると官民境に収まらないことと、自然流下の管渠として管底高が決まっており、トンネル上部の埋設物（ガス、水道、NTT管路）との離隔がとれなくなる等の理由より採用された。

本文は主に、往路におけるシールドの掘進結果について報告する。



図-1 路線平面図

§ 2. 工事概要

- ①工事件名 習志野市菊田川2号幹線管渠建設工事その18及びその22
  - ②施工場所 千葉県習志野市藤崎1～4丁目
  - ③企業者 日本下水道事業団東京支社（習志野市委託）
  - ④施工者 大豊・銭高・安藤建設共同企業体
  - ⑤路線延長 往路（発進立坑～回転立坑）391.98m 復路（回転立坑～到達部） 416.62m  
合計808.60m
  - ⑥管渠断面 仕上がり内径 3,400×2,800mm
  - ⑦セグメント （鉄筋コンクリート、スチール）  
外径 横径4,200×縦径3,800mm 内径 横径3,700×縦径3,300mm  
桁高 250mm 幅 RC 1.0m スチール 1.0m 0.5m 0.3m
  - ⑧土質 細砂（N：～） ローム（N：～）
  - ⑨立坑築造工 発進立坑 1箇所 回転立坑 1箇所
  - ⑩地盤改良工 家屋防護 1式 シールド離隔間防護 1式
- 図-1に路線平面図 図-2トンネル標準断面図を示す。

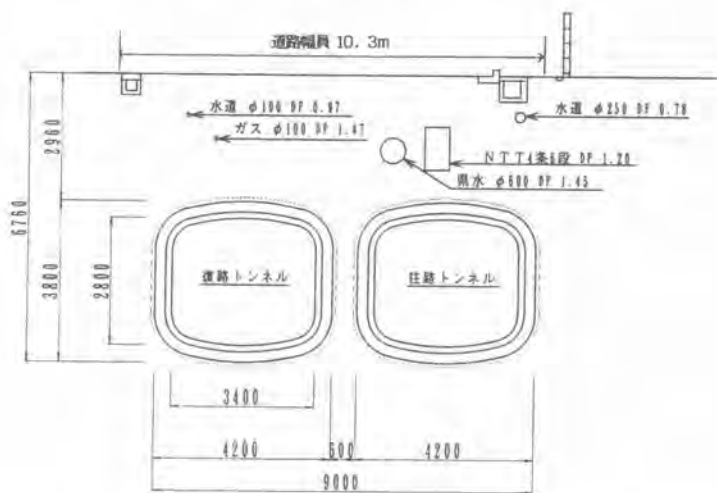


図-2 トンネル標準断面図

§ 3. 円弧状矩形断面シールドの概要

本工区で採用されたシールドは、4基の駆動部よりなっている。それぞれの駆動軸から30cm偏心した位置にフレーム状のカッターを取り付けており駆動軸の回転運動により、カッターを平行リンク運動させることで、矩形断面の掘削を可能としている。切羽の安定には、円形での実績の多い泥土加圧方式を採用している。写真-1、図-3に円弧状矩形泥土圧シールドを示す。

- (1) スクリューコンベア
- (2) エレクタ
- (3) シールドジャッキ
- (4) テールシール(ワイヤーブラシ形2段)
- (5) 右側方向指示
- (6) スタビライザ (2ヶ所)
- (7) カッター駆動装置
- (8) 側面土圧計 (4ヶ所)
- (9) テールクリアランス (規制装置)
- (10) 同時費込注入装置
- (11) 中折れジャッキ (中折れ角4°)
- (12) セグメント押し上げ装置
- (13) 砂嘴材注入口
- (14) 先端土圧計 (1ヶ所)
- (15) 回転子
- (16) 伸縮り受け機
- (17) カッタービット
- (18) 作泥材注入口
- (19) 土圧計 (3ヶ所)
- (20) オーバーカッタジャッキ
- (21) マンホール
- (22) ロング修正装置付シールドジャッキ(10ヶ所)

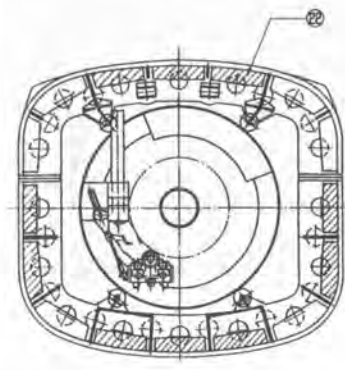
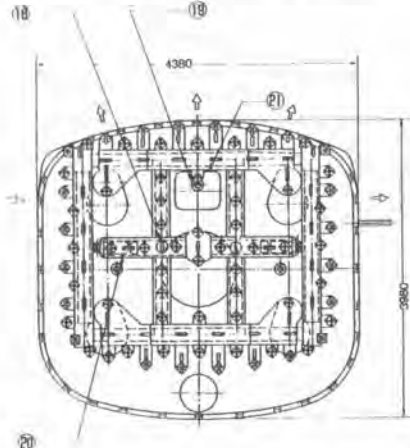
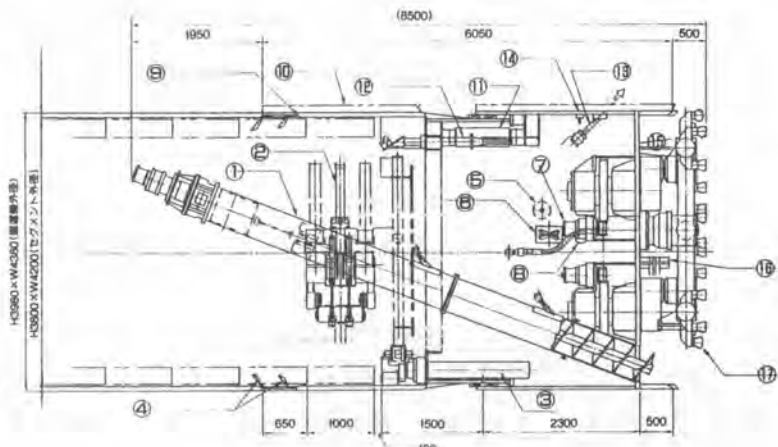


図-3 円弧状矩形泥土圧シールド

| シールド         |     | 仕様   |
|--------------|-----|--|
| シールド外径       |     | J-13950 × W-4380   |
| 全長           |     | 16500 mm   |
| 幅            |     | 6050 mm  |
| 掘削力          |     | 1780t (113t/m <sup>2</sup> )   |
| シールドジャッキ     |     | 100t × 350kg/cm <sup>2</sup> × 1150mm × 7本<br>120t × 350kg/cm <sup>2</sup> × 1150mm × 8本 |
| 中折れジャッキ      |     | 120t × 350kg/cm <sup>2</sup> × 380mm × 12本   |
| シールドジャッキ作動速度 |     | 40 0/min (複数作動時)   |
| 油圧ポンプ        |     | 25.1 0/min × 350kg/cm <sup>2</sup>   |
| パワーユニット      | 電機種 | 18.5kW × 4P × 400V   |
|              | 台数  | 1台   |

| カッター     |     | 仕様                                    |
|----------|-----|---------------------------------------|
| 駆動方式     |     | 油圧駆動                                  |
| 装置トルク    |     | 88t-m (22.1t-m × 4M)                  |
| アーム半径    |     | F1300mm                               |
| カッター回転数  |     | 0-4.0 r.p.m                           |
| 駆動用油圧モータ |     | 124kg-m × 210kg/cm <sup>2</sup> × 16台 |
| 油圧ポンプ    |     | 267 0/min                             |
| パワーユニット  | 電機種 | 78kW × 4P × 400V                      |
|          | 台数  | 4台                                    |

表-1 シールド主要諸元表

§ 4. 往路施工実績

(1) カッタートルク

本機は、油圧モータ16台で合計88t<sub>m</sub> (油圧 210kg/cm<sup>2</sup>時) のカッタートルクを装備している。往路でのカッタートルクの変化を、図-4に示す。往路では発進部の地盤改良区間をのぞき、装備トルクの1/3~1/5程度にて、シールドの掘進が可能であった。

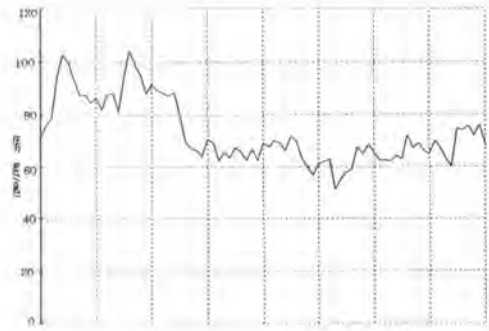


図-4 カッター圧力

### ② ジャッキ推力

シールドジャッキは、100tfジャッキ7本と120tfジャッキ9本の組み合わせからなり、合計装備推力は、1780tf(113tf/m<sup>2</sup>)である。図-5に往路でのジャッキ推力を示す。

実掘進では、平均で600tf程度、最大で800tf～1000tf程度の推力が必要であった。この推力を、単位面積当たり直すと平均で38t/m<sup>2</sup>、最大で63t/m<sup>2</sup>程度であり、円形断面と同程度の推力で推進できた。

曲線施工などの姿勢制御を考慮すれば 妥当な装備推力と考えられる。

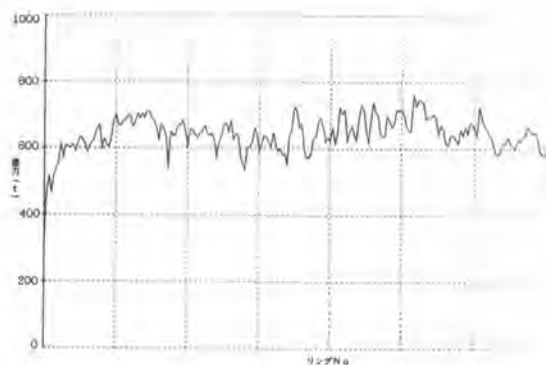


図-5 ジャッキ推力変化図

### ③ 姿勢制御

シールドの姿勢制御には、ピッチング、ヨーイング、ローリングがある。このうち、ピッチング、ヨーイングは、円形シールドと同様にジャッキ選択により修正可能であった。また、ローリングに関しては円形と異なり、円弧状矩形断面のため、仕上がり精度にそのまま影響することから、ローリング修正ジャッキを装備し発生時には、早期に使用した。

曲線部、直線部のローリング状況を図-6に示す。この結果、曲線施工時に主にローリングは発生し、曲線施工と腐植土の掘進が重なった400リング付近で最大0.7°になったが、その他の部分では、0.4°以下に収まり、ローリング修正ジャッキの性能を確認することが出来た。

本機は、16本シールドジャッキの内、10本にローリング修正機構を設けたが全てのジャッキに修正機能を装備した方が曲線部のローリングにも、対応しやすかったと思われる。

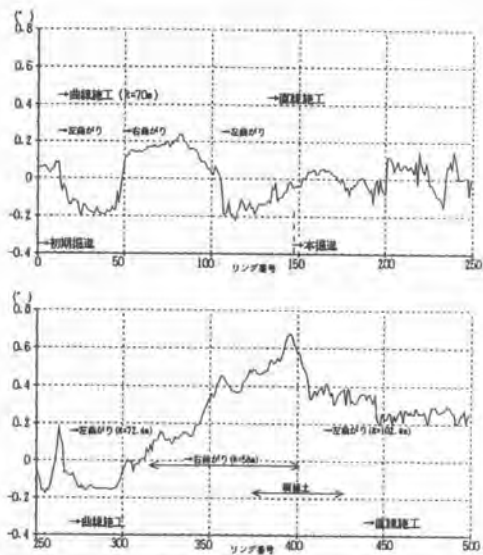


図-6 ローリング変化図

#### ④裏込注入

矩形断面は、円形断面に比べ、地盤変状が発生しやすいと考えられるため、シールドの左右頂部に同時裏込注入機構を設け、どちらからの1箇所から掘進と同時に裏込注入を行った。また裏込材は、二液の可塑状固結タイプを採用した。注入圧においては土被り及び、地下水位から上限管理値を $1.2\text{kgf/cm}^2$ とし、 $1.0\sim 1.2\text{kgf/cm}^2$ の注入圧で施工した。

今回の様な、小土被りの場合には、裏込材の路上噴出が予想されたため、常に路上監視員を配置して安全作業に努めた。

#### ⑤路面沈下

往路の施工における地表面の最大沈下量は、シールドセンターで $10\text{mm}$ 程度であった。また、道路に近接する民家やブロック積み等への影響は、これまで全く出ていない。図-7に、発進から $350\text{m}$ 付近の成田砂層掘進時の路面沈下経時変化を示す。

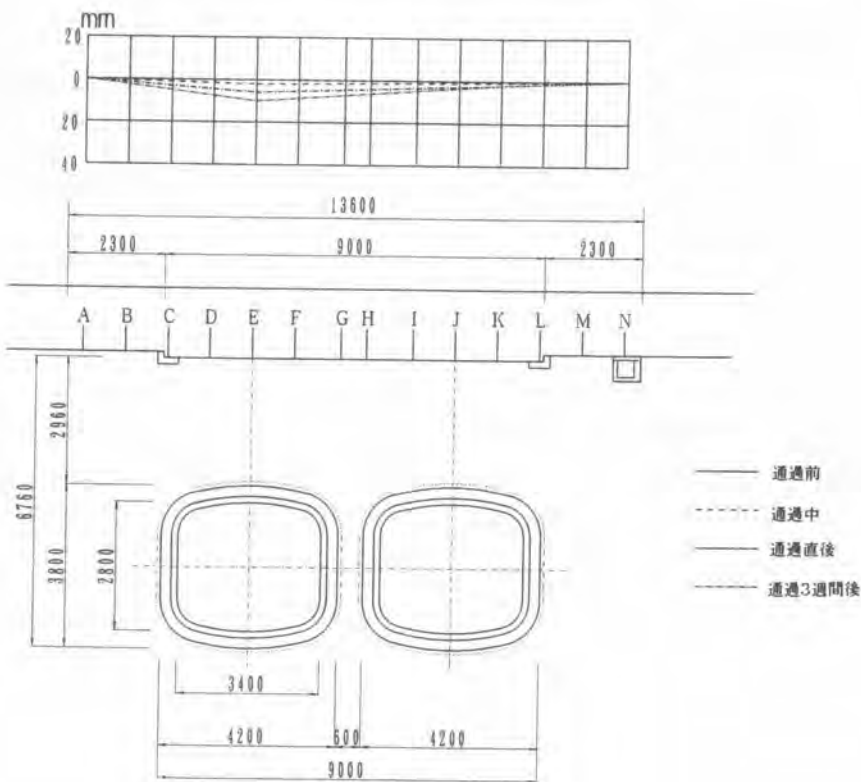


図-7 路面沈下図

#### ⑥ビットの磨耗

シールドのローリングを打ち消す方向で、カッターの回転方向を選定し、往路では、全体の75%を右回転で施工した。ビットの磨耗傾向も、回転方向に磨耗が見受けられた。ビットの磨耗量は最大で、2mm程度であった。カットビット1ヶ当たりの摺動距離は約130kmであり、摺動距離当たりの磨耗率は、0.015mm/kmであった。この値は、円形シールドに比べてもやや小さく、更に本シールドは摺動距離が円形の1/2程度であることから、従来の円形シールドより長距離掘進が可能と考えられる。

#### § 5. おわりに

平成7年7月末現在、シールドは回転立坑から再発進し、往路トンネルとの離隔60cm、シールド機との離隔51cmにて県道部まで掘進している。現在までは往路トンネルへの影響もなく順調に推移してきている。今後、機会があれば併設トンネルの施工について、施工報告を行いたい。



写真-2 発進坑口



写真-3 坑内状況

# 21. New PLS 工法の大断面トンネルへの適用

日本道路公団：本村 均  
ハザマ：篠崎 秀敏・\*芳賀 佳之

## 1. まえがき

都市部のトンネル工事においては、地表面の沈下防止や切羽の安定を図ることが重要な課題であり、さまざまな先受け工法が注目を浴びている。New PLS(Pre-Lining Support)工法は、先受け工法のうちプレライニングと呼ばれる工法の一つであり、掘削に先立ち切羽前方に連続したコンクリートシェルを構築するものである。

本論文は、新工法であるNew PLS工法の概要を紹介するとともに、本工法を採用し現在施工中である保土ヶ谷トンネルの施工状況を報告するものである。

## 2. 工事概要

### 2. 1. 地質概要

本トンネルの地質は、第三紀～前期更新世の上総層群上星川層(泥岩、N値50以上)を基盤とし、前期更新世の相模層群屏風ヶ浦層、関東ローム層、さらに軟弱な腐植土を挟み、表層は粘性土を主体とした盛土が覆っている。トンネルの掘削対象となる主な地質は、屏風ヶ浦層(固結シルト)で、その層厚は10～15m、N値は9～45(代表N値18)であり、一軸圧縮強度は5～8 kgf/cm<sup>2</sup>程度である。図-1に地質縦断面図を示す。

| 時代  | 層名        | 記号 | 代表N値 |
|-----|-----------|----|------|
| 現世  | 盛土        | Sf | 3    |
| 沖積世 | 腐植土       | Pt | 4    |
| 洪積世 | 武蔵野ローム層   | Lm | 4    |
|     | 下末吉ローム層   | Lc | 4    |
|     | 相模層群屏風ヶ浦層 | By | 18   |
| 第三紀 | 上総層群上星川層  | Ku | 50以上 |

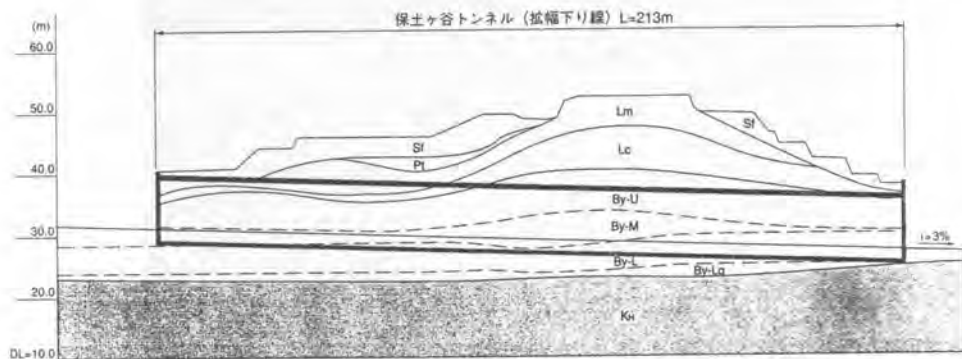


図-1 地質縦断面図

## 2. 2. トンネル概要

現在施工中の保土ヶ谷トンネルは、2車線の既設トンネルを3車線に拡幅するもので、掘削断面積は約 140㎡（既設トンネル断面含む）、延長は 213mである。本トンネルは、3車線の断面トンネルであること、供用中の既設トンネルとの離れが 2.5mと非常に近接していること、土盛りが 2~17mと薄く地表には新築家屋や道路、重要埋設管が存在すること、また、掘削対象地山が軟質な盛土、ロームおよびシルト層であることなど、厳しい条件を有している。このため、トンネルの安定確保はもちろん、地表や近接トンネルおよび周辺環境への影響を極力抑制することを目的として、先受け工法の一つである New PLS工法による全断面掘削を採用した。工事概要およびトンネル標準断面図を表-1、図-2に示す。

表-1. 工事概要

|       |                     |
|-------|---------------------|
| トンネル名 | 横浜新道・保土ヶ谷トンネル（下り線）  |
| 企業者   | 日本道路公団東京第一建設局       |
| 施工場所  | 神奈川県横浜市             |
| 用途    | 道路                  |
| 延長    | 213m                |
| 断面積   | 約140㎡               |
| 地質    | 更新世相模層群屏風ヶ浦層（固結シルト） |
| 掘削工法  | 全断面工法（New PLS工法）    |
| 掘削方式  | 機械掘削                |

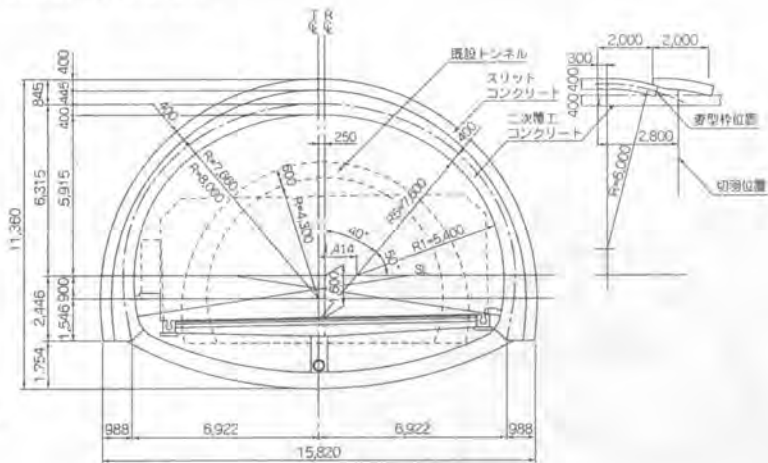


図-2 標準断面図

## 3. New PLS工法の概要

### 3. 1. 工法概要

New PLS工法の概要を図-3に、施工イメージを図-4に示す。本工法は、切羽掘削に先立ち湾曲したチェーンカットでスリットを切削し、同時に急硬性コンクリートを充填することにより連続したコンクリートシェル（スリットコンクリート）を構築し、事前に地山の保護を図る工法である。構築されたスリットコンクリートは剛性が高く、またベント（湾曲）型とする

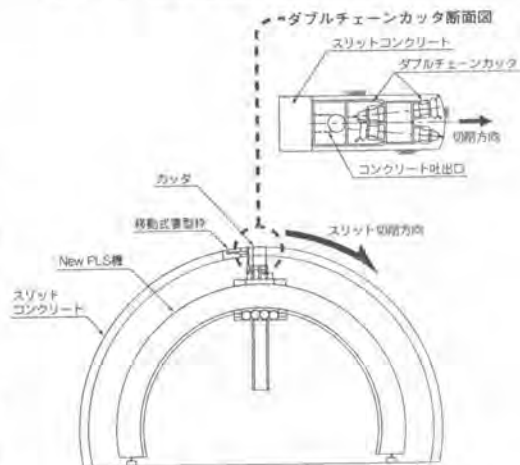


図-3 New PLS工法の概要



ことにより手前のコンクリートと連続させることが可能となり、先受け効果はもちろんのこと、切羽進行後には吹付けコンクリート以上の支保効果が期待でき、トンネル掘削時の地山の安定や地表沈下の抑制が図れる。

### 3. 2. New PLS機の概要

本工事に採用したNew PLS機は3車線道路断面を対象としたものである。New PLS機の全景を写真-1に、構造図および基本仕様を図-5、表-2に示す。

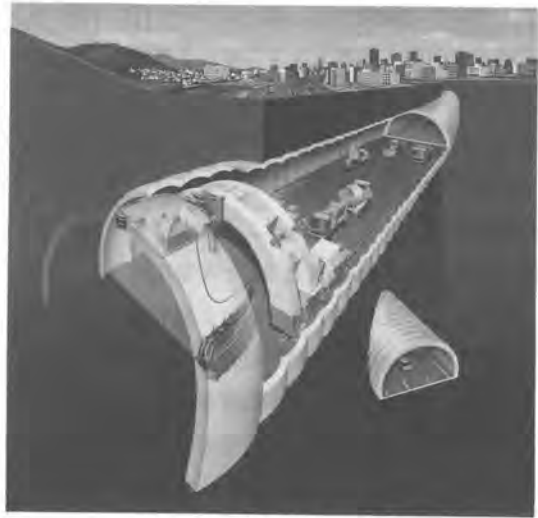


図-4 施工イメージ図

表-2 New PLSの基本仕様

| 名称     | 項目     | 仕様             |
|--------|--------|----------------|
| 油圧ユニット | 電動機(1) | 90kw*400V*50Hz |
|        | 電動機(2) | 11kw*400V*50Hz |
| カッタ部   | 型式     | ベント型ダブルチェーンカッタ |
|        | 切削深さ   | 2,800mm        |
|        | 切削厚    | 400mm          |
|        | チェーン速度 | 44m/min        |
| 横行装置   | 切削半径   | 8,100mm(外径)    |
|        |        | 横行速度           |
| 総重量    |        | 111t           |



写真-1 New PLS機の全景

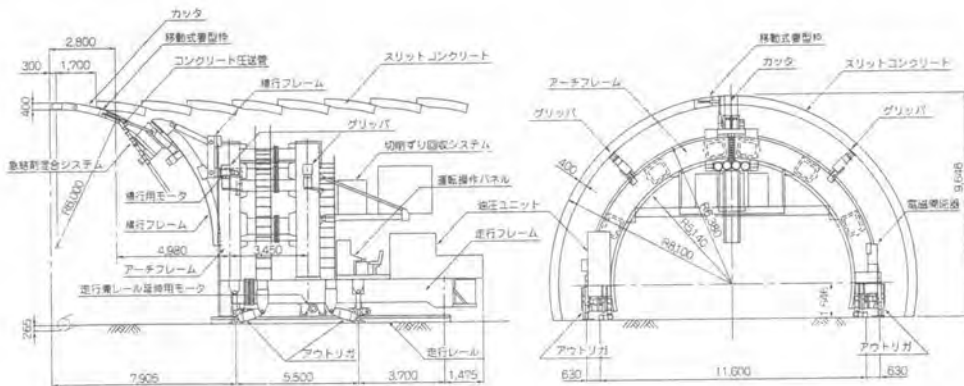


図-5 New PLS機の構造図

New PLS機の運転は、運転席に設置した操作盤を用いて行うが、New PLS機本体の操作（例えば本体の移動、切削など）だけではなく、New PLS機外部に設置されたコンクリートポンプおよび急結剤ポンプなど、すべてを集中制御できる機構となっている。また、急結剤の注入、混合は独自に開発した急結剤注入部および混合部を有する急結剤混合装置（図-6参照）により行っている。

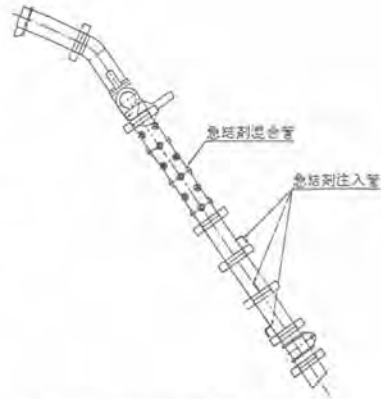


図-6 急結剤混合装置

### 3. 3. スリットコンクリートの概要

スリットコンクリートは、切削したスリット内に均一に充填されること、充填後は速やかに硬化し変形しないこと、さらにはプレライニングとして十分な強度を有するなどの性能が要求される。スリットコンクリートの要求性能を表-3に示す。このような要求性能に対し、充填性を確保するために、ベースコンクリート（パッチャープラントで製造）のスランプを $20 \pm 2.5\text{cm}$ とした。また、掘削工程から要求される4時間強度（ $\sigma_{4h} = 30\text{kgf/cm}^2$ ）を満足させるために急硬材（PLS-P）を使用し、さらに、急硬材によるコンクリートの硬化を遅延させスランプ16cm以上の保持時間を120分程度とするために、凝結調整剤（セッター D-300）も使用した。一方、スリット内に充填後数分でスリットコンクリートを自立させる目的で、液体急結剤（PLS-L）をコンクリート圧送途中で添加混合するシステムを採用した。スリットコンクリートの示方配合を表-4に示す。

表-3 スリットコンクリートの要求性能

| 項目                       | 条件                               | 要求性能   | 配合対策                       |
|--------------------------|----------------------------------|--|----------------------------|
| 流動性<br>および<br>自立性        | 厚さ40cm、奥行き2m以上の地山スリット内に分離せず均一に充填 | ベースコンクリートのスランプを $20 \pm 2.5\text{cm}$ 、2時間保持。液体急結剤混合後、2分で12cm以上                      | W/C, s/a<br>凝結調整剤<br>液体急結剤 |
| スリットコンクリート<br>端部の<br>自立性 | スリットコンクリート端面が、妻型枠から解放された時点で崩壊しない | 切削速度、妻型枠長を考慮して、打込み後8分で圧縮強度 $1\text{kgf/cm}^2$ 以上                                     | 液体急結剤                      |
| 強度発現性                    | トレンチ掘削時の作用土圧に耐えることができる。          | 施工サイクル、設計土圧を考慮して打込み後4時間の圧縮強度 $30\text{kgf/cm}^2$ 以上、材齢28日設計基準強度 $180\text{kgf/cm}^2$ | 急硬材<br>W/C                 |

表-4 スリットコンクリートの示方配合

| 最大骨材寸法<br>Gmax<br>(mm) | 水結合材比<br>W/C+P<br>(%) | 細骨材率<br>s/a<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |           |          |          |          |       |          |
|------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|-----------|----------|----------|----------|-------|----------|
|                        |                       |                    | 水<br>W                  | セメント<br>C | 急硬材<br>P | 細骨材<br>S | 粗骨材<br>G | 凝結調整剤 | 急結剤<br>L |
| 20                     | 48                    | 42                 | 192                     | 340       | 60       | 695      | 975      | 5.6   | 28       |

#### 4. 施工概要

##### 4. 1. 施工方法および施工順序

本トンネルの掘削に関する施工フロー図およびスリットコンクリートの施工図を図-7、図-8に示す。New PLS機を切羽後方にセットした後、左脚部の掘削を行い、コンクリートを充填しながら時計回りに $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ まで切削を行う。その後右脚部の切削、コンクリート打設を行いNew PLS機による施工は完了する。スリット切削深さは2800mm、コンクリート厚さは400mm、奥行き約2100mmである。コンクリートは、坑口に設けられたパッチャープラントにより急硬材と凝結調整剤を添加した状態で製造され、アジテータトラックで坑内に運ばれる。そして、専用のポンプ車によりスリット直前で後添加の急結剤と混合されスリット内に打設される。

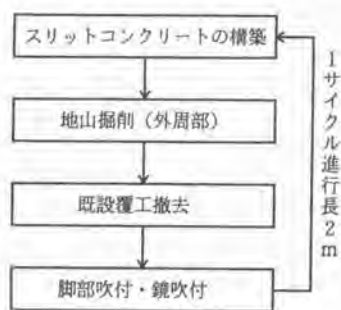


図-7 施工フロー図



図-8 スリットコンクリート施工図

##### 4. 2. 施工状況

New PLSは95年3月末に現場に搬入し、組み立て作業および試運転調整の後、坑口部のスリットコンクリートを施工した。施工当初は新工法につきもの様々なアクシデントに見舞われたものの、7月末現在でNew PLS工法によるトンネル掘削は約80mの進捗を示し、順調に工事は進行している。

坑口から30m付近までは、当初の予想に反して非常に軟質なローム層や腐植土層が出現し、湧水も多いことからスリットコンクリートの沈下や鏡からの肌落ち等が懸念されたが、脚部吹付けや鏡吹付けおよび鏡ボルト(L=5.0m)の効果により、安定したトンネル掘削を行うことができた。また、それ以後については切羽全面に比較的自立性の良いシルト層が現れ、地表沈下や地中沈下は10mm程度以下と非常に安定している。

スリットコンクリートの施工は、主にカッターフレーム背面(コンクリート吐出口付近)に設置された土圧計によりスリット内のコンクリート充填圧力を管理しながら、切削速度もしくはコンクリート吐出量を制御して行っている。切削速度はコンクリートの自立時間を考慮し、おおむね150mm/min程度を目標としており、コンクリート充填圧力は切り上がり(横行角度 $0 \sim 90^{\circ}$ )では0.5kgf/cm<sup>2</sup>、切り下がり

(横行角度90～180°)では空隙のないコンクリート充填を行うために1.0～1.5 kgf/cm<sup>2</sup>程度の圧力をかけながら切削を行っている。表-5にスリットコンクリートの施工データの例を示す。

切削速度については、切り上がり、切り下がりでは差があるものの概ね設計通りの100～200 mm/minで切削が進行している。また、スリットコンクリートの充填圧については、横行角度120°程度までは0.5～1.0 kgf/cm<sup>2</sup>であ

表-5 スリットコンクリート施工データ例

| スリットNo. 30 |       |           |                |                              |               |                                     |
|------------|-------|-----------|----------------|------------------------------|---------------|-------------------------------------|
| 横行角度(°)    |       | 所要時間(min) | 平均切削速度(mm/min) | コンクリート吐出量(m <sup>3</sup> /h) | 急結剤吐出量(L/min) | スリットコンクリート充填圧(kgf/cm <sup>2</sup> ) |
| 0～30       | 切り上がり | 27.75     | 148            | 7.29                         | 2.05          | 0.75                                |
| 30～60      |       | 35.15     | 118            | 7.70                         | 2.07          | 0.55                                |
| 60～90      |       | 26.93     | 154            | 9.22                         | 2.28          | 0.63                                |
| 90～120     | 切り下がり | 29.50     | 138            | 9.94                         | 2.36          | 0.65                                |
| 120～150    |       | 24.28     | 170            | 10.28                        | 2.40          | 1.02                                |
| 150～180    |       | 21.58     | 192            | 10.33                        | 2.45          | 1.23                                |
| 平均         |       | 27.53     | 159            | 9.24                         | 2.28          | 0.81                                |

り、切り下がりでは1.0kgf/cm<sup>2</sup>以上の圧をかけながらスリットコンクリートを充填していることがわかる。スリットコンクリートの施工状況および施工後の状況を写真-2、写真-3に示す。



写真-3 施工後の状況



写真-2 スリットコンクリート施工状況

5. あとがき

今回、保土ヶ谷トンネルで採用したNew PLS工法は、実績のほとんどない新工法であるため、先受け工としての効果や施工性の面で未知の部分が多く、また、機械的にも切削効率やコンクリートの充填性および機械の耐久性など不明な点が多い。しかし、施工や計測管理を通じて徐々にそれらが明確になりつつあり、プレライニング工法の一つとして確立されるであろう確かな手応えを感じている。今後も今秋に予定されている貫通にむけて努力していきたいと考えている。

なお、本工法はNew PLS工法研究会(㈱日本建設機械化協会、ハザマ、(株)大林組、五洋建設(株)、東急建設(株)、日本国土開発(株)、(株)三井三池製作所)により開発が進められた新工法で、今回のように本格的に施工に採用されるのは初めてのことである。

## 22. NTL 工法

～トンネル一次覆工の機械化施工～

日本道路公団：東 保彦・大嶋 健二  
鴻池組・一宮建設共同企業体：\*酒向 龍實

### 1. はじめに

現在、山岳トンネルの施工法の主流となっている NATM の一次覆工としての吹付コンクリートには、粉塵の発生による作業環境の悪化・リバウンドによる材料ロスが多いといった問題が指摘されている。これらの問題を解消し、一連の作業の機械化・自動化を目的とした新しい一次覆工工法—NTL (New Tunnel Lining) 工法—が開発されている。NTL 工法とは、移動もしくは、固定式の特製の型枠と地山の間に流動性と急硬性を有するコンクリートを打設し平滑な一次覆工面を形成するものである。本報文は、東海北陸自動車道小瀬子トンネル (L=671m) のほぼ全線を施工した NTL-1 機および試験施工状況について述べたものである。

### 2. 小瀬子トンネルの概要

小瀬子トンネルは、東海北陸自動車道のほぼ中央、岐阜県郡上郡八幡町に位置している。小瀬子トンネル周辺の地形は、白山系の山地で形成される。その中を長良川が南北に流れており、両岸には標高 400m 程の峰々が河道に急な斜面でせり出している。流域には浸食谷の発達した小規模河川が多数存在している。

小瀬子トンネルの地質は、美濃帯に属する中生代ジュラ紀の小駄良川層の頁岩が主体となっている。



図一 小瀬子トンネルの地質

### 3. NTL 工法

山岳トンネル施工の主流となっている NATM では、一次覆工は吹付コンクリート・ロックボルト・鋼アーチ支保工によって形成されている。吹付コンクリートは掘削直後の地山を被覆・保護するとともに変形を抑制する機能を果たしており、もっとも重要な支保部材となっている。しかしながら、吹付コンクリート施工時の粉塵発生による作業環境の悪化や、跳ね返りによる材料ロス、さらには、地山の凹凸に沿った仕上がり形状となる部分での応力集中が発生するといった問題がある。そのため、吹付工法に替わる合理的で経済的、かつ、安全環境に配慮した一次覆工工法を求める方向にある。

NTL 工法は、吹付工法に比べ以下のような利点がある。

① 掘削後早期に覆工できるため、掘削面の風化・劣化を抑制できる。また、初期強度発現に優れ、支保機能の即効性が得られるため地山のゆるみを最小限に抑えることができる。

- ② 地山に密着した平滑な仕上がり面の覆工体ができるため、掘削壁面の応力集中を緩和できる。
- ③ 特殊な型枠を用いるため、コンクリートの跳ね返りロスがない。
- ④ 作業の自動化・ロボット化をはかれるため、危険・苦渋作業を解消できる。
- ⑤ 粉塵の発生が無く、良好な作業環境が得られる。

NTL工法による一次覆工は、上記①②に加え、長期強度も高いことから、吹付コンクリートの代替にとどまらず、将来的には鋼製支保工やロックボルト等の支保部材の簡素化・省略が期待されるものである。

#### 4. NTL-1機

##### (1) NTL-1機の開発条件

現在、NTL工法には、エンドレスベルトによる円周方向移動型枠方式・全周セントル型枠方式・部分セントル型枠方式・コテ型枠方式が提案されているが、NTL工法実用機の1号機であるNTL-1機の開発は、以下の条件の下に行った。

- ① 対象トンネル断面は、日本道路公団暫定2車線トンネル（仕上がり内空R=5.6m）とする。
- ② 上半先進発破掘削工法とし、地山等級のB～Dまでに対応できるものとする。
- ③ 移動・セット・コンクリート打設・養生・脱型と続くサイクルタイムの短縮がはかれること。
- ④ 一次覆工作業時の安全性を確保すること。
- ⑤ 機械の一体化・コンパクト化を図ること。
- ⑥ 機械の自動化を図ること。

##### (2) NTL-1機の特徴

今回開発したNTL-1機には、施工性を考慮して、部分セントル型枠方式を採用した。タイヤ方式のベースマシンに、起伏可能なブームを取り付け、ブーム先端に円形レールフレームと天端固定型枠を配置し、このレールフレーム上を移動可能な左右一対の走行型枠を装備した。妻型枠は伸縮シリンダーにより放射状に上下する連続弾性体方式を採用した。この型枠と掘削地山とで形成された空間内に、NTLコンクリートを流し込み、左右の側壁部、天端部の順に一次覆工を行う。

以下に各部の特徴を列記する。

- a. ベースマシン：機動性・耐久性に優れるトンネル機械専用のタイヤ式ツールキャリアを採用し、コンクリートポンプ・急硬材供給装置・作業足場等の必要設備をすべて搭載した。
- b. レールフレーム：コンクリート側圧に対する反力フレームの機能を兼ね、4箇所の関節により、移動時にはコンパクトに折畳み、収納できる構造とした。
- c. 位置調整機構：ブーム先端にて、ピッチング・ヨーイング・スライドの動作が行え、ブームの起伏・旋回と併せてレールフレームのセットが容易に行えるようにした。
- d. 型枠：各部分型枠は、それぞれ4本の油圧伸縮ジャッキで支持され、型枠表面には特殊なゴムライニングを施しコンクリートの剥離性を高めた。型枠の走行は、ピンラック・ピニオンギヤ方式の油圧モータ駆動とした。妻型枠は、5～45cmの地山の凹凸に追従できる構造とした。

e. 各種センサー：施工性の向上・自動化を図るために各種のセンサーを装備した。

f. 安全性の向上：地山の肌落ちに対し、天端型枠及びプロテクタを設置し、すべての操作を遠隔式とした。NTL-1機の概略仕様を表-1に、外形図を図-2に、センサー配置図を図-3に示す。

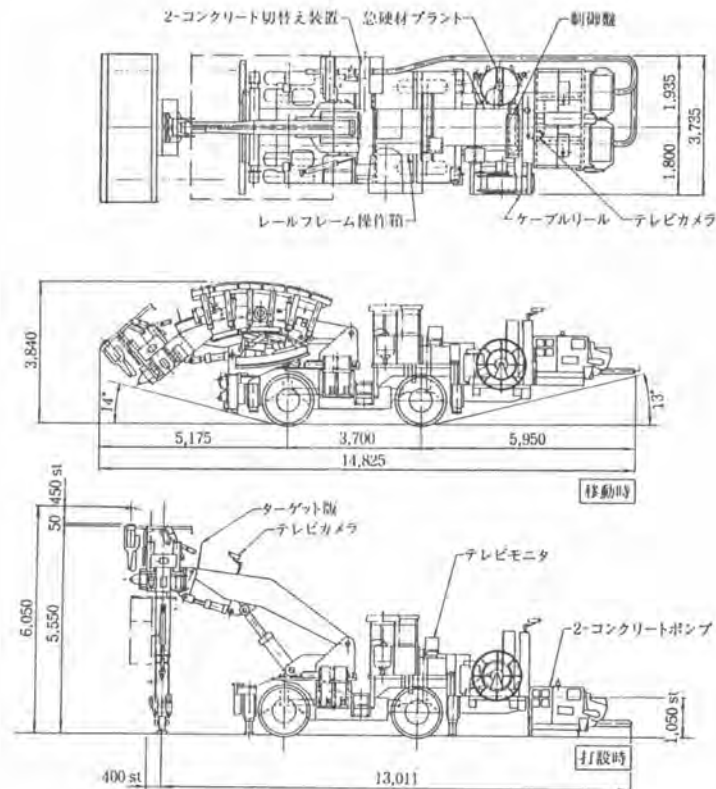


図-2 NTL-1機外形図

表-1 NTL-1機概略仕様

| 種別        | 項目   | 仕様                                     | 備考   |
|-----------|------|--|--|
| 全体仕様      | 全幅   | 12,000 mm                              | 折畳み走行時 3,945 mm  |
|           | 全高   | 6,000 mm                               | 折畳み走行時 3,840 mm  |
|           | 全長   | 14,091 mm                              | 折畳み走行時 14,825 mm   |
|           | 総重量  | 54 t                                   |  |
|           | 総電容量 | 113 kW                                 | 400 V / 440 V 50 Hz / 60 Hz  |
| 型枠部       | 型枠形式 | スライド式部分型枠<br>走行スライド式部分型枠               | 上部 1/5 型枠×1<br>下部走行式 1/5 型枠×2  |
|           | 型枠幅  | W = 1,600 mm                           | 打設スパン 1,500 mm   |
|           | 型枠半径 | R = 5,900 mm                           |  |
|           | 妻型枠  | 地山凹凸追従弾性体式                             | 50 ~ 450 mm の地山の凹凸に対応  |
| コンクリート打設部 | 打設方法 | 流込み方式                                  | コンクリートポンプにより圧送   |
|           | 打設装置 | コンクリートポンプ×2台<br>急硬材供給装置<br>先端構件装置（連続式） | 1 ~ 15 m <sup>3</sup> /h/台<br>定置型ポンプ（2 ~ 12 t/min）2台<br>各型枠に1箇所（計3台） |
|           |      |  |  |
| 走行部       | 走行方式 | タイヤ式                                   | 180 PS   |
|           | 走行速度 | 5 km/h                                 | 前進・後退共   |
|           | 登坂能力 | 13 度                                   |  |

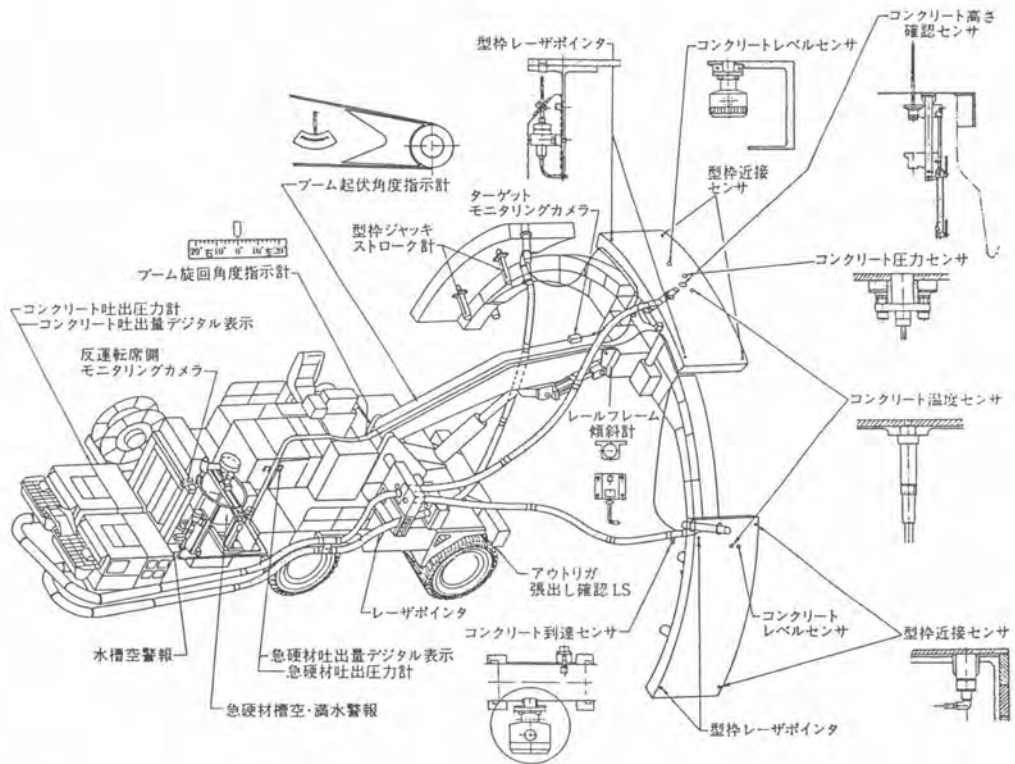


図-3 各種センサー配置図



写真-1



(3) NTLコンクリート

使用したコンクリートは、型枠内に充填されるまでは流動性を保ち、その後、脱型可能強度まで急速に硬化する特性が要求される。そのため、コンクリートに急硬性を付与する混和材として急硬材（主剤）を、逆に硬化時間を調整する混和材としてセッター（調整剤）を用いる。今回のコンクリート打設は、ポンプ圧送（2ピストン・シリンダスライド式・2台）とし、急硬剤の添加混合は、先端攪拌方式とし、粉体の急硬剤を水に混ぜポンプにてコンクリート打設孔直前の先端攪拌装置まで圧送し、コンクリートと混合させる方式とした。

5. 試験施工状況

小瀬子トンネルにおけるNTL-1機による試験施工は、平成6年6月～7年6月まで実施し、施工延長は、両坑口部を除く635m（531スパン）であり、そのほとんどが鋼製支保工・ロックボルトを省略したパターンにて施工した。以下にその施工状況を示す。

(1) 地山状況

小瀬子トンネルの地質概要および支保パターン実績を図-4に示す。NTL施工区間の地質は、頁岩と風化頁岩が主体であり、部分的に砂岩が貫入している程度であった。頁岩は黒灰色をしており、節理が非常に発達している。褶曲作用は著しく、粘土の介在する破砕帯が至る所（10m程度毎）で出現した。トンネル全体の湧水量は毎分200～300ℓ程度であり、切り羽部での局所的な湧水量は毎分20～50ℓ程度であった。



| 地山等級        | D        | C     |      |      |      |      |      |       |     | D    | C  | D    | C  | D  |      |
|-------------|----------|-------|------|------|------|------|------|-------|-----|------|----|------|----|----|------|
|             |          | CII   |      |      |      | CI   |      |       |     |      |    |      |    |    |      |
| 設計パターン      | DIIa     |       |      |      |      |      |      |       |     |      |    |      |    |    |      |
| 区間長(m)      | 10.8     | 110.4 | 25.2 | 38.4 | 27.0 | 97.2 | 42.0 | 136.8 | 13  | 45.6 | 20 | 34.8 | 20 | 17 | 24.8 |
| 区間最大土盛り厚(m) | 4.2      | 65    | 78   | 82   | 66   | 88   | 113  | 133   | 125 | 105  | 67 | 55   | 34 | 23 | 12   |
| 支保パターン      | 吹付・おけり工法 |       |      |      |      |      |      |       |     |      |    |      |    |    |      |
|             | N        |       |      |      |      |      |      |       |     |      |    |      |    |    |      |
|             | TR       |       |      |      |      |      |      |       |     |      |    |      |    |    |      |
|             | L        |       |      |      |      |      |      |       |     |      |    |      |    |    |      |
|             | 掘進延長延伸   |       |      |      |      |      |      |       |     |      |    |      |    |    |      |
| 設計地厚減       |          |       |      |      |      |      |      |       |     |      |    |      |    |    |      |

図-4 小瀬子トンネル地質概要・支保パターン

## （２）施工状況

機械関係の初期故障・取り扱い未熟によるトラブル等により当初は目標のサイクルタイムをなかなか達成できなかったが、施工回数が増えN T L工法の作業に習熟するにつれトラブルの回数も減り、90回（約90m）を越える頃から穿孔～発破～ずり出し～一次覆工の全体サイクルタイムは安定し、一次覆工のサイクルタイムは小さなトラブルを含め120分程度（最短80分）となり、当初想定した目標サイクルタイムをほぼ達成した。

しかしながら、破砕帯等で切羽が肌落ちするような場合において、N T L-1機の構造上ほとんど核残しができないこと、および、妻型枠のジャッキストロークが及ばなくなることから、コンクリートによる一次吹き、あるいは、人力による間詰め作業に予想以上の時間を要した。

## （３）作業環境の改善

N T L工法の一次覆工時の平均粉塵濃度は、吹付コンクリートに比べきわめて微少であり、施工時の発生粉塵は、ミキサー車等からの煤煙が主であった。セメント系の浮遊粒子状粉塵がほとんどないことから、N T L工法の当初の目的の一つは達成できたといえる。

## （４）N T L-1機の評価

N T L-1機設計時の開発条件はほぼすべて満足したものと考えられるが、軟弱地山における核残しへの対応、さらには、N T Lに適したその他の補助工法の確立が今後の課題である。

今回、すべての装置を1台の車両に搭載し、一体化・コンパクト化を図ったが、限られたスペースにすべてのものを乗せたことによる配置的な不都合や、特殊な機器の使用により、メンテナンス上不利になったといえる。今後は、ある程度の装置の分割を検討する必要がある。

また、種々のセンサーを設置し自動化を図ったが、実施工において作業員が使いこなせないものが多かったため、必要最小限のセンサーの設置にとどめ、操作の容易なものにする必要があると思われる。

## 6. おわりに

小瀬子トンネルにおけるN T Lの試験施工に際し、ご指導・ご協力賜りました、（社）日本トンネル技術協会とN T L特別小委員会の方々をはじめとする関係各位に厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1）（社）日本トンネル技術協会（日本道路公団名古屋建設局美濃工事事務所委託）：東海北陸自動車道小瀬子トンネルN T L施工検討報告書，平成7年3月
- 2）広谷繁樹・東保彦・榎戸靖暢：N T L工法の試験施工 東海北陸自動車道小瀬子トンネル，トンネルと地下，V o l . 2 5，N o . 1 0，1 9 9 4年1 0月
- 3）東保彦・榎戸靖暢・酒向龍實：トンネル一次覆工工法の機械化－N T L工法の紹介－，建設の機械化，1 9 9 4年1 1月

## 23. J-PLAD 工法の開発

新日本製鐵(株)：長谷川 久・野崎 啓太  
\*作田 憲一

### 1. はじめに

21世紀に向けてのインフラ整備が進められる中で、各種ライフラインの敷設工法として開発されたパイプライン弧状推進工法(PLAD=Pipe Line Arch Drill Method)は、開発以来着実に実績を重ね、現在、延べ27件の工事実績を数える。

PLAD工法とは、方位掘削技術を応用し地上から斜めに孔を掘り進みアーチ状の軌道を描いて河川や港湾、鉄道等の障害物の下を横断し、孔の中にパイプラインを敷設する工法である。しかしながら、従来のPLAD工法では、敷設するパイプラインの管径が大きくなると掘削抵抗が増加する等から、パイプライン敷設管径の上限を1000mmとしてきた。そこで、敷設管径が1000mmを越えてもパイプラインを弧状に敷設することのできるJ-PLAD工法(Jumbo-PLAD)の開発に着手した。

本文では、J-PLAD工法の概要と昨年度実施した実規模フィールド実験の結果について報告する。

### 2. J-PLAD工法の概要

J-PLAD工法の開発は、敷設外径2000mmの曲線トンネルの構築を目標とした。この目標を達成させるためには、PLAD工法での最大敷設管径の2倍に相当する孔の拡張を必要とし、掘削トルクの増大や排土量の増大等の課題を克服する掘削システムが要求される。

課題克服のための掘削システムとして、1つ目に掘削トルクの伝達に管内駆動方式を採用した点がある。PLAD工法での掘削トルクは、発進側の推進機からドリルパイプを介して伝達されるが、J-PLAD工法では、トルク増大に対応するため内部モーターにより掘削トルクを与えるものとした。2つ目は掘削ヘッドと後続部をスライドジャッキで接続した点である。これにより、掘削ヘッドのみ引き込みを行うことができるため掘削抵抗力の低減が可能となる。3つ目は排土方式として、泥水式シールド工法で用いられる流体輸送式を採用した点である。流体輸送式を採用することで、掘削土砂を管内に取り込む事が可能となるため、掘削外径の大径化により掘削土量が増大しても、確実に排土することが可能となる。掘削ヘッドの基本構造図を図-1に示す。

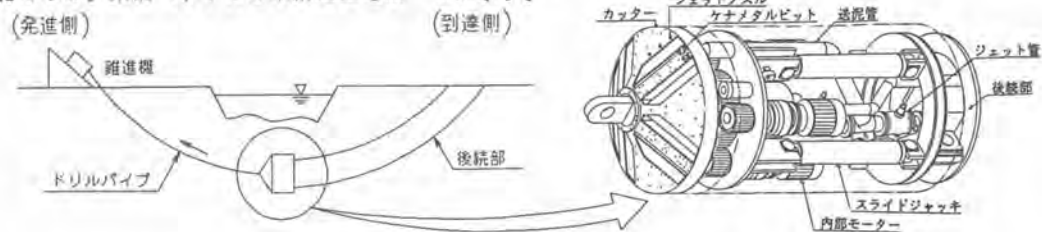


図-1 掘削ヘッド

### 3. J-PLAD工法の施工手順

#### STEP-1:パイロット工

発進側に設置した斜めの反力架台と推進・回転及び牽引装置からなる専用掘削機を用いて小径（2-7/8 or 5 インチ）のパイロットパイプを計画された軌道に沿ってパイロット孔を掘削する。掘削は、パイロットパイプ先端に設置した軌道制御機能を持つ泥水圧駆動型掘削装置又は泥水JET型掘削装置によって行う。掘削軌道は、先端掘削装置の直後に位置する孔芯測定器により地上からモニターされる。掘進距離が長くなるとパイプ周辺の抵抗が増大するため、パイロットパイプに2-7/8インチを使用した場合では、パイロットパイプの外側にウォッシュオーバーパイプ（5インチ）をかぶせて回転させながら掘進して、パイロットパイプの抵抗を低減させると共に軌道を確保する。

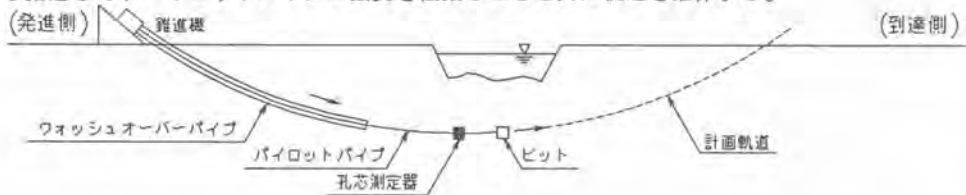


図-2 パイロット工

#### STEP-2: 拡張・ドリルパイプ入替工

到達したウォッシュオーバーパイプに拡張・入替用ビットと本管を引き込むための十分な強度をもつドリルパイプ（5インチ）を接続して導進機側へ回転させながら引込み、拡張をしながらウォッシュオーバーパイプと入れ替える。このステップは、延長、管径、土質によっては省略する事がある。

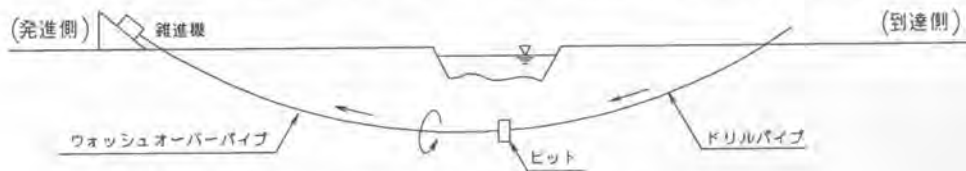


図-3 拡張・ドリルパイプ入替工

#### STEP-3: トンネル構築工

到達側のドリルパイプの先端に掘削ヘッドを取り付け、この掘削ヘッドをヘッドに内蔵したモーターにより回転させ、掘削ヘッド前面より泥水を噴射させながら発進側に引き込む。掘削ヘッドを発進側へ引き込んだ後、内部ジャッキにより後続部を引き込む（図-5参照）。掘削ヘッド及び後続部を引き込む際の引き込み反力はドリルパイプを介して発進側の導進機にとる。また、掘削に使用する泥水は、掘削土砂と共に排泥ポンプにより管内を通して搬送され、泥水プラントにて処理された後、再度利用される。

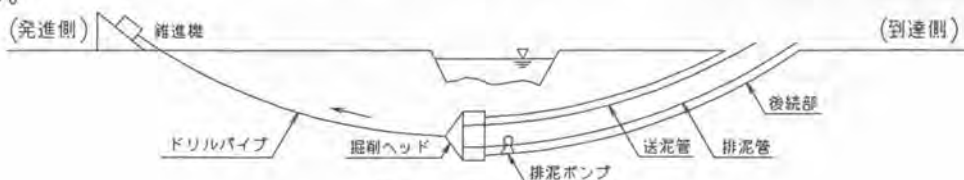


図-4 トンネル構築工

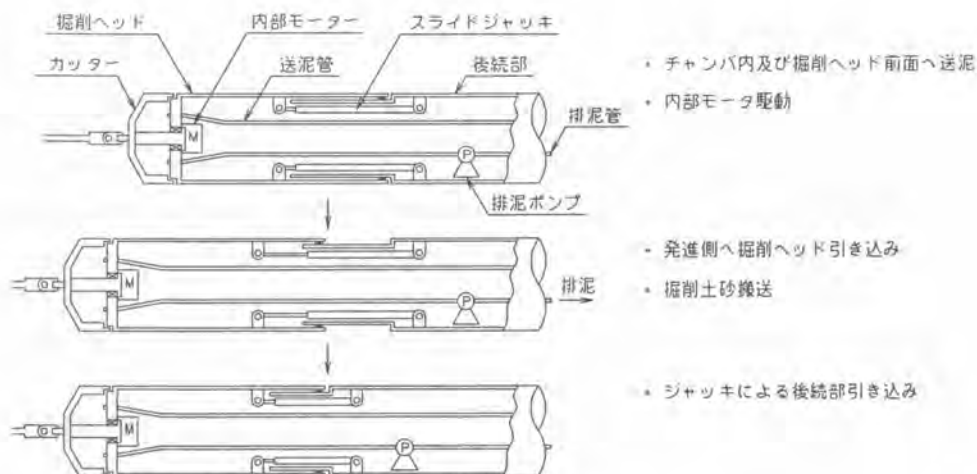


図-5 後続部引き込み手順

#### 4. フィールド実験の概要

フィールド実験の目的は、実規模の掘削設備を用い、掘削ヘッドによる掘削性能や泥水環流システムの設備能力の検証、一連の掘削操作手順の確認等を行うことでJ-PLAD工法を確立させることにある。実験は昨年6月～10月にかけて千葉県木更津市において実施し、進延170m、

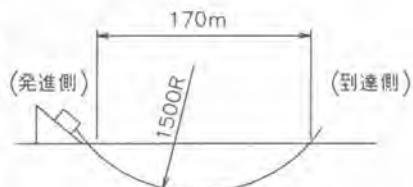


図-6 実験計画軌道図

掘削ヘッド外径 $\phi 1750$ mm、後続部は管径1500Aの鋼管とした。実験スケジュールを表-1に、実験計画軌道図を図-6に示す。また、本実験での土質条件は、地層が洪積層、土質がローム(N値

表-1 実験スケジュール

|                  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|------------------|----|----|----|----|----|
| ○不陸整正・仮設・機械据付    | 20 | 22 |    |    |    |
| ①パイロット孔掘削        |    | 23 | 28 |    |    |
| ②Reaming         |    |    | 8  | 10 |    |
| ③大径掘削・1500A管引込み工 |    | 23 | 準備 | 31 | 8  |
| ○解体・撤去・原形復旧      |    |    |    | 9  | 18 |

2～8)及び砂質土(N値5～30)であった。本実験で使用した掘削ヘッドの主仕様及び掘削ヘッド前面図を表-2、図-7にそれぞれ示し、泥水環流フローを次項図-8に示す。

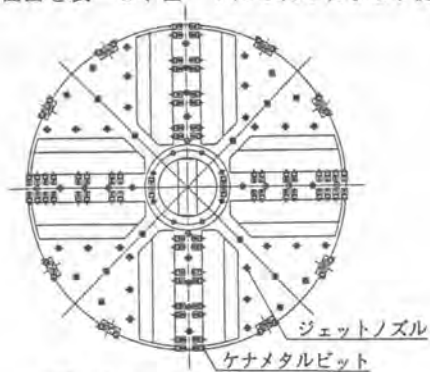


図-7 掘削ヘッド前面図

表-2 掘削ヘッド主仕様

|          |   |
|----------|---|
| 適用鋼管     | $\phi 1524(1500A)$  |
| 回転数      | 15.5 r.o.m  |
| カットルック   | 常用7.5 t <sup>r</sup> -m 最大11.3 t <sup>r</sup> -m  |
| 電動機      | 30 <sup>h</sup> v x 4 <sup>p</sup> x 400 <sup>v</sup> x 4 <sup>h</sup>  |
| スライドジャッキ | 3180 <sup>h</sup> t x 1050 <sup>h</sup> t x 350 <sup>h</sup> o <sup>r</sup> /om <sup>2</sup> x 4 <sup>h</sup> |
| 油圧ポンプ    | 30 <sup>l</sup> /min x 350 <sup>h</sup> o <sup>r</sup> /om <sup>2</sup> x 1 <sup>h</sup>                      |
| ユニット電動機  | 22 <sup>h</sup> v x 4 <sup>p</sup> x 400 <sup>v</sup> x 1 <sup>h</sup>  |
| 電源       | AC 50 <sup>h</sup> z 3 <sup>h</sup> 400 <sup>v</sup>  |

## 5. フィールド実験結果

### ①一連の掘削操作作業性・手順の確認

今回のフィールド実験は、 $\phi 1750$ mmの大径掘削ヘッドを発進側へ引き込み、後続部に鋼管を敷設する事を実証する前例のない実験であったため、まず、一連の掘削操作作業性の検証及び作業

手順フローの確認が必要であった。

従来のPLAD工法での掘削操作は、発進側推進機のオペレーションが90%以上を占めていたが、J-PLAD工法のオペレーションでは到達側での掘削ヘッドの操作及び環流設備の操作が加わり、

これら操作のウェイトが高くなる。そこで、操作を全てマニュアルで行い、一つ一つの作業内容及び作業手順を確認しながら掘削操作作業性を検証した。

### ②大径弧状トンネル構築の実証

実験向けに製作した掘削ヘッドは、軌道曲率の曲げ、掘削前面抵抗等に対して十分に機能し、掘削ヘッドが上り軌道を掘り進む際も、先行したドリルパイプに沿ってスムーズに弧状に掘削可能なことを確認した。また、環流設備についても、掘削土の確実な排土、及びその泥水処理を実施する事が出来る事を確かめた。実験用地の都合により推進距離170mと短距離でのトンネル構築実験ではあったが、大径化、長距離化への応用のための掘削データ及び泥水環流データを得ると共に大径弧状トンネルの構築を実証した。

### ③Jet効果の実証

掘削ヘッドの特徴の1つに、掘削ヘッド前面に泥水噴射ノズルの取り付けがある。この泥水噴射ノズルは、掘削時にWater・Jetを噴射させることで掘削トルクの低減を図ることを目的としたが、今回の砂が中程度に締まった地盤において、掘削速度25cm/min、Jet流量 $1.0\text{m}^3/\text{min}$ (Jet圧約 $20\text{Kg}/\text{cm}^2$ )の条件下での掘削は、Jetを噴射させない時の掘削と比べ、掘削トルクを約30%減少させることが可能という結果を得た。Water・Jet噴射状況を写真-1に示す。



写真-1 Water・Jet噴射状況

## 5. おわりに

本実験では主に掘削性能及び環流システムを検証し、たて坑なしに径2000mmまでの曲線トンネルを構築するJ-PLAD工法の実用化の目処を付けた。今後は、岩盤やレキとの互層等難しい土質条件への対応力を強化すると共に掘削設備、環流設備のコンパクト化を図る等、より一層工法の充実を図っていく所存である。

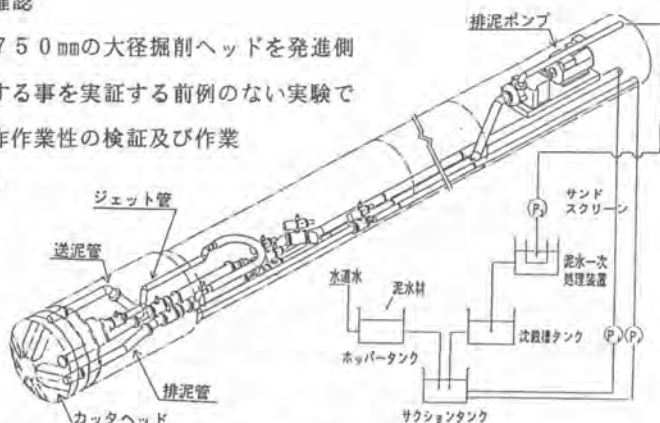


図-8 泥水環流フロー

## 24. シールド掘削鉛直精度管理システム

大成建設(株)：\*三神 克己・近藤 高弘

### 1. はじめに

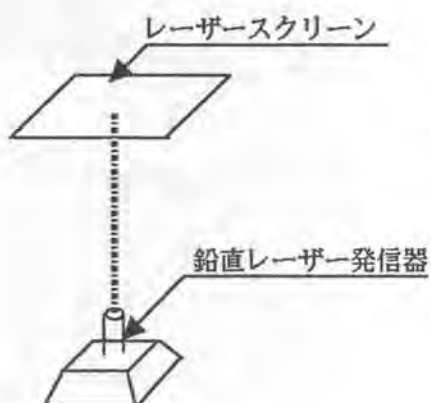
球体シールド工法の開発により、立坑施工に直接シールド掘削機を用いることができるようになった。そこで新たに立坑掘削時、特に到達点での掘削機の位置管理が重要な管理項目となった。

本システムは、このような球体シールド工法の持つ特徴を考慮し掘削中の掘削機の位置をリアルタイムに三次元的にモニタリングすることができる位置精度管理システムである。

### 2. システム概要

掘削機の位置検出方法としては、ワイヤーを用いる方法等も考えられるが、シールド掘削機の空間スペースの問題や、セグメント等の搬入作業における施工上の安全性を考慮して、非接触式の検出方法を検討し採用した。

#### 2-1. 原理

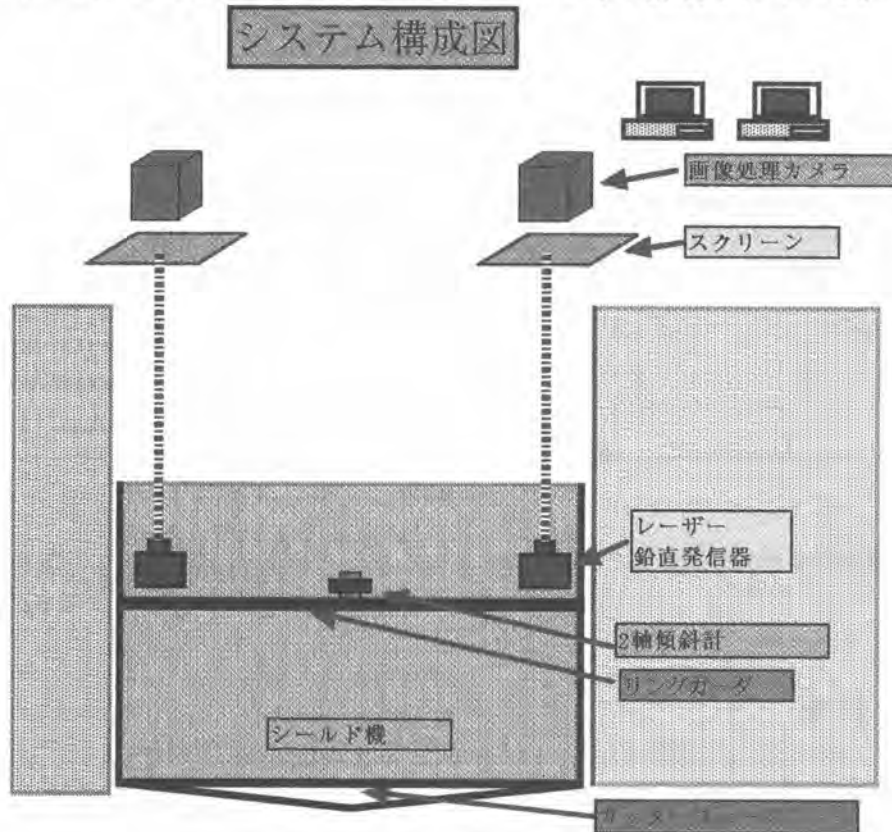


左図の様に鉛直レーザー発信器をシールド掘削機の作業床に設置する。レーザー発信器は、本体が多少傾いても自動的に鉛直補正して発信する機能がある。そのため掘削機の本体が掘削施工時に平面移動した移動量を固定したレーザースクリーンで捕えることができる。

掘削機の三次元位置情報としては、実際の掘削長と掘削機本体に設置されている傾斜計からの情報を総合的に処理して求める。

## 2-2. システム図

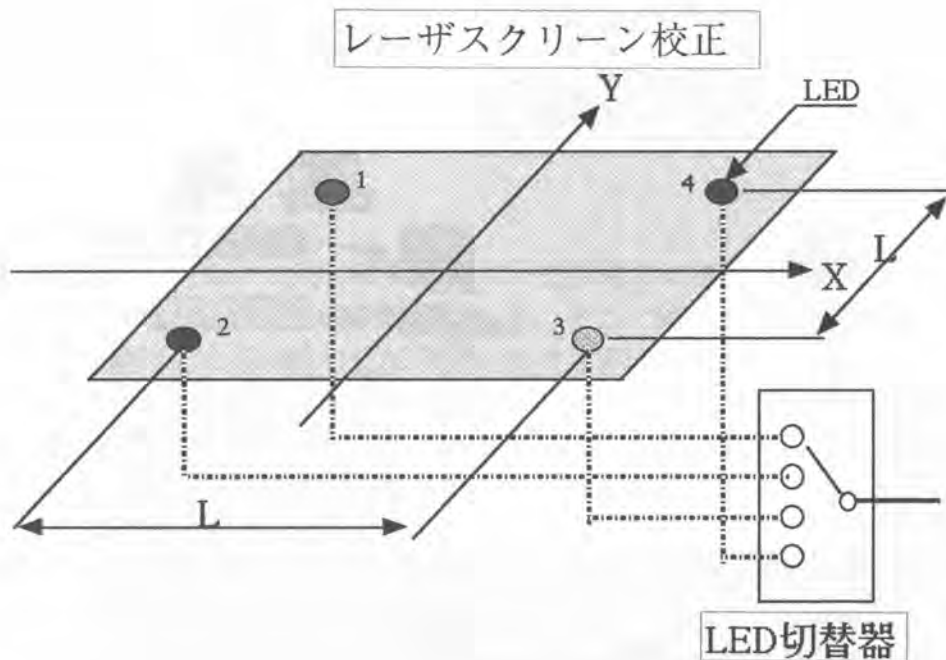
システムは、下図の様に2軸傾斜計、レーザ鉛直発信器、レーザスクリーン、画像処理カメラ、およびパソコン等で構成されている。



## 2-3. レーザスクリー校正

レーザスクリーンでのレーザ光の読み取り精度がシステム全体の計測精度に与える影響が大きいため、厳密にレーザ座標を校正する必要がある。そのため次図の様にレーザスクリーン内部にLED(発光ダイオード)を所定の位置に埋め込み、順次1~4の順に点灯させる。そしてそのときのカメラで撮らえた画像処理座標を読み、スクリーンとカメラの関係の補正処理を行う。





#### 2-4. 計測

レーザースクリーンに映ったレーザースポットは画像処理により、スポット径の重心位置を処理して求める。スクリーンでの座表系は実寸座標 (mm) の直交座標として認識する。すなわちシールド機が掘削にともない移動した場合、その移動量を捕らえるレーザースポット光の位置を直接捕えることで把握できる。

いま仮にシールド機がXY平面でXに+10mm、Yに-20mm平行移動したとするとレーザースクリーン上のスポット座標も同様にX方向に+10mm Y方向に-20mmのレーザースポットの変化として捕えることができる。掘削深度の情報 (Z軸方向) は組み立て済みセグメント数とジャッキストローク長から求める。また2台のレーザー発信器取り付け平面 (XY平面) におけるシールド機のねじれ (回転方向) と平行移動量も平面座標 (XY平面) として把握できる。また、シールド機本体に取り付けられている2軸 (前後、左右) 傾斜計からの情報から傾きを把握する。それらの情報を総合的に処理することにより、シールド機全体の状態を三次元的に計測することが可能になる。

## 測量計算方法

レーザスクリーンでのスポット座標はスクリーンの座標系表示ではなく現場の施工座標系に変換された値が直接入力されるものとし、それぞれA、B点での座標を(XA、YA)、(XB、YB)とする。

シールド機に取り付けたレーザ発信機の座標をそれぞれA、B点で(LAX、LAY)、(LBX、LBY)とする。

求める本体ねじれ角φ、マシンセンター変位座標(CX、CY)を下記の式より求める。

$$L_{AB} = \sqrt{(LAX - LBX)^2 + (LAY - LBY)^2}$$

$$L_{masAB} = \sqrt{(XA - XB)^2 + (YA - YB)^2}$$

|L<sub>AB</sub> - L<sub>masAB</sub>| / L<sub>AB</sub> > 0.05 であればセンサー ERROR

補正座標値

$$XM = (XA + XB) / 2$$

$$YM = (YA + YB) / 2$$

$$AX = (XA - XM) * L_{AB} / L_{masAB} + XM$$

$$AY = (YA - YM) * L_{AB} / L_{masAB} + YM$$

$$BX = (XB - XM) * L_{AB} / L_{masAB} + XM$$

$$BY = (YB - YM) * L_{AB} / L_{masAB} + YM$$

-----①

求める平行移動変位量CX、CYとねじれ角φとして直交座標系の平行移動量とねじれ変換を行なうと以下の連立方程式がもとまる。

$$AX = LAX * \cos(\phi) - LAY * \sin(\phi) + CX$$

$$AY = LAX * \sin(\phi) + LAY * \cos(\phi) + CY$$

$$BX = LBX * \cos(\phi) - LBY * \sin(\phi) + CX$$

$$BY = LBX * \sin(\phi) + LBY * \cos(\phi) + CY$$

Sφ = sin(φ)、Cφ = cos(φ)として解くと以下ようになる。

$$S\phi = \frac{(AX - BX)(LAY - LBY) - (AY - BY)(LAX - LBX)}{(LBY - LAY)(LAY - LBY) - (LAX - LBX)(LAX - LBX)}$$

$$C\phi = \frac{(AX - BX)(LAX - LBX) - (AY - BY)(LBY - LAY)}{(LAX - LBX)(LAX - LBX) - (LAY - LBY)(LBY - LAY)}$$

-----②

$$\phi = \tan^{-1} \frac{S\phi}{C\phi}$$

$$CX = AX - (LAX * \cos\phi - LAY * \sin\phi) = BX - (LBX * \cos\phi - LBY * \sin\phi)$$

$$CY = AY - (LAX * \sin\phi + LAY * \cos\phi) = BY - (LBX * \sin\phi + LBY * \cos\phi)$$

-----②

これでマシンのレーザ発信機取り付け平面でのねじれ角、およびセンター変位が解析できる。マシン全体を三次元的に把握するには求めたいマシン平面がレーザ発信機取り付け面からどれだけ離れているかを求め基準面からの影響をマシン本体の傾斜(2軸)情報をもとにsin成分だけ補正して求める。

一般式では、レーザ取り付け面を基準にして高さHでの各点の変位座標が下記の式で求められる。

既存座標 (X, Y) より --> (PX, PY) を求める。

$$RX = X * \cos \phi - Y * \sin \phi$$

$$RY = X * \sin \phi + Y * \cos \phi$$

$$XMM = RX + C X$$

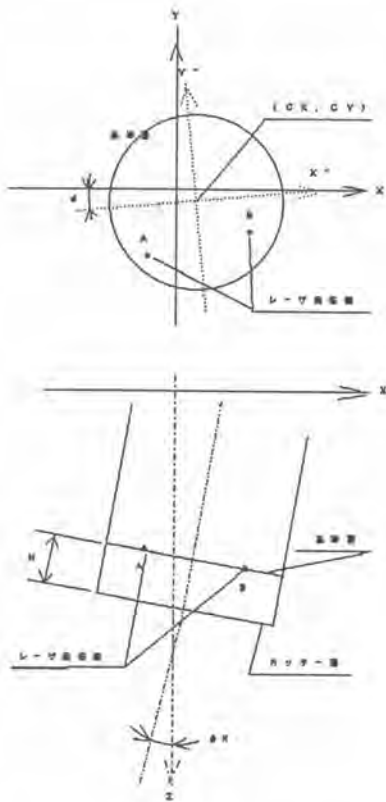
$$YMM = RY + C Y$$

$$PX = XMM + H * \sin \phi x$$

$$PY = YMM + H * \sin \phi y$$

----- ③

として任意の三次元座標を把握できる。



### 【三次元座標計算の説明】

いま X-Y 座標を設計座標として、X''-Y'' 座標をマシン平面座標系とする。

(基準面での座標系)

マシンに A, B のレーザ発信機が (LAX, LAY)、(LBX, LBY) でセットされている。

本体傾斜角 X 成分  $\phi x$  とする。

上記の計算式②を用いて S  $\phi$ 、C  $\phi$ 、C X、C Y の X A は A X に Y A は A Y で X B は B X で Y B は B Y に置き直して計算する。

いま仮に (LAX, LAY) = (-1000, -1000)、(LBX, LBY) = (700, -800) 座標にセットしたとする。

そのときレーザスクリーンから計測される座標値は X-Y 座標値で計測されるので A 点 (X A, Y A) = (-923.4, -1067) B 点 (X B, Y B) = (766.2, -792.7) で計測されたとして、マシン座標軸の移動量(ねじれ、平行移動量)を求める。

A, B 点の測定値が線分長 AB を満足するものであれば計測誤差が生じなかった事になるが、ここで線分 AB になるように計測データを AB の中点から振り分け補正する。式①より

補正結果は (A X, A Y)、(B X, B Y) でこの値を用いて S  $\phi$ 、C  $\phi$  を計算する。

以上の式から座標軸のねじれ  $\phi$  を求めると  $\phi = 2.5 \text{ deg}$  となる。

以下C X、C Yの式に代入してC X = 3 2、C Y = - 2 4が求めまり、マシン座標系が設計座標系と2. 5 degのねじれと(3 2, - 2 4)の平行移動成分をもった座標系であることがわかる。この(3 2, - 2 4)は基準面のマシンセンター座標と等しくなる。

実際のマシンカッター面のセンター座標は高さ成分Hを考慮に計算されたものが実際にカッターセンターとして求められる。

カッターセンターX成分 = 3 2 + H \* s i n φ X

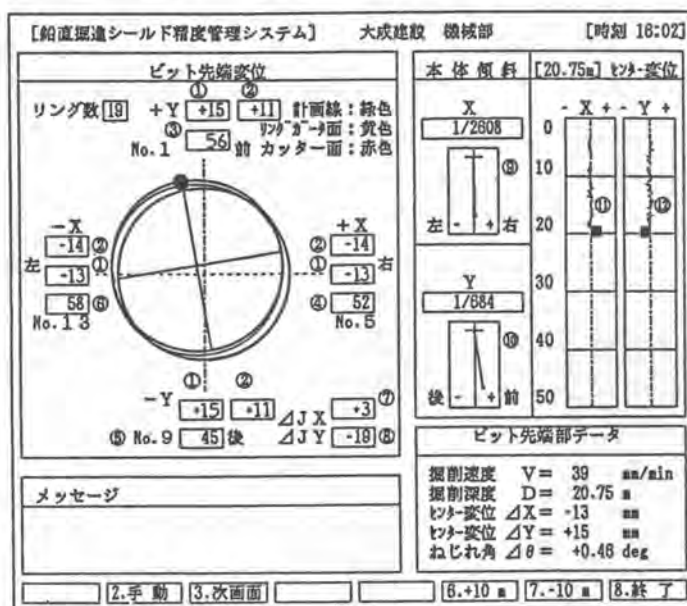
Y成分 = - 2 4 + H \* s i n φ Y として計算される。

即ちマシンの任意の位置の座標を設計座標系に変換計算するには③式を用いれば任意の(X, Y)と基準面よりの高さHを与えることでとまる。

すなわち今カッター面のX軸上端の位置がどの様になるかを求めるに仮にマシン外形を3 0 0 0 mm、基準面からカッター面までの距離H = 2 0 0 0 mm、本体傾斜角φ X = - 0. 4、φ Y = 0. 3 degとする。

いまマシンの中心線右端座標(1 5 0 0, 0)がどの様に移動したかを求めると(1 5 1 7. 1, 5 1. 9)となる。

## 計測画面の説明



計測画面 (各計測値の内容)

以下に計測画面の各計測値の内容 (①-⑧) を示します。

- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| ①ビット先端変位(mm)          | ⑦ジャッキストローク差 (X) (mm) |
| ②リングゲータ中心変位(mm)       | ⑧ジャッキストローク差 (Y) (mm) |
| ③ジャッキNo. 1 ストローク(mm)  | ⑨本体傾斜 (X)            |
| ④ジャッキNo. 5 ストローク(mm)  | ⑩本体傾斜 (Y)            |
| ⑤ジャッキNo. 9 ストローク(mm)  | ⑪ビット先端変位履歴 (X)       |
| ⑥ジャッキNo. 13 ストローク(mm) | ⑫ビット先端変位履歴 (Y)       |

## 25. セグメント立坑自動搬送システム

～おはこび・ごうるす～

(株)フジタ：\*蒔田 充男・間野 実  
伊藤 大輔

### 1. はじめに

シールド工法は、都市土木技術の中でもきわめて有利な工法として多方面に採用され、長期間にわたって機械化、省力化の道を歩んでおり、その基礎が十分に固められていると言える。しかし、近年の大断面・大深度・長距離化・高速施工の社会的要求が高まる中で、シールド工事の自動化・ロボット化による生産性の向上や作業環境の改善が求められている。

シールド工事の自動化・ロボット化に関しては、掘削の自動化、セグメント自動組立・セグメント坑内搬送などがあり、実用の段階に達したものもある。しかし、セグメントの立坑搬送については、従来の門型クレーン・天井クレーンによる搬送がほとんどであり、大深度化により立坑が深くなるにつれて荷振れの発生、吊り荷下での上下作業による制約等の支障が生じてくる。

本報告は、地上のセグメントストック架台から立坑下に待機する台車まで、荷の積み替え無しに一貫して搬送するシステムであり、シールドルートの深層化に伴う大深度立坑に対応できる搬送方式として開発されたセグメント立坑自動搬送システムについて報告する。

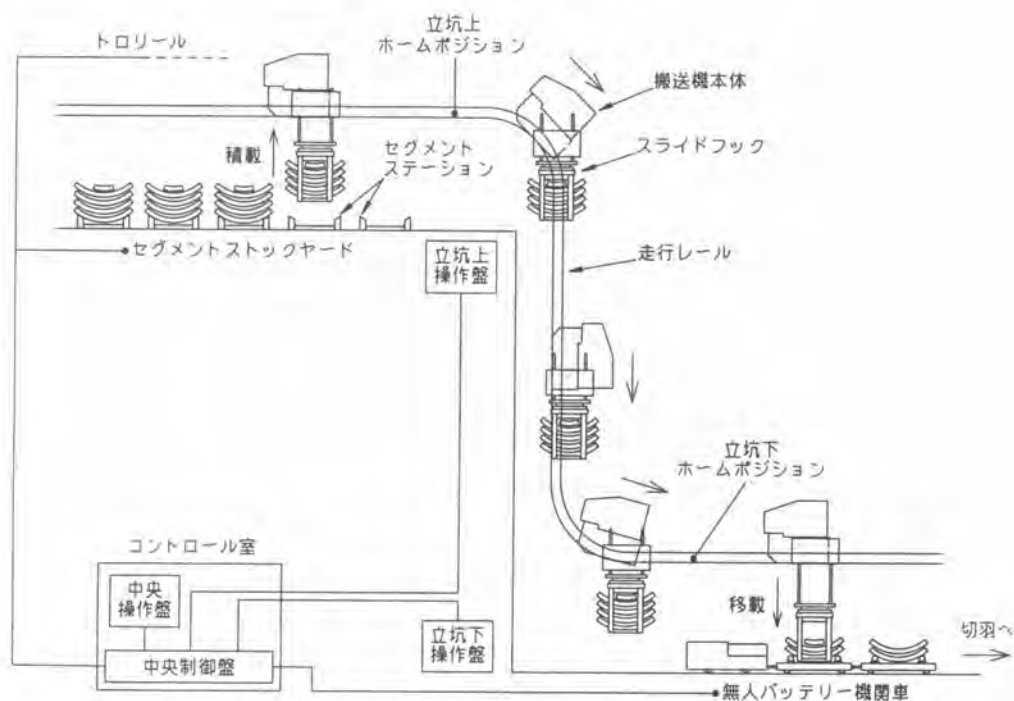


図-1 システム概要

## 2. 開発の目的

大深度立坑において、セグメント搬送に天井クレーンや門型クレーンを使用すると、次のようなことが予想される。

### (1) 荷振れの発生

深くなる立坑に伴って、ワイヤーが長くなればなるほど荷振れは避けられず、また、その修正は容易でない。最悪は荷の破損につながる。

### (2) 立坑下での作業の制限

吊り荷の下での作業が安全面から制限され、作業効率が悪くなりサイクルタイムに影響してくる。

### (3) オペレータの拘束

深い立坑での荷の揚げ降ろしは、それだけ時間を要するため、日に何リングも搬送するとなると、オペレータは1日中拘束される。

以上のことから、大深度立坑におけるスムーズな資材搬送を達成すべく、これまでの揚重機械に代わるシステムとしてピンラック・ピンギアで駆動する懸垂式モノレールタイプのシステムを開発した。

## 3. セグメント立坑自動搬送システムの概要

セグメント立坑自動搬送システムは、立坑上のセグメントストック架台から立坑下に待機するセグメント台車までセグメントを自動的に搬送する。

システム構成は、搬送機本体、制御装置、走行レール、セグメントストック架台から構成されており、地上から立坑下の台車まで一貫して搬送されるため、搬送途中で立坑リフト等に移載して積載搬送する煩雑さがなく、積み替え無しで一貫して搬送することが可能である。

この方式とセグメント坑内無人搬送システムの結合により、地上～立坑下～切羽までの搬送が無人化されるとともに、玉掛け作業が不要となり、立坑荷降ろし作業の安全性、作業効率が向上し、大深度立坑に対応できる搬送システムとなっている。

### 2-1 走行方式

- (1) 走行ガイドとして左右2本のH形鋼レールを使用し、これを上下左右からガイドローラで抱くことによって走行方向と姿勢を維持しつつレールに沿って走行する。
- (2) 水平レールから垂直レールに移る部分は曲線レールでつないでおり、円滑に移行できる。
- (3) 垂直レールを滑ることなく安全確実に昇降するために、ピニオン・ラック方式を採用している。

### 2-2 搬送方式

- (1) 本体中央の把持装置は、1本の水平軸で左右の走行装置をつなぐ構造となっている。この軸は固定されていないため、荷は常に重力の方向に吊られてい



写真-1 搬送システム全景

る状態になっており、荷の姿勢は常に一定に保たれる。

- (2) 荷取り部(スライドフック)は、セグメント1リング(5ピース)を左右から抱え込んで持ち上げる。そのために、昇降、開閉、旋回機構を備えている。

#### 2-3 制御装置

- (1) プログラマブルコントローラーによるシーケンス制御をとっている。
- (2) 本体上と中央制御室にそれぞれ制御盤を設け、操作盤を中央制御室、立坑上、立坑下の3ヶ所に設置している。
- (3) 各制御盤、操作盤の間の通信は、レールに沿って設置したトロリールを通じて、多重通信方式により行われる。

|                  |       |                               |
|------------------|-------|-------------------------------|
| 本<br>体           | 全 長   | 2,000mm                       |
|                  | 全 幅   | 2,500mm                       |
|                  | 全 高   | 4,000mm                       |
|                  | 本体重量  | 4,200kg                       |
|                  | 搬送重量  | 2,800kg                       |
| 走<br>行<br>方<br>式 | 走行電動機 | AC200V 15kw ×2<br>サーボモーター     |
|                  | 走行減速機 | ベベル・ヘリカル減速機                   |
|                  | 走行速度  | low 12m/min<br>high 20m/min   |
|                  | ピンラック | ピン径 45mm<br>ピッチ 76.20mm       |
|                  | ピンギア  | RS240スプロケットベース<br>近似インボリュート歯形 |

表-1 搬送機本体の諸元

#### 4. システムの特長

- (1) 大深度において安定した搬送

門型クレーン、天井クレーンでは、深い立坑において荷振れの発生は避けられなかったが、本システムは荷振れが無く、立坑深度に影響されずに安定した搬送が可能である。

- (2) 玉掛け作業を必要としない

スライドフックで荷を把持、搬送するので玉掛け作業を必要としない。

- (3) 作業サイクルの短縮

地上から立坑下の台車まで、荷の積み替え無しで一貫して搬送できるため、移載作業が不要である。また、荷振れが無く安定した搬送できるので、従来のクレーンと比較してスムーズな搬送が可能な分、時間の短縮が得られる。

- (4) 設置スペース

これまでのリフト式、エレベーター式の搬送システムは、立坑無いにおいて広い占有スペースを要し、さらに立坑下ではトラバース等の使用のためのスペースを必要としていた。レール上を走行し、移載機能を兼ね備えている本システムは、立坑垂直部において本体が走行できるだけのスペース、立坑下では従来のバッテリー機関車の発着場だけを必要とするため、特別の占有を設ける必要はなく、設置は簡素である。

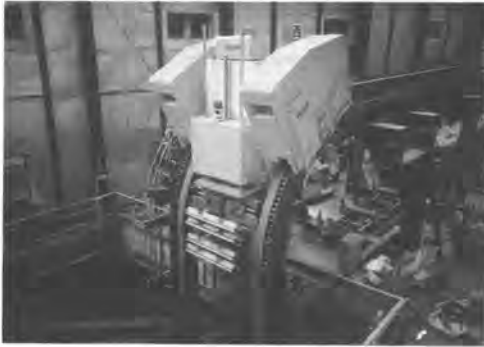
- (5) 横引きのある立坑に適している

懸垂式モノレールタイプによる走行で、水平、垂直を問わない搬送方式であるため、路下式密閉立坑のような段のついた立坑においても、荷を積み替えることなく一貫して搬送することが可能であり、他のリフト式、エレベーター式と比較しても優れているといえる。

- (6) サーボモーターによる速度制御

垂直レール部での下降は、サーボモーターによる速度制御を行なうことによって一定速度を維持

しながら、安全確実に下降できる。水平部と垂直部をつなぐ曲線期間でも、慣性力を緩和するため加減速も円滑に制御できる。



写真一 2 曲線部走行時



写真一 3 本体走行駆動部

## 5. 現場適用試験

作業所での実証実験を行なうため、東京都水道局発注の配水本管新設工事に適用した。

本システムのセグメントをスライドフックで抱え込んで把持する方式が、これまでの玉掛けに比べ格段の安定感があり、安全面の確認が得られた。また、積載状態での走行に関しても、荷振れ、荷崩れがないという確認が得られ、荷の積み替えが必要ないという、これまでの揚重機械に替わるシステムとして、実証することができた。

## 6. おわりに

セグメント立坑自動搬送システムは、立坑が深ければ深いほど効果を発揮する。また、垂直、水平搬送の移行が繰り返されることで特長がいかされる。さらに、無人運行のバッテリー機関車と併用することで、大深度、長距離施工を問わず、人員の増加、施工スピードの低下はなく、省力効果がさらに顕著になる。

将来の完全自動化を達成する上での要素技術のひとつとして開発された本システムは、システムの特長を遺憾なく発揮している反面、次のような課題を残している。セグメント以外の資材搬送、ストッパードへの供給方法、本体の軽量化等である。今後、多様化する要求に対応するために改良、改善を重ねさらに高度なシステムにしていくよていである。

最後に、本システムの開発及び現場への適用に当たり、ご協力頂いた関係各位に深く感謝申し上げます。



## 26. セグメント・掘削土砂の自動搬送システム

三井建設(株)：井上 一敏・\*川原 啓一  
升形 剛

### 1. はじめに

シールド工事の長距離化、大深度化、大口径化、高速化に伴う資材・掘削土砂運搬量の増加に対し、効率の良い運搬システムの開発の必要性が高まっている。本システムは、シールド工事における運搬の自動化を自動制御技術と長距離無線伝送技術の適用により実現したものであり、作業員の省人化、運行管理の適正化、安全性向上に寄与するものである。

自動運行のためには、システム全体の信頼性確保が必要であり、フェイルセーフを始めとした各種の安全対策を講じている。本システムは、建設機械化技術・技術審査証明第9305号を取得している。

### 2. システムの開発

本システムを構成する主要機器は、誘導無線、バッテリー機関車、各種センサー、制御用コンピュータである。列車の自動運行は、安全運行が必須条件となることから、以下の開発目標を設定し開発にあたった。

- ①. 運転制御システムは複数の列車を無人運転で運行ダイヤグラムどおり自動運行できること。
- ②. 列車は最大搬送重量のもとで確実な停止制動が可能であること。
- ③. 衝突防止装置は確実に作動できる。

これらの開発目標を達成するためには、バッテリー機関車をはじめとして、制御システムに新たな機能の向上が必要となる。本システムに採用した機能向上の概要は、以下のとおりである。

#### 2. 1 列車の編成

列車編成は、図1に示すように8 tonバッテリー機関車と4.5m<sup>3</sup>鋼車3両及び、セグメント台車2両を1列車編成とし、坑底と切羽における荷役設備との相互検討により、積み込み、荷下ろし時の列車の切り離しを不用としている。



図1. 列車の編成

#### 2. 2 信号の伝送

運行指令信号の伝送には、誘導無線による双方向伝送方式を採用している。

誘導無線は、軌道に設置した誘導線から電波を送受信し、バッテリー機関車制御用に5チャンネルを使用する、使用周波数帯は、110 KHz、125 KHz、150 KHz、165 KHz、185 KHzである。

#### 2. 3 バッテリー機関車

バッテリー機関車は、プログラム制御運転に耐えられるよう正確な起動・停止、低速度走行性能が必要であることから、定速度走行性能向上と制動能力増強対策を施している。

### ①. 定速走行・定位置停止性能の向上

バッテリー機関車の駆動電動機として、定速度運転性能に優れた副巻直流電動機を搭載している。主な仕様は、定格牽引力1500kgf、定格速度8km/h、電動機定格出力28kw×2個である。

### ②. 制動性能向上

従来の回生制動、油圧式ブレーキ、トラックブレーキに加え、電動機自体に電磁式ブレーキを装備している。

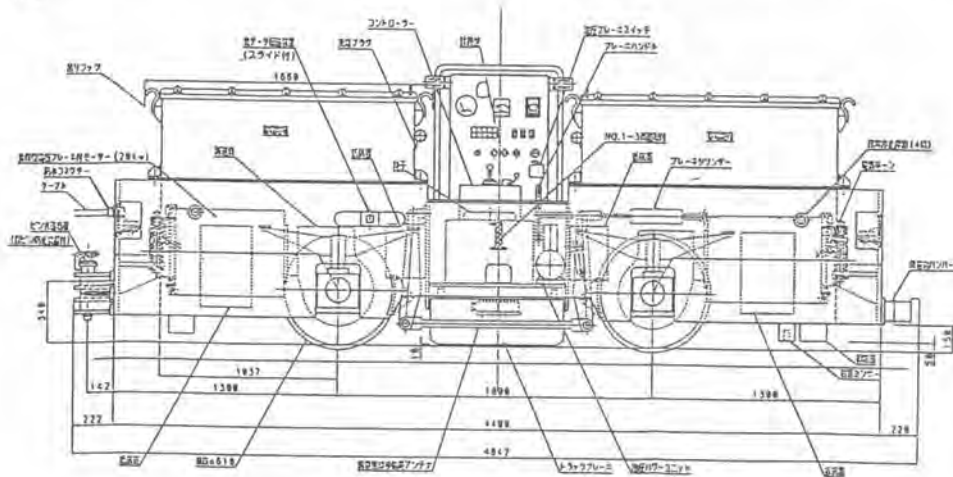


図2. バッテリー機関車

## 3. 安全対策

安全対策の主体は衝突防止である。衝突防止は、システム全体に関するものと、列車に関するものがある。

### 3.1 システム全体

システム全体として、走行軌道を光通信ユニットにより区分し、前方区間に列車が存在するとき、後続の列車は進入できない閉塞制御を基本としている。

### 3.2 列車

列車に装備した衝突防止装置は、障害物センサーと障害物検知バンパーがある。機能として、障害物検知装置の検出範囲内で列車の制動停止を可能としている。

障害物検知装置は、超音波センサーと光センサーの2種類で構成され、超音波センサーの機能として6m先の範囲にある障害物検知を、光センサーは3m以下の範囲を検出する。検知があった場合、バッテリー機関車を制動停止すると共に、検出信号を中央制御盤にフィードバックする。

障害物検知バンパーは障害物に直接接触することにより非常停止動作を行う。

#### 4. 制御システムの構成

本システムを構成する主要機器は、誘導無線、バッテリー機関車、各種センサーである。システム構成を図3に示す。

#### 5. 制御システムの機能

中央制御盤のシーケンサは、運行プログラムに基づく運行指令を各列車に伝達する。この運行指令に基づく各列車の運行状況は、光センサーによる位置検出、バッテリー機関車搭載のエンコーダによる距離検出信号として中央制御盤にフィードバックし、運行が確実に行われていることをチェックする。中央制御盤と各列車の信号伝達は、誘導無線を介して行われる。

運行指令の信頼性向上対策として、命令系統の2重化を採用しており、中央制御盤による運行指令と、軌道上に設置した発磁体による加速・減速・停止指令とを組み合わせ、列車の運行を行っている。

システムの構成機器の異常、非常時には、全列車の運行を停止するフェイルセーフを採用している。

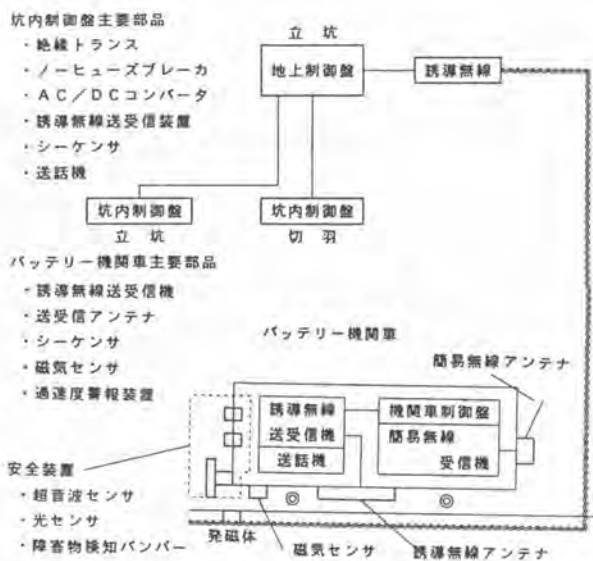


図3. システム構成図

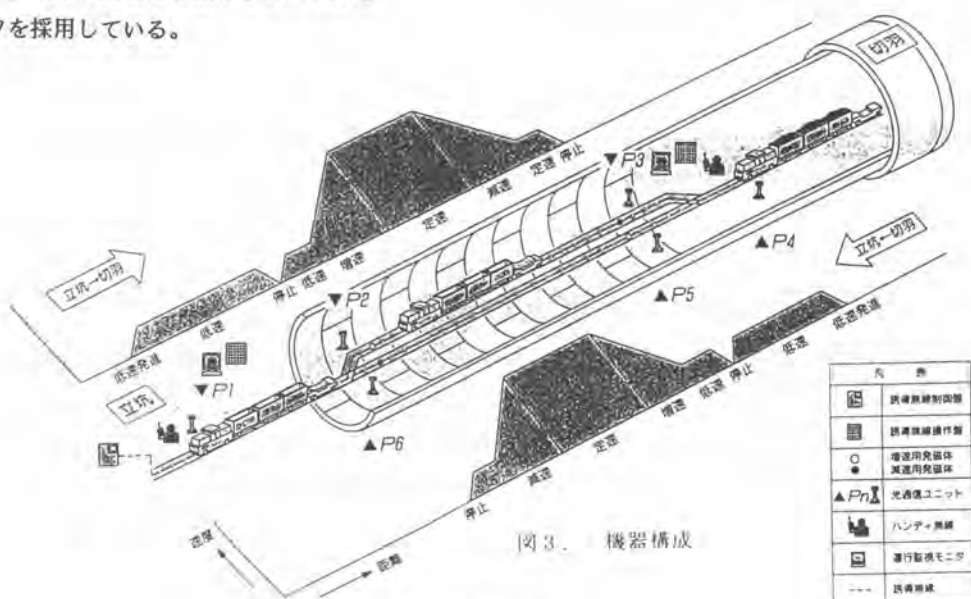


図3. 機器構成

図4. 運行系統図

## 6. モニタリングシステム

各列車の運行状況は、モニタリングにより必要箇所リアルタイムに把握でき、安全運行機能を更に高めている。

モニタリングの機能は、以下のとおりである。

### ①. 運行状況の把握

各列車の位置、速度などの運行状況を表示・記録する。

### ②. 列車の稼働状況把握

各列車の稼働状況を表示する。

システムに発生した警報を表示、記録する。

### ③. 日報・月報の作成

各列車の稼働日報、月報を、表示、記録する。

モニター画面の表示例を図5に示す。

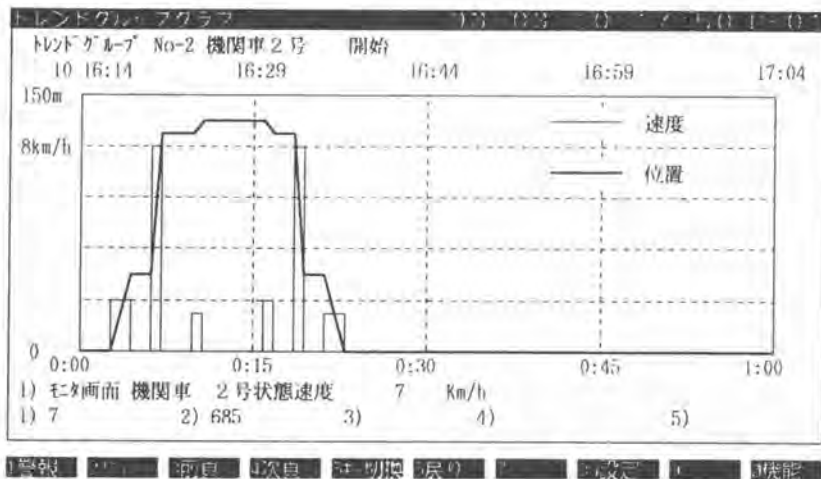


図5. 自動運行モニター画面

## 7. 関連法規

本システムに関する関連法規の主なものは、以下のとおりである。

誘導無線装置は、郵政省令、電波法施工規則及び無線設備規則に適合。

車両軌道装置は、労働省、労働安全衛生法、労働安全衛生規則による。

## 8. 実績

自動運行システムに関する主な実績は以下のとおりである。

### ① フィールドでの確認試験

### ② 6.44φ泥土圧工法

現在稼働中、最終運搬距離は片道2.3kmとなる。

## 27. 通信用シールドに用いられた急勾配搬送システム

NTT： 大学 久男  
日本コムシス(株)： 清水 悦司  
大豊建設(株)： \*池田 奉征

### 1. はじめに

近年都市部における上下水道、地下鉄、電気通信網の充実めざましく、地下空間の過密化が進行している。これに伴い、通信用とう道工事においても大深度化が進み、勾配を大きくしたとう道を計画するようになってきている。

しかし、安全衛生規則では、勾配が50/1000を越える場合、従来の搬送装置であるバッテリー機関車の使用を禁止しており、これに代わる新しい搬送システムとして急勾配搬送システム (Steep-Carrying-System) が開発された。

当工事においても、発進立坑でのシールド土被りは、31.4mと深く、又途中地下鉄谷町線の下越しから既設の到達とう道までの間に、7.0%の急勾配区間があった。この区間で掘削土及びセグメント等の搬送に急勾配システムを使用して施工した。

以下に今回工事の概要及び急勾配搬送システムと急勾配部の施工について説明する。

### 2. 工事概要

本工事は、NTTの発注で大阪NWC～豊崎営業所間のセグメント外径φ3550mm、セグメント内径φ3250mmのとう道を泥土加圧シールド工法により築造する工事であり、都市部におけるシールド工事の特徴である以下の重要構造物への近接施工箇所があった。

- 1) 発進部の豊崎営業所基礎の部分下越し
- 2) 東洋ホテル立体駐車場基礎杭への近接
- 3) 大阪市地下駐車場の下越し
- 4) 新御堂筋線、JR線の基礎杭への近接
- 5) 地下鉄谷町線の下越し
- 6) 梅田地下街と一体の既設とう道への到達

以上の近接下越しを行う条件から発進～到達間の土被りは、31.4m～7.6mと変化し、勾配も上り0.3%から途中3.6%、0.3%をはさんで到達部は7.0%となっている。線形はR=25mの急曲線が3ヶ所、R=60mが2ヶ所、R=140mが1ヶ所、R=160mが4ヶ所あり、そのうち勾配が7.0%の区間内にR=160mが2ヶ所ある。

### 3. 急勾配搬送システム

#### 1) 急勾配搬送車の選定

急勾配搬送車の駆動機構は、実施工ではラック&ピニオン方式が多く採用され実績を持っているが、

当工区の施工では、 $R=160\text{m}$ の曲線施工を含んでおり従来の方式よりも曲線施工の容易なゴムタイヤ方式を採用した。

ゴムタイヤ方式は、I型駆動レールの両側よりゴムタイヤを押しつけ回転駆動することにより、前進、後退のできる方式であり、この特徴としては、

① 駆動レールとしてH型鋼を使用し、このウェブにゴムタイヤを押しつけるので、落下物がゴムタイヤ接触面に付着しにくい。

② タイヤが回転するので、駆動レールの延長、駆動レールと枕木の結合等、駆動レールの敷設精度を必要とせず、曲線施工が容易となる。

③ ゴムタイヤによる駆動機構は衝撃力に対して柔軟である。

などがあげられる。

図-1に駆動装置の原理図を示す。

## 2) 急勾配搬送車の実験

ゴムタイヤ方式の駆動機構は、走行路中央に設けた垂直な駆動レールにゴムタイヤを挟み、押し付けることにより摩擦力を発生させる方式である。

実験は、一对の駆動タイヤを持つ実験機でおこなわれた。駆動タイヤは、ゴム系とウレタン系の3種、H型鋼のウェブには縞鋼板、穴あき鋼板等、環境条件として清水、ペントナイト、作動油等を塗布し、駆動タイヤの押しつけ力を変え、 $15^\circ$ の勾配を持つ試験走行路で各種の組み合わせによるデータの収集がおこなわれた。

実用機は、実験により得られたデータを基礎に製作され、 $10.5\%$ の試験走行路で被牽引重量 $16\text{t}$ を牽引して各種試験を行い良好な結果を得ることができた。試験走行の状態を写真-1に示す。

## 3) 急勾配搬送車の仕様

急勾配搬送車の構造は、回転伝達機構、駆動輪押しつけ機構、制動機構に分けられる。回転駆動力は、インバータ制御による無段変速モーターにより変速機に伝達され、減速機出力軸からチェーンを介して駆動タイヤ軸に伝達する。

駆動輪押しつけ機構は、駆動タイヤのスライド軸受けを、左右から油圧ジャッキで内側に押すことにより駆動レールに駆動タイヤを押し付ける機構である。

制動機構は、回転軸を強制制動させる電磁ブレーキ、駆動レールにブレーキシューを作用さ

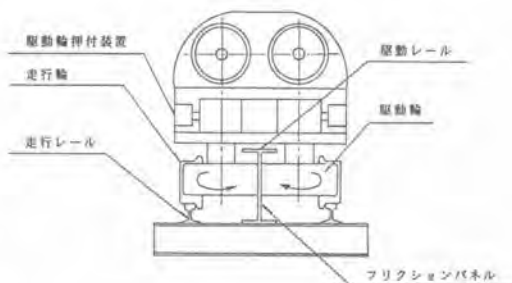


図-1 駆動原理図



写真-1 試験走行

せる油圧ブレーキ、手動により走行レールをクランプする駐車ブレーキ、逸走時に枕木にロッドを差込む落とし込み式非常ブレーキなどを備えている。急勾配搬送車の仕様を表-1に、構造図を図-2に示す。

当搬送車は、安全性を高めるために、駆動軸押しつけ機構、油圧ブレーキにそれぞれアキュムレータを持ち、停電時においても圧力を保持する構造となっているほか、インバータモーターの回生制動による減速後、自動的に油圧ブレーキが作動する構造となっている。また、加速度に対しては、加速度検出装置により検出し、常用走行の1、2倍の加速度で電源が遮断され、電磁ブレーキ、油圧ブレーキが作動する。落とし込み式非常ブレーキは、オペレータの意志によって手動で操作する構造となっている。表-2に制動装置と運転状態の関係を、図-4に制動装置フローシートを示す。

#### 4) 軌道装置

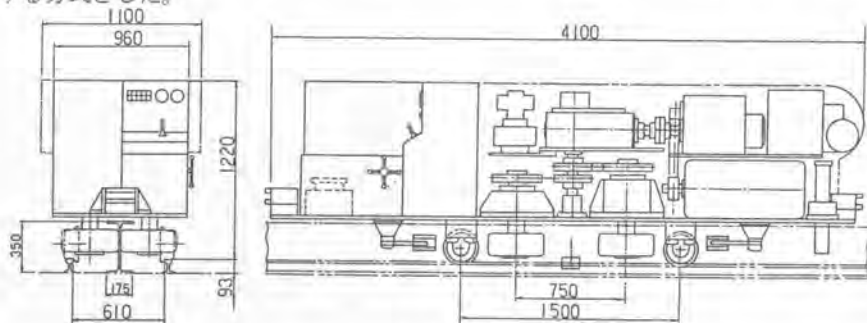
軌道は、走行レールに22kgレール、駆動レールにH-350×175（フリクションパネル付き）を枕木上に配し、駆動レールは高力ボルトで枕木と緊結した。又、油圧ブレーキ及び落とし込みブレーキの作動による枕木の移動を防止するために、枕木とセグメントを溶接固定した。

#### 5) 給電設備

給電方式は、急勾配搬送車の後部にケーブルリール台車を接続し、ケーブルの巻き取り巻き戻しをしながら給電する方式とした。

表-1 急勾配搬送車仕様

|                       |      |                                   |
|-----------------------|------|-----------------------------------|
| 本<br>体                | 寸法   | 4150L*1150*1240H                  |
|                       | 走行勾配 | 最大15°                             |
|                       | 自重   | 5700kgf                           |
|                       | 牽引力  | 2580kgf (摩擦係数0.4, 押付力1800kgf, 4輪) |
| 電<br>動<br>機           | 牽引力  | 2580kgf (摩擦係数0.4, 押付力1800kgf, 4輪) |
|                       | 走行速度 | 高速; 5km/h 低速; 2.5km/h             |
| 電<br>動<br>機           | 出力   | 30KW                              |
|                       | 回転数  | 0~1800rpm                         |
| 機<br>制<br>御           | 制御   | インバータ制御                           |
|                       | 出力特性 | 定トルク                              |
| 駆<br>動<br>輪           | 外径   | φ381mm                            |
|                       | 幅    | 152mm                             |
| 材<br>質                | 材質   | ポリブタジエンゴム                         |
|                       | 個数   | 4個                                |
| 電<br>気<br>開<br>閉<br>系 | 電動機  | インバータ専用モーター                       |
|                       | 電源   | 交流3相 400V/50HZ<br>440V/60HZ       |
|                       | 給電   | ケーブルリール台車より端子台受け                  |
|                       | 制御方法 | 高低速度切替; 手動式変速機                    |
| 系                     | 変速   | ; インバータ制御                         |
|                       | 回生制御 | ; 回生コンバータ式                        |



|          |              |              |
|----------|--------------|--------------|
| 1 操作盤    | 5 オイルタンク     | 9 駐車ブレーキ     |
| 2 減速機    | 6 フリクションブレーキ | 10 駆動軸押しつけ装置 |
| 3 変速機    | 7 走行輪        | 11 インバータモータ  |
| 4 電磁ブレーキ | 8 駆動輪        | 12 落とし込みブレーキ |

図-2 急勾配搬送車構造図

## 6) 安全装置

急勾配搬送における安全装置として、急勾配搬送車の制動装置のほかに、① 台車間の連結ピンがはずれた場合の予備連結チェーン、② 非常用停止装置として坑内に設置した逸走防止装置及び信号装置、等を設け安全対策に万全を期した。

## 7) 台車編成

台車編成は、図-3に示す通り、急勾配搬送車1両、ケーブルリール台車1両、セグメント台車1両、土砂運搬鋼車3両の編成とした。

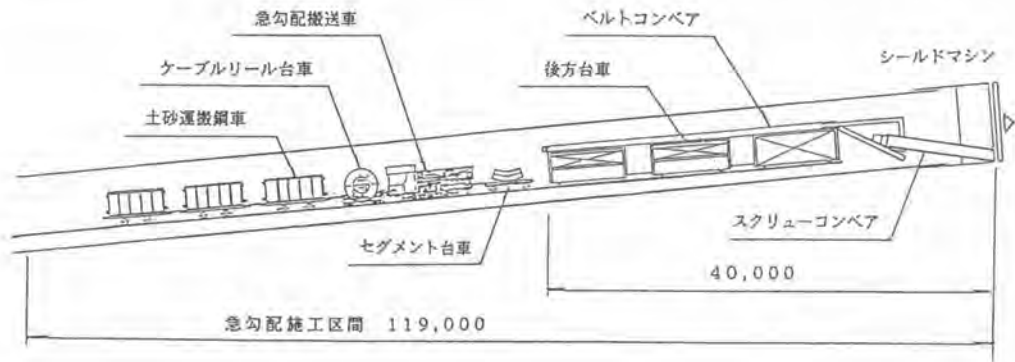


図-3 台車構成図

## 6. 急勾配部のシールド施工

### 1) 坑内運搬工

坑内運搬は、バッテリーカーによる搬送および急勾配搬送への積み替え連結工、さらに急勾配搬送車による搬送に分けられる。

急勾配搬送車は今回が初めての使用であったために、安全に対して以下の点に配慮した。

① 運転者を選任し、特別教育を実施して、装置の操作方法及び作業手順、安全確認方法を熟知させる。

② 制動装置の点検及びタイヤの摩耗逸走防止装置等の安全設備の点検を日常、月例に分けて実施させる。

③ 走行中のケーブルの引っ掛け等の原因になる資材の除去及びケーブルリールの張力の調整を実施させる。

④ 制動装置の作動によるボルトのゆるみを防ぐための軌条点検を実施させる。これらの実施により急勾配搬送は安全に施工することができた。

表-2 制動装置一覧表

| 制動装置     | 通常運転時 |      | 逸走時 | 停電時   |
|----------|-------|------|-----|-------|
|          | 走行・停止 | 停止保持 |     |       |
| 回生制動     | ○     | ○    |     |       |
| 油圧ブレーキ   | ○     | ○    | ○   | 80分保持 |
| 電磁ブレーキ   |       | ○    | ○   | ○     |
| クランプブレーキ |       | ○    |     | ○     |
| 落下止めブレーキ |       |      | ○   | ○     |



また、水平搬送から急勾配搬送への積み替え連結作業により、全体の施工サイクルに与える影響が最小限となるように、資機材の受け渡しは坑内クレーンを使用して、セグメント台車を入れ替えることなく行った。以下水平搬送から急勾配搬送までの作業手順を説明する。

① 発進立坑の門型クレーンで、セグメント1リング及び土砂運搬鋼車3両を吊りおろす。

② 8トンバッテリー機関車にて、急勾配手前に設置した搬送入れ替えポイントまで搬送する。

③ 坑内クレーン（2トン吊り）にて、セグメントを急勾配搬送車手前のセグメント台車に積み替える。

④ 土砂運搬鋼車を急勾配搬送車に連結し8トンバッテリー機関車を切り離す。

⑤ 急勾配搬送車にて切羽まで牽引し、セグメントを吊り降ろし、掘削残土を積み込む。

⑥ 残土積み込み後、急勾配搬送車に入れ替えポイントまで牽引する。

⑦ 8トンバッテリー機関車と土砂運搬鋼車を連結し急勾配搬送車を切り離す。

⑧ 8トンバッテリー機関車で立坑まで牽引し、門型クレーンにて土砂運搬鋼車を巻き上げて土砂ホッパーに転倒排土する。

急勾配搬送車による坑内運搬の最大荷重は、土砂運搬時における約14tの荷重であったが、急勾配搬送車は、牽引、制動状況とも良好で、落とし込みブレーキも使用することなく、約2ヶ月間無事に搬送した。また、この期間の延べ走行距離は約90kmであったが、ゴムタイヤの摩耗は非常に軽微であり、交換する必要はなかった。

## 2) シールド掘進工（急勾配部）

地下鉄谷町線下越し施工完了後、搬送入れ替えポイントの設置を行い、後方台車間の駆動レールの設置、急勾配搬送車の搬入組立、急勾配部の掘進を行なった。

シールドの掘進速度は、土質の変化による泥土圧管理及び裏込注入管理に慎重を期して、30mm/min程度で施工したが、土質が沖積粘性土層であったため、掘進状況は水平部と変わらず、地表面沈下

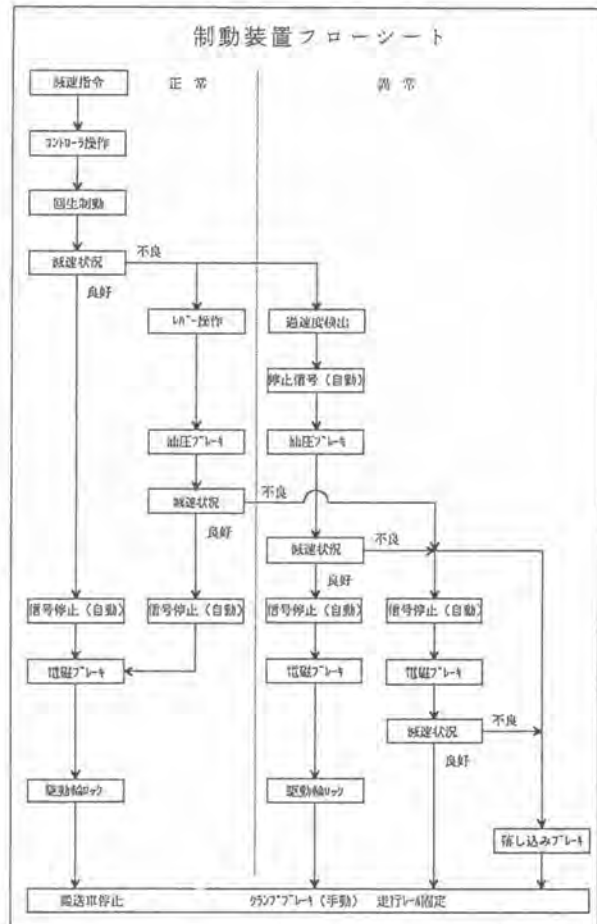


図-4 制動装置フローシート

も3mm以内で収まった。

水平部から勾配部へ移行する縦断曲線(R=400m)及び到達とう道部の縦断曲線(R=400m)への対応は、上下方向1°の中折機構を使用する事で、スムーズに施工する事ができた。

線形管理は、シールドに設置したジャイロコンパスを併用して行い、この間の施工精度は、±50mm以内の誤差で施工する事ができた。

この区間の掘進工は、一部昼夜間施工で行い、稼働日あたりの平均日進量は3.0m/日であった。

## 7. 考察

急勾配施工期間中は、急勾配搬送システムにトラブルもなく、無事に施工する事ができたが、施工サイクルの短縮や施工の安全性から以下の事が考えられる。

① 当工区では、急勾配搬送システムが急勾配のみの限定使用であったために、水平搬送との積み替え作業が発生し、特にシールドの解体資材等の積み替えが困難かつ時間を要した。今後さらに、小断面でこのシステムを使用する事も考えられ、入れ替え作業の不必要な、平坦部、急勾配部兼用の急勾配搬送車が開発されれば、全線このシステムで搬送する事も可能であり、施工サイクルの短縮を図る事ができるであろう。

② 急勾配施工区間での問題として、後方台車区間は、駐車ブレーキ及び落とし込みブレーキのために、足場通路が走行レール内に設置できないということがあるが、今後は後方台車の形状も併せて計画、製作する必要があると思われる。

## 8. おわりに

本工事は、数多くの近接下越し工事をへて、急勾配施工の完了と同時に到達という厳しい条件下の工事であったが、無事に到達する事ができた。又、急勾配搬送システムも一度も故障することなく工事を完了する事ができ、このシステムの安全性と信頼性を確認する事ができたと考える。

今後、ますます増加するであろうシールドの急勾配施工において、この急勾配搬送システムのさらなる発展を期待する。

最後に、今回の工事の計画及び施工にあたりご指導、ご協力頂いた関係各位にたいし、深く感謝の意を表します。

# 28. ASYST

～地下坑内搬送工法～

(株)フジタ：森 利夫・\*岩岡 聡  
船津 和弘

## 【1】はじめに

近年、都市土木においては、増大する交通量、密集した構造物、軟弱な地盤、多量の埋設物、近隣対策等多くの問題を抱えている。

開削工法による、都市部の地下鉄工事においても、地上部の占用が制限される場合、この問題は顕著に現れ、施工法に影響を与える。特に、資機材や掘削土の運搬作業は、地下坑内の狭い空間で行っており、「施工能力の低下」「不安全」「作業環境の劣化」等問題が存在していた。

本システムは、懸垂式のテルハクレーン（走行グラブバケット2台・走行ホイスト2台）で、掘削土や山留材等の資機材の坑内搬送を行い、それらの運行、管理を自動化する事により、下記の施工条件を満たす事を目標として開発し、実証実験を行った。

- ①作業時間帯、作業用開口位置を限定しても、十分な施工能力を確保する。
- ②超軟弱地盤において、施工可能とする。
- ③狭い空間でも、安全性、高環境を確保する。

## 【2】システム構成

システム概要を図-1に、自動走行グラブバケットを図-2、自動走行ホイストを図-3に示す。

### (1) システム概要

坑内の天端となる逆巻きスラブ下に、並行な2系統のレールを敷設し、一方に2台の自動走行グラブバケット、他方に2台の自動走行ホイストが、各々懸垂した形で稼働する。またこれら機械の運行は、機械走行路と同じレベルに設置した中央制御室で集中管理する。

### (2) 自動走行グラブバケット

坑内の任意の場所から、数カ所の地上との連絡用開口部まで、掘削土の水平搬送を行う。機械の操作は中央制御室で行うが、オペレータは作動確認モニタで、機械周囲の安全確認を行い、遠隔操作装置の作動確認ボタンを押下するだけで、機械が自動で搬送作業を繰り返す。

### (3) 自動走行ホイスト

坑内の任意の場所から任意の場所へ、資機材の水平搬送を行う。運転は、オペレータが機械近傍を追従して歩行し、無線操作にて行う。

### (4) 制御システム

中央制御室の運行監視装置は、4台の機械と常時データ通信を行い、機械の作動状況を把握しており、坑内の各安全装置の状況も一元管理する事により、坑内の干渉チェック、モニタ表示、データ収集等の処理を行う。

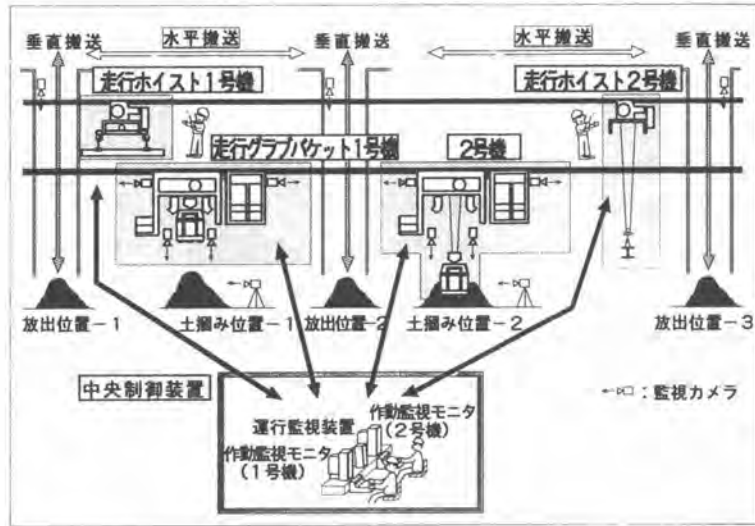


図-1 システム概要

表-1 自動走行グラブバケット諸元

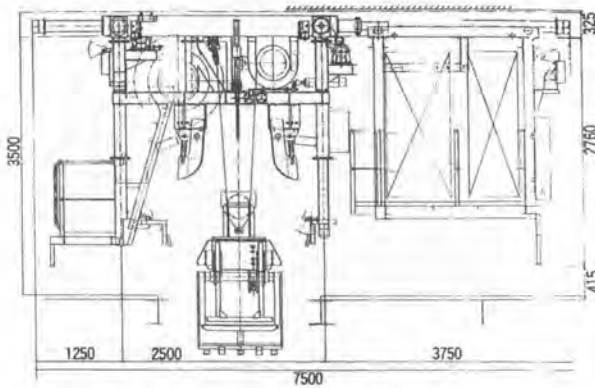


図-2 自動走行グラブバケット

| 項目    | 単位   | 自動走行'37'バケット                      |
|-------|------|-----------------------------------|
| 定格荷重  | Ton  | 1.44 (0.8m <sup>3</sup> )         |
| 吊上荷重  | Ton  | 2.94                              |
| 巻上装置  | 電動機  | Kw 1.5 (2/4P)                     |
|       | 速度   | m/分 実荷:2.0<br>空荷:4.0              |
|       | 速度制御 | - 逆-ルチェンジ(巻下げ)                    |
|       | 掃程   | m 1.5                             |
| 走行装置  | 電動機  | Kw 5.5 (4P)                       |
|       | 速度   | m/分 6 ~ 12.0                      |
|       | 速度制御 | - インバータ(4/4設定)                    |
| フック吊具 | 搭載装置 | - 油圧バケット                          |
|       | 電動機  | Kw 5.5 (4P)                       |
|       | 速度   | - ゲート開: 8.0 sec<br>ゲート閉: 10.0 sec |

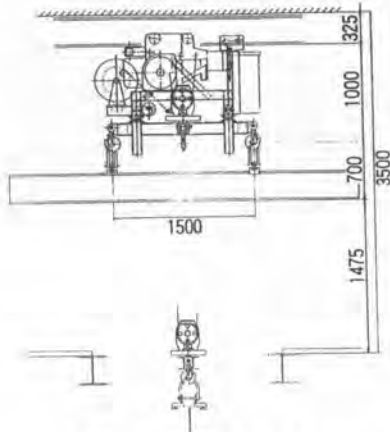


図-3 自動走行ホイスト

表-2 自動走行ホイスト諸元

| 項目    | 単位   | 自動走行ホイスト      |
|-------|------|---------------|
| 定格荷重  | Ton  | 2.65          |
| 吊上荷重  | Ton  | 2.95          |
| 巻上装置  | 電動機  | Kw 4.1 (4P)   |
|       | 速度   | m/分 8.4       |
|       | 速度制御 | - 定速 (ON/OFF) |
| 走行装置  | 電動機  | Kw 0.5 (4P)   |
|       | 速度   | m/分 2.1       |
|       | 速度制御 | - 定速 (ON/OFF) |
| フック吊具 | 搭載装置 | - 回転フック       |
|       | 電動機  | Kw 0.1 (4P)   |
|       | 速度   | - 1.0 r.p.m   |

## 【5】映像システム

自動走行グラブバケット機械本体、坑内の開口部付近、及び土摺み位置近傍に複数の監視用カメラを設置し、中央制御室の作動監視モニターで機械周辺の状況が監視できる。

## 【3】システムの特徴

### （1）自動走行グラブバケット

- ① グラブバケットは、ウィンチによりワイヤで吊下げられており、発進、停止、加速の際に振れが発生する。そこで、走行トロッコリ収納時の振れを抑えると同時に、走行途中で発生した振れの収斂待ち時間を短縮する事のできる、「振止め装置」を装備した。
- ② 走行中万が一ワイヤが切断しても、グラブバケットが坑内へ落下するのを防ぐ、「落下防止装置」を装備した。
- ③ 坑内走行時の最高速度を従来機械より上げ、停止位置精度も向上させる為に、「インバータ制御」を採用し、高速から超低速まで広範囲な速度制御が可能とした。

### （2）自動走行ホイスト

- ① 山留め材等の長尺材料を搬送する際の、吊り荷の方向を規制する「電動回転吊りビーム」を装備した。
- ② 走行時の振れを極力発生させない様に、「振止め装置」を装備した。

### （3）中央制御装置

- ① 坑内の機械、安全装置の状態を把握して、衝突の危険があれば、自動的に機械を停止させる、「運行監視装置」を設置した。

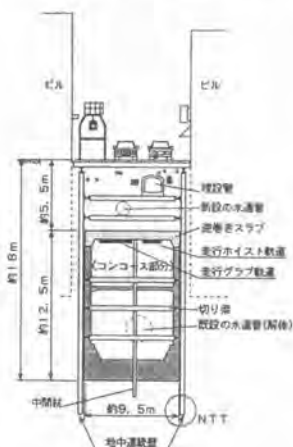


図-4 施工断面図

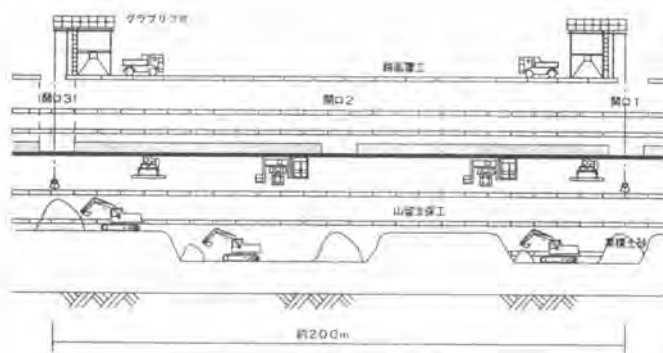


図-5 坑内施工状況

## 【4】現場実証実験

平成7年12月より、営団地下鉄7号線新赤坂土木工事に於いて現場実証実験を行った。実験を通して、本システムの基本性能、現場適合性の確認を行い、以下に示す効果が確認された。

### (1) 操作性

逆巻きスラブ下の見通しの良い空間において、坑内の水平搬送が可能となり、また、走行グラブバケットの運行を自動化した事により、運転者の技量を問わない、安定した運行が可能となった。

### (2) 作業効率

掘削土と資機材の搬送を別系統としたので、同時作業が可能となり搬送効率が向上した。自動走行グラブバケットと自動走行ホイストは各々振止め装置を装備し、運行の自動化により、安全でサイクルタイムの安定した効率的な搬送作業が可能となった。

### (3) 作業環境

機械は全て電動式で、排気ガス、粉塵は発生せず、懸垂式で掘削面を乱さないため、坑内の環境が改善された。自動走行グラブバケットの運転を中央制御室で行うので、運転者の作業環境は飛躍的に向上した。

### (4) 安全性

各機械の運行状況を中央制御室で集中管理し、機械の停止、インターロック等の制御を自動化したので、機械による衝突、接触の危険を無くす事ができた。また人間が直接運転すると発生しやすいミスも排除され、安全性が向上した。



写真-1 坑内運転状況



写真-2 中央制御室運転状況



写真-3 自動走行グラブバケット  
運転状況(土掴み)

## 【5】おわりに

今後は、今回の現場実証実験で確認された本システムの有効性を基に、システムの高機能化、より使い易い機械への改造を実施していきたい。なお、本システムは帝都高速度交通営団と㈱フジタの共同開発であり、開発に際し協力頂いた関係各位に御礼申し上げます。

# 29. 真空吸着パッドを利用した全自動セグメント搬送・供給システム

三井造船(株)：\*松中 信恭  
 (株)大林組：井上 幸芳・富岡 彰

## 1. はじめに

シールド工事におけるセグメント搬送は、規則性を持つ繰り返し作業であり、作業全体の自動化が望まれている。当システムは立坑部から切羽部・エレクタ装置まで、一連のセグメント搬送作業を完全自動化・無人化したものである。

本システムの特徴は切羽部付近におけるセグメント把持・移送作業に、真空吸着パッド方式を採用した点にある。この方式により、セグメント把持の際、高精度の位置決めが必要で無いため、システムの自動運転における確実性が増し、全体作業の時間短縮が実証された。

ここでは、システムの概要・特徴を説明し、開発にあたり重要ポイントと成る真空吸着パッドの安全性に対する要素実験、実機を使用して行われた工場内総合実証実験の結果も合わせて紹介する。

## 2. システム概要

当システムは、図1に示す各装置を制御して、立坑部より切羽部エレクタ装置まで、図2のフローにそってセグメントを全自動搬送・供給するもので次のシステムにより構成される。

- (1) AGV (自動走行車) システム
- (2) 自動ハンドリングシステム
- (3) 総合制御システム

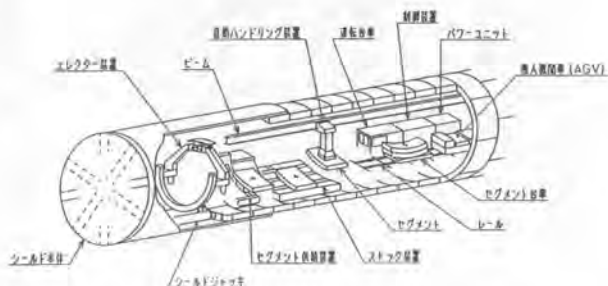


図1 全体システムの機器構成

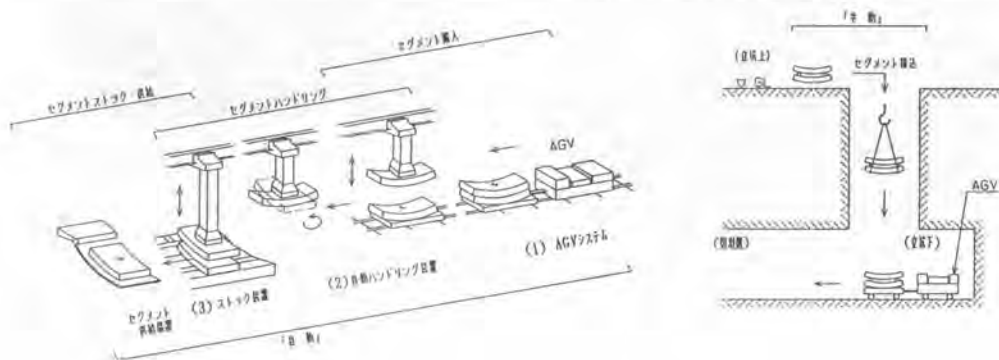


図2 システムフロー図

## 2-1. AGVシステム

立坑下にて作業員の手動操作で積み込まれたセグメントをAGVシステムにより、切羽部・後方台車付近まで自動搬送するもので、無人バッテリー機関車と2台のセグメント台車より構成され、1回の搬送で最大4ピースのセグメント搬送が可能である。このシステムの特徴は、図3に示すセグメント台車に自動枕木取外し装置を装備した点で、自動ハンドリングシステムと連携することで、セグメント受渡しの自動化が可能なものとなった。

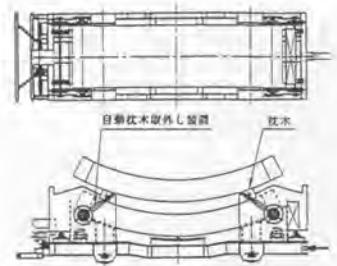


図3 セグメント台車

## 2-2. 自動ハンドリングシステム

このシステムは、AGVにより自動搬送されたセグメントを、自動ハンドリング装置にて把持・移送し、ストック装置で一時保管後、エレクタ装置に受渡すものである。

### 1) 自動ハンドリング装置

本装置は、セグメントの自動把持・移送が可能な、テルハクレーンで、特徴と成る真空吸着装置の他、位置決め装置、巻上げ装置、走行装置、走行ビーム、旋回装置および制御・監視装置より構成される。以下に特徴である(1)位置決め装置(2)真空吸着装置について概要を記す。

装置全体図を図4に、セグメント移送状況を写真1に示す。

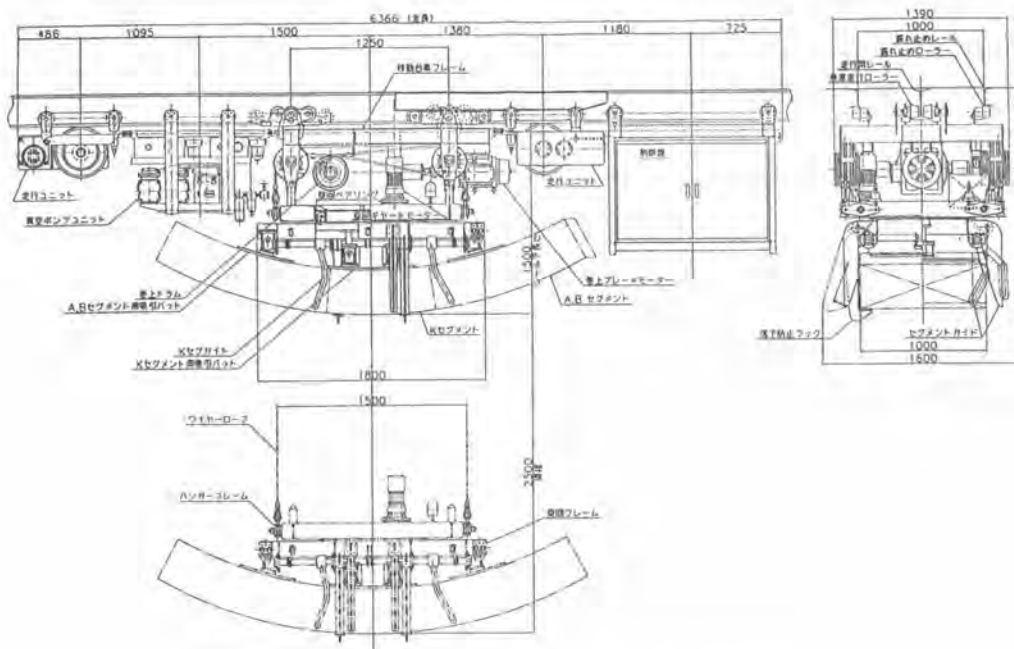


図4 自動ハンドリング装置全体図





写真1 セグメント移送状況

本装置は、セグメント中央部に取付けられた把持金物を、CCD（超小型）カメラと画像処理装置にて検出し、走行装置を制御して自動ハンドリング装置をセグメント把持位置まですばやく移動させるものである。

### (1) 位置決め装置

本装置の採用により、位置決め時間が短縮され、シールド機本体の掘進等にもなう把持位置の変化に対しても、自動的に追従することが可能となった。図5に位置決め装置の概要を示す。

本装置の採用により、位置

### (2) 真空吸着装置

システムの特徴である本装置は吸着パッド部、位置決めガイド部、真空ポンプユニット及び安全装置より構成され、真空吸着力を利用して、セグメント表面の把持を行う。把持に際して高精度の位置決めを必要としないことから、運転時間の短縮が図れると共に、セグメント表面全体を把持しているため、移送中の横揺れや振動に対しても、安定した運転が実証された。また、停電時対策や落下防止用安全フックなど2重の安全対策を施した。図6に真空吸着装置系統図を示す。

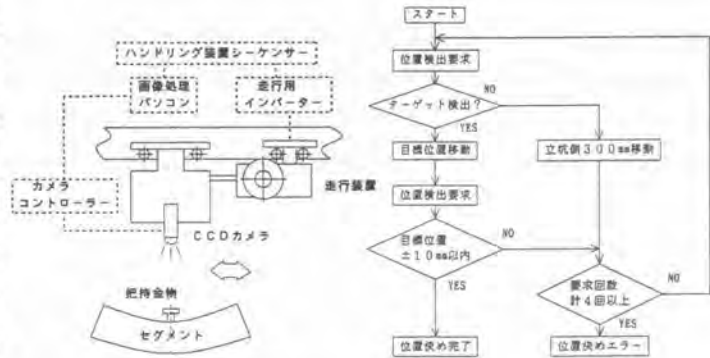


図5 位置決め装置

### 2) ストック装置

自動ハンドリング装置により移送されたセグメントを受取り、自動的に順次前方へ送り出しながらストックする装置で、セグメント組立時には、エレクトラ装置の要求に応じ、ストックされたセグメントをセグメント供給装置へ供給する。本装置には、シールド機のローリングに対する追従機構や、ストックされたセグメントのセンタリングを行う機能も有する。

図7に、ストック装置の概要を示す。

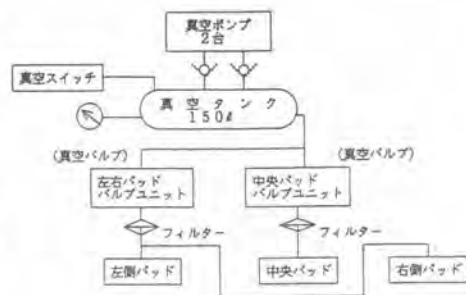


図6 真空吸着装置系統図

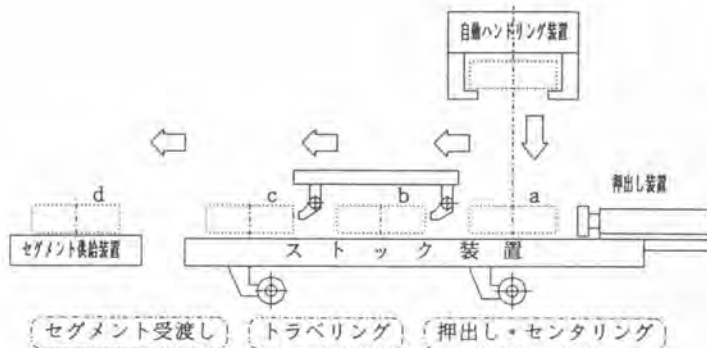


図7 ストック装置概要

視するとともに、セグメント組立用のデータ入力・管理も同時に行っている。

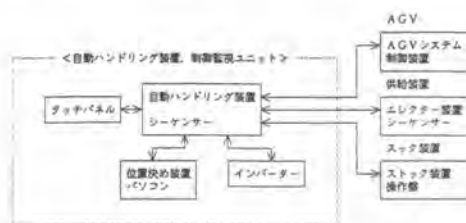


図8 総合制御システム及び監視モニター



### 3. 真空吸着装置の要素実験

自動ハンドリング装置には、真空吸着パッドを採用している。一般に吸着パッドは、比較的軽量物の把持手段として利用され、工場内FAなどで実績を持つものの、コンクリート製セグメントなど重量物把持に対する実績や、ワーク脱離の危険性及び安全に対する信頼性など不確定要素が数多くあるため、開発に当たり様々な要素実験を実施し、実機に反映させた。本稿では、

- ①吸着負圧（吸着パッド内の真空圧）と把持能力。
- ②吸着面の状態が把持能力（垂直荷重、剪断荷重）におよぼす影響。
- ③衝撃時の把持能力・状態。

について、模擬セグメントによる実験結果を報告する。

#### 3-1. 実験概要

##### 1) 垂直荷重試験

鋼製フレーム内に装備された吸着パッドにセグメントを把持させ、これに外力を鉛直方向に加え、強制的にパッドとセグメントを離脱させる。この時吸着面に働く垂直荷重、真空圧力等を計測すると共に、セグメントの表面状態、偏心量を変化させて同様の実験を行い、これらの要因が把持能力にどのような影響をもたらすかを検証した。

##### 2) 剪断荷重試験

垂直荷重試験と同じ要領で行い、外力を水平方向に加えて強制離脱し、限界剪断力を計測した。

### 2-3. 総合制御システム

図8に、総合制御システム及び監視モニターを示す。システム全体のコントロールは、自動ハンドリング装置に搭載したシーケンサーにより行われる。また、監視モニターは、CPU内蔵のタッチパネル画面にて表示され、全体システムを監

### 3) 衝撃荷重試験

単振り子方式を利用した衝突試験で、吸着パッドにて把持されたセグメントをハンドリング装置の所定速度にて衝突させ、この時発生する衝撃力、加速度、真空圧力、変位量を計測した。

#### 3-2. 実験結果と考察

##### 1) 垂直荷重試験

① 図9に示す通り、垂直方向の吸着能力は理論値とほぼ一致し、設定圧力に比例して増加した。

② セグメント表面の違い(ドライ/ウエット)による明らかな差異は認められ無かった。

③ 吸着力は、偏心量に反比例して能力が低下した。図10に示すように、偏心量が0の場合と比較して偏心量25mmで8%、偏心量50mmで9~12%の能力低下が確認された。これは、偏心によるモーメント荷重の作用で、パッドのシール性が局部的に限界に達し、真空破壊したもともとと考えられる。

##### 2) 剪断荷重試験

① セグメント軸方向試験で、パッドとセグメントの密着性は、ワークが移動しても保持され、パッドの一部がセグメント表面から外れて初めて離脱した。この時の摩擦係数は、セグメントの表面状態に関係なく、 $\mu_1 = 0.8 \sim 0.9$  で静・動摩擦係数はほぼ一緒であった

② セグメント円周方向の試験で、摩擦係数は $\mu_2 = 1.1 \sim 1.2$  となった。これは、円弧形状のワークに対し、吸着パッドを水平方向に移動させたため、一方が抵抗となり、摩擦係数が大きくなったものと考えられる。

##### 3) 衝突荷重試験

① 剪断荷重試験の結果を図11に示す。衝突加速度は速度に比例して増加し、これに伴い衝突時の発生剪断力も増加したが、パッドの持つ許容剪断力に対し、衝突剪断力は小さいため、セグメントが脱落することはなかった。

② 衝突時の吸着パッドとセグメント表面の変位を図12に示す。衝突の瞬間は、上下・水平方向共変位が見られるが、時間経過に伴い原点位置に復帰することから、パッドは復元性を持つことが確認された。

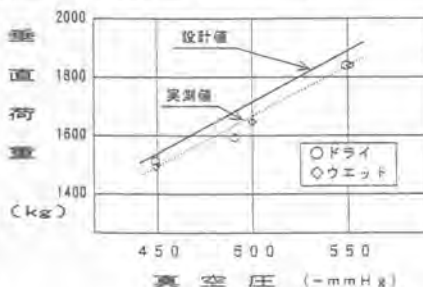


図9 真空圧と垂直荷重

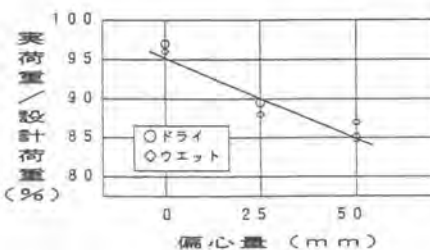


図10 偏心量の及ぼす影響

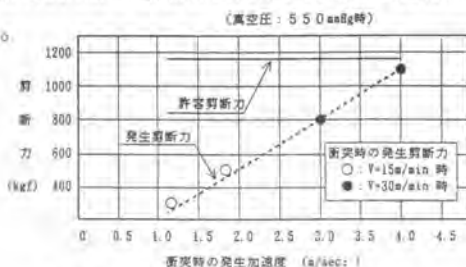


図11 衝突時に発生する剪断力

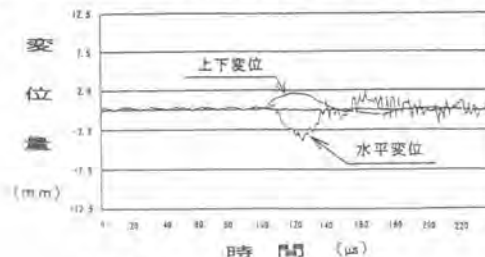


図12 衝突時の変位状態

#### 4. 工場内総合実証実験

吸着パッドを利用した全自動セグメント搬送・供給システムの実用化に際し、システムの機能、性能、及び信頼性を確認するため、実機を用いて工場内総合実証実験を行った。実験は、現場状況を想定して、軌道勾配が最大となる条件にて、各装置を据付けこれを行った。

##### 1) 実験結果

各装置・システムとも手動及び自動運転に関して、設計通りの作動を確認し、現場での実用化の確信をもらった。写真2に実験状況を、表1、2に各装置の作動精度及びシステムのサイクルタイムを示す。これにより、高い作業効率を実証できた。

| ハンドリング装置作動精度 (mm) |        | ストック装置作動精度 (mm) |
|-------------------|--------|-----------------|
| 把持精度              | 位置決め装置 | センタリング          |
|                   | 巻上げ装置  |                 |
|                   | 把持精度   |                 |
| ストック装置への受渡し精度     |        | 供給装置への受渡し精度     |

表1 各装置の作動精度



写真2 総合実証実験状況

サイクルタイム計測結果・RCセグメント

| セグメント<br>動作内容 | 構成-1    |        |        |        | 構成-2    |        |        |
|---------------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
|               | A型①     | A型②    | A型③    | A型④    | B型①     | B型②    | K型③    |
| 走行(セグメント)     | 4.7     | 6.1    | 7.0    | 7.0    | 4.6     | 5.0    | 6.7    |
| 位置決め          | 1.6     | 1.1    | 2.1    | 2.3    | 1.6     | 1.8    | 2.1    |
| 巻下げ・着床        | 2.4     | 3.2    | 2.4    | 3.1    | 2.5     | 3.3    | 4.1    |
| 吸着把持          | 7       | 1.2    | 9      | 5      | 9       | 6      | 4      |
| 巻き上げ          | 1.9     | 2.4    | 1.8    | 2.4    | 1.9     | 2.3    | 2.4    |
| 走行(ストリッパ)     | 4.7     | 4.8    | 6.7    | 6.6    | 4.8     | 4.9    | 6.8    |
| 旋回(90°)       | 2.7     | 2.6    | 2.6    | 2.6    | 2.5     | 2.7    | 2.7    |
| 巻下げ・着床        | 3.6     | 3.7    | 4.0    | 4.1    | 3.4     | 3.5    | 4.6    |
| 吸着解放          | 1.4     | 1.3    | 1.1    | 1.1    | 1.2     | 1.3    | 1.1    |
| 巻き上げ          | 3.4     | 3.6    | 3.6    | 3.4    | 3.6     | 3.7    | 3.4    |
| 旋回(90°)       | 2.3     | 2.4    | 2.5    | 2.3    | 2.4     | 2.2    | 2.3    |
| リフティング        | 4       | 5      | 5      | -      | 5       | 4      | -      |
| 小計            | 4' 53"  | 5' 19" | 5' 49" | 5' 54" | 4' 59"  | 5' 17" | 6' 05" |
| 合計            | 22' 00" |        |        |        | 16' 22" |        |        |
| 総計            | 38' 22" |        |        |        |         |        |        |

表2 システムのサイクルタイム

#### 5. おわりに

本システムの完成により、立坑より切羽までのセグメント搬送・供給について、一連作業の自動化が実現した。このシステムの導入により現場作業の省力化・安全性・確実性などが向上するものと確信する。

尚、このシステムは平成7年7月から、建設省近畿地方建設局大阪国道事務所発注の2号新淀川共同溝工事に導入し、現地実証試験を予定している。今後は、現地実証試験の結果を反映して、より現実に適したシステムの改良・開発に努力して行きたい。

最後に、本システムの開発・導入にあたり、多大なる御指導、御協力頂きました関係各位、大林組佐藤工業特定建設工事共同企業体の方々に、感謝の意を表します。

## 30. 長距離トンネルのための自動搬送システム

～ジオ・シャトル～

佐藤工業(株)：梅香家俊文・\*高橋 浩  
村上 裕二

### 1. はじめに

建設労働者の高齢化・若年労働者の建設離れ等、建設労働者の問題が指摘される中、建設現場の無人化・省人化は重要な課題となっている。とくに、急速施工・長距離施工化が進むトンネル工事においては、作業の効率化・安全性向上の観点から無人化技術の要請が強い。このような背景の下、筆者らは延長7kmの長距離小断面トンネルを対象に、写真-1に示す無人走行列車を用いてズリ搬出および資機材搬入を自動で行うシステム「ジオ・シャトル」を開発し、TBMにて施工中の道志導水路（早戸工区）新設工事に導入した。ここにその概要を述べる。

### 2. 開発の背景

近年、都市トンネルでのシールドマシン、山岳トンネルでのTBMなど、高速掘進技術の進歩を背景として、トンネル工事においては1工区の施工延長が増大する傾向にある。とくに山岳トンネルにおいては、従来のオープン型TBMに加えて、切羽の自立しにくい軟岩地山の掘進にも適用できるシールド型TBMの登場によって、大断面トンネルの導坑や長大トンネルの避難坑等、今後は中小断面のトンネル工事を中心にTBMを



写真-1 無人走行列車

用いた急速施工・長距離施工が増大するものと考えられる。TBMの最大の利点はその高速掘進性にあり、長距離においてもこの利点を損なわないような有効な坑内搬送手法が、この場合極めて重要である。

当システムの開発モデルとなった道志導水路（早戸工区）新設工事は、延長5000mの円形水路トンネルを上述のフルシールドタイプのTBMにて掘削し、セグメントにて仕上がり内径3000mmに覆工するものである。この坑内搬送計画においては、次の要件を満たすことが求められた。

- ①狭小な断面の中で、セグメント搬入およびズリ搬出を安全に行うこと。
- ②将来、トンネル施工延長を7000mとする計画があり、このような超長距離においても切羽作業を待たせないような迅速な搬送が行えること。

③セグメント搬入／ズリ搬出といった定期的な搬送に加えて、不定期な各種資材や人員の入出坑もあり、錯綜する坑内搬送を安全かつ効率よく制御できること。

セグメント覆工トンネルにおけるズリ搬出方法としては、軌条式ズリ鋼車による方法、ベルトコンベア方式、流体輸送方式などがあるが、搬送設備の延長工事および設備保守が簡単に行えることから軌条式ズリ鋼車による方法が現実的である。ただし、従来の有人運転による坑内運行方法では、多くの運転手に苦渋作業を強いることになり、安全面からも長距離にわたる高速度運転は不可能である。必然的に坑内搬送の無人化・高速化を目的とした自動搬送システムの導入が不可欠となるが、これほどの長距離自動搬送システムの事例はかつてなく、新たなシステム開発が必要とされた。

### 3. 搬送条件

本工事における搬送条件を以下に示す。

- ①限られた断面の中で安全かつ経済的に搬送を行うために、迅速な搬送を必要とするセグメント搬入及びズリ搬出は無人列車で、その他の資機材等の搬出入は有人列車を用いて行う。(図-1参照)
- ②無人列車は、往路で1リング分のセグメントを搬入し、復路で1リング分のズリを搬出する。
- ③切羽作業のサイクルタイムに合わせて、30分以下の間隔で無人列車を運行する。

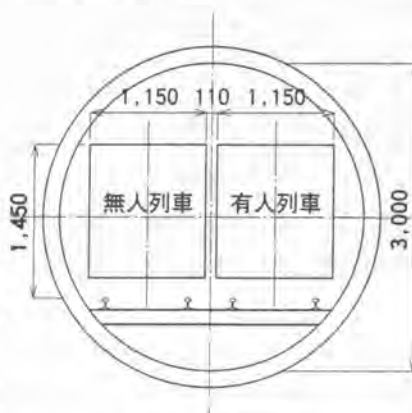


図-1 坑内断面図

以上の条件の下で、本工事の最大掘削延長(7000m)を

無人列車最長運行距離としたうえで、搬送効率・安全性・経済性を総合的に検討し、無人列車の平均速度を11km/h、最大運行列車数を5列車と定めてシステム開発を進めた。図-2に最大施工延長時の線路計画を示す。

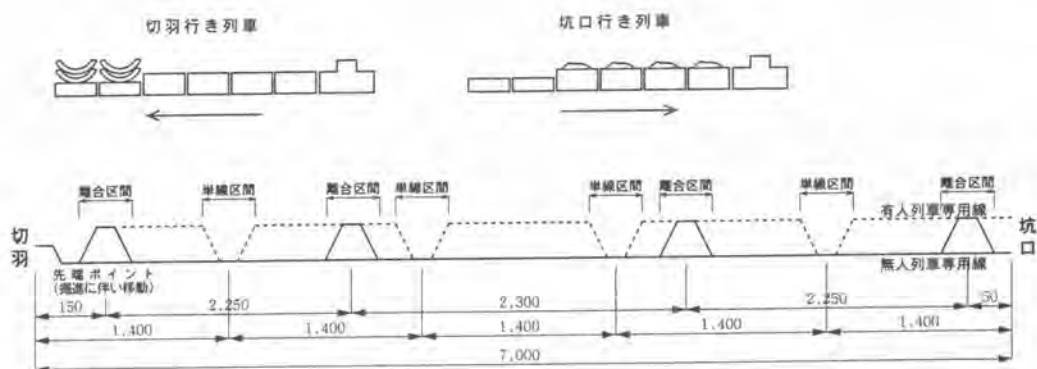


図-2 最大施工延長時の線路計画

#### 4. システムの概要

本システムは基本的に次の三つの機能によって構成されている。

- ①セグメント搬入／ズリ搬出列車（無人列車）の自動運行制御
- ②不定期資材列車（有人列車）の安全走行管理
- ③運行状況の監視・蓄積

上記各機能について、その概要を以下に紹介する。

##### 4-1 自動運行制御

###### (1) 自動運行規則

本システムでは、無人列車は単線軌道を走行し、数箇所に設置された離合区間において各列車がすれ違うことを基本に、複数列車の自動運行を制御している。このため、坑口～離合区間・隣り合う離合区間・離合区間～切羽を1運行区間とし（図-3参照）、これを列車の走行単位として全列車の自動運行の制御を行う。各列車は離合区間で必ず停止し、基本的に以下に示す条件を全て満たした場合のみ、次の1運行区間を走行できる。

- ①同方向に走行する前方の列車が、2運行区間内に存在しない。
- ②対向する列車が、前方の1運行区間に存在しない。

対向する列車が、隣り合う離合区間に同時に到着した場合、つまり2列車とも前方1運行区間内に対向する列車の存在を確認した場合は、切羽に向かう列車が優先となる。坑口に向かう列車は、到着した離合区間で待機し、上記の条件を満足することを確認した後、次の1運行区間を走行する。

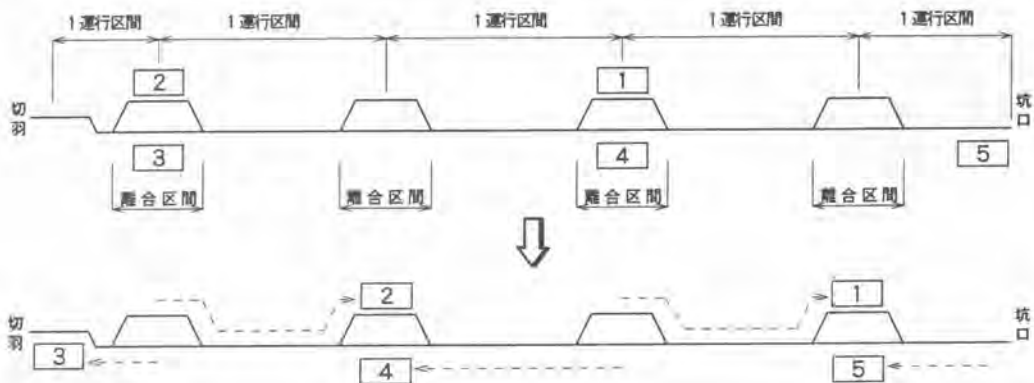


図-3 自動運行規則概念図

###### (2) 自動運行制御方法

上述の自動運行規則は、自走式バッテリー機関車に搭載された車上制御装置と地上の中央制御装置との間で自動交信させるシステムを構築することによって具体化した。（写真-2、図-4参照）

制御方法の概要を以下に示す。

- ①各列車と中央制御装置の交信は、レールの間に配線された誘導無線システムの誘導線とバッテリー機関車の底面に設備された誘導無線アンテナを通じて常時行われる。
- ②所要所にIDシステムのデータキャリアをレールの間に設置し、ここから、その地点の位置・それぞれの走行方向に適した走行速度・現在走行している線の種別（無人列車線・有人列車線・共用区間）が発信され、その上を通過するバッテリー機関車は、底面に設置されたR/Wヘッドを通じてこれらのデータを読みとる。
- ③バッテリー機関車は、読み取ったデータをもとに坑口からの走行距離を計算し、誘導無線システムを通じて、現在の走行位置・走行方向・走行速度などのデータが中央制御装置に送られる。
- ④中央制御装置は、複数の機関車と坑内設備からリアルタイムに送られてくるこれらのデータを受け取り、全列車の走行状況等を監視して上述の自動運行規則に従って、各列車に走行方向・発進・停止などの命令を誘導無線システムを通じて送信する。



写真-2 坑内自動運行状況

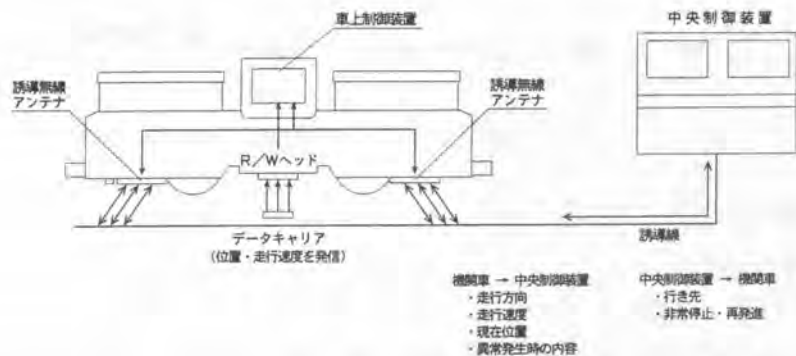


図-4 データ通信概念図

ただし、本システムにおいては以下の理由により、坑口から先端ポイントまでを自動運行区間とし（図-2参照）、切羽および坑口部分ではハンディ無線により無人列車の誘導を行うこととした。

- ・先端ポイントから切羽まではTBMの後続台車があり坑内が狭くなっている上、単線区間であり、作業員が密集している箇所であることから、誘導員の誘導により列車を進入させるため。
- ・坑外においては、セグメントの積み込み・ズリ捨て及びバッテリーの積み替え等を行うため。

### (3) 無人列車の自動停止

切羽を除いて坑内は無人であるため、自動運行によって人命に関わる重大事故が生ずる可能性はほと



んどないと考えられるが、万一に備えた安全対策が必要である。また、円滑な自動運行を保証する観点からも車両の自損事故を未然に防ぐ非常停止機能が必要である。

本システムでは、図-5に示すセンサー類を無人列車の機関車および最後尾の台車に設置し、次のような場合に自動停止する設計となっている。

①線路上に障害物がある場合

- ・障害物センサーが前方に障害物を検知して停止。
- ・障害物バンパーに障害物が接触して停止。

②機関車自体に異常がある場合

- ・速度オーバー、油圧異常、その他電気系トラブルを自己診断して停止。

③列車が自動運行管理範囲を逸脱した場合

- ・磁気センサーがオーバーラン防止位置に設置した発磁体を検知して停止。

④その他、人為的に停止させたい場合

- ・非常停止ボタンを押して停止。

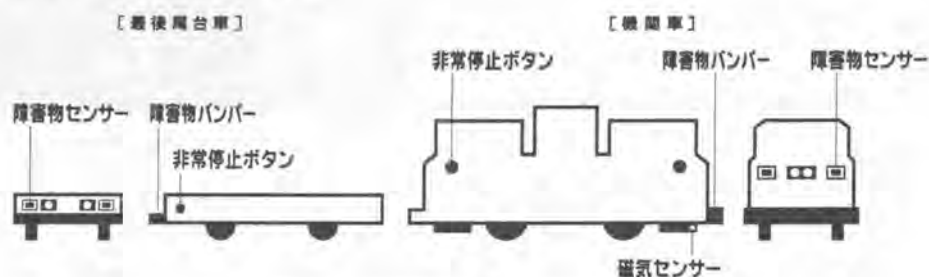


図-5 自動停止用センサー設置位置

## 4-2 有人列車の安全走行管理

### (1) 有人列車の割り込み走行

有人列車と無人列車は基本的にそれぞれ独立した専用線を走行するが、図-2に示したように、当工事は離合区間および完全単線区間において軌条を共有する。本システムでは、秩序ある運行が要求される無人列車の走行を優先し、さほど搬送を急がない有人列車は無人列車の走行間隙をぬってこの区間を通過することを基本方針として、次のような走行方法をとっている。

- ①有人列車の運転手は、無人・有人共用区間の直前の定められた所で、必ず一旦停止する。
- ②有人列車の一旦停止を確認した中央制御装置は、全無人列車の位置・走行方向などの運行状況から共用区間への有人列車進入の可否を計算し、進入可能な場合に信号機を青色点灯する。
- ③青信号を確認した運転手は必要に応じてポイントを切り替え、速やかに共用区間を通過する。

### (2) システムによる安全管理

有人列車は中央制御装置からの運行制御を離れて手動にて運転されるが、機関車そのものは無人列車と同一のものが使用されている。したがって、有人列車用のバッテリー機関車は、無人列車用と同様に

データキャリアからデータの読み込みを行い、誘導無線システムを通じて中央制御装置に自身の位置を自動送信する。また、共用区間に信号機およびポイント向き検出用リミットスイッチを設置し、同軸ケーブルを使用した通信路で中央制御装置に接続している。これらを用いて中央制御装置は信号の自動点灯を行い、上述の有人列車の割り込み走行を管理している。

以上の信号管理で通常は問題なく有人列車の割り込み走行が行えるが、有人列車の走行はあくまで手動運転であり、安全上万全とは言い難い。そこで本システムでは、中央制御装置が下記に示す状況を確認した場合、無人列車を緊急停止させることで安全運行をより確実なものにしている。

- ①有人列車の一旦停止無視および赤信号での進入
- ②有人列車の共用区間内での長期滞留
- ③ポイント向きの不正（有人列車のポイント切り替えミス）および有人・無人列車の誤車線進入

#### 4-3 運行状況の監視・蓄積

以上、4-1、4-2に述べた無人列車の自動運行および有人列車の安全管理はすべて自動で行われており、人為的な運行管理は基本的に不要である。しかし、不測の事態に対応するため、およびシステムを柔軟に運用するために、写真-3に示すように中央制御装置に正副2画面を設置するとともに、離合区間などの運行上主要な箇所にてITVを設置し、地上の中央制御室で坑内の運行状況を監視している。

中央制御装置の主画面では、全列車の運行状況（現在位置・走行速度・走行方向）、無人・有人共用区間付近に設置された有人車両用信号機の点灯状況及びポイントの向き等がビジュアルに表示され、監視員が感覚的に運行状況を把握できるように設計されている。この画面は切羽でも表示され、切羽作業員にも運行状況が確認でき、複数の目による監視が可能となっている。

また、中央制御装置の副画面では、全列車の運行状況のダイヤグラム・非常停止時の理由・運行実績表などが表示される。これらのデータは自動蓄積され、その後の運行条件（列車速度、離合区間位置等）の見直し、およびバッテリー機関車のメンテナンス等に活用されている。



写真-3 中央制御装置

#### 5. おわりに

当システムは平成6年9月より道志導水路（早戸工区）新設工事に導入され、平成7年7月現在、約3600mを掘進した段階まで無事故で順調に稼働している。このような長距離搬送の自動化においては、安全第一でシステム設計を行うことは論を待たないが、仮設における自動化は作業効率と経済性も重要な要素である。当システムは、安全性・作業効率・経済性のバランスを考慮して設計されたものであるが、自動化ゆえの設備費・作業手間等、さらに改善すべき点もある。今後、これらの点を検討し、汎用性の高いシステムへと昇華させたい。

# 31. 自動化深礎工法

## ～SH-SHINSO 工法～の開発

(株)白石：\*藤田 宏一・太田 和男  
木村 明弘

### 1. はじめに

深礎工法は、急峻な山岳地における橋梁や送電線鉄塔などの基礎の他に、地滑り抑止工としても用いられている。この工法は主として簡便な道具による人力作業であるため、急峻な施工場所に対応しやすい一方、狭い坑内作業は苦渋かつ劣悪な環境となっている。近年、掘削作業の一部において機械化もなされているが、まだまだ人力に依存しており、安全性や労働環境に対して課題が多い。さらに労働者の不足や高齢化と相俟って深礎工法の機械化を進めることが重要になってきている。

今回開発した自動化深礎工法は、機械を小型化することにより急峻な山岳地での適用を可能にし、また掘削・土留めなどの一連の坑内作業を無人化および自動化することで坑内の苦渋作業を克服している。さらに作業の安全性を格段に高めることにより、従来工法における課題を解決したものである。

### 2. 開発の目標および達成のための方策

SH-SHINSO工法開発の基本方針は、「坑内での人力作業の排除」とした。この基本方針に基づいて従来工法における作業状態を把握し、開発の目標および具体的方策を設定した。

表-1に、現状と開発目標および具体的方策を示す。

表-1 現状と開発目標および具体的方策

| 開発項目    | 現 状                           | 開 発 目 標          | 具 体 的 方 策   |
|---------|-------------------------------|------------------|---|
| 準 備 工   | 搬入路<br>林道規定に準拠した工事用道路         | 同 左              | 分割可能とし、簡便に組立可能な機械とする。<br>最大分割重量をトラック運搬可能な重量とする。     |
|         | 施工ヤード<br>フーチング施工範囲内に収める       | 同 左              |   |
|         | 機械の搬入<br>11tトラックでの運搬          | 同 左              |   |
| 掘削・排土工  | 掘削径<br>直径2.5m以上               | 同 左              | ブレーカ、バックホウなどを装備した小型の掘削機械を、地上からの遠隔操作・自動運転する施工システムの開発 |
|         | 掘削深さ<br>機械併用人力掘削で深度20m程度まで    | 30m程度まで機械掘削可能とする |   |
|         | 作業効率<br>土質に応じた段取り替えが多く作業効率が悪い | 軟岩程度まで機械掘削可能とする  |   |
| 土留め工    | ライナープレートの坑内組立作業               | 坑内人力作業の排除        | ライナープレートに代わるライニング材料の採用                              |
| 鉄筋工     | 坑内での鉄筋組立作業                    |                  | 地上作業可能な鉄筋組立装置の開発                                    |
| コンクリート工 | 坑内でのコンクリート締固め作業               |                  | ①地上からの締固め方法<br>②締固め不要材料の採用                          |
| 昇降設備    | 梯子による                         | 快適で安全な昇降設備による管理  | ゴンドラなど、安全な昇降設備の採用                                   |

### 3. SH-SHINSO工法の概要

#### 3.1 施工設備の概要

施工設備は、掘削・排土設備と型枠設備によって構成されている。

##### 3.1.1 掘削・排土設備

掘削・排土設備の概要を図-1に示す。掘削は、軌条レール上を自走する門型架台から昇降装置により坑内に吊り下げられた掘削機械により地盤の掘削と坑壁の整形を行う。この掘削機械は油圧ブレーカとバックホウから成り、全周旋回が可能な旋回フレームに取り付けられている。掘削反力は、上下2段に配置した油圧作動のグリッパによりライニングされた坑壁で受ける構造となっている。また掘削機械は自動計測による位置決め機能を備えている。

バックホウにより掘削を行い、坑底中央部に集土する。バックホウは深礎の直径に応じて、所定の範囲のみを掘削できるようになっている。

バックホウで掘削できない硬質地盤は、油圧ブレーカを用いる。この砕岩作業は長時間の打撃作業であり、かつ底面地盤を均等に破碎する目的からプログラム化された自動運転としており、設定した間隔、所定ストロークで砕岩できるようになっている。

排土は、排土用クレーンにより専用の油圧クラムシェルバケットを昇降させ、バックホウで坑底中央部に集積した土砂を坑外に排出する。

掘削・排土作業は、掘削機械のオペレータと排土用クレーンのオペレータの2名のみで行い、掘削状況は、坑内の掘削機械に取り付けたテレビカメラにより常時撮影されている。2名のオペレータは地上の遠隔操作室および排土用クレーンに設置したモニタに撮し出される映像を見ながら地上遠隔操作を行っている。

掘削設備および排土設備の主要な仕様は表-2に示すとおりである。

表-2 掘削設備および排土設備の主要仕様

| 1) 掘削設備               |  | 地上設備                  |   |
|-----------------------|--|-----------------------|---|
| 掘削機械                  |  | 門型架台                  | 寸法：幅4m、長さ4m、高さ7.5m  |
| バックホウ                 | かき寄せ量：0.04 m <sup>3</sup>                      | 昇降装置                  | 吊り能力：10 tonf×2台   |
| ブレーカ                  | 突き出し力：1.6 tonf<br>起伏力：7.0 tonf                 | 揚程                    | 26 m  |
| 旋回装置                  | 旋回速度：2 rpm<br>旋回範囲：0~360°                      | 油圧ユニット                | 巻上速度：1.4 m/min.<br>ポンプ能力：18.5KW×67ℓ/min.×140kgf/cm <sup>2</sup><br>タンク容量：200ℓ |
| 掘削機械の合計重量 = 約 10 tonf |  | 地上設備の合計重量 = 約 10 tonf |   |
| 掘削設備の総重量 = 約 20 tonf  |  |                       |   |
| 2) 排土設備               | 油圧クラムシェルバケット：0.25m <sup>3</sup> 、重量：約 2.5 tonf |                       |   |

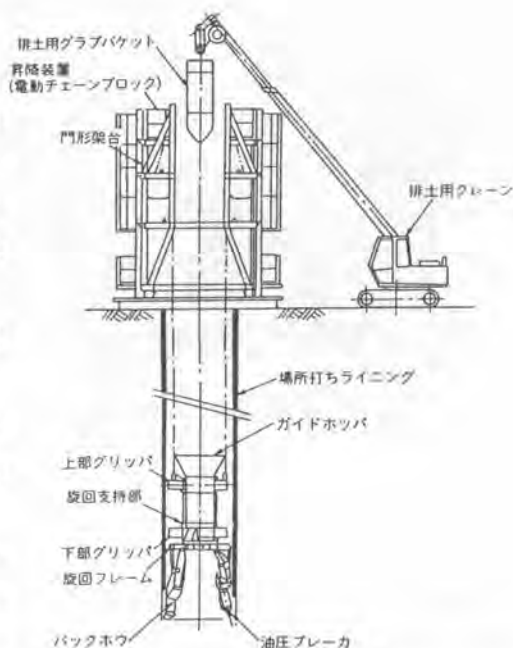


図-1 掘削・排土設備の概要

掘削設備の全景を写真-1に、また掘削機械による掘削状況を写真-2に示す。

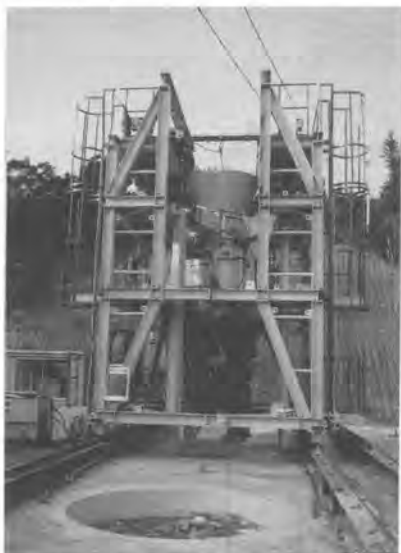


写真-1 掘削設備の全景



写真-2 掘削機械による掘削状況

### 3.1.2 型枠設備

型枠設備の概要を図-2に示す。型枠設備は地上架台と、地上架台から昇降装置により吊り下げられた型枠装置から成っている。型枠装置は6枚に分割された面板、面板を伸縮する油圧装置、モルタル打ち込み用注入ポートおよびそれらを支持する架台から構成されており、地上遠隔操作により型枠の組立・脱型を行う機能を備えている。また型枠装置は自動計測による位置決め機能を備えており、所定の位置に型枠を設置できる。

地上のプラントで現場練りされたライニング材は、地上遠隔操作により型枠に取り付けられている注入ポートを開閉し、地山と型枠の間に注入される。型枠装置は、ライニング材の硬化後に地上遠隔操作により脱型して地上に吊り上げられる。

型枠装置の主要仕様は表-3に示すとおりである。また型枠設備の全景を写真-3に、型枠装置の坑内吊り下ろし状況を写真-4にそれぞれ示す。

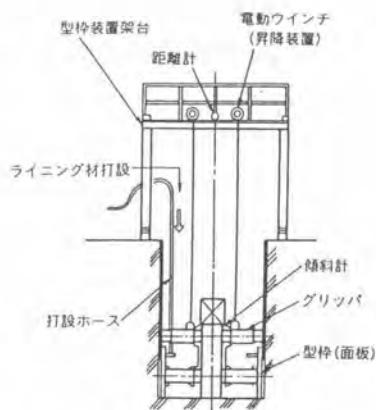


図-2 型枠設備の概要

表-3 型枠装置の主要仕様

|        |                                     |
|--------|-------------------------------------|
| 形 式    | : $\phi 2.5 \sim \phi 3.0 \text{m}$ |
| 型枠装置重量 | : 約 6.0 tonf                        |



写真-3 型枠設備の全景

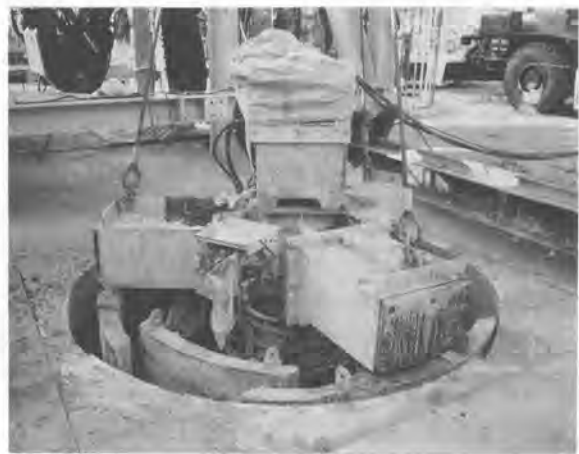


写真-4 型枠装置の坑内吊り下ろし状況

### 3.2 設計・施工上の特徴

小口径の深礎杭基礎は人力主体の施工で、最近では油圧クラムシェルバケットなどの機械を併用している。また一部では遠隔操作式の深礎工事機械なども開発されている。

以下には従来工法との比較をしながら、本工法の特徴を示す。

① 掘削工 従来の機械併用人力掘削では深さ20m程度までが限度で、それ以深は人力施工である。1サイクルの掘削深さはライナープレートの寸法から0.5mであり、坑壁面の整形はすべて人力である。本工法は深さ30m程度までの機械掘削を地上遠隔操作および自動化しており、1サイクルの掘削深さは1.0mを標準としている。また坑壁面の整形も遠隔操作によっている。さらに実施工の結果から、従来工法で4人程度必要であった掘削作業員が2名で済んでいる。

なお本工法での掘削対象地盤は、普通土砂から軟岩までとしており、従来より発破を必要とする硬岩の場合は従来工法と同様に人力作業と割り切っている。

② 排土工 従来工法では油圧クラムシェルバケットや自動リフトなどを用いている。本工法では、バックホウにより坑底中央部に集土された土砂を、地上よりの遠隔操作による専用の油圧クラムシェルバケットを用いた排土方法としている。

③ 土留め工 従来工法ではライナープレートによる土留めとしており、坑内での組立ては人力作業である。このライナープレートによる土留め方法は、過度の余堀りを余儀なくされ、また数多くのボルト接合であることから、苦渋な作業となっている。

本工法はライナープレートに代わり、地上よりの遠隔操作による場所打ちライニングを採用しており、坑内作業の無人化を達成している。実施工で用いたライニング材は、ハンドリングタイムが約30分、打ち込み開始から2時間後の一軸圧縮強度が40kgf/cm<sup>2</sup>程度、静的フロー値が300程度の超速硬性と超流動性を兼ね備えたものを開発した。

本方法は、1サイクルの掘削終了後ただちに場所打ちライニングによる土留めを行うため、従来工法

に比べて周辺地盤の緩みを抑えることができる。また流動性のある材料であるため、周辺地盤との一体化が図られており、裏込めグラウトの必要もない。

地山とライニング材との一体化を確認するため、リング状のライニング材における鉛直載荷試験を行った。その結果、大きな周面摩擦力が得られた。写真-5は、ライニングの仕上がり状況を示したものである。

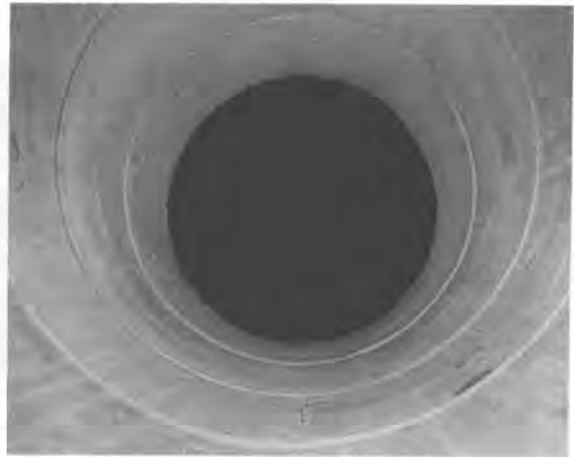


写真-5 ライニングの仕上がり状況

④ 杭本体の構築 深礎工法における機械化・自動化の推進の一環として、本工法では、杭本体の鉄筋工およびコンクリート工についても、従来の坑内人力作業を排除するための材料・装置類の開発を行い、省力化・安全性の向上を図っている。

従来より行われている鉄筋組立作業は、掘削終了した坑内において坑底から順次人力によって組み立てており、狭隘な空間での苦渋な作業となっている。本工法では、写真-6に示すように掘削設備の地上架台を利用した掘削坑口位置での鉄筋かごの縦組み作業としており、坑内での鉄筋組立作業を排除している。またクレーンを常時必要とせず、安全に能率よく施工できる。

杭本体のコンクリート打ち込み作業においては、従来工法では掘削坑内に設置した仮設の中間足場からのパイプレタによる締め固め作業を伴っている。本工法では、①パイプレタの地上遠隔操作による締め固め方法、②締め固め不要な配合のコンクリートの採用、の2通りの方法を考慮しているが、今回の実施工では、締め固め不要なコンクリートを採用した。写真-7に杭本体コンクリートの打ち込み状況を示す。



写真-6 鉄筋かごの組立・吊り下ろし状況



写真-7 コンクリートの打ち込み状況

### 3.3 開発の成果

今回開発したSH-SHINSO工法は、機械併用人力掘削や他の掘削機械などの従来工法と比べて、以下に示す成果が得られた。

- ① 労働環境・安全性の向上 従来工法のうち機械併用人力掘削の場合は、主としてクラムシェルバケットなどで排土を行い、坑壁の整形・土留めは人力で行っている。また他の掘削機械についても、掘削・排土については今回の機械と同様の自動化が行われているが、土留めについては人力作業によるライナープレートの設置が行われている。今回開発したSH-SHINSO工法は、掘削・排土・土留めの一連の作業を機械化・自動化することができ、従来工法と比べ労働環境、安全性を大きく改善することができている。
- ② 施工能率の改善 本工法における施工能率は、粘土混じり礫地盤において2サイクル/日、すなわち2.0~2.4m/日であり、機械併用人力掘削の従来工法と比べ、施工速度は1.2~1.3倍程度に向上する結果が得られた。また自立性のある地盤では、1サイクルの施工長を伸ばすことで、工程短縮が図られることを確認した。さらに施工人員は2名であり、従来工法が4名程度必要としていることから、省人化が達成された。
- ③ 地盤との密着性の向上 今回採用した場所打ちライニングによる土留めは、従来工法において懸念されている地盤の緩みを抑える効果のあることが確認できた。また従来設計方法で無視している周面摩擦力も、載荷試験で大きな周面摩擦力が得られた。

### 4. 今後の展開

今回開発した機械により、労働環境、安全性は飛躍的に向上し、また施工能率は若干向上した。施工自体が不慣れであったことを考慮すると、今後の施工能率はさらに向上すると考えられる。また場所打ちライニングの土留めにより周辺地盤との密着性が高まり、かなりの周面摩擦が期待できることから、設計法の見直しを図ることにより従来工法より杭長を短くすることが可能である。さらにライニング厚さを杭本体の断面の一部として評価できれば、掘削径の縮小化を図ることができるものと思われる。

以上のことをさらに検討することにより、今回の工法の更なる発展も期待でき、深礎杭の施工に対して大きく貢献できるものと思われる。

### 参考文献

- 1) 垂水祐二、藤田宏一、大森了、中井栄：深礎工事の自動化、基礎工、1994.3、(株)総合土木研究所
- 2) 木村明弘、太田和男、藤田宏一：SH-SHINSO工法、建設機械、1994.12、日本工業出版(株)
- 3) 川口正之、大塚研二、木村明弘：深礎杭の機械施工、土木施工、1995.4、(株)山海堂
- 4) 湯川保之、川口正之、大塚研二：深礎杭の機械化施工—孔内無人化施工—、土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集、1995.5、(社)土木学会四国支部
- 5) 藤田宏一、木村明弘：自動化深礎工法の開発、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集 第6部、1995.9、(社)土木学会



## 32. 新しいソイルセメント地中連続壁工法 (トレーダー工法)の施工特性と実績

(株)神戸製鋼所：青井 實・\*芦田 恵樹  
北辰工業(株)：北中 壮彦

### 1. はじめに

従来のソイルセメント地中連続壁工法は、アースオーガ式の掘削機を用いて削孔した円柱を互いにラップさせ、連続した柱列壁を造成するものがほとんどである。これらの工法はいずれも、1軸または多軸のアースオーガを昇降させて施工を行っている。この方式は、壁の深さに伴って機械の地上高さが大きくなるため、大きな深度まで壁を造成する場合には、機械の安定性に細心の注意を払う必要がある。近年では、安全性を重視する観点から機械高さに制限を加えることも多く、制限下で施工できない深さの壁を造成する場合には、オーガを継ぎ足して施工しなければならない。

ここで紹介するソイルセメント地中連続壁工法(トレーダー工法)は、チェーンカッターを用いて施工を行うまったく新しい方式の工法である。図-1にその施工手順を示す。地盤に挿入したチェーンカッターを水平に移動させて溝の掘削とセメントの注入、攪拌を行い、連続した壁を地中に造成する。この方式には、以下のような特徴がある。

- ・壁の深さに関係なく機械の地上高が低く、さらに施工中は常にカッターポストが地中に挿入されているため、転倒の心配がない。
- ・継ぎ目(ラップ部分)のない連続した壁が造成できる。
- ・平滑な壁面が形成されるため、柱列式工法で壁面に円弧状に生じる余分な造成部分がなくなる。このため必要な最小の厚さで壁が造成でき、H型钢やパネルなどの挿入が自在である。
- ・アースオーガを鉛直方向に昇降させることに比べ、掘削部の移動距離が小さく、施工が速い。

今回、トレーダー工法を用いて行った仮設の止水、山留め壁工事の施工内容について、実データを採取し、一般的な施工の特性を分析した。本報告では、その概要と主な施工の実績を紹介する。

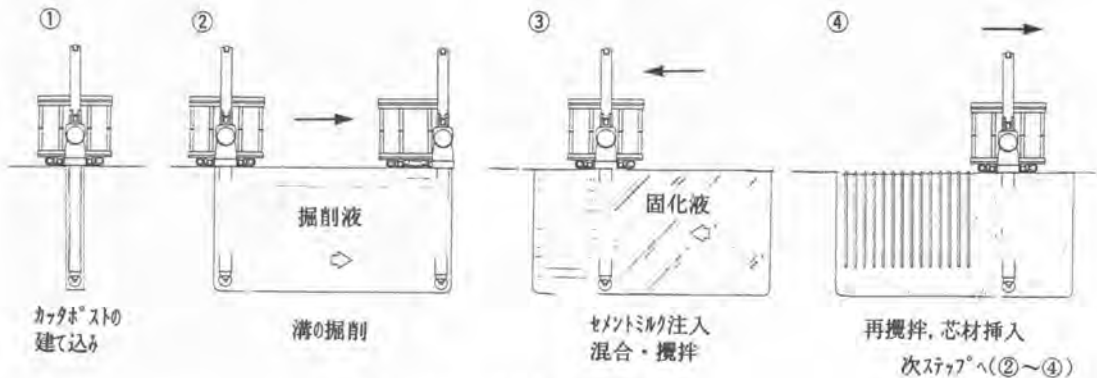


図-1 トレーダー工法の施工手順

## 2. 施工装置

現在、本工法の施工装置は2機種あり、主な仕様を表-1に示す。このうち標準で深さ2.5mまでの施工が可能なTRD-25型を写真-1に示す。今回は、このTRD-25型を用いて行った工事について、その施工特性を分析した。

表-1 施工装置の主な仕様

| 機種           | TRD-10       | TRD-25                    |
|--------------|--------------|---------------------------|
| 作業時重量(tf)    | 63.5         | 127.0                     |
| 馬力(PS)       | 300          | ベ-スマツソ 230                |
|              | 油圧ユニット共通     | 油圧ユニット 469                |
| 掘削深さ(m)      | 12(オ7°ショソ15) | 25.5                      |
| 掘削幅(mm)      | 450          | 550                       |
|              | (オ7°ショソ550)  | {オ7°ショソ 600<br>.650, 700} |
| カット掘削力(tf)   | 19.8, 14.2   | 36~22                     |
| カット周速(m/min) | 29.5, 41.8   | 15~69                     |
| 横スライト押力(tf)  | 26.9         | 55.7                      |



写真-1 TRD-25型

## 3. 施工の特性

トレーダー工法を用いた止水、山留め壁の施工には、以下の工程がある。

①溝の掘削／②セメント注入および攪拌／③芯材の設置／④施工設備の点検、保守、管理などの時間  
なお、事前調査や現場の設営、装置の組立、解体など、工事に先だてて行う準備や工事終了後の片付けの工程は、今回は検討の対象としていない。

施工の全工程に対するこれらの所要時間の割合について、実施工データを整理したところ、図-2に示す結果が得られた。この結果をみると、溝を掘削する時間の割合が極めて少ないことがわかる。いず

れのケースも砂やシルトの互層で、N値も10程度以下であり、既設の松杭が一部に存在するだけで、施工上特に問題とならない地盤である。しかし溝の掘削時間だけに着目すれば、1時間あたり200m<sup>2</sup>以上を施工した部分もあり、極めて高い掘削性能が発揮されている。このことから、カットポストによる攪拌の効率を高めたり、注入するセメントの材質を工夫するなどして、溝の掘削と同時に壁の造成

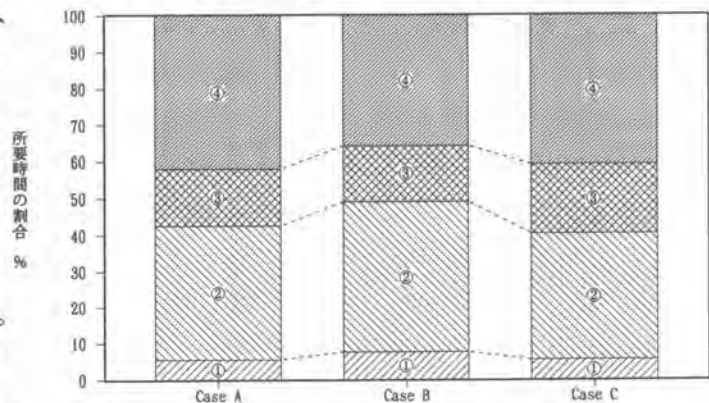


図-2 各施工工程の所要時間の割合

を行うことができれば、画期的な能率で施工が可能になることがわかる。

一方、施工設備の点検、保守、管理の割合がたいへん多いことも同時に示されている。この時間についてさらに分析すると、その40～60%がコンクリート設備に対して割かれている。また芯材の設置に必要な時間も少なくはない。これらのデータから、今後、本工法の施工効率をさらに高めていくためには、掘削、攪拌を行う施工機本体の改善のみならず、コンクリート設備やさらには芯材の設置方法、施工管理方法など、本工法の施工システム全体に着目した改善が必要であることが示される。

#### 4. 主な施工実績

本工法の施工実績は、開発が完了した平成5年度から現在（平成7年7月）までに21件をかぞえ、その施工面積は約7万㎡達する。ここではその中から主なものを紹介する。

各現場の写真を写真-2～5に、土質と壁の関係を図-3～6に示す。

- ①横浜/Y現場；ほぼ全層が礫層で構成される硬い地盤に、深さが最大で29.5mの壁を造成した。
- ②横浜/O現場；壁の深さは12mと浅いが、硬い土丹層に6mの根入れを行った。
- ③渋谷/S現場；壁の深さが30m近くあり、硬い層に6m、そのうち土丹層に1mの根入れを行った。
- ④名古屋/S現場；この現場は、シールドの発進立坑として壁を円筒状に造成した。壁の深さは29.5mで、深さ9m以深はほとんどがN値が50を超える硬い固結シルト層である。



写真-2 横浜/Y現場

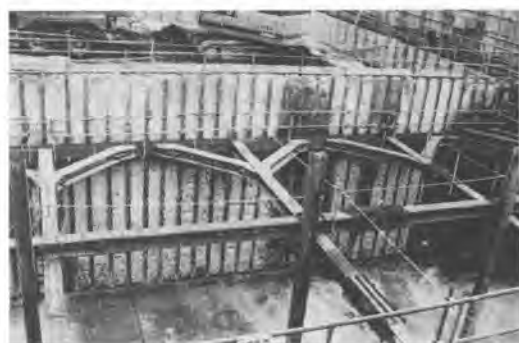


写真-3 横浜/O現場

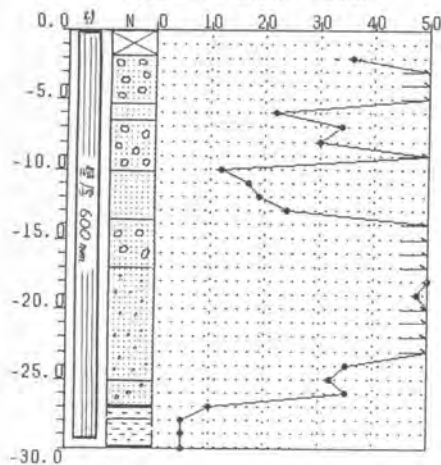


図-3 土質柱状図と壁の位置 (①)

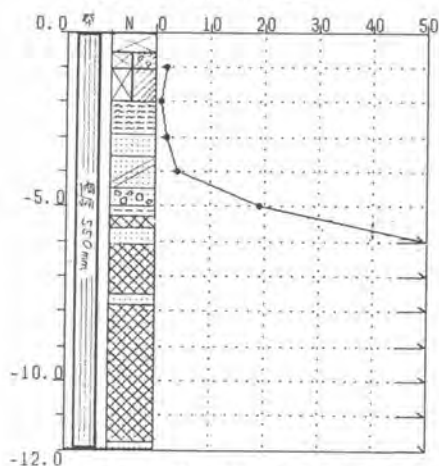


図-4 土質柱状図と壁の位置 (②)



写真-4 渋谷/S現場



写真-5 名古屋/S現場

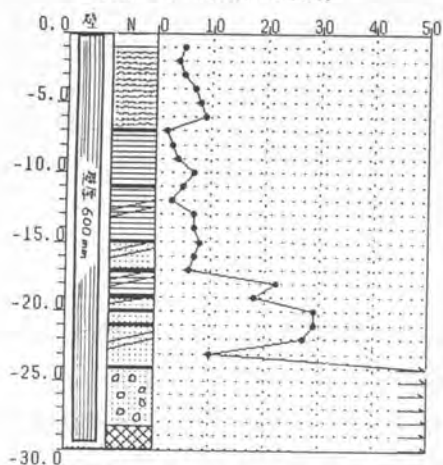


図-5 土質柱状図と壁の位置 (③)

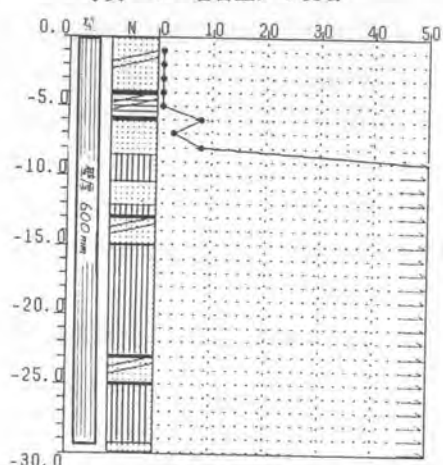


図-6 土質柱状図と壁の位置 (④)

## 5. おわりに

今回紹介したトレーダー工法は、施工の実績を重ねることにより、装置の安定性、壁の連続性、砂礫や土丹および地中障害物への適用性、施工精度、施工能率など、いくつかの優位点が確認されてきた。しかし、一方では、カッタの地盤への建て込みやコーナー部の方向転換の簡易化、施工管理システムの充実、装置メンテナンス性の向上、積算基準の設定、掘削の理論付けなど、さらに取り組みが必要な課題が残されている。また、構造物下部工での仮設壁のみでなく、遮水壁や基礎耐力壁、地盤改良などへの用途の拡大や、大深度への適用範囲の拡大にも期待が高まっている。今後も研鑽を重ね、建設分野の様々なニーズに適切に対応できるよう、開発を進めていく予定である。

# 33. 地中連続壁掘削制御の自動化システムの開発と適用

清水建設(株)：\*出口 種臣・渡辺 俊雄  
乾 純司

## 1、はじめに

掘削溝の形状がそのまま出来形となる地中連続壁では、その大深度化、薄壁化、変断面对応等の施工に伴い掘削精度の管理がますます重要性を増してきた。

当社では、従来の掘削精度管理システムにファジィ制御を導入し、掘削機の位置制御（偏位修正制御と呼ぶ）の自動化を図り、施工の簡易化と信頼性の向上を実現した。

掘削の自動化を図るためには、偏位修正制御のみでなく、掘削速度（または貫入力）制御を併せて行うべきである。どちらか一方のみの自動化では完全自律型システムにはならないが、今回の開発では全体システムはアルゴリズム構築に止め、偏位修正制御のみの自動化を図った。また、土質の特性の変化、機械の特性のバラツキ等が原因で起こる偏位修正制御の効き具合のバラツキを補正し、柔軟に機能させるためにゲインの調整制御を付加した。

## 2、システム概要

図1にシステム構成、写真1に計測装置（スライドベース）の設置状況、写真2に変断面对応型掘削機を示す。

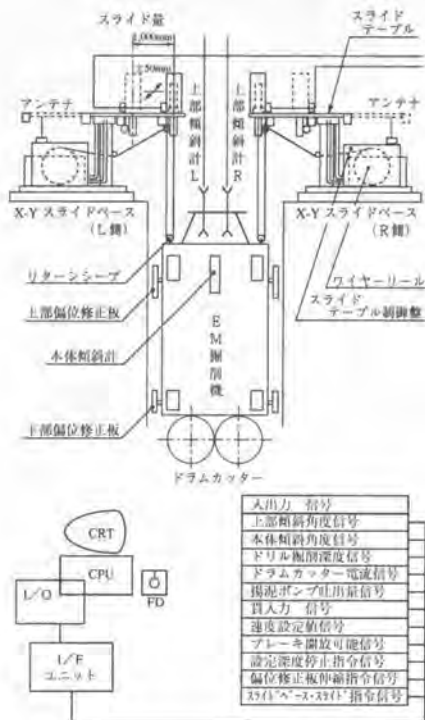


図1 システム構成

仮設山留・遮水を目的とした連続壁の構築において、連続壁の機能により壁厚を変えてコストダウンを図ることは、建設費低減からの要請の一つである。遮水機能のみを目的とする連続壁は山留壁に比べて薄くできる。

山留壁部は大型掘削機で厚壁を掘削し、遮水壁部は、その設定原点を保持しながら小型掘削機で薄壁を掘削するために、従来の掘削精度管理システムを改造し、小型掘削機の改造にあわせて自動偏位修正制御機構を付加したのが本システムである。

システムの特徴としては、地上に設置した上部傾斜計と掘削機に取り付けた本体傾斜計および深度計のデータから掘削機の先端の偏位量を求めるシステムで、次の機能を備えている。



写真1 計測装置の設置状況



写真2 変断面对応型掘削機

#### ①、スライドテーブル無線操作機能

上部傾斜計を設置したスライドテーブルは高性能サーボモータにより前後左右に移動可能なため、掘削機の上げ下ろしのたびに計測装置全体を移動させる必要がない。スライドテーブルの設定位置は記憶され無線操作で自動的に設定位置に復帰可能なため、上部傾斜計の位置（原点）設定は1ガットにつき1回で済む。

#### ②、掘削精度監視機能

掘削中における掘削機のドラムカッター中心位置両端の計画線からの偏位量、掘削機の姿勢、偏位量の履歴等を運転席のディスプレイにリアルタイムで表示する。

#### ③、変断面連続掘削機能

大型掘削機で掘削した大断面掘削溝の偏位量データやその他の設定値類を小型掘削機の運転システムに記憶させる（フロッピー渡し）ことにより連続的に小断面掘削を継続できる。

#### ④、自動偏位修正制御機能

偏位修正制御機能および修正効果学習機能（ゲイン調整機能）にファジィ制御を導入して自動化を図った。

#### ⑤、グラフ・帳票作成機能

オンラインシステム（運転システム）で収集したデータをフロッピーシートに吸い上げ、オフラインシステム（管理システム）に読み込ませることによりガット単位の種々の管理用グラフ・帳票を作成できる。

### 3、自動偏位修正制御システム

制御システムブロックを図2に、偏位修正板および偏位量の座標の定義を図3に示す。

手動運転の場合を想定し、偏位修正操作の実感（チョンチョン操作：インチング操作）をダイナミックに伝える目的で、偏位量、掘削機の姿勢等の表示を300msecで更新している。また、ファジィ制御による偏位修正制御、ゲイン調整制御の周期はそれぞれ10sec、50secとしている。データサンプリングの基本周期は約650μsecである。

(1)、ファジィシステムのマクロ構造

$$\Delta U(i) = G(k) * F1(i), \quad F1(i) = f1\{Y(i), \Delta Y(i)\}$$

$$G(k) = G(k-1) + \Delta G(k), \quad \Delta G(k) = f2\{V(k-1), M(k-1)\}$$

ただし、

$\Delta U(i)$  : 最終決定操作量

$F1(i)$  : 偏位量と偏位量の変化率から導出した操作量で、ファジィ制御による偏位修正制御項

$G(k)$  : ゲイン調整制御で導出したゲイン量

$\Delta G(k)$  : ファジィ制御によるゲイン調整制御項

$Y(i)$  : 目標値 ( $R=0$ ) に対する偏位量

$\Delta Y(i)$  : 偏位量の変化率

$V(k-1)$  : 絶対偏位量の期間平均値

$M(k-1)$  : 偏位量の期間内符号反転度数

$i=10*T$  : 偏位修正制御周期 ( $T=1\text{sec}$ )

$k=50*T$  : ゲイン調整制御周期 ( $T=1\text{sec}$ )

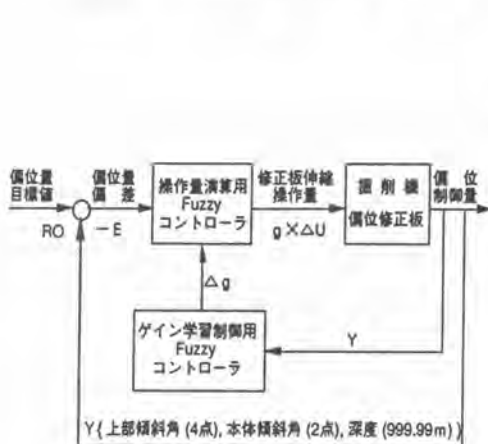


図2 制御システムブロック図

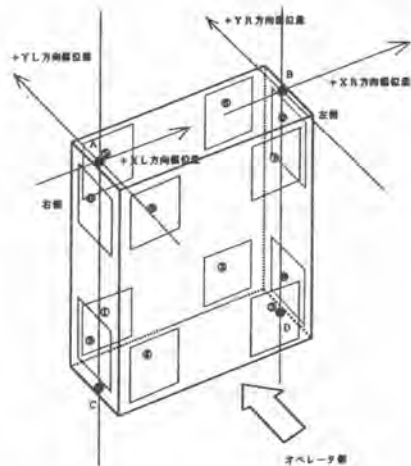


図3 座標の定義図

## (2)、偏位修正制御

メンバーシップ関数として制御量、操作量ともに7山三角形で定義する。

### ①、制御量（入力データ）

- ・ 偏位量 : Y (台集合: -60mm~+60mm 設定可変)
- ・ 偏位量の変化率 :  $\Delta Y$  (台集合: -50mm/10sec~+50mm/10sec 設定可変)

### ②、操作量（出力データ）

- ・ オイル供給時間 :  $\Delta U$  (台集合: -7sec~+7sec 設定可変)

偏位の修正操作量は偏位修正板の性能で決まるが、その作用の応答性能は掘削した地山から得られる反力に左右され、経験的には修正板の伸縮ストローク（トータル操作量）と偏位量（偏位量）の関係は線形にはならない。また、偏位を修正する場合、一般的には4ないし6箇所の修正板を同時に操作する。同一の油圧ユニットから、電磁弁の開閉によりオイルを分配供給するため、同一時間オイルを供給したとしても修正板のストロークにバラツキが発生する。これらのバラツキを解消するために、後から述べるゲイン調整制御でそれぞれ個別の修正板の効果を評価して操作量の調整を図っている。

修正板の有効ストロークは100mmであり、リンク機構を構成する油圧シリンダーにより駆動する。操作量としては電磁弁の開時間を採用し、操作量の符号により正逆（裏表）いずれの修正板を出すかを次のように定義している。正の操作量では③④⑦⑧⑨⑩、負の操作量では①②⑤⑥⑪⑫の修正板をそれぞれ伸操作する。

### ③、ファジィ推論

推論過程およびデファジィはmin-max重心法を用いた。

## (3)、ゲイン調整制御

偏位修正制御では掘削機の4つのポイントに対してそれぞれ独立にY軸方向へ4つの操作量、上下2つのX方向へ操作量を決定している。これらの制御結果から時々刻々変わる制御性能を評価して効き具合を調整するのがゲイン調整制御である。4つのポイントに対し6つのゲイン増減分をそれぞれ独立に決定している。初期状態のゲインは1である。

### ①、制御量

- ・ 偏位量の絶対値の期間平均値 : V (台集合: 0mm~60mm 設定可変)
- ・ 偏位量の期間符号反転度数 : M (台集合: 0回~4回 設定可変)

### ②、操作量

- ・ ゲイン調整量 :  $\Delta G$  (台集合: -0.5sec~+0.5sec 設定可変)

メンバーシップ関数としてV、M、 $\Delta G$ はそれぞれ3山、2山、5山の三角形で定義した。

### ③、ファジィ推論

推論過程およびデファジィはmin-max重心法を用いた。

偏位修正制御、ゲイン調整制御いずれの場合にも、チューニング手段としては「メンバーシップ関数の形状変更による調整」、「台集合の変更による調整」、「ファジィ制御規則の変更による調整」等があり、状況によって選択して調整する。



#### 4、施工事例

東京電力（株）新豊洲変電所新設関連山留壁工事における変断面連続壁の掘削施工事例について述べる。

##### （１）、山留壁概要

- ・構造 : 鉄筋コンクリート造
- ・掘削深度 : 約70m
- ・壁厚 : 上部2.4m (GL±0m～GL-44m)  
下部1.2m (GL-44m～GL-70m)
- ・内法寸法 : φ144m
- ・周長 : 約460m
- ・エレメント数 : 78E (先行: 39E、後行: 39E)
- ・継手処理 : コンクリートカッティング方式

##### （２）、掘削施工事例

自動制御データ（偏位量、操作量、ゲイングラフ）を図4、偏位量－深度のグラフを図5に、超音波測定データを図6に示す。

図4の横軸は時間で一目盛100秒、1000秒間のデータである。この間に掘削深度は64.40mから64.90mとなっている。約470秒から偏位量がプラス方向に偏り、不足制御状態と判断してゲイン項が50秒周期で上昇し、750秒でやや過制御となり950秒で安定推移している。この状態を偏位量の推移状態のみに着目したグラフが図5である。このグラフからも解るように、以後±10mm程度の偏位量で最終深度70mまで制御状態が良好に推移している。

図6は同一ガット（掘削溝）の全深度（0m～70m）にわたる偏位量の超音波測定データである。

#### 5、おわりに

紙面の都合で、施工中に顕在化し、改良を加えたいいくつかの改善点については割愛した。今後さらに簡便で信頼性の高いシステム（例えば、フィードバックのみでなくフィードホワード制御も取り入れたシステム等）に改良していく計画である。

最後に、今回の新たなチャレンジに対し、御指導、御支援下さった東京電力（株）をはじめとする関係者の皆様方に心より感謝致します。

#### 参考文献

- 1)、「地中連続壁基礎工法ハンドブック施工編」  
(株)総合土木研究所 発行
- 2)、菅野道夫著「ファジィ制御」  
日刊工業新聞社 発行
- 3)、出口種臣「高精度位置管理システム」建設機械1995年3月号  
日本工業出版(株) 発行

4)、出口種臣「地中連続壁掘削のファジィ制御による自動化」第5回建設ロボットシンポジウム論文集

(社)日本建設機械化協会、(社)日本ロボット学会、(社)日本建築学会、(社)土木学会、(社)日本ロボット工業会、(財)先端建設技術センター (順不同) 主催

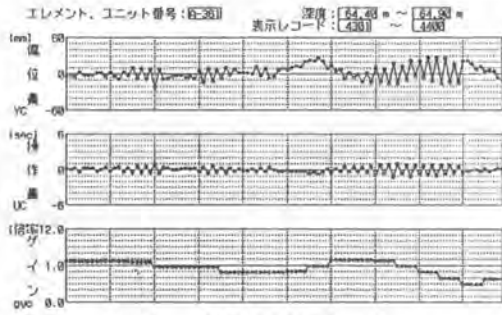


図4 自動制御データ

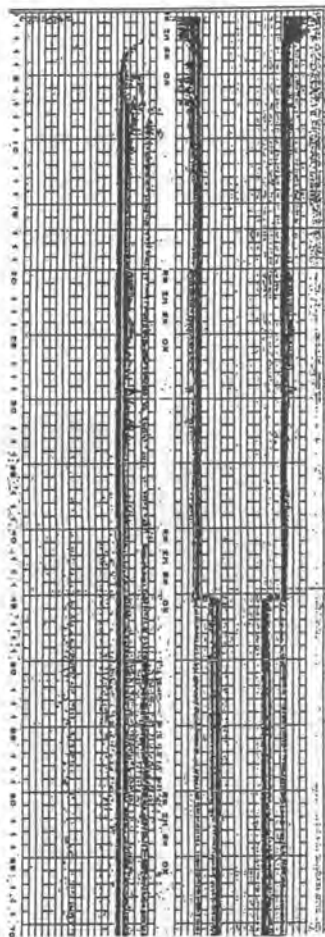


図6 超音波測定データ

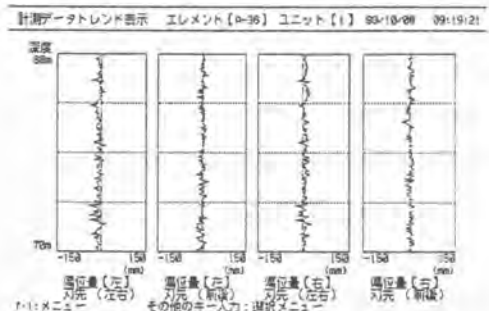
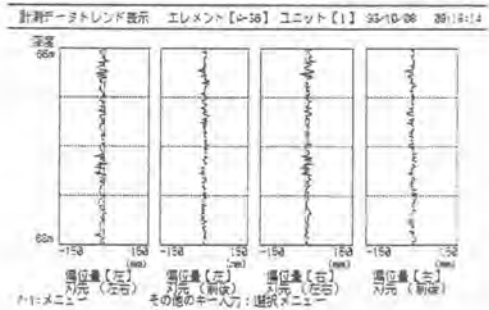
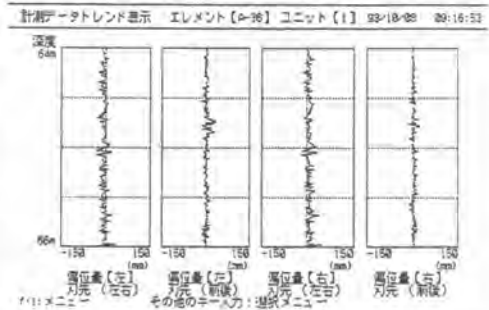


図5 偏位置-深度データ

## 34. スーパーRD工法（大口径立孔掘削工法）の開発と実施例～

鹿 島： 植田 政明・鳴井 森幸  
\*川田 正敏

### 1. はじめに

近年、シールド工事における立坑、橋梁をはじめとする土木構造物あるいは建築構造物の基礎としての場所打ち杭、山岳部での災害防止工事としての地滑り抑止杭等で、大口径立孔を掘削する例が増加してきており、しかも、より大口径化、大深度化する傾向が見られる。一方施工環境の面では専有スペースの制限、施工場所までのアクセス、周辺環境の保全、安全性等についてより条件が厳しくなっており、そうした条件下で省力化、工期短縮、コストダウンが要求されてきている。

このような状況を踏まえると、従来多用されてきた深礎工法や場所打ち杭工法の延長線上で施工方法を考えていたのでは、いずれ行き詰まることは容易に推定できる。そこで、これを打開する施工法の一つとして、今回スーパーRD工法（大口径立孔掘削工法）を開発し、二つの工事に適用してその有効性を実証したので、その概要を紹介する。なお、本工法は1995年6月に建設省の民間開発建設技術の技術審査証明を取得している。

### 2. 工法の概要

#### (1) 開発の目標

前述のような基礎工の現況を踏まえ、立坑あるいは場所打ち杭のどちらにも適用できる機械掘削工法を開発するものとし、その目標を以下のように定めた。

- ① 小型の機械装置で極力大口径の掘削を可能にする。
- ② 対象地盤としては軟弱土から中硬岩までとし、幅広い範囲の地盤条件に対応できるものとする。
- ③ 気中施工、水中施工の両方を可能とする。
- ④ 従来の施工法に比べ、安全性に優れ

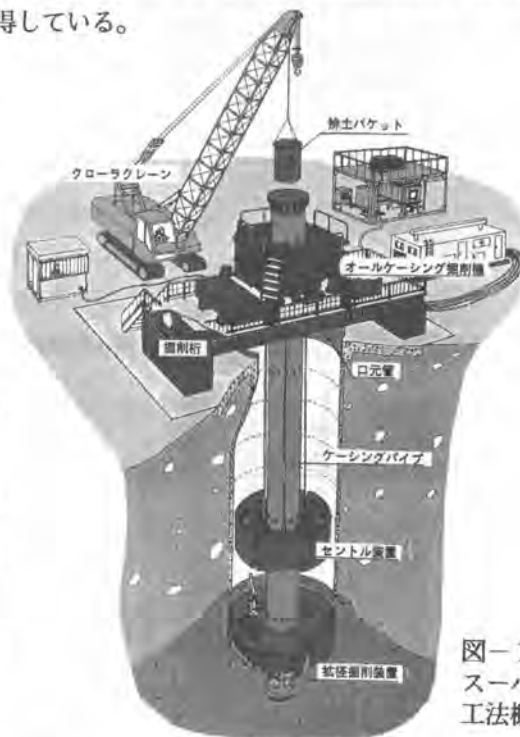


図-1  
スーパーRD  
工法概念図



写真-1 拡張掘削装置全景

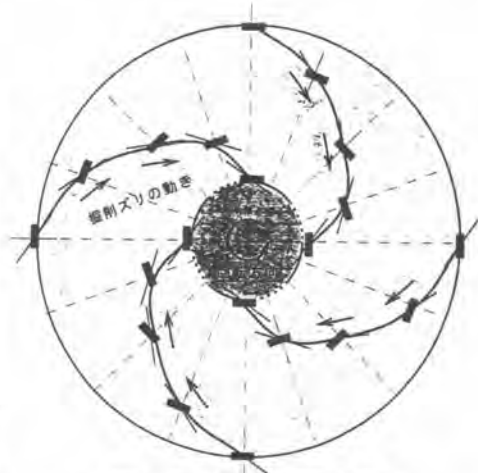


図-2 排土状況模式図

施工速度が速いこと。

- ⑤ 施工時の振動・騒音や排出土の処理を含め、環境への影響を最小限とすること。

以上の目標を達成し得る施工法として既存の全回転型オールケーシング掘削機（以下掘削機という）をベースにしたシステムを開発した。

## (2) システムの概要

気中掘削で孔壁の保護を場所打ちモルタルライニングとした場合の工法の概念図を図-1に示す。本工法は、掘削機の回転力とケーシングパイプ（以下ケーシングという）の回転力伝達に着目し、ケーシング先端部を改造して拡張掘削装置を取付けることにより、その径の3～5倍の径の全断面掘削を行うもので、掘削のメカニズムは以下のとおりである。

掘削機を作動させ、ケーシング先端部に取付けた拡張掘削装置を回転させながら地盤中に押込むと、写真-1に示す拡張掘削装置の先端部に取付けたカッタビットが地盤を切削し、そのずりは図-2に示すように、らせん形の排土板に沿って掘削中心部へ送り込まれる。中心部には拡張掘削装置の動力軸及び、芯振れ防止のガイド軸としてのケーシングがあり、そのケーシング側面には開口部を設けているため、この開口部を経由してケーシング内部に落込んでいき、気中掘削の場合ハンマグラブ又はバケット等で孔外に排出する。

### ① 掘削及び排土方式

掘削の方式としては、地盤条件に応じて以下の二つの方式が選定できる。

- (a) ガイドホール先行方式
- (b) 同時進行方式

ガイドホール先行方式は、図-3に示すように、まずケーシングによる掘削を先行して行い、ケーシングを引き上げて先端部に拡張掘削装置を装着した後、先行掘削孔をガイドホールとして

拡径掘削を行う方式である。硬質粘性土あるいは岩盤など、ケーシングを引き上げても孔壁の安定が保てる地盤の場合に適する。

地盤が一般土でガイドホールの孔壁の安定が保てない場合には、最初から拡径掘削装置を装着し、全断面掘削を行う。

本工法の場合、掘削能力が大きいため、排土を能率よく行うことが全体的な掘削能率を向上させる上で重要になる。

排土方式としては、気中掘削の場合ハンマグラブ又は排土バケット等が適用できるが、特にガイドホール先行方式の場合、大容量の排土バケットを用いること

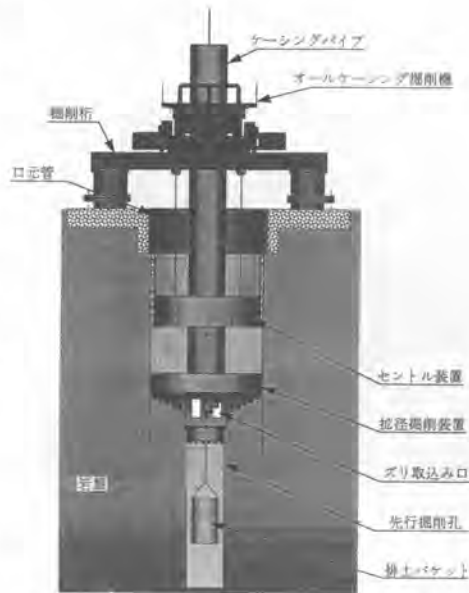


図-3 ガイドホール先行方式

で排土の能率を上げることが可能である。水中掘削の場合、ハンマグラブや排土バケット等による排土方式の他に、ケーシング内にポンプを挿入することによる泥水揚土方式も可能になる。

いずれにしても、掘削と排土の方式は地盤条件をはじめ施工条件を考慮して決定することになる。

## ② 孔壁の保護

孔壁の保護方法は、地盤条件、地下水位、施工環境によって選定するが、気中掘削においては素掘り吹付け、ライナープレート、場所打ちモルタル、プレキャストコンクリートリング、鋼製リング等あらゆる手段が採用可能である。水中掘削の場合には、孔内水位をコントロールすることによって、孔壁を保護するのが原則とするが、それだけでは孔壁の安定が保てないと判断される場合には、掘削の進行に応じてプレキャストコンクリートリングあるいは鋼製リングを挿入（場合によっては圧入）していくことで保護する。

## 3. 実工事への適用

### (1) 山岳地帯における深礎杭の施工

#### ① 全体工事概要

工事名：来島大橋下部工中工事

(P2, P3橋脚工)

発注者：本四公団第三建設局

工事場所：愛媛県今治市馬島内

実施工期：1994年10月～1995年1月

表-1 工事数量表

| 名称 | 内 容                 | 数 量  |
|----|---------------------|--|
| P2 | 深礎掘削φ5.0m<br>コンクリート | L=10.5m, 12.5m 各1本 <sup>*1)</sup><br>900m <sup>3</sup> (深礎充填含む) <sup>*2)</sup> |
| P3 | 深礎掘削φ5.0m<br>コンクリート | L=13.0m, 2本<br>1500m <sup>3</sup> (深礎充填含む) <sup>*2)</sup>                      |

\*1) L=12.5mは他工法で施工。

\*2) 工事範囲は掘削及び杭底部の清掃まで。

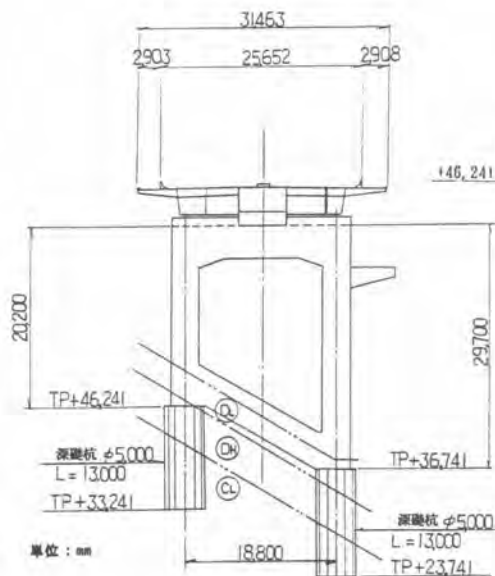


図-4 P3橋脚概略図

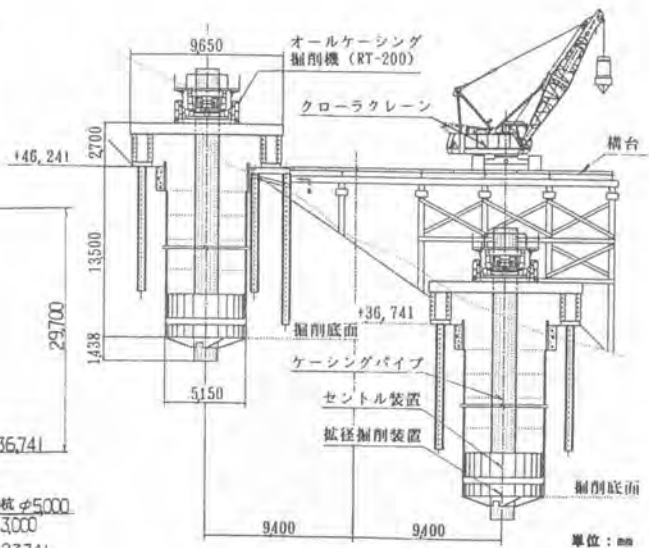


図-5 機械配置計画図 (P3)

来島大橋下部工工事は、本州側広島県と四国側愛媛県を結ぶ、本州四国連絡橋・西瀬戸自動車道のうち、大島～今治間約4kmの来島海峡の3つの水道を跨ぐ来島第一大橋、来島第二大橋、来島第三大橋の3橋からなる連続した吊橋を建設するもので、このうち来島第二大橋の側径間基礎であるP2、P3橋脚工事は、馬島島内の7A橋台、6P橋脚の間に位置している。

表-1に工事数量表、図-4にP3橋脚概略図を示す。

## ② 地形・地質

P2、P3橋脚の杭頂部は、最大標高59.8mから最小標高36.7mまでの山の中腹部に位置し、2つの橋脚とも杭頂部に約10mの高度差がある。このため本施工にあたっては図-5に示すように橋脚終点側（進入路終点）に作業構台を設ける必要があった。

また、橋脚基礎部表面は風化岩が主体で、ボーリングコアは礫状（一部土砂状）であり岩級区分としてはDMからDHクラスである。基礎部の最深部のボーリングコアは岩片状～短棒状が主体でCMからCHクラスの中硬岩（ $qu=200\sim600\text{kgf/d}$ ）である。写真-2に施工状況を示す。



写真-2 スーパーRD工法施工状況

### ③ 施工実績

#### (a) 施工能率

本工事の実績をまとめると、掘削準備及び撤去も含めて杭1本あたり11日（出来高約1.1m/日）を要し、純掘削日数は6日（純掘削速度約0.6m/hr）となった。標準的な作業サイクルは、午前中掘削、午後ライニングとなっている。

#### (b) 施工精度

本工事の施工精度を表-2に示す。これにより、本工法が、ケーシングを常に先行させ、地中部のケーシング部分と掘削機の二点で支持しながら拡径掘削を行うため杭芯のズレが少なく、良好な掘削精度を確保することが確認できた。

#### (c) その他

本工事での標準的な施工フローを図-6に示す。また、主な構成装置の仕様を表-3に、施工完了状況を写真-3に示す。

#### (2) 岩盤での立坑掘削工事のその他の施工例

既設のφ1.5mの立坑をφ3.2mに拡幅し、約21mまで掘り下げる工事である。平均掘削速度は約1.4m/hrであった。

対象地盤は、大半が凝灰角礫岩で一部が安山岩であり、一軸圧縮強度は $q_u=200\sim300\text{ kgf/cm}^2$ 程度と推定される。



写真-3 施工完了状況

表-2 施工精度実績表

| 項目    | 管理値<br>(許容値) | 計測値     |
|-------|--------------|---------|
| 杭芯のズレ | 150mm        | 32mm    |
| 杭の傾斜  | 1/100        | 1/406   |
| 掘削径   | 公称径以上        | 余掘り10mm |

表-3 主な構成装置の仕様

| 名称          | 規格・仕様                             | 数量 | 備考     |
|-------------|-----------------------------------|----|--------|
| 拡径掘削装置      | φ5.150mm                          | 1  | 縮径調整付き |
| 孔壁養生装置      | セメント装置(巻ききモルタル用)                  | 1  | 縮径調整付き |
| 掘削桁ほか       | B3.4m×L9.7m, 梁合2基付き               | 1式 |        |
| オールケーシング鋼鎖  | スーパートップ RT-200 (日本車輻)             | 1  |        |
| ケーシング       | φ1.500mm ×6m, 4m, 2m.             | 1式 |        |
| ファーストチューブ   | φ1.500mm 排土口なしと有り                 | 2  |        |
| クローラクレーン    | 80t吊り, 7-419m                     | 1  |        |
| ハンマグラブ      | 0.3m <sup>3</sup> 用               | 1  |        |
| 排土バケット      | 3.0m <sup>3</sup> 用               | 1  |        |
| チゼル         | φ1.300mm                          | 1  |        |
| ダウングホーローハンマ | φ250mm, 17-25m <sup>3</sup> /min  | 1  |        |
| 高圧パワーユニット   | RTP-320(日本車輻), 320PS              | 1  |        |
| コンプレッサ      | PDSF-530S 10.5kgf/cm <sup>2</sup> | 1  |        |
| ダンプトラック     | 4t                                | 1  | 排土用    |
| モルタル圧送機     | OKP-N60(興三機工) 5.5kW               | 1  | ホッパー付き |
| ゴンドラ        | 積載荷重350kg                         | 1  |        |
| 換気用ファン      | ダクト付き                             | 1  |        |
| 高圧洗浄機       | 装置洗浄用                             | 1  |        |
| 水槽          | 3.0m <sup>3</sup>                 | 1  |        |

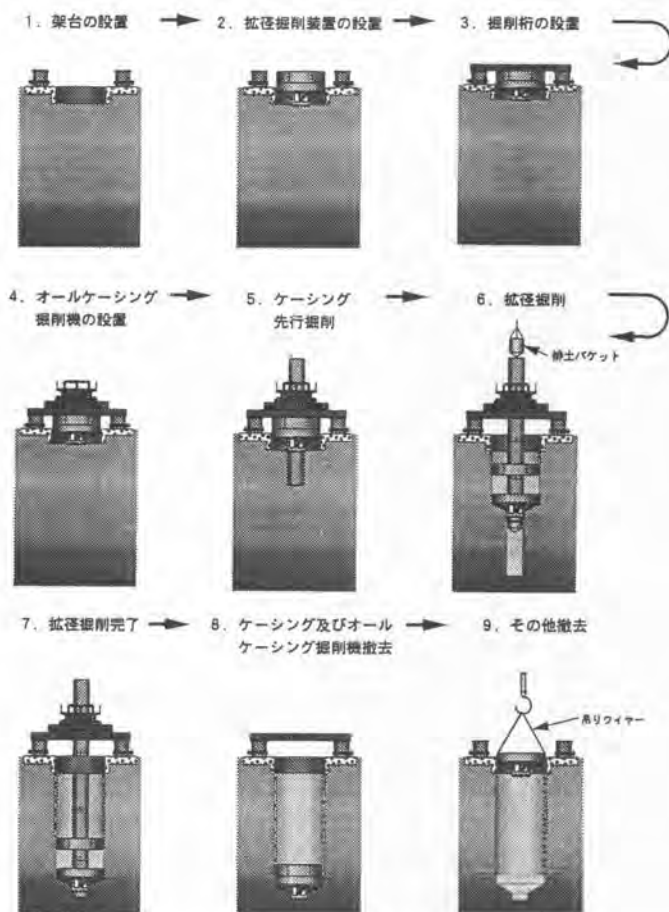


図-6 施工フロー図

#### 4. あとがき

二つの実工事を通じて、スーパーRD工法が施工能力に優れ安全性が高いことが確認された。しかし、同時に改善すべき点もいくつか明らかになってきており、現在検討中である。また、今回有効性が実証された範囲は、当初の目標からみるとその半ばが達成されたに過ぎず、特に、一般土砂地盤で地下水位が高い場合の立坑あるいは大口径場所打ち杭への適用を次の目標に設定し、構想を固めて改善に着手しているところである。

以上、スーパーRD工法の開発の経緯と実工事への適用、及び今後の展望について述べた。この報文が、基礎工の設計と施工に携わる方々の参考となれば幸いである。本工法の実工事への適用に当っては本四公団今治工事事務所及び他の各位の御支援をいただいた。また、(株)横山基礎工事には開発から実工事まで一貫して御協力いただいたことを記し、感謝の意を表します。



# 35. 自動化オープンケーソン工法 (SOCS) の開発と実証施工実験

建設省 (土研) : 中野 正則  
 (財)先端建設技術センター : 前田 諭  
 PC ウェル工法研究会 : 伊佐 秀・\*谷 善友

## 1. はじめに

オープンケーソンは大型基礎としては、施工方法がシンプルで経済的であるとともに、大深度施工においても圧気や安定液が不要であるため、橋梁基礎等の施工方法として多数用いられてきた。しかし、掘削がクラムシェル主体のため刃先部近傍の地盤の掘削が困難であり、刃口反力が卓越する場合には沈下不能に陥ったり、ケーソン内地盤の余堀りで周辺地盤の沈下を招く恐れがあるなど施工管理上の問題点が指摘されていた。

『自動化オープンケーソン工法 (SOCS)』は、このような問題点を先端技術を駆使して解決し、かつ、オープンケーソンの施工領域を拡大し、併せて近年の技能労働者不足に対応するために開発された新しいオープンケーソン工法である。

新しく開発されたシステムの性能確認のため、実大規模のオープンケーソンの実証施工実験が実施され、数多くの成果を得ることができたので、以下に報告する。

なお、『自動化オープンケーソン工法 (SOCS)』は、建設省土木研究所、財団法人先端建設技術センターおよび民間13社の共同研究によって開発された工法である。

## 2. 自動化オープンケーソン工法の概要

自動化オープンケーソン工法の概要図を図-1に示す。本工法は、自動水中掘削・揚土システム、自動沈下管理システム、プレキャスト躯体システムの3つのシステムで構成されている。3つのシステムを組み合わせて用いるほか、現場条件に応じて各々のシステム単独、あるいは2つを組み合わせても用いることができる。

なお、自動水中掘削・揚土システムは、掘削時のケーソン急激沈下による自動水中掘削機の損傷等の発生防止のため、先行圧入方式のケーソンに適用することが前提となる。

ここでは、自動水中掘削・揚土システムおよび自動沈下管理システムの概要と実証施工実験の結果について以下に報告する。

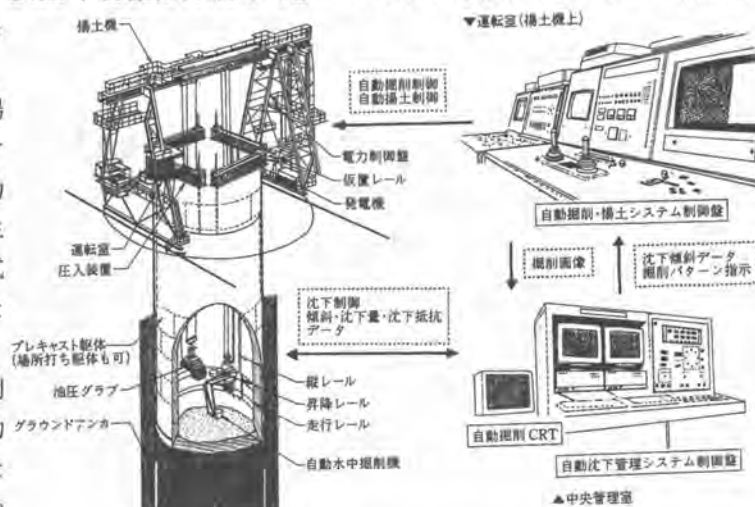


図-1 自動化オープンケーソン工法概要図

## 2-1. 自動水中掘削・揚土システム

自動水中掘削・揚土システムは、ガイドレール式バックホウタイプの自動水中掘削機と橋型クレーンタイプの自動揚土機により構成される。自動水中掘削機は、ケーソン躯体刃口上部の内壁円周方向に設置されたガイドレール上を円形に走行し、ガイドレールに掘削反力を取りながら刃口下部を含むケーソン内地盤をオペレータが選定した形状で自動掘削する。掘削残土は自動水中掘削機と同期して円形走行する自動揚土機の電動油圧グラブにより函外に揚土され、自動揚土機に設置された土砂ホッパーに排土される。自動水中掘削機および自動揚土機の操作は、自動揚土機に取り付けられた運転室で2名のオペレータにより行われるが、機械の状況はコンピュータにより統合的に管理されており、従来工法のような熟練オペレータや合図マンが不要となり、安全性の向上や省人化を実現している。実証施工実験に準備した掘削断面パターンと掘削平面パターン（走行パターン）を図-4に示す。このパターンの中から、ケーソン内地盤高、ケーソンの荷重関係や刃口部の土質に応じて適切なものを選択する。



図-2 自動水中掘削機



図-3 自動揚土機

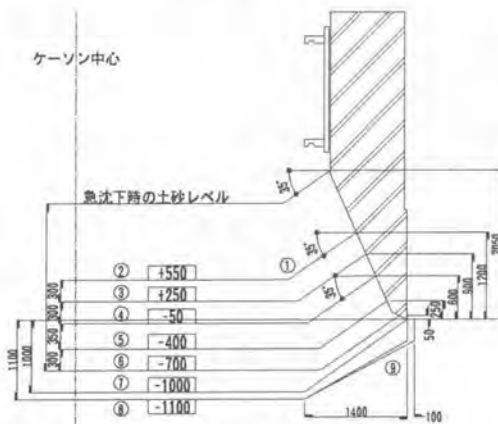


図-4 掘削断面パターン・掘削平面パターン

|          | 時計方向 (CW) | 反時計方向 (CCW) |
|----------|-----------|-------------|
| A—連続掘削   |           |             |
| B—不連続掘削① |           |             |
| C—不連続掘削② |           |             |

## 2-2. 自動沈下管理システム

今回開発した自動沈下管理システムは、従来の圧入式オーブケーソン工法のオペレータの判断による手動のジャッキ操作を自動化したもので、ケーソン躯体に設置された傾斜計や沈下計等の各種センサーより、時々刻々変動するケーソン躯体の情報を基に圧入ジャッキを自動的に操作しケーソン躯体の姿勢制御を行うものである。

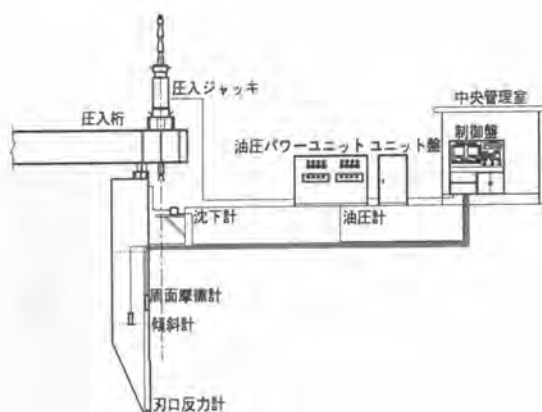


図-5 自動沈下管理システム概要図

その構成を模式的に示したのが、図-5である。このシステムは、各種センサーからの情報を自動計測する自動計測システムと、その情報を処理して圧入ジャッキを自動制御する自動圧入姿勢制御システムで構成されている。

自動沈下管理システムを用いた沈設作業のフローを図-6に示す。自動沈下管理システムによる沈設工程は、先行圧入を基本とした圧入工程と掘削工程の繰返しであり、自動沈下管理システムは、主に圧入工程の計測および圧入沈下制御を担当し、掘削工程においては補助的に計測を担当し、ケーソン躯体の異常監視を行う。

ケーソン躯体の姿勢に関しては、一度過大な傾斜を与えてしまうと修正不能に陥ったり、修正が可能であってもそのために多大な工期と費用を要する場合が多い。本システムでは、ケーソン躯体の姿勢の早期修正のため、1秒毎に更新されたデータを基に自動で姿勢制御を行う

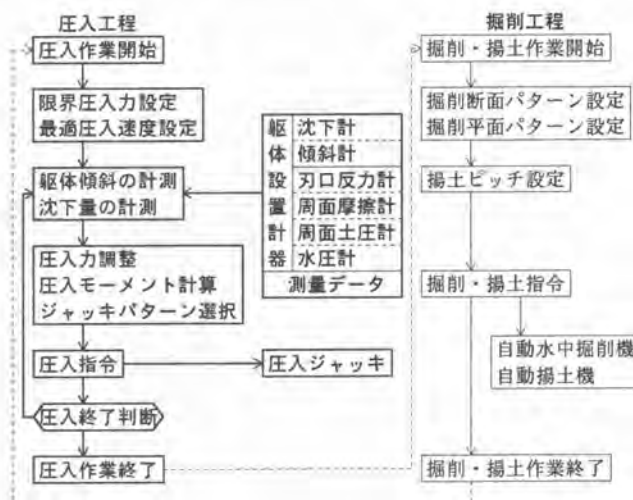


図-6 沈設作業フロー図

### 3. 実証施工実験の結果

本工法の施工性および各システムの性能確認のため、外径9m、内径6.96~7.2m、深さ16.5mのケーソンを沈設する実証施工実験を行った。硬質地盤に於ける自動水中掘削機の掘削性能確認のため、事前に開削工事により $qu=30\text{kgf/cm}^2$ を目標強度とした模擬土丹層を造成した（図-7参照）。

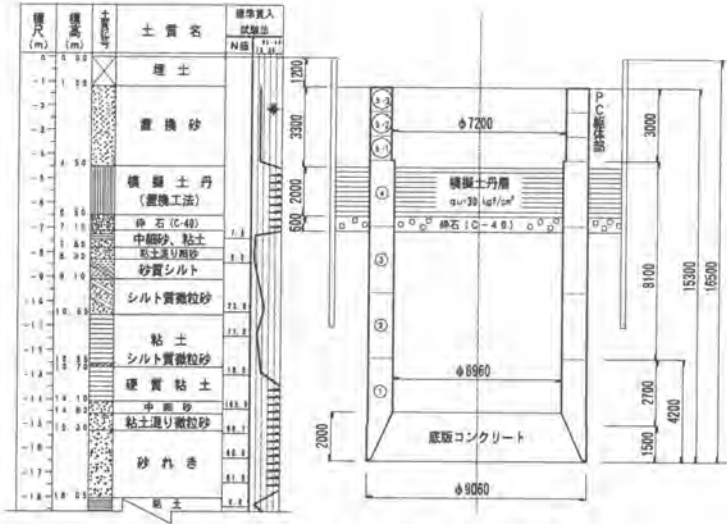


図-7 実証施工実験ケーソン断面図

#### 3-1. 掘削精度

砂質土層および模擬土丹層における、自動掘削による掘削断面の精度確認結果を図-8に示す。

いずれの地盤も掘削断面は掘削予定ラインに対して概ね数cm以内の精度で掘削されており、ケーソンの沈下を目的とした掘削精度としては十分な性能を有していることが確認された。

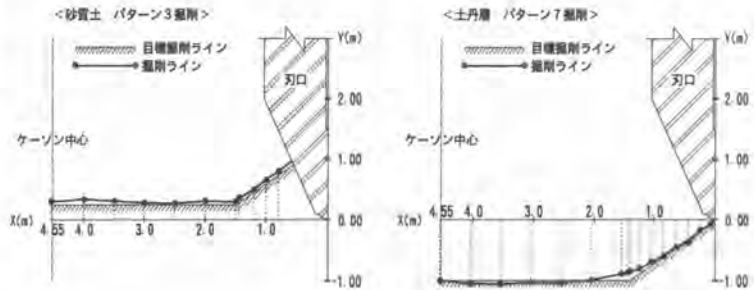


図-8 掘削精度確認結果

#### 3-2. ケーソンの掘削沈下結果

自動水中掘削機の持つ掘削断面パターンと掘削平面パターンを用いてケーソンの掘削沈下を行った結果について代表的なものを取り上げて以下に報告する。

図-9は第2ロット掘削沈下時の進捗状況を示したものである。当日は3回の掘削圧入沈下を実施した。掘削は何れも狭幅バケットを用いて実施した。1回目は掘削断面パターン⑦、平面パターンBで全周をとび掘削し、950tの圧入力で圧入を試みたが、5.4cmしか沈下しなかった。次に断面パターン⑦、平面パターンCで1回目掘削の残部分を掘削し（これでほぼ断面パターン⑦で全周に渡って掘削したことになる）圧入を実施した結果、958tで13.8cmの沈下量であった。これらの結果から、ほぼ刃口直下まで土砂を取り除く掘削パターン⑦を用い全断面を掘削した場合でも、刃口反力が大きく、十分な沈下量が得られないことが分かった。そこで3回目には断面パターン⑧（刃口直

下30cmまで垂直に掘削するパターン)、平面パターンBでとび掘削し、残部を断面パターン⑦、平面パターンCで掘削した後圧入を行った結果、600tの圧入力で43.0cmの沈下を精度よく行うことができた。部分的に断面パターン⑧を用いた結果、300t以上の刃口反力低減が実現できたことになる。

このように、土丹層等の硬質地盤においても適切なパターンで刃口部を掘削することにより、順調なケーソンの沈下を実施できることが確認された。

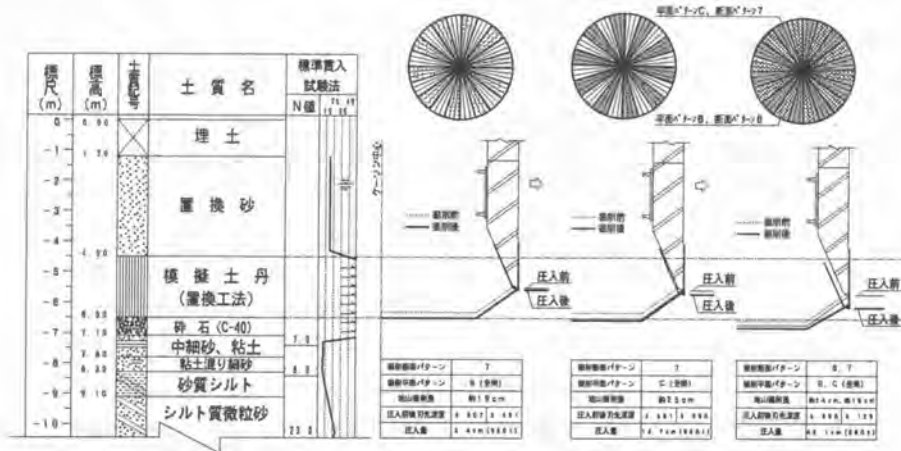


図-9 第2ロット模擬土丹層における掘削沈下進捗図

### 3-3. 自動沈下管理システムの適用結果

実証施工実験における自動沈下管理システムの適用結果を以下に報告する。

図-10に皿板撤去時とその直後のケーソンの挙動を示す。皿板撤去は、ケーソンの沈設において最も挙動が不安定になる作業であって、このときに精度よく沈設管理を行うことが、後の沈設作業に対して重要である。実証施工実験においては、皿板撤去中にはシステムの計測機能を用いたフィードバックを行い、撤去完了後は直ちに自動沈下管理システムを用いて圧入することで直ちに傾斜が修正され、その後は安定した沈下が行われた。

図-11は模擬土丹層における自動沈下時の姿勢制御状況を時系列的に示したものである。このときは、自動水中掘削機の掘

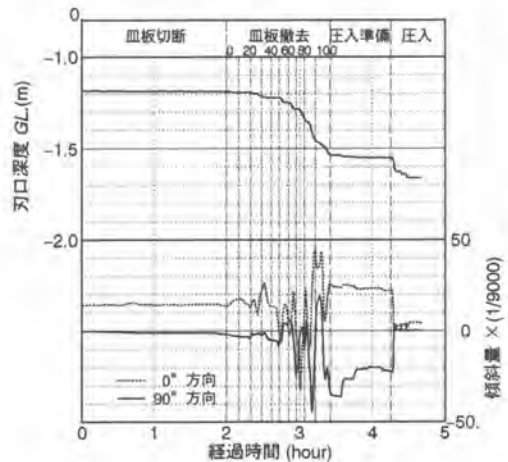


図-10 皿板撤去時のケーソンの挙動

削性能試験のための偏掘削等により、ややケーソンが傾斜した状態で圧入を開始した。圧入開始から2分後と5分後頃に大きく姿勢修正され、その後自動的に微調整を行いながら、十数分でほぼ完全に姿勢が修正された様子が測定された。

図-12、13は実証施工実験の位置・姿勢管理記録である。皿板撤去時および模擬土丹層沈設時に一時的にやや大きな傾斜を生じたが、沈設完了時には傾斜量1/5000、天端水平移動量1mmであり、従来のケーソンの実績より定められた管理基準値と比較して、極めて高精度で沈設を完了した。

図-14は、全体を通した沈下力(自重 $P_w$ +圧入力 $P_j$ )と沈下抵抗(刃口反力 $P_r$ +周面摩擦力 $P_f$ +浮力 $P_u$ )の関係図である。自動水中掘削・揚土システムにより掘削断面管理精度が向上したと相まって設計値と実測値とが比較的一致して記録されている。

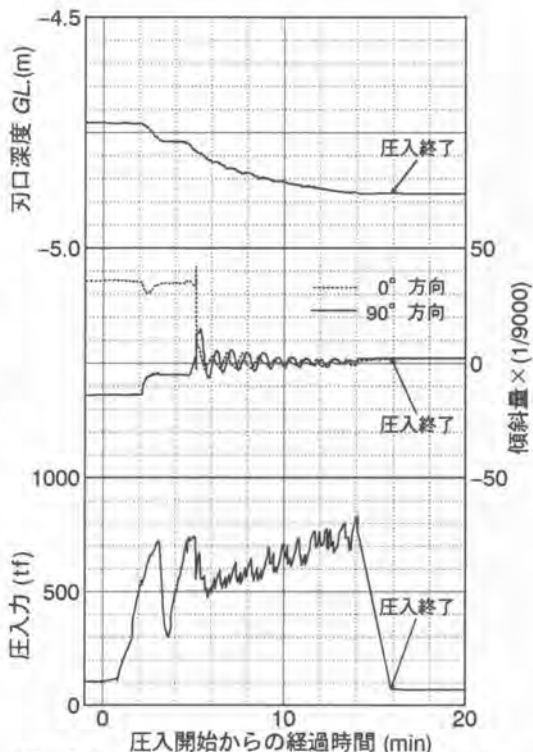


図-11 模擬土丹層沈下時のケーソンの挙動

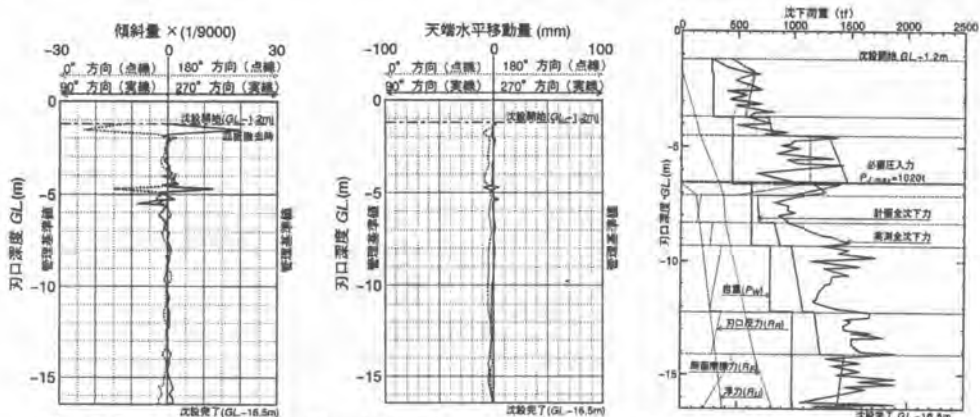


図-12 傾斜量管理図 図-13 天端水平移動量管理図 図-14 沈下関係図

『自動化オープンケーソン工法(SOCS)』は、各種地盤条件への適合性が高く、良好な作業環境のもとで高品位の大深度地下構造物を構築できる優れた施工技術であって、今回の実証施工実験で、従来のクラムシェル掘削では施工が困難と考えられていた土丹層等の硬質地盤においても、水中掘削オープンケーソンの確実に高精度な施工が可能であることが確認された。今後、実施工に向けてより実用的な機械装置へと改善を図るとともに、経済性の追求を行い、大深度地下開発の確固たる一工法と成るよう努力する所存である。

# 36. ウォータージェットによる既設杭切断処理工法

大阪市役所：高崎 肇  
（株）鴻池組：松井 和彦・\*小橋 創一

## 1. はじめに

都市部の地下工事において、既設の地中構造物が施工の障害となるケースが増加している。とりわけ、シールド工事において計画路線上に基礎杭等の障害物があると、施工の安全性や工期に重大な支障が生じる。このため、この種の工事では掘削機の通過に先立ち、その障害となる部分を安全かつ効率的に処理する技術が求められている。本工法は、地中に存置された既製杭（PHC 杭）の空孔内に切断機を吊垂挿入し、アプレシブ・ウォータージェット（研磨材添加水噴流）の高いエネルギー密度を利用して、杭体を内側からブロック状に精密切断する技術であり、アンダーピーニング工と併用することにより、既設の構造物を保全しながら効率よく施工することができる。

実際の切断処理作業は地中で行われるため、切断状態を視認することができない。このため、施工管理に不可欠なモニタリング方法として、切断機のノズル部に伝播する振動波形を測定し、この波形を解析することから切断の可否および切断状態をリアルタイムに確認する技術を併せて開発した。

今回、種々の実験を通して開発した施工システムをシールド工事に適用し、その実用化に成功した。本報告では、この既設杭切断処理工法の概要と実験結果および施工結果について報告する。

## 2. 工法の概要

大阪市地下鉄7号線の工事は、営業中の京橋～鶴見緑地間(5.2km)に引き続き、都心延伸工事の京橋～大正間と郊外延伸工事の鶴見緑地～門真南間、合わせて延長約10kmを現在施工中である。本報告の対象とする地下鉄7号線第11工区工事は、城見2丁目を起点に片町2丁目まで延長259.5mを施工するもので、そのうち207.5mを単線並列式の泥土圧シールド工法で掘削する。この路線上に既設構造物の基礎杭（PHC 杭）16本のうち8本があるため、これら杭体のGL-22m～28m付近を本工法により切断処理した。

図-1に、同第11工区工事における施工システム図を示す。施工においてはまず、リバース工法にて6本の仮受杭を打設し、仮受梁を構築後ジャッキにてビルを受け替えた。次

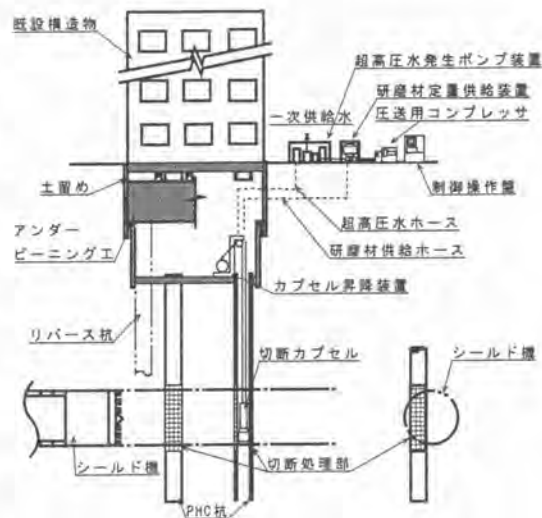


図-1 施工システム

に仮受梁下に杭切断用立坑を築造し、既設杭を部分的に切断した後、杭頭より空孔内へ切断機を挿入し、アブレシブジェットを用いて既設杭の障害となる部分をブロック状の小塊片に切断した。

本工法の特長は以下の通りである。

- ①超高压(2500kgf/cm<sup>2</sup>)のアブレシブジェット技術の導入
- ②全自動遠隔操作システムの構築(切断作業の完全自動化)
- ③任意に設定された切断パターンに沿って杭体を精密に切断(サーボ制御式切断機の開発)
- ④研磨材供給量の自動コントロール(切断能力の安定化)
- ⑤アンダーピーニング工との併用で既設構造物を保全しながら効率よく施工
- ⑥切断状態のモニタリング技術の開発(振動レベル測定システム)

### 3・施工システムの概要

#### 3・1 切断システム

切断システムは、既製杭内部の空孔から遠隔作業で杭体を切断するものであり、切断カプセル(切断機)、カプセル昇降装置、超高压水発生ポンプ装置、制御装置および研磨材定量供給装置で構成されている。切断カプセル(写真-1)は、高压水と研磨材の混合ジェットを噴射するノズルと、このノズルを旋回駆動させるサーボ駆動機構が装備されている。また、カプセル昇降装置には、カプセルを昇降させるサーボ駆動機構、ロータリーエンコーダを用いた深度計およびワイヤーロープを巻き取るワイヤードラム等が装備されている。これらのサーボ駆動機構により切断カプセルは、昇降動作と旋回動作および昇降・旋回の複合動作(斜移動)が可能となり、任意にプログラム設定されたノズルの移動パターンと移動速度に従い、多次元の移動を精密に自動制御することができる。

ウォータージェットの切断能力を保持するために、研磨材の供給量を適切にコントロールする手段として、研磨材定量供給装置を備えている。これは、研磨材供給量の計測値に基づき研磨材供給タンクの調節弁を操作して供給量



写真-1 切断カプセル

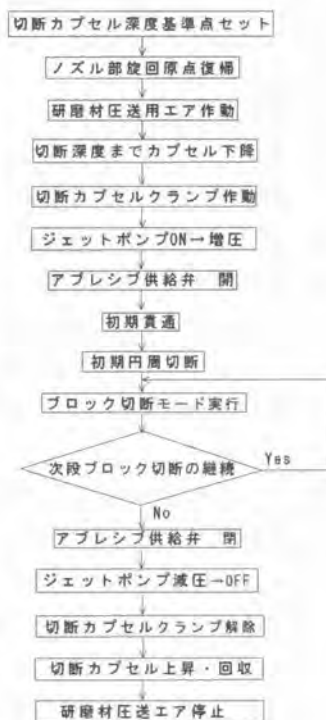


図-2 切断システム動作フロー



の自動調節を行うものであり、併せて研磨材の圧送空気の流量調節とドライヤーによる湿分除去を行っている。研磨材の供給ラインには、摩耗対策のために継手部のない一本物のホースを使用した。さらに、ノズルの旋回動作を原点より 363° の範囲で揺動する方式を採用し、ホースおよび信号ケーブル類に生ずるねじれを処理した。

切断システムを構成する各装置は、集中制御装置を用いて地上より遠隔操作される。切断システムの動作フローを図-2 に示す。

### 3・2 振動レベル測定システム

遠隔作業でウォータージェット切断を行う場合、アプレシブジェットの噴射状態や被切断物の切断状態をリアルタイムに監視し、未切断部の発生を防止するためのモニタリングが不可欠である。このため本工法では、切断状態を地上でモニタリングする方法として、振動レベル測定システムを開発した。当システムは、切断カプセルのノズル部に取り付けられた加速度ピックアップ（写真-2）、および振動レベル測定器で構成されている。まず、加速度ピックアップにより切断機ノズル部に伝播する振動波形を測定し、FFT によりこの波形のスペクトル解析を行い、切断作業に対して大きく変動する特定周波数帯域の振動波形を抽出する。そして、この特定周波数帯域の振動レベルを常時監視することで、切断の可否および切断過程の状態を確認する。すなわち、検知された振動波形の振動レベルを基準となる各振動波形（①水ジェットのみ噴射した場合の振動波形、②水ジェットと研磨材を噴射しかつ未切断状態にある振動波形、③水ジェットと研磨材を噴射しかつ切断状態にある振動波形）と比較することから、水ジェットと研磨材の噴射状態ならびに切断の可否を即時に判定し、未切断部の発生を防止することができる。

## 4・模擬切断試験および結果

アプレシブジェットによる切断方法では切断性能に及ぼす因子として、①噴射圧力、②ノズル径、③噴射水量、④研磨材の種類と供給量、⑤研磨材混合状態の良否、⑥被切断物に対するジェットの衝突角度、⑦ノズルと被切断物との離隔距離、⑧ノズルの移動速度等が重要となる。これらの因子において、ノズルと被切断物との離隔距離、ノズルの移動速度については条件設定において比較的自由度がある。すなわち、ウォータージェット切断技術を利用するに当たっては、これらの因子を被切断物に応じて適切に設定し制御することが重要となる。

PHC 杭の杭体はコンクリート部と PC 鋼棒部から成り、ジェットの切断条件はそれぞれ異なるが、切断片をシールド機に取り込み円滑に排出するためには、切断条件の厳しい PC 鋼棒部を確実に切断することが求められる。そこで、PC 鋼棒部を主体に基本的な切断条件を把握するため、地上で PHC 杭（外径約 600mm、空孔径 400～420mm、PC 鋼棒径 9mm）の模擬切断試験を行った。



写真-2 ノズルおよびピックアップ

#### 4・1 ノズルと被切断物との離隔距離

ノズルと被切断物との距離、貫通に要する時間の最適条件を決定するため、ノズル位置を固定した状態で表-1 に示す条件でジェットを噴射し、離隔距離 15～30mm の間を 5mm ピッチで変化させ、杭体を貫通するのに要した時間を測定した。

図-3 は PC 鋼棒部のある杭体部分にウォータージェットを指向させ、そのときの離隔距離と杭体の貫通時間との関係を示している。結果では、離隔距離 30mm の貫通時間にばらつきがみられる。一方、杭体の空孔の歪みや内壁面の凹凸を考慮すると、設計上の離隔距離は 20mm 以上が望ましい。従って、前述の実験結果と設計上の要請の両者を考慮して離隔距離の適正値を 25mm とした。また、貫通時間については余裕を見込み 150 秒に設定した。

#### 4・2 ノズルのトラバース速度

離隔距離 20mm、25mm、トラバース速度 60～120mm/min でノズルを円周方向および杭軸方向に移動した実験を行い、切断の良否を判定した。表-2 に示す結果によれば、ノズルのトラバース速度の限界速度は 80mm/min 程度と推定されるので、切断の確実性を得るためにトラバース速度の適正値を 60mm/min とした。

また、この実験においては研磨材としてガーネットの他に鑄鉄グリッドを使用した。ガーネットと同じ圧力条件、離隔距離では PC 鋼棒部の切断が不可能であった。

以上の試験結果に基づき、PHC 杭の切断条件を表-3 に示すとおり設定した。

### 5・現場実証試験および結果

次に模擬切断試験の結果を踏まえ、杭長 7m の PHC 杭を地中に打設（打設深度 5m）し、空孔内に注水した状態で地中切断試験を行った。

#### 5・1 切断の軌跡（ノズルの移動パターン）

当試験ではノズルの移動パターンとして図-4 に示す A および B のモードで行った。ここに、シールド機の排土可能な最大寸法 25cm を考慮して、切断ブロックの形状が 20cm 以内に収まるように規制した。

表-1 実験条件

|        |                          |
|--------|--------------------------|
| ポンプ圧力  | 2320 kgf/cm <sup>2</sup> |
| 水量     | 13 l/min                 |
| 研磨材の種類 | ガーネット#60                 |
| 研磨材供給量 | 190 kg/h                 |

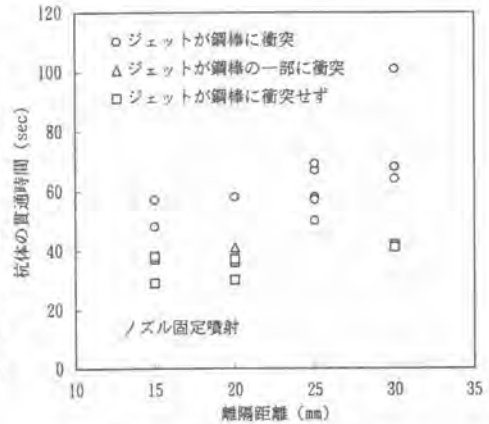


図-3 離隔距離と貫通時間

表-2 移動切断実験における切断状態の判定（○…切断、●…切断不良）

| トラバース速度    | 離隔距離 25mm | 離隔距離 20mm |
|------------|-----------|-----------|
| 60 mm/min  | ○ ○       | ○ ○       |
| 70 mm/min  | ○ ○       | ○ ○       |
| 80 mm/min  | ○ ○       | ○ ○       |
| 90 mm/min  |           | ● ●       |
| 100 mm/min |           | ● ●       |
| 110 mm/min |           | ● ●       |
| 120 mm/min |           | ● ●       |

表-3 PHC 杭の切断条件

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| 超高压ポンプ吐出圧   | 2500 kgf/cm <sup>2</sup> |
| ノズルのトラバース速度 | 60 mm/min                |
| 研磨材供給量      | 200±20 kg/h              |
| 研磨材         | ガーネット#60                 |
| 離隔距離        | 25 mm                    |
| 初期貫通時間      | 150 秒                    |

ここで、Aモードではブロックが最終の円周切断にて杭体より離脱するが、Bモードでは縦切断しながら櫛歯状に順次離脱する。1サイクルの施工時間はAモードで63min、Bモードで70minであり、Bモードの方が施工時間がかかる。よって、両モードとも切断能力について問題はなかったが、実施工にはAモードを採用することにした。

### 5・2 切断システムの作動状況および機能確認

現場実証実験における切断状態を写真-3に示す。この結果より、切断システムの機能、すなわち旋回、昇降、旋回・昇降の複合動作（斜移動）は、プログラム設定通り精密に制御されていることが確認できた。切断ブロックの寸法については、切断溝幅は約5mm、高さ（円周切りの間隔）は計画通り20cmで切断されていた。一方、幅（縦方向の切断間隔）については計画寸法18.8cmに対して±1cmの誤差が生じた。これは、切断カプセル円周方向の回転ずれによるものであり、空孔内におけるカプセルのクランプ力をさらに高める必要のあることが分かった。

### 5・3 振動レベル測定システム

振動測定結果からは、4kHz 前後の周波数帯域において切断状態に関わる振動レベルが大きく変動し、5dB 前後の出力差が確認された。これに基づき写真-4 に示すモニタリング専用のシステムを製作した。

## 6・実施工

大阪市地下鉄7号線11工区内の計画路線上に敷設されているPHC杭を対象に本工法を適用した。現場施工条件を表-3に示す。施工状況については、杭孔底部に研磨材が予想以上に沈積し、これを適時エアリフトで処理した点を除き計画通り実施できた。切断状態のモニタリングについては、前述の実証試験とは異なり1~3kHzの振動成分に有意な信号を抽出した。図-4は実施工で得られ

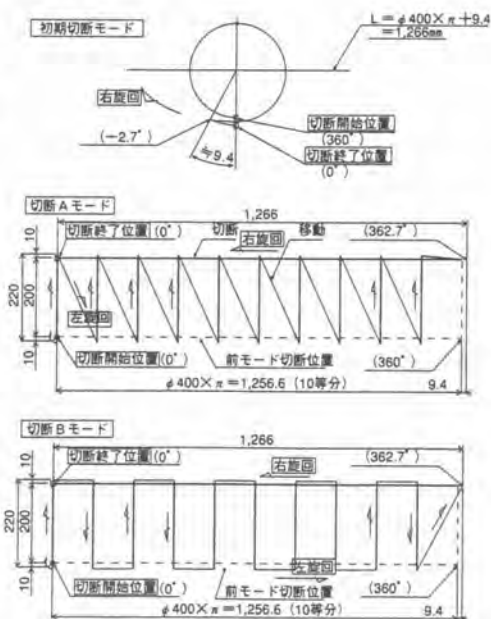


図-4 杭切断の軌跡（展開図）



写真-3 現場実証実験における切断ブロック



写真-4 振動レベル測定システム

た基準となる振動波形データを示すもので、ジェット  
の噴射状態や切断状態が振動レベル上で、それぞ  
れ明確に判別することができる。すなわち、図中  
において、切断作業中の振動レベルがbの許容範囲を  
超えてaに近づけば、ウォータージェットと研磨材  
の両方が噴射されているにも関わらず不完全な切断  
状態にあると判定できる。また、振動レベルがbの  
許容範囲を超えてcのレベルに近づけば、研磨材の  
供給量不足か閉塞トラブルが発生したものと判定で  
きる。

なお、モニタリング方法として、被切断物に伝播  
する振動波形を抽出する方法も提案されているが、本工事のように地中に拘束された長尺の杭体では  
振動伝播波形の減衰が激しく、杭天端から有意な信号を検出することは困難であった。

シールド工事においては、シールド機が杭体の存在を感知することなくスムーズに掘進し通過する  
ことができた。切断ブロックは、5%程度がスクリーコンベア後部の礫取り箱で回収され、その他は、  
15cm アンダーに小割りされた状態で圧送ポンプラインより掘削土と共に排出された。

表-3 現場施工条件

| 杭番号 | 杭切断長(m) | 延べ切断長(m) | 切断ブロック数 |
|-----|---------|----------|---------|
| P14 | 6.20    | 122.20   | 310     |
| P12 | 3.80    | 75.68    | 180     |
| P10 | 5.60    | 110.64   | 280     |
| P8  | 6.40    | 126.17   | 320     |
| P7  | 6.40    | 126.17   | 320     |
| P9  | 5.40    | 106.75   | 270     |
| P11 | 4.40    | 87.33    | 220     |
| P13 | 6.20    | 122.29   | 310     |
| 計8本 | 計44.40  | 計877.32  | 計2,220  |

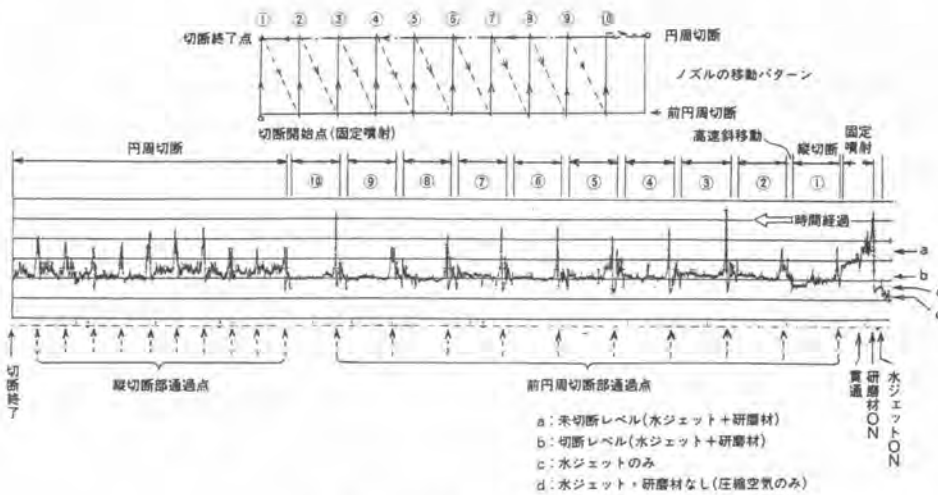


図-4 実施工における振動波形

## 7. おわりに

本切断処理工法は杭体内部の空孔を利用した技術であり、現段階では適用範囲が限定される。しかし、シールド工事の障害となる既製杭を現位置で安全かつ効率的に処理した報告事例は少なく、本工法が有力な処理手段の一つとして位置づけられるものと期待される。

本工法の開発にご指導、ご協力いただいた関係各位に謝意を表します。

## 37. 深礎工事機械化施工システム (弁慶工法)

三井建設㈱：\*魚住 雅孝・伊藤 達男

### 1. はじめに

深礎杭は、山岳地かつ傾斜地の橋梁基礎、電力鉄塔の基礎や傾斜面の地滑り抑止杭として、現在も全国で相当数が施工されている。一般的に平地部の基礎杭は大型機械投入が可能で、ペノト杭をはじめとする種々の機械施工が主流となっている。それに比べて山岳部に建設する構造物の基礎杭は、急峻な現場での施工条件や適用しにくい杭径等の設計条件や、また一工事場所が小規模でそれが数カ所に分かれ広範囲に点在することが多い。そのため、機械の搬入・搬出及び移設が困難で大型機械が持ち込めず、未だに従来工法である簡易な設備やハンド機械等を用いての、人力掘削主体による深礎杭工法に頼らざるをえない状況である。それ故、作業効率が悪く、その上、小口径の坑内への人の昇降や資機材の搬入搬出による墜落、飛来落下物の危険、狭い坑内での振動工具の取扱い作業、また粉塵・騒音の中での作業等の有害な作業環境の中での作業が伴い易く、深礎杭の掘削作業は3K作業の最たるものとなっており、作業効率の向上、安全施工の確立と作業環境の改善整備が特に求められていると言える。

そこで作業効率の向上と、そして従来からの工法で安全衛生の確保の上で問題となっている粉塵・振動・騒音等の労働環境の改善、危険苦渋作業の排除を目的として、更には特殊作業員の不足、労働者の高齢化等の問題にも対応するための深礎工事のトータルの機械化施工システム（弁慶工法）として開発、実施工を行ったのでその概要を紹介する。

### 2. 深礎工事機械化施工システム（弁慶工法）の概要

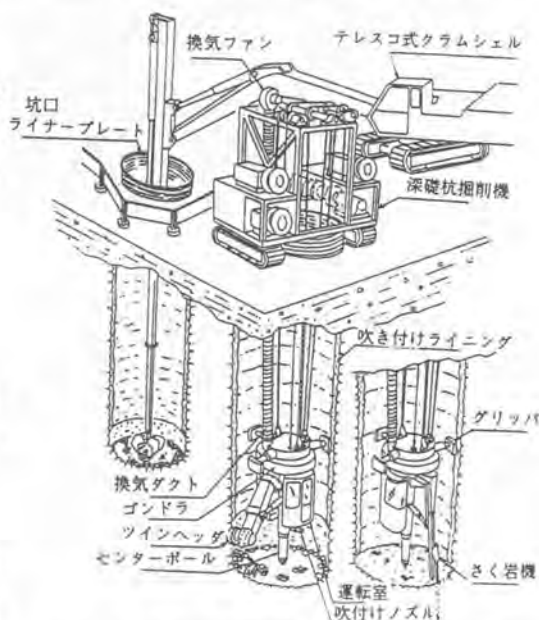
本システムは、従来からの深礎杭工法で人力に頼っていた作業の中でも、特に作業効率が悪く、且つ危険・苦渋作業でもありと考えられる下記の工種、

すなわち、

- ① 岩盤・転石層の穿孔作業
- ② 発破後の当り取り作業
- ③ 人力組立によるライナープレートの土留作業
- ④ 坑内に作業員が入っての直接人力組立・建込みを行う鉄筋作業

を機械化したものである。

そして、掘削時の排土作業には、従来から広く普及し高能率で安全性の高いテレスコ式クラムセル掘削機を採用し、新規開発の掘削機（弁慶300）及



図一1 深礎工事機械化施工システム概要図

及び鉄筋組立・建込装置と組み合わせて、より高い作業の効率化と安全性を追求した機械化施工システムとした。

これにより、

- (a)急峻な現地地形と比較的小規模な施工数量に対応できる。
- (b)特殊技能を必要としない。
- (c)設備の軽便化と作業性、経済性、高効率化を図った。
- (d)作業の安全性をより高めた機械化工法。

という要求を可能とした。

### 3. 深礎杭施工機による掘削・土留め

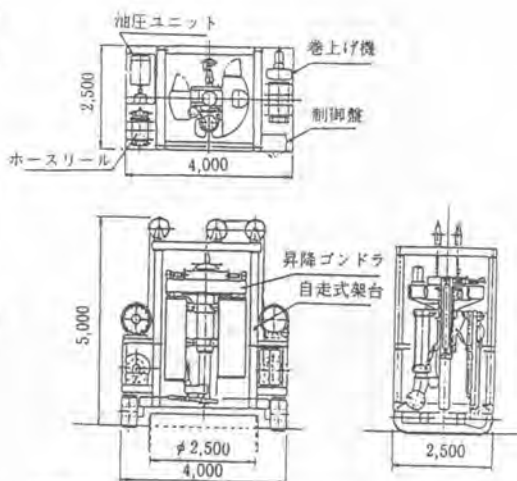
#### 3.1 深礎杭施工機（弁慶300）の構造

弁慶300の掘削概要図を、図-1に示す。

クローラ式走行架台から吊り下げた昇降ゴンドラに、削岩機、ツインヘッド及び吹付けノズルを複合的に装備し、運転者はゴンドラに搭乗して坑底にさがり、ゴンドラ運転室内より遠隔操作により、ゴンドラ本体に装備した各種掘削機械を作動させ掘削作業を行うものである。装備した機械による作業は、各々従来は人力に頼っていた部分である。

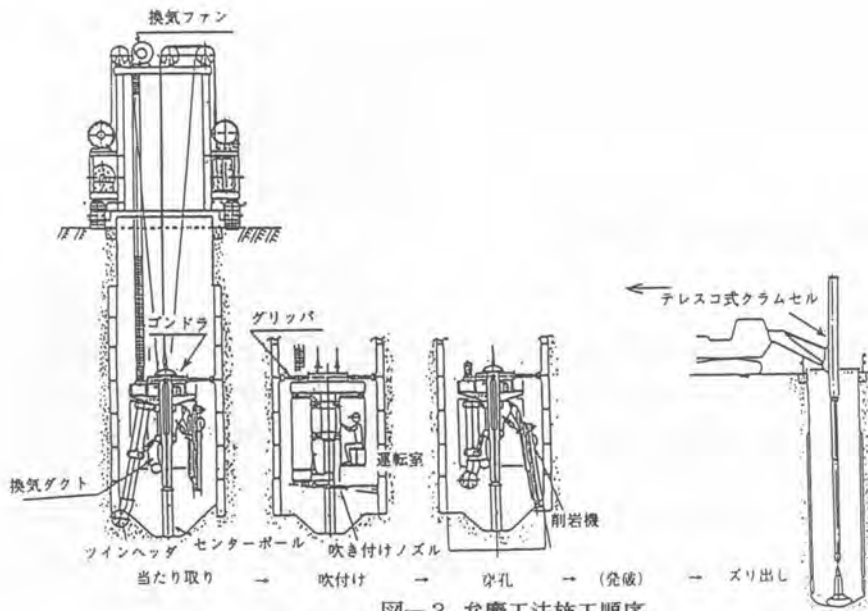
- ① 削岩機による作業：岩盤層及び転石層に対して発破のための穿孔作業を、従来人力穿孔に頼っていたところを機械穿孔で行う。
- ② ツインヘッドによる作業：土層部～軟岩層の掘削から岩盤層の発破後の当たり取り修正掘削、コーナー部掘削及びクラム排土作業のためのズリの中央部へのかき寄せ作業は、従来のハンドブレーカやスコップによる人力作業によっていたものを、回転カッタ（ツインヘッド）で全て行う。
- ③ 吹付けノズルによる作業：人力組立によるライナープレート覆工作業に替わる土留工として、モルタルによる吹付けライニングを行う。

これらの各作業を、ゴンドラの運転室より有視の遠隔操作にて各機械を作動させ、所定の深度で360度旋回しながら効率的に作業を行うものである。更に当たり取りや削孔作業時の反力については、ゴンドラの自重を受けているセンターボールが大半負担し、グリッパーおよび覆工面への負担を小さくしてい



|                            |            |   |   |
|----------------------------|------------|---|---|
| 自<br>走<br>式<br>架<br>台      | 定 行 部      | 走行速度<br>接地圧                                       | 10 m / min<br>1.5 kg / cm <sup>2</sup>                    |
|                            | 巻 上 げ 部    | 吊り荷重<br>巻き上げ距離<br>昇降速度<br>原動機<br>ワイヤーロープ          | 6,000 kg<br>35 m<br>10 m / min<br>22kW相当油圧モータ<br>φ24mm×2本 |
|                            | 原 動 部      | 吐出量<br>定格圧力<br>電動機                                | 60 ℓ / min<br>210 kg / cm <sup>2</sup><br>30kW            |
|                            | 付 帯 機 器    | 簡易ウィンチ<br>電機ケーブル用巻取り器<br>油圧ホース用巻取り器<br>エアホース用巻取り器 | 100kg×25m<br>φ29mm×25m<br>3/4 B×25m<br>3/4 B×25m          |
|                            | 自走式架台機軸総重量 |   | 12.5 t  |
| 昇<br>降<br>ゴ<br>ン<br>ド<br>ラ | 掘 削 部      | ドラム計×総幅<br>ドラム切削力<br>原動機                          | φ450×650mm<br>1,680 kg<br>13kW相当油圧モータ                     |
|                            | 削 孔 部      | フィード長<br>エキスパンション長<br>ロッド径×長さ                     | 1,350mm<br>1,000mm<br>φ22×1,700mm                         |
|                            | 吹 付 け 部    | ノズル揺動回転数<br>適応ノズル径<br>吹付け距離                       | 60rpm<br>1 1/4 × 2"<br>800×1,000mm                        |
|                            | 旋 回 部      | 旋回回転数   | 3.3rpm  |
| ラ<br>グ<br>リ<br>ッ<br>パ<br>ー | センターボール    | 伸縮ストローク   | 350mm   |
|                            | センターボール    | 伸縮ストローク   | 1,200mm   |
| 昇降ゴンドラ機軸総重量                |            |   | 9.5 t   |

図-2 弁慶300主要仕様



図一3 弁慶工法施工順序

る。またテレスコ式クラムセルによる排土中は、深礎杭施工機（弁慶300）は隣の杭の排土作業を行い、杭2本をペアで施工することにより、効率を高めた作業を行うことができる。これで、火薬を用いた発破作業を必要とする場合の装薬作業を除いて、深礎杭坑内の人力作業を完全に排除し、安全な機械化施工を可能とした。弁慶300の寸法及び基本仕様を図一2に、また施工順序を図一3に示す。

### 3.2 弁慶300の特徴

弁慶300の機械的特徴は次の通りである。

#### ① 搬入・組立が容易である：

弁慶300は、急勾配小曲線半径の工事用道路（林道規定の有効幅員4m、勾配16%）の走行を想定し、かつ11トトラックに積み込める荷姿を考えた3分割のユニットである。現場付近までは11トトラックで搬送し、組立後、施工現場までは自走して移動する。組立は、作業員で容易に出来るもので1日で組立可能としている。

#### ② 安全な自走による現場進入が出来る：

動力源の可搬式発電機を、走行時に搭載固定し



写真一1 急勾配工事用道路よりの進入



写真一2 施工ヤード内作業状況

斜路走行時の走行安定装置としており、急勾配道路を安全に走行して現場進入ができる。実際現場において、急勾配小曲線半径の幅員4m工事用道路（勾配28%、約16度）を安全に自走して施工ヤードに進入した。（写真-1参照）

③ 施工現場占有面積が小さくてすむ：

施工ヤードにおいては、当弁慶300（幅×奥行×高さ＝2.5m×4m×5m）とテレスコピック式クラムセルの2台のみの配置で済み、発電機、コンプレッサ、吹付材供給装置等は現場状況に応じて適当な位置に配置することができるので、急傾斜地の最小限の施工ヤードで安全で効率的な作業が可能である。また狭いヤード上でも、当弁慶300は煩雑な移動が容易にでき、かつ施工中の杭真上での方向転換が可能である。かつ、弁慶300の占める占有面積が小さくかつ移動性に優れているので、段差フーチングの深礎杭基礎の施工も可能である。（写真-2参照）

④ 安全な掘削作業ができる：

ゴンドラ内での遠隔操作による機械掘削作業であるので、苦渋な人力重作業や、粉塵・振動・騒音等の有害環境下の作業から解放される。

⑤ 防塵された運転室内での快適な作業ができる：

運転室には換気ダクトが接続されており、常時新鮮な空気が送り込まれ室内は外部より若干昇圧された状態であり、有害な外気や粉塵の侵入を防ぐことが出来るので酸欠等の危険を防止できる。また、坑内はゴンドラの降下に合わせて換気ダクトが伸張しゴンドラ底部より吹き出すことにより換気し視界の確保等を図っている。

⑥ 安全に坑内への入昇降ができる：

従来工法では、タラップや梯子等による人の昇降が必ず伴うため、墜落や物の飛来、落下による災害の危険が高かったが、ゴンドラによる入昇降であり墜落、落下物等の危険がなく安全性が著しく高くなった。

⑦ 弁慶300は、労働基準局の「橋型・電動・旋回無軌道式ゴンドラ（可搬式）」で製造検査を受け、設置届を済ませている。移動式クレーンと同様の扱いを受けるので、どこの現場でも使用可能である。

### 3.3 施工実績

弁慶での施工実績として、平成5年6月より東海北陸自動車道西乙原工事に於いて道路橋橋台の深礎杭基礎を施工した。工事規模は、次の通りである。

貝付橋橋台A2 径φ 2.5m、長さ 20.0m、18.5m、16.0m、15.5m、 計 4本  
赤谷橋橋台A1 径φ 2.5m、長さ 14.0m、14.0m、12.5m、12.5m、 計 4本  
合計 8本、総延長 123m

地質は、貝付橋は、杭天より-7mまでは、レキ混り粘土、粘土混じり角レキのチャートで、-7m以深は亀裂の多い斑れい岩で、赤谷橋は、チャート主体の粘土混じり砂レキで、転石が全体にわたって介在していた。貝付橋橋台の深礎杭基礎の杭心位置の測量、坑口部をライナープレート6段及び巻立コンクリートを施工した後、GL-3m以下から本弁慶300で掘削を開始した。





写真-3 弁慶とテレスコラムとの組み合わせ掘削



写真-4 坑内降下したゴンドラによる作業状況

施工パターンは、吹付け厚10cm、1サイクル当たり掘削長さは0.5m~1.0mである。

写真-3、写真-4に施工状況を示す。

掘削開始して、当初の作業割合は、本機械による当たり取り作業が全体の18.8%、吹付けが26.0%、休止が25.5%の状態であった。その中で故障・修理による休止の大半は、吹き付けノズルの交換であった。

吹付けを行うたびにノズルの詰まりを生じ、取付け・取外しやホースの準備にかかる時間等が多かった。狭い坑内での吹付けは、ノズル吹出圧の管理、最適ノズル運動、吹付けホース引き回し、吹付け供給装置の運転者との連絡等、習熟に時間を要した。そのため、当初は平均0.7m/日という掘削能率であったが、機械そのものは致命的なトラブルもなくテストや改良を加えながら稼働した。最終的な施工能力は、貝付橋において1m/日程度、赤谷橋において2m/日程度であった。



写真-5 吹き付け土留め状態

続いて翌年の平成6年6月において磐越自動車道東山工事の橋台深礎杭基礎施工で、弁慶300でφ2.5m×10m杭を4本掘削した。掘削・土留工については、西乙原工事の経験を踏まえ部分改造能力アップをはかり、地質が崖錐および流紋岩（一軸圧縮強度1000kgf/cm<sup>2</sup>）においての能率は、最大日進2.8m/日、平均1.65m/日であった。いずれの工事においても土留め工として、ライナープレート覆工作業に替わるモルタルによる吹付けライニング覆工を採用したことにより地山と密着した引き抜き耐力に優れた高品質の基礎杭ができる長所がある。（写真-5参照）

#### 4. 鉄筋組立・建込装置による鉄筋の建て込み

深礎工用鉄筋組立・建て込み装置は、鉄筋組立フレーム、鉄筋吊り込み装置から構成され、地上においての作業で鉄筋工の一連の組立及び建て込みの作業ができるものである。（写真-6）

この深礎杭鉄筋組立・建て込み装置を、平成6年6月の磐越高速自動車道東山工事の橋脚の橋台深礎杭

基礎工事の鉄筋組立作業に導入し、順調に稼働した。

この鉄筋組立・建て込み装置は、地上において、且つ杭の真上において、鉄筋組立作業と併行して、順次組み上がった鉄筋籠を降下させながら建て込むもので、作業員が坑内に入らずに、すべて地上作業で施工できる。

山岳部における深礎杭基礎工事の鉄筋組立作業においては、一般に大型クレーンを現場に入れることができず鉄筋籠として一体化して吊り込むことができず、小型クレーンを用いて鉄筋を少量ずつ深礎坑内につり込み作業員が坑内で簡易吊り足場によって人力により1本1本建て込み組み立てていくのが一般的で、深礎杭工事一連の工種の中で最も危険な作業であった。本装置により、狭い坑内への人の出入りに伴う墜落の危険や鉄筋・資材の煩雑な搬入搬出による飛来落下物の危険、人力主体の苦渋重作業等の作業環境の改善と安全施工を達成した。

本装置の特長は次の様である。

- ①地上で全ての作業が行え、安全な作業環境である。
- ②組立ながら建て込みを行える。深礎杭穴直上での組立作業であるので余分な敷地を要しない。
- ③ゲージ板で鉄筋ピッチが決められるので、鉄筋をセットしていただくだけで正確な鉄筋籠が組立てられる。
- ④長尺主筋が使用できるので、ジョイント個所が少なく作業効率があがる。
- ⑤装置構造がシンプルで複雑な作業を必要としない。
- ⑥装置の移動、主筋の吊り込みは、小型クレーンで可能。

## 6. おわりに

弁慶工法は、致命的なトラブルもなく、テストや改良を加えながら施工を継続し、深礎杭の掘削を完了した。ゴンドラ内に運転員が搭乗しての目視での遠隔操作による作業であるので、当たり取り部の凹凸の確認、吹き付けモルタルの付着状況把握等を、ゴンドラ運転室内より十分に確認する事ができる。

従来工法に比較して、効率化を図り且つ省力化、苦渋作業の排除、特に安全作業の面では十分目的を達成する事ができた。

また、次工程の鉄筋建て込みの機械化においても、狭い現場においても搬入可能な小型のクレーンを用いて、坑内に作業員が入ることなく、地上の軽作業で鉄筋建て込みができ、安全性において目的を達成する事が出来た。将来的にはコンクリート打設をも含めて総合的な深礎杭基礎の安全施工の機械化に更に取り組んでいきたいと考えている。



写真-6 鉄筋組立・建て込み装置

## 38. 無人掘削機、回収システムによる ニューマチックケーソンの施工

佐藤工業(株)：佐藤 勝男  
大豊建設(株)：後藤 哲男・\*安藤 祐二

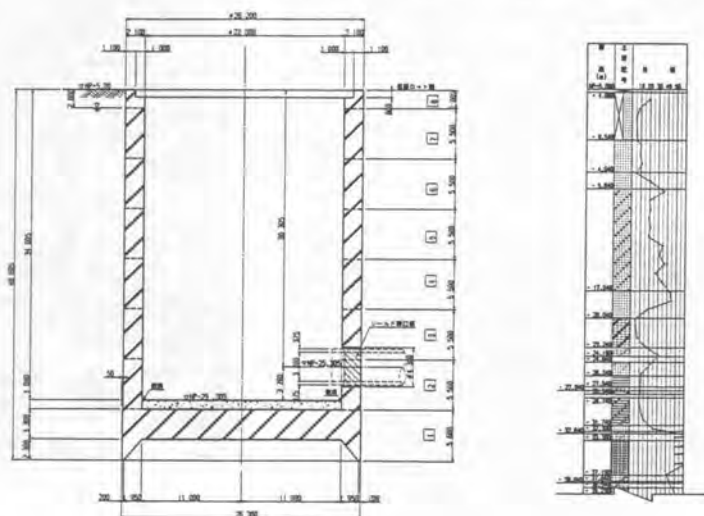
### 1、はじめに

今回中部電力新名古屋火力発電所において、燃料となる液化天然ガス(LNG)のパイプラインとしてのガス導管用シールド工事が発注され、その発進立坑工事を回収システムを装備した大豊式ニューマチックケーソン無人化工法により施工した。

発進立坑の形状は、  
外径はφ26.3mの

円形(断面積：543㎡)、深さが40.6mである。

また地質は、地表下25.0m迄は砂、地表下37.0m迄は粘土と砂の互層、地表下37.0m以下は固結シルトであった。断面図及び柱状図は、図-1による。



(図-1) 断面図及び柱状図

このDREM工法は、ケーソンの沈下掘削を大気圧下の地上遠隔操作室から、ケーソン作業室スラブに懸架した無人掘削機(DREM機)をマルチウィンドモニターに映し出された映像により遠隔操作で掘削施工する工法である。(写真-1)

また掘削機回収システムにより沈下掘削完了後のDREM機回収作業も、作業員が高気圧下に入ることなく、遠隔操作により自走させ、回収ロック内に回収することが出来るシステムである。



(写真-1) 遠隔操作状況

## 2、採用の経緯

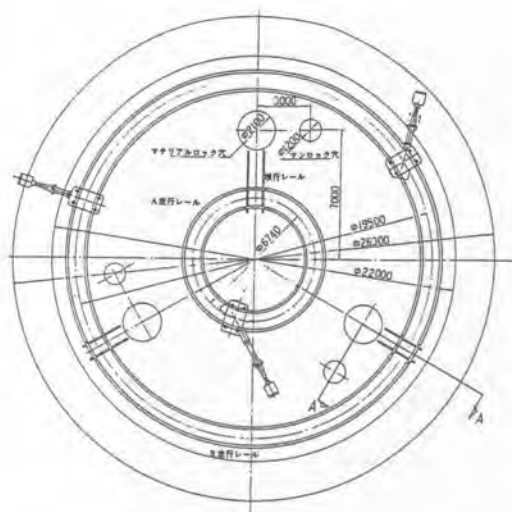
今回の発進立坑は、大深度・大断面のニューマチックケーソンであり、最終圧気圧力は、 $3.0 \text{ kgf/cm}^2$ 以上と非常に高くなるため、従来の有人施工では沈下掘削が進むほど作業時間は短く、減圧時間は長くなり、それに伴い潜函病の発生率も高くなる。さらに、従来は函内掘削機撤去作業時に、最高の圧気圧力での作業となり、高気圧下の厳しい環境での作業を強いられると共に、工程面においても非常に時間がかかっていた。

これらの問題点を解決するために、作業を遠隔操作で行うことのできるDREM工法及び掘削機回収システムが採用されたものである。また、大断面掘削のため今回初めて3台のDREM掘削機を投入したことから、さらに掘削機同士の接触、衝突を回避するために接触防止システムを導入した。

## 3、工法の概要

今回のDREM工法は、 $543 \text{ m}^2$ と非常に大きな断面であるため、掘削機を内周に1台、外周に2台という形態で合計3台を配置して施工を行った。(図-2)

遠隔操作は、掘削機に固定式搭載カメラ各1台(3台)、作業室スラブ中央に2台、外周の壁面に3台の可動式ズームカメラ、シャフト内直上には固定式カメラ各1台(3台)また、回収時に使用するために、回収ロック内にも固定式カメラ各1台(3台)の計14台のテレビカメラによりマルチウィンドー用の大型モニターと、直上カメラ専用の中型モニターに写された映像により掘削を行った。



(図-2) 掘削機配置図



(写真-2) 遠隔操作による掘削状況

さらに、安全面では掘削機姿勢制御システムと掘削機接触防止システムの導入により安全、円滑な掘削作業が可能となった。

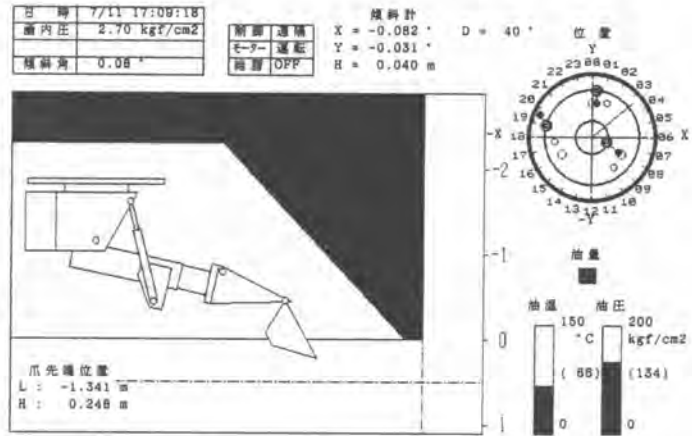
(1) 掘削機姿勢制御システム

パソコンのCRTモニターには、自機と他の2機の位置、ブームの旋回方向、最大傾斜方向が表示される平面図の他、姿勢表示として、自機を側面から見たグラフィックが表示される。

(図-3)

これは、実機のブーム上下・伸縮、バケットの開閉、旋回動作を連動表示するので、旋回動作に関しては、

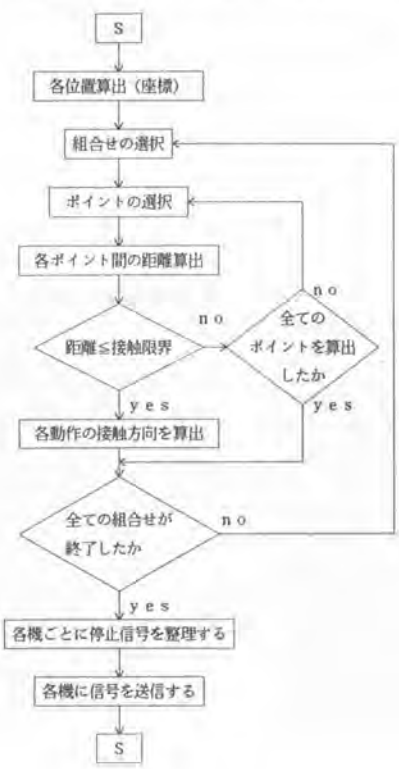
旋回移動により自動的に刃口壁が画面に表示され、刃口と掘削機のバケット爪先との相対位置が確認できる。さらに、刃口下の掘削の余掘り長が規定(0.5m)を越えるとブザーを鳴らす機能も備えている。



(図-3) CRTモニター表示

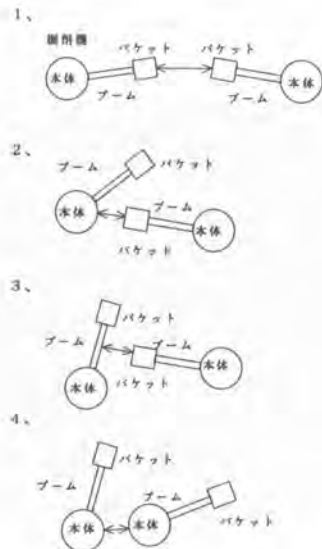
(2) 掘削機接触防止システム

接触防止システムフローチャート



今回ケーソン内に3台の掘削機を投入することにより、掘削機同士が接触、衝突を起こすことが想定される。そこで衝突を回避するために、接触防止システムを設置した。

※ポイント間距離種類と処理順番



接触防止システムは、各掘削機に接触限界範囲を設定し、掘削機相互の位置関係を常に測定し掘削機間が接触限界範囲内に接近すれば接触する方向への動作を停止させ、接触・衝突を防ぐものである。

このシステムは、接触防止制御用に設置したコントローラーに各掘削機の位置データーを送り、各掘削機の走行体、ブーム、バケットの平面座標を算出し、掘削機間の距離が設定した値以下になると、接触方向への動作を割り出し、掘削機に接触する方向への動作停止のデーターを送る形となっている。このデーターを受け取った掘削機は接触方向への動作を停止すると共に警報によりオペレーターに知らせる。警報を受けたオペレーターは、どちらか一方でも接触を回避する方向へ動作させ接近限界範囲外に移動することにより掘削機は再び自由に動作できる。

### （３）掘削機回収システム

このシステムは、掘削機をケーソン作業室スラブに敷設された走行レールから横行レールを自走してマテリアル開口部に降ろされた回収架台へ乗り移した後、マテリアルシャフトの下部に設置された回収ロック内につり上げ回収するものである。（写真－３）

また掘削機が回収架台へ乗り移るには、走行・横行・アーム下げといった動作を遠隔操作により行うことが必要となるため、動力・信号ケーブルを回収ロック内から給電する方式をとっている。このケーブルは、動力線・信号線を１本に束ねた特殊な複合ケーブルを使用している。

回収ロック内の複合ケーブルは、多重滑車により掘削機の走行範囲を追従出来る長さを収納しており、動滑車の上下動によりケーブルの繰り出し量が調整される。

また、複合ケーブルは、ケーブルの張力により作業室スラブに設置された水平滑車に巻き付いて掘削機に追従して行く。

回収手順は、以下の通りである。

<回収手順> 施工順序図参照（図－４）

※ 沈下掘削完了

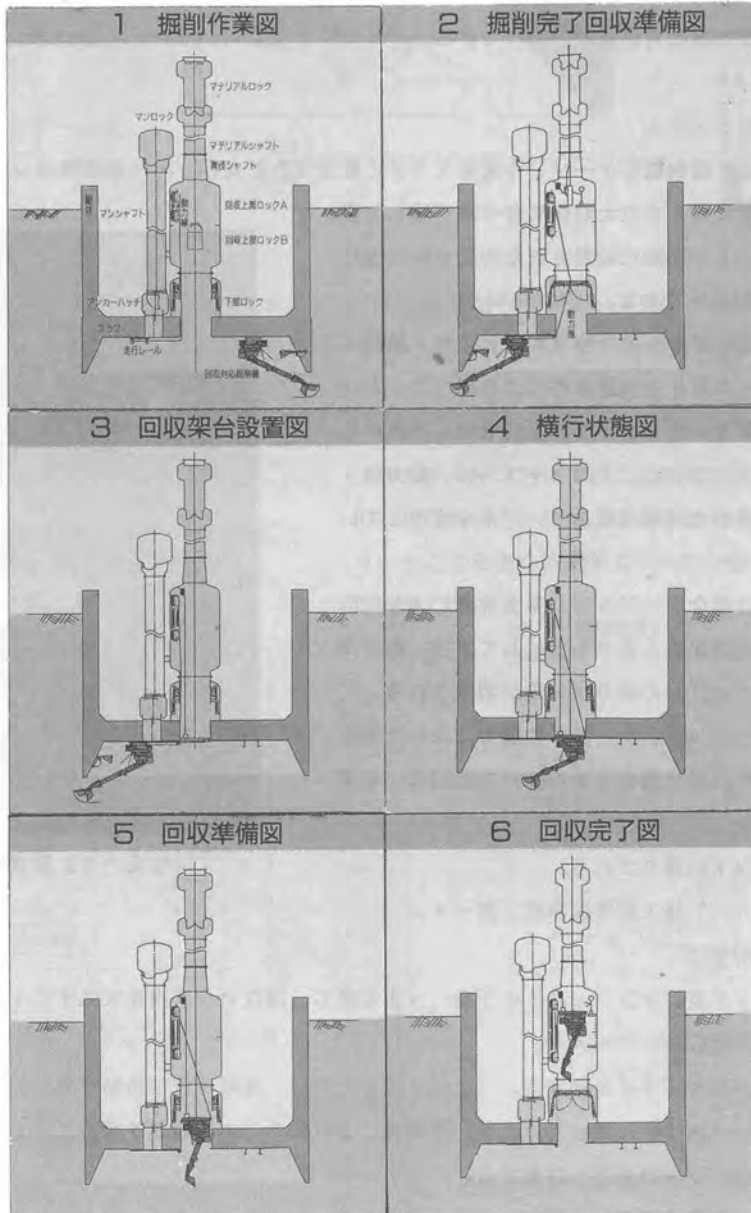
〔順序図－１〕

- ① 回収ロック及びマンシャフトの下部ハッチを閉じ、回収ロック内を大気圧にする。
- ② 作業員が回収ロックへ入る。
- ③ バケット用ガイドを格納する。（圧気下のガイドは、遠隔操作で格納する。）
- ④ 回収ロック内に回収架台を投入し、作業員により組み立て・設置を行う。〔順序図－２〕
- ⑤ 作業員は、マンロックへ移動する。
- ⑥ 回収ロック内を圧気し、下部ロックを開ける。
- ⑦ 回収架台を作業室に降ろす。〔順序図－３〕



（写真－３）回収状況

- ⑧ 掘削機を回収架台下に横行させ、固定する。 [順序図-4]
- ⑨ 回収架台を吊り上げる。(この際、吊り上げに伴って掘削機のブームを遠隔操作により下げていく。) [順序図-5]
- ⑩ 掘削機を回収ロック内まで吊り上げたら、下部ロックを閉じ、回収ロック内を大気圧にする。
- ⑪ 作業員が回収ロック内に入り、据付部をセットして掘削機を据え付ける。 [順序図-6]
- ⑫ 機装撤去時に回収ロック内の掘削機を搬出する。



(図-4) 施工順序図

## 5、施工実績

今回の施工において沈下掘削は、21,000㎡と、この工法として最大の土量を掘削した。

N値50以上の固結シルト層の掘削においては、この掘削機の能力の限界に近い状態になり、出力不足バケットの変形等が見られたが重大な故障もなく、3台を効率良く使用でき掘削を完了させることができた。

ケーソン沈下完了時の深度は、GL-40.6mで作業室での気圧は3.25kgf/cm<sup>2</sup>であり、この圧力下では、従来通りに作業員が入函して掘削機の解体、搬出作業を行った場合、函内実作業時間は1日当たり2時間弱しかなく、すべてを搬出し終えるまで2週間前後かかる。しかし掘削機回収システムにより回収架台搬入から掘削機回収まで二日で終了した。

この実績により、掘削機回収作業における函内無人化は言うまでもなく、作業工程を大幅に短縮することができた。

## 6、おわりに

DREM工法及び掘削機回収システムの採用により、大深度・大断面のニューマチックケーソンを、無人で沈下させることができた。今回の実績から、周辺への影響を最小限にして安全確実な沈下が可能なことが確認できケーソン工法の適用性がさらに広がったものと考えている。

本立坑工事の施工にあたり、中部電力（株）新名古屋火力建設所の関係者各位の皆様方のご指導、ご協力に感謝の意を表します。



# 39. 地中連続壁工法の高精度掘削管理システム

（株）鴻池組：\*松生 隆司・外蘭 伸二  
鶴留 久夫

## 1. はじめに

地中連続壁工法はジオフロント開発のための有力な基盤技術として注目されており、大深度地下構造物への利用を目指して施工技術の大深度化・大壁厚化が急がれている。この新しい開発動向に対処するため、当社では、深さ150m・壁厚2m規模の施工を可能とする大深度地中連続壁工法（KSW-G工法）を開発した。地中連続壁工法では壁体相互を連続して接合する必要があるため、掘削精度の確保が取りわけ重要である。そこで、大深度施工を高精度に実現するための支援システムとして、掘削機の位置・姿勢を正確に検知してこれを精密に制御するための掘削管理システムを開発している。<sup>1)</sup>

本システムでは、掘削精度管理として設計値からの掘削機の偏位量を30～50mm以内に抑えることとし、マン・マシンによる制御・管理機能を用いて掘削作業を効率よく支援する。

今回、当システムの適用範囲を拡張するとともに、掘削機ねじれ角の検出精度を向上させるために、掘削機の両側面に分割して設置する方式の機体位置検出装置を新たに開発し、水平多軸回転カッター方式のエレクトロミル掘削機（以後、EM掘削機と呼ぶ）および垂直多軸回転カッター方式のBW掘削機に適用した。

## 2. 高精度掘削管理システムの概要

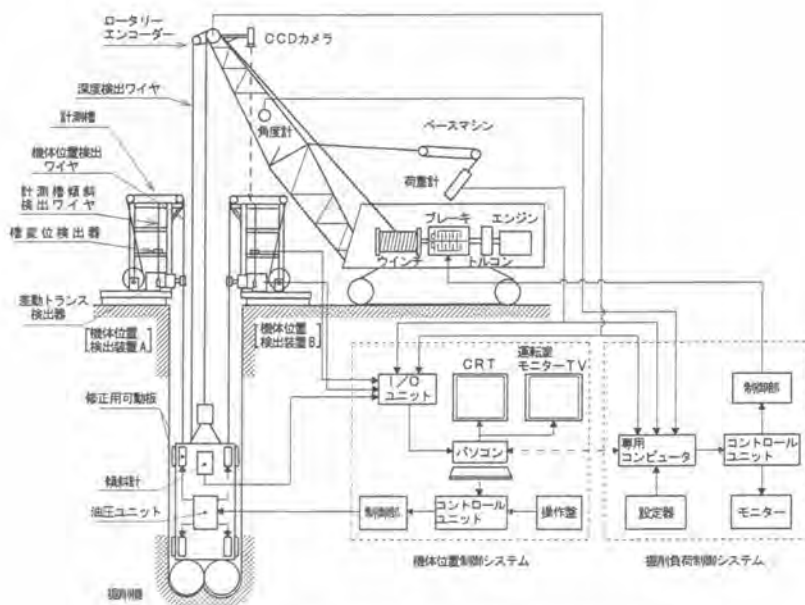


図-1 EM掘削機用高精度掘削管理システムの構成

地中連続壁工法の掘削においては、掘削機の水平方向の偏位量を正確に把握することが重要であり、大深度になるほどその必要性が増してくる。一般に、大深度施工では水平偏位 50～100 mm以内あるいは鉛直精度 1/1000～1/2000 以内の掘削精度が必要といわれているが、本システムでは、精度管理として掘削設計線からの偏位量を 30～50 mm以内に抑えることを目標にしている。

EM 掘削機に適用する高精度掘削管理システムは、機体位置制御システムと掘削負荷制御システムから構成され、BW 掘削機には機体位置制御システムを搭載した。図-1、2 に各々のシステム構成を示す。

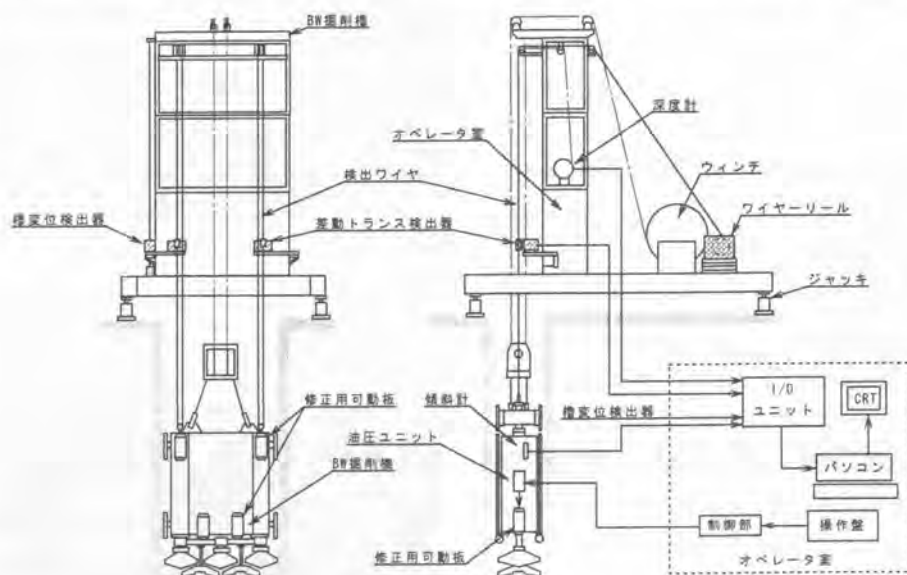


図-2 BW掘削機用高精度掘削管理システムの構成

(1) 掘削負荷制御システム

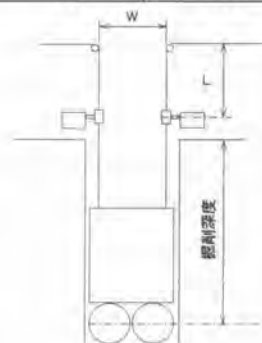
EM 掘削機のベースマシン(クレーン)に搭載された掘削負荷制御システムは、掘削機の降下速度(掘削速度)と地盤への貫入力(掘削荷重)をコントロールする。掘削速度は運転席にある設定器で任意に設定され、設定値と降下速度が等しくなるようにエンジンのトルクコンバータ出力軸に取り付けた湿式多板ブレーキクラッチの制動力が自動的に調節され、同時に速度制御中の貫入力についても設定値以下に保たれる。

(2) 機体位置制御システム

掘削管理の中核となる機体位置制御システムは、機体位置検出装置と掘削管理装置から構成され、地中にある掘削機的位置姿勢を正確に検知し、掘削機が計画線に沿って掘削できるように掘削機の修正用可動板を操作することにより機体制御を行うものである。

表-1 検出ワイヤの張設スパン

|      | EM 掘削機 | BW 掘削機 |
|------|--------|--------|
| W mm | 2100   | 3200   |
| L mm | 4000   | 4400   |



機体位置検出装置は位置計測槽と検出ワイヤで構成され、検出ワイヤは位置計測槽の頂部から掘削機本体の頂部に取り付けたシーブを介して再び位置計測槽の頂部まで戻し、計測槽に装備した定トルクワイヤリールによって一定張力で巻上られ、かつ掘削機の降下に同調して繰り出される。掘削機の位置は、2本の検出ワイヤを基準ラインとし、掘削機の移動に伴う検出ワイヤの地上での水平変位量を差動トランス検出器により精密に測定し、この検出値を比例倍することによって求められる。EM掘削機では、位置計測槽を掘削機の両側に設置し、2本の検出ワイヤを機体の左右に張設して掘削機ねじれ角の検出精度を向上させている。BW掘削機では、BW掘削槽に機体位置検出装置を全て搭載し、掘削槽の高さを検出ワイヤの測定スパンとして最大限に利用して検出精度を確保するとともに、機動性・利便性を高めている。各機体位置検出装置の検出ワイヤの張設および測定スパン値を表-1に示す。ここに、EM掘削機用機体位置検出装置では、深度100mの地点で掘削機が50mm移動した場合の計測位置での検出ワイヤの移動量は約2mmとなる。写真-1および写真-2にEM掘削機用の機体位置制御システムを、そして写真-3にBW掘削機用の機体位置制御システムを示す。

差動トランス検出器は検出ワイヤの動きを100mm×100mmの2次元範囲内で自動追尾し、0.1mm以内の測定精度(実測検定±0.05mm)で測定することができる。この検出器は、非接触の磁気検出方式を採用しているため、泥水の飛散などの外乱による検出精度の低下はほとんどなく、全天候下での安定した計測を実現することができる。

検出ワイヤによる機体位置の検出精度は、ワイヤの頂部固定点(槽側頂部シーブ)の設置位置の変動に大きく影響を受ける。特に、夏季においては日照変化に伴う槽フレームの熱膨張歪により槽頂部が微小変位し、槽全体としては約40~100秒の倒れが発生する場合がある。さらにBW掘削機の場合は掘削中の荷重変動による槽の撓みが付加される。槽頂部が

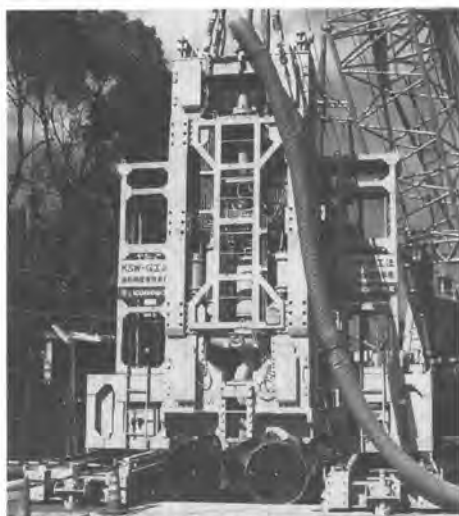


写真-1 EM掘削機用機体位置制御システム



写真-2 施工状況 (EM掘削機)



写真-3 BW掘削機用機体位置制御システム

40秒倒れた場合、深度100m下で約2cmの位置検出誤差が発生する。そこで、櫓フレームに櫓変位検出器を設置し、櫓の倒れが常に20秒以内に収まるよう櫓据付水準をジャッキ調整して常時管理することにより、検出精度の向上を図っている。

掘削管理装置は、掘削機、掘削機位置検出装置およびベースマシンの各所に配置したセンサーから掘削データを収集し、掘削機の操作に必要なデータをリアルタイムにモニターTV画面に表示する。写真-4にEM掘削機用出力画面を、写真-5にBW掘削機用出力画面を示す。

掘削管理において最も重要な項目である掘削機の移動量は、検出ワイヤの変位量、機体傾斜角および掘削深度を用いて、カット中心での前後左右方向の偏位量として演算される。さらに2本の検出ワイヤの水平変位量を比較演算することにより機体のねじれ角を求める。オペレータはこれらの情報を監視しながら掘削機を適切に運転制御する。

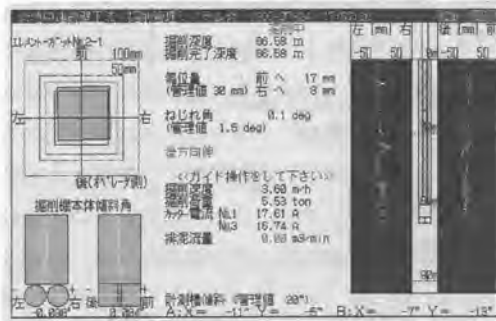


写真-4 EM掘削機用掘削管理画面

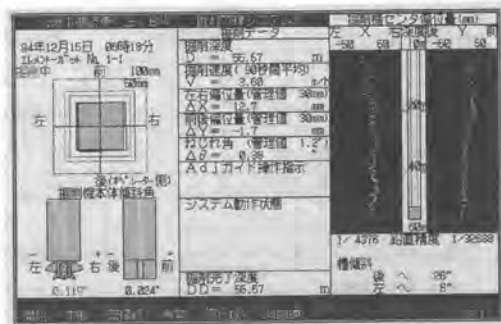


写真-5 BW掘削機用掘削管理画面

### 3. 掘削精度管理結果

本システムをBW機連壁工事(深度55.7m RC連壁、深度60.5m鋼製連壁)およびEM機連壁工事(深度69.5m鋼製連壁)に適用した。BW機連壁における掘削精度管理結果の1例として、深度1m毎の掘削機の位置検出値と超音波溝壁測定結果から読み取った溝壁中心位置との比較を図-3に示す。掘削データと溝壁測定結果はよく一致しており、高い検出精度を有していることが確認できる。2エレメント6ガットの掘削における深度1m毎のオペレータのBW掘削機の制御・管理結果を図-4に示す。掘削機位置検出値は管理目標とする30mm以内に収まっており、その標準偏差は21.3mmである。この結果から、オペレータは高精度な運転制御を行っており、本システムのマン・マシンによる制御・管理機

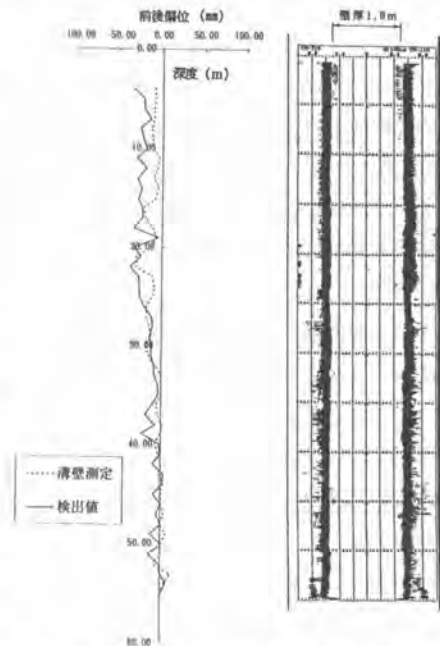


図-3 溝壁測定結果と機体位置検出値の比較

能が十分に発揮されていることが確認できる。

EM 機連壁工事の掘削精度管理結果については省略するが、結果では BW 機を上回る精度が得られた。また、ねじれ角については検出ワイヤの左右分割方式による検出精度の向上が確認され、 $1.5^\circ$  以内に精度管理が行えた。

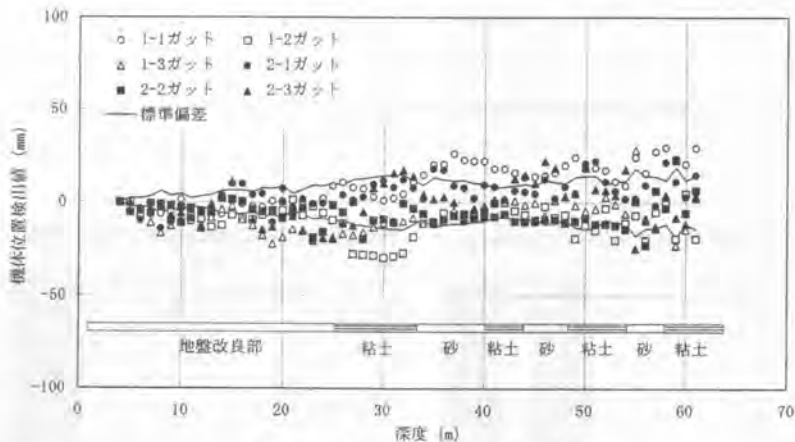


図-4 BW 掘削機の制御管理結果

#### 4. 自動掘削管理システム

前述の掘削管理システムは、掘削機の姿勢制御をオペレータの手动操作に委ねた半自動方式であり、掘削精度の飛躍的な向上に伴い従来にも増してオペレータに緊張感を与える傾向が見られる。そこで掘削作業の省力化を中心に地中連続壁工法の合理化をさらに進めるため、自動掘削管理システムを開発した。このシステムは、EM 掘削機の姿勢制御にファジィ制御を適用して、姿勢修正操作機能を自動化するものであり、熟練オペレータと同等以上の制御性を目指している。

機体位置検出装置で検出する掘削機の偏位量、ねじれ角および掘削速度、掘削負荷などの掘削機の運転状況に関するデータ、ならびに掘削中の地盤性状等を制御条件とし、掘削機の修正用可動板の制御量をファジィ推論し出力する。図-5 に掘削機の制御対象項目を示す。

掘削機姿勢制御の基本条件として、以下の点を挙げている。

- ①掘削機の偏位量、ねじれ角が許容範囲内に収まるように修正用可動板を自動制御する。
- ②掘削状況から地盤性状を推定する。
- ③地盤性状を考慮して修正用可動板の制御量を調節する。

制御条件から求めたファジィ制御演算のフローを図-6 に示す。基本条件の項目に対応して、推論部は3群に分けている。

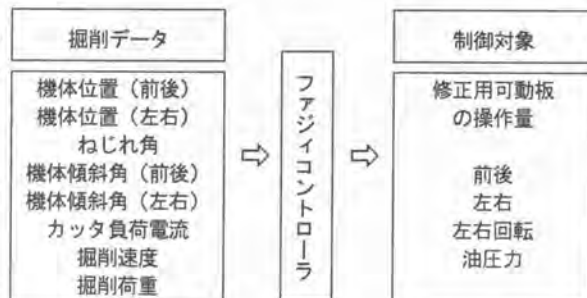


図-5 EM 掘削機の自動制御対象項目

ファジィ推論方式はファジィシングルトン型推論法で、前件部において4種類のメンバーシップ関数を7ラベルで、後件部は重み値を付加したシングルトンを13ラベルで簡略化したルールで記述し、推論速度の高速化を図っている。制御ルールの構築プログラムの特徴として、掘削中に制御ルールの適否を確認しながらリアルタイムで調整することができ、短時間で制御ルールの最適化が行える。

当システムを実用化により、オペレータは掘削機の運転状況を監視するのみとなり、現状における長時間の姿勢制御による緊張から開放されるだけでなく、過剰な修正操作による溝壁への悪影響や、オペレータの技量差による精度のばらつきなどが解消され、均一かつ高品質な地中連続壁の構築が期待できる。

現在、自動掘削管理システムは実工事に適用中であり、この成果については稿を改めて報告する。

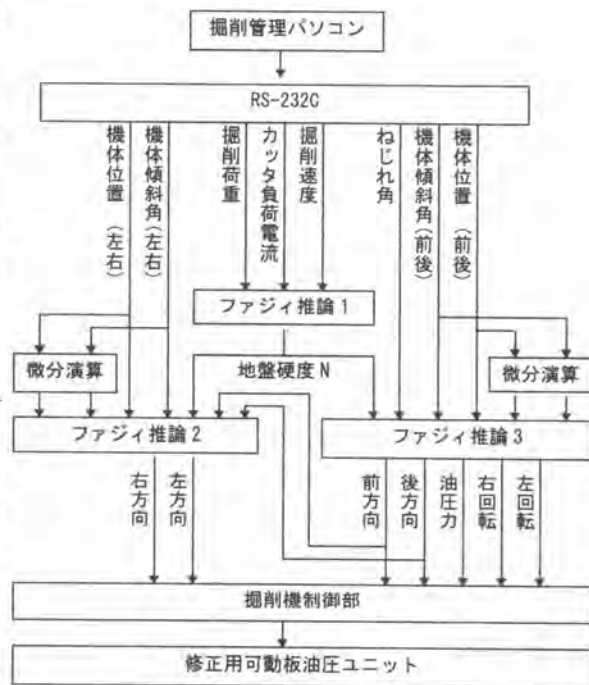


図-6 ファジィ制御演算部のフロー

## 5. おわりに

地中連続壁工法は将来ますます利用形態が拡大し、大規模地下構造物への適用事例も増えてくると予想される。本システムは、良質な大型の地中連続壁を提供するために必要不可欠なものであり、今回実施したシステムの拡充により、薄壁から超大型の地中連続壁に対応することが可能になった。今後、自動掘削管理システムの完全自動化を向けてより一層の技術開発に努めたい。

おわりに、自動掘削システムの研究を進めるにあたり、ご指導をいただいた愛媛大学工学部土木海洋工学科 室 達郎教授ならびに深川良一助教授に深甚なる感謝の意を表するとともに、開発にご協力いただいた関係各位に深く感謝します。

## 6. 参考文献

- 1) 松生・大橋・鷺見・澤：大深度地中連続壁工法の掘削管理システム，平成4年度建設機械と施工法シンポジウム pp. 134～137.

## 40. 低空頭マッハシステムの開発と実用化

大成建設(株)： 牧野 松明・西野 誠二  
 \*大矢 浩  
 (株)利 根：川崎 博行

### 1. はじめに

最近、市街地での再開発に伴い、地下空間の利用を図るため、道路下や既設構造物の下など、厳しい空頭制限のある場所での施工が増加しているが、これらの場所では、スペースの問題、機械装置の形状、交通規制、環境問題等、様々な制約条件に直面している。

さらに、砂礫、岩盤などの掘削が困難な地盤条件の所では、掘削能率の面で計画通り進捗しないのが実状であり、工期やコストが大幅に増加し、再開発の計画にブレーキを掛ける要因ともなっている。

このような環境を背景に、このたび空頭制限 3.8mという条件の下で、岩盤掘削を能率的に施工する事が可能な低空頭マッハ掘削機を用い、路下での土留め杭および支持杭を、安全かつ急速に施工するシステムを開発し実用化した。

表-1 工事概要

### 2. 開発の背景

#### 2.1 概要

地下鉄東西線は、京都市内を東西に貫通し、京都市東部山科方面と都心部を経て西部洛北方面とを結ぶ総延長 30kmの路線である。現在、この内の、都心部と東部地域を結ぶ第一事業区間(12.7Km)として着工されている。

|      |                             |                      |              |
|------|-----------------------------|----------------------|--------------|
| 工事件名 | 高速鉄道東西線建設工事御陵駅工区その2         |                      |              |
| 工事場所 | 京都市山科区御陵原西町17番              |                      |              |
| 発注者  | 京都高速鉄道株式会社                  |                      |              |
| 施工者  | 大成建設(株)、(株)間組、(株)浅沼組、(株)岡野組 |                      |              |
| 工事内容 | 路下土留杭                       | 5,690m               | φ65cm MACH工法 |
|      | 路下土留杭                       | 3,340m               | φ70cm BH工法   |
|      | 路下中間杭                       | 1,750m               | φ65cm MACH工法 |
|      | 路下中間杭                       | 1,520m               | φ70cm BH工法   |
|      | 路下中間杭                       | 850m                 | φ70cm MACH工法 |
|      | 本体掘削                        | 63,400m <sup>3</sup> |              |
|      | 躯体鉄筋コンクリート                  | 24,800m <sup>3</sup> |              |

当御陵駅工区は、京都高速鉄道(株)の発注によるもので、山科盆地の西北端、天智天皇陵の西側に位置し、府道四の宮～四ツ塚線及び京津線日ノ岡～御陵間の道路部及び軌道部の下部に、約300mの駅舎部を築造する工事である。

#### 2.1.1 施工環境

当工区は、交通量の多い幹線道路の下 3.5～7.5mの深さの所に、3層階の駅舎を築造するものであるが、道路幅員が狭いうえ、道路中央部に路面電車の軌道があり、地上からの開削工法が採用できないため、民地部に3ヶ所の立坑を設け、駅舎部築造に伴う土留杭及び支持杭をパイプルーフ下部(路下)から、岩盤地層で、延長13,150m(753本)を急速施工する必要があった。

#### 2.1.2 地質概要

施工場所付近の地質は表層より、丹波帯、中生層の頁岩(Sh)、礫岩(Sg)、砂岩(Ss)が深部まで及び、各層とも、堆積状況は直立に近い傾斜を示している。掘削部の地質状況は頁岩、礫岩の断層破碎帯から、硬質な砂岩・頁岩と変化している。

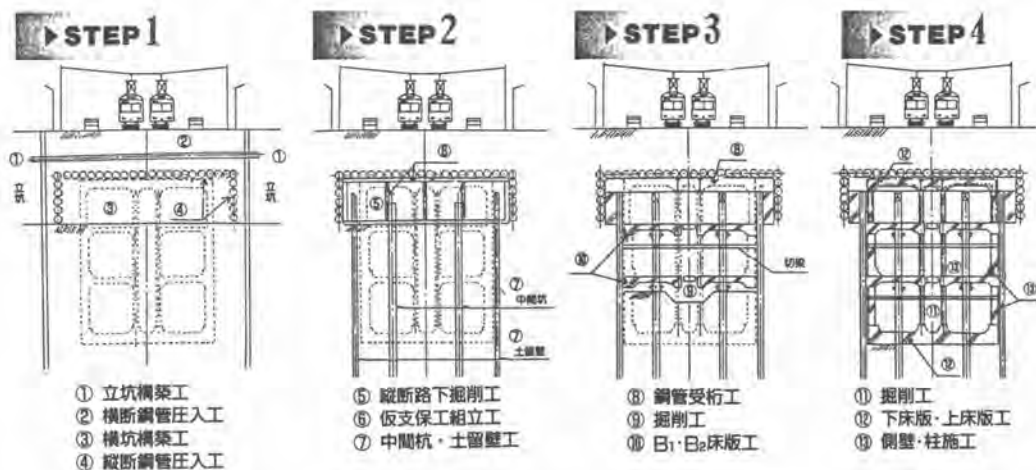


図-1 駅部施工順序図

### 2. 1. 3 工事概要

工事は、図-1に示すような順序で行われるが、今回の削孔に関わる部分は、ステップ2に於ける中間杭・土留壁工である。

全長約300mに及ぶ駅部工事の内、MACH工法、BH工法による、土留め及び支持杭の施工数量は、表-2の通りである。

表-2 杭の施工数量

|       | MACH工法 |        |     | BH工法 |        |     |
|-------|--------|--------|-----|------|--------|-----|
|       | 削孔径    | 延長     | 本数  | 削孔径  | 延長     | 本数  |
| 路下土留杭 | φ660   | 5,690m | 348 | φ712 | 3,340m | 181 |
| 路下中間杭 | φ660   | 1,750m | 104 | φ712 | 1,520m | 76  |
|       | φ712   | 850m   | 44  |      |        |     |

### 2. 2 開発目標

従来は、低空頭掘削機としてBH工法、TBHリバース工法など、泥水循環方式の小型掘削機を使用していたが、作業性に関しては必ずしも能率的ではなかった。また、狭隘な場所での岩盤掘削に対し、掘削能率を左右するビットはウイングビットやローラタイプビットであり、トルクや荷重の問題から、能率的な掘削をしていたとはいえず、工期の遅れが目立っていた。

このような背景の中、工期短縮を図るべく、掘削装置システムの開発が要望され、当工事においては、施工機械に関して、以下のような条件が求められた。

- ① 岩盤を能率的に削孔でき、削孔時間を短縮できること。
- ② 機械装置がコンパクトで機動性及び作業性が良く、安全に作業できること。
- ③ 掘削に関わる煩雑な作業を単純化し、作業性の向上を図った掘削システムであること。
- ④ 掘削、建込の作業を分業化でき、お互いの作業に影響を及ぼさないこと。
- ⑤ 狭隘な空間での資材の移動を、容易に行えること。
- ⑥ 騒音、振動が小さく、粉塵を出さないこと。

これらの条件をふまえ、削孔装置の選定に当たっては、あらかじめ地上からの試験削孔を行い、その結果、トリコンビットの約5~6倍の能率で岩盤を能率的に削孔でき

表-3 システムの基本仕様

|          |   |
|----------|---|
| ・ 施工方法   | リバース式柱列杭  |
| ・ 掘削口径   | φ660mm、φ712mm                                   |
| ・ 機体寸法   | 機高 3,800mm<br>幅 1,600mm(片幅 800mm)<br>全長 3,500mm |
| ・ 最大分解重量 | 3,500Kg   |
| ・ 削孔装置   | MACH工法機並びに付属ツール                                 |
| ・ 掘削機    | 最大孔径800mm 軌道式                                   |
| ・ ロッド台車  | 20m分搭載 軌道式                                      |
| ・ H鋼搬送台車 | クローラ式、H鋼押し込み装置付                                 |



る、水中式エアハンマードリルMACH-50B形を選定した。

また、掘削・施工システムの基本仕様は、表-3のように設定した。

### 3. システムの概要

#### 3.1 システムの構成

以上の条件・構想のもとに、図-2に示すよ

うにシステム化を図り、掘削に関わる作業と、鋼材設  
置に関わる作業とに分け、機械装置もそれぞれの作業専用機とした。

掘削に関わる作業は、掘削・ロッド着脱の作業からなり、削孔装置を懸架し、ポンプ、配管等を搭載した掘削機と、ロッドの搬送、つり込み、回収を行うロッド台車とで構成し、機械システムとした。

今回は柱列杭施工に適した直線施工が主体であり、掘削機とロッド台車を直列に配置し、作業の連続性を図っている。

鋼材設置システムは、鋼材の搬送、建て込み、さらに押し込みの一連の作業を、鋼材搬送・建て込み台車で行うものとした。

#### 3.2 システムを構成する機械装置

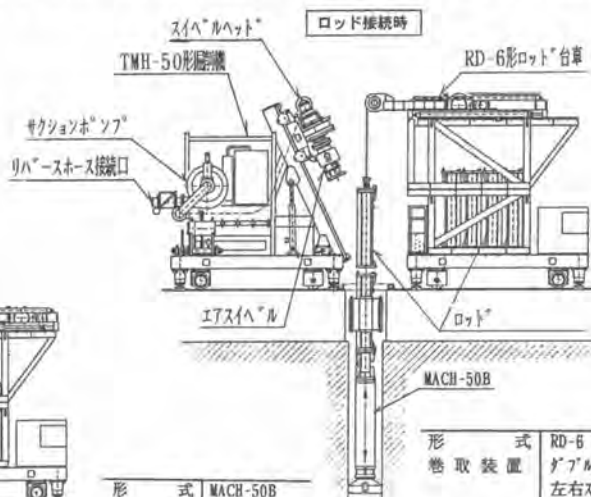
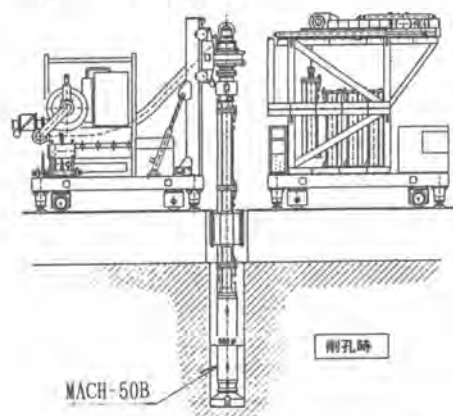
##### 3.2.1 削孔装置 MACH-50R形

MACH工法は泥水中で使用できるエアハンマーで、コンプレッサーから供給された圧力エアは、MACHハンマを動作し、ビットに打撃エネルギーを与えた後、ロッドの排気ラインを経て地上に戻され、

| 分 類  | 掘削作業             | 鋼材設置作業                    |
|------|------------------|---------------------------|
| 作業内容 | 掘削・ロッド接続・ロッド切離し  | 搬送・建て込み・押し込み              |
| 機械装置 | 削孔装置<br>+<br>掘削機 | ロッド台車<br>+<br>鋼材搬送・建て込み台車 |

図-2 作業の分担とシステムの構成

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| 形 式      | TMH-50                               |
| 駆動方式     | 全油圧式駆動                               |
| 回転数      | 0~10rpm                              |
| 回転トルク    | 1,800Kg-m                            |
| 引抜/押し込み力 | 10,000Kg                             |
| ストローク    | 1,750mm                              |
| バリンクギヤキ  | 10t×4本                               |
| 油圧ユニット動力 | 30Kw, 220V/60Hz                      |
| クッションポンプ | 吐出量300m <sup>3</sup> /h<br>220V/60Hz |
| 重 量      | 9,800Kg                              |



|       |                        |
|-------|------------------------|
| 形 式   | MACH-50B               |
| ビット径  | φ660mm                 |
| ハンマ外径 | φ300mm                 |
| リバース径 | φ150mm(6°)             |
| エア流量  | 25~40m <sup>3</sup>    |
| エア圧力  | 7~10kg/cm <sup>2</sup> |
| 全 長   | 約2,800mm               |
| 重 量   | 約1,800kg               |

|          |   |
|----------|---|
| 形 式      | RD-6  |
| 巻取装置     | ダブルドライト式<br>左右ストローク30mm<br>(ストローク1,900mm<br>+1,050mm) |
| 能力       | 5t(シグナル)  |
| ロッドラック   | 1.5mロッド×12本<br>スライルロッド1本<br>φ640×1.5m                 |
| バリンクギヤキ  | 10t×4本  |
| 油圧ユニット動力 | 18.5Kw, 220V/60Hz                                     |
| 重 量      | 5,700kg(本体のみ)   |

図-3 MACH工法による掘削システム

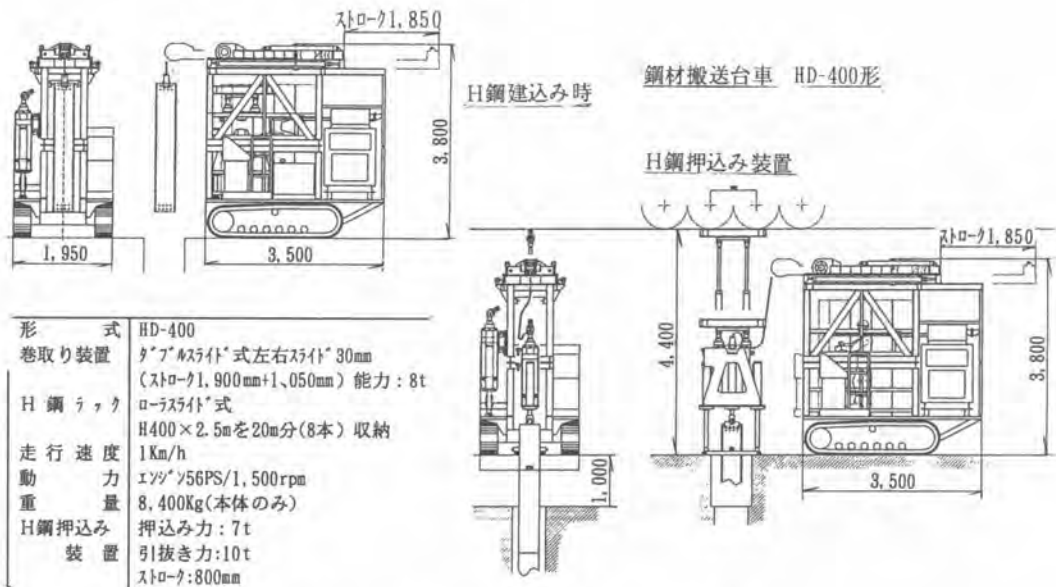


図-4 鋼材運搬・建て込み・押し込みシステム

大気解放される。また、ハンマ本体は掘削機から回転と送りを与えられ掘削を行う。掘削により発生したカッティングスはサクションポンプにより、排出される。主な特徴を、以下に示す。

- ① 水中で作動するため騒音が小さく、粉塵の発生が全くない。
- ② エア供給量の調整で地盤条件に応じた打撃力を選定でき、岩盤、砂礫、一般土質等あらゆる地層の掘削が能率よくできる。
- ③ 排土に、大径のロッドを必要としないため、ロッド並びに掘削機の重量が小さくてすむ。

### 3. 2. 2 掘削機 TMH-50形

MACH工法を行うための掘削装置で、ロッドジョイントを容易化、迅速化するとともに、移動時の煩雑な作業の簡素化、作業性の向上を図るため、次ぎのような新機構を採用し、以下の特徴を有する。

- ① スイベルヘッド、エアスイベルの機械高の短縮フィード機構の変更等により、有効ストローク長を延長し、ロッド長を従来の1mから1.5mとした。

その結果、ロッド接続回



写-1 ロッド台車・掘削機・鋼材運搬台車

数を減らすことができた。

- ② ロッド接続時の作業スペースを確保するため、フィード装置を柱型構にし傾斜可能にした。また傾斜計を設置し、フィード装置の鉛直精度を確保した。
- ③ ヘッドシーブをロッド台車に設置する事により、低空頭化が図れた。
- ④ 専用のエアスイベル、エア供給装置、サクシヨンポンプを搭載し、作業性、機動性を確保した。
- ⑤ 縦移動、横移動（車輪90度回転）が可能な自走装置で、かつレベリング用アウトリガーを設け、機動性と掘削時の精度を確保した。
- ⑥ 掘削ロッドの接続ボルトを、M-24×6本からM-36×3本に変更し、さらに従来の手締を、エア駆動の高トルクレンチ使用に変更することにより、ボルト接続時間の短縮を図った。

### 3. 2. 3 ロッド台車 RD-6形

MACH工法において、ロッドの運搬、接続、切り離しの際に使用する装置で、ロッドの継ぎ足し作業、削孔作業を迅速に行うため、集積、移動を容易にし、狭隘な場所での作業性の向上を図った。

- ① 吊り込み装置は、掘削ツール全重量を吊り下げられる。
- ② ボギータイプの車輪を装備し、直角や円運動による移動が可能である。

### 3. 2. 4 鋼材搬送台車 HD-400形

ロッドやH鋼等、長尺状の資機材の搬送作業や、H鋼を継ぎ足して孔内に建て込む作業を、空頭制限のある狭い場所で、掘削・芯材建込作業を分割し、効率よく行うために開発したものである。

孔底にスライムが存在していても、芯材の下端面を残存スライム中に押し込んで掘削工の孔底に確実に密着させる機能を持っている。

- ① H400×2.5mを20m分（8本）収納、移動できる。
- ② 建て込んだH鋼の全重量を、吊り下げることができる。
- ③ H鋼押し込み装置を有し、芯材を掘削孔の溝底に密着させることができる。
- ④ クローラ自走方式である。

## 4. 施工とその結果

### 4. 1 システムを用いた施工方法

#### 4. 1. 1 掘削

- ① 削孔装置本体とロッド台車を、削孔位置に設置する。
- ② 削孔時は、削孔装置本体のスイベル装置によってハンマーに回転と打撃を与えて削孔する。
- ③ ロッド接続時は、削孔装置本体のフィード装置を傾斜させ、ロッド台車のラック内に格納されたロッドを吊り込み、連結した後、スイベル装置を削孔位置に戻し、ロッドの上部をスイベル装置に連結する。
- ④ ②、③の工程を繰り返すことにより、ロッドを複数本継ぎ足して削孔する。

#### 4. 1. 2 H鋼の設置

- ① 運搬台車により、H鋼を搬入口から設置場所まで構内を移動する。
- ② つり込み装置のスライド機構を使用し、台車内から設置部にH鋼をせり出し、仮受けする。

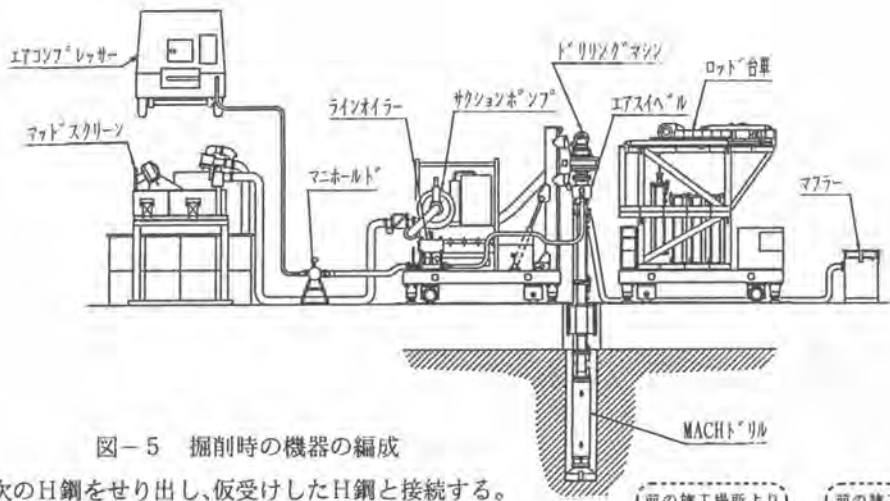


図-5 掘削時の機器の編成

- ③ 次のH鋼をせり出し、仮受けしたH鋼と接続する。
- ④ 所定の本数を接続後、押し込み装置により、H鋼先端が孔底に密着するまで押し込む。
- ⑤ 設置終了後、モルタルを打設し、H鋼を固定する。

#### 4.2 結果

- ① 使用ロッド長を、1.0mから1.5mに伸ばすことにより、着脱回数の減少と作業の軽便化が可能になり、1孔当たりの削孔作業時間を約2時間短縮できた。
- ② ロッド接続時の作業スペースを広くとれるため、作業性が向上した。また、掘削機の垂直性は、傾斜計の採用により、オペレータがリアルタイムで測定できるため、管理が容易になった。
- ③ 掘削装置はサクションポンプを搭載型にしたため、移動時間を30分程度に短縮できた。

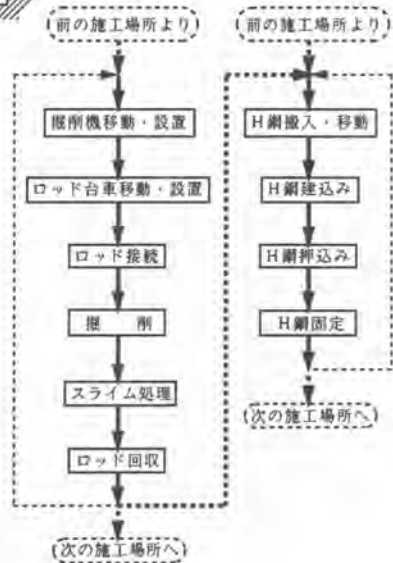


図-6 掘削工・H鋼建込みフロー図

- ④ 狭隘な場所では、相番クレーンの使用が不可能なため、ロッド接続に多大な時間を要するが、ロッド供給装置の使用によりスピードアップがはかれ、かつ安全な装置として使用できた。
- ⑤ H鋼建て込み装置を使用することにより、芯材運搬及び建て込み作業が掘削と分離してでき、能率よく作業できた。

#### 5. おわりに

空頭に制限があり、かつ平面的にも動きに制限がある狭い地下空間での作業を、無事、初期の目的通り能率良くすませることができた。工事に関わった方々に、この場をお借りして、深く感謝致します。

今後も、条件の厳しい類似の工事はいくつも計画されると思われるが、常に安全な施工を心がけながら、合理的な施工にチャレンジしていく所存である。

# 41. 超高層 RC 造建設(HIRC工法)施工システムの開発

～高強度材を用いた鉄筋コンクリート造超高層集合住宅の  
施工システムおよび施工機械～

鹿 島：\*鶴岡 松生・久保 正道

## 1. はじめに

H i R C工法（高強度材を用いた超高層鉄筋コンクリート造建設工法）は、経済性、居住性はもちろん、鉄筋コンクリート構造による利点である建築計画への適応性や柔軟性が評価され、集合住宅を中心に多くの施工実績が報告されている。

高強度のコンクリート・鉄筋の開発・実用化が進む中で、この高強度材料の管理手法や施工システム・施工機械を開発し、その開発技術を45階建て、軒高160mのRC造超高層集合住宅の施工に採用しているため、その施工システムの概要を報告する。

## 2. 工事概要（写真-1参照）

工事名称：ザ・シーン城北新築工事

建築主：積水ハウス株式会社

工期：1993年7月8日～1996年3月31日

建設地：名古屋市北区成願寺1丁目609番地

超高層棟建物概要

|       |              |
|-------|--------------|
| 住居数   | ： 381戸       |
| 構造・規模 | ： RC造・地上45階  |
| 建築面積  | ： 2,290.69㎡  |
| 延床面積  | ： 54,002.73㎡ |
| 基準階面積 | ： 1,193.88㎡  |
| 軒高    | ： 160m       |
| 基準階階高 | ： 3.25～3.80m |



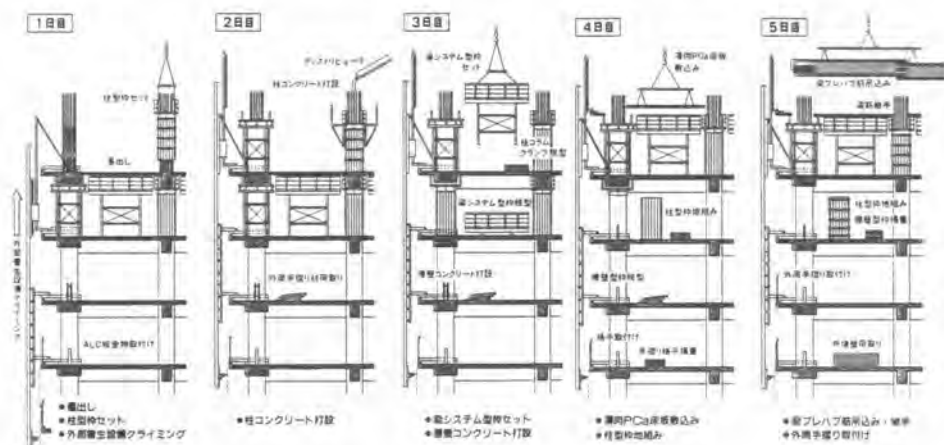
写真-1 ザ・シーン城北工事全景

## 3. 工事の特徴

建物平面形状は外壁が曲面をなした楕円形のユニークな外観となっており、室内からの眺望改善のため躯体外周部に背の低い幅広梁・曲り梁を配し、水廻りなどの床段差を新しく開発した段差梁によって解消し、居住性を高め、基準階の階高の変化や高層部での柱抜き架構等、グレードの高い構造となっている。本工事の場合、高さ、基準階床面積とも従来の約1.5倍の規模となっている。そのため、躯体階当りの揚重量が増大し施工階での資機材と人の錯綜、風の影響による揚重効率の低下や外部風散といった安全面での対策を含めた作業環境の確保が重要となる。

高層RC躯体の施工は一般的に、柱コンクリート、鉄筋、型枠をはじめ諸資機材の揚重・盛り替えは、クライミングクレーンが頼りであり、施工方法の合理化とクライミングクレーンの稼働率・揚重効率の向

上（回数低減・サイクル時間の短縮）が躯体工期を左右する大きな要因となる。



#### 4. 施工システムの概要とねらい

##### ○ 安全で合理的な無足場躯体施工法の追求

積層・無足場工法である当工事は、墜落・転落・飛来落下災害の防止を図る必要があるため、安全対策として、自昇式外部養生設備を設けている。

##### ○ 高強度コンクリートの圧送打設の実現

柱・梁・床には施工性を考慮し、流動性の高い高強度コンクリートを採用し、高压コンクリートポンプ及び自昇式ディストリビュータの組み合わせにより施工速度、作業環境の両面を改善している。

##### ○ 基準施工サイクル時間の短縮

主揚重は、クライミングクレーン2基で、内1基はフロアクライミング方式を採用している。仕上げ材や人用に人荷エレベータ2連1基と1連1基を配置し、汎用リフトを設置しないかわりに、2連のエレベータケージの1台を長尺の仕上げ材用として改良型を搭載している。

従来施工法では、躯体施工に必要な材料、仮設機材は全てクライミングクレーンによる揚重に頼っていたが、躯体施工サイクルを短縮するためクライミングクレーンの揚重負荷の軽減を狙い施工システムの改善をはかった（図1、図2参照）。今回の主な施工機械に関する改善点は以下のとおりである。

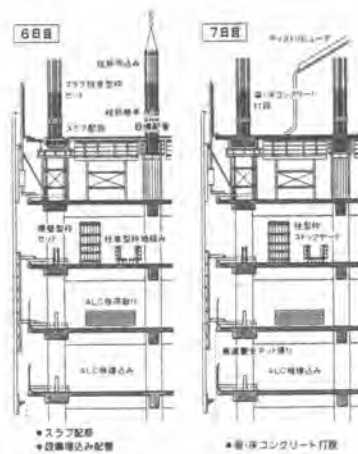




図-1 基本施工サイクル図

- ① 柱・梁床コンクリートは全てコンクリートポンプによる圧送とする。(従来、柱コンクリートはバケット打設が一般的である。)
- ② 柱打設を安全に施工するため自昇式ディストリビュータを組み合わせる。
- ③ 外部養生設備は、自昇式とする。
- ④ 型枠材料の一部、及び仮設資機材を躯体施工最上階迄サービスする機械を導入する。
- ⑤ ④の機械を荷取り構台兼用とする。施工方法としての特徴は、柱・梁の高強度鉄筋を地組みヤードで組立ててプレハブ化し、柱にパネル型枠、梁にシステム型枠、床に合成床用薄肉PCCa板を用いて躯体精度を高めていることである。



図-2 施工システム概念図

既存技術を用いた施工システムのサイクルを100とした場合、今回の開発、改善により、基準施工サイクル時間は67%に短縮される。(図-3参照)

- ① 既存技術による施工法
  - ② 梁・床、高圧ポンプ圧送
  - ③ 自昇式外部養生設備  
ハイフォームの採用
  - ④ 柱、高圧ポンプ圧送  
柱・梁床、ディストリビュータの採用
  - ⑤ 施工方法、積重方法の改善
- 凡例  
 : クライミングクレーンの拘束時間  
 : その他拘束時間

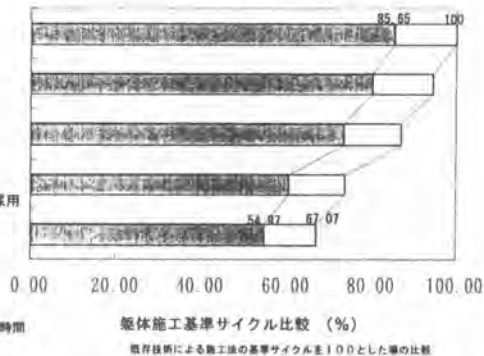


図-3 躯体施工基準サイクル比較図

## 5. 自昇式外部養生設備

型枠パネルや飛散落下防止養生設備のように軽く、かつ受圧面積の大きな資機材の揚重は、風の影響を受けやすく躯体外周部での作業は特に危険となる。従来外部養生設備は、クライミングクレーンにより盛り替えを行っていたが、クライミングクレーンに頼らず自昇可能な外部養生設備を採用することにより、安全かつ確実に迅速な盛り替えを可能にしている。自昇機能によりクライミングクレーンの揚重負荷が軽減できることも大きな効果である。建物外周約14.6mを高さ約1.6mで幅8mから1.3mの1.4枚

のパネルに分割し、1パネル当り2ないし3基のマイティクリーバ（小型特殊昇降装置、表-1、図-4参照）を組んだ構成で曲面に対応した形状となっている（写真-2参照）。パネルは鉄骨構造で、全面メッシュシートで覆い暴風時にも耐える設備としている。



写真-2 自昇式外部養生設備

自昇式外部養生設備の主な特徴は、以下のとおりである（図-5参照）。

- ① 同調精度の高い油圧駆動の昇降方式で、昇降高さを記憶し自動昇降する。
- ② 5階分の高さをカバーしているので本設手摺の設置等外部の施工を完了させて昇降可能。
- ③ コンパクトな昇降装置で、設置スペースが少なくなくて済むので、型枠、足場等に組み込み自昇機能を付加することができる。

表-1 マイティクリーバ主要諸元

|        |                        |
|--------|------------------------|
| 昇降方式   | ラチェット型油圧順次昇降方式         |
| 昇降能力   | 5 ton (max)            |
| 昇降速度   | 28 cm/min              |
| 油圧ユニット |                        |
| 最大圧力   | 210 kg/cm <sup>2</sup> |
| 出力     | 3.7 kw                 |
| 流量     | 2.4 l/min              |

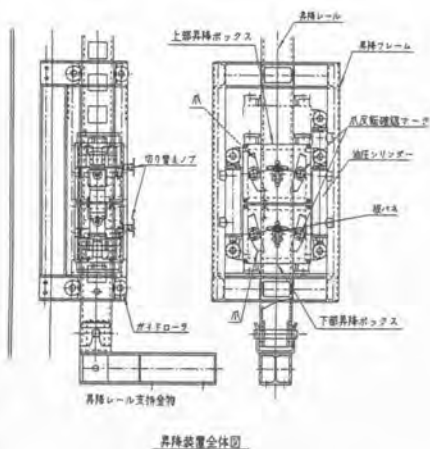


図-4 マイティクリーバ本体

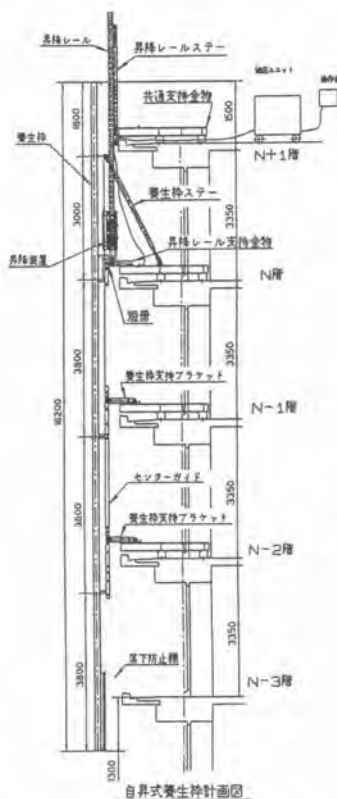


図-5 外部養生設備組立て図



## 6. 高強度コンクリート圧送システム

本工法の特徴である高強度コンクリートは、一般的にフレッシュ時の“粘り”が大きくコンクリートポンプの圧送負荷の増大や圧送による品質変化が懸念されるためバケット揚重案が一般的である。しかし、梁・床の施工性や施工速度を比較検討し、ポンプ圧送の利点を生かし、高圧定置式コンクリートポンプ及び自昇式ディストリビュータを採用している。このシステムにより梁・床コンクリートだけでなく柱コンクリートも含めポンプ圧送施工が可能になった。

当然、ポンプ圧送性の改善のため、高強度コンクリートのフレッシュ時の改善やコンクリート強度管理手法・圧送性評価手法の確立、コンクリートポンプの選定・無負荷試験、実大圧送実験による評価・確認を行っている（図-6、図-7参照）。

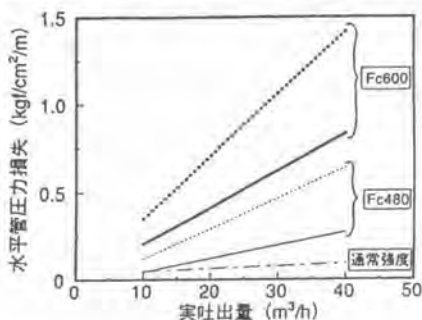


図-6 実吐出量と圧力損失の関係

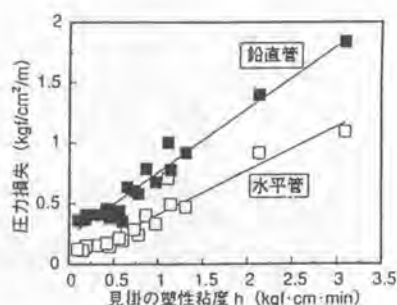


図-7 見掛けの塑性粘度と圧力損失の関係

現在国内で使用されているコンクリートポンプの理論吐出圧力は、80~100kgf/cm<sup>2</sup>程度であるが、設計基準強度  $F_c=600\text{kgf/cm}^2$  といった高強度コンクリートの圧力損失は、一般に通常のコンクリートの10倍以上になる。このようなコンクリートの圧送を可能にするためドイツツッツマイスター社の理論吐出圧力230kg/cm<sup>2</sup>級の超圧コンクリートポンプ（表-2、写真-3参照）及び自昇式ディストリビュータ（表-3、写真-4参照）を輸入し国内向けに一部仕様変更し使用している。

表-2 超圧コンクリートポンプ主要諸元

|          |                      |
|----------|----------------------|
| 圧送ポンプ    | ダブルピストンポンプ           |
| 理論最大吐出量  | 54 m <sup>3</sup> /h |
| 理論最大吐出圧力 | 230 bar              |
| ストローク長   | 2100 mm              |
| シリンダー切換  | S型揺動管                |
| 最大制御油圧   | 350 bar              |
| 駆動装置     | ディーゼルエンジン            |
| 出力       | 300 Kw               |

表-3 ディストリビュータ主要諸元

|        |                            |
|--------|----------------------------|
| 型式     | MXR28-4-DN125              |
| 最大作業半径 | 28 m (max)                 |
| マスト    | 12 m                       |
| クライミング | フロアーフレームを用いた<br>フロアークライミング |
| 操作     | リモートコントロール又は、<br>ラジオコントロール |



写真-3 高圧コンクリートポンプ



写真-4 自昇式ディストリビュータ

高強度コンクリート圧送システムの特徴は以下のとおりである。

- ① 高所、長距離圧送に適した高圧、高出力の大型コンクリートポンプで現場ニーズにより高圧タイプ、大容量タイプの選択が可能である。
- ② 長いシリンダーストロークとフリーフロー油圧システムにより振動・脈動を控えコンクリートの安定圧送が可能で運転時の騒音レベルも低い。また、シリンダー切換え時の異常圧力が発生しないため、械効率も良い。
- ③ 柱コンクリートや床コンクリート打設の効率向上と作業環境の改善に役立つ自昇式ディストリビュータで打設以外の作業時ワンタッチでブームの取り外しが可能である。
- ④ 高圧コンクリートポンプに適した耐圧を保證する安全で確実な高圧用配管とジョイントの採用。
- ⑤ 圧送時の安全確保と残コン処理作業を合理化した切換えバルブとストップバルブの採用。

高強度コンクリート圧送施工システムの検討の場合、材料、方法、施工機械、といった多面からの検討が必須であり同種の検討において圧送実験又は圧送性評価による確認が重要と思われる。

## 7. おわりに

R/C造超高層の施工は、鉄骨造とは異なり躯体施工階に仮設、資機材が集中するため、特に安全で作業しやすい環境を作り上げる必要がある。今回、計画段階の内容に絞り報告させて頂いたが、高圧コンクリートポンプははじめ導入機械は、現在順調に移動している。本報告では、紙面の都合もあり一部割愛させて頂いたため不十分な内容となったが、ご容赦願いたい。

## [参考文献]

- 1) 日本建築学会：大会学術講演要覧 高強度コンクリートのポンプ圧送実験 鹿島 技術研究所 坂本文敏 1994年9月

## 42. クライミングエレベータ “ルーパー” の開発

三井建設㈱： 早川 賢司・弘中 千行  
\*柴田 時男

### 1. はじめに

建築工事における資材搬送の効率化を目的としてクライミング式資材搬送エレベーターを開発した。この機械は主に従来、手作業でおこなっていた上層階へ転用材の揚重作業を行う装置で、在来施工法の中で既存施工機器と併用でき揚重作業を補助的に支援し資材搬送の効率化、苦渋作業の改善を目指し製作した。

'93.1 リフト仕様 の 1号機 を超高層住宅現場に導入改良を加え '94.6 エレベーター仕様 の 2号機 を超高層住宅現場の中間階専用機として導入した。

今回は開発のねらい、機械概要、現場導入等について報告する。

### 2. 開発のねらい

一般に超高層建物の施工では、駆体工事用の揚重設備としてタワークレーンをを用い内装材、設備工事用資材などの後工事用の揚重設備としてリフト系の機械が用いられている。

また最近増加している超高層RC、SRC構造の

建物の施工では型枠材、支保工などの転用材の上層階への揚重作業が増えている。

タワークレーンは、駆体工事のシステム化が進むなか、稼働率が100%近くに計画される程資材の揚重で占められている。一方、リフト系の機械は後工事用資材の揚重と転用材の揚重が重複する場合もあり、搬送作業の調整が難しく、全体工程に影響を与える場合も少なくない。

そこで、転用材のフロア間揚重に適する別系統の揚重設備を検討した。

別系統の揚重設備は中間階専用小規模エレベータとし必要な時期に、必要なフロアに移動できる機能が必要であり移動には他の揚重機を必要としない事とした。



写真-1 搬器

### 3. 機械概要

#### 3-1 機械の構成

- ① フレーム枠
- ② 搬器
- ③ ガイドローラ

の3部分で構成されている。(図-1参照)

フレーム枠、搬器には各々4台のロックシリンダーが装備されていて フレーム枠は、4階分の高さがあり搬器昇降用ラック式レールが両サイドに取り付けてある。

又、フレーム枠最上部に開閉式屋根を持ち、上部からの荷取りができる。

搬器には、昇降用の電動機及び減速装置が取り付けられてあり、機内床面上で運転操作を行う。

ガイドローラーは、あらかじめ建物本体の床、梁等へ取り付け 最下段のガイドローラにはフレーム枠の落下防止装置が設備されている。

#### 3-2 主な仕様

(表-1参照)

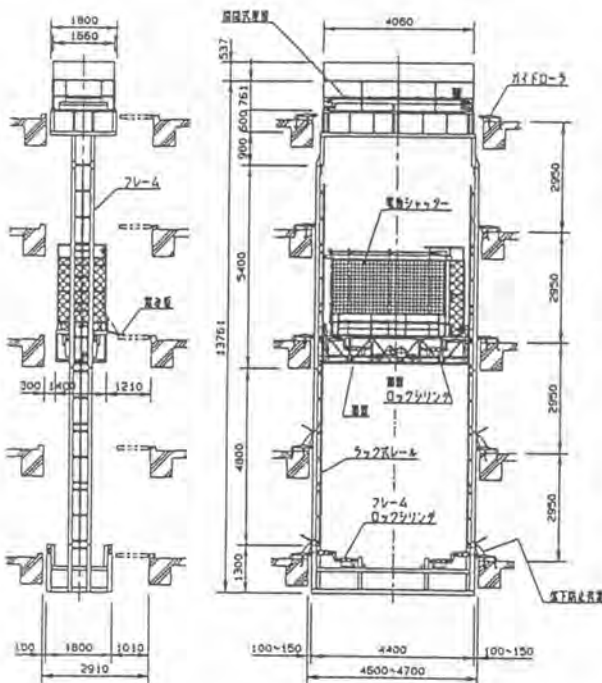


図-1 「ルーバー」全体図

|         |                       |
|---------|-----------------------|
| 保風荷重    | 700Kg                 |
| 昇降装置    | 1台                    |
| 速度      | 7m/min                |
| 電動機     | 3.7KW                 |
| ロックシリンダ | 8本(搬器4本、フレーム4本)       |
| 能力      | 100Kg                 |
| ストローク   | 300mm                 |
| 電動機     | 3.7KWx8               |
| 電動シャッター | 1台                    |
| 巻上速度    | 12.9m/min             |
| 電動機     | 0.4KW                 |
| 開閉式屋根   | 1台                    |
| 開閉時間    | 17sec                 |
| 電動機     | 0.4KW                 |
| 電源      | 200V/50Hz (220V/60Hz) |
| 運転方法    | 通常運転、クライミング運転切替       |
| 操作      | ケーzin内操作型(手動押し加)      |
| フレーム重量  | 2100Kg                |
| 搬器重量    | 1400Kg                |

表-1 「ルーバー」主な仕様

3-3 作動概要 (図-2 参照)

① 揚重作業時

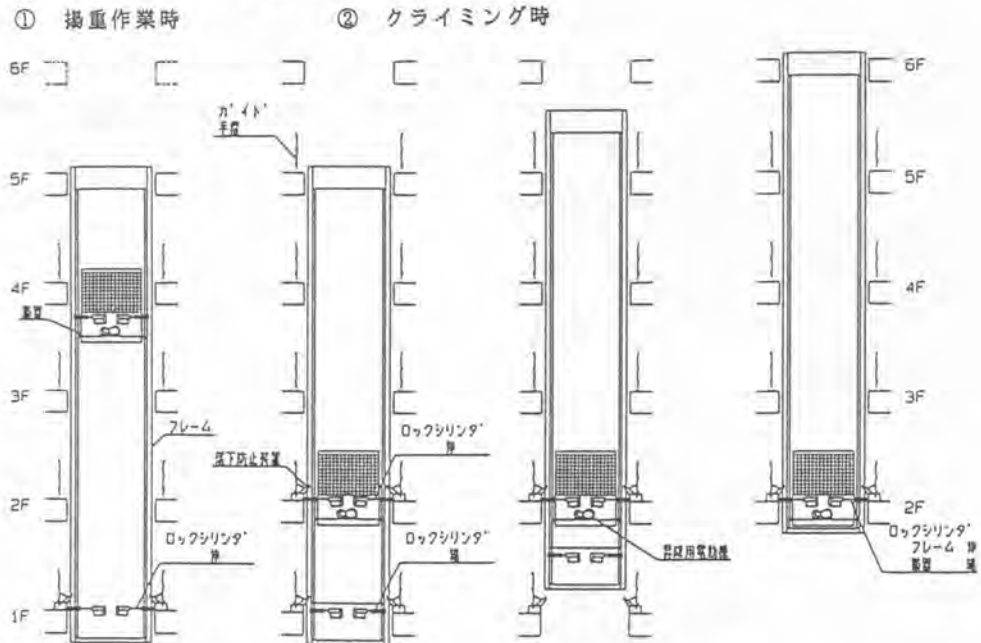
複数階にわたって設置されたフレーム内を搬器が昇降する。

(フレームのロックシリンダーが床または梁を支持)

② クライミング時

搬器のロックシリンダーで床または梁を支持させフレームを希望階まで昇降させる。

図-2 作動概要図



3-4 特長

本装置の特長として以下のことがあげられる。

- ① 構造はシンプルで搬器昇降用電動機をクライミング用動力として使用するため、別途クライミング用動力を必要としない。
- ② 操作は、簡単な押しボタン操作のため特殊技能者を必要としない。
- ③ 自己昇降式のため、工事の進行に合わせ他の揚重機を使う事なく短時間で昇降できる。
- ④ エレベーターシャフト等の建物内部空間を利用しての設置ができる。
- ⑤ 機械使用終了後、自己昇降機能で1階までの降下も可能。
- ⑥ フレーム上部は閉閉式屋根構造のため、タワークレーン等により直接、搬器に荷取りができる。

#### 4. 現場への導入

本装置は、リフト仕様の1号機製作後、改良を加えエレベータ仕様の2号機へ発展させた導入現場は以下の通りである。

##### ・1号機

工事名称： チッタナポリA棟新築工事  
工事場所： 愛知県知多郡南知多町  
工期： 1992.12 ～ 1993.5  
構造： S R C構造 地上34階 地下2階

##### ・2号機-1

工事名称： ハークアニュー神戸三田Ⅲ期工事  
工事場所： 兵庫県三田市  
工期： 1994.5 ～ 1994.11  
構造： R C構造 地上19階 地下2階

##### ・2号機-2

： 岡野町合同庁舎棟新築工事  
： 横浜市西区  
： 1994.12 ～ 1995.5  
： S R C構造 地上6階 地下2階

#### 5. おわりに

今までに、試作機である1号機、改良型の2号機の2台が開発され 超高層住宅2現場と中層事務所ビルに中間階専用エレベーターとして導入された。

現在、地下工事対応型の検討が進められていると共に、汎用性と経済性の改善を重点に改良を進めている。

本装置により作業の効率化が向上された事は確認されたが、あくまで現場搬送作業一部分の効率化である。

今後、作業全体の効率化をすすめるため、揚重、水平搬送、あるいは資材搬送管理を含めたハード、ソフトのトータルの搬送作業のシステム化、効率化を進める計画である。

# 43. 路線上空大規模ビルにおける トラベリング工法の計画と実施

(株)竹中工務店：\*小坂 則夫・落合 実

## 1. まえがき

小田急相模大野駅ビル建設工事は、1日12万人の乗降客のある駅をかかえた繁華街での工事であり営業線に近接あるいは直上の工事が多く、列車の運行及び乗降客の安全確保を最優先とした工事が特色となっている。

また、駅の小田原側は、小田原線と江ノ島線の分岐点で、線路が交差するため線路上に柱を建てることのできないので、線路の両端に建設する南北の棟をメガトラスで掛け渡す構造としている。このメガトラス部分の施工方法として、列車運行に影響を与えないトラベリング工法を採用した。

## 2. 工事概要

建築主 小田急電鉄株式会社  
 設計 竹中・小田急共同設計室  
 施工 竹中・鹿島・小田急共同企業体  
 用途 駅・店舗・ホテル  
 建築面積 15,451㎡  
 延床面積 87,541㎡  
 階数 地下4階 地上14階  
 構造 SRC・RC・S造  
 工期 1992.8.19～1996.10.31



写真-1 トラベリング全景

## 3. 施工計画

### 3.1 トラベリング工事概要

駅ビルの中で、線路上に柱の設置が可能な範囲を3階床まで先行して施工し、トラベリングの作業ヤードとした。

作業ヤードで、大型クレーンによりトラス1ブロック(3階～5階の3フロアー分、径間46.83m、スパン12.5m)の架構を組立てた後、線路が交差し在来工法により施工が困難な区域にトラベリングを行い、順次ブロックを連結し、全体で5ブロックを架設する。

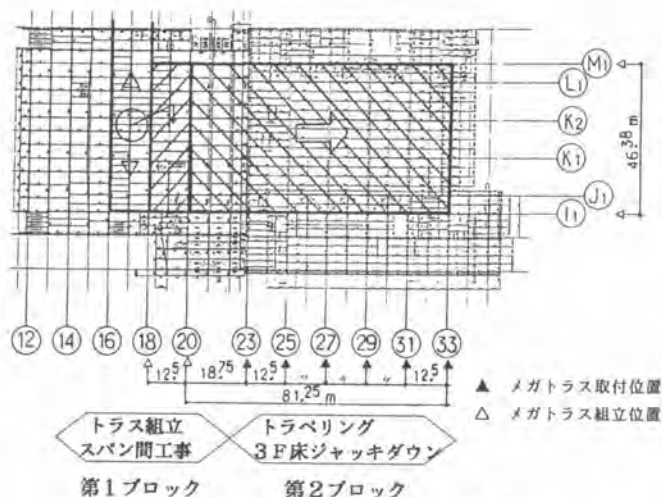


図-1 トラベリング範囲(平面)

・トラベリング規模

|             |         |
|-------------|---------|
| トラス径間       | 46.83m  |
| トラベリング回数    | 7回      |
| 総移動量        | 81.25m  |
| トラス重量(1スパン) | 271ton  |
| 総重量         | 2900ton |

3.1.1 トラベリング装置

トラベリング装置の概要を図-4に示す。

組み立てたトラスのブロックをトラベリングする牽引装置は、トラス支承部を引く牽引ジャッキとレールを掴む反力装置及び油圧制御・操作部で構成される。

滑りシューとして、200tonスライドジャッキを各トラス支承部に2台ずつセットし、レールには、トラス支承部が定着する南北ビル4階の梁を使用する。

滑りシューとレール間の摩擦係数とトラベリング総重量から牽引ジャッキの能力・台数を設定する。

$$\text{摩擦抵抗} = 2900 \times 0.06 = 174(t)$$

$$\text{牽引荷重} = 174 \times 1.3 = 226(t)$$

↓  
70tonジャッキ 4台使用

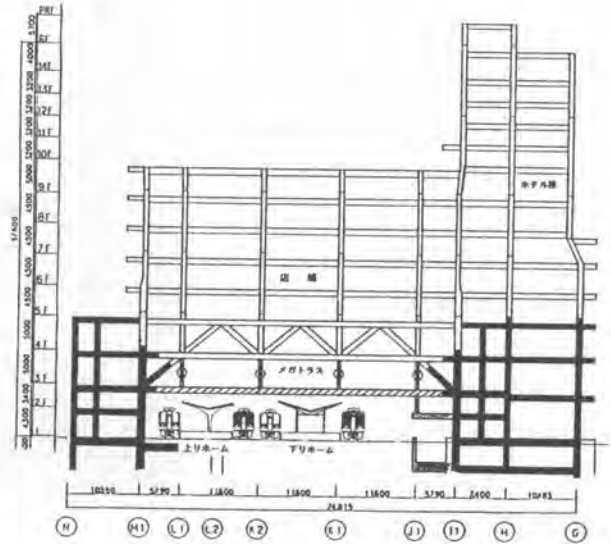


図-2 トラベリング範囲(立面)

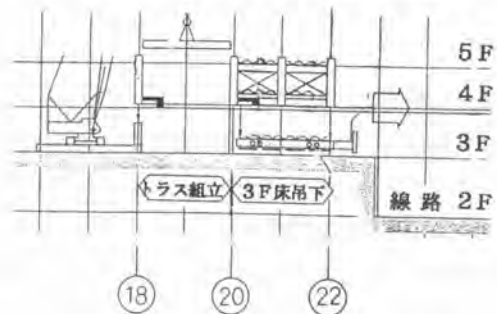


図-3 トラベリング作業ヤード

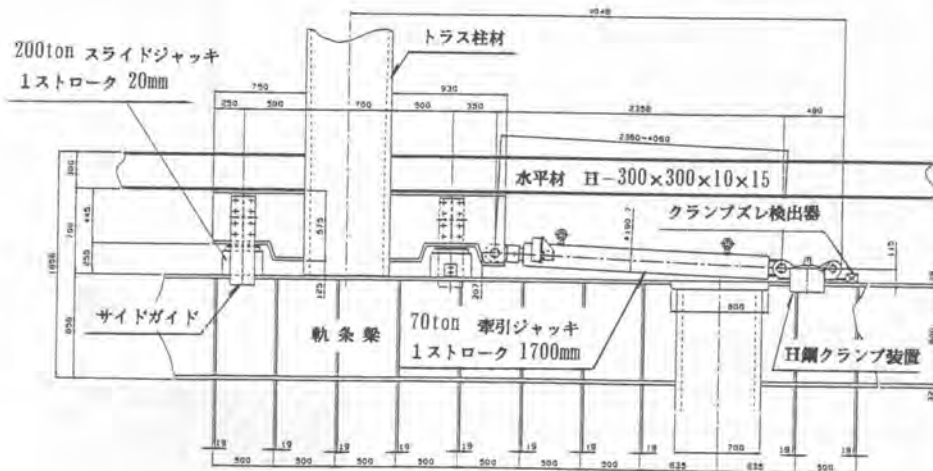


図-4 トラベリング装置



### 3.1.2 トラベリング計測管理

トラベリング時には、トラス本体・レール材の変形、移動量の相対変位等が発生するので、その状況を常時監視し、安全に施工する必要がある。

そこで、表-1に示す管理項目についてトラベリング時に計測及び監視を実施し、許容値以内での作業を行うこととした。

計測管理項目の中で、支承部鉛直荷重以外については計測結果を司令室内のCRT画面に表示し、各装置の作動状況を確認するとともに、装置の制御指示を行う。

### 3.2 ジャッキダウン工事概要

3階床については、作業ヤードで所定の高さに組立てできないため、20-22通間で仮吊りし、23-25通間で所定のレベルまでジャッキダウンを行う。対象スパンはトラベリングと同様に23-33通間の5スパンで、12.5mトラベリング完了後、1スパン毎にジャッキダウンし、スパン間の梁を接合する。

#### 3.2.1 ジャッキダウン装置

ジャッキダウンは、4階本設梁上に取り付けられた50tonセンターホール型油圧ジャッキから吊り下げた3階床梁を、ジャッキストロークの伸縮と吊り材（ゲビンデスターブ）の反力ナットの盛替えによって、降下作業を行うものである。

#### ・ジャッキダウン規模

|       |            |
|-------|------------|
| ダウン回数 | 5回         |
| ダウン重量 | 127~280ton |
| ダウン量  | 2005mm     |
| 1サイクル | 125mm      |

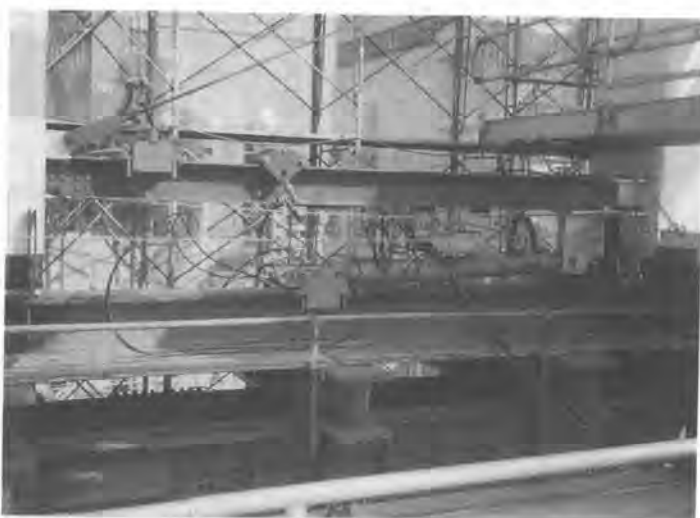


写真-2 トラベリング装置

表-1 トラベリング時の管理項目

| 管理項目       | 管理値    | 計測項目        | 計測方法   |
|------------|--------|-------------|--------|
| トラス左右の移動量差 | 20mm以内 | 牽引ジャッキストローク | ストローク計 |
| トラス前後の移動量差 | 10mm以内 | 牽引ジャッキストローク | ストローク計 |
| 支承部鉛直荷重    | 1.3倍以内 | スライドジャッキ荷重  | 圧力計    |
| 反力装置のズレ    | 1mm以内  | クランプ装置のズレ   | 変位計    |
| 牽引荷重       | 1.5倍以内 | 牽引ジャッキ荷重    | 圧力計    |

注) 支承部鉛直荷重・牽引荷重の管理値は計算値との比率

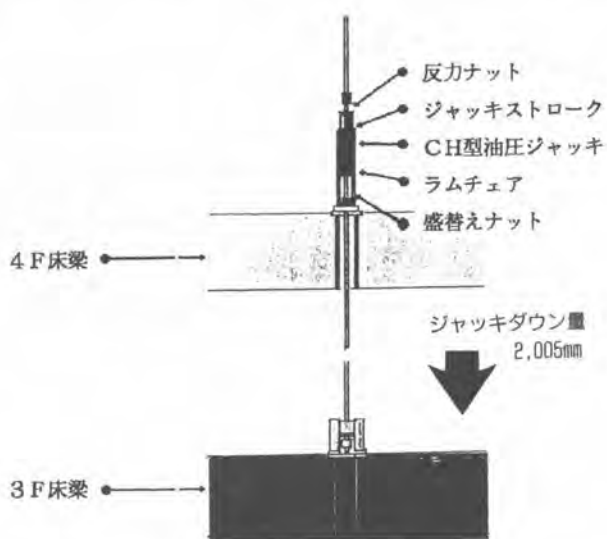


図-5 ジャッキダウン装置

### 3.2.2 ジャッキダウン計測管理

表-2にジャッキダウン時の計測管理項目を示す。今回は変位同調装置により各吊り点（8点）の降下量を均等にする制御方式を採用しているが、各吊り点の荷重は大きく異なるため、司令室のCRTにジャッキ荷重を表示し荷重管理を行う。また、降下量（ダウン量）については、ゲビンデナットの盛り替え時に各吊り点での降下量誤差が発生することから、仮定着までの通算降下量を計測するデジタルコンベックスを使用し、司令室内の専用表示盤にレベル差を表示して、レベル管理を行う。

表-2 ジャッキダウン時の管理項目

| 管理項目 | 管理値     | 計測項目     | 計測方法       |        |
|------|---------|----------|------------|--------|
| 荷重   | 吊り点の総荷重 | 計算荷重×1.5 | ジャッキ荷重     | ストローク計 |
|      | 各吊り点荷重  | 計算荷重×1.2 | ジャッキ荷重     | ストローク計 |
| 降下量  | 1ストローク  | ±10mm以内  | デジタルコンベックス | 距離計    |
|      | 通算の降下量  | ±20mm以内  | デジタルコンベックス | 距離計    |
|      | 仮定着レベル  | ±5mm以内   | デジタルコンベックス | 距離計    |
|      | ナット盛替   | ±5mm以内   | ジャッキストローク  | 専用治具   |

## 4. 実施結果

### 4.1 トラベリング工事

計測管理については、トラベリング作業中に牽引ジャッキのストローク制御による移動量偏差修正及び、スライドジャッキの圧力調整を実施した結果、全ての管理項目について許容値以内での施工を行うことができた。また、摩擦抵抗の実測値は0.06以下であり、ほぼ計画通りの値となっていた。

トラベリングの所要時間は、1ストローク当たり平均31分（サイドガイドの盛替等を含む）、1スパン12.5mの移動には、約3～5時間を要した。

表-3 トラベリング所要時間 (単位：分)

| トラベリング回数   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 平均    |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| トラベリング所要時間 | 185 | 167 | 234 | 285 | 266 | 294 | 175 | 160.5 |
| ストローク回数    | 8   | 8   | 8   | 8   | 8   | 8   | 4   | 5.2   |
| 1サイクル平均時間  | 23  | 21  | 29  | 36  | 33  | 37  | 44  | 31    |

### 4.2 ジャッキダウン工事

ナット盛替作業に起因するレベル差の発生は見られず、ジャッキ荷重とともに、全て許容値以内で作を行うことができた。また、ジャッキダウン所要時間は、1サイクル（125mm降下）が18分、2005mm降下時間は、約4時間であった。

## 5. あとがき

トラベリング・ジャッキダウンとも、計測管理を確実に実施し、全て許容値以内での施工を行うことができた。また、計測管理と同時に、各作業についての事前打合せ、指示・確認、落下防止対策等を徹底して励行することにより、線路上での作業を安全かつ確実に完了することができた。今後、道路上など同種の工事に水平展開を図ると共に、更なる改善を図って行きたい。

最後に、この工法の計画と実施に際して、ご指導いただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

## 44. ALCパネル施工機“カルカッタ”の開発

コマツ：\*大野 茂雄・渡辺健太郎  
旭化成建材(株)：笠 高

### 1. はじめに

近年、建築物は、より大きくなり、「ビル」の上には、タワークレーンが設置され、より大きな「ビル」のユニットを揚重し、施工している。施工も、現場での「技能」、「負担」等を極力軽減するため、様々な工夫がなされている。通常そのような建築物は、十分な計画期間があり、工期も長いため、施工に対してあらゆる検討がなされる。必要とあらば、その施工のためだけに新しい「工法」や、「施工機」を、考案し導入することもある。多くの「建設ロボット」のターゲットはここにあったのではなからうか。今回紹介する開発機「カルカッタ」：（旭化成建材、コマツの共同研究開発による）は、建築物のターゲットを大幅にスケールダウンした。

### 2. 「カルカッタ」による施工対象建築物

小建築物（個人住宅～2、3階建て事務所ビル）：5×10m程度のフロア面積

- (1) 小ユニットの揚重、施工
- (2) 現場での「技能」、「負担」等が大
- (3) 計画期間、工期が短（工事用エレベータ等なし）：min 5日
- (4) 電源：AC 100V
- (5) 在来の「工法」：電動ウインチ等を使用

「建設ロボット」が活躍するには、きびしい条件のみが立ちはだかる現場である。しかし、現実には「物件数」がコンスタントにあるのは小建築物である。



小建築物例



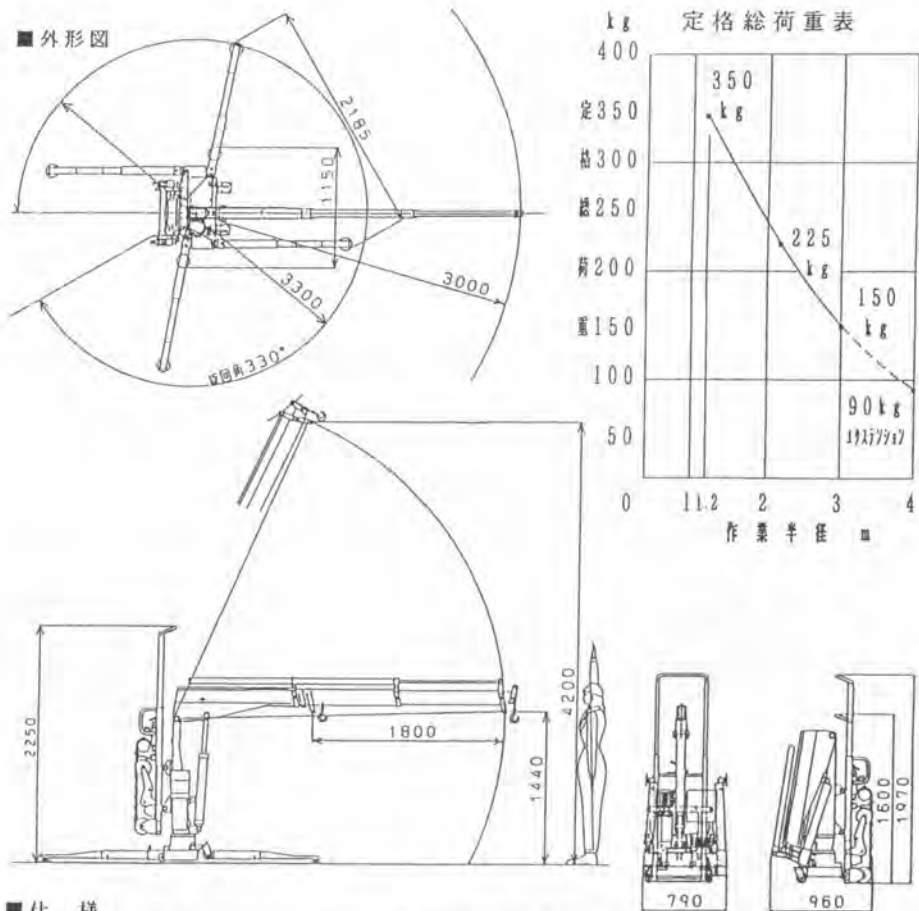
現状現場施工例

### 3. 「カルカタ」による施工対象作業

A L Cパネル（軽量気泡コンクリート）施工

〔主要作業〕 ・フロア内に置かれたパネル山から、1枚ずつパネルをつり上げ所定の位置にすえつける。（外壁、間仕切り等）

### 4. 「カルカタ」の主仕様



### ■仕様

|              |          |            |                   |             |          |
|--------------|----------|------------|-------------------|-------------|----------|
| 運転整備重量       | 5 2 0 kg | 動力源        | A C 1 0 0 V ブーム装置 |             |          |
| 定格荷重（半径 3 M） | 1 5 0 kg |            | D C 2 4 V クローラ装置  |             |          |
| 作業範囲         | 最大作業高さ   | 4 2 0 0 mm | 操作方式              | ワイヤレスリモコン   |          |
|              | 最低作業高さ   | 0 mm       | 安全装置              | 荷重警報装置      |          |
|              | 最大作業半径   | 3 0 0 0 mm | 分割方式              | ピン止め 2 分割式  |          |
|              | 最小作業半径   | 1 2 0 0 mm | 分割重量              | ブーム装置       | 3 0 0 kg |
|              | 旋回角度     | 3 3 0 度    |                   | クローラ装置      | 1 5 0 kg |
| 寸法           | 全長       | 9 6 0 mm   | アウトリガ             | 7 0 kg      |          |
|              | 全幅       | 7 9 0 mm   | 付属部品              | エクステンションアーム |          |
|              | 全高       | 1 9 7 0 mm |                   | バッテリーチャージャー |          |

## 5. 「重心移動機構」

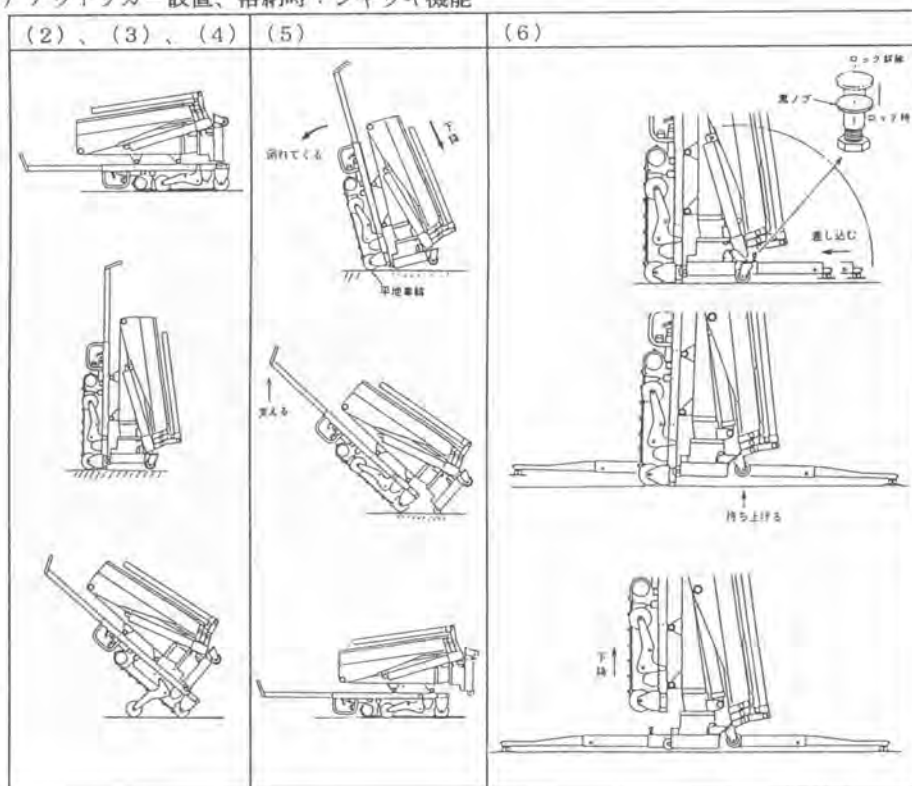
「カルカッタ」の大きな特長は、マシンの姿勢を「重心移動機構」：（ブーム装置背部に取り付けられたクローラ装置のスライド機構）により変えることができる事である。この「重心移動機構」を用いると、わずかな力で「走行姿勢」から「施工姿勢」に、又、逆にも姿勢を変えることができる。（下表内、(5) 参照）：容易にマシンをねかしたり、おこしたりできる。

### 【効果】

- (1) マシンサイズがコンパクト（790×960×1600 mm）→ [4. 項外形図参照]
- (2) 移動機能を複数（下表参照）もつので、凹凸、階段、ワンボックスカーへの昇降～フラットな床まで移動機構を選択できる。

「重心移動機構」を持ったクローラ装置の複数機能について、下記にまとめる。

- (1) 施工時：カウンターウエイト（150 kg）機能→ [4. 項マシン側面図参照]
- (2) 移動時A：クローラ移動機能（マシン姿勢、水平）→凹凸、階段、ワンボックスカーへの昇降等が可能
- (3) 移動時B：キャスタ移動機能（マシン姿勢、垂直）→フラットな床の短距離移動に適す
- (4) 移動時C：補助車輪移動機能（マシン姿勢、斜め）→フラットな床の長距離移動に適す
- (5) 姿勢変更時：重心移動機能（容易にマシンねかしたり、おこしたりできる）
- (6) アウトリガー設置、格納時：ジャッキ機能



## 6. コンパクトなアーム機構

上記を実現するために、アーム形状をクレーン式とした。下記に当初検討していた平行リンク式との比較を示す。

| NO | 項目      | A：新クレーン式   | B：旧平行リンク式  | A/B    |
|----|---------|------------|------------|--------|
| 1  | 格納姿勢：高さ | 1 4 0 0 mm | 2 1 6 0 mm | 0. 6 5 |
| 2  | 格納姿勢：長さ | 7 0 0 mm   | 1 0 5 0 mm | 0. 6 6 |
| 3  | 最大リーチ   | 3 0 0 0 mm | 2 4 4 2 mm | 1. 2 3 |
| 4  | 前後ストローク | 1 8 0 0 mm | 1 1 0 7 mm | 1. 6 2 |
| 5  | アーム重量   | 1 9 0 kg   | 2 3 0 kg   | 0. 8 3 |

上記表より、A新クレーン式は（現状アーム形状）、B旧平行リンク式と比較して、全項目において、優れている。

- (1) 格納姿勢がコンパクト：NO1, NO2より
- (2) 作業範囲が大：NO3, NO4より
- (3) 重量が小：NO5より

## 7. ユーザテスト（約6カ月）結果：マシン使用に関して明確になった事

現場には現場の考え方というものがある。設計側が、無理にこれが良いといったところで、なかなか受け入れられないことが多い。今回の「カルカット」の開発を通じて机上検討時とは異なった使用例を下表に示す。

| NO | 机上検討時予測                                     | 現状                                       |
|----|---|--|
| 1  | 自前のワンボックスカーには道具がいっぱい<br>で、職人はマシンを車で運搬しない    | 道具を現場におろし、マシンスペースを確保<br>し、左記をする          |
| 2  | 建材は重いので、上から平取り可なATT<br>が必要                  | 建材を少し持ち上げるのは軽作業。ATTよ<br>りスリングが良い         |
| 3  | マシンを分割して、ウインチにて、フロアの<br>外を使い階の上げ下げはしない      | 外壁施工と同様なので、容易に左記をする。<br>300kg分割でも、問題なかった |
| 4  | エクステンションアーム（+1mリーチ）は<br>先端荷重が90kgと小なので使用しない | 使用する。リーチは特に重要で、エクステ<br>ンションアームは、必需品      |

## 8. 現状（H7-8）

- (1) 導入県：福岡、広島、島根、香川、大阪、奈良、和歌山、福井、愛知、岐阜、長野、神奈川、  
千葉、東京、北海道
- (2) 販売台数：60台（H7-1, 販売開始）
- ・・・当初の目的であった、小建築物（10、項 施工現場写真参照）にて施工実績をつみ、把握し

ている範囲で最高のアワメータは現在、480h（約6ヶ月）である。

## 9. 効果

- (1) 省力：施工が非常に楽
- (2) 省人：3人→2人
- (3) 施工速度：現状工法と同一か、はやい

## 10. 施工現場写真



小物件施工：4×10m



最大リーチ：4m



ワンボックスカーへの昇降  
(現場間移動  
：ワンボックスカー使用)



階段昇降  
：クローラ駆動



フロア移動  
：キャスタ、手押し



格納姿勢



分割状態  
：クレーン部、  
階段昇降台車部



分割後のウインチによる  
階間移動



分割後のウインチによる  
階間移動

### 11. おわりに

新しいものが、現場で受け入れられるか否かは、職人が「もって帰ってくれ」というか、「おいていってくれ」というかで決まる。単純明快だ。

親方が、「4Fまで使っていいかな」と言ってくれたときは、担当者一同、本当にうれしかった。

「カルカッタ」の開発、市場導入、製作等で協力していただいたみなさまに、この場をかりて、厚くお礼申し上げます。・・・・・・「カルカッタ：KALCATT」とは、軽い、とALCの造語です。



# 45. エンジン式大型高速工事用エレベータの開発

清水建設(株)：\*箕輪 晴康・川崎 節夫  
岡野 正

## 1. はじめに

超高層ビル建設工事において、建設資材や設備工事の資機材の揚重や大量の作業員の輸送をいかに効率よく行なうかということは常に頭を悩ますところであり、その主たる揚重機械である工事用エレベータは、近年大型化・高速化の要求が高まってきているといえる。

しかしながら従来の電動式工事用エレベータにおいては、モーター大型化によるコスト増・大容量の仮設電源設備の確保・電源用キャブタイヤケーブルの始末等の問題があり、大型化・高速化に対する取り組みに積極さが見られない。

一方、エンジン式工事用エレベータは今までもあったが、山間部の鉄塔等の保守点検用の小型のものしかないのが現状であった。

今回、現状を打開し要求を満たした、ディーゼル、エンジン搭載型の大型で高速の工事用エレベータを海外のメーカーと共同で開発し、実用化に成功したのでここに紹介する。

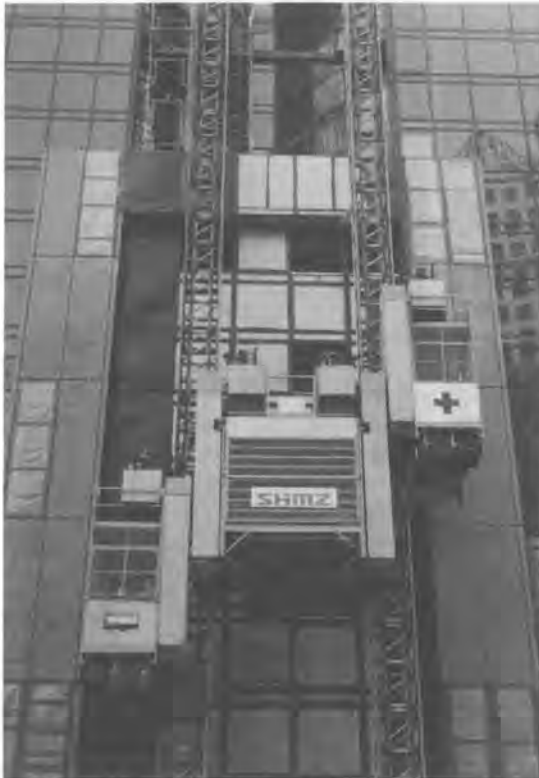


写真-1 エレベータ全景

## 2. 開発の背景

シンガポールの金融、ビジネスの中心街に位置するリパブリックプラザ建設工事は、地下1階、地上66階(280M)の超高層ビルで、大型プロジェクトにもかかわらず工期が2年5ヵ月と短いため、資材や作業員などを大量に高速で輸送できる工事用エレベータが必要であった。

特に設備工事用資機材の形状・寸法から、オーストリアのエレベータメーカー、ウォルコ社の製品で積載能力4tを持つスカイシャトルが最適との判断で、採用に向け詳細の検討に入ったが、駆動用電動機の容量が大きすぎ(2t+4t+2tで528kW)当時のシンガポールの電力事情から断念せざるを得なかった。

しかし4tの搬器容量は、どうしても必要との現場からの強い要望があり、海外本部機械グループと本社機械関連部門とでディーゼルエンジン駆動方式の可能性を検討し、ウォルコ社とともに開発することにした。

開発に当たっては、当社が性能・機能・安全性などの基本仕様と設計を、ウォルコ社が詳細設計と製作を担当し、両者がメーカーの工場での実証実験を通じて実用化したものである。（写真-2、写真-3参照）



写真-2 4 tエレベータ荷重試験状況  
（右側は調整中の2 tエレベータ）



写真-3 Walco Elevators Pty Ltd. 工場試験塔

### 3. 工事中エレベータの特長

本機は、エンジン・油圧駆動方式の大型工事中エレベータで具体的には、ケージに搭載されたディーゼルエンジンで油圧ポンプを駆動し、油圧ポンプでピニオンを回転させ、マストのラックに噛み合わせてケージを昇降させるものである。

軽量化を図るため高性能ディーゼルエンジンを選定し、ターボチャージャを装備してさらに出力を高め電動式工事中エレベータと同等の性能を発揮できるようにしている。また、エンジン・油圧機器類は、強制換気装置を備えた密閉型とし騒音・振動・排気ガス・油漏れ等の防止をはかっている。

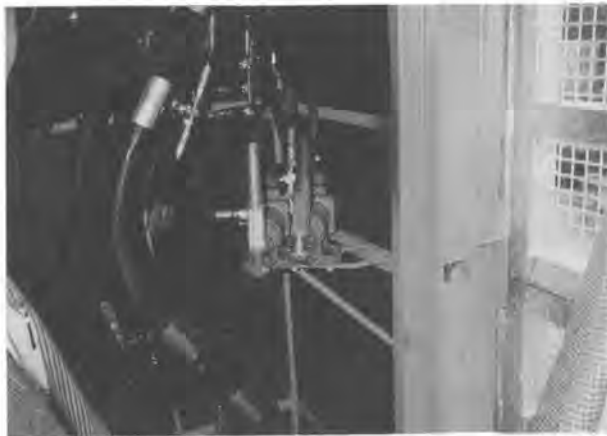
（写真-4参照）

さらに、燃料を搭載することで火災に備えた自動消火装置、エンジンストップ時の手動降下装置（写真-5参照）を装備するとともに、2連式次第効きガバナ（落下防止装置）を新たに開発・採用し、安全性の確保には十分配慮している。

（写真-6参照）



写真-4 駆動用エンジン部（2 tエレベータ）



写真一五 手動降下装置操作レバー



写真一六 2連式ガバナ(落下防止装置)

表一 エンジン式エレベータの仕様

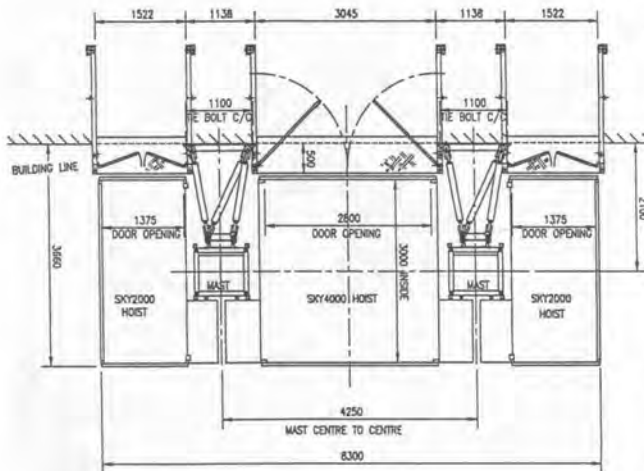
|         | 2000型  | 4000型                     |
|---------|--|---------------------------|
| 積 載 荷 重 | 2000kg (29名)   | 4000kg (58名)              |
| 昇 降 速 度 | 0~9.0m/min   | 0~9.0m/min                |
| エンジン出力  | 152PS×1台<br>(ターボチャージャー搭載)  | 152PS×2台<br>(ターボチャージャー搭載) |
| ケージ寸法   | 幅1.4m×奥行3.0m<br>(4.2㎡)   | 幅2.8m×奥行3.0m<br>(8.4㎡)    |
| 操 作 方 法 | ケージ内レバー式   | ケージ内レバー式                  |
| 安 全 装 置 | 2連式次第効きガバナ、ファイナルLS、ドアLS、<br>上下限減速LS、エンジン停止LS、非常停止S、<br>パッファ、ドアメカニカルロック、<br>手動降下装置、自動消化装置、他 |                           |

装置の主要機器装置は、積載荷重4tのケージ1台、積載荷重2tのケージ2台、および各ケージの昇降用ガイドレールの役割をするマスト2本からなり、駆動用エンジンは、各ケージ上部に搭載されている。4t用のケージは、2本のマストの間に設置され、2t用のケージはマストの両外側に1台ずつ設置されて昇降する。各ケージは、それぞれ独立して運転できる。(表一、図一参照)

特長およびメリットをまとめると、以下のとおりである。

① エンジン搭載型として初めて、1台のケージで最大積載荷重4tの大量資材、あるいは人数にして58人もの作業員を、毎分9.0mの高速で一度に輸送することが可能になった。

② ケージにエンジンを搭載しているので、大容量の仮設電源設備や電源用ケーブルが不要である。このため、自重や風によるケーブルの切断・トラブルでの運転停止の心配がないうえ、建物の高さによる制約もなく設置できる。



図一 ウォルコ・エレベータ SKY2000/4000/2000 平面図

- ③ 電源用ケーブルの引伸ばし作業がないため、エレベータのクライミングは必要数のマストを追加してつなぎ合わせるだけでよい。
- ④ 装置を構成する部材や部品などの統一化を図ったことで、コスト低減と共にメンテナンスが容易になった。

#### 4. 設置・使用状況

当作業所においては、1993年12月より順次設置を始め、1994年2月から3台が本格的に稼動し、1995年3月に解体する迄大きなトラブルもなく、多量の資機材や作業員の効率的な輸送に多大な成果をあげた。

また、3台それぞれのサービス階および主用途は下記のように定めて運用した。(図-2参照)

- 2000B: 低中層階—作業員・道具運搬
- 2000A: 中高層階—作業員・道具運搬
- 4000 : 中高層階—作業員・道具運搬 (朝昼夕)  
—資機材・荷物運搬 (平常時)

4tエレベータは、朝昼夕の混雑時には大量の作業員を短時間で輸送してから資材の揚重作業を行う、というように時間を区切って使用し非常に有効であった。(写真-7)



写真-7 4tエレベータ作業員輸送状況

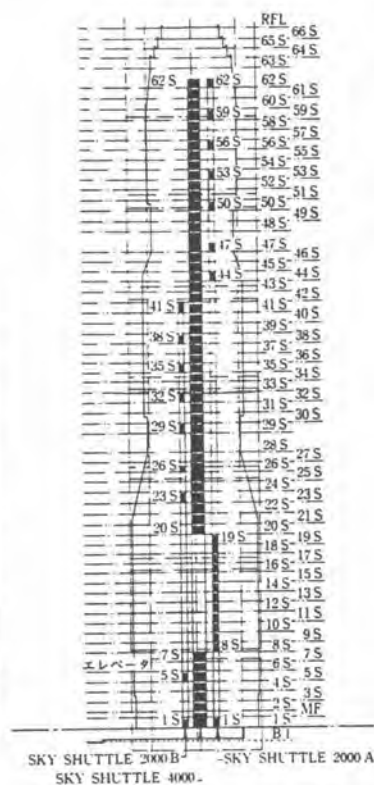


図-2 エレベータごとの停止階

#### 5. おわりに

開発の可能性について検討を始めたころは、安全性・信頼性を本当に確保できるものかと心配もしたが結果的にはほぼ予定どおりのものができ、現場で多いに活躍した。また、ラック&ピニオン式だが、昇降時のショックやガタツキは全くなく、乗心地のよいエレベータと作業員にも評判が良かった。

今後は、本エレベータの国内工事への導入も検討してゆきたい。

# 46. 鉄骨建方システムの開発

㈱熊谷組：\*高田 秀行・時岡 誠剛  
渡辺 英彦

## 1. はじめに

近年、鉄骨建方工事において、作業の平準化や高所作業の低減による安全性向上のために、積層型の工法が多く建築工事に採用され、実績を重ねている。しかしながら、積層型鉄骨建方工法は、前述の利点がある反面、鉄骨建方に高精度施工が求められていることやその精度管理を厳正、的確に行わなければならないなどの緻密さが要求される工法でもある。

このような状況を踏まえ、鉄骨柱の建入れ及び建ち調整を簡単、合理的に行えるようにすることを目的として、鉄骨建方治具を開発した。また、この建方の施工精度の向上を支援する計測システムも開発し、普及・展開を行っている。さらに、建方精度をリアルタイムに計測・表示・グラフ出力できる管理システムを開発した。

本報告では、鉄骨建方治具と計測・管理システムの構成及び概要について説明し、当社施工の建築工事現場への適用例を紹介する。

## 2. 全体システムの概要

本システムは、鉄骨工事における計測・管理システムと鉄骨建方治具、の大きく2つから構成される。

このうち、新鉄骨建方治具は、柱の建入れ及び建ち調整を簡単・合理的に実施することが可能なもので、柱建入れ直し用治具と呼称している。

計測・管理システムは、基本的に常に基準階の基準墨からポイントを立ち上げて施工階での基準点を定め、そこから展開した点を利用して、各節の柱の建方時の鉛直計測などを行うもので、躯体（柱の鉛直性）を高精度に施工できるシステムである。

この計測・管理システムは、鉛直レーザと受光装置を組み合わせた基準墨立ち上げシステム、墨出し用位置決め装置を使って既知点から任意の座標の位置決めができる基準墨水平展開システム、及び、C C Dカメラを組み込んだ鉛直器で柱の建ちを見る柱建ち精度計測システム、建方前の躯体精度を把握するための躯体精度計測管理システムなどから構成されている（図-1）。

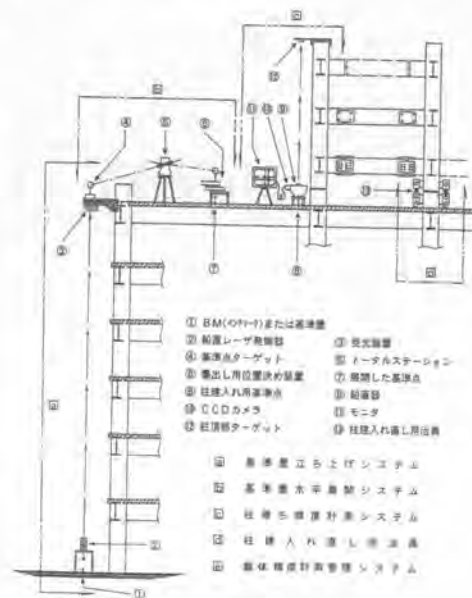


図-1 全体システム概要図

### 3. 開発システムの特長

本システムは、鉄骨建方において、建方方法や計測・管理までをトータル的にシステム化したもので、以下の特長を有している。

- ①基準階の基準墨を上方（施工階）へ盛り替える際の誤差がほとんどない。
- ②施工階での基準墨の展開（追い出し）を短時間、かつ高精度に行うことができる。
- ③新しい節の柱の建方方針を立てるために必要な、その施工階の柱位置誤差測定を短時間、かつ高精度に行うことができる。
- ④少人数で簡単に建ち精度計測と建ち精度調整が行える（測量工2名によるトランシットを用いた柱の建ち精度計測よりも誤差が少ない）。
- ⑤建て込んだ柱（鉄骨）の歪直しを行う場合、従来のワイヤを用いる方法に比べて、使用する仮設資材及び高所作業が大幅に減少し、作業能率、精度が著しく向上する。

### 4. 構成システム

#### 4.1 基準墨立ち上げシステム

このシステムは、基準階の基準点を上方階まで直接レーザ光を鉛直照射して、この点を上方階の基準点とするものである。

この方式は、地上の基準階に設置した鉛直レーザ発振器から照射されたレーザ光を受光装置に当てて、これを画像処理して位置検出し、それらの位置データから重心を求める。求められた位置を受光装置の上面に表示して、その点を移動後の基準座標とするものであり、累積誤差が発生せず、簡単に精度の高い基準点盛り替えを可能とするシステムとなっている（図-2）。

#### 4.2 基準墨水平展開システム

このシステムは、トータルステーションと新開発の墨出し用位置決め装置を組み合わせ、座標既知の基準ターゲット2点より、任意の点の位置決めが高精度にできるシステムで、施工階での墨の展開が正確かつ迅速に行うことが可能である。

求めたい点の位置決めの方法は、既知点上の基準ターゲット2点をトータルステーションで視準し、その距離、角度等のデータをコントローラに取り込み、そこからおおよその目標位置に置かれた位置決

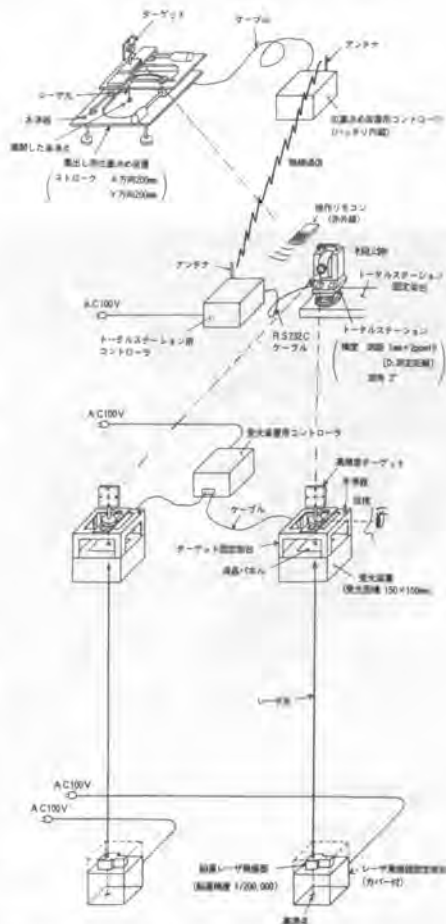


図-2 基準墨立ち上げ・水平展開システム概要図

め装置のターゲットを視準（2点）することにより、その点の位置決めを自動的に行う（写真-3）。

さらに汎用性や普及を考慮して、このほかに小型・軽量で手動型の墨出し用位置決め装置を開発し、数現場に導入した。

この装置は自動型装

置と異なり駆動装置や動力を必要とせず、安価でシンプルな構造であり、現場に導入しやすい装置と言える（写真-4）。

操作方法は、自動型装置と同様、本体をおおよその目標位置に設置し、作業者が計測者とトランシーバ等の無線を通じて装置内の座標の指示を受け、それによって装置を操作し、位置決めを行うものである。



写真-1 鉛直レーザー発振器

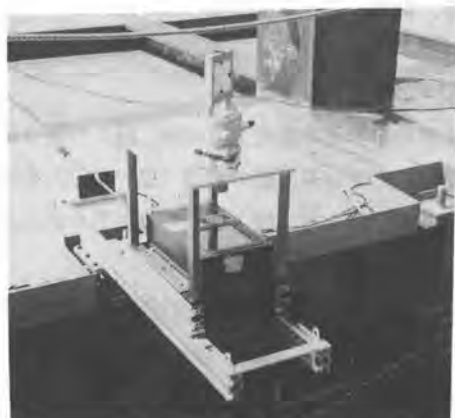


写真-2 受光装置

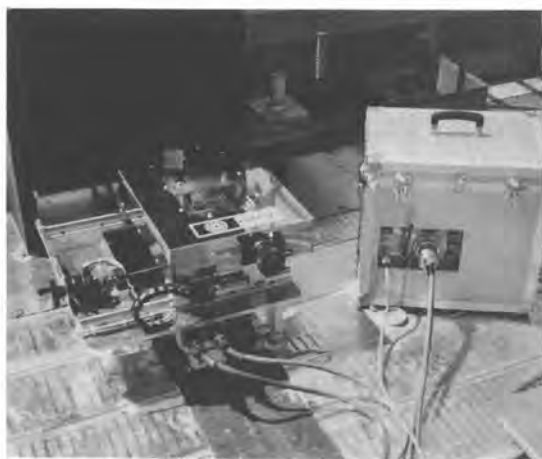


写真-3 自動型墨出し用位置決め装置



写真-4 手動型墨出し用位置決め装置

#### 4.3 柱建ち精度計測システム

このシステムは、予め柱頂部に取り付けたターゲット板と床上の基準点上に設置したCCDカメラ付き鉛直器を利用して、鉄骨建方作業時の柱の鉛直計測を行うものである（図-3）。

柱頂部ターゲットと鉛直器内の鉛直線との位置関係を鉛直器に取り付けた超小型CCDカメラを通してモニター確認できるので、柱建入れ直しているすぐ近くで鉛直誤差計測が可能である。

従来の測量工が2名必要なトランシットを用いる方法と異なり、鉛直計測が一人のできるため、計測

作業の簡素化・省力化が実現できるシステムと言える。

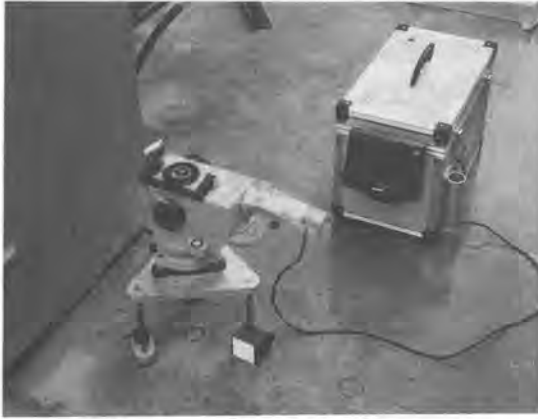


写真-5 鉛直器とモニタユニット

#### 4.4 柱建入れ直し用治具

柱建入れ直し用治具は、鉄骨柱を単独で建て込み、所定の柱の建ち精度にあわせて建入れ直しを行った後にこの柱の建ちを固定し、下層より積層にて大梁小梁の建て込みを実施して床組を構築していくという積層型鉄骨建方工法<sup>1)</sup>において使用している。

柱建入れ直し用治具の鉄骨柱への取り付け及び建入れ状況を、写真-6、7に示す。

##### 4.4.1 治具の操作手順

柱建入れ直し用治具の操作手順を以下に示す。

- ①治具の事前取り付け（図-4①参照）  
治具の下のピンのみを差し込み、治具を外側に開いた状態で柱の建て込みを待つ。
- ②治具の取り付け（柱の建て込み）（図-4②）  
柱を吊り下ろした後、治具を取り付け、ピンを挿入する。
- ③目違い合わせ（図-4③参照）  
目違い合わせボルトを廻して上の柱を動かし、上下の柱の目違い合わせを行う。
- ④柱の建入れ直し（倒れ調整）（図-4④参照）  
倒れ調整ボルトをスパナで廻して、所定の柱の建ちになるように調整する。
- ⑤ガタ止めボルトの締結（図-4⑤参照）

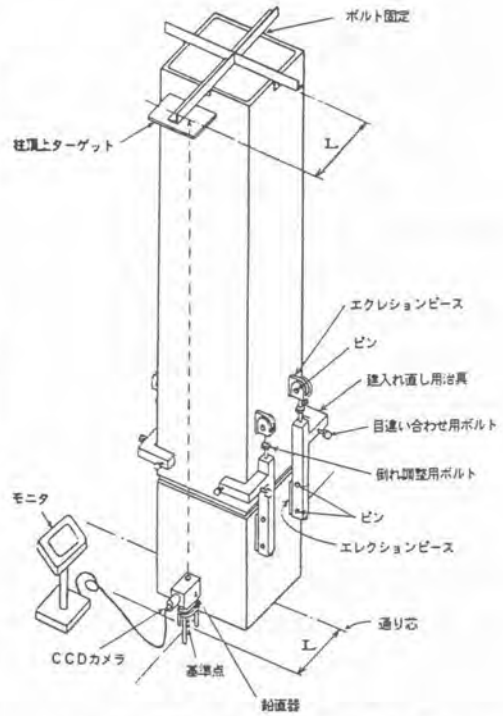


図-3 柱建ち精度計測システム概要図



写真-6、7 取付と建入れ状況



ガタ止めボルトをスパナで廻して締め、治具のガタをなくして、上下の柱と治具を一体化する。

#### 4.4.2 本治具の使用によるメリット

##### (1) 建方時間の短縮

- ・治具を取り付け、全てのピンの挿入が完了すると玉掛けを外すことが可能で、クレーンはすぐ次の作業に移ることができる。
- ・建込みと建ち調整を平行作業とすることができる。

##### (2) 作業人員の低減

- ・柱の建込みは2～3名、建ち調整は1名でも可能。

##### (3) 安価で多機能

- ・ボルトを利用して、目違い合わせのほかに柱の高さ調整もできる。

以上のように、本治具を活用することにより、高所作業の少ない安全な施工が可能で、仮ボルトや仮設資材の削減、作業量の平準化及び作業員数の低減を図ることができる。柱の建て込み後、ゆっくりと正確な柱の建ち調整ができることは、高度な躯体精度の実現に大きく寄与するものと考えられる。

#### 4.4.3 SRC造用の柱建入れ直し用治具

柱と柱の接合がボルト接合の場合、スプラインプレートで自動的に目違い合わせがなされるので、この機能を省略した、主としてSRC造用の柱建入れ直し用治具も開発した(図-5)。

#### 4.5 躯体精度計測管理システム

本システムは、ハンディコンピュータを利用して現場平面図等により視覚的に理解しやすい形で施工階の柱の位置誤差計測を短時間かつ高精度に行うもので、建築工事現場において、トータルステーションを有効活用するものである。

本システムは、計測を高精度に行うトータルステーションとそこからのデータの処理・管理を行うハンディコンピュータ、必要に応じてデータを印刷するプリンタとで構成されている(図-6)。

現場の平面図を予めハンディコンピュータに入力

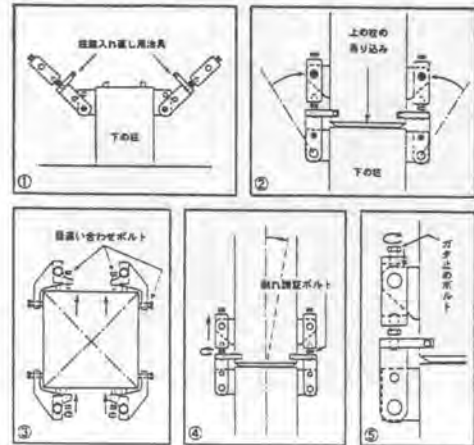


図-4 治具の操作手順

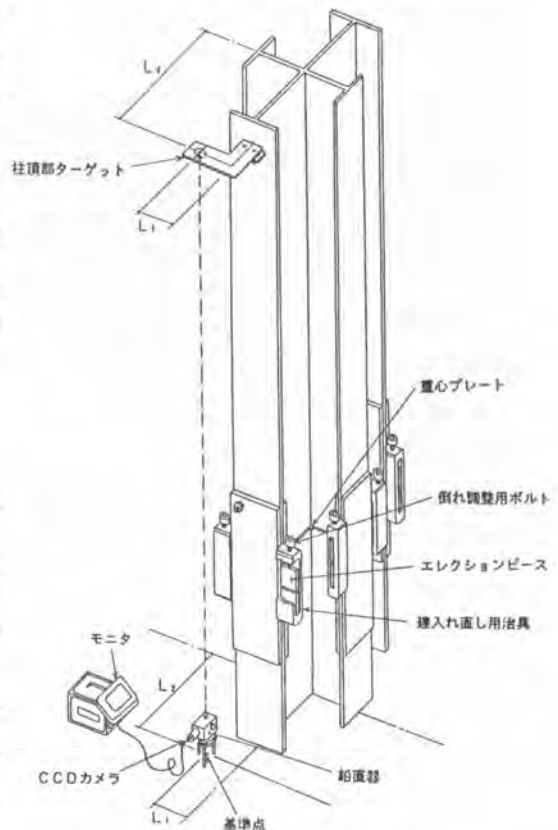


図-5 SRC造用の治具

しておき、このハンディコンピュータを現場に持ち込んでデータ処理・管理を行う。データの取り込みは、視覚的に把握しやすい平面図などの採用により計測個所の誤入力もなく、また計測結果の誤記入や記入漏れ防止に役立つシステムとなっている。

さらに、鉄骨柱頭部誤差平面図や倒れ記録図等の管理図も出力可能である。



写真-8 現場導入状況

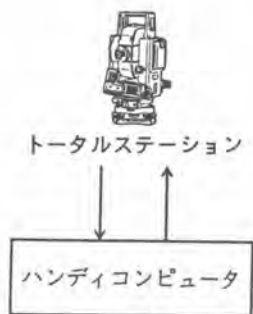


図-6 システム概要図

【変位グラフ】(Y2通り)

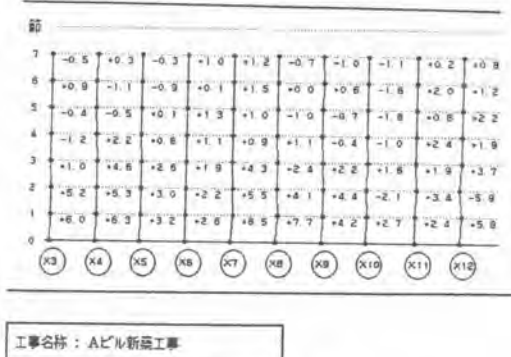


図-7 柱倒れ記録図

## 5. まとめ

以上のように、柱建入れ直し用治具と計測・管理システムを開発し現場に導入して、所期の性能がほぼ発揮されていることが確認され、トータル的な鉄骨建方システムを構築できたと考えている。

現在まで導入した数現場については、機能が発揮できていることを確認しているが、現場導入のためのポイントはシステムの有効性だけではなく、いかに現場の作業者に受け入れられるようにアジャストするかという点も重要である。単に自動化ということだけを追い求めるのではなく、人と機械のバランスを考慮して今後は合理化工法を推進して行きたいと考えている。

最後に、本システムの開発及び現場導入にあたり、ご指導、ご協力していただきました関係各位に対し感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 坂本・奥：「仮ボルトを使用しない鉄骨建方の管理手法」日本建築学会・第7回建築生産と管理技術シンポジウム 1991・PP.149～PP.154
- 2) 時岡・渡辺・2名：「新鉄骨建方治具と計測システムの開発」日本建築学会・第9回建築施工ロボットシンポジウム1995・PP.1～PP.8

# 47. クレーン作業領域管理システム

清水建設㈱： 奥隈 和美・今村 隆次  
\*西村 淳

## 1. はじめに

建設工事においてクレーンは様々な形で利用されており、その制約も作業を行う現場の状況によって異なる。例えば、道路、鉄道、および送電線などに隣接する場合や、近隣のビルからの制約などが挙げられる。

このような制約の1つに航空法からの高さ制限がある。この高さ制限は、作業場所によって異なることや、対象の制限高さが見えないなどの理由によりこれまでに開発されている管理システムや、監視員による管理では対応が難しい。

この度、複雑な制限を受けている作業領域において安心して確実にクレーン作業を行うことができる「クレーン作業領域管理システム」を開発した。今回は、この「クレーン作業領域管理システム」の概要と、新潟空港ターミナルビル建設所での現場適用事例について報告する。

## 2. システム概要

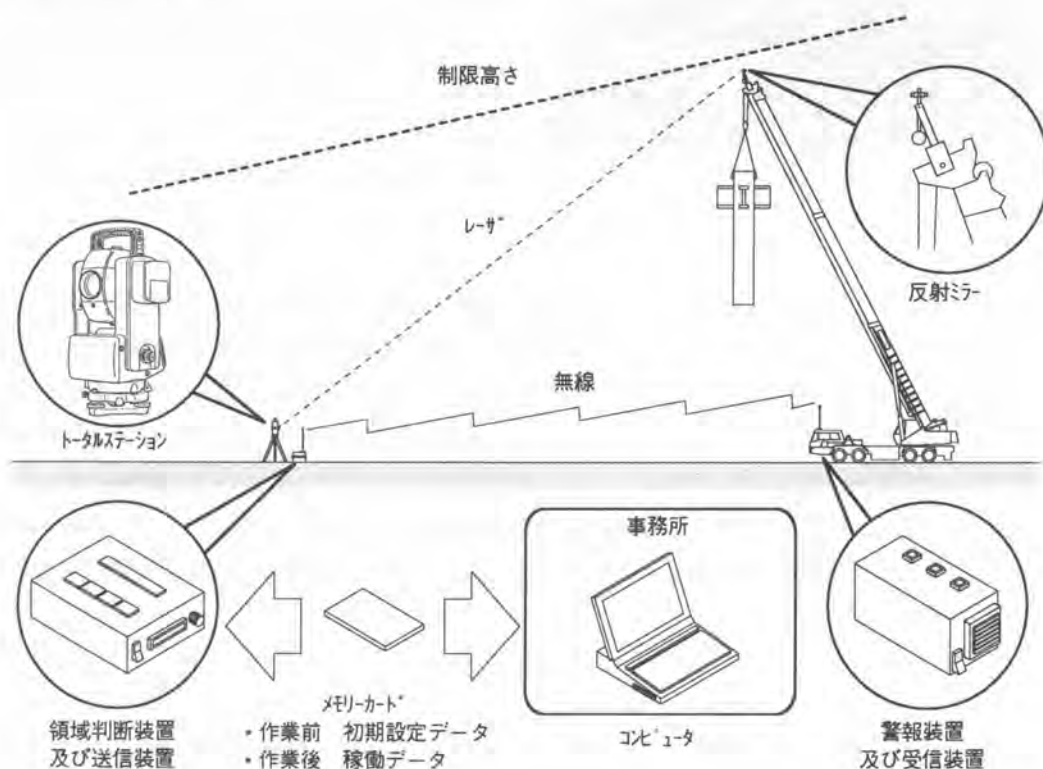


図1. システム図

## 2-1. 管理方法

トータルステーションにより、クレーンブーム先端に装着した反射ミラーを自動追尾し、常にブーム先端の位置 (X, Y, Z) を認識する。トータルステーションから出力されたブームの先端の位置 (X, Y, Z) は、コンピュータで予め作成した制限領域をメモリーカードによって移植されている領域判断装置で処理する。

領域判断装置は、敷地内の X, Y に対する制限高さ  $Z_{max}$  を認識している。トータルステーションから送られてくる位置データ X, Y, Z の X, Y より  $Z_{max}$  を算出し、この  $Z_{max}$  と Z を比較する。 $Z \leq Z_{max}$  の場合、クレーンブーム先端は作業領域内で作業している。 $Z > Z_{max}$  になった場合、クレーンブーム先端は、作業領域の制限高さをオーバーしているため、無線によりクレーンオペレータ室に設置してある警報装置に信号を送信し警報によってオペレータに知らしめる。

1日のクレーンの稼働記録はメモリーカードに蓄積され、事務所のコンピュータで警報発生状況、稼働記録を確認することができる。

## 2-2. 構成機器

### 1) 反射ミラー

反射ミラーは、ブームの最先端、つまり最高点になる場所へ取付ける。取付ける治具は、振り子になっており、ブームの起伏角度によらず、水平に保つようになっている。(図2)

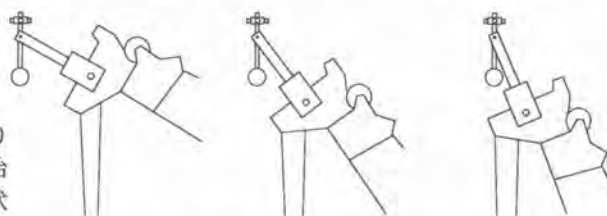


図2. 反射ミラー治具

トータルステーションはプリズムの  $\pm 30^\circ$  の範囲でプリズムを認識することができる。この範囲外から自動追尾を行うとトータルステーションは反射ミラーを見失う恐れがある。このことからトータルステーションの位置から管理するクレーンの位置の距離に応じて、傾き  $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$  のプリズム治具を考案し、状況に応じて選定することにした。(図3)

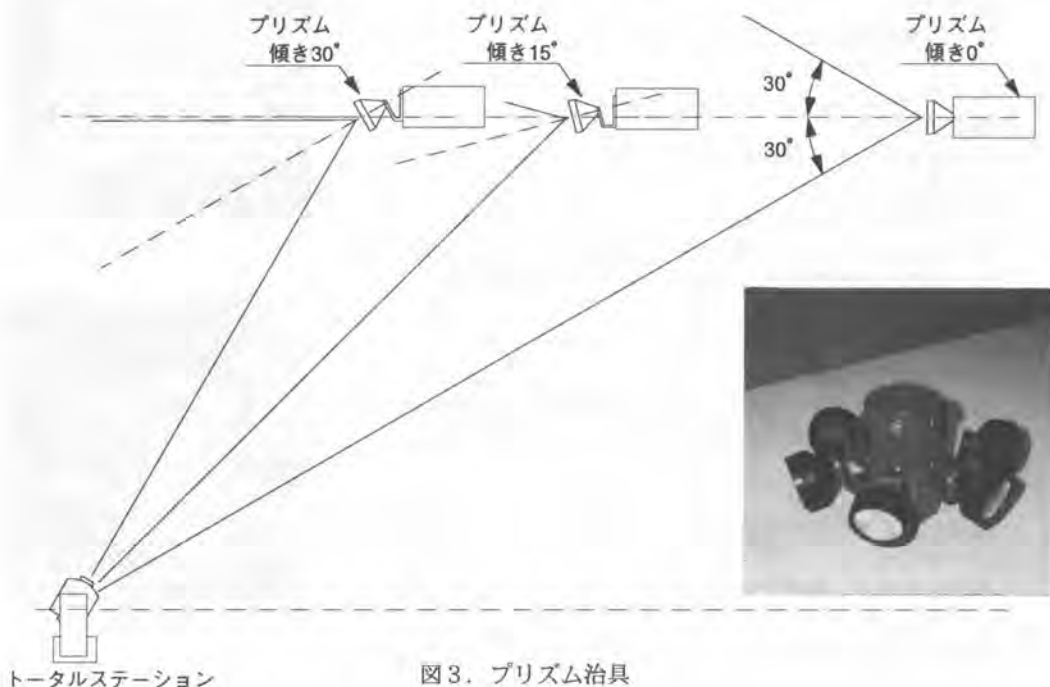


図3. プリズム治具

## 2) トータルステーション

トータルステーションは、クレーンブーム先端を自動追尾しながら計測しており、そのデータを約1秒毎に領域判断装置へ送る。

## 3) 領域判断装置及び送信装置

トータルステーションから送信されてきたブーム先端の計測データ(X, Y, Z)から、ブーム先端が作業領域内で稼働しているかを判断する。ブーム先端が作業領域外になった場合は送信装置により警報装置へ信号を送る。判断条件は事務所のコンピュータによって設定し、メモリーカードによって領域判断装置へ移植されている。さらに、基準点の位置、トータルステーションの設置位置、トータルステーションの設定も同時に移植されている。

また、トータルステーションから送られてきた計測データを全てメモリーカードに保存させており、作業終了後コンピュータで警報発生状況、稼働記録を確認することができる。

## 4) 警報装置及び受信装置

領域判断装置の送信装置から送られてきた信号を受信装置で受け取り、警報装置から警報を出力する。

## 5) コンピュータ

コンピュータは以下の項目について入出力及び処理を行う。

### (1) 初期設定処理

#### 1) 基準点座標

トータルステーションの設置位置を算出するための基準点を入力する。トータルステーションは入力されている基準点の任意の2ヶ所を視準することにより設置位置を算出する。

#### 2) 監視域座標

監視領域の設定を行う。

#### 3) トータルステーション

トータルステーションの初期設定を行う。

#### 4) 警報領域入力

監視領域のオフセット量を入力する。

### (2) 作業前入力処理

#### 1) トータルステーション座標

トータルステーションの設置位置を選択する。選択しない場合は、基準点を視準することにより設置位置を算出する。

#### 2) メモリーカード初期化

メモリーカードの初期化を行う。

#### 3) メモリーカード書込

設定したデータをメモリーカードに書き込む。書き込まれたメモリーカードは領域判断装置に挿入しデータを移植する。

### (3) 作業後処理

#### 1) メモリーカード読込

領域判断装置からの稼働データをコンピュータへ読み込む。

#### 2) データ表示

警報発生状況、稼働記録を表示する。

#### 3) データ保存

稼働データをフロッピーディスクに保存する。



写真1. 反射ミラー



写真2. トータルステーション



写真3. 領域判断装置



写真4. 警報装置

| 初期設定処理 |        | 基準点座標   |        |        |       |
|--------|--------|---------|--------|--------|-------|
|        | 基準点    | 名 称     | X      | Y      | Z     |
| F 1    | 基準点座標  | e9-1b+1 | 52.000 | 43.000 | 1.100 |
| F 2    | 監視域座標  | e9-1c+1 | 52.000 | 52.000 | 1.100 |
| F 3    | トヨタゾーン | e9-1d+1 | 52.000 | 64.000 | 1.100 |
| F 4    | 警報領域入力 | e9-1e+1 | 52.000 | 76.000 | 1.100 |
|        |        | e9-1f+1 | 52.000 | 88.000 | 1.100 |
| F 9    | 終了     |         |        |        |       |

図4. 基準点座標入力画面

| 初期設定処理 |        | 警報領域設定(オフセット量) |       |
|--------|--------|----------------|-------|
|        |        | X              | Y     |
| F 1    | 基準点座標  | 0.000          | 0.000 |
| F 2    | 監視域座標  | 0.000          | 0.000 |
| F 3    | トヨタゾーン |                |       |
| F 4    | 警報領域入力 |                |       |
| F 9    | 終了     |                |       |

図5. 警報領域設定画面

### 3. 現場実証

#### 3-1. 監視領域設定

航空法による制限表面は図6の様に定められている。新潟空港ターミナルビルの敷地は2本の着陸帯の転移表面から制約を受ける位置にある。これら2本の転移表面の高さ制限により敷地内は図7の様な高さ制限の形状となる。

この高さ制限の形状を、管理システムの座標系に変換するために、図7のようにX, Y, Z軸を設定する。着陸帯と敷地の位置関係から、1つの転移表面の内、同じ高さの点を2点抽出するA, B滑走路からのそれぞれの2点、A1, A2, B1, B2は次のようになる。

$$A1 : (X_{A1}, Y_{A1}, Z_{A1}) = (9, 23, 19.20)$$

$$A2 : (X_{A2}, Y_{A2}, Z_{A2}) = (18, 6.910, 19.20)$$

$$B1 : (X_{B1}, Y_{B1}, Z_{B1}) = (54, 118, 30.43)$$

$$B2 : (X_{B2}, Y_{B2}, Z_{B2}) = (234, 118, 30.43)$$

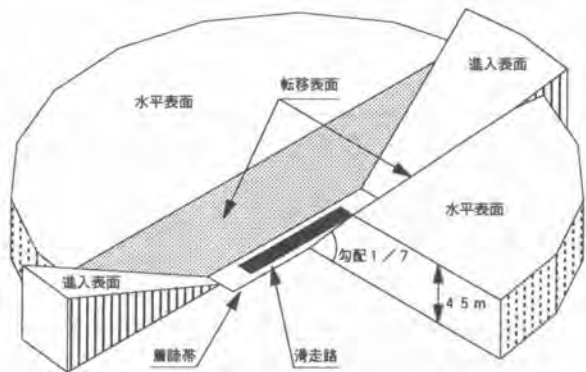


図6. 航空法による制限表面

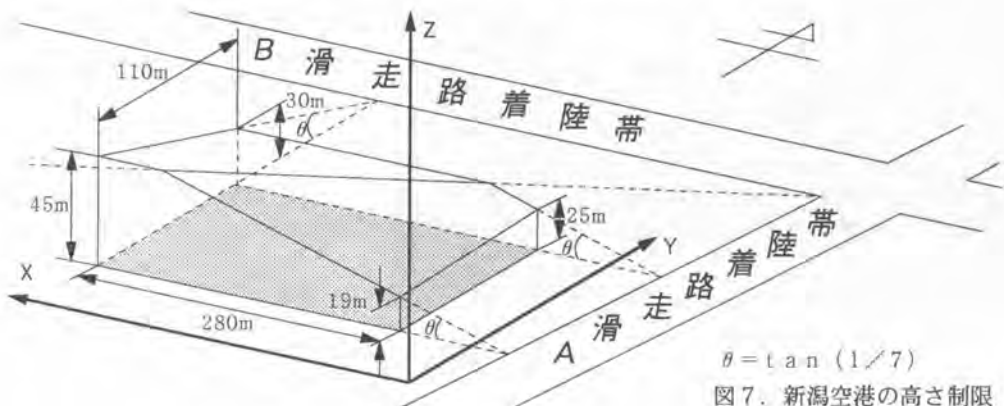


図7. 新潟空港の高さ制限

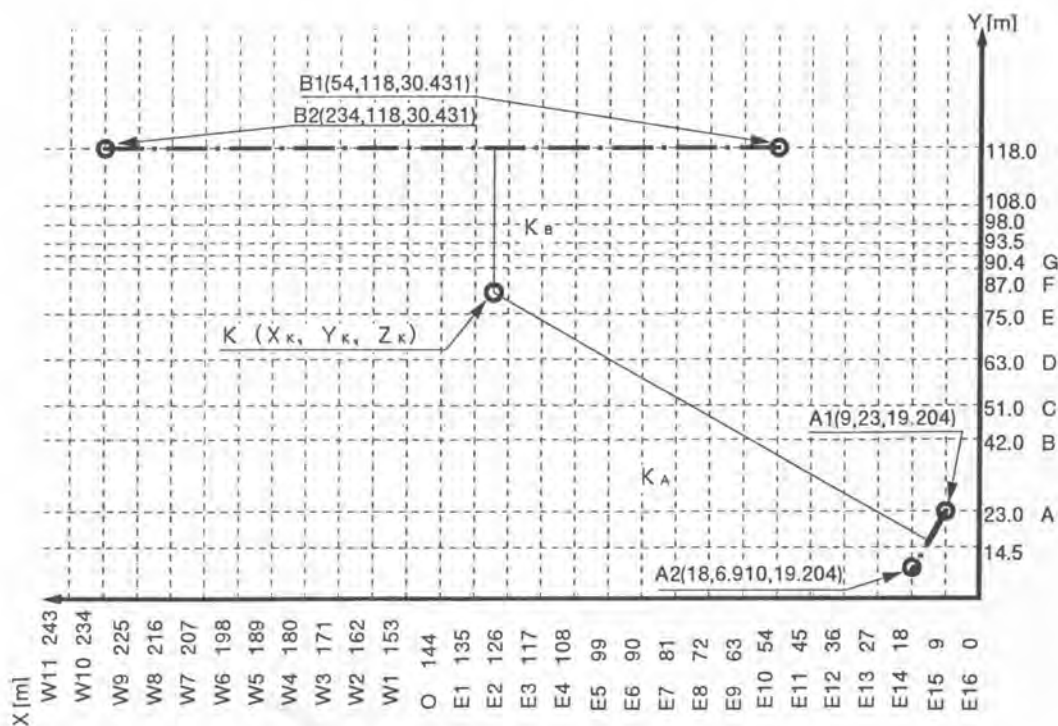


図8. X-Y平面図

この2本の等高線A1-A2、B1-B2をX-Y平面で見ると図8のようになる。

このように作成された2本の等高線A1-A2、B1-B2の2点づつと、勾配1/7を入力することにより転移表面からなる高さ制限を設定する。

勾配は角度で入力し垂直を0°としているので、勾配1/7 (8.13°)は

$$90 - 8.13 = 81.87^\circ$$

となる。

また制限領域となる範囲は、最初に入力した点からもう1点に向けて左側へできる領域としているので2点の入力順序、角度の設定は図9のようになる。

| 初期設定処理    |    | 監視域座標   |         |        |        |  |
|-----------|----|---------|---------|--------|--------|--|
| 処理名       | 値  | X       | Y       | Z      | B      |  |
| F1 基準点座標  | 1  | 54.000  | 118.000 | 30.431 | 61.870 |  |
| F2 監視域座標  | 2  | 234.000 | 118.000 | 30.431 | 61.870 |  |
| F3 トラップ位置 | 3  | 18.000  | 6.910   | 19.204 |        |  |
| F4 警報領域入力 | 4  | 9.000   | 23.000  | 19.204 |        |  |
| F5        | 5  |         |         |        |        |  |
| F6        | 6  |         |         |        |        |  |
| F7        | 7  |         |         |        |        |  |
| F8        | 8  |         |         |        |        |  |
| F9        | 9  |         |         |        |        |  |
| F10       | 10 |         |         |        |        |  |
| HELP タブ表示 |    |         |         |        |        |  |

図9. 監視域座標入力画面

### 3-2. 判断方法

等高線A1-A2、B1-B2を利用して、敷地内の任意点K (X<sub>K</sub>, Y<sub>K</sub>, Z<sub>K</sub>)でのA滑走路、B滑走路のそれぞれの制限高さZ<sub>maxA</sub>、Z<sub>maxB</sub>は次の2式から算出できる。

$$Z_{\max A} = 19.20 + \frac{|1 \times X_K + 0.559 \times Y_K - 21.866|}{\sqrt{(1 + 0.559^2)}} \div 7$$

$$Z_{\max B} = 30.43 + |Y_K - 118| \div 7$$

- 1)  $Z_{maxA} > Z_{maxB}$  の場合  $Z_{max} = Z_{maxB}$   
 2)  $Z_{maxA} < Z_{maxB}$  の場合  $Z_{max} = Z_{maxA}$

さらに、この  $Z_{max}$  を  $Z_K$  と比較しクレーンブーム先端が高さ制限を越しているかを監視する。

- a)  $Z_{max} > Z_K$  制限高さ内  
 b)  $Z_{max} < Z_K$  制限高さ外

以上のような判断を領域判断装置で行い、警報発生状況、稼働記録は図10、11のようにコンピュータへ出力される。

### 3-3. 実施効果

- クレーンの機種を選ばず装置を簡単に設置できるので、クレーン1台1台を自動的に管理することができる。
- 複雑な作業エリアの形状も、最初のコンピュータへの入力に対応でき、管理精度が高くなる。
- 警報出力のオフセット量を自由に変更でき稼働記録も出力できるので以後の作業へ活用できる。

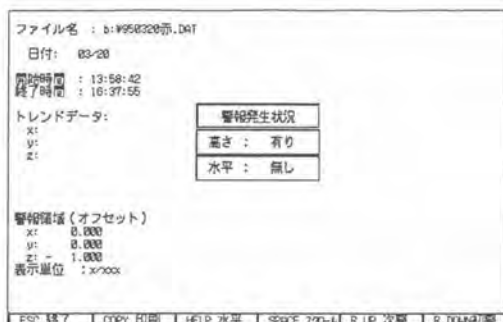


図10. 警報発生状況画面

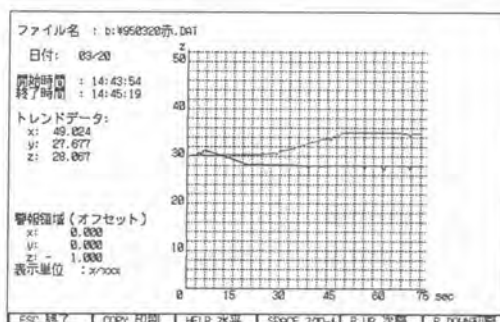


図11. 稼働記録画面

### 4. おわりに

今回は航空法からの高さ制限に対して実施しましたが、鉄道、道路、送電線などに隣接し、クレーンの作業範囲を規制される場所に対応できるシステムになっている。

今後は、更なる汎用性、操作性向上を目指し、クレーンの安全性の向上に寄与してゆくと同時にこのシステムを利用したクレーンの自動運転へと展開してゆきたい。



写真5. 実施状況



## 48. 全天候合体トラベリング工法（TAIT 工法） の開発と実施

（株）竹中工務店：\*西村 卓也・上浦 直樹  
高橋 弘

### 1. はじめに

地方の都市化現象や副都心計画の実施に伴い、体育館、劇場、多目的ホール、競技場など大空間構造物の需要が増大してきている。これらの大架構の施工には、これまでに大量のステージ構台を仮設して、高所で組み立てる工法がとられているが、熟練労働者不足、高所における安全性確保や品質管理の厳しさが増し、省資源、省仮設といった課題もあり、これらの諸問題を同時に解決できる工法として、竹中移動架構工法が開発され、実用化されてきた。今回、宮城県総合プール新築工事の大屋根トラス架設工事において、移動架構工法の一つのトラベリング工法を採用するにあたり、社会的背景、工事の特殊性、屋根トラス構造の特殊性を考慮し、全天候合体トラベリング工法を開発、実施した。その結果複雑な屋根トラベリングの架設を精度良く、種々の問題を解決し完了した。本報告では、T A I T工法の開発のねらい、システムの構成、実施状況、結果について述べる。

### 2. 開発のねらい

#### （1）社会的背景

3Kを払拭した作業改善及び週休2日制を実現する短工期施工をめざす。

#### （2）工事の特殊性

超短工期であり、降水量の多い（9月、10月）時期に工事の繁忙期となる。また、屋根施工時期とプール防水、タイル、可変床工事がラップする。

#### （3）屋根トラス構造の特殊性

屋根立体トラスの概要を図-1に示す。曲面であり、スパン方向に3m傾斜しているため、下弦材ポールジョイント（858個）がすべて三次元的に変化する。また、トラベリング時に33tの水平力が生じることが予測された。これらのことから短工期施工に対応する曲面立体トラスのトラベリング工法の開発が必要であった。

表-1 開発のねらい

|   |            |  |
|---|------------|--|
| Q | 屋根トラス精度の確保 | 曲面立体トラスを変形させずにトラベリングする。                  |
| D | 工期の短縮      | 両端部で地組し、向後にトラベリングする。<br>上下ラップ作業員の平準化を図る。 |
| S | 安全の確保      | 作業場所を集約化し、高所の作業を削減する。                    |
| E | 作業環境の改善    | 作業空間を全天候とする。                             |

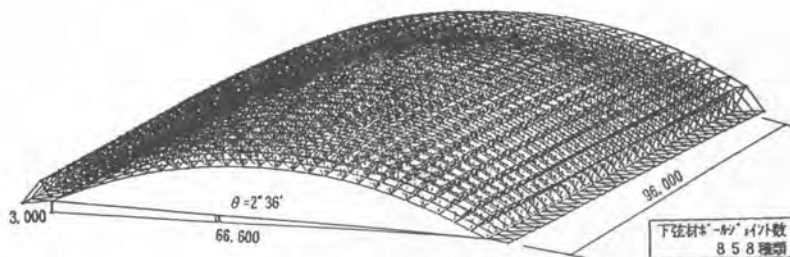


図-1 屋根立体トラス形状

### 3. 工法の概要

全天候合体トラベリング工法とは、大架構屋根トラスをいくつかのブロックに分割し、クレーン操作が可能で1ブロックずつ鉄骨、屋根、仕上げ材まで組み立て、お互いのブロックを反力として引き合いトラベリングし、さらに仕上がった左右の屋根と屋根の中間部に仮設の膜を張り、全体を全天候型空間として確保する工法である。工法のシステム構成を以下に示す。



表-2 トラベリング重量

| 項目 | 鉄骨            | 屋根      | 軒天井   | 設備     |
|----|---------------|---------|-------|--------|
| 左  | 重量(t) 251.657 | 71.899  | 6.328 | 12.390 |
|    | 総重量(t)        | 342.274 | 274   |        |
| 右  | 重量(t) 193.275 | 55.297  | 9.343 | 10.350 |
|    | 総重量(t)        | 268.265 |       |        |

図-2 システム構成

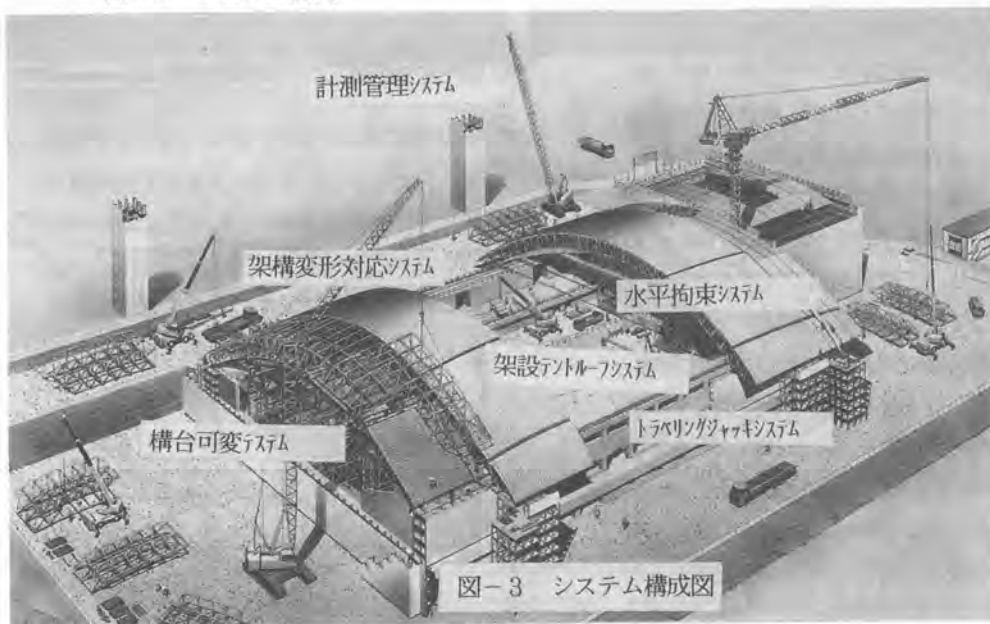


図-3 システム構成図

### 3-1 架構変形対応システム

立体トラス自体のたわみ、熱応力、風荷重を可動型支承で吸収し、トラベリングするダブルシューシステムとした。概要を図-4に示す。仮固定金物を利用することでシューの芯ずれを防止することができた。

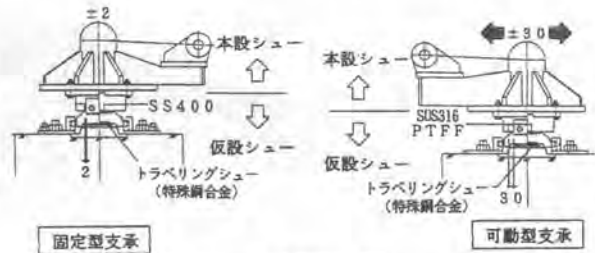


図-4 支承部形状図

### 3-2 水平力拘束システム

トラベリング施工時における解析を行った結果最大で33tの水平力が働くことから、支承部間をジャッキを用いて水平力を拘束した。かつ、シューの芯ずれ調整、座標点の制御を可能とした。概要を図-5に示す。

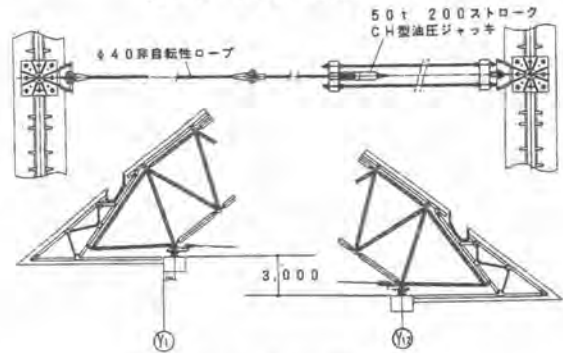


図-5 タイバー形状図

### 3-3 トラベリングジャッキシステム

お互いのブロックを反力として、引き合うため、左右の支承間をゲビンダスタブでつなぎ、中間に30tジャッキを1基ずつ配置し、トラベリングする毎にゲビンダスタブを抜き取る。概要を図-6に示す。

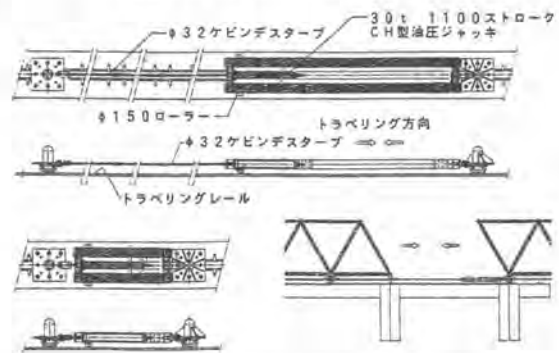


図-6 トラベリングジャッキ図

### 3-4 構台可変システム

三次元に变化するトラスボールジョイントを仮受けするため、構台を可変式とした。Z方向に最大3,733mm变化する受点をジャッキ等で調整するもので、概要を図-7に示す。トラベリング毎に変わる受点は、三次元測量システムで計測タワー上で計測し、管理値はトラス建方精度より±5mmとした。また、水平に地組されたブロックを傾斜させ受点にセットするため、電動チェーンブロックを3台/1ブロック使用し、トラス建方を行った。

トラベリング時は、トラスの荷重を構台上の受点で負担し水平力を拘束するた

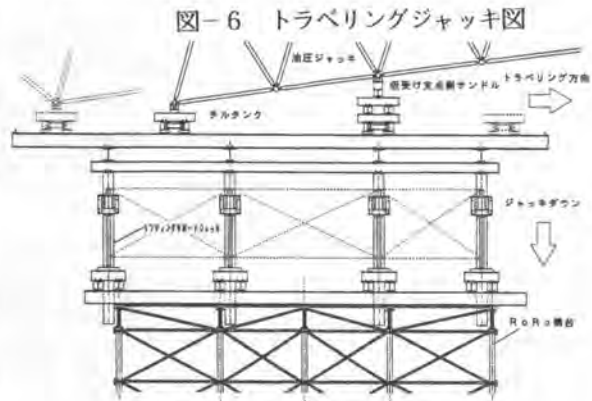


図-7 可変構台

め、受点を可動式とした。結果、シューの部分とトラベリング移動量は同等であった。

### 3-5 仮設テントルーフシステム

作業環境改善のため左右のブロックの間に仮設テントルーフを設置し全天候作業空間とした。テントルーフはトラベリング毎に引き寄せ切り離す構造とし、スパンはトラス重量とワイヤー張力の関係から最大4.2mとした。



図-8 工事全景

## 4. 実施状況

- (1) 三次元タワーからの三次元計測によりグローブの一点一点を正確に計測した。
- (2) 各ダイバー張力を工事中に管理することにより、変形をなくし形状を維持した。
- (3) トラベリング時は、移動ストローク、スパン方向端部の位置、タイバー張力、摩擦係数を管理し、中央管理室に管理データが集約され、そのデータにもとづきジャツキの操作をおこなった。



図-9 トラベリング状況



図-10 トラベリングジャッキ

## 5. 実施結果

- (1) 左側TR 6回、右側TR 5回、計11回のトラベリングを行い、計画工程より早期にトラベリングが完了できた。
- (2) トラベリング中は、トラス中央部がトラベリング方向に対し、遅れて移動するが、合体に支障はない。トラベリングシューの摩擦係数の計画値0.1以下であった。  
結果、水平力拘束システム(タイバー) 架構変形対応システム(ダブルシュー)の機能を確認し、大径間の曲面立体トラスの架構を変形させずにトラベリングできた。

## 6. まとめ

全天候合体トラベリング工法を開発・実施した結果以下の成果が得られた。

- (1) トラスの変形量等施工時の解析結果と実施結果が同等であり、トラス精度等初期の品質が確保できた。
- (2) 当初の厳しい工程に対し、仕上げ工事との上下ラップ作業を可能とし、工期短縮が図れた。
- (3) 構台上での作業の集中管理を主とし、高所作業の削減により、全工期無災害に貢献できた。

# 49. 建築鉄骨柱用現場溶接ロボットの作業効率の研究

大成建設(株)：\*坂本 成  
三井造船(株)：吉野 正和

## はじめに

建築鉄骨の現場溶接は資格を有する溶接工の手により厳しい管理規則により行われている。又この作業は高所屋外作業であると共に対象となる部材の製作精度、位置精度の改善には限界がある。筆者等はこのような建築鉄骨の溶接作業、特に横向き作業となる柱鉄骨の溶接をロボットで行うための研究を進めてきたが、この過程で従来の人作業と異なるロボット作業特有の諸管理事項の存在と、これらを適正に処理する事による作業効率の向上を目的とした稼働計画の重要性を認識するに至った。本論文はこの稼働計画を構成するための基本となるロボット作業における「溶接時間」と「溶接休止時間」に関しての実験的考察を行った内容について述べるものである。

## 1. 溶接作業の生産性

ロボットにより溶接作業の生産性を上げるには、溶接時間、休止時間を短縮する事がポイントとなる。これに関連する項目を図1に示す。

### 1.1 溶接時間の短縮

溶接ロボットの諸操作変数のうち、溶接電流を上げると、溶着量は比例的に増加し、溶接時間を短縮する事が出来る。しかしながら溶接法、ワイヤの種類、ワイヤ径、シールドガスの種類、溶接姿勢等の制限から、これには上限、および最適領域が存在する。

特に、横向き溶接ロボットにおいては、溶接電流をあげることによって写真1に示す、「垂れ落ち」<sup>1)</sup>という欠陥が生じる。これは溶接中の急激な溶接速度の変化、前層の形状不良、過大なパス間温度等に起因して発生するが、本研究では溶接電流と垂れ落ちの関係について実験的に検討した。

### 1.2 休止時間の短縮

溶接ロボットの生産性を上げるためには、溶着量を上げる事によるアーク時間の短縮に加え、ロボットに固有の運搬、セットに要する時間、センシング、トーチの移動に要するエアーカット時間等の休止時間を短くするような、設計、運用上の工夫が必要である。

又、ロボットで溶接中に人が介入するための休止時間として、スパッタ、スラグの除去時間がある。スパッタがノズルに付着する度合いは、ノズル構造、溶接姿勢、開先形状等により異なるが、溶接

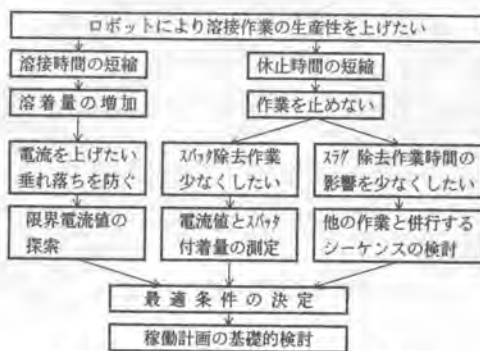


図1 溶接ロボットの稼働計画に関するフロー

電流も大きな因子であり、スパッタの付着しにくい溶接電流を選定する必要がある。

そこで溶接電流とスパッタのノズルへの付着量の関係、及び溶接欠陥の原因となるスパッタ付着量の限界を把握し、溶接ロボットの連続作業時間を把握することとした。

## 2. 要素実験

要素実験として「垂れ落ち」及び「スパッタ付着量」に関する実験を行った。

### 2.1 「垂れ落ち」に関する実験

実験は表1に示す仕様により行った。実験に用いる溶接電流値を220Aから20Aピッチで7種とし、それぞれの溶着金属断面積が等しくなるような基礎ビードの溶接速度Vに対し3/6Vまで計4種の速度を設定した(図2)。尚試験ビードを溶接する前のパス間温度は、SM570Q鋼を使用した建築鉄骨柱溶接で許容される250℃<sup>⑧</sup>とした。即ち基礎ビードの溶接を行った後放冷し、250℃に達した時点で、試験ビードを溶接した。評価項目は、試験位置での「垂れ落ち」の有無、及び安定性であり、5回の試験について評価した。

「垂れ落ち」の起こる直前の現象としては、写真1に示すように、溶融中のビードにくびれが生じ、ふくらんだ部分が落下する。安定性の評価は、レーザセンサにより、ビード断面のプロフィールを計測し、図3に示す $\delta$ 値( $W_{MAX}$  -  $W_{MIN}$  単位: mm)により4段階に分類した。

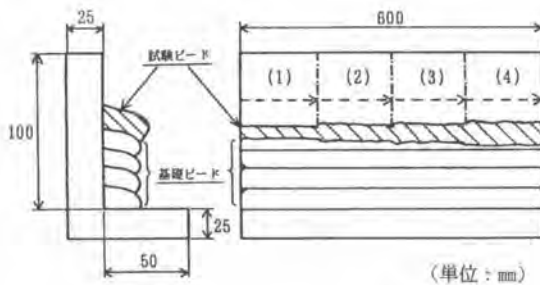


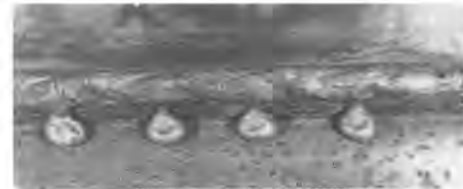
図2 試験材形状及び実験要領

表1 実験用溶接ワイヤ等仕様

|       |                              |
|-------|------------------------------|
| 溶接方法  | 炭酸ガス溶接                       |
| 溶接装置  | 500Aインバータ溶接機                 |
| 溶接ワイヤ | JIS Z3312 YGW11 $\phi$ 1.2mm |
| 試験材   | SS400 板厚:25mm                |

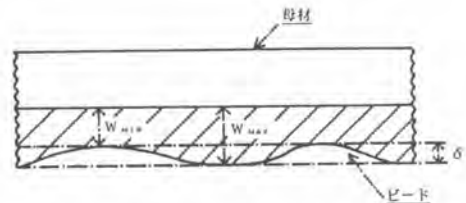


(a) 220A、180mm/min(3/6V) 10mm



(b) 340A、360mm/min(3/6V) 10mm

(垂れ落ちビード)  
写真1 ビード外観



| 形状                                 | 安定性評価     | 分類記号 |
|------------------------------------|-----------|------|
| $\delta \leq 1 \text{ mm}$         | 安定したビード   | S1   |
| $1 < \delta \leq 1.5 \text{ mm}$   | やや不安定なビード | S2   |
| $1.5 < \delta \leq 2.5 \text{ mm}$ | 不安定ビード    | S3   |
| $2.5 < \delta$                     | 垂れ落ちビード   | D    |

図3 上部より見たビード形状

実験結果を図4に示す。

本図は相対溶接速度と溶接電流に対する $\delta$ 値の変化を示したものである。

## 2.2 「スパッタ付着量」に関する実験

実験における諸仕様は前項表1に示すものと同じである。又溶接条件を表2に示す。前項で定めた7種の電流値それぞれの溶接速度において10回の試験を行い、60分間の平均付着量とブローホール発生平均時間及び付着量2gになるまでの平均時間(秒)を測定した(表3、図5)。

又写真2にトーチ周辺におけるスパッタ付着状況を示す。これらの実験の過程において低電流域(220~260A)では溶滴が大きく、短絡移行型とグロービュール移行型が混在しており<sup>⑧</sup>、電流が低い程スパッタの粒径、数ともに多く、付着量が多くなった。電流が高くなると共に粒径が小さい溶滴が連続的に

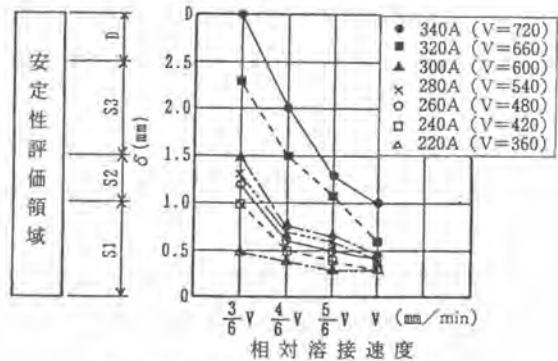


図4 溶接電流と「垂れ落ち」の関係

表2 スパッタ付着実験の溶接条件

| 電 流<br>(A) | 溶 接 速 度<br>(mm/min) | パス数/60分 |
|------------|---------------------|---------|
| 220        | 360                 | 36      |
| 240        | 420                 | 42      |
| 260        | 480                 | 48      |
| 280        | 540                 | 54      |
| 300        | 600                 | 60      |
| 320        | 660                 | 66      |
| 340        | 720                 | 72      |

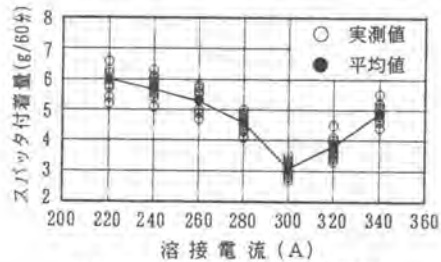


図5 60分溶接後のスパッタ付着量

表3 スパッタ付着実験結果

| 電 流<br>(A) | 平 均<br>付 着 量<br>(g/60分) | ブローホール<br>発生頻度<br>(回/10回) | ブローホール発生<br>平均時間<br>(分/60分) | 付着量2gになる<br>までの平均時間<br>(秒) |
|------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 220        | 6.0                     | 10                        | 3.7                         | 1200                       |
| 240        | 5.7                     | 10                        | 4.0                         | 1265                       |
| 260        | 5.3                     | 9                         | 5.0                         | 1384                       |
| 280        | 4.6                     | 0                         | 無                           | 1564                       |
| 300        | 3.1                     | 0                         | 無                           | 2351                       |
| 320        | 3.8                     | 0                         | 無                           | 1918                       |
| 340        | 4.9                     | 0                         | 無                           | 1489                       |



電流値 : 220A  
経過時間 : 60分

電流値 : 300A  
経過時間 : 60分

写真2 溶接条件とスパッタ付着量の関係

移行する移行形態となりスパッタの粒径、数とも小さく、付着も少ない。

この傾向は300Aの溶接条件で特に顕著である。さらに電流を上げていくとアーク力が強くなり、スパッタ粒径数とも増大し、付着量も増えることが観察された。写真2では220Aで溶接した場合、チップ、ノズル周辺に多量のスパッタが付着しているが、300Aの場合は付着量が少ない事がわかる。

### 3. 実験結果の稼働計画への適用

冒頭に述べたように、以上の溶接作業の生産性に関する要素実験を基にしてロボットによる溶接作業の諸操作事項を適切に組み合わせた稼働計画を検討することとなる。これらについては一部発表をしたが<sup>4)</sup>、今後の研究に委ねる部分が多い。表4に実際の作業動作分析から得た諸作業時間の結果を紹介する。

表4 稼働計画の基礎となる作業時間

| 作 業<br>担当分類                            | 作 業 内 容                                       | 作 業 時 間 (分)   |      |      |
|--|---|---|------|------|
|  |   | 柱板厚(mm)   |      |      |
|  |   | 40  | 60   | 80   |
| オペレータの<br>作業 (W <sub>o</sub> )<br>(ノ辺) | 準備作業 (T <sub>p</sub> )                        | 3   | 5    | 5    |
|  | インバータース切断 (T <sub>p</sub> )                   | 8   |      |      |
|  | スパッタ・スラグ除去<br>(T <sub>ss</sub> )              | 4   | 6    | 8    |
|  |   | (2回)  | (3回) | (4回) |
| 補助員の<br>作業 (W <sub>a</sub> )<br>(ノ柱)   | 取付 (T <sub>i1</sub> )                         | 10  |      |      |
|  | 柱間距移設 (T <sub>i2</sub> )                      | 5   |      |      |
|  | 取外し、運搬 (T <sub>i3</sub> )                     | 15  |      |      |
| 人の介入しない<br>作業 (ノ辺)                     | アーク発生時間 (T <sub>A</sub> )                     | 4.6   | 8.4  | 13.1 |
|  | アーク発生時間 (T <sub>Ac</sub> )                    | 1.6   | 2.4  | 3.2  |
|  | 1辺溶接時間<br>(T <sub>w1</sub> 、T <sub>w2</sub> ) | 2T <sub>p</sub> +T <sub>ss</sub> +T <sub>A</sub> +T <sub>Ac</sub> | 7.2  | 12.4 |
| 余 裕 時 間 (ノ辺)                           | (T <sub>Al</sub> )                            | 1.0   | 1.0  | 1.0  |
| 柱 溶 接 総 時 間                            | (T <sub>R</sub> )                             | 19.4  | 19.8 | 41.2 |

ここで、表中の作業時間は以下に示す実測結果を基に設定している。

- T<sub>p</sub> : 予熱、起動各作業の所要時間合計値  
10例の平均値
  - T<sub>ss</sub> : エレクションピース8ヶ所の溶断作業の所要時間合計実測記録値9例の平均値
  - T<sub>i1</sub> : 各作業の所要時間合計値10例の平均値
  - T<sub>i2</sub> : 各作業の所要時間合計値10例の平均値
  - T<sub>i3</sub> : 柱間距離7mにおける取外し、運搬所要時間実測記録値10例の平均値
  - T<sub>A</sub> : 各4回の実測記録の平均値
  - T<sub>Ac</sub> : 各4回の実測記録の平均値
- 写真3に溶接ロボットの稼働状態の例を示す。



写真3 溶接ロボット稼働状況の例

### おわりに

以上、ロボットによる溶接作業を実現するための溶接条件に関わる基礎実験について述べた。ロボットによる溶接作業では、例えば溶接速度のように律速条件が溶接電流、垂れ落ち限界といった溶接作業固有の物理条件で決定づけられるものについては人手による作業と同じ条件であり、これ以上に大きく速度を改善する事は出来ないが、この体系の中にロボットに課した管理体系を乱すことなく人の作業を介在させることによって現実的で信頼性の高いロボット化システムを得ることが出来る。本論文は、このような考えをもとにしたロボットの稼働と人の作業の適正な構成による稼働計画手法を提案するための基礎となる実験について述べたものである。今後さらに、これらの実験を重ね、実機による建築現場での稼働実現に向けて努力していきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 萩原中治、梅国章、魚田泥、中村雅敏、大西勇：鉄骨丸柱現場横向き溶接用ロボットの開発と実用化、溶接技術、VOL.40 pp.112~115、1992.12
- 2) 島英二：横浜ランドマークタワー新築工事における鉄骨工事、溶接が이드、VOL.33 No280、pp.7~16、1993.8
- 3) 日本溶接協会電気溶接機部会技術委員会：インバータ式アーク溶接機マニュアル、p.3、平成元年8月
- 4) 坂本成、田中淳夫、吉野正和、田中信吾、日本建築学会、構造工学論文集、VOL.41B、1995.3



# 50. 自動ビル建設システムの開発

～リフトアップシステムの開発と施工実験結果～

ハザマ：\*木川田一弥・須沢 覚  
丸山 能生

## 1. まえがき

建設熟練技能工不足への対応や建築生産性の向上、良好な作業環境の確保などを主な目的とした「自動化施工システム」がゼネコン各社で積極的に開発・適用されている。当社においても、1991年より建築生産の合理化、自動化を目指した自動化施工システムの検討を進め、以下のようなシステムから構成される「ハザマ自動ビル建設システム」を提案している。

- ① リフトアップシステム      ⑤ 地下躯体施工システム
- ② 地上躯体施工システム      ⑥ 地下掘削工事システム
- ③ 揚重・搬送システム      ⑦ 統合管理システム
- ④ 仕上げ工事システム

本報は、これらのうち先行開発システムであるリフトアップシステムを中心に、システムの概要および本システムの現場施工への適用性を確認するために行った実大施工実験について述べる。写真-1に実験建物にてリフトアップしている状況を示す。



写真-1 リフトアップ状況

## 2. リフトアップシステムの概要

### 2.1 システムの構成

リフトアップシステムは、先組みした屋上階を施工の進捗にしたがって上昇させるシステムである。システムの構成を図-1に、システムの外形を図-2に示す。また表-1に概略仕様を示す。

### 2.2 システム各部の機能

#### (1) リフトアップ装置

リフトアップ装置は、屋根梁の下面に取り付けて屋根を上昇させるジャッキ装置、屋根上昇中の鉛直・水平荷重を支えるポスト、屋根荷重を既設躯体に伝達する下部上段・下段支持装置から構成される。ポストに設けたピン穴に、上下2段×2本、計4本の四角形ピンを交互に脱着しながら、ジャッキ装置に設けた油圧シリンダを伸縮することにより、屋根を上昇・下降させる。図-3にリフトアップ時の装置の動きを示す。

#### (2) 油圧装置

油圧装置は、リフトアップ／リフトダウンを行うリフトアップシリンダ、角ピンの脱着を行うピン脱着用シリンダ、およびこれらを駆動する油圧ユニットから構成される。

リフトアップシリンダには、通常はシリンダとピストンがメカニカルロックされているベアロックシリンダを用いている。シリンダ作動時には、ピストン周囲に高圧の作動油を送り、シリンダを弾性変形

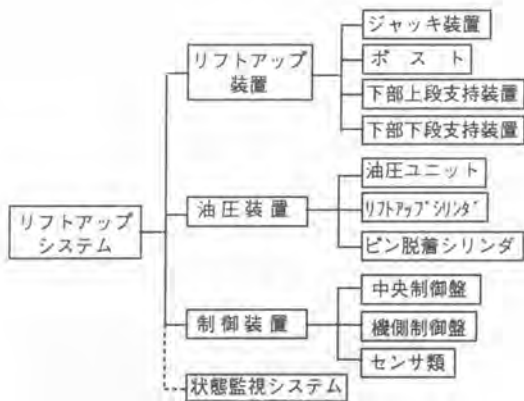


図-1 リフトアップシステムハード構成

表-1 リフトアップシステム仕様

| 分類       | 項目         | 主な仕様                          |
|----------|------------|-------------------------------|
| リフトアップ装置 | システム適用階高   | 3,700~4,400mm                 |
|          | 許容荷重       | 鉛直荷重50t, 水平荷重10t              |
|          | 最大揚程       | 9m                            |
|          | ポスト形状・寸法   | □700×19×17,700mm              |
|          | リフトアップ速度   | 30cm/min                      |
|          | リフトアップ同調精度 | 偏差20mm以内                      |
|          | 下部支持装置     | モートルシリンダ駆動                    |
| 油圧装置     | リフトアップ装置重量 | 約20t (1ポストあたり)                |
|          | 油圧ユニット数量   | 1台 (1ポストあたり)                  |
| 制御装置     | リフトアップシリンダ | 油圧ベアロックシリンダ<br>推力25t×2セット/ポスト |
|          | 中央制御盤台数    | 1台                            |
|          | 機側制御盤台数    | 1台 (1ポストあたり)                  |

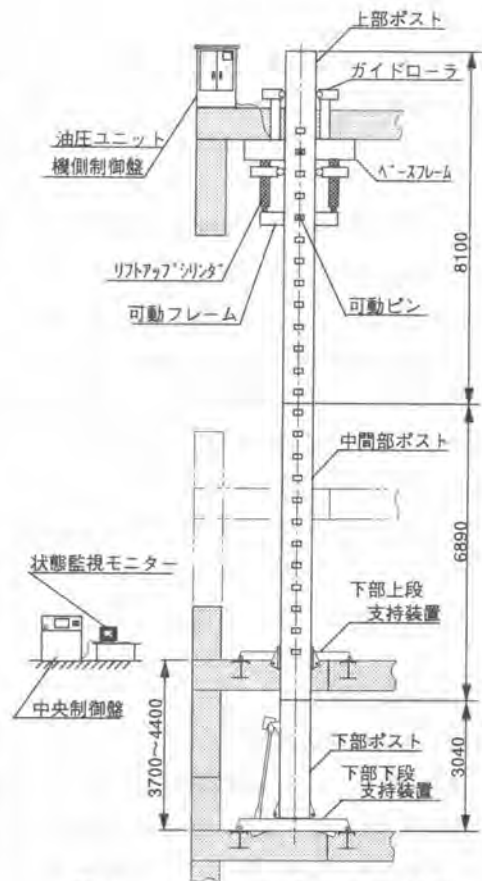


図-2 リフトアップシステム外形

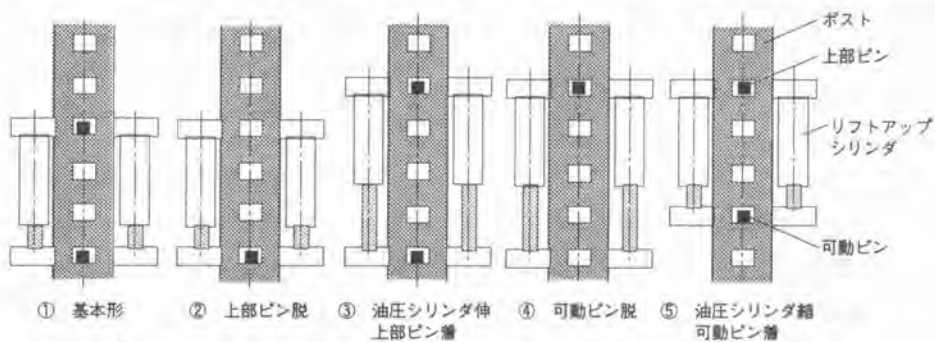


図-3 リフトアップ装置の動作

させて(膨らませて)ピストンを移動させるものである。これによって、何らかの油圧トラブルが発生した際にも、シリンダの落下を防止できる安全性の高いシステムとなっている。

油圧ユニットは、各ポストに1台ずつセットして、油圧ユニットと各油圧シリンダ間のホース配管作業を容易にただけでなく、各現場での必要ポスト本数の違いに柔軟に対応できるようになっている。

### (3) 制御装置

制御装置はシステムの操作を行う中央制御盤と、各ポストに配置した油圧ユニットと一体化されている機側制御盤、制御盤にシステムの状態信号を送るセンサ群から構成される。中央制御盤と各機側制御盤は、データ通信の高速化とノイズに対する信頼性を向上させるため光ケーブルで接続している。

### (4) 状態監視モニター

リフトアップシステムの中央制御盤に表示される情報は文字/数値情報であり、オペレータがシステムの状態を直感的に把握することが難しい。そのため、システムの状態を視覚的に把握する目的で、中央制御盤に取り込まれる情報から約500点のデータを選択し、RS-232C通信インターフェイスを介してモニター画面にリフトアップ装置の状況、屋上階の移動状態などをグラフィック表示したものが状態監視モニターである。写真-2に代表的な表示画面を示す。

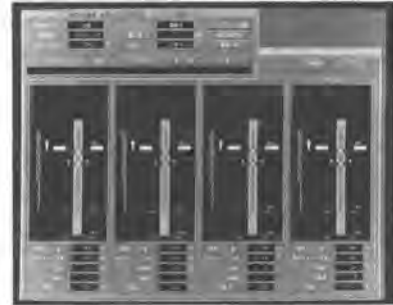


写真-2 リフトアップ装置状態表示画面

## 3. 実大施工実験

### 3.1 実験建物の概要

実験建物は、一般的な鉄骨構造物のスパン割をもつ事務所ビルの、最上階から4層分を取り出したものとした。実験建物の概要を以下に、実験建物を図-4に示す。

実験場所 ハザマ技術研究所屋外実験場

実験期間 1994年1月～1994年10月

構造規模 S造 地上4階

建築面積 82.5㎡

延床面積 330㎡

最高軒高 15.4m

柱間隔 11.0×7.5m(各1スパン)

基準階階高 3.85m

### 3.2 施工実験内容

実大施工実験における調査・計測項目を以下に記す。

- ① リフトアップシステムの設置に要する時間、人員、重機の把握
- ② サイクルタイムの計測
- ③ ポスト設置精度の確認
- ④ 状態監視モニターの性能把握

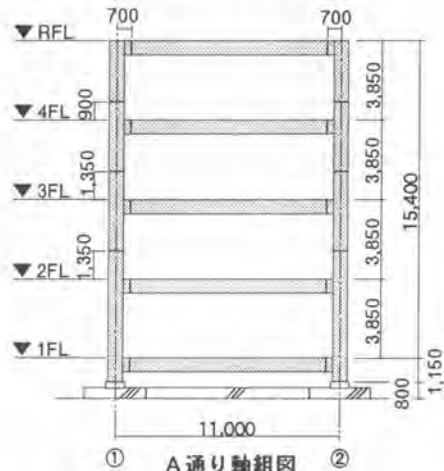


図-4 実験建物

⑤ リフトアップシステム運転中の騒音

⑥ リフトアップシリンダの耐久性

なお、今回の実験では、「揚重・搬送システム」を設置していないため、リフトアップシステムの設置および躯体鉄骨の建方はすべて移動式クレーンにより行った。

#### 4. 実験結果および考察

##### 4.1 リフトアップシステムの設置に要した時間、人員、重機

今回の実験規模(ポスト4本)における躯体へのリフトアップシステムの設置から、第1回のリフトアップを実施するまでの所要日数、作業人員および使用した重機台数を表-2に示す。さらに、実験結果を基に工程的に短縮できるとと思われる所要日数も合わせて示した(実施可能な工程：表中の二重線)。ポスト4本規模の場合、システム設置作業開始から第1回のリフトアップまでに23日を要したが、システム資材搬入時期の適正化などにより、設置にかかる日数を15日程度に短縮できると考えられる。

表-2に示した所要作業日数、人員の実績と短縮可能工程をまとめると表-3ようである。これにより今回の実験程度の施工規模におけるシステム設置の施工性を把握できる。

表-2 リフトアップシステムの設置

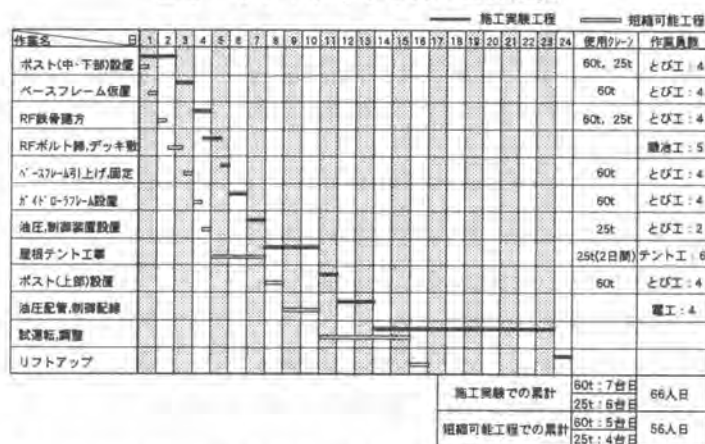


表-3 システム設置のまとめ

| 項目                  | 施工実験 | 短縮工程 |
|---------------------|------|------|
| 作業日数                | 23日  | 15日  |
| 作業人員<br>(内訳)とび工     | 66人日 | 56人日 |
| 鍛冶工                 | 30   | 20   |
| テント工                | 10   | 10   |
| 電工                  | 18   | 18   |
| 電工                  | 8    | 8    |
| 使用重機<br>(内訳)60tクレーン | 13台日 | 9台日  |
| 25tクレーン             | 7    | 5    |
|                     | 6    | 4    |

##### 4.2 リフトアップサイクルタイム

リフトアップシステムの稼働サイクルタイムを図-5に示す。図より、一連の動作に必要な時間は5時間20分であり、当初の目標である4時間以内(半日作業)を達成することはできなかった。

また図-6は各作業のサイクルタイムを詳細に示したものである。サイクルタイムの63%がポスト盛替えに伴う作業時間であり、その中でもポスト盛替えに伴う下部支持装置のセット(押ボルトの脱着)が人手を介した作業になっていることもあり、時間を要していることがわかる。

リフトアップ、リフトダウンの各作業は、ポスト本数が増加しても時間的には変わらないのに対し、ポスト盛替えに伴う下部支持装置のセット作業は、作業員をポスト本数に比例して増やさない限り、時間が増加する性質のものであることから、省力化の意味からも下部支持装置セット作業を改善する必要があると考えられる。

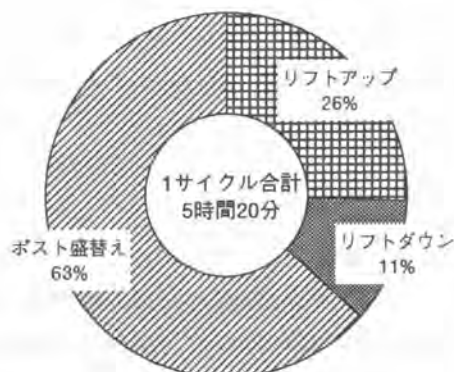


図-5 リフトアップサイクルタイム

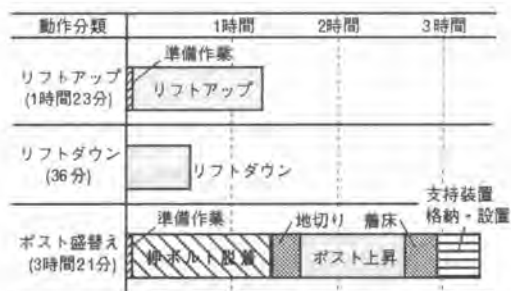


図-6 各作業のサイクルタイム

また、本システムではポスト盛替えのため、リフトアップした屋根を一度リフトダウンする作業が必要である。当初作業時間面でネックになると考えていたこのリフトダウン作業は、全サイクルタイムの11%(36分)を占める程度であり、サイクルタイム上のネックにはならないと考えられる。

#### 4.3 ポスト設置精度

リフトアップの方向を鉛直に保つため、当初の施工においては下部支持装置が設置される梁レベルを計測し、下部支持装置下にシム(ライナー)を入れてポスト鉛直精度を確保した。しかし、その後の施工ではポスト盛替え後、下部支持装置の押しボルトにより、ポスト設置精度を調整できることから、このボルト調整のみでポストの鉛直・水平精度を確保した。

#### 4.4 状態監視モニター

本装置の操作は、立ち上げ時・終了時ともに1~2コマンドの入力操作のみを行えばよいため、コンピュータの操作に不慣れな者でも、容易な取り扱いが可能であることを確認した。

画面表示機能については、システム状態の表示により装置の動きや、ピン、リフトアップシリンダの状態が一目で確認でき、モニター画面の内容だけからシステムの動きを把握することができた。ただし、屋根状態表示については、実際の屋根の移動速度が遅いため、画面上では動きを十分に認識できるとはいえず、画面内へのスケール表示と屋根移動量の数値表示などの、屋根移動状況の認識を容易にする工夫が必要と思われる。

また、今回の実験条件でのサンプリング間隔は3秒以上であれば、任意の間隔を指定できることが実験によりわかった。しかし、サンプリング間隔3秒では、動画の動きが多少ぎこちない感じがすること、数値表示の内容が中央制御盤CRTの表示内容より常に遅れてモニターに表示されることなどの問題もあり、通信データ量が増える場合、あるいはよりスムーズな画面上の動きが求められる場合には、高速の通信インターフェイスの採用を検討する必要があると考える。

#### 4.5 リフトアップシステム運転中の騒音

リフトアップシステム運転中の発生騒音(A特性値)を計測した結果を表-4に示す。施工フロア上の騒音は「ややうるさい事務室」程度であり、実際作業時では騒音発生源である油圧ユニットが8~9m上方へ遠ざかるため、作業上問題のないレベルといえる。一方、屋上階の油圧ユニット側方では「交通量の

多い道路」程度の騒音があり、この場合は、騒音源が遠ざかることはないので、長時間では不快を感じる。したがって、油圧ユニットと同じレベル(屋根上)に中央制御室を配置する場合には、制御室の防音対策を考慮すべきであろう。

表-4 リフトアップシステムの騒音

| 計測位置        | 平均値        | 最大値        |
|-------------|------------|------------|
| 施工フロア(4F)中央 | 76.5 dB(A) | 77.8 dB(A) |
| 油圧ユニット側方1m  | 82.3       | 83.8       |

さらに、システム運転中のビルから約10m程度離れた位置(地上1.5m)での騒音を計測したが、システムから発生する騒音を計測できない程度のレベルであった。以上より、本システムから発生する騒音による作業への支障、および近隣への影響はほとんどないと思われる。

#### 4.6 リフトアップシリンダの耐久性

実大施工実験に使用したものと同型のリフトアップシリンダを製作し、工場にて繰り返し作動試験を行った結果、施工実験と同様の荷重条件では、繰り返し作動4,000回でも動作トラブルがなく、また分解調査の結果、内部のパッキン類なども健全であることを確認した。

階高4m、30階建てのビルへの適用を考えた場合、ストローク500mmの油圧シリンダの動作回数は、ポスト盛替えも含めて1棟あたり1,200回程度であることから、現在使用しているリフトアップシリンダは、高層ビル3棟分を施工する程度の耐久性があり、十分な耐久性を有していると考えられる。

#### 4.7 実験で明らかになった課題

本システムを現場へ展開するにあたり、施工実験により明らかになった課題を以下に列記する。

##### (1) リフトアップシステム

- ① 作業時間の短縮および作業性の改善：主にポスト盛替え時の下部支持装置セット作業の改善。
- ② 運転操作の簡易化：中央制御盤表示情報の検討。
- ③ 容易なメンテナンス：ピンなどの摺動部メンテナンスの省力化。

##### (2) 状態監視モニター

- ① 動作フローの表示画面を追加し、現在どの作業が行われているかが簡単に把握できる表示方法。
- ② ポスト本数の増加に対応した表示画面。
- ③ 異常個所の図上表示など、異常発生時における助言機能の充実。

## 5. あとがき

今回の実大施工実験により計画通りの建物を施工することができ、リフトアップシステムの現場施工への適用性を検証することができた。しかし、自動ビル建設システムの主要建築生産ツールである「揚重・搬送システム」については、今回の実験システムに組み込むことができず、性能検証はまだできていない。

今後は、施工実験結果をもとに本システムの改造を検討し、より実用化レベルへ近づけるとともに、揚重・搬送システムの開発を重点的に進め、地上部の躯体施工を行う最小限のシステムを描いて、実現場への早期適用・展開を図りたいと考えている。なお、リフトアップシステムの設計・製作は、住友重機械工業(株)との共同開発である。

# 51. ルーフプッシュアップ工法の開発

(株)竹中工務店：\*宮口 幹太・藤井 卓美  
三井 建

## 1. はじめに

ルーフプッシュアップ工法は、中高層ビルの建設において初めに屋根となる最上階部分を構築し、ジャッキ装置を用いて徐々に押し上げながら下階を構築していく工法である。本工法は、1990年に名古屋の柳橋三井ビルにおいて初めて実施工に適用され、施工の全天候化や作業の安全性向上等の面で良好な結果を得た。その後、対象作業範囲の拡大や施工装置の開発等、工法の改良を進め、2番目の実プロジェクトとして1994年に同和火災名古屋ビルに適用した。この工事においては、作業の安全性のより一層の向上と省力化が図られており、施工の全天候化や最上階プッシュアップ作業の付加価値をさらに高めることができた。

本報では改良した工法と同和火災名古屋ビルにおける適用概要、及び施工装置概要を述べる。

## 2. 工法概要

### 2.1 工法のねらい

本工法は”安全に、早く、少人数で、楽に”ビルを建てることをねらいとしている。作業の安全性を向上させるためには、高所作業を削減することに主眼をおいている。工期を短縮するためには、躯体工事工程に設備工事を取り込み作業の並行化を図る。また、省人化を図るためには、タクト工程各作業日の作業人数を標準化し、メンバーを固定化することにより1人1人が複数種の作業を行う多能工化を図る。

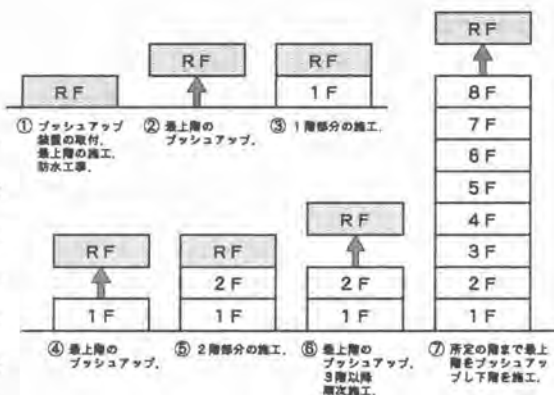


図-1 施工法の基本構想

### 2.2 施工法の基本構想

図-1に示すように最上階を最初に構築し、ここにプッシュアップ装置や揚重機械等の生産設備を集約化し、駆動階と称す。そしてこの駆動階を外周養生(シェルターと称す)で覆って全天候作業環境を確保しながら順次プッシュアップして建物を構築していく。

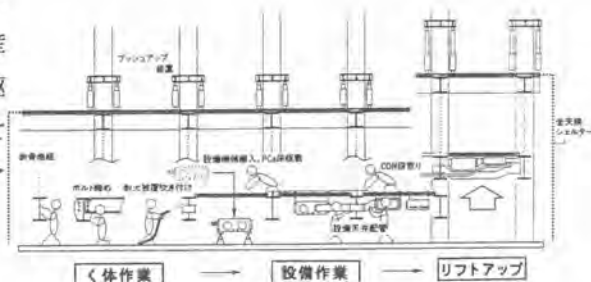


図-2 床鉄骨地組工法

## 2. 3 施工法の改良点

初めての実施工適用後の主な改良点を以下に示す。

### 1) 床上鉄骨地組工法

梁鉄骨を完成した下階床上で地組し、床版と天井設備機器を取り付けた後、駆動階とロッドで連結し、駆動階をブッシュアップする際に同時にリフトアップする。

図-2に作業状況を模式的に示す。在来工法ばかりでなく、前回の適用事例と比較しても高所作業が大幅に削減されており、作業時の安全性が著しく向上している。また、直接床上から地組した鉄骨に耐火被覆を施し、天井裏の設備機器及び配管類を取り付けることができるので、工事用の仮設足場が不要となる。

### 2) 全天候作業環境の効果の具現化

駆動階下部の作業スペース（作業階と称す）の周囲をシェルターで覆い、雨風の影響を遮断しているため、決められた日に決められた作業を計画通り実施することができる。また、全天候作業環境を活かして設備工事を躯体工事に取り込み並行作業とし、仕上げ工事に早期に着手することにより工期短縮が可能となる。

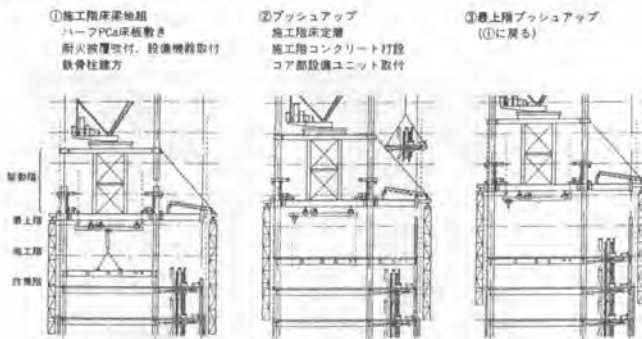


図-4 施工手順

## 2. 4 適用概要

改良後の本工法を適用したオフィスビルの建物概要を表-1に示し、図-3に基準階平面図を示す。この工事においては、吹き抜け空間のある3階までは在来工法で構築した後、最上階を先行構築し、4階から14階の構築に本工法を適用した。写真-1に施工時の外観を示す。建設資材は地上から屋上に設置した走行ジブクレーンによって、駆動階から張り出した荷取りステージまで揚重され、その後、駆動階床下に設置した天井走行スライドクレーンによって所定の位置へ運搬される。施工手順を図-4に示す。鉄骨柱は屋上のクレーンで上方から建て込み、下部の柱と溶接接合した後、その鉄骨柱に上昇反力を確保しながら、油圧ジャッキ装置で駆動階をブッシュアップする。今回の施工法では、常時、8本全ての柱で駆動階の荷重を分担しているため、本工法採用に伴う駆動階の鉄骨補強は極めて軽微である。



写真-1 施工時外観

表-1 建物概要

| 名称   | 同和火災名古屋ビル                |
|------|--------------------------|
| 用途   | 事務所                      |
| 建築面積 | 816.10 m <sup>2</sup>    |
| 延床面積 | 11,880.43 m <sup>2</sup> |
| 構造   | SRC、S                    |
| 階数   | 地下2階、地上14階、塔屋2階          |
| 最高高さ | 68.5 m                   |
| 工期   | 1993.10~1995.5           |

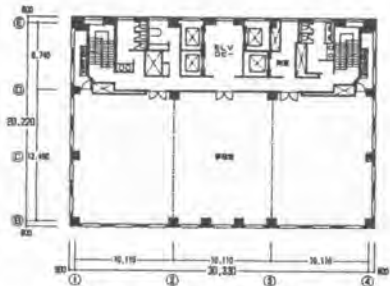


図-3 基準階平面図



### 3. 施工装置概要

#### 3. 1 ブッシュアップ装置

ブッシュアップ装置は、上昇機構をより単純化し、施工上必要な機械設備を軽減するとともに、鉄骨の形状等は極力従来のままで適用可能な装置を目指した。

上方から継ぎ足される本設柱に反力を確保して上昇する機構としたことで、システムをより簡素化することができ、また、本体鉄骨に対する加工も高さ約1 m毎に左右2枚の反力プレートを溶接するのみと非常に軽微なものとなっている。表-2に仕様、写真-2に設置状況を示す。

1本の柱に対し2本の油圧ジャッキと上下のフレームとから構成されるこのブッシュアップ装置はラチェット機構を取り入れて昇降時の反力ピンと反力プレートの噛み合わせを確実なものとしている。2枚の反力プレートに掛かる荷重はイコライザー機構により機械的にバランスされ、昇降時及び施工時の安全が確保されている。また、8台のブッシュアップ装置からなるブッシュアップシステム全体では、個々の装置に取付られたストローク計、油圧計等によりジャッキストロークを自動制御して、昇降時の駆動階水平レベル精度を確保している。図-5に駆動階上昇時の隣り合う2台のブッシュアップ装置①②の負担荷重の変化と装置①と最も遅い装置とのストローク差の変化を示す。ジャッキスピードの差によって①から②に負担荷重が移行していることと、ストローク差が管理範囲の10 mm以内に制御されていることがわかる。

#### 3. 2 高能率ジブクレーン

屋上に設置されるクレーンは地上の荷取り場から施工階へ資材を揚重するだけでなくブッシュアップの反力となる本設柱を上方から継ぎ足作業や建物コア部のく体工事、外装P C a板の取付等の作業に使用される。ブッシュアップ装置によって

表-2 '7'777'装置仕様

|        |              |
|--------|--------------|
| 負荷荷重   | 120 ton      |
| ストローク  | max 1,300 mm |
| 上昇反力確保 | 反力プレート方式     |
| 上昇速度   | 正味 4mm/sec   |
| 上昇方式   | 連続上昇遠隔操作方式   |
| 水平レベル  | 自動制御         |
| 計測項目   | 上昇ストローク      |
|        | 負荷荷重         |



写真-2 装置設置状況

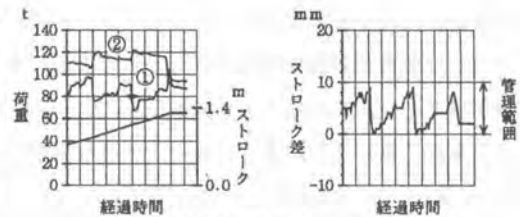


図-5 負担荷重及びストローク差

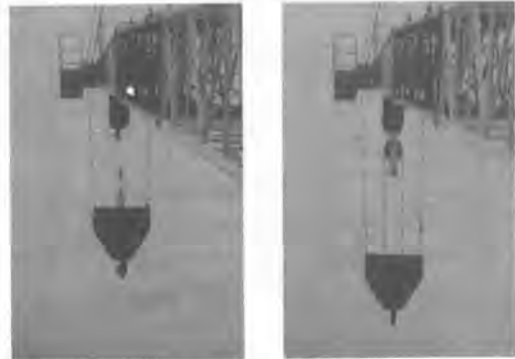


写真-3 切替実施状況

表-3 高能率ジブクレーン能力表(U-100 7'-A 20m)

| ワイヤリング | 2本掛      | 4本掛      |
|--------|----------|----------|
| 吊能力    | 5.6 t    | 1.2 t    |
| 巻上速度   | 36 m/min | 18 m/min |

支持される駆動階の上に設置されるため、吊り能力の高い軽量なジブクレーンが必要であり、さらにタクト工程内で一定の揚重回数を処理するために高速揚重が要求された。そこで走行式のジブクレーンに、従来ではワイヤの仕込み直しと監督署の変更検査が必要であった巻上ワイヤの掛数の切替を自動でおこなえるワイヤリング自動切替装置を付加した高能率ジブクレーンを開発し設置した。今回採用したジブクレーンは巻上げワイヤを2本掛けにした時の軽量物高速揚重と4本掛けにした時の重量物揚重とを両立させ高い揚重能力を実現した。写真-3に切替状況、表-3にワイヤリングの切替による能力変化を示す。

### 3.3 低機高天井走行スライドクレーン

駆動階床下に設置される天井走行スライドクレーンは施工階において、鉄骨の地組、P C a床板の敷込み等の他に、設備機器など様々な資材の運搬組付けに使用される。シェルターの外側に張出して設置された荷取りステージから資材を取込み、柱間を通過し走行方向と直交方向にスライドビームを張出すことで柱より奥であっても目的位置に揚重物を運搬することができ、さらに、低機高、低反力とすることで本設く体に対する補強を軽減する低機高天井スライドクレーンを開発採用した。図-6に概要、表-4に主要能力、写真-4に作業状況を示す。

### 4. まとめ

本工法を実施に適用した結果、所期の開発のねらいがほぼ達成され、必要な仮設資材や鉄骨補強が極めて軽微であり鉄骨の原設計もほとんど変更する必要がなかった。また、サイクル工程も最終的には基準階6日タクト工程を実現することができ、5日タクトの実現も十分可能であるという目処がたった。

本工法は、まず第一に作業者が動きやすい環境を実現することを目指しており、必ずしも性急な自動化は目指していないが、今後も種々のプロジェクトへの適用検討を通じて工法のレベルアップを図る予定である。

最後に本開発にあたりご協力頂いた関係各位の皆様へ深く感謝いたします。



写真-4 作業状況

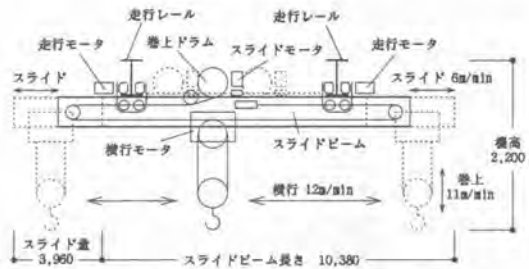


図-6 低機高天井走行スライドクレーン 概要と各部の名称

表-4 主要能力

|        |          |           |           |
|--------|----------|-----------|-----------|
| 機高     | 2,200 mm | 横行速度      | 12 m/min  |
| 吊能力    | 4.9 t    | 巻上速度      | 11 m/min  |
| 揚程     | 10 m     | スライドビーム長さ | 10,380 mm |
| 走行速度   | 15 m/min | スライド量     | 3,960 mm  |
| スライド速度 | 6 m/min  | 操作方法      | 無線/有線     |

## 52. 大屋根リフトアップ工法によるプール施設 メインアリーナの施工

(株)大林組：亀谷 真彰

### 0. はじめに

千葉県発注の総合温水プール（仮称）（習志野市所在）では、実質1年半余の短工期施工に対応するため、メインプール・飛び込みプールを擁するメインアリーナ部鉄骨大屋根の施工にリフトアップ工法を採用した。平成8年2月末竣工をめざし、現在施工中である。

メインアリーナ大屋根は、長辺部2本のキールトラスを主架構とするプール上部屋根とその両側に位置する観客席上部屋根（ウイング部）から構成されているが、ウイング部分を除いたプール上屋をリフトアップの対象とした。

通常の手順では、下部躯体→鉄骨屋根→プールの順に施工を行うが、屋根を下部躯体に先行して施工しリフトアップすることによって、プール部分の施工を下部躯体部分と並行して行うことが可能となり、工期の短縮につながった。

リフトアップ用に設置した仮設支柱頂部から、総ネジPC鋼棒を吊り材として油圧ジャッキにより大屋根4隅を吊り上げ、全揚程を3段階に分け実施した。リフトアップ開始から定着完了までの、大屋根を吊り上げた状態は半年近くに及んだ。

### 1. 全体工事概要

|       |                       |
|-------|-----------------------|
| 工事名称  | 総合温水プール（仮称）建築工事       |
| 施工場所  | 千葉県習志野市茜浜2-19-12      |
| 発注者   | 千葉県教育委員会              |
| 委託監理者 | 千葉県土木部営繕課             |
| 設計者   | (株) 梓設計               |
| 工事監理者 | 同上                    |
| 施工者   | 大林・大日本特定建設工事共同企業体     |
| 工期    | 平成6年7月13日～平成8年2月29日   |
| 建設物用途 | 温水プール                 |
| 構造規模  | RC造 地下1階 地上3階         |
| 敷地面積  | 17,680 m <sup>2</sup> |
| 建築面積  | 13,017 m <sup>2</sup> |
| 延床面積  | 24,282 m <sup>2</sup> |

### 2. リフトアップ工事概要

|            |                 |            |
|------------|-----------------|------------|
| 鉄骨屋根 スパン   | 長辺方向            | 97.7 m     |
|            | 短辺方向            | 42.5 m     |
| 重量         | 最大時（仕上完了時）      | 約1,450 ton |
| 仮設リフトアップ支柱 | 4基              |            |
| 油圧ジャッキ     | 能力300ton        | 8台         |
|            | (2台/支柱1基 × 4基)  |            |
| 吊りロッド      | 総ネジPC鋼棒φ36      | 48本        |
|            | (12本/支柱1基 × 4基) |            |
| 揚程         | 第1段階            | 1,000 mm   |
|            | 第2段階            | 7,500 mm   |
|            | 第3段階            | 8,150 mm   |
|            | 累計              | 16,650 mm  |

次頁の図-1、2、3に、それぞれ、リフトアップ工法手順、関連概略工程、装置概要を示し、施工写真を付す。

図-1 リフトアップ工法手順

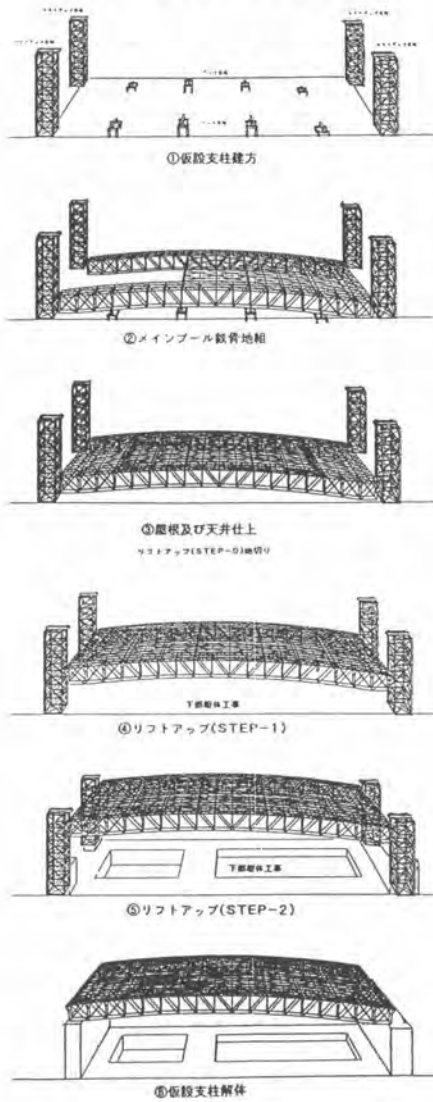
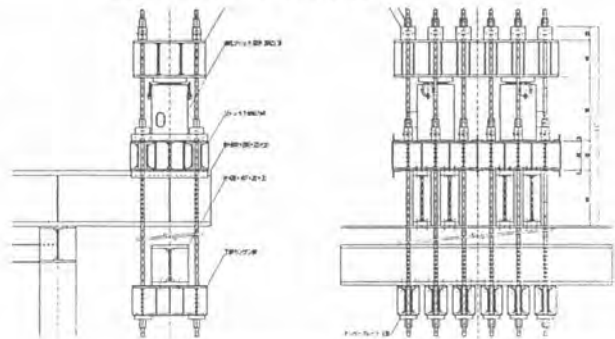


図-2 リフトアップ関連概略工程

|              | '94 |    |    | '95 |   |   |   |   |   |   |   |  |
|--------------|-----|----|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|--|
|              | 10  | 11 | 12 | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |  |
| 大屋根鉄骨地組      |     |    |    |     |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 屋根天井仕上諸工事    |     |    |    |     |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 下部RC躯体工事     |     |    |    |     |   |   |   |   |   |   |   |  |
| リフトアップ支柱設置   |     |    |    |     |   |   |   |   |   |   |   |  |
| リフトアップシステム設置 |     |    |    |     |   |   |   |   |   |   |   |  |
| リフトアップ作業     |     |    |    |     |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 定着作業         |     |    |    |     |   |   |   |   |   |   |   |  |
| リフトアップ設備撤去   |     |    |    |     |   |   |   |   |   |   |   |  |

図-3 リフトアップ装置概要



リフトアップ支柱

リフトアップ完了時



### 3. リフトアップ施工概要

大屋根の鉄骨建方は、設計段階ではベントによる通常の方法が想定されていたため、本体構造架構を利用してリフトアップする方法が採りにくく、仮設のリフトアップ支柱を設置した。

本リフトアップ工事では、大屋根を所定高さまでリフトアップしても、直ちに本体支承部に定着することはできず、支承部周りの本体RC躯体が立ち上がるのを待たなければならない。一方、この状態の時は、リフトアップ支柱を介して大屋根を吊り下げている系にとって、地震・風等の短期の横力に対し、もっとも不利となる。

したがって、大屋根を所定高さまで一気にリフトアップするのではなく、本体RC躯体の進捗に応じてリフトアップを2段階に分けて行うこととした。これにより以下の利点が生ずる。

- 大屋根を吊り上げている期間は約5.5ヶ月であるが、所定高さまでリフトアップを完了した状態となる期間は、一気にリフトアップする場合に比べて、約2/3（約2.5ヶ月）となり、地震を確率現象と仮定すれば、安全上有利である。
- 所定高さまでリフトアップを行う時点では、リフトアップ支柱脚元の鉄骨は本体下部RC躯体の既施工分まで躯体中に埋め込まれるように計画し、支柱の純鉄骨部分の高さの低減および脚元の固定度増を図ることによって、より経済的な支柱の計画が可能となる。
- リフトアップ装置の計画において、リフトアップ速度はさほど問題とならない。

以下に、施工手順にしたがってその要点を述べる。

#### A. リフトアップ支柱設置

リフトアップ支柱は、上述のように、圧縮側の2本の脚が下部躯体の進捗とともに躯体内部に埋め込まれるように配置し、地震時に引き抜きが支配的となる側の2本の脚は、鉛直アースアンカーにより引き抜き力に抵抗させるものとした。

リフトアップ各施工段階における支柱-大屋根の系に対し、地震時の動的解析を行い、支柱の応答加速度・屋根の応答変位を把握するとともに、支柱応力の検討を行って、その安全性を確認した。

#### B. 大屋根鉄骨地組

リフトアップ支柱側にはリフトアップ用のガイドは特に設けない計画としたため、リフトアップ中の大屋根の過大な水平移動を防止し、支柱に大きな衝撃を与えない目的で、大屋根鉄骨側に対支柱用の緩衝機構を取り付けた。（なお、リフトアップ停止期間中は、大屋根に控え用のワイヤーロープを設置して水平移動を防止した。）

#### C. 第1段階リフトアップ作業（STEP-0）

リフトアップ支柱頂部の吊り点の位置は、吊りロッドの垂直性保持の観点から、大屋根が地組時から本来の4隅支承部4点支持の状態となった時の変形量（スラスト）に、吊り上げ時のリフトアップ支柱頂部の変形量（おがみ）を加味して据え付ける必要がある。

大屋根の変形については、リフトアップ以前に、地組用ベント反力の解放（鉄骨仮受点のジャッキダウン）を行って、ベントの負担荷重を4隅支承部分に移行し、変形量を確認する方法が最も確実であったが、地組状態から直接リフトアップを行った場合の屋根・支柱の応力・変形解析結果に基き、支柱頂部の吊り点位置を決定することとし、上述のジャッキダウン作業は省略して、地組状

態から直接リフトアップを行った。

ただし、地切りの途中段階で、一部のブレース材に、設計時とは異なって一時的に圧縮力が作用するため、座屈防止用の仮設補強を施して、地切り作業を行った。

地切り完了後、引き続き揚程 1,000mmのリフトアップを行って、次工程の仕上工事に必要な天井ふところの作業空間を確保した。

#### D. 屋根仕上・天井内設備・天井仕上

大屋根鉄骨架構を4隅支承部の4点吊りとした時、中央部での変形量（たわみ）が大きいため、この変形を生じさせた後に、屋根・天井の諸工事を行うこととした。（屋根下地材については、地切り以前に取り付けを行った。）

#### E. 第2段階リフトアップ作業（STEP-1）

屋根・天井仕上、設備工事の完了後、第2段階として、揚程7,500mmのリフトアップを実施した。

#### F. 下部RC躯体工事

大屋根下部RC躯体工事はプール部分と観客席部分（ウイング）とに大別される。リフトアップSTEP-1完了後、ウイングの躯体工事を継続するとともにプールの躯体工事に着手した。

プール部分は、屋根がすでに架けられていることになり、天候に左右されず工事が行えた。

#### G. 第3段階リフトアップ作業（STEP-2）

屋根支承部分の下部RC躯体工事のレベルが吊り下げた大屋根レベルに追いついた時点で、所定高さまで最終リフトアップ（揚程8,140mm）を実施した。

#### H. 下部RC躯体工事

リフトアップSTEP-2完了後、引き続きウイングとプールの躯体工事、および、屋根支承部分のRC躯体工事を行った。

滑り機構を含む支承部プレート類は、予め大屋根側に取り付けてリフトアップしているので、通常とは反対に、所定位置に吊り下げられている大屋根支承部分を躯体コンクリートに打ちこんだ。

#### I. 定着作業

屋根支承部躯体のコンクリート強度が発現するのを待って、定着作業（荷重の移し替え：リフトアップ装置→本体支承部）を行った。定着作業時、大屋根支承部はすでにコンクリート躯体に固定されているため、支承部の滑り機構のメカニズムに悪影響を及ぼさないよう、その時点で吊りロッドが負担している荷重以上の吊上げ力を与えない作業方法・手順による。



## 53. 超音波振動ごてを利用した左官ロボットの開発

ハザマ：\*小林 正明

三菱商事(株)：相馬 勝

(株)エロイカコーポレーション：鳴原 学徳

### 1. まえがき

建築現場でのコンクリート床直押さえ作業は、その大部分を熟練した左官工の手作業に頼っているのが実情である。左官作業は中腰による力仕事であり、かつコンクリート硬化状態に合わせての長時間にわたる過酷な作業となっているため、建設業における3K作業の代表的な職種の1つといわれており、早くから省力化・自動化機械の開発・導入が望まれていた。これまでも国内で数例のコンクリート床仕上げロボットが開発されているが、これらのロボットはこての回転運動によってコンクリート表面を均すものであり、その大きさや重量の面などで適用条件が制約されることが多く、広く一般に普及させるには幾つかの課題が残されていた。

本ロボットは、非熟練作業員でも手軽に持ち運んで使える左官工の道具的位置づけを開発目標として取り組んできたもので、走行部前後にこてを配置して、コンクリート面での直進運動による往復走行で左官作業をおこなうものであり、この「こて」の一部に超音波振動子を取り付けることによって比較的小さな動力で施工を可能にし、ロボットの小型・軽量化を図ったことに大きな特徴がある。

本報では、試作ロボットの開発経過および施工実験について報告する。

### 2. ロボットの概念設計

建築現場における土間工事は平面規模の大きいものを除けば1日仕事であり、同じ現場では1回コンクリートを打設すると次回のコンクリート打設まで10日から2週間は間があき、その間は異なった現場での作業となる。そのため、ロボットといえども機械ごて(トロウエル)と同様に左官工が自ら持ち歩けることが望ましい。また、一般に施工階が上階に移行していくなかで、揚重クレーンに頼らずとも現場に設置してある荷物リフトを利用して、あるいは数人の左官工によって人力で階上へ運び上げられることが、ロボットを日常の道具として使用していく上で重要なファクターとなる。さらに、熟練した左官職人が減少しつつある現在、社会進出の目ざましい女性への新たな職場提供の機会を喚起すること

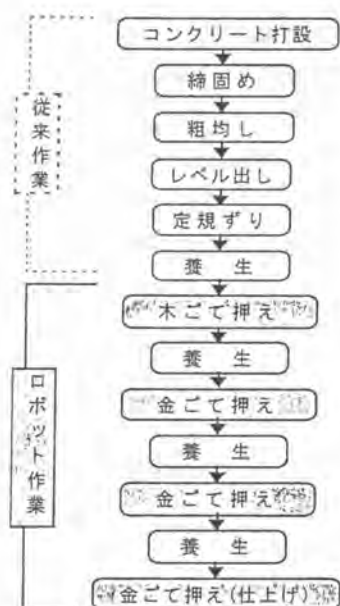


図-1 左官作業工程

も大事なことと考えられる。そこで本開発におけるロボットの設計概念を以下のように設定した。

- ① 熟練工でなくても木ごて押さえ、金ごて押さえ等の左官作業が容易にできる。ロボットの作業範囲を図-1に示す。
- ② 超音波技術の導入によりこての押さえ効果の増大を期待し、長尺のこてを走行装置の前後に配置して、左官工と同様に動作させるために往復走行させる方式とする。
- ③ 運搬、現場搬入が容易にできるように小型・軽量で、しかも分解・組み立てが可能なものとする。
- ④ ロボットの動力源はエンジン発電機とし、自立走行出来るようにする。
- ⑤ 品質、施工コストが従来作業と同等程度とする。

### 3. 予備実験

#### 3. 1 予備実験の目的

ロボット開発にあたり、要素となる以下の技術について予備実験を行い、設計条件を設定した。

##### (1) 超音波こての施工条件

良好な仕上げ面を形成する施工条件を求め、こて試験装置を製作しコンクリート仕上げ実験を行った(写真-1参照)。実験では模擬的に轍を付けて、どの程度の深さまでこれを消すことが可能かを確認した。また、施工品質の確認のため、左官工と超音波こての仕上げ面をシュミットハンマーおよび超音波密度計を用いて強度と密度測定を行った。



写真-1 こて試験状況



写真-2 走行実験状況

##### (2) 走行方式の選定実験

最適な走行装置を選定することを目的に、木ごて押さえ・金ごて押さえ時のコンクリート上でこてを牽引しながら走行し、かつ、走行跡を残さない走行方法として、ゴムキャタピラ方式および低圧膜タイヤ(以下、バルンタイヤと記す)方式について牽引力、走行跡等の比較試験を行った(写真-2参照)。

#### 3. 2 実験結果

##### (1) 超音波こての施工条件



実験により、超音波ごての施工条件に関して以下のような知見が得られた。

- ① ロボット投入時期は、木ごて押さえについては積算温度換算で40～60℃・h、金ごて押さえ時は80℃・h程度が適当である。
- ② こて角度は2～5°程度で平滑な面が形成できる。
- ③ こての移動速度は15～30cm/sで良好な仕上げ面が形成できる。
- ④ こて押しつけ力は木ごて押さえ時には4kgf程度、金ごて押さえ時には10kgf程度が必要である。
- ⑤ 牽引力は、平均で5～10kgf程度であり、最大で20kgf程度を必要とする（表-1参照）。
- ⑥ 轍深さは4mm以上になると消すことができず、コンクリート面に凹部となって残る。

施工品質については上記の施工条件において、左官工と同等の強度、密度となることが確認できた（表-2参照）。なお、轍については振動モーターを取り付けたパイプロプレートを新たに開発し、こて作業の前処理を行って完全に消し去るものとした。

## (2) 走行方式の選定

走行装置については以下の知見が得られた。

- ① 牽引力は接地圧力の影響を受け、接地圧力が大きい程、牽引力も増大する。ただし、接地圧力の増大は轍深さも大きくすることになる。
- ② 未硬化コンクリート上を走行する際の牽引力は、ゴムキャタピラあるいはバルンタイヤの表面が平滑な場合、接地圧が等しければ牽引力は同等である。
- ③ ゴムキャタピラあるいはバルンタイヤの表面に凹凸がある場合には、凹凸部のコンクリート面への食い込みにより、コンクリートのせん断抵抗が加わり、牽引力は増加する。ただし、轍が残る可能性が高い。

以上のことから、キャタピラ式とバルンタイヤ式は、これらの方式の違いによる牽引力の差は無いものと考えられる。本ロボットにおいては、清掃の容易さ、メンテナンスのし易さからバルンタイヤ方式を採用した。

表-1 牽引力の測定例

| 作業内容 | こて角度 $\theta$<br>[deg] | こて速度 $V$<br>[cm/s] | こて押付力 $F$<br>[kgf] | 轍深さ<br>[mm] | こて移動水平力 $HF$<br>[kgf] | 水平力最大値 $HFP$<br>[kgf] |
|------|------------------------|--------------------|--------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| 木ごて  | 2                      | 15                 | 22                 | 3           | 5                     | 24                    |
| 金ごて  | 2                      | 15                 | 22                 | 2未満         | —                     | —                     |
| 金ごて  | 2                      | 15                 | 22                 | 0.5未満       | —                     | —                     |
| 金ごて  | 2                      | 15                 | 22                 | 0.5未満       | 5                     | 27                    |
| 金ごて  | 2                      | 15                 | 22                 | 0.5未満       | 6                     | 25                    |

表-2 表面強度および伝播速度

| 施工条件                           | 均しのみ  | 左官工   | 2回施工  | 6回施工  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 3mm以下平均値 $R$                   | 21.0  | 24.8  | 25.4  | 27.2  |
| 表面強度<br>[kgf/cm <sup>2</sup> ] | 133.2 | 182.5 | 190.1 | 213.4 |
| 超音波平均値 $V_1$ [ $\mu$ s]        | 32.6  | 30.5  | 30.1  | 30.1  |
| 音速 $V_1$ [m/s]                 | 3,069 | 3,279 | 3,322 | 3,323 |
| 超音波平均値 $V_2$ [ $\mu$ s]        | 63.8  | 60.7  | 60.6  | 59.6  |
| 音速 $V_2$ [m/s]                 | 3,135 | 3,297 | 3,301 | 3,359 |
| 音速平均値<br>[m/s]                 | 3,102 | 3,288 | 3,312 | 3,341 |

#### 4. ロボットの概要

設計概念と予備実験の結果に基づき、ロボットを試作した。

ロボットは走行部・前後こて部・電源部・制御部・遠隔作用ラジオコントロール部で構成され、6分割できる構造とした。こて部は、往復動作をさせるために走行部の前後に同じものを装備し、前後進の方向に応じてこて角度を自動的に変えられる機能を有する。こて部の構成は、外側から順に仕上げ用超音波こて、均し用超音波こてを並べ、その内側に骨材を沈め、のろ出しを促進するためのパイプロプレートを配置した。超音波こての振動方式は、せん断振動モードと水平振動モードの組み合わせとしている。重量軽減対策として、電源部は、一般の発電機では500w程度の出力で重量が20~30 kgfにもなるため、新たに高周波発電機を開発し、重量が15 kgfで700wの出力を実現できた。また走行部は、本体フレームにアルミ合金を用い、さらに一般のタイヤに比べ軽量のバルンタイヤを使用した。こて支持パイプも、剛性が高く、軽量のものを利用している。

ロボットの外観を写真-3に、ロボット仕様、各製品の単体重量を表-3~4に示す。また、ロボット分解状況、車載状況を写真-4~5に示す。



写真-3 ロボット外観



写真-4 ロボット分解状況

表-3 ロボット仕様

|          |   |
|----------|---|
| 外形寸法     | L1,805×W808×H795 mm   |
| 総重量(乾燥時) | 91.8 kg   |
| 施工能力     | 最大 300 m <sup>2</sup> /h  |
| 走行速度     | 0~50 cm/sec   |
| 動力源      | 高周波エンジン発電機<br>発電電圧 3 φ 220Hz 100 V<br>最大出力 700 W<br>騒音値 66 dB(A)/7m |
| 超音波こて    | 振動周波数 26.75 kHz<br>前後各2枚  |
| パイプロプレート | 加振力 15 kg/F<br>前後各1枚  |
| 遠隔操作     | 無線周波数 72 MHz<br>電源(バッテリー) 9.6 V 1,100 mAh                           |
| 運転方法     | ラジオコントロールによる手動運転<br>ティーチングによる自動運転<br>割り込み遠隔手動運転                     |
| 安全装置     | 障害検知兼用型安全バンパー<br>開口部検知センサ<br>運転表示回転灯                                |

表-4 各製品の単体重量

| 部品名        | 外寸法<br>(L×W×H:cm) | 数量 | 単重量<br>(kg) | 総重量<br>(kg) |
|------------|-------------------|----|-------------|-------------|
| ① 本体       | 61×60×36          | 1  | 29.1        | 29.1        |
| ② エンジン発電機  | 30×38×47          | 1  | 15.9        | 15.9        |
| ③ こて支持フレーム | 62×82×33          | 2  | 15.9        | 31.8        |
| ④ パイプロプレート | 61×10×8           | 2  | 4.0         | 8.0         |
| ⑤ 内側超音波こて  | 64×11×3           | 2  | 1.7         | 3.4         |
| ⑥ 外側超音波こて  | 74×10×            | 2  | 1.8         | 3.6         |
| ⑦ ラジコン操作機  | 20×13×22          | 1  | 1.3         | 1.3         |

## 5. 施工実験

### (1) 試験フィールドにおける施工実験

試作ロボットの施工実験として、低・中層建物の柱に囲まれた床面を模擬した試験フィールド（約 7m × 7m）を作成し、コンクリート打設から金ごて 2 回押さえまでの施工実験を行い、ロボットの施工能力、動作動線、動作回数、騒音、施工精度、安全対策の各測定あるいは確認を行った。各々の測定結果を表 5～7 に、施工精度の測定位置を図 2 に示す。

安全対策として開発した安全バンパーは、ロボットの慣性走行（停止信号を送ってから完全停止するまでのオーバーラン）に対する緩衝域を十分有しており、障害物に衝撃を与えることなく確実に停止できた。また、同バンパーに取り付けたビームセンサーにより開口部の検出による停止動作も確実にあった。

表 5 ロボット施工能力

| 作業内容     | 施工面積              | 施工時間     | 施工能力                  |
|----------|-------------------|----------|-----------------------|
| 木ごて押え    | 49 m <sup>2</sup> | 9 分 57 秒 | 295 m <sup>2</sup> /h |
| 金ごて 1 回目 | 49 m <sup>2</sup> | 8 分 50 秒 | 333 m <sup>2</sup> /h |
| 金ごて 2 回目 | 49 m <sup>2</sup> | 9 分 02 秒 | 325 m <sup>2</sup> /h |
| 平均       |                   | 9 分 16 秒 | 317 m <sup>2</sup> /h |

表 7 施工精度測定結果

| 単位：mm |     |         |
|-------|-----|---------|
| 測定位置  | 平均値 | 標準偏差    |
| I     | 1.0 | 0.63561 |
| II    | 0.5 | 0.33628 |
| III   | 0.7 | 0.49714 |
| IV    | 1.0 | 0.58604 |
| V     | 0.6 | 0.53362 |
| VI    | 0.5 | 0.45895 |
| VII   | 0.8 | 0.49766 |
| VIII  | 0.9 | 0.60169 |
| IX    | 0.7 | 0.50697 |
| 全平均   | 0.7 | 0.54998 |



写真 5 ロボット車載状況

表 6 騒音測定結果

|                      |   | 単位：dB(A) |      |      |
|----------------------|---|----------|------|------|
| ロボットからの距離            |   | 7 m      | 15 m | 30 m |
| エンジン発電機による<br>金ごて作業時 | 前 | 69.5     | 62.0 | 49.0 |
|                      | 左 | 70.0     | 60.0 | 51.0 |
|                      | 後 | 74.0     | 66.0 | 53.0 |
|                      | 右 | 72.0     | 65.0 | 53.0 |
| 平均値                  |   | 71.4     | 63.3 | 51.5 |
| 商用電源による<br>金ごて作業時    | 前 | 65.0     | 57.0 | 46.0 |
|                      | 左 | 66.0     | 57.0 | 44.0 |
|                      | 後 | 68.0     | 61.0 | 50.0 |
|                      | 右 | 67.5     | 60.0 | 50.0 |
| 平均値                  |   | 66.6     | 58.8 | 47.5 |

測定器：リオン(株)製 精密騒音計 NL-14

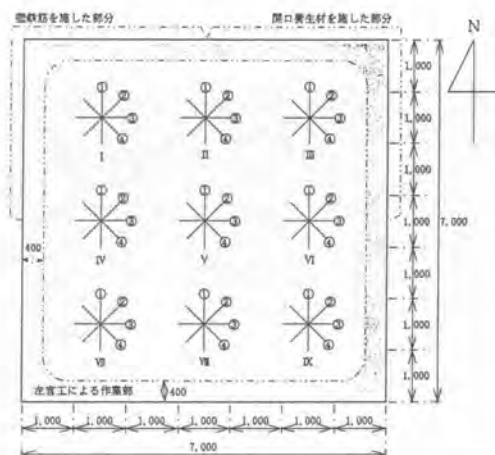


図 2 施工精度測定位置

## (2) 現場施工実験

現場施工実験は、これまでに冷凍倉庫の床、焼却炉機械室床、集合住宅住居床などで延べ 700㎡を実施している。実施した現場では概ね好評を得ることが出来た。ただし、硬化し始めの段階にある、現場ごとに性状の異なるコンクリート上を走行することに対して、以下のような課題があげられた。

- ① 木ごて押さえ時は、施工により「のろ」が出た部分に片側のタイヤが乗ることからスリップを生じ易くなり、方向制御が困難になることがある。
- ② また、木ごて押さえはロボット投入時期の判断が難しく、早過ぎるとスリップを生じ易く、遅すぎると「のろ」が出にくくなり、良好な施工面が得られにくい。また、日射などの影響により打設面の硬化状態が異なる場合も同様なことが生じる。
- ③ 施工面の平滑性は左官工とくらべて遜色ないが、ロボットの急激な進路変更により、タイヤの轍が残ることがある。



写真－6 現場施工状況

これらの課題は、いずれもロボットを操作する作業員の技量によって左右される要素であり、多少の経験により解決出来ると考えている。

## 6. おわりに

今回開発した左官ロボットは、当初目標とした小型、軽量、施工品質の維持などの面ではまずまずの結果が得られた。ただし、水平精度は、あくまでも左官工の手作業による定木ずりの精度に依存するので、レベル出し、定木ずりを従来と同様に正確に行う必要がある。これまでの施工実験を通しての課題は、ロボットを投入するタイミングであり、投入が早すぎたため、深みにはまったロボットを救助に行かなければならないことも生じた。また、コンクリートが、まだ多少柔らかい場合に発生する轍の問題も同様の理由による。現在は、ロボット走行部に対し、轍を積極的に全面につけてしまうことも考えており、使い勝手を良くすることも追求したいと考えている。今回の一連のロボット開発により、さらに新たな施工法を生み出すことができ、現場の作業環境改善に貢献出来れば幸いである。

# 54. 支柱格納式連続プッシュアップ工法による傾斜ドームの施工

(株)竹中工務店：\*小山 良樹・野本 和章  
古川 政彦

## 1. はじめに

近年、ドーム球場に代表される大規模・大空間施設の建設が増加している。それに伴い、各施設の特長をアピールすべく、施設設計の多様化と共に構造的・意匠的主張を持たせた建物が多い、また、施工技術面では、労働者の安全性・労働環境の改善を目的とした工法の開発、改善も着実に進められている。

現在、大阪府で建設中の大阪府立門真スポーツセンターは、長辺長さ 125m、短辺長さ 109m、高さ 42mの楕円形で、かつ屋根全体が5度傾斜した形状の多目的ドームである。このドームの施工法にパンタドーム構法（法政大学川口 衛博士の特許構法）が採用された。

このせり上げ方法として実施された、過去のプッシュアップ工法は、垂直方向へのせり上げのみであり、かつ支柱継ぎ足し方式のため完了までに1～2週間の期間を要していた。

今回、この5度傾斜したドームのせり上げ工法として支柱格納式連続プッシュアップ工法を開発し、わずか1日で28mのプッシュアップを完了した。

ここに、その計画と実施結果について報告する。

## 2. 工事概要

|                 |  |
|-----------------|--|
| 工事名称            | 大阪府立門真スポーツセンター(仮称)新築工事                 |
| 発注者             | 大阪府                                    |
| 設計              | 大阪府建築部管轄室<br>(株)昭和設計                   |
| 設計指導<br>[ドーム屋根] | 法政大学教授 川口 衛 博士                         |
| 監理              | (財)大阪府建設監理協会<br>(株)昭和設計                |
| 建築施工            | 竹中・鴻池・浅沼・住友・東海共同企業体                    |
| 建設地             | 門真市大字三ツ島308-1 外                        |
| 敷地面積            | 45,795.38㎡                             |
| 建築面積            | 25,461.40㎡                             |
| 延床面積            | 37,660.81㎡                             |
| 構造・規模           | RC,S,一部SRC/B1,3F                       |
| 最高高さ            | SGL+42.65m                             |
| 外装              | タイル打込炭素繊維強化セメント板、<br>打放しコンクリート、ステンレス屋根 |

図-1 工事概要

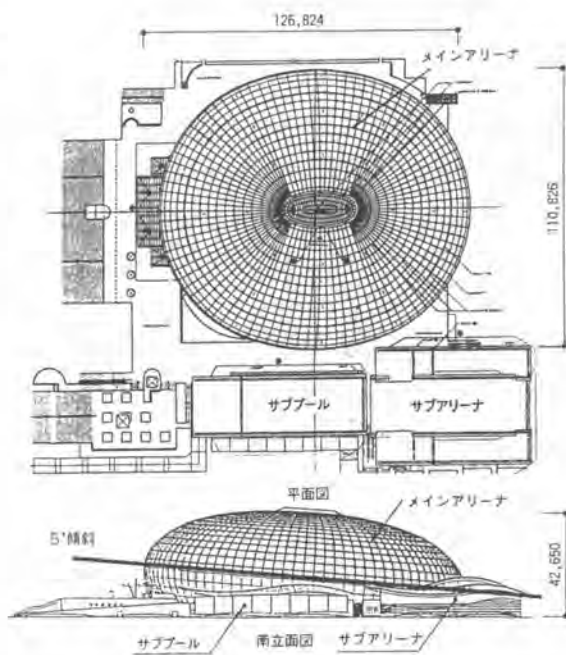


図-2 建物形状

### 3. プッシュアップ工法の検討

パンタドーム構法の実施に当っては、施工性・安全性・コストを考慮して実施計画を行なった。このプロジェクトのポイントは屋根全体が5度傾斜している点である。そのため、プッシュアップ中に水平分力が働くため、水平変位、荷重、揚程の管理が非常に重要となり、短期間に完了させなければならない。以下に各検討事項について示す。

#### 3-1. パンタドーム構法の概要

この構法は、法政大学川口 衛博士の考案された特許構法である。その仕組みは、構造体にヒンジを設置し、低い位置で構造体を組立て、これをドームの最終形状までジャッキなどによってせり上げるというもので、その結果在来工法と比較して、安全性が高く工程も短縮できるメリットがある。また、アップ中の横力をドーム全体で効果的に拘束する大きな特徴がある。

#### 3-2. プッシュアップ概要

プッシュアップ工法の概要を図-3、表-1に示す。

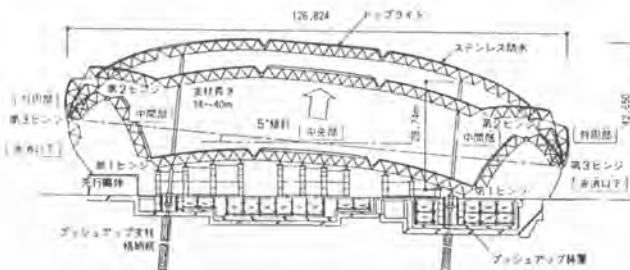


図-3 プッシュアップ概要

| 項目        | 数量・仕様      |        |      |         |      |     |      |    |        |
|-----------|------------|--------|------|---------|------|-----|------|----|--------|
| プッシュアップ面積 | 中央部        | 4,467㎡ |      | 10,138㎡ |      |     |      |    |        |
|           | 中間部(除く297) | 3,534㎡ |      |         |      |     |      |    |        |
|           | 外周部(除く297) | 2,137㎡ |      |         |      |     |      |    |        |
| プッシュアップ重量 | 鉄骨         | 中央部    | 425t | 中間部     | 348t | 外周部 | 327t | 小計 | 1,100t |
|           | 仕上げ        | 中央部    | 93t  | 中間部     | 49t  | 外周部 | 29t  |    | 171t   |
|           | キャットウォーク   | 中央部    | 75t  | 中間部     | 37t  | 外周部 | —    |    | 112t   |
|           | 照明・電気設備    | 中央部    | 88t  | 中間部     | —    | 外周部 | —    |    | 88t    |
|           | 仮設         | 中央部    | 198t | 中間部     | 38t  | 外周部 | 22t  |    | 258t   |
|           | 合計         | 中央部    | 879t | 中間部     | 472t | 外周部 | 378t |    | 1,729t |
| 上昇量       | 28.736m    |        |      |         |      |     |      |    |        |

表-1 重量表

#### 3-3. プッシュアップ方式の検討

パンタドーム構法の実績はこれまでに4件ある。この4件のプッシュアップは、いずれも垂直方向へのプッシュアップであり、支柱継ぎ足し方式により行なわれた。今回は前述のようにドーム全体が5度傾斜しているため、プッシュアップ方向、支柱供給方法について検討を行なった。表-2にプッシュアップ方式の検討比較表を示す。架構の安定性、工期、コスト面から検討を行ない、5度傾斜、格納方式で実施する事とし、大幅な工程短縮をねらった。

表-2 プッシュアップ方式

| 押し上げ方向<br>支柱供給方法 | 垂直方式      |         | 5 deg 傾斜方式 |         |
|------------------|-----------|---------|------------|---------|
|                  | 案① 継ぎ足し方式 | 案② 格納方式 | 案③ 継ぎ足し方式  | 案④ 格納方式 |
| 概要図              |           |         |            |         |

### 3-4、プッシュアップ装置の検討

プッシュアップ装置は、主にプッシュアップ支柱・反力構台・油圧ジャッキから構成され、中央部トラス周辺部に16ヶ所配置した。

#### 1) プッシュアップ支柱

プッシュアップ支柱は、最大111tの鉛直荷重および5度傾斜分の自重による曲げ力を受ける。その仕様は、全長34~40m、直径558.8mm、板厚22mm、材質STK400の鋼管である。柱頭は、トラスの変形時にトラスおよび支柱に曲げが発生しないようにテフロンシートにより縁切りを行ない、その固定は、ワイヤロープ(2-φ18)を絞り込んで行なった。柱脚は、PC鋼より線のアンカー装置と、支柱と格納鋼管がせらないようガイドローラーが取り付けられている。図-4に概要図を示す。

#### 2) ジャッキシステム

油圧ジャッキの選定にあたっては、ステップロッド式・VSL式・ベアロック式について検討を行なった。その結果、ロッドの盛り替え、下部支持装置が不要で、プッシュアップ完了まで連続上昇が可能なVSL式を採用する事とした。このシステムは、支柱の最下部に定着されたPC鋼より線をVSLジャッキで引き上げる事により支柱を上昇させるというものである。また格納鋼管と支柱の隙間に7本のPC鋼より線を有効に収めるため、方向調整およびガイドシーブを取り付ける工夫をした。1支柱当り2台、合計32台のジャッキを使用し、各支柱間の高低差があらかじめ設定された管理値を超えないようにコントロール可能なシステムとした。

表-3 プッシュアップ装置概要

| 名称        | 数量       | 仕様  |
|-----------|----------|---|
| 支柱格納坑     | 16t      | φ800mm t=12mm L=34.5m   |
| 支柱        | 16t      | φ558.8mm t=22mm<br>L=34.0m~40.0m STK400                         |
| 反力構台      | 16t      | 鉄骨構台方式 4台<br>軽体利用方式 12台   |
| ジャッキシステム  | 油圧ジャッキ   | VSLジャッキ 60t用 20台<br>100t用 12台                                   |
|           | PC鋼より線   | 12.7φ×7-34m<br>15.2φ×7-34m                                      |
|           | 油圧ポンプ    | LEP-11A 吐出量 13ℓ/min 200V 11KW<br>LEP-11B 吐出量 9.6ℓ/min 200V 11KW |
|           | バルブユニット  | 使用圧力 700kg/cm <sup>2</sup><br>流量 12ℓ/min                        |
|           | FAモニター装置 | 2台  |
|           | 姿勢制御装置   | 8台  |
| 間隔方向調整シーブ | 32台      | シーブ径 φ300mm   |
| ガイドシーブ    | 32台      | シーブ径 φ200,270mm   |

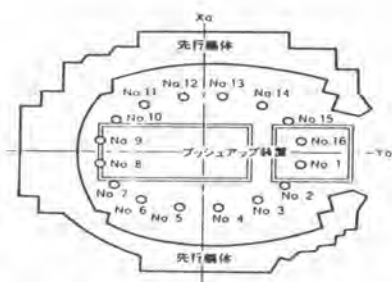


図-4 プッシュアップ装置配置



図-5 プッシュアップ装置概要

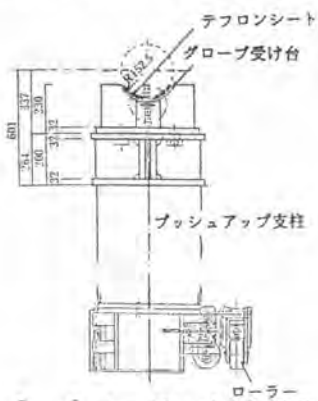


図-6 プッシュアップ支柱概要

### 3-5. 計測管理システム

プッシュアップを成功させるためには、プッシュアップ中の鉄骨トラスの挙動や応力状態、およびジャッキの作動状況を正確に把握する事が必要である。そのため、鉄骨トラスの水平変位量・揚程量・荷重等を計測し、結果をリアルタイムに処理し施工に反映させる計測管理システムを開発した。本システムでは、多項目の計測を同時に行ない、すべての計測結果を司令室に設置された4台のパソコン画面で確認でき、また計測結果が管理値を超えた場合には表示色が変わり、司令者に注意をうながす機能を持っている。

表-4に計測管理項目及び管理値、図-7に計測機器配置を示す。また、各種計測管理状況のうち、写-1に水平変位、写-2に揚程量・ジャッキ荷重の司令室内パソコン画面表示例を示す。

表-4 計測管理項目・管理値

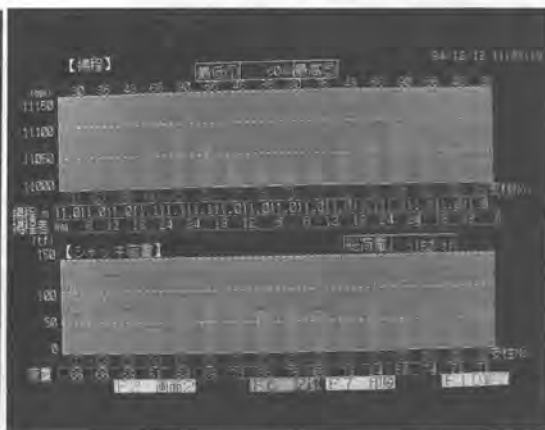
| 計測項目  | 計測機器   | 方式  | 点数  | 管理値           |
|-------|--------|-----|-----|---------------|
| 揚程量   | エンコーダ  | 自動  | 16  | 隣接支柱間高低差      |
|       | 光波距離計  | 自動  | 1   | 20mm以下        |
| 支柱反力  | 圧力変換器  | 自動  | 16  | 支柱許容耐力125tf以下 |
| 水平変位  | 三次元測量器 | 半自動 | 5   |               |
| 部材応力  | 歪みゲージ  | 自動  | 136 | 短期許容応力度以下     |
| 風向・風速 | 風向風速計  | 自動  | 1   | 10分間平均16m/秒以下 |



図-7 計測機器配置



写-1 水平変位量



写-2 揚程量・ジャッキ荷重

## 4. プッシュアップ工事の実施

### 4-1. 施工手順

図-11にプッシュアップまでの施工フローを示す。工事は、支柱格納斜杭の打設から始まり、トラス柱脚部分の躯体工事を行なう。ドーム周辺の躯体工事が完了すると、トラス鉄骨建方のための支持構台の組立て及びプッシュアップ支柱の挿入を行なう。仕上工事は極力地組時に地上で完了させ、高所での作業は少なくしなければならない。今回は、屋根全体の仕上げに対して78%を完了させた上でプッシュアップを行なった。

以下主要項目について述べる。



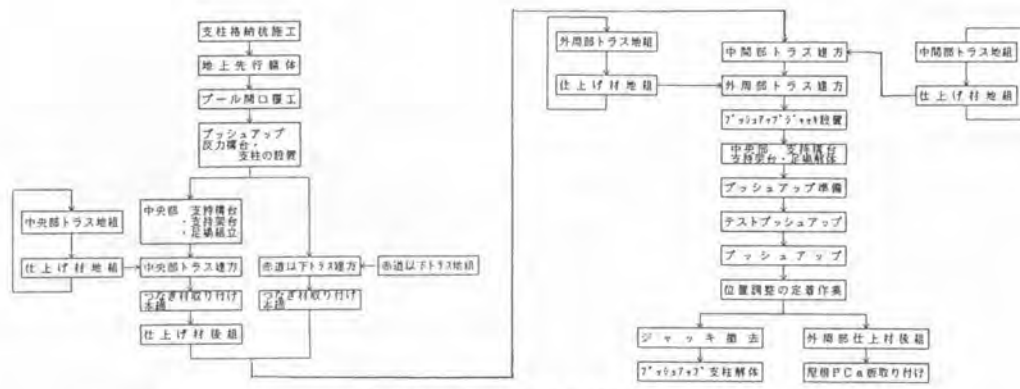


図-11 プッシュアップ施工フロー

#### 4-2. 支柱格納斜杭の施工

支柱格納斜杭は16本あり、4本は仮設杭、12本は本設兼用杭となっている。斜杭の仕様は図-12に示す。

工法は、剛性の高いケーシングを使用するベント工法を採用した。過去に場所打ち杭で斜杭を打設した実績はなく、また、要求精度が高いため、掘削機械の改造、ガイドトレンチの設置、傾斜測定装置の開発・位置調整ジャッキの設置等を行ない施工した。その結果、全て所要の管理値以内で完了した。

#### 4-3. トラス鉄骨の建方

ドームトラス鉄骨は総重量1,186t、約15,000ピースあり、安全に効率よく建方を行うために地上で地組み、仕上げまで完了させた。写-3～5に建方状況を示す。

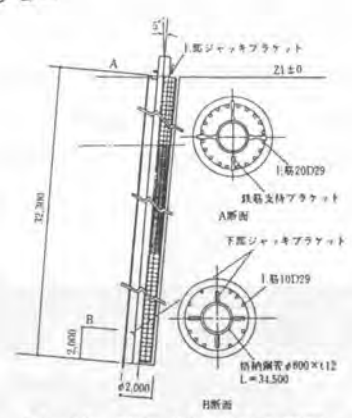


図-12 支柱格納斜杭の概要



写-3 トラス建方(1)



写-4 トラス建方(2)

#### 4-4. ジャッキダウン・地切り

トラス鉄骨建方、仕上げ工事、設備工事が完了すると、それまで建方用構台にかかっていた荷重を全てプッシュアップ支柱に移換させる作業を行なう。地切り作業である。今回は16柱一斉自動運転を繰り返して、荷重を全て支柱に受け替えた。地切り時に支柱に作用する荷重は、16支柱合計1,254t（解析値1,310t）であった。水平変位は最大南に13mm、東に96mm（傾斜方向）であった。この値は、事前解析結果とほぼ一致した。

#### 4-5. プッシュアップ

写-5~7にプッシュアップの状況を示す。作業はほぼ計画通り順調に進み、約8時間半でプッシュアップが終了し、従来の所要期間を大幅に短縮できた。

上昇速度は62mm/minで、当初の計画(60mm/min)通りであった。図-13にプッシュアップ経過グラフを示す。

隣接支柱間の最大高低差は、ジャッキの自動制御運転の結果、常に管理値内で推移した。支柱反力は、トラス屋根の上昇に伴い中央部の荷重が外部のトラスへ伝達され徐々に減少し、地切り時の60%(749tf)となった。中央部変形量は、最大で南に54mm(解析値15mm)、東に104mm(解析値72mm)であった。

図-14に支柱間最大高低差、図-15に支柱反力を示す。

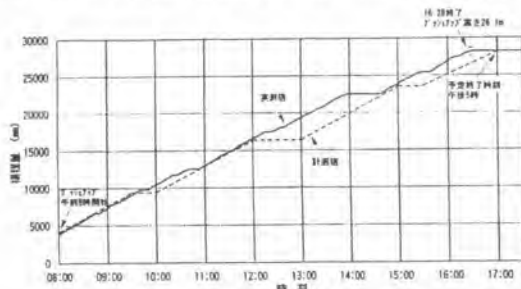


図-13 プッシュアップ経過グラフ

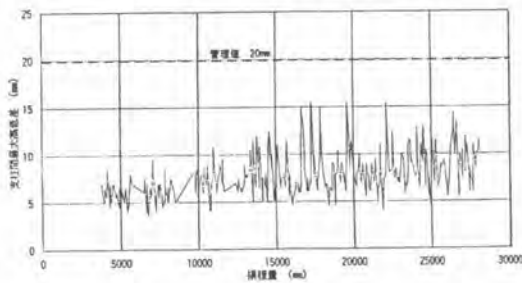


図-14 支柱間最大高低差



写-5 プッシュアップ開始



写-6 プッシュアップ中



写-7 プッシュアップ終了

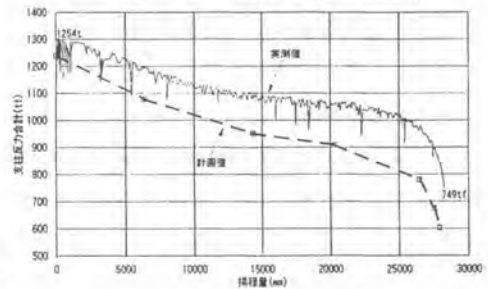


図-15 支柱反力

#### 5. おわりに

大規模傾斜ドームの施工にパンタドーム構法を採用し、そのせり上げ工法として支柱格納式連続プッシュアップ工法を開発し、わずか1日でプッシュアップを完了することができた。

また、高所危険作業の低減(仕上率87%)とドーム施工品質の確保に大きな成果をあげることができた。

最後に本工事の計画、施工にあたり、御指導、御協力戴いた関係者の方々に心より謝意を表します。

# 55. 無人化施工におけるオートブレードコントロール

西松建設(株)：\*石井 正典・小西 保  
桑原 資孝

## 1. はじめに

平成6年1月から平成7年3月までの3度にわたる雲仙・普賢岳水無除石無人化施工において、土石流の流下勾配を保つため一定勾配の仕上げが要求されており、仕上げ掘削の計画地盤高が決められていた。しかし、映像視認による無線操作式ブルドーザで一定勾配の仕上げるためには、遠近感や水平・垂直感がわかりづらいこと、出来形管理システムの計画地盤との比較は、1mメッシュ毎に行われるため、感覚的な高さの差しかわからないこと、ブレードのチルト角を映像で水準面に対して平行に保つことが困難であること等の問題があった。従って、それらの問題点を解決するために、オートブレードコントロールシステムを開発し、雲仙・普賢岳における無人化施工に導入した。

## 2. 開発の目的

雲仙・普賢岳における無人化施工で導入した出来形管理システムにおける施工管理は、計画地盤とブルドーザのクローラ接地位置高さの比較で表示することにより行っているが、計画地盤は、フィールドをメッシュ管理しており、1mメッシュにおける計画地盤との比較となるため、実際にCRTの表示通りに掘削していくと急に計画との差が大きくなる位置が1m毎に出てくる。従って、本システムは、施工面の一定勾配仕上げを目的とし、ブレード高さを自動制御するとともに、チルト角についても水準面に対して一定角を保つよう自動制御することを目的としている。

## 3. システムの概要

本システムは、遠隔操作式ブルドーザで均平作業を行う際に、広範囲の掘削区域を一定の深さで計画勾配に仕上げるためのブレード自動制御システムであり、レーザ光線を基準としてブレードの高さを制御するブレードリフトコントロール、ブレードに取り付けられたスロープセンサに基づいてブレードのチルト角を制御するブレードチルトコントロールの2つから構成されている。

ブレードリフトコントロールおよびブレードチルトコントロールは、ラジコン用に取り付けられたブレードリフト、チルトの制御部分にラジコン用制御信号ラインとは別系統で、均平コントロール用に設置されたラインを図-1のような構成で接続している。

オペレータによりリフトおよびチルトの操作信号が出力されている間は、オペレータの操作信号が優先し、操作が行われていない場合のみ、本システムが機能する。

また、ブレード自動制御システムの電源は、ラジコンスイッチでON/OFFができる。図-2にオートブレードコントロールシステム構成図を示す。

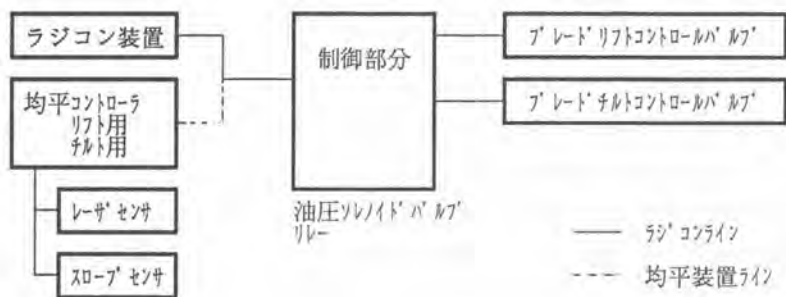


図-1 制御用機器接続概要図

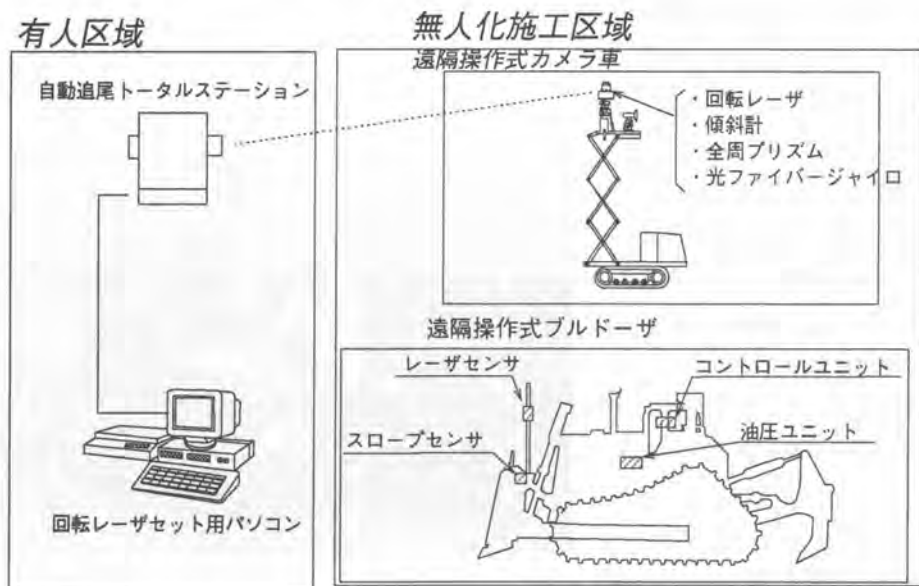


図-2 オートブレードコントロールシステム構成図

各々のコントロールの概要を以下に示す。

### 3-1 ブレードリフトコントロール

本システムは、掘削区域内のブルドーザに装備したレーザセンサが一定の高さでレーザを受光するようにブレードリフト電磁弁を制御する。ブレードはレーザセンサに直結しているため、掘削区域内の任意の場所で計画地盤高に応じた一定の深さに仕上げるができる。

ブレードリフトコントロールは、レーザ発光器からのレーザ光線を基準としてブレードの高さを制御する。発光器からのレーザ光は、ブレードに取り付けられたレーザセンサ（レーザ受光器）で受光する。

一方、回転レーザー発光器を搭載した遠隔操作式カメラ車を掘削区域内に設置し、レーザー光線を一定の高さで照射する。

### 3-2 ブレードチルトコントロール

ブレードチルトコントロールは、ブレードに取り付けられたスロープセンサ（傾斜計）からの信号に基づいて、ブレードのチルト角を設定した勾配に制御する。

ブルドーザが、如何なる姿勢であってもスロープセンサは常にブレードのチルト角を検知し、コントロールボックスにその信号を送信する。例えば、コントロールボックスで0%と設定した場合、ブレードは車体の傾きと関係なく常に水平を維持するように制御されるため、自動制御で施工している限り、如何なる場所でも水平に仕上げることができる。

## 4. 使用機材および仕様

### 4-1 4 tクローラ遠隔操作式カメラ車部

4 tクローラ遠隔操作式カメラ車は、レーザー発光器の設置（高さ、勾配方向設定）を目的に使用している。遠隔操作式カメラ車の雲台上部にレーザー発光器、センサボックス（2軸傾斜計、光ファイバージャイロ）、SS無線モデム、全周プリズムを装備している。写真-1に遠隔操作式カメラ車部を示す。



写真-1 遠隔操作カメラ車部

#### ① 2方向勾配回転レーザー発光器

使用したレーザー発光器は、赤外線レーザーダイオードを使用したレーザーである。方位角や仕上がり勾配を計算することなしに、2方向への勾配を同時に入力することができる。この2軸はお互いに直交しており、2軸とも+10%の範囲で勾配設定ができる機能を有している。

レーザー発光器の設定は、設置場所において大まかに水平をセットするのみで、内蔵のセルフレベルングシステムにより自動的に水平を保つことができる。2方向勾配回転レーザー発光器仕様を表-1に示す。

表-1 2方向勾配回転レーザー発光器仕様

|         |  |
|---------|--|
| 精 度     | 30mで2.4mm                                  |
| レーザータイプ | ガリウムヒ素ダイオード（波長780nm）                       |
| 作動範囲    | 半径300m                                     |
| レベルング範囲 | ±4°  |
| 勾 配     | A軸：-4.000%～+10.000%<br>B軸：-1.000%～+50.000% |

#### ② 2軸傾斜計

雲仙・普賢岳無人化施工のように掘削地盤が周辺地盤より低く、有人域に三脚を据えて使用するこ

とができない場合、現場内にレーザー発光器を据え付ける必要がある。レーザー発光器は、セルフレベルリング機能が働く傾斜角±4°以内にセットすることは非常に難しく、またレーザーが可視光レーザーではないため正しく発光されていることの確認が難しい。そのため回転レーザー発光器下部に設置した2軸傾斜計から出力されるピッチング・ローリング値をCRT上で確認し、カメラ車の雲台を水平にする。

### ③光ファイバージャイロ

回転レーザー発光器はA軸、B軸を勾配設定できるが、雲仙・普賢岳無人化施工の場合は設計流下勾配4.1%であったため、このうち1方の軸を4.1%の勾配をつけて回転レーザー発光器を据え付けるため、回転レーザーの傾斜をつけた方向に、発光器と施工場所軸方向を合わせて据える必要がある。そのため、遠隔操作式カメラ車に搭載した光ファイバージャイロにより、CRTを確認して回転レーザー発光器の軸方向を合わせる。

### ④SS無線モデム

遠隔操作式カメラ車の雲台上部に傾斜角や方位角のデータを有人域に送信するために、SS無線モデムを採用している。これは、特定小電力無線局を利用すると、他の重機械操作信号と混信する恐れがあるためである。

## 4-2 ブルドーザ部

4-1項の遠隔操作式カメラ車により設置された回転レーザー発光器のレーザー光をブレードに取付けられたレーザーセンサで受光しブレード高さ、またブレードに取付けられたスロープセンサによりブレードのチルト角を自動調整する。

レーザーセンサは、レーザー光を受光し、受光部中央とレーザー受光位置との差をコントロールボックスに送信する。コントロールボックスは、この受光の差を無くすために操作信号をブレードリフト電磁弁にPWM（パルス信号による出力）を介してON/OFF出力を行う。チルト制御は、スロープセンサによりチルト角を検出し、設定したチルト角との差をコントロールボックスで計算する。操作量は、チルト制御電磁弁にPWMを介して送信する。

写真-2にブルドーザ部を示す。

### ①レーザーセンサ

回転レーザー発光器から発振されるレーザーを受光する装置である。

レーザーセンサ仕様を表-2に示す。

### ②スロープセンサ

チルト角度を計測するセンサである。スロープセンサ仕様を表-3に示す。

### ③コントロールボックス

チルト制御、ブレードリフト制御各



写真-2 遠隔操作式ブルドーザ部

々にコントローラを使用する。表-4にコントロールボックス仕様を示す。

## 5. 使用方法

セッティングは以下の順序で行う。

- ①遠隔操作式カメラ車を施工エリア内に入れる。
- ②自動追尾トータルステーションで遠隔操作式カメラ車を自動追尾させ回転レーザ高さを算出し、CRTに表示される計画地盤との差をブレード底部とレーザセンサ間の距離と同様の高さにセットする。
- ③遠隔操作式ブルドーザのライトをONにする（オートブレードコントロール装置電源供給）。
- ④オートブレードコントロールボックス内のスイッチをオートにする。

⑤ROPS横の3連バトライトは、上から黄、緑、赤となっており、それぞれレーザを下に外す、レーザ受光中、レーザを上を外すことを意味する。

レーザを外した場合、このバトライトを参考にレーザを合わせる。施工場所にブルドーザを遠隔操作で移動させれば、レーザを受光次第、オートブレードコントロールが機能する。

以上で、セッティングは完了であるが、オートブレードコントロール機能を有効に使うため、以下のような使用方法が必要である。

- ①オートブレードコントロール機能で掘削時に、ブレード前面に土砂が溜まると、オートブレードをOFFにし、バックホウ積み込み場所に土砂を移動する。
- ②再度、元の位置に移動し、オートブレードをONにし、オートブレードコントロールで掘削を行う。
- ③同上の操作を繰り返し、ブレード前面に土砂が堆積しないようになったら、次の位置に移動する。

## 6. 結果と今後の課題

写真-3に施工状況の写真を示す。

当初の目標である±10cmの精度内で施工できたが、さらなる精度向上を目指すために今後は、以下の課題に取り組む必要がある。

- ①回転レーザ発光器が遠隔操作式カメラ車のシザース上に設置してあるため、振動により発光器・受光器間で100mで100mm程度の振幅が発生する。そのため、発光器・受光器間距離を50m程度として精度向上を図った。振動の原因は遠隔操作式カメラ車のエンジン発電器と考えられ、今後動力源をバッテリー式とするか或いは移動体に防振対策を施す必要がある。

表-2 レーザセンサ仕様

|         |           |
|---------|-----------|
| 精度      | ±2mm/100m |
| 受光センサ幅  | ±100mm    |
| 受光部移動範囲 | 1.5m      |

表-3 スロープセンサ仕様

|      |        |
|------|--------|
| 測定精度 | 0.01%  |
| 測定範囲 | ±19.9% |

表-4 コントロールボックス仕様

|               |                     |
|---------------|---------------------|
| リフトコントロールボックス |                     |
| 設定の単位         | 1.0mm               |
| コントロールの単位     | 0.7mm               |
| デッドバンド        | 0mm～15mm (0～±7.5mm) |
| チルトコントロールボックス |                     |
| 設定の範囲         | 0.01%               |
| コントロールの単位     | 0.025%              |
| デッドバンド        | 0%～0.5% (0%～±0.25%) |

②チルトが動作するとレーザセンサが上下するため、リフト制御にはいる。一方、リフト制御に入ると、チルト制御の構造上からチルト角も動作するためチルト制御が行われる。この繰り返しで、停止時でも小さなハンチングを起こす。ブルドーザのチルト制御は1本の油圧ジャッキの伸縮で調整するため、構造上ハンチング現象を皆無にすることは不可能である。したがって今後ハンチング量の減少化対策として、電磁弁を電磁比例弁に変更することで、動きがオーバーランすることが少なくなると考えられる。但し、ブルドーザのチルト制御は1本の油圧ジャッキで出し引きで調整するため、構造上ハンチング現象を皆無にすることは、現状レベルでは不可能である。



写真一3 施工状況写真

## 7. おわりに

オートブレードコントロールは、雲仙・普賢岳無人化除石工事において導入したシステムの内、初めて遠隔操作方式の枠を超えた自動運転方式として使用され、良好な結果を得ることができた。今後、無人化施工の分野を発展させるためには、省人化の観点から、次のステップとして遠隔操作から自動運転への発展の必要がある。今回は、ブルドーザの運転の内、ブレードリフト・チルトのみの自動運転であったが、今後は走行まで含めた自動運転の開発を行う必要がある。

末筆ながら御指導、御協力を頂いた関係各位に深甚なる謝意を表します。



## 56. GPS による海上作業台船の誘導

鹿 島：長津浩太良・\*青野 隆

### 1. はじめに

海洋土木工事は、海洋開発の活発化にともない構造物の大型化が進み、厳しい気象・海象の条件下で施工精度と安全性の向上、工期の短縮が図れる大型海上足場（SEP; Self Elevating Platform）のニーズが高まっている。これらの SEP を含めた海上作業台船の誘導・位置決めには、電波測位儀や光波測位儀による測位システムが一般に使用されている。しかし、電波測位儀の精度は±1 m程度であり、海面反射等による電波障害や見通しが必要であるなどの問題点がある。光波測位儀については、光を使用しているため測位が天候に左右されたり、光到達限界距離が2 km程度であるなどの問題点がある。またこれらの測位法には、作業台船の据付け位置の移動距離が大きい場合、移動のたびに陸上既知点も移動する必要があるため、省力化、省人化、工期短縮の大きな妨げとなっている。

今回開発した作業台船誘導・位置決めシステムは、GPS（Global Positioning System；汎地球測位システム）、ジャイロコンパスとデータ伝送用無線機で構成され、以上のような問題点を解決した。

### 2. 概要

今回開発したシステムは、高精度な測量用GPSを用いることにより、作業台船を精度よく、誘導・位置決め出来き、しかも取扱が容易であるため誰にでも運用可能である。

今回、GPS 受信機を既知点と作業台船側に1台ずつ設置して、後処理解析無しにリアルタイムに測位可能なリアルタイムキネマティック（RTK）測位と、従来のRTK 測位では問題点となっていたGPS衛星からの電波が一時的に遮断（サイクルスリップ）した後に60～90秒で自動復帰するオンザフライ（OTF）機能が確立されたため、この測位技術を用いて実用化することが出来た。

### 3. システム構成

本システムは、図-1に示すように陸上の既知点にGPS受信機を設置し、GPS衛星から受信した既知点のGPSデータを無線機（特定小電力無線局または船舶電話等）を介して連続的に作業台船側に伝送する。

一方、作業台船側にもGPS受信機を搭載し、GPS衛星から受信したデータと既知点側からのGPSデータを合わせて解析計算をリアルタイムで行い、その結果を1秒間に1回ずつ作業台船に設置してあるパソコンへ出力する方式である。また作業台船の方位角は、台船に搭載してあるジャイロコンパスのデータをRS-232C信号に変換し、パソコンへ出力することによりリアルタイムに把握できるしくみである。

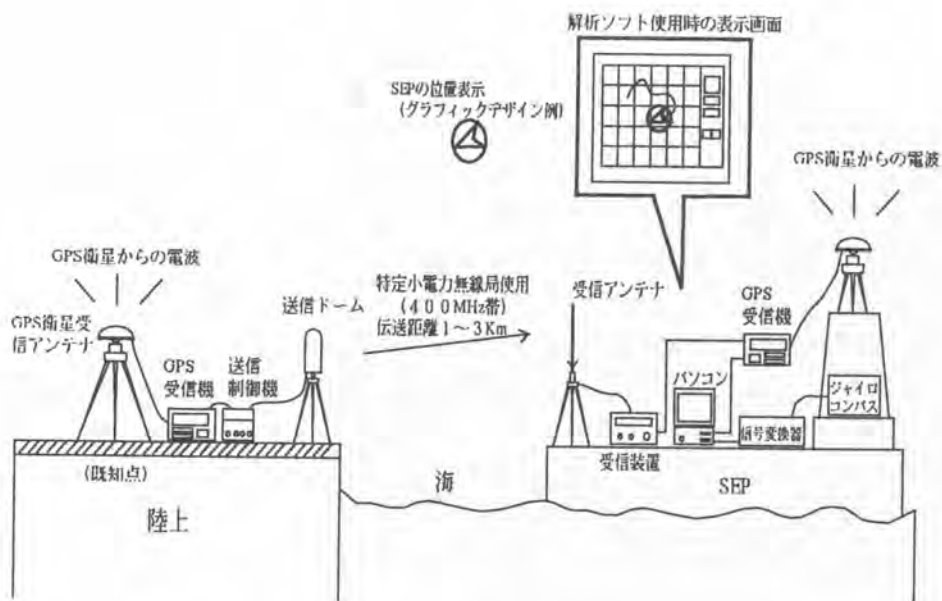


図-1 GPSによる海上作業台船の誘導システム

今回、作業台船の位置座標をGPSで測位し、ジャイロコンパスで得た方位角を組み合わせることにより位置座標、進路、速度、船首方位および軌跡をリアルタイムにモニタリングできるため、作業台船誘導の指揮者は、パソコンの表示画面を見ながら曳航船に指示を与えるだけで、目的地へ容易かつ正確に誘導することが可能となった。

#### 4. 使用機器

表-1に今回開発したシステムの性能について示す。

表-1 システムの仕様

| 位置座標 |                            | 方位角  |                 | 無線機(データ伝送) |         |
|------|----------------------------|------|-----------------|------------|---------|
| 測位精度 | 2 cm ± 1 ppm<br>(RTK-OTF時) | 指北精度 | ±0.5度<br>(静止状態) | 伝送速度       | 2400bps |
| 測定時間 | 1点/秒                       | 追従速度 | 15秒/360度        | 伝送方式       | シリアル    |

#### 5. システムの特徴

従来の電波測位儀や光波測位儀とセオドライトを組み合わせたシステムと比較して以下のような長所がある。

- (1) 従来の方法では、作業台船側で誘導データを掴むことが困難であったが、本システムでは作業台船側で常にリアルタイムなデータが得られる。

- (2) 位置座標はGPSで測位するため、誘導時の作業台船旋回範囲（光波測位儀では死角となるため、作業台船の旋回角に制限がある。）に制限が無い。
- (3) 気象・海象に左右されず、1日24時間（夜間でも可能）使用可能である。
- (4) 長距離データ伝送可能な無線機により、作業船と近接する陸上との離隔距離が大きくても対応可能である。（ただし、RTK 測位はL1波のみを使用するため、既知点と作業台船の離隔距離が10km以内でなければ高精度は得られない。）
- (5) 複数台の作業船を同時に誘導する場合、陸上既知点は1ヵ所で運用できるため各作業台船のGPS装置とデータ受信装置が増加するだけでよく、大幅な省力化が図れる。
- (6) 位置決め目標地点を複数個モニタ表示できるため、移動が頻繁にある場合でも容易に誘導が可能である。

## 6. システムの実績

海上ボーリング調査を実施するにあたり、本システムを適用し、SEPの誘導・位置決めを実施したのでシステムの測定精度、省力化の実績を紹介する。

### (1) SEPの誘導性能

SEP待機場所から目的地点まで2.5 kmを誘導し、潮流の転流時期を見計らってSEPを完全に据付けるまで約3時間であり、非常にスムーズな誘導であった。また、最終的な据付け精度は、表-2に示すような結果であり5 cm以内に納めることが出来、非常に満足のいくものであった。

この時のSEP誘導状況のモニタ画面を写真-1に示す。

### (2) 誘導中のGPS測位状況

RTK測位中、SEP側GPS受信機の捕捉衛星が6～7個あるにも関わらず、測位精度が数mとなる状況が発生した。これは、写真-2に示すように、SEPの向きによっては、四隅にあるレグがGPS衛星からの電波を遮断し、一時的に捕捉衛星数が減少し（測位に最適でないGPS衛星を含めると4個ある状態）測位結果がワロート解となったためである。ただ

表-2 据付け精度

| 据付け位置（座標系：WGS-84） |   |
|-------------------|---|
| 計画位置              | 北緯 34° 17' 01.8225"<br>東経 134° 59' 44.0075" |
| 実施位置              | 北緯 34° 17' 01.8228"<br>東経 134° 59' 44.0093" |



写真-1 SEP誘導モニタ画面

し、捕捉衛星数が復旧すると元の精度に戻るため誘導時には大きな影響は起きなかった。

また、SEP側のGPS受信機が陸上既知点から伝送されるデータを受信する際に四隅のレグおよび、船体によるマルチパスの影響を受けたり、電波遮断され、既知点のデータが無いため捕捉衛星数が4台以上あるにも関わらず、単独測位（SGPS測位）の状態になることも何度か発生し測位精度は数十mとなった。

以上のように、SEP待機場所から目標地点までの誘導に要した3時間の内、GPSの測位が変化した状況を表-3に示す。  
(3) データ伝送の状況

今回の誘導で計画段階からの問題点として陸上既知点からのデータ伝送が挙げられていた。これは陸上既知点とSEP間の最大伝送距離が3.5kmとなるため

データ伝送を容易に行える特定小電力無線局（400MHz帯、10mW出力）では、電波が届かない恐れがあった。しかし海上という電波環境の非常に良好な条件下であったため、十分実用域内であることが確認された。また、船舶電話による伝送でも良好な結果が得られた。

## 7. おわりに

実工事への適用結果から作業台船の誘導・位置決めはもとより、移動体の位置計測を行うには、非常に適したシステムであることが確認できた。また、従来の誘導システムでは、2km以上もの離隔距離がある場合、高精度で誘導することは不可能であるが、GPSを用いることにより可能となった。

したがって、無線によるデータ伝送の信頼性やデータ伝送距離の長距離化（携帯電話やスペクトラム拡散方式による小電力データ通信システムの無線局の使用等）が確保されることにより、今後ますますRTK測位による移動体計測、制御への応用が広がると考えられる。



写真-2 GPSによるSEP誘導状況

表-3 誘導時におけるGPS測位

| 測位種別         | 移動距離2.5km間の測位時間(分) | 測位精度     |
|--------------|--------------------|----------|
| RTK測位(FIX解)  | 150(82.8%)         | 2cm±1ppm |
| RTK測位(FLOT解) | 26(14.4%)          | 数m程度     |
| SGPS測位(単独測位) | 5(2.8%)            | 数十～百m程度  |

# 57. 浅層地盤改良工事の施工実績

日本国土開発(株)：工藤 憲・\*鈴木 正人

## 1. はじめに

大館能代空港は平成10年10月の開港に向けて目下鋭意工事が進められている。

平成6年度工事では谷底部に堆積する層厚3~4mの軟弱層を改良するため、トレンチャー式浅層地盤改良工法を採用した。本工法は近年開発された粉体固化材連続供給式の原位置混合処理工法であり、深度5~6mまでの改良が可能とされている。本工法の概要と適用事例について報告する。

## 2. 現場状況

空港建設地は秋田県北秋田郡鷹巣町の市街地より南方約4km、米代川とその支流阿仁川と小猿部川の3河川に囲まれた標高50~100mの台地に位置する。開析された谷底部に軟弱な粘性土が層厚3~4mで堆積しており、次年度に予定している高盛土の安定性を確保するには、これらの粘性土は良質土で置き換えるか、あるいは改良する必要があった。

土捨場容量の関係で置換工法の採用は困難な状況にあったことから、当該深度に適用でき、均質な改良が期待できるトレンチャー式浅層地盤改良工法を採用した。



図-1 現場位置図

## 3. トレンチャー式浅層地盤改良工法

従来は固化材を地表面に散布した後、トレンチャー式攪拌機(図-2)で混合する方式(表面散布方式)を採っていたが、深度が2~3mを越えると均質な混合が難しく、深くなるにつれて発現強度が低下する傾向にあった。そこで、固化材供給機構を改良して、所定深度へ直接噴射し混合する方式(パワーブレンダー工法)を近年開発した。

本工法は深度5~6mまでの改良が可能とされている。軟弱地盤であれば粘性土から礫質土まで広く適用できる。但し、地下水の流れが速いところでは固化材の流出に注意する必要がある。

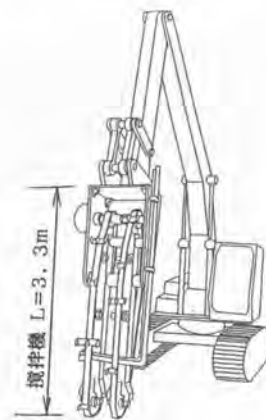


図-2 改良機本体

本工法の採用は当現場が2例目となる。

### 3.1 システム

システムは次の3つの部分から構成される(図-3)。

- 1) 改良機本体：バックホウ(0.7m<sup>3</sup>級)をベースマシンとしバケット部にトレンチャー式攪拌機を取り付けた専用機(パワーブレンダー、図-2)。攪拌機の先端には固化材噴射口を備える。
- 2) 固化材供給装置：粉体の固化材を攪拌機に定量空気圧送するプラント  
(供給装置本体、サイロ、発電機200kVA、コンプレッサー195ps)
- 3) 運転管理室：固化材供給量の管理・記録を行うユニットハウス

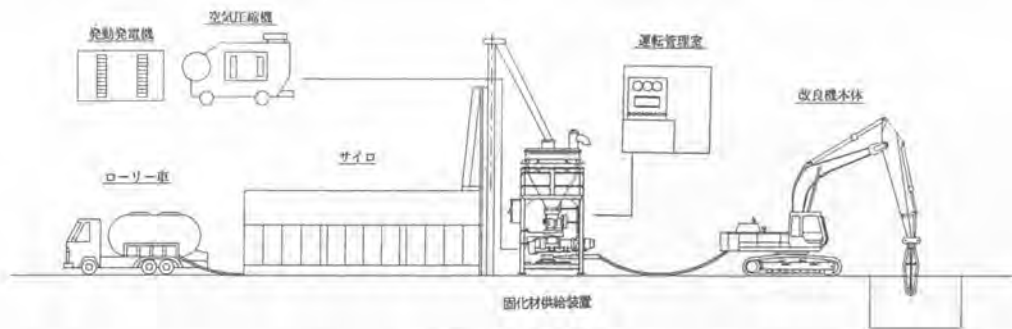


図-3 システム図

### 3.2 施工手順

施工手順を以下に示す(図-4)。

- 1) 切株など施工の障害となるものを除去し、敷地を整地する。
- 2) 固化材量を管理する土量単位を決め、敷地を白線で区割する。
- 3) 改良機本体を所定の位置に移動した後、固化材を噴射しながらアームを操作して土と固化材を混合・攪拌する。深度は、アームにつけたマーキングにより管理する。
- 4) 運転管理室では、固化材が計画通りに安定供給されるよう管理する。なお、固化材供給量は自動計測装置に記録される。
- 5) 区割線で囲まれた1区画を改良する毎に、緩んだ地盤をバックホウ(0.7m<sup>3</sup>級)で整地・転圧する。



図-4 施工手順

## 4. 施工事例

### 4.1 施工計画

#### 1) 改良対象土

対象区域は数年前まで水田として利用されていた所で、雑草の根を含む表土(0.2m)を撤去した後の、深さ3.0~3.6mが改良の対象となる。改良土量は約2万m<sup>3</sup>である(表-1)。

表-1 改良対象土

| 土質                        | 粘土～シルト  |
|---------------------------|---------|
| 含水比 $W_n(\%)$             | 70～100  |
| 強度 $q_u(\text{kgf/cm}^2)$ | 0.4～0.8 |
| 改良層厚 (m)                  | 3.0～3.6 |
| 改良面積 ( $\text{m}^2$ )     | 6,036   |
| 改良土量 ( $\text{m}^3$ )     | 20,439  |

2) 現場配合

室内配合試験はセメント系固化材と普通ポルトランドセメントの2種類を使用し、混合量は乾燥重量比10, 20, 30%で実施した。結果を図-5に示す。

目標とする現場強度は $q_u=2.6\text{kgf/cm}^2$ であり、本工法の実績に基づく(1)式にこの値を代入すると、室内強度は $q_u=3.42\text{kgf/cm}^2$ となる。

$$(\text{現場強度}) / (\text{室内強度}) = 0.76 \dots (1)$$

改良に必要な固化材の種類と混合量は、図-5より、以下のように決定した。

[セメント系固化材、乾燥重量比13.3% (95 $\text{kg/m}^3$ )]

3) 区割り

土質、改良深さ、現場状況を考慮して1時間当たりの処理能力を算定すると30 $\text{m}^3$ となる。図-6を基準とし、敷地全体を図-7の様に区割りした。

|       |  |
|-------|--|
| 処理幅   | 5.0m   |
| 処理奥行き | 5.0m   |
| 処理深さ  | 3.4m (平均値)   |
| 処理土量  | 5.0m×5.0m×3.4m=85.0 $\text{m}^3$                             |
| 固化材量  | 85.0 $\text{m}^3$ ×95 $\text{kg/m}^3$ =8,075kg               |
| 処理時間  | $\frac{85\text{m}^3}{30\text{m}^3/\text{時}} \approx 2.83$ 時間 |

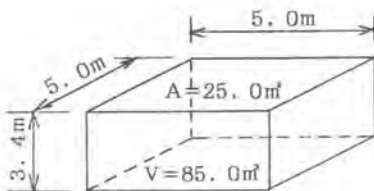


図-6 区割り基準図

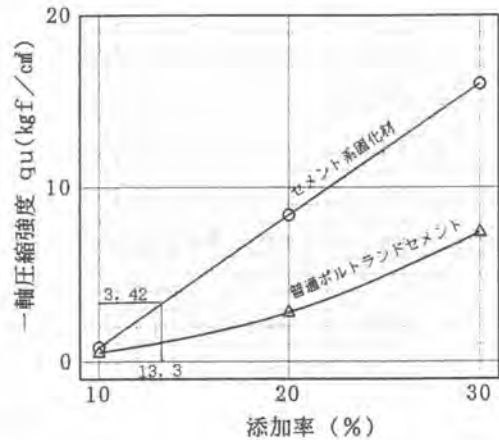


図-5 配合試験結果 (7日強度)

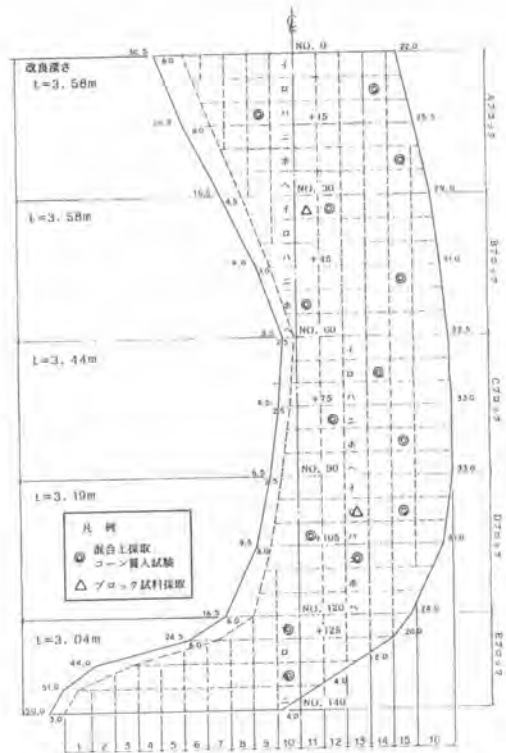


図-7 区割りと品質管理位置

#### 4. 2 施工結果

1) 図-7に示す位置で、施工中に採取した混合土を突固めて作製した供試体に対する一軸圧縮試験、さらに改良7日後に地盤のコーン貫入試験を行った。また、改良地盤の2地点で深度毎にブロック試料を採取し一軸圧縮試験を行った。これらの結果、全域にわたり満足できる強度が得られていること、表面から深部まで均質に改良されていることが確認できた。図-8に深度と強度の関係を示す。

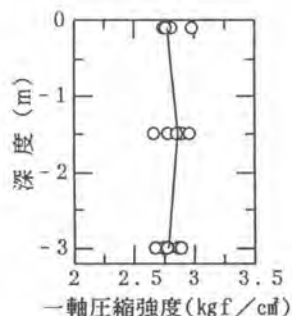


図-8 深度と強度

- 2) 敷地が広くかつ平坦であったことや機械的なトラブルも発生しなかったことから、作業は順調に進み、時間当たり施工数量は平均35 m³/時間と、計画(30m³/時間)を上回る好成績を収めた。また、固化材供給システムは密閉型のため、天候に左右されず降雨日も作業を続けることができた。
- 3) 施工状況を写真-1~2に示す。



写真-1 施工状況(全景)



写真-2 施工状況(近景)

#### 5. まとめ

同じ攪拌機を用いる固化材表面散布方式の地盤改良工法は、十数年の実績がある。本工法はこの改良型であり、深部まで均質に固化材を混合できるところに特徴がある。今回の改良深度は全域3m以上(最大3.6m)であり、表面散布方式では均質な改良は困難であると判断し、固化材を地中噴射する本工法を採用した。大きなトラブルもなく施工は順調に実施でき、改良後の調査により深部まで均質な改良がなされていることを確認した。

今後の課題としては、以下の2点があげられる。

- 1) 施工中、特に深度の浅い部分を改良しているときに攪拌機から吹き出た固化材が粉塵となって周囲に飛散するため、作業員は防塵マスクと保護メガネを着用した。作業員および周辺環境への配慮と、固化材のロス率低減の視点から、今後粉塵対策と取り組みクリーンな工法とする必要がある。
- 2) 適用深度の限界は6mとされているが、この深度の施工例は無くその根拠も不明確である。地山の性状に依存するところも大きいと考えられるが、今後データを蓄積するなどして明らかにする必要がある。



## 58. テレアースワークシステムの開発と実施

(株)フジタ： 大森 嘉朗・源 雅彦  
\* 梶田 秀芳

### 1. 概要

近年における建設業の労働者不足は、熟練・技能労働者を中心に深刻化している。また、建設業への若年労働者の参入が極端に減り、労働者の高齢化がますます顕著化する傾向や、労働災害が社会問題となっている。土工事の施工現場もその例外ではなく、土工機械の自動化や施工の合理化の推進、苦渋作業や危険作業からの解放など労働環境の改善が望まれている。それは建設業界のみならず、社会的にも大きな課題となっている。

そこで、高齢者や未熟練労働者でも高環境のもとで十分安全な作業が可能となる総合遠隔工事システムをめざし、マルチメディアを応用した「テレアースワークシステム」を開発した。

### 2. 開発の目標

開発にあたっての基本的な目標は以下の通りとした。

- ①作業エリアから十分離れた安全で快適なコントロールルームからのテレオペレーションシステムの開発
- ②遠隔工事を支援するための、測量システム及び技術サポートシステムの開発

### 3. システムの構成

「テレアースワークシステム」は、図-1に示すように(1)テレオペレーションシステムと、(2)施工支援システムから構成されている。本システムのプロット図を図-2に示す。以下に(1)(2)それぞれのシステムについて詳細な説明を行う。



図-1 システム構成図



図-2 テレアスワークシステム概念図

(1) テレオペレーションシステム

テレオペレーションシステムは、a) 通信システム、及びb) テレイグジスタンスシステムから成り立っている。

a) 通信システム

通信システムは、遠隔操作に必要な映像と制御データの通信を各種周波数帯（400MHz～50GHz）の無線を組み合わせ、複数の無人重機を同時に操作し、かつ双方向に通信を行うシステムである。双方向通信をするデータは、以下の通りである。

- ①制御データ（重機制御、カメラ及び雲台制御）
- ②重機情報データ（燃料残量、エンジン回転数、冷却水温、重機姿勢データ、測量データ他）
- ③映像（高所カメラ、移動カメラ、立体視カメラ他）

従来の遠隔操作の概要を、図-3に、本システムにおける遠隔操作の概要を図-4に示す。



図-3 従来の遠隔操作

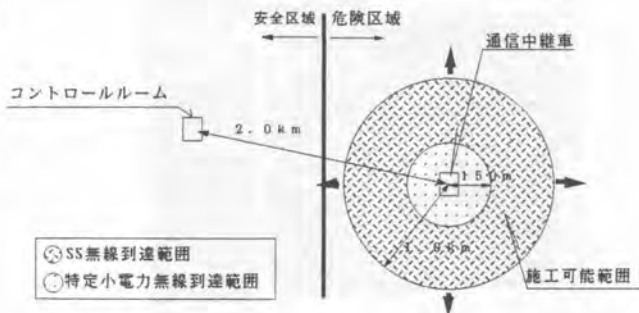


図-4 本システムの遠隔操作

従来方式では、主として目視で遠隔操作が行われていた。この方法では作業範囲は150m程度が限界である。本システムにおける遠隔操作では、無人通信中継車を利用することにより、操作可能範囲を半径約1kmにまで拡大することができた。

#### b) テレイグジスタンスシステム

テレイグジスタンスシステムは、オペレータが遠隔地にいながら正確な作業を行うための映像・音声を提供するシステムである。コントロールルームのオペレータ前面にオペレータを取り囲むように3台の大型映像画面を配している。正面画面には立体画像、左右それぞれの画面には、重機運転席の左右に配置されたカメラ映像を映し出し、あたかも運転席に乗っているかのごとき臨場感を提供できる。このシステムは、CAVEシステムと称す。(写真-1参照)



写真-1 CAVEシステム

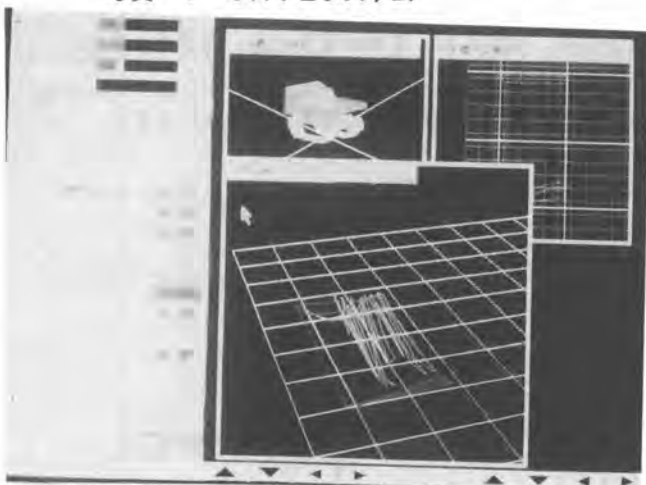


写真-2 リアルタイムな測量モニター

#### (2) 施工支援システム

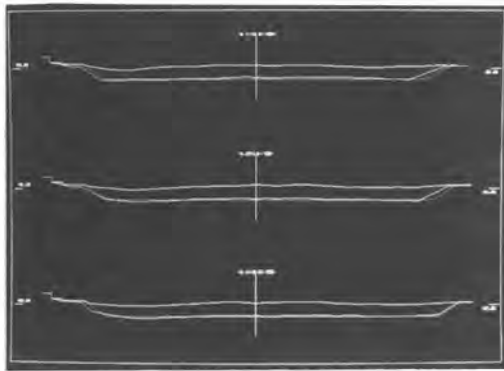
施工支援システムは、c) 掘削管理システム、d) 出来形・出来高管理システム、及びe) グローバル技術サポートシステムで構成されている。

#### c) 掘削管理システム

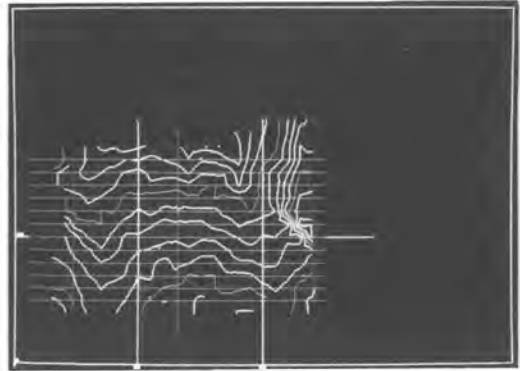
掘削管理システムは、トータルステーションによる遠隔測量でバックホウの三次元位置を計測し、この位置情報と機体に取り付けたセンサーによる重機の姿勢情報に基づきバケット刃先の位置と掘削予定ラインをCGで表示し、所定の深さを掘削するシステムである。

#### d) 出来形・出来高管理システム

これは、GPS及びトータルステーションによる遠隔測量結果をもとに出来形・出来高を自動計算し、施工管理の支援を行うものである。写真-2にリアルタイムな測量モニター、写真-3に出力例を示す。



(横断面図)



(等高線図)

写真-3 出力例

e) グローバル技術サポートシステム

これは、衛星通信等を利用したテレビ会議により、現場事務所と本社・支店等をつ結び、タイムリーに無人化施工を多方面からサポートするマルチメディアを応用したシステムである。その概要図を図-5に示す。

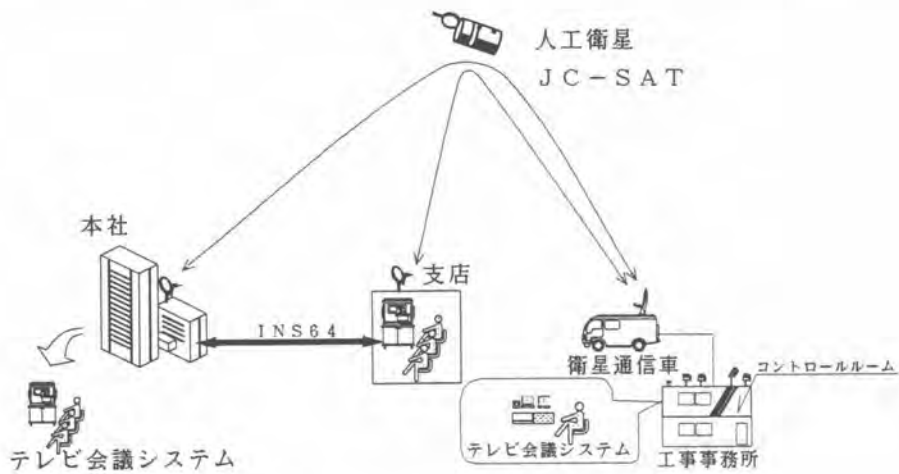


図-5 グローバル技術サポートシステム

#### 4. 工事実績

雲仙普賢岳における1期工事から3期工事までの無人化施工に本システムが採用された。その工事概要を表-3に示す。また、主な使用機械の一覧を表-4に示す。

表-3 工事概要

|      | 1期工事                         | 2期工事                       | 3期工事                      |
|------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 工事名称 | 雲仙普賢岳水無除石工無人化<br>施工試験(その1)工事 | 3号遊砂地除石工無人化<br>施工試験(その2)工事 | 3号遊砂地第2工区<br>無人化除石工事      |
| 工事場所 | 長崎県島原市天神元町                   | 同左                         | 同左                        |
| 工期   | 平成6年1月25日~6年4月30日            | 平成6年6月23日~6年8月31日          | 平成6年10月1日~7年3月30日         |
| 工事数量 | 除石工 6,500m <sup>3</sup>      | 除石工 16,000m <sup>3</sup>   | 除石工 100,000m <sup>3</sup> |

表-4 主な使用機械

| 名 称        | 規 格                       | 台数 |
|------------|---------------------------|----|
| バックホウ      | 3.0m <sup>3</sup> 級       | 1  |
| ブレーカ付バックホウ | 2,900kg級                  | 1  |
| ホイールダンプ    | 78t積                      | 1  |
| クローラダンプ    | 12.5t積                    | 1  |
| ブルドーザ      | 62t級                      | 1  |
| 移動カメラ車1    | クローラダンプ2.5t級              | 1  |
| 移動カメラ車2    | バックホウ0.15m <sup>3</sup> 級 | 1  |
| 高所カメラ車     | 高所作業車 L=13.5m             | 2  |
| 通信中継車      | クローラダンプ12t積               | 1  |
| GPS        | 超遠隔仕様・RTK*                | 1  |
| トータルステーション | 超遠隔仕様                     | 1  |

参考) RTK\* : リアルタイムキネマティック測量

3期工事における平均掘削・運搬土量は、

1, 500~2, 000m<sup>3</sup>/日-8時間(最高掘削・運搬土量実績 2, 752m<sup>3</sup>/日)

の実績を上げることができた。建設省土木工事積算基準(ルーズな砂質土の掘削・積込)の場合、

2, 260m<sup>3</sup>/日-8時間

であることから、有人作業にきわめて近い施工能力が得られていることがわかる。

## 5. おわりに

雲仙普賢岳における除石工事は、我が国でも初めての本格的な無人化施工による大規模な工事であり、噴火活動が止まない活火山という自然を相手にした危険な工事でもあった。本システムを開発・利用することにより、作業能力・安全管理・労働環境などの面で予想以上の成果を上げることができた。

今回の施工実績により本システムの有効性が実証され、実用段階へ大きく前進することができた。また、今後の高齢化社会や労働力不足など構造的問題にも対処できる可能性を確認したことは、21世紀の建設工事のあり方に明るい材料を提供できたと考える。

本システムの遠隔無人化施工技術を今後さらに研究、改善していくことにより、建設工事においていろいろな作業への展開を期待している。

## 59. 画像処理技術による粒度測定

日 工(株)：松島 雅也

### まえがき

近年、舗装工事の規模の多用化や、アスファルト混合物の製造と現場に於ける施工との業務の分離などに伴い、より合理的、効率的な品質管理の必要性が高まっている。

現在アスファルトプラントに於ける骨材の配合管理は、試料採取から配合粒度計算まで人により行われ、試験装置自体も機械式振動篩い機にて篩い分け試験を行っているのが常で、この方法では、砂等、特に細粒分の多い試料については、長時間の作業を要し、骨材粒度の変動が生じた場合にリアルタイムに対応する事が困難となっている。

そこでリアルタイム処理という内容を重要なポイントとして考えた場合に画像処理技術による解析が最適ではないかと考え、アスファルトプラントに於ける品質管理の省力化、効率化をはかる為の方法として、画像処理技術を用いて粒度管理の可能性について研究を行ったのでここに報告します。

### 研究の目的

本研究は、加熱アスファルトプラントに於ける混合物の自動粒度管理装置の開発を行う為の基本的な調査として、特にアスファルト混合物の品質に大きな影響を与える砂の粒度について画像処理による測定と、機械式篩い機による篩い分け試験との相違を見極めると共に、ホットピン内の砂の粒度を画像処理装置にて、連続的に測定し管理するシステムの実用化を研究した。

### 研究方法

#### 単粒度試験による調査方法

1. サンプル砂(2.5mm~0mm)をロータップ篩い機により、篩い網のサイズ毎に篩い分け、図-1の通りターンテーブル上に試料を設置し、そのターンテーブルの左右斜め上方より照明装置により照射し、画像データ採取用として、試料の真上よりCCDカメラにて撮影し、粒度測定を行った。

#### 【サンプル砂のサイズ】

|           | サンプル砂1  | サンプル砂2  | サンプル砂3  | サンプル砂4   |
|-----------|---------|---------|---------|----------|
| サイズ<br>mm | 2.5~1.2 | 1.2~0.6 | 0.6~0.3 | 0.3~0.15 |

合成粒度試験による調査

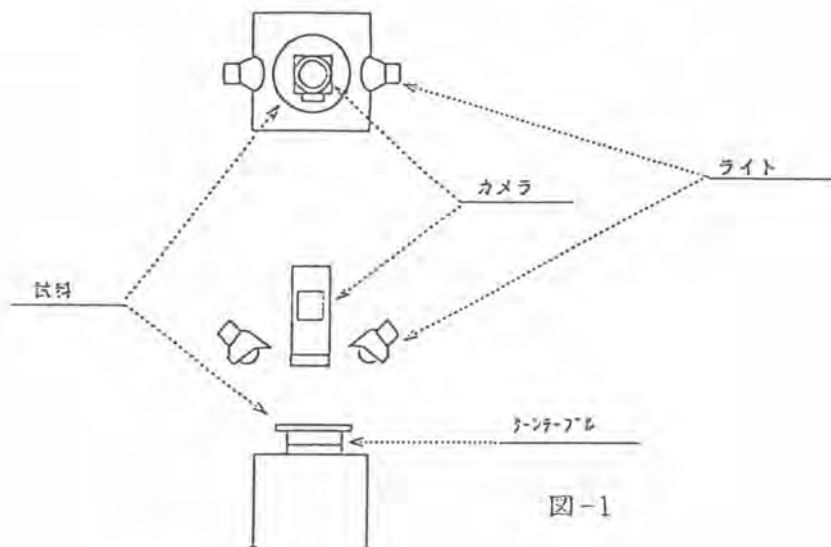
1. サンプル砂(2.5mm~0mm)をロータップ篩い機により、篩い網のサイズ毎に篩い分け、予め決定した配合量(重量配分)にて混合したものを図-1の通りターンテーブル上に試料として設置し、そのターンテーブルの左右斜め上方より照明装置により照射し、画像データ採取用として、試料の真上よりCCDカメラにて撮影し、粒度測定を行った。

【サンプル砂のサイズ】

単粒度試験に使用したものと同一

【配合量】(通過重量百分率%)

| 種類<br>サイズ | サンプル砂A | サンプル砂B | サンプル砂C | サンプル砂D |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 5 mm      | 100.0  | 100.0  | 100.0  | 100.0  |
| 2.5 mm    | 100.0  | 100.0  | 100.0  | 100.0  |
| 1.2 mm    | 75.0   | 70.6   | 85.1   | 93.2   |
| 0.6 mm    | 50.0   | 41.2   | 70.3   | 86.5   |
| 0.3 mm    | 25.0   | 14.2   | 44.4   | 38.0   |



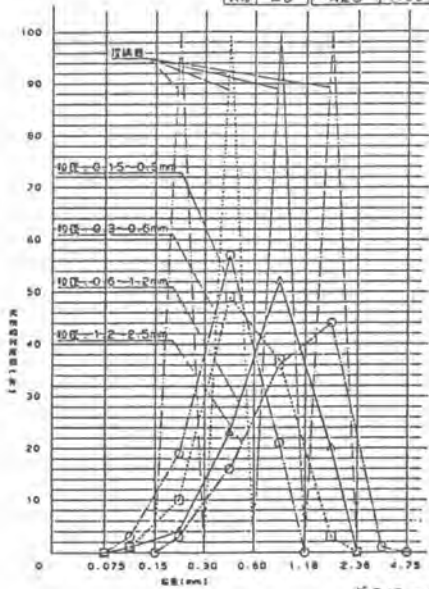


○ ×3 レンズ付 (VerB.3)

絞径-絞径公差 特性  
 <単位: μm>

| 項目 | 単位 | 公差1  | 公差2  | 公差3  |
|----|----|------|------|------|
| 絞り | μm | 0.00 | 1.70 | 1.00 |
| 絞り | μm | 0.00 | 1.70 | 1.00 |
| 絞り | μm | 0.00 | 1.70 | 1.00 |

| 項目    | 公差値  |
|-------|------|
| ズーム   | 1.4d |
| スケール  | 20   |
| フォーカス | 1.35 |
| アイリス  | 0.95 |



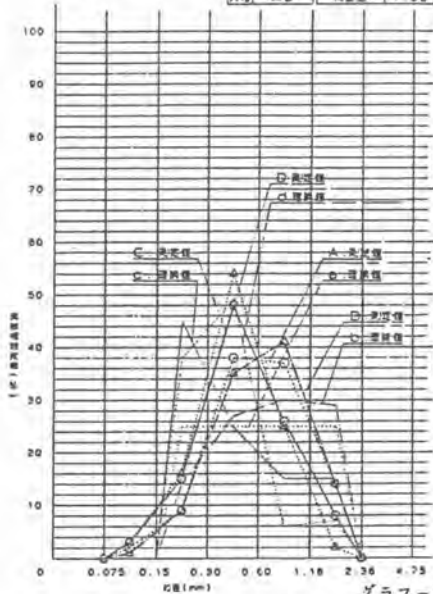
グラフ 1

○ ×3 レンズ付 色収差補正 (VerB.3)

絞径-絞径公差 特性  
 <単位: μm>

| 項目 | 単位 | 公差1  | 公差2  | 公差3  |
|----|----|------|------|------|
| 絞り | μm | 0.00 | 1.70 | 1.00 |
| 絞り | μm | 0.00 | 1.70 | 1.00 |
| 絞り | μm | 0.00 | 1.70 | 1.00 |

| 項目    | 公差値  |
|-------|------|
| ズーム   | 1.4d |
| スケール  | 20   |
| フォーカス | 1.43 |
| アイリス  | 0.85 |



グラフ 2

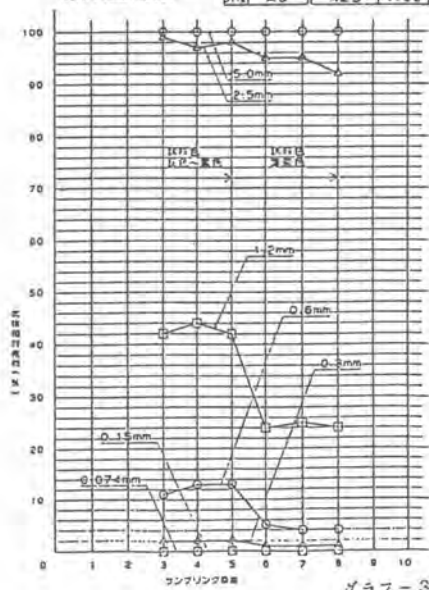
○ ×3 レンズ付 減振式 (VerB.3)

絞径公差による絞径特性 特性

<単位: μm>  
 <絞り: 絞径 1.2~2.5mm>  
 <ベルト速度: 7.02m/min>  
 <シャフト速度: 1/250>

| 項目 | 単位 | 公差1  | 公差2  | 公差3  |
|----|----|------|------|------|
| 絞り | μm | 0.00 | 1.70 | 1.00 |
| 絞り | μm | 0.00 | 1.70 | 1.00 |
| 絞り | μm | 0.00 | 1.70 | 1.00 |

| 項目    | 公差値  |
|-------|------|
| ズーム   | 1.4d |
| スケール  | 20   |
| フォーカス | 1.46 |
| アイリス  | 0.95 |



グラフ 3

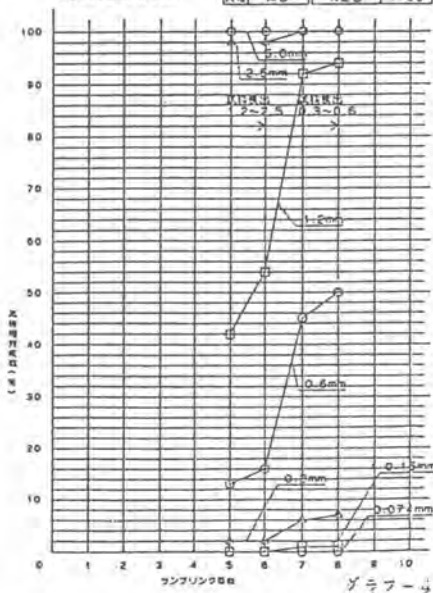
○ ×3 レンズ付 減振式 (VerB.3)

絞径公差による絞径特性 特性

<単位: μm>  
 <絞り: 絞径 1.2~2.5~0.3~0.8>  
 <ベルト速度: 7.02m/min>  
 <シャフト速度: 1/250>

| 項目 | 単位 | 公差1  | 公差2  | 公差3  |
|----|----|------|------|------|
| 絞り | μm | 0.00 | 1.70 | 1.00 |
| 絞り | μm | 0.00 | 1.70 | 1.00 |
| 絞り | μm | 0.00 | 1.70 | 1.00 |

| 項目    | 公差値  |
|-------|------|
| ズーム   | 1.4d |
| スケール  | 20   |
| フォーカス | 1.46 |
| アイリス  | 0.95 |



グラフ 4

### 単粒度、合成粒度による調査結果

ある単粒度試料（0.15-0.3mm、0.3-0.6mm、0.6-1.2mm、1.2-2.5mm）の画像処理検出データを各種補正等により篩い分け試験データに合致させたようにした場合、その単粒度範囲内の粒径のもの（例えば、1.2-2.5mm）については、ある程度合致させる事は可能であった。

しかし、その粒径の範囲を外れるもの（例えば、0.6-1.2mm）については、同じ補正值では画像データと篩い分け試験データとは合致せず再度補正值等を修正し直す必要が生じた。

従って、砂の様な広範囲の粒径（2.5mm～0mm）のものを同じ倍率、補正值等にて検出する事は、困難であるという事が明かとなった。

しかしながら、単粒度、合成粒度に拘らず、粒度の細かいものは、細かいデータとして、粗いものは、粗いデータとして得る事が出来た。（グラフ-1、2参照）

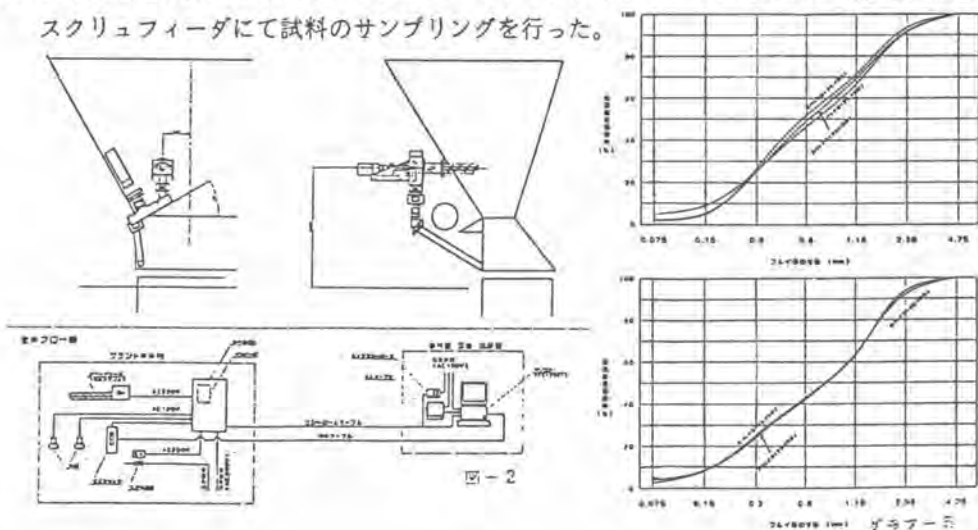
また、画像処理（特にCCDカメラ等を使用）にてデータを検出しようとした場合、試料の受ける照明の調子または、試料の色の違いにより同一粒径の試料でも全く違う試料の画像データとして検出してしまうのも大きな特徴である。（グラフ-3参照）

又、連続粒度変化に対するデータとしてベルコン上に粒度の違う材料を連ねて置き、その粒度変化を確認した。

結果は、やはり、粒度の細かいものは、細かく、粗いものは、粗いデータとして得る事ができた。（グラフ-4参照）

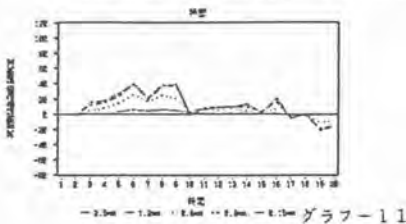
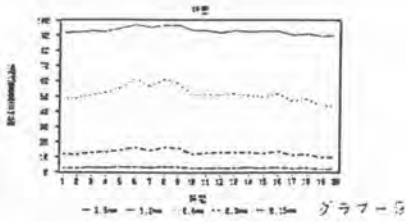
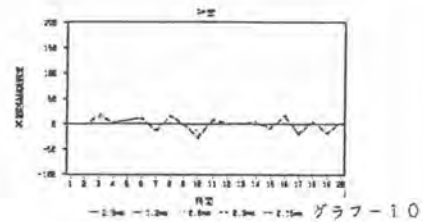
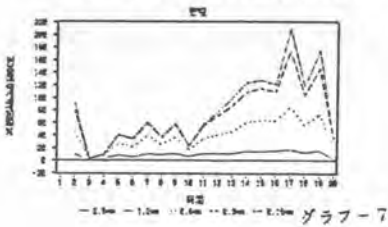
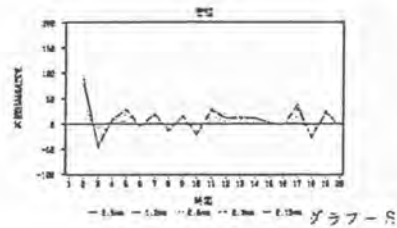
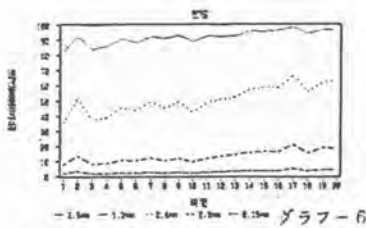
### アスファルトプラントによる実運転での調査

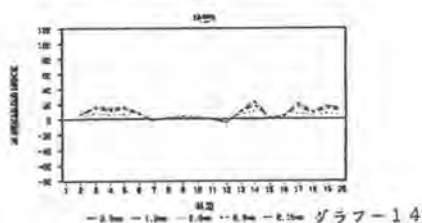
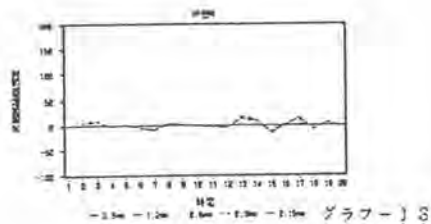
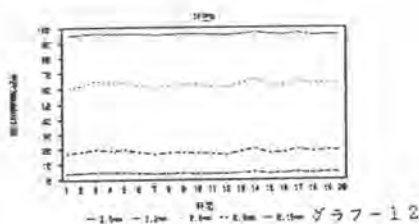
1. 前述のテスト結果を基に実プラント運転でのホットピンの砂の粒度変化の監視を以下の通り行った。
2. 一日のアスファルト合材の出荷業務開始から終業迄の砂計量時に一定時間、画像処理検出データを採取し、時系列変化、対前回増加率、対基準値増加率について調査を行った。
3. 採取方法は、図-2の通り、アスファルトプラントのホットピンの1ピン（砂ピン）よりスクリュフィーダにて試料のサンプリングを行った。



アスファルトプラントによる実運転調査結果

1. 試料砂の連続バッチに於ける粒度変動を、グラフ-5に示す  
 ※計量口より採取した試料砂を分析（篩い分け試験等）
  2. 連続した流量に対する砂の粒度変化（時系列変化）状態をグラフ-6、9、12に示す。
  3. 連続した流量に対する対前回増加率の状態をグラフ-7、10、13に示す。
  4. 連続した流量に対する対基準値増加率の状態をグラフ-8、11、14に示す。
- ※2. 3. 4. は、ホットピンのサンプリング装置より採取した試料砂を分析





以上のグラフ状況より、試料砂の連続バッチに於ける粒度変動としては、篩分け試験データの変動範囲の最大のもので0.6mmサイズの通過重量百分率で5.4%の差であり、毎バッチの各サイズの変動量は少ないといえる。また、2.3.4.の連続した流量に対する増加率である程度、毎バッチの粒度変化を知る事が出来、その結果、毎バッチの変動については、変動量は少ないといえるが、最初採取した試料との差は、広がっていくという結果がでている。

このことからリアルタイムに粒度管理をしていく必要性は充分あり、画像処理システムの発展によって実用化の可能性はあります。

#### あとがき

現在、アスファルトプラントに於ける品質管理面は、コンピュータを利用しプラントで計量した各材料の計量データより粒度を判定する方法を採用していますが、碎石等については、粒度の範囲が狭い(限定されている)ので安定していますが、砂については、2.5mmアンダーというのみで粒径分布については、ブラックボックスになっている。

この砂の粒度変化をリアルタイムに測定しそれをフィードバックコントロールする事を目的として今回のテーマに取り組んできたが、上記報告の通り画像処理解析の精度の問題等からその域に達し得ない結果となりましたが画像処理での監視装置としては利用できる内容もあり、この分野の開発の参考になることを期待して今回の研究発表とさせていただきます。

# 60. ブルドーザ操作シミュレーションの開発

建設省（土研）：吉田 正・石松 豊  
\*三村 茂男

## 1. はじめに

建設業における作業環境の改善、生産性や施工品質の向上等の課題を解決する手段として、建設機械の自動化及びロボット化の技術開発が行われており、一部の工種、工程においては、建設ロボットの普及が進みつつある。土工作业において使用される建設機械は、作業対象物が土であることが多く、その操作にはかなりの熟練を要し、出来型や作業効率はオペレータの能力によって大きな差違が生じると言われている。そのため、操作に熟練したオペレータによる施工が望まれる。

近年の熟練オペレータの不足や操作に熟練するまでに長期間かかることなどを考えると、作業の自動化等により、未熟練なオペレータでもある程度良好な施工が可能な建設機械の実現が必要である。

ブルドーザのオペレータには、車体の傾斜変化や履帯のスリップの発生などの作業状況を的確に把握しそれに応じた適切な判断と操作を行うことが求められる。しかし、作業対象物であり車体の走行路盤でもある土は、作業の進捗とともに形状が複雑に変化していくため、作業状況に対応して機械をうまく操作することは、オペレータの「うで」即ち熟練度に頼る部分が大きい。

これが、運転経験の少ないオペレータにとって良好な施工を行うことが困難な原因の一つとなっていると考えられる。

筆者らは、オペレータの操作の経験則をブルドーザ制御に取り入れる方法としてAIの応用を検討した。本稿では、その検討結果とともに、熟練オペレータの操作論理（操作データ）を再現性（同一の作業環境）の高い条件で収集することを目的に開発したブルドーザ操作シミュレータの概要を報告する。

## 2. ブルドーザ制御へのAI手法応用の検討

ブルドーザのAI制御を考える場合、図-1のように階層構造にブルドーザの制御システムを考えることができる。

### 2.1 作業計画

施工の総作業量に対して、ブルドーザの運転計画をする部分であり、この計画は土質によって適時変更される。現実的には作業計画を決定した後、外界の変化によって当初の計画通り作業を行うことが不可能になる場合が考えられる。

このような場合に対応可能な作業計画を行うには、外界の変化に応じた土質の認識が必要であり、現状の計測技術では非常に困難と思われる。



図-1ブルドーザの制御システムの構成

## 2. 2 作業単位の制御

熟練オペレータに最も依存する部分であり、各作業単位におけるブレードの動作制御（非線形制御）にあたる。ブレードで掘削した部分にブルドーザ履帯が入ることによる車体の傾斜変化に対するブレードの操作や整地作業時のブルドーザ本体の姿勢変化に対するブレードの操作などが挙げられる。

## 2. 3 個別操作器の制御

ブレードの位置制御を実現するための油圧シリンダのサーボ制御といえる。

## 2. 4 ブルドーザのAI制御の検討

以上の検討により、ブルドーザ制御へのAI適用の対象として「作業計画」及び「作業単位の制御」が挙げられる。「作業単位の制御」は、操作そのものに癖が織込まれているオペレータの操作からのパターン認識やオペレータが行ってる判断の仕組みを用いてブレードの操作制御を行うものであり、これらを線形制御で対応するには種々の限界があることからAIで対応すべきものであるといえる。

本研究においては、「ブレードにより掘削を開始してブルドーザの履帯が掘削部に入り、定常掘削の状態になるまで」の過渡的な領域の制御についてAIを適用することを想定した。

# 3. ブルドーザ操作シミュレータ

## 3. 1 開発の目的

ブルドーザの作業対象物は一般に土であり、車体前面に取付けたブレードにより前方の地盤を掘削、掘削により凹凸の生じた地盤を走行しながら作業が進行する。ブルドーザの作業中の挙動は、地盤の形状によるとともに、車体の荷重などによる接地地盤の変形、また掘削に対する地盤の抵抗力などブルドーザの姿勢変化には土の性質が大きく影響している。従って、オペレータの判断、操作も扱う土の性質によって異なったものとなることが予想される。

しかし、ブルドーザが作業対象とする地盤の条件は同一であることは極めて稀であり、その挙動の分析から有意な結果を得ることは難しい。

そこで、オペレータの操作データを再現性（同一の作業環境）の高い条件で収集することを目的に、ブルドーザ操作シミュレータの開発を行った。

## 3. 2 シミュレータの概要

製作したシミュレータは、コンピュータ上でブルドーザの2次元の運動モデルを構成し、ブレード操作レバーを模したジョイスティックからの入力データによりリアルタイムでその位置・姿勢の変化をCRT画面上に表示するものである。

今回製作したシミュレータでは、土の圧密などによる変形については地盤を剛体として扱い変形は生じないこととした。また、ブレードに対して地盤の掘削抵抗は生じないこととして簡略化した。

## 3. 3 システム構成

シミュレータは、パソコン及びブレード操作レバーを模したジョイスティック等からなる。プログラムは、①走行速度等を設定する作業条件設定部、②ジョイスティックからの操作データ入力部、③操作入力によるブレード位置計算部、④ブルドーザ姿勢計算部、及び⑤ブルドーザ本体と地形を表示する画面表示部等からなる。全体のプログラム構成及びシミュレータの画面を図-2及び図-3に示す。

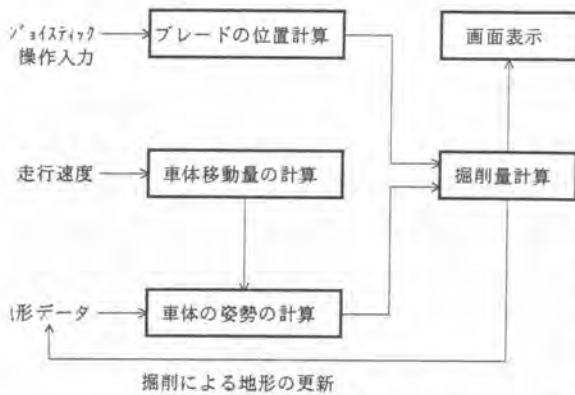


図-2 プログラム構成

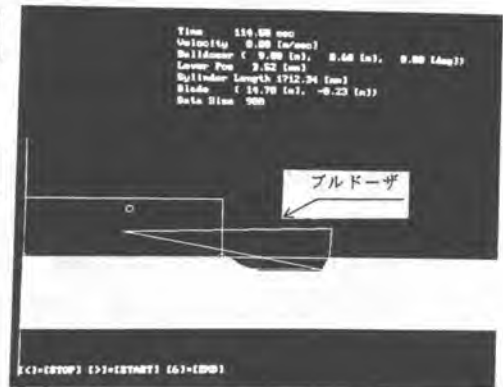


図-3 シミュレータの画面

### 3.4 車体の姿勢の計算方法

履帯を剛性履帯として、また地盤を剛体とみなしブルドーザの姿勢を計算した。

ブルドーザの姿勢は、重心にかかる車体荷重が履帯面に作用する地点を中心として、その前後の地盤と履帯面が接触する2点による。

この2点を計算する基本的な考え方は、地形の隣合う点と点を結んだ線の傾きを、重心位置から前方向あるいは後ろ方向に順次比較していき、低い位置にある点を処理の対象から削除しながら、履帯の前後端までこの処理を繰り返すことで履帯に接地する2点が決定される。

図-4 に車体姿勢の計算方法の一例を示す。

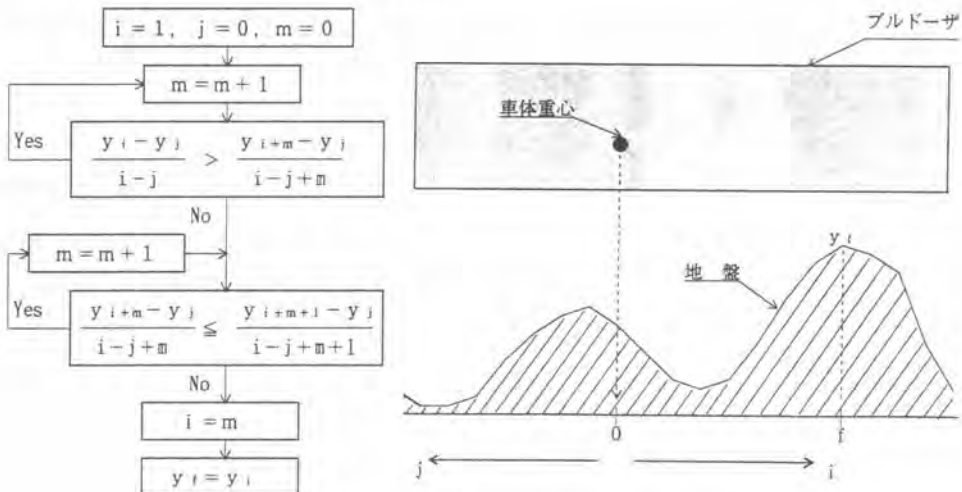


図-4 車体姿勢の計算方法

### 3. 5 操作性

実機の操作との整合を考慮し、図-5に示す実作業事例の出来型測量結果から実験条件を掘削深さ0.2m、ブレードの貫入勾配を車体の移動距離に対して1/10として設定した。オペレータは、ディスプレイに表示された掘削目標値にブレードを追従させるようにブレード操作レバーを模したジョイスティックを操作することとした。

図-6及び図-7は操作結果の一例である。

なお、操作者は十分に操作練習を行い、ある程度操作に習熟した後、実験を行った。

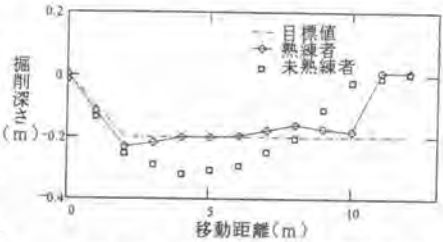


図-5 実機での出来型測量結果

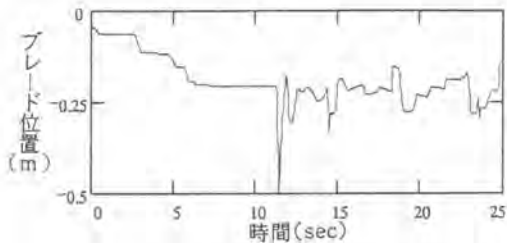


図-6 シミュレーション結果 (ブレード)

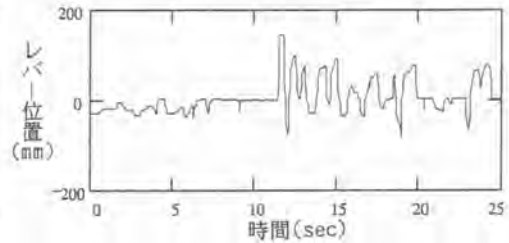


図-7 シミュレーション結果 (レバー操作)

### 4. まとめ

今回製作したシミュレータにより、オペレータの経験則(操作データ)をとる上での、ブルドーザ挙動の機械系のダイナミクスを表現することが出来た。研究により得られた結果は以下の通りである。

- (1)操作結果から、車体の傾斜に応じたブレードの追従操作ができていたことが確認された。
- (2)図-6のシミュレータの操作結果に見られるブレード位置の急激な変動は、車体の傾斜変化にあわせて車体前面に取付けたブレードの位置が変化していることによる。今回製作したシミュレータはブレードによる掘削抵抗を考慮していないので、実際よりも大きな変動となっている。
- (3)シミュレータを現実の挙動に近づけるためには、車体荷重による支持地盤の変形や土のせん断による掘削抵抗など、土の特性をシミュレータに組込むことが必要であり、今後そのための検討が必要である。

なお、シミュレータの開発にご指導ご協力を賜りました筑波大学油田教授及び木本氏、ならびに清水建設(株)市川氏をはじめとした関係各位に深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 自動化委員会研究発表会資料 「建設ロボットの新しい視点」 1992.7
- 2) 室達朗 テラメカニクス-走行力学- 技報堂出版 1993.2
- 3) 人工知能の技術の利用 (財)日本情報処理協会 1988.12



# 61. 密閉式移動ミキサによる流動化処理土の製造

フドウ技研(株)：\*谷口 利久・佐藤 啓雄

## 1. はじめに

地盤沈下によつて発生した空洞および、共同溝等の構造物の裏込めを手際よく行う工法として、現地発生土を再利用する流動化処理工法がある。一般的にこの工法は施工場所が狭く、また作業時間が限定される工事となることが多い。そこで機動性のある流動化処理を行うために専用車（移動式プラント）を開発した。本装置はバキューム車のタンクに攪拌機構を組み込んだ簡単な構造とし、保守管理を容易にしている。これまでに、この専用車で流動化処理土を製造（泥水+固化材の混練）試験を実施したのでその成果について報告する。

## 2. 施工概要

### (1) 専用車の機構

基本構造は4 ton トラックの車体に真空ポンプと攪拌翼を内蔵した密閉タンクを取り付け、このタンクを油圧シリンダーでダンブアップする構造である。動力はトラックのエンジンから取り真空ポンプ・攪拌機・油

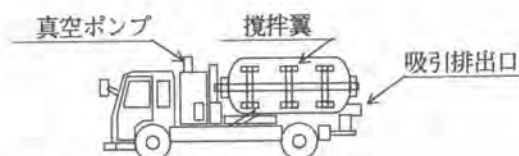


図-1

圧装置等を駆動する。また、高濃度泥水の搬送はポンプ圧送方法からバキューム方式に変更し、スムーズな搬送を可能にした。さらに密閉攪拌方式を採用することで泥水の飛散防止を図った構造としている。

### (2) 専用車の仕様

施工の仕様を表-1に示す。 表-1

| 項目    | 規 格  |
|-------|--|
| トラック  | エンジン 190 PS . 車体 4 ton用 . 積載重量 1400kg                |
| 真空ポンプ | 最大風量 2.8 m <sup>3</sup> /min . 真空度 740 mmHg          |
| 攪拌機   | 容積 1.8 m <sup>3</sup> . 攪拌回転数 1.2 rpm . 攪拌トルク 52kg-m |

(3) 施工システム

流動化処理土製造フローおよび、システムを写真-1、図-2に示す。

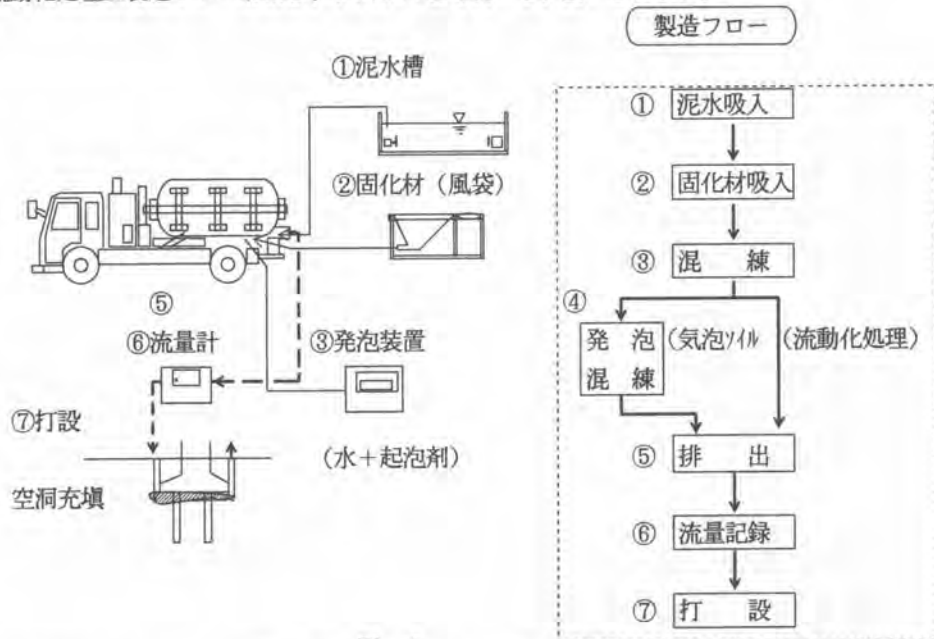


図-2

3. システムの特長

①機動性

改良材は専用車で運搬するため、施工場所が点在していたり、狭い場所であっても容易に施工ができる。

②経済性

従来の定置型流動化処理工法と同様に各地で発生する発生土を利用して、改良材を製造するため安価で経済性にすぐれている。

③環境性

密閉タンクを使用しているため周辺への汚泥飛散がなく、住宅地でも安心して施工ができ環境にやさしい。

④工期短縮

材料搬入の時点から直ちに施工に着手でき、また終了時は速やかに撤去できるなど工期短縮が図れる。



写真-1

#### 4. 試験施工結果

##### (1) 泥水の吸引能力

泥水の吸引能力は $20 \text{ m}^3/\text{H}$ （密度  $1.17 \text{ tf}/\text{m}^3$ 、真空度  $380\text{mmHg}$ ）である。しかし、ベントナイト泥水では密度（ $1.13 \text{ tf}/\text{m}^3$ ）が低くても粘性は強くて吸引能力（真空度  $470\text{mmHg}$ ）が $15 \text{ m}^3/\text{H}$ まで低下した。

##### (2) 固化材の吸引能力

固化材の吸引はタンク下部より泥水中に吸引する。吸引能力は  $55\text{kg}/\text{min}$  で真空度は $500 \sim 600\text{mmHg}$ 程度であった。

##### (3) 処理土の混練精度

泥水の密度の違う各ケースに固化材を設定量吸引し混練をした結果を下記①②、③に示す。

- ① 図-3に混練時間と密度・フロー値の関係を示す。密度および、粘性の低い泥水を使うケース1では、3分程度の搅拌で密度が一定となるが、密度が高いケース2と粘性が高いケース3では搅拌初期のバラッキは大きいものの5分程度で一定になる。

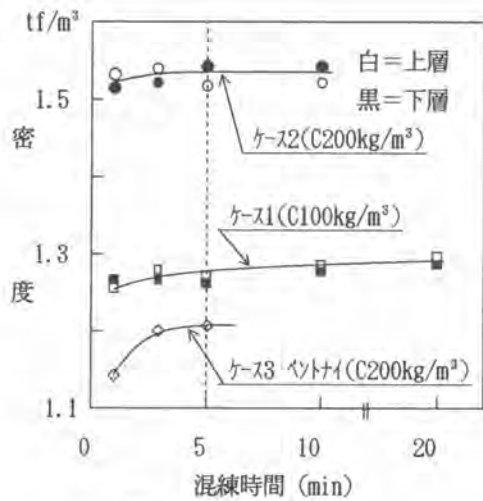


図-3 密度と混練時間

- ② 図-4に混練時間とブリージング率の関係を示す。混練時間の1～10分におけるブリージング率のバラッキがあるが、1分～5分までにブリージング率が急激に減少しその後一定する。また、ケース2のフロー値(JHS)も混練時間と共にやや増加し、5分程度から一定している。

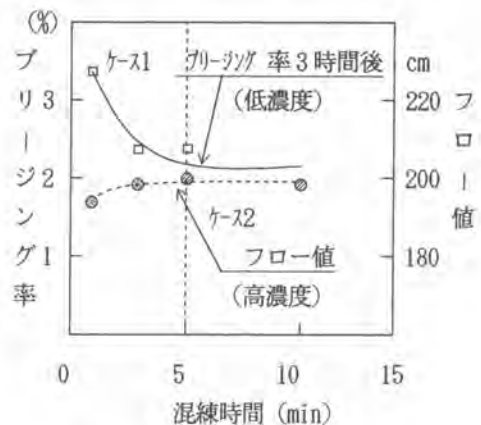


図-4 ブリージング・フロー値と混練時間

③ 図-5 にベントナイト泥水を母材とした処理土の一軸圧縮強度と混練時間の関係を示す。供試体は、目視した限り固化材の塊もなく、良好な状態であった。上部から採取した試料による一軸圧縮強度は、混練時間と共に増加する傾向にあり、3分以上の混練をすれば一定する。また、混練時間3分と5分の強度差は10%程度となり収束の傾向にある。

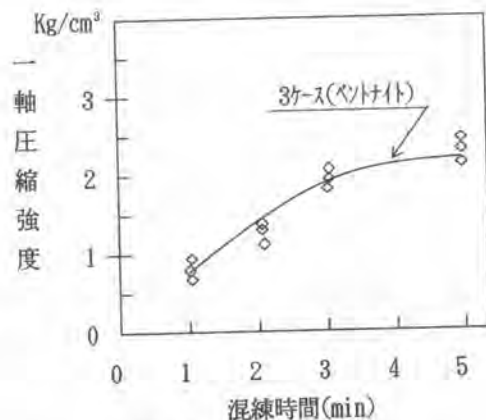


図-5 強度と混練時間

#### (4) 施工性能まとめ

3種類の処理土による試験結果より下記①、②を確認した。

##### ① 吸引能力

- ・ 泥水吸引は 1.5 ~ 2.0 m<sup>3</sup>/h 程度で固化材吸引は 55kg/min の能力を確認した。

##### ② 混練精度

- ・ 流動性の良い処理土の混練時間は3分程度で、密度、ブリージングも一定した処理土が作れる。
- ・ 泥水密度が高く、固化材の使用量が多い処理土は5分以上の混練時間が必要である。密度、フロー値が一定しても強度のバラッキが認められる。

#### 5. あとがき

今回の試験工事で本システムはねらい通りに小規模工事に特長を発揮することが確認できた。本システムは改良土製造フローに示す通り、発泡混練用の施工も可能である。また、大型(11ton)専用車ではミキシング装置として一日150m<sup>3</sup>程度の施工量も可能である。今後はさらに使い易い施工機をねらって施工機の簡素化、省力化を進めると共に、泥水製造技術の早期確立を図り新市場開拓に力を注ぐ所存である。

## 62. 接触防止型油圧ショベルの開発

コマツ：橋本 晴夫

### 1. はじめに

最近の建設工事現場は機械化が進む中、機械メーカーとしては完全な無人化を進めることが事故災害を無くす手段であることは当然であるが、現状では人手に頼らなければならない部分も多く残っており、そこに建設機械と人の接触事故が減少しない原因がある。

平成5年における建設機械による死亡事故は150名をこえており、その中の1つとして、建設機械と人の接触事故の低減を図る技術の開発を目的とし、建設機械が人をセンサにより検知し、適切な危険回避行動を行う技術について開発研究を行った。

具体的な試作としては、国内での保有台数の半数を占める油圧ショベルを選定し、「油圧ショベルと作業員との接触事故防止技術の開発」を進めた。

従来、実用化されたものとしては、反射式超音波センサにより、物体からの反射波で距離を測定し警報を出すものが大部分であった。しかし、この方式では人以外のものでも検出するため、本当に危険かの判断はオペレータに任されており普及するには至っていない。

最初に、工事現場における現状を把握するため実態調査を下記の方法で行った。

- ①死亡災害の分析・調査
- ②ゼネコンに対するアンケート調査
- ③建設工事現場の実態調査

などを分析して、問題点の抽出を図り、接触防止システムに要求される機能を設定した結果、安全と作業効率の両立を目指し下記の基本方針で開発を進めた。

「危険を100%完全にカバーすることは現在の技術では不可能であることから、災害の減少効果と、作業効率の阻害度の背反が最も良くバランスさせることのできるシステムであることを目標にする。」

即ち

- ①作業員のみを検出し、他の物体（壁、電柱、資材など）には反応しないシステムであること
- ②作業員の検知領域は、オペレータの死角になる部分のみをカバーすること
- ③作業の必要上、建設機械の近傍に作業員がいてもできるだけ作業を妨げないこと

### 2. 問題点の抽出及び仕様の検討

#### 1) センサの選択

前記したように、センサの必要機能としては

- ①作業員のいる位置が検出可能であること
- ②作業員のみを検知し、他の物体には反応しないこと
- ③応答性が早く、環境条件に影響されにくく、低コストであること

等を考慮した結果、超音波トランスポンダ方式が適していると判断した。

## 2) どこのエリアを警戒すべきか

平成元年から4年までの油圧ショベルによる死亡災害被災者数305人のうち、周辺作業員が接触や荷の落下などごく近傍にいて被災したと思われる人数は150人に達しており、油圧ショベルのごく近傍を警戒すれば多くの事故が防げると考えられる。

アンケート調査からオペレータのヒヤリ・ハット経験のうち「気づかずに操作」が半数を占めており死角になる部分を警戒する必要があるが、ヒヤリ・ハットした機械周辺場所としてはバケット周りその後方が大部分である、しかも旋回操作時に起こっている。それ故オペレータの正面にあるバケット周りであっても他のことに気を取られていると、危険な場合が多いということであるが、その反面、実際にオペレータに聞くと、バケット周りは視界内に入っているから警戒範囲の必要は無いと回答している。

バケット周りを警戒領域とすることは油圧ショベルの特性上確実に作業効率を低下させオペレータにとっては受け入れ難い選択となる。この辺が実用化を阻んでいる要因と考えられる。

それ故、本試作車ではバケット周りはオペレータ用にスイッチを設け選択できるようにした。

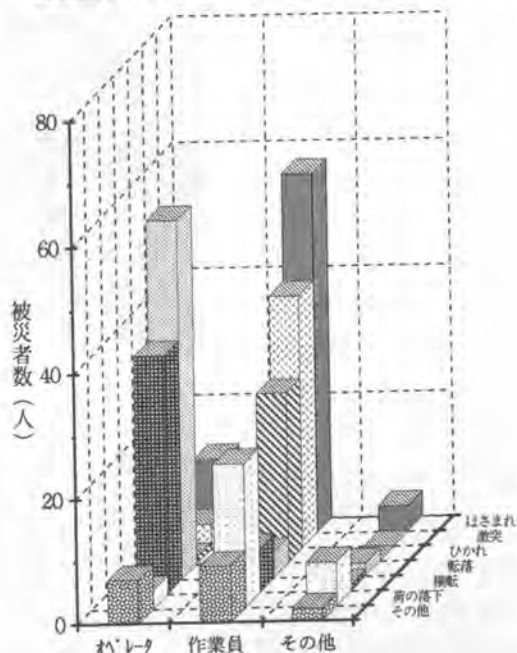
以上をまとめると

- ① 検知領域の大きさは最小必要限度にとどめ、作業効率の低下を極力防止する。即ち
  - ① オペレータが目で確認できる領域は検知範囲とはせず、死角のみをカバーする。
  - ② 作業中における機械の走行速度・旋回速度は通常使用する速度とし、最大速度は考慮しない。
- ② 検知領域は警報・減速・停止の区域に分類し、接触回避に最も適した区域を設定する。
  - ① 検知領域内では停止する前に減速する。
  - ② バケット周辺は深い穴などで見えない場合があるので停止区域を設定する。

## 3) 機械の動作はどうすればよいか

接触防止のためには、オペレータに警報だけを与える方法と、警報を出した上で機械を自動（強制）的に停止させる方法があるが、アンケート調査の結果をみると半数は警報だけで良いと答えている、しかし先に述べたように「気づかずに操作」が多いことは、人間の失念や反応の遅さを考慮すると、強制停止機能が必要と考えられる。

### 油圧ショベル死亡災害被災者数



ここで強制停止機能を入れた場合の問題点としては、機械の慣性によるオーバーランや急激な停止による荷こぼれなどの2次的災害をいかに少なくするか問題となるが、今回は試作のこともあり実機テストにより以下のように設定した。

①機械が危険な状態になるときは、レバーが操作され対応する部位が移動し作業者に接近することにより危険状態になるので、レバー

が操作されたときだけ機械停止信号が出るようにする。また、そのレバーが操作されてもその先に作業員がいなければ危険は発生しない。例えば、バケットで掘削作業中に車体後部に作業員がいても停止信号はでないが、走行レバーを操作すると停止信号を出力する。

②機械停止信号が発せられた後の処理は、作業性と安全性の優先度合いが問題となり、次の2通りの処理が考えられる。

①停止信号が来たときだけ停止する。

②停止信号が来たなら停止を保持しリセットされるまで停止を解除しない、リセットはオペレータが安全を確認して行う。

今回は、作業効率を考慮して①の方法で設定した。

### 3. 現場適応性試験

本システムを搭載した油圧ショベルを実際の工事現場に投入し、接触防止機能、作業効率への影響、信頼性などを評価した。

実際には3現場のべ6週間にわたり工事現場で使用し、聞き取り、ビデオ撮影により調査を行った。

その結果として、

①停止機能と作業効率との両立

検知・停止・復帰などの基本的な機能はいずれも設計通りに作動することが確認でき、接触防止装置は有効であることがわかった。現場からの声としては、特にオペレータは安全性の向上は認められるものの作業効率が低下することに対しては、問題があると指摘している。オペレータにとっては作業量が能力の評価に直接影響するため、効率低下は許容し難いためであるが、全く効率を下げずに安全性を確保するのは現状では困難と考えており、今後現場と密着して使われ方を調査すれば現状よりもさらに効率を上げる余地はあると思う。

反面、作業する上でオペレータと作業員の確認が多くなり、安全性は以前より向上したというアンケート



写真1 接触防止型油圧ショベル外観

ート結果もあり、オペレータ・作業員とも機械を停止してはいけないと言う心理が働き、安全に対する意識の向上に役立つという面もみられた。

#### ②現場にあわせた装置の条件設定

①とも関連するが、設定した検知領域をもっと狭くした方が良いという意見があり、現場により設定を変えて現場にあわせる方法も考慮する必要がある。

#### ③停止後の安全な復帰方法

作業員が機械の近傍を走って通り過ぎたとき、機械が停止した後急に動き出したという報告があった。これは先に述べた停止方法の問題であるが、オペレータにとっては意志に反した機械の動きを極力避けるためには、停止解除の条件にレバー中立を加える等の配慮を今後検討する必要がある。

#### ④減速機能の効果的な利用

今回の設定では、減速領域が50cmの幅と狭いため、直ぐに停止領域なので、十分な効果は不明であったが、減速したときの速度と幅と方向の設定は、時間をかけて調整の必要がある。



写真2 現場適応性試験状況

#### 4. おわりに

なお本研究は、建設省の総合プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」の一環として建設省土木研究所、(社)日本建設機械化協会、(株)加藤製作所、(株)神戸製鋼所、新キャタピラー三菱(株)、住友建機(株)、(株)トキメック、日立建機(株)、(株)コマツの9者で共同研究を行ったものである。

研究開発されたシステムでは特定された作業員だけを検知でき、他の物体に反応しないため、自動停止機能を付加し、オペレータの不注意などによる災害を未然に防ぐことが可能となった。

今後は、今回の実証テストなどで明らかになった問題点等を、検討の上、更に実用性を向上するよう、実績を積み重ね、業界に受け入れやすい形に対応すべく努力する所存である。

最後に、本システムの開発と実証テストに、協力いただいた関係各位に深く感謝する次第である。



## 63. 大規模橋梁補修工事における ウォータージェット工法

日本道路公団：森山 守

(株)大林組：\*登坂 知平・小澤 郁夫  
上村 泰邦

### 1. はじめに

コンクリート橋梁の補修工事においてしばしば実施される損傷部コンクリートの研り作業は、ピックハンマー等による人力作業で行われていた。しかし、この人力作業は苦渋作業であり作業効率が悪く、また、コンクリート面の骨材の緩みやクラックの発生など研りとしての品質面でも多くの改善点が指摘されていた。

一方、高圧ウォータージェットによる研り工法は、自動運転することで苦渋作業をなくし、研りとしての品質面でもより向上することができるが、従来その工事規模は比較的小さく、ウォータージェットの利点が十分発揮されていないのが実情である。

そこで本開発では橋梁の大規模研りを対象としたウォータージェット自動化工法を確立し、実際の工事現場に適用した。ここではその工法開発の経緯および現場導入状況について報告する。

### 2. 開発の背景

日本海沿岸道路のコンクリート橋梁では、飛来した塩分がコンクリート中に浸透し、鉄筋の錆びの発生を引き起こすいわゆる塩害による被害が多く、その対策に苦慮している例が多い。昭和57年～58年当時の建設省などの調査によれば、海岸から500m以内にあるコンクリート道路橋では、塩害は海から吹く風が特に強い北陸、東北、北海道の日本海沿岸において、主としてかぶりの薄い道路橋に発生し、橋梁上部工の258箇所中62箇所(24%)が塩害を受けていると報告されている。従来、塩分が浸透し許容値を越したコンクリートは、劣化部を研り取り新たに特殊モルタルなどを注入する断面修復が必要となり、この断面修復工のうち、研り作業はピックハンマーによる人力に頼ってきた。

人力研りの作業は粉塵の立ち籠める中での振動作業であり、特に上向研り時は小粒子は飛散し、研ったコンクリート片は作業者に直接当たるなど作業環境は極めて悪く、このような作業を橋梁全面に渡って行うには多数の研り熟練工が必要となるが、長期間に耐え得る熟練工の確保は困難な時代となっている。そこで苦渋作業を回避するため研り作業を機械によって自動的に行う手段が求められている。

### 3. ウォータージェット工法の選定

従来コンクリート解体工法として整理された中から、コンクリートの表面数センチを取り除くことのできる工法(研り工法等)を表-1に、コンクリート研り(破碎)の原理を、衝撃、切削、及びその他(噴射・動圧他)等に分類し、特徴を整理したものを表-2に示す。

ウォータージェット工法は、表-2からわかるように研り面の品質は優れており、特に鉄筋コンクリートの裏面まで研ることのできる唯一の手法と言える。また、ウォータージェットによる研りは、

ジェットノズルを研り面に添って移動させることで簡単にコンクリートを研ることができることから、自動化が比較的容易である。以上のような諸条件を考慮し自動研り工法としてウォータージェット工法を選定した。

ウォータージェット工法による切削や研りの原理は、

- ①動圧による破壊
- ②衝撃荷重による破壊
- ③キャビテーション壊食
- ④間隙水圧によるくさび効果
- ⑤研磨効果
- ⑥脈動負荷による疲労破壊

等があげられる。破壊の効果はこれ等①～⑥の原理が複雑にからみあって発揮される。

#### 4. システムの構成

研りシステムは図-1に示すように超高圧発生部、ジェットノズルを操作する研りロボット部、超高圧を発生するための水処理やポリマー溶解などを行う給水処理部、および研りによって生ずるコンクリートガラや排水を処理する破棄処理部で構成されている。

##### (1) 超高圧発生部

今回橋梁研り時の超高圧発生装置は表-3に示す仕様のポンプを選定した。対象橋梁は供用したまま研り工事を行うことから、著しい研り過ぎは橋梁の耐荷力上の問題を生ずる。あまり大きな破壊力のある超高圧ポンプでは研り過ぎを生ずることが考えられ、今回の工事にはこの大きさを

表-1コンクリート研りへの適用

| コンクリート解体工法  |               | コンクリート研りへの適用 |                        |
|-------------|---------------|--------------|------------------------|
| 油圧機械破砕工法    | ロックジャッキ工法     |              |                        |
|             | ジャッキ圧砕工法      |              |                        |
|             | ジャッキ工法        |              |                        |
|             | コンクリートパイル破砕工法 |              |                        |
| 機械的破砕工法     | COW工法         |              | カッターロード工法              |
|             | カッター工法        |              | ハンドブレード工法              |
|             | 手動工具工法        |              | ピックハンマー工法              |
|             | ブレード工法        |              | 大型ブレード工法               |
|             | 剛着工法          |              |                        |
| 火花破砕工法      | ステンボール工法      |              | スパイクハンマー工法<br>(チップニング) |
|             | ダイヤモンドカッター工法  |              | ハンマー工法)                |
|             | デルミット工法       |              | ダイヤモンド                 |
| 断続圧力による破砕工法 | ガス破砕工法        |              | ワイヤーン工法                |
|             | カールドック工法      |              | ブレードカッター工法             |
|             | 断続性ガス生成工法     |              |                        |
| 噴射洗滌式破砕工法   | ウォータージェット工法   |              | ウォーター<br>ジェット工法        |
| 電氣的破砕工法     |               |              |                        |
| 火薬破砕工法      |               |              |                        |
| その他の工法      |               |              |                        |

表-2研りの原理別特徴比較

| 原理         | 工 法                     | 特 徴   |
|------------|-------------------------|---|
| 切 削        | ・ダイヤモンド<br>ワイヤーン        | ○コンクリートに対し、ダメージを与えない<br>○平滑な切削面が得られる<br>○切削粉を冷却水によって洗い出すため<br>切削面は清潔で、また、熱による影響を受けない<br>○騒音、振動がない<br>▲施工費が高む<br>▲切削面が平滑で、修復材接着面積が少ない                            |
|            | ・ブレード<br>カッタ            |   |
| 衝 撃        | ・油圧<br>ブレード             | ○設備が簡単で手軽に行える工法である<br>▲マイクロクラックが発生する<br>▲はつり面に粉塵が付着する<br>▲比較的平滑な面となり補修材との付着面積が<br>少ない<br>▲粗骨材の剥離を生ずる懸念がある<br>▲鉄筋を傷める懸念がある                                       |
|            | ・ピックハンマ<br>・ハンド<br>ブレード |   |
| 噴 射<br>洗 滌 | ・ウォーター<br>ジェット          | ○劣化部はよく研ることができ健全部を傷めない<br>○マイクロクラックを生じない<br>○研り面は清潔であり補修材の接着性向上を期待<br>できる。<br>○鉄筋を傷つけることなく磨き落としも同時にできる<br>○鉄筋裏面の研りも可能である<br>▲設備が大掛りとなり、比較的施工費も高む<br>▲排水処理が必要となる |
|            |                         |   |

表-3超高圧ポンプの仕様

| 項 目    | 内 容                                  |
|--------|--------------------------------------|
| 増圧機形式  | 荏原製作所                                |
| 吐出圧力   | 油圧駆動方式×2<br>2500kg f/cm <sup>2</sup> |
| 吐出流量   | 27 l/min                             |
| 油圧回路方式 | セミオープン回路方式                           |
| エンジン出力 | 250HP                                |

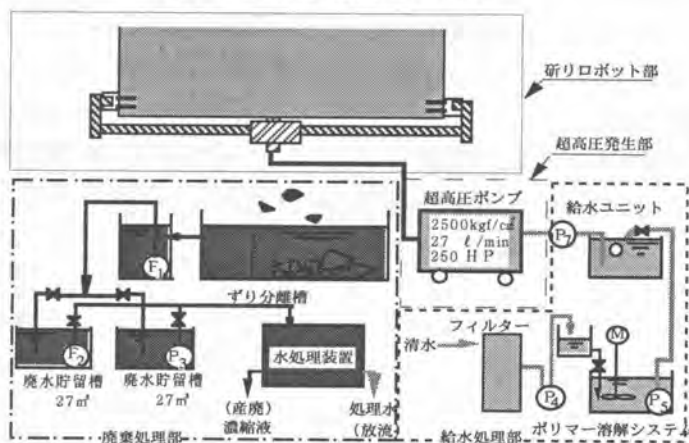
適当とした。

### (2)給水処理設備

通常超高压を発生させるためには、増圧機ピストン部にシール用特殊パッキンを使用している。このパッキン材の耐久性を増すためには、原水に混入する異物を排除する必要がある。本システムでは、原水が超高压ポンプに入る前に最大 $1\mu\text{m}$ のフィルターで濾過している。原水には地表より深さ約70mの井戸を利用し、海岸には近いものの塩分等が問題とならない清水を使用している。清水はフィルター通過後ポリマーを添加する。これを十分攪拌し完全に溶解して給水ユニットから超高压ポンプへ送る。



写真-1 研り状況 (側部ロボット)



### (3)廃棄処理設備

ウォータージェットによって橋

図-1 研りシステム

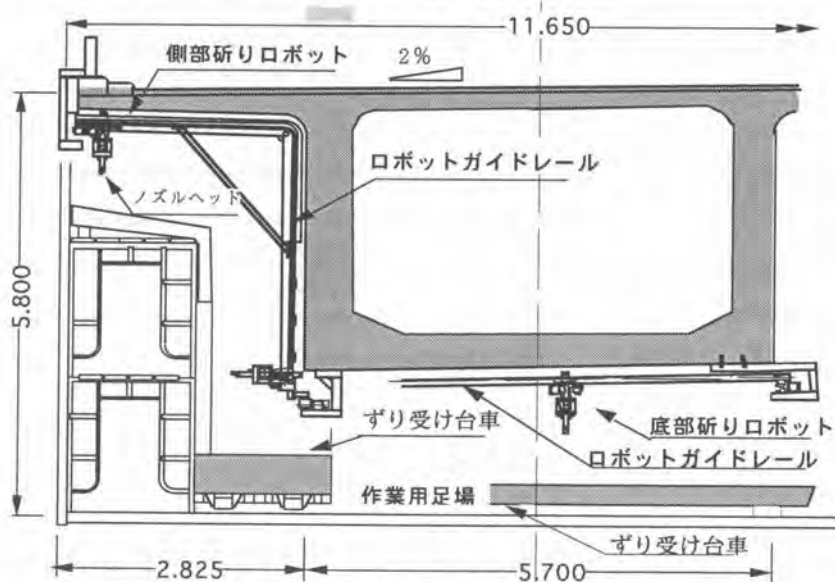


図-2 研りロボットセット図

梁コンクリートを研ると魁状に研りとれる部分（コンクリートガラ）と、細かい粒子状に研れる部分（ジェット水と混合して泥水となった部分）とが勢いよく落下してくる。これらは図-2に示すように、研り位置下部の足場床上に受皿を設置し仮受けする。このうち、コンクリートガラ部分は作業途中および作業終了時に人力により搬出して、一括して産業用廃棄物として処理する。研り水（ポリマー泥水）は、この受皿よりポンプによって一旦廃液貯留槽に送液され排水処理する。なを、廃液貯留槽は研り直後の水温が80℃近くとなると排水処理時対流を起しフロック沈降が阻害されるため、排水を常温まで温度を下げる目的で準備した。

## 5. 研りロボット

研りロボットは、図-2に示すように懸垂式を採用した。

橋梁の補修工事では、地上を利用できる場合が少なく、橋梁を供用しながら研りを行うことから橋梁は常に繰返し荷重を受けて振動する。また、ウォータージェットによる研り作業は、スタンドオフ（ノズルと研り面との距離）を適正值に維持する必要があり、これを正確に維持できないと研り能力は著しく低下する。

ロボットの型式は、主としてクローラや車輪等によって移動する三次元ロボット方式と横行走行をガイドレールで位置決めできる懸垂式の二方式が考えられるが、三次元ロボット方式では足場の振動によってスタンドオフを高精度で維持することは難しく、懸垂式ではスタンドオフを精度よく維持できると共に、足場にかにかかる重量を軽減できる利点があるため、後者を選定した。

研りヘッド（研り装置）部は、図-3に示すようにノズルヘッド部、スィーベル部、油圧モーター部、油圧シリンダー部、レーザーセンサー部、研りヘッドフレーム部等で構成されている。研りヘッド部の移動（横行）は、走行台車附近に装備された横行モーターによってチェーン駆動する。横行フレームは溝型鋼で、橋梁の形状に合わせて作られ、ノズルヘッドフレームに取付けた4ヶのガイドローラは溝型鋼（ガイドレール）にガイドされて移動する。走行装置部は、横行フレーム両端に、走行モーターを各々装備し、I型鋼製のガイドレール上を走行する。

研り作業の制御は、走行をX軸、横行をY軸、研り深さ方向をZ軸とし研り作業の開始点を原点座標として3軸を数値制御する。また、ティーチング時にファイルされた研り面データによって、スタンドオフの制御、および研り後の計測から研り深さが算出される。研りロボットの仕様を表-4に、研り状況を写真-1に示す。

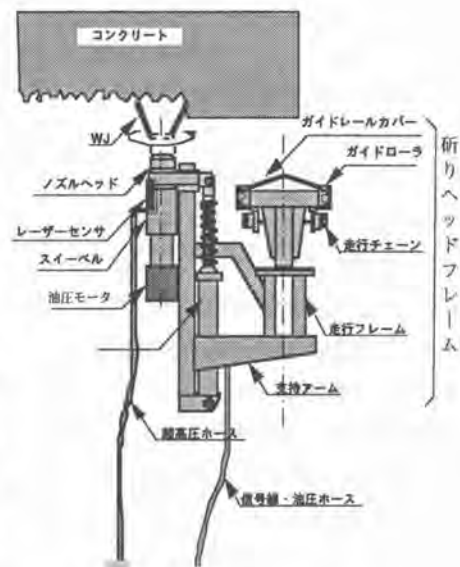


図-3 研りロボットヘッド部

## 6. 研り実験

研りロボットの仕様決定に当たり、超高圧ポンプの能力を十分発揮できる設定とする事が重要であるが、研りに関して従来大規模な実績がないため、各種の実験を行って諸設定値を決定した。

実験は主に目標研り深さ50mmに対して、研り速度（ノズルのトラバース速度）、ノズル回転数、送りピッチ（ノズル走行に対して横行方向へ送る送り幅）について行った。なを、実験に使用した供試体コンクリートの配合を表-5に示す。

実験は3段階で行い、第1の予備実験は主に研りロボットの基本仕様を決定するためのもので、この実験によって概略の研り速度を決定し、研りロボットの製作を開始した。

第2の室内実験では実橋梁のPC桁の強度に合わせたコンクリート供試体を製作し、新規に製作したノズルヘッド部を使って研り実験を行い、実施工における研り速度及びその他諸設定値を得ることを目的とした。

第3は、完成した研りロボットを使い、実施工での研り速度を含め、ロボットの総合性能を確認した。

実験結果の内、研り深さと研り速度との関係を図-4に示す。この結果から研り深さ50mm時の研り速度は、予備実験時は $1.9\text{m}^2/\text{h}$ であったが室内実験時は $1\text{m}^2/\text{h}$ 以下、最終の現場実験時には $1.2\text{m}^2/\text{h}$ となった。これら一連の実験は研り時の諸条件等（水圧、ノズル形状、ノズル径等）同じ条件で行っていることから、研り速度の違いは、供試体コンクリートの性状の違いによるところが大きいと推定された。

## 7. 現場への適用

### (1)現場概要

今回補修を行う橋梁は日本海沿岸に位置し、波打際に架橋されているため、潮風の影響を強く受ける。現場の主な工事内容は次の通りである。

表-4研りロボット仕様

| 項目        | 内容                   |
|-----------|----------------------|
| 形式        | 荏原製作所                |
| 走行速度      | テーチングブレイバック方式        |
| 横行速度      | 0 ~ 3000mm/min       |
| ノズル回転数    | 0 ~ 3000mm/min       |
| ノズル追従凹凸深度 | 10 ~ 80rpm<br>±100mm |

表-5実験に使用した供試体のコンクリート配合

| 供試体名  | 配合強度<br>( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | Gmax<br>(mm) | W/C<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |     |     |      |       | 備考   |
|-------|-------------------------------------|--------------|------------|------------|------------------------------|-----|-----|------|-------|------|
|       |                                     |              |            |            | C                            | W   | S   | G    | Ad    |      |
| 予備実験用 | 475                                 | 25           | 37.5       | 43.5       | 437                          | 164 | 777 | 1028 | 4.37  | G:砂利 |
| 室内実験用 | 594                                 | 20           | 34.5       | 37.7       | 479                          | 165 | 640 | 1100 | 8.143 | G:碎石 |

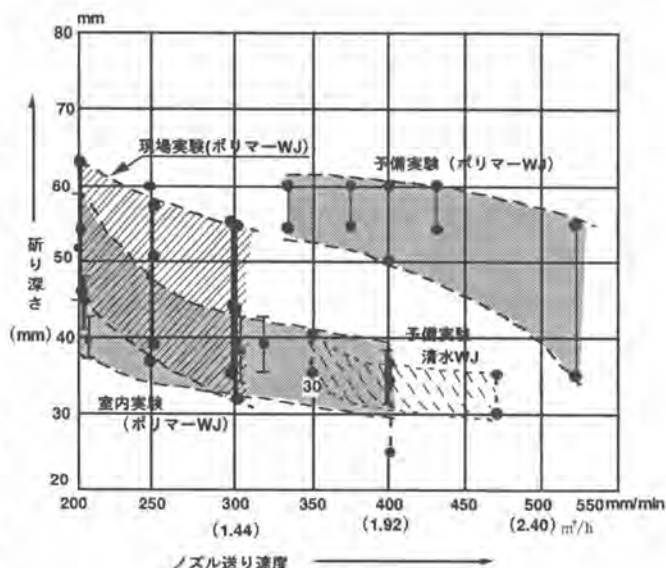


図-4研り実験の結果

- ・断面修復工、コンクリート研り 4,300㎡
- ・断面修復工、型枠 4,300㎡
- ・防水ライニング工 5,100㎡
- ・その他 耐荷力調査他詳細設計等 1式

橋梁は両端の橋台（A1，A2）と橋脚（P1～P7）の8径間、標準径間70m全長約547mのうち、今回施工分は、280m（A1～P4）である。

## (2)研り工事

橋梁補修工事は、施工条件として交通供用を行いつつ施工する。研り作業の1サイクルは、図-5に示すようにノズルの走行する軌跡をティーチングすることから始まる。この時研り面の凹凸をレーザーセンサーによって計測しデータをファイルする。連続して研る部分のティーチングが完了したら超高压ポンプを起動し研りを行う。

研りが完了したら研り深さを計測するため必要な部分のみロボットを走行させ計測を行う。

計測が完了したら次ぎの研り地点にロボットを移動し、この時ロボットに付属する飛散防止用シートやコンクリートガラ受け等の付属設備を移動し、次の研りブロックの準備を行う。

研り深さは、コンクリートの性状に左右されることから試験研りを行い主にノズルの移動速度で管理する。コンクリートの性状があまり変化しない場合は前日の研り速度等を使う。研り工事は4月初旬に開始、ロボットは約9㎡/日/台程度の速度で研りを行って6月末日で約40%完了、断面修復（注入）と平行して現在順調に進行している。

## 8. おわりに

ロボットの仕様条件決定から現場施工まで3カ月と非常に短期間で製作であったが、当初の目標は達成できたと考えている。

新工法でかつこのように大規模な面積を行うのはこれまで例をみないことであり、今後更に性能向上を目指して改善を重ねウオータージェット工法が益々採用され発展することを期待している。

最後にウオータージェット研り工法に着目し、採用を決定下さった関係各位には感謝とともに敬意を表します。

### 参考文献

日本ウオータージェット学会：ウオータージェット技術辞典，丸善，1993.11

コンクリート耐久性向上技術（塩化物総量規制基準とアルカリ骨材反応対策），（財）国土開発技術センター，1986.10

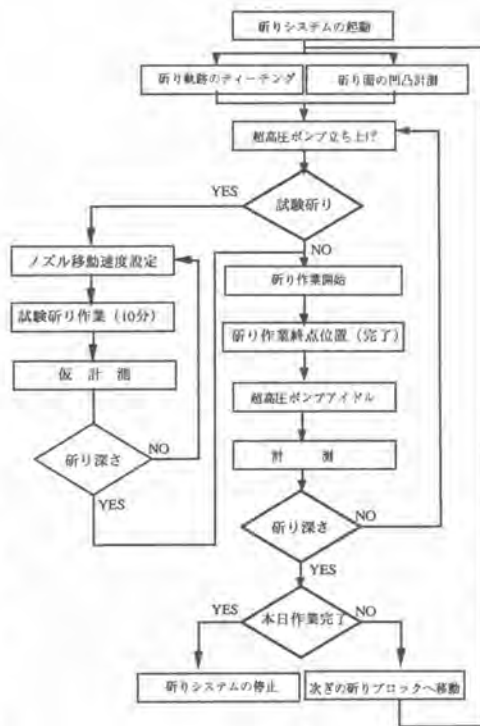


図-5研り作業フロー図

## 64. 高濃度薄層浚渫を行う SWAN21工法

五洋建設(株)：寺本 昭

### 1. はじめに

わが国では、終戦後半世紀が経過して人々の生活水準も向上し安定した暮らしが営めるようになり、また近年、週休二日制への移行など余暇が増えて生活にゆとりが生まれると、環境保護意識の高揚や人と自然とのふれあいの場を求める声が多く聞かれるようになった。都市部の港湾、河川、湖沼などでは水辺環境の整備や、親水空間の創成が求められ、特に、入り口が狭く奥に深い港湾や湖沼などの閉鎖性水域ではその水質改善（浄化）が強く求められるようになった。

水辺環境の整備や水質浄化を行う上で、最も効率的な対策の一つに水底に堆積したシルト、粘性土などヘドロ状の底質（底泥と称す）の除去（浚渫）があげられる。これは、底泥中、それも特に表層の浮泥中に多く含まれている窒素やリンなどの栄養塩類の水中への溶出を防止するために行われるもので、通常このような浄化を目的とした浚渫では広域な面積の薄層浚渫が必要となる。

従来の浚渫方法は、ポンプ式やグラブ式浚渫船によるものが主流であり、表層の浮泥を確実に捉えようとすると、ポンプ式では底泥と同時に大量の水を攪拌しながら吸い上げるため、大型の土砂処分地や余水処理設備を必要とし、かつ運搬効率も悪いなどの問題点があり、グラブ式においては表層浮泥の流失、浚渫時の汚濁の発生、掘り跡の不陸などの問題があり、その改善が要望されていた。

### 2. 高濃度薄層浚渫工法開発の経緯

底泥を高濃度で浚渫しながら、しかも浚渫時に濁りをできるだけ発生しない集泥装置の開発は昭和63年に開始した。高濃度浚渫と汚濁発生を抑止といった相反する技術要素をいかにして同時に満足させるかがこの集泥装置機構開発のポイントであり、浚渫時に余分な水を吸引しないことと、底泥をできるだけ乱さずに静かに切り取ることの二つに焦点をしばり、特殊な回転バケット式集泥機と定容積型ポンプの組み合わせによるシステムを構築した。模型実験により集泥機構の有効性を確認した後、小型実験機的设计・製作へと開発を進めた。「SWAN21工法」命名の由来は、新しい時代に向けた浚渫システムというコンセプト“System of Dredging for Water Area and New Life 21”の頭文字からとったものである。

平成3年および4年には小型実験機を改良して台船に艀装した小型機「SWAN21」による実工事を施工し、平成5年2月には大型の高濃度底泥浚渫船「SWAN3号」（写真-1）を完成させ、平成7年7月末までにすでに5件の底泥浚渫工事を完工した。



写真-1 SWAN3号全景

### 3. SWAN 2 I 工法の特長

特殊回転バケット式集泥機を使用した本工法の特長は、つぎのとおりである。

- ① 水を加えない高濃度浚渫（見掛容積含泥率80%以上）が可能である。
- ② 底泥を乱さずに集泥できるため、濁りの発生が極めて少ない。
- ③ 水の混入しやすい薄層浚渫条件（30～40cm）においても、表層の浮泥を確実に捉える。
- ④ 広範囲な性状の底泥（施工実績範囲は含水比80～400%）の浚渫が可能である。
- ⑤ 浚渫掘り跡がポンプ式やグラブ式と比較して平坦に仕上がる。

### 4. 工法概要

#### (1) 浚渫原理

図-1 に回転バケット式浚渫機構模式図を示す。

ラダーの先端に回転バケット式集泥機を装備しており、これを底泥上にセットしてバケットの回転周速とスイング速度を一致させながら運転することにより、地盤とバケットの相対速度がゼロになり、下方に形成されたバケットが静かに連続的に底泥中に押し込まれ、底泥を切り取り、持ち上げることにより浚渫を行う。これにより、浮泥から硬質粘性土まで広い範囲の土質を高濃度で、周辺水域への汚濁の発生を極力抑えながら表層部を薄層で浚渫することができる。集泥機内部で持ち上げられた底泥は、スクリーンコンベア室に押し込まれ、コンベア端部より流量制御可能な定容積型圧送ポンプ（ロータリーポンプ）により吸引・圧送される。

図-2 に従来方式と本工法の掘削方法の違いによる刃先回転軌跡の比較図を示す。

通常のポンプ船のカッタなどの場合、回転周速は前進速度に比べ十分大きく、その刃先の回転軌跡はトロコイドカーブを描く。これは、刃先が地盤を薄くスライスするため、底泥に運動量が与えられ、汚濁が発生しやすく、高含水比の浮泥などは跳ね飛ばされてしまう。

これに対し本工法は、回転周速と前進速度を同期させるため、その刃先回転軌跡はサイクロイドカーブを描く。この結果、掘削刃と地盤の相対速度はゼロとなり、底泥を包み込むように静かに底泥中に貫入するため、薄層の浮泥であっても乱さずに確実に

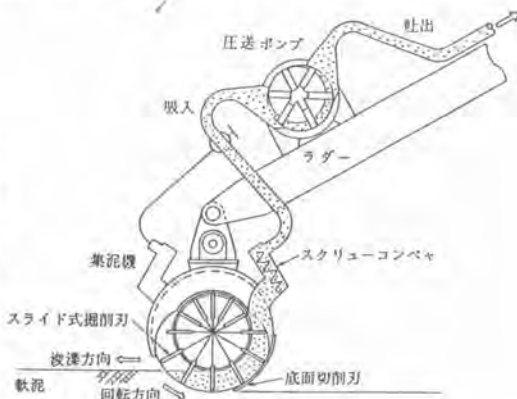
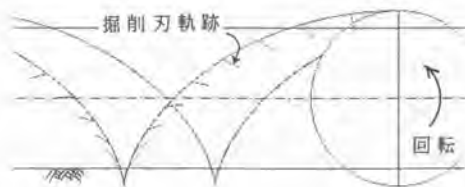


図-1 浚渫機構模式図

#### ■ 回転バケット式集泥機の刃先回転軌跡

回転周速 = 移動速度 (サイクロイドカーブ)  
スイング方向



#### ■ 通常カッタの刃先回転軌跡

回転周速 > 移動速度 (トロコイドカーブ)  
スイング方向

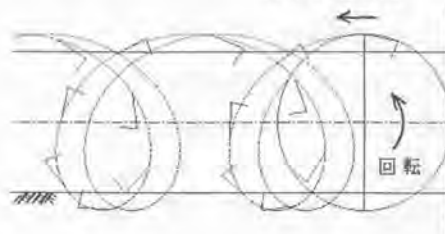


図-2 刃先回転軌跡比較図



とらえることができ、汚濁の発生は少ない。

### (2) システム構成

本システムは図-3の施工概念図のごとく、集泥機、圧送ポンプ、およびその吸入・排泥ライン等で構成されている。浚渫された底泥は圧送ポンプにより船体中央に設けられた旋回式排泥管を通して、本船に接触した土運船に積み込まれる。または、船体中央部に空気圧送装置を容易に艀

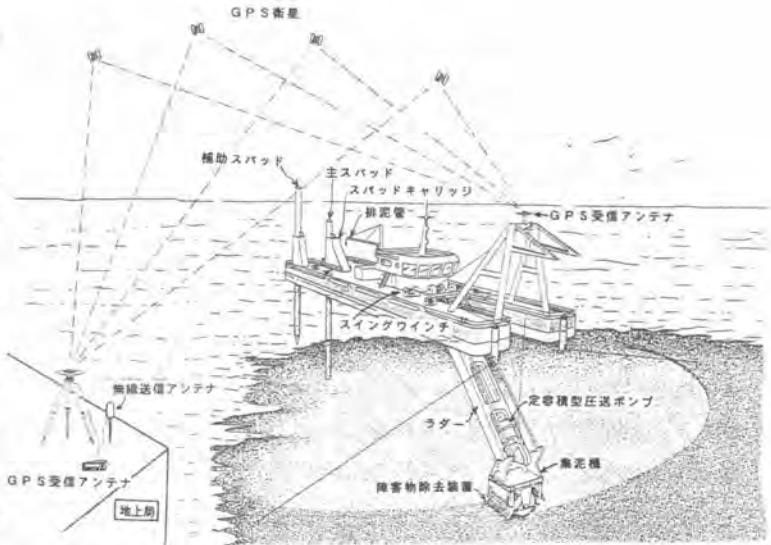


図-3 施工概念図

装することができ、施工条件に応じたパイプライン長距離圧送が確保できる。

操船方法は、まず船尾中央部にある主スパッドを地盤に打ち込み船体を所定位置に固定し、次に集泥機を底泥にセット後、スイングワイヤーを巻取ることにより船体を左右にスイングさせながら浚渫を行う。このとき、集泥機部は主スパッドを中心とした円弧を描くように移動し、1スイング列分の浚渫が終わると、主スパッドと船体を連結している油圧シリンダー（スパッドキャリアッジ）を伸ばし船体を前に押し出すことにより集泥機を前進させ、次の浚渫列に移る。

### (3) 自動化システム

「SWAN3号」は1回のスイングで幅2m、土厚30~40cmの底泥を表層から切り取り、前進およびスイングを繰り返すことにより広いエリアの薄層浚渫を行う。これを可能にしたのは、単に集泥装置の機構によるものだけでなく、現代のコンピュータの発達に大きく依存している。数センチメートル単位の高精度な位置管理、土厚管理を工事施工中にリアルタイムで行うにはコンピュータなしでは考えられず、最新技術としては船位計測に宇宙衛星を利用したGPS（グローバル・ポジショニング・システム）の導入も行っている。

自動スイング運転システムは、ラダーの自動昇降、スイング自動、スパッドキャリアッジ自動前進の3つの制御システムから構成されており、主スパッドを1回打ち込むとキャリアッジ最大前進距離6m間をいっきに自動浚渫することができる。集泥バケットの回転とスイング速度は自動で同期制御され、オペレータは、運転操作盤上に置かれた2台のCRT画面で浚渫船の位置や集泥機の運転状況を監視することができる。写真-2に運転監視CRT画面を示す。

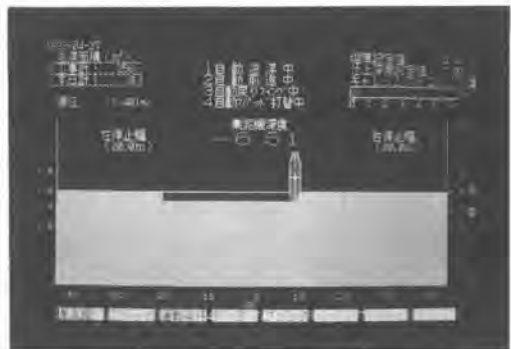


写真-2 運転監視CRT画面

### (4) 高濃度浚渫特性

図-4は、スパッド打ち替えから次のスパッド打

ち替えまで3スイング列分のポンプ流量、揚土量および密度の時系列データの一例を示すが、底泥の平均地山単位体積重量（密度）が $1.382 \text{ t/m}^3$ に対して浚渫土の密度は安定してほぼ $1.3 \sim 1.4$ を維持している。含泥率に換算すると80

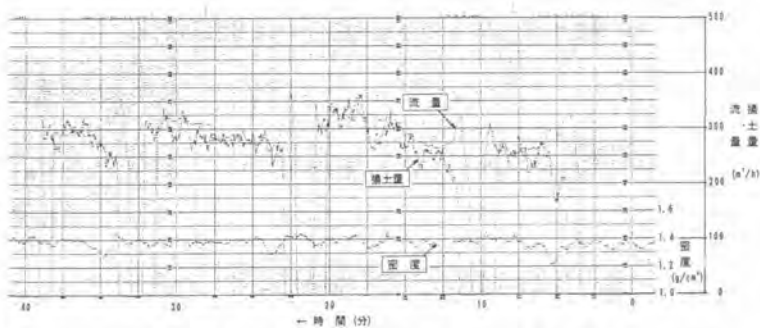


図-4 ポンプ流量、揚土量および密度時系列例

本工法では浚渫寄り切り時などに即座にポンプを停止できるため、スパッドキャリッジによる浚渫列前進時などの非浚渫時に無用に送水を続けることなく、連続して高濃度浚渫を維持することができる。

### 5. 施工実績

SWAN21工法は、すでに $30 \text{万 m}^3$ の施工実績を有している。表-1に、本工法の施工実績とその施工条件を示す。写真-3にバージ積込み状況を示す。

表-1 SWAN21工法施工実績

| 工事名  | 新小野田(発)泊地浚渫工事      |                              | 中海深工事                              | 新小野田(発)取水口前面浚渫工事      | 港清水域環境整備工事(瀬戸浚渫)       | 石巻漁港-7.0m泊地浚渫工事                     | 新小野田(発)泊地浚渫工事                      |           |
|------|--------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| 工期   | H.3.5~9            | H.4.5~9                      | H.5.6~11                           | H.5.5~9               | H.6.9~<br>H.7.3        | H.6.12~<br>H.7.3                    | H.7.5~9                            |           |
| 浚渫船名 | SWAN21<br>(走行台車方式) |                              | SWAN3号                             |                       |                        |                                     |                                    |           |
| 工事内容 | 浚渫土量               | 43,000 m <sup>3</sup>        | 53,000 m <sup>3</sup>              | 21,000 m <sup>3</sup> | 22,000 m <sup>3</sup>  | 20,000 m <sup>3</sup>               | 87,000 m <sup>3</sup>              |           |
|      | 浚渫土厚               | 0.92 m                       | 1.48 m                             | 0.48 m                | 1.7 m                  | 0.5 m                               | 0.2~0.5 m                          | 0.5~1.0 m |
|      | 施工水深               | -7.5 ~ -11.5 m               | -4.7 ~ -5.0 m                      | -7.5 m                | -10.0 m                | -7.0 m                              | -7.5 m                             |           |
| 処理方法 | 浚渫~土運船~揚土          | 浚渫~土運船~直投                    | 浚渫~排砂管~埋立                          | 浚渫~土運船~直投             | 浚渫~土運船~揚土              | 浚渫~排砂管~埋立                           | 浚渫~土運船~直投                          |           |
|      | 排送距離               | 約100 m<br>(バージまで)            | バージローディング                          | 約1,000 m<br>(空気圧送)    | バージローディング              | バージローディング                           | 約2,000 m<br>(空気圧送)                 | バージローディング |
|      | 運搬距離               | 約47 km                       | 約165 km                            | -                     | 約165 km                | 約32 km                              | -                                  | 約170 km   |
| 土質   | 軟泥                 |                              | シルト                                | 堆積シルト                 | 汚泥シルト                  | シルト                                 | 堆積シルト                              |           |
|      | 湿潤密度               | -                            | 1.1~1.25 g/cm <sup>3</sup>         | -                     | 1.29 g/cm <sup>3</sup> | 1.23 g/cm <sup>3</sup>              | 1.32~1.46 g/cm <sup>3</sup>        |           |
|      | 自然含水比              | 180 ~ 250 %                  | 150 ~ 340 %                        | -                     | 204 %                  | 263 %                               | 125 ~ 170 %                        |           |
|      | 粒度                 | 砂 2 %<br>シルト 68 %<br>粘土 30 % | 砂 6.1 %<br>シルト 39.8 %<br>粘土 54.1 % | -                     | -                      | 砂 24.7 %<br>シルト 60.1 %<br>粘土 15.2 % | 砂 2.5 %<br>シルト 74.0 %<br>粘土 23.5 % |           |

### 6. おわりに

本工法は、高濃度でクリーンな浚渫技術の確立という観念から、埋立処分地不足や長距離輸送における施工コストの増大といった、港湾、河川、湖沼等における底泥浚渫のかかえる問題の解消を図るべく開発を進め、実用化に至った。今後、本工法をはじめとする新しい浚渫技術は、より良き水辺環境の創出に貢献できるものと確信する次第である。

なお、本工法は平成5年6月、運輸省の民間技術評価制度により評価証を交付された。



写真-3 バージ積込み状況

# 65. 建設機械足廻り自動洗車システムの開発

コマツ：小野田 匠・\*鴨志田安洋  
池上 勝博

## 1. まえがき

近年、建設機械リースレンタル業、整備業において、建設機械の寿命の向上、ユーザに対するイメージアップ等のため、建設機械の洗車の重要性が増している。しかし人手による建設機械の洗車は、苦渋作業であり、かつ工数がかかっている。

そこで、特に汚れがひどい足廻り部分の自動洗車を目的とした自動洗車機が、\*90頃より当社を初め数社により開発・販売されている。しかしユーザニーズの多様化等により、なかなか広まっていない。

そこで、より多くのユーザニーズに対応可能にした「建設機械足廻り自動洗車システム」を研究開発し、建設機械の洗車作業における、苦渋作業の低減、洗車工数の削減の効果を、各ユーザ層別にまとめ、本報告書において報告する。

## 2. 研究開発及び発表のねらい

洗車作業の環境改善及び省人化という社会的課題を、より多くのユーザニーズに対応できる洗車システムを開発することにより解決し、さらにシステムとして捉えることにより、より効率的な洗車方法を提言することを目的としている。

## 3. 研究開発の対象の現状と問題点

### (1) 自動洗車機

現在、いくつかの建設機械の足廻り部分の洗浄を目的とした自動洗車機が販売されているが、各々洗車方法が特定され、ユーザの要求、または付着している泥の有効な落とし方への対応を考えると、必ずしも十分な機能ではない。

それぞれに有効な洗車方法が選択できる自動洗車機を開発する必要があるが、まず、ユーザ別に満足する洗浄品質、土質別の有効な洗浄方法について、明確にしていく必要がある。

### (2) 周辺機器

現在、低圧大流量の洗浄を行なう場合、大規模なピット工事が必要になる場合がある。

借地のユーザも多く、簡単な土木工事のみで設置可能な洗車ピットを開発する必要がある。

また、高圧洗浄水を循環するための、循環装置においては、現状のろ過装置は、ある程度のろ過精度を必要とした場合、大規模なプラントになったり、フィルターの交換が頻繁になったりと、実状に合わない場合が多い。本システムの使用状況にあったろ過装置が必要である。

## 4. 研究開発の目標

### (1) 洗車機本体について

現在、既に当社の自動洗車機を使用しているユーザからのフィードバック、さらに今回新たに洗車システムを開発するにあたって実施した市場調査の結果を、ユーザ別の要求洗浄品質、付着した土質別の有効な洗浄方法として、表-1、表-2に示す。

|       |     | リース者 | 整備業 |
|-------|-----|------|-----|
| 落具    | 履帯  | 5    | 10  |
| ち     | 上転輪 | 8    | 10  |
| 合     | その他 | 8    | 10  |
| い     |     |      |     |
| 時間(分) |     | 40   | 60  |

備考：落ち具合の数値は完全な泥落ちの状態を10とする。

時間は現在かかっている時間。

(汚れ中程度、中型パワーショベルの例)

表-1 ユーザ別要求洗浄品質の違い

| 土質       | 洗車方法      |
|----------|-----------|
| 砂状、粘土(軟) | 低圧大流量     |
| 粘土(固)、凍土 | 低圧・高圧併用洗車 |

表-2 土質による洗浄方法の違い

②周辺機器について

①洗車ビットについて

ある程度の地耐力をもった平坦な場所があれば設置可能とする。また、輸送時を考慮し、分割可能とする。溜まった泥を自動的に排出する自動排土装置をもたせる。

②循環装置について

汚れ中程度の中型パワーショベル（0.7㎡クラス）を2台/日、20日/月稼働の使用状況において、表-3の日稼働値を満足すること。

|           |                          |
|-----------|--------------------------|
| ろ過精度      | 30μ以下                    |
| フィルター交換頻度 | 1～2回/月                   |
| その他       | 容易に設置できること<br>コンパクトであること |

表-3 ろ過機本体日稼働値

4. 研究開発した技術

(1)自動洗車機

本機は図-1に示すように、洗車対象物の両側にセットされる左右2機の洗車機本体、操作盤、ポンプ類で構成される。

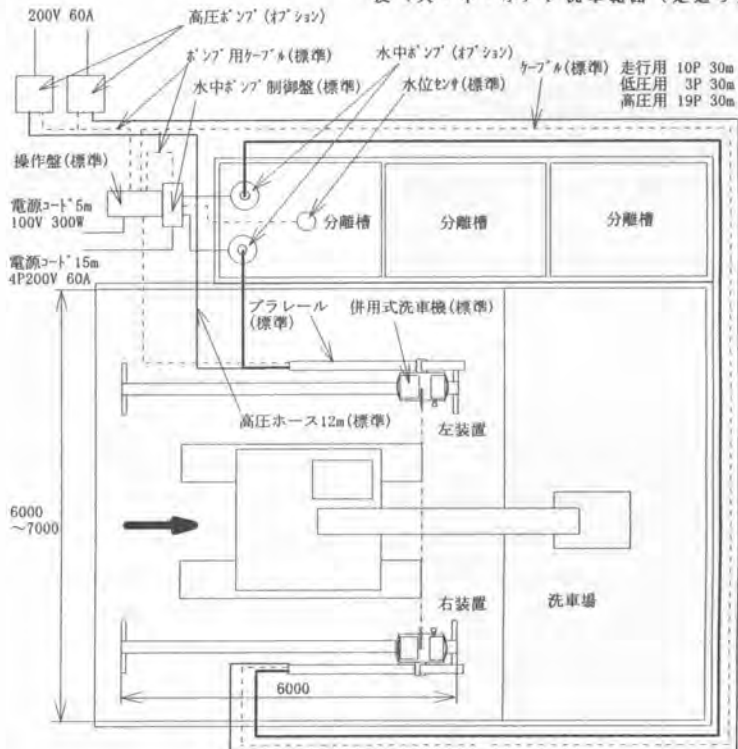


図-1 自動洗車機全体図

①洗車機本体

仕様を図-2、表-4に示す。本機は低圧大流量洗車部と高圧少流量洗車部をもつことにより、低圧/高圧/併用の3通りの洗浄方法が選択できる。

低圧大流量洗車部は、片側9個のノズル部を上下に揺動させることにより、広範囲の面による洗浄を可能にした。

また、高圧少流量洗車部は、昇降・首振り可能なノズルを片側1個持たせ、履帯の溝など、硬質の土が固着した部分の狙い撃ちを可能とした。

洗車部を乗せてレール上を移動する走行台車は、レールと平行して張られたチェーンを巻き込みながら走行する、チェーンアプト式とすることにより、走行中のスリップ、傾斜地での位置ズレを無くし、信頼性を向上させている。

②操作盤

記憶装置として8キロバイトロムを使用している。プログラム内容（機種選択データ洗車・汎用洗車）、洗車対象機種（34種：プログラム洗車時）、汚れ程度（大・中・小）、洗車範囲（足廻り全体・履帯部）

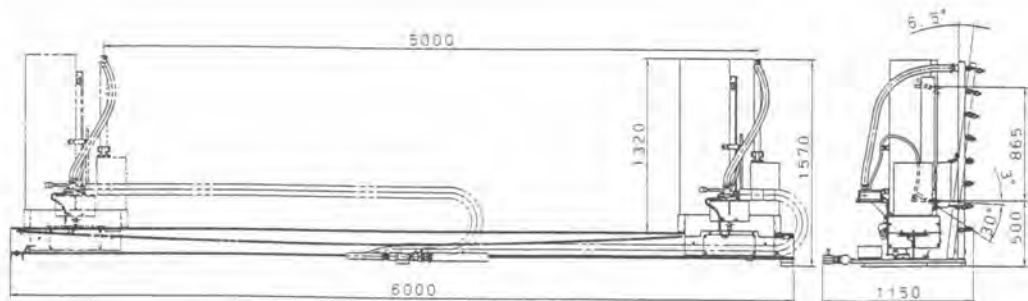


図-2 洗車機本体仕様図(片側)

|   |         |           |                            |    |
|---|---------|-----------|----------------------------|----|
| 重 | 総重量     | kg        | 635                        |    |
|   | 洗車機本体   | kg        | 185                        |    |
| 量 | レール部    | kg        | 450                        |    |
|   | 洗車機本体   | mm        | 6000                       |    |
| 寸 | 全長      | mm        | 970                        |    |
|   | 全幅      | mm        | 1570                       |    |
|   | 全高      | mm        |                            |    |
| 性 | 走行速度    | m/min     | 2.0 (50HZ)<br>2.4 (60HZ)   |    |
|   | 走行ストローク | mm        | 5000                       |    |
|   | 走行登板角度  | 度         | 8                          |    |
|   | 縦振速度    | 度/sec     | 11 (50HZ)<br>13 (60HZ)     |    |
|   | 縦振角度    | 度         | 6.5                        |    |
|   | 昇降速度    | mm/sec    | 14.5 (50HZ)<br>17.4 (60HZ) |    |
|   | 昇降ストローク | mm        | 865                        |    |
|   | 首振速度    | 度/min     | 7.2 (50HZ)<br>8.6 (60HZ)   |    |
|   | 能       | 首振角度(MAX) | 度                          | 30 |

表-4 洗車機本体仕様

み)、洗車方法(低圧・高圧・併用)の選択が可能である。

機種データ洗車とは、あらかじめインプットされているデータに従い、各ノズルの動きを制御する洗車方法で、汎用洗車とは、洗車範囲、往復回数を任意にセットする洗車方法である。

### ③ ポンプ類

ポンプ類は高圧洗浄に使用する高圧ポンプと低圧洗車に使用する水中ポンプ、およびその制御盤からなる。

それらの主要スペックを表-5、表-6に示す。

また、これらのポンプは全て洗車機本体側の操作盤により遠隔操作が可能である。

### ④ 周辺機器について

#### ① 洗車ピット

洗車ピットは図-3に示すように、ピット部、自動排土コンベア部、水槽部が構成される。

| 項目        | 温水タイプ                | 冷水タイプ                |
|-----------|----------------------|----------------------|
| 寸法(深×幅×高) | 850×1200×1310        | 712×970×680          |
| 重量        | 300kg                | 180kg                |
| 最高圧力      | 80kg/cm <sup>2</sup> | 80kg/cm <sup>2</sup> |
| 水流量       | 30l/min              | 30l/min              |
| 原動機型式     | 3相、200V、4P           | 3相、200V、4P           |
| 原動機出力     | 5.5kw                | 5.5kw                |
| ポンプ       | 3連式<br>ブランジャーポンプ     | 3連式<br>ブランジャーポンプ     |
| ボイラー      | 貯湯式(80l)             | —                    |

表-5 高圧ポンプ主要スペック

| 項目    | スペック                    |
|-------|-------------------------|
| 吐出口径  | 50mm                    |
| 出力    | 5.5kw                   |
| 電圧    | 3相、200V                 |
| 全行程   | 30m                     |
| 吐出量   | 0.20m <sup>3</sup> /min |
| 異物通過径 | 8.5mm                   |
| 重量    | 50kg                    |
| 運転水位  | 160mm                   |

表-6 水中ポンプ主要スペック

実際に洗車を行なうピット部は、上面がグレーチングで、その下は、傾斜をもたせたスロープとなっている。洗車によって落とされた泥などは、グレーチングの下に落ち、排土装置のある槽まで流れていく。

自動排土コンベア部は、コンベアによる掻き上げ方式で、泥を排出する。コンベアは油圧駆動。

水槽部は3槽よりなり、コンベア部脇の一時水溜槽よりポンプアップするための水中ポンプ、およびその制御盤を含む。

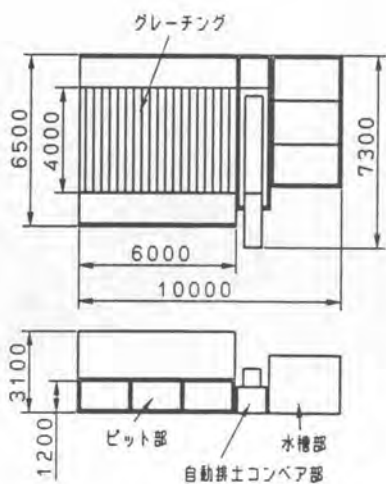


図-3 洗車ビット全体図

② 高圧洗浄水の循環装置

本装置はろ過器本体、水中ポンプ、水中ポンプ用制御盤から構成される。

ろ過器本体の仕様図を図-4に示す。本機は遠心分離とフィルターによる、2段階のろ過を行なう。

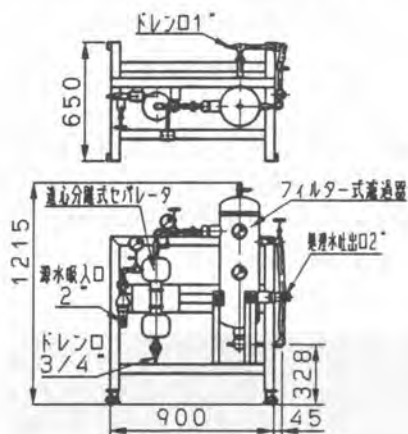


図-4 ろ過器本体仕様図

5. 評価・考察

以上の自動洗車機及び洗車ビット等を含んだ洗車システムについての評価・考察を以下に述べる。

汚れ具合が中程度の中型パワーショベル(0.7m

クラス)を自動洗車した場合の事例を示す。

写真-1、2はそれぞれ低圧大流量洗車の前、後、写真-3、4はそれぞれ低圧高圧併用洗車の前、後の写真である。写真-5は低圧高圧併用洗車中の写真である。

洗浄能力の評価を表-7に示す。要求値については先の表-1(ユーザ別要求洗浄品質)の値である。

表-7より明らかなように、リースレンタル業向けとしての低圧大流量洗車、整備業向けとしての低圧・高圧併用洗車として捉えると、リースレンタル業向けの洗車としては、洗浄品質、洗浄時間共に要求値を満足しており、本機が充分有効であることがわかる。

また、整備業向けの洗車としては、10の要求値に対して9と、数値上は1割程度の洗い残しがあることになるが、残りは簡単な仕上げ洗車のみで済むこと、洗車時間が大幅に短縮されていること等を考慮すれば、実作業上、全く支障の無いレベルであるといえよう。



写真-1 低圧大流量洗車前

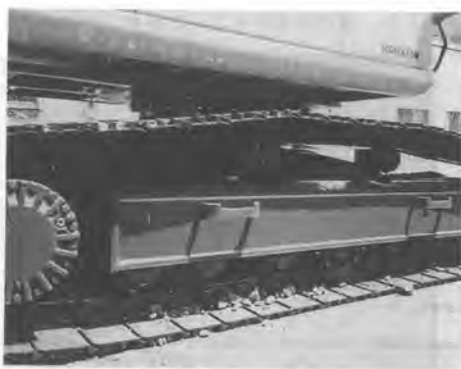


写真-2 低圧大流量洗車後



写真-3 低圧高圧併用洗車前

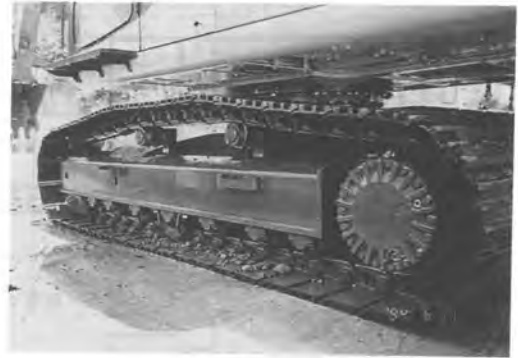


写真-4 低圧高圧併用洗車後



写真-5 併用洗車中

|      |     | 現 状   |     | 自動洗車機使用 |        |
|------|-----|-------|-----|---------|--------|
|      |     | リース業者 | 整備業 | 低圧部のみ   | 高圧部低圧部 |
| 落ち具合 | 履帯  | 5     | 10  | 6       | 9      |
|      | 上転輪 | 8     | 10  | 9       | 9      |
|      | その他 | 8     | 10  | 9       | 9      |
| 時間   |     | 40    | 60  | 17      | 20     |
| 判定   |     | —     |     | ○       | ○      |

備考：落ち具合の数値は完全な泥落ちの状態を10点とする。時間の単位は分。

表-7 洗浄能力比較

次に、洗車ビットについての事例を写真-6に示す。泥溜槽からの泥の排土は完全自動化されている。

高圧洗浄水の循環装置についての実施例を写真-6に示す。ろ過精度については、2段階目のフィルターの使用により、30μをクリアしており、フィルター

の交換インターバルについても、1段階目の遠心分離式のセパレータを使用することにより、1回/月程度の交換頻度となり、目標値を満たしている。(使用状況は目標値の項目参照)



システム構成(特注30tonクラス仕様)  
 ・ビット・排土コンベア・泥溜め・分離槽(34m<sup>3</sup>)  
 ・循環用水位コントロール一式  
 洗車水/低圧400ℓ/min×2、高圧80ℓ/min(冷水)×2を使用

写真-6 洗車ビット

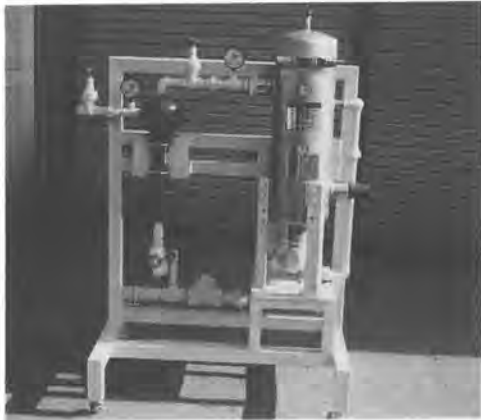


写真-6 ろ過装置

#### 6. 研究の効果

本システム導入による、洗車工数の削減効果を表-8に示す。表-8より明らかなように、洗車の一連の作業における工数削減の効果は、全体で5割弱となり、省人化に非常に有効であるといえる。さらに、表には現れていない、パワーショベル等による、泥溜槽からの排土作業が不要であること等を勘案すると、その効果は一段と大きくなるであろう。また、生産性という見方をすれば、自動洗車中に他の整備などに工数を回すことができ、洗車工数の削減+αが見込まれる。

|             | 従来方法 | 洗車システム |
|-------------|------|--------|
| 洗車ビットに車両を搬入 | 3分   | 3分     |
| 足廻りを洗浄      | 60分  | 20分    |
| 足廻りの仕上げ洗車   | 無し   | 3分     |
| 上部・作業機の洗浄   | 10分  | 10分    |
| 全体仕上げ洗い     | 8分   | 8分     |
| 車両搬出        | 3分   | 3分     |
| 洗車ビット清掃     | 6分   | 無し     |
| 計           | 90分  | 47分    |

表-8 洗車工数の削減効果（整備業の例）

苦渋作業の削減という観点から、洗車作業者にヒアリングしてみると、その評価は非常に高く、特に夏期寒期の洗車が楽になったとの声が多い。

その他レンタルリース業においては、いつもきれいにして貸し出せるようになったので、機械を使用するユーザが機械を大切に扱ってくれるようになった、ま

た、ユーザが機械をきれいにして返却するようになり、汚れのひどい時には、洗車料金を徴収することが可能になったなど、二次的な効果も出てきている。

#### 8. 研究開発した技術の発展的応用

今回開発した「建機足廻り洗車システム」は排土装置等を備えているが、システムとして考えると、まだまだ小さなものであり、本技術を発展させ、例えば、排土した後の泥の処理など、周囲の環境まで考えた、もう一回り大きなシステムを構築することで、さらに自然保護、環境保全といった観点からも注目される洗車システムとなるであろう。

#### 9. あとがき

洗車という分野は、汚れ方、汚れの落ち具合など、各人の官能評価による部分が多い。それらについて、多くのユーザからのヒヤリング等をもとに、評価基準を作成し、評価レベルの統一化を図ることがもっとも苦労した点であったといえよう。

また、建機の足廻りのみならず、洗浄という分野はまだまだ自動化、機械化の余地が残されている。

本報告書がそのような分野の洗浄の機械化を行なう際に役に立てばと思う。

最後になりましたが、本洗車システムの開発にあたり、ユーザアンケート等に御協力頂いた、たくさんのユーザの方々に感謝いたします。



## 66. 汚染土処理工事における無人化施工

(株)大林組： 風間 慶三・田中暉一郎  
✓高橋 栄次

### 1. まえがき

近年、有害物質で汚染された工場跡地や廃棄物処分場跡地などを再利用し、工場や施設を新たに造成、構築するケースが増加している。この造成、構築工事を行うのに、有害物質やガスなどから作業者を保護し安全に施工するため、施工機械を無人化・自動化することが必要である。

姫路市中部処理場水処理施設基礎築造工事において、仮置きしてある脱水汚泥、皮革製品の屑などからなる汚泥土を、ベルトコンベア、遠隔操縦のミニショベルなどを使用し無人化施工を実施したが、特に、障害物（PC杭）が多く狭隘な円形槽内部を遠隔操縦のミニショベルで掘削・敷き均しをする作業において、多数の杭が存在することによる電波干渉や電波の死角になるなど円滑に操縦できないなどの状況が予想された。そこで円形槽上部のどの位置からも円滑に遠隔操縦できるよう無人化施工システムを構築することによって安全に効率よく施工できたのでその概要を報告する。

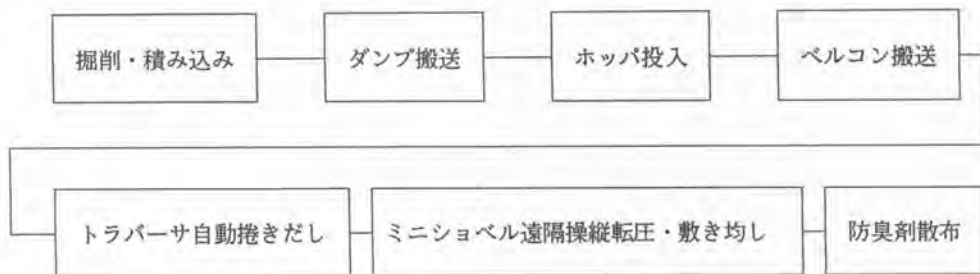


写真－1 遠隔操縦状況

### 2. 工事概要

本工事は、内径70m、地下13mの円形槽の内部に、4mのピッチでPC杭を格子状に建て込み、仮置きしてある汚泥土を埋め戻し覆土密閉した後、上部に汚水処理施設（エアレーションタンク）を構築する工事である。

上記工事のうち、汚泥土の掘削から敷き均しまでの一連のフローを図－1に示す。



図－1 フロー図

#### 4. システム概要

本システムは、大きく円形槽上部の遠隔操縦無線装置およびミニショベルの無線装置などから成る無線システムとミニショベルの障害物検知装置および遠隔操作燃料供給装置から構成される。

##### 3-1. 無線システム

###### ①構成

本システムの構成図を図-3に示す。

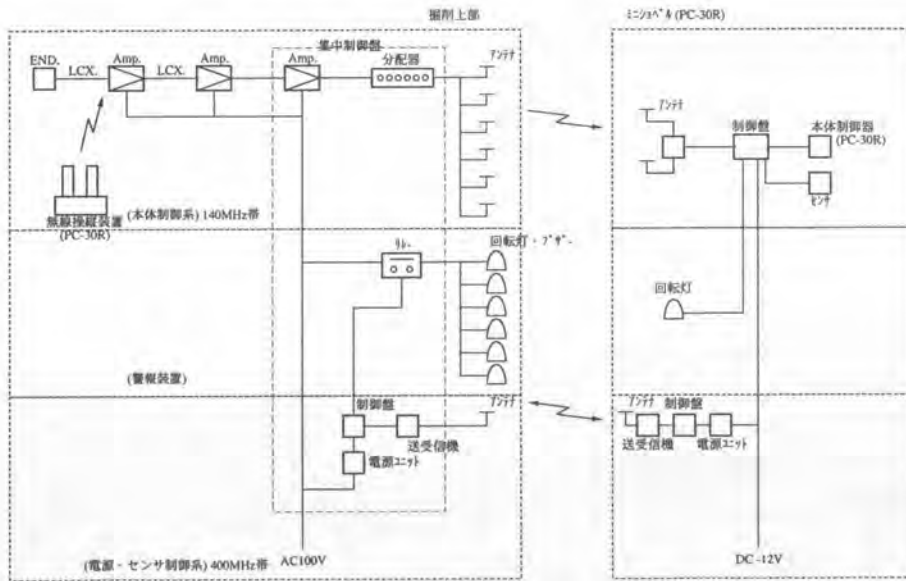


図-3 システム構成図

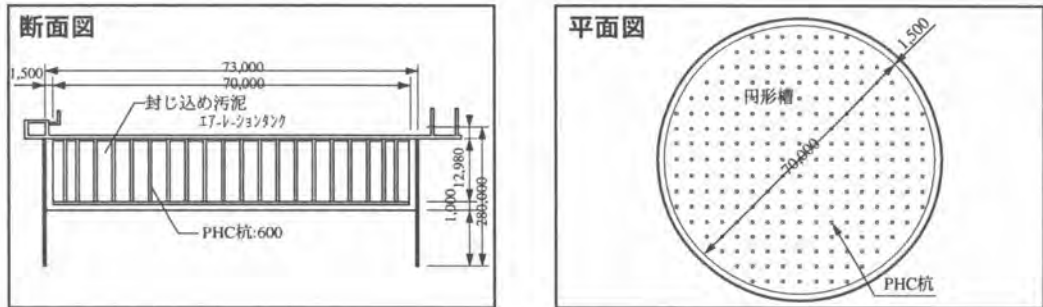
###### ②仕様

本システムの仕様を表-2に示す。

表-2 機械仕様表

| 名称               | 仕様              |
|------------------|-----------------|
| 固定コンベア           | 750W×360T/H     |
| 回転型コンベア          | 750W×360T/H     |
| ミニショベル           | PC30            |
| 本体無線操縦装置         | 微弱140MHz帯       |
| 集中制御盤            | アンテナ分配器、シーケンサ内蔵 |
| 無線操作装置           | 電源入切用 特小400MHz帯 |
| 中継装置             | 補償器             |
| 漏洩同軸ケーブル         | LCX             |
| カートリッジ型<br>燃料タンク | 600×500円錐形      |

また、円形槽の平面および断面図を図一２に、基礎杭（PC杭）建て込み完了時の全体状況を写真一２に示す。



図一２ 平面・断面図



写真一２ 全体状況

### 3. システム構築の経緯

汚泥土は、ショベル、ダンプトラック、ベルトコンベアおよびミニショベルを使って掘削・積み込み・投入・敷き均し・転圧される。敷き均し・転圧作業に使用するミニショベルは、小型でかつ遠隔操作が必要である。このミニショベルは既成のものを使用した。遠隔操縦可能な電波の到達距離は、極めて短く20m程度が限度である。本工事は、少なくとも40m程度の到達距離が必要であり、多数のPC杭が林立している状況のもとでの円滑な作業は極めて困難である。また、機械の燃料供給も、有人による直接的な方法でなく遠隔操作による方法を採用した。

この汚泥土は、黒色を呈しており含水比が高く極めて軟弱な状態で、表一１に示す悪臭物質が発生しており、特に、アンモニアが著しく高い濃度を示している。発生臭気は、これらの複合臭といえる。

表一１ 悪臭物質組成表

| 悪臭物質         | 濃度  |
|--------------|-----|
| アンモニア (PPM)  | 460 |
| 硫化水素 (PPM)   | 4.5 |
| 硫化メチル (PPM)  | 8.0 |
| 二硫化メチル (PPM) | 2.5 |
| メチルメルカプタン    | 3.2 |

## 5. 特徴

- ①施工機械の遠隔操縦は、障害物のある狭い場所でも効率よく行える。
- ②円形槽上部のどの位置からでも円滑に施工機械が遠隔操縦できる。
- ③電源入れ切りが遠隔操作で行える。
- ④燃料供給は遠隔操作により無人で給油できる。
- ⑤遠隔地から施工機械の操縦が行える。
- ⑥臭気センサなど付加することによって遠隔地にてリアルタイムに計測できる。

遠隔操縦ミニショベルの外形を図-4に示す。

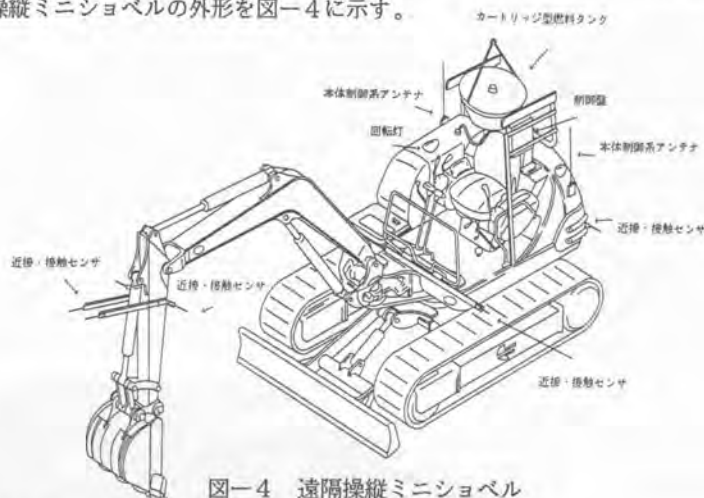


図-4 遠隔操縦ミニショベル

## 6. 施工結果

平成6年10月から平成7年3月末日までの間、汚泥土の撒きだしおよび転圧敷き均しを実施した。遠隔操縦性に関し、円形層上部の各位置からの操縦は円滑に行われ電波干渉等の影響は認められなかった。また、燃料補給作業において、カートリッジ型燃料タンクでの補給方法の有効性が確認された。

## 7. あとがき

汚泥土の撒きだし量は、1,000M<sup>3</sup>/日程度であった。コンクリートはつりガラが多数混ざった含水率の高い土質であったため、実際の施工能率は、施工機械のトラフィカビリティの状況に大きく影響された。

この実績を踏まえ近い将来、遠隔操縦技術、センサ技術やデータ伝送技術などを使用し、全自動による無人運転を行うことが可能であることを確信する。



写真-3 作業状況

## 67. 法面植栽緑化工法の開発

ハザマ：\*澤 正樹・畠山 修  
青山機工(株)：吉井 秀雄

### 1. はじめに

従来の吹付け施工による硬岩質法面や急傾斜地での緑化工は、生育基盤の崩落の発生や施工後の生育管理が困難なことなどの理由から、永久的な緑化とはなり得ず、後にメンテナンス工事が必要であった。また、草本類を主体とした緑化は、景観的に自然な状態と比べ違和感がある。

このような背景から、近年苗木を直接植栽するポット苗施工が注目されてきている。しかし、この工法は従来の吹付け方式に比べ、大量の植生基盤材（以下、基盤材と記す）を法面に客土する必要がある、施工に際してこの客土作業が工程上のネックになっている。現状では、この客土作業は完全に人力に頼っており、この作業を機械化することで、より安全な施工、コストダウン、工期短縮を図ることが望まれている。

### 2. ポット苗工法

ポット苗工法は、法面に発芽後1～2年目の苗木を直接植栽する木本類による緑化方式であるため、半永久的な緑化が期待できる。また、従来の草本類主体の緑化に比べ、より自然な景観が得られる。



写真1 ポット苗施工による緑化工後の法面

#### 2-1. 施工手順

法面保護工としての法枠工の施工までは、従来工法と同様である。法枠完成後、枠内に鉄筋を差し込んで枠体を組み、これ

にシートを設置して、基盤材客土用のポケットを形成する。次に、このポケット内に基盤材を投入するが、現状では、この作業は各小段に簡易型シュートを設置して、各ポケット毎に基盤材を人力にて落とし込む方法をとっている。さらに、藁を基盤材表面に敷き詰め、最後に苗木を植え込む。現状は、以上の作業を完全に手作業に頼っているため、急峻な法面上での落下の危険があるとともに、非常に手間のかかるものとなっている。

## 2-2. 施工後の状況

ポット苗による緑化と従来の吹付け施工による緑化について、施工3年後の状況を比べたものを写真2、3に示す。吹付け施工による緑化では、基盤材が降雨等によって若干流出し、植生が法枠の下方に偏在しており、法面の地肌が法枠内上部に見える。



写真2 ポット苗による緑化



写真3 従来の吹付け施工による緑化

## 3. 客土運搬の機械化

各ポケットへの基盤材の客土方法として、ベルトコンベア（以下、ベルコンと記す）による乾式工法と、一旦スラリー化してポンプ圧送する湿式工法を開発したので、以下に報告する。

### 3-1. 急傾斜ベルトコンベアによる客土（乾式工法）

長大法面では勾配が40～50°にもなり、通常の平坦なベルコンでは材料がずり落ちてしまい搬送が不可能となる。また、スクリーコンベアでは基盤材のような粘性の高い材料は、スクリー内に付着し搬送が困難となり、その都度クリーニングが必要となる。一方、横ヒレ付き（蛇腹）コンベアでは、基盤材がヒレに付着し、これを払い落とす有効手段がなく適していない。

そこで、急斜面に対応できる縦ヒレ付きのベルコンを開発した（図1、写真4参照）。この縦ヒレは、基盤材をベルコンに投入する部分ではベルト本体に対し垂直に立っているが、基盤材を乗せて少し進んだところで、トラフ角度をとることによりヒレが内側に倒れ基盤材を包み込む形となる。よって、40～50°の急勾配でも基盤材を運び上げることが出来る。また、ベルコン上端部では、再びヒレが垂直に戻り、さらにベルト折り返し部では基盤材を投下できる形になる。このため縦ヒレ方式は、従来の横ヒレのベルコンに比べてクリーニングが不要であり、粘性の高い黒土などの基盤材を容易に搬送することが出来る。

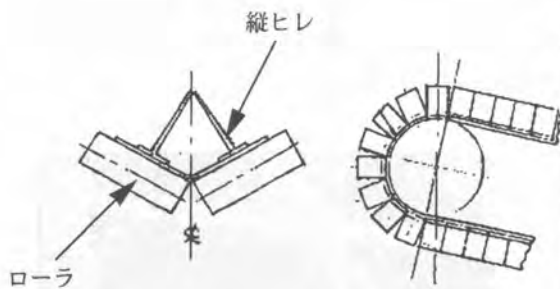


図1 急傾斜ベルトコンベアの形状



写真4-1 急傾斜ベルトコンベアの先端部



写真4-2 急傾斜ベルトコンベアの正面



写真4-3 客土状況

### 3-2. ポンプ圧送による客土（湿式工法）

ベルコンによる客土は、乾式搬送が可能であり手軽に扱えるといった長所がある反面、コンベアフレームの長さに制限があるため、法面長で20m程度が施工限界と考えられる。

そこで、長距離搬送に対応するために、予め水分を加えスラリー化してポンプ圧送することが考えられる。しかし、単に基盤材に水を加えただけでは、客土後に乾燥収縮によるひび割れや固結化を起し、基盤材に適さないといった問題がある。

そこで、固結化などを防ぐために、基盤材と水を混ぜる際に気泡剤を添加することを試みた。表2に、硫酸エステル系（弱アルカリ性）の気泡剤を添加した場合と無添加の場合の打設3カ月後の状況を示す。気泡剤なしでは、基盤材は写真5のように乾燥収縮によるクラックが発生

し、中身も指で強く押しても跡がつかない程に固結化している。これに対し、気泡剤を添加した写真6では、収縮量も少なく、内部は適度の空気を含む柔らかい状態を維持している。また、基盤材の固結度は、添加した水分量の違いよりも気泡剤の有無に大きく左右されている。

このように、基盤材を前処理し、ポンプ圧送することによって、ベルコン方式では届かない垂直距離100m以上もの長距離搬送も可能である。

表2 打設3カ月後の状況

| No. | 基盤材：水：気泡剤<br>重量比[%] | 表面固さ | 内部固さ | 表面<br>クラック | 収縮率[%] | 総合評価 |
|-----|---------------------|------|------|------------|--------|------|
| 1   | 66:33:1             | 柔らかい | 柔らかい | 小          | 45     | △    |
| 2   | 67:33:0             | 固い   | 固い   | 大          | 58     | ×    |
| 3   | 76:23:1             | 柔らかい | 柔らかい | 無し         | 31     | ○    |
| 4   | 77:23:0             | やや固い | やや固い | 小          | 53     | △    |



写真5 No2の状況（打設3カ月後）



写真6 No3の状況（打設3カ月後）

#### 4. おわりに

現場におけるポット苗植栽方式での法面緑化は、施工後3年経過した現在においても、客土の流出等もほとんどなく、苗木も順調に育っている。更に年月を経ればかなり自然に近い景観をとり戻すであろう。また、客土作業を機械化することで、省力化・コストダウン・工期短縮・安全施工の目処が立ったといえる。今後は、環境保全の意味からも、ポット苗工法の普及を図っていきたい。



## 68. 水中位置計測システム

東洋建設(株)：\*牧野 栄一・杉本 篤史

### 1. 要旨

超音波技術とGPS（汎地球測位システム）を組み合わせ、大規模・大水深に対応可能な高精度の海中三次元の位置出し装置を開発し、現場性能検証を実施し良好な結果を得た。

### 2. まえがき

海洋土木工事は今後ますます大規模・大水深化する傾向にあるが、海中工事は主として海上の作業船からの作業で施工されるため、海中・海底における施工機械や海中構造物の位置管理が大きな課題となっている。

特に水深30mから50mと深くなり、波浪・潮流が伴う海域では、作業船から吊り降ろされた海中・海底の施工機械および構造物を所定の位置に正確に設置するための、海中・海底の位置出し技術の開発が強く要望されている。

### 3. システムの概要

当システムは海中における移動体や構造物の位置・方向をリアルタイムに計測するものである。

水中位置の測定原理は、図-1のとおり水中の移動体等に取り付けた2個の超音波送信ヘッド（A、B）より超音波パルスを交互に送信し、これを作業船に設置した3個の受信ヘッド（P、Q、R）で受信することにより、その到達時間を計測して送受信機間の距離を求め、相互の位置関係を算出する。

実海域での音速度は、海水の温度・密度等により複雑に変化するため検出した距離は誤差を含んだ疑似距離になる。このため、通常は実海域での温度測定・密度測定を行なったり、キャリブレーション等の補正が必要になるが、当システムではこの煩雑さを避けるため、2個の送信機ヘッドの位置関係を収束条件として収束計算をすることにより、ソフトウェアの処理で誤差を修正し高精度で実距離を検出する手法を取り入れた。

さらに超音波のみでは作業船と海中の移動体との相対位置しか検出できないので、これにGPSのオンザフライキネマティック方式を利用した海上測位装置とリンクすることにより、国家座標系での水中位置出しを可能にした。

今回採用した超音波センサーはチタン酸バリウム磁器を使用しており、周波数100KHz、パルス幅1ms、クロック150KHzを採用し、検出距離の分解能は1cmの性能を有している。

写真-1にGPS受信機、ジャイロコンパス、2軸傾斜計、超音波受信器を模型の船に実装し、水槽にて性能検証を行つた状況を示す。また写真-2は水槽に沈めて使用した超音波送信器の状況である。

超音波を利用した水中位置測定方式は、2図に示すロングベースライン方式（LBL）、ショートベースライン方式（SBL）、スーパーショートベースライン方式（SSBL）の3種に大別される。

LBL方式は、海底に3台以上のトリスポンダを設置し、各々のトリスポンダから作業船までの距離を測定することにより作業船の位置を求める方式であり、比較的広い海域の測定に適している。

SBL方式は、船底に所定の間隔で送波器と、3台以上の受波器を設置し、海底に設置された1台のトリスポンダからの応答信号を3台の受波器で受信し、その音波伝搬の受信時間差により音源の方向角を求めて、それにより作業船の位置を求める方式である。

SSBL方式は、船底に1組のアレー状の送受波器が設置され、海底のトリスポンダに対する相対位置を音波伝搬の位相差により、音源の方向角を求めて作業船の位置を求めるもので、小型簡便なシステム規模で使用できる方式である。超音波発射同期信号伝達方式には有線を用いるピンガー方式、受波器より送波器に超音波パルスを送信して同期をとるトリスポンダ方式の2種類がある。

今回のシステムとしては作業船を中心として広範囲の位置計測ができるSBL方式及び、計測時間が短縮でき測定精度が向上するピンガー方式を採用した。

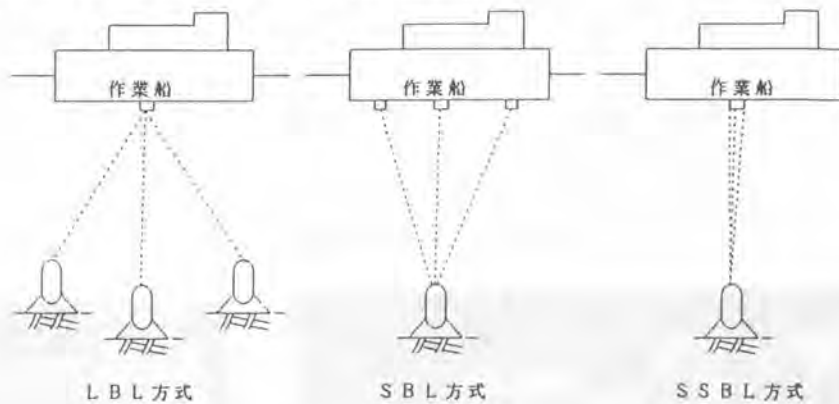


図2 水中位置測定方式

#### 4. 現地性能検証

運輸省第3港湾建設局・大阪市港湾局発注の大阪港南港トンネルの6号沈埋函の水中接合を利用して、当社の施工管理の自主研究の形で当システムの性能検証を平成6年11月に実施した。図-3に沈埋函に積装したセンサーの状況を示す。

当システムを使用して、既設5号函と6号函の離隔距離、前後方向（X軸）約1.4m、法線方向（Y軸）ほぼ零、高さ方向（Z軸）約1mの地点から水圧接合完了までの目標位置までの誘導距離を計測した。計測精度の検証は、沈埋函に別途施工管理装置として装備されている端面探査装置、機械式の位置計測用ポテンションメータおよび陸上より光学式の測量機で測量した測量データと比較することにより行つた。

端面探査装置と比較して、水圧接合最終段階でX方向3cm、Y方向4cm、Z方向4cmの計測値の差が生じたが、端面探査装置も公称誤差X方向±1.3cm、Y方向±1.5cm、Z方向±1.

水槽での性能検証であるため水中の距離計測の長さには制限があつたが、今回の水槽試験では水中斜距離で約2～4 mの距離計測を実施し、水槽の底に設置した超音波送信機の位置座標を±4 C mの精度で検出することができた。

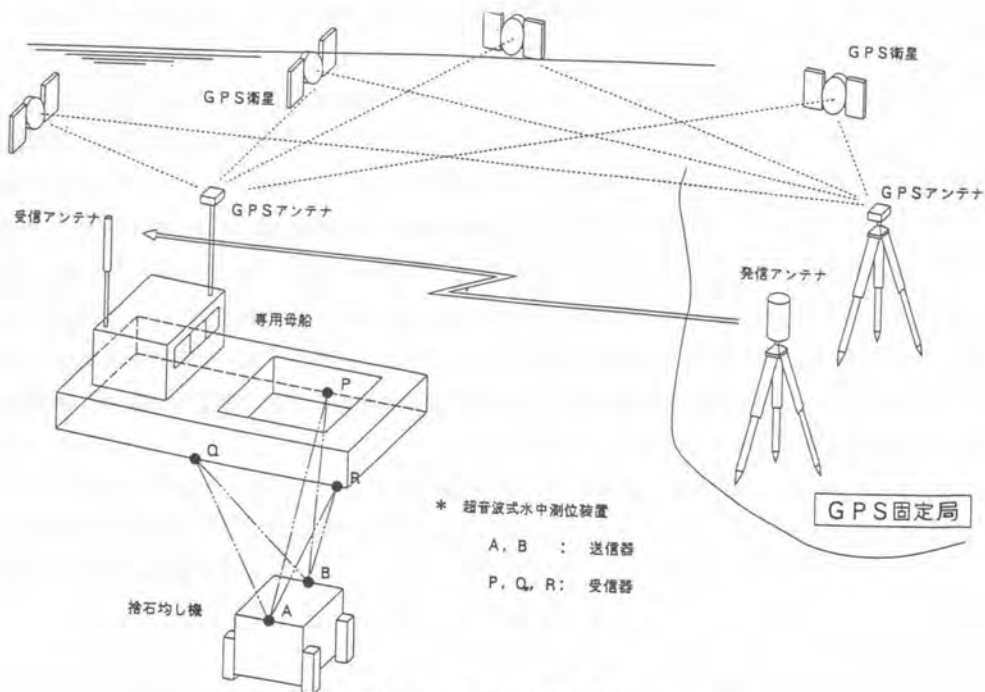


図-1 システム構成図



GPS受信機、ジャイロコンパス、2軸傾斜計、超音波受信器を実装し、水槽底面に固定した超音波送信機の位置を計測

写真-1 水中位置計測水槽試験



写真-2 超音波送信器

0 C mを有しているので、今回の性能検証では端面探査装置にほぼ準ずる精度で計測ができたと評価できる。

またポテンションメータの接合開始時と完了時の指示値変化量は8.2 C mを計測したのに対して、当システムで計測した指示値変化量は8 C mとなり数m mの相違で値が一致し、この点からも当システムの位置検出精度が極めて高いと評価できる。

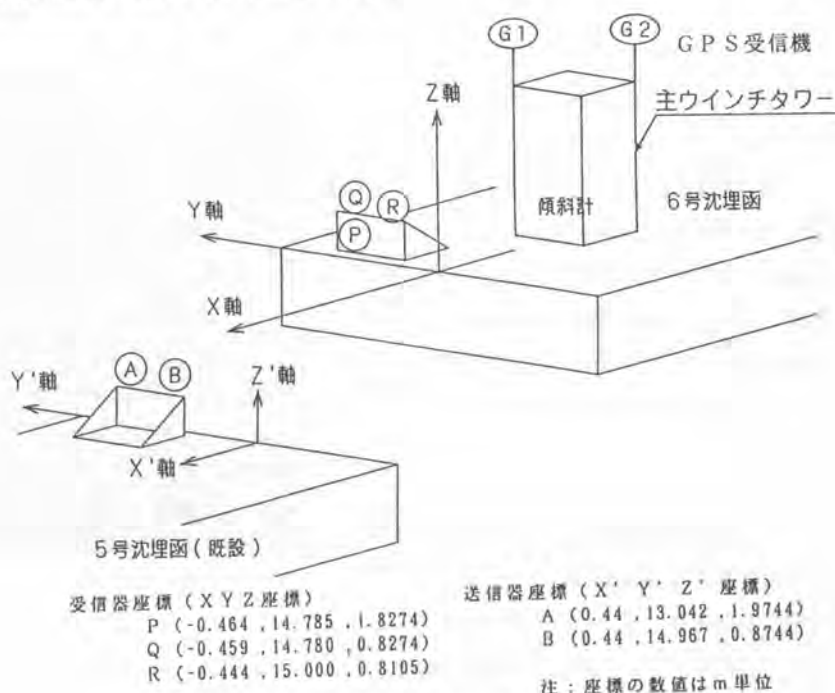


図3 沈埋函システム機装図

## 5. おわりに

当水中位置計測システムは、沖合い2 K m以内の作業船を中心に半径8 0 mの範囲にある海中の移動体の水中位置を± 1 5 C mの精度で計測することを目標に開発したものである。工事使用実績としては、当社の着座型タンバ式捨石均し機の施工管理に利用し、水中位置決めの精度・信頼性を向上させることにより、施工精度・能率を向上させた。

作業船の位置計測は、自動追尾型のトータルステーションやGPS測量の登場により近年飛躍的に精度の向上および自動化が進展したが、水中の位置だしに関してはやや取り残された感があり、今後ますます沖合い化・大水深化していく海洋工事の海中・海底の位置計測技術に多くの課題を残している。今回開発したシステムをもとに、今後実海域での性能試験をさらに重ね精度向上・計測範囲の拡大を実現し、工事の沖合い化・大水深化に対応した水中位置だし技術を確立し施工精度・能率の向上を目指して行きたい。

# 69. 交通への影響に配慮したトンネル内装板清掃機械の開発

建設省（東北技術）：江本 平・\*鈴木 邦昭

## 1. はじめに

一般車両がトンネル内を走行時、壁面が汚れていると車道と壁面の区別がつきにくくなり常に緊張した状態での運転となる。

そのため壁面の清掃維持管理が行われているが、現在の清掃は一車線を占有する低速での作業であるため交通障害の発生や追突事故等の危険な作業環境となっている。

そこで、一車線を占有せずにトンネル内の監査廊幅で内装板の清掃が行える小型の機械の開発を行った。

## 2. 開発の内容

開発するトンネル内装板清掃機械（以下「開発機」という）の基本条件は次のとおりである。

### 2. 1 開発機の基本条件

- ①交通障害を発生させないために、車道と壁面との間のスペース（監査廊幅内）で作業が出来る開発機とする。
- ②1台で複数のトンネルを対象とする開発機とする。
- ③特に熟練を要さず清掃作業が可能な開発機とする。
- ④清掃方式は汚水処理の省略や機械の大型化を避けるため、当面「乾式清掃」で行うが湿式清掃でも対応出来る構造とする。（水タンク等の補機が後付け可能）

### 2. 2 作業可能幅員の検討

東北地建管内のトンネルの車道（建築限界）からの壁面までの寸法（図-1のW）を調査し、作業可能幅員の検討を行った。調査の結果、Wが750mm以上のトンネルが東北地建管内トンネル総延長の66%であった。

そこで、作業可能幅員を750mmとして開発機の検討を行う。

### 2. 3 走行方式の検討

走行方式としてはレール式と自走式が考えられる。開発機は特定のトンネルに固定的に配置す



写真-1 トンネル清掃車  
施工状況(現状)

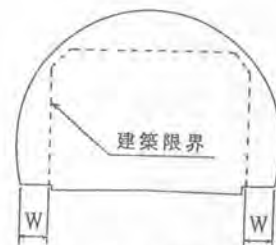


図-1 建築限界

るレール式ではなく複数のトンネルを清掃する機械と位置づけているので自走式で検討する。  
ただし、脱輪・転倒防止等には十分配慮し安全を確保するものとする。

## 2. 4 その他の開発検討

### 2. 4. 1 突起物の回避

トンネル内には非常用施設や標識が設置してあり、それらの突起物は清掃の際に破損の恐れがあるため回避する必要がある。各トンネルの設置寸法等の調査の結果より、150mm程度回避する機構を検討する。

### 2. 4. 2 清掃面追従機構

トンネル内装板とトンネル壁面（コンクリート面）との取付寸法を調査すると、数センチのばらつきがあった。開発機はトンネル壁面をガイドにし走行する方式で検討を進めているため、清掃ブラシと内装板の相対距離が常に変化することになり、清掃ムラやブラシ回転力の負荷変動が発生すると共に所要出力も大きくなるなどの不都合が生じる。そのため清掃ブラシの内装板への自動追従機構を検討する。

## 3. 試作機製作

平成2年度から4年度までのトンネル内における各寸法調査及びブラシ・内装板等の単品による耐久試験を行い、結果を踏まえ、平成5年度に市販の超小型多目的ホイールローダを改造し、試作機を製作した。しかし、この段階での機械幅員は1,000mmを超えており、目標である監査廊幅750mmを走行出来ない。そのため平成6年度に足廻り等を改造し、機械幅員を小さくした。

試作機の概要は次のとおりである。

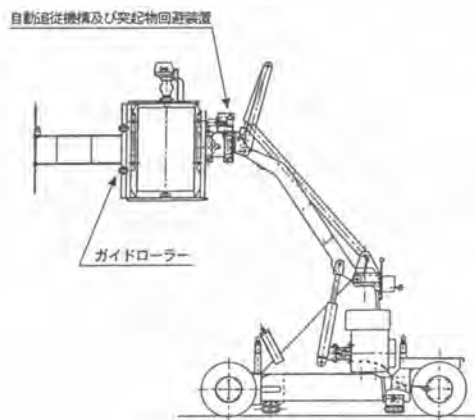


図-2 試作機概要

表-1 試作機仕様

| 項目          | 設計値                   | 備考                        |
|-------------|-----------------------|---------------------------|
| 重 量         | 715kg                 |                           |
| 全 長         | 2,715mm               |                           |
| 全 幅 小       | 1,180mm               |                           |
| 全 幅 大       | 2,540mm               |                           |
| 全 幅 (715mm) | 820mm                 |                           |
| ホイールベース     | 1,510mm               |                           |
| タイヤ         | 151/2×6×10            |                           |
| エンジン定格出力    | 4.0ps/2,500r.p.m      |                           |
| 油 圧         | 180kg/cm <sup>2</sup> |                           |
| 清掃ブラシ       | 寸 法                   | φ400mm×L600mm             |
|             | 線材質                   | 7775-N <sup>+</sup> 付磁粒入り |
| 油 圧 ポンプ     | 11.3cc/rev            |                           |
| 走 行 モーター    | 506cc/rev×4個          |                           |
| ブラシ駆動モータ    | 20.3cc/rev            |                           |
| 自動追従機構      | 圧差押し式                 |                           |
| 障害物回避機構     | 自動回避式                 |                           |
| 清掃範囲(高さ)    | 100~2,100mm以上         | 走行面からの清掃高                 |

#### 4. 清掃試験調査

試作機の足廻り等の改造後、国道47号線長尾トンネルにて清掃ブラシの材質、ブラシ回転数、作業走行速度等を変えながら乾式試験清掃を行い、清掃前後の内装板反射率値、発生粉塵影響及び作業状況の調査を行った。

また、事務所構内に清掃試験装置を設置し、湿式試験清掃を行った。

##### 4. 1 清掃効果

試験清掃前の内装板反射率値が約50%に対し、清掃後の反射率値が約70%程度となり、高い水準の清掃効果が得られた。

但し、ナイロンブラシについては湿式清掃を行っても砥粒入りブラシより清掃後の反射率値が上がらなかった。



写真-2 試作機現場清掃状況

##### 4. 2 発生粉塵影響調査

乾式清掃による発生する粉塵が通行車両のドライバー及び作業員に及ぼす影響を調査した。その結果、試作機（清掃後）周辺の粉塵濃度は公害防止法の環境基準値の $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であった。

作業前： $0.01\sim 0.04\text{mg}/\text{m}^3$

作業後： $0.02\sim 0.12\text{mg}/\text{m}^3$

また、粉塵による視界の低下も認められず発生粉塵による影響は問題の無い水準であると考えられる。

##### 4. 3 作業状況調査

コンクリート壁面にサイドキャスターを押付けて自走する方式は、蛇行等の問題もなく安定した走行が出来た。

##### 4. 4 清掃ブラシつぶれ代量

つぶれ代5mmの設定では、清掃試験した内装板の一部（凹部等）に清掃残しが発生した。

つぶれ代15mmの設定では、内装板への押付力が約35kgを必要とする。しかし、押付力が約35kgでは内装板追従キャスタの内装板への負荷が大きくなり、内装板の損傷やはずれ等が発生する恐れがある。

つぶれ代10mm（押付力約30kg）の設定では、清掃残し部分も無く、内装板が損傷する恐れも無く清掃作業に適している。

##### 4. 5 清掃ブラシ回転数

適量つぶれ代10mmに対してブラシ回転数を約700～800rpmに設定すると高い水準の効果が得られ

表-2 清掃効果（反射率）

| 清掃方式 | ブラシ材質     | 反射率 % |     |    |
|------|-----------|-------|-----|----|
|      |           | 清掃前   | 清掃後 | 備考 |
| 乾式   | 酸化アルミナ    | 4.9   | 7.3 |    |
|      | シリコナーホワイト | 5.1   | 6.9 |    |
| 湿式   | 酸化アルミナ    | 4.6   | 7.5 |    |
|      | シリコナーホワイト | 4.7   | 7.3 |    |
|      | ナイロン      | 4.4   | 4.9 |    |

※ 清掃条件 つぶれ代 10mm

作業速度 約1.5～2.0km/h

乾式：長尾トンネル内での清掃試験

湿式：事務所構内試験装置での清掃試験

ることがわかった。

障害物回避時の粉塵飛散防止のためブラシ回転の自動停止（減速）の制御検討が必要である。

#### 4. 6 作業走行速度

清掃作業効率を高めるためには作業走行速度を速くする必要がある。またブラシ回転数を増加させる必要がある。しかしそれによって、駆動力の増加が必要となる。

また、作業走行速度を上げることによって機体の揺れも大きくなり、均一な清掃が出来なくなると考えられる。

試験清掃調査より、最良の作業走行速度は1.5～2.0 km/hが適当と考えられる。

#### 5. 今後の検討課題

開発機の実用化に向けた今後の検討課題として、試験清掃調査のまとめで示した作業最適条件を確立すると共に乾式及び湿式清掃を行うための補機の配置検討、試験を実施する必要がある。

平成6年度の現場清掃試験時にわかったことであるが、設計上のトンネル監査廊幅員が750mmであっても実測では700mmと狭くなっている箇所等があり、実用機の導入にあたっては清掃機械幅員の再検討が必要である。

試作機は走行方式をホイール式で進めてきたが実用機の製作にあたっては現場条件を考慮し、他の走行方式（クローラ式等）の検討も必要である。

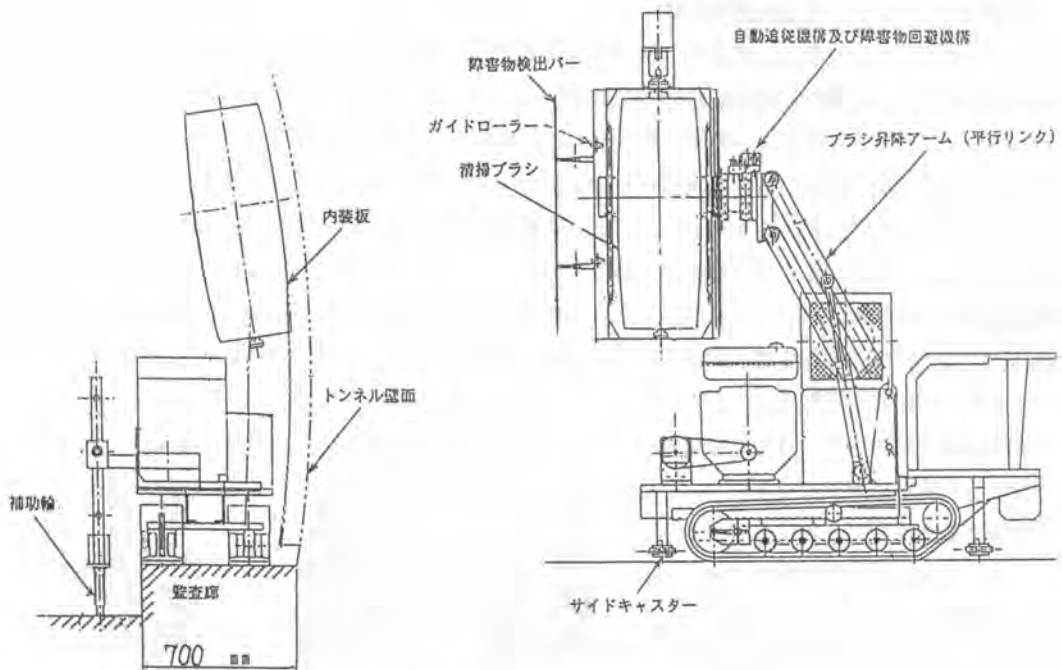


図-3 実用機概要図



# 70. 締固め碎石ドレーン工法による砂地盤の液状化防止対策

（株）鶴池組： 今井 省三・小池 忠夫  
\*田村 和広

## 1. はじめに

昭和39年に発生した新潟地震を契機に地盤の液状化現象が広く認識され、その後、液状化に関する研究や液状化対策工法の開発が進められてきた。また、近年相次いで発生している巨大地震においても液状化による被害が数多く発生し、人々の生活や経済に大きな打撃を与えている。そんな中で幾つかの液状化対策工法についてはそれら巨大地震により防止効果が確認されており、ここに紹介する『締固め碎石ドレーン工法』も防止効果が実証された技術の一つである。この技術は、従来のグラベルドレーン工法<sup>1)</sup>（碎石ドレーン工法ともいう）を高度化したものであり、碎石ドレーン工法の持つ排水効果に加え、地盤の締固め効果を複合させることによって、より安定した地盤に改良し液状化を防止するのである。

本稿は、締固め碎石ドレーン専用施工機の開発に先駆けて実施した実物大模型実験とその結果について述べ、開発した専用施工機の概要や施工方法などについて説明する。その後、代表的な施工事例と平成7年兵庫県南部地震で確認された液状化防止効果についても紹介する。

## 2. 締固め碎石ドレーン工法の開発経緯

碎石ドレーン工法の原理は、透水性の良い碎石を液状化の可能性のある砂地盤中に柱状に施工し、その排水効果によって地震時に発生する過剰間隙水圧を抑制・消散することにより液状化を防止するのである。詳しくは、当シンポジウム発表文献<sup>1)</sup>を参考にされたい。このように、碎石ドレーン工法においては、排水効果を損なわないような連続性を持つ密実な碎石柱を造成することが重要であり、従来の碎石ドレーン工法では、当初からケーシング内部に鋼製の突棒を装備し、この突棒を使ってドレーン造成中に碎石を突き固め、このような留意点に対処してきた。

筆者らは、この突棒に着目し、突固めエネルギーを最大限に発揮することによって碎石柱を側方に押し上げ、間接的に周辺地盤を締め固めることを発案した（図-1）。周辺地盤を締め固めることによって以下のような効果が期待できる。

- 1) 液状化強度が増大し、『粘り強い』安定した地盤に改良できる。
- 2) 締固め効果を設計に反映させるとドレーン間隔を広げることができ、施工数量を減らすことができる。
- 3) 周辺地盤の体積圧縮係数が小さくなり、地震時の排水による沈下量を抑えることができる。

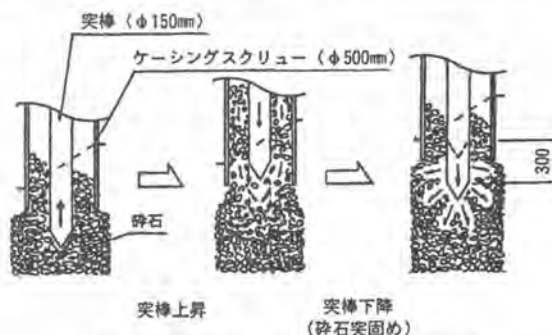


図-1 突棒による地盤の締固め機構

そこで、地盤の締固め効果を定量的に把握することを目的とした実物大模型実験を実施し、その結果を専用施工機の開発に反映させることとした。

### 3. 締固め効果確認実験および実験結果

実物大模型実験は図-2に示すように、①突棒の先端形状、②突棒径、③突固めストローク、④突棒先端位置、⑤突固め回数をパラメーターとして計17種の実験を行った。また、地盤の締固め効果は、実験前後に土槽内の試料砂についてコーン貫入試験を行い、両者を比較することによって評価した。

コーン貫入抵抗値の上昇量の比較を図-3に示す。これらの実験結果から、突棒の先端形状はコーン型が効果的であり、突棒径および突固めストロークは大きいほど、突固め回数は多いほど締固め効果

が大きく発揮されることを見出した。そして、式-1に示すような関係式を導いた。

$$\Delta q_{c1} = k \cdot s \cdot P \cdot n \cdot \frac{1}{r} \quad \text{----- (式-1)}$$

ここに、 $\Delta q_{c1}$  : コーン貫入抵抗値の上昇量  
 $k$  : 実験的に決まる比例定数  
 $s$  : 突固めストローク  
 $P$  : 突棒反力  
 $n$  : 単位長さ当りの突固め回数  
 $r$  : ドレーンからの距離

### 4. 施工機の開発およびその施工管理システム

実物大模型実験結果によれば、突棒径および突固めストロークは大きいほど、突固め回数は多いほど締固め効果が大きく発揮されるが、施工機の大型化に伴う安定性の問題や機械的な制約を考慮して以下のような

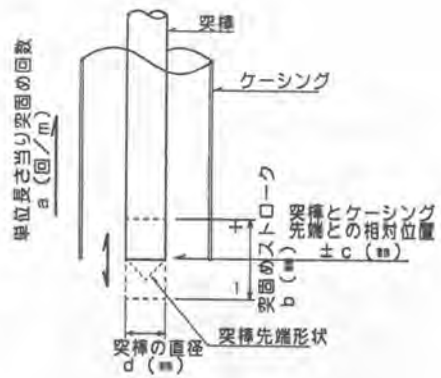


図-2 実験項目

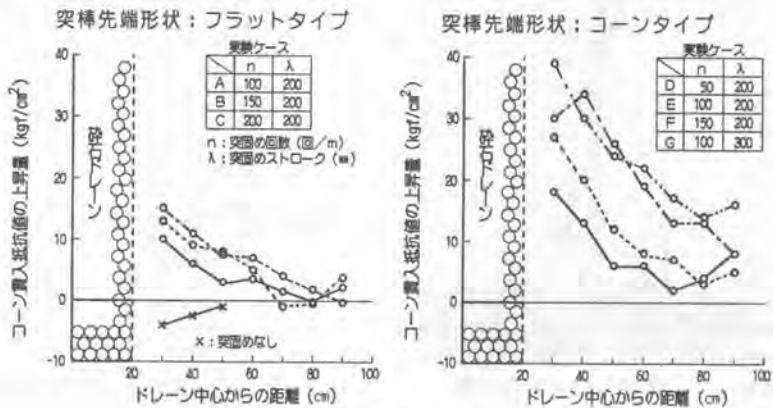


図-3 コーン貫入抵抗値の上昇量の比較

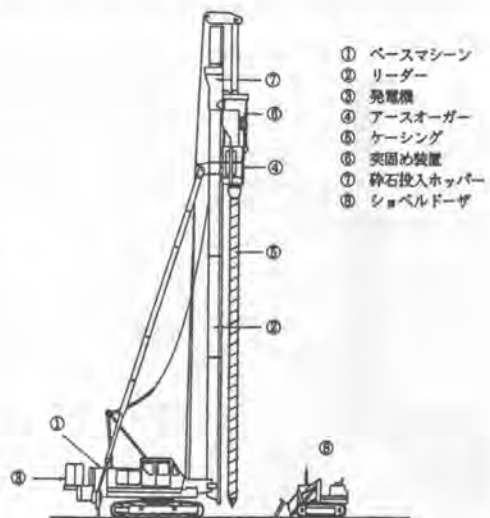


図-4 開発した専用施工機

条件を選定し、図-4および写真-1に示す専用施工機を開発した。

- 1) 単位時間当たりの突固め回数を75回/min、引抜き速度を3m/minを標準とし、単位長さ当たりの突固め回数は25回/mとした。
- 2) 突棒径は大きくし過ぎるとケーシング内で碎石が閉塞することが懸念されたことから、閉塞することなく施工できる突棒径として150mmとした。
- 3) 突固めストロークは、後述するクランク機構の都合で300mmとした。



写真-1 開発した専用施工機

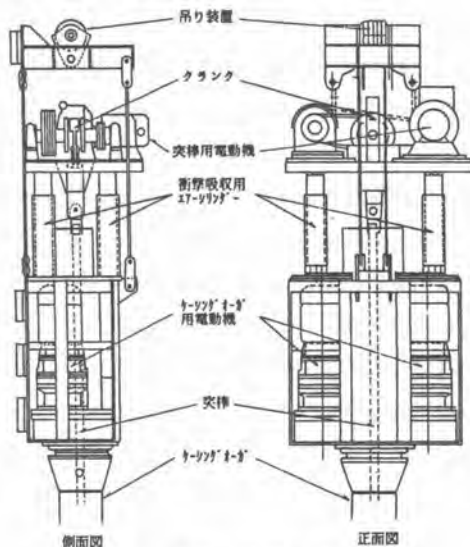
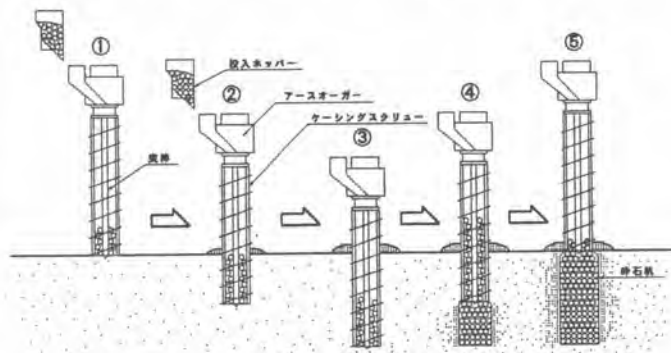


図-5 突固め装置の詳細

開発した施工機は図-5に示すように、先端をコーン状に尖らせた突棒をケーシングオーガーの中央に配備したもので、電動機の回転運動をクランク機構で突棒の上下運動に変換し、碎石を突き固めるとともに周辺地盤も締め固めるものである。写真-2は突棒先端の様子であり、図-6は締め固め碎石ドレーン工法の施工手順である。



写真-2 突棒の先端形状



- ① 所定の位置に施工機を設置し、鉛直性を確認する。
- ② ケーシングを回転させ、上部より碎石を投入しながら貫入する。
- ③ 所定の深度に進いたらケーシングを止める。
- ④ 突棒で碎石を突き固め、周辺地盤を締め固めながらケーシングを引き上げる。
- ⑤ ケーシングスクリーナーを引き抜き、施工完了。

図-6 締め固め碎石ドレーン工法の施工手順

施工管理に関しては、ドレーンの排水効果を損なわないことが重要であり、そのためには、碎石柱の連続性、仕上がり径の確保、施工杭長の確保に注意を要する。そこで、施工管理システムとして、碎石柱の連続性については、突棒先端に装着しているロードセルで測定した突棒の負荷によって確認している。また、仕上がり径と施工杭長の確保については、ケーシング内の碎石天端位置を測定する碎石面計とケーシング貫入深度を測定する深度計で確認し、図-7に示す方法で碎石柱の仕上がり径を換算している。計測結果はオペレーター室内のタッチパネルに表示するとともに、施工機に搭載したパソコンに取り込みフロッピーディスクに記録される。このフロッピーディスクは作業終了後、事務所に持ち帰り、日々の施工記録として利用される。

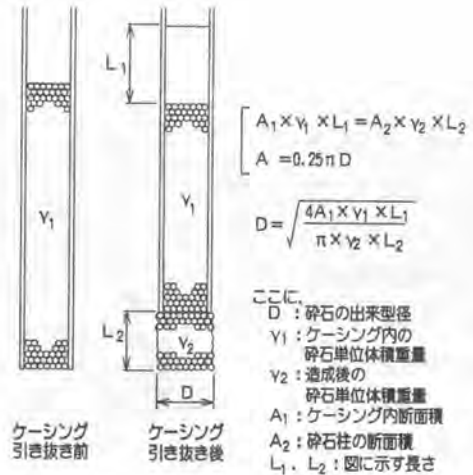


図-7 平均ドレーン径の算出方法

## 5. 締固め碎石ドレーン工法の適用事例と地盤の締固め効果

ここに紹介する施工現場は、淀川流域で計画されている高規格堤防（スーパー堤防）の建設にともなう地盤改良工事の試験工事である。こ

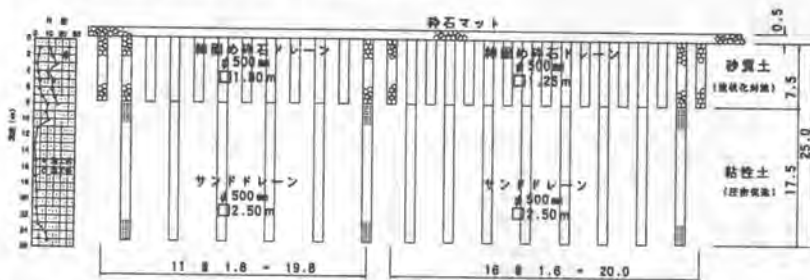


図-8 施工断面図

こでは締固め碎石ドレーン工法を含む幾つかの液状化対策工法が選定され、淀川左岸の堤内地で実施された。同時に隣接した箇所においても市営住宅の液状化対策として本工法が採用されている。現場付近の土質は、上部7.5m軟弱な砂質土層、下部17.5mが軟弱な粘性土層で構成されており、砂質土層の液状化対策と粘性土層の圧密促進をそれぞれ行う必要があった。そこで、二層の地盤改良を同一施工機で一度に行うことができる「複合ドレーン工法」を適用した。この複合ドレーン工法は、締固め碎石ドレーン施工機を使って砂質土層では通常通り締固め碎石ドレーンを造成し、粘性土層では材料を砂に切り換えてサンドドレーンを造成することで同一機械による同時施工を可能としたものである。図-8に施工断面図を示す。この工法の最大の課題は、ケーシング内で砂が閉塞することなく、円滑に地中へ排出させることであった。この課題を克服するために、図-9および写真-3に示すような水を放射状に噴射する機能を有する小型バイブレーターを突棒の先端に装着し、これらの作用で砂の流動性を高めて円滑に排出させるような工夫を試みた。この効果により規定通りのサンドドレーンならびに締固め碎石ドレーンを過不足なく施工することができた。

これまでの実績  
で得られた締固め  
碎石ドレーン工法  
の地盤の締固め効果は、液状化の危険性の高いとされる原地盤N値が15以下で細粒分含有率が30%以下の土層について、図-10に示すような増加N値が確認され

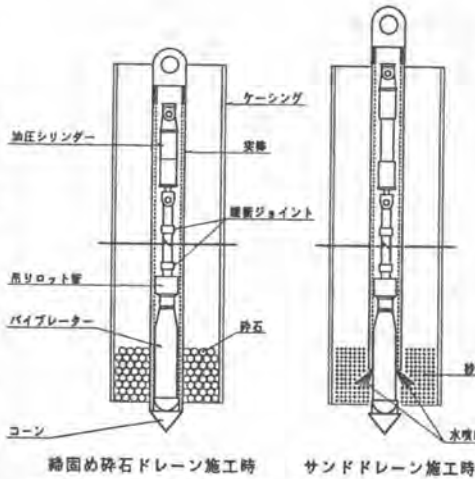
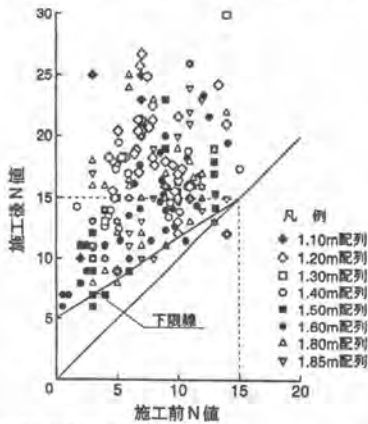


図-9 突棒先端に装着した小型バイブレーター



写真-3 水を噴射している状況

ている。また、施工中の振動・騒音については、施工機のすぐ脇（1m程度離れた地点）でも法的規制値を下回っており、碎石ドレーン工法の長所である周辺環境への配慮は損なわれていないことも確認されている。図-11に締固め碎石ドレーン工法を含めた各種地盤改良工法の施工中の振動を示す。



※施工前N値が15以下で細粒分含有率が30%以下のものに限定

図-10 締固め碎石ドレーン工法の締固め効果

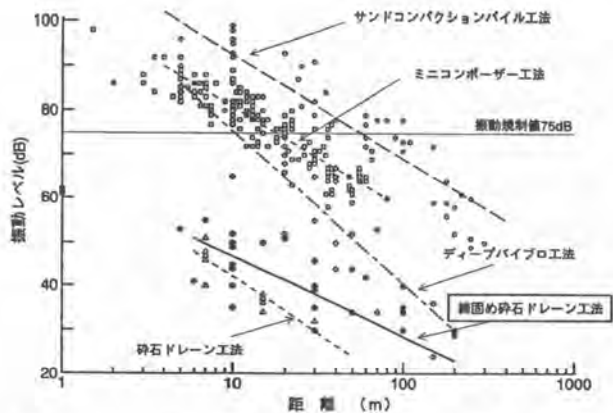


図-11 施工時の振動の比較

## 6. 平成7年兵庫県南部地震で確認された液状化防止効果

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震（M7.2）は、近代都市の直下を襲った巨大地震であり、戦後最大の被害をもたらした。この地震によって大阪湾一帯では大規模な液状化が発生し、多くの構造物が液状化による被害に見舞われたと報告されている。

前述の淀川河口付近も液状化によって河川堤防が崩壊するなど大きな被害を受けた地区の一つである。地震後、図-12に示すように、施工現場を取り巻く河川堤防、住宅、鉄塔など様々な構造物が被害を受け、いたる所で液状化による噴砂跡が見られた。しかしながら、施工現場では液状化の痕跡は見られず、締固め碎石ドレーン工法の液状化防止効果が実証された。なお、従来の碎石ドレーン工法は、釧路市に

において平成5年釧路沖地震（M7.8）ならびに平成6年北海道東方沖地震（M8.1）、八戸市において平成6年三陸はるか沖地震（M7.5）で液状化防止効果が既に実証されている。



図-12 兵庫県南部地震における施工現場周辺の状況

## 7. おわりに

砕石ドレーン工法の施工延長は平成7年6月現在で250万m（従来型工法を含む当社実績）を越え、今回高度化した施工機に関しては60万mを越えており、図-13のような推移を示している。そして、兵庫県南部地震や近年日本近海で多発している巨大地震によって液状化対策の必要性が改めて認識されている現在、この技術は有力な液状化対策工法としてさらに実績を伸ばしていくものとする。今後は、現状の施工機がかなり大型であることから小型化の開発にも積極的に取り組み、狭いヤードでの施工にも対応できるよう努力していきたい。

### 参考文献

- 1)伊藤・中島：「15. 砕石ドレーン工法による砂地盤の液状化防止対策について」，平成2年度建設機械と施工法シンポジウムより

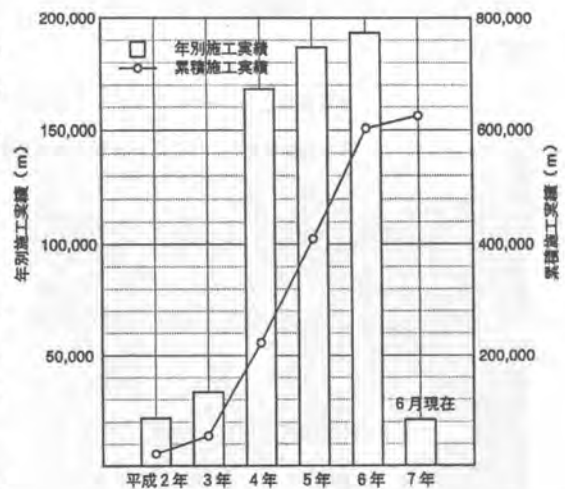


図-13 締固め砕石ドレーン工法の施工実績の推移

# 71. カラーホットロード施工用チップスプレッタの開発

鹿島道路㈱：浅井 和充・\*山口 達也

## 1. はじめに

ロードアスファルト舗装は、敷均されたアスファルト合材上に碎石等のチップング材を散布した後ローラで転圧する施工法で、対摩耗性、対流動性、滑り抵抗性などに優れており、ヨーロッパにおいて古い歴史をもっている。わが国においては、チップング材に硬質の着色骨材、明色骨材を用いることにより、舗装に美的機能を付加し周辺との景観効果を高めるのを目的としたカラーホットロードアスファルト舗装が主流である。特に近年、この舗装の耐久性や美観性等の機能を評価して、比較的安価な景観舗装としてのニーズが高まってきている。

ロードアスファルト舗装の施工は制約の多い作業環境下において、未転圧舗装面にいかに均一にチップング材を散布するかが重要な点であり、仕様の異なる様々な現場においても対応可能な機械の実用化が望まれていた。本件はチップング材散布機械の開発経過と施工結果について報告するものである。



写真-1 カジマ・チップスプレッタ

## 2. ロードアスファルト舗装の施工手順

ロードアスファルト舗装（カラーホットロードアスファルト舗装を含む。以下同様）の施工を下図に示す。

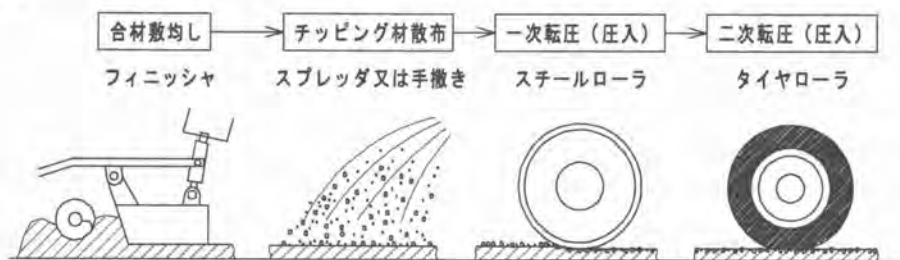


図-1 ロードアスファルト舗装の施工手順

アスファルト合材の敷均しは一般にアスファルトフィニッシャで行う。続くチップング材の散布はチップスプレッタまたは人力によりできるだけ均一に散布し、スチールローラで圧入する。さらに合材とチップング材との結合を高めるため、タイヤローラで転圧を行う。

チップング材は一般的に、脱色アスファルトを2%程度コーティングした5号、或いは6号碎石相当の人工石を4～7kg/m<sup>2</sup>散布する。

### 3. チッピング材散布機械の現状

ロードアスファルト舗装用チッピング材散布機械（以下チップスプレッダ）は、海外の建機メーカー及び舗装施工会社が独自に開発したものがあるが、施工中の幅員変化への対応が困難であったり、施工エリア内に電柱などの既成構造物がある場合、散布作業が制限されたり、また散布ムラが多く手作業による仕上げが要求される、といった不満があった。このため施工事例のほとんどは人力による手巻き作業によるものである。

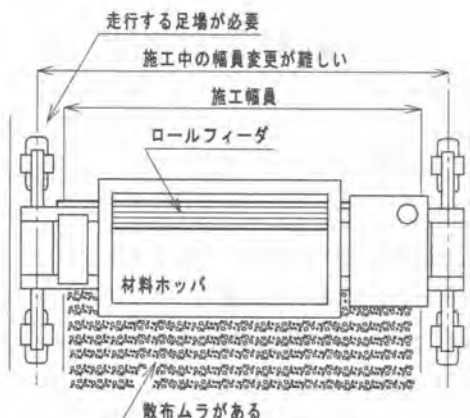


図-2 従来の散布装置概略

### 4. チップスプレッダの要求機能

従来のチップスプレッダの不備を顧み、当社独自の施工機械の開発が計画され、関連部所び支店担当者らと協議し、新規チップスプレッダに対する要求機能を抽出した。

- ①容易にチッピング材をチャージできる構造である。
- ②施工中でも散布幅を任意に変更できる。
- ③チッピング材が団粒状にならないように散布ができる。
- ④チッピング材散布面（舗装表面）を荒らさない。
- ⑤正確なチッピング材の計量装置と円滑な吐出機構を有している。
- ⑥単位面積当たりの散布量を簡単に調整できる。
- ⑦作業速度はアスファルトフィニッシャの敷均し速度と同程度である。
- ⑧十分な回送速度を有する。

### 5. カジマ・チップスプレッダの機能と構造

要求機能を満たすためVE手法に基づき機能分析を行い、幾つかの抽出案の中から、各作業装置の構造を次のように決定した。

#### 5-1. チッピング材のチャージとストック

本機は $1.5\text{m}^3$ のチッピング材チャージホッパを有しており、ホッパへの材料供給はプラントにおいて梱包された1トンパックを用い、ユニック等により供給を行う。或いは小型ホイールローダ（ $0.3\text{m}^3 \sim 0.6\text{m}^3$ クラス）により車体後部から直接ホッパへ積み込む。現場の状況に応じて方法を選択する。



写真-2 ユニックによる材料供給



### 5-2. 計量装置

チップング材の計量はホップ下部のロールフィーダによる容積計量方式を採用した。理由は脱色アスファルトをコーティングしたチップング材が、ホップ内で団粒状に固結しても分離させることが出来るためである。また、このロールは凹凸パターンを分割し、吐出時の脈動を防ぐ工夫がなされている。吐出量はロールの回転数の制御と、チップング材の粒径に応じたゲート開度の調整により行う。ロール回転数は運転台にある操作盤上の回転計に表示される。ロールの形状、及び散布パターンを決定する際には写真-3に示す試験装置を製作し、実験をかさねた。



写真-3 計量、散布実験装置

### 5-3. 散布装置

ロールドアスファルト舗装は景観舗装として採用される場合が多いので、施工幅員が不連続に変化する状況、或いは施工エリア内の構造物も有り、施工中機械を停止させることなく散布幅を調整できる必要がある。本機のスイング式散布装置は、計量用ロールフィーダの下に配置した材料移送用ベルトコンベアを施工幅員に合わせて左右にスイングしながら散布する機構のもので、スイング角度を変更することにより任意の施工幅員を設定することができる。スイング速度の調整も運転台にて可能である。通常はセットされた幅員間を自動的にベルトコンベアがスイングするシステムとなっている。ベルトコンベアの先端にはチップング材を拡散させるための高速回転羽根が取り付けられており、施工状況に応じて回転数を調整する。

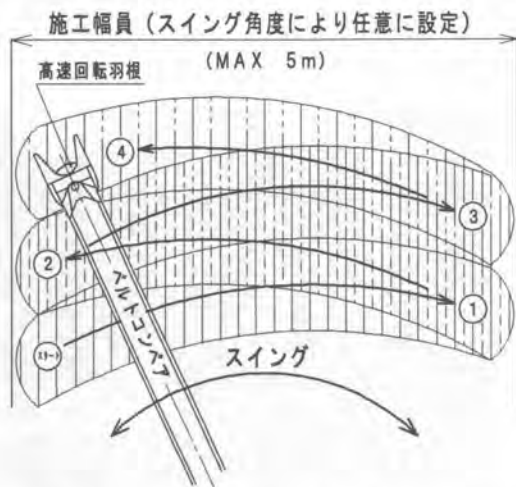


図-3 スイング式散布装置の散布パターン



写真-4 作業中の散布装置

#### 5-4. 散布量の決定

計量装置からのチップング材吐出量は1㎡当たりの散布量、散布幅員、施工速度によって決定される下に設定例を示す。

| 設定例       |          |  |
|-----------|----------|--|
| 1㎡当たりの散布量 | 5kg      | } 1分間当たりの散布量<br>5m×2.5m/min×5kg=62.5kg/min |
| 散布幅員      | 5m       |  |
| 施工速度      | 2.5m/min |  |

#### 5-5. 本体

車体本体は施工の流れ、操作性、機動性、運搬の容易さ等を考慮にいれスチールローラ型とした。ロールの線圧は転圧ローラの約半分に抑えてある。またチップング材がロールに付着しないように水の噴霧装置も備えてある。

走行速度の管理は、チップング材の散布量に直接関係してくる因子であり、品質管理上、正確な設定が可能な機構のものでなければならない。速度の調整は駆動輪に取付けたパルスセンサにより速度の計測を行い管理するものとした。

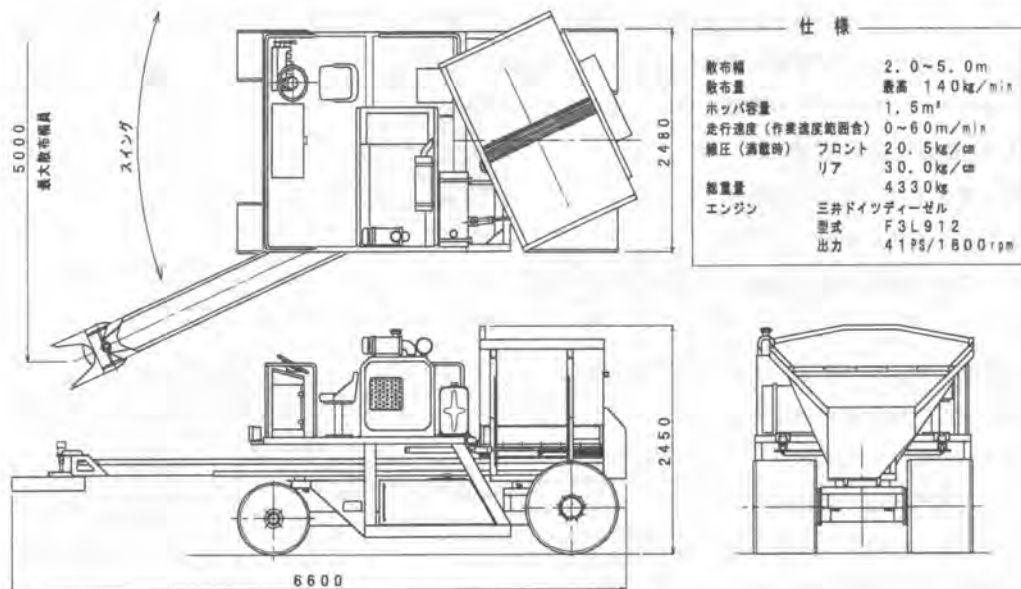


図-1 カジマ・チップスプレッダ外観図、及び仕様

#### 6. まとめ

昨年末に完成したカジマ・チップスプレッダにより数件のロードアスファルト舗装が施工された。チップング材の散布量調整も容易にでき、心配されていた散布後の機体自身による転圧への影響も無く計画どりの機能を発揮した。これからは景観舗装のみならず、耐摩耗、耐滑り、といったロードアスファルト舗装本来の機能を発揮するような施工に対応できるよう、機械の機能充実をはかりたい。

## 72. 建設副産物（建設発生木材）の処理技術

建設省（東北技術）：江本 平・\*布宮 明道

### 1. はじめに

道路工事等で発生する伐根等の処理形態は、工事現場内等での埋立処分、又は野焼きにより処分していた。しかし、環境問題から野焼きの原則禁止、さらには処分地の確保の困難等の諸問題が発生しているのが現状であり、処分の有料化、処分地の遠隔化などと対処すべき検討課題は多い。

本調査は、伐根等廃棄物の最適な処理について検討し、可能な有効利用（リサイクル）の種類や方法と現場検証結果をまとめ、建設発生木材処理技術マニュアルの検討を行うことを目的とした。

今回の検討では、東北地建管内に点在している焼却施設及び最終処分場の位置や受け入れ条件、処理料金等を把握しおり、工事場所毎に最も近傍にある処理場等を提示でき、工事発注時点で、処理計画立案の支援が可能となった。

また、リサイクルの観点から有効利用の検討として、発生した伐根を発生現場内で再利用できる方法として、堆肥化・法面緑化等の試験を行い、再利用に向けての一検討要素として十分評価できる結果が得られた。以下にその概要について報告するものである。

### 2. 発生実態と処理実態

建設発生木材の適正処理及び再資源化の方法を検討するにあたり、現状の発生実態を調査・解析した。

実態調査解析結果を図-1 建設発生木材の発生量と処理方法に示す。

また、処理施設の受け入れ条件等も調査した結果、焼却処分場では原型での受け入れる施設がなく、破碎や小割、乾燥していることが条件となる。埋立処分場では、特に条件等制限はないが数が少なく、運搬距離に問題がある。



図-1 建設発生木材の発生量と処理方法

### 3. 有効利用

#### 3. 1 有効利用の提案

文献や聞き取り調査により、伐根の有効活用について調査したが、特に伐根を対象にした事例としては、根株植栽しか見い出すことができなかった。

そこで、大きく木材全般の活用事例、特に家屋解体材等の建設木くずの活用事例を調査し、伐根でも応用できそうな方法を検討した。

#### 3. 2 有効利用試験

リサイクルの観点からこれまで伐根の有効利用として実証したことがない、発生現場内で有効利用できそうな利用策について表-1に示すとおり選定し、試験を実施した。

表-1 建設発生木材有効活用試験概要

|      | 試験内容  | 試験概略図 |
|------|---|-------|
| 堆肥化  | 1) 試験目的：建設工事に伴い発生した木質廃棄物を堆肥化し、緑化資材として利用するための条件を検討し、その堆肥の効果を確認する。<br>2) 試験地：岩手県気仙郡三陸町所通地内<br>3) 試験日程：平成6年9月28日～11月末まで2週間に1回の切り返しを行い、その後堆積状態で熟成させる。<br>4) 使用チップ：粒度10mm以下主体 11m <sup>3</sup><br>5) 試験項目：①施工性 ②温度推移 ③水分 ④肥料成分分析 ⑤育成試験 |       |
| 法面緑化 | 1) 試験目的：厚層基材吹付工の基材としてチップを使用する方法の検討を行う。<br>2) 試験地：岩手県大船渡市笹崎地内 大船渡三陸道路笹崎仮設道路法面<br>3) 試験工程：平成6年10月13日～12月末まで観察<br>4) 使用チップ：粒度5mm以下 2.5m <sup>3</sup><br>5) 試験項目：①施工性 ②発芽状況観察 ③成育状況観察   |       |
| 木質舗装 | 1) 試験目的：木質チップを利用した軽歩行用舗装材を検討する。<br>2) 試験地：多賀城市建設省官舎前<br>3) 試験工程：平成6年8月10日から予備試験 平成6年11月7～9日施工<br>4) 使用チップ：粒度10mm以下主体 5m <sup>2</sup><br>5) 試験項目：①配合の検討 ②物理的特性（硬さ、弾力） ③耐久性   |       |
| 水質浄化 | 1) 試験目的：水質浄化の接触材として木質チップを利用することを検討する。<br>2) 試験地：建設省東北技術事務所構内<br>3) 試験工程：平成6年11月30日～平成7年2月末<br>4) 使用チップ：一次破砕チップ（ルッククラッシャー） 現地細破砕チップ<br>5) 試験項目：①水質試験（pH, BOD, COD, SS, T-N, T-P） ②生物膜付着状況観察  |       |

### 3. 3 試験結果

- (1) 堆肥化試験においては、3ケースのうち鶏糞混合した試験が堆肥(中熟)として評価できた。堆肥化試験結果を表-2に示す。

表-2 堆肥化試験結果

|         | ケース 1  | ケース 2                                   | ケース 3              | 参考(ハーク堆肥特級基準) |         |
|---------|--|---|--------------------|---------------|---------|
| 配 合     | チップ <sup>3</sup> m <sup>3</sup> +鶏糞1m <sup>3</sup> | チップ <sup>4</sup> m <sup>3</sup> +尿素43kg | チップ4m <sup>3</sup> | -             |         |
| 温度推移    | 最高温度68℃  | 最高温度44℃以上                               | 最高温度30℃            | -             |         |
| 水 分     | 50%程度で推移   | 60%程度で推移                                | 60%程度で推移           | -             |         |
| 肥料成分    | 全炭素  | 16.42DRY%                               | 24.46 DRY%         | 26.51 DRY%    | 40~45   |
|         | 全窒素  | ○ 1.93DRY%                              | ○ 1.93 DRY%        | △ 0.24 DRY%   | 1.7以上   |
|         | 炭素率  | ○ 8.51                                  | ○ 12.67            | △ 110.46      | 20~25   |
|         | リン酸  | ○ 7.64DRY%                              | △ 0.23 DRY%        | △ 0.15 DRY%   | 0.8以上   |
|         | カリ   | ○ 4.32DRY%                              | △ 0.29 DRY%        | △ 0.32 DRY%   | 0.5~0.3 |
|         | pH   | ○ 7.3                                   | × 9.2              | ○ 6.9         | 6.0~7.5 |
| 塩基性置換容量 | △ 20 me/100g                                       | △ 21 me/100g                            | △ 16 me/100g       | 80以上          |         |
| 植害試験    | ○ 生育良好   | × 生育不良                                  | ○ 生育良好             | 生育障害・異常を認めない  |         |
| 総合評価    | ○  | ×                                       | △                  | -             |         |

注) ○:良、△:不十分、×:不良

- (2) 法面緑化試験については、どのケースも順調に生育しており、今後の緑化工に新たな資材として提供できる評価が得られた。法面緑化工試験結果を表-3に示す。

表-3 法面緑化試験の結果

| 項 目    | ケース1<br>(伐根堆肥) | ケース2<br>(チップ50%) | ケース3<br>(在来工法) | ケース4<br>(チップ70%) | ケース5<br>(チップ100%) | 備 考                  |
|--------|----------------|------------------|----------------|------------------|-------------------|----------------------|
| 吹付施工時間 | 20分            | 20分              | 24分            | 27分              | 22分               | 20m <sup>2</sup> 当たり |
| 排出むら   | 無              | 無                | 無              | 有                | 有                 |                      |
| 時 飛散性  | 大              | 中                | 中              | 小                | 小                 |                      |
| 観 発芽状況 | ○              | ○                | ○              | △                | △                 | ケース4, 5は発芽が劣る。       |
| 察 植生基盤 | ○              | ○                | ○              | △                | △                 | ケース4, 5は基盤が硬い。       |
| 時 表面亀裂 | 多い             | 少ない              | 少ない            | 目立たない            | 目立たない             |                      |

表-4 法面緑化生育観察記録

比較対象区(ケース3)である標準的な緑化工とケース2(伐根チップ50%、ピートモス50%)とを比較しても、生育観察上何ら変わるものでなく、むしろチップ混合した方が発芽本数等で上まわる結果が得られた。

| 工区          | 項目<br>月日      | 平均発芽本数 | 草丈(数/株)cm<br>草 種                   | 植 生 基 盤 状 況<br>(亀裂 飛散 等)                  | 発 芽 分 布 状 況                             |
|-------------|---------------|--------|------------------------------------|---|---|
|             |               |        |                                    |   |   |
| ケ<br>ス<br>2 | 1+月観<br>11/12 | 2,120  | 13.0 / 8.0<br>確認不能                 | 乾燥収縮による亀裂等が一部発生している。                      | 1工区同様、法尻部及び法肩平面部の発芽が多い。                 |
|             | 1+月観<br>11/25 | 3,080  | 11.5 / 11.0<br>確認不能                | 乾燥収縮による亀裂等が若干発生している。前回から亀裂の進行は無く、飛散等も認めず。 | 発芽分布は、1工区と同様ながら前回調査時よりも発芽数が増えている。       |
|             | 2+月観<br>12/23 | 2,400  | 8.5 / 7.5<br>・ククッキー-31F<br>・ホトトギス  | 前回観察以降の亀裂の進行は認められない。                      | 発芽数は幾分減少し、茎径が大きいのが増加漸次自然淘汰が進行していると思われる。 |
| ケ<br>ス<br>3 | 1+月観<br>11/12 | 2,120  | 14.5 / 10.0<br>確認不能                | 乾燥収縮による亀裂が若干発生している。                       | 1工区同様、法尻部及び法肩平面部の発芽が多い。                 |
|             | 1+月観<br>11/25 | 2,800  | 13.5 / 11.0<br>確認不能                | 乾燥収縮による亀裂等が発生している。表面皮膜の剥落より強風時の飛散等が懸念される。 | 2工区同様、分布状況は前回調査からさほど変化無し、発芽数も増加傾向。      |
|             | 2+月観<br>12/23 | 2,120  | 10.0 / 9.0<br>・ククッキー-31F<br>・ホトトギス | 前回観察時よりも湿潤状態となっている。亀裂、剥落、飛散等の進行は認められない。   | 他の施工区に比較し最も生育状態が良好である。芽数は減少している。        |

(3) 木質舗装試験については、国内で初めて実施したが、遊歩道等への人に優しい舗装技術として利用の可能性がでた。GB反発値試験結果を図-2に、プロクターニードル貫入試験結果を図-3に示す。

GB反発値は、芝生の10~25%と比較して同等の反発値を示していることから人に優しい軽歩行に適している舗装と思われる。

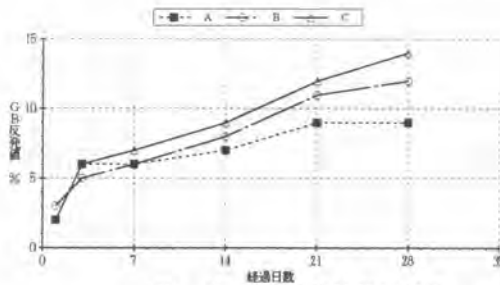


図-2 木質舗装GB反発値

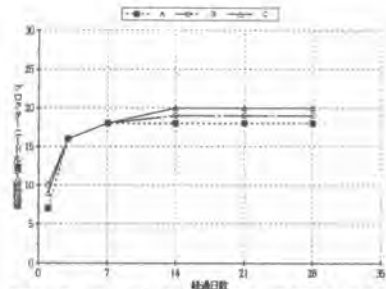


図-3 プロクターニードル貫入値経日変化

(4) 木質チップのみを使用した水質浄化試験では、水温が低い時期に行ったわりには、BOD除去率で約30%、T-P除去率で約30%と比較的効果が現れた。図-4にBODの推移、図-5にT-Pの推移をそれぞれ示す。

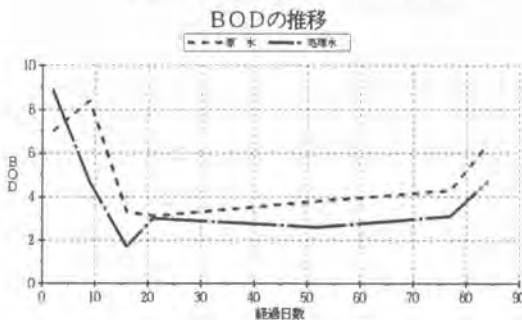


図-4 BODの推移

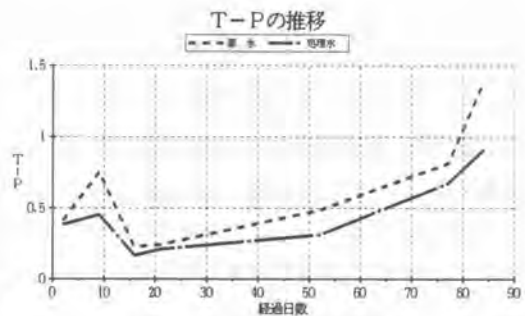


図-5 T-Pの推移

#### 4. おわりに

今回実施した4項目の試験では、有効利用の幅を拡大することができ、評価できるものが得られた。特に有効と思われるのが、チップ化した伐根を植生基材として応用した、切土法面に対する緑化吹付工が、既存の厚層基材吹付工（基材：ラングリオン）と比較しても、発芽時期の遅れが多少あるものの、越冬後の観察結果では、全く劣るものでなかった。このことは、高価な植生基材を購入していることを考え合わせると、新たな資材として提供できるものと推察される。

その他の3項目の試験でも、実際の現場で使用までには、種々検討が必要であるが、これまでのように、単に焼却や最終処分場等へ持ち込むだけでなく、環境対策やリサイクルの観点から、積極的に取り組んでいくべきであると思われる。

今後は、発生から処分までの一連した処理技術を作成し、問題解決の一助としていきたい。

# 73. 路面上に発生する氷膜及び氷板の検出器

日本道路公団：武田 正利

㈱拓 和：奥田 政仁・\*榊田 堯一

## はじめに

近來の冬期における路面管理業務は、社会経済の発展に伴って、道路利用者のニーズは高度化、多様化し、夏期と同様な定時性、高速性ならびに快適性の確保が求められている。これらの課題に対応するため、路面状況のなかでも難解とされている路面上の水膜形成過程の早期検知を実現し、迅速な対応を可能にすることで路面状況管理の質的な面の向上をはかることと、円滑な冬期交通の確保や地域経済の維持に向けての支援体制確立に寄与することを目的として、以下に述べる検出器（以下装置という）を開発し、検証を行なった。

## 2. 原理についての実験と利用可能性の確認

光には偏光特性があり、この特性のうちP偏光の場合にのみ発生する特異な現象として「ブルースタ角における完全透過」が一般に知られている。

この特性を利用して路面の乾燥・湿潤の状態の正確な判別が可能か否かについて検討を行なった。

実験では、偏光特性をもつ光を路面（アスファルト）に照射し、その散乱光あるいは反射光を一定の距離を隔てたところに設置した受光器で検出する方式とした。

受光器には、直行した2つの偏光成分それぞれを分離独立して検出できるようにし、各々の出力比率により、路面の湿潤状態の検知を求めることとした。

実験では、1/19の縮尺スケールのモデルの配置された系で実施した。（図-1 参照）HeNeレーザー光を偏光板を利用して、P波又はS波に偏光し、試料（アスファルト板）面にむけて照射した。その反射光（散乱光）を偏光板付PD（フォトダイオード）で検出しさらにフォトダイオードを90度回転することにより各々の偏光の出力値が得られた。

以下に記したのが実験結果である。

図-2のaは、入射偏光S波を試料（アスファルト）にむけて照射された結果をS波とP波のみの変化分として乾燥面と湿潤面のそれぞれでとらえたデータであり、フォトダイオードで得られた出力電流の比率である。

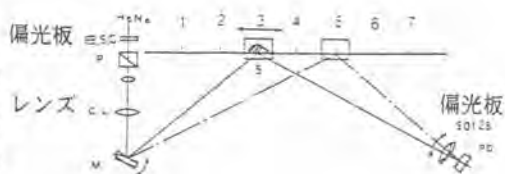


図-1 湿潤状態測定実験系

また図-2のbは、入射偏光がP波のみとした時の結果が示されており、乾燥と湿潤の検知時において、その差が明確でない部分が見られる。

以上の実験結果より、入射の偏光がS波の時のほうが、乾燥時と湿潤時における光電流比 ( $i_P / i_S$ ) が大きく明瞭にひらいていることがわかった。

この結果から、我々は目的を達成するために、S波の利用が有効であると考えた。

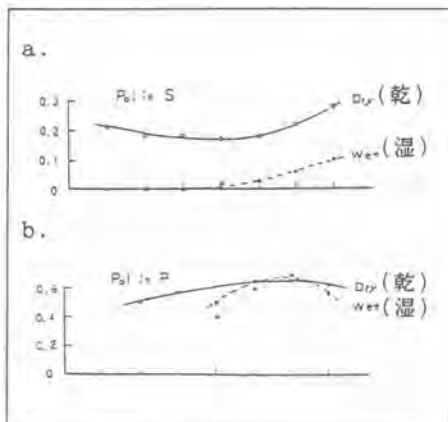


図-2 入射光による光電流比

### 3. 本装置の概要

偏光特性を有する光であるS波 (senkrecht:垂直) を路側から路面に照射し、その散乱光あるいは反射光を道路反対側路側に設けた受光器で検出する。受光器は直交した2つの偏光成分であるS波とP波 (Parallel:平行) を夫々独立して受光できる。その時の検出値と比率により路面の乾燥、湿潤、凍結等の路面状況を検知するものである。ここでいうS波は路面に対し垂直で、P波は路面に対し平行の光をさしている。(図-3 参照)

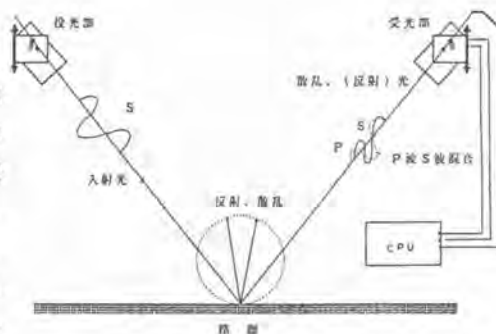


図-3 装置配置ブロック図

投光器は投光にパルスレーザーダイオード (PLD) を使用し、PLDの射出光として赤外パルスレーザー (波長880nm、パルス幅50nsec) を偏光板で偏光しS波のみを取り出し路面に照射する。照射されたS波は路面にあたると反射し散乱し、S波とその時の路面状況に応じて発生するP波がS波 (反射した) と一緒に受光器に到達する。

受光器は、波長選択フィルター (Band pass Filter)、偏光フィルター、フォトダイオード (PD) および信号処理回路より成る処理系がS波用とP波用の合計2セット組みこまれている。

路面で反射及び散乱したS波P波の混在波が受光器に到達すると、レンズを通過後にハーフミラーのところで2方路に分光され、2つの処理系において別々にP波とS波夫々の受光レベルが検出される。以上のようにして検出されたS波とP波の夫々の受光レベルは、さらにA/D変換後シリアル伝送 (RS422) により処理装置へと送られる。処理装置 (コントローラ側) では、このRS422信号を受信入力し、S波P波の受光レベル相関から路面状況を判断することができる。



## 4. フィールドテストによる検知機能の確認

### 4-1 フィールドテストの実施場所

前項2の項で記したとおり、本装置の原理実験では乾燥・湿潤状態の検証は容易に行なえるものの、人工氷板を使ったテストでは、状況が急変して氷板を検知する結果となるので氷結の検知はできても、湿潤から氷結に至る過程における連続検知は、不可能と判断したため、自然界の気象条件下での検証が可能となるよう、実験場所を栃木県那須地域に移動して、現地検証を行うこととした。



写真-1 フィールド実験場付近と装置外観  
(日本道路公団 那須インター)

### 4-2 フィールドテストにおける検証・調査期間等について

調査場所：日本道路公団 那須インターチェンジ

調査期間：調査時期は1月、2月の厳冬期間とした。

調査項目：自然気象条件のもとで、乾燥・湿潤・凍結（アイスフィルムと氷板含む）の検知能力の確認を行う。また気温・湿度のデータについては、那須管理事務所の提供によった。

調査方法：道路を挟んで送信・受信装置を柱上に取付、受信側の出力信号（232C）を室内に設置したパソコンに入力し、図-4のようにモニターに表示すると同時に同パソコンのメモリーに記憶させた。また路面状況の計測は、30秒に1回の間かくに設定した。気象変化の確認のために異なる方式の路面状況検知装置を併設し、気象変化を別途観測記録した。

### 4-3 フィールドテスト時のデータの検証

以下に示すデータは、調査期間中のデータの1部であるが、この抜すいたデータにもとづいて路面状況の判別結果について説明する。

図-4は、本装置のモニター画面であり、路面状況の変化について、前述のS波、P波及びその比率をグラフ表示した内容となっている。またグラフ右端には、判定条件状態図を記した。この状態図のなかで点線枠で囲んだところにW(湿)、D(乾)、if(アイスフィルム氷膜)及びF(凍結、氷板)と判定レベルを決定するS・P波の出力値の関係を図化している。

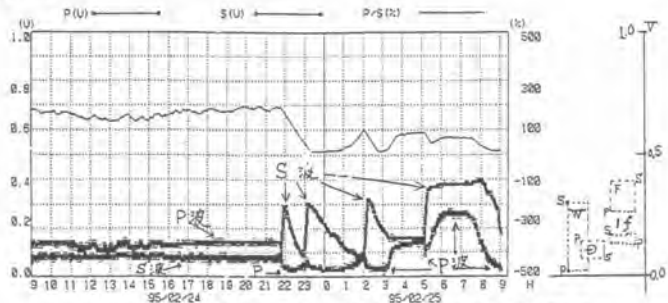


図-4 モニター表示例と判定条件状態図

このデータグラフから読みとれる路面状況の判定については、以下のとおりである。

即ち 2月24日 午前9時～2月24日 21時50分：この間 路面状態は乾燥。  
〔 天候は晴 〕  
2月24日 22時～2月25日 午前3時：この間は、人為的に撒水することで湿潤状態  
〔 天候は晴 〕 を作り3回に亘り水分を補給した。  
2月25日 午前3時～2月25日 午前5時：気温の降下によりi・f-(アイスフィルム  
・氷膜) 状態が発生した。  
2月25日 午前5時10分～：i・f状態の所に更に水分を補給したところ、一旦P波の  
下降現象がみえたが、ただちに上昇に移り、S・P波共に  
路面状態は氷板を示す値となった。

以上についての自動検知データは、人力検証結果とも一致していることを確認できた。

つまり、アスファルト路面状態を判定するS・Pの両波の関係をデータの出力値で整理したのが下記左側の表-1であり、判定条件の状態図として図示したのが、右側の判定条件の状態図として整理できる。

表-1 路面状態に応じた出力値

| 路面状態 | P波          |             | S波          | P / S比            |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
|      | 乾燥          | 0.14 ~ 0.15 | 0.06 ~ 0.07 | 2.23 <sup>a</sup> |
| 湿潤   | 0.02 ~ 0.04 | 0.30 ~ 0.33 | 9.5         |                   |
| 凍結   | 薄氷          | 0.12 ~ 0.16 | 0.16 ~ 0.16 | 8.8               |
|      | 厚氷          | 0.26 ~ 0.26 | 0.38 ~ 0.40 | 6.7               |

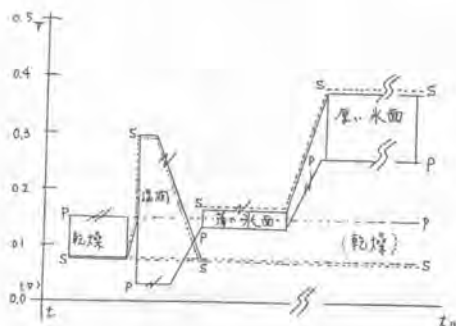


図-5 判定条件の状態図

## 5. あとがき

本装置は、固定点にかぎった路面状況を検知するものであるが、乾燥・湿潤の認識精度も高く、路面凍結予測手法（例：2重回帰式）の構築にむけて、信頼のおける検知能力を備えているといえる。

また、本装置の応用型として、更に小型化した車載型検知装置の実用化も考えられ、走行しながら路面状況の計測・検知が可能になると、現状の路面管理手法の上でも、点と線の検知データの合成による路面状況の把握が可能となり、面的な状況把握の精度が向上すると考えられることから、冬期路面管理の作業効率の向上に役立つことと大いに期待されている。

最後に、本装置の開発及び現場への適用に際し、ご協力いただいた関係各位に深く感謝申し上げます。

## 74. 除雪トラックの自動化技術の開発 (ブレード押付の自動制御)

建設省(北陸地建): 前田 孝司・\*本間 政幸  
岩崎工業(株): 甲斐 賢

### 1. まえがき

最近幹線道路の整備拡充が目ざましく、交通量の増大とともに除雪作業の高速化のニーズが高まり、新雪除雪と路面整正作業が高速で行える路面整正装置付きの除雪トラックが普及してきた。しかし、熟練オペレータの経験と勘を頼りに頻繁なレバー操作を行う必要があるため、使用しづらいとの意見が現場から強まってきた。

一方、建設工事の従事者不足が深刻化し、除雪機械のオペレータ等にあっては豪雪時には8割以上の事業所で不足しており、熟練オペレータの高齢化が進む中で、除雪機械の簡易操作化、自動操作化の要望は高まってきており、これらの技術開発が特に必要となってきた。

そこで、除雪トラックの路面整正作業を自動化し、初心者でも熟練者並の作業が可能な除雪トラックを目指して、「ブレード押付力の自動制御機構」の開発を行ったものである。

### 2. 開発の経緯

除雪トラックは、従来、7t級フロントプラウ付きが主力機種として採用されてきたが、路面整正作業の高速化等のニーズの高まりから、路面整正装置を装備したもの(写真-1)が採用され始めてきた。

しかし、除雪トラックでの除雪作業は高速で走行しながら、頻繁な走行操作と作業装置の操作を同時に行う必要があるうえ、作業装置が運転席から確認しにくいいため、自動操作化の要望が強かった。

そこで、施工性等の向上を図るため、平成元年度に北陸技術事務所において新型除雪トラック(10t級、6×6、走行自動変速、路面整正装置の自動操縦機構、除雪幅可変型)を開発した。この新型除雪トラックは、走行にオートマチックトランスミッション、路面整正装置に自動操縦機構等を採用したもので、走行操作とブレード操作が従来機と比較して大幅に軽減されたため、全国で急速に普及してきた。(写真-2)



写真-1 除雪トラックの概略図



写真-2 新型除雪トラックの全景

しかし、この除雪トラックの路面整正装置の操縦機構はブレードを作業姿勢にするまでの手順を自動化したものであり、ブレードの路面押付力については依然として熟練オペレータの経験と勘を頼りに、路面上の圧雪の有無、硬度等を判断し、路面とブレードの接触音及びミラーによる除雪状況を確認しながら、最適な押付力に調整しなければならない。特に、除雪トラックのオペレータは除雪グレーダと異なり、ブレード操作の経験のない人ばかりであるため、ブレード押付操作の自動化の要望が強く出されていた。

そこで、初心者でもベテラン並の施工性が得られる機構の開発を目指し、路面状況などを自動的に判断し、最適なブレード押付力を得る自動制御装置を開発することとした。

### 3. 開発機の概要

#### 3.1 自動制御機構の原理

ブレードと路面及び圧雪との接触により振動が発生することに着目し、調査した結果、図-1に示すように路面の露出状態により振動エネルギーが異なることが判明したため、その振動エネルギーの大小によりブレード押付力を制御することとした。

#### 3.2 自動制御機構の特徴

今回、開発したブレード押付力の自動制御機構は、押付力を路面状態に合わせて自動的に調整するものである。

この自動制御装置は、作業開始前に「自動」の項目をタッチパネルから選択するだけで、制御装置が路面状態を判断し、最適なブレード押付力を維持するので、オペレータは一時回避（橋梁ジョイントなどの障害物を回避すること。）以外の作業装置に関する操作が不要となるため、初心者でも熟練オペレータ並の作業が可能となる。

また、制御装置のタッチパネルはモニターの役割も果たしており、作業中のブレードの状態を表示し、オペレータが確認できるシステムとした。

### 4. 性能試験

#### 4.1 構内試験

除雪トラックの路面整正装置ブレード下部カッティングエッジ付近に加速度計を取り付け、作業状態で走行させて振動加速度を測定した。また、振動の特徴を調査するために、車両走行速度、押付力（線圧）及び路面状態（乾燥、湿潤）を変化させて行った。

調査の結果、図-2及び3に示す結果が得られた。図-2は押付力（線圧）と振動加速度の関係につ

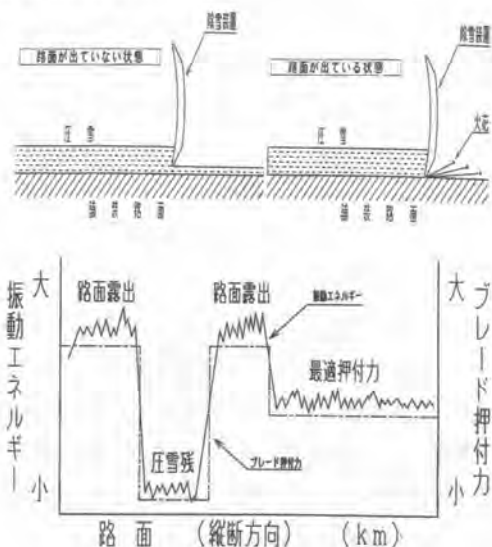


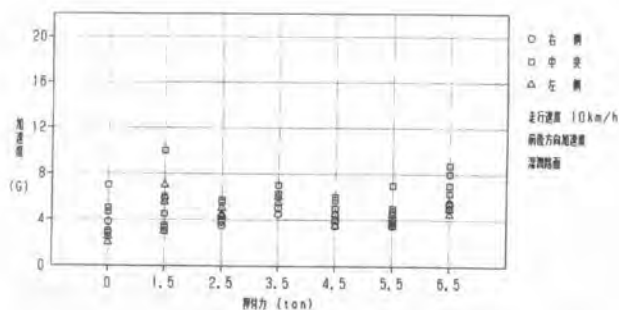
図-1 振動と押付力の関係



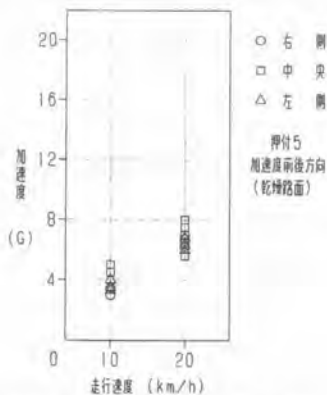
写真-3 制御装置の入力装置  
(タッチパネル)

いて示したものであるが、押付力が変化しても振動加速度はほぼ一定であることから、雪のない路面上においては押付力と振動加速度には相関関係がないことがわかる。

図一3は走行速度と振動加速度の関係を表したものであるが、ブレードの振動加速度は走行速度に比例して大きくなるのがわかる。



図一2 押付力と振動加速度



図一3 走行速度と振動加速度

#### 4. 2 模型試験

技術事務所構内に設置してある低温実験室内において、アスファルト盤上に疑似圧雪を作成し、台車の移動速度と押付力の調整ができる試験装置に模擬ブレードを取り付け、押付力、移動速度及び圧雪硬度などを変化させて振動加速度の調査を行った。(写真一4)

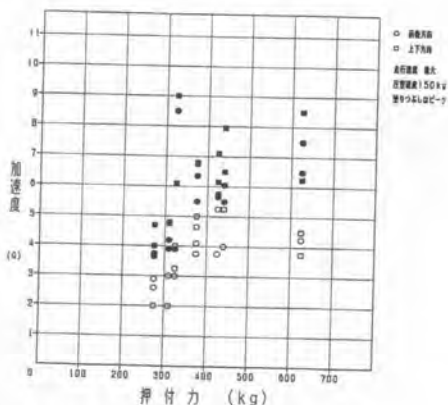


写真一4 模型試験状況

結果は、走行速度と振動加速度の関係は構内試験と同様であったが、圧雪上においては図一4に示すように押付力の増加に比例して振動加速度が大きくなる傾向を示した。これは、押付力の増加に伴い、ブレードが圧雪に食い込み、圧雪の処理量及び抵抗が増加するためと思われる。確認のため、押付力を変化させて、乾燥路面上で試験を行ったが、構内試験の結果と同様で押付力は振動加速度に影響を与えないことが確認された。

このことから、押付力は圧雪路面上でのみ振動加速度に影響を与える要因として確認された。

また、圧雪硬度による影響を把握するため、現場で通常発生する圧雪硬度100kgf/cm<sup>2</sup>と、これ以上を想定して150kgf/cm<sup>2</sup>~200kgf/cm<sup>2</sup>でも試験を行ったが、圧雪硬度が増加しても振動加速度が比



図一4 圧雪における押付力と振動加速度

例して増加する傾向は見られず、制御上の障害とならないことが確認された。

#### 4. 3 現場試験

前述の試験結果に基づいた制御装置を試作し、それを搭載した試験車両を用いて、一般国道17号新潟県南魚沼郡湯沢町二居地先の実際の除雪現場において、制御状態の確認を行った。(写真-5)

試験車両を後方から追跡し、作業状況及び路面状態を目視により調査を行った結果、急カーブで若干の横すべりが発生した以外は試験車両に特に異常な挙動はなく、除雪後の路面状態も良好であった。

また、ブレードに加速度計を取り付け作業中の振動加速度と路面状態を照らし合わせることで、自動制御の作動状況を確認している。

図-5は圧雪と露出路面との制御状態を説明するため、トンネルが連続している区間で行った結果を示している。この図では作業開始時の路面上に圧雪があるため、徐々に押付力が増加し、約20秒後に最大押付力に達している。(図中・A) 最初のトンネル内は雪が吹き込み薄い圧雪が形成されていたため、押付力が最大値付近で安定している。(図中・B) 2番目以降のトンネル内は路面が露出しており、押付力は0kgf/cm<sup>2</sup>付近で安定し(図中・C)、すべてのトンネルを通過して圧雪路面になると、再び押付力が徐々に増加し、最大押付力に達した時点で安定した。(図中・D)

この区間に限らず、他の調査結果も制御状態は良好であることが確認された。



写真-5 現場試験状況

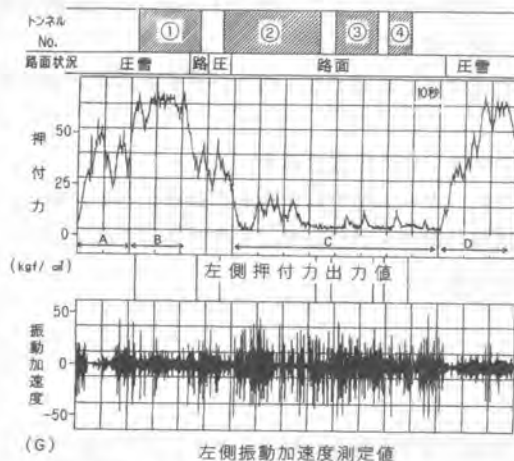


図-5 自動制御の作動状況

#### 5. まとめ

以上の結果から、ブレード押付力の自動制御機構は実用レベルに十分達しており、除雪作業の大幅な省力化、省人化に大きく寄与していくものと思われ、次のような効果が期待されます。

- ① 初心者でも熟練者並の作業が行え、より効果的で安全な作業を実施できる。
- ② ブレードの押付過ぎが防止でき、車両の安定性が向上し、エッジの偏磨耗防止、燃費の向上などの経済効果も期待できる。
- ③ 除雪グレーダなどにもこの技術を転用し、除雪作業の省力化、省人化を図ることができる。

今回、開発した押付力の自動制御機構は、平成7年度に2台 採用される予定であり、今後は大幅な普及・導入が期待される。

# 75. ワンマン除雪車の開発

日本道路公団：蒲倉 善長・\*森 邦義

## 1. はじめに

日本道路公団仙台管理局は、東北自動車道をはじめとする東北地方6県の高速自動車国道（平成7年3月現在、約750Km）を管理している。当局における重要な業務のひとつである雪氷対策作業は、広範囲で気象が様々に変化する厳しい条件の中で約5ヶ月間昼夜にわたり実施している。

近年は、スパイクタイヤの使用禁止に伴うスタッドタイヤの普及および路面管理に対する社会的ニーズの高まり等から冬期の路面管理レベルの向上が求められるようになり、これに伴い雪氷機械の担う役割も以前にも増し大きくなってきている。これは機械除雪が“作業の迅速性”“作業能力の大きさ”“均一な路面の確保”“作業コストの低減”“作業の安全性”等に優れているからである。

一方、雪氷機械の運行に欠かすことの出来ない専門（熟練）オペレーターは、3K等による就労可能人員の激減等でますます確保が困難な状況となっている。

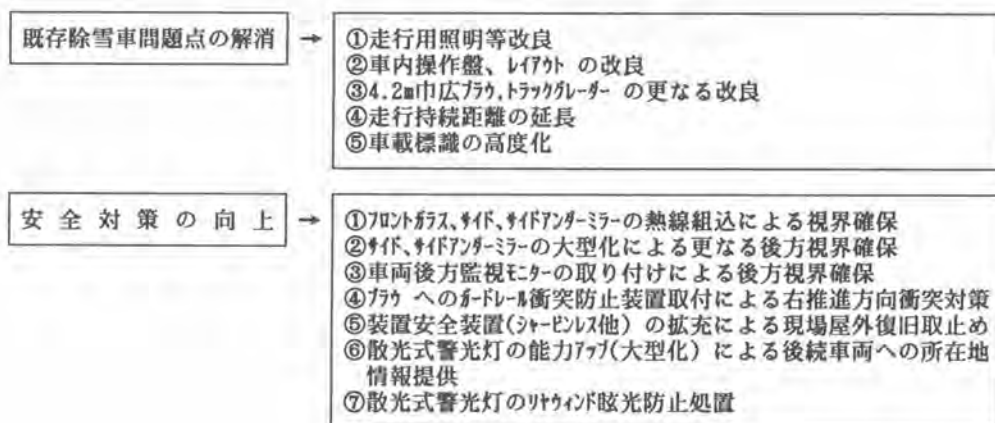
この対策の一つとして当局では、特に人員削減と操作性の向上を主眼にした『ワンマン除雪車』の開発に取り組んでいる。

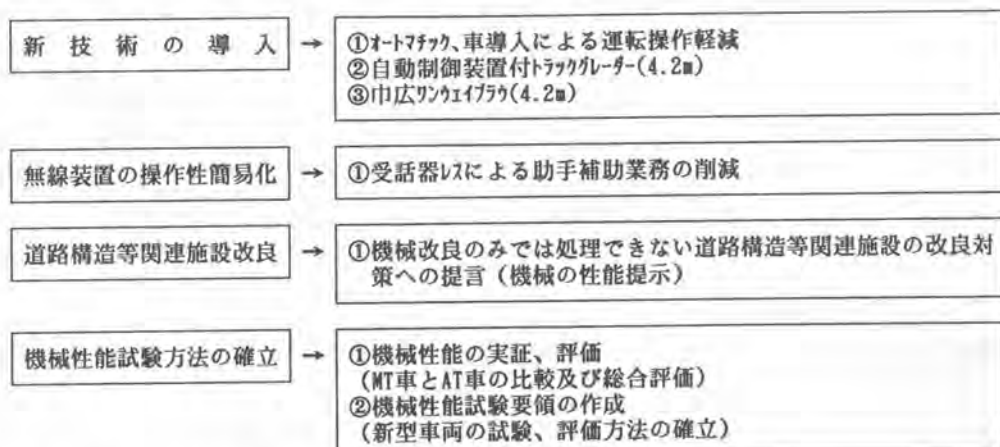
本報文では、当局で行ったワンマン除雪車に関する現地試験結果について報告するものである。

## 2. ワンマン化への取り組み

オペレーター不足や雪氷作業の効率化への対策として行う除雪車のワンマン化は、図-1に示すように機械の開発・改良以外にも作業を行う時に係わる部分（道路付帯施設等）も含めた総合的な取り組みが必要になってくる。

図-1 ワンマン化に係わる開発・改良項目





### 3. 装置単体の試験結果

ワンマン化に必要な各種装置の単体試験結果は、次のとおりである。

#### 3. 1 トラックグレーダ自動制御

従来の手動操作のものと比較し、次の結果が得られた。

- ①作業速度 : 18.2%向上
- ②装置手動操作回数 : 93.6%減
- ③装置操作後速度低下率 : 7.4%減
- ④姿勢変換時間 : 40.6%減
- ⑤エッジ摩耗量 : 52.7%減
- ⑥安全装置復帰時間 : 20分から54秒に短縮

各機能とも良好な結果で、また操作が容易で操作回数が少なくなることから、操作性・安全性も大幅に向上した。

#### 3. 2 4.2m幅広スノーブラウ・トラックグレーダ

完成4車線区間における除雪作業は、従来1梯団2台の除雪車(3.5mブラウ、内1台はサイドウィング付)又は、3台(3.5mブラウのみ)で行ってきた。

当局では、視認性および操作性等の問題からサイドウィング付のタイプから幅広スノーブラウ・トラックグレーダを架装した除雪車に変更したが、従来の3台と比べ次のような結果が得られ、1梯団2台の運用も可能であることがわかった。

- ①仕上がり状況 : 3台(3.5m)と同様
- ②作業速度 :
  - 1) フロントブラウ(サイドウィングと比べると)  
20~30km/h → 43.3km/h
  - 2) トラックグレーダ(3台、3.5mと比べると)  
30~40km/h → 37.4km/h

これらの装置は、単体でも十分に効果を期待できるものであるが、オートマチック車(AT車)と組み合わせることで更に効率化が図れることから他の装置等の改良と併せてワンマン化をめざした除雪車の開発を行った。

### 4. ワンマン除雪車現地試験

#### 4. 1 試験概要

- (1) 使用機械諸元 表1に示す。



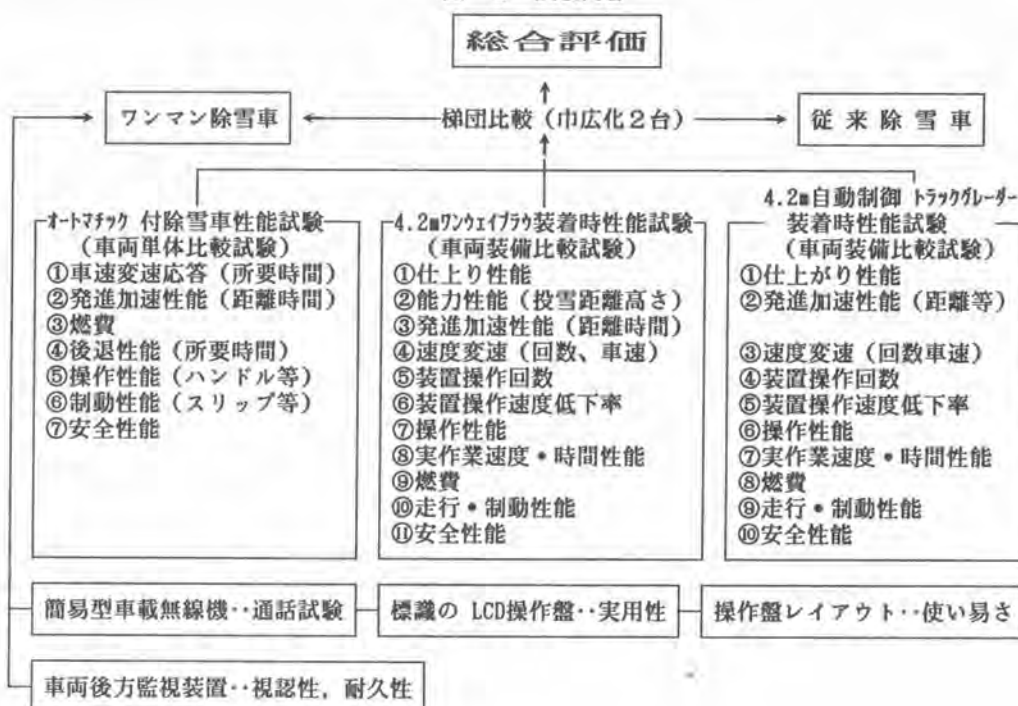
表-1 使用機械諸元

| 試験車両名   | ワンマン除雪車(2台)  | 従来除雪車(2台)   |
|---|--|---|
| 架装装置仕様相違点<br>・車両本体<br>・フロントブレード<br>・トラックグレーダー<br>・無線機   | 10t6*6オートマチックトランスミッション(レバー式)<br>4.2mワウエイブレード<br>4.2m自動制御トラックグレーダー<br>簡易型車載無線機  | 10t6*6マニュアルトランスミッション<br>4.2mワウエイブレード<br>4.2m状態確認装置付トラックグレーダー<br>受話器型車載無線機 |
| 除雪車改善点<br>・フロントブレード 安全対策<br>・トラックグレーダー 安全対策<br>・標識操作盤操作性対策<br>・架装装置操作性対策<br>・後続車、後退時安全対策<br>・後退時安全対策<br>・被走行車両対策<br>・スタッドレス化対策<br>・走行時安全対策<br>・前方視認性対策<br>・後方視認性対策<br>・走行距離延長対策 | ガードレール衝突防止装置、大型ブラウ幅灯<br>安全機構復帰装置(シャープレス)<br>車載標識 装置LCD(液晶)操作盤<br>操作盤等レイアウト変更<br>車両後方監視装置<br>防眩仕様散光式警光灯(後部車載標識装置用)<br>大型散光式警光灯(車両キャビン用)<br>スタッドレスタイヤ(12R22.5, 16PR)<br>フォグランプ55W化<br>熱線フロントガラス<br>熱線サイドミラー<br>燃料タンク400ℓ |   |

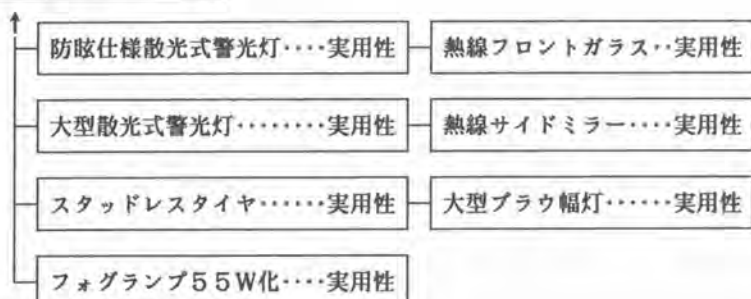
(2) 試験内容

試験内容は、図-2に示すとおりで併せて各種安全対策装置の評価も行った。

図-2 試験内容



## 安全対策評価



### 4.2 試験結果

全体的に装置単体の性能試験と比べオートマチック除雪車（AT除雪車）とマニュアル除雪車（MT除雪車）との差が顕著に現れなかった。これは、試験を行った地区のオペレーターの熟練度が高く、MT除雪車の性能を十分に引き出しているからであると思われるが、各試験ともワンマン化の実現性を確認できる結果であった。

#### (1) 4.2m巾広ワンウェイブラウ装着時のAT車性能試験

表-2 4.2m幅広ワンウェイブラウ装着時のMT除雪車との比較

|           | AT除雪車        | MT除雪車     | AT車評価（対MT車） |                            |
|-----------|--------------|-----------|-------------|----------------------------|
| 仕上がり状況    | 良好           | 良好        | AT、MTとも良好   |                            |
| 発進加速性能    | 50km/h到達時間   | 19.45sec  | 19.45sec    | 到達時間が同等                    |
|           | 50km/h到達距離   | 0.161km   | 0.160km     | 到達距離が同等                    |
| 速度        | シフトチェンジ 操作回数 | 21回       | 72回         | 操作回数が71%減少                 |
| 変速        | 変速操作速度低下     | なし        | なし          | ATは変速なし、MTは予減速が適切なため速度低下なし |
| 装置操作回数    | 50回          | 50回       | 操作回数が全く同じ   |                            |
| 装置操作速度低下率 | 低下箇所なし       | 低下箇所なし    | 走行中の調整操作が不要 |                            |
| 操作性能      | 良好           | 普通        | 変速操作回数の差    |                            |
| 本線実作業速度   | 43.7km/h     | 39.6km/h  | 実作業速度が10%向上 |                            |
| 本線実作業時間   | 55分48秒       | 1時間 1分30秒 | 時間性能が9%向上   |                            |
| 燃料消費量     | 55ℓ          | 40ℓ       | 燃料消費量が38%増加 |                            |
| 走行性       | 良好           | 良好        | AT、MTとも良好   |                            |
| 制動性       | 良好           | 良好        | AT、MTとも良好   |                            |
| 制動性       | 良好           | 良好        | AT、MTとも良好   |                            |

(2) 4. 2m自動制御トラックグレーダー装着時のAT車性能試験

表-3 4. 2m自動制御トラックグレーダー装着時のMT除雪車との比較

|                |              | AT除雪車     | MT除雪車     | AT車評価(対MT車)                                    |
|----------------|--------------|-----------|-----------|--|
| 仕上がり状況         |              | 良好        | 良好        | MTはオペレーターの熟練度でが-                               |
| 車速変速応答時間       |              | 0.58sec   | 2.18sec   | 応答時間が63%短縮                                     |
| 発進<br>加速<br>性能 | 50km/h到達時間   | 11.64sec  | 15.66sec  | 到達時間が26%短縮                                     |
|                | 50km/h到達距離   | 0.050km   | 0.069km   | 到達距離が28%減少                                     |
| 速度             | シフトチェンジ 操作回数 | 22回       | 67回       | 操作回数が67%減少                                     |
| 変速             | 変速操作速度低下     | なし        | 4.0km/h   | 変速速度低下が80%減少                                   |
| 装置操作回数         |              | 84回       | 409回      | 操作回数が80%減少                                     |
| 装置操作速度低下率      |              | 0%        | 8.24%     | 速度低下率が8.24%減少                                  |
| 操作性            |              | 良好        | 普通        | 操作性向上、疲労軽減                                     |
| 本線実作業速度        |              | 33.8km/h  | 33.5km/h  | AT車が上り勾配等で7kg/立方メートルを一杯に踏込傾向にありコンバーター駆動区間が多いため |
| 本線実作業時間        |              | 1時間 3分58秒 | 1時間 4分 2秒 |  |
| 燃料消費量          |              | 81ℓ       | 52ℓ       | 燃料消費量が56%増加                                    |
| 走行性・制動性        |              | 良好        | 良好        | AT、MTとも良好                                      |

(3) オートマチック付除雪車性能試験

表-4 AT除雪車とMT除雪車の車両単体の比較試験結果

|                  |              | AT除雪車     | MT除雪車     | AT車評価(対MT車)  |
|------------------|--------------|-----------|-----------|--------------|
| 車速変速応答時間         |              | 0.58sec   | 2.18sec   | 応答時間が63%短縮   |
| 発進<br>加速<br>性能   | 50km/h到達時間   | 14.90sec  | 19.27sec  | 到達時間が23%短縮   |
|                  | 50km/h到達距離   | 0.102km   | 0.158km   | 到達距離が35%短縮   |
| 燃料消費量(50km/h試験時) |              | 34ℓ       | 22ℓ       | 燃料消費量が55%増加  |
| 後退性能             | 乾燥路面         | 14.72km/h | 14.04km/h | 後退速度同等(余力有り) |
|                  | 積雪路面         | 13.82km/h | 13.57km/h | 後退速度同等(余力有り) |
| 操作<br>性能         | シフトチェンジ 操作回数 | 27回       | 40回       | 操作回数が32%減少   |
|                  | ハンドリング       | 良い        | 普通        | 両手操作割合が多く良好  |
| 制動性              |              | 普通        | 普通        | AT、MTとも問題なし  |

#### (4) 附属機器および運転室内レイアウトの評価

##### ①簡易車載無線機

従来、助手が通話していたのをオペレーターが行えるように改良したもので、ロックスイッチおよびフレキシブルマイクを使用して通話も良好であった。

##### ②車載標識装置LCD（液晶）操作盤

オペレーターが一人で車載標識装置を操作できるようにしたもので、操作性、耐久性等総合的に良好な結果が得られた。特に除雪作業の集中する夜間での視認性は向上した。

##### ③車両後方監視装置

従来、助手が後方の安全確認を行っていたものをオペレーターが車両後部にあるカメラのモニターを見て確認するもので、試験結果では視認の範囲等課題は残ったものの安全対策上の効果は確認できた。

##### ④操作盤レイアウト

オペレーターが一人で各種装置を操作できるようにレイアウトを工夫した。LCD操作盤の小型化が可能となったため、さらに前面に集約するよう検討を進めている。

#### (5) 各種安全対策装置の評価

全ての項目において、実用性に問題はなかった。

#### 5. ワンマン除雪車の実現性への考察

オートマチックの採用でシフトチェンジが省略され、作業速度の維持が容易になった。また、トラックグレーダに自動制御装置を導入したことにより、作業精度がオペレーターの熟練度にあまり左右されなくなり、オペレーターの負担を軽減でき、さらに従来助手が行っていた作業を装置の改良により、オペレーターが一人で出来る除雪車が可能となった。

#### 6. おわりに

雪氷対策においては、今後益々予算執行面のみならず、雪氷対策技術の改良、作業体制の効率化、そしてお客様に対するPRの強化など各分野について真剣に取り組んでいかなければならない。

今回、当局で取り組んでいる除雪車のワンマン化についても現在運用検証を行っている中で、オペレーターからの意見等を集約し改善を図ってより良いものにしていきたい。また、ワンマン化は、機械の改良のみで達成されるのではなく、Uターン路の設置等の道路付帯施設の改良等も含めた除雪作業全体で取り組み、経費節減をめざし、かつ安全で快適な高速道路の交通確保に努めていきたい。

# 76. 都市型ロータリ除雪車の開発

建設省（東北技術）：江本 平・\*澤田 敏樹  
 (株)日本除雪機製作所：吉田 弘明

## 1. はじめに

近年の除雪機械においては、迅速且つきめ細かな除雪や交通流阻害を解消するための高速化、作業員の高齢化、さらに熟練者減少傾向への対応を図った機械が望まれている。

このようなことから、作業・回送速度が遅く、交通流阻害の多いロータリ除雪車について、交通流阻害の緩和と作業の効率化を目指したものとして、都市型ロータリ除雪車の開発を行ったものである。

## 2. 過去の実績

本開発は、平成2年度から平成4年度までにロータリ除雪車の拡幅除雪時に起こる交通流阻害や作業の効率化について、主要幹線道路の堆雪帯等（図-1）から、除雪装置幅の検討（図-2参照）を行った。

その結果、除雪装置の幅が2.2mであれば管内国道の約94%が十分除雪可能であることが求められた。

また、作業を想定した交通容量比較の検討では最大約1.6倍の緩和を図れる事が明らかとなった。

平成5年度には、(株)日本除雪機製作所と共同開発を締結し、下記6項目の開発コンセプトにより基本仕様の決定及び概略設計を行い、平成6年度には、都市型ロータリの詳細設計及び第一号機導入による性能試験と現場への適応性試験を行ったものである。

### ☆ 都市型ロータリ除雪車の開発コンセプト

- ① 作業時の交通渋滞緩和のための車両幅の狭小化
- ② 回送時の交通渋滞緩和のための回送速度の向上
- ③ 環境を考慮した低騒音化
- ④ 居住性、操作性の向上
- ⑤ 拡幅除雪の効率化
- ⑥ 作業時、回送時の安全性の向上

## 3. 開発機の主要諸元

平成6年度に開発導入した都市型ロータリ除雪車と、従来型ロータリ除雪車の主要諸元を表-1に示す。

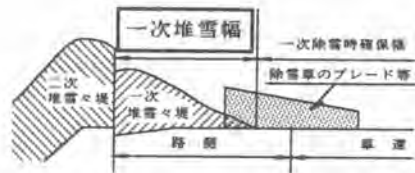


図-1 1次堆雪幅

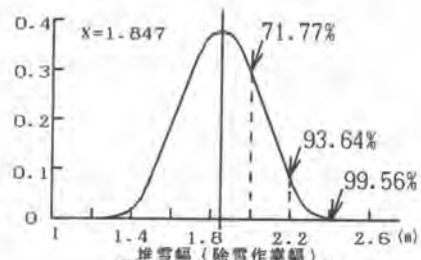


図-2 除雪可能領域

表-1 主要諸元表

|       | 単位       | 都市型    | 従来型    |
|-------|----------|--------|--------|
| 全長    | mm       | 6,950  | 7,090  |
| 全幅    | mm       | 2,200  | 2,600  |
| 全高    | mm       | 3,600  | 3,570  |
| 軸距    | mm       | 2,800  | 2,800  |
| 最大除雪量 | t/h      | 2,004  | 2,540  |
| 拡幅除雪量 | t/h      | 1,990  | 2,295  |
| 除雪幅   | mm       | 2,200  | 2,600  |
| 車両総重量 | kg       | 14,300 | 13,350 |
| 定格出力  | PS/rpm   | 250    | 250    |
| 最大出力  | PS/rpm   | 280    | 280    |
| 最大トルク | kg·m/rpm | 130    | 130    |
| 最高速度  | km/h     | 49     | 40     |

#### 4. 性能試験結果

##### 4.1 基本性能試験

基本性能試験は、走行性能試験と除雪性能試験を行った。

##### (1) 走行性能試験

本試験では、加速性能、最高速度、スラローム、急制動について実施した。

試験の内、加速性能(図-3)では従来型と比較し30~40%向上しており、後続車両の渋滞緩和に多少でも寄与できると思われる。その他各項目は、仕様値を十分満足しており従来型と同程度であった。

なお、スラローム試験についても、輪距(トレッド)を狭めたことにより走行安定性が欠けると予想されたが、オペレータの感覚では従来機と遜色ない評価を得た。

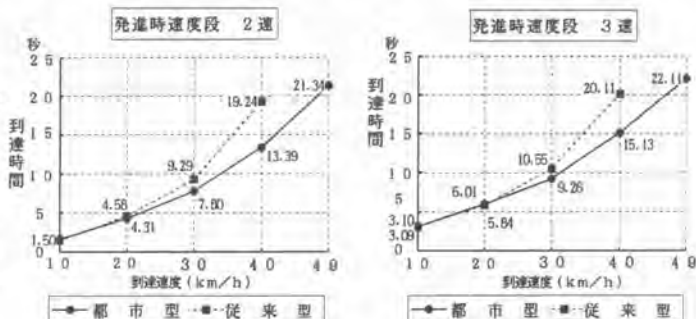


図-3 加速性能

##### (2) 除雪性能試験

本試験では、最大除雪量、拡幅除雪量、最大投雪距離について実施し、仕様値を十分満足していることを確認した。

本開発では、拡幅除雪を主としているため、最大除雪量に対する拡幅除雪量の低下率を比較した結果、従来型の90~95%に対し、都市型は約99%とほぼ低下しないことを確認できた。これは、プロワを中心より225mm左側へオフセットし設置したことにより、プロワへの雪流入効率が向上したためと考える。

#### 4.2 交通渋滞緩和試験

##### (1) 追い抜き車両の通過軌跡

除雪車を追い越す車両軌跡を図-4に示す。この図より、従来機では、後続車の走行軌跡の変化が大きく、センターラインとの間隔が約15cmのため1車線内での追い越しは困難なことがわかる。しかし、都市型ロータリ除雪車は、走行軌跡の変化が小さく、またセンターラインとの間隔も約50cm確保できていることにより、1車線内での追い越しが可能であることから、作業時の後続台数の減少が図れ渋滞緩和に大きく寄与できると考えられる。

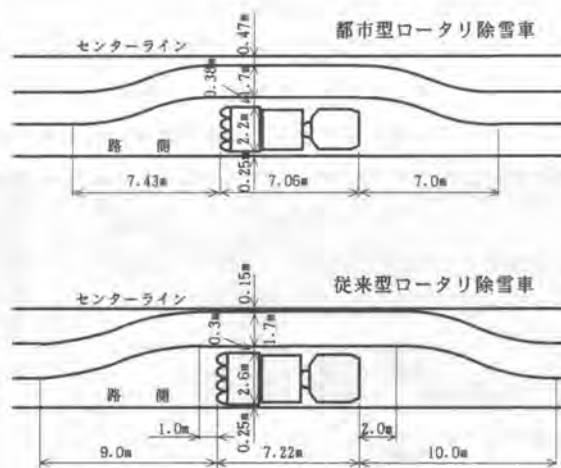


図-4 追い越し車両の通過軌跡

(2) 現道における交通渋滞緩和試験

1) 回送時試験

約5 kmの試験区間において、都市型ロータリ除雪車及び従来機を最高速度で回送し、試験終了地点での後続台数及び試験区間での追い越された台数を図-5に示す。

この図から従来型は、回送速度が遅いために追越し車両が多く、また除雪車の影響を多く受けていることへ反映している。これと比較し、都市型ロータリ除雪車は回送速度を向上させたことにより、追い越された台数が少なく、また後続車両台数は多いものの追越しをしていないことがわかる。加えて、交通量に対しての交通に影響されている台数が少ないことにより交通渋滞緩和に寄与している事がわかる。



図-5 交通渋滞緩和比較 (回送時)

3) 作業時試験

都市型ロータリ除雪車及び従来型ロータリ除雪車が試験区間の現道を除雪速度にて約500m走行した場合の対向車有り時における追い越し可否台数を図-6に示す。

この図から、後続車が作業中の除雪車を対向車があるが故に、追い越しを出来ない割合は、従来型

が80% (5台中4台)、都市型ロータリ除雪車は23.8% (5台中1台)と約1/3となり、大型車両対大型車両がすれ違う以外では、写真-1のとおりほぼ容易に追い越し可能であり、全幅狭小化により交通渋滞緩和に大きく寄与している。

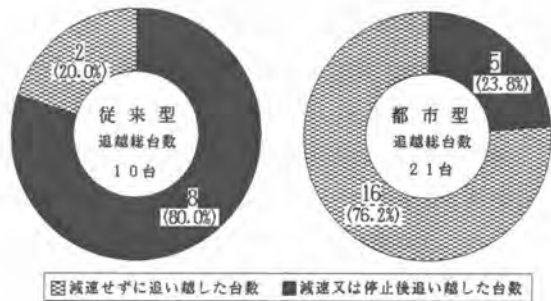


図-6 交通渋滞緩和比較 (作業時)



写真-1 除雪作業状況



写真-2 除雪幅比較

### (3) 振動、騒音測定

振動は、キャビン内の各箇所の振動測定値及び加速度レベルにより比較した結果、図-7では都市型ロータリ除雪車が、振動値及び加速度レベルとも低減されており、座席振動で5dB低できた。

騒音は、室内と車外の測定位置において測定した結果(図-8)、オペレータの耳元で4dB(A)、周囲では2dB(A)低減できた。

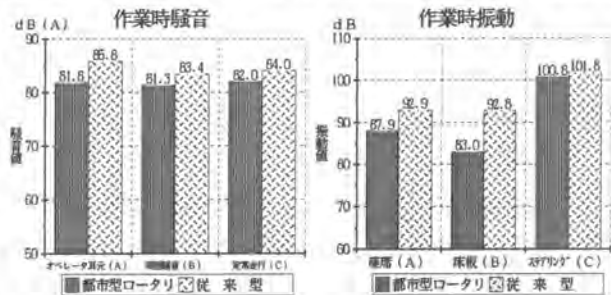


図-7 振動測定

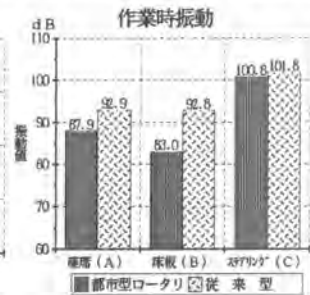


図-8 騒音測定

### (4) 安全性の評価

#### 1) 前方視界測定

安全を確保するために前方視界の測定を実施した。

結果、都市型ロータリ除雪車は右雪切り板の廃止、前面ピラーの狭小化により若干ではあるが視界を向上させることができた。なお、シュート「起」状態では、シュート位置が従来機と比較し近くにあるため死角部分が拡大するが、作業時は、シュートを左に倒すことと、回送時にはシュートは格納し視界の妨げとはならないため問題ないと思われる。

#### 2) 遠隔式緊急停止装置現場試験

運搬排雪時等における誘導員及び作業員の巻き込み事故を未然に防止するため、車外から除雪装置を停止できる、遠隔式緊急停止装置を開発し装備した。

この装置は、実作業時において約20mの離隔距離から除雪装置の回転及び走行を停止できたことにより実用上問題ないと考えた。

### (5) 実用性調査(現地オペレータのヒアリング)

オペレータからのヒアリングでは、除雪装置幅2.2m、最高速度49km/h、油圧オーガ駆動による逆転機構(雪詰まり対策)とも、操作性に優れているとの評価を得ている。

## 5. まとめ

本開発の都市型ロータリ除雪車は、今年度の試験及び調査結果から、開発機としてのコンセプトをほぼ、確立できた試験結果を得られ、実用度の高いものとなっている。また、オペレータからの意見も高い評価が得られ十分満足できるものとなっている。

今後は、オーガ駆動を動力伝達効率の良い機械式にした場合と従来型との除雪量を比較し、評価すると共に、コスト低減及び都市型ロータリとしての最適な配置計画を検討し、さらに実用度の高い除雪機械としたい。

最後に、都市型ロータリ除雪車の開発を共同で実施した㈱日本除雪機製作所、並びに現場調査でご協力して頂いた山形工事事務所をはじめ、ご指導ご協力頂いた関係者の方々へ深く感謝御礼申し上げます。



# 77. 三次元位置自動制御型アスファルトフィニッシャによる舗装施工技術の研究開発

建設省(土研): 桐山 孝晴  
助先端建設技術センター: 福田 実  
住友建機(株): \*進藤 開一郎

## 1. はじめに

アスファルトフィニッシャ本体の自動化はかなり進んでいるが、その施工に関連する自動化(即ち、測量作業、準備作業、施工管理などの自動化)がされず、多くの人手と時間を要し、人為的ミスや誤差を生じやすい。また、施工中の舗装状況を定量的に把握できないため、施工精度等は施工技術者の技量に負うところが多くなってしまおうと共に、施工終了後の検査等に寄与できず多くの労力と時間を使っている。

このような問題を解決するため、準備工程を削減し、高効率、高精度施工を実現するためのシステムとして「三次元位置自動制御型アスファルトフィニッシャによる舗装施工技術」を研究開発した。

ここでは、三次元位置自動制御型アスファルトフィニッシャのシステム、制御特性および試験施工について述べる。

なお、本システムの開発は、建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」の一環として官民共同研究開発を行っているものである。

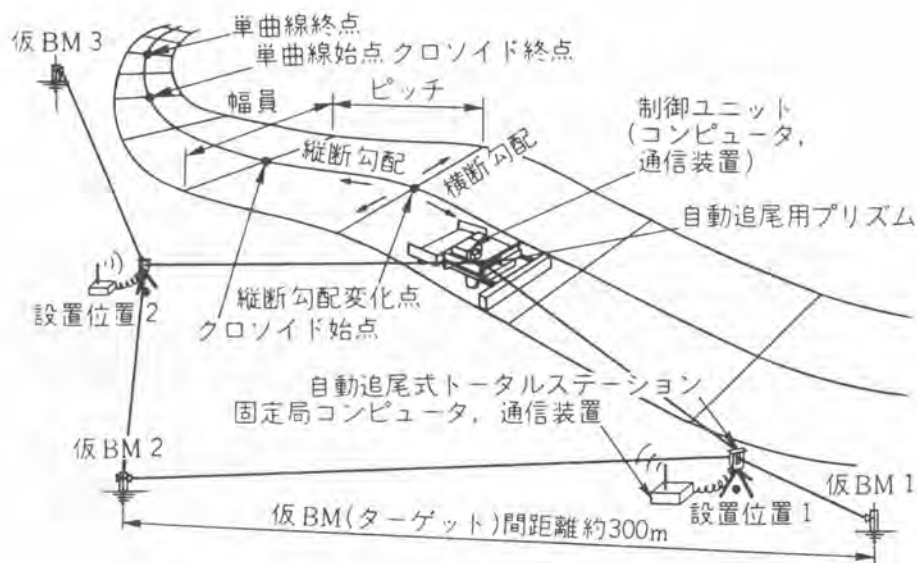


図. 1 三次元位置自動制御型フィニッシャの施工イメージ

## 2. システムの概要

三次元位置自動制御型アスファルトフィニッシャのシステムは、図. 1のイメージの様に設計施工する。

- ①コンピュータに道路の設計データを入力し、フィニッシャの走行する施工計画線および舗装する設計計画面を演算する。
- ②自動追尾式トータルステーションと共に固定局を設置し、仮BM（ベンチマーク）を基準にトータルステーションの位置を測定、算出する。
- ③移動局を装備したアスファルトフィニッシャにターゲット（プリズム）を取付け、出発位置に正確に配置し、トータルステーションにて、その三次元位置を自動測定確認する。
- ④施工スタートすると共にトータルステーションおよび各センサの測定データを演算し、設計計画線および設計計画面との誤差を修正するよう制御すると共に測定演算したデータを施工管理データとして保存する。

## 3. システムの構成

三次元位置自動制御型アスファルトフィニッシャは図. 2に示すとおり、舗装施工するアスファルトフィニッシャ（移動局）と座標計測するトータルステーション（固定局）から構成され、両局間で通信モデムを通じた双方向通信を行っている。

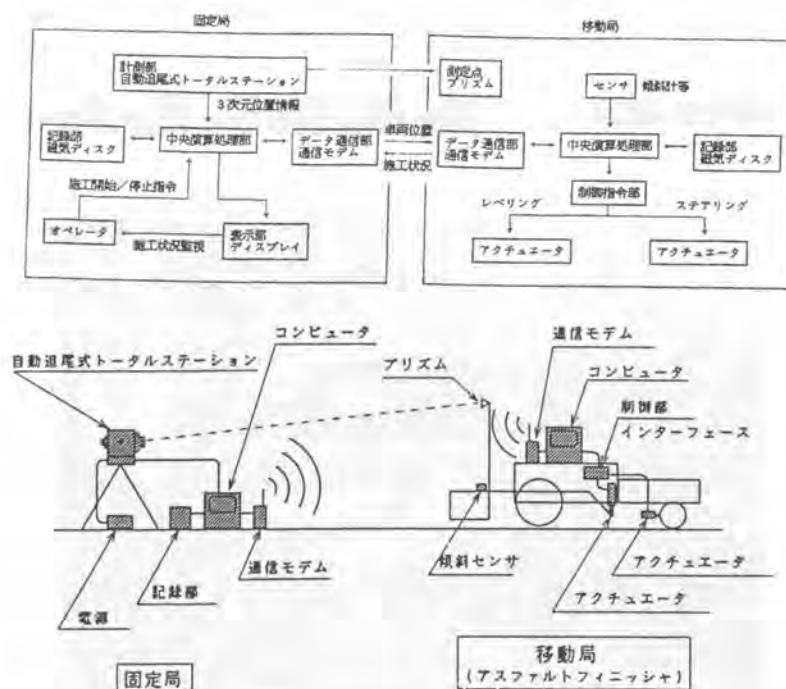


図. 2 三次元位置自動制御型アスファルトフィニッシャのシステム構成

### 3-1 固定局（トータルステーション側）

固定局は、コンピュータを中心に、それと連動した自動追尾式トータルステーション、通信モデム、ディスプレイ、磁気ディスクなどからなる。処理としては、設計計画画面の演算、移動局に設置されたターゲットの三次元位置の測定、演算、管理を行う。

自動追尾式トータルステーションは、レーザースキャンニング装置と駆動用モーターの連動により、ターゲットを自動追尾し、リアルタイムでターゲットの三次元位置計測を行う。

固定局にいるオペレータは図. 3のディスプレイ画面により、フィニッシャ施工状況を監視し、異常時の緊急停止等の操作を行う。



図. 3 表示画面例



写真-1 固定局

### 3-2 移動局（アスファルトフィニッシャ側）

移動局は図. 4 の様にアスファルトフィニッシャにコンピュータ（制御インターフェース付）通信モデム、ターゲット（プリズム）および各部センサよりなっている。

固定局から送られてきた三次元位置情報をモデムから受け取り、各部センサのデータからアスファルトフィニッシャの作業装置（スクリード）の三次元位置および動きを算出し、誤差およびその動きを算定し、制御する。

移動局は一度セットアップすれば、操作の必要なく無人操作となる。

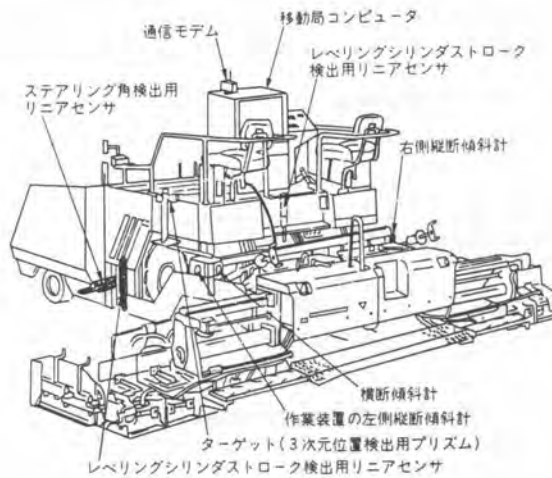


図. 4 移動局および補助センサの取付け位置



写真-2 移動局

#### 4. アスファルトフィニッシャの制御特性

##### 4-1 数均し高さ制御

アスファルトフィニッシャの作業装置であるフローティングスクリードの高さ制御は、機械的に計測し設定した水糸等を基準に、高さ制御センサ（AGC）をレベリングアームに取付け行っているのが現状である。

本制御システムは、トータルステーションからのターゲット高さデータおよびアスファルトフィニッシャに付いている傾斜センサより数均し高さを算出し、フィードバック制御を行うという新しい方式をとっている。

ブロック図で書くと次の様になる。

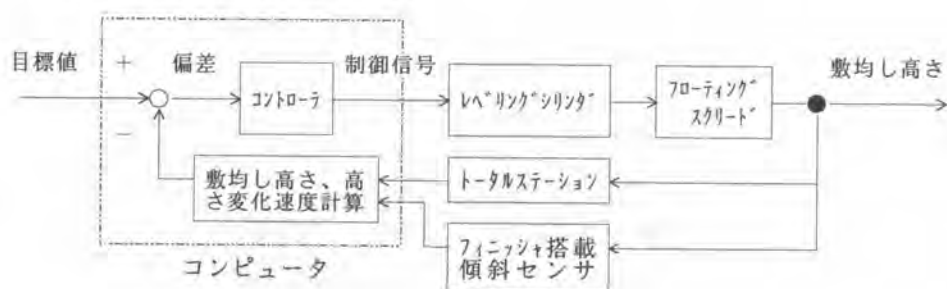


図. 5 数均し高さ制御ブロック図

このブロック図の様に、数均し高さの他に高さ変化速度要素を入れることにより、フローティングスクリードの遅れ要素を補償し、安定した数均し高さを維持する制御システムになる。

##### 4-2 ステアリング制御

アスファルトフィニッシャの操向は（数均し高さ制御と異なり）ステアリングの変動に追従して瞬時に変化し始める。しかし、アスファルトフィニッシャは、数均すアスファルト合材の摩擦抵抗や、スクリード左右のアスファルト合材抱え量差の抵抗差により直進ステアリング状態でも蛇行するため、ステアリング角と走行経路との変位置の関係は常に一定ではない。

このため、ステアリング角が目標の安定ステアリング角に制御されているにもかかわらず、誤差が解消されない場合、ステアリング角を自動的に補正するという学習機能を有している。この補正制御のため、ファジーによる位相面制御を行っている。本ファジー制御によりかなり精度の良い経路制御が可能となる。

## 5. 試験施工

本三次元位置自動制御アスファルトフィニッシャのプロトタイプ機を使用した試験施工は、構内試験施工を経て次の『試験フィールド』において行った。

- 1) '94年11月 国道51号線東バイパス（茨城県稲敷郡東村）
- 2) '95年6月 国道新4号線砂田工区（栃木県宇都宮市）

図. 6は東バイパスの管理データ値と実水準測量値を示している。このデータから数均し高さの誤差は数mm以内に入っていることがよく解る。

この結果から、このプロトタイプ機はその施工精度の高さからほぼ実用レベルにあるといえる。今後も『試験フィールド』を重ね、より一層の精度アップと実用化を目指していきたい。

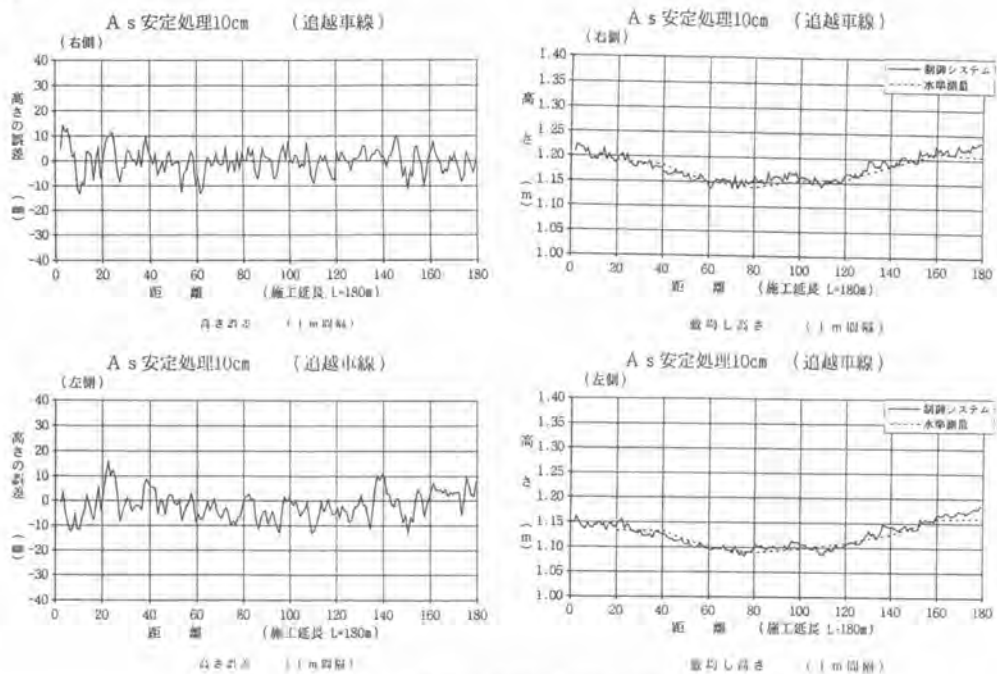


図. 6 数均し高さおよび高さ誤差

## 6. あとがき

試験施工の結果から、本システム実用化の見通しをつけることができた。また、本システムは設計および施工データが記録されていることから、施工管理システムとしても活用できる。

今後共実験および現場での試験施工を行って、一層の改善を図り実用化を進めていきたい。

なお、本開発は建設省土木研究所、(財)先端建設技術センターの下に大林道路(株)、鹿島道路(株)、住友建機(株)、大成ロテック(株)、日本道路(株)、前田道路(株)が一体となって共同研究開発を行っている。共同開発メンバーに謝意を表し発表を終わります。

# 78. 大口径シールドトンネルの発生土改質方法

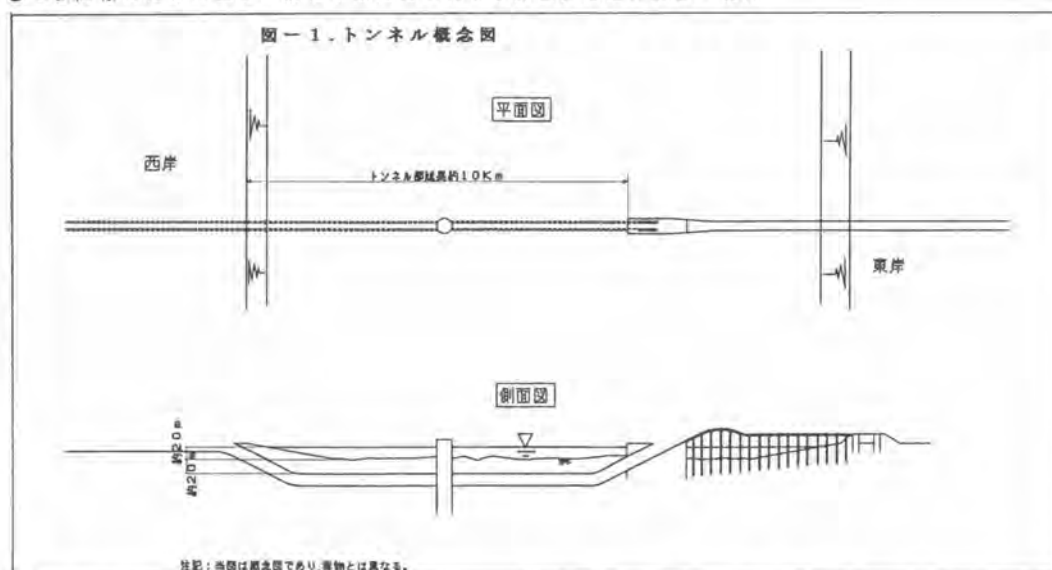
前田建設工業(株)： 山下純一郎  
                  (株)大林組： 徳留 正男  
秩父小野田(株)： \*越智 恭二

## 1. はじめに

最先端技術により行われている巨大トンネル建設工事において、発生土の処理・処理土の活用は重要な要素の一つであり、ここにも最新技術が活かされている。

本文で紹介するトンネルは海底下軟弱地盤内の大口径（掘削外径約14m）・高水深条件下での並列トンネルであるため、以下の特徴点があり、最先端技術でこれに対応している。

- ① 高剛性と高耐力を有し、止水性・耐久性の高い継手構造と覆工構造
- ② 地盤沈下と地震による縦断方向の変形を吸収できる覆工構造
- ③ 立坑とトンネル接合部や地中接合部における接合覆工構造
- ④ 高水圧・小土被り条件下での並列シールドの大断面切羽安定推進維持システム
- ⑤ 大口径シールドの製作・組立と、高水圧・長距離推進に対する耐久性・止水性・耐摩耗性
- ⑥ 工程短縮のための工事自動化や急速施工および大量発生土の処理・使用



上記⑥項の発生土の処理・使用について、これに対応した新技術の一例を紹介する。

## 2. 工事概要

・ 工事内容：泥水シールド（掘削外径約14m）2式 掘進により発生する土砂処理および改質

・ 処理土量：1次処理土（砂）：約60万 $\text{m}^3$     2次処理土（粘性土）：約20万 $\text{m}^3$

1次処理土：泥水加圧シールドの排泥水を振動篩で分級した土砂

2次処理土：余剰泥水をフィルタープレスによって脱水したケーキ状土砂

この工事では以下の特殊条件が付け加えられた。

- ① 再利用場所では2種の埋め立て土（1次処理土（非化学処理砂分）・2次処理土（化学的改質処理済み粘性土））を混合使用しない。
- ② 1次処理土・改質済み2次処理土共、海上作業基地内に2～3日分のストックが可能である。これをパワーショベルでダンプトラックに積み込み陸送する。再利用地区での化学的改質処理工は行わない。

### 3. 処理および改質計画

#### (1) 処理能力

・月当り処理土量

1次処理：約3万㎡

2次処理：約1万㎡

・月当り稼働日：23日

・日当りの処理土量

1次処理：1,500㎡

(最大時2,500㎡)

2次処理：400㎡

(最大時1,200㎡)

・日当り稼働時間：20時間

・処理能力：1次処理：350㎡/h 2式

2次処理：50㎡×(2運)/h 1式

#### (2) 装置の決定

処理土量計画については前項のとおりであるが、装置等の当初設計は、①1次土の作業基地内での含水比低下方法・単粒土材料による高盛り土技術 ②2次土（脱水ケーキ）の粘土分が付着して閉塞故障しない全体装置・（基本設計による混合方法）ベルト乗り離ぎ混合のための（狭い）海上基地内ベルコン配置・乗り離ぎ時の石灰発塵対策等について未解決な問題点があることが判明した。

<実施設計提案>これに基づいて①1次土については土木的透水性シート使用・仮置き場使用。

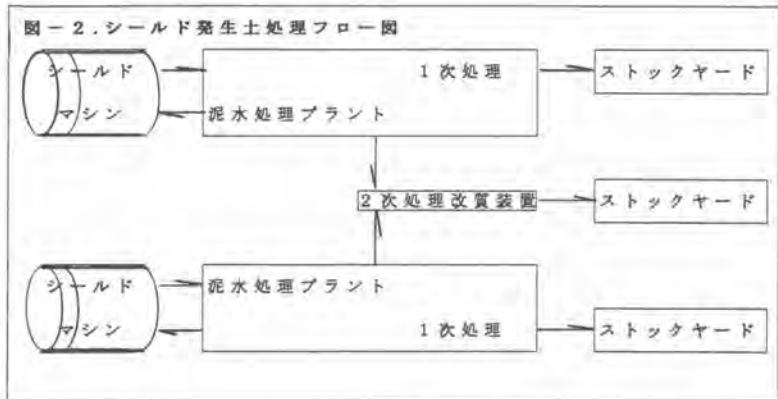
②2次土については混合前に脱水ケーキ塊砕フィーダーにより前処理（細粒化と定流量化）を行い、2軸パドルミキサーを乗り離ぎ混合用ベルトコンベアの前工程に設置する計画を提案したが、パドルミキサーを使わない方法を求められた。<設備軽減化指示>

<耐候条件>海上での施工のため、装置の設計は次の条件を解決する必要があった。①塩害等に強い設備。②少ない要員で安定運転できる。③改質材料が海上搬入時・陸送時とも安定供給できる。④添加率の増減制御が確実に行える。⑤粉塵発生が少ない。

#### (3) 装置の概要

##### (a) 2次処理土改質システム

2次処理土改質装置のフロー図を図-3に示す。

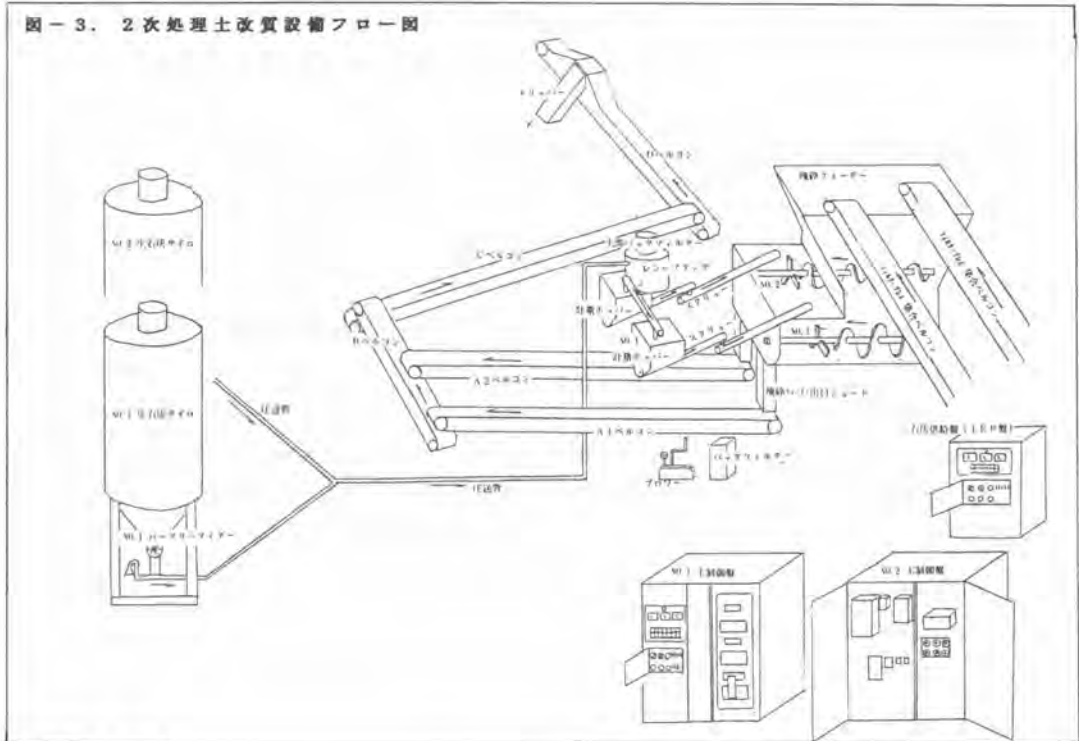




各フィルタープレスで開砕された脱水ケーキは集合ベルコン2台に集められ、塊砕フィーダーに落とされる。塊砕フィーダーで前処理（塊砕・定流量化）されたケーキは、生石灰を定量散布後、粗混合され、ベルコンに落ちる。ベルコンを（3回）乗り継いでストックヤードに落とされる。

（乗り継ぎ時等の衝撃により二次混合される。）

図-3. 2次処理土改質設備フロー図



(c) 設備仕様

・塊砕フィーダー

連続処理方式（フィルタープレス開砕前の脱水ケーキ容積で）50 m<sup>3</sup>/H、2式の能力とする。機械構成はフィルタープレス集合ベルコン（2台）から受け取る上部ホッパー（容量25m<sup>3</sup>）・脱水ケーキを細粒化定流量化するためホッパー下部にある2軸式不等ピッチスクリーコンベア2式・生石灰散布口2式・前記スクリーコンベアと同一軸の粗混合用2軸攪拌羽根2式である。未改質土付着防止対策として、上部ホッパー内壁は高分子系付着防止板を貼り、側面2面は鉛直にした。

所要動力・トルクの理論値計算式を次に示す。

$$M = (F \cdot \alpha \cdot K \cdot Q (L + \beta \cdot L_0) + M_0) \times 2 \text{ 軸} \quad : \text{「粉体の貯層と供給」より}$$

$$= (1.5 \times (2.74 \times 10^{-6}) \times 4 \times 37,500 \times (4 + 1.5 \times 1) + 8.5) \times 2 = 30.9 \text{ (KW)}$$

$$T = 17.6 \cdot C \cdot D^{2.7} \cdot I^{2.4} \cdot (V + 2.4) \cdot (1 + \delta (n - 1)) \times 2 \text{ 軸} \quad : \text{D J M工法式}$$

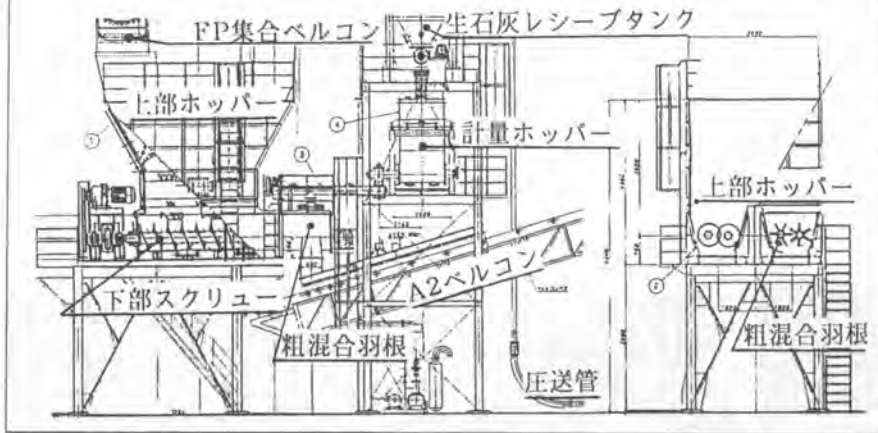
$$= 17.6 \times 7.5 \times 0.64^{2.7} \times 11.2^{2.4} \times (2.3 + 2.4) \times (1 + 0.64(4.44 - 1)) \times 2$$

$$= 3,126 \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

$$\leq (\text{モーター能力, 60sec短時間運転}) 3,200 \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

F :  $\alpha \cdot K \cdot Q (L + \beta \cdot L_0)$  によりきまる係数

図-4. 塊砕フィーダー側断面図



$\alpha$ : 定数

K: 従土質係数

Q: ケーキ流量

L: フィーダ'有効長

$\beta$ : 従土質係数

$L_0$ : フィーダ'送り長

$M_s$ : 固有分動力

C: 泥の粘性値

D: 羽根径

f: 回転数 rpm

V: 送り速度

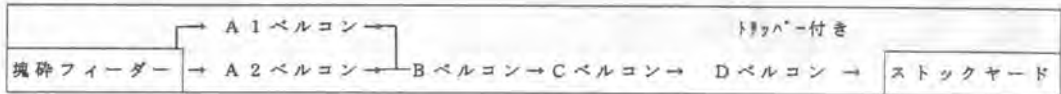
$\delta$ : 粘性低減率

・ 生石灰定量供給装置

全自動制御装置・生石灰サイロ（容量60ton縦型）2基・空気圧送装置（能力4t/h、圧送管・レシーブタンク・ブロー）1式・正回転スクリーコンベア・可変速抽出しスクリーコンベア（2t/h）付き計量ホッパー2式・（散布用）最終スクリーコンベア2式。

塊砕フィーダー出口部での生石灰散布の制御方法は、泥流センサーを配し制御機器を介してON-OFF式にした。

・ ベルトコンベア



落差衝撃混合と（塊砕フィーダー～ストックヤード間）搬送のため平型ベルコン5台設置。

(d) 生石灰供給

|      |                   |  |
|------|-------------------|--|
| 設備仕様 | 使用材料：生石灰（5mmアンダー） | 添加能力：2~0t/h × 2式（添加率：40~0kg/m <sup>3</sup> ） |
|------|-------------------|--|

以下の通りに実施した。

・（初期掘進時：海上より搬入）台船に専用コンテナ袋（容量2t、PVCカーボン#100製完全防水）を搭載して廻航し、海上作業基地の揚陸用クローラクレーンにより吊り上げて搬入した。基地で仮貯蔵した生石灰は、油圧トラッククレーンで吊り、サイロ天端に設けた投入口より、サイロ内に補給した。バラ搬入に比べて生石灰の単価が高く、投入作業・使用済みコンテナ袋の整理等に人力を必要とする方法であるが、最小限の設備投資（サイロ天端用2t袋受け台2式のみ）で確実に補給可能な方法とした。実施期間中は全体工程への悪影響は無かった。

・（本掘進時：橋使用陸送）生石灰専用バラローリー車を使用して搬入。問題なし。1台当たり約10tの圧送納入時間は平均20分。配管仕様：管径100(A)、水平距離6m、揚呈12m、濾布面積合計6m<sup>2</sup>、粒度分布（フルイ残分：5mm0%、3mm9%、1mm38%、0.5mm53%）

(e) 粗混合原理

2次土の脱水ケーキ表面はポリ塩化アルミニウム（PAC）等によって造成されたブロックの薄い表面層

があるので、装置に付着し難い。しかし、一旦加工（切る・割る・こねる）すると、新しく現れた面は大変付着しやすい性質になる。

例えるならば、臼と杵でついた餅の大塊を小丸餅にするような物である。餅を切る手（羽根）に粉（石灰）をまぶして小丸状に切った後、再度粉をまぶすのが作業内容である。使用する粉を少なくして、一定時間内に多くの小丸餅を作る作業が要求される。（実際の餅の場合は製品の形状と大きさの誤差範囲を守る・餡の多少・隣との相棒と仲良くする等々で、本件と多少異なるのは云うまでもない。）

前処理兼粗混合装置（塊砕フィーダー）は、まさに上記作業を行う装置である。



#### 4. 施工管理について

（1）公害対策等：粉塵対策：風向きによりケーキ泥土と共に石灰も飛散して来る。防塵眼鏡が必要。ベルコンの点検・整備のため覆いができないので完全集塵は困難だが、要所所で改善して行きたい。橋のダンプトラック通行：通行量が多い（最大時100台/時）ので、ロードスクレーパー使用。

（2）品質管理：石灰添加率管理：1日単位でフィルタープレス開枠日報を見て改質土量を集計。石灰使用量記録表示値より添加率実績を計算し、石灰流量を設定している。

<未使用機能>制御盤内には泥流重量センサー対応の演算器を設置して石灰添加流量の自動制御を可能にした。しかし、スペースと予算の関係でこの工事ではセンサー部分の設置をしなかった。しかし将来的には、これを作動させ、他の諸問題を解決して、無人化を目指したい。

処理後の品質管理方法：管理基準  $q_c \geq 4 \text{Kgf/cm}^2$ 。最終盛土地での巻きだし、ブル・ローラ転圧可能なこと。（実績値は上記基準をクリアしている。）

## 5. まとめ

産業廃棄物を本格的に有用土にする技術は、コスト・能力・品質を満足しなければならない。  
軟弱地盤を掘進する大口径泥水シールドでは塊砕フィーダーを使って2次処理土改質を行う方が、上記三者に加えて、（閉塞故障等の低減により）工程安定面でも優れている。



# 79. 新運土機構採用の超大型ブルドーザの開発

コマツ：\*永瀬 秀一・伊戸川 博  
神川 信久

## 1. はじめに

大型ブルドーザ、特にUSA・オーストラリアの石炭露天掘りのような、大規模鉱山で使用される大型ブルドーザは、生産機として使用され、その主な作業は大量土工作业である。加えて、近年各鉱山とも商品の競争力向上をねらいとして、単位出来高あたりの必要コスト低減に力を入れている。このような背景より、生産機としての大型ブルドーザに対しては、大型



写真1 D575Aスーパードーザ

化による省人化のみでなく作業そのものの効率向上への要求も著しくなっている。

これに対し、ここに紹介するD575Aスーパードーザは、世界最大のブルドーザという大型化のみでなく、新運土機構を採用した。この新運土機構により、運土時のブレード前面での土の動きが変化させ、車体の力学的な釣り合いを改良して、作業量を大幅に増加させることを可能とした。

## 2. 開発のねらい

ブルドーザは、原則的に車格（車両のサイズ）により車両性能が決まる。つまり、車体重量により牽引力が決まり、エンジン出力により車速が決まる。そして、この車両性能にマッチングしたブレード容量が与えられ、作業量が決定されている。言い換えれば、従来の運土方式では作業量増加には、車格アップが不可欠であり、車格と作業量は比例するものとされてきた。

この問題を解決するために、本開発機では、図1に示すように車格アップだけでなく、新機構ブレード（スーパーブレード）を採用した。これにより、運土中の土の抵抗を低減させ、単位牽引力あたりの

表1 D575Aスーパードーザ主要諸元

|            |                   |
|------------|-------------------|
| 運転整備重量     | 147.9 t o n       |
| 定格出力       | 1166 P S          |
| ブレード容量     | 69 m <sup>3</sup> |
| 最大牽引力 (F2) | 120 t o n         |

運土量を増加させ、車格以上の作業量増加を図るものである。

### 3. 開発技術の概要

#### 3-1. 運土抵抗の改善

図2では、掘削始めから運土へと移る作業過程での、ブレード前面での土の動きを表している。この内、本開発機では、定常状態となった運土中の抵抗低減を試みた。

従来機構ブレードでの運土中の力学的な釣り合いを図3に示す。図中“w1”は、地上を水平に運搬される土量を示し、“w2”は、運土中にこぼれた量を補充するための掘削により、ブレード前方の下方から上方へと移動する土量を示している。

また、ブレード本体は、ブレードを牽引力“F”にて押し出し、これが①～④式のように土の抵抗と釣り合っている。

$$F1 = w1 \cdot \tan \phi \quad \dots\dots ①$$

$$F2 = w2 + F1 \cdot 2 \cdot \tan \phi \quad \dots\dots ②$$

$$F3 = L \cdot \tau \cdot B \quad \dots\dots ③$$

$$F = F1 + F2 \cdot \cos \alpha - F3 \cdot \cos (\alpha + \theta) \quad \dots\dots ④$$

- F1 ; 運土抵抗
- F2 ; 載荷重 (w2) による抵抗
- F3 ; 土のせん断抵抗
- F ; 牽引力 (ブレードを押し出す力)
- $\phi$  ; 土の内部摩擦角
- $\tau$  ; 土のせん断強度
- L ; 土のせん断長さ
- B ; ブレード幅

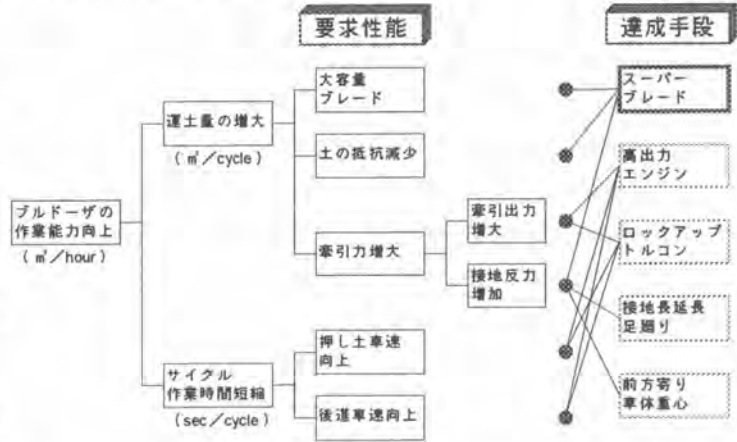


図1 作業能力向上の要求性能と達成手段

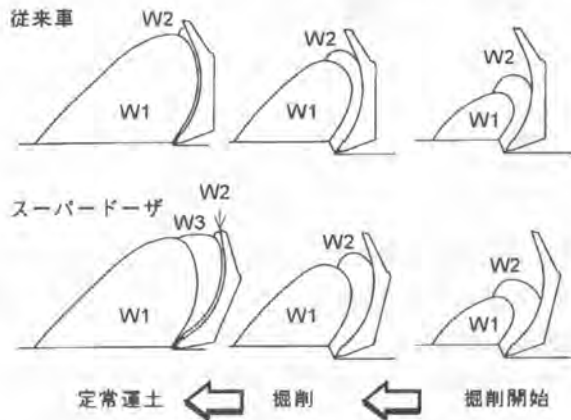


図2 掘削→運土の土の動き

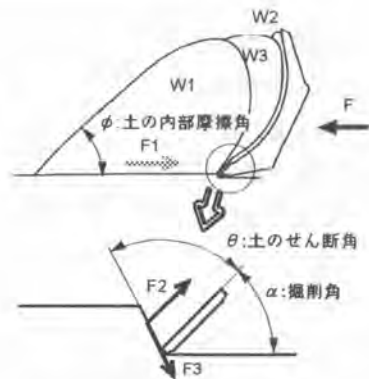


図3 ブレードでの力の釣り合い

一方、図2のスーパードーザでの運土中の土の状態からわかるように、本ブレードには、土を抱え込んで運搬（w3が抱え込み土量）するという機能が付加されている。この土を抱え込んだことによる効果を以下に示すが、ブレードに加わる力F1・F2・F3の力学的釣り合いを改良した。（図4）

①土を抱え込むことにより、動いている土量（w1+w2）を減らすことが出来る。

その結果、運土抵抗（F1）を減らすことが出来る。

②土を抱え込むことにより、動いている土量（w1+w2）を減らすことが出来る。

その結果、補充掘削量を減らし土のせん断抵抗（F3）を減らすことが出来る。

このように、ブレード上での力学的な釣り合いを改良することにより、単位牽引力あたりの運土量を15%増加させることが出来る。（図5）

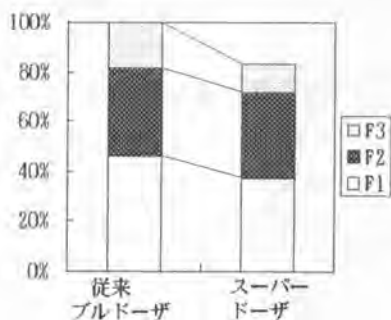


図4 同じ土量を運土するために必要な牽引力比較

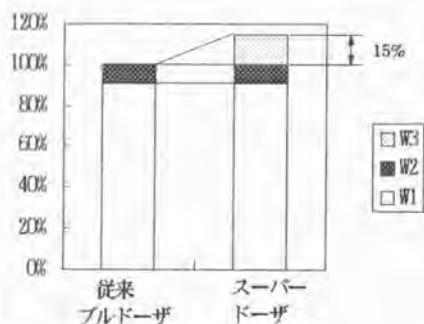


図5 同じ牽引力で運土した時の運土量比較

### 3-2. 実牽引力の増加

ブルドーザでは、地面とクローラとの摩擦力で牽引力が発生する。（⑤式）

$$F = \mu \cdot W \quad \text{⑤}$$

$F$  ; 牽引力  
 $\mu$  ; 地面とクローラの摩擦係数  
 $W$  ; 車体重量

⑤式での牽引力は、一般的にクローラ全体に、均一に車体重量が負荷されている状態（接地圧バランスが、均一な状態。）が最大となる。つまり、ここで、従来ブレードでの運土中の接地圧バラン

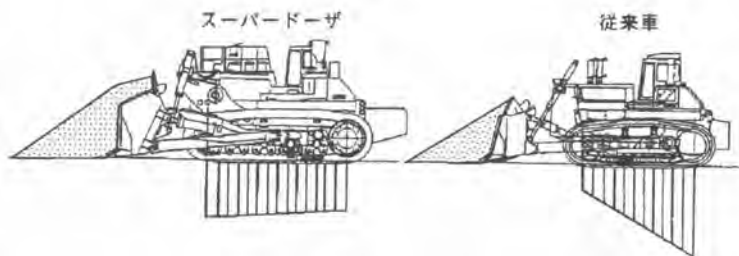


図6 接地圧バランス比較

スを図6に示すが、運土中でも補充掘削があるため、ブレードを地面に押しつける必要がある。その結果、クローラの前方が浮き上がり接地圧バランスが悪くなる。ところが、本開発機のスーパーブレード

では3-1で述べたように、運土中に土を抱え込むため、車体前方にあたかもカウンタウエイトを装着したような効果が得られ、接地圧バランスが改善される。

また同時に、抱え込んだ土の重量が、本来の車体重量に加算されることによる牽引力の増加も見込めるのである。

以上の結果、スーパーブレードでは、⑤式は⑥式となり従来のブレードに比べ、約10%（シェーアスリップ一定とした時）の牽引力増加が得られる。

$$F = \mu' \cdot (W + \Delta W) \quad \dots\dots \textcircled{6} \quad \mu' ; \text{ 接地圧バランス改良後の摩擦係数}$$

$\Delta W$  ; 抱え込んだ土の重量

(図3のw3に相当)

### 3-3. 排土性と掘削性

スーパーブレードでは、土を抱え込むという特長を持たせた為、運土状態ではブレードがかなり後傾となる。従って、その排土性が懸念されるわけだが、本開発機ではブレードリンク機構のストロークを大幅に増加させた。同時に、掘削時においては、土質に応じ掘削角度を最適に選択できるようにした。(図7)

その結果、掘削時にはブレードの貫入性が向上し、また排土時には、 $20^\circ$ という急勾配の押し上げ作業でも、ブレード前面の角度がほとんどの土質の安息角をカバーし得るものとし、従来のブルドーザより優れた排土性を実現させた。

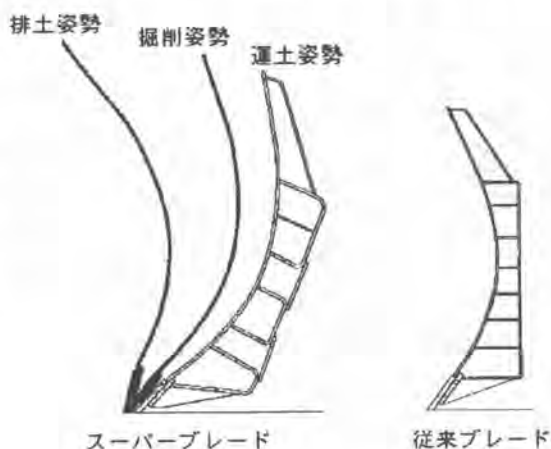


図7 スーパーブレードの動き

### 4. 開発の効果

表2に、石炭の露天掘鉱山(USA、ウエストヴァージニア州)で作業量比較テストを実施したD475A-2の主要諸元とテスト結果を示す。スーパーブレードを採用することにより、ブレード上の力学的釣り合いが改良されたため、単位車体重量当たりのサイクル

表2 作業量テスト結果

|              | 単位             | D575Aスーパーブレード* | D475A-2 |
|--------------|----------------|----------------|---------|
| 車体重量         | ton            | 147.9          | 97.5    |
| 定格出力         | PS             | 1166           | 780     |
| ブレード容量       | m <sup>3</sup> | 69             | 34.4    |
| 時間当たり作業量比    | -              | 1.8            | 1       |
| 運土時シェーアスリップ率 | %              | 2              | 9       |
| 作業量/定格出力比    | -              | 1.20           | 1       |
| サイクル当たり土量比   | -              | 1.75           | 1       |
| 土量/車体重量比     | -              | 1.15           | 1       |

土量が1.15倍となった。また、運土時の接地圧バランスが改善されたことにより、シェーアスリップ



率が大幅に低減した。このため、単位定格出力当たりの作業量は、1.20倍となった。本結果より、当初のねらいどおり大型化による省人化のみでなく（図8）、省エネをねらいとした作業効率向上による車格比以上の作業量が達成されたと言える。

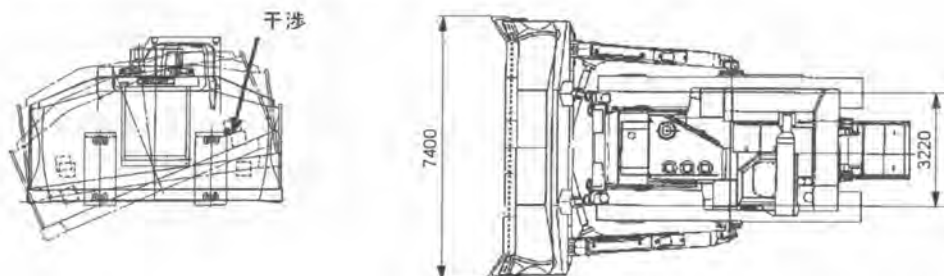


図9 チルト量制限の必要性

#### 5. スーパーブレード達成のための問題点と解決策

本開発機にて採用した、大ストロークのブレードリンク構造を成立させるためには、従来のブレード設計概念を延長させただけでは、作動速度・リンク干渉等いろいろな問題発生が予想された。本開発機では、表3に示すように各問題点にたいし、おのおの解決策を講じることによりスーパーブレードを成立可能とした。

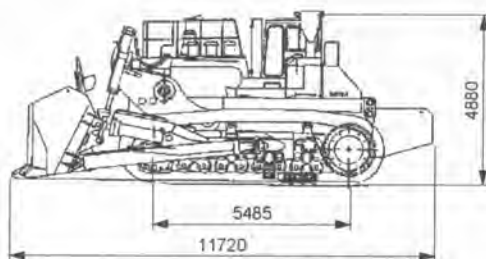


図8 D575Aスーパードーザ主要寸法

表3 スーパーブレード成立のための問題点と解決策

|   | 問題点                       | 解決策                             |
|---|---------------------------|---------------------------------|
| 1 | フルストローク操作に時間かかる（作動速度が遅い）  | 補助ポンプを設置し、作動速が必要とき応援するシステムを採用した |
| 2 | フルストロークチルト操作時図9のように干渉する。  | チルト量をセンシングし、自動的に作動を止める制御を追加した   |
| 3 | 土工板の動きが大きいため従来と同じ設計では干渉する | 従来リンクでのジョイント位置を工夫し干渉を防止した       |

#### 6. 今後の課題

本開発機では、掘削時・運土時・排土時と各々の作業での最適なブレード前面角度を選択し、操作する必要がある。これは、従来のブルドーザには無く、追加となる操作である。特に、掘削から運土に移行するタイミングにはある程度の熟練が必要とされることが分かった。

従って、次のステップとしては、各作業での最適なブレード前面角度を自動化することが考えられる。

この自動化システムを開発し、既に開発済みのブレードリフトの自動化システムと組み合わせる事により、操作頻度の低減のみでなく、更なる作業量の増加が期待できる。

(図10)

### スーパードーザの作業工程

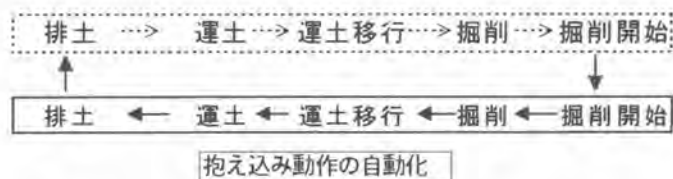


図10 スーパードーザでの自動化構想

### 7. おわりに

ここに紹介したD575A スーパードーザは、昨年開発し本年当初よりU

SAの石炭露天掘鉱山に導入したものである。導入後ユーザ地にて作業量テストを実施した後、現在メイン生産機として稼働中である。ユーザからはその抜群の作業量にかんして、高い評価を受け開発のねらい通りの性能を発揮している。本開発機の今後の活躍を期待している。

最後になりましたが、今回の開発にあたり、ご指導、ご協力いただいた関係各位の皆様に深く感謝いたします。

建設機械と施工法シンポジウム論文集 (平成7年度版)

---

平成7年9月13日 印刷

平成7年9月20日 発行

不許

複製

編集  
発行所

社団法人 日本建設機械化協会

東京都港区芝公園3-5-8  
(機械振興会館内)

TEL (03) 3433-1501

FAX (03) 3432-0289

振替口座 00170-5-71122

---

印刷所 ㈱昭和工業写真印刷所

東京都港区三田5-14-3

平成7年度  
建設機械と施工法シンポジウム  
プログラム

会 期：平成7年10月11日（水）～12日（木）

会 場：機 械 振 興 会 館

研修一号室（第一会場）

研修二号室（第二会場）

（社）日本建設機械化協会

10月11日(水) 第一会場(研修一号室)

1. 【コンクリートとその機械】 9:20 ~ 13:45 座長: (建設省)

- 1 「鉄筋コンクリート構造物の制御爆破解体工法」----- 鹿島: ※原田 実、中村 健次郎、石田 雅利
- 2 「形状が複雑で、高精度を要求されたコンクリート構造物の施工法〜リニアガイドウェイ直付側壁〜」----- 日本鉄道建設公団: 栗田 治己、早瀬 邦仁、鹿島: ※重藤 正治
- 3 「スリップフォーム工法用コンクリートディストリビュータの開発」----- 飛鳥建設: 名倉 政雄、※笠井 和弘、佐藤 晴生
- 4 「日吉ダムの骨材製造設備」----- 水資源開発公団: 清永 勇治、※中村 淳一
- 5 「型枠材自動搬送装置の開発」----- 鶴岡組: 井上 光治、※吉岡 由郎、西村 敦
- 6 「スリップフォーム工法における最新の装置と計測制御管理システム」----- 鶴岡組: ※伊藤 正己、原田 恒則
- 7 「ダム建設への自走式破砕設備の導入と実績」----- 水資源開発公団: 木下 健三、※三雲 孝二、岩井 毅治
- 8 「逆打ちコンクリート自動打設システム」----- 清水建設: 阿曾田 栄、※堀岡 保夫、許斐 慎一
- 9 「ダムコンクリートにおける砕砂の表面水率安定処理」----- 大成・佐藤・ハザマ共同企業体: 小林 昭、大成建設: 市原 正一  
鶴岡組: ※永久 利夫
- 10 「CRS工法(炭素繊維を用いた既存RC構造物の耐震補強工法)」----- 鶴岡組: 小島 信男
- 11 「富郷ダムコンクリート打設設備の自動化」----- 水資源開発公団: 大塚 明克、※京井 幸彦

2. 【トンネルとその機械/No.1】 13:50 ~ 16:50 座長: (建設省)

- 12 「シールド自動測量ロボットの開発」----- 自動測量研究会: ※島崎 恵早、横崎 照村、伊東 泰三
- 13 「ガントリー台車を利用した掘削ワークステーション(北陸新幹線小田井トンネル西工事)」----- 日本鉄道建設公団: 山岸 明  
鶴岡組: ※五十嵐 勉、萩原 靖俊
- 14 「シールド総合管理システムの開発と適用」----- 清水建設: 菊池 雄一、後藤 徹、※藤井 攻
- 15 「複合円シールド工法用掘進管理システムの開発」----- 鹿島: 玉井 達郎、樋口 安夫、※柴田 学
- 16 「シールド機の圧力制御推進方式による大断面、大深度工事の施工」----- 飛鳥建設: 西 明良
- 17 「レーザ換気システム」----- 東亜建設工業: 平島 信幸、福井 若二、峯吉 武志
- 18 「シールド自動化統合システムの開発」----- 鶴岡組: 井上 光治、※日置 昌治、吉川 和義
- 19 「地中レーダによるシールド掘進機の前探査」----- 大阪市役所: 高崎 肇、熊谷・鉄建・不動共同企業体: 富永 克己  
コマツ: ※榮原 壽朗、新保 哲也
- 20 「矩形断面泥土圧シールドによる下水道トンネルの計画と施工」----- 日本下水道事業団: 成田 愛世  
大豊・銭高・安藤建設共同企業体: 赤地 秀実

10月12日(木) 第一会場(研修一号室)

2. 【トンネルとその機械/No.2】 9:20 ~ 13:25 座長: (建設省)

- 21 「New PLS工法の大断面トンネルへの適用」----- 日本道路公団: 木村 均、ハザマ: 渡崎 秀敏、※芳賀 佳之
- 22 「NTL工法〜トンネル一次覆工の機械化施工〜」----- 日本道路公団: 東 保彦、大嶋 健二  
鶴岡組・一宮建設共同企業体: ※酒向 龍實
- 23 「J-PLAD工法の開発」----- 新日本製鐵: 長谷川 久、野崎 啓太、※作田 憲一
- 24 「シールド掘削鉛直精度管理システム」----- 大成建設: ※三神 克己、近藤 高弘
- 25 「セグメント立坑自動搬送システム〜おほこび・ざうす〜」----- 鶴岡組: ※藤田 充男、開野 実、伊藤 大輔
- 26 「セグメント・掘削土砂の自動搬送システム」----- 三井建設: 井上 一敏、※川原 啓一、升形 剛
- 27 「通信用シールドに用いられた急勾配搬送システム」----- NTT: 大学 久男、日本コムシステム: 清水 悦司、大豊建設: ※池田 奉征
- 28 「ASYST〜地下坑内搬送工法〜」----- 鶴岡組: 森 利夫、※岩岡 聡、船津 和弘
- 29 「真空吸着パッドを利用した全自動セグメント搬送・供給システム」----- 三井造船: ※松中 信恭、鶴岡組: 井上 幸芳、富岡 彰
- 30 「長距離トンネルのための自動搬送システム〜ジオ・シャトル〜」----- 佐藤工業: 梅香家 俊文、※高橋 浩、村上 裕二

3. 【基礎とその機械】 13:30 ~ 16:55 座長: (建設省)

- 31 「自動化深礎工法〜SH-SHINSO工法〜の開発」----- 鶴岡組: ※藤田 安一、太田 和男、木村 明弘
- 32 「新しいソイルセメント地中連続壁工法(トレーダー工法)の施工特性と実績」----- 神神戸製鋼所: 青井 貴、※芦田 恵樹  
北辰工業: 北中 壮彦
- 33 「地中連続壁掘削制御の自動化システムの開発と適用」----- 清水建設: ※出口 種臣、渡辺 俊雄、乾 純司
- 34 「スーパーRD工法(大口径立孔掘削工法)の開発と実施例〜」----- 鹿島: 植田 政明、嶋井 森幸、※川田 正敏
- 35 「自動化オープンケーソン工法(SOCS)の開発と実証施工実験」----- 建設省(土研): 中野 正明、鶴岡組: 前田 論  
PCウェル工法研究会: 伊佐 秀、※谷 善友
- 36 「ウォータージェットによる既設杭切断処理工法」----- 大阪市役所: 高崎 肇、鶴岡組: 松井 和彦、※小橋 創一
- 37 「深礎工事機械化施工システム(弁慶工法)」----- 三井建設: ※魚住 雅孝、伊藤 達男
- 38 「無人掘削機、回収システムによるニューマチックケーソンの施工」----- 佐藤工業: 佐藤 勝男、大豊建設: 後藤 哲男  
※安藤 祐二
- 39 「地中連続壁工法の高精度掘削管理システム」----- 鶴岡組: ※松生 隆司、外園 伸二、鶴留 久夫
- 40 「低空頭マッハシステムの開発と実用化」----- 大成建設: 牧野 松明、西野 誠二、※大矢 浩、鶴岡組: 川崎 博行

10月11日(水) 第二会場(研修二号室)

4. [建築とその機械] 9:20 ~ 14:45 座長: (建設省)

- 41 「超高層RC造建設(HIRC工法) 施工システムの開発~高強度材を用いた鉄筋コンクリート造超高層集合住宅の施工システムおよび施工機械~」----- 鹿島: ※鶏岡 松生、久保 正道
- 42 「クライミングエレベータ“ルーバー”の開発」----- 三井建設: 早川 賢司、弘中 千行、※柴田 時男
- 43 「路線上空大規模ビルにおけるトラベリング工法の計画と実施」----- 鶴竹中工務店: ※小坂 則夫、落合 実
- 44 「ALCパネル施工機“カルカッタ”の開発」----- コマツ: ※大野 茂雄、渡辺 健太郎、旭化成建材: 笠 高
- 45 「エンジン式大型高速工事用エレベータの開発」----- 清水建設: ※箕輪 晴康、川崎 節夫、岡野 正
- 46 「鉄骨建方システムの開発」----- 熊谷組: ※高田 秀行、時岡 誠剛、渡辺 英彦
- 47 「クレーン作業領域管理システム」----- 清水建設: 奥隈 和美、今村 隆次、※西村 淳
- 48 「全天候合体トラベリング工法(TAIT工法)の開発と実施」----- 鶴竹中工務店: ※西村 卓也、上浦 直樹、高橋 弘
- 49 「建築鉄骨柱用現場溶接ロボットの作業効率の研究」----- 大成建設: ※坂本 成、三井造船: 吉野 正和
- 50 「自動ビル建設システムの開発~リフトアップシステムの開発と施工実験結果~」----- ハゼマ: ※木川田 一弥、須沢 寛、丸山 能生
- 51 「ルーフプッシュアップ工法の開発」----- 鶴竹中工務店: ※宮口 幹太、藤井 卓美、三井 建
- 52 「大屋根リフトアップ工法によるプール施設メインアリーナの施工」----- 鶴大林組: 亀谷 真彰
- 53 「超音波振動器てを利用した左官ロボットの開発」----- ハゼマ: ※小林 正明、三菱商事: 相馬 勝  
鶴エロイカコーポレーション: 嶋原 学徳
- 54 「支柱格納式連続プッシュアップ工法による傾斜ドームの施工」----- 鶴竹中工務店: ※小山 良樹、野木 和章、古川 政彦

5. [土工・維持とその機械/No.1] 14:55 ~ 16:55 座長: (建設省)

- 55 「無人化施工におけるオートブレードコントロール」----- 西松建設: ※石井 正典、小西 保、桑原 資孝
- 56 「GPSによる海上作業船舶の誘導」----- 鹿島: 長津 浩太良、※青野 隆
- 57 「浅層地盤改良工事の施工実績」----- 日本国土開発: 工藤 憲、※鈴木 正人
- 58 「テレアースワークシステムの開発と実施」----- 鶴フジタ: 大森 嘉明、萩 雅彦、※榎田 秀芳
- 59 「画像処理技術による粒度測定」----- 日 工: 松島 雅也
- 60 「ブルドーザ機作シミュレーションの開発」----- 建設省(土研): 吉田 正、石松 豊、※三村 茂男

10月12日(木) 第二会場(研修二号室)

5. [土工・維持とその機械/No.2] 9:20 ~ 16:35 座長: (建設省)

- 61 「密閉式移動ミキサによる流動化処理土の製造」----- フドウ技研: ※谷口 利久、佐藤 啓雄
- 62 「接触防止型袖圧ショベルの開発」----- コマツ: 橋本 晴夫
- 63 「大規模橋梁補修工事におけるウオータージェット工法」----- 日本道路公団: 森山 守、鶴大林組: ※登坂 知平、小澤 郁夫、上村 泰邦
- 64 「高濃度稀層液を行うSWAN21工法」----- 五洋建設: 寺本 昭
- 65 「建設機械足廻り自動洗車システムの開発」----- コマツ: 小野田 匠、※嶋志田 安洋、池上 勝博
- 66 「汚染土処理工事における無人化施工」----- 鶴大林組: 風間 慶三、田中 暉一郎、※高橋 栄次
- 67 「法面植栽緑化工法の開発」----- ハゼマ: ※澤 正樹、畠山 修、青山機工: 吉井 秀雄
- 68 「水中位置計測システム」----- 東洋建設: ※牧野 栄一、杉本 篤史
- 69 「交通への影響に配慮したトンネル内装掃掃機械の開発」----- 建設省(東北技術): 江本 平、※鈴木 邦昭
- 70 「締固め砕石ドレーン工法による砂地盤の液状化防止対策」----- 鶴池組: 今井 省三、小池 忠夫、※田村 和広
- 71 「カラーホットロール施工用チップスプレッドの開発」----- 鹿島道路: 浅井 和充、※山口 達也
- 72 「建設副産物(建設発生木材)の処理技術」----- 建設省(東北技術): 江本 平、※布宮 明道
- 73 「路面上に発生する氷膜及び氷板の検出器」----- 日本道路公団: 武田 正利、鶴拓 和、奥田 政仁、※榎田 亮一
- 74 「除雪トラックの自動化技術の開発(ブレード押付の自動制御)」----- 建設省(北陸地建): 前田 孝司、※本間 政幸  
岩崎工業: 甲斐 賢
- 75 「ワンマン除雪車の開発」----- 日本道路公団: 蒲倉 善長、※森 邦義
- 76 「都市型ロータリ除雪車の開発」----- 建設省(東北技術): 江本 平、※澤田 敏樹、鶴日本除雪機製作所: 吉田 弘明
- 77 「三次元位置自動制御型アスファルトフィニッシャによる舗装施工技術の研究開発」----- 建設省(土研): 桐山 孝晴  
鶴先端建設技術センター: 福田 実、住友建機: ※辻藤 剛一郎
- 78 「大口径シールドトンネルの発生土改良方法」----- 前田建設工業: 山下 純一郎、鶴大林組: 徳留 正男、秩父小野田: ※越智 恭二
- 79 「新運土機構採用の超大型ブルドーザの開発」----- コマツ: ※永瀬 秀一、伊戸川 博、神川 啓久

「平成7年度 建設機械と施工法シンポジウム」スケジュール

| 第1会場(研修1号室)  | 第2会場(研修2号室)   |
|--|---|
| <b>10月11日(火)</b>   |   |
| <p>1. 【コンクリートとその機械】</p> <p>No. 1 --- 9:20 ~ 9:40</p> <p>2 --- 9:40 ~ 10:00</p> <p>3 --- 10:00 ~ 10:20</p> <p>4 --- 10:20 ~ 10:40</p> <p>5 --- 10:40 ~ 11:00</p> <p>6 --- 11:00 ~ 11:20</p> <p>7 --- 11:20 ~ 11:40</p> <p>8 --- 11:40 ~ 12:00</p> <p style="padding-left: 40px;">(12:00 ~ 12:45) (昼食)</p> <p>9 --- 12:45 ~ 13:05</p> <p>10 --- 13:05 ~ 13:25</p> <p>11 --- 13:25 ~ 13:45</p> <p style="padding-left: 40px;">(13:45 ~ 13:50) (休憩)</p> <p>2. 【トンネルとその機械/No.1】</p> <p>12 --- 13:50 ~ 14:10</p> <p>13 --- 14:10 ~ 14:30</p> <p>14 --- 14:30 ~ 14:50</p> <p>15 --- 14:50 ~ 15:10</p> <p>16 --- 15:10 ~ 15:30</p> <p>17 --- 15:30 ~ 15:50</p> <p>18 --- 15:50 ~ 16:10</p> <p>19 --- 16:10 ~ 16:30</p> <p>20 --- 16:30 ~ 16:50</p>   | <p>4. 【建築とその機械】</p> <p>No.41 --- 9:20 ~ 9:40</p> <p>42 --- 9:40 ~ 10:00</p> <p>43 --- 10:00 ~ 10:20</p> <p>44 --- 10:20 ~ 10:40</p> <p>45 --- 10:40 ~ 11:00</p> <p>46 --- 11:00 ~ 11:20</p> <p>47 --- 11:20 ~ 11:40</p> <p>48 --- 11:40 ~ 12:00</p> <p style="padding-left: 40px;">(12:00 ~ 12:45) (昼食)</p> <p>49 --- 12:45 ~ 13:05</p> <p>50 --- 13:05 ~ 13:25</p> <p>51 --- 13:25 ~ 13:45</p> <p>52 --- 13:45 ~ 14:05</p> <p>53 --- 14:05 ~ 14:25</p> <p>54 --- 14:25 ~ 14:45</p> <p style="padding-left: 40px;">(14:45 ~ 14:55) (休憩)</p> <p>5. 【土工・維持とその機械/No.1】</p> <p>55 --- 14:55 ~ 15:15</p> <p>56 --- 15:15 ~ 15:35</p> <p>57 --- 15:35 ~ 15:55</p> <p>58 --- 15:55 ~ 16:15</p> <p>59 --- 16:15 ~ 16:35</p> <p>60 --- 16:35 ~ 16:55</p> |
| <b>10月12日(水)</b>   |   |
| <p>2. 【トンネルとその機械/No.2】</p> <p>No.21 --- 9:20 ~ 9:40</p> <p>22 --- 9:40 ~ 10:00</p> <p>23 --- 10:00 ~ 10:20</p> <p>24 --- 10:20 ~ 10:40</p> <p>25 --- 10:40 ~ 11:00</p> <p>26 --- 11:00 ~ 11:20</p> <p>27 --- 11:20 ~ 11:40</p> <p>28 --- 11:40 ~ 12:00</p> <p style="padding-left: 40px;">(12:00 ~ 12:45) (昼食)</p> <p>29 --- 12:45 ~ 13:05</p> <p>30 --- 13:05 ~ 13:25</p> <p style="padding-left: 40px;">(13:25 ~ 13:30) (休憩)</p> <p>3. 【基礎とその機械】</p> <p>31 --- 13:30 ~ 13:50</p> <p>32 --- 13:50 ~ 14:10</p> <p>33 --- 14:10 ~ 14:30</p> <p>34 --- 14:30 ~ 14:50</p> <p>35 --- 14:50 ~ 15:10</p> <p style="padding-left: 40px;">(15:10 ~ 15:15) (休憩)</p> <p>36 --- 15:15 ~ 15:35</p> <p>37 --- 15:35 ~ 15:55</p> <p>38 --- 15:55 ~ 16:15</p> <p>39 --- 16:15 ~ 16:35</p> <p>40 --- 16:35 ~ 16:55</p> | <p>5. 【土工・維持とその機械/No.2】</p> <p>No.61 --- 9:20 ~ 9:40</p> <p>62 --- 9:40 ~ 10:00</p> <p>63 --- 10:00 ~ 10:20</p> <p>64 --- 10:20 ~ 10:40</p> <p>65 --- 10:40 ~ 11:00</p> <p><del>66 --- 11:00 ~ 11:20</del></p> <p><del>67 --- 11:20 ~ 11:40</del></p> <p>68 --- 11:40 ~ 12:00</p> <p style="padding-left: 40px;">(12:00 ~ 12:45) (昼食)</p> <p>69 --- 12:45 ~ 13:05</p> <p>70 --- 13:05 ~ 13:25</p> <p>71 --- 13:25 ~ 13:45</p> <p>72 --- 13:45 ~ 14:05</p> <p>73 --- 14:05 ~ 14:25</p> <p>74 --- 14:25 ~ 14:45</p> <p style="padding-left: 40px;">(14:45 ~ 14:55) (休憩)</p> <p>75 --- 14:55 ~ 15:15</p> <p>76 --- 15:15 ~ 15:35</p> <p>77 --- 15:35 ~ 15:55</p> <p>78 --- 15:55 ~ 16:15</p> <p>79 --- 16:15 ~ 16:35</p>                           |

| 氏名             | 所属            | 期日        | 時間            | 項目                 |
|----------------|---------------|-----------|---------------|--------------------|
| 石松 豊<br>川合 雄二  | 土研/機械<br>事務局  | 10月11日(木) | 9:20 ~ 13:45  | 1. コンクリートとその機械     |
| 渡辺 和夫          | 土研/トンネ<br>事務局 | 10月11日(木) | 13:50 ~ 16:50 | 2. トンネルとその機械/No.1  |
| 杉山 篤<br>星野 日吉  | 水公団<br>事務局    | 10月12日(木) | 9:20 ~ 13:25  | 2. トンネルとその機械/No.2  |
| 塚田 幸広<br>三枝 和夫 | 土研/施工<br>事務局  | 10月12日(木) | 13:30 ~ 16:55 | 3. 基礎とその機械         |
| 吉田 正<br>内田 保夫  | 土研/機械<br>事務局  | 10月11日(木) | 9:20 ~ 14:45  | 4. 建築とその機械         |
| 奥谷 正<br>大橋 秀夫  | 機械課<br>事務局    | 10月11日(木) | 14:55 ~ 16:55 | 5. 土工・維持とその機械/No.1 |
| 村松 敏光<br>香取 佳人 | ”<br>事務局      | 10月12日(木) | 9:20 ~ 12:00  | 5. 土工・維持とその機械/No/2 |
| 渡辺 和弘<br>吉村 洋  | ”<br>事務局      | 10月12日(木) | 12:45 ~ 16:35 | 5. 土工・維持とその機械/No/3 |