

平成6年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成6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6年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

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】「基礎とその機械」

1. 軟弱地盤から軟岩まで静かな杭削孔が可能なK-S-C-A-D工法の開発
.....鹿 島：植田政明，嶋井森幸，*川田正敏... 2
2. 大深度掘削が可能な低空頭全自動三軸オーガ機の開発
.....鹿 島：*三好勝利，嶋井森幸，片上公正... 8
3. シールド工事の自動化システム.....鹿 島：吉村宗男，柴田 学，*颯田共志一... 14
4. 無人化ケーソン工法におけるケーソン掘削機回収システム
.....大豊建設(株)：*角田治郎，松本正徳，宮下政樹... 20
5. 低重心三軸オーガ機によるソイルセメント連続壁の施工
.....成和機工(株)：矢嶋壯吉... 24
6. “鉄筋籠自動溶接ロボットシステム”の開発と適用
.....清水建設(株)：*尾之内和久，渡辺俊雄，菊池雄一... 30
7. 低姿勢型大深度地中連続壁掘削機...パウアー工法研究会：前 良一，*渡辺宏志... 36
8. 深礎機械化工法（T-V-E-X工法）の開発
.....飛島建設(株)：大森 了，*堀崎敏嗣，川村哲也... 40
9. 薄膜遮水壁工法の掘削機械とその施工方法（TRUST工法）
.....大成建設(株)：*有山元茂，内藤禎二，荒井政男... 44
10. 深礎内施工機械の開発... 建設省（近畿技術）：*久野啓嗣，福原功二，西川正也... 50

【2】「トンネルとその機械」

11. 高水圧対応型シールド工法の開発
.....(株)鴻池組：*田中 浩，コマツ：山崎敏弘，南 好人... 54
12. 大型油圧ブレーカ掘削工法の開発.....鹿 島：園田健雄，鍛冶茂仁，*重永晃洋... 60
13. 粘性土対応連続土砂垂直搬送装置とその施工計画
.....清水建設(株)：*市川 誠，久保裕之
.....徳田屋建機工業(株)：羽場正文... 64
14. 深さ481m，直径11mの換気用立坑の施工.....清水建設(株)：井上孝俊，*星 幸夫... 70

15. アリマッククライマー、レイズドリルを用いた長距離斜坑の施工
 ……………電源開発(株)：藤野浩一
 (株)奥村組：宮川勝美，*栗田猛志… 74
16. 上向きシールドの開発…………大成建設(株)：金子研一，五洋建設(株)：原 修一
 石川島播磨重工業(株)：*伊藤広幸… 80
17. ロータリ・パーカッションドリルによる
 ワイヤラインサンプリングシステムの開発
 ……………鉦研工業(株)：梅本保博，*遠藤哲哉，万里武司… 84
18. プレライニングマシンによる都市N A T M施工
 ……………(株)フジタ：*森 利夫，三村洋一… 90
19. 分岐シールド工法“地下茎工法”の開発
 ……………西松建設(株)：*内田克巳，渡辺 徹，大西徳治… 96
20. リングシールド工法のセグメント組立実験
 ……………住友建設(株)：*金子正士，東急建設(株)：毎田敏郎
 (株)錢高組：鶴岡胤英… 100
21. セグメント自動供給システム……清水建設(株)：*宮沢和夫，菊池雄一，鈴木康正… 106
22. 注入式長尺鋼管フォアパイリングによるトンネル坑口部補強対策の施工例
 ……………東洋建設(株)：岡憲二郎，小竹 望，*真鍋智康… 110
23. 高含水土の真空加圧脱水機の開発
 ……………前田建設工業(株)：勝又正治，*滝口健一，榊原英正… 116
24. 難土質対応小口径推進機の開発…………コマツ：小林亮二，糟谷哲之，*秋山浩志… 122
25. 地下空間におけるP C a 梁の水平運搬機の開発…………コマツ：*吉田泰弘
 コマツエンジニアリング(株)：大西 正… 126

【3】「建築とその機械ほか」

26. ハザマ式全天候型仮設屋根（パラガス）の開発
 ……………ハザマ：*杉浦仁志，畠山 修，斎藤 篤… 130
27. マスト・コラム工法と特殊タワークレーン…………大成建設(株)：明城幹夫… 134
28. タワークレーン自動運転システム……鹿 島：久保喜良，*岸 光輝，佐藤竜郎… 140
29. 地盤破壊を考慮したクレーン車の転倒に関するモデル実験
 ……………愛媛大学：*深川良一，室 達朗，前田道路(株)：谷上公一… 146
30. 吊荷姿勢制御装置によるビル外壁P C 板取付作業の効率向上
 ……………五洋建設(株)：*水上邦彦，田坂哲美，谷 雄一… 152
31. 昇降クレーン“にあげラクだぁ”の開発
 ……………(株)フジタ：*組田良則，小田博志，加来哲彦… 156

32. ジャイロモーメントを利用した吊荷制御装置の開発
 ……(株)大林組：*井上文宏，福田一成，脇坂達也… 160
33. カーテンウォール一括揚重システムの開発と実用化
 ……大成建設(株)：*平井 薫，西村正宏，坂本 成… 164
34. 建築工事における仕上材自動搬送システム
 ……大成建設(株)：田村恵彦，*伊藤永三郎… 170
35. 揚重計画管理システムの開発…大成建設(株)：田村恵彦，*葉石善一，竹尾健一… 176
36. リーチタワークレーンの開発
 ……コマツ：村田 進，*武原秀幸，小松メック(株)：高田邦彦… 182

【4】「土工，舗装，維持とその機械」

37. 自走式自動剪定機の開発…建設省（四国技術）：*泉川暢宏，岩澤委式… 188
38. 高速走行型ロータリ除雪車の開発…建設省（北陸技術）：橋元和男，*前田孝司
 (株)新潟鐵工所：池野利夫… 192
39. アイスバーン粗面形成機の開発…日本舗道(株)：*藤谷雅嘉，谷口昭夫
 (株)小松エスト：小島敏男… 198
40. アスファルトフィニッシャの無型枠施工装置
 ……日本舗道(株)：後町知宏，田中智彦，*斉藤 徹… 202
41. トンネル内装板清掃機械（交通障害対策型）の開発
 ……建設省（東北技術）：江本 平，*今野順二… 206
42. 構造物雪庇処理機械の開発調査…建設省（東北技術）：江本 平，*鈴木只夫… 210
43. 掘削残土改良装置の開発…東急建設(株)：西尾 仁，*大矢和久，伊藤公夫… 214
44. パッケージタイプの小型泥土改良プラントの作動試験
 ……(株)フジタ：*阪本廣行，茶山和博，中井康孝… 218
45. 油圧ショベル用分割式ゴムクローラ“ロードライナー”…コマツ：永田芳行… 222
46. ハイドロメカニカルトランスミッション（HMT）搭載ブルドーザの開発
 ……コマツ：大田晋吾，浅田久夫，*石野 力… 226
47. 鉄道道床交換システムの開発…コマツ：*松田晴行，木舟江治… 232
48. 凍結路面切削機による冬期道路維持
 ……札幌市：古屋勇吉，高嶋道夫，日立建機(株)：*玉井 洋… 236
49. 多車線道路用凍結防止剤散布車の開発
 ……建設省（北陸技術）：倉島 冠，*小浦方一彦
 (株)日本除雪機製作所：佐々木康悦… 240

【5】『自動化、ロボット化、施工管理』

50. 捨石均し機および支援母船の高波浪域施工への対応
……………東洋建設(株)：*皿澤 薫，牧野栄一，森田研志… 244
51. 建設車両自動運転システムの開発（第4報）
～複数台無人車両の運転管理システム～
……………ハザマ：*斉藤宏明，筑波大学；油田信一… 248
52. 小口径および曲線部に対応した自動測量ロボット
“シールド・サーベイ+ロボット・システム”
……………東亜建設工業(株)：*井上伸二，増田 稔，永木君治… 254
53. ラジコン遠隔操作による土砂の掘削および搬出技術に伴う施工支援システム
……………西松建設(株)：石井正典，桑原資孝，小西 保… 260
54. 地下工事における安全情報管理システムの開発と適用
……………清水建設(株)：菊池雄一，*河野重行，深井日出男… 266
55. 重機警報装置の開発……………ハザマ：牧田雄介，石井恭二
エム・ケー精工(株)：*黒岩徹夫… 270
56. 耐火被覆吹付けロボット2号機システムの開発
……………(株)フジタ：*渡部幸浩，宮本仁史，吉武亮二… 274
57. 全周撮影型ボアホールテレビと画像解析による地盤情報抽出
…日本大学；石井弘充，電源開発(株)：杉山了一，坂田電機(株)：*坂田文男… 280
58. 振動ふるいから発生する超低周波音防止対策
……………飛島建設(株)：*沼口栄助，内田季延… 286
59. 最適収束式自動操船システム
……………不動建設(株)：川上高弘，フドウ技研(株)：奥山健三，*勝原法生… 292
60. 大型土工機械の遠隔操作技術の開発（雲仙における無人化施工）
……………(株)熊谷組：岡田 喬，*北原成郎，海瀬芳治… 298
61. 無人化施工向自動化ラジコンブルドーザの開発
……………コマツ：*山本 茂，松下重則，中田和志… 304
62. 無人ダンプトラック運行システム……………コマツ：村山 理，*須藤次男… 310
63. 補助作業ラジコンシステムの開発……………コマツ：*黒本和憲，川村公一，鎌田誠治… 316

【6】『コンクリートとその機械』

64. “ハイブリッドスリップフォーム工法”の開発と施工例
～高橋脚の省力化と工期短縮～
……………日本道路公団；馬淵勝美，(株)大林組；深津保文，*加藤敏明… 320
65. ダム用ずり回収装置の開発……………清水建設(株)：*高橋周男，岸野富夫，小田原卓郎… 324

66. ミニコンクリートレベラーの開発……………ヤンマーディーゼル(株)：井上雄次
*時枝安雄，清水建設(株)：岸野富夫… 328
67. ダム堤体上下流面清掃機の開発……………飛鳥建設(株)：*沼口栄助，中村一郎… 332
68. ダンプトラック搭載式インクライン設備によるダムの施工……………建設省：金丸孝行
(株)日立製作所：*五味 清，長谷川俊次… 336
69. 骨材の真空冷却工法の開発……………建設省：小合澤辰雄
(財)ダム技術センター：西田穂積，大成建設(株)：松谷真二，*安倍善悦… 342
70. コンクリート表面水処理ロボットの開発……………(株)竹中工務店：*菊池公男，河崎義信… 346
71. 大規模ダムのコンクリート生産設備・運搬設備
～大型コンクリートプラント・ベルトコンベヤシステム～
……………水資源開発公団：辻 輝昌，*矢幅卓夫，佐々木勝人… 350

1. 軟弱地盤から軟岩まで静かな杭削孔が可能なK-SCAD工法の開発

鹿 島： 植田 政明・鳴井 森幸
*川田 正敏

1. はじめに

当社はこのほど、場所打ち杭等で普及の著しいケーシング回転掘削工法のさらなる低騒音・低振動化、掘削・排土能率及び安全性の向上を目的として、水中・気中ケーブルレス油圧遠隔操作の鹿島自己昇降式掘削装置（以下 ^{ケイ スカッド} K-SCADという）を開発した。

写真1に示すように本装置を用いて管内土砂を掘削・排土するK-SCAD工法（KAJIMA-Silent Casing Drilling Method）を平成5年に来島大橋下部工中工事（実験）、平成6年に東京湾横断道路川崎人工島西工事において実施し、その効果を確認したので、ここに発表する。

2. 開発の背景

最近の基礎工事は、騒音・振動や施工機械関連事故に対する周辺住民からのクレーム、施工占有面積の狭隘化及び産業廃棄物処理の高騰など、種々の問題を抱えている。

このような中で、オールケーシング掘削機、アースドリル及びリバースサーキュレーションドリルに代表される場所打ち杭施工機械は、年々改善が進み需要が拡大しつつあるが、特にオールケーシング掘削機を使用したケーシング回転掘削工法は、従来困難であった転石層、砂礫層及び軟岩等に対応でき、大規模な泥水処理設備等を必要としないため普及が著しい。

しかしながら、本工法は、写真2のごとくケーシング内の土砂掘削・排出に昭和29年にフランス・ベノト社から導入したハンマグラブ方式を使用するのが一般的である。本方式はハンマグラブ本体の自由落下エネルギーによる地盤への喰込み及び吊ワイヤーによる単純クローリング機構により、作業自体は簡単であるが掘削



写真1 K-SCAD工法施工状況



写真2 ハンマグラブ施工状況

能率の向上に対する人為的な努力がほとんど発揮できない。

また、作業中に大きい騒音・振動が発生したり、管内水位が高い時は極端に排土能率が低下し、施工コストを高めるなど前述の問題点が解消されたとは言えなかった。

3. 工法の概要

本工法は、図1のように地上部に設置したオールケーシング掘削機の持つ大きな掘削力を利用し、掘削機とケーシング重量及びケーシング外周部と周面土砂との摩擦力を推進反力として全断面掘削・排土する工法である。その主な装置構成及び施工手順は以下のとおりである。

(1) 主な装置構成 (図1参照)

① グリッパ

オールケーシング掘削機の掘削力をケーシングからK-SCAD本体に伝達させる役目を持ち、掘削中心をケーシング中心と同心円中心軸にするため、3つのグリッパをリングビームで同調させ、両ロード油圧ジャッキを採用した。

ケーシングとグリッパの接触面の摩擦係数は、模擬実験によって求め、硬質地盤を全断面掘削できるよう許容伝達トルクは、 $\phi 1500\text{mm}$ において30ton-m、許容掘削推力は25tonを標準とした。

② ケリー装置

K-SCAD本体とバケットの間にあり、掘削力をバケットに伝達するため六角嵌合摺動方式とし、掘削時の突上げ力を吸収するためゴムダンパーを組み込んでいる。

本装置自体の伸縮ストロークはアキュムレータ容量も加味して400mm

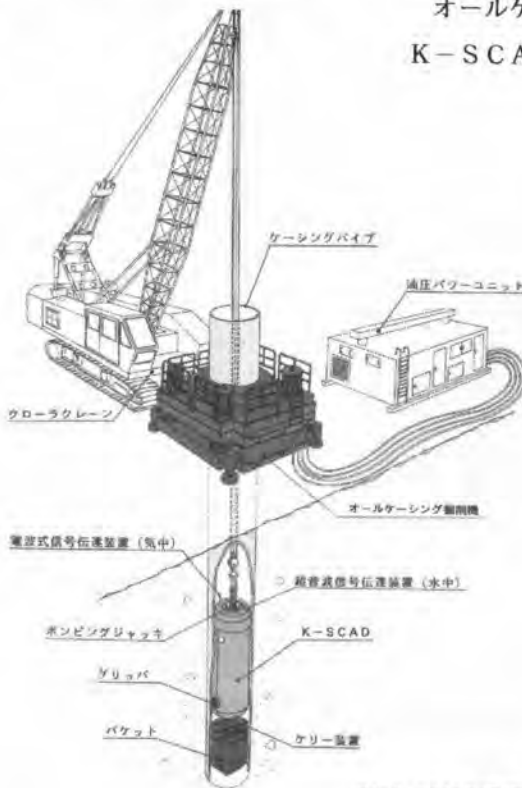


図1 K-SCAD工法概念図

図1 K-SCAD工法概念図



写真3 バケット作動状況
(無線操作)



写真4 超音波制御取付け状況



写真5 バケット排土状況
(無線操作)

を標準とした。

③ バケット (写真3, 5参照)

油圧ジャッキによる土砂取込み口の開閉ゲート及びカッターフェース (バケット底蓋) に開閉機能を保有させ、排土作業は全て無線遠隔操作で可能とした。バケットの容量は、オールケーシング掘削機の1ストローク分を基準に、余裕をみてその2.0倍を標準とした。

④ 動力装置

全ての操作を本体に内蔵したアキュムレータの油圧動力方式とし、気中においては無線制御、水中では超音波制御の遠隔操作によるケーブルレス方式とした。このアキュムレータの

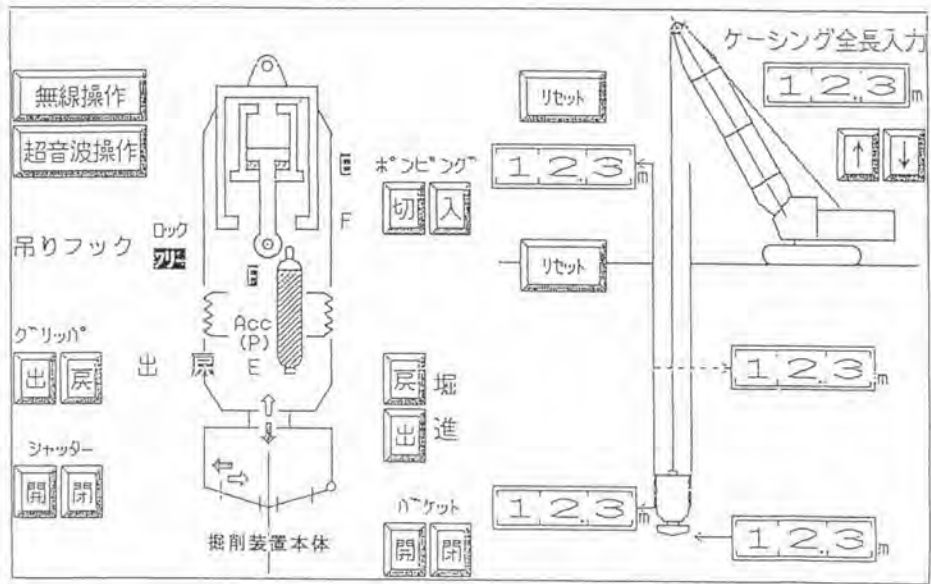


図2 操作盤表示例

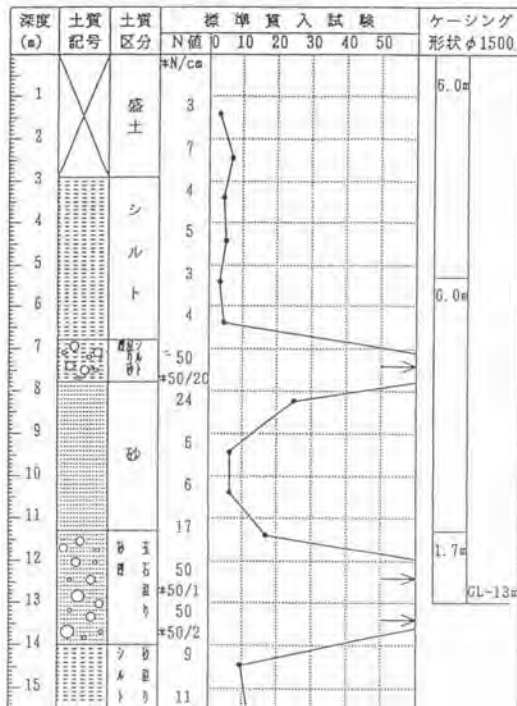


図4 土質柱状図

使用を外部油圧パワーユニットの接続なしに使用可能にするため、ケーシング掘削機重量、ケーシング重量及び周面土砂とケーシング外周部に生じる摩擦力を反力に、地上のクレーンにて掘削作業時、ポンピングして蓄圧する方式を採用した。

⑤ 制御装置 (写真4参照)

気中 (水中) の環境で、グリッパの出戻り、ケリー装置の伸縮など数種類の作動と掘削状況を地上部で判るようにするため、無線 (超音波) の多チャンネルのケーブルレス信号伝達装置を開発し、図2に示すような制御盤をクレーン運転室に設置し、オペレーターワンマンでの運転及び施工管理を可能にした。

(2) 施工手順

図3に本工法の掘削手順図を示す。

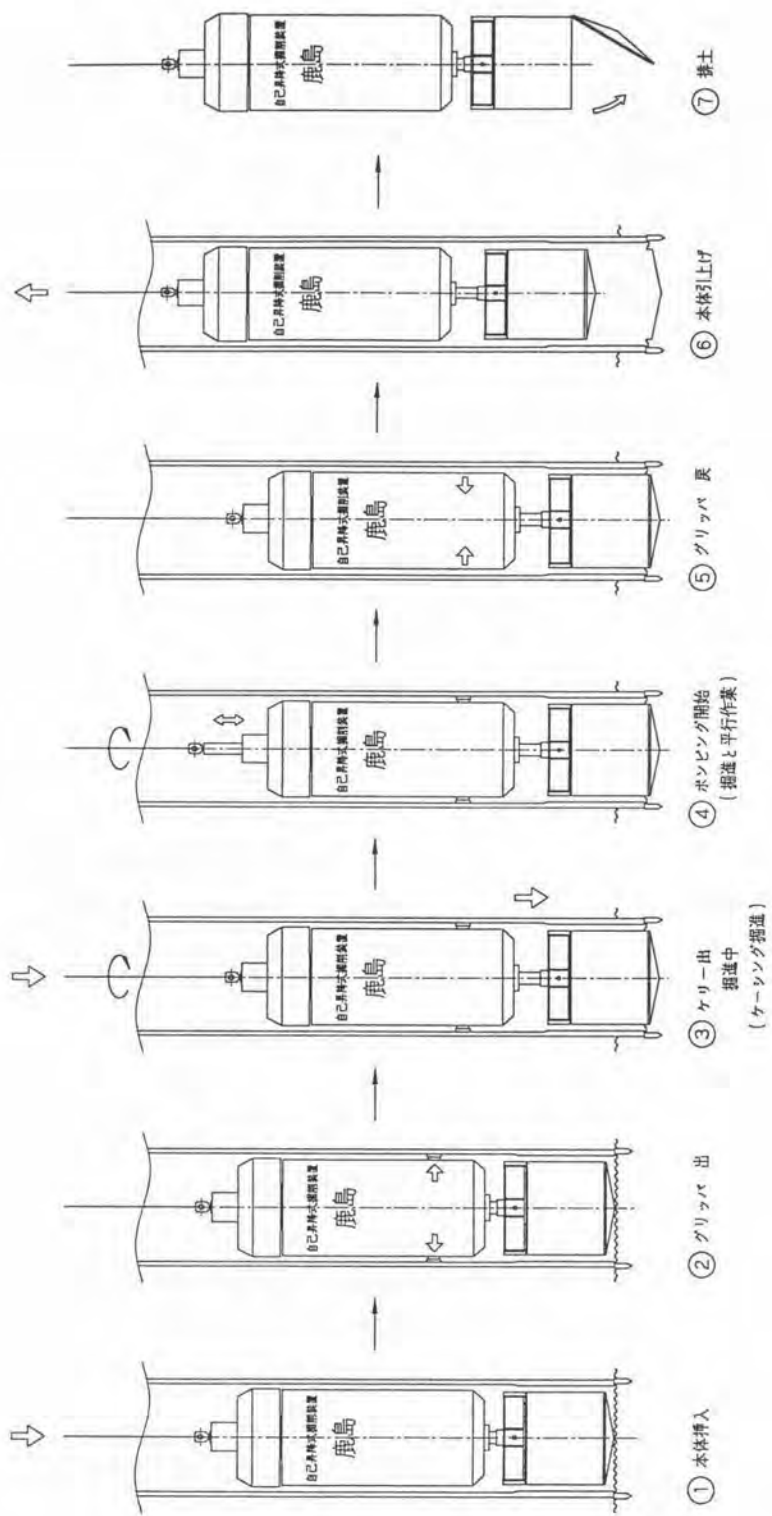


図3 K-SCAD工法掘削手順図

4. 実績

現在までに数回の実験及び工事を実施して以下のことが確認ができています。(実績は、193年8月～11月の実験結果)。図4に実験場所の土質柱状図を示す。

(1) 作業効率 (水中：1サイクル)

K-SCAD工法	$Q_k \dots 2.4 \text{ ton} / 305 \text{ sec}$
ハンマグラブ方式	$Q_H \dots 0.4 \text{ ton} / 72 \text{ sec}$

従来工法よりも約1.4倍 ($= Q_k / Q_H$) の効率で作業が可能となり水深が深くなるほど、有利と考えられる。

(2) 騒音・振動

工法 \ 項目	騒音 d B (A)		振動 d B		備 考
	7.5 m	15 m	7.5 m	15 m	
K-SCAD工法	77	78	48	43	掘削開始時
ハンマグラブ方式	84	78	76	75	ハンマグラブ降下時

従来工法よりも7.5m地点で騒音は7 dB(A)、振動は28 dB低くなっており、低騒音・低振動工法といえることができる。また、騒音については、油圧パワーユニットがアイドリング時で72 dB(A)と、高いため、その防音対策をすればかなり低くなると考えられる。

5. まとめ

現時点で従来工法との優位性及び下記のことが期待できるが、さらに完成された工法にするには、まだ、実績が少なく、今後は数多くの同種工事でブラッシュアップを図っていきたいと考えている。

- ① 周辺住民の生活環境を阻害しない、低騒音・低振動掘削・排土が可能になる。
- ② 管内泥水の影響を受けずに軟弱地盤から軟岩までの幅広い地盤で、小口径から大口径まで高能率で大深度の掘削が可能になる。
- ③ 従来はハンマグラブを自然落下させて掘削していたため、ほとんど垂直方向しか掘削できなかったが本工法により傾斜掘りも可能になる。
- ④ すべてケーブルレス油圧遠隔操作のため、クレーン運転席でワンマンコントロールで行うことができ、安全にしかも少人数で施工が可能になる。

2. 大深度掘削が可能な 低空頭全自動三軸オーガ機の開発

鹿 島：*三好 勝利・鳴井 森幸
片上 公正

1. はじめに

三軸オーガ機を用いた「現位置土砂混合攪拌固化工法」は、地下工事における土留・止水壁等の構築に多用されているが、その機械高さは削孔長より7m程度高くなり、大深度施工をしようとする、40m級の機械を使用する必要がある。

近年、都市部における重機の使用において、安全性を高めた機種が開発が盛んになってきており、特に杭打機械や掘削機械は地上に数十mの装置が林立し、転倒事故も何件か発生していたことから、第三者に対して不安感・威圧感を与えない、高さが低く安定感があって低振動・低騒音の機械の開発が求められている。

低重心・低空頭の機械で、大深度を施工しようとする、オーガースクリューをジョイントしながらの施工となり、熟練を要し危険性も伴う。

そこで今回、ジョイント作業を自動化して安全性・合理性・経済性を満たした、低重心でコ



写真-1 低空頭全自動三軸オーガ機

ンパクトな全自動三軸オーガ機を開発し、実証施工を完了し良好な結果を得たので、その概要を紹介する。

2. 開発機の概要

開発機は、写真-1のように軌条走行式で、掘削機本体・オーガースクリューストック台車および、パワーユニット台車

から構成されており、各々の装置について概要を述べる。

(1) 掘削機本体

今回の開発の中心となる部分であり、開発した装置は以下のとおりである。

① スクリュー回転停止位置制御装置

従来のオーガースクリューとの互換性を基本に考えて、六角ジョイント方式を採用したため、ジョイントを嵌合させるためには、目標の回転停止位置に対して $\pm 1^\circ$ の精度でオーガの回転を停止させる必要があり、回転位置検出装置とインバータの組み合わせにより制御した。

② 上部脱着装置

オーガ減速機とオーガースクリューとの脱着の自動化であり、油圧によるクイックジョイント方式を採用した。

③ 下部脱着装置

オーガースクリュー同志のジョイントの脱着を自動化したものであり、ジョイントロック用の従来方式のピンを機械的に押し込み・引き抜きをする方式を採用した。装置の外観を写真-2に示す。

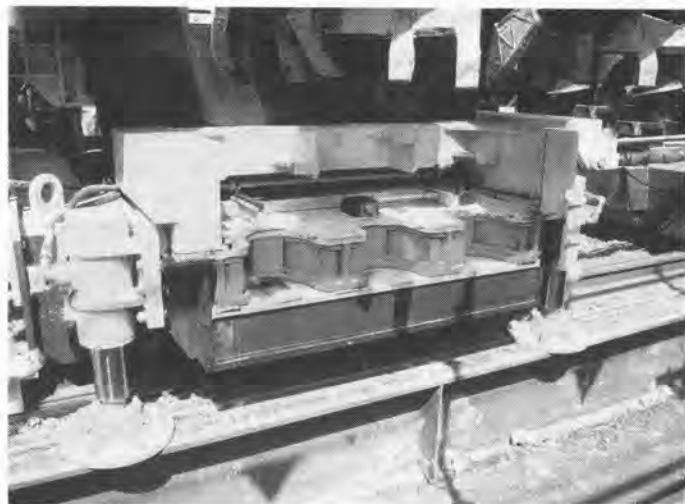


写真-2 下部脱着装置

④ オーガモータ昇降装置

N値50前後の地盤を30m程度掘削しようとするすると、10t程度の減速機の自重だけでは掘削能率が悪く、最大40tまで刃先力が加えられる様に、オーガモータの昇降を油圧モータによるチェーン駆動とした。

引き抜き力についても、60tまで加えられる構造とした。

(2) オーガースクリューストック台車

オーガースクリューの脱着を自動化しようとするすると、スクリューの収納方法を機械化する必要があり、今回の開発機では収納ラックに垂直に仮置きされたスクリューを、垂直のままチェーンコンベアでラック内に引き込み・送り出しが出来る機構とした。

オーガースクリューとオーガモータのジョイントの通り芯を合わせるためには、収納ラック全体を決められた寸法だけ、ジャッキにより本体側に引き寄せる構造とした。

(3) パワーユニット台車

掘削機本体・および、スクリーストック台車の動力操作盤および、制御のための110kW用インバータ盤を設備した台車であり、これらを制御するためのマイコン機能は、写真-3に示すように、掘削機のオペレーターハウス内の集中操作盤に装着した。

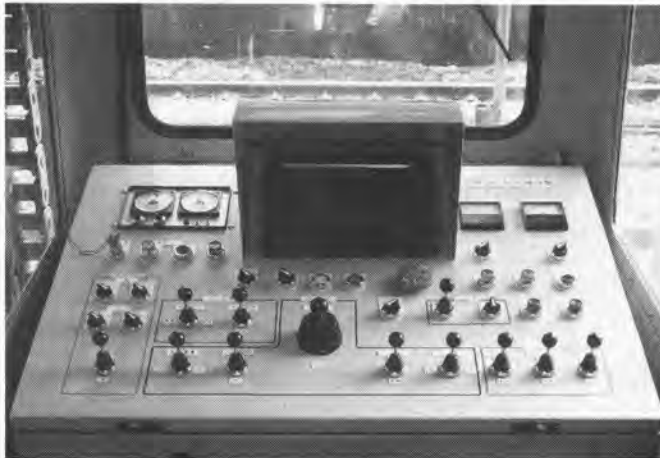


写真-3 集中操作番（運転室内）

把持し、オーガモータとのジョイントを切り離す。

3. 機械の動作

機械の仕様については、表-1に示すとうりであるが、機械の初期状態として、掘削機本体にはヘッド付オーガースクリューが1本装着されており、8本がラックに収納されていることを前提に動作順序を説明する。

- (1) 1本目のスクリーューで削孔する。
- (2) 1本目のスクリーューを

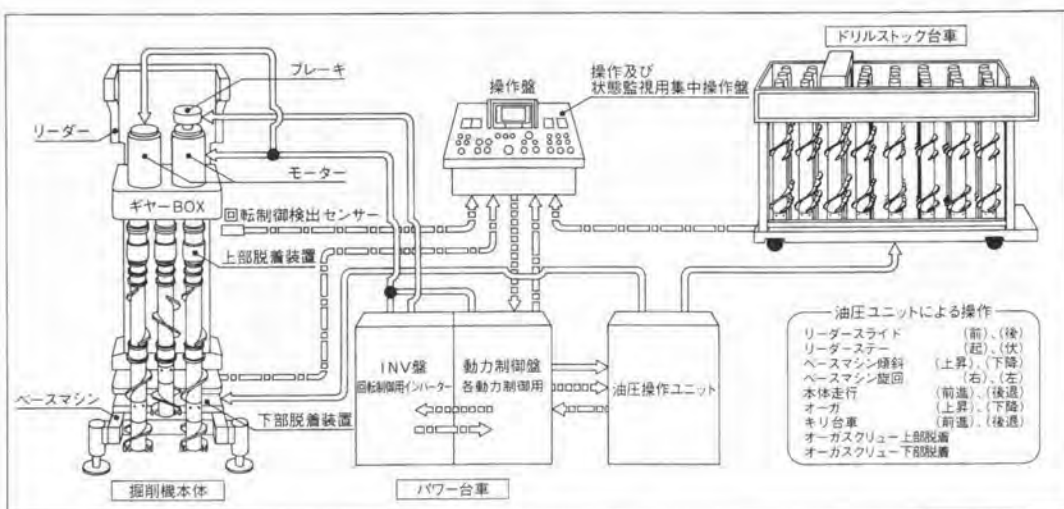


図-1 制御系統フロー図

- (3) オーガモータを上昇させ、本体を90° 旋回させ収納ラックを待つ。
- (4) 収納ラックを引き寄せオーガモータを下降させる。
- (5) クイックジョイントとスクリューを嵌合させジョイントをロックする。
- (6) オーガモータを上昇させ、収納ラックを後退させる。
- (7) 本体を90° 元に戻し、1本目と2本目のスクリューの通り芯を合わせる。
- (8) オーガモータを下降させ、1本目と2本目のジョイントを嵌合させロックする。
- (9) 1本目のスクリューの把持を解除し、2本目の削孔を行う。

表-1 全自動三軸オーガ機仕様

項目	仕様
型式	低空頭・軌条式
全高・全長・全巾	7.5m・15.5m・4.3m
掘削機本体重量	45ton (内オーガ10ton)
オーガ用電動機	55kw×2 (ブレーキ付)
掘削深度	31.5m (3.5m×9本)
オーガ・スクリュー	ヘッド：φ580, 攪拌：φ550
作業用油圧ユニット	動力：55kw, 油圧：210kgf/cm ²
均等厚掘削機構	カム駆動爪スイング式

以下、9本目のスクリューまで上記の動作を繰り返し、削孔混練が完了する。

引き抜き混練については、ほぼ削孔混練の動作を逆にたどることによって完了し、最終的な状態は収納ラック内に8本のスクリューがあり、掘削機本体にヘッド付オーガスクリューが一本装着された状態となって、1エレメント分の施工を完了する。

4. 制御系統

制御系統については図-1に示す通りであり、掘削機本体には、①オーガモータの位置、②上部脱着装置の作動状況、③回転停止制御用

エンコーダの出力、④下部脱着装置の作動状況、⑤オーガスクリュー把持装置等の情報を得るための約30点のセンサ、オーガスクリューストック台車には、①スクリュー供給台車前後進装置、②スクリュー引き込み用チェーンコンベア等に設置された、約20点のセンサーが組み込まれている。

これらのセンサーから得られた情報は、オペレーターハウス内の集中操作盤に集められ、マイクロコンピュータで判断して、パワー台車、スクリューストック台車、および掘削機本体の種々の装置に適格な指令信号を出し、各装置を作動させる。

それぞれの装置の動作状況は再び集中操作盤にフィードバックされ、操作盤上のモニター画面にリアルタイムに表示される。

5. 均等厚掘削機構

前項までに、三軸オーガ機の自動化について記述してきたが、以下に新しい発想に基づく開発について述べる。

従来の三軸オーガ機での削孔形状は、図-3のハッチング部のように串形となっており、止水性および、有効壁厚設定の面から改善が望まれていた。

図-3の黒塗り部に示すように掘り残し部を除去し、ミキシングウォール化することにより壁厚の均等化が図れるとともに、応力材の建込み位置が自由に設定できることから、ソイルミキシングウォールの設計において合理化が図れることになる。

掘削機構としては、図-2に示すように、オーガスクリューのロッドに取り付けたカム板が、スクリュー連結用のホルダに組み込まれた半月形の軸付カムを叩き、軸の先端の超合金チップ付きの刃物ホルダを動かす。

チップの動きは、 40° の範囲での首振り動作であり、オーガスクリュー1回転につき2往復の首振りを行い、掘り残し部の地山を切削する。



図-2 均等厚掘削機構

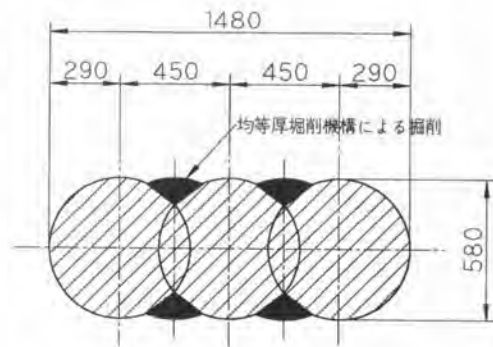


図-3 均等厚掘削機構による掘削形状

6. 本工法の特徴

今回開発した全自動三軸オーガ機には次の様な特徴がある。

- (1) オーガスクリューの自動脱着装置の採用により、ロックピンの打ち込み作業が不用となり、高所作業・指詰め等の危険作業がなくなる。
- (2) 自動脱着装置の採用により、脱着作業時間が大幅に短縮できる。
- (3) オーガスクリューをラック内に垂直に保管するため、コンパクトで安全な保管ができる。
- (4) オーガスクリューストック台車に自動供給・自動収納機能を持たせているため、補助クレーンが不必要である。
- (5) 回転停止位置制御方式を確立し、同一回転停止位置の再現性が確保できたため、従来方式のオーガスクリューが使用できる。

- (6) 硬質地盤への根入れおよび大深度掘削が可能のように、三軸オーガ機としては現時点で最大級の150馬力の電動機を採用している。
- (7) 施工能力アップのために、電動機の上昇下降をチェーンを介した油圧モータで補助しており、押し込み力40t、引き抜き力60tを確保している。
- (8) 今回、開発した機械の全高は、7.5mであるが、オーガとオーガースクリューを改造することにより、5.0mから15mまで対応可能となっている。
- (9) 均等厚掘削機構付のヘッドスクリューを装着することにより、仕上がり壁面が平滑な等厚連続壁の施工が可能であり、止水・土留の品質向上が図れる。

7. おわりに

幹線鉄道からの離隔距離が2m程度の非常に狭隘な場所での実証施工が完了し、安全性・機能性が十分に確認できた。

今後、狭隘な場所での施工および、低空頭仕様の工事への適用は当然の事ながら、民家密集地および繁華街・交通量の多い道路など、低重心化を必要とする工事への適用も考えなければならない。

また今回の開発の基本となっているスクリューの自動脱着・回転停止制御および、オーガースクリュー自動収納方式等の技術を展開し、クローラータイプの移動式三軸オーガ機の全自動化および、一軸のオーガースクリュー式杭打機の自動化等に取り組む所存である。

3. シールド工事の自動化システム

鹿 島： 吉村 宗男・柴田 学
* 颯田 共志一

近年、地下空間の有効利用の必要性がたいへん高まってきている。そうした中で、地上への影響が極めて少なく地下構造物を建設する方法としてシールド工法は、鉄道・道路・電気・ガス・上下水道・通信・地下河川など幅広い用途に利用されている。さらに、都市の過密化による用地確保の困難や輻輳する地下構造物を避けるために、シールドは大深度化・大断面化・長距離化の傾向にある。それにとまなない施工においても作業の能率化・高速化・合理化がより求められている。

シールド工事において、シールド機の掘進制御・セグメントの搬送および組立は、現場作業の大部分を占めている。そこで、鹿島ではこれらの作業を自動化して安全性の向上・作業効率の向上・施工の省人化・省力化を進めるシステムを開発し工事に導入して成果を上げている。ここに、その概要を述べる。

2. 自動化システムの概要

当システムは、

- ①シールド機の位置・姿勢をリアルタイムに測量し、これらのデータをもとにファジィ理論を用いてシールド機を自動制御する『自動方向制御システム』
- ②地上のストック設備に仮置きしたセグメントを切羽まで自動で搬送する『セグメント自動搬送システム』
- ③切羽まで運んだセグメントを1ピースずつ自動で精度良く組立てる『セグメント自動組立システム』
- ④上記のシステムやその他のプラントを一元的に操作・制御・管理する『シールド総合施工管理システム (KSGS)』

から構成している。図-1 にシステム構成概要図を示す。

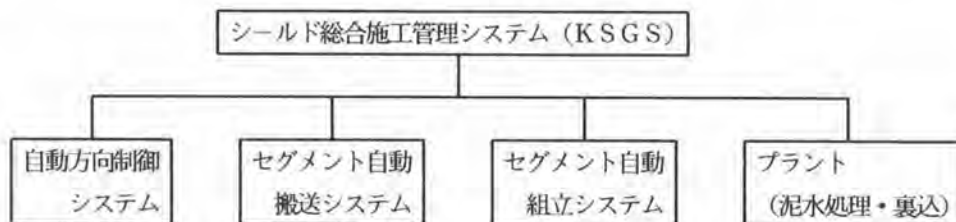


図-1 システム構成概要図

3. 自動方向制御システム

自動方向制御システムは、掘進経路の予測と掘進特性の学習にファジィ理論を導入して、熟練オペレータと同様の運転を自動で行うことができるシステムである。

このシステムは、シールド機の位置・姿勢をシールド機の後方に設置した光学式測量器（トータルステーション）とシールド機に取り付けたジャイロコンパス・傾斜計・ジャッキストローク計からリアルタイムに検出する。次に、これらのデータをもとにシールド機の計画線からのずれ量・動きの傾向・掘進履歴などからファジィ推論を行い蛇行のない経路を設定する。さらに過去の制御結果や曲りやすさの掘進特性を学習した結果により制御量を求め、方向修正に必要なジャッキパターンを自動的に選択する事により、シールド機の自動方向制御を行う。自動方向制御概要図を図-2に示す。

当システムの特徴は、以下の通りである。

- ①無理のない計画的な掘進経路の自動設定が可能である。
- ②土質の変化や掘進のクセなどを、掘進特性として自動学習を行う。
- ③現在位置・掘進特性・テールクリアランスなどを、考慮した制御が可能である。
- ④掘進経路設定と掘進特性の学習にファジィ理論を適用している。

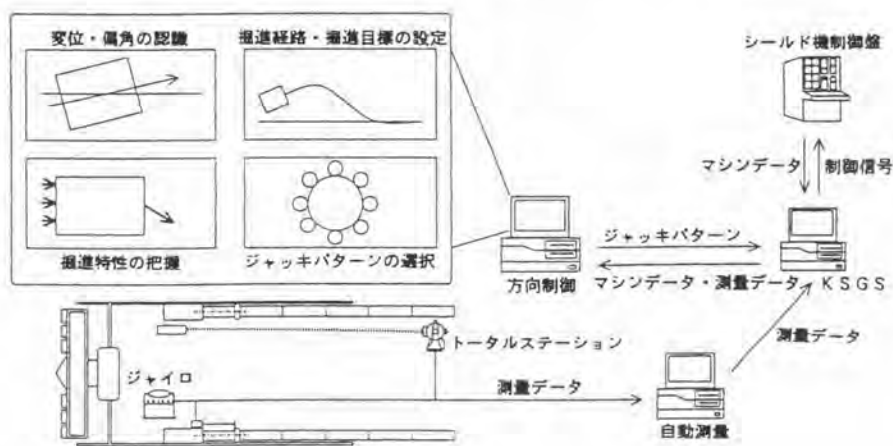


図-2 自動方向制御概要図

4. セグメント自動搬送システム

セグメント自動搬送システムは、セグメントを地上から切羽まで自動で搬送するもので、すべての作業が連動して行われ人力を必要としないため安全性の向上と施工の省人化・効率化を進めることが可能である。

このシステムは、

- ①立坑用地に搬入されたセグメントを地上に仮置きしセグメントリフトに移載するセグメントストック設備
- ②セグメントやその他資材を立坑の上から下まで降ろすセグメントリフト
- ③セグメントを坑内で切羽まで運搬する無人搬送車（バッテリーロコ）で構成している。

セグメント自動搬送システム概要図を図-3に、地上設備状況を写真-1に示す。

当システムの特徴は、以下の通りである。

- ①地上から切羽まで連動してセグメントを搬送するので待ち時間や無駄がない。
- ②クレーンによる揚重作業が減少し、安全性が向上するとともにセグメントの破損が減少する。
- ③無人搬送車には、レーザーセンサを用いた前方障害物検知システムが取付けられており、衝突・接触事故を確実に防止している。
- ④坑内の搬送が長距離の場合、ポイントを設置して無人搬送車を複数台運転することが可能である。

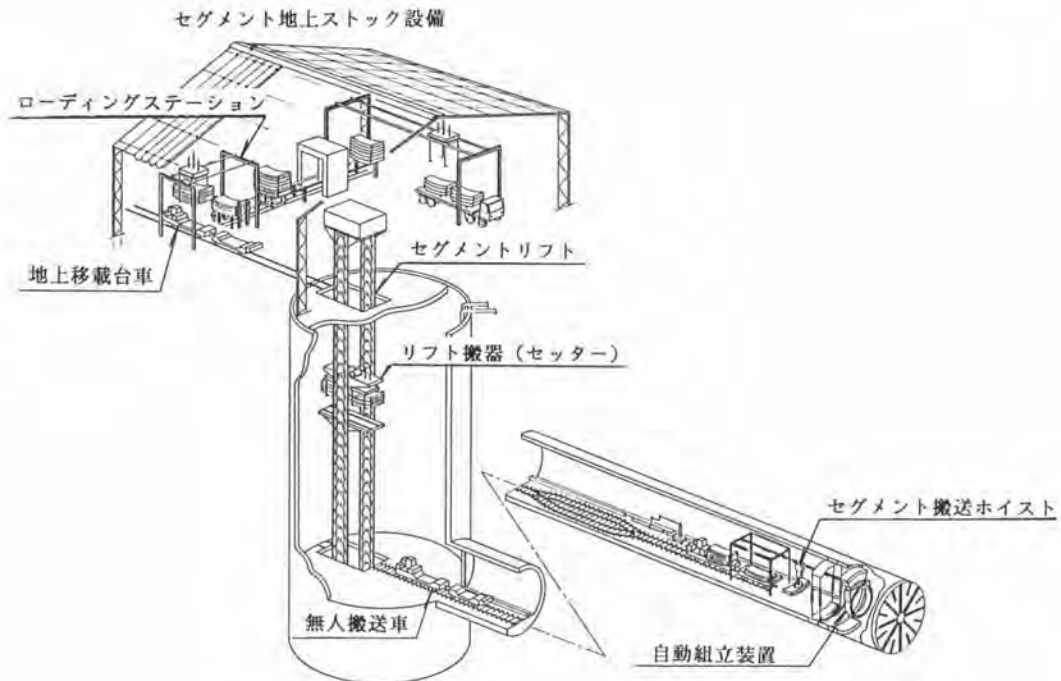


図-3 セグメント自動搬送システム概要図

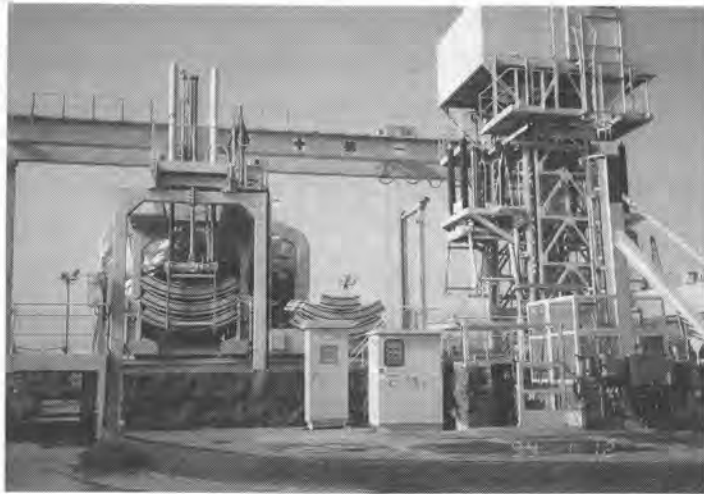


写真-1 地上設備状況

5. セグメント自動組立システム

セグメント自動組立システムは、無人搬送車からセグメントを受取った後、1ピースずつ自動で組立てていくシステムで、RC通しボルトセグメントを対象に開発したものである。

このシステムは、無人搬送車よりセグメントを受取りシールド機本体まで持つていく搬送ホイスト、そのセグメントの位置を調整しながら正確に自動組立装置まで送る供給装置、セグメントの把持・位置決め・ボルト締結までを行う自動組立装置により構成している。

セグメントの把持・移動・締結の一連の組立作業を自動化することにより、高所や狭い場所での作業が不要となり、安全性と組立精度を大きく向上することができる。図-4にセグメント自動組立システム概要図を、写真-2にセグメント組立状況を示す。

当システムの特徴は、以下の通りである。

- ①高精度エレクタを用いた「微い制御」と「センシングによる姿勢修正制御」により迅速にセグメントの組立位置決めを行うことができる。
- ②セグメントに埋込んだ金具を把持することによりフリクションパッドの摩擦力でエレクタにセグメントを固定する。
- ③通しボルトをあらかじめセグメントに仕込むことによりボルト締結装置を簡略化している。
- ④セグメントの組立形状（真円度など）を計測し、組立位置の補正を行い組立精度を管理することができる。

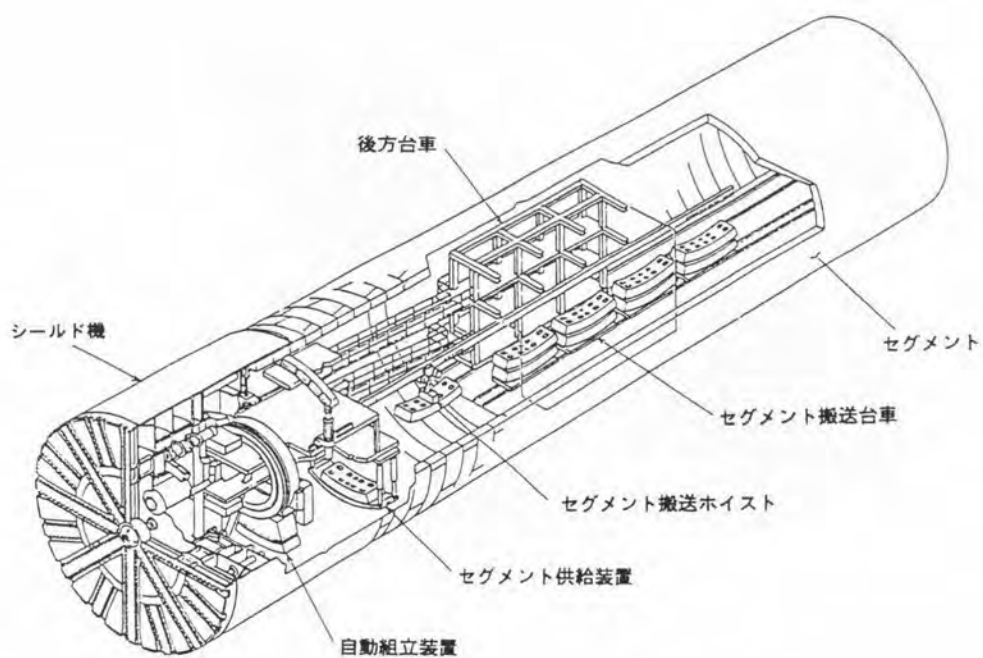


図-4 セグメント自動組立システム概要図



写真-2 セグメント組立状況

6. シールド総合施工管理システム (KSGS)

シールド総合施工管理システム (KSGS) は、シールド機や施工に必要な各種プラント、今まで述べてきた自動方向制御・セグメント自動搬送・セグメント自動組立システムなどの自動化設備を高速ネットワークで接続し、一元的に操作・制御・管理するものである。図-5に、KSGS概要図を示す。

KSGSの特徴は、以下の通りである。

- ①施工状況やプラント稼働状況を、リアルタイムに画面に表示するので操作・管理に必要なデータが容易に理解できる。
- ②タッチパネル方式により操作が簡単で、画面が切替式のため少ないCRTで操作・管理が可能である。
- ③施工における操作・制御・管理ツールを標準化することによりオペレータの習熟度が高まり、品質の向上ができる。

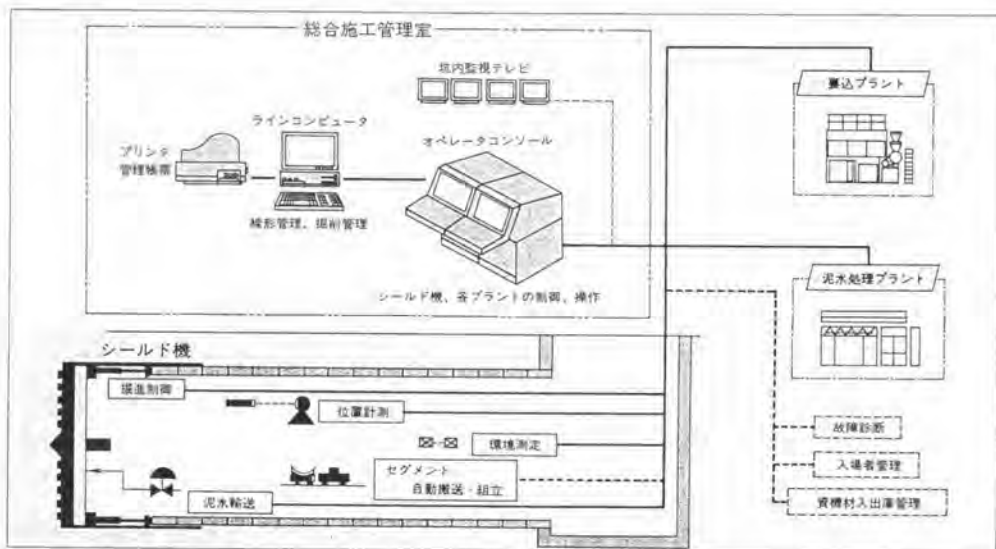


図-5 KSGS概要図

7. おわりに

人口の集中や都市の過密化が急速に進む中で、都市機能の維持と快適な生活を確保するためには、迅速なインフラの整備が必要になっている。地表空間は、すでに飽和状態になろうとしている。そこで、地下空間の利用が進められている。こうした背景から地下構造物を建設するシールドトンネルの需要は今後も続くと考えられる。さらにシールドの大深度・大断面・長距離の傾向も進むであろう。施工の高速化の必要も高い。また、そこで働く人達の環境をより良くすることも重要である。きびしい施工条件で品質の向上も求められる。これらの課題を解決する方法のひとつとして施工の自動化・機械化が上げられる。今回紹介した自動化システムがこの一助になるよう今後さらなる実用化を進めたいと考える。

4. 無人化ケーソン工法における ケーソン掘削機回収システム

大豊建設(株)：*角田 治郎・松本 正徳
宮下 政樹

1. はじめに

ニューマチックケーソン工法は、地上で構造物を構築し沈設するので地下構造物として品質の信頼性とあらゆる地質に対応できる確実な工法として重要構造物の基礎、都市設備のアクセスシャフト等、広く採用されている。

しかし、施工に関しては、潜函工の不足、高齢化、あるいは大深度化に伴う労働条件の悪化と作業時間の減少による効率低下等、工法として不利な条件があったが、これらの問題を解決するために地上から遠隔操作で作業室内の掘削機を操作して掘削を行う「函内無人化掘削工法」が開発され、高気圧下の厳しい環境である作業室での掘削作業は解消されたが、掘削機の維持管理および沈下掘削完了後の掘削機を回収するため、高気圧下の作業室に入って解体搬出作業を行っている。

本稿では、掘削機の維持管理作業を大気圧下で行い、さらに作業室に入ることなく掘削機を地上からの遠隔操作により大気圧に回収するために開発した掘削機回収システムについて述べる。

2. 掘削機回収システムの概要

掘削機回収システムを開発するに当たっての基本構想は次の通りであった。

- ① 回収操作は、地上操作室より行い、回収に伴う作業は、全て大気圧下で行う。
- ② 掘削機回収専用の穴をスラブに設けない。回収は、土砂搬出のバケット穴を併用する。
- ③ 動力線・信号線は、通電状態で回収する。

掘削機回収システムの主な構成要素は、回収対応掘削機、回収ロック、横行架台、回収架台、遠隔操作室のブロックから構成されている。システムの概要を図-1に示す。

回収作業の手順は、回収対応掘削機が走行レールから横行架台に乗り移り横行レールを移動してマテリアルロックからスラブ下面に下ろされた回収架台に乗り移る。回収架台と掘削機を吊り下げた横行架台は、ロックされ一体型になってクレーンで回収ロック内に引き上げられる。この時掘削機のブームは、

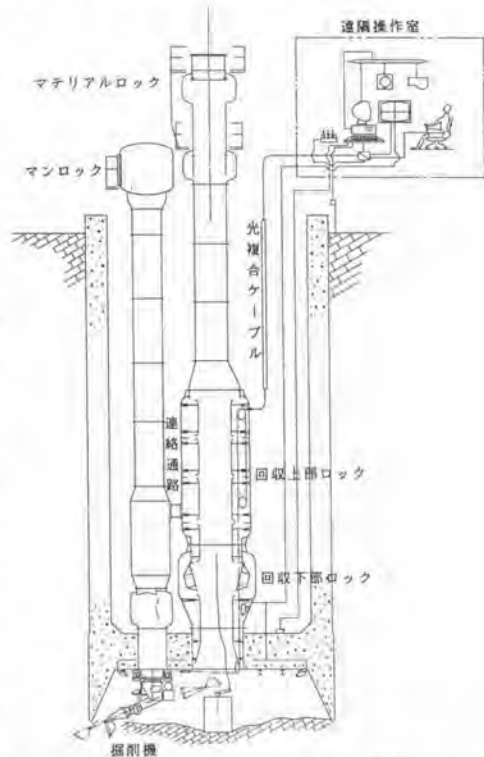


図-1 回収システム概要図

引き上げと同時に降下してほぼ垂直になるまで降下する。回収ロック内に引き上げられたら下部ロックのハッチを閉め、ロック内を減圧する。

以上の工程で回収作業を行うが、回収以外の機能として掘削機の調整・維持管理等、専門技術者が携わる場合にも使用することが可能で調整完了後、再びハッチを開け掘削機を函内に戻すことが出来る。

このように掘削機が回収、あるいは維持管理のために回収ロックまで移動するためには動力線、制御線を通電状態にしておく機能は不可欠で、本システムでは、これらの動力、制御線を回収ロック内から引き出している。

3. 回収システムの構造

掘削機が収納される回収ロックの設置場所は、回収ロックの使用によってケーソンの設計変更を最小限に納めるため、土砂搬出用バケット穴を共用することとし、掘削機の平面寸法の納まりだけバケット穴を拡大することとした。したがって回収ロックとマテリアルロックは、同一軸上に設置され場所をとらず、回収ロックは通常の土砂搬出作業においてマテリアルシャフトとしての機能をはたしている。

この回収ロックは、スラブの直上に設置されるのでシャフトの継ぎ足し等の艱装変えに取り外す必要もなくボトムハッチとしての機能も備えている。

3. 1 回収ロック

回収ロック本体は、上部ロックと下部ロックに分割し、下部ロックは、ハッチを備えアンカーロックとしての機能をもたした。上部ロックは、掘削機が回収収納できる空間と3段のフロアを備え、保守点検ができるようにしている。

上部ロックの中には、動力線と制御線を一体化した複合ケーブルが巻き込まれている巻取り装置が組み込み、この端末を掘削機に接続している。

掘削機が回収ロックから作業室に降下するときは、巻取り装置から複合ケーブルが引き出され、ロック内に回収する時はケーブルを巻取りながら回収される。この巻取り装置を備えているため掘削機はつねに通電状態にあるので、作業室から引き上げる時、ブームを降下させるなどの動作を可能とする

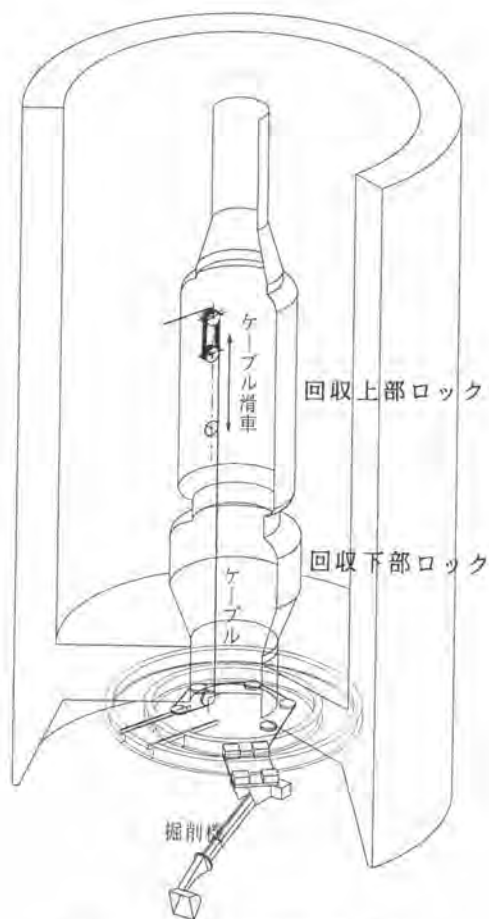


図-2 ケーブル引出し状態図

ことができた。巻取り装置とケーブルの引き出し状態を図-2に示す。

また回収ロック内は、土砂バケットと掘削機が昇降するのでそれぞれの平面形状に合わせたガイドを設けている。このガイドは、可動式で上部ロックは手動式、ハッチを備えた下部ロックは、圧気の状態であるので操作室から遠隔操作するようにした。可動ガイドの状態を図-3に示す。

掘削機の維持管理、可動型ガイドの操作、回収架台のセットなど大気圧状態の回収ロックに入る方法としてマテリアルロックから降りる方法がある。しかし土砂バケット専用設計されたロックのトラップでは安全ではない。作業者の安全を確保するためにマンシャフトと回収ロックの間に連絡通路を設け安全に対して充分配慮した。

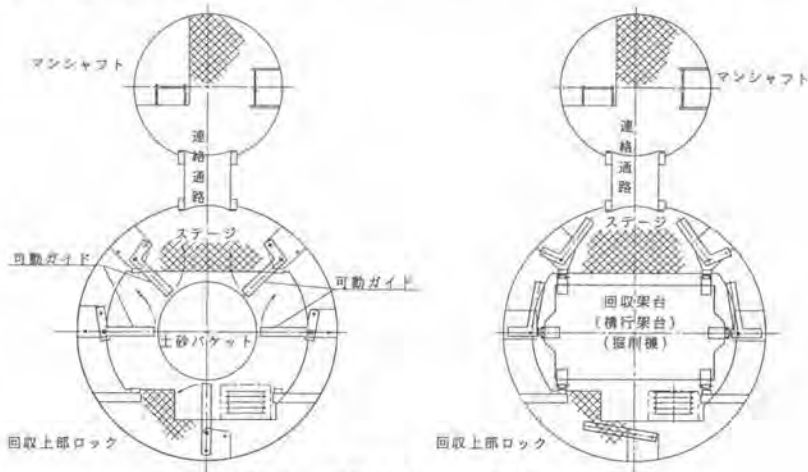


図-3 可動ガイドの状態図

3.2 回収対応掘削機

掘削機の設計に当たって留意したことは、

- ① 平面形状がφ2000mmのスラブ開口部に入ること。
- ② 回収時に動力線が活線状態であること。
- ③ 掘削機のブームがほぼ垂直まで降ろせること。
- ④ 掘削機の走行部に横行装置を組込むこと。

上記の4項目について検討を行い、回収対応型掘削機の設計が可能であることを確認し、各項目について基礎的な確認実験を行いながら細部の設計を行った。

平面的なおさまりは、掘削機の走行体および運転席と油圧ユニットが問題とされたが、運転席は、遠隔操作を行うので不要となり、また従来の掘削機走行体の幅を縮小し、油圧ユニットを容量を変えことなく限界内の寸法に納めることで解決した。掘削機のブームもφ2000mm内に納めるため、掘削時と回収時の2種の接点を備えた起伏シリンダの採用によりほぼ垂直に降下させることが可能となった。

掘削機の通常作業時は、走行レール上に位置しているが、回収時はスラブ開口部まで移動しなければならない。そのために掘削機の走行体に横行移動するためのスプロケット回転装置を設けることと、走行油圧モータの油圧を遠隔操作により切換える機構にした。

以上述べたように回収時は、自らの動力と遠隔操作室から送られる制御信号が必要で、常に活線状態にしておく必要がある。このために回収ロック内に巻き取り装置を設け、図-2の通り配線することによって作業室内の走行をはじめ、開口部への横行、巻上げて回収ロック内にケーブルも回収する事が可能となった。

3.3 横行架台および回収架台

横行架台は、走行レールの一部を切断し横行レールに車輪によって吊されている。この部分に乗移った掘削機は、掘削機走行体に設置されたスプロケット回転装置により自らの動力でスラブ開口部に着底している回収架台に乗移る。

回収架台は、マテリアルロックから立てた状態でクレーンで回収ロック内に降ろし水平にしてガイドローラをとりつける。ロック内を圧気し、回収架台をスラブ下部に着底させ横行架台の乗り移りを待つ。この状態を図-4に示す。

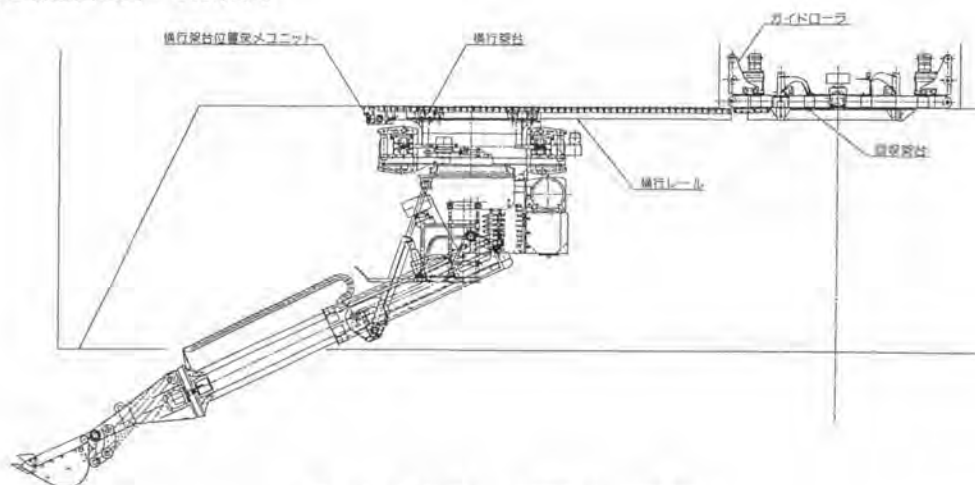


図-4 横行架台、回収架台の関係図

4. 実施工への適用事例

本システムは、東京都下水道局発注の下水道シールド立坑として採用され、ハッチを備えた回収下部ロックをアンカーロックとして使用し掘削機を解体することなく作業室に設置することができた。回収上部ロックは、5ロット構築後に設置し12ロット（GL-47.2m）掘削完了後、マテリアルロックシャフトを撤去して回収ロック内から掘削機を地上に回収した。今回の沈下完了時の函内圧は、3.5 kg/cm²で、従来の方法により解体搬出するとおむね1週間掛かるが、今回の回収システムによる回収作業は、作業員が高気圧内に入る事なく約半日で搬出を完了した。

5. おわりに

従来の無人化ケーソン工法では、沈下完了時に高気圧下の作業室に入って掘削機の解体をする必要があったが、回収システムの開発によりこの問題点は解消され、高気圧下の作業から作業員を開放することができた。本システムは、回収時の作業をテレビカメラを通して動作を確認しているが、今後センサ等の使用により自動化が図られるであろう。

5. 低重心三軸オーガ機による ソイルセメント連続壁の施工

成和機工(株)：矢嶋 壯吉

1. はじめに

地下工事の山留め壁として採用されるソイルセメント連続壁の施工環境は、大深度化、既設構造物との近接、狭隘なスペースでの施工と、近年ますます厳しくなっている。さらに、工期短縮や経済性の追求も加わり、施工機械は大型化し、リーダ長も最大33mにも達している。高いリーダを備えた施工機械は、近隣の住民や通行人に強い威圧感と圧迫感を与え、工事そのものに対する脅威ともなっている。このような現状を踏まえ、作業環境の改善と安全施工の向上を図るため、リーダ高が低い三軸オーガ機が開発された。この機械は、従来機とほぼ同等の施工能率と大深度施工能力を確保しながら、リーダ長が約半分であり、きわめて高い安定性を示す。

ここでは開発機の概要と、この機械を用いた名古屋下水道局発注の楯雨水幹線下水道築造工事の立坑での施工について報告する。

2. 低重心三軸オーガ機の概要

2.1 従来型機との比較

開発機と従来機の諸元比較を表-1に示す。従来型機の安定度はリーダ長33mで7.7度、30mで9.0度である。これに対して開発機は、ロッドに伸縮スクリューを採用することにより、リーダ高を極端に低くし、安定度を15度以上にまで高めている。また、後述するロッド自動供給装置と自動連結装置の併用により、削孔ロッドの継足し回数の増加による施工能率の低下を抑えるよう工夫している。

リーダ長を短くすることで高所作業の危険性は低下し、また図-1の比較図でもわかるようにコンパクトな機械となっている。

2.2 本機の特徴

- リーダ長15mの標準装備で25.3mまで削孔が可能。これ以上の深い削孔が必要な場合は、従来機と同様にロッド供給装置に別の継足しロッドを補充することで対応できる。
- 従来機の安定度(7.7度あるいは9.0度)の約2倍(15.8度)もの高い安定性を有し、5度以内の傾斜地では装備を解除せずに登降坂が可能。
- オーガ駆動部下部に設けたロッド自動連結装置により、ロッドとオーガ本体との連結が自動化されたことにより、従来機では不可避であった高所作業が不要。
- 1本目のロッドはスクリュー部とのテレスコープ型で、また2本目のロッド(継足しロッド)

表-1 開発機と従来機の諸元比較

比較項目	開発機	従来機		
リーダ長(m)	15	30	33	
地上高さ(m)	17.5	32.3	35.3	
削孔深さ(m) (標準装備)	25.3	直線部 23.4	直線部 26.4	
		コーナー部 21.8	コーナー部 23.8	
重心	旋回中心より 前方(m)	0.66	0.55	0.61
	地上高さ(m)	4.6	8.2	9.1
安定度(度)	15.8	9.0	7.7	

は、ベースマシーン回転リーダに取付けられたロッド自動供給装置に抱えられており、自動的に供給・格納ができる。したがって、従来機のように継足しロッドをいわゆる預け孔方式で脱着する必要がない。さらに、供給装置が180度回転できる機構としたため、コーナー部の施工が容易となっている。

- 従来機の下部振止めはワイヤーで吊っており、コーナー施工時には下部振止めを直線部施工時の位置より上位に移動させる必要があり、この分削孔深度が浅くなる。本機では、下部振止めは固定式であるが特殊な機構を採用しているため、コーナー部でも直線部と同じ深度まで削孔が可能。
- ロッドの供給や連結操作はすべて自動化しており、オペレーターはテレビモニターを通じて確認を行うだけとなり、誤作動がない。なお、マニュアル操作に切り替えもできる。

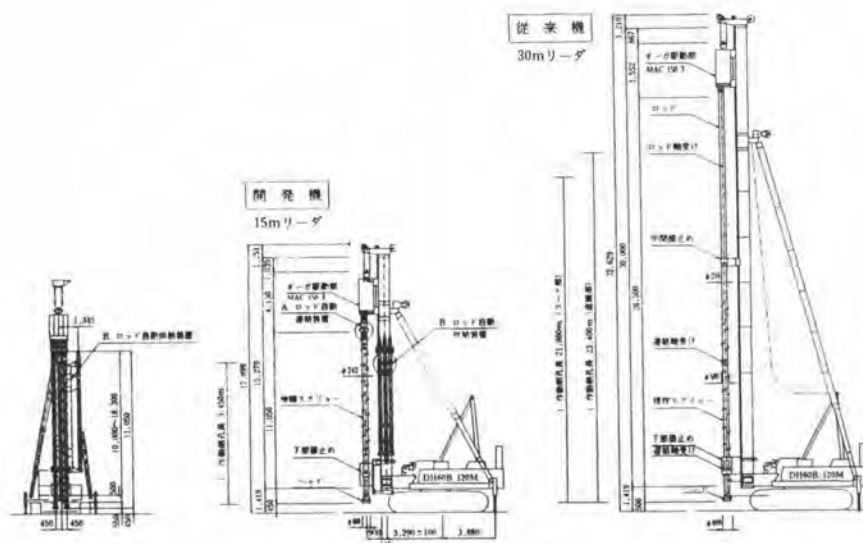


図-1 開発機と従来機の比較図

表-2 立坑土留め雙諸元

	J1立坑	J2立坑	J3立坑	合計
平面延長 (m)	24.3	63.0	28.8	
削孔深度 (m)	26.0	27.0	27.0	
山留め面積 (m ²)	631.8	1,701.0	777.6	3,110.4
芯材長 (m)	23.5	23.5	21.5	

共通事項

- 1) 平均壁厚 550mm
- 2) 削孔間隔 450mm
- 3) 芯材 11-390×300×10×16 (全孔設置)

3 低重心三軸オーガ機を用いた施工事例

3.1 工事概要

工事名称：楠雨水幹線下水道築造工事

工事場所：名古屋市北区丸新町付近

発注者：名古屋市下水道局

施工者：大成・鴻池・森・佐伯・クボタ・西濃JV

全体工期：平成5年7月～平成7年3月（604日）

名古屋市北区において現在、楠雨水幹線下水道工事が施工されている。この工事は道路面下約10mの深さに、管径3.5m、延長970mの管渠をシールド工法で築造する工事である。途中3カ所に

立坑を設けるが、いずれも人家の密集した市街地の道路交差点内にあり、交通規制を最小限にとどめかつ通行人への威圧感・圧迫感をやわらげるため、この立坑土留壁の施工に低重心三軸オーガ機を採用した。発進・中間・到達の各坑土留壁の諸元を表-2に示す。シールドトンネルはJ2立坑よりJ3立坑 に向けて東進し、J3でマシンをいったん解体、搬出する。その後再びJ2に搬入・組立しJ2より西進し中間立坑J1を経てポンプ所に到達する(図-2参照)。



図-2 工事位置平面図

3.2 地盤概要

施工場所は、名古屋市北部、国道41号線の新川中橋の北部に位置している。南側には、庄内川、矢田川が蛇行して西流しており、この周辺はこれらの河川により形成された後背湿地性の低平地と、自然堤防である微高地よりなっている。3カ所の立坑施工場所とも土層構成に大きな差異はない。地表面より盛土、沖積層(A層、厚さ3m)、洪積砂礫層(G層、4m)、洪積砂質土・粘土層(D_{s-c}層、4m)そしてシールドトンネルが通過する洪積砂礫層(D_g層、8~12m)の層序となっている。施工の主たる対象土層となるD_g層は、平均N値43で密実である、また、最大れき径は、ボーリング調査および周辺の他工事施工記録より200mmと推定された。地下水位は地表面下1.2~1.5mと高い。

表-3 使用機械一覧

用途	機械名	仕様	数量	重量	定格電力	起動電力
SMW 造成	ベースマシーン	D11608-120M 90D リーダ19m	1	(t) 79.06	(kW) 110.00	(kW) 220.00
	カウンターウェイト		1	19.50		
	減速機	MAC150-3	1	9.50		
	連結ロッド	7.6m	1	2.80		
	削孔泥練り機	φ600×14.7m	1	11.40		
	コンプレッサー	1'0S175S	1	1.05		
全重量				123.30t		
セメント系懸濁液の製造	全自動プラント	SHP-24A	1	10.80	33.90	33.90
	セメントサイロ	30t	1	4.50	6.00	6.00
芯材運込み	クローラクレーン	50t LS-118KH	1	54.10		
泥土・残土処理	油圧ショベル	0.4m ³	1	12.20		
	高圧洗浄機	HPJ 37NWX	2	0.14	5.50	11.00
	ダンプカー	10t	随時			
電力設備	ゼネレーター	NES400	1	6.00		
	ゼネレーター	NES90	1	2.30		
用水	水中ポンプ	φ40mm 揚程5m	1	0.02	0.25	0.25
	ノッチタンク	30m ³	1	5.44		
地盤養生	敷鉄板	5×20 f=25mm	20	36.40		

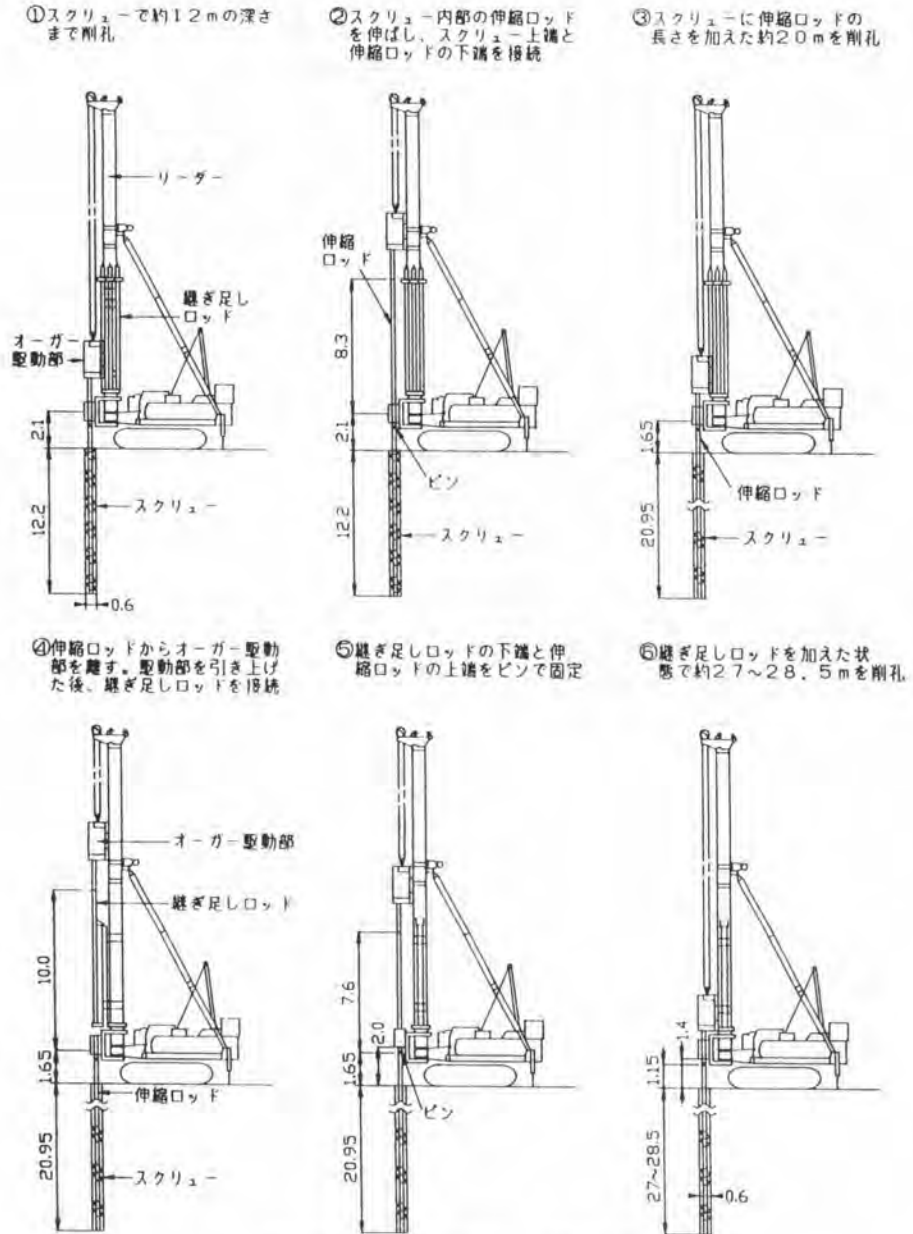


図-3 低重心3軸オーガ機の施工順序図

実際に施工してみて、この機械の長所と感じた事項は、

- ① 従来機に比べ機械高が低く、周囲に対する威圧感がきわめて少ない。また移動時の安定度が高い。
- ② オーガの脱着作業に人力作業をほとんど要しないため、接触や挟まれ災害の危険性が少ない。
- ③ オーガの預け穴が不要のため、作業スペースが有効に使える。本工事のような道路交差



写真-1 芯材挿入および掘削中の低重心三軸機
従来機よりやや時間がかかっている。しかしながら、その後のJ1、J3立坑では、作業に習熟したこともあって、従来機とほぼ同等の能率を得ている。

3.3 機械の改良

標準装備の低重心三軸オーガ機では、最大削孔深さは25.3mである。この工事では27.0mの削孔が必要であるため、トップリーダを3mから7mに変更するとともに自動連結装置と伸縮スクリューの間に、0.5mのエクステンションアダプターを追加挿入し、伸縮スクリューの下部に1.5mの普通型スクリューを接続することにより対処した。これによりリーダ長19m、総重量123.3t、安定度は12.4度となった。使用機械の一覧を表-3に示す。

3.4 施工記録

低重心三軸オーガ機の施工手順を図-3に示す。図中の手順③と④がこの機械の特徴である。J2立坑土留壁における平均的なサイクルタイムは、図-4に示す通りである、作業に必要な作業員数は従来機と変わらないが削孔・引抜き計4回のロッドの脱着には合計30分強を要し、

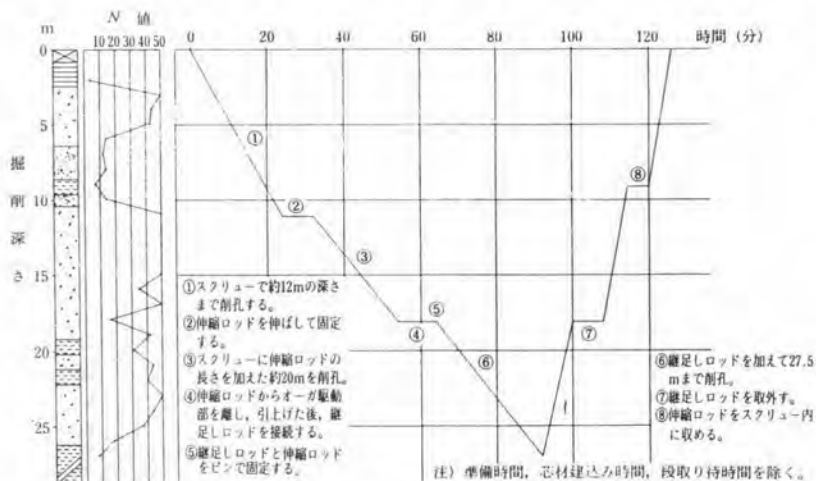


図-4 1エレメント当りのサイクルタイム

点内のような場所では非常に有効であった。

コーナー部施工時でも、機械据付け方向に自由度が高く、工事進行に伴う周辺設備類の移動が少ない。

などである。反対に短所と思われる事項として次の3点が挙げられる。

- ① 従来機に比べ機械の構造が複雑であり、組立解体に時間を要する。作業スペースが狭隘なこともあり、プラントも含め組立て解体にそれぞれ3日を要した。また油圧配管や精密機械類が多く組立て解体作業には常に慎重な取扱いを要する。
- ② オペレーターには熟練度が要求され、③項ともからんで現時点ではオペレーターのローテーションが組みにくい。
- ③ 現時点では稼働台数が1台のみであるため、不測の事態への対応に不安がある。

4. おわりに

低重心三軸オーガ機によるソイルセメント連続壁造成工事の施工事例はこれまでに4件を数えている。いずれも市街地における狭隘な作業スペースでの工事であるが、安全性・安定性の特徴をフルに発揮して工事を終えている。今後はサイクルタイムの一層の短縮と設備のユニット化が課題である。前者についてはロッド相互の脱着所要時間の短縮をはかるため、いわゆるピン差し作業が不要となる自動連結装置を完成させている。

都市における建設工事の施工環境はますます厳しくなっており、こうした環境の中で安全・確実な施工はもとより、大型化する施工機械による周辺住民への心理的影響も無視できないものとなっている。本報告がこうした対策への一助となれば幸いである。

6. “鉄筋籠自動溶接ロボットシステム”の 開発と適用

清水建設(株)：*尾之内 和久・渡辺 俊雄
菊池 雄一

1. 概要

近年の土木工事の分野においては、その施工規模が大型化・大深度化の傾向を呈している。この土木工事の工法のなかのひとつである地中連続壁工法は山留工事や建築基礎工事、地中構造物の側壁工事等へとその利用範囲が拡大している工法である。

地中連続壁工法は、大型掘削機により地中を泥水掘削し、掘削箇所を安定液で保持しながら鉄筋籠を挿入し、コンクリートを打設する工法である。現在、掘削深度100m以上・施工延長500m以上・壁厚2m以上の大規模施工を要求され、掘削精度等においても高品質な壁体の施工が望まれている地中連続壁工事の現状のなかで、その掘削や掘削に伴う泥水処理などでは大型掘削機や掘削制御管理システム、および安定液管理システム等の開発・運用により、作業の省力化・品質の確保・安全性の向上が顕著に現れ始めている。

しかし、挿入する鉄筋籠の製作に関しては、その規模・使用材料が大型化・重量化の傾向を呈しているにもかかわらず、従来からの鉄筋工・鍛冶工による人力での製作を行っているのが現状である。そこで、筆者らは現在の鉄筋籠製作工における低効率作業を改善し、作業の省力化、工期の短縮化、安全性の向上、品質管理の向上を目指すことを目的とした「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」を開発した。

清水建設では、本システムを平成5年8月より、実際の地中連続壁工事の鉄筋籠製作作業に導入した。その結果、本システムが鉄筋籠製作作業の省力化や品質管理、および安全性の向上等に優れた効果があることを確認した。



写真-1 「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」 多関節ロボット部

2. システム概要

1. システム構成

「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」は、①産業用多関節ロボット、②アーク溶接機、③ロボットを懸架する台車、④ロボットを風雨から保護するための自走式上屋（幅8.5m×長さ14.7m×軒高7.3m）、⑤鉄筋組立架台より構成されている。（写真－1、2）

アーク溶接機は溶極式ガスシールドアーク溶接法を採用しており、その溶接トーチは多関節ロボットの先端に取付けられている。ロボットは自動車工場等で使用されている一般的な6自由度垂直多関節型であり、横行可能な台車に懸架されている。このため、製作する鉄筋籠の短辺方向への連続移動と溶接作業が行える。また、台車と上屋はレール走行式となっており、鉄筋籠の長辺方向に連続移動が可能である。このように、システムが長短辺方向に連続移動可能となったことにより、製作する鉄筋籠に点在する溶接箇所を全てを網羅することができる。また、ロボットを懸架している台車内のガータは上下可動式であるため、厚さが最大2.4mまでの鉄筋籠の製作が可能である。

表－1 に本システムを構成する主な機構の仕様を示す。



写真－2 「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」 全 景

表－1 「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」 システム仕様一覧

	多関節ロボット	溶 接 機	台 車	鉄筋籠製作可能サイズ
仕 様	構 造：垂直多関節形 （6自由度） 天吊り仕様 駆動方式：ACサーボモータ 可搬重量：6kg 本体重量：180kg 位置繰返精度：±0.1mm 平均消費電力：1.5kW	溶接方式： CO ₂ アーク溶接方式 （タッチセンサ方式） 溶接芯線：φ1.2mm ソリッドワイヤ 溶接電流：max250A	 奥行き：11.1m	$B \leq 8.5 \text{ m}$ $H \leq 2.4 \text{ m}$ L：無制限
数量	2 機	2 台	1 基	—

II. システムの動作パターン

「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」は鉄筋籠1エレメントを製作するにあたり、鉄筋配置・溶接箇所を探査・溶接の基本的な繰返し作業を基本動作パターンとしている。

動作1. 鉄筋配置

鉄筋組立架台に鉄筋籠の材料となる鉄筋・フレーム材を揚重機等で配置する。鉄筋組立架台は、鉄筋配置の定規架台として精度良く作成しており、鉄筋配置箇所には切り欠きがあり、鉄筋が精度良く配置されることにより、ロボットの溶接箇所を探査時間を短縮させ、サイクルタイムの向上を図っている。この作業は、従来通りの人力作業で行う。

動作2. 溶接箇所を探査

多関節ロボットの先端に取付けてあるタッチセンサー方式の探査棒が溶接箇所（鉄筋同士の交点等）を探査（センシング）する。この作業は、システムを監視するオペレーター1人で行うことができる。

動作3. 溶接

溶接箇所を探査した後、ロボット先端が回転し、溶接トーチが溶接箇所の点付け溶接を行う。実際の鉄筋籠製作では鉄筋と鉄筋、鉄筋とフレーム材の溶接である。そこで、実施工では溶接母材に適合した溶接ビードや溶接強度が得られる溶接を行うために溶接電流値に3種類の管理値を定めた。この作業の管理も、溶接箇所を探査同様、オペレーター1人で行う。

溶接箇所を探査（センシング）と溶接作業については、本システムの導入直後、熟練溶接工がロボットを操作し、諸条件をティーチングする。以下にティーチングの内容を示す。

- ・鉄筋の格子の大きさ
- ・使用鉄筋のサイズ
- ・探査方法（センサー位置と溶接位置の距離、センサー移動速度等）
- ・溶接方法（トーチ角度、溶接時間、ウィーピングの有無等）

ティーチングの完了後、プログラミングされた一連の作業を無人で反復実行させる。（ティーチングプレイバック）

溶接箇所を探査（センシング）、および溶接の一連の作業のサイクルタイムは、溶接箇所1箇所につき約30秒程度である。

本システムによる作業をスムーズに行う主な管理点としては以下のものが挙げられる。

- ① センシングミス発生の防止のために、配筋時、鉄筋組立架台（定規架台）の切り欠きに鉄筋を正確に配置すること。
- ② 溶接不良発生の防止のために、溶接箇所の材料（鉄筋・フレーム）に一定以上の隙間を生じさせないこと。
- ③ 溶接ポイントミス発生の防止のために、ティーチングを正確に行うこと。

図-1に本システムの作業手順（作業基本フロー）を示す。

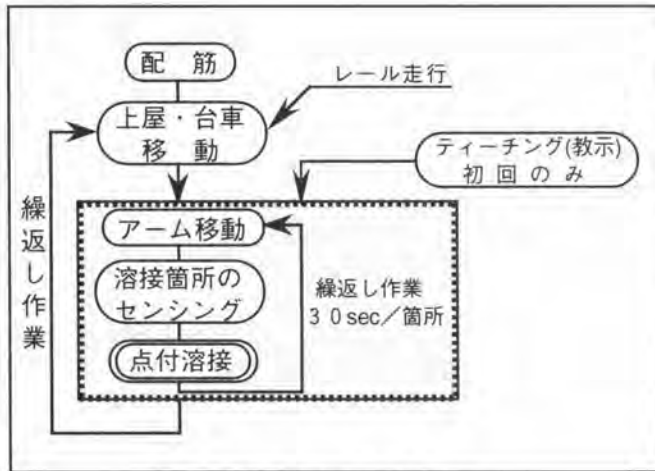


図-1 システム作業基本フロー

Ⅲ. 溶接条件の決定と管理

一般的にアーク溶接法の溶接条件としては、電流・電圧・溶接速度・シールドガス供給・ワイヤと母材との離隔・母材同士の離隔等があり、各条件の微妙な変化により形成される溶接ビードや溶接後の強度等の品質に影響を及ぼす。母材に適合しない溶接条件での溶接は、母材の断面欠損の発生や、溶接箇所の脆弱化等の原因となり、溶接欠陥となる。

そこで、筆者らは鉄筋籠製作を目的とした自動溶接システムを開発・運用するにあたり、要求品質を満足させる溶接条件の検討を行った。その結果、このシステムを本施工への導入の際には、表-2の管理基準を設定し作業を行った。

表-2 「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」溶接管理基準

溶 接 電 流	鉄 筋 + 鉄 筋	160 A
	鉄 筋 + フレーム	170 A
	フレーム + フレーム	220 A
溶 接 電 圧	28V～22V	
溶 接 ワ イ ヤ	ソリッドワイヤ φ1.2mm	
シールドガス	100% CO ₂ , 16ℓ/min	
ト ー チ 角 度	水平面より20° (角度定規によりチェック)	
溶接母材のギャップ (離隔)	4～5mmのギャップを結束にて 2mm以下にする	

3. システム評価

ここでは、「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」を、先に述べた変断面地中連続壁工事の施工に導入した結果の評価を述べる。(システム稼働期間：平成5年8月～6年6月の約11ヶ月間)

本来、工業用の多関節ロボットは、工場の家屋内で使用され、ロボットの作業環境は良好に保持されているものである。しかし、本システムでは、ロボットを屋外で使用し、しかも工事現場という悪い環境下で作動させるというものであり、画期的なシステムといえる。

システムを採用した現場では本システムによる製作作業と従来の人力による鉄筋籠製作作業の2系統の方法で鉄筋籠製作を行ったため、双方の作業能率の比較が可能となった。その結果、本システムによる鉄筋籠製作作業が従来の製作作業に比べ、作業の省力化・安全性等において大きな優位性を有していることが判明した。

本システムで製作した鉄筋籠は、標準的なエレメントのサイズが平均長さ70m×幅8.0m×厚さ2.5mである。このシステムで製作したエレメント数量はが15基であった。鉄筋籠の材料には、縦筋(鉛直方向)がD38、横筋(水平方向)がD29であり、フレーム材には構造用鋼材(〔-200、L-75〕)を使用している。1エレメントの溶接箇所は最大4000箇所以上である。このうち、鉄筋同士の溶接が約60%、フレームと鉄筋の溶接が約40%の割合である。表-3に製作した鉄筋籠の規格およびその鉄筋籠製作における労力比較を示す。

なお、表-3に記載してある延作業人員は鉄筋籠の溶接作業のみ的人数比較であり、材料の鉄筋・フレームを鉄筋組立架台に配筋する作業等は従来の人力による製作と同作業であるため、比較対象外とした。

表-3 鉄筋籠の規格、実施工における労力比較

システム導入期間	平成5年8月～平成6年6月 (11ヶ月)		
鉄筋籠寸法 (1エレメントあたり)	長さ70.0m×幅8.0m×厚さ2.5m		
鉄筋籠重量 (1エレメントあたり)	110.0t (鉄筋80t+フレーム30t)	溶接箇所数 (1エレメントあたり)	4,034箇所 (点溶接)
	『自動溶接ロボット』	従来の鉄筋工による作業	
延作業人員	18人	40人	
比率	0.45	1.0	

実施工を通じて判明した「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」の効果を以下に示す。

①全天候型作業の実現

本システムは走行式上屋内での作業であるため、風雨等の天候に左右されないでの溶接作業が可能となり、工程管理が容易になった。

②品質確保の実現

多関節ロボットの溶接作業をコンピューター制御で反復作業を行わせるために、高品質な溶接の連続作業が可能となり、製作する鉄筋籠の品質管理が容易となった。このことにより、信頼性の高い鉄筋籠の製作が可能となった。

③安全性の向上

従来の鉄筋籠製作作業では、配筋された鉄筋上での作業員の足の踏み外しや、梯子・脚立作業での転倒などの災害が発生する可能性が大きかった。しかし、本システムの導入により、作業員の配筋上での作業や、梯子・脚立を使用しての作業が大幅に減少したため、安全管理の改善に大きく貢献した。

④省力化の実現

本システムによる鉄筋籠1エレメントあたりの製作延人員は、従来的人力製作の半分以下となり、鉄筋籠製作の省力化を実現した。

5. 今後の課題

「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」を研究開発し、実施工に採用したことにより、鉄筋籠製作における省力化や作業の安全性・品質管理等の点で本システムの優れた効果が実証された。

これからの課題としては、ティーチングの簡素化やセンシングの迅速化（または、センシングレス化）、多関節ロボットや台車・上屋の走行速度の向上等でシステム全体の高速化をはかることが望まれる。そのためには、数多くの実施工への導入・活用機会を設け、実践を通じたシステムの改良が必要である。

今後、大規模な地中連続壁の施工が多く望まれるなかで、「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」は、掘削制御管理システム・安定液管理システムと併せて有効な施工手段となるであろう。

7. 低姿勢型大深度地中連続壁掘削機

パワー工法研究会：前 良一・*渡辺 宏志

1. はじめに

地中連続壁掘削機の一つである水平多軸回転カッターに分類されるトレンチカッターが日本に導入されて既に6年が経過している。この間にトレンチカッターの連続排泥システムは導入当初のホイールサスペンション方式から、コンパクトで低姿勢でありながら最大深度150mまで掘削可能なホースドラム方式へと発展している。本文は最新の連続排泥システムであるホースドラム方式について、その開発経過及びシステムの紹介をおこなう。

2. トレンチカッター本体の特徴

地中連続壁の掘削方式は、大別して「バケット式」、「衝撃式」、「回転式」の3種類に分類されるが、トレンチカッターは回転式掘削機の一つである水平多軸回転カッターに分類される。図1に当カッターの概略構造を示す。また当掘削機は以下の特徴を有している。

- ・大トルクのカッター
- ・礫破碎機構とショックアブソーバー
- ・ワンタッチで着脱可能なティース
- ・掘り残し部分をなくす横倒れ機構付きティース
- ・ホース等の接続時間を無くした連続排泥システム

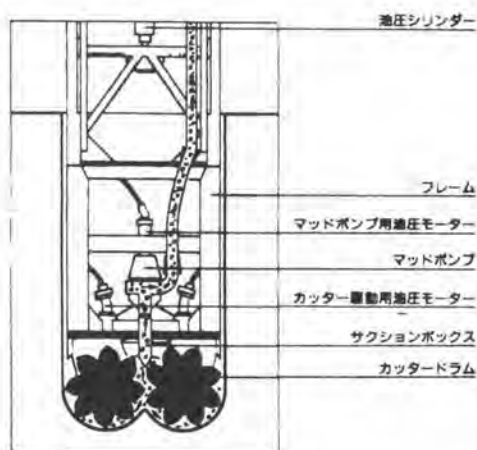


図1 カッター本体の構造

3. 連続排泥システムとは

従来のリバース方式の地中連続壁掘削機の場合、排泥にはパイプを用いているのが現状であった。従って掘削やマシンの引き上げの際には必ずこれらのパイプの脱着作業が必要となり、大深度の掘削の場合にはこの作業が時間的にも、また労力的にも無視できないものとなっていた。

当掘削機では従来のようなパイプの脱着作業を無くし、省力化ならびに高速施工性を確保するため、連続排泥システムとして、一本物の排泥ホースを採用し、かつ掘削と同時に自動的にホースを吊り下ろしていく機構を採用している。

日本に導入当初の連続排泥システムは、ベースクレーンに通常のブームを取り付け、油圧ホースと排泥ホースをホイールを介して吊り下げるホイールサスペンション方式を採用していたが、大深度の掘削にはベースクレーンの大型化が必要であり、狭い現場では作業性の問題があり、当掘削機の採用が限定

された。したがって大深度連続壁に対応でき、かつ掘削機の小型化、低姿勢化を可能とした、第2世代の連続排泥システムとして、排泥ホースと油圧ホースをドラムに巻取り、掘削深度にあわせて順次ホースを巻出していくホースドラム方式を開発した。当ホースドラム方式を採用することによりカッター本体の持つ高能率性を損なうことなく、掘削機全体の高さ及び奥行きを約70%に低減することが可能となった。

最新のホースドラム方式と従来の連続排泥システムであるホイールサスペンション方式の比較を図2に示す。

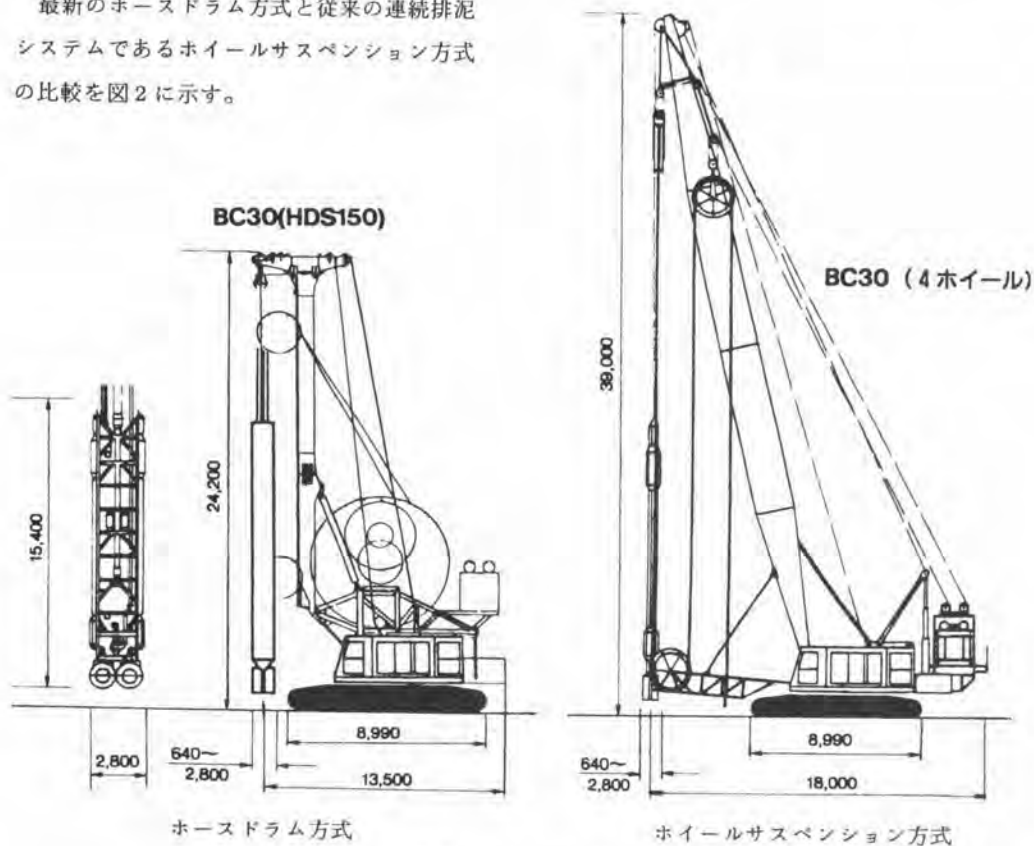


図2 ホースドラム方式とホイールサスペンション方式の比較図

4. ホースドラム方式の開発経過

従来のホイールサスペンション方式のトレンチカッターは広い工事現場での大規模連続壁工事において高速施工性を遺憾なく発揮できたが、その採用には制限があった。したがって地下鉄工事に代表される都市部での狭い空間や、路下での施工を目的とした小型の掘削機として、小型のカッター本体と、排泥ホースと油圧ホースにホースドラム方式を採用したMBC30が最初に開発された。その後、MBC30のホースドラムを従来のカッター本体に組み合わせ、掘削機全体の高さを約20m、奥行きを約8mにおさえたHDS60が開発された。このHDS60は特殊なベースマシーンを必要とし、かつホースドラムの巻取り長がそのまま掘削深度となり、機械本体高さが有効利用されていない点が次の改良点として残った。

HDS 60の持つこれらの点を改良し、一般のクレーンをベースマシンに採用でき、かつ掘削機本体の高さを有効利用して掘削深度を増加できる、現在のホースドラム方式のHDSシリーズへと発展した。

5. ホースドラム方式のトレンチカッターとは

5.1 ホースドラム方式の構成

ホースドラム方式の標準はマストタイプが標準となっており、現在日本に導入されている機種も全てマストタイプである。マストタイプのホースドラム方式でのトレンチカッターは以下の構成となっている。

- ・カッター本体（BC30）
- ・ベースマシン（100tまたは150t級の通常のクローラークレーン）
- ・カッターベースシステム（CBS、図3参照）
 - 基礎フレーム
 - マストヘッドを装着したマスト
 - ホースガイドスレージ
 - マスト傾斜装置
- ・ホースドラムシステム（HDS、図4参照）
 - 油圧ホースドラム
 - 排泥ホースドラム
 - 油圧ホース
 - 排泥ホース
- ・パワーバック

ここでカッターベースシステムはベースマシン上に設置し、ホースドラムシステムを支持する。従って、ベースマシンの形式に合わせて基礎フレームは新規に設計、製作となるが、マスト等の他の構成部品は同一の設計である。

一方、ホースドラムシステムは掘削深度に合わせてホースの巻取り長よりドラム径を決定するので、発注仕様によりその都度設計、製作となる。この場合ホースドラム巻取り長を100mとすると、排泥ホースホイールと油圧ホースホイールを吊っているスレージを約11m下方にスライドさせることにより、120mの掘削深度が得られる。

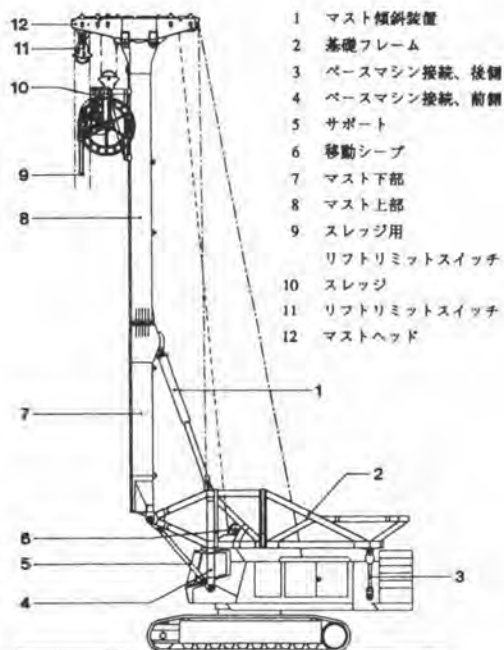


図3 カッターベースシステム

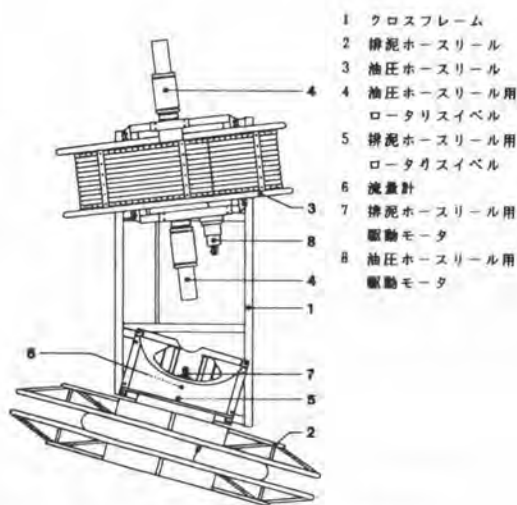


図4 ホースドラムシステム

5. 2 ホースドラム方式の特徴

ホースドラム方式は従来のホイールサスペンション方式と比較して以下の特徴が有る。

- ・掘削機がコンパクト（同一の掘削深度の仕様の場合）
- ・大深度掘削の対応が容易
- ・安全性の向上
- ・小作業スペース
- ・組立解体の省力化

ホイールサスペンション方式とホースドラム方式の得失を表1に示す。

表1 ホイールサスペンション方式とホースドラム方式の得失

項 目	ホイールサスペンション方式	ホースドラム方式
大深度への適用性	深度120m以上の場合、 Λ° -マストに200t級以上のクローラーまたは専用櫓が必要となり、不経済である。	深度150mの場合でも150t Λ° -マストで充分対応でき、経済的である。
限られたスペース内での施工性	長尺 Γ - Δ に Λ - Λ を吊り下げる構造となるため、全長が18～21mと長くなり、他の重機類との取り合いに苦勞する。	鉛直に立てたマストを基本的に採用しているため、全長で約14mとコンパクトであり、作業性が良好である。
近隣に与える印象	Γ - Δ 高さが35～39mと非常に高く、また上部に Λ - Λ を吊っているため、威圧感を与える。	マスト高が約24mと低く、かつ上部に Λ - Λ を吊っていないことから、威圧感が少ない。
組立、解体時に必要なスペース	Γ - Δ 長+10m程度の組立スペースが必要であり、適用に際し、用地の制限を受ける	マスト長が短いことから、組立、解体スペースは Λ - Λ マスト方式より少なく済む。

6. ホースドラム方式のトレンチカッターの製作及び施工実績

ホースドラム方式は1994年8月現在までに、全世界で8台が製作されており、そのうち日本国内にはHDS60、HDS80、HDS120の各1台、合計3台が導入されている。

日本国内での施工例としては、地下鉄工事においてHDS60が壁厚0.65m、掘削深度36.0mの泥水固化壁の施工に、HDS80が壁厚1.6m、掘削深度77.5mの雨水調整池の本体壁兼用土留壁に、HDS120が壁厚1.6m、掘削深度120.4mのLNGタンク建設工事に採用されている。

7. おわりに

地中連続壁工事は今後、ますます大深度、大壁厚の連続壁が採用されていくものと予想される。一方掘削機は狭い作業条件での施工性、安全性及び近隣への環境を考慮して、よりコンパクトでかつ機動性の優れた機械が要求されている。これらのニーズにたいし、当ホースドラム方式の掘削機が一つの方向性を示すものと確信する。

最後に当ホースドラム方式の開発に多大の協力及び助言をいただいた株式会社間組、また積極的に導入していただいた発注者、ゼネコンおよび專業者の各位にこの場をもって謝意を表します。

8. 深礎機械化工法(T-VEX工法)の開発

飛鳥建設(株)：大森 了・堀崎 敏嗣
川村 哲也

1. はじめに

従来、深礎工法は人力作業を主体として基礎を構築する工法として幅広く利用されてきたが、深くて狭小な断面内での人力による施工は安全性や労働環境に課題が多く、また近年、特殊技能労働者不足と工事従事者の高齢化の問題に対し、危険・苦渋作業の改善ならびに省力化を目指したより安全な工法が求められてきた。

このような問題に着目し、本開発工法は施工法の機械化・システム化により、各施工機械をオペレータによる地上からの遠隔操作により孔内人力作業を極力排除し深礎杭基礎施工の安全性と施工性の向上を目指した。以下に工法の概要ならびに実証実験とその結果を報告する。

2. 背景と目標

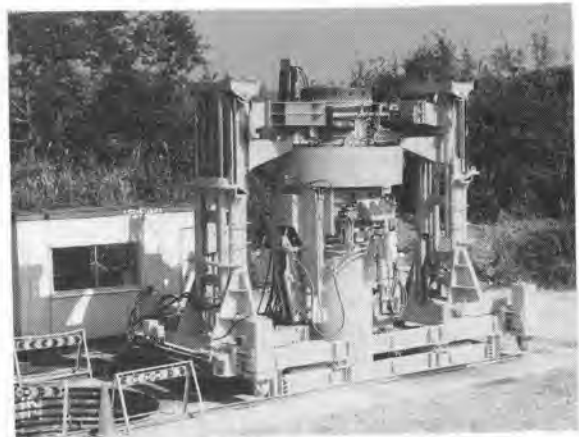
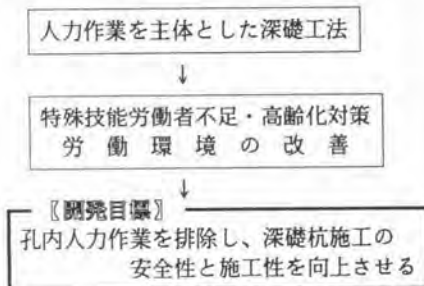


写真-1 装置全景

3. 工法の概要

3.1 T-VEX工法のシステム概要

深礎機械化工法の各工種毎の主要構成機器と施工方法を示す。

表-1 システム概要

工 種	機 器 名	施 工 方 法
掘 削 排 土	ガイドパイプ式旋回掘削機 ハンマークラブ	周辺部の掘削及び先行掘削部への集土 中央部先行掘削及び周辺部掘削時同時排土
土 留 め	吹付マニピュレータ	自動運転による吹付コンクリート
鉄 筋	ユニット式鉄筋籠	鉄筋籠連結による地上での建て込み
コンクリート	パイプレータ付トレミ管	遠隔操作による締め固め

従来工法では、中央部の掘削及び排土をテレスコピック式クラムシェルにより行い、周辺部を人力により掘削・整形した後、ライナープレートを組み立てて土留めを行う方法が主流となっている。本工法は、図-1に示すように、ガイドパイプ式旋回掘削機、ハンマーグラブ、土留めに使用する吹付マニピュレータなどで構成され、以下のような手順で施工を行う。

- ①ハンマーグラブにより杭中央部を先行掘削・排土する。
 - ②地盤の硬さに応じてガイドパイプ式旋回掘削機に装備されているツインヘッドまたはブレイカにより周辺部を掘削し、先行掘削部に集土する。
周辺部の掘削・集土中、並行してハンマーグラブにより排土する。
 - ③吹付マニピュレータにより、吹付コンクリート土留め壁を構築する。
- 以上①～③のサイクルを所定の深度まで繰り返しユニット式鉄筋籠を孔内に挿入後コンクリートを打設して深礎杭1基の施工を終了する。

T-VEX工法
(Tobishima Vertical Excavate Method)

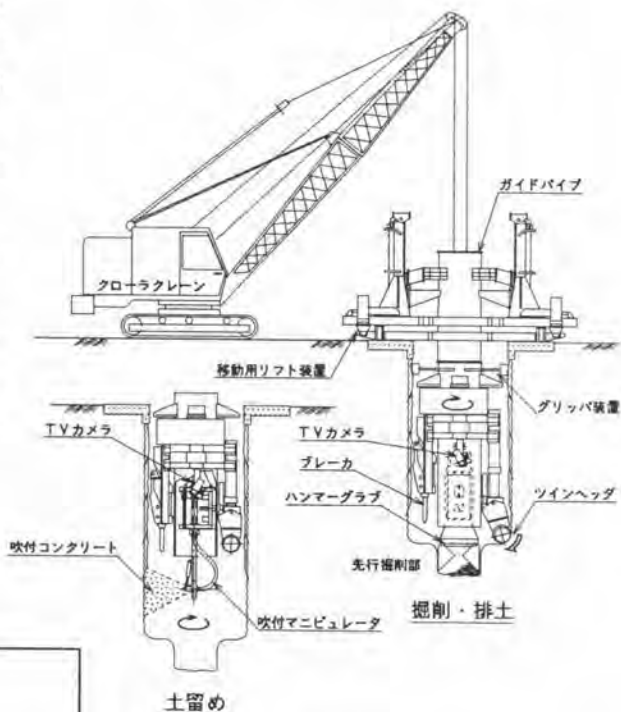


図-1 システム概要図

3.2 T-VEX工法の適用範囲

表-2 適用範囲

[適用範囲]	
適応径:	φ2,500～φ4,000mm
適応深度:	30m
適応地盤:	土砂から軟岩 (一軸圧縮強度200kgf/cm ² 程度) 硬岩の場合 人力併用(発破・静的破砕剤)

3.3 深礎掘削土留め装置概略仕様

表-3 概略機械仕様

名称	項目	概略仕様
深礎掘削装置	輸送時寸法	全長: 6,444mm 全高: 2,450mm 全幅: 2,800mm
	稼働時最大寸法	全長: 6,444mm 全高: 4,627mm 全幅: 3,676mm
	重量	上部掘削装置: 10,400kg 下部掘削装置: 9,100kg
	装備機械	ツインヘッド(MT600クラス) 油圧ブレイカ(450kgクラス) TVカメラ&モニター 昇降用ゴンドラ
吹付マニピュレータ	寸法	外径: φ1,090mm 全高: 3,020mm
	重量	750kg

3.4 施工フロー

T-Vex工法による施工の全体フローを表-4に示す。

表-4 全体施工フロー

全体施工フロー	補 足 説 明
<pre> graph TD Start([start]) --> A[表層掘削/根固め] A --> B[掘削機移動/設置] B --> C[中央部掘削/排土 (ハンマーグラブ)] C --> D[周辺部掘削 ツインハック & ブレーカ] C --> E[排 土 (ハンマーグラブ)] D --> F[吹付マニピュレータのセット] E --> F F --> G[コンクリート自動吹付] G --> H{支持層到達} H -- n --> B H -- y --> I[孔底処理] I --> J[鉄筋建込み] J --> K[コンクリート打設] K --> End([end]) </pre>	<ul style="list-style-type: none"> 表層地盤の支持力に応じ、根固めコンクリートを打設する。 鉄筋加工/組立ヤードにおいて、鉄筋籠を別途製作する。 ガイドパイプ式巡回掘削機をレール移動し、所定の位置に設置する ハンマーグラブにより中央部を先行掘削する 周辺部掘削と排土を同時に行う。 吹付マニピュレータをガイドパイプ内に挿入し、所定の高さにセットする。 コンクリート吹付(自動運転)により掘削孔壁の土留めを行う。 支持層確認/孔底処理を行う。 別ヤードで製作した鉄筋籠を搬入し、地上で連結しながら孔内に降ろす。 パイプレタ付トレミー管により締め固めながらコンクリートを打設する。

4. 実証実験

4.1 実験概要

実証実験は、掘削・土留め性能の確認を目的として、粘性土、砂質土、転石混り層、コンクリート層の4種類の地盤条件で行った。

実験規模を図-2に示す。このうち、転石混り層およびコンクリート層については、人工的に造成して実験を実施した。

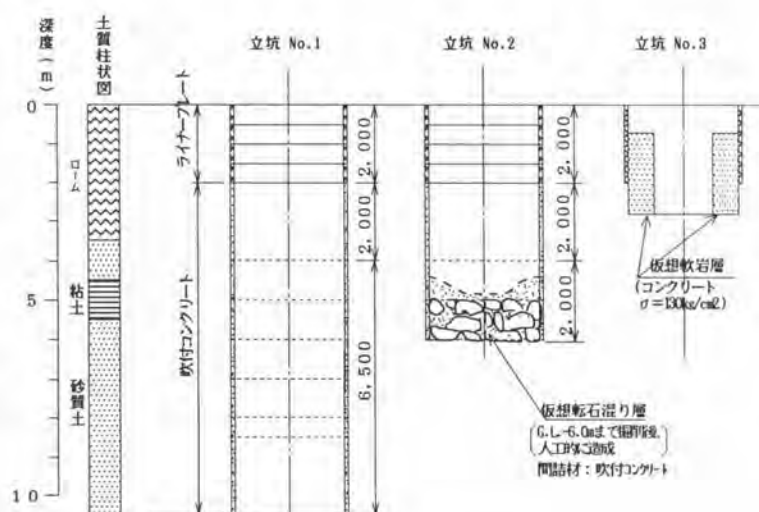


図-2 実証実験概要図

4.2 実験結果

表-5 実験結果(施工速度)

(1) 施工能力

4種類の地盤における開発工法の実施結果(平均施工速度)を表-5に示す。実証実験の範囲では、本工法の施工速度は従来工法に比べ約25~30%程度アップしており、機械化により施工能力が向上したと考える。

土質	従来工法 (a)	開発工法 (b)	比率 (b/a)
粘性土層	約210分/m	160分/m	0.76
砂質土層		150分/m	0.71
転石混り層	約370分/m	260分/m	0.70
コンクリート層	約440分/m	320分/m	0.73

※1mあたりの掘削・土留めの施工速度を示す。

(2) 施工精度

掘削精度については、鉛直に降ろされたガイドパイプを定規としてツインヘッドで切削掘削するため、掘削面はほぼ真円状態で、深度方向に対する掘削鉛直度も立坑No.1の深度10m地点において杭芯のずれは20mm(1/500)程度であり高い精度と言える。

次に吹付厚の深度方向の分布を図-4に示す。吹付マニピュレータの自動運転で施工された吹付厚については、施工管理値100mmに対してはほぼ100~120mm(max:134mm)の範囲で施工されている。

(3) 土留め安定性

今回、機械化施工により鋼製ライナープレートに替えて採用された吹付コンクリートによる土留めの安定性は、立坑No.1において実施した内空変位計測結果によれば、変位は最大0.7mmとほとんど生じることがなく、目視によるクラックの発生も認められなかったことから、事前の覆工解析から算出された吹付厚さでの吹付土留めの安全性に問題はなかったと考えられる。また、実際の施工においてはトンネル施工におけるNATM工法に準じ、地質に応じた吹付コンクリートによる標準土留め設計を確立し、施工中は吹付厚や内空変位計測等の簡易な計測を実施する必要があると考える。

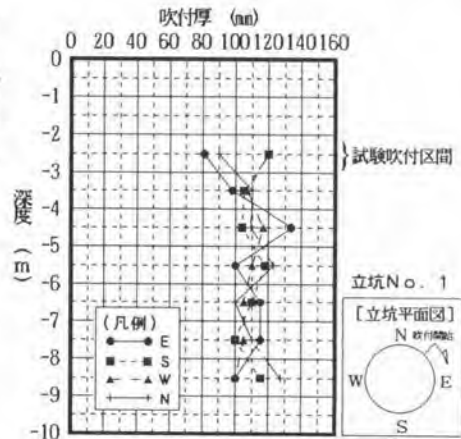


図-4 吹付厚さ分布

5. おわりに

実証実験により、限られた条件下ではあるが、従来工法に比べ安全性が向上し、施工能力もアップするなど本工法が実用性を有することが確認された。

今後は、実工事に適用しながら、設備のコンパクト化などをはじめとした改善を行い、さらにはより経済的な工法へと発展させていくための改良を進めていく所存である。

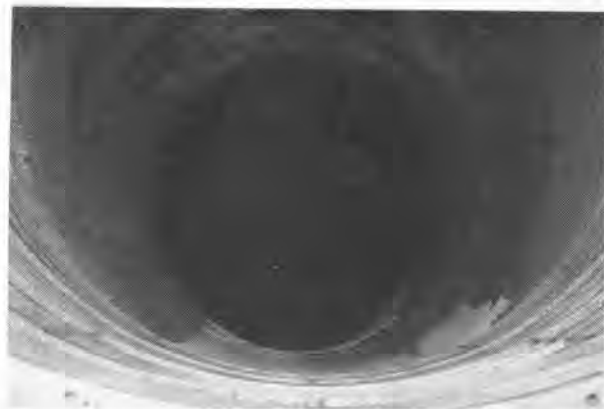


写真-2 出来型仕上がり状況

9. 薄膜遮水壁工法の掘削機械とその施工方法 (TRUST工法)

大成建設(株)：*有山 元茂・内藤 禎二
荒井 政男

はじめに

地下水の流れを遮断したり制御するための遮水壁は、地下構造物の施工には欠かせない技術として発達してきた。さらに近年は、地下水を積極的に利用するための地下ダムや、液状化防止対策工、地下水の汚染防止工といった新しい利用方法が注目されている。現在、これらの遮水壁には、鋼矢板壁、ソイルセメント壁、連続地中壁などが多く採用されている。しかし、鋼矢板壁やソイルセメント壁を遮水壁として使用する場合には、鋼矢板壁で約20m、ソイルセメント壁で約50mといった施工深度の制限や、深度が深くなるにつれてエレメント間のジョイント施工が難しくなる等の問題を有している。また、連続地中壁を遮水壁として使用する場合には、水平多軸回転カッター式で壁厚65cm程度が最小であり、止水や遮水だけを目的とする場合には不経済となる。このため、経済性・信頼性に優れた大深度まで施工できる壁厚の薄い連続地中壁の開発が求め



写真-1：TRUST-21型掘削機

られてきた。そこで、大成建設(株)、ライト工業(株)、成和機工(株)、(株)利根の4社で共同研究を行い、最小壁厚20cm、最大深度150m、沖積土から軟岩まで広範囲の地盤で掘削可能な薄膜遮水壁用掘削機であるTRUST21型機を開発した。また、本掘削機を用いた遮水壁構築工法であるTRUST工法の実証実験工事を行い、薄膜遮水壁の構築技術を確立したのでここに報告する。

1. 掘削機械 (TRUST-21型機)

遮水壁を目的とした大深度掘削に対応可能な最小壁厚200mmの薄膜掘削機を開発するにあたり、様々な角度から検討を行った結果、サイドカッター並びにオフセットビットを併用したディスクカッター方式を選定した。当初、水中ポンプ搭載型の検討を行ったがポンプ収納部の容積が大きく、壁厚が厚くなり薄膜のイメージから外れることや、フレーム強度や重量の問題で地上に設置したサクシヨンポンプ等による排泥方式を選定した。

掘削機はベースマシンからワイヤーロープで吊り下げ、ケーブルリールに巻かれた導電ケーブルを介して掘削機に搭載した水中モータを駆動し、動力伝達装置を介して各カッターを駆動回転させる。また、高精度位置管理システムから得られた掘削機の絶対位置や捻れなどの情報を基に、アジ

ジャスタブルガイドによって掘削機の姿勢を制御することができる。以下にTRUST-21型掘削機の主な仕様を述べると共に、構造図を図-1に示す。

(1)掘削機の形状、重量

TRUST-21型機は、最小厚さ200mm（最大厚さ600mm）、幅3,980mm、高さ7,318mmでありフレーム強度から実用上最大限に近い寸法となっている。重量は24t（水中重量21t）であり、80tクラスのベースマシンが必要となる。

(2)動力

駆動装置として18.5kwの電動油封式水中モータを左右1台づつ搭載している。これらのモータは、左右単独に駆動できるようになっている。さらに、インバータ制御盤（22kw×2台）を用いてモータの回転数を変化できるようにしているため、初期掘削時やレキ掘削など振れや衝撃を伴う地層に対しては回転数を下げるなどして掘削条件に合わせて適切な回転数を選定することができる。また、サイドカッターとオフセットビットに負荷が集中的に作用した場合のギアの損傷を防ぐために、摩擦力によるクラッチタイプのスリップ機構を備えている。

(3)カッター

壁の主要部分である20cm厚を掘削するディスクカッター2枚、水中モータ・ギアボックスの下部を掘削するサイドカッター4枚、そしてエレメント間のラップ部を掘削するオフセットビット2組から構成される。これらのカッターで、沖積土から軟岩（ $q_u=500\text{kg}/\text{cm}^2$ ）までの地盤を掘削することが可能である。

(4)アジャスタブルガイド

前後両面の上下に各4箇所（計8箇所）、左右両面の下部に各1箇所（計2箇所）に、ストローク50mmの電磁操作油圧シリンダー式アジャスタブルガイドを取り付けている。これらのアジャスタブルガイドによって掘削機の姿勢を制御することが可能である。

(5)その他

大深度掘削に対応できるように掘削機には本体内に油を充填し、高感度圧力バランス装置により内部圧を水頭圧とバランスさせてシール性能の信頼性を図っている。また、固化材を機械攪拌することでモータに負荷がかかり発熱するのを防ぐ目的でモータ外筒をジャケットで被い、冷却水を循環して強制冷却するようにしている。

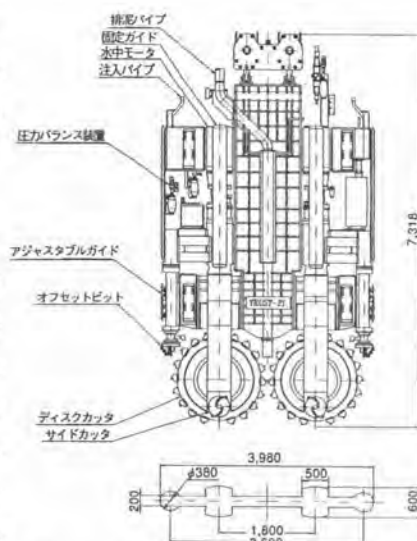


図-1：TRUST-21型掘削機構造図



写真-2：カッター部詳細

2. 高精度位置管理システム

すでに白鳥大橋や東京湾横断道路などの大型連続地中壁工事で多くの実績を有する高精度位置管理システムを搭載することにより、薄い壁厚で大深度まで精度良く施工することを可能とした。高精度位置管理システムは図-2に示すように、掘削機に位置検出用のワイヤを取付け、精度管理装置に設置したレーザ変位計により掘削機の移動に伴い発生する検出ワイヤの移動量をミクロン単位に測定することにより、掘削機の絶対位置・捻れ状態・傾き等を高い精度でリアルタイムに検出する。得られた情報を基に、掘削機のアジャスタブルガイドによって捻れや傾きを制御することで、深さに関係無く僅か5cm以内の精度で掘削機の位置をコントロールすることができる。

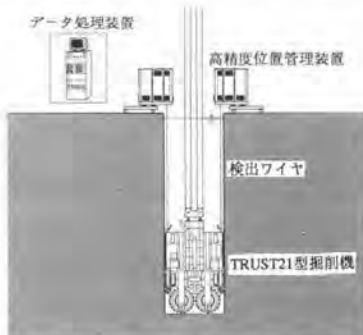


図-2：高精度位置管理システム



写真-3：高精度位置管理システム使用状況

3. 遮水壁の構築手順

本工法は、連続地中壁工法の回転式掘削機を用いた工法と同様に、安定液を用いて掘削した溝の安定を保ちながら掘削を行う泥水掘削工法である。本工法の施工手順図を図-3に、主たる作業内容を以下に示す。

(1)掘削

掘削方式は、掘削機のカッターで切削した土砂を、安定液と共に地上のサクションポンプまたはエアリフト方式にて排出し、地上で固液分離を行う逆循環方式である。高精度位置管理システムを用いて掘削機の位置を制御することにより、深さに関係無く5cm以内の精度で掘削することが可能である。

(2)スライム処理

所定の深度まで掘削が完了した後、掘削機を用いて溝底に堆積した掘削スライムの処理を行う。実証実験では、掘削機を利用した良液置換方式にて行った。

(3)固化

地上で混練した固化液を掘削機の両端に取り付けられた供給口から溝内へ供給し、安定液と置換する。掘削機械が固化液に埋没した時点から、固化材の供給量に合わせて掘削機を上昇させる。掘削機の上昇に伴いカッターを回転させ攪拌するので、局所的な弱点が無くなりむらのない均一な固化体を構築することができる。

(4)先行部完了

所定の高さまで固化を行い、1つのエレメントの施工が終了する。先行エレメントは1つおきに施工する。

(5)後行部施工

先行エレメントの間を掘削して後行エレメントを施工する。先行エレメントの端部を再掘削することにより、ジョイント部の水密性を高めている。

(6)遮水壁完成

以上の作業を繰返し、高品質な遮水壁が完成する。

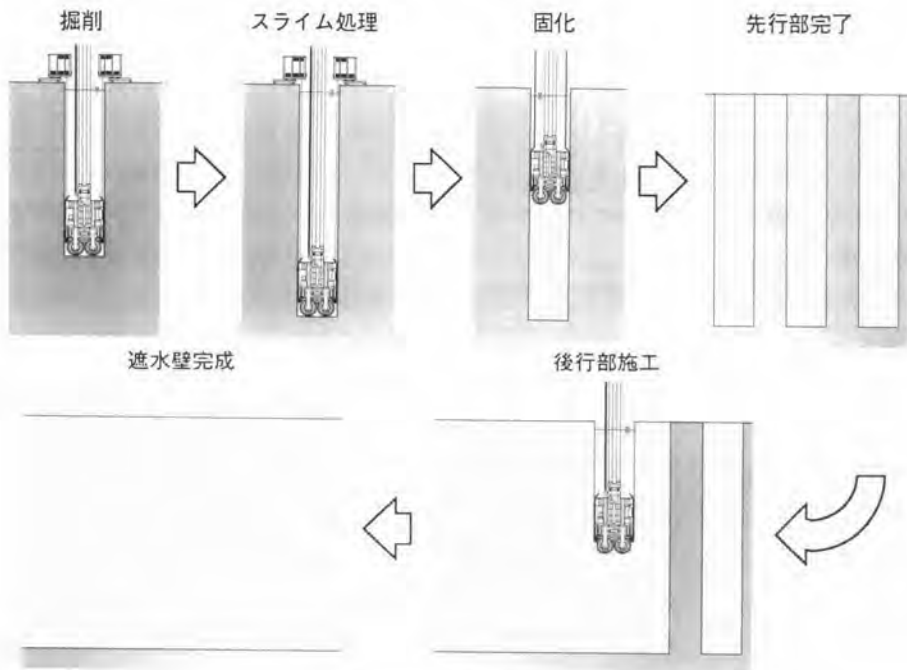


図-3：施工手順図

4. 実証実験の概要

TRUST工法の構築技術を確認すると共に、その遮水性能を確認するための実証実験を行った。エレメント割付図は図-4に示すように、4エレメントで平面形状が正方形となるように施工した。また、実験場所の土質柱状図を図-5に示す。土質はローム、粘性土、細・中・粗砂、砂礫等の層からなり、当工法の施工性を把握するには最適な地盤であった。掘削深度は、構築した壁の遮水性能を調査するために、不透水層と考えられるGL-25m付近から介在する粘性土に3m根入れして28mまで施工を行った。さらに掘削機の性能を確認するためにEL.4エレメントだけ100mまで掘削を行った。尚、実証実験では、掘削に用いた安定液とセメントを地上のプラントで混合し、この泥水固化材を溝内の安定液と置換して遮水壁の構築を行った。

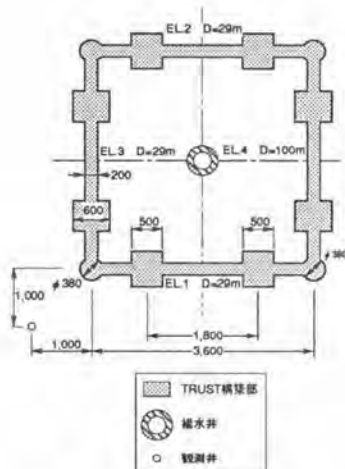


図-4：エレメント割付図

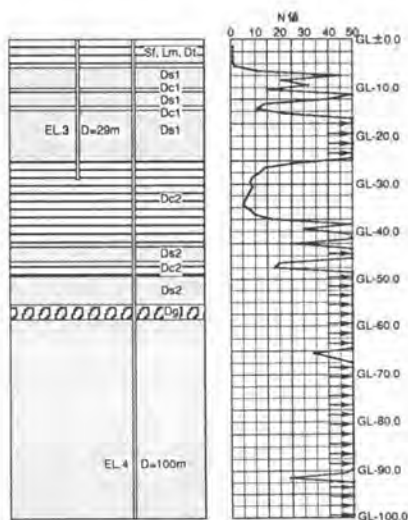


図-5：土質柱状図

5. 実験結果

以下に、掘削能率、掘削精度、遮水壁の性能などの主な実験結果について示す。

(1)掘削能率

土質毎にN値と掘削能率の回帰分析を行った結果、掘削速度は土質別にそれぞれ土質のN値によって分類できることが判った。土質別に整理した掘削能率を表-1に示す。一部の軟弱粘性土層を掘削するときにオフセットビットに粘土の絡み付きがあり掘削能率が低下したこともあったが、ほぼ全土質に渡りN値との相関性が得られた。表に示すように、掘削能率は全層に渡って4.0m/Hr前後の掘削が可能であり、実用に供する範囲であった。

ただし、今回の実験だけでは施工数量が少ないので、この結果を本工法の掘削能率と一概に決めることは出来ないが、今後のデータ収集・整理に関しての方向付けとなった。

(2)掘削精度

本工法では、高精度位置管理システムを使用して5cm以内に管理することを目標に掘削機の制御を行った。目標深度到達後に、超音波測定器によって調査した溝壁測定結果から掘削精度は、EL.4の100m掘削時にセンター変位量で30mm以内であり1/3500以上の精度を確保することができた。また、超音波データと高精度位置管理システムの掘削履歴図との比較を図-6に示す。溝壁の肌落部分を除外して両測定方法のセンター変位量を比較すると、最大で2cm程度の誤差であり相関性も非常に高い。以上の結果より、高精度位置管理システムを使用して掘削することによって、深さに関係無く50mm以内の精度を確保できることが確認された。併せて、本掘削機にはストローク5cmのアジャース

表-1：土質別掘削能率(全エレメント平均)

土質分類		実掘削能率(m/Hr)
0 < N < 50	砂質土	3.5~5.0
	粘性土	4.0~5.0
50 ≤ N	砂質土	2.5~3.5
	粘性土	3.0~4.0
砂礫(最大礫径50mm)		4.0~5.0

実掘削能率とは掘削作業に関する排泥管の接続作業や修正掘削時間、溝内安定液循環時間などを純掘削能率に加えたものとする。

ダブルガイドを設けているが、その修正機能も充分に発揮されたことが解った。

(3)品質確認

TRUST工法の品質確認は、その主たる目的である遮水性能の評価を中心に行った。確認方法は、TRUST壁によって囲まれた内部の水を汲み上げて水位の回復状況を測定し透水係数を求める揚水試験を現場で行った。さらに壁をコアボーリングして得られたサンプルに対して一軸圧縮試験や透水試験を行った。以上の結果を表-2に示す。揚水試験とコアサンプルそれぞれの透水係数を比較すると近い値を示しており、壁全体に渡って均一な泥水固化体が構築できたことが確認された。また、室内透水試験は、場所を変えて採取した供試体により透水試験を行ったが、透水係数のばらつきが少ない。以上の結果から判断すると、機械的な攪拌による置換方法を行なう事は、局所的な弱点の発生を極力減らし効率の良い構築が行えると考えられる。

(4)まとめ

以上に示した試験結果以外にも、掘削機の性能、安定液の管理、固化液のハンドリングなど多くの試験を実施し、それぞれ満足する結果が得られた。

おわりに

TRUST工法の実証実験工事は、施工性、品質などの確認を行い良好な結果を得ることができ、すぐにも実際の工事に適用できる技術であることが確認された。また現在は、ここに紹介した固化材料に加え、変形追随性をもつ $k=10^{-7} \sim 10^{-8} \text{ cm/sec}$ 程度の遮水材料も開発が完了しており様々な条件に適應できる技術となっている。今後、実工事への適用を進め、より信頼性が高く、多目的に使用できる技術をめざしている。

参考文献

- 1)熊野隆喜・内藤植二：最近の連続地中壁工法から見た薄膜遮水壁TRUST工法,建築技術, No.8, pp.116~121,1993.
- 2)池内義彦ら：薄膜遮水壁工法－壁厚20cmの遮水壁の構築方法について－,第49回土木学会年次学術講演会,1994.
- 3)樋口雄一ら：薄膜遮水壁工法－変形追随性をもつ遮水材の基本性状について,第49回土木学会年次学術講演会,1994.
- 4)荒井政明ら：連続地中壁の高精度位置検出システム,建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp.190~193,1990.

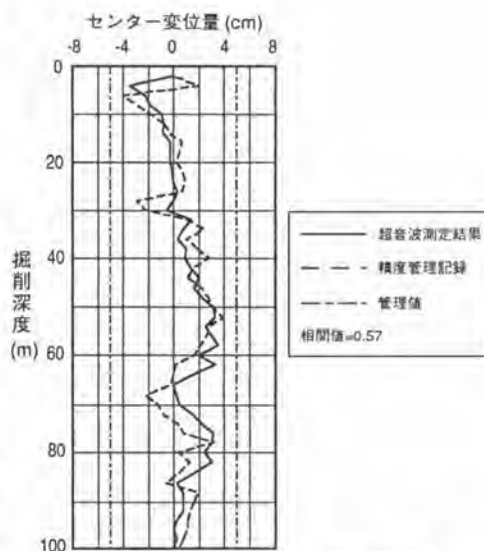


図-6：超音波測定結果と高精度位置管理システムの比較

表-2：品質確認試験結果

試験名	試験値
揚水試験*1	$k_H = 1.3 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$
一軸圧縮試験*2	$q_v = 9.3 \text{ kgf/cm}^2$
	$E_{50} = 2,400 \text{ kgf/cm}^2$
透水試験*2	$k_v = 1.6 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$

*1：図-2の中央の揚水井から揚水し地下水水位の変化を観測して求めた。

*2：コアサンプルによる室内試験の平均値

10. 深礎内施工機械の開発

建設省(近畿技術)：*久野 啓嗣・福原 功二
西川 正也

1. まえがき

深礎工法は、地形、地質、環境等の様々な施工条件に対して、非常に広い範囲に応用できる工法として数多く用いられ、今後もその需要はますます増加すると予想されている。

しかし本工法は、人力作業に負うところが大きく作業環境が劣悪なものとなり危険が伴うなど、近年の労働者の高齢化や若年労働力不足の社会状況の中で、現場の担当者からもその改善の必要性が要求されている。

そうした情勢のなか、機械による施工が困難といわれていた深礎工法の機械化に取り組むことにした。

まず最初に施工の機械化・自動化の検討を行い、深礎内施工機械を試作した。そして当地建大和川工事事務所管内の亀ノ瀬地区における地滑り対策の集水井工事で試験施工を行い、深礎工施工における①安全性の向上②苦渋作業の解消・緩和③省人化を図ることとした。

2. 深礎内施工機械の開発

2-1 設計基本条件の設定。

機械の開発に当り、当地建管内の現場をモデルとして基本条件を設定した。

山の斜面に連続して多数の深礎杭を施工するため、機械全体がレール上を走行できる構造とする。その他の条件について表-1に示す。

表-1 基本条件

土質条件	土 砂 ～ 軟 岩
坑 径	4. 0 m
掘削深度	5 0 m
覆 工	ライナプレート方式

2-2 施工機械の概要

開発した深礎内施工機械の構成を図-1に示す。

本機械は大きく分けて、立坑の中に入っていく作業台車と、作業台車を吊る地上設備から構成されている。

作業台車には油圧ショベルと油圧ブレーカを搭載しており、土砂から軟岩までの地山に適応できる。ブレーカ及びショベルの操作は、作業台車下部にある運転操作室から直接機械の掘削状況を見ながらレバー操作によって行う。

掘削した土砂は、昇降・横行・排土を自動制御で行う専用バケットにより搬出する。

土留め材は市販のライナプレートを人力作業で組み立てることになるが、ライナプレートは、ジブクレーンで下部作業台に搬入し、組立作業台を回転させて円周の組立作業が行える。

機械を操作する作業人員は、油圧ブレーカ・ショベルの操作に1人、土砂バケット・ライナプレート吊り降ろし、組立に2人、資材の投入、作業監視・調整に2人の計5人により編成される。また、各作業員は相互通話可能な無線機を携帯し、それぞれの安全及び意思確認を行う。

2-3 施工手順

図-2に施工手順を示す

- ① 施工機械の油圧ショベルと油圧ブレーカを操作して1m立坑を掘り下げる。
- ② 施工機械に1m分のライナプレートを取り付ける。
- ③ 備え付けのジブクレーンによりライナプレートを組立作業台に吊り降ろす
- ④ 施工機械を回転させながらライナプレートを組み立てる。
- ⑤ 裏込め注入の後、施工機械を1m降下させグリップで固定する。

上記の行程を1サイクルとして必要深さまで掘削を進める。

このシステムが完成することにより、掘削作業やライナプレート取り扱いの機械化による苦渋性の解消、坑内作業者の落下物からの保護による安全性の向上、すべて油圧駆動にすることによる騒音の低減切羽先に人が降りないことによる安全性の向上等、多くのメリットが得られる。

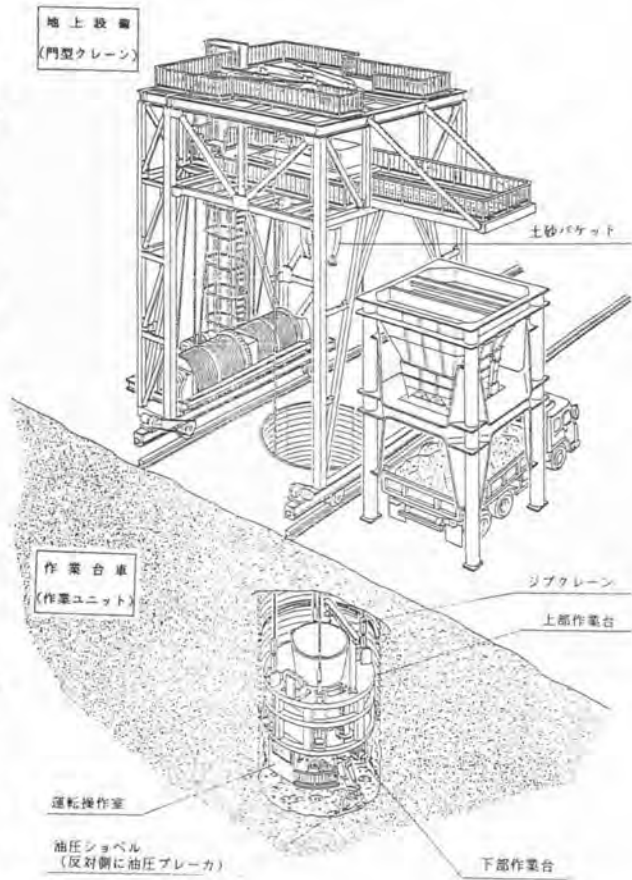


図-1 深礎内施工機械イメージ図

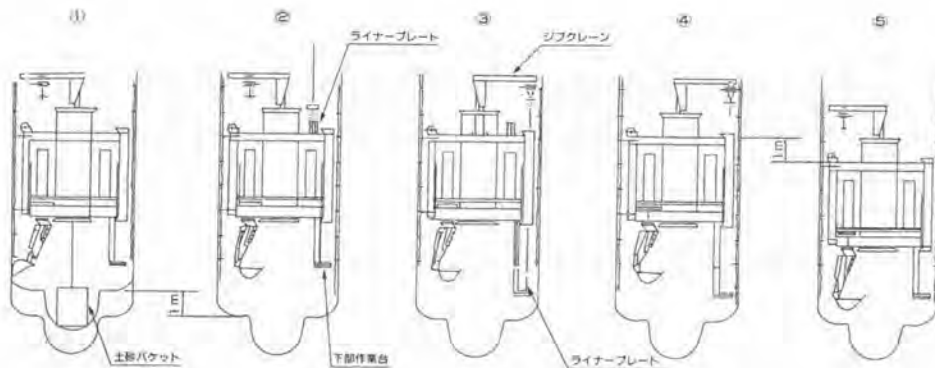


図-2 施工手順

3. 試験施工

大和川工事事務所管内の亀ノ瀬地区において試験施工を実施し、機械の能力、施工性を検討した。

(写真-1)

3-1 施工能力

表-2に試験結果を示す。

施工1m当りサイクルタイムを8時間とし、1.0m/日が目標であったが、結果は10時間かかり、1.25m/日となった。目標値を達成できなかった主な要因は、本施工が10mと短く操作に不慣れなためのロスタイムがかなりあったものと思われる。

その他の原因については3-3項で示す。



写真-1 試験施工

表-2 施工実績総括表

掘削 期間 (日)	実働日 (日)	休日等 (日)	実稼働 時間 (h)	内					訳				
				準備 (h)	掘削 (h)	排土 (h)	覆工 (h)	クラフト (h)	休 止 (h)				
									故障	試運転	見学会	その他	計
23	18	5	144	3.3	34.1	25.0	29.1	9.5	30.0	4.5	3.5	5.0	43.0
参 考	1m当り施工時間		h/m	0.3	3.4	2.5	2.9	0.9	合計 10h				
	目標値(当初計画)		h/m	0.5	2.0	1.5	1.5	2.5	合計 8h				

3-2 機械の組立

本機械は、分割された状態でトラック輸送により現地へ運び、組立完了後労働基準局の検査を受けたが、全体の所用日数は26日であった。また、地上設備と作業台車を別個に組み立てるため、作業ヤードは30m×20m程度必要であった。

3-3 施工上の問題点

試験施工の結果明らかになった要改善箇所を次に示す。

①ライナプレート組立工

人力組立を前提に分割された市販のライナプレートを使用しているため、深さ1mのライナプレートを組み立てるのに460本あまりのボルトナットで締め付けなければならない。生産性を上げるためには土留め工法そのものを再考する必要がある。

②グラウト工

当初は図-3の現状に示すように掘削底面と接するようにライナープレートを組立て、下端部はグラウト材が抜けないように土砂で間詰めを行った。このため、次の掘削時にライナープレート直下の掘削が難しく、掘削能力が低下した。

次にライナープレート直下の掘削を容易にするため、ライナープレートの組立を掘削底面から1ロット分(約50cm)上の位置で止め、下端開口部は掘削土を盛り上げて間詰めを行った。しかし、この間詰め作業が掘削時間に加わるので、掘削能力の向上にはならなかった。

今後の対策としては、次の掘削がスムーズに施工できるだけの先掘を行えばよいので、坑壁とライナープレートの間にグラウトの底抜け防止材を入れることで、施工の効率化を図る。

③準備工

現在の機械は掘削時の反力を取るため、ライナープレートにグリッパを張り出し、作業台車本体を固定する。このため、GLから10mは在来工法で事前に掘削する必要がある。掘削深が浅いと本機械を使うメリットが少なくなるので、掘削初期に作業台車本体を固定する方法を検討する必要がある。

④付帯設備

地上から坑底への昇降は仮設クランプを用い、墜落防止器を設置したが、さらに深い深度の施工を考えるとクランプによる昇降は疲労を招きまた、工具などを携行する場合に非常に不便と思われる。したがって、作業台車の昇降速度を向上させ作業台車に乗って昇降するか、その他の昇降設備について検討する必要がある。

4. 結び

今回の深礎内施工機械の開発は、当初φ7.0mで設計したものを機械化できる最小径として設定したφ4.0mにスケールダウンしたため、作業台車及び坑内作業でスペースの余裕がなくなり、作業能力の大幅な向上が図れなかった。また、安全性の面からも機械全体が大型化し、総重量97トンとなった。

しかし、従来の人力作業を機械化することにより、落下物による坑内作業員の危険性の排除や、掘削・ズリ積込み作業・土留め材の横持ち作業などで、省人・省力化、苦労性の低減ができたことは評価できる。今後は実現場での施工実績を経て、より安全で施工能力の高い機械として、実用化を図っていきたい。

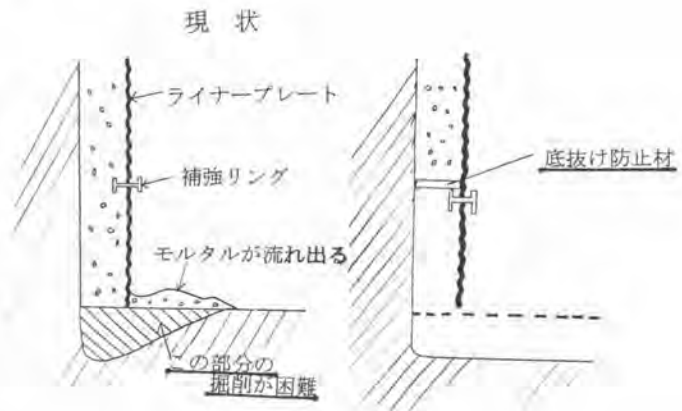


図-3 施工上の問題点

11. 高水圧対応型シールド工法の開発

(株)鴻池組：*田中 浩
コマツ：山崎 敏弘・南 好人

はじめに

ケミカル・プラグ・シールド工法（以下CPS工法と称す）は、鴻池組と小松製作所が共同で開発した高水圧対応型の泥土圧式シールド工法である。同工法は、土質適用範囲が広い・掘進速度が速い・巨レキに対応能力が高い等勝れた工法であるが、唯一の欠点は、高水圧が作用する滞水砂層や砂レキ層の掘進が困難なことである。当CPS工法は泥土圧式シールド機を特別な改造を行わずに10 kgf/cm²程度の水圧が作用する地盤を安全・確実に掘進できる様にした工法である。

本報告は研究開発の内容と技術的ポイントを述べると共に、平成6年4月に施工を完了した3.5 kgf/cm²の地下水圧が作用する砂レキ層の掘進実績について述べるものである。

1. 開発の方針と技術課題

切羽に高水圧が作用するとスクリーコンベヤー排土口から土砂と地下水が噴発して、切羽圧力は低下し切羽が崩壊する。これを防止するために排土口にロータリバルブを設けたり、長尺のスクリーを設置する機械的に噴発を防止する対策が講じられている。本開発は切羽の砂レキに掘削添加材（以下泥漿と記す）が混合され、流動性が高くなった軟弱な掘削土砂をスクリーコンベヤー内で薬剤を用いて泥土化した掘削土砂を改良し、この改良土砂でスクリー後半部に切羽水圧に対抗する止水プラグを形成させる方式である。これを可能にする技術開発テーマは下記の通りである。

- (1) 短時間（十数秒以内）に泥土を改良し、かつシールド施工に使用できる薬剤の開発。
- (2) 掘削土砂と薬剤を混合し、泥土を改良するスクリーコンベヤーの開発。
- (3) 改良した土砂をスクリー後半部に詰めて、切羽水圧に対抗する止水プラグを形成するスクリーコンベヤーの開発。

2. 泥土を改良する薬剤の開発

泥土改良の目標は、砂レキに泥漿が添加された泥土を数秒から十数秒以内にスランプ値が零程度の非流動性の土砂に改良することである。高吸水性ポリマーと高分子系凝集剤を中心に調査・研究し、化学メーカーと共同で天然高分子（多糖類）を用いた泥土改良剤を開発した。これは粉末で掘削土砂1.0 m³当たり1.0～2.0 kg程度添加し混合すると、数十秒でバサバサの流動性を消失した土砂に改良することができるものである。粉末をシールド施工に使用するために吸水性を防止する網かけを行い泥漿中に混入し切羽に添加し、スクリーコンベヤーに粉末の網かけを解除する液体を添加する工夫を行い、粉末をシールド工事の環境で取扱える様にした。

3. スクリューの模型実験

図-1に示すφ60mmのスクリュー2本を用いた装置を製作し、スクリューによる土砂の混合・泥土改良能力性と改良土砂が止水プラグの役割を行うか否かの試験を実施した。装置は中央部にリボンスクリューと軸付スクリューをラップさせて、2軸混合部(L=200mm)を設け泥土を混合・改良させる様にしたものである。試料土砂は泥土に改良剤を添加し試料土ホッパーより、リボンスクリューで混合部に運び、混合部で改良した土砂は軸付スクリューで排土口に運ぶものである。試験の結果は、

- (1) 泥土の改良は混合部で確実に改良される。
- (2) 試料土ホッパーに圧力蓋を取付け圧力空気(7 kgf/cm²)を封入すると改良土砂は、30~60秒程度プラグとして機能する。

当実験で改良土砂が排土口よりスムーズに排出せず閉塞するケースが多々あった。これは排土口がスクリュー筒の横に設けたため流動性を消失した改良土砂が排出しにくいのが原因と考え、次段階の試験は改良土砂をスクリュー軸方向から排出する外周駆動方式のスクリューの採用を決めた。

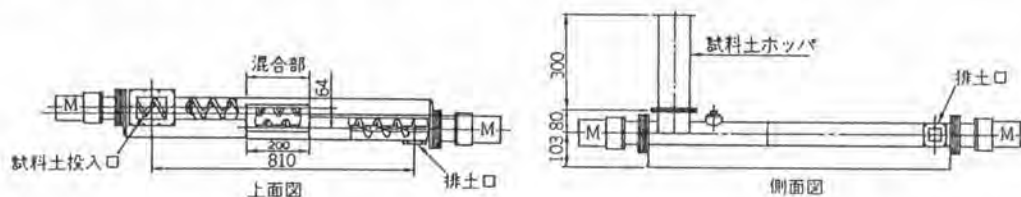


図-1 スクリューコンベヤミニモデル

4. 実大模型実験

4-1 実験装置

図-2に示すφ300mmのリボンスクリューを主とし、同径の副スクリューを併設し、混合部を設けた。スクリューの先端はシールド機のみキシングチャンバーを模した3.0m³の圧力タンクに貫入させた、これにシールド掘削土砂を模した土砂を投入し、エアにより5 kgf/cm²まで加圧できる様にした。

泥土を改良する薬剤は実験用に1液性としポンプでスクリューに注入した。スクリューは外周駆動方式とし、“トラフ回転閉塞効果”が止水プラグの形成に寄与するのではないかと推測した。

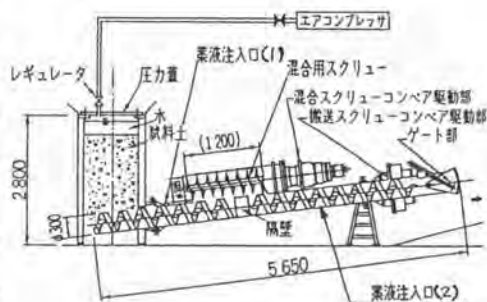


図-2 リボンスクリュー利用の実験機

4-2 実験方法(実験は下記の3段階で実施した。)

第1段階 - - - 土砂タンクに圧力を加えず、効率的な泥土改良運転の研究

第2段階 - - - 土砂タンクに加圧して、止水プラグの効果の確認

第3段階 - - - スクリューの1軸化と実際のシールド工事に備えた薬剤添加システムの確立

試料土砂は、2.0 m³の鋼製タンク内で砂レキと泥漿を混合し含水比25%程度にしたものを用いた。

4-3 第1段階・泥土改良運転の結果

- (1) 泥土改良は所期の目的通り行えることを確認した。
- (2) スクリュー内で泥土が改良されると、スクリューの駆動油圧モータの供給油圧が未改良時に比べ、約2倍に上昇する。この油圧でスクリュー内の土砂が改良されているか否かの判定が容易に可能であることが分かった。
- (3) スクリュー排土量は理論排土量の50%程度ですこし少ない。(図-3参照)

4-4 第2段階・加圧試験結果

実験装置の耐圧性能より5 kgf/cm²までしか加圧しなかったが、噴発は全く発生せず、改良土砂を安定して排出することができた。試料土タンクが空になりスクリューに残った最後の土砂がスクリュー駆動部を通過するまで噴発はせず、止水プラグの効果を確認した。図-3に示すのは、無圧力状態と5 kgf/cm²加圧状態のスクリュー回転数と排土ゲート開度を変化させた場合の排土量を示すものである。無圧時は排土量が少なかったが、加圧時はほぼ理論排土量近く排出することを確認した。

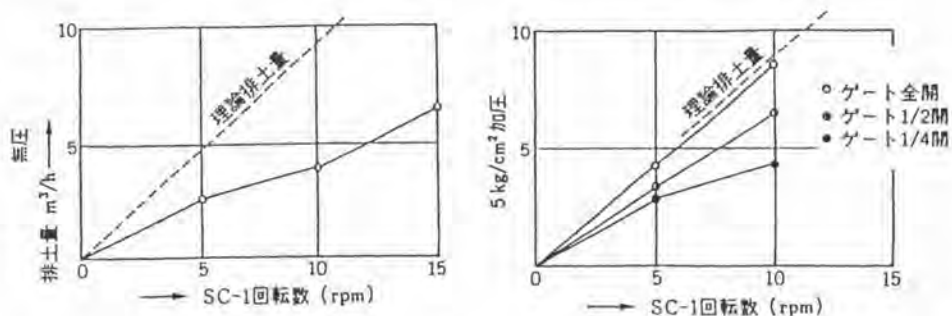


図-3 ゲート開度・SC1回転数

4-5 第3段階・スクリューコンベヤーの1軸化

2軸のスクリューを用いることは、狭いシールド機内や経済的に問題があり、スクリューの1軸化問題に取り組んだ。まずスクリューの各所に開孔蓋を取付けスクリュー内の土砂がどの部分で改良されているか確認した。結果は意外にも2軸の混合部分ではなく、図-1に示す薬液注入口(1)から1ピッチ後方部で改良されていることが判明した。試みにスクリューの排土口に近い薬液注入口(2)から注入すると良好な結果が得られた。リボンスクリューは改良された土砂の様な非流動性の粒体は軸方向に搬送する機能しかないが、流動性の高い泥土に対しては極めて高い混合機能を有することを確認した。この結果1軸化問題は直ちに解決した。

5. 現場実証施工(砂レキ層を掘進する2現場でCPS工法の実証施工を実施した。)

5-1 薬剤添加システム

粉末の主剤(CP-M)は泥漿中に混入し、泥漿と共に切羽に添加する。主剤の貯蔵・計量・払い出し設備を地上の泥漿プラントに併設して泥漿混合ミキサーに主剤を添加できる様にした。

液体の助剤(CP-S)はスクリューコンベヤーに直接注入する。シールド機の後続台車に貯蔵タンク

クとポンプを設置し、スクリーまで配管で送る。各々の薬剤の添加量は掘削土砂 1.0 m³ 当たり、主剤は 1～2 kg、助剤は 0.5～1 ℓ 程度である。これらの添加量の調整は泥漿と助剤の各ポンプ吐出量をシールドジャッキ速度に連動させ流速と量を調整できる様にした。

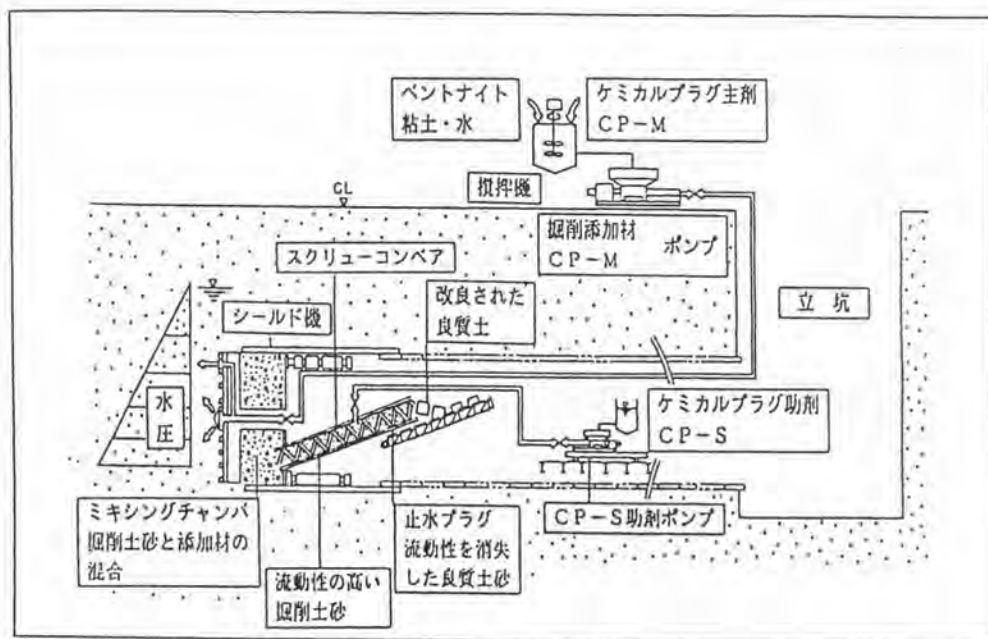


図-4 ケミカル・プラグ・シールド工法システム図

5-2 止水プラグの形成とスクリーの管理

止水プラグの形成は所期の目的通り行うことができた。地下水圧は 1.5 kgf/cm² 程度しか作用していなかったが、薬剤の添加を中断すると噴発が発生し、切羽圧力も低下し止水プラグの効能を確認することができた。スクリーの管理は駆動モータの供給油圧の値で容易に行えた。

5-3 トラブルとその対策

○スクリーコンベヤの異常摩耗とその対策

最初の現場でスクリーが摩耗し破断する事故が発生した。流動性を消失した土砂と止水プラグを形成のためスクリー駆動力は従来の泥土圧式シールドに比べ約 2 倍となっており、スクリーを摩耗させたものである。現場ではスクリーの部分的な補修しか行わなかったが、次現場よりスクリーの摩耗し易いヶ所に超硬チップを取付け耐摩耗対策を行い、その後の 2 現場で好成績を得た。

○地下水の水質と薬剤の不適合

粘土・ベントナイトや高吸性ポリマーが水質に影響を受ける様に CP-S 工法に使用する薬剤も水質に影響を受ける。2 現場目に薬剤が効果を発揮せず、止水プラグの形成が困難となった。水質調査の結果多量のイオウイオンの影響であることが判明し、薬剤の改良で対処することができた。今後の対策として地下水の水質調査にイオン調査が必要であることを痛感した。

6. 止水プラグの形成について（止水プラグについて少し詳述する。）

6-1 スクリュー内の土砂粘性の変化（図-5を参照）

①②カッターヘッドチャンバー並びにスクリュー前半部（CP-S添加孔より前方）

掘削土砂と泥漿が混合され、土砂は泥土化し塑性流動状態である。

③CP-S添加孔からスクリュー2～3ピッチ

泥土は薬剤により改良させるゾーンである。

④スクリュー後半部

土砂は流動性を消失して改良土となり、駆動部のトラフ回転閉塞効果により圧密されながらスクリューに充満する。これが切羽水圧に対抗する止水プラグとして機能する。

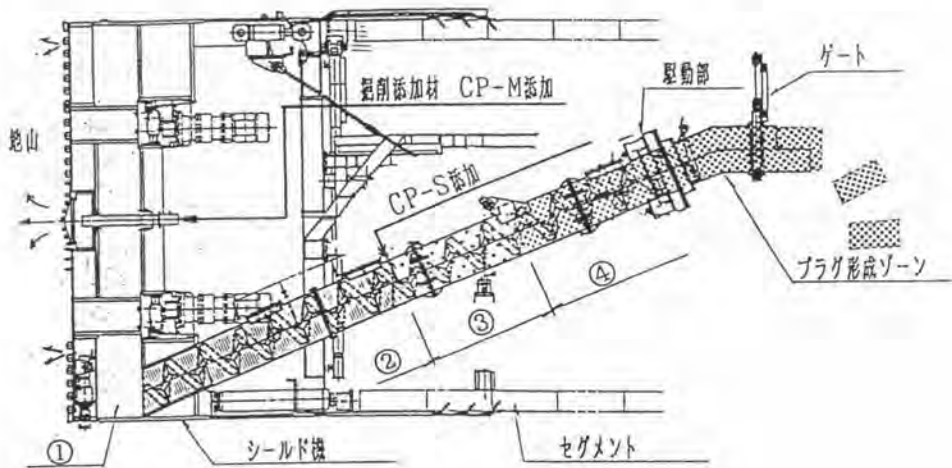


図-5 スクリュー内の土砂粘性の変化

6-2 泥土改良のメカニズム

改良剤は凝集剤の一種で砂レキに流動性を付与する土中の粘性土・添加した泥漿の粘土・ベントナイトを凝集し比較的大きく強固なブロックを形成する。このため流動性を消失する。改良前後の土質力学的特性は対象土砂が砂レキであるので測定できないのが悩みである。

6-3 止水プラグの水圧対抗力

φ450mmのスクリューを用い、10kgf/cm²の水圧を作用させる実大模型実験を実施した。

止水プラグは10kgf/cm²の水圧に十分に耐えることはできたが、長さ5m程度のスクリューでは排出土量に制約があった。水圧が高い場合はスクリュー長を長くする必要があることを痛感した。

6-4 水圧と止水プラグ長の関係

止水プラグの耐水圧能力は止水プラグ長に比例するが、改良後の土砂性状、スクリューの羽根や駆動部の形状、スクリュー運転条件などに著しく左右され切羽水圧に対する必要な止水プラグ長を定量的に把握できないのが現状である。おおよその目安として止水プラグ長をスクリューのピッチ数で表現すると(3+0.5×切羽水圧)ピッチの長さである。

7. 高水圧 (3.5 kgf/cm²) の水圧が作用する砂レキ層への適用

7-1 工事概要並びに地質・地下水の条件

工事概要は右表に示す。地質は地表よりOP-32 m程度までは沖積層の砂層と粘性土層が堆積し、その下部に層厚5 m程度の洪積砂レキ層(天満砂レキ層)が存在する。この砂レキ層が当シールド工の主な施工対象地盤である。

天満砂レキ層は、レキ率60%前後、最大レキ径φ300 mm程度でよく締まっている。地下水は豊富で、水圧はレキ層中心部で3.5 kgf/cm²程度である。

表-1 工事概要

項目	摘要
工 事 名	百鳥シールド/S引出管路新設工事 第I区
工 事 場 所	大阪市此花区西島6丁目 ~大阪市此花区島屋2丁目
工 期	平成4年7月~平成6年12月
企 業 者	関西電力株式会社
施 工 者	俄瀧池組、佐藤工業㈱、俄奥村組、大豊建設㈱、JV
シールド掘進延長	832m
シールド機外径	φ6,140mm
仕 上 り 内 径	φ5,000mm
土 被 り	20.7~34.7m

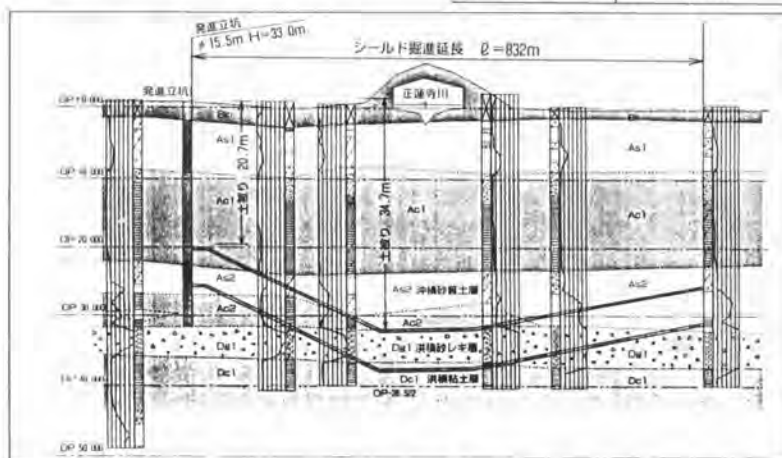


図-6 シールド路線縦断・地質図

7-2 砂レキ層のシールド掘進

発進立坑より約170 m間は沖積粘性土と砂層であったので、薬剤の添加は行わず泥土圧式シールド工法で掘進した。砂レキ層に貫入する直前よりCPS工法による掘進を開始した。主な施工データは

▽切 羽 水 圧 - - - シールド機中心部で3.5~3.7 kgf/cm²

▽シールド機掘進速度 - - - 毎分40 mm

▽掘 削 添 加 材 - - - 1.0 m³当たりC100 kg、B200 kg、W887 ℓの配合の泥漿を掘削土1.0 m³当たり10~15%添加

▽泥 土 改 良 剤 - - - 掘削土1.0 m³当たり、主剤2.5 kg、助剤2 ℓ添加

砂レキ層に於いて泥土改良・止水プラグの形成ともに順調に行い、切羽圧はカッター回転の影響で0.1~0.3 kgf/cm²前後の脈動を示していたが、ほぼ一定に保持しながら掘進することができた。

8. おわりに

比較的高水圧が作用する天満砂レキ層を無事に掘進することができ、CPS工法が泥水加圧式シールド工法と同等の大深度シールドにも適用できることを実証できた。しかしまだまだ問題点や不明点が山積しており、今後とも多くの現場でデータを収集し、理論的な裏付けを確立したいと考えている。

12. 大型油圧ブレーカ掘削工法の開発

鹿 島： 園田 健雄・鍛治 茂仁
*重永 晃洋

1. はじめに

現在、山岳トンネル工事の多くは発破工法によって施工されている。しかし、発破工法では火薬の使用に伴う安全性の管理が重要であるほか、周辺環境への振動・騒音等の影響もあり、種々の社会情勢(都市型トンネルの増加、労働環境の変化等)から、無発破工法の需要が高まりつつある。

このような背景のもと、当社においては、地山にやさしく安全性の高い大型油圧ブレーカ掘削工法を山岳トンネル掘削に導入し、工法の確立と定着を図ってきた。

今回、本工法の概要を紹介するとともに、施工実績を分析し、適用性についての検討を報告する。

2. 工法の概要

従来、トンネル工事における油圧ブレーカの使用に関しては、自重が1 t程度のものにより発破後のこそくや切羽の整形等に使用される例が多かった。これに対して、大型油圧ブレーカ掘削工法は、今まで明り工事を中心に使用されてきた3 t程度以上の大型油圧ブレーカを主掘削機として適用する工法である。本工法は適用のバリエーションも多く、全断面を大型油圧ブレーカのみによって掘削するもの、部分的に発破を併用したもの、スリットやTBM掘削の自由面を積極的に活用するものなどがある。

大型油圧ブレーカによる掘削の特長としては、

- ①発破掘削に比べて振動値が小さく、周辺環境への影響が少ない。
- ②地山の緩みが少なく、天端の崩落、肌落ち等が減少する。
- ③余掘低減効果がある。
- ④発破士等の特殊技能者を必要とせずに施工できる。
- ⑤掘削時、作業員が切羽に近寄る頻度が少ないので安全である。

等が挙げられ、今後の施工を取り巻く状況を考慮すると発破掘削に比べてメリットが多い。



写真-1 大型油圧ブレーカ

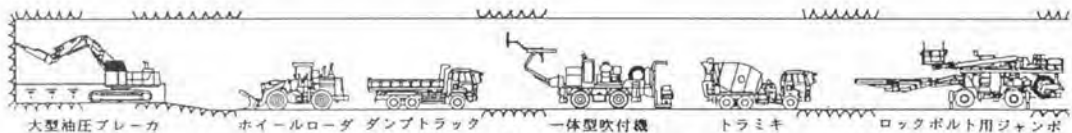


図-1 大型油圧ブレーカ掘削工法施工要領図

大型油圧ブレイカ掘削工法の施工要領図を、図-1、2に示す。

3. 大型油圧ブレイカ（トンネル工専用）の特長
 本工法をトンネル施工に適用するに当たり、大型油圧ブレイカの性能検討、トンネル掘削機としての改造を行った。

本機的主要な特長は、

- ①ローディングタイプのブーム、アームの採用により、坑内の作業性が格段に向上
 - ②散水装置による粉塵対策
 - ③各部ガードによる落石防護対策
 - ④坑内作業向に機体の強化
- である。

本機の全体図を図-3に、仕様を表-1に示す。

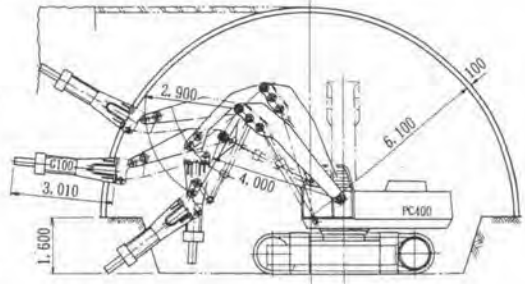


図-2 掘削要領図



写真-2 施工状況

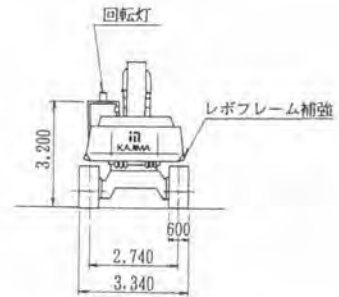
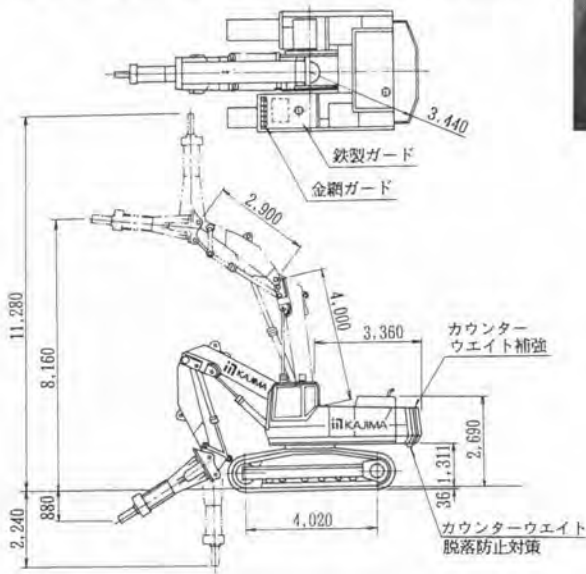


図-3 大型油圧ブレイカ全体図

表-1 大型油圧ブレイカ主仕様

種別	タイプ A	タイプ B	タイプ C
仕様			
ブレイカ			
総重量 (kg)	3000	3800	4100
打撃回数 (bpm)	250~450/325~585	350~550	240~350/310~455
作動油量 (l/min)	180~270	220~350	200~320
作動油圧 (kgf/cm ²)	140~180	155~165	150~180
適合油圧ショベル重量 (t)	30~50	40~80	34~60
ベースマシン	40t級油圧ショベル		

4. 施工実績

大型油圧ブレーカ掘削工法を適用したトンネルにおいて施工実績を収集、分析し、適用性について検討を行った。本トンネルは、断面積約100m²（上半約70m²）、延長約3kmの水路トンネルであり、地質は新第三紀中新世の火砕岩類と、そこに貫入する火山岩が中心となっている。

適用した大型油圧ブレーカは3.8tクラスであるが、このほかにも1.3t、2.2tの油圧ブレーカを使用し、施工能力の比較調査を行った。また、施工環境を把握し、発破工法と比較するため、騒音・振動測定を実施した。その結果を以下に示す。

4.1 施工能力

1.3t、2.2t、3.8tの各々の油圧ブレーカにおける掘削量（無発破時）と、地山の坑内弾性波速度との関係を図-4に示す。これより、発破を併用しない場合の油圧ブレーカの適用範囲を推定すると、この岩質の場合は表-2のように考えられる。（■/8）

以上のように、大型油圧ブレーカの優位性が確認されたほか、適用の検討に関して弾性波速度が使用できることがわかったが、掘削岩盤の岩質や亀裂により、施工能力、適用範囲とも変化することが予想され、さらに実績を収集蓄積していく必要がある。

4.2 施工環境（振動、騒音）

大型油圧ブレーカによる切羽掘削時に、公害振動計及び公害騒音計を用い、掘削位置より距離を変化させて測定を行った。その結果は、図-5、6に示すとおりである。これを特定建設作業に対する振動規制法75dB、騒音規制法85dBと比較すると次のように考えられる。

振動では、規制値75dBに対して20m以遠で下回るため、坑口部及び土被りが20m以下となる区間で留意が必要となる。また、騒音では規制値85dBに対して100m以遠で下回るため、坑口部で適用する際は留意が必要となる。

なお、比較のため、発破時（芯抜き8kg/段、総薬量100kgと仮定）の振動値、騒音値を図-5、6に併記したが、いずれの場合にも大型油圧ブレーカの方が小さな値となっている。

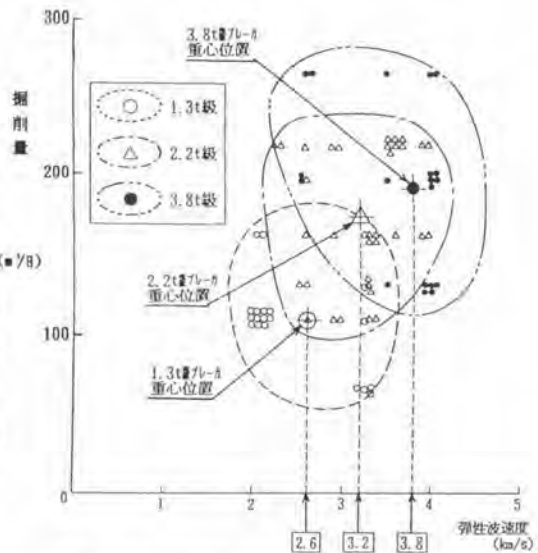


図-4 掘削量と弾性波速度相関図

表-2 油圧ブレーカ適用範囲

ブレーカ	弾性波速度 (km/s)
1.3 t	2.0~2.5 程度
2.2 t	2.5~3.5 程度
3.8 t	~4.0 程度

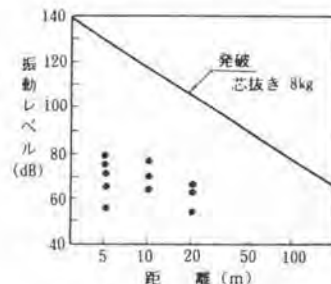


図-5 振動測定結果

4.3 周辺岩盤への影響

大型油圧ブレーカによる掘削を行う際のトンネル周辺岩盤への影響を検討するため、至近距離（1、2、5 m）において振動測定を行った。その結果は図-7に示すとおりであり、大型油圧ブレーカでは1 m地点に於て最大6.8 kine、同時に測定したツインヘッドでは0.13 kineであった。

一般的に、周辺岩盤が損傷（亀裂が発生）する振動値は以下のように推察される。

岩盤の損傷が引張破壊であると考え、本トンネルの玄武岩質凝灰岩の強度は $\sigma_c = 100 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_t = 10 \text{ kgf/cm}^2$ と仮定すると、引張強度に相当する振動値は次の式から求められる。

$$\sigma = \rho \cdot V \cdot \nu$$

ここで、 ρ ；密度（ 1.7 g/cm^3 ）

V ；岩盤の弾性波速度（ 2.5 km/s と仮定）

ν ；振動値（ $\text{cm/s} = \text{kine}$ ）

これより、損傷が考えられる振動値は、

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{\sigma}{\rho V} = \frac{10000 \times 980 \text{ (g/cm}^2 \cdot \text{cm/sec}^2\text{)}}{1.7 \times 250000 \text{ (g/cm}^3 \cdot \text{cm/sec)}} \\ &= 23 \text{ kine} \end{aligned}$$

したがって、図-7のように、ツインヘッド、大型油圧ブレーカとも、周辺岩盤に損傷を及ぼすおそれは殆どないものと考えられる。

また、通常は繰返し振動によることを考慮して、弾性限界内に十分収まるように安全率を決めており、この安全率を3とすると、許容振動値は約8 kineとなり、大型油圧ブレーカで適切な離隔距離は70 cm程度となる。なお、発破工法による振動について、周辺払い孔に1孔当たり300 gを装薬したケースの振動予測式を併記したが、このケースでは1.8 m程度までは岩盤に損傷が発生する可能性があると考えられ、許容レベルでの離隔距離は3 m程度と考えられる。

以上により、発破に比べると大型油圧ブレーカは、周辺岩盤に対しての影響がかなり少ないことが確認された。

5. おわりに

現在、当社において数ヶ所の現場で本工法が適用されているが、これまでの実績では、弾性波速度が3 km/s程度の岩盤については発破と同程度の進行が確保され、周辺環境への影響も少なく、余掘等についても優位性があるほか、安全に施工できることが確認された。今後はさらに実績を蓄積し、坑内弾性波速度を適合地山条件の判断指標のひとつとして、より一層、工法の確立を図っていく所存である。

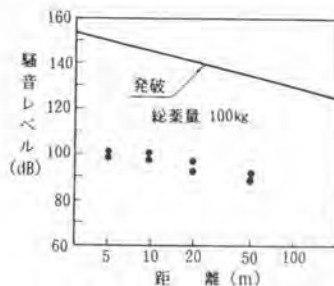


図-6 騒音測定結果

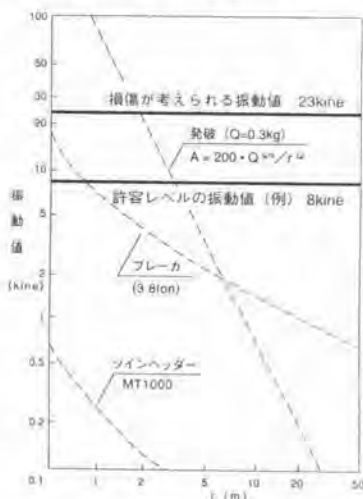


図-7 周辺岩盤への影響

13. 粘性土対応連続土砂垂直搬送装置と その施工計画

清水建設(株)：*市川 誠・久保 裕之
徳田屋建機工業(株)：羽場 正文

1. はじめに

近年、工期短縮が図れることから建物の地下部と地上部を同時並行して建設する逆打ち工法の適用が増えている。また、一方で地下鉄などのシールド工事に代表されるように建設工事の大深度化が進んでいる。これに対して、従来から揚土作業に広く用いられているクラムシェルは掘削が深くなるにつれて土砂搬出能力が低下する。また、クラムシェルで搬送する領域は荷こぼれなどもあり、危険作業空間となる。このような背景から掘削工事、なかでも揚土作業の効率化・安全性向上が強く望まれている。

本報は、粘性土の搬送が確実に行えるように開発された連続土砂垂直搬送装置「パイププレートコンベア」（以降、PPCと呼ぶ）の概要を述べた上、この装置を中心とした土砂搬送システムを構築する上での計画の手順、留意点等について述べる。

2. 装置の構造および特徴

図1にPPCの外形、表1に標準機の仕様を示す。本装置は土砂を排出する上部ユニット、チェーンを循環駆動させて土砂を垂直に搬送するための2本のケーシングパイプ、そして土砂投入用の下部ユニットを基本構成とする。これに粘性土対応として装置の投入口での粘土の詰りを防ぐ回転土砂ホッパー、排出口で搬送プレートから粘土を確実に引き剥がす揺動スクレーバが装備される。

(1) 原理

a. 搬送部

PPCは、複数枚の鋼板製の搬送プレートを等間隔に2本のチェーンでつなぎ、環状に接続したケーシングパイプ内に挿入してチェーンを環状に接続し、モータで駆動されるスプロケットホイールでチェーンをケーシングパイプの中を循環させることにより、土砂投入口から投入された土砂を連続的に土砂排出口まで搬送する。

上部ユニット内には垂直に立ち上がってくるケーシングパイプ内のチェーンの方向を水平に変換するスプロケットホイールとチェーンを駆動するドライブスプロケットホイールが内蔵され、ギアモータにより駆動される。また、上部ユニットは3分割構造で中間部の長さを変えることにより、ケーシングパイプと土砂排出部の距離を現場の条件に合わせて容易に変えることが可能である。加えて上部ユニットにはゲートを付けた土砂排出口を複数設けることができる。

ケーシングパイプは2本のパイプを並行に接続した構造である。チェーンは耐摩耗性の高いものとなっている。標準としている装置（70m³/時）ではチェーンの12ピッチに相当する768mmの整数倍の長さのケーシングパイプを接続して、チェーンとプレートを接続し、深さ方向の延長を行う。また、土砂投入口、水平横引き部をケーシングパイプの途中に付ける事ができる。

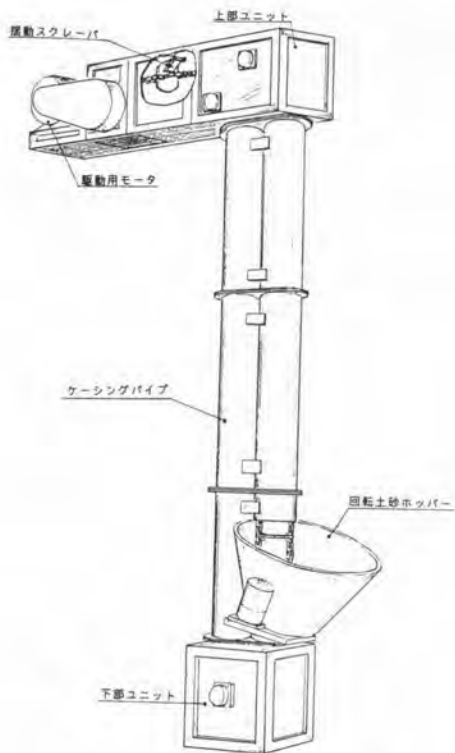


図1 PPCの外形

表1 PPCの仕様

● 搬送部 (400Aタイプ)

項目	性能
搬送容量	70m ³ /時 (但し、50%充填率)
ケーシングパイプ径	400A×2
電動機容量	37kW、3φ200V
必要開口寸法	幅 600×奥行1,200(mm) 以上
寸法	上部ユニット 高さ1,600×幅1,200×奥行4,200(mm) ・但し、歩廊を除く
	下部ユニット 高さ 900×幅1,200×奥行1,200(mm)

● 回転土砂ホッパー (400Aタイプ)

項目	性能
ホッパー容量	0.4m ³
ホッパー径	1,400(mm)
回転速度	4.5(rpm)
電動機容量	3.7kW、3φ200V
寸法	高さ2,100×幅1,900×奥行2,000(mm) 但し、接続用のケーシング部寸法を含む



写真1 回転土砂ホッパー

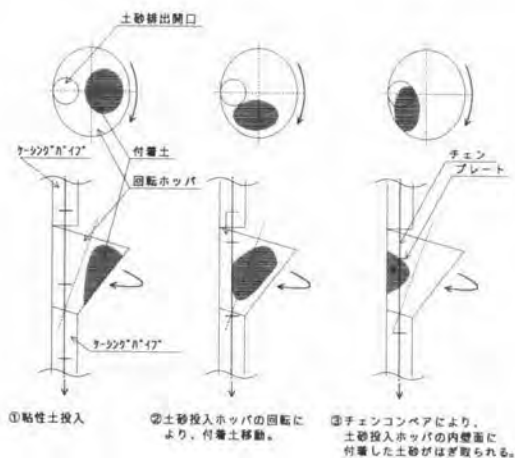


図2 回転土砂ホッパーの原理

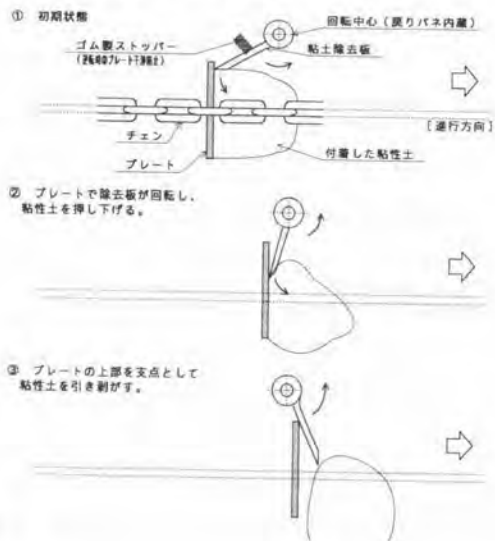


図3 揺動スクレーパの原理

下部ユニットは内部にスプロケットホイールを内蔵し、チェーンの方向変換を行う。また、下部ユニットはその横に土砂投入口を設けたタイプと、水平横引き部分を設けて土砂投入口とケーシングパイプの距離を離れたタイプが選択できる。

b. 回転土砂ホッパー

回転土砂ホッパーは写真1に示すようにモータで回転駆動される円錐形の頂部を切って逆さにした形状のホッパーで、その内側を搬送プレートが通過する。図2に示すように投入されてホッパー内側に付着した粘土はホッパーの回転によりケーシングパイプ側に移動して搬送プレートで掻き取られ、強制的に搬送される。

c. 揺動スクレーパ

揺動スクレーパは上部ユニットの土砂排出部直上に取付けて使用する。本装置は、図3に示すようにバネを内蔵した回転軸にスクレーパを取付けたもので、搬送プレートの進行に伴ってスクレーパの先端が粘土に刺さり、回転しながら粘土を引き剥がすものである。これにより、粘土がプレートに付着することによって生じるPPCの実搬送能力低下の防止が図られる。

3. 施工計画

土砂搬送設備構成の選択の流れを図4に示す。設備計画を行う上でバックホー、クラムシェル、ダンプトラックのように土砂を一山毎（バッチ）に取り扱うバッチ搬送設備と、ベルトコンベアやPPCのように土砂を連続搬送する設備との接点数を少なくすることに留意する。そしてバッチ搬送設備と連続搬送設備を接続する場合は、土砂を蓄えて各設備間での土砂の流れをスムーズにする土砂ホッパーや貯留ホッパーの使用を考慮する。次に土砂搬送システムの計画手順を述べる。

(1) 設備計画の条件調査

土砂搬送システムは、ピーク時の土砂搬出能力を考慮して設定する。掘削総土量から、1時間当たり土砂搬出量 q は、簡易的には次式で求められる。

$$1 \text{ 時間当たり土砂搬出量 } q \text{ (m}^3\text{/時)} : q = Q \div T \div H \times \beta$$

但し、 Q : 掘削総土量 (m³)、 T : 予定掘削工事日数 (日)

H : 土砂搬出可能時間 (ダンプトラックの現場への出入り可能時間)

β : ピーク時の平均搬出土量に対する倍数 (現場により設定)

(2) 設備能力の設定、設備計画

設備能力の設定は、ダンプトラックを如何に手際良く運行させるかが、重要なポイントであり、図5に示すように土砂の積込み部から掘削部位へ向かって計画する。なお、PPCの搬送能力は、バックホーを掘削設備として使用することを想定して約50%充填率の値を示しているため、定量払出し装置を介して土砂が送られる場合、搬送能力は同一仕様でもこれより高く設定できる。

a. 土砂積込み設備

近年、建設土砂搬送・処分を取り巻く諸条件より、ダンプトラックの運行関係の調査が重要である。ダンプトラックの運行は同じベースで積み出したとしても、帰ってくる時は道路の渋滞、信号待ちなど

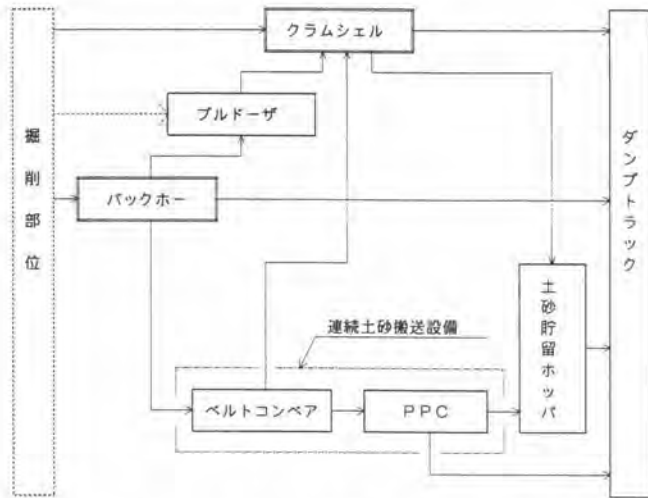


図4 土砂搬送設備構成の選択の流れ



図5 掘削土搬出設備の計画手順

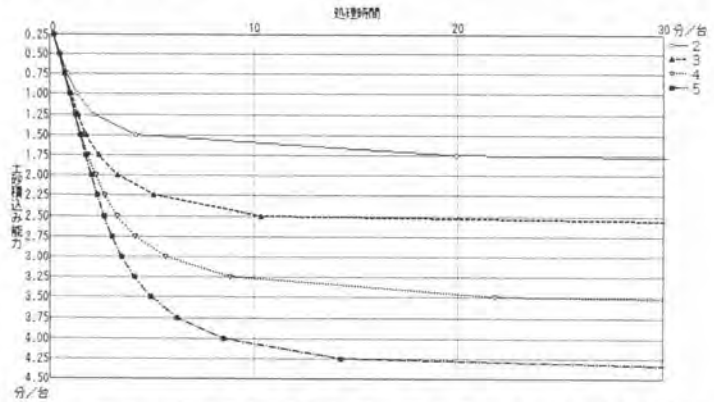


図6 積み込み設備数とダンプトラック平均滞在時間

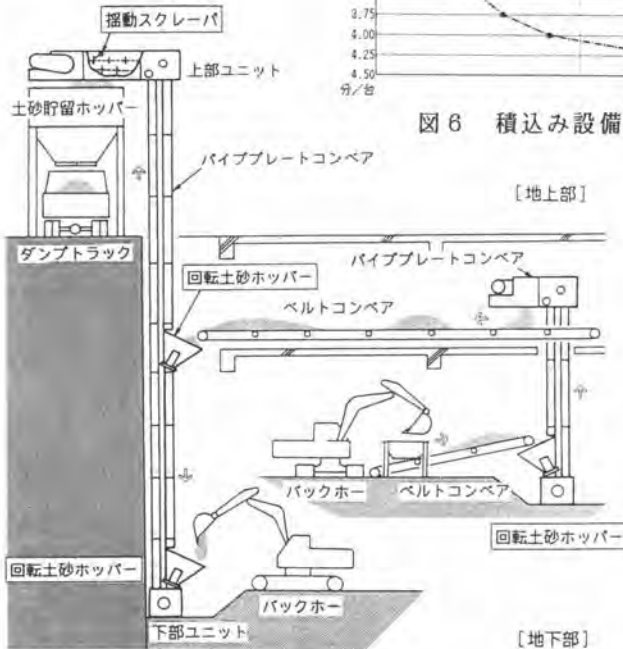


図7 逆打ち工法への適用例

の様々な影響により、ある時は連続して現場に到着したり、ある時はダンプトラックがなかなか入ってこないというのが日常茶飯事にある。このため、土砂積込み設備の能力は、ダンプトラックの待ち行列を考慮して、能力的に余裕をみて計画する必要がある。次式に1時間当りの土砂積込み設備能力P(台/時)の計算式を示す。

$$P = q \times \gamma \div D \div \delta \div \varepsilon$$

但し、D：使用ダンプトラックの積載重量(通常、11ton)、 γ ：地山の比重、

δ ：平均ダンプトラック積載率、 ε ：ダンプトラックの待ち行列解析による係数

図8はポアソン分布に従って1時間に66台のダンプトラックが到着すると仮定し、積込み設備数を2から5とした場合の待ち行列の解析により求めたダンプトラックが積込み設備に滞在(積込み待ちと積込み)する平均時間である。これによれば、例えば、窓口数が2の場合、所定のダンプトラック台数を処理するには設備能力として $60 \div (66 \div 2) \rightarrow 1.82$ (分/台)が計算されるが、本図によれば1.75(分/台)の積込み能力でダンプトラックの待ち時間が急激に増えることとなるため、これより高く積込み能力を設定する必要があると考えられる。

ダンプトラックに土砂を積込む方法としてPPCから直接、積込む場合と、土砂貯留ホッパーに蓄えてから積込む場合がある。

【ダンプトラックへPPCで直積み】

1つの土砂排出口を設備したPPCでダンプトラックへ直積みを行う場合は、ダンプトラックの入替え時間の間、PPCは休止状態となるため、時間を考慮して設備能力を高く設定する必要がある。敷地にダンプトラックを2台、並列に並べる余裕があれば、PPCの土砂排出口を2箇所設けてダンプトラックが2台並べ、その入替え時間を短縮することが可能となる。なお、この場合もダンプトラックの運行により、PPCの休止が想定されるため、これを考慮した余裕を持たせることが必要である。

ダンプトラックへPPCで土砂を直積みする場合は、PPCの土砂排出口が固定のため、ダンプトラックを徐々に前進させながら荷台に均等に積込めるように設備のレイアウトを考慮する必要がある。

【土砂貯留ホッパーを用いる場合】

土砂貯留ホッパーを用いる場合、土砂の積込み能力はそのゲートの開閉時間と土砂の性状に起因する土砂積込み時間そのものに規定される。PPCの能力はその土砂貯留ホッパーが1時間に排出する土量にあわせて設定する。

なお、PPCはそのケーシングパイプ径以上の大きさのガラなどは搬送できないことから、これらが存在する場合はグリズリなどにより選別して別途に揚重できるように計画する。

(3) 設備の配置計画

(2)を具現化する上で現場の状況に合わせた適切な設備配置計画が重要である。

【逆打ち工法】

図7は逆打ち工法に適用した例であり、地下1階にベルトコンベアの配置し、サブのPPCから揚土した土砂をメインのPPCの途中から入れ、また、メインのPPCの最下部からバックホーにより、土砂を投入し、ダンプトラックに土砂を積込む土砂貯留ホッパーに土砂を搬送するシステムとなっている。

【立坑及びシールドトンネル】

シールドトンネルの立坑建設時の土砂搬送設備として、また、土圧式シールドの土砂搬送設備としてPPCを適用することができる。道路脇に土砂排出口を設ける必要がある場合、ケーシングパイプの途中に水平横引き部を設けることが可能である。

4. 本システムの効果

- (1) 掘削が深くなっても揚土能力は一定で揚土能力が低下しない。
- (2) 砂礫から粘土まで広い範囲の土質の掘削土揚重に対応できる。
- (3) ケーシングパイプの途中に土砂投入ホッパーや水平搬送部を設けることができ、フレキシブルな土砂搬送経路を構築できる。また、上部ユニットの機高が低くでき、建家内でも適用性が高い。
- (4) 70m³/時クラスのケーシングパイプで約0.6m×1.2mの開口面積に設置でき、クラムシェルに比較して開口部を大幅に小さくすることができる。
- (5) 土砂を搬送する可動部分がケーシングに覆われ、土砂のこぼれがなく、泥水を含んだ土砂の場合にも周囲を汚すことがなく、静かで、安全に作業できる。
- (6) 構成ユニットのモジュール化により、様々な条件の現場に適用でき、転用性が高い。

5. おわりに

本報で述べたPPCは、逆打ち工法や敷地の制限からクローラクレーンなどを恒常的に設置することが難しい現場での地下掘削工事、シールド工事における立坑建設の土砂搬出、土圧式シールド工事における掘削土の搬出、地下鉄駅舎工事などの大規模地下掘削工事や地下変電所建設工事の土砂搬出等に適用が可能である。

クラムシェル、ブルドーザ、バックホーを用いた従来の掘削土搬出方法は機動力が高く、普及していることから施工計画の詳細について論じられることは少ない。しかし、本報で触れたダンプトラックへの土砂の積込みを考慮した計画法は共通に適用できよう。本報が土砂搬送システムを計画するに際して諸兄の参考となれば幸いである。

最後に開発にあたり、ご支援・助言をいただいた関係者の皆様にお礼申し上げます。

【参考文献】

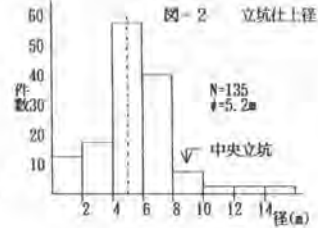
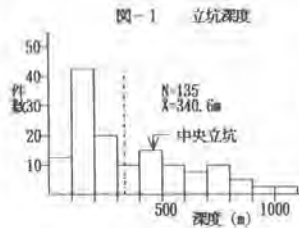
- 1) R.J.シーロフ/R.A.グロス著、斎藤嘉博訳、『最新オペレーションズ・リサーチ概論』、1972年1月、日科技連
- 2) 光永・三沢・安藤「垂直土砂搬送装置の開発」、平成5年度建設機械と施工法シンポジウム論文集、pp.114-117

14. 深さ481m、直径11mの換気用立坑の施工

清水建設(株)：井上 孝俊・*星 幸夫

1. はじめに

我が国における立坑の施工は鉱業部門に多く、施工総延長は約40000m程の実績がある。それに対し道路の換気用立坑の施工総延長は現在まで約5000m程である。また鉱業部門での最大深度は1044mに対し、道路の換気用立坑は中央高速道路恵那山中



津川立坑の620mである。図-1及び図-2に日本の立坑施工実績のヒストグラムを示す。過去に日本で施工された立坑の標準的な規模は掘削深度で100m~300m仕上り径で4m~6mであり、今回施工の深さ481m掘削径11mの立坑は大深度、大断面の日本でも有数の大規模立坑である。現在掘削工事を完了したところであるが、現在までの施工状況等について報告する。

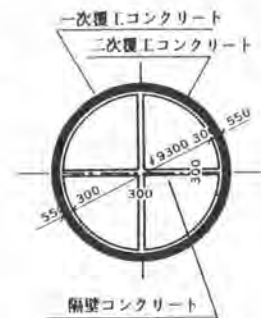
2. 阪奈トンネル中央立坑の概要

国道308号のバイパスとして建設の進む第二阪奈有料道路建設工事のうち、大阪府と奈良県境に位置する生駒山を貫く延長5.6kmの阪奈トンネルの中央付近に建設する換気用立坑が本題の中央立坑である。表-1に工事概要一覧表

表-1 工事概要一覧表

工事名	第二阪奈有料道路建設工事(中央立坑工区)
工事場所	大阪府東大阪市山手町
発注者	大阪府道路公社
施工者	清水・三井・日本国土・竹中土木共同企業体
工事内容	施工深さ 481m 掘削径 11m 掘削断面積 95m ² 一次覆工 8,500m ³ 二次覆工 7,000m ³

図-3 標準断面



を、図-3に標準断面図を示す。工法は掘削断面積95㎡を全断面発破切下がり工法で、ショートステップ方式の交互築壁工法を採用している。

3. 地質概要

生駒山系の基盤岩は、頷家複合岩類の花崗岩、閃緑岩、片麻岩類及び、これらを貫く脈岩類より構成されている。中央立坑の地質は中粒閃緑岩が主体で、一軸圧縮強度 2,000kgf/cm²以上の堅硬緻密なものが多い。

4. 使用機械

本工事の使用機械の特徴は、大断面大深度立坑に相応して大型化している。またほとんどが電動機械で、一般の横トンネルに比べてシステムチックに制御され、いわば工場化された作業となっている。

(1)立坑機械システム

立坑は、大断面大深度になるほど、ずり処理時間が工程を左右する為、巻上設備、ずり積込設備、搬器設備等の機械設備がコストや作業能率、省力化の面で合理的になるよう計画を定めている。能率では人荷すべてが巻上機によって運搬される為、巻上げ速度は速い方がすべての面で有利である。一方、ずり処理では、ずりキブルの容量が大きく、ずりキブルの搬出回数を少なくすることが有利である。この巻上げ速度とキブルの容量（巻上荷重）の関係は、

$$P = \frac{W V}{6120 \eta}$$

ここで W：巻上荷重（kg）

V：巻上速度（m/min）

η ：機械効率 0.8

P：巻上機動力（kW）

で表わされる。したがって巻上機所要動力を定めた時に巻上速度と巻上荷重は反比例する。今回工事では巻上機所要動力 600kW、ずりキブル 6m³ で最大荷重 20t、巻上速度140m/minをコスト

や能率の面で最も合理的であると判断した。これらの機械設定を基本にずりキブルの自動転倒装置による省力化や巻上機の巻上速度の自動制御、ブレーキ系統の二重の安全性等を組み込み、立坑の運搬に関わる機械システムを計画している。またこの運搬システムにコンクリート打設システム、ずり積込みシステム、削孔システム等を組み合わせて一連の立坑機械システムを完成させている。

(2)削孔機械

基盤岩が堅硬緻密な閃緑岩であること、巻上機動力が大きく重量の大きい機械を選定できることから日本で初めての4ブーム油圧シャフトジャンボを採用した。大断面での削孔数を考えると4ブームでは物足りない感はあるが、重量、寸法等の制約から今回は適当であると判断した。またスカホード搭載型の油圧削孔機も検討したが、スカホードのスペースとメンテナンスを考慮して、坑口格納型のシャフトジャンボとした。

(3)ずり積込機械

立坑でのずり積込み機械としてはグライファ、ショベル、シャフトマッカ等が考えられ、それぞれ長所短所はあるものの、今回は0.55m³ のシャフトマッカを採用した。隅部のずり取りを考慮して二重旋回タイプとしたため補助機械を必要とせず全周のずりを取り切ることができる。

(4)昇降設備

10人乗りのエレベータを設備している。これにはセフティキャッチ装置がセットされており、主ロープ切断時はガイドロープをキャッチして停止するものとしている。またエレベータ以外に昇降設備が無いため、停電時の対応として変電所内に自家発電機を常備している。

(5)換気設備

換気は送排気の2系統を運転している。坑口に1,000m³ /minのコントラファンを設置し、 ϕ 900mmの

表-2 主要機械一覧

項目	名称	仕様	備考
削孔	シャフトジャンボ	油圧4連装	150kg級
ずり積み	シャフトマッカ	0.55m ³	二重旋回
ずり運搬	ずりキブル	6.0m ³	自動転倒装置
	キブル巻ウインチ	600kW DC	140m/min
巻上機	スカーフ巻ウインチ	55kW×2	3m/min
	エレベータ巻ウインチ	75kW	10人用95m/min
立坑構	ガイド巻ウインチ	15kW	
	構設備	高さ25mH型	
坑内吊足場	スカホード	2段 ϕ 9.5m	鋼 ϕ 3.5m
一次覆工	スライドセントル	L=1.8m	
コンクリート運搬	コンクリートキブル	3.0m ³	エアシリンダ
二次覆工	スリップフォーム	L=1.5m	

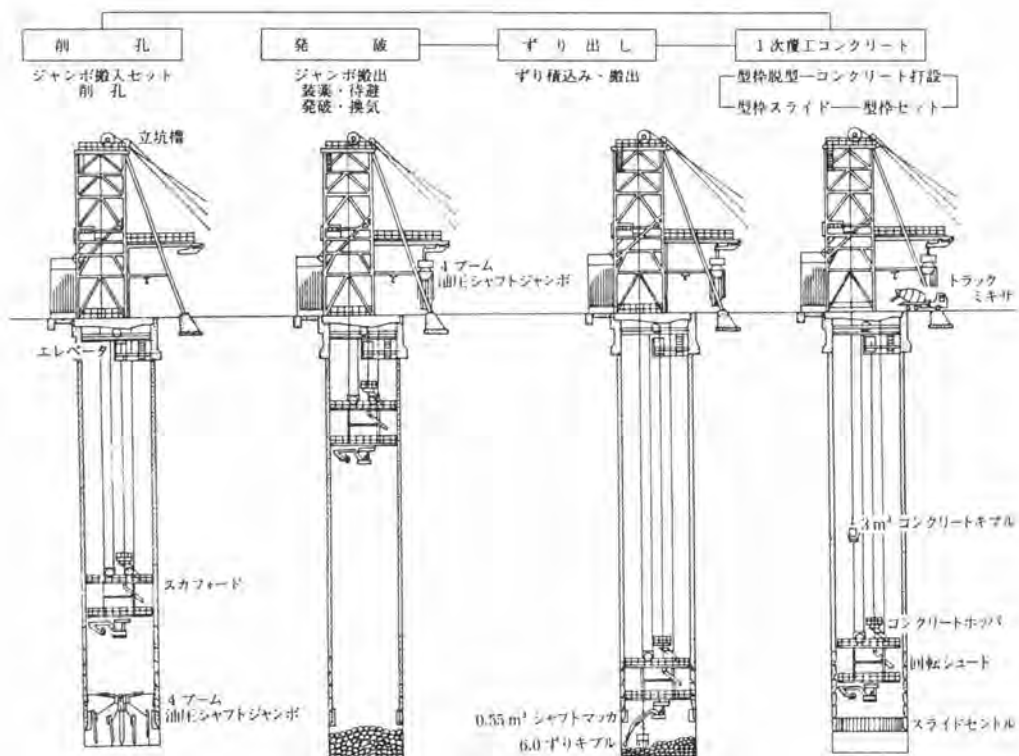


図-4 本体部施工順序

スパイラルダクトを坑内に配管して排気を、 $100\text{m}^3/\text{min}$ のハイプレッシャーファンに $\phi 300\text{mm}$ の鋼管を配管して送気を行っている。

5. 施工状況

(1) 削孔・発破作業

掘削断面積 95m^2 を全断面発破切下がり工法で施工している。削孔長は2m、削孔数は平均240孔、薬量はサンベックス種で $1.1\text{kgf}/\text{m}^3$ 程度となっている。雷管はDS電気雷管1～8段を使用している。進行長は一次覆工のセントル長1.8mを十分クリアしており、一発破一覆工のペースで施工している。

削孔は4ブーム油圧シャフトジャンボを使用しており、 $3\sim 4\text{l}/\text{min}$ の削孔水に0.3～0.5%の界面活性剤を混入し発泡装置によってビット先端から泡を噴出し、粉塵防止と孔荒れ防止を目的とする泡削孔を行った。この泡削孔によって空線りに比べてかなりの粉塵を防止でき、また、線り粉が泡と一緒に完全に排出されるため孔尻がほとんど残らない。

(2) ずり搬出

ずりの搬出はスカホードに取り付けている 0.55m^3 の二重回転タイプシャフトマッカーで 6m^3 のずりキブルに積み込み搬出している。ずり搬出は、発破後一次覆工セントルの下端から1.8mになるまで1回目の搬出を行う。残りずりを均して、この上にセントルをセットし、コンクリートを打設する。打設後2回目のずり搬出を行い、残りずりを処理する。1回の発破により 6m^3 のずりキブルで45箇前後のずりが発生する。ずりキブルは1時間に3～4箇程度搬出し、櫛の自動転倒装置によりキブルをシュート上

へ転倒させ坑口のずり仮置場に集積する。

二重回転シャフトマッカは全周のずりを作業性良く取切ることができるが、スカホールド下部に固定しているため、旋回部に応力が集中したり、発破の飛石による油圧ホースの破損等、時々トラブルを起こしている。しかし他の積込み方法に比べて能率は良いと考えている。

(3)一次覆工

ずり搬出がセントルの下端から1.8mの深さまで進んだ時点でずり搬出を中断し、盤を均して一次覆工に入る。セントルを前回打設部から脱型し、ウインチにより降下させ、調整ジャッキによりセンターから正しい位置にセットする。コンクリート打設は、場内のパッチャープラントからトラックミキサーで生コンを坑口まで運搬し、3m³のコンクリートキブルに積込み、スカホールド上段のコンクリートホッパーから回転シュートを経て、全周のコンクリートを打設する。

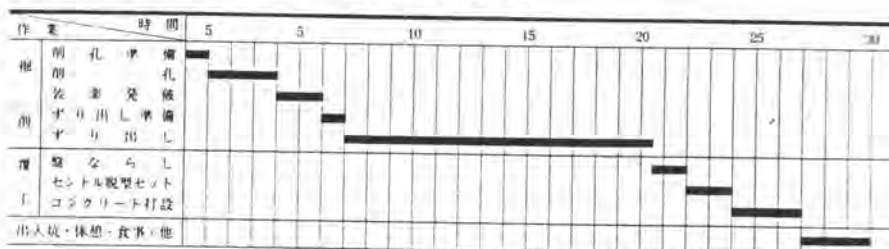
覆工はショートステップ工法のため、短時間でセントル直下の残りずりの掘削とセントルの脱型が行われる。したがってコンクリートは早期強度を必要とする。コンクリート打設後セントル直下のずりが掘削されるのは7時間後で、そのときの必要強度は計算上では約9 kg/cm²である。またセントルが脱型されるのは24時間前後で、そのときの必要強度は30 kg/cm²である。これらを踏まえ、試験練りを実施し示方配合を定めた。

またショートステップ工法では、コンクリート打設後短時間のうちに直下における発破が行われるため、発破振動による影響も心配されたが、特にクラック等は観察されていない。

6. サイクルタイム

立坑掘削延長481mのうち、240mの位置での標準サイクルタイムは昼夜2交替作業で、1サイクル1.8mが約30時間となっている。そのうち50%はずりの搬出、20%が削孔・発破、20%が一次覆工、その他10%となっている（岩質区分C、鋼製支保工なしの場合）。

表-3 サイクルタイム



立坑本体部の掘削工事は平成4年10月に開始し、平成6年3月に完了したが、この間の掘進スピードは平均月進26m、最高月進34.2mを記録した。

7. おわりに

日本における立坑の施工は鉱業部門の衰退により数少なくなっている。しかし今後は長大道路トンネルの施工に伴う換気用立坑、また地下揚水発電所、核廃棄物処理に伴う立坑の施工が考えられ、さらなる大深度大断面立坑の設計施工に参考になれば幸いである。

15. アリマッククライマー、レイズドリルを用いた長距離斜坑の施工

電源開発(株)：藤野 浩一

(株)奥村組：宮川 勝美・栗田 猛志

1. はじめに

電源開発(株)奥清津第二発電所の水圧管路には、上段斜坑(勾配 5.1° ・延長約390m)と下段斜坑(勾配 5.1° ・延長約250m)の2か所の斜坑がある。斜坑掘削は、まず導坑掘削を行い、この導坑をズリ搬出坑として利用し正規断面に拡幅する。各導坑の掘削については、アリマッククライマー、レイズドリルを使用した工法により掘削をおこなった。

(図-1参照)

本文は、それぞれの工法の施工実績について報告するものである。

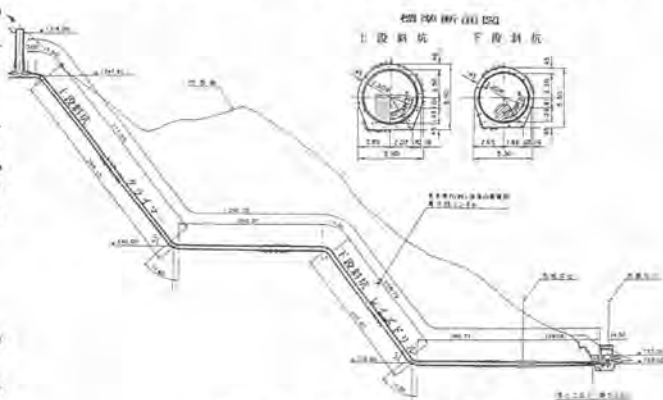


図-1 水圧管路縦断図

2. クライマー工法による導坑掘削(上段斜坑)

上段斜坑の掘削は、本工事におけるクリティカルパスであり、掘削延長からも急速施工がもとめられた。また、施工区間の地質はクライマー工法が適用できる良好な岩盤であると想定され、同工法を選定した。

クライマーはアリマック社製(スウェーデン)のアリマッククライマー(RCM-6M)を使用した。RCM-6Mは従来の機種(RCM-6S)に以下の改良を加え安全性及び作業性の向上を図っている。

- ① 油圧削岩機操作位置を作業ステージより運転席内部からの遠隔操作に変更した。
- ② アウトリガー取り付け位置をサイド部からボトム部へ変更し、本体の支持能力を向上させた。
- ③ 本体重量を5.5tから4.7tに軽量化し、ホイールベースを長くしたことによりアンカーボルト一本あたりの負荷荷重を軽減させた。
- ④ ガイドレール中間部にアンカーボルトベースを設け、アンカーボルトの増設を容易にした。
- ⑤ 削岩機の駆動油圧系統を1系統から2系統に変更した。

アリマッククライマーは、クライマー本体と別個稼動する運搬兼連絡車であるアリ

トロリーから構成される。

アリマッククライマーの全体図を図-2に、主要仕様を表-1に示す。

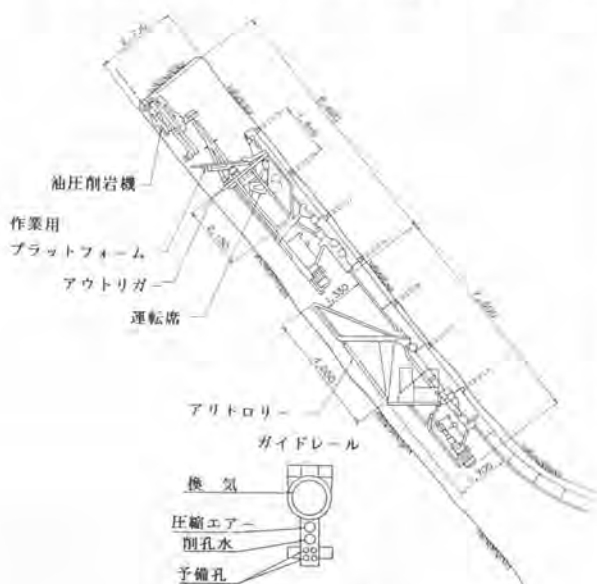


図-2 RCM-6M全体図

表-1 RCM-6M主要仕様

項目	仕様
(クライマー本体)	
上昇速度	0~1.6m/分
下降速度	0~4.0m/分
積載荷重	1,000kg
電動機	30kw 660V 3相
供給電力	380V 3相 50H.
削岩機	COP 1032型
全長	約8,600mm
全荷重	約4,500kg
(アリトロリー)	
上昇速度	0~1.6m/分
下降速度	0~4.0m/分
積載荷重	3,800kg
電動機	30kw 660V 3相
供給電力	380V 3相 50H.
全長	約7,600mm
全荷重	約2,600kg
(ガイドレール)	
通気用	φ155mm
圧縮空気用	φ28mm
水用	φ28mm
標準長さ	1,810mm
重量	117kg

2-1 施工状況

(1) 地質

上段斜坑区間の地質は区間をとおして石英安山岩で構成され、断層や節理が少なく非常に堅硬な地質であった。

地下水位は、斜坑中・下部ではトンネルより上になり、導坑掘削開始地点より150m付近において薄い粘土を挟んだ小規模な断層から1000ℓ/分程度の湧水があった。

(2) 掘削状況

導坑断面はRCM-6M型の最小断面である2.7×2.7mの矩形とし、本坑のインバート面から50cm上がりの底設導坑とした。

発破にあたっては、クライマーの動力が電動油圧ポンプであるため、漏洩電流による発破事故を防止するには、装薬時は電源を切り、装薬後の降下は自重で行う必要がある。このような危険性や不便さを回避するために、非電気式起爆システムであるノネルシステムを採用した。

吹付コンクリートについては、アリトロリーに吹付機を装備し、吹付け材料はプレミックスコンクリート(25kg/袋)とし、吹付け位置にてコンクリート・水を投入し吹付けを行った。なお、吹付けの効率化を図るため、下部より約70mの区間についてはクライマー基地よりSBS乾式吹付け機により圧送し吹付けを行った。

(3) 施工実績

クライマー基地等の仮設工事に約2週間必要とした。掘削中、前述の湧水区間において、地質の確認、水抜き、岩盤固結剤注入等のために10日間程度進行が止まったが無事通過することができた。その後、地質も良好で、掘削開始後約3か月で貫通した。ガイドレールの回収等仮設撤去も含め約5か月で導坑掘削全工程を完了した。進行実績は、稼動日当りの平均日進は4.4mであった。

R C M-6 M機の電気系、機械系の故障により、掘削期間全体で約600時間の掘削停止時間があった。また、掘削延長が伸びるにつれてガイドレールやケーブル等の破損も進行し、点検・保守には細心の注意を払った。

3. レイズドリリング工法による導坑掘削（下段斜坑）

レイズドリリング工法を選択するにあたって懸念されたことは、施工区間の諸条件に対し、斜坑導坑として許容される精度でのパイロット孔掘削が可能であるか、リーミング掘削時に坑壁の崩壊を抑えられるかであった。この問題点について検討の結果、地質状況・掘削延長を勘案の上、機器の改良、適切な施工管理にて対処できると判断し同工法を採用した。レイズドリルは鉦研工業（株）が新規開発したBM-150A型（パイロットダウン・リーミングアップ方式）を使用した。BM-150A型は従来の機種に較べ以下の改良を加え安定性、安全性、及作業性の向上を図っている。



写真-1 機械設置状況

- ① 給進シリンダー、ガイドシリンダー共、それぞれ結ぶ交点を掘削中心に一致させる事により、傾斜掘削、リーミング掘削時の安定性の向上を図った。
- ② 掘削は半自動コントロール掘削とし、機械を操作するコントロール盤にLCD画面及びグラフィックパネルを設置し、各種の掘削データ並びに機械操作の状態を表示させ運転操作を容易にした。
- ③ 指示した掘削条件をオーバーすれば警報ランプ、ブザーによる注意信号が発せられようにし安全性の向上を図った。

レイズドリルの設置状況を写真-1、主要仕様を表-2に示す。

表-2 BM-150A仕様

項目	仕様	
パイロット径	270mm	
リーミング径	1,470mm	
スピンドル回転数	0~55rpm	
スピンドルトルク	11.4tf・m	
給進力	前進	76tf
	後進	220tf
給進速度	前進	80cm/分
	後進	30cm/分
早送り速度	前進	8m/分
	後進	3m/分
ストローク	2200mm	
計測表示項目	給進力・給進速度 スピンドル回転数 スピンドルトルク	
重量	約1500kg	

3-1 施工状況

(1) 地質

下段斜坑区間の地質も上段斜坑と同様に石英安山岩で構成されるが、断層がやや多

く断層や節理に沿って顕著な風化が進んでおり、岩質は全般にやや不良である。地下水位は斜坑下部でトンネルより上になり、200ℓ/分程度の湧水があった。

(2) パイロット掘削

レイズドリリング工法による導坑掘削の精度は、パイロット孔の施工精度で決定される。大口径岩盤掘削機BM機による傾斜パイロット孔の精度実績は掘削長に対し約0～1.3%であった。本斜坑導坑の掘削では、本坑掘削断面内にパイロット孔を貫通させるためにはその精度を1%以内に抑えることが必要であった。

本工事では、精度の確保のため孔曲がりの発生しにくい直進性のよい掘削ツールの編成を採用し、また考えられる各種の孔曲がり発生要因に対しては適切な掘削管理を行う事により精度の確保に努めた。掘削ツールの編成に当たっては、下記の特徴を考慮し図-3に示す編成を採用した。

- ① スタビライザーの長い程直進する傾向が強い
- ② スタビライザーの外径がビット径に近い程孔は曲がりにくい
- ③ 一般的にツールの径が大きい程孔は曲がりにくい

また、掘削中に孔曲がりの発生する大きな要因として次の項目があげられる。

- ① 掘削機据付時の方向誤差
- ② 掘削時の不適切なビット荷重
- ③ 地層の変化、硬軟の互層

据付時の方向誤差については、掘削機の据付、口元ガイド管の設置及び掘削開始後10mまで中心線の厳密なチェック修正を行った。

ビット荷重をかけ過ぎるとビットの回転方向に起因する回転方向への孔曲がりが発生する。特に硬、軟質岩が互層する不均質な岩盤では孔曲がりが増大する傾向がある。当初、計画ビット荷重を許容ビット荷重の40～50%とし、12.8～15.9tfの範囲で掘削を開始した。実際の孔曲がり、掘進率、ビット荷重、回転数、トルク及び地質などの条件によって影響される。この為、一定区間の掘削を行った後、記録された掘削データと孔曲がり測量結果との相関を調べ、これを基にパイロット孔掘削時の管理基準値を下記の値とした。

* ビット回転数	30rpm
* ビット荷重	10tf
* トルク	0.2～1.5tf-m
* 泥水量	500～600ℓ/分

ビット荷重は10tfを確保するよう特に留意し、掘削速度を抑え孔曲がり対策を優先させた。

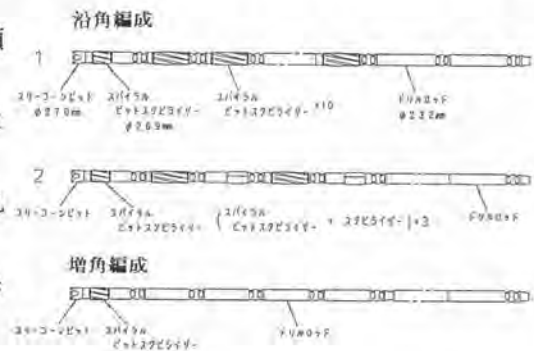


図-3 ツール編成

孔曲がり測定には、磁気式測定器を使用した。磁気式のため掘削ロッド内で測定できず、20～30m掘削毎にロッドを揚管し裸孔状態で測定を行った。測定間隔は約6.0mとし、フィルムの読取り誤差を防止するため、同一深度で2～3回の測定を行いその平均値を採用した。

パイロット孔の計画線からの偏位に対する軌道の修正は、図-3に示した増角編成のツールズで基本的に対応することとし、その他に、強制的に孔の方向を修正する方法として3°のホイップストックを準備した。

(3) リーミング掘削及びライニング鋼管建込み

パイロット孔の貫通した導坑下部でパイロットビットを切り離しリーミングビットを接続する。ビットは、ローラーカッター12個を搭載した2ステージ型、径1,470mmを使用した。リーミング掘削時の管理基準値は下記の値を標準とした。

* ビット回転数 15rpm

* ビット給圧力 60tf

掘削完了後テレビカメラを上部より挿入し約80m間の坑壁掘削状況を調査したが、坑壁下部の軟岩部において壁面の小規模な崩落が認められた。原因は、掘削ズリ及び掘削水の影響と思われる。その他の孔壁は、比較的滑らかな切削痕を残していた。

リーミング掘削の完了後、拡幅掘削時の孔壁保護のためライニング鋼管建込みを行った。ライニング鋼管は、スパイラル鋼管1200A、厚さ8.0mmを使用した。

ライニング鋼管の挿入では、鋼管重量の吊能力のほか鋼管が自重で下降しない場合に備えて最大36tの加圧挿入装置を設置した。結果的には、挿入装置を使用することもなく順調に挿入することができた。

3-3 施工実績

仮設及び機器の据付に約2週間を要した後、パイロット孔は約1ヶ月で貫通した(純掘進率の平均は1.2～1.5cm/分)。リーミングの段取りに約10日、その後、約40日間でリーミングを終了した(純掘進率の平均は1.2cm/分)。

機械撤去、ライニング鋼管挿入、固定、仮設備撤去を含めレイズドリリング工法による約250mの導坑掘削を約4ヶ月で完了した。

(1) パイロット孔の孔曲がり精度修正実績

貫通したパイロット坑の孔曲がり精度は、掘削長248.8mに対し、計画中心線からの偏位量が、水平方向0m、鉛直方向+1.04mの結果を得た。掘削長に対する偏位量は0.4%となり、本工事で設定した許容値1%をクリアした。

スタビライザーの長さを十分にしたツールズ編成(沿角編成)とビット回転数、ビット荷重等を厳しく制御した掘削により、水平方向についてはほぼ計画線どおりの掘削ができた。鉛直方向については計画線より下方に偏位する傾向を示し、掘削中に2回の増角掘削を実施した。修正時は、5～6mの掘進ごとに傾斜角のみロッド内で測定し、編成替えによる効果の確認を行った。

(2) トラブルと対策

a. 逸水・孔壁保持

斜坑上部より50mで想定されていた断層に遭遇した。開口亀裂が認められ、掘削泥水が完全逸泥した。セメントミルク 8 m^3 を注入し、固結を待って再掘削し、断層部を通過した。掘削深度36m、123m、140m付近においてもそれぞれ数 m^3 前後の逸泥があり、逸泥防止材の使用と泥水比重のコントロールにより掘削を継続した。また、導坑施工完了までの孔壁の崩壊を防止するため、パイロット孔の貫通地点20m手前で一時掘削を中止しセメンテーションを行ない孔壁の保持に努めた。

b. リーミングビットスタビライザーの抑留トラブル

リーミングビット下部には、傾斜掘削に起因するビット接続部破損の防止及びビット交換、点検の降下を円滑にするためにスカート状のリーミングビットスタビライザーを取り付けた。このスカート部がリーミング開始30m付近で抑留され掘削できなくなり、スカート部の切断撤去を行った。ビット接続部の応力集中を避けるため、ビット径 $1,479\text{ mm}$ に対しスカート外径を $1,465\text{ mm}$ としてクリアランスを小さくしたが、掘削面から落下した岩片がこのクリアランスにくさび状に入り込んだのが原因と思われる。対策として、スカートを4分割にし、径、面積とも縮小したものに改造した。

3-5 今後の課題

レイズドリリング工法による斜坑掘削での孔曲が実績の比較(図-4)が示すとおり今回の機器の改良、施工管理の実績により同工法の信頼性が飛躍的に増したといえる。しかし、全線にわたり底設導坑となる位置を確保することはできず、切抜掘削においては切羽を水平にし削岩機と油圧シュベルを交互に搬入し掘削を進める工法を採用した。今回の実績を踏まえ、掘削・測量技術等の改良により孔曲がりの抑制が可能となれば、切抜掘削においても効率の向上が期待できる。また、導坑位置に柔軟に対処

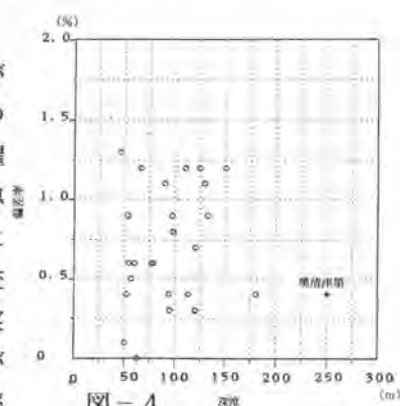


図-4 斜坑掘削孔曲り実績比較

できるジャンボの開発も考慮すべきであろう。導坑断面についても、今回リーミング径 $1,470\text{ mm}$ であったが、状況に応じ最適化する必要がある。

4 あとがき

クライマー・レイズドリリング工法とも多くの実績があり新しい工法ではない。しかし、工程・安全面に留意しながら、機器や施工に改良を加え新たな適用を計った今回の実績が、今後の施工計画の一助となれば幸いである。レイズドリリング工法は安全性について優れた面を持っているが、今後、斜坑導坑掘削の1工法として広く採用されるためには、測定技術・掘削制御技術の向上を図り施工精度の信頼性を確保していく必要がある。

16. 上向きシールドの開発

大成建設(株)：金子 研一

五洋建設(株)：原 修一

石川島播磨重工業(株)：*伊藤 広幸

1. はじめに

近年、都市部における地下開発の計画は、ますます大深度化の傾向にある。これに伴い、多様な施工技術が要求されてきている。その中でも立坑の施工技術においては、シールドで立坑を地上から下向きに掘進する工法が要求され、実用化されるに至っている。これに対し、地下の既設トンネル内より上向きに立坑を掘進する工法も要求され、これが可能になると、地上から立坑を施工するための用地が確保できない場合、また、立坑の完成まで地上部が開放できないといった条件下で有効な施工技術となる。これらの特徴を生かして、換気・ケーブル等の引き込み・管理人孔といった中小口径立坑を経済的に施工する新しい立坑構築技術としてシールドで上向きに掘進する工法の開発を行っている。

本文では、開発した上向きシールドの概要と、その掘削実験の結果について報告する。

2. 上向きシールドの概要

上向きシールドの研究開発の条件は、地下の既設トンネルから上向きに立坑を構築する形態を設定した。上向きシールドは水平トンネルを掘削するシールドと異なり、地山の自重に逆らって掘削することになることから、切羽の安定や切羽地山の崩壊による圧密など厳しい条件下での掘削に対応できることが、機能として要求される。上向きシールドの基本構造を図-1に示す。

シールドの機種は土圧式とした。掘進管理は、シールドの隔壁に設置した土圧計により切羽の土圧を計測し、常に掘削深さに見合った切羽土圧を管理土圧として掘削土の排土量の調整により制御する。さらに、掘進前に地表と地中に沈下計を設け、掘進中の地盤の変位を確認しながら地盤への影響を最小限度に抑えて掘進する。

カッターヘッドの構造は、スポークタイプとした。これは、切羽地山の崩壊によりカッターが締め固められ、回転が不能なることを考慮したもので、面板タイプでは、前面土圧の受圧面積が大きく、カッタートルクが増大してしまう。その点、スポークタイプは、ほとんどの前面土圧をカッターチャンバー内の掘削土砂で受けることになり、面板タイプより前面土圧による抵抗は小さく、カッターの回転に対する影響は少ない。

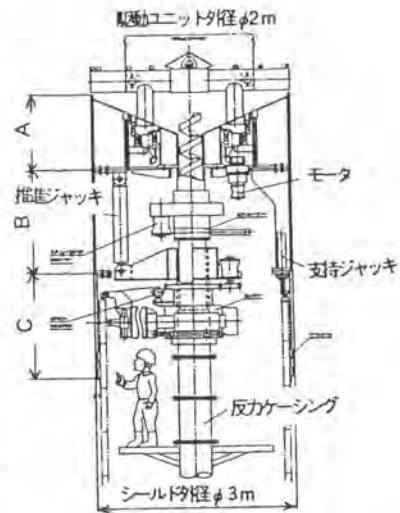
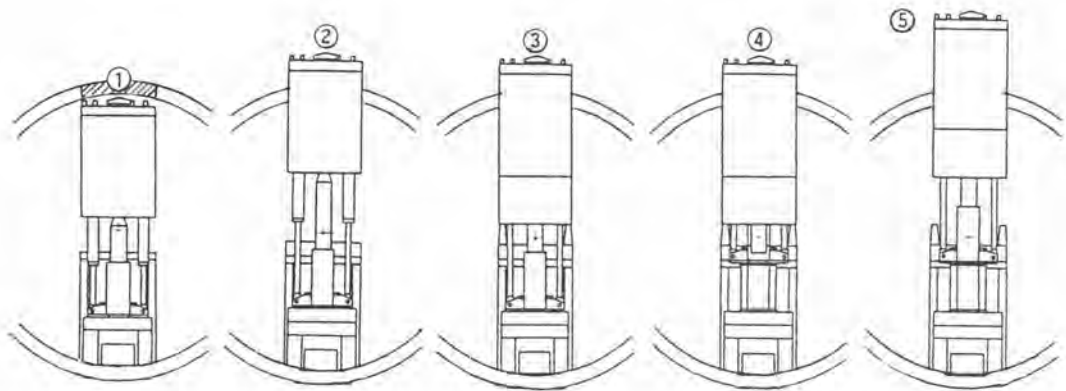


図-1 上向きシールド



シールドを発進部に取付け。 シールドジャッキを伸長し掘進する。 セグメントを組み立て、セグメントをジャッキで受ける。 シールドジャッキを縮め、反力ケーシングを載せ足す。 反力ケーシングを反力シールドジャッキを伸長し再掘進する。

図-2 掘削手順

カッター支持方式は、中間ビーム支持方式とし、カッターチャンバー内の掘削土砂と作泥材を攪拌できる構造とした。カッターチャンバー内の隔壁は、すり鉢形状とし、中央に配置したスクリーコンベアへ掘削土砂が集土しやすい構造とした。

スクリーコンベアは、中央へ垂直に配置し、後端から排土させるため駆動方式は駆動部のケーシングとスクリーフライトを連結させたケーシング駆動方式とした。排土口には、仕切り機構としてゲートを設けた。

推進方法は、既設トンネルの大きさにより、セグメントに推進反力をとる方法、推進工法で元押しジャッキによる方法など考えられるが、本開発では、排土用シュートを兼ねた反力用ケーシングに推進反力を取り掘進する方法を検討した。掘削手順を図-2に示す。この方法の特長は、立坑と既設トンネルの接合部に推進力が集中して作用しないことと、推進ジャッキはシールド機内に装備されているため元押しジャッキを使用する推進工法より小断面のトンネルから発進できるなどが挙げられる。

上向きシールドは、既設トンネル内に搬入し、組み立てられるため、分割ユニット化し、組み立て作業が容易な構造とした。また、カッター駆動ユニットを中心に外側のユニットをアタッチメントで取り付ける形とし、異なる外径にも対応し再利用ができ、汎用性を増した。

上向きシールドの発進スペースとなる既設トンネルのセグメントは、既設トンネルの施工時において、立坑構築部を鋼製セグメントで組み立て、さらに、発進部は外側をコンクリート製、内側を鋼製の二重構造のセグメントを組み立てる。二重セグメント部の構造を図-3に示す。外側のコンクリートセグメントはP C鋼線で緊張し、発進時に内側の鋼製セグメントを取り外した後も強度を確保できる形とした。発進方法はP C鋼線を発進直前に抜き取り、シールドでコンクリート部を削りながら発進する。

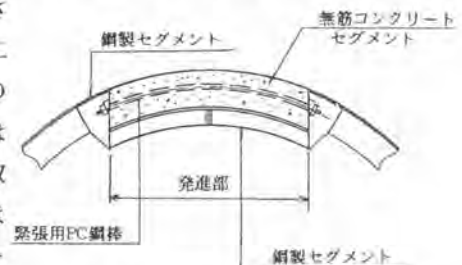


図-3 二重セグメント構造

3. 掘削実験の概要

掘削実験の目的は、密閉型シールドで上向きに立坑を掘削した実績がなく、開発した上向きシールドにより実証するとともに、シールドの掘削性能と切羽安定を図るための掘進管理方法を確認することにある。

実験機の構造は、先に述べたものと基本的に変わらず、外径は $\phi 1\text{ m}$ である。ただし、セグメントは機内で組み立てずに、シールド外径と同径のセグメントをテールエンドにボルト結合で継ぎ足し、シールドとともに地山に貫入する構造とした。実験機の写真を写真-1に示す。また、実験機の諸元を表-1に示す。

実験は、外径 $\phi 4\text{ m}$ 、高さ 6 m の土槽に人工地盤を造成し、土槽の下側から実験機で土槽内を約 4 m 掘進し、この間の地盤の変位を計測した。

人工地盤は、掘進管理値の変化に対し地盤変位の計測データが敏感に得られるように自立しにくい地山として、粒径 4.75 mm 以下の砂質土を選定した。造成方法は、地下水位以下の地盤を想定し、人力により締め固めた後、水を注水し飽和状態の地盤を作成した。地盤の締め固めはR1計測機にて乾燥密度 1.55 gf/cm^3 に管理した。

地盤変位の計測方法は、地盤内に土中歪み計および土中変位計、地表面に地表面変位計を設置し、リアルタイムに計測結果を表示および記録できるようにした。地盤変位の計測機器の配置図を図-4に示す。

実験方法は、1回当たりの掘進長を 66 cm とし、6回に分けて掘進を行った。各ケース毎に管理土圧を設定し、掘進速度は一定に保ちながら、排土量を調整して切羽土圧を制御した。管理土圧は、各ケースの掘進前の静止土圧を基準として任意に倍率を設定して決めた値とした。また、作泥材の注入率は5~6ケースから徐々に下げ排土状況を確認した。これらの各ケースのパラメータを表-2に示す。

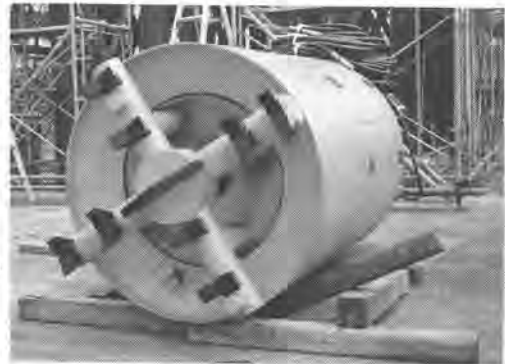


写真-1 実験機

表-1 実験機の諸元

シールド外径	$\phi 1016\text{ mm}$
推力(単位面積当たり)	$48\text{ tf}(95.2\text{ tf/m}^2)$
推進速度	$0\sim 20\text{ mm/min}$
カッタートルク	$1.29\text{ tf}\cdot\text{m}$
カッター回転数	2.28 rpm
スクリュウ外径・形状	$\phi 95\text{ mm}\cdot\text{リボン}$
スクリュートルク	$129.6\text{ kgf}\cdot\text{m}$
土圧計	切羽・側方各2点

表-2 掘進パラメータ

掘進回数	掘進距離(mm)	管理土圧(静止土圧の倍率)	作泥材注入率
1	0~500	静止土圧 $\times 1.0$	20%
2	660~1320	静止土圧 $\times 1.4$	20
3	1320~1980	静止土圧 $\times 1.4$	20
4	1980~2640	静止土圧 $\times 1.6$	20
5	2640~3300	静止土圧 $\times 1.4$	15~20
6	3300~3920	静止土圧 $\times 1.6$	10~15

4. 掘削実験の結果

①上向きシールドで立坑掘削が可能であることを実証した。

今回の実験では、6ケースの実験の中で上向きシールドの性能を確認する目的から、切羽の管理土圧、作泥材の注入率、掘進速度などをパラメータとして掘削実験を行った。その中から地盤変位の少ない掘削ができる条件を見だし、安定した上向き掘進ができたことから、基本的には開発された密閉型シールドで立坑掘削が可能であることを実証できた。また、切羽地山の圧密によるカッター回転への影響は、実験においては問題がなかった。

②掘進上昇に伴い切羽の管理土圧を変えることで安定した掘進ができた。

最も安定した掘削ができた条件は、掘進速度を地表面付近の掘削を想定して毎分10mmと設定して、管理土圧を静止土圧の1.6倍に管理した状態であった。この時の作泥材（ペントナイト）の注入率は20%であった。この条件で掘削したのは、掘進回数4、6のケースで、地表面の変位（沈下）は最大2mmと最も地山への影響が少なかった。地表面変位データを図-5に示す。
③安定掘削のポイントは掘削土の塑性流動化であることを確認した。

カッターチャンパー内で掘削土の塑性流動化が図れない場合に排土機構であるスクリーコンベアから掘削土が作泥材とともに流出したり、スクリーコンベア内で掘削土が詰まり気味となり排土しにくくなる現象を確認した。この場合、切羽土圧が急降下したり、逆に切羽土圧が急上昇して、切羽の土圧管理が困難となり、地山に悪い影響を与えることになる。実機に対しては、塑性流動化が図れない場合の技術的課題として、カッターチャンパー内における攪拌機構と、掘削土が詰まった場合に対処できる排土機構および掘削土の流出を緊急に防止できる排土口の仕切り機構が挙げられ、今後の研究が必要である。

5. おわりに

本研究は、大成建設、五洋建設、石川島播磨重工業、石川島建材工業の共同研究の成果である。本研究の結果より、上向きシールドの実用化に目処をつけることができた。今後、この新工法がトンネル工事に採用され、経済性、環境維持の面に寄与することを期待する。最後に、掘削実証実験に当り、日本建設機械化研究所にご協力いただいたことに謝意を表します。

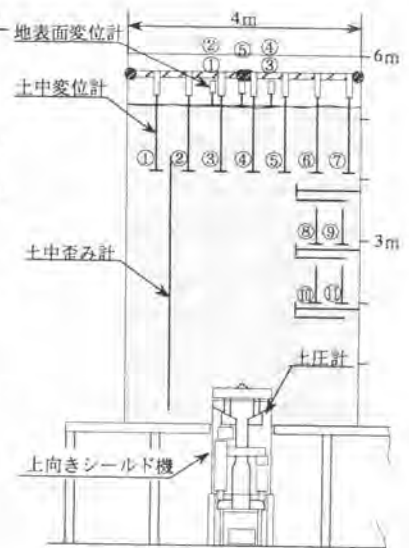


図-4 変位計配置図

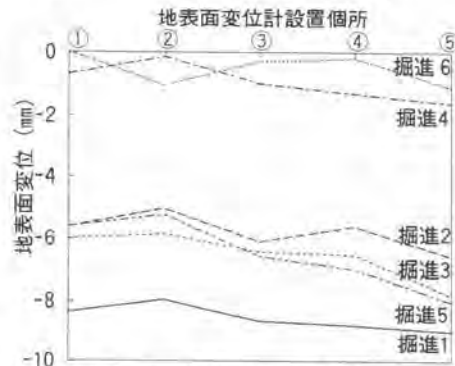


図-5 地表面変位データ

17. ロータリ・パーカッションドリルによる ワイヤラインサンプリングシステムの開発

鉦研工業(株)：梅本 保博・*遠藤 哲哉
万里 武司

1. 概要

ロータリ・パーカッションドリル（以下 “ RPD ” と呼ぶ）は、従来の給圧回転によるボーリングマシンの機構に、油圧式打撃装置を搭載した新しいタイプのボーリングマシンである。この打撃装置の追加は、従来型のボーリングマシンでは掘削が困難とされていた転石層・れき層におけるスピーディな掘削を可能にしたことから、地すべり防止の集・排水孔、法面安定ロックアンカー孔、トンネル施工時の水抜き孔・グラウト注入孔など、多くの施工現場で使用される掘削機の主流となっている。

当社はボーリングマシンメーカーとして多くの施工現場に RPD を送り出してきたが、平成4年、それまで調査ボーリング業界から敬遠されていた RPD による地質サンプリングシステムの開発に着手した。平成6年、システムの実用化に成功し、垂直・水平のいずれの調査ボーリングにおいても高速サンプリングを可能にし、その有効性を評価されるにいたった。

本文は、RPD によるワイヤラインサンプリングシステムの開発と工法の概要、実用化された本システムの現状を述べ、今後の研究課題について考察するものである。

2. 開発経緯

RPD の市場の拡大と市場への普及が進む反面、同機の地質調査方面への実用化の検討は遅れており、RPD による施工の前後に必要な地質調査ボーリングは、通常、従来型のロータリコアドリルが使用されていた。このため、施工時は機械の据え替えが必要であると同時に、掘削速度そのものが遅いため、工事期間の短縮やコストダウンを目指す上では大きな障害となっていた。

このような需要があるにもかかわらず、RPD による調査ボーリングの実用化が遅



写真1 クローラ型ロータリ・パーカッションドリル
” RPD-130C ”

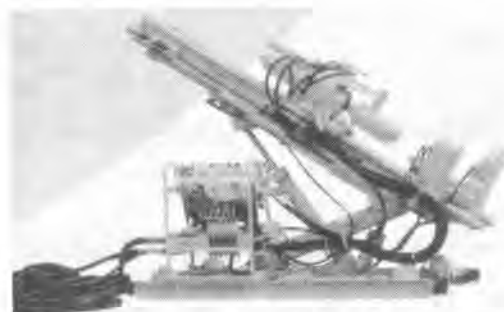


写真2 セパレート型ロータリ・パーカッションドリル
” RPD-75SL-H2 ”

れていた理由は、油圧式打撃機構による数10Gに達する過酷な掘削環境下での地質サンプルの状態保存と、サンプリング装置の耐久力への不安である。RPDの最大の特徴である打撃機構が、実用化検討を遅らせたといえるわけだが、当社は、資源探査ボーリングに広く利用されているワイヤライン工法にRPDの急速さく孔能力を利用したRPD用サンプリングシステムを開発することによって市場の要求に対応することを着想した。

このRPD用ワイヤラインサンブラを開発するという基本方針のもとに、平成4年2月、 $\phi 89$ ドリルロッドの使用をベースに、孔径 $\phi 101$ 、コア径 $\phi 45$ 、名称を「パーカッション・ワイヤラインサンブラ」とした試作機の開発を計画し、実質的な開発作業に着手するとともに、これを利用するサンプリングを「パーカッション・ワイヤライン工法」と命名した。

3. パーカッション・ワイヤラインサンブラの装置と工法の概略

パーカッション・ワイヤラインサンブラの主な構成部品は、次の5点である。

- ①インナチューブ：コアサンプルを保持しドリルロッド内を移動する
- ②アウトチューブ：先端に掘削用コアビットがあり、インナチューブをセットする
- ③オーバ・ショット：ワイヤライン先端に接続しインナチューブを回収する
- ④コアビット：超硬チップを配列したリング状の掘削断面により、掘進しながらコアを成形する
- ⑤ウォータスイベル：水平掘削の際、オーバ・ショットとインナチューブの圧送に使用するアダプタ



写真3 アウトチューブ（左側）
インナチューブ（右側）
コアビット（アウトチューブ先端）



写真4 3.5mライナプレート内での
集水・調査ボーリング
インナチューブが回収されてきたところ
中央下で手渡しているのがオーバ・ショット

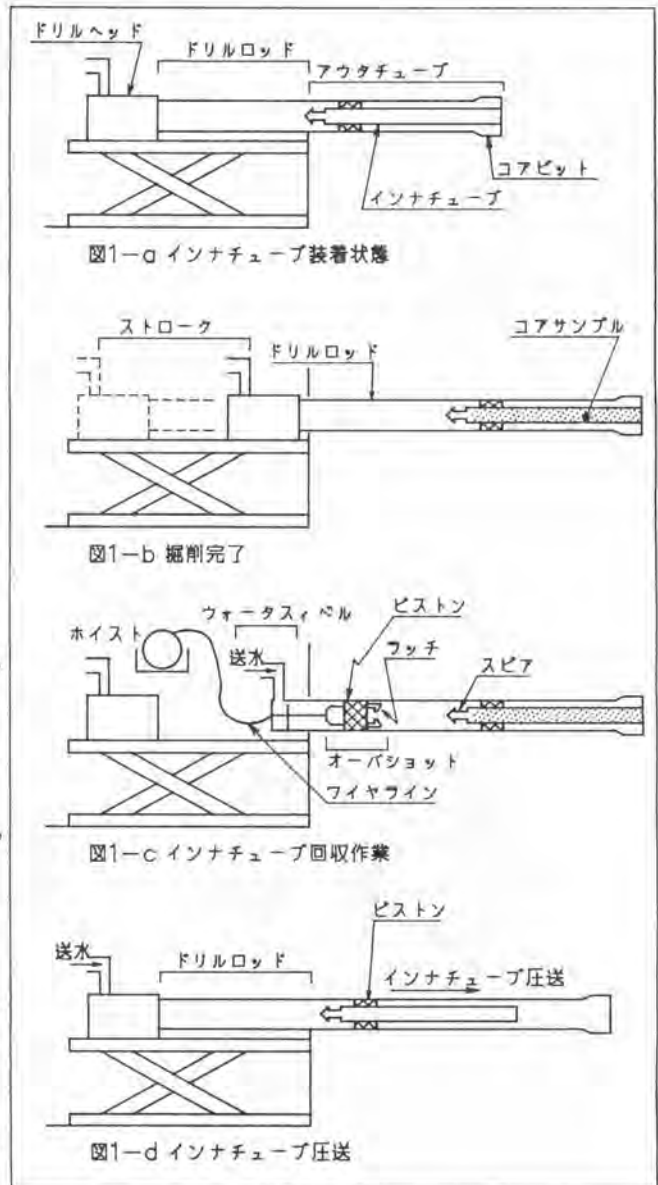
パーカッション・ワイヤライン工法による水平コアサンプリングの概略行程を図1に示す。写真4の施工内容も水平コアサンプリングである。

図1-a：アウタチューブ内にインナチューブをセットし、RPDのストロークに相当するドリルロッドをドリルヘッドに接続する。

図1-b：ストローク長さの掘削が終わると、インナチューブ内に掘削長さのコアサンプルが採取される。

図1-c：ドリルヘッドをドリルロッドと切り離し後退させる。ワイヤの先端に取り付けられたオーバ・ショットをドリルロッドに挿入し、続けて接続したウォーターシイベルを通して加圧送水することによって、オーバ・ショットをピストン搬送する。オーバ・ショットがインナチューブ後端に到達すると、オーバ・ショットのラッチがインナチューブのスピア部分をキャッチする。送水圧力の変化と、ワイヤラインの張りでキャッチングを確認後、ワイヤラインを巻き上げインナチューブを回収する。

図1-d：コアサンプルを取り出し、洗浄したインナチューブをドリルロッド内に挿入後、ドリルロッドを接続して送水しインナチューブを搬送する。送水圧力の変化でアウタチューブへの到達を確認し次の掘削を開始する。



4. 試作と現場テスト

平成4年7月に垂直用としてのパーカッション・ワイヤラインサンブラの試作を完了し、社内試験を行った。その結果深度20mまで平均1m/minの掘進速度で掘削しほぼ100%のサンプルを回収することができ、パーカッション・ワイヤラインの実用化が可能であることを確認した。しかし、RPDによる施工は上向き10度～下向き40度で行うことが多く、垂直とは違ってインナチューブやオーバ・ショットの搬送に重力を利用することができず、1に示すような流体で圧送する水平用のシステムの開発が必要であつ

た。通常、RPDで使われているドリルロッドは、内径がおねじ部分で小径化されているため、内径が不均一でピストンによる圧送ができない。この問題を解決するために内径が均一な、図2に示す外アップセット軽量の専用ドリルロッドを開発することにした。

平成5年8月、圧送用ピストンを装着したサンプルとオーバ・ショット、専用ドリルロッドが完成し、新潟県のトンネル先進調査ボーリング現場（写真5）において試験掘削を実施した。試験結果はほぼ満足のいくものであり、泥岩層60mを約15時間で掘削し、平均95%のサンプル回収率が得られた。

試験段階での課題

- ① サンプルの高回収率には評価が得られたが、写真6に見られるようにサンプルがチップ状にかく乱されてしまう。
 - ② ウォータスイベル等の周辺機器の作業性が悪く、サイクルタイムへの影響が大きかった。
- しかしながらこの現場においては、ドリルロッドを含め、サンプリングシステムとしての作動に問題は無く、掘削終了まで破損部品の発生もなかったため、開発に多くの期待が寄せられた。

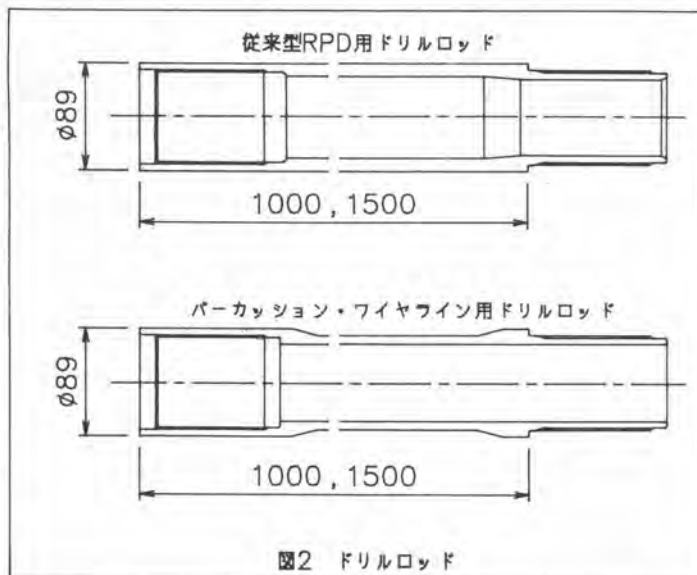


写真5 トンネル先進調査ボーリング現場における試験掘削



写真6 掘削試験で採取されたサンプル

5. 開発された製品の現状

パーカッション・ワイヤラインサンプルの製品化にあたり、サンプルをいかに原形に近い状態で確保するかが重要な検討課題となった。すなわち、地質調査がコアサンプルの採取目的である以上、サンプリングが早いというだけではサンプルとしての商品価値が低いからである。

この問題を解決するための主な改良点は次の4点であり、インナチューブとコアビットを大幅に見直さなければならなかった。

- ①試作機では強度的な不安からアウトチューブとインナチューブが掘削時に共回りするリジット型を採用した。この結果、インナチューブに保持されたサンプルに乱れを生じていた。この問題を解決するために、インナチューブをスイベル型に変更することにした。
- ②掘削断面において成形されつつあるコアサンプルが掘削流体によって流失することのないよう、掘削面の後方10mmの部分でインナチューブ先端がコアビット内径にはめ合う構造とした。
- ③ビットでの発生スライムによるコアサンプル損傷防止のため、十分大きなウォータウエイをコアビットに設け、かつ、掘削流体を掘削面ではなく孔壁及び後方に向かって噴射するよう流体孔を配置した。
- ④ビットにおいては、掘削面のコアサンプルにRPDの打撃力が負荷されることのないように、破碎掘削用の超硬チップをコア径に対し外周方向に必要な量遠ざけ、コア成形用インナカッタをビット内径に配置して、回転によってコアサンプルを成形するようにした。

数回にわたる上記の改良を実施した結果、実際の施工現場においてその有用性が確認され現在に至っている。

平成6年7月末までに19カ所の現場で施工し、性能確認を行った。

その結果、破碎帯、変成岩、転石層、砂れき層、砂層、風化層等、数多くの地層において0.2~1.5m/minの掘進速度で平均85%のサンプル回収が実績として上がっている。

特筆すべきことは、従来型のサンブラでは、回収困難とされてきた砂層、砂れき層、粘土層において90%以上の平均回収率が得られていることである。

これは、従来型のサンブラでは回収率が悪いことに加えて採取速度が遅く、作業能率が低いことに対し、高速で確実にサンプリングする本システムの大きな利点となっている。

表1に、パーカッション・ワイヤライン工法による主な施工実績を示す。



写真7 コアビット (HS型)

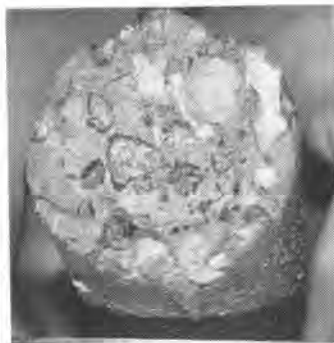


写真8 れき混じり粘土層のサンプル



写真9 割れ目の多い黒色片岩と風化層の互層のサンプル - 地層の変化が明確に確認できる

表1 パーカッション・ワイヤライン工法による主な施工実績

施工年月	施工現場	施工目的	工事仕様	岩質(土質)	平均回収率
H5.9	新潟県	トンネル先進調査	上向き5度,60m×1孔	シルト～泥岩層	95%
H5.10	岩手県	トンネル先進調査	上向き5度,継続中	れき層	90%
H6.2	山口県	排水孔調査	微上向き,50m×2孔	黒色片岩・粘土層	80%
H6.3	山口県	排水孔調査	微上向き,50m×1孔	黒色片岩・破碎帯	70%
H6.4	福岡県	試験掘削	垂直,15m×1孔	れき層・粘土層	80%
H6.6	北海道	試験掘削	垂直,20m×1孔	砂層・転石層	90%
H6.7	山口県	集水孔調査	微上向き,50m×2孔	黒色片岩・風化層	90%
H6.7	高知県	法面アンカー調査	下向き30度,20m×1孔	片岩・粘土層	85%
H6.7	宮城県	試験掘削	垂直,20m×1孔	砂れき層・粘土層	85%
H6.8	新潟県	地すべり調査	垂直,80m,120m(計画)	じや紋岩・風化層	***

表1の施工実績のうち、平成6年7月の山口県における集水孔調査ボーリングは、圧縮強度約1500kgf/cm²の黒色片岩とその風化層の互層であり、岩盤部分での硬岩層における掘進速度は0.2m/minであった。また、平成6年8月には新潟県の地すべり調査が計画されており、フォッサマグナ上の変成帯での難工事が予想されているが、120mと80mの垂直孔を施工する予定である。

6. 今後の課題

試作段階では安定した泥岩層においても写真6のようにサンプルを損傷させていたが、改良の結果、割れ目の多い写真9のような黒色片岩においても棒状のサンプルが採取できるようになった。

しかしながら、掘削時の振動・衝撃によるサンプルの損傷に対する研究はまだ十分とはいえず、従来型ボーリングマシンによるダイヤモンドコアビットを使用した高速回転コアサンプルに比べるとサンプルの品質はまだ劣っている。

また、写真10に示す風化じや紋岩層では、95%のサンプルを回収しながら、コア箱に移す際にパウダー状に攪乱してしまうなど、パーカッション・ワイヤラインサンブラの施工現場が増加するに伴い、地質関係者などから採取したサンプルの保存について改良の余地があることの指摘も受けている。

今後はこれらの改良に加え、これまで地質調査を主業としなかったユーザーに対しても、安定した施工実績を上げることができるよう、RPDのオペレーションやテクニカルマニュアルなどのノウハウを充実させることや、作業性、メンテナンス性の向上についても配慮し、より完成度の高いサンプリングシステムとなすよう努力する所存である。



写真10 風化じや紋岩層のサンプル

18. プレライニングマシンによる 都市NATM施工

(株)フジタ：*森 利夫・三村 洋一

1. はじめに

都市NATMにおいては、トンネル掘削に伴う地表面沈下の抑制、切羽の安定性確保が大きな課題となっている。プレライニング工法（PASS工法）は、掘削に先立ち切羽前方地山内にモルタル製薄肉覆工（プレライニング）をアーチ状に構築して、そのライニング下を掘削する工法で、前記の課題の解決を図るものである。

プレライニングマシンは、この薄肉ライニングを1スリットづつ連続して正確かつ迅速に構築する機械である。クローラ式ベースマシン、長さ5.6mの削孔用5連オーガ、多関節ブーム、モルタル注入ポンプなどからなる。

今回は平成3年及び平成5年に施工を行った洪積砂層、軽石層という2種の異なる地質の施工状況及びそれらの地質に対する本機械の有効性及び機械システムの改良点等を報告する。

2. PASS工法の概要

(1) 施工手順

- ① 切羽前方地山に、5軸オーガにより厚さ17cm、幅81cm、長さ4mのスリット状掘削を行う。
- ② オーガの引抜きに合わせてモルタル注入を行い（削孔先端部 2.5m）、1ピースのモルタル壁を作る。
- ③ ①、②をトンネル掘削線に沿って施工し、アーチ状のモルタル壁を作る。
- ④ このモルタル壁の内側を掘削し、支保工建込み、吹付けコンクリートを施工する。

(図-1、図-2)

以上の作業を繰り返して、トンネルが作られる。

(2) 特長

- ① 地山前方の沈下量（先行変位）が小さくなり、地表面沈下を確実に抑えることができる。
- ② 切羽の安定性が向上し、大断面一括掘削が可能となる。
- ③ 従来の都市NATMに比べ、施工速度が向上する。
- ④ 切羽での作業は、アーチ状のモルタルシェルの下で行われるため、安全性が向上する。

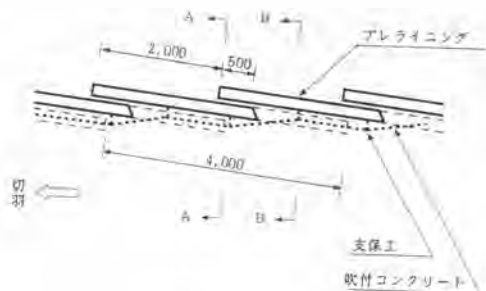


図-1 プレイニング側面図

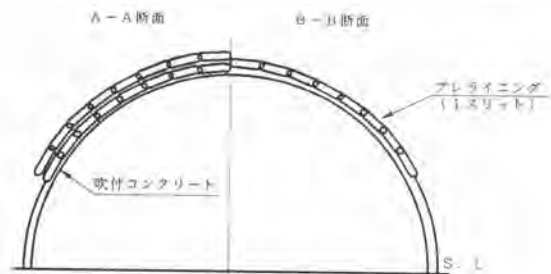


図-2 プレイニング横断面図

3. プレイニングマシン

(1) 構成

プレイニングマシンは、以下の構成からなる。

- ① オーガ式削孔機 …… $\phi 170\text{mm} \times L4, 600\text{mm} \times 5\text{軸}$
- ② 多関節ブーム …… 6自由度の関節にてオーガ式削孔機を支持する。
- ③ ベースマシン …… 駆動は、エンジン・電動併用。旋回機構を装備。
- ④ モルタル注入ポンプ …… 吐出量 $0 \sim 10\text{m}^3/\text{H}$ 。
- ⑤ 自動制御装置 …… 自動制御盤、センサ、ターゲットミラー等からなり、オーガセット、削孔及び注入作業を自動制御する。

なお、ベースマシンおよびオーガ位置を計測するために、自動測量システムがマシン後方に設置されている。プレイニングマシン姿図を図-3に示す。

(2) 仕様

全長：15.5m 全幅：3.0m 全高：3.6m
 重量：54.6t 容量：120KW

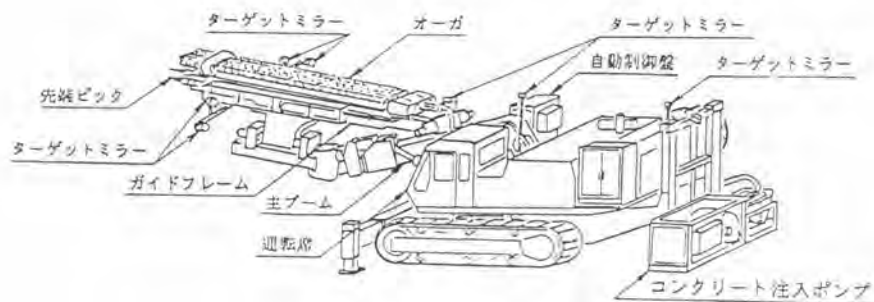


図-3 プレイニングマシン姿図

(3) 施工順序

① オーガセット

自動測量システムは光波距離計等を用いて、マシン本体及びガイドフレームに取り付けられたターゲットミラーの位置座標を計測する。このデータは、無線によって自動制御盤に送信される。

自動制御盤は、座標データ及びマシン本体の各種センサ値から位置決めのための演算処理を行い、油圧シリンダ等を制御しながらオーガを目標位置にセットする。

② 削孔

セットが完了すると、オーガは回転・推進を開始し、回転トルク・推進速度を制御しながら規定長まで削孔する。

③ 注 入

削孔終了後、オーガの引抜速度に合わせてモルタルの注入量を制御し、所定の長さのモルタル壁を作る。

4. 工事概要

(1) 洪積砂層・粘土層トンネル

工 事 名 : 東葉高速線 勝田台T (池上) 工事

工 事 場 所 : 千葉県八千代市

工 事 延 長 : 153m

地 質 : トンネル被り部分は関東ローム層、掘削断面部分は成田砂層及び洪積粘土層からなるN値10程度の未固結地山である。

工事の特色 : 路線に近接して閑静な住宅街が存在する。土被りが4~7mと、非常に浅い。

(2) 軽石層トンネル

工 事 名 : 旧軽井沢倶楽部造成工事

工 事 場 所 : 長野県北佐久郡軽井沢町

工 事 延 長 : 170m

地 質 : トンネル終点側約54m区間は、地上から通過部まで全域にわたり浅間火山降下碎屑物堆積層のローム、軽石、砂、粘土に覆われており、N値10程度以下の軟弱層である。

工事の特色 : 土被りは、30~3mまで地形に沿って低減している。

地上には、支障物が存在しない。

掘削断面積は約75m²、トンネル径約10mである。(勝田台トンネルと同程度)トンネル線形として、100Rおよびクロソイド曲線である。

トンネル縦断は、3パーセントの上り勾配である。

5. 施工結果

PASS工法で施工する上で、両トンネルの条件が大きく異なるのは、以下の2点である。

- ① 地質が全く異なる。
- ② トンネル線形が直線と100Rおよびクロソイド曲線である。

PASS工法施工状況を図-4および写真-1に示す。

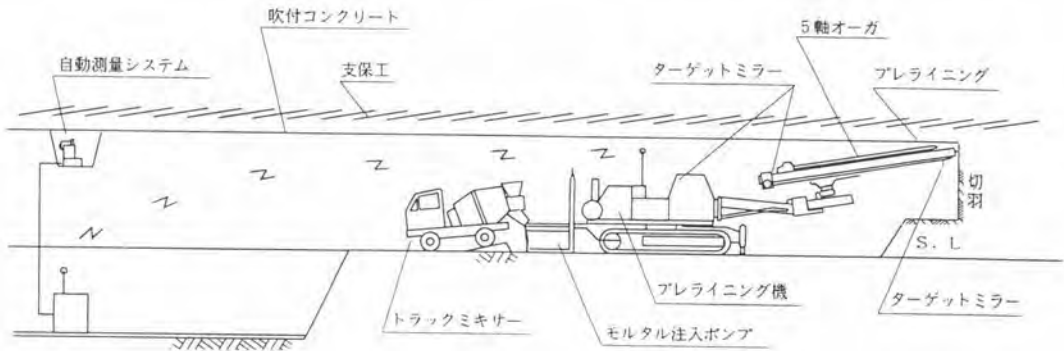


図-4 PASS工法施工状況図

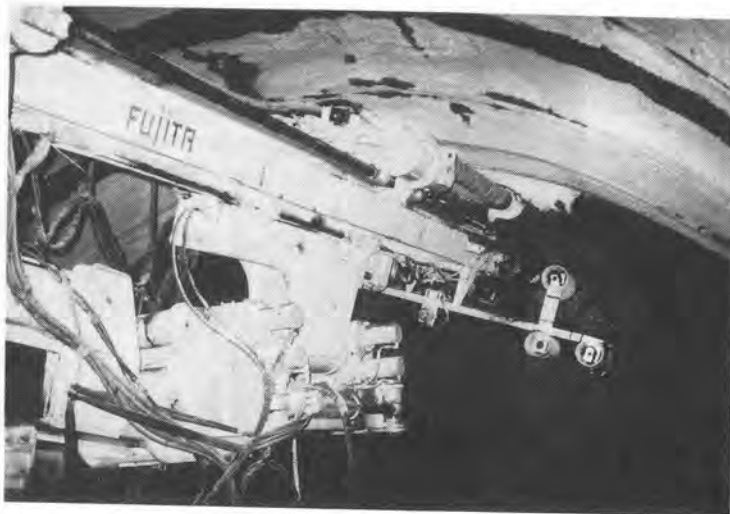


写真-1 施工状況

(1) 地質への適用性

洪積砂層・粘土層での施工は、オーガによる削孔で、余堀も少なく良好なプレライニングを形成できた。そして、切羽の安定性を確保しながら、大断面一括掘削できた。

一方、軽石層に対しては、孔壁の自立が困難なため、削孔による余堀が発生する箇所が生じた。このため、モルタル注入率を設計の1.2～1.3倍（勝田台では1.1倍）に設定し、充填性の確保を図ったが一部のプレライニングに連続性が不完全な箇所が生じた。

(2) 曲線区間への対応

軽井沢トンネルには道路トンネルとしては急曲線の100Rがあり、マシン投入前に事前の検討が必要だった。特に、プレライニングの連続性を確保するために、オーガセットが重要である。そのため、オーガターゲットミラーの計測が自動で行えるかどうかの検討をCADを使用し、シミュレーションした。測量システム設置位置と測量するターゲットミラーの選択を工夫すればよいことがわかった。

ただし、実際の施工時には、待避している重機、ミキサー車等の駐車位置、および作業員の位置には注意を要した。

測量システムの設置状況を写真-2に示す。

(3) 測量システムの改良

勝田台トンネルの施工後、機械及びシステムの改良を行った。

① オーガのターゲット

ミラーを正確に、早く計測するために測量システムの入替えをした。

② 新測量システム

の特性によりターゲットミラーが2つ以上ある場合は、正確に計測できない。この為、プレライニングマシンに全部で7つあるターゲットミラ



写真-2 測量システム設置状況

ーにシャッターを取り付け、計測するミラーを自動的に開閉するシステムに変更した。

以上の改良の結果、測量の精度が向上し、計測時間が短縮されたため、オーガセット時間は約12%の短縮が図られた。

両トンネルの施工時間比較を図-5に示す。

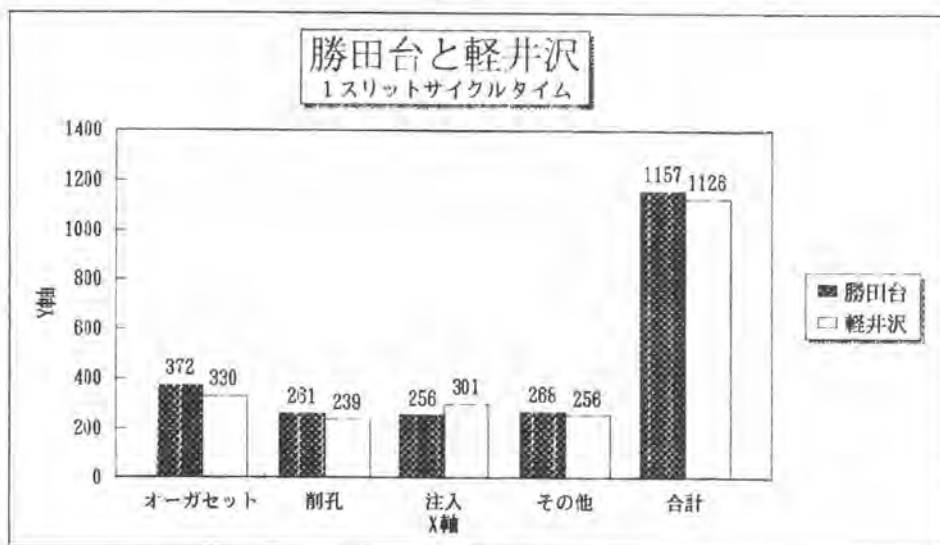


図-5 施工時間比較

6. おわりに

両トンネルの施工結果をまとめると以下のようになる。

- ① 洪積砂層から粘土層に対しては良好なプレライニングが造成されたが、全く粘着性のない軽石層に対しては、余堀のため連続性が不完全になる箇所が生じた。今後、余堀防止対策としてケーシング式オーガ等の開発を考える必要がある。
- ② 曲線部を有するトンネルにおいてもプレライニング施工が可能であることが確認された。
- ③ 測量システムの改良により精度・信頼性の向上が図られた。

砂層・粘土層のトンネルおよび軽石層トンネルの施工（実証実験）を終え、本機械は十分実用に耐える機械であることが確認された。また、いずれのトンネルにおいても、切羽安定性は確保され、施工速度も2m/日を達成した。

今後は、これらの結果をもとに地質適用性を広げるための改良を加え、多くの都市NATMトンネル施工に導入を図っていきたい。

19. 分岐シールド工法“地下莖工法”の開発

西松建設(株)；*内田 克巳・渡辺 徹
大西 徳治

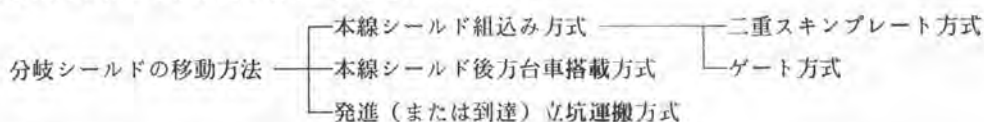
1. はじめに

分岐構造を有するトンネルは、電力、通信、上・下水道、ガス、熱供給、共同溝、導水路、地下河川、道路・鉄道の連絡通路等、さまざまな分野において数多く見受けられる。これらの構造物を施工する場合、本線となるトンネル施工にあたってはシールド工法の採用が主流となり、最近の都市化に伴う立地条件的制約は、回避されてきたかのように感じられる。しかし分岐部分の施工に至っては、本線トンネル坑内からの補助工法の施工、開口部近傍のセグメント補強等限られたスペースでの施工を余儀なくされており、工期的なネックとなっている。

地下莖工法（分岐シールド工法）はこれらのニーズに答えるべく工期短縮を目的として開発された工法で、分岐用シールドを内蔵した本線用シールドを用いることにより、従来の複雑な作業手順を省略し、さらに、補助工法を必要としない画期的かつ経済的な工法である。



「地下莖工法」は、本線と分岐トンネルの設計・施工条件及び分岐位置までの分岐シールドの移動方法で分類する。移動方法での分類を以下に示す。



本報告では、二重スキンプレート方式についての概要、シールドについて述べる。

2. 二重スキンプレート方式の概要

本工法は中胴部の二重スキンプレート内に分岐シールドを内蔵した新しいタイプのシールドを用いて、分岐部までは通常のシールドと変わりなく、分岐位置で本線シールドの前胴部の外側スキンプレートのみを掘進することにより、分岐シールド発進口を解放、分岐シールドを発進させ、本線・分岐シールド同時施工を可能とした工法である。

2-1. 特徴

- 本線シールド内から分岐シールドを発進するので、分岐シールド用の発進立坑は不要。
- 分岐シールドと本線シールドは同時施工ができ、工期の短縮が計れる。
- 本線シールドのセグメントを撤去する必要が無いので、地盤改良が不要。
- 本線シールドは、分岐シールドの発進後も同径。
- 本線シールド及び分岐シールドの形状は、円形あるいは矩形が可能。
- 分岐シールドの発進角度は斜め、あるいは直角が可能。
- 本線シールドに複数の分岐シールドを内蔵することにより、その数の分岐トンネルの築造が可能。

2-2. 分岐順序

分岐順序を以下の写真で説明する。

- ①本線シールドの掘進（分岐シールドは、本線シールド中胴部の二重スキンプレート内に内蔵する）
- ②分岐位置で本線シールドの掘進停止。
- ③前胴部及び中胴部の外側スキンプレートのみを掘進し、分岐シールド発進口を全部通過した時点で本線シールドを停止。（写真-1）
- ④分岐シールドを発進させる。（写真-2）
- ⑤分岐シールドの初期掘進区間終了後、本線シールドと分岐シールドを同時施工。

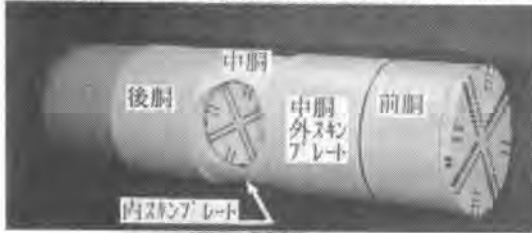


写真-1



写真-2

3. 二重スキンプレート方式のシールド

本線シールドは、中胴より分岐シールドが発進する特殊な構造上、従来シールドとは異なる面が多く、設計にあたっては、これらを考慮し検討する必要がある。中でも、本工法開発上重要な課題となった項目について以下に記述する。なお、検討条件として、対象土質は $\phi=35'$ 砂を想定、土被り40m、地下水位GL-25m、とした。また、シールドの規模・形式については、本線シールド外径 $\phi 7,260\text{mm}$ 、分岐シールド外径 $\phi 4,200\text{mm}$ とし、いずれも泥水式とした。

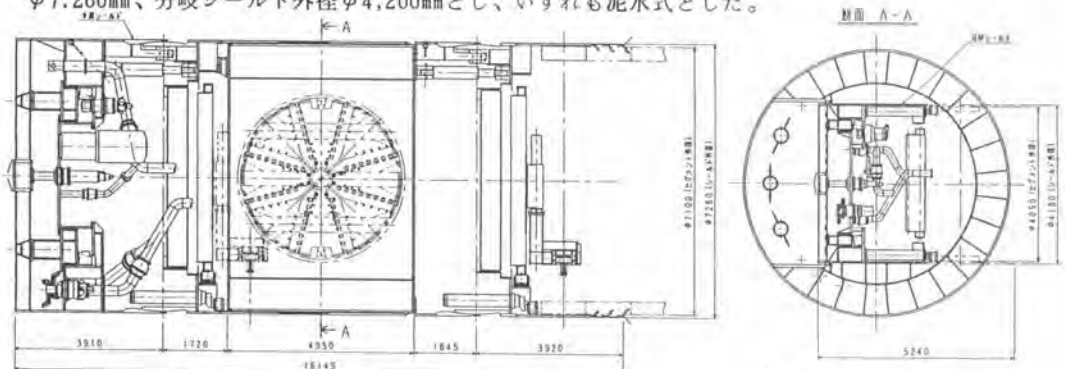


図-1 シールド機構造図

3-1. シールドの装備推力・トルク

本線シールドは分岐を行うまで、従来シールドに比べ機長が長く、重量が増大することから装備推力の検討を行った。検討の結果、所要推力に対し余裕率=2.3をとり200tfジャッキ24本とした（掘削断面積あたり=116tf/m²）。又、トルクについては、一般の泥水シールド程度とした。

	本線シールド*	分岐シールド*		本線シールド*	分岐シールド*
所要推力：F	2085 t	530 t	所要トルク：T	274 t-m	37.0 t-m
装備推力：F ₀	200t×24本=4800	100t×16本=1600	装備トルク 常用	406(809)	86(141)
単位面積当り f	116(tf/m ²)	116(tf/m ²)	安全率（常用）	1.48	2.27
余裕率 F ₀ /F	2.30	3.00	トルク係数：α	1.06	1.15

3-2. 後胴プレート強度

中胴部のスライド機構から後胴プレートは変形を極力抑える必要があるため、F・E・Mによる構造解析を行った。モデルは軸方向15分割、円周方向36分割し本体側とはリングガータ部で固定されているものとした。算定結果は、材質がSS400で最小プレート厚 $t=19\text{mm}$ 、最大撓みは自由端の下部で 1.16mm である。

最大引張応力	$231 \text{ kgf/cm}^2 < 1400 \text{ kgf/cm}^2$
最大圧縮応力	$514 \text{ kgf/cm}^2 < 1400 \text{ kgf/cm}^2$

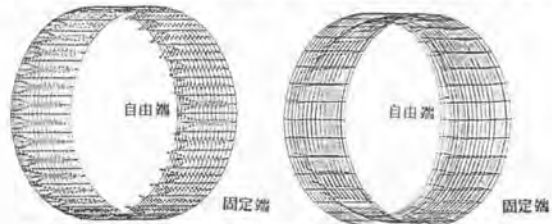


図-2 テールプレート応力分布図 図-3 テールプレート変形図

3-3. 中胴部の内スキンプレート強度

中胴部の内スキンプレートは、土圧、水圧の他に分岐シールドの発進口としての開口部があること、本線シールドジャッキ推力は中胴部の内スキンプレートを伝達すること、分岐シールド発進時の反力を受けることを考慮し、立体板構造モデルとして扱い、F・E・M構造解析を行った。算定結果は、半径方向の最大変形量 $=0.98\text{mm}$ （発進口横で外側へ変形）、軸方向の最大変形量 $=1.7\text{mm}$ （発進口横で内側へ変形）である。なお、材質はSS400である。

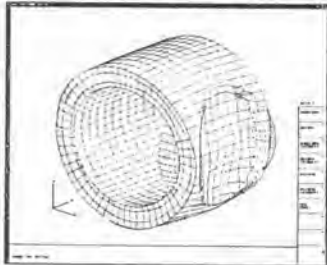


図-4 全体変形図

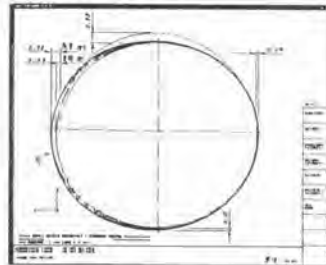


図-5 外周スキンプレート変形図（半径方向）

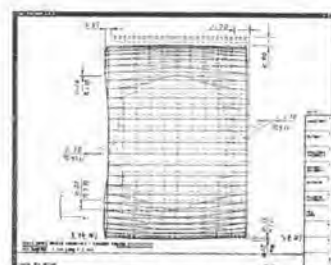


図-6 外周スキンプレート変形図（軸方向）

3-4. 発進口の補強

中胴部の内スキンプレートは分岐シールドの発進口があるので、剛性が不均一になり均等にシールドジャッキ反力が伝達しない。従って掘進管理の信頼性を高めるため、発進口部に連結管（鋼管 $\phi=406.2\text{mm} \times 3\text{本}$ ）を設け伝達の均一性を図った。

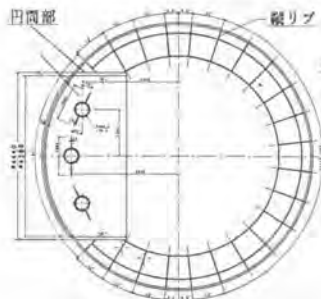


図-7 構造図

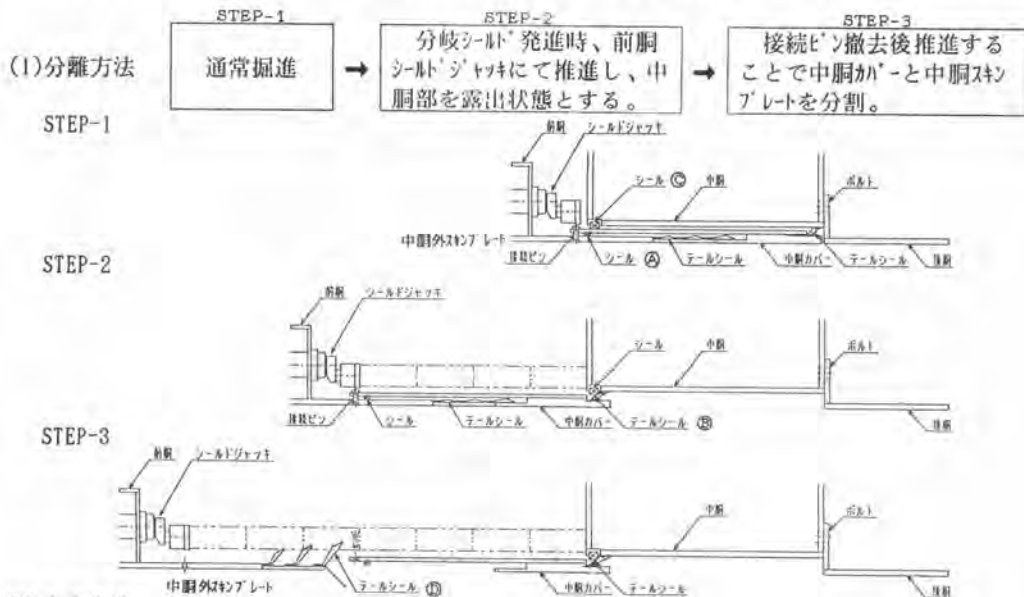


図-8 反力状態（中折ジャッキ支点位置）

□ 反力方向を示す。
○ 中折ジャッキNo.を示す。

3-5. 中胴外スキンプレート分離方法および止水方法

本線シールドは、分岐後、前胴と中胴外スキンプレート（分岐後の本線シールドテールプレート）の構造となり機長は短くなる。しかし、分岐後の施工条件で急曲線がある場合、中胴外スキンプレートの長さが長く対応が困難となる。そこで、分岐後中胴外スキンプレートを中間で分離できる構造とし、これに対処する。その分離方法と、各段階における止水方法について検討を行った。



3-6. 急曲線への対応

本線シールドの機長は長くなるため、前胴、中胴、後胴の各々の分割位置は中折れジャッキで連結し急曲線に対応する。前出シールド構造図は曲率半径 $R=60\text{m}$ を対象とした場合のシールド例（中折れ：前胴/中胴 5.5度 中胴/後胴 6度 余振り量=155.2mm セグメント幅=600mm）である。なお、分岐後の本線シールドは外スキンプレートを分割、テール長を短くし（通常シールドと同様）急曲線に対応する。曲率半径 $R=30\text{m}$ の場合、中折れ：前胴/後胴 7度 余振り量=140.4mm セグメント幅=400mmとなる。

4. おわりに

本報告では、「地下莖工法」のうち二重スキンプレート方式について述べたが、他の方式についても検討を進め、より広範囲の分岐条件に対してより合理的な分岐シールド工法への開発を行っていく考えである。なお、「地下莖工法」は現状技術の効果的な組み合わせにより発展させたものであり、即、実工事への対応が可能であると判断している。従って今後は実工事の中から、より効果的な工法への改善、そして工法全体についての経済性への追求を図っていく考えである。

20. リングシールド工法のセグメント組立実験

住友建設(株)：金子 正士
 東急建設(株)：毎田 敏郎
 (株)銭高組：鶴岡 胤英

1. はじめに

大断面化、大深度化、異形化など、近年多様化してきた都市部の地下構造物に対するニーズに対応できる新しいシールド工法として、リングシールド工法の研究開発を進めている。本工法は、任意形状のトンネルの覆工部のみをシールド掘削し、覆工体を構築した後に内部の土砂掘削を行ってトンネルを完成させる新しいトンネル工法である。

研究は五洋建設、住友建設、銭高組、東急建設、日本国土開発、不動建設の6社の共同で、三菱重工業、住友金属工業の協力の下に行っている。

本文では、リングシールド工法の概要とセグメント組立実験について報告する。

2. 概要

2.1 工法概要

リングシールド工法では、覆工体部分を先行掘削するため、内外二重のスキンプレートを持つ筒状のシールド機を使用する。したがってその断面形状はリング状となり、リングは覆工厚に相当する厚さを有する。リングの一部は、セグメントの搬送・組立や掘削土砂搬出などのため、円筒状に拡幅されている。シールド機は、この拡幅された作業坑部（2ヶ所以上必要）と、その他の部分であるリング部より構成されている。作業坑の配置とリング部の線形は、シールドトンネルの断面形状に応じて自由に選定できる。シールド機は多軸ビット等の掘削装置の後方に推進ジャッキを備え、組み立てられたセグメントに反力を取り、リング部と作業坑部が一体となって同時に掘進する。

セグメントは、作業坑からリング円周方向に押し出し、組み立てる。セグメントはトンネル円周方向に中空部を有する合成セグメントとする。

内部地山は、リング状覆工体の完成後に掘削す

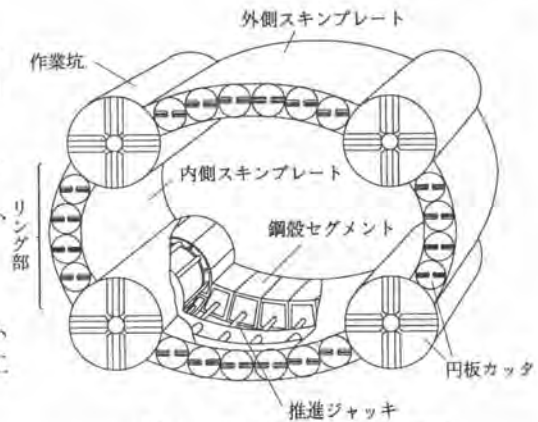


図-1 リングシールド概要図

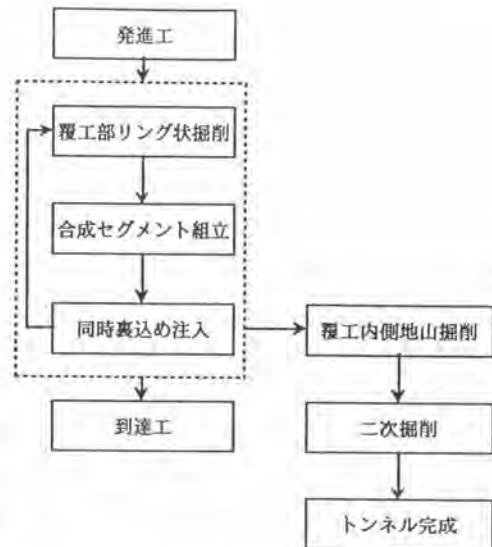


図-2 施工フロー

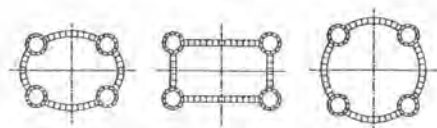


図-3 トンネル断面形状例

る。このため、掘削土は産業廃棄物とならず、処理は容易になる。

図1、図2に、リングシールドの概要図と施工の全体フローを示す。このようにリングシールド工法は、任意形状の大断面トンネルを効率的に、かつ安全に構築できる新しいトンネル工法である

2.2 工法の用途・特長

本工法は大断面トンネルにその特長を活かすことができる。そこで、道路、鉄道、共同溝、調整池、地下河川、地下駐車場などに有効に利用できる。また、本工法は以下の特長を有する。

- ①作業坑間を直線または円弧で構成することにより、大断面トンネルの形状を目的に応じて任意に選定できる（図3参照）。
- ②覆工部のみをシールド掘削するため、設備の軽減化と産廃土の減少が可能である。内部地山の掘削土は普通土として取り扱うことができる。
- ③シールド掘削断面積が小さくなることから切羽が安定しやすく、掘削に伴う沈下等の地盤変形が小さくなる。また、補助工法も軽減できる。
- ④シールド機の現地組立の軽減化や、一次覆工と二次覆工の並行作業が可能であることから、工期の短縮が図れる。
- ⑤従来のシールド工法と比較すると、シールド機が小規模になることから、コスト低減が期待できる。

2.3 作業坑

本工法ではトンネルの覆工部のみを先行掘削する。従って、掘削土の搬出、セグメント搬送、リング部の覆工作業を行うために、作業坑が必要となる。

リング部覆工をセグメントにより構築する場合、作業坑から特殊エレクタにてスライドさせながら組み立てていくことから、リング部は同一曲率とする必要がある。そこで、作業坑は曲率変化点に設置する。作業坑の大きさは、桁高1mのセグメントを利用する場合で、セグメント外径にして3.6m程度は必要である。なお、シールド掘削完了後の作業坑は、そのまま残して共同溝・避難坑等として活用することができる。不要な場合は、作業坑内に本体と一体の構造物を構築した後に撤去する。

2.4 覆工

本工法を3車線道路トンネルに適用すると仮定すると、RCセグメントでは覆工厚が1mを越える場合もあり、施工時重量が非常に大きくなる。このため、図4に示すように、トンネル円周方向に中空部を有する合成セグメントを考案した。主な特徴は以下の通りである。

- ①同一厚さのRC構造にくらべて、限界曲げモーメントが大きくなるため、RC構造より桁高を小さくできる。
- ②セグメントは、複数の作業坑に1台ずつ装備する特殊エレクタを使用し、作業坑内でピース間を結合しながら、リングの円周方向に順次スライドさせながら押し込む。よって、リング間継手は、リング間の接合と、セグメントを作業坑からスムーズに送り込むためのガイド機能を有する必要がある。これらの条件を満たすため、

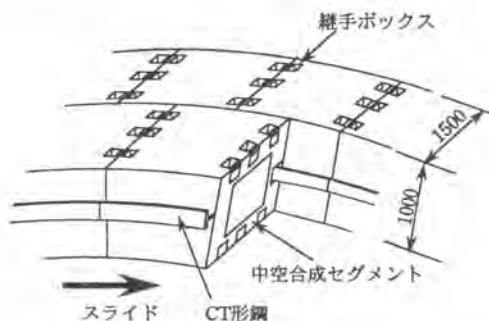


図4 合成セグメント概要図

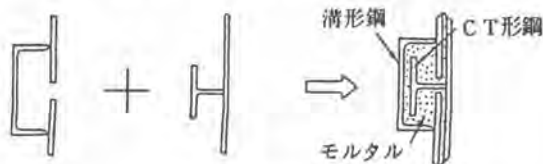


図5 リング継手構造

図5に示すようにチャンネル形鋼とCT形鋼を組合せた構造（CT継手）とした。組立セグメントは、既設セグメントのCT形鋼とシールド機に設置したガイドの間をスライドし、覆工を形成する。また、組立後は継手部にモルタル等を注入し、せん断力伝達性と止水性を向上させる。

③ピース間継手については、作業坑内で組み立てることができるため、継手ボルト接合をセグメントの内側だけでなく外側でも行うことができる。このため、通常弱点となる継手部の剛性を増すことができる。曲げモーメントが卓越する円形以外の断面形状でも、高強度の継手が提供できる。

2.5 シールド機

リングシールド機はトンネル外殻部のみをリング状に先行掘削するため内外二重のスキンプレートを持つ掘削機であり、リング部と作業坑部から構成される。リング部と作業坑部は一体であり、同時に掘進する。

掘削工法については、大断面シールドで実績の多い泥水工法を基本とした。泥水工法によれば、最も坑内設備が簡素化でき、作業坑断面を可能な限り縮小してトンネル断面の効率的利用を図ることができる。切削方法は、作業坑部は、回転面板方式とする。また、リング部は、多軸ビットタイプ、スクリーカッタタイプ、ドラムカッタタイプの中から選定する。ただし、地盤条件に対する適応範囲は多軸ビットタイプが広いと考えられる。

2.6 セグメント組立機構

リング部セグメントは、複数の作業坑に1台ずつ装備する特殊エレクトラを使用し、作業坑から1リング前のセグメントの組み立てガイドキー（CT形鋼）およびシールドテールに設けたガイドに沿って送り込み、スライドさせ、順次組み立てる。このエレクトラは6つの自由度を有しておりピース間の面合わせにおいて微調整が可能である。また、リング部セグメントと、作業坑部セグメントの両方を組立てることができる。ボルト締めは、作業坑内にて、セグメントの内側と外側の両方の継手で行う。リング部1スパンのスライドが完了すると、シールド機テールプレートに装備した位置合わせジャッキにより、微調整を行ってから、シールドジャッキで固定する。

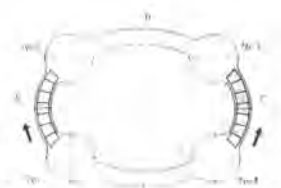
図11にリング部セグメントと作業坑部セグメントの組立手順を示す。

3. セグメント組立実験

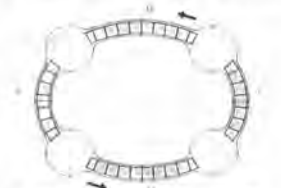
3.1 実験の目的

リング部セグメントの組立方法は前述のように、従来工法と大きく異なっている。また、作業坑から搬入できるように細かく分割されており、その組立サイクルが掘進速度に大きく影響する。このため、リング部セグメントの良好な施工性を得ることが当工法の完成に不可欠と考えられる。そこで、リング部セグメントを対象に3車線道路トンネルを想定した実大規模の地上組立実験を行うこととした。実験の主な目的としては、

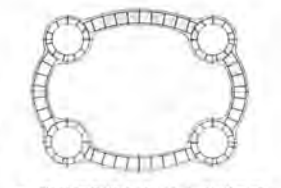
- ・リング部セグメントの組立施工性の確認
- ・組立精度の把握
- ・ガイド兼用継手、マシン側ガイドの最適な形状、強度の確認



1 作業坑No1とNo4から、リング部AとCのセグメントを組立てる。



2 作業坑No1とNo3から、リング部BとDのセグメントを組立てる。



3 作業坑部のセグメントを組立て、掘工が完了する。

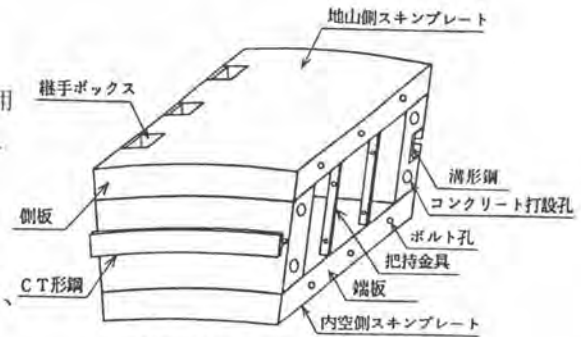
図-6 セグメント組立手順

- ・位置合わせジャッキの配置、必要能力の調査
- ・エレクターのセグメント組立に必要な機能の調査
- ・サイクルタイムの把握

3.2 実験装置

1) セグメント

高強度でかつ軽量化が可能な、トンネル円周方向に中空部を有する、合成セグメント（厚さ1.0m、幅1.5m、長さ1.0m、重量約2.4tf）を採用した。ピース間継手は、施工性が良いナット埋め込みタイプの直ボルト継手とし、油圧レンチを用いて所定のトルクを導入した。



注) 鋼殻内部にコンクリートを充填する。

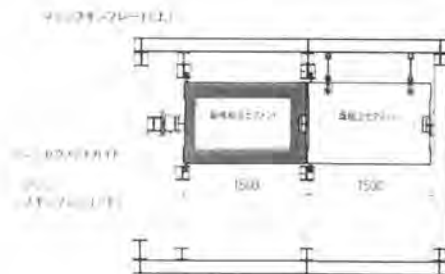
図-7 合成セグメント

2) エレクター

リング部セグメントは、桁高が1.0mと大きく、しかも内外のボルト留めが必要なため、ピース間の面合わせにおいて、微調整が必要と予想された。このため、6自由度を持った特殊エレクターを製作した。

3) 実験架台

実験架台は、横楕円形状の3車線道路トンネル（セグメント外径16.8m×12.4m）の作業坑間でのセグメント組立を想定して製作した。シールドのテール部を再現するため、既設側セグメント1スパンとマシン側ガイドを鋼材に固定し、さらにシールドのテールプレートに当たる日鋼を内外3cmのクリアランスでセットした。セグメントは、前述の特殊エレクターを用いて、その間をスライドさせて組み立てた。



(1)-(1) 断面図

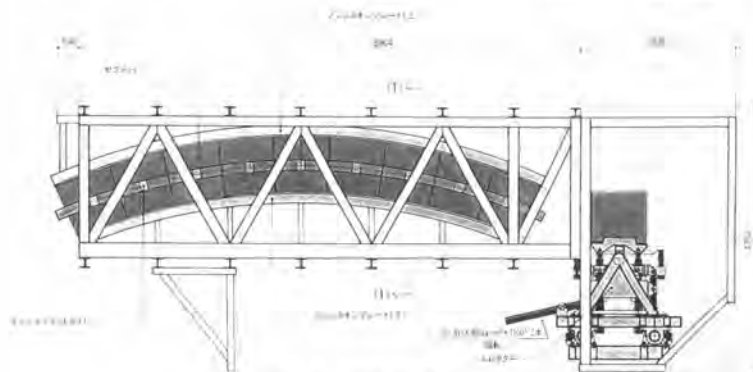
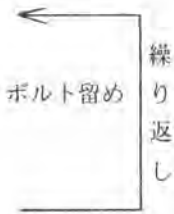


図-8 実験装置

3.3 実験手順

実験は以下の手順で行った。

- ① 既設セグメント、マシン側ガイドを所定の曲率、変位でセット
- ② セグメントをクレーンで供給し、エレクターに把持
- ③ エレクターを旋回、位置合わせジャッキで前ピースと面合わせし、ボルト留め
- ④ 押し込みジャッキ4本で押し込み
- ⑤ 落下防止処置
- ⑥ 把持ピンを外し、エレクター復帰
- ⑦ 1スパン完了後、位置合わせジャッキで最終位置合わせ
- ⑧ 組立精度確認
- ⑨ 組立セグメント解体、次ケース準備



3.4 実験ケース

実験は、表1に示すようにトンネルの上部、下部、側部のセグメント組立について、それぞれセグメントのピッチング、つぶれなどの施工誤差を想定し、実施工におけるリング部セグメント組立を模擬して行った。

表-1 実験ケース

リング位置	既設セグメント	マシン側ガイド
①上部	①変形なし	①ずれなし
②下部	②曲率大or小	②ずれあり
③側部	(セグメントつぶれ想定) ③For 上の傾き (ピッチング想定)	(クリアランス偏り想定)
3ケース ×	3ケース ×	2ケース

3.5 実験結果

1) セグメントの押し込み

上、下、横の各リング位置とも、既設セグメントの変形、ローリング、ピッチングなど想定されるさまざまな状態において、若干の推力の増大、部分的な継手ひずみの増大はあるものの、スムーズに押し込めることが確認できた。特に当初懸念されたピース間継手の段差等に引っかかり、押し込み不能となる状態は起きなかった。

2) 最終位置合わせ

図9にセグメントの組立誤差の一例を示す。セグメントは所定の形状より±10mm程度の誤差範囲内で組み立てられた。これから、作業坑に接する両端部（リング部と作業坑部の接続部）においてセグメント位置を調整することで、リング部セグメントの組み立て精度は、作業坑セグメントの組み立てに支障しないことがわかった。

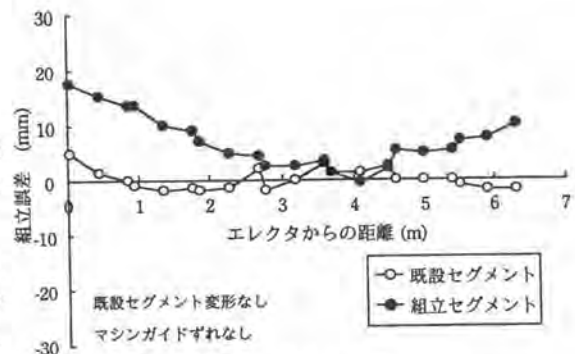


図-9 側部セグメント組立誤差

3) リング間継手

図10に示す位置で既設セグメントのCT形鋼ウェブに発生するひずみを測定した。図11に示すように、ひずみレベルは全体的に小さく、ガイドとしての強度に問題ないことがわかった。

4) エレクター機能

セグメント組み立て時には、今回装備した6自由度がすべて必要だった。また、セグメントピース間のボルト接合の際の面合わせに必要なほかのエクタ機能が確認できた。

5) 施工サイクル

施工サイクルを検討すると、3車線道路トンネル規模では、1日3リング(4.5m)程度の掘進が可能であることがわかった。

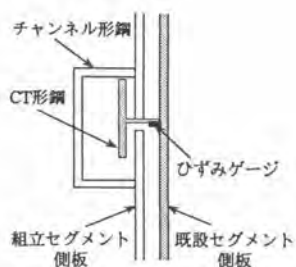


図-10 ひずみ測定位置



写-1 側部ケース組立実験状況

4. おわりに

都市部の地下空間開発は、地上の土地利用状況を勘案すると、今後ますます重要性を増していくと考えられる。このような状況下で、本研究会では、都市部において任意形状の大断面トンネルを効率よく築造できる、リングシールド工法について研究を行っている。

これからの研究計画は、シールド機については、リング形状に起因する掘削性能についてモデル地盤を用いた模型実験および数値解析を行い、マシンの推進特性、切羽安定性、地山への影響等を明らかにして本工法の実現に向けて有効なデータを蓄積する予定である。

また、覆工についても、実験を含めた詳細検討によって、セグメント本体および継手の耐荷機構を明らかにしていく予定である。

今後は、リングシールド工法の特長を生かしながら一層の研究を進め、ますます大断面化・多様化する都市トンネルへの対応力を高め、実現を目指す所存である。

なお、本研究を進めるにあたっては早稲田大学小泉教授に貴重なご意見を頂いており、ここに深く感謝する次第である。

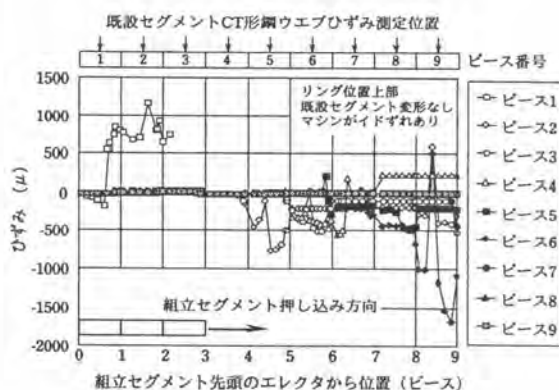


図-11 既設セグメントCT形鋼ウェブひずみ

21. セグメント自動供給システム

清水建設㈱：*宮沢 和夫・菊池 雄一
鈴木 康正

1. はじめに

建設分野における施工技術の高度化傾向は、目覚ましいスピードで加速している。とりわけ土木分野におけるシールドトンネル工事では、その全工程の80%まで自動化が進んでいると言われている。自動化のメリットとして作業環境の向上、省力・省人化、安全性の向上などがある。しかしながら、いままで開発されたシステムや技術は、主に各々の個別工程を自動化・無人化したもので、それぞれのシステムを連携するものは少ない。

そこで今回、セグメントの坑内搬送からエレクターによる組立までの一連工程を、少しのムダなくつなぎ、セグメント組立て中シールド機後部での作業を極力なくした、新しいセグメント自動供給システムを開発、実用化したのでその概要を紹介する。

2. システムの概要

本システムは、搬送台車で坑内に搬入されたセグメントを1ピースずつ搬送ホイストで吊り上げ、順次供給コンベアー上に並べ1リング分のセグメントをストックする。そして1リング長の掘削完了後セグメント組立て時に、供給コンベアーが順次セグメントをエレクターに受渡し、組立て作業と連携して1リングの供給組立てを効率よく行う。

操作は搬送ホイスト、供給コンベアー、エレクターそれぞれの無線器と自動スタート盤にて行っている。

2. 1 システム構成と自動供給フロー

システムの構成を図-1に、主な仕様を表-1に示す。また、搬送台車から供給コンベアー間の搬送～ストックの動作フローを図-2に、供給コンベアーからエレクター間の供給～組立ての動作フローを図-3に示す。

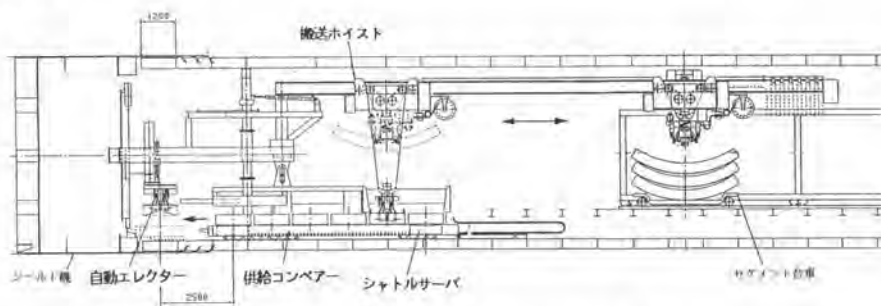


図-1 セグメント自動供給システムの構成

2. 2 システムの特徴

- ①掘進中、次に組立てられる1リング分のセグメントがエレクター直後のコンベアーに積載されており、セグメント供給時間の短縮が図れる。
- ②セグメント搬送台車到着後すぐに荷降ろし可能であり、搬送台車を待たせない。
- ③セグメント搬送台車からエレクターまで自動供給されるため、作業員が直接重量物を扱う必要がなく、また作業床が完全に確保されているため安全性が大幅に向上する。
- ④セグメントの供給および組立て手順が自動制御され、人為的ミスの防止と高速化が図れる。

表-1 供給システムの主仕様

搬送 ホイ イス ト	定格荷重	3.7 t
	巻上/巻下 速度	5.0 m/min
	走行速度	30 m/min
	旋回速度	2.5 rpm
	電動機 巻上/巻下 走行 旋回	3.7 kw 3.7 kw 0.4 kw
供 給 コ ン ベ ア	総積載荷重	20 t / 1リング
	スライド速度	12 m/min
	シフトレバ 搬送重量 搬送速度	3.7 t 12 m/min

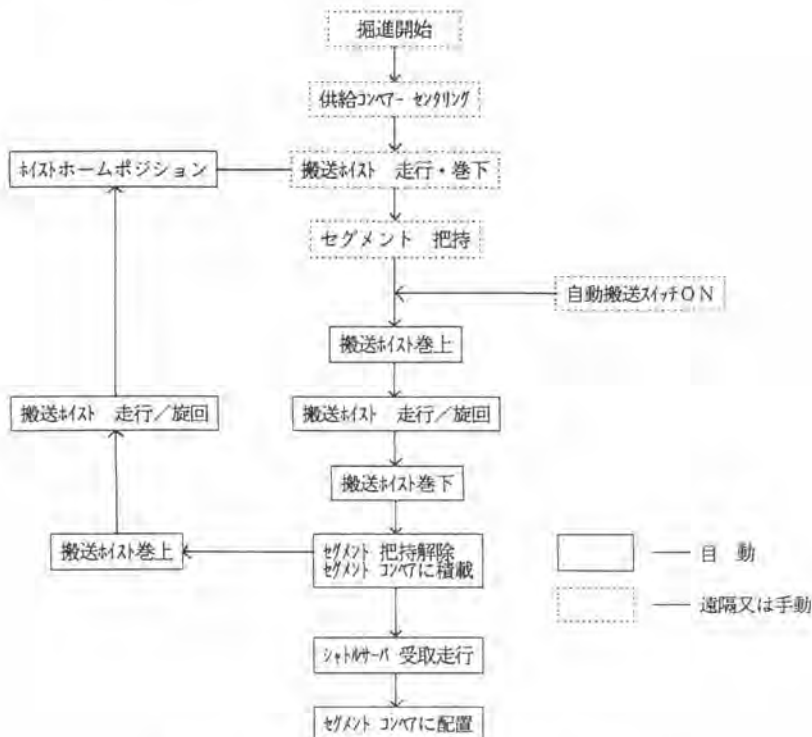


図-2 セグメント搬送～ストック フロー

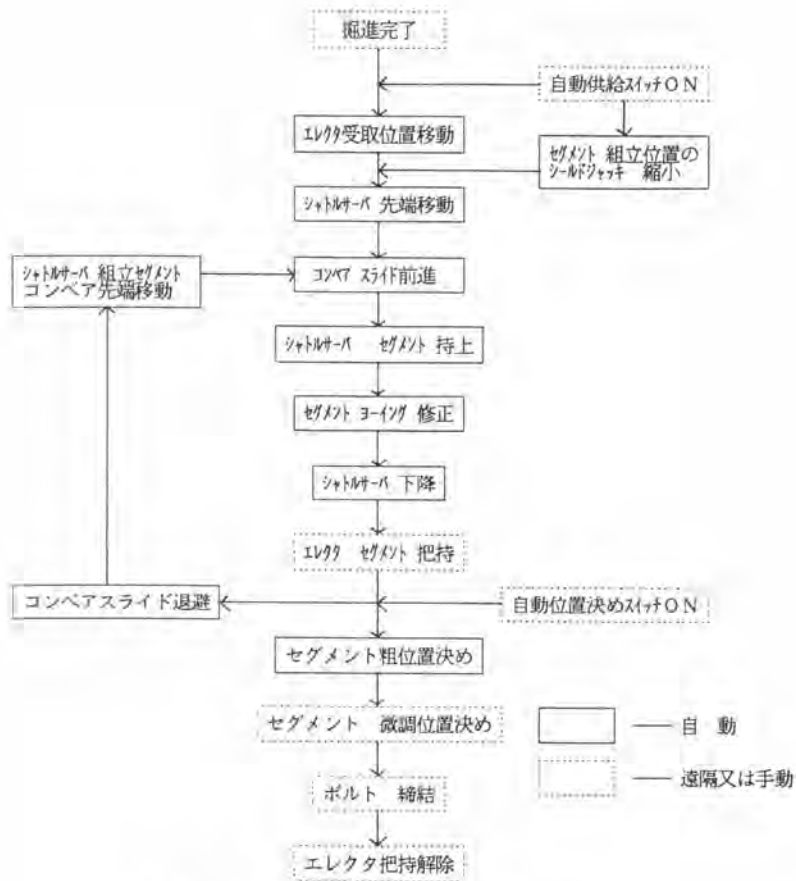


図-3 セグメント供給～組立 フロー

3. 適用事例

平成5年7月より、地下鉄シールド工場の現場に投入、仮掘進～本掘進にかけて他の自動化システム（ファジィ自動方向システム・セグメント自動搬送システム・セグメント自動組立システム・総合管理システム）などと組み合わせ、総合自動化施工の一環として本システムを採用した。

図-4に総合自動化施工のシステム構成を、また、写真-1に供給コンベアへの受渡し、写真-2に供給コンベア上部の作業床を示す。

3. 1 工事概要

名称	： 営団7号線弁慶濠A線工区
場所	： 東京都新宿区四谷一丁目～千代田区紀尾井町一番地
内容	： 工法 泥水加圧式シールド
	掘削外径 6,750 mm
	セグメント外径 6,600 mm
	路線延長 1,228 m

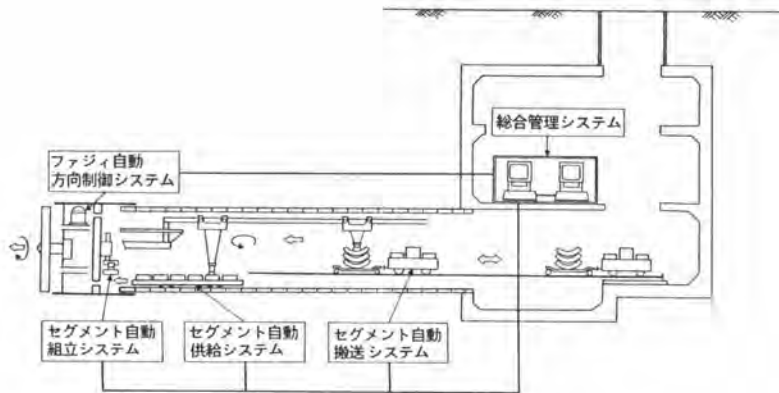


図-4 総合自動化施工のシステム構成



写真-1 供給コンベアー



写真-2 供給コンベアーの作業床

3. 2 適用効果

今回、自動化技術による総合施工を目指し、すでに開発実用化したシステムと組合わせ使用した。そのなかで供給システムと関連するセグメント組立エレクターは、セグメントの内径寸法および中子型式などの制約から最終的な微調位置合わせとボルト締結は手動でおこなった。

本システムの適用結果は、全体の掘進効率は従来工法と差がなく、セグメントの搬送～供給～組立動作は連続しておこなわれ少しのロスタイムもなかった。また、掘進中に1リング分のセグメントの搬送荷受けが可能となり搬送台車が1編成で十分であった。そして、セグメント組立中はマシン後方でのホイストによるセグメント移動がなく作業が輻輳しない、さらに供給コンベアー上部に作業床を設け作業員と完全分離ができるなど、安全面でも十分に効果があった。

4. おわりに

今回、本システムの開発により、シールドにおけるセグメントの搬送～供給～組立が完全に一つにつながり、真の連続自動化施工が行えた。従来から建設業において各種の自動化技術の開発が進められ、個々の技術については十分に実用化している。しかし、投資効果の面から観るとまだまだ不満があるのも事実であり、今後はこれらの個別技術を有機的に連結するシステム開発が一層必要である。さらなるシステムの改良、改善に磨きをかけ、コスト面も含め実効性のある自動化技術にしていきたい。

22. 注入式長尺鋼管フォアパイリングによる トンネル坑口部補強対策の施工例

東洋建設(株)：岡 憲二郎・小竹 望
*真鍋 智康

1. はじめに

トンネルの大断面化、都市部施工の増加が進む中で、沈下、崩落、地すべりなどが発生しやすい坑口部での、より安全で確実なトンネル掘削のための新技術がますます求められている。それに応えるのがマイクロパイルの技術を使った種々の補助工法であり、そのひとつに坑口部での注入式長尺鋼管フォアパイリングがある。

本報告は、新潟県内のトンネル工事の坑口部で施工された注入式長尺鋼管フォアパイリングについて報告をするものである。

今回の施工で、偏心拡張ビットとダウンザホールハンマーによる乾式削孔や、逆止弁とダブルパッカーによる注入方式が、複雑な地山に柔軟に対応できることを確認した。

2. マイクロパイルと注入式長尺鋼管フォアパイリング

マイクロパイルとは、 $\phi 100 \sim 300$ mm程度の小口径杭のことで、地山を削孔して鉄筋、鋼管などの鋼製補強材を挿入し、セメントモルタルやセメントミルクなどを注入したものである。その適用範囲は広く、アンダーピニング、基礎杭、土留め壁をはじめとする都市土木から、最近では山岳トンネルの補助工法への応用も注目されている(図-1)。打設方法は、偏心拡張ビットによる二重管方式、自穿孔方式などがある。

注入式長尺鋼管フォアパイリングを含めた長尺先受工法(アンブレラ工法)とは、小口径鋼管や高圧噴射で切羽前方のトンネル天端外周に梁状またはアーチシェル状の改良体を形成し、切羽前方地山を改良・補強し、切羽の安定をはかるものである¹⁾²⁾(図-2)。今回の施工事例では、マイクロパイルの技術を注入式長尺鋼管フォアパイリングに応用し、坑口部補強工に適用した。

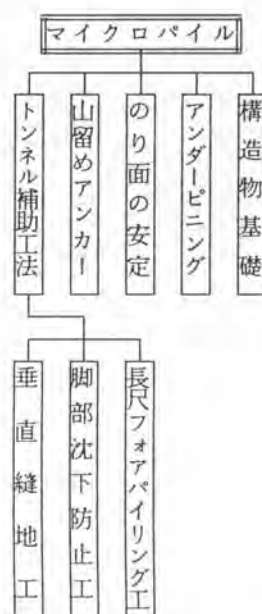


図-1 マイクロパイルの応用例

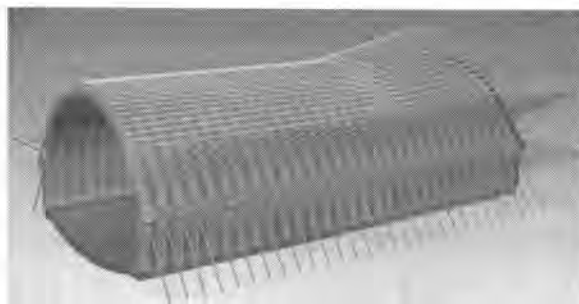


図-2 坑口部の注入式長尺鋼管フォアパイリング概念図

3. 坑口補強工としての注入式長尺鋼管フォアパイリング

3-1 注入式長尺鋼管フォアパイリング採用の経緯と工事概要

上記トンネル工において、西側の坑口部の地山が崩壊性の高い崖錐堆積物、風化砂岩からなり、また破碎帯と地すべりの痕跡も認められたため（図-3）、切羽と周辺地山の安定確保に効果が高く、かつ当該現場の地質に適している注入式長尺鋼管フォアパイリングを坑口補強工として採用した。

トンネル掘削開始に先立ち外径114.3mmの内径106.0mm、長さ33本の $30 \times 4.00 \sim 12.800$ の注入式長尺鋼管フォアパイリングを坑口外周に40cm間隔で縦断方向に16.5mから18.0mの長さで33本挿入し、高圧注入を行った。施工断面図を図-3に示す。

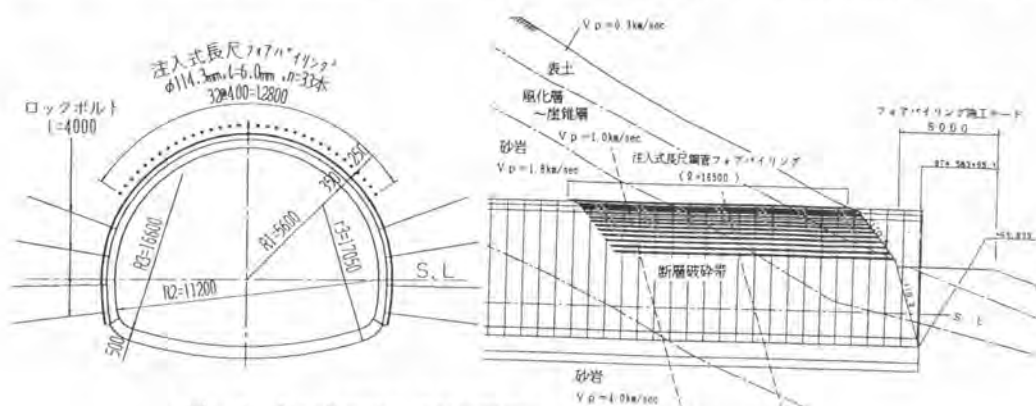


図-3 坑口部の注入式長尺鋼管フォアパイリング施工断面図

なお、同現場で施工された坑口前の進入路造成のための土留工、バッチャープラントのセメントサイロの基礎杭の概要図を図-4、図-5に参考として示す。いずれの場合も、施工ヤードが狭く大型機械が進んでこないこと、地質が表土、風化岩、砂岩から成るため孔壁防護と充分な削孔能力が必要なことから、マイクロパイルが採用されるにいたった。施工方法は、後述する注入式長尺鋼管フォアパイリングとほぼ同じである。

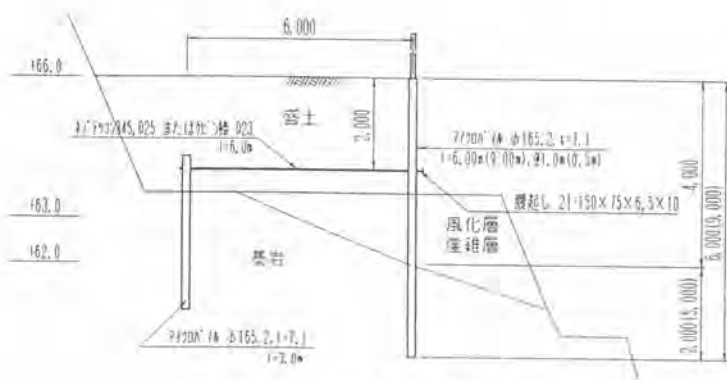


図-4 坑口前の土留め工断面図

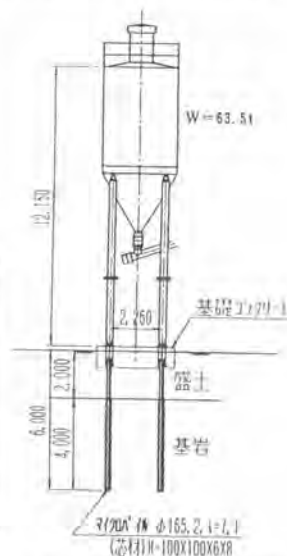


図-5 セメントサイロ基礎

3-2 施工方法の概要

今回の注入式長尺鋼管フォアパイリングの施工法の選定にあたっては、以下の点について検討を行い決定した。

- ①作業ヤードが狭いため、機動性が良い11tのディーゼルエンジン搭載のクローラ式油圧削孔機を採用した。これにより、電気設備や架台などの大がかりな仮設備が不要となる。
- ②孔壁防護のために、偏心拡張ビットを使って削孔と同時に鋼管を挿入する二重管方式を採用した。この削孔方式は、削孔ツールの組合わせを変えることで変化の多い地山に柔軟に対応することができる。
- ③地山に節理が多いことなどから、削孔水による地山の劣化を避けるためダウンザホールハンマーによる乾式削孔を採用した。
- ④地質構造が複雑なことから、注入工は1次と2次の2回にわけ、鋼管に付けた逆止弁とダブルパッカーで限定範囲にセメントミルクを圧入する方法を採用した。パッカーを任意の位置に移動できるので地質条件に柔軟に対応することができる。
- ⑤大型機材としては基本的に削孔機、エアーコンプレッサー、グラウティングユニットがあれば良く、設置も簡単であるから機動力がある。

<削孔>

削孔方式は、ダウンザホールハンマーと偏心拡張ビットを使った2重管方式の乾式削孔である。

(施工手順)

- ①削孔機のガイドセルに鋼管とドリルパイプ(ロッド)をセットして、削孔の方向を定める。
- ②削孔と同時に鋼管を挿入する。(図-6(a))。
- ③鋼管とドリルパイプを継ぎ足していき、所定の深さまで削孔する。
- ④削孔終了後、偏心拡張ビットの偏心部を収納し、ドリルパイプ、ダウンザホールハンマーとともに鋼管から引き抜く(図-6(b))。

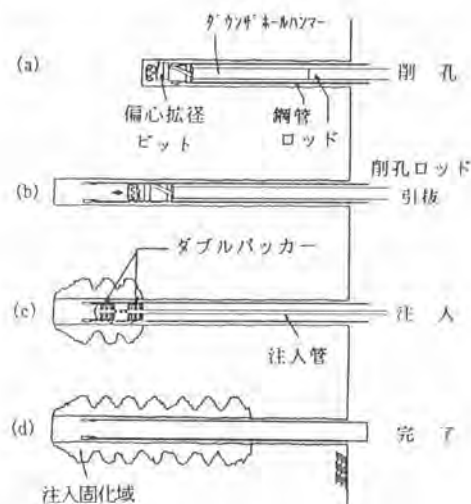


図-6 施工手順

削孔のための空気の圧力はダウンザホールハンマーを効率よく稼働させられる14 kgf/cm²程度とした。また排土に十分な風速を確保するために空気吐出量を10~20 m³/minとした。

また、フォアパイリング先端部の数メートル間の地質は硬質の凝灰質砂岩で孔壁が自立することから、偏心拡張ビットより削孔速度の速い径90mmのダウンザホールビットによる先行



図-7 ダウンザホールビットによる先行削孔

削孔のあと、拡張ビットで孔を拡幅しながら鋼管を挿入し効率を向上させた（図-7）。

<注入>

加圧膨張型のダブルパッカーを鋼管内に挿入し、鋼管に付いている逆止弁を通して地山にセメントミルクを限定加圧注入する方式である。

（施工手順）

- ①ダブルパッカーを挿入し、所定の位置で加圧膨張させてセメントミルクを鋼管と孔壁の間隙に充填する（1次注入）。
- ②2次注入材が孔壁と鋼管の間隙を通して拡散することなくパッカー周辺の地山に圧入されるように、1次注入が終わった後パッカーを引抜き半日から1日程度セメントミルクの硬化を待つ。
- ③再度ダブルパッカーを挿入しセメントミルクを地山に2次注入として圧入する（図-6(c)）。2次注入では、パッカーを1mおきに移動してステップ注入を行う。
- ④鋼管の口元に蓋をして管内を充填する。

1次注入の注入圧は、グラウティングポンプ吐出口で10～15kgf/cm²程度で、2次注入では20kgf/cm²を上限とした。なお注入速度は1次と2次注入いずれも20ℓ/min程度に設定した。

3-3 主要機械設備

①削孔機（図-8）

施工場所が狭く大型機械が進入できないこと、仮設架台が不要なこと、長尺の孔を掘るのに適していることなどの理由で、機動性が良く、さらにトルクの大きいロータリーヘッドを装備したディーゼル式クローラ型油圧削孔機を使用した。また、乾式削孔のための装備を備えているのでダウンザホールハンマーの使用に適している。

②エアーコンプレッサー

ダウンザホールハンマーと偏心拡張ビットを効率よく稼働させるために高空気圧が必要であること、排土のために大きい吐出量が必要なこと、エアーホース内でのエネルギー損失などを考慮して、十分な容量を有する高圧コンプレッサーを採用した。

表-1 主要機械一覧

機 械 名	機 種	規 格・仕 様	数 量
削孔機	ソイルメック SM400	定格 102.2kW クローラ式 重量11t ロータリーヘッド 1.2tm	1台
エアーコンプレッサー	アトラスコ XRHS350	吐出圧 20kgf/cm ² 吐出量 21m ³ /min	1台
ダウンザホール ハンマー	サトビック Megadril	外径 76mm	1台
拡張削孔ツール	サトビック TUBEX90	拡張孔径123mm	1式
グラウティング ユニット	ソイルメック GS-1	MAX 117kgf/cm ² MAX 53ℓ/min ブラケット型ポンプ	1台
ダブルパッカー	アトラスコ φ85L500	φ85mm加圧膨張型 膨張部天然ゴム製	1台

③ダウンザホールハンマー

ダウンザホールハンマーはドリルパイプを介さず直に衝撃をビットに伝えるため、削孔長が長くなってもエネルギー伝達のロスが少なく、削孔の方向性がよいことも知られている³⁾。また、高压空気で排土を行う乾式削孔方式なので、削孔水による劣化が懸念される地山には特に有効である。今回は、直径123mmの削孔に適している外径76mmのものを使用した。

④拡張削孔ツール (図-9)

掘削時の正回転(右回転)ではリーマーが偏心し拡張削孔ができ、反回転(左回転)させるとリーマーが閉じて、鋼管の中を通してビット全体を回収することができる。この機構により削孔と同時に鋼管を孔内に挿入することができる。

⑤グラウティングユニット

アジテーター、ミキサー、グラウティングポンプを一体化したものを使用した。グラウティングポンプは今回のように水セメント比が60%のセメントミルクなど比較的濃度が高いグラウト材の高压注入に適したプランジャー型ポンプヘッド⁴⁾を持ったものを使用した。注入圧は約60kgf/cm²まで使用可能で、吐出量は連続的に53ℓ/minまで調節できる。

⑥ダブルパッカー (図-10)

比較的軽量なため水平に打設された鋼管内へでも挿入と引抜きが容易であり、ステップ注入に適している。鋼管に挿入して小型の膨張用ポンプで膨張ゴムエレメントを20~40kgf/cm²程度に加圧するとゴム部が膨張し鋼管内を密閉できる。減圧すればゴム部が元通りに収縮し次の注入位置に移動させることができる。今回は鋼管内径102.3mmに対し外径85mmのパッカーを使用した。

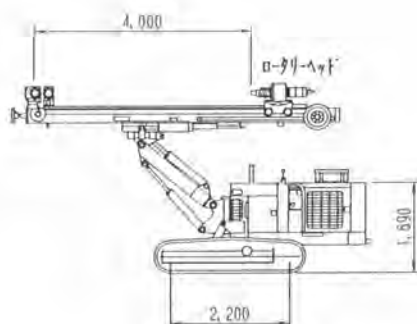


図-8 油圧削孔リグ SM400

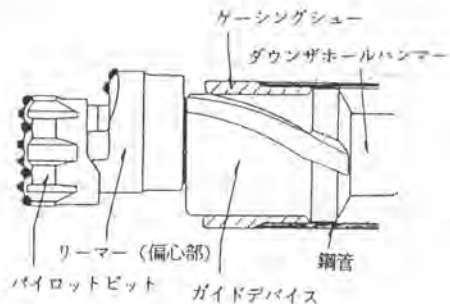


図-9 拡張削孔ツール TUBEX

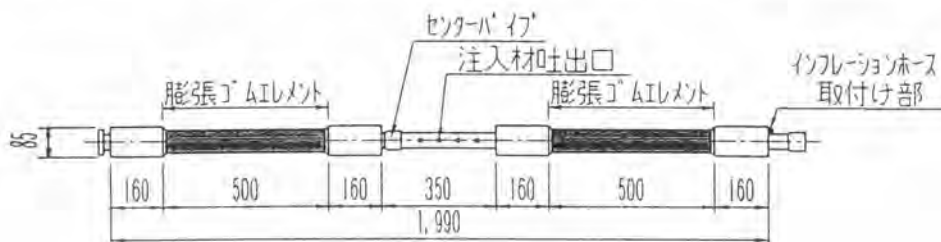


図-10 ダブルパッカー

4. 施工結果

削孔では、崖錐堆積物、摂理の多い岩や硬質岩が混在する地層でも、ダウンザホールハンマーと偏心拡径ビット、ダウンザホールビットを使った乾式削孔方式が十分対応できることが分かった。

今回の施工条件での削孔精度は良好で、トンネルの掘削断面内への鋼管の入り込みや、隣接鋼管との接触等は無かった。

注入では、挿入式のダブルパッカーを使用し、2次注入を数回に分けて施工するなどして、崖錐層や破砕帯がある複雑な地質にも柔軟に対応できた。

注入式長尺鋼管フォアパイリングの効果についても、トンネル坑口部掘削時の切羽は充分安定しており、土被りが薄いにもかかわらず地山の変位も許容範囲内に抑制された。クラウン部の鋼管内に設置した水平連続傾斜計と地表面の3次元測定の計測の結果、鋼管と地表面の最大沈下量はともに20mm程度であった。

5. おわりに

今回坑口部の注入式長尺鋼管フォアパイリングに採用したマイクロパイルの施工技術が、変化の激しい地質条件や狭い作業ヤードなどの施工条件に対応できることを確認した。

さらに、注入式長尺鋼管フォアパイリングのほかに坑口前の土留め工とパッチャープラントのセメントサイロの基礎杭にもマイクロパイルが使用され、その多工種にわたる適用力が実証された。

今後は、トンネル本体内での補助工法に加えて、坑口周辺の土工や仮設構造物の築造などのトンネル付帯工種でも、同様の施工方法、材料、設備による施工実績をかさね、さらに工法の充実に図っていく予定である。

参考文献

- 1) 岡澤達男, 春中絃一, 金田勉: トレビチューブ工法による大断面双設トンネルの施工, 建設の機械化, NO. 530, pp. 26~31, 1994.
- 2) 山本稔, F. Pagliacci: Aosta谷の道路トンネル群にみる新工法, トンネルと地下, VOL. 23, NO. 1, pp. 21~28, 1992.
- 3) 河内英幸他: 新編図解ボーリング便覧, p. 67, 1968.
- 4) 同上, p. 85.

23. 高含水土の真空加圧脱水機の開発

前田建設工業㈱：勝又 正治・*滝口 健一
榊原 英正

1. はじめに

建設省の調査によると、平成2年度の建設汚泥の排出量は1400万tに達し、建設廃棄物全体の約20%となっている。また、建設汚泥のリサイクル率は建設廃棄物の中でもっとも低く約8%であり、約80%は処分されている。(図-1参照)

したがって、最終処分される建設汚泥はなかなか減少せず、ただでさえ逼迫している大都市圏の最終処分場をさらに厳しい状態に追い込む一因となっている。

さらに、最近、道路法の改正によるダンプトラックの増加、処分費のコストアップ等の問題が生じている。

また、海洋投棄されている分もかなりあるが、ロンドン条約では平成8年度以降、一部を除き産業廃棄物の海洋投棄を禁止することが決議されており、建設汚泥をとりまく情勢はますます厳しいものとなってきている。

われわれは昭和63年より、この建設汚泥の減量化・リサイクル化の問題に取り組み、基本原理の把握、小型試験装置の製作・基礎実験を踏まえ、独自の改良システムを開発し、実証実験によりその有効性を確認できたので、ここに紹介する。

2. 本システムの特徴

開発したシステムは、①土粒子の凝集作用、②強度増加、を促すために処理泥水にセメントを添加し、これを脱水機S.V.プレス(スーパー・パキューム・プレス)のろ室内に充填し、低圧(2~3kg/cm²)で加圧しつつ、真空を作用させて効率的に脱水するものである。

《3つの特長》

泥水シールド工事で一般に使用されているフィルタープレス(加圧5~7kg/cm²)等)に比べて特長は以下のとおりである。

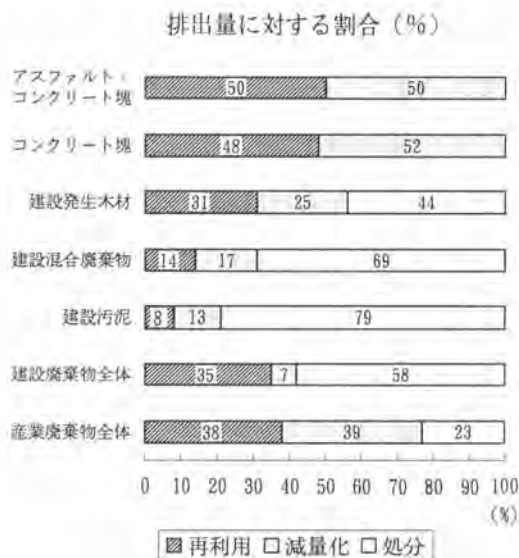
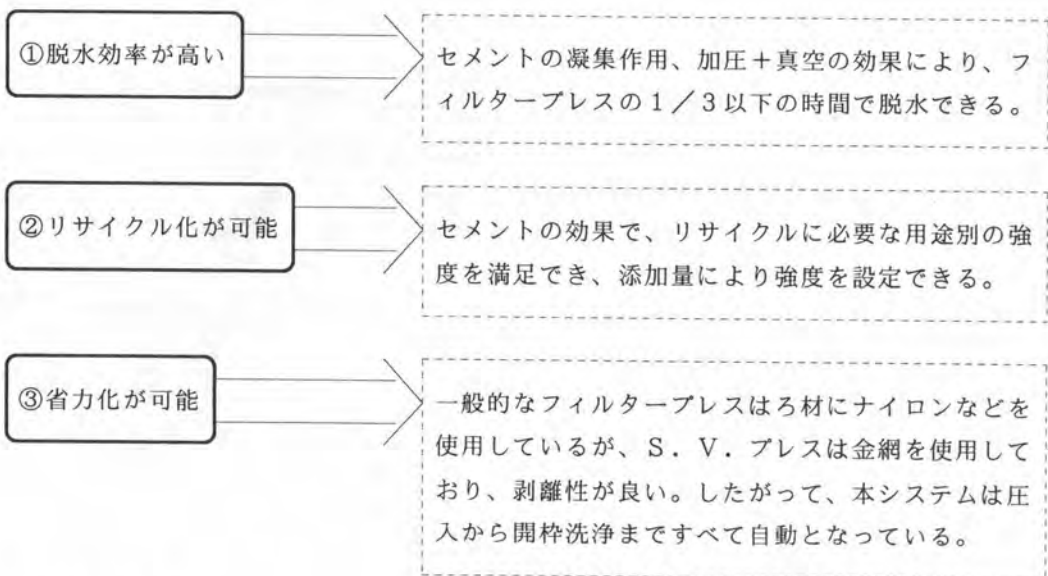


図-1 建設廃棄物の再利用等(平成2年度)



3. システム概要

(1) S.V.プレスの概要

本システムの主要部分である脱水機は写真-1、図-2に示すように油圧ジャッキによりろ板を合わせて固定し、中にできた厚さ30mmのろ室にセメント添加泥水を充填し、圧入ポンプにて加圧しつつ、ろ板の背面全体に真空を作用させて脱水するものである。

実証実験に使用したS.V.プレスの仕様は表-1に示すとおりである。

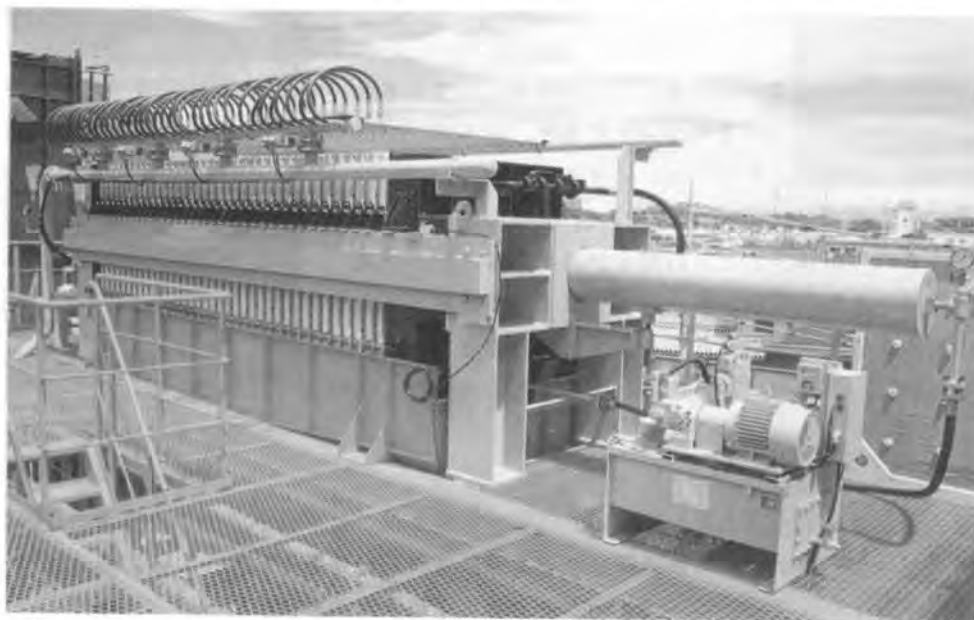


写真-1 S.V.プレス（スーパー・バキューム・プレス）本体

(2) システムの全体概要

本システムを図-3に示す。改良土の搬出・ろ液処理までのフローは、前処理工程、脱水工程、後処理工程の3つに分けることができる。これらの一連の工程はすべて自動制御される。

各工程の概要は以下のとおりである。

①前処理工程

泥水とセメントを所定の配合で混合し、S. V. プレスに充填する工程である。

処理泥水は汚泥移送ポンプによって余剰泥水槽からスラリー混和槽に移送され、同時にセメントサイロから送泥量に見合ったセメントが粉体のまま添加される。

このとき、混合効率の向上および粉塵の防止のために簡単な混合器を通過させる。

スラリー混和槽にはレベルコントローラーが設置されており、泥水およびセメントの投入・停止が自動制御される。セメントが所定量混合された泥水は、圧入ポンプにてS. V. プレスのろ板間に充填される。

②脱水工程

S. V. プレスにセメント添加泥水が充填されてくると脱水工程が開始される。充填が完了すると、圧入ポンプの圧力が増加し、約 2.5 kg/cm^2 になると真空ポンプが稼働し始める。その後は約 2.5 kg/cm^2 の圧力を保持しつつ、脱水され体積減少した分の泥水が補充され、加圧と真空併用の脱水工程が継続される。(写真-2参照)

この脱水工程で排出されたろ液は、ろ液受槽にいったん溜められた後、ろ液槽に送られる。

③後処理工程

脱水工程完了後、ろ板上部の投入口内に残った未改良のセメント添加泥水は高圧の水とエアによって、スラリー混和槽に戻される。つぎに、ろ板を開くと改良土は、剥離性がよいため自重で落下し、ベルトコンベアーによって土砂ピットへ運ばれる。

改良土の運搬が終了すると、ろ枠に付着した土砂の除去を主目的に自動洗浄が行われる。

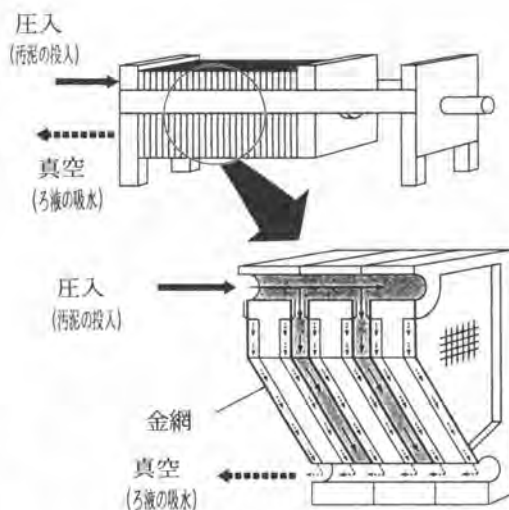


図-2 ろ板の構造模式図

表-1 S. V. プレスの仕様

ろ室数	36室
ろ室容量	1.87 m^3
総重量	約13t
ろ板の材質	ポリプロピレン
ろ板の寸法	$1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$
ろ材	ステンレス金網 (200 Mesh , $74 \mu \text{ m}$)
改良土厚	30mm



写真-2 改良土

ベルトコンベアが傾斜しているため、この上に落ちる洗浄水は改良土の搬出方向と反対の方に流れ、洗浄排水受槽に溜められる。

ろ液槽、洗浄排水受槽に溜まったろ液および洗浄水は、シックナーに送られて濁度調整を行い、さらに中和槽に送られてpH 1.2前後からpH 8程度までに処理されて放流される。

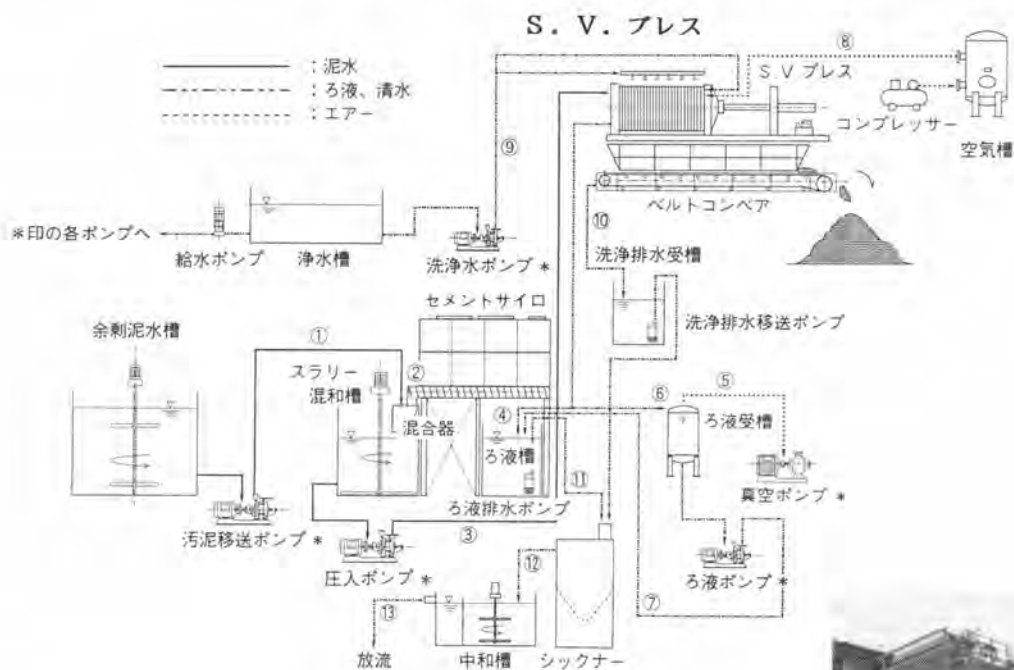


図-3 システム概要図



写真-3 実証実験プラント全景

4. 実証実験結果

上記のシステムの実用性をチェックするために、泥水シールド工事現場で実証実験を行った。この結果を以下に示す。

〔処理泥水の諸元〕

実証実験中に発生した処理泥水は、初期含水比1.48～4.65%（平均2.41%）、比重1.14～1.34（平均1.24）、シルト・粘土の含有率50～97%（平均83%）であった。なお、改良強度は、開砕直後で汚泥の判断基準であるコーン指数 $q_c = 2 \text{ kg/cm}^2$ 以上とすることを目標とした。

〔脱水効率について〕

実験全体を通してフィルタープレスと比較した結果、脱水時間で約1/3に、またS.V.プレスは剥離性が良いことから一斉開砕方式となっているため、前後工程時間も短くなっており、1サイクルの処理時間でも1/3以下となっている。

フィルタープレスとの比較例を表-2に示す。

表-2 フィルタープレスとの能率比較例

諸元 機種	泥水性状			添加材 (凝集材)	添加率 (% (kg/cm^3))	改良土性状		処理時間			処理泥水の 処理能力 (m^3/h)
	含水比 (%)	濃度 (%)	比重			強度 q_c (kg/cm^2)	含水比 (%)	脱水時間 (分)	前後工程 (分)	合計 (分)	
フィルタープレス 容量 6.0m^3	19.2	3.0	1.28	PAC	0.3	5.9	4.4	6.0	3.0	9.0	1.2
S.V. プレス 容量 1.9m^3	21.8	3.1	1.25	普通 セメント	1	8.7	4.2	1.3	8	2.1	1.6

前後工程

フィルタープレス； 閉枠+開枠

S.V. プレス； 閉枠+残液戻し+開枠+洗浄

〔リサイクル化について〕

・改良強度

改良土の強度は、ろ板内の位置、ろ板の位置に関わらずほぼ変わらないことが確認され

た。また、一軸圧縮強度の経時変化を図-4に示す。この図から建設省より示されている有効利用する場合の強度の目安を十分クリア出来ることがわかる。(表-3参照)

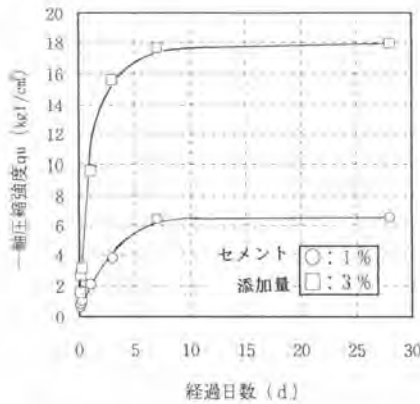


図-4 一軸圧縮強度の経時変化

表-3 有効利用マトリックス

一軸圧縮 強度 (kg/cm^2)	コー> 指数 (kg/cm^2)	用途 強度 区分	埋	路	表	河	宅	埋
			戻	床	込	川	地	立
			し		め	堤	造	て
			材	材	材	防	成	等
5.0以上	—	第1種土質材料	○	○	○	○	△	○
2.0以上	8以上	第2種土質材料	△	○	○	○	○	○
1.0以上	4以上	第3種土質材料	×	△	○	○	○	○
—	2以上	第4種土質材料	×	×	△	△	△	○
—	2未満	汚泥	×	×	×	×	×	×

(出典：総合的建設残土対策に関する報告書)

〔省力化について〕

・セメント粉体添加

セメントの添加量は、セメントサイロ内のスクリーコンベアー動力の周波数制御で十分制御可能であり、また、粉体のままでも簡易な混合器で十分な混合がなされることが確認できた。

・開枠、搬出、洗浄

改良土の剥離性は良く、自重落下、ベルコン搬出は特に問題なかった。また、洗浄は水圧が $3\text{kg}/\text{cm}^2$ で上部からの簡易的な方式にも関わらず十分その効果を発揮した。

・自動化

自動運転はほぼ順調に機能し、特に改良土の剥離に人を配置する必要がなく省力化が確認された。

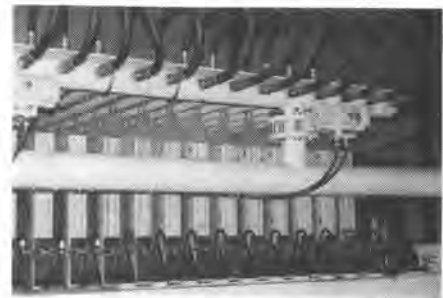


写真-4 洗浄の状況

〔長期連続運転〕

実工事に適用した場合の問題点を抽出するために連続的に脱水実験を行う長期連続運転を行った。

実験の結果は図-5に示すように、約140～150回（バッチ）あたりから部分的に改良強度が低下しはじめ、目詰まりの兆候が出てきた。また、これ以前に剥離しない改良土が何室か発生し始めていた。これらに対して以下の対応策を検討実施した結果、その有効性が確認できた。

①洗淨

目詰まりの発生した金網は電子顕微鏡写真（写真-5）のように、セメントの付着物により完全に塞がれている。そこで希塩酸を噴霧し、ハイウォッシャーにより洗淨する方法を行ったところ、極めて有効性が高いことが分かった（写真-6）。また、この写真から金網の素線はほとんど磨耗していないことが確認された。

②剥離性

金網の目詰まりに起因する剥離性低下が生じた。これに対して、泥水性状には種々のものがあることも考慮に入れると、剥離性をより万全にすることが必要と考えた。

そこで、剥離性の向上を目的にろ板走行部に突起物（段差）を取り付け実験したところ、きわめて効果のあることが確認された。

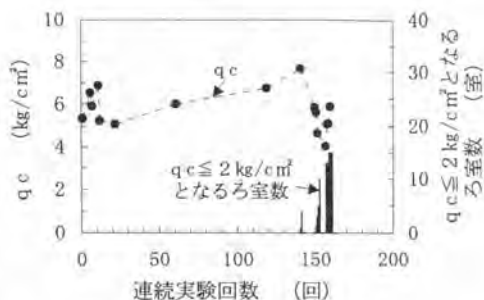


図-5 改良強度の変化

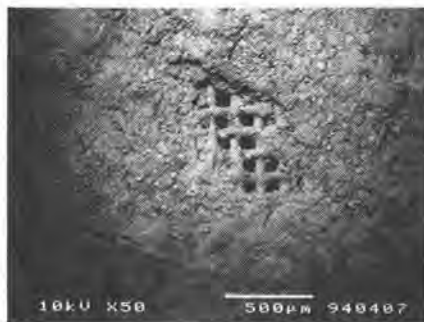


写真-5 金網の目詰まり状況

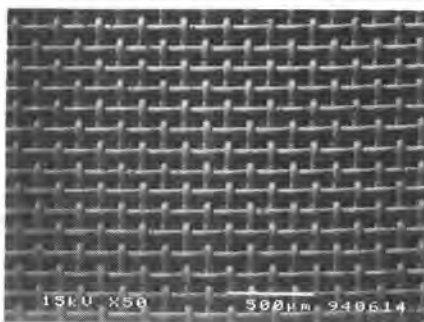


写真-6 希塩酸洗淨後

5. 今後の課題

以上に示したように本システムは実用化のメドがつき、今後積極的に実工事に適用するよう働きかけていきたいと考えている。

今後の課題としてはつぎのように考えている。

- ①システム全体のコンパクト化
- ②リサイクルに関しての施工ノウハウの蓄積
- ③セメント系汚泥、ペントナイト汚泥など特殊な汚泥に対する適用

以上についてさらに研究開発を進めていく所存である。

24. 難土質対応小口径推進機の開発

コマツ： 小林 亮二・糟谷 哲之
*秋山 浩志

1. はじめに

近年、下水道工事の地方都市化に伴い、小口径推進工法の分野では、砂礫、玉石層などの難地盤での施工割合が、益々増加してきている。

小口径推進機メーカー各社は、難地盤での施工実績を積み重ね改良を加え、小口径推進工法の適用土質拡大に努めて来たが、更に、礫率が高く、より大きな礫・玉石層、滞水砂礫層への適用と、推進スピードの向上及び、熟練オペレータでなくとも、容易に、確実に施工できる機械が要求されている。

本開発は、数多くある小口径推進工法の中で、操作方法が容易で、地上処理設備が不要等の利点のある、オーガ1工程工法の特長を生かし、従来問題となっていた、礫破碎能力の向上と、施工情報管理を含む操作性の向上、容易化により、日進量を倍増（従来比）することを目標に進められた。

2. 従来のオーガー工程工法の問題点

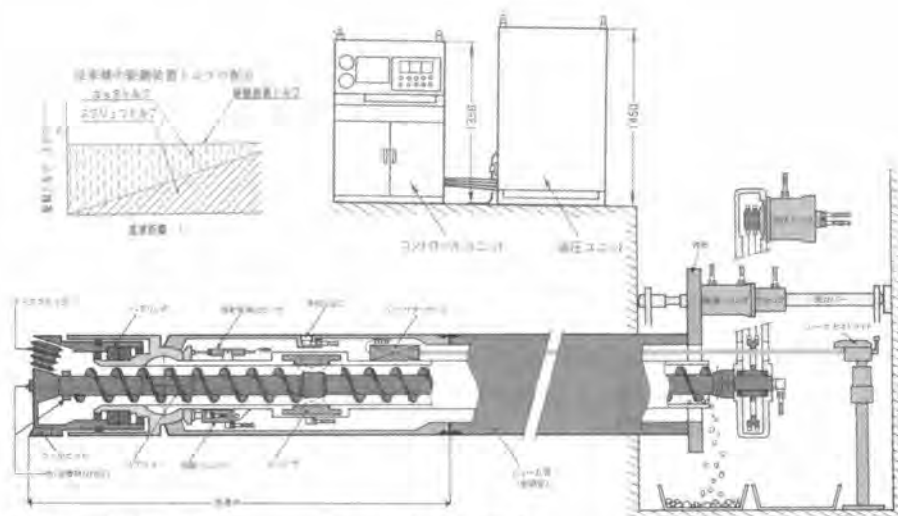
今までのオーガー工程工法では、管径の大きさ及びカッタヘッドの支持構造、方向修正機構等により、スペース的な制限があることから、地山掘削のためのカッタヘッド駆動力を、排土用スクリュのシャフトを利用し発進立坑に設置された駆動装置から伝達することが、一般的な構造であった。しかし、駆動源を一つにしていることから、難土質施工では、以下の問題点があった。

(1) 排土用スクリュのシャフトを利用してカッタヘッド駆動力を伝達するため、シャフトの機械強度の関係よりカッタヘッドの駆動力を増大させることが困難であった。

(2) 駆動力が、排土用スクリュの駆動力に消費され、礫・玉石を破碎するのに必要なカッタヘッド駆動力を安定して得ることが困難であった。そしてまた、推進距離が延びるほどその傾向が顕著となる等、推進が不連続になり、推進速度が低下する。

(3) 難土質では、往々にしてカッタヘッド前面で、礫が溜まり負荷がきつくなるため、カッタヘッドの回転不能状態（ストール状態）になる。その解除にカッタヘッドの正転逆転操作をするが、排土スクリュの回転も同時に行われ排土を逆送し、カッタヘッドチャンバ内及び排土スクリュ内で閉塞を起こしストール解除することがさらに困難になる場合がある。

(4) 流砂現象を起こす崩落性の高い地山においては、大型ピンチ弁の開度を調整しプラグゾーンを形成・止水と同時に、排土量を調整しながら推進を行うが、カッタヘッドの回転と排土用スクリュの回転が同時になされることから、掘削土量と排出土量のバランスをとることが、非常に難しく熟練したオペレータが必要である。



3. 本開発機の構造と特徴 図1 従来機の構造

図2に本開発機のシステム構成図を示す。表1に主要性能を示す。

本システムは、先導管、油圧ユニット、推進装置、コントロールユニットの4つの装置により構成される。先導管、油圧ユニット、推進装置の各装置には、アクチュエータ駆動用の油圧制御バルブが組み込まれており、油圧制御バルブは、コントロールユニットにより制御している。これらの主要システムは、すべて新しいコンセプトにもとずいて大幅に機能改善が実施された。一方、油圧エキスカベータ等、既に関発・実績のあるコンポーネントとの共通化をはかり、開発期間の短縮、信頼性の確保につとめた。

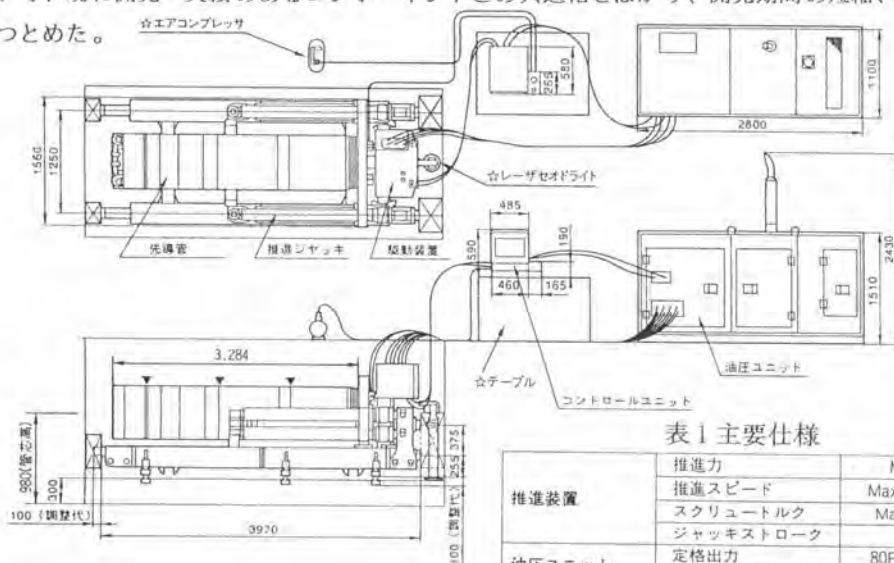


図2 開発機のシステム構成

表1 主要仕様

推進装置	推進力	Max. 200ton
	推進スピード	Max. 2,400mm/min
	スクリュートルク	Max. 1,680kg・m
	ジャッキストローク	1,515mm
油圧ユニット	定格出力	80PS/2,000rpm
	エンジン型式	水冷4サイクル直噴式
コントロールユニット	使用電源	DC24V×0.3KW
	表示方式	カラー液晶画面
	操作方式	タッチパネル方式
先導管	カットトルク	Max. 2,600kg・m
	回転数	0~8rpm
	土圧検知	0~5kg/cm ²

(1) 先導管

基本的に先導管内部の構造の見直しを行なった。

難土質対応、施工速度の増大のため、カッターヘッドは、先導管内に内蔵された専用の駆動モータで、常時高トルクで、かつ、任意の回転数と正逆運転できるようにした。このためスクリュコンベアは、発進立坑内での駆動装置で排土状況に応じた最適の操作が可能となった。また、揺動シリンダでカッターヘッドの掘削推力を検知し、さらに、カッターヘッドチャンバ内土圧を検出することにより、オペレータは、瞬時に施工情報を把握でき、安全、確実な施工が可能となった

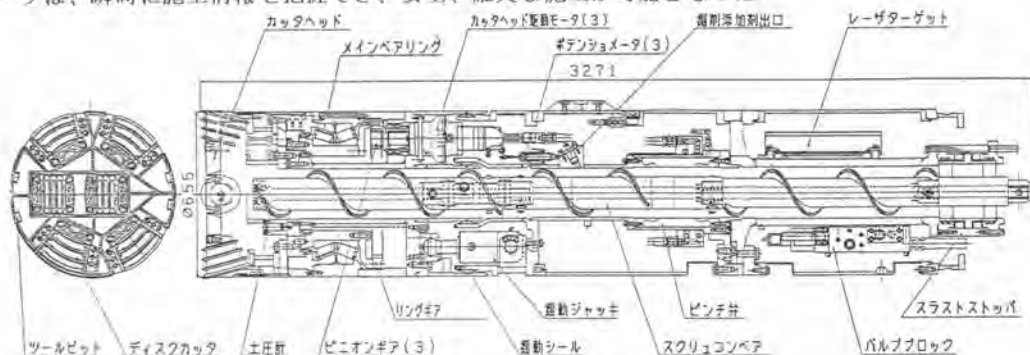


図3 先導管構造

(2) 油圧ユニット

油圧ユニットは、従来の電動機駆動に対しエンジン駆動方式を標準仕様とした。油圧エキスカベータのパワーラインを流用し、小口径推進機用の油圧源として、ユニット化し低騒音化を図った。(図4参照)。これにより、受電設備やジェネレータの設置が不要となりエネルギーコストの低減と省スペースメリットが期待できる。(OPTとして電動機駆動油圧ユニットを準備)

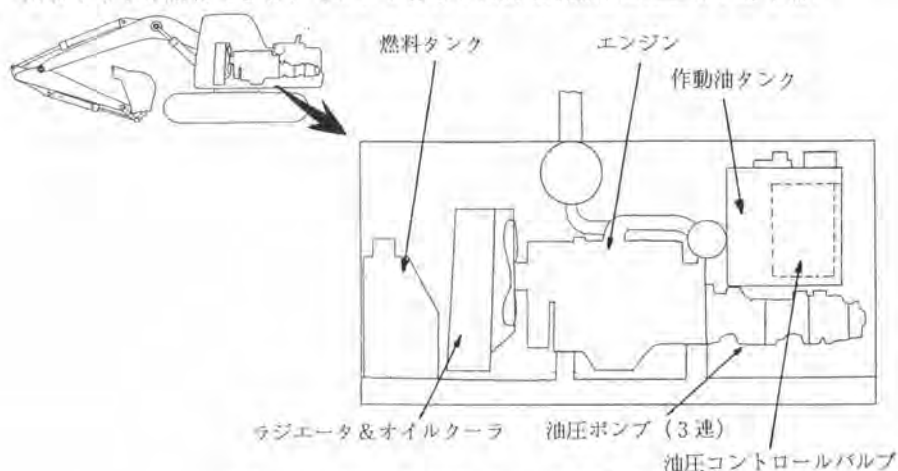


図4 エンジン式油圧ユニットの構成

(3) コントロールユニット (施工情報の集中化)

コントロールユニット操作の容易化と各部の作動情報及び、施工情報の表示、収録を一元化するため、コンピュータ内蔵のカラー液晶モニタとシートキー・スイッチ操作盤とを組み合わせ、コンパクト化し、設置場所の任意化を図った。

各装置の各部センサの情報は、コントロールユニット内のコンピュータに伝送され、演算処理、判断されたデータや機械の状態がカラー液晶モニタ表示され、施工状況の変化や機械の状態が、容易に把握でき、誰でも少しの教育で操作可能となった。また推進装置の推進シリンダのストロークごとの施工データは、ICカードに収録されプリントアウトできるので、時工区での施工管理も容易となった。各種施工情報の表示、及び施工上の警報、機械上の不具合の警告等の表示を液晶画面に一括表示され施工状況の変化、機械の状態を容易に把握することが可能となった。(図3参照)

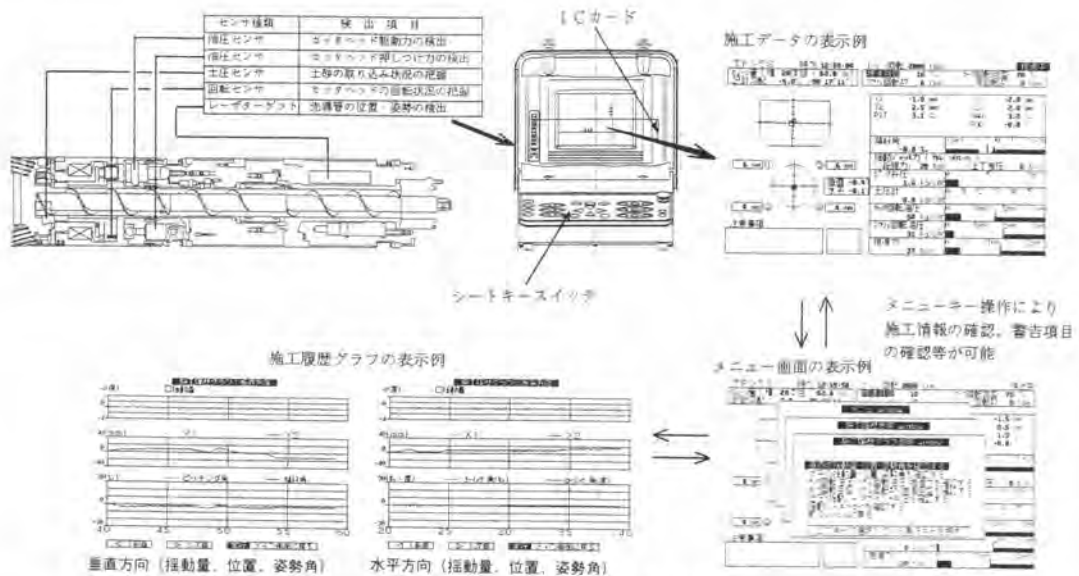


図5 コントロールユニットのシステム図

4. 従来機と開発機の施工実績比較

推進機の性能を比較する場合土質条件等の違いにより比較することが困難であるが、本機械の開発時には、ユーザの協力により従来機で施工している同一工区でのテスト施工を実施することが可能となった。表1に、施工実績を示す。本現場は、Φ300以上の大径礫を含む礫率80%以上の難地盤であったが、開発目標である日進量倍増を達成できた。

5. 終わりに

小口径推進機分野における工事は、今後とも条件の厳しい土質への対応、工事期間の短縮の要求は、ますます強くなっている。今回の開発は主に掘削性能、操作性の向上を図ったが、今後は、掘進以外の付帯作業である管接続作業についても改良を行い作業性の向上とトータルコストの半減を図っていく予定である。

表2 従来機と開発機の推進データ比較

ヒューム管径φ500mm
土質条件 土質：砂礫、玉石混り砂礫
N値：50
礫分：60%
水位：G.L.-5.5m~7.2m
透水係数：1.12x10m/sec (但し、G.L.-6.6m)

	No	推進延長 (m)	推進日数 (日)	日進量 (m/日)
T'90S	1	43.35	14	3.1
	2	36.85	19	1.94
	3	41.35	14	2.95
	4	34.85	10	3.49
	平均			2.74
T'95S	1	43.90	9	4.87
	2	100.0	1日	5.56
	平均		5.33	

25. 地下空間におけるPCa梁の 水平運搬機の開発

コマツ：*吉田 泰弘

コマツエンジニアリング(株)：大西 正

1 はじめに

建築の地下の逆打ち工法における地下く体工事は、その上部に先行く体がありふさがれているため地上の大型クレーンを使用することができない。また地下への仮設開口の場所が限られているため仮設開口から掘付場所まで資材を水平運搬することが必要である。しかし、適当な機械が無いため工事のネックになっている。

さらに地下でPCa構法（プレキャストコンクリート製品を多用した構法）を採用し作業環境を改善し生産性を向上することが望まれているがPCa化すると扱う資材の重量が大きくなり水平運搬がますます困難になる。そのため地下でのPCa構法はほとんど行なわれていない。

このため、地下で大重量物の水平運搬が出来る機械の要求が強い。

2 現状の問題点と開発のねらい

現状の地下工事における重量物の運搬方法の概略を図1に示す。運搬のための機械は小型のクレーンしか適当な機械が無い。しかし上部がふさがれており構真柱が林立する中でクレーンでの運搬は効率が悪く危険な作業である。さらに2～3トンを超える大重量になると、より大きなクレーンが必要になるが作業半径が大きくなり狭い地下空間では極端に作業性が悪い。

そのためウインチとこころを用い、人が介在して運んでいるのが現状である。以上の様に効率的な運搬手段がないため、地下の部材の重量は、なるべく2～3トン以下になるよう制限して設計せざるを得ないのが現状である。

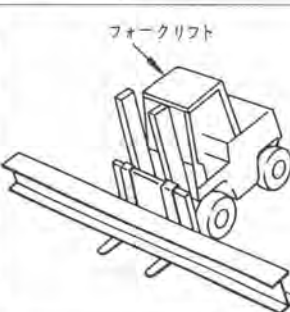

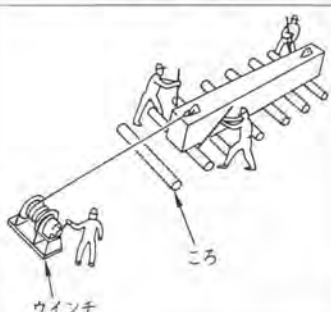
	フォークリフト	小型クローラクレーン (4.9 ton) (または中型770リフト 10~20ton)	ウインチ+こころ+ひと
運搬方法概略			
重量	2トン以下	能力は4.9トンだが実用的な作業半径から2～3トン以下	重量について特に制限はない
作業性	<ul style="list-style-type: none"> ○進行方向に対し垂直に梁を乗せるので、柱等の間を運搬するのは困難。 ○タイヤ式が多いので、捨てコン等で路面を管理する必要があるので使用が限定される。 	<ul style="list-style-type: none"> ○吊りの走行で運搬できるのは2トン以下 ○長い距離の運搬には、空荷移動→吊り→旋回をくりかえすので効率悪い ○大重量の運搬には、中型のクレーンを使用するが、クローラ式は特殊でタイヤ式のラフテレンクレーンとなり、路面の管理が必要、しかも作業半径が大で作業性極端に悪い。 	<ul style="list-style-type: none"> ○原始的な道具を使用するため、あらゆる重量、条件に対応できるが効率、作業性は非常に悪い。

図1 現状の地下工事における重量物の運搬方法

しかし、PCa構法を採用すると扱う資材の重量がさらに重くなる。図2に地下PCa構法の概略と主要部材の重量を示す。ほとんどの梁の重量が2トン以上であり従来の方法ではほとんど運搬が困難となる。

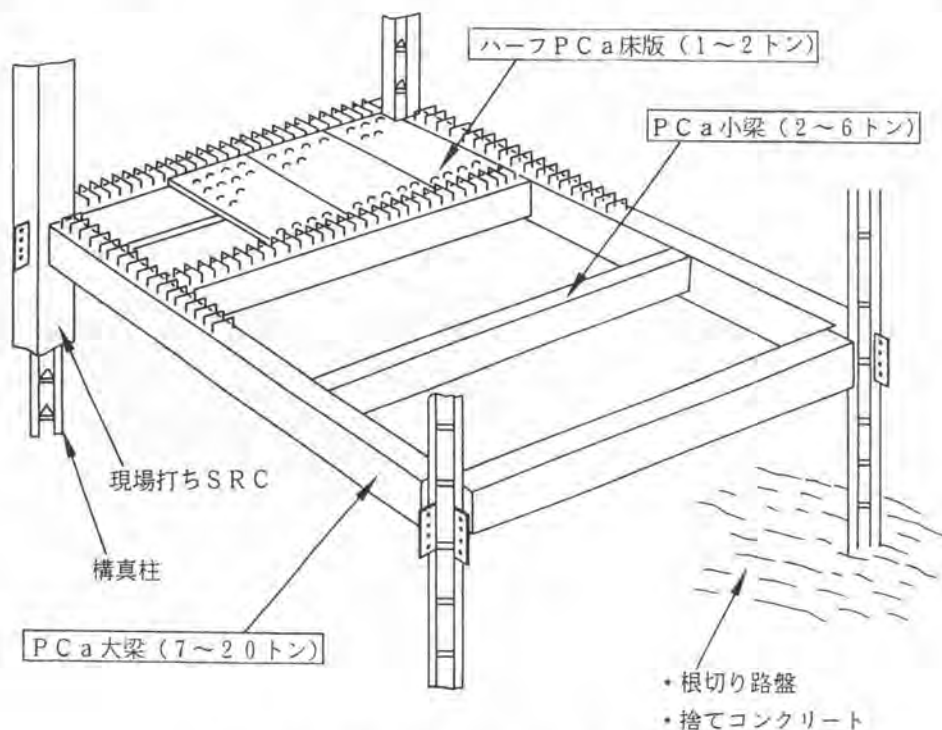


図2 地下逆打ちでのPCa構法と扱う部材の重量

この問題を解決するために、14トンのPCa梁を低い荷台の上に乗せて水平運搬ができる機械を開発した。14トン以上の梁もあるが、約10%と数が少ないので経済性と汎用性を重視し、この仕様とした。

これにより、表1の方法により主要部材を運搬し、据付することをねらった。

表1 地下PCa構法の主要部材の運搬据付の方法

部 材	揚 重	水 平 運 搬	据 付
PCa大梁	地上のクレーン	ウインチ+人(14t以上)	10~20トン ラフテレンクレーン
PCa小梁		開 発 機	
ハーフPCa床版		フォークリフト	

3 機械の構造と特徴

図3に低床式重量物運搬機の外形を示す。また写真1に外観を、表2に主要な仕様をしめす。

機械は、ゴムクローラ式の足廻りの上部に旋回可能なフラットな荷台をつけている。主要なパワーユニットは足廻りの前後にコンパクトに装着されている。動力はディーゼルエンジンによる油圧駆動である。機械重量は8500kgであり地下への揚重がやり易くなっている。以下その主要な特徴について述べる。

表2 低床式重量物運搬機の主仕様

項目	単位	開発機	
車格	運転整備重量	kg	8500
	エンジン出力	PS/rpm	55/2100
	車体長さ	mm	4135
	車体幅	mm	2460
	車体高さ	mm	1250
格	最大積載量(平滑なコンクリート上)	kg	14000
	テーブル幅×高さ	mm	2200×3000
走行	走行速度	km/h	2.0
	最低地上高	mm	180
	足回り形式	—	ゴムクローラ式
	平均接地圧(空荷)	kg/cm ²	0.31
		(定格負荷)	kg/cm ²
旋回	テーブル旋回速度	rpm	3
安全装置	操作方法	—	有線リモートコントロール
	旋回装置	—	安全ブレーキ付
	旋回時のコーション	—	旋回、回転灯付



写真1 低床式重量物運搬機の外観

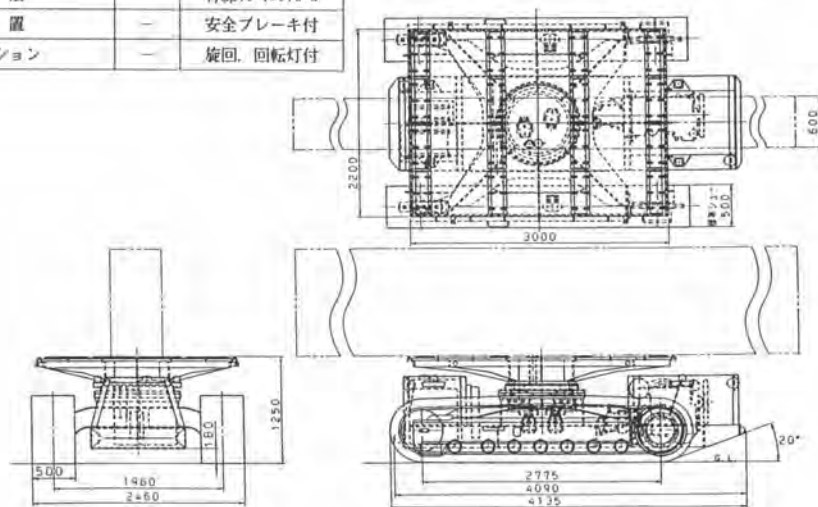


図3 低床式重量物運搬機の外形

1) 大重量物の運搬が可能

定格荷重が14トンのため地下で扱う大半のPCa部材の運搬が可能である。

機械は12トンクラスの油圧ショベルの足廻りをベースに、けん引力を約10%アップさせた。当初、現場からの要求仕様は10トンでありこの重量を積載して自由に走行ステアリングができるという機能を満足するように設定した車格であった。しかし、より重量物まで運搬したいという現場の要求に対し走行ステアリング性を少し犠牲にし、強度上の最大荷重の14トンで定格荷重とした。

2) 低い荷台高さ

機械の高さは低く荷台の高さが1250mmのため、据付高さを1.3mと低くしても、据付位置のすぐ真下まで運搬が出来る。

3) リモコン操作

有線のリモコン操作により、見やすい場所から操作が出来るため安全に運搬が出来る。特に梁成の高い長尺物の梁を乗せたとき、機械と梁および梁の向こう側の全体が見える所から操作をすることが出来るので安全である。

4) 荷台が360度旋回できる

荷台が360度旋回できるため長尺物の梁を乗せて狭い構真中の間を自由に運搬ができる。また据付位置の下で梁を据付ける方向と同じ向きになるように旋回することができる。

旋回機構は、旋回サークルに旋回モータ減速機を上下反転し下側に装着しているため平らな荷台の下に、旋回機構を納めることができる。

4 実工事での評価

本機は東京オペラシティ建設工事の地下PCa構法の実工事に導入された。写真2に、実工事の作業風景を示す。その結果下記の評価を得た。

- 1) 1日7～19本(計約100トン)のPCa大梁、PCa小梁、S梁の運搬ができた。本機のような水平運搬機は有効であった。
- 2) 梁だけでなく鉄筋など地下で扱う種々の資材を運搬できた。
- 3) 有線のリモコンのためオペレータの位置が制限されるので、無線のラジコンの方が良かった。



写真2 低床式重量物運搬機の実工事風景

5 最後に

地下工事における重量物の水平運搬をはじめとするハンドリングは地上に比べ機械化が遅れている。今後は本機の改良、シリーズ化を含め地下空間の重量物の運搬から据付という点でシステムとして考え現場の改善に取り組んでいきたい。

なお本機の開発に当たり、東京オペラシティ建設工事JVの皆様に貴重な助言とご指導をいただいた。この場をかりて深く感謝します。

26. ハザマ式全天候型仮設屋根 (パラガス) の開発

ハザマ：*杉浦 仁志・畠山 修
斎藤 篤

1. はじめに

建設現場の作業環境改善、工期安定による生産性向上、労働者の安定雇用確保等を目的とした全天候型仮設屋根の開発が、最近、ゼネコン各社を中心に活発に行われている。現状では必ずしも十分な普及には至っていないが、この理由として、「仮設備としては費用が掛かり過ぎる」、「汎用性に劣るため多現場での転用ができない」といった問題が挙げられている。

そこで、このコスト面、汎用面に重点を置き、広範囲な普及を目指した全天候型仮設屋根「パラガス」**を開発した。今回は、開発のねらい、概要、現場での実証試験状況等について報告する。

2. 開発のねらい

本開発のねらいを以下に示す。

①低コスト化を図る。

- ・現場で使用している桟組足場を屋根の支持用構造体として兼用する。
- ・関東地域を対象にした降雨対策用のフレーム構造とする。

②優れた汎用性を持たせる。

- ・現場の規模に合わせて間口方向および桁行方向の長さが自由に調整可能な構造とする。
- ・資材の搬入方法に合わせた出来る限り屋根の開閉が自由な機構とする。

なお、今回実証試験を行った現場では、盛り替え作業の必要がなかったために、自昇装置の開発は今後の課題とし、さらに屋根の設置には、トラック・クレーンを使用した。

3. 開発の概要

本屋根の仕様を表1に示す。

写真1に示すように、屋根の上部には透光性の良い膜材を、側面にはメッシュシート材を張ったA～D4基の屋根ユニットで構成した。

屋根の支持には、桟組足場を利用している。図1に示すように、桟組足場の最上部に屋根ユニットが水平走行するためのレールを設置し、このレール上に車輪付きの屋根を載せた。

表1 仮設屋根の基本仕様

屋根寸法	間口：13m～28m。 桁行：6.5m～無限長。 軒高：4m。
屋根重量	31kg/m ² 。1基当たり約8ton (約250m ² ：18m×14m)。
材質	主フレーム：構造用炭素鋼管、トラス構造。 膜材：C種防火膜材（屋根部）、防炎メッシュシート（側面）。
支持方式	桟組足場に22kg/mのレール設置（H鋼200mm×200mm ² ス）。
設計条件	設計風速：35m/s。耐雪性能：最大積雪10cm（20kg/m ² ）。
開閉方式	ジャバラによる開閉機構（開口率：85%以上）。 0.75kW電動走行レールによってレール上を走行（開閉スピード：0.20m/s）。 遠隔操作型。
安全対策	警告灯、警報音、強風警報装置。

**パラガス：PARAGUAS スペイン語で傘の意。



写真1 仮設屋根全景

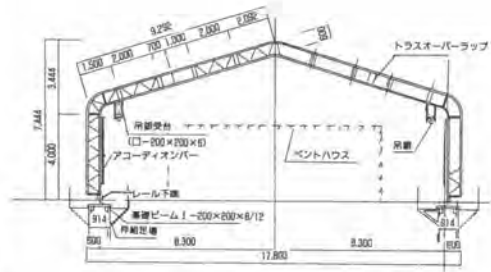


図1 仮設屋根断面図

なお、枠組足場には屋根の水平荷重に対する補強として最上部の壁つなぎを1スパンごとに設置し、最上部の自立（3層）部分の建枠には、曲げ補強として単管によるサポートを施した。

屋根の開閉は、ジャバラ構造による伸縮機能とレール上の水平走行機能によって、資材搬入方法に合わせて自由に開閉できる構造とした（図2）。

図3に示すように、屋根の間口方向は中間梁の増減および伸縮梁の伸縮で13m～26m、桁行方向はジャバラフレームの増減および屋根ユニットのつなぎ合わせで6.5m～無限長の範囲で調整が可能である。これによって、建物の平面寸法の大小への対応を図ることができる。

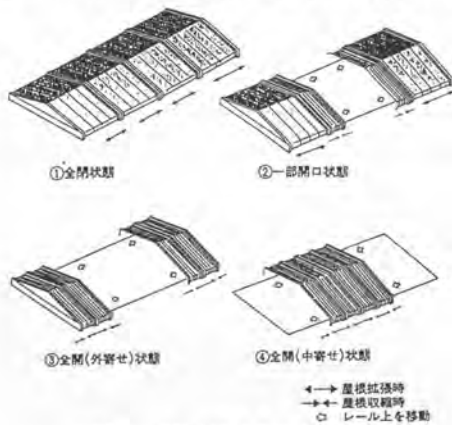


図2 開閉バリエーション

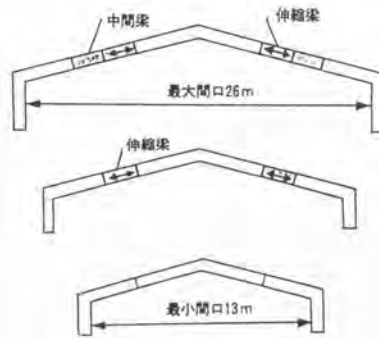


図3 梁の長さ調整方法

4. 実証試験

実証試験は、SRC造7階建てのYビルにおいて、主に4階分のコンクリート打設、屋上の防水工事に役立てる目的で導入した。工事概要は、表2に示す通りである。この工事では、先に最上階までの躯体鉄骨と枠組足場を建て込んだ後に、屋根を200tonのトラック・クレーンにより足場の最上部に設置した。

表2 工事概要

用 途	共同住宅
建 築 面 積	706.432m ² (A棟)
構 造	SRC造
階 数	地上7+1階
最 高 高 さ	22.35m
工 期	平成5年3月～平成7年3月
仮設屋根設置期間	平成6年3月～平成6年8月

仮設屋根用資材を搬入した以降の設置手順を、以下に示す。

- ①現場内の地組ヤードにて、屋根フレームの組立（写真2）。
- ②屋根上部の膜材および側面へのメッシュシート材の取付け（写真3）。
- ③枠組足場最上部へ走行用レール架台を設置（写真4）。
- ④200tonのトラック・クレーンによって屋根を据付け（写真5）。



写真2 フレームの組立て



写真3 膜材の取付け



写真4 走行用レール架台の設置



写真5 屋根据付け

今回の実証試験では、①②の作業を地組ヤードで行い約10日を費やしたが、本設の工事に影響を及ぼす④の作業は1日（1基当たり約1時間）でできた。

仮設屋根は現在もなお適用中であるが、平成6年3月16日～平成6年7月18日までの状況を以下に述べる。

図4に示すように、屋根設置期間125日のうち、日祝日、休日を除いた稼働日は97日であった。この期間の雨天日は19日で、稼働日の約20%が降雨時に屋根下で作業を行ったこととなる。その際に、特に効果があった作業は、コンクリート打設、墨出し等、また作業環境の改善に役立った作業は、型枠建て込み、スラブ配筋、スラブ配管等であった。さらに、晴天時における日除け効果も全作業に対して確認できた。但し、ベランダ部PC板の揚重作業の際には屋根の開口状態が多くなり、逆に開閉の手間が掛かる分、デメリットとなった。今後は、屋上階の防水工事における適用効果を期待している。

今回の屋根に関して、現場型枠大工に対してアンケート調査を実施した。調査内容は、作業環境と施工性に関するもので、7項目の設問に対する回答を得た。図5は、その回答結果を平均値で示したグラフである。

仮設屋根本来の目的である「雨避け効果」、「日除け効果」、「工程の円滑化」に対する評価が高かった。春先の保温効果や作業空間の明るさに関し

ては、空調や照明の装置を開発する必要性は特にない様である。さらに、「開口スペースは十分である」との意見も多かった。一方、揚重作業性に対して評価が低かった原因としては、「足場補強が資機材搬入作業のじゃまになる」、「開閉に時間がかかる」等の意見があげられた。

その他の意見としては、「雨天時に安心して電動工具を使用できた」等の安全面での効果も得ることができた。

5. まとめ

現状の課題としては、以下の点が挙げられる。

- ①屋根の軽量化を図り、使用するクレーンの制約条件を少なくする。
- ②屋根の自昇装置を開発し、クレーンを使わずに盛替え作業が出来るようにする。
- ③地組み・設置・盛替え・撤去が短期間で可能なものにする。
- ④豪雪地域での使用が可能な屋根を開発する。
- ⑤土木工事に適用可能な屋根を開発する。

今回の実証試験結果をもとに、今後は、さらに転用性・汎用性に優れた屋根を完成させたいと考えている。

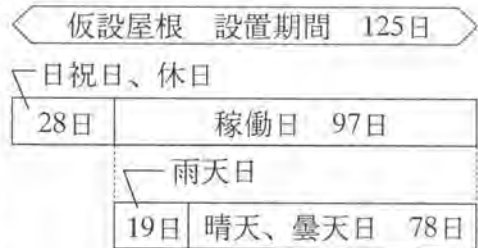


図4 仮設屋根設置日数

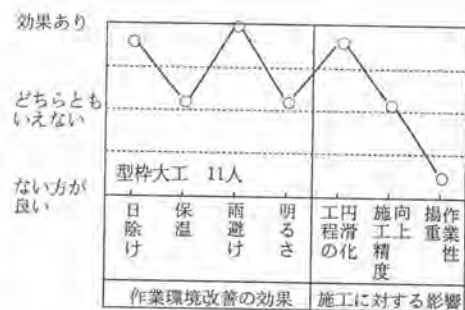


図5 アンケート結果

27. マスト・コラム工法と特殊タワークレーン

大成建設(株)：明城 幹夫

1. はじめに

ビルの建設工事に使用されるタワークレーンの設置方法としては

- (1) 建物の外部に設置し躯体よりマストに水平控をセットしながらマストを延長してゆく方法
- (2) 建物の内部に設置し躯体よりマストに水平控をセットしながらマストを延長してゆく方法
- (3) 建物の内部に設置しベースを順次上の階に移動してゆく、いわゆるフロアクライミングによる方法

以上の3通りがあり(1)はRC造またはRC積層(PC化されたRC部材)の建物に採用されるがクレーンを内部に設置した場合に比べてクレーンの能力が大きくなり、また水平控の取付場所にはダメが残るなどの欠点がある。

(2)は10階程度の比較的低い建物の場合にS造にもRC造にも採用されるがタワークレーンが設置されている期間中は設置階から最上階まではクレーンまわりにダメが残る。

(3)は一般的に20階以上のS造の建物に最も多く採用されておりクレーンがフロアクライミングした後は床工事が行なわれるため(2)に比べるとダメが大巾に少くなっている。しかし設置階の本設梁にはタワークレーンの基礎荷重によって梁の耐力以上の力が作用するため上下階の梁間に仮設柱を設けるなどの補強を必要とする。

以上のような従来の設置方法による欠点を補ったのがマスト・コラム工法である。



写真1 従来の設置方法

2. マスト・コラム工法とは

マスト・コラム工法とはタワークレーンのマストとしてビルの本設の鉄骨柱(以下兼用柱という)を使用する工法である。従来のタワークレーンのマストはクレーンの主要部材であるから工事の完了後はタワークレーンの本体とともに解体され現場より搬出しなければならないが、この工法の場合はタワークレーンがクライミングした後の兼用柱には大梁が取付けられ、その上に床板を敷くことによって

クレーンの周囲を閉鎖できるようにしている。

この工法の特長は

- (1) 開口部がなくなることによって墜落や飛来落下の危険が少なくなる。
- (2) 下の階の雨仕舞が良くなるために早期に仕上工事にかかる。
- (3) タワークレーンのベースやマストが不要になる。
- (4) タワークレーンの基礎や盛替階の鉄骨補強が不要となる。
- (5) クライミングの所要時間を三分の一に短縮できる。

この工法の適用出来る建物としては

- (1) S造即ちボックス柱であること
- (2) タワークレーンの能力としては300～400t-mまで

最も適している建物の形状は梁スパンが大きく従来のフロアクライミングでの設置では補強ががかりとなる場合とか敷地一杯に建物が建ち油圧クレーンが入る余地のないような狭隘な現場に大いに有効である。



写真2 マスト・コラム工法にて施工中

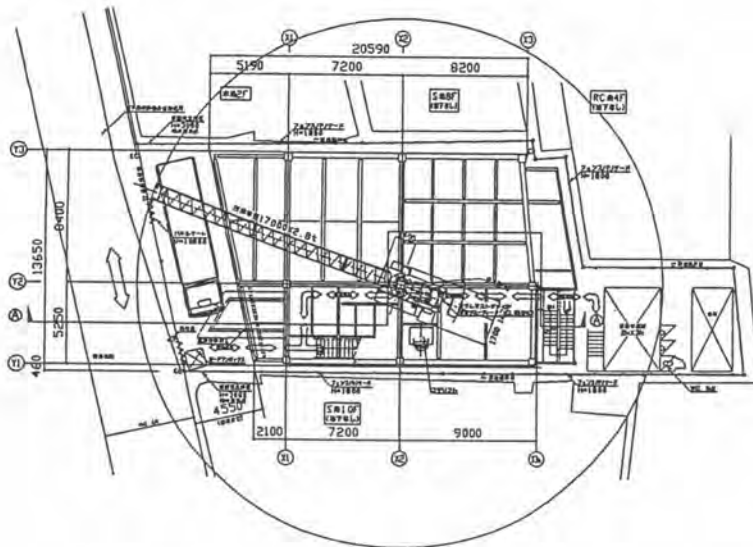


図1 狭隘な現場でのマスト・コラムクレーン

3. マスト・コラムクレーンの特徴

大成建設（株）では当工法の実験工事として自社ビルである大阪支店ビル新築工事を対象として平成3年に100 t-mのタワークレーンにて実施した。この時は既存のタワークレーンを使用することを前提としたため兼用柱は接続部が溶接接合である以外はタワークレーンのマストと同一の構造とした。従って兼用柱はφ1100ミリとなりクライミングのためのガイドアングルとかカンヌキ用の孔を設けクライミング後、梁を取付ける時はガイドアングルは取外しカンヌキ孔は鋼板で閉鎖しなければならなかった。

この実験工事の一応の成果をふまえて当工法をさらに発展させるべくクレーンの能力を180 t-m以上とした場合、兼用柱の断面をマストの断面に合わせたのでは1900ミリ角となりビルの柱としてはあまりにも大きすぎることになる。そこで実際の柱の大きさ、形状で当工法を可能にすべく開発したのがマスト・コラムクレーンである。

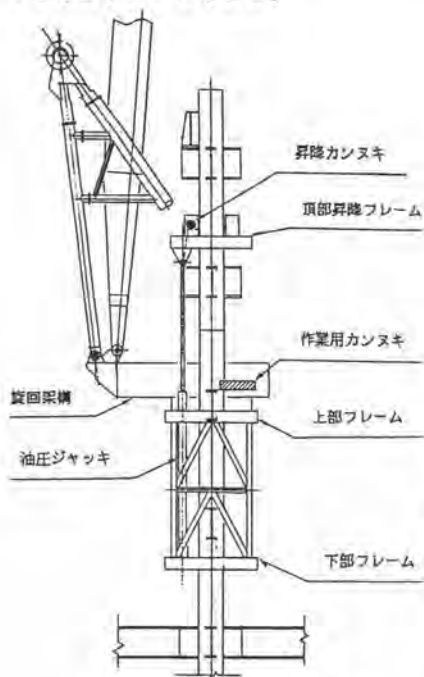


図3 クライミング装置

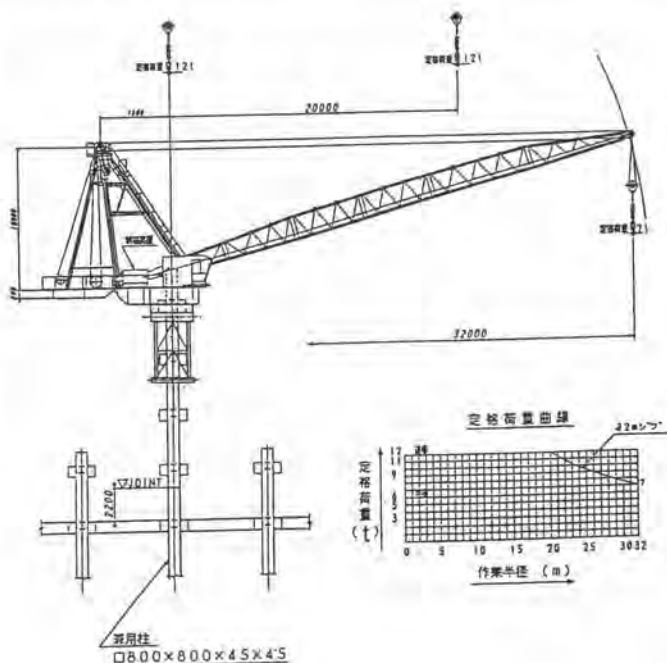


図2 マスト・コラムクレーン全体図

マスト・コラムクレーンの特徴はクライミング装置にあり、従ってクライミング装置を代えれば一般のタワークレーンにて当工法が可能となる。

クライミング装置には1階分の高さ以上のストロークを有する油圧ジャッキ2本と、その先端には昇降カンヌキを有する頂部昇降フレーム、本体の旋回架構の下には作業用カンヌキとガイドローラを有する上部フレーム、さらにその下には油圧ジャッキを支持し下部ガイドローラを有する下部フレームから構成される。

クライミングは先ず油圧ジャッキを伸ばし頂部昇降フレームを次の階まで押し上げ梁ブラケットに昇降カンヌキをかけ次に

油圧ジャッキを縮めることによってクレーン本体を引上げ同様に作業用カンヌキ2本を梁ブラケットにかけることで1階分のクライミングは終了する。

一般のクライミングクレーンはマストのカンヌキ孔とか水平材に反力をとりながら本体をジャッキで押し上げて1.5mづつクライミングしてゆくが、このクレーンは直接梁ブラケットに反力をとり本体を1階分一気に引上げる点で大きな違いがある。また昇降カンヌキと作業用カンヌキを同じ階の梁ブラケットにかけるようにしたことによって階高の変化に対応出来る構造になっている。

作業用カンヌキを1階下の梁ブラケットにかける構造では階高が4mから3mに変わった場合、頂部フレームを3m上昇させた後、本体は4m上昇せねばならないが油圧ジャッキが3mしか伸びていないため本体を3mしか引上げることが出来ないことになる。

階高がジャッキストローク以上である場合は階の中間にクライミングのための仮ブラケットを取付けて行う。

4. 兼用柱の断面

ビルの柱は接続されている梁によってモーメントが伝達されるため、その方向は図4のXかYの2方向に限られるが兼用柱はタワークレーンによって全周方向にモーメントが作用するため断面算定は弱軸であるU軸断面について行う。

兼用柱の断面はタワークレーンの地震時のモーメントによって決定されるから自立高さに大きく影響される。自立高さを低くおさえるために兼用柱は1節を2階分の長さとし、上の2階分はタワークレーンでおおわれるから1サイクルで下2階の梁を取付けてゆくには4階分の自立高さになる。

兼用柱の長さを1節1階にすれば3階分の自立高さになり、また120t-m以下の小型クレーンではクレーンによるかぶり高さが小さくなり1節2階であっても3階分の自立高さにすることが出来る。

梁ブラケットの長さは通常では柱芯から1.2m~1.5mであるが兼用柱ではタワークレーンの旋回ベアリングの中を通過させる必要から0.95mにおさえている。

右表はタワークレーンの能力、自立高さで兼用柱の断面を表す。

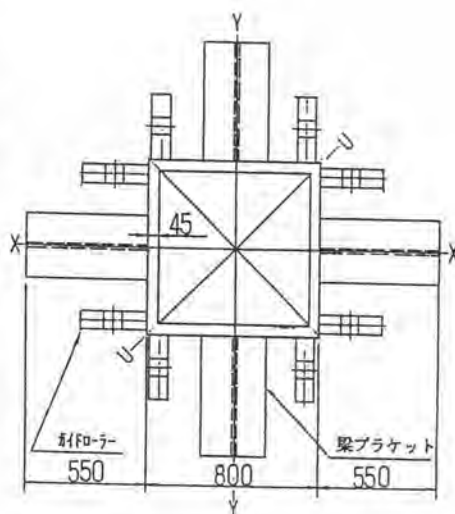


図4 兼用柱の断面

クレーン能力 t-m	自立高さ m	材質	兼用柱断面 mm
400	16.4	SM520B	□-900×60
300	16.4	SM520B	□-850×40
230	16.4	SM520B	□-800×45
120	12.3	SM520A	□-600×40
50	8.2	SM490A	□-500×25

5. 製造許可

マスト・コラムクレーンはマストが溶接接合構造の新型のクライミングクレーンであるから、つり上げ荷重が3 t o n以上の機種については新たに製造許可を取得する必要がある。また兼用柱を鉄骨メーカーが製作する場合はクレーンメーカーの協力業者としてマストの製造許可を取得しなければならない。現場における兼用柱の溶接接合は上記の製造許可を有する業者が行うことが製造許可の条件となっている。

兼用柱の現場溶接部の検査は溶接部の冷却後に外観目視検査（VT）、磁粉探傷検査（MT）、超音波探傷検査（UT）を行い1サイクル（2フロア）の建方完了後にもう一度確認の検査を行っている。

6. 鉄骨建方

当工法が従来の鉄骨建方と大きく異なる点は兼用柱がクレーンのモーメントによって梁を取付ける時は前方に、兼用柱を接続するときは後方に構むという事である。タワークレーンはジブが伏せ限で無負荷の状態ではモーメントが0になり兼用柱は直立する。従って梁を本締めする時は兼用柱を直立させるから梁の取付時と本締め時では1 c m近く移動出来るように仮止めボルト孔をルーズにしておく必要がある。

兼用柱を接続するときは下の柱はクレーンのバックモーメントによって後方に倒れており上の柱を垂直に接続したのではくの字に折れ曲った状態で接続される。この場合は先ず構の出でない左右について柱面を合わせてエレクションピースで固定し、次にクレーンを90°回転させて、もう一度左右について柱面を合わせる事によって後方に傾いた状態で4面を合わせる事ができ、その後に柱を溶接する。

図5は大阪・新藤田ビルでの鉄骨建方順序図で黒塗りの部分は建方が完了していることを表す。

建方は先ずコア部分の鉄骨を仮組し兼用柱まわりの外周梁を取付けて本締めを行い兼用柱による構みの影響を少なくしてから外周部分の鉄骨を組立る。

また外周柱とコア柱とはジョイント位置が段違いにしてありコア柱を建直しするときガイドとしている。

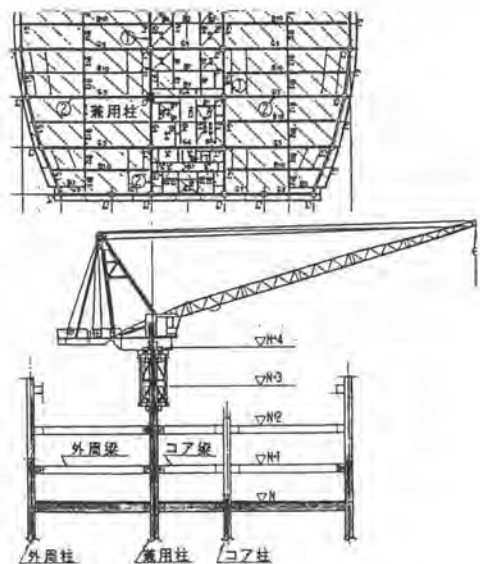


図5 鉄骨建方順序

- ① N+2階までのコア柱、梁の仮組
- ② N+1階ひかえ梁の仮組
- ③ コア柱、梁、ひかえ梁の建直、本締め
- ④ N+1階までの外周梁の取付、本締め
- ⑤ N+3階までの外周柱の仮組
- ⑥ N+2階の外周梁の仮組、建直
- ⑦ N+6階までの兼用柱の建方、溶接
- ⑧ クライミング

7. 制振装置

兼用柱は通常のタワークレーンのマストに比べて、かなり小さい断面であるからクレーン荷重によって揺みや振動が生じやすく、これにより作業効率の低下が予想された。揺みは兼用柱の自立高さを低くすることによっておさえ、振動はジャイロ機構を用いた制振装置によって早期に減衰させることとした。

図6において回転体が、その回転軸を支持しているジンバルの傾きによって方向を変えるとき回転体は外界に対してモーメントを生じる。これがジャイロモーメントであり回転体が回転する面に直交して生じる。この制振装置はこのモーメントを制振力として利用している。

230t-mマスト・コラムクレーン用の制振装置の回転体の重量は800kg、回転数は1400r・p・m、電動機定格出力は7.5KW、ジンバルを駆動するサーボモーターは7.5KWである。

定常運転時の消費電力量は定格の三分の一から四分の一程度である。

図7は7tonの吊荷を8m巻下し停止させたときの揺れを非制振の状態(a)ならびに制振の状態(b)についてグラフで表したものである。

制振時は非制振時と比べて制振時間が五分の一以下に短縮されており十分な制振効果を発揮していることがわかる。

8. 今後の展開

大成建設(株)では平成6年9月現在でマスト・コラムクレーンとして

230t-m 2台

120t-m 1台

50t-m 1台 合計4台保有しているがその他に400t-m、300t-mの計画もあり、また狭隘な現場での小型マスト・コラムクレーンによる施工が多くなることが予想される。

工業所有権については、工法についてクレーンメーカーと共同で、タワークレーンについては大成建設単独でそれぞれ申請中であるが、契約によって大成建設以外の会社の施工も可能である。

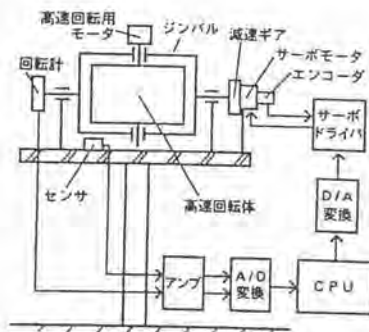


図6 システム構成

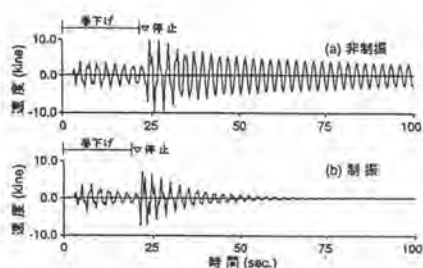


図7 制振効果

28. タワークレーン自動運転システム

鹿 島：久保 喜良・*岸 光輝
佐藤 竜郎

1. はじめに

近年建築工事の主要揚重機械であるタワークレーンの機能・性能は目覚ましく発達しているが、運転は相変わらず人手に頼っており、しかもビル建築工事においては

- ・玉掛け・地切り作業では信号員からの合図によって運転操作する。
- ・揚重作業では吊荷を振れ止めしながら安全ルートを通って目的位置に到達させる。
- ・位置合せ作業では高職と息の合った微妙な運転操作が必要である。

など高度に熟練した運転技能と、さらに繰り返しによる苦渋作業が求められているが、この要請に応えられる熟練オペレータは年々減少しているのが現状である。そこで

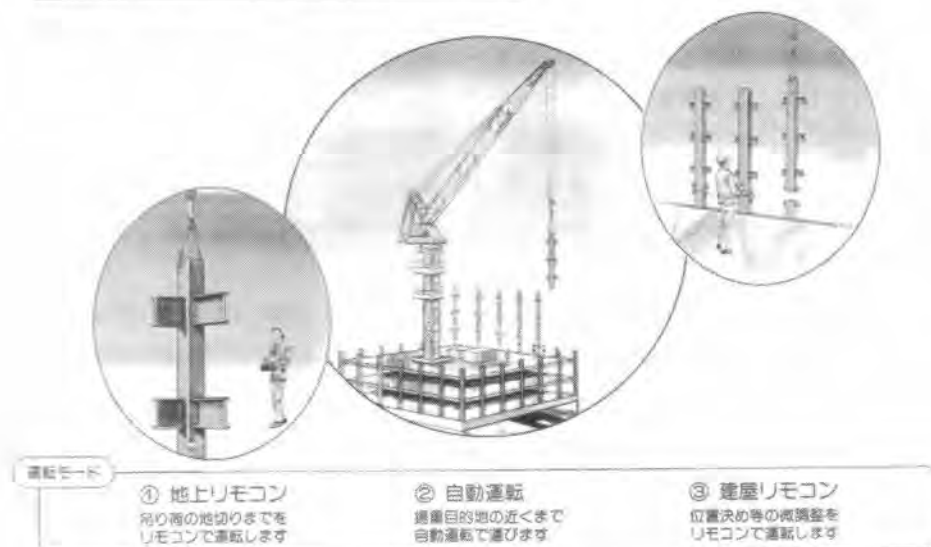
- ・各種施工用機械の自動化・システム化の要請に応える。
- ・未熟練オペレータでもベテラン並みの運転ができるようにする。
- ・吊荷の直近でその状態を見ながら安全に運転ができるようにする。

を目的として“タワークレーン自動運転システム”〔KTCS〕の開発を行った。

〔KTCS〕=KAJIMA TYPE TOWER CRANE CONTROL SYSTEM

2. システム構成と機能の概要

(KTCS) タワークレーン自動運転システム



第1図 システムイメージ図

2-1 システム構成

第1図に示すように、2カ所のリモコン運転と自動運転の運転モードを持ち、また第2図に示すように地上、クレーン上、リモートコントロール、ネットワークの4システムで構成されており、インターフェースを介して既製のタワークレーン制御盤に接続して使用できるため経済的なシステムになっている。

2-2 機能の概要

2-2-1 地上システム

・クレーン管理サブシステム

システムの座標、固定障害物、揚重物と順序、目的位置などのデータ管理と、隣接クレーンとのデータ授受を行う。

2-2-2 クレーン上システム

・自動運転サブシステム

揚重ルート選定と監視、各運転場所の操作権管理、ファジィ制御による荷振れ止め、目標位置（行き先）への自動運転を行う。

・衝突防止（K-3Dミニ）サブシステム

固定障害物、自建造物、隣接クレーンとの衝突防止を行う。

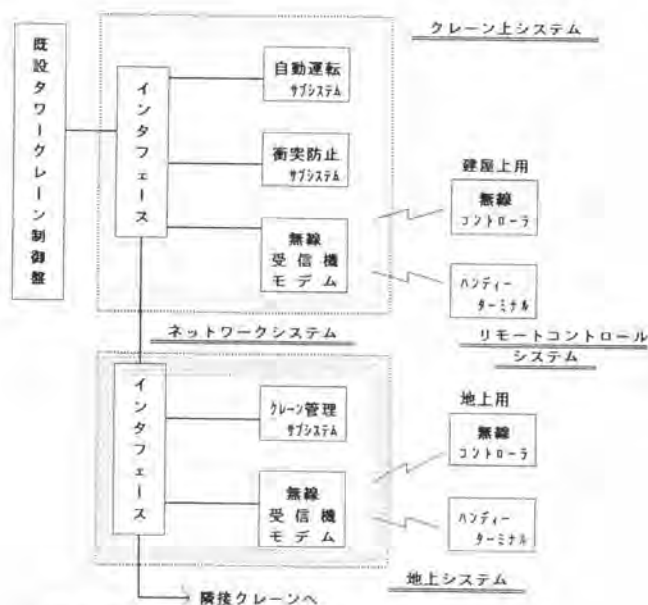
2-2-3 リモートコントロールシステム

建屋上用：最終位置合わせ、玉外し、自動戻り指令、データ表示

地上用：玉掛け、地切り、自動行き指令、割込み揚重、データ表示・入力・変更

2-2-4 ネットワークシステム

上記各サブシステム間とタワークレーン制御盤、さらに隣接する他のタワークレーン間でデータの授受を行う。



第2図 システム構成図

3. 運転方法

当システムの運転方法は、従来の手動運転によるものと合せ、下記のように4つの選択肢が用意されており、玉掛け場所や取り付け場所の吊荷状態がオペレータハウスから目視範囲内か、取付け位置合せのように細かい運転操作が必要かなど、現場の事情や建物の構造に応じて使い分けるようになっている。

- 手動運転
- 手動と自動の組み合わせ運転
- リモートコントロールと自動の組み合わせ運転
- 手動と自動とリモートコントロールの組み合わせ運転

4. システム運用のための準備

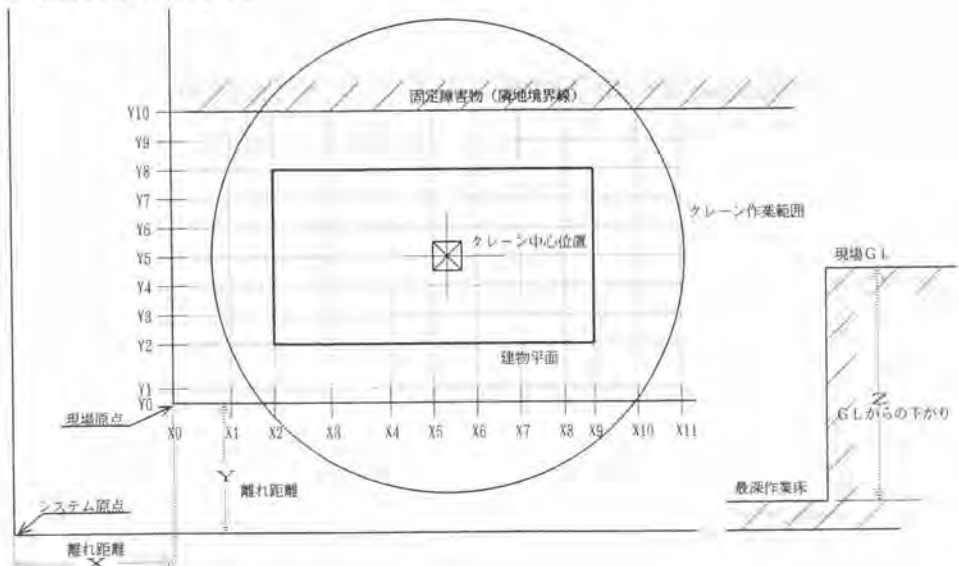
下記のデータを事前に準備しておく、その予定に従って目的位置まで吊荷を自動揚重する事ができる、なお予定が無い場合は割込み揚重を行う。

4-1 初期値データ入力

- システムの座標：現場原点とシステム原点の離れ
- 現場平面配置：X通り、Y通りの配置
- 建物の高さ：各階高または各節高さ
- 地下の深さ：現場GLからの下がり深さ
- 固定障害物：隣地境界線や既設建物等の位置、寸法
- クレーンデータ：設置台数各々の中心位置、マスト本数その他クレーンの主要寸法等を入力する。
- 予定揚重物：揚重物種別・番号、品物名、寸法等を入力する。

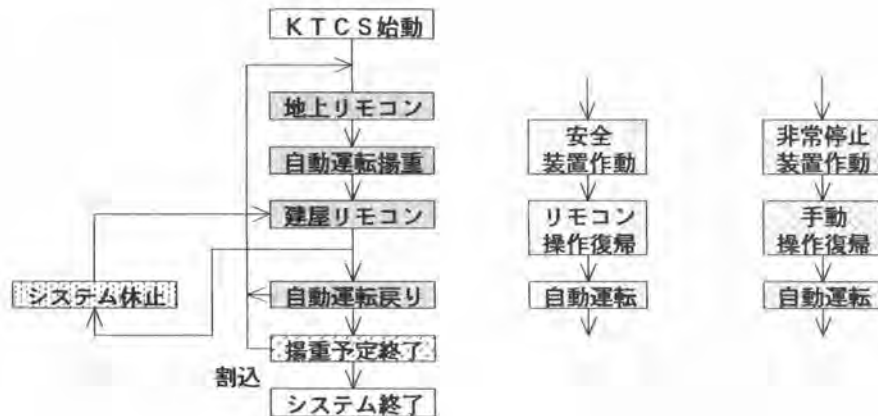
4-2 自動揚重するための揚重予定入力

- 毎日の揚重予定を入力する。



第3図 初期値入力説明図

5. 運転のフロー



第4図 運転のフロー図

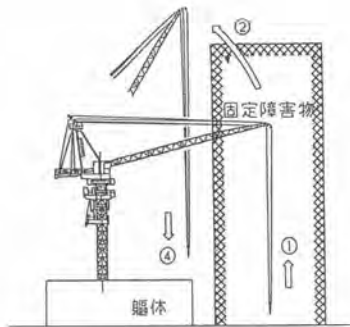
作業開始前の点検後、地上の取込み位置付近まで手動運転により巻き下げると、操作権が地上リモコンに移動し上記の運転のフローに入る。

- 通常の繰り返し揚重作業
- 昼休み、リモートコントローラのバッテリー交換時等の休止状態
- 安全装置が作動した場合は、リモートコントローラで復帰する
- 非常停止の場合は、手動運転により復帰する
- 予定終了または予定外の揚重は、割込み揚重する

6. 運転パターンと運転パスの例

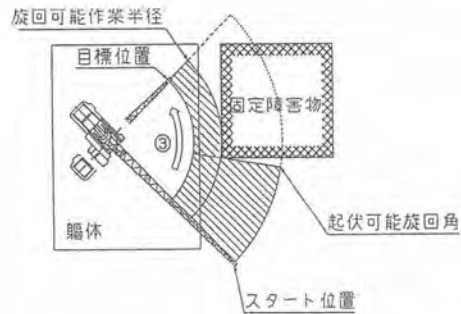
巻上げ・起伏・旋回運転の始動順序を決める運転パターンと、吊荷が通過する経路を示す運転パスは、現場のタワークレーンの配置や固定障害物の位置・自建物の建築順序等により千差万別となるが、その一例を第5図に示す。

図の例では、スタート位置から目的位置まで吊荷を揚重する場合、まず自建物（躯体）を^{かわ}躲すために巻上げ運転し、続いて固定障害物を避けるために、起し運転、さらに左旋回運転を開始している状態を示している。これによりスタート位置から目的位置に至る間に固定障害物を避けながら、運転パスを自動的に設定しこのパスを吊荷が逸脱しないように、システムが監視している事が理解できる。



- ① 自動巻き上げる
- ② 起し運転を先行スタートする
- ③ 左旋回を開始する
- ④ 自動巻き下げる

旋回・起伏運転はフuzzy制御により、荷振れ防止運転する



注：起伏・旋回の始動順序と方向は障害物の場所および目標点までの距離により自動的に切り替わる。

第5図 運転パターンと運転パスの一例

7. 使用実績と成果

7-1 使用実績①

工場内実機実験 写真-1 参照

- ・92年12月～93年 1月
- ・カジマメカトロエンジニアリング㈱ 川越工場内
- ・使用クレーン JCC-180形
- ・マスト 3 本
- ・作業半径 30m

運転成果

- ・目標位置に対する停止精度 $< \pm 1\text{m}$
- ・荷振れ程度 \leq ベテランオペレータ並みを確認した。



写真-1 工場内実機実験

7-2 使用実績②

立坑掘削工事ズリ出し作業 写真-2参照

- ・93年 5月～12月
- ・電源開発(株) 奥清津第二発電所工事
- ・使用クレーン JCC-180 形
- ・マスト 3 本
- ・作業半径 30m

運転成果

- ・前記成果の確認と
- ・繰返し作業が楽にかつ正確に行えることの実証



写真-2 ズリ出し作業

7-3 今後の使用予定

- ・近日中に都市内建築工事での使用を計画中

8. 今後の展開

本システムのブラッシュアップをはかり、下記のクレーンや各種施工用機械に応用していく予定である。

- ・各種形式のタワークレーン
- ・各種形式のダム工事用ケーブルクレーン
- ・建築工事等に使用する特殊天井クレーン
- ・各種施工用機械の自動化・リモートコントロール化

9. おわりに

今回の開発でのポイントは、荷振れをいかに少なくするか、と目標位置へいかに近付けて揚重するかであった、スラスタブレーキによる速度制御方式によるタワークレーンを対象としたが、共に当初の予測より良い結果が得られた。

今後は、今回の開発を参考にして、自動地切り装置、高精度位置決め装置等の開発を進めタワークレーンによる“自動揚重システム”を構築していきたい。

29. 地盤破壊を考慮したクレーン車の 転倒に関するモデル実験

愛媛大学：*深川 良一・室 達朗
前田道路(株)：谷上 公一

1. はじめに

筆者らは既に地盤破壊を考慮した場合のクレーン車の転倒条件あるいは転倒に対するアラームシステムについて報告してきた¹⁾²⁾。本論文では、モデルクレーン車を用いた一連の転倒実験を行い、転倒に対するアラームシステムの有効性を実験的に検討した。

2. アラームシステム構築のための地盤支持力特性の評価および危険度の定義

地盤破壊を考慮した転倒に対するアラームシステムを構築するためには地盤の支持力特性をある程度予測しなければならない。ここではその概要および危険度の定義などについて述べるが、詳細は既発表論文¹⁾を参照されたい。

アウトリガー載荷板における載荷圧力～変位関係を推定するため、宇都ら³⁾の提案している次式のような指数分布型曲線を採用した。

$$p = p_{max} \{1 - \exp(-s/\delta_s)\} \quad (1)$$

ここに、 p : 載荷圧力、 p_{max} : 極限支持力、 s : 変位、 δ_s : 形状係数である。(1)式の1例を図-1に示す。(1)式に基づいて残差平方和SSRを定義すると次式ようになる。

$$SSR = \sum [p_i - p_{max} \{1 - \exp(-s_i/\delta_s)\}]^2 \quad (2)$$

上式のSSRを最小とするように p_{max} 、 δ_s を決定する方法は非線形最小2乗法となるが、Newton法⁴⁾を用いて求めることができる。式中 n は演算に用いるデータ組数である。また、載荷圧力～変位関係において降伏支持力 p_y のときの変位 s が δ_s であるから、(1)式より次式が成り立つ。

$$p_y = p_{max} \{1 - \exp(-1)\} = 0.632 p_{max} \quad (3)$$

地盤破壊危険度 D は載荷途中の各時点での載荷圧力と(3)式より推定される降伏支持力との比率とする。よって、 k 組目のサンプリングデータが得られたときの地盤破壊危険度 $D(k)$ の定義は次式となる。

$$D(k) = p(k)/p_y(k) \quad (4)$$

この場合 $k+1 \sim k$ 組のデータを繰返し計算に用いる。またアラームシステムについては後述するが、以上の $D(k)$ の値に応じてアラームが発せられることになる。

非線形最小2乗法の演算は、具体的には以下のような要領で実施した。まず、各アウトリガーにおける載荷圧力～変位データの $(p_1, s_1) \sim (p_{10}, s_{10})$ の載荷

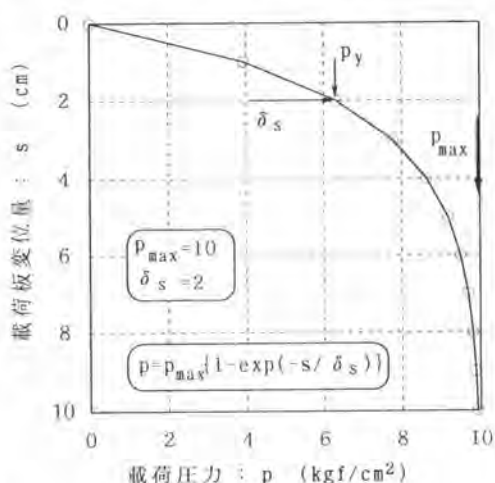


図-1 指数分布型曲線の1例
($1 \text{ kgf/cm}^2 = 98 \text{ kN/m}^2$)

初期の10個のサンプリングデータを(2)式にあてはめ、 p_{max} 、 δ_s の初期推定値 x_0 、 y_0 を設定して反復計算し、 $p_{max}(10)$ 、 $\delta_s(10)$ を推定する。勿論データ組数は任意に設定することができる。ただし、多すぎるとリアルタイム性が損なわれ、少なすぎると収束性が悪化する。ここでは10組を採用しているが、データ組数は計算機の能力に依存する。さて、次に $p_{max}(10)$ 、 $\delta_s(10)$ を初期推定値として $(p_2, s_2) \sim (p_{11}, s_{11})$ の10個のデータを反復計算し、 $p_{max}(11)$ 、 $\delta_s(11)$ を推定する。以下 $(p_3, s_3) \sim (p_{12}, s_{12})$ 、 \dots 、 $(p_{n-9}, s_{n-9}) \sim (p_n, s_n)$ とデータ10個ずつ反復計算し、順に p_{max} 、 δ_s を推定していく。载荷圧力～変位関係の推定には p_{max} 、 δ_s の初期推定値 x_0 、 y_0 が必要であるから、ここではとりあえず事前に実施した平板载荷試験より得られた p_{max} 、 δ_s を概略値として採用した。収束判定条件は、 $f(x, y) = \partial SSR / \partial x$ 、 $g(x, y) = \partial SSR / \partial y$ とすると、 $|f(x_n, y_n)| < 0.01$ 、 $|g(x_n, y_n)| < 0.01$ である。この収束条件を満たさない場合は、反復計算回数が20回を越えた時点で繰り返し計算を打ち切り、次のタイムステップでの収束計算に移行させた。

3. 砂質土盤におけるモデルクレーン車の転倒実験

(1) モデルクレーン車の概要

モデルクレーン車は次のような諸元で製作した(図-2参照)。吊り荷重量 W =可変、旋回体重量 $W_1=16.2\text{N}(1650\text{gf})$ 、カウンタウエイト重量 $W_2=5.4\text{N}(550\text{gf})$ 、キャリア重量 $W_3=97.0\text{N}(9900\text{gf})$ 、ブーム重量 $W_4=27.0\text{N}(2750\text{gf})$ 、ブーム長さ L =可変、旋回中心から旋回体重心までの距離 $l_1=2.0\text{cm}$ 、旋回中心からカウンタウエイト重心までの距離 $l_2=2.0\text{cm}$ 、旋回中心からキャリア重心までの距離 $l_3=3.0\text{cm}$ 、アウトリガー張り出し幅 $r_1=28.0\text{cm}$ 、旋回中心から前アウトリガーまでの距離 $r_2=24.0\text{cm}$ 、旋回中心から後アウトリガーまでの距離 $r_3=39.0\text{cm}$ 、ブーム角度 α =可変、旋回体回転角度 θ =可変である。モデルクレーン車の概略図は図-3に示す。油圧シリンダは最大耐圧 $3.5\text{MN/m}^2(35.7\text{kgf/cm}^2)$ のもの、油圧ポンプは最大圧力 $686\text{kN/m}^2(7\text{kgf/cm}^2)$ のものを使用した。

(2) 実験方法

モデルクレーン車の転倒実験は豊浦標準砂から成るモデル砂地盤上で行なった。上槽は一辺120cmの正方形で、標準砂は

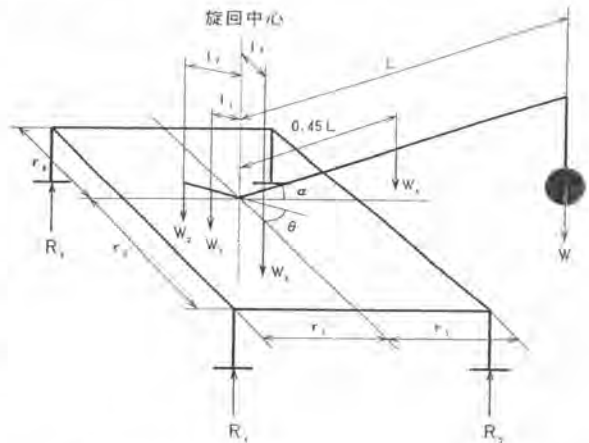


図-2 モデルクレーン車に作用する力と作用点

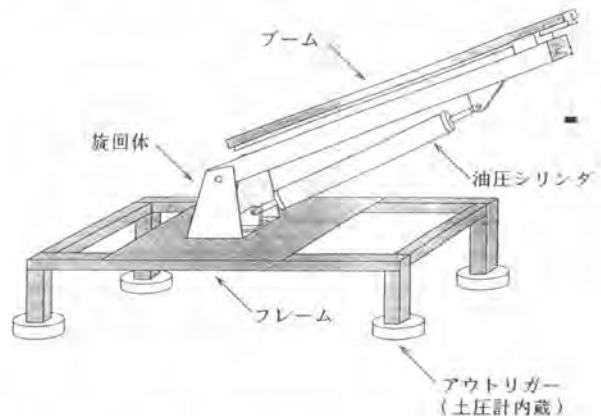


図-3 モデルクレーン車の概略

約15cmの深さで敷き詰めた。アウトリガー下部載荷板の直径5cmに対し土槽深さは約3倍の15cmであるので、すべり面は土槽底とほぼ干渉しないと判断できる。標準砂の比重は2.56、気乾状態の試料の含水比 w は平均0.32%、試験地盤の平均相対密度は約60%であった。コーンペネトロメータを用いてモデル地盤の均一性を予め確認している。

モデルクレーン車の3箇所のアウトリガー載荷板には土圧計を組み込んだ。また、その内2個のアウトリガーにはストローク30mmの変位計を取り付けた。データのサンプリング間隔は約2秒とした。上方から見た各計器の設置位置と旋回体角度 θ でのブーム位置を図-4に示す。

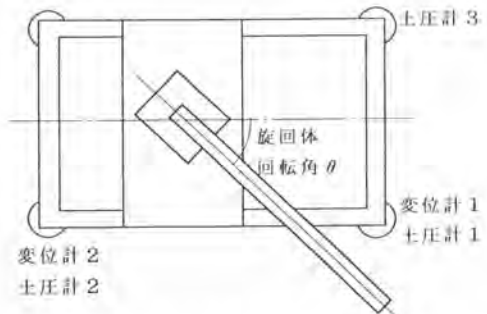


図-4 各計器の設置位置と旋回体回転角

まず、表面の均された砂地盤上にモデルクレーン車を水平に静かに設置した。モデルクレーン車は旋回体の向きにより重心位置が変化するため各アウトリガーにおける沈下量は一定ではないが、平均3mm前後沈下した。本報告で述べる載荷板変位量は、こうして沈下した初期状態を基準状態（即ち0）とした。

ブーム初期仰角は、吊り荷と土槽壁との干渉を防ぐため 45° の一定角度とし、以後の全ての実験において一定とした。また、ブーム長さも83cm（最長）で一定である。

次にモデルクレーン車を転倒させ、警報システムを作動させる実験を行なった。載荷方法は約0.2kgの重りを載荷時間間隔一定の10秒で順に載せていく方法をとった。転倒に至るまでのデータで収束計算させるため、旋回体角度は実際に転倒した $\theta = 70^\circ, 90^\circ$ で行なった。

(3) アラームシステム

アラームシステムは変位計1と土圧計1、変位計2と土圧計2（図-4参照）を設置しているそれぞれのアウトリガーにおいて独立して危険度を判断する2系統の収束計算を行うものとした。アラームシステムのプログラムのフローチャートを図-5に示す。データ数が10個以上であれば収

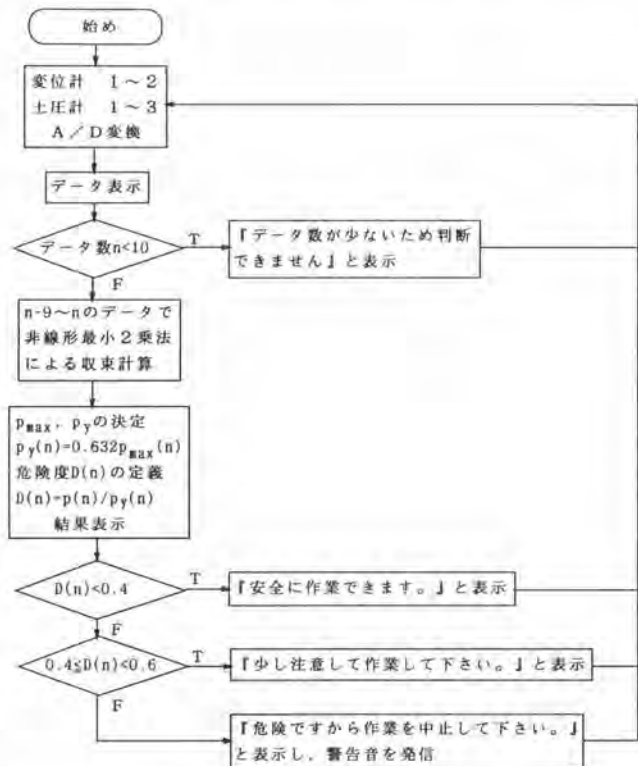


図-5 アラームシステムのフローチャート

束計算を行い、各アウトリガー別に危険度を判断し、危険度の程度により対応するコメントがパソコンのスクリーンに表示されるようにした。もちろん、どちらか一方のアウトリガーで危険側の条件を満たすようであれば危険側の判断として処理されるようにしてある。また、各コメントにあわせてスクリーン上のカラーも青、黄、赤と変化させ、視覚的にも危険度を伝える工夫をこらした。特に危険度Dが0.6を超えると警告音も発信されるようにした。システム作動中のパソコンスクリーンの表示例を図-6に示す。

(4) 実験結果と考察

旋回体角度 $\theta=70^\circ$ における予測された危険度と載荷圧力の関係を図-7に示す。グラフより危険度が1を越えた時点で転倒していることから、ほぼ正しい予測ができたといえる。旋回体角度 $\theta=70^\circ$ における予測された危険度と変位の関係を図-8に示す。変位が1cm付近ですでに土圧計2における危険度が0.7を超えており、しかも段階的に変位が進行しているため危険性が高いといえる。旋回体角度 $\theta=70^\circ$ における予測された極限支持力と荷重の関係を図-9に示す。土圧計1,2の双方の結果からいえることは極限支持力がおよそ 196kN/m^2 (2kgf/cm^2)に収束計算されていることである。載荷圧力の増大に連れ推定される P_{max} の値がほぼ一定位置に収束してくることがわかる。旋回体角度 $\theta=70^\circ$ における予測された形状係数と載荷圧力の関係を図-10に示す。グラフから形状係数についても2cm前後に収束することがわかる。

旋回体角度 $\theta=90^\circ$ における予測された危険度と載荷圧力の関係を図-11に示す。大まかな傾向は $\theta=70^\circ$ の場合と同様である。 $\theta=90^\circ$ であっても若干重心位置が土圧計2側に偏っているため、土圧計2の方で沈下がより速く生じていることがわかる。予測された極限支持力と載荷圧力の関係を図-12に

INPUT FILE NAME ? 45-40		DATE	TIME	COUNT
初期推定値(P1, Si) ? 1.2, 0.5		1994-02-09	14:25	134
CHANNEL	DATA	Pmax	δs	D
変位計 No.1	0.86 cm	2.28	2.48	0.62
変位計 No.2	0.67 cm	? 2.58	? 2.20	? 0.48
土圧計 No.1	0.986 kgf/cm ²	< SAFETY INDICATOR > 危険ですから作業を中止して下さい。		
土圧計 No.2	0.821 kgf/cm ²			
土圧計 No.3	0.574 kgf/cm ²			

図-6 アラームシステムのパソコンスクリーン上表示例

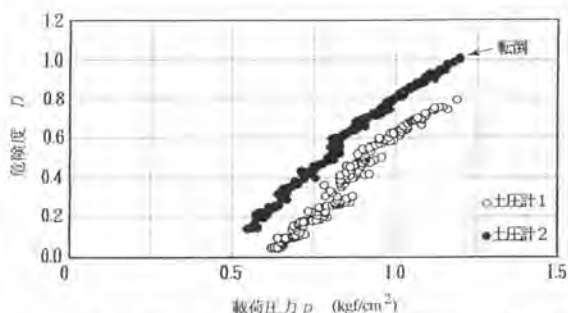


図-7 $\theta=70^\circ$ における危険度と載荷圧力の関係
($1\text{kgf/cm}^2=98\text{kN/m}^2$)

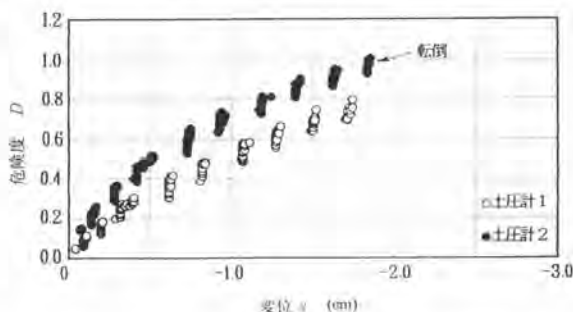


図-8 $\theta=70^\circ$ における危険度と変位の関係

示す。これも $\theta=70^\circ$ の場合とほぼ同様の値に収束した。地盤の初期状態はいずれの実験でも同様であるので以上の結果は妥当なものである。いずれにしろ $\theta=90^\circ$ の場合もほぼ適切に危険度の表示がなされ、危険度が1を越えた時点でモデルクレーン車の転倒が発生した。以上の結果は本報告で提案したアラームシステムの妥当性を示すものであると判断できる。

本研究で行ってきた载荷圧力～変位関係推定によるアラームシステムは、地盤の種類、状態あるいはブームの操作などにより式(1)で表現しきれないような荷重～変位関係が現れたとき誤作動の原因となりえる。例えばブームの α 、 θ を相対的に速い速度でしかも同時に変化させるような場合である。ただし、こうした例は吊り荷荷重が比較的小さい場合、つまり転倒にいたらない場合が多いと判断できるから、本報告で提案したアラームシステムが有効に作動できるような場合も多いと考えられる。勿論地盤が堅固な場合のクレーン車に作用するモーメントの釣合に基づく転倒条件も合わせて考慮しなければならないから、現行のモーメントリミッタ等の安全装置などと併せて本アラームシステムが運用されることが望ましい。

4. 結論

本研究で得られた主要な結論を以下にまとめる。

- (1) アウトリガー载荷板直下での载荷圧力～変位関係から地盤破壊をリアルタイムに予測できるアラームシステムを作成した。このシステムは、モデルクレーン車の転倒に対し、危険度に応じて適切な警報を発することができた。また危険度とクレーン車の転倒とは良好な対応関係を示した。
- (2) 本論文で提案したアラームシステムはその適用性に関してさらに検討を重ねる必要があるが、現在

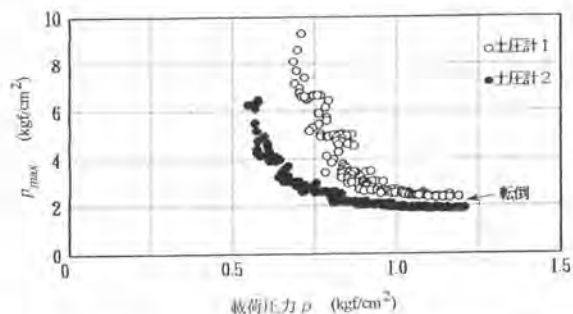


図-9 $\theta=70^\circ$ における極限支持力と载荷圧力の関係
($1\text{kgf/cm}^2=98\text{kN/m}^2$)

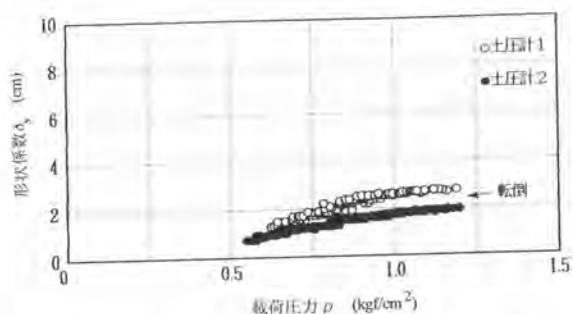


図-10 $\theta=70^\circ$ における形状係数と载荷圧力の関係
($1\text{kgf/cm}^2=98\text{kN/m}^2$)

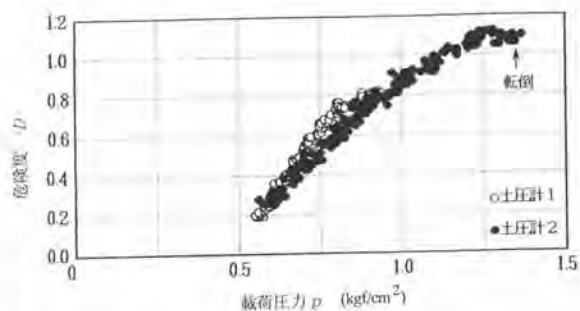


図-11 $\theta=90^\circ$ における危険度と载荷圧力の関係
($1\text{kgf/cm}^2=98\text{kN/m}^2$)

クレーン車に装備されている演算機能付きモーメントリミッタ等のシステムと併せて運用できればさらに安全性を高めることができる。

5. 参考文献

1) Fukagawa, R. and Muro, T.: Alarm system to prevent the overturning of truck cranes considering possible ground failure, Proc. of the 11th Int. Symp. on Automation and Robotics in Construction, Brighton, U.K., pp.27-34, 1994.

2) 深川良一・室達朗・加藤祐理・森田悠紀

雄；地盤破壊を考慮したクレーン車の転倒条件解析、土木学会論文報告集（投稿中）

3) 宇都一馬・冬木衛・桜井学：杭の載荷試験結果の整理方法、基礎工、1982年9月号、pp.21～30、1982.

4) T.R.マッカーラ著、三浦 功、田尾陽一共訳：計算機のための数値計算法概論、サイエンス社、pp.55～79、1986.

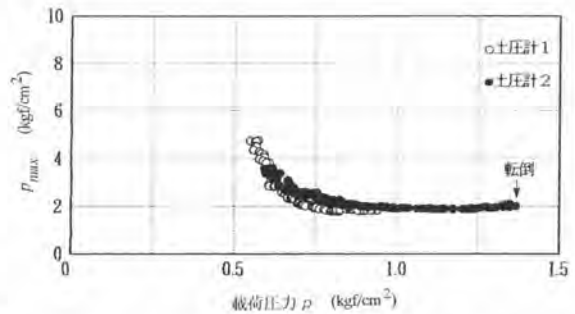


図-12 $\theta=90^\circ$ における極限支持力と載荷圧力の関係
($1\text{kgf/cm}^2=98\text{kN/m}^2$)

30. 吊荷姿勢制御装置による ビル外壁PC板取付作業の効率向上

五洋建設(株)：*水上 邦彦・田坂 哲美
谷 雄一

1. はじめに

近年、鉄骨造の建物では外壁に重厚感・高級感のある仕上りの得られるPC板を使用する事が多いが、PC板を取付ける作業は風のある場合、平板状のPC板が空中で回され危険な作業となる。この為、強風時は作業中止を余儀なくされ、工程遅延をもたらす。またPC板の鉄骨躯体への取付は、細かい位置合わせを必要とし時間と労力を要する。

当社ではこれらの問題を解決すべく吊荷姿勢制御装置を開発し、実工事に適用した結果、予想通りの効果を得て施工を完了した。以下、本装置の概要と施工事例について報告する。

2. 吊荷姿勢制御装置

2. 1 装置の概要

本装置は、ファン推力により風等による吊荷の回転を防ぎ、向きを制御する機能を持つ。この機能のみを持った装置は既に数種存在するが、本装置はさらに油圧シリンダーによる吊荷位置制御機能を有する事を特徴としている。この機能は、在来のPC板取付作業を分析する中で、作業性と安全性を向上させる為に有効と判断した結果、新たに開発し付加したものである。

写真-1、図-1に施工状況および装置概念図を示す。



写真-1 施工状況

2. 2 各機能と効果

① 吊荷の回転防止・方向制御

両端に装備したファンにより、風等による吊荷の回転を止め、吊荷を任意の方向に向ける事ができる為、クレーン作業の際、吊荷が建物等に接触する危険、および人手あるいは補助ロープで吊荷の回転を止める様な危険な作業が避けられる。また外壁PC板の取付作業等では、搬送中に吊荷を取付の向きに合わせる事で、取付場所ではただちに取付作業にかかれ、作業時間短縮がはかれる。ファン速度は高・低の2段階、ファンの取付巾もガードー折たたみにより2段階選択可能である。

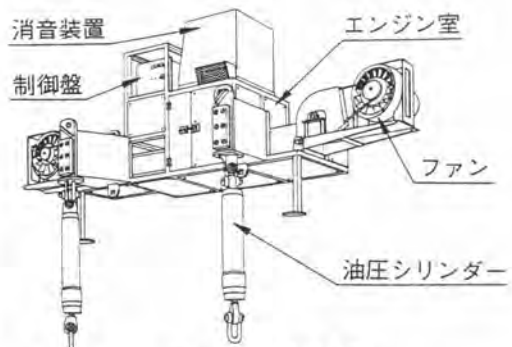


図-1 装置概念図

② 吊荷位置制御

本装置の特徴である本機能は、図-2に示す様に左右2ヶ所の吊点に装備した油圧シリンダーにより吊荷の高さおよび傾きを制御出来るというものである。たとえばPC板取付作業の際、ファスナーへの細かい位置合せが、クレーンに頼らず手元において作業者の意志通り操作出来る。

また、シリンダーを一定ストロークで微動させるイン칭ング機能を付加しており、より微妙な位置合わせが可能で、取付作業の迅速化がはかれる。

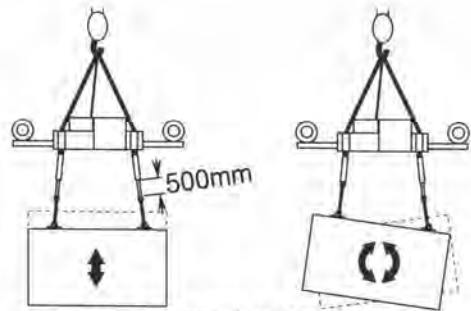


図-2 高さおよび傾き制御

③ イコライザー機能

油圧シリンダーは、図-3に示す油圧回路の切替により左右の荷重を均等に出来る為、片側だけに過大な力がかかる事を防ぎ、吊金物破損あるいは埋込金物引抜等の危険性が減少する。

また、この機能により図-4に示す様なL型PC板を立起こす際、吊ワイヤー繰出量を立て起こしに従い自動追従調整する為、チェンブロック等による煩雑な長さ調整が不要となり、作業の省力化と安全性が大幅に向上する。

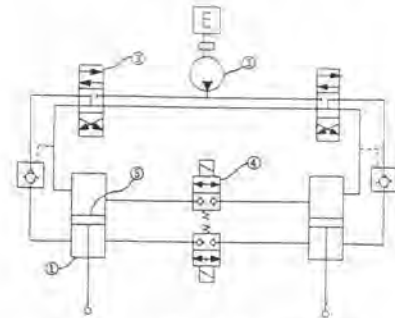


図-3 イコライザー油圧回路

④ 低騒音の動力源

防音対策を施した本体に動力源としてガソリンエンジンを組み込み、外部電源供給等が不要で、騒音を気にする事なく、市街地を始めどのような場所でも使用が可能である。

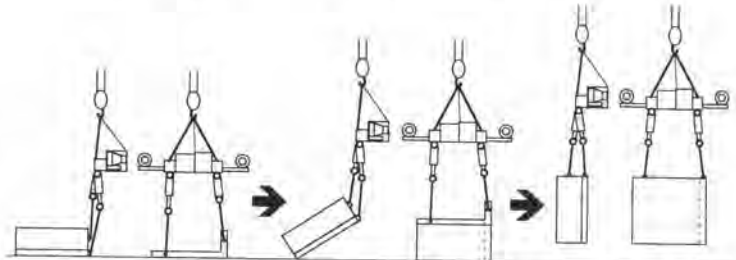


図-4 イコライザー機能を利用したL型PC板の立て起こし

⑤ 無線遠隔操作

運転操作はデジタル伝送方式の無線式指令機にて行い、使用電波の多い街中でも他の電波による誤動作が起きにくい。

⑥ 吊荷の自動方向制御

オプションとして、風などの外乱により吊荷が回転させられた場合、設定した方向に吊荷を自動的に保つ、光ファイバージャイロを使用した自動方向制御装置を装備出来る。

⑦ 主な仕様

本機の主な仕様を表-1に示す。

表-1 吊荷姿勢制御装置 仕様

項目	仕様
吊上荷重	6 ton
主要寸法 幅 奥行 高さ	3,500mm (折畳時 2,070mm) 1,200mm 2,480mm (シリンダ収納時 1,550mm)
重量	約 930 kg
動力	ガソリンエンジン (13ps) 消音装置付 油圧ユニット (210kg/cm ²)
ファン	油圧駆動 回転数 4,800rpm(高)/3,500rpm(低) 口径 180mm φ (一方向吹出) 推力 11kg (1台当)
油圧シリンダ	ストローク 500mm
無線装置	特定小電力無線 サイクリックデジタル伝送

3. 施工事例

3.1 性能試験

各機能の検証と性能確認の為、性能試験を実施した。表-2に回転性能の試験結果を示す。表の結果に示す様に、静止状態から90°回転する時間が20秒程度という結果は、操作感覚上適当な速度と考えられる。

表-2 回転性能試験結果

試験条件		試験結果	
Test Weight	Fan	90°	180°
3.5 ton	Wide High	16.50	24.30
B 6.1m×H 1.9m	Narrow High	24.00	36.90
7.3 ton	Wide High	23.80	37.70
B 6.1m×H 1.9m	Wide Low	47.80	71.30

Unit: sec

3.2 PC板取付工事

本装置は福岡市内のビル外壁PC板取付工事に適用した。

この工事は冬から春の風が強い季節にかけ外壁PC板の取付工事となる事、および施主より工期短縮の要請があった事から施工への適用を決定した。

① 建築概要

建築概要を表-3に現場の平面配置を図-5に示す。また最多形状のPC板を例として図-6に示す。

表-3 建築概要

建築面積	1169.92m ²		
延床面積	14261.87m ²		
構造・階数	S造：地上12階、塔屋1階 SRC造、RC造：地下3階		
工期	'93年1月12日～'94年10月31日		
PC板数量	一期	'93.12.21～'94.2.01	304 p
	二期	'94.3.16～'94.4.14	370 p
		計 674 p	
その他	PC板：磁器タイル打込		
	重量 1t～6t		
クレーン：JCC-230II			

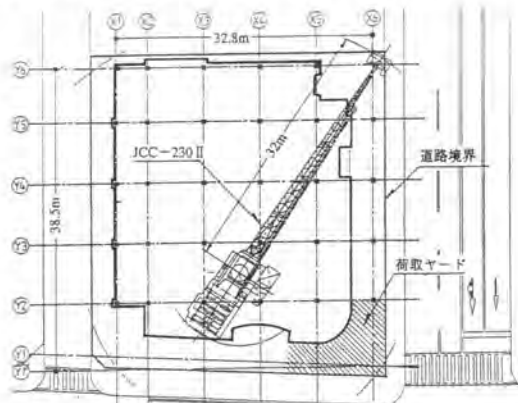


図-5 現場平面配置

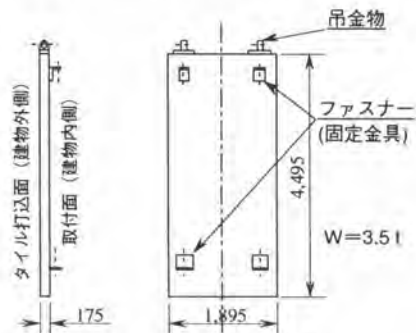


図-6 PC板形状(例)

② 施工状況

PC板取付工程は鉄骨建方の関係で一期と二期に分けて施工した。一期の計画取付枚数はPC板製作工程により日当たり10枚、二期では作業の習熟とPC製作工程の見直しから15枚とした。

取付作業は一期工事においては午前中、二期においても14時半に終了し、その後は他工種でのクレーンの使用が可能となった。

図-7に一日当りの各作業時間構成を示す。PC板取付の所要時間は1枚当たり平均21分であり、そのサイクルタイム内訳を、本装置を使用せずに施工した時のものと比較し、図-8に示す。



写真-2 施工状況

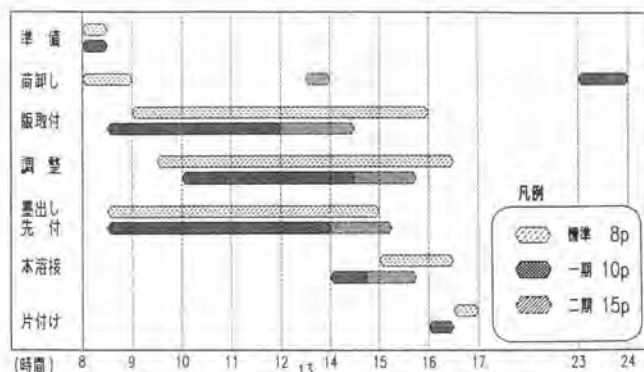


図-7 作業時間の構成



図-8 サイクルタイム

③ 施工結果のまとめ

PC板取付実績のまとめを表-4に示す。表に示す様に、一日当りの取付枚数はほぼ計画通りとなった。全工程平均では一日当たり12枚となり、装置不使用の当初計画と比較し、施工率が50%向上した結果、PC板取付工程では30%余の工期短縮を実現した。

図-9は取付実績の出来高グラフである。図の下部に○および◎印にて風の強い日を示したが、最大風速10m/s以上の日においても施工率は低下する事なく取付作業を行う事が出来た。

表-4 取付実績

項目	日当取付枚数	
	一期	二期
計画	10 P/day	15 P/day
実績	9.8 P/day	14.8 P/day
全工程平均	8 P/day (装置不使用)	
	実績 12 P/day	

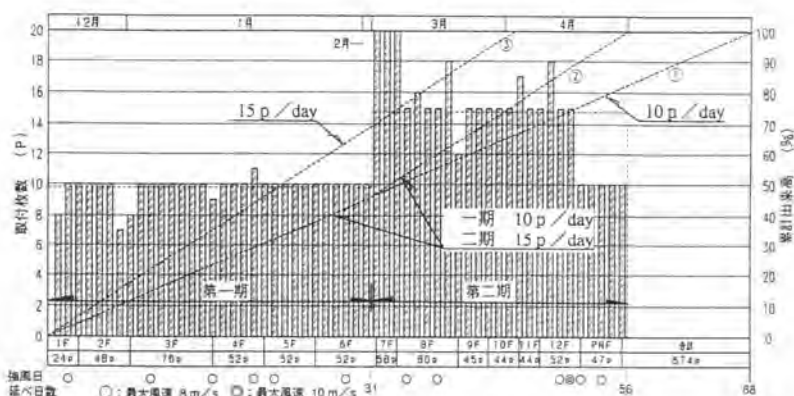


図-9 PC板取付実績出来高

4. おわりに

本報告にて述べた作業の効率向上は、単に開発した吊荷姿勢制御装置の機能によるものだけではない。加えて関係者による本装置導入を前提とした環境づくりと効率向上への種々の取組が、装置の機能を最大限に発揮させた結果と言える。

本報では吊荷姿勢制御装置の建築工事における施工事例を報告したが、土木分野においてもクレーンによる揚重搬送、更には位置決めを必要とする作業は種々存在する。当社においても本装置を土木分野の施工に適用し、効果をあげた例もある。

したがって本報告が同様の問題を抱える各位の参考になれば幸いであり、また今後我々も本装置の適用性を拡大するべく、さらなる検討を行ってゆく所存である。

31. 昇降クレーン“にあげラクだあ”の開発

(株)フジタ：*組田 良則・小田 博志
加来 哲彦

1. はじめに

建築工事において、仕上げ工事の時期には非常に多くの仕上げ材が建物内に搬入されることになり、この仕上げ材をいかに効率よく搬入するかは、現場担当員として常に頭を悩ますところである。

現在主に採用されている搬入機械としては、ロングスパンエレベーターあるいは建設用ロングリフトなどのエレベーター形式のものと、タワークレーン、クローラークレーンなどのクレーン形式のものがある。ロングリフトなどでは、揚重機への荷の積み込み及び各階での荷降ろしは、ほとんどが手作業でおこなわれており、多くの人手と時間を要し、キツイ作業になっている。一方クレーンにおいても、各階に荷を取り込むための荷取りステージが必要になり、荷の建物内への取り込みは同じく手作業となり人手と時間を要するものになる。

そこで、荷の各階への搬入に極力手間がかからず、荷取りステージも不要となるような機械として、以下に説明する「昇降クレーン」（にあげラクだあ）を開発し、現場で使用することでその有効性を確認した。

2. 昇降クレーン概要

「昇降クレーン」本体は以下の4つに分かれる

- ①伸縮式ブーム・旋回フレイム
- ②昇降フレイム
- ③ガイドレールマスト
- ④基礎ベース

資材の搬入時における基本的な動作・機能としては以下のとおりである。

- ①荷を搬入する階まで、昇降フレイムがガイドレールマストに沿って、昇降する。
- ②伸縮式ブーム先端からワイヤを巻き下げ、地上階で荷をつり上げる
- ③ワイヤを巻き上げ、旋回フレイムが建物側に旋回する
- ④伸縮式ブームが建物内まで伸びて吊り荷を下ろして搬入する

また、マスト最上部（屋上階）では通常のクレーンと同等の機能をもつものである。



写真-1 クレーン全景

3、システム構成及び自動運転

当クレーンは、クレーン本体と自動操作盤からなっており、クレーンの運転操作は、基準階（通常1階）に設置されたコントロールルームにて、オペレーターがおこなう。操作方法は、半自動運転と手動運転の2種類で、どちらにおいてもITVモニタにて、周囲の状況を監視しながら操作をおこなう。自動運転において、全自動運転ではなく半自動運転としたのは、「図-2 半自動運転フローチャート」でもわかるとうり、玉掛け・玉はずし、または指定階にブームを差し込む前に、扉を開けるなどの人手を介する作業が混在するためであり、その都度指定階作業員とオペレーターとで会話をしながら確認し、次のステップにすすめるようにしている。



写真-2 建物内への差し込み

半自動運転時の設定入力事項は

- ①搬入階（本体停止階）
- ②建物側（ブームを伸ばす側）の旋回角度
- ③建物内部へのブームさし込み長さ
- ④ワイヤ下げ長さ

の4項目であり、搬入階以外はほとんど変える必要がないため、同じ階への搬入が連続する場合は、スタートボタンと確認ボタンを押すだけで操作が可能になる。

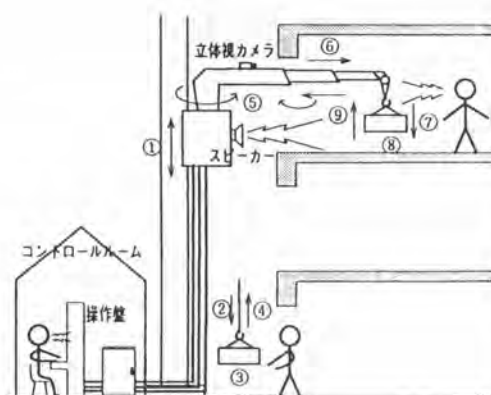


図-1 システム構成図

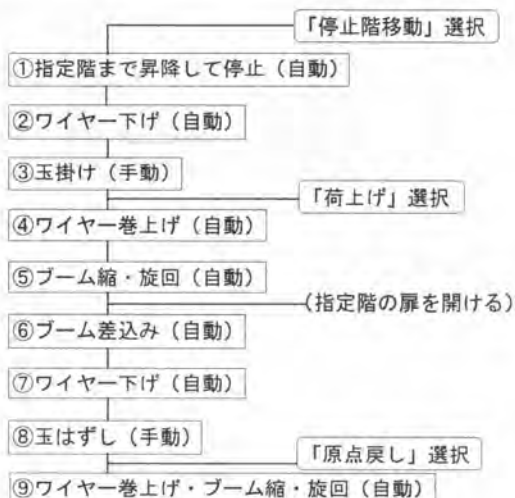


図-2 半自動運転フローチャート

4、VRを利用した手動運転

当クレーンの特徴のひとつとして、VR（バーチャルリアリティ）技術の応用があげられる。クレーン本体に設置してある指向性マイク、スピーカーをとうして、オペレーターと作業員とがハンドフリーで会話ができるようになっている。さらにブームには立体視カメラが設置してあり、ブーム先端及び、吊り荷の状況が確認できる。

荷上げ時の基準階（1階）での玉掛け作業などでは、コントロールルームの窓から

直接合図を確認できるが、荷取り階（2階以上）ではモニターをとうして作業員の合図（指示）を確認する。通常は片側のカメラの映像だけで運転操作が可能であるが、建物内にブームを差し込む時、

- ・ブーム上端と梁下との位置関係（ぶつからないかどうか）
- ・搬入位置とブーム先端の位置関係（前後、左右のズレ）

などの確認のために、立体視モニターを利用している。



写真-3 ブームに設置した立体視カメラ



写真-4 クレーン操作盤（右側：立体視モニタ）

5、昇降クレーンによる効果・特徴

- ①荷捌から垂直搬送、荷の取り込みまでの作業が一工程で済み大幅な省力化、効率化が図れる
- ②搬送作業にかかわる作業員が少なくすむ
- ③荷上げだけでなく建物内で発生した残材、ゴミの荷降ろしや、各階間の資材移動などにも利用ができる（荷を吊ったままでの各階昇降が可能）
- ④立体視カメラ・マイク・スピーカーにより、コントロールルームで吊り荷位置での作業状況の確認ができるので、微調整が可能で、安全性も向上されている
- ⑤コントロールルームでの操作は講習さえ受ければ、女性の採用も可能である

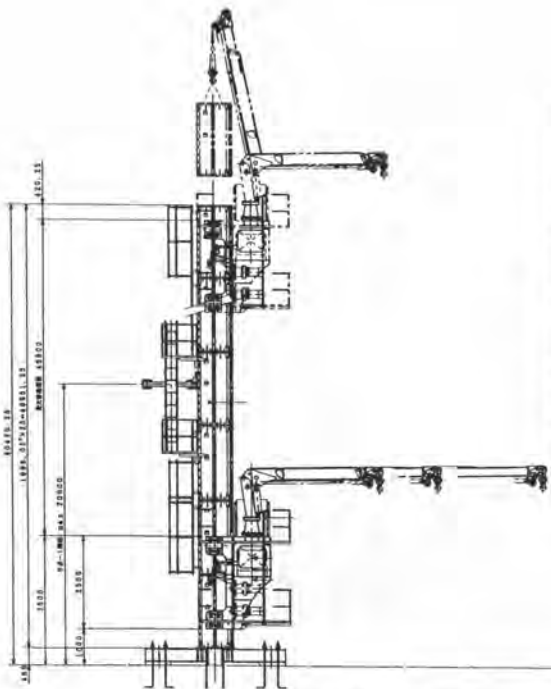


図-3 クレーン本体図

定格荷重	1000Kg	1000Kg	650Kg
作業半径	~3.4m	~5.0m	~7.8m
ジブ長さ	3.1m~7.48m		
ジブ起伏角度	1度~7.8度		
最大揚程	5.0m		
最大マスト高さ	5.0, 4.3m		
巻上速度	2.0m/min		
巻上方式	油圧モーター		
鋼索	Φ8 ゴ/ロ-プ型 B種		
掛け数	2本掛け		
起伏速度	6.2°/min		
起伏方式	油圧シリンダー		
回転速度	0.6rpm		
回転電動機出力	油圧モーター		
昇降方式	フックピッチ方式		
昇降速度	50Hz 3.3m/min 60Hz 4m/min		
昇降電動機出力	3.7kw 4p × 2台		

6、問題点及び対策

問題点及び検討事項	対策
ブーム伸縮時のワイヤ上下をなくす	巻き上げ、下げ用油圧モーターを電動ウインチに変えて、ブーム伸縮と独立機構にする
作業半径、最大吊り荷重を大きくする	旋回台座部の設計強度を増して、現状より能力の高いクレーンを載せる
マストを安価にする 基礎ベースを小さくする	自立高さ（現状2.0m）の設定と水平控えのピッチを短くし、控えの取り付けを簡単にする
昇降スピードを速くする	荷を吊って昇降させなければ速くできる 荷重の有無で昇降スピードを変える
吊り代を短くする	吊り治具の検討
荷揺れ防止	揺れ止め装置や回転制御装置などを検討開発してフックにとりつける

7、おわりに

今回、昇降クレーンの開発・現場への適用をとうして、当クレーンの有効性が確認できたので、今後は上記問題点を解決することで、多様な現場に採用できるよう進めていく必要がある。

32. ジャイロモーメントを利用した吊荷制御装置の開発

(株)大林組：井上 文宏・福田 一成
脇坂 達也

1. まえがき

建設工事におけるクレーンを用いた鉄骨梁や外壁PCa板などの揚重、取付けする作業では、資材の旋回を極力抑制し、さらに建込み易い位置で資材を受取ることが、作業効率や安全性の面で理想的と考えられる。しかし、超高層ビルや湾岸等に面した建設現場、荷取スペースが狭く広範囲に資材を回転移動させる建設現場では、強い風やクレーンの動きに伴う慣性等によって、資材の向きが頻繁に変化し、最悪では旋回し始めることもしばしば経験されている。

これまで吊荷旋回を制御する装置の開発には軸流ファンを用いた流体反力による手法が主に利用されているが、その応答性は緩慢であり、正確な位置決めはかなりの熟練を必要とする。また装置本体が大型、高重量となり、騒音発生の問題も残されている。

そこで、本研究開発では吊荷の正確な旋回位置決めと外力に対する姿勢保持を目的とし、自由空間でも高出力の旋回モーメントが得られるジャイロ効果

に着目して、吊荷制御装置への適用、開発を行った。本論文では装置の概要、ジャイロ効果を用いた旋回位置決めシミュレーションおよび実際の建築現場における適用試験の結果について記述する。

2. 吊荷制御装置の概要

2.1 装置の構成と仕様

開発した吊荷制御装置の外観写真を図1に、その標準仕様を表1に示す。本装置は吊桁の中央に固定し、装置内部で発生する垂直軸まわりのジャイロモーメントを吊桁に伝えることによって、吊荷の旋回と姿勢保持を制御する。装置の内部は中央にモーメントを発生させるアクチュエータ部、両側部に制御系、無線受信機および電源がそれぞれ装備されている。以下に本装置の特徴を示す。

(1) 吊荷定格と旋回速度 吊荷定格は形状と重量から定まる極慣性モーメントを基準とし、定格以下では、90度を15秒の速度で旋回するように設定されている。極慣性モーメントが定格を越える場合でも吊荷の旋回は可能であり、若干の速度低下が生じるのみである。

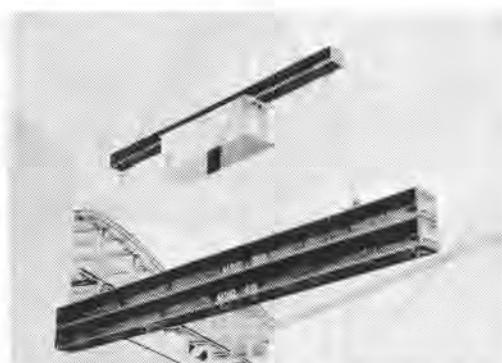


図1 ジャイロモーメント式吊荷制御装置の外観

表1 吊荷制御装置の仕様

寸法	法	(縦) 0.5m × (横) 1.4m × (高さ) 0.5m
自重	重量	400 kg (吊桁含まず)
駆動	方式	ジャイロモーメント方式
吊荷定格極慣性と旋回速度 (吊荷例)		6 ton m ² ; 90 [deg] / 15 [sec] パネル: (横幅) 3m, (重量) 8ton 鉄骨梁: (横幅) 6m, (重量) 2ton
操作	方式	回転: 無線方式, 静止: 自動方式
供給	電源	蓄電池 (DC 12V) 2台

(2) 操作方式 遠隔無線操縦により100m範囲内で制御することができる。通常、地上階と作業階の作業員が2つの操作器を持つ。入力信号は先行優先、再信号が入力されるまで現操作機能を維持する。

(3) 供給電源 蓄電池を使用し、連続8～10時間の連続運転が可能である。また、作業終了後の夜間充電により連日の使用が可能である。蓄電池を使用するため騒音は全く発生しない。

(4) 安全装置 吊荷の旋回中には警告ランプが点灯し、旋回方向を知ることができる。

2.2 ジャイロ効果と吊荷の旋回挙動

本装置で利用するジャイロ効果とは、図3(a)に示すように、水平軸(X軸)に置かれたフライホイールを高速に回転させ、ジンバルを介してY軸まわりに所定の角速度を与えることによって、鉛直軸(Z軸)まわりの旋回モーメントを得るものである。フライホイールの極慣性および角速度を IG 、 $\dot{\omega}$ 、Y軸まわりの角速度を $\dot{\theta}$ とすると、その出力モーメント M は、式(1)で示される。

$$M = IG \cdot \dot{\omega} \cdot \dot{\theta} \quad (1)$$

本研究では、まずジャイロ効果による吊荷の動きを把握するため、モデル試験機と数値解析によるシミュレーションを行い、実機吊荷制御装置に対する各種のパラメータを決定するデータとした。

(1) 吊荷の旋回位置決め 静止状態から、吊荷を旋回させ、所定の位置で停止させる挙動をシミュレーションによって明かにした。図2にジンバル(Y軸)および吊荷(Z軸)の角速度 $\dot{\theta}$ 、 $\dot{\phi}$ および変位角 θ 、 ϕ の関係を示す。また、図3に各状態のジンバルと吊荷の概略的な説明図を示しておく。

(a) 静止からの旋回開始 時刻A($t=0$)でジンバル軸のモータに入力トルク T を与えることにより、ジンバルは角速度 $\dot{\theta}$ で回転し、Z軸回りには式(1)に対応するモーメント M が発生する。これに伴い吊荷はその慣性によって瞬時に旋回を開始する。(図3(a))

(b) 等速旋回 その後時刻Bでジンバルがある角度で停止すると、吊荷は一定の角速度 $\dot{\phi}$ で旋回し始める。この時、モータの入力トルク T と吊荷(Z軸)の旋回に伴って発生するY軸回りのジャイロモーメント N とは釣合った状態にあり、したがって入力トルク T を調整することにより吊荷の旋回速度 $\dot{\phi}$ をある範囲で制御することができる。(図3(b))

(c) 旋回状態からの停止 時刻Cでジンバル軸に与えたモータの入力トルク T を0にする。Y軸におけるモーメントの釣合が崩れ、ジンバルは逆向きに回転する。これによって、式(1)で示した逆向きのモーメント $-M$ がZ軸まわりに作用して、吊荷は瞬時的に停止する(時刻D)。(図3(c))

このようにジャイロ効果を利用した場合には、旋回の開始および停止の応答性が鋭敏であり、入力トルクを微小時間間隔でオン・オフすることで高精度の位置決めが可能となる。また実機装置の挙動もシミュレーションの結果と同様であり、所定の能力が得られたことを確認した。

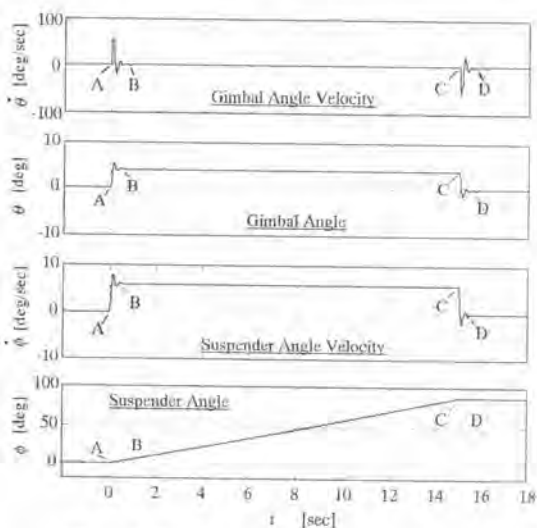


図2 旋回位置決めシミュレーション

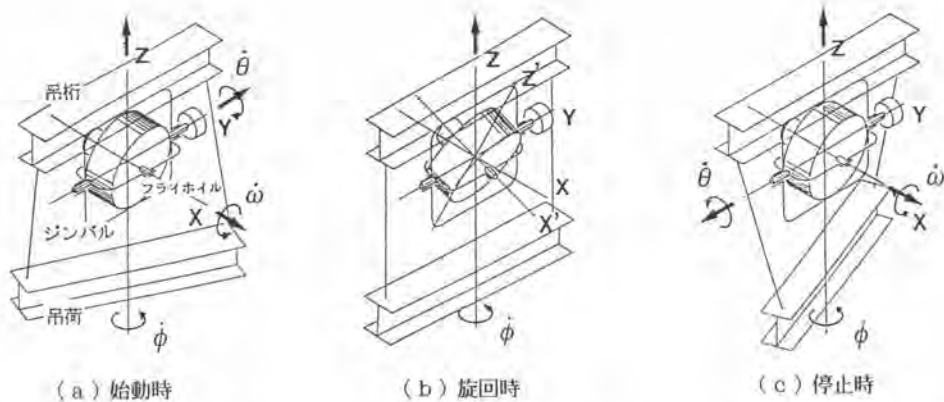


図3 ジャイロ効果を利用した吊荷の旋回位置決め挙動説明図

(2) 姿勢保持 ジンバル軸に入力トルクが作用しない状態では吊荷は静止状態を維持しようとする。これは風などの外乱によって、吊荷に瞬時的な入力モーメント M_z が作用すると、ジャイロ効果によりジンバルが回転させられ、これによって発生するZ軸まわりのモーメントが吊荷の入力モーメントに対し逆向きに作用するためである。したがって二つのモーメントは相殺され、吊荷は静止状態を保つことができる。抵抗力は加えられる外力の早さと大きさに比例する。

(3) 旋回フリー ジンバル軸を強制的に拘束することで、ジャイロモーメントの発生を抑える。制御装置のない通常の状態となり、手で吊荷を旋回することができる。

3. 吊荷制御装置の現場適用

開発した吊荷制御装置は既に数カ所の建設現場に導入され、実際の揚重、取付け作業に適用されている。ここでは超高層ビル建築現場におけるアルミカーテンウォールの取付け作業に適用した一例について報告する。本現場では強い風により吊荷が回転し、取付けが困難となるため、本装置の導入を行った。

3.1 作業工程

カーテンウォール揚重、取付けの作業工程および吊荷制御装置の操作状態のフローシート図4に示す。吊荷装置の使用と操作方法は以下ようになる。

(a) 玉掛け作業前 地上階での無線操縦により、吊桁を旋回させ、玉掛け位置まで移動させる。

(b) 揚重時 無線操縦を解除し、吊荷制御装置を姿勢保持モードに設定する。風などの外乱に抵抗して旋回を抑制し、揚重の初期位置を極力保持させる。

(c) 建込み作業前および作業時 取付け階の無

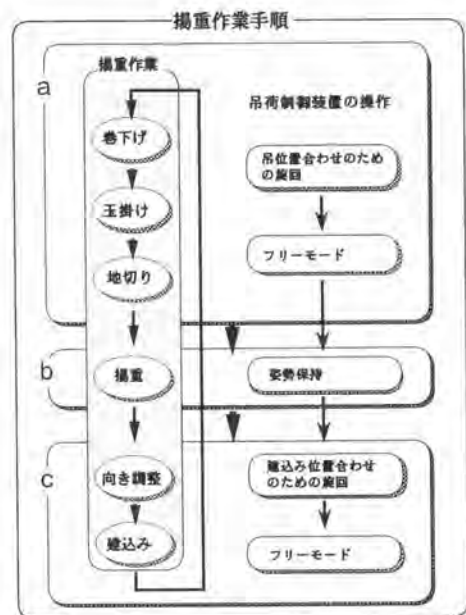


図4 作業工程のフローシート

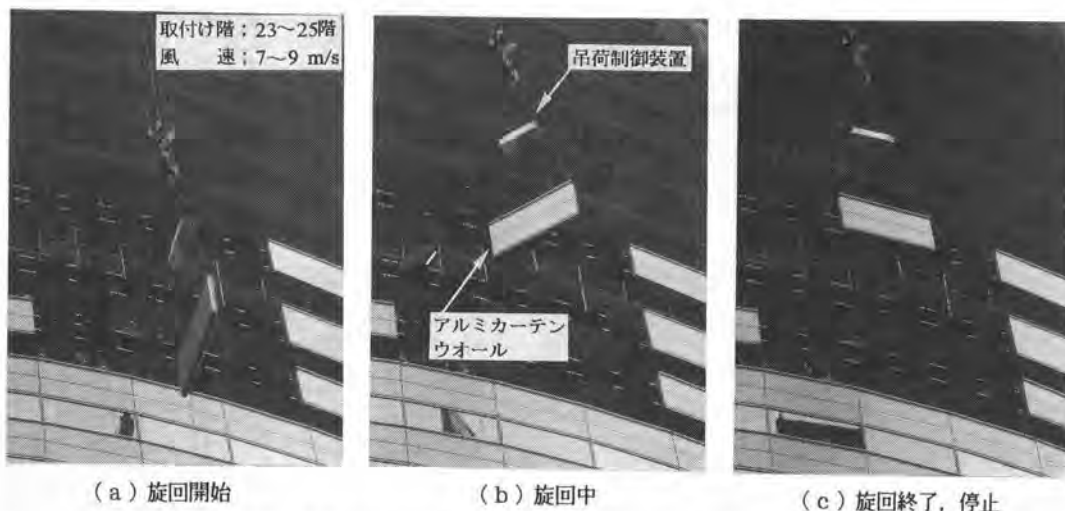


図5 吊荷制御装置を使用したカーテンウォールの旋回位置決め

線操作により、カーテンウォールを建込み合せ面位置まで旋回させ、停止させる。その後、旋回フリーモードにし、ジャイロ効果の機能を喪失させて、作業員による通常の建込み作業が行われる状態にする。

3. 2 装置性能と導入効果

(a) 装置の作動性能 図5に旋回作動中の吊荷装置と吊荷の連続写真を示す。取付け面と約90度の角度で姿勢保持されて取付け階まで揚重されたカーテンウォール(図5(a))が、吊荷制御装置に発生したジャイロモーメントによって、定格速度で徐々に旋回させられ(図5(b))、取り付け面とはほぼ平行となる旋回位置で停止し、姿勢保持することがわかる(図5(c))。かなりの強風にも係わらず旋回位置決め精度はかなり良好と言える。また、揚重中の吊荷は多少の旋回振れを生じるが、ほぼ静止状態を維持しており、本装置の各性能が十分機能していることを確認した。

(b) 作業効率と安全性 本装置の導入によって揚重作業における吊荷の旋回制御が可能となり、作業効率の向上が確認された。特に荷取り場における資材の荷降ろし向きを考慮せずに作業が進めることなどの利点がある。また、吊荷の旋回が防止されることで、作業員が行う危険作業(吊荷の旋回止め、不安定な位置での建込み)がかなり減少し、さらに資材の衝突や破損等を防止することができる点など、作業の安全性に大きく寄与できたものと考えられる。

4. あとがき

ジャイロモーメントを利用した吊荷制御装置の実用化、現場導入を行い、作動性能を確認した。本装置は比較的小型であるにも係わらず、ジャイロ効果による大きなモーメントが得られるため、反力のない自由空間での資材の旋回制御には非常に有効的である。今後、多くの建設現場に導入することにより、改善点を見だし、さらに作業効率の向上と安全性の高い装置の改良を進めていきたい。なお、本開発に対し三菱重工(株)高砂研究所、神吉室長、猫本研究員の協力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- (1) Kanki, H. et al., "Dev. of CMG Act. Vib. Cont. Dev. for Gondola", Int. Conf. Motion and Vibration Control, 1992, Sep., P.310.
- (2) 井上, 他3名, "ジャイロモーメント方式吊荷制御装置の開発(第1報)", 日本建築学会講演会, 1994, 9, P.1131.

33. カーテンウォール一括揚重システムの開発と実用化

大成建設㈱：*平井 薫・西村 正宏
坂本 成

1. はじめに

近年、建物の外装材として計量のアルミ製カーテンウォールを用いることが多くなってきている。その外壁アルミ製カーテンウォールを取付ける際、次のような施工上の問題点が挙げられる。

- ・揚重する荷の重量が軽いにもかかわらず、1枚単位の揚重では、クレーンの昇降に多くの時間を要する。
- ・荷が軽いために風の影響を受けやすく、取付作業の困難な日、および作業不能日が多くなる。

つまり、揚重重量が軽い割には取付時間（揚重時間）を要し、また天候の影響を受けやすいということである。

これらの問題を解決するために、複数枚の外壁アルミ製カーテンウォールをまとめて揚重し、その揚重に要する時間を短縮すると共に、全体重量を大きくして風の影響を受けにくくする揚重システムを開発した。

本報告では、本システムに開発段階における要求機能の整理、システムの構築、さらに開発後の工事への適用状況、およびそのシステムの導入に伴う作業員の習熟性による作業能率の変化について述べる。



写真-1 本システム揚重状況

2. 開発の経緯

前述した外壁アルミ製カーテンウォール取付け時の問題に対処するため、平成3年度より、実際の工事への適用を前提としてシステムの開発を進めてきた。

適用対象の建物は、地上35階建ての事務所ビルで、外壁にはアルミ製カーテンウォールが用いられている。外壁アルミ製カーテンウォールはユニット化されており、6階から34階の基準階では、ほぼ同一の寸法・仕様のものが、1フロア当り38枚取付けられることになる。また、工事は、鉄骨造の積層工法で行なわれ、積層サイクル工程の中で外壁アルミ製カーテンウォールの取付工事はクオリティカルパスになっており、本システムの導入がサイクル工程の短縮に寄与することを第一の目的として、システムの開発を進めた。

3. システムに要求される機能とその構築

本システムは計量のカーテンウォール（以下、CWと記す）を複数枚、まとめて吊りして揚重し、CW 1枚当りの揚重時間を節約し、取付けに要するサイクルタイムを短縮することを基本的なコンセプトとしている。このようなシステムを想定したとき、システムに要求される主な機能として以下の項目が挙げられる。

- ・まとめ吊り機能

ある一定枚数のCWをまとめ吊りし、クレーンによって揚重できる吊治具としての機能。

- ・送り出し機能

CW取付けを行なう際、取付けやすい位置に水平移動させる機能。

- ・上下位置調整機能

CWを建物に取付ける際、ファスナーへ落とし込むために垂直移動させる機能。

（クレーン操作により行なうことも可能であるが、作業の円滑性を考慮し、本システムに含めた。）

- ・吊治具の仮固定機能

CW取付作業中の吊治具全体の振れを防止するために、建物に仮固定する機能。

- ・吊治具のバランス調整機能

CW取付作業の進行に伴う重心位置の変化に起因する吊治具全体の水平バランスを調整する機能。

以上述べた機能に加えて、CWどうしが接触しないための機能、および施工中、当然要求される安全に関する機能を加えてシステムを構成した。

これらの機能を有する吊治具を「ユニットボックス」と称し、ユニットボックスにCWをまとめ吊りするため地上に設置する準備用のラックを「ストック架台」と称している。また、1回にまとめ吊りする枚数は工事の施工パターンを考慮し、10枚とした。システム構成を図-1にユニットボックス仕様、各装置の仕様を図-2に示す。

ユニットボックス仕様	
巾	4,100mm
奥行き	6,150mm
高さ	6,900mm
重量	6,500kg
容量	500kgパネル×10枚
各装置の仕様	
送り出し装置	循環式レール×2連 走行トオリ×20台
吊込み装置	0.5tonチェーンブロック×20台
振れ止め装置	下部継ぎプレート18ピース
仮固定装置	ロープ、フック
バランス維持装置	5 tonチェーンブロック×2台
安全装置	落下防止養生柵、インナーロック回路 (操作性防止、傾斜角度制御)
ストック架台	パネル受け架台（準備用ラック） 作業足場

図-2 ユニットボックス仕様、各装置の仕様

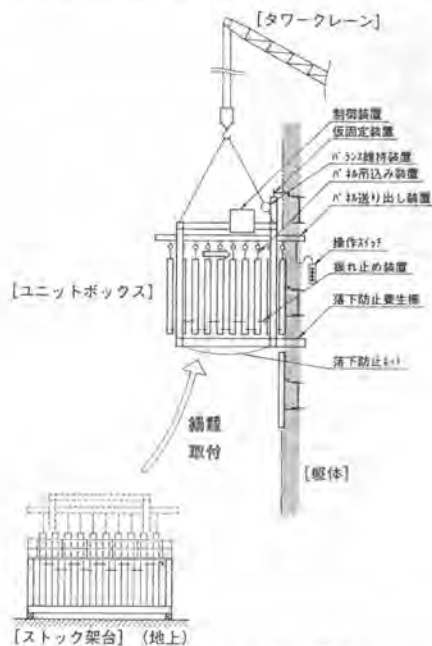
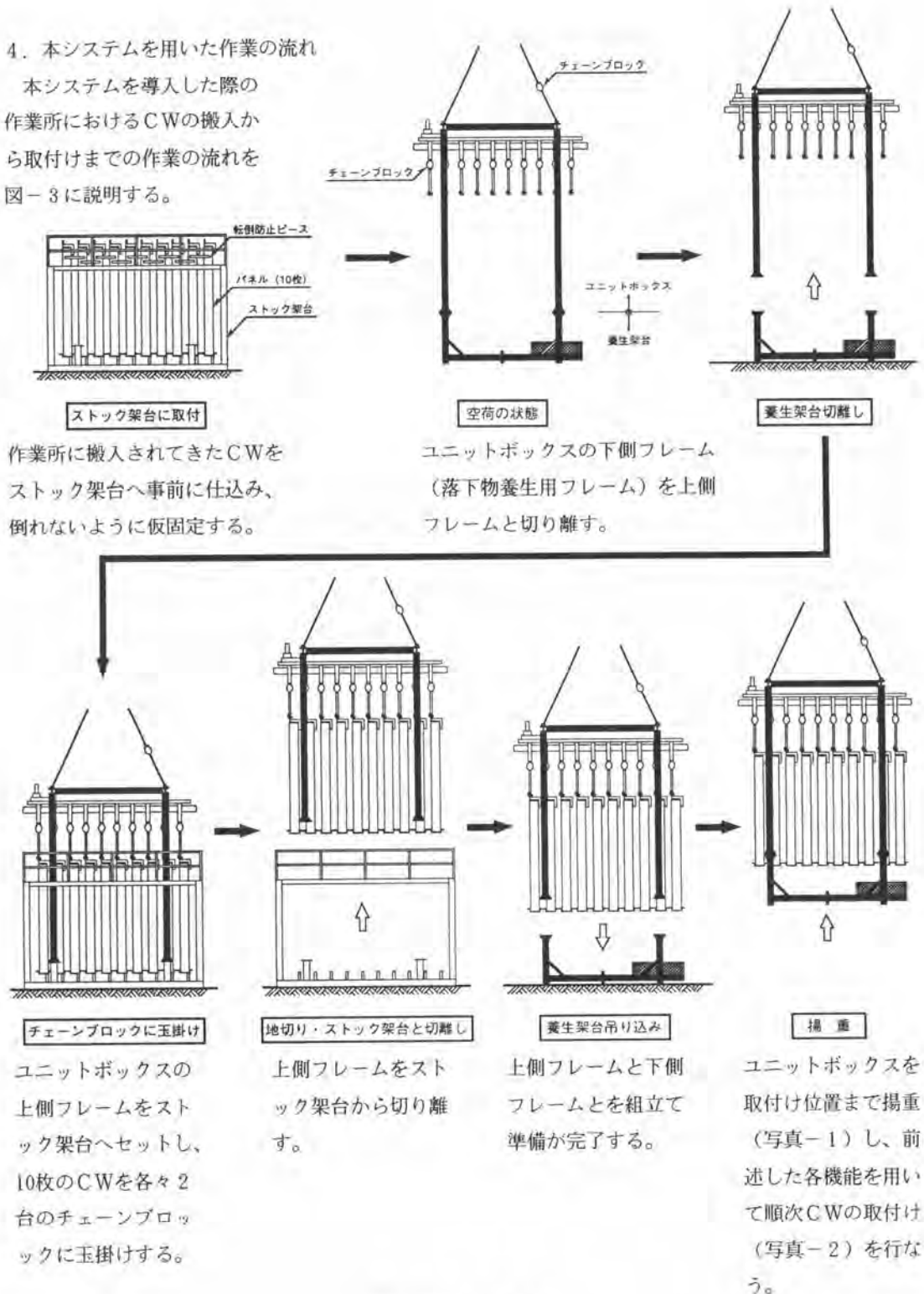


図-1 システム構成

4. 本システムを用いた作業の流れ

本システムを導入した際の作業所におけるCWの搬入から取付けまでの作業の流れを図-3に説明する。



ストック架台に取付

作業所に搬入されてきたCWをストック架台へ事前に仕込み、倒れないように仮固定する。

空荷の状態

ユニットボックスの下側フレーム（落下物養生用フレーム）を上側フレームと切り離す。

養生架台切離し

チェーンブロックに玉掛け

ユニットボックスの上側フレームをストック架台へセットし、10枚のCWを各々2台のチェーンブロックに玉掛けする。

地切り・ストック架台と切離し

上側フレームをストック架台から切り離す。

養生架台吊り込み

上側フレームと下側フレームとを組立て準備が完了する。

揚重

ユニットボックスを取付け位置まで揚重（写真-1）し、前述した各機能を用いて順次CWの取付け（写真-2）を行なう。

図-3 作業の流れ

5. 工事への適用

本システムの工事への導入をスムーズに行なうために現場適用の前に、仮想躯体と実物のCWを用いた取付実験を実施した。この実験では工事のCW取付け作業を担当するアルミサッシメーカーの取付け作業員にシステムを実際に操作してもらい、問題点を抽出した。主な問題点の改善項目を下記に示す。

- ・ユニットボックスをクレーンフックに玉掛けする際の作業床をユニットボックス上部に設置。
- ・ユニットボックス上部へ昇るための昇降タラップ。
- ・上下位置調整のために使用する電動チェーンブロックの作動速度を遅くする。

以上の改善を加えた後、平成5年9月に、作業所へ搬入し、基準階のCW取付け工事に適用した。

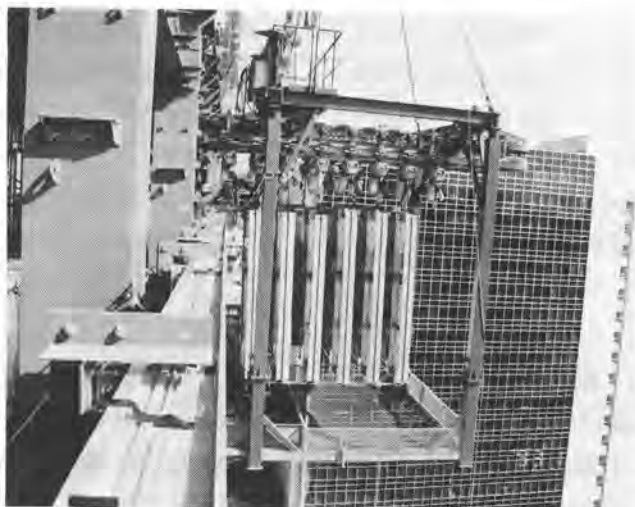


写真-2 CW取付け状況

5. 1 効果

工事への適用計画時における効果の予測と工事への適用した結果を以下に示す。

(1) 計画時における効果の予測

前述したとおり、本システムの基本コンセプトは「揚重時間の節約」、「サイクルタイムの短縮」であるので、ここでは、サイクルタイムの短縮に直接結びつくクレーンの拘束時間を対象に報告する。

CWを1枚ずつ揚重して取付ける在来の施工法（以下、在来工法と記す）によるサイクルタイムの算出にあたり、過去の同等規模の施工物件における実績（表-1中の外壁PC版平均取付所要時間）を参考に、在来工法の取付所要時間を各工事の平均値をとり、13分と見込んだ。（揚重時間を考慮したサイクルタイムは表-2で算出）

なお、在来工法と本システムを利用した工法とサイクルタイムの比較をするにあたっては、本システムがCWを10枚一括揚重するため、在来工法のサイクルタイムも10枚分を1サイクルとして比較する。

表-2に作業ごとの予測所要時間を示す。

表-1 過去の実績による取付所要時間

工種 運搬取付部材	（単位：分）						
	A工事	B工事	C工事	D工事	E工事	F工事	平均
鉄骨柱	11.2	23.2	17.5	24.1	20.0	23.3	19.9
鉄骨大梁	8.0	11.8	17.5	7.9	9.0	10.5	10.8
外壁PC版	10.0	16.0	12.1	10.0	15.0	13.2	12.7

表-2 フロー及び、
サイクルタイムの比較

（単位：秒）

作業 フロー	時 間	
	在 来 工 法	本システムを利用 した工法
玉掛け	140	H 600
巻上げ	$\frac{H}{117} \times 60$	$\frac{H}{40} \times 60$
旋 回	30	30
起 伏	60	60
取 付	780	600×10
起 伏	60	60
旋 回	30	30
巻下げ	$\frac{H}{130} \times 60$	$\frac{H}{70} \times 60$
回 数	$\times 10$	$\times 1$
合 計	$9.7 \times H + 11,000(\text{秒})$	$2.4 \times H + 6,780(\text{秒})$

Hは施工高さ（m）を示す。

表-2は施工高さ(H)に応じて変化する。10F以上の施工高さにおける、在来工法に対する本システムの効果(短縮率)を図-4に示す。また、5階毎(20.5m毎)に約0.5%の短縮率の向上が期待でき、超高層建築になるほど効果が上がることがわかる。

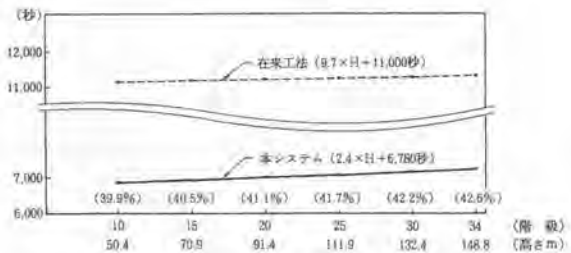


図-4 高さによる短縮率の変化

()内は在来工法に対する短縮率を示す

(2) 適用結果

本システムを採用した作業所のCW工事は、4社のサッシメーカーが施工しているが、ここでは同作業人数で施工を繰り返し、効果が定量的に把握できるデータを採用し、結果の整理を行なった。

表-3は23階で収集したデータに基づき、比較したものである。なお、在来工法のデータは本システムによる施工に先立ち、在来工法で取付けられる建物コーナー部のCWを対象に測定し、同じサイクルで10枚分繰返し施工したと仮定したものである。

表-3の実施データより、23階のCW取付サイクルタイムは在来工法と比べ45.6%短縮されていることがわかる。この短縮された時間はクレーンを使用する他の揚重作業(鉄筋、デッキ、H.T.B.、仮設資材、各種小物用コンテナ、溶接設備等の揚重作業)に充てることが可能になり、積層サイクル工程の短縮に貢献できるシステムといえる。

なお、本システムの場合、4章で述べた、作業所に搬入されたCWをストック架台へ事前に仕込む作業(3,080秒/セット)と揚重前の一連の作業(1,480秒/セット)が必要になるが、これらの作業は他のクレーン(移動式クレーン等)で行なえるので、積層サイクル工程を左右する主たるタワークレーンの拘束時間から除外した。

(3) 工事の進捗に伴う作業性の向上

本システムを工事に導入した後、施工階数が高くなるに従って、どのような習熟効果が得られているのかに着目して、各施工階で収集したデータを整理する。

①取付時間単位での習熟について

施工階別に収集した取付時間のグラフを図-5に示す。なお、縦軸の時間は、同一施工班が10枚のCWの取付けに要した時間を示している。また、習熟効果を明確にするため、施工階を図中のように初期、中期、終期に区分し、各々の平均を算出し、習熟率を把握する。

図-5より、初期平均取付時間に比べ中期平均取付時間は31.6%の取付時間の短縮が達成された。これは、作業員が施工を重ねる毎に、作業の改善、慣れが生じてきた結果であり、習熟効果の表れである。

表-3 実施データにおけるサイクルタイムの比較

作業フロー	時間	
	在来工法	本システム
玉掛け	70	424
巻上げ	152	322
旋回		
起伏	347	2,964
取付		
起伏	157	236
旋回		
巻下げ		
回数	×10	×1
合計	7,260	3,946

数字は時間(秒)を表す

また、初期平均取付時間に比べた終期平均取付時間の短縮率は、中期を下回る20.9%という結果になった。これは高所による風の影響や上階の足場の影響等、中期には起こらなかった別の要因が付加されたと考えられる。従って、中期の時点で、システムの運用に十分に習熟したと判断できる。

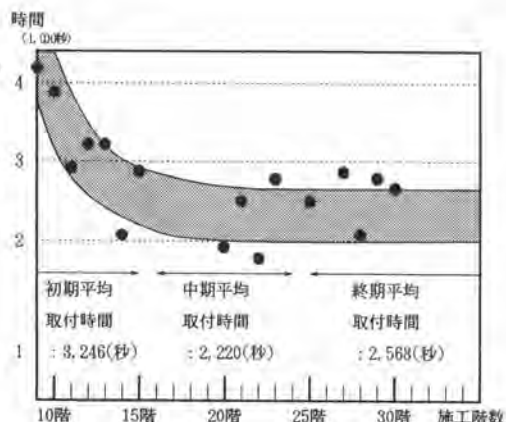


図-5 施工階数と取付け時間の関係

②各作業単位での習熟について

次に取付作業の中のどの作業時間が習熟によって短縮されているかを報告する。

図-6はCW1枚を取付けるための初期、中期の取付作業の流れと各作業に要する時間を示したものである。

図-6より初期(10階)においては、上下微調整と左右微調整の時間が全体の54%を占めていたが、中期(23階)における当該作業時間は全体の30%となっており、この作業が習熟効果により短縮されていることがわかる。また、仮固定、仮固定外しには習熟性は見られない。これは微調整をスムーズに行なうためにも時間をかけた結果といえる。

<初期(10階)>



<中期(23階)>

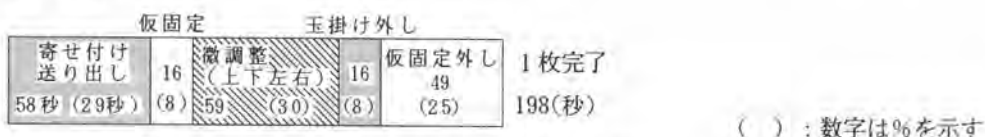


図-6 取付作業の流れ

6. まとめ

本システムの開発により、CW取付サイクルタイムの短縮が可能になり、積層サイクルの短縮に大きな波及効果をもたらすことになるだろう。また、全体重量が増したことによる風に対する安定性の向上、及び落下防止養生設備の装備による安全性の向上など、得られた効果は多かった。

現在、2件の作業所より適用検討依頼があり、1件は本システムを適用改良している。一方、CW搬入からCWの仕込み作業の合理的な方法を構築し、完成度の高いシステムとし、平成6年10月より現場導入する予定である。

今後も適用現場は増えると予想でき、そのためにも様々な寸法、重量のCWに適用できるようにシステムの開発を行なっていく所存である。

最後に、システム検討当初から協力して頂いた関係者の方々に感謝の意を表します。

34. 建築工事における仕上材自動搬送システム

大成建設(株)：田村 恵彦・*伊藤 永三郎

1. はじめに

最近のビル建設工事では、色々な分野で機械化・自動化工法が開発され、実際の生産現場にも導入され実施されてきている。これは、ビル建設における生産性の向上、作業環境の改善、工期短縮、省人化・省力化、技能労働者不足や高齢化対策、3Kイメージの払拭等への対策として取り組まれた結果実現されてきたものであるが最終的な目標は「建設コストの低減」にある。このコスト低減について特に昨今の厳しい状況の中では、各社と



も最優先課題に位置付けて取り組んでいる。その主な事項は前述したようなことであるが、その中でも工法や材料（部材）への対応が注力されている。一方、近年特に「生産管理」面が重要視されてきており、搬送に関する諸問題の大半はこの領域に属する。ビル建設作業の中でこの搬送作業の占める割合は、20～30%程度になると言われている。今日の建設工事の中で、躯体工事（鉄筋、型枠、鉄骨、特殊躯体等）の計画や施工にはこの搬送作業は欠かすことの出来ない重要なポイントとして認識され、計画に盛り込まれ且つ搬送費用も明確になっているが、仕上工事では工種が多く工事計画も大枠の設定だけで仕上材の搬送作業は業者まかせとなることが多く、契約も材工共となり工事費も複合コストになることなどから搬送に係わる費用は不明瞭なままであり、この領域での建設コスト低減への取組割合は低い。更に、仕上材の搬送作業自体が多くの範囲でまだまだ人力に頼っているのが実態であり、この単純で苦渋の多い搬送作業の労力として技能労働者が従事していることが多く見られる。そこで、個々の専門工事業者まかせになっていた仕上工事における仕上材搬送作業に対して今回、一連の搬送サイクルを自動化する「仕上材自動搬送システム」を開発した。このシステムにより、資材の積み降ろし作業員の無人化を実現し、搬送効率を高めるとともに定量的に搬送コストの把握が可能となり更に、先に当社で開発した「揚重計画管理システム」との連動により、工事の計画段階から現場での搬送作業までを一括管理することが出来るようになった。

本システムは、現在建築中の現場に適用し、仕上工事における仕上材搬送作業の合理化と搬送コストの低減を図るべく実施中である。

2. 目的

本システム開発の目的は、「搬送コストの低減」である。この目的を達成する為の開発のポイントを次のように設定した。

- ① 建設用リフトへの資材積み降ろし作業員をゼロにする
従来、揚重作業では、資材の積み降ろし作業に最低4人の作業員が必要だったがこれを積み降ろし装置の開発によりゼロにする。
- ② 揚重効率の向上
 - a, 資材積み降ろし時の建設用リフトの待ち時間の解消
通常、建設用リフトに積み込まれた資材が荷降ろし階に到着しても降ろせずに待っていることが多かったがこの待ち時間をゼロにする。
 - b, 荷姿の工夫により1回当りの揚重量を最大にする
先に当社で開発した「揚重計画管理システム」により計画時に材料毎の荷姿を工夫し1回当りの揚重量が最大になるようにすることで全体揚重回数の低減を図る。

3. システムの概要と構成

本システムは、仕上材搬送作業の中で搬送効率を左右し労務依存率が高く、且つ苦渋作業となっていた部分を対象とし、それを系統的に捉え自動化を実現したものである。システムの範囲は各種仕上材が現場内に搬入された後、建設用リフト前の積み込み位置に仮置きし、それを建設用リフトに積み込み垂直搬送し、荷降ろし階到着後に所定の場所に降ろす迄の範囲である。当該システム構成は、図-1のように垂直搬送として建設用リフト、水平搬送としてフォーク機能を備えた荷の積み降ろし装置（リフトインフォーク；以下リフトインフォークと称す）、各階の開口部養生扉（電動式シャッターゲート）とそれらを一括制御する自動制御装置から構成されている。このシステムの中でポイントになるのがリフトインフォークであり、その他の要素技術については、既存の技術を採用することでシステム開発に係る費用の低減を実現するとともに使用者に安心感を持たせることができた。

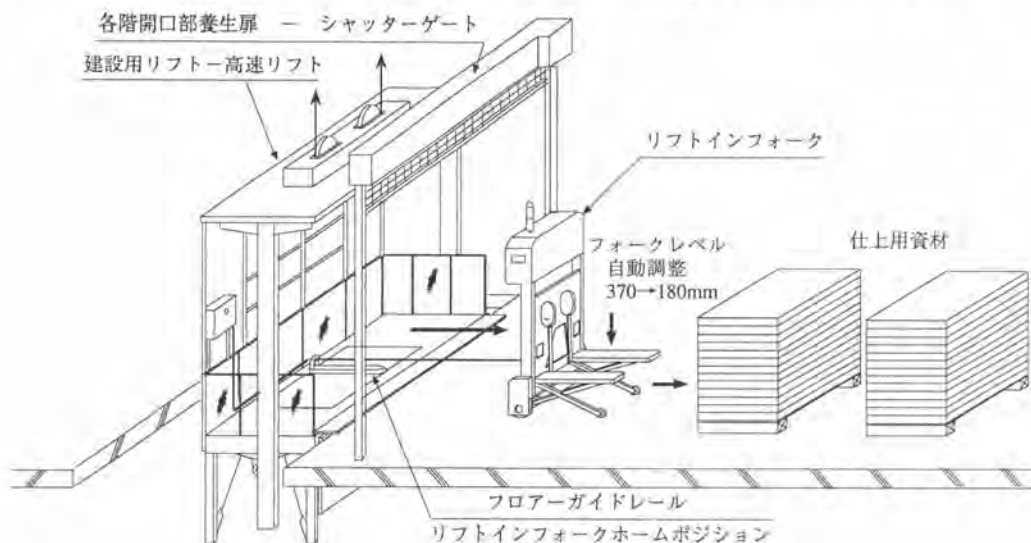


図-1 システム構成説明図

4、システムの特徴

本システムは、次のような特徴がある。（図-2のシステム動作説明図参照）

1) 資材の積み降ろし作業員を「ゼロ」にする

通常の揚重作業では、荷積み階に1人と荷降ろし階に3人の最低4人の作業員が必要であったが自動化を達成することで、この作業員を「ゼロ」にすることが可能となり揚重作業全体の省人化を図ることができる。

2) 各階での専用積み降ろし装置が不要

リフトインフォークが、建設用リフトの搬器内に設置されており、この装置が建設用リフトの搬器内から自走で前後進し各階での積み降ろし動作を行う為、各階に専用の積み降ろし装置を設置する必要がない。

3) 建設用リフトの待ち時間が「ゼロ」になる

リフトインフォークが、搬器の中心から7mの範囲まで自走する為に同一階へ複数個の資材を自動で仮置きすることが可能になり、建設用リフトの待ち時間がなくなる。

4) 資材を途中階から任意の階へ無人移送が可能

建物の途中階から任意の階へ仮設材や転用材等の移送を無人で行うことができる。

5) 積み降ろし時のサイクルタイムが一定

積荷の如何に係わらず、積み込みと荷降ろしの時間を一定にすることができるため、揚重のサイクルタイムの変動要因を建物の高さや建設用リフトの速度の関係式のみで考慮すればよくなり、計画と実施の誤差が殆どなくなる。

6) 実施データをリアルタイムで自動収集

先に当社で開発した「揚重計画管理システム」との連動により、揚重作業でのロス時間が削減されるとともに実施データをリアルタイムに自動収集することができる。

7) 資材の積み込みから各階の所定のストックヤードまでの作業の無人化

水平搬送システムと組み合わせることで、資材の積み込みから所定階での荷降ろしと、そこで荷降ろしされた資材を更にその階の所定のストックヤードへの水平搬送が可能になり、積み込みからストックヤードまでの一連の作業を無人で行うことができる。

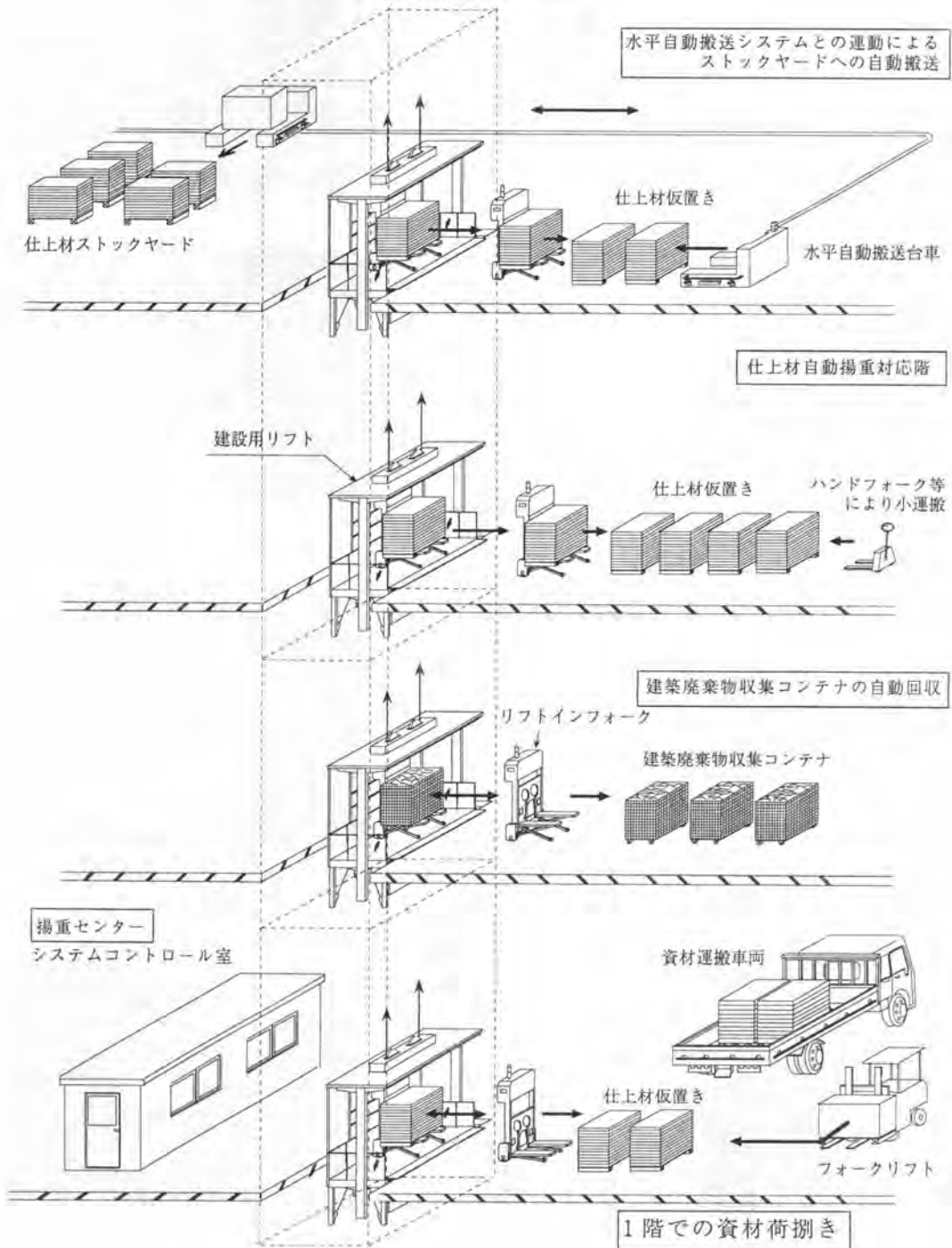
8) 建設廃材の荷降ろしにも対応可能

資材を所定の階に揚重し建設用リフトが積み込み階に戻るときに、途中階に集積されている建築廃材集積コンテナを自動で積み込み、所定の階に自動で降ろすことができ出来る為、今まで時間外での対応を余儀なくされていた建設廃材降ろしが、資材の揚重効率を損ねることなくリフトの空き時間等を有効に利用することで効率よく処理することができる。

9) 積み降ろし装置の脱着により従来の建設用リフトとしての使用が可能

搬器内のリフトインフォークは、簡単なコネクタで動力盤と接続されているために装置の脱着は、コネクタの抜き差しだけでできるため、従来の建設用リフトとして使用することにも簡単に切替える事ができる。

図-2 システムの動作説明



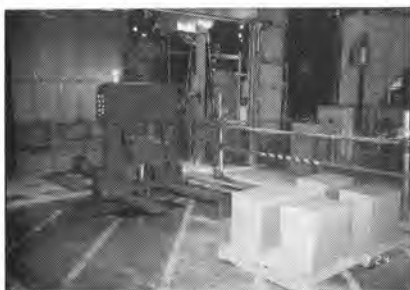
5、システムの動作

本システムの動作は、次のようになる。

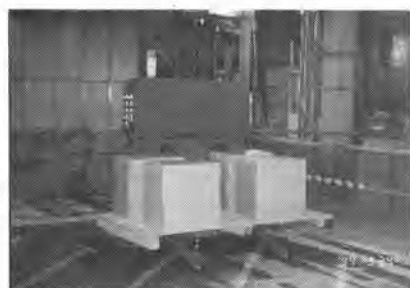
現場内に搬入された各種仕上材は、1階等で荷降ろしされ建設用リフト前の所定の位置に仮置きされる。そして、建設用リフトの搬器内に設置されているリフトインフォーク）が自走により前進し、仮置きされた資材を自動で取りに行く。その際、本装置のフォーク部が資材のパレット等に自動挿入されて行き、載荷検出センサーに資材がタッチするとセンサーが作動し、本装置は走行を停止し資材の持ち上げ動作に移り、一定の高さになると停止し、リフトの搬器内に後進で戻り始め、搬器内のホームポジションで自動停止する。そして、リフト搬器の扉と開口部養生扉（電動式シャッターゲート）が自動的に閉まる。各々の扉が閉まると、リフト搬器は荷降ろし階へ向けてスタートし同階で自動停止する。続いて、搬器の扉と同階の開口部養生扉がほぼ同時に開き、開き終るとリフトインフォークが7mの範囲内で自走し、積荷を所定の場所に荷降ろしする。荷降ろし終了後、本装置はリフト搬器内のホームポジションに戻り自動停止する。続いて、搬器の扉と同階の開口部養生扉が閉り、閉り終るとリフト搬器は荷積み込み階に自動で戻りそこで停止する。それから、搬器の扉と開口部養生扉がほぼ同時に自動的に開く。以上が、当該システムの1サイクルの動作でありその動作状況は、写真①～④の動作がリフトインフォークによる荷取り動作状況で、逆に写真④～①の動作が荷降ろし動作状況である。システムの操作状況は、写真⑤の通りである



写真①：荷取り準備



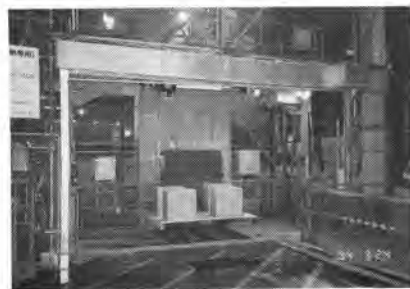
写真②：リフトインフォークが自走により前進し荷取りに向かう



写真③：資材を取込み後、後進しリフト搬器に戻り始める



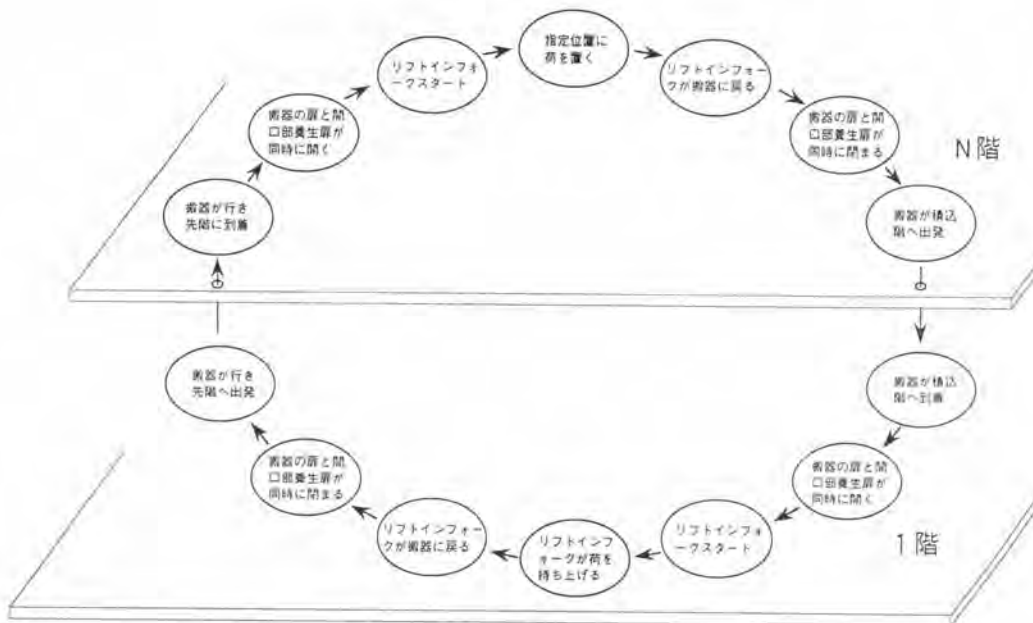
写真⑤：システムコントロール室内での操作状況



写真④：リフトインフォークがリフト搬器内のホームポジションに戻る

この1サイクルの動作を1階からN階迄をフロー図で表現したのが、図-3の「1サイクル動作説明図」である。

図-3 1サイクル動作説明図



6、システムの稼働状況

本システムの開発は、平成5年7月から平成6年3月までの約9ヶ月間に亘って行い現在、当社を幹事会社とする共同企業体により施工中の「新宿南R Cビル新築工事」において本システムを初採用した。同工事は、地下3階、地上34階、延べ床面積約102,700m²の超高層オフィスビルで、現在高層躯体の最盛期を迎えながら低層階からの仕上工事にも着手しており、6月から本システムによる資材搬送が開始されており平成7年の2月頃まで使用する予定である。今回の建設用リフトは、2t用の高速リフトを使用しシステムを構成している。本システムは、揚重資材品目の約85%まで対応することができる。

7、おわりに

本システムは、垂直搬送と資材の積み降ろしをメインとしたシステムである。 今後は、現場に搬入してきた資材運搬車両の荷台からの荷降ろしから始まり、建設用リフトへの積み込み、垂直搬送、荷降ろし、荷降ろし階の所定ストックヤードへの小運搬迄の一連の搬送作業の合理的な自動化を目指し、先に開発した「揚重計画管理システム」との連動によりハードとソフトが一体となった綿密で詳細な搬送計画を作成し、現場の工事進捗に合わせて正確に適切に実施することが出来るようなトータルシステムとしての完成を目指して今後も取り組んでいきたいと考えている。更に、特殊な現場だけの対応ではなく、広く一般の建設工事にも適用できるような汎用性のあるシステムの開発にも取り組んで行く方針である。

35. 揚重計画管理システムの開発

大成建設(株)：田村 恵彦・*葉石 善一
竹尾 健一

1. はじめに

建設業にとって建設コストの削減は永遠の命題であり、あらゆる面で不断の努力がなされているが、大半は工法や材料面が占めている。その点での努力は今後更に継続されるものとする。一方、もう一つの削減努力として生産管理があり、今日この点が非常に重要視されてきた。搬送に係わる課題の殆どはここに属する。従来、搬送作業については作業自体が単純であり、しかも建方や加工取付作業に比べ掛かる費用の面でも二次的なためコスト削減などを含め注力の度合も低かった。しかし技能労働者の不足や高齢化の問題から、単純作業である搬送作業を彼らから解放し、技能労働者に相応しい仕事に専念させることと搬送作業をもっと広い生産管理の面から捉え、作業の徹底的合理化によるコスト削減の重要性が改めて認識されてきた。

資材搬送の合理化を考えるに当たって、先ず考えなくてはならないのは生産管理であり、そこでのポイントは計画である。計画があってはじめて管理が出来ることから、合理化のキーテクノロジーは「計画と管理の統合的システム化」であるとする。従って、ここでは搬送計画の作成から実施、コスト管理、データ収集分析に至る業務の流れを段階的に捉え、各段階の作業を科学的、合理的に処理し、且つ各段階の業務を結び付けるデータや作業の受渡しが行えるようにすることである。

本システムはこのような考えに基づき作られたものである。つまり、本システムはシミュレーションを含めた詳細な計画が出来るところに重点があり、またそれを基に実施と管理が現場の実態に合わせて合理的に出来る内容を持ったものである。

2. 目的

本システム開発の目的は搬送コストの低減である。具体的には、当社の社員が行う搬送計画業務や計画変更、更に実施に伴う管理業務を正確に且つ迅速に行えること、専門工事業者が材料搬入時期を早期に暦日単位で知ることが出来る分るので、計画的製作ができると共にユニット形状を工夫することにより総揚重回数及びゴミの発生を低減できること、また揚重業者（あるいは作業員）は実施予定が関係者の合意の下に正確に作られているので人や時間の使い方に無駄がなくなる、と言ったことの総合で搬送コストの低減を実現する。

3. 揚重計画と管理の建物規模別展開方法

建物の規模に関係なく共通に使える揚重計画管理システムを提供できることが理想である。しかし建物の規模に応じて必要とされる計画と管理の内容、程度、揚重設備が自ずと異なる。建物の高さが高くなるほど、また揚重対象物が増えるほど計画と管理項目も増えるし、揚重設備にかかる負荷も増大し、

計画と管理の必要性が増す。これらのことは経験的にも理論的にも容易に判断することが出来る。従って、計画と管理のシステムを建物の規模別に分類して使い分ける必要性が出てくる。

そこで、我々は建物の規模を小規模・低層、中規模・中層、大規模・高層の3つのパターンに分類し、当社が現在実施している現状と今後の展開をどのようにして行くかを含めて表-1にまとめた。

表1. 建物規模別 揚重計画と管理の現状と今後

業務区分	管理項目	建物規模・高さ					
		小規模・低層		中規模・中層		大規模・高層	
		現状	今後	現状	今後	現状	今後
		前日の時間調整のみ (成行き調整)	同 左	1週間程度の予約時間調整	ユニット化による山積検討・1週間予約調整	ユニット化による計画と管理 (手作業)	ユニット化による計画と管理 (P/C利用)
計 画	機械設備選定	○	○	○	○	○	○
	揚重ユニット化					△	○
	揚重回数算定、山積				○	○	○
	タクト工程との接続					○	○
	計画揚重日					△	○
						(手作業) ⇒	(パソコン)
契 約	揚重ユニット指定				○	△現場単位	○
	各専門業者契約(赤伝)				○	△	○
	揚重専業者契約(センター)				○	○	○
実 施	事前予約申込			○	○	○	○
	予定時間調整	○	○	○	○	○	○
	搬出入・車両管理	○	○	○	○	○	○
						(手作業) ⇒	(パソコン)
実績管理	データ収集・分析				○	△	○
	揚重費清算				○	△	○
						(まちまち)	(標準化)

本システムは大規模・高層の現場に一番適しているが、中規模・中層の現場に於ても効果を発揮すると考えている。次に3つの分類についての基本的考えを述べる。

3.1 小規模・低層

この規模の場合の搬送に係わる仕事の進め方は、ロングスパンエレベータ等の小型の揚重設備を設置した後は特に揚重計画を作成せず、毎日の作業打ち合わせで翌日の各専門工事業者の揚重時間や搬出入時間を調整する方法、あるいは車輛管理の仕方を決定する方法が一般的であり実状に即している。何故ならば、この規模の場合揚重設備にかかる負荷が少なく、揚重作業自体が工事の進行に対してクリティカルになることは殆どない。むしろ小規模で床面積が狭いために「運ぶこと」よりも「運んだ先での置場所」が問題になることが多く、揚重計画は揚重時間や作業の計画ではなく工事進行に合わせた搬入のタイミングとストック場所の計画が重要で、それらは工事計画の中の工事の進め方に確り取り入れた方が搬送と工事の双方を旨く進めることが出来る。

従って、現在すぐ本システムをこの規模の現場に適用するには無理があると考え。将来、タクト工程による仕上工事工程管理がこの規模の現場に普及してくれば、本システムの計画編を活用し、工事管理を旨く進めることが出来るようになると思える。

3.2 中規模・中層

この規模の場合、仕上工事の最盛期に揚重量の増加に伴い揚重設備はフル稼働の状況となり、直前日の申込では対応しきれない場合が出てくるので、その時期は予約申込を例えば数日前から行って、ある程度の山均しをしながら毎日の揚重量を消化していくのが通常の対応の仕方である。

しかしながら、この規模の場合でも工事を進めていく上で、小規模低層の場合と同様に揚重自体が定期的にクリティカルになると言う状況までには至らない。従って、多量の物を限られた時間で揚げ降ろしするための綿密な揚重計画を行うと言った計画段階に揚重計画管理やコストダウンの力点があるわけではない。

この規模の現場の場合の搬送コスト削減のポイントは、むしろ搬送作業を各専門工事業者から分離し、ゼネコンが一括運営することで各専門工事業者の作業員が別々に搬送を行うことから生じる無駄を省くこと及び搬送作業を各専門工事業者の技能労働者から切り放して専門班（大規模高層現場で揚重センターが請負うと言う形態ではない）が定常的にフル稼働できるレベルまで徹底してゼネコンが一括管理を進めることであると思える。

ゼネコンの一括管理の内容は具体的には、各専門工事業者とも協議の上で専門班の搬送作業能率が最も高くなる荷姿（揚重ユニット）や搬入形態を定め、それによって各専門工事業者に搬入させること、更に専門工事業者との工事契約取り決め時に「揚重回数×単価」をベースにした搬送費を別項目で契約し、その後の実施段階で専門工事業者の荷姿や省梱包等の合理化により揚重回数を契約より減らした場合には、搬送コストの削減分を専門工事業者に還元すると言うような契約形態をとれば、専門工事業者にもインセンティブを与えることになり、搬送費のコストダウンを図ることが可能になると考える。

このような仕組みを作れば、計画編も十分に活用できるが、本システムの管理編の特徴を活かして搬送作業を旨く進めることが出来ると思える。

3.3 大規模・高層

搬送と言う観点から見た場合の「大規模高層」の定義は、搬送がクリティカルになる規模と言うことになる。

クリティカルになる主な原因は仕上工程の連続的な重なりと使用材料の他に副資材やゴミ等を含めた膨大な揚重数量にある。この2つの原因は搬送作業を円滑に進める上で最大の課題である。しかも、この課題は計画時に解決しておかないと実施時に大混乱に落ち入る。一方、実施の段階では計画通りに出来ないのが現場の姿であるから、計画から実施までの業務が現場の変化に対応できる機能を持ったシステムが必要になる。またこの場合、搬送作業の実施から管理までの運営は上述したゼネコンの一括管理による専門班ではなく、搬送専門業者に委せる体制を採るのが有効である。専門工事業者との契約形態は中規模中層の場合と同じ方法でよいと考える。

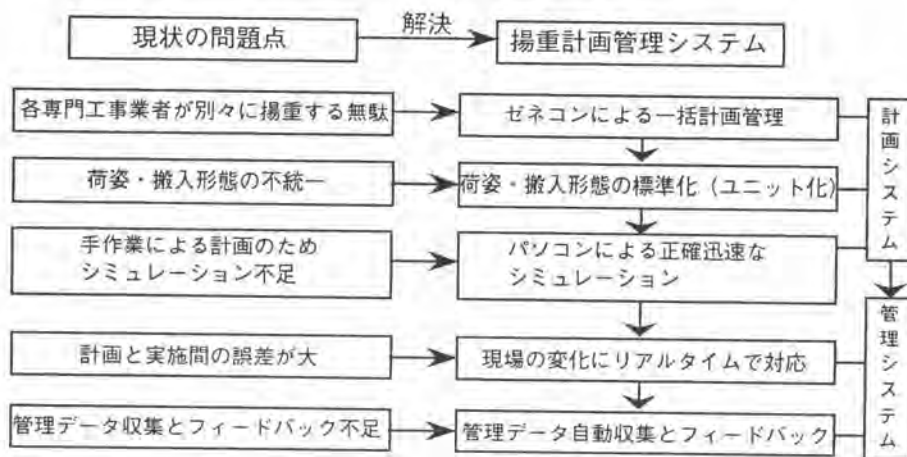
つまり、山積み山崩しなどのシミュレーションが出来る「計画システム」と現場の変化に対応できる「実施と管理システム」があれば、搬送コスト削減が可能になると考える。

本システムはこのような条件を満たすものであるから、大規模高層の現場には最適であると考えている。

4. システムの全体概要

上述の現状と今後の展開を踏まえ、主に高層、中層ビル建築現場でのパソコンによる運用を前提とした揚重計画管理システムを開発し、作業所に導入した。本システムは工事施工数量と工程表に基づいて揚重山積みを出力する「計画システム」と、計画に基づいて揚重申込・調整、時間割作成、実施、データ収集と集計を行う「管理システム」、及び両システムをサポートする「データベース」から構成されている。尚、図1に揚重計画管理の現状の問題点と、今回のシステム開発による解決の方策を示した。

図1. 現状の問題点と解決策



5. システムの内容

5.1 計画システム

計画システムでは先ず階別工区別の工事施工数量を入力すると、材料歩掛、揚重ユニット（単位揚重量）のデータベースを用いて材料別の揚重回数や発生する副産物の降ろす回数を自動算定する。自動算定された各々の揚重品目に対して、基準階仕上工程の中でどのタイミングで揚重すべきかを検討し、基準階タクト工程上の「何番タクトの第何日」に揚重するかを属性情報として入力する（表2、材料・揚重回数・タクト一覧画面参照）。次に階別の暦日仕上工程表を入力すれば、前記の揚重回数と組み合わせで揚重山積みを出力する（表3、暦日揚重山積み画面参照）。またデータベースからサイクルタイムを自動計算し、揚重所要時間を表示する。属性情報として与える条件を入れ換えながら山積み山崩しのシミュレーションを繰返し行って最適な揚重計画を作成する。山積みの回数内訳、材料名称、タクト番号等の詳細は一覧表で見ることが出来るシステムとした。またデータベースは現場の条件の違いに応じ追加や更新ができるようにし、現実の仕事にあったものにすることができる。データベースの材料歩掛やゴミ歩掛は省梱包化やプレカット化等の建設廃材削減の指数としての機能も果たすものとなる。

表2. 材料・揚重回数・タクト一覧画面

種別	追加	日割分割	回数算定提供	科目表示	並べ替え	工事数量一覧	印刷	
03-26	ALC板	t=75	簡仕切	58	20	2	-1	大成
					18	2	2	大成
					20	2	4	大成
03-26	副資材(ALC75)			12	6	1	1	大成
					6	1	3	大成
03-26	ゴミ(ALC75)			13	6	2	3	大成
					7	2	3	大成
03-26	ALC板	t=125	簡仕切	7	7	2	1	大成
03-26	副資材(ALC125)			1	1	1	1	大成
03-26	ゴミ(ALC125)			2	2	2	7	大成
03-26	軽鋼鉄骨簡仕切下地	t=50		1	1	9	-2	竹尾
03-26	ゴミ			1	1	9	4	竹尾
03-26	軽鋼鉄骨簡仕切下地	t=75		3	3	9	-1	竹尾
03-26	ゴミ			1	1	9	3	竹尾

表3. 暦日揚重山積み画面

月	日	曜日	全計	揚重回数	10	20	30	40	50	60	70	80	90	00	10	20	30	40	50	60	70	80		
4.8	金		26	*****																				
4.9	土		0																					
4.10	日		0																					
4.11	月		1	*																				
4.12	火		27	*****																				
4.13	水		27	*****																				
4.14	木		24	*****																				
4.15	金		13	****																				
4.16	土		0																					
4.17	日		0																					
4.18	月		30	*****																				
4.19	火		1	*																				
4.20	水		26	*****																				
4.21	木		54	*****																				
4.22	金		24	*****																				
4.23	土		0																					
4.24	日		0																					
4.25	月		13	****																				

5.2 管理システム

管理システムでは、先ず申込段階として各専門工事業者の職長が、計画システムから出力された揚重計画に基づいて、パソコンで予定揚重日、予定時間の申込を行う（表4、揚重申込画面参照）。揚重専門業者によって運営される揚重センターでは調整作業を行い、各社の申込を受けて自動並べ替え機能を用いて最も効率の良い時間割を出力する（表5、予定時間調整画面参照）。実施段階では当日の変更まで盛り込んだ最新の時間割に従って揚重を実施しながら実績データをリアルタイムで収集し自動集計する。

また計画システム、管理システム共通の開発方針として、共通データや現場ごとの基本条件をデータベースに持たせて、入力画面のテーブルからの選択とすることでキーボード入力作業を最小限にとどめた。

表4. 揚重申込画面

表5. 予定時間調整画面

階	業者	材料名称	品質・寸法	積重	区	積重(17)	積重(18)	積重(19)	積重(20)
01	10	A		2		0800	0820		
01	08	C		6		0820	0820		
01	03	A	1×35	8		0820	1000		
01	03	C		8		1100	1100		
01	03	C		3		1100	1140		

6. 作業所への導入効果

現在建設中のSビル（地上34階、地上3階）をはじめ数カ所の現場で活用されており、主な効果としては次のようなことがあげられる。

- 1) 仕上工事揚重計画を正確迅速に任意に行うことができる。
- 2) 工事工程計画を揚重計画画面からチェックできる。
- 3) 工事進捗管理システムとの併用で揚重面からの工程管理ができる。
- 4) 揚重山積みを使って確度の高い揚重労務計画が作成出来る。
- 5) 計画作成から実施管理までを一貫システムとしたので一元的に仕事を進めることが出来る。

7. あとがき

今回開発したシステムは既に数カ所の現場に導入しているが、使用結果を踏まえて更にシステムの改善、充実を図っていく予定である。また今後の展望として、自動運転ができるハードシステムとの連動がある。具体的には、第一段階として垂直搬送設備への積み込みから垂直搬送、荷降ろし階への到着、荷降ろし、そして積み込み階への戻りまでのサイクルを無人で且つ自動運転出来るハードシステムを開発する。第二段階としてこのハードシステムと本ソフトシステムとが連動できるシステムを開発する。第三段階として荷降ろしした荷物を所定のストックヤードまで自動搬送し、在庫管理が出来るシステムを開発する。以上のようなことを将来の展望として描いている。

36. リーチタワークレーンの開発

コマツ：村田 進・*武原 秀幸
小松メック(株)：高田 邦彦

1、はじめに

近年住宅の建て方工事において、安全性向上の観点から先行四面足場の採用が提唱されている。しかしながら従来のクレーン施工においては、足場とクレーンブームが干渉し、完全な先行四面足場を設置することができないのが実状である。そのため作業者が危険な目にあったり、足場の倒壊事故が発生したりしている。

また新築需要において、建替え工事比率は年々増加しており、都市部では70%を越えようとしている。それらの工事においては、進入路が狭くかつ電線・電話線・CATV線が張り巡らされており、クレーン作業は困難を極めている。実際には手作業での苦渋作業であったり、電線に接触しながらの作業であったりしており、感電死亡事故等の重大災害も発生しているのが実状である。

当社においては以上の状況に鑑みて、屈曲式ブームを装着し、懐を広くしたリーチタワークレーン「ピタゴラス」を開発した。この機械を使用することにより、先行四面足場の採用だけでなく、電線障害や敷地高低差等でクレーン作業が難しい現場を、人力に頼らず安全に機械施工できるようになった。



写真-1 ピタゴラスの施工状況

2、構造及び特徴

2-1 全体構造

本機は図-1に示すように

- ① 水平6段伸縮ブーム
- ② 主4段伸縮ブーム
- ③ 張り出し・格納反転装置
- ④ ラフテレーンクレーン走行体

で構成されている。



図-1

2-2 走行姿勢

走行時の姿勢は図-2に示すようにコンパクトに納まり、車幅は2mである。ラフテレーンベースの走行体は、4輪ステアリングやカニ走行が自在に操作でき、市街地の狭い道路も進入可能である。

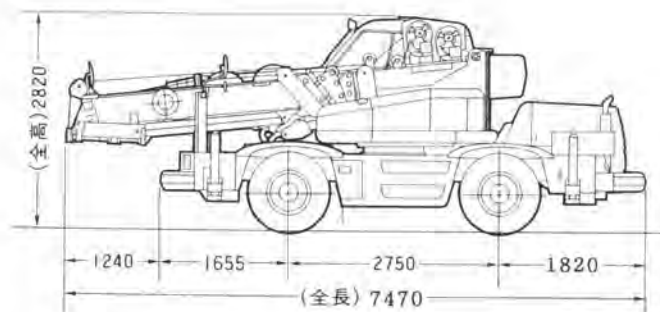


図-2

2-3 張出し・格納姿勢

現場における水平ブームの張出し・格納も、周りの建物や電線等により、制約されるケースが多い。本機においてはブームを垂直にした状態で水平ブームを反転させ、図-3の姿勢になる。この状態で主ブームを伸ばして、隣家や電線の上に出た後水平ブームを張出す。それ故上空に3m×3mのスキマがあれば、電線や隣家をクリアして簡単に作業姿勢をとることができる。

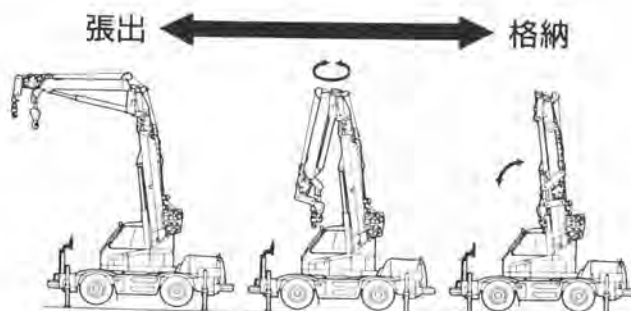


図-3

2-4 作業姿勢・範囲

電線の高さは高圧線(6600v) 11m、低圧線(100or220v)8m、電話線 5mであり、電柱トップに避雷線12mが張られているのが一般的である。本機の懐の高さは16mであり、多少の敷地段差があっても、12mの避雷線を楽々クリアできる(図-4)。

また作業半径は16.6mを有しており、一戸建ての建物においては95%以上をカバーできた。

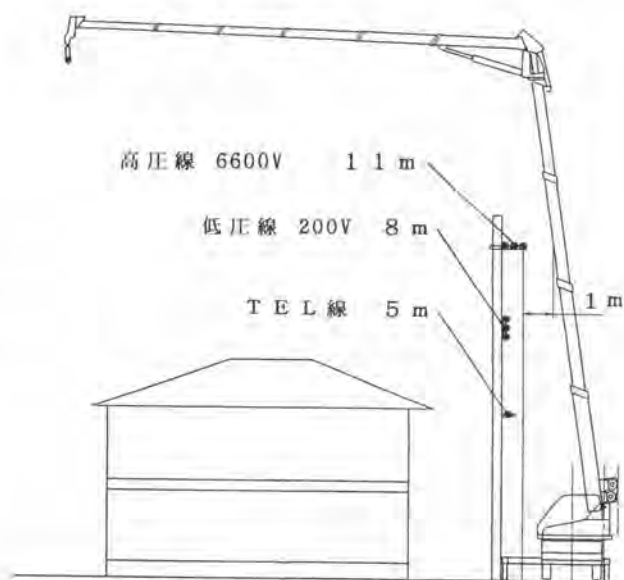


図-4

2-5 反転装置

水平ブーム反転装置は図-5で示すように

- ① 反転用モータ
- ② 格納時用ロックピン&シリンダ
- ③ 張出し時用ロックピン&シリンダ
- ④ 格納検出センサー
- ⑤ 張出し検出センサー
- ⑥ 格納時ロープガイドシーブ
- ⑦ ロータリージョイント
- ⑧ ブラケット本体

から成り立っており、主ブームに横抱きされた水平ブームを反転用モータ中心に回転させる構造となっている。反転位置、張り出し位置ともにオートロック機構が採用され、ロックがはずれないと動かないように安全上配慮されている。またロックピン抜き→反転→ロックピン挿入は、油圧シーケンス回路により、オペキャブからのワンタッチ操作で可能になっている。

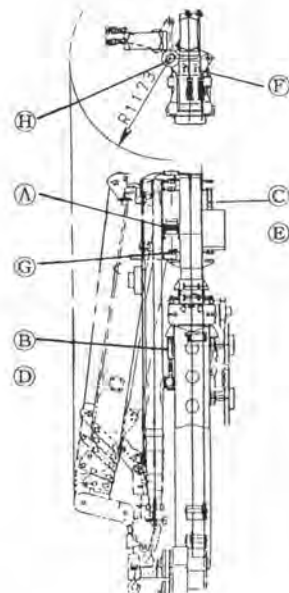


図-5

2-6 安全装置

本機の安全装置（OSS）を実現するうえで、

図-6に示すように

- ① 過巻きセンサー
- ② 水平ブーム長さセンサー
- ③ 水平ブーム対地角センサー
- ④ 主ブーム、水平ブーム相対角センサー
- ⑤ 主ブーム長さセンサー
- ⑥ 主ブーム角度センサー
- ⑦ 油圧センサー
- ⑧ シリアル送信モジュール
- ⑨ 旋回角センサー
- ⑩ アウトリガ張出センサー

が装着されている。図-7のダイヤフラムで示すように、①②③④の4つの信号はシリアル送信モジュール⑧でシリアル変換され、一本のケーブルを伝わってコンピュータに入力される。また⑤⑥⑦のデータも同時入力され、リアルタイムに現在の吊り荷重量と距離が演算される。それにより安定性と強度の安全率を計算し、安全率がある値以下になると、アンロード弁を作動させる。アンロード弁は危険側への全ての弁の動きを停止することにより、危険領域での作業を禁止している。これらのシステムにより、安全なクレーン作業が保証される。

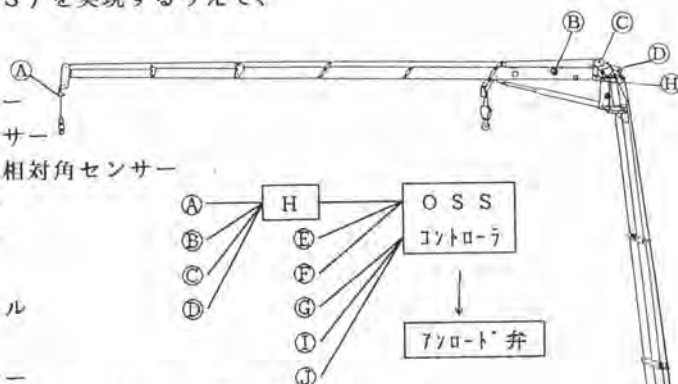


図-7



図-6

表1 仕様

LT300

最大定格総荷重 (アウトリガ 最大張出し)	主フック作業 (4本掛)	5.3+3.2m ^{7°} -Δ	4.9t*2.0m
		8.6+3.2m ^{7°} -Δ	4.9t*2.5m
		11.9+3.2m ^{7°} -Δ	4.0t*3.0m
		15.2+3.2m ^{7°} -Δ	4.0t*3.5m
	補フック作業 (1本掛)	15.2+3.8m ^{7°} -Δ	1.4t * 7m
		15.2+6.1m ^{7°} -Δ	0.89t* 9m
		15.2+8.3m ^{7°} -Δ	0.62t*11m
		15.2+14.8m ^{7°} -Δ	0.42t*18m
ブーム長さ	主ブーム	5.3m~15.2m	
	水平ブーム	3.8m~14.8m	
最大地上揚程	主フック	19.3m	
	補フック	29.6m	
最大作業半径	主フック	12m	
	補フック	18m @ 76°	
アウトリガ	形式	全油圧式H型	
	張出し幅	4.45m/3.6m/2.7m/1.65m	
車両総重量	13970kg		
全長	7470mm		
全幅	2000mm		
全高	2830mm		

3、本機を使用することによる効果

3-1 先行四面足場の実施

従来施工においては、クレーン設置側は足場を全部掛けることにはできず、図-8のように1階部分までの半掛けが大半であった。その結果、作業者の危険性・足場倒壊の危険性にさらされていた。それを本機の使用により、完全な先行4面足場を図-9のように実現することができ、安全性はもちろん、足場2度掛け費用の削減も可能となった。

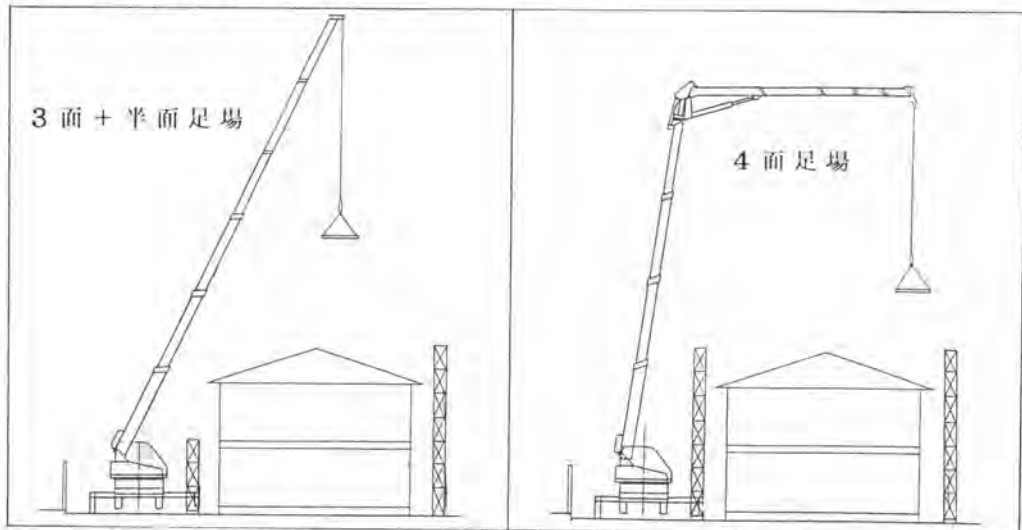


図-8

図-9

3-2 電線障害の克服

図-10に示すように電線・電話線がある場合、従来クレーンでは電話線下をくぐるか、もしくは電線を越えて荷揚げし、届かない部分は手運びを実施していた。それを本機の使用により図-11のように、電線の上を越えてすべての荷揚げ・取付作業がクレーンで可能となり、苦渋作業からの解放と効率向上が実現できた。

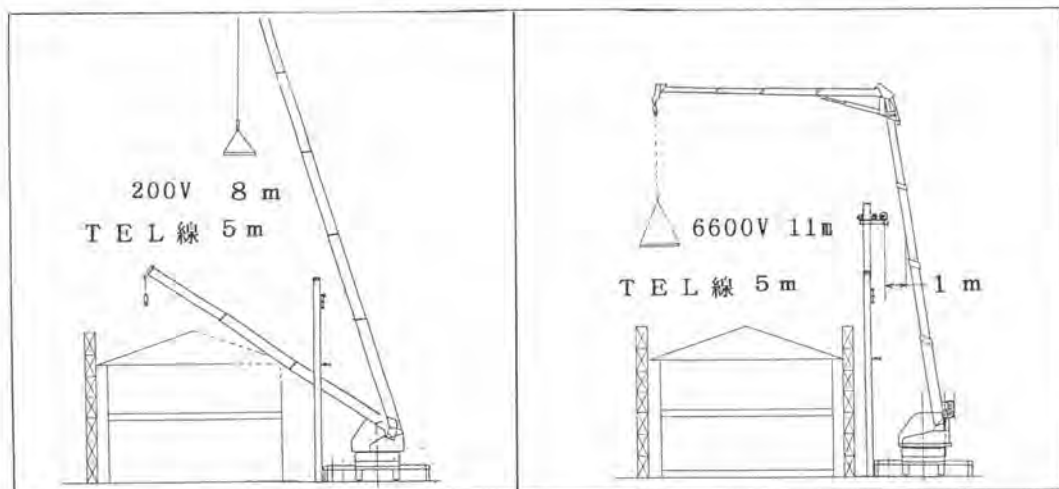


図-10

図-11

3-3 3階建ての建て方施工

図-12のような3階建ての建物において、従来工法では25ト大型クレーンを設置して行うか、小型クレーンで荷揚げのみを行い、後は手運び作業で実施していた。本機の場合は図-13のように全てクレーン作業で施工でき、かつ設置スペースは25トクレーンに比べて大幅に減少できた。

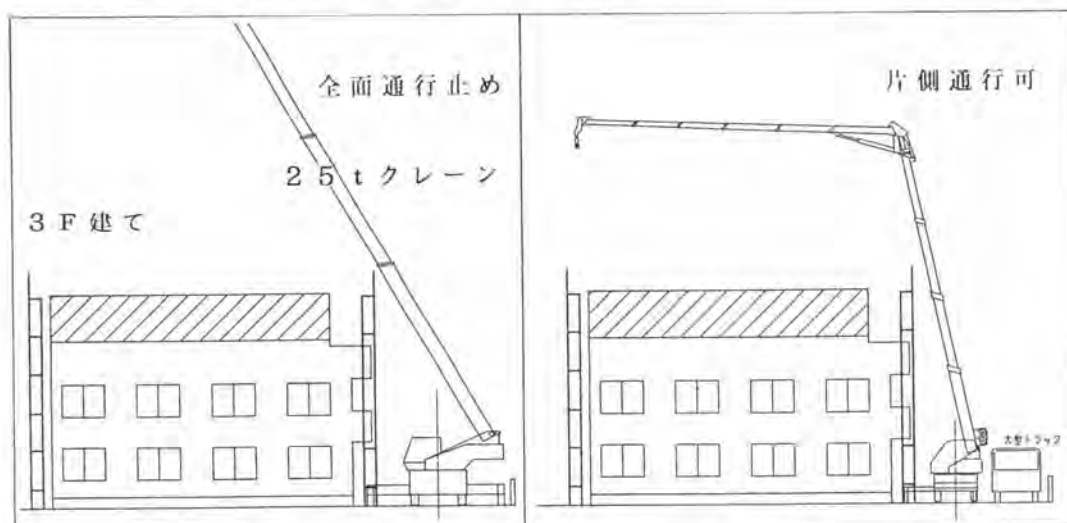


図-12

図-13

4、顧客評価

テストマーケティングを通じて実際の現場で使用してきたが、当初ターゲットにした現場においては、好評を博す事ができた。しかし更なる操作性の改善やアタッチメントの充実に努め、お客様の満足度を向上させる予定である。



写真-2 電線越え施工



写真-3 3F建て施工



写真-4 超高圧線作業

5、今後の展開

今回の機種は、一戸建ての建て方専用クレーンとして開発してきたが、建築分野をみると低層アパートや中高層マンション等も需要は多く、これらの施工の機械化・効率化に寄与するクレーンも現在企画している。

《シリーズ化》

	対象建物	作業範囲 高さ×半径	最大半径時 吊り荷重	備考
LT300	一戸建て(2、3F)	16m×18m	420kg	ホイールタイプ
LT250C	低層アパート・倉庫	16m×11m	500kg	クロータイプ

6、あとがき

今後とも建築の合理化・安全性向上に寄与する機械の開発を鋭意進め、社会の要求にマッチした良い商品を育てていく所存であります。

なお本機の開発にあたり、貴重な意見を頂いたり、テストマーケティングの施工に協力頂きましたプレハブメーカー様並びに施工業者様に、この場をかりて感謝の意を表します。

37. 自走式自動剪定機の開発

建設省(四国技術)：*泉川 暢宏・岩澤 委式

道路における植栽は、環境緑化の観点から従来より行われているが、中でも低木列植帯は、中央分離帯における夜間対向車の眩光防止の役割を果たすことから、多車線のバイパス道路の整備が進むにつれて増加し、他の中・高木に比較しても圧倒的に多くなっている。

四国技術事務所では、低木列植帯の剪定作業の合理化を進めるため、昭和59年度にハンドガイド式の街路樹剪定機を開発して利用してきたが、対象作業量のますますの増大による作業能力の向上と、より一層の作業環境の改善が望まれるようになり、オペレータ搭乗式の自走式自動剪定機を開発を行った。

この自走式自動剪定機は、大型バリカン刃を剪定刃として、高い剪定精度で列植帯の上面と側面を同時に剪定できると共に、切枝を路面上に排出する装置を有しており、ブラシ式の集枝装置を牽引することにより、剪定枝の回収作業を含めて剪定作業全体を効率的に行うことが出来る。また、搭乗式によりオペレータの疲労軽減など作業環境改善を図っている。

1. はじめに

道路植栽の維持管理作業として、施肥・剪定・病虫害防除・灌水・除草等の四季を通じたメンテナンスが施工されている。そのうち施肥・病虫害防除・灌水等の作業については農業用機械を転用するなどしてある程度の機械化・省力化がなされているが、剪定作業については従来より、造園工による人力作業に依存している。

四国技術事務所では、中央分離帯や歩車道境界などに多く施工されている低木列植栽の剪定作業の合理化を図ることを目的に昭和59年度に「ハンドガイド式街路樹剪定機」を開発し、管内の現場で使用してきたが(写真-2、参照)、より一層の作業能力向上と作業環境の改善を目的に、オペレータ搭乗式の「自走式自動剪定機」の開発を行ったので紹介する。



写真-1 人力施工状況



写真-2 ハンドガイド式街路樹剪定機

2. 自走式自動剪定機開発概要

自走式自動剪定機を写真-3及び写真-4に示す。

自走式自動剪定機は、不特定な造園業者の作業員がその操作を行うことを考慮し、現場での操作に熟練を要しないように小型の機械として開発を行った。

本機の寸法は、全長約3m、全幅約1.75mであり、2tトラックの荷台にも十分積載することができると共に、全重量も約1.8tであり、トラック搭載型の3tクレーンでも積み降ろしができる。また、走行方式としてHST方式（油圧無段変速機）の6輪駆動としており、登坂能力も約30度を確保できているため、自走によるトラック荷台への積み降ろしも行える。

HST方式としたのは、剪定作業速度が極低速であり、機械変速方式では発進時及び変速時に剪定装置に振れが生じ、剪定精度に悪影響を及ぼすと考えたからである。なお、作業速度は、高速・低速の2段切替方式としており、作業時最高剪定速度4km/h及び現場内移動最高速度13km/hに対応できる仕様としている。また、6輪駆動としたのは、剪定装置を大きく横に張り出して走行する作業姿勢であっても、植樹帯方向に傾くことなく安定した走行が行えると共に、剪定装置が前後に揺動することによる剪定精度の悪化を防ぎ、かつ、安定した姿勢による自走でのトラックへの乗降が行えることも考慮して6輪駆動とした。



写真-3 自走式自動剪定機



写真-4 剪定状況

3. 剪定装置

剪定装置は、ハンドガイド式街路樹剪定機と同様に列植帯の上面と側面を同時に剪定できる構造となっている。なお、中央分離帯部の剪定作業は分離帯部の上面及び片側面を往復して行うため、各剪定装置は1組としている。各剪定刃は大型のパリカン刃を使用し、その長さは植樹帯仕上がり寸法（高さ400～800mm、幅400～1,000mm）を考慮して水平刃1,000mm、垂直刃900mmとしている。各剪定装置は、単独架台に架装されており、上下移動は油圧シリンダで、左右移動は油圧モータによるラック&ピニオン方式によりそれぞれ単独で剪定位置の設定が行える。

また、各剪定装置は、障害物等の衝突等による機械の損傷を防ぐために、架台の取付部がシャープピン構造になっているほか、樹種により剪定刃と剪定面との角度の調整ができるよう、刃の傾斜角度の調整もできる構造としている。

3. 1 水平剪定装置

バリカン刃で切断された枝は、写真-5に示す横送り装置で横方向の排出カバーを介して路面まで排出される。横送り装置は、農業用コンバインのチェーンコンベアを利用しており、切枝を除去を行うと共に、切枝を除去することにより、切枝による剪定する枝の押し付けを防ぐことができるため、不陸及び切り残しを生じることなく高い剪定精度で施工できる。



写真-5 水平剪定装置

3. 2 垂直剪定装置

水平剪定装置と同様に、切枝の路面排出と剪定精度の向上を図ることを目的として、垂直剪定装置にも写真-6に示すように切枝排出装置を設けている。当初は、枝の自重及び剪定機の走行により路面上まで自由落下で切枝の排出が可能と考えて排出誘導板のみとしたが、誘導板に切枝が滞留して剪定を阻害するため、回転式円盤による垂直剪定用排出装置を設けた。この装置は、直流モータを駆動源として板を回転させることにより、切枝を滞留させることなく連続的に路面上まで排出することができる。

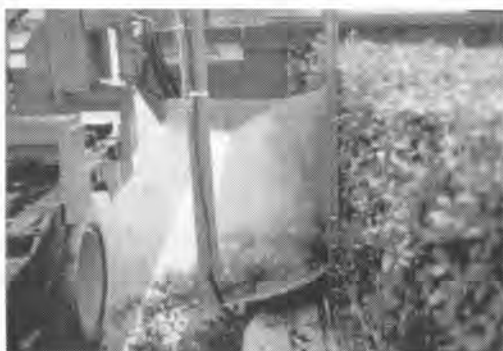


写真-6 垂直剪定装置

3. 3 集枝装置

集枝装置は、市販品をベースに改造したものであり、ブラシの駆動等の作業装置専用エンジンを有している。走行は、自走式自動剪定機による牽引方式となっており、路面まで排出された切枝を本装置により集枝する事ができる。縁石部に排出された切枝は、サイドブラシで掃き出し、主ブラシによりホッパーに回収する（清掃幅：1,000mm ホッパー容量：1.2m³）。トラックへの切枝の積込みは、ホッパー部のリフトダンプ機構により容易に行うことができる。



写真-7 集枝装置

4. 試験施工

自走式自動剪定機の現場適応性を確認するため、アベリア、ウバメガシ及びキョウチクトウの3種類の植樹を対象とした試験施工を実施した。その結果を以下に示す。

- (1) 回送時及び作業時における走行は、振動、揺動等を生じることなく安定しており、特に低速時においてもノッキング等を生じることなく、発進においても安定した走行状態であることを確認した。
- (2) 剪定装置は、水平・垂直共に剪定精度は良好であった。また、横送り装置及び排出装置も良好であり、作業速度は0.5～4 km/hまで変化させたが速度に関係なくスムーズに路面まで排出できることを確認できたが、排出装置からこぼれた少量の切枝が縁石上部等に残ることがあった。
- (3) 集枝装置は、3 km/h以上の速度では少量の掃き残しを生じたが、それ以下の作業速度では細かい切枝及び切葉が残るものの、十分な切枝回収が行えることを確認した。
- (4) 縁石上部に切枝を残さない排出装置及び掃き残しを生じ得ない集枝装置とするためには、さらに機械の改良・調整が必要と思われるが、それぞれの処理量は極めて少ないため、人力による清掃等の補助作業を前提にしても、従来的人力作業及びハンドガイド式剪定機による施工形態と比較して生産性、苦渋性及び安全性の面で改善されている。
- (5) 自走式自動剪定機の従来施工との施工性・安全性・苦渋性の比較において、以下の改善が行えたことがわかった。
 - ・ 自走式自動剪定機は施工性の改善点としては、
施工速度が速い、作業員数を低減することができる、熟練を要せず高い精度で作業を行える等により施工費の低減と、増大する対象作業量への対応が可能になった。
 - ・ 安全性の改善点としては、
施工速度が速く、現場での作業員数が低減できることから、同一作業量における作業員の延べ路上作業時間の低減が行え、作業の安全性を向上することができる。
 - ・ 苦渋性の改善点としては、
手持ち式機械による振動及び機械を支持しての重労働から解放し、さらにオペレータ搭乗式であることから歩行主体の作業と比べて作業姿勢が改善された。

5. おわりに

自走式自動剪定機の試作及び試験結果は、当初考えていた開発コンセプトを概ね満足できるものであり、今後はより現場で使いやすい機械とするための改良等を実現場での作業を通して実施していきたいと考えている。

本年度は、本機を使用して全長7 kmの植樹帯の剪定作業をパイロット工事として実施する予定であり、これにより機械の改善項目の抽出及び改良を行うと共に機械の耐久性について調査を実施したいと考えている。また、本機による施工歩掛の調査と同時に従来的人力主体作業及びハンドガイド式街路樹剪定機による施工と比べた具体的な改善効果の検討も併せて行う予定である。

38. 高速走行型ロータリ除雪車の開発

建設省(北陸技術)：橋元 和男・前田 孝司
(株)新潟鐵工所：池野 利夫

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走行速度は高速化傾向にあるが、回送速度の遅い除雪車の影響による交通渋滞が発生するケースが多く、渋滞解消等を図ることが社会的ニーズとなっている。一方、建設従事者不足が深刻化する中、除雪機械のオペレータは、豪雪時を含めると8割以上の事業所で不足しており¹⁾、熟練オペレータの高齢化が進む中、除雪機械の自動操作化、簡易操作化の要望も強く、これらの技術開発が不可欠となっている。

そこで、ロータリ除雪車の走行速度を最高70km/hに高速化し、渋滞等の発生を極力減少させるとともに、初心者でも操作できる除雪機械を目指したロータリ除雪車開発の1ステップとして、シュート自動制御機構、油空圧サスペンション、アンチロック・ブレーキ・システム(ABS)等、多くのハイテク機器を装備し、操作性、安全性も大幅に向上した次世代型のロータリ除雪車の開発を行ったものである。

2 開発手法

ロータリ除雪車を開発する場合、従来は機械要素の選定と試験のトライ&エラーの繰り返しであったが、この方法は、定量的評価が困難でテストに多くの時間と経費を必要とする。また、走行試験等ではテスト車の破損や事故等の危険性を伴っていた。

このため、新しくロータリ除雪車を開発するにあたり、最新のシミュレーション手法を適用することで、開発目標に対する設計の完成度を事前に十分検討し、必要に応じた対策を定量的に取り込むことで開発期間の短縮や試験の安全性向上を図った。

シミュレーションは、

- ① 車体重量バランスの確保による走行安定性の向上、重量軽減、加工の容易化によるコスト低減のためフレーム強度の適正化の解析。
- ② 現状機械の走行振動の実態調査、車体各部の振動応答をモーダル解析。
- ③ 機構解析ソフト DADS (米、CADSI社製)による走行シミュレーション。

の手順で実施し、写真-1に例を示すように急ハンドルにおける転倒現象の確認、車線変更や路面凹凸を想定したバンク乗り越え時のサスペンションに加わる荷重とその効果を推定した。



写真-1 急旋回時の転倒現象シミュレーション状況

また、70km/h走行時の車両各部に生じる振動を、有限要素法による強制振動計算で解析し、サスペンションやフローティングキャブの剛性と振動の関係、車両の固有振動モードなどを把握するとともに、写真-2に例を示すようにシャシフレーム及び除雪枠の強度解析（有限要素法）から高い応力発生が予測される強度部材を事前に把握し、この結果をもとに試作機の詳細設計を行った。

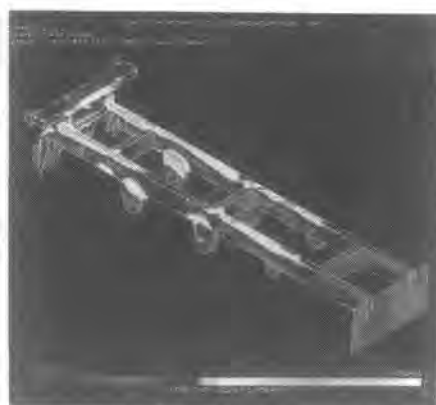


写真-2 有限要素法によるフレームの構造解析例

3 開発機の概要

3.1 開発機のデザイン

“社会に親しまれるデザイン”をコンセプトとして、イメージデッサンによる検討と作業時に要求される機器配置の整合をとり、機器のレイアウトと車両設計を繰り返し行った結果、次世代型のハイテク化した車両に相応しい、写真-3に示す新しいイメージのロータリ除雪車となった。

3.2 開発機の仕様、特長

開発機は、幹線道路における主力除雪機械である300PS級のロータリ除雪車とし、表-1に示す主要仕様のように最高70km/hの高速走行が可能であるとともに、以下に示す新しい機構を開発導入した。

(1) 4輪ステアリング（4WS）方式の採用

回送時は、前輪ステアリングで一般自動車と同様の運転感覚で操作でき、除雪作業時は、4輪ステアリングに切換えることで旋回半径、雪堤への切込みも充分である。

(2) 動力伝達機構

新しく開発したデュアルモード方式（油圧・機械併用）のトランスミッションは、図-1の自動変速システム概要に示すように、静油圧トランスミッション（HST）から段階的に機械駆動式のトランスミッションへ、コンピュータ制御で切り換え変速するフルオートマチックトランスミッションを採用した。このため、回送時は、一般のオートマチック車と同様にアクセルペダルのコントロールだけで0～70km/hまで自動的に変速が行われ、伸びやかな加速と、乗用車感覚のドライブフィーリングが得られる。

また、除雪作業時は、従来と同様に静油圧トランスミッションにより、除雪量等の負荷に応じ



写真-3 開発機の全景

表-1 主要仕様

除雪性能	最大除雪量	3000 t/h
	最高走行速度	70 km/h
	最大投雪距離	45 m
諸元	機関出力	220 kW (300PS)
	走行方式	油圧・機械併用式
	ステアリング	前輪・4輪操舵切換式
	ブレーキ方式	ディスクブレーキ式、ABS付

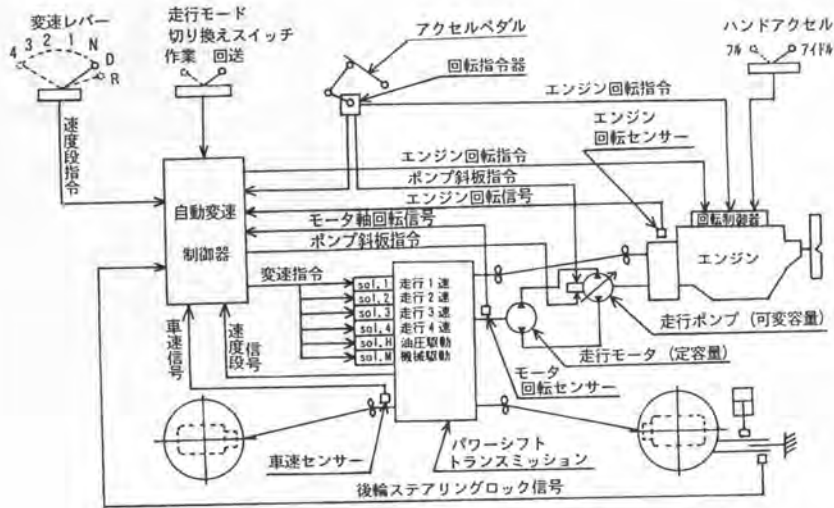


図-1 走行自動変速システムの概要

た速度に無段階の調節が可能である。

(3) 懸架装置

ロータリ除雪車では世界初の、ハイドロ・ニューマチック・サスペンション（油圧懸架）の採用により、高速走行時の安定性と路面凹凸に対しても快適な乗り心地が得られる。

なお、ハイドロ・ニューマチック・サスペンションは、写真-4に示すようにスイングアームとアキュムレータに接続された油圧シリンダー等で構成されている。



写真-4 ハイドロ・ニューマチック・サスペンションの構造

(4) 運転室

防音構造の運転室をコイルスプリングとショックアブソーバで支持するフローティングキャブの採用により、低騒音、低振動の快適な作業空間を実現している。

(5) アンチロック・ブレーキ・システム（ABS）の採用

ロータリ除雪車で初めてABSを採用し、急制動時は、電子制御によりブレーキ圧力を制御し車輪のロックを防止する。この機構により滑りやすい圧雪や氷上でもハンドルによる車両姿勢のコントロールが可能となり、安全でより安定した制動性能が得られる。

(6) 集約型操作レバーと自動制御機構の採用

操作レバーの数が多く複雑な操作が必要なため、熟練した技術と経験を必要とするロータリ除雪車の運転操作を、初心者でも行えるように自動操作並びに簡易操作機構を採用した。

具体的には、表-2に示す7本の操作レバーを複合化し、ジョイスティックレバー2本+スイッチ2個に集約した。また、シュートのXY自動制御機構を採用したため、オペレータの人体感

表-2 操作レバーの集約化

操作レバー	従来	開発機
除雪装置昇降(右)	1本	ジョイスティックレバー 1本
除雪装置昇降(左)	1本	
シュートキャブ開閉	1本	ジョイスティックレバー 1本 + スイッチ2個
シュート旋回	1本	
シュート伸縮	1本	
プロアケース回転	1本	
シュート格納	1本	
合計	7本	2本(+2個)



写真-5 運転席の全景

覚に合わせた投雪位置の変更操作が可能で、操作力の軽減や誤操作を防止することができる。なお、開発機械の運転席、操作レバーの状況を写真-5に示す。

4 性能試験

4.1 走行性能試験

(1) 走行、加速性能

建設省土木研究所の試験走路上で実施した試験機の走行性能試験では、目標仕様値である70km/hの走行速度が確認され、加速性能は0→70km/hが30.9秒と十分な性能であった。また、スラローム(速度25~55km/h)や車線変更(速度40~70km/h)もスムーズに操向でき、急旋回試験(速度20km/h)でも高い安定性を得ることができた。高速走行試験状況を写真-6に示す。



写真-6 高速走行試験状況(バンク走行)

(2) 制動性能

初速度35km/hにおける急制動試験結果は、制動距離11.4mと道路運送車両の保安基準に規定されている新型車の審査基準値である12m以下をクリアしており、初速度72km/hにおける急制動試験でも安定した制動状態を確認することができた。

(3) 走行振動

80km/h走行時における運転席床上の上下方向振動加速度をISO 2631の疲労能率減退境界上に表した結果を図-2に示す。

図からスイングアームの横方向移動を規制するラテラルロッドの剛性が高い場合は、3Hz前後に振動加速度のピークがあり8時間の作業が限界となる。

また、ラテラルロッド剛性を柔らかくすると3Hzから12Hz付近にピークは変化するが、作業の限界は8時間のままである。

しかし、これにフローティングキャブをプラスすることで、運転席の加速度は大幅に低下し、24時間以上の作業が可能となり、走行振動によるオペレータの苦渋性は大幅に改善される。

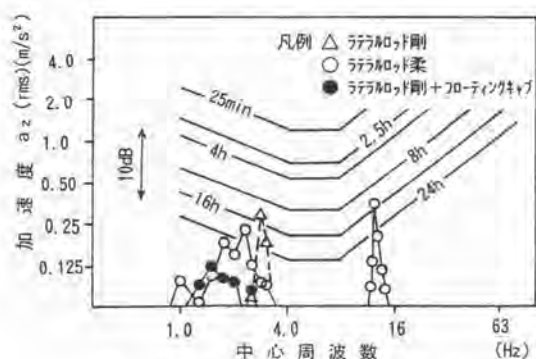


図-2 疲労能率減退限界 (80km/h走行時)

パンプ (長さ2,000mm、高さ50mmの三角形の突起) のりこえ時の上下方向加速度は、図-3に示すとおりで、車軸上で0.8~1.2G、フレーム上で0.5G前後、キャビン床上で0.4G以下になっており、車軸からキャビンになるに従いサスペンションとフローティングキャブの効果で加速度が低下していく結果であった。

このため、開発機には、油圧懸架装置+フローティングキャブを採用することとした。

4.2 作業性能試験

新潟県大和町浦佐地先の平坦な自然積雪 (ざらめ雪、密度0.45g/cm³、硬度0.36kg/cm²) のある農道で、JIS D6509に準拠して除雪能力試験を実施した。

(1) 除雪能力

最大除雪能力は図-4に示す結果で3000t/h、機関出力当たりの最大除雪能力も10t/PS・hで、従来の300PS級ロータリ除雪車(2700t/h)に対して10%程度の能力アップであった。また、拡幅除雪時における能力は、2790t/hであり、最大投雪距離も従来機と同程度であることが確認され、除雪作業時における能力も十分な結果であった。

(2) 居住性、操作性

ISO 6682及びISO 3411に準じて、運転操作装置の範囲、位置を測定した結果、各操作レバーは最適操作範囲内、又はその付近におさまっており、従来7本以上あったレバーを2本に集約しているため、従来機のように無理な姿勢で操作する必要がなくなった。また騒音は、運転席耳元で72dB、機械側方7mの前後左右のエネルギー平均で82.8dBと低い値であり、オペレータや周囲の環境へ配慮された機械となっている。

(3) 仕上がり状態

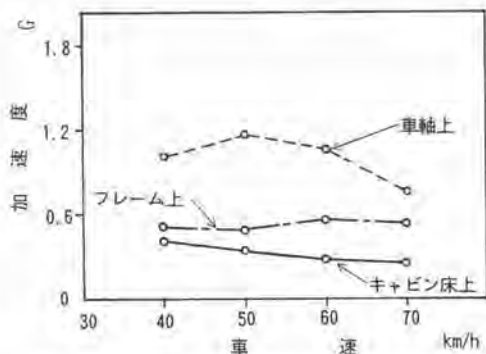


図-3 バンプりこえ時の上下方向最大加速度

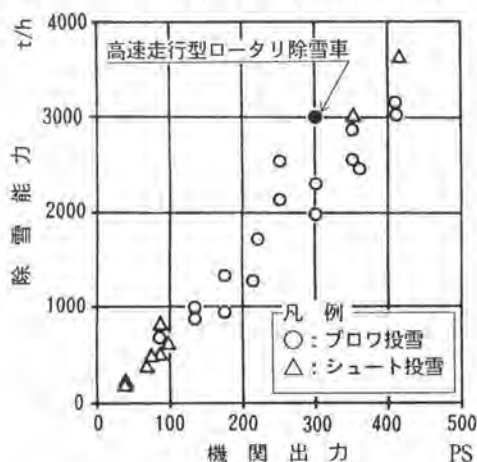


図-4 最大除雪能力試験結果

従来のロータリ除雪車は、前車軸がフレームに直接固定されているが、開発機は、高速走行時の振動低減のためサスペンションが取り付けられている。このため、フロント及びリアのサスペンションを使用した状態と固定した状態で除雪作業を行い、サスペンションが除雪時の仕上がりに与える影響を調査した。

その結果、除雪作業中もサスペンションの車体振動抑制効果は大きく、サスペンションの使用による除雪後の路面の仕上がり状態に顕著な差異は見られなかった。



写真-7 実用機の作業状況

4.3 実用試験

(1) 稼働実態

建設省長岡国道工事事務所、塩沢工区に導入した実用機を対象に、平成5年12月から4ヵ月間実用試験を実施した。試験中の稼働日数は19日（稼働時間149.7時間、走行距離678.2Km）で、この間大きな故障も無く、除雪作業における実用性、信頼性等、開発機の仕様を満足するものであった。なお、実用機の除雪作業状況を写真-7に示す。

(2) アンケート調査

実作業で運転したオペレータ及び助手2名を対象に、アンケート調査を2回行った結果、「集約化したジョイスティックレバーは当初まごついたが、慣れたら非常に使いやすく」、「車体姿勢制御、シュート起倒等のタッチパネルによるメッセージ表示等に新鮮味があり使いやすい」との回答であった。また、雪堤への切り込みについての不都合は感じられず、6%勾配路でもスタッドレスタイヤで作業でき、騒音、振動、居住性が格段に向上し、快適かつ運転が楽になったとの評価を得た。

5 あとがき

開発にあたっては、最新のシミュレーション手法を応用することで、短期間に完成度の高い成果が得られ、従来にはない新しい除雪機械をイメージした高速走行型ロータリ除雪車を開発することができた。

また、実用機は、平成5年度に建設省長岡国道工事事務所に導入されており、各種試験の結果、高速走行性能及びその能力は、当初構想どおりの良好な結果であり、開発機が今後、広く普及することを願うものである。

なお開発機は、大幅に自動操作化、簡易操作化されているが、引続き除雪作業の省人化、効率化のため技術開発を進めるとともに、さらに安全性の向上を図って行く予定である。

参考文献

- 1) (株)日本建設機械化協会北陸支部：オペレータアンケート調査、平成3年

39. アイスバーン粗面形成機の開発

日本舗道(株)：*藤谷 雅嘉・谷口 昭夫
(株)小松エスト：小島 敏男

1. はじめに

平成2年6月に施行された「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」に基づき、札幌市および近郊6市町において、緊急車両を除いてスパイクタイヤの使用が禁止された。これに伴いスタッドレスタイヤが使用されはじめたが、スパイクタイヤに比べ凍結路面（アイスバーン）上での制動性能に劣るため、スリップ事故が急増した。特に、スタッドレスタイヤの装着率がほぼ100%に達した平成4年度冬期には、従来の凍結路面よりも一層すべりやすい路面（すなわち「つるつる路面」とか「ミラーバーン」などと呼ばれる路面）が頻繁に発生したことも重なって、交通事故がさらに増加し社会的な問題にまで発展した。

このような状況のもと、札幌市白石区土木事業所のご指導を得て、アイスバーンにランダムな粗面を形成しすべり抵抗を高める「アイスバーン粗面形成機」を新規開発した。平成5年度冬期に実路試験および部分改造を繰り返し良好な結果が得られたので、ここに開発の概要、試験結果などを報告する。

2. 開発の概要

2-1. 粗面化方式の採用

すでに、除雪の徹底、融雪剤の散布、ドライバーへの啓蒙運動など一般的な方策が積極的に展開され、それなりの効果をもたらしているが、抜本的な対策とはなっていない。また、凍結抑制舗装や融雪舗装なども試験的に採用されてきているが、種々の課題が残されており、必ずしもアイスバーンの発生抑制には効果的とはいえない。

こうしたことから、次の手段としてアイスバーンに傷を付け粗面化を図る方法が考えられている。これまでのところ、既存のスカリファイヤやブレードを転用もしくは改造して縦溝を形成する方式が

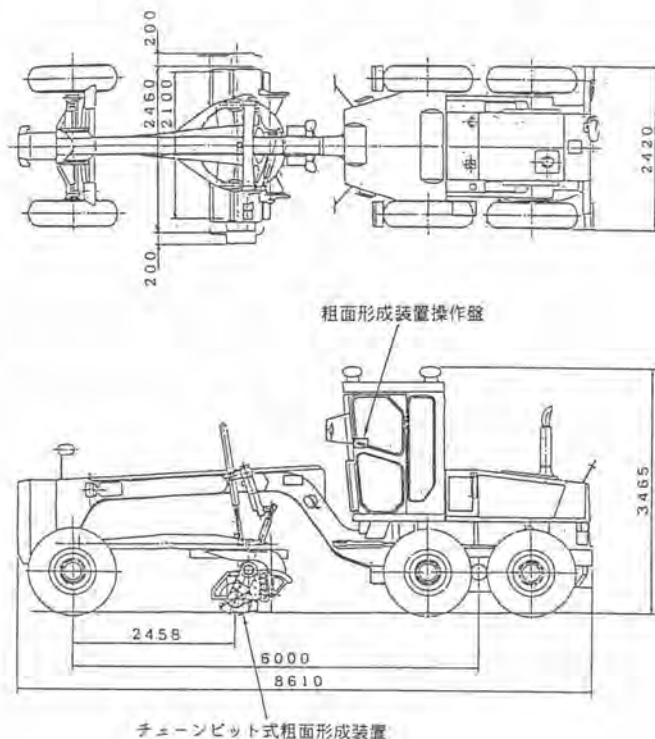


図-1 本機の概要

思考されてきているが、必ずしも初期の目的を達成するに至っていない。しかしながら、この方式は直接的な対策として期待ができるため専用装置の開発を前提に、最適な粗面形状の把握から開発を開始することとした。

2-2. 開発目標

装置の開発に当たって、下記の目標を設定した。

- ① 制動距離が約 $\frac{1}{2}$ 以下となること。
- ② ブラックアイスバーン（路面が黒く透けて見える程に薄い水の凍結路面）に対応できること。
- ③ わだち掘れなどの路面の凹凸に追従できること。
- ④ 舗装路面に損傷を与えないこと。
- ⑤ 作業速度は10 km/h以上とすること。
- ⑥ 装置は汎用機械に取付け可能とすること。

2-3. 室内試験

凍結路面の性状および粗面形状とすべり抵抗の関係を把握するため供試体（9パターン）による室内試験を行った。その結果から以下のことが明らかになった。

1) 凍結路面の性状

凍結路面の硬さはアスファルト舗装と同等または若干下回る程度で意外と硬いため、粗面にするには単に荷重をかけるだけでは難しく衝撃力によるのが効果的と判断された。

2) 粗面形状とすべり抵抗の関係

横溝およびランダムな粗面形状はすべり抵抗（BPN）を20～50%向上させることができ、縦溝形状より効果的である。

2-4. 試作機による模擬試験

開発目標および室内試験の結果から新規に考案した打撃による粗面形成方式について、打撃ビットの最適形状や所要動力など基礎的な調査をするため試作機を製作して舗装路面上で模擬試験を行った。



写真-1 本機の外観

表-1 本機的主要仕様

ベースマシン	コマツアーティキュレート式モータグレーダ GD605A-5	
重量	総重量 装置重量	15,050 kg 800 kg
寸法	全長 全幅 全高	8,610 mm 2,460 mm 3,465 mm
性能	作業幅 標準作業速度 ロータ回転数 シフト量 チェーン数 ビット数	2,100 mm 3.7~11.3 km/h 360 rpm 左右各 200 mm 42 本 126 個
機関	出力	157PS/2,200rpm

その結果、以下の点で優れていたチェーンビット方式を採用した。

- ① ランダムな打撃跡が得られる。
- ② 路面の凹凸に対応できる。
- ③ 舗装の損傷が少ない。
- ④ 回転駆動負荷が少ない。
- ⑤ 打撃の反動が少ない。



3. アイスバーン粗面形成機の概要

3-1. 本機の構成

本機は従来から除雪作業に使用されているモーターグレーダをベースマシンとし、そのブレード装置取付け部分にチェーンビット式粗面形成装置を換装したものである。

この装置は耐摩耗ビットを取付けたチェ

写真-2 チェーンビット

ーンの両端をロータの軸方向に固定し回転させ、縄跳びの縄が地面をたたく要領で凍結路面にたたきつけることにより、凍結路面にランダムな粗面を効率良く形成しすべり抵抗を向上させることができるものである。またこの装置はベースマシンのサークル回転機用油圧で駆動する構造となっている。

本機の概要を図-1および写真-1に、主な仕様を表-1に示す。

また装置の概要を図-2に、チェーンビットの状況を写真-2に示す。

3-2. 主な特徴

- ① ランダムな粗面の形成により効果的にすべり抵抗の向上が図れる。
- ② チェーンビットの採用により、わだちなどの路面の凹凸に対応できる。また、打撃力を調節することによりブラックアイスバーンに対応できる。
- ③ チェーンビットの両端をロータに固定していることおよび安全カバーにより破損に対する安全性の向上を図っている。
- ④ モーターグレーダをベースマシンとしているため、機動性に富んでおり高速施工が可能である。

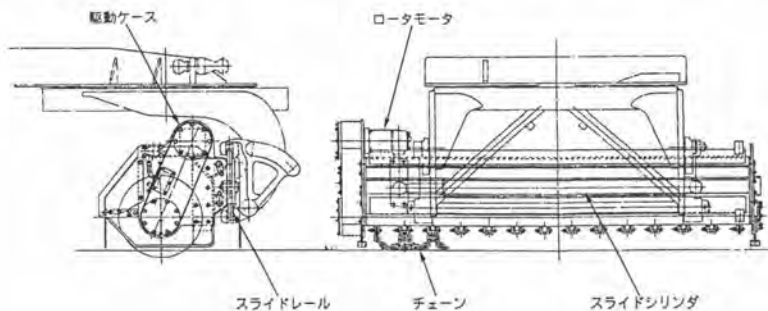


図-2 装置の概要

4. 施工結果

平成5年12月中旬より札幌市内において、性能確認試験、公開試験施工などを行った後、本格的に稼働を開始した。

本機の施工状況を写真-3に示す。この写真に見られるように、非処理の車線は凍結により鏡面化しておりライトの光を反射しているが、処理済の反対車線は粗面化され白くなっていることが分かる。

これまでに本機による施工の結果、確認された事項は以下のとおりである。

- ① 凍結路面での実車による制動試験の結果は表-2に示すとおりであり、1回の施工で約80%に、2回の施工で約50%に制動距離が短縮された。
- ② 交差点近くの処理の結果、発進停止が施工前と比較しスムーズに行えるので安全性が向上した。
- ③ 機動性に富んだ迅速な作業により交通渋滞が緩和できた。

5. あとがき

以上述べたとおり、本機による施工は凍結路面のスリップ防止に効果的であるという成果を得たことから、実用性の高い機械であることが確認できた。

しかし今回の1号機では目標とした施工速度におけるワンパスでのすべり止め効果は充分とはいえないため、今後は1号機の2倍以上の性能を持った改良型を開発する予定である。

最後に本機の開発にご指導ご協力を賜りました、札幌市白石区土木事業所の関係各位に深く感謝の意を表します。



写真-3 本機の作業状況

表-2 制動試験の結果

項目	N 0	制動距離	平均制動距離
粗面形成前	1	24.1m	24.5m
	2	23.0m	
	3	25.0m	
	4	26.0m	
	5	24.5m	
粗面形成後 1回施工	1	20.5m	20.2m (82.4%)
	2	21.0m	
	3	19.0m	
	4	20.5m	
	5	20.0m	
粗面形成後 2回施工	1	13.4m	13.1m (53.5%)
	2	15.3m	
	3	13.5m	
	4	11.4m	
	5	12.0m	
試験条件		試験車両速度 作業速度	30km/h 4km/h

※ () 内の数字は施工前に対する割合

40. アスファルトフィニッシャの 無型枠施工装置

日本舗道(株)： 後町 知宏・田中 智彦
*齊藤 徹

1. はじめに

近年、建設技能労働者の人材不足および高齢化により、建設現場における作業の省力化が求められている。アスファルト舗装工における一方法としては、型枠を使用しない施工方法が考えられる。型枠の設置作業および撤去作業が省略できることにより、事前事後の作業が大幅に軽減できる。

また、交通開放をともなう道路修繕工事においては、交通開放側端部の作業が減少するため、安全性の向上が期待できる。

しかし、型枠を使用しない場合には、ローラの締固めの際に舗装端部が横ずれを起こし、舗装厚さが薄くなる、平坦性が悪くなる等の問題点が生じる。このため、型枠を使用しないで舗装の出来形および品質を確保するためには、ローラの締固め時の舗装の横ずれを防止しなくてはならない。

そこで、汎用のアスファルトフィニッシャに取付けでき、上記の条件を満たす装置を開発したので、ここに紹介する。

2. 従来の技術

一般的に、アスファルトフィニッシャによる舗設においては、施工端部に縁石等の構造物が無い場合に木製の型枠を設置する。この型枠は、仮の舗装止めとなり、ローラによる締固めの際に、舗装端部の横ずれおよび型くずれを防止する。型枠は、2 t o nトラック等で施工現場に運搬し、施工計画線に沿って配置後、下層路面にコンクリート釘等で固定する。混合物の敷きならしの際には、型枠上にはみ出した混合物をスコップで取除き、レーキで敷きならし端部を整形する必要がある。型枠は、ローラによる締固めが終了した後に撤去される。通常、型枠の設置・撤去作業には2～3名、敷きならし時の端部整形作業には2名の人員が必要である。

3. 無型枠施工装置

3-1. 装置の概要

無型枠施工装置（以下本装置と略す）は、この型枠を省略し、かつ舗装端部の出来形および品質を確保するものである。本装置は、アスファルトフィニッシャのスクリード後端部に取付けられ、アスファルト混合物（以下混合物と略す）の敷きならし時に施工端部を斜めに整形し、締固めるものである。本装置の使用により、ローラの締固めの際の舗装端部の横ずれおよび型くずれを抑えることができる。本装置の概念図を図-1、写真を写真-1に示す。

3-2. 装置の機構

本装置は、エンドプレート、エンドプレートサポート、スキー、および振動コンパクタ等から構成される。エンドプレートサポートは、アスファルトフィニッシャのスクリード側面に固定される。エンドプレートは、エンドプレートサポートに上下方向移動可能に支持され、かつ圧縮バネにより下層

路面に押付けられる機構となっている。

敷きならし時は、エンドプレート下方に取付けられたスキーを既設路面に常に接地するように高さ調整する。これにより、スキーが既設路面の不陸に追従し、混合物の横漏れを防止する。敷きならし端部は、スキーが 90° から 45° に絞込み整形する機構となっていることにより、混合物の密度が高められる。さらに、アスファルトフィニッシャのスクリーンによる敷きならし直後において、端部から 40 cm の幅で振動コンパクタにより締固める。その際、上記スキーにより、混合物の横方向の逃げを防止する。

振動コンパクタの動力は、アスファルトフィニッシャのスクリーンの締固め装置の油圧を利用している。このため、本装置は、既存の汎用アスファルトフィニッシャに小規模な改造で取付けできる。

本装置の振動コンパクタの諸元を表-1に示す。

4. 特長

本装置の使用により以下に示す効果が期待できる。

- ①. 舗装の出来形および品質は、型枠を使用する場合と同等である。
- ②. 型枠設置・撤去作業が省略され、施工時間を短縮できる。
- ③. 施工端部が自動的に整形されるため、レーキによる端部整形作業が不要となる。
- ④. 交通開放側の舗設作業が減少し、安全性が向上する。
- ⑤. 型枠を使用しないため省資源である。

5. 設計・施工上の留意点

5-1. 適用範囲

- ①. 本装置の使用に適したアスファルト混合物は、一般的な基層・表層用混合物である。
- ②. 空港の滑走路や駐車場等の施工レーンが多くて型枠の設置・撤去作業が頻繁となる場合、および施工幅員が狭くて長い農道等で型枠の設置・撤去作業に手間の掛かる場合は特に有効である。
- ③. 急カーブおよび施工幅員が急変する場合は、適していない。

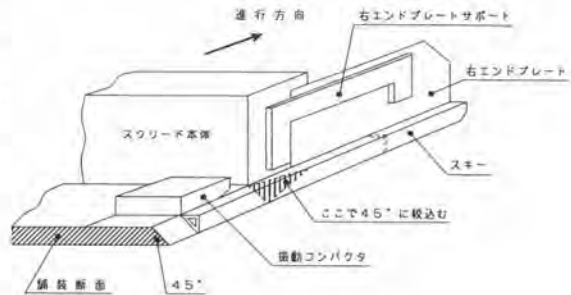


図-1 無型枠施工装置概念図

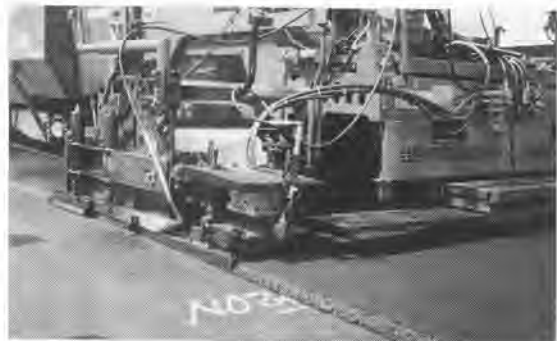


写真-1 無型枠施工装置

表-1. 振動コンパクタ諸元

コパクタ重量	50 kg
プレート寸法	(幅) 40 cm × (長さ) 25 cm
振動数	0 ~ 4000 vpm
起振力	50 kgf / 3500 vpm

5-2. タックコート

タックコートが不十分な場合は、ローラによる締固め時に混合物が移動しやすい。

このため、乳剤は端部まで均一に散布する必要がある。また、舗装の肩の位置が施工幅の計画線上となるように、タックコートは舗装厚さ分だけ広く実施する。

5-3. 締固め方法 (図-2 参照)

通常、ローラによる締固めは勾配の低い側の端部から行うが、本装置使用の場合は次のとおり行なう。

初転圧・2次転圧ともに、本装置の振動コンパクトで締固めた部分 (幅40cm) に10~15cmラップして1往復転圧した後、端部から外側に5cm程度踏出して転圧する。また、密度確保のため、端部も規定回数転圧を行う。

6. 使用結果

平成4年7月に北海道開発局発注の試験工事に初めて使用し、良好な結果が得られた。

本工事は、施工延長1kmを2分して、歩道側車線のセンタージョイント部を無型枠施工法と型枠を使用した従来の方法で施工を行い、出来形および品質を比較したものである。(図-3, 図-4 参照)

6-1. 工事概要

起工者：北海道開発局
 工事名：国道38線東山舗装修繕工事
 場所：北海道富良野市東山
 施工日：平成4年7月15日、16日
 工法：オーバーレイ工法
 延長：1,000m
 幅員：8.5m
 施工面積：8,829m²
 舗装厚さ：4cm
 混合物種類：細粒ギャップアスコン13F

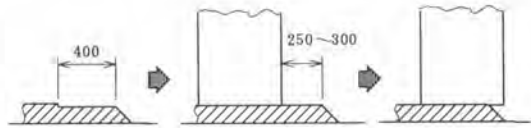


図-2. 締固め方法



写真-2. 施工状況



写真-3. 締固め状況

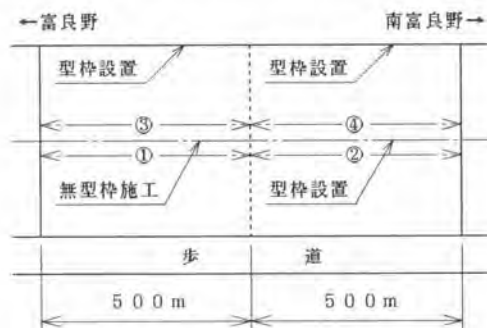


図-3. 施工平面略図 (平坦性測定箇所)

6-2. 結果

(1). 横ずれ量 (表-2 参照)

ローラ締固めによる舗装の横ずれ量は、無型枠施工法が型枠使用の従来工法と比較して平均で約2mm大きな値となった。その差は少なく実用上問題のない程度である。

(2). 平坦性 (表-3 参照)

無型枠施工法は、型枠使用の従来工法と比較して、遜色のない平坦性を得ることができた。

(3). 締固め度 (表-4 参照)

無型枠施工法は、型枠使用の従来工法と比較して、わずかながら舗装端部の締固め度の向上が見られた。

7. おわりに

当初、省力化を目的として本装置を開発し、実際の工事において使用してみたところ、型枠の作業が省けるとともに、レーキ作業を大幅に減少することができ、また、交通規制をしての工事ではより安全に作業を行なえることがわかった。

当社においては、平成5年度から本装置の普及展開を開始し、すでに20セット以上を使用中である。今後も使いやすい装置とするための改良を進めていきたい。

[参考文献]

- 1) 「建設機械化技術・技術審査証明 報告書」(技審証 第9306号)
- 2) 田中氏ほか「アスファルト舗装の無型枠施工法」、舗装 (No.8, Vol.28, 1993)
- 3) 齊藤ほか「アスファルト舗装の無型枠施工装置の開発」、第20回道路会議論文集 (No.764)

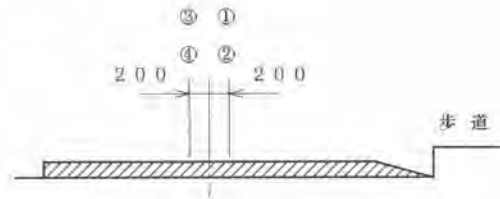


図-4. 施工断面略図 (平坦性測定箇所)

表-2. 舗装の横ずれ量平均値 (\bar{x}_s)

	横ずれ量 (mm)	幅員変化率 (%)
無型枠施工区間	+1.3	0.286
通常施工区間	+10.8	0.241

表-3. 平坦性 (単位: mm)

測定車線	無型枠施工	通常施工
①, ②	① $\sigma = 0.72$	② $\sigma = 0.88$
③, ④	③ $\sigma = 0.94$	④ $\sigma = 0.87$

表-4. 締固め度平均値 (\bar{x}_s)

	締固め度 (%)	
	中心から0.2m	中心から2.0m
無型枠施工	98.8	100.2
通常施工	97.6	99.1

41. トンネル内装板清掃機械(交通障害対策型)の開発

建設省(東北技術)：江本 平・*今野 順二

1. はじめに

ドライバーがトンネルを走行する際、壁面が汚れていると緊張した状態での運転を強いられる。

それでトンネル壁面の維持管理が必要であり、内装板の設置やトンネル清掃が行われている。現在のトンネル清掃は、主にトラックに回転ブラシを組み合わせたトンネル清掃車で行われている。

トンネル清掃車は1回の走行で片側壁面の清掃が可能で、また同時に照明灯具の清掃を行う機種も一部で実用化され成果ををもたらしている。しかし、一車線を占有する低速での路上作業となっているため交通障害の発生や追突事故の危険をはらんだ作業環境となっている。

そこで、車線規制を伴わずトンネル内装板の清掃が行えるトンネル内装板清掃機械の開発を行うものである。

本報告は、トンネル内装板清掃機械(交通障害対策型)の開発に関する試験・調査及びの概略設計検討のとりまとめについて中間報告を行うものである。



写真-1 トンネル清掃車施工状況

2. 開発機の検討

トンネル清掃作業の問題点を改善するために開発を行う車線規制を必要としない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為に、車道と壁面との間のスペースで作業ができる清掃機械とする。
- ②1台で複数のトンネルを対象とする清掃機械とする。
- ③特に熟練を要さず清掃作業が可能な清掃機械とする。
※既存のトンネル清掃車は機械操作に熟練が必要である。
- ④当面の清掃の対象をトンネル内装板とする。

2.2 作業可能幅員の検討

(1) 開発機の作業幅員

東北地建管内トンネルの車道(建築限界)から壁面までの寸法(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として検討を行う。

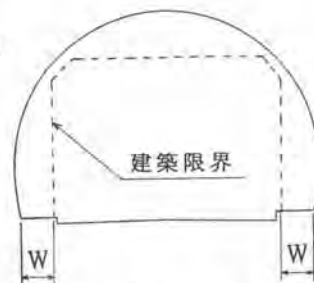


図-1 建築限界～壁面距離

表-1 東北地建管内の作業可能幅員割合

作業スペース W (mm)	割合 (%) ($L_2/L_1 \times 100$)	該当トンネル延長 L_2 (m)
800以上	27.5	36,220.9
750以上	65.7	86,583.6
700以上	66.7	87,876.6

調査トンネル総延長 $L_1 = 131,744.6$ m

2.3 清掃方式の検討

トンネル内装板清掃方式には、洗浄水を使う湿式清掃方式と洗浄水のいらぬ乾式清掃方式が考えられるが以下の理由で乾式清掃方式で検討を進める。なお、乾式で対応できない場合には必要最小限の水を使用する湿式清掃方式も検討する。

- ①かさばる水タンクが不要であり小型（薄型）の清掃機械を開発する上で有利である。
- ②洗浄水の補給が不要であり作業効率が良い。
- ③洗浄汚水が発生しないので環境への影響がなく、また、冬場の路面凍結の心配がない。

2.4 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・転倒防止などには十分配慮し安全を確保するものとする。

2.5 その他の開発検討

(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。調査の結果、突起量は最大135mmであり150mm程度回避する機構を検討する。

(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事になり、清掃ムラやブラシ回転力の負荷変動が発生するととも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が必要である。

3. 室内清掃試験

表-2 清掃効果（試験片による平均値）

実績の少ない乾式清掃方式で開発検討を進めるため試験片による室内清掃試験を行った。試験は管内のトンネルに設置されている4種類の内装板を対象に、乾式清掃に適する砥粒入りナイロン線材ブラシによる乾式清掃試験を行い清掃効果及び塗装の耐久性等について調査を行った。

内装板種類	清掃後反射率		清掃前反射率	新品の反射率
	乾式清掃	湿式清掃		
石綿セメント珪酸カルシウム板型	45.9%	56.1%	45.8%	77.7%
特殊合金亜鉛メッキ鋼板型	70.7%	77.3%	44.0%	83.8%
スチール鋼板型（有機質系塗装）	79.1%	80.8%	59.7%	84.0%
スチール鋼板型（無機質系塗装）	67.3%	79.7%	45.9%	87.3%

※反射率：被測定物の色の明るさを、入射角45度で受光角0度の時の反射率を測定して百分率で表す。

表-3 内装板耐久試験

(1) 清掃効果試験

清掃試験は、暴露1ヶ月→乾式清掃を3回くり返した試験片を、さらにトンネル内にもう1ヶ月間暴露し汚した後、乾式清掃及び湿式清掃（建設省保有トンネル清掃車による）を行った。

その結果、清掃効果については湿式清掃の方がやや高い傾向にあるが、石綿セメントを除けば乾式清掃でも高い水準の清掃効果が得られた。

内装板種類	塗膜厚減少率/清掃回数	
	200回	480回
石綿セメント珪酸カルシウム板型	—	—
特殊合金亜鉛メッキ鋼板型	81.7%	76.6%
スチール鋼板型（有機質系塗装）	25.7%	32.9%
スチール鋼板型（無機質系塗装）	39.5%	88.2%

※1回のペースで清掃した場合、480回は40年間に相当

$$\text{塗膜厚減少率} = \frac{\text{清掃ですり減った塗膜厚}}{\text{新品の塗膜厚}} \quad (0\% \text{は新品})$$

(2) 塗装面耐久試験

砥粒入りナイロン線材ブラシを使用することから、塗装面の耐久試験を行った。その結果、石綿セメント製は80回程度で下地が露出し乾式での対応は困難であるがそれ以外の内装板は耐久性について問題がないと判断される。

4. 現場清掃試験

乾式による清掃試験を実際のトンネル内で行える清掃試験機を製作し、国道47号線長尾トンネルにおいて試験清掃を行い清掃効果、発生粉塵影響及び作業状況の調査を行った。

(1) 清掃効果試験

試験清掃後の反射率の値が70%以上になり条件の良い室内試験の結果と同様高い水準の清掃効果が得られた。また、ドライバーから見た視感的な仕上がり具合についても均一にムラなく清掃できた。

(2) 発生粉塵影響調査

水を使わない乾式清掃により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、清掃試験機周辺の粉塵濃度は $0.02\sim 0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 、最大でも $0.12\text{mg}/\text{m}^3$ であり、公害防止法の環境基準値 $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であった。

(作業前の粉塵濃度は $0.01\sim 0.04\text{mg}/\text{m}^3$) 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ない水準であると考えられる。

(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、蛇行などの問題もなく安定した軌道走行ができた。

以上の試験結果より乾式清掃方式を中心に検討を進め、乾式で対応できない場合やより高い清掃効果を求める場合等のために湿式清掃も可能となる開発機の検討を行う。

5. 実用機の概略設計

清掃試験等の結果を受けて実用機の概略設計を行った(図-3及び表-5)。開発機の概要及び特徴は以下のとおりである。

(1) 幅員750mm以上の監査廊を自走しながらトンネル内装板を清掃する清掃機械とする。

- ① トンネルにレールなど設備を必要としない。
- ② トンネル間の移動が容易である
- ③ 転倒防止等の安全性については、十分な確認が必要

(2) 乾式清掃方式を基本とする(洗浄水を回収リサイクルする給水台車を組み合わせた湿式清掃も検討する)

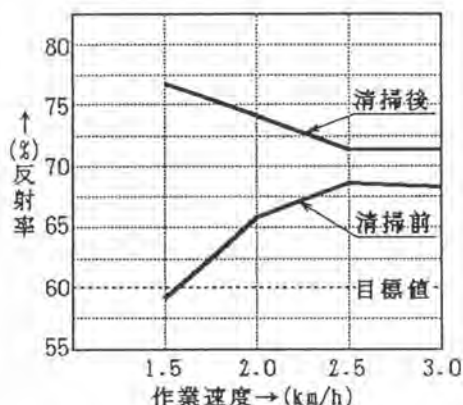


図-2 清掃効果(トンネル内試験清掃)



写真-2 清掃試験状況(トンネル内)

(3)操作は1名で行う（既存トンネル清掃車は2名で操作）

(4)運搬はクレーン装置付き2トトラックで行う。

(5)内装板への自動追従機構

ガイドローラーを内装板に接地させ、油圧シリンダーとバネを組み合わせ内装板に自動追従する機構とする。

(6)障害物回避

清掃ブラシ部前方に障害物検出バーを設けて油圧シリンダーで回避する機構とする。

(7)転倒防止対策

万が一の脱輪などによる転倒防止の為に、車道側に補助輪を設ける。

(8)軌道走行（脱輪防止）

サイドキャスターを壁面に沿わせて軌道走行を行う。

(9)ブラシ昇降（アーム部）

清掃ブラシ部昇降方式を平行リンクのアームリフト方式とする。

表-4 トンネル内装板清掃機械主要仕様

項目	概略設計値	
重量	970kg	
全長	3,008mm	
履帯外寸法	620mm	
全高	下部作業時	1,604mm
	最高部作業時	2,614mm
エンジン 定格出力	走行用	6.0ps
	ブラシ用	16.0ps
作業速度	1.5~3.0km/h	
作業条件	幅員750mm以上の監査廊必要	
作業範囲	地上100~2,150mm (金属性内装板対象)	
駆動方式	ゴム履帯式 (ガイドレール等の不要な自走式)	
清掃ブラシ	φ400mm×幅1,100mm	
軌道走行方式	サイドキャスター壁面押付け	
転倒防止対策	車道側に補助輪設ける (万一の脱輪などに対応)	

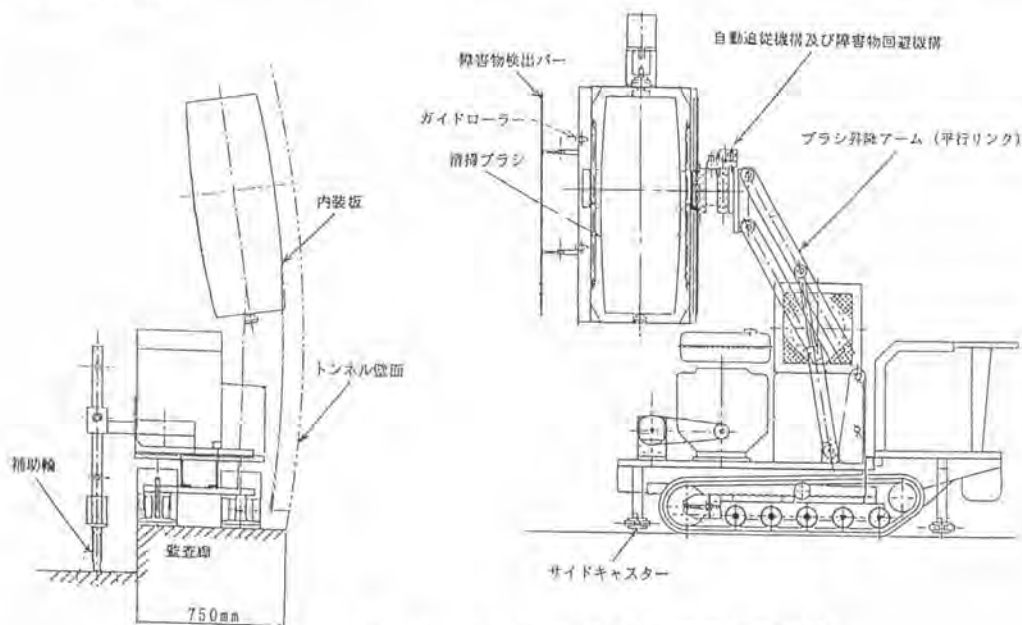


図-3 トンネル内装板清掃機械外形図

6. まとめ

トンネル内装板清掃機械（交通障害対策型）の今回の報告は実用機の概略設計までである。今後の計画は、設計検討した自動追従機構、障害物回避機構、自走式の走行方式などについて清掃試験機によるトンネル内での機能確認及び適応性試験を行い、改良を加え実用化を目指すものである。

42. 構造物雪底処理機械の開発調査

建設省(東北技術)：江本 平・*鈴木 只夫

1. はじめに

冬期間、東北地方でも有数の豪雪地帯に位置している国道112号は、山形市と酒田市を結ぶ通称「月山道路」は、奥羽山脈を横断するために山岳部の高積雪地域を通過しており、冬期交通の安全を期するため、雪崩防止柵やスノーシェッド、トンネル等が数多く設置されている。豪雪地帯のため道路構造物に雪底(せっぴ)が発生し、雪崩等により一般交通に支障を及ぼすことが問題となり従来から人力作業により雪底を処理している。

このような作業は高所作業となり、雪崩の誘発する危険性も伴い作業環境が非常に厳しく苦渋作業となっていた。このため、作業の安全性向上、省力化のための機械化施工が望まれていた。その雪底処理機械として各種検討した結果、0.7㎡ロングリーチ油圧バックホウをベースマシンとし、これにアタッチメントとして装着できる雪処理装置を考案試作し、試験装置を用いて試験フィールドにより現場適応性試験調査を行ったものである。

2. 処理対象物の調査

本調査は、平成2年度を初年度とし平成5年度までの4カ年計画で実施するもので、これまでに道路構造物の設置状況、処理状況、機械処理要望等について東北地建管内雪寒担当事務所にアンケート調査を行い、処理の問題点の抽出、開発すべき機械の基本構想等の取りまとめを行った。



写真-1 防護擁壁柵処理状況

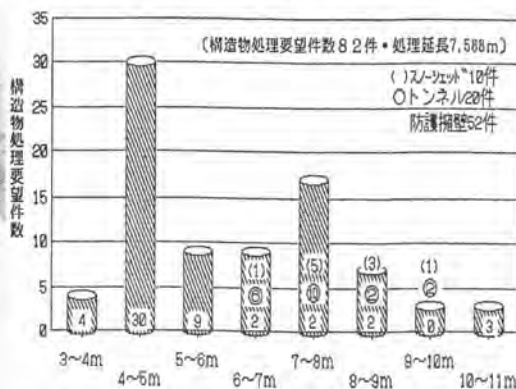


図-1 構造物高さ別処理要望件数

3. 処理装置の概要

3.1 基本構想

道路構造物(防護擁壁柵裏側処理及び雪底)の雪処理方法について検討した結果、ロングリーチバックホウ等をベースマシンとした、アタッチメント方式の機械処理が効率的であることや現場への適応性が大きいことから、表-1に示す処理装置の検討から開発機械の選定を行った。

グラップル方式の装置は、多様な角度から容易に雪をつかみ取りできる「装置」であるため、防護擁壁柵の裏側堆雪処理に雪崩防止柵フェンスを破損することなく処理可能である、グラップル方式を採用した。

表-1 処理装置検討

処理機構	処理機械の選択	長所	短所	適用性
ロータリ方式	雪を飛ばす方法	新雪処理は効率よい	堆雪した処理困難	不
スクレーバ方式	雪をかき落とす方法	雪底をかき落とし迅速	防護フェンス破損懸念	不
グラップル方式	雪をつかみ取る方法	多様な角度で処理可能	処理力が増える	可

3.2 処理装置試作

(1)装置の諸元

平成5年度は、前年度試作した雪処理装置の軽量化を行いロングリーチ油圧バックホウへ装備した。

なお、今回完成した雪底処理装置の主要諸元は表-2のとおりである。

表-2 主要諸元

①構造	造：旋回輪回転・つかみ装置
②雪処理装置	全長（トング開時）1740mm
③雪処理装置	全高（つかみ時）1495mm
④雪処理装置	全幅（処理長さ）1500mm
⑤トング	全高（つかみ時）800mm
⑥雪処理装置	最大開幅 1560mm
⑦最大つかみ量	0.56㎡
⑧装置旋回角度	360度
⑨操作方式	電気・油圧式
⑩操作方法	多接点ノブ設置
⑪装置全重量	580kg

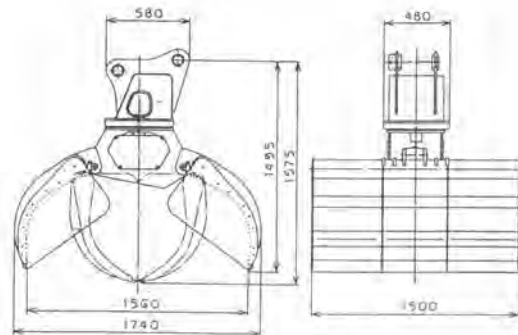


図-2 処理装置

(2)処理範囲

雪底処理装置を0.7㎡クラスのロングリーチ油圧バックホウに装着した場合の処理高さ範囲（リンクメーション線図）を図-3に示す。

バケットを垂直にすると到達高さは約12.5mとなるが、防護擁壁の裏側堆雪処理を考慮すると、擁壁高さ約10m程度まで処理可能となる。

この高さは、防護擁壁処理要望延長（6.268m）に対して約95%処理可能範囲（5.977m）となる。また、スノーシェッド、トンネル等の坑口に発生する雪底処理高（10m）は、殆ど処理可能（100%）範囲となる。

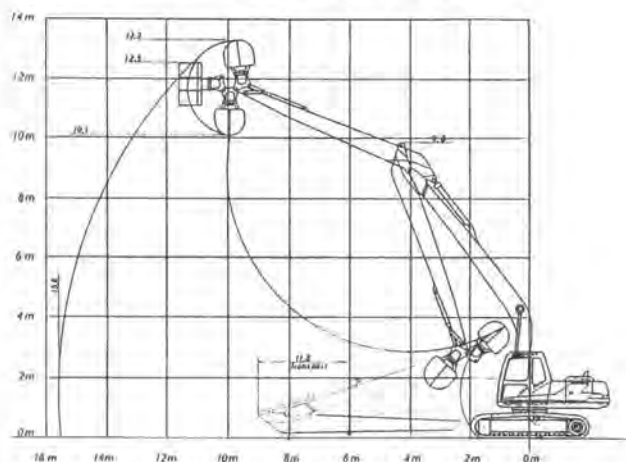


図-3 処理範囲（0.7㎡バックホウリンクメーション線図）

4. 現場適応試験

(1) 試験期日

- 1) 試験月日 平成6年2月16日～3月24日(37日間)
- 2) 試験場所 山形県東田川郡朝日村湯殿山・田麦俣地内(国道112号除雪第1、2工区内)

(2) 試験項目

- 1) 1回当たりの処理量
- 2) 処理能力(処理速度)
- 3) 雪密度測定
- 4) 雪質目視調査及び写真撮影
- 5) ヒアリング及びアンケート調査

(3) 使用ベースマシン

今回の現場試験では、0.7㎡ロングリーチバックホウをベースマシンとして試験調査を行った。

5. 調査結果

(1) 1回当たりの処理量

処理試験は、バケット1回当たりの掘削量の調査を行った。処理装置のバケット実容量は0.56㎡であるが、跡つぼ測定からの1回当たりの処理量の測定結果では約2㎡であった。これは、バケット開きから閉じる際に雪が圧縮され固められることと、処理装置上部が開放構造になっていることによるものである。また、バケット開時カッティングエッジが垂直になるようなリンクモーションに工夫し、バケットのつかみ力を大きくしたことに起因していると考えられる。

表-3 バケット処理量結果

項目	処理平均値
処理長さ(mm)	1,545
処理幅(mm)	1,730
処理深さ(mm)	734
処理量(㎡)	1.96
処理前雪密度	0.30
雪質	しまり雪

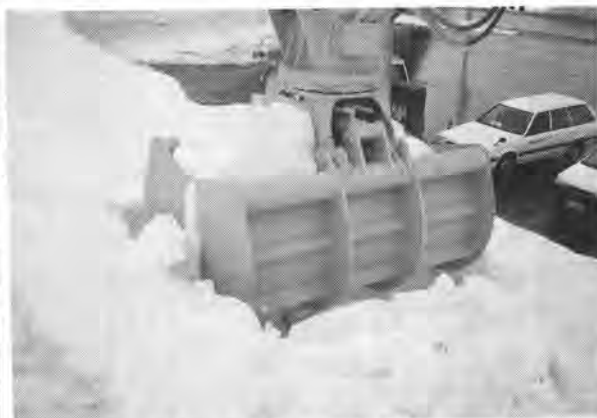


写真-2 バケット処理状況

(2) 処理能力

1) 防護擁壁

防護擁壁雪崩防止柵の裏側堆雪処理能力を把握するため、現場の防護擁壁に試験コース(高さ5m×長さ20m)を設定し処理時間と処理量を測定した結果から処理能力を算出した。

表-4 処理時間及びサイクル数

処理時間 (分・秒)	サイクル数 (回)	サイクルタイム (秒/回)	全処理量 (㎡)	1サイクル当たり処理量 (㎡/回)	時間当たり処理量 (㎡/時間)
22分30秒	92	15	78	0.85	208

表-4から時間当たり処理量を計算すると約208㎡/hとなる。

$$\frac{78 \text{ ㎡} \times 3,600 \text{ 秒/h}}{1,350 \text{ 秒}} = 208 \text{ ㎡/h}$$

防護擁壁試験の結果、従来の人力作業に対して約10倍(200㎡/h)の処理能力を発揮されることが確認されている。従来の人力処理に対して危険、苦渋性を解消し安全性、省力化等が図られ処理が容易であるため、交通開放までの時間の短縮が図れる等の成果が得られた。

2)トンネル及びスノーシェッド

トンネル坑口及びスノーシェッド処理の場合、片側交互通行で実施したため交通車両の妨げを考慮しての作業となり多少処理能力(132㎡/h)の低下がみられた。しかし、従来からの人力処理の危険性や苦渋性等を十分に解消することができ、安全な機械化施工が可能である。



写真-3 防護擁壁開発機械処理状況



写真-4 スノーシェッド開発機械処理状況

(3) 経済比較

従来の人力作業で行われていた防護擁壁の雪庇及び擁壁裏側堆雪処理を、今回開発した雪庇処理装置による1㎡当たりの処理単価を比較すると、機械処理は約1/2以下の単価となっている。

6. おわりに

従来から防護擁壁の雪庇やスノーシェッド、トンネル坑口の処理は、人力作業により雪処理を実施してきたが、今回開発した雪庇処理機械により安全で効率的な作業が可能であることが判明した。また、この機械は電話ボックスや道路付属物周辺の雪処理に利用できることも確認されている。今後は、作業員の安全性と共にサービスレベルの高い冬期道路交通確保の点からも、各現場条件に応じて普及を図っていきたいと考えている。

43. 掘削残土改良装置の開発

東急建設㈱：西尾 仁・大矢 和久
伊藤 公夫

1. はじめに

建設工事に伴って発生し、現場外に搬出される土砂（建設残土）は都市開発の活発化、地下利用の増大等により、その発生量が増加している。特に都市部で多く用いられるシールド工法のなかでも、泥水式シールド工法や泥土圧式シールド工法においては掘削残土が泥土状を呈している場合が多く、通常のダンプトラックでは場外搬出が困難であり、現場内で掘削残土の性状を改良する方法が採られることがある。

改良方法としては、一般に天日乾燥・脱水処理・添加剤（固化剤）混合などの手段が用いられるが、用地の確保や処理コストの点で問題があった。そこで当社では、固化剤混合（装置）に着目し、従来機よりシンプルな機構で省スペース、ローコストな改良装置を開発し、現場に適用した。

2. 残土改良の現状と問題点

残土の改良方法は、土質（排土）状況、坑内運搬方法、立坑用地、処分用地の有無、などの諸条件を考慮し、選定されるが、大別すると①天日乾燥方式、②改良ビットでの混合処理、③改良装置による混合処理があげられ、それぞれの現状と問題点を述べる。

2-1. 天日乾燥方式

現場（立坑用地）内または近くの仮置場に泥土を敷きならし、天日にて乾燥させるものである。経済的ではあるが、広い用地の確保や天候に左右されるなどの点に問題があり、今後、残土改良方法の主流とは成りえないと思われる。特に都市部での適用は困難となってきた。

2-2. 改良ビットでの混合処理

現場（立坑用地）内または近くの仮置場に残土攪拌改良用のビットを設け、泥土を投入後改良材を散布しバックホウなどにより攪拌、混合させて改良する。比較的安価にできるが、問題点としては、ビット用地の確保、重機スペースとオペレーターの確保、改良材散布時の粉塵問題、ビットが現場内に無い場合には運搬が二度手間となるなどがあげられる。（写真-1参照）

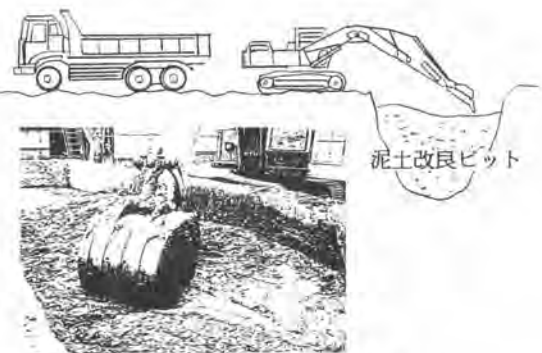
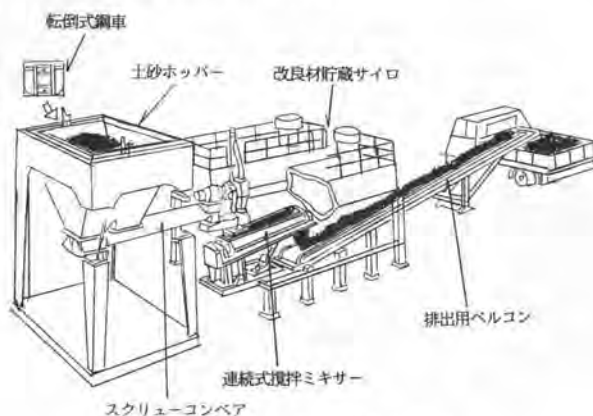


写真-1 改良ビット方式

2-3. 改良装置による混合処理

短時間で泥土を改良する装置で、立坑上の土砂ホッパーに隣接して設置され、連続式ミキサーにより攪拌混合する。装置は土砂ホッパーの排土口に接続する方式のものが多く、改良された残土はそのままダンプトラックに搭載され、現場外に搬出される。近年、このタイプの設備の開発が行なわれているが、改良ビット方式の問題点はクリアされるものの、以下の問題点が上げられる。

- 1) 土砂ホッパーの排土口と装置の土砂投入口を連結させる為、土砂ホッパーの改造が必要で、平面的にも広いスペースが必要。
- 2) 一旦設置すると変更が困難で、土質の変化に対応しにくい。
- 3) 横引き用にスクリュウコンベアを使用している場合が多く、土質によっては閉塞し、掘削がストップする。
- 4) 一般的に広く普及しておらず機器損料が非常に高価である。



既存の装置の一例を図-1に示す。

図-1 既存の改良装置の一例

3. 開発機の特長と仕様

3-1. 開発機の特長

当社では「改良装置による混合処理」に着目し、従来機の問題点を解消し、もっと簡易で、容易に現場に適用できる、従来とは異なる方式の装置を考案した。基本的にはバケットを装備し、改良はバケット内にて改良材と攪拌混合するものとした。主な特長は以下のとおり。

1) 従来、掘削残土の流れは、土砂ホッパー → 改良装置 → ダンプトラック であったものを、改良装置 → 土砂ホッパー → ダンプトラック とした。これにより、次の利点が得られた。

①改良装置を土砂ホッパーの横に並べるのではなく、土砂ホッパーの上部に搭載して省スペース化を図った。

②改良装置から土砂ホッパーへの残土の移送は落とし込み式とすることにより、閉塞などのトラブルが無く、作業工程に影響を与えない。

③攪拌バケット下部に排土ゲートを設け、改良する必要のない場合には、このゲートを開け放しておくことにより、掘削残土を素通しで土砂ホッパーに投入することができる。

④土砂ホッパー内に改良済み残土がストックできるので、ダンプトラックの有無に作業が左右されない。また、ダンプトラックへの積み込み時間が短縮され、ダンプトラックが効率良く運用できる。

2) 土砂ホッパー上部で攪拌バケットが水平移動できるものとした。これにより、通常土砂ホッパー内が山盛りとなり、隅部が無駄となってしまうのを防ぎ、残土を均一に投入できるようにした。

3) 省力化を図り、半自動運転とした。

3-2. 開発機の仕様

本装置は、①掘削残土攪拌バケット、②攪拌羽根、③排土ゲート、④バケットスライド装置、⑤改良材供給装置、⑥半自動運転制御盤 等から構成され、写真-2に示す。また、図-2に設置図を示す。

主な仕様

- ・攪拌方式……………油圧一軸回転式
- ・攪拌羽根回転数……………120 r.p.m
- ・攪拌バケット寸法……………4.0m×2.0m×1.4m
- ・攪拌バケット容量……………1.8m³
- ・攪拌バケットスライド距離……………2.0m
- ・改良能力……………20m³/Hr. 前後
- ・システム重量……………約2000kg
- ・電動油圧ユニット……………11kw



写真-2 全体構成

4. 現場導入

4-1. 工事概要

平成5年3月より現場に導入した。導入現場の工事概要は以下のとおり。

- ・発注……………静岡県静岡土木事務所 ・工事場所……………静岡県清水市長崎新田地内
- ・工法……………泥土圧式シールド工法 ・シールド径……………φ2130mm
- ・セグメント……………鋼製、φ2000×750mm ・延長……………下流588m上流1212m
- ・土質……………シルト（一部礫混じり） ・発生土量……………約3.7m³/リング
- ・掘削残土投入方式……………吊上げ式転倒鋼車（1.3m³×3車）
- ・現場は国道1号線に面しており、作業基地は狭く、近くにストックヤードも無い。
- ・残土の最終処分場は現場より約35km。

4-2. 導入結果

- 1) 当現場では改良材として高分子系の商品名「RC-1」（㈱テルナイト製）を使用した。添加量は2～4kg/m³、改良時間は概ね1～3分程度で、スランプ12cm前後がスランプ1～2cm程度に改良できた。また、立坑下からのズリ鋼車揚重時間内で十分処理（改良）でき、施工サイクルに何等影響を与えずに工程に組み入れられた。
- 2) 土砂ホッパー上部に設置したので、作業基地が有効に利用でき、省スペースに貢献した。
- 3) 土砂ホッパー上部に設置したことによるホッパーの貯蔵容量の目減りが懸念されたが、攪拌バケット水平移動装置により、標準使用と同等の容量が確保できた。
- 4) 改良の必要が無い場合、掘削残土を素通しで土砂ホッパーに投入でき、土質の変化に十分対応できた。また、構造上、粘性土等による閉塞がないため、改良工程におけるトラブルは皆無であった。
- 5) 既存の装置と比較して、導入コストは50%以上削減できた。

写真-3に現場設置状況を、写真-4、-5に稼動状況を示す。

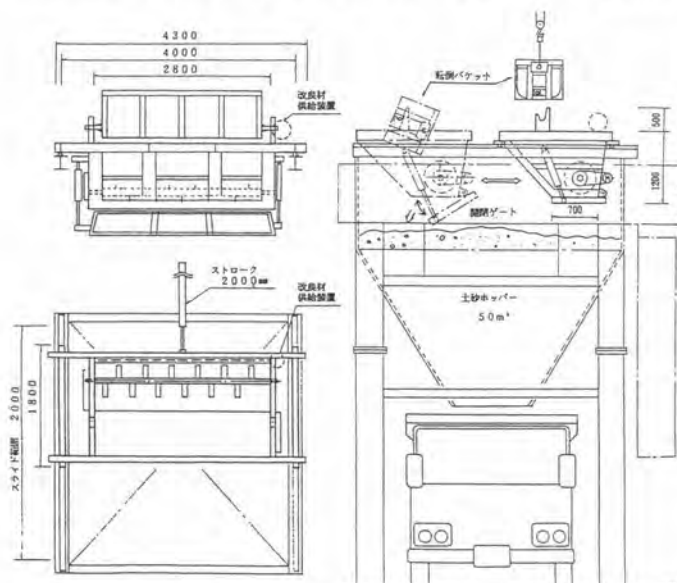


図-2 設置図



写真-3 現場設置状況



写真-4 掘削残土投入状況



写真-5 攪拌改良状況

5. おわりに

今後は社会環境への配慮から建設工事の発生残土に対して、搬出基準が一層厳しくなり、改良装置もより重要な装置としての位置付けになると思われる。また、社会情勢の変革に伴い工事受注も従来の入札型式から技術提案型に変わりつつあり、施工者側の柔軟な創意工夫の姿勢が益々必要であると考えられる。このような背景のなか、簡易な装置ではあるが視点を変えて開発した。本装置はまだまだ改良の余地があり、今後の改良・発展に取り組んでいきたい。

44. パッケージタイプの 小型泥土改良プラントの作動試験

(株)フジタ：*阪本 廣行・茶山 和博
中井 康孝

§ 1. はじめに

近年、廃棄物の処分場の新規立地が困難な状況となり、特に首都圏における産業廃棄物の処分場の不足は危機的な状況となりつつある。このような現状において建設工事から排出される建設汚泥は増加の傾向にあるがそのリサイクルはわずかしが行われていない。

建設汚泥は、そのほとんどが単に地山の土砂に水が加わっただけのものであり、水を取り除くか石灰やセメント系固化材で改良することにより盛土材等に有効利用が可能となる。従来の改良プラントは大掛りなものとなり、また、改良後強度を発現し、搬出あるいは有効利用が行えるようになるまでの養生スペースの確保が必要であり、また、そのためのストックヤードを確保することが困難な場合がほとんどである。今回製作したプラント(10m³/h)により、泥土を市販のセメント系速硬型固化材(アウイン系)を用いて改良し、室内試験結果と比較することによりプラントの性能評価を行ったので報告する。

§ 2. プラント概要

プラントの概要を図1に示し、写真1にプラント全体を、写真2にミキサを示す。本プラントは、一体型の構造となっており、トラックに搭載して運搬可能なものである。

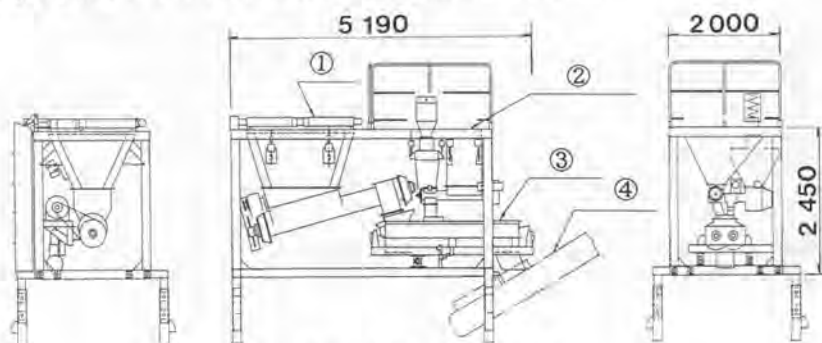


図1 プラント概要(単位mm)

プラントを構成する主な装置の概要を以下に述べる。

①泥土供給装置：容量1.5m³のホッパと泥土切出し装置とで一体となっている。装置全体がプラントの外枠より4点のロードセルにより吊られており、常に質量の計測を行うことができる。泥土ホッパ上面には跳ね上げ式のグリズリがあり□80mm以上の異物がホッパ内に入らないようになっている。泥土切出し装置は、回転数可変のスクリーフィーダで10m³/hの搬送能力を持つ。

②固化材供給装置：容量0.5m³のホッパと固化材切出し装置とで一体となっている。全体がプラントの外枠より4点でロードセルにより吊られており、固化材搬送量を直接計測することができる。固化材切出し装置は回転数可変のスクリーフィーダで、最大1500kg/hの供給能力を持ち、泥土の供

給量に合わせて固化材の供給量を調節することが可能である。

③ミキサ：10m³/hの処理能力を持つ連続式二軸パドル型ミキサである。土質に応じてミキサの角度および回転数を変化させることができる。

④搬出用ベルトコンベア：ミキサから排出された改良土をダンプトラックに直接投入するためのベルトコンベアである。プラント運搬時は取り外して別の車で運搬する。



写真1 プラント全景



写真2 ミキサ

§ 3. 実験概要

3.1 実験概要

実験に用いた試料土は、実験を行った埼玉県入間市にある実験場の掘削土（火山灰質粘性土）に加水して調整した。試料土の採取時の土質性状を表1に示す。

実験は泥土の固さを3段階に調整し、プラントの時間当りの改良土量を2段階に変化させ、セメント系速硬型固化材により改良した。改良後直ちに改良土の試料を採取し、一軸圧縮試験の試料とした。泥土の固さを3段階にしたのは、泥土供給装置およびミキサの混練性能が泥土の固さにより変化すると考えたためである。また、試料土を事前に採取し、室内に持ち帰って含水量による泥土性状の変化および室内配合試験を行い、プラント改良実験の泥土の調整、固化材添加量の決定およびプラントの混合性能評価の比較の対照とした。

3.2 実験方法

プラント改良の試験の組み合わせを表2に示す。改良試験は、ミキサを所定の角度および回転数に設定した後、泥土をバックホウで泥土ホッパに投入し、泥土供給装置、固化材供給装置およびミキサを作動させた後、所定量の試料土と固化材をミキサにより混合し、処理土の排出が安定したと考えられる時点で処理土試料をミキサ排出口付近で採取し、直ちに一軸圧縮試験用のφ50×h100mm

のモールドに詰め、所定時間養生した後一軸圧縮試験を実施した。泥土約1m³の改良を行った。プラント改良による一軸圧縮試験結果と同条件の事前室内配合試験結果を比較することによりプラントの性能

表1 土質性状

項目		測定値
一般	湿潤密度 ρ_w g/cm ³	1.355
	乾燥密度 ρ_s g/cm ³	0.561
	土粒子の密度 ρ_p g/cm ³	2.715
	自然含水比 w %	141.3
粒度	礫 分 2~75 mm %	0
	砂 分 75μm~2mm %	6
	シルト分 5~75μm %	53
	粘土分 5μm未満 %	41

表2 実験マトリックス

試験No.	含水比	ミキサ角度	ミキサ回転数	時間当り改良土量
1	157.4	8°	50 rpm	4 m ³ /h
2				8 m ³ /h
3	181.3	8°	50 rpm	4 m ³ /h
4				8 m ³ /h
5	214.2	8°	50 rpm	4 m ³ /h
6				8 m ³ /h

評価を行った。

§ 4. 試験結果

4.1 事前室内配合試験 配合試験結果を表3に示し、含水比と一軸圧縮強さの関係を図2に示す。一軸圧縮強さは含水比が小さいほど、また固化材添加量が多いものほど高い強度を示した。材令と一軸圧縮強さの関係では、120 kg/m³添加以上のものは3種の試料とも30分で $qu > 0.3 \text{ kgf/cm}^2$ となり、2時間経過で固化材添加量90kg/m³も $qu = 0.3 \text{ kgf/cm}^2$ を上回った。24時間後には試料No.2の90kg/m³添加を除いたすべての試料において $qu > 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ となった。この結果から、プラント試験での固化材添加量は3種の試料土とも30分で $qu > 0.3 \text{ kgf/cm}^2$ を満足する120 kg/m³とした。モルタルスランプ試験では、混練直後から急速に流動性を失い、30分後にはすべての試料でほぼ0cmとなった。

表3 室内配合試験結果

試料No.	固化材添加量 (kg/m ³)	モルタルスランプ (cm)			qu (kgf/cm ²)					
		0分	15分	30分	30分	1時間	2時間	1日	7日	28日
2	90	1.4	0.6	0.2	0.14	0.21	0.27	0.46	0.85	0.94
	120	0.8	0.1	-	0.34	0.46	0.58	0.99	1.55	1.72
	150	0.4	-	-	0.57	0.71	0.99	1.85	2.49	2.90
4	90	1.0	0.4	0.2	0.18	0.26	0.30	0.55	0.82	1.07
	120	0.4	0.1	-	0.36	0.34	0.69	1.15	1.88	2.08
	150	0.2	-	-	0.61	0.79	1.24	2.31	2.66	3.45
6	90	0.6	0.2	-	0.24	0.35	0.48	0.74	1.10	1.34
	120	0.3	-	-	0.40	0.66	0.78	1.36	2.15	2.36
	150	0.1	-	-	0.66	0.91	1.41	2.58	3.66	3.98

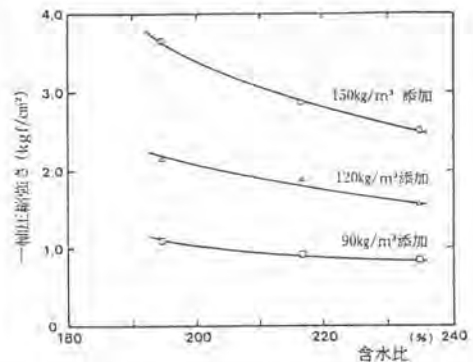


図2 含水比と一軸圧縮強さの関係（7日養生）

4.2 プラントによる改良試験

プラントによる改良試験では、プラントのミキサの混練性能の評価とプラント混合による改良土の特性の把握を目的とした。試料土はその含水状態の違いにより硬、中および軟の3種とした。それぞれの土質性状を表4に示す。プラント改良時の結果を表5に示し、

養生時間と一軸圧縮強さの関係を図3に示す。

一軸圧縮強さは試験No.5については低い値を示したが、他は30分で $qu > 0.3 \text{ kgf/cm}^2$ を上回り、2時間ではおおむね 0.5 kgf/cm^2 を上回っていた。また、7日養生でも、No.5を除いて qu がほぼ 2.0 kgf/cm^2 以上となった。ミキサの性能は、同一試料による室内での完全混合と考えられる固化試料と一軸圧縮強さを比較することによって判定するが、室内試験はプラント試験の事前に行った配合量決定の試験結果を流用した。このため、室内試験とプラント試験での含水比およ

表4 試験時の土質性状

試料土	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	コンクリートスランプ (cm)	モルタルスランプ (cm)	フロー値 (mm)
軟	214.2	1.250	25.1	10.1	197
中	181.3	1.292	12.9	4.1	155
硬	157.4	1.301	3.5	1.0	125

表5 プラント改良試験結果

試料土	軟						中		硬	
	試験No.	1	2	3	4	5	6	5	6	
設定改良土量 (m ³ /h)	4	8	4	8	4	8				
実施固化材添加量 (kg/m ³)	140.1	159.0	157.6	108.2	112.4	140.5				
試験時気温 (°C)	18.0	17.5	14.0	16.0	19.0	19.0				
試料土温度 (°C)	15.0	15.0	13.5	15.0	13.5	13.5				
固化処理土温度 (°C)	0 min	22.0	23.5	23.0	22.0	23.5	23.5			
	15 min	24.5	25.5	25.0	25.0	25.0	28.0			
	30 min	26.0	27.0	26.5	26.0	26.0	29.5			
一軸圧縮強さ qu (kgf/cm ²)	30 min	0.300	0.465	0.760	0.240	0.080	0.680			
	1 hr	0.450	0.665	1.025	0.350	0.155	0.895			
	2 hr	0.635	0.876	1.430	0.480	0.245	1.180			
	7 days	2.010	2.650	3.740	1.890	1.150	2.960			
固化処理土 pH	11.3	11.9	11.9	11.4	11.0	11.9				

び固化材添加量が必ずしも同条件ではなかった。したがって室内とプラントの結果を直接比較することができなくなり、室内試験の一軸圧縮強さと含水比の図を用いてプラント試験結果と同一条件の値を推定した。プラントによる固化強さと室内試験による一軸圧縮強さの推定値を比較し、プラント実測値を室内推定値で除したものをミキサ混練度として表6に示す。

プラントにおける混練が室内試験における混合と同様に充分であれば固化強さも室内試験結果とほぼ同じと考えることができ、ミキサ混練度は1.0となる。

結果は試験No.5がプラントでの一軸圧縮強さが非常に低い値であったため混練度も非常に小さい値となった。試験No.5を除いて結果

を見ると、30分～2時間までの結果では混練度は0.5～1.0の範囲にばらついていた。しかし、これはセメント系の固化にあっては非常に短時間であるため、強度発現の初期強度に養生温度や試料採取からモールド充填までの時間や一軸圧縮試験までのわずかな時間のずれも大きく強度のばらつきに関与していたものと思われる。したがって、最終的な比較を7日強度で行うと混練度は0.76～0.93となった。

§5. おわりに

セメント系固化材による改良においては、泥土と固化材の混合が十分に行われる必要があり、その混合度によって強度発現に大きく影響する。ミキサの土質対応性を見ると、今回の試験では試験No.3および4の（中）が、混練度0.9～0.93となり、試料土（軟）および（硬）については混練度0.76～0.79となった。これはスランプが13cm程度の土が最もよく混練され、それより固くなっても軟らかくなくても混練性能が低下することを示している。しかし、いずれの場合も混練度は満足の行くものであった。

今回開発したプラントは、コンパクトな一体型となっており、機動性に富み、速硬型固化材を使用することにより敷地の狭い現場においても土質材料としての再利用が可能となる改良が出来るようになった。泥土供給装置は全ての土質に対応できるわけではないが、泥土供給装置にアタッチメントを取り付けることにより高流動泥土も改良可能となる。

今後、建設発生土の再生利用のニーズは更に高まることは、明白である。トータル的に見れば軟弱な建設発生土を処分して良質土を購入するより、建設発生土を有効利用することは環境保全の面からも必要であるとともに、経済的にも優れていると考える。今後様々な工法に対応した改良プラントの開発とともに改良土の利用可能性の拡大を図る予定である。

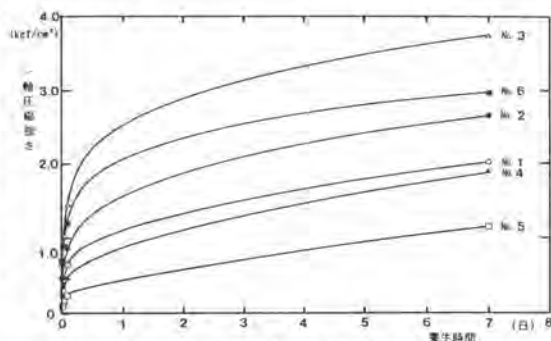


図3 養生時間と一軸圧縮強さの関係

表6 ミキサ混練度（現場値/室内推定値）

試料土	軟	中	硬				
対照現場試験 No.	1	2	3	4	5	6	
固化材添加量 (kg/m³)	140	160	160	110	115	140	
ミキサ混練度 現場/室内	30 min	0.56	0.66	0.95	0.63	0.17	1.00
	1 hr	0.63	0.72	0.93	0.55	0.18	0.83
	2 hr	0.64	0.66	0.76	0.50	0.15	0.61
	7 day	0.77	0.79	0.90	0.93	0.43	0.76

45. 油圧ショベル用分割式ゴムクローラ “ロードライナー”

コマツ：永田 芳行

1. はじめに

近年、土木工事の都市化に伴い、油圧ショベルが舗装路上で稼動する機会が急増している。それに伴って、ゴムクローラの需要も年々増えている。

ところが、小・中型の油圧ショベルでは、万が一ゴムクローラの切断や外れが発生した場合、その補修・復旧に時間や費用がかかり、又工期の乱れもあるなどして、ゴムクローラのマイナスイメージが顕在化してきているのも事実である。

そのため市場には、鉄シューの踏面にゴムパッドを直接ボルト又は金具で取付ける商品も出回っているが、ゴムの耐久性、金具の外れについて、ユーザの十分な満足には致っていないと思われる。

以上の様な背景を踏まえこの度、従来の鉄シュー用リンクに直接ボルトで取付けるタイプの分割式ゴムクローラ「ロードライナー」を開発・市場導入したので、本誌の一端をお借りして紹介する。

2. 「ロードライナー」の特徴

今般開発したロードライナーは次の様な特徴をもっている。

①鉄シューと同一のリンクを使用

- ・履帯外れが無い（鉄クローラ並）

履帯外れはベルト式ゴムクローラの場合、そのゴムゆえのねじれ剛性の不足するところに起因しているが、今回は鉄シューリンクをそのまま使用できるので、鉄クローラ並のねじれ剛性を確保できる。

- ・鉄クローラはき替え時の改造不要

従来ベルト式ゴムクローラから鉄クローラにはき替える際、アイドラクッションの再調整、ガードの取外し等が必要であったが（当社の例）、今度のロードライナーでは、一斉不要である。

②リンクに個々にボルトで取付ける。

- ・その場交換が容易

従来のベルト式ゴムクローラでは、ゴムの切断が発生した場合、クローラ・運搬、はき替えが大変であったが、ロードライナーは現場で一人の作業員での交換が可能である。

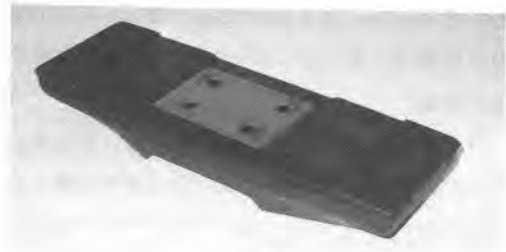
3. 構造

外観を写真1・2に示す。又構造は図1に示す。いたってシンプルな形状であり、これが耐久性の向上にも一役買っている。

ロードライナー



写真①



写真②



写真③

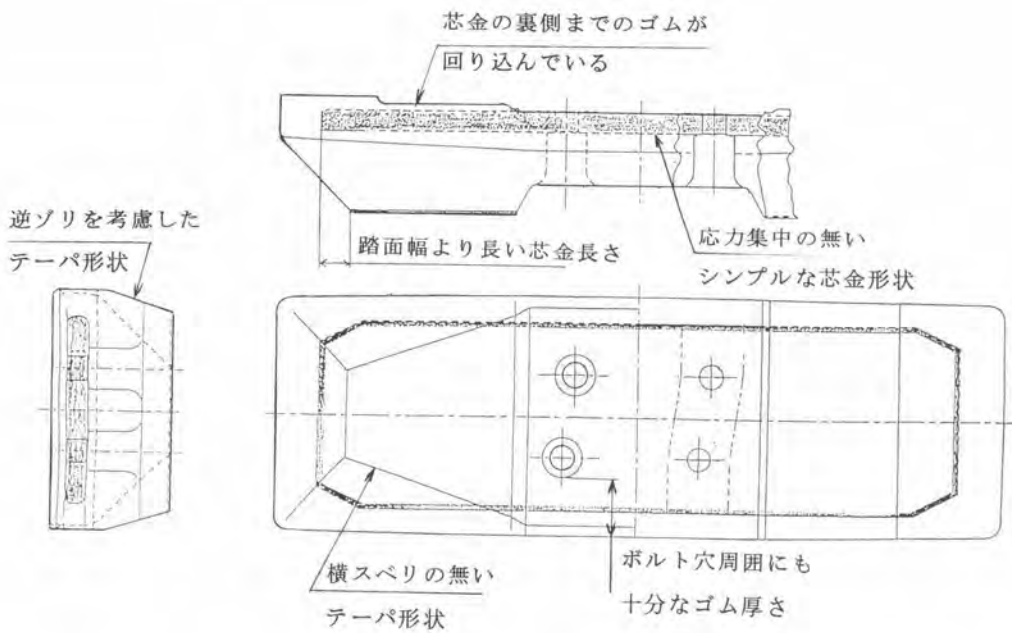


図1 ロードライナーの構造

4. 耐久性確保のポイント

ロードライナーを開発するに当たっての最重要課題は耐久性をいかに従来のベルト式ゴムクローラと同等以上にするかであった。

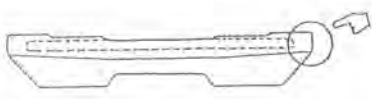
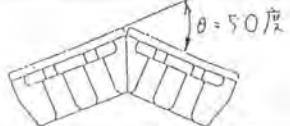
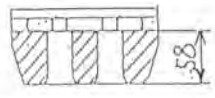
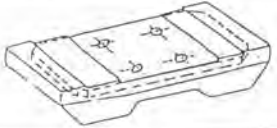
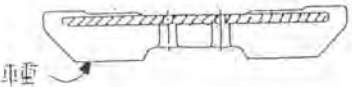
一般にベルト式ゴムクローラの耐久性は、ゴムの摩耗よりも、割れ・カケによることがわかっている。そのため、耐久性の確保はゴムの耐カット性向上という点に的を絞った。

耐久性確保のポイントについて表1に示すが、形状面・材料面に分けると概略下記となる。

①形状面

ゴムのポリュームを十分に確保し、突起物に対してゴムが十分に変形できる様にすると共に、シンプルな芯金形状にして、応力集中が無い様にした。

表 1 耐 久 性 向 上 の ポ イ ン ト

芯金の裏側までまわりこんだゴム ↓ 十分な接着強度	
大きな逆ソリ角 ↓ 突起物を包み込んで集中荷重防止	
十分なゴムポリューム ↓ 大きな負荷でも小さい歪量	
フラットな芯金形状 ↓ 応力集中防止	
十分な芯金強度 ↓ 負荷に耐える	
耐カット性の高いゴム特性 ↓ 割れ、ハクリの防止	超Fゴム

②材料面

今回はタイヤメーカーにご協力いただき、オフロードタイヤのゴムを改良し、ロードライナー専用耐カット性の高いゴムを開発いただいた。

表中超Fゴムというのは、試作時のF番目のゴムの練り（現状焼付パッドシューに採用している。焼付パッドシュー：鉄シューの踏面にゴムパッドを焼付けた当社製品）に対し、さらに改良を加えていただいたことを意味する。ゴムの特性を表2に示す。

表2 ゴムの特性比較

物 性		ロードライナー	現行ベルト式 ゴムクローラ
材質	—	SBR	NR/SBR
硬度	JIS, H	73	63
引張強さ	kg/cm ²	198	190
伸び	%	670	640
引裂強さ	kg/cm	64	55
耐カット性 15kg×70cm	mm	15	23
100%モジュラス	kg/cm ²	20	18
300%モジュラス	kg/cm ²	76	68

5. 耐久テスト結果

当社の実車耐久テスト結果、現行のベルト式ゴムクローラと同等以上の耐久性を確保できたことを実証した。

その耐久テスト結果を市場での実車レベルで評価すると図2となる。



図2 耐久性比較

6. あとがき

当社のロードライナーは、今までのゴムクローラに対する「切れる・外れる」といったマイナスイメージを払拭し、今後共増えるであろう都市土木にお役に立てると確信する。又その耐久性の良さで、解体分野等でもお使いいただけることを期待する。

46. ハイドロメカニカルトランスミッション (HMT) 搭載ブルドーザの開発

コマツ： 大田 晋吾・浅田 久夫
*石野 力

1 はじめに

大型ブルドーザは、鉱山、砕石、道路、水路、土地造成等の現場において、掘削、押土、サイドカット、整地、リッピング作業を主たる作業内容として使われている。

そのなかでの、生産効率向上の要求に対し、大型化、ロックアップトルクコンバータ採用による車両機械効率の向上、等の改良を行ってきた。

車両の機械効率の高い変速機としては、従来よりハイドロメカニカルトランスミッション（以下HMTと記す）が知られているが、構成する静油圧ポンプモータに大容量の機器が得にくくまた高価、油圧で制御するには、システムが複雑で技術的に難しい、等の理由で現在実用化されているものは軍用車両のみである。

コマツでは、このHMTについて、特殊車両分野で研究を進めてきたが、安価に油圧機器が入手可能となり、制御も電子制御により容易に実施可能となったことより、大型ブルドーザに採用しその性能を一段と向上することが出来たので、ここに紹介する。

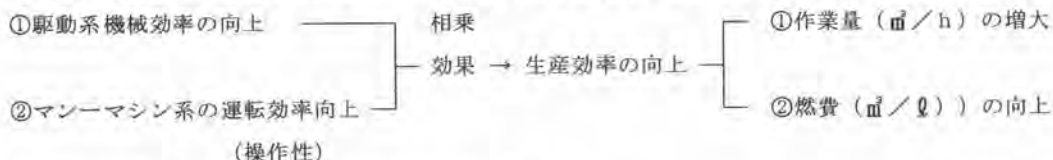
2 HMT搭載の狙い

ブルドーザの生産効率の向上は、機械効率の向上と運転効率の向上の2つにより達成される。

$$\text{生産効率} = f(\text{機械効率} \cdot \text{運転効率})$$

だが、どんなに機械効率の高い機械であっても、その運転効率（操作性）が悪ければ、生産効率は低い。例えば、トルクコンバータ付きの変速機を有する車両は、トルクコンバータ無しの物に対して、その機械効率は劣るが、運転効率（操作性）面で優れているため、総合的な生産効率で優れる。

HMT搭載の狙いは、この2つの効率向上の相乗効果で飛躍的な生産効率の向上を図るものである。



なお、HMT搭載車両の主要諸元は以下のとおりである。

項目	単位	D155AX-3 (HMT)	D155A-3 (従来構造)
定格出力	PS/rpm	306/1900	←
運転整備重量	kg	38500	38000
変速機形式	—	HMT (静油圧機械式変速)	トルクコンバータ+機械式変速機
操向機形式	—	HSS (静油圧操向)	クラッチブレーキ

3 HMT 搭載結果

HMT 搭載による効果は以下のとおりである。

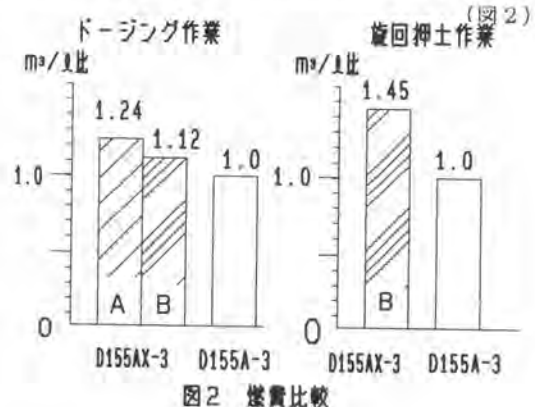
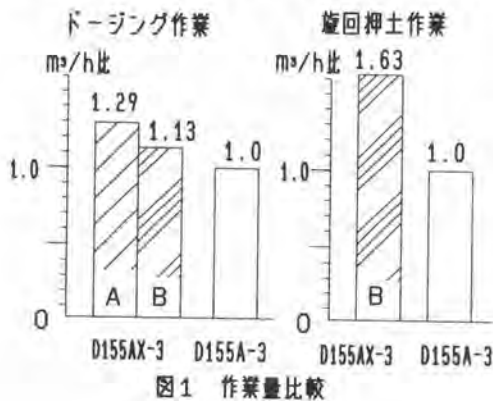
①時間当たり作業量 (m³/h) の増大

HMTは、従来の「トルクコンバータ+遊星歯車式トランスミッション」に対し、伝達効率が高くかつ、その範囲が広く、また自動トルクコンバート機能を有し、常時エンジンを最大出力点に保持することができるので広い車速範囲でエンジンのフルパワーを吸収でき、また自動変速機能により運転効率が向上したため、作業量の増大が達成できた。

図1に作業量テスト結果を示すが、ドーピング作業においては従来タイプ「トルクコンバータ+遊星歯車式トランスミッション」に対し、最大29%増の結果が得られた。また旋回押土作業においては、操向機構に、旋回時に内側履帯の動力が遮断され、かつブレーキロスの大きなクラッチブレーキ方式に代えて、旋回時にも内外履帯への動力遮断の無いHSS（ハイドロスタティックステアリング）機構を採用しているため、HMTの高効率との相乗効果で「トルクコンバータ+遊星歯車式トランスミッション」方式に対し、63%増の結果が得られた。

②燃費 (m³/ℓ) の向上

燃費の面よりHMTの効果を見る。燃料1ℓ当たりの作業量で比較できるが、この面でもHMTの効率の良さからドーピング作業では最大24%増、旋回押土作業では45%増の結果が得られた。



掘削押土時の速度段選定

	D155AX-3	D155A-3
Aパターン	F1, F2自動変速	F2固定
Bパターン	F1, F2自動変速	F1掘削F2押土

図3 ドーピング作業量テスト内容

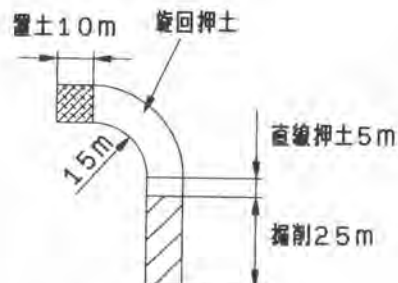


図4 旋回押土テストコース

③操作性の向上

従来の「トルクコンバータ+遊星歯車式トランスミッション」の場合、オペレータは、掘削押土作業においては、ブレードに掛かっている荷の大きさと 車両の速度とその変化、シュースリップによる車両揺動状態を、オペレータが感知し、速度段を選定し、変速操作をする必要があった。

今回HMT搭載車両では、自動トルクコンバート機能により、負荷に応じて自動変速するので、作業中のオペレータの変速判断 及び 変速操作が不要となり、オペレータは作業機の操作に専念可能となった。

またリッピングや、トレーラ積込み時の超低速作業で、従来の「トルクコンバータ+遊星歯車式トランスミッション」の場合、デクセルペダルにてエンジン回転を調整して車速調整していたものが、新設のMax.スピードセットレバーで、エンジン出力を下げることなく、作業に応じた車速が無段階に設定できるため（図5、図6参照）、デクセル操作無しでも、車速設定できるようになり、デクセルペダル操作頻度が低減された。



図5

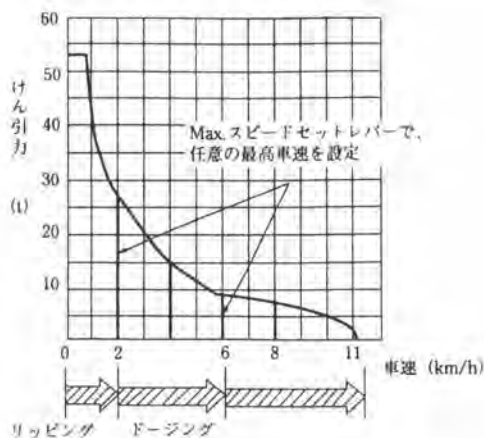


図6

4 HMT (Hydro-Mechanical Transmission) とは

(1) HMTの基本概念

HMTは1組の静油圧変速機(HST)と機械式変速機の組み合わせで構成されるが、今回この2つを電子制御コントロールすることで、それぞれの長所である 無段変速性と高効率性を十分に兼ね備えた変速機を構成した。

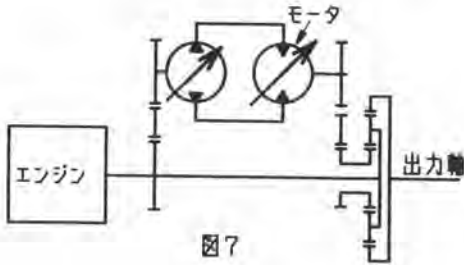
最も簡単なHMTの構成を図7に示す。エンジンからの入力、PTOで分割され、遊星ギア部のキャリアに直接入力する機械動力と、HSTを経由してサンギアに入る油圧動力が、合成されてリングギアより出力される。今、モータ回転0の場合、油圧動力側への動力伝達は0で、エンジンの動力は全て機械側へ伝達される。この時、伝達効率は最大となる。この状態より、モータ回転を正逆方向に回転させると出力回転を増減することが可能となり、無段変速機が構成される。(図8)この場合、モータ回転(油圧動力伝達)が低いほど、機械動力伝達割合が高いため、伝達効率は高くなる。

理論上は、この基本構成でHMTが構成されるが、

①モータ回転数が増大すると、油圧動力の割合が増加し伝達効率が低下する。

②車両速度の高低速域で、モータが高速回転となり許容回転をオーバーする。

等の理由で、機械伝達部にトランスミッションを設けてHMTを構成する



(2) HMTの構成例

パワーラインギアスケルトンを図9に示す。機械式トランスミッション部は前後進及び3段の速度段を有し、HST部は、可変ポンプ、可変モータを有する。機械、油圧動力の合成部は2組の遊星ギアの組み合わせで構成される。

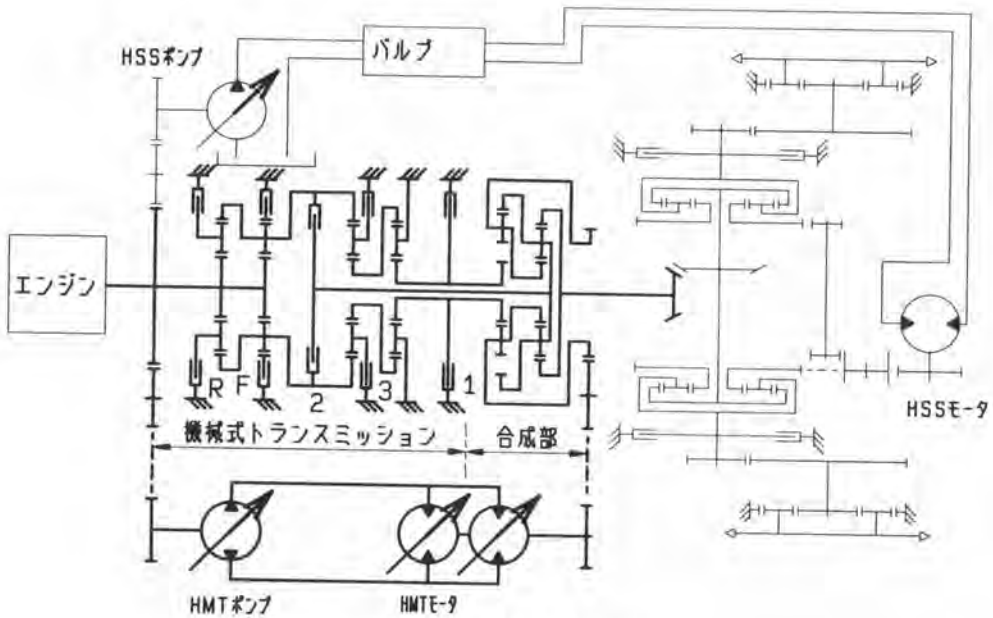


図9 パワーラインギアスケルトン

(3) 制御システム構成

次に、制御機器の構成を示す。(図10) 機械式トランスミッション部には、クラッチピストンを切り換えるon-offソレノイドバルブが各クラッチ毎に5組、HMTポンプ、モータには、斜板角を変化させるアクチュエータの電気油圧サーボバルブがあり、コントローラからの出力信号により作動される。

またコントローラには、車両進行方向を指令するレバー指令信号、車両の走行速度を設定指令するMaxスピードレバー指令信号、エンジンスロットル開度に応じたマッチング回転数を設定するためのスロットル開度信号が指令信号として、更にエンジン回転信号、HMTモータ回転信号がパワーラインの状態をフィードバックする検知信号として取りこまれる。

制御は速度比(=HMT出力回転数/HMT入力回転数(エンジン回転数))の目標値を設定し、実際の速度比が目標に一致するようポンプモータの斜板角を動かすこと及びトランスミッションのクラッチを切り換えることによりおこなわれる。目標速度比は、エンジンスロットル開度より決まるエンジンの最大出力回転数を保持するようコントローラで演算される。(1)式に目標速度比の設定式、図11、図12に実際のエンジン回転変化にともなう目標速度比の動きをしめす。このようにしてエンジンは、常時最大出力回転に保持され、車両は最大の作業を行う事が可能となる。

$$E = e + k(n_e - N_e) \quad \text{--- (1)}$$

E : 目標速度比 e : 実際の速度比 k : 常数
 N_e : 目標エンジン回転数 n_e : 実際のエンジン回転数

エンジン回転の状態	目標速度比Eの動き	エンジンへの負荷
$n_e > N_e$	現在の実速度比eより大きな値とする	負荷増となりエンジン回転低下
$n_e = N_e$	現在の実速度比eと同一値	変化無し エンジン回転 変化無し
$n_e < N_e$	現在の実速度比eより小さな値とする	負荷減となりエンジン回転上昇

図11

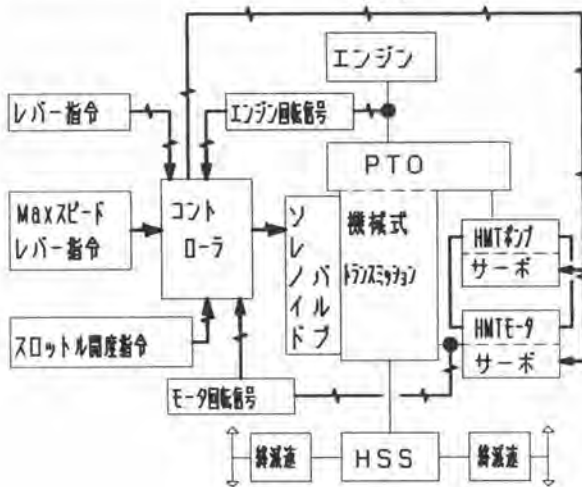


図10 HMTシステム構成

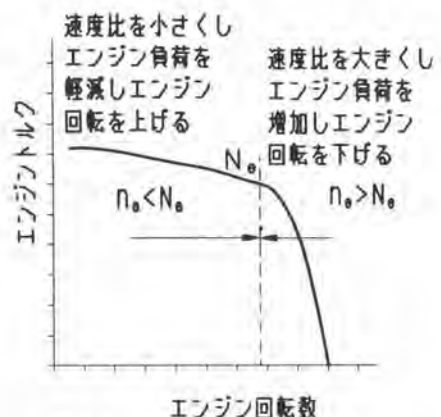


図12 エンジン回転変化にともなう速度比の動き

(4) 牽引性能比較

以上の構成で得られる車両の牽引性能を図13に示す。ブルドーザは、掘削押土作業では履帯のスリップ率とスプロケット駆動力とのバランスにより車体重量比0.35W~0.7Wの範囲の使用頻度が高い。本機はその使用頻度の高い領域で、前進2速の油圧動力伝達が0及び低割合となるようトランスミッションの減速比を設定した。従って、この領域ではエンジン出力の大部分はロスのない機械式トランスミッションを経て伝達されるため、従来タイプ「トルクコンバータ+遊星歯車式トランスミッション」に対しより高い牽引出力を得ることが可能で、第3項で述べた作業性能が得られた。

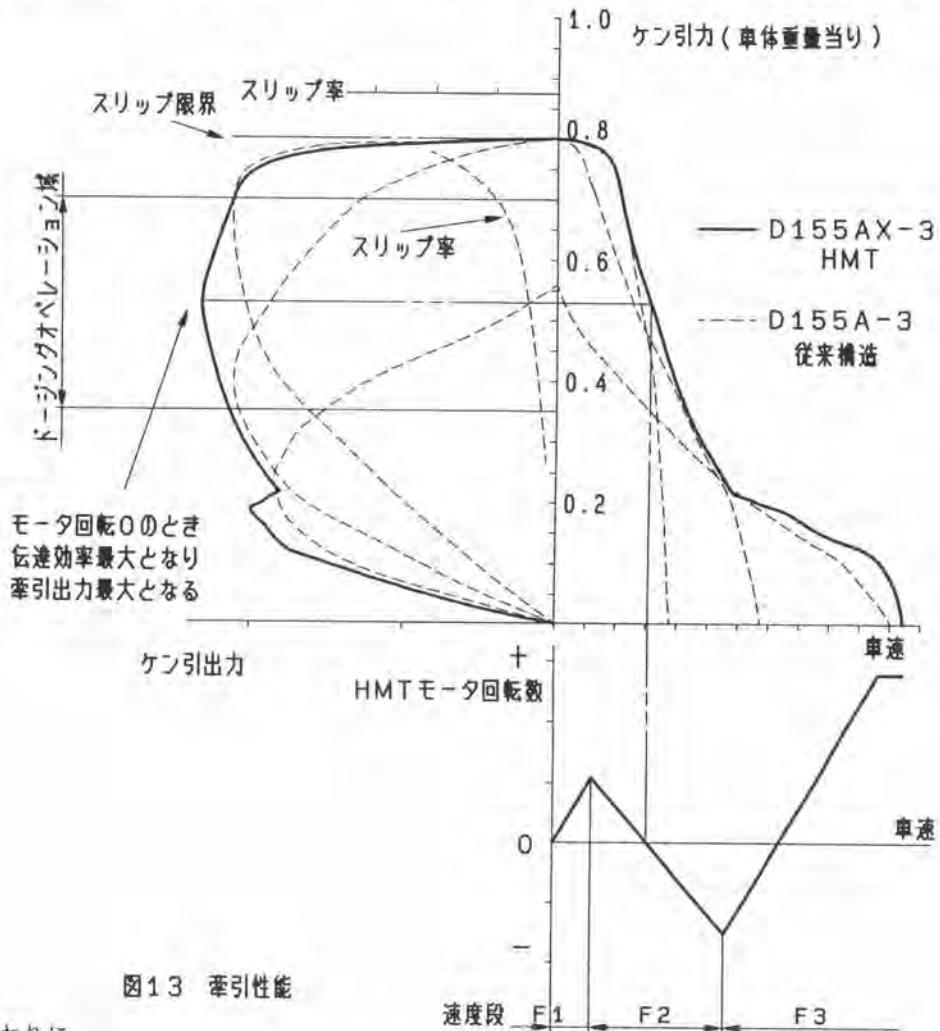


図13 牽引性能

5 おわりに

今回、ブルドーザ用に、HMTを開発車載し、車両性能向上を達成することができた。今後は、HMT単独でなくエンジンとの複合制御、作業機との複合制御を課題として取り組んでいきたい。

最後に、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は深く感謝いたします。

47. 鉄道道床交換システムの開発

コマツ：*松田 晴行・木舟 江治

1. はじめに

鉄道の道床バラスト（線路の砂利）は列車の重量をレール、まくらぎから路盤へ分散させる役目を担っているが、バラストは互いにかみ合うことにより弾力性を持ち振動を吸収する機能も合わせ持っている。しかし道床バラストは摩滅したり、路盤からの土粒子が毛管現象により混入し固結すると、道床バラスト全体の弾力性がなくなり軌道狂いが発生して列車の乗り心地が悪くなる。このため線路としての弾力性をなくした道床バラストは交換しなければならないが、この道床交換作業を本格的な機械編成で行うために道床交換作業車GT240を開発したので紹介する。

2. 開発の経緯

道床交換作業は最近では人力作業から油圧ショベルによる機械化が進んできている。当社も軌陸式（レール上と地面の両方を走行できる）の油圧ショベルを開発し、さらにアタッチメントとしてまくらぎの交換ができるマクラギグリッパ、バラストの突き固めができるスーパータンバ等を開発してきた。これらの軌陸車は通常踏切から軌道に入り作業を行う。しかし踏切から遠い現場では高速の回送が要求され、また道床交換には大量の資材の搬入、搬出を伴う事から本格的な機械編成での作業が有利と考えられ、このためJR東日本殿と当社では、軌道モーターカー（保線用小型機関車）と油圧ショベルを合体させた道床交換作業車の共同開発を行う事となった。本機にはさらに、新旧バラストを運搬するダンプトロ車、ホッパ車を連結し、道床交換システムとして構成する事とした。本機は現在までに9編成が製作され、稼働している。

3. システムの概要

この道床交換システムは編成で使用され、次の3つの機械・装置から構成されている。

①道床交換作業車（GT240、1台）……図-1および表-1

20t級軌道モーターカーに油圧ショベルを載せたもので、油圧ショベルのキャブは2人乗りで改造し、この運転席から作業、回送の両方を行うことができる。掘削作業では前方で掘削した発生土砂（旧バラスト）を旋回して車体中央にあるホッパ装置に投入すると、発生土砂はベルトコンベア装置により後方のダンプトロ車へ送られる。

②ダンプトロ車 (RT09D、4台) ……図-2および表-2

発生土砂を運搬するためのトロ車で、荷箱の上に電動式スクレーパ装置付のベルトコンベアを装備し、道床交換作業車から送られてくる発生土砂を荷箱の上に平均して取りおろすことができ、また荷箱が満載になったら次のダンプトロ車へ発生土砂を送ることができる。積み込まれた発生土砂は基地等にて荷箱を左右へダンプさせ、取りおろすことができる。

③ホッパー車 (RT09H、4台) ……図-3および表-3

掘削した箇所に新バラストを取りおろすトロ車で、新バラストを軌間(左右のレール間)の内および外へ取りおろすことができる。また、最後部の1台には運転室を設けて軌道モータカーを遠隔操作し、反対側への回送(推進運転)を安全に行なうことができる構造としている。

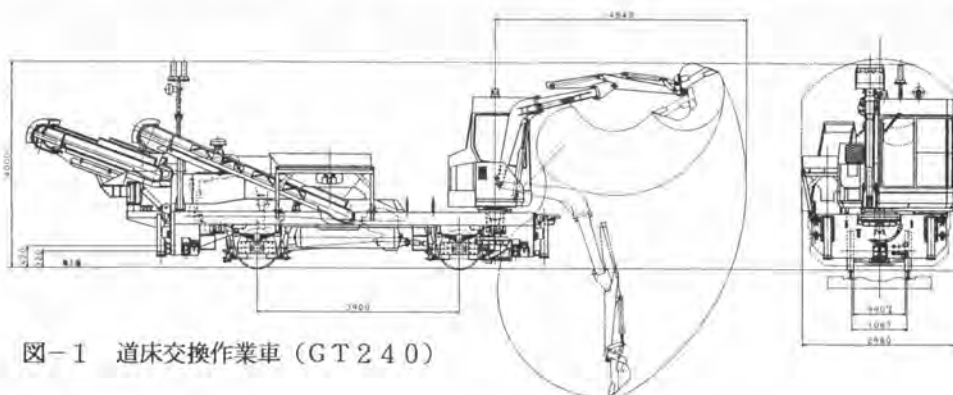


図-1 道床交換作業車 (GT240)

表-1 道床交換作業車 主要諸元

形式	GT240-1
エンジン出力	235 PS / 2,100 rpm
全長	8,750 mm (ペレコン量1)
全幅	2,950 mm
全高	4,000 mm
自重	20 t
走行速度	4.5 km/h
容量	250 t 位 (水車取量)
掘削機	本体 PC380D
	バケット 0.1 m ³
	エンジン出力 30 PS
発電機	エンジン 20 kVA

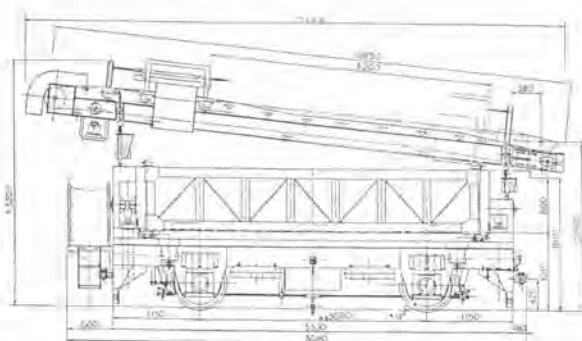


図-2 ダンプトロ車 (RT09D)

表-2 ダンプトロ車 主要諸元

形式	RT09D
全長	6,080 mm
全幅	2,670 mm
全高	3,200 mm
自重	10 t
積載量	9 m ³

表-3 ホッパー車 主要諸元

形式	RT09H
全長	8,900 mm
全幅	2,300 mm
全高	2,100 mm
自重	13 t
積載量	9 m ³

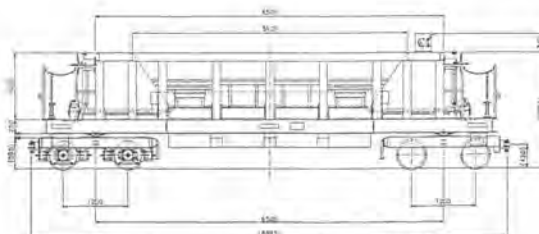


図-3 ホッパー車 (RT09H)



写真-1 道床交換システム

4. 施工方法

この道床交換作業システムは全部で9台（道床交換作業車 1台、ダンプトロ車 4台、ホッパ車 4台、編成長約80m）を標準編成としており、約20mの道床を交換する能力を有する。しかし、実際には当日の作業時間（終列車と初列車の間）や、基地から現場までの距離、また線路の勾配および気象条件等により作業量は制約を受ける。

図-4に施工方法の一例を示す。

- ①道床交換作業車はバックしながら道床を掘削し、発生土砂をダンプトロ車へ積込む。
- ②掘削が完了したら新バラストを投入する準備として、まくらぎの下に支柱を入れ、車両が上を通れる様にする。
- ③ホッパ車を掘削箇所に移動させ、新バラストを投入する。
- ④編成を移動させ、道床の突き固めを人力にて行なう。最近ではこの突き固め作業をタイタンパ（突き固め用機械）付の軌陸式油圧ショベルにて機械化している例もある。

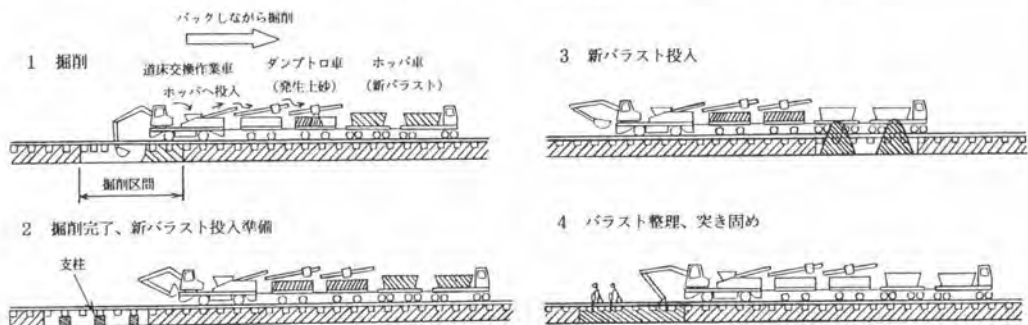


図-4 施工方法例 紙面の関係でトロ車を
4両→2両として表示

5. 本システムの特長

本システムを実際に使用し、効果を確認できた特長としては、以下の4点があげられる。

- ①高速での回送が可能であり、特に踏切のない区間や高架区間の作業では効果が大きい。
- ②資材の搬送機能を編成中に持っているため、現場での準備作業、資材の仮置き場、後作業等が不要であり作業効率が良い。特にスペースのない現場でも作業が可能である。
- ③ベルトコンベアにより、発生土砂をベルトコンベアにて後方の各ダンプトロ車へ縦送りができるので効率が良い。
- ④単線区間での作業を可能としているため、隣接線に列車を通しながら作業を行なえる。

6. 今後の課題

実際の運用状況からいくつか問題点も指摘されており、今後の検討が必要である。

- ①全長が80mもあり、保管基地の選定に制約を受ける。このため各ダンプトロ車およびホッパ車の大型化を図り、編成長を短くすることが望まれる。
- ②作業時間が短く、かつ回送距離は増加する傾向にあるため、掘削に費やせる時間が少なくなっている。このためパケット容量upによる掘削能力の向上が必要である。
- ③トンネル内作業や列車が隣接線を常時通過する場合は、油圧ショベルを旋回してホッパへ土砂を投入することができないので、無旋回式の土砂投入方法が有利となる。

本件を解決した例としては、客先での現地改造ではあるが、図-5のようにベルトコンベアおよび投入ホッパを油圧ショベルの真横に配置することにより無旋回投入を可能としている。

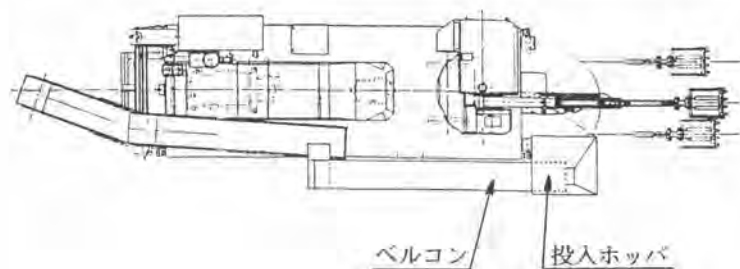


図-5 無旋回式 土砂投入方法

7. あとがき

本システムでは建設機械と鉄道用保線機械との合体により、新しい保線作業工法を創出することができた。今後はさらにシステムを合理化し、性能向上を図って保線作業の機械化および省力化に寄与してゆきたい。

なお、本開発に関し御指導、御協力を賜りました方々には、本稿をお借りして厚く御礼申し上げます。

48. 凍結路面切削機による冬期道路維持

札幌市：古屋 勇吉・高嶋 道夫
日立建機㈱：*玉井 洋

1. はじめに

冬期の市街地道路の除雪はモータグレーダ、ロータリー除雪車、可変ブラウ付ホイールローダ等により実施されているが、道路脇に除雪された雪はバンク状に堆積、凍結し、いわゆるすり鉢状態となる。かつ、市街地では近年ますます交通量が増加し、新雪あるいは道路上に残った雪がすぐに踏み固められ、寒暖の繰り返しにより、圧雪、氷の凹凸路面となって、人および車の交通に大きな弊害をもたらしている。既存の機械による施工では凍結した路面を能率的に整正するのは困難であり、いままでと違った除雪方法、除雪機械が必要となってきた。このような中で、市街地の補助幹線道路、住宅地の生活道路の圧雪、氷の轍を切削し路面整正を行いながら除雪する、凍結路面切削機（アイスバーンラットシェーパ）を開発し、平成5年度の冬期に札幌市内で試験施工を実施した。

2. 機械の仕様と性能目標

2. 1 本体

狭い道路でも施工できるよう機械の小型化をはかるため母体は8 t級ホイールローダ日立L X 8 0とし、当初は、機械本体を変えずに、車体後部にエンジン、油圧ポンプを組み合わせたパワーユニットを搭載しスクリューの駆動とアタッチメントの操作を行ったが、アタッチメントの質量とこのユニットの質量が前後に分散することにより回送時ステアリング時に安定性を欠く為、平成5年度から機械本体を変更していわゆる1エンジンタイプとし、スクリュー駆動用油圧ポンプを機械本体に内蔵した。機械の外観を図-1に、主な仕様値を表1に示す。

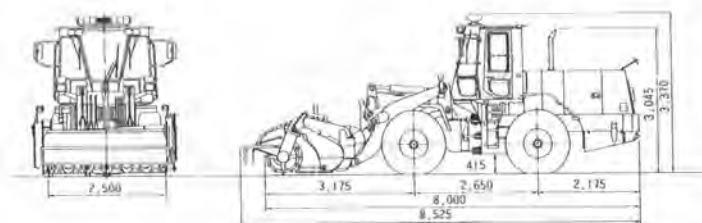


図-1

表1 機械主仕様

運転整備質量	kg	13,170
定格出力	PS	160
スクリュー直径	mm	780
切削幅	mm	2,500
スクリュー回転速度	rpm	最大 370
切削撤高さ	mm	最大 200
作業時車速	km/h	凍結路 3 圧雪路 5

走行系は押し力と微速走行を同時に要求されるため、L X 8 0 に使用しているH S T（静油圧変速機）をそのまま使用した。エンジンは母体の機械 4気筒110PSに対し、スクリュー駆動も行うため6気筒160PSとした。

2. 2アタッチメントとその操作

アタッチメントは左右±5度チルト可能で路面の傾斜状態に合わせて操作する。スクリューの切り込み量はスクリュー後部に設けられたスライドエッジの出し入れにより調整し、厳寒期において凍上による舗装の損傷を防止するため、切削後は路上に5～10cmの雪氷層を残すよう施工する。さらにこのスライドエッジには櫛歯状の切り込みが有り、切削後の路面にスリットを形成し、車の走行時に横滑りを防止できる。スクリューのリボンは左送りの螺旋となっており、スライドエッジの傾斜の効果にもより、切削された雪氷片は左に排出される。従って削氷時の操作はチルトとスライドエッジの出し入れ及びペダルによる走行速度の制御のみですみ、簡単である。スクリューの円周上に超硬合金のビットを装着し、チェーンを介して油圧モータにより駆動する。切削幅は片側1車線の路面を整形可能とするため、2500mmとした。アタッチメント左側には油圧シリンダにより開閉するシャッターを設け取付道路、民家の間口における排雪防止を図った。

尚、夏期にはアタッチメントをバケットに交換し通常の積み込み作業が出来るように配慮した。

3. 試験施工

3. 1 計画

平成6年1月20日から3月初旬まで札幌市内、9区、32箇所の除雪ゾーンに3台を投入し

- ①作業面の検証（幹線、準幹線の路面管理－すり鉢状、轍、生活道路の路面管理－残雪厚）
- ②機械面の検証（作業能力、操作性）
- ③今後へ向けての課題等の抽出とその検討

- ・ユーザ（マルチ除雪企業体等）の声、期待度、意見のまとめ
- ・札幌圏及び道内における新型除雪車としてのアピール
- ・札幌市の保有機械としての検討

を目的とした試験施工を実施した。（尚、1台は西区専用とした。）

各ユーザには施工法、機械に対するアンケートを記入してもらい、終了後にとりまとめた。全ての除雪ゾーンに機械を回すようにしたため、西区を除き1除雪ゾーンの使用期間は平均3日間となった。試験施工中の写真を図-3、4に示す。



図-3 切削の状態



道路表面にスリットが形成され横滑りを防止する
図-4 切削後の路面

3. 2 試験結果

今冬の異常な降雪によりほとんど試験施工できぬ除雪ゾーンもあったが以下の結果が得られた。
稼働時間：3台平均170時間

施工速度は、路面の状態、気温、オペレータの技量に大きく左右されるが、切削幅2500mm（全幅）で施工した場合、道路左端の切削深さで整理すると、図-5の結果が得られた。尚、平成5年度は異常に多い降雪の為十分な測定データが得られなかった為、4年度以前の機械による施工結果も取り入れてまとめている。厳寒時の路面の凍上を防止するための残冰雪層は目標通り、5～10cm厚となり、表面の平坦度も確保できた。

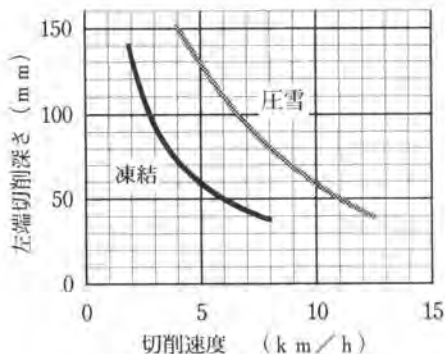


図-5 作業能力

図-5の機械単独の性能を実際の道路施工にあてはめ、切削後確保する幅員4m、6mについて平均施工速度（1時間に施工できる道路の長さ）で整理すると、図-6となる。残念ながら既存機械の比較データがないが、アンケート、聞き込み等によるオペレータの感覚では、凍結路面整理施工に関しては何度も往復して切削する既存機械に対し約2倍の能力があるとの評価を得た。

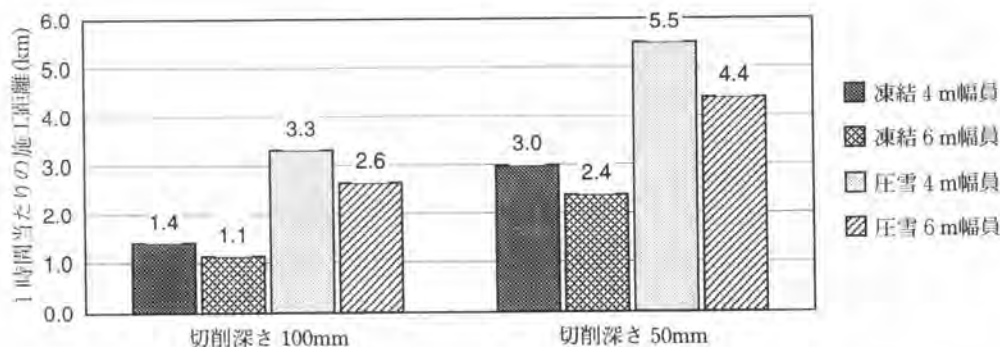


図-6 1時間当たりの施工距離

取付道路、民家間口における排雪を防止するためのシャッタは、今冬のように積雪量が多く道路端の雪堤（道路から除雪された雪が積み上げられたもの）が高いと有効に機能が発揮出来なかったが、既存機械による除雪では雪あるいは氷がかたまりとなって排出されるのに対し、本施工法の場合は切削氷は細かく粉砕されているため、人力、機械による後処理が大幅に軽減された。

機械の運転操作については前述のように1除雪ゾーン3日と短期間であったが、施工法をマスターするまではいかないものの、ほとんどのオペレータが1日程度の運転で慣れることが出来た。

スクレーのビットは今回稼働（平均170hr）での摩耗量は1mm未満で、少なくとも5シーズンは交換不要の目処がたった。

アンケートの結果（作業装置についてのみ取り上げる。回答数23）

項目	回答数
視界も良く、全体に作業しやすい	15
視界が悪く、操作がしにくい	0
掘削レベルが分かりにくいので操作が難しい	8
ロータリー装置なので、全体にこの程度でよい	3
舗装面を削ることが多かった	4
舗装面を削ることは少なかった	8
スライドエッジの操作及び確認は今の状態で良い	6
スライドエッジの操作及び確認が難しいので改良してほしい。	5
スライドエッジゲージが見えなくなる	1
スライドエッジレバーの位置の改良	1
氷盤・圧雪削りに威力有り 圧雪氷盤除雪 約 3 km/h	18
新雪除雪に威力有り 新雪除雪 約 5 km/h	7
作業装置の出力はこの程度で良い	2
作業装置の出力をもっと上げてほしい	19
シャッタの改良	5
機械が大きい	1
切削幅が大きい	1
右に排雪できないか	2

以上のように多少の不満はあるものの、作業装置に関してはおおむね満足を得られた。

4. まとめ、今後の課題

今冬の試験施工では施工速度、切削後の路面状態等、当初の目的を達成した。施工は、たとえばロータリー除雪車との併用が効果的であることがわかった。また気温が低い方がさらに能率的に施工出来ることが確認された。機械自体は比較的狭い道路でも施工可能であり、路面の切削も熟練オペレータでなくてもある程度習熟すれば安定した切削が可能であった。従来施工の様に切削押しつけ除雪ではないため、交差点角部への雪の堆積が無く、交差点での視界が確保された。

今後の課題としては

- ・様々な道路条件に対する施工法の確立。
- ・作業装置の出力アップの検討。
- ・残雪氷厚のコントロールを自動化し、道路表面の傷つけ防止。
- ・汎用ブラウ等を装着可能にし機械の稼働期間を広げる。
- ・両側に排雪可能なアタッチメントを検討し施工能率の向上、住民の不公平感の解消をはかる。

等があげられる。

5. おわりに

本工法の本格施工は平成5年度の冬期からで、まだ緒についたばかりである。当初期待していた施工能率、機械の性能はほぼ達成できたと考えるが、施工法、機械ともまだまだ改善すべき問題がある。今後はさらに稼働実績をつんで改良を計り、札幌市のみならず雪国の交通の円滑化に役立つものにしていきたい。関係各位のご指導をお願いする。

49. 多車線道路用凍結防止剤散布車の開発

建設省(北陸技術)：倉島 冠・*小浦方 一彦

(株)日本除雪機製作所：佐々木 康悦

1 まえがき

道路除雪作業の中でも凍結防止剤の散布作業は、冬期間の道路交通を確保していく上で重要な作業となっており、交通量の増加や通行車両の高速化、冬期用タイヤのスタッドレス化等と相まって、その必要性が増してきている。

しかし、従来の凍結防止剤散布車は最大散布幅7m(2車線幅)の散布能力しかないので、バイパス等の多車線道路化が推し進められてきている現在、その能力では対応しきれない面が多くなっている。

また、散布された凍結防止剤が通行車両の走行風圧や自然風で路肩へ飛散し、その効果が低下してしまう等の問題も発生しており、新しい凍結防止剤散布車の開発が望まれていた。

そこで3車線(最大散布幅11m)の凍結防止剤散布作業が可能である他、凍結防止剤の路面への付着性に優れる湿式散布機構を採用し、散布箇所、散布密度、散布幅等の作業データを事前に登録することによって自動的に散布を行う自動散布装置を搭載し、効率的に散布作業を行うことができる多車線道路用凍結防止剤散布車を開発した。

2 開発機の概要

開発機は、3車線道路を1回の作業で散布が可能となるように、最大散布幅を11mとし、最大5^mの凍結防止剤と700^lの水溶液を積載可能とした8tベースの総輪駆動車とした。

また、多車線散布機構の他に、湿式散布機構や自動散布装置を開発、搭載する等、高速作業に対応した経済的な散布作業を実現した。

開発機の全景を写真-1に、主要仕様を表-1に示す。

表-1 開発機の主要仕様

散布幅	3.5, 7.0, 11.0m
側方散布幅	7.0m(左右方向選択可能)
散布密度	5~50g/m ²
湿式混合割合	10%(乾式も選択可能)
車速自動制御	最大60km/h
散布累計、残量表示	積込量入力 散布量演算式



写真-1 開発機全景

2.1 散布能力

従来の凍結防止剤散布装置は、地上から300mmの位置にある直径450mmの円盤を400rpmで回転させ、その遠心力によって凍結防止剤を散布する回転円盤式を採用している。

多車線道路において凍結防止剤を車線全面に散布するには、最大散布幅11m（3車線）の散布能力が必要であり、同様の方式で11mの散布能力を得ようとした場合、

- ① 回転数を900rpmへ上げる。
- ② 回転数を700rpmへ円盤直径も600mmに上げる。
- ③ 円盤の直径を600mmにし、地上からの高さを850mmへ変更する。

等の方法が考えられる。

①、②のように凍結防止剤が円盤から散布される際の初速を大きくしただけでは散布後の路面上の凍結防止剤の分布が均一性に乏しく、効率的な作業という観点からも好ましくない。

③のように円盤を高い位置に移動した場合、散布した凍結防止剤が他の車線を走行する一般車両のウィンドー等に当たる可能性もあり危険である。

そこでこれらを勘案した結果、開発機は円盤の形状を写真-2のように「すり鉢形」とした。

円盤の直径は600mmと大型化したのが、回転数は400rpm、円盤の高さも400mmと従来機並に抑えることができた。また、散布後の凍結防止剤の分布についても図-1に示す性能試験結果のとおり、ほぼ目標散布範囲内に収まっていることから、当初の目標であった最大散布幅11mの能力を得ることができた。

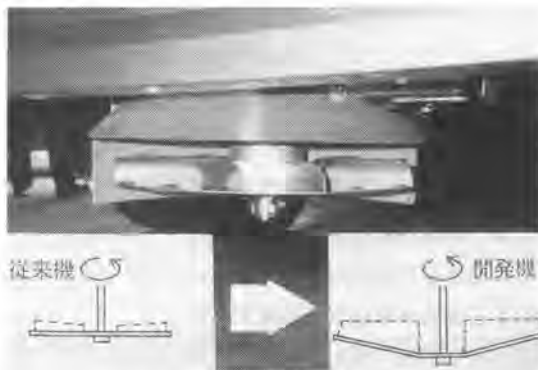


写真-2 円盤の形状

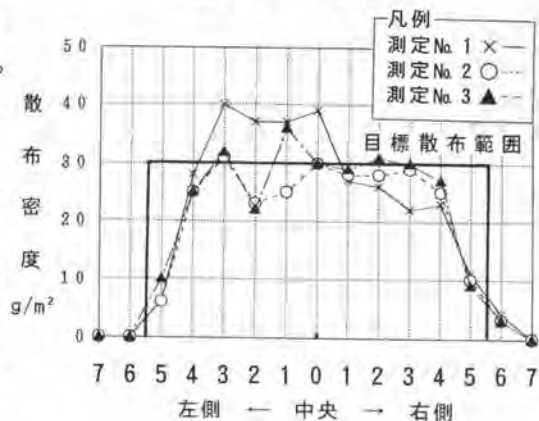


図-1 散布密度分布

2.2 湿式散布

散布前の固形状の凍結防止剤に塩化カルシウム等の水溶液を噴霧し、図-2に示すように固形剤を湿潤状態にすることによって路面への付着性等の向上を図った方式が湿式散布といわれるものである。

この効果について、散布幅11m時における凍結防止剤の飛散割合を乾式（固形剤のみの散布）と比較した結果を図-3に示す。

低速時は、目標散布幅外への飛散割合が乾式より少なく、湿式の効果が顕著に現れている。

しかし、走行速度40km/h以上になると目標散布幅外への飛散割合が一定でないことから、湿式の効果が認められない場合があった。

この結果から湿式散布は、低速時においては確実に路面への付着効果があり、高速時においても、外部の条件等によって影響されるがその効果は期待できる。

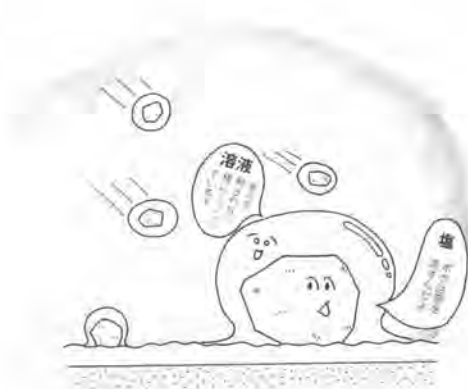


図-2 湿式散布のイメージ

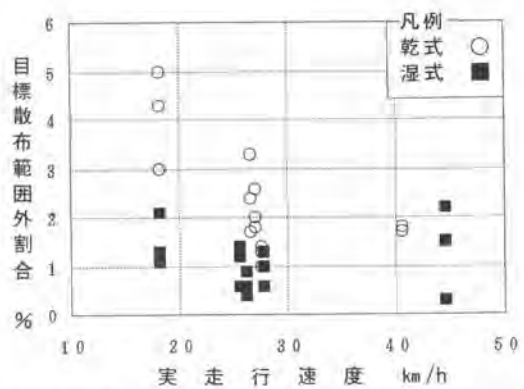


図-3 目標散布範囲外への飛散割合と走行速度

2.3 車速同調機構

作業速度の変化に合わせてベルトコンベア等の搬送機構を自動的に制御し、散布量を常に一定に保持する機構が車速同調機構である。

この機構は、作業速度の変化が頻繁な一般道路において不可欠な機構であるが、従来の凍結防止剤散布車は薬剤の搬送能力の限界から作業速度40km/hまでしか対応できなかった。

しかし、バイパス等の多車線道路における一般車両の高速化が進む中、その流れに混じって作業を行わなければならないことから、作業の高速化への要望が強くなり、それに対応するため開発機の車速同調機構は60km/hとして開発を行った。

開発機は、作業速度60km/hの場合、散布幅11mで30g/m²、散布幅7mでは50g/m²で車速同調散布が可能であり、一般的な散布量は20~30g/m²であることから、開発機は十分な能力を持っている。

2.4 自動散布装置

凍結防止剤の散布作業は、予め定められた区間を凍結防止剤散布車で巡回し、オペレータ又は助手が路面状態を確認しながら散布開始、終了のたびにスイッチを操作して作業を行っている。

ここで走行する経路は工区毎にほぼ決まっており、散布が必要である箇所や量（散布密度、散布幅、散布方向）についても気象や気温等により一般的にパターン化していることから、作業の省力化を図るため自動散布装置を開発した。

開発した装置は、テンキーにて入力する方式と散布パターンを蓄積していく方式の2種類がある。

テンキーで入力する方式は、予め机上において散布パターンを設定し、これを車載のテンキーにて制御器にオペレータが入力する方法である。

この設定した散布パターンを作業時に呼び出すことにより、自動的に散布装置が作動し、散布パターンごとの作業を行うものである。

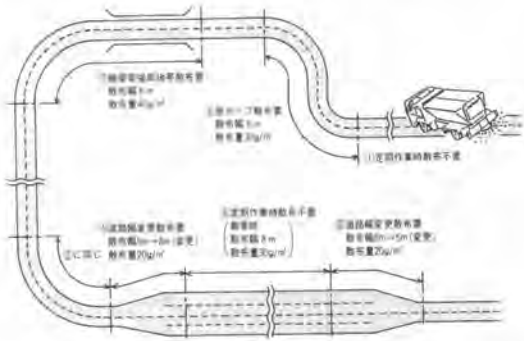


図-4 自動散布装置のイメージ

もう1つの散布パターンを蓄積していく方式は、作業を行いながら散布データ（散布箇所、散布幅、散布密度、散布方向）を記憶し、オペレータは次の散布作業を行う際は起点信号を入力するだけで記憶した散布作業を自動的に行うものである。

両方式とも車両の走行に従い、累積走行距離を元に自動的に散布装置が作動するシステムであり、図-4に示したようなイメージで散布作業が進行するものである。

片道22kmの多車線道路が主な工区において、自動散布装置による散布作業を行い、各装置の作動状況の確認を行った結果、散布精度は累積走行距離40kmに対し、24m程度と最大±0.1%の誤差に留まっており、実用化に対し十分な結果であった。

また、多車線散布機構等、その他の機構についても、車線数の増減や多車線道路における走行車線の変更等による影響も殆どなく、散布幅の切換えや散布方向の可変もスムーズに作動しており、開発機は実用機として十分な性能を有することが確認された。写真-3に開発機の作業時の状況を示す。

3 まとめ

今回、開発した凍結防止剤散布車の特長は次のとおりである。

- ① 散布幅の設定は1車線(3.5m)、2車線(7m)、3車線(11m)の中から選択することにより容易に作業ができることに加え、側方散布(7m)の際は左右に装置を旋回することで、多車線道路の車線数の変化や幅員の広い部分の変化に対応が可能となった。
- ② 散布密度は5～50g/m²の範囲で設定することができ、作業速度60km/hまで車速同調散布ができることから、多車線道路における高速作業に対応が可能となった。
- ③ 湿式散布により凍結防止剤の路面への付着性が向上したことから、走行風圧、自然風による固形剤の飛散を防止し、経済的な散布作業を行うことが可能となった。
- ④ 散布パターンを登録し、自動的に散布を行う自動散布装置を搭載することにより、操作の簡素化を図り、作業の安全に注意を向けることが可能となった。



写真-3 作業時の状況

4 あとがき

多車線道路に対応した多車線散布機構、湿式散布機構、自動散布装置を備えることにより、経済的な散布作業と操作の簡素化を可能とした凍結防止剤散布車を開発することができた。

開発機は、平成5年度現在で2台（平成4年、5年度で各1台）導入されており、国道7号、8号の新潟バイパス（3車線道路）において稼働している。

今後はさらに目標散布幅外への飛散を少なくする等、装置の改良を行い、操作性の向上を図るとともに現場へ普及していくことを期待するものである。

50. 捨石均し機および支援母船の 高波浪域施工への対応

東洋建設(株)：*皿澤 薫・牧野 栄一
森田 研志

1. はじめに

着座型タンパ式捨石均し機（以下均し機という：平成2年度本シンポジウムで報告済み、図-1参照）およびその専用母船であるL E T S - 1号船（以下母船という）からなる機械式捨石均し工法（LEVERING TAMPER SYSTEM）は既に多くの施工実績を挙げている。しかし、いずれも東京湾、大阪湾等の湾内（以下静穏海域という）における施工であり、長周期の大きなうねりが発生する海域（以下高波浪域という）での施工実績はない。外洋に面した海域での大規模な防波堤工事を施工するためには、均し機と母船を高波浪域で施工ができるよう改造する必要がある。そこで、茨城県鹿島港沖合いの海域を運輸省から『実海域提供システム』によって提供を受け、その海域で施工性確認実験を行い、問題点を抽出した。（その時の波高は有義波高で0.5~0.8m、周期は5~9secであった。）その問題点を解決するための新たな装置の開発、改造を行い実施工（常陸那珂港東防波堤工事）において長周期のうねりの中、無事施工をすることができたのでここに報告する。また同時に開発した水中位置だしシステムの概要についても述べる。

2. 高波浪海域施工の問題点と対応策

1) 吊りワイヤー衝撃緩衝装置の設置

当機械式捨石均し工法（図-2 施工概念図）は、母船から均し機を吊り降ろし、海底に着座させて均し作業を行う工法である。均し機と母船は常に吊りワイヤーでつながれているため、均し作業中には船体動揺分だけ吊りワイヤーを弛ませておく必要がある。高波浪域では、船体動揺が大きいため

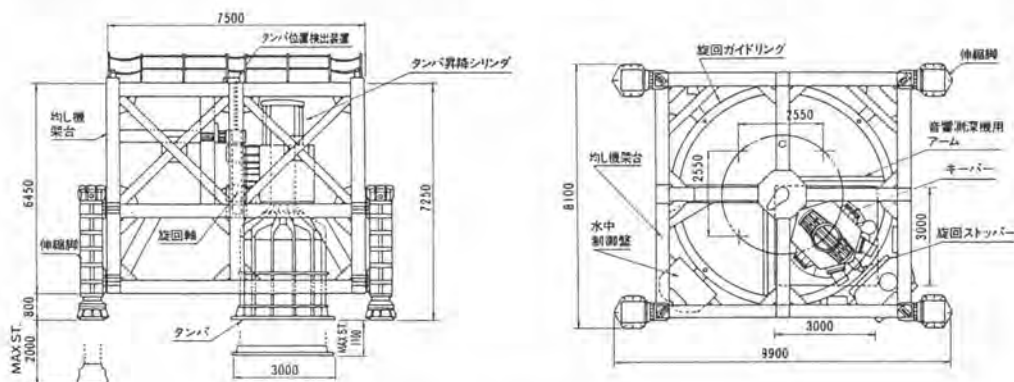


図-1 着座型タンパ式捨石均し機



図-2 施工概念図

弛ませる吊りワイヤーの長さも多くする必要がある。(吊りワイヤーは3本掛けのため、弛ませるワイヤー長は船体動揺分の3倍になる。)このため弛めた吊りワイヤーが均し機の油圧機器やセンサー等にかまったり、破損させたりする危険がある。また、ワイヤーの弛みが少ないと、母船が波によって大きく上下に動揺したとき均し機を吊り揚

げた状態になり、衝撃的な力がワイヤーに掛かり、ワイヤーを傷つける恐れがあると同時に、均し中に均し機を吊り揚げることも予想される。高波浪域での、母船の上下動はコンピューターでの船体動揺予測、および鹿島港沖での実験結果からの予測でも有義波高1mで最大2mにもなる。そのため、均し機吊りワイヤーを6m(2m×3本掛け分)以上フリーにし、フリーにしたワイヤーが均し機の上に垂れ下がらない様な衝撃緩衝装置が必要である。(写真-1) 衝撃緩衝装置は母船の檣頂部に設置し、滑車を利用して吊りワイヤーを横方向に引き出し、その滑車にカウンターウエイト(以下重りという)からのワイヤーを取り付け、吊りワイヤーを緩めたとき均し機の上にワイヤーが垂れ下がることなくその重りと滑車の動きで緩めたワイヤーの弛みを取る機構である。(図-3) また転船するために均し機を吊り上げる時、船体がうねりにより上昇するタイミングと操作員がウィンチを巻き上げるタイミングとが重なったとき、急激に均し機を吊り上げる可能性がある。その衝撃を緩和させる

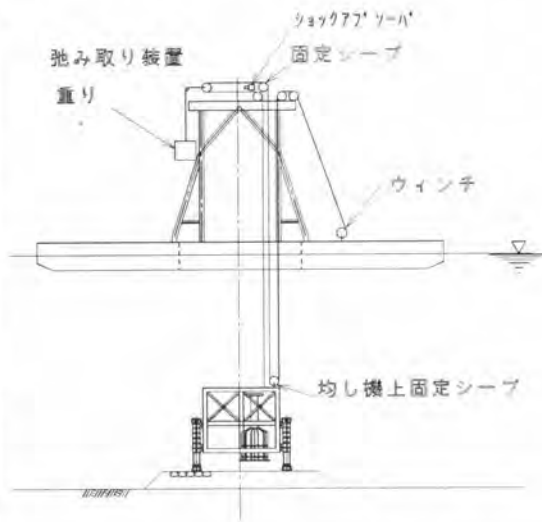


図-3 衝撃緩衝装置概念図

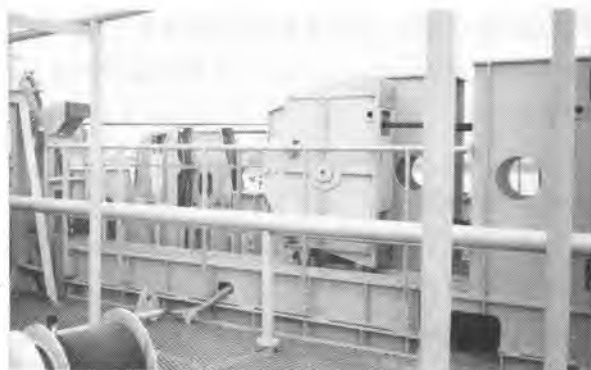


写真-1 衝撃緩衝装置

ための対策として、油圧式ショックアブソーバーをこの装置に組み込んでいる。この装置の設置により均し機と母船は、うねりによる上下の動揺が最大 2.6 m まで発生しても対応できる構造となった。実施工で均し作業中に 2.3 m の船体動揺を経験したが、何の問題もなく対応する事ができた。

2) 昇降ウィンチの自動制御システム

均し機は 4 点吊りで 4 台の昇降ウィンチで昇降させている。静穏域での施工では操作員が 2 人で均し機の傾斜状態を見て速度を調整しながら操作をしていた。高波浪域では、迅速正確な昇降が必要であり、一人で操作するシステムが必要である。このシステムは、操作員がマスターウィンチとなる均し機昇降ウィンチ（1号ウィンチ）を操作すると、コンピュータが他の 3 台のウィンチを操作し、4 台のウィンチが同じ動作をするように指示を出す。その制御方法は 4 台のウィンチに取り付けた回転検出器で、コンピュータが繰り出し量を監視し、均し機が傾斜しない様に 3 台のウィンチの速度を制御（ウィンチの回転を検出）することである。このシステムの導入により、初心者の操作員でも簡単に運転することができる様になり、実施工においても天候悪化で船体が動揺している状態でも、安心して均し機回収作業が行えた。また、吊りワイヤー衝撃緩衝装置と昇降ウィンチの自動制御システムの組み合わせで、たとえ 1 台のウィンチが無負荷状態になっても、（4 点吊りのため 3 点で吊る状態になりやすい）吊りワイヤー緩衝装置が働きウィンチドラムが乱巻きにならずスムーズな均し機の昇降が実現した。

3) 均し機の動揺対策

1 日の作業終了後には、均し機を母船上まで引き揚げ、格納用の台車に乗せ固定する。その時、船体と均し機は動揺周期が異なるため、お互いに大きく揺れることがある。その揺れを抑えるために、母船側から均し機を拘束する必要があり、甲板上に油圧伸縮式の均し機拘束装置を設置している。静穏域では、均し機と母船とが開口部通過中に波による動揺で接触することはない。しかし、鹿島港の実験では、うねりで母船が 1 m 近くも前後左右に動揺し、開口部通過中に均し機が母船開口部側壁に接触したり、船底に潜り込むことがあった。対策としては母船の開口部を補強し、船底部と側壁の接合部を丸く加工した鋼板で補強した。均し機側の対策として、均し機の頂部にゴム性の案内ローラーを左右に 4 基と前後に 2 基を取り付け、均し機上昇中に母船の船底に均し機が接触しても、案内ローラーが開口部の側壁テーパに沿って上昇しスムーズに昇降できる構造とした。（図-4 参照）さらに、開口部の側壁に油圧伸縮式の均し機拘束装置を左右に 2 基増設し、均し機頂部が水面から出てくるとすぐに、伸縮式のアームにより均し機の動揺を拘束する構造にした。高波浪域の実施工では、均し機拘束装置は均し機の動揺を確実に止めることができ、スムーズに格納作業を行うことができた。

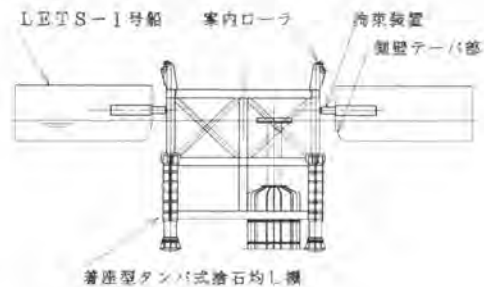


図-4 均し機拘束装置

4) 水中位置だしシステム

静穏域での均し機の位置だしは、作業船位置だしシステムで母船の位置決めをし、均し機にからず母船にたちあげたスタッフの傾斜をはかる事で行ってきた。高波浪域では、母船が前後左右に動揺するため、船体の動揺で位置がずれる可能性がある。その対策として有効均し面積を少なくして対応す



写真-2 水中位置だし装置

ば（ラップを多くする）施工の効率が悪くなる。そこで作業船が動揺していても海底の均し機的位置を正確に測定する水中位置出しシステムを開発した。写真-2 参照 右より「音響受信器」「音響発信器」「中継ボックス」「増幅装置」「コントロールユニット」

システム概要は、

- ① GPS やデジタル測量機とジャイロコンパスを組み合わせた作業船位置だしシステムで船体位置を測定する。
- ② 傾斜計で船体の傾斜を測定する。
- ③ 均し機に2個の音響発信器を船体に3個の受信機を取付け、それぞれの距離を測定し船体と均し機の相対位置を検出する。図-5に装置取付位置を示す。

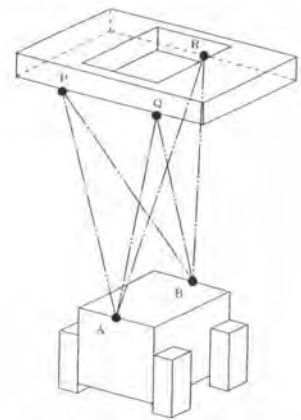


図-5 装置取付位置図

- ④ 以上の①②③の測定タイミングをコンピュータのソフト上であわせ演算し海底の均し機的位置をだすものである。

3. おわりに

今回、LETS-1号船の高波浪対策の行い、常陸那珂港 東防波堤工事において、無事施工を終了することができた。この開発で高波浪長周期海域において、浮体構造物から水中作業機械を正確にかつ安全に海底へ設置する技術を確認したといえる。この技術は捨石均しに限らず、沈埋トンネルの沈埋函沈設や、防波堤開口部ケーソンの据付などの海洋土木工事に広く応用でき、尚一層の安全性と施工性の向上に、役に立つのではないかと思う。またこの技術が近未来の構想である海中都市、海中工場、海中牧場、海中倉庫などの建設工事の一翼を担うものと期待する。なお水中位置だしシステムについては、数現場の施工したうえで、次回詳細に報告する所存です。最後に、この開発に当たり全般的に指導を受けた神戸商船大学、実験海域の提供を受けた運輸省をはじめ、関係各位に紙面をお借りしてお礼申し上げます。

51. 建設車両自動運転システムの開発(第4報)

～複数台無人車両の運転管理システム～

ハザマ：*齊藤 宏明
筑波大学：油田 信一

1. はじめに

当社では、建設工事の中核的な作業である各種運搬作業を一部無人運転化することによって、作業の合理化、ローコスト化を図る「建設車両自動運転システム(HIVACS**)」の開発を進めている。

具体的には、図-1に示した様な、大規模土工事における重ダンプトラックを当面のターゲットとしている。

本シンポジウムにおいては、第1報から第3報まで写真-1に示す実験車を用いた無人運転技術の開発状況について主に報告してきた。表-1に実験車の目標性能および現在の性能を示す。

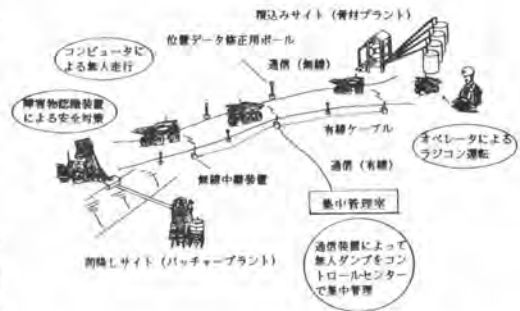


図-1 無人ダンプトラックのイメージ図



写真-1 HIVACS実験車

表-1 実験車の性能

性能	項目	目標性能	現在性能
無人走行	走行継続距離	2km以上	2km以上
	最大走行幅	±90cm以内 (最高速度40km/h)	±110cm以内 (最高速度40km/h)
車両自己位置 方位計測	位置計測精度	±50cm以内	±60cm以内
	方位計測精度	±0.5deg以内	±1.0deg以内
前方障害物 認識	作業員認識率	100%	100%
	前方車両認識率	100%	100%

以上の様に、これまでは単体車両の無人運転化技術を主に開発してきたが、実際に作業の合理化、ローコスト化を図るには、現場内で複数台の無人車両を同時稼働させる必要があり、そのための運行管理技術の開発が必要となる。本報では、この複数台無人車両の運行管理システムの開発概要および実験結果についてを報告する。

**HIVACS: Hazama-Intelligent-Vehicle-Automatic-Control-Systemの略でハイボックスと呼ぶ。

2. 運行管理システムの概要

2.1 工事現場モデルの想定

運行管理システムを構築するために、図-2に示す様な工事現場モデルを想定した。このモデルはダム施工における骨材運搬作業に相当する。

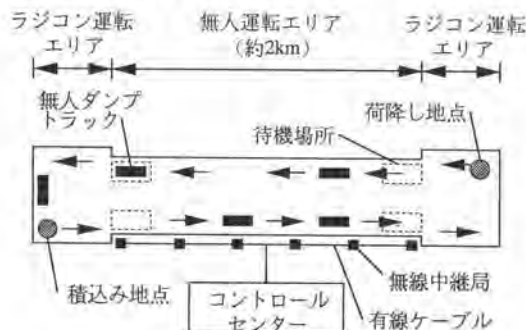


図-2 工事現場モデル

このモデルの運行ルールとして、以下の条件を設定した。

- ① 走行コースの設定は1日単位で行う。
- ② 無人ダンプは5台で1パーティーとする。
- ③ 無人ダンプは、互いに追い越しは行わない。
- ④ 積み込み、荷降ろし作業は人がラジコンによる遠隔操作で行う。
- ⑤ 現場内は無人ダンプの他には、原則として工事用連絡車及び特定作業員のみが存在し、それらは無人ダンプが検知可能である。
- ⑥ その他の突発的に侵入してくる障害物については、現場内に設置した監視モニターを見て安全確保を行う。

2.2 運行管理システムの機能

運行管理システムの主な機能としては、コントロールセンターで各無人ダンプの運行状況をコンピュータ上で把握し、各無人ダンプへ安全に運行するための命令を送信するものである。

なお、コントロールセンターでは各無人ダンプの運行状況をリアルタイムにモニターすることが可能である。コントロールセンターのモニター画面のイメージを図-3に示す。



図-3 コントロールセンターモニター画面

2.3 運行管理方法

各無人ダンプの運行管理は前述したようにコントロールセンターからの運転命令によって行う。この各運転命令の内容を、以下に示す。

- A：通常走行（初期設定した運行速度で走行）
- B：減速（初期設定した速度に減速する）
- C：停止

これらの運転命令の判断は、以下の基本ルールに基づいて行う。

基本ルール：1つの占有エリアに2つ以上の移動体（無人ダンプ、連絡車、特定作業員）を存在させないようにする。

ここで占有エリアとは、図-4に示す様な走行ルートを約100mごとに分けたエリアのことを言う。

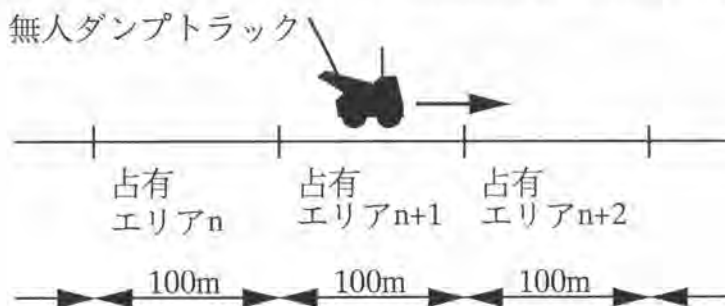


図-4 占有エリア

表-2および表-3は、基本ルールに基づいて作成した運転命令表である。ある占有エリアに無人ダンプが進入してきた場合、その占有エリア内の前方の状況（表-2）と次の占有エリア内の情報（表-3）から合計2つの運転命令が選択される。この2つの運転命令の中から優先順位（高い C>B>A 低い）の高い方を実行する。このように運転命令は簡単なロジックによって各無人ダンプに送信される。

表-2 運転命令表（同一の占有エリアの状況）

同一の占有エリアの状況	運転命令
移動体なし	A
先行車あり	B
すれ違い対向車あり	B
停止車あり	C
作業員あり	C

表-3 運転命令表（次の占有エリアの状況）

次の占有エリアの状況	運転命令
移動体なし	A
通常走行の先行車あり	A
減速走行の先行車あり	B
すれ違い対向車あり	B
停止車あり	C
作業員あり	C

3. 通信方法

3.1 運行管理システムの構成機器

現行の電波法では、全長2kmにもおよぶ運搬経路全域を無免許で1台の無線機でカバーすることは不可能である。そこで、図-2に示した様に、運搬経路の路肩に添って無線通信を行う無線中継局を一定間隔ごとに設置し、無線中継局間およびコントロールセンター間是有線ケーブルで結ぶといった無線、有線の組み合わせ方式を採用している。今回は、プロトタイプとして数百mの通信が可能な運行管理システムを製作し性能確認実験を行った。無線中継局に400MHz、出力10mWの特定小電力モデム（写真-2）、有線ケーブルはRS232Cケーブルを用いている。また、コントロールセンターのコンピュータは通常のパソコンを使用している。



写真-2 特定小電力モデム

3.2 無線中継方法

このシステムでは、無人ダンプと無線中継局が無線通信を行うわけであるが、1台の無人ダンプが交信する無線中継局は無人ダンプの走行に伴い次々に移動していく。また、無人ダンプは30km/h程度の高速で走行するため走行中の通信エラーを防ぐ目的で、各無線中継局の通信範囲は十分重複させておく必要がある（図-5）。ここでは、この重複範囲を以下の式により16.6mとした。

$$\begin{aligned} \text{通信重複範囲} &= \text{無人ダンプの最高走行速度} \times \text{1回の通信時間} \\ &= 8.3\text{m/sec} \times 2\text{sec} \\ &= 16.6\text{m} \end{aligned}$$

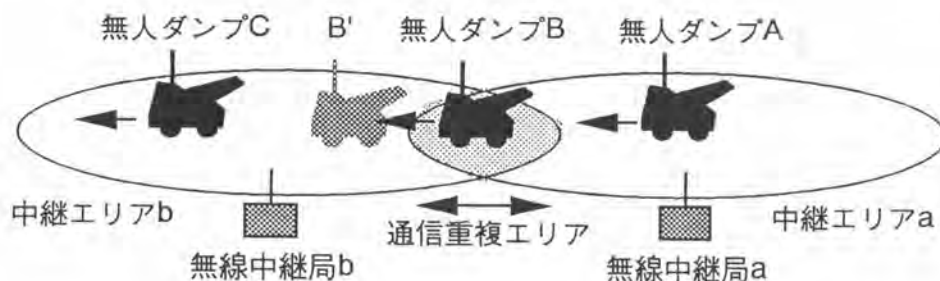


図-5 無線中継局の通信重複範囲

4. 運行管理実験

4.1 実験条件

実験は、図-6に示した様に、固定局（コントロールセンター）1台、無線中継局1台、実験車1台、

固定局上のコンピュータ上でシミュレーションした仮想無人車4台の構成で行った。従って実際には仮想無人車は走行していない。実験条件は、走行距離を片道400m、走行速度を約15km/hとした。また、障害物として、黄色いヘルメットと反射ベストを着用した作業員を走行路面上を横断させ、この作業員を実験車の障害物検知センサーで検知させるものとした。

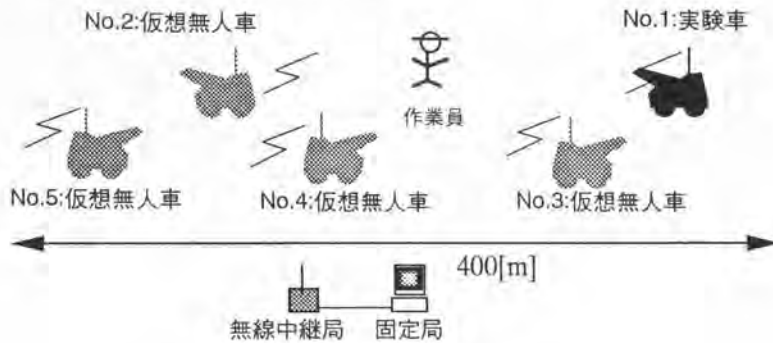


図-6 運行管理実験構成図

4.2 実験結果

評価実験の結果を図-7に示す。図中でのNo.1車両は実験車、No.2～No.5はそれぞれ仮想無人車を示す。

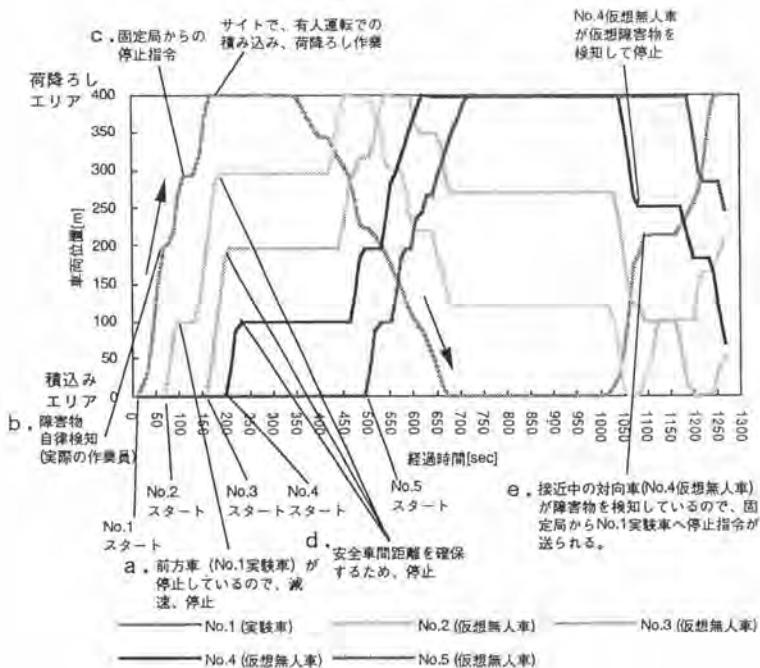


図-7 運行状況図

実験は、故意に走行路上に障害物を発生させる、あるいは車両を停止、減速させる等により行い、それにより固定局から無人車両に適切な運転命令を出して正しく運行管理されているかを把握した。

以下に図-7について説明する。

- ① b点では、No.1実験車が実際の障害物を検知したため、No.1実験車が自動的に停止を行った。また、後続のNo.2仮想無人車は、前方のNo.1実験車が停止しているため、安全車間距離を確保するため減速、停止を行った。
- ② c点では、固定局からNo.1実験車に非常停止の命令を送ったことで、No.1実験車が停止した。これにより手動による非常停止の動作状況が確認できた。
- ③ d点では、No.1実験車が積込み作業を仮定して停止している。このため、車間距離が詰まってきたので、前方車との安全距離を確保するため、後続のNo.2～No.5の仮想無人車が停止動作を行った。
- ④ e点ではNo.4仮想車を疑似的に障害物を検知させ停止状態にしたところ、すれ違い対向してきたNo.1実験車が前方に障害物があるという指示を受けて停止した。

以上の様な行動により、運行管理システムが正しく機能していることが確認できた。

5. おわりに

今回の実験では、プロトタイプとして試作した通信装置を用いて、運行管理システムの基本的な動作確認を行った。今後は、運行効率を向上させる運行ルールを検討していきたい。最後に、無人ダンプを現場内の1つの完全な自動化施工システムとして運用するためには、施工計画、施工管理支援システム等とリンクを行い、情報の統合化を図っていくことがより重要であろうと考えている。

6. 参考文献

- 1) 杉浦, 他: 「建設車両自動運転システム(HIVACS)の開発(第1報)」, 平成2年度 建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp42～45, 1990
- 2) 斉藤, 他: 「建設車両自動運転システム(HIVACS)の開発(第2報)～無人走行のための要素技術の開発～」, 平成3年度 建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp114～117, 1991
- 3) 滝澤, 他: 「建設車両自動運転システム(HIVACS)の開発(第3報)～現場での無人走行評価実験～」, 平成4年度 建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp206～209, 1992

52. 小口径および曲線部に対応した 自動測量ロボット

“シールド・サーベイ・ロボット・システム”

東亜建設工業(株)：*井上 伸二・増田 稔
永木 君治

1. まえがき

シールド工法は日本で本格的に採用されてから30年以上経過している。その需要に関しても都市およびその周辺での上下水道や、電力、通信、地下鉄などの都市トンネルが急激に増大してきた。さらに新しいジオフロントとしての開発計画も検討され、大深度地下空間を利用した生活、都市、エネルギー上下水道、通信、鉄道、道路、パイプライン等の構想も計画され始めている。

これらを背景に現在、シールド施工においては、トンネルの品質向上、省力化、安全施工を目的として自動化が積極的に進められている。特に、測量は掘削の際に基本となる作業であるとともに、品質向上の基盤になるものであり、その自動化には大きな期待が寄せられている。測量の自動化は、大・中口径シールドではすでに数多く発表され実用されているが、それらのシステムをそのまま小口径シールドに適用するには、あまりにも作業空間が狭く計測装置の設置が困難であり、さらにカーブ部では視準距離が短くシステムの移設に手間がかかると言う問題があった。

これらの問題を一挙に解決するため開発したのが自動測量システム「シールド・サーベイ・ロボット・システム」である。本システムは、計測装置のコンパクト化を図るとともに、新たに開発した計測システムにより小口径での連続自動測量を実現した。

2. 小口径・曲線施工における測量

従来、小口径での自動測量は「ジャイロ方式」が多用されているがシールド機の横すべり(スライド)現象への対応が困難で人力による定期的な補正測量が必要となっている。

これに対し、安定して高い精度を確保するには「光学式」の採用が有効となるが、小口径の工事や曲線施工の多い工事では照射距離の限界と曲線部における照射空間の確保のため従来の既知点に設置する方法では盛替作業が頻繁となり、人力の作業を排除することは出来ない。

従来の「ジャイロ式」「光学式」は、測量員や施工管理者が最も苦勞する小口径の曲線部施工では、盛替作業や補正測量の頻度の多さから測量の自動のメリットは小さかった。

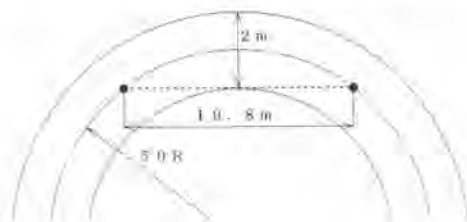


図-1 見通し距離

ここで、小口径(2000mm)・カーブ(50R)での照射距離(見通し距離)のモデル計算を行うと、19.8mとなる。シールド機の動力・制御を行う後続台車が40m近くになることを考慮すればシールド機より20m後方近傍の既知点に測量設備を設置することは空間の乏しい坑内では事実上困難となることが解る。

3. 自動測量システム開発の目標

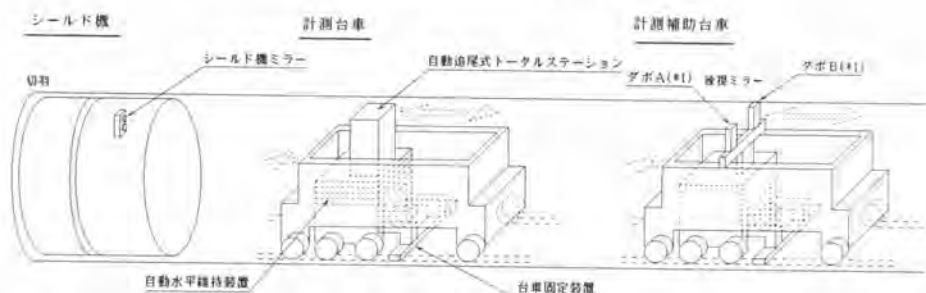
限られた狭い空間において、高精度なトンネルを能率良く安全に行う施工技術の確立を目指し、

- ①小口径（2000mm）に対応し、
- ②曲線部（50R）での連続使用可能で、
- ③人力作業を可能な限り排除する、

「自動測量システム」を実用化することを具体的目標として開発を進めた。

4. システムの概要

「シールド・サーバイ・ロボット・システム」は、シールド機の前進に伴い、自らが移動・固定を繰り返しながらシールド機に追従して、常に掘進中のシールド機の位置をリアルタイムに自動計測しながら路線管理を行うシステムである。図-2にシステムの概念図を示す。



(*]ダボ点：ここではトータルステーション位置算出時の基準となる点を言う

図-2 「シールド・サーバイ・ロボット・システム」の概念図

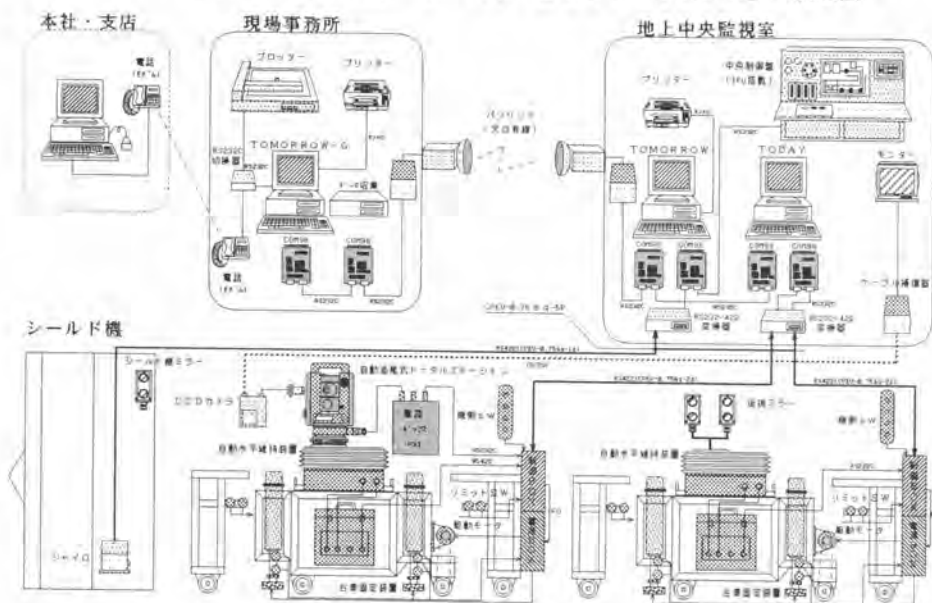


図-3 システム構成図

4-1. システム構成

システムは、自動追尾式トータルステーション及び後視ミラーを搭載した2台の台車からなる「計測部」、これらの装置を自動制御する「制御システム部（TODAY）」、及び位置情報を演算処理し表示する「路線管理システム部（TOMORROW）」で構成される。また、必要に応じて離れた場所に情報を通信しながら位置情報を表示する「路線管理システム部（TOMORROW-G）」を装備することが出来る。図-3にシステム構成図を示す。

これにより、設計路線及び最適な誘導路線（変位・変角が生じた場合に無理なく設計路線にすりつけるために自動設定された新しい路線）との位置関係を常に把握しながら正確な路線管理を行うことが出来る。

4-2. 計測部の動作原理

シールド機後方（15～20m）に自動追尾式トータルステーションを搭載した計測台車と更にその後方にダボ点用ミラーを設置したミラー台車が後続台車の一部となりレール上を動く。

各台車は2重構造となっており、シールド機掘進中は外側の台車のみが移動しレールに固定された内側台車上のトータルステーションでシールド機の反射ミラーを追尾し位置を連続計測することが可能となる。また、掘進待機時に内側の台車を交互に移動・固定することにより計測・ミラー台車のお互いの座標を求めることが出来る。

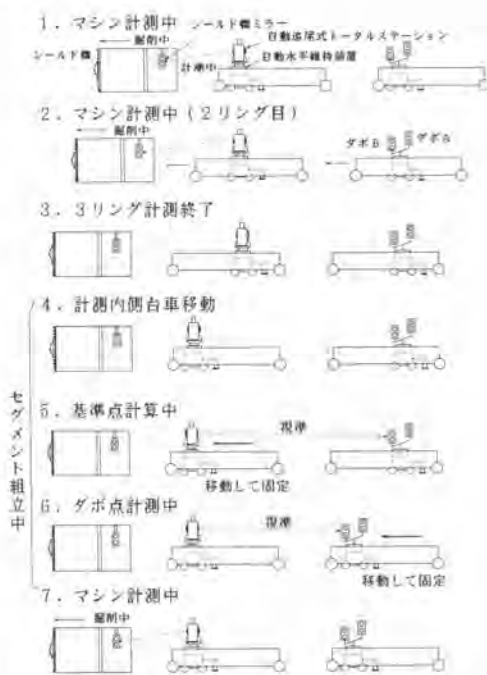


図-4 運転原理図

システムは、この作業を繰り返しながら随時前進していく「尺取り虫方式」と言え、下記の様な具体的動作を行う。

- ①シールド機掘進中、内側台車はレール上に固定されトータルステーションによりシールド機の位置を計測する。
- ②シールド機が掘進するにしたがい外側台車が追従していき内側台車はレール上に固定されたまま計測を続ける。
- ③設定リング分（外側台車に対して内側台車の移動可能距離とセグメント長によって決まる）移動後計測を中断する。
- ④計測内側台車が前方に移動する。
- ⑤ダボA、B、シールド機の各ミラーを順次視準しトータルステーション設置座標の計算を行う。
- ⑥ミラー内側台車を前方に移動させダボA、ダボBの設置座標をトータルステーションにより算出する。
- ⑦再びシールド機のミラーを視準し位置計測する。

5. システムの特徴

【シールド・サーベイ・ロボット・システム】

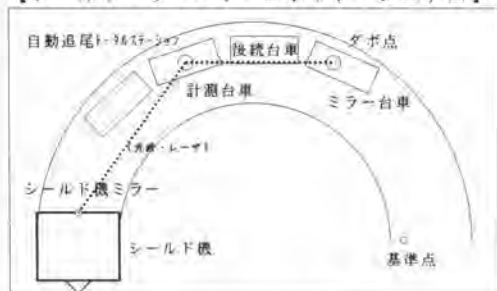


図-5 システム特徴

本システムは、①装置全体を後続台車内の「計測台車に搭載」、②台車は2重構造による「尺取り虫方式」、③測距・測角を「近距離(10～20m)計測」、④移動・計測が「全自動(無人)化」等の特徴としている。

本システムの採用によって、①小口径での使用が容易、②曲線部での連続計測が可能、③近距離計測により位置精度の向上、④光波及びミラーの盛り替えが不要、⑤人力による確認測量の削減等が期待出来る。

6. 確認実験・現場実験の実施



図-6 実験の実施

「シールド・サーベイ・ロボット・システム」は、精密機器を搭載して自動走行すること等から、開発初期より様々な問題点が予見された。このため、確認実験を重ねながら問題点の抽出と解決策を検討した。

繰り返し作業(尺取り虫方法)であることに起因する基準点位置の累積誤差の発生は重要な問題であり、高水準の基準点算出方法(収束計算)を採用した。

坑内においては環境条件が厳しいことから、温度、湿度、特に精密機器に大きく影響を与える振動の問題、通常の使用条件から外れる近距離計測におけるトータルステーションの精度確認など機器の単体試験や実際の環境下での現場実験を行った。

7. 実機による現場実験の実施

確認実験の結果を基に実機の設計・製作を行い、陸上実験及び現場実験を行なった。

7-1 陸上実験

東亜建設工業(株)の機材センター構内に40mのレールを布設し、実機の動作確認後、精度試験を実施した。写真-1に実験状況を示す。

実験方法はシールド機位置に相当するミラーを固定点とし、「尺取り虫移動と収束計算」毎にその変位を記録した。

【結果】

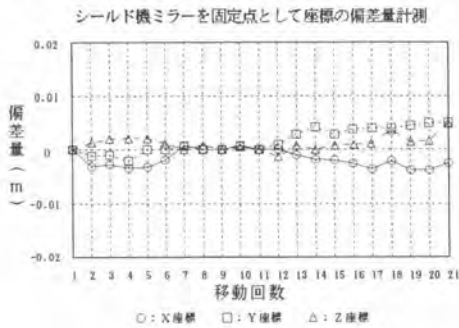


図-7 陸上実験結果

陸上実験の結果、

- ①当初、自動追尾や台車移動の不具合が発生、通信タイミング等を調整することにより動作はスムーズに行われるようになった。
- ②精度試験に関しては、21回の移動（距離に換算して21回×3RING×0.7m=44.1m）に対して「±10mm」となり管理目標内での測量が出来た。図-7に実験結果偏差量グラフを示す。

7-2 現場実験

陸上実験終了後、セグメント外径2000mm泥水式シールドの現場【東京電力株式会社発注、五香駅付近管路工事】において試験を実施した。ここでは、実現場での動作、位置精度及び曲率半径75R（一部30R 区間があるが未自動測量）区間での自動測量の実用性について確認した。写真-1～4に現場運用状況を及び画面表示例を示す。



写真-1 運用中の計測台車



写真-2 運用中のミラー台車

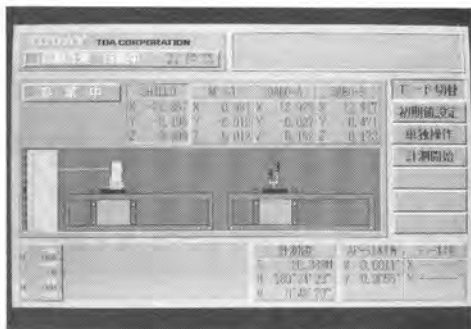


写真-3 TODAY画面例

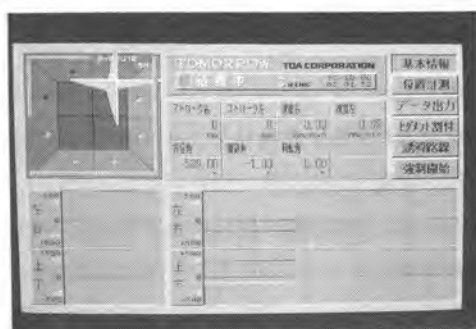


写真-4 TOMORROW画面例

【結果】

実験は、通常の作業（掘進、セグメント搬入・組立等の通常サイクル）や通常の設備（枕木、レール等）で行なった。「尺取り虫方式」動作については下記の初期不良が発生したが、一部の改善・改良を行うことにより正常な動作が可能となることを確認した。これにより、掘進作業や掘進設備を変更することなしシステムを運用することが可能となった。

初期不良とその対処として、

- ①固定装置がレール止めに接触し移動不良。→固定装置の位置変更で対処。
- ②車輪が空回りし移動不良。→4輪駆動に変更または重量配分変更で処理。
- ③裏込め関係設備及び作業員に光波が時折遮断され、セグメント組立中での移動が不完全。
→作業員に対する指示と警報装置で処理。

等があった。

他の測量機の計測値（シールド機ミラー）を真値とした場合の偏差の偏差量計測

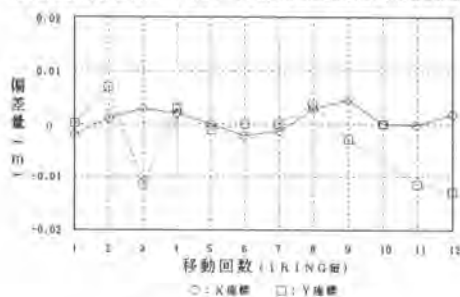


図-8 現場実験の結果

精度においては、実用上の管理目標を確保する見通しがついた。図-8に実験結果偏差量グラフを示す。

陸上試験との差の原因は、

- ①固定点の比較でなく、別の測量機での測量値を真値として取り扱っている点、
- ②バッテリーロコや人の移動の有無、
- ③シールド機や後続台車からの振動の有無、
- ④レールと枕木の固定方法の違い
などから起因しているものと考えられる。

8. あとがき

現在、中・大口径シールドにおいては、自動測量システムが実用化されている。しかし、小口径シールドにおいては、測量機器を設置する空間の確保が困難で自動化が一步遅れているのが現状である。

今回開発した「シールド・サーベイ・ロボット・システム」は、「小口径シールド」及び「カーブ」での運用を可能としたものである。今後、現場での使用実績を重ねて、システムの完成を目指していきたい。

最後に、本システム開発を進める過程でご協力をいただいた神奈川県内広域水道企業団殿ならびに東京電力（株）殿にお礼申し上げます。

<参考文献>

- (1) 鈴木 章：シールドトンネルの新技术（将来展望）、トンネルと地下、（株）土木工学社、1992
- (2) 今倉和彦：自動測量システムとその施工事例、シールド自動測量・制御システムとその導入／施工事例、（株）技研情報センター、1991
- (3) 高江真文：自動測量システムと施工事例、シールド自動測量・制御システムとその導入／施工事例（株）技研情報センター、1991

53. ラジコン遠隔操作による土砂の掘削および搬出技術に伴う施工支援システム

西松建設(株)：*石井 正典・桑原 資孝
小西 保

1. はじめに

建設業が抱える若年労働者の不足、労働生産性の向上、労働環境の整備等の問題を背景に、エレクトロニクス、或いはメカトロニクス技術の利用による運搬機械の自動化、省力化への展開が強く求められており、遠隔操作技術を包含した技術の展開が図られている。

遠隔操作技術の分野に限れば、単体としての技術は確立されているが、複数機械の組み合わせによる施工全体のシステムとしての取組みはあまり例を見ないのが現状である。

今回の試験工事は人の立入りが禁止されている警戒区域内での掘削、小割り、及び運搬の施工全般に亙る遠隔操作無人化技術の試行であり、既存技術の組合せ・応用の他に、施工法を加えた新たなシステム構築が求められた。

以下に、当社が提案した「ラジコン遠隔操作による土石流推積土砂の掘削及び搬出技術」について、その概要、施工結果及び今後の課題について述べる。

2. 工事概要

(1) 工事内容

工事名称：雲仙普賢岳水無除石無人化施工試験（その2）工事

工事場所：長崎県島原市札の元町地先

工事数量：掘削・押土 5,400 m^3 、転石小割り100 m^3 、積込・運搬5,500 m^3

本工区は、国道57号に接した警戒区域の中に位置し、試験施工フィールド内での掘削、押土、小割り、及び土砂仮置場までの150mの一次運搬を遠隔操作とし、土砂仮置場から安徳海岸土捨場までの2,500mの二次運搬を有人操作としている。

(2) 施工技術概要

本工法の最大の特徴は、ブルドーザによって牽引されるキャリオールダンプによる運搬方式であり、技術の概要は、以下の通りであった。

避難勧告区域（国道57号より下流）に位置した操作ヤード内中央部に全体施工管理を行う移動式集中管理室を設置し、その両側に配置した移動式操作室を遠隔操作、車両情報基地とした。推積土砂の掘削、運搬の一連の作業は、ラジコン遠隔操縦装置等を搭載したバックホウ、ブルドーザ、キャリオールダンプ、ブレーカーなどの機械群を固定塔の2D高感度カメラ、およびフィールド内に配置した局部監視用移動式カメラ車からの映像視認によって、遠隔操作で行った。ラジコン遠隔操作および車両情報伝達に、試験フィールドの規模、現行法規、基準等を考慮し、出力10mW以下の特定小電力無線局を使用した。図-1に無人化施工概要図を示す。また、土砂仮置場から土捨場までの2次運搬は有人施工とし、

土砂仮置場は、28t級ブルドーザによる集土、0.7m³級バックホウでの11tダンプトラックへの積み込み、土捨場における集土作業として28t級ブルドーザを使用した。

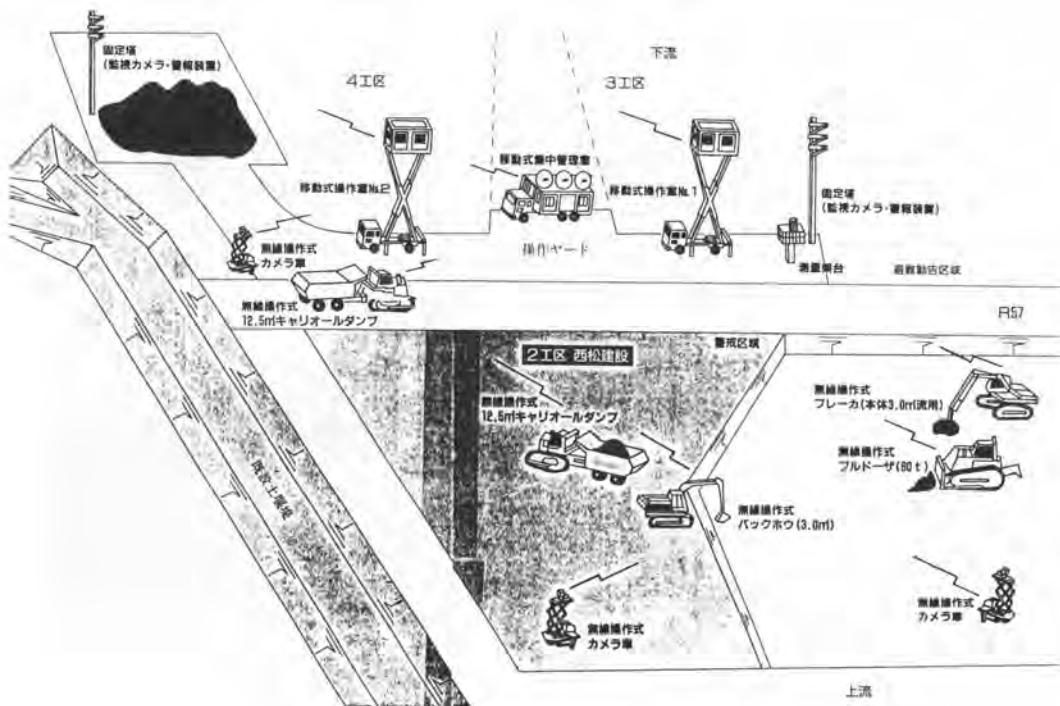


図-1 無人化施工概要図

3. 機械に対する安全対策

本工事において警戒区域内で作業を行う各機械に対し、以下の安全対策をとった。

①耐熱対策

各機械に以下の耐熱対策を施した。

- ・燃料系ホース等への不燃性断熱材の被覆
- ・燃料タンクへの不燃性断熱材被覆
- ・ラジコンコントローラー部等への不燃性断熱材被覆
- ・キャリアールダンプのタイヤにN₂ガスを封入

以上の対策により一次的な外囲温度100℃への対応を図った。

②耐湿処理

影響を受ける機器については、密閉構造及びキャビン内の空調を積極的に利用することで一次的湿度100%への対応を図った。

③フィールド内における遠隔操作機械の故障時対策

各機械の無線機故障や機械故障等の非常時対策として以下の段階に分けて、安全措置をとった。

レベル1．送信器故障

予備送信器に切り替える。

レベル2．車両側ラジ

コン装置の
故障

非常用無線装置を
搭載し、無人で脱
出する。

レベル3．車両本体の 故障

無線操作でパッテ
リーパワーパック
を稼働させ、故障
機械を牽引可能な
初期状態（ブレー
キ解放、作業装置
解放）にし、他の



写真-2 非常時脱出装置

牽引重機の連結装置（写真-2）で連結した後、牽引して脱出する。

4．施工支援システム

本工事において施工管理の効率化を図るため導入した施工支援システムを以下に述べる。

①出来形管理システム

施工場所を走行している移動カメラ車にプリズム（360度対応可能）、傾斜計、光ファイバージャイロ、インターフェイス、磁気方位角センサ、無線モデムを取付け、そのプリズムを自動追尾式トータルステーションで追尾させる。

自動追尾トータルステーションでは、測距・測角を行い、そのデータを管理用パーソナルコンピュータに送信する。また、移動カメラ車からは、傾斜計データおよび方位角データを無線モデムを介して管理用パーソナルコンピュータに送信する。管理用パーソナルコンピュータは、プリズムの三次元座標を角度データから地盤の3次元座標にリアルタイムで計算し、画面に表示すると共にファイルに保存する。そのデータより各種図面、管理帳票を作成する。出来形管理システムフローを図-2に示す。

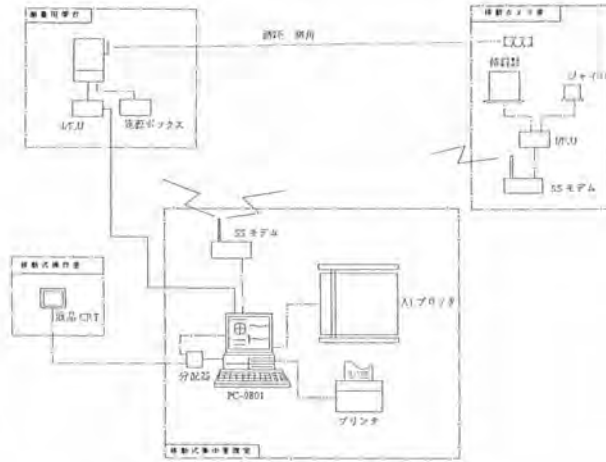


図-2 出来形管理システムフロー

②稼働管理システム

本システムは、遠隔操作のため重機の情報が得られないオペレータへの情報提供を行う。移動操作室に、エンジン回転数及び油温・水温等異常有無の表示を行い、それらをICカードに記録して、移動式集中管理室で重機稼働管理日報等の印字を行うことができるシステムである。

移動式操作室No. 1、No. 2に車輛情報伝達装置を設置し、各重機からの稼働データとそれぞれのタッチパネルで入力した手入力データを併せてICカードリーダー・ライターで記録・読み込みを行う。

作業終了後、収集したICカードを移動式集中管理室の管理用パーソナルコンピュータにて処理・集計・編集し、各種帳票類を印字する。稼働管理システムフローを図-3に示す。

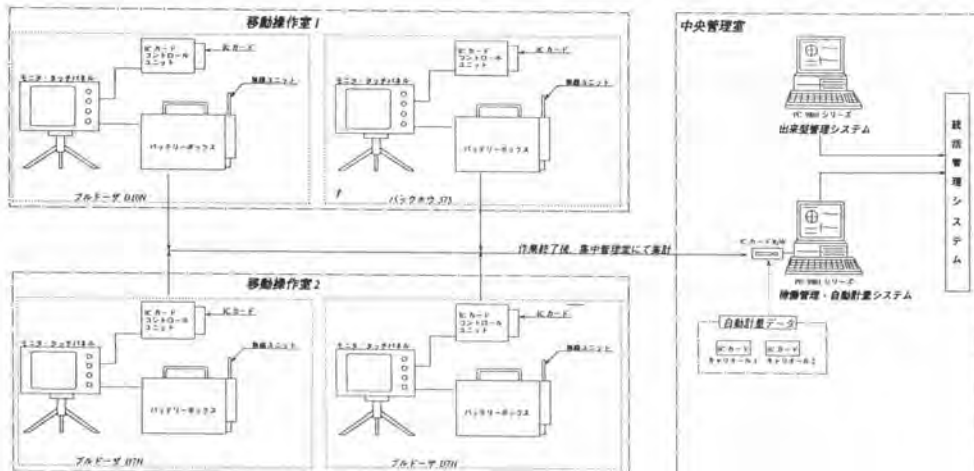


図-3 稼働管理システムフロー

③無人計量システム

無人計量システムは、運搬土量管理システムであり、キャリオールダンプのベッセルに歪計および近接スイッチを取り付けている。キャリオールダンプが無線操作区域（危険区域）を退出した時点でGPSで退出を概略判断し、工事用道路で自重に対する引張りと加速度との関係を計測し、計量条件を決定する。すなわち、計量するための引張りと加速度との影響を走行しながら、平均処理を実行開始し、一次仮置場へ入るまでの時点で処理されたデータをICカードに書き込む。無人計量システムフローを図-4に示す。

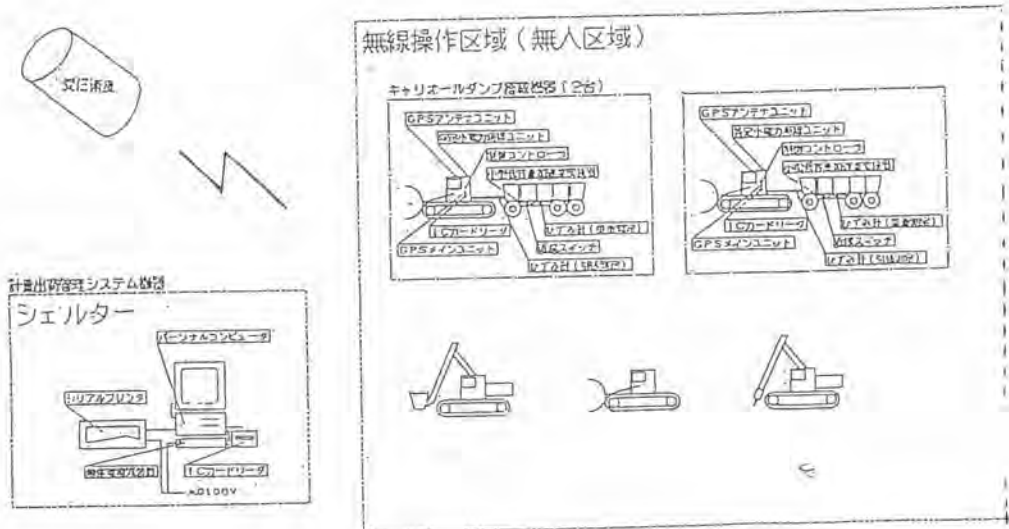


図-4 無人計量システムフロー

5. 施工管理システムの結果と課題

①出来形管理システム

フィールド内での測量実験を事前に行った結果、精度は±20mm以内に収まった。高精度に収まったが、以下の問題点及び課題が抽出された。

- ・ 使用した計測車が移動カメラ車であったため、ブルドーザのクローラの轍の影響を受け走行時かなりの傾斜となり、場合によっては停止するため、測量メッシュの一部に測量不能な位置が発生した。対策として計測車の大型化も考えられるが、計測方法として傾斜計による座標置換を行うため誤差が大きくなる等の問題が発生する。従って今後適正な大きさの重機械を計測車に選定する必要がある。
- ・ 光ファイバージャイロのオフセットとしての磁気方位センサは当初予想した通り地磁気の影響を受け計測できなかつたため、オフセットが規定位置でしかできなかつた。しかし、実際の計測においては光ファイバージャイロは計測中にオフセットの必要がなかつたため大きな問題とはならなかつた。

②無人計量システム

土捨場での有人計測に比較し、誤差範囲が5%に収束し非常に精度よく計測が行えた。精度よく計測が行えたが以下の問題点があった。

- ・ キャリオールダンプ積荷の状態が平均的でないため、ジャッキとヒンジ部およびブルドーザとのジョイント部に力が逃げる傾向がみられた。今後計測の精度を更に上げるため、ジョイント部にロードセルを入れる等の対策が必要である。
- ・ 土量計測は重量による管理としたが、システム内で自動的に容積に変換するためには土の見かけ比重の計測センサの開発が必要である。

③稼働管理システム

車輛情報装置からのデータがエンジン回転数、油温・水温等の警報および無線レベルが、稼働管理用タッチパネルに表示される。これらのデータを、ICカードに記録し最終的に稼働管理パーソナルコンピュータでデータを集計し稼働結果として印字される。当初の目論み通り各重機の稼働状況の把握を行うことができた。

本システムについては以下の問題点及び課題が上げられた。

- ・ 情報としての、油温・水温は警報表示ではなく、ゲージによる表示が望ましい。また、ブルドーザについては押土距離・前後進及びキャリオールダンプの走行距離情報が表示されれば、遠隔操作の場合の補助となり得る。
- ・ 採用したICカードは接触式であったため、1枚が使用不可能となった。今後、無人計量システムと同様に非接触式で行うべきである。

6. おわりに

今回の試験工事は人の立入りが禁止されている警戒区域内での掘削、積込み、小割り及び運搬の施工全般に及ぶ遠隔操作無人化技術の適用であり、既存技術の組合せ・応用の他に、施工法を加えた新たなシステム構築が求められた。

当社は、提案した「ラジコン遠隔操作による土石流堆石土砂の掘削及び搬出技術」の技術呼称のもと、ラジコン遠隔操作キャリオールダンプ方式で試験施工を行い、8月8日土石流に遭遇したが、特に問題もなく工期内に試験工事を完了することができた。

試験工事の実証技術によって、より安全、確実な無人化技術の確立を図ることができると確信すると共に、超遠隔操作無人化施工技術への展開が可能となったと考える。

末筆ながらご指導、ご協力を頂いた関係各位に深甚なる謝意を表します。

54. 地下工事における安全情報管理システムの開発と適用

清水建設(株)：菊池 雄一・*河野 重行
深井 日出男

昨今の地下構造物の大断面化、太深度化、長大化の傾向に対し、解析技術・施工技術の進歩は著しい。建設業においては、生産性の向上、省人化、施工精度の向上などを目標に、各種の自動化が開発、導入されており、なかでもシールド工事は、もっとも自動化が進んでいるもののひとつである。これらシールドの掘進関連の自動化はかなり進んでおり、自動姿勢制御やセグメント搬送システムなどは多くの実施工において効果を表している。しかしながら、安全管理を含めた施工管理の省人化・自動化に関しては、あまり研究・開発が行われていないのが現状である。今後、作業現場においては、従来以上の人員削減が予想され、現場管理の合理化が求められるとともに、構造物の複雑化や施工規模の増大およびそれにとまなう作業員数の増加の傾向に対し、従来以上の管理の質の向上が必要となる。

昨今、赤外線やマイクロ波を使った電波を用いたIDカードにより、人員管理や工事現場への入門管理が行われていたが、IDカードの検知距離が最大でも1~2mにすぎず、その結果、IDカードからの信号を受信する装置を設置したゲートを設けなければならない。特に、施工場所が広範囲にわたる場合などはゲートを必ずしもIDカードを所持した作業員が通るとは限らず、検知精度に問題があった。

今回、筆者らは、微弱波を用いたIDカードを使用することにより、検知距離を従来より格段に伸ばし、トンネルなどの閉鎖的な作業現場において、作業員や作業車両の位置、さらに異常発生時にはその内容と場所までを、監督者が地上にいながらリアルタイムに集中管理できる安全情報管理システム「サイト・ウォッチャー」を開発・実用化したので報告する。

2. システムの概要

システムの構成図を図-1に示す。システムは、各人が携帯したり、ヘルメットなどに取付ける名刺大の電波発信カードと管理対象区域に設置する電波受信装置、および事務所などに設置する監視装置で構成されている。

電波発信カードを写真-1に示す。電波発信カードは大きさが54 x 86 x 6mmであり、携帯に便利である。カードは事前に設定した一定の間隔（0.5秒~16秒）でID番号を含む電波を発信するが、電波は微弱波であり、従来のIDカードと異なり約15m程度届く（免許は不要である）。また、カード内には、リチウム電池が内蔵されており、約3カ月は電池の取り替えが不要となる。このカードには、押しボタンがついており、このボタンを押すことにより、前述の電波以外に緊急通報電波を発することができる。緊急通報電波は手でボタンを押すことにより発信できるほか、各設備からON/OFFの接点情報を取り込むことにより、緊急通報電波を飛ばすことができ、設備の稼働状況の監視を行うことができる。この各設備の監視用として、カードを内蔵した端子ボックスを作成し、容易に各設備に取付けやすくして

いる。

電波受信装置の大きさは320 x 95 x 220mmで重量は6kgであり、取付けは容易に行える。装置はダイバーシティアンテナを用いているため、広いエリアの電波を受信できる。また、容易に受信装置の感度を調整することができ、その結果、電波の検知範囲を調整することができる。

事務所に設置する監視装置は32ビットのCPUで40MBのハードディスクをもつパーソナルコンピュータとカラーディスプレイから構成される。

各人が携帯する電波発信カードより発せられたID番号が、もよりの電波受信装置で受信され、電波受信装置をつなぐ専用ケーブルを通し、事務所などにある監視装置につながる。監視装置において、検知されたID番号が自動的に、事前に登録しておいた対応する個人情報と参照され、個人の位置情報が把握される。

3. システムの実証

本システムを京都市における大規模下水道工事に適用し、その効果の実証を行った。本工事は、都市部における幹線道路の直下をシールドで掘進するもので、周辺には多くの民家もあり、リアルタイムなシールドの施工管理が必要となるため、本システムが導入された。本導入例においては、シールド立坑の入り口に、従来から設置してある入坑札に隣接してカラーディスプレイからなる監視装置を設置した。この監視装置は事務所に設置したパーソナルコンピュータと連動しており、坑内の作業員情報をリアルタイムに把握できる。本シールド工事への導入におけるシステム構成を図-2に示す。

監督者は、作業員の現場雇入れ時に、氏名、血液型、職種、経験年数などの個人情報を事務所にあるパーソナルコンピュータに入力するとともに、各作業員に対応するID番号を持った電波発信カードを渡す。このカードは、2秒間隔など事前に設定した一定の間隔でID番号を発信する。電波発信カードは、たとえば、導入したシールド工事現場においては各作業員のヘルメットに内蔵されており、携帯忘れを防いでいる。

この電波受信装置から発信された情報が、壁などに設置された電波受信装置を経由して、事務所にある監視装置であるパーソナルコンピュータで登録された個人情報と自動的に参照され、作

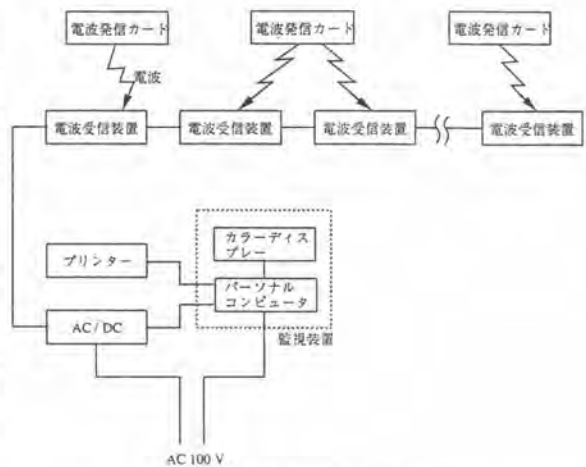


図-1 システム構成図



写真-1 電波発信カード

業員の位置情報として、コンピュータの画面に表示される（写真-2参照）。実際には、全線にわたり、電波発信カードからの電波の最大到達距離である15mの間隔で電波受信装置を設置することはコスト的にも実用的でない。したがって、本システムにおいては、ゾーン管理を行った。シールド全線をいくつかのゾーンに分割し、各ゾーンにひとつの電波受信装置を設置する。電波発信カードを携帯した作業員が当該ゾーンに入り、電波受信装置の15m付近に近づいた時点ではじめてその作業員は当該ゾーンにいると認識される。その後、作業員が隣のゾーンに入ると、その電波受信装置で検知されるまでは、当該ゾーンにいると認識される。一般に、切羽付近や立坑下など作業員が常時いる箇所においては電波受信装置を15m程度に設置することにより、作業員の動きを密に把握することができる。逆に、作業員が常時作業を行っていない箇所などは電波受信装置の設置間隔を広げることが一般的である。したがって、作業員は坑内のどこかに常にいると認識されるため、たとえ、ある時点ですべての電波受信装置で作業員のID番号が受信されていなくても、作業員の位置情報がシステムから消えることはない。また、同時に複数の電波受信装置で作業員が検知された場合、システム的に電波をより強く受信した受信装置があるゾーンにいると認識される。

監視装置の表示画面においては、各作業員の名前と所在箇所、坑内に入っている全作業員の人数が表示され、現場の作業状況がリアルタイムに把握できる。また、別の切り替え画面では、各作業員のID番号の検知にもとづく作業員の全入退坑時間の記録および月別の集計が表示されるとともに、ハードディスクに自動保存される。この電波発信カードを坑内台車に取付けることで、坑内台車の所在場所を監視できる。

また、本システム導入例においては、上記の作業員や坑内台車の管理以外に、電波発信カードを内蔵した端子ボックスを用いて、可燃性ガスの検知（管理濃度を越えたか否か）、立坑内の地下水位の検知（管理水位を越えたか否か）、坑内照明の点灯状況、坑内台車のポイントの切り替わり状況などを監視した。これらの情報は異常発生時に電波により、電波受信装置を経由して、監視装置の表示画面に警報ブザーとともに表示され、異常内容および発生場所が明示されるとともに、警報履歴が記録される。

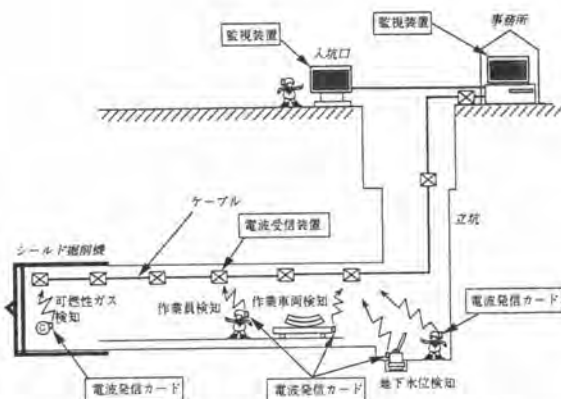


図-2 シールド工事におけるシステム構成例

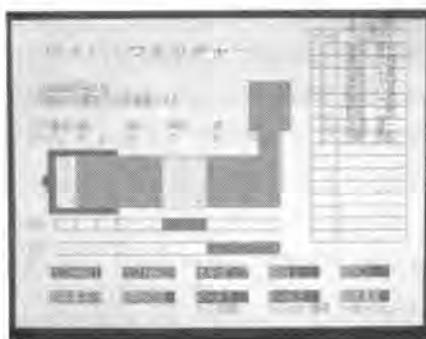


写真-2 監視装置の表示画面

4. システムの効果

実シールド工事における実際の適用に際し、当初、作業員の間には常時監視されるとの思いから多少の戸惑いがあったようであるが、現在は、システムの趣旨をもよく理解し、抵抗なく受け入れるようになってきている。また、リアルタイムに作業員情報および設備稼働状況を事務所において把握できるため、監督者から高い評価を得ている。本システムの効果をまとめると以下のものである。

- 1) 作業員や作業車両が坑内に入ると、事務所内や坑口部に設置された監視装置の画面上にその位置がリアルタイムに表示されるため、監督者は別途布設のインターフォンや坑内電話により、作業指示を迅速・正確に伝達でき、作業性が向上する。
- 2) ガス検知器や水位検知器などは電波発信カードを内蔵した端子ボックスを通し、監視装置で異常監視ができるため、新規に各設備毎の監視用の回線を布設する必要がなく、設置手間が大幅に低減でき、経済的である。
- 3) ガス検知器や水位検知器からの緊急通報電波が検知された時点で、監視装置の警報ブザーが鳴るとともに、発生場所が監視装置の画面上に表示されるため、監督者はいち早く異常の発生を察知できるため、対応方法を迅速・正確に講じることができ、安全性が向上する。
- 4) 緊急時には、作業員が電波発信カードのボタンを押すことにより、緊急通報電波が発せられ、事務所の監視装置の画面上に表示されるため、監督者はいち早く異常の発生を察知できるため、対応方法を迅速・正確に講じることができ、安全性が向上する。
- 5) 監視装置に送られた個人情報、労務日報として管理でき、必要に応じて日報・月報として印字・出力できるため、取引業者ごとの入場者数や入退出時間が正確に把握でき、高精度な労務管理が可能となるとともに、管理の手間が低減できる。

5. おわりに

本システムは清水建設（株）と日本無線（株）の共同で開発されたものであり、現在、数現場で稼働中である。本論文において、システムの概要および実証を通じたその効果について述べた。

本システムは、広範囲に作業員を検知できることにより、作業員の経路が線的（通路が決まっており、人はその通路しか通れない場合）である必要はなく、面的（通路を規定する必要がなく、人は自由に平面を行き来する場合）にも対応可能である。したがって、本システムの汎用性は非常に高く、前述のシールド工事以外にも、一般山岳トンネルや地下鉄や地下駐車場のようないくつかの工事および一般建築工事へも適用可能となる。

筆者らは今後とも、本システムの普及を図り、実績を積むことにより、システムの実用性および汎用性をより一層向上させていくとともに、将来の建設工事のさらなる省人化に対応していくべく努力する次第である。

55. 重機警報装置の開発

ハザマ：牧田 雄介・石井 恭二
エム・ケー精工(株)：黒岩 徹夫

1. はじめに

建設業における労働死亡災害は、図-1に示す通り三大災害と呼ばれる①墜落・転落災害②重機・車両災害③飛来・崩壊災害でそのほとんどが占められている。この内、重機・車両災害では、図-2に示す通りバックホーによる死亡災害が4割を越えていることが分かる。

こうした状況を踏まえ、丸子トンネル作業所において、特にトンネル掘削作業におけるバックホーによる接触・巻き込み事故絶滅に重点を絞り、安全対策の検討を始めた。

1) 重機作業における安全対策の現状

安全対策としては、重機の旋回範囲内等の危険区域への徒手作業員の立入り禁止措置がある。しかし、実際のバックホー作業においては、徒手作業員との混成作業となる場合が多く、立入り禁止措置を講じることは困難である。

2) 重機作業における接触・巻き込み事故

重機オペレーターには死角が多く、作業員の存在に気付かない場合がある。また、騒音下でのトンネル掘削作業においては、作業員が重機の接近に気付かないことがある。

3) 重機災害防止の安全機器の必要性

こうした現状を考えた場合、重機オペレーターと周囲の徒手作業員相互が、互いの接近を自動的に感知できる安全機器、騒音下でも緊急指示や作業指示ができる無線機器を備えておく必要がある。

丸子トンネル作業所では、重機作業における現状分析を行ない、死亡災害の発生要因とその対策案および工事現場でのニーズ等を検討した結果、

①重機の死角を原因とする接触・巻き込み事故の防止を図る。

②騒音下でも使用可能な無線機器による作業の効率化を図る。

ことを目的に、本重機警報装置の開発・実験に着手することとした。

なお、本論文では本装置の従来技術との比較、丸子トンネル作業所等における実証試験報告および今後の課題について紹介する。

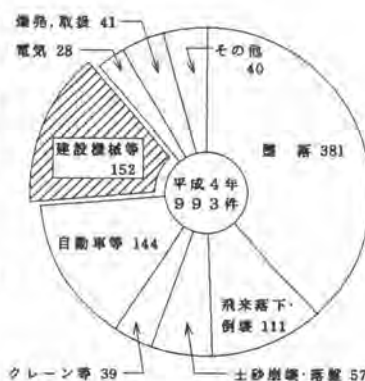


図-1 建設業における種類別死亡災害

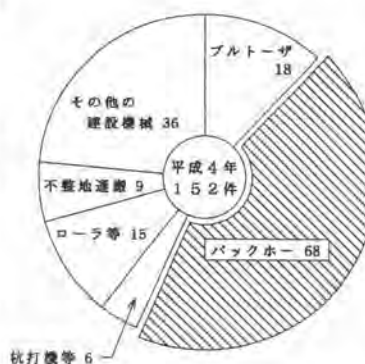


図-2 建設機械の種類別死亡災害

2. 重機警報装置の開発

1) 本装置の構成

- ① 親機 …………… 図-3
 運転席上に取り付ける磁界発生・FM警報電波受信装置
- ② 警報ボックス …… 図-4
 運転席内に取り付ける警報発生装置および無線装置
- ③ 子機 …………… 図-5
 作業員が携帯する磁界検出・FM警報電波送信装置および無線装置

2) 警報機能

従来技術では、赤外線や超音波センサを使用して人体の検出を行なう方式があった。しかし、これらの方式では重機と人との間に障害物等が存在した場合は、赤外線や超音波が障害物により遮断あるいは乱反射され、監視目的である人体を検出できない等の問題があった。

本警報装置では、人体の検出に磁界方式を採用することで、障害物に影響されることなく3次元的に警報エリアを形成することが可能となった。更に、この磁界方式は警報エリアの範囲（親機を中心とした半径）をかなり正確に設定できる等の利点も理論上および試験により判明した。

【警報機能の動作説明】 …… 図-6参照

① 磁界発生

エンジンキーのスタートで親機および警報ボックスの電源が入り、親機より磁界を発生して警報エリアを形成する。
 なお、本システムの使用目的により、警報エリアの半径を5または10[m]に設定できる。

② FM警報電波送信

充電されたバッテリーを子機に装着し、子機を携帯した作業員が警報エリア内に入ると、その子機が磁界を検出して子機から親機に対してFM警報電波を送出する。

③ 警報作動

警報エリア内の作業員は子機本体およびイヤホンから発せられる警報音により、重機の接近を感知できる。
 一方、重機オペレーターは警報ボックスから発せられる警報音および赤色警報ランプの点滅により、作業員が警報エリア内に入内したことを感知できる。



図-3 親機外観図



図-4 警報ボックス外観図



図-5 子機外観図

3)無線機能

従来の無線機器は、ヘッドバンド式マイクやハンディ式のトランシーバーであったため、防塵マスクの着用や騒音下での使用には適さなかった。また、プレストーク式のトランシーバーでは、会話の際に片手がふさがれるといった難点があった。

本無線装置では、頭骨の振動を音声に変換するイヤホン兼用骨伝導マイクを使用しているため、防塵マスクの着用や騒音下でも使用が可能である。更に、マイコンによる送受信自動制御のボイスコントローラ方式を採用し、重機操作や作業中でも会話ができるノン・ハンドの無線装置を開発した。この結果、本無線装置は使用方法や使用環境を限定することなく、緊急指示や作業指示等が行なえるため、作業の効率化にも有効である。なお、無線有効範囲は約40[m]である。

【無線機能の動作説明】 …… 図-6参照

④FM会話機能・送信回路ON

重機オペレーターまたは作業員のどちらかが話すと、ボイスコントローラ方式により送信回路がONとなり、送信機能が有効となる。

⑤FM会話機能・送信回路OFF

相手側はFM電波受信と同時に送信回路がOFFとなり、受信機能のみが有効となる。

会話が終わると約1.5秒後に送信回路がONに復帰し、送信機能が有効となる。以後、同様の送受信自動制御が繰返される。

なお、イヤホン（骨伝導マイク機能なし）を使用した場合は、会話を聞くだけの機能となる。従って、多数の作業員が話すと作業指示に混乱を来す場合等は、重機オペレーターおよび作業指示者のみに骨伝導マイクを使用させる方法もある。

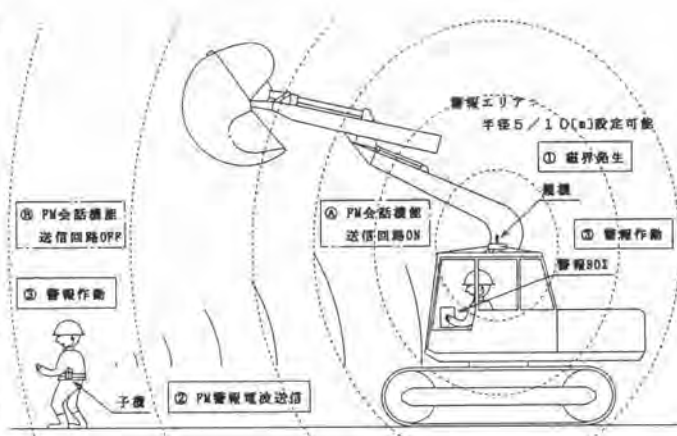


図-6 動作説明図

表-1 実証試験工事現場

実証試験工事現場	丸子トンネル #1 作業所	東京電力 横浜火力建設現場 #2	熊川舗装修繕工事 #3
試験対象作業	下半掘削作業 上半掘削作業 覆工(コンクリート)作業	排水路掘削作業	路面切削作業 基層舗装作業 表層舗装作業
試験対象重機	バックホー サイドダンプ ショベル ホイールジャンボ	バックホー	路面切削機 マカダムローラー タイヤローラー
実証試験期間	平成6年3月17日 ～ 継続	平成6年4月13日 ～ 5月9日	平成6年5月10日 ～ 継続

#1 ハザマ・竹中土木・アイサワ共同企業体
#2 ハザマ・不動JV
#3 東京舗装工業株式会社

3. 実証試験の報告

1) 実証試験の工事現場

平成6年5月20日現在までに実証試験を行なった工事現場を表-1に示す。

なお、丸子トンネル作業所においては、実証試験に先立ち製品の検討会、試作機による実験等を繰返し行なった。

2) 実証試験の結果

① 警報機能

- ・バックホーのアーム旋回時等、安全意識の高揚が図れる。
- ・バックホー等の後方死角エリアに効果がある。
- ・ダンプ用の後方警報装置も必要である。

② 無線機能

- ・トンネル内でも骨伝導マイクの評価は高く、防塵マスク着用時および騒音下での使用にも有効である。
- ・バケット操作に対する細かい指示ができ、掘削作業に有効である。
- ・チームワークが良くなり、作業の効率アップに役立つ。
- ・路面切削機の発進や停止の指示等、作業効率および安全作業に効果がある。

以上、アンケート結果の一部を報告する。

4. おわりに

現在までに3工事現場において、実作業による耐久試験、問題点の調査等を行なった。

今後、使用環境・使用方法の異なる工事現場にて試験を行ない、本装置の適用範囲を探り、これらの試験結果を踏まえ、信頼性および完成度の高い製品を開発する所存である。

最後に、本システムの開発と実証試験現場を提供していただいた関係各位に深く感謝する次第である。



写真-1 日本鉄道建設公団殿を
交えての検討会
(丸子トンネル作業所にて)



写真-2 バックホーへの親機の取付け
(丸子トンネル作業所にて)



写真-3 バックホーでの実証試験
(横浜火力建設現場にて)

56. 耐火被覆吹付けロボット 2号機 システムの開発

(株)フジタ：*渡部 幸浩・宮本 仁史
吉武 亮二

1. はじめに

昨年から今年にかけて建築工事の需要は急速に冷え込んできているが、好景気時の労務不足に対処するために用いられた鉄骨構造などの建物の乾式工法は現在も盛ん採用されているため、建築工事量に対する耐火被覆吹付け工事量の割合は増えたままの状態である。一方、粉塵を伴う劣悪な作業環境の改善、安定した高品質な施工、材料ロスの低減、労力の軽減そして作業速度の向上といった現場配合の耐火被覆吹付け工事が従来から抱える問題に対する改善はあまり進まず、機械化や新素材などによる大幅な作業改善が望まれているのが現状である。

本開発は、一般製造業で使用されている産業用ロボットの建築現場への適用技術を開発し、建築工事の自動化を推進する試みの一事例として、耐火被覆吹付け工事の大半を占める現場配合の乾式吹付け工法を対象としたロボットシステムを構築し、従来作業を大幅に改善することを目標としている。

2. システムの装置概要

本システムは、図-1に示した一般製造業で使用されている産業用垂直多関節型ロボット、作業床上での任意走行と任意高さ設定を可能にする自律走行台車、建物内での自己位置を認識するためのレーザ式自動位置計測装置、5つの材料供給装置で構成される遠隔制御プラントおよびシステム全体を統括制御する牽引式中央制御盤の各装置により構成される。写真-1にその作業状況を示す。

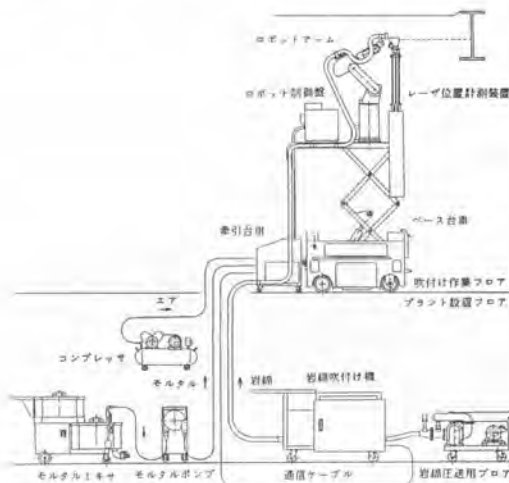


図-1 システムの構成



写真-1 作業状況

2-3. 遠隔制御プラント

耐火被覆吹付け作業に用いるプラント設備（岩綿吹付け機、ブロー、モルタルポンプ）は、ロックウール工業会の認定を必要とするため、既製品についてインバータ制御を行い、ロボットとの連動遠隔制御が可能のようにプラント統括用コンピュータを設置した。

2-4. レーザ自動位置計測装置

作業品質を確保するためには、ロボットおよび台車を正確な位置に誘導すること即ち、梁との離れ・正対性を計測することができると共に、梁との平行移動距離を計測する装置の開発が必要である。本システムに設けたこの装置は、レーザ距離計測センサを搭載し、エア駆動によってセンサの昇降・90度旋回・左右首振りが可能のため、2対設置することによって正確な位置計測ができる。使用した計測装置の外観を写真-2に示す。



写真-2 レーザ式自動位置計測装置



写真-3 作業条件入力状況

2-5. 牽引式中央制御盤

中央制御盤は、本システムを構成する各装置のコンピュータを統括制御し、各装置を連動させて一連の作業を行わせる役割を担っている。タッチパネルを用いた簡易入力方式を採用したため、使用時の作業条件入力操作は一般作業員でも簡単に行うことが出来る。中央制御盤の移動は、自律走行台車に牽引させる方式とした。作業条件入力状況を写真-3に示す。

3. システムの制御・操作概要

3-1. システムの制御

システムの制御は、中央制御盤をホストコンピュータとして、産業用垂直多関節型ロボット、自律走行台車、レーザ式自動位置計測装置及び遠隔制御プラントの各々の制御盤をコントロールするようにした。図-4に制御機器の構成を示す。

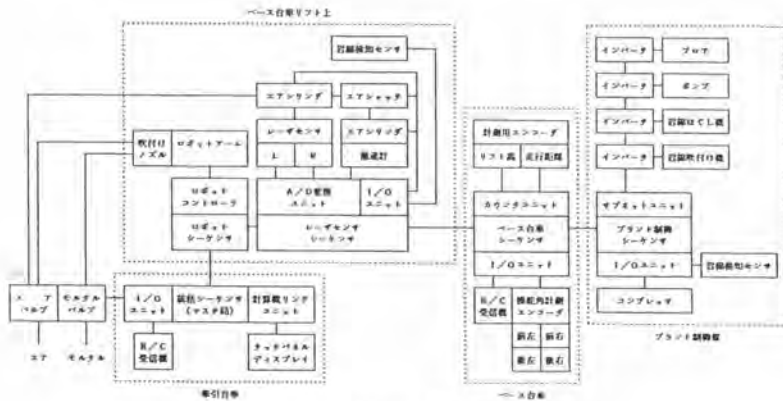


図-4 制御機器の構成

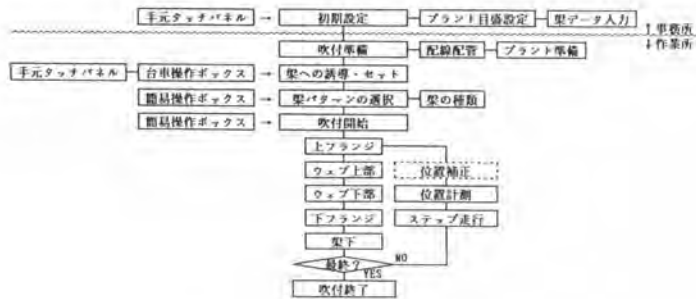


図-5 システムの操作手順

3-2. システムの操作手順

システムの操作手順を図-5に示す。操作方法は手動モードと自動モードがあり、作業条件に合わせて任意にモード選択を行うことができる。

3-3. ステップ走行時の自己位置補正機能

自律走行台車は、吹付け時にステップ走行を行うが、床の条件により走行にズレが生じるため、自己位置補正機能を必要とする。図-6に自己位置補正順序を示す。



図-6 自律走行台車の自己位置補正

3-4. 吹付けサイクル

1サイクル吹付け時の、ロボット、走行台車、岩綿吹付け機およびモルタルポンプの作動タイミングを図-7に示す。

ロボット	演算		上フランジ	ウェブ上部		ウェブ下部	下フランジ		梁下端
台車	梁上部 リフト高 調整				梁下部 リフト高 調整			梁下端 リフト高 調整	
岩綿	OFF		ON	OFF	ON	OFF	ON		
モルタル	OFF		ON	OFF	ON	OFF	ON		

図-7 1サイクル吹付け時の作動タイミング

3-5. 吹付け動作順序

吹付け動作順序は、ロボットの動作特性と台車走行に合わせて、吹付けガンを横方向に振りながらロックウールを吹付ける横吹き方法とした。梁への吹付け順序を図-8に、吹付け状況を写真-5に示す。

4. システムの主な特長

本システムの主な特長を以下にまとめる。

- ① ロータリアクチュエータ4輪独立操舵方式の自律走行台車とレーザ式自動位置計測装置によりロボットを平面上の任意の位置に移動させることが可能である。
- ② 自律走行台車のリフト台自動昇降機能とロボットアームにより、約4mの高さまでの作業を自動で行うことが可能である。
- ③ プラント設備をロボット動作と連動制御しており、ロボットの動きや配管条件の変化に応じて材料の供給量を変化させることができるため、材料ロスが少なく安定した品質を確保することができる。
- ④ 作業動作をプログラム化しているので、吹付け面積・量等の動作内容の変更が可能であると共に動作のデータベース化が可能である。
- ⑤ 中央制御盤に設けたタッチパネルにより、全ての装置を簡単に制御できる。

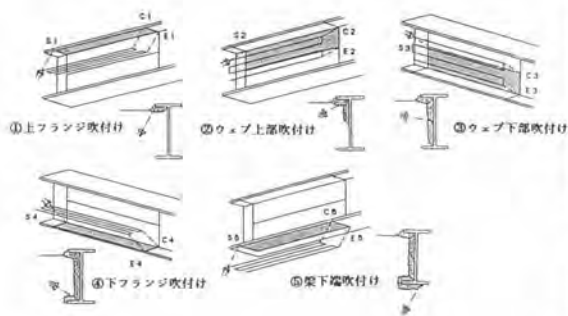


図-8 梁への吹付け動作順序



写真-5 吹付け状況

5. 試験施工

耐火被覆吹付けロボット2号機システムの開発は、各装置の性能確認や各プラント設備の相互関連性など種々の基礎実験を行い、実際に作業所で試験施工を実施した。以下に、それらの基礎実験や試験施工によって得られた結果を述べる。

5-1. 試験施工の概要

本システムの試験施工は、高層オフィスビルの中間階フロアで実施した。2時間耐火被覆吹付け工事の概要を以下に示す。

- ・ 構造規模：SRC+S B4F～31F ・ 主な鉄骨部材：大梁 H-850X325X12X28
- ・ 延床面積：44,787m² 小梁 H-350X175X7X11
- ・ 建築面積：約1,270m² 小梁 H-396X199X7X11
- ・ 最高高さ：128.58m
- ・ 基準階高：3.8m

5-2. 施工品質管理

今回の試験施工で実施した品質管理方法および結果以下に示す。

① 比重管理

- ・ 現場でのテスト吹き結果を基本データとした。
- ・ テスト吹き時は、吹付け直後にかさ比重測定用切取機で切取り試験を行い、157g以上の重量（2時間耐火）を確保した。
- ・ スラリー比重は水80リットルに対してセメント1袋を調合する割合を確保した。

② 厚さ管理

- ・ 現場でのテスト吹き結果を基本データとした。
- ・ テスト吹き時は常時厚さ管理試験を行った。
- ・ 押え作業時に長さ50mmのピンで5m²毎に1ヶ所以上厚さ管理を行った。

③ その他の主な品質管理

- ・ ロックウールとスラリーの混合の均一性はテスト吹き時や押え時にはぐしながら目視確認した。

④ 品質管理結果

- ・ 2時間耐火に対するロックウール工業会仕様を満たすことができた。
- ・ 平均かさ比重：0.36 (>0.34) OK!
- ・ 平均吹付け厚：55mm (>50mm) OK!

6. おわりに

今回の試験施工の結果、本システムは耐火被覆吹付け工が一人で操作でき、かつ安定した高品質の施工が可能であることが確認できた。

今後は、ソフト、運用、応用に重点を置いた開発に取組み、より実用性の高いシステムを目指して、本開発を推進して行く所存である。

57. 全周撮影型ボアホールテレビと 画像解析による地盤情報抽出

日本大学：石井 弘充
電源開発(株)：杉山 了一
坂田電機(株)：*坂田 文男

1. はじめに

近年、ダムを始めとする土木構造物を安全に設計・施工するためには、これまで以上に詳細な地盤調査を実施することにより、地盤処理方法やその効果を的確に把握することが要求されている。各種の地盤調査方法のうちボーリング調査は、コアの採取により多くの地質情報が得られるため広く用いられている。しかしながら、ボーリングコアのみによる調査では、ボーリング掘削技術の差による副次的な要素までボーリングコアの評価に取り込まれてしまう可能性があることと、岩盤中の不連続面や層理面などの走向・傾斜といった三次元的情報が得られないこと、また地盤条件の悪い地点でのボーリング調査では、コアの採取そのものが困難なケースが多いことなど、最も必要とされる地盤の正確な評価が困難な場合が多い。こうした問題を解決する方法の一つとして、ボアホールテレビカメラシステムを用いることにより、ボーリングコアからでは分からない孔壁の状況、層理面や不連続面の走向・傾斜、地下空洞掘削等に伴う地山の緩みないし開口亀裂の有無、ボーリング孔内での地下水挙動などが確認でき、調査孔に匹敵する情報を安価に得ることが可能となる。

これらのシステムには、孔壁の一部分を拡大して撮影する「部分詳細観測型」と、孔壁全周の映像が一挙に得られる「全周撮影型」があるが、前者は孔壁全体の状況が把握しにくい問題があるため、全周撮影型が開発されている。筆者らが開発したシステムは、円錐鏡とテレビカメラを組み合わせ、鏡に映るドーナツ状の孔壁全周像をテレビカメラで撮影し、それを実時間内に画像変換し展開画像とする全周撮影方式を採用している。

地盤中の亀裂や不連続面の走向・傾斜などの地中情報を映像より抽出する方法は、映像から技術者が不連続面を判読し情報として抽出を行っていたが、これには多大の労力と時間を必要としていた。この問題を解決するため、カラー映像の色情報を利用した色知覚の3属性である色相、明度、彩度を用いた画像処理により、地質境界を自動的に抽出する方法について研究した結果に付いて報告する。

2. ボアホールテレビカメラシステムの概要

試作した全周撮影型ボアホールテレビカメラシステムは、地中部のカメラカプセルと地上部の制御装置、画像処理装置、表示装置とカメラカプセル部の昇降装置とから構成されている。システムの構成を図1に示す。図1に示されたシステム構成図の各構成の機能は次の通りである。

- カメラカプセル : ボーリング孔内へ挿入し円錐鏡に映る孔壁を撮影する
- 制御装置 : 地上に設置しシステム全体を制御する
- 画像処理装置 : 円錐鏡に映る変形した孔壁映像を展開映像に変換する
- コンピュータ : 画像処理装置の制御と光磁気ディスクへの記録制御を行う
- 光磁気ディスク : 処理された映像をデジタル信号で集録する

昇降器 : カメラカプセルの昇降とカプセル深度の計測を行い、接続するシステムケーブルの巻取り機能とを持つ

TVモニタ : 撮影された映像の表示を行う

本システムの特徴は次の通りである。

- ①外径60mm、長さ1035mmの円筒状カメラカプセルは、内部に配置した円錐鏡とCCDテレビカメラにより、孔壁全周の同時撮影が可能である。
- ②適用できるボーリング孔は直径66~134mmで、深度は250mまでの孔壁観測が可能である。
- ③画像処理装置により、円錐鏡に映る孔壁の全周映像を円周方向展開修正した映像展開は実時間で行われ、深度方向に連続した連続展開映像はカプセルの沈降速度と同じ速度で更新された映像が得られる。
- ④画面の切り換えにより、「部分詳細観測型」と同様の機能で、孔壁全周を拡大表示する展開映像により孔壁の詳細観測が可能である。
- ⑤連続展開映像の観測・記録速度は約54m/hであり、光磁気ディスクに記録される。

3. 画像処理

本システムの撮像光学系の構成を図2に示す。撮像光学系は照明用ランプ、円錐鏡、レンズ系とCCDカメラで構成されており、カメラカプセル先端側に配置されており、撮影部分は円柱の強化硝子が使用されている。円錐鏡は高さ2cm、外形5cm、斜面角度45度の円錐台形をしていることから孔壁はドーナツ状の全周孔壁像となって撮影される。したがって、円錐映像を展開映像に変換する画像変換が必要となる。本システムで使用した画像変換装置の構成を図3に示す。

円錐画像を記憶させる第一のフレームメモリ、連続展開映像を記憶させる第二のフレームメモリとメモリ内の情報を所定の順序で読み出す回路とで構成されている。フレームメモリのアドレスと画像変換の方式を図4、変換のフローチャートを図5に示す。図4に示される第一のフレームメモリには円周画像が記録されその配列は四角いメモリ範囲に丸い形で示される領域に格納される。この領域から平面画像への展開に必要な座標のデータを次式で示される計算結果に従って読みだし、平面画像に変換する。システム構成に於いては、 $\sin \theta$ と $\cos \theta$ の計算結果はメモリ内の計算テーブルを参

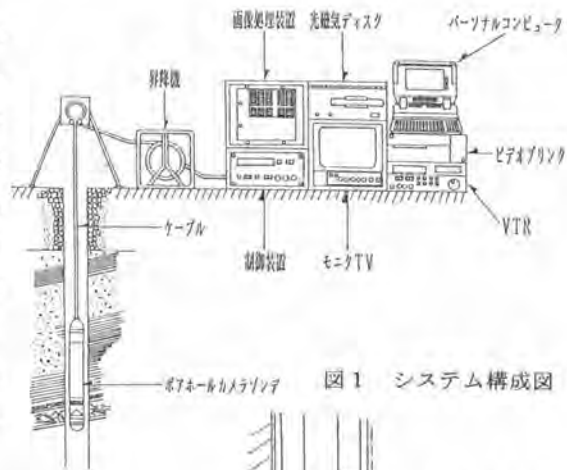


図1 システム構成図

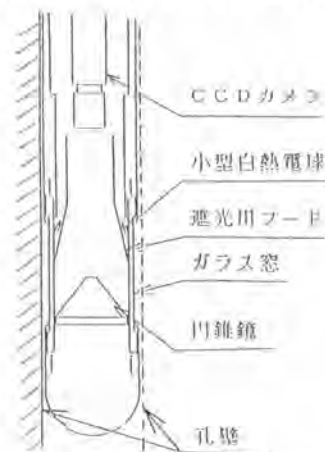


図2 撮像光学系の構成図

照することで動作速度を向上させ、リアルタイム処理を可能にしている。カラー表示であることから、これらの処理はRGBの三原色信号に対して同時に行っている。画像処理により得られた連続展開映像の一例を写真1に示す。

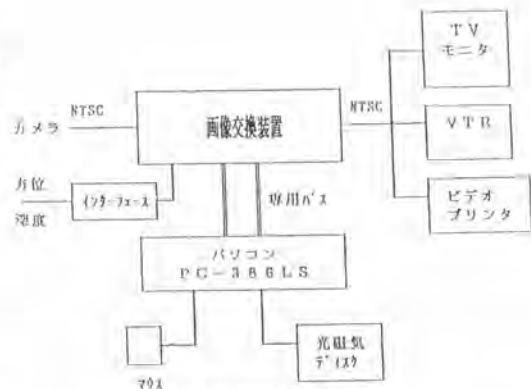
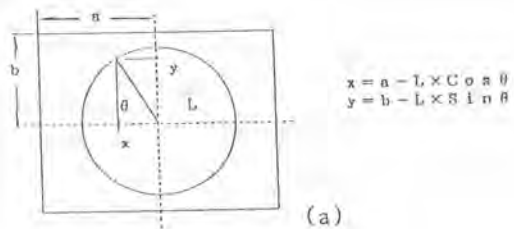


図3 画像交換装置の構成図

4. 画像解析

4.1 照明むらの補正

写真1は、孔壁の照明むらにより上部は明るく下部は暗い展開映像を深度1cm毎に切り出し深度方向に並べた映像である。明るさ(明度)が1cmの周期で繰り返す映像に対し明度補正を行い、照明むらの影響を取り除いた結果を写真2に示す。

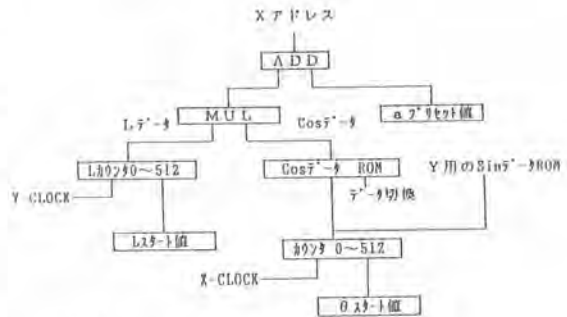


(a)

4.2 不連続面の自動抽出

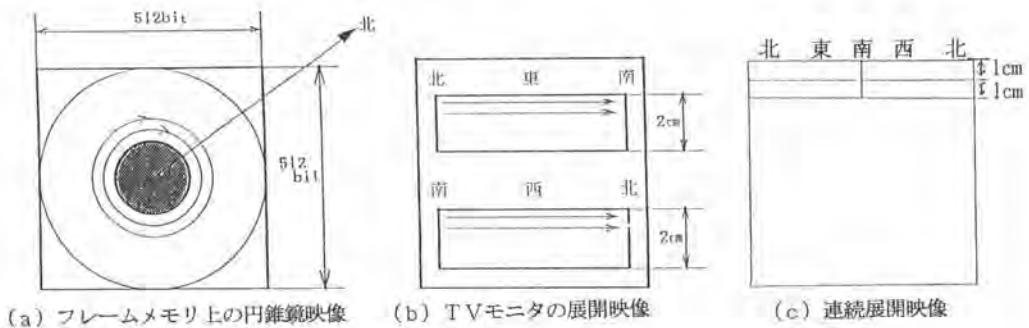
撮影画面に現れる不連続面は地層の亀裂および地層境界を示す。不連続面の抽出処理は次に示す手順に従って行われている。

- ①不連続面で分割される二つの領域を判別分離して二値画像を得るための処理
- ②二値化した映像の平滑化処理
- ③境界を連続した不連続面として判定する処理



(b) (Yアドレス発生も同様に行なう)

図5 変換フローチャート



(a) フレームメモリ上の円錐鏡映像

(b) TVモニタの展開映像

(c) 連続展開映像

図4 画像変換方式の説明図

連続展開映像を二値化映像へ変換する分離処理は画像を二つの領域の値"0"又は"1"で示すことであり、その境界を示す値はしきい値と呼ばれている。このしきい値を求める方法は、カラー映像の持つ情報を色視覚の3属性である明度、色相、採度に分離し、ある映像が持つ特徴を抽出するために適した属性を抽出することで行われている。ここで明度とは白から黒までの明るさの程度を0~1の値で示され、色相値は赤や緑などの色あいを0~360度で表す値で、採度は各色相ごとの色の鮮やかさを0~1の値で示すものである。

映像信号より各画素の属性について数値を求めて頻度分布を調べると、頻度分布曲線には異なる領域により二つの山(双峰性)を持つ曲線が得られる。属性の計算は次式により行っている。

$$Y = 0.2988R + 0.5868G + 0.1144B \quad (3)$$

$$H = \tan^{-1} \{ (R - Y) / (B - Y) \} \quad (4)$$

$$C = \{ (R - Y)^2 + (B - Y)^2 \}^{1/2} \quad (5)$$

ここで、Yは明度、Hは色相、Cは採度を示し、R、G、Bは三原色の赤緑青を示す。各属性の分布の一例を図6に示す。境界面を抽出するために二値化した映像の平滑化処理を行い、画像中に存在する小成分や境界の細かい凹凸の除去を行う。画像の平滑化処理は、二値画像の図形変換処理に使用される膨張・収縮処理が用いられている。膨張・収縮処理は、一つの画素を中心に隣接する8つの画素の内一つでも"1"があれば、中心画素を"1"とする膨張と、同じく8つの画素のうち一つでも"0"があれば中心画素を"0"とする収縮の組み合わせであり、画面中の図形を太く又は細くする効果を持つ。

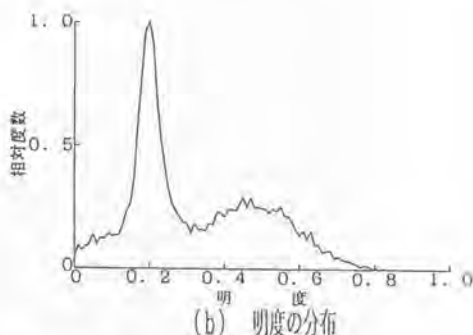
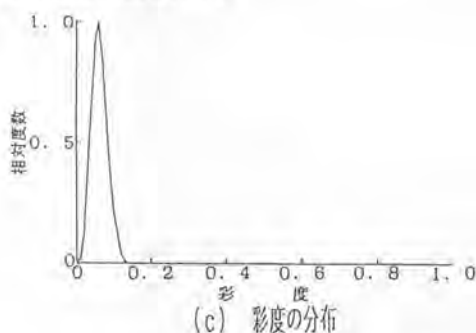
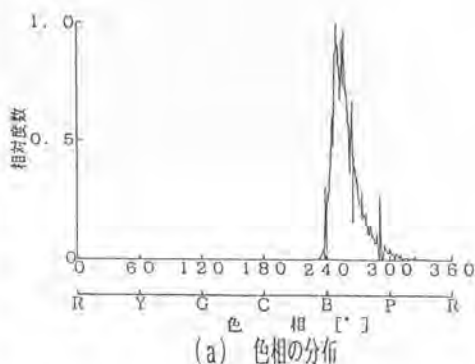


図6 色知覚の3属性の分布

北 東 南 西 北

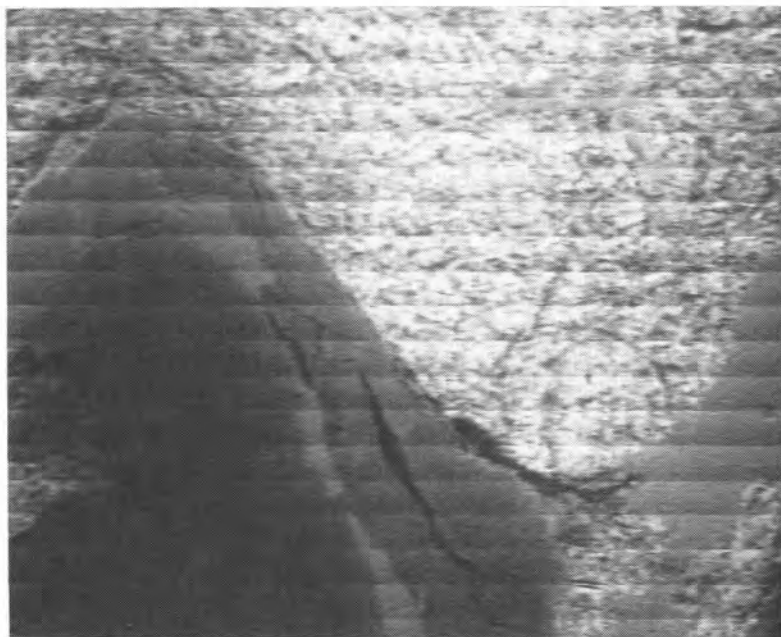


写真 1

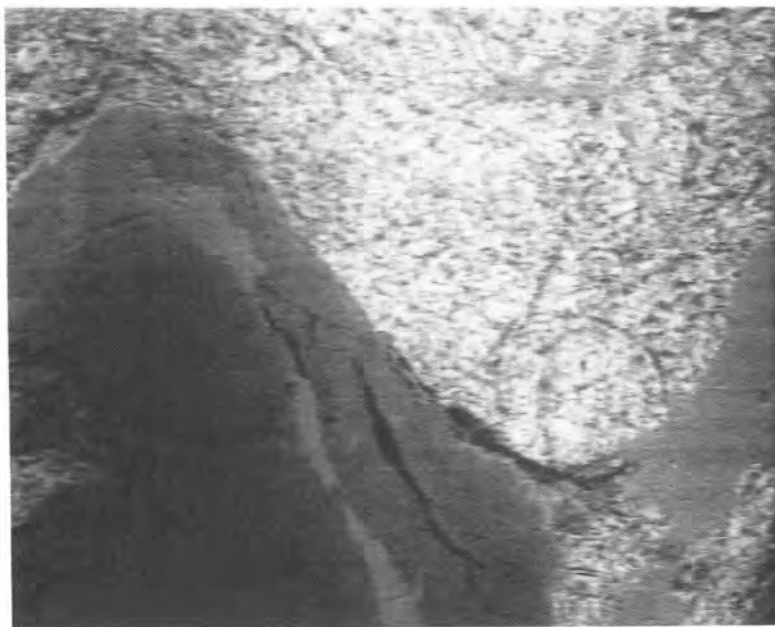


写真 2



写真3 半二値化画像

不連続面の抽出処理は、画面内に小さな処理範囲を設置し、その範囲内だけ処理を行っている。これにより映像の局部的特徴を抽出する効果と、処理時間を短縮する効果がある。平滑化処理後の半二値化画像を写真3に示す。半二値化画像は、二値化画像の“0”、“1”の一方を黒とし、他方を原画像のままとした画像である。

不連続面の判定は、画像処理でエッジ検出として用いられる1次の偏微分値が最大となる方向とその勾配を求める方法を用いている。二値化された映像の各画素を中心に上下、左右の画素の差分を取り縦方向の1次微分を求め、その係数が変化する所を境界と判定している。

4. まとめ

本研究の結果次の事が判った。

- ① 直径66mm、深度250mのボーリング孔に適用した結果、孔壁映像は鮮明であり、孔壁全体の状況が判る連続展開映像と詳細観測を行う展開映像は、随時切り換えて使用可能なため、本装置は二つの観測が持つ特徴を合わせ持つ。
- ② 孔壁全体を拡大表示する展開映像は動画で得られるため、孔内水の挙動観測を含め、詳細観測に有効であることが判った。
- ③ 光磁気ディスクに記録された連続展開映像は、不連続面の自動抽出等、画像解析を行うのに必要な解像度を持つ。
- ④ 境界面の自動抽出には、色知覚の三属性である明度、色相、彩度を使用した領域分割が有効である。

58. 振動ふるいから発生する超低周波音防止対策

飛鳥建設(株)：*沼口 栄助・内田 季延

1. はじめに

都市部におけるトンネル工法として、シールド工法が多く採用されている。多くのシールド工法の中でも泥水式シールド工法は、東京湾横断道路や神田川調節池などの大型工事から、小断面管渠工事に至るまで、非常に多くの施工実績をあげている。この工法の問題点として、泥水処理プラント設備から発生する騒音・振動に対する防止措置が、必要不可欠になっていることがあげられる。これら騒音・振動発生の中心的存在が振動ふるいである。振動ふるいは、流体輸送された掘削土砂を脱水、分級するための設備で、その処理能力から他の機械設備に置き換える事は不可能である。

振動ふるいは大きなふるいを振動させることによりその機能を満足させるため、超低周波音の発生を免れない。超低周波音は家屋や建具等をがたつかせたり、人体への圧迫感や振動感を与えることがある。そのため、振動ふるいの設置位置が近隣住宅から近い場合においては、作業時間の制約を受けたり、さらに夜間作業の中止の措置を迫られることがある。

今回、振動ふるいから発生する超低周波音の防止対策を、遮音、吸音などのパッシブな手法から段階的にすすめ、最終的に近年実用化が進みつつあるアクティブノイズコントロール（以下、ANCと略す）技術を応用した超低周波音圧を低減させる装置を考案・製作し、今までにない効果を確認した。

2. 超低周波音とは

一般的に超低周波音とは図-1に示すように、人間の可聴音域（20～20kHz）の下限值20Hz以下の空気振動のことであり、“聞こえない音”と言われている。

そもそも音は空気の圧力変化であるから、逆に空气中に圧力の変化が起こると音が発生することになる。圧力変化の起こり方は大きく分けると2つある。一つは爆発等によって直接的に空气中に圧力変化が起こる場合と、他の一つは物体が振動して、その振動面に接する空气中に圧力変化が起こる場合である。その圧力変化の周波数が20Hz以下の場合超低周

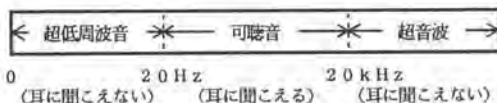


図-1 音の領域

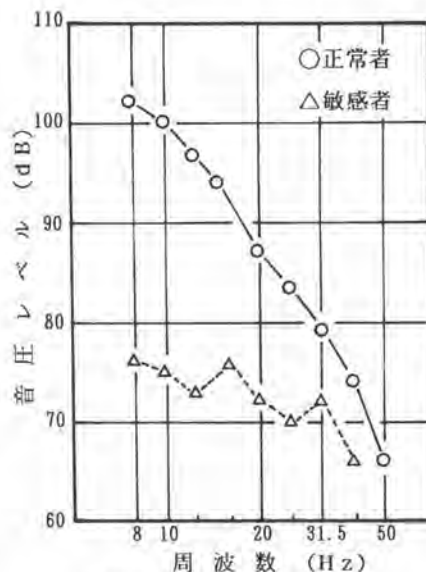


図-2 敏感者の閾値

沿道民家までの距離が作業ヤード防音壁から2～3mと非常に近いため、過去の実例から、超低周波音により苦情が出る可能性が非常に高いことが想定されたので、施工開始に先立ち事前対策を立案し実施した。以下にその主要実施事項を示す。

(1) 音源対策

①振動ふるい背板を構造上許容できる範囲で面積を最小にした。* (図-6 参照)

(*名称『泥水分級脱水用振動ふるい装置』実用新案 第1899464号)

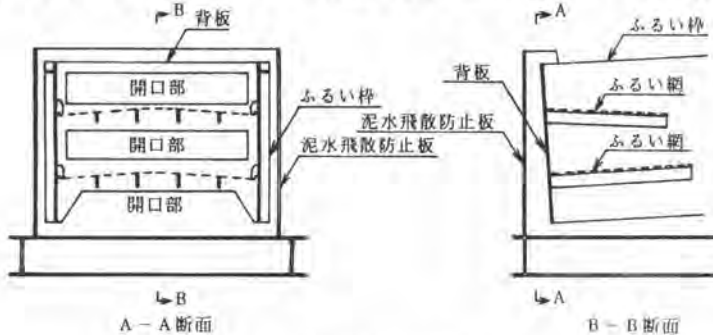


図-6 振動ふるい背板改造図

②インバーター利用により、夜間作業では加振機の回転数を1000rpmから840rpmに減少させ、加振力を低下させた。

③二次音発生防止のため、タンク類、シュート、防音パネルに対して防振対策を実施した。

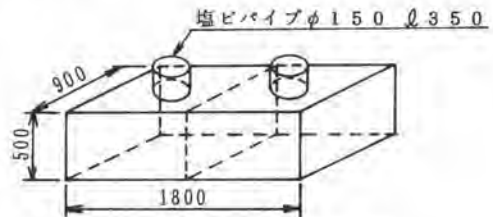


図-7 単一共鳴型吸音器概要図

(2) 伝搬経路対策

①作業ヤード全体を防音ハウスで覆った。

②振動ふるいを地下に格納し、覆工板で覆った。

(3) 吸音対策

①単一共鳴型の吸音器を数個製作し設置した。

(図-7 参照)

4-3 事前対策実施結果

前記対策による測定結果を図-8に示す。

結果から明らかなように、敷地境界において、77～86dBの超低周波音圧レベルを測定した。

また、図-9に示すように、うなり現象を生じている。敷地境界での測定結果を前記建具のガタツキ始める音圧レベルと比較すると(図-10参照)測定結果は全て限界レベルを越えている。そのため苦情発生は避けられないと判断され抜本的な対策が望

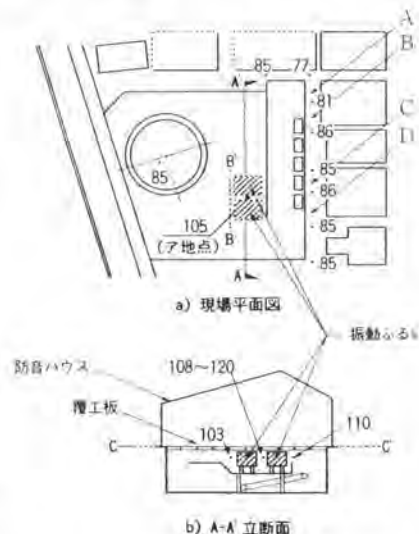


図-8 超低周波音測定結果(dB)

まれた。

4-4 ANCの適用

ANCの基本原理は、図-11に示すように、対象の騒音に逆の波形（逆位相）の音を人工的に作り出し、スピーカなどから放射付加することによって対象騒音に重ね合わせ、干渉作用を利用して音を打ち消すものである。

超低周波音の測定から、

- ①問題となる周波数が、ふるいの振動数（加振体の回転数）に限定されている。
- ②うなり現象が確認されている。
- ③振動ふるい間距離が約2mであり、超低周波音の波長（約20～24m）と比較するとかなり短い。
- ④2台のふるい面積がほぼ同じである。

の特性があるため、“放射音源パワーの低減”を目指して“ダイポール音源による低減”を考えた。すなわち、どちらか一方の振動ふるいの振動数を変化することにより、常にお互いの位相差を180°になるような制御を考案し設計を開始した。

4-5 ダイポール音源による低減原理

ダイポール音源は強さが等しく、符号が反対の2つ（dipole）の点音源（point source）が極めて接近して存在する構造を持つものを言う。図-12に示すように、自由音場において、距離d、角振動数 ω の2つの点音源を考え、それぞれの音の強さをQ、-Qとする。この2つの音源から距離r、 r_1 離れた点の音圧pは、次式で求められる。

$$p = j \frac{\rho c k Q}{4\pi} e^{j\omega t} \left(\frac{e^{-jkr_1}}{r_1} - \frac{e^{-jkr}}{r} \right) \quad \text{--- (1)}$$

ρ : 密度

c : 音の速度

k : 位相定数 ($k = 2\pi/\lambda$)

λ : 波長

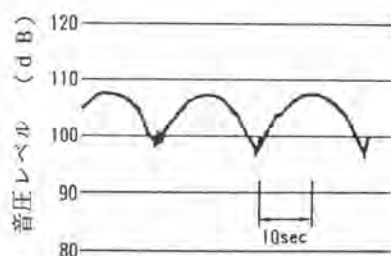


図-9 うなり状況

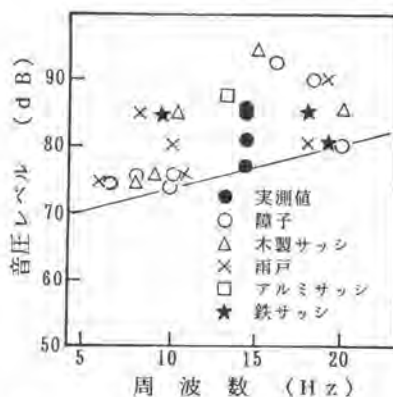


図-10 ガタツキ限界に対する超低周波音測定結果

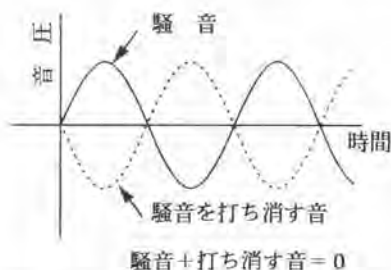


図-11 ANC基本原理図

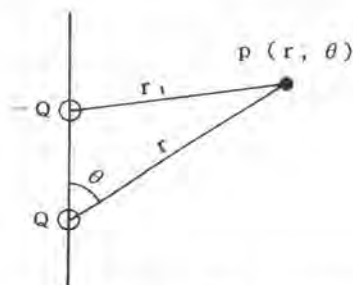


図-12 ダイポール音源（自由音場）

一般にダイポール音源では、2つの音源間の距離と音源の周波数によって効果が異なり、∞形状の指向特性を持つ。

4-6 振動ふるい位相制御装置

図-13に試作した振動ふるい位相制御装置の全体システムを示す。『振動ふるいB』を音源、『振動ふるいA』を2次音源とするANCによりダイポール音源を構成している。今回のシステムでは振動ふるいを2次音源として用いるため、振動ふるいの振動数と位相のみを制御することとした。

加速度センサ1、加速度センサ2で音源及び2次音源の振動ふるい面の振動を検知する。続いてローパスフィルタで不用な高周波成分を除去し、位相解析装置により音源と2次音源を比較する。まず、周波数同調制御を実行し、2次音源のふるい振動数が音源と同じになるようにインバータを調整する。次に位相同調制御に移行し、音源と2次音源の位相差が 180° （逆位相）になるように、2次音源の周波数をわずかにずらして位相を進める（或いは遅らせる）。外乱により位相同調制御が外れても、自動的に周波数同調制御からやり直すシステムになっている。

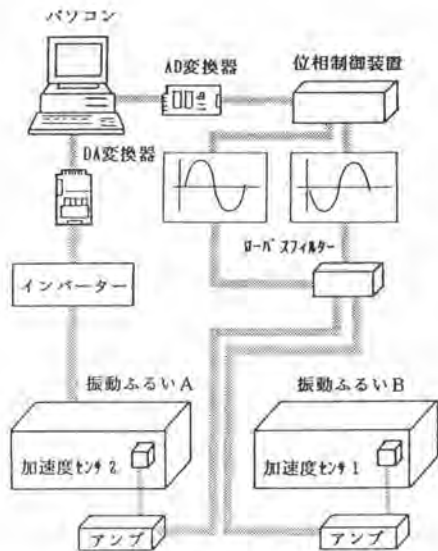


図-13 ANC装置系統図

4-7 ANC対策案実施効果

図-8a)のア地点で測定したANC開始前後の音圧レベル変動を図-14に示す。ANC開始前では、2台の振動ふるいのわずかな振動数の違いによりうなりが生じている。ANC開始後は、まず周波数同調制御開始によりうなりの周期が長くなり、続いて位相同調制御により急速に音圧レベルは低下し、制御開始前のうなりの最小音圧レベル付近を推移する。

図-15は図-8a) B-B'線上で測定した結果と計算値を比較したものである。ダイポールによるANCの指向特性を考えると、2つの音源の中心を通る線上では音圧レベルは急低下する。実測値は中心地点で計算値ほど急な音圧レベルの低下は見られなかったが、その他の地点では、ほぼ同等の結果が得られている。

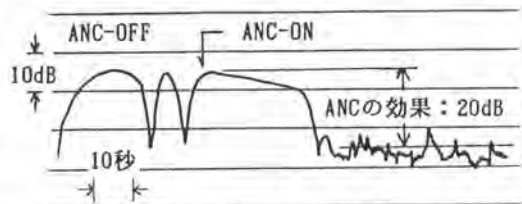


図-14 ANCの効果(図-8a)ア地点)

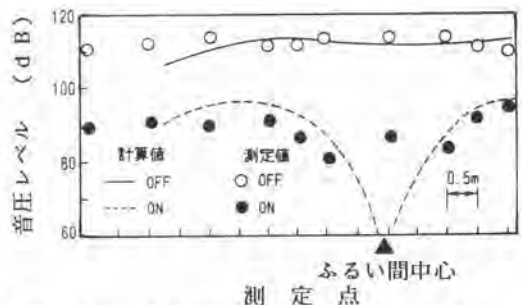


図-15 ANCの効果及び理論値との比較(図-8a)B-B'線上)

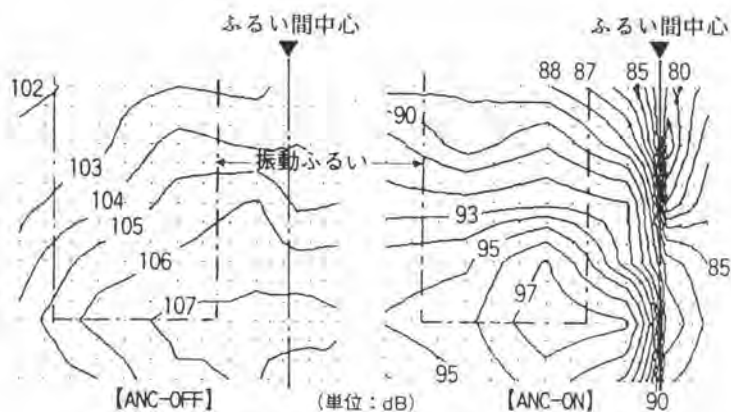


図-16 ANCの効果(図-8a) C-C' 平面上)

図-16は振動ふるい上部、覆工板上約30cm(図-8b) C-C' 平面)で測定したANC開始前後の等音圧線を比較したものである。ANC開始前は108~102dBに緩やかな音圧分布を示しているが、制御開始後は音圧分布が98~79dBに急激に変化している。

図-17は敷地境界付近のANCの効果を見たものである(測定点位置は図-8参照)。効果が0~10dBと場所により異なっている。これは屋外のため、風等による影響や、振動ふるい以外のプラント設備、建屋振動等の影響もあると推定される。

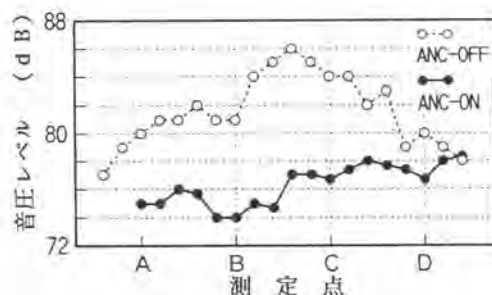


図-17 ANCの効果(測定点図-8a)参照)

5. まとめ

振動ふるいをダイポール化したANC装置により、ふるい近傍で、ほぼ計算値と同じ20dBの減音効果を確認した。また、敷地境界付近においても最大10dBの効果を確認できた。その結果、作業所周辺環境の向上が計れ、夜間での通常作業が実施できた。今後民家等の隣接している工事箇所での泥水シールド工事を行う場合には、今回の方法が有効な手段であると判断している。また、副次的効果として、超低周波音の発生を考慮せずにふるいの振動数を設定できるため、掘削土質に応じた最適な振動数により施工が実施できることになった。今後のテーマとしては、振動ふるいが1台あるいは奇数台の場合に対応できるような、独立した超低周波用2次音源の開発を実施して行きたい。

最後に今回の開発に対し、深い理解を示して頂いた東京都下水道局殿、並びに協力して頂いた関係各位に対し感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 通産省立地公害局編：低周波音防止技術解説書 1983. 10.
- (2) 伊藤毅：音響工学原論、コロナ社、1980. 12.

59. 最適収束式自動操船システム

不動建設(株)：川上 高弘
フドウ技研(株)：奥山 健三・*勝原 法生

1. まえがき

海底地盤改良工事は大型プロジェクトの増加傾向に伴い、適用海域はしたいに沖合へと展開してきている。それにつれて施工海域も大水深域へと広がりを見せてきており、作業船の施工位置への操船・位置決めも、より高度な熟練した技術が要求されてきている。このような状況下のもと作業船の自動化を目指し「最適収束式自動操船システム」の開発に着手した。アンカ・ワイヤで係留された作業船を所定位置へ移動し、固定するにはアンカ・ワイヤ長を如何に制御するかがポイントである。その為には作業船の位置並びにアンカ位置座標を初め、ワイヤ繰り出し長さ、ワイヤ張力、ワイヤ方向と船との角度、水深、ワイヤ伸び量、カタナリ、波浪、風、等を考慮した処理が必要だと考えられ、開発には相当な困難が予想されていた。これに対して、本システムではこれらの条件のうち、在来設備である作業船位置検出装置に加え、ワイヤ繰り出し量、ワイヤ張力の2センサを設備し、適切な処理ソフトの開発によりシンプルな装備で実用的な自動操船システムを構築することができた。写真-1に地盤改良用作業船を示す。



写真-1

2. 自動操船システムの使用される環境

サンドコンパクションパイル工法は振動機によって中空鋼管を地中に打ち込み、この中空鋼管内を通して砂を地盤中に排出し、拡径することで、よく締まった砂杭を地中に造成し海底軟弱地盤の安定をはかるものである。特に海上施工では直径1.2～2.0mの砂杭を造成する。

サンドコンパクションパイル(SCP)工法の施工手順を図-1に示す。

- ①作業船を打設位置へ移動し、固定する。改良材としての砂を中空鋼管(ケーシングパイプ)内に投入後、貫入工程に入る
- ②所定深度まで貫入したら造成工程に入る。

③砂杭造成工程では、ケーシングパイプを引き上げながら管内の砂を強制排出する。

④続いてケーシングパイプを再貫入しながら排出した砂を圧入し、地盤中に締め固まった砂杭を造成する。途中で安定材(砂)を補給し、③、④を繰り返しながら砂杭を造成する。

⑤造成完了後、つぎの打設位置へ作業船を移動する。

上記工程に示した作業船の打設位置への移動(操船)を自動化したのが本自動操船システムである。

[サンドコンパクションパイル工法]

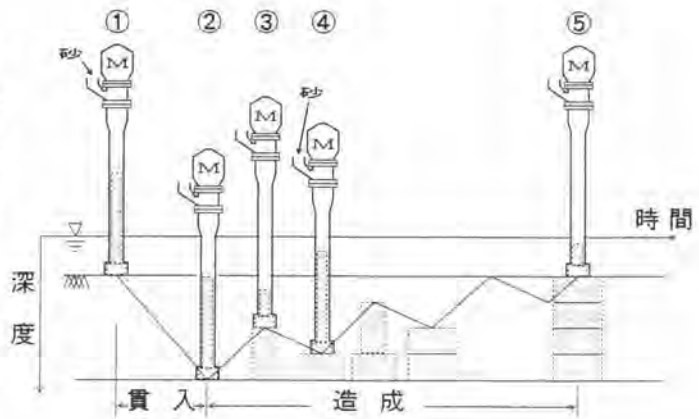


図-1

3. 自動操船システムの特徴

本システムの特徴は次の3つに集約される。

(1) 最適収束式操船システムの構築

図-2において(A)は作業船の現在位置を示し、(B)は移動先の目標位置を示す。いま(A)から(B)へ移動(操船)するには、4本のアンカ・ワイヤを実線から破線の長さに制御すれば良さそうだと考えられる。すなわちワイヤ長さを $l_{11} \rightarrow l_{12}$ 、 $l_{21} \rightarrow l_{22}$ 、 $l_{31} \rightarrow l_{32}$ 、 $l_{41} \rightarrow l_{42}$ と制御することで目標位置に船を入れることができそうである。現実には一度の操船で目標位置に入れることが困難な場合も生じる。したがって検討に当たっては一度の操船では入らない方が自然だという考えに立脚し、次の様に処理することで自動操船を可能にした。

いま操船距離が3mのとき、自動操船したら目標位置から1mの位置にきたとする。そうすると誤差は約33%になる。次にこの1mを操船すると目標位置から33cmの位置に近づくはずである。そうすると次は10cmとなり、更に3cmと0に限りなく収束していくことになる。本システムがこの様に収束する系であることをCPUを用いてシミュレートし確認をした上で開発に取り組んだ。

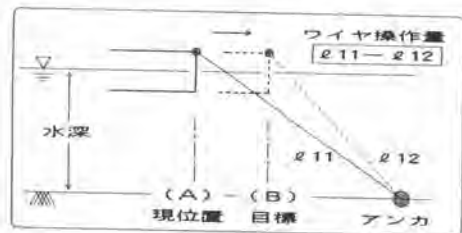
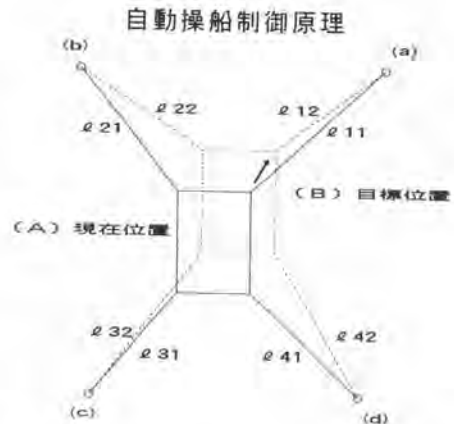


図-2

(2) 制御プログラムの工夫

何度かにわたる操船を一連の操船として滑らかに制御すると、一度の操船で目的地へ操船したことに同じになる。この考えを取り入れることにより実用的な自動操船システムを構築した。

(3) アンカ位置検出ソフトセンサの確立

アンカ位置の検出は図-3に示すように操船量を求める計算の逆算から求める方法を考案した。これは図-2に示した通り、アンカ位置が既知のとき自動操船が可能なら、この方法（制御式）は正しいと言える。そうすると式のなかで逆にアンカ位置を未知数にすることでアンカ位置は計算により求めることができるのではないかという考えに至る。この考えが正しいか否かを確認するのにアンカ位置センサを新たに開発するリスクがないことが開発に踏み切らせた主要因である。この結果、特別なハードセンサを設備することなくアンカ位置の検出が可能であることが確認でき、シンプルな機器構成で実用的な自動操船システムを構築することができた。

アンカ位置検出ソフトセンサ

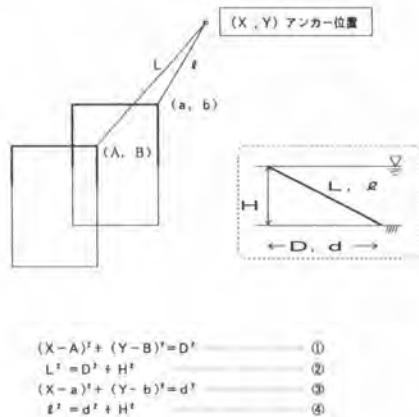


図-3

4. 自動操船の操作方法

作業船は非自航船であるから工事現場までは他の自航船に曳航してもらう必要がある。現場に到着すると施工区域に誘導されてその位置に投錨する。この後は作業船側でアンカワイヤを操作して施工区域内を移動することになる。

自動操船システムの操作手順を以下に示す。写真-2は操船操作卓で、右側の2つのCRTは光波測距儀による船位置表示画面と自動操船モニタ画面である。

CRTの前面には自動制御操作盤を配置している。6本のレバーは操船ウィンチ操作レバーである。

(1) アンカ位置座標の検出

自動操船に先立ちアンカ位置座標を検出する必要がある。その具体的な検出方法を以下順を追って説明する。

①張力計（写真-3）を見て各アンカワイヤの張力が一定になるようにウィンチを操作をする。張力は通常10 ton を目標とし、±3 ton 程度は許容する。

写真-3は自動操船のモニタ画面で、右



写真-2

側のバーが各アンカワイヤの張力を表し、左側のバーが各ワイヤの操作量を表している。

- ②船位置表示(写真-4)を見ながら船を10m程度移動し、固定する。このときのワイヤ張力は移動前の張力に近づく様に操作する。

写真-4は光波測距儀による船位置を表したもので中央に位置するのが目標位置で、やや左下に位置するのが現在船位置である。数字と矢印は目標位置からの距離と方向を表している。

- ③移動前後の船位置をメモリーに落とす。
 ④移動前後のワイヤ操作量をメモリーに落とす。
 ⑤各アンカ位置の水深を入力する。±5mは許容。
 ⑥アンカ位置を算出。アンカ座標検出完了。
 ①～⑥の所要時間は約10分位である。

(2) 自動操船の操作手順

(1)で求めたアンカ位置座標を使用して自動操船を行う。写真-5に自動操船制御盤を示す。

- ①杭打設位置(目標船位置)の画面上への呼び出し。
 ②自動操船開始スイッチON。
 (操船開始の自動アナウンス)
 ③張力が不足していれば一定値まで自動で張力補正。
 ④現在船位置の検出(光波測距儀からの入力で常時計測されている)
 ⑤ワイヤ操作量の算出。
 ⑥自動操船開始。(ワイヤの操作)
 ⑦所定のワイヤ操作完了後、現在船位置の検出。
 ⑧目標位置に入っていないと⑤から繰り返す。

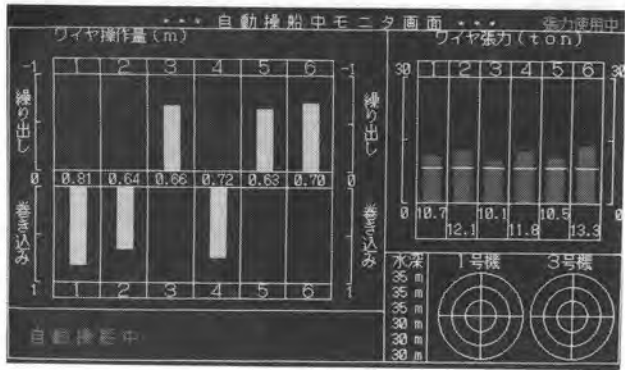


写真-3

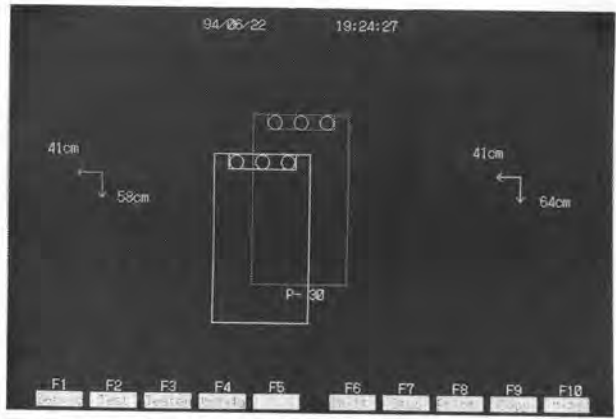


写真-4

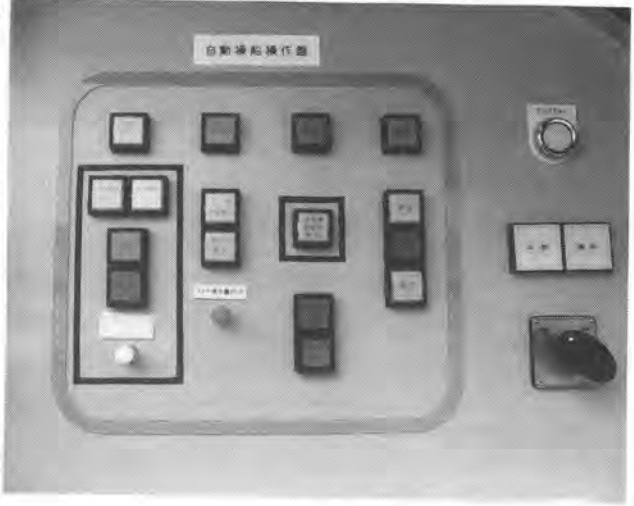


写真-5

⑨目標位置に入ったら操船終了スイッチON。(操船終了の自動アナウンス)
自動操船の①～⑨の所要時間は平均値で約1分30秒程度である。

5. 自動操船の稼働状況

最近の二ヶ月間で約250回の自動操船を行った。
図-4はこの間の自動操船時間を表したものである。
一日当たり8～12回の移動で、一回の移動量は大半が1.6mである。移動時間は先に述べたように平均で1分30秒程度である。手動のデータは同一現場における他船のもので、平均値は2分58秒であるが計測条件が違うのでこのまま単純に比較することはできない。特に荒天で自動操船が出来ない場合は(後述7項④参照)、手動操船に切り換えたため手動操船時間は自動操船時間よりも長くなり、公平な評価ができない。そこでデータ数は少なくなるが好天時のデータだけで比較したのが図-5である。これによると自動操船時間は1分28秒と変わらず手動は2分52秒となった。なお今回のデータは純粹に船を移動する時間だけを対象としたものでケーシングの上昇、下降等の準備時間(約2分)を含んだものではない。

6. 主要構成機器

表-1に自動操船を構成する主要機器の仕様を示す。

表-1

主要機器名	仕様
□アンカ関連 ・ウィンチ ・ワイヤ	20Ton × 20m/min × 6台 直径42mmφ、長さ450m
□センサ関連 ・線長計 ・張力計	エンコーダ(アンカ付長さ) ウィンチ油圧力(アンカ付張力)
□制御装置関連 ・パソコン ・制御言語	FC9801A(UPS使用) MS-C

自動・手動 操船時間比較(1)

('94.1.19 ~ 3.5)

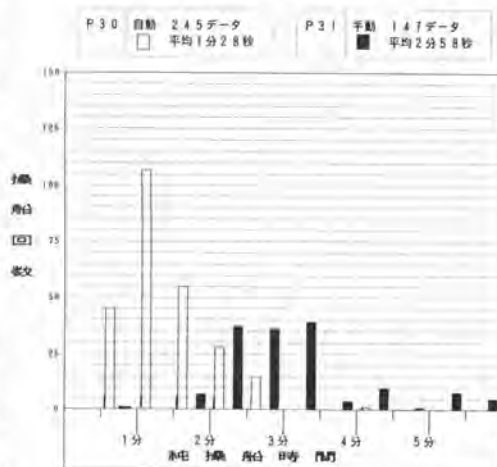


図-4

自動・手動 操船時間比較(2)

('94.2/15.16)

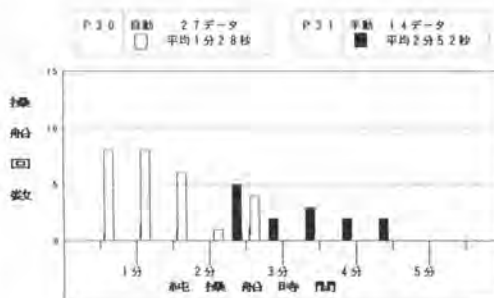


図-5

写真-6はアンカワイヤの繰り出し長さを計測する線長計の取り付け状態を示す。ウィンチドラムにチェーンで接続される。写真-7はアンカワイヤの張力計で船倉に設備されウィンチの油圧力を計測する。

7. 自動操船システム使用上の留意点

以上に説明した自動操船システムを使用するにあたり留意すべき事項を下記①～④に示す。特に④の解決は今後の主要な開発課題である。

- ①操船に必要なアンカの設置数は作業船の操作特性から4、5、6ヶのいずれかの個数であること。
- ②隣接する他の船のアンカワイヤと接触しないこと。
- ③アンカの打ち替えを頻繁に行わないこと。
(アンカ打ち替えの度にアンカ位置を求める作業に10～15分を必要とする)
- ④風速が12～13 (m/s) を越えたり、波がこの風速に該当する程度以上でないこと。風上へ向かう操船はアンカウィンチの巻き取り力が不足して船が進まなくなる場合がある。

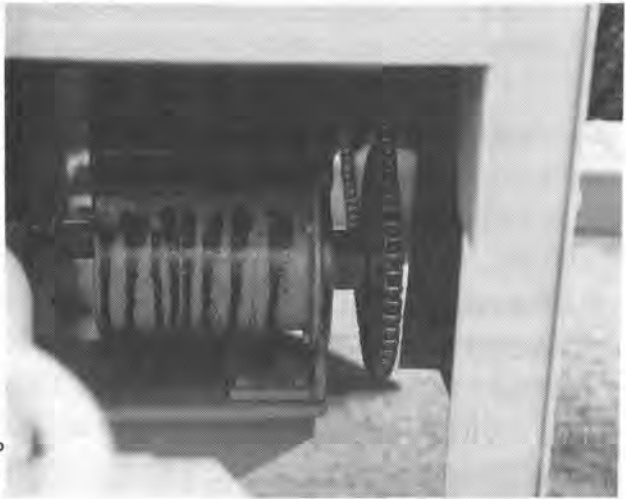


写真-6

8. あとがき

自動操船システムを搭載した作業船は、実質4ヶ月間を稼働して自動操船の使用率は80%強になっている。20%の不稼働日は強風によるものであったり、アンカワイヤの他船との輻輳で自動操船できなかつたりしたものである。自動操船の稼働率を100%に近づけるためには前述したように強風時操船への対応が課題となる。

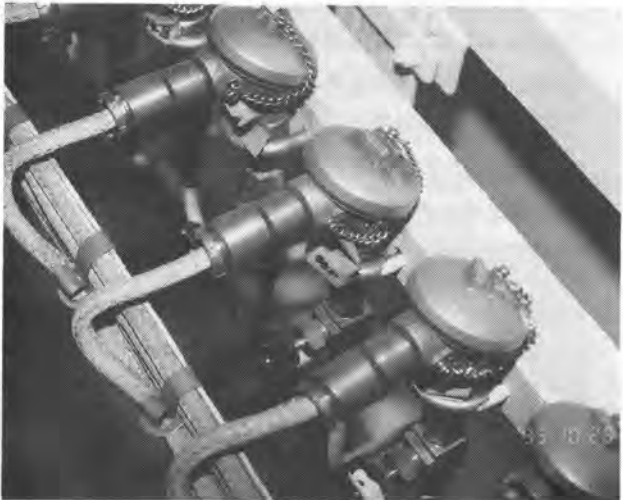


写真-7

強風といっても作業限界が15m/s以下と定められているので、7項の④に示したように風速が12m/s以上で、15m/s以下の範囲で自動操船できればよい。手動では少し時間は掛かるが問題なく操船できているので、この手動のノウハウを取り入れることで、より完成された自動操船システムにすることができる。現在はこの強風時自動操船システムへ向けて制御アルゴリズムの検討に取り組んでいるところである。

60. 大型土工機械の遠隔操作技術の開発 (雲仙における無人化施工)

(株)熊谷組：岡田 喬・*北原 成郎
海瀬 芳治

1. はじめに

建設機械の遠隔操作技術は、いままでに種々な分野で利用されている。クレーンのように操作を機械の運転席で行うよりも別の場所で行う方が効率的である場合や人間が環境上の理由で作業場所に近づけない場合などそれぞれ利用目的が異なる。本開発の大型土工機械の遠隔操作技術とは、後者のケースにあたり、人の立ち入れない危険区域内の大規模土木施工を遠隔操作で行うシステムである。

雲仙普賢岳の水無川流域では、土石流災害を防ぐため、警戒区域内の大量の堆積土砂を取り除く必要がある。本システムは、この試験工事である建設省試験フィールド制度「雲仙における無人化施工」に適用するため、開発したものである。

この試験工事では、以下の条件を満たすシステムが求められた。

- ①不均一な土砂の状態であつ、岩の破碎を伴う掘削と運搬（直径2～3mの礫の破碎）
- ②現地の温度、湿度条件に対応可能（一時的に100°C、100%に耐えるもの）
- ③施工機械を遠隔操作することが可能（100m以上）

これらの条件に対応するために、無線技術、GPS技術、画像技術などの高度技術を組み合わせて、総合的な施工システムを開発した。



写真-1. 遠隔操作による土工機械の施工状況

2. システムの概要

本システムは、危険区域の堆積土砂を無線による遠隔操作型建設機械により、安全かつ継続的に掘削、搬出するものである。施工区域は面積約4800㎡、搬出土量は約4700㎡である。

基本となる車輛は、通常的大型建設機械であり、土砂掘削・積み込み、路盤整形・土砂集積、運搬、転石破碎の基本作業をバックホウ、ブルドーザ、ダンプトラック、ブレーカの組合せで行う。車輛についてはそれぞれの作業バランスと遠隔操作での操作性を考慮して、最も効率のよい機種及び仕様を選定をした。(表-1)

これら大型車輛に、遠隔操作システム、ITV画像伝送システム、GPS車輛位置検出システムなどを搭載し、映像支援、測量システムのための無線中継車とこれらの操作を集中して行う移動操作室によりシステムが構成されている。2台の操作室を高さ3mの導流堤上に設置し、各システムを効果的に使用して100m程度の範囲にある各車輛を遠隔操作する。

このシステムの特徴は、大型機械による作業の単純化、各車輛ごとの複数カメラ映像による作業の効率化、および車輛位置を把握する正確性と固定設備を持たない機動性にある。つぎに遠隔操作技術をささえる各システムを解説する。

表-1. 主要機械・設備一覧表

工種	機械設備	台数	仕様	仕様	
除石工	掘削・押土	ブルドーザ	1	62ton級	遠隔操作
	積み込	バックホウ	1	3.0.㎡級	〃
	運搬	ダンプトラック	1	45ton級	〃
	小割り	ブレーカ	1	バックホウ1.7㎡級装着 油圧2,200kg	〃
設備工	無線中継車	1	バックホウ0.45㎡級	〃	
	移動操作室	2	4tonトラック搭載	有人運転	

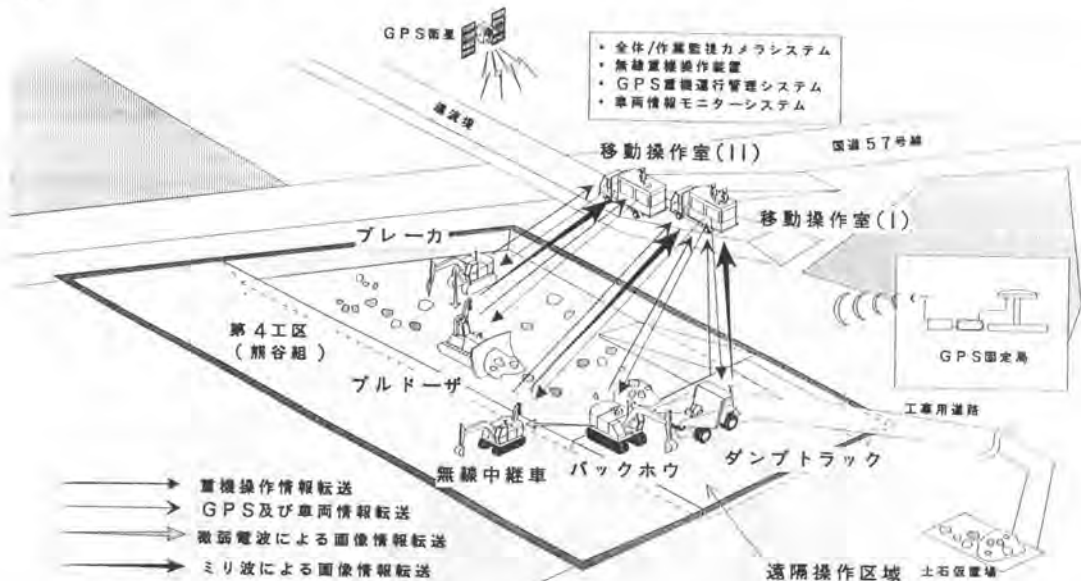


図-1. 遠隔操作技術の概要

(1) 遠隔操作システム

各車輛と操作室間の操作、画像、データの転送はすべて無線を通して行われる。無線は特定小電力局、簡易無線局、微弱電波の三種類をその特性を活かして効果的に活用している。各車輛の操作は主に無線操縦装置の2本の操作レバーによって行い、操作データは特定小電力局の無線を介し、車輛本体に装備した受信機からドライブユニットを通して各電磁弁などを動作させている。その他、ITV・アンテナ操作や車輛の故障状態を知らせる車輛情報伝達装置も特定小電力局を利用している。他の簡易無線、微弱電波は主に画像伝送に利用している。(図-2)

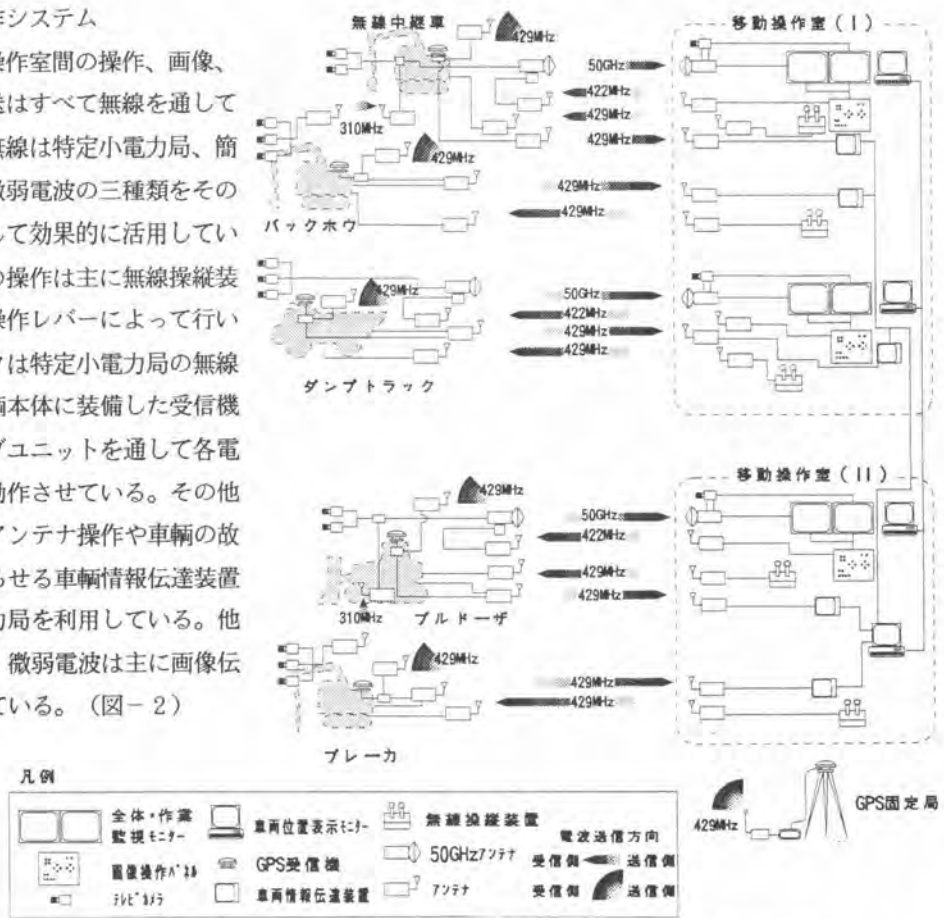


図-2. 遠隔操作システム ブロック図



写真-2. 操作状況

(2) I T V画像伝送システム

このシステムは、遠隔操作に重要である映像情報を的確に送信するもので、I T V（監視カメラ）を各車輛の適切な位置に設置し、その映像を各画像伝送システムの無線設備を介して移動操作室に転送する。

カメラは、ダンプトラック、バックホウ、ブレーカに3台、ブルドーザ、無線中継車に2台、操作室に4台のカメラがそれぞれ設置され、作業の監視映像を角度、方向を変えてモニターに映し出す。一般に画像伝送用の無線には、50GHz帯のミリ波を用いるが、周波数が高く長距離伝送が可能な反面、指向性が強く通信不能になりやすい。この対策として、移動機械側のアンテナを常に移動操作室側アンテナに向けるため、光リンク機構による自動追尾型アンテナシステムを採用した。

操作室屋上の全体監視カメラは各車輛の接近状態やダンプトラック、ブルドーザなどの動きの大きな車輛を監視する。なお全体監視カメラは操作室側の50GHz帯無線機のアンテナ方向を各車輛側に合致させる目的を合わせ持つ。旋回作業の多いバックホウやブレーカでも常に画像を安定して伝送するために、指向性のない300MHz帯のメートル波の微弱電波の無線機を用い、それぞれの車輛から無線中継機能を有する車輛（無線中継車、ブルドーザ）を中継して、ミリ波に換えて移動操作室に伝送するシステムを採用した。

各車載カメラの画像は、オペレータが必要に応じてフットスイッチで操作中に選択・切替えができ、また複数画像を同時に表示する2分割・4分割の合成画面のモニター機能をもつシステムとした。



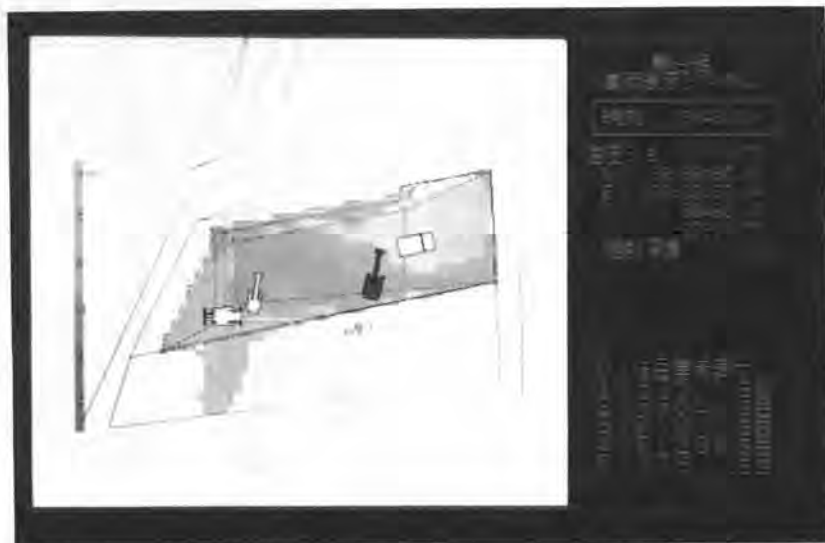
写真-3. 無線中継車に装備したアンテナ群

(3) G P S車輛位置検出システム

遠隔操作による施工では、車輛の位置計測が重要になる。複数車輛の位置検出方法では、GPSによる測定が最も適している。このシステムは通常の作業時には、測定に遅れのないディファレンシャル測位法を用い、全車輛の位置をリアルタイムに示すことができ、オペレータは作業場所を正確に知ることが可能になった。GPSは各車輛に1台ずつ搭載されており、導流堤上のGPS固定局のからの情報を得て、各車輛の精度の良い位置情報を測定していく。

車輛には、磁気方位センサーを載せ、車輛の向きを測定しており、モニター上に機械の動きがわかりやすく表示される。操作室内の表示用コンピュータに表示された車輛は、指定することで注目車輛として、座標位置が数値としても表示される。モニター上には施工区域とグリッドが表示され、さらに土工量管理システムからの出来高差分布図が施工目標として表示することができる。またバックホウにはアーム・ブームに取り付けた傾斜計のデータとアーム長、ブーム長から掘削深さが計算、表示される。こ

れら位置情報は、車輛情報伝達装置を経由して車輛監視用コンピュータに送られ、座標変換等の処理をして、各表示用コンピュータに地形図情報とともに車輛を表示する（写真－４）



写真－４．表示用コンピュータ画面

(4) 土工量管理システム

本工事では、危険区域という特殊条件下での無人化施工に対応するため、GPS測量を活用した土工量管理システムを構築し、実用化を図った。出来形測量は、無線中継車（0.45m³バックホウ）を工事の進捗に合わせて遠隔操作で工区内を走行させ、リアルタイムキネマティック測量により出来形地形の観測を行い、測量データを移動操作室の監視用コンピュータに車輛情報伝達装置により自動送信する。取り込まれた測量データは、予めワークステーションにより3次元処理された原地形、計画地形データをもとに現地事務所のコンピュータで処理することで、断面図、等高線図、鳥瞰図等の作図および各種帳票類を作成し、出来形、出来高関連の施工データを集中管理する。また、これらの施工段階の地形状況は、各格子点毎に残施工高として6段階の色分け表示（出来高差分布図）して車輛位置検出システムに転送し、遠隔操作作業時に必要なビジュアル情報として活用した。

3. 結果

今回の試験施工の目標は、遠隔操作による施工が通常の有人による施工に効率面でどこまで近づけるかである。施工期間中に行った有人運転（通常の乗車運転）を100%として、遠隔操作による無人運転との比較を行った。その結果を表－2に示す。また、試験施工に先だって行った予備実験の結果もあわせて載せている。予備実験では0.45m³のバックホウに簡単な設備で単体の車載カメラを無線化したもので、その結果を記載している。バックホウ、ブレーカについてはシステムの効果が表れ、予備実験か

ら大きく改善されている。これに対しダンプトラックは機械の特性上大きな効果は得られなかった。動作範囲が大きく速度のある機械は、遠隔操作による効率の低下が表れやすい。またブルドーザのように前後の繰り返し移動が主な機械は、遠隔操作に向いていると言える。

表-2. 施工性比較表
 施工性比較表（有人運転を基準（100%）とする）

仕様 作業	予備実験		フィールド試験
	※1 RC (他の技術なし)	RC+ITV (常時画像伝送技術なし) (極めて狭い範囲の画像)	RC+全無人化技術 (ITV3台・画像伝送・GPS位置検出等)
掘削 (バックホウ) (90°旋回)	※2 10%以下	20~25%	50~55%
掘削・押土 (ブルドーザ) (速度比)	—	—	72% 前進:80% 後進:65%
小割り (ブレイカ) (純作業時間)	※2 5%以下	30~40%	55~60%
土砂運搬 (ダンプトラック) (走行速度比)	—	—	27%

※1 RC:遠隔操作
 ※2 ほとんど施工不可(歩掛り工の数値として設定しにくい)

4. おわりに

約1カ月間の試験工事は大きな障害もなく、無事完了することができ、無人化施工の貴重なデータを収集することができた。その中で見いだされた将来の工事への問題点を表記しておく。

- (1) 無線の障害
- (2) 遠隔操作による効率の低下
- (3) 施工機械の接触、横転などの事故
- (4) 機械の耐久性

これらは、今回の試験工事では大きな問題とならなかったが、今後より操作距離が離れ、複雑な地形条件となった場合には表面化することが予想される。

遠隔操作機械の複合作業は今までにない新しい経験も数多くあり、特にいままでと違った視点で土工事を見ることができた。この開発は機械の運転席から離れた人間が何を基準に作業をするのか、必要な基準とはなにかを探ることから始まったといえる。このことは将来完全ロボット化を考える時に必ず検討しなければならない問題でもある。複合機械の遠隔操作技術は実用化の段階に入ったばかりであり、今後大きく発展が期待される分野である。単なるラジオコントロール技術ととらえるだけでなく、将来の自律型ロボットの複合作業への対応の第一段階と考え、開発改良を続けていきたい。最後に本開発に際し、多大なご指導、ご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

61. 無人化施工向

自動化ラジコンブルドーザの開発

コマツ：*山本 茂・松下 重則
中田 和志

1. はじめに

建設の機械化の究極の姿は、
知能化された機械による無人施
工である。これに対して現在実
用化されている施工方法は、ラ
ジオコントロール等による遠隔
運転である。しかし、建設機械
を遠方から目視して運転する場
合、搭乗運転時に比べて作業状
況が把握しにくいので適切な運
転操作をすることが難しい。ま
た、運転操作に神経を使う必要



写真1 D375AR-2自動化ラジコン車

があるため、オペレータの疲労が大きく遠隔運転は搭乗運
転と比較して作業効率の著しい低下を招くのが普通であっ
た。

これに対し、ここに紹介するD375AR自動化ラジ
コンブルドーザは、運転操作の自動化システムを搭載した世
界初のブルドーザである。集中力と熟練を要する運転操作を自動化システムが担当するので、オペレ
ータの負担が著しく軽減される。搭乗運転時はもちろん遠隔運転時にも、従来車における熟練オペレータ
搭乗運転時と同程度の作業効率を長時間維持することが可能となった。

2. 開発のねらい

現状のブルドーザの遠隔運転は、30m程度の距離から地勢や車両の外観的な動きのみを目で視察し
て行われている。さらに遠方から操縦する場合には、車載カメラによる映像を見ながらの運転操作にな
る。このため作業状態が把握しにくく、見えない地形変化や土質に対応した運転操作をすることができ
なかつた。また、ブルドーザの運転は、視覚による情報だけでなくエンジン音変化などによる聴覚や、
車体傾斜、振動、加速度などの感覚的な情報を総合して行われる。これらの情報が不十分な遠隔運転の
場合には、施工地形、土質の微妙な変化に応じた車速や作業機姿勢のコントロールが難しかった。

この点を補うため、最近では立体画像や作業音などによる仮想現実感（バーチャルリアリティー）を
オペレータに与えるシステムも実用化されつつあるが、運転に必要な情報を十分に補完しているとは言
えず、また運転操作に熟練と集中力の継続が必要であるため、オペレータの疲労度が大きく搭乗運転時

表1 D375AR-2主要諸元

運転整備重量	64.5 t o n
定格出力	532 P S
ブレード容量 (SAE)	22.6 m ³
最大けん引力 (F2)	51.5 t o n
通信周波数	429MHz帯

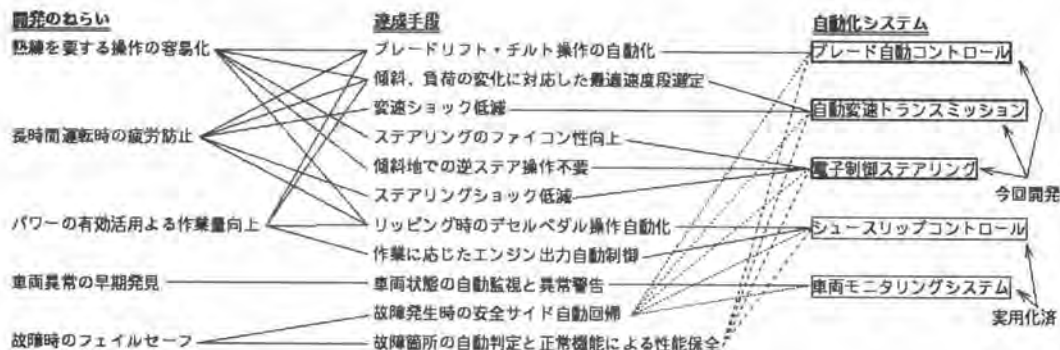


図1 D375AR開発コンセプト

のような作業効率が得られていないのが現状である。

また、ブルドーザ特有の問題として、急傾斜地の降坂中に旋回する場合、曲がろうとする逆方向にステアリング操作しなければ、車重の影響のために反対に旋回してしまう現象がある。傾斜の度合いが良く分からない遠隔運転の場合には、作業効率を低下させるだけでなく危険でもある。通常のステアリング操作もオン・オフ的なぎくしゃくした旋回しかできなかった。

これらの問題点を解決するため、本開発機では図1に示すように、**①**運転操作の容易化、**②**オペレータの疲労防止、**③**作業量の向上を開発コンセプトに掲げた。搭乗、遠隔運転の別、オペレータ技量の差によらず、熟練オペレータ搭乗運転並の作業効率を達成することがそのねらいである。このコンセプトを具現化するため、次のような目標をおいて運転操作の自動化システムを開発した。

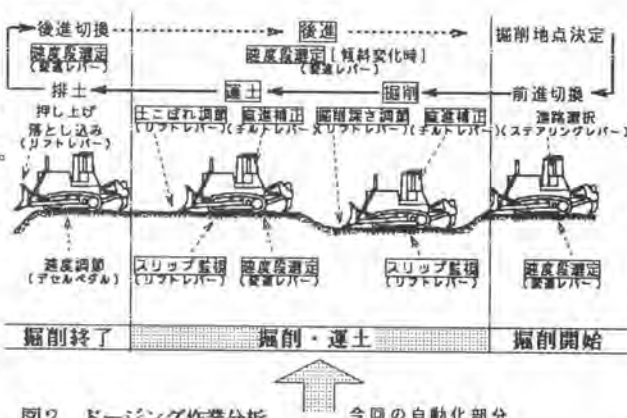


図2 ドーピング作業分析

- ブルドーザのドーピング作業のうち、図2に示す掘削・運土の部分の運転操作を自動化する。具体的には、負荷、地形の変化に応じてブレードの上下方向の高さ（リフト）、左右方向の傾き（チルト）およびトランスミッションの速度段を自動コントロールする。性能的には熟練オペレータによる現行機の搭乗運転に対し、搭乗、遠隔運転の双方で同等以上の作業量を発揮するものとする。
- ステアリングの操作性を向上する。傾斜角など、走行状況によってステアリング油圧特性を変え、レバーの操作方向に滑らかに旋回可能なものとする。これにより、図2に示す掘削・運土以外の部分でも操作の容易化による作業効率の向上をねらう。

3. 開発技術の概要と評価・考察

誰でも簡単に作業効率の良い遠隔運転ができるという開発のねらいを実現するため、今回、つぎのような技術を開発した。

(3-1) ブレード自動コントロールシステム

ブレード自動コントロールは掘削・運土作業時のレバー操作を自動化したもので、図3のような特長

①先進のブレード自動コントロール

- ・集中力と熟練を要するレバー操作が不要
- ・オペレータの疲労を抑え、何時間でも高い作業効率を維持
- ・作業量はベテランオペとほぼ同等

自動制御 ブレードリフト…負荷コントロール
ブレードチルト…前進コントロール

操作方法 作業方向に走り、掘削開始地点で作業機レバーのボタンを押す。マニュアル介入操作優先

レバー操作回数(熟練オペ搭乗、30m、19/26)

ブレードリフト	15	85
ブレードチルト	2	38
変速	12+6	90%減
ステアリング	5	
TOTAL	34	134

②乗用車感覚の自動変速トランスミッション

- ・電子モジュレーションによる、変速ショック、トルク切れの解消
- ・適切な速度段の自動選択によるエンジンパワーの有効活用
- ・ノブボタンによる変速モードのフィンガーコントロール

変速点、モジュレーション選択パラメータ
車速、牽引力、傾斜、エンジン開度、変速モード

変速モード 作業3モード、自走1モード

自動変速	変速時のショック(G)	
	自動変速	現行車
F1→F2	0.1	0.8
F2→F1	0.2	1.2
R3→F1	0.3	1.6

③抜群の操作性・電子制御ステアリング

- ・油圧電子制御によるファイコン性の良い、滑らかな旋回
- ・傾斜角判断による油圧制御や坂道の逆ステアリング操作不要
- ・モジュレーション自動選択によるショックレスステアリング

レバー⇄油圧特性選択パラメータ
傾斜角
モジュレーション特性選択パラメータ
負荷
傾斜角
車速
エンジン開度

④ソフトモジュレートラジコン

- ・操作指令をモジュレーション、ガク突きのないスムーズな操縦
- ・自動化システムの支援による乗車時と同レベルの作業効率
- ・車両モータとの連携による車体異常の早期発見

ラジコン仕様
特定小電力マルチ方式：法定出力10mW
電波到達距離：約100m(仕様値)
300m以上(実力値)
信号タイプ：オン・オフ形式20ch

ソフトモジュレーション
ステアリング指令、作業機上下指令

図3 自動化システムの特長

を持つ世界初の実用化システムである。ブルドーザに搭載した各種センサにより、ブレード姿勢、牽引力、車体傾斜、進行方向などを検出し、コンピュータ処理でブレードを自動的に動かすものである。

ドーピング時、オペレータはブレードに適当な土量を保ちながら掘削・運土するように、地面の傾斜、掘削跡坪形状の滑らかさ、シューズリップなどを考慮に入れてブレードリフト(上下)操作を行っている。本システムでは図4のように、負荷(牽引力)一定制御をベースに、傾斜補正、平滑補正、スリップ補正をファジイ的に融合させて、熟練オペレータに匹敵する作業性能を達成している。地形、土質の変化に対応して所定の掘削・運土量を保ちながら、かつ掘削跡を滑らかにして凹凸を残さないようにすることが本開発で最も苦勞した点である。

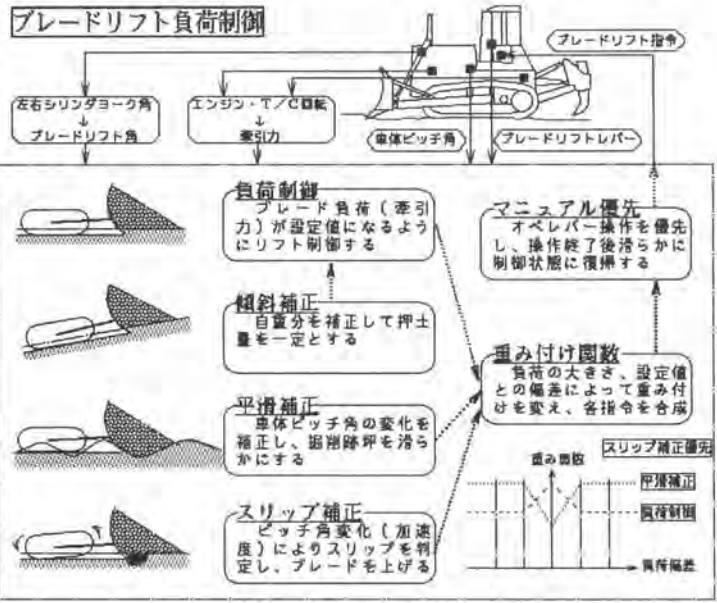


図4 ブレードリフト制御

また、ドーピング時にブレードの負荷が左右均等でなくなると車両の進行方向が曲がってしまう。通常、ブルドーザなどの装軌式車両は、左右のクローラに速度差をつけることによって旋回を行うが、重掘削での旋回では外側クローラがスリップしてしまい、ステアリングによる方向修正ができなくなる。

そこで熟練オペレータはブレードチルト（左右傾斜）角を変化させ、左右の掘削抵抗を調整することによって進行方向をコントロールする。本システムでは図5のようにこの操作を自動化し、ブレードチルトによる直進制御を実現している。

本システムによって、図3のように搭乗運転時のレバー操作回数が90%低減され、自動化の効果が発揮されている。搭乗運転だけでなく遠隔運転においてももちろん、オペレータの負担を軽減して疲労による作業効率の低下を防ぎ、熟練オペレータと同等レベルの作業量が確保されて、開発のねらいがほぼ達成されたとと言える。

（3-2）自動変速トランスミッションシステム

従来のブルドーザはスプリング式バルブを用いた変速制御機構が主流であったため、変速時に動力伝達が遮断される。このためクラッチ係合時のショックが大きく、押し土中は車両が一旦停止してしまうという欠点があった。また、オペレータによる手動変速であるため、不適切な変速タイミングによるパワーロスが生じていた。これに対し、図3のような特長を持つ自動変速システムは、トランスミッション各クラッチの油圧の上昇特性を電子制御することによって

これらの問題を解消し、作業効率の向上に寄与するものである。

図6は本開発機の自動変速システムの概念を示している。ブルドーザはエンジンの燃料供給量をほぼ一定にして作業する場合が多いので、車速に応じて有効出力が最大となる速度段が自動的に選択される。

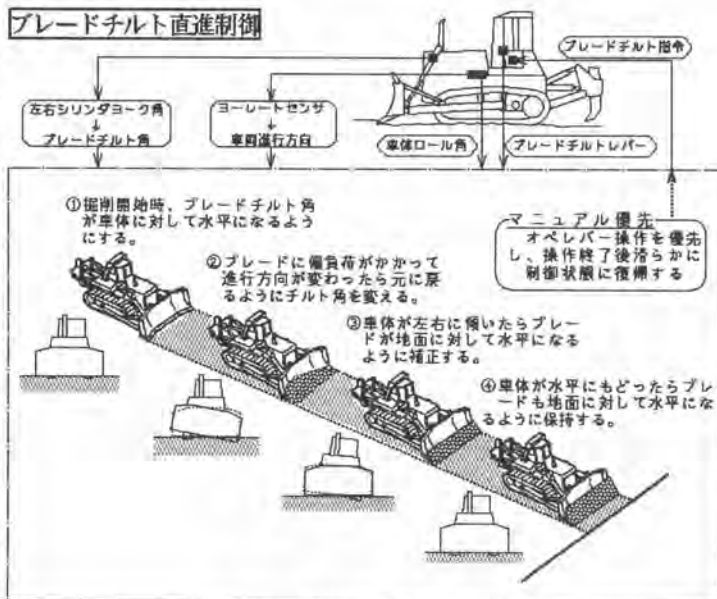


図5 ブレードチルト制御

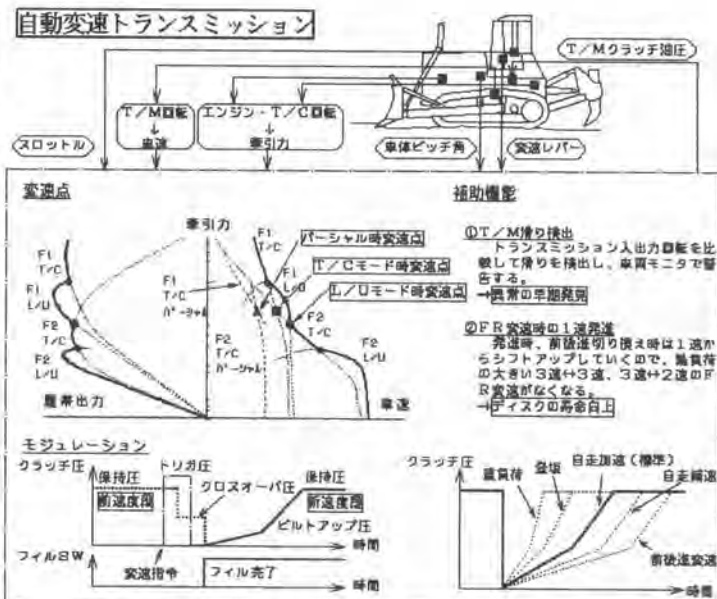


図6 トランスミッション制御

変速時には、変速前の速度段の油圧を保持しながら次の速度段のクラッチ室に油を速くフィル（充滿）させる手法によって、動力遮断が解消される。また、走行状態に応じた油圧上昇特性の選択により、変速ショックがほとんど感じられないレベルになっている。

本システムにより、最適シフトポイントで自動的に変速がおこなわれるので、搭乗運転、遠隔運転両方においてオペレータの負担が軽減され、エンジンパワーの有効活用による作業量の向上が達成された。特に、作業に登坂、降坂が含まれる場合や、長距離運土作業の場合に効果を発揮する。

（3-3）電子制御ステアリングシステム

図3に示す電子制御ステアリングは自動変速トランスミッションと同様、応答性に優れた電気-油圧変換アクチュエータを用い、走行状態に応じてステアリング油圧上昇・下降特性を変化させて滑らかな旋回を可能とするステアリングシステムである。

図7のように、車体傾斜（ピッチ角）をセンサで判断して降坂中の旋回では油圧特性を変化させて動力遮断域を作らないので、スプリング式バルブを持つ従来のブルドーザで必要だった

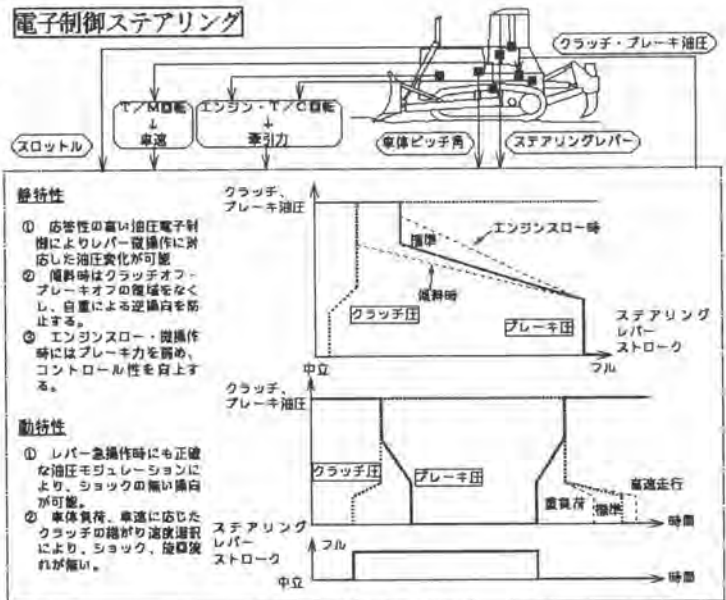


図7 ステアリング制御

逆ステアリング操作が不要となり、レバー操作通りの確実で滑らかな旋回が可能となっている。

搭乗運転ではもちろん遠隔運転でも、熟練を要する運転操作を自動化し、操作性を上げて作業効率を向上させている。

4. 開発の効果

これまで述べてきた3つの自動化システムによって、従来車と比較して長時間運転しても疲労の少ない自動化ブルドーザが実現した。搭乗運転、遠隔運転のいずれでもブルドーザの運転操作には高い技量が必要とされるが、本システムの支援により経験の浅いオペレータでも熟練オペレータに匹敵する作業が可能となる。特にブルドーザ周囲の作業状態をオペレータが十分把握できない遠隔運転時は、本システムの使用によってはるかに簡単で効率の良い作業が実施できる。

時間当たり作業量を比較したデータを図8に示す。図中の実線は砂質土30mをまっすぐ15回

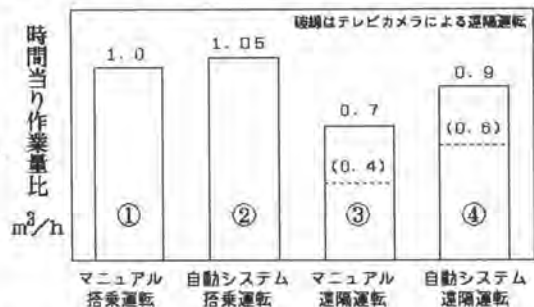


図8 作業量比較

繰り返し押しスロットドージングの、熟練オペレータによるデータである。搭乗運転の場合、従来機①に対して本開発機②は5%の作業量改善がみられた。約30m離れた目視による遠隔運転の場合、従来機③に対して本開発機④は約30%増の作業量を得られた。また、従来機による搭乗運転①と比較した場合、従来機による遠隔運転③では30%減、本開発機による遠隔運転④では10%減の作業量であった。図中破線は約100m離れた場所からテレビカメラの画像を観察しながら遠隔運転した場合の参考値である。それぞれの施工現場は土質、施工方法が異なるため一概には言えないが、本開発機④は従来機③に比べて約50%増の作業量を得られると見込まれる。

また、遠隔運転による岩盤地でのドージング作業やリッピング作業の場合には、従来から実用化されているシューズリップコントロールシステムがエンジン出力を自動制御する。シューズリップの低減に著しい効果が期待され、これまで不可能だった岩盤地での遠隔運転も本開発機では可能となった。

5. 開発技術の発展的応用と今後の課題

今回、自動化が達成されたのは、図2に示すドージング作業のうち、掘削・運土の部分である。ブルドーザの自動運転、完全無人化を目指すには、さらに掘削開始、終了部分の自動化が必要である。ブルドーザの場合は、この掘削開始、終了部分の地形が作業の進行と共に変化し、そのつど地形、土質を確認する必要があるのが難しい点が多い。

一人のオペレータがマルチオペレーション（崖面垂直面レーザ・地磁気センサシステム案）

一人のオペレータがラジコン装置により、数台のブルをコントロールする。個々のブルは自動で前後進し、1レーンのドージングを設定回数繰り返す。レーンチェンジ、リッピング等はオペレータがマニュアル操作して行う。

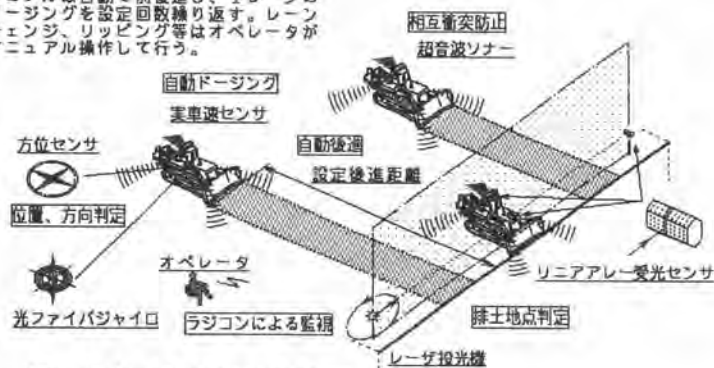


図9 完全無人化施工へのアプローチ

位置計測技術と画像認識技術を組み合わせた外界の認識手法と、施工知識のAI（人工知能）化などのさらなる技術開発が必要と考えられる。

次のステップとしては、今回開発した自動化システムと、レーザ、方位センサ等による位置計測技術とを組み合わせた、図9のようなマルチオペレーションシステムが実現可能と考えられる。一人のオペレータが複数の機械を操作するようになれば、遠隔運転における施工効率が飛躍的に向上することが期待される。

6. おわりに

ここに紹介したD375AR-2自動化ラジコンブルドーザは、雲仙普賢岳の無人化試験施工で稼働したものである。開発のねらい通りの性能を十二分に発揮し、効率の良い遠隔作業ができた。また、ブレード自動コントロールシステムは、搭乗運転仕様としてユーザに納入し、性能に関して高い評価を得た。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、普賢岳無人化試験施工でお世話になった方々を始め、関係各位にこの場をかりて深くお礼を申し上げます。

62. 無人ダンプトラック運行システム

コマツ：村山 理・須藤 次男

1. はじめに

日本の鉱山、碎石、土木業界は慢性化した労働力不足（いわゆる3K職場、高齢化）の状態にありこれを解消するため重機の大型化等で高能率化を押し進める一方、職場イメージの改善等に積極的に取り組んできている。

しかしながら付帯設備の大型化に伴う合理化にも限界が見られ、よって最近では重機大型化による高能率化から車両の自動化を含めた省人化に注目が集まりつつある。

一方メーカーサイドでは、近年のセンサ、アクチュエータ技術進歩とそれらを組み合わせて自動制御する技術進歩により高度の自動化技術を商品化しつつある。

今回、鉱山、碎石業での運搬設備の主力であるダンプトラックの自動運行技術に取り組んだのでその概要を報告する。

2. 鉱山で望まれる自動化形態

自動運行技術に取り組む上でまず、鉱山における車両運行をターゲットとし稼働現場は図-1に示すような現場を想定する。運搬機械であるダンプトラックは積み込み場である切り羽の積み込み機にて原石又は鉱石を積み込み、立坑又はホッパーへ投入する。投入された原石は1次破碎プラントを経て2次、3次プラントで商品となる。1次碎石プラント以降の自動化はほぼ確立され、無人プラントとなっている。

今後切り羽における発破、採掘と運搬作業が自動化の対象となりつつある。

ダンプトラックは切り羽とホッパーの間を繰り返し往復作業するため比較的自動化対象となりやすいと考えられる。

しかし、実際の稼働現場では工場等における画一され且つ整備された経路を繰り返し運行するのは異なり、切り羽の状況に応じ時々刻々変化する作業エリアに柔軟に対応できるシステムの開発が必要となる。

往復の経路はある程度固定可能だが、切り羽にて積み

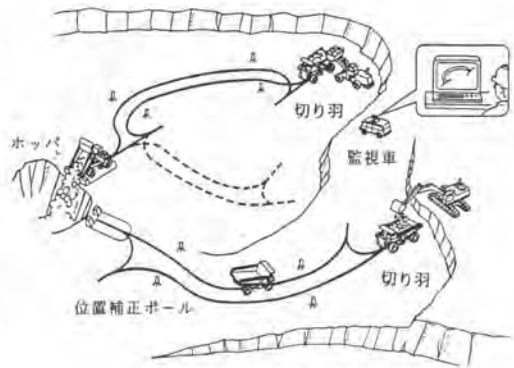


図-1 運行概要図



図-2 システム装着車

込み場が頻繁に変更される様な稼働現場でも、走行コースを容易に変更可能なシステムが望まれる。

3. システム構成

1) 運行の概要

図-1のようなモデル化された稼働現場において受け入れ側の鉱山に要求される稼働条件を以下に示す。

- ㊸ 排土は固定とし、立坑又はホッパーとする。
- ㊹ 走行コースは複数設定可能だが閉じた往復コースとなる。
- ㊺ 走行コースの切り替えは原則として立坑またはホッパーで切り替える。
- ㊻ 走行コース内にはベンチ間の移動等に対応するための坂路も許容される。
- ㊼ 走路脇には定期的に位置を補正するための補正ポールを設置する。
- ㊽ 積み込み場では積み込みオペレータが必要に応じ無線にて誘導可能。
- ㊾ 1コース内の複数台の車輛を管制するため監視車輛を配置する。

2) システム構築でキーとなる技術

工場ラインシステムに見られるような閉ざされたエリアで整備された道路を走行するのと異なり、次の技術が必要となる。

表-1 キーとなる技術

システム条件	達成するため技術
・ 誘導設備を極力廃止し走路変更柔軟に対応できる。	・ 推測航法の採用で誘導設備の廃止。
・ 凹凸のある走路においても外乱の影響を受けずに目標点へ誘導できる。	・ 外乱に強いロボスタ制御及び予見制御の採用。
・ 監視車の管制意図を正確に車両に伝える。	・ 遠距離制御可能な通信システム採用

以上の技術を織り込み今回開発したシステムの主要スペックを表-2に示す。

表-2 主要スペック

1. ベース車両	HD785-3 (積載量78tダンプトラック)
2. 走行コース設定	オペレータが通常作業するのと同じの走行をすることでコースデータをICカードに自動編集記録する。
3. 運転モード	3種類の運転モードを任意に設定可能 1) 無人プログラム運行 2) 無線誘導走行 3) 有人走行
4. 無人運転機能	プログラムによる自動車両誘導 (自動操舵、車速制御、自動排土) 監視車両からのコース設定、発進制御
5. 走行コース	走路幅10m以上 (片側) 勾配12%以下
6. 最高車速	前進36km/h、後進10km/h
7. 誘導精度	誘導誤差 (走行時最大2m、停止時最大0.5m) 車速制御 (目標に対し10%以内)
8. フリート管制	1コース最大3台の車両を管制

このような車両スペックにての運用は大きく分けて次の2つに分けられる。

2-1) 走行コースの設定

あらかじめ走行するコース脇に定期的に車両位置を補正する補正ポールをセット。次に有人でコース形態選択を行いながら実際にコースを走行することで搭載されたコントローラのICカードに走行コースを自動編集記録する。

1枚のICカードには走行コースが最大10コース記憶可能である。

1コースの編集入力はポールセット時間を含めても実際に1サイクル走行する時間の約2倍の時間で可能である。

更に入力作業においては、対話式タッチパネルコントローラの採用でコンピュータにアレルギーのある人でも十分操作可能である。 走行コース設定のフローを図-3に示す。

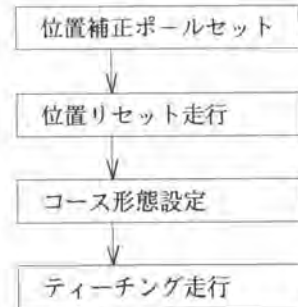


図-3 走行コース設定フロー

2-2) 自動走行

複数台車両にて自動運行するにはまず、1台の車両が入力したコースデータをコピーし、他の車両に装着する事で走行コースデータを共有する。

監視局より対話式タッチパネルコントローラを用い、走行するコースを選択し発進指示を行えば、無線伝送され自動走行が開始される。車両に搭載されたシステムが目標となる走行コースデータをICカードより読み込み、更に現在走行中の位置情報と目標点の情報を比較し走行制御コントローラが各アクチュエータを制御することで自動走行する。

また積み込みオペレータが積み込み位置を変更したいときは無線誘導で任意の位置に誘導可能。その時前回まで誘導データは更新され新しい誘導情報は同一コース内の他の車両に自動的に伝送され、コースデータを書き換え記憶される。これにより車両は更新された位置に誘導され車両停止する。

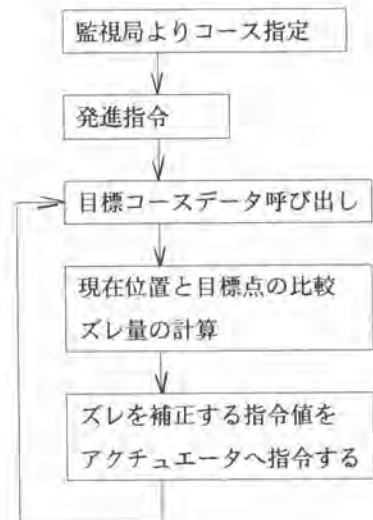


図-4 自動走行運用フロー

3) システム構成

自動運行を行うためのシステムは既存の車両にあとから搭載可能なように構成されている。

構成要素は大別すると車両本体システムと管制を司る監視局より構成される。

更に車両本体のコントロールシステムは図-5に示すように6個のサブシステムをネットワークにより結合することで構成される。次に各コントローラの機能を説明する。

3-1) 車載コントローラ

・上位監視コントローラ

コントローラ間のネットワークを制御すると共に、各コントローラからの信号を整理し、全体を機能させるためのモード設定の決定権を持つ。

・位置計測コントローラ

車両の現在位置を認識するためジャイロ、タイヤ回転センサを用い車両位置を計算すると共に、レーザ投受光器からの信号を用い、位置計測誤差を定期的に補正する機能を持つ。

・ペイロードメータコントローラ

ボディに積まれた積載量を計算し位置計測へタイヤ負荷半径計算の情報を伝える。

・マンマシン・インターフェースコントローラ

オペレータとコンピュータ間のインターフェースを行うと共に走行コースデータの編集管理を行う。

・無線誘導コントローラ

監視局より送信された情報をコントロールネットワークに流し、車両誘導すると共にネットワークより情報を取り出し、監視局に伝える機能を持つ。

・安全管理コントローラ

車両に取り付けられた各種センサ情報より車両異常を認識し車両を安全な方向へ機能させると共に障害物検出センサ情報に基づき車両を停止させる機能を持つ。

・走行制御コントローラ

上記各コントローラより得られる信号に従い車両を目標点へ誘導するため、各アクチュエータへ指示を出し車両誘導する。

3-2) 監視局コントローラ

・マンマシン・インターフェースコントローラ (監視局)

フリート管制するための車両現在位置を検出し画面表示すると共に、ニアミスを防止する。更に走行するコース選択指令、発進指示、切り羽での車両誘導指示を行う。

4) システム構築で核となる技術

今回のシステム開発で核となる制御技術のうち、代表的な位置計測、誘導制御技術を紹介する。

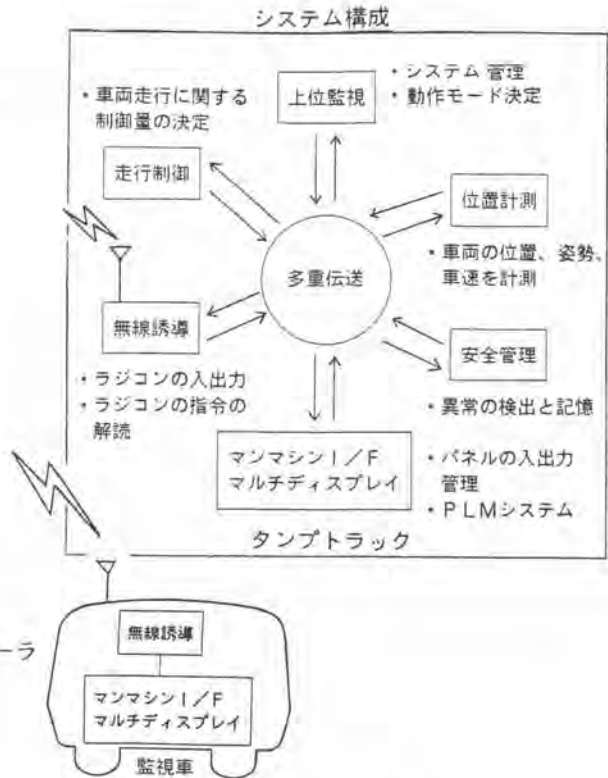


図-5 コントローラネットワーク

4-1) 車両位置計測、補正技術

本システムは鉱山で走行コース変更に対応するため、車輪回転センサによる距離データと光ファイバージャイロによる方位角情報で位置を計算しながら進む推測航法を用いたシステムであり計算原理は図-6に示すように、距離計測により得られた単位時間当たりの移動量と、方位計測により得られた、方位移動ベクトルを積算することで

車両の現在位置を算出するものである。

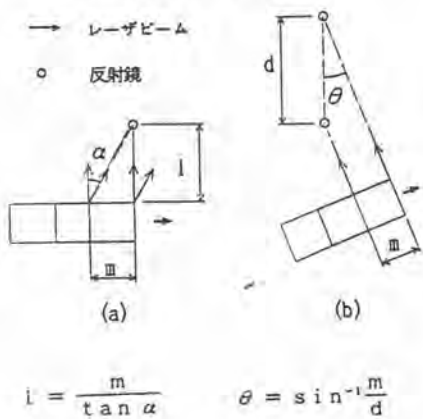
移動距離の計測は当初後輪回転のみで計測していたが鉱山での実稼働テストにてグリップ走行では特に問題ないが降雨によりスリップが生じる(坂路走行時)とき計測誤差が大きく制御不良が生じた。

その対応として前輪タイヤ回転データも取り込むことで、十分実用可能なレベルとなった。方位計測には機械式ジャイロに比べ立ち上げ時間が短く、機械的摺動部のない光ファイバージャイロの採用で高精度の計測が可能となった。上述の様な推測航法ではいくら高精度のセンサを採用してもシステムの性格上累積誤差が生じる。従ってその誤差を定期的に補正するシステムが必要となる。

この補正法として図-7に示すような車両に一定角度で設置した2個のレーザ投受光器と地上に設置された反射鏡との組み合わせで補正する。コースの左右方向のズレは(a)に示すように受光地点間の走行距離より三角形の相似則で投受光器と反射鏡の距離を計算することにより算出し、車両の方位角のズレは(b)に示すように1台の投受光器と、2台の反射鏡にて算出する。



図-6 位置計測補正原理



$$l = \frac{m}{\tan \alpha} \quad \theta = \sin^{-1} \frac{m}{d}$$

図-7 位置補正レーザ計測原理

4-2) 車両誘導制御

目標となるコースデータをICメモリーカードから呼び出し、また位置計測から得られる車両現在位置情報とを比較しながらズレ量が0となるように走行制御コントローラが各アクチュエータへ指示を出す。

位置計測に推測航法を利用する上で誘導コース入力方式が車両運行効率に占める割合が極めて高い。一般的に知られる誘導コースの作成入力法としては、いくつかの直線の組み合わせで制御するか又は点と点を直線で結び交点のある決められた曲率で結びコースデータを作成し制御する方法である。データの作成に当たっては目標となる走路ポイント座標を正確に計測し、パソコン等を用い座標を

入力する方式をとるが、操作に当たってはコンピュータ操作に熟知したシステム要員が必要となる。

今回開発したシステムは走行コースデータ入力、コース変更にも柔軟に対応でき、且つコンピュータになじみの薄い人にも十分操作可能なように、オペレータが実際に運転することでコースデータが自動入力編集されるティーチング方式を採用した。

目標となるコースデータは点の座標の組み合わせで自動入力されるため3次曲線的な走行誘導も可能となった。更にステアリングのアライメント変化（空積み時の積載量変化による変化や調整不良）が生じても十分吸収可能なように制御器に積分を追加することにより安定した誘導が可能となった。

曲線走行時の膨らみを防止するため、目標点の更に先の点を読み込み、予見制御器を追加することでカーブ走行時の膨らみを押さえることが可能となった。

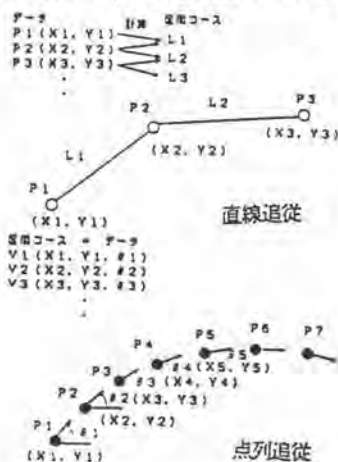


図-8 誘導方式比較

4. まとめ

鉱山での実用テストを通じ現在も改良中だが鉱山以外の実用例として、土木分野で試験的に実用テストが行われた。建設省の指示のもと、雲仙普賢岳噴火災害の水無し川土砂の無人除石試験施工に本システムがテスト導入された。

試験施工には下流の整備された現場では無人自動運行システムのテストが行われ、上流側の警戒区域では本システムの無線誘導部を用いフルラジコンにて試験された。

試験結果はおおむね良好で土木分野でも、条件さえ整えば十分実用可能であることが証明された。

鉱山、採石、土木においてシステムを導入するに当たり、安全且つ効率的に運用するには、表-3に示すようなユーザ側のハード、ソフト面での意識改革が必要と思われる。

表-3 システム導入に必要な意識改革

ハード		ソフト	
走路	余裕のある走路幅確保及び路面整備。坂路勾配を最大12%に押さえた走路整備	システム	サポート要員の育成
安全	ホッパーでの排土可否の外部監視。 稼働エリア内の部外者進入禁止	サポート	システム要員の多能化 コントローラアレルギー解消
		安全	自動運行車両の他作業車との優先順位明確化

5. 参考文献

「ダンプトラック自動走行システムの開発」第53回石灰石鉱業大会

コマツ 大川幸男、金子潔、日本セメント（株）野本知巳、佐々木英人

「鉱山用無人ダンプトラックのナビゲーションシステムの設計」コマツ 村山 理

「無人ダンプトラックの誘導制御」コマツ技報 大川幸男

63. 補助作業ラジコンシステムの開発

コマツ：*黒木 和憲・川村 公一
鎌田 誠治

1. 開発の背景

建設機械は屋外産業機械の代表的存在として、大きなパワーデンシティを可能にする油圧ユニットをそのアクチュエータに主として用い、様々な形態での単機能高出力機械として発達を遂げ、土木・建築施工の省人・省力化に貢献してきた。しかし、過去十数年の国内外建設機械マーケットの飽和という現実の一方で、依然として建設現場においては、重機の周囲で数多くの人夫が人手作業をしているのが実態であり、これは即ち、建設機械に求められているものが、人力を越えた「力強さ」から、こうした人手作業を代替し得る「器用さ」へと移行しているのだと考えられ、その解決策が待たれている。

一般に、建設作業は工場内作業に比べ定型化が難しく、しかも個々の現場におけるつじつま合わせといった知的難易度の高い判断が要求され、それが自動化への障害となっていたが、現場で働く人夫はまさにこうした判断に基づく小修正を実施しているのであり、機械の知能化が飛躍的に高まらない限り、人間共存型機械を指向することは避けられない。

その場合、問題はいかに現場作業者にとって使いやすい操作系を提供できるかであり、その具体的なシステムの実現例として、人間の腕と相似な作業機を有する油圧ショベルにおいて、その傍らに立つ人間が片手で思い通りの動きを簡単に実現することで、自らの作業領域を油圧ショベルに手伝える「補助作業ラジコン」の概念と開発例を紹介する。

2. フィールドオートメーションへの進化過程

単機能工作機械からNC、MC、FMS、CIMと進化したファクトリーオートメーションに対し、屋外でのフィールドオートメーションの進展は遅れているが、その進化の過程にも工場内とは別の道程があると考えられる。図1は



図1 建設機械の知能化過程

我々が考えるフィールドオートメーションに至るその過程であるが、大きく3つのステージが必要であろうと考えている。

(1) 操作容易化

建設機械の操作を安全・容易とするため、キャビン内のオペレータをサポートするための機能を付加する。例えばオペレータの情報環境の整備、基本作業性の向上、熟練作業の容易化であり、当社が昨年市場導入した油圧ショベル「ハイパーGX」シリーズは、その典型である。

(2) 補助員省人化

屋外における環境認識や作業計画を機械が行うことは、現有の技術では難しく、省人化のためには上述の補助作業ラジコン操作系のような人間共存型の知能化は必須となり、建設機械の進化において極めて特徴的かつ重要な過程となる。即ち、作業計画に基づくマクロコマンドは傍らの人間により与えられ、機械内部では対応するマイクロコマンドを自動生成してこれを実行するのであるが、知能の進化に伴いマクロコマンドはよりマクロなもので可能となるから、それに伴い人間と機械の物理的な距離も徐々に離れていくと考えられる。

(3) 遠隔マルチ化

機械の知能化の進展に伴い、人間が機械と

コ ン セ プ ト		
傍らの人間の責任下でその人間の人手作業を手伝わせる操作系		
項 目	要 求 品 質	達 成 手 段
操作性	片手で操作盤を見なくとも思い通りに動かせる	・作業機先端の移動方向指令ボタン ・片手操作可能なボタン配置 ・指の感触で探せるボタン押面形状
安全性	今後の建機の操作系として十分な安全性を有す	起動安全性：重要ボタンを組み合わせた暗写入力で起動 停止安全性：落下時停止ボタン作動
距離性	操作可能20m	・新電波法微弱電波を使用

図2 補助作業ラジコンの要求品質

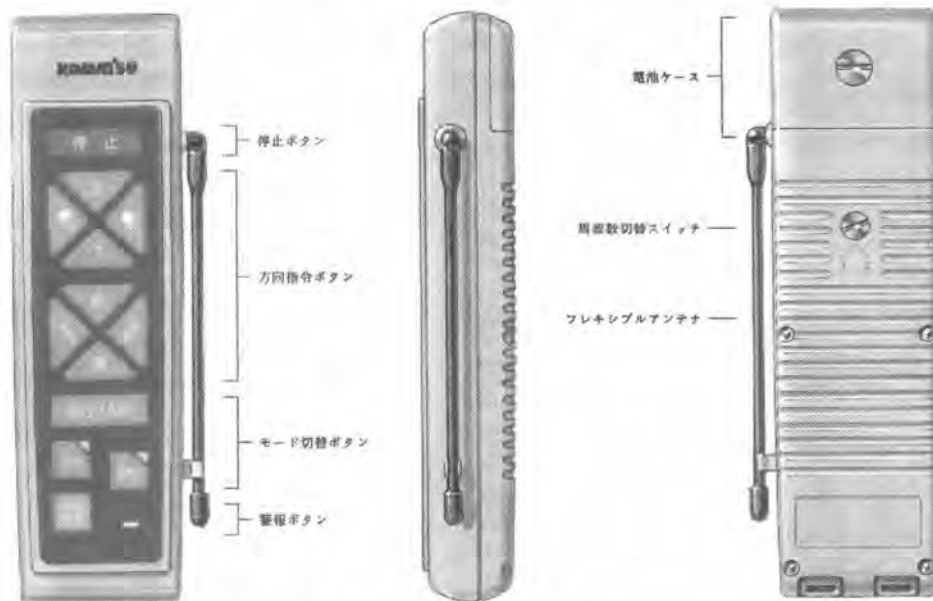


図3 補助作業ラジコン操作部

共有すべき環境情報も少なくすむようになっていくことで、自然な形で機械の自立化が促進され、フィールドオートメーションの究極の形に近づいていくと考えられる。

3. 補助作業ラジコンの要求品質と開発例

補助作業ラジコンは操作容易化のための部分自動化と将来の自立化機械の中間を埋めるものとして、未だ知能化が十分でない機械の傍らに立つ人間の責任の下に、その人間の人手作業を手伝わせる補助機械化システムであって、油圧ショベルにおいて考えられる要求品質を図2に示し、それを具現化した開発機の操作部を図3、今回開発母体とした当社油圧ショベルPC120HYPERGX、PC200HYPERGX本体を図4に示す。

本来円弧運動をする作業機先端に対し、上下前後といった移動方向を操作部でボタン入力すれば、その方向へ作業機先端は移動することができ、それに必要な作業機3軸複合動作の制御は本体側で実施する。各方向共に数mmのインテュングが可能であることから、油圧ショベルはフィールドで作業者の傍らに立つ天井クレーンとして機能することになる。

(1) 操作性

送信機は基本的に左手1本で操作するものとし、左手親指の稼働エリアに全ての方向指令ボタンを集めている。また送信機に目をやることなく、方向指令ボタンが指の感触で探せるように、ボタン表

項目	単位	PC120 HYPER GX	PC200 HYPER GX
運転整備重量	kg	11,800	19,550
定格出力	ps/mm	85/2,200	135/2,200
標準バケット容量	ml	0.45	0.7
最大掘削高さ	mm	8,610	9,305
最大掘削深さ	mm	5,520	6,620
最大掘削半径	mm	8,290	9,875
最大掘削力(バケット)	kg	7,800	11,400

表1 主要諸元

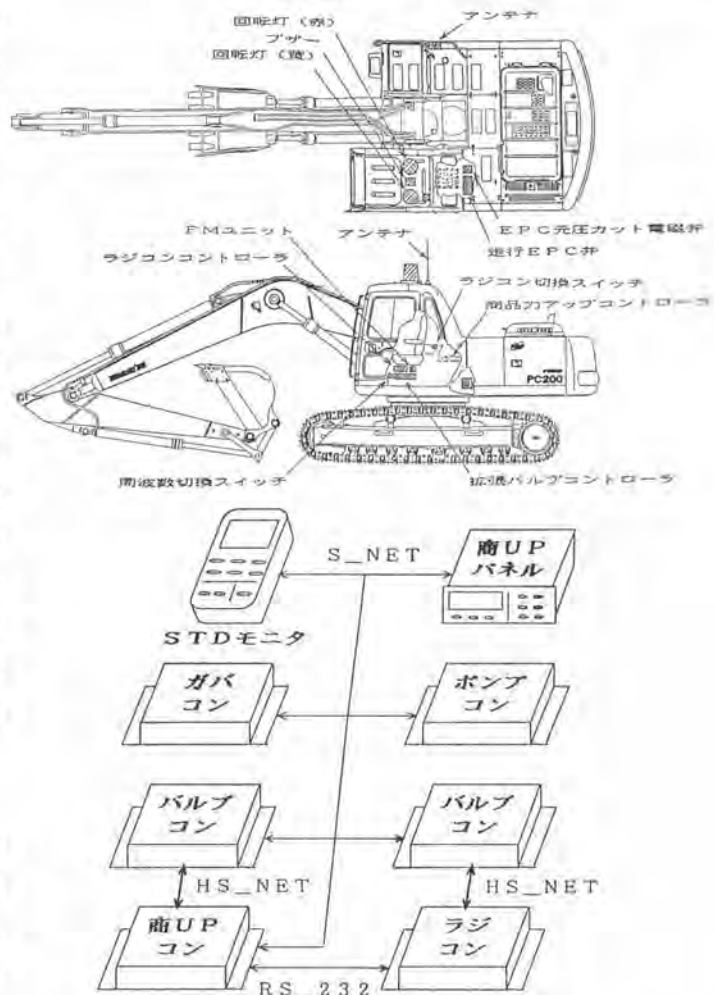


図4 補助作業ラジコン制御車

面は方向性をもった凹形状になっている。

(2) 安全性

送信機は安全上重要ボタンの動作確認といたずら防止を兼ねて、既設のボタン入力手順を実行することで起動される。停止ボタンの作動はこの始動時に確認されるが、それが送信機落下時にも確実に作動するよう、片側に重心を寄せた送信機の、その重心側端部に凸ボタンとして配備している。

(3) 拡張性

方向指令ボタンとしては4軸分が装備されているが、3個のモード切替スイッチにより、最大32の軸指令にまで対応可能である。

(4) 距離性能

テレコントロールとして使用できる電波には、微弱無線と特定小電力無線とがあるが、十分な知能化がなされていない状態の油圧ショベルを目視監視が不十分なエリアから操作されることの危険性から、操作可能距離としては20m程度が適当であり、従って微弱無線を採用した。

4. 今後の展開

開発した補助作業ラジコンは、油圧ショベルをフィールドマニピュレータへと変質させ、更に汎用的に機能させることを目指したものであるが、開発機においてはコンクリート二次製品等のハンドリングに良好に機能することをテストにより確認している。また、ハンドリング以外でも、本機のようなマニピュレータ母体の出現が更に効果的な先端アタッチメントの考案を促し、多機能化がはかられて展開していくと考えており、冒頭にのべた人手作業の多さの分だけ潜在的な市場はあると考えている。

例えば油圧ショベル本体も含めたバリエーションとして図5に示すものが考えられるが、こうした新しい操作系の形は既存建設機械以外の新しい機械化マーケットの創生を押し進めるのではないかと考えている。

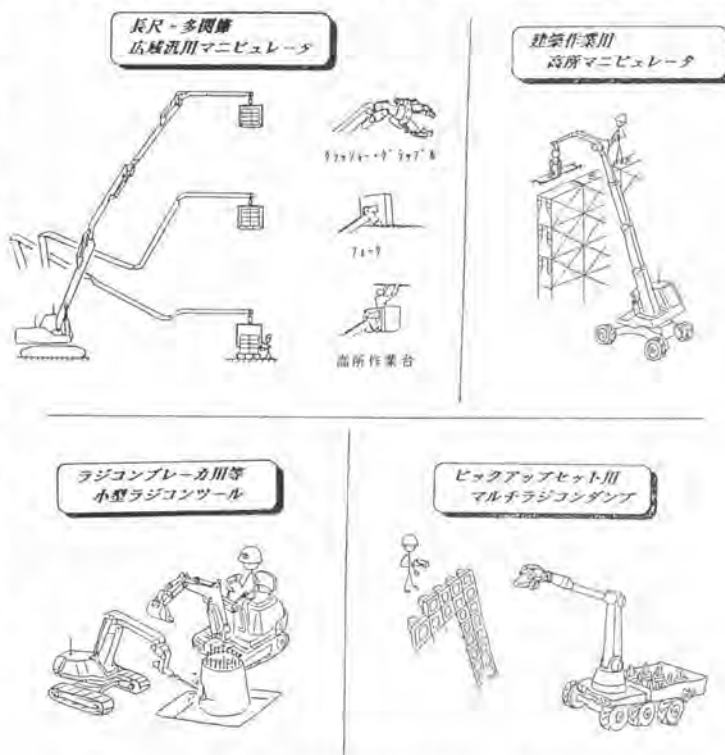


図5 補助作業ラジコンの展開

64. “ハイブリッドスリップフォーム工法”の 開発と施工例

～高橋脚の省力化と工期短縮～

日本道路公団：馬淵 勝美

(株)大林組：深津 保文・*加藤 敏明

1. まえがき

これからの道路建設においては、施工条件の厳しい山間部橋梁区間が増加しつつあり、高橋脚化や橋脚工事量の増大が解決すべき課題となってきた。すなわち、耐震安全性や耐久性の向上はもとより、熟練労働者不足が見込まれる中、膨大な事業量を経済的に省力化・急速施工する建設技術が求められている。また、いわゆる3Kの解消のため作業環境や作業安全性の向上も重要な課題である。

これらの課題に対しては、直接工事にたずさわる事業者と施工者がともに問題点を把握し、目的に合う適切な技術開発を行うことが必要である。

以上の背景から、日本道路公団と大林組は、山岳部の高橋脚等に対して、構造の改革と施工の機械化・自動化を合理的に組合わせた「ハイブリッド・スリップフォーム工法」を共同開発した。

本報告では、この「ハイブリッド・スリップフォーム工法」による省力化、工期短縮及び作業安全性の向上実現への取組みについて概説するとともに、本工法を初めて適用した大分自動車道横道橋の橋脚工事について述べるものである。

2. 工事概要

図-1に横道橋の位置図、図-2に橋梁一般図を示す。工事の概要は以下の通りである。

- ・路線名：大分自動車道
- ・架橋位置：大分県玖珠郡九重町
- ・橋格：一等橋(TL-20, TT-43)
- ・構造形式：PC3径間連続ラーメン橋
- ・橋長：168.0m
- ・支間割：47.4+72.0+47.4m
- ・幅員：9.0m



図-1 位置図

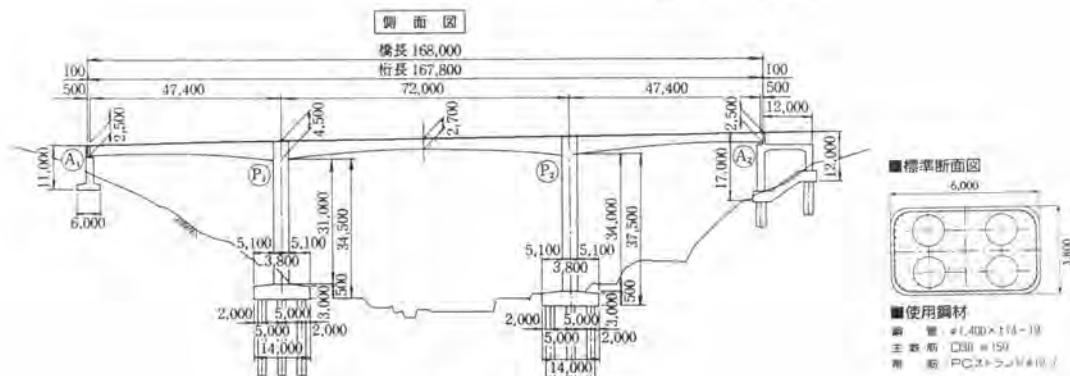


図-2 橋梁一般図

3. 鋼管・コンクリート複合構造の開発

本構造は、基本的には施工の容易な橋脚構造の実現という観点から開発したものであるが、鋼管の持つ構造特性にPCストランド連続巻付け帯鉄筋の補強効果を加えることにより耐震性に優れたSRC構造となっている。図-3に構造概要図を示す。

複合構造用鋼材として鋼管を採用した主な理由は以下による。

- ①鋼管への代替により鉄筋の組立作業が省力化されること。
- ②山岳部の厳しい運搬条件や狭い作業ヤードに対応できること。
- ③内型枠としての利用やスリップフォームの反力台、作業足場、鉄筋組立フレーム等仮設材として高度に有効利用できること。
- ④剛性が高く建込が容易であること。
- ⑤溶接作業性が良く、自動溶接化に適していること。
- ⑥規格品使用による経済性の追求ができること。

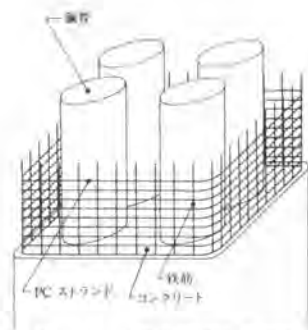


図-3 複合構造概要図

「鋼管・コンクリート複合構造」の採用に当たっては、構造安全性を確認するため、「鋼管定着部強度試験」及び「水平加力試験」等の基礎試験を行い、従来のRC橋脚同等以上の耐力、じん性を持つことを確認している。

4. 「ハイブリッド・スリップフォーム工法」における新技術の開発

(1) 在来工法の問題点

在来工法による高橋脚の施工を省力化・急速施工の観点から見た場合、以下のような問題点が考えられる。

①鉄筋の組立

高橋脚の施工に当たっては、多量の太径鉄筋の組立、鉄筋保持鉄骨の組立、帯鉄筋の加工組立に手間がかかる。

②ジャンピングフォーム工法の問題点

高橋脚の標準工法となっているのが、1ロット毎の型枠の組立解体作業や鉄筋の組立作業を改善しない限り大幅な省力化・急速施工は困難である。

(2) 新技術の開発

①PCストランド巻付け機の開発

本工法では構造面でPCストランド巻付け帯鉄筋を採用したため、これを機械化することが可能となった。PCストランド巻付け機は、スリップフォーム最上段のレール上を走行し、同時にコイルから一定速度でPCストランドを引出す装置である。PCストランドの結束は、本工事に採用した特殊クリップによって行っている。

②新型スリップフォーム装置の開発

これまで主として煙突や高架水槽等の施工に用いられてきた「スリップフォーム工法」は、昼夜の連続コンクリート打設や表面仕上げの問題、コンクリート養生に対して改良すべき点が指摘されている。本工法では、各種実証試験を行ったのち、スリップフォーム型枠内に内張材を取付けスリップアップ時に直接コンクリートを擦上げない構造の開発に成功した。

この結果、橋脚の表面仕上げが向上するとともに、自立強度以上のコンクリート強度が発現すれば任意の時間にスリップアップが可能となり、任意の作業サイクルの設定も可能になった。本工事では、8時間作業で1.8m/日の上昇を行った。今回常時1チーム8人の作業員数でサイクル作業を行ったが、この作業員数は今後低減可能である。

③ジャッキアップ自動制御システムの開発

鋼管頂部の反力台に取付けた吊り材を介してスリップフォーム装置をジャッキアップする方式を採用しているため、スリップフォームの姿勢制御は、主としてジャッキのストロークによってコントロールすることとなる。

本工事では8台のジャッキを均等なレベルを保ちながら上昇できるように自動的に制御するシステムを開発し採用した。このシステムの開発により、厳密な精度管理とともに吊り上げ荷重のチェックにより安全なジャッキアップができた。

④位置・姿勢計測自動表示システムの開発

高橋脚施工の場合、1ロット毎のわずかな施工誤差の累計が最終の出来形に大きな影響を与えることや、毎日1ロットの施工が連続することにより、常にスリップフォーム装置の位置・姿勢に関するデータを収集、監視する必要がある。さらにこの結果をリアルタイムに施工管理にフィードバックしなければならない。このため、新しく本工法に適した計測表示システムを開発し実用化した。

以上の新技術は、横道橋工事において「ハイブリッド・スリップフォーム工法」の要素技術として統合されている。

5. 施工順序と工程

(1) 施工順序

施工順序を図-4に示す。

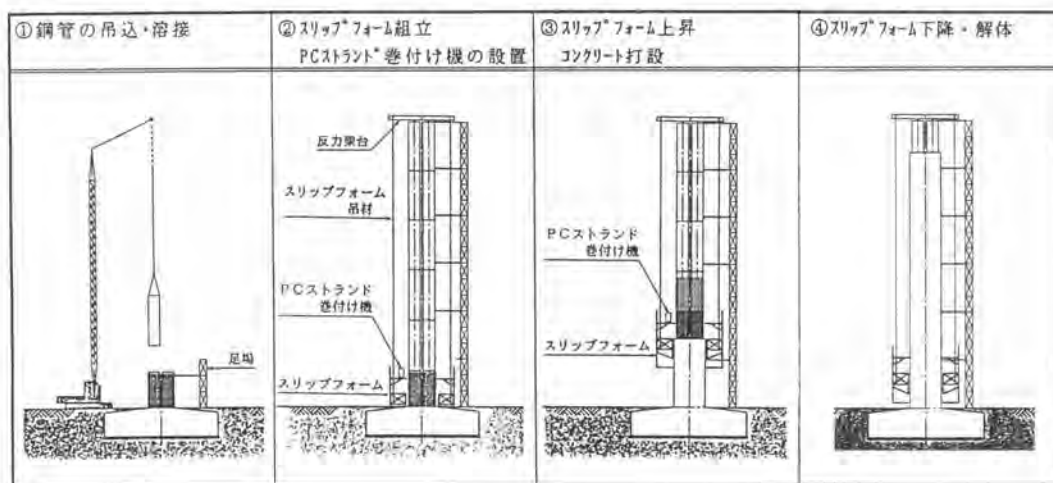


図-4 施工順序

(2) 工 程

在来工法との比較を表-1に示す。横道橋の実績評価では、在来工法に比べて工期では40%の短縮、作業員でも30%程度の削減を実現している。高さは50m以上の橋脚に適用した場合の試算では、省力化、急速施工効果が向上し、脚部で50%程度の工程短縮が可能であると考えられる。

在来工法 (標準計画工程)				ハイブリッド・スリップフォーム工法 (実績)			
月	日	[Diagram: Standard method construction progress]		月	日	[Diagram: Hybrid slipform method construction progress]	
1	30			1	30		
2	10			2	00		
3	30			3	30		
4	10			4	10		
5	10			5	10		
6	10			6	10		
7	20			7	20		
8	20			8	20		
実働日数		231日 (7.7ヶ月) (1.0)		実働日数		139日 (4.6ヶ月) (0.60)	
延作業員数		1,826人 (1.0)		延作業員数		1,339人 (0.73)	

() 内数値は比率を表わす。

表-1 全体工程比較表

6. あとがき

横道橋橋脚工事は当初の目的を達成しつつ、平成6年2月無事に完了した(写真-1参照)。

省力化や工期短縮に関する効果に加えて、本工法での作業が安全でかつ熟練工を必要としない軽微なサイクル作業であることも将来の発展性を示唆している。

経済性については、技術検討会の場において、分析・評価されてきており、工事規模、機械・設備の転用等総合的にみて在来工法とのコスト競争性が十分であることが示されている。

今回の施工結果を踏まえて本工法の改良や設計・施工法の取りまとめを進めているところであり、今後の本格的な高橋脚の施工に貢献できれば幸いである。

最後に本工法の開発にあたり、多大なご協力を頂いた関係者の方々や横道橋を施工するにあたり貴重なご意見、ご指導を頂いた技術検討会の委員の方々に厚くお礼申し上げます。

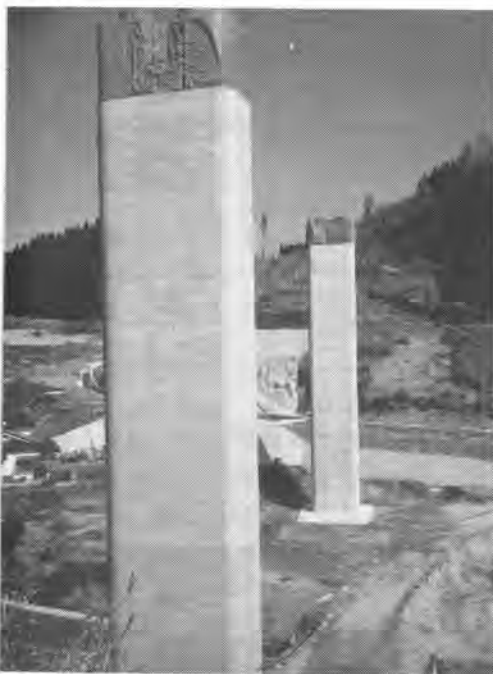


写真-6 完成写真

65. ダム用ずり回収装置の開発

清水建設㈱：*高橋 周男・岸野 富夫
小田原 卓郎

1. はじめに

近年、ダム建設工事では、新技術の開発が積極的に進められている。そのような状況の中で、従来人力で行われていた作業分野を自動化、機械化することにより省力化が図られている。

我々は、従来人力に頼って行われていた打継面処理作業（グリーンカットおよび、ずり回収）の作業環境の改善、省力化、施工能力の向上等を目的とした技術開発を進めてきており、これまでに高圧水タイプとブラシタイプの2種類のグリーンカットロボットを開発してきた。今回、グリーンカットにより生じるズリの集積、回収作業を機械化したずり回収装置の概要について報告する。

2. ずり回収作業の現状

グリーンカットにより発生したずりの回収は、人力に頼って行われている。ずりの集積は低圧水を使用してずりを集積させ、スコップを使用して一輪車やベッセルへ回収している。

回収されるずりは、5mm以下の砂がほとんどであるが、骨材も含まれている。骨材の量、大きさは、グリーンカットや、コンクリートの状態により異なる。

なお、汚濁水は釜場に集め、そこに設置した水中ポンプあるいはバキュームポンプにより堤体外に排出する。

3. 作業の問題点

ずり回収作業は、人力作業が主体である。このため、手間がかかり多数の作業員が必要となる。また、作業に時間がかかり、工程上のクリティカルパスになる場合が多い。また、常にカップを着用した作業となり、3Kの代表的な作業である。

4. 開発の目標

打ち継ぎ目処理作業を機械化することを考えると、グリーンカットとずり回収を1台の機械で実施する方法が考えられる。この場合、グリーンカットロボットにずり回収機能を付加することになり、切削の能力と回収の能力のバランスをとる必要がある。また、機械が大型化し機動性が低下する等の問題点が生じる。これまでに開発したグリーンカットロボットは小型軽量で機動性に富むことが特徴になっており、以上の点からグリーンカット機能とずり回収機能を1台の機械に搭載せず、それぞれの作業を単独の機械で実施させることにした。

本装置での回収対象は、砂および20mmアンダーの骨材である。

5. 装置の構成

ずりの集積、回収をバキュームを使用した吸引式で構成することが考えられる。しかし、この方式は、大型のバキューム装置が必要であり、太径のバキュームホースを牽引しなければならない。また、バキュームのみでは水に濡れたずりをきれいに回収することはできないため、水を噴射させて、ずりを浮き上がらせた状態で吸引する必要がある。このため水ホースの牽引が必要になる。以上の理由より、バキュームを使用した吸引式では、装置を小型軽量化し機動性に富んだものにまとめあげることは難しい。

本装置では、ロールブラシとロールブラシの回転方向に沿って噴射する水により、ずりを回収することを特徴としている。また、水といっしょに回収されたずりは、バキュームにより真空タンクに送り、ここでずりと水を分離し、水は回収用に再利用する。以上によりホースやケーブルの牽引がないずり回収システムを構成できる。図-1にシステムの構成図を示す。

装置の仕様を表-1にしめす。

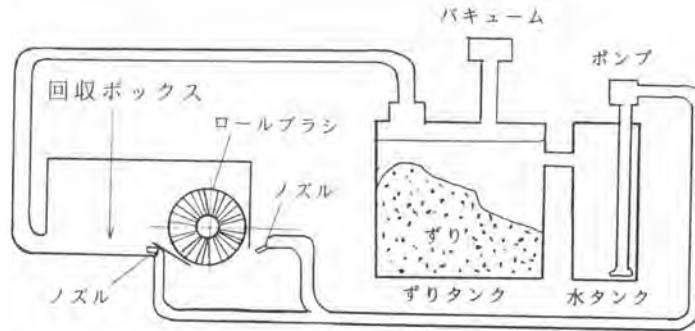


図-1 回収システム構成図

表-1 装置仕様

寸法	4290 × 1700 × 2260
重量	4 ton
ずりタンク容量	0.98m ³
水タンク容量	0.5m ³
ブラシ	ポリプロピレン製ロールブラシ
ブラシ回転数	最大300rpm
バキューム	3000mmaq 3.2m ³ /min
施工幅	1m
目標施工能力	400m ² /h以上

キャリアカーをベースマシンとし、前部にロールブラシ等からなる回収部を、荷台(ダンプ)にずりタンクと水タンクを搭載している。

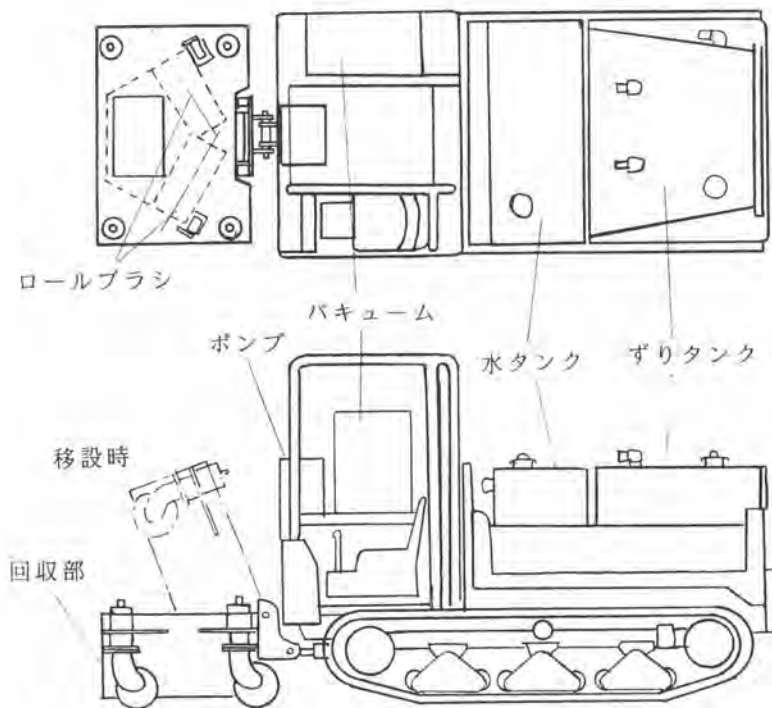


図-2 装置概要図

ロールブラシの回転により走行面上のずりを跳ね上げるとともに、噴射ノズルからの噴流によって走行面の凹凸に取り残された細かいずりをロールブラシに送るか、または噴流の流れにのせて回収ボックス内に回収する。

回収ボックス内には、ノズルが取付けてあり、ボックス前部へ向かう噴流を発生させている。この噴流により回収ボックスに回収されたずりを回収ボックス前部にある吸引口に水と一しょに強制的に送りこむ。吸引口は、ホースを介してずりタンク（真空タンク）と接続されている。また、ずりタンクは、小型強力エンジンバキュームクリーナと接続しており、これにより、ずりタンク内に負圧が発生し、吸引口に送りこまれたずりをずりタンクに回収することが可能になる。ボックス内の噴流により、20mmアンダーの骨材、砂を連続的に、滞留することなく回収可能になる。

ずりタンク内においてはずりは、沈殿、堆積し、ずりを回収するにしたがってずりの占める容積が増大する。また、上澄水は、ずりタンクの排水口から水タンクに搬送され再び回収用の水として使用する。

ずりタンクに回収されたずりは、写真-2にしめすようにダンプアップによりベッセルに移すことが可能である。

6. 回収実験

30m²の試験ヤードに150kgの砂と20mmアンダーの骨材30kgを撒き、本装置で回収を行った。この結果、約3分で回収を終了した。この結果から単純に施工能力を求めることはできないが、目標としている施工能力は十分有していることが確認された。

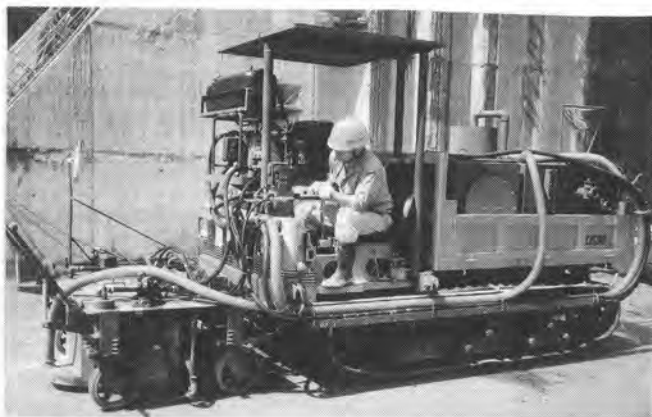


写真-1 ずり回収装置



写真-2 ずり排出状況



写真-3 ずり回収装置と
グリーンカットロボット

7. おわりに

本装置は、これまでに開発したグリーンカットロボットに較べ多少大型になってしまった。この結果、RCDコンクリートダムでは、十分機能を発揮できると思われるが、障害物の多い現場や、狭いブロック打設のダムでは、より一層の小型、軽量化をする必要がある。今後、この点を考慮し、効率の良いずり回収装置の開発を継続していく予定である。

66. ミニコンクリートレベラーの開発

ヤンマーディーゼル(株)：井上 雄次・*時枝 安雄

清水建設(株)：岸野 富夫

1. はじめに

建築工事におけるコンクリート床ならし工程は、コンクリート打設後の凸凹を平滑にし、レベルを出していく作業である。その作業工程は、粗ならし、レベル出し、定規ずりの順に行われ、現在そのほとんどを人手に依存しており、自動化・省力化が進んでいないのが実状である。また、その作業は熟練技術者を必要とし、常に中腰で行う苦渋作業である。さらに近年、作業員の高齢化が進み専門技能工の確保が困難になってきている。

本報告は、コンクリート床ならし工程の省人・省力化を目的として開発した「ミニコンクリートレベラー」の概要について述べる。

2. 開発のねらい

本装置の開発にあたり、省人・省力化、作業効率の向上および労働環境の改善を図るため次の4項目を開発のねらいとした。

- (1) 粗ならし、レベル出し、定規ずりの一連の作業を1人の簡単な運転操作で行えること。
- (2) 自動レベルング装置による施工面のレベル精度は専門技能工と同等の品質を確保。
- (3) 装置を現場に導入するための特別な準備工事は不要。
- (4) 装置は小型、軽量なものとし、フロア面積が狭い建物及びデッキプレート上の作業にも使用でき、又作業フロアを移る際の運搬・移動が容易。

3. 装置の概要

(1) 機械の構成、仕様

本機はエンジン駆動により走行する本体部と自動ならし作業を行う作業部から構成される。全体図を写真-1および図-1に、主な仕様を表-1に、作業部の作業状況を写真-2に示す。

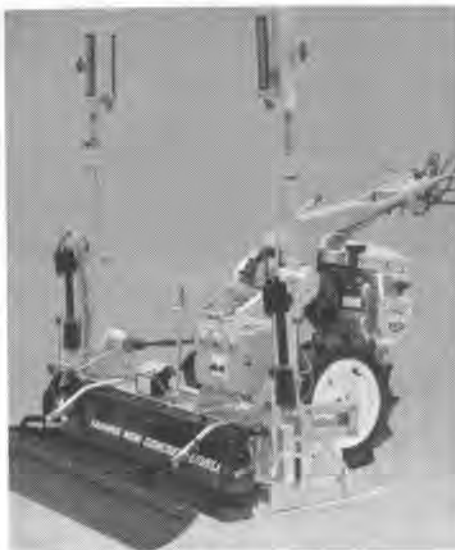


写真-1

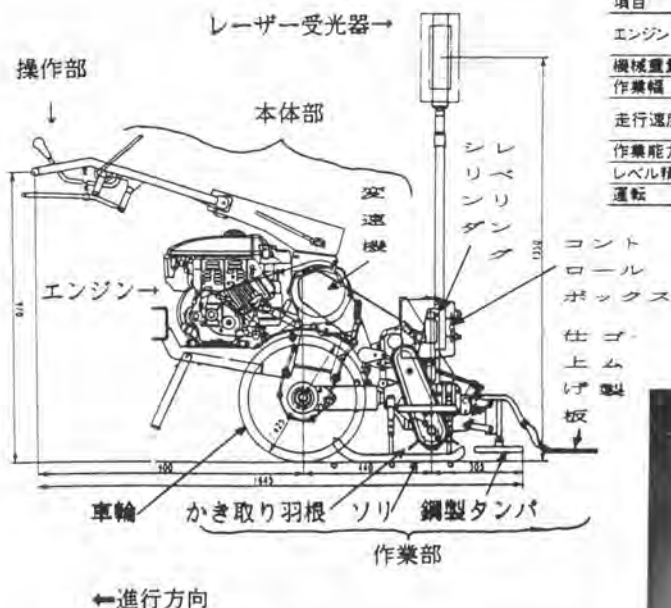


図-1

本体部は、エンジンを搭載し、変速機を介して車輪を駆動することにより走行する。又、作業部との重量バランスがとれるようにエンジン、変速機等を配置し、軽い操作力で操向できるようにしている。走行車輪は、鉄筋メッシュ上を走行できる様、ノーパンクタイプのものを採用した。

作業部は、かき取り羽根、鋼製タンパ、ゴム仕上げ板、自動レベル出し装置で構成される。作業部は、ソリにより支持され、鉄筋メッシュ上を滑走する。ソリの断面形状は、鉄筋乗越しの容易さ、およびソリ跡のつきにくさ等、実験結果より丸パイプ製とした。また、作業部と本体部とは3点のクイックヒッチおよび動力伝達軸で連結しており、容易に分離できる構造としている。作業部を含めた機械重量は、デッキプレート上での作業が可能な様に、また、現場間の移動性、操作性を考慮して150kgとした。

(2) 自動レベル出し制御

あらかじめセットしたレーザー投光器のレーザー光を作業部の両側にある受光器により検知し、レベリングシリンダにより作業後のならし面が所定の床コンクリートレベルとなるよう、作業部の高さを自動制御する。

項目		Cx15	
エンジン	形式	GA180(ガソリン)	
	出力	PS/rpm	4.3/1800
機械重量	kg	150	
作業幅	mm	1400(タンパ幅)	
走行速度	作業時	m/min	8.4
	移動時	km/hr	4.2
作業能力	m ² /hr	250	
レベル精度	mm	±3	
運転	歩行形、自動レベル出し		

表-1



写真-2

その制御ブロック図を図-2に示す。自動モード時、受光器により入力した信号により、コントローラーを介して所定レベルとのずれ量をレベルシリンダーにて調整する。受光器に投光器のレーザーが当たっていないか又は、異常信号が入った場合、受光異常ランプを点灯させる。また、ならし面のレベル設定時には、手動モードに切り替えて、手動上下スイッチにより操作する。

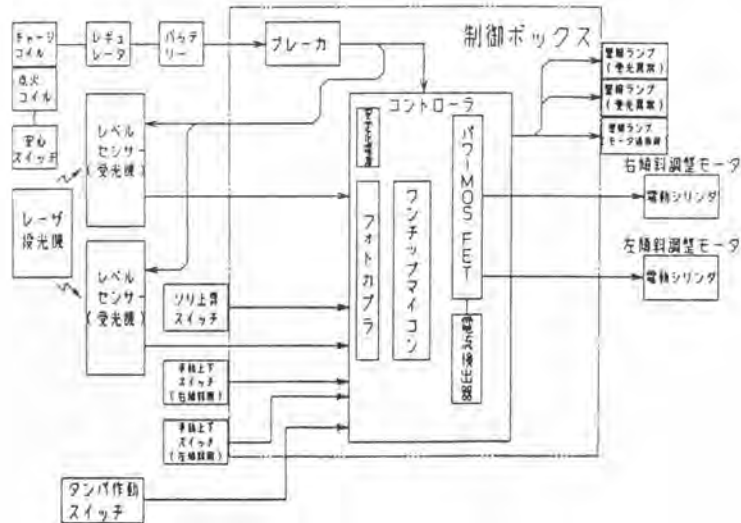


図-2

(3) 機械の作動

ポンプ車から打設された状態のコンクリートを平滑にし、ある程度のレベル出しを行うため、まず、かき取り羽根により粗ならしを行う。かき取り羽根は、エンジン回転をギヤケースを介して伝達し、その回転方向は、進行方向にコンクリートをかき出す方向に回転させている。その羽根は、3枚の長方形プレートを回転軸に取付ている。つぎに、鋼製タンパにより、粗ならしを行った打設面に浮き出た骨材などのでっぱりをなくし、モルタル分を浮き出させる。鋼製タンパは、同じくエンジン回転をクランク機構により直線運動に変換し、上下にストロークさせることによりタンピング作業を行う。最後に、ゴム製の仕上げ板により、コンクリート表面を仕上げる。

ならし仕上げ面は、自動レベル出し装置により所定のレベルが得られるので作業員は、本体部のレバー操作による走行時の速度調整や方向変換を行うのみである。

4. 現場施工テスト

(1) 施工条件

コンクリート：打設速度 40m³/hr、スランプ 15cm、骨材 20mmアンダー

鉄筋：メッシュ筋 φ6 ピッチ 100 × 100 デッキプレート

施工場所：3Fスラブ

試験施工面積：約200m² (全体施工面積 約900m²)

(2) 施工精度

レベル精度 : 基準レベルに対し +2 ~ -5mm

仕上がり面 : 専門技能工の評価は概ね良好

(3) 施工速度 (1時間当り換算)

250m²/hr

(4) 省人・省力化効果

ミニコンクリートレベラーの使用により省人・省力化が可能となった。表-2に人手のみの作業との比較を示す。この省人化により、人件費削減が可能となり、また作業効率の向上を図ることができる。



項目	現 状	→	ミニコンクリートレベラー
作業状況			
省 人 化	粗ならし	3 人	1 人 (壁際、コーナー部のみ)
	レベル出し	1 人	
	定規ずり	1 人	
	装置オペ+補助	0 人	2 人
	(200m ² の場合) 計	5 人	3 人 (△2人)
作業環境改善			① トンボ作業の減少 ② 中腰作業の減少 ③ 熟練工でなくても作業可能 ④ 年配者でも作業可能

表-2

5. あとがき

今回開発したミニコンクリートレベラーは、現場施工テストの結果は、ほぼ良好な結果が得られた。しかし、圃場実験を繰り返して施工条件を変えていくと精度に若干のバラツキが発生するケースもある。今後、更により安定した施工精度が確保できる様改善を進め、コンクリート工事の省人・省力化推進のお役に立てれば幸いである。

最後に、本装置の開発、現場施工テストにおいてご指導、ご協力いただいた関係各位の皆様へ厚く御礼申し上げます。

67. ダム堤体上下流面清掃機の開発

飛鳥建設(株)：*沼口 栄助・中村 一郎

1. はじめに

飛鳥建設では、ダム施工の自動化への取組みを積極的に進め、自動型枠、トランスファーカの自動運転、ケーブルクレーンの走行自動運転、レイタンス処理作業の機械化などを行い成果を挙げてきた。ところで、ダム施工における最終的な作業として、ダム完成時に行う上下流面の清掃作業がある。

コンクリートダムの上下流面はコンクリート打設過程における散水養生による水アカ、水苔や、ブロックジョイント部付近の流出モルタル、足場支保工の鋼材に発生した錆などが付着して美観を損ねる。そのため、通常はダム竣工検査前に表面清掃を実施する。その清掃方法はゴンドラに乗った作業員により手作業で行う方法が主流であり、その他に簡単な回転ブラシを用いる方法などもある。これらの方法の問題点として、以下のようなことが言える。

- ①作業効率が悪い。
- ②高所作業となり危険である。
- ③作業員が水、ホコリを被り作業環境が悪い。
- ④仕上がり状態にムラが生じる。
- ⑤コンクリート表面を傷める。

以上のことから、これらの問題を解決すべく自動化、機械化することが急務であると考えられ、ダム堤体上下流面清掃機を開発を実施した。

2. 開発の経過

2-1 各装置の検討

(1) 清掃方法

清掃方法としては、ブラシと高圧ジェットの二つの方法が考えられるが、ブラシによる方法は、清掃条件決定のための検討項目が多く考えられ、且つ最終的に水による洗浄が必要になるため装置自体が複雑化することが予想された。高圧ジェットによる方法は最適条件を決定する作業が容易に行なうことが出来、装置の構造も簡単な機構で対応出来るため高圧ジェットによる方法を選定した。

(2) 動力装置

ケーブル等の引き回しを出来るだけ避けるようにするため、エンジン搭載方式とした。

(3) 操作装置

本体には操作のための作業員は同乗せず、無線による遠隔操作とした。

2-2 高圧ジェットによる洗浄テストの実施

(1) 単一ノズルによる実験

高圧ジェットの出圧力、ノズルからコンクリート表面までの距離、ノズル噴射角度の各要素の最適水準の組合せを決定するため、単一ノズルを用いて実験を実施した。実験状況を写真-1に示す。

実験の結果、次のことが確認された。

- ①ノズルからコンクリート表面までの距離10cm、吐出圧力150～200kgf/cm²にて水苔は完全に落ちる。
- ②ジェット噴射角度による清掃状態の変化は見られないため、清掃幅の広い40°のものが得策であると判断される。

などのことが確認出来た。

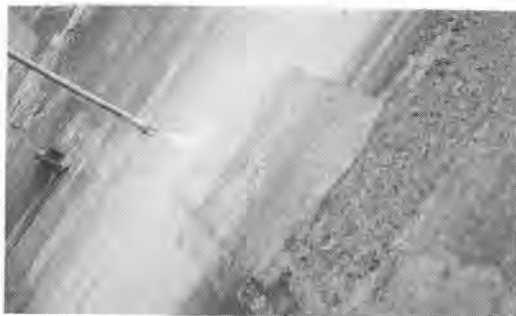


写真-1 単一ノズル実験状況

(2) 多連ノズルによる実験

パイプにノズルを数個一列に取付た状態で均一な清掃が可能かどうか検討するため、試作機を作成し現場にて実証試験を行った。試験状況を写真-2に示す。コンクリート表面の清掃状況を目視により評価した結果、清掃ムラの発生は認められず、満足のいく結果が得られた。

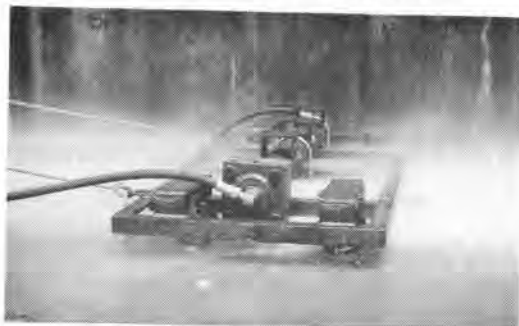


写真-2 多連ノズル実験状況

3. 開発機の概要

3-1 機器構成

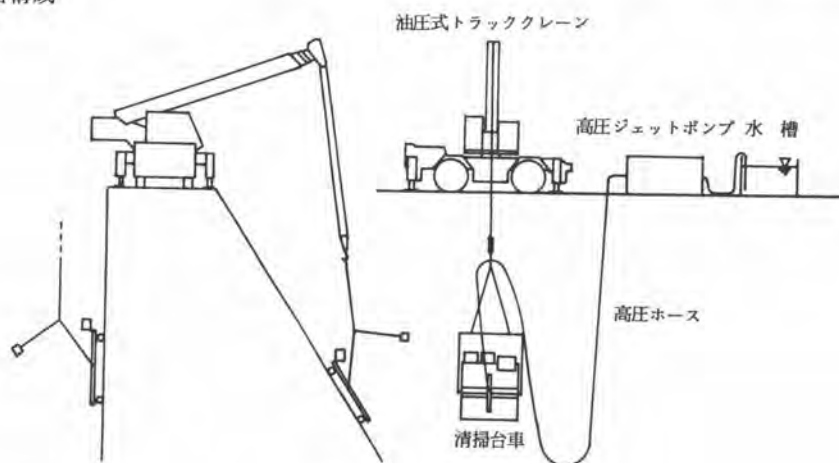


図-1 全体構成図

機器の構成は図-1に示すように、清掃を行う清掃台車、台車移動のための巻き上げ装置（油圧式トラッククレーン）、高圧ジェットポンプ、水槽、高圧ホースから成る。

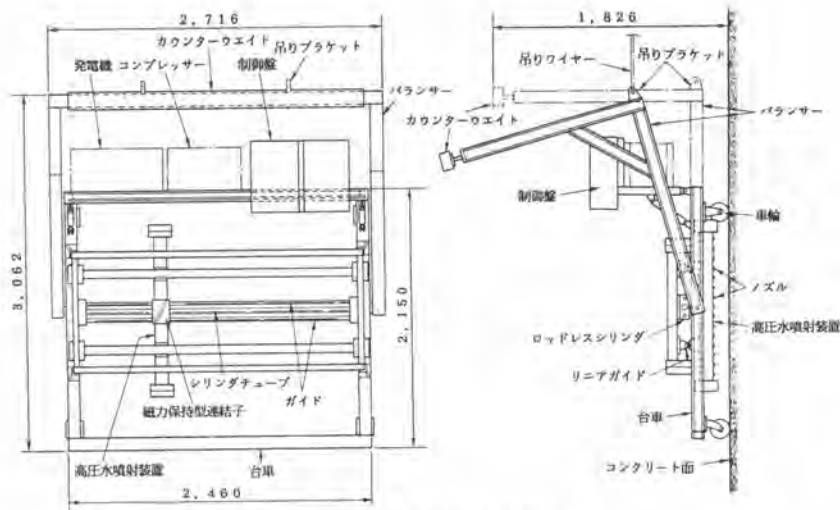


図-2 清掃台車全体図

清掃台車本体（図-2参照）は、鋼管に扇状に水を噴射するノズルを一行に取り付け、そのノズルより高圧水を噴射させる。その場合、ノズルの取り付けられている鋼管はノズルより高圧水を噴射しながらコンクリート表面に対して並行水平に移動する。この移動ノズルを含めた装置全体は4台の車輪がついた台車に取付けられており、台車全体は、油圧式トラッククレーンにより吊り下げられ移動される。清掃機の仕様並びに高圧ポンプの仕様を表-1に示す。

表-1 仕様概要

仕 様	
ウォータージェット噴射幅	1.2m
ノズル移動幅	2.0m
ノズル移動速度	0.3m/sec
清掃能力	216m ² /Hr
全装備重量	約1.7t
コンプレッサー	吐出圧力 9kgf/cm ² 吐出流量 80ℓ/min 出力 0.75kW 重量 30kgf
発電機	出力 100V, 1.9kVA 重量 60kgf
高圧ジェットポンプ	吐出圧力 200kgf/cm ² 吐出流量 275ℓ/min 出力 150PS

*清掃能力は、ノズル移動1往復から次の清掃位置までの台車移動を40秒とした場合の能力です。

3-2 各部仕様

(1) ノズル

高圧水を噴射するノズルは、噴射角度が40°の平面状扇型に噴射するもので、ノズル先端からコンクリート表面までの距離は115mmに設定されている。ノズルは、1個当りの吐出量と高圧ポンプの吐出能力から15個取り付けられた。取り付け方法は、100mmの高圧配管用鋼管に一行に、このノズルの115mm先での噴射幅84mmを考慮して80mmピッチに取り付けた。

(2) ノズルスライド

ノズルの取り付けられた鋼管は、コンクリート表面に対して並行にスライドされる。スライド幅は2.0mであり1回のスライドにより1.2m×2.0mの清掃が可能となる。スライド機構は、ロッドレスシリンダーにより行われ、自動的に往復運動を繰り返す機構になっている。これらの制御には、応答スピードの速さや取扱のし易さ、メンテナンス性から空気圧駆動を用いた。そのため、コンプレッサーと発電機が台車上部に搭載されている。

(3) バランサー

台車部は高圧水噴射による衝撃力によりコンクリート面と反対方向に力が作用する。そのため、台車全体をコンクリート面に押さえ付ける作用を持たせなければならないため、バランスを取り付けた。

4. 使用結果

2箇所のダム現場により使用し、良好な結果が得られた。使用状況を写真-3に示す。

実施工での結果をまとめると次のことが言える。

①作業の省力化、効率化

作業スピードは1パーティー当たり、人力による作業では平均 5 m^2 /時間（作業員5名ロリッブ使用）であるが開発機においては、平均 93 m^2 /時間（作業員3名クレーン運転員含まず）となり作業スピードは約19倍になった。一人当たりの作業効率は、人力による作業では平均 14 m^2 /人日であるが開発機においては、平均 220 m^2 /人日となり作業効率が約16倍になった。



写真-3 施工状況

②コスト低減

開発機による作業は、人力作業の約 $1/6$ の経費で済んでおり、かなりのコスト低減が図れた。

③安全作業

高所作業から作業員を開放出来、安全に作業が行えた。

④品質向上

機械による一定作業のため、仕上がり状態にムラが無く、また、コンクリート表面を傷めないため、品質が向上した。

5. まとめ

上述の通り、ダム上下流面（ガイドウォール部を含む）の清掃と言う危険作業、苦渋作業から作業員を開放でき省力化、効率化を成し遂げたことは、深刻な人材難、作業員の高齢化が進む社会環境の中で有意義な開発であったと判断している。

ところで、今回開発の機械は斜面、垂直面両条件での使用が可能であり、また、水ジェットの出圧力、台車やノズルの移動スピードなどの清掃条件を容易に変更することができるため、各種壁面の汚れ状態に対応した清掃作業が可能である。よって、現状においてもダムだけに限らず、立て坑、土止め壁、建築等の施工完了時やメンテナンス用の壁面清掃機としてその利用が考えられる。ところで、今後多目的な用途を考慮すると、洗浄水のリサイクルや清掃結果のモニタリングシステムなども含めた完全自動化機械としてさらなる性能アップを目指す必要があり、開発を推進していきたいと考えている。

最後に、今回の開発に対し全面的に協力していただいた、関係部署並びに協力業者の皆様に対し、深く感謝申し上げます。

68. ダンプトラック搭載式 インクライン設備によるダムの施工

建設省：金丸 孝行

(株)日立製作所：*五味 清・長谷川 俊次

1. はじめに

近年、重力式コンクリートダムの施工法は、超硬練りコンクリートを振動ローラにより締め固める工法、いわゆるRCD工法が多くなっている。RCD工法は、フィルダム建設工法の経済性を追及し、汎用施工機械を主体とした大量打設により、工期の短縮を計ると共に、最近のダムサイトの条件変化にも合理的に対応しようとするものである。

このような施工法の変革により、コンクリートの運搬設備に対しても、その要求が変化した。即ち、従来工法では、ダム堤体のどの部分にも、3次元に運搬できるケーブルクレーン、タワークレーンが主体であったのに対し、RCD工法では、打設平面内の運搬はダンプトラックを用いることが可能なため、垂直面内のみには運搬可能な合理的な設備の開発がなされてきた。

インクラインはこの要求に合致し、しかも合理化施工の主目的である低コスト、高能率化を可能とする設備として最適である。

従来のインクライン設備は、トランスファーカーよりバケット台車がコンクリートを受け、打設面でホッパーにこれを持ち、随時ダンプトラックに供給するというものが一般的であった。しかし、コンクリートの積替えにおいて骨材分離の傾向があること、ブレーキングの効果損失があること、さらに、堤体上に振動ローラやゲート構造物等搬入のために他の設備が必要であることなどの欠点もあった。これら技術的、経済的問題を解決するため、コンクリートを搭載したダンプトラックを直接運ぶことが可能なインクライン設備の開発が求められていた。

1986年(昭和61年)関東地方建設局宮ヶ瀬ダム建設用としてダンプトラック搭載式インクライン設備を実現すべく検討に着手し、関係機関の協力を得ながら研究開発を進め、1991年(平成2年)にこれを完成した。

本設備は、コンクリート品質を損なわずに大量打設を実現したのみならず、振動ローラやトラッククレーン等の重機の堤体上への搬入を分解なしで迅速に行うことが出来る等、RCDダム施工に変革をもたらしたと云っても過言ではない。

以下、ダンプトラック搭載式インクライン設備をその設計思想を中心に報告する。

2. 宮ヶ瀬ダムの概要

宮ヶ瀬ダムは、神奈川県相模川水系中津川に建設省直轄工事により建設中の、堤高15.5m 堤体積2,000,000³mと云う首都圏最大の重力式コンクリートダムであり、その施工法としてRCD工法を採用している。本ダムは、利水対策、治水対策、発電を目的とする多目的ダムである。ダム緒言を表-1に示す。

3. 計画の概要

計画の立案に当たり、ダムサイトの地理的条件、および建設工期より決まる要求仕様を表-2、図-1に示す。

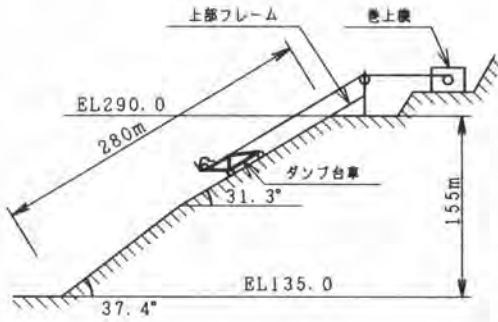


図-1 基本緒言

表-1 宮ヶ瀬ダム緒言

型式	重力式コンクリートダム
堤高	155.0m
堤体積	約2,000,000m ³
非越流部標高	E.L. 290.0m

表-2 インクライン設備仕様

軌道勾配	31° 18'、37° 24'
軌道全長	280m
高低差	155m
運搬能力	105m ³ /hr × 2基
積載重量	最大42t * ¹
巻上総重量	83t

*¹: 最大積載重量は、コンクリート9m³を積んだ重ダンプの合計重量である。

他の搭載機械は、最大42tまでとし、ブルドーザー、トラッククレーン、ホイールローダー、目仕切り機、振動ローラ、タイヤローラを対象とした。

(1) 運転速度の決定

台車の運転速度は能力確保、設備コスト、ランニングコストに直接影響するもので適正なものではなければならない。要求能力105m³/hr・基を確保するためのサイクルタイムTは

$$T = \frac{9 \text{ m}^3}{(105/60) \text{ m}^3/\text{min}} = 5.14 \text{ min} = 308 \text{ sec} \quad \text{となる。}$$

本設備は、コンクリートを積載したダンプトラックが台車に乗り、台車を下降させ打設面に着床後、ダンプトラックは降車する。さらに待機していた空ダンプが乗車し出発点まで戻り降車するまでを1サイクルとする。その運転パターンを図-2に示す。

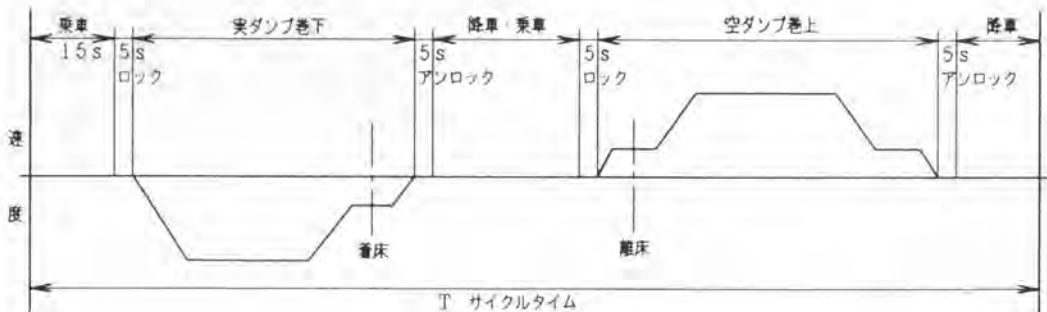


図-2 運転パターン

- (a) サイクルタイム検討の上で、ダンプトラックの乗降時間をどうとるかが議論の対象となり実験運転等、調査検討の結果それぞれ15秒とした。
- (b) 実ダンプ搭載時と台車のみでは、ロープの伸びの差があり乗降時危険であるため台車を堤体上に着床させロープ張力を抜く運転をおこなうこととした。
- (c) 台車上のダンプトラックに対する車止め装置を設けているが、この動作時間(ロック、アンロック)それぞれ5秒をサイクルタイムに含めた。

この運転は、決められたパターンに従ったもので、スタート指令の後、停止まで自動運転とした。適正な加減速度と作業効率を加味し運転速度を求めると $v=174\text{ m/min}$ となり、定格速度を 180 m/min (3 m/sec)に決定した。

(2) カウンタバランス式の採用

総重量83tを定格速度 180 m/min で運転するために必要な動力は 1400 KW /1基となり、設備費は勿論、ランニングコストが膨大となるためカウンタバランス方式、所謂つるべ式を採用した。カウンタバランス式とすることにより必要動力は 450 KW に低減された。

図-3にカウンタバランス式の説明を、図-4に宮ヶ瀬ダムインクラインの全体配置を示す。

巻上機ドラムでトルクを相殺する方式とした。

ダンプ台車用軌道は、ダム建設が進むに従い堤体内に埋設されるが、ウエイト台車のための軌道はダム完成まで全長を必要とするため、堤体を外して配置している。

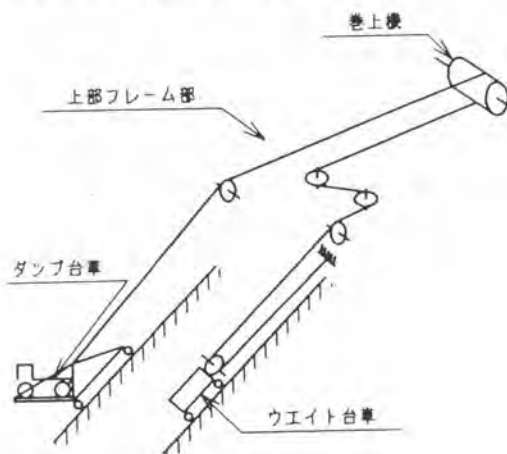


図-3 カウンタバランス方式



図-4 配置全景

(3) 適用法規

本設備は、労働安全衛生法「軌道装置及び手押し車両」が適用されるが、さらに運輸省「鋼索鉄道の構造基準」、通産省「鉱山保安規則」を参考とした。特に人が乗る設備であり、安全に係る条項についてはこれをできるだけ準拠した。

4. 構造と機能

主要構成要素とその機能は以下の通りである。

(1) 巻上機

450KW直流電動機より減速機を介しドラムを駆動するもので、ダンプ台車用ロープ2本を巻取り、ウェイト側のロープは逆方向に巻き、ドラム軸トルクで相殺しバランスさせている。

減速機入力軸に常用ブレーキを、ドラム軸には万一の駆動系の損傷による台車の暴走を防ぐため、ケーブルカーや鉱山巻上機で多くの実績のあるポスト式エアブレーキを装備している。特に非常停止時の衝撃を緩和するためのトルク特性を持っている

(2) 上部フレーム

上部フレームはロープの方向を変えるためのシープ等を有する鉄骨構造物である。ヘッドシープには荷重検出装置を設け、過荷重防止、ダンプ台車の着床、離床検出を行っている。

(3) ダンプ台車

ダンプ台車の構造を図-5に示す。台車は20tダンプが無理無く乗車でき、トラッククレーンも搭載できる広さを持っている。右前方に操作室を設け常時操作員が乗る。台車前方にダンプ乗降用ゲートを設けているが、着床時以外は常に上げた状態とし、落下防止の機能を持たせた。ダンプ定位値では、タイヤに対しロック装置を作動させる。ゲートやロック装置の駆動はクリーンな空気圧方式を採用した。

台車下面には着床検出装置があり、この検出信号を基準として各種の安全運転制御を行っている。

台車後輪付近に非常停止装置を装備しており、万一、ロープが切断した時、また規定速度以上に過速した時、機械的にこれを検出しレールを掴み台車の落下暴走を防ぐことができるもので、工場内で等価制動試験を実施し、その性能を確認した。

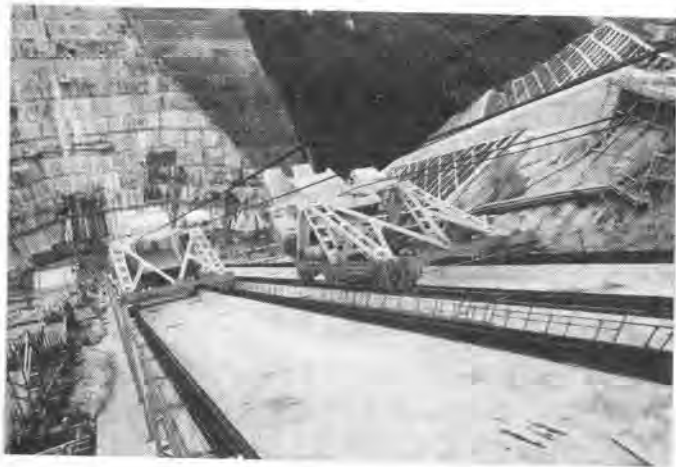


図-5 ダンプ台車

(4) ロープ

ロープの強度は労働安全衛生法に従い、静的安全率を10以上としたがさらに、鉱山保安法による計算方式により最大総荷重に対する安全率を5以上となるロープを選定した。採用したロープは、以下の通りである。

構成 : 異形線ストランドロープ IWRC 6×WS (36)

直径 : 60mm (破断荷重 288t、外層索線径 3.07mm)

(5) ウェイト台車

ウェイト台車用軌道はダム堤体を外し設置するため、ダンプ台車の移動量に対応した距離が確保できないことからロープをダブルにした。ウェイト台車には人が乗らないが、周囲の状況からダンプ台車と同等の安全性を持たせるべきとの議論から非常停止装置を装備した。

5. 電気制御

本インクライン設備の電気制御系構成において考慮すべき事項は以下の通りである。

- ①人を乗せる設備であること。
- ②大容量設備（荷重が大きく、高速）であること。
- ③高頻度（コンクリート打設のデューティーサイクル）であること。
- ④打設進行に伴い着地面が上昇すること。（自動運転時の停止点に変化する）

システム全般の信頼性、安全性確保と、負荷条件をもとに電動機駆動とその制御方式が具体的検討事項である。

電動機側からみた本設備の負荷としての特徴は、次の事項があげられる。

- ①カウンターウェイトによるつるべ方式であり、台車上の重量の大小でダンプ台車の運転方向に関係無く、巻上負荷にも巻下げ負荷にもなり得る。
- ②ダンプ台車軌道、ウェイト台車軌道にいずれも屈曲点があり、負荷トルクが急変する。
- ③ロープ重量が大きく、斜面距離が長いと、負荷に占めるロープ重量が無視できない。

これら負荷特性により台車が1方向に運転する間に電動機は力行と回生領域の間を遷移する。この特性に加え、運転能率を向上させるため、通常の運転パターンである実ダンプ巻下、空ダンプ巻上の運転では、電動機の定出力制御が必要である。

上記負荷特性に対し、所定の運転パターンの運転を行なわせ、かつ負荷トルクに対応した定出力制御を行なうため、450KW・DC440V・475/950rpm・ $T_{max}200\%$ の直流電動機をサイリスタレオナード方式にて駆動する方式を採用した。

6. 安全性

本インクライン設備は、台車上に直接コンクリートを積載したダンプが乗降することから、人が乗ることが前提となっている。このため安全性の確保が最重要課題であり、計画時に下記の点について検討を行った。

一連の運転が

- ①正しい操作によって開始されること。（フールプルーフとなっていること）
- ②規定された速度で運転されること。
- ③規定された位置で減速を開始し、規定された速度で停止すること。
- ④機器の故障に対し、安全に停止できること。（フェールセーフとなっていること）

が要求される。これを満足するために監視すべき項目を設定し、各監視項目に対し異常発生時の停止処理を3段階に分け、制動機を使い分けし、安全性の確保を図った。（表3）

表-3 監視項目と非常停止レベル

非常停止レベル	監視項目	
常用停止 [回生ブレーキ 電磁ブレーキ×1台]	1) 非常ブレーキ空気圧異常 2) 運転条件異常 3) 過荷重	4) ダンプ過載
非常停止1 [電磁ブレーキ×2台]	1) 全域速度監視異常 2) 位置検出異常 3) 減速予告異常	4) 着地位置異常 5) 接地 6) DCM過熱
非常停止2 [電磁ブレーキ×2台 ポスト型ブレーキ]	1) 非常停止操作 2) 車両非常停止 3) サイリスタ盤故障 4) シーケンサ盤故障 5) 常用ブレーキ異常 6) 非常ブレーキ動作異常	7) 過速(115%) 8) 過巻・過卸 9) 50%減速異常 10) 着地速度異常 11) 誘導無線異常 12) ロープたるみ

7. 本体打設における稼働実績

(1) 運転実績

1991年(平成2年)10月より稼働を開始し、計画通りの打設実績を得て、1994年6月30日現在1,846,000m³の打設を済ませた。この間月最大打設量は113,000m³の記録を残した。実運転時間(点検整備時間を除く)に対するコンクリート運搬時間は80%で他の工法と同等以上であった。

(2) 特記すべき効果

積替え回数が少ないことによるコンクリート品質確保は勿論、ロスタイムが少なく計画値通りの能力が確保できた。また、RCD工法に使用する重機械は全て搭載できることと、45tラフタクレーンまで搭載可能であることから、堤体内外への搬出入が自由で放流設備等の資機材の搬出入にも利用でき、従来の設備に対し煩雑さが無く作業効率が向上した。言い替えれば刻々変わる打設面に工事用道路が敷設されるのと同等の設備と云える。

8. おわりに

1986年、ダム建設のためのダンプトラック搭載式インクライン設備の具体化に着手して以来、経済性と信頼性を重点に建設省が主体となり開発を進め、宮ヶ瀬ダムの建設においてその成果が実証された。全く実績のない“無”からのスタートであったが、従来型インクライン設備の使用実績とケーブルカーなどに代表される類似設備の既存技術をベースとし、関係各位の御助言をいただきながら無事完成することができた。ダム施工の合理化とは、施工機械の開発を意味するものであり、本インクライン設備がその一助となり得たものと確信する。

今後、特に運用面に改善を加え、さらに他分野への応用も積極的に図ってゆきたい。

69. 骨材の真空冷却工法の開発

建設省：小合澤 辰雄

(財)ダム技術センター：西田 穂積

大成建設(株)：松谷 真二・*安倍 善悦

1. まえがき

近年、大規模ダム、長大橋の下部工、LPGタンク基礎、原子力発電所のベースマット等コンクリート構造物の規模が大型化すると同時に、急速マスコンクリート施工が要請されている。

これらのコンクリート工事においては、セメントの水和熱に起因するコンクリートの温度上昇の最高値及び、コンクリート内の温度勾配を小さくして、コンクリートに生じる温度応力を低減させることによって、コンクリートのひび割れの発生を防ぐことが、構造物の耐久性、機能性の点から重要な課題である。マスコンクリートの温度ひび割れの防止対策としてコンクリートの練上り温度を低下させる「ブレーキング」が有効な手段として用いられている。ブレーキング方法は、練りませ水の冷却、砕水の使用、骨材の冷水散水や冷風吹き込又最近では、液体窒素(LN₂)を利用した工法も開発されている。

今回、従来からブレーキングがしにくいとされているコンクリート材料の細骨材及び粗骨材を直接冷却する方法で、骨材の表面水が蒸発する際に気化熱が奪われることを利用して冷却する「真空冷却工法」を開発、実施した結果を報告する。

2. 基本原理

水は沸騰、蒸発する時に気化熱を吸収する。

水が沸騰する温度は、常圧(760mmHg)では、100°Cであるが、図-1のように、圧力が下がると沸騰する温度も下がり、たとえば、4.58mmHgまで減圧すると0°Cでも沸騰する。真空冷却工法はこの原理を応用し、骨材を真空容器に入れて減圧し骨材の表面水を蒸発させることによって骨材を冷却するものである。

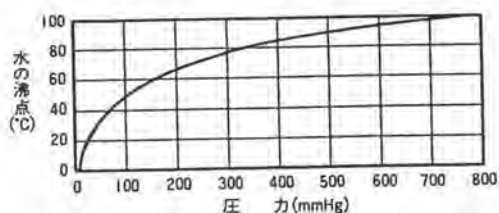


図-1 圧力と水の沸点

3. 真空冷却設備

骨材の真空冷却設備は真空冷却槽、真空排気装置、骨材供給排出装置から構成されていて、冷却システムの概念図は図-2に示すとうりである。冷却のシステムは骨材を真空冷却槽に投入して真空ポンプによって冷却槽内の空気を排気する。圧力が降下すると骨材の表面水が蒸発し、骨材の温度が低下する。蒸発した水分はコールドトラップ通過中に冷却され結露し、水蒸気中の空気分だけが真空ポンプに導かれ排気される。この操作を連続的に行い、真空槽の中の圧力を数mmHg程度まで降下させると、骨材の温度は2°C前後まで冷却される。そして、このシステムは骨材の供給から冷却、排出まで全自動で行い、真空度と排気時間を設定することによって、骨材の冷却温度を任意に制御する。

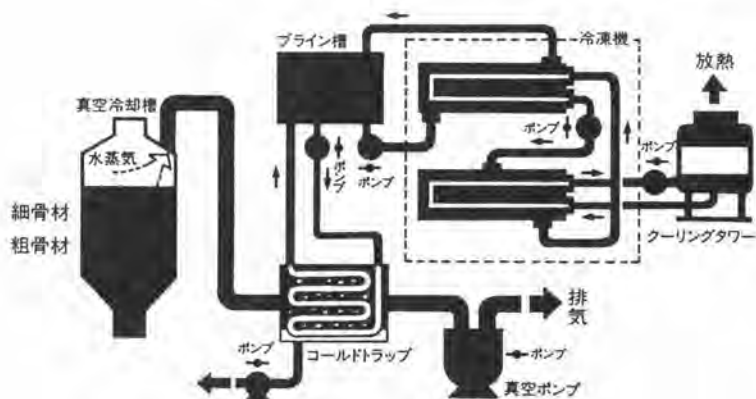


図-2 冷却システム概念図

4. 実施例

(1) 三国川ダム

骨材の真空冷却工法は、平成元年～2年に洪水吐き減勢工部、副ダムの夏期コンリート打設に実施した。真空冷却を行う骨材を2種類とし、配合から比較的单位量の多い細骨材の細砂と、粗骨材の25mm～5mmを冷却することにした。三国川ダムで使用した骨材真空冷却設備を図-3に示す。容量 5m^3 の真空冷却槽2槽（細砂と25mm～5mm）と1組の真空排気装置及び、骨材の供給排出装置からなり、細砂と25mm～5mmを交互に冷却して、各々15分間の冷却でコンクリート量換算で時間当たり 25m^3 の骨材を冷却する能力を有している。冷却設備の主要機械を表-1に示す。

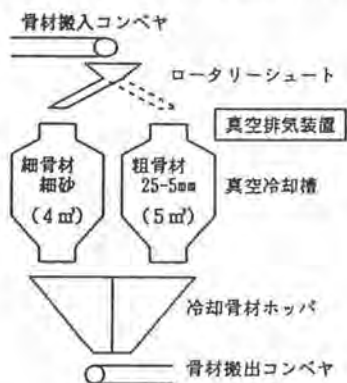


図-3 骨材真空冷却設備

表-1 真空冷却機械設備

名称	仕様	台数	備考
真空冷却槽	鋼製円筒型 φ1.8m×H5.5m 有効容量 5m^3	2	
真空ポンプ	排気量 6500 l/min	3	$7.5\text{kW} \times 3$
冷凍機	冷却能力 300000kcal/h	1	135kW
コールドトラップ	φ1.62m×L 4.0m	1	

細骨材の冷却特性を図-4に示す。23℃の細砂が19分で平均2℃まで冷却されている。槽内の温度分布は上部、中央部ではほぼ均一であるが、隔壁の内下部で数度高くなっている。図-4では、真空槽の真空度を温度に対応して示してあり、槽内の気圧が骨材温度に対応した飽和蒸気圧まで下がると冷却が始まり、沸騰温度より2℃遅れ程度で冷却が進んでいる。粗骨材25mm～5mmの冷却特性は図-5に示すとうり、細砂と同様な冷却特性を示している。25mm～5mmの場合、槽内の温度差はほとんど

ないが、冷却が進むにつれ表面水が少なくなり温度降下の効率が悪くなっている。骨材の品質は、比重、吸水率、粒度分布、単位容積重量、洗い損失、安定性、すりへり減量等について真空冷却の前後で試験した結果、細砂、25mm～5mm共に品質の変化は認められなかった。ただし表面水率は20℃程度の温度降下のもとで、細砂25mm～5mm共に、約1%低下している。ブレイクリングしたコンクリート温度は、図-7のとおりで気温が30℃を越す日中でも22℃以下でコンクリートを打込むことができた。各材料温度から、冷却温度を分析した結果、図-6のよおに、全部で10.2℃のブレイクリングがなされ、その内、骨材真空冷却で6.3℃、冷却されたことが確認できた。

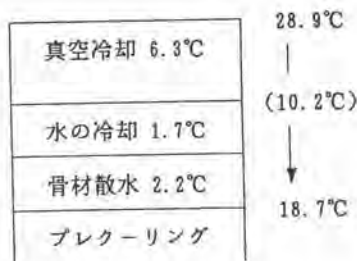


図-6 冷却効果分析

(2) 小玉ダム

福島県の小玉ダムは、堤高102m、堤頂長280m、堤体積554,000m³の重力式コンクリートダムで、RCD工法で施工中である。コンクリートの打設期間は平成3～6年で、計画の暑中コンクリート量は約10万m³あり25℃以下で打設するためには、練り混ぜ水の冷却だけでは不足で骨材の真空冷却を適用した。小玉ダムではバッチャープラントに隣接して骨材真空冷却設備を設置し、バッチャートップから粗骨材(20mm～5mm)をベルトコンベヤで取り出し、真空冷却後、急傾斜コンベヤでバッチャートップの受材ビンに貯蔵した。真空冷却では、真空排気時間により骨材の冷却温度を制御する。小玉ダムでは、コンクリート練混ぜ時の各種材料の温度計測システムを設け、コンクリート練上り温度の予測と実測により、粗骨材20-5mmの冷却温度を決定し、真空排気時間を制御して、練上りで24℃以下のコンクリートを製造した。ブレイクリングの状況は図-8のとおりである。平成5年まで約5万m³暑中コンクリートのブレイクリングを実施し、気温が30℃を超える日中でも、打込み温度25℃以下を達成した。

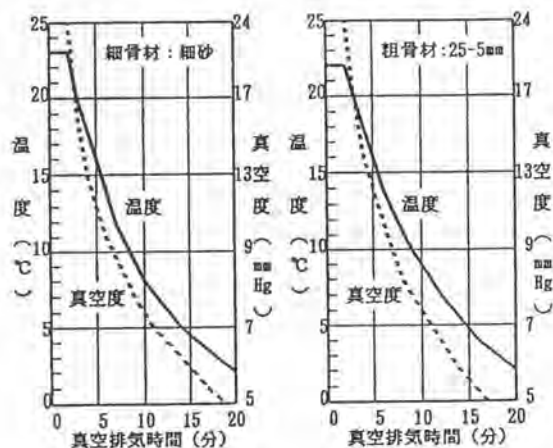


図-4 細骨材冷却特性

図-5 粗骨材冷却特性

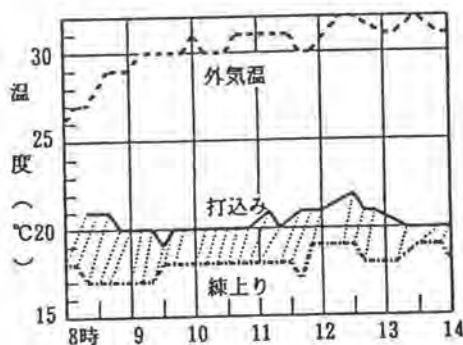


図-7 コンクリート温度実績

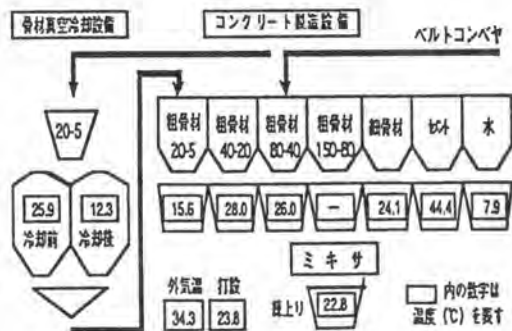


図-8 小玉ダムプレクーリング状況



写真-1 小玉ダム骨材真空冷却設備

5. まとめ

骨材真空冷却は、特に材料を使わず、細骨材や粗骨材を短時間に効率良く冷却できるので、運転費が安く、コンクリート温度の制御範囲が広いのが特徴で、冷却温度が低く、大量のコンクリートを冷却する場合は、経済的な方法である事が実証されつつある。これまでは設置されているプラントに適用していたが、計画段階から適用することを検討している。群馬県、四万川ダムでは、温泉地に隣接しているため夜間工事ができないので、骨材の調整ピンを真空冷却槽とすることにより、夜間の工事休止時間を有効利用し、骨材を冷却する方法を実施している。

今後は更に図-9 に示すとおり、冷却骨材の温度上昇を抑え、設備費のコストダウンを図る

ためバッチャープラントの骨材受材ピンを真空冷却槽にして、骨材を冷却するプレクーリング方法を設計中である。この実証実験を進めることにより骨材真空冷却工法は、安全、確実に経済的なプレクーリング工法として、発展することが期待されている。

参考文献

- 1) 小合澤辰雄他：骨材真空冷却によるコンクリートのプレクーリング、ダム技術 No.36, 1989
- 2) 飯田一彦他：防止・抑制工法の実施例(水和熱)、第5回新しい材料・工法・機械講習会講演概要、土木学会土木施工研究委員会、1991.9

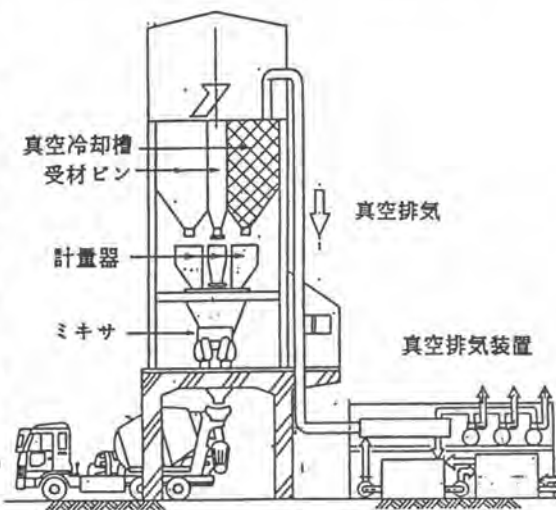


図-9 バッチャー搭載型真空冷却

70. コンクリート表面水処理ロボットの開発

(株)竹中工務店：*菊池 公男・河崎 義信

1 はじめに

コンクリート床工事は深夜・早朝になっても行っているような作業である。このような作業に今後若年労働者の参入を期待するのが無理であり、ロボット化が必要な作業の1つである。コンクリート表面水処理ロボット（以下吸水ロボ）は冬期の床仕上げ作業をできるだけ早く終了させるために開発されたものである。

本報告は吸水ロボットの概要と実施結果、今後の課題等について報告するものである。

2 開発のねらい

コンクリート打設から仕上げまでの一連の作業を自動化するねらいがある。吸水ロボットはそのうちのひとつとして位置づけられる。このねらいを達成させるためには図-1に示す各種のロボット技術の確立とそれらをうまく運用するシステムづくりが必要である。図において従来のポンプ工、土工、左官工によって行われていた作業を多能工で行うシステムを提案している。現在工場等の床工事においてスクリードロボとサーフロボを組み合わせた施工を実施して効果を上げており、従来の均し、仕上げ作業を左官工だけで行えるようになってきている。しかし、水平デストリビュータの工場床への適用は効果が少なく完全なシステム化施工にまで至っていないのが実状である。最近簡易なデストリビューターが開発されており、今後が期待できる。

この一連のロボットの中で吸水ロボはコンクリートの硬化時間を短縮することをねらいとして開発されたものである。特に冬期においては深夜、早朝作業になるのが常で、それを4～5時間短縮することにより、労働環境の改善と工期の短縮を図ることが出来る。

3 吸水ロボの概要

3.1 機器構成

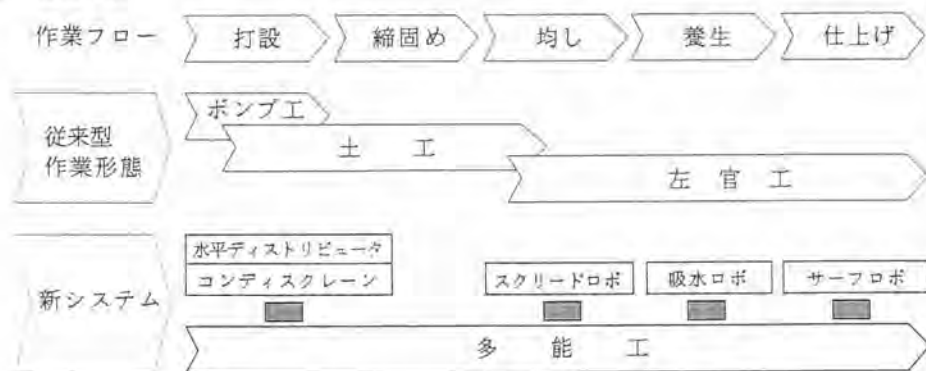


図-1 コンクリート工事作業のシステム化

図-2 に吸水ロボの概略図、写真-1 にその概観を、表-1 にその主な仕様を示す。

吸水ロボは歩行を兼ねた2枚の吸水板、吸水を行う真空ポンプ、歩行を行うためのスライドフレームおよび制御盤等によって構成される。駆動源としてはエンジンが用いられ、発電機によって真空ポンプ、各モーター、コンプレッサーが作動する。操作は無線リモコンによって行われ、手動・半自動の機能がある。吸水された水は左右に設けられたタンクに貯め、満杯になればコンプレッサーで強制排水する。

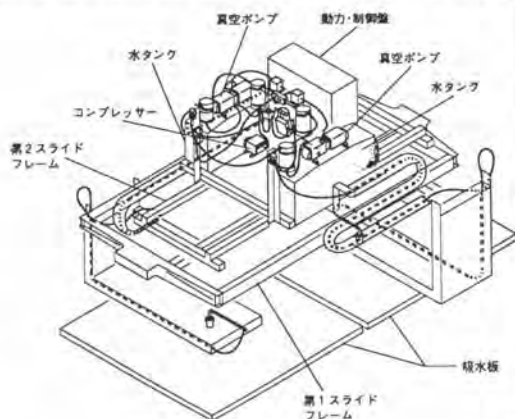


図-2 吸水ロボ概略図



写真-1 吸水ロボ

表-1 主な仕様

外径寸法	L2200×W1490×H1230
重量	720kgf (乾燥重量)
水タンク	30ℓ×2
エンジン	750VA
真空ポンプ	-400mmHg 100ℓ/分
無線	50m

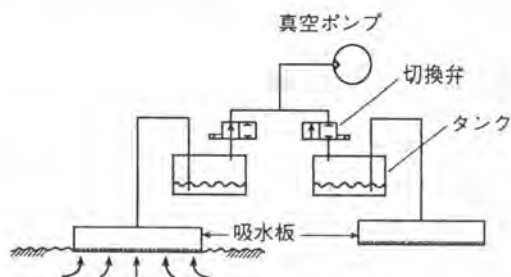


図-3 吸水の原理

3. 2 吸水の原理

図-3 に吸水の原理を示す。真空ポンプ、タンク及び吸水板より構成され、500mmHg前後の真空圧によりコンクリートの余剰水を吸水する。

3. 3 歩行の原理

図-4 に歩行の原理を示す。この吸水ロボは2枚の吸水板を足とし、片方の足が吸水しているときにもう一方の足が後方から前方に移動して歩行する。このとき重心位置のバランスをとるために、移動する足と反対方向に制御板を移動させる。この一連の動作を図-4の1から5に示す。後進も同じ方法で行われる。旋回は、図-4の1、5の状態において下部の吸水板を軸にして全体を90度回転させた後、上部の吸水板を前進させて図-4の1の状態にし、同じ動作をもう1回行い図-4の2の状態にして行われる。

歩行させる吸水板をコンクリート面から上昇させるとき、吸水板の下は真空状態にあり、無理に上昇させるとコンクリートごと剥離してしまうため、コンプレッサーによりエアーを送って大気圧化してから上昇させるようにしてある。

4 実施結果

4.1 真空圧と吸水量の関係

図-5は真空圧を変化させたときの吸水量を調べたものである。図を見て分かるように吸水量は真空圧にほぼ比例している。このときのコンクリートはスランプ18cm、骨材粒度20cm、強度220kg/cm²である。真空圧を増加することにより吸水はコンクリートの表面から深い(5~6cm以上)ところに達する。吸水板の下部の真空度をいかに高めるかが重要で、その方策としてフレーム下部の周囲に高さ約10mmの3角形状のゴムシールを張ってある。コンクリートが硬くなりすぎたり、骨材等がシールの下に当たった場合、エアーが進入し所定の真空度に達しないことがある。なお、施工効率を考えた場合、所定の真空度に出来るだけはやく到達させることが必要である。吸水量は最初の30秒で全体の8~9割吸水される。夏期のスランプ12cmのコンクリートに対する実施例では平均0.4%³/m²であったが、1994年1月の実施例ではスランプ18cmで1.2%³/m²の吸水量があった。

4.2 施工能率

図-6は吸水ロボのサイクルタイムを示したものである。一方の足が上昇・移動・下降の動作を行う間もう一方の足が吸水する。吸水時間は現在ロムの交換により3段階に設定されている。吸水時間を40秒に設定したときの1サイクルは93秒である。このときの施工能率は時間当たり60m²である。

吸水時間が長い方が吸水量は多くなるが施工能率を上げるためには吸水時間を短時間にする必要がある。コンクリートスランプが低いとき及び気温が高いときはできるだけ吸水時間を短くした方がよい。

4.3 時間の短縮

表-2は1994年1月13日に実施した例である。スランプ18cmのコンクリートで吸水した場合としない場合で比較すると3.5時間短縮されているのが分かる。吸水時間をもう少し長くすることによってねらいど通りの効果が期待できると思われる。

4.4 表面強度

シュミットハンマーにより表面強度を測定した結果、1週、2週強度とも約20%アップしているこ

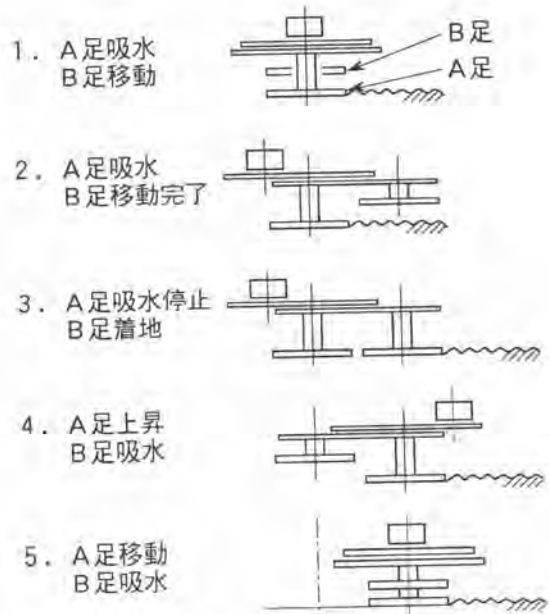


図-4 歩行の原理

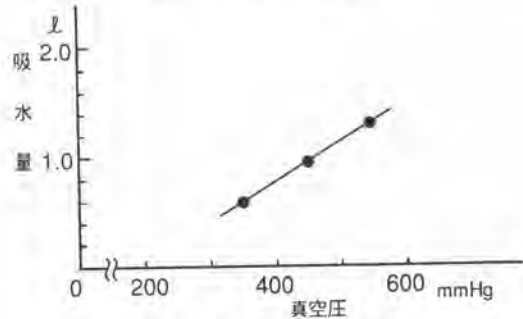


図-5 真空圧と吸水量の関係

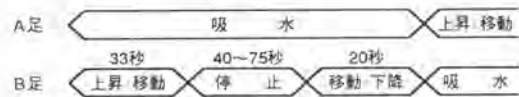


図-6 サイクルタイム

とが分かった。これは基礎実験結果と一致している。

5 吸水ロボの問題点

これまでの実験、施工結果より抽出された問題点を以下に上げる。

(1) 重量が重すぎる。

当初の要求性能300kgにたいし、720kgと大幅にアップした。ロボットを構成するエンジン、真空ポンプ、モーター等の重量が重いことのほか、重量バランスをとるために制御板をスライドさせる方式に変更したことによるレールの追加、真空度を確保するために吸水板に必要な剛性上からの材料アップ等が原因と考えられる。

(2) 操作性が悪い。

動作モードが多いため操作が複雑になっていることと2枚の吸水板に前後あるいは左右の区別がないためである。その結果手動運転の場合特に時間がかかる。

(4) 可搬性が悪い

重量が重いため揚重施設の他コンクリート打設箇所への水平運搬施設が必要である。

(5) コストが高い。

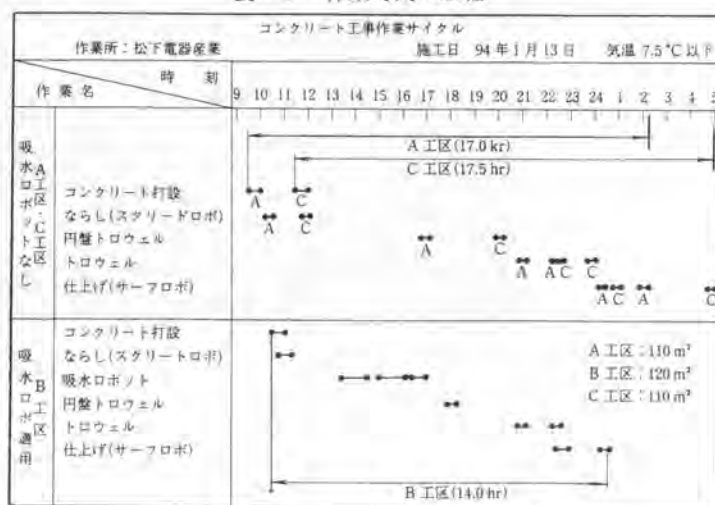
これまで多くの建設ロボットが開発されてきたが一般に普及されていない原因の1つとしてイニシャルコストが高すぎることがあげられる。基本的に建設ロボットは各専門工事業者が保有するものであり、できるだけ安価なロボットが必要である。

6 おわりに

今回開発した吸水ロボは重量、コストの面で要求性能を満足することが出来なかったが、吸水量、施工能率等をクリアーしており、当初のねらいを達成する目処が立った。

これまでの打設、均し、仕上げロボットに吸水ロボが加わり、コンクリート工事に対する自動化がより効果的に進むものと思われる。今後は、今回開発した吸水ロボによる冬期での効果把握と実用機の製作及び4機種 of ロボットによるシステム化施工へと発展させていきたい。

表-2 作業時間の短縮



71. 大規模ダムของคอนกรีต生産設備・運搬設備

～大型コンクリートプラント・ベルトコンベヤシステム～

水資源開発公団：辻 輝昌・*矢幅 卓夫
佐々木 勝人

1. はじめに

浦山ダムの施工機械設備の特徴に、原料骨材輸送から製品骨材輸送はもちろんのこと、コンクリート運搬設備にいたるまで、すべてベルトコンベヤを使用したことがあげられる。(写真-1)参照。

このように一貫したベルトコンベヤシステムの導入は、大量安定供給を主目的として計画されたものであり、大規模ダム、特にRCD工法を採用するコンクリートを運搬する設備に適用したのは、わが国で初めてのものである。

当ダムのダム施工機械設備の概要については、以前に本誌(92年6月号)で紹介しているので、本稿においては、大規模ダムのRCD用コンクリート生産、および運搬用に開発され、現在実稼働し、実績を挙げているコンクリートプラント、およびベルトコンベヤシステムについての現況等を報告する。

2. コンクリートプラントの概要

浦山ダムは、荒川水系浦山川に建設中の堤高156m、堤頂長372m、堤体積約190万 m^3 の重力式コンクリートダムであり、最盛期を迎え、本年6月には、月最大打設量10万 m^3 を記録し、本年7月末現在で、91万 m^3 のコンクリート打設が完了し、平成8年春期の概成を目途に奮闘中である。

本ダムのコンクリート生産・コンクリート運搬設備は、ダムの大部分を占めるRCD用コンクリートのための設備である。(写真-2)参照。



写真-1 設備全景(コンクリートプラント・ベルトコンベヤシステム)



写真-2 コンクリートプラント全景

コンクリートプラントは、急峻な地形の関係でダム上流左岸、ダム堤高の中段に相当する標高に設置し、ミキサは本邦初で、世界的にも類を見ない大型の二軸強制練りミキサで容量は、4.5 m³×2台形と3.0 m³×1台形の2基で、混練りには、油圧可変速式を用いてモルタルを高速で先練りしたあとに粗骨材を投入する方式である。

おのおのの諸元は、(表-1)参照。

この方式を採用したのは、コンクリートの品質の安定、および最大150mmの粗骨材を使用すること、ならびに混練り時間の短縮を図ることができ、大混練能力は、4.5 m³×2台形ミキサのサイクルタイム120秒で、270 m³/h、3.0 m³×1台形ミキサのサイクルタイム85秒で、127 m³/h、最大合計で397 m³/hを混練りする能力を有している。

このミキサに合わせ、受材室についても国内最大級の容量を有している。

主として、4.5 m³×2台形ミキサは、RCD用コンクリートを、

3.0 m³×1台形ミキサは、モルタル、およびRCD用コンクリート以外のコンクリートを受け持ち、RCD用コンクリートのみを打設する場合は、3.0 m³×1台形ミキサが、4.5 m³×2台形ミキサを応援する最大397 m³/hの混練りを可能としている。(写真-3)(図-1)参照。

また、制御装置は、2基の同時操作を考慮して一括、制御できるように中央操作室に設置した。

浦山ダムは比較的、市街地に近いこと、ならびに昨今の環境問題等を考慮して、種々の対策を講じている。

一例としては、夜間のコンクリート打設時に発生する騒音の影響を軽減するために、骨材の受材室から、ミキサ室まで運転時の微振動に起因する騒音に対して、1.2mmの亜鉛引鉄板に、厚さ3mmの特

		4.5 m ³ ×2台形	3.0 m ³ ×1台形
ミ	数 量	1 基	1 基
	形 式	2 軸 強 制 練 り	2 軸 強 制 練 り
	容 量	4.5 m ³ (1台当り)	3.0 m ³ (1台当り)
	排 出 方 式	空 気 圧 シ リ ン ダ 式	空 気 圧 シ リ ン ダ 式
キ	駆 動 方 式	油 圧 式	油 圧 式
	油 圧 ユ ニ ッ ト	電 動 機 75kw×2 台	電 動 機 55kw×2 台
	材 質 (胴 内 部 側 部) (胴 内 部 底 部) (羽 根) (主 軸)	耐 摩 耗 鋼 板 ハ イ ク ロ ム 鋳 鉄 ハ イ ク ロ ム 鋳 鉄 ク ロ ム モ リ ブ デ ン 鋼	耐 摩 耗 鋼 板 ハ イ ク ロ ム 鋳 鉄 ハ イ ク ロ ム 鋳 鉄 ク ロ ム モ リ ブ デ ン 鋼
主 集 塵 装 置 付 建 屋 属 セ ン 輸 送 貯 蔵 設 備 受 電 ・ 動 力 設 備 制 御 ・ 照 明 設 備	コ ン ク リ ー ト ホ ッ プ 1 式 1 式 1 式 1 式 1 式 1 式	1 式 1 式 1 式 1 式 1 式 1 式	

表-1 コンクリートプラント諸元

殊配合ゴムを接着させ、遮音材として外壁に取り付けたほか、吸音材として計量室、および混練室の内装に厚さ50mmのグラスウールを張りつけた。

防音効果は、コンクリートプラント運転時に、室内音源102dB(A)に対して、建屋外で約30dB(A)、混合室で約25dB(A)の減音が実測として認められた。

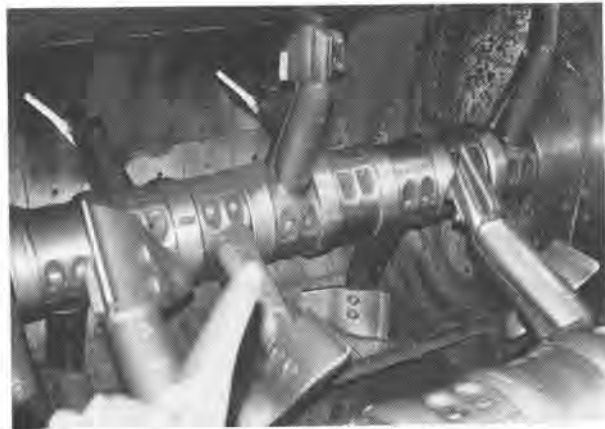


写真-3 4.5 m³×2台形ミキサ内部

3. コンクリートプラントの現況

本設備は、主にRCD用コンクリートを4.5 m³×2台形ミキサで、有スランプコンクリート・モルタルを3.0 m³×1台形のミキサで常時は混練りし、RCD用コンクリートのみの時に、2基のプラントで最大397 m³/hの混練りを行う事としているが、粗骨材は、大部分が硬砂岩で150mmの大玉を練るミキサは、ミキサ内部や、ホップ部の損耗がとくに激しくライナ、およびパドルの交換頻度は約10万m³毎である。

これは、骨材が硬い事(シェア硬度78)でライナ等と同等な硬度であるため、やむをえないものであると考えているが、パドルについては、材質を変えるなどの対策を講じたいと考えている。

本プラントは、ミキサに限らず骨材の摺動部などにおいても、損耗が激しく、その補修に追われる毎日であるが、故障と呼ぶには、大げさ過ぎるほどの僅かな故障の発生はあるものの、故障により、打設中止を余儀なくされたことは、幸いにも一度もない。

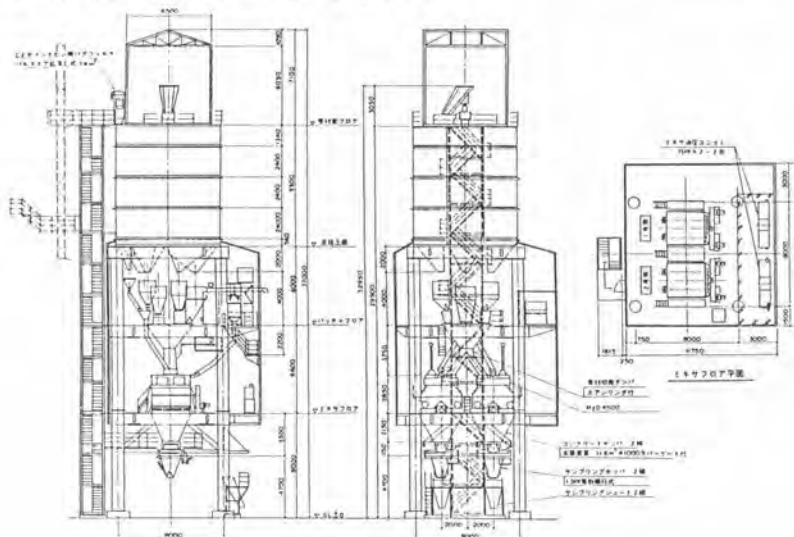


図-1 コンクリートプラント(4.5 m³×2台形)

4. ベルトコンベヤシステムの概要

コンクリート運搬は、コンクリートプラントのホッパから、それぞれのベルトフィーダで引出し、主コンベヤ、およびダム堤体に取付くシフトアップコンベヤ等によって、堤体上のグラウンドホッパに連続的に運搬供給される。(写真-4)参照。

ベルトコンベヤの配置は、数回の実地試験の結果から、とくにベルト速度、俯仰角度等の適正な制約事項を整理し、また、コンクリートの品質面から、骨材の分離対策、セメントペーストの除去等についても考慮して計画した。

シフトアップコンベヤの基数は、ダム堤体が156mと高いため、俯仰角度とリーチの関連を検討して、数種類のケースの評価を検討して、主コンベヤから熊手状に4基の分岐によってグラウンドホッパと結ぶ事にした。

据付は、最下段の河床部と二段目のラインを先行し、三段目と最上段については、ダム高の進捗に合わせて先行したラインを順次、撤去し移設、転用する計画とした。

ベルトフィーダには、コンクリートの供給量を、調整できる切り出しゲートと正転・逆転が可能な構造としている。

これは、打設現場の進捗状況に合わせることで、RCD用コンクリートの最大供給を行うために切り出し調整ができるようにしたものと、ベルトフィーダのスカート部に、粗骨材の噛み込みがあった場合の除去作業を、容易にするために設けたものである。

主コンベヤは、ベルト幅900mm、ベルト速度120m/min トラフ角30°の仕様で、毎時約500m³のコンクリートを運搬する能力を有し、セメントペーストの付着しにくい特殊なコンベヤベルトを採用し、付着した場合の除去を考慮し、スクレーパを2種類装備した。

各ラインへの分岐を行なうベルトコンベヤは、旋回式とし、進捗に合わせて打設を、阻害することなく、切り替えが容易にできる構造としている。(図-1)参照。

シフトアップコンベヤは、打設面の標高に追従するように、俯仰角±18°以内にシフトアップできる形式とし、尾部枠をピンで支持し、頭部は、ダム堤体内に設置したトレスルタワーで受ける約56mのギャラリフレームで結ぶものである。

昇降装置は、トレスルタワーの最頂部に取り付け、2D-1Mのウインチでワイヤロープにより昇降する構造とした。

このトレスルタワーは、打設面の進捗に合わせて埋設されていく形とした。(図-2)参照。

各コンベヤに共通する付属装置として、雨水等の進入を、防止するFRP製のフードを全線に渡って取り付け、コンベヤベルト表面を湿潤状態に保つため、洗浄を兼ねた加湿装置を頭部に装備した。



写真-4 シフトアップコンベヤ

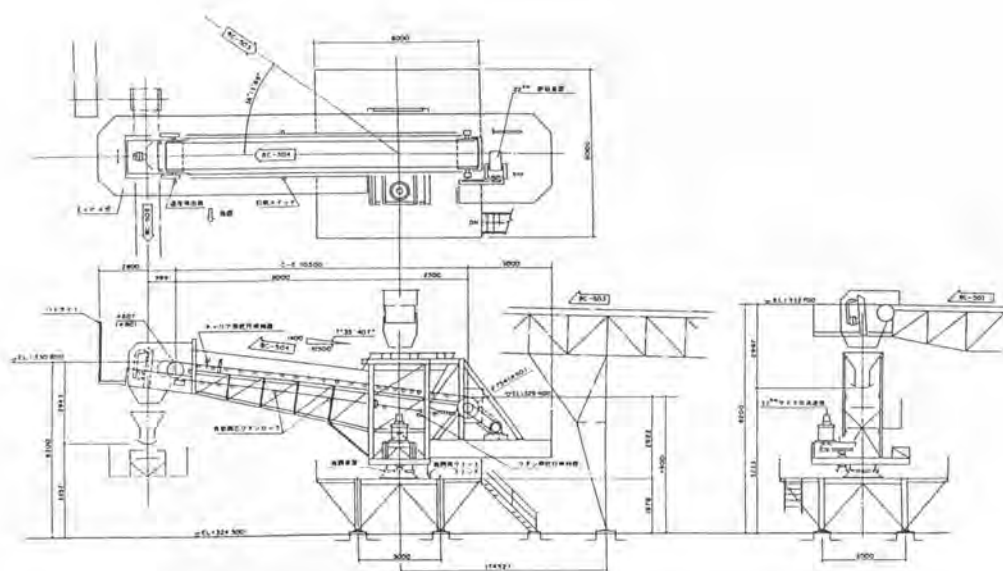


図-1 回転式コンベヤ

この部位には、スクレーパはもちろん、コンベヤベルト表面の水切りを行なう必要から、水切ローラと、水切用のスクレーパをあわせて装備してある。

また、ベルトコンベヤの乗り継ぎ部には、骨材の分離を極力防止するため、乗り継ぎ時の衝撃を緩和するゴム製の緩衝材と空気バネを採用している。（写真-5）参照。

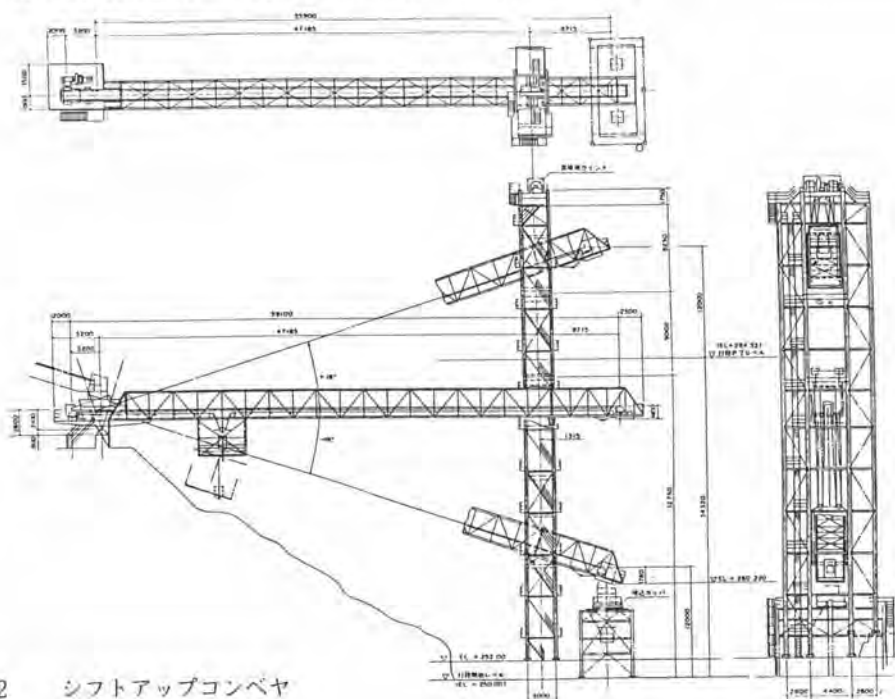


図-2 シフトアップコンベヤ

運転時のトラブルによって、ベルトコンベヤ上のコンクリートを廃棄する必要性が生じた場合を考慮し、ラインの中継点でこれらを排出できるようコンベヤを可逆運転可能な構造とした。

また、打設現場の要求に速やかに対応できるようコンクリートプラント、ベルトコンベヤに関する諸設備の運転システムを集中制御室に納め、一貫した指令で、配合別、運搬量の調整等の作業の効率化を図った。



写真-5 乗り継ぎ部

5. ベルトコンベヤシステムの現況

本設備は、平成4年夏期の初打設から、平成6年7月末現在まで、約89万 m^3 のコンクリートを運搬し、主だった故障もなく、順調にその使命を果たしている現況を紹介する。

ベルトコンベヤについても、大量のコンクリートを運搬しているが、コンクリートプラントと同様に故障も少なく、安定した運搬能力を発揮している。

補修等の内容を分析すると、駆動装置システムのトラブルはなく、主にコンベヤベルトのトラブルである骨材の噛み込みによる縦裂き等の損傷、または、コンベヤベルト面に付着したセメントペーストの除去用のスクレーパに固着成長したものによるベルト面の筋傷等である。(写真-6)参照。

コンベヤベルトの損傷は、復旧に時間を要することから、細心の注意を払って設計したものの、乗り継ぎ部等では、固着成長があり、打設終了時の清掃を充分に行ない、対処している。

コンクリート運搬設備に、ベルトコンベヤシステムを採用し、大量かつ安定供給を、当ダムでは可能にしたが、今後の課題として、コンクリート品質に及ぼす影響を再度、整理する必要がある。

RCD用コンクリートは、貧配合のコンクリートであるが故に、ベルトコンベヤ乗り継ぎ部において、骨材の分離対策、ベルトコンベヤの宿命である微振動の軽減対策、セメントペーストの除去等の対策を行なえば、本システムは、非常に有効なものになるであろう。

本設備の計画・設計・製作等に尽力頂いた方々に御礼をのべ、大型プラント・ベルトコンベヤシステムの現況報告をおわります。



写真-6 スクレーパ

建設機械と施工法シンポジウム論文集（平成6年度版）

平成6年10月3日 印刷

平成6年10月6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 株式会社 東神堂

東京都千代田区神田司町2-14

1994.10. 5.

平成6年度「建設機械と施工法シンポジウム」論文審査担当者

月日	会場	論文番号	テーマ別	時 間	座 長	担当者
1 0 月 1 1 日 (火)	I	1～10	基礎とその機械	9:40 14:00	吉田・村松	三枝和夫
		11～18	トンネルと機械 1	14:10 16:50	奥谷 正	大橋秀夫
	II	37～49	土工・舗装・維持	9:40 15:00	渡辺和弘	高城信行
		50～54	自動化・ロボッ 1	15:10 16:50	村松敏光	内田保之
1 0 月 1 2 日 (水)	I	19～25	トンネルと機械 2	9:40 12:00	猪熊 明	大橋秀夫
		26～36	建築とその機械ほか	13:00 16:50	吉田 正	高城信行
	II	55～63	自動化・ロボッ 2	9:40 13:40	苗村正三	内田保之
		64～71	コンクリートと機械	13:50 16:40	石松 豊	川合雄二

$$17' + 3' = 20'$$

2018/10/5

「平成6年度 建設機械と施工法シンポジウム」プログラム

1. 日 時：平成6年10月11日(火)～12日(水) 9:40～16:50
 2. 会 場：機械振興会館/研修1号室、研修2号室(地下3階)

★10月11日(火) 一 第1会場(研修1号室)

【1】『基礎とその機械』 9:40～14:00

座 長：吉田 正(建設省)

- 1 「軟弱地盤から軟岩まで静かな杭削孔が可能なK-SCAD工法の開発」----- 鹿 島：植田 政明
 嶋井 森幸、※川田 正敏
 2 「大深度掘削が可能な低空頭全自動三軸オーガ機の開発」----- 鹿 島：※三好 勝利、嶋井 森幸
 片上 公正
 3 「シールド工場の自動化システム」----- 鹿 島：吉村 宗男、柴田 学、※磯田 共志一
 4 「無人化ケーソン工法におけるケーソン掘削機回収システム」----- 大成建設㈱：※角田 治郎、松本 正徳
 宮下 政樹
 5 「低重心三軸オーガ機によるソイルセメント連続壁の施工」----- 成和機工㈱：矢嶋 壯吉
 6 「“鉄筋電自動溶接ロボットシステム”の開発と適用」----- 清水建設㈱：※尾之内 和久、渡辺 俊雄
 菊池 雄一
 7 「低空勢型大深度地中連続壁掘削機」----- バウアー工法研究会：前 良一、※渡辺 宏志
 8 「深礎機械化工法(T-VEX工法)の開発」----- 飛鳥建設㈱：大森 了、※堀崎 敏嗣、川村 哲也
 9 「薄膜遮水壁工法の掘削機械とその施工方法(TRUST工法)」----- 大成建設㈱：※有山 元茂、内藤 祐二
 荒井 政男
 10 「深礎内施工機械の開発」----- 建設省(近畿地建)：※久野 啓嗣、福原 功二、西川 正也

【2】『トンネルとその機械/No.1』 14:10～16:50

座 長：奥谷 正(建設省)

- 11 「高水圧対応型シールド工法の開発」----- 株式会社：※田中 若、コマツ：山崎 敏弘、南 好人
 12 「大型油圧ブレイカ掘削工法の開発」----- 鹿 島：園田 健雄、鍛冶 茂仁、※重永 晃洋
 13 「粘性土対応連続土砂垂直搬送装置とその施工計画」----- 清水建設㈱：※市川 誠、久保 裕之
 徳田屋建機工業㈱：羽場 正文
 14 「深さ48m、直径11mの換気用立坑の施工」----- 清水建設㈱：井上 孝俊、※星 幸夫
 15 「アリマッククライマー、レイズドリルを用いた長距離斜坑の施工」----- 電源開発㈱：藤野 浩一
 株式会社：宮川 勝美、※栗田 猛志
 16 「上向きシールドの開発」----- 大成建設㈱：金子 研一、五洋建設㈱：原 修一
 石川島播磨重工業㈱：※伊藤 広幸
 17 「ロータリ・パーカッションドリルによるワイヤラインサンプリングシステムの開発」
 株式会社：丸研工業㈱：梅本 保博、※遠藤 哲哉、万里 武司
 18 「プレイニングマシンによる都市NATM施工」----- 株式会社：※森 利夫、三村 洋一

★10月11日(火) 一 第2会場(研修2号室)

【4】『土工、舗装、維持とその機械』 9:40～15:00

座 長：渡辺 和弘(建設省)

- 37 「自走式自動剪定機の開発」----- 建設省(四国地建)：※泉川 暢宏、岩澤 委式
 38 「高速走行型ロータリ除雪車の開発」----- 建設省(北陸地建)：橋元 和男、※前田 孝司
 株式会社：池野 利夫
 39 「アイスバーン粗面形成機の開発」----- 日本舗道㈱：※藤谷 雅嘉、谷口 昭夫
 株式会社：小松 エスト：小島 敏男
 40 「アスファルトフィニッシャの無型枠施工装置」----- 日本舗道㈱：後町 知宏、田中 智彦、※斉藤 徹
 41 「トンネル内装板清掃機械(交通障害対策型)の開発」----- 建設省(東北地建)：江本 平、※今野 順二
 42 「構造物雪底処理機械の開発調査」----- 建設省(東北地建)：江本 平、※鈴木 只夫
 43 「掘削残土改良装置の開発」----- 東急建設㈱：西尾 仁、※大矢 和久、伊藤 公夫
 44 「バケージタイプの小型泥土改良プラントの作動試験」----- 株式会社：※阪本 廣行、茶山 和博
 中井 康孝
 45 「油圧ショベル用分割式ゴムクローラ“ロードライナー”」----- コマツ：永田 芳行
 46 「ハイドロメカニカルトランスミッション(HMT)搭載ブルドーザの開発」----- コマツ：太田 晋吾
 浅田 久夫、※石野 力
 47 「鉄道道床交換システムの開発」----- コマツ：※松田 晴行、木舟 江治
 48 「凍結路面切削機による冬期道路維持」----- 札幌市：古屋 勇吉、高嶋 道夫、日立建機㈱：※玉井 洋
 49 「多車線道路用凍結防止散佈車の開発」----- 建設省(北陸地建)：倉島 冠、※小浦方 一彦
 株式会社：日本除雪機製作所：佐々木 康悦

【5】『自動化、ロボット化、施工管理/No.1』 15:10～16:50

座 長：吉田 正(建設省)

- 50 「捨石均し機および支援母船の高波浪域施工への対応」----- 東洋建設㈱：※血澤 薫、牧野 栄一、森田 研志
 51 「建設車両自動運転システムの開発(第4報)～複数台無人車両の運転管理システム～」
 株式会社：ハザマ：※斉藤 宏明、筑波大学：油田 信一
 52 「小口径および曲線部に対応した自動測量ロボット“シールド・サーベイ・ロボット・システム”」
 株式会社：東亜建設工業㈱：※井上 伸二、増田 稔、永木 君治
 53 「ラジコン遠隔操作による土砂の掘削および搬出技術に伴う施工支援システム」----- 西松建設㈱：※石井 正典
 桑原 賢孝、小西 保
 54 「地下工事における安全情報管理システムの開発と適用」----- 清水建設㈱：菊池 雄一、※河野 重行
 深井 日出男

★10月12日(水) 第1会場(研修1号室)

【2】『トンネルとその機械/No.2』 9:40 ~ 12:00

座長:猪熊 明(建設省)

- 19 「分岐シールド工法“地下基工法”の開発」----- 西松建設㈱:※内田 克巳、渡辺 徹、大西 徳治
 20 「リングシールド工法のセグメント組立実験」----- 住友建設㈱:※金子 正士、東急建設㈱:毎田 敏郎
 21 「セグメント自動供給システム」----- 清水建設㈱:※宮沢 和夫、菊池 雄一、鈴木 康正
 22 「注入手長尺鋼管フォアパイリングによるトンネル坑口部補強対策の施工例」----- 東洋建設㈱:岡 憲二郎
 23 「高含水土の真空加圧脱水機の開発」----- 前田建設工業㈱:勝又 正治、※滝口 健一、榊原 英正
 24 「難土質対応小口径推進機の開発」----- コマツ:小林 亮二、糟谷 哲之、※秋山 浩志
 25 「地下空間におけるPCa梁の水平運搬機の開発」----- コマツ:※吉田 泰弘
 コマツエンジニアリング㈱:大西 正

【3】『建築とその機械ほか』 13:00 ~ 16:50

座長:村松 敏光(建設省)

- 26 「ハザマ式全天候型仮設屋根(パラガス)の開発」----- ハザマ:※杉浦 仁志、畠山 修、齊藤 篤
 27 「マスト・コラム工法と特殊タワークレーン」----- 大成建設㈱:明城 幹夫
 28 「タワークレーン自動運転システム」----- 鹿島:久保 喜良、※岸 光輝、佐藤 竜郎
 29 「地盤破壊を考慮したクレーン車の転倒に関するモデル実験」----- 愛媛大学:※深川 良一、室 達朗
 30 「吊荷姿勢制御装置によるビル外壁PC板取付作業の効率向上」----- 五洋建設㈱:※水上 邦彦、田坂 哲美
 31 「昇降クレーン“にあげラクだ”の開発」----- ㈱フジタ:※組田 良則、加来 哲彦、小田 博志
 32 「ジャイロモーメントを利用した吊荷制御装置の開発」----- ㈱大林組:※井上 文宏、福田 一成
 33 「カーテンウォール一括揚重システムの開発と実用化」----- 大成建設㈱:※平井 薫、西村 正宏、坂本 成
 34 「建築工事における仕上材自動搬送システム」----- 大成建設㈱:田村 恵彦、※伊藤 永三郎
 35 「揚重計画管理システムの開発」----- 大成建設㈱:田村 恵彦、※葉石 善一、竹尾 健一
 36 「リーチタワークレーンの開発」----- コマツ:村田 進、※武原 秀幸、小松メック㈱:高田 邦彦

★10月12日(水) 第2会場(研修2号室)

【5】『自動化、ロボット化、施工管理/No.2』 9:40 ~ 13:40

座長:苗村 正三(建設省)

- 55 「重機警報装置の開発」----- ハザマ:牧田 雄介、石井 恭二、エム・ケー精工㈱:※黒岩 徹夫
 56 「耐火被覆吹付けロボット2号機システムの開発」----- ㈱フジタ:※渡部 幸浩、宮本 仁史、吉武 亮二
 57 「全周撮影型ボアホールテレビと画像解析による地盤情報抽出」----- 日本大学:石井 弘充
 58 「振動ふるいから発生する超低周波音防止対策」----- 電源開発㈱:杉山 了一、坂田電機㈱:坂田 文男
 59 「最適収束式自動操船システム」----- 不動建設㈱:川上 高弘、フドウ技研㈱:奥山 健三、※勝原 法生
 60 「大型土工機械の遠隔操作技術の開発(雲仙における無人化施工)」----- ㈱熊谷組:岡田 喬、※北原 成郎
 61 「無人化施工向自動化ラジコンブルドーザーの開発」----- コマツ:※山本 茂、松下 重則、中田 和志
 62 「無人ダンプトラック運行システム」----- コマツ:村山 理、※須藤 次男
 63 「補助作業ラジコンシステムの開発」----- コマツ:※黒本 和憲、川村 公一、鎌田 誠治

【6】『コンクリートとその機械』 13:50 ~ 16:40

座長:石松 豊(建設省)

- 64 「“ハイブリッドスリップフォーム工法”の開発と施工例~高橋脚の省力化と工期短縮~」
 ----- 日本道路公団:馬淵 勝美、㈱大林組:深津 保文、※加藤 敏明
 65 「ダム用ずり回収装置の開発」----- 清水建設㈱:※高橋 周男、岸野 富夫、小田原 卓郎
 66 「ミニコンクリートレベラの開発」----- ヤンマーディーゼル㈱:井上 雄次、※時枝 安雄
 67 「ダム堤体上下流面清掃機の開発」----- 飛鳥建設㈱:※沼口 栄助、中村 富夫
 68 「ダンプトラック搭載式インクライン設備によるダムの施工」----- 建設省:金丸 孝行
 69 「骨材の真空冷却工法の開発」----- 建設省:小合澤 辰雄、㈱ダム技術センター:西田 穂積
 70 「コンクリート表面水処理ロボットの開発」----- 大成建設㈱:松谷 真二、※安倍 善悦
 71 「大規模ダムのコンクリート生産設備・運搬設備~大型コンクリートプラント・ベルトコンベヤシステム~」
 ----- ㈱竹中工務店:※菊池 公男、河崎 義信
 ----- 水質開発公団:辻 輝昌、※矢幅 卓夫、佐々木 勝人

※印=発表者