

平成4年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成5年1月25日～26日

東京・機械振興会館

社団法人 日本建設機械化協会

平成 4 年度

# 建設機械と施工法シンポジウム

【好評の連続出版】

## 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

【建築とその機械】

1. 資材新揚重システム……………大成建設(株)：\*徳田義治，嶺 達男，酒井佳人… 2
2. レーザー自動鉛直システム……………大成建設(株)：仲野孝一，\*松本三千緒… 6
3. 資材の自動垂直搬送システムの開発…鹿 島：黒住顕則，\*熊沢 務，平松雄二… 10
4. 建築内装資材自動搬送システム…清水建設(株)：岡野 正，\*加藤 勉，西村 淳… 14
5. 開閉・上昇機構を有する全天候型工事用屋根…(株)熊谷組：\*増田隆史，田中浩和  
ユニチカ(株)：坂井忠勝…………… 18
6. 内装材ハンドリングロボット・バランスハンド『LP150W』，『LF250C』の開発  
…………… KOMATSU：\*小境英夫，養安豊彦，湯澤良充… 22
7. スカイハンド“多目的内外装材取付ロボット”の開発  
…………… KOMATSU：\*杉村 眞，養安豊彦，井口大介… 26

【基礎とその機械 No.1】

8. 遠隔操縦地盤改良機械の開発と実用化……………フドウ技研(株)：松沢 諭  
住友建機(株)：井田義隆… 30
9. プラズマカッター工法の開発（鋼管矢板，鋼管杭の水中切断装置の開発）  
……………川崎製鉄(株)：\*藤田 勉，赤秀公造，江面行正… 34
10. スーパートップ工法……………日本車輛製造(株)：\*服部 桂，北原芳三，中島弘夫… 38
11. JR信濃町駅ビル新築工事における回転式ケーシングドライバ（CD機）による  
地中障害物撤去工事……………飛島建設(株)：丸山富久治，基礎工業(株)：\*八木利夫… 42
12. 先端強化場所打ち杭工法におけるリング貫入機の開発  
……………(株)熊谷組：\*松下祐輔，菱沼 登，坂 英昌  
（勸鉄道総合技術研究所）：村田 修，三井建設(株)：伊藤達男… 46
13. リバース積層工法……………大成建設(株)：\*山田哲夫，小林英雄，伊藤康郎… 50
14. 低空間杭打機……………鹿 島：田沢雄二郎，嶋井森幸，\*川田正敏… 54
15. エンパソルによる地盤調査方法  
……………ライト工業(株)：磯部金治，\*阿部正直，川村公平… 58
16. 山留用鋼材ハンドリング機の開発…………… KOMATSU：勘田俊正… 62

## 【トンネルとその機械】

17. 重量自動計測システム……………西松建設(株)：棕木淳二， \*阿部 勉  
 ……………マイクロダイナミックス(株)：隈本 進… 66
18. 土圧式シールドトンネルの土砂圧送実験とその一考察  
 ……………建設省：杉山 篤， \*茂木正晴… 70
19. セグメント自動搬送SRシステム  
 ……………清水建設(株)： \*佐藤 等， 出口種臣， 井手和雄… 74
20. スイングドラム型矩形シールド(SDRシールド)の開発  
 ……………日立造船(株)： \*糸永 洋， 西松建設(株)：棕木淳二… 78
21. シールドによる直接発進工法……………NOMST 研究会： \*園田徹士， 田中秀明… 82
22. 泥水式シールド工事に用いた泥水処理システムの開発  
 ……………佐藤工業(株)： \*谷口和之， 佐藤 潔， 大浦修三… 86
23. シールド地中探査システムの開発  
 ……………飛鳥建設(株)：板場通夫， 堀崎敏嗣， \*稲田義和… 90
24. シールド掘進用超硬ビットの耐摩耗性  
 ……………愛媛大学： \*室 達朗， 深川良一， 日立建機(株)：土屋 清… 94
25. 鉛直水平両用シールド機の開発…東京電力(株)：貝沼憲男， 大成建設(株)：金子研一  
 ……………石川島播磨重工業(株)： \*伊藤広幸… 98
26. 小断面シールドにおける完全無人誘導システムの開発  
 ……………(株)青木建設： \*野沢 有， 佐藤房雄， 西野憲明… 102
27. シールド工事における資機材無人搬送システムの開発……………(株)大林組：鎌田竜二… 106
28. 多機能ガントリージャンボによるトンネルの合理化施工……………(株)奥村組：畝本勝彦… 110
29. 大口径TBMによる舞子トンネルの施工……………本州四国連絡橋公団：土山正己… 114
30. ニューラルネットとファジーによる流体輸送式TBMの自動運転  
 ……………(株)大林組： \*風間慶三， 早淵敬太郎  
 ……………川崎重工業(株)：豊田正治， 庵原 滋… 118
31. ファジィ制御を用いたトンネル換気システムの開発とその成果  
 ……………清水建設(株)： \*菊池雄一， 岩城修一， 河野重行… 122

## 【基礎とその機械 No 2】

32. 都市部の狭隘部や路下部に適用する連続地中壁掘削機の開発～ミニカッター  
(MBC30)の概要とその施工例～……………(株)間組：梅本憲三，\*脇山一郎… 126
33. スクリューデカンタによる脱水システムの開発  
……………(株)大林組：\*炭田光輝，吉崎正明… 130
34. 大深度地中連続壁工法の掘削管理システム  
……………(株)鴻池組：\*松生隆司，大橋 昭，鷺見 明，澤 芳幸… 134

## 【土工・舗装・維持とその機械】

35. 整地作業におけるブルドーザブレードの自動制御  
……………愛媛大学：\*深川良一，室 達朗… 138
36. U型水上コンベヤ工法の開発……………東洋建設(株)：後藤聖一，皿澤 薫，\*埜村昌司… 142
37. 高含水土を対象とした土砂改良システムの開発  
……………東洋建設(株)：後藤聖一，鏡田昌孝，\*桂川哲行… 146
38. 小型遠隔操縦除草機械の開発……………建設省：上村 弘，\*直井聡一  
(株)クボタ：福田 稔…………… 150
39. 低騒音型油圧ブレーカの開発……………建設省：杉山 篤，\*山中勇樹… 154
40. 湿雪の空気輸送システムの開発……………建設省：杉山 篤，\*米村克己… 158
41. サイドフィーダの試作，改良，開発に関する報告……………福田道路(株)：斎藤俊也… 162
42. アスファルトフィニッシャの多機能化と省人・省熟練システムの開発  
……………新キャタピラー三菱(株)：矢倉 直… 166
43. フィルダム工事における機械式タンパ装置の開発と施工  
……………(株)熊谷組：\*岡 孝，長尾 直… 170
44. 気送システムを用いた土砂搬送装置……………東急建設(株)：大野邦夫，\*西尾 仁… 174
45. 除雪グレーダの振動制御機構の開発  
……………建設省：池田八郎，佐々木重和，\*須田正浩… 178
46. 突入防止施設の開発……………建設省：熊本泰俊，池田八郎，\*宮本典明… 182
47. 無人ホイールローダシステムの開発～アスファルトプラントへの適用例～  
……………KOMATSU：大島 寛，\*森 眞幸，小松メック(株)：福田正男  
日本舗道(株)：後町知宏，山辺生雅… 186
48. KOMATSU LASER LEVELING SYSTEM の開発……………KOMATSU：北 郁夫… 190

## 【自動化・ロボット化, 施工管理】

49. データキャリアとパソコンによる重機管理の実例  
.....西松建設(株) : \*椋木淳二, 有吉隆弥, 田井治好美, 飛田真澄... 194
50. プレキャストコンクリート型枠の設計・施工技術の開発に関する共同研究の概要  
.....建設省 : 野村正之... 198
51. 画像処理を利用した骨材生産量調整システム (CAP) の開発  
.....(株)間組 : 麻生公裕, 脇山一郎, \*北 義秀... 202
52. 建設車両自動運転システムの開発 (第3報) ~現場での無人走行評価実験~  
.....ハザマ : 滝澤幸信, 斎藤宏明, 筑波大学 : 油田信一... 206
53. タイル張りロボットの開発 (第3報) .....(社)全国タイル業協会 : 石川誠一郎  
KOMATSU : 大坪和彦, ハザマ : \*木川田一弥... 210
54. グリーンカットロボット TMCC ROBO.....大成建設(株) : 市原正一  
酒向義勝, \*中村 隆, 三井造船(株) : 荒川泰正, 江沢一明, 田辺伸夫... 214
55. ダム用コンクリート運搬設備の自動化  
.....(株)大林組 : \*風間慶三, 田中暉一郎, 高橋栄次... 218
56. トランスファーカ自動運転システム  
.....(株)鴻池組 : \*井上光治, 松原和夫, 作田裕司... 222
57. 鉄筋自動配列装置の開発.....鹿 島 : 宮本武三... 226
58. タイル剝離検知ロボットの開発.....鹿 島 : 白石康信, \*神尾正博... 230
59. 鋼製シンカー設置姿勢計測システム  
.....鹿 島 : \*菊地哲樹, 佐藤知則, 高瀬俊二郎... 234
60. 地下タンク側壁コンクリート自動打設システムの開発  
.....清水建設(株) : 塚原裕一, 田中佳利, \*鈴木克男... 238
61. 橋脚用目荒し, 斫り装置 “コンクリートペッカー” の開発  
.....清水建設(株) : \*高橋周男, 小田原卓郎, 橋 幸雄... 242
62. 据付等作業自動化技術の開発.....建設省 : 熊本泰俊, 佐藤文夫, \*中島朋也... 246
63. 耐火被覆吹付けロボットシステムの開発  
.....(株)フジタ : \*渡部幸浩, 宮本仁史, 澤田凱夫... 250
64. 建築用耐火被覆材の吹付装置.....前田建設工業(株) : \*和田英夫, 松村一人  
岐阜工業(株) : 稲川雪久... 254

# 1. 資材新揚重システム

大成建設(株)：\*徳田 義治・嶺 達男  
酒井 佳人

## 1. はじめに

近年、日本の建築物に高層の物が増えて来ております。

建築物が高層化すると、その建設物を施工するに当たり、施工するのに必要な材料である、内装資材・設備資材の各階への揚重作業は、資材搬送の大動脈に関する事であり、大変重要になってきます。

これは、高層ビルに行くエレベータの数が多いと感じる様に、高層になればなるほど、エレベータ面積の占める比率が高くなります。

つまり、建設工事においては、揚重システムを最小スペースに収めることの価値は、高層になればなるほど出てくる事であり、又、1個の揚重装置の受持ち階数が増える事もあり、揚重システムの効率化に対する評価は、高層になればなるほど上がって来ます。

従って、高層ビル建築での揚重システムは、綿密な検討と計画が要求され、その良否が工事工程、コスト、安全面に大きな影響を及ぼすことになります。

その揚重システムの効率化、安全性向上とはどのような事を言うのかを纏めると下表のようになると思います。

ハード面	サイクルタイムの短縮化、安全面でのきめ細かな配慮 取扱容易な装置であること、省力化、揚重シャフト面積の最小化
ソフト面	工事工程と連携した、効率の良い運用ダイヤ作成 その運用ダイヤを全関連業者の理解と協力を得て如何に徹底させる事が出来るか

表-1

ここでは、横浜ランドマークタワー工事で開発導入した揚重システムを、紹介します。

## 2. システムの検討

横浜ランドマークタワー工事の概要を以下に示します。

建物規模：地下3階、地上70階、塔屋3階

建築面積：23,514 m<sup>2</sup>

構造：鉄骨造・鉄骨鉄筋コンクリート造

延床面積：392,284 m<sup>2</sup>

用途：オフィス、ホテル、ショッピングモール、駐車場

揚重装置としては、高速リフトを使用する事が一般的ですが、その設置場所については、1) 床に開口を設けてリフトを設置する 2) エレベータシャフトを利用する 3) 建物の外部で揚重するなど考えられます。しかしそれぞれ欠点を持ち、1) については開口部のしまいが最後まで残り、工程上好ましくないこと、2) については本設エレベーターの設置が遅れ、又狭いエレベーターホールでのリフトへの積卸し作業になること、3) については仮設工事が大規模になること、が挙げられます。

システムの検討を行った、横浜ランドマークタワーは図-1に示すセンターコア型のビルで、ここでは2)の方法のエレベーターシャフト内に3基の高速リフトを設置して、揚重の主力設備として使用する事としました。

従って問題になるのがリフト前面のスペースが狭い事で、1階の積み込み作業は、その狭いエレベーターホール利用するゆえにフォークリフト等の汎用機の使用はできない。

そこでこの問題を解決する為に、固定式フォークリフトと言うべきローダを開発し、これによりリフトへの資材積み込みを行い、さらにローダの待機位置迄の運搬は、遠隔操作で無人運転する搬送車を開発することにした。

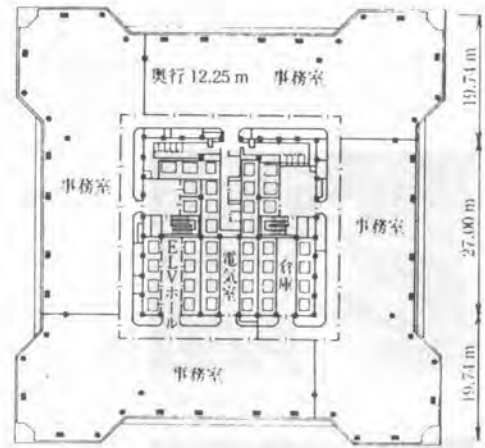


図-1 基準階平面図

この方式にする事により、狭い積み込みスペースの問題は解決されることができます。

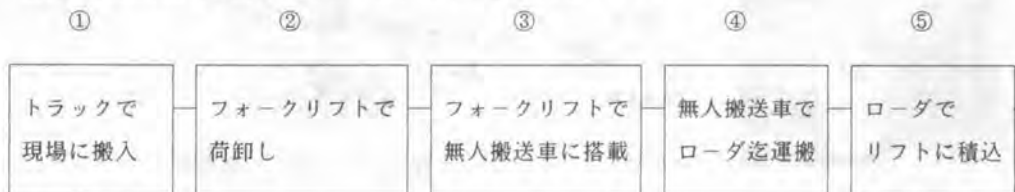
次に資材揚重後、各階での荷卸し作業についても、狭いエレベーターホールでの作業ゆえに、牽引車を使って引き出すことも、狭いために困難である。

そこでこの問題を解決する為に、資材はすべて本システム専用のカートに載せて搬送する方式とし、カートに積載された資材は、カートごとリフトに搭載され、リフトから資材を積んだカートの卸しは、リフトに備付けたプッシュプル装置で行うことにしました。

このようにすれば、卸されたカートは今度は牽引車に引かれてエレベーターホールから搬出させることができます。専用のカート及びプッシュプル装置はこのシステムの為に開発されます。

### 3. システムの構成

資材の搬送の流れを図にあらわすと、以下のようになります。

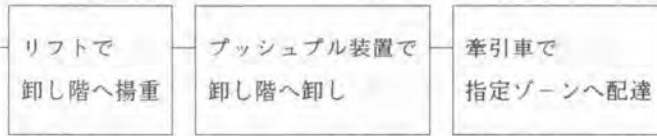




⑥

⑦

⑧



③で資材は全て専用カートに載せられた状態となっていますが、①でカートに載せられていない物については、②のあとカートに載せる作業があります。

④から⑦までの作業は、遠隔操作方式とし、リフト、1階積み込み部に設置されたテレビカメラのモニターにより、オペレーションセンターで集中監視し操作を行います。



写真-4 取り卸し階での牽引



写真-3 プッシュプル装置



写真-2 ロダにてリフトへ搭載



写真-1 無人搬送車

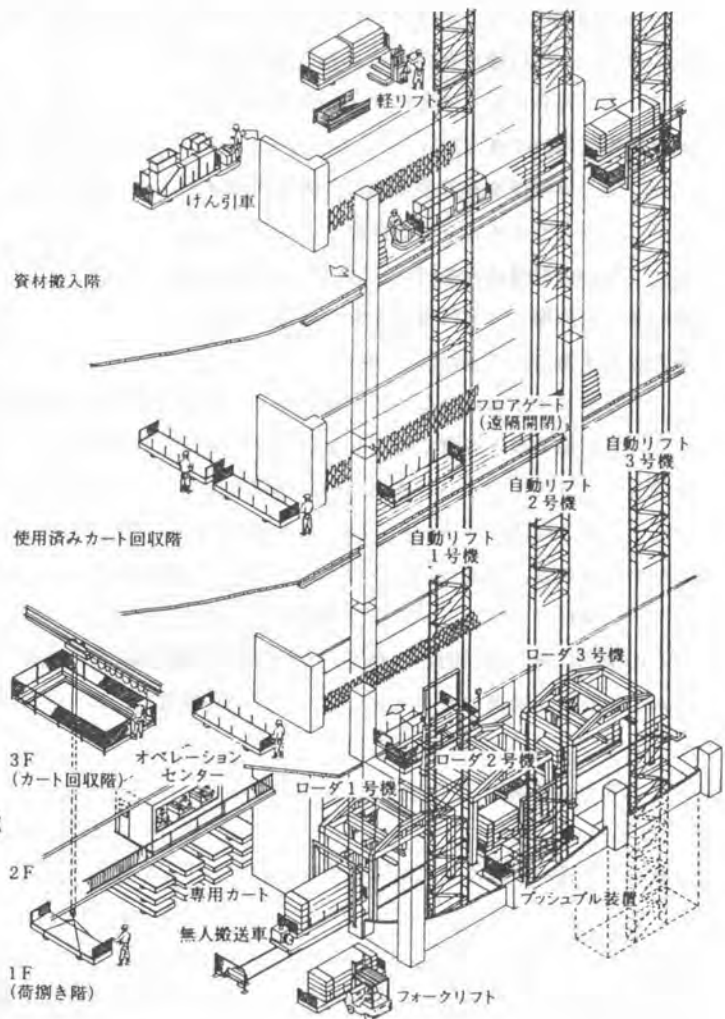


図-2 システム構成図

安全対策としては、まず1階の資材をリフトへ積載するエリアは、作業が錯綜するうえリフト開口上部からの万一の落下物に対して危険である。

従ってここは作業員立入り禁止区域とし、もし誤って立ち入った場合には、光センサーがこれを検知し、全ての機械装置は非常停止する。

又、専用カートに搭載された資材が、荷崩れ等でカートの決められた外形寸法よりはみ出した場合、何処に接触するか分からず大変危険である。

このためには無人搬送車

の入り口とローダ部で荷姿にはみ出しがないかを検知するセンサーを設けて、はみ出しを検出すればその作業を停止し、警報を鳴らす仕様になっている。

さらに基本的なことであるが、各装置が順次に安全確認後作動するよう、各装置間のインターロック条件は完備されている。

#### 4. おわりに

このシステムは高層ビル建築工事が要求する内装・設備資材揚重の効率化、安全化に対して出した答えの1つであるといえると考えております。

しかし、開発1号機の場合、必ず起きるといっていい故障も何度か出ましたが、幸い特に大きな不満や、故障、事故の声が聞こえなかった事は、大変喜ばしい事であります。

今後は、計画当初恐らく気がつかなかった、建築現場であるがゆえの過酷な条件に対する再検討と、人間が関与する部分での、位置決め精度に対する許容量の拡大について等の問題点について、これらを解決し、より完成したシステムに仕上げて行きたいと思っております。

最後に、本システムが成り立ったのは、ここに述べた所謂ハードの部分だけでなく、その運用にたずさわられたJV作業所の担当者の方、大成輸送㈱が担当された揚重センターの方のソフト技術によるところも大である事も、述べさせてもらわねばならないと思っております。

表-2 機械装置の主要仕様書

(1) 専用カート	
寸法	大型 L 1,100×W 4,200×H 500 小型 L 1,100×W 3,350×H 500
積載重量	1,000 kg
車輪	4輪キャスター
(2) 無人搬送車	
寸法	L 4,860×W 1,000×H 500
自重	約 2,000 kg
走行速度	高速 40 m/min, 中速 20 m/min, 低速 4 m/min
電源	3相 200
(3) ローダ	
寸法	L 3,600×W 5,000×H 4,220
可搬重量	1,300 kg
速度	前後進 高速 150 mm/sec 低速 約 20 mm/sec 昇降 高速 150 mm/sec 低速 約 20 mm/sec
(4) プッシュプル装置	
寸法	L 1,400×W 1,500×H 375
自重	約 700 kg
可搬荷重	1,300 kg
動力	3.7 kW (油圧モータ)

## 2. レーザー自動鉛直システム

大成建設(株)：仲野 孝一・\*松本三千緒

### 1. はじめに

従来、ビル等の建築物の施工をおこなうにあたっては、専門の測量技師が下げ振りや光学鉛直器を使用して鉛直度（建て方精度）の測定をおこなっていた。

しかし、下げ振りでは鉛直距離が長くなるにつれ、おもりや下げ振り用ワイヤーが大がかりとなり、さらに風や振動などの影響により測定が困難となる場合も生じていた。また、光学鉛直器による方法では人間が視準する関係から測定できるのは階数にして4～5階が限度であり、基準墨を盛り変えながら測定を進めるため誤差の累積に不安があった。特に、ビルの高さが高くなるほど上記の事項は深刻な課題となっており、これを解決する新たな測定方法が望まれていた。

本論文で述べるレーザー自動鉛直システムは上記のような課題の解決を目指したものであり、特に超高層ビルの鉛直度を短時間で高精度に測定する事を目的として開発したものである。

### 2. システムの概要

本システムは、鉛直用レーザー照準器、ターゲット板、画像処理装置、パーソナルコンピュータ、通信装置などで構成される。これらの機器の概略配置を図-1に示す。レーザー照準器は地上階の基準墨上に設置し上層階に向かってレーザーを照射する。そして、上層階に設置したターゲット板でこのレーザーを受け、そのスポットを画像処理装置で解析する事により基準墨を上方にあげるものである。

通信装置は鉛直用レーザー照準器と画像処理装置とのデータ交換をおこなう為のものである。データとしては鉛直レーザーのセッティング信号や画像解析終了信号などの動作タイミング信号、機器のステータス信号などであり、状況に応じて有線や無線を使用している。

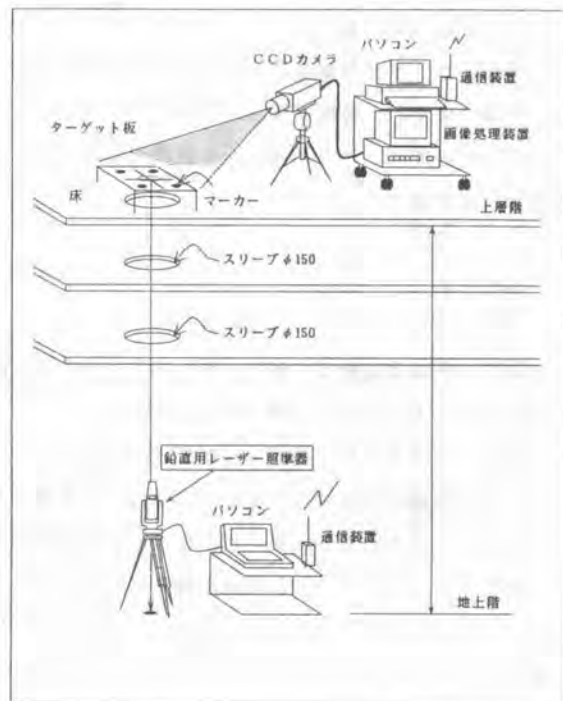


図-1

### 3. 測定方法

#### 〔鉛直レーザー側〕

鉛直用レーザー照準器には自動的に水平回転および鉛直方向の照射角度が調整できる様にモーター制御機構を内蔵させている。また、鉛直方向をセンシングするセンサーも内蔵しているため鉛直方向に4秒の精度でレーザー照射角を自動調整できる（但し、センサーの分解能は1～2秒でありデジタル表示される）。しかし、レーザー発信器の機械的取付誤差があるため、本システムではレーザー照準器を90度ピッチで1回転させる方法を取っている。したがって、計測の1サイクル0度、90度、180度、270度と4点のスポットを画像処理し、その結果を解析して鉛直中心を決定している。（但し、鉛直自動調整の結果、何度の角度に設定されたかは2秒以下の精度でデジタル値で出力出来るため、画像処理側に伝送し解析に應用している）

#### 〔画像処理側〕

##### （鉛直中心計算）

鉛直中心の計算では、図-2に示す様に水平角0度と180度におけるレーザースポットの中心を通り、この2点を結ぶ線分に直行する直線と水平角90度と270度のレーザースポットから同様に得られる直線との交点を求める方法をとっている。

##### （4点計測）

鉛直レーザー側は水平角および鉛直角の自動調整を終了すると、画像処理装置に対して設定終了信号と角度データを伝送してくる。画像処理装置側では、このデータを受信後に画像入力操作を実行する。画像は1/60サイクルで約10秒間撮像する。この理由は、CCDカメラ、ターゲット板、鉛直レーザー、施工している建物などの揺れや振動によるレーザースポットのブレを取り除くためであり、1秒間に60回で10秒間、すなわち600枚の画像データを取り込み、幾何学的重心位置を算出する。この処理の終了後、画像処理装置から鉛直レーザー装置に対して解析終了信号が伝送され、鉛直レーザーは次の水平角度に回転を始める。そして、水平角270度までの4点の画像処理が終了したならば、今度は得られた4点のデータから鉛直中心決定のための計算に移る。

##### （ターゲット板撮像角度の補正処理）

本システムではターゲット板を斜め方向から撮像しても解析できるように、撮像画像の座標変換をおこなっている。その結果、CCDカメラは施工場所の状況によって任意の位置に設置する事が可能になった。ターゲット板にはこの座標変換を可能にするため、あらかじめ定めた距離において4点のマーカを取り付けている。また、測定対象面が平面であるため、座標の分かっている点が4点以上あれば2次射影変換という方法を用いて直上から写した時と同じ状態に変換する事が可能である。

（変換式） $X=(b1x+b2y+b3)/(b7x+b8y+1)$   $Y=(b4x+b5y+b6)/(b7x+b8y+1)$

上式中x, yは撮影画像そのままの座標、X, Yは変換後の座標、b1～b8は変換パラメータである。画像処理に先立ち、未知数b1～b8は上式を線形の観測方程式に直し、最小2乗法を適用して求める。

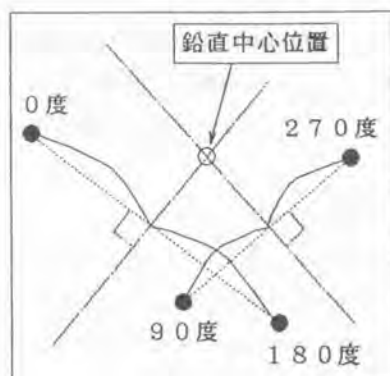


図-2

#### 4. 実施例

横浜みなとみらい21・25 街区に建設中のランドマークタワーにおいて実施した例を示す。(写真-1 参照)

ここでの測定実験は本システムの動作や測定精度の検証をおこなうための実験と、ランドマークタワーの鉛直精度の測定をおこなう実験の2項目を目的としたために、中層階と上層階の2箇所にて測定実験をおこなう事とした。

また、実験場所は施工状況や測定環境を考慮した結果、中層階・上層階ともにエレベータシャフト部を利用して実験をおこなった。

##### (中層階での実験)

1バンク57番エレベータシャフトにて地下1階と29階との間、約120mでの鉛直度測定を本システムと下げ振り方式との両方でおこなった。下げ振りについては、

振動や風などの影響がもっとも少ない時期を選んで実施し、本システムとの差が1mm以下という結果を得た。但し、本システムは鉛直距離120mの地点で約2.3mmの誤差があるため下げ振りとの差は本システムの誤差範囲内におさまっているものと判断される。

##### (上層階での実験)

展望室用100番エレベータのシャフト部にて地下3階と67階との間約300mでの鉛直度測定をおこなった(写真-2)。

その結果、既に光学鉛直器にて上げていた基準墨との差は4mm以下である事がわかった。但し、本システムは鉛直距離300mにおいて約6mm程度と考えられるため、従来法(光学鉛直器)にて上げていた基準墨は本システムの誤差範囲内に入っているものと考

えられる。なお、この実験では鉛直距離が長いので光通信で下部と上部のデータ転送をおこなった。



写真-1



写真-2

## 5. 実施結果について

ランドマークタワーにて地下3階から上層階までの鉛直距離約300mにて測定実験をおこなった時の測定画面の例を図-3に示す。画像計測は一つの水平角について約10秒間、600枚の画像を取り込み、その重心位置を求めている。図-3で黒い点が4箇所に分かれている様子が判別できる。

この4箇所の黒点が水平角0、90、180、270度の位置のレーザースポットに対応した入力画像の結果である。この様にレーザースポットが一点に集中せず4箇所に分かれているのは、前述したレーザー発信器の取付誤差に由来するものと判断される。さらにその箇所ごとのスポットにもバラツキがあるのは建物の揺れや機器の微振動、レーザーの揺らぎ等が影響しているものと判断される。この時のターゲット板上に照射されたレーザースポットの直径は30mmから40mm程度であるが、揺らぎのため円形にはなっていない。

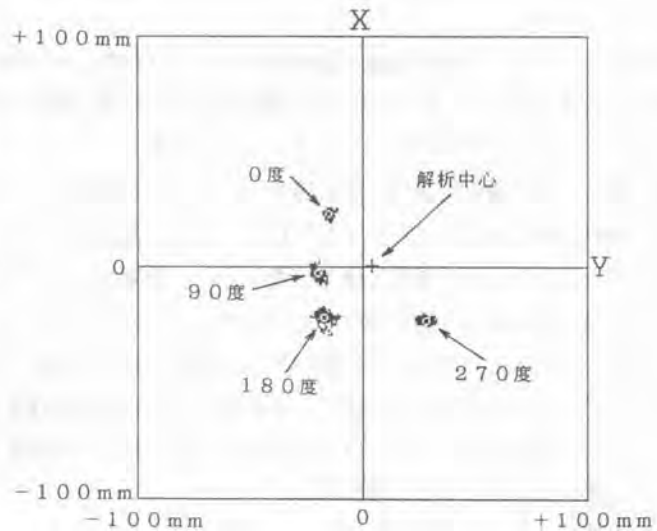


図-3

そのため、画像入力時点でスポット面積の重心位置を算出記録し、それらの入力画像600枚からさらに重心位置を求める方法を取っている。鉛直精度の測定実験は時間を変えて数10回おこなったが、解析結果はいずれも基準墨に対して誤差4mm以下の範囲に入っていた。

## 6. 今後の課題

今回の開発と試行により、超高層ビルの鉛直度測定に対して本システムはたいへん有効なシステムであることが確認された。今後は、超高層ビルばかりでなく様々な建設物件に適用しながらシステムの完成度を高めていくと共に、鉛直測定だけではなく高層ビルの施工を高精度化、急速施工化する上で必要となる他の施工技術と連携させた総合的な施工管理システムとして、新技術を付加しながら発展させていく予定である。今回の開発と試行を通じて、現段階で改良もしくは開発が必要と判断される当面の課題は、

- ・レーザーの鉛直指示精度の向上
- ・システムの低価格化、コンパクト化
- ・システムの操作性の向上（簡易化）

などであり、これらの課題の検討を含めて上記の目標を進めていく予定である。

### 3. 資材の自動垂直搬送システムの開発

鹿 島：黒住 顕則・\*熊沢 務  
平松 雄二

#### 1. はじめに

建築現場において、資材の揚重・運搬作業は、現場作業工程の中で大きなウエートを占めており、特に躯体工事の終了近くの内装・仕上げ工事段階では多品種で様々な荷姿の資材を取り扱うことになり、その作業は、非常に手間暇のかかる作業となっている。

建築工事における資材搬送は、地上階から作業階への荷降ろしまでの垂直搬送、降ろされた荷を作業場所まで移動させる水平搬送とに大別される。また、垂直搬送については、地上階から建設用リフトや人荷兼用エレベータなどの揚重設備への積み込み、揚重設備による作業階への搬送及び揚重設備からの荷降ろしに細分される。揚重設備は、高速化や大型化が実用化されかなり合理化されているが、資材搬送は全般的には人手で行っている作業が多く、機械化或いは自動化による省人化・省力化、作業の効率化が望まれている。とくに、荷の積み込み及び荷降ろしの移載作業をいかに効率よくおこなうかが重要である。また、揚重設備については、延長などの盛り替え、撤去時までのダメ工事が少ないことなどを考慮して設置方法を選定する必要がある。

更に、建築工事の究極の自動化・ロボット化である全自動建築生産システムへの組み込みが可能な発展性のある自動搬送システムとなることが望まれる。

今回、窓取り付け開口部を利用して建物外部から腰壁越しに内装材等の資材を自動的に搬入できる垂直搬送システムを開発したのでその概要を以下に述べる。

#### 2. 開発概要

資材搬送の内、水平搬送については、柱配置や床平面部広さ等の建築構造上の特殊性があり、汎用的な自動化システムを構築することは難しく、プロジェクト毎に検討する方が実際的である。今回は、現状の資材搬送作業の中で、作業員にとってかなりの苦渋作業であり、現場での省力化・省人化ニーズの強い移載作業を自動化することを第一の開発目標に設定した。

また、資材搬入口としては、適用現場のエレベータシャフトの空間が配管等長物資材が搬送できない寸法であること、外壁工事のダメ工事を極力避けたいという2点の理由から、設計寸法で施工された窓の開口部をそのまま利用す

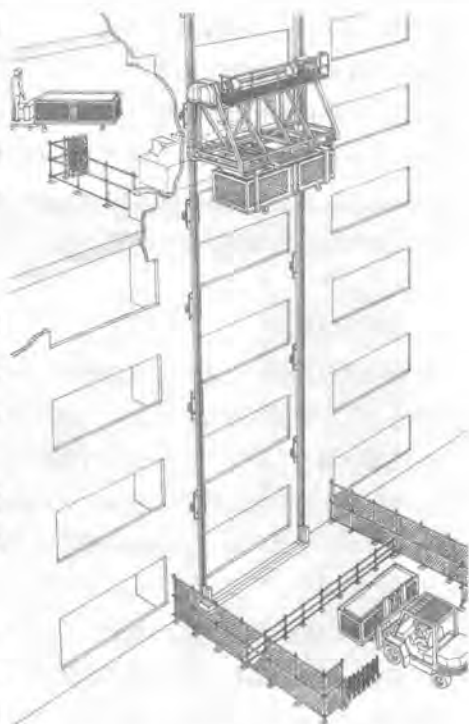


図-1 システム全体図

るという現場条件が提示された。そのため、資材の各階への荷降ろしは腰壁越しという、従来にない特殊な条件となった。裏返せば、腰壁があれば雨じまい養生が不要であるというメリットが派生する。

一方、搬送対象とする荷姿については、内装材等資材の種類、大きさ及び形状は多種多様であり、搬送荷姿の標準化は大きな課題であると考えられるが、一現場では解決できない大きな問題であることから今回は、既存の汎用コンテナ台車でも扱えることを条件とした。

### (1) 搬送荷姿

搬送荷姿は汎用コンテナ台車と設定し、長さについては、適用現場の状況を十分調査の結果、一般的な2m、3m及び4mに層別された。また、窓開口部寸法及び階高寸法を考慮して、最大長さは4.4mまで搬送可能なものとした。表-1に取り扱うコンテナ台車の寸法表、図-2に開口部寸法を示す。

表-1 コンテナ台車の寸法表 (単位: mm)

分類	長さ(L)	奥行(D)	高さ(H)	車輪位置(I)
①型	4,400	1,000	1,000	両端部から1,000以上
②型	4,000	1,000	1,000	* 855以上
③型	3,000	1,000	1,000	* 605以上
④型	2,000	1,000	1,000	* 315以上

注記) ●車輪高さ(h)は各々150~300を考慮するものとする。

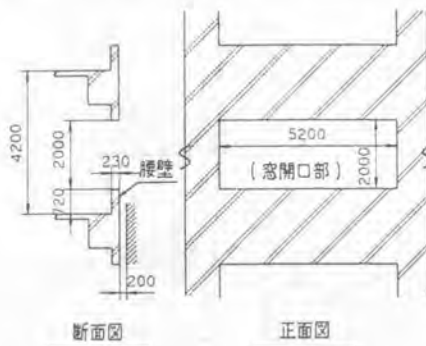
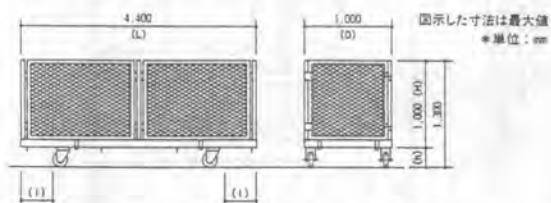


図-2 開口部寸法

### (2) システムの概要及び主な仕様

図-1に本システムの全体図を示す。本システムは、ハンガー型荷移載装置を装備した昇降台(リフト)及び運転操作監視設備からなる。地上に設置されたオペレータハウス内の操作盤上で行先階を入力しスタートボタンを押せば、荷の取り込みから指定階への荷降ろしまで自動的に行う。オペレータは、モニタにより指定階での荷降ろし状況を確認できる。

図-3に一般的な資材搬送のフローと今回の自動化範囲を、写真-1にオペレータハウス内運転操作監視の状況を示す。



写真-1 運転操作監視の状況

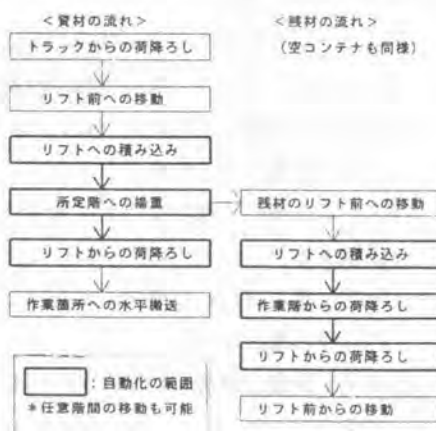


図-3 搬送フローと自動化範囲

表-2に主要諸元を、図-4に装置組立図を示す。昇降速度は、中低層ビル対応とした。



表-2 主要諸元表

積載荷重	最大 1,000 kg (コンテナ台車含む)
揚程	最大 50 m (15階相当)
昇降速度	最大 25 m/分 サイクルタイム 約 7.5分 (1~15階)
駆動方式	昇降: ラック&ピニオン方式 伸縮: チェーン伝達及びラック&ピニオン方式 吊具: スクリューシャフト方式
操作方式	自動運転: 指定階入力 (from~to~) 手動運転: 操作盤による遠隔操作
電源	AC 3φ 400V 50Hz
安全装置	落下防止、過荷重停止、衝突防止、警報監視、 過負荷停止、各種インターロック他
その他	稼働実績データ出力

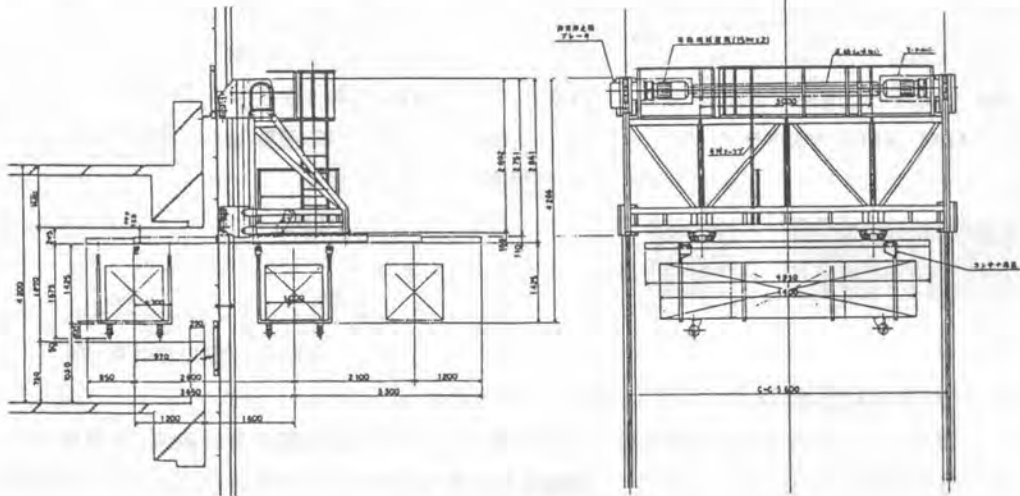
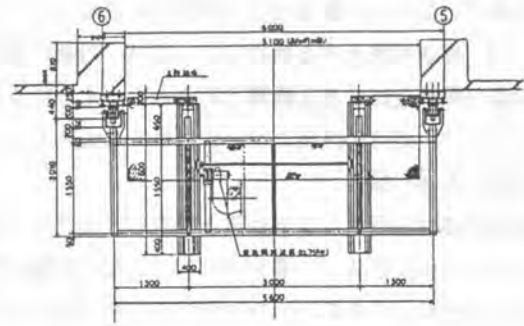


図-4 装置組立図

### (3) 動作手順

本システムの動作手順は、次のとおりである。

- ①フォークリフト等により、所定位置に荷を置く。
- ②リフトに装備したスライド式アームを伸ばし、荷吊り装置で荷を抱え込む。
- ③アームを縮めて荷をリフトに取り込み、指定階へ揚重する。
- ④所定位置で停止した後アームを伸ばして荷を建屋内に挿入着床させる。
- ⑤荷吊り装置を解放した後、アームをリフトに収納する。
- ⑥荷を作業箇所に運ぶ。

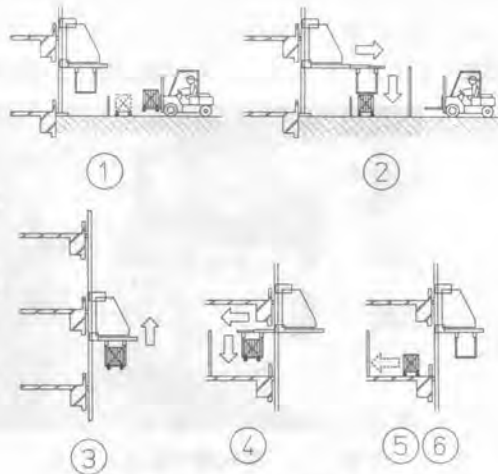
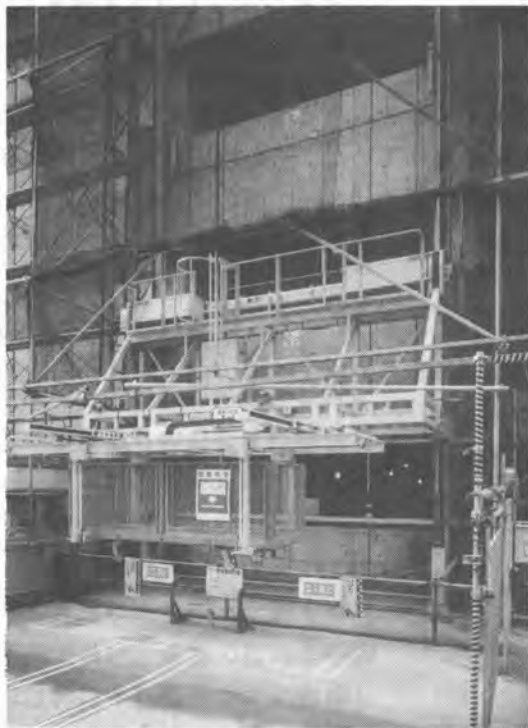


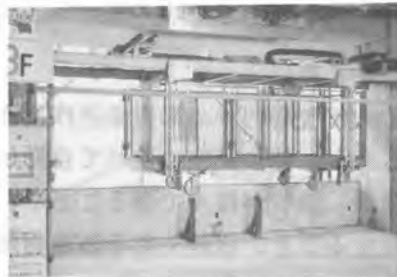
図-5 動作フロー図

### 3. 現場適用

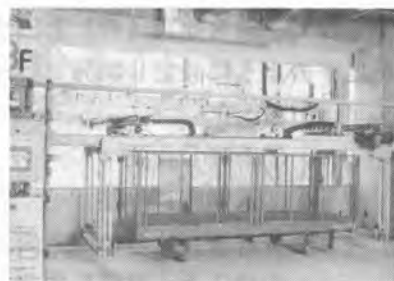
本システムは、大正製薬（株）殿大宮工場再開発工事に適用し、荷の積み込み及びに降ろしを主とする自動運転を行った。その結果、当初目標の省力化・省人化が達成され、垂直搬送としてのサイクルタイムもほぼ満足することを確認した。取り込み並びに荷降ろし状況を写真－2～4に示す。



写真－2 荷取り込み状況



写真－3 荷降ろし状況（挿入）



写真－4 荷降ろし状況（着床）

現場適用の結果、本システムの主な導入効果として次のことが挙げられる。

- ①荷積み込み・荷降ろし作業という苦渋作業から解放され、作業環境の改善が図れる。
- ②各作業階に作業員がいなくても、リフトは資材を作業階に降ろして次の動作に移れ、作業の効率化が図れる。
- ③搬入開口部のダメ工事及び雨じまい養生が削減できる。
- ④従来の建設リフトでは必要であった5～6人の作業員が不要であり、省力化・省人化が図れる。
- ⑤作業員が機械の近くに寄ることがないので安全である。

### 4. おわりに

本システムは、現在2～3の現場への適用計画がある。今後は、更にサイクルタイムの短縮や軽量化してゆく予定である。更に、水平搬送の自動化の開発を進め、資材搬送の完全自動化を推進するよう考えている。

## 4. 建築内装資材自動搬送システム

清水建設(株)：岡野 正・\*加藤 勉  
西村 淳

### 1. はじめに

建築現場内での揚重搬送作業は大きなウエイトを占める為、工程にも影響を与える。しかし、他の産業に比べて自動化、無人化が遅れていた。その理由は、資材の大きさ、重量、形状が様々であることや、搬送場所や周囲の状況が工事の進捗状況により日々変化すること、仮設である為建物側に細工ができず、また転用ができるものでなければならぬ等である。

しかしながら、ここ数年、仕事量の増大と人手不足により、建築現場内における資材の揚重搬送作業の省人化が求められ、少ない作業員で施工能率の向上をはかるための自動化が必要となってきた。

そこで、清水建設(株)と三菱重工業(株)は建築現場の実態調査を踏まえ、ねらいを以下のように設定し開発を行った。

#### (1) 省人化

- ①荷降し作業
- ②水平搬送作業

#### (2) 資材搬送作業の能率向上

- ①積込み・荷降し作業

現場実証実験を経て改良を進め、実用機を開発し現場の資材搬送に適用した。

### 2. システムの概要

全体システムは、図-1に示すように垂直揚重用の自動リフト(高層リフト)、リフト昇降路前の外扉、水平搬送用の自走台車、及びこれらを統括してコントロールする運転制御装置等の各サブシステムから構成される。

現場内に搬入された資材をフォークリフトで自動リフトの搬器へ積込み、予定にしたがって所定階に揚重する。自走台車は搬送を行う階に待機しており、コントロールセンターから命令を受け取る。そして、資材をリフトの搬器から取り込み、指定された置場に搬送する。以上の作業を繰り返し、全部の資材を揚重搬送し終えたら次の予定にしたがって自走台車を別の階へ移設する。1日の作業が終了したならば自走台車の電源をOFFにして、バッテリーの充電を行う。

ここで、新たに開発した水平搬送システムの機能、性能について述べる。このシステムは、自走台車と制御装置から成る。

## 2-1. 自走台車

自走台車は移載と走行の機能、そして、安全装置を備えている。

走行機能は駆動源をバッテリーとする車輪を用いている。また、リフトから置場への走行は、フォトセンサと幹線としての反射テープによる光誘導方式を採用している。これは、建設現場内で、建物への細工ができないことと設置解体の容易性を考慮した上で、最適であるという考えに基づく。つまり、走行路や荷置場は日々変化する建築現場内の作業の進捗状況に対応ができるものでなければならない。そこで、幹線走行路は反射テープの張り付けだけで設置完了とし、荷置場のマークはその都度任意の場所にプレートを置くだけの準備で良い。荷物の積降し時の走行は幹線から直角方向に自律して走行し、作業終了後また幹線へ戻る自律方法を用いている。

積降し機能としては自走台車本体に設けた地面に反力をとるリンク方式のフォークによる。これは以下の2点を実現することにある。1点は自走台車の自重を軽くすることである。建物本体のフロアは、強度により一定面積内に一定の荷重しかかけられないので、本体を軽くする必要があり、リンク方式のフォークにより自走台車自重よりも重い荷物を積載することができた。もう1点は様々な荷姿に対応できることである。現場内の資材は多種多様であり、荷姿もまちまちである。これらを規格化することは、現実問題として困難なことであり、規格化を行うと現状の内装工事や揚重作業にも影響を及ぼす。そこで、積載可能な資材の荷姿に対して汎用性のあるフォーク式が最良と考える。

安全装置としては自らの走行状態を知らせる警報灯及びチャイム、前方の障害物を検知した際に停止させるセンサ、万一接触時に停止させるタッチセンサがある。また、すべての動作が停止する非常停止鈕を設け、万全の安全対策を図っている。

自走台車の主な仕様を表-1に示す。

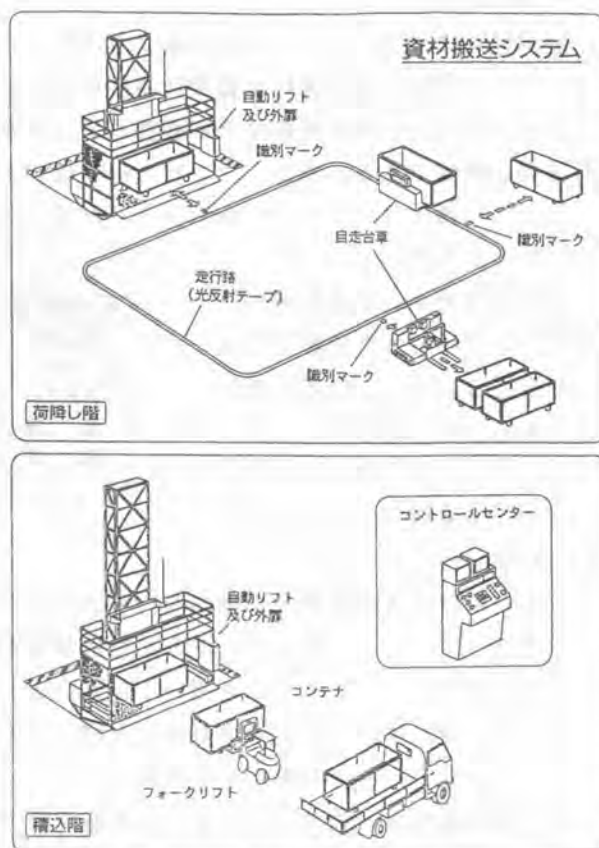


図-1 資材搬送システム概要

## 2-2. 制御装置

制御装置はコンピュータ、通信器より成り、自走台車の運行制御を行う。コンピュータは事前に登録された運行に必要な各階のレイアウトや置場などの情報を記憶しておくことで、各自走台車に搬送作業に必要なデータを送る。ここでデータは、荷取り場所、荷置場の情報である。また、コンピュータは自走台車相互間の運行を管理している。

これらの機器はコントロールセンタに配置し、リフトのオペレータが兼務して操作を行うことができる。

通信器は光ケーブルを用い、所定階に設けられた中継器にデータを送る。また、自走台車には中継器より無線を介してデータを送る。自走台車はコンピュータからの置場データに基づき自ら作業を行う。

形 式	フォーク式自走台車
最大積載荷重	1,300kg
走行速度	最大50m/min
最小回転半径	3m
外形寸法	長さ 2,300mm×幅 1,300mm×高さ750mm
自 重	700kg
電 源	DC24V , バッテリー

表一 1 自走台車仕様

自走台車は以下の作業及び動作を行うことができる。

- ・搬送 資材をリフトまたは置場から置場（リフトを含む）へ運ぶ作業
- ・台車移設 リフトを用いて自走台車を別の階へ移設させる作業
- ・台車・資材移設 自走台車が資材を積んだままリフトに載って別の階に移設し資材を搬送する作業

また自走台車は、最大5台がそれぞれ別の階で作業を行える他、このうち最大3台を同一フロアに集めて同時作業を行うことも可能である。

## 3. 現場への適用

本システムを使用した建築現場は新都心建設が進む千葉市幕張地区にあり、コンピュータシステム開発に対応した最先端のインテリジェントビルであり、以下の2箇所である。

- (1) 幕張富士通システムラボラトリ建設工事 ('91.6 ~ '91.12)
- (2) NMビル(仮称)新築工事 ('92.5 ~ )

### 3-1. Nビルへの適用例

#### (1) 設置及び撤去作業

資材を揚重する自動リフト1台に対して1セット（自走台車2台）を用いた。自走台車の幹線走行路は本現場の荷物置場や自動リフトの位置を考慮した上、直線とした。荷物置場は8カ所を任意の場所に設けたが、あくまでも基本の形であり、搬入資材の状況やフロア状況から適宜変更した。その他に自走台車のパーキングを設けた。

以上のレイアウトに基づき、各階の床に幹線用の反射テープを張り付け、置場マークを設置した。また、所定階に中継器を設け、これらを、通信用の光ケーブルと電源ケーブルで渡りをとった。以上で設置は完了である。したがって撤去作業も容易に行える。

## (2) 搬送作業

自走台車は下記に示す資材を主な搬送対象としている。

①内装資材：耐火間仕切材、天井材、窓下収納材、OA床材

②設備材：配管材、空調ダクト、保温材

また本現場では図-2に示す荷姿を標準とし、揚重量として最もボリュームのある耐火間仕切用・天井用の耐火ボードを主に搬送した。

運用にあたってあらかじめ使用者により揚重搬送の予約申込を行う。そこでは揚重搬送に伴う必要情報を明らかにし、荷物置場や時間の調整を行う。

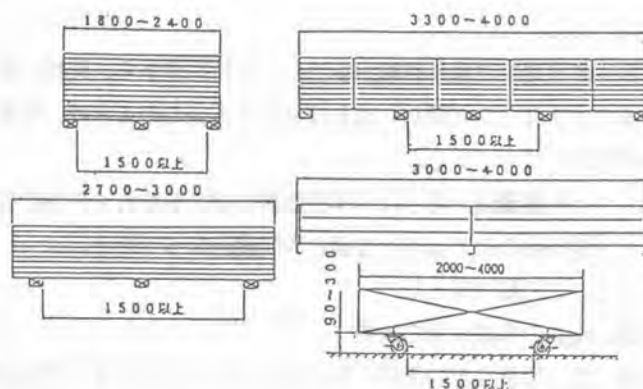


図-2 荷姿の例

### 3-2. 結果

本システムの導入により、従来4～5人必要であった荷降し階での作業者が不要となり、省人化を実現できた。そして、従来の揚重作業における不確定要素であった荷降し作業が確立され、揚重搬送時間の調整等の揚重管理が容易となった。さらに、自走台車の走行路と荷置場所の確保を確実に行うことで、さらに揚重搬送能率を上げることができる。

### 4. おわりに

今回、本システムを建築現場に適用したことにより、荷降し作業の無人化と水平搬送作業の無人化が実現できた。

今後、さらに現場適用を進めるための課題として、資材の現場搬入及び揚重を計画的に行うために、本資材搬送システムの稼働の運用管理を行うソフトの開発が必要である。

また、本システムは高層建築を対象としたものであるが、今後は中低層建築を対象とする簡易な汎用システムに展開する計画である。

## 5. 開閉・上昇機構を有する全天候型工事用屋根

(株)熊谷組：\*増田 隆史・田中 浩和

ユニチカ(株)：坂井 忠勝

### 1. はじめに

建築生産現場では屋外作業が多いという特殊性から、天候の影響を受けがちであり、降雨・降雪による作業の中断などの問題がしばしば発生する。このことは、作業環境の悪さや、生産性および品質の低下の原因ともなっている。

そして、作業環境の悪さは若年労働者の建設業離れや長期的な人手不足傾向を招いており、建設業における労働条件の改善は避けて通れぬ問題となっている。

そこで、この解決策として

#### ①建設現場の作業環境の改善

雨、雪、猛暑などの天候に左右されない快適な作業空間を提供し、建設現場につきまとう作業環境の悪さを改善する。

#### ②工程安定による生産性の向上と週休2日制の実施

降雨、降雪による工程の遅延をなくし、生産性の向上を図り、現場での週休2日制を可能にする。

#### ③建設労働者の安定雇用の確保

快適な作業環境と、確実な工程管理（労務の平準化）により優良労働力の確保に寄与する。

の実現を目指した全天候型工事用屋根「ゆとりあんルーフ」を開発したので、開発の経緯、概要、適用可能条件、現場での試験施工状況について報告する。

### 2. 開発の経緯

最近、全天候型の建設現場を実現するために、仮設鉄骨を組み、シートまたは折板などの屋根葺材を張った地下工事用固定式屋根や、工事の進捗に合わせて屋根が上昇し開閉する地上部工事用の仮設屋根が話題となっている。

しかし、これらは、地上または地下に使用可能期間が限定されるもの、作業現場全体を覆う事ができないもの、工事用資材の搬出入のための荷捌き開口部が限定されているものなどで改良すべき点が多い。また、コスト面においてもまだまだ高価であるため、現場への全面的な普及までには至っていないのが現状である。

以上のような問題点を踏まえ、下記の開発目標と開発仕様を具体的に設定し開発に取り組んだ。

#### (1)開発目標

①天 候：雨および雪を防ぐ

②対象工事：地下工事から地上躯体工事完了まで

③対象建物：鉄筋コンクリート（RC）造で、高さ30mまでの中・低層建物

④コスト : 安価であること

⑤その他 : 資材の搬出入が容易にできること

(2)開発仕様

- ①屋根が伸縮し水平移動する
- ②屋根が工事の進捗に合わせて上昇する
- ③屋根葺材は透光性の良い膜材とする
- ④屋根の上昇装置は特定部分に集中して設ける

3. 開発の概要

3-1. 構成

屋根は、図1、図2に示すように透光性の良い膜材を張った3つの屋根ユニット(A, B, C)、屋根ユニットが水平走行するレールおよびレールガード、レールガードを支える屋根支柱、屋根を上昇させる上昇支柱と上昇装置などで構成されている。構成要素の主な仕様は表1のとおりである。

屋根支柱は桁行方向外部足場の建柱3スパン毎に組み込まれており、レールガードの固定レール部を支持している。

上昇支柱は片側桁行方向面に2本ずつ設置され、上部には屋根をリフトアップするための上昇装置が

表1. 構成要素の仕様

項目	仕様
屋根ユニット	重量: 6.5t/1基 屋根架構部 5.0t 屋根伸縮部 1.5t
屋根支柱 屋根架構 上昇支柱 レールガード	材質: STK400 およびSS400
屋根伸縮部	膜材吊り鋼管: STK400 支持ローラー: ウレタン
膜材	素材 基布: ポリエステル 樹脂: 塩ビ(ベージュ色) 仕様 重量: 650 g/m <sup>2</sup> 性能 引張強度: 790×3090kg/3cm幅 耐久性: 保証期間2年
上昇機構	電動チェーンブロック: 4台, 定格荷重3t 巻上速度: 4.3/5.2m/min(50/60Hz)
水平移動機構	電動サドル: 4台/ユニット 全車輪共駆動装置付き 走行速度: 11/13m/min(50/60Hz)

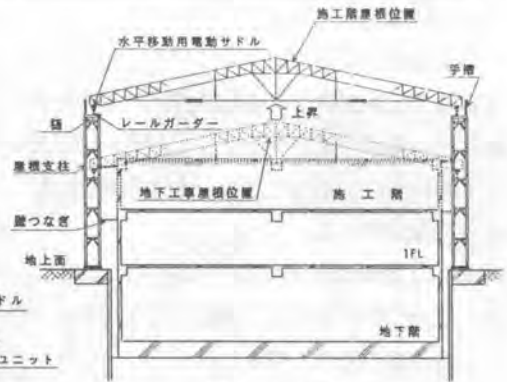


図2. 断面図

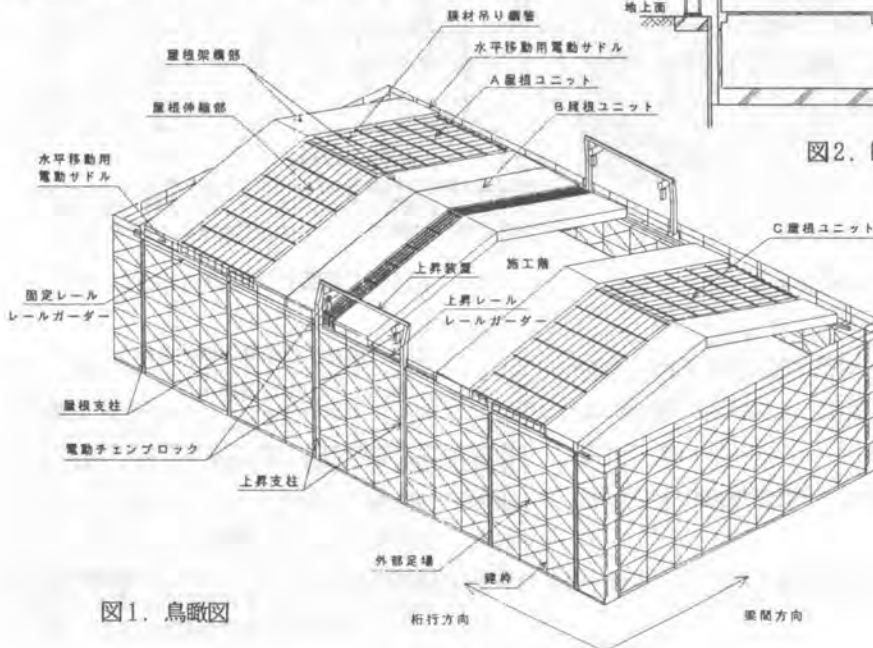


図1. 鳥瞰図



取り付けられている。また、上昇レールのガイドの役割をしている。

1つの屋根ユニットは、両側の屋根架構部（両端の水平移動用電動サドルに載せたもの）とこの屋根架構部間に膜材吊り鋼管を掛け渡し、折りたたみ可能な膜材を吊った伸縮部から構成されており、桁行方向長さか5.5m～10mまで伸縮可能である。

### 3-2. 機構

#### (1)水平移動機構

屋根架構部の両側に取り付けられた、全輪とも駆動する電動サドルにより、レール上を走行する。運転操作は各屋根ユニット毎に設けたペンダントスイッチによる。水平移動速度は11.0m/分(50Hz)である。

#### (2)開閉機構

開操作においては、屋根架構部の水平移動機構の作動により、膜材吊り鋼管が屋根架構部内に自動的に引き込まれ、屋根伸縮部の膜材が折りたたまれて縮む。また、閉操作では、膜材吊り鋼管が屋根架構部から引き出され、屋根伸縮部の膜材が広がる。

#### (3)上昇機構

上昇装置は門型に組立てた架台上部に2台の電動チェンブロックを取り付けたもので、計4台の電動チェンブロックを連動集中制御し上昇レールを引き上げる。上昇速度は4.3m/分(50Hz)である。

屋根の上昇は5.5mに縮めた各屋根ユニットを1基ずつ上昇レールに搭載し順次行う。

上昇手順を図3、図4に示す

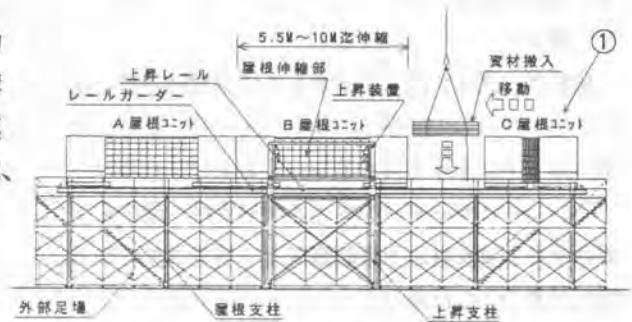
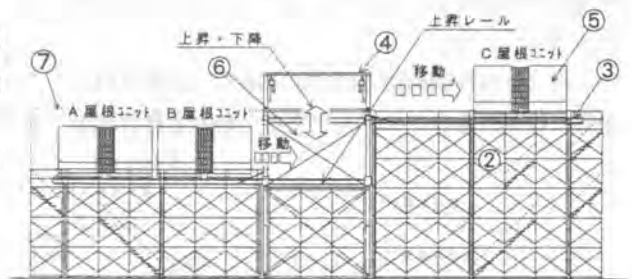


図3. 立面図（通常施工時）



- ①屋根ユニットを縮めて水平移動
- ⇒②外部足場・屋根支柱組立⇒③レールガード組立
- ⇒④上昇支柱・上昇装置組立⇒⑤屋根ユニットの上昇・水平移動
- ⇒⑥⑦外部足場・屋根支柱・レールガード組立⇒通常施工

図4. 立面図（上昇時）

### 4. 適用可能条件

- (1)対象建物：鉄筋コンクリート（RC）造で  
10階建て程度まで

#### (2)架設可能面積

梁間方向スパン30m×桁行方向長さ30m=900㎡  
（梁間方向スパン：屋根トラス鉄骨の増減により  
20～30mまで可変）  
（桁行方向長さ：ユニット数の増減により可変）

#### (3)架設可能期間

地下工事（杭・山留め壁工事は除く）から地上躯体工事の完了まで

表2. 風および地震の制約条件

条件	外力			地震時
	平均風速(m/s)*1			
	0～10	10～15	15～35	
屋根の開閉状態	制限なし	制限なし	開	制限なし
屋根の開閉作業	可	可	不可	不可
屋根の上昇作業	可	不可	不可	不可

\*1：平均風速の区分は、タワークレーンの稼働限界である平均風速15m/sと、日本建築学会「建築物荷重指針・同解説」の関東地区基準風速35m/sによる。

#### (4) 屋根架設時の制約条件

- ① 風および地震：表2に示す。
- ② 積雪：最大積雪量30cm(60kg/m<sup>2</sup>) まで  
(東京、大阪における通常の設計用積雪量)

#### 5. 試験施工

##### (1) 屋根架設計画

表3に示す現場において、梁間方向スパン22m×桁行方向長さ30m＝660m<sup>2</sup>の屋根を、地下なし、地上6階建て部分に架設した。架設期間は、平成4年5月より7ヶ月間である。

現場施工写真として屋根の上昇時(写真1)と通常施工時(写真2)を掲載する。

##### (2) 試験施工結果

###### ① 屋根架設所要日数

屋根組立前の段取りから組立後の調整完了まで5日間である。

###### ② 上昇作業所要日数

外部足場組立も含めて1日間である。また、上昇作業時でも、屋根下での通常施工が行えるので、工事工程のクリティカルな要件とはなっていない。

###### ③ 工事実施日数と天候調査

表4に示すように6月～8月の実働日数73日の内、終日雨の降った日は10日あったが、支障無く作業を実施できた。また、晴天日も34日あり直射日光の日除けとして作業員から好評を得た。

以上より、作業環境の改善と工事工程の安定と言う、当初の目的は十分達成できた。

#### 6. おわりに

今回の試験施工で、降雨等による工程遅延の防止や、真夏時の日除け効果などの良好な作業環境づくりに、大いに役立つことが確認できた。今後は、さらに製作コストの低廉化、汎用性の向上、多雪地域対策の必要もあり、すでに本技術の改良・改善作業に着手している。

表3. 工事および建物概要

工事名称	エクシブ山中湖新築工事		
建物規模	地下2階、地上6階		
構造	鉄筋コンクリート造		
建築面積	6,323m <sup>2</sup>	(試験施工面積)	523m <sup>2</sup>
延床面積	33,220m <sup>2</sup>	( " )	3,138m <sup>2</sup>
用途	会員制リゾートホテル		



写真1. 上昇時



写真2. 通常施工時(屋根一部開)

表4. 工事実施日と降雨日および晴天日の日数

月	実働日数	降雨日			晴天日
		終日雨	その他	計	
6	25	4	5	9	4
7	26	3	3	7	17
8	22	3	4	7	13
計	73	10	12	23	34

## 6. 内装材ハンドリングロボット・バランスハンド 『LF150W』、『LF250C』の開発

KOMATSU：\*小境 英夫・養安 豊彦  
湯澤 良充

### 1. まえがき

建築現場における外壁の施工は、材料のPC化、大型パネル化が進み、クレーンによる機械化施工が随所で行なわれている。一方、内装の施工は、各種定型板が工場で製造されるようになってきているとはいえ、現場での取付け作業自体は、人手不足と言われながらも、職人による手作業で行われているのが実状である。内装材施工の機械化、ロボット化が望まれている理由がここにある。

内装材にはガラス、石材、耐火不燃ボード、OAパネル、天井パネル等各種の材料がある。材料毎に施工方法も様々ではあるが、取付作業時の基本動作や施工環境という観点からすれば、共通な部分・パターン化できる作業が多いと考えられる。

今回、各種内装材のハンドリング作業に対応できる汎用型「内装材ハンドリングロボット LF150W ， LF250C」を開発したので、その特長と施工事例を紹介する。



LF150W全体写真



LF250C全体写真

### 2. 内装材施工ロボットの要求機能

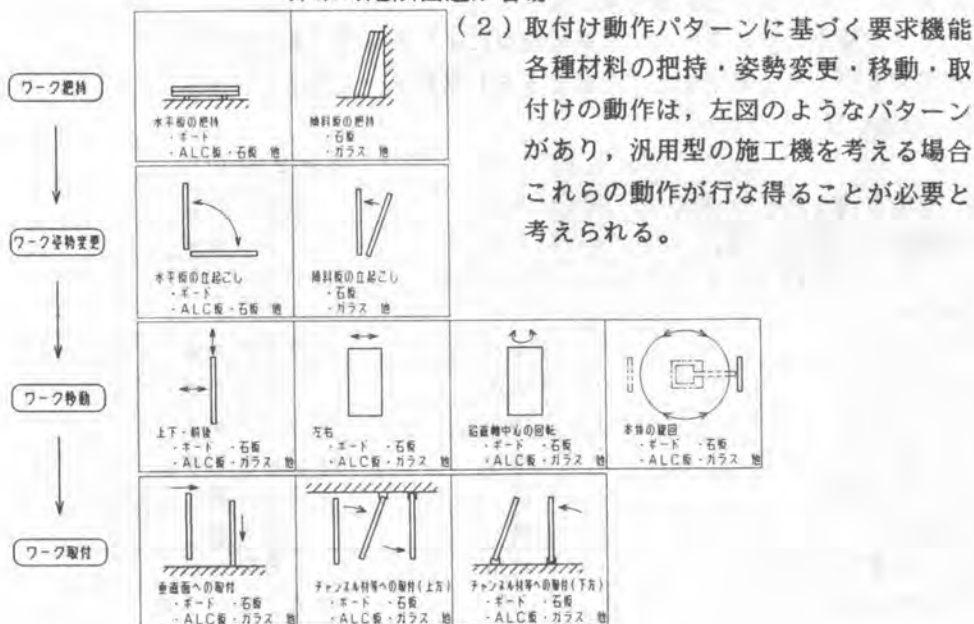
内装材の施工を機械化、ロボット化する場合、まず考えなければならないことは、機械の①現場への搬入・搬出、②現場内での移動、③現場での作業スペースといった現場作業環境に基づく制約、要求機能であり、この部分に関しては、使用する材料によらず共通する所が多い。

また、材料の取付け作業を機械やロボットで行なう場合、対象とする材料により把持方法は異なっても、取付ける際の一連の動作という観点からすれば、パターン化された動きで十分対応できることが解った。

そこで、以下に建築現場でのヒアリング調査、試作車のユーザテスト等を通じて得られた、内装材施工ロボットに対する要求機能を分類した結果を示す。

(1) 現場環境に基づく要求機能

- ① 揚重性がよい
  - 工事用エレベータに搭載可能
    - エレベータ積載重量以下の車重
    - 30°外な荷姿
  - クレーンでの揚重が可能
  - 揚重時分解作業が少ない
- ② 移動性がよい
  - ドアの通過が可能
  - 狭所での移動が容易
  - 不整地走行が可能
  - 30°外な移動姿勢
  - 自在な動きが可能
  - 30°外な移動姿勢
- ③ 操作性がよい
  - 材料の位置決めが容易
  - 操作に習熟を要さない
  - 操作が解りやすい
- ④ 作業性がよい
  - 狭所で作業できる
    - 天井にアームが干渉しない
    - 後端旋回半径が小さい
    - 定置作業範囲が大きい
  - 材料を置くスペースが確保できる
  - 移動せずに材料を把持できる
  - 段取り替えが容易
  - 本体の移動が容易
- ⑤ 安全に作業できる
  - 作業中転倒しない
  - 材料が落下しない
  - 誤操作のおそれがない
  - 非常時危険回避が容易



### 3. バランスハンドの特徴と主な仕様

前述の要求機能に基づいて織り込んだ、構造上の特徴と主な仕様を示す。

#### (1) バランスハンドの特徴

バランスハンドは当社の電気式バランスと新開発の自在走行台車を組み合わせた移動型ハンドリング・ロボットである。LF150Wは、対角2輪駆動・ステアリングシステムを採用したホイール式台車を用いて、狭小地での移動性、段取り替えの容易さを狙った汎用機である。また、LF250Cはクローラ式台車を採用し、段差乗り越え、不整地走行性を向上させ、重量物のハンドリングを対象としたヘビーデューティ車と位置付けている。それらの特徴的な構造を列挙すると、

①アームの中折れにより 移動時・輸送時のコンパクトな姿勢を実現

②前後・左右・斜行・緩旋回・スピントーンが1本のレバーで行える自走台車 (LF150W)

③高精度の電気バランスと自由度の高い平行リンク式アームおよび3自由度を持つ把持アタッチメントにより各種建材の取付動作に対応



LF150W 輸送姿勢

④約3mの作業高さ・360度フリー旋回の作業機で大きな作業範囲を実現

⑤アームの姿勢を任意に固定できる3軸電磁ブレーキ装置(LF250C)

⑥重量物の立て起しを可能にした電動式パワーチルト装置

⑦作業中に充電が行える自動充電システム

⑧バッテリー駆動の真空モータ・2系統配管により安全な吸着作業が可能

⑨停電時もワークを降下することのできる非常時アーム降下システム

#### (2) 主な仕様

	LF150W	LF250C
■ 運転整備重量 (アタッチメント除く)	840Kg	990Kg
■ 定格荷重 (アタッチメント含む)	150Kg	250Kg
■ 輸送姿勢 (全長X全幅X全高)	1990X795X1800mm	2230X1020X1900mm
■ 作業範囲		
最大作業高さ	3000mm	3090mm
最低作業高さ	330mm	430mm
最大作業半径	2135mm	2135mm
最小作業半径	1025mm	1025mm
アーム旋回角度	360度	360度
■ 登坂能力	11度	25度
■ 最大段差乗り越え高さ	25mm	80mm
■ 走行台車形式	ホイール式	ゴムクローラ式

#### 4. 施工事例

##### ①石膏ボード貼り

現場：T空港ターミナル工事

施工：92.7～

材料：3000×910×21t (110Kg)

石膏ボードは、空気透過性材料であること、大板のため撓みが大きいことに注意する必要がある。この為、真空ポンプをバッテリー駆動化し、停電時断線時のボード落下防止を図った。

石膏ボードを搬入する際は、吸着面（表面）を上側に揃えておくことが作業能率上重要である。

作業量は、約39m<sup>2</sup> /人・日で、手貼りの30%アップであった。



##### ②ガラス内嵌め

現場：Nビル新築工事

施工：92.9～

材料：最大3302×1702×15t (210Kg)

ガラスを約10度傾けて吸着し、サッシ上部に差込み、パワーチルトを作動させるとバランスの働きによりガラスの上端を中心とする回転動作と押し込み動作が同時行えスムーズにガラスを挿入できた。

従来、7～8人要した作業が、3人で施工できるようになった。



##### ③その他の施工例

その他に、ALC板の取付作業・ボードと軽量鉄筋のサブ組作業・工場での建築用資材のサブ組行程等でも使われている。

#### 5. あとがき

バランスハンドは、当初石板施工の省力化を目指して開発したが、発表と同時に各方面から多くの反響を得、ボード・ガラス・ALC板の施工、工場での建築資材のサブ組行程などいろんな用途に対応できるよう改良を重ねてきた。今後も各方面で使っていただけるよう一層の改良に努めたい。

## 7. スカイハンド“多目的内外装材取付ロボット” の開発

KOMATSU：\*杉村 真・養安 豊彦  
井口 大介

### 1. 開発の背景

近年、建設現場は、いわゆる「3K」という作業環境の中で若者の現場離れ、職人の高齢化等により、人手不足がはなはだしくなっている。また建築業の労災は全労災の半分を占め、更に建築の労災の40%が高所からの墜落となっており、高所作業の安全性が強く求められている。一方ゼネコン、メーカーが一体となって数々のロボットを開発し、現場投入されているが、現場への適用性、価格、操作性の問題により、広く使用されているとはいえない。

一般的に躯体建込みから仕上げに至る建築工程の中で床張り後の工程〔外装材取付、内装材取付、設備取付〕は最も長く、最近では高所作業車が使われるようになってきたが、重量物の資材を高所に設置するにはまだ人力やチェーンブロック等にたよっており、危険作業の排除、省力化、コストダウンが望まれている。これらの背景により、床張り以降の広範囲な工程に適用でき、安全作業と工期短縮、コストダウンを狙った足場一掃の建設ロボットを紹介する。

### 2. 開発のコンセプト

スカイハンドはその名が示すようにロボットの腕を持ち、高所で自在に操縦でき作業を行なうロボットのイメージを元に、狭い場所で、重量物を高い所に安全に正確に設置することを開発のコンセプトとした。

#### 2-1 重量物を高い所に安全に

資材を高所に設置する際、現状では足場やローリングタワーを組み、人手により資材を受渡して取付けており危険かつ苦渋作業である。本機では資材の重量はアームで保持し、人は位置決めを行なうだけのため、高所で安全に作業できる。

#### 2-2 狭い場所を自在に移動

建築現場の床の上には工場のロボットラインとは異なり、取付部材や足場、工具、電動工具用のケーブル等が雑然とおかれており、ロボットはそ



写真-1 スカイハンド全景

の間をよけるように移動しなければならない。  
そのため、次の機能を織り込んだ。

(1) 初めての作業者が意のままに簡単に走行させることができること。

- ・マイコン制御の対角2輪駆動と2輪ステアリングを、旋回つまみ付き1本レバーで操縦するので、走りたい方向にレバーを倒せば、その方向に走行し、旋回したい分だけつまみを回せば、旋回するので自在に走行させることができる。
- ・充電式バッテリーにより走行・作業ができる。

(2) 移動時はコンパクトに

- ・折りたたむとドアを通過できる幅と高さとなり本設エレベータに入る長さを実現したので、移動が容易となっている。

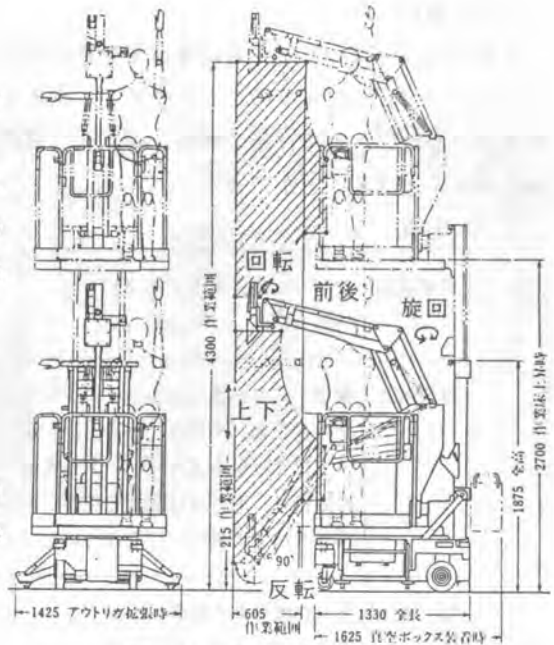


図-1 スカイハンド全体図

### 2-3 正確に設置する

材をハンドリングする職人の腕を生かすため、アームは多関節平行リンクを採用し、重量物を上下に保持することと、反転することは、油圧でささえ、その他の旋回、前後、回転は手動でダイレクトに動かすようにした。

アームの上下は、レバーにより比例制御しているのでmm単位の微調整が可能となっている。

### 2-4 安全性と整備性

安心して作業ができるように、次のような数々の安全設計と整備容易化を、織り込んでいる。

(1) 安全警報モニタ (ランプとブザー)

- ・傾斜・過積載・アウトリガ設置などの安全警報
- ・バッテリー液量・バッテリー充電量の警報

(2) 自己診断機能

マイコンへの操作回路が正常であることを確認する自己診断機能と、そのエラーコードの表示。

(3) 自動駐車ブレーキ、作業床上昇時のアーム旋回角度制限、作業床上昇時の自動低速モード走行、バッテリーの自動充電・自動カット。

運転整備重量	kg	980
アウトリガ等取り外し重量	kg	890
全長	mm	1330
全高	mm	1875
全幅	mm	795
全幅 (アウトリガ拡張時)	mm	1425
作業床面高さ	mm	515 ~ 2700
マニプレータ方式 (アーム)		多関節平行リンク式油圧ホイスト チルトシリンダ付
マニプレータ把持重量	kg	100
作業床積載荷重	kg	200 (マニプレータ把持及び作業者含む)
走行速度・高速モード	km/h	0 ~ 1.3
・低速モード	km/h	0 ~ 0.25
動力源		バッテリー DC24V

図-2 仕様



写真-2 走行および昇降操縦部



### 3. 施工事例

スカイハンドは'92年7月に量産発売されたばかりであるが、プロトタイプのところを含めて、次のように現場施工を行い、安全作業の実現、省人化、疲労低減等の効果を上げることができた。

写真-3 サッシの施工

対象材料	サッシ上枠(下枠) 80 Kg 1800 x 400 x 300 mm
作業内容	横通し式カーテンウォールのサッシ上枠(下枠)を取りつける。パレット上のサッシをスカイハンドの先端に取付け、取付け位置まで走行し、高さ3mまで持ち上げ取りつける。
効果	6人作業→3人作業 安全作業の実現、疲労低減



写真-4 ブラインドボックスの施工

対象材料	ブラインドボックス 70 Kg 3600 x 660 x 300 mm
作業内容	ブラインドボックスを吸着し、柱をかわして、90°反転し(下面を吸着する位置となる)、高さ2mまで持ち上げとりつける。
効果	簡易的なリフト スカイハンド 4人作業 → 3人作業



写真-5 石膏ボードの施工

対象材料	石膏ボード3 x 6 尺板 下張り 9・12・15mm、 15Kg・20Kg・25Kg
作業内容	右脇に連結したボードキャリヤからボードを吸着し、立て起こし、作業床を上昇させ、とりつける。
効果	2人作業→1人作業 疲労低減



### 3-1 その他の施工事例

建材に合わせて、それぞれのアタッチメントを開発してゆくことにより、次のような様々な施工に適用できた。



写真-6 ガラスの施工



写真-7 縦パイプの施工

### 3-2 スカイハンドによる機械化施工の問題点

施工の作業環境が整備されていなければ、以上のような機械化の効果を十分に発揮できない。作業スペースを確保するためには、機械化施工を前提とした資材搬入計画や、工程計画を組む必要がある。また資材仮置き禁止ゾーンの設定などが有効である。

このような環境整備を行なうためには、施工担当部門の御努力とともに、ゼネコンの皆様の協力が不可欠である。

### 4. おわりに

スカイハンドは、建材に合わせたハンドアタッチメント交換方式を採用し、機能のモジュール化を図った結果、各種用途に適したアタッチメントを開発する時間と労力を低減することができた。また建築現場のように常に化する複雑な作業環境の中で汎用性をあげることができたこと、人とロボットの共存が難しい作業形態の中に旨く適用できたことは建設ロボット化の一つの方向を見た思いがする。

本機の今後の発展は、アタッチメントによる用途拡大及び系列拡充であり、現在各種のアタッチメントを開発しつつある。

本機はロボットと言っても操作型マニプレータにすぎないが技能工不足、高齢化が益々深刻化する建設現場で職人の手足として有効に利用できるマン・マシン一体型作業ロボットへの第一歩の機械であり、更に改善をくりかえし、理想的なロボットになるよう努力したい。また本機は今後の建設ロボット開発の進むべきひとつの方向を提案すると共に、今後の建設工事が本機の出現により建材の開発を含め、更に合理的な施行方法の実現へと発展してゆくことを望むものである。

#### 参考文献

(1) 外壁・開口部における生産システムの合理化セミナー論文集

「カーテンウォール工事における省人・省力化」新日軽(株) 山口賢二氏

(2) 日本機械学会〔No. 920-33〕ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集

## 8. 遠隔操縦地盤改良機械の開発と実用化

フドウ技研(株)：\*松沢 諭

住友建機(株)：井田 義隆

### 1. はじめに

建設業界における熟練技能労働者の高齢化や、若年労働者の建設業ばなれは、いまや深刻な社会問題化している。

一方、砂杭工法等による地盤改良分野では、関西新国際空港建設工事、羽田沖合展開工事例に見られるように改良長が大深度化し、振動機等の施工機械は大型化する傾向にある。従って、地盤改良用機械のオペレーターにとっては、施工環境が悪化することが懸念されておりその改善が望まれている。

砂杭工法は複雑多岐な動作を必要とするが、フドウ技研(株)と住友建機(株)では遠隔操縦地盤改良機械を開発し、堺地区改良工事、志布志石油備蓄改良工事、関西新国際空港場内造成工事他数件の作業所で稼働させて実用化した。その結果、オペレーターへの振動や騒音が解消され施工環境を大幅に改善することに成功した。

### 2. 開発経緯

昭和63年12月開発に着手、開発1号機を製作の後当社機械センターでの基礎実験、備前テニスセンターにおけるフィールド実験を経て表-1に示す現場で稼働した。

その結果、遠隔操作で砂杭造成作業が可能な事を実証し、十分な実用性が確認された。また、将来の全無線操縦に備えてのオシロ電送システムの実用性も志布志で確認された。

以上の実績を踏まえて、実用機2台を製作し稼働体制に入った。写真-1に関西新空港の現場で稼働中の開発1号機を示す。表-1に開発1号機の施工実績表を示す。

表-1 開発1号機施工実績表

区分	基礎実験	フィールド実験	現場稼働			
			西宮	堺-M&F	志布志石油備蓄	関西新空港
現場名	当社機械センター	備前テニスセンター	西宮	堺-M&F	志布志石油備蓄	関西新空港
工期	S63/12	H1/6~H1/7	H1/9~H1/10	H1/11~H2/1	H2/5~H2/6	H2/10~H4/5
施工量	—	1,338 m	5,931 m	17,117 m	8,438 m	64,208 m



写真-1 関空で稼働中の開発1号機

### 3. 遠隔操縦施工機の概要

#### (1) 砂杭工法（コンポーザー工法）

通常の砂杭の施工は、複数のウインチを搭載したクローラー式のベースマシンにオペレーターが搭乗し行い、その施工順序は以下の様になる。

- ①ケーシングを所定位置に据える。
- ②振動機を作動し、砂をバケットにてホッパー口から投入しながらケーシングを地中に貫入する。
- ③所定深度に達するとケーシングを引抜ながらコンプレッサーからの圧縮空気によって、砂をせん孔部に押し出す。
- ④ケーシングを打戻し、押し出した砂柱を振動によって締固める。
- ⑤③～④を繰り返し、地表面まで砂柱を造成する。

図-1にコンポーザー工法の施工順序図を示す。

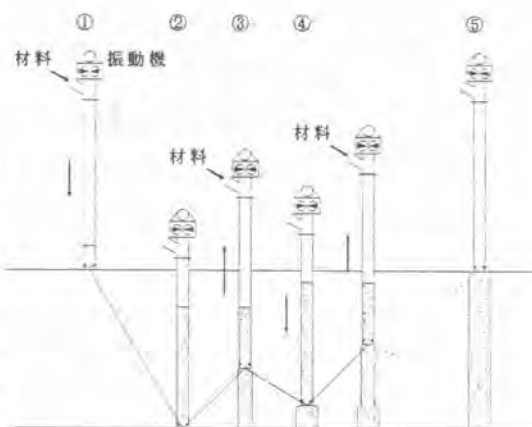


図-1 施工順序図

#### (2) 機械の構成

本機は下図に示すように、振動機を装備した施工機本体とラジコン車からなる。ラジコン車は施工機本体の前方30～50mの位置に配備し、オペレーターはこの中から砂杭の造成、及び造成終了後の施工機本体の移動などすべての操作を行う。

図-2に遠隔操縦施工機の全体構成図を、表-2に主要仕様表を示す。

表-2 主要仕様表

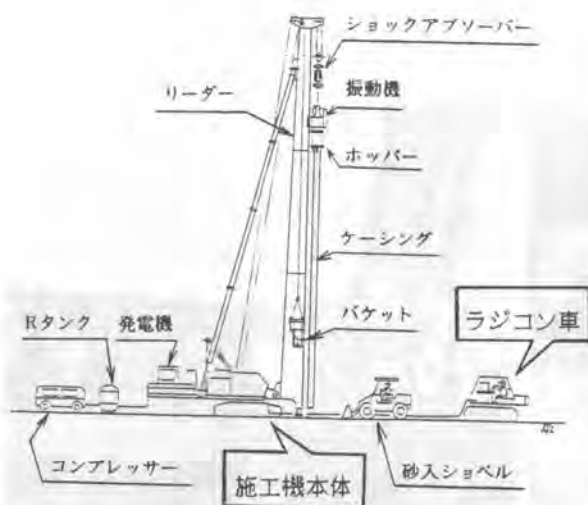


図-2 遠隔操縦施工機の全体構成図

1. 遠隔操縦施工機主要仕様		
No	名称	仕様
①	施工機本体	住友建機(SP-100)
②	パイプロ	V-120
③	リーダー	750×850×30m
④	ケーシング	φ400×20m
2. 遠隔無線操作部仕様		
比例制御操作部 (速度制御可能)		ON-OFF制御操作部
No	項目	項目
①	主巻き 上げ、下げ (動力降下)	エンジンスタート
②	輔巻き 上げ、下げ (動力降下)	エンジンストップ
③	旋回	ホーン
④	走行	旋回ブレーキ
⑤	エンジンスロットル	ポンプコントロール
3. 遠隔有線操作部仕様		
No	有線操作項目	
①	施工オシロ記録計 (GL, SL)	
②	各部操作 SW (パイプロ、砂バケット用シリンダー他)	
③	バックステーストローク計	
④	バケット用テレビカメラ	
⑤	リーダー傾斜計	

(2)遠隔操縦システム

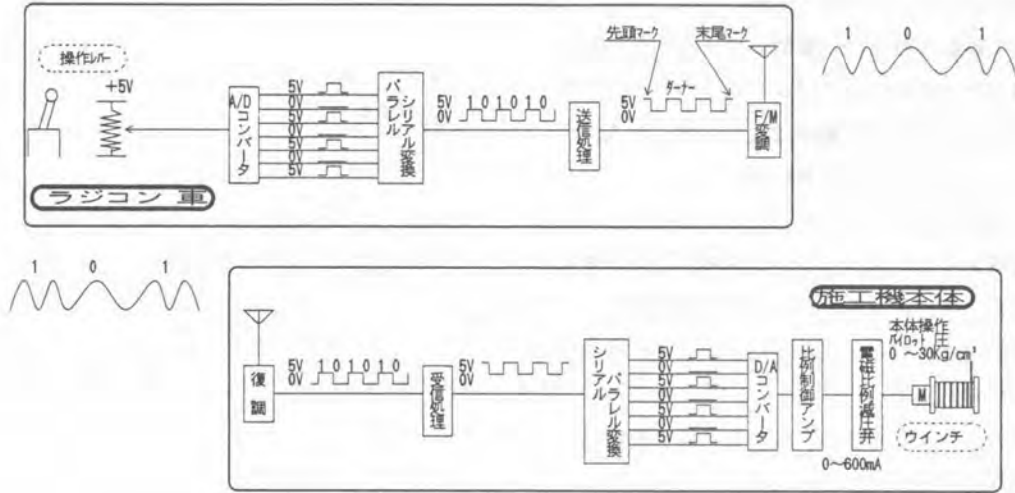


図-3 遠隔操縦システム

図-3に示すように施工機本体は、ラジコン車側の無線発信機からデジタル処理して発信し、本体側で受信した後アナログ処理し、電磁比例減圧弁を介して油圧ウインチを作動させるものである。また有線方式では無線機の部分は不要となる。

表-3に無線機の主要仕様を示す。

(3)ラジコン車

ラジコン車は軽量でコンパクトな自走式として、内部にはエアコンを装備してオペレーターに快適な環境を整えている。写真-2に新型ラジコン車、写真-3に操作室内部を示す。

表-3 無線機主要仕様表

1. 無線仕様	
種別	特定小電力無線局
2. 送信側仕様	
変調方式	MSK変調方式
変調速度	2400BPS
空中線電力	10mW
3. 受信側仕様	
シフト出力	RS422レベル
受信感度	ビット誤率 10 <sup>-4</sup> 以下



写真-2 新型ラジコン車

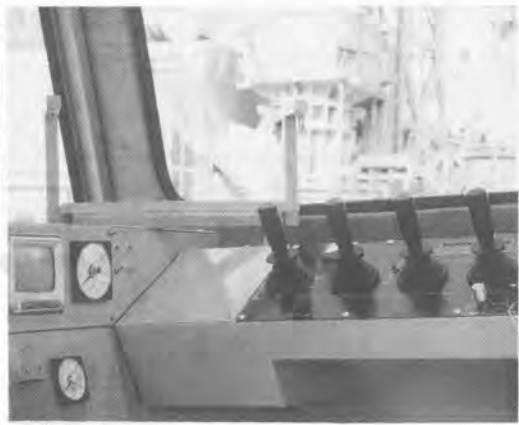


写真-3 操作室内部

#### 4. 開発成果

表-1に示したように、これまでに97,032mのコンポーザーを施工した。その結果つぎのような成果が確認された。

①オペレーターは施工機本体に乗車しないで、ラジコン車から操縦するため、振動機の影響をほとんど受けず施工環境は大幅に改善された。

図-4にラジコン車と施工機本体との振動レベルの累積度数グラフを示す。

②施工機本体から離れたラジコン車からの視界は良好で施工機全体を監視出来るため、操縦し易くなった。

③施工能率については同じ機械でオペレーターが本体に乗車して打設する場合とほぼ同一であったが移動時間に多少の低下が見られた。

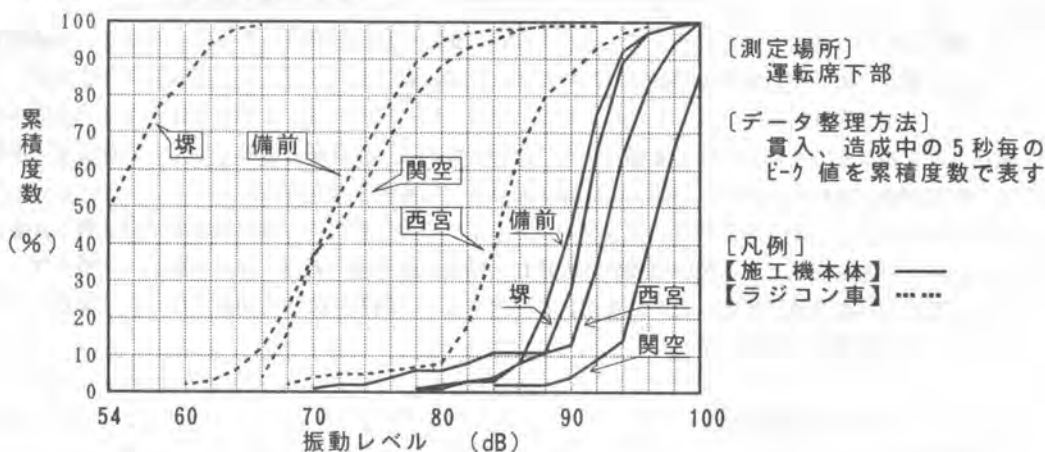


図-4 振動レベルの累積度数グラフ

#### 5. おわりに

この遠隔操縦施工機は、短期のねらいとしたオペレーターの施工環境条件の向上については達成された。その成果を受けて新たに製作された2台の実用機は、現在現場で稼働中である。

現状では、自動化・ロボット化による採算性の確保は難しいが、人件費の高騰、官側の対応の変化等により数年後にはさらに多くの建設ロボットが出現するであろう。

我々も要素技術の開発を1つ1つ進めながら、最終目標である砂杭造成ロボットの完成に向かって努力したいと思っている。

## 9. プラズマカッター工法の開発

(鋼管矢板、鋼管杭の水中切断装置の開発)

川崎製鉄(株)：\*藤田 勉・赤秀 公造  
江面 行正

### 1. はじめに

近年、道路、鉄道の立地難から河川や港湾内での橋梁、トンネルの建設が目立っている。この場合には、橋長が大きくなることが多く、水中に基礎を設ける必要がある。基礎工法としては図1に示されるような施工性に優れている仮締切兼用鋼管矢板井筒が多用されている。この工法では、仮締切として使用した鋼管矢板壁の水底近くで、不要となる上の部分を水中または土砂中で切断し撤去する必要がある。

従来、鋼管矢板の本管についてはディスクカッタなどの切断工法が開発されてきた。しかし、小径鋼管にモルタルを充填した継手部の切断は容易ではないため、従来は継手を予めガスカットし空所に止水材を充填するプレカット工法を採用していた。しかしこの工法では、杭打設時の高止まりなどにもなう位置のずれや、漏水トラブルなどの不都合が生じる場合があり、解決されるべき課題とされていた。これまでも本管と継手の切断法が検討されていたが、切断上の問題があり十分なものでなかった。

継手を予めプレカットする必要がないノンプレカット工法の確立を目指し鋼管矢板の本管と継手部を水中で同時に切断する方法を求めて各種の実験研究を重ねた結果、継手をと石カッタで切断し、本管をプラズマアークで切断する技術を確立することができた。本報告ではこの鋼管矢板水中切断工法および装置(プラズマカッター)の概要について述べる。

### 2. と石カッタを用いた切断実験

#### 2.1 実験方法

水槽内ではと石カッタによる切断実験を行った。供試体の継手は外径 165.2mm、厚さが 9mmの鋼管であり、管内に圧縮強度 240kgf/cm<sup>2</sup>のモルタルを充填した。供試体の本管は外径 800mm、厚さが16mmである。

#### 2.2 実験結果

と石カッタによる水中切断実験結果を図2に示す。と石カッタに作用している単位厚さ当りの切削力が大きくなると、継手の切断所要時間は短くなるが、と石カッタの磨耗量が大きくなる。切削力を25kgf/mm程度にすると直径方向の磨耗量も少くなり、1枚のと石で左右1組以上の継手を切断することができ、かつ継手の切断所要時間も約10分程度となり切断条件としては適正である。

### 3. プラズマアークを用いた水中切断実験

#### 3.1 実験装置

実験にはHyperthem社製HT-400Sのプラズマアーク切断装置を用いた。電源本体から中間ステーションを経て

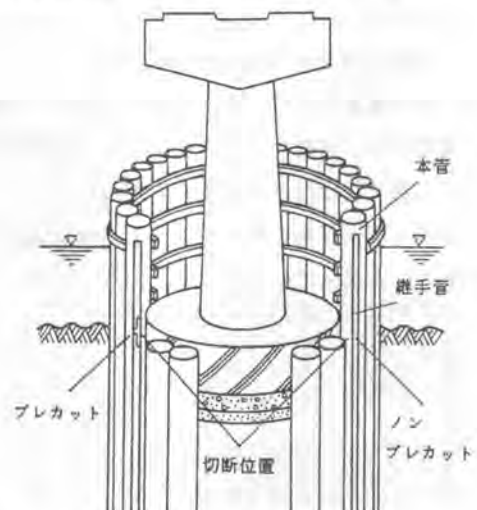


図1. 鋼管矢板基礎構造

ケーブルを延長し、水深約30m までの切断が可能ないように改造されている。

図3は大水深までの模擬切断実験が可能なる水圧タンクを示す。タンクの側面にはプラズマトーチの取付座がある。タンク内には供試体を載せる走行台車があり、台車の速度はタンク外部の駆動装置により制御することが可能である。また、タンク内には水が満たされていて、かつ内圧の調節が可能である。実験中に使用したガスは窒素または酸素であり、切断時の電流は酸素で260A、窒素では400Aである。供試鋼板は厚さ5mmから27mmにいたる勾配のついた楔形とし、500～3000mm/minの速度範囲で走行させて板厚に対する限界切断速度を求めた。実験には水道水または海水を用いた。厚肉鋼管の切断性を調査するために、厚さ42mmの鋼板を用いた切断実験を同様にを行った。水圧は1.0 kgf/cm<sup>2</sup>とした。

また、供試鋼板の背面に粘性土または砂が存在する場合の切断実験を行った。水槽には海水を満たし、トーチの水深を100mmとした。

### 3.2 実験結果

水道水（海水）中において水圧が変化した場合の切断速度と限界切断板厚の関係を図4に示す。限界切断板厚は切断速度の増大とともに減少するが、水圧が0.01→2kgf/cm<sup>2</sup>へと増大した場合も多少減少する。プラズマガスの比較では、酸素と窒素で切断能力に顕著な相違は認められない。なお、42mmの厚肉鋼板を対象とした実験では水圧1.0 kgf/cm<sup>2</sup>のとき140 mm/minの切断速度であった。厚肉鋼管に対しても、他の工法に比較し優れた切断性能を発揮する見通しを得ることができた。

海水中ではその導電性からプラズマエネルギーの分散が予想され、プラズマ切断の実用は極めて困難となる。ところが本実験では水道水と海水では大きな差は認められなかった。これは海水中でのプラズマ状態の維持をねらってトーチ先端外周部のセラミックスに絶縁効果を持たせたこと、ノズル近傍での水によるピンチ効果を働かせたことによる。

海水中において厚さ19mmの鋼板の背面に粘性土または砂が存在する場合の切断実験結果を図5に示す。いったん溶融した金属が、鋼板背面にある緻密な粘性土または砂の影響を受けて図中に模式的に示されるように切断溝部の表面上まではねかえり、凝固する場合がある。しか

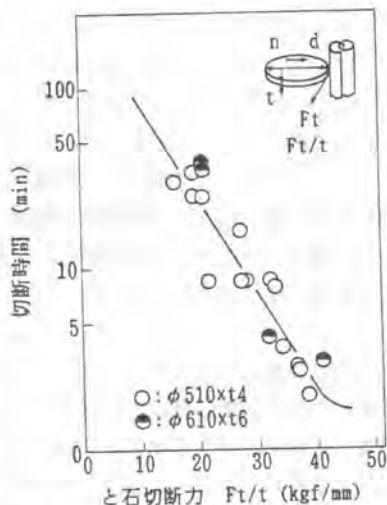


図2. 継ぎ手切断時間と石切断力

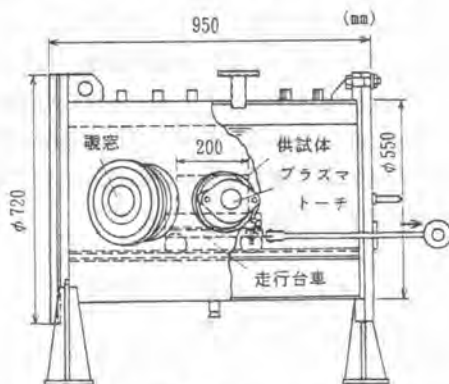


図3. 水圧タンク内での実験

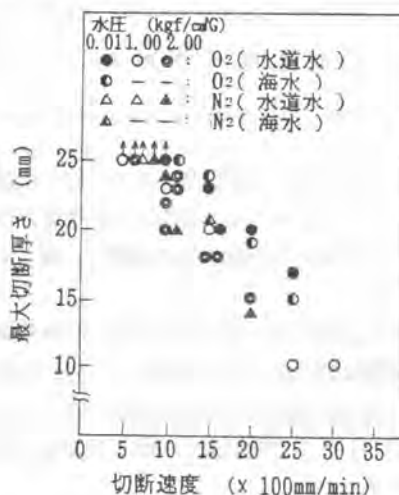


図4. 水中切断速度と切断可能板厚



し、窒素プラズマ切断では800 mm/minの切断速度で、また酸素プラズマ切断では400～600 mm/minの切断速度領域で再凝固金属が切断溝の表面で再溶着することなく、完全切断が可能である。また、窒素プラズマで切断速度を1200 mm/minと大きくした領域では、熱量不足から熔融金属の流れが不完全となり、局部的に再溶着部を形成する。しかし、酸素プラズマ切断では酸化がより進行しているため本切断工法に適している。

#### 4. 新型水中切断装置：プラズマカッター

新しく開発した水中切断装置の主仕様を表1に、切断機本体を写真1に示す。プラズマアーク切断と石切断を一体に組込んだ設計である。と石カッタで継手を、プラズマアークで本管を切断する切断方法に大きな特徴がある。切断手順を図6に示す。鋼管内に切断機本体を挿入し、所定の高さ位置にクランプ支持し、一方の継手をと石カッタで切断し、切断部を半周旋回し他方の継手を同様にと石で切断する。この間、本管の断面は一部しか切断されていないため構造体としての剛性は十分あり、と石カッタのかみこみトラブルの発生は抑制される。その後、プラズマトーチを管内壁に接近させ、かつ旋回させながら鋼管を一周切断する、このようにして、鋼管矢板の本管と継手は安全、確実に能率よく水中切断が可能となる。

表1 プラズマカッターの主仕様

本管	直径 $\phi$ 800 ～ 1500 mm 厚さ 8 ～ 42 mm
継手管	直径 165.2 ～ 200 mm
プラズマ装置	電流 100 ～ 400 A トーチ移動速度 200 ～ 2000 mm/min
と石切断装置 センサ	切断時間 ～ 10 min/継手 エンコーダなど

図7に新型水中切断装置を用いた確性試験の方法を示す。 $\phi$  800 mm x t16 mmの鋼管に圧縮強度240 kgf/cm<sup>2</sup>のモルタルを中詰めした継手管を溶接し、深さ4 mの水槽中に設けた。

切断には酸素プラズマを用いた。試験結果では、切断所要時間は継手が18分、本管が2.7分で合計21分であった。写真2は切断後の状況を示し、継手と本管の切断高さが同一レベルで精度よく一致しており、確実な切断が可能であった。

上に述べた確性実験を行った後で、実際の建設現場に

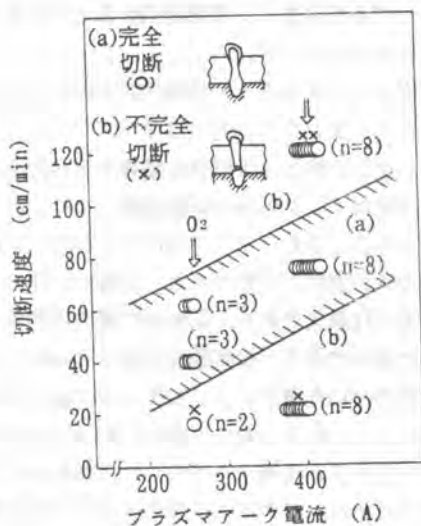


図5. 背面に粘性土がある場合の水中切断

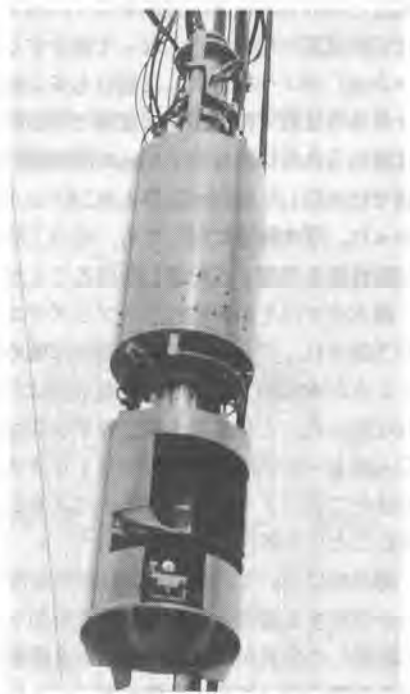


写真1. 水中切断装置（プラズマカッター）

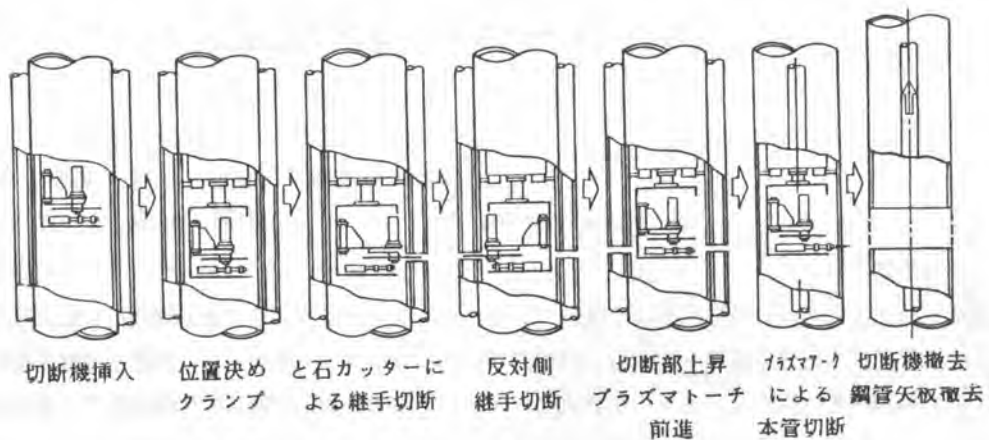


図6. 切断手順



写真2. 水中切断後の鋼管矢板

適用された。橋梁、トンネルなどに用いられるノンプレカット鋼管矢板基礎などについてすでに50箇所を超える切断工事実績を有するまでに至っている。水中での高い性能を発揮するプラズマアーク切断技術を備えていることから、大径鋼管矢板の水中切断<sup>2)</sup>にも適用された。今後、25mmを超える厚肉の大径鋼管杭、鋼管矢板の水中切断の必要が生じて、優れた特徴をもつ本切断工法がよくその要請に応じてくれるものと期待される。

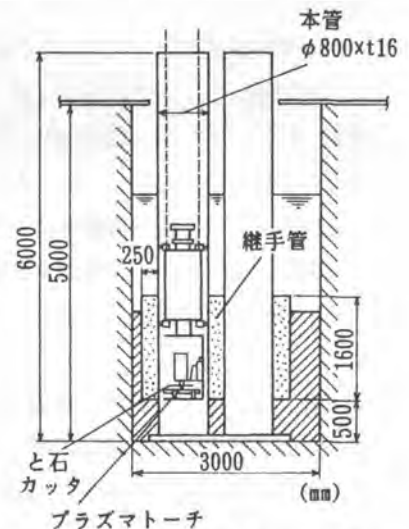


図7. 新型水中切断装置の確信実験 (プラズマカッター)

## 5. おわりに

仮締切兼用鋼管矢板井筒の本管と継手の水中切断の基本実験を行って、と石カッターとプラズマアーク切断を併用した水中切断工法・装置を新たに開発した。鋼管矢板の本管と継手を、確実に同一レベルで高能率で切断できることが確認された。これにより継手の切断位置を予めプレカットする必要がなくなり、作業能率などに優れるノンプレカット形式の鋼管矢板の採用が容易となった。すでに50箇所を超える全国各地で切断使用実績を有するまでに至った。本装置は鋼管矢板の他に鋼管杭の高能率水中切断にも適用できる。

なお、切断機本体の製作に際しご協力をいただいた俣昭栄の関係各位に感謝の意を表す。

### 参考文献:

- 1) 久保田信雄, 高木武康, 柄川伸一, 松岡 彰 : 基礎工, 20 (1992) 2, 30

## 10. スーパートップ工法

日本車輛製造(株)：\*服部 桂・北原 芳三  
中島 弘夫

### 1. はじめに

近年、施工の安全面、杭の品質面で優れているオールケーシング工法による場所打ち杭の施工が普及し、山間部における転石層・岩盤層、沿岸の捨て石・コンクリートケーソンが在る地盤、都市部の地中障害物が在る地盤など、従来の揺動式（ベント）工法では対応が難しい地盤条件下における場所打ち杭・土留め壁・置換杭などの築造が多くなってきた。本工法は超硬チップ製カッタービットを装着した強化型ケーシングを全周回転させながら、マイコン式ケーシング押込力自動制御機構により圧入することで従来困難とされていた地盤条件下においても対応でき、かつ施工性の向上と工費低減を目的に日本車輛（株）が竹本基礎工事（株）と共同開発した技術で、平成4年3月3日付で建設省の建設技術・技術審査証明（認定機関：日本建設機械化協会）を取得した。本工法による転石の在る地盤や岩盤における優れた削孔性能・大深度の掘削性能について述べる。

### 2. スーパートップ機の概略構造・主要諸元・性能

RT-200型チュービング装置の主要諸元・性能、構造概略（図1）を示す。

・ RT200 型主要諸元・性能 ・

型 式 : RT200  
掘 削 口 径 :  $\phi 1000-2000\text{mm}$   
ケーシング引抜力 : 250ton, 瞬時(305ton)  
ケーシング押込力 : 73ton (含自重)  
押込ストローク : 750 mm  
回 転 トルク : 110/200ton-m  
瞬時(233ton-m)  
回 転 数 : 2.0/1.2 rpm  
エンジン出力 : 320 ps/2000rpm  
本 体 重 量 : 35.7 ton  
バウエット重量 : 7.0 ton

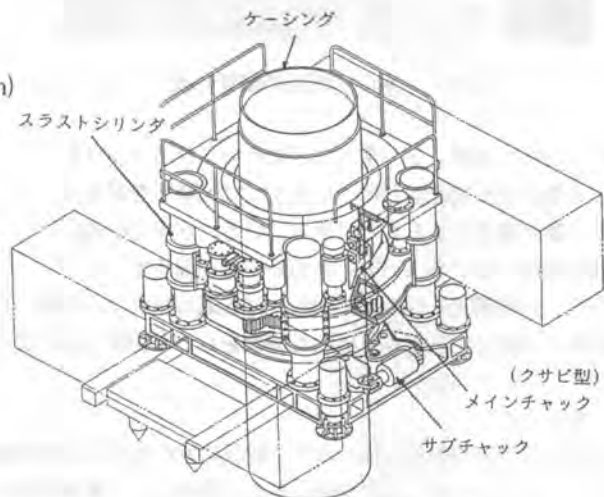


図1 RT200型の構造概略

### 3. 岩石切削試験

#### (1) 試験の目的・計測結果

ケーシングによる岩石切削時の切削条件や切削能率を定量的に計測するために、予め岩石試験を実施した岩石を地表近くに埋め込み、コンクリートで周囲を固定したものを、マイコン式ケーシング押込力自動制御装置を装着し、切削条件を変えながら切削してその切削能率をもとに転石・岩盤の最適な切削条件の目安を定量的に把握する目的で本試験を実施した。

表1に試験に供した岩石の種類・一軸圧縮強度・サイズ、写真1に岩石の切削軌跡を示す。また  
 カッタビット1本当りの押込力と深さ1m当りの掘削速度の関係を図2に示す。

表1 岩石の種類・一軸圧縮強度・サイズ

NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
( 原 産 地 )			
広島 花崗岩	宮崎 花崗岩	広島 花崗岩	宮崎 花崗岩
( 概 略 寸 法 )			
L 1700	L 1850	L 1500	L 1850
W 900	W 1500	W 600	W 1200
H 1100	H 1700	H 800	H 1500
(一軸圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup> )			
698	2143	2100	1994



写真1 岩石の切削軌跡

(2) 岩石の適正な切削条件の目安

この試験の計測データおよび切削状況を観察した結果から得られた、岩石の適正な切削条件の目安は以下の通りである。

- ① カッタビットの周速：一軸圧縮強度 2000 kgf/cm<sup>2</sup> 程度の岩石切削における周速は、切り粉の移動がスムーズで、切削深さ1m当りの所要時間が実用的な範囲となる 5 ~ 6m/min. が良好な切削条件と考えられる。
- ② カッタビットの押込力：一軸圧縮強度 2000 kgf/cm<sup>2</sup> 程度の岩石切削においては、カッタビット1本当りの押込力が 2ton 以下では切削能率が悪く、また4.5~5 ton 以上になると、切削抵抗に起因する激しい衝撃音・振動が観察されたことから、カッタビット一本当りの押込力は 2.5~3.5 ton 程度が適当である。
- ③ 回転トルク：一軸圧縮強度2000kgf/cm<sup>2</sup> 程度の岩石切削に必要な回転トルクは、20~40 ton-m とチューピング装置の定格回転トルク値( RT200 = 200ton-m, RT150 = 120ton-m) よりもかなり低い値である。

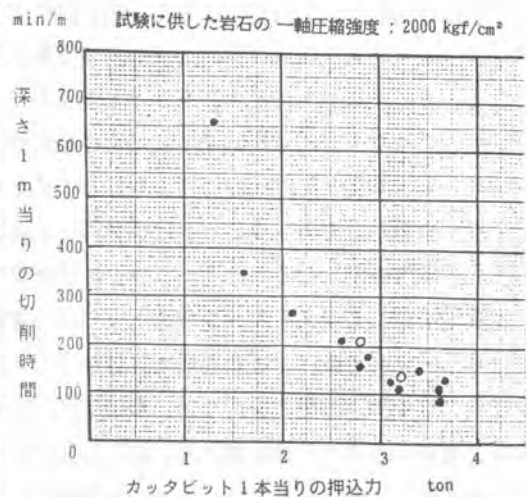


図2 カッタビット1本当りの押込力と深さ1m当りの掘削速度の関係

#### 4. ケーシング押込力自動制御機構（特許申請中）

岩石や地中障害物を切削する場合、切削対象物に最適な押込力をカッタビットに掛け、効率的に切削する必要がある。またカッタビットは過大な衝撃荷重や熱負荷により損傷しやすいので、過負荷を防止することが重要である。

本機構は、マイコンによりケーシングの長さや周面摩擦抵抗に関係なく、その押込力を任意の一定の値に保持する機能を持ち転石・

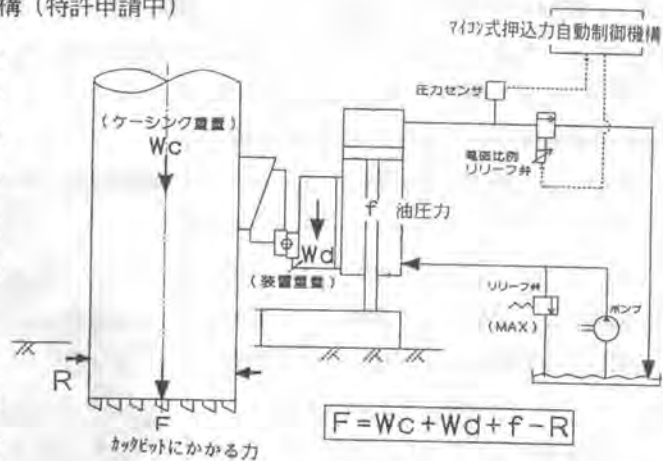


図3 ケーシング押込力自動制御機構の作動原理

岩盤を効率よく切削すること、過負荷によるカッタビットの損傷を防止する目的で装着されるものである。従来、オペレータの勤に頼っていた転石や岩盤の切削が、本機構により自動的に、かつ安全・確実にできることが技術審査証明において高い評価を得た。

本機構の作動原理を図3に示す。従来は制御装置、圧力センサ・電磁比例リリーフ弁が無く、カッタビットには常にケーシングの自重  $W_c$  と本体の一部の重量  $W_d$  およびスラストシリンダの押込力  $f$  が加わる。仮にケーシングが口径1500、長さ35m とすると、 $W_c =$  約35ton、RT200型の場合  $W_d =$  25ton であり、ケーシングの周面抵抗  $R$  を無視すると、スラストシリンダの押込力がゼロの場合、 $F = 60$ ton となる。カッタビットの総本数を20本とすると、1本当たり約 3ton の押付力が加わる。この状態で転石切削のような部分的な切削をする場合、仮にケーシング全周の1/2 の10本数で切削したとするとカッタビット1本当たり6.0tonの押付力が加わることになる。この場合スラストシリンダに油圧を掛けなくても、自重だけでカッタビットは過負荷になるので、ケーシングを持ち上げながら切削する必要がある。大深度掘削になると、ケーシングの自重だけで過負荷になるので、本機構が不可欠である。

本機構では、スラストシリンダのヘッド側に電磁比例リリーフ弁と圧力センサーを設け、ボトム側にはリリーフ弁を設けてこれを最大許容油圧力に設定する。予め、任意のケーシング押込力をマイコンに入力して押込み操作を行うと、電磁比例リリーフ弁を締め切った状態でヘッド側の圧力（ケーシング重量+本体の部分重量+最大許容油圧力）を読み取った後、設定した押込力が得られるように、電磁比例リリーフ弁を制御し、ヘッド側の圧力を減圧させながら平衡させて、設定押込力を保持する。これによりケーシングの自重、周面抵抗の変化に関係なく任意の値に保持することができる。また、岩盤切削のように切削対象物が均一の場合は回転トルクを一定に制御することにより安定した切削条件が得られる。回転トルク制御の場合、カッタビットが摩耗してくるとビット先端が滑るので、一定の回転トルクを維持するように、押込力が増大する。この現象からカッタビットの摩耗状態を推測することで、切削中のカッタビットの交換時期が判断でき便利である。

## 5. 大深度岩盤削孔例

前項で解説したケーシング押込力自動制御機構を装着し、岩盤において深度132.7mの削孔をした施工記録の一部を下記する。

### (1) 施工概要

平成4年4～7月にかけて、中部電力(株)奥美濃水力発電所建設工事現場において図4に示すような主としてB・C<sub>H</sub>～L 級岩盤が連続する地層に、口径2000mmのケーシングによりGL-0m～59m付近まで掘削した後、このケーシングはそのまま放置し、その中央に口径1500mmのケーシングを建て込み、GL-132.745mまで掘削した。

GL-53m付近までは風化砂岩(D～C<sub>L</sub>級)に粘土層が混在する地質であり、ケーシングによる削孔、ハンマグラブによる掘削・排土が順調に進み、平均日進長は7.0～8.0mであった。GL-53mから59mの間はC<sub>M</sub>・C<sub>H</sub>級の硬質岩盤では、4.5tonチゼルを併用して平均約0.5～4.0mの日進長であった。GL-59mから66m付近までは非常に硬いB・C<sub>H</sub>級の岩盤であり、ダウンザホールハンマ併用による削孔で、平均日進長0.5～1.4mであった。

### (2) 鉛直精度

大深度掘削においてはケーシングを可能な限り鉛直に建て込むことが、ケーシングの周面抵抗軽減に大きく寄与するので、掘削中のスーパートップ機の不等沈下防止のためその設置場所にはコンクリートベースを築造した。口径1500mmのケーシングを約86mまで建て込んだ時点で、鉛直度を計測した結果、目標管理値1/600に対して、1/2623と非常に高い鉛直精度であった。

このような硬質岩盤における132.7mもの大深度削孔が成功したのは関係者の英知と努力の結果であり、ここで得られた多くの貴重な施工データを今後の技術開発に活かしたい。

## 6. 技術審査証明により実証された技術

①一軸圧縮強度1400～2100kgf/cm<sup>2</sup>の転石・岩盤の切削、②シルト・粘土層において深度73mの掘削、③鉛直精度1/500の掘削、④地中障害物(鉄筋コンクリート構造物・鋼杭など)が存在する地盤の掘削、⑤クサビ型チャック機構の高い信頼性・作業性、⑥ケーシング押込力自動制御機構による切削性能向上・過負荷防止、などである。これらの詳細は『スーパートップ工法 建設機械化技術・技術審査証明 報告書』を参照されたい。

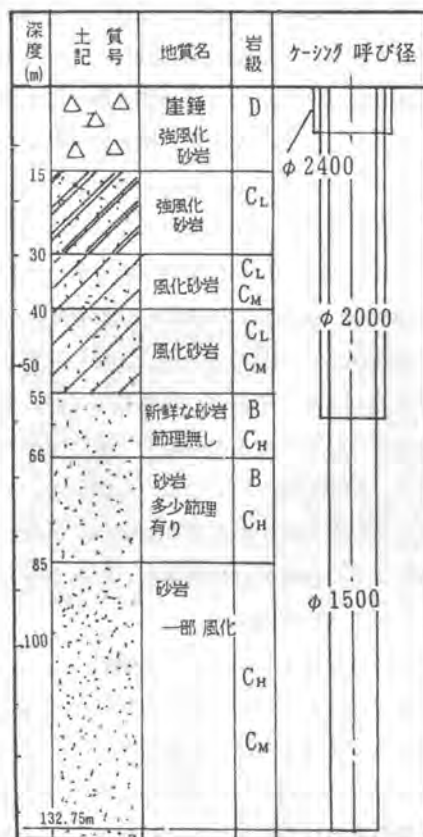


図4 地質柱状図・ケーシング建込み図

# 11. JR信濃町駅ビル新築工事における回転式ケーシングドライバ(CD機)による地中障害物撤去工事

飛鳥建設(株)：丸山富久治  
基礎工業(株)：\*八木 利夫

## 1. まえがき

当該工事は、地上空間の有効活用を目的として、軌道を跨いで建設される「J」R東日本中央線信濃町駅ビル改築工事(東京都新宿区)に伴う杭築造工事である。この工事は、中央線快速と総武線各停の計4線が供用中であり作業面積も極めて制限されている。このため、駅ホームと軌道上の空間を如何に利用し、かつ安全に施工するかという課題が与えられた。

今回の工事規模は、SRC造B2F～7F延床面積20,258㎡、工期は平成元年12月～平成5年2月で使用開始は平成5年2月である。

杭の詳細を工法別に整理すると表-1になる。その大半は軌道上約10.0mの高さに仮設した作業構台上からの施工で、深礎(表層保護)＋リバース掘削工法の組合せが68本あったが、近接する列車走行や狭隘な作業面積等の諸条件を解決するため、杭築造には種々な工法の組合せで行いその種類は10にも及んでいる。本報では、CD工法(全旋回オールケーシング工法の1種)の特長を活かした既存基礎杭や擁壁の全部または一部を切削撤去し、連続的に杭を築造した例を報告する。

表-1

工法の種類	杭本数	備 考
① RCD工法	36本	
② [深礎+RCD]工法	24本	表層保護
③ [深礎+WING]工法	13本	表層保護
④ ED工法	8本	
⑤ ACE工法	1本	
⑥ [ED+RCD]工法	4本	安定液固工
⑦ [ED+WING]工法	5本	
⑧ CD工法	4本	
⑨ [CD+WING]工法	2本	
⑩ [CD+ACE]工法	3本	
合計		98本
輪郭径1.5～2.0m(主体2.0m) 長さ12.5～20.9m ED アースドリル RCD リバース ACE アースドリル建杭 WING リバース掘削杭		

## 2. 施工上の問題点

新たに設置する杭と既存基礎の関係を図-1に示す。施工条件は、杭No1～4までが図-2a, No17, 18(以下、下段側)では同図bと高低差があるばかりでなく、11m×6mの敷地である。しかも後者は、中央線上り快速電車の軌道に近接

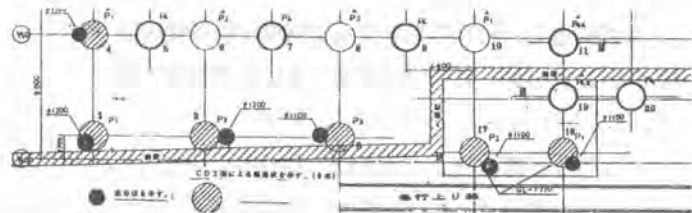


図-1

しているため、重機による列車通行の安全性のみでなく、既存杭(BH杭)撤去に際しての地盤安定性も考慮する必要があった。

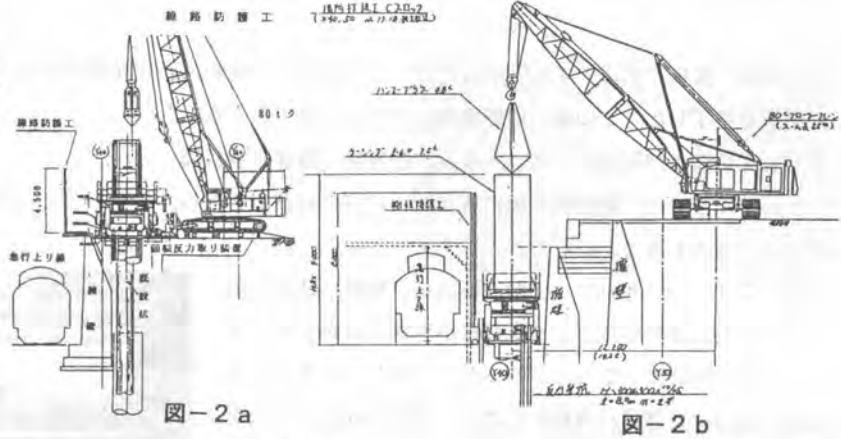
## 3. 工法の選択

今回のように幅狭する条件では、一般的に深礎工法が使われることが多い。しかし、本現場では地下水位が高くこれを低下させると近隣の井戸水を枯渇させる懸念があり、また、下段側では軌道に極めて近接しているため地盤の安定性に対する危惧、併せて工期に問題があると思われた。

このため、既存杭や擁壁の撤去と杭施工を連続的に行うことによって、工期の短縮ばかりでなく、安全性確保も計れるよう、全旋回オールケーシング工法を採用することとした。また、全旋回機は次の理由から日立建機製ケー

シングドライバー（以下CD機）とした。

i. ケーシングチューブ（以下、チューブ）先端の内側に特殊な刃（インサートカッター）を取付ることによって、切削物を容易に外に抽出できる。



当事例では、この部分を写真-1のように改造して、既存コンクリート杭の破壊、鉄筋の切断を容易する。

ii. 相判機の自重を利用する回転反力取り装置（以下、反力バー）により過大なウエイトを必要としない。

当事例では、写真-2のようにCD機の反力バーを、地中に設置したH鋼によって固定する。



写真-1

#### 4. 施工

##### 4.1 施工準備

着工に当たり、新設杭位置に交錯する既存杭と擁壁の頭部を探り掘りした結果、既存杭はBH杭でφ1100mm、φ1200mmの2種類、その位置は図-1のように新設杭の外周を跨っていることが判った。

BH杭の精度は、施工時期を考慮し鉛直性や杭径の増加（崩壊）等も考慮することとした。

##### 4.2 各杭の施工状況

i. No.1 杭径φ2000直杭（X10-Y40）障害物：既存杭φ1200 既存杭の撤去方法は、あらかじめφ1200mmのチューブの先端部内面4個所に最大寸法200mmのインサートカッターを取り付けたものを用意し、既存杭全体にこれを覆せ

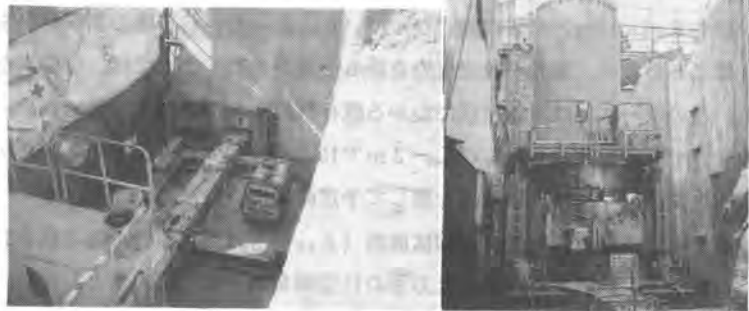


写真-2



CDの回転圧入によって破壊し、ハンマーグラブで除去することにした。

作業開始後、GL-7m付近から既存杭はチューブの外側に傾斜しはじめ、杭先端部の-22mでは半割の形で撤去された。

その後、杭径と同径のφ2000mmのチューブに交換し、改めて予定深度のGL-26.27m迄掘削を行い杭の築造を完了した。この間の所要時間は53時間24分であった。

ii. No.4 杭径φ2000直杭 (X<sub>10</sub>-Y<sub>50</sub>) 障害物：既存杭φ1100

このケースでは、新設杭外周に既存杭のほぼ中心があるため、前回のチューブを使用し既存杭を半月状に切削撤去することにした。

掘削深度GL-8mで、切削回転抵抗が急激に低下したため、原因を確かめたところ既存杭が外側に傾斜して、チューブから外れていることが判った。しかしこのままでは、新設杭径内に既存杭が残存することが予想されたため杭径φ2000mmのチューブに交換し正規の杭位置に再セットし、再度20m迄掘削したところ既存杭先端部分(写真-3)を摘出撤去することができた。その後26.4m迄掘削を行い杭築造を完了した。所要時間は43時間20分であった。



写真-3

iii. No.3 杭径φ2000 / φ2700 拡底杭 (X<sub>30</sub>-Y<sub>40</sub>) 障害物：既存杭φ1100及び擁壁の一部

この杭では、既存杭と擁壁のごく一部が接している。このため、当初よりCD用φ2000mmのチューブを使用して、障害物の切削と掘削を並行することとした。

ならん支障なく予定深度-26.45m迄掘削したのち、拡底掘削のため2.50mのチューブを引抜くと共に、CD機とパワージャッキを交換した。以降はACE(アースドリル式拡底杭)工法の掘削機によって杭先端を2.70mまで拡大して杭を築造した。所要時間は、41時間10分であった。

iv. No.2 杭径φ2000 / φ2700 拡底杭 (X<sub>20</sub>-Y<sub>40</sub>) 障害物：杭No.3とほぼ同様

杭No.3と同様の方法で施工した。所要時間は40時間であった。

v. No.18 杭径φ2000直杭 (X<sub>50</sub>-Y<sub>40</sub>) 障害物：既存杭φ1100

当該杭と次に記載する杭は、図-2bに示したようにCD機の設置地盤が低位置にあり、かつ施工面積も6m×11mと非常に狭くなっている。従って、CD機の回転反力を保持するクレーンは7m上の位置にあるため、別の手段で反力を得る必要がある。ここでは、H型鋼を打設して対処することにした。

このケースでは、新設杭にかかる既存杭の断面が比較的小さいため、当初から設計径φ2000mmのチューブで掘削を開始した。GL-3mで150mm×150mmの十文字のアンクルがチューブ先端に当たったが、そのまま掘削を続け、14時間を要して予定深度に達した。

vi. No.17 杭径φ2000 / φ2700 拡底杭 (X<sub>40</sub>-Y<sub>40</sub>) 障害物：既存杭φ1100

ここでも前杭と同様に、反力用のH型鋼を地中に打込もうとしたが、障害物のため反力バーを固定する十分に強度を得ることができなかった。この対策として、側面の擁壁部にケミカルアンカーを打設し

てH型鋼と緊結することにした。また、回転反力によって擁壁の変形を監視するため1/100mm目盛のダイヤルゲージ(写真-4)を使用して監視することとした。

なお、この設備に2日を要した。

CD機で杭No.18と同様に既存杭を半月状に掘削し、設計深度-19.7mまで完了した。この杭も拡底することになるが敷地の関係からアースドリル拡底機がセットできないため、CD機の上にロータリーテーブルを設置し、WING(リバース式拡底)工法によって、杭先端をφ2700mmまで拡大して掘削を管理完了させた。全掘削時間は、段取りを含めてCD部分23時間30分、リバース掘削13時間10分の計36時間40分であった。



写真-4

## 5. あとがき

下段側では、同一面上の至近距離に快速電車が通行するばかりでなく、施工面積が極めて狭くという条件下で、CD機の回転反力を如何安全に確保するかが最大のポイントであった。一部では反力バーを擁壁にケミカルアンカーでH型鋼を固定する方法を採った。また、反力伝達による擁壁の安全を確保するため、変形をダイヤルゲージで監視するなど慎重施工を行った。

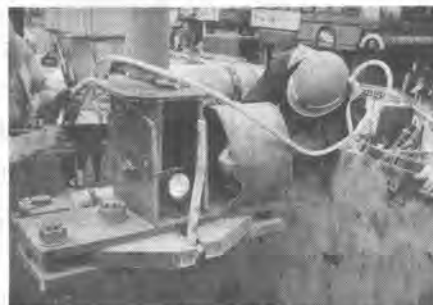


写真-5

従来、既存杭の撤去方法は杭全体をケーシング等で包み込むようにして撤去している。しかし、当現場では周囲の状況から杭の一部を残す方法を採らざるを得なかった。即ち、図で描くと新設杭と既存杭が一部が重なる形状になる。

このためには、チューブの鉛直度を保つことと、如何に既存杭を切り取ることが重要な要素になる。

今回は、チューブ先端内側インサートカッターの突起部分を改造して、その先端に硬質チップを装着し既存杭の破壊を行なうと共に、絡み付いた鉄筋を特注の水中カメラ、ライト付きの油圧カッターを地上の操作により切断(写真-5)する工夫を行った。

当事例の様な工事において、従来は深礎工法に頼らざるを得なかったが、CD工法を採用する事により地下水対策等の別途工事が不要となり、その他拡底杭工法など多くの工法を併用する事によってコストの低減と大幅な工期短縮が図られた。また、安全管理の面でも十分に効果があった。

## 12. 先端強化場所打ち杭工法におけるリング貫入機の開発

(株)熊谷組：\*松下 祐輔・菱沼 登

坂 英昌

(助)鉄道総合技術研究所：村田 修

三井建設(株)：伊藤 達男

### 1. はじめに

近年、都市部で主流工法になっている低公害の場所打ち杭は、掘削工法に固有の周辺地盤の緩みや、杭先端に残存するスライムの問題などから、沈下量が比較的大きくなるため、設計上、杭先端の支持力度が打込み杭のそれに比べて大幅に低減されている。

そこで、筆者らは、掘削孔底に設置したコンクリートリング（以下、リングと呼ぶ）に予め必要な履歴荷重を与える、新しい場所打ち杭工法“先端強化場所打ち杭工法”を開発した。200tf/m<sup>2</sup>以上の履歴荷重をリングに与えることによって、冒頭で述べた地盤の緩みやスライムの問題が解決されるため、本工法の先端支持力が在来杭のそれより約40%向上する<sup>1)</sup>。

標記のリング貫入機は、本工法の実現に不可欠な施工機械として、新たに独自考案したものである。本貫入機に要求される性能は、前述のリングを先端地盤に所定荷重で確実に押し込むことであり、具体的には、貫入反力を確保するグリッパー機能、リングの把持機能、リングの押し込み機能を有している。

本報では、先ず本工法について述べ、次にリング貫入機の仕様および開発概要を紹介する。

### 2. 工法の概要

本工法は、在来のオールケーシング工法の施工法を基本にしており、掘削終了後、掘削孔底に設置したリング（図1参照）を分割したリング毎に200tf/m<sup>2</sup>（50tf）以上の荷重で押し込み、これによって、緩んだ先端地盤を改善しようとする工法である。施工手順は図2に示すが、概略つぎのとおりである。

- ①ハンマグラブで所定の深度まで掘削する。
- ②掘削終了後、スライム処理バケットを孔底に設置し、1次スライム処理を行う。
- ③リングを吸着した貫入機（写真1参照）をケーシングチューブ（以下、ケーシングと呼ぶ）内に降ろす。
- ④ケーシングに反力をとった貫入機によってリングを内側から1リングずつ所定荷重で押し込む。
- ⑤リング貫入に伴い、リング上方に回り込んだ残留スライムをスライム処理装置で取り除く（2次



写真1 貫入機

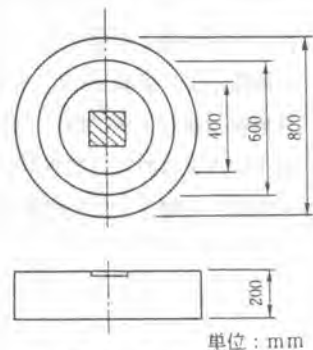


図1 先端リング

スライム処理)

⑥以下、鉄筋かごの挿入・コンクリート打設を従来と同様の方法で実施する。

貫入用のリングは、図1に示すように、同心円の3つのリングで構成する。リングの貫入は貫入機をケーシングに圧着させ、ケーシングと地盤の摩擦力、およびオールケーシング掘削機の押し込み力を反力として行うが、貫入に必要な反力が不足する場合には、掘削機にカウンターウエイトを搭載することになっている。

### 3. リング貫入機の開発

開発した貫入機の概略仕様を図3に示す。貫入機は、リング貫入によって先端地盤に履歴荷重を与えるための機械であり、機能上大きく分けて以下の4つの装置で構成されている。

- ①ケーシングの内面にブレーキシューのようなくさびを押しつけ、この圧着力でケーシングと貫入機を一体化させるグリッパー装置
- ②分割した3つのリングを内側から順次貫入するためのジャッキを備えた押し込み装置
- ③地上でリングを把持し、掘削先端地盤まで運ぶためのリング把持装置
- ④上記装置の、①、②、③を地上で集中的に制御・管理する装置

貫入機の開発にあたっては、これらの装置が要求性能を満たしていることを実験によって確認することとした。以下にその実験内容と実験結果の概略を示す。

#### 3.1 グリッパー

グリッパー装置は、性能上、50tfの2倍の100tfの貫入荷重に対して圧着能力が確実に確保できるように計画した。本装置は、機構的には、鋼管杭圧入工法<sup>3)</sup>において鋼管外面を把持・圧入するために用いられていたグリッパー装置を、鋼管内

面から押しつけるように考案・改良したものである。試作したグリッパー装置は、図4および図5に示す実大実験装置を用いて性能を調査した。実験では、グリッパージャッキを縮めてくさびをケーシングに圧着させ

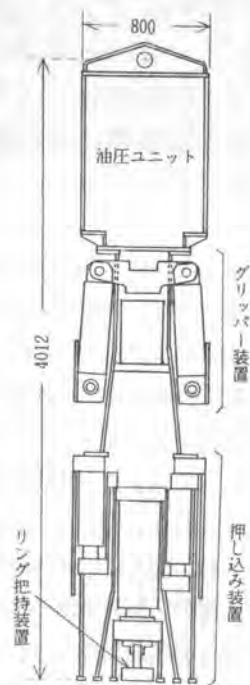


図3 貫入機の概略仕様

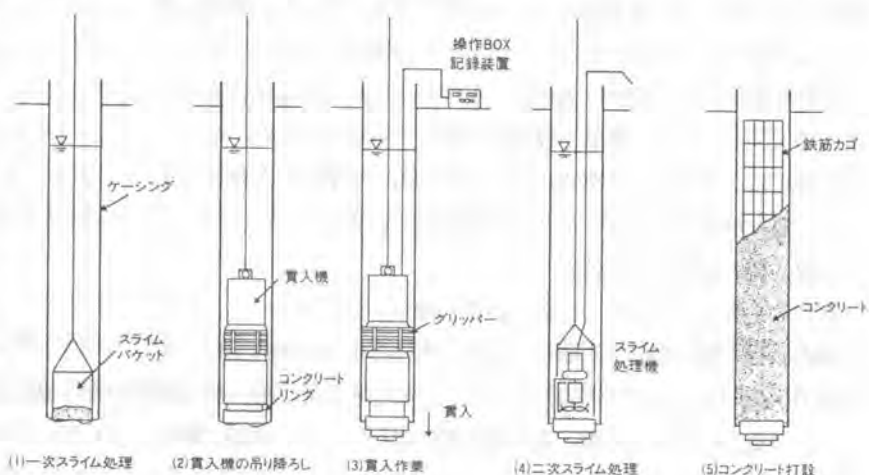


図2 工法の施工手順

た後、貫入状態を想定したリフトジャッキあるいは押し込み装置で本体を100tf まで押し上げ、この時のくさびの滑り量を測定し圧着能力を確認した。その結果、ケーシングと接するグリッパーの表面形状として歯形タイプのものが泥水中での作動実験においても優れた圧着能力を確保できることを確認した。

### 3.2 リング押し込み装置・リング把持装置

リング押し込み装置は、分割したリング毎に100tf の荷重を載荷できる貫入機能とリング貫入量の計測機能が必要である。また、リング把持装置は、押し込み装置の下端に設置されるが、リングの着脱が容易に行えるものでなければならない。

試作した押し込み装置は、100tf の押し込み能力をもつ3本のジャッキを長さ方向に配置することとし、貫入順序については、事前実施のリング貫入性と支持力試験の結果<sup>1)</sup>から、内側のリングが外側のリングに対して先行貫入される構造とした。また、リング貫入量の計測装置は、鉄筋計とバネを直列に接続したものを押し込み装置のジャッキストロークと連動するように取り付け、バネの張力によって発生する鉄筋計のひずみ値を貫入量に換算する方式とした。

これら2つの装置は前述のグリッパー装置と共に試作貫入機に組み入れ、図5に示す性能実験および屋外での施工実験を実施した。

屋内・屋外実験の結果<sup>1)</sup>、本押し込み装置は凹型地盤、不陸地盤などの各種条件下においても優れた押し込み性能を発揮できることを確認した。また、リング把持装置については、リング中心の突起部をジャッキとヒンジを利用して機械的に掴む方式(図5)および電磁石を利用した吸着方式について性能を調査した。その結果、両者とも把持能力に問題はないが、ジャッキ機械式ではリングのセットに時間がかかり実用性に欠けることがわかった。そこで、実際の貫入機(図3)には、電磁石吸着式を導入することとした。なお、本装置には、予期せぬ停電時にもリングが落下せず安全が保てるように、貫入機本体にはバッテリーを搭載している。

### 3.3 貫入機の制御・管理装置

問題点を改善して製作した図3の貫入機は、油圧ユニット、圧力変換器、貫入量計測機を内蔵しており、本体と地上の操作盤は1本の電源・信号ケーブルで連絡している。このことから、貫入機は地上の操作盤によって操作でき、さらにリング貫入時の貫入荷重と貫入量の関係はパソコンの画面に表示してリアルタイムで管理することができる。

実験では、貫入性能・操作性、パソコンによる貫入管理方法を確認したが、いずれも良好な結果を得

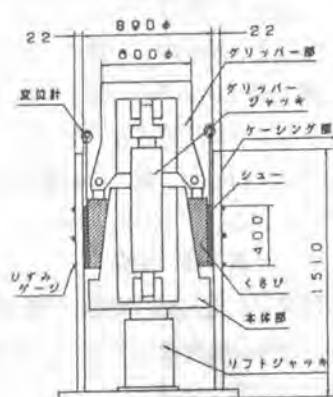


図4 グリッパー実験装置

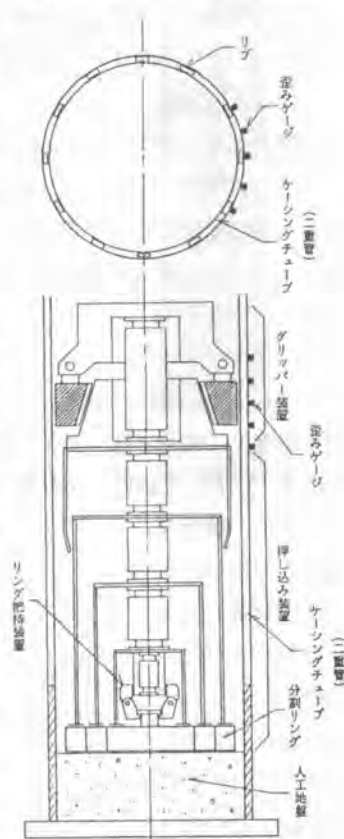


図5 試作貫入機実験装置

た。貫入管理用パソコンの表示画面は、写真2に示すように、リングの貫入形状なども確認できるようにしている。

### 3.4 実施例

本工法の適用例として横浜市高速鉄道3号線の出入庫線高架橋を示す。当該地では、図6に示すように地表面付近からGL-20mの間にある軟弱粘性土層がネガティブフリクションとして杭に作用するため、先端支持力が確実に期待でき、信頼性の高い場所打ち杭工法が求められ、検討の結果、本工法が適用されることとなった。

杭本数は4橋脚の基礎17本と載荷試験用の試験杭1本の計18本である。本工事における先端リングの貫入手順として、まず、3つのリング全体を50tfで貫入（全体貫入）させ、次に内側のリングから順次50tf／リングの荷重で貫入（個別貫入）させた。リングの貫入は予定どおり確実に行ったが、今回が初施工で慎重を期したこともあり、本工法に特有のリング貫入作業と2次スライム処理作業に要した時間は、杭1本につき90～120分であった。現在、貫入機の改良、作業の合理化などによって時間の短縮を図っている。

### 4. おわりに

本工法は、先端地盤を強化し、それをモニターできる新しい場所打ち杭工法として、(財)鉄道総合技術研究所、(株)熊谷組、三井建設(株)で開発を行ったもので、昨年11月末には、本工法の広範な普及・発展を図ることを目的に、杭施工会社を含む「SENTANパイル工法協会」を設立した。今回開発のリング貫入機は、すでに、横浜市交通局発注工事のほかJR北海道発注の高架橋工事に使用されており、性能、操作性およびパソコンによる貫入管理の確実性が確認されている。今後は、貫入作業の効率化・急速化が図れるように、貫入機の小型化、貫入管理用機器の掘削機操作室への搭載などを目指すことにしている。

#### 〔参考文献〕

- 1) 村田修 他：杭先端に履歴荷重を与えた場所打ち杭の支持力実験、第24回土質工学研究発表会1889
- 2) 村田修 他：杭先端に履歴荷重を与えた場所打ち杭の開発（その1）、第25回土質工学研究発表会1990
- 3) 清水昭男 他：J J工法・W J工法およびK-J E T工法の施工例、ウォータージェット技術研究第4回講演会・講演要旨集 — 建設業におけるウォータージェットの利用 — 1885
- 4) 村田修 他：杭先端に履歴荷重を与えた場所打ち杭の開発（その2）、第25回土質工学研究発表会1990

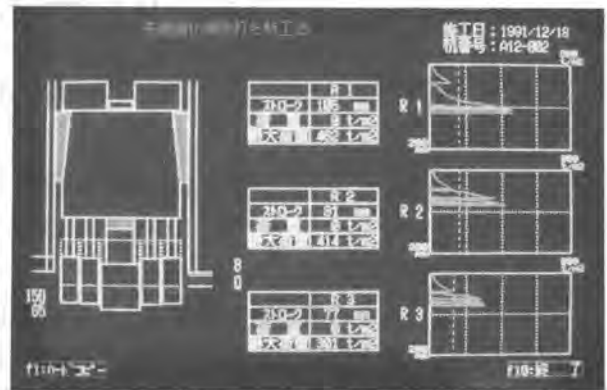


写真2 管理用パソコン画面

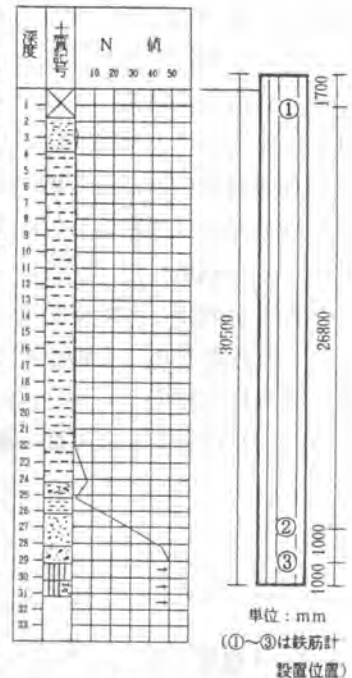


図6 土質柱状図および試験杭

# 13. リバース積層工法

大成建設(株)：\*山田 哲夫・小林 英雄  
伊藤 康郎

## 1. はじめに

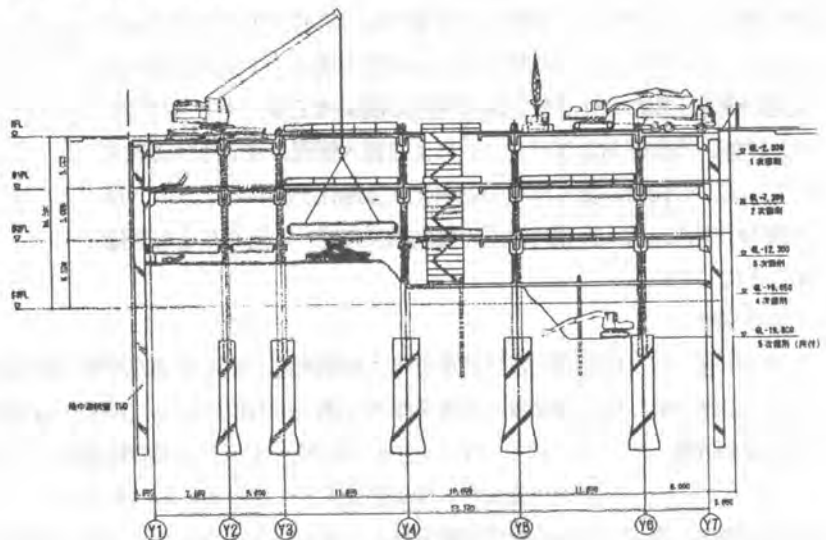
本論文は、地下の構造物を構築するための新しい逆打工法の実施報告である。逆打工法は、地上と地下工事の同時施工により工期の短縮が出来、地下掘削による周辺地盤への影響を少なく出来るなどの利点がある合理的な地下構築法である。然し、狭い開口部からの地下への資材の搬入・搬出、高さが制限された場所での作業能率の低下、更に閉鎖空間での悪い作業環境などさまざまな問題点があった。リバース積層工法は、これらの問題点を解決した新しい工業化逆打工法である。

## 2. リバース積層工法とは

[本工法の要素技術] として下記の3項がある。

- ① プレキャスト部材を用いた、地躯体の積層工法システム。  
(仮設資材の低減と労務の削減を計った)
- ② 空気浮上式運搬取り付け機 (ATB: Air Transporter Builder) を利用した、プレキャスト部材の運搬・建方システム。  
(高さが制限された空間での作業の能率を上げた。又同機械の走行床を構築することによって作業環境の大幅な改善を行なった。)
- ③ 構真柱を精度よく建て込む為の、構真柱高精度建方システム。  
次に、リバース積層工法の概念図を示す

リバース積層工法  
概念図



### 3. 実施例

#### 3-1 工事概要

工事名称：(仮称) 常和新横浜ビル新築工事

所在地：横浜市港北区深横浜3-2-3

工期：着工1991年4月1日～1993年7月31日

施主：常和興産株式会社

設計：株式会社 日本設計

用途：事務所

階数：地下3階、地上20階

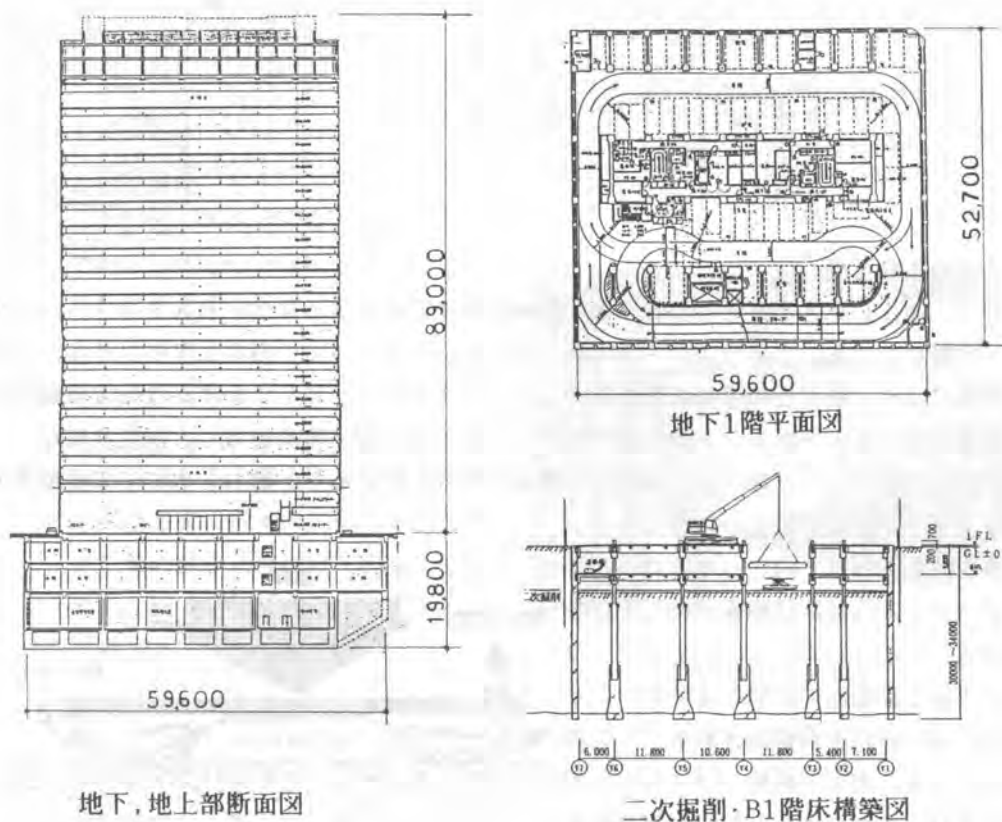
構造：地下SRC造、地上S+外壁PC

敷地面積：3,707.98m<sup>2</sup> (1,121.66坪)

延床面積：40,000.60m<sup>2</sup> (12,100.16坪)

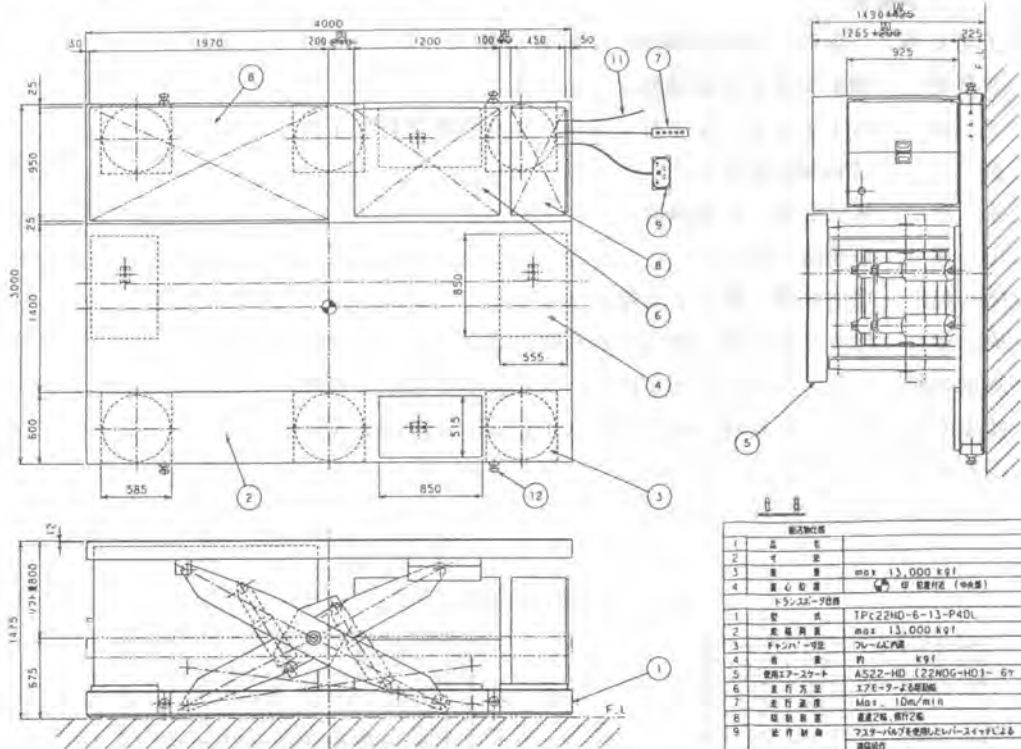
建物高さ：GL+89.0m

建物深さ：GL-19.8m





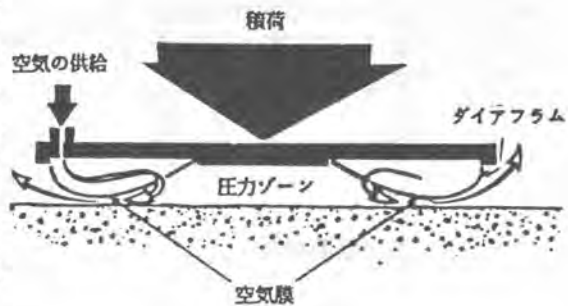
### 3-2 空気浮上式運搬取り付け機 (ATB) 概要



部品表	
1	型 式
2	イ 種
3	重 量
4	重 心 位置
トランスミッション	
1	型 式
2	定 額 負 重
3	ファンパルス型
4	重 量
5	使用エアースカート
6	進 行 方 向
7	進 行 速 度
8	駆 動 部 品
9	駆 動 部 品
運転条件	
10	前 進 速 度
11	容 積 負 荷
12	空 気 保 持 方 法
13	塗 装 色
14	注 意 事 項

#### ・ATB作動原理

今回、製作したATBは、(株)末廣車輛製作所製のエアースケートAS22-HDを6ヶ使用している。エアースケートの構造は、下図のとうりで、薄いエアフィルム潤滑効果により、路面との摩擦係数を微小(約1/1000)にし、わずかな力で重量物を搬送するシステムである。柔軟なダイアフラムがシリンダー壁を形成し、加圧空気が入ってくるとダイアフラムは一旦作動表面(普通は床面)に密着し、膨れ、次いで丁度剛体のシリンダーの行程が始まる時のように、荷重を持ち上げる。内圧が増すにつれてエアフィルム装置は膨張と押し上げを続ける。F=P×Aになる点でダイアフラム下面と作動面の接触が途切れその全周囲に薄い逃げ道が形成される。この薄い道に空気を出すと動的「フィルム」が形成され、このフィルムにより摩擦を実質的に無くす事が出来る。



駆動は、ウレタンホイールを横行、走行方向に各2輪ずつ、駆動輪としてセットされており、遠隔操作により行なう。同時に作動すれば、旋回することになる。

### 3-3 ATBによるPC梁施工実績

92' 1.7~1.24 (B1F)、3.11~3.25 (B2F)の期間で、PC梁を約320本取り付けた。下図の床伏せ図を4区画に分けて(5.27×5.96=3.141m<sup>2</sup> 約780m<sup>2</sup>)施工した。PC梁運搬取付サイクル測定表で計測した結果、2~3本/Hで最大取付数は、22本/日(8H/日)であった。

PC梁の重量は、大梁-8~15<sup>TON</sup>、小梁-5~8<sup>TON</sup>で、長さは4.4~11.0mである。

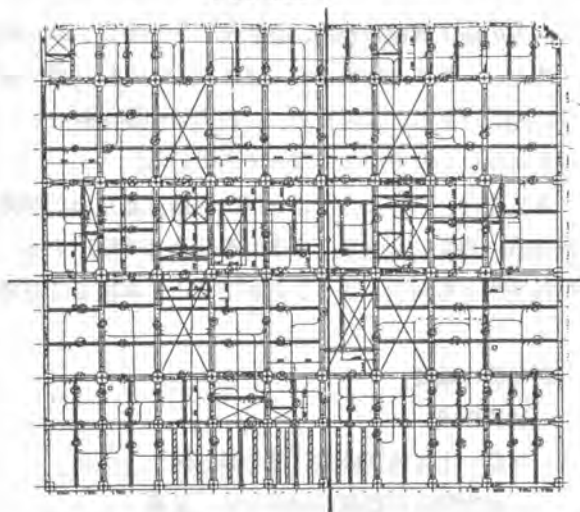
床伏せ図

PC梁運搬取付サイクル測定表

調査年月日: H4.1.7  
調査場所: B1F  
調査員氏名: \_\_\_\_\_

本成建業(株) 技術本部  
建設工事課長室

区画	区画名	長さ	幅	計測時間		区画別	合計
				搬送	取付		
1							
2		13.13	2	13.15	46	35	7
		15.02	2	33	40	14.10	32
3		13.56	1	14.10	1	11.4	15
		15.02	1	21	2	26	14.22
4		14.22	1	21	2	25	1
		15.02	2	26	7	47	5
5		14.22	2	36	45	7	14.26
		15.02	2	26	15.04	1	5
6		14.26	2	36	45	7	15.10
		15.02	2	26	15.04	1	5
7		13.13	2	17	24	10	24
		15.02	2	26	7	24	18.22
8		15.44	10	16	18	2	16
		16.10	10	16	18	2	16
9		16.52	1	42	48	9	57
		15	1	48	57	9	57
10		17.09	5	52	10	2	12
		18	5	10	12	25	13
							33



## 4. まとめ

### 4-1 施工全体

- ・工期の短縮がはかれた。
- ・ATB施工のため床をコンクリートで厚さ10cm、金鍍2度仕上げした為、作業環境が非常に良かった。3Kの解消に繋がった。
- ・梁の取付け高さを、1.5m以下に押さえたので、安全面で有効であった。
- ・床が平滑な為、高所作業台車が安全に移動出来、種々の作業が進捗した。
- ・PC梁の製作と取付け工程を十分詰めて、施工すれば、平均20本/日可能である。



ATBによるPC梁取付作業状況

### 4-2 ATBについて

- ・走行速度が、Max10m/minの為、すこぶる安全な作業が出来た。
- ・操作ケーブル以外に、付属ケーブルを引き回さないの為、安全であった。
- ・運転操作が、容易で、簡単な指導で済み、特別な資格を要しない。
- ・E・コンプレッサの容量が多少不足した。(1.5倍欲しい)

## 14. 低空間杭打機

鹿 島：田沢雄二郎・鳴井 森幸

\*川田 正敏

### I はじめに

近年、都市部では地下街建設や、駅部再開発プロジェクトが急増し、その規模も大型化している。しかしながら、このような場所での土留杭の施工においては、①上部空間の制限による杭長及びクレーン等の施工機械の制約、②駅部においては、施工時間の制約のケースがある。

また、これまで使用されてきたモンケン杭打機や横抱き式パイプロハンマ等は、杭打能力や施工能率に問題がある。このため、これらの問題を解決し、基礎工事の効率化を図ることがプロジェクトの工期確保に必要不可欠となってきた。

本装置は、このようなニーズに対応するために開発したもので、油圧式高周波パイプロハンマと昇降装置（油圧ジャッキ×4本）を組合せて使用することにより、従来の施工機械と比べて杭打能力及び作業性とも向上させることができる。本稿では開発機の概要と実証実験の結果について報告する。

### II 開発機の概要

#### 1. 装置構成

写真-1に低空間杭打機全景、図-1に低空間杭打機概念図を示す。装置の主な構成は以下のとおりである。

- (1) 油圧式高周波パイプロハンマ  
（起振機；縦3軸左右同調型）
- (2) チャック（中通し型横掴み方式）
- (3) 防振ゴム（4ヶ×4面=16ヶ）
- (4) 昇降装置（油圧ジャッキ×4本、ジャッキ取付部、ベース）
- (5) アーム（本体、アウトリガ×4本）
- (6) 旋回台
- (7) 移動台車（タイプ；レール牽引式）
- (8) 制御機器（制御盤、バルブユニット、リモコンボックス）
- (9) 油圧パワーユニット（エンジン式）



写真-1 低空間杭打機全景

#### 2. 特徴及び効果

本装置は、杭の中間部をチャックで横掴みし、昇降装置（油圧ジャッキ×4本）により尺取り虫方式で自動的に杭を打込む装置であり、以下の特徴及び効果がある。

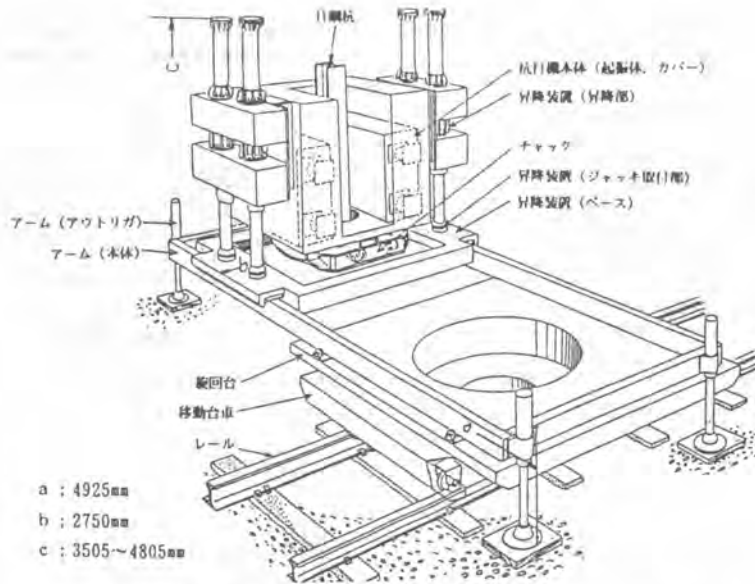


図-1 低空間杭打機概念図

- (1) 油圧式高周波パイロハンマを防振ゴムを介して昇降装置で支持する機構にした。これによりハンマを吊下げる大型クレーンが不要となり、また、クレーンのデッドスペースがなくなり、制限高さ一杯の杭を打込ることができるようになった。
- (2) 起振機を縦3軸左右同調型にし、チェックを中通し型横掴み方式にした。このため制限高さにおいて、一本当たりの杭長を長くすることができるようになった。
- (3) 杭打地盤の硬・軟をハンマ出力で判断し、昇降装置の下降速度を自動制御するシステムを開発した。これにより高度な熟練工でなくても杭打作業ができるようになった。
- (4) アウトリガは万一、杭打機が傾いてもレベルを自動的に修正するシステム（オートレベリングシステム）を開発した。これにより杭打作業が安全にできるようになった。

### 3. 主な仕様

本装置は、杭打込み作業を自動的に行うもので、オペレータが杭打状況を近くで見ながらリモコンで操作できる。

表-1に主な仕様を示す。

表-1 低空間杭打機 (SEV-40) 仕様

項目	単位	仕様		
適用杭種		H鋼杭 (250~350mm)		
起振機駆動方式		油圧モータ・ギヤー駆動方式		
振動数	vpm	2200	2400	2600
起振力	tonf	43.8	52.1	61.2
空転時振幅	mm	1.3		
空転時加速度	g	7.3	8.6	10.2
油圧モータ形式		ピストンモータ (F12-40)		
出力	ps	85×2		
圧力	kgf/cm <sup>2</sup>	31.0 (1770馬力/2000PS/rpm)		
偏心モーメント	kgf・cm	810.0		
振動重畳	tonf	6.0		
昇降重量	tonf	12.0		
主要寸法 (幅×高さ)	mm	2750×4925×3505		

※SEV: Self Elevating Vibro Hammer

### III 作業手順

図-2に作業手順を示す。杭建込み及び継杭状況を写真-2、写真-3に示す。杭建込み用クレーンは、杭を吊るだけの小型クレーンでよく作業スペース及び作業効率上からも有効である。

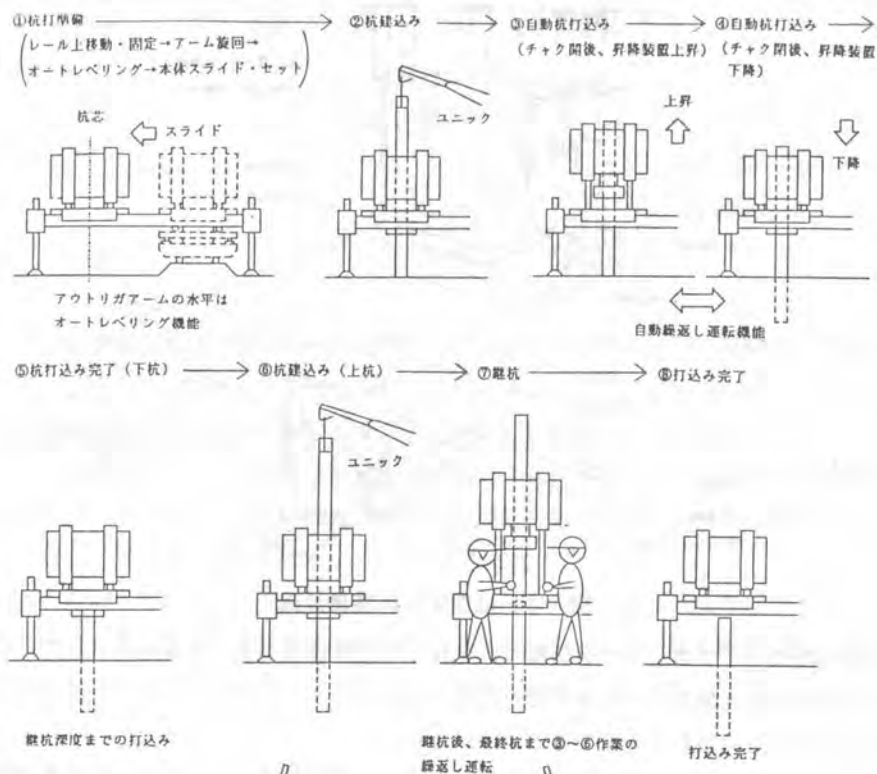


写真-2  
杭建込み  
状況



写真-3  
継杭状況



図-2 作業手順

#### IV 実績

現在、本装置は実証実験を終了し、プロジェクトへの適用を検討中である。また、実験結果より以下のことを確認している。

##### 1. 杭打能力

図-3の杭打結果例に示すように、N値40前後の砂質土にH300×3m×3本（ボルト継手2ヶ所有）を7.6mまで打込むことができた。

##### 2. 騒音・振動

騒音・振動とも15mを越えた地点で、法規制値（騒音85dB(A)，振動75dB）をクリアしている。

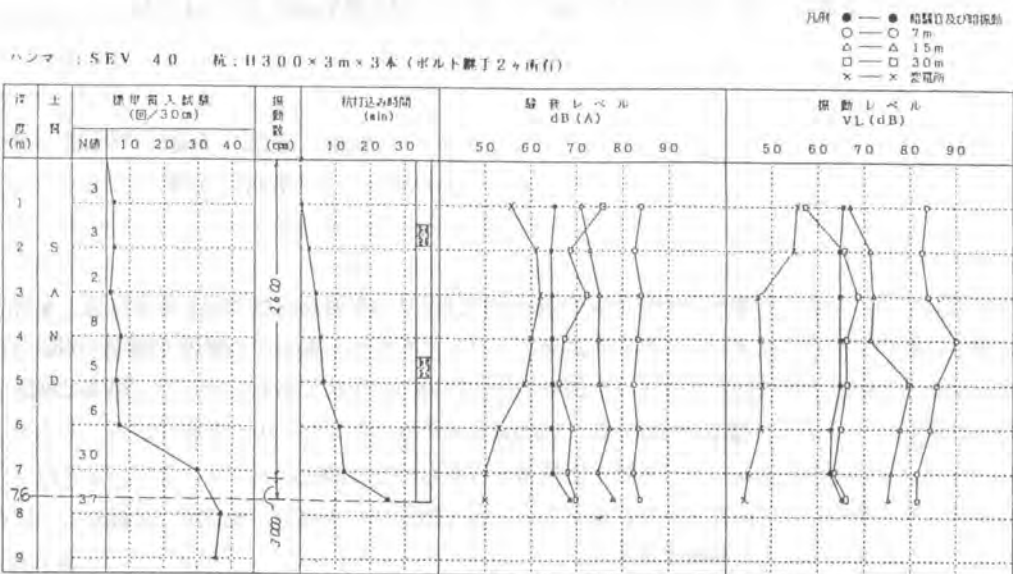


図-3 杭打結果例

### 3. 杭打サイクル

- (1) 図-4に示すように、杭の打込み速度は平均すると約0.5 m/minで打込めた。
- (2) 一連の作業の中では、継杭作業に時間を取られており時間短縮及び杭打込み抵抗を低減するには、継杭の工夫が不可欠である。

【基本作業フロー】(H300×3m×3本, ボルト継手)



図-4 杭打サイクルタイム(平均)

### V おわりに

本装置の杭打能力及び作業性について従来機械よりも改良されたものと考えている。また、将来的にみると、基礎工事全体を効率化、省力化する必要がある。

今後は、以下の点に考慮して現場への導入・普及を進めたい。

- ①杭打位置までの移動方法
- ②杭の建込み方法
- ③継杭方法

## 15. エンパソルによる地盤調査方法

ライト工業(株)：磯部 金治・\*阿部 正直  
川村 公平

### 1. まえがき

地盤改良工事において、事前の地盤調査や事後の地盤改良効果確認は合理的で確実な施工を行うために重要なものである。従来は、これらを調査ボーリングで行ってきたが、費用や期間の問題から調査本数が自ずと制限され理想とするような調査を行えないのが現状である。そこで、迅速に地盤情報を得られ調査ボーリングの補完が可能な新しい調査システム「エンパソル」を紹介する。このシステムはボーリング時の削孔抵抗により各種地盤情報を得るもので、油圧式ドリリングマシンに取り付けた各種センサーを用いて、削孔と同時に種々のデータ(削孔パラメータ)を測定・記録し、これらのデータをコンピュータにより解析処理することによって一般の地質調査方法と併用して地盤の分類、硬軟を迅速に判定できるシステムである。このシステムを使用して数カ所の現地で地層の判定などを行い地盤改良工事の施工管理に役立たせることができたのでここに報告する。

### 2. システムの概要

本システムは図-1に示すように削孔データを測定・記録するデータ収集装置(センサー・エンパソル本体)と、データを解析処理する専用ソフトから構成されている。

#### 2.1 データ収集について

本システムで収集される基本的な削孔パラメータは8種類(図-2、参照)で、削孔機に取り付けた圧力センサー・変位量センサー・磁気センサーなどにより削孔深度5mm毎

に測定される。測定データはデジタル処理されメモリーカードに記録される。また、メモリーカードへの記録と同時に本体のデジタルサーマルプリンターへ最大7種類のデータをリアルタイムでチャート出力できる。

#### 2.2 データ処理について

メモリーカードに記録されたデータは、読み取り装置によりフロッピーディスクなどに記録保存され専用の解析ソフト(IBM互換機で作動)により処理される。

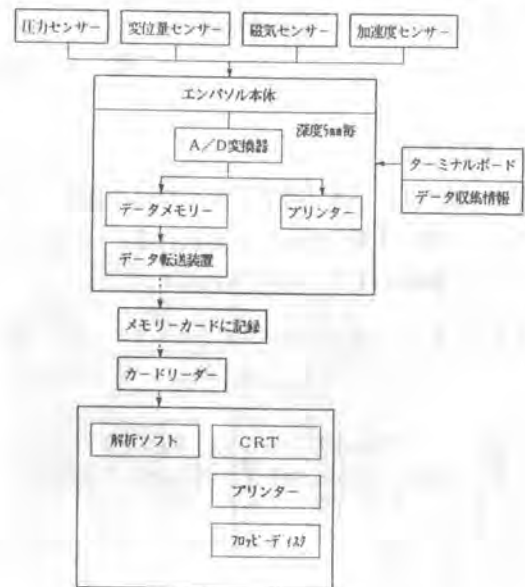


図-1 システム概要図

### 3. 地盤調査方法の概要

#### 3.1 地層判定

図-3に施工フローを示す。

##### (比較孔のデータ収集)

削孔中の地盤状態の変化（地層変化や地盤強度の変化など）は、削孔パラメータの1個または複数個の変化となって表れる。しかし、これらのパラメータは、2つの異なる地層に対して同じ値を示す場合がある。このために削孔データの解釈に先立ち、現地のコア採取が不可欠である。地質柱状図などの調査ボーリング結果と収集した削孔データとを対比することにより、地層の判別が可能になる。よって、本システムでは既調査ボーリング孔に近接した箇所のデータ収集（比較孔）を行っている。

##### (解析作業)

削孔パラメータは地盤性状を反映したものであるが、時にはこれらパラメータの変化はひどく散乱したものであったり、微妙な変化であったりする。そこで、異なった地層の特性を明確化するため、専用ソフトにてパラメータどうしを組み合わせたり、統計的な処理を行わせたりして合成パラメータを作り、既調査ボーリングのN値や地質柱状図などと比較し、その定義付けを行う。このようにして作られた合成パラメータは地盤の状態や特定の地層を表すようになる。

##### (判定)

調査目的により、地層の相違などを表す有効な合成パラメータの1つまたは複数を選択し、この解析パラメータにより地層判定の基準を作成し専用ソフトに内蔵されたエキスパートシステムに登録する。エキスパートシステムは登録された判定基準に従って、他のエンボソル調査孔のデータ解析を行い地層を判定する。（図-4、参照）

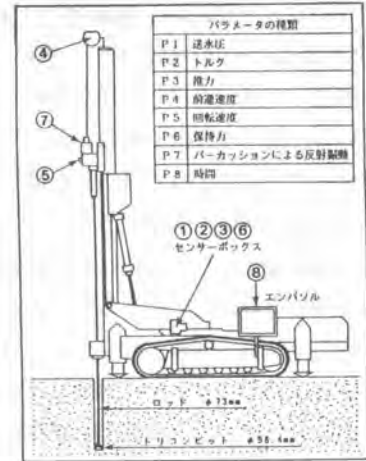


図-2 削孔パラメータ種類



図-3 施工フロー

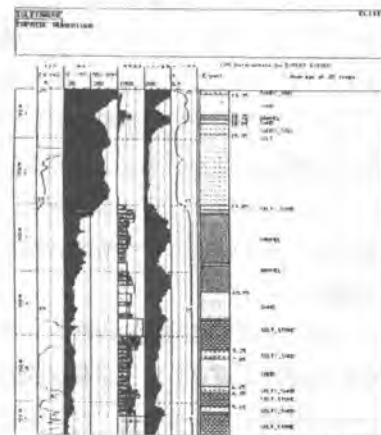


図-4 解析結果出力例



(削孔パラメータによる地層判定の有効性)

関東周辺の3例、広島県、三重県、福島県各1例の計6例で収集した比較孔のデータより、各地層別に削孔パラメータがどのような分布になっているか調べたものである。図-5はパラメータP4によって得られた地層別削孔速度及びN値の関係である。このN値とは既調査ボーリング孔における各地層の平均値で算出しているものである。これにより軟岩、砂礫、砂、シルト質砂、砂質シルト、シルト、粘土の順に削孔速度は速くなっており、N値の大小に関わらず削孔速度の違いが地層判定の基準になる可能性があることを示している。図-6はパラメータP1によって得られた地層別の送水圧(削孔スライム除去に要する圧力)の関係を示す。これにより粘土分を含む地層が高い値を示しており、図-5との組み合わせでより確実な地層判別が可能になる。(他のパラメータの組み合わせも有効である。)

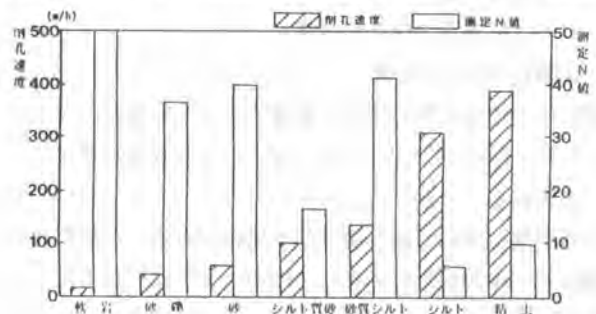


図-5 地層別削孔速度及びN値の関係

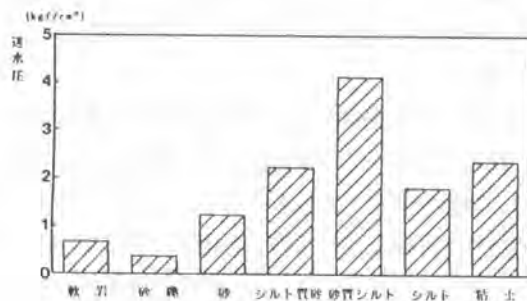


図-6 地層別送水圧の関係

### 3. 2地盤強度の推定

古くから石油掘削においてボーリング時の給圧や削孔速度などのボーリングパラメータを用い、これらパラメータから導かれる削孔公式により地盤強度の推定やビットの摩耗状況の判定などを行ってきた。筆者らはこれらの考え方を導入し、現在の所、現場単位で本システムの削孔パラメータから地盤強度を推定し、この地盤強度と従来の地盤強度試験値(N値・一軸圧縮強度など)との関係を実験的に求め(キャリブレーション)、定量的に換算している。一例として図-7にビット荷重、トルク、削孔時間からなる合成パラメータと標準貫入試験N値との関係を示す。これはある現地実験におけるデータより算出したものである。相関係数は $r=0.853$ と高い相関関係にあったが、どの場所でも適用できるとは限らず今後の課題としたい。

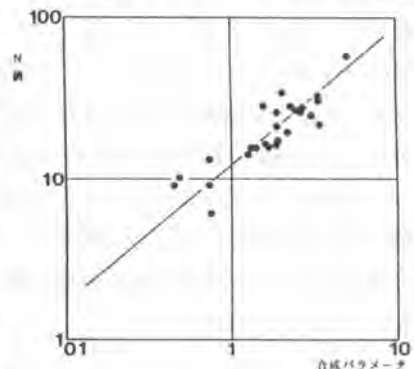


図-7 合成パラメータとN値

### 4. 実施例

ここで紹介する実施例は、山岳トンネル方式で計画された下水道幹線建設工事であり、工事区間の一部において、岩盤線の傾斜の影響でトンネルクラウン部が岩盤線から飛び出し上部の砂礫層に入るため、砂礫層掘削時のトンネル崩壊防止および止水を目的とした薬液注入による

地盤改良工事である。この現場は工事区間長約280m間に3本、既調査ボーリング孔があった。エンパソルの目的は、既調査ボーリング孔間の岩盤層の深度位置を調査することであった。

(現場概要)

地質概要は地表から以下のような状態であった。

- 粘性土層 N値10以下
- シルト質土 N値10以下
- 砂礫層 N値10～50マトリックスは細砂・粘土
- 凝灰岩 N値は50以上

調査本数 6本(平均13m/本)

調査に要した日数 2日

(調査方法)

調査方法は、既調査ボーリング孔に近接した箇所をロータリー単管削孔方式で削孔し、データを収集した(比較孔)。次に予め計画された調査位置を比較孔と同一条件で削孔しデータを収集した。削孔に使用したツールスは外径73mmのロッドと外径98.4mmのトリコンビットである。

(結果)

調査目的である岩盤層の深度位置を確認することができ、当初の推定岩盤線と深度位置の違う所を発見できた。(図-8、参照)この結果、地盤改良範囲が追加された。尚、この部分は後で実施された調査ボーリングにより確認された。

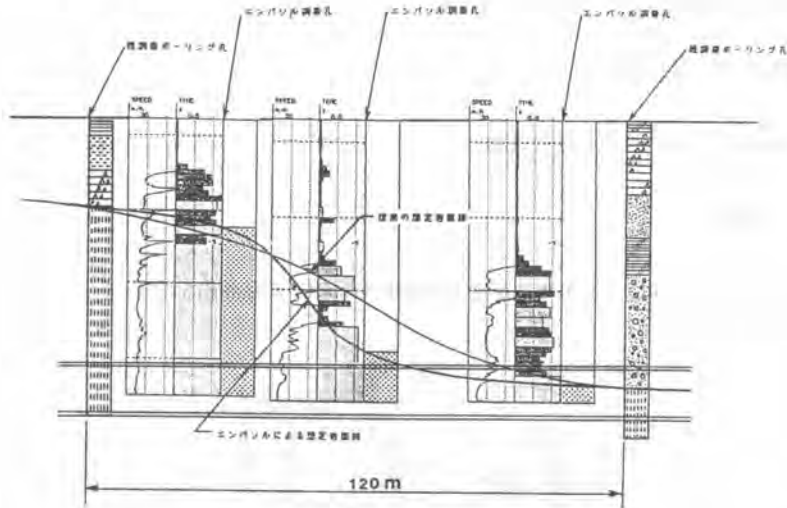


図-8エンパソルによる地盤想定図

5. あとがき

今までに、本システムはここで紹介した以外に10数カ所の地盤改良工事に使用している。今後はより多くの現場で使用し施工管理の一助けとなるようにするとともに、数多くのデータを集め地層判別の確立化を図り、N値や一軸圧縮強度との相関も含めた定量的な検討をしていく予定である。

## 16. 山留用鋼材ハンドリング機の開発

KOMATSU：勘田 俊正

### 1、はじめに

地下基礎工事での山留め用鋼材の運搬、設置、撤去作業における安全性の向上と省人化を目的に、山留め用鋼材ハンドリング機 R e x y 9 0 を試作し、地下鉄後楽園駅工事現場へ持ち込み、ユーザ評価を行って好評を得たので、本車両の特長をここに紹介する。

### 2、現工法とその問題点

現在の地下基礎工事での山留め用鋼材の運搬、設置、撤去作業は、小型クレーンを使用しての作業であるが、限られた上方空間しかない作業現場であるため、

- ①上方の既設埋設物との接触事故
- ②玉掛け作業に伴う高所からの墜落事故
- ③吊り荷の介錯に伴う挟まれ事故

等の危険性を伴った作業となっている。

### 3、R e x y 9 0 の特長と構造概要

#### 3-1 概要

前記問題点の解決策として R e x y 9 0 を開発し、図1に全体図を示す。

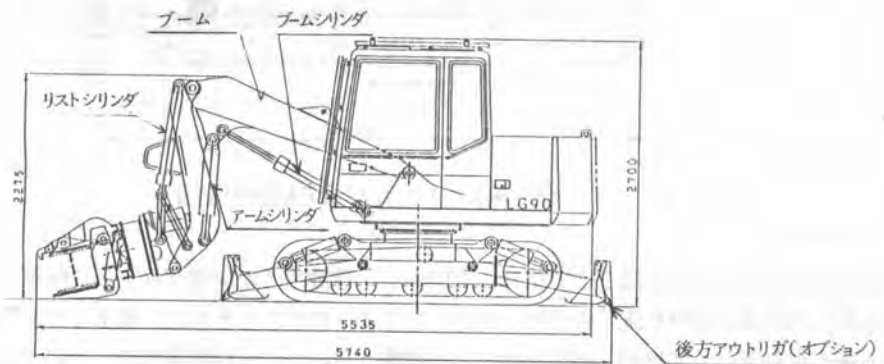


図1

### 3-2 Rexy90の特長

#### (1) コンパクトな車両で大きい吊り上げ能力

限られた空間内で、鋼材の運搬、設置、撤去作業をするため、ショートルーチの作業機とした。およびブレードをアウトリガとして使用することにより、アウトリガ側で最大2 t o nの鋼材の設置、撤去作業を可能とした。さらに、同構造のアウトリガを車両後方にも装着（オプション）することにより、360°全方向での作業を可能にした。

#### (2) 確実な把持能力

把持部の山留め用鋼材との接触部にはゴムプレート装着し摩擦係数を増加し、山留め用鋼材の落下を防止している。またクランプアームの先端部はピン結合として、300mm～450mmのH型鋼の把持可能とした。

クランプ回路にはアキュムレータを装着し、油圧力抜けによるクランプ力低下を防ぐ構造とした。

#### (3) 安全性重視の設計

##### ①作業機シリンダに落下防止弁装着

クレーンと同様、ブーム、アーム、リストシリンダに落下防止弁を装着した。またアウトリガ回路には、ダブルチェック弁を装着しアウトリガの自然降下を防止している。

##### ②過負荷警報装置の装着

ブームの角度とブームシリンダボトム圧を検出し、許容荷重を越えた場合オペ室内のコーションランプが点灯する過負荷警報装置を装着した。

##### ③先端回転モータにメカニカルブレーキ内臓型を採用

重量鋼材を把持するため、大容量モータを採用した。保持時の鋼材先端部の自然降下を防止するため、メカニカルブレーキ内臓型にした。

##### ④オペキャブガードの装着

荷の落下や、誤操作からオペレータを保護することを目的に、ヘッドガードとオペキャブ前面ガードを装着した。

##### ⑤リストシリンダガードの装着

地下工事等にて、破損しやすいリストシリンダ配管や、リストシリンダに装着されている落下防止弁保護を目的に、アームにリストシリンダガードを装着した。

#### (4) アンクルフリー機能の採用

鋼材先端部の最後の位置調整ができるように、アンクルフリー機能を採用した。本機能は、シリンダのボトム、ヘッドが連通状態になることで、アンクル回転方向の拘束力をなくことができ、外部から鋼材の位置調整を可能とした。

また、山留め用鋼材撤去時等で、アンクルフリーの状態でも荷を把持すれば把持部と荷がいく分正対していなくても、先端部が鋼材にならない、容易にかつ確実に荷を把持できることにもなる。

### 3-3 クランプ部構造概要

先端部クランプ部には回転機構を設け、回転サークル先端に、クランプシリンダ2本とアングルシリンダ2本を装着した。先端部の回転機能とアングル機能により、通常のパワーショベルのバケットでは1回転軸に対し、本機では3回転軸を有する。

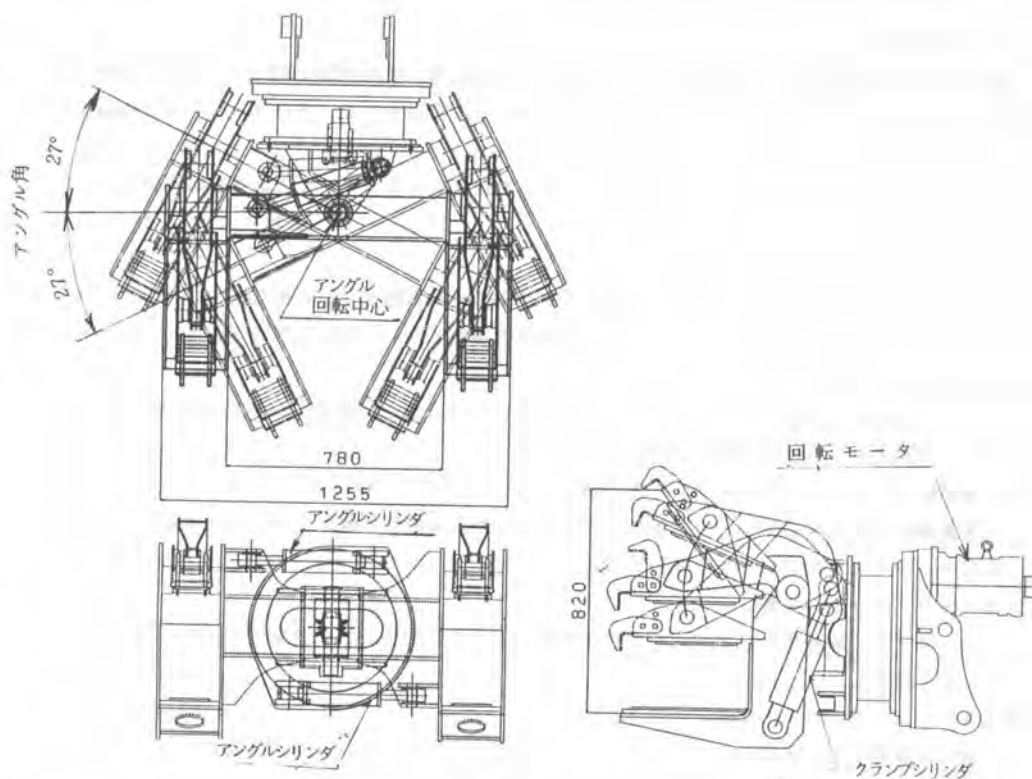


図2

### 4、ユーザ評価

表1に、現工法で使用されている小型クローラクレーンとのユーザ評価での比較を示す。

ユーザ評価での小型クローラクレーンとの比較

使用機種 項目	R E X Y L G 9 0	クローラクレーン ( 現 工 法 )
作 業 性	1) 狭い場所での作業可能 2) 特に上空制限のある場所に優位 3) 荷を縦横斜めと自由に扱える 4) オペ1人で荷が扱える 5) 荷が振れないので安全 6) 玉掛け作業がないため作業効率上がる (特に取り外し作業に効果大)	1) 比較的空間がある場所では作業に制約が少なく、用途が広い 2) 車体の入れない場所でもブーム伸縮で作業ができる 3) 作業半径が大きく走行を少なくできるので路盤を傷めにくい 4) ワイヤー掛けのため自由度が大きいので据え付けが速い
安 全 性	1) 玉掛け作業に伴う高所作業が少なくなり安全性が増す 2) 荷が振れないため介錯に伴う挟まれ災害が減少する 3) コンパクトな作業が可能となるため、埋設管との接触の危険性が少ない	
省 人 化	3人で作業可能 (オペ含む)	5人必要 (オペ含む)

表 1

5、あとがき

Re xy 90は、清水建設 (株) との切り梁ハンドリング用として共同開発してきたが、市場導入後多くのユーザーからの反響に答えることにより、今後多様な対象物への対応と、より高い完成度に近づいて行きたい。

# 17. 重量自動計測システム

西松建設(株)：棕木 淳二・阿部 勉  
マイクロダイナミックス(株)：隈本 進

## 1. はじめに

近年のシールドトンネルに用いられる工法は、圧倒的に土圧系、泥水系で占められるようになってきた。なかでも土圧系のシールドは、泥水系のシールドに比べ、泥水処理設備等に係る仮設備の敷地面積が少なく済み、適用土質の範囲も比較的広いという特徴を有していることから、各種のトンネルに使用される例が多くなっている。この土圧系シールド工法における施工管理上の問題として、土圧管理、土量管理等があげられており、これらの計測、管理が非常に重要視されている。

これは、掘進量に相当する量の掘削土を排土することによって切羽の安定を図り、周辺地山への影響を極力少なくすることで推進を継続するのが土圧系シールド工法の施工管理上の重要ポイントとなっていることによる。

掘削土量の計測装置としては、重量測定タイプと体積測定タイプがあり、重量測定タイプではロードセル、体積測定タイプではレーザーや超音波などが利用されている。これらの計測装置の測定精度は±5～15%前後というのが現状のレベルであるが、排土量を計測管理するためには大がかりな計測システムや高額・デリケートなセンサなどが必要とされることなどのため、現場サイドとしては手軽にこのようなシステムを採用しにくい状態であった。

本システムは、現場サイドが手軽に採用できるように極めて簡単な設置工事だけで高精度の土量が計測できるようにしたものであり、シールド工事では実施例のない計測方式である歪ゲージ方式を採用した初めての例である。

本稿では、このシステムの概要と使用結果について紹介する。

## 2. システムの概要

図-1 にシステムの概要図、図-2 にブロック図を示す。

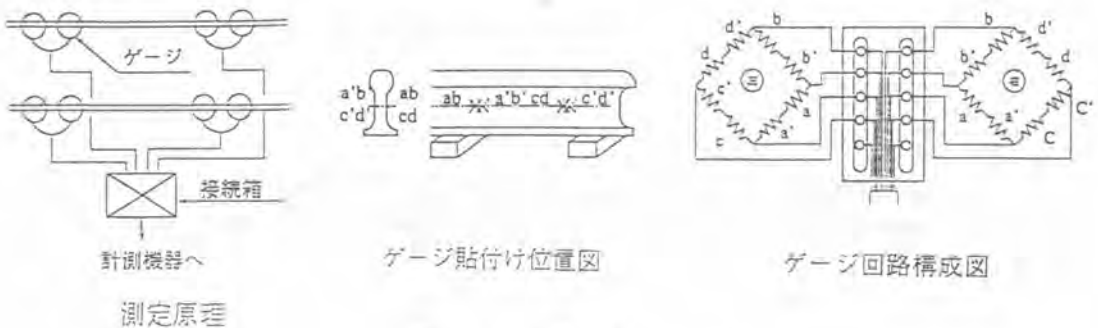


図-1 概要図

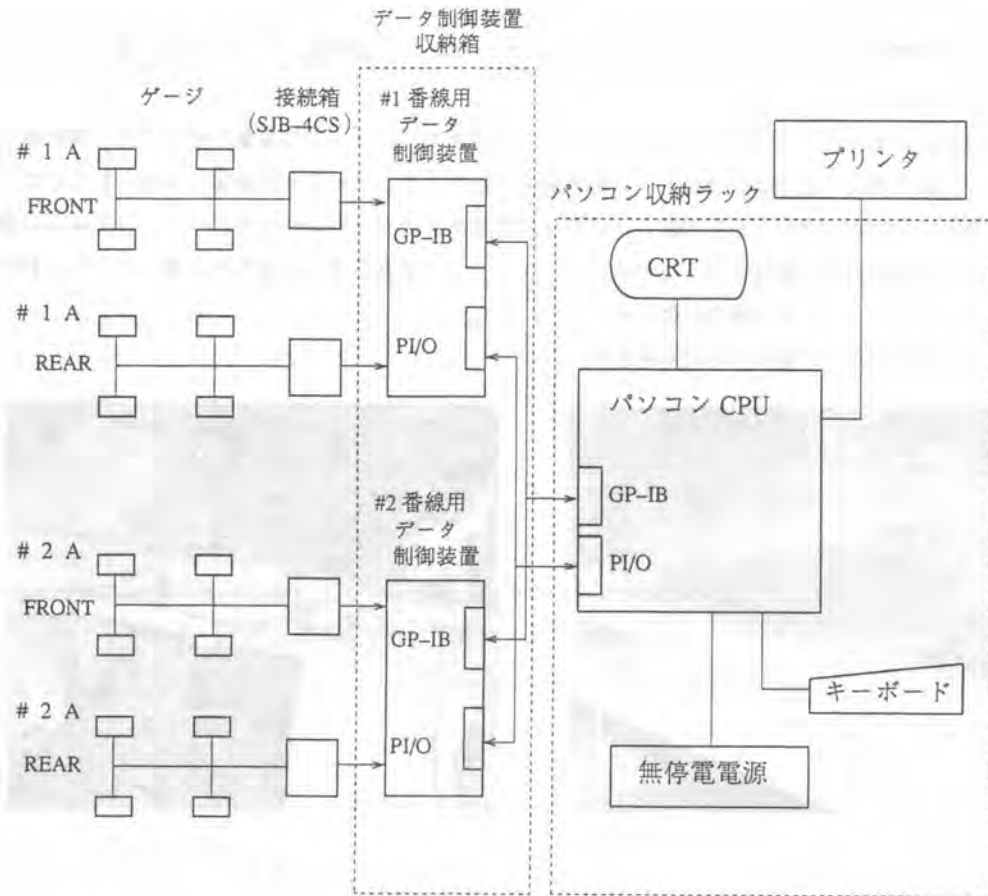


図-2 重量自動計測システム ブロック図

### 2-1 システムの原理

金属は、自身が歪むとき、その金属固有の電気抵抗が変化するという性質を持っており、その性質を利用したゲージが歪ゲージである。

この歪ゲージをレールの両側に各2枚貼り付け、各ゲージを電気工学でいうところのブリッジ回路に組み込み、レール上を通過する物体の重量によって歪むレールと同調して歪むゲージの電気抵抗値を測定し、荷重の大きさを知るといのが本システムの原理である。

本システムでは、ズリトロの重量を計測するために前述のような原理を利用しているが、実計測においてはレール上を通過するズリトロの車軸ごとの重量を計測するようにしたため、ブリッジ回路を前車軸用に2ヶ所、後車軸用に2ヶ所の計4ヶ所に設置した。

このようにして計測された軸重から、ズリトロの重量を算出し、予め測定してある空のズリトロ重量を差し引くことによって、ズリトロに積載された排土の重量をパソコンに算出するという形でこの原理を応用している。



## 2-2 システムの構成

システムの構成は図-2のブロック図に示すように、ゲージ、接続箱、データ制御装置、パソコン、プリンタから成っている。

ゲージは2-1の原理で説明したようにレール上を通過するブリトロの重量を検出する。接続箱内でブリッジ回路を構成し電気抵抗値をデータ制御装置に送付する。データ制御装置では送られてきたデータが必要な信号であるかどうかを判断し、必要な信号であればパソコンへ送る。パソコンではこの信号を演算処理し掘削土量の管理を行うことになる。プリンタは演算処理した結果を必要に応じて自動的にプリントアウトし、日報等の書類を整える。

写真1、2にゲージの貼り付け状態を示す。



写真1



写真2

## 3. 使用結果

本システムを平成4年3月から名古屋市の高速度鉄道第6号線阿由知通工区新設工事に導入したが、そのときのデータの解析例を表-1、2に示す。

掘削土量検算解析例 (1日 5月分)

【基本データ】		【諸元】			
比尺 =	1:200	掘削土量	7218.0	T	13788.0
掘削土量	36.6 t/m <sup>2</sup>	測定掘削土量	7504.6	分岐	174.82
		測定掘削土量	286.6	総掘削量	13.222
		測定掘削土量	4.0		

項目	日付	掘削土量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	小計	計
掘削土量	200.5							240.6	360.9	360.9	360.9		360.9	360.9				1804.4	2406.0
測定掘削土量	200.8							243.4	359.5	380.7	372.4		372.3	363.4				1851.9	2481.3
測定掘削土量	9.3							2.8	-1.4	18.8	14.5		11.4	22.5				5.5	75.3
掘削土量	363.0							459.6	689.4	689.4	689.4		689.4	689.4				306.4	4506.0
測定掘削土量	363.3							464.8	686.7	727.1	717.1		711.1	732.2				316.5	4739.3
測定掘削土量	0.3							5.2	-2.7	37.7	27.7		21.7	42.8				10.4	143.3
測定掘削土量	5							6	9	9	9		9	9				4	60

項目	日付	掘削土量	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	小計	計
掘削土量	360.9		360.9	360.9	360.9	360.9	360.9	360.9	360.9	360.9		360.9	301.0	401.0	360.9	401.0	360.9		4812.0	7218.0
測定掘削土量	375.7		375.5	381.7	381.7	370.1	373.6	373.6	373.6	373.6		375.7	413.7	418.7	376.7	423.3	377.7		5023.3	7504.6
測定掘削土量	14.8		14.4	20.8	20.8	9.8	11.9	12.6				14.8	12.7	17.7	15.6	24.3	16.8		211.3	286.6
掘削土量	689.4		689.4	689.4	689.4	689.4	689.4	689.4	689.4	689.4		689.4	766.0	766.0	689.4	766.0	689.4		9192.0	13788.0
測定掘削土量	723.3		716.9	723.1	729.0	708.0	712.1	712.5				717.6	790.1	799.7	719.5	812.4	721.5		9504.5	14333.8
測定掘削土量	33.9		27.5	39.7	39.6	16.6	22.7	23.9				26.2	24.1	23.7	30.1	46.4	32.1		392.5	545.8
測定掘削土量	9		9	9	9	9	9	9	9	9		9	10	10	9	10	9		120	180

表 - 1

排土量測定結果解析 (1冊)

【基本データ】		【結果】				
比重	= 1.91 t/cm <sup>3</sup>	理論排土量	m <sup>3</sup>	T	分散	11.864
理論排土量	76.6 T/R	測定排土量	40.1	76.6	標準偏差	3.4444
		測定-理論	41.9	80.0		
		誤差(%)	1.8	3.4		
			4.4	4.4		

	RNo	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	平均
理論排土量	m <sup>3</sup>	40.1	40.1	40.1	40.1	40.1	40.1	40.1	40.1	40.1	40.1	40.1
測定排土量		44.0	41.6	41.4	41.2	41.7	41.6	38.7	39.8	45.0	43.7	41.9
測定-理論		3.9	1.5	1.3	1.1	1.6	1.5	-1.4	-0.3	4.9	3.6	1.8
理論排土量	T	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6
測定排土量		84.1	79.4	79.0	78.7	79.6	79.4	74.0	76.1	85.9	83.5	80.0
測定-理論		7.5	2.8	2.4	2.1	3.0	2.8	-2.6	-0.5	9.3	6.9	3.4

表 - 2

本システムの導入は、ソフトウェアの構築から現場運用まですべて0からのスタートであったため、当初想定していなかった事象が現れたり、不具合点や問題点が発生し、予想通りの動作を確認するためかなりの紆余曲折があったりしたが、従来の測定方法に比べても精度的には遜色のないシステムであった。

#### 4. 考察

本システムの最大の特徴はシンプルなことであるが、使用してみた結果から長所、短所を列挙してみると以下ようになる。

##### 【長所】

- ① 構造が簡単であるため故障が少なく、メンテナンスとしては歪ゲージの貼り替え程度が挙げられるだけである。(歪ゲージの寿命は約1年)
- ② ゲージを貼り付けたレールの位置を変えることより、測定位置を自由に選択できる。
- ③ 測定精度が従来方式に比べ高い。
- ④ コスト的に有利である。

##### 【短所】

- ① 測定時期にある程度のタイムラグを生じる。
- ② 1リング分の排土量を、測定したズリトロの軸数で判断したため、ズリトロの編成が変わると測定ができない場合があった。
- ③ 比重設定によって測定精度にばらつきが生じる。
- ④ レールと枕木の固定を確実に行わないと歪にばらつきが生じ、データの再現性に問題を残す。

これらの短所のうち②～④については、ソフト、ハードとも今後、十分対応可能な項目であるので、この問題点は比較的容易にクリアできるものとする。①の項目については、重量測定タイプの宿命的な問題であるので、他方式との共用等で対処していく所存である。

# 18. 土圧式シールドトンネルの土砂圧送実験とその一考察

建設省：杉山 篤・\*茂木 正晴

## 1. まえがき

近年、我が国における都市部及びその周辺部の基盤整備は、地下空間を利用した地下鉄、上下水道等、各種施設があり、これまで様々な掘削工法により地下空間が構築されてきた。今後、大断面、大深度地下空間を利用した地下道路、地下河川等の構築が予想されるため、掘削技術の向上が益々必要となってきた。

都市部における地下空間の構築は、シールドトンネル工法により施工を行うのが一般的である。工法の種類としては、泥水加圧式シールド工法、土圧式シールド工法に大別される。各シールド工法により掘削排出された土砂を運搬する技術については、泥水輸送方式、土砂圧送方式、ズリトロ方式、ベルトコンベヤ方式等の搬出方法が利用されている。

掘削土運搬技術は、掘削技術のようなシールド機、セグメント組立等の個々の要素技術と比較してみると、障害となる要素が現在までに少ないことから、今まで土砂運搬技術に関する要素技術の提案が重要視されていないきらいがある。しかし、土砂圧送のような連続輸送方式が効率的で経済的にもメリットがあり、現在、多くの現場で採用されているが、経験者による技術的な圧送土砂性状の把握が行われており、現場によっては閉塞等による作業障害が発生するケースもある。

そこで、安全かつ確実、合理的に搬出する技術を検討していくため、今回土砂圧送における土砂性状と管内圧送抵抗の関係等について要素的な実験を行い、土砂圧送方式における最適土砂性状の範囲を把握した。今回、それらの実験結果について報告する。

尚、本実験については、建設省において昭和62年度～平成3年度までに総合開発プロジェクトの一環として「地下空間の利用技術の開発」を研究した内容に基づく結果である。

## 2. 土砂圧送実験の目的

現在、土圧式シールド工法での掘削土搬出方法として、施工性・安全性・坑内の作業環境・基地の騒音等から土砂圧送方式が採用されている。しかし、土砂圧送における土砂性状については、施工実績等から土砂の粒度分布、含水比、液性限界、スランプ等の値で表されており、それには確固とした根拠がなく、現場土質に応じその都度数値を決めている。そこで、土砂圧送における最適土砂性状の範囲についてを圧送実験により明確にすることを目的とした。

## 3. 実験方法

### 3.1 実験手順

本研究における圧送実験の内容は、図-1に示すように実験フローに基づき実験を行った。

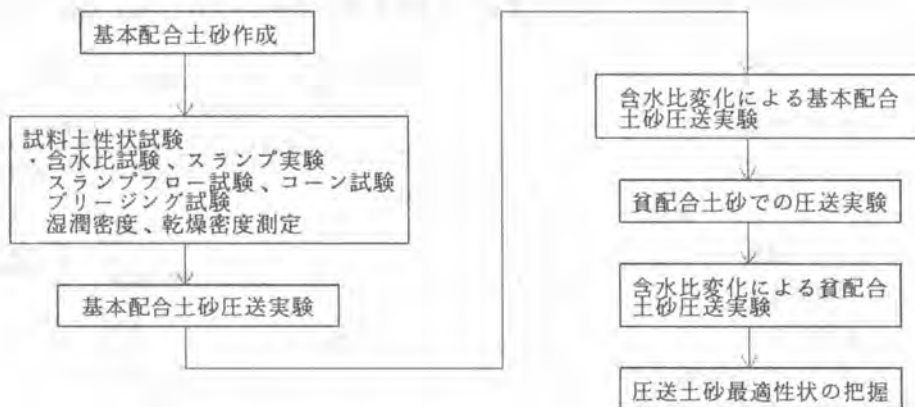


図-1 土砂圧送実験フロー図

### 3.2 実験内容

#### 3.2.1 基本配合試料土作成

実験により圧送性を確認する上で基本配合試料土の作成が必要であると考えられる。そこで、実験で基準となる基本配合としては「泥土加圧シールド工法協会」の作泥土材算出法で示されている作泥土材の必要・不要の境界線の粒度分布を基本配合とし、実験を行った。尚、本配合試料土の粒度分布を表-1に示す。

表-1 基本配合試料土の粒度分布

名称	粘土	シルト	砂		礫
粒度 (mm)	0~0.005	0.005~0.074	0.074~0.25	0.25~2	2~20
分布 (%)	10	20	10	30	30

#### 3.2.2 含水比変化による試料土作成

各成分を混合し基本配合試料土を作成し、含水比を約3%づつ増加させた試料土を7ケース作成した。尚、含水比の増加は、試料土が分離を起こすまでの範囲とした。また、貧配合についても同様に作成を行った。(実験結果表-3を参照)

#### 3.2.3 貧配合土砂の作成

基本配合のバインダ分(シルト、粘土)を減らすことによって圧送しにくい試料土を作成し、含水比の増減による圧送可能領域の抽出を行った。バインダ分については、基本配合30%に対して20%、15%のバインダ分による圧送性の確認を行った。尚、15%以下については圧送不可能であった。

表-2 貧配合土砂の粒度分布

名称	粘土	シルト	砂		礫
粒度 (mm)	0~0.005	0.005~0.074	0.074~0.25	0.25~2	2~20
分布 (%)	20		20	30	30
	15		25	30	30

### 3. 2. 4 試料土性状試験（基礎実験）

性状試験は基本配合試料土、含水比を変化させた試料土でそれぞれ行った。また、性状試験は以下について行った。

- ・含水比試験
- ・スランプ試験
- ・スランプフロー試験
- ・コーン試験
- ・湿潤密度
- ・乾燥密度
- ・ブリージング試験

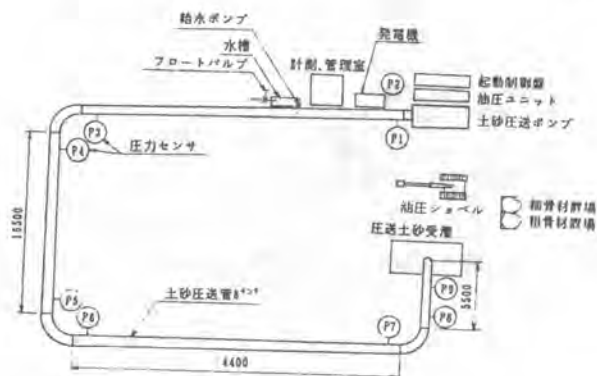


図-2 土砂圧送実験設備全体

### 3. 2. 5 本実験

基礎実験で作成した試料土をベースにフィールド（図-2 参照）で同様に試料土を作成し、実際にグラベルポンプ（特殊二重シリンダ式、最大吐出量  $20\text{m}^3/\text{h}$ 、最大吐出力  $44\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）により土砂圧送管（管径200mm）に土砂を圧送し、圧送性の確認を行った。本実験は、基本試料土で行い含水比を変化させることにより圧送管内圧力を図-2 に示すように圧力検出器9箇所によって変化を計測し、圧送性を確認すると同時に圧送後の土砂性状の確認を行った。

また、基本配合からバインド分を減らした試料土についても同様に含水比を変化させた際の圧送管内圧力を計測し圧送範囲の確認を行った。

## 4. 実験結果及び結論

今回、この実験では、圧送土砂の基本配合を土圧式シールド工法における添加材の必要・不必要の境界線としており、土質の範囲を限定し実験を行った。その結果として、各試料土の含水比変化に応じた圧送管内圧力値の推移を図-3 に示す。グラフだけによる判断では含水比が増加するほど圧力値が低下してことから、含水比を増すことによって圧送効率がよいと判断されるが、試料NO. 7, A5, A6, B4の圧送土砂は成分が沈降し、分離してしまうため効率の面から必ずしも良いとはいえない。含水比の少ない試料土については、圧送抵抗が著しく大きくなるため圧送管内での閉塞及びポンプへの負荷が増大するため圧送に適しているといえない。（表-3 参照）

圧送可能領域については、表-3 の太枠のような範囲となる。圧送不可能な範囲については土砂配合に関係するが含水比が低い場合については圧送抵抗の増大により圧送不可能となると考えられる。

また、含水比の高いものについては配合されている際、砂分が分離するため水分のみが圧送されるため土砂そのものの圧送が不可能となると考えられる。尚、表-3 における圧送圧力は、土砂がポンプより押し出された際に生ずる圧力である。

表-3 土砂圧送実験結果

圧送土砂種類	試料 NO	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	スランブ (cm)	圧力 P 1 (kgf/cm <sup>2</sup> )	圧力 P 8 (kgf/cm <sup>2</sup> )	圧送可否
基本配合 粒度分布 礫 30% 砂 40% シルト 30% 粘土	1	22.4	2.008	1.622	6.5	27.8	2.2	否(抵抗大)
	2	23.9	1.952	1.575	7.3	18.3	2.1	可
	3	24.5	1.945	1.562	9.5	13.3	2.4	〃
	4	26.5	1.972	1.559	16.0			〃
	5	28.1	1.915	1.495	20.0	8.5	1.4	〃
	6	32.3	1.890	1.429	23.5	5.8	1.3	〃
	7	58.2	1.640	1.037	24.0	2.5	0.6	否(分離)
貧配合(A) 粒度分布 礫 30% 砂 50% シルト 20% 粘土	A1	21.1	2.012	1.661	2.0	29.4	2.8	否(抵抗大)
	A2	23.0	2.018	1.641	8.0	16.5	2.0	可
	A3	24.4	1.986	1.596	11.0	12.5	2.1	〃
	A4	25.4	2.016	1.608	14.0	12.6	1.7	〃
	A5	29.2	1.945	1.505	22.5	6.7	1.6	否(分離)
	A6	28.9	1.998	1.550	24.5	5.2	1.2	〃(〃)
貧配合(B) 粒度分布 礫 30% 砂 55% シルト 15% 粘土	B1	19.0	2.050	1.723	0.5	33.3	3.0	否(抵抗大)
	B2	19.7	2.049	1.712	2.5	20.9	2.1	可
	B3	21.6	2.008	1.651	5.5	13.7	1.9	〃
	B4	23.8	2.004	1.619	21.5	9.2	1.5	否(分離)

\* P9については土砂吐出口であるため圧力が著しく低下しているため表にはP8の計測結果を記載した。

5. あとがき

土砂圧送実験で対象とした土砂性状については「泥土加圧シールド工法協会」の「作泥土材算出法」における添加材が必要・不必要の境界付近の土砂を基本配合として実験を進めており、実現場における様々な土砂性状を対象に実験を行っていないため、今回の実験を踏まえて、今後、様々な土砂性状に対して同様な実験を行い土砂圧送におけるデータを蓄積し、現場での掘削土搬出技術に寄与したいと考えている。

実現場での土砂圧送を想定し土木研究所構内にて行った今回の土砂圧送実験結果について、今後施工されるシールド現場での掘削土搬出に参考となれば幸いである。

また、土砂圧送実験及び本論文作成において(財)先端建設技術センター及び佐藤工業(株)、(株)鴻池組、西松建設(株)、東洋建設(株)、(株)大本組に御協力いただきました。ここに深く感謝の意を表します。

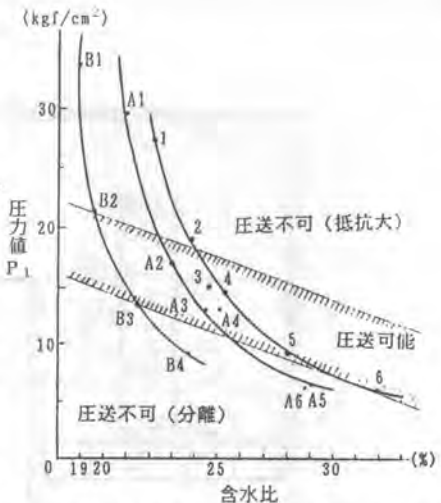


図-3 含水比変化による圧送管内圧力値の推移 (表示圧力値=P1, 圧力センサの計測値)

## 19. セグメント自動搬送SRシステム

清水建設(株)：\*佐藤 等・出口 種臣  
井手 和雄

### 1. はじめに

シールド工法は、都市部におけるトンネル工事において、道路、鉄道、ガス、電力、上下水道などライフライン施設を構築する技術として主要な工法となっている。また、建設業は3Kで象徴されるように、危険・苦渋作業が多く、作業環境が悪いなどの理由から、若年層の建設業離れによる労働力不足、熟練労働者の高齢化などの深刻な問題を抱えている。

このような社会的背景から、シールド工事の自動化・ロボット化による生産性の向上や作業環境の改善が進められてきた。具体的な例として、掘削の自動化、セグメント組立の自動化などがあり、実用の段階に達したものもある。しかし、シールド工法の完全自動化を目指すためにはセグメントを含む資材を自動供給するシステムの実現も重要な課題であった。

本報告は、従来地上にセグメント自動ストックラックを設置し、ストックしたセグメントを立坑ならびに坑内を経由し、シールドマシン後部のエレクター装置まで搬送・供給するセグメント自動搬送システムを開発したが、今回、さらに敷地の狭い現場への適用を考慮し、立坑内にセグメント自動ストックラックを設置したセグメント自動搬送SRシステムについて述べたものである。

### 2. セグメント自動搬送SRシステムの構成

図-1にセグメント自動搬送SRシステムの概要を示す。

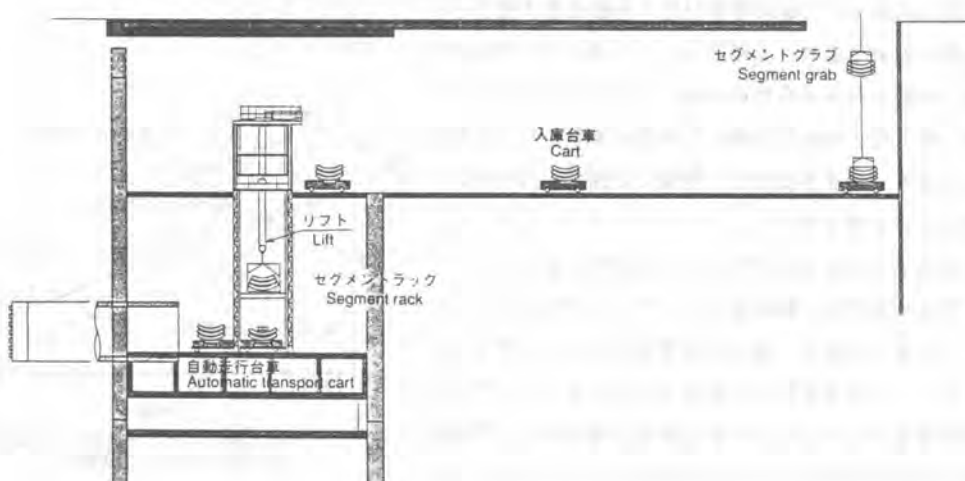


図-1 セグメント自動搬送SRシステムの概要

セグメント自動搬送SRシステムは、入庫台車、自動ストックラック装置、自動走行台車、セグメント供給装置、中央監視装置から構成されている。

本システムの特徴としては、ストックラックを立坑内に設置する事により都市部などで敷地面積が狭い現場での適用を可能としている点にあり、中央監視装置以外のシステム全体を地下に設けている。

セグメントの搬入搬出作業の流れは、セグメントグラブと称する専用のセグメント吊り治具を使用しセグメントを第1立坑から入庫台車に搭載し、第2立坑に設けられた自動ストックラック装置へセグメントをストックする。ストックされたセグメントは、第2立坑下に待機している自動走行台車へ搭載され、切羽まで搬送される。更に、セグメント供給装置へ移載され、エレクターまで搬送される。

#### (1) 自動入庫台車

入庫台車は第1立坑下から第2立坑までの間を往復し、1回に1/2リングのセグメントを搭載する事が可能であり、中央監視装置からの運転指令により自動運転されている。写真-1に入庫作業の状況を示す。入庫台車の安全装置としては、非常停止ボタン、運転表示灯、発進・走行・警報器がある。

#### (2) 立坑内自動ストックラック装置

写真-2に自動ストックラックの概要を示す。

図に示す様に、立坑内自動ストックラック装置は、建設用リフト、左右4段(4リング分)のラックから構成されている。

建設用リフトには、3段突出機構を設けたフォークが設けられている。自動ストックラック装置は、中央監視装置からの指令により上昇、下降、および特定のラックへのセグメントの積み下ろしを行う。

自動走行台車へのセグメント搭載作業は、自動走行台車の後ろ側へ最初のセグメント(1/2リング分)を搭載し、その後自動走行台車が後退し前側台車へ残りのセグメントを搭載する。立坑内が狭く自動走行台車の後退動作が不可能な場合、自動走行台車前側位置にセグメント持ち上げ装置を設け、後ろ側台車で受けたセグメントを前側に乗せ替える方式も他現場で実証済である。



写真-1 入庫作業状況



写真-2 自動ストックラックの概要

#### (3) 自動走行台車

自動走行台車は写真-3に示す様に、2両編成で1リング分のセグメントを搬送する。自動走行台車は中央監視装置からの指令を光指令装置から受信し、発進・停止・加速・減速・前進・後退が出来る。



走行速度は0.6km/hから6.0km/hまで4段切り換えが可能である。安全装置としては、運転表示灯、発進・走行・異常警報器、非常停止ボタン、走行方向障害物検知センサー、安全バンパー、荷崩れ検知センサーがある。写真-4に走行方向障害物検知センサーを示す。走行方向障害物検知センサーには超音波センサーと光センサーの2種類のタイプを装備し、最高速の実車で緊急停止可能な性能を実現している。

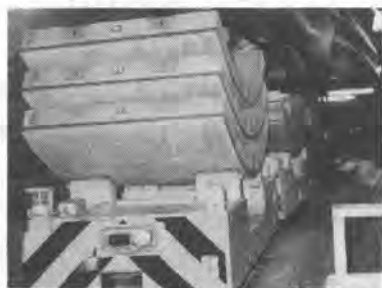


写真-3 自動走行台車

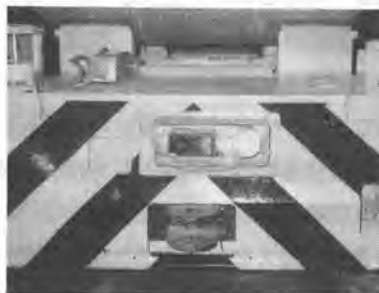


写真-4 走行方向障害物検知センサー

#### (4) セグメント供給装置

セグメント供給装置の概要を写真-5に示す。

自動走行台車で運ばれてきた1リング分のセグメントを受け取り、シールドマシン後端のエレクター装置まで1ピースずつ順次供給する装置である。この装置はセグメントを仮り受けした後、速やかに自動走行台車を後退させるためのリフターと、エレクターへ1ピースずつセグメントを供給するためのトロリーホイストから構成されている。

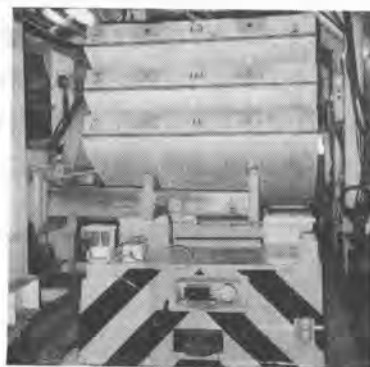


写真-5 セグメント供給装置

#### (5) 中央監視装置および光指令装置

中央監視装置は、自動入庫台車、立坑内自動ストックラック装置、自動走行台車の制御を行う装置である。自動走行台車の制御は、中央監視装置からの指令を光指令装置を介して行われており、中央監視装置と各光指令装置間は光ケーブルを利用したLANシステムで結ばれている。また、自動走行台車の下部には近接センサーを設置し、必ず減速しなければならない地点付近の軌道付近に設置した発磁体を検出し強制的に減速させる機構も設けてある。これにより、自動走行台車と光指令装置間のデータ伝送を減少させることが可能となり、たとえ伝送ミスが発生しても次の光指令装置で確実に停止することが出来、安全性の向上が図られた。

### 3. 管理制御方式

#### (1) セグメント入出庫管理

セグメント管理システム概要を写真-6に示す。

セグメント入庫作業時の操作項目としては、自動入庫台車上にセグメントを搭載し、そのセグメントの種別を設定し、入庫作業の起動スイッチを操作する。またセグメント出庫作業時の操作項目としては、出庫するセグメントの種別を設定し、出庫作業の起動スイッチを操作する。これ以外は全て自動管理されている。出庫セグメントの種別選択は随時可能であるが、種別選択を変更しない限り自動走行台車が出庫口に到着するたびに同種のセグメントの出庫を繰り返す方式となっている。また、セグメントの在庫管理は古いセグメントから順に出庫する方式としている。

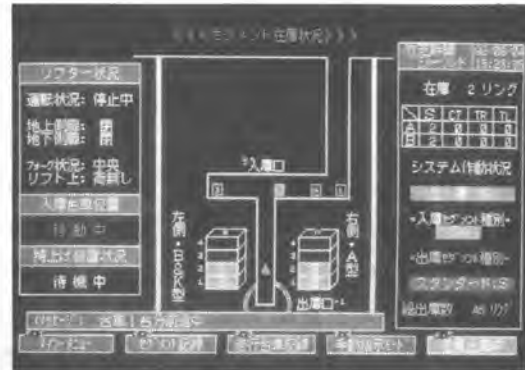


写真-6 セグメント管理システムの概要

#### (2) 自動走行台車運行管理

写真-7に光指令装置を示す。

中央監視装置は常時自動走行台車の運行をトラッキングし、設定されたモードに従って特定の光指令装置に対しデータを送信する。この時、他の光指令装置は停止指令のみを発信している。



写真-7 光指令装置

光指令装置と自動走行台車間のデータ伝送は複数回データの照合を行い、誤りがなければ次の動作を開始する方式である。中央監視装置と光指令装置間のデータ通信は1 Mbpsの低速光リンクで行い、光指令装置

と自動走行台車間はFSK 変調方式、7.812bpsの赤外線空間伝送方式を用いている。自動走行台車のある区間手動運転を行った場合でも、元の運転モードに戻したい場合は、最寄りの光指令装置で光指令装置と自動走行台車の通信を可能な状態に合わせて、自動運転を設定すれば元の運転モードが継続できる。

### 4. おわりに

本システムの実証により、今後長距離・大深度・少数地化するシールド工場の自動化・無人化施工への可能性がつかると同時に、残された課題が明確になってきた。

本システムと従来から各社により開発・実用化されてきた自動測量運転システムやセグメント自動組立システムなどとの統合により、シールド工場の自動化が大きく前進し、建設現場のC I M化の実現が可能になるものと思われる。

## 20. スイングドラム型矩形シールド (SDRシールド)の開発

日立造船(株)：\*糸永 洋  
西松建設(株)： 椋木 淳二

### 1. はじめに

近年、シールド工法において地下空間の有効利用の必要性から、多円形や楕円などの単円形以外の断面が検討されてきている。しかし、電力電々、ガス、共同溝、道路、鉄道等の施設では、その機構や維持管理の面からトンネルの断面形状は矩形が最も望ましいと云われている。

西松建設(株)と日立造船(株)は共同で、新形式のスイングドラム型矩形シールド(Swing Drum Rectangular Shield)を開発し、3ヶ月にわたる要素実験を経て、縦3.17m、横2.67mの泥土圧式実証実験機を完成したので、その概要を報告する。

### 2. SDRシールドの掘削機構

本機の掘削機構は、バルクヘッドの前面でシールド本体とほぼ同一の幅を持つ直径1.2mのドラムカッタを回転させながら上下にスイングさせることにより、矩形断面を掘削・構築するものである。図-1にSDRシールド概念図を示す。

ドラムカッタについては自由断面掘削機(カッターローダ等)で既に実績があり、カッター・ツースはスパイラル状に配置するなど工夫を凝らし、土砂の付着を防止する。掘削された土砂はバルクヘッド内に充填され、切羽を保持しながら下部のスクリュコンベアより排出される。

また、図-2に示すようにドラムカッタの軸受箱の部分を持ち残すことがないように片方のドラムカッタ回転軸を傾斜させる。(角度 $\theta$ )

さらに、そのままのドラムカッタで図-1に示すように上下にスイングすれば、不要な余掘りが発生する。これを解決するために両端のドラムカッタをコーン状にして傾斜させることで、所定の断面が掘削可能となる。

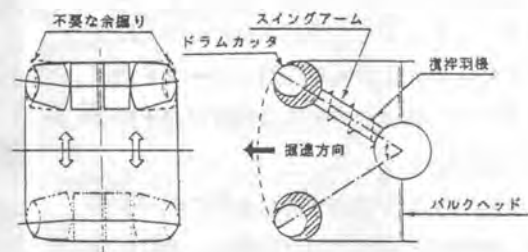


図-1 SDRシールド概念図

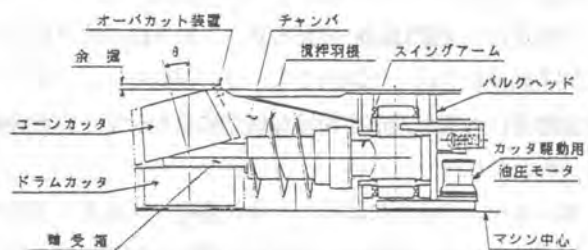


図-2 ドラムカッタ(平面図)

スイングアームの揺動はバルクヘッドで隔てた機内からとし、土砂シール等に不都合のない構造とした。スイングアームには回転する攪拌羽根をつけ、チャンバ内での掘削土の混練、攪拌効果を高めることができるようにした。

また、左右のコーンカッタにオーバカッタ装置を設けることにより、必要な余掘りを行うとともに中折れ機構によって曲線施工を容易にした。

### 3. スイングアーム挙動要素実験

本機を開発するにあたって、チャンバ内土砂の混練性と排土特性は、実機の設計・製作する上にあたって解明しておかなければならない重要な課題である。そこで、スイングアームの混練および排土効果を確認するためにスイングアーム挙動要素実験を行った。

図-3に要素実験装置を示す。

本装置は、SDRシールド機の大きさを仕上り内空2.5m×2mと想定し、実機の1/6にスケールダウンしたもの。

表-1は、本実験に用いた土砂の配合例を示す。また、表-2は、実験結果のまとめと実機への適用について示す。

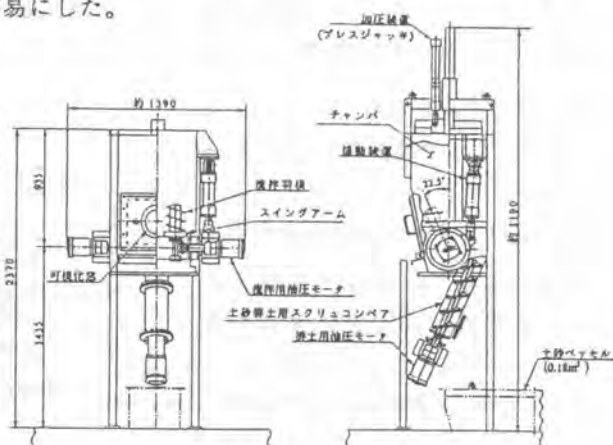


図-3 要素実験装置

表-1 実験土砂

試料 No.	土質(地山)	泥炭材添加量 (地山:粘土)	含水比 (%)	コンシステンシー (スランプ値:cm)
①	砂質土	7:3	17.2~21.2	0.5~2.2
②		9:1	21.0	1.0
③	落温じり砂質土 (礫10%混入)	7:3	16.2	2.0

表-2 スイング挙動要素実験結果と実機への適用

スイングアーム		Type A (スクリュー)	Type B (丸棒)	Type C (丸棒)	備考	実機への適用
負荷特性	スイングトルク	0.31	0.39	1	TypeCを1とする	
	攪拌トルク	0.7	1	-	TypeBを1とする	
混練排土特性	土砂の混練性	○	△	×		② スイングトルク係数を求め適用する。
	土砂の排土性	○	△	△		
問題点	土圧(側面)	0.25	0.25	1	TypeCを1とする	③ 攪拌トルク係数を求め適用する。
	スイング時の脈動	小	中	大		
	土圧の脈動	小	小	大		
	羽根への付着土	少	多	-		
総合評価		◎	△	×		

#### 4. 実証実験機の設計

##### 4.1 ドラムカッタ

公称径はビット先端直径とした。最初は $D=1.0\text{m}$ で検討をスタートしたが、曲線施工や姿勢制御に不可欠のコピーカッタを装備するスペースがとれなかったため、 $D=1.2\text{m}$ とした。本機のカッタトルクは、類似機種の中連続壁掘削機におけるトルク係数 $\alpha_1(=T/D^3)$ を参考として、 $\alpha_1=3.0$ を目標にし装備トルク $T$ は、 $T=\alpha_1 \cdot D^3=3.0 \times 1.2^3=5.2\text{tf}\cdot\text{m}$ とした。

##### 4.2 カッタ駆動装置

図-4にカッタ駆動部の平面図を示す。

ドラムカッタは、内部に油圧モータ等の駆動源が装備できれば非常にシンプルな構造となるが、スペースの関係で油圧モータを機内に設置せざるを得なかった。したがって、油圧モータからローラチェーンと傘歯車を介し、スイングアーム内にドライブシャフトを設け、さらに傘歯車と平歯車との組合せによりドラム

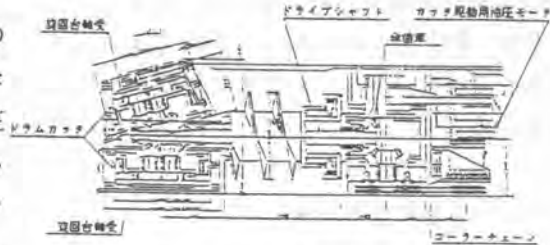


図-4 カッタ駆動装置

カッタを駆動するようにした。また、ドラムカッタの軸受にはスラスト荷重、ラジアル荷重およびモーメント荷重を同時に受けることができる旋回台軸受を採用した。

##### 4.3 スイング駆動装置

スイングジャッキは機内に設置し、バルクヘッドに軸受箱を設けてスイング中心とした。左右のスイングジャッキには各々ストロークセンサを設け、同調運転を可能にすると共にドラムカッタ位置を表示できるようにした。

スイングトルクは要素実験データから二次解析を行い、スイングトルク係数 $\alpha$ を算定し、実機設計に利用した。

##### 4.4 土砂攪拌装置

SDRシールドは、断面積が同等の従来の円形シールドに比べ、チャンパ内で土砂をたくわえる容積が約2倍と大きくなり、掘削した土砂の塑性流動化が重要な要件となる。

今回要素実験で混練効果が最も高く、スイングによる土圧変動が少なかったスクリュ型攪拌羽根を採用した。

攪拌装置は、図-5に示すように減速機付油圧モータにより、平歯車を介して、スイング軸上を攪拌羽根が回転する構造とした。実機の攪拌トルクは、要素実験で得られた攪拌トルク係数 $\beta(=MT/d^3)$ を利用して算出した。

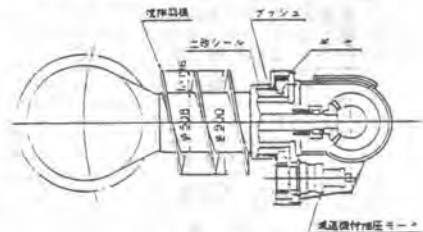


図-5 土砂攪拌装置

#### 4.5 中折れ装置

本機は、曲率半径R100mの曲線施工ができるように中折れ装置を設けており、中折れ角度は、左右1.3°である。曲線施工にあたっては、シールドジャッキの選択とコピーカッタによる余掘りおよび中折れ装置で施工性を向上させる。

#### 4.6 エレクタ装置

図-6にセグメント組立順序を示す。矩形セグメントは、縦長矩形であり、かつ、内空幅2mの所に排土スクリュコンベアを通すため、従来の円形シールドのリングギヤタイプエレクタが採用できなかった。これを解決するため、エレクタ本体が矩形のモノレールにガイドされて旋回するボックス移動式を考案し、2台の油圧モータによる牽引機構、さらにセグメント把持装置を左右にスライドさせる横スライド機構を採用した。

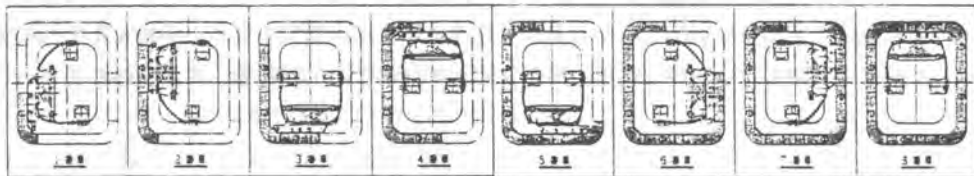


図-6 セグメント組立順序

#### 4.7 姿勢制御

図-7に本機の姿勢制御の方法を示す。矩形の場合、円形シールドに比べシールド本体のローリングは、テールクリアランスに影響を与えるため、精度の高い姿勢制御が要求される。その解決策として、SDRシールドならではのユニークなローリング修正方法を考案した。それは、左右のスイングアームを交互に揺動させ、掘削反力を利用する方法である。

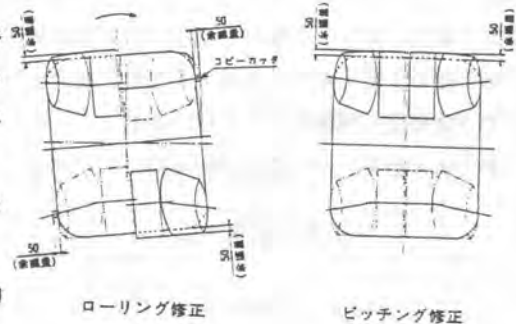


図-7 姿勢制御

#### 5. おわりに

矩形シールドの機械化は技術的課題が多く、実用化は難しいとされてきたが、スイングドラムカッタを採用することで施工上の多くの問題を克服できるものと確信している。

平成4年8月に完成した泥土圧式 SDRシールドの写真を図-8に示す。

今後は、現在計画中的の実証実験をとおして、SDRシールドの施工範囲の拡大およびその特性について検討を進め、最適な施工法の確立を目指す所存である。最後に、本機的设计・製作にあたり、御協力いただいた関係者の皆様に厚く感謝する次第である。



図-8 完成したSDRシールド

## 21. シールドによる直接発進工法

NOMST研究会：\*園田 徹士・田中 秀明

### 1. はじめに

一般に、シールドの発進・到達は、地盤改良を行い地山を自立させた後、人力により開口作業を行い発進・到達を行っている。しかし、地下空間の過密化したがい、シールドトンネルの深層化が進み、大深度・高水圧下での地盤改良や開口作業を人力で行うことは、施工性、安全性などに課題を残している。NOMST研究会（新日本製鐵、日本プレスコンクリート、熊谷組、佐藤工業、清水建設、鉄建建設、西松建設、間組、前田建設工業、三井建設）では、これらの課題を解決する方法として、地盤改良を行わずシールドにより直接土留め壁を切削しながら発進・到達する工法の開発を進め、平成4年1月に実シールドを用いた発進の実験を行い良好な結果を得た。本文では、この工法概要、各種試験結果について述べる。

### 2. 工法概要

従来の土留め壁は、鉄筋コンクリートや鋼製部材で構築されており、シールドにより直接発進・到達を行う場合、ビットの摩耗、切羽の安定性が確保できないなどの問題を持っていた。本工法は、シールド発進部の土留め壁に高強度で切削性に優れたコンクリート部材を使用し、地盤改良を行わずにシールドで直接発進・到達を行う工法である。

本工法と従来工法の発進概要を図-1に示す。

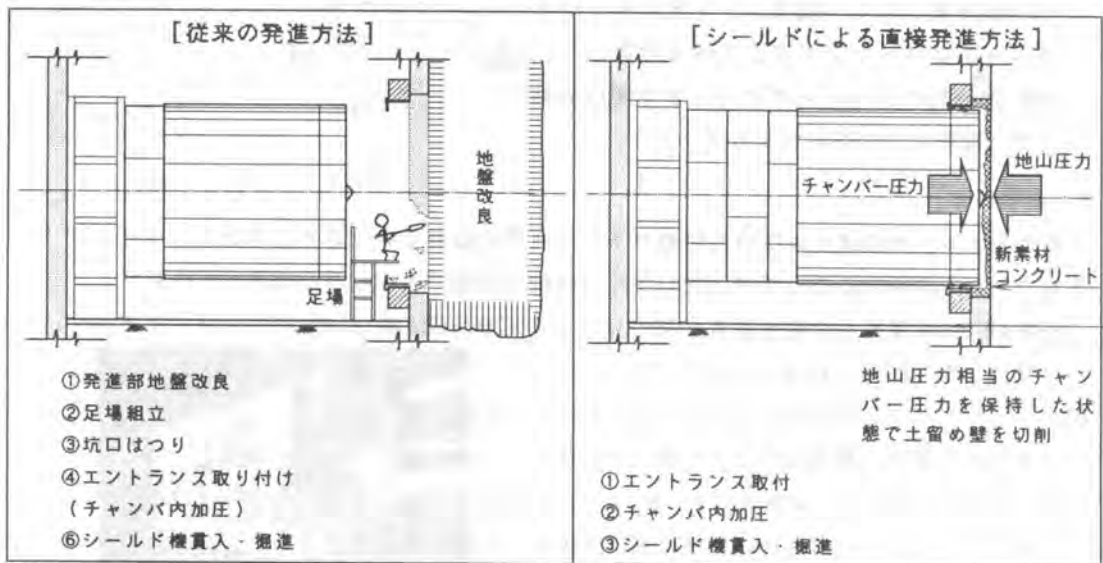


図-1 従来の発進方法とシールドによる直接発進方法

#### 2.1 土留め壁部材の選定

カッターによるコンクリートの切削性は主に粗骨材の強度に起因し、粗骨材の強度はコンクリート強度と大きく関連する。そこで、各種骨材について強度試験、ビットの摩耗試験を行った。また、引張り補強材の選定にあたっては、従来用いられている鉄筋はカッターにからみつき切削が困難であるため、剛性・強度などの基本物性について各種素材について調査を行い(図-2)、適用可能と考えられたカーボンとガラス繊維について切削試験を行った。試験結果を以下に記す。

①メサライト(軽量骨材)を用いた場合、石灰碎石、スラグ碎石に比べ強度が低い。

②メサライトに比べ石灰碎石、スラグ碎石は、切削トルク

は大きくなるが両者の差は認められない。

③スラグ碎石に比べ、石灰碎石を用いた場合、カッターの刃先の摩耗はほとんど見られない。

④強度・剛性において、カーボンおよびアラミド繊維は他の繊維より優れる。

⑤切削試験において、切削断面はガラス繊維が引きちぎられるのに対し、カーボン繊維は切削される状況である。以上より、粗骨材として石灰碎石、引張り補強材としてカーボン繊維(以下、CFRPストランド)を使用したコンクリート(以下、新素材コンクリート)とした。

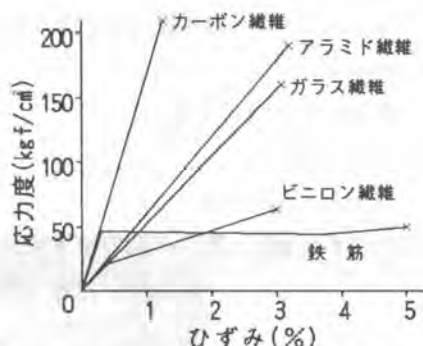


図-2 各種繊維の応力ひずみ曲線

## 2.2 実物大梁曲げ試験

また、部材の特性把握を目的に、次章で述べる実証実験で用いる部材の実物大梁曲げ試験を行った。部材は、桁高600mm、幅560mmで主筋にφ30mmのCFRPストランドを正負6本ずつ配置しており、短期許容モーメントで80tf・mである(図-3)。

図-4に実際の使用域と考えられる載荷荷重(29.6~101.8tf)でのCFRPストランド主筋歪みおよびコンクリート表面歪みを示す。この間でCFRPストランドとコンクリートの歪みは、おおむね中立軸からの距離に比例して直線的に分布しており、平面保持の仮定が成り立つものと考えられる。

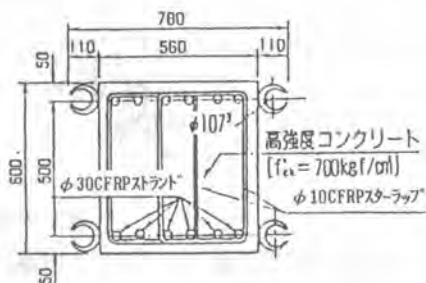


図-3 新素材コンクリート断面

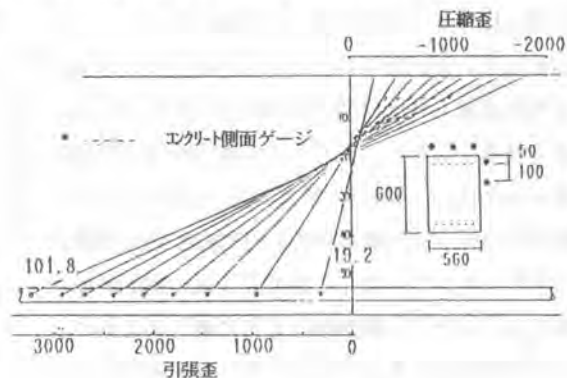


図-4 部材歪み分布

## 3. 発進実証実験



本工法の施工性の確認および特性把握のため、シールド実機を用いた発進実験を行った。土留め壁はシールド切削部分にプレキャストの新素材コンクリート部材を用い、それ以外の上下の部分には鋼製部材を用いた(図-5)。

### 3.1 実験概要

#### [立坑]

- ・床付けGL-8.2m(トンネル中心GL-6.8m)
- ・エントランス:高水圧対応2段パッキン

#### [シールド]

- ・外径:φ2,480mm
- ・形式:泥水式
- ・総推力:600tf
- ・カッタートルク:最大45tf・m( $\alpha=2.9$ )
- ・カッタービット:一般土砂用(E5種,100mm幅)

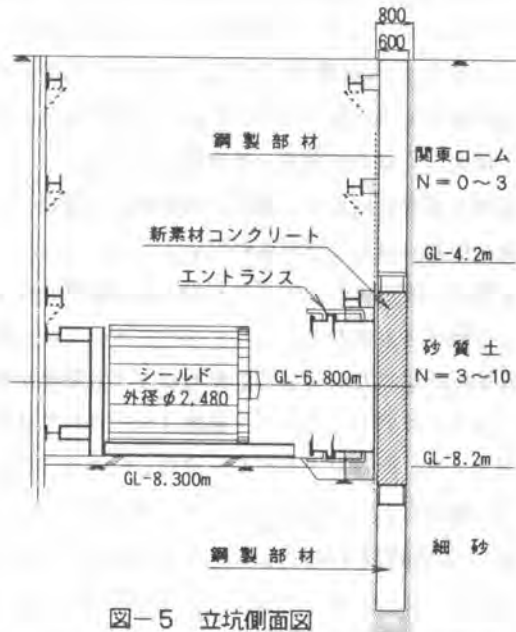


図-5 立坑側面図

### 3.2 実験結果

切削試験結果と実験機のカッタービット配置より、掘進速度と発生トルクの推定を行った(表-1)。これより、実験での掘進速度を1~3mmとして掘進を行った(壁厚600mmの場合、掘進時間は5時間程度となり、実施工においても問題の無い時間と考えられる)。掘進時の各種計測結果を以下にまとめる。

#### (1) 切削性

推力とカッタートルクの関係は、図-6に示すとおり、正の相関が見られが、カッタートルクは表-1の推定値に比べ2倍程度となっている(図-7)。この理由として、実測値は油圧ポンプの吐出圧より算定しており損失トルク(配管抵抗等)も含まれるためと考えられる。しかし、シールドの能力を考えた場合、発生トルクは10~30tf・m(最大トルクの22~67%)、総推力は40~110t(総推力の3~18%)であり掘進は十分可能であった。また、掘進完了後、掘削面の目視確認を行ったが、掘削面は非常に滑らかであり、地山との境界部においてもコンクリートがブロック状に破壊するような状況は見られなかった。

#### (2) ビットの摩耗

表-1 切り込み量による推定トルク

掘進速度 (mm/min)	回転数 (rpm)	切込み量 (mm/rev)	単位掘削量 (tf/m)	トルク (tf・m)
1.0	1.25	0.8	14.9	12.4
2.0	1.25	1.6	18.9	15.3
3.0	1.25	2.4	20.9	17.4

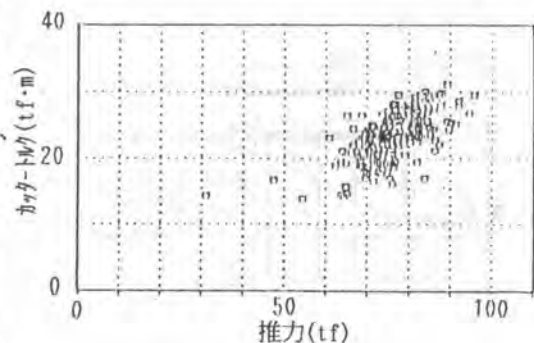


図-6 推力とカッタートルクの関係

新素材コンクリート壁貫通によるビットの摩耗量は、外周ビットの平均値で0.8mmであった。この量は砂礫層を掘進速度30mm/minで約1,000m掘進した場合に想定される摩耗量10mmに比べ小さく、本掘進に影響は無いと考えられる。

### (3) 排土性

シールドにより切削、排土されたずりを写真-1に示す。石灰碎石粗骨材は砂状に細かく削れ、CFRPストランドも素線にばらけた長さ10cm程度の小枝状に削れられ、いずれも4インチの排泥管で閉塞することなく排出された。

### (4) 土留め壁、地盤の挙動

シールド掘進中央部での挿入式傾斜計による土留め壁の変形計測結果を図-8に示す。土留め壁の切削開始から内筋切断時までは、土留め壁の変形はほとんど見られない。残厚が薄くなる外筋切断前及び切断後は、切断部分の地山側へ5mm程度のはらみ出しが確認されたが、掘進後の目視確認よりコンクリートのブロック破壊は無かったと考えられる。また、地盤の鉛直変位(沈下量)および水平変位は、最大2mm程度であった。

## 4. おわりに

今回の実証実験により、本工法の実施工適用が可能であることが確認され現在、東京都内にてシールド外径φ2,930mmの第1号の実工事を施工中である。今後は、特殊条件下(路下施工等)での施工法、大断面シールドへの適用性についての検討を進めていく予定である。

### 参考文献

- 園田徹士他：NOMSTの開発(その1)～(その4)、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、1992.9  
 北川滋樹他：シールドトンネルの直接発進の実証実験報告、トンネル工学研究発表会論文・報告集、1992.10

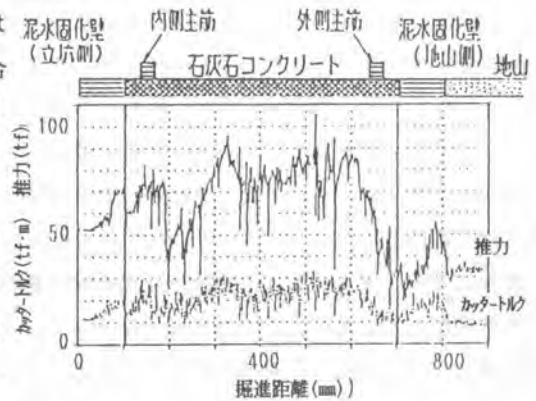


図-7 推力・カットトルクの変化



写真-1 切削ずり

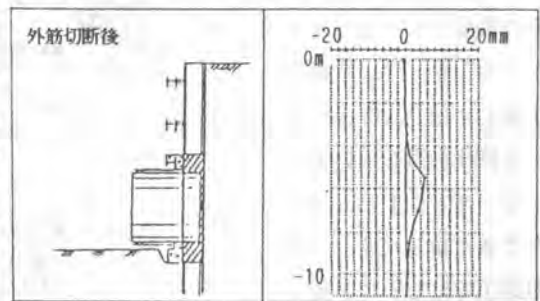


図-8 掘進状況と土留め壁の関係(外筋切断後)

## 22. 泥水式シールド工事用泥水処理システムの開発

佐藤工業(株)：\*谷口 和之・佐藤 潔  
大浦 修三

### 1. はじめに

泥水式シールド工法などの掘削地山の安定と掘削土の輸送に泥水を循環して使用する工事においては、泥水処理が重要であり、その処理能力によって、工事工程を左右することもある。泥水処理は、通常一次処理、二次処理及び三次処理に分けられる。二次処理は一般的にフィルタープレスが用いられ、処理能力の他にも種々の問題がある。フィルタープレスで脱水された処理土（脱水ケーキ）は、強度が小さく、雨水等により泥土化することが多く、土質材料として有効利用するには難点がある。近年の建設残土・汚泥の増大と処分地の減少などの現状から、これらの有効利用を考えた場合、処理土が土質材料として利用可能な性状を有するようにすることは、最も必要な条件と考えられる。このような要求に対応すべく、泥水式シールド工事を対象とした泥水処理システムを開発した。

本報告では、開発したシステムの概要と従来システムとの比較について述べる。

### 2. 開発システムの概要

#### 2-1 システムの構成

本システムは、図-1に示すように、「一次処理工程」と「二次処理工程」から構成される。

「一次処理工程」には通常の振動フルイと一次サイクロンを、「二次処理工程」には二次サイクロンと固化装置を用いる。

シールド切羽から送られてきた排泥水を、一次処理工程において、砂分礫分（粒径74 $\mu$ mを越える）を除去したあと調整槽に貯留する。「二次処理工程」では、シールドの掘削に伴い、濃度の上昇した調整槽の泥水を、二次サイクロンで高濃度泥水と低濃度泥水に分級する。その後、高濃度泥水を余剰泥水槽に貯留し、固化装置で固化処理する。また低濃度泥水は調整槽にもどしたあと、再びシールド切羽に循環させる。

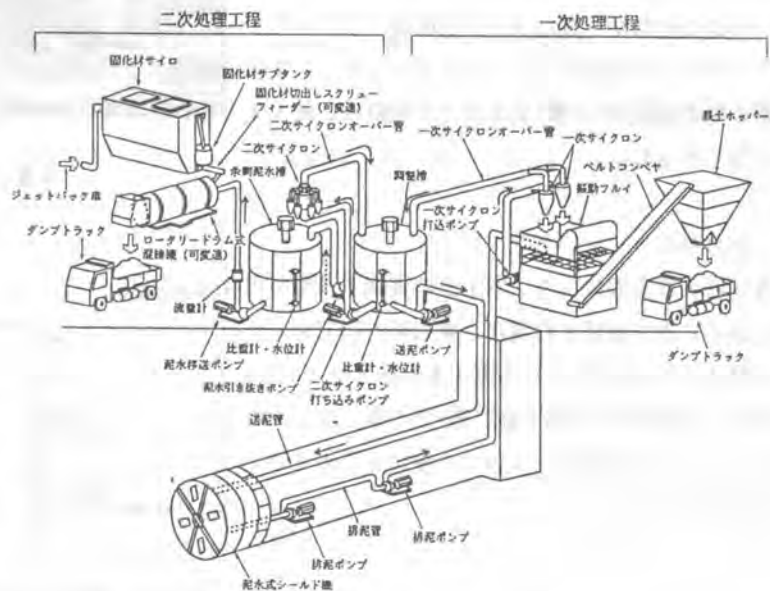


図-1 システムの構成

掘削土を供給するダンプトラック、振動フルイ、一次サイクロン、一次サイクロンオーバーパイプ、送泥ポンプ、調整槽、二次サイクロン、二次サイクロンオーバーパイプ、二次サイクロン打ち込みポンプ、比量計・水位計、送泥管、送泥ポンプ、排泥管、排泥ポンプ、泥水式シールド機、泥水引き抜きポンプ、配水管、調整槽、ダンプトラックが含まれています。また、ジェットホッパー車、ロータリッドラム式破砕機（可変速）も図に示されています。

## 2-2 泥水制御の原理とその方法

シールド掘削に伴い、調整槽の泥水の絶対量・比重・濃度は徐々に増加するが、これは掘削地山に含まれている74 $\mu$ m以下の固形分と水分が原因である。そこでこの固形分と水分を除去するため、調整槽の泥水を二次サイクロンに打ち込み、分級・濃縮する。二次サイクロンでは、通常の一次サイクロンで使用されているものより筒径が細く、非常に小さな粒径の土粒子まで分級できるものを用いている。二次サイクロンでアンダーフローする高濃度の泥水は、余剰泥水槽に貯留し、オーバーフローする低濃度泥水は再び調整槽に循環する。その結果、調整槽の泥水比重は低下調整される。これら高濃度泥水と低濃度泥水の物性の一例を表-1に示す。

表-1 泥水の物性の一例

泥水種類	粒度組成	供試泥水性状		サイクロンMD-3'		サイクロンMD-2	
		比重	FV	アンダー-跡		オーバー-跡	
				比重・濃度	比重・濃度	比重・濃度	比重・濃度
A	S:15%	1.20	20.7	1.73 ; 66	1.12 ; 17	1.63 ; 62	1.16 ; 26
	M:67%	1.25	21.7	1.73 ; 67	1.16 ; 23	1.73 ; 69	1.15 ; 22
	C:18%	1.30	23.0	1.74 ; 68	1.23 ; 31	1.75 ; 70	1.10 ; 13
B	S:12%	1.20	23.4	1.78 ; 71	1.18 ; 26	1.55 ; 59	1.12 ; 20
	M:45%	1.25	28.4	1.79 ; 72	1.19 ; 28	1.63 ; 64	1.17 ; 24
	C:43%	1.30	32.0	1.68 ; 65	1.27 ; 37	1.64 ; 65	1.22 ; 31

S:砂分, M:シルト分, C:粘土分, FV:ファンネル粘性(単位 sec), 濃度(単位%)



図-2 物質収支計算例

これらは泥水処理の物質収支上重要な要素であり、図-2に物質収支計算例を示す。比重調整後の泥水量は計算例の通り、初期の送泥水量を上回っている。これは二次サイクロンによる処理では初期比重にまで低下させるだけで、掘削地山に含まれていた固形分と水分の一部が残るためである。そこで、比重調整終了後の泥水を、そのまま調整槽から引き抜いて、余剰泥水槽に送り込み、泥水量の調整を行う。従って、余剰泥水槽内では二次サイクロンアンダーの高濃度泥水と、比重調整された泥水が混合されることになる。この混合比は掘削地山の土質条件などにより変化するので、調整槽内の泥水比重と泥水量を制御するため二次サイクロン打込ポンプの運転、及び、泥水引き抜きポンプの運転を行う。

### 2-3 泥水固化の方法

調整槽の泥水を濃縮処理した結果、余剰泥水槽には調整槽より比重の高い泥水が貯留されることとなり、これを固化装置に移送後、固化処理する。固化装置には、土圧式シールド工事の泥土処理用に当社が開発したロータリードラム式混練機を用いる。本装置の特徴は次の通りである。

- ①供給泥水量、固化材添加量及び混練スピードが調節できる。
- ②最大50ml/hrの処理が可能である。
- ③ドラム内部には特殊な攪拌翼が取り付けられているため混練効率が良い。
- ④装置全体がコンパクトである（全長7.7m、全巾2.0m、全高2.3m）ため用地の制約を受けない。

固化装置の全景を写真-1に示す。

実際の工事に際しては、目標強度と養生時間の設定に応じて固化材の種類・添加量を選択するため、あらかじめ室内試験で求めておいてから実施することとしている。

ここでは、室内試験結果の一例を図-3に示す。この試験では、ダンプの運搬性を考慮して、養生時間を3時間に、コーン指数 $q_c$ を $2\text{kgf/cm}^2$ に設定した。また、固化材として、石灰系の“グリーンライム”（カルシード社製）及びセメント系のうち強度発現の早い“アルサイト”（不二サッシ社製）を用いた。

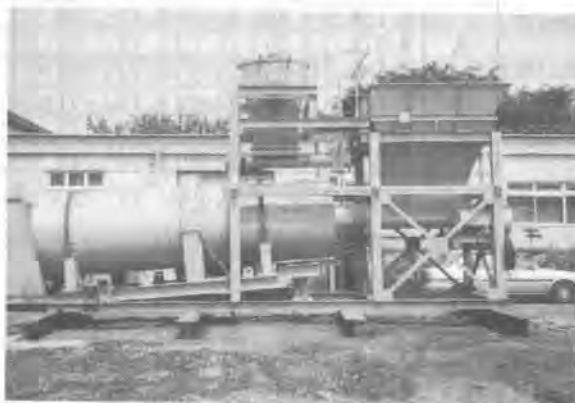


写真-1 固化装置の全景

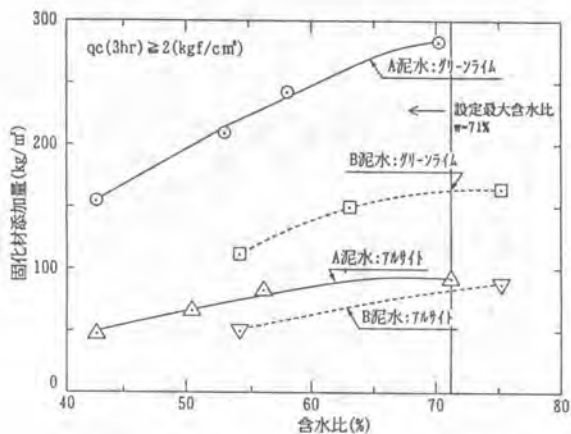


図-3  $q_c(3hr) \geq 2\text{kgf/cm}^2$ となるのに必要な固化材添加量～含水比の関係

### 3. 従来システムとの比較

開発システムを実用化するための検討として、シールド外径・施工延長など、シールドの工事規模を数ケース想定し、必要処理装置・占有面積及び処理コストについて試算し、従来システムの場合と比較した。

#### 3-1 必要装置及び占有面積

従来のフィルタープレスはバッチ処理であり、処理能力が小さく、さらに凝集剤添加量や、掘削土質条件が変化した場合はその処理能力が低下する場合が多い。また、ろ水の余剰分は放流処理されるため、排水基準を達成させるための三次処理装置を必要とする場合がある。これに対し、本開発システムは連続処理で、処理能力が大きいため、スラリー槽、フィルタープレス、ろ水槽、処理土貯留ホップ及び三次処理装置などを必要としないので、装置全体の設置面積及び容積を大巾に縮小できる。

物質収支計算結果をもとに、処理システムの各装置の容積・台数・占有面積を試算すると、シールド径φ3～10mの工事に対する試算の結果、開発システムの占有面積は従来システムの55～40%となった。

#### 3-2 処理コスト

前記で求めた処理装置を基に、組立・解体費、機械・材料・電気・運転・残土処理・借地費などの各処理コストについて試算した結果、開発システムは装置費及び関連費を低減できる。ランニングコストについては固化材を使用するため、材料費が従来システムより高くなった。トータルコストは従来システムの75～90%となった。表-2に開発システムと従来システムの総合比較を示す。

### 4. おわりに

泥水式シールド工事用に開発した泥水処理システムについて述べてきたが、基礎的な試験や検討の結果、次のような特徴を有することが確認された。

- ①連続処理ができる。
- ②占有面積・時間当りの処理能力が十分に高い。
- ③省力化が図れ、維持管理が容易である。
- ④処理土の強度を任意に設定できる。
- ⑤処理コストが安い。

この技術は建設省建設技術評価制度の平成二年度公募課題に応募し、評価を受けた結果、実用の域に達していると認められたものであり、当初の開発

目標は達成されたと考えている。現在、実施工への適用に向けて準備を進めている段階であり、実施後その詳細については、あらためて報告したい。

表-2 システムの総合比較

開発システム	項目	従来システム
強度の調節が自由にでき、雨水等で変化しない	処理土の性状	強度は十分でなく、雨水等により泥土化する
非常にコンパクトで、小さい	占有面積・容積	据付面積及び容積が大きい
連続処理なので、大きい	時間当りの処理能力	バッチ処理なので、小さい
固化材コストが必要となるが、処理土を有効利用できるので、トータルコストは安い	処理コスト	産業廃棄物処理を行うので、処理コストは高い
自動化が容易で、省力化がはかれる	維持・管理	自動化の為にはコストがかかり、機械には専門の運転手を要す
機械配置の条件がなく、設備能力の変更が容易である	その他	機械配置の条件があり、設備能力の変更は困難である

## 23. シールド地中探査システムの開発

飛島建設(株)：板場 通夫・堀崎 敏嗣  
\* 稲田 義和

### 1. はじめに

大深度・大断面・長距離化など、ますます多様化するシールド工事では、泥水式・土圧式などの密閉型シールド掘進機が多用されている。一方、密閉型シールド掘進機はその構造的制約から、切羽状況を直接目視することが不可能なため、土圧計をはじめ各種計測器の測定値により間接的に切羽の状態を管理して掘進を行っている。

電磁波レーダーを用いた『シールド地中探査システム』は、シールド機の面盤に取り付けたレーダー装置により、切羽の状態を直接リアルタイムに探査して、切羽安定管理の信頼性向上を図るものである。

本報告は、『シールド地中探査システム』の概要と実施工における実証結果について報告する。

### 2. 開発の目的

シールド工法における地中の探査対象は、巨礫、杭などの障害物、ゆるみ・崩壊など周辺地山の性状、切羽の地質変化の3種類に大別することができる。これらのニーズに応える探査技術として、電磁波法、音波・レーラー波法、四電極法などの手法が試みられているが、探査距離や探査精度などすべての要素を満足する確立された方法が無いのが現状である。

本システムは、シールド機周辺地山のゆるみ・崩壊発生状況をリアルタイムに探査して施工にフィードバックすることを主な目的とし、障害物や切羽面の地質変化の検知も可能なシステムを目指して開発を行ったものである。このため、探査方式は、探査距離がやや短いが高精度に地中の状況を探査でき、かつリアルタイムな探査が可能である『電磁波レーダー方式』を採用した。

### 3. システムの概要

#### 3.1 電磁波探査法の測定原理

電磁波レーダーの探査原理を図-1に示す。送信アンテナから地山に向けて放射された電磁波パルスは、シールド機周辺の泥水・泥漿材の層やゆるみ・崩壊により発生する空洞や密度の低い領域を通過して、これらと比誘電率の異なる地山との境界面で反射する。この反射波を捉えることにより地山境界面までの距離が求まり、その変化によりゆるみや崩壊の発生を検知する事ができる。同様にして、地山中の玉石や杭などの障害物も、

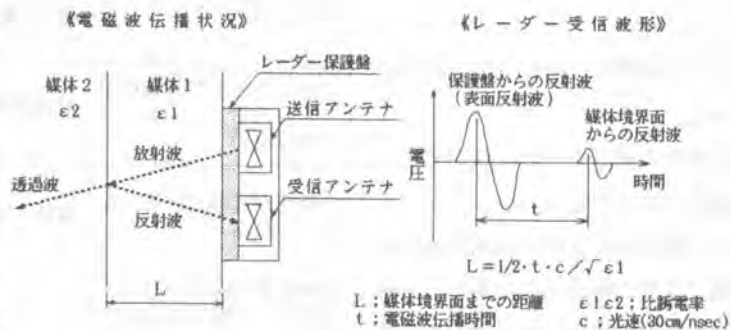


図-1 電磁波レーダーの探査原理

なる地山との境界面で反射する。この反射波を捉えることにより地山境界面までの距離が求まり、その変化によりゆるみや崩壊の発生を検知する事ができる。同様にして、地山中の玉石や杭などの障害物も、

地山と比誘電率が異なるため反射波が生じ、それを受信することによりその存在を知ることができる。

### 3.2 システムの構成

本システムは以下の各部より構成される。

(図-2 参照)

- ①回転するカッターフェースに取り付けられ、電磁波を送受信するレーダーアンテナ部
- ②アンテナからの信号をA/D（アナログ/デジタル）変換して地上に伝送する機内制御部
- ③回転するレーダーアンテナと機内制御部を連結するスリップリング

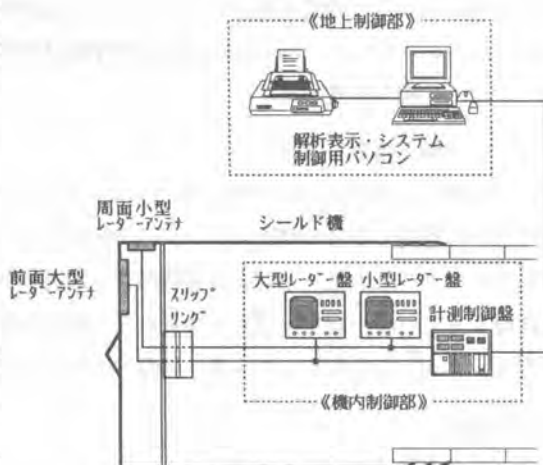


図-2 システム構成

- ④レーダー信号の解析表示・記録とシステムの制御を行う地上制御部

尚、レーダーアンテナは、切羽を多角的に探査するためにカッターフェース前面と周面に設置する。

### 3.3 システムの特長

システムの特長を以下に示す。

- ①シールド機カッターフェースと共にレーダーアンテナが回転して、連続的に切羽全断面の探査が可能であり、掘進に伴う地山状態の変化も把握できる。
- ②掘進中のシールド切羽面をリアルタイムに探査表示・記録ができ、速やかに適切な対処が可能となるため、施工の安全性が向上する。
- ③前面大型レーダーと周面小型レーダーの組み合わせにより、障害物探査からシールド機周辺のボイド発生状況まで、広範囲な探査が可能である。
- ④掘進中の切羽天端部のゆるみ領域やコピーカッターの余掘量・範囲などが探査でき、シールド機周辺地山の安定状態が常に監視できる。
- ⑤埋設管などの切羽障害物を事前に探査できる。
- ⑥切羽面の地層境界とその変動を探査でき、切羽地質の変化が把握できる。

## 4. 実施工での実証結果

本システムを実施工に適用して、システム性能の実証を行った。以下にその概要を示す。

### 4.1 工事概要

工事件名；新宿御苑共同溝関連管路新設工事

工 法；泥土圧式シールド工法



写真-1 システム搭載シールド機

施工延長；シールド区間延長116m



切羽土質；東京第一砂質土層。到達立坑付近では渋谷粘土層に変化する。

線形；前半部にR=150mの曲線区間、後半部はR=150mの縦断曲線を経て、到達立坑まで125‰の登り勾配が存在する。

#### 4.2 シールド機と搭載システム

シールド機は、外径4,370mm機長6,860mmの泥土圧式であり（写真-1）、カッターフェース前面及び周面に以下の目的で3台の電磁波レーダーを装備した。

遠距離レーダー（大型）；前方障害物探査、地質判別

近距離レーダー（小型）；前方のゆるみなど地山性状の探査

周面レーダー（小型）；カッター周面の地山性状の探査

#### 4.3 実証結果

##### (1) シールド機周辺地山の性状探査

R=150mの曲線区間で実施した余掘りの周面レーダーによる探査結果を図-3に示す。図中の模様は、受信電磁波の電圧レベルを濃淡で表している。縦軸は反射波走時を地山の比誘電率の実測値（ $\epsilon = 27$ ）を用いて距離に換算したもので（図-1参照）、原点は表面反射波第1波のピークとした。また、横軸はレーダーの回転角度を表し、天端を原点（0°）として切羽に向かって時計廻りの角度を示す。

図-3より、余掘り範囲が明確に判別できる。余掘りを示す帯状の模様は、コピーカッターによる地山切削面からの反射波を捉えたものである。また、余掘り量は縦軸の値より推定が可能である。

図-4は、掘進中に掘削土砂の取り込みすぎによりシールド機天端部に発生した小規模なゆるみを探査した例である。地山がゆるみ空隙が発生したため反射波が生じ、それが図中の模様の乱れとなって現れている。また、この図よりゆるみの発生領域も判別できる。

##### (2) 障害物探査

図-5は、東京第一砂質土層内を掘進中に、遠距離レーダーにより探査された残留管（鉄製、 $\phi 60$ mm厚さ約2.3mm）の探査結果であり、図-6は図-5のデータに差分フィルターを掛けて円形表示したものである。差分フィルターとは各角度におけるレーダーの受信波形より、表面反射波など他の波形にも

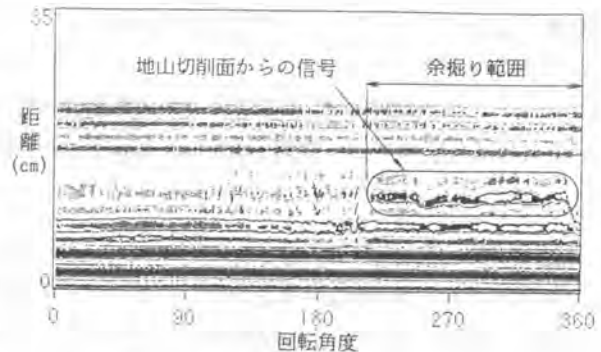


図-3 余掘り範囲の探査例

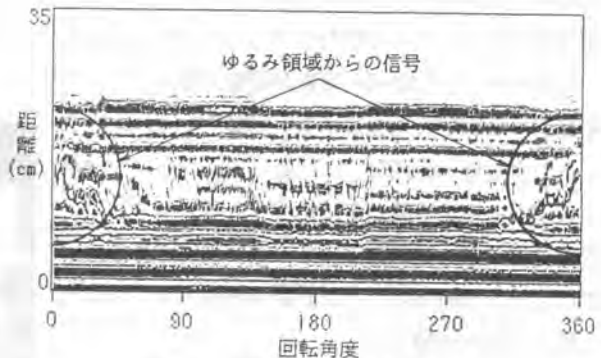


図-4 ゆるみの探査例

共通して含まれる成分を除去することにより、障害物などによる波形の変化を強調するデータ処理方法である。図-6よりシールド機掘削面に対する残留管の位置が特定できる。

本事例における遠距離レーダーの探査可能距離は80cmであった。探査可能距離は探査対象物の大きさ、地盤の種類などの探査条件により、電磁波の反射係数や地中での減衰の程度が大きく変わるため、概ね20cm~1.5mの範囲で変化する。

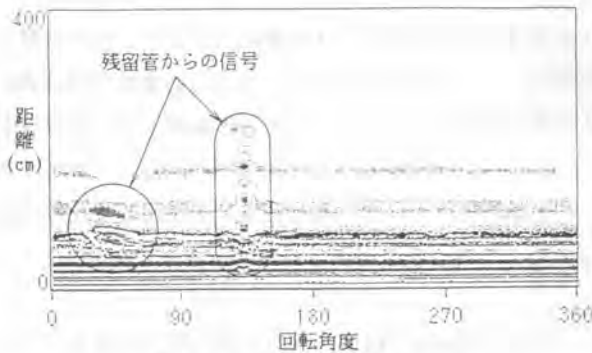


図-5 残留埋設管の探査例

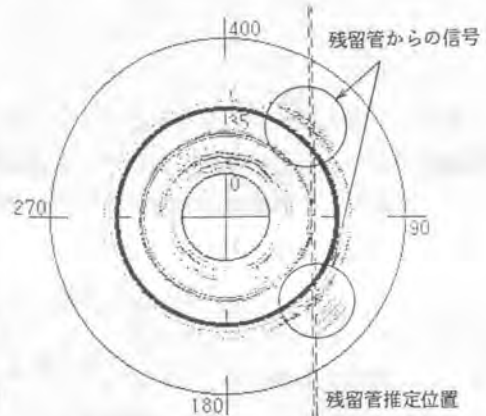


図-6 残留埋設管の探査例(円形表示)

### (3) 地質の判別

本共同溝は、後半部が125%の登り勾配となっており、切羽の地質は東京第一砂質土層から渋谷粘土層に変化する。図-7、8は、遠距離レーダーにより東京第一砂質土層と渋谷粘土層の境界を探査したものであり、シールド機の進行にともない、東京第一砂質土層から渋谷粘土層へと切羽地質が変化している様子が分かる。

### 6. おわりに

本システムを実施工に適用した結果、システムの基本性能を実証することが出来た。

今後は、他の実施工によりさまざまな土質への適用性を検証するとともに、データ解析手法を研究して探査結果の判別を容易にし、実用性の高いシステムとしたいと考えている。さらに、本システムを応用した切羽安定の自動化システム構築を目指す所存である。

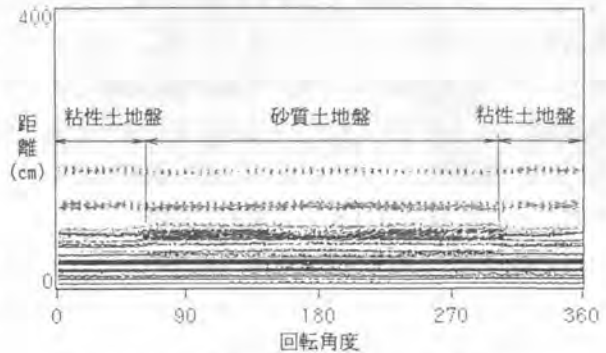


図-7 地層境界の探査例(74リング掘削時)

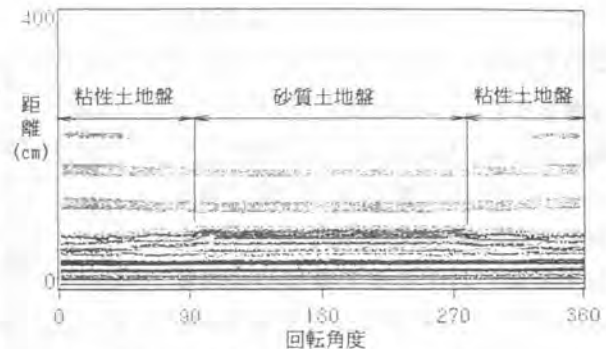


図-8 地層境界の探査例(79リング掘削時)

## 24. シールド掘進用超硬ビットの耐摩耗性

愛媛大学：\*室 達朗・深川 良一  
日立建機(株)：土屋 清

### 1. まえがき

れき交じり土砂や軟岩を対象とするシールド掘進機のカッタービットの摩耗は著しく、近年、長距離海底トンネルなどの掘削において、主として超硬ビットの摩耗寿命を増大させる必要性に迫られている。超硬ビットの摩耗寿命は「摩耗に対する岩盤強度指数」に支配されるとともに、WC超硬合金の硬さに大きく左右される。ここでは、JIS M3916 に規定する E1, E3, E5 相当品とその SINTER-HIP法によって製造した超硬ビットの耐摩耗性について、風化花崗岩を使用して比較実験を行った。

### 2. 供試地盤と超硬合金

本研究においては、一軸圧縮強度が約 3 MPa の風化花崗岩で構成される軟質岩盤を対象としている。そのため、供試地盤としては、まさ土に普通ポルトランドセメントと水を加え、セメント水比 31.0 % として、強制攪拌ミキサー1バッチ当たりまさ土 2249 N, セメント 231 N, 水 744 N なる配合設計を行ってソイルセメントを作成し、寸法 500 cm × 75 cm × 30 cm の鋼製土槽内に打設充填し、7日間湿潤養生した後定常掘削摩耗試験に供した。なお、供試地盤は材質の異なる超硬合金供試体毎に新しく作成することとした。それぞれの軟岩供試体の石英含有量は 31~45 %, 見掛け比重は 1.96, 吸水率は 1.64 % 及び一軸圧縮強度は 2.34~3.90 MPa であり、「摩耗に対する岩盤強度指数」 $\sigma_c$  は 131~444 kPa の範囲で実験を行った。

超硬合金は、一般に、鉱山工具用超硬チップとして JIS M3916 にその分類と性能が規定されており、従来の超硬合金の製造行程は、JIS H2116 で規定される粒径 1~6  $\mu\text{m}$  のタングステンカーバイド粉(WC)に結合材であるコバルト粉(Co)を配合して均等になるまで混合し、プレス成型した後、真空焼結炉内で粉体の融点以下あるいは一部液相を発生させる高温で焼結する「粉末冶金法」である。本研究で使用した超硬合金は、JISで規定する E1 相当品である従来の焼結品である材質 G1 とその SINTER-HIP法で製作した材質 G1 S.HIP, E3 相当品である材質 G3 と材質 G3 S.HIP, 及び E5 相当品である材質 G5 と材質 G5 S.HIP の6種類であ

表-1  $\sigma_c=200$  kPa の軟質岩盤に対する各超硬ビットの摩耗寿命

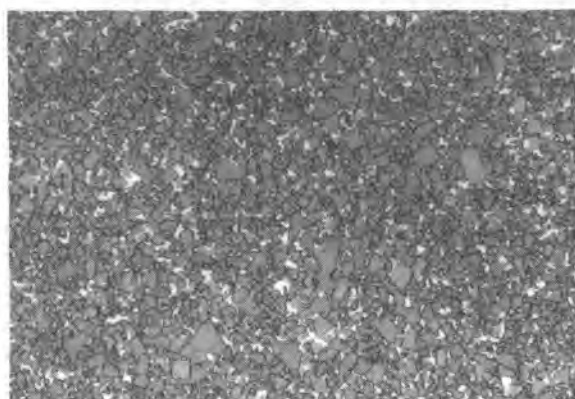
超硬ビット	H <sub>R</sub> A (アスケール)	$\rho$ (Mg/m <sup>3</sup> )	M <sub>c</sub> (g)	m (g/km)	X <sub>c</sub> (km)
G1 S.HIP	91.4	14.92	57.71	$5.05 \times 10^{-2}$	1143
G1	91.3	14.98	57.94	$5.23 \times 10^{-2}$	1109
G3 S.HIP	90.1	14.66	56.70	$8.13 \times 10^{-2}$	697
G3	90.0	14.68	56.78	$8.46 \times 10^{-2}$	671
G5 S.HIP	86.9	14.15	54.73	$3.65 \times 10^{-1}$	150
G5	86.8	14.17	54.81	$3.87 \times 10^{-1}$	142

る。これらの超硬合金供試体の物性値である密度  $\rho$ 、ロックウエル硬さ  $H_{RA}$  を試験した結果を表-1に示す。材質 G1 は粒径  $1\sim 2\ \mu\text{m}$  の細粒子で、材質 G3 は粒径  $2\sim 3\ \mu\text{m}$  の中位の粒子であり、材質 G5 は粒径  $5\sim 6\ \mu\text{m}$  の巨大な粒子の混在する粒度分布を示している。また、写真-1に各供試体 G3 S.HIP と G5 S.HIP の金属顕微鏡写真を示す。

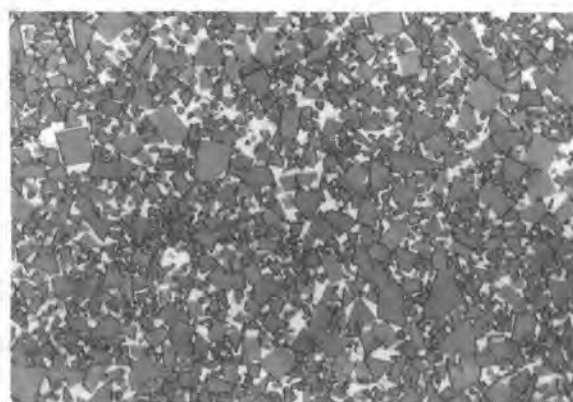
### 3. 定常掘削摩耗試験

定常掘削実験に使用した超硬合金のカッタービットは、長さ 70 mm、幅 50 mm、厚さ 10 mm、刃物角  $\pi/3\ \text{rad}$  の刺し刃であり、その材質は前述した6種類である。実験装置は、図-1に示すように、前述した供試地盤となる土槽、カッタービット把持装置、レール上を走行する台車、及び 3.75 kW モーター付牽引装置から成り立っている。定常掘削時におけるカッタービットのすくい角  $\alpha$  は  $\pi/18\ \text{rad}$  とし、掘削深さは  $15 \times \cos(\pi/18) \approx 14.8\ \text{mm}$ 、掘削速度は 2.73 m/min とした。また、実際のシールド掘進機の作業状態を再現するため供試地盤は水浸状態にして掘削実験を行った。1条の掘削距離は 5 m であり、2条目以降は、カッタービットの掘削幅が 40 mm となるように台車の走行するレールの位置を調整し、計 16 条を掘削する。その後、1条目に戻り、2層目を同様にして掘削していき、計 18 層に至るまで掘削摩耗試験を継続するもので、総掘削距離は 1440 m である。超硬合金のカッタービットである超硬ビットの摩耗量は、最大秤量 2100 g、感量 0.01 g の電子天秤を使用し、掘削距離 160 m 毎に計測した。

図-2は、超硬合金の各材質に対して行った定常掘削摩耗試験の結果を、超硬ビットの摩耗量  $M$  (g) と掘削距離  $X$  (m) の関係として示したものである。いずれも、摩耗量は掘削距離に比例してい



(a) G3 Sinter-Hip



(b) G5 Sinter-Hip

写真-1 超硬合金の金属顕微鏡写真

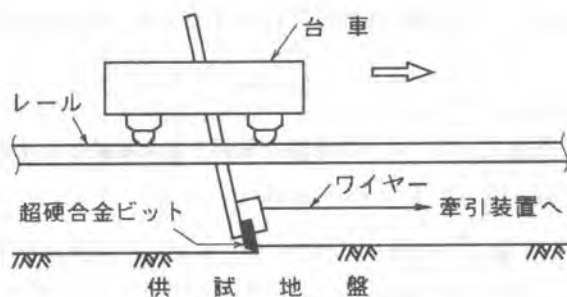


図-1 実験装置の概略

るので単回帰分析を行った結果、次式を得た。

材質 G1

$$M_{G1} = 4.76 \times 10^{-5} X \quad (r = 0.981) \quad (1)$$

材質 G1 S.HIP

$$M_{G1 \text{ S.HIP}} = 5.31 \times 10^{-5} X \quad (r = 0.954) \quad (2)$$

材質 G3

$$M_{G3} = 9.49 \times 10^{-5} X \quad (r = 0.992) \quad (3)$$

材質 G3 S.HIP

$$M_{G3 \text{ S.HIP}} = 7.13 \times 10^{-5} X \quad (r = 0.984) \quad (4)$$

材質 G5

$$M_{G5} = 4.56 \times 10^{-4} X \quad (r = 0.998) \quad (5)$$

材質 G5 S.HIP

$$M_{G5 \text{ S.HIP}} = 3.77 \times 10^{-4} X \quad (r = 0.995) \quad (6)$$

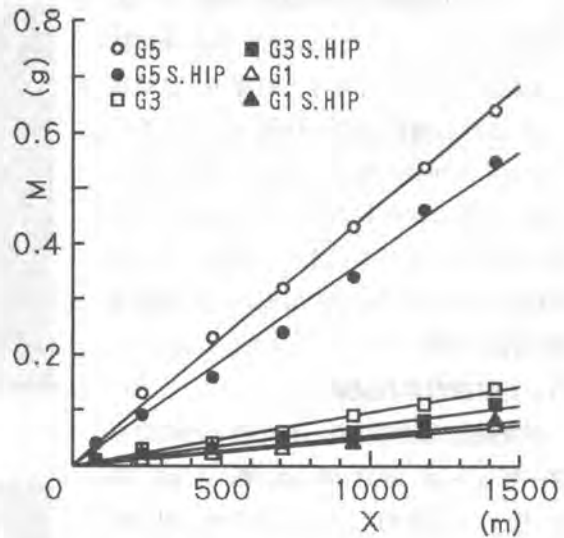


図-2 超硬ビットの摩耗量 M と掘削距離 X の関係

上式において、いずれも相関係数  $r$  はかなり高い値を示している。

超硬ビットの摩耗量を掘削距離で除した値を摩耗係数  $m$  とすると、 $m$  は主として超硬合金の硬さ、供試地盤の「摩耗に対する岩盤強度指数」によって変化すると考えられる。

#### 4. 摩耗寿命予測式

まず、単位掘削距離当たりの超硬ビットの摩耗量である摩耗係数  $m$  を、超硬合金のロックウエル硬さ  $H_{RA}$  と供試地盤の「摩耗に対する岩盤強度指数」 $\sigma_c$  (kPa) について重回帰分析を行うこととする。その結果、重相関係数を  $R$  として、次式に示す関係が得られた。

$$m = 0.319 \times (H_{RA} - 80)^{-3.94} \times \sigma_c^{0.158} \quad (R = 0.996) \quad (7)$$

従って、シールド掘進機に装備された超硬ビットの周動距離  $X$  (m) に対する超硬ビットの摩耗量  $M$  (g) は、次式で与えられる。

$$M = 0.319 \times (H_{RA} - 80)^{-3.94} \times \sigma_c^{0.158} X \quad (8)$$

上式より、超硬ビットの摩耗量は、超硬合金の硬さ  $H_{RA}$  が大きい程減少し、また、軟質岩盤の「摩耗に対する岩盤強度指数」 $\sigma_c$  が小さい程減少することが明らかである。

通常、実際のシールドトンネル掘進機の超硬ビットは、刃先から 10 mm 摩耗すると交換する必要がある。すなわち、各超硬合金の限界摩耗量  $M_c$  は、限界摩耗体積  $V_c$  にそれぞれの密度  $\rho$  を乗じたものであり、前表に示した通りである。なお、 $V_c$  は摩耗によるカッタービットの形状変化より算

定すると  $V_c = 3.87 \text{ cm}^3$  である。

従って、摩耗寿命  $X_c$  (km) の予測式は、次式で与えられる。

$$X_c = \frac{3135 M_c}{(H_{RA} - 80)^{-3.94} \times \sigma_c^{0.158}} \quad (9)$$

また、同表に各超硬ビットの密度  $\rho$ 、摩耗係数  $m$ 、及び「摩耗に対する岩盤強度指数」 $\sigma_c = 200$  kPa の軟質岩盤に対して、上式より誘導した摩耗寿命  $X_c$  (km) を示した。

その結果、軟質岩盤に対する当該超硬ビットの耐摩耗性は超硬合金のロックウエル硬さの順番に優れており、その摩耗寿命は、(1) G1 S. HIP, (2) G1, (3) G3 S. HIP, (4) G3, (5) G5 S. HIP, (6) G5 の順番に短くなることが明らかとなった。

### 5. 摩耗による形状変化特性

すくい角  $\alpha$ 、刃物角  $\beta$  を種々に変化させた場合のカッタービットの摩耗による形状変化を調査するため、 $\alpha = 0, \pi/18, \pi/9, \pi/6 \text{ rad}$  の4通り、 $\beta = \pi/6, 2\pi/9, 5\pi/18, \pi/3, 7\pi/18, 4\pi/9$ 、及び  $\pi/2 \text{ rad}$  の7通りについて計13枚のカッタービットを SS41 材で製作し、前述した供試地盤を充填した大型土槽を使用して長距離定常掘削・摩耗試験を実施した。

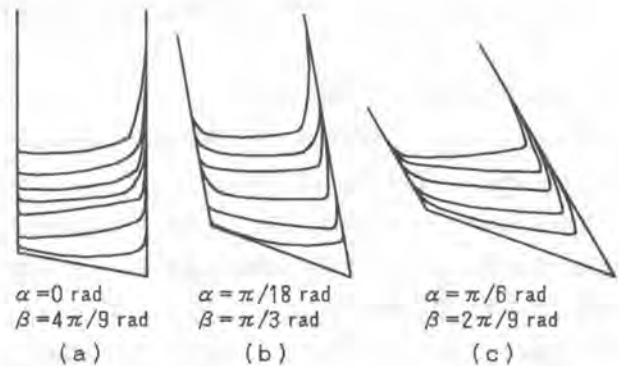


図-3 カッタービット側面の経時形状変化

摩耗によるカッタービットの経時形状

変化は、その一例として図-3 (a) (b) (c) に等掘削距離毎に計測した等時曲線を示すように、すくい面よりにげ面のすりへり摩耗が早く進行しており、刃物角  $\beta$  の小さいカッタービットはエッジ摩耗のために摩耗長は比較的早く増大していることが分かる。

### 6. 結論

軟質岩盤に対する超硬合金ビットの耐摩耗性について、6種類のタングステン—コバルト系超硬合金を使用して定常掘削・摩耗試験を実施し、摩耗量と掘削距離の関係を求めている。その結果、一軸圧縮強度約 3 MPa の風化花崗岩に対して、すくい角  $\pi/18 \text{ rad}$ 、刃物角  $\pi/3 \text{ rad}$  の超硬合金ビットを掘削深さ 14.8 mm で定常長距離掘削試験を実施したところ、最大掘進長である摩耗寿命  $X_c$  (km) は、超硬合金ビットのロックウエル硬さを  $H_{RA}$ 、軟質岩盤の「摩耗に対する岩盤強度指数」を  $\sigma_c$  (kPa)、ビットの限界摩耗量を  $M_c$  (g) とすると、式 (9) で与えられること。また、軟質岩盤に対する超硬合金ビットの材質は  $H_{RA}$  の高い順番に優れており、JIS規格 EI 材を SINTER-HIP 法で製造したものが最も耐摩耗性があることが判明した。

なお、本研究を実施するに当たり御協力をいただいた愛媛大学元学生山本成宏氏、アロイ工業(株) 巻好美氏に対し感謝の意を表します。

## 25. 鉛直水平両用シールド機の開発

東京電力㈱：貝沼 憲男

大成建設㈱：金子 研一

石川島播磨重工業㈱：\*伊藤 広幸

### 1. はじめに

近年、大都市圏における都市機能の高度化、過密化、都市基盤整備に対する需要の増大に伴い、地下空間利用の必要性が高まっている。そのため、既存の地下構造物の機能を損なわず、限られた地上用地から大深度の地下構造物を構築する工法の開発が急がれている。このような背景より、大深度シールド発進立坑の合理化を目指し、新しい立坑構築技術として鉛直水平両用シールド機の開発を行なっている。

本文では、鉛直水平両用シールド機の概要と要素実験結果について報告する。

### 2. 鉛直水平両用シールド機の概要

本工法は、地上から密閉型シールド機を用いて立坑と水平坑を連続して掘削する工法である。

鉛直水平両用シールド機は、図-1に示すように立坑を掘削する鉛直シールドと水平坑を掘削する水平シールドを内蔵した球体により構成される。鉛直シールドは、立坑外径を掘削するために水平シールドのカッターヘッド外側に環状の外周カッターを装備する。両者はストップピンにより結合しており、油圧ジャッキにより脱着を行なう。掘削土は、球体外側に配置した送泥管からの泥水流により中央の排泥管に集め、センタシャフトから排泥する。

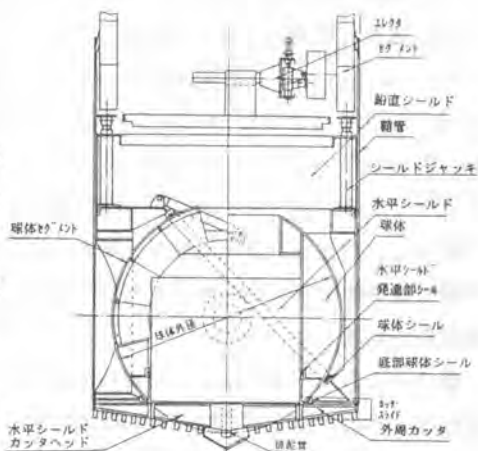


図-1 鉛直水平両用シールド機

施工手順は、図-2に示すとおりである。

- (1) 地上に架台を設けてシールド機を倒立させた状態で下方掘進する。
- (2) テール内でセグメントを組立て、セグメントを反力に掘進する。
- (3) 所定の深度まで掘削が完了した段階で外周カッターを切り離し、水平シールド全体を上方へスライドさせ、球体の回転範囲内に収納する。
- (4) 回転ジャッキにより球体を回転させ、カッターヘッドを下方から水平方向に向ける。
- (5) テールプレートを溶接し、エレクターを装備して、水平シールドを完成させる。
- (6) 水平シールドは、鉛直シールドから発進し、従来のシールド機と同様に掘削する。

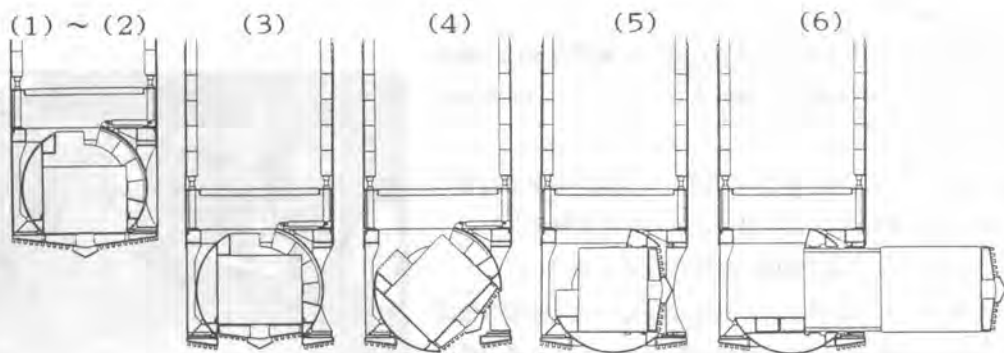


図-2 施工手順図

### 3. 本工法の特徴

- (1) 本工法による立坑寸法は、立坑にセグメントを使用して覆工厚を薄くでき、従来工法に比べて外径で50～70%に縮小できる。立坑寸法が小さくなることは用地費が低減できるほか、掘削土量が減少することから経済的効果が期待できる。
- (2) シールド工法で立坑を築造するため、立坑の工期は従来工法に比べて50%短縮でき、現場経費の低減につながるほか、道路占用をはじめとする近隣に対する影響を和らげる効果大きい。
- (3) 工事費は、シールド機の固定費と立坑深度に伴う可変費からなる。本工法による立坑掘削費用は深度が増大するほど経済性が得られ、その分岐点は立坑深さ30～40m以上が目安となる。
- (4) 鏡開け、発進等の危険作業がなく、大深度における信頼性が増す。増加する水圧に対しては機械的なシールで対処できる。また、地中連続壁のように根入れ長や底盤改良の不安がなく、ニューマチックケーソンのように圧気による作業員の健康問題や周辺への漏気を心配することもない。

### 4. 球体部シールの止水性能実験

球体回転部のシールは本シールドの構成要素の中で最も信頼性を要求されるにもかかわらず実績がなく、大深度立坑での利用を狙い、選定したシールの水圧10kgf/cm<sup>2</sup>での止水性能確認を目的に実験を行なった。

#### (1) シールの選定

球体シールは鉛直に対し斜めの方向に組み込まれ、立坑掘進後、球体回転時に球体製作精度に追従し、かつ反転しないことを要求される。シールは2段リップ形状とし、リップ間に給油できる構造とした。

底部球体シールは球体回転後、球体底部を塞ぐもので、静止時の耐圧性能と、カッタの通過に対する耐久性が要求される。形状はインフレートタイプとし、内部にグリースを給油できる構造とした。球体シールおよび底部球体シール形状を写真-1、写真-2に示す。材質はどちらもウレタンゴムとした。

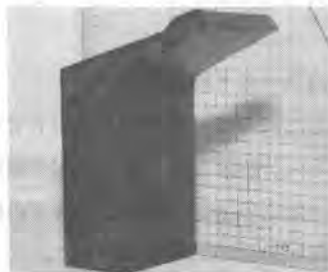


写真-1 球体シール



写真-2 底部球体シール



## (2) 実験概要

実験は写真-3に示す装置で行った。装置はφ1200mmの球体とφ2000mmの水槽から構成される。シールは実規模の形状とした。

球体シールは、水圧を2kgf/cm<sup>2</sup>ずつ10kgf/cm<sup>2</sup>まで設定し、各段階で静止時と90°回転時のシール性能を確認した。また、水圧10kgf/cm<sup>2</sup>で24時間保持の性能を確認した。

底部球体シールは静止時の10kgf/cm<sup>2</sup>での耐圧性能を確認すると共に、無加圧時に球体を回転させ、カッタ通過時の耐久性を確認した。



写真-3 球体シール実験装置

## (3) 実験結果

加圧水として、清水と泥水の2ケースで行い、全てのケースにおいて、漏水はなかった。実験の結果わかったことは以下のとおりである。

- ①両シールとも、給脂することで水圧10kgf/cm<sup>2</sup>時の止水性能を確認した。
- ②球体シールの摺動抵抗は、水圧上昇とともに比例して増加する。図-3に水圧と球体回転モーメントの関係を示す。
- ③球体シールが回転時に反転することはなかった。また、底部球体シールはカッター通過時の耐久性を確認した。両シールとも実用上問題はないと思われる。

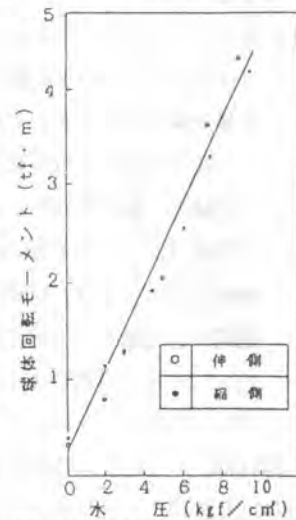


図-3 球体シール摺動抵抗

## 5. 鉛直シールド機の掘削実験

実施した例のない密閉型シールドでの立坑掘削機能を実証するとともに、鉛直方向と水平方向の掘削性能を同時に確保できるカッタ形状の選定、鉛直シールドの排土方式と流体輸送システムの確認を目的に実験を行った。

### (1) 実験概要

掘削は外径φ1500mmの密閉型シールド(写真-4)を架台に吊り下げ実際に立坑を掘削した。

1ケースの掘削深さは1.2mとした。掘削した地盤は人工的に造成したもので、粘性土(N値5)と砂質土(N値32)とした。それぞれの地盤をカッタービットの高さと掘進速度を変えて掘削した。

掘削は泥水式で行い、切羽水圧を0.1~0.2 kgf/cm<sup>2</sup>、送泥流量1.5m<sup>3</sup>/分で管理した。



写真-4 鉛直掘削実験装置

(2) 実験結果

- ① いずれのケースも周辺地盤を乱すことなく、自立した立穴を掘削でき、通常水平坑を掘削する密閉型シールドで立坑掘削が可能であることを確認した。
- ② 図-4にビット高ささと切羽抵抗の関係を示す。左側が掘進速度1cm/分、右側が掘進速度2cm/分の場合の平均値である。切羽抵抗とは次式によって表される $F_c$ 、 $F_s$ の合計である。

$$F_c + F_s = W_s + F_j - F_e - F_w$$

- $F_c$  : 切削抵抗                       $F_s$  : シールドと坑壁の摩擦抵抗
- $W_s$  : シールド重量                 $F_j$  : スライドジャッキ推力
- $F_e$  : エントランス摺動抵抗       $F_w$  : 泥水による浮力

図-4よりカットビット高さが高いほど切羽抵抗は小さくなること分かる。特に粘性土より砂質土において顕著である。これはカットビット高さが高いほどカッター面板前での掘削土の流れがスムーズに行われたことが考えられる。

- ③ 図-5にビット高ささとトルク係数の関係を示す。カットトルク係数は粘性土で0.09~0.11、砂質土で0.09~0.17(図は平均値)と従来の水平シールドに比べて1/10と非常に小さい値になり、水平シールドの装備トルクで径の大きな鉛直シールドのカッターが回転可能であることを確認した。

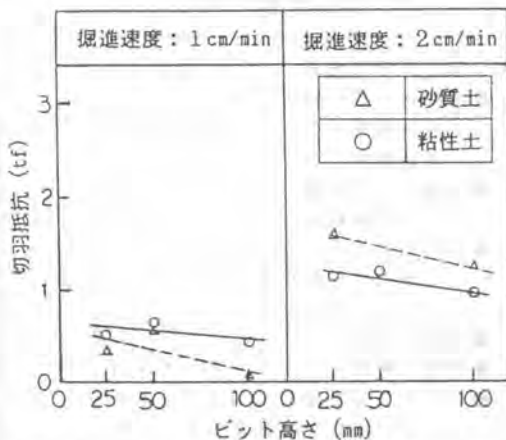


図-4 ビット高ささと切羽抵抗の関係

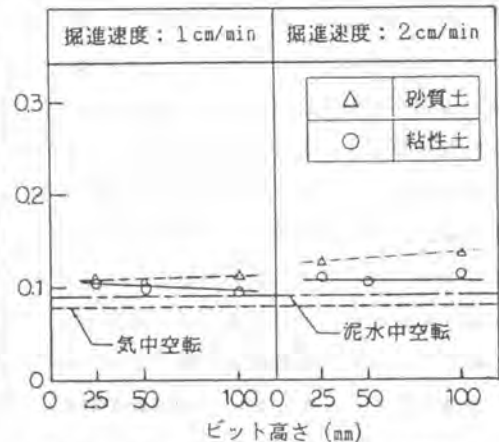


図-5 ビット高ささとトルク係数の関係

6. おわりに

本研究は東京電力(株)、大成建設(株)、石川島播磨重工業(株)の3社で共同研究しているものである。本研究で実施した要素実験により、本工法が安全な工法として成立することが実証できた。また、経済性、工期短縮等の面からも画期的な新工法であり、今後は構造物への積極的な適用が期待できる。本研究を進めるに当り都立大学山本稔名誉教授に貴重なご意見をいただいております、ここに深く感謝する次第である。

## 26. 小断面シールドにおける完全無人誘導システムの開発

(株)青木建設：\*野沢 有・佐藤 房雄  
西野 憲明

### 1. まえがき

シールド工事は、建設工事の中でも極めて自動化技術が進んだ分野の一つであり、これまでシールド機の位置姿勢計測、方向制御、掘進管理をはじめ、セグメント搬送・組立等無人化施工を目指した種々の技術開発が行われている。この中で自動測量技術についてもゼネコンやメーカー各社の開発ターゲットであり、開発例も数多く紹介されている。しかしながら、その多くが大断面・緩曲線に対応するものが主体であり、小断面・急曲線に精度よく対応できるシステムはまだ開発されていない。

本文は、この問題を解決することを目的に開発した小断面・急曲線に対応した新しい自動測量システムと自動誘導システムで構成される「シールド機完全無人誘導システム」（ジャイロランナー）について報告するものである。

### 2. ジャイロランナーの概要

ジャイロランナーは、自動測量システムと自動誘導システムの二つのシステムから構成される。自動測量システムは、シールド機の位置と姿勢を自動的に計測するシステムであり、自動誘導システムは自動測量システムによって得られたシールド機の位置と姿勢より計画路線とのずれを計算し、シールド機をどのような方向に誘導するかを決定し、シールドジャッキをコントロールするシステムである。各システムの計測制御動作は、シールド機の掘進状況データをもとに全て自動で行われる。新たな方法による自動測量システムは、シールド機外径2m以上、最小曲率半径30m以上への導入を対象に開発したものである。位置姿勢を計測するシステムは、シールド機の横滑りや掘進施工直後のセグメントの変位等の影響を受けることなく測量でき、しかも、定期的に行われていた光学測量による確認が1週間～1ヶ月の間不要となる。それぞれの

表-1 ジャイロランナーの主な仕様

自動測量システム	
①. 後方位置計測部	
● 自動追尾式トータルステーション	
測角精度	： ± 1 0 秒
測距精度	： ± 2 mm
● 自動レベル装置	
水平調整精度	： ± 1 0 秒以内
● 基準点用プリズム	
二連式追尾測距専用プリズム	
②. ジャイロ走行計測部	
● 角度分解能	： 0. 0 0 1 度
● 距離分解能	： 0. 4 mm
● サンプルング周期	： 5 0 m s e c
③. シールド機位置姿勢計測部	
● 画像計測用カメラ	： 5 インチCCDカメラ
● カメラ画素数	： 30 256 × 244
● 計測用ターゲット	： 高輝度LED集合ランプ
自動誘導システム	
● 方向制御パターン分割数	： 16°-1°×4x17
● 補助手段	： 掘進データによる経験学習機能
● 制御本数	： 全ジャッキ
● 制御項目	： 本数、総推力

システムは、各種計測装置と自動計測・演算処理・自動制御の機能を持ったソフトウェア及びパソコンなどで構築されている。（表-1および図-1を参照）

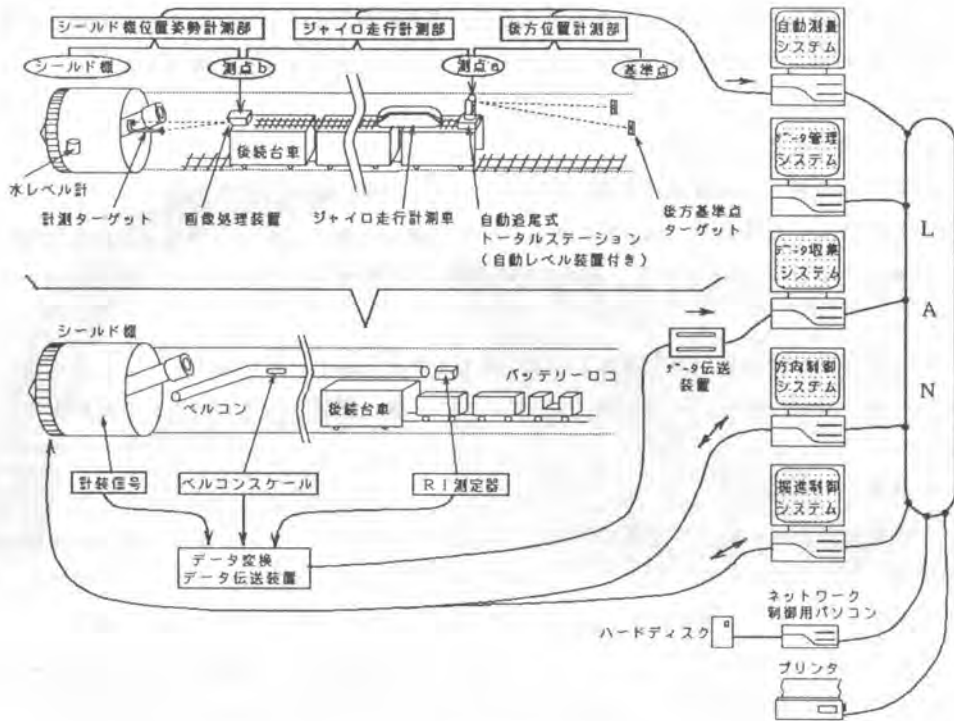


図-1 「ジャイロランナー」システム構成図

(1) 自動測量システム

新しい自動測量システムは、自動追尾式トータルステーション、ジャイロ走行部、画像処理装置等を組み合わせて、毎回後方の既知基準点からシールド機の位置と姿勢を計測するもので、①後方位置計測部、②ジャイロ走行計測部、③シールド機位置姿勢計測部の3つの計測部からなる。

① 後方位置計測部

従来の光学式の問題点であった曲線施工におけるレーザートランシットの盛り替えやセグメント移動による測量精度への影響をなくすため、自動追尾式トータルステーションを後続台車の最後尾に設置した。この自動追尾式トータルステーションが、後方のセグメントに固定した基準点（反射プリズム）を自動追尾して距離と角度を計測し、後続台車上の測量機械自身の位置（測点a）を逆算して求める。

## ②ジャイロ走行計測部

特に見通し空間を確保しにくい後続台車区間の計測を行うため、ジャイロセンサーを搭載した計測車を自動走行させる。ジャイロ走行計測車は、シールド後続台車上の軌条に沿って（測点 a ～測点 b）走行させ、方位角と距離の変化量を連続検出し走行軌跡を計測する。これにより最後尾台車から先頭台車までの相対位置を求める。方向角を検出するジャイロセンサーの選定にあたっては、船舶用ジャイロと航空機用ストラップダウン方式のジャイロを検討した。

## ③シールド機位置姿勢計測部

先頭台車に設置した画像処理装置を用いて、シールド機に取り付けた計測ターゲット（LED光源）の位置を計測し、先頭台車（測点 b）からシールド機の位置と姿勢を計測する。画像処理による位置計測は、2台のCCDカメラで2個のLEDターゲットを画像として捉え相対位置を計測する。

①～③の計測部を組み合わせる事によって、後方基準点に基づいた位置（ $x$ 、 $y$ ）と姿勢（ヨーイング方向角）を求める。また、レベル高（ $z$ ）はシールド機に設置した水レベル計で計測する。

## （2）自動誘導システム

シールド機を計画線に沿って誘導するためには、適切な使用ジャッキの選定と推進制御が重要である。従来、この作業は熟練したオペレータの判断により行われていたが、本システムでは、掘進データを基にした経験学習機能によりシールド機固有の方向特性（シールド機のくせ）や地山状況の変化等に対応した最適なジャッキパターンの選定を行う事により、計画線に沿って高精度に自動誘導する。シールド機の掘進には、土質の変化または土被りの変化による土圧の変化及びシールド機の形状等による影響から、シールド機の曲がり易さも変化する。本学習機能では、シールド掘進中に得られる種々のデータをもとに、これらの間接的要因をデータベースとして蓄積する。このデータベースは、過去の掘進区間のデータを統計処理によって検証を行い、最適値に自動変更される。ジャッキパターンの発生原理は、計画線とのズレ量から決定された回転モーメントを基に過去のデータベースと照合し補正する方式である。この方式によって、シールド機の方向特性（シールド機のくせ）を考慮した最適な推進ジャッキの選択ができる。

## 3. システムの特徴

- ・小断面・急曲線に高精度に対応できる。
- ・シールド機の横滑りに影響されない位置・姿勢計測ができる。
- ・累積誤差を生じないので高精度な測量ができる。
- ・毎リング基準点に基づく自動測量を行うので人力測量の回数が減り、大幅な測量管理工数の削減ができる。（直線区間では、シールド断面にかかわらず1ヶ月以上の無人測量を可能とする。）
- ・学習機能によりシールド機の諸特性や地山の状態に応じた最適なジャッキパターンを決定でき、熟練オペレータと同じ判断で誘導が可能である。

#### 4. フィールド総合計測実験及び現場導入

##### (1) フィールド総合計測実験

本システムの現場導入に先立ち自動測量精度を実証するため、小断面・急曲線シールドを想定した実験設備を設け、計測実験を行った。実験の結果、後方基準点に対するシールド機先端位置の測量精度は、目標精度（1/5,000:対測量距離）を確保する良好な結果が得られた。（写真-1参照）

写真-1 フィールド総合計測実験状況

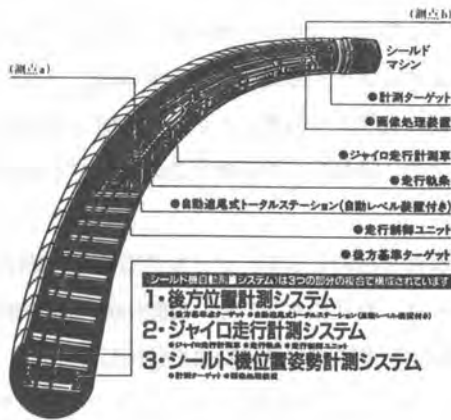


図-2 自動測量システム計測概要図

シールド機外形	: φ2,000mm
路線線形	: 30m R
後続台車区間長さ	: 約2.8m
後方基準点～シールド機の距離	: 約100m

##### (2) 現場導入

引続き、当システムを東京都多摩地区の現場に導入し、現場での実証試験を行っている。現在、目標精度（1/5,000:対測量距離）を確保し、良好な結果を得ている。

#### 5. あとがき

シールド工事の完全自動化を達成するためには、掘進管理、位置姿勢管理、方向制御、セグメント組立、坑内搬送など数々の自動化技術の開発が必要である。今回紹介したジャイロランナーは、位置姿勢管理と方向制御の自動化を達成したものである。また、当社において掘進管理は土圧シールドエキスパートシステムやR I 測定器を用いた体積シールド工法として既に実用化している。今後は、坑内搬送、セグメント組立の自動化等を図り、シールド工事の完全自動化を目指して、これらの自動化技術の開発を進めていきたい。

## 27. シールド工事における資機材無人搬送システムの開発

(株)大林組：鎌田 竜二

### 1. はじめに

都市におけるトンネル工事は、トンネルの深層化と都市生活に与える工事の影響から、シールド工法が主流になりつつあり、その用途は、従来の上下水道、ガス、電力・通信等のサービストンネルにとどまらず、地下河川、道路トンネル等を構築する技術としてますますその重要性を増している。

しかし、一方では、トンネル用途の多様化、都市地下空間の過密化を背景として、大断面、大深度、長距離等、その施工・作業環境が厳しくなる傾向にあることや、建設業への就業人口の減少など大きな問題を抱えていることも事実である。

このような社会的背景から、生産性の向上や労働環境の改善を目的として、シールド工事の自動化・ロボット化に関する技術開発が各方面で積極的に行われており、当社においても、自動制御・施工管理システム、セグメント組立ロボットなどの実用化を行い、シールド工事の全自動化を目指したインテリジェントシールドシステムの開発を行っている。

本事例は、自動制御・施工管理システム、セグメント組立ロボット等とともに、インテリジェントシールドシステムの根幹をなす、資機材の無人搬送システムの開発と実用化について、報告するものである。

### 2. 無人搬送システムの概要

本システムは、無人搬送台車、自動リフト、トラバーサーの各設備とそれらを地上で管理する制御システムにより構成されている。

地上にて無人搬送台車に積込まれたセグメント等の資機材は、トラバーサーを介して台車ごと自動リフトにより立坑下に降ろされ、その後、台車の無人走行によって切羽まで搬送される。

台車及びトラバーサーの走行、リフトの昇降、台車のリフトへの乗り込み・離脱といった地上から切羽までの一連の搬送作業は、無線誘導システム、光通信システムを介して地上から自動制御される。

この方式の採用により、地上から切羽までの一連の搬送作業が無人化されるとともに、クレーンおよび玉掛け作業等が不要となり、立坑荷下し作業の安全性、作業効率が向上し、立坑の大深度化にも対応したシステムとなっている。以下に、各設備の概要を示す。

#### (1) 無人搬送台車

今回開発した無人搬送台車の最大積載重量は2.5tであり、1リングの組立てに使用するセグメントを2両連結の台車によって搬送する。

運転モードは、状況に応じて自動運転および手動運転を選択することが可能である。自動運転の場合、他の搬送台車の運行状況等地上制御盤からの各種信号を、坑内に設置された誘導無線装置から受信し、発進・停止・加速・減速等の動作は、あらかじめ決められたプログラムに従って行われる。

手動運転は、主として故障時の運転モードであり、搬送台車に設置されたペンダントスイッチにより操作を行う。

また、保安装置として以下に示すセンサー、非常停止装置等を装備している。

- ①障害物検知超音波センサー（6m前方検知：減速）
- ②障害物検知光電式センサー（3m前方検知：停止）
- ③対物バンパー
- ④オーバーランセンサー
- ⑤減速・増速・停止センサー
- ⑥非常停止押釦
- ⑦進行方向表示灯
- ⑧前照灯
- ⑨誘導無線電話

写真-1 無人搬送台車



(2) 自動リフト装置

自動リフト装置は、台車を資材積み込み位置からリフトまで移送するトラバースーとウインチによる巻き上げワイヤーによって昇降するリフトによって構成される。

セグメントの積み込みを終えた搬送台車は、トラバースーによってリフトに乗り込み、立坑下まで搬送される。

写真-2 自動リフト

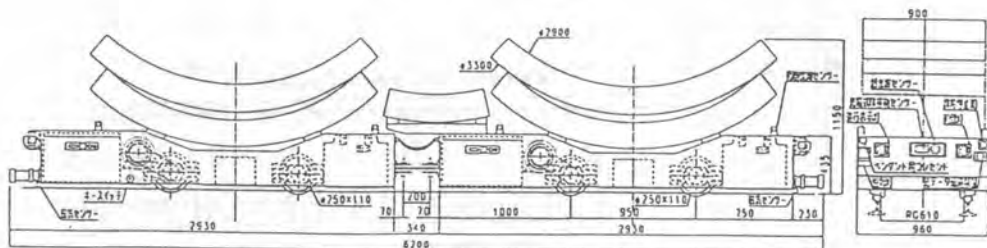


この間、トラバースーの走行、リフト前面扉の開閉、リフトの昇降、安全装置のロック、及び解除等の作業は、地上制御盤からの指令によって自動的に行われる。

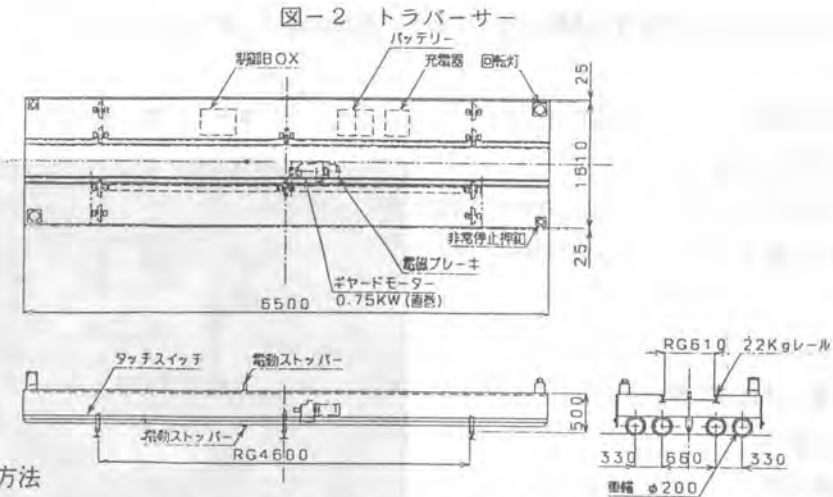
また、自動リフトの昇降速度制御には、インバーター制御を採用した。

なお、自動リフトは、無人搬送台車と同様、状況に応じ手動による操作も可能である。

図-1 搬送台車







### (3) 管理制御方法

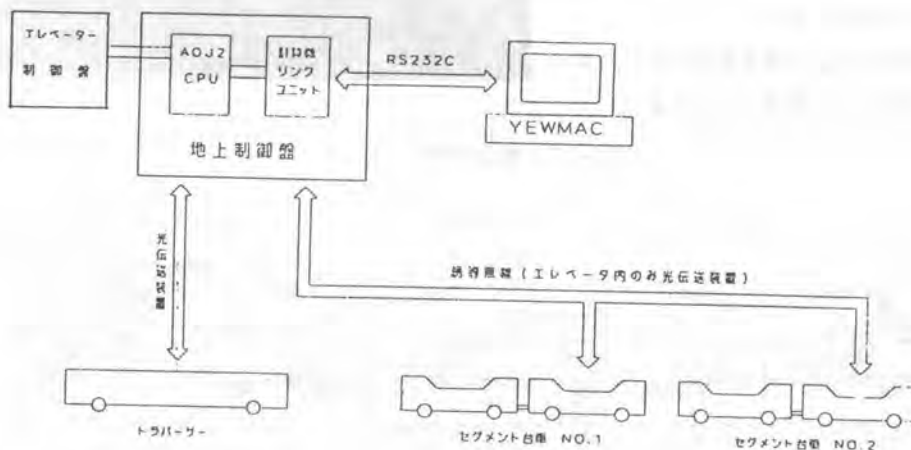
無人搬送台車、リフト、トラバーサー等の各設備は、地上制御盤によって制御される。地上制御盤には、システム全体の運転状況を表示するグラフィックパネルが設けられ、搬送台車の走行位置を地上にてモニタリングできるシステムとなっている。

地上制御盤と各設備との情報の受け渡し・制御には、誘導無線及び光伝送装置を採用した。トラバーサーの走行制御、搬送台車のリフトへの乗込み・離脱等の制御は光伝送装置により、また、坑内での搬送台車の運行制御は誘導無線によって行われる。

無人搬送台車の位置は、台車から送られてくる車輪7回転毎のパルスとリフト、退避線、切羽等での位置検出信号をもとに検出する。

誘導無線による通信は、工場等で使用されているAGV (automatic guided vehicles) システムと同様の制御システムであり、光通信方式に比べて伝達可能な情報量は少ないが、位置をリアルタイムで把握できることや、湿気、粉塵等による影響が少く、よりシールド工事に適したシステムといえる。

図-3 システム信号系統図



### 3. 現場への適用例

今回開発した資機材無人搬送システムを、東京都水道局発注のシールド工事において適用した。その工事概要は以下の通りである。

工事名称：江東給水所・江東区南砂4丁目地先間送水管（φ2200 mm）新設その2工事

発注者：東京都水道局

施工内容：（シールド形式）泥土圧式

（覆工形状）セグメント内径 φ2900 mm / セグメント外径 φ3300 mm

（施工延長）L=1749 m

（立坑深度）H= 37 m

本工事は、立坑が非常に深く、従来のクレーンによる荷下ろし作業の場合、玉掛け作業の不備等による飛来落下災害の発生および作業効率の低下が懸念され、また、搬送距離も長距離となるため、運転人員の確保等にも問題があった。

このような背景から、安全性の向上および省力化をねらい無人搬送システムを適用した。無人搬送台車は、2両連結、2編成とし、立坑から約550m地点にポイントを設置し、交互運転を行った。

本システムの採用により、バッテリー機関車の運転手、立坑下の作業員が不要となり、従来の方式に比較して大幅な省力化が実現された。また、無人化によるヒューマンエラーの排除、積み換え作業等の減少により、作業の安全性が飛躍的に向上した。

表-1 省力化の効果

	片番1編成あたりの標準編成（人工）						合計		備考
	地上作業	立坑作業	坑内搬送	後方作業	シールド運転	切羽作業	片番合計	1日延合計	
有人搬送	1	2	2	1	1	3	10	20	クレーン + バッテリー
無人搬送	1	0	0	1	1	3	6	12	開発システム

### 4. むすび

シールド工事の自動化は、施工管理の自動化を目指すシステム化と作業の自動化・省力化を目指すロボット化という形で開発が行われてきた。

資機材の無人搬送システムの開発・実用化、セグメント組立てロボット、自動制御・施工管理システムの実用化によって、掘削、組立て、搬送というシールド主要工種の自動化が実現された。

しかし、シールド工事の全自動化には、多くの課題が残されていることも事実であり、坑内配水・換気、レール・電線等の延伸、増し締め作業等の自動化も必要になると考えられる。

また、これらの装置を真に有効なものとするためには、各種システムおよびロボットを統括管理するシステムの開発と開発技術を汎用化する努力が必要となる。

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

## 28. 多機能ガントリージャンボによるトンネルの合理化施工

(株)奥村組：畝本 勝彦

### 1. はじめに

山岳トンネルの施工において安全上、特に問題となる点は「狭い」「暗い」「喧しい」「粉塵」の4点に絞られるが、この中の「狭い」という問題を解決するために、内空をトロが通過できる自走式多機能ガントリージャンボを開発した。

また、山岳トンネルは「測量～穿孔～装薬～発破～換気～こそく～ずり出し～吹付け（支保工建込、ロックネット張り）～ロックボルト挿入」など、8～10工程を1サイクルとして施工される。従来、この各工種毎に対応する機械を、そのつど入替えしなければならなかったが、今回、山岳トンネルの合理化を進める工法として、この入替え時間の短縮と、入れ替え時の危険をなくすため、各種の機能を有する多機能ガントリージャンボを開発した。

### 2. 多機能ガントリージャンボの主要諸元

#### (1) 主要寸法（写真-1）

全長	長	20,750 mm
全幅	幅	6,100 mm
全高	高	5,750 mm
全重	量	110 ton
走行用	レール	（全長 42 m 18.2ton）



写真 - 1 多機能ガントリージャンボ

## (2)穿孔装置

- ① ドリフタ HD135A × 3台  
重量 150Kg/台  
全長×全幅 1,011m/m × 306m/m  
作動油圧 打撃部 200 Kg/cm<sup>2</sup>  
回転部 210 Kg/cm<sup>2</sup>
- ② ガイドシェル GH160-33 × 3台  
重量 520 Kg/台  
全長：710"長 5,205 mm : 3,300 mm
- ③ ブーム JE160TR × 3台  
重量 2,500 KG  
ブーム長(伸～縮) 5,600m/m ~4,000m/m  
穿孔範囲(幅～高) 10,700m/m ~9,400m/m  
ガイドシェル平行維持機構付、角度センサー取付け
- (3)吹付関係  
マニピュレータ ZC8270 × 1台  
ノズルチルト 120°  
ノズルスイング 250°  
ノズルスライド 2,000m/m 台車スライド長 6,800m/m  
吹付用ホースは台車後部にてパイプに連結式となっている。
- (4)スケーリング  
ブレイカー HB 3G  
作動油圧 110 ~ 130Kg/m<sup>2</sup>  
台車スライド長 6,700 m/m
- (5)作業台  
前後スライド方式、リフトブルデッキ  
積載重量 300 Kg
- (6)走行装置  
6台の油圧モーターによるチェーン駆動。  
前輪ボギー/4輪、後輪ボギー/4輪  
走行速度 約 11 m/min  
アンカジャッキ(ストローク 350m/m・容量 23.7ton) 6台
- (7)電気設備  
電圧 440 V (60Hz)  
使用電力 189 KW  
電源設備容量 250 KVA
- (8)ケーブルリール(ブラシーリング式)  
駆動油圧モーター  
最大巻取り 100 m  
重量 750 Kg
- (9)キャブタイヤケーブル  
公称断面積 125 mm<sup>2</sup>  
ケーブル長 110 m
- (10)モルタル注入ポンプ(マイポンプ) 1台  
モルタル混練りミキサー 1台

### 3. 機械入替え時間の比較

従来型のジャンボと開発した多機能  
ガントリージャンボとの、機械入  
替え時間の比較を表-1に示す。

(1日3サイクルとした場合)

1サイクル(C) 当り

115分 - 75分 = 40分

1日 当り

40分 × 3<sup>c</sup> = 120分 = 2H

の機械入替え時間が短縮される。

1サイクル 1.5m、1日 3サイクル

20時間/日、20日/月の稼働とすると

1か月 当りの進行は、

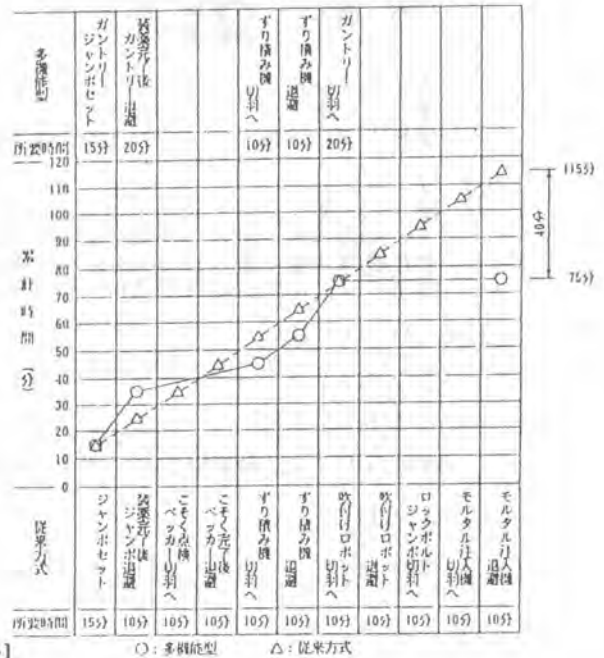
従来方法では

$$L_1 = 1.5 \text{ m} \times 3^c \times 20^d = 90 \text{ m/月}$$

多機能型では18時間で3サイクルが可能となり

$$L_2 = 1.5 \text{ m} \times 3^c \times 20^d \times 20^h / 18^h \\ = 100 \text{ m/月の進行が見込まれる。}$$

表-1 機械入替え時間の比較



### 4. 多機能ガントリージャンボの特徴

- ① 各種の機械をガントリー周辺およびステージに搭載しているため、坑内スペースを広く使用できる。
- ② 格納式のため各作業での競合がないうえ全断面からミニベンチ工法まで対応できる
- ③ 従来方式では各作業毎にそれぞれの機械を入替えるため、人的災害の危険度が高かったが本機では低くなる。
- ④ 高い位置からの穿孔作業ができるので余掘りを軽減できる。
- ⑤ 省力化により労働力不足に対応できる。

## 5. 今後の問題点

- (1) 掘削断面の変化(40-80<sup>m</sup>2程度)に対応できるよう、脚と左右の継ぎ梁に伸縮装置をセットすることにより多用性を持たせる。
- (2) 急カーブ(R 500m以下)での施工に於いて、走行用レールが40mと長い場合ガントリーの移動が困難である。今後、クローラータイプの走行装置を開発する。
- (3) 後部にもリフトアップデッキを設置し吹付用コンクリートポンプを搭載できるようにする。
- (4) 切羽側へ支保工資材等を持ち込むためのテルハーをセットする。
- (5) 切羽の凹凸に対応できるようにリフトアップデッキの各部分に水平移動装置を配置する。
- (6) 本体に切羽造形機と断面測定機をセットする。

## 6. あとがき

今回、山岳トンネルの合理化施工法の一環として開発した多機能ガントリージャンボは、現在、中国電力(株)の新熊見発電所の水路トンネルで活躍していますが、今後、より一層、省力化できるよう構造改善に取り組んでいきたいと考えている。

## 29. 大口径TBMによる舞子トンネルの施工

本州四国連絡橋公団；土山 正己

### 1. はじめに

本州四国連絡道路の神戸～鳴門ルートは、神戸市から淡路島を経て鳴門市に至る延長81kmのルートです。このうち、淡路島の津名一宮ICから鳴門市の鳴門IC迄の大鳴門橋関連区間約45kmは供用を開始しております。津名一宮ICから北側の約36kmが明石海峡大橋関連区間として、昭和63年5月に工事を着工し、平成10年春の完成を目指している所です。舞子トンネルは、垂水JCTと明石海峡大橋をつなぐトンネルで延長は約3.3kmあり、3車線断面のトンネルを2本併設する構造となっています。地質は約3/4は大阪層群であり、残りの約1/4は六甲花崗岩です。このうち六甲花崗岩部の600m区間について本坑断面内にずり運搬用の導坑を早期に貫通させる必要があります、トンネルボーリングマシン（T.B.M）を採用した。

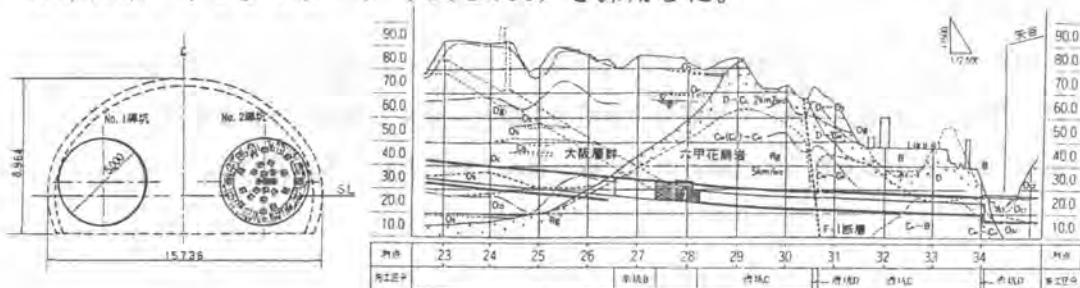


図-1 導坑断面と地質縦断

### 2. T.B.M採用の理由

T.B.Mを採用するに当たり、次の条件を踏まえて検討した。

- ①掘削対象地質が、一軸圧縮強度最大2400 kgf/cm<sup>2</sup>にも達する硬質花崗岩である。
- ②周辺およびトンネル直上に住宅等があり、従来の発破工法が採用できない。
- ③トンネルのズリ運搬路として導坑を利用する為、早期に施工する必要がある。

以上の条件を満足させる為、掘進速度が早く、騒音・振動の比較的少ないT.B.M工法を採用する事とした。

尚、この導坑の内径を決定するに当たり、大型ダンプカーが通行できる事又は、幅1.2mのベルトコンベアが設置できる事と言う条件で検討し、φ5mの直径を決定した。又、到達地点である矢谷側の土質が悪くT.B.Mは導坑掘削を行なった後導坑内を後退する必要がある。

### 3. T. B. Mの仕様

T. B. Mの主要諸元を表-1に示す。このT. B. Mの特徴は、次に示すとおりです。

- ①大型ディスクカッターの採用で高いスラスト力を発生し、一軸圧縮強度2500 kgf/cm<sup>2</sup>までの超硬岩が掘削可能。
- ②掘削完了後、自らが掘削した孔を後退させる必要があり、外周パケット及び外周カッターを取りはずし、φ 4.5mまで機械径を小さくし後退。
- ③市街地であり、電力事情が必ずしも良くなかったので、始動時のピーク電流の影響で、周辺地域にトラブルを発生させない為電動機にクラッチを設け順次起動を採用。
- ④掘削に伴う粉塵除去の為、湿式の大型集塵機を搭載。
- ⑤レーザー受光器による自動測量システムを採用し、T. B. Mの位置、姿勢をオペレータが直感できる様に、パソコンCRT画面の表示方法を工夫し、掘進精度を確保。



写真-1 T. B. M工場内組立

表-1 T. B. Mの仕様

掘削径	5,000mm	カッター電動機	150kw ×6=900kw
機長	19,470mm	カッタートルク	108t-m
全長	59,970mm	カッター回転数	7.5rpm
重量	2601ton	カッター径	394mm
出力	1,080kw	カッター数	37個
推力	212t ×4=848t	後続台車	3台
グリッパ押付力	1,048t	ベルトコンベア	600w × 248m/日

### 4. T. B. M掘進計画

T. B. Mの組立は、作業用斜坑（幅7.5m×高5.9m、勾配12%、最小曲率半径R=40m）をトレーラで直接本坑内基地に搬入し、写真-2に示すように坑内に設置した橋型クレーン（60 t）により坑内組立を行なった。4本の導坑掘削は図-2の順序で行なった。

ズリ出しは12 t電車と6 m<sup>3</sup>鋼車×4両の1編成により行ない、坑内のズリピットに仮置した。



写真-2 坑内組立

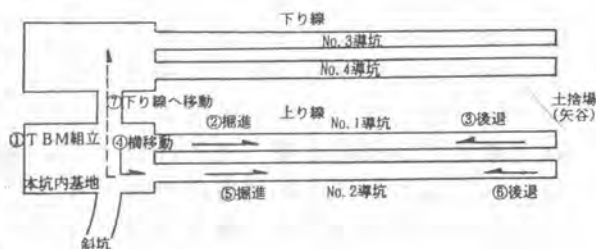


図-2 施工順序





写真-3 横移動

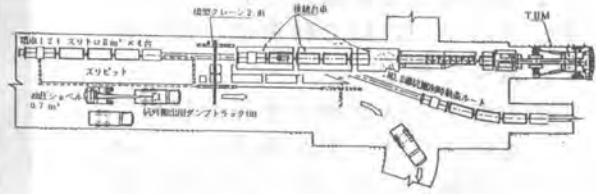


図-3 本坑内基地計画図

## 5. T.B.M掘削

### 5-1 掘削実績

表-2 T.B.M実施工程

年月	H2												H3														
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
工事																											
発達坑整備	11/19		1/21																								
橋脚クレーン組立																											
TBM組立			1/29	3/4																							
上																											
No.1導坑掘削				3/5					8/19																		
No.1後退									6/20	7/25																	
No.2移設																											
No.2導坑掘削									7/26					11/14													
TBM後退 (発達基地)													11/15	12/10													
発達坑掘削 移設準備工													12/12		2/20												
TBM移設 上り線→下り線															2/24	3/24											
下																											
No.3導坑掘削																1/25		8/15									
No.3後退移設工																		8/15	7/16								
No.4導坑掘削																						1/20		10/21			
TBM解体・搬出																								11/1		12/9	

T.B.M実施工程と月間進行を表-2と表-3に示す。到達側の5階建アパート直下では騒音・振動規制より夜間の掘削作業を停止したが、ほぼ計画工程にしたがった施工ができている。

No.3導坑までの実績では平均月進197m、平均日進8.6mであった。また最大月進は300m、最大日進は19.3mであった。支保工区間は、No.1導坑では掘削延長595.2mに対し39.6mであり、No.2導坑では586mに対し57.6m、No.3導坑では573.8mに対し66mであった。

表-3 月間進行

年月	月間進行(m)	日最大進行(m)	稼働日数(日)	日平均進行(m)
3年 3月	77.8	12.2	13	6.0
4月	216.3	13.8	24	9.0
5月	207.0	13.3	24	8.6
6月	94.1	12.6	17	5.5
(No.1 導坑平均)	(182.0)		(24)	(7.6)
7月	35.5	10.9	4	8.9
8月	143.7	11.7	20	7.2
9月	213.5	13.5	23	9.3
10月	198.9	12.9	15.5	8.8
11月	56.4	7.4	7.5	—
(No.2 導坑平均)	(193.2)		(23)	(8.4)
4年 3月	27.6	9.3	6	4.6
4月	300.2	19.3	23	13.1
5月	167.3	13.9	22	7.6
6月	78.7	12.2	10	7.9
(No.3 導坑平均)	(216.2)		(23)	(9.4)



写真-4 支保工のない区間



写真-5 支保工区間

## 5-2 岩盤分類と機械データ

岩盤分類別に機械データを整理した表-4から次の事が言える。

- ①掘進速度は強度の低下と共にほぼ直線的に増加している。
- ②硬岩部における掘削では、カッター電流が岩盤強度と比例して増加していない。原因はカッター切込深さが小さくトルクに余裕がある為であり、掘進速度は推力に支配されている。

表-4 岩盤強度別機械データ

	単 位	No. 1導坑 岩盤分類						No. 2導坑 岩盤分類					
		a	b	c	d	e	平均	a	b	c	d	e	平均
構成比率	%	14	30	36	8	12	100	16	24	28	19	13	100
一軸圧縮強度	kg/cm <sup>2</sup>	2007	1538	1225	904	776	1349	2427	2165	1723	1372	838	1760
純掘進速度	m/hr	1.01	1.16	1.42	1.52	1.68	1.29	0.98	1.14	1.19	1.47	1.63	1.22
カッター切込深さ	mm	2.3	2.6	3.2	3.4	3.7	2.9	2.2	2.5	2.7	3.3	3.6	2.7
スラスト推力	ton	631	588	474	429	404	531	680	604	517	549	443	571
カッター電流	A/本	110	110	105	97	94	106	113	109	104	108	99	107
カッター回転トルク	t-m	50	50	47	44	42	48	51	50	47	49	45	49

## 7. あとがき

T. B. Mに対する評価としては、超硬岩での掘削は予想を上回る掘進速度を得られており、カッターの大型化が大きく貢献していると思われる。一方、比較的軟らかい部分での掘削に於いては、掘進速度を早めると大きなズリが発生しやすくなり、ズリ搬出が困難になる事があった。又、カッター交換に多くの時間を要した事から、これらについては、今後とも改良の余地があると思われます。

しかしながら、今回のT. B. Mは全般として良好な結果を得ており、今後の類似施工に於いて、この資料が参考となれば幸いです。

最後に、この工事を請負われた奥村、鴻池、鉄建特定建設工事共同企業体の所長始め関係各位及び、小松製作所、建設機械化研究所の関係各位に感謝の意を表わす次第であります。

## 30. ニューラルネットとファジーによる 流体輸送式TBMの自動運転

(株)大林組：\*風間 慶三・早淵敬太郎  
川崎重工業(株)：豊田 正治・庵原 滋

### 1. はじめに

小口径断面のトンネル掘削では、熟練労働者不足、狭隘な場所での労働者の解放等が問題となっている。特にTBMによる掘削はオペレータの技量により、掘削精度、掘進速度等が左右され、良質なオペレータの確保が重要となる。

近年、シールド機においては、自動運転が可能となっているが、TBM工法においては、掘削機が3胴に分割されており、方向制御に係わるツール（方向制御ジャッキ・フロントグリッパ・メイングリッパ・スラストジャッキ）が多く、また土質による影響を受け易く、制御が困難であった。

このたび、測量システムからの情報をニューラルネットワークおよびファジー理論を用いて、使用ツールの選択、および制御量を演算処理し、制御する事により、熟練オペレータと同等の自動掘削が可能なTBM自動運転システムを開発し、西宮市の下水道工事に適用したので報告する。

また、同時に掘削土の流体輸送システムも自動化し坑内での運転に係わる作業を無人化した。

### 2. 工事概要

武庫川上流処理場（神戸市北区道場町）から武庫川下流処理場（尼崎市武庫川河口）まで汚泥を送るための管路布設工事である。このうち自動化を実現した工区は、(財)日本下水道事業団の発注である西宮市塩瀬町名塩から武庫川上流処理場までの延長4,230mのトンネル築造工であり、径2.0mの流体輸送式TBM工法で施工する。

図-1は、当工事に使用したTBMの構造図である。

なお、地質は中世代に、いわゆる火砕流により形成された有馬層群の溶結凝灰岩である。

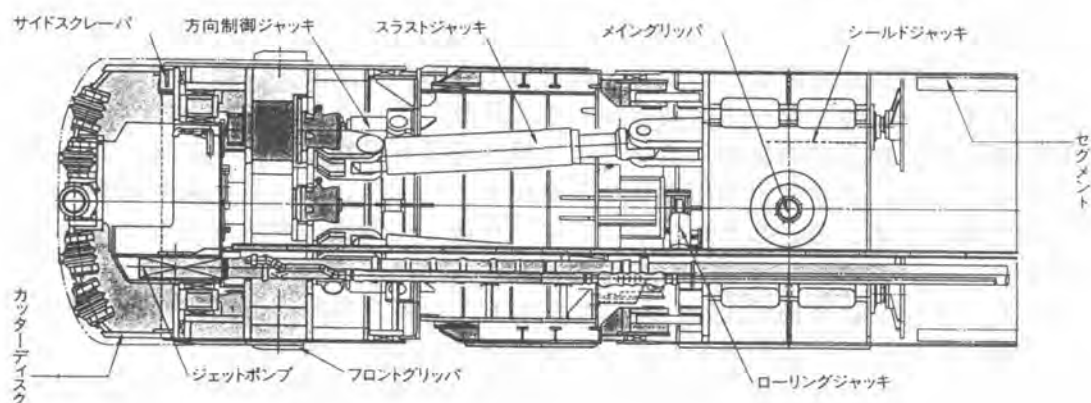


図-1 流体輸送式TBM構造図

### 3. システムの概要

本システムは、自動測量管理システム、自動方向制御システム、および流体輸送システムより構成されている。

自動測量管理システムは、ジャイロスコープ、レベル計およびマシンに装備された各種ジャッキのストローク、カッターの圧力等の情報をコンピューター（YEWMAC）で演算処理し、前ストロークの掘削情報および次ストロークの目標方位を自動方向制御システムに出力する。

これらの情報を受けて自動方向制御システムでは、ニューラルネットワークにより使用するアクチュエータを選定およびファジィ理論により制御量をコンピューター（FC-9801）で演算し、最適な掘削方法でマシンを自動コントロールする。

流体輸送システムは、マシンの運転状況を常に監視し、送排泥流量及び各種バルブの切換え等を全自動で行うものである。

ハードウェアの構成は、図-2に示すように、地上の中央管理室に地上運転盤および中央監視盤、坑内に坑内運転盤が装備されており、それぞれ光ケーブルで接続し、制御情報の送受信を行っている。

地上運転盤では、掘進管理用と方向制御用に、2台のコンピューター（YEWMAC、FC9801）と、No.1PLC（シーケンス制御装置 MELSEC）により、TBMの自動運転と流体輸送に関する情報処理、制御指令および監視をおこなう。一方、中央監視盤では、No.2PLCにより流体輸送の制御を行い、坑内運転盤では、No.3PLCにより各種センサーからの情報収集および手動時の運転操作を行う。

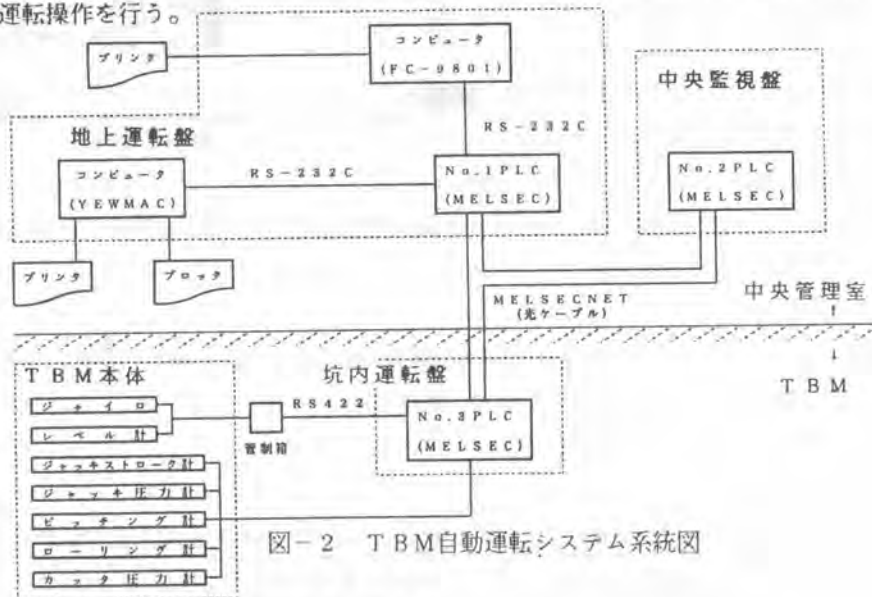


図-2 TBM自動運転システム系統図

各制御機器の機能分担は以下の通りである。

- ・ YEWMAC : TBM位置情報処理、掘進方位の決定、運転状態の表示
- ・ FC9801 : 掘進モードの選定、方向制御量の決定、レベル調整、工程と機器状態表示
- ・ MELSEC : TBMと流体輸送の自動運転制御、掘進速度の調整、警報に対する自動処理、運転開始と終了指令、各機器間の情報の送受信

#### 4. システムの特徴

TBMによるトンネル掘削は、予め決められた計画線に沿って、より正確に効率よく行われなければならない。しかし、掘削対象地盤が均一であることは稀であり、またTBM自身にも機械の癖がある。加えて、方向制御に関わる手段としては、フロントグリッパ、方向制御ジャッキおよびメイングリッパと多く、いわゆるフィードバック制御のみでは制御が困難である。

そこで、過去2現場で収集した掘削データの解析結果と、熟練オペレーターのヒヤリングによる情報から、運転操作の規則性を見だし、ニューラルネットワークおよびファジィ理論を採用し、熟練オペレーターと同等のTBMの運転操作を可能にした。

次に、本システムの特徴であるニューラルネットワークおよびファジィ理論を用いた制御について概要を記す。

##### (1) ニューラルネットワークによる掘進モードの選択

ニューラルネットワークとは、生体の神経回路、神経細胞の機能をモデル化した工学的な演算回路である。その特徴としては、機械自身を与えられたデータをもとに、設定された条件の中で、考え得る最適の答を選択する方式であるつまり、この能力は、パターン認識、予測判断等の問題解決に適していると言える。これをTBMに応用した場合、掘進状況の変化に対し、選択が必要なフロントグリッパ、方向制御ジャッキ等、どのジャッキ操作を組み合わせ運転すれば良いのか、表-1のように5つのモードに分類した。

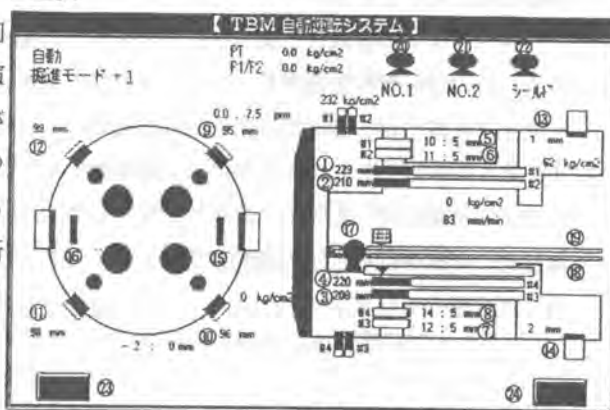


図-3 掘進管理画面

ニューラルネットワークの教師信号(入力信号に対する理想出力)は、過去2現場で収集した掘削データを解析し、結果のよいものを厳選して、次の項目を入力した。

- ①前ストロークの掘進モード --- 5種類(表-1)
- ②方向変更量差 --- (今回の掘削開始時の方位偏差)-(前回の掘削開始時の方位偏差)
- ③前ストロークの掘進結果 --- 曲げ過ぎ、良好、曲げ不足
- ④現ストロークの掘進モード --- 5種類(表-1)

表-1 掘進モード表(モード番号が大きくなるほど、前胴と後胴の折れの角度を大きく制御できる)

モード No	フロントグリッパ	方向制御ジャッキ	スラストジャッキ(1本当たりの圧力)	メイングリッパ
0	操作	操作しない	4本(125kg/cm <sup>2</sup> )	操作しない
1	操作	操作	4本(125kg/cm <sup>2</sup> )	操作しない
2	操作	操作	2本(250kg/cm <sup>2</sup> ) + 2本(125kg/cm <sup>2</sup> )	操作しない
3	操作	操作	2本(250kg/cm <sup>2</sup> )	操作しない
4	操作	操作	2本(250kg/cm <sup>2</sup> )	操作

前ストロークの運転状況から、次のストロークの運転モードを決定する。なお、決定にあたり必要な項目としては、前ストロークの掘進モード、方向変更量差および掘進結果があり、過去のオペレータの操作結果をもとに、総合的に判断して、次の掘進モードを決定する。

当工区においては、過去2現場と掘削地盤が異なるので、過去の教師信号をそのまま当てはめることは危険である。そこで、自動運転を行いながら、掘削データの中から掘進結果のよいものを厳選し、コンピューターに入力して学習させ、より確度の高いものになっている。

## (2) ファジイ理論によるジャッキの制御量の決定

ファジイ理論は、人間の定性的な考え方、すなわち、数値的に表現が難しい「〇〇ぐらい」といった、あいまいな考えを定量化する理論である。例えば、人間によって機械を操作する場合、「制御すべき値が少し大きくなる傾向にあるから、操作すべき値を少し増す」というようなファジイ的な考えに基づくことが多い。TBMの場合で考えると、方向制御において、フロントグリッパを方向修正の微調整に使用しているが、このときの操作の考え方がファジイ的であるので、ファジイ制御に適しているといえる。

ニューラルネットワークにより選択されたジャッキの操作量は、次のように定める。

掘進前には、掘進モードによって選定されたジャッキの操作量を、ファジイ理論により演算し、制御する。フロントグリッパは、方向制御ジャッキ操作前の前胴方向と、現ストロークで設定された掘進方向との差の大きさに応じて制御する。方向制御ジャッキの制御は、演算された値が、負(引き)の場合、カッター回転の前に行い、正(押し)の場合、カッター回転後に行う。

モード4を選択した場合、メイングリッパにストローク差をつける。

掘進中には、一定距離毎に、現在のマシンの方位を目標方位に合わせるため、方向制御ジャッキにて、マシンを目標方位に合わせ、またフロントグリッパのストローク値をファジイ理論で演算し、ストロークの制御を行う。フロントグリッパは、前胴方向を方向制御ジャッキにて掘進方向に向けられないとき、その方向差の大きさに従って、ストローク差の増減を行い、それでも困難な場合は、スラストジャッキの片押し等も併用する。

## 5. あとがき

TBMの運転はシールドとは異なり、刻々と変化する状況に応じ、多種のジャッキを機能別に選択する必要があり、かつそれらの圧力を制御しなければならない。このため、操作は場合によっては煩雑さをきわめ、オペレータの技量が出来形の良否を決定する大きな要因となっている。

オペレータそれぞれに経験年数、感性、体力に差があるように、十人十色の操作方法を身につけており、たとえば、掘進中に方位やレベルが微動する度毎、頻繁に操作する人もいれば、そうでない人もいる。このような場合、いずれの方法が正しいかは、地山条件等により異なり、一概に決めつけることはできない。

これらの諸条件に対処すべく開発した同システムは、従来から熟練工の技量に頼ってきたきらいがある曖昧な制御操作の中に、一定の規則性を見いだすことにより、さらに、マシン自身に操作感覚をうえつけようとするものである。今後も本システムの学習機能により、多くのデータを集積し、あらゆる岩質に適応できる全地質対応型の自動運転システムのグレードアップを、進める所存である。

# 31. ファジィ制御を用いたトンネル換気システムの開発とその成果

清水建設(株)：\*菊池 雄一・岩城 修一  
河野 重行

## 1. はじめに

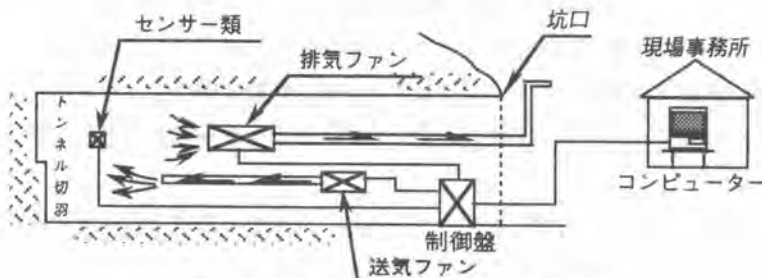
昨今の急激な地下開発の増加にともない、地下掘削技術の進歩はめざましい。特に最近では、従来以上の地下空間の大断面化、長大化、急速施工化が望まれており、設計・施工に関する技術開発には多くの投資が行われている。

NATMを代表とする一般的な山岳トンネル掘削においては発破やコンクリート吹き付けが日常的に行われ、粉塵やCOなどの有害物質が発生するだけでなく、ずり（掘削土砂）搬出用ダンプや掘削用重機などの内然機関からのNOx発生により坑内環境が悪化する。また、内然機関等からの放熱や地熱や湧水の発生により特に切羽部分は夏季において高温多湿な状態となり、作業環境は著しく低下する。

従来の換気システムは一定風量でファンを回しつづけていたが、最大風量で回し続ければ環境はよくなるが、環境良好時など換気が不必要時にも最大で回るため効率に問題があり、逆に小風量で回すと必要時に換気能力が足らなくなる。近年、これらの問題に対処するため開発されたシステムは、環境に悪影響を及ぼす要因のうち代表として粉塵量を検知し、粉塵濃度にとまらぬ、2段もしくは3段切り替え式で風量を制御している。しかしながら、他の項目は測定はしているものの直接風量制御に取り入れていないため、たとえば高温高湿度の環境下での換気システムは動作しないなど、作業環境の改善度は少ない。筆者らは、トンネルの切羽部に設置した粉塵計、CO計、温度計、湿度計の各センサーによる計測値をもとに、ファジィ理論（[1]、[2]および[3]）を用いてトンネル工専用コントラファンの最適換気風量を制御・出力するシステムを開発・実用化したので、以下にその概要を述べる。

## 2. システムの概要

本開発においては、換気風量の制御に取込む項目として、粉塵量やCOなどの有害物質の他に、温度や明るさなど作業環境に影響する要因を調査し、その結果、粉塵量、CO濃度、温度、湿度の4つに絞った（[4]）。トンネル切羽部に設置した粉塵計、CO計、温湿度計からの計測値をもとに、コントラファンの最適換気風量を制御・出力する。いま、例として、排気と送気の2台のファンを用いた場合のシステム



図一1 ファジィ換気システム概念図

概念図を図-1に示す。センサーからの情報が現場事務所にあるコンピュータへ制御盤を通して送られ、最適風量が計算され、制御盤を通して出力される。

ここで、制御手段としては、以下の理由により、ファジィ理論を用いた。

- 1) 複数の要因を同時に取入れて制御するため、従来制御では、大型コンピュータの必要性などシステムが複雑になり、実用的ではない。
- 2) 寒さや蒸し暑さなど人間の感覚を簡単に数式で制御することは困難であり、ファジィが適している。
- 3) トンネルの規模や場所の差異などによる制御度合いの違いに対し、ファジィ制御では簡単にチューニングできる。

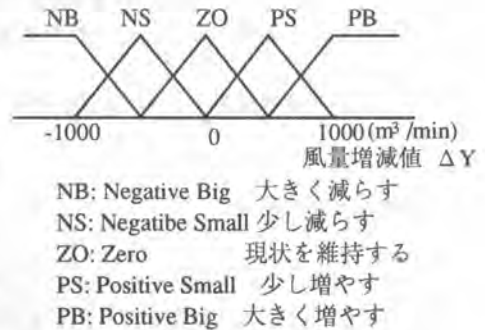


図-2 ファジィ集合の例

ファジィ理論とはカリフォルニア大学のL.A.Zadeh教授が1964年に提唱した理論であり、日本では「あいまい理論」とも呼ばれている。近年、ファジィ理論による制御が家電をはじめ、シール自動制御や仙台の地下鉄自動運転などに導入されており、その効果が確認されている。

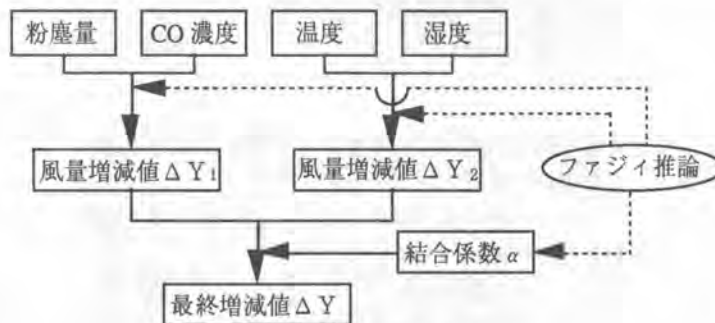


図-3 ファジィ推論フロー

本開発においては、粉塵量、CO濃度、温度、湿度およびコントラファンの出力風量の現状よりの増減値 $\Delta Y$ をファジィ集合で表した。例として、出力風量の増減値 $\Delta Y$ のファジィ集合を図-2に示す。たとえば、PBはPositive Bigの略であり、現状より非常に大きく風量を増すというファジィ集合を表す。4つの要因の計測値からファジィ理論により最適な増減値 $\Delta Y$ を出力する際、簡単のために図-3に示す様に、有害物質（粉塵とCO）希釈の為の換気出力増減値 $\Delta Y_1$ と作業環境（温度と湿度）の向上のための換気出力増減値 $\Delta Y_2$ をファジィ推論を用いて別々に計算する。ファジィ推論にはMAX-MIN合成を用いるが、紙面の都合上、詳細は割愛する。各々の増減値、 $\Delta Y_1$ および $\Delta Y_2$ は粉塵量などの計測値を別途に定めたルールに照らし合わせて推論されるが、このルールは一般に経験者や設計者の知識にもとづいて作成される。参考までに有害物質の量（粉塵量とCO濃度）と換気出力増減値 $\Delta Y_1$ に関するルールを図-4に示す。たとえば、“粉塵量PSでCO濃度NSの時の $\Delta Y_1$ がPS”は、“粉塵がやや多くてCO濃度がやや低いときは風量を今より少し増す”というルールを表す。

次に、以下の式により、 $\Delta Y_1$ と $\Delta Y_2$ を結合して、最終換気出力増減値 $\Delta Y$ を算出する。

$$\Delta Y = \alpha \cdot \Delta Y_1 + (1 - \alpha) \cdot \Delta Y_2 \quad ; \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (1)$$



ただし、 $\alpha$ は結合係数であるが、一定値ではなく、有害物質の量と作業環境の程度により、両者のどちらかを重要視するように結合する。たとえば、 $\alpha$ が大きければ、有害物質排除を重視した制御となり、小さければ作業環境を重視した制御となる。ここでは、 $\alpha$ は図-5に示すファジィ集合で表し、 $\alpha$ の算定に際し、有害物質の粉塵量と作業環境の温度の2つの要因の程度から、図-6に示すようなルールをもって推論する。最終的に、出力された最適換気風量Yは、以下の式により表される。

$$\text{最適換気風量Y} = \text{前回出力の換気風量Y'} + \Delta Y \quad (2)$$

### 3. 実際への適用事例

本システムは、現在山梨県で施工中のリニア実験線朝日トンネルで稼働中である。当トンネルは断面積が約100m<sup>2</sup>で、延長が1800mのリニア新幹線用のトンネルである。図-1および写真-1に示すような排気と送気の2台のファジィ制御によるコントラファンを設置し、切羽部の環境を重点的に向上させることを目的とした。切羽部に設置した粉塵計、CO計、温度計、湿度計の4つのセンサーによる計測値および出力された最適風量値は写真-2に示されるように、コンピュータ画面でリアルタイムで集中管理できるとともに記録計で記録される。

制御状況としては発破や吹き付けコンクリートやズリ出しなど有害物質の急激な増加に俊敏にシステムが反応し、大風量で換気を行ない、有害物質の減少とともに風量も追従して追従性の良さが確認されている。また、夏季は午前中の温湿度ともまだ低い時間帯で粉塵など有害物質の発生が少ない時には風量が非常に少ないが、午前になり温湿度の増加とともに風量が増加し、作業環境が維持されていることが作業員の声からも確認された。これは、従来システムでは見られなかったことである。

平成4年5月のシステム導入時点から、継続してデータを収集、解析中であるが、次のような効果が期待される。

- 1) 従来の段階的にあらかじめ設定された風量を出力するのではなく、環境が劣悪時には最大風量で出力するため、環境改善の速度が速い。
- 2) 環境改善にともなって、換気風量が自動的に減少するため、エネルギーの無駄が少ない。  
ただし、データ量がある程度そろい、統計処理が可能となった時点でまた、別途詳細を報告する。

		CO濃度				
		NB	NS	ZO	PS	PB
粉塵量	NB	NB	NS	ZO	PS	PB
	NS	NS	NS	ZO	PS	PB
	ZO	ZO	ZO	ZO	PS	PB
	PS	PS	PS	PS	PS	PB
	PB	PB	PB	PB	PB	PB

図-4  $\Delta Y1$ に関するファジィルール

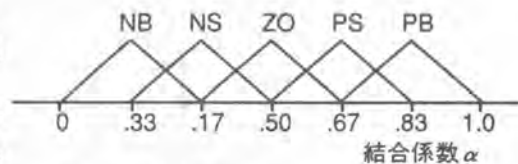


図-5 結合係数 $\alpha$ のファジィ集合

		粉塵量				
		NB	NS	ZO	PS	PB
温度	NB	ZO	PS	PS	PB	PB
	NS	NS	ZO	PS	PB	PB
	ZO	NB	NS	ZO	PS	PB
	PS	NB	NS	ZO	PS	PS
	PB	NB	NB	NS	ZO	PS

図-6 結合係数 $\alpha$ に関するファジィルール

#### 4. おわりに

多くの苦渋作業が介在している山岳トンネル掘削工事に際し、作業環境の向上を目標にした本システムは人間尊重のシステムであるといえる。今後とも、引き続きデータを解析することにより本システムの効果をより多くの観点から把握するつもりである。

今後は、システムの一層の普及を計ることにより、多くのデータの蓄積・解析を通し、より実用的で使いやすいシステム構築を目指すものであるとともに、地下街の建設工事や建築の根切り工事などのより幅広い分野へと本システムを適用していく予定である。



写真-1 コントラファン全景

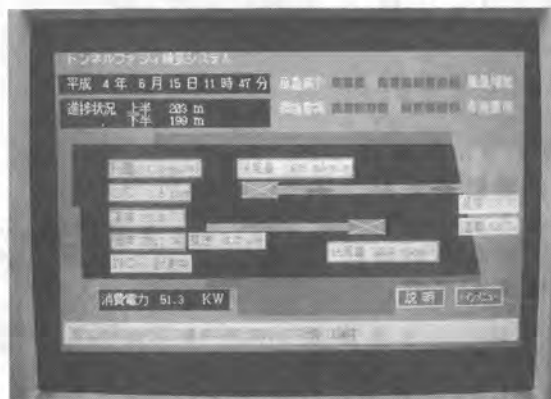


写真-2 コンピュータによる集中管理状況

#### 5. 参考文献

- [1] 廣田薫：わかりやすいファジィシステム，株式会社テクノシステム，1989.
- [2] 三矢直城・田中一男：C言語による実用ファジィブック，ラッセル社，1989.
- [3] 菅野道夫：ファジィ制御，日刊工業新聞社，1988.
- [4] 菊池雄一・深井日出男・河野重行・岩城英朗・糸永泰彦：ファジィ理論を用いたトンネル換気システムの開発，土木学会第47回年次学術講演会

## 32. 都市部の狭隘部や路下部に適用する 連続地中壁掘削機の開発

～ミニカッター(MBC30)の概要とその施工例～

(株)間組：梅本 憲三・脇山 一郎

### 1. はじめに

近年、都市部では地下空間の有効利用の観点から、構造物の大型化・大深度化が進み、特に地価高騰の影響で、狭隘な敷地での連続地中壁施工を余儀なくされる場合が増加している。

こうした背景の中で当社は、先に導入したHBトレンチカッター工法で、ポンプ場土留め壁、ダム遮水壁、地下駐車場本体壁などの、連続地中壁施工の実績を挙げていたが、HBトレンチカッター掘削機BC30J(以下BC30J)では、上述した狭い作業空間には適応が難しい工法であった。

そこで、地下鉄工事・建築工事など、路下部および狭隘部での連続地中壁施工を目的として、BC30Jの掘削能力をそのままに小型化した掘削機、ミニカッター(MBC30)をドイツ・パワー社と共同開発した。

本文では、ミニカッター(MBC30)の概要と施工事例を紹介する。

### 2. 開発の概念

掘削機をミニカッターと呼び、路下での施工性、従来のBC30Jとの互換性を考慮し、次のような条件を設定し、設計製作することとした。(図-1)

- ① 掘削能力はBC30Jの同等。
- ② ベースマシンの寸法：  
高さ5m×奥行き4.9m×幅約4m
- ③ パワーユニットは電動機駆動。
- ④ 最大掘削深度 53m。
- ⑤ 最大掘削壁厚 1500mm。
- ⑥ ベースマシンは槽タイプで、レール走行式。
- ⑦ カッターホイール、ギアボックス、マッドポンプは、BC30Jと同じ。
- ⑧ ホース類(マッドホース、油圧ホース)は、ドラムに巻く方式。

この開発で一番難しい要素は、従来のBC30Jの特長である連続掘削を生かすケーブルホースサスペンションを、ドラム方式にすることであると予想された。

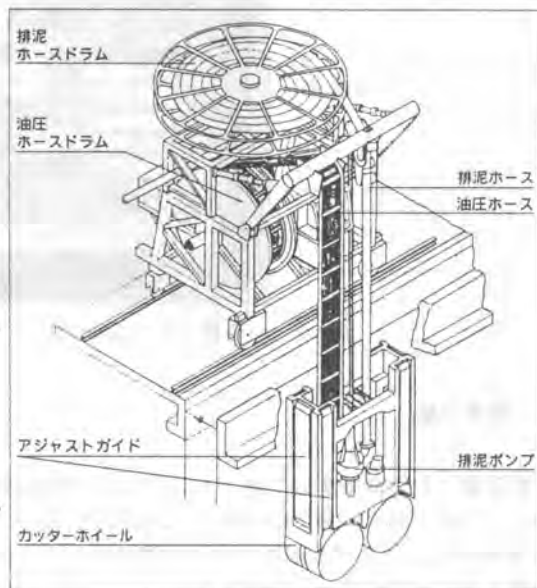


図-1 完成予想図

### 3. 設計、製作、掘削実験

ハザマはパワーバックを分担。ドイツ・パウアー社はベースマシン、カッター本体を担当し、概略設計を約3ヶ月で終え、基本設計・詳細設計に着手。1991年6月、約8ヶ月という短い期間で基本設計から製作を終えた。機能試験、掘削実験を、1991年7月～9月ドイツ・パウアー社で行った。掘削実験の主な項目を以下に示す。

- 1) 通常掘削 : 深度2.5～10mを2カット  
深度2.5～49.3mを1カット
- 2) 砂レキ掘削: 碎石掘削  
石灰岩、粒径 $\phi$ 150mm、一軸圧縮強度1000kg/cm<sup>2</sup>
- 3) コクリートカッティング: 深度2.5～10m  
カッティング幅6cm

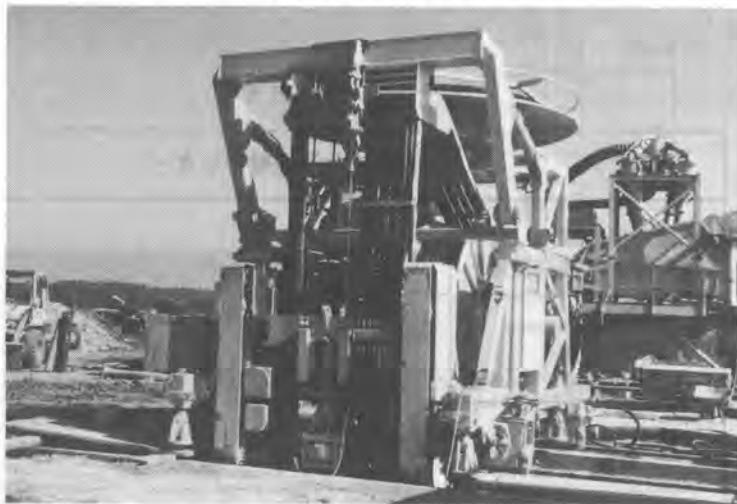


写真-1 掘削実験

### 4. ミニカッターの機能・特長

ミニカッターは、次のような特長を持つ。

- 1) ホースドラムシステム  
マッドホースを水平型、油圧ホースを垂直型とし、特に油圧ホースドラムでは回転中心部にロータリージョイントを採用、1ドラムで油圧ホース8本を巻き取れる構造とした。
- 2) 2モーター式油圧ウインチ  
従来のシリンダ式に変わるもので、手動操作のほか、次の2つの自動制御を装備している。
  - (速度制御)  
掘削時の巻き下げ速度を0～5m/min (0～100%)の範囲で、1%単位で一定速度制御のできるものとした。
  - (荷重制御)  
掘削機の吊り荷重0～20ton (0～100%)を、1%単位で設定荷重以下にならないように制御のできるものとした。

- 3) アジャストガイド  
前後方向は各2枚、左右方向は各1枚の計6枚のガイドとし、カッター本体の垂直面に対し斜めに出る機構とした。
- 4) カッター本体  
高さ4.4mと従来のBC型の約1/3とした。
- 5) パワーユニット  
ディーゼルエンジンの排気ガスを考慮して、電動機駆動とし別置き式とした。施工地点の低騒音・低振動化が可能となった。
- 6) 方向転換  
ベースマシンの方向転換の為に、補助車輪を装備した。これにより、狭い場所での90°方向転換が可能となった。

表-1 技術仕様

掘削方式	回転式水平多軸カッター
最大掘削深度 掘削幅/掘削壁厚	53 m 2790 mm/640 ~ 1500mm
カッター 本体重量 回転速度/トルク	約20 ton 0~30 rpm/0~7140 kg-m
排泥ポンプ 口径/能力	6 インチ/ 400m <sup>3</sup> /hr
ウインチ 吊上げ能力	12 ton (掘削時はワイヤー4本掛け)
ベースマシン 寸法 重量/登坂能力	高さ4.9m×横幅4.1m×奥行き4.8m 28 ton/ 3%
パワーバック 所要動力	(電動、60Hz,AC400V) 全体：490 kw
ベースマシン用 カッター、 排泥ポンプ用 (別置き式)	75kw 200kw×2, 15kw

### 5. 施工事例

1992年、都心部の地下鉄工事にミニカッター-MBC-30を適用し、施工を行い、良好な結果を得ることが出来ました。

工事名 : 都営地下鉄12号線  
           東中野第1工区  
 用途 : 地下鉄駅部  
       (シールド発進立坑兼用)  
       土留め・止水壁、一部本体壁  
 壁厚 : t = 1200 mm  
 掘削深度 : L = 52.5 m  
 掘削面積 :  $\Sigma A = 3300 \text{ m}^2$   
 施工期間 : 1992年5月～9月

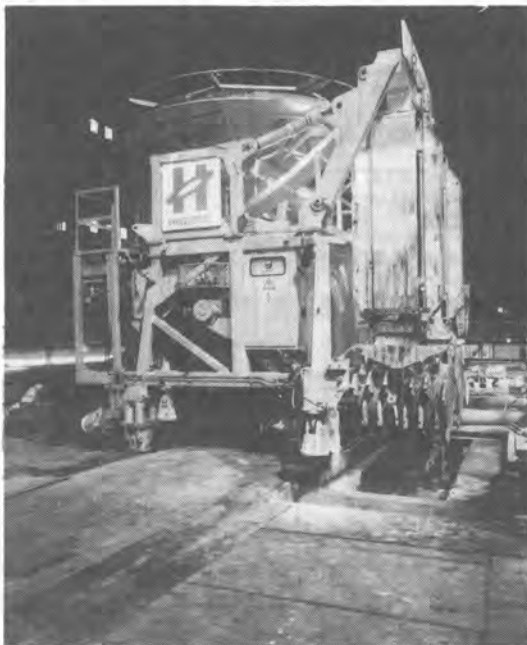


写真-2 施工風景

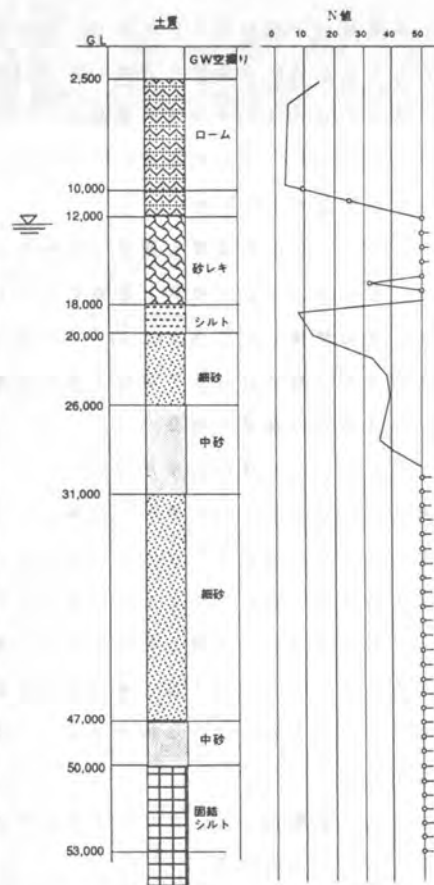


図-2 土質柱状図

## 33. スクリューデカンタによる脱水システムの開発

(株)大林組：\*炭田 光輝・吉崎 正明

### 1. まえがき

最近の泥水工法、例えば地中連続壁工法では、大深度・大規模化、また用途拡大にともなって高性能・高品質化の施工が要求されている。このような工事では、良質な壁を築造するため低比重の泥水で掘削・コンクリート打設を行なう必要がある。また、言うまでもなく、掘削土砂とりわけ細粒分の効率的な処理が重要である。そこで、筆者らは、スクリーデカンタ（デカンタ）によって、掘削時の細粒分を効率的に分離する方法<sup>1)</sup>および低比重のフィルタプレスでは処理しにくい廃泥水<sup>2)</sup>を効率的に処理する方法<sup>3)</sup>を開発・実用化している。しかし、スクリーデカンタから排出されるケーキはべとべとであり、また処分地の状況を勘案すると、ケーキが土質材料として有効利用可能な状態となることが要望されている。

そこで、ケーキ改良装置を開発し、併せてスクリーデカンタと組合せたシステムを開発した。ここでは、主にシステムの概要と性能について報告する。

なお、今回開発したシステム「スクリーデカンタによる脱水システム（OSS工法）」に対して平成4年9月2日付けで建設大臣から建設技術評価制度「評価書」が交付されている。

### 2. システムの概要と特徴

#### 2.1 システムの構成と処理フロー

写真-1にシステムの全景を、写真-2にケーキ改良装置を示す。システムは廃泥水を脱水するデカンタ、ケーキを改良するケーキ改良装置およびその他から構成されている。

図-1のフロー図に示すように、廃泥水に凝集剤を添加してフロックを形成し、デカンタで遠心力によって脱水処理し、分離した分離水は下水道等に放流する。ケーキは改良装置の計量器で所定量計量したのちミキサーに放出し、高分子吸水剤を投入して一次混練する。次に、セメント系改良剤を投入して二次混練する。これら操作によって改良されたケーキはミキサーから排出され、ベルトコンベアで搬出する。

システムの配置例を図-2に示すように、縦5.9m、横14.0m、設置面積82.6 $\times$ 100m<sup>2</sup>である。

#### 2.2 システムの特徴

- ① 連続式脱水システムである。
- ② 据付けが簡単で、短期間に設置できる。
- ③ 占有面積当りの処理能力が大きい。
- ④ 処理コストが安い。
- ⑤ 維持管理が容易である。
- ⑥ ケーキを任意の強度に改良できる。

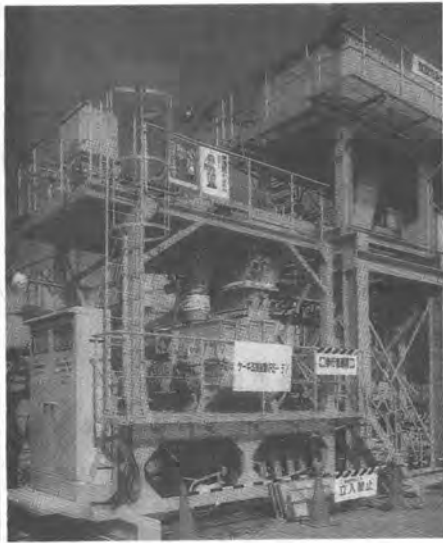


写真-1 システムの全景

写真-2 ケーキ改良装置

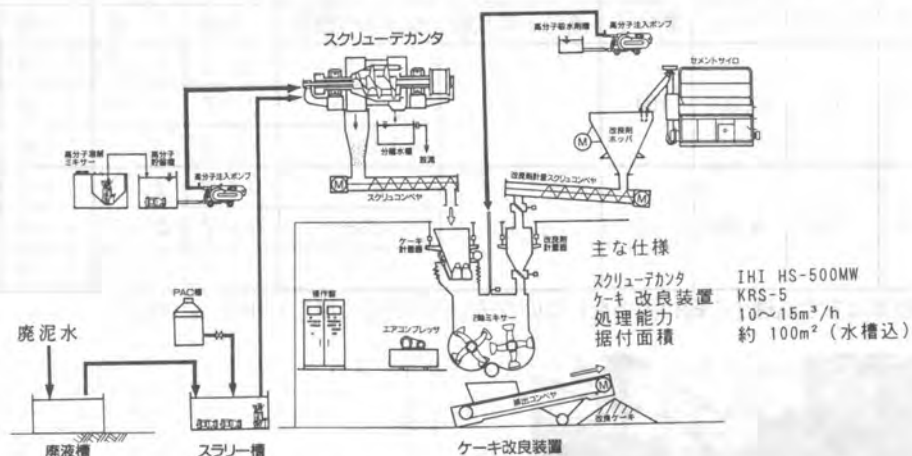


図-1 スクリューデカクタによる脱水システム処理フロー

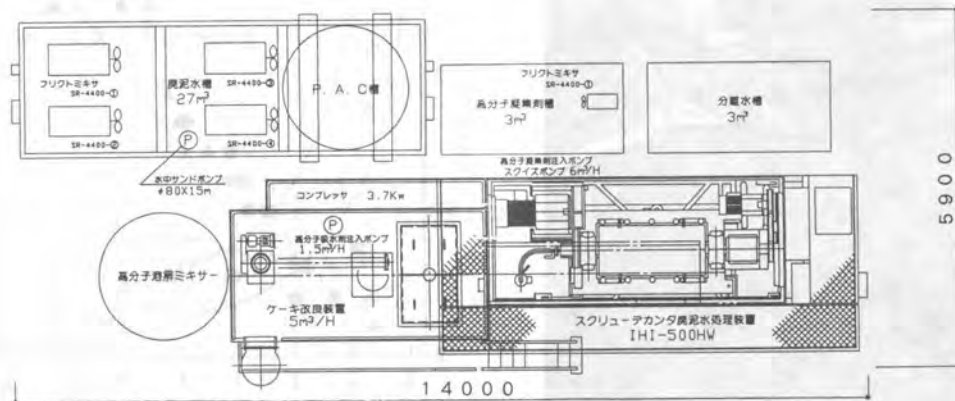


図-2 システムの配置例



### 3. システムの性能

#### 3.1 処理能力

当該システムでは、φ500mmのデカンタを使用しており、またケーキ改良装置はこれに見合うものを装備している。したがって、システムの処理能力はデカンタの能力にほぼ等しい。廃泥水比重が1.07～1.15の地中連続壁・泥水シールド・アースドリルのポリマーおよびベントナイト泥水を処理した結果は10～15m<sup>3</sup>/h（平均13m<sup>3</sup>/h）であった。当該システムの占有面積は約100m<sup>2</sup>であるので、占有面積時間当りの処理能力は約0.13m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hであり、フィルタープレスの一時的なその能力の約3倍である。

#### 3.2 ケーキの強度

当該システムでは、高分子吸水剤によってケーキの流動性をなくしすぐに搬出可能とし、セメント系改良剤によって所定の強度を確保している。

表-1 現場実証実験の一例

廃泥水の種類	泥水比重	処理量 [m <sup>3</sup> /h]	凝集剤量 [ppm]		改良剤量 [kg/m <sup>3</sup> ケーキ]		q <sub>c</sub> [kgf/cm <sup>2</sup> ]*		含水比 [%]	
			PAC	高分子	高分子吸水剤	セメント系改良剤	1h後	3h後	1h後	3h後
ポリマー	1.10	13	10,000	100	4	50	0.2	1.3	143	141
						75	0.7	2.8	128	125
						100	1.9	3.1	128	130
ベントナイト	1.10	15	4,000	70	4	50	0.6	2.3	117	115
						75	0.7	4.2	114	110
						100	3.1	4.2	108	108

\* 供試体は安定処理土の締め固めをしない方法(JSF T821)に準じて作成し、測定



写真-3 ケーキの排出状況

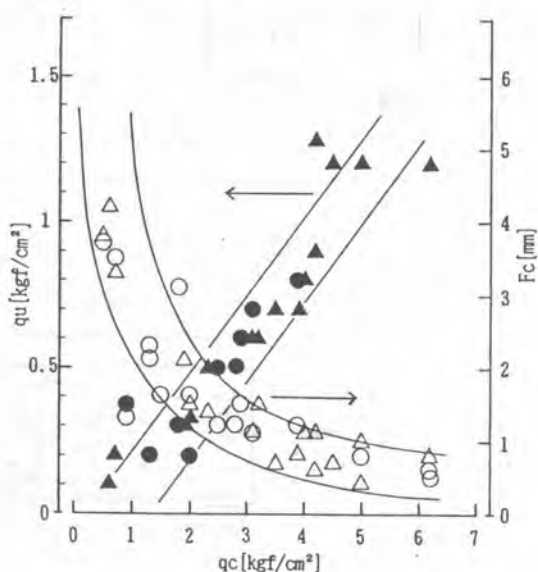


図-3 ケーキの q<sub>c</sub>・F<sub>c</sub>・q<sub>u</sub> の関係

現場実証実験の結果の一例を表-1に示す。また、ケーキの状態を写真-3に示す。表および写真から明らかのように、ケーキはバサバサの状態、すぐに搬出しても全く問題はなく、添加するセメント系改良剤の量によって任意の強度に改良可能である。

現場実証実験の結果、流動性がなくなり搬出に問題がなくなる高分子吸水剤のおおよその添加量はケーキ $m^3$ 当り 2~4kg であり、またコーン指数 $q_c$ が 2~4kgf/cm<sup>2</sup>確保できるセメント系改良剤の添加量は同様に50~100kg である。

なお、この強度は、図-3に示すように、一軸圧縮強さ( $q_u$ )の場合 0.3~0.8kgf/cm<sup>2</sup>、7 $\sigma$ - $W$ の貫入量( $F_c$ )の場合 1.5~1.0mm 以下である。

### 3.3 ケーキの含水比

ケーキの含水比は、廃泥水の性状にもよるが、100~150%程度であり、フィルタープレスのそれとほぼ同程度である。

### 3.4 分離水の性状

pH はほぼ中性、SS は 200mg/l 以下であり、下水道放流基準を十分満足する。

### 3.5 維持・管理

運転操作は、泥水供給のバルブ調整、高分子凝集剤のバルブ調整および自動運転のスイッチを入れるだけであり熟練を必要としない。

就労労務は2人/日である。

### 3.6 騒音・振動

JIS に準じて測定した結果、システムから30m 地点の騒音(90% $\text{レ}$ の上端値 $L_s$ )は脱水時65、暗騒音63、振動(80% $\text{レ}$ の上端値 $L_{10}$ )は脱水時39、暗振動38であり、著しい騒音・振動は発生しない。

## 4. あとがき

スクリュウデカンタとケーキ改良装置を一体化した脱水システムを開発することによって、ケーキが土質材料として使用可能な状態となり、またフィルタープレスに比べてコンパクトで処理コストの安い処理システムが構築できた。当該システムでは、改良剤を添加する必要があり、処理コストに占める改良剤の割合は比較的大きなものであり、また、改良後のケーキのpHもやや高いものとなっている。今後、安価で効果の大きい改良剤を開発し、より効率的な脱水システムを開発していく予定である。

## 参考文献

- 1) 喜田・炭田・辻・他：スクリュウデカンタ型遠心分離機の土砂除去特性，第21回土質工学研究発表会講演集，P.P.1511~1512(1986)
- 2) 喜田・辻・炭田：泥水シールド工法における余剰泥水処理に関する検討，第19回土質工学研究発表会講演集，P.P.1233~1234(1984)
- 3) 炭田・喜田：スクリュウデカンタ型遠心分離機によるポリマー廃泥水の処理，第25回土質工学研究発表会講演集，P.P.1567~1568(1990)

## 34. 大深度地中連続壁工法の掘削管理システム

(株)鴻池組：\*松生 隆司・大橋 昭  
鷺見 明・澤 芳幸

### 1. はじめに

最近、地中連続壁工法はジオフロント開発のための有力な基盤技術として注目されており、大深度地下構造物への利用を目指して施工技術の大深度化・大壁厚化が急がれている。この新しい開発動向に対処するため、当社では、深さ150m・壁厚2m規模の施工を可能とする大深度地中連続壁工法（KSW-G工法）を実用化した。地中連続壁工法では壁体相互を連続して接合する必要があるため、掘削精度の確保が取りわけ重要である。そこで本工法の実用化に当っては、大深度施工を高精度に実現するための支援システムとして、掘削機の位置・姿勢を正確に検知してこれを精密に制御するための掘削管理システムを開発した。

本システムでは、掘削精度管理として設計値からの掘削機の偏位量を50mm以内に抑えることを目標に、マン・マシンによる制御・管理機能を用いて掘削作業を効率よく支援し、大深度施工を精度よく行うことが可能である。さらに、現場内の無線情報ネットワークを構築することにより、工務管理および安定液管理との統合が図られている。本報告では、システムの概要ならびに実証試験の成果について述べる。

### 2. 掘削管理システムの概要

大深度地中連続壁工法に用いる掘削機械は、掘削機（エレクトロミル掘削機）とベースマシン（クローラークレーン）より構成される。掘削機はベースマシンで吊り下げられ、掘削機を降下させることにより地盤を連続的に掘削する。掘削機には、機体の姿勢を制御するためのアジャスタブルガイドを装備している。掘削機械の構成を図-1に示す。

地中連続壁工法の掘削においては、掘削機の水平方向の偏位量を正確に把握することが重要であり、大深度になるほどその必要性が増してくる。一般に、大深度施工では水平偏位50～100mm以内あるいは鉛直精度 1/1000～1/2000以内の掘削精度が必要といわれているが、本工法においては、精度管理として掘削設計線からの偏位量を50mm以内に抑えることを目標にしている。

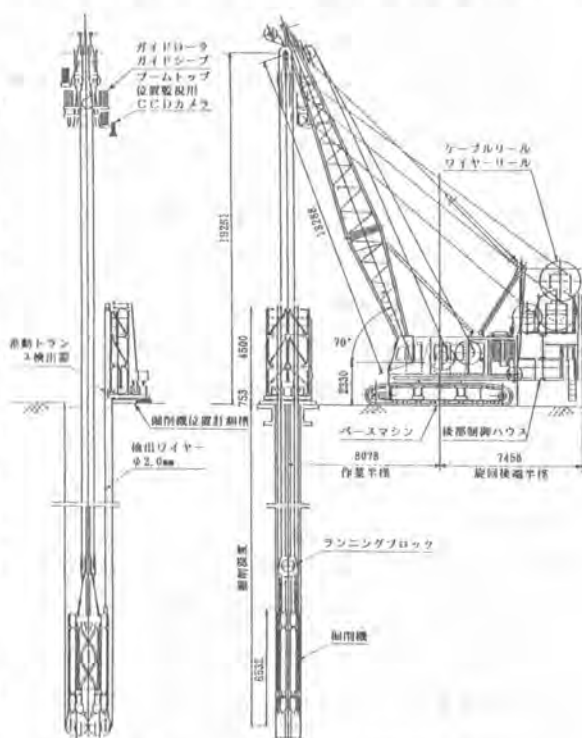


図-1 掘削機械の全体構成

掘削管理システムは、掘削機位置検出装置と掘削管理装置から構成され、その構成内容を図-2に示す。

### (1) 掘削機位置検出装置

掘削機位置検出装置は、掘削機位置計測槽、検出ワイヤおよびブームトップ位置監視装置より成る。本装置は、掘削機位置計測槽の頂部から掘削機本体の頂部に取り付けられたシーブまで繋いだ2本の検出ワイヤを基準ラインとし、掘削機の移動に伴う検出ワイヤの地上での水平変位量を検出することにより掘削機の位置を求めるものである。具体的には、掘削深度150m地点での掘削機が50mmの管理限界まで水平移動した場合、地上の測定位置における検出ワイヤの変位量は約1.6mmである。

検出ワイヤは、掘削機頂部のシーブを介して再び掘削機位置計測槽の頂部まで戻し、計測槽に装備した油圧駆動のワイヤリールを用い一定張力で巻上げている。計測槽のベース部はスライド機構を有し、掘削機の建込み・引上げの際、掘削溝より退避することができる。

今回、検出ワイヤの微小変位量を、非接触でかつ高精度に検出する方法として、差動トランス方式とカラートラッカー方式との2方式を考案した。両方式の検出方法を以下に説明する。

#### ① 差動トランス方式

差動トランス方式は、検出ワイヤの動きに自動追尾する差動トランス検出器により、検出ワイヤの位置を100mm×100mmの2次元範囲を0.1mmの測定精度で検出する方法である。

すなわち、検出ワイヤが水平移動すると、検出ワイヤが差動トランス検出器の中心に位置するよう差動トランス検出器が自動追尾し、この検出器の移動量を検出ワイヤの変位量として検出する。本方式は磁気検知方式であるため泥水の飛散による精度の低下はなく全天候での使用が可能である。図-3に差動トランス検出器の仕様を、写真-1に位置検出状況を示す。

#### ② カラートラッカー方式

カラートラッカー方式は、検出ワイヤの変位量を色抽出方式で検出する方法であり、図-4に示すように、レンズ、4色抽出カメラおよびカラートラッカーで構成される。レンズは掘削機位置計測槽の頂部に固定し、後部上方側から検出部を撮影している。

本方式は、カメラで撮影された映像から任意の色の物体をターゲットとして抽出し、その重心座標を検出する機能をもつ。掘削機位置検出では、まず既知の間隔で配置した基準点を基準スケール値として測定し、検出ワイヤに取り付けた円形ターゲットの重心位置を画像内のXY座標として連

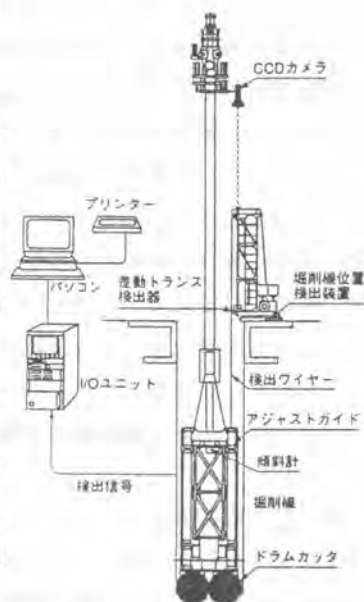


図-2 掘削管理システムの構成



図-3 差動トランス検出器の仕様



写真-1 差動トランス方式の検出状況

統的に検出し、基準スケール値と比較演算してワイヤの変位量を検出する。泥水の飛散、日照条件、天候などの影響は若干受けやすいが、差動トランス方式とほぼ同等の測定範囲と精度があり、かつ応答性は高い。

ブームトップ位置監視装置は、クレーンのブームトップに設置したCCDカメラにより、掘削機位置計測槽の頂部に設けたターゲットを運転室内のモニターTVで監視し、旋回時におけるブーム先端の位置ずれを確認して掘削機の吊り込み位置を常に定位置に保つことを目的としている。

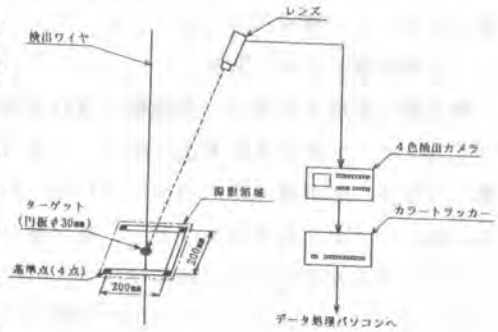


図-4 カラトラッカー方式の構成

上記の構成による掘削機位置検出装置は、高精度を有しながら取扱いが簡便であり、耐久性に優れている。

## (2) 掘削管理装置

掘削管理装置は、図-5に示すようにパソコンを中心に構成され、クレーン運転室と事務所に配置されている。クレーン側の掘削管理装置は、適所に配置したセンサーから掘削データを収集し、掘削機の操作に必要なデータをモニターTVに表示する。写真-2に出力画面例を示す。

掘削管理において最も重要な項目である掘削機の偏位量は、2本の検出ワイヤの変位量、掘削機本体の傾斜および掘削深度より、ドラムカット中心での前後・左右方向の偏位量およびねじれ角として演算・表示する。これらの値が管理限界値に近づくと、掘削機のアジャスタブルガイドによる姿勢修正の操作指示がモニターTVに表示され、オペレータはこれに基づいて掘削機の偏位量およびねじれ角が管理値内に収まるように掘削機を制御する。画面にはその他に、掘削速度などの管理データやシステムの動作状態、安定液の管理状態などが表示され、掘削機あるいは掘削作業全体の稼働状況が的確に把握できる内容としている。

さらに、本システムでは、安定液管理システムおよび事務所管理室の掘削管理装置に管理データの無線伝送を行うことにより、現場内での情報管理ネットワークを構築している。安定液管理システムにおいては、掘削の進捗に対応して安定液の品質を常に良好な状態に維持するために掘削データが利用される。事務所側の掘削管理装置においては、クレーン側と同じ画面が表示できるほか、詳細な施工データの解析や工務管理等が行える。

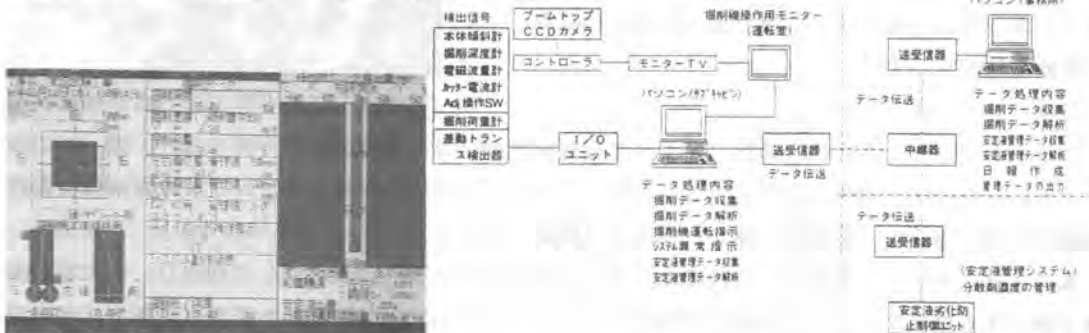


写真-2 モニターTV画面の出力例

図-5 掘削管理装置の構成

### 3. 実証試験の結果

実証試験は、超大型地中連続壁工法に関するトータルな施工技術の確立とその信頼性、実用性の検証を目的とし、平成3年10月～平成4年6月の期間、大阪湾に面した大阪府泉大津市の埋立地において実施した。

試験は、1回の掘削を1エレメントとし、エレメントNo.1～エレメントNo.4（以下、EL-1～EL-4という）を施工したもので、最初にEL-1において深度150mを掘削し、EL-2およびEL-3において深度30mの掘削を行った。さらに、EL-4では上部30m部分のコンクリートカッティング含む深度110mの掘削を実施した。

全エレメントにおいて、掘削機械およびシステムは順調に稼働し、良好な掘削を行うことができた。掘削作業においては、掘削管理システムのモニターTV画面表示に従って掘削機の偏位量を50mm以内にとまるように掘削機を制御した。EL-1における深度5m毎の掘削機の位置検出値と溝壁測定結果から読み取った溝壁中心位置との比較を図-6に示す。掘削機の偏位量は目標とする50mm以内で管理することができ、溝壁測定結果とよく対応した結果が示された。

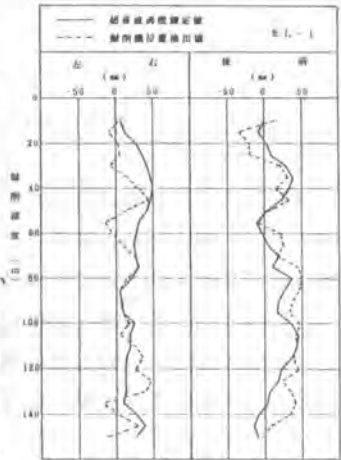


図-6 溝壁測定結果と掘削機位置検出値の比較

本試験では、検出ワイヤの変位量検出について、差動トランス方式を標準の検出方法として採用したが、部分的にカラートラッカー方式も併せて実施し、両方式の測定結果を比較検討した。掘削中の検出ワイヤの動きは比較的ゆっくりとしたものであり、差動トランス検出器はその動きを良好に追尾した。図-7は、検出ワイヤを任意に変位させた際の両方式による検出値を対比したものである。結果によれば、左右方向の測定結果はよく一致し、前後方向のそれは少しの差異がみられた。これは、ワイヤーの影やターゲットの輝度変化等に起因するカラートラッカー方式側の測定誤差と判断される。なお、この方式においても、補助照明や防護対策を施せば、現場計測として十分使用できるものと考えられる。

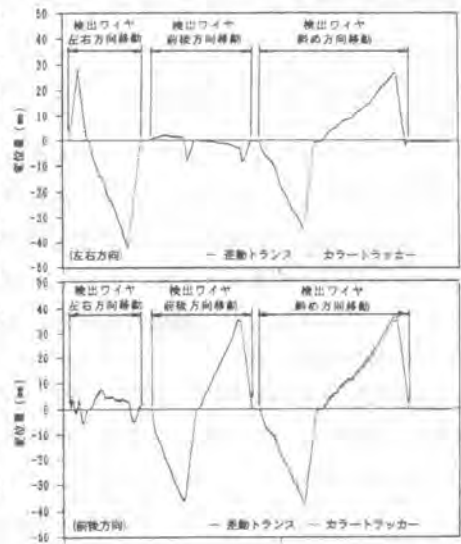


図-7 検出ワイヤ変位量測定値の比較

### 4. おわりに

今回の実証試験においては、開発目標とした掘削精度の確保とともに掘削機械および掘削管理システムの実用性、信頼性が確かめられ、大深度施工における掘削機の制御・管理手法を確立することができた。今後、実工事での適用を進める一方、本工法の高度化として、オペレーションの大幅な軽減と掘削精度の向上を目指して掘削制御の自動化を図りたい。

おわりに、実証試験に対し、終始懇切なご指導と多大なご支援をいただいた大阪府港湾局の方々に深甚なる感謝の意を表するとともに、開発にご協力いただいた関係各位に深く感謝します。

## 35. 整地作業におけるブルドーザブレードの自動制御

愛媛大学：\*深川 良一・室 達朗

1. はじめに 整地作業時、ブルドーザブレードの操作は高度の熟練を必要とする。本研究では、こうしたブレード操作をファジィ制御に基づいて自動化し、整地作業における運転操作を容易にし、作業精度並びに作業能率の向上を図ることを目的としている。ここでは、まず車両が1次元的に変位するという最も単純な条件下で実施した室内整地試験の結果について報告する。次に、車両がより実際に近い2次元的な変位をする場合の数値シミュレーション結果について報告する。

### 2. 一次元的な変位場での室内試験

2.1 実験装置 実験装置の概略をFig. 1に示す。実験装置は土槽、台車、牽引装置、ブレード及びブレードを上下させるための装置よりなり、基本的に深川・室・鈴木(1991)で用いたものと同一である。車両の牽引速度は最小0.2(cm/sec)～最大2(cm/sec)である。リニアヘッドの最大上昇及び最大下降速度はそれぞれ17(cm/min)である。

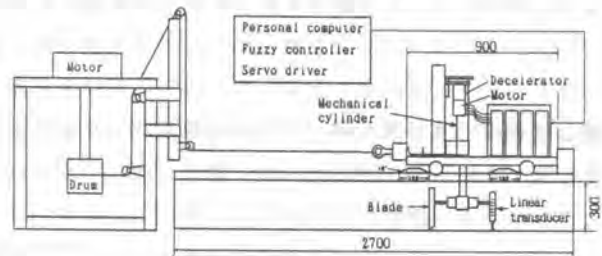


Fig. 1 Testing apparatus

リニアヘッドの先に、ブレードと基準面の高さを計るリニアトランスデューサー及びブレードの高さの変化(制御結果)を計る超音波変位

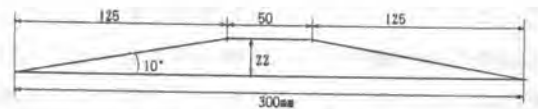


Fig. 2 Dimensions of obstruction

計を取り付け、前者を入力値としてファジィコントローラーに、後者を制御結果としてデジタルデータレコーダに接続した。機械的基準面としてモデル地盤の上に150×7.5×1.5(cm)の滑らかなアルマイト板を水平に置いた。

台車の四車輪の前方にFig. 2に示す同一形状の4つの障害物を設置し、台車の四輪が同時に障害物を登りはじめるようにした。つまり台車自体の水平性は実験中確保されるから、変位は一次元的に発生することになる。

2.2 システム構成 システム構成をFig. 3に示す。ファジィコントローラーは、リニアトランスデューサーから入力された値をもとに制御を行う。パワーユニットは、交流電源を整流平滑し直流電源をサーボドライバに供給する。サーボドライバは、ファジィコントローラーからくるアナログ速度指令電圧によってサーボモーターに供給する電圧を制御する。

### 2.3 実験方法

1)メンバーシップ関数の決定 まず基本的に入力側、出力側メンバーシップ関数は次のような特性を備えていなければならない。i)急速な入力情報の変化に対しては敏感に対応できなければならない、ただしii)敏感過ぎると制御結果が振動することも予想されるので収束性が良好でなければならない。以上の点を考慮して次のようなメンバーシップ関数の設定を行った。

①出力側メンバーシップ関数を一定とし、Fig. 4に示した入力側メンバーシップ関数のL/L<sub>0</sub>を0.05～

0.5の5種類変化させた。 $L/L_0$ が小さいほど入力値に対して敏感な反応を示すことが期待される。

②上の実験の検討により $L/L_0 = 0.1$ 程度であれば良好な制御結果が得られたので、次に入力側メンバーシップ関数の $L/L_0$ を0.1に固定し、出力側メンバーシップ関数の $K/K_0$ をFig. 5に示すように0.05~0.5と変化させた。 $K/K_0$ が小さくなるほどある入力値に対して大きな出力値が得られることが期待できる。

これらの一連の実験を牽引速度0.2, 0.9, 2.0(cm/sec)で行った。

2)牽引速度の変化 リニアヘッドの最大速度に対し牽引速度の変化が制御結果にどのように影響するかを調べた。本節1)の検討から、最適な入出力値に対するメンバーシップ関数が求められたので、ここではその最適なメンバーシップ関数を用いた。実験時の牽引速度を0.2~2.0(cm/sec)と変化させ実験を行った。リニアヘッドの最大上昇及び最大下降速度と障害物の斜面角度から、リニアヘッドが対応できる限界牽引速度は1.61(cm/sec)であるため、その付近の1.1~1.8(cm/sec)は0.1(cm/sec)きざみで実験を行った。

#### 2.4 実験結果及び考察

1)メンバーシップ関数について Fig. 6 に変位の標準偏差と $L/L_0$ の関係を示した。ここでいう変位とは制御規準面からのブレードの変位であり、0に近いほど望ましい。速度が速くなるにつれて標準偏差は $L/L_0$ の変化に敏感であり、 $L/L_0$ は小さいほうが有利である。つまり、ある入力値に対しやや大きいと判断させるよりも非常に大きいと判断させるほうがすばやく目標に接近できる。次に出力側のメンバーシップ関数における $K/K_0$ の影響について調べた。入力側の $L/L_0$ は0.1に固定している。Fig. 7に標準偏差と $K/K_0$ の関係を示した。 $L/L_0$ に比べ $K/K_0$

はその値の違いには余り関係してないことがわかる。入力された値のうち0近傍のものについては、ファジィ推論の結果に対する通常非ファジィ化(重心法)によって出力結果が変動するが、0近傍以外の値(例えば Fig. 5の入力部で0.5(V)以上の入力値)では全て最大値(5(V))としてファジィ推論の操作部へ移行するため出力結果に変動が生じないものと考えられる。

2)牽引速度変化について 標準偏差と牽引速度の関係をFig. 8に示した。リニアヘッドの対応する水平方向の限界牽引速度は1.61(cm/sec)であるが、その前後で顕著な傾向の変化は見られなかった。ファジィ制御では入力情報が均された形で出力されるため、このような穏やかな結果になったものと

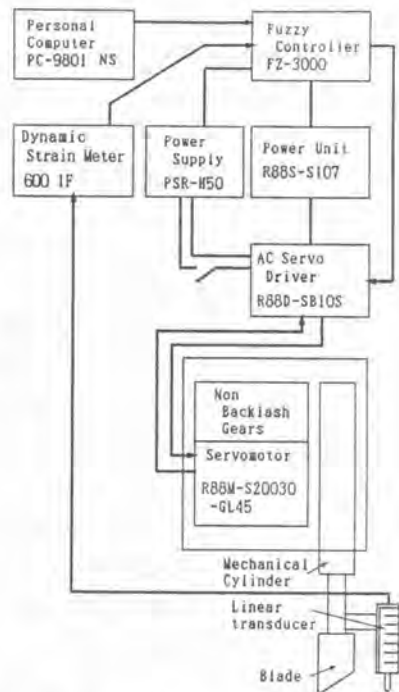


Fig. 3 Fuzzy control system

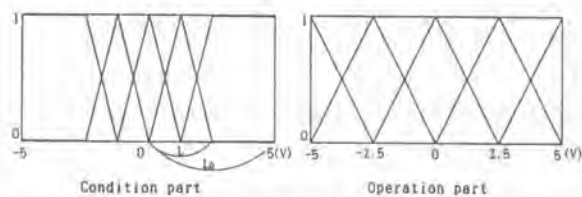


Fig. 4 Decision of  $L/L_0$  in condition part of membership function

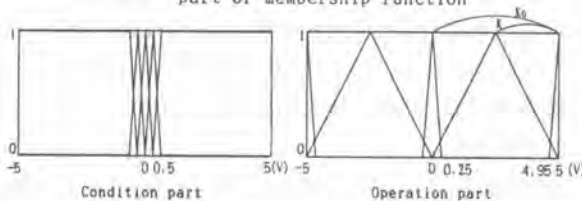


Fig. 5 Decision of  $K/K_0$  in condition part of membership function



判断される。いずれにしろ制御結果は、地盤の凹凸条件、制御機器の性能に依存するから、これらを総合的に判断して制御システムが構築されなければならない。

### 3. 二次元的な変位場での数値シミュレーション

#### 3.1 車両モデル

実際のブルドーザはFig. 9に示すように路面に障害物があると、前後に傾斜し、一般にこのようなケースではブレードの制御はより困難になる。そこで、Fig. 10に示すようにブレードの動きを単純化し、入力情報として、1)車両の基準位置からの鉛直方向変位、2)車両の傾斜角を、出力情報としてFig. 9のリフトシリンダによるブレードの鉛直方向変位を取るようにファジィ制御数値シミュレーションを実施した。入力情報のうち、1)はレーザ変位計を用いれば十分測定可能であるし、2)は勿論傾斜計などを利用することができる。このシミュレーションは、ただし、実際の整地作業をシミュレートしたものではない。ブルドーザがある時点で上記の1)、2)の情報を与えられた場合、次にファジィ推論に従えばいかなる制御結果が期待できるかを計算したものである。計算の前提は、地盤からの抵抗がなく、制御はごく短時間に終了するというものである。実際の整地作業をシミュレートしようと思えば、1)制御命令に対する地盤の応答、2)リフトシリンダの吐出速度、3)制御系における時間遅れ等の問題を考慮しなければならない。現時点では特に1)について予想することは、地盤条件によっては非常に困難である。

#### 3.2 制御条件

今回の計算例は典型的な2入力1出力のファジィ制御である。制御条件としては、入力部では鉛直方向変位、傾斜角双方についてファジィラベル数を5とした。つまり、基準位置より上側にある場合および登り勾配の場合をそれぞれ鉛直方向変位、傾斜角の正の側とすると、正の側で大きい(LP)、

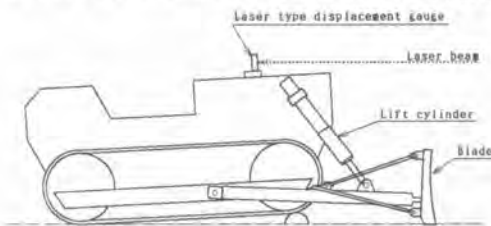


Fig. 9 Outline of bulldozer

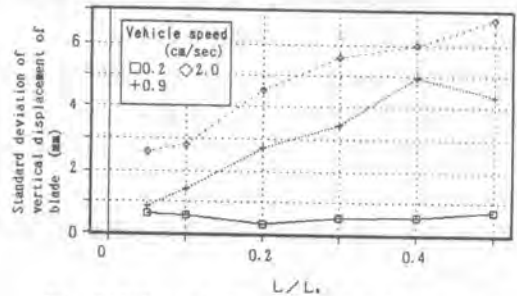


Fig. 6 Effect of  $L/L_0$  on standard deviation of vertical displacement of blade

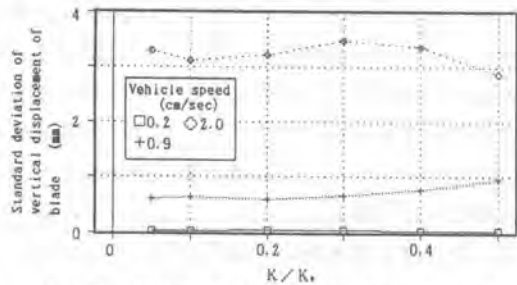


Fig. 7 Effect of  $K/K_0$  on standard deviation of vertical displacement of blade

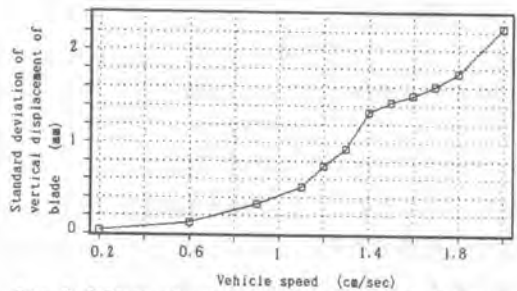


Fig. 8 Effect of vehicle speed on standard deviation of vertical displacement of blade

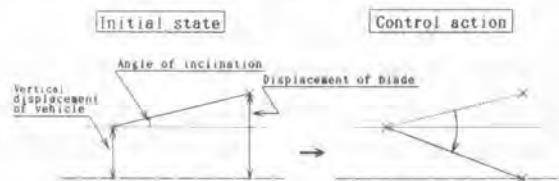


Fig. 10 Modeling of blade movement

正の側で小さい(MP), ゼロに近い(ZR)、負の側で小さい(MN), 負の側で大きい(LN)である。操作部においては、ファジィラベル数を3、5、7としてそれらの影響を調べた。例えばファジィラベル数が7つの場合、大きく上げる(UUU)から大きく下げる(DDD)まで7通り設定している。これらに対応するメンバーシップ関数の設定は、通常良く用いられる等間隔の2等辺三角形のものとした。

さらにファジィ推論規則をFig. 11に示すように設定した。

### 3.3 シミュレーション結果

シミュレーション結果をFig. 12に示す。路面条件の変化を同図に示すようなサイン曲線で表現している。水平方向長さ24m、基準面から最大で±50cmの高さを有しており、幾何学的に車両の鉛直方向変位(水平軸=0の点が基準)及び傾斜角を決定している。操作部におけるファジィラベル数を増やすことによって制御結果がかなり改善されることがわかる。ただし、ファジィラベル数が7つの場合でも定量的には若干改善の余地がありそうである。例えばファジィラベル数を9つに増やしてさらにきめ細かい制御を実施させたり、また人力側のファジィラベル数を増やすことも効果がある。路面の初期勾配が小さい場合は、相対的に細かい制御条件を設定できることになり、例えばFig. 13に示すようにさらに良好な結果を得ることができる。

実際のファジィ制御においては、今回の2入力に加えて油圧シリンダの予想ストローク長と実際に達成されたストローク長との差を入力情報として採用することにより実効のある制御結果が期待できる。なぜなら、このストローク長差が地盤の掘削・整地抵抗の大きさを表現していると考えられるからである。また、実際の三次元的な変位に対しては、車両の両側面において独立に今回のような二次元的な制御を実施することにより対応できる。

4. まとめ 整地問題におけるファジィ制御条件の影響を室内試験および数値シミュレーションにより明らかにした。今後、さらに、制御結果に及ぼす制御条件、地盤条件の影響を明確にしていく所存である。実験及びシミュレーションを手伝って頂いた本学修士課程学生・鈴木貴雄氏、元学生(現三井造船(株))・門川宏文氏、学部生・保積浩二氏に謝意を表す。

5. 参考文献 1) 深川・室・鈴木(1991): 建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp. 202-205.

		Angle of inclination				
		LP	MP	ZR	MN	LN
Vertical displacement of vehicle	LP	DDD	DDD	DDD	DDD	DD
	MP	DDD	DDD	DD	D	ZR
	ZR	DD	D	ZR	U	UU
	MN	ZR	U	UU	UUU	UUU
	LN	UU	UUU	UUU	UUU	UUU

Fig. 11 Rules in fuzzy reasoning

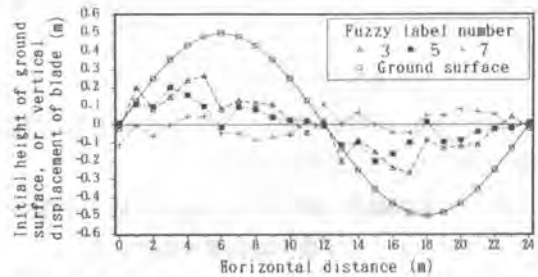


Fig. 12 Effect of fuzzy control conditions on simulation results

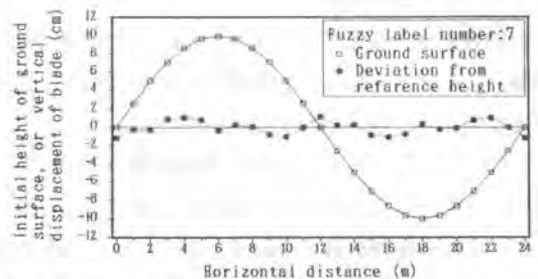


Fig. 13 Effect of degree of unevenness on simulation results

## 36. U型水上コンベヤ工法の開発

東洋建設(株)：後藤 聖一・皿澤 薫  
\* 埜村 昌司

### 1. はじめに

近年、多様化する浚渫埋立工事の中で、土砂を水上輸送する方法にはさまざまなものがあるが、従来の工法では輸送土砂の種類が限定される場合があったり、都市河川や湖沼、ダム等といった狭隘で曲折した箇所での土砂の輸送が困難な場合もある。海上における土砂処分場においても土砂の受け入れる量が制限されるとともに、余水による水質汚濁の問題もあり、土砂をそのままの状態での輸送する必要性が高まっている。

このような背景からU型水上コンベヤ工法(UFC工法)の開発を行うこととなり、平成元年度にベルト幅750mmの実験機を製作し、コンベヤ自体の性能確認を目的とした陸上実験と、コンベヤの水上での挙動を確認する水上実験を行った。

これらの実験結果を踏まえて、さらに能力を増強したベルト幅900mm、標準輸送能力300m<sup>3</sup>/hの実用機とコンベヤへの土砂定量供給装置を製作した。

本論文は、これらの実用機を中心としたUFC工法の紹介を行うものである。

### 2. UFC工法の概要

土砂等を水上運搬する方法は大別すると非連続輸送と連続輸送に分けられ、前者は土運船輸送、浮き桟橋によるダンプ輸送等、後者はパイプラインによる流体輸送、フローティングコンベヤによる輸送等が主な例として挙げられる。

これらのうち、UFC工法は連続輸送のフローティングコンベヤの一種である。U型水上コンベヤはフロートをゴムジョイントで連結し、その上にU型ベルトコンベヤを載せた構造になっている。

本工法の主要機器は、U型水上コンベヤ、土砂定量供給装置、バックホウ、発電機等で構成されており、それぞれの機器の仕様および使用数量は施工条件に合わせて決定される。また、使用する機器は、陸上または水上運搬により現地に搬入し、組立てられる。

施工中の輸送距離の調整は、U型水上コンベヤの連結・切り放し、また、U型水上コンベヤを曲げることにより簡単にでき、輸送量の調整は、土砂定量供給装置により行うことができる。

施工終了後は各機器を解体し、再び陸上または水上運搬にて搬出を行う。

### 3. 特長

- 1) コンベヤベルトの断面形状がU型なので、搬送物の荷こぼれがなく、軟泥からズリまでのあらゆる土砂の輸送が可能である。
- 2) コンベヤベルトの断面形状がU型なので、水平方向にフレキシブル性を持っていることや、フロー

夕間をゴムジョイントで連結すること、およびフロータ連結箇所においてコンベヤフレームを分割することで、1本のコンベヤで乗り継ぎなしで曲げることができる。

3) 土砂排出口の移動が容易なため、埋立等の施工管理が容易である。

4) 組立可搬式でトラック等による陸上運搬が可能であるため、湖沼、ダム、河川や狭い地域、障害物のある箇所等さまざまな施工現場に対応できる。

#### 4. システムの構成

UFC工法で使用する主要機器および付属機器の一覧を表-1に、U型水上コンベヤ側面図および平面図、標準断面図を図-1～3に示す。

表-1 主要機器一覧

機 器 名 称	規 格 ・ 形 状 寸 法	備 考
U型ベルトコンベヤ	ベルト幅 900mm ベルト速度 100m/min 機長 50m	220V×30kw 標準輸送能力 300m <sup>3</sup> /h
同上用フロータ	8m×2m×1.25m 12隻	50m/基当り、ウィンチ付き
フロータ連結用 ゴムジョイント	φ750mm×1800mm ドレッシングゴムスリーブ 6本	50m/基当り フロータ連結用
土砂定量供給装置	振動パイプレータ 3.7kw×2 0.25kw×2 油圧ゲート 5.5kw スクリュウフィーダ 15kw ベルトフィーダ 15kw	U型水上コンベヤへの土砂供給用
可搬式発電機	コンベヤ基数により選定	上記主要機器の電力供給用
揚土機	施工条件により選定	バックホウ、グラブ等 土砂投入用
集中制御設備		システムの運転管理
揚錨船	施工条件により選定	転錨作業用
交通船	〃	作業員の水上移動用

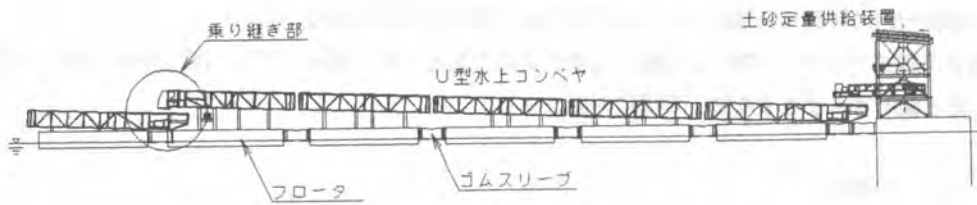


図-1 U型水上コンベヤ、土砂定量供給装置側面図

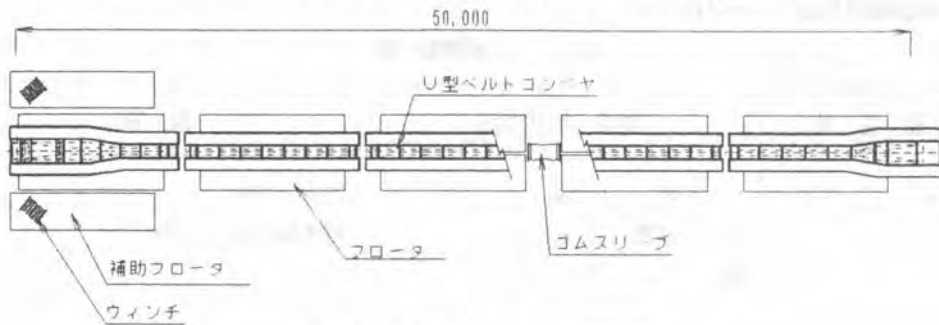


図-2 U型水上コンベヤ平面図

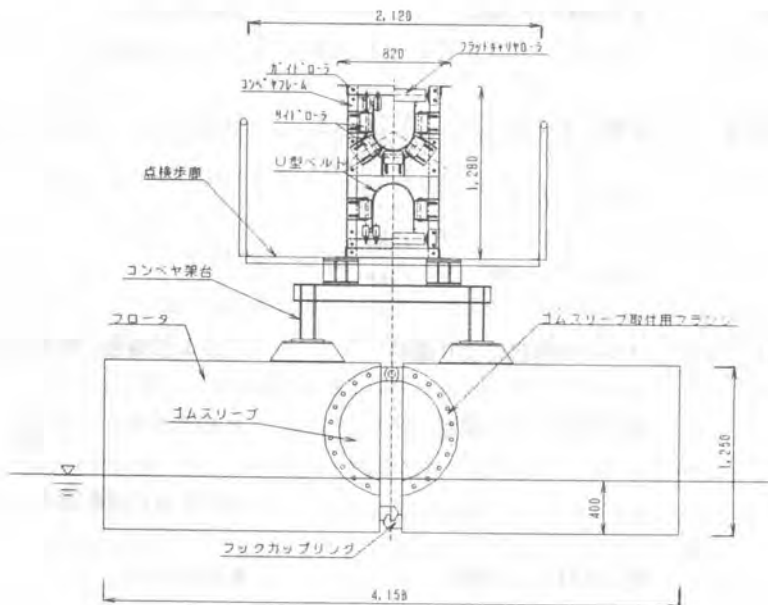


図-3 U型水上コンベヤ標準断面図

## 5. 施工要領

### 1) 施工フロー

U型水上コンベヤは組立可搬式である。施工条件に合わせたUFC工法の主要機器および付属機器を施工現場に搬入し、現地で組立てる。施工中の輸送距離の調整はU型水上コンベヤの連結、切り離したりして行う。

コンベヤ輸送に支障をきたす障害物等は、表-1に示す土砂定量供給装置により事前に除去を行う。なお、施工フローを図-4に示す。

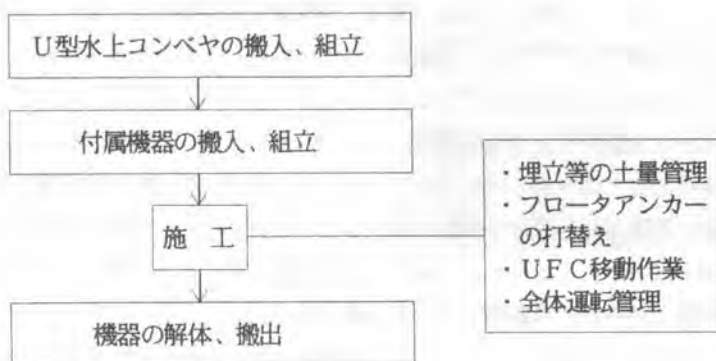


図-4 施工フロー

### 2) 対象土砂

軟泥からズリまでのあらゆる土砂を輸送することができる。ただし、流動性の高い土砂に対しては、輸送能力が低下する可能性がある。また、粒径が200mm以上の大きな石等に関しては、土砂定量供給装置の振動スクリーンにより事前に除去することができるが、鉄筋やワイヤ等の細長いものに関しては別途除去する必要がある。

### 3) 施工能力

定格輸送能力 (ベルト幅900mm)

ベルト速度100m/min

標準輸送能力 300m<sup>3</sup>/h

最大輸送能力 500m<sup>3</sup>/h

土砂輸送時のベルト断面図を図-5に示す。

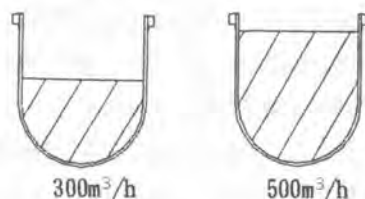


図-5 輸送時ベルト断面図

## 6. おわりに

UFC工法はあらゆる性状の土砂を輸送することができ、さまざまな施工現場に対応することができる新しいタイプの土砂輸送工法である。今後、施工実績を積み重ねながら、さらに充実した実用システムにしていく所存である。

## 37. 高含水土を対象とした土砂改良システムの開発

東洋建設(株)：後藤 聖一・鏡田 昌孝  
\*桂川 哲行

### 1. はじめに

建設現場などから発生する大量の汚泥は、環境への配慮や用地確保など様々な面で大きな問題となりつつあり、「処理処分過程の管理」や「資源としての再活用」などの指導（平成3年10月施行のリサイクル法など）が急速に強化されてきている。当社では、このような状況に対応するための一環として、高濃度浚渫の研究開発を進めており実用段階に入っている。しかし、搬出される浚渫汚泥は、運搬・処分といった立場からみると高含水の状態であるため、その性状改善技術が強く望まれている。さらに再利用の観点からは、浚渫汚泥を改良し客土や盛土などへの有効利用が可能となるシステムが求められている。また、同様の理由から、シールド工事など地下掘削工事においても、そこから発生する汚泥（産廃対象土）を一般残土並みに改良処理する技術が望まれている。

これらのニーズに対応する技術の一つとして、汚泥を連続的に固化改良することにより土砂搬出時の運搬性を向上したり、埋め立てた場合にも所定の強度を確保する方法が有望視されている。このため、当社では適応範囲の広い連続固化改良処理装置の開発と、これを核とした改良工法の確立を目標に研究開発を進めてきた。そして、今回、新しく土砂改良システム「DEI-KON SYSTEM」を開発した。

### 2. 「DEI-KON SYSTEM」の概要

「DEI-KON SYSTEM」の処理概念を図-2.1に示す。本システムは、掘削工事から発生する軟泥や高濃度浚渫土などの高含水土を処理目的に応じた改良材と連続固化改良処理装置により改良処理するものである。改良材には、主に、塑性化材、固化材、軽量化材の3種類がある。塑性化処理では、流動性の高い土砂の運搬性を向上させることができる。固化処理では、処理土に所定の強度を発現させることにより、残土として処分することや、盛土材や路盤材等への再利用が可能となる。軽量化処理では、固化材と軽量化材を併用して混合することにより処理土に強度を発現させると共にその重量を減少させることができる。そのため、処理土を盛土や構造物の裏込土に利用する場合には、盛土の際に生ずる地盤沈下の緩和や裏込土圧の低減を図ることができる。その他に、処理土の運搬性の向上を図るとともに所定の強度を確保するといった塑性化処理と固化処理も両方の改良材を併用することにより可能となる。

### 3. 連続固化改良処理装置とその特徴

#### 3.1 連続固化改良処理装置

連続固化改良処理装置の概念を図-3.1に示す。本装置は、土砂ホッパー内に投入された土砂を土砂フィーダ（スノーシェーブ）により二軸ミキサー内に定量供給するとともに2つの改良材ホッパー（図-3.1

中の無機系ホッパと高分子系ホッパ) から目的に応じた2種類の改良材を同時あるいは別々に添加し攪拌混合処理するものである。

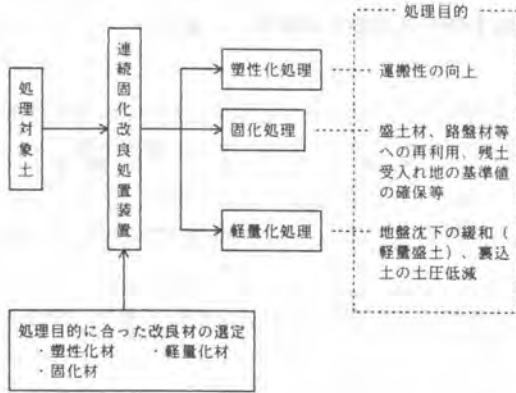


図-2.1 「DEI-KON SYSTEM」処理概念図

写真-2.1 システム稼働状況

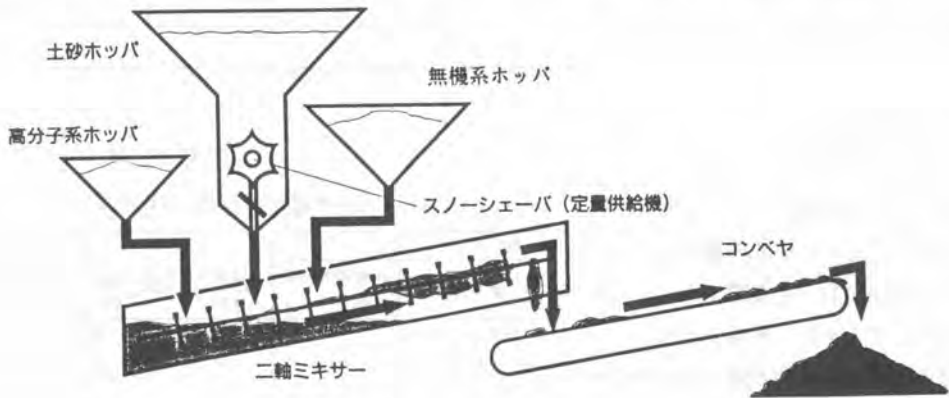


図-3.1 連続固化改良処理装置概念図

### 3.2 特徴

本装置には次に示す大きな特徴がある。

(1) 土砂の安定供給を可能にした土砂フィーダ

本装置の土砂フィーダ(スノーシェーバ)は、特殊機構(特許出願中)の採用により流動性の高い軟弱な土質に対し安定した供給能力を有している。このため添加材との混合比率が設定し易く、安定した連続処理を行うことができる。

(2) 混合効率の高いミキサー

攪拌翼を2軸パドルタイプとし高速回転させるため、コンパクトでありながら混合効率は90%



以上と極めて高くなっており、改良材の供給量を必要最小限に抑えることができる。また、騒音および摩耗対策としてミキサー内底面にはゴムライニングを施している。

### (3) 小さい設置場所

本装置の占有面積は7~8m<sup>2</sup>、容積は21~23m<sup>3</sup>であり、少ないスペースで施工が可能のため、用地確保の困難な都市土木や高さに制限のある施工場所への導入が検討しやすい。

## 4. 改良材とその特徴

表-4.1 高分子系改良材およびセメント系・石灰系改良材の一般的な特徴

本システムでは、現在最も多く使用されている改良材を主に使用することとし、塑性化処理には高分子系改良材、固化処理にはセメント系・石灰系改良材、軽量化処理には発泡スチロールビーズ（EPSビーズ）およびセメント気泡材を用いる。高分子系およびセメント・石灰系改良材の一般的な特徴をまとめたのが表-4.1である。

成分	無機系	有機系
	セメント系・石灰系	高分子系
一般的な添加量 (泥土1m <sup>3</sup> 当たり)	20~100kg	1~5kg
適用土質	広範囲の土質に適用の可能性がある	砂質土に適するが粘性土でも使用可能
改良時間 (ダンプ車で搬出可能な程度)	30分程度	数十秒程度
改良土性状	添加量を増やすと改良強度が増大する。 ( $qu=0.5\sim 10\text{kg}/\text{cm}^2$ )	塑性化されるが、強度は期待できない。 (強度増加のためにセメントを添加する場合もある)
	強アルカリ土	中性土

## 5. 改良効果

### 5.1 土質条件

本システムを検証するため平成3年11月に北海道茨戸川土捨場において浚渫土を対象として、また、平成3年12月には福島県阿武隈川流域下水道建設事務所残土処分地においてシールド工事現場から搬出された掘削残土を対象としてそれぞれ現地実験を行った（以下、北海道での実験を実験1、福島県での実験を実験2と呼ぶ）。各現場で

表-5.1 各実験での原泥性状

実験番号		1	2		
改良対象土		北海道茨戸川浚渫土	福島県阿武隈川流域下水道工事掘削残土		
			試料土1	試料土2	試料土3
粒度分布 (%)	粒径(2000μm以上)	0	41.8	46.7	19.7
	砂分(74~2000μm)	43.1	40.3	32.9	49.5
	シルト分(5~74μm)	33.2	8.9	11.4	26.8
	粘土分(5μm以下)	23.7	9.0	9.0	4.0
コンシステンシー (%)	液性限界	49.5	NP	NP	NP
	塑性限界	27.1	NP	NP	NP
	塑性指数	22.4	NP	NP	NP
土粒子真比重		2.62	2.66	2.65	2.70
含水比 (%)		51.8	29.5	28.2	39.1
強熱減量 (%)		7.3	2.1	3.6	3.5
湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )		1.72	1.98	1.89	1.86

の原泥性状を表-5.1に示す。実験では原泥に加水し、改良対象土の含水比の変化による改良土の性状の違いを調べた。

### 5.2 塑性化処理

高分子系改良材による改良結果を表-5.2に示す。改良効果の測定方法には、塑性度の測定にはスランプ試験（JIS A1101準拠）を、また、ダンプトラック等での運搬中の繰り返しによる流動化を調べるためにフロー試験（JIS R5201準拠）を選定した。1～3kg/m<sup>3</sup>程度の添加量で一般残土並に運搬が可能な程度の塑性化が図れたことがわかる。

表-5.2 高分子系改良材による改良結果（実験1）

含水比 (%)	添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	スランプ値 (cm)	
		改良前	改良後
53.0	1.0	25.0	3.6
	3.0	〃	0.5
	5.0	〃	0.5
61.0	1.0	25.0	7.0
	3.0	〃	3.0
	5.0	〃	2.0

### 5.3 固化処理

セメント系改良材による改良結果を表-5.3に示す。混合効率は、ミキサーの回転数が90rpmでは65%、120rpmでは90%以上となり回転数を120rpm以上にすることで混合効率を90%以上に確保できると考えられる。

表-5.3 セメント系改良材による改良結果（実験1）

含水比 (%)	添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	改良強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		ミキサー回転数 (rpm)
		$\sigma_1$	$\sigma_{2e}$	
48.5	100.0	15.3	27.4	90.0
53.0	〃	2.71	3.33	〃
〃	〃	3.91	5.58	120.0
73.0	〃	0.39	0.59	90.0

### 5.4 軽量化処理

軽量化処理では、軽量化材と改良対象土との混合性を確認することを目的とした。ここでは気泡材についての実験結果のみを示す（EPSビーズを用いた結果については省略）。

セメント系改良材と気泡材による改良結果を表-5.4に示す。

処理土の単位体積重量の減少率

表-5.4 セメント系改良材と気泡材による改良結果（実験2）

{100 - (改良後の単位体積重量 / 改良前の単位体積重量) × 100} は、気泡材添加率が26.0%、37.0%、54.0%に対し、含水比が49.0%の場合には13.1%、20.9%、27.0%、含水比が57.0%の場合が10.0%、24.3%、40.1%であり、添加率の増大に伴いほぼ直線的に増加する。気泡材は微細なためその混合状況は目視で確認できないものの、添加率と単位体積重量の減少率との関係から、気泡材は十分に混合されたと推定される。

試料土	含水比 (%)	セメント添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	気泡材添加率 (Vol%)	改良強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		単位体積重量 (g/cm <sup>3</sup> )			
				$\sigma_1$	$\sigma_{2e}$	改良前 (セメント添加後)	改良後		
							7日	28日	平均
3	49.0	100.0	26.0	1.68	2.20	1.720	1.471	1.517	1.494
	〃	〃	37.0	1.30	1.71	〃	1.357	1.362	1.360
	〃	〃	54.0	0.21	0.39	〃	1.233	1.279	1.256
	57.0	〃	26.0	0.69	0.93	1.660	1.508	1.479	1.494
	〃	〃	37.0	0.55	0.72	〃	1.262	1.252	1.257
	〃	〃	54.0	0.28	0.42	〃	1.038	0.949	0.994

## 6. おわりに

連続固化改良処理装置を核とした土砂改良システムの開発とその確認実験を行った。今後は本システムとその前後工程となる処理対象土砂の供給方法、処理済み土砂の搬送方法、その組み合わせ、工法としての確立を図るとともに、処理量、改良目的、用途等さまざまな要求に対応できるようシステムの充実を図っていく予定である。

## 38. 小型遠隔操縦除草機械の開発

建設省：上村 弘・\*直井 聡一  
 (株)クボタ：福田 稔

### 1. はじめに

河川堤防や道路法面除草は、人力による肩掛式、機械を用いたハンドガイド式及び自走式によって行われている。これらの作業は、ほとんどが斜面上のため、転倒等危険性が伴うなど建設作業における典型的な3K作業である。また、作業員も年々高齢化し、減少する傾向にある。そこで、これらの作業の省力化、効率化並びに作業員の負担軽減と安全性の確保と共に、建設作業のイメージアップを図るため無線遠隔操縦除草機械の開発を行ったものである。

### 2. 除草作業の現状

堤防等の維持管理のための除草作業は、①手抜き作業による除草、②刈取り除草として、人力、肩掛式草刈機、ハンドガイド式草刈機（写真-1）、搭乗式草刈車、③除草剤による処理等で行われているが、そのほとんどが②によって行われている。

また、除草面積に対して肩掛式草刈機及びハンドガイド式草刈機が、北陸地方建設局での全体除草面積に対して約82%と大部分を占めている。（図-1）

一方、作業員（オペレータ）からこれらの作業に対するアンケート調査を実施した結果は、①夏期炎天下での作業である、②急斜面で滑って危険、③騒音・振動が大きく疲労が多い等、これらに対する改善要望が多かった。また、除草作業に従事する作業員の年齢構成は、40才以下で26%、40才台で39%、50才以上が35%となっている。



写真-1 ハンドガイド式による作業

### 3. 調査内容

調査は、昭和63年度に無線操縦式除草機械の市場調査、現場適応調査と予備試験機の製作を行い、平成元年度には、予備試験機の適応性調査を含め、ロボット化構想の検討、開発機械（ロボット化ベースマシン）の製作を行った。また、2年度には、開発機械による①走行性、②作業可能法勾配、③エンジン出力、④前後進刈り、⑤作業装置の回転数、⑥作業能力、⑦草刈装置の刈高さ制御の調査を行った。そして、3年度以降、自動化及びロボット化に向けた調査を行っている。

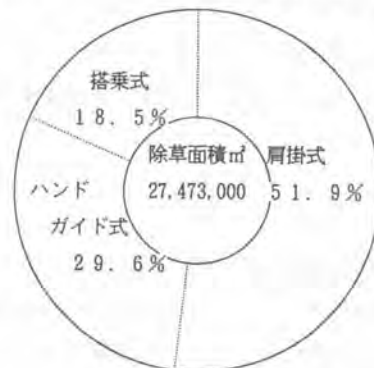


図-1 除草機械別作業比

#### 4. 調査結果

##### 4.1 性能調査

###### (1) 走行性及び操作性

堤防法面においては、平坦地での走行に比べて重力の影響で谷側方向に引っ張られる力が生じる。さらに、左右のクローラにかかる荷重も山側のクローラに比べて谷側のクローラの方に多くかかるなど、様々な原因により直進性が悪くなり、そのため機械の方向修正も頻繁となる。よって、傾斜地で除草機械自身の直進性と操作性を調査した。

その結果、法面勾配  $7^\circ$  (1 : 8.1) で 12m 走行して 1.5m ズレ落ち、法面勾配  $2.7^\circ$  (1 : 2) では 12m 走行して 5m ズレ落ちた。この結果を受け、傾斜地では谷側クローラの回転を山側より速くすることにより操作回数を低減し、操作を容易にすることを試みた。これは、傾斜地における操作性を向上させるため送信機で左右のクローラ回転数に差を付ける（以下、オフセットと呼ぶ）もので、オフセット調整を設けたことでスティック操作回数が約 3 割減少し、オペレータの負担が軽減された。

また、操作は指先で行えるためハンドガイドのクラッチ操作より、はるかに負担は少ない。

###### (2) 作業可能法勾配

無線操縦により、登坂可能な法面は全て作業の可能性がある事から、最大作業可能法勾配の調査を行った。その結果、法面と平行に走行した場合、法面角度  $30^\circ$  (1 : 1.7) まで作業可能であった。また、急斜面では、法面に対して垂直に作業を行うことが可能であり、この時の安全作業が可能な法面角度は  $35^\circ$  (1 : 1.4) であった。

###### (3) 前後進刈り

開発機械は、後進時でも作業可能にすることをねらった。そこで、前後進刈り（図-4）で試験を行ったが、後進作業時の履帯下部の草は走行による倒伏による除草作業精度への影響は殆ど無く、有効であった。よって、法面上での旋回作業から開放され、法面を損傷することが少なく安全かつ効率的な作業が可能である。

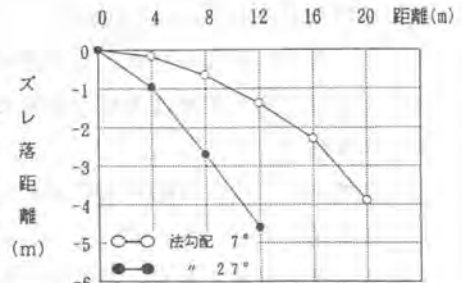


図-2 法勾配による直進性

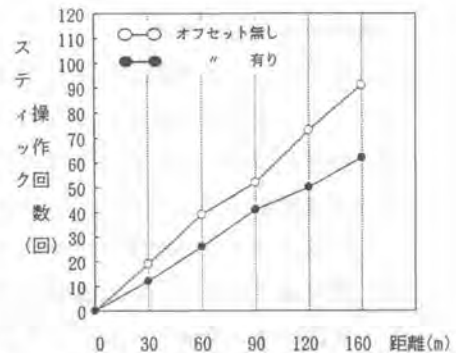


図-3 スティック操作回数

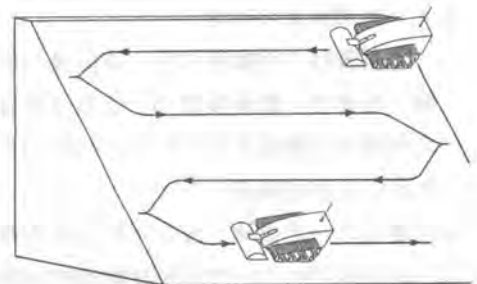


図-4 前後進刈りの作業方法

#### (4) 作業装置の回転数

作業装置の回転数は、刈刃の回転周速と作業速度から決められる。当初は、作業速度2 km/hとして周速を約25m/s(1250rpm)に設定したが、草の種類によっては刈り残しが生じた。よって、繁茂した様々な草にも対応可能とするため、周速を約40m/s(2100rpm)に変更し調査した結果、除草性能は大幅に改善された。

#### (5) 作業能力

作業能力は、法面勾配と作業速度によって大幅に異なるが、調査の結果、約1,000㎡/h以上の除草能力があった。また、ハンドガイド等の機械で施工出来ない、勾配のきつい法面でも除草作業が可能であり、安全施工及び省力化施工が可能となった。

### 5. 開発機械

開発機械の特徴について以下に示す。また、開発機械を写真-2に、主要諸元を表-1に示す。

#### 5.1 無線遠隔操縦の特徴

- ① オペレータは法面から離れた平坦地で作業ができ、安全かつ疲労が少なくなる。
- ② 操縦範囲は、半径約100mである。
- ③ 車速設定ボリュームで、前進、後進、共に4.0 km/hまで無段変速が可能。
- ④ 草刈高さをボリューム調整で設定可能。
- ⑤ 緊急時は、遠隔でエンジン停止が可能。
- ⑥ オフセット調整により法面走行が容易。



#### 5.2 車体の特徴

- ① 駆動系が油圧式のためモアの回転を正逆転することが可能。
- ② 後進時も作業が可能のため法面での旋回作業の必要がなく安全。また、法面も傷めない。
- ③ ラジエータファンを自動正逆転式としたためラジエータに埃が付着しにくい。
- ④ 混信等受信異常時は自動で駆動が停止する。

#### 5.3 制御装置の構成

本装置は、手動操作部、遠隔操作部、制御部、動力装置部、駆動装置部、自動直進装置部及び草刈装置部で構成されている。(図-5)

### 6. ロボット化の検討

河川堤防の一定領域で無人走行できる草刈機を開発するため法面での走行方法を試験結果に基づき決定し、次に法面走行の問題点と技術的対応の検討を行った。

写真-2 開発機械全景

表-1 主要諸元

エンジン	形 式	水冷直立式4サイクルディーゼル
	排 気 量	1.335 cc
	出力/回転数	2.4 PS / 2600 rpm
無装 線置	周波数/方式	40 MHz帯/PCM
	電波到達距離	100 m
機 体 寸 法	全 長	2,880 mm
	全 幅	1,410 mm
	全 高	1,000 mm
	最低地上高	160 mm
重 量		1,150 kgf
接 地 圧		0.170 kgf/cm <sup>2</sup>
静的転倒角		52度(左右方向)
走 行 装 置	形 式	ゴム履帯式/左右独立油圧駆動
	クローラ中心距離	970 mm
	クローラ幅	300 mm
車 速		0~4.5 km/h
作 業 装 置	駆 動 方 式	油圧駆動/ハンマナイフ式
	刈 幅	1,200 mm
	刈 刃 枚 数	72枚
	刈軸回転数	2,000 rpm
	装着方式	3点リンク直装式
最大除草法面角度		35度

## 6.1 草刈装置の自動追従

法面上に急激な段差といったものが存在すると、刈高さ制御では対応できずに地面をけずったり、刈り残しが発生する恐れがある。これらを防ぐためには、地上に対する刈高さを正確に計測し追従する作業装置の自動追従機構が必要になる。これを実用化するにあたっては、①雑草や刈草に影響されず、地上高さを正確に検出するセンサの開発。②装置の追従性を高めるため、応答性のよい油圧制御機構の開発が必要と考えられる。

## 6.2 自動直進走行機構

自動直進走行については、実際に法面上を走行し、自動化にあたっての問題点の整理抽出を行った上で①ジャイロと走行距離計を組み合わせた自立走行制御、②外部支援による位置方位計測制御などを用いた機構の検討が必要である。

## 7. まとめ

- ① 本機の開発で、オペレータが法面上での作業から開放され作業の安全性が大幅に向上した。
- ② 肩掛式の作業条件下（急法面勾配）でも、当該機械の導入が可能であり省力化が図られる。
- ③ 操作は指先コントロールが可能である。
- ④ カッタの回転方向を正逆転することができるので、前後進刈りが可能となり大幅な作業の効率化が図られた。
- ⑤ 受信異常時の駆動停止機構により、外部電波による誤操作が防止できる。
- ⑥ 将来の除草機械として自律走行制御（ジャイロ等）を行うことにより、ロボットに近い除草機械の開発が可能である。

## 8. おわりに

これまでの調査で開発した草刈機（小型遠隔操縦式）は、平成3年度から堤防法面除草用として現場に導入されている。また、ロボット化を行うため、ジャイロやレーザ誘導などによる制御システムを導入するための基礎調査を継続的に進めていきたい。

今後も、現場で開発機が十分使用され安全施工と省力化に大いに寄与することを望むものである。

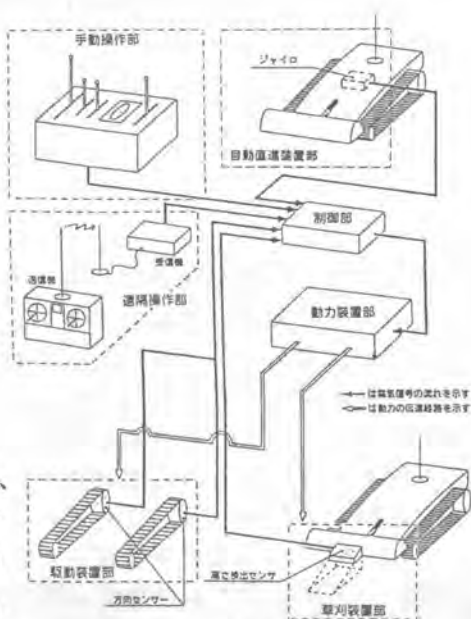


図-5 装置の構成



図-6 装置の自動追従機構

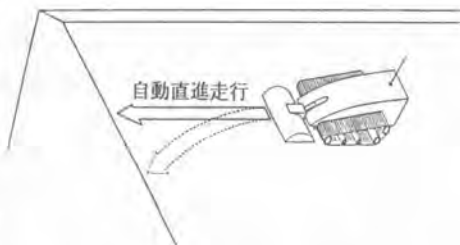


図-7 自動直進走行機構

# 39. 低騒音型油圧ブレーカの開発

建設省：杉山 篤・\*山中 勇樹

## 1. まえがき

土木構造物、建築構造物の解体や、舗装版の打換に、油圧ショベルに油圧ブレーカを取り付け使用する場合が多い。油圧ブレーカを含めた削岩機を使用する作業は、特定建設作業の1つに取り上げられており、騒音規制法で規制されている。

削岩機を使用する作業は、他の特定建設作業と比較しても非常に多くの騒音苦情が寄せられている。平成2年度騒音規制法施行状況調査によると特定建設作業の騒音苦情対応件数に占める削岩機の割合は70%である。このため、建設工事の騒音苦情を低減するためにも、立ち遅れている油圧ブレーカの騒音を低減する必要がある。したがって、土木研究所機械研究室では平成2年度から4カ年計画で環境庁の予算により油圧ブレーカの低騒音化を行っている。

表-1 建設作業騒音の苦情実態

建設作業の種類	苦情実態							状況			
	苦情件数	報告の遅延件数	立入検査件数	騒音の測定件数	測定適合	測定不適合	測定判定不能	調査に基づく行政指導件数	その他の行政指導件数	改善勧告までのもの	改善命令に至ったもの
指くい打機等を使用する作業	288	73	228	58	27	28	3	205	47	0	0
地盤を掘削する作業	6	1	4	1	1	0	0	4	0	0	0
区内の舗装版を使用する作業	819	144	600	141	68	68	5	630	100	0	0
空気圧縮機を使用する作業	71	27	56	35	24	9	2	54	4	0	0
コンクリートプラント等を設けて行う作業	2	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0
小計	1,186	245	887	235	120	105	10	895	151	0	0

注)平成2年度 騒音規制法施行状況調査(環境庁大気保全局特殊公害課)より

## 2. 油圧ブレーカの騒音発生の現状

### 2.1 対象油圧ブレーカ

対象とする油圧ブレーカは、油圧ショベル搭載型としている。これは、構造物の解体、舗装版の打換等で主に使用され需要が多いが、騒音対策が遅れており苦情が多いことから選定した。対象規格としては、需要が多い0.25m<sup>3</sup>クラスの油圧ショベルに搭載したタイプとした。(本体重量約200kg)

### 2.2 騒音測定方法

周囲騒音測定は、基本的には(社)日本建設機械化協会規格「建設機械の騒音レベル測定方法」に則り、7m、15m4方向の高さ1.5mにおいて、図-1に示す配置で行った。測定器の構成を図-2に示す。また、その状況を写真-1に示す。



写真-1 周囲騒音測定状況

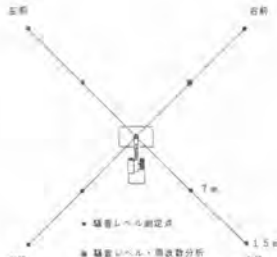


図-1 周囲騒音測定点

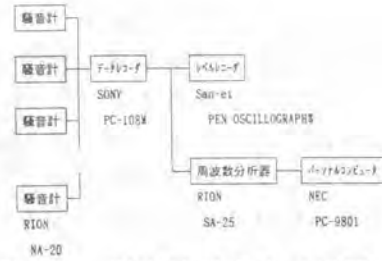


図-2 測定計器構成(周囲騒音)

油圧ブレーカの騒音対策を行うために、騒音源を調査する必要がある。その方法として、自動車産業、建築騒音の分野などで騒音源特定のため近年採用が多くなっている音響インテンシティ法を用いた。この方法の特徴は、音源近傍における音の放射性状が直接ベクトル量として得られ、音源探査に利用できることである。

本研究では、近接した2個のマイクロホンから得られた音圧と、その差分から近似的に得られる粒子速度との積の時間平均として求める方法(2マイクロホン法)を用いた。測定点を図-3、測定計器を図-4、測定状況を写真-2に示す。

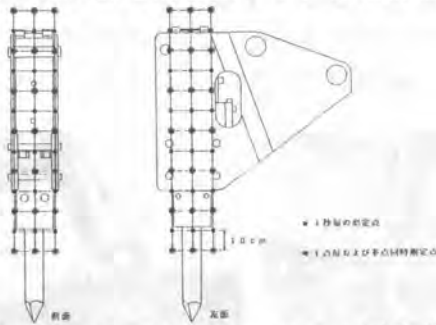


図-3 音響インテンシティ測定点



写真-2 音響インテンシティ測定状況



図-4 測定計器構成(インテンシティ測定)

### 2. 3 測定結果

周囲騒音測定による打撃音の発生状況の波形(dB(A))を図-5に示す。この波形は、衝撃的打撃が連続的に発生していることを示している。周囲騒音測定結果を、表-2に示す。

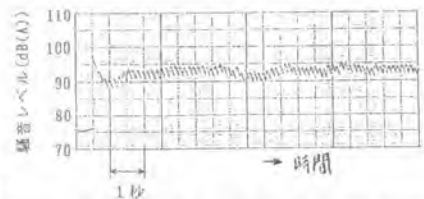


図-5 騒音レベルの記録波形

表-2 騒音レベル測定状況

打撃条件	距離	7 m				1.5 m				騒音レベル (dB(A))	備考		
		左側	右側	平均	左側	右側	平均	左側	右側				
初期	3.10	9.3	9.4	9.5	9.4	8.7	8.7	8.8	8.6	9.0~9.3	110	-28	
進行中	3.60	9.6	9.4	9.5	9.5	8.8	8.8	8.8	8.8	~123			
中期	初期	9.3	9.2	9.3	9.2	9.3	8.6	8.7	8.6	8.7	1540(1720)	130	
	進行中	4.60	9.4	9.3	9.4	9.3	8.7	8.6	8.5	8.8			
	観測後	4.20	9.1	8.9	9.0	8.9	8.3	8.3	8.2	8.3			
後期	初期	5.40	9.5	9.6	9.6	9.7	8.6	8.8	8.9	8.9	2020(2040)	150	
	進行中	4.30	9.4	9.4	9.4	9.5	8.7	8.7	8.8	8.7			
終了	初期	4.70	9.3	9.4	9.4	9.4	8.6	8.8	8.8	8.8	1125	130	
	進行中	4.60	9.3	9.3	9.3	9.3	9.5	8.7	8.7	8.7			

騒音レベルは、打撃音の最大値の平均で示す(騒音レベルA)。  
 \* ( ) は騒音レベル \*\*開始前に40℃にセット、気象の影響で測定中に低下



音響インテンシティ法による測定結果として全帯域における音の強さを表すコンタ図を図-6に示す。傾向としては、ブレーカ内部でチゼルが打撃されている辺り、側面ブラケット部の窓の辺り、チゼル部分を中心に、ブレーカ本体の全体から音が放射されていることがわかる。

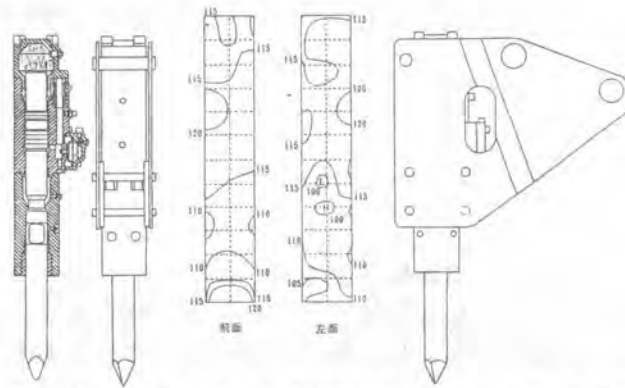


図-6 音響インテンシティ測定結果・コンタ図（全体域）

### 3. 油圧ブレーカの騒音低減対策

#### 3. 1 対策部品の試作

ブレーカから放射される音を低減するためには、ブレーカ表面から発散される音を遮断するとともにブレーカ本体振動を抑える必要がある。このため、ブレーカ表面を制振材で囲み、さらに遮音効果を期待して鋼板（SS400）の防音カバーで覆い騒音低減の効果を調査した。

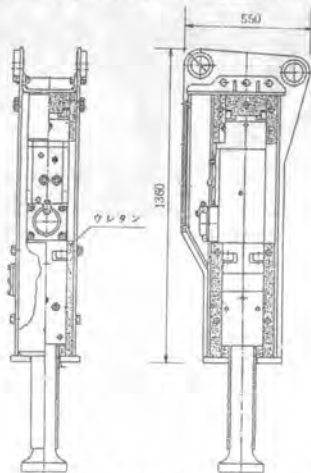
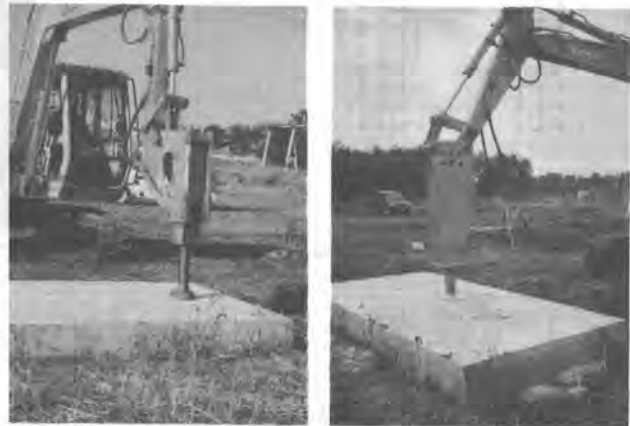


図-7 騒音低減対策部品の形状



騒音低減対策前（防音カバーなし） 騒音低減対策後（防音カバーあり）

写真-3 騒音対策前後の概観

#### 3. 2 測定結果

騒音低減対策前のケースと油圧ブレーカを防音カバーのみで覆ったケースのバルブ状ロッドによるコンクリート版打撃による騒音を比較すると、騒音レベルで3 dBと低減の効果が認められた。これは、油圧ブレーカ表面から発せられる音が遮音された効果によるものと考えられる。

騒音低減対策前のケースと防音カバー及び制振材により騒音低減対策を講じたケースの周囲騒音測定結果を、表-3に示す。7 m地点における騒音の平均値でバルブ状ロッドによるコンクリート版打撃は約5 dB、ポイントチゼルによるコンクリー

ト版破碎は約7 dB、花こう岩破碎は約7 dB低減されている。

それぞれの騒音データを周波数分析した結果を、図-8に示す。結果から明らかのように、500 Hz以上で騒音が低減していることがわかる。

以上の調査結果から、以下のことが判明した。

- ① 防音カバーとその内側に制振材を併用することにより、5～7 dB程度の騒音低減が図れる。なお、防音カバーを単独で用いると、3 dB程度の騒音低減が図れた。
- ② 試作したロッドカバーはロッド（チゼル）の打撃が不安定な時に有効であり、ポイントチゼルによる打撃開始時にも騒音低減効果が期待できる。

表-3 騒音低減の効果

単位：dB(A)

打撃条件						騒音
ケース	打撃種別	フレーム	制振材	rod cover	その他の対策	7m
ケースA-1	バルブ状ロッドによる打撃	対面前	なし	なし	なし	100
ケースG-1	バルブ状ロッドによる打撃	窓なし	ウレタン	あり	なし	95
ケースA-1	コンクリート版破碎	対面前	なし	なし	なし	96
ケースG-1	コンクリート版破碎	窓なし	ウレタン	あり	なし	89
ケースA-1	花こう岩破碎	対面前	なし	なし	なし	99
ケースG-1	花こう岩破碎	窓なし	ウレタン	あり	なし	92

ケースA-1：騒音低減対面前  
 ケースG-1：騒音低減対面後

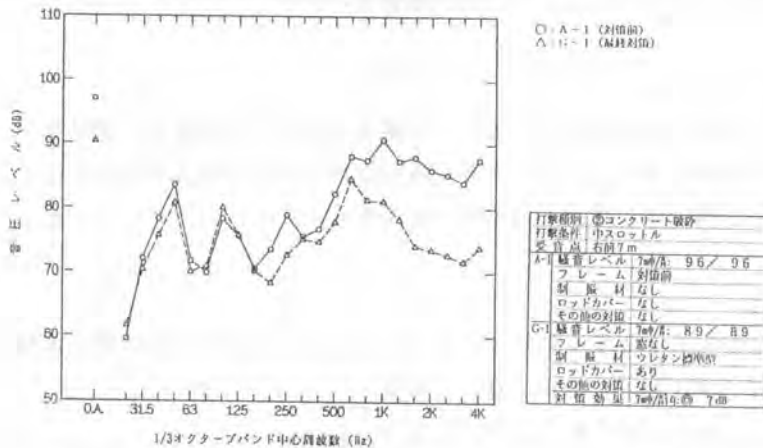


図-8 周波数分析結果（コンクリート版破碎）

#### 4. 今後の予定

今後は、実際の使用に耐える構造の検討及び作業性を損なわない、より一層の低騒音化に向けての改良が必要であると考えます。このため、制振鋼板の利用、防音カバーの防振支持等の対策を行い、その効果及び試作品の耐久性調査を行う予定です。

## 40. 湿雪の空気輸送システムの開発

建設省：杉山 篤・\*米村 克己

### 1. まえがき

近年、積雪地域の冬期間における経済活動を維持する上で、道路交通の占める割合が大きいことから、冬期間においても十分な交通容量を確保することがますます重要になってきている。現在、幅員の広い道路においては多数の除雪機械が除雪事業にあたっているが、狭隘道路においては、人力で除雪を行っているのが現状である。また、融雪溝や融雪施設などの水資源を利用した除雪設備は、設置条件に問題が残っているため、これに代わる雪処理技術の開発が望まれている。

これらに鑑み、土木研究所機械研究室では効率的な雪処理技術の開発を目的とし、気体搬送装置を製作し、直線搬送実験により気体搬送時の湿雪の挙動及び搬送特性等を実験的に明らかにした。また、高所・曲線搬送などの応用実験を行い、実用的な条件においても効率的に搬送できることを確認した。

なお、本研究は、科学技術庁の科学技術振興調整費により、昭和63年度から平成4年度において実施したものであり、その研究概要を取りまとめたものである。

### 2. 研究目的

本研究は、湿雪の気体搬送時における挙動及び雪質と搬送性能の関係を明らかにし、効率的搬送条件を解明するとともに、より合理的な湿雪の搬送装置の開発を行い、円滑な冬期交通の確保及び経済活動の維持、雪の有効利用を図ることを目的としている。

### 3. 研究方法

本研究は、昭和63年度を初年度とする3か年（第Ⅰ期）において基礎的な知見を蓄積し、引き続き2か年（第Ⅱ期）において実用技術の開発に関する研究を行うものである。

第Ⅰ期においては、実用化もしくは考案されている気体搬送技術についての性能及び機構等の調査を行い

実験装置を製作し、実験及び装置の改良を各年度で実施した。

第Ⅱ期の初年度にあたる平成3年度においては、実用化に向けて実験装置の小型・軽量化

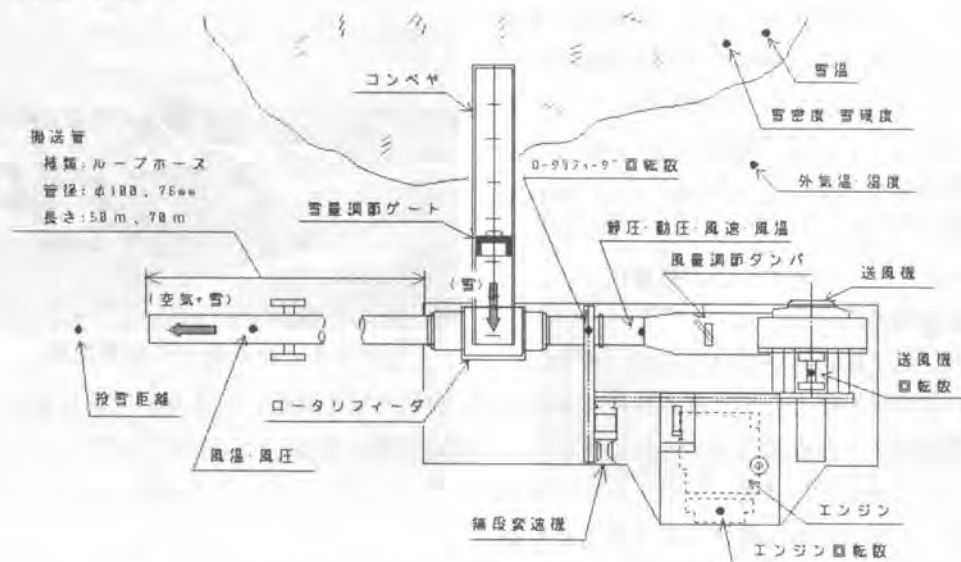
図-1 湿雪の気体搬送実験の因子

年度	因子
S 63	基本的性能の確認
H 元	風速、風圧、搬送管材質、雪投入量
H 2	風速、風圧、搬送管材質、雪投入量、搬送距離
H 3	風速、風圧、搬送管径、雪投入量、搬送距離、雪質、曲び、高さ
H 4	モデル機の製作及び性能確認試験

を図った改造を施し、その性能確認並びに高所搬送、曲線搬送といった条件で実験を実施している（図-1参照）。

実験装置は機構の改良を加えて（平成元年～平成2年）、エンジン、送風機、ロータリフィーダ、コンベヤ、搬送管から構成され、風速、風圧、雪投入量を無段階に調節できるものとした。

実験は、新潟県長岡市の長岡ニュータウン内に実験場を設け、静圧（搬送抵抗）、雪投入量、エンジン回転数等を主な測定項目として、図-2に示すような配置で実験を行った。雪の投入量についてはスノーペイア（コンベヤ）の通過断面と速度で管理設定し、風速については雪投入前にエンジン回転数及び風量調節ダンパにより目標風速に設定した。風圧については、送風管に設置されたピトー管及び搬送管継手部ポート（6箇所）より圧力計で計測し、アンプを介してデータレコーダに記録した。また、エンジン回転数、送風機回転数、ロータリフィーダ回転数については、それぞれの軸の露出部に反射テープを貼付し光電式回転計で計測し、アンプを介してデータレコーダに記録した。その他、実験前後において雪の密度、硬度の計測を行った。



注) 搬送時はホースが伸びるため、50m→約60m、70m→約85mとなり、  
図中の数値は搬送前の数値である。

図-2 実験装置の配置と計測位置（H3年度）

#### 4. 実験結果

##### (1) 第1期の成果

昭和63年度に実験装置を製作し、装置の基本性能を確認した。当初、雪混合装置は人力

でホッパに投入する機構であったため、十分な混合率を得られなかった。このため、平成元年度に雪を強制的に搬送管へ送り込む機構に改造した。これにより、平成元年の実験では、最大3.19%の体積混合率を達成でき、一般的な空気搬送装置と同等の搬送性能が得られた。

また、平成2年度においては、搬送管材質と搬送性能の関係を明らかにするため実験を行った。その結果、塩化ビニル管、ループホース、サニーホースの順に抵抗が小さくなっているものの、高速かつ大量輸送においては、塩化ビニル管が有利になる傾向がみられた。しかし、一般の人が安全に使用する低速小容量の設備においては、取り扱いが容易で軽量なフレキシブルなホースの方が実用的であるといえる。また、閉塞を起こした場合、雪詰まり箇所の見つけやすさ等を考慮し、透明なループホースが湿雪の気体搬送に最適であるとした。

消費動力についてみると、搬送処理量と消費動力との間に顕著な関係はみられなかった。しかし、20 m<sup>3</sup>/hを100m搬送した場合でも10PS程度の消費馬力で済み、エネルギー効率としては、ロータリ除雪機以上の性能を発揮することが確認できた。

## (2) 第Ⅱ期の成果

第Ⅰ期の成果で、目標搬送量に対する搬送能力は十分であると考えが、装置が大型であるため、第Ⅱ期の初年度である平成3年度においては小型化に関する検討を行った。そのために以下のような装置の改造を行った。

1. 搬送管の小径化（ $\phi 150\text{mm}$ から $\phi 100\text{mm}$ 、 $76\text{mm}$ に交換）
2. ロータリフィーダの小型軽量化
3. 送風機の高圧化

また、第Ⅰ期においては粗目雪（密度0.5 g/cm<sup>3</sup>）の直線搬送といった基本条件で実験を行い搬送性能を確認してきたが、第Ⅱ期においては高所輸送、曲線輸送といった実用条件での搬送実験を実施した（写真-1参照）。さらに、雪質と搬送性能の関係を明らかにするため、新雪（密度0.2g/cm<sup>3</sup>）の搬送実験を行った。平成3年度の実験結果は以下の通りである。

- ①搬送管径については、新雪の搬送において、 $\phi 100\text{mm}$ では搬送できたが、 $\phi 76\text{mm}$ では閉塞を起こした。搬送処理能力等を考慮すると、管径100mmが適切であることがわかった。
- ②風速と風圧の関係より閉塞条件についてみると、風速に関しては、新雪で5 m/s、粗目雪で10m/sが搬送限界であり、また風圧に関しては、新雪で200mmAq、粗目雪で700mmAqが限界である（50m搬送時）。
- ③風速と圧力損失の関係についてみると、粗目雪に関しては20～25 m<sup>3</sup>/hの辺りで圧力損失が最小になる傾向がある。また、新雪では10～15 m<sup>3</sup>/hの辺りである（図-3参照）。



写真-1 高所輸送の実験風景

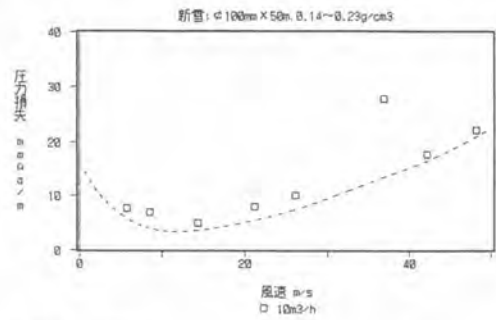
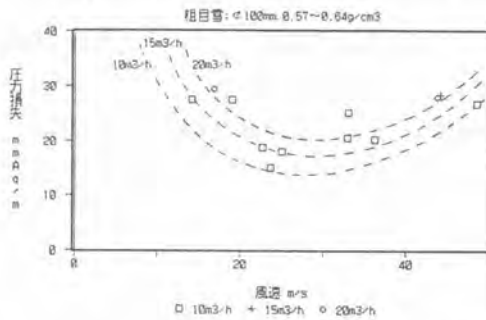


図-3 風圧と圧力損失の関係

- ④気体搬送が高所輸送及び曲線輸送に関しても対応できることがわかった。しかし、静圧については上昇部、曲部でそれぞれ高い値になっていた(図-4参照)。
- ⑤搬送雪の排出状況については、新雪の場合、粗目雪とは異なり、雪が搬送管内で付着し球状になって搬送されていた。これは、搬送状態での付着性が粗目雪より新雪の方が強いと思われる(写真-2, 3参照)。

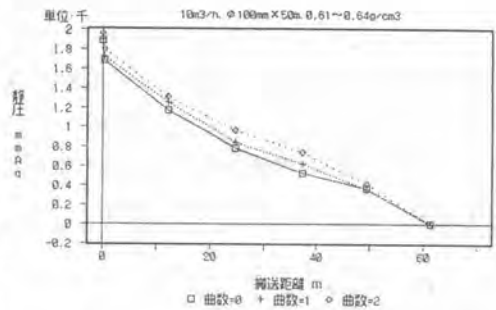


図-4 曲げ数と静圧の関係



写真-2 粗目雪の排出状況



写真-3 新雪の排出状況

## 5. 今後の課題

今後解決すべき課題としては、次のようなものが挙げられる。

### (1) 混入装置に関する検討

雪を機械的にロータリフィーダへ投入できる装置についての検討を行い、処理能力の高い装置に関する検討が必要である。

### (2) 都市空間における除雪システムに関する検討

長期展望に立ち、本方式と現在の除雪体系(融雪溝や融雪施設)とを連結した、都市空間における効率的な除雪システムのイメージを提案する必要がある。

# 41. サイドフィーダの試作、改良、開発に関する報告

福田道路㈱：斎藤 俊也

## 1. まえがき

近年の道路工事では、ほとんどの工種が機械化され、現場では小人数でスムーズな施工が行われているが、未だ人力に頼る工種も少なくない状態である。特に路肩付近での作業及び工種では、ダンプトラックから一輪車等で材料を受け、それを路肩付近まで小運搬し、人力で整形あるいは敷均しするということが行なわれている。そのような作業の改善のためにダンプトラックから材料を受けるホッパーを持ち、材料を横取りするための装置とその材料を敷均し、あるいは、締め固める装置を有する自走式の機械が必要となるが、当社では20年程前からそのような機械を試作、開発しているので最新型の機械を含めて、その変遷及び機械の概要・仕様・性能を中心に紹介すると共に、当社で施工した結果から作業性、省力化について報告するものである。

## 2. サイドフィーダの変遷

現場からの要望より

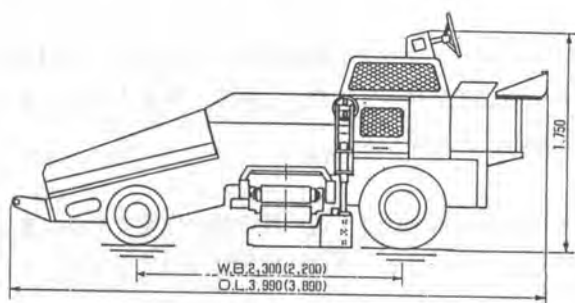
- ①ダンプトラックから材料を受けて、均一に材料の送り出しができること。
- ②アスファルト混合材料及び砕石、盛土材に関しても使用できること。
- ③自走式であること。
- ④敷均し装置を備えること。
- ⑤敷均し装置の幅員を変えられること。
- ⑥敷均し装置に締め固め装置を有すること。
- ⑦敷均し高さの調整のための自動装置が欲しい。

以上の要望を取り入れて試作した機械がサイドフィーダである。

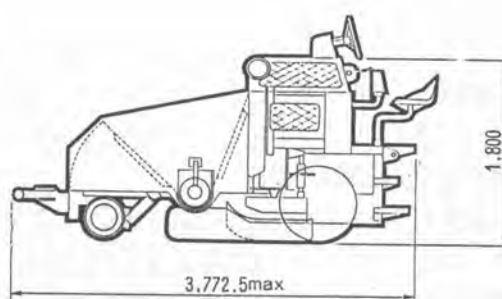
機械の変遷	機械の問題点	機械の改良点
昭和48年 スクリュートタイプ	<ul style="list-style-type: none"><li>・操作性が悪く、完成度が低く、よく故障した。</li><li>・含水比の高い材料がつまる。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・材料搬入、敷均しに相当量の人力をする復旧工事、路肩舗装、歩道舗装の機械化をめざす。</li></ul>
昭和50年 ベルトコンベアー	<ul style="list-style-type: none"><li>・ベルトコンベアーの耐久性（耐熱、耐油等による劣化、ベルコンが滑る。）</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ベルトコンベアーによって含水比の高い材料の搬送等の問題を解消。</li></ul>

機械の変遷	機械の問題点	機械の改良点
昭和55年 路肩盛土を対象とした簡易的機械	<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた現場でしか施工ができず広く普及することができなかった。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ベルトコンベアーの搬送距離を短くした。</li> </ul>
昭和59年 法面舗装用の機械	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成度が低く、操作性が悪い、よく故障した。</li> <li>ベルトコンベアーの耐久性。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大型化（3.6M級のフィニッシャをベースした。）ベルトコンベアーの搬送距離を延長した。</li> </ul>
昭和60年 油圧駆動のサイドフィーダ	<ul style="list-style-type: none"> <li>油圧駆動系に問題。</li> <li>パイプレータの効果が少ない。</li> <li>ベルトコンベアーの耐久性。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>アタッチメント（サイドパーバ、アスカバ等）を取り付けることにより多目的に施工が可能。</li> </ul>
平成4年 スクリータイプ のサイドフィーダ	<ul style="list-style-type: none"> <li>今後の課題として生コンを使用した施工も考えている。</li> <li>広く普及させること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スクリーアのピッチを広げて含水比の高い材料でも搬送を可能にした。</li> <li>スクリーアに無段変速のモータを取り付けて搬送量をあげた。</li> <li>パイプレータの取り付け位置をかえて、パイプレータの効果を上げた。</li> </ul>

### 3. サイドフィーダの仕様



ベルトコンベアータイプ



スクリータイプ



#### 4. サイドフィーダの特徴

アタッチメントを取り替えることにより、アスファルト混合材料等の横取りに、アスカーバの連続自動成型に、アスガッタの連続自動成型に、盛上材料の連続供給に、復旧工事のサイドペーパーにいろいろな用途に対応できる。



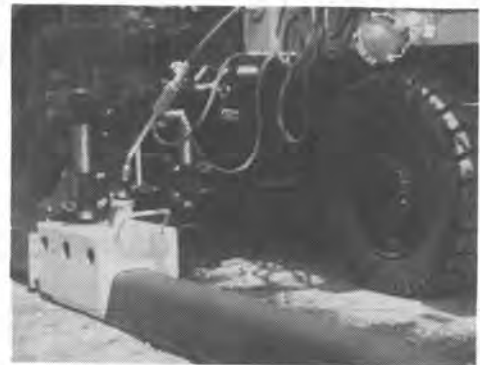
路肩舗装に（ベルトコンベアタイプ）



土羽打ちに（スクリュウタイプ）



路肩盛土に（ベルトコンベアタイプ）



アスカーバに（スクリュウタイプ）

#### 5. 施工例

##### ①歩道舗装の場合

従来の方では、アスファルト混合材料の運搬に2tダンプトラック等を使用していたために、材料の積み替え時間、及び、2tダンプトラック等の運搬に時間がかかっていた。しかし、サイドフィーダとミニフィニッシャの組み合わせによる施工で生産性の向上に貢献した。

##### ②小規模法面舗装の場合

従来人手を多く必要とする路肩舗装での作業は、足場の悪い現場が多く苦渋性の高い作業である。また、ほとんどが人力作業で施工量も上がらない。しかし、サイドフィーダに路肩舗装用のアタッチメントを取り付けて施工することで、生産性の向上に貢献した。

##### ③アスカーバの施工の場合

従来の方では、アスファルト混合材料の運搬用のダンプトラックの荷台に2～3人の作業員が乗り込み人力で材料をアスカーバに投入していた。この場合ダンプトラックの荷台の作業は、足元も悪く、

材料の温度も高いために作業環境も悪い。しかし、サイドフィーダにアスカーバのアタッチメントを取り付けて施工することで、生産性の向上に貢献した。

## 6. 評価

工種	従来の施工方法	サイドフィーダを導入した場合	効果
歩道舗装	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ミニフィニッシャと2tダンプトラック、コンパインドローラでの施工。</li> <li>・作業員は11名。</li> <li>・一日の施工量は90t</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ミニフィニッシャとサイドフィーダ、コンパインドローラの組合せで施工。</li> <li>・作業員は9名。</li> <li>・一日の施工量は180t。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大型ダンプトラックからの積み替え及び小運搬が不必要。</li> <li>・作業員2名削減。</li> <li>・一日の施工量は、2倍増加。</li> </ul>
土羽打ち	<ul style="list-style-type: none"> <li>・4tダンプトラックからの小運搬及び敷均し作業は人力作業。</li> <li>・作業員は9名</li> <li>・一日の施工量は16M<sup>3</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイドフィーダによって小運搬敷均し作業が機械化。</li> <li>・作業員は6名。</li> <li>・一日の施工量は32M<sup>3</sup>。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料の小運搬、敷均しが機械で施工が可能になった。</li> <li>・作業員3名削減。</li> <li>・一日の施工量は、2倍増加。</li> <li>・無理な姿勢での作業の低減。</li> </ul>
アスカバ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・4tダンプトラックから人力作業による材料の搬入</li> <li>・作業員は6名</li> <li>・一日の施工量は50t</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイドフィーダによって4tダンプトラックを直接受けて施工が可能である。</li> <li>・作業員は3名。</li> <li>・一日の施工量は90t。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料の小運搬が不要。</li> <li>・作業員3名削減。</li> <li>・一日の施工量は、1.8倍増加。</li> </ul>

## 7. あとがき

サイドフィーダを導入することによって従来人手を多く必要とする作業の省力化、苦労性の低減、作業効率の面からも従来の施工量を上回り生産性の向上に貢献していることが判明した。しかし、この機械の実績が東北地方、北陸地方等に限定されているためデータが少ないので、施工条件、施工環境等の変化によってこれだけの成果を上げるかについては多少問題がある。

今後の課題として、この機械を広く普及させて、改善の効果を確認するための施工を行い、多くのデータを集め、コスト面の検討、サイドフィーダの材料の横送り装置等（例えば、ベルトコンベアーが滑りやすいこと。）について改良を実施していきたい。

## 42. アスファルトフィニッシャの多機能化と省人・省熟練システムの開発

新キャタピラー三菱㈱：矢倉 直

### ○はじめに

建設機械の中でも特に、アスファルトフィニッシャでの舗装工事をとりまく現場環境は、3Kイメージ等により若年層確保が深刻であり、オペレータ・作業員の高齢化、熟練オペレータ不足が進行しつつある。そこで私共舗装機械メーカーとしても、それら社会環境の変化に対応し、使って魅力ある製品をユーザに提供すべく開発を進めてきた。その為には、高精度舗装を行えることは勿論のこと、操作の容易化、快適性といったものさらには、メカトロニクスを応用した省人・省熟練、自動化までが要求されている。そういった観点から今回新たに、市場投入した三菱アスファルトフィニッシャMF60B（最大舗装幅6m）シリーズ機用として、アスファルト舗装と上層路盤材施工との兼用を可能とした多機能化システムと、省人・省熟練化を推進するための各種自動化システム等を開発した。そこで本報では、それらの概要と特長を紹介することとする。

### ○開発の狙いと主な特長

#### 1. 多機能化

モータグレーダ・ブルドーザ等による従来の路盤材施工作業は、運転操作に熟練度が要求され、さらに作業能率や路盤成形精度にも限界がある為、特に最近では高精度な仕上げが得られ、しかも操作の容易なアスファルトフィニッシャによる施工の要望が高まって来ている。そこでアスファルトフィニッシャを、アスファルト舗装と上層路盤材施工兼用機とし、これら多用途化のニーズに適合させることとした。更に、道路維持補修の増加傾向にある最近の舗装工事に対して従来既成の油圧伸縮式スクリッド構造では不可能であった轍掘れ補修等をはじめとする特殊断面舗装も可能として多機能化を図ると共に、各種舗装材や舗装厚の変化に無調整で対応可能なスクリッドとし、併せて省熟練化を図った。

#### 1-1 コンベア装置

As合材舗装のみならず路盤材（粒度調整砕石材）の土砂摩耗に対応する摩耗部位（コンベア床板・コンベアチェーンカバー等）の材料硬度および板厚アップ等による耐摩耗性強化と駆動系（フィーダアイドル軸・駆動軸・スクリュウ軸等）の軸受強度の向上と併せて、特殊シール構造によるシール性の向上を図った。特にスクリュウ部のブレードには、従来のチップ式からシャフト一体型耐摩硬化鋳物のブレードを採用した。また1パスMAX25cm厚層路盤材施工に対応する材料供給搬送能力を持たせた。



写真1 MF60WB全油圧4輪駆動ホイール式  
<M600スクリッド (MAX6m)>



写真2 MF60B全油圧駆動クローラ式

## 1-2 走行装置

### (i) 走行速度

アスファルトフィニッシャに要求される走行基本性能は、極低速作業速度域での走行安定性である。これは特に、アスファルトプラント能力に合わせたノンストップ運転速度を確保すると共に、寒冷地合材に見られる細粒アスコン等、極粘調なアスファルト合材に対しても適切な舗装速度が選択でき、また路盤材厚層施工時の連続極低速作業に対応できる等多様な条件下で舗装精度に密接に関係することから、ユーザから特に要求されることである。

そこで車両の最低要求車速および最高車速、そして取り得る減速機の減速比をトータル的に勘案して最低1.0～1.5m/minの低速安定走行性を確保させることとした。

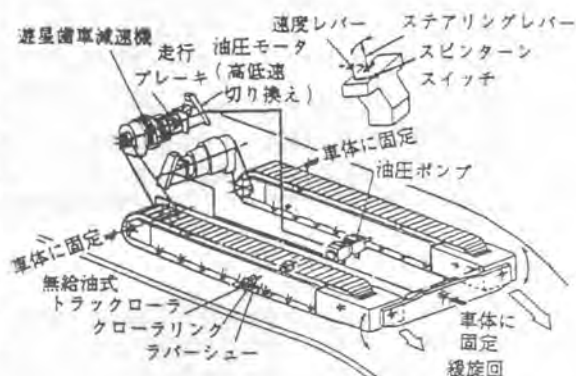


図-1

### (ii) 足回り

#### (1) クローラ式 (図-1)

走行油圧駆動系としては、緩旋回可能なフルタイム2トラック駆動により高い牽引力を発揮させる為、2P-2Mデュアルバスタイプを採用した。これに併せ、従来のピボットターンに加え狭隘な現場内での作業性をさらに向上させるため、スピンスターン機能をも付加した。しかしこの走行駆動系は、これら効率的な操向操作ができるメリットがある反面、厳密な直進走行が得にくいと言う面がある。そこで、走行直進性をより確実なものとするためマイクロコンピュータを搭載し、デジタル電子フィードバックシステムにより直進精度0.1%内外の高精度を確保、路盤材等厚層施工及び広幅員施工時の走行負荷変動への耐力強化をはかった。また足廻りはラバーパッド付リンク式クローラで、既設舗装面も走行可能とし、さらに、急旋回・緩旋回・ピボットターン等が1本のレバーで操作可能として操作性を向上させた。

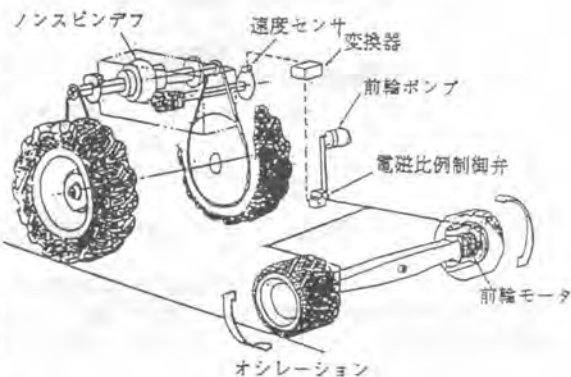


図-2

#### (2) ホイール式 (図-2)

クローラ式に比較し牽引力の劣るホイール式フィニッシャの最近の傾向で重要なのは、路盤材施工や広幅員施工あるいは軟弱路盤での施工で必要とされる牽引力を確保する為の4WD化である。この時、フロントタイヤの速度、あるいは駆動力をいかにリアタイヤと同期同調させるかが4輪駆動ホイール式の基本性能を左右する。そこで、後輪速度を連続的に検出しながら前輪回転速度を制御し、前後輪の同期同調を確保する独自の4WDシステムを開発、スムーズな発進・停止動作と4駆最大駆動力を確保させた。これにより広い作業速度域(実質作業速度)での確実な同期同調を可能とした。

## 1-3 スクリード装置 (MAX. 6.0幅員)

最近の舗装工事は、道路維持補修の増加と併せ、生産性の向上から大幅員化傾向となっている。そこで、路盤材施工機能の付加ニーズ等も合わせて、標準最大幅員 6m の 3 ポイントクラウン油圧伸縮スクリードを搭載した。これにより従来の正規クラウン形状に加え、轍掘れ補修・側道部のすり付け舗装・広幅員農道施工に見られる円弧舗装等、特殊断面舗装も可能として舗装の多様化を図った。更に、駐車場・テニスコート等比較的広域な施工作業等に於いても、既設レーンの舗装高さに合わせて舗装作業中任意にスクリード端部を上下調整することにより本体主スクリード部の設定舗装厚さを変えることなく容易に端部の面合わせ作業を可能とした。また、広幅員作業に於いても、スクリードの機械的撓みに応じて、あらかじめ幅員横方向のレベル設定することにより容易に横断方向の平坦性精度向上が図れる等、多くの利点を持たせた。

また、スクリード先端は各種舗装材や舗装厚の変化に無調整で対応可能な R 型デフレクタを採用、省熟練化を図った。さらに、路盤材等、厚層施工に耐え得る大口径 2 ロッドサポートによりフレーム剛性強化を図ると共に、従来機に増してベースプレート材の耐摩耗強度を向上させメンテナンスコストの低減をも図った。

## 2. 省人・省熟練化システム (図-3)

先に述べた様に、舗装工事を取りまく現場環境に起因する高齢化・若年層の不足・未熟練者の増加が顕著である。更に今後は、女性の進出をも考慮しておく必要がある。そのための対応として、メカニクスの応用による各種省人・省熟練化システム及び機器の開発が不可欠であり、しかも継続的に実施する必要があるが、今回は下記省人・省熟練化システムを開発、供用化した。

### (1) デジタル表示舗装厚自動制御装置 (写真3)

マイクロコンピュータによって基準路面等に合わせて数値設定した舗装レベルを自動制御・デジタル表示するグレードコントロールシステムである。リモコンユニットによる遠隔設定ができ、これらにより、スクリードマンのゲージ棒計測が省力化されると共にシックネスコントロールも省熟練化となる。

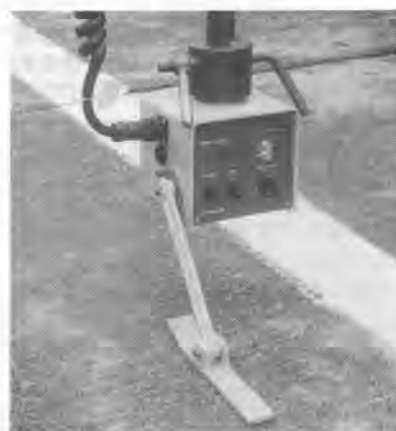


写真3

### (2) 超音波センサ式合材供給自動コントロール装置 (写真4)

コンベアスクリーウ端部の合材滞留量を超音波で感知し、コンベア速度を自動制御する装置である。高精度舗装のための最適な合材供給量が確保できオペレーターの省熟練化に繋がる。

### (3) スクリードモニタ装置 (写真5)

舗装幅、クラウン量、タンパ・バイブレート回転数等の設定が、デジタル表示を確認しながらワンタッチで行える専用コントロールシステムであり、スクリードデータを集中管理し、舗装品質を確保すると共にリモートコントロール化し省人化が図れる。

### (4) パワークラウン装置

直線施工からカーブ施工への連続施工時や、交差点舗装時等に頻繁に変化するクラウン量調整を油圧モータドライブによりワンタッチで可能とし、スクリードマンの労力を大幅に軽減した。上記(3)スクリードモニタ装置との併用により、クラウン設定値がデジタル表示で確認でき、作業効率が大幅にアップすると共に、省熟練化が促進できる。



写真4

(5) ラジオコントロール装置 (写真6)

発進・停止はもとより、送信器に表示される速度を確認しながらの速度調整、ホップ・コンベア駆動等、幅広い操作が最適なポジションから自由に行える、交信型の無線操縦装置である。さらに、上記1) デジタル表示舗装厚自動制御装置との併用により、送信器側モニタに舗装厚を表示させることも可能とした。

(6) 後部運転装置-一定式ワンマンコントロール (写真7)

集中操作パネルをスクリーン上にも設置、スクリーン上での走行・作業系のワンマンコントロールを可能とするものである。



写真5

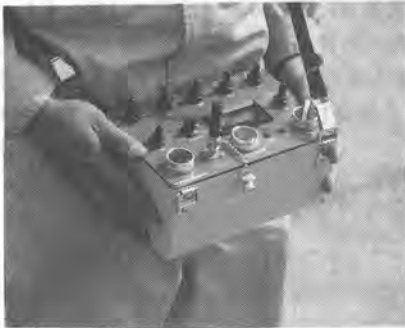


写真6



写真7

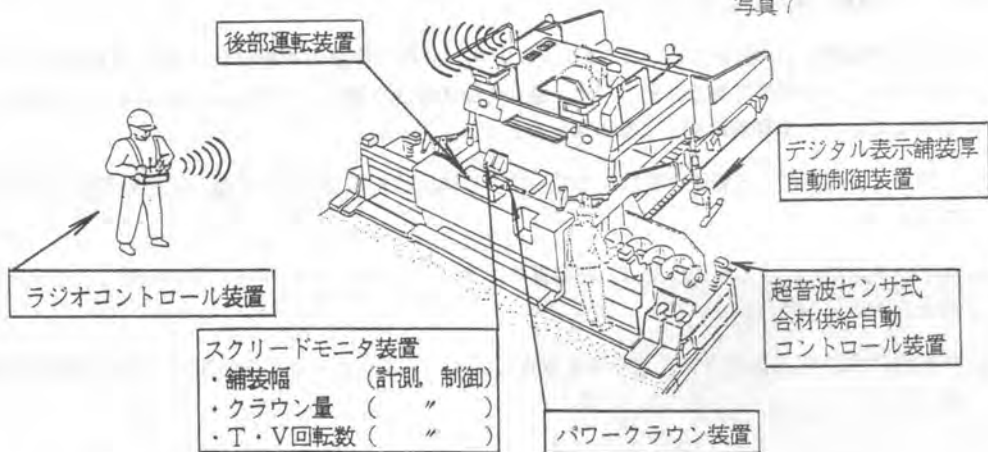


図-3

### 3. あとがき

舗装工事に於けるアスファルトフィニッシャの多機能化、省人・省熟練化は、社会情勢を反映した永続的テーマである。今後ともこれらのテーマに応えるべく顧客のニーズに合致した魅力ある製品を開発し、これらのテーマに役立ちたいと考えている。最後に本システムの開発にあたり、御支援、御指導を頂いた方々に感謝の意を表したい。

# 43. フィルダム工事における機械式タンパ装置の開発と施工

(株)熊谷組：\*岡 孝・長尾 直

## 1 はじめに

ロックフィルダムは、施工機械の発達により急速な発展を遂げ、機械の大型化により大量施工が可能になった。しかし、着岩部の施工は依然として人力作業が主体であり、盛立の施工速度は従来と変わっていない。また、作業員の高齢化の進むなかで、建設作業員の危険作業・苦渋作業の解消、労働条件の向上、省力化、労働力確保の難しさなどからも、着岩部における人力作業の省力化・機械化が課題であった。今回、これら諸問題を解決する一助として、『機械式エアータンパー』を開発し、実際の施工に使用し効果的であったので、その特徴と施工事例について紹介する。

## 2 機械式エアータンパーの開発

### 2.1 開発の目的

従来、コンタクトクレー材(コア部の着岩材)の締固めは、3~4人の作業員が1組となり、エアータンパーによる転圧を行っていた。(写真-1.2)しかし、以下の理由から、施工速度の向上・危険苦渋作業の解消のため、施工機械の開発が必要であった。

1. ダム低標高部(河床部を含む)は、コンタクトクレー転圧作業の対象となる着岩面積が広く、ほとんどが人力による作業である。そのため、盛立の施工速度が遅く、しかも、一度に多くの労働力を必要とすることから不経済な施工となっている。
2. エアータンパーによる転圧作業は、エアにより締固めをおこなうため激しい振動を伴う苦渋作業である。
3. エアータンパーによる転圧作業は、作業員がエアータンパーを手を持って身体近くで足元を締め固めるため危険が伴う。
4. 作業員の高齢化・出稼ぎ作業員の不足を背景に、エアータンパーなどを使用する熟練労働者の確保が難しい。

### 2.2 機械の構造

機械の構造を図-1.2に示す。

この装置はバックホウのバケットを取り外し、図-2の台板に取り付けられたエアータンパー装置をそこに取り付けたものである。現在、ベースマシンとしては0.25m<sup>3</sup>クラスのバックホウを用いている。



写真-1 人力作業状況



写真-2 人力転圧状況

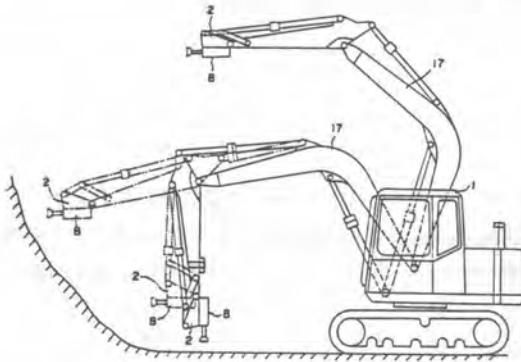


図-1 機械式タンバ外観図

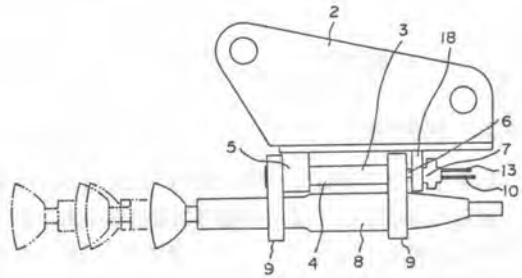


図-2 エアータンパー装置

エアータンパー装置は、台板にガイドシャフトを介してエアータンパーを進退可能にして取り付けられている。さらに、施工効率を向上させるために4本のエアータンパーを装着した。

図-1 はバックホウにエアータンパー装置を取り付けた外観図である。作業範囲は水平から垂直まで対応可能であるが、一般的にはコンタクトクレール張り付け面の最大勾配は70°以下である。

図-2 はエアータンパー装置の外観図である。エアータンパーは人力作業に使用しているものと同じものを使用している。エアータンパー装置の仕様を以下に示す。

エアータンパー装置仕様

エアータンパー 仕様	形式	T-6
	使用圧力	6 kgf/cm <sup>2</sup>
	打撃数	600 b.p.m
	ピストン径	φ 38.1
	ストローク	140 mm
	空気消費量	1.1 m <sup>3</sup> /min/本
装着本数	—	4本



写真-3 不陸部での状況



## 2.3 機械式タンパーの特徴

今回開発した『機械式タンパー』は次のような特徴をもつ。

1. コンタクトクレー作業対象岩盤は不陸が多いため、それら岩盤の不陸に追従しエアータンパー本体が進退する。そのため、ほぼ均一な締め固めが可能である。(写真-3)
2. エアータンパーを4本装着しているため、機械のオペレーター1人で人力による作業の4倍以上の施工速度が確保できる。
3. アキュムレーターの設置により、エアータンパーの振動による衝撃を吸収し、機械への悪影響を低減している。
4. 減圧弁を取り付けているため、エアータンパーの圧力調整が可能である。
5. ベースマシンにバックホウを用いているので、機械操作の取得が容易である。

## 3 施工事例

### 3.1 試験施工

試験施工は中部電力（株）発注の上大須ダムの現場にて、平成4年4月に実際の盛立面にて行った。

試験の方法としては、一般的な着岩部の施工と同じ状況で、着岩部表面清掃、コンタクトスラリー塗布、凹部人力整形、コンタクトクレー撒きだし(仕上がり1層10cm×2)、転圧、という順序で行い、この転圧に今回開発した『機械式タンパー』を用いた。

試験施工の結果の一部を以下に示す。

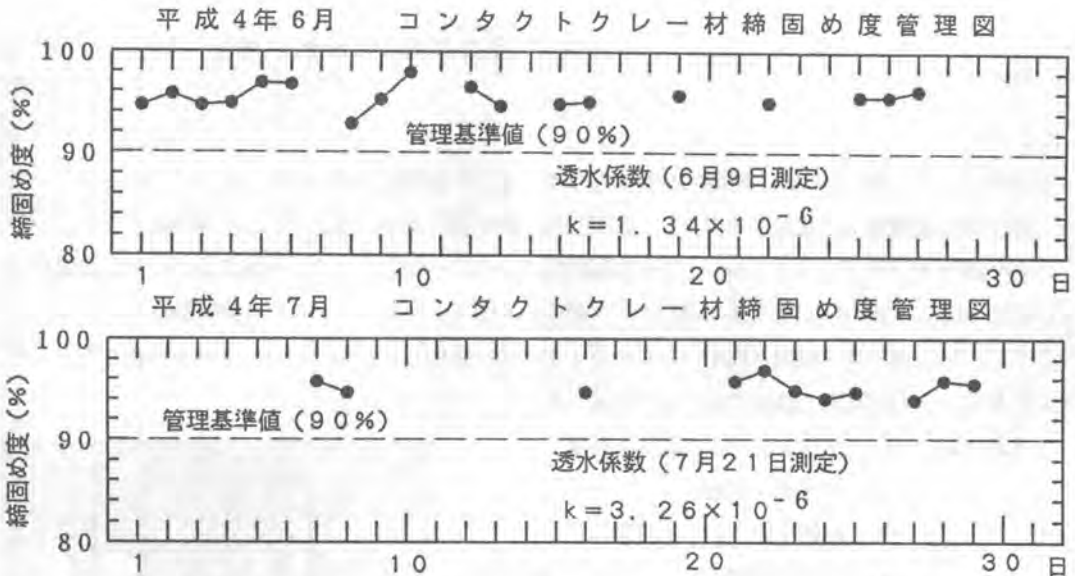
試験施工 品質管理試験結果

転圧 方法	乾燥密度 $\gamma_d(g/cm^3)$	D 値 (%)	透水係数 $k(cm/sec) \times 10^{-6}$
機械式タンパー	1.60	93.0	1.930
	1.62	98.2	0.623
	1.64	96.6	1.920
	1.64	97.8	0.768
	1.63	95.1	1.260
	1.57	97.3	0.937
平均	1.62	96.3	1.240
人力施工 (参考)	1.53	94.6	3.240
	1.63	93.2	3.420
	1.54	94.2	3.120
	平均	1.57	94.0
管理基準値	—	90%以上	$10^{-5}$ 以下

上記結果のように、『機械式タンパー』による施工は、人力による転圧結果と比較しても、施工品質上は問題がなく、所定の品質を確保できる事がわかった。

### 3.2 施工実績

試験施工の結果、良好であったため平成4年5月中旬より実施工に使用を開始した。実際の施工における品質管理試験の結果を以下に示す。



実施工においても品質管理試験の結果、所定の品質が確保できている。数字には表れていないが、作業の施工性・安全性が向上している。また、詳細な解析は行っていないが、着岩部付近の施工のスピードも5割程度アップしている。さらに、現在までのところ、機械のトラブルも発生せず、工程的にも順調である。また、バックホウという汎用機械を用いているので、各種アタッチメントを取り替える事で、ベースマシン自体は転圧作業以外にも使用可能であり、長期休止期間には他作業に使用している。

## 4 あとがき

機械操作は、試験施工の段階ではオペレーターの不慣れもあったが、機械操作に習熟するにつれ、ほぼ想定していた通りの施工が可能となった。これまで人力作業が主体であったコンタクトクレールの転圧作業を機械化することにより、所定の品質を確保しながら作業性が向上している。しかも、作業員を危険・苦渋作業から解放する事ができた。

このように人力による作業を機械化出来た事は、作業員の高齢化・作業員不足の時代の要請にある程度寄与できたと確信する。今後さらに、建設現場における人力作業の機械化に、積極的に取り組んでいきたいと考えている。

最後に、本機の開発にあたり、御指導・御協力頂いた関係各位に深く感謝します。

## 44. 気送システムを用いた土砂搬送装置

東急建設(株)：大野 邦夫・西尾 仁

まえがき

近年の、土木工事は空間的、時間的な制約が多く、また作業環境改善の要求も高まっている。その中で地下掘削施工の状況も多様化し、掘削した土砂を速く安全に搬送することが課題となっている。土砂の搬出方法としてはクラムシェルや機械的なコンベアー装置、スラリー輸送等の多様な設備が用いられているが、狭い空間や少量の場合には、相変わらず人力に頼っている。今回実験導入した気送システムは、他分野で多く採用されているものを土木工事に採用したものであり、従来不可能と考えられていた粘性土を自然状態で気送できるよう考案した。

- 本報では 1. 気送システムの開発と経緯  
2. 現場導入実験  
3. 粘性土にたいする改善  
4. 今後の展開 について報告する。

### 1. 気送システムの開発と経緯

今回 導入したシステムはコンクリートガラ回収で効果的に稼働した装置を一般土砂に適合するよう改造したものである。このシステムには30kwのルーツブローアをパワーユニットとして使用し、パイプラインは4インチを使用した。排土装置は土質により連続搬出式と真空タンク式を使い分けた。

粘性土・砂質土・碎石それぞれについて基礎データの収集を行った。実験の目的は、①所要動力・騒音の測定 ②気送システムの作業性の確認 ③搬送能力と輸送管圧力損失の確認 ④閉塞トラブルの要因調査 ⑤試作ノズルの効果 ⑥分離器の分離・排出効果などである。

実験の方法は ①パワーユニット(ルーツブローア)より10Mの位置での騒音測定 ②気送ホースとして吸入ノズルから分離器までホース8Mと直管8Mを連結した。

分類	品名	仕様
真空ポンプ	ルーツブロー	30KW 35m <sup>3</sup> /min 5000mAq 1200rpm
分離器	真空ヘッドタンク	容量1.2m <sup>3</sup>
分離器	連続排出タンク	容量0.6m <sup>3</sup> ダブルチャンバークイクロン
輸送管	鋼管、ホース	内径100mm
吸入器	吸い込みノズル	型月筒形 断面積 78d /ズメ定数 0.0078

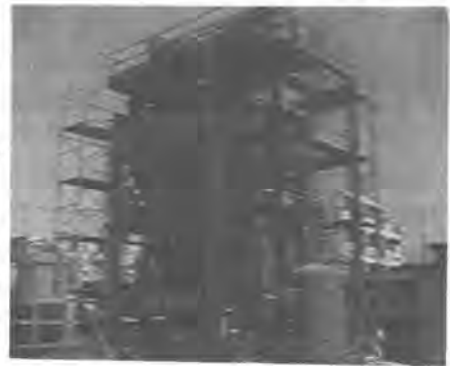


写真-1 基礎データ収集試験全景

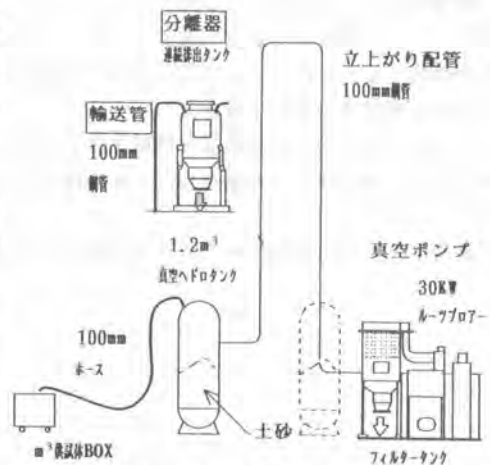


図-1 基礎データ収集システム構成図

## 2. 現場導入実験

基礎データの収集後自社工事での試験導入を検討し、鉄道（複々線）工事の基礎杭オーガ削孔土砂搬送及び建築に於けるエレベータビット掘削の土砂搬送に本システムを試用した。



写真-2 オーガ削孔残土の泥土搬送



写真-3 エレベータビット掘削工事のズリ搬送

- 気体を輸送媒体として物質を搬送する場合  
気体の質量に対する単位時間当たりの固体粒子の輸送重量を混合比で表す。

$$G_g = \text{単位時間当たりの固体粒子の輸送重量 (kg/sec)}$$

$$G_a = \text{気体の流量 (kg/sec)}$$

$$\mu = \text{混合比 (無次元)}$$

$$\text{とすれば } \mu = \frac{G_g}{G_a}$$

表-2 現場導入試験結果

本実験で使用した真空ポンプ(ターボポンプ)の能力は  $35\text{m}^3/\text{分}$  であるが、実際には、配管・フィルター部の抵抗があり搬送空気量は減少する。実験では吸込ノズルの平均空気速度をマンメーターで計測し混合比を算定した。

\* 空気量  $20\text{m}^3/\text{分}$  の場合  
 $20\text{m}^3/\text{分} \times 1.293\text{kg}/\text{m}^3 = 24\text{kg}/\text{分}$   
 (空気の流量) (空気の質量:  $G_a$ ) (固体粒子の輸送重量:  $G_g$ )

実験場	資料分類	配管条件		搬送量 $\text{m}^3/\text{h}$	混合比 %	観察	
		ノズル	輸送管				
1	オーガ 掘削土砂	土丹	無し	100 $\phi$ 10m+0m	計測不能	固めの粘土、真空タンク吸い込み口のバンド箇所、ホース内に付着により閉塞多い ホース重く作業困難	
2		土丹	スクリーン 40mm	100 $\phi$ 8m+0m	0.4	33	ヘドロ状態、ドボドボと音を立ててタンクに移送されるが、時たま粘土中に含まれる塊で閉塞する
3		土丹	スクリーン 40mm	100 $\phi$ 8m+0m	0.8	66	スクリーンで塊は除去出来るがヘドロをスコップで引き寄せる作業である
A	エレベータ ビット 掘削土砂	コンクリートガラ 乾燥状態	無し	100 $\phi$ 20m+0m	2.8	231	形状がゴツゴツしており絡み合って吸い込み口で閉塞する、微粉末は分離できずフィルタータンクに直行
B		コンクリートガラ 散水状態	縦型	100 $\phi$ 20m+0m	3.0	247	管内移送中、粒径の大きな物の表面水に微粉末が付着し微粉末の分離良好
C		土丹	無し	100 $\phi$ 8m+6m	計測不能		粘土とコンクリートガラ(1:2)を交互に吸わせることにより閉塞は防げるが、分離器での付着により排出不能
D		土丹 篩、最大12m	無し	100 $\phi$ 8m+12m	2.4	198	拾い取るように吸うことによりかなりの大粒の物も吸引するが輸送管内で回転して通り時たま閉塞する
E		土丹 篩、最大80m	縦型	100 $\phi$ 8m+12m	2.6	214	ノズルを通過しても、管内で回転して摩擦によりスピードが落ち後続のズリと噛み合いホース内で閉塞
F		土丹 篩、最大50m	縦型	100 $\phi$ 8m+18m	3.8	313	堆積した山に突っ込んで吸い出される 時たま噛み合っ てノズル口で閉塞するが回転すると吸い込まれる
G		土丹 篩、最大50m	無し	100 $\phi$ 8m+18m	2.8	231	一時的にはたくさんの量が吸われるが、ノズル口での閉塞が多い

### 3. 粘性土に対する改善

従来 粘性土は自然状態での気送は難しいとされており表-3の実験でも同様の結果が出た。

粘性土は、管内を移送する際、粘着力により壁面に付着しながら移動する。含水比が大きいときには、液状（ヘドロ状）であるが、含水比が低下すると塑性状態となり、さらに乾燥すると粘りを失って半固体状のものになる。特に取り込み口ではヘドロ状態でも、管の下面を波動し、搬送空気との速度差により水分が分離して固形プラグになり管内摩擦が増大し速度が低下する。しかし管内静圧がプラグを破壊し断続的に粘土を搬送する（脈動）。管路のバンド箇所では直線部を流れていた粘土が慣性力で管の外周にたたき付けられ、あたかも吹き付けコンクリートのごとく堆積しバンド部は閉塞する。付着は閉塞原因のみならず、輸送管の重量増加は多大で、作業性を大きく損なう。実作業時には大量の水を混合させて粘性土をスラリー化させてパイプライン内を通過させるため産廃処理が必要となっていた。



写真-4 粘性土の閉塞状態(曲がり管部)

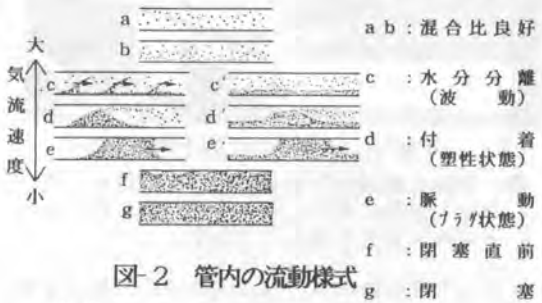


図-2 管内の流動様式

今回これを改善させるため高吸水性樹脂を添加し乾燥状態での気送を試みた。高吸水性樹脂の特徴を次に述べる。①自重の数十倍～数百倍の水を吸う樹脂であり材料そのものが、水を吸うので、少々を圧力を加えても水を放出しない。②吸水前後を問わず粘着性・付着性は小さい。この特性を利用し、含水比を塑性限界以下まで低下(吸水)させることにより粘性土を半固体状に改良し気送効率を向上させた。

図-3に添加量の参考値を示す。

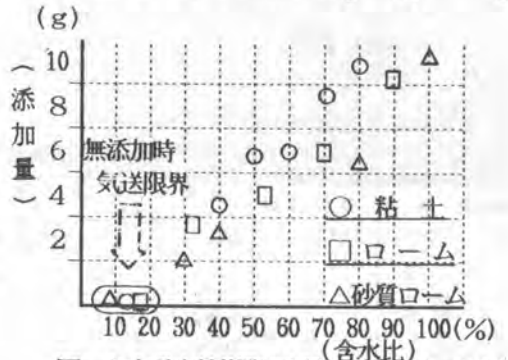


図-3 高吸水性樹脂の添加量(搬送1kg当り)



写真-5 粉末高吸水性樹脂添加装置



写真-6 液体吸水性樹脂添加装置



写真-7 液体吸水性樹脂



写真-8 高吸水性樹脂添加ポンプと混合ノズル



写真-9 吸い込みノズル

#### 4. 今後の展開

技術的課題として

- ①気送システムの信頼性向上（閉塞による作業休止時間の低減）
- ②土質および含水比の対応幅の拡大
- ③省エネ化-----気送システムのエネルギー効率はこのコンベアシステムと比較して劣る。吸入部分を改造し混合比を制御できる構造としたい。
- ④高吸水性樹脂添加ノズルの軽量化と添加量の自動制御
- ⑤システムの導入適用を軌道工事杭打ち作業のオーガ削孔時の排土作業に絞り込み自動化を図りたい。



写真-10 ノズルマニピュレータ



写真-11 オーガー付着残土除去装置

#### 参考文献

- |               |                   |           |
|---------------|-------------------|-----------|
| 1) 梶原 滋美・古見 通 | 流体(気送)コンベア、八雲書店   | P・69～P・70 |
| 2) 森川 敬信      | ；流体-固体二層流、日刊工業新聞社 | P・169     |
| 3) 辻 裕        | ；空気輸送の基礎、養賢堂      | P・57      |

## 45. 除雪グレーダの振動制御機構の開発

建設省：池田 八郎・佐々木重和  
\*須田 正浩

### 1. はじめに

除雪機械は、冬期交通の確保に重要な役割を果たしており、中でも除雪グレーダは道路除雪の主力機械として大いに活躍している。しかし、現在の除雪グレーダは一旦振動が発生すると収束しにくく、ある特定の車速になると共振作用により振動量が増大してオペレータの作業環境を著しく悪化させるとともに、車両の安定性低下や作業速度の低下にともなう交通渋滞等を招く原因となっている。

また、平成2年1月には、除雪機械等の最高速度が50km/hから70km/hに緩和されたが、車体の共振が作業・回送速度の領域にあることにより、除雪グレーダの高速化をめざすうえでも大きな問題点となっていることから、振動の低減を図った振動抑制機構を開発したので、ここに報告するものである。

### 2. 開発目標

振動抑制装置の開発にあたって、乗用車程度の振動レベルまで低減することを目標とした。また、装置自体もできるだけ単純な構造として、既存車両等への装着が可能なものをめざした。

#### 2.1 機器の構造

今回開発した振動抑制装置は、カウンターウエイトと車体の間に油圧シリンダとアキュムレータを取り付け、カウンターウエイトが揺動する機構を持ったウエイト式振動抑制装置と、ブレードリフトシリンダの回路にアキュムレータを組み込んで、ブレードが振動する機構を持ったブレード式振動抑制装置の、2種類を組み合わせ使用できるようになっているもので、既存の車両にも取り付けができる構造になっている。取付姿勢と油圧回路の構成を図-2.1に示す。

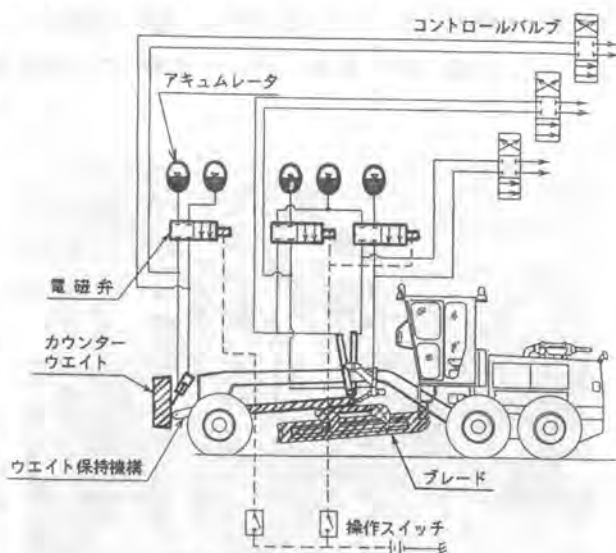


図-2.1 油圧回路の構成

### 3. 実機調査概要

今回の調査を行うにあたって、調査対象の車両は山形工事事務所管内尾花沢除雪工区に配備されている除雪グレーダを使用した。また、振動抑制装置の装着にあたっては油圧回路の改造・アキュムレータの追加およびカウンターウエイト部の改造を行った。調査対象車両の主要諸元を表-3.1、振動抑制装置の諸元を表-3.2に示す。

#### 3.1 調査条件

調査の中では次の4つの項目を、重点的に調査することとした。

表-3.1 調査車両主要諸元表

除雪グレーダ4.0m 230PS級	
全長	10,055 mm
全幅	2,480 mm
全高	3,580 mm
軸距	6,250 mm
クマデ中心距離	1,520 mm
前輪輪距	2,045 mm
後輪輪距	2,065 mm
車両総重量	19,960 kg
前輪荷重	6,810 kg
後輪荷重	12,790 kg
タイヤサイズ	14.00-24-20PR
タイヤエンタイプ	H 型



写真-3.1 調査車両外観

表-3.2 振動抑制装置諸元

項目	規格	「ウエイト式」	「ブレード式」
(1)型式	7キムレーク式	受動型	受動型
(2)ウエイト重量		1,400 kg	
(3)電気系統			
電磁電圧		DC24V	DC24V
消費電流		1.5A以下	3.0A以下
(4)油圧装置			
7キムレーク		2 個	3 個
シリンダ		1 本	2 本
電磁弁		1 個	2 個
圧力スイッチ	リリース用	1 個	—
(5)操作部			
操作スイッチ	自照式押しボタン	1 個	1 個

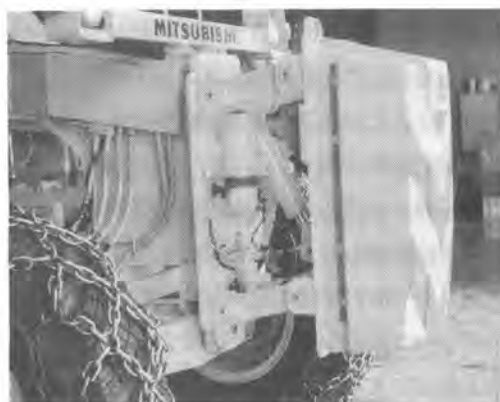


写真-3.2 振動抑制装置装着状況

- (1) 走行速度と振動レベルの関連（共振車速の確認）
- (2) 周波数毎の振動レベル強度の確認（周波数分析）
- (3) 振動低減効果の確認（周波数分析）
- (4) 振動低減効果の評価と課題の抽出

車速については、共振車速での振動が最も大きくなる車速付近について調査した。また測定箇所については、オペレータに伝達される部分を問題としているので、シートブラケットの上下振動に注目している。これらの振動は加速度計を用いて測定した。取得したデータは振動解析の一般的な手法であるデシベル値換算で行った。調査速度条件を表-3.3、測定箇所を図-3.1に示す。

表-3.3 調査速度条件

条件	速度[km/h]								
	5	12	18	19	24	35	38	45	
回	OFF	○	○	○	/	/	○	○	○
	ウエイト式ON	○	○	○	/	/	○	○	○
	ブレード式ON	○	○	○	/	/	○	○	○
送	ON	○	○	○	/	/	○	○	○
	OFF	○	○	○	○	○	/	/	/
業	OFF	○	○	○	○	○	/	/	/
	ウエイト式ON	○	○	○	○	○	/	/	/

ON:作動 OFF:停止

#### 4. 調査結果

##### 4.1 走行速度と振動レベルの関連

車速と振動レベルの関連について調査解析した。調査にあたっては表-3.3の速度条件により振動レベ



ルを測定して図-4.1のように解析した。

このグラフで見ると、35km/h付近の振動レベルが急激に大きくなり共振車速であることがわかる。また、振動抑制装置作動時には通常時に比べ振動レベルを低減でき、低減率は全車速域で30~50%となった。

また、図全体を見ると通常走行時の振動レベルより振動抑制装置を作動させた時の振動レベルが、小さい単純な線図ではなく車速毎に大きくなったり小さくなったりする複雑な線図となった。これは、車速毎に振動抑制装置の有効な作動方法が異なることを意味しているため、今後更に詳細な車速の調査を行って振動抑制装置の効果的な動作が行えるように工夫する必要がある。

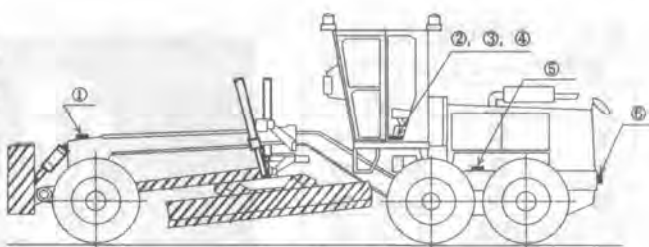
#### 4.2 振動周波数分析

振動レベルが最も大きくなる時の振動を周波数毎に分解して、強さを解析した。その結果、2~3Hzの車体の固有振動と20~30Hzのチェーン振動が振動レベルを大きくしている原因であることがわかった。

また、二つの山をもつ波形のうち2~3Hzの車体固有振動をISO2631(作業の正確さを維持しうる時間)の評価基準により評価すると通常時108dB・16分から振動抑制装置の作動時94dB・24分となり、振動レベルで14dB、作業の正確さを維持しうる時間として15倍の改善を図ることができた。しかし、当初目標として設定した乗用車の振動レベルは86dB・16時間程度であることから、さらに振動抑制装置の改善を検討する必要があることがわかった。

20~30Hzのチェーン振動を同評価基準によって評価すると振動レベルは101dB・60分で振動抑制装置の作動による低減効果は見られなかった。そこで、振動抑制装置とは別にチェーンの振動を低減させる装置の検討が必要であることがわかった。

#### 5. シミュレーション概要



- ① フレーム先端 → 上下方向加速度、変位
- ② シートブラケット → 前後方向加速度、変位
- ③ シートブラケット → 左右方向加速度、変位
- ④ シートブラケット → 上下方向加速度、変位
- ⑤ タンデムケース(左側) → 上下方向加速度、変位
- ⑥ フレーム後端 → 上下方向加速度、変位

図-3.1 測定箇所

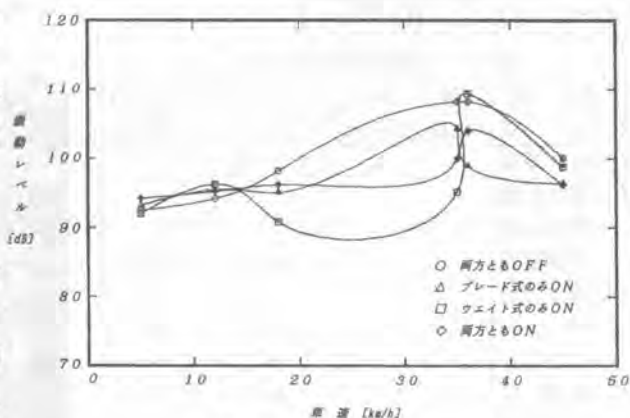


図-4.1 共振車速の相関図

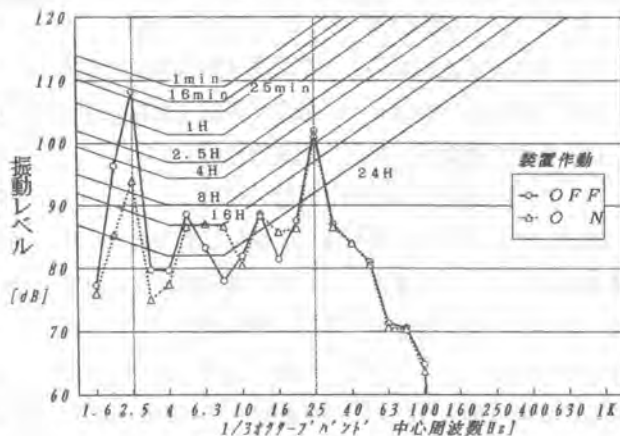


図-4.2 振動レベル周波数分析

実機の調査では、時間評価で15倍の改善が図れたが、一方で乗用車レベルへの振動低減やチェーン振動の除去等課題も残されたので、他の振動抑制方法としてサスペンション方式とフローティングキャブ方式の振動抑制装置を検討することとした。検討にあたっては、短期間で合理的に調査の行えるコンピュータシミュレーションにより振動抑制効果の調査を行った。

### 5.1 シミュレーションモデル

シミュレーションでは、直轄の主力機種である除雪グレーダを想定し、次に示すような計算モデルを設定した。計算モデルの概要を図-5.1に示す。

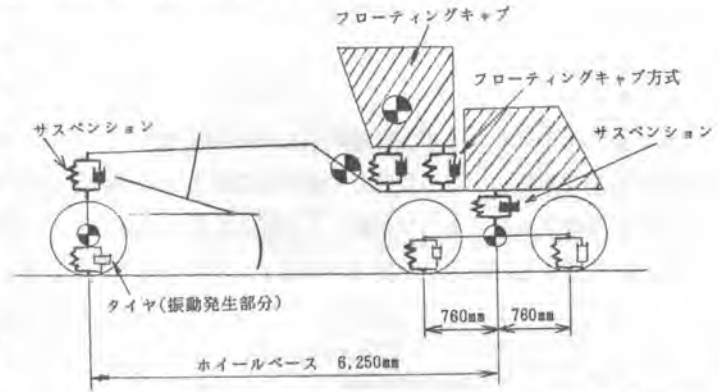


図-5.1 コンピュータシミュレーションモデル

### 5.2 シミュレーション結果

シミュレーションにあたって入力したデータは車体固有振動とチェーン振動だけであったため実機

のような周波数分析の表が作成できなかった。しかし、通常車両、サスペンション方式、フローティングキャブ方式、その両方の4条件について比較すると両方を作動させた場合に振動レベルを乗用車程度にまで低減できることがわかった。また、サスペンション方式では振動抑制装置と同様2~3Hzの車体固有振動の低減に効果があった。フローティングキャブ方式では20~30Hzのチェーン振動の低減に効果があった。図-5.2に4条件の振動波形を示す。

車速 [km/h]	通常車両	フローティングキャブ方式	サスペンション方式	フローティングキャブ方式+サスペンション方式
19				
37				
評価	108dB 除雪グレーダ現状	102dB トラック荷台程度	94dB 軽トラック程度	86dB以下 乗用車程度

図-5.2 シミュレーションの振動波形

## 6. おわりに

今回の調査では、除雪グレーダの振動を乗用車程度に低減できることが確認された。この振動低減技術により特定の作業車速域での共振が無くなり作業速度範囲の拡大や回送速度の向上を図ることができ、更には振動による作業員の苦渋性も大幅に解消することが可能となった。これからは、これを実現するため振動抑制装置とフローティングキャブを組み合わせた振動低減装置の製作、車速や作業形態などを自動的に検知して、振動低減が最適に行えるような自動振動抑制装置の開発等残された課題に取り組んでいきたい。今後、この振動抑制型除雪グレーダを購入時の標準機として導入する等普及に努め、建設現場における環境改善の一端としたい。

## 46. 突入防止施設の開発

建設省：熊本 泰俊・池田 八郎  
\*宮本 典明

### 1. はじめに

近年、路上工事における規制区域内への車両突入事故：「もらい事故」が多発し、保安・誘導施設等も含めた安全対策についての見直しや新たな取組みの必要性が提起されていた。

そこで、このような「もらい事故」に対処し、路上工事における総合的な安全対策の確立を目的として、平成3年度より「突入防止施設の開発」に着手したものである。

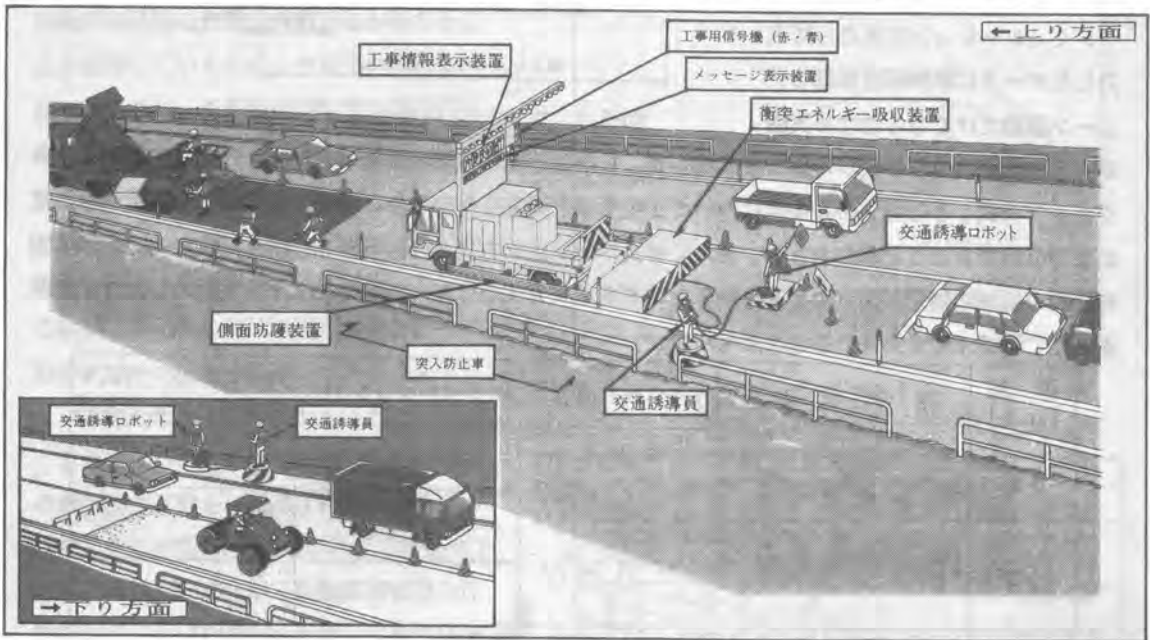


図-1 突入防止施設による路上工事安全対策構想

本開発は、図-1に示す突入防止施設による路上工事安全対策構想図を開発の基本構想として、

- ①路上作業により規制中の区間における一般通行車両を円滑に誘導し、さらに誤って進入してきた車両を物理的、かつ安全に停止させ、工事区域内への車両の進入を防止する「突入防止車」
- ②交通誘導員が被災するケースが多いことから、交通誘導員の操作により、誘導動作を行い、一般通行車両に合図を送る「交通誘導ロボット」

を中心に、開発を実施しているもので、現在までに、試作機の製作を完了し、「突入防止車」については突入試験（実際に乗用車を設計条件速度で衝突させる試験）を実施し、突入防止車の防御効果と突入車両及び乗員に対する安全性等について良好な結果が得られ、今年度より管内の工事現場において、試験運用を開始する実用化段階に到達したものである。本文は、その概要について報告するものである。

## 2. 突入防止車の概要

突入防止車（写真－1）は、一般通行車両を円滑に誘導し、さらに誤って進入してくる車両を安全に停止させる機能を有する装置：「工事情報表示装置、衝突エネルギー吸収装置、側面防護装置」を4 t 車シャシに架装したものである。写真－2は各装置を格納した回送姿勢である。



写真－1 突入防止車全景（設置状態）



写真－2 回送姿勢

### 2.1 工事情報表示装置

本装置（写真－3）は、工事区域や規制内容を比較的遠方よりドライバーに認知させ、早い時期に次の操作（操向、ブレーキング等）を促すため、オーバーハング型黄色点滅灯、内照式大型表示器、工事用信号機、LEDメッセージ表示器で構成され、それらの表示位置は地上高3.6m以上として、一体化されたものである。特に、オーバーハング型黄色点滅灯は車道の建築限界を超える4.7mを確保している。また、オーバーハング型黄色点滅灯、工事用信号機は張出し方向（右又は左）が選択でき、内照式大型表示器は規制内容により6パターンが切替表示可能となっている。



写真－3 工事情報表示装置全景

### 2.2 衝突エネルギー吸収装置

本装置（写真－4）は、反発係数が極小のクッション材と格納機構で構成されるもので、万一、車両が突入した場合においても、突入車両を安全に停止させるものである。このクッション材（米国EASI社製、特許）は、全アルミ製の特殊構造により蛇腹のように変形しエネルギーを吸収するタイプで、車両及び乗員の損傷を最小限にし、本体構造材が飛散しないことが特徴である。また、設置・格納は、リモコン操作により、スピーディで簡単に行うことができる。



写真－4 装置設置動作中

### 2.3 側面防護装置

本装置は、側面からの衝突に対し、突入防止車本体を保護し、衝突した車両を通行車線に安全に誘導するもので、ガードレール材と格納機構で構成されている。また、設置・格納は、リモコン操作により、スピーディで簡単に行うことができる。

## 2.4 主要諸元表

項目 \ 区分	回走時(装置格納状態)	作業時(装置設置状態)
全長	7,595mm	10,715mm
全幅	2,370mm	5,130mm(ホウライ先端)
全高	3,425mm	4,850mm(ホウライ天端)
両総重量	7,990Kg	
衝突エネルギー吸収装置	エネルギー吸収条件:速度=60Km,対象車両重量=2t 単体寸法:幅1,830×長さ2,070×高さ570(mm) 設置時全幅:3,760(mm)	

### 3. 交通誘導ロボットの概要

交通誘導ロボットは、交通誘導員の被災を回避するため、交通誘導員の状況判断と安全な位置からのリモコン操作により、進行・停止等の誘導動作:「旗振り」を交通誘導員に替わって行うものである。

#### 3.1 合図の種類と基本動作

ロボットの動作は、交通誘導員が行う基本動作(停止・進行・徐行)をパターン化し、再現できる構造となっている。また、工事情報表示装置の工事用信号機、LEDメッセージ表示器は、ロボットの動作に連動させ、表示を変えることが可能である。

##### (1) 停止の合図

- ・赤旗を側頭部に沿って垂直に上げ、左右へ小角度で振る…停止予告(写真-5)
- ・赤旗を肩の高さに降ろし、水平に保つ。(写真-6)

##### (2) 進行の合図

- ・体を進行方向に平行(頭は正面)に向け、緑旗を左右に大きく振る。(写真-7)

##### (3) 徐行の合図

- ・体を進行方向に平行(頭は正面)に向け、緑旗を水平に上げ、小刻みな上下動を繰り返す。



写真-5 停止予告動作



写真-6 停止動作



写真-7 進行動作

### 3.2 主要諸元表

項目	内容
寸法等	身長：220 Cm (台座含む)、重量：120 Kg (台座含む)
操作制御方式	電動モーター制御 (AC100V)、リモコン押釦操作 (5パターン)
電源方式	車載式PTO発電機と外部電源の両用

## 4. 突入試験

### 4.1 試験の概要

突入試験は、突入防止車を設置した状態で乗用車 (総重量：約1200Kg) を60km/hで衝突させ、衝突から停止、安定までを調査したもので、突入状況を4ケース想定し、実施したものである。

### 4.2 試験の結果

測定項目及び評価方法は※「NCHRP230」に準じて行っており、衝突時の車体加速度、衝突後の車室内空間、衝突時の車両軌跡、エネルギー吸収材の離脱物等の評価項目について、全て満足する結果が得られた。

※全米調査評議会の運輸調査委員会による全米ハイウェイ共同調査計画報告230：「ハイウェイ付属物の安全性能評価のための手順、方法についての勧告」



写真-8 試験車両：突入前



写真-9 突入後の状況：上方から



写真-10 突入後の試験車両損傷状況

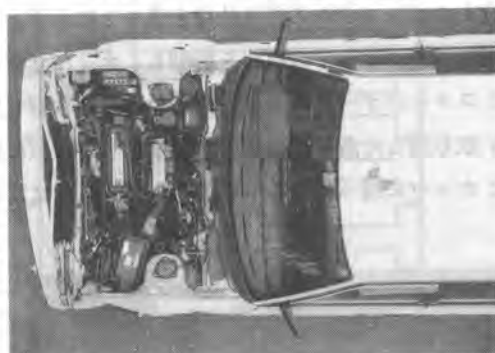


写真-11 突入後の車体変形状況：上方から

## 5. おわりに

今後は、技術活用パイロット事業として工事現場に導入し、現場適応性並びに導入効果について評価を行い、改良改善を加え、普及・導入の拡大を図り、路上工事の安全対策を推進するものである。

# 47. 無人ホイールローダシステムの開発

～アスファルトプラントへの適用例～

KOMATSU：大島 寛・\*森 真幸

小松メック(株)：福田 正男

日本舗道(株)：後町 知宏・山辺 生雅

## 1. はじめに

最近の建設業においては、技能労働者の減少・高齢化、若年労働者の製造業離れ、労働環境の悪さ等による人手不足の問題が深刻化し、労働環境の改善と生産性向上の為に省力化・自動化・ロボット化の技術開発が急務とされている。採石・砂等の材料の掘削・運搬・積み込みを主作業とするホイールローダにおいても、その運転は騒音・振動・粉塵の中で長時間の単調・苦渋作業を強いられ、最近の労働力不足からオペレータの確保が難しく、生産性の面からも自動化のニーズが高い。

このような背景から、材料の掘削・運搬・投入のルーチンワークを全自動で行うホイールローダの無人運転システムを研究・開発し、アスファルト合材プラントに適用した。ここでは開発したシステムの概要を報告する。

## 2. システム概要

### 2-1 自動化作業・仕様

本システムは、ベースマシンとしてコマツのWA150（写真-1）を用い、アスファルト合材プラントにおけるホイールローダ作業の内、以下にあげる4つのルーチンワーク（全作業の約75%）を自動化した。システムの主な仕様を表-1に示す。

- ① ストックヤードの材料を掘削し、ホッパまで運搬し投入する材料供給作業
- ② ストックヤードに新規入荷した時のかき寄せ作業
- ③ 取り残した湿った材料の水切りをするために乾燥した別のストックヤードへ移動する横持ち作業
- ④ ホッパに残っている砂を落としアーチ状になるのを防ぐアーチング防止作業



写真-1 WA150無人運転車

表-1 無人運転システムの主な仕様

使用機種	WA 150	運転整備重量	7.9 ton
		バケット容量	1.7 m <sup>3</sup>
		定格出力	110 ps/2400rpm
走行性能	直線走行速度	7 km/h max	
	曲線走行速度	4 km/h	
	バケット位置決め精度	±75 mm	
供給力	生産量	70 ton/h	
	バケット満杯率	88 %	
	連続運転時間	4 h	

2-2 システム構成

制御システムは、全体の作業を管理しホイールローダへの作業指令・誘導指示を与える地上制御装置、ダンプの入退場管理・ホップ管理を行う周辺装置、ホイールローダの走行・作業を自動化するための車載制御装置からなる。図-1 にシステム構成を示す。

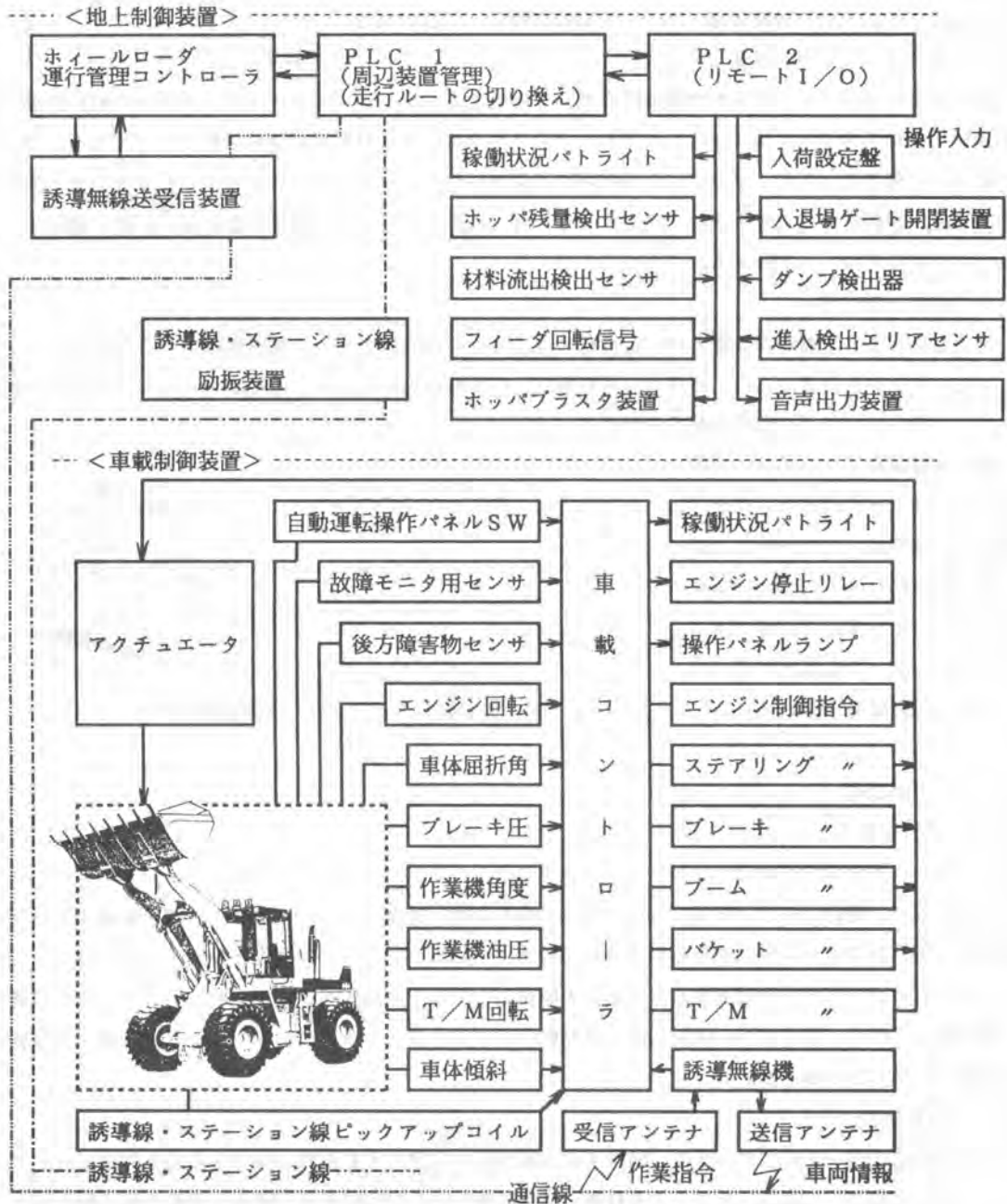


図-1 ホイールローダ無人運転システムの構成



## 2-3 ホイールローダの運行管理

### (1) 作業設定・作業表示

ホイールローダ運行管理コントローラにはPC9801パソコンを使用し、無人運転開始前に、使用ストックヤード・ホッパ・移動ルート・作業パターン等をキーボードから設定する。無人運転中は運転状態やホッパの供給状態・作業実績や、システム異常時のエラー表示などを選択してモニタ画面に表示できる。また、1日の稼働実績・エラー実績は累積して記録される。

### (2) 作業モード・付帯作業

あらかじめ設定された効率的作業順序に従って運転するスケジュールモードと、ホッパ内材料の減り方の早い材料を優先的に投入するレバラモードの2つのモードで材料供給連続運転が可能である。連続運転中の付帯作業として、ダンプによる材料の入荷後にはストックヤードのかき寄せ作業を、ホッパ内材料の流出が停止するとアーチング防止作業を、同一ストックヤードの掘削回数が規定回数に達すると横持ち作業を選択し、実行する。

### (3) 通信・経路指示

地上制御装置と車載制御装置とは、走行路に埋設された通信線を介して誘導無線で双方向通信を行っている。地上制御装置からは、車両への材料種別・作業種別等の指示を、車載制御装置からは車両位置・エラー発生状況などの車両状況を送信する。

地上制御装置は作業順序・車両状況・各種センサ情報から判断し、励振する誘導線・ステーション線・通信線を切り換え、ホイールローダの走行すべき経路を逐次指示していく。図-2に無人ホイールローダ走行経路を示す。

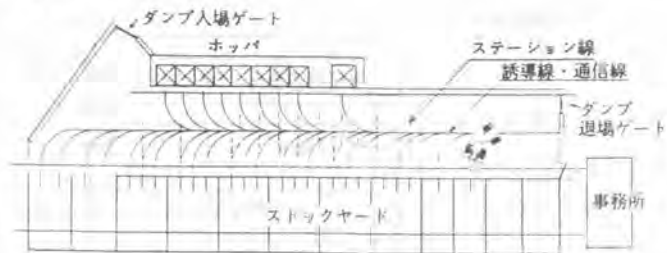


図-2 無人ホイールローダ走行経路

## 2-4 車両制御

### (1) 走行制御

ホイールローダの走行制御は、エンジンコントロール・ブレーキコントロール・ミッションコントロールからなり、走行コース・作業内容ごとに定められた走行速度・ブレーキタイミング・前後進・速度段に応じて、各アクチュエータを駆動する。走行速度の制御は、エンジン回転と車速センサをフィードバックし、エンジン出力を制御する。ブレーキ制御は、ブレーキ油圧をフィードバックして、停止位置・積荷時/空荷時・緊急時等の状況に応じて制動圧を制御する。トランスミッションは前後進・速度段を作業に応じて切り換える。

### (2) 操舵制御

車両の操舵は図-3に示すように、励振された誘導線から発生する磁界の強さを左右4対のピックアップコイルで検出し、算出したコースずれ量・車両姿勢角から目標屈折角を定め、実際の車両屈折角との偏差量に応じて左右ステアリング用電磁比例弁を駆動して制御する。

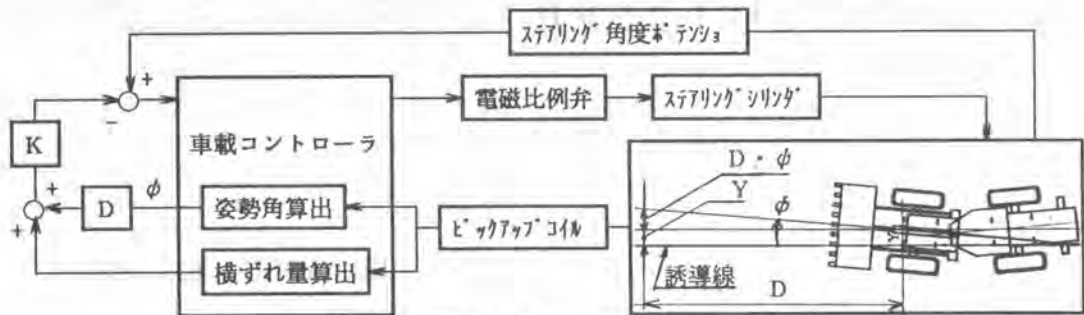


図-3 操舵制御ブロック図

### (3) 作業機制御

材料の掘削作業は図-4に示すように、作業機角度センサと作業機シリンダ油圧からバケットにかかる負荷（水平抵抗・垂直抵抗）を計算し、その負荷に応じて作業機バルブを、電磁比例弁で駆動してブームおよびバケットを制御する。掘削開始位置をバケットにかかる水平抵抗の増加（ $R_H > R_{Hok}$ ）で検出し、以後、水平抵抗が設定した範囲（ $R_{Hlow} < R_H < R_{Hhigh}$ ）に保たれるようにブームおよびバケットを動作させる。その間、垂直抵抗が極端に低下した場合にはポンピング動作をいれ、土量を確保する。ブーム位置が所定の値になるか、バケットストロークエンドで掘削を終了する。

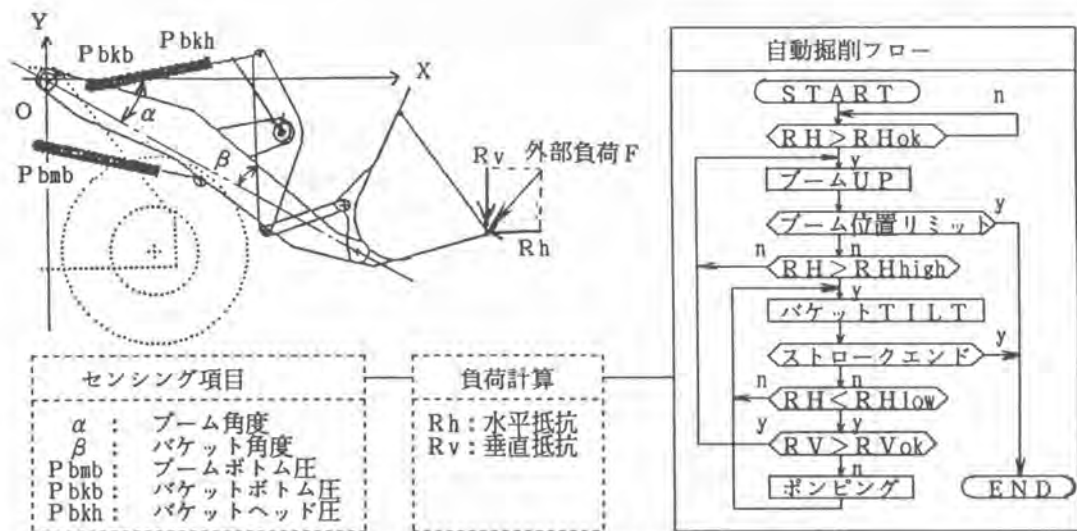


図-4 自動掘削アルゴリズム概略

### 3. おわりに

アスファルトプラントのホイールローダ作業の約75%を占めるルーチンワークの自動化が可能な無人ホイールローダシステムを開発した。今後は、他のアスファルトプラントへの導入および、他のホイールローダ作業への適用も進めていく。

# 48. KOMATSU LASER LEVELING SYSTEM の開発

KOMATSU：北 郁夫

## 1. はじめに

近年、ブルドーザの操作の難しさから若者のオペレータの為り手が年々減少している。(図1参照) また、水田の1枚あたりの面積も年々拡大の傾向があり、今や1町歩(10000㎡)、2町歩の水田も珍しく無くなってきている。また3町歩、5町歩も実験的ではあるが出現している。このような広大な面積を有する水田では、もはや熟練オペレータの技量を持ってしても水田に要求される整地精度(±3cm)を出すのは困難となってきている。

このような背景のもと、素人でも簡単に整地が出来、また、熟練オペレータにおいても満足のいく高速で整地が可能な自動レーザーレベリング装置である KOMATSU LASER LEVELING SYSTEM (以下KLLSと呼ぶ。)を開発したので本稿で紹介する。

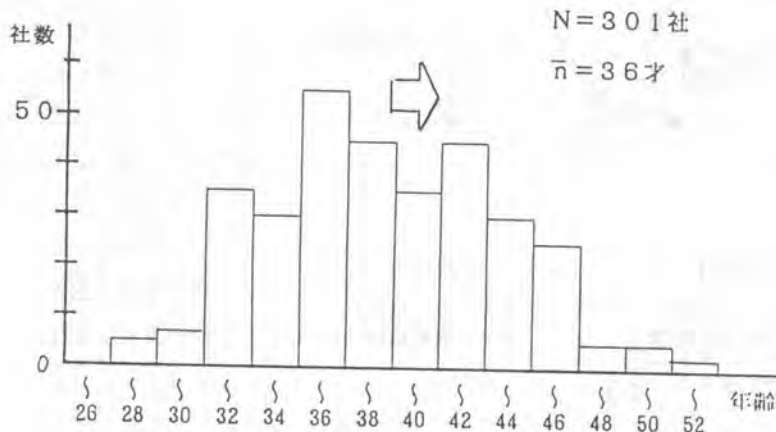


図1 オペレータ年齢構成

## 2. ブルドーザの性質

ここで、本論に入る前にブルドーザの性質について説明する。

ブレード操作と、作業地形及び車両の挙動関係を図2の様に簡略化したモデルで表現する。

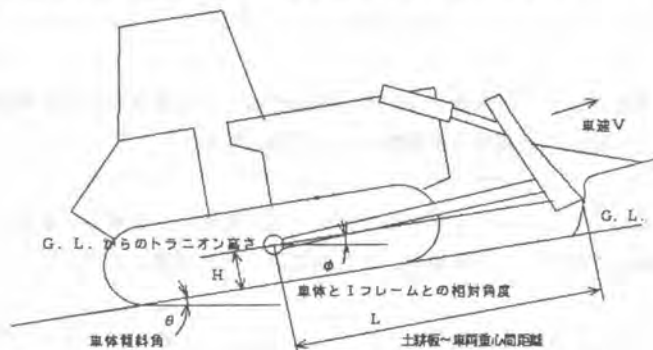


図2 ブルドーザ概略図

図2の様にブルドーザは、ブレード刃先の生成地形を踏みしめて作業するため、ブレード操作レバー中立の状態すなわち車体～Iフレーム相対角を一定に保っても作業地形は一定勾配とならず発散してしまう。その例を図3に示す。この為、オペレータは車体傾斜やブレード高さを常に注意深く監視し早め早めに修正操作をしなければならず高い技能を必要とするとともに疲労も大きい。

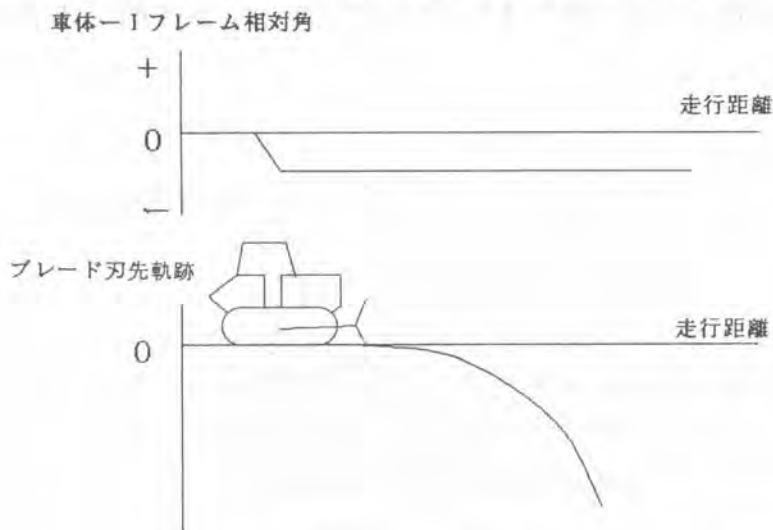


図3 車体とIフレームの相対角に対するブレード刃先軌跡

### 3. KLLSの特徴

上記で述べた問題の解決策としてブレード作業の自動化がある。昔から自動レーザレベリング装置があるが、あまり普及していない。本装置は従来からある自動レーザレベリング装置に比べ下記の特徴を持つ。

- (1) 従来は車速3 km/hが限界だったが、車速5 km/hで精度±3 cmの整地が可能。  
これにより従来の装置より生産性が70%向上した。
- (2) 自動運転時マニュアル介入が可能でブレードの整地高さを簡単に運転席から変更が出来る。  
(変更後はその高さで自動運転、また基準高さへの復帰はボタンを押すだけで可能)
- (3) リフトに加えチルトも自動化することによりブレード操作が不要で未熟練オペレータでも整地可能。
- (4) 投光機はどこのメーカーの物でも使用が可能で本装置のために特定の投光機を購入する必要がない。

### 4. 構造概略

前記した特徴を持たせるための構造、各センサー及びアクチュエータの配置を図4に示す。

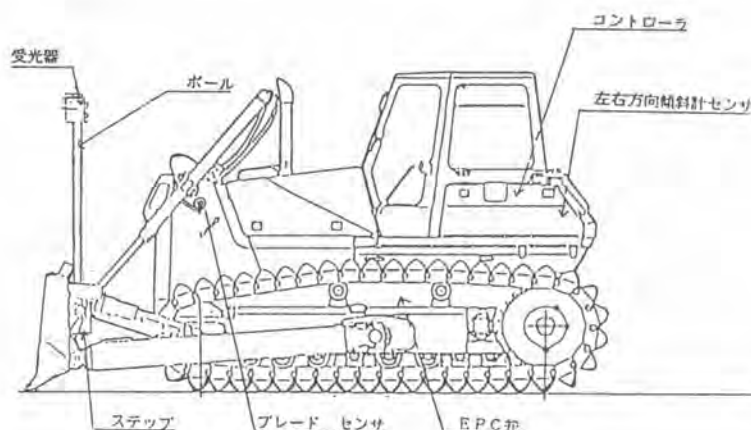


図4 KLLS概略図

本装置が従来のレベリング装置と違う点は、レーザ光によるフィードバック制御に加えブレード角センサーによるフィードバックも行ったことである。これにより従来の方法で限界だった整地作業速度を格段に向上させることが可能となった。ブレード角センサーを左右に取り付けることによりチルトの制御も可能としている。また、オペレータの意志を尊重するため、本装置はマニュアル優先の設計となっている。自動運転中でも、従来通りの作業機レバーを操作をすることで、ブレードの整地高さを変更できその高さで自動運転する。このことにより、従来のようにブレード整地高さを変えるのに、いちいち受光機の位置を調整する必要がない。以上の機能を設けることにより、初心者から熟練者まで十分使えるレーザレベリング装置となった。図5に整地精度テストの結果を示す。

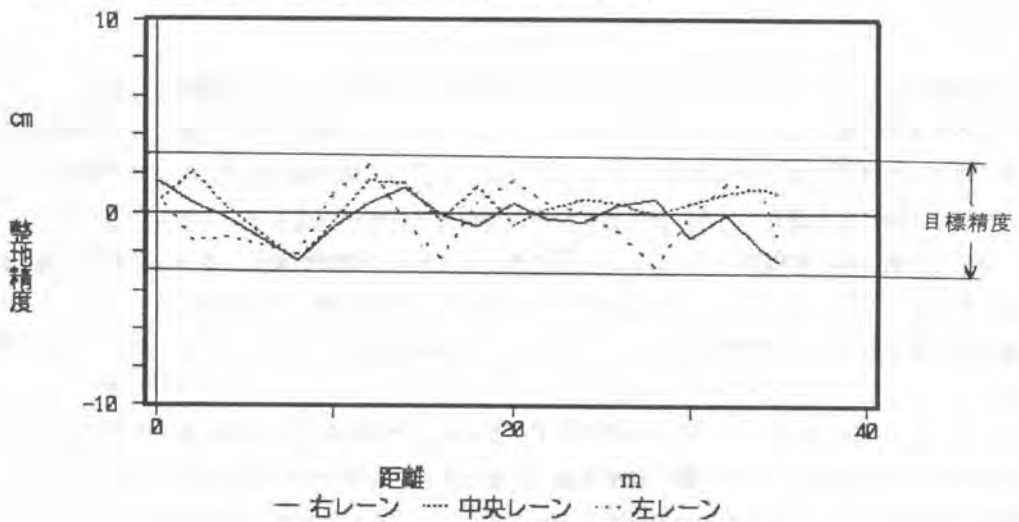


図5 整地精度 (3レーン連続整地結果 車速5km/h)

## 5. ユーザテスト結果

本装置の性能評価のためユーザテストを行った。ブルドーザの運転は、初心者（オペレータ歴1年未満）の方と熟練者（オペレータ歴20年）の方に評価していただいた。結果は非常に好評であった。特に初心者の方には、使いやすさと整地精度の良さが、また、熟練者の方は整地速度の速さ及び違和感のないブレードの応答性が好評であり設計の狙いであった項目が全て評価された。

## 6. 終わりに

ブルドーザのレーザレベリング装置という現在すでに商品化されている装置をテーマに選り性能向上を試み、新たな商品として発掘できた。今後は、本装置の設定可能機種拡大をはかる予定である。

## 49. データキャリアとパソコンによる 重機管理の実例

西松建設㈱：\* 棕木 淳二・有吉 隆弥  
田井治好美・飛田 真澄

### 1. はじめに

建設業界は3K、5Kといわれるような厳しい作業環境の改善のため、建設機械の自動化、ロボット化による作業の合理化に技術力の多くが注がれている。このため、現場における施工技術は建設機械の進歩と相まって格段の省力化が達成されている。しかしながら工事の管理業務においては合理化という観点からは大幅に立ち遅れている。特に施工管理、機械管理情報の収集はその大半を職員、オペレータの手作業（作業日報）に依存しているのが現状である。これらの情報の集計・整理は作業終了後、若手職員の手によって行われ、このため職員本来の仕事である工事の指導、施工管理を行うよりこれらの管理業務に忙殺されるという事態も見受けられる。これが管理業務面での自動化が強く望まれている所以である。

そこで、近年急速に進歩したICカード等のデータキャリアを利用した重機稼働管理システムを構築し、施工現場に導入した。この結果、稼働記録、作業日報の作成等の管理業務面での合理化とともに管理内容の信頼性の向上、作業状況の把握のスピードアップによる施工管理への速やかなフィードバックが可能となった。

### 2. 重機管理の問題点

機械施工の進展により施工管理のためには重機の稼働情報の収集、分析が不可欠となっている。その重機の稼働情報はオペレータによる手書き作業日報であり、その集計、整理、分析は職員による手作業がほとんどである。この場合、以下の点が問題とされていた。

- ① 職員、オペレータにとって、現場での記録、データの集計・整理、日報の作成という事務的作業はかなりの負担となる。
- ② 現場での記入や日報の作成がすべて人手によって行われるため、記憶違い、記入ミスなどの人為的ミスが避けられない。
- ③ 担当者により情報の収集内容、程度にばらつきがあり、信頼性に乏しい場合がある。
- ④ 月報など長期的なものは改めて日報類のチェック、集計を手作業により行う必要があり、現実には有効な整理、収集、分析など不可能に近い。

このような問題点を解決するためには重機情報の収集を極力人手を介さず機械的に行うことが必要になる。

### 3. データキャリアを利用した重機管理システム

重機から稼働情報を得るためには、センサ等を介して記録する方法とオペの手動入力による記録方法があり、記録媒体としてはICカード、メモリーカード等が考えられる。また、事前に記録された重機の情報を送る媒体としては、磁気カード、磁気テープ等が考えられる。

今回採用した媒体の特徴を表-1に示す。

表-1 媒体比較

	ICカード	メモリーカード	磁気カード
記録容量	○(高価)	◎	×
耐衝撃性	◎	◎	◎
耐振性	◎	○(接点数)	◎
信頼性	◎	○(電池)	○(摩滅)

情報の伝達方式としては、バッチ系、リアルタイム系がある。ただリアルタイム方式については

- ① 工事現場は自然が相手のため、作業環境が厳しく、情報伝達の信頼性に欠ける。
- ② 重機の作業場所、即ち情報の発進源が工事の進捗に伴い移動する。
- ③ 一般的に工事現場と事務所は離れていることが多く、無線の場合、発信、受信のための特別の設備が必要になる。また場合によっては許認可事項となり、官公庁への届出が必要となる。
- ④ 伝達をリアルタイムで行う必要がない場合がある。

以上の理由から建設工事現場で使用するにはこの方式はかなりの制限を受ける。

今回、西松建設ではそれぞれの現場の使用条件、環境に対応した3つのシステムを構築した。

#### 3-1 メモリーカードを利用したダンプ運行管理システム

本システムを採用したダム工事現場では、原石山から土捨場、骨材プラント間の運搬路の距離が長く、しかも道路が一車線のみと狭くカーブが多いため、途中60ヶ所に退避離合場所を設けている。このため、離合待ちなどのロスタイムが多く、またダンプの平均速度も15km/h前後と当初計画よりも大幅に遅くなっていた。そこでサイクルタイムの実績等を取り内容の分析を行うことになったが、離合回数、停止時間(秒時)等を運転手に記録させることはできず、そのデータ収集も手作業では難しいと考えたため、本システムの開発に至った。

本システムはダンプに状態記録計を搭載し、走行センサ・スイッチにより走行中の離合回数、待ち時間、走行距離、走行速度を収集するものであり、記録媒体はメモリーカード、伝達方式はバッチ方式を採用している。

システムの構成を図-1に示す。



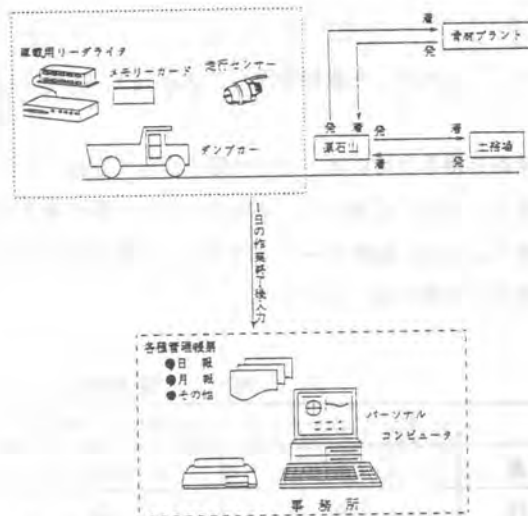


図-1 ダンプ運行管理システム構成図

### 3-2, ICカードを利用したRCDダム重機稼働管理システム

本システムはRCDダムのコンクリート打設に使用される重機に稼働記録計を搭載し、各種センサ・スイッチ等により稼働状況（作業時間、終了時刻、実作業時間、作業内容、場所等）を収集するものであり、記録媒体はICカード、伝達方式はバッチ方式を採用したものである。

システムの構成を図-2に示す。

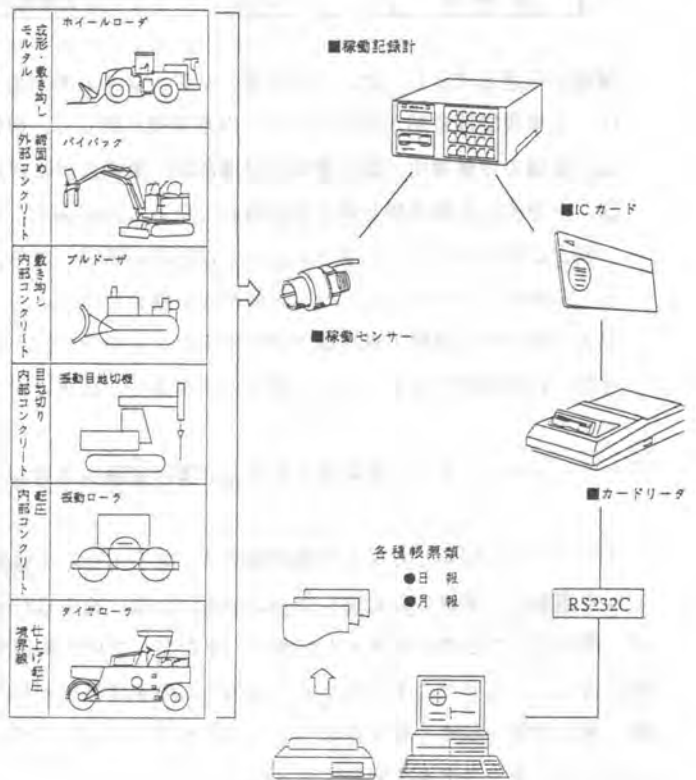


図-2 重機稼働システム構成図

### 3-3 磁気カードを利用したダンプ運行システム・・・Mr.マンボ

大規模な土地造成現場では、運行する車両の数も多く、そのマンボ取りは人手により行われるため、

記憶違い、うっかりミスなどの人為的ミスが避けられなかった。

このような問題を解決し、さらに合理化、省力化を図ったのが本システムである。

本システムは、あらかじめ各ダンプに車番、氏名、業者名を記録した磁気カードを発行しておき、運転手はそのカードを出入口に設置されたカードプリンタに差し込むだけで、ダンプの情報が伝送されるというもので、記録媒体は磁気カード、伝達方式はリアルタイム方式を採用している。

システムの構成を図-3に示す。

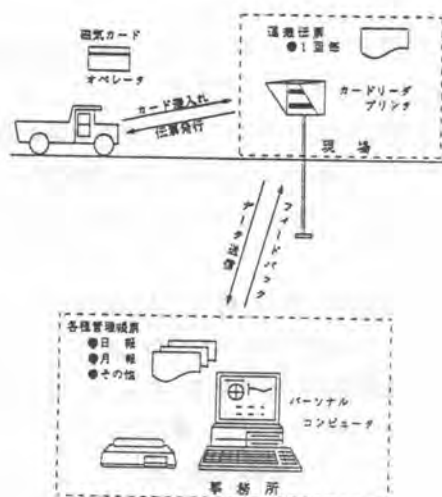


図-3 運行管理システム  
構成図

#### 4. 考察

データキャリア利用した重機管理システムの導入効果としては、①管理業務の合理化、②管理内容の信頼性の向上、③導入による副次的効果、が挙げられる。

また導入時に懸念されたシステムの耐久性、特に粉塵・風雨については今のところトラブルは発生していない。特にRCDダム重機稼働管理システムは苛酷な作業条件下で約2年にわたり、順調に使われてきた。

建設現場における磁気カード、メモリーカード、ICカードの使い分け、伝達方式については、それぞれの現場条件によりケースバイケースで選択すべきであろう。いずれにしてもシステム全体の構築費用や運用コストを含めたトータルで考える必要がある。

#### 5. おわりに

建設機械の大型化、省力化とともに管理業務面における合理化・省力化はさけて通ることのできない問題である。最近の大型工事においては、必要な情報数は数百から数千にもものぼり、これを人の手で処理した場合の労力は膨大なものとなり、即時処理は不可能である。そうした中でメモリーカード、ICカード等のデータキャリアとパソコンを利用した現場管理は非常に有効であり、今後益々身近になると思われる。これらの先進技術を効果的に利用することにより将来は機械の管理のみでなく、施工管理・品質管理を含めた総合的な工事管理システムへと発展することが可能となろう。

## 50. プレキャストコンクリート型枠の設計・ 施工技術の開発に関する共同研究の概要

建設省：野村 正之

### 1. まえがき

建設産業における長期展望では、労働者不足、熟練労働者不足、高齢化という問題に直面し、今後この傾向はより深刻なものになっていくと予測されている。また、他産業と比較し3K（きつい、汚い、危険）と呼ばれる苦渋作業、危険作業等が多く、新規入職の阻害要因ともなっている。

このような状況の下で、土木分野のコンクリート構造物の施工における省力化・省人化、作業の単純化、過酷な作業環境の改善を図り、自動化・ロボット化された大型プレハブ工法による施工の合理化が求められている。

これに対し、コンクリート構造物は一般的に大型構造物であり、プレハブ部材も大型化する。このため、施工性を考慮すると、対象構造物全体を分割した形状の部材（二次製品）を用い、これを現場で組立・接合する工法や、対象構造物の周囲をプレキャスト型枠で組み立て、その中に二次コンクリートを打設し、施工後も型枠を取り外さずそのまま構造物の外壁とする工法等が考えられる。

そこで本研究では、プレキャスト型枠工法に対して、部材の大型化及び施工の機械化の際に発生が想定される問題点を明かにし、プレハブ化・機械化するための方法について検討を行い、大型プレキャスト型枠工法の開発を行うことを目的として、構造鉄筋を含む厚肉タイプのプレキャスト型枠を取りあげ各種調査研究を実施している。

なお、本研究は建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」の課題である。また、本研究は土木研究所・（財）先端建設技術センター・民間14社（大林組、小野田セメント、鹿島、佐藤工業、清水建設、大成建設、竹中土木、秩父セメント、飛鳥建設、西松建設、日本国土開発、フジタ、不動建設、前田建設工業）による共同研究として、平成2年度より平成6年度までの5箇年で実施している。

### 2. プレキャスト型枠に関する課題の分類

本研究のフローは図1に示すとおりである。各種調査によりプレキャスト型枠適用のメリットが考えられる構造物の抽出した。その結果を表1に示す。これより、橋梁下部工等にプレキャスト型枠適用のメリットがあることがわかる。つづいて、選択された構造物に関して、基本的

表1 対象構造物の抽出結果

項 目		プレキャストプロ ックとの適合性	型枠内の 作業性	使用 頻度	規格化 容易性
構 造 物	部材厚				
橋 脚 下 部 工	大	無	○	○	○
ボックス カルバート	大型	無	○	△	△
	小型	有	×	○	○
下 水 処 理 場	大	無	○	△	△
擁 壁	小	有	×	○	○

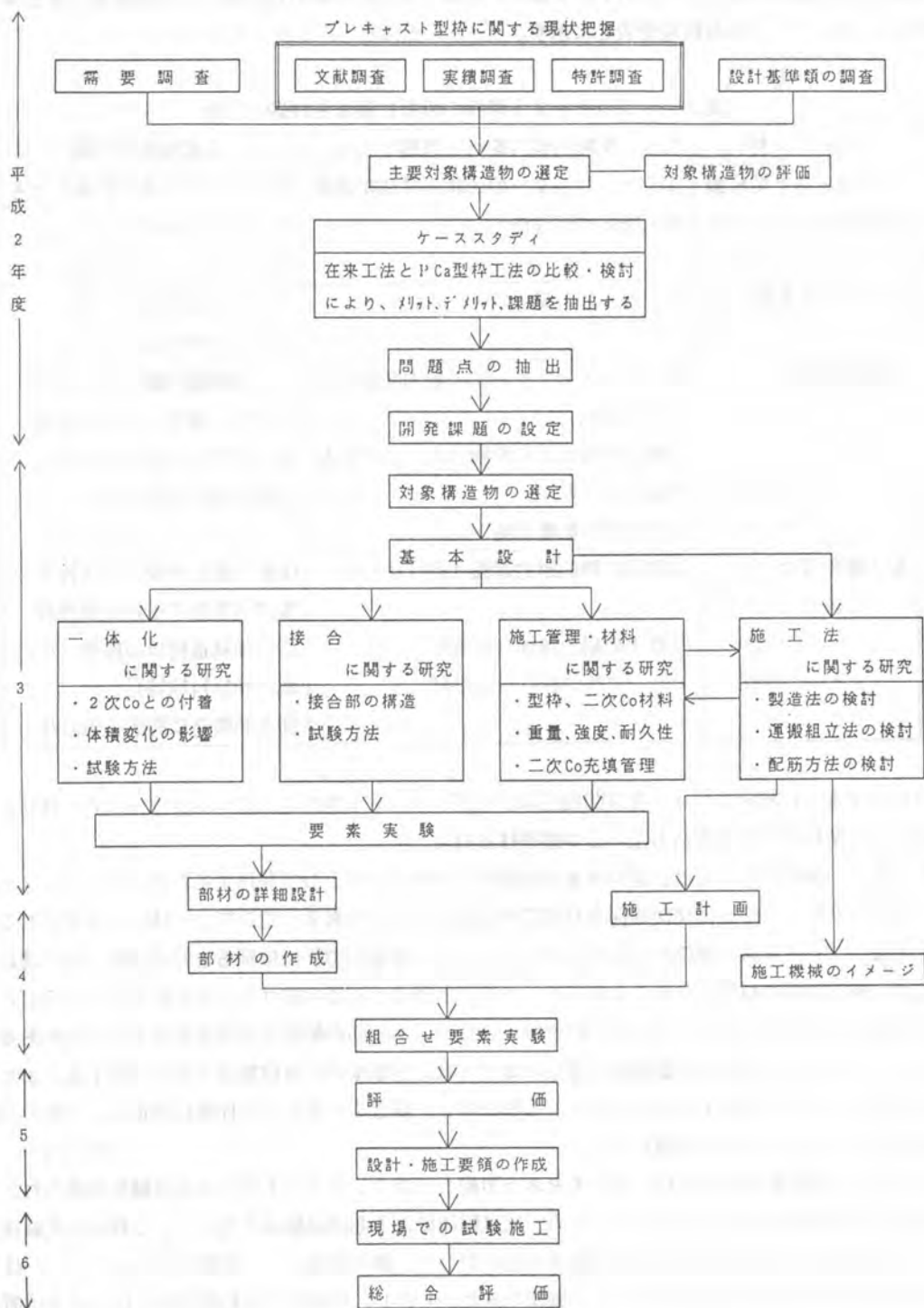


図1 全体研究計画フロー

な要素について検討課題の分類を行い、実験的に確認しなければならない事項と文献調査による事項の分類を行った。その主要な結果を表2に示す。

表2 プレキャスト型枠の設計に関する課題の分類

	項目	実験的検討を行う課題	文献検討の課題
一体化	プレキャスト型枠裏面に凹凸（シアークッター）をつける	①シアークッターの形状・寸法によるせん断応力伝達能力	①シアークッターの量によるせん断応力伝達能力 ②シアークッターの設計法
	ジベル筋を配置する	①ジベル筋の量	①ジベル筋の形状・径 ②ジベル筋の設計法
接合	主筋の接合	①スプライススリーブの耐力評価（曲げせん断耐力） ②継手設置位置の影響評価（曲げせん断耐力） ③目地材の影響評価	①太径鉄筋や鉄骨の利用 ②疲労・衝撃に対する評価 ③主筋接合に関する設計法 ④目地構造材料の検討
	配力筋の接合	①継手の静的耐力評価（曲げせん断） ②継手の耐力評価（地震時）	①配力筋に要求される性能の整理と評価する指標の検討 ②目地構造材料の検討（空目地、簡易目地等） ③主筋接合に関する設計法

表2に示すように解決すべき大きな問題点は、①プレキャスト型枠と二次コンクリートの一体化、②プレキャスト型枠間の鉄筋接合方法の2つが挙げられる。

すなわち、一体化においては、プレキャスト型枠を本体の一部として利用するため、プレキャスト型枠と二次コンクリートの一体化が確保されることが重要な条件である。ここで、一体化に求められる条件としては、プレキャスト型枠と二次コンクリートの打ち継ぎ面で終局に至るまでせん断力の伝達が可能であり、構造物が重ね梁となることがなく、一体打ち構造と同等の曲げ及びせん断力を有することが求められる。このため、シアークッターの形状・寸法やジベル筋の配置及び量を検討する必要がある。

また、プレキャスト型枠間の鉄筋接合方法においては、主筋接合には機械式スリーブ継手を、また、配力筋の接合には、重ね継手が考えられる。これに対し、継ぎ手効率をどの程度に設定し、目地の充填をどの様に行っていくか等の問題がある。

このため、一面剪断試験により、プレキャスト型枠と二次コンクリートの一体化実験を実施した。また、鉛直方向の継ぎ手効率を明らかにするため、梁試験体による曲げ試験を実施した。これらの実験結果より、主筋の接合及びコンクリート面の接合方法に対して、静的荷重による影響が明かとなり、一体打ちした場合と同等の強度が得られることが確認できた。しかし、型枠相互を鉛直方向に接合する位置においては、継ぎ手構造が定まっていない。このため、配力筋としての妥当な継ぎ手評価方法及び簡易継ぎ手の

構造を検討し、実験方法を検討し実験により確認する必要がある。このため現在、重ね継手の実験を実施している。前述の試験結果と併せて、設計施工手法に反映させる予定である。

### 3. 設計手法の検討

設計手法として確立するためには、設計施工要領（案）としてまとめる必要がある。そこで、その概念と在り方の検討を実施した。その概要は、図2に示すとおりである。

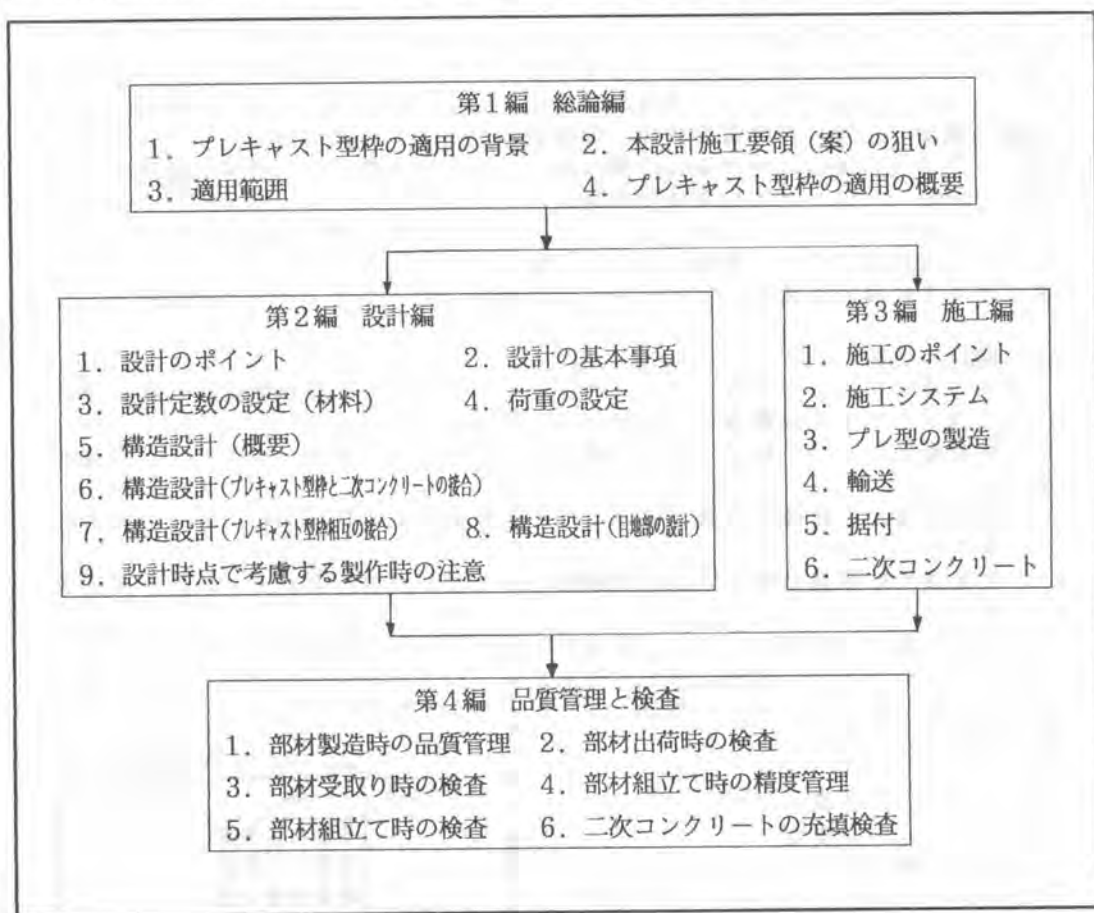


図2 プレキャスト型枠設計施工要領（案）の構造図（予定）

### 4. 今後の課題

簡易継手の最適形状寸法を決定するとともに、施工管理技術や施工機械の概念検討を実施し、大型プレキャスト型枠の施工システムを決定する必要がある。

# 51. 画像処理を利用した骨材生産量調整システム (CAP)の開発

(株)間 組：麻生 公裕・脇山 一郎  
\*北 義秀

## 1. はじめに

骨材プラントは破砕機やスクリーンで岩石を破砕選別する設備であり、土木工事の中では比較的工場生産に近いと言える。そのため単体機械の能力向上とともに、シーケンス制御等による運転の効率化が図られてきた。しかし、巡回点検や清掃・整備、生産・貯蔵量の確認、機械操作などでは依然人手による作業も多く骨材プラントの運転にかかる人件費は高い。また骨材費がダム堤体工事費の30%以上を占める一方、近年作業員や熟練者が不足しており、より経済的なプラントの運転が望まれている。筆者らは、こうした点から近年急速に発展したコンピュータや通信技術を用いて骨材プラント自動化システムの開発を行い、いくつかのダム現場での導入を通じて全体システムの構築に至ったのでその概要を報告する。

## 2. 開発の目標

従来の骨材プラントでは、リレーやシーケンサを使った骨材輸送の起動・停止、ベルトコンベア上の金属検出、骨材ピンの空満レベルの検出、バッチャープラントの貯蔵量にもとづく製品の自動運搬などが行われているが、次のような課題があった。

- ・機械設備が広範囲に分散しているため運転操作・管理・保守に多大の労力を要する。
- ・生産量や貯蔵量の度合いは目視確認のため巡回点検作業が多い反面、測定誤差が大きい。
- ・粉塵・騒音・振動が大きく大型機械周辺での作業であるため、危険を伴う。

従って、当システム開発は以上の作業をコンピュータで支援することで容易にすることを目標とした。すなわち、コンピュータ支援骨材プラント (CAP) の確立を最終の目標としている。

表-1 システム要求機能

## 3. システムの概要

### 3-1 システム機能

2章の目標を解決するためにシステムに必要と考えた機能を以下のように決めた。

- ①生産状況の数値管理
- ②機器の自動制御
- ③コンピュータによる集中管理

また、この詳細を表-1に示す。

### 3-2 システム構成

図-1にシステムの構成、表-2、3、

4、5に各サブシステムの仕様を示す。

#### 3-2-1 画像処理サブシステム

ベルトコンベアの先端上部にCCDカメラを内蔵した暗室を設置し、画像処理により骨材運搬量を計測する。撮影したベルト

処理内容	項目
①数値管理	各骨材生産量 各骨材貯蔵量 各骨材使用量 骨材粒度・形状 機器稼動信号 自動ダンパー開度
	②自動制御
③集中管理	骨材生産・貯蔵・使用量実績 骨材粒度 コンクリート使用計画・配合 機器運転状況・稼動時間 機器警報時の詳細情報 運転日報・月報・年報印字

コンベア上の骨材断面映像から二値化処理により骨材断面積を求め、この処理を繰り返し高速に行うことにより骨材運搬量を得る。1台の画像処理装置で数カ所の骨材運搬量が計測できるためベルトスケールよりコストダウンが期待できる。

### 3-2-2 自動ダンパー

従来のダンパーは6~7枚の羽根板からなっており、それらを人力で引き起こすことで製品骨材取出量と破碎機への投入量の比率を調整していた。自動ダンパーは2枚の板からなるスライドゲートで、電動シリンダによって開度調整することで自動制御を可能とした。

### 3-2-3 骨材消費量伝送サブシステム

骨材消費量データを得るためにバッチャープラントでコンクリートを混練する際発生する骨材計量値を骨材プラント運転管理システムに伝送する。運転管理システムは、ここで得られた使用量と画像処理サブシステムで得られた生産量より製品貯蔵量を算出し、プラントの制御を行う。長期間のプラント運転では貯蔵量に誤差が発生するため別途貯蔵ビンには補正用の空満レベルセンサを取り付ける。

### 3-2-4 運転管理システム

運転管理システムは、画像処理サブシステム、自動ダンパー、骨材消費量伝送サブシステム、骨材プラント制御盤とオンラインで結合し、骨材生産量・使用量・貯蔵量等のグラフ表示や各機器の運転状況監視、制御を行う。操作は初心者でも簡単なようにファンクションキーによる切り替えとした。また、運転結果は自動的に記録され運転日報が作成される。

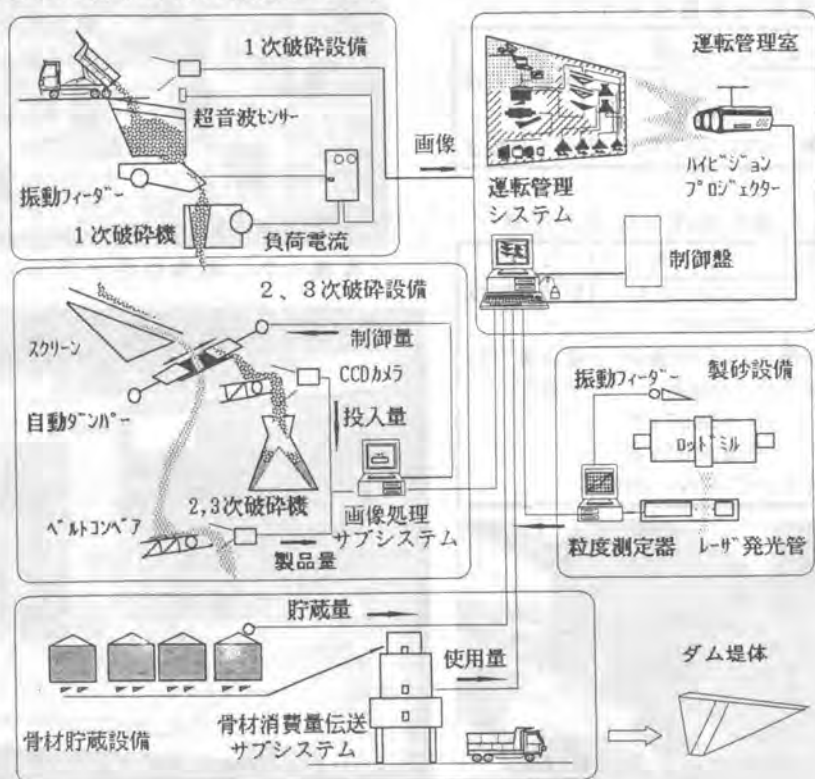


図-1 骨材プラント自動化システムの構成



表-2 画像処理サブシステム仕様

装置名称	仕様	目的
コンピュータ	PC-9801DA 135MBHD	総合管理
プリンタ	136桁	帳票出力
信号変換機	RS232C-RS422	データ受信
シーケンサ		機器監視
安定化電源	AC100V、1kVA	

表-3 自動ダンパー仕様

装置名称	仕様	目的
電動シリンダ	推力500kgf ストローク 800mm 速度25mm/秒 4P,0.2KW スライド板式	生産量調整

表-4 骨材消費量伝送サブシステム

装置名称	仕様	目的
コンピュータ	PC-9801RA 40MBHD	消費量監視
信号変換機	RS232C-RS422	データ転送

表-5 運転管理システム仕様

装置名称	仕様	目的
コンピュータ	PC-9801RA 40MBHD	生産量監視
画像処理装置	320x240画素	運搬量・粒 子測定
CCDカメラ	1/1,000秒 水平560TV本 垂直360TV本	
高周波蛍光灯	AC100V、36W	



写真-3 自動ダンパー



写真-1 カメラ架台

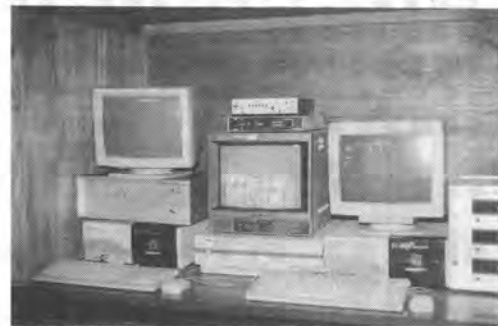


写真-2 画像処理サブシステム

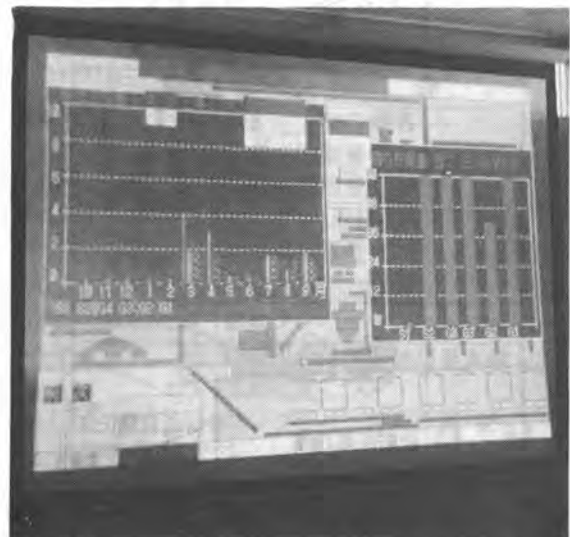


写真-4 運転管理システム画面

#### 4. システム実証実験

実施場所 広島県八田原ダム 期間 平成元年5月－平成4年10月

実施項目 ・運転管理システム

骨材プラント制御盤との接続、ベルトスケールの設置、バッチャープラント消費量の伝送によりコンピュータによる集中管理をする運転管理システムの開発、導入を行った。コンピュータ画面には生産データ、運転データがグラフィック表示されるとともに、データ収集し、機器運転異常時には合成音声メッセージを操作者に伝えた。生産状況の数値管理に効果はあったが、以下の点が課題として挙げられた。

- ・システムの単純化
- ・システムのリアルタイム化
- ・ユーザインターフェイスの簡略化
- ・生産量計測装置のコストダウン

実施場所 宮崎県広沢ダム 期間 平成2年2月－平成4年6月

実施項目 ・自動ダンパー ・画像処理サブシステム

人力操作を低減するために自動ダンパーを開発し、コンピュータからの操作者の指示により自動開閉できるようにした。結果として、開閉動作がプラント運転中でも可能となり無人で行えるため安全度が増した。また、ベルトスケールに代る測定方法としてCCDカメラとコンピュータを中心とした画像処理サブシステムを導入し、各骨材の生産量を計測した。中砂利落下部では生産量測定とともに粒子形状の測定を行った。画像処理の利用においては処理時間は1箇所あたり約2秒で行えたが以下の課題が指摘された。

- ・画像処理速度の向上
- ・自動ダンパー開度制御機能の追加
- ・CCDカメラによる撮影環境の改善

#### 5. あとがき

今回、骨材プラントの自動化を目標としてコンピュータによるシステムの構築を試みたが、コストダウンや現場への導入の容易性、各システムの対環境性その他の点でより一層の工夫が必要であると思われる。現在、上記2件の現場から得た改良要求をもとにコンピュータ処理のリアルタイム化やカメラ暗室の改良、自動ダンパーの開度制御機能追加等を行っており、平成5年3月には、統合化されたものが次の現場で稼働開始する予定である。今後も実際の施工の中で運転技術を確立していく必要があり結果については追って報告させて頂く。

## 52. 建設車両自動運転システムの開発(第3報)

～現場での無人走行評価実験～

ハザマ：滝澤 幸信・齊藤 宏明  
筑波大学：油田 信一

### 1. まえがき

建設工事における運搬作業は、各工種の中でも、最も中核的な作業の一つといえる。そこで、車両を用いた資材運搬作業に着目し、この作業の省人化が、人手不足や作業の合理化への解決策になると考え、建設車両自動運転システム(HIVACS\*\*)の開発に取り組んでいる。

本シンポジウムにおいては、第1報で、建設工事(特に土工事)における自動運転システム実現のための基本構想と、およびその技術開発の進め方について、第2報では各要素技術、それらを評価するために製作した実験車による、研究所内テストコースでの評価実験結果について報告した。

本報では、この実験車を用いた、実際のダム現場での無人走行実験(写真-1)について報告する。



写真-1 実験状況

### 2. 実験場所

実験は、広島県に建設中の建設省中国地方建設局八田原ダムで行った。今回の評価実験では、図-1に示す左岸上部道路を使用した。この工事専用道路は、全長約500mの全面舗装路である。表-1に道路状況の詳細を示す。なお、実用化の当面のターゲットとしては、原石山からパッチャープラントへ通じる骨材運搬路(全長約2km)を考えている。

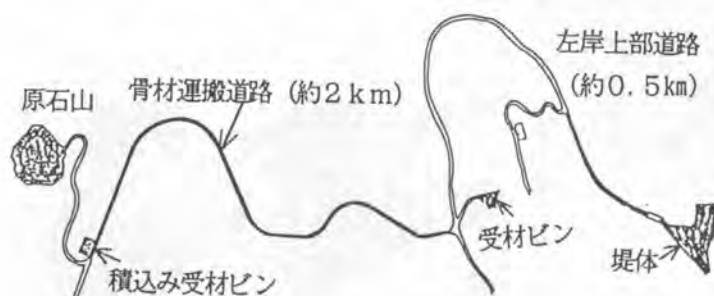


図-1 八田原ダム工事専用道路

表-1. 実験コース環境

実験コース全長	500m
最小カーブ半径	約40m
道路横断勾配	1.5%(直線) 4.0%(カーブ)
道路幅平均	7m(2車線)
最大起伏勾配	1.0%
その他	全面舗装道路

\*\*HIVACS: Intelligent Vehicle Automatic Control Systemの略(ハイパックスと読んでいる)。

### 3. 評価内容

図-2に、実験車のシステム概要を示す。ここでは、以下に示した3つの要素技術について、今回の実験での評価内容と、その目標値について述べる。

#### 3-1 無人走行

目標速度は、現場内でのダンプトラックの制限速度が一般に30km/hであるため、無人運転による技術的な最高速度を40km/hに設定した。また、目標蛇行幅については、ダンプトラックの車幅と、一般的な運搬用道路の幅員との関係から約±1m以内に抑える必要があると判断した。

#### 3-2 位置・方位計測システム

本実験車では、位置・方位を計測する手段として2種類の計測系を持っている。1つは、実験車に搭載したジャイロとエンコーダから成るデッドレコニング（内界計測）値を得る自律計測系。2つめは、レーザーとコーナーキューブ（反射鏡の一種）を用いた援助計測系である。ところで、自律計測系から得られる位置・方位データには、ジャイロ、エンコーダの誤差により、走行距離・経過時間と共に累積誤差が生じる。本システムでは、その解決策として、約50mおきに援助計測による補正をかけている。なお、前記の無人走行を達成するため、目標精度は、位置：±50cm、方位：±0.5deg以内と設定している。

#### 3-3 前方障害物認識システム

無人走行中、前方に作業員や他車両が進入してきた場合、安全上、無人車は自律判断によって、これらに衝突する前に停止させる必要がある。具体的には、最大無人走行速度30km/hにおける実験車の最小停止距離を考慮すると、20~60m前方の障害物を認識する能力が求められる（図-3）。現状では画像処理によって、作業員を全天候下で100%検知する事を当面の目標としている。本システムでは実験車に搭載したCCDカメラ（写真-2）によって得られる前方の画像をコンピュータ解析し、色や形から作業員のかぶっているヘルメットを認識している。ヘルメット認識の様子を、実画像（写真-3）および解析画像（写真-4）として示す。

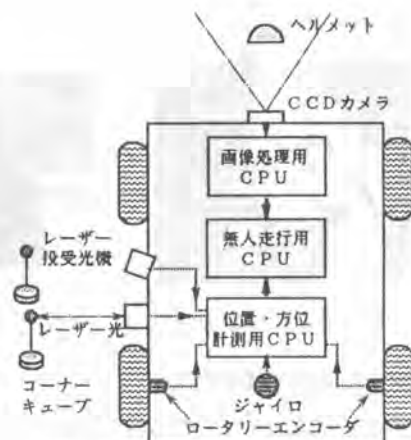


図-2. 実験車システム構成図

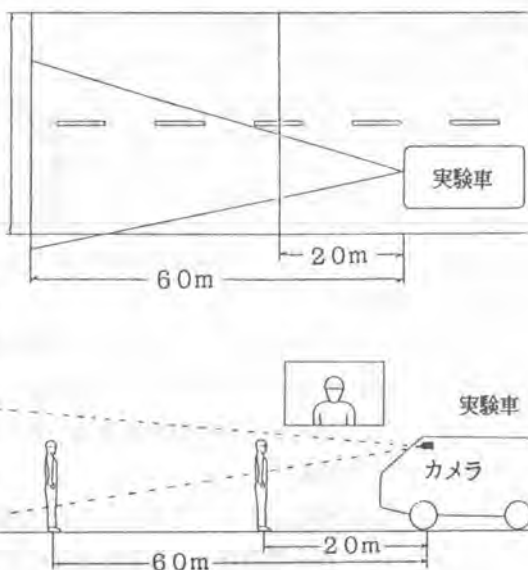


図-3 CCDカメラによる作業員の検知範囲

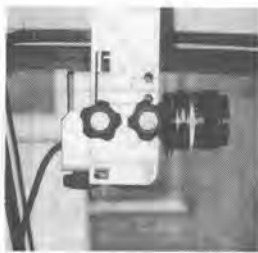


写真-2 CCDカメラ



写真-3 実画像



写真-4 解析画像

#### 4. 実験結果およびその評価

現場実証実験によって得られた結果を、表-2に示す。

表-2 実験結果

機能	項目	目標性能	現在の性能	評価
運転モード	乗車運転機能 遠隔操縦機能 無人運転機能	※左の3つの機能を簡単に切り換えられる。	※同左	○ ○ ○
無人運転 走行性能	走行継続距離 最大走行速度 最大蛇行幅 最小旋回半径	2 km以上 (1ルートあたり) 40 km/h ±0.9m (0~40 km/hにおいて) 15m	2 km以上(1ルートあたり) 15 km/h ±0.9m (0~15km/hにおいて) 40m	○ △ △ △
車両自己位置 方位計測性能	位置計測精度 方位計測精度	±50 cm ±0.5 deg	±70 cm ±1.6 deg	△ △
前方障害物 認識性能	前方認識範囲 作業員の認識 " (曇天、小雨) " (曇天、小雨) 他車両の認識	20~60mの範囲 100% (晴天) " (曇天、小雨) " (曇天、小雨) 100% (視界不良時除く)	同左 20% (晴天) 100% (曇天、小雨) 開発中	○ △ ○ △

注) ○: 完成、△: 未完成

今回の実験から、以下の4つの課題が抽出された。

##### 1) 無人走行機能

急なカーブや高速走行の際、ステアリング駆動装置の動作速度が十分でないため、現状では蛇行幅が大きくなる傾向がある。対策として、ステアリング駆動装置の高出力化、位置・方位計測精度の向上を図ることで目標の無人走行性能を達成出来ると考えている。

##### 2) 位置・方位計測機能

ジャイロ自体の精度が不十分であったため、全体として目標精度を実現できなかった。対策としてはジャイロのハード部分の調整と、援助計測系による自律計測系データの補正アルゴリズムの改良があげられる。

### 3) 前方障害物認識機能

晴天時では、太陽光がヘルメットに反射し、通常の色抽出が困難となる。今後は、晴天時専用のアルゴリズムを追加することを検討している。また、逆光時においては、画像が完全に飽和し色抽出が不可能となるため、現在は別センサとの併用を検討している。

### 4) 衝突回避機能

前方障害物認識技術を応用した他車両の移動状況認識システムを現在開発している。

### 5. あとがき

今後は、今回の実験で抽出された問題点を改良した後、現場実験による再評価を行う予定である。その中では特に、今回の実験では確認出来なかった最高速度40 km/h、走行継続距離2 kmの性能確認に重点をおく予定である。

さらに、これまでの実験結果を基にして、図-3に示すような実機レベルでのシステム検討を行う。特に、複数台車両の運行管理および通信システムについては、シミュレーションや実験による検討を計画している。

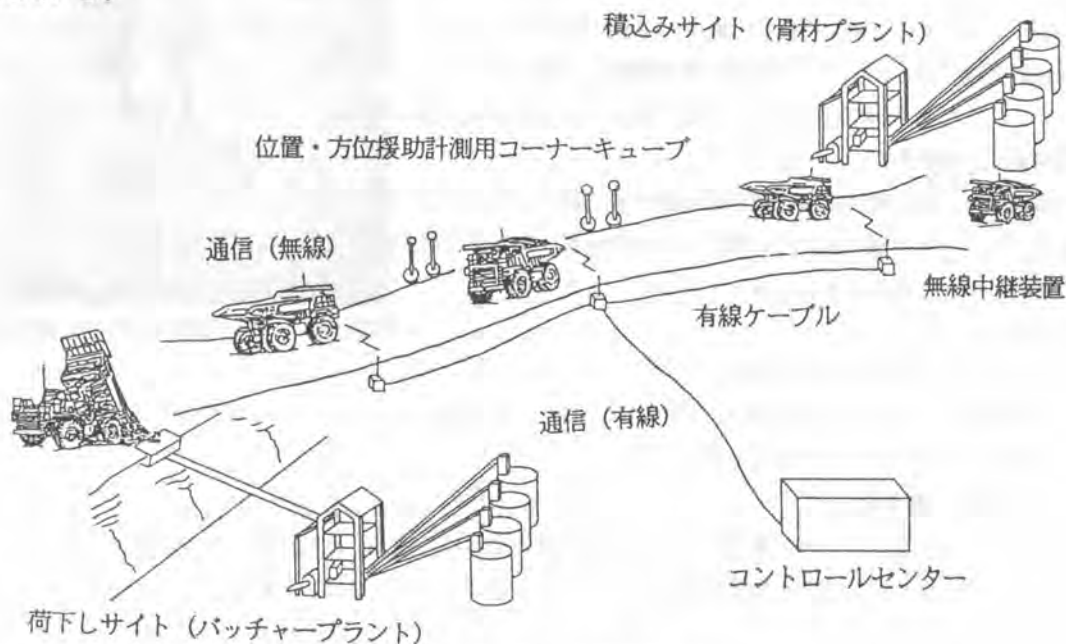


図-3 実機システムのイメージ

### 6. 参考文献

- 1) 斉藤, 他: 「建設車両自動運転システムの開発」,  
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

## 53. タイル張りロボットの開発(第3報)

(社)全国タイル業協会：石川誠一郎

KOMATSU：大坪 和彦

ハザマ：木川田一弥

### 1. まえがき

近年、ビル外壁タイル工事の需要は増加傾向を示しているが、その一方で技能工の数は、年々減少する傾向にあり、建設工事における他の分野と同様、労働力不足の問題が今後ますます顕在化すると考えられる。

(社)全国タイル業協会、KOMATSU、ハザマの三者は、この問題を緩和し、タイル張り施工品質の安定化、生産性の向上を図るために、タイル張りロボットの技術開発を進めてきた。

本シンポジウムにおいては、これまで2回の発表を行っており、第1報では、本ロボット開発の基本構想、要素試験などについて、また第2報では、ロボット試作機による性能評価試験、現場実証試験結果について報告した。

本報では、試作機による試験結果に基づき、種々の改良を加えたロボット実用機の開発と同機による試験結果、および今後の展開について報告する。写真-1にロボット実用機を示す。



写真-1 タイル張りロボット実用機

### 2. ロボット実用機的主要改良点

今回開発したロボット実用機は、試作機に比較し、性能・仕様について主に以下の改良がなされている。表-1にロボット実用機の仕様を示す。

#### 1) 小型化・軽量化

試作機は、その大きさ・重量から、現場施工時の据付け・撤去、またロボットの取扱いが必ずしも容易ではなかった。そのため実用機では、ロボットを小型化(40%減)、軽量化(80%減)した。

#### 2) 施工速度の向上

試作機のタイル張り施工速度は、熟練作業員の施工速度以上であったが、ロボット導入の効果をより明確にするため、実用機では50%の施工速度向上を図った。

#### 3) 操作方法の簡易化

試作機では、ロボット施工操作をロボットとは別置きのコピュータからの指令により行っていたため、設置場所の確保や、コンピュータに不慣れな者に対しての、操作面での課題があった。これに対し、実用機ではロボット制御・操作装置をロボット側に一体的にセットするとともに、ロボット操作もボタンを押すだけで行えるようにした。

#### 4) ガイドレール設置方法の変更

試作機では、ロボット水平移動用のガイドレールをアンカーボルトにより躯体に固定する方式を採用していた。しかし、この方式では、固定アンカー部分に施工不能箇所が残ることから、ガイドレールを足場側にセットする方式に変更した。

一方、タイル裏足にコテによって張り付けモルタルを塗る方法、ビブラートをかけながらセンサにより所定のモルタルつぶし厚を制御するタイルの張り付け機構などについては、試作機で開発した技術を基本としている。

表-1 ロボットの主な仕様

項目	仕様	
ロボット本体	対応目地割り	横張り(長手水平方向) 通し目地(イモ張り), 破れ目地(ウマ張り)
	対応目地幅	縦目地: 8±2mm, 横目地: 9±2mm 伸縮目地: 対応可能
	単位施工面積	約0.4㎡(1回のセットによる)
	移動方式	(水平) ガイドレール (垂直) チェーンブロック等
	電源	AC100V
	設置場所	躯体 ~ 足場間(幅30~33cm)
	外形寸法	高2.8×幅0.8×奥行0.28m
重量	約260kgf	
周辺機器	ガイドレール	縦60×横30×長1800mm
	エアコンプレッサ	2.2kwクラス以上(AC200V)
適用材料	張り付けモルタル	プレミックスモルタル(通常市販品)
	タイル	二丁掛タイル(厚さ8~15mm) 表面の平滑な平物(乾式・湿式)

### 3. タイル張りロボット実用機の概要

タイル張りロボットの構成を図-1に示す。システムは、ロボット本体、ガイドレール、タイル張り付けアクチュエータ用のエアコンプレッサ、およびハンドミキサ(あるいはモルタルミキサ)から構成される。このうち、ロボット本体を構成する主要素とその機能は以下の通りである。

#### ① 車輪

ロボットをガイドレール上に支持する。水平方向移動はガイドレール上を手動で押すことにより行う。なお、垂直方向移動(階層間移動)は、チェーンブロックなどを用いる。

#### ② モルタルホップ、モルタルコテ

張り付けモルタルをタイル裏足に塗る。ホップ容量は約5ℓであり、約50枚の二丁掛タイルを張ることができる。モルタルの補給はオペレータが行う。

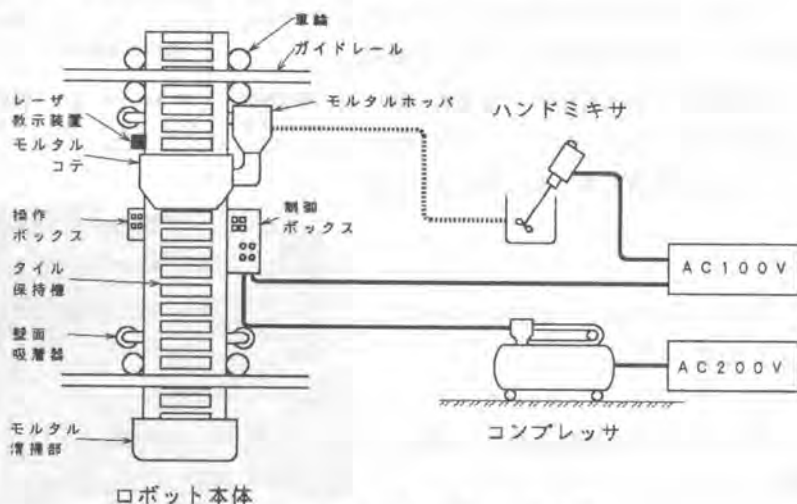


図-1 タイル張りロボットの構成



### ③ タイル保持器

オペレータが順次挿入した張り付けタイルを保持する。タイルを壁面に押し出す張り付けユニットは、この保持器内空間を移動しながら作業を行う。

### ④ 制御ボックス

張り付けタイル枚数、目地幅、目地割の種類（通し目地、破れ目地）、伸縮目地位置と目地幅などのタイル張り付け条件を設定する。また、ロボットの異常、故障を診断して表示する機能がある。

### ⑤ レーザ教示装置

躯体面の墨位置よりタイル張り付け作業開始点を読み取り、張り始め位置をロボットに教示する。

### ⑥ 簡易操作ボックス

モルタル塗り付け、張り付けなどの作業開始をロボットに指示する。非常停止ボタンもこのボックスに組み込んだものとしている。

### ⑦ 壁面吸着装置

他作業によりタイル張り付け中のロボットに衝撃が加わった場合でも、張り付け位置がずれないように、ロボット本体を躯体面に固定するものである。

### ⑧ モルタル清掃部

タイル保持器に付着したモルタルを除去するものである。

施工操作は、制御ボックス、および簡易操作ボックスの点滅したボタンにしたがって行うため極めて容易であり、初めてロボットを扱う作業員でも数時間程度でタイル張り付け操作ができ、現場において非熟練工がロボットを操作することが十分可能であると考えられる。

表-2 ロボットの性能

	ロボット施工	(参考値)
施工能力	14 m <sup>2</sup> /日	手作業 7 m <sup>2</sup> /日
施工精度	凹凸±1 mm以内 (長さ2 m区間)	業界仕様 凹凸±2 mm以内
接着強度 (材令28日)	6 kgf/cm <sup>2</sup> 以上 平均 10 kgf/cm <sup>2</sup>	建設省基準 4 kgf/cm <sup>2</sup> 以上

## 4. 試験結果および評価

### 4.1 性能評価試験

タイル張りロボットの性能を確認・評価するため、屋内に幅7.5m×高さ3.6mの模擬壁を設置し、タイル張り付け試験を行った。主な試験項目は、①施工能力、②施工精度、③接着強度、④垂直移動（階層間移動）時間である。試験結果から得られたロボットの性能を表-2に、ロボットによる施工タイル仕上げ面を写真-2に示す。

#### ① 施工能力

熟練技能工の約2人分である、施工能力14m<sup>2</sup>/日を有することが確認できた。

#### ② 施工精度

凹凸±1mm以内であり、熟練技能工と同等以上の品質が確保できた。

#### ③ 接着強度



写真-2 タイル施工仕上げ面

一般に市販されているプレミックスモルタルを用いて、塗厚3～5mm、つぶし厚1.5～2mmでの試験の結果、接着強度は6 kgf/cm<sup>2</sup>以上、平均10kgf/cm<sup>2</sup>であり、十分な接着強度が確保できることが確認された。

#### ④ 垂直移動時間

チェーンブロックを使用して、ロボットの階層間移動を行うのに必要な時間は15分程度（2人工）であり、ロボットの階層間移動が、作業上のネックにはならないと考えられる。

### 4. 2 現場実証試験

性能評価試験終了後、現場施工での適用性を確認するため、ハザマ技術研究所・音響電波実験棟外壁において、幅9m×高7.5m＝約67m<sup>2</sup>の壁面を対象とした現場実証試験を実施中である。現場実証試験の状況を写真-3に示す。



写真-3 現場実証試験状況

## 5. 今後の展開

これまで、開発三者から構成する「施工ロボット開発委員会」を全国タイル業協会内に設け、本委員会を主体に開発を進めてきた。今後、本ロボットの普及・展開を図るため、同協会内に「タイル張りロボット普及委員会（仮称）」を設置し、以下の業務を行う予定である。

#### 1) ロボットの普及促進

今後複数台のロボットを製作し、同協会各支部において、会員を中心としたロボットの使用計画を策定し、運用を図る。当面はリース方式を予定している。さらに、ロボット操作オペレータの育成を目的として、オペレータ研修を行い（一部実施済み）、研修終了者の登録を行う。

#### 2) 各種仕様書へのロボット張りの採用働きかけ

JASSなどの各種仕様書へ、ロボットによるタイル張り工法の採用を働きかけるとともに、諸官庁、設計者団体、ゼネコンへの採用を働きかける。

#### 3) 技術資料の作成とPRの実施

技術資料、パンフレット、PRビデオの作成を行うとともに、新聞発表などのPR活動を行う。

#### 4) ロボットの機能向上

ロボットを現場で使用するにつれて明らかになる課題や、小口平タイルや縦張りへの対応などのロボット機能向上に関する検討を行う。

## 6. あとがき

タイル張りロボット実用機を開発し、その性能や今後の普及・展開方策について概要を報告した。今後、本ロボットを多くの現場で使用することによって、ロボット機能の過不足がより明確になるものと思われるため、その時点でさらに完成度の高いロボットを実現させたいと考えている。

## 54. グリーンカットロボットTMCC ROBO

大成建設(株)：市原 正一・酒向 義勝

\*中村 隆

三井造船(株)：荒川 泰正・江沢 一明

田辺 伸夫

### 1. はじめに

近年、コンクリートダムの施工法として、RCD工法等が普及し、施工の合理化が進められている中で、1打設当たりのコンクリート打継目処理（グリーンカット）の面積が増加し、かつ、1度に処理する必要がでてきた。そのため、従来の高圧洗浄機やポリッシャによる人力作業では次の問題点があり、その改善が必要となった。

- ① 広大な面積のため、作業員が増大する。
- ② 打設面積が広いため、打設開始と完了の時間差による強度のバラツキが生じ、人的感と経験による熟練が必要である。
- ③ 小石、泥水の飛散が激しく、作業環境が極めて悪い。
- ④ 人力のため、大きなカッチングエネルギーを使わず、コンクリートの若材令での作業となり、工程的制約がある。
- ⑤ 若材令でのグリーンカットのため、レイタンスが再び浮き上がり、打設直前に再度、レイタンスを除去する必要がある。



写真-1 TMCC ROBO写真

こうした問題点を解決し、ダム工事の一層の効率化を可能にする「グリーンカットロボット」を大成建設と三井造船は共同で開発し実用化した。

### 2. 開発目標の設定

前述の問題点を解決し、グリーンカット作業の効率化、省力化、作業環境の改善を目的として工事の経済性、施工性を考慮し、次の開発目標を設定した。

- ① カッチングとレイタンス等の回収、清掃を同時にできる事。
- ② 打設条件差に対し、最適なカッチング初期条件を容易に選定できる事。
- ③ 強度のバラツキに対応できる様、カッチングエネルギーを自動制御できる事。
- ④ 作業能力は昼間の8時間で作業終了できる能力（400m<sup>2</sup>/h程度）とする。
- ⑤ オペレータの作業性向上のため、前のレーンに平行に自動直進できる事。
- ⑥ 移動運搬が容易に行える様、重量9.5t以下、走行回転半径5m以下である事。
- ⑦ 労働事情を考え、簡単な操作機構である事。

### 3. ロボットの概要と構成

図-1の作業状況図の通り、「グリーンカットロボット」でカッチング回収されたレイタンス等はバキューム車で回収される。グリーンカットロボットの外形図、仕様は図-2と表-1に示すように、ベースマシン、カッチングヘッド、自動制御装置等から構成され概要は次の通りである。

#### ① ベースマシーン

4輪タイヤ方式の走行本体で、高圧水ポンプを含め、他からの動力は必要ない。

#### ② カッチングヘッド

高圧ノズルユニット、バキュームマウス、電磁波センサで構成され、カッチングエネルギー（水圧とノズル高さ）を調整でき、レイタンス等を同時に回収、清掃できる。

#### ③ 自動制御装置

データ ベースによる、カッチング初期条件設定機能と電磁波センサによるレイタンス除去自動調整機能、及び、光ファイバジャイロによる直線自動走行機能等を有する。

なお、バキューム車のタンク内スラリは、上澄み水を自動排出することにより、作業能力の向上を計っている。

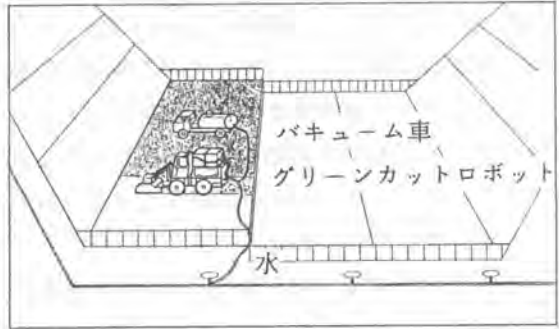


図-1 作業状況図

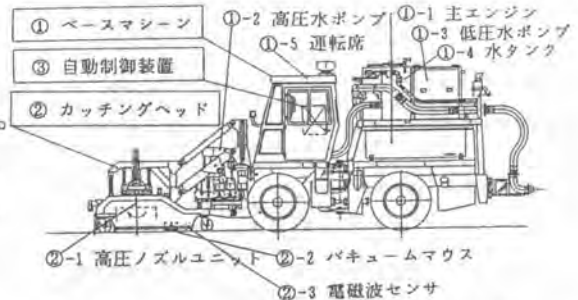


図-2 グリーンカットロボット外形図

### 4. 主要機能の開発経過と詳細

#### (1) レイタンス除去機能

ブラシ案と水圧案について、現場での使用状況、文献等を調査検討し、要素実験の結果、表-2の通りとなり、水圧案に決定した。

カッチングの良否（不足、良好、過多）は、コンクリート面に対するカッチングエネルギーの大小、つまり、①高圧ジェットの噴射圧力、②コンクリート面からのノズル高さ、③ノズルの口径、④ノズル移動速度（回転数）、⑤本体走行速度等のパラメータで決まる。自動制御を容易にするため、要素実験の結果、③④⑤の条件をある一定値に設定し、①②を変化させるだけで、良好なカッチングが可能であることを確認した。

形 式	レイタンス除去・清掃同時施工式 カッチング自動制御式
外 形 寸 法	B1,900mm×L7,420mm×H2,875mm
全 体 重 量	7.9 tonf (水タンク満載時:8.9 tonf)
作 業 能 力	400 m <sup>2</sup> /h
パワユニット	14727g <sup>2</sup> : 141 ps 47' 12V <sup>2</sup> : 5 ps
水ポンプ関連	高圧水ポンプ: 200 kg/cm <sup>2</sup> 低圧水ポンプ: 30 kg/cm <sup>2</sup>
搭載水タンク	0.61 m <sup>3</sup>

表-1 グリーンカットロボット仕様

比較項目	ブラシ案	水圧案
仕上がり状況	仕上げの方向性あり	弱合時振れすぎ多い
ガリ-ダスト時期	弱合時しかできない	調整範囲大
作業時間	時間が多くかかる	かからない
消耗品	大	小
自動制御	難しい	可能
総合判定	△	○

表-2 ブラシ案と水圧案の比較

## (2) カッチング状況の計測機能

コンクリートの打設条件の変化に対し、良好にグリーンカットできるカッチングエネルギーパラメータ（水圧とノズル高さ）のデータベースを、要素実験で収集した。しかし、広大な作業面積の中には、強度のバラツキがあり、カッチング状況を連続的に計測して、自動調整する必要がある。このため、各種物理的探査法による計測判定実験を行った結果、表-3のセンサ技術の比較の通り、「電磁波変位測定法」を採用する事とした。グリーンカット直後の表面形状を測定し自動的にカッチングエネルギーを調整する事により、強度のバラツキに対し、均一なグリーンカットが可能であると判断した。図-3に示す電磁波計測モデルで要素実験を行った結果は、図-4に示す通りで、表面の大小を判定できた。

一方、コンクリート表面には、大きなうねりや、微視的な表面凹凸があり、これらを計測データから除去するためのフィルタを付けたり、センサが1ヶでは直線状の1部しか判定できないため、3ヶ取付 その出力を平均化する事により、目視に近い判定ができる様にした。

測定対象	計測法	評 価	
表面強度	シュミットハンマ法	局部的探査のため測定誤差大	×
	超音波速度法	水分等による誤差大で測定不可	×
	引放法	吹付等に使用されているが不可	×
	電気法	測定誤差大	×
グリーンカット 事前事後の高さ	超音波変位計測法	表面残留水の影響大	×
	レーザービーム変位計測法	カット前後の同一点計測困難	△
レイタンス層厚	超音波反射計測法	非接触では測定困難	△
	レーザービーム反射計測法	ビーム透過不可	×
	電磁波反射法	境界面の判定困難	△
表面形状	テレビ画像処理法	判定困難	△
	超音波変位計測法	残留水の影響有	△
	電磁波変位計測法	良好	○

表-3 カッチング状況計測センサ技術の比較

## (3) 自動カッチング制御機能

カッチングの初期条件を決めるため、コンクリート強度に関係する次のパラメータでカッチングデータを集め、解析し、データベース化した。

- ① コンクリートの種類 ----- RCDコンクリート・有スランプコンクリート
- ② 季節 ----- 春/秋・夏・冬
- ③ 打設後の経過時間 ----- 1日・2～3日・4～7日

これらの組み合わせ（18通り）をデータベース化し、運転手が、カッチング開始時に容易に初期条件（水圧とのノズル高さ）を選定できるようにした。

図-5の自動カッチング制御フロー図に示す様に、オペレータが初期条件を選択して、グリーンカットを開始すると、カッチングの良否をセンサが判定し、ノズル高さが自動調整され、上下限に達すると、圧力が変わり、同時に変更前のエネルギー値までノズル位置も変化する。

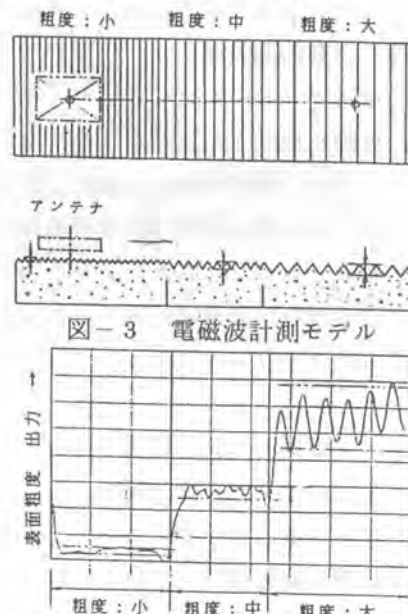


図-3 電磁波計測モデル

図-4 表面粗度計測結果

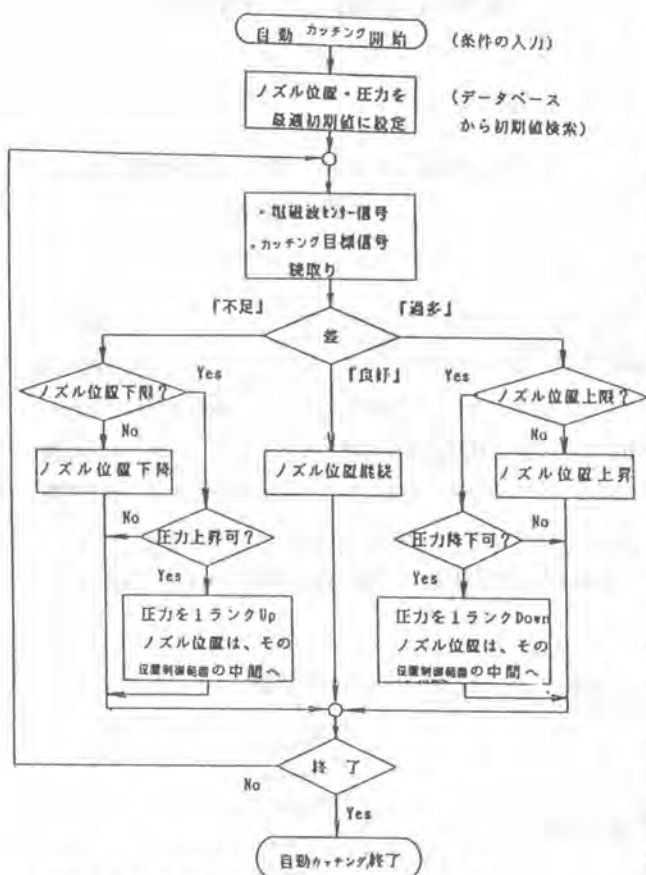


図-5 自動カッチング制御フロー図

## 5. 実証実験

実証実験と実用化のため、平成3年11月、建設中の福島県小玉ダム（堤体積約55万 $m^3$ 、堤高102m、堤頂長280m、RCD工法）に持ち込み、開発目標に基づき各機能の確認を行った。その結果の概要は次の通りである。

### (1) レイタンス除去機能の実証

過去に実施した要素実験の結果をデータベースとした初期条件で、実機により施工した結果、良好である事が確認できた。

### (2) カッチング状況計測機能の実証

実打設コンクリート面を、カッチングの状況が不足・良好・過多の3パターンに施し、センサ出力信号が目視判定と整合する事を確認した。

### (3) 自動カッチング制御機能の実証

センサの計測信号とノズル高さ、圧力を記録し、最適なカッチングを行おうとする自動制御機能を確認した。

その他の開発目標（カッチングと清掃同時施工、作業能力、自動直進、操作性等）についても、初期の目標が達成できた。

## 6. あとがき

本ロボットは、さらに継続して同ダム工事で、その耐久性、操作性、メンテナンス等を含めた実用化テストを継続しているが、極めて実用性の高い事が確認されており、他のダムでも採用する予定がでている。今後の課題として、次のことが上げられる。

- ① さらに小型化し、施工可能領域を拡大するとともに、バキューム車も一体化し、起動性を向上する。作業能力を低減しても数台での同時施工をめざし小型化したい。
- ② 自動化を進める中で、コンピュータによる制御領域が拡大するため、これらに対するメンテナンス体制の確立と耐久性の向上が必要である。

さらに、現在施工中のダムで問題点を洗い出して、より信頼性の高い機械にすべく、改良を重ねダム工事の自動化、省力化、作業環境の改善を推進していく所存である。

# 55. ダム用コンクリート運搬設備の自動化

(株)大林組：\*風間 慶三・田中暉一郎  
高橋 栄次

## 1. はじめに

近年、ダム工事において、施工面での合理化、安全化を図ることは、その時代の流れであり、また、高齢化、熟練労働者不足に伴う労働力不足を補うため、自動化を進めることは急務である。従来コンクリート打設機械の自動化については、すでに個々の機械には行われていたが、コンクリート運搬設備として一連の全自動化は行われていなかった。特に、ケーブルクレーンの自動化については、機械設備の規模が大きい為、バケットの位置決め、振れ止めが非常に困難であり、実用化に至らなかったのが現状である。ここに岡山県千屋ダム（岡山県新見市、重力式ダム628, 500㎡、堤高97.5m、RCD工法）において、固定式ケーブルクレーン（14.5t×2台）を使用した、一連のコンクリート打設設備を全自動化し、良好な結果が得られたので紹介する。Fig.1に現場見取り図を示す。

Fig. 1

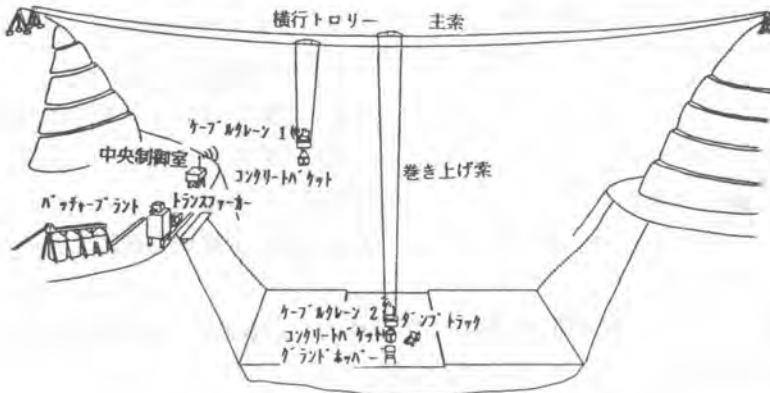
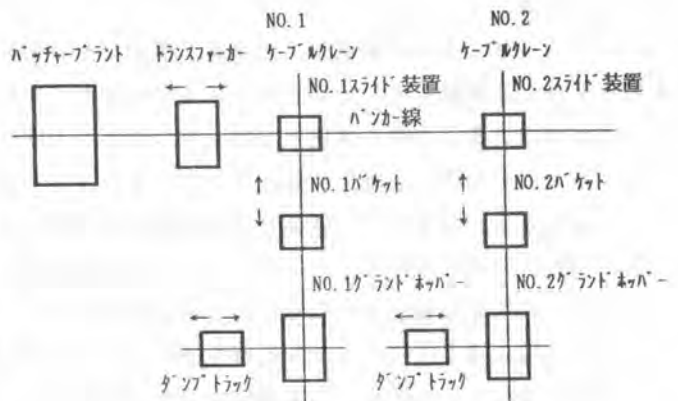


Fig. 2

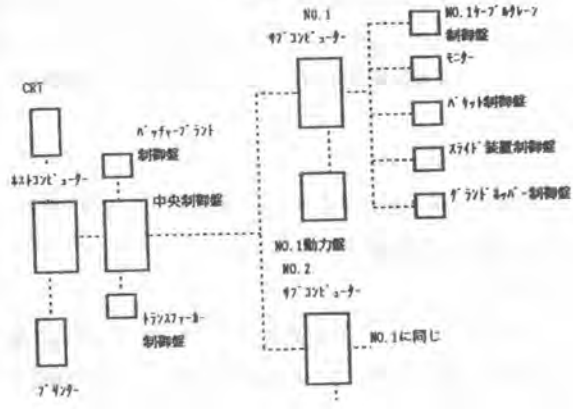
## 2. 自動化システム概要

コンクリートの全自動運搬系統は、Fig.2に示すようになる。まず、コンクリートは、バッチャープラントからトランスファーカーへ自動積み込みされる。トランスファーカーは自動的に行き先を選択し、効率よくコンクリートをバケットに積み込む。次にバケットは、自動起動し、正確な位置決めと制振を行いながら、グラウンドホッパー上へ移動する。



バケットは、コンクリートを放出した後、再起動し、制振を行いながらバンカー線スライド部に帰缶する。一方、グラウンドホッパーに放出されたコンクリートは、必要数量だけダンブトラックに半自動運転により積み込まれる。これら自動化の制御信号伝達系統は、全て中央制御盤のホストコンピューターの指令にて行われ、サブコンピューターを通じ、各セクションへと伝達される。サブコンピューターとバケット制御盤、グラウンドホッパー制御盤とは、無線にてデータ通信を行い、トランスファーカーとは多重電送通信とした。

Fig. 3



### 3. コンクリート運搬機械の特長

全自動化した機械の仕様は、表-1 に示す。特に、今回自動化するに当たり、特筆すべき機械は次のとおりである。

表-1

#### 3.1 スライド装置

このスライド装置は、バケットを精密位置決めするのに必要な設備である。ホストコンピューターからの信号で動作するスライド板を持ち、粗位置決めされたバケットを、トランスファーカーから確実にコンクリートを受け取るため、エアシリンダーにてバンカー線側に強制的に押す。また、スライド装置の両サイドには、着缶位置決め用の格子枠センサーを設置した。

機 械 名	仕 様
(1) バッチャープラント	油圧2軸ミキサー6m <sup>3</sup> ×1台
(2) トランスファーカー	4.5m <sup>3</sup> ×1台 スライドシュート式
(3) ケーブルクレーン	固定式14.5t×2台 サイリスタレオナード方式 巻き170m/min 横行340m/min
(4) コンクリートバケット	4.5m <sup>3</sup> ×3台 (内1台予備) 油圧開閉方式
(5) スライド装置	空気圧駆動方式×2台
(6) グラウンドホッパー	9m <sup>3</sup> ×2台 空気圧開閉方式

#### 3.2 バケット

このバケットは、ケーブルクレーンの巻き上げ動作を利用し、油圧シリンダーで発生する圧力をアキュムレーターに蓄圧し、ゲート開閉の動力とする。また、無線信号にて、コンクリートの配合品種に応じ、ゲートの開閉動作及び開閉速度調節を行うのを特長とする。各種のセンサー及びソーラシステムを搭載し、無線信号にてホストコンピューターへ情報伝達を行う機能を持つ。

#### 3.3 グラウンドホッパー

このグラウンドホッパーは、上部に格子枠センサーを持ち、バケットがコンクリートを確実に放出できるような位置の制御をする。また、ホッパー操作盤面に、サブコンピューターから無線信号にてコンクリートの配合品種、ロードセル信号によりコンクリート残量を表示し、ダンブトラックオペレーターの操作により、コンクリートを設定量だけ放出する機能をも備えている。

### 4. トランスファーカーの自動先行選択機能

トランスファーカーには、手動、半自動、自動の3つのモードがある。自動モードでは、2台のケーブルクレーンの動きに呼应し、効率よく動作するようにした。即ち、バケットが着缶または、減速状態にある信号を



捉え、トランスファーカーを発進、停止するものとし、2台とも着缶状態にある場合、1号機が優先、2台とも着缶していない場合1号機側で待機し、2号機の信号にて、自動的に移動する。位置決めは、減速位置検出に、インクリメント型ロータリーエンコーダー、停止位置検出に、接触型リミットスイッチとストライカーを使用している。

## 5. ケーブルクレーンの自動化

ケーブルクレーンを自動化するポイントは、バケットの正確な位置決めと振れ止めであり、これを確実に行わない限り、自動化は実現不可能と思われる。

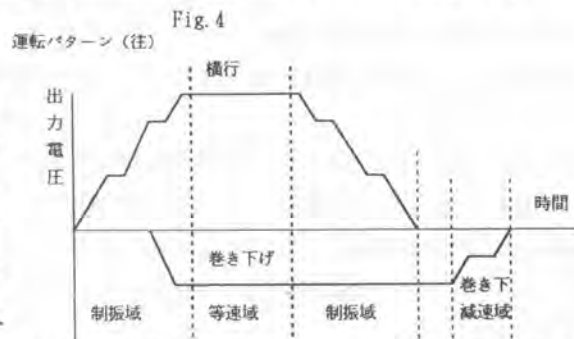
### 5. 1 位置決め

ケーブルクレーンバケットの位置決めは、水平座標、垂直座標により管理され、正確さと再現性が要求される。水平座標は、横行用モーターに直結されたシンクロ発振機のパルスにより、ワイヤーの送り出し量をカウントし、主索傾斜計により、主索傾角、光波距離計により、1サイクルごとの原点位置（出発点）補正をすることにより決定する。垂直座標は、巻用モーターに直結されたシンクロ発振機、主索傾斜計、及び原点リセット用の光波距離計、さらにバケットシリンダーに取り付けてあるストロークセンサーの数値信号により決定する。ホストコンピューターは、これらの数値を基に座標計算し、現在座標をモニターにリアルタイムで表示すると同時に、ケーブルクレーンの横行、巻き上げモーターに制御電圧を出力し、バケットの位置決めを行う。バンカー線スライド部、グラウンドホッパー部には、バケット着缶位置の微調整を行うため、光センサーを十数個格子状に取り付け、放出位置、着缶位置の精度を向上させた。

以上の機能により、作業前、グラウンドホッパー上へ目標位置決めをするには、手動にてバケットを放出位置まで移動し、押しボタン操作による水平座標、垂直座標をインプットするか、ホッパー座標をキーボードにてインプットする事により行える。実際、目標位置とのズレは、 $\pm 10$  cmから20 cm程度である。

### 5. 2 制振機能

ケーブルクレーンの制振制御機能には、F. F制御（フィードフォワード）、F. B制御（フィードバック）、ファジー制御、テイチングブレイバックと4つの制御機能がある。千屋ダムでは、機械設備として規模の大きいために生じるケーブルクレーンの応答性の鈍さを考慮し、バケットの振れを予測し、



前もって制御する事により制振動作を速め、その上サイクルタイムが最も短いF. F制御を使用する事にした。バケットの制振過程を、Fig. 4に示すように加速域、等速域、減速域とし、これに巻き上げ下げを組み合わせたものにした。加速、減速域の制振は、シンクロ発振機によるワイヤーの繰り出し量、傾斜計による主索のたわみ量、及び、バケットの運動方程式を解く事により行い、トロリー座標とバケット座標のズレをホストコンピューターにてリアルタイムで求め、振り子の長さに相当するワイヤーの長さから、固有周期を求める事により、これらに応じた横行モーターの制御電圧を出力し、ワイヤースピードと、送り出し量決めて制振する。また、ダム断面をブロック分けし、往復時間が最適な横行スピード、巻き上げスピードを求め、横行2、3、4ノッチゾーン、巻き上げ下げ2、3、4、5ノッチゾーンの各々の組み合わせによるゾーニングを行い、パターン化する事

により、ホストコンピューターに制御系として組み入れ、レスポンスの向上を図った。

## 6. コンクリート品種のトラッキング

コンクリート製造過程、運搬過程における配合品種状態を正確に把握するため、中央監視盤にコンクリートの流れを表示し、施工管理、品質管理を行うようにした。

## 7. モニター機能

ケーブルクレーン操作室内に置かれたパソコンのCRT画面に、ケーブルクレーンバケットをリアルタイムに表示する事により、自動運転状態を監視し、座標位置、速度、コンクリート配合品種、数量、運搬回数、及び異常内容を的確に把握できるようにした。

また、打設ブロックのコンクリート数量を打ち込む事により、ブロックの打設実績を表示するようにし、ケーブルクレーン運転の日報、月報記録は、ハードデスクにて管理し、適時プリントアウト出来るようにした。

## 8. 自動化の安全装置

自動化を実施するのに当たり、通常の

安全装置に加え、下記の項目を考慮した。また、CRTに異常内容を表示し、原因を的確に、且つ、迅速に把握出来るようにした。

### 8. 1 位置異常

- a) バンカー線スライド部、ホッパー部において、バケットが所定の位置をはずれた場合に備え、シンクロ発振機からの座標と、コンピューターのデータを比較し、位置異常を検出する。また、格子枠センサーにも位置異常検機能を持たせた。
- b) ダム断面の左右、河床付近全体に、座標による非常停止域を設定した。

### 8. 2 横振れ異常

ダム軸に対し直角に働く風によるバケットの振れを、振動ジャイロにより検知し、設定値以上になると自動運転を停止するようにした。

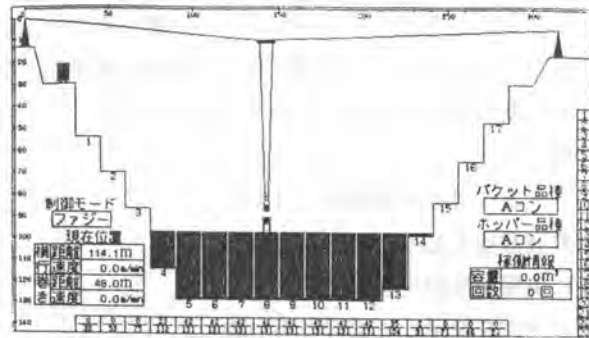
### 8. 3 インターロック

トランスファーカー、スライド装置、コンクリートバケット、グラウンドホッパーには、各々の動作を確実にするため、互いにインターロックを取り、条件が揃わないと動作をしないようにした。特にバケットの移動中、ゲート開閉の電源を遮断し、ホッパー上以外は絶対開かないようにしている。

## 9. おわりに

結論として、現場施工に適用した場合、ケーブルクレーンオペレーターは2台×2名=4名、合図マンは2台×2名=4名、バンカーマンは1台×1名=1名、合計9名がクレーン監視員2名のみで行える。また、サイクルタイムは、手動運転と同タイムで施工できた。

Fig. 5



## 56. トランスファーカ自動運転システム

(株)鴻池組：\*井上 光治・松原 和夫  
作田 裕司

### 1. 概要

本システムは重力式コンクリートダムにおけるコンクリート運搬設備であるトランスファーカを自動化し、またコンクリートバケットの位置決め用台車にてバケット位置決め作業も不要とすることにより、コンクリート打設における繰り返し作業からの作業者の開放、それによるサイクルタイムの短縮、安全性向上を図ろうとするものである。

### 2. 特徴

本システムの最大の特徴は、コンクリート打設設備として、無限軌道を有し自由に現場敷地内を移動できるクローラークレーンを使用した場合にも自動化が可能であることである。以下に本システムの主な特徴を列記する。

1) トランスファーカ運転手、バケット位置決め者の2名の省人化となる。  
2) 人間が最高の運転を行った時とほぼ同程度のサイクルタイムが得られる。  
(疲労や技能未熟によるサイクルタイムの増加がないため全体として施工能率の向上につながる)

3) 安全性が向上する。

4) バンカー線バケット着床位置付近に作業者がいないため、クローラークレーン運転手の疲労も軽減する。

5) トランスファーカの走行制御に走行カウント・ドッグ両方式を採用、相互

6) 3種類10個の障害物検出センサ、5種類11個の非常用停止スイッチを持ち非常時には即座に停止がかけられる。

7) バケットへの荷渡し位置は、バケット台車に連結され、バケット台車と一定の距離を保ちながら移動するドッグにより確実に行われる。

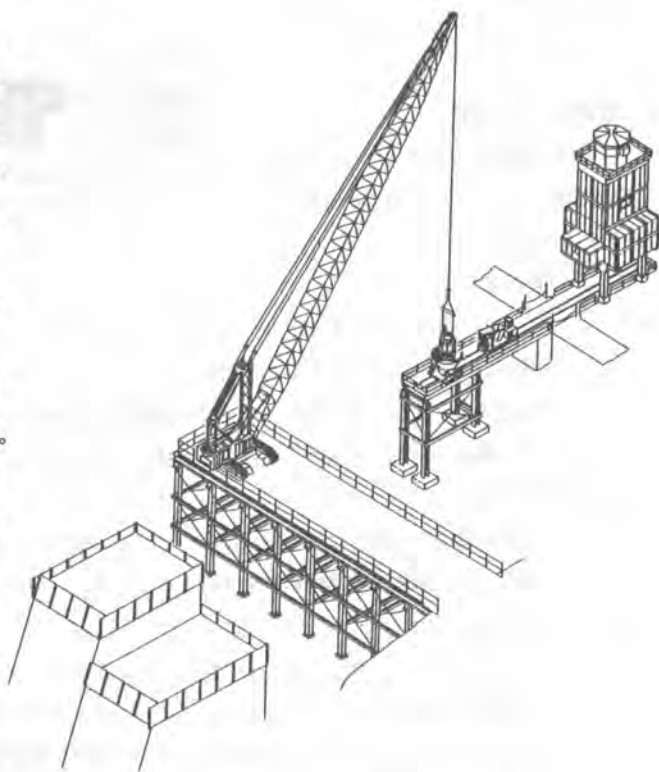


図-1 システム概念図

がバックアップすることにより装置の信頼性を高めている。

## 2. システム構成

本システムは、自動運転の中核となるマイクロコンピュータ制御のトランスファーカ、バケットの位置決め機構を内蔵したバケット台車、及び無線遠隔開閉式バケット、これらとバッチャープラント、クローラクレーンの指令ボタンを無線で信号伝達する無線装置とから構成されている。

トランスファーカはディーゼルエンジン駆動のフロントダンプ式で、マイクロコンピュータを内蔵した制御装置、各種センサ、無線装置が搭載されている。

バケット台車はコンクリートバケットをトランスファーカのレール中心線上に、また吊り具がレールをまたぐような形で位置決めされる漏斗上ガイドと下部に回転位置決め機構とを持ち、クローラクレーンのオペレータの無線装置により操作される台車である。図-2にシステムの構成配置図、写真-1にシステムの稼動状況、写真-2にトランスファーカ、写真-3にバケット及び台車を示す。

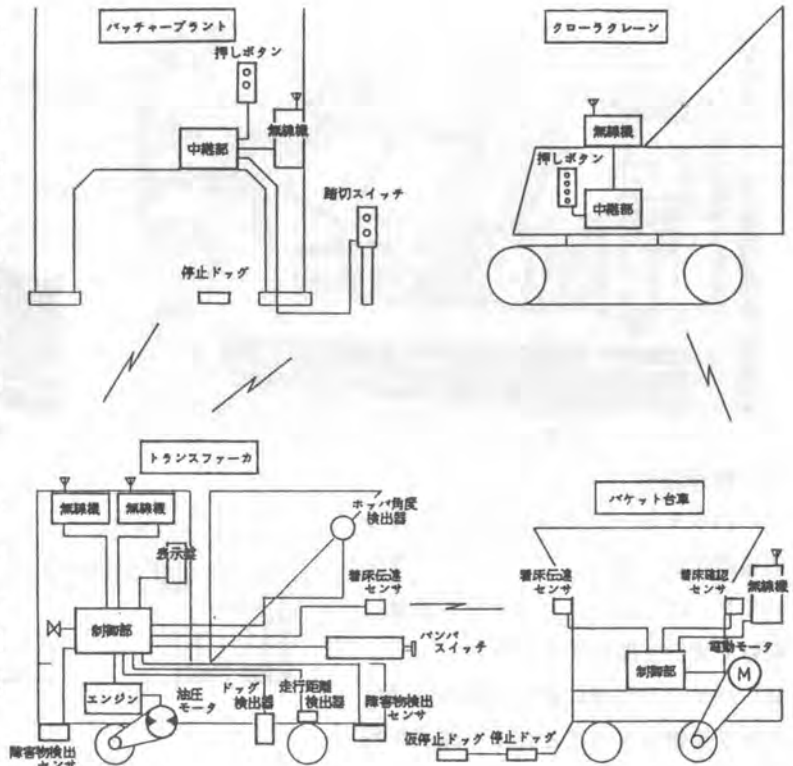


図-2 システム構成配置図

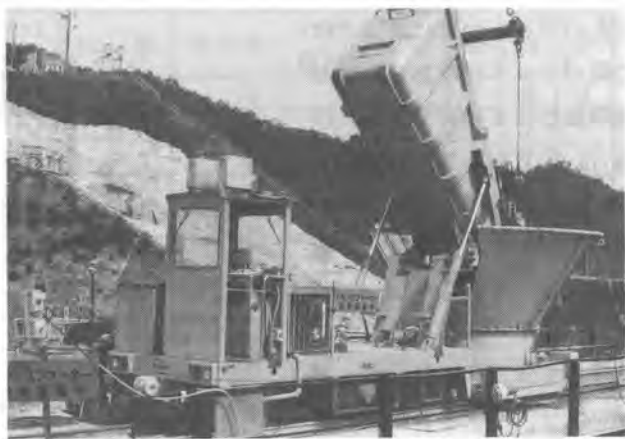


写真-1 システム稼動状況



写真-2 トランスファーカ



写真-3 バケットと台車

### 3. 動作説明

1) バッチャープラント (BP) マンの発進指令によりトランスファーカー (TF) はBP下よりバケット台車に向けて走行を開始する。

2) バケット台車に連結された減速用ドッグを検出することにより減速を行い、仮停止用ドッグを検出することによりバケット台車前方約5mの位置で仮停止する。バケットが着床していればそのまま走行する。

3) クローラクレーン (CC) 運転手がバケットをバケット台車に着床させる。(この間バケット台車をCC運転手が無線遠隔操作にて最適な位置に移動させた場合、TFもこれに追従して移動する)

4) CC運転手が仮停止位置からの再発進指令を与える。TFはバケット台車に近づき、停止用ドッグを検出することにより停止する。その後、ホッパーをダンパアップ、バケットにコンクリートを荷渡しホッパーを再びダウン、BPへ向け走行を開始する。

5) 減速しBP下にて停止する。

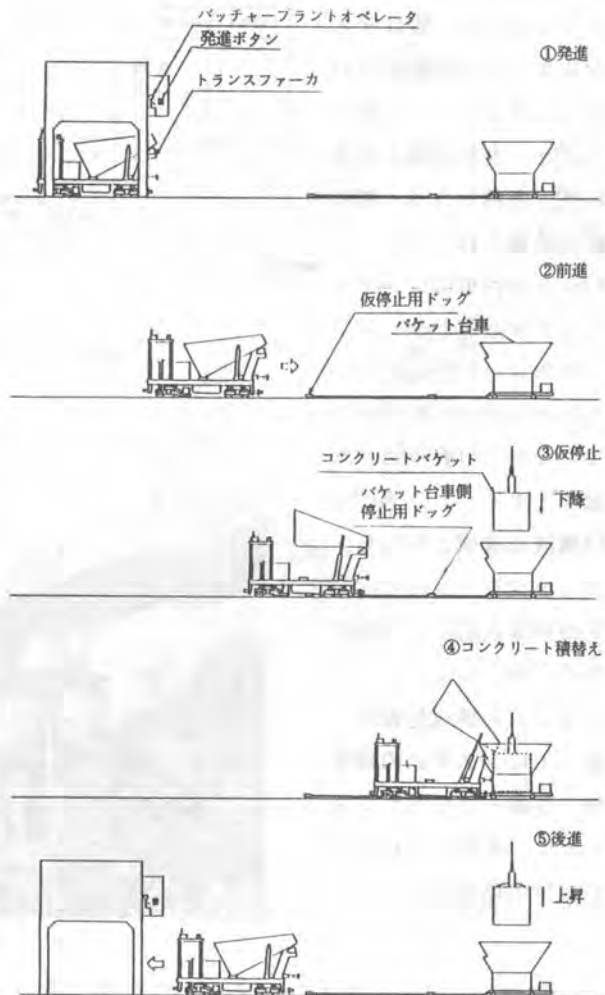


図-3 システム動作説明図

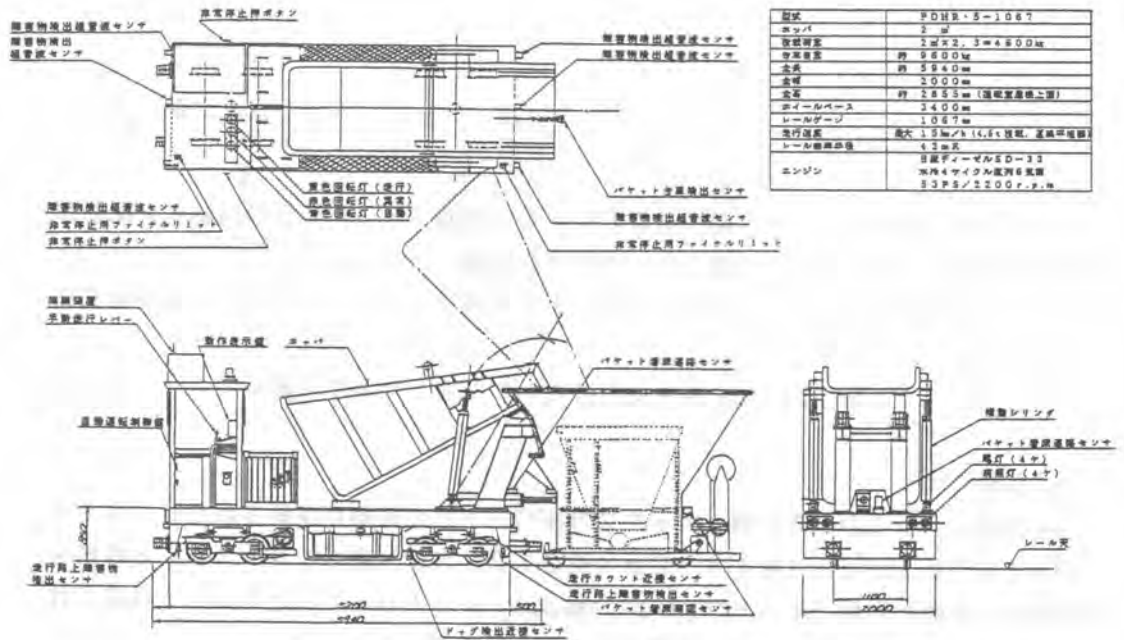


図-4 トランスファーカ全体図

#### 4. 稼働実績

本システムは、山口県中山川ダムにて平成4年7月より稼働しており10月20日現在で約2300往復(約3500 $m^3$ )のコンクリート打設を行った。表-1にサイクルタイムを示す。

トランスファーカ走行距離 22m

単位 秒

回数	前進	ホッパ傾動	待機	再前進	コンクリート積替え	後進	合計
①	15	11	142	8	20	23	219
②	15	10	92	8	19	23	167
③	15	11	93	8	19	24	170
④	15	11	56	8	20	23	133
⑤	15	11	112	8	18	23	187
平均	15	11	99	8	19	23	175
待機時間を除いた合計平均サイクルタイム							76

#### 5. あとがき

以上トランスファーカ自動運転システムについて述べたが、主として小規模ダムを対象にクローラークレーンを打設設備に使った場合でも自動化が可能なシステムとして、充実させていく所存である。

また、今後はクレーンの自動化を含めた全体の打設システムへと発展展開していきたいと思う。

## 57. 鉄筋自動配列装置の開発

鹿 島：宮本 武三

人手不足が慢性化している建設業界の中でも、鉄筋工事は作業員の高齢化と配筋作業の重労働などで、鉄筋工の確保が一層深刻な問題になっている。

これらの問題解決策の一つとして鉄筋工事の機械化・ロボット化のニーズが従来にも増して強くなって来ている。

本装置はこのようなニーズに応えるものとして開発したものである。

### 1. 装置の概要

本装置は、製作中の構造物（ボックスカルバート）の両側に設置されたレール上を走行する門型支持架台（幅13.2m×長さ12.5m×高さ10.3m）と鉄筋を配列する自動配列機（オートフィーダ：幅3m×長さ10m×高さ4m）で構成されている。装置全景を写真-1、装置の全体概念図を図-1に示す。



写真-1 鉄筋自動配列装置全景

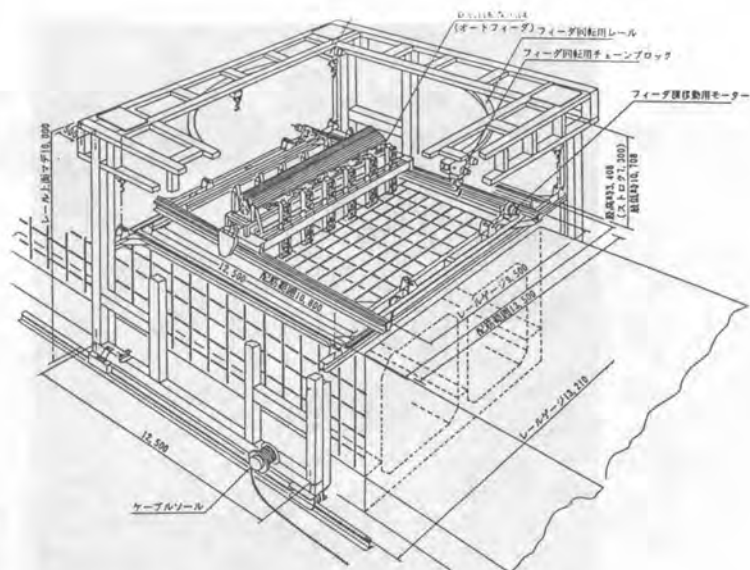


図-1 鉄筋配列装置全体概念図

## 2. 配列作業

配列作業は、門型支持架台から吊られた桁の上を一工程に必要な鉄筋を搭載した自動配列機が配列ピッチに合わせて自動走行し、スクリー式コンベヤで一本ずつ切り出し、垂直コンベヤで鉄筋を一本約8秒程度で直接取り付け位置に配置していく。

吊られた桁は左右90度回転でき、高さも自由に設定できるため、任意の高さに鉄筋をメッシュ（網）状に何層にも配筋することが可能である。自動配列機を写真-2、自動配列機断面・鉄筋の流れを写真-3、スクリーコンベヤを写真-4に示す。

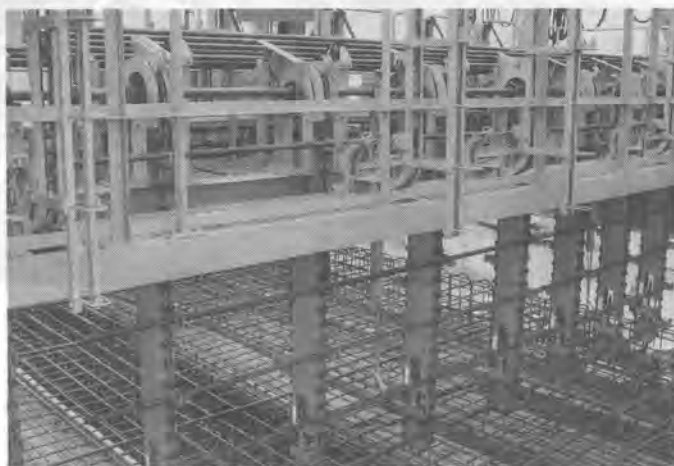


写真-2 自動配列機



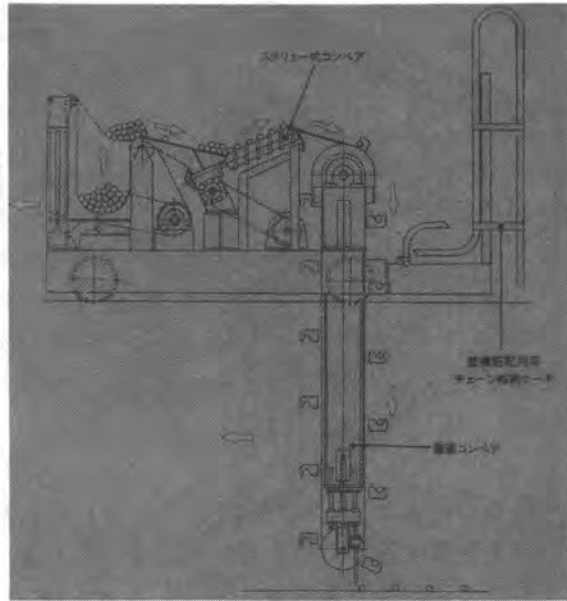


写真-3 自動配列機断面・鉄筋の流れ



写真-4 スクリューコンベア

また壁の横筋も垂直コンベアと別途ケースに格納されているチェーンとを連結し、  
 簾状にして所定の位置に配置することができる。

なお自動配列機の運転は無線操作で行う。

鉄筋の配列と結束作業状況を写真-5に示す。

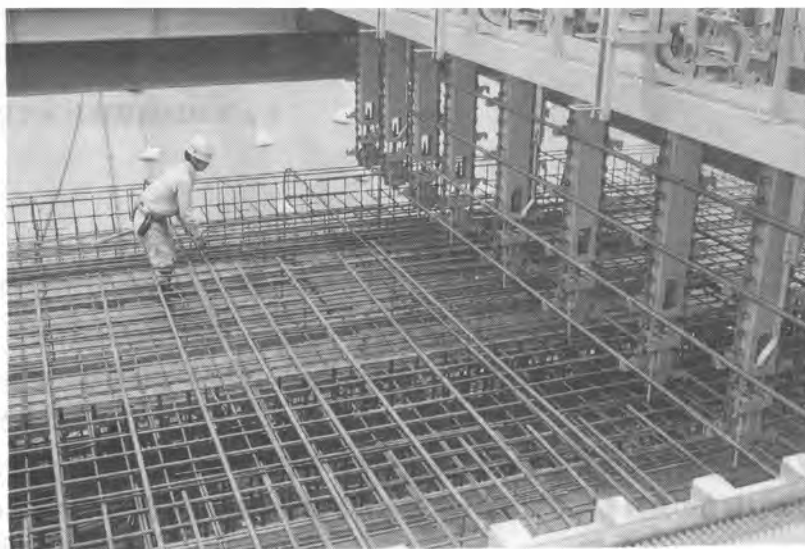


写真-5 鉄筋配列と結束作業状況

### 3. 装置の特長

- ①人手作業の3分の1程度の省力化が可能。
- ②鉄筋をメッシュ状に何層にも任意の高さの取り付け位置に直接配筋できる。
- ③自動配列機をプレハブ加工ラインに取り入れることにより、大幅な省力化ができる。
- ④壁の横筋を取り付け位置に配置できる。

### 4. 使用実績

新地発電所（福島県）の大型水路（ボックスカルバート）鉄筋組立て工事で実証施工を行ない、良好な効果が得られている。

本装置の使用により鉄筋組立て作業の大幅な省力化と苦渋労働環境の改善が可能となり、鉄筋工事分野に大きく貢献するものと確信している。

## 58. タイル剥離検知ロボットの開発

鹿島：白石 康信・\*神尾 正博

### 1. はじめに

最近、外壁タイルの剥落による人身事故が頻発して大きな社会問題になると同時に、剥落を事前に防止する検査の重要性が指摘されている。

また、大規模な建物の管理者は、建築基準法に基づく「建築物の維持保全計画作成のための指針」等により、建物の維持保全義務が課せられており、外壁の破損状況の把握は重要な管理項目に成っている。

従来、外壁タイルの剥落の有無を検査する方法として、熟練工がテストハンマー等を用いて建物壁面を打撃し、その打撃音の差異を耳で聞き分け、タイルが健全であるか剥離しているかの判断を行ってきた。

しかしながら、この方法は技能工の勤に頼ったものであり、その熟練度に伴い剥離の判定にバラツキが生じ、その上明確な検査記録が残せないため判断に客観性がなかった。また、長時間にわたる過酷作業であるとともに、高所での危険作業でもあった。

本システムでは、従来の人手作業を機械化することにより、作業の高速化を図るとともに、安全性を確保し、自動的・定量的に外壁タイルの剥離の有無及び従来の方法では検出の難しかった剥離深さの判定を可能とした。

本報文では、剥離判定の検知原理、ロボットタイプとハンディタイプの機器構成、特徴、主な仕様及び判定処理手順等について紹介する。

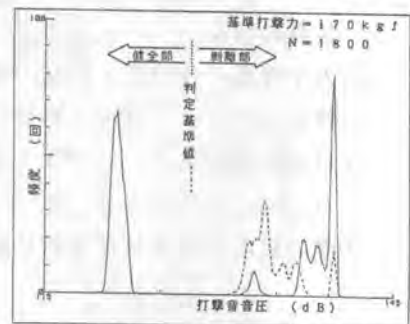


図-1 健全部と剥離部の打撃音音圧特性

### 2. 剥離の検知原理

本システムでは、外壁タイルを一定の運動量で打撃し、その音圧と反発力により判定を行う。

外壁タイルは、一定の運動量で打撃することによって、以下のような2つの特性を示す。

- ①剥離部は健全部よりも高い音圧を示す。(図-1)
- ②剥離部において、深い剥離部(躯体上での剥離)は浅い剥離部(タイル裏面での剥離)よりも大きな反発力

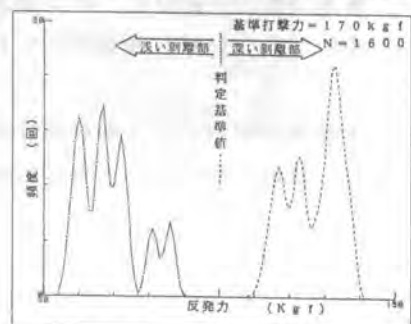


図-2 剥離の深さに関する反発力特性

を示す。(図-2)

タイルの付着状態によって、音圧と反発力の大きさに違いが現れるこの2つの特性を利用し、音圧及び反発力に判定基準値を設けることによって「健全部」・「深い剥離部」・「浅い剥離部」を判定する。

### 3・吊り下げ型タイル剥離検知ロボット

#### 3-1・概要

ロボットタイプは、建築物屋上に吊り下げ移動部を設置し、打撃部と駆動部を外壁に沿って吊り下げ、地上部のオペレータによる無線操作で検査を行う自動検査装置である。また、検査結果はパソコンを介して、カラーCRT上や図面プロッターで表示を行うことができる。

ロボット本体を写真-1に示す。



写真-1 ロボット本体

#### 3-2・特徴

- ①大規模建築物での検査に適している。
- ②剥離判定のバラツキをなくし、自動的かつ迅速に検知する。
- ③高所作業をなくし、安全作業の確保。
- ④判定結果は、カラーCRT上の建物図面上に表示し、任意の部分の拡大、剥離深さの表示など認識のし易い表示が可能。
- ⑤測定結果を自動的に図面へプロットすることにより、客観的で正確な表示を行う。

#### 3-3・機器構成

装置は大別して次の6主要部分より構成されている。

##### ①打撃部

打撃機構・打撃音センサー・反発力検知器を含むハンマー部、判定器や無線データ伝送装置から成る剥離判定部及び打撃制御部より構成。

##### ②吊り下げ移動部

建物屋上に設置し、打撃部と駆動部を吊り下げ、横移動を行う機構。

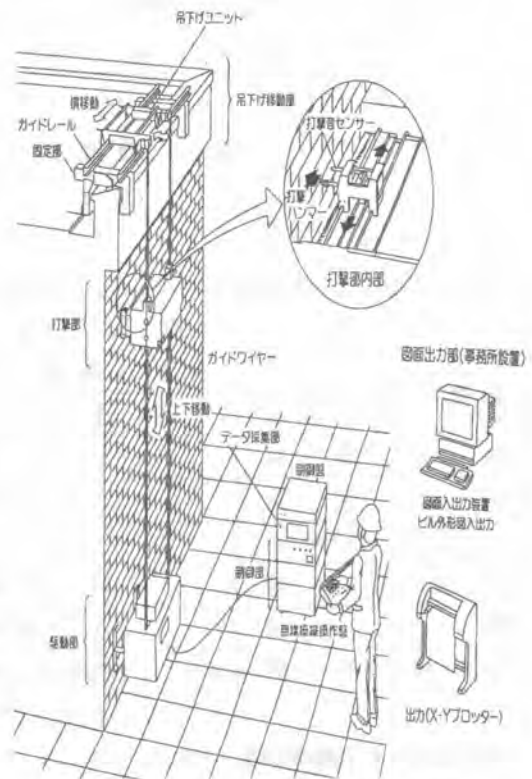


図-3 システム構成図

③駆動部

打撃部と駆動部自身の上下移動機構と、Y方向の打撃位置検出機構より構成。

④制御盤

データ採取部と制御部で構成。

⑤操作盤

オペレータが地上から無線伝送により操作する。

⑥図面入出力装置

事務所内に設置し、建物外形の入力や検知結果の表示を行う。

システム構成図を図-3に、機能ブロック図を図-4に示す。

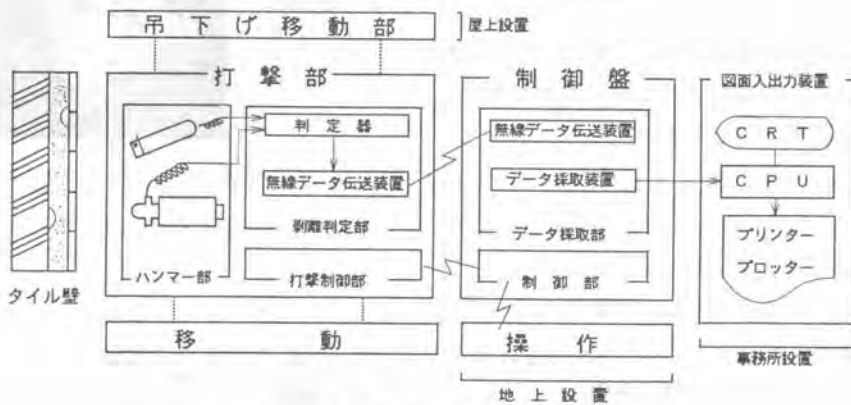


図-4 機能ブロック図

3-4・主な仕様

「吊り下げ型タイル剥離検知ロボット」の主な仕様を表-1に示す。

表-1 主な仕様

剥離の検知感度	タイル裏面の場合	直径 5 c m 以上
	躯体上の場合	10 c m × 10 c m 以上
検知速度	約 1.0 秒/点	
施工速度	60 m <sup>2</sup> /時間	
データの保存	3.5インチFD	
装置の重量	約 600 kg	
電源	AC100V , 約1kW	
使用条件	温度 0~40℃ , 湿度 20~85%	

4・携帯型タイル剥離検知器

携帯型は小型軽量化・小規模検査への適応化を満足したもので、検査のための準備作業を必要とせ

ず、作業操作の簡便化を図っている。

本器の操作に要するオペレータは1人であり、オペレータは検知棒を持って、検査対象であるタイル壁面に対し、ハンマー部を軽く押し当てながら打撃し、判定表示ランプと判定表示ブザーにより、その場でタイル壁面の剥離の有無や剥離深さを検知することができる。

また、手動であるので、調査したい箇所を詳細に繰り返し検査することが可能であり、建物の隅部や内部での調査にも適している。

「携帯型タイル剥離検知器」の構成及び作業状況を写真-2に示す。



写真-2 装置の構成と作業状況

## 5・判定処理手順

事前に仕上げ材毎の打撃音音圧とハンマーの反発力とを統計処理し、各々の判定基準値を求める。判定は、この判定基準値と時々刻々の計測値とを比較して行う。

まず、打撃音音圧と反発力の判定基準値を手入力し、対象となるタイル壁面をハンマーで打撃することによって、各々の計測が実施され、結果として「健全部」・「深い剥離部」・「浅い剥離部」のいずれかに分類される。判定結果は、打撃音音圧と反発力の数値表示と合わせて、判定表示ランプや判定表示ブザー等で示される。剥離判定処理フローを図-5に示す。

## 6・おわりに

ここで紹介した「吊り下げ型タイル剥離検知ロボット」と「携帯型タイル剥離検知器」とを壁面の規模、検査の目的、使用条件等で使い分けることにより、あらゆるタイル壁面に対し安全かつ正確な検査が可能となった。

また、タイル壁の正確な破損状況の把握は、建物管理者にとっての建築物維持保全業務の軽減につながり、建物利用者および第三者が安心して利用できる環境形成となる。

今後の展望としては、タイル壁面の剥離検知に限らず、橋桁天井部の空洞検知等、一般構造物の非破壊検査分野への応用に用途を拡大していく方針である。

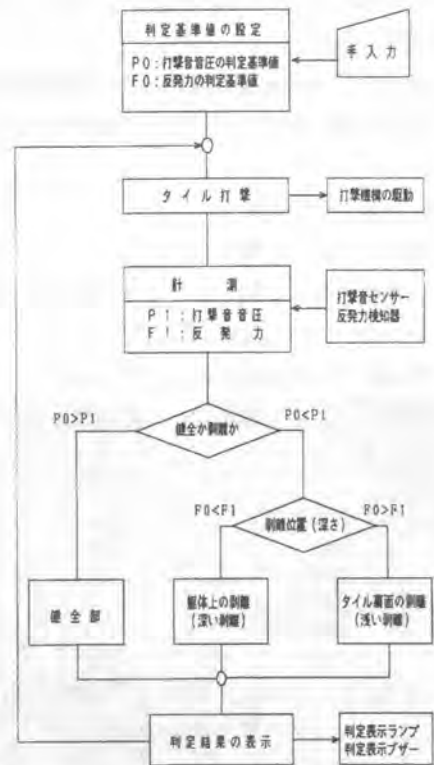


図-5 剥離判定処理フロー

## 59. 鋼製シンカー設置姿勢計測システム

鹿 島：\*菊地 哲樹・佐藤 知則  
高瀬俊二郎

### 1. まえがき

海洋工事では工事船を係留するための大型鋼製シンカーを海底に設置する工事が行われている。このシンカー設置工事では設計張力を確保するためにシンカーを所定の方位に向けて設置し、着底後海底の凹凸による滑動などがない安定した状態であることを確認する必要がある。特に強潮流や急峻な海底地形の海域においては方位や傾斜などの姿勢計測は不可欠である。従来は遠隔操縦無人潜水機やダイバーによる確認が大半であったが、それぞれ狭視界で定量的把握ができないことや作業環境が厳しいなどの問題があった。

本報告では作業船上でシンカー設置姿勢をリアルタイムで把握できる標記システムを開発し、シンカー設置工事に適用したのでその概要を紹介する。

### 2. システムの概要

#### (1) システムの構成

本システムは図-1のように船上のジャイロコンパス（以下ジャイロ）、表示器、パソコン、鋼製シンカー上の方位計、傾斜計（二軸）、切り離し装置で構成されている。機器仕様を表-1に示す。方位計は地球磁場に追従する小型のディスク状磁石とその周りに複数個のホール素子を持つ構造であり、ホール素子は磁石からの磁界の強さに応じた方位信号を出力する。また、安価で耐衝撃性に優れ

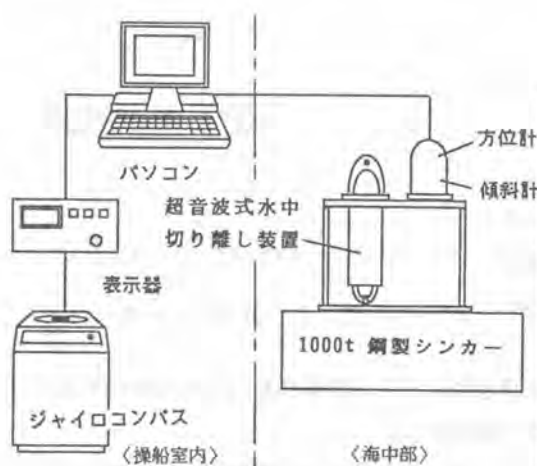


図-1 システム構成

表-1 主要機器仕様

機器名称		仕様	
方向計測装置	方位計	計測精度	±2°
	許容傾斜		±20° 以内
傾斜計測装置	傾斜計	指北精度	±0.5° (静止状態)
		指北整定時間	約30分
データ収録・演算装置	パーソナルコンピュータ (ラップトップ型)	検出範囲	±20°
		精度	0.02° 以下
切り離し装置	超音波式水中切り離し装置	自差校正演算用	PC9801LX
		計測画面表示用	
		計測データ収録用	
		信号到達距離	2500m
		送受信周波数	19.2kHz
		指向性	ほぼ半球

ているが、周辺に鉄や磁石などの磁性体が存在すると磁場が乱れるため、方位信号に自差と呼ばれる誤差が生じる欠点がある。そこでジャイロを用いて誤差を補正する自差校正方法を考案し、システムに適用している。方位計や傾斜計はシンカー設置後に切り離し装置で回収し再利用する。

## (2) システムの特徴

### a. 自差校正

自差は対象となる磁性体（この場合は鋼製シンカー）の磁化状態、大きさ、形状の違いなどの種々の要因が重なって個々に異なる特性を示す。このため設置するシンカー毎に自差曲線を求め高精度な方位計測を可能にしている。

自差校正の手順を述べる

- ① クレーン船でシンカーを吊り上げ相対角度  $\alpha$  を測量する。（図-2）
- ② シンカーを吊り下げた状態でクレーン船を回転させながら、方位計信号をクレーン船のジャイロから計算したシンカー方位（ $\beta - \alpha$ ）に対応させる。 $\beta$  はジャイロが示すクレーン船方位である。
- ③ 対応させたデータをモニタに表示しながら自差曲線が正常に得られていることを確認し、データを保存する。（図-3中の曲線）図中直線は自差の影響がない場合の方位計信号とジャイロ方位との関係である。
- ④ シンカー設置時は自差曲線データの中から方位計信号に対応するデータを求め実際のシンカー方位を出力する。

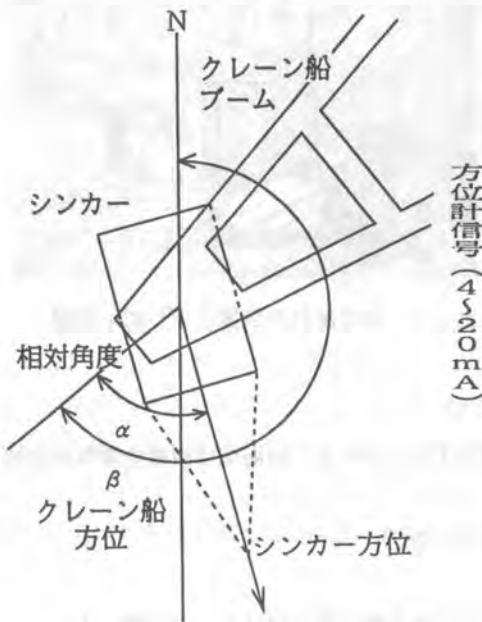


図-2 クレーン船とシンカーの  
相対位置例

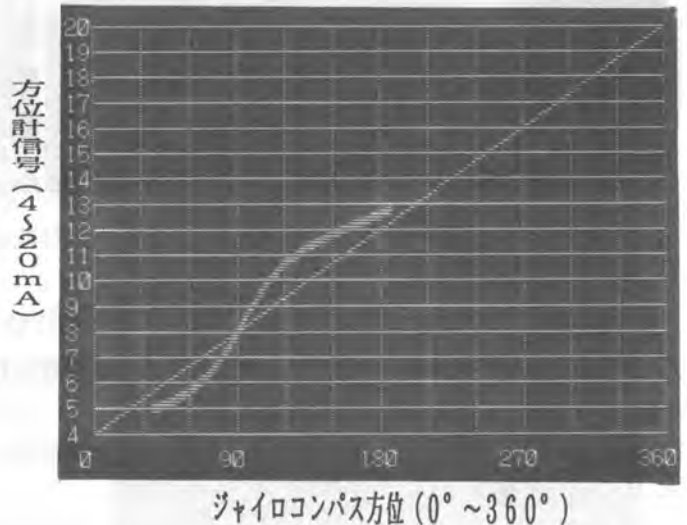


図-3 自差曲線例



## b. リアルタイム計測

図-4にシンカー姿勢計測中の画面表示例を示す。画面左側にクレーン船とシンカー方位が表示され、右側にはシンカーの傾斜方向及び大きさが色と数字で表示される。操船室においてシンカー姿勢がリアルタイムで把握できるため、操船作業や着底後の設置完了の判断を迅速に行うことができる。また、設置中及び最終設置時の計測データは全てフロッピーディスクに保存し、設置状況の履歴を適時呼び出すことができる。

## c. 切り離し装置

シンカーに搭載された方位計と傾斜計の回収を容易にするため、海中部計測装置切り離し用として超音波通信を利用した装置を用いている。本装置は海中での伝達性能や取扱い上の便利さの点から海中敷設の観測機器などの回収に広く使われているものである。通信方式は海中騒音などによる誤動作を防止するために、一般的に用いられているF S K（周波数シフトキーイング）変調方式を採用している。切り離し動作が完了すると確認信号が送出され、海上部でこれを受信し回収作業に入る。また別にコード化された超音波信号を相互に送受信することによりお互いの距離、つまり設置深さを確認する機能がある。

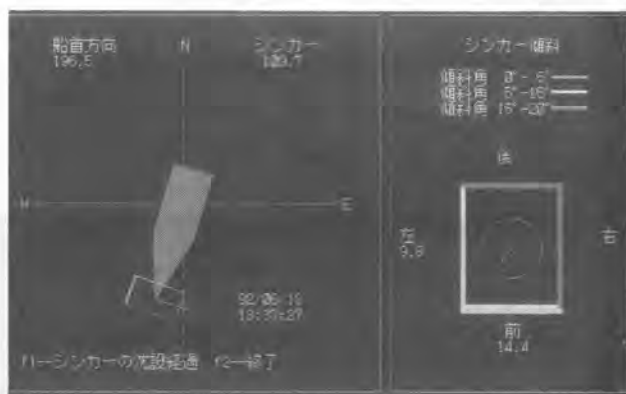


図-4 姿勢計測中のパソコン画面



写真-1 海中部計測装置と切り離し装置

## 3. 施工実績

今回の施工場所は本州四国連絡橋来島大橋工事の武志島東工区内である。当海域は複雑急峻な海底地形で最大深度は約70mの大水深である。

現在までに1000t級のシンカー4基の設置を完了している。

### (1) 施工手順

- ①係留された台船上にあるシンカーに本システムの海中部計測装置を取り付ける。(写真-1)
- ②クレーン船でシンカーを吊り下げ、全体を回転させ自差曲線を得る。
- ③シンカー設置場所までクレーン船を移動し、所定の位置及び方位で設置作業を開始する。
- ④海中のシンカー姿勢を操船室のパソコンでモニタしながら沈める。

⑤所定の方位、傾斜の許容値内でシンカーが着底したら、安定を確認してシンカーを切り離す。

⑥船上からコード化された信号を送り、計測装置を回収する。

## (2) 設置結果

4基のシンカー設置工事に適用した結果を表-2に示す。No.1は設置深度が浅く、画面の出力とシンカー方位が良く一致しているのが確認できた。No.3設置時は最初の着底時に<sup>※</sup>前傾斜が許容値を超えたため、再度吊り直して設置した。また、方位よりも傾斜についての許容値が小さく、特に前傾斜の状態は設計安全上、厳しい制約があったが最終的な設置結果は全部のシンカーについて、方位と傾斜の許容値内で設置できた。

表-2 シンカー設置姿勢計測結果

項目 \ 名称		No.1 (水深 3 m)		No.2 (水深 2 0 m)		No.3 (水深 5 1 m)		No.4 (水深 6 2 m)	
		計 画 値	実 績	計 画 値	実 績	計 画 値	実 績	計 画 値	実 績
方位 (度)		93±28	89.3	114±22	109.7	158±24	153.6	243±27	247.6
傾斜 (度)	左右	22.5 以内	6.5	22.5 以内	9.8	22.5 以内	10.8	22.5 以内	6.8
	前後	前 11 以内	前 9.2	前 2.5 以内	後 14.9	前 6.3 以内	後 1.1	前 4.7	後 4.9

※ 前 傾 斜 : 係留索側に沈下して傾いている状態とする。

## 4. おわりに

今回のように傾斜管理値が3度以下の場合もある、非常に厳しい施工条件下で適用し、良好な結果が得られた。

今後は姿勢計測だけでなく衛星測量 (GPS) や光波測距測角儀を用いたクレーン船の位置計測を組み合わせ、総合的な施工支援システムを確立したい。なお、本システムを使用するに当たり協力を頂いた来島大橋工事関係者に感謝の意を表します。



図-5 施工概念図

# 60. 地下タンク側壁コンクリート自動打設システムの開発

清水建設(株)：塚原 裕一・田中 佳利  
\*鈴木 克男

## 1. はじめに

地下タンクの建設は、地盤を円筒形に掘削し、底盤と側壁にコンクリートを打設して、鉄筋コンクリート製の容器を構築するものである。(図-1, 2参照)

当社では地下タンク施工の生産性の向上を目指し、自動化・機械化を中心とした各種開発を実施している。

本文では、側壁構築に伴う『コンクリート打設工事』に使用される側壁コンクリート自動打設システムについて、東京ガス根岸工場の新設LNG地下タンクでの事例を述べる。

コンクリート打設工事はタンク全周を4つに分割し、鉄筋が組まれた型枠の中に、コンクリートの側圧を考慮し、1時間当たり50cmの層厚でコンクリートを打上げ、パイプレーターで締固める。1回の施工で高さ約8m、打設量約2500m<sup>3</sup>のコンクリートを打設し側壁を構築する。この一連の作業を毎月繰り返して側壁を完成させる。

従来これらの作業は、60人程度の作業員が人力により行なっており、高所、重労働等が伴う悪環境下での作業で、品質管理及び、生産性の向上も難しかった。



図-1 地下タンクの構造(断面)

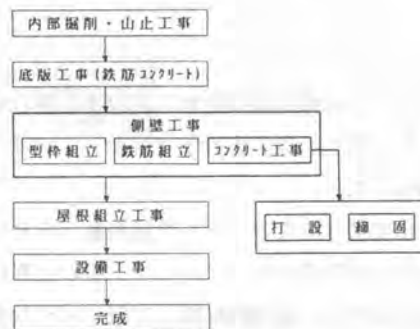


図-2 地下タンクの施工手順

## 2. コンクリート自動打設システム

### 2-1. システムの構成と運用

自動打設システムは自動打設装置、締固めロボット、打設管理システムの3種類のサブシステムで構成されている。

自動打設装置は側壁の型枠上にシャッターバルブ（以下バルブと呼ぶ）と地上部にバルブ制御盤を設置して作業を行う。また締固めロボットは掘削頂部からタンク内側に専用レールを設け、トロリーを介して、ゴンドラ方式で壁面に吊り下げて使用する。打設管理システムは打設状況をタンク上部で把握出来るように地上部に設置する。図-3にこれら3つのシステムの構成を示す。

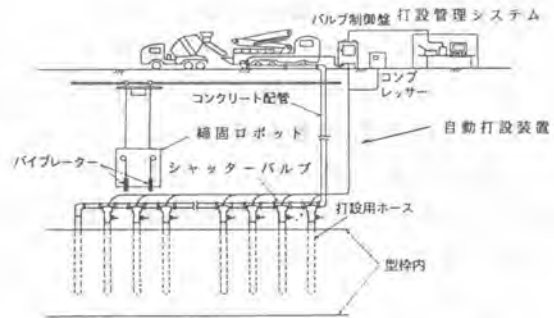


図-3 側壁コンクリート自動打設システム概念図

## 2-2自動打設装置

自動打設装置はバルブとバルブ制御盤から構成されており、バルブは地上部からのエアコンプレッサからの空気圧によりエアシリンダを駆動しながら開閉を行う。コンクリートパイプは地上部に設置したコンクリートポンプ車から、壁面に沿って垂直に側壁の型枠上部に配管し、そこから円周方向(90度分)に水平にバルブを3~4m毎に10台取り付け、これを全周分(4班)にわたって行う。

作業開始時には予め計画された打設高さ、打設層等の条件を制御盤において設定しコンクリートポンプに打設量計測用のセンサーを取り付ける。

コンクリートポンプ車からコンクリートが供給されると自動的にコンクリート量を計測し、設定された条件を満たされると打設作業が完了する。打設時のバルブの作業手順を図-4に示す。

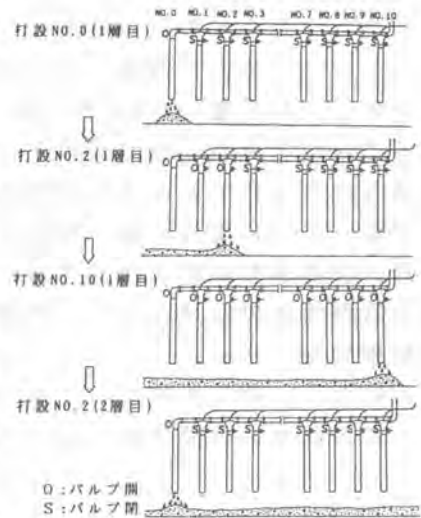


図-4 コンクリートの打設手順

## 2-3締固めロボット

ロボットは箱型の鋼製フレームの中に4本のパイプレータを搭載したものである。各ロボットはタンク外周の1/4区画ずつを施工範囲としており、約2m横行する毎に停止し、パイプレータをコンクリート中に挿入して締固めを行う。締固めを行うパイプレータは本体に搭載したウインチによりワイヤで吊られており打設したコンクリート面に降下し、コンクリート内にパイプレータが挿入された

ことを検知し、所定の高さでパイプレータを停止させ一定の時間締固めを行った後、元の位置に戻って1サイクルの締固め作業を終了する。この一連の作業を繰り返し1層分の作業が終了する。本体の概要を図-5、作業状況を写真-1に示す。

2-4打設管理システム

システムはパーソナルコンピュータ(PC)とCRTおよびプリンタから構成されている。CRTには3つの画面が設定されており、タンク全体のコンクリートの打設状況、コンクリートの全体の打設量、4分割された各班の打設量・進捗状況を監視することができる。管理者はPCの容易な操作だけで画面を切り換えて、リアルタイムに現場の施工情報が得られ、計画通りの施工ができる。各班の管理情報は各班のバルブ制御盤の制御情報をPCに入力してプログラム処理し、施工情報として出力している各画面の管理情報を図-6、7、8に示す。

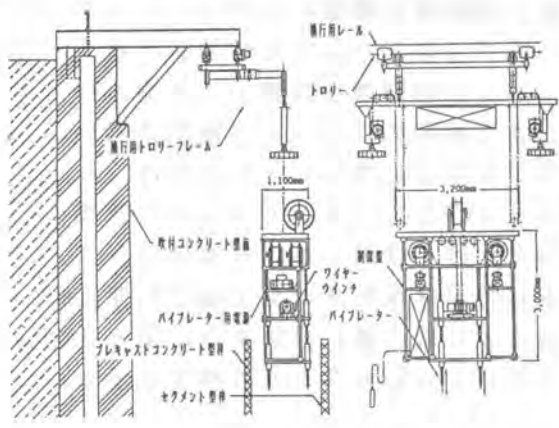


図-5 締固めロボットの概念図

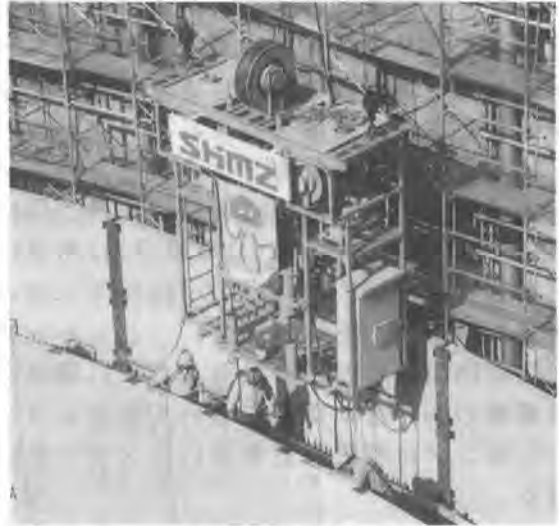


写真-1 締固めロボットの作業状況

2-5各システムによる作業の特徴

- ・一連のコンクリート打設・締固め作業の自動化により、従来60人程度必要としていた作業員の数1/4以下となり、省人化が図れる。
- ・作業員が狭い型枠内での長時間にわたるコンクリートの締固めや、パイプレータの持ち運びなどの苦渋作業から開放され作業環境の改善が図れる。
- ・自動制御により正確なコンクリー

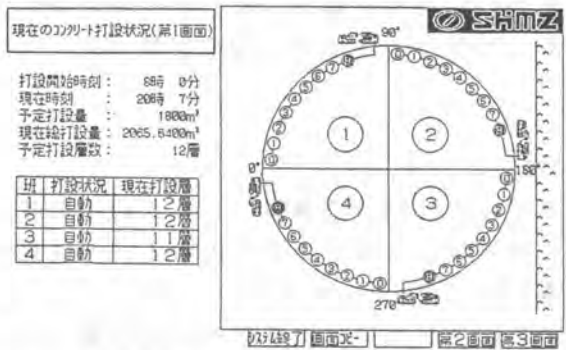


図-6 打設管理システムの表示画面-1(各バッチの打設状況)

ト打設と適切な締固め作業が可能となり、高品質なコンクリートを構築できる。

・打設管理システムの画面をモニターするだけでコンクリート打設量が把握できるため計画通りに施工が行える。

### 3. おわりに

これらの各システムの導入により、従来人手に頼っていたコンクリート打設作業が自動化され、省人化、高品質の施工、安全性の向上が達成できた。各作業員はシステムの監視・操作作業が中心となり、従来の約1/3～1/4の作業員で作業を行っている。

今後、型枠の運搬・取付け等の作業についても、機械化・自動化を進め施工能率の向上に取り組んで行く予定である。

最後に、本システムの工事適用に際して、東京瓦斯株式会社関係各位の御協力に深く謝意を表します。

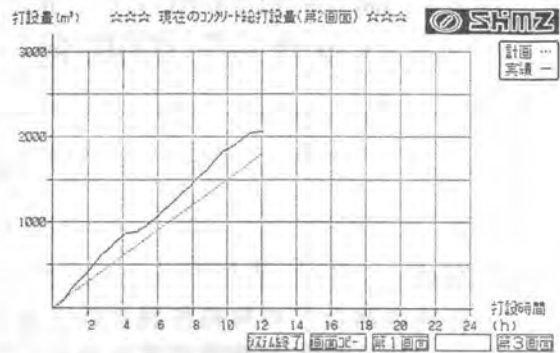


図-7 打設管理システムの表示画面-2(コンクリート総打設量)

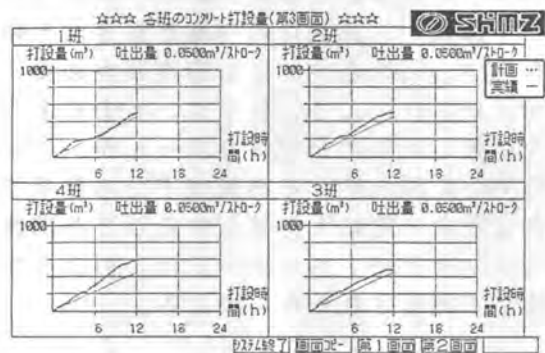


図-8 打設管理システムの表示画面-3(各バッチのコンクリート打設量)

# 61. 橋脚用目荒し、斫り装置“コンクリートベッカー”の開発

清水建設(株)：\*高橋 周男・小田原卓郎  
橋 幸雄

## 1. はじめに

近年、高速道路などの車線拡副に伴う高架橋脚の改築工事や、老朽化した鉄筋コンクリート構造物の補修工事等が増加してきている。これらの工事では、既設構造物の表面のコンクリートを削り取りとり、新しくコンクリートを打ち足す作業が行われる。その際、新しい鉄筋を接続するために既設構造物内の鉄筋を斫りだす作業や、良質な打ち継ぎ接合面を確保するために既設のコンクリートの表面を削り、凹凸をつける目荒作業が必要になる。切削面や内部の健全な部分に影響を及ぼさないよう、従来は、人力による小型のハンドブレーカやエアハンマー等を使用した作業が主体であったが、これらは、高所で、騒音粉塵を伴い、多大な労力と時間を要する悪環境下での作業であった。また、最近では斫りに必要な特殊作業員を一度に大勢確保することが困難となっている。橋脚用目荒・斫り装置『コンクリートベッカー』はこのような背景のもと、現場からの強いニーズに対応して開発されたものである。

## 2. 開発の概要

橋脚用目荒・斫り装置『コンクリートベッカー』に対して現場より要求された性能は、①20m近い高さまで対応できること ②切削面や内部の健全な部分に影響を及ぼさないこと ③高能率であること ④安全性の確保等であった。

①に対しては施工の確実性や移動の簡便性よりクローラ式のベースマシーンに伸縮ポストを取り付ける方式を採用した。②と③に対応するため切削工具としては、複数のチゼルをランダムに打ち付けて切削するエアーハンマー（スパイキーハンマー）を採用した。④に対してはリモコンで操作できるようにし、自動と手動の運転モードを設けた。

## 3. 装置の概要

本装置（図1）は①クローラ式ベースマシーン、②ハンマーユニット、③3段伸縮式昇降ポスト、④制御装置、⑤集塵機及び斫り片回収装置、⑥その他から構成される。装置の仕様を表1に示す。

### 1) ベースマシーン

ベースマシーンは、0.9m<sup>3</sup>のパワーショベルを改造して使用している。ハンマーを搭載した伸縮式ポストをパワーショベルのブームとキャッチフォークにより

表1 装置仕様

寸法	4150 X 8425 X 8250 (mm)	
重量	28630 kg	
施工範囲	高さ19000(mm)~2750(mm)	幅1000(mm)
移動速度	横行1.5~5.0(m/min) 昇降1.5~4.0(m/min)	
ハンマー旋回角度	±15度	
施工能力	目荒 200m <sup>2</sup> /日	(圧縮強度 400kg/cm <sup>2</sup> の場合)
	研 2.0m <sup>3</sup> /日	

図-1 コンクリートベッカー概要図

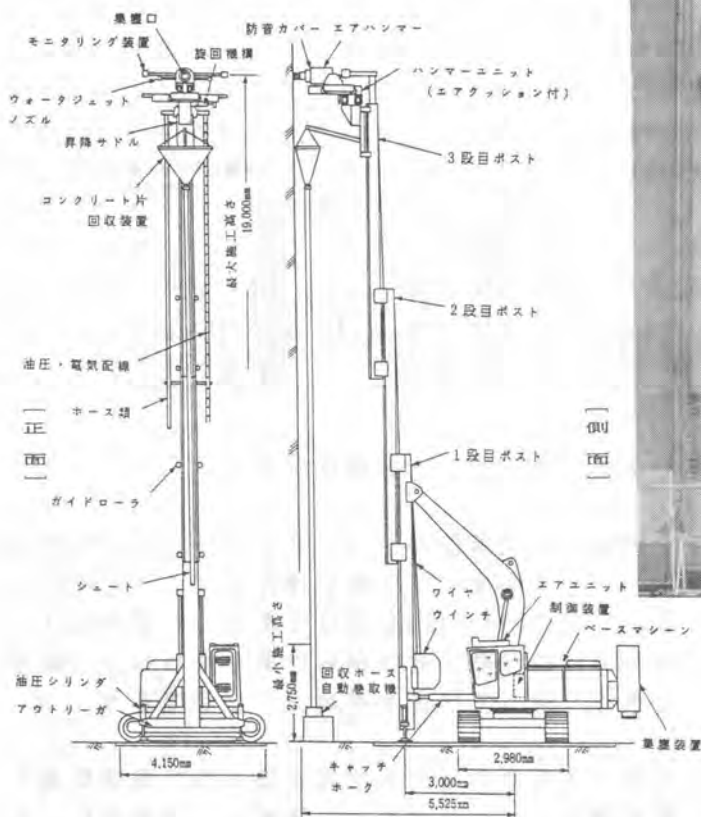


写真1 コンクリートベッカー

支持している。また、装置の油圧駆動部の油圧は、ベースマシンの油圧ユニットから供給される。オペレータはベースマシンの移動時のみベースマシンに搭乗し、研・目荒作業時には安全確保の為に離れた位置から監視・操作を行う。

2) ハンマーユニット

ハンマーユニットは、エアハンマー、ハンマーライド装置、ハンマー押付装置、ハンマー旋回装置から構成される。ハンマー押付装置は、ハンマーをエアシリンダで前後方向に押付ける機構になっており、ハンマーからの衝撃力が直接昇降ポストへ作用しないよう、クッションの役目を果たしている。また、エア



シリンダの空気圧によりハンマーの押付力を調整することができる。また、ハンマー本体から発生する騒音を低減するため、防音カバーを開発し装着してある。

### 3) 三段伸縮式昇降ポスト

三段伸縮式昇降ポストは、ハンマーユニット部を昇降させるためのものであり、長さ7.85mの箱型ポストを三段に重ねた構造になっている(図2)。ポストの伸縮は、ワイヤーロープと油圧ウインチにより行っている。

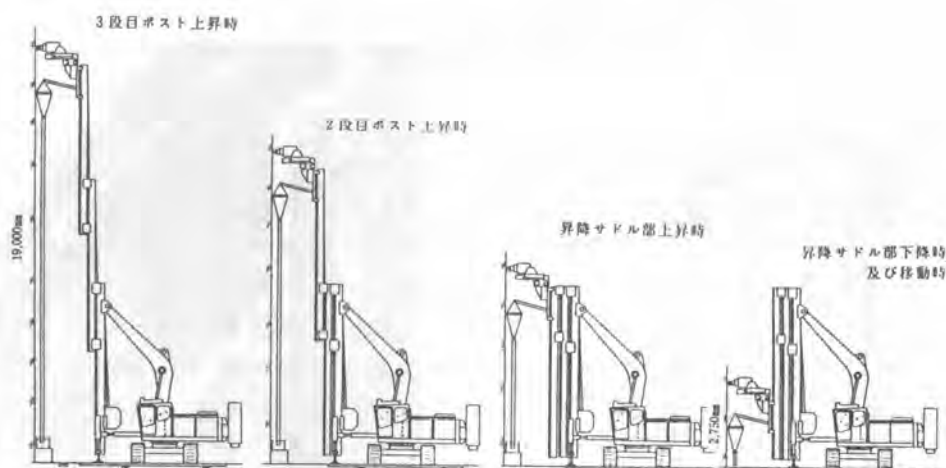


図2 コンクリートベッカーポスト伸縮状況図

### 4) 制御装置

プログラマブルコントローラを内蔵した制御盤が、ベースマシンの運転席後部に設置されている。制御盤からケーブルを介して外部に操作ボックスを接続し、遠隔で操作を行う。運転モードは、『自動』と『手動』を設けてある。手動運転は、操作レバーによりハンマーを任意の方向に移動させながら作業を進める。自動運転は、予め設定した動作パターンを繰り返して作業を進めることができる。

### 5) 集塵、斫片回収装置

ハンマーによる斫り作業時に発生する粉塵や斫片を回収する目的で集塵装置と斫片回収装置を搭載している。集塵機は、ベースマシン後部に、設置され、ハンマーの中央部に設けられた吸引口より粉塵を回収する。また、集塵装置で回収できない大きなコンクリート片は、ハンマーユニット直下に設置した斫片回収装置により回収する。斫片はホッパーで集められ、ホースシュート内を落下させ地上部に設置したバケットに回収される。ホースは、ハンマーユニットの昇降に追従して、自動的に巻取、巻き出しができる。

### 6) その他

ポスト上部にテレビカメラを設置し斫状況をモニターできる。また、水ジェットによる斫面洗浄装置を搭載している。

#### 4. 現場への適用

コンクリートベッカーは『東名高速道路（改築）秦野西工事』に適用され威力を発揮している。この工事は現在の住復四車線を六車線に拡幅するものである。

##### 1) 施工手順

施工対象の橋脚にベースマシーンをセットした後、キャッチフォークとアウトリガーにより伸縮ポストの傾斜を調整し、固定する。手動操作によりハンマーを作業開始位置まで移動する。自動運転を行う場合には目荒か斫の選択をした後、自動開始ボタンを押すことにより、ハンマーの打撃、所定のパターンの移動が行われる。目荒の場合、ハンマーを横方向に1m動かし、次に20cm下降した後、反対方向に1m移動するパターンを繰り返す。

施工面に障害物がある場合や複雑な形状の施工を行う場合には手動を用いる。

##### 2) 導入効果

本装置と人力による手持ちブレイカ作業との比較を表2に示す。これは斫、目荒を横向きで作業したときのデータである。足場の組み立て、解体等は作業から除外してある。その結果、本装置は斫作業で人力の約18倍、目荒作業で約40倍の能力を有することが確認できた。なお、コンクリートの圧縮強度は約400kg/cm<sup>2</sup>であった。また、本装置の導入により作業者は離れた位置での遠隔操作のみで作業を進められ、粉塵、騒音下での作業が大幅に改善された。また、高所作業が無くなり、作業の安全性も大幅に向上した。

表2 コンクリートベッカーと人力ブレイカの比較

方 法	表面目荒し (チップング)	斫 り	備 考
コンクリート ベッカー	212 m <sup>2</sup> /日	2.5 m <sup>2</sup> /日	1日5時間稼働 特殊作業員3名
人 力 ブレイカー	5.46 m <sup>2</sup> /日	0.14 m <sup>2</sup> /日	斫り工6名

#### 5. おわりに

橋脚用自動目荒、斫装置『コンクリートベッカー』は、施工能力の大幅向上、既設構造物を痛めない均一な施工、作業環境の改善、色々な形状への対応などの長所を有しており、ますますニーズの増えると予想されるリニューアル工事への新機種として期待されている。今後、東名高速道路（改築）秦野西工事において同機種の適応性を更に高め、同種の工事への展開を検討していきたいと考えている。

最後に、同機の工事への適用にあたり、ご理解とご協力をいただきました日本道路公団厚木工事事務所および清水建設・大本組秦野西工事共同企業体のみなさまに感謝の意を表します。

## 62. 据付等作業自動化技術の開発

建設省：熊本泰俊・佐藤 文夫

\*中島 朋也

### 1. 開発の目的

近年、社会経済の高度化、多様化など社会環境の変化に対応した社会資本の整備に対する要求の高まりから、建設事業における生産性の向上・高品質化並びに施工の合理化が重要な課題となっている。

一方、建設工事現場では近年、技能労働者不足と高齢化が深刻な状況にあり、生産性の低下や施工管理精度の確保とともに、作業の安全確保が重大な問題となっている。特に、小型の規格型コンクリート二次製品（以下「プレキャスト製品」という。）の据付作業は従来から人力に依存した施工形態にあり、典型的な苦渋作業工種となっている。

このような背景から、製品重量 200kg以下のプレキャスト製品を対象に、小型バックホウを活用した据付作業における省力化・自動化技術の開発を行ったものである。

### 2. 施工の現状

プレキャスト製品の据付作業には在来の荷役機械であるクレーン付トラックを使用した施工方法が一般的に用いられているが、写真-1に示すような狭路施工現場条件となる道路用プレキャスト製品の据付作業は在来荷役機械の乗入れができず、車道上からの施工となり一般交通流を阻害するばかりか交通渋滞を引き起こす要因となることから、その多くは写真-2に示すように作業員が直接プレキャスト製品の持ち運びを行っており、「危険」「キツイ」の苦渋作業となっている。



写真-1 車線規制による施工状況



写真-2 人力による据付施工状況

### 3. 開発機の概要

#### (1) 開発方針

現状の問題点と施工合理化に対するアンケート調査結果を踏まえ、次の開発方針に基づき開発を行った。

##### 1) 開発対象プレキャスト製品

最大重量 200kg以下のコンクリート二次製品のうち開発要望と省力化に対する効果の大きい歩車道境界ブロック等の5種類のプレキャスト製品とした。

##### 2) 作業機能

- ① 据付機能    ② 小運搬機能    ③ 掘削機能

##### 3) ベースマシン

- ① 汎用作業性を重視し、据付作業専用機とはしない。  
② 小型化を図り、狭隘施工現場に対する乗入れ性を確保する。

#### (2) 開発機の特徴

- ① ベースマシンは汎用掘削機械である小型バックホウのため、機能の切換え操作によりプレキャスト製品の据付作業とバックホウとしての土工作業の両面に使用できる汎用作業性を有している。  
② プレキャスト製品の捕捉・移動・据付の一連作業は、有線式コントローラによる遠隔操作方式のため、据付対象プレキャスト製品の傍らで作業を直視しながら据付作業が行える。  
③ プレキャスト製品の捕捉は軽量で構造のシンプルなアタッチメント方式の機械式捕捉機構を採用しており、2形式の捕捉具で、5種類のプレキャスト製品を据付することができる。  
④ 被牽引式台車の装備により、現場内小運搬しながらの据え付け作業や、小運搬単独作業が可能であり一連の効率化を図ることができる。(台車の積載能力：1,000kg)

なお、外観図を図-1に示す。

ベースマシン型式	超小旋回形バックホウ	
機械重量(吊具、トレー無)	2,400kg	
走行時寸法	全長(含トレー)	5,930mm
	全高	2,400mm
トレー寸法	全幅	1,400mm
	荷台長さ×幅	1,500mm×1,300mm
移動範囲	荷台高さ	480mm
	最大据付半径	3,800mm
	最大吊上高さ	2,300mm
	最大吊下深さ	3,600mm
最大吊上加重	200kg	
捕捉装置	機械式	
操作方式	操作部位	ブーム、アーム、旋回
	操作方式	電気信号制御、有線結線

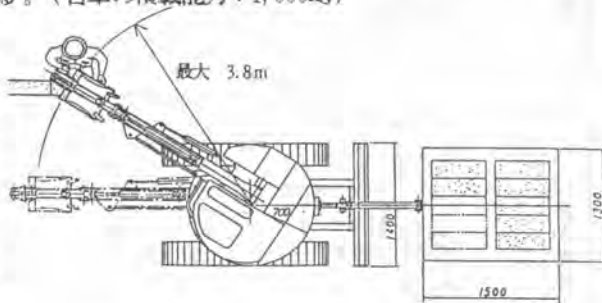


図-1 開発機外観図

#### 4. 適応性試験

適応性調査は、①想定作業モデルによる歩車道境界ブロック敷設能力試験と、②技術活用パイロット事業として取り組んだ仙台工事事務所管内国道4号線「柴田道路改良舗装工事」と国道45号「下場交差点改良工事」での適応性試験を行った。

##### 4.1 試験結果

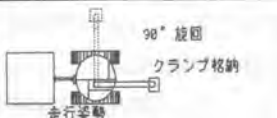
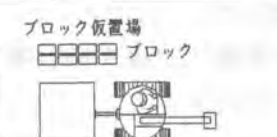
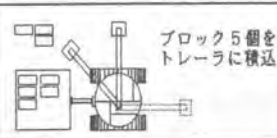

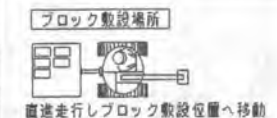
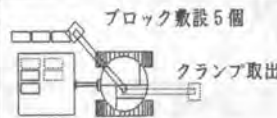
##### 4.1.1 想定作業モデルによる歩車道境界ブロック敷設能力試験

試	(1)作業員 オペレータ 1人
条	(2)敷設条件 コンクリート2次製品：歩車道境界ブロック(JIS A 5307 B種)
件	(3)運搬移動距離 25m

想定モデルによる試験結果は表-1のとおりとなり、1時間あたりの敷設個数はほぼ10個で、現行人力施工に比べて能力が向上したとはいえない結果となった。

しかし、この試験はオペレータが1人で吊り上げ、運搬、敷設まで行ったもので、時間的な能力アップにはつながらなかったものの人員の省力化ということでは十分見込めることがわかった。

表-1 想定モデル試験結果

工程	時間 (min)				参考30m走行 10個換算時間(min)
	0	5	10	15	
姿勢確保  90° 旋回 クランプ格納 走行姿勢	0	1.0			1.0 (1.0)
移動  ブロック仮置場 ブロック	0	1.5(2.5)			2.0 (3.0)
積込  ブロック5個を トレーに積込む	0		10.0(12.5)		18.0 (21.0)
姿勢確保  運搬席に着く 格納 走行姿勢	0		1.5(14.0)		1.5 (22.5)
移動  ブロック敷設場所 直進走行レブロック敷設位置へ移動	0		2.0(16.0)		2.5 (25.0)
敷設  ブロック敷設5個 クランプ取出し	0			15.0 (31.0)	30.5 (55.5)

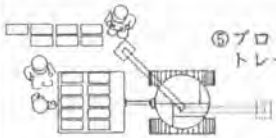
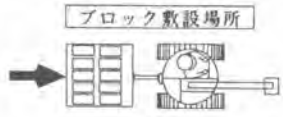

#### 4. 1. 2 現場試験

試験条件	(1)作業員 オペレータ 1人 据付・調整 2人 敷モルタル投入 1人 目地仕上 1人
	(2)敷設条件 コンクリート2次製品：歩車道境界ブロック(JIS A 5307 B種)10個 (
	(3)運搬移動距離 25m

試験結果は表-2のとおりであり適応性については次のことがわかった。

- ① 全所要時間約1時間8分のうち人力作業に伴う据付調整・ブロック位置決め微調整作業等の時間が約半分を占めている。
- ② 作業者全員の慣れによる能率向上を見込んでも1日あたり敷設個数は70~80個となる。  
この個数は従来工法とほぼ同様と考えられ、機械化による1日あたりの敷設個数の増加はあまり期待できない。
- ③ 作業員はオペレータ1人、据付調整・敷モルタル投入1人と、目地仕上1人の3人で十分と考えられ、省力化が図られる。

表-2 現場適応性試験結果

No	工 程	時間 ( ( ):累計)	備 考
1	積み込み (10個)	13'56" ( 13'56" )	 ⑤ブロック10個を トレーラに積み込む
2	走行移動 (25m)	2'7" ( 16'3" )	 ブロック敷設場所
3	積み降ろし・据付作業 (10個)	51'54" (1'7'53" )	 敷モルタル オペレータ 目地仕上げ 据付調整 クランプ取出し 作業員合計5名

#### 5. あとがき

本開発は、小型プレキャスト製品の据付作業における苦渋性の解消と省力化を目標に(財)先端建設技術センターと共同で開発を進めているものであり、現在試作機による現場適応性検証のため試験施工を実施しているところである。

次年度は、試験施工による現場適応性検証とその評価を行い、開発機の施工能力を十分に発揮できる据付作業の手順等、ニーズに合致した機械の開発を行っていく計画である。

## 63. 耐火被覆吹付けロボットシステムの開発

(株)フジタ：\*渡部 幸浩・宮本 仁史  
澤田 凱夫

### 1. はじめに

近年の建設労働者不足により、比較的少ない労務量で施工できる鉄骨構造が、建物の構造形式として盛んに適用されてきている。それに伴って、耐火被覆吹付け工事量も増加する傾向にある。しかし、耐火被覆吹付け作業は粉塵を伴う過酷な環境下の作業であるため、若年労働者の確保が難しく作業員の高齢化が進み、労働力不足や、技能工不足が生じている。

本システムの開発は、汎用型産業用ロボットを利用して建築工事の自動化を推進する一事例として、それらの作業改善を目的にしたもので、耐火被覆吹付け工事のうち90%以上の工事量を占める現場配合の乾式吹付け工法を対象とした。

### 2. 耐火被覆吹付けロボットシステムの概要

本システムの装置概要、特長及び操作概要を以下に述べる。

#### 2-1 システムの装置概要

本システムは、図-1に示すようなロボット及び制御盤、昇降装置付き自走台車、そして連動制御プラント設備により構成される。

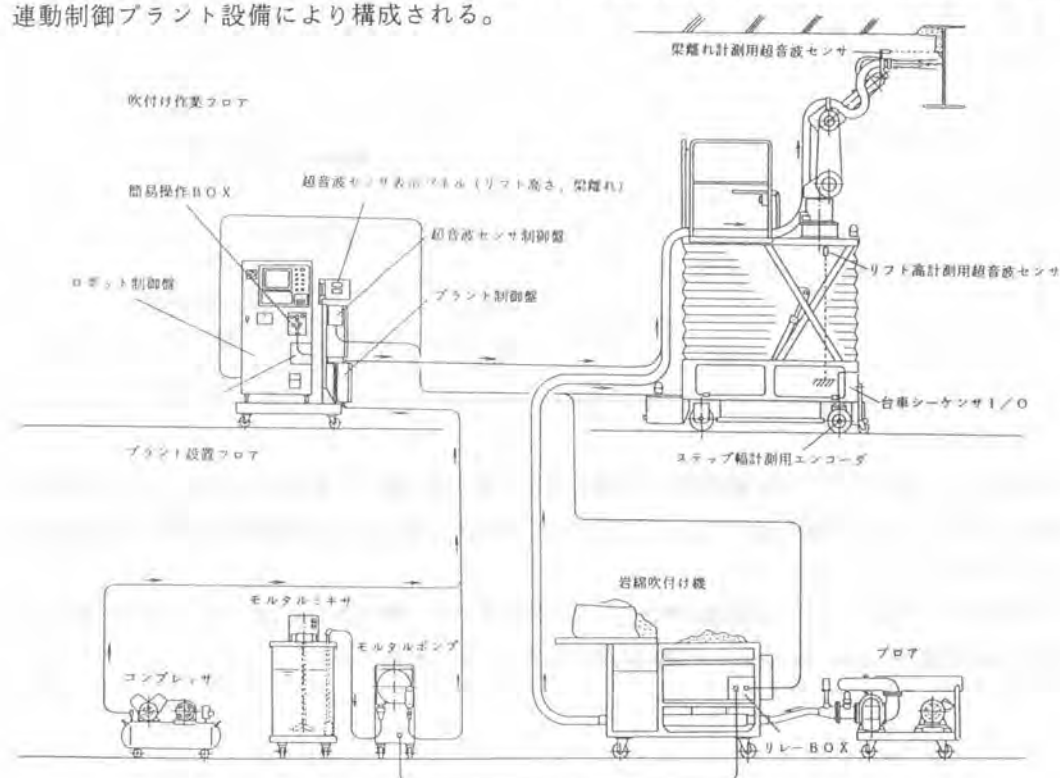


図-1 システムの装置概要

### (1) ロボット及び制御盤

本システムでは、市販の産業用垂直多関節型6軸ロボットを使用することにより、システムのコストダウンと既存技術の応用を計っている。また、簡易操作盤やソフトウェア（ロボット動作プログラム、自走台車制御プログラム、プラント制御プログラム）等については新たに開発した。ロボット本体の主な仕様を表-1に、ロボットの動作範囲を図-2に示す。

川崎重工(株) JS-10		川崎重工(株) A01	
型 式	垂直多関節6軸	制 御 方 式	ソフトウェアサーチ
最大可搬重量	10kgf	制 御 軸 数	6軸
位置繰り返し精度	±0.1mm	位 置 検 出 器	アブソリュウトエンコーダ
最大直線補間速度	1500mm/sec	記 憶 容 量	1メガバイト
駆動用モータ型式	ブラシレスACモータ	補助記憶装置	3.5インチFD
総 重 量	150kgf	電 源	AC200V(50HZ) AC220V(60HZ)

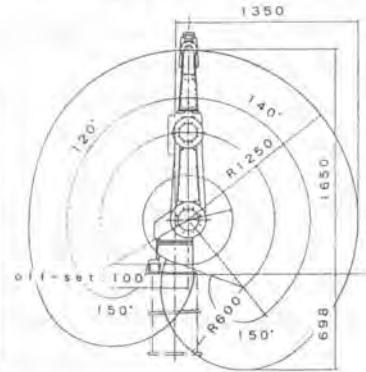


表-1 ロボット仕様

図-2 ロボット動作範囲

### (2) 昇降装置付自走台車

ロボットに走行機能を持たせるために専用台車は、新規に開発した。台車は、ロボットとの連動自律走行及び遠隔操作走行が可能であり、ロボット停止時には人が乗り作業することが可能である。台車の概要を図-3に示すと共に、主な仕様を表-2に示す。

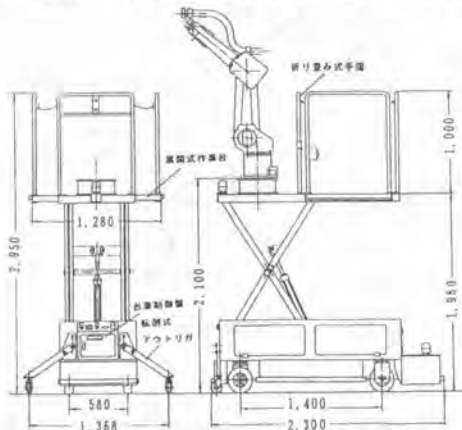


図-3 昇降装置付自走台車概要

ベース台車 トモエ電機工業(株)	
車体サイズ	L2300×B800×H1950
自重	800kgf
作業台高さ	最大1950mm
車 輪 径	φ250mm
走行電動機	110W×2個 (DC24V)
走行制御	トランジスタチョップ方式
走行速度	最大2km/h (3スピード) リフトアップ時低速
操舵方式	油圧シリンダラック&ピニオン 3モード切替4輪操舵方式
昇降装置	油圧シリンダシザーズ方式
安全装置	①手動折り畳み式アウトリガ ②4面タッチセンサバンパ ③回転灯&ブザー ④走行-リフティングインタロック
電 源	AC100V(50HZ)
積載荷重	310kgf

表-2 台車仕様

### (3) 連動制御プラント設備

既製のプラント設備（岩綿吹付け機、ブロー、モルタルポンプ、モルタルミキサ、コンプレッサ）に制御装置を付けることにより、ロボット動作に応じた連動制御が可能のように改造した。

### 2-2 システムの特長

- (1) 汎用型産業用ロボットを使用しているためメンテナンス性が良好である。（補修パーツの入手が容易）
- (2) 専用台車は、走行モード切替方式（4輪操舵、2輪操舵、90度横行）によりきめこまかい操作が可能である。さらに、コンピュータの搭載によりロボットと連動した任意ステ



ップ幅の自律走行が可能である。

(3)プラント設備をロボット動作と連動制御することにより、ロボットの動きに合わせて材料を供給できるため材料のロスが少ない。

(4)作業動作をプログラム化しているため、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。

## 2-3 システムの操作概要

システムのソフトウェア構成と操作手順について以下に述べる。

### (1)ソフトウェア構成

本システムの操作言語は、ロボットに搭載されたAS言語を使用した。AS言語では、ロボットの作業手順を表現したプログラムを予め作成し、その実行によってロボット動作させることが可能である。また、ロボット動作だけではなく、ロボットと他の装置を連動させるための入出力信号操作も可能である。本システムの機器構成を図-4に示す。

ロボットと台車の連動については、互いの動作が終わったことを確認しながらの双方向通信方式である。台車には、ロボットの吹き幅に合わせて、走行・停止を繰り返す幅(ステップ幅)を予め入力してある。ステップ幅の検出は台車車輪に取り付けてあるエンコーダによって行い、台車搭載のコンピュータにより制御を行う。

一方、岩綿吹付け機とモルタルポンプの連動は、ロボットからの一方的なON/OFF指令による片方向通信であり、ロボットソフト内のタイマーの設定値は吹付け部位毎に計測してデータベースとしてロボットに持たせてある。ソフトウェアのタイムチャートを図-5に示す。

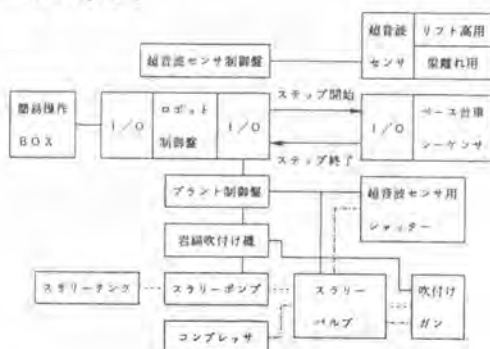


図-4 機器構成



図-6 操作手順フローチャート

開始												終了
メイン プログラム	ロボット動作	計算	上フランジ	ウェブ上部	ウェブ下部	下フランジ						
			実吹付け	実吹付け	実吹付け	実吹付け						
サブ プログラム	岩綿吹付け機	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF		
	スラリーポンプ	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF		
	超音波センサ	OPEN	CLOSE	OPEN	CLOSE	OPEN	CLOSE	OPEN	CLOSE	OPEN	CLOSE	

図-5 タイムチャート

### (2)操作手順

本システムの操作手順を以下に述べ、操作手順のフローチャートを図-6に示す。

①初期設定のステップ幅を台車に入力する。ステップ幅は予めデータベース化されたロボットの吹き幅を入力する。

②梁への誘導・セットは人によって行われる。まず、吹付け作業開始位置へロボットを誘導する。次に、超音波センサで計測された値を見ながら、台車の高さをロボットの動

作範囲と上階スラブとの干渉を考慮して予め決めた高さにセットする。さらに、梁とロボットの相対距離は、ガン先に取り付けた、超音波センサにより計測された値を見ながら、台車を前後に走行させ所定位置に合わせる。この時同時に、ロボットと梁を正対させるようにする。

③梁パターンの選択は簡易操作ボックスにより行う。ロボット制御盤のディスプレイには対話形式で操作指示が表示されるので、それに従って梁の種類やステップ数を順次入力して行く。入力内容を確認した後スタートボタンを押して吹付け作業を開始する。

④指定回数のステップ走行吹付け作業を終了すると、ロボットは吹付け作業開始姿勢で停止し、プログラムは梁パターン選択まで戻る。梁パターンに変更のある場合は再度入力し、続行の場合は前データ通りに作業を再開する。

### 3. 施工試験結果

本システムを、一時間耐火被覆吹付け工事を必要とする建築現場に適用した結果、

平均かさ比重：0.372 (>0.34 OK)

平均吹付け厚：36.6mm (>35mm OK)

となり、ロックウール工業会の品質基準を満足することができた。また、施工速度については、

施工速度：大梁 140 sec/m<sup>2</sup> 小梁 99 sec/m<sup>2</sup>

となり、本システムで採用した吹付けガンをを用いた施工では、良好な結果であった。また、プログラム制御によるロボットの安定した手首での動作とプラント設備の正確な on/off 制御により、材料ロスの少ない吹付けを行うことができた。さらに、作業員は遠隔操作により離れた場所でロボット操作を行えるため、大幅に作業環境を改善することができた。

ロボットによる耐火被覆材の吹付け方法は、ロボットの動作特性に合わせて「横吹き」動作方式とした。図-7 に梁の吹付け順序を説明すると共に、写真-1 でその施工状況を示す。

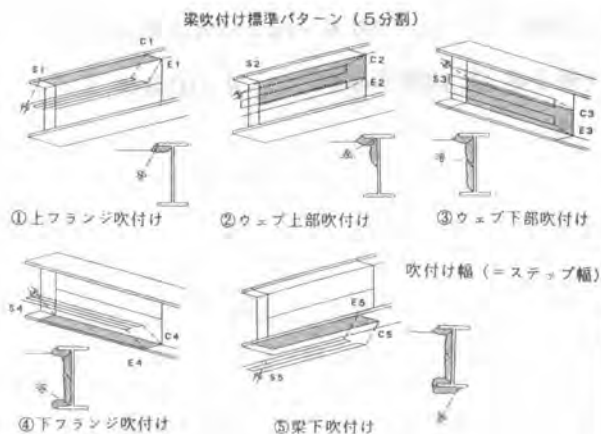


図-7 吹付け順序



写真-1 施工状況

### 4. まとめ

本システムは、過酷な作業環境下で行われている耐火被覆吹付け作業の改善に対して、有効な手段となることが確認できた。今後も様々な建築現場で使用しながら、施工データの蓄積や機械装置の改善を行い、より適用性を高めて行くと共に、汎用型産業用ロボットの利用技術を他の建築作業のロボット化へ生かしていく所存である。

## 64. 建築用耐火被覆材の吹付装置

前田建設工業(株)：\*和田 英夫・松村 一人  
岐阜工業(株)： 稲川 雪久

### 1. はじめに

近年、ビル、マンション、学校、病院、駐車場、または倉庫など種々の目的に使用される鉄骨構造の建築物が増加する傾向にある。このよう建築物の建築現場では、これらを構成している鉄骨に対し耐火被覆材を吹きつける作業が実施されている。この様な場合従来の耐火被覆材の吹きつけ作業では、作業員が噴射されるノズルの先端を持ち、建築物の周囲等に設置した足場上で吹きつけ作業をしていた。

安全性、作業環境、省力化を考慮し、各機械メーカーとタイアップした建設会社により、作業ロボットを開発し公表している。当社も平成2年度よりロボット化をめざし、今年2月に現場実験を終了し成果を得たので、その特殊性、性能を発表致します。

### 2. 建築用耐火物吹付け装置仕様

2 / 4 に示す

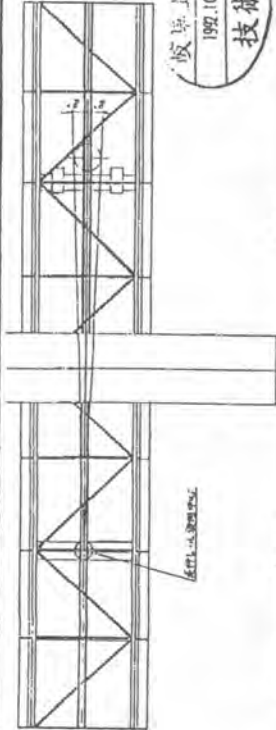
### 3. 全体図

3 / 4 に示す

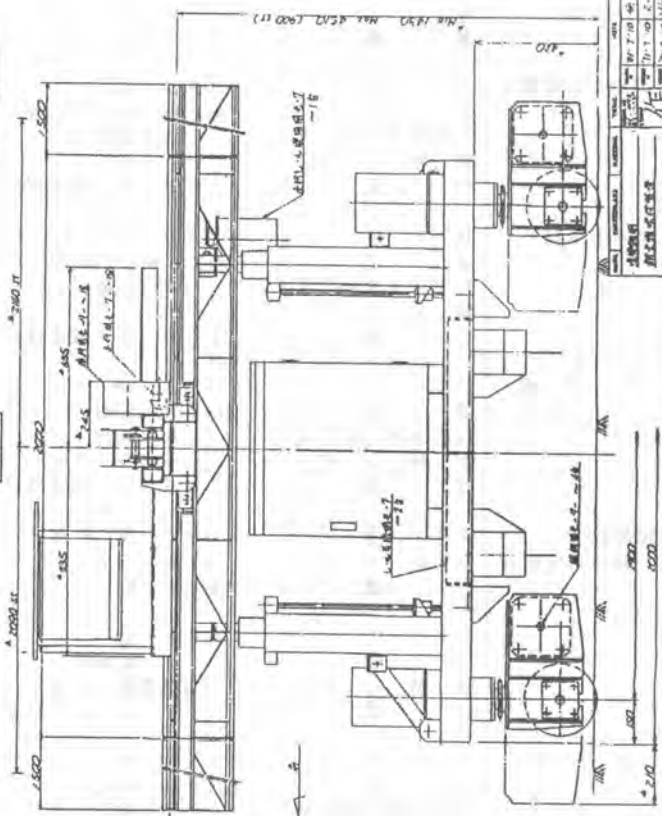
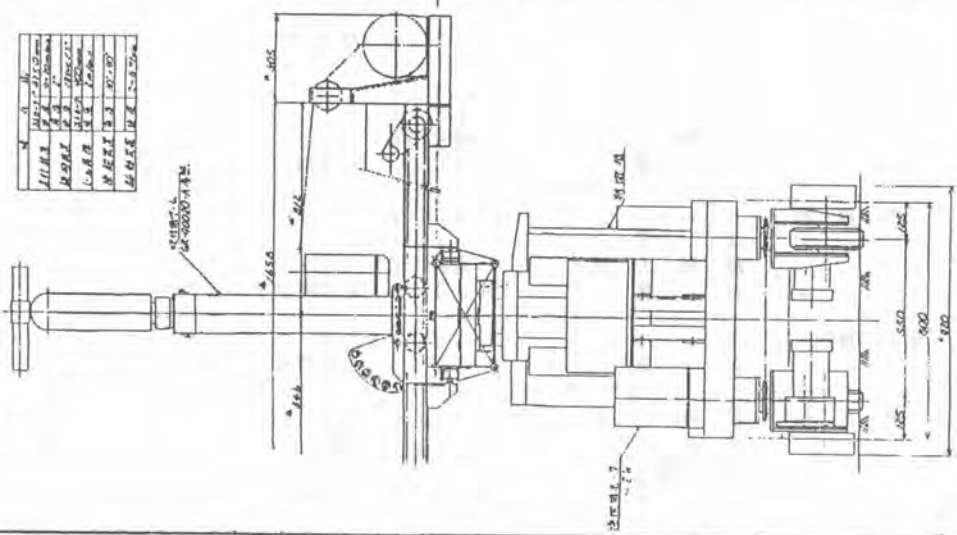
建築用耐火物吹付装置 仕様書

吹付ノズル	径 重 量	2 B 5 kgf ノズル中心より後方30cm
ノズル左右首振り	角 度 速 度 角度速度制御方式 駆 動 方 式 容 量	360 度 max 5 sec/360 度 可変 パルス制御 サーボモーター 100 w 減速機付
ノズル上下傾斜	角 度 速 度 角度速度制御方式 駆 動 方 式 容 量	240 度(±120 度) max 3.6sec/240度 可変 パルス制御 サーボモーター 100 w 減速機付
上 部 伸 縮	ストローク 速 度 角度速度制御方式 駆 動 方 式 容 量	1000 mm max 10 m/min 可変 パルス制御 サーボモーター 185 w 減速機付
上部伸縮部 傾斜角度変更	角 度 速 度 駆 動 方 式 容 量	0～90 度(15 度以下) 手動ダイヤル式 300 kgf
横 行	ストローク 速 度 駆 動 方 式 容 量	1000 mm 2 m/min 通常電動モーター 40 w 減速機付
上 部 走 行	ストローク 速 度 角度速度制御方式 駆 動 方 式 容 量	4250 mm max 20 m/min 可変 パルス制御 サーボモーター 200 w 減速機付
レール 旋 回	角 度 速 度 駆 動 方 式 容 量	4 度(±2 度) 13 sec/2 度 通常電動モーター 25 w 減速機付
下 部 伸 縮	ストローク 速 度 駆 動 方 式 容 量	900 mm 2 m/min 通常電動モーター 400 w 減速機付 × 2台
下部走行操舵	角 度 速 度 容 量	90度+30度 90 w 減速機付 × 2台
下 部 走 行	登 坂 能 力 速 度 速度制御方式 容 量	max 12.5 % 2～6 m/min インバーター制御 200 w 減速機付 × 4台
電 源		AC 200 V 3相 50/60Hz

校正 192.10.30  
技術部



材料	規格	数量
鋼管	φ150×6	10
角鋼	∠100×6	20
鋼板	10	10
ボルト	M12	20
ナット	M12	20
ワッシャー	φ12	20
鋼釘	φ10	100
鉛線	φ10	100
鉛線	φ10	100
鉛線	φ10	100
鉛線	φ10	100
鉛線	φ10	100



品名	数量	単位	備註
鋼管	10	本	
角鋼	20	本	
鋼板	10	枚	
ボルト	20	個	
ナット	20	個	
ワッシャー	20	個	
鋼釘	100	個	
鉛線	100	個	
鉛線	100	個	
鉛線	100	個	
鉛線	100	個	

吉付工業株式会社  
GIFU KOGYO CO., LTD.  
TEL. 0543(3) 2000

#### 4. 特殊性

##### 1) 吹きつけノズルの走行をラック式とした。

吹きつける梁とノズル先端との距離を保つことは、吹きつけ厚、比重を均一に施工するには絶対条件である。さらにラックを延長することにより、最大8mを本体の移動をせずに連続吹き（梁の両面）を可能にし、作業効率の向上を図った。

##### 2) 半自動化

耐火被覆材の打ち継ぎ目（上下、左右）の施工は、チーピング、又はフィードバック方式では“むら”が生じる為目視による手動操作を一部採用した。

##### 3) 耐火被覆材（岩綿、モルタル）の供給システムと吹き 一体型操作盤にて操作

吹きつけ材料（岩綿）のロス、リバウンドを少なくし更に、プラントとのタイムロスをなくすため、連続ミキシング、連続圧送により、作業効率の向上と、省力化を図った。

建設機械と施工法シンポジウム論文集（平成4年度版）

---

平成5年1月16日 印刷

平成5年1月20日 発行

不許

複製

編集  
発行所

社団法人 日本建設機械化協会

東京都港区芝公園3-5-8  
（機械振興会館内）

TEL (03) 3433-1501

FAX (03) 3432-0289

振替口座 東京 7-71122番

---

印刷所 株式会社 東 神 堂  
東京都千代田区神田司町2-14