

昭和63年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

社団法人 日本建設機械化協会

「建設機械と施工法シンポジウム」論文集

目 次

【自動制御・施工管理技術】

1. 大型連壁掘削機における高精度位置検出システム……………大成建設(株)：宮崎裕道… 2
2. 自動掘削土石処理船の開発……………建設省九州技術事務所：宅間義明，木村直紀… 6
3. ジャイロコンパスを用いたシールドの自動方向制御システム  
……………佐藤工業(株)：桐谷祥治，大西 豊  
石川島播磨重工業(株)：田方茂佳… 10
4. クレーン自動運転及び稼働監視システム (ACSUS)ーメカトロ高速タワークレーンによる  
RC超高層ビル自動化施工システム……………(株)鴻池組：井上光治，吉岡由郎，  
松原和夫，山本 諭… 14
5. 画像処理装置を使用したシールド自動測量システム……………(株)竹中土木：菅野正徳，  
大西常康，鶴岡孝章，(株)竹中工務店：三上忠雄… 18
6. 地中レーダ探査技術試験……………建設省近畿技術事務所：横山美明，元木真二… 22
7. セグメント自動組立システム(SABIS)の開発……………(株)間 組：園田徹士，配野 均  
日本鋼管(株)：松下利幸，村野健一… 26
8. 工事中トンネルに使用される換気設備の制御運転  
……………(株)間 組：田口博美，畠山 修，  
鹿山 公，木川田一弥… 30
9. レーザ測量による出来高の管理システム……………(株)小松製作所：小野豊一，小野義久，  
安藤 学，浅山芳夫… 34
10. 埋設物探査地中レーダの開発……………(株)小松製作所：金光保雄，片山幸教，市村泰彦，  
坂西昇一，阿部友行，岡本 晃… 38
11. 地山探査レーダ(ボイドシーカ)の開発……………(株)小松製作所：坂西昇一，片山幸教，  
金光保雄，市村泰彦，阿部友行，岡本 晃… 42
12. タワークレーン総合監視システムの開発……………(株)竹中工務店：山下 進，山田弘道，  
田中幸一郎，宮崎喜代一，石嶋 浩… 46
13. 超高速自動リフトの開発……………(株)竹中工務店：東藤隆義，川村芳男，  
今井崇賀，河崎義信… 50

### 【基礎・推進とその機械】

14. 大壁厚・大深度地中連続壁築造用掘削機スーパーハイドロフリーズ掘削機の開発  
……………(株)大林組：加藤 実，中村俊男… 54
15. 油圧式バイプロハンマ(KOBELCO-1CE) の性能特性  
……………建設機械化研究所：安達徑治，上石修二  
……………(株)神戸製鋼所：青井 實，芦田恵樹… 58
16. 岩盤掘削用CD1500ケーシングドライバとその施工実績  
……………日立建機(株)：久住 宏，野崎 敏… 62
17. 拡底杭施工用アースドリルとその施工実績……………基礎工業(株)：小泉眞五  
……………大洋基礎(株)：永沼吉三郎，日立建機(株)：久住 宏，網代秀一… 66
18. リードレス型基礎機械RX2000の開発と施工実績……………日立建機(株)：宮田憲一… 70
19. 潜函工法による最近の実施例……………(株)竹中工務店：柴田恭伺，菊池公男，北野勝康… 74
20. DOT 工法と横二連形実証実験工事……………(株)大林組：宮 清，大成建設(株)：伊野敏美  
……………大豊建設(株)：近藤紀夫… 78
21. アンカレス・マンドレル装置の開発と施工実績  
……………東洋建設(株)：福富 泰，後藤聖一… 82
22. 礫対応型小口径推進機の開発……………(株)小松製作所：竹内 卓，大久保保夫… 86
23. 特殊海上作業台の開発と施工法……………鹿島建設(株)：芳野雄一，鳥井浩一郎… 90

### 【建築・維持・除雪とその機械】

24. 簡易形凍結防止剤散布機の開発……………建設省四国技術事務所：須田道夫，  
……………河野信雄，市原道弘… 94
25. 降灰対策形路面清掃車の開発……………建設省九州技術事務所：宅間義明，木村直紀，  
……………鴫 治幸… 98
26. 路側冰雪盤除去機械の開発……………建設省関東技術事務所：小河義文，須田彦彦，  
……………管 俊和… 102
27. サイドスライド式ロータリ除雪装置の開発……………建設省北陸地方建設局：羽賀清治  
……………建設省北陸技術事務所：上村 弘，穂苅正昭，姫野芳範… 106
28. 歩道除雪機（ハンドガイド式ロータリ除雪機）の安全対策  
……………建設省建設経済局：山元 弘，建設省土木研究所：村松敏光  
……………建設省東北技術事務所：遠藤 紘，建設省北陸技術事務所：穂苅正昭… 110

29. 河川敷維持, 管理用機械の開発……………建設省大阪国道工事事務所: 川辺登美男  
建設省近畿技術事務所: 横江重行… 114
30. 大径間トラベリング工法の開発  
……………(株)竹中工務店: 柳沢 功, 山崎敦徳, 石川善弘… 118
31. リフトアップ工法による全日空 O' Hハンガーの施工結果  
……………(株)竹中工務店: 菊池公男, 浅井 修,  
安積健次, 高畑顯信, 柴田恭伺… 122

### 【土工・地盤改良とその機械】

32. 新しい攪拌メカニズムの深層地盤改良装置の研究開発—ZECOM 工法—  
……………(株)錢高組: 鶴岡胤英, 岩崎則夫… 126
33. 振動ローラと突固め試験との対応関係とその利用  
……………京都大学: 畠昭治郎, 建山和由… 130
34. 地下水位低下工法による液状化対策工……………東亜燃料工業(株): 大森弘一  
大成建設(株): 坪根康雄, 林 伸行… 134
35. ホイルローダ用スーパービジョン (カラーCRT によるモニタリングシステム) と  
現場計測システム……………東洋運搬機(株): 佐々木智彦… 138
36. 湿地ブルドーザの最適作業性能……………愛媛大学: 室 達朗, 柳楽篤司  
日本電信電話(株): 尾本 清… 142
37. 都市型土木工事における建設機械の適応……………(株)小松製作所: 吉田和宏… 146
38. ダンプトラックの操作容易化と作業効率の向上……………(株)小松製作所: 垂水泰正… 150
39. 章動ローラ (N 3 型) の開発……………酒井重工業(株): 岩隈秀樹… 154

### 【自動化機械・建設ロボット】

40. 自律走行式床作業ロボットの開発……………(株)大林組: 竹本 靖, 菱河恭一,  
井上康夫, 汐川 孝… 158
41. 柱及び煙突の耐震補強における炭素繊維巻付機械の開発  
……………(株)大林組: 吉崎正明, 野村 潤… 162



42. ダム用自動型枠（ハザマ式）の開発  
 ……………(株)間 組：畠山 修，木川田一弥，志野和巳… 166
43. 超高層ビル外壁塗装ロボットの開発……………大成建設(株)：坂本 成，酒井佳人，  
 松村 昭，白土 篤，竹野雅博… 170
44. 外壁自動吹付け装置(SB Multi-Coater) ……………清水建設(株)：山崎 忍  
 日本ビソー(株)：藤田 宏… 174
45. コンクリート床均しロボットの開発  
 ……………清水建設(株)：野村 肇，小峯富夫，梶岡保夫… 178
46. ダム用自動式型枠(ASFOD) の開発……………清水建設(株)：小峯富夫，梶岡保夫，  
 松田重好，渡辺 茂… 182
47. 宅地造成用マニプレータ……………東急建設(株)：鷹巣征行，福田澄男… 186
48. PC斜張橋主塔施工用クライミング足場の開発  
 ……………鹿島建設(株)：三尾興平，合津信貞，白井俊輔… 190
49. ダム用自動型枠の開発—TN式フルオートクライミングフォーム—  
 ……………(株)竹中土木：桜井 洋  
 日本軽金属(株)：秋山喜八郎… 194
50. 水中歩行型作業ロボット……………五洋建設(株)：近藤敏夫… 198
51. 大型ニューマチックケーソンの掘削機械の開発…首都高速道路公団：長谷川和夫  
 建設機械化研究所：横沢圭一郎… 202
52. 建築ロボットの開発……………(株)竹中工務店：山田弘道… 206

### 【コンクリート・トンネルとその機械】

53. 砂の脱水機の開発……………大成建設(株)：会田精一，荒井厚俊  
 (株)北川鉄工所：白木 久，永久利夫… 210
54. ハイドロカット工法による公団住宅の壁および床切断……………(株)大林組：重松 寧，  
 栗原雄二，早淵敬太郎… 214
55. アブレイシブジェットによる病院改修工事  
 ……………(株)間 組：荒沢弘樹，山口修一，松本浩一… 218
56. スロットを利用した硬石トンネルの掘削工法  
 ……………(株)奥村組：萩森健治，大野浩平… 222

57. 効率的なNATMの機械化施工(SMB工法)の開発

.....佐藤工業(株): 石田義昭, 目時康男... 226

58. 無発破岩盤破碎機・ラバースプリッタの開発

.....鹿島建設(株): 三尾興平, 渡辺松男... 230



# 1. 大型連壁掘削機における高精度位置検出システム

大成建設(株)：宮崎 裕道

## 1. はじめに

連続地中壁は、近年、その用途の拡大に伴い、施工技術も目覚ましい進歩を遂げ、その優れた信頼性により大深度地下タンクの土留止水壁や橋梁の基礎等に多く採用されている。

しかし、従来の連続地中壁の規模は、壁厚で1.5m、深度で100mまでの実績しかなく、最近の東京湾関連プロジェクトをはじめとするウォーターフロント計画等の大型プロジェクトでは、連続地中壁の規模が、壁厚・深度共に、今までの規模をはるかに超える大型化の傾向にあり、海水の利用技術を含めた超大型連続地中壁の施工技術の早急な確立が望まれている。

このような背景から、超大型連続地中壁の構築技術を確立するため、壁厚2.6m、深度160mの規模で傍熊谷組と共同で実験を行った。

この実験は、利根ボーリング社製のエレクトロミル掘削機（以下掘削機）を使用して、日本鋼管(株)の協力を得て、同社京浜製鉄所敷地内で行った。

この実験では、種々の項目の検証を行ったが、本文では、その中から、高精度位置検出システムについて報告をする。

## 2. 実験概要

### ・実験場所

神奈川県川崎市川崎区水江町5-1

日本鋼管(株) 京浜製鉄所内

### ・実験工期

昭和62年3月～昭和62年6月

### ・実験規模

壁厚 2.6m

深度 30m × 2本

160m × 1本 計3エレメント

160mのエレメントは、N値3程度のシルト層から、N値50以上の泥岩まであり、砂層・砂礫層まで含まれる地層である。

掘削機は、100tクローラクレーンで吊り下げて掘削する、ベースマシン方式を採用している。



### 3 位置検出システム

連続地中壁を施工する際には、強度、本設構造物とのクリアランス、止水性等の点から、高い垂直精度が要求される。

したがって、途中で曲がりを修正しながら掘削を進めて行き、出来形が極力計画線に近づいていなければならない。途中で曲がりを修正するためには、常時掘削機の位置姿勢を把握しておく必要がある。本システムは、6軸について計測し、5～8秒程度の間隔でパソコンCRT上にグラフィック表示する。また50cmおきの掘削履歴が記録、再現できる。

#### 3-1 システム概要

地上に固定したレーザー槽に取り付けられた2台のレーザー鉛直器から、下向き鉛直に2本のレーザービームを発する。このレーザービームは、内部を大気圧に保たれた中空のパイプを通して、掘削機に取り付けられた、ターゲットボックス内の半透明スクリーン上にスポットを形成する。スクリーン裏側に取り付けられたテレビカメラがレーザースポットを含むスクリーン全体の画像を捉え、同軸ケーブルを介して地上に伝送する。伝送された画像は画像処理装置に入力されて、スポットの中心座標が計算される。同時に、深度計からの深度信号、掘削機本体のピッチング・ローリング信号も入力され全ての信号が数値化されてパソコンに送られ、種々に演算加工されて、CRT上に表示されている。

つまり、鉛直レーザービームを基準線として、そこからのズレを検出するシステムである。2本のレーザーを用いる事によってヨーイングも計算できる。

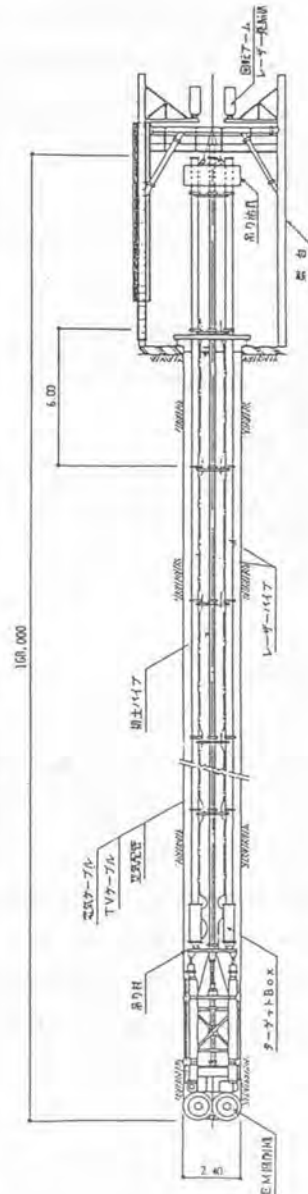
#### 3-2 レーザー鉛直器及び槽

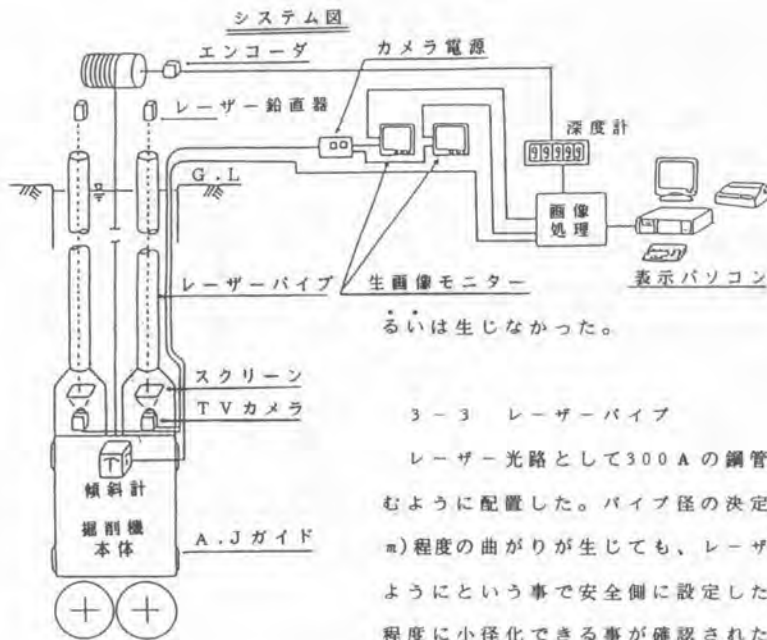
鉛直器取付部は旋回アーム上にあり、地上からの遠隔操作で出し入れが可能となっている。これは、パイプ接続作業の邪魔にならないためである。

鉛直器本体はWILD社製のものを使用しており、公称鉛直精度は20万分の1である。レーザー発振器は2mWのものを使用しているが、160mは充分到達する。

この鉛直器は、レベル・トランシットと同様に光学機器であるので、当然の事ながらくずれが生じてくるが、以下の様に簡単に調整できる。

- ①生画像モニターを見ながら、鉛直器の本体部を回転する。
- ②光軸が鉛直からズレていれば、鉛直器の回転に伴ってレーザースポットの軌跡が円を描く。





③鉛直器の調整ネジを回してレーザースポットが円の中心になるよう調整する。今回の実験でも、エレメント掘削途中、何度か確認を行ったが、殆んどく

るいは生じなかった。

### 3-3 レーザーパイプ

レーザー光路として300Aの鋼管2本を、250Aの排土管を挟むように配置した。パイプ径の決定に際しては、1/1000(16cm/160m)程度の曲がりが生じても、レーザー光がスクリーンに到達するという事で安全側に設定した。しかし、実験の結果、15cm程度に小径化できる事が確認された。

150mのレーザーパイプを、光路としての性格上、いかに直線性を保たせるかが本システムの一つのポイントであった。結局、採用した方法は、掘削機本体の荷重をレーザーパイプで保持し、パイプ全体に軸方向には引張りがかかる構造にした。しかし、パイプ上部を剛結してしまえば、製作誤差による左右のパイプの荷重の片寄り等が生じ、パイプ中間部で半径以上のたわみを生じてしまったり、掘削機本体を斜め吊りをしてしまうという問題が考えられるため、油圧シリンダ利用した、イコライザー機能付の吊り治具を考案した。この吊り治具によって、パイプ製作誤差の吸収、荷重の均等分散をしている。また、レーザー光が入射する上部には、雨天時のために、アクリル板を張り、エアーカーテンを取り付けて、雨滴の浸入、レーザー光の屈折を防止している。レーザーパイプ同士の接合はOリングを用いて、メタルタッチのフランジ接続にする事によって、25%の耐圧の確保と、接合部での屈曲の防止を行っている。

### 3-4 ターゲットボックス

ターゲットボックス内には、半透過性のスクリーンと、その裏側にTVカメラを取り付けてある。スクリーン上部には、汚れを防ぐためのエアーノズルと、地上から視認するためのランプが付いている。160mまで掘削した時点でも、このランプとレーザースポットは、肉眼で鮮明に視認する事が出来、レーザーパイプが泥水中でも直線性を保持していた事が確認できた。

このボックスから、特殊な水中コネクタを介して、TV信号を地上に伝送している。

### 3-5 モニターテレビ

ターゲットボックスからの2本のTV信号は、地上の制御室内で、各々9インチの生画像モニターテレビに一旦入力されてから、画像処理装置に接続されている。このモニターテレビにより、レーザ

ースポットが常時、肉眼で確認する事が出来、システム全体の信頼性を向上させている。

### 3-6 画像処理装置及び表示

画像処理装置は、2chのTV信号、(NTSC)、2chの本体傾斜信号(ピッチ・ロール)、1組の深度計信号を全て入力し、数値データに変換して表示用パソコンにRS-232Cレベルで出力する。

画像処理部は、256×256画素の分解能でレーザースポットを識別するが、二値化してベクトル平均を行っているので、多少レーザのビントがズレてスポット径が大きくなって、約1mmの精度でスポット中心座標を検出する。

8bitの組込み用のプロセッサボードを使用しているので、演算時間は約3秒程度である。

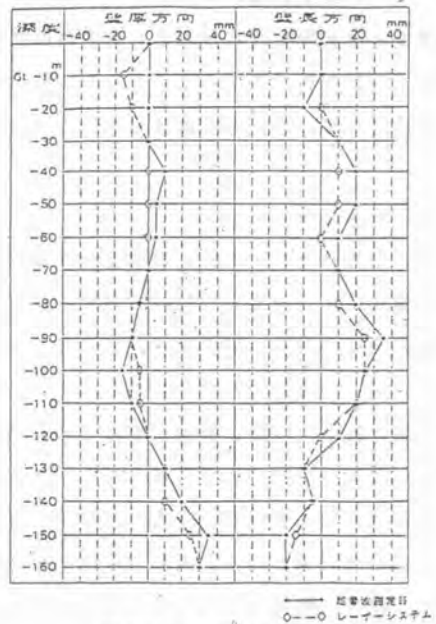
ただし、画像取り込みのタイミングは、振動による影響を少なくするために、左右をほぼ同時にしている。

表示は、深度毎の掘削記録と現在位置を表示する。現在位置は掘削ビット先端での計画線とのズレ又は16枚の各アジャスタブルガイド位置での計画線からの出入り量を、キー操作による切換で見られる様になっている。

### 3-7 測定結果

本システムの精度を確認するために、新型の4方向大深度用超音波溝壁測定器での測定結果との比較を右図に示す。

両者を比較すると、超音波での計測時には、溝壁の剥離等があり、絶対値そのものの違いは多少あるものの傾向は完全に一致している。



掘削精度測定結果比較図

## 4 おわりに

今回の実験を行って、本システムの精度の高さと信頼性は十分に確認された。

しかし、レーザーパイプの小径化と、接続の簡素化等、多少の改良すべき点が残されている。

今後、この高精度を生かした大型連続地中壁が、各種の工事に採用・施工される事を期待する。



## 2. 自動掘削土石処理船の開発

建設省九州技術事務所：宅間 義明・木村 直紀

### 1. まえがき

鹿児島県のシンボルである桜島は活火山であり、その噴火活動と浸食作用により溪谷は荒廃している。特に野尻川では、上流部で発生した土砂は少量の降雨でも土石流となって河口部に堆積し、河道を閉塞することが多く、そのまま放置すると川底があがり次の土石流発生により周辺の民家、田畑、道路等に甚大な災害が発生する恐れがある。

このため、施工状況が把握しにくい海中での掘削作業における作業の安全性、作業効率の向上及び作業環境の改善等を図る目的で、水中掘削状況監視システム及び自動掘削システムなどの新技術を導入した土石処理船「さくらじま」を開発導入し、現地の野尻川河口部において行った実証試験で当初の目的を達していることを確認したのでここに報告する。

### 2. 土石処理の現状

桜島の山腹は軽石、岩砕、岩塊等の堆積地層が長年の風化により崩壊しつづけており、ひとたび雨が降れば山腹斜面の雨水はこれら岩塊とともに土石流となって各河川へなだれ込み、流路工や海中に堆積される。特に、野尻川では土石流が頻繁に発生しており年間20回を越え、その量も年間50万 $m^3$ にも及んでいる。(表-1参照)



写真-1 土石堆積状況

その土石流対策として上流部では砂防ダム及び流路工の建設、整備が行われ、下流部の陸上ではバックホウ等汎用土木機械により、また、河口部では水陸両用ブルドーザにより除去作業が行われている。河口部の土石堆積状況を写真-1に示す。

表-1 野尻川年度別流出土砂量

発生年度	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	
発生回数	25	22	24	15	22	19	17	25	16	32	18	20	
流出土量 (千 $m^3$ )	陸上	204	173	96	106	211	149	193	242	251	276	144	298
	海	333	367	437	56	321	186	138	310	671	823	479	385
	合計	537	540	533	162	532	335	331	552	922	1099	623	683

### 3. 土石処理機械の検討

水陸両用ブルドーザによる作業では今後、押土距離、掘削深さ、捨土場所の確保等の諸条件をクリアすることは困難になることが予想され、これに代わるものとして土石処理機械の開発が望まれている。開発に当たっては在来工法を広く調査し、また新工法も考案して比較検討を行ったが、次の理由

によりバックホウ掘削、土運船捨土方式とした。

- ① 巨石除去の適応性が良い。
- ② 掘削水深が浅い場合作業能力が大きい。
- ③ 機構が簡単である。
- ④ 陸上での土捨て場所の確保が困難である。

なお、浚渫工事は潮流や波浪などの影響を受けるほか、水中掘削作業の状況が見えない等、作業条件が劣悪である。このため作業効率及び安全性の向上を図る目的で水中掘削状況監視システム、自動掘削システム等の新技術を導入し、併せて油漏れ防止等の環境対策も行っている。



写真—2 土石処理船全景

表—2 主要項目

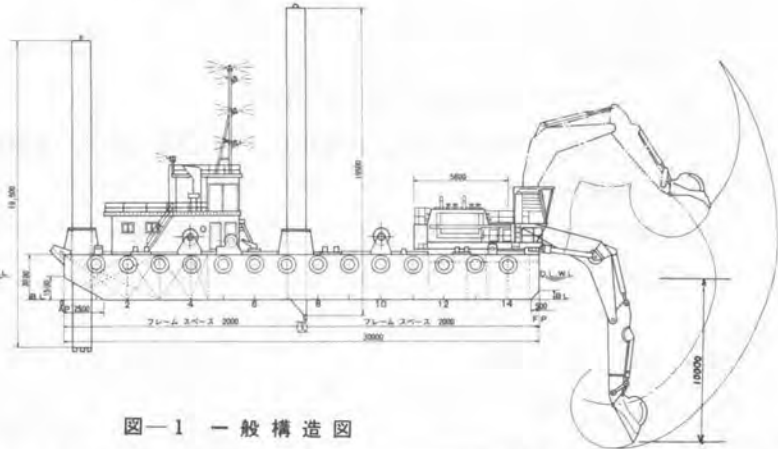
台 船	形 式	非自航式鋼製箱型
	形 状	全長 30 m × 全幅 14 m × 深さ 3 m
	喫 水	1.5 m
	重 量	450 t
掘 削 機	形 式	油圧バックホウ式
	バケツ容量	7.0 m <sup>3</sup>
	最大掘削深さ	10 m
	最大掘削力	45 t 以上

#### 4. 土石処理船「さくらじま」の概要

本船は非自航鋼製箱型バックホウ船であり、その全景、一般構造図及び主要項目を写真—2、表—2、図—1にそれぞれ示す。本船の特徴は、前述の新技術を導入していることその他に、作業中に土石流が発生した場合、本船の損傷及び人命を守るために緊急避難装置を装備していることである。

#### 5. 導入した新技術

本土石処理船は水中での作業となるが、現在の水中掘削技術では陸上作業に比べ作業効率や能力が著しく低下している。このため作業効率等を陸上作業並に向上させる目的で、次に示す新技術を導入している。

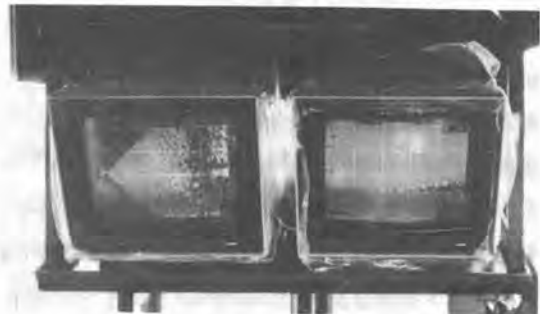


図—1 一般構造図

##### 1) 水中掘削状況監視システム

本システムは、超音波を利用して海底面の形状や水中掘削状況を運転室のCRT画面に掘削平面及び断面で表すことができ（写真—3参照）、次の特徴を持っている。

- ① 掘削平面は海底の深さを色分けして表す。



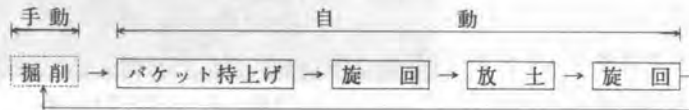
写真—3 運転室内のCRT表示例

- ② 掘削断面は掘削中の海底断面とバケットの動きをアニメ風に重ね合わせてリアルタイムで示す。
- ③ 掘削平面及び断面は探查精度を任意に選定し、用途に応じて使い分けることができる。
- ④ CRT画像は任意の時間にカラーコピーすることができる。

## 2) 自動掘削システム

### (1) 自動掘削制御

掘削作業について次の自動化を行っている。



- ① 運転操作の自動化は、バックホウでは初めてである。
- ② 自動、手動操作は任意に切替えることができる。
- ③ 水中での土砂のこぼれを少なくするために、バケットを水平に持上げる。
- ④ 土運船への捨土位置を最初にセットすれば、次からは捨土位置を順次変えて均一に積込む。

### (2) バケットの大形化

掘削後のバケット持上げ時に、バケットの作業半径を制御する（手前に縮める）ことによって、バケット容量を標準の  $5.7 \text{ m}^3$  から  $7 \text{ m}^3$  に増大させ、作業能力を向上させている。また、これにより、土砂の中に混っている直径  $2 \text{ m}$  の石も掘削が可能となる。

## 3) その他

### (1) 油漏れ対策

- ① アームピンのグリースを完全密封している。
- ② アーム用油圧シリンダロット損傷防止のため摺動式カバーを装着している。

### (2) 緊急避難装置

本船の損傷及び人命の安全を守るために、緊急避難用のアンカー及びウィンチを船尾に取付けている。

## 6. 実証試験

本船には掘削効率を向上させるための新技術導入や緊急避難装置等を設けている。これらの新技術等は一部単独では実績が有るものの本船のように相互に関係し、濁りが発生する海面下

の作業においても陸上と同様な作業が行えるようトータルシステムとして作動する装置は全国でも類を見ないものであり、その機能を確認する目的で野尻川河口付近において実証試験を行った。

### 1) 水中掘削状況監視システム

- ① 本システムによる海底地盤の計測誤差は  $10 \text{ cm}$  程度である。（図-2 参照）

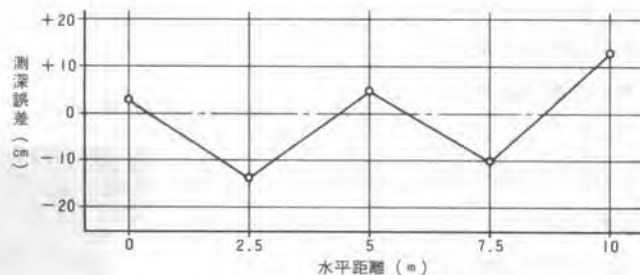


図-2 水深探查精度

② バケットの重合わせ表示誤差は最大で5 cmである。

いずれもバケットの大きさ(2.8 m × 1.6 m × 1.5 m)から実用上問題ない誤差と言える。

## 2) 自動掘削システム

本船では掘削作業において一部を除き自動化してオペレータの疲労軽減等を図っている。その各工程を正確に動作しているか調査した。

### ① 水切り時間

設定値5秒に対し、誤差は±0.3秒と正確である。

### ② 放土旋回角度・戻り旋回角度

放土旋回では設定値に対して-3°(手前)の誤差で、戻り旋回では設定値に対して±4°の誤差である。

### ③ 船体移動量

スパッド先端形状は貫入性、支持力を考慮して片歯形に

している。これにより、掘削中の船体移動量は図-3に示すように移動量は0.3 m以下(掘削力40 t時)と少なく実作業に支障はない。

### ④ サイクルタイム

自動掘削時と手動掘削時のサイクルタイムを比較すると、10秒ほど自動掘削の方が時間がかかるが、操作ミスの防止、オペレータの疲労軽減と共に掘削効率も向上するものと思われる。

## 3) 緊急避難装置

野尻川上流で発生した土石流は3分で河口部に到達すると言われており、土石流発生信号発信後3分以内に退避しなければならない。計画では50 m以上退避することにしており、一連の動作に要する時間を調査した。その結果、166秒と計画より早く退避できるが、これは全装置が起動している状態での調査であり、装置の起動に要する時間は含まれていない。したがって、本船で安全に作業するには、土石流発生の恐れがあるときは作業を避け、また、休憩時間等にも常に各装置を起動させておくなど注意すると共に、日ごろから避難訓練を行っておくことが大切であろう。

## 7. おわりに

現地の土質は大石混入の悪条件下にあり、既存の機械では施工が困難で、また、土石流を背景にした危険な作業である。

このため、本土石処理船は、野尻川で頻発する土石流を安全に早く流下させるよう、河口部の掘削を行う機械として計画され、その目的を効率的に達成するために、新しい技術を導入したものである。その計画から成果までを中心に述べてきたように、当初の目的は十分に達成しているものと確信する。しかし、より効率的に作業をするために、今回実現しなかった大石の探査や掘削の全自動化、更には、水中掘削状況監視システムによる掘削土量演算装置の開発に引き続き取り組んで行く予定である。

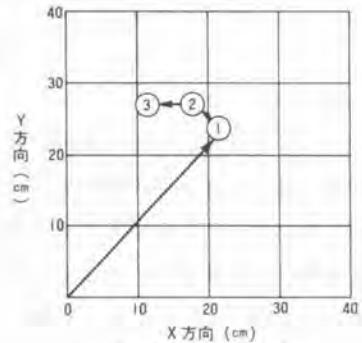


図-3 船体移動量

### 3. ジャイロコンパスを用いたシールドの自動方向制御システム

佐藤工業(株)：桐谷 祥治・大西 豊  
石川島播磨重工業(株)：田方 茂佳

#### 1. はじめに

シールド工法が日本で本格的に採用されるようになってから、すでに30年以上が経過している。この間、都市およびその周辺での上下水道や、電力・通信ケーブル、地下鉄などの都市トンネルの需要が急激に増え、シールド工事が様々な条件の中で施工されるようになってきた。今では、シールド工法は機械化の最も進んだ工法の一つとなっている。機械化が進むことにより施工の複雑化も進み、品質の安定・向上、省力化、危険作業の回避等を主目的として自動化も積極的にとりいれられるようになった。とくに熟練作業員の不足あるいは作業員の高齢化に対処するために、非常に重要な課題ともなっている。そして、機械化、自動化の最終目標としてシールド工事の全自動化、無人化を位置づけることができ、これを達成するためには、トンネルを計画線に正確にかつ自動的に設置する技術の確立が不可欠となる。

#### 2. 開発経緯

従来のシールドの推進管理は、一日に数回の光学測量結果とピッチング・ローリング計、ジャッキストローク差等から得られるシールドの位置・姿勢の情報をもとに、それに対応する適性なジャッキパターンを選定することによって行われている。この管理方法では、リアルタイムにシールドの位置姿勢情報を得ることができないため、管理に時間的な遅れを伴うことは避け難いことであった。

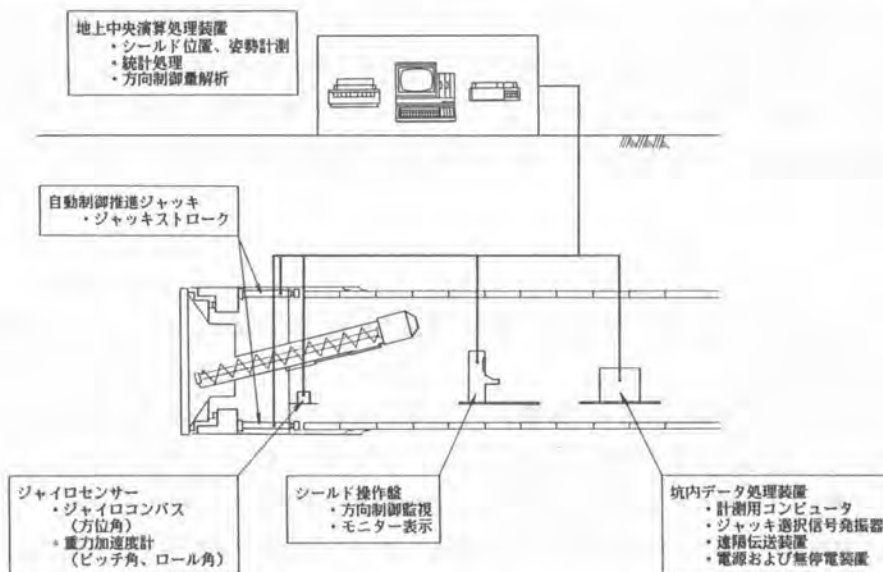


図-1 自動方向制御システム概要図

シールドの方向制御を自動化するためには、シールドの地盤中での位置・姿勢を精度よくリアルタイムに把握できることが前提条件となる。そこで、シールド工事の狭い坑内および急曲線からの制約を受けることなく自動計測ができ、とくに方向制御に非常に大きな影響をおよぼすシールドの姿勢を高精度で計測できるという特徴を有する「ジャイロコンパスによる自動位置・姿勢計測システム」を基本として「自動方向制御システム」（以下、本システム）の開発を行った。

### 3. 本システムの概要

図-1に本システムの概要図を示す。シールドに設置したジャイロコンパス・重力加速度計と、ジャッキストローク計、油圧計、土圧計などからのデータを坑内データ処理装置に集約し、地上中央制御室のパソコンへ伝送する。地上パソコンでは、送られてきたデータを演算処理し、シールドの位置・姿勢を算出するとともに、トンネル計画線からの離れを計算する。さらに、この計画線とのズレを修正するためのシールドの姿勢変化量を算出し、このシールドの姿勢変化を与えるためのジャッキパターンを選定し、シールド操作盤へ信号を送り返して方向制御を行うものである。また、選択したジャッキパターンによるシールドの実際の姿勢変化量を計測し、このデータをフィードバックすることにより、常に最適のジャッキパターンが選択されるようなシステムとなっている。

### 4. 本システムの機能

本システムは、①シールドの位置・姿勢の高精度リアルタイム計測、②シールドの推進線形の分析処理、③ジャッキパターンの選定処理の3つの機能を基本としている。

#### 4-1. シールドの位置・姿勢の高精度リアルタイム計測

シールドの位置・姿勢は、シールド機にジャイロコンパス・重力加速度計を搭載して、シールドの姿勢を測定し、これを推進ストロークとからシールドの位置を計測するものである。このため、シールド工事に特有の狭い坑内、および急曲線からの制約を受けることなくリアルタイムに計測することが可能である。しかし、測定原理上、ある点からの相対位置しか求められず、誤差を発生することがある。すなわち、ジャイロコンパスによるシールドの位置の算出方法には、微少区間の進行においてはシールドの向きと進行方向が一致しているという前提がある。ところが、実際には一致しない場合もあるため、図-2のような計測誤差が発生する。本システムは、統計処理により、この誤差を検出して自動的に補正する機能があり、高精度の位置・姿勢計測ができる。

#### 4-2. シールドの推進線形の分析処理

現在位置・姿勢から、今後シールドが進むべき最適な位置・姿勢を設定する。これによりシールドに与えるべき最適な方向変化量-目標方向変化量を決定する。目標方向変化量から、それに必要な制御量（操作量）をもとめなければならない。制御量とは、直接的にはジャッキパターンとジャッキ推力であるが、本システムでは、シールド回転モーメントを制御量とする。ここで必要なことは、シールドに与えた回転モーメントと実際に発

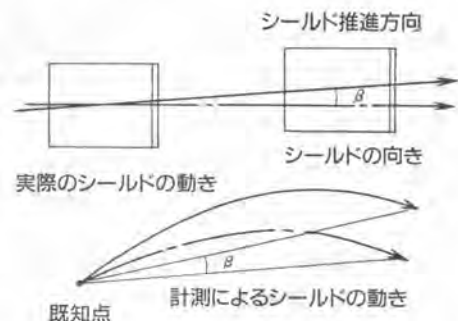


図-2 ジャイロコンパスによる計測誤差



生したシールドの方向変化量との関係を正確に把握しなければならない。また、シールドは応答速度が遅いため、方向制御の精度をよくするためには、シールドの将来位置を高い確立で予測することも必要である。

回転モーメントとシールドの姿勢変化量の間には、非常に高い相関があることは、ジャイロコンパスによる計測により確認されている。図-4がその結果の一部である。

進行予測については、今後の微小区間の推進において発生する方向変化量を、これまでのシールドに与えた回転モーメントとそれによって発生した方向変化量から予測する自己回帰型モデルの重回帰式により算出する。このモデルでは、シールド回転モーメントを含めて解析しているのでこれまで述べてきた複雑な挙動も含めて進行予測ができる。

これら、統計処理の結果を利用することにより、シールドに与えるべき適性な制御量としての回転モーメントが算出される。

#### 4-3. ジャッキパターンの選定処理

回転モーメントから、実際の制御量であるジャッキパターンとジャッキ推力を求める。

大口径シールド等では、ジャッキ本数が20本以上となり、ジャッキパターンは数100万通り以上となる。また、同一の回転モーメントに対しても、数多くのジャッキパターンが存在する。これは、シールド径が大きくなるほど、すなわちジャッキ本数が増えるほど多くなる。そのため、単に回転モーメントが適性になるだけでなく、シールド前面の土圧とのバランスや掘削土砂の流体輸送への掘削速度の影響な

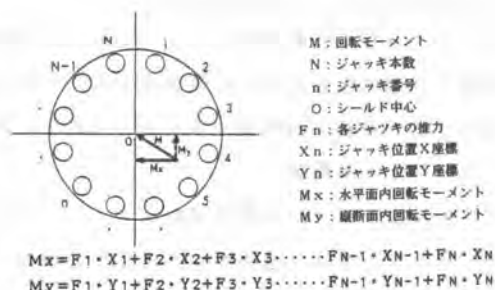


図-3 回転モーメントの算定方法

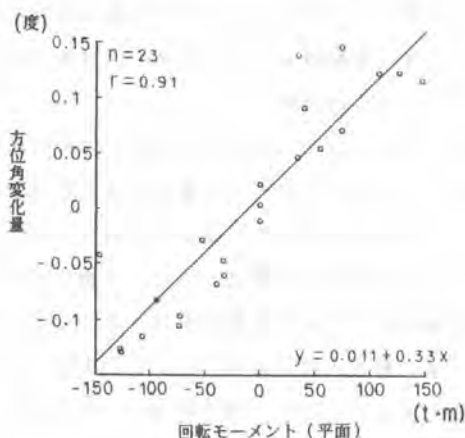


図-4 回転モーメントと方向変化量の相関



図-5 方向制御ブロック図

ども考慮して適性なジャッキパターンを選定する

## 5. 自動方向制御フロー

本システムの自動方向制御の処理は、計測処理（入力）、演算処理、制御処理（出力）の3つに分けられる。本システムのそれぞれの処理の項目は、図-5の方向制御処理ブロック図に示す。

システム全体の処理については、図-6のフローチャートに示す。フローは、統計処理回路と比例制御回路の2つの基本的なフローに分けられる。統計処理回路は、過去数リング分の統計処理を1リングの掘削終了ごとに逐次実施し、比例制御回路は、推進中に連続的に実施するものである。

統計処理回路は、シールドの推進線形の分析処理やジャッキパターン選定処理などの統計的処理を行い、シールドの進行特性や環境の変化などを把握して基本的な関係式を求めめるために行う。比例制御回路は、統計処理で求めた関係式を基本に制御を行う回路である。ただし、制御偏差が大きいときは、推進中であっても統計処理回路にシフトしてシールドの進行特性などの見直しを図る。比例制御回路では、オペレーターの操作にかなり近い方法を採用している。

## 6. あとがき

本システムは、現在掘進中の鉄道工事の泥水式シールドにおいて採用されており、良好な結果が得られているので、今後機会があれば報告したい。

シールド工事の自動化を達成するためには、シールド工事を構成する各主要作業についての自動化技術を統合し、一連のシステムに構築する必要がある。本文では、シールド工事の自動化の中核をなす技術である自動方向制御システムについて紹介してきた。このほか、セグメントの自動組み立てロボット、場所打ちライニング工法である「SECL工法」等、シールドの自動化に関連する技術の開発にも精力的に取り組んでおり、多くの成果が得られている。

### <参考文献>

山本 稔 : 「シールド工法をめぐる最近の動向」

講習会、最近のシールド工法の開発と施工の実際、1987.7

桐谷・大西・田方 : 「ジャイロコンパスによるシールドの自動位置・姿勢管理システム」

土木学会土木施工研究委員会、最新の施工技術、3、1987.5

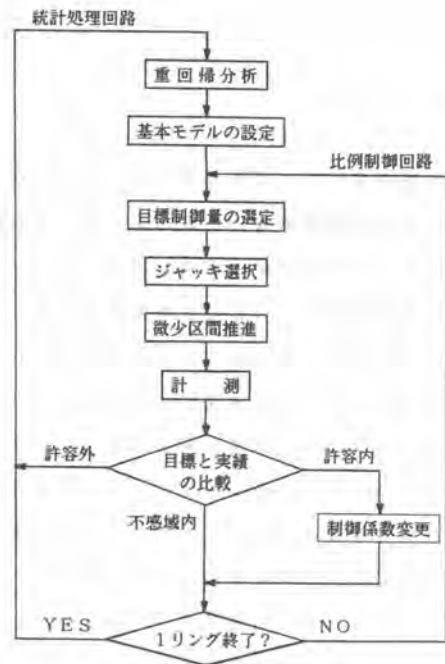


図-6 自動方向制御フロー

## 4. クレーン自動運転及び稼働監視システム(ACSUS)

—メカトロ高速タワークレーンによるRC超高層ビル自動化施工システム—

(株)鴻池組：井上 光治・吉岡 由郎  
松原 和夫・山本 諭

### 1. まえがき

今日の建設業は①一般製造業と比べ約半以下の低い労働生産性、②劣悪な作業環境と高い労働災害率、③熟練技能労働者の不足、④労働者の高齢化など切実な問題を抱え、機械化、自動化、ロボット化など新しい建設技術の開発を推進し合理化を模索しているのが現状である。とりわけ、建設工事において機械設備の中心となる揚重運搬設備については、従来より、タワークレーン、ジブクレーンなど作業性に優れた旋回式クレーンが使用され、揚重作業の機械化が積極的に行なわれてきた。しかし、最近増大している超高層ビルの施工においては、揚重設備が工事の工期、経済性を支配すると言われており、更に作業効率が優れ、かつ安全である新しいクレーンシステムの開発が強く要望されている。本システムはこの目的に沿って開発を行い、RC超高層ビルの超高強度コンクリートのバケツ打設作業に適用したもので、メカトロ高速タワークレーンによる高度自動化システムを構築し、揚重作業における作業能率向上と安全性の向上を図った。本システムの開発ポイントを列記すると、

①タワークレーンの作業速度の大巾な向上を図り、巻上、旋回に関しては、一般仕様の約2倍とした。(巻上125m/min, 旋回1rpm)

②マイクロコンピュータ制御により、指定されたポイント(118ポイント選択可能)へ荷振れを防止しながら、高速高精度に揚重作業が行える自動運転システムを搭載し、高速化されたタワークレーンの性能をオペレータの技量に左右されずに十分に活用できる様にした。

③クレーン的高速化に対応できる新しいクレーン稼働監視システムを開発導入しクレーン相互の衝突防止などフェールセーフ機能を完備した。

④バケツ吊り替え作業不要のコンクリート供給基地、無線開閉式バケツなど、運搬打設設備の機械化を行い、作業性の向上、安全化を図った。



等である。(写真1)

写真1 メカトロ高速タワークレーンによる  
RC超高層ビル自動化施工システム

### 2. システム構成(図1参照)

本システム(ACSUS)はクレーン機上に設置されるサブシステム及び地上基地に設置されるホストシステムにより構成される。サブシステムは稼働監視、自動運転用それぞれ独立のCPUを持つが稼働監視用CPUが上位CPUとして機能している。サブシステムは相互に又、ホストシステムとデータ通信を行う。ホストシステムはデータ収集を行う。

# ACSUS-システム構成図

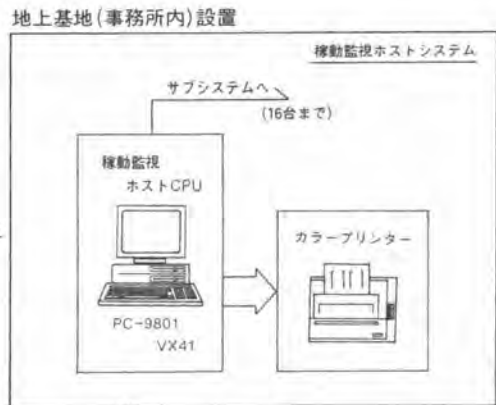
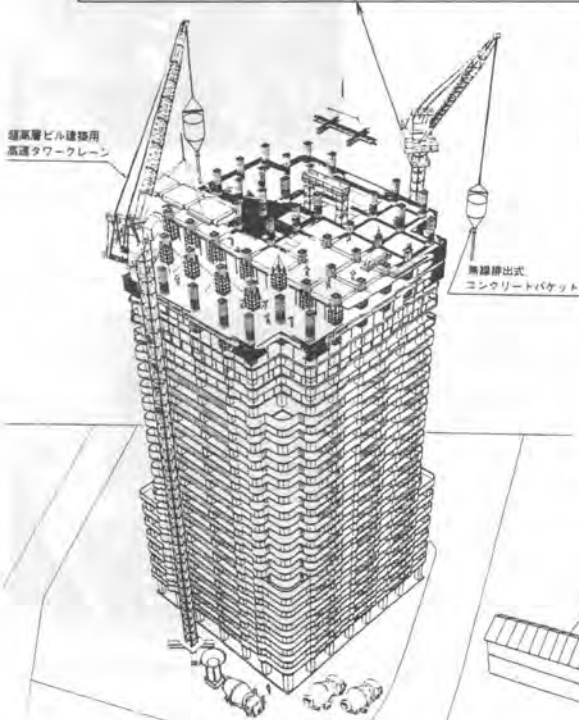
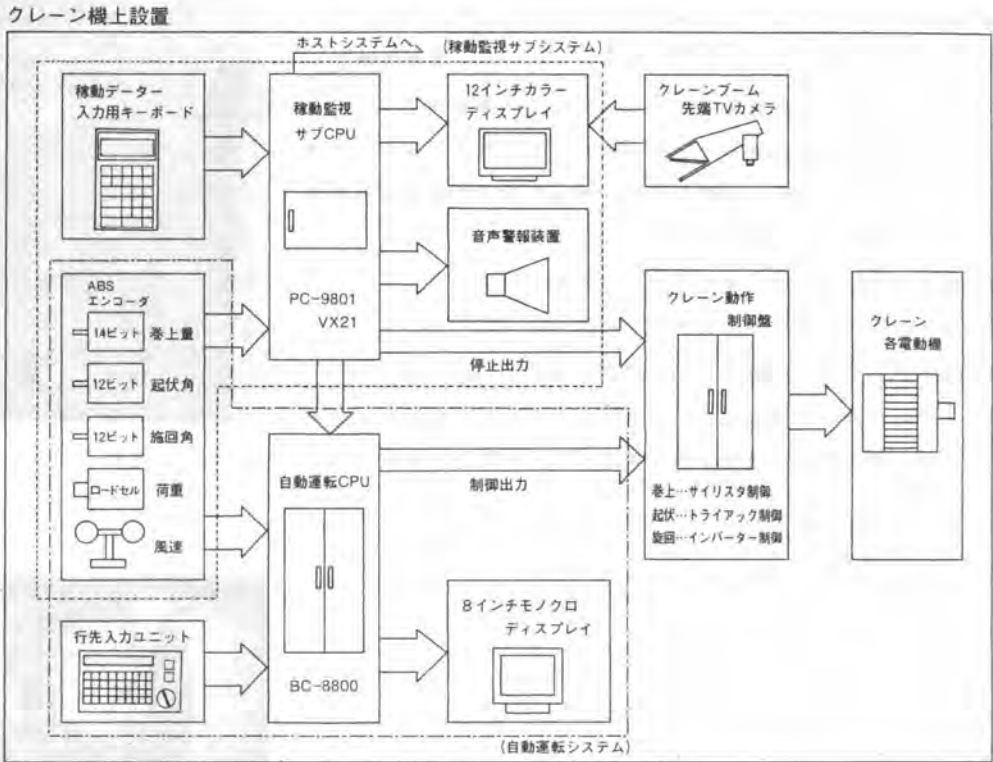


図1 ACSUSシステム構成図

### 3. 自動運転システム

本システムの特長を述べる。

- ① 行先指定ボタン（118点選択可）操作により指定されたポイントの安全かつ最短ルートにて、荷振れを防止し、高速高精度に揚重作業を行う。停止精度は±20cm以内（作業半径20m時）
- ② 吊荷の垂れ下り量を検出し、その量に応じた旋回・起伏加減速制御を行うことにより、確実な荷振れ防止を行う。振れ止め精度は、±50cm以内
- ③ 三動作複合により時間ロスの少ない運転を行う。
- ④ 打設階高さは、教示方式により入力する。
- ⑤ センサー、CPU故障自己判断機能をもつ。

本システムの設計に際しては、コンピュータシミュレーションを行い、荷振れ防止制御の確認、風の荷振れへの影響等を解析した。

ギアクレーン吊荷挙動解析

ワイロープ長(m)	50
旋回半径(m)	20
吊荷重(kg)	6500
風力係数	.7
風速(m/s)	10
吊荷受圧面積(m <sup>2</sup> )	3.91
風向(rad)	1.571

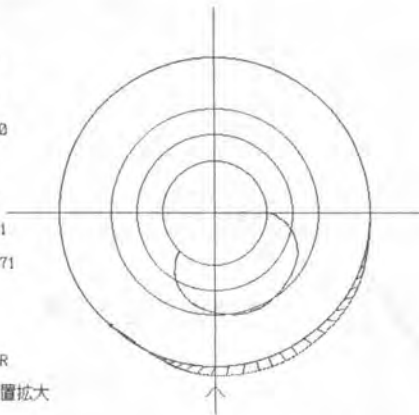


図2 コンピュータシミュレーションによる吊荷挙動解析

### 4. 稼働監視システム

衝突防止機能と稼働データ収集機能を有し、自動運転、手動運転時の衝突回避など、安全を確保する最上位システムである。高速運転に対応するためクレーン相互の接近速度に応じた最適警戒距離をリアルタイムに予測する新しい警戒方式を開発導入した。

- ① クレーン間の接近速度に応じた三次元警戒を行うことにより、高速から低速まで安全に作業が行える。
- ② システム解除ボタンはなく常に稼働を監視
- ③ ディスプレーによるクレーン相互位置表示
- ④ 音声による警報
- ⑤ 日報などの各種帳票の作成



写真2 運転室内コントローラ設置状況



写真3 センサー設置状況



写真4 稼働監視システム

## 5. 高速タワークレーン

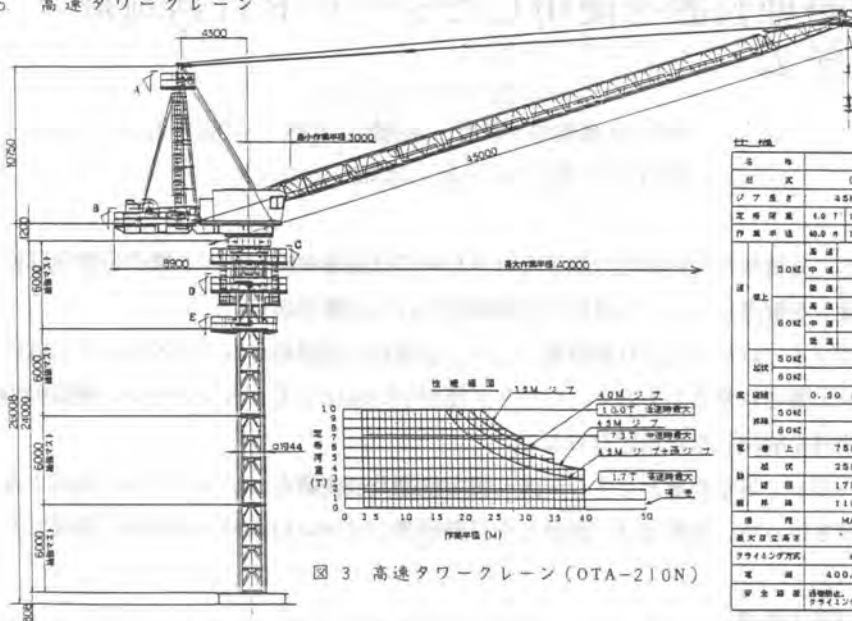


図3 高速タワークレーン (OTA-210N)

名称		パイロタワークレーン		
型式		OTA-210N		
ジブ長さ	45M	40M	35M	
定荷重量	10.0 T	15.0 T	20.0 T	25.0 T
作業速度	40.0 m/min	19.0 m/min	25.0 m/min	20.0 m/min
速度	巻上	1.75T	1.04	m/min
	50M	7.75T	4.0	m/min
	巻下	10.0T	3.0	m/min
	60M	1.75T	1.25	m/min
	巻上	7.75T	4.8	m/min
	巻下	10.0T	3.8	m/min
回転	50M	127 (40m-3m)	秒	
	60M	106 (40m-3m)	秒	
回転	50M	0.50 rpm	(自動回転時 1.0 rpm)	
	60M	0.30	m/min	
巻上	50M	0.30	m/min	
	60M	0.30	m/min	
巻下	巻上	75KW x 8P	40M	
	巻下	25KW x 8P	25M	
巻上	巻上	17KW x 6P	25M	
	巻下	11KW x 4P		
巻下	MAX 300m	(起重量内)		
最大吊高さ	24m	(標準)		
クレーン方式	巻上クレーン方式			
電圧	400/440V	50/60Hz		
安全装置	巻上停止、巻下停止、巻上巻下停止、巻上巻下停止、ワイヤリング停止、巻上巻下停止、巻上巻下停止、巻上巻下停止			

超高層ビル建築用メカトロ高速タワークレーンを新しく開発導入した。

- ① 高速巻上 (125 m/min)、高速回転 (自動運転時 1 rpm)
- ② 回転機構に回転ベアリングギア+ヘリカルギア減速機を使用し、回転時の位置決め精度の向上を図った。
- ③ 巻上時に定トルク型インバータを、又起伏にはトライアック制御を採用し、高度な振れ止め制御、位置決め制御を可能とした。

## 6. コンクリート供給基地

- ① バケツ吊り替え作業不要で安全に短時間でコンクリートを供給 (供給時間 30 sec)
- ② 機側押ボタンによるワンマン操作

## 7. コンクリートバケツ

- ① 誤動作のないデジタル無線装置による開閉遠隔操作
- ② 12V バッテリー使用による確実な開閉操作 (微量排出可)

## 8. あとがき

本システム (ACSUS) は S 6 3 年 8 月 2 5 日 現在、自動運転にて約 600 回の稼働を行い、手動運転時の約 6 ~ 8 割に運搬時間を短縮し、作業能率の向上に寄与している。又本システムはワイヤを用いたあらゆるクレーンに適用が可能で (たとえばダム工事におけるコンクリート打設、ケーソン、シールド工事におけるズリ上げなど)、今後さらに工事の大型化、高層化、特殊化により、その適用範囲は広がるものと考えられる。

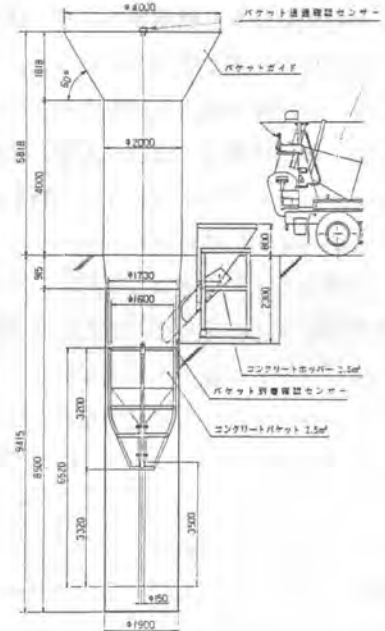


図4 コンクリート供給基地バケツ

以上



## 5. 画像処理装置を使用したシールド自動測量システム

(株)竹中土木：菅野 正徳・大西 常康・鶴岡 孝章  
 (株)竹中工務店：三上 忠雄

### 1. まえがき

シールド工事において、高精度かつ能率的な施工を行うためには掘進中のシールド機の位置及び姿勢を常時把握し、計画線上を掘進するように適切な方向制御を行う必要がある。

最近ではレーザー光線やジャイロを用いた自動測量システムが開発・実用化されているが、これらの多くは大口径のシールド工事を対象としており、シールド径が小口径化してくるにしたがい機器の小型化や耐環境性などの問題を解決しなければならない。

そこで、中小口径シールド工事を対象としてシールド機の位置及び姿勢をリアルタイムで検出する自動測量システムの開発を行った。本報では、開発した自動測量システムの概要と実施工に適用した結果を報告する。

### 2. 自動測量システムの基本構想

今回開発した自動測量システムは中小口径シールド工事及び推進工事に適用することを目標とし、下記の項目を基本的な考えとした。

- ① シールド機内に設置するターゲットは、小型、安価で耐環境性に優れたものとする。
- ② 検出装置は、温度、湿度、振動などの影響の少ない後方のセグメントや立坑に設置し、シールド機の位置及び姿勢を遠隔で検出できる装置とする。

この考え方に基づいて、ターゲットとして発光ダイオード（LED）3個を三角形に配置しそれを後方からTVカメラで撮影し、その映像を画像処理することにより3個のLEDの画像上の相互位置関係を求め位置及び姿勢角を演算する方法を考案した。

本システムの最大の特徴は、シールド機の計画線からのずれと計画線に対するピッチング、ローリング、ヨーイングの姿勢角を一つの検出装置によって遠隔で検出できることである。

### 3. 測量原理

本システムによるシールド機の姿勢角検出原理の概要を図-1に示す。シールド機内に正三角形にLEDを配置し、それをTVカメラで撮影し、その画像を画像処理して三角形の頂点3個の投影座標を得る。ヨーイング、

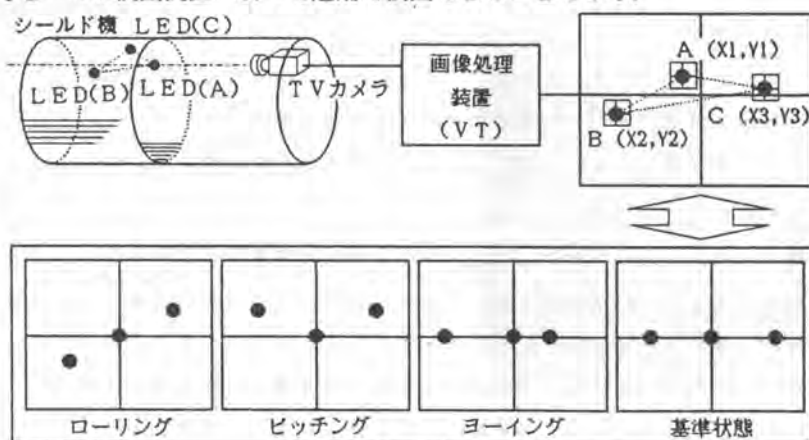


図-1 姿勢角の検出原理

ピッチング、ローリングが生ずることにより、投影された3個の頂点の位置関係は図に示すように変化する。ヨーイング、ピッチング、ローリングの3要素が複合して生じる実際の場合は、3個の頂点の相互位置関係から計算して各要素の姿勢角を求める。

また、シールド機の上下左右の移動量は画像処理装置上で求めた変位量とTVカメラの視準線の水平、垂直振り角及び光波距離計で得られたターゲットまでの距離から計算して得られる。

#### 4. 自動測量システムの構成

本システムは、シールド機内に設置するターゲット、後方セグメントに設置する検出装置、地上の管理室に設置する計測演算装置で構成されている。システムの構成を図-2に示す。

##### (1) ターゲット

ターゲットは、位置および姿勢角検出のために使用する正三角形を形成する3個の発光ダイオード(LED)と光波距離計用の反射プリズムで構成されている。3個のLEDの間隔(正三角形の一辺の長さ)はシールド機の掘進に伴う距離の増加によって姿勢角の測定精度が低下するのを防止するために、20mm~200mmの範囲で5段階に変化できる構造としている。ターゲットの外観を写真-1に示す。

##### (2) 検出装置

検出装置は、電子測距測角儀(トータルステーション)とTVカメラとで構成されている。トータルステーションは水平、垂直角の微調整及びフォーカス調整にモータ駆動装置を取り付け、地上の管理室から遠隔制御が可能である。TVカメラの倍率は4倍、8倍を測定距離に応じて選択できるようになっている。検出装置の外観を写真-2に示す。

##### (3) 計測演算装置

計測演算装置は画像処理装置とパーソナルコンピュータで構成されている。画像処理装置は画面座標系として512×384画素の座標を持ち、TVカメラの映像信号を入力して、映像の中の移動する輝点(ターゲットの3個のLED)を二値化して抽出しその重心位置を画面座標系のX-Y座標値として検出する。

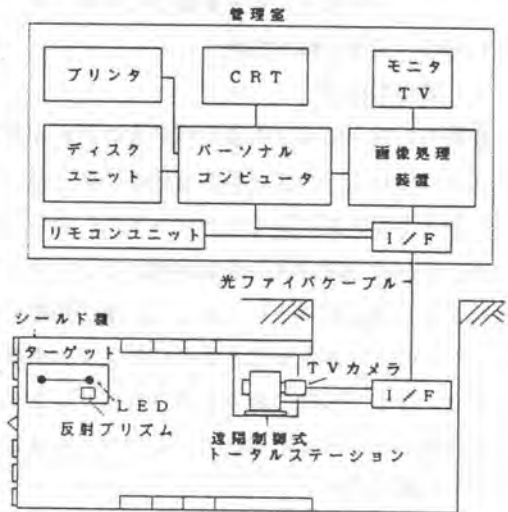


図-2 自動測量システムの構成



写真-1 ターゲット

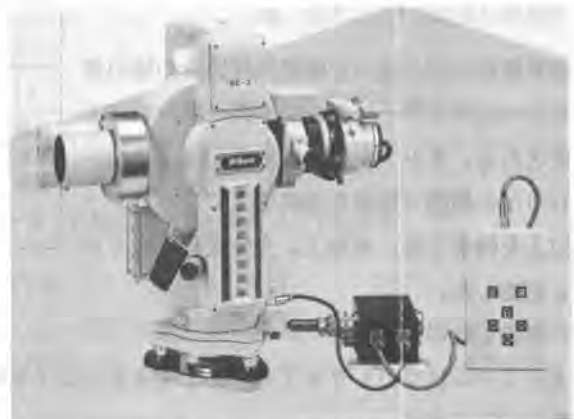


写真-2 検出装置

パーソナルコンピュータは画像処理装置の座標出力と、トータルステーションの測距、測角値と、フロッピィディスクに記憶してあるシールド計画線とからシールド機の位置、姿勢を演算する。計測演算装置の外観を写真-3に示す。

本システムを構成する主要機器の仕様を表-1に示す。

## 5. 位置・姿勢の検出性能

### (1) 姿勢の検出

姿勢角の検出精度は画像処理装置の画面座標に得られるターゲットの大きさに依存し、大きさがある程度小さくなった場合、誤差が大きくなる。実用上の目安としてターゲットのLEDで構成される三角形の一边の長さが画像処理装置の画面座標上で200ドット(1画素を1ドットと称する)程度を得られるように、測定距離に応じてレンズ倍率及びターゲットの大きさを変化させることにより角度測定誤差の標準偏差 $\sigma$ として $0.01^\circ$ 程度の結果が得られる。したがってシステムの姿勢角検出誤差は $3\sigma$ で考えても $0.04^\circ$ 以下と推定される。

### (2) 位置の検出

画像処理装置上での1ドットに相当する実際の長さは、

(画像処理装置上での単位あたりの長さ)

= (実際の三角形の1辺の長さ)

÷ (画像処理装置上での1辺の長さ)

で求められる。したがって画像処理装置上で一边が200ドットを確保すればターゲットの最大である200mmの三角形を使用した場合でも1ドットが1mmに相当する。したがって検出誤差は $\pm 1$ mm以下となる。

測量精度は以上述べた画像処理装置の検出精度とトータルステーションの測距・測角精度で決定される。本システムでは測量距離10m~200mの範囲で画像処理装置上で200ドット以上を確保でき、実施工に充分適用可能であると判断した。

## 6. 実施工への適用結果

本システムはプロトタイプを含めて現在までに7ヶ所の作業所で使用実績がある。その中での適用結果を以下に示す。



写真-3 計測演算装置

表-1 主要機器の仕様

機器名称	仕様	備考	
ターゲット	LED	緑色可視 輝度調節機構付	
	反射プリズム	e24mmコーナプリズム 3ヶ	
検出装置	トータルステーション	測距精度 $\pm(5\text{mm}+5\text{ppm}\cdot D)\text{mm}$ 測角精度 $10''$ 以内 遠隔操作範囲 $\pm 2^\circ(\text{H}\cdot\text{V})$ リレーレンズ 4倍、8倍切換	DTM-10 (ニコン)
	TVカメラ	CCD固体撮像素子 画素数 510(H) $\times$ 492(V)	CS3310B (東京電子)
計測演算装置	画像処理装置	分解能 X512 $\times$ Y384座標 重心位置計算出力 0.1 輝点自動追尾	G2120 (応用計測)
	パーソナルコンピュータ	CPU 16bit RAM 640KB	PC9801VM21 (NEC)
	リモコンユニット	水平、垂直、フォーカスを デジタル信号でコントロール	

掘削機外径3520mmの泥水加圧式推進工事において、本システムによる測量及び在来のセオドライト、レベルによる測量によって得た掘削機の位置の比較を表-2に示す。両者の測量結果は、ほぼ一致しており自動測量システムの測量精度は満足できるものと言える。

また、シールド機外径3500mmの土圧式シールド工事における結果を図-3に示す。本システムで測量したシールド機の軌跡とセグメント出来形測量結果（セオドライト、レベルによる測量）を比較すると、セグメントの出来形は自動測量システムによる測量結果の軌跡とほぼ一致しており、本システムで測量したシールド機的位置は数リング先のセグメントの予測位置と考えてよい。したがって、本システムによる位置及び姿勢の測量結果をもとにシールド機が計画線上を進むように方向制御を行えば、従来の数リングおきのセグメント出来形測量より高精度の施工ができることが確認できた。

## 7. 結論

今回開発した自動測量システムは、目標とした中小口径シールド工事に十分適用可能な装置に完成することができた。本システムの使用によりシールド機的位置及び姿勢を常時把握することが可能となり、高精度かつ能率的なシールド工事の施工に効果を発揮している。

さらに、本システムの測量結果から得られたシールド機の掘進軌跡、シールド機の方向、オペレータの修正操作等のデータを定量的に解析することにより、方向制御の自動化を実現するための研究を行っている。

また、本システムの位置及び姿勢検出機能は、シールド工事以外にも適用可能な分野が考えられるので今後検討を進めていきたい。

表-2 測量結果の比較

管 No	上下方向の変位			左右方向の変位		
	従来 測量 実測値	自動 測量 計測値	差	従来 測量 実測値	自動 測量 計測値	差
	単位 (mm)					
17	+11	+5	6	-20	-20	0
18	+12	+10	2	-21	-23	2
19	+15	+3	12	-20	-20	0
20	+12	+9	3	-23	-15	8
21	+12	+21	9	-22	-19	3
22	+19	+19	0	-18	-16	2
23	+22	—	—	—	—	—
24	—	+13	—	—	-25	—
25	+18	+17	1	-18	-18	0
26	+22	+21	1	—	-8	—
27	+23	+22	1	—	-20	—
28	+18	+13	5	-15	-17	2
29	—	+24	—	—	-20	—
30	+20	+26	6	-22	-22	0
31	+15	+21	6	—	-13	—
32	+19	+22	3	-7	-13	6
33	+11	+22	11	—	-13	—
	差の平均値 = 4.7			差の平均値 = 2.3		

上、右 方向への変位 → +  
下、左 方向への変位 → -

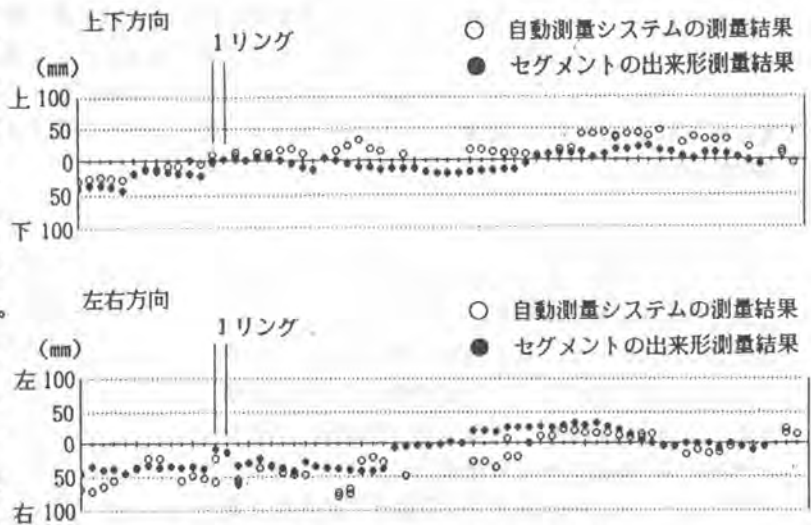


図-3 自動測量結果とセグメント出来形

## 6. 地中レーダ探査技術試験

建設省近畿技術事務所：横山 美明・元木 真二

### 1. はじめに

安全で快適な歩行空間の確保、都市防災機能の強化、都市景観の向上等の観点から、都市内道路に占用する架空線の地中化について、従来より地域に応じた整備が進められてきたところである。このような中で、建設省は将来のニューメディア等の普及にも十分配慮した地中化促進方策として電線類が収容可能なキャブボックスを歩道下に整備する”キャブシステム”を推進しているところである。

本試験は、キャブシステムを施工する上で既設埋設管の位置確認の最適手法を見いだすため最新の開発・研究中の探査機器を用いて探査精度調査を行い、今後の実用化に向けての検討資料とするものである。

### 2. 地中レーダ方式採用の経緯

埋設管探査の方法として従来から試掘法やさぐり棒法があったが非破壊方式の手法を選択した。

非破壊方式には、電磁誘導方式・音波式管路探知器・表面波探査・弾性波反射法・磁気探査そして地中レーダ方式がある。これらの中からキャブ施工前調査として適当な地中レーダ方式を採用した。地中レーダ方式は、①機器がコンパクトである。②塩ビ管・ヒューム管等すべての管が探査可能である。③完全非破壊方式である。④キャブ施工に必要な地下2mまでの探査が可能である等の特長がある。

### 3. 地中レーダ方式の構造

図-1に地中レーダ方式の構造を示す。原理の基本は、航空官制に利用されるレーダと同じである。送信アンテナから50~1,000MHzの電磁波を1~10ns（1nsは $10^{-9}$ 秒）のパルス波で地中に向けて送信する。地中に誘電率の異なる物（埋設管）があるとそれにより反射された電磁波を受信アンテナでキッチする。この時の送信から受信までの時間を測定して埋設管の深さを知るものである。

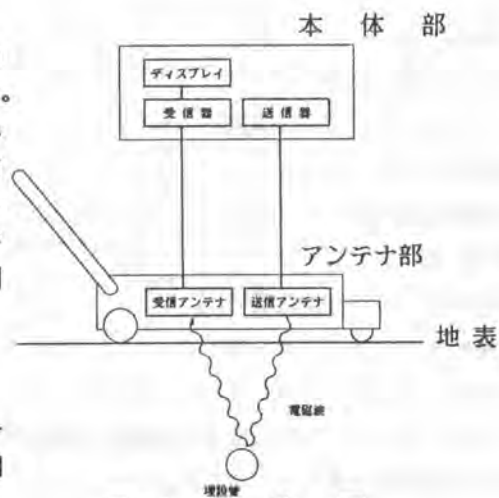


図-1 構造図

### 4. フィールド試験

近畿技術事務所・屋外実験場に模擬歩道のフィールドを製作し、歩道下に管種・口径・深度・埋設間隔を変化させて管を29本埋設した。



4.1 フィールドの製作

①舗装 — アスファルト舗装厚4cm、コンクリート舗装厚10cmのもの各30mのフィールドとした。

②埋設管 — 一般埋設管として使用頻度の高い鋼管、塩ビ管、ヒューム管、陶管、多孔管、集合管を、φ50～φ300mmの管径で埋設した。  
(手前側は、10%の勾配を付けている。)



写真-1 試験フィールド

4.2 試験探査

地中レーダ探査機器メーカー10社を対象に試験探査を実施した。

探査日程は1社当たり2日とし

キャリブレーション用の管は2本設けた。

探査結果は各メーカーから指定の平面図・断面図に判明管を記入してもらい、指定場所についてはディスプレイ映像の写真を提出してもらった。

表-1は各社別の探査結果を評価したものである。評価の基準は表-2のような記号を使用した。

表-1 試験探査評価一覧表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
管 種	SGP	V	U	SGP	V	U	SGP	V	U	SGP	V	U	SGP	V	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	
口 径 (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	200	200	300	200	200	200	200	330	300	100	800	200	200	330	200	100	200	200	330	
深 度 (mm)	0.4	0.4	1.0	1.0	2.0	2.0	1.2	1.2	1.8	1.8	2.0	1.0	2.0	1.0	1.2	1.2	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
A 社	X	X	Δ	-	Δ	X	Δ	-	Δ	X	O	O	-	Δ	Δ	X	O	X	-	X	-	-	Δ	X	X	X	-	-	-	
B 社	O	X	O	-	O	O	O	O	-	O	O	O	O	O	Δ	O	-	O	O	-	O	O	O	O	Δ	X	-	-	-	
C 社	⊗	X	O	-	O	-	O	X	O	-	⊗	⊗	Δ	O	O	O	O	⊗	⊗	-	O	O	O	X	O	-	-	-		
D 社	O	-	O	X	Δ	Δ	X	-	O	-	⊗	⊗	O	O	O	-	O	Δ	O	O	Δ	Δ	O	O	O	O	X	X	X	
E 社	Δ	-	O	-	O	-	O	-	O	-	⊗	⊗	Δ	O	O	-	O	-	⊗	⊗	-	⊗	O	⊗	Δ	O	-	-	-	
F 社	O	-	⊗	-	O	-	O	-	O	-	⊗	⊗	O	O	Δ	Δ	Δ	-	⊗	⊗	-	O	-	O	-	-	-	X	-	
G 社	O	Δ	O	Δ	Δ	Δ	O	Δ	Δ	-	O	O	Δ	O	Δ	O	O	O	O	O	-	O	Δ	O	O	Δ	-	X	-	
H 社	X	-	O	O	O	X	O	X	O	X	⊗	⊗	O	O	O	Δ	O	X	O	O	X	O	O	Δ	Δ	X	-	-	-	
I 社	O	-	O	-	O	-	O	-	O	-	⊗	⊗	-	O	Δ	Δ	Δ	-	O	⊗	-	Δ	O	X	O	⊗	X	-	-	
J 社	O	-	O	-	O	-	O	-	Δ	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	Δ	Δ	X	X	X



全体的に鋼管の探查精度がよく塩ビ管の精度が悪い。  
又、同じ管種でも地表に対して斜めに埋設した管は探查精度が悪い結果が現われている。

表-1からは深度の違いによる探查精度差は読み取れなかった。



写真-2 探查試験中の地中レーダ

表-2 記号表

記号	評価
◎	誤差がない
○	10cm以内
△	10~20cm以内
×	20cm以上
-	探查出来ず

図-2は管種別に探查率をグラフ表示したものである。  
斜線部分の面積が大きいほど管種にむらなく探查出来ることになる。10社の内5社(C, D, G, H, J)は、塩ビ管以外について100%の探查率である。

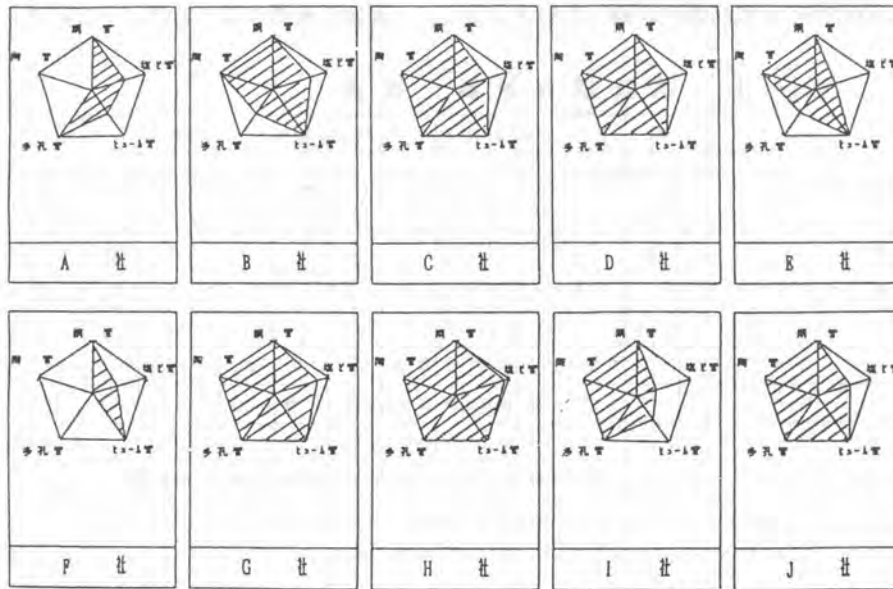


図-2 管種別探查率

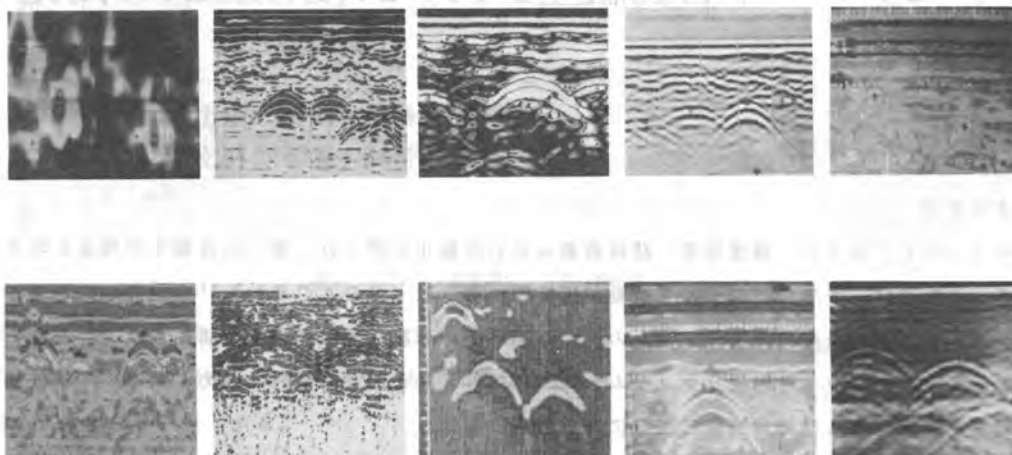


図-3 各社ディスプレイ又はプリンターからの出力映像

#### 5. 現地試験

フィールド試験の結果、地中レーダ方式の非破壊検査で歩道下の埋設管位置を確認することが可能と判断し現地での探査試験を行うことにした。現地は、キャブ施工予定の歩道で試掘により埋設管の位置を調査した所を3箇所（京都市内国道1号線、大阪市内国道26号線、神戸市内国道2号線）試掘していない所を1箇所（京都市内国道1号線）の試験を実施した。

参加メーカーは、9社であり試掘していない現場では各社の探査手順をタイムスケジュールとして記録する施工調査も行った。



写真-3 現地探査試験

#### 6. 今後の計画

さまざまな試験の結果、 $\phi 100\text{mm}$ 以上であれば管種を問わず誤差 $10\sim 20\text{cm}$ 以内で十分良好な結果が得られることが判明した。 $\phi 50\text{mm}$ についても塩ビ管以外は探知可能であった。

今後は、試掘に替えて探査出来るよう現地探査事例を積重ね多く取り、施工性の良い機器・経済的な施工法を提言していきたい。

## 7. セグメント自動組立システム(SABIS)の開発

（株）間組： 園田 徹士・配野 均  
日本鋼管（株）： 松下 利幸・村野 健一

### 1. まえがき

近年シールド工事では、掘進管理、路線測量などの自動化が図られ、施工の合理化が推進されてきている。当社では、すでに“シールド自動掘進管理システム（SDACS）”<sup>1)</sup>を開発しており、さらにシールド工事の高度化施工システムの充実を図るための総合的な開発に取り組んでいる。現在その一環として“セグメント自動組立システム”についてNKKとの共同開発を進めている。本報告では自動組立システムおよび要素実験の概要について述べる。

### 2. 開発目標

シールド工法における一次覆工は、一般に鋼製あるいは鉄筋コンクリート製のセグメントをシールドマシン内のエレクタ装置を使用してリング状にボルト締結して組立られる。現状ではこの覆工作業は数人の作業員によって行われているが、以下のような問題が指摘されている。

- ・組立作業はシールド機内の狭所あるいは高所での重物をハンドリングする危険作業である。
- ・人力組立では組立精度、施工品質の安定、向上が期待できない。
- ・将来、作業員不足が予想され自動化の必要がある。

このような問題点のほかに将来高度化、大径化したシールド工事に対応するためにも、セグメント組立作業の自動化はシールド工事の合理化に必要な不可欠な技術である。

本自動組立システムは、搬送台車上からのセグメント搬送に始まり、ボルト締結完了までの一連の作業を以下のシステムにより行うものとした。

- ①セグメントを搬送台車からエレクタ把持位置まで自動搬送する〔セグメント搬送・供給システム〕
- ②セグメントを自動的に把持、位置決め、開放する〔セグメント位置決め・組立システム〕
- ③セグメント接合用ボルト・ナットを自動供給締結する〔ボルト・ナット供給・締結システム〕

また、自動化のためにセグメントを大幅に改造することは避け、土木学会標準RCセグメントを対象とし、把持は在来のグラウトホールを利用するものとした。さらに、楔型Kセグメントの組立も可能な構造とした。

### 3. 本システムの概要と特長

図1に本システムの全体図を示し、自動組立フローを図2に示す。

- 1) シールドジャッキストロークを計測し、既設セグメントの方向、位置を演算しエレクタ方向調整機構によりエレクタ旋回面を既設セグメント接合面と平行になるように調整を行う。これにより組立時のピッチング、ヨーイング制御が不要となり制御自由度の減少が図れる（図3参照）。
- 2) 次にエレクタ中心と既設セグメントの内面との距離をレーザ式変位センサにより、エレクタを1

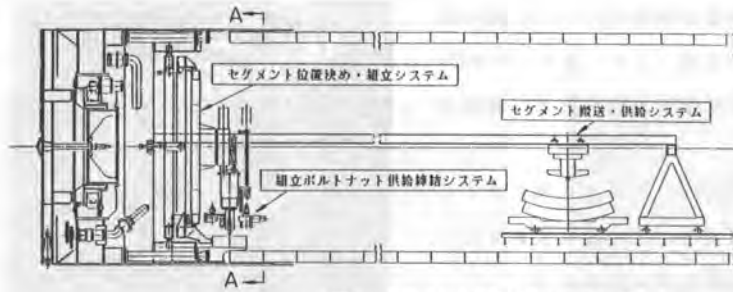
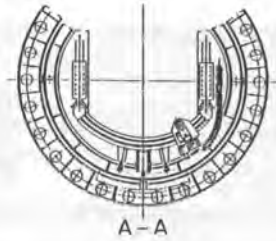


図1 セグメント自動組立システム全体図



- 回転させて計測し既設リングの中心との位置偏差を求める。
- 3) 計測結果から位置決め数値制御のための目標位置補正を行い、組立準備が完了する。
  - 4) セグメント搬送装置によりセグメントをエレクタ把持位置に自動搬送しセットする。セグメント把持はセグメントグラウトホールを利用して把持する。把持のための位置決めは、グラウトホールをCCDカメラで撮像し画像処理により中心位置を検出して行う。
  - 5) 同時にセグメント組立位置部のシールドジャッキを全縮させ、可動式の受け架台をセグメント供給位置（エレクタ把持位置）にセットする。
  - 6) セグメント搬送装置により受け架台上に置かれたセグメントはエレクタに把持され、数値制御により所定の組立位置に1次位置決めされる。位置決め精度の確保のため、光切断法<sup>2)</sup>によるセグメント内面偏差の検出を行い2次位置決めを行う。
  - 7) 位置決め完了後ボルト・ナットの締結を行う。プログラム制御により数台の締結装置がガイドレール上を走行しボルト・ナットの供給、位置決め、締結を行う。
  - 8) 締結完了後、エレクタはセグメント開放して退避し、組立部のシールドジャッキを伸長する。
  - 9) 以上の操作を繰返し、Kセグメントの組込み完了をもって終了する。

本システムの主な特長は以下の通りである。

- 1) 高精度制御を必要とするエレクタ本体は、シールドマシンにスライドピンで支持されており、外圧によるシールドスキンプレートの変形の影響を受けない構造としている。
- 2) 既設のセグメントリングの形状、位置を高精度計測し、

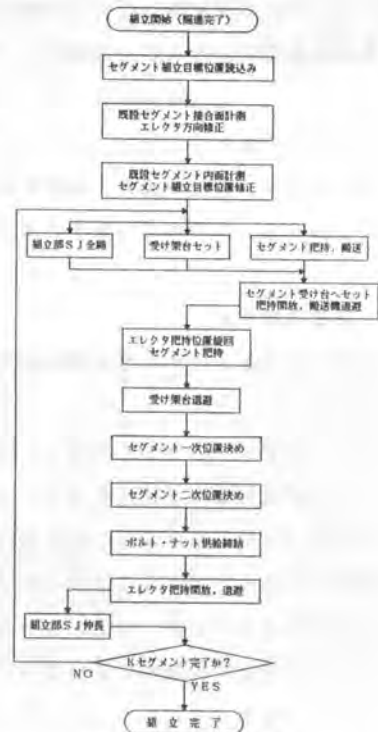


図2 自動組立フロー図

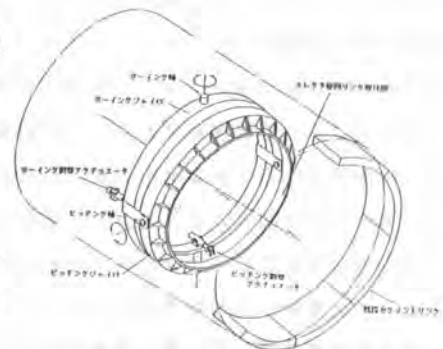


図3 エレクタ方向調整機構図

図3に示すようなエレクタ旋回面を既設セグメント継手面に平行にするエレクタ方向調整機構により、組立時の制御自由度を減少させ、セグメント位置決め的高速化、高精度化を図っている。

3) ボルト・ナット締結装置は走行式とし、あらかじめ1リング分のボルト・ナットを供給装置にセットしておくことで、少数の締結装置により自動締結が可能である。

4) 以上の一連のセグメント組立作業はシールド運転席のオペレータが状況監視しながら実施できる。

なお、本システムの設計にあたり3次元CAD/CAMシステムCATIA (Dassault Systems社商標) による3次元モデリング、動作シミュレーションを実施し、各構成機構の干渉チェック、静荷重解析、駆動系動力計算を行った。動作シミュレーションの例を写真1に示す。

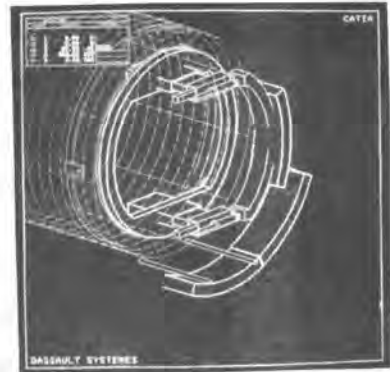


写真1 CATIA 3次元シミュレーション例

#### 4. 要素実験概要

本システムを実現するための確認実験として以下の要素実験を実施した。

##### 4. 1 位置決め用センサに関する実験

###### 1) レーザ式変位センサによるセグメント内面計測実験

セグメント組立位置決めのため既設セグメントリングの形状計測が必要となる。本システムではレーザ式変位センサをエレクタに取り付け旋回させて、エレクタ中心と既設セグメントリングの内面間の距離および旋回角度を計測し形状測定を行い中心位置偏差を求める方法を採用している。これを模擬して既設セグメントを鋼管でモデル化した実験を行った。実験結果は良好であり、充分実用可能な方法であることが確認できた。(図4参照)

###### 2) 光切断法によるセグメント位置計測実験

セグメントの位置決めにおいて1次制御のみでは機械的誤差、計測誤差のため位置補正調整(2次制御)が必要となる。本システムでは図5に示すように、組立および既設セグメントの内面に2本のレーザスリット光を投光し、その像をCCDカメラに撮像して画像処理により3次元位置偏差を検出する光切断法を採用している。実験はセグメントの縮小モデルを作製し、スリット光を投光しそのスリット光画像が判断で

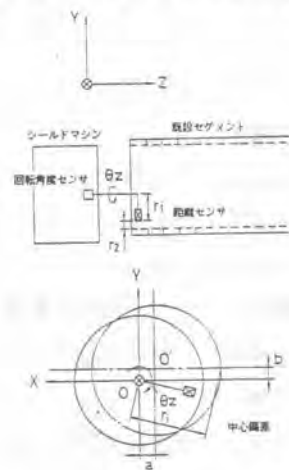


図4 セグメント内面計測概念図

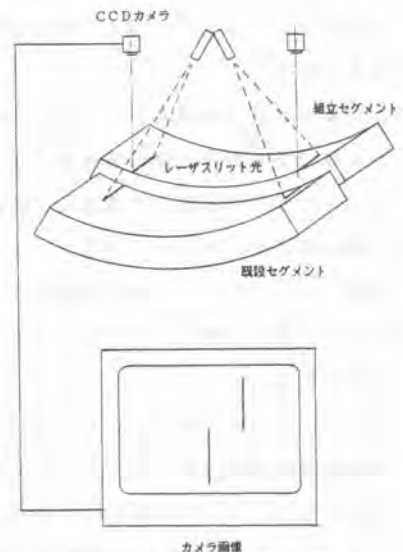


図5 光切断法による位置決め方法

きるかを確認した。実験装置を写真2に、画像処理結果を写真3に示す。実験より照明環境を考慮すれば良好な計測が可能であることが確認できた。



写真2 実験装置



写真3 画像処理画面

#### 4. 2 セグメント把持装置およびボルト・ナット供給締結装置の実験

外径7mクラスのシールドを想定し、写真4、5に示す実大のセグメント把持装置およびボルト・ナット供給締結装置を試作して機能、動作確認および位置決め制御実験を実施した。機能、動作、位置決めは当初計画通りの結果が得られた。

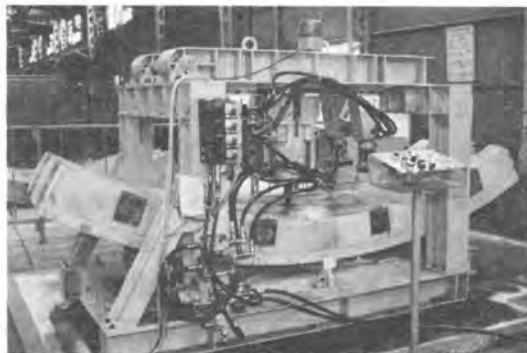


写真4 セグメント把持試作装置



写真5 ボルト・ナット供給締結試作装置

#### 5. 今後の計画

本システムの主要装置であるセグメント把持およびボルト・ナット供給締結装置に関する機能動作実験と計測センサに関する実験は完了し、これらの実験結果をもとに実機設計を進めている。今後実機による工場実験、現場実証実験を計画中であり、早期に本システムの実用化を図り、さらには機能の高度化、安定化をも図って行きたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 園田徹士ほか, Tunneling by Robot Shield Driving Automatic Control System, 5th ISRC Proceedings vol.2, PP.849~858, 1988
- 2) 加藤高明ほか, 光切断法による多層盛溶接ならいセンサ(第2報), 第27回自動制御連合講演会, PP.397~398, 1984



## 8. 工事中トンネルに使用される換気設備の制御運転

(株)間 組：田口 博美・島山 修  
鹿山 公・木川田 一弥

### 1. まえがき

工事中のトンネルでは、坑内で働く作業員の健康を保護するとともに、作業環境を向上させることを目的として換気設備が設置されている。しかし現状では、作業環境改善に対し最も効果的である換気条件は明らかではなく、各社さまざまな方法で良好な作業環境の確保に努めている。当社でも、現場における粉じん濃度の計測結果の蓄積と分析、模擬トンネルを用いた実験による換気条件と環境改善の因果関係の把握、さらに数値シミュレーションによる粉じん濃度予測など多方面からのアプローチを行っている。今回その一つとして、大風量換気による作業環境改善を試み、さらに換気設備の大型化に伴うランニングコストの増加を抑えるために、換気風量を粉じん濃度によって制御する「換気設備の制御運転システム」を現場に適用した。ここではその効果の途中経過について、現場における計測結果をもとに報告する。

### 2. 換気設備および現場計測の概要

#### 1) 換気設備の制御運転システムの概要

換気設備の制御運転システムとは、風量を変化させることのできるコントラファンと、粉じん濃度センサおよびセンサで得られた信号を制御盤に伝達するケーブルから構成され、トンネル内の粉じん濃度に応じて、予め設定した数段階の風量で換気設備を運転するシステムである。

#### 2) 換気設備の仕様

今回使用した換気設備の仕様を表-1に示す。

表-1 換気設備仕様

換気は送気方式であり、直径1400mmのビニール風管を使用している。

機種	三井三池製作所 MFA110P2-SC3-VP
口径	1100 mm
風量	1500 m <sup>3</sup> /min
送風機全圧	500 mmAq
回転数	1500/1800 rpm
電動機	80kW (4P) ×2台
重量	5000 kg

#### 3) トンネルの現況と換気設備の設置状況

計測実施時点でのトンネル現況および換気設備、粉じん濃度センサ設置位置の状況を図-1に示す。またトンネル工事概要を以下に示す。

位置：神奈川県足柄上郡山北町

施工方法：NATM（上半先進）

工事延長：800 m（施工延長は 350 m）

掘削断面積：約130 m<sup>2</sup>（上半断面積約85 m<sup>2</sup>）

#### 4) 計測項目と計測方法

換気設備の効果を把握するため、現地において実施した計測の概要を以下に示す。

##### ① 気流分布の計測



換気風量の変化が、トンネル切羽付近の気流状況に及ぼす影響を見るため、換気風量を700、1010、1560 m<sup>3</sup>/minの3段階に変化させ、切羽付

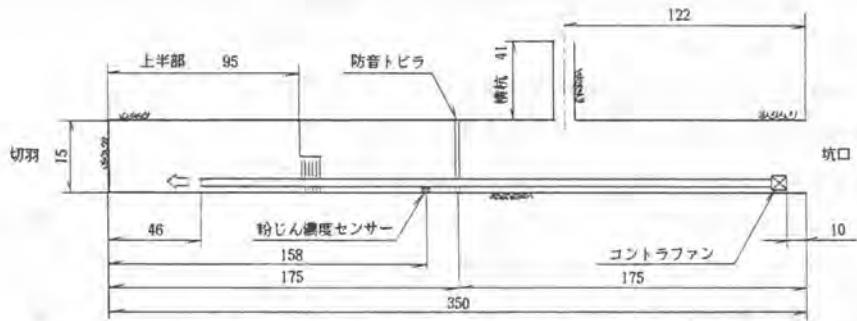


図-1 トンネル現況および換気設備の設置状況(平面図 単位:m)

近の18点(高さ上半盤上1.5m)において気流分布の計測を行った。計測機器は熱線式風速計(柴田科学工業 ISA-7型)を用い、スモークテスト(北沢産業No.501)により風向を観察した。換気風量は風管吹出し口で計測した。

### ② 粉じん濃度の計測

トンネル内の作業環境を把握するため、削孔、ずり出し、吹付コンクリートの各作業時に、切羽付近の18点(高さ上半盤上1.0m)において粉じん濃度を計測した。各点での繰り返し計測回数は3回とし、2日間の計測を行った。計測機器はデジタル粉じん計(柴田科学工業 P-5L型)を用い、ローボリウムエアサンプラー(同 L-30型)との並行計測により各作業でのK値を算出した。また粉じん濃度の経時変化を見るため、切羽から45m地点(高さ上半盤上0.3m)で、2日間にわたり計14時間の粉じん濃度の連続計測を実施した。

### ③ 使用電力量の算出

換気設備に要するランニングコストを把握するため、換気設備の制御盤に組み込んだアワーメータおよび積算電力計から消費電力量を算出した。

## 3. 計測結果と考察

### 1) 気流分布

換気風量を変化させた各ケースにおける気流分布状況を図-2に示す。換気風管の吹出し口が切羽から46mの位置に設置されている条件では、風量を変化させた場合、風量の増加に伴って、切羽付近の風速も増加するが、気流分布の様相はほぼ同じであった。風量が最も少ない700 m<sup>3</sup>/minのケー

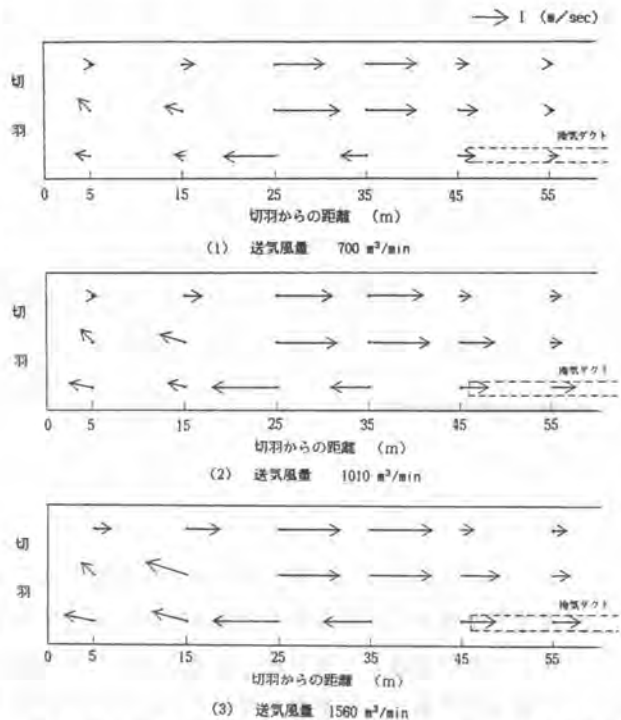


図-2 気流分布計測結果(計測高さ:上半盤上1.5m)  
-平面図- (換気ダクト高さ:同2.5m)

スでも、換気ダクトから吹出された風が切羽まで到達し、切羽をよく換気していることが確認できた。

## 2) 粉じん濃度分布

各作業における切羽付近の粉じん濃度分布（2日間の平均値）を図-3に示す。各作業時における換気風量は、削孔作業では低風量である700 m<sup>3</sup>/min、ずり出しと吹付作業では高風量である1560 m<sup>3</sup>/minが、システム内で自動的に選択された。また粉じん濃度経時変化の計測結果の一部を図-4に示す。これらから以下のことがいえる。

- ① 削孔作業時における切羽付近の粉じん濃度は全体的に濃度が小さく（管理区分Ⅰ）、低風量の換気でも作業環境上問題はないものと考えられる。なお管理区分とは、作業環境管理の良否を判断する指標であり、作業環境管理が適切であるとされる管理区分Ⅰから、適切でないと考えられる管理区分Ⅲまでに分類される。

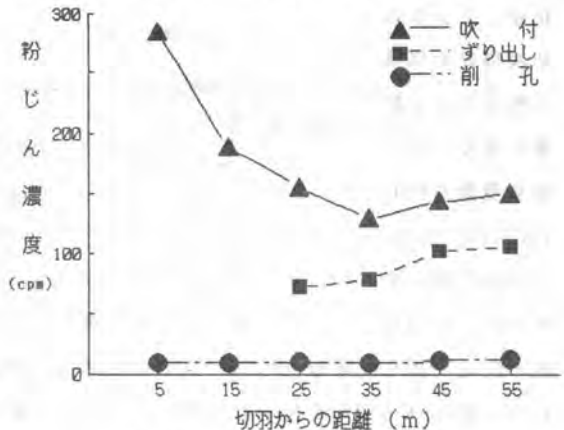


図-3 粉じん濃度計測結果

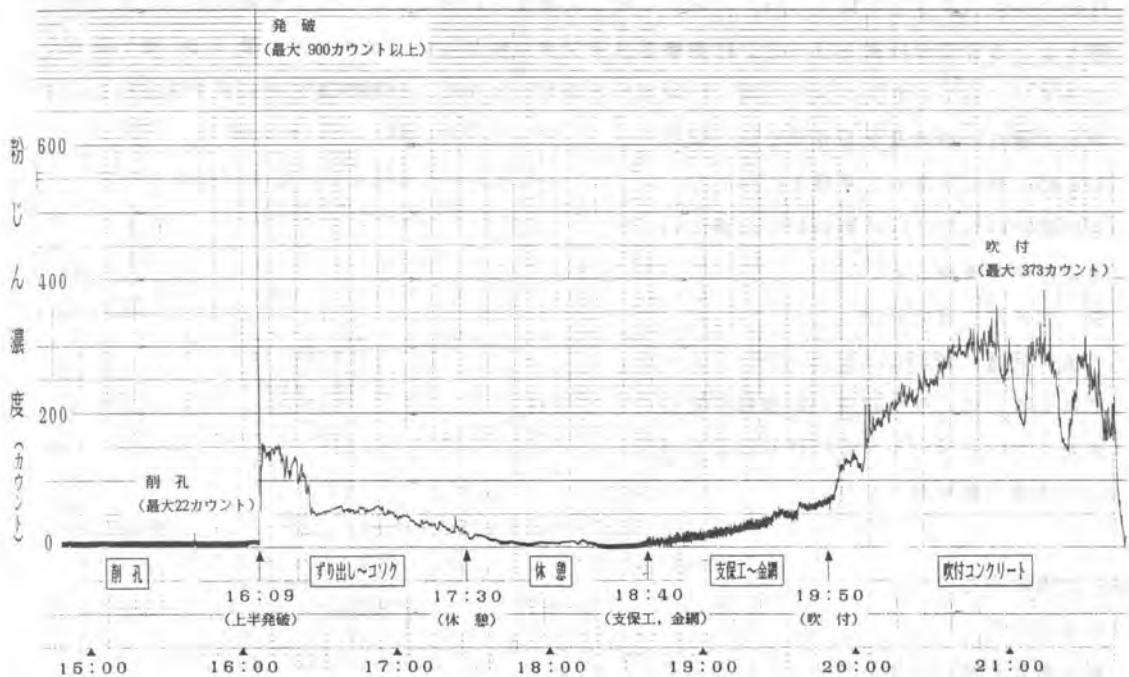


図-4 粉じん濃度の経時変化測定結果

- ② ずり出し作業時における粉じん濃度の管理区分はⅡであった。しかし図-4からもわかるように、ずり出し時間の経過とともに粉じん濃度は低下する傾向にある。これはずり出し初期には、発破によって発生した粉じんの影響を受けているためと考えられ、発破後10~15分の換気を行い、この影響を取り除けば、ずり出し時の粉じん濃度は図-3よりも20%程度低下する。このことから、ずり出し作業時における1560m<sup>3</sup>/minの換気は有効に働いているといえる。

③ 吹付コンクリート作業時における粉じん濃度は、計測した工種中最も大きく（管理区分Ⅱ）、吹付コンクリート作業で発生する粉じん量が最も多いことが確認された。これまでに計測した換気風量1000m<sup>3</sup>/minクラスのトンネルでの値と比較すれば、粉じん濃度は半減しており、大風量換気の効果は認められる。しかし、よりよい作業環境を求め管理区分Ⅰを実現するには、さらに大風量（例えば2000m<sup>3</sup>/minクラス）の換気設備の適用を今後検討する必要がある。

### 3) 使用電力量

本換気システムの各月旬間における風量ごとの運転時間比率を図一5に示し、各風量における運転時間を以下に示す。

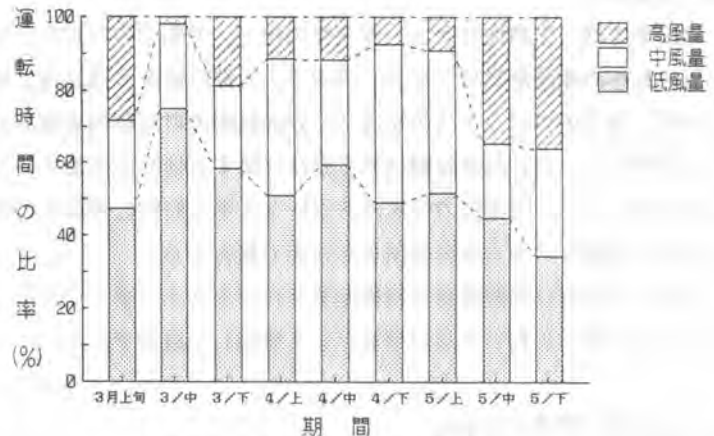
高風量：237.8時間（19.2%）

中風量：374.4時間（30.2%）

低風量：626.3時間（50.6%）

合計：1238.5時間（100%）

また、この運転に要した電力量の合計は54,645 kWhであった。これらより以下のことがいえる。



図一5 各風量での運転時間の比率

① この換気設備を風量制御なしに運転したと仮定し、風管延長を200mとして消費電力量を試算すれば、ファンの負荷率は77%程度となるから、 $150 \text{ kW} \times 0.77 \times 1238.5 \text{ h} \approx 143,000 \text{ kWh}$ の電力が必要とされる。したがって今回計測を実施した時点までにおいては、換気設備を制御運転することによって、風量を制御しない場合に比較して約60%の電力が節約できており、ランニングコストに関して、風量制御の経済的な効果が認められる。

② しかし、図一5によれば3～4月では、高風量での運転時間の比率が10%前後であったが、5月ではこの比率が35%程度に増加している。これは施工延長が増加するにつれて、外部との自然換気が行われにくくなったこと、また風管延長の増加に伴い風管抵抗や漏風が増加し、換気の効率が低下してきたこと、さらに防音トビラ設置の影響なども考えられる。したがって、制御運転状況に関しては今後とも注目する必要があると思われる。

## 4. あとがき

これまでの計測から、作業環境の改善に換気風量を増加することが有効であり、さらに設備の大型化に伴うランニングコストの増大に対して、粉じん濃度による風量制御がよい対策になり得ると考えられる。今後同一作業において、換気風量を強制的に変化させた条件で粉じん濃度の計測を行い、換気風量の増加による作業環境への影響をより明らかにするとともに、覆工コンクリート作業が開始された時点において、複数の粉じんセンサを設置し、切羽付近と坑内全体の両方を考慮できるシステムにする予定である。また、換気設備の使用電力量を継続的に調査し、インシヤルコストも含めて従来設備との最終的なコスト比較を行う予定である。

## 9. レーザ測量による出来高の管理システム

(株)小松製作所： 小野 豊一・小野 義久  
安藤 学・浅山 芳夫

### 1. まえがき

建設業では、生産性の向上、安全性の向上、労働力の対策などが問題として取り上げられている。「21世紀への建設産業ビジョン」の中で、先端技術を有効活用し建設技術の高度化、施工システムの合理化、施工のロボット化等を通じて建設技術の付加価値を高めることの必要性を指摘している。<sup>1)</sup>これに対して、当社は建設機械の自動化に関する研究を進めているが、今回土木工事の施工から管理まで考慮して、土工機械の位置決めが行なえると同時に作業後の地形も評価できるレーザ測量による出来高の管理システムを開発試作したので報告する。

なお、本研究は建設省総合技術開発プロジェクト「エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発」において共同研究として実施した成果である。<sup>2)</sup>

### 2. 出来高の管理システム

#### 2.1 システムの構成

本システムは土工機械の整地作業を対象として作業者の支援を行うことを目的としており、今回はこれをブルドーザの均平掘削作業に適用してシステムを構成している。

本システムを実際の作業現場に設置した場合の外観図を写真-1に示し、またシステムの構成図と機能ブロック図を図-1、図-2に示す。このように、システムは地上側装置と車載側装置を有するが、機能的には下記の2つの部分で構成されている。

- 1) 位置検出部 : レーザ測量により土工機械の三次元位置を検出して出来高情報に変換する。  
( ①受光器P, Q ②位置計測コントローラ ③車載モニタ )
- 2) 情報表示部 : 土工機械の位置情報と作業の出来高情報を示して作業の支援を行う。  
( ④投光器A, B ⑤地上モニタ )



写真-1 作業現場におけるシステムの設置状況

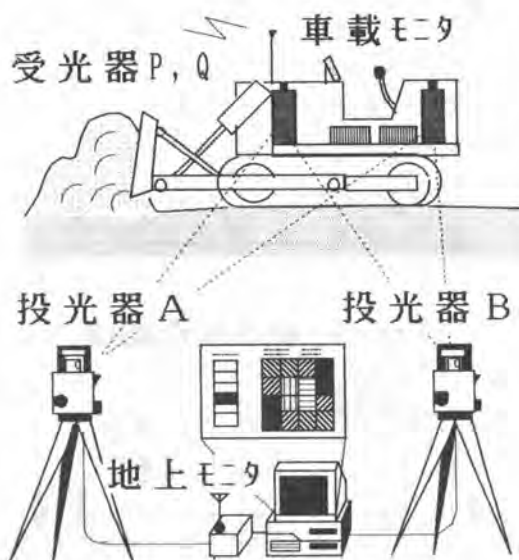


図-1 システムの構成図

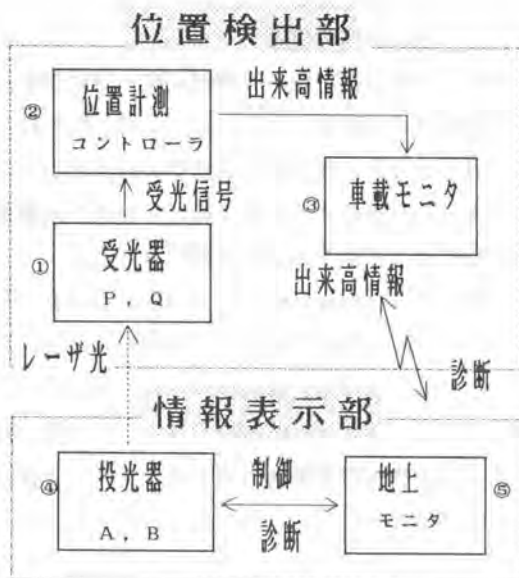


図-2 機能ブロック図

## 2.2 システムの機能 (ブルドーザの均平掘削作業仕様)

### 1) 基準平面の形成

地上側で予め距離がわかっている2点にレーザー投光器を2台設置して、2台の投光器を同期制御しながら回転させてレーザー光の基準平面を形成する。

### 2) ブルドーザの位置計測

ブルドーザに装備した受光器でレーザー光の基準平面を検出し、三角測量によりブルドーザの高さおよび水平面の位置からなる三次元位置情報を位置計測コントローラにより算出する。

### 3) 作業機の制御

ブルドーザの三次元位置情報と作業機の位置センサ出力を作業機コントローラに入力し、作業機の高さが常に目標の高さとなるように制御する。

### 4) 出来高の管理

位置計測コントローラによりブルドーザの三次元位置情報を作業後の地形を表す出来高の情報に変換・記憶し、これをブルドーザ側および地上側で表示して作業の出来高の管理に利用する。

## 2.3 システムの特長

- 1) レーザ光による土工機械の三次元位置計測が可能である。
- 2) 土工機械側でリアルタイムの位置計測を行うので作業機の制御に利用できる。
- 3) 高速で高精度な作業機の制御により、土工作業が容易に行える。
- 4) 土工機械の三次元位置情報を変換して、作業の出来高の管理情報として利用できる。
- 5) 土工機械の作業状況が土工機械側および地上側の双方で同時に監視できる。



### 3. 計測と表示の原理

#### 3.1 水平方向の位置

水平方向の位置計測の原理図を図-3に示す。

車載受光器の位置  $P(X_1, Y_1)$   $Q(X_2, Y_2)$  は、図-3のように、投光器Aを座標の原点として投光器A, Bを結ぶ方向をX軸とすれば三角測量の原理によって以下のように算出される。

$$X_1 = L_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \sin \beta_1 / \sin(\alpha_1 + \beta_1)$$

$$Y_1 = L_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot \sin \beta_1 / \sin(\alpha_1 + \beta_1)$$

$$X_2 = L_1 \cdot \cos \alpha_2 \cdot \sin \beta_2 / \sin(\alpha_2 + \beta_2)$$

$$Y_2 = L_1 \cdot \sin \alpha_2 \cdot \sin \beta_2 / \sin(\alpha_2 + \beta_2)$$

また土工機械の姿勢角(ヨーイング)  $\psi$  は、

$$\psi = \tan^{-1}((X_2 - X_1) / (Y_2 - Y_1))$$

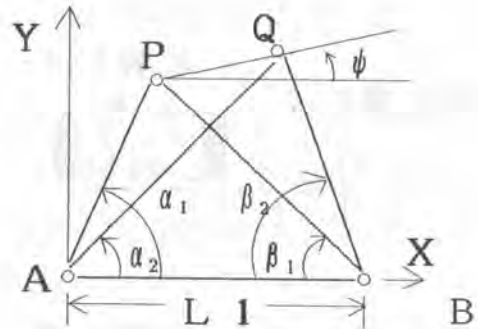


図-3 水平方向の位置計測

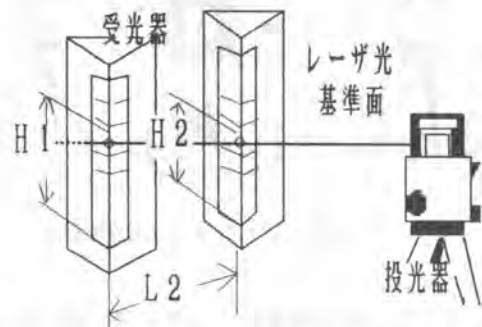


図-4 鉛直方向の高さ計測

#### 3.2 鉛直方向の高さ

鉛直方向の高さ計測の原理図を図-3に示し、土工機械の接地面高さの算出法を図-4に示す。

車載受光器の高さ  $P(H_1)$   $Q(H_2)$  は、図-4のように、レーザ光の基準面を0とした場合の高さ  $H_1$ ,  $H_2$ として検出される。これより土工機械の傾斜角(ピッチング)  $\theta$  は、以下のように算出される。

$$\theta = \tan^{-1}((H_1 - H_2) / L_2)$$

また土工機械の接地面の高さ  $H$  は、図-5のように、車載受光器の高さ  $H_1$ ,  $H_2$  とオフセット  $H_0$  から以下のように算出される。

$$H = (H_1 + H_2) / 2 + H_0$$

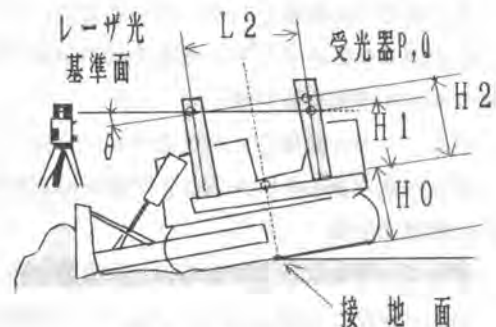


図-5 接地面高さの算出法

#### 3.3 出来高情報の表示

作業の出来高情報は例えば以下の項目からなる。

- 1) 水平方向の位置情報: 位置  $(X, Y)$ , 姿勢角  $\psi$
- 2) 鉛直方向の位置情報: 高さ  $H_1, H_2$ , 傾斜角  $\theta$
- 3) 作業状況の地図情報: 作業後の接地面高さ  $H$
- 4) システムの診断情報: エラーNo., メッセージ

なお、以上の内容を車載モニタに表示した例を図-6に示す。

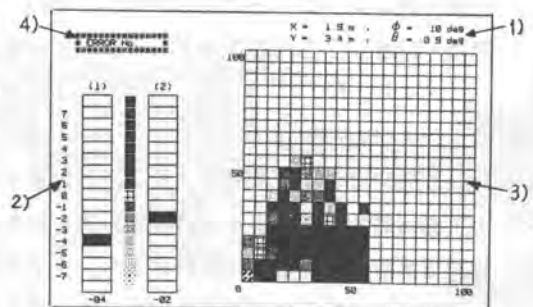


図-6 車載モニタの表示例

#### 4. システムの主仕様

水平面における位置計測の範囲	100m×100m
水平面における位置計測の精度	±0.1m
鉛直方向の位置計測の範囲	0.3m
鉛直方向の位置計測の精度	±0.01m
位置計測の所要時間	0.05秒
水平面における地図表示の範囲	100m×100m
水平面における位置表示分解能	1m
地図表示の更新周期	1秒

#### 5. あとがき

土工機械の三次元位置決めを行うと同時に、作業後の地形も評価できるレーザ測量による出来高の管理システムについて述べた。なお、作業後の地形評価機能を確認するため簡単なテストを行なったので、そのテスト現場外観と結果である鳥瞰図を写真-2、図-7に示す。

本システムの適用により、施工現場で走行・作業を行う建設車両等の三次元の位置や姿勢を自動的に計測することができる。これによって施工現場の地形状況をただちに把握して、土木施工の計画、土工量の算出、土工作業の最適化、出来高の評価・管理等が可能となる。



写真-2 地形評価のテスト現場

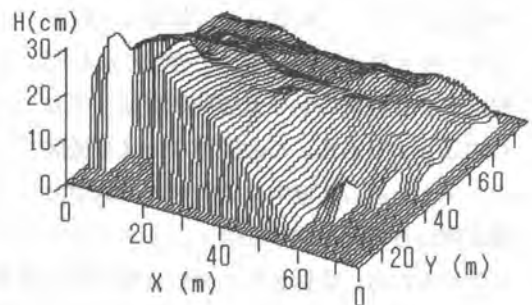


図-7 テスト現場の鳥瞰図

#### 謝辞

本研究を進める上でご指導・ご協力を戴いた建設省土木研究所機械研究室の皆様へ感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 長谷部正和：機械土工技術の展望，建設機械，pp19～21，1987
- 2) Kenji CHO：Development of Advanced System for Construction Technologies with Proper Use of Electronics，International Symposium on Robotics in Construction, pp57～64, 1988



## 10. 埋設物探査地中レーダの開発

(株)小松製作所： 金光 保雄・片山 幸教・市村 泰彦  
坂西 昇一・阿部 友行・岡本 晃

### 1. まえがき

現在、都市部の地中には水道管、下水管、ガス管、電力ケーブル等が複雑に埋設されており、地下工事を行なう際には試掘を行ないあらかじめ埋設管の位置を確認する必要がしばしば生じる。そこで試掘に要する費用の低減及び工期の短縮のために地中の埋設管の位置を非破壊的に探査する装置の開発が期待されている。

この目的のために埋設物探査用地中レーダの開発を行なった。地中レーダ法（電磁波反射法）は、非金属管も検知できる点、分解能がよい点において他の方法（電磁誘導法等）に比べて優れている。本稿では、開発した地中レーダの構成、埋設物の深さ推定法、テストフィールドにおける試験結果、現場フィールドにおける探査結果について報告する。

### 2. 装置の構成

地中レーダは電磁波を地中に放射し、地中の物体からの反射波を受信することによって地中の状態を探査する装置である。図1に今回試作した埋設物探査用地中レーダの構成図を示す。バルサにおいて送信波形が生成される。これはパルス幅3 ns程度のモノサイクルパルスで、その繰り返し周期はトリガ回路のトリガ信号に同期しており約3  $\mu$ sである。この送信パルスが送信アンテナを通して地中に放射され、地中の埋設物からの反射波が受信アンテナによ

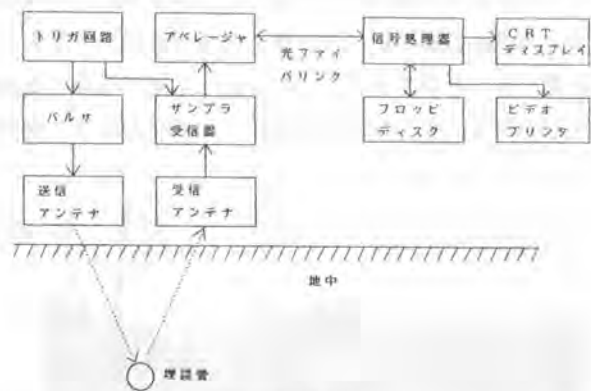


図1 地中レーダの構成図

って受信される。受信された波形は受信機でゲイン調整された後サンブラでサンプリングされてデジタル信号化される。そのデジタル信号は  $s/n$  比を向上させるためにアベレージャで同相加算される。その後この信号は光ファイバリンクで信号処理器に送られそこで256階調のBモード信号に変換されてCRTディスプレイ、ビデオプリンタ、フロッピーディスクに送られる。CRTディスプレイは白黒256階調になっており、これによって信号レベルの僅かな変化でも検知できるようになっている。

図2は試作した地中レーダの写真である。aはアンテナ台車部であり、この部分を人間が引っ張って探査を行なう。bはディスプレイ部であり、車等に搭載して使用する。なお通常本装置はアンテナ部1名、ディスプレイ部1名、合計2名で操作することができる。

### 3. 埋設深さの推定

地中レーダによる埋設管探索の大きな問題の一つに埋設深さを精度よく推定することがむづかしいという点があった。本装置では以下に述べる方法によってこの問題を解決している。

埋設管の深さを  $z$ ，反射波が返ってくるまでの時間を  $t$ ，電磁波の伝搬速度を  $v$ ，とすると (1) 式の関係がある。(2) 式で  $c$  は真空中での光の速度， $\epsilon_r$  は土の比誘電率である。

$$Z = (V \cdot t) / 2 \quad (1)$$

$$V = c / \sqrt{\epsilon_r} \quad (2)$$

地中レーダが埋設管を横切るように探索した場合を考える。電磁波のビーム指向性が広いので、埋設管がアンテナの真下から横にずれていても反射波が戻ってくる。従って地中レーダの水平方向移動距離を  $x$  とすると埋設管からの反射波はBスコープ上では (3) 式のような双曲線状の画像になる。

$$(t^2 - t_0^2) \cdot (v/2) = (x^2 - x_0^2) \quad (3)$$

ここで  $t_0$  は埋設管がアンテナの真下にある場合の反射波が戻ってくるまでの時間， $x_0$  は埋設物の水平方向の位置を示す。従ってBスコープ上の双曲線（埋設管エコー像）から  $t_0$ ， $v$ ， $x_0$  を求めればそれらの値から埋設管の深さ及び水平位置を推定することが出来る。本装置では埋設管の反射波による双曲線の表示された画像上にもう一つの双曲線 ( $t_0$ ， $v$ ， $x_0$  をパラメータとして持つ疑似エコー像) をプロットし、後者の双曲線のパラメータを変化させて前者の双曲線にぴったりと重なるようにする。図3に二つの双曲線を重ね合わせる手順を示す。その重なったときの後者の双曲線の値から実際の埋設管の深さ及び水平位置を推定する。また同時に地中の電磁波の伝搬速度及び土の比誘電率も推定できる。



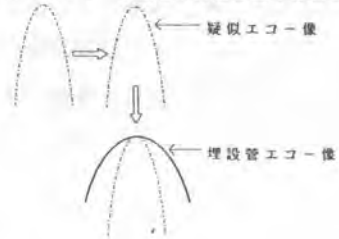
a. アンテナ台車部



b. ディスプレイ部

図2 試作した地中レーダの写真

STEP 1 双曲線の頂点位置を合わせる



STEP 2 双曲線カーブを合わせる

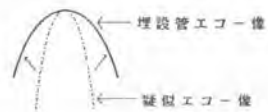
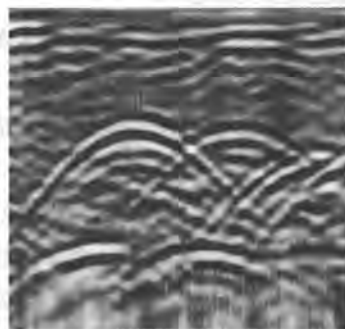


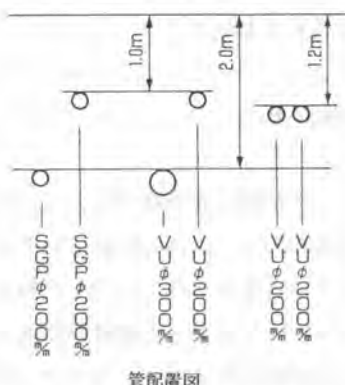
図3 双曲線を重ね合わせる手順

#### 4. テストフィールドにおける試験結果

本装置の有効性を確認するためにテストフィールドにおいて探査試験を行なった。図4に探査結果の画像の一例を示す。各々の埋設管の位置に対応する画像上の位置にそれぞれ明瞭な双曲線状の像が現われている。この画像に対して前節で述べた方法を適用して埋設管の位置を推定したところその誤差は水平方向は±10cm以内、深さ方向はその深さに対して10%以内であった。また土の比誘電率は8~9であった。このテストフィールドは均一な山砂のうえにアスファルト舗装を施したものである。そのほかにも関東ロームのテストフィールドでも探査試験を行なったが探査精度に関してはほぼ同じ様な結果を得た。但し、この場合土の比誘電率は25程度であった。



探査画像



管配置図

図4 テストフィールドにおける探査画像例

#### 5. 現場フィールドにおける探査結果

市街地における本装置の検知性能を調べるために東京都内及びその近郊の数ヶ所において探査実験を行なった。探査結果を正確に評価できるように現場は既に試掘されて埋設管の位置が正確に判っているところを選んだ。表1に探査結果をまとめたものを示す。全体での検知率(検知本数を埋設本数で割った値)は76%であった。表

1.aは探査場所別の検知率を示したものである。これによって検知率が探査場所によってバラついていることがわかる。表1.bは埋設深さ別の検知率を示したものである。これによって100~150cmの埋設深さの埋設管はよく検知できているがそれよりも浅くなったり深くなったりすると検知率が低下することがわかる。この原因としては埋設深さが深くなった場合には電磁波の減衰が大きくなる

探査場所	埋設本数	検知本数	検知率
A	17	13	76%
B	25	21	84%
C	18	12	67%
D	3	2	67%
合計	63	48	76%

表1.a 探査場所別検知率

深さ(cm)	埋設本数	検知本数	検知率
0~60	5	3	60%
60~100	16	11	69%
100~150	33	29	88%
150~	9	5	56%

表1.b 探査深さ別検知率

管種	埋設本数	検知本数	検知率
金属管 100φ未満	9	7	78%
金属管 100φ以上	32	25	78%
非金属管 100φ未満	11	7	64%
非金属管 100φ以上	11	9	82%

表1.c 管種別検知率

こと、浅くなった場合には径の小さい埋設管が多くなることが考えられる。表1,cは埋設管種別の検知率を示したものである。これによって管径の小さい非金属管は他のものに比べて検知率が低いことがわかる。そのほかに検知率に大きな影響を与えるものとして土質がある。図5は狭い範囲に多くの掘削跡のある現場を探索した場合の探索画像である。ここでは埋設管に対して平行に探索しているので、埋設管の像は水平な直線になるはずである。ところが実際の探索画像上では掘削跡の所で直線が途切れている。これは掘削されて埋め戻された土における電磁波の減衰がもとの土におけるそれよりも大きいことを示している。一般に市街地の道路はいたるところ掘り返されているので、ある場所で検知できなくてもそこから2~3mはなれたところでは検知できるとゆうことがしばしば生じる。図6に現場フィールドにおけるもう一つの探索画像例を示す。左端にある2本の埋設管は接近しているので画像上では一つの双曲線になっている。実際今回の現場探索で検知できなかった埋設管のうちの数本はこのような場合であった。表2に現場フィールドで探索した埋設管の深さ精度を示す。これによると90%以上の埋設管について±10cm以内の誤差で深さ推定されていることがわかる。但し、全体に推定値の方が深めになっているのでこの点に関しては改良の余地があると思われる。

## 6. あとがき

地中の埋設物を非破壊的に探索する装置として地中レーダを試作し、探索試験を行なった。市街地における探索試験では埋設管のうちの76%を検知することができた。また埋設深さ推定精度は90%以上の埋設管について±10cm以内であった。この結果より地中レーダを用いることによって本工事前の試掘の回数を大幅に低減できる可能性のあることがわかった。今後さらに種々の現場において探索試験を行ない、その結果に基づいて試掘回数を低減するための探索ノウハウを高めていく予定である。

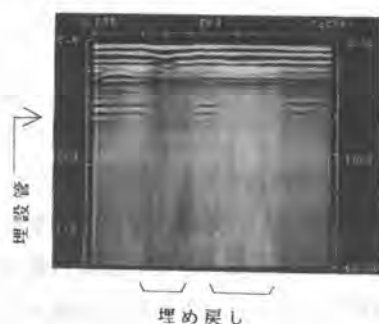


図5 現場フィールドにおける探索画像例  
(土質の変化がある場合)

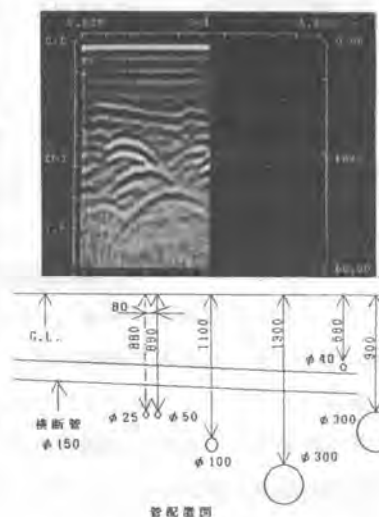


図6 現場フィールドにおける探索画像例  
(埋設管が接近している場合)

精度(cm)	分布	精度(cm)	分布
~-10	0%	+5~+10	15%
-10~-5	0%	+10~+15	3%
-5~0	18%	+15~+20	5%
0~+5	59%	+20~	0%

表2 探索深さ精度  
試掘によって確かめられた値と  
探索によって推定された値の差

## 11. 地山探査レーダ(ボイドシーカ)の開発

(株)小松製作所： 坂西 昇一・片山 幸教・金光 保雄  
市村 泰彦・阿部 友行・岡本 晃

### 1. はじめに

都市部における下水道、通信ケーブル、送配電ケーブルの敷設、地下鉄工事には、シールド機械が多く用いられるが、切羽面を目視できない密閉型シールド機械においては、切羽面を安定させながら掘削すること、また、地山の緩みや、崩落による空洞をいち早く検知し然るべき処置をすることが課題であった。

そこで、シールド機械近傍0~30 [cm]の地山の状態をリアルタイムに検知する地山探査レーダ=ボイドシーカを開発した。本稿では、開発したボイドシーカの構成、信号処理方法と、名古屋地下鉄椿町工区における実験結果について報告する。

### 2. 装置の構成

本装置は、電磁波を放射すると、電気的特性(誘電率、導電率)の異なった物質の境界面で反射波を生ずるというレーダの原理を応用したものである。電磁波を地山に放射し、その反射波を計測することで、空洞などの有無、大きさを検知する。

本装置は、アンテナ、コントローラ、演算処理装置の3つの部分で構成されている。本装置の構成図を図-1に、アンテナとコントローラの外観を図-2に示す。

#### 1) アンテナ部

アンテナは、シールド機械のスキンプレートに取り付けられて、地山に対して電磁波を放射して、反射波を受信する。

送信アンテナと受信アンテナを同一のボックスにコンパクトに配置することで、シールド機械にあける穴の面積が、小さくなるようにした。また、アンテナを保護するプレートは、耐摩耗性、電気的特性を考慮して選定した。

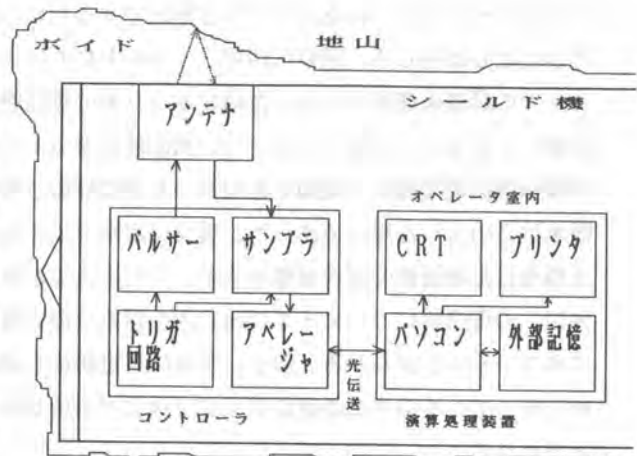


図-1 ボイドシーカの構成

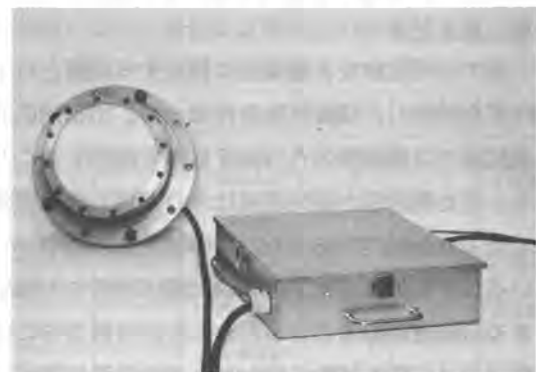


図-2 アンテナとコントローラ



## 2) コントローラ部

コントローラは、アンテナの近傍に設置される。パルサーは、電圧20 [V<sub>p-p</sub>] 周波数1 [GHz]の高周波モノサイクルパルスを生成し、トリガ回路の送出タイミング周期1 [μSEC]で、送信アンテナに対して送出する。また、サンブラは、受信アンテナからの信号波形を、低周波に変換し、さらにアバレージャは、A/D変換、加算平均処理を行ない、演算処理装置とのデータ伝送を行なう。

コントローラ部は、シールド機内の作業場所付近に設置されるので、温度、湿度などの耐環境性を考慮して設計した。特に、データ伝送に関しては、モータ等のノイズ源からの悪影響を避けるため、光伝送を採用した。

## 3) 演算処理装置部

演算処理装置は、オペレータ室内に設置される。コントローラから送られてくる受信信号を1リング掘削作業に合わせて2次元情報に変換し、表示、記録、日報印刷などを自動的に行なう。また、計測終了後に、各種画像処理を行なってデータの解析を行なう。さらに、コントローラに対して、加算平均回数(最大1024回)や、計測レンジ(25、50、100 [nsec])などの計測パラメータの設定を行なう。

図-3に受信信号の2次元変換原理図を示す。反射波形を256点に分割し、各点の強度に応じて、16段階の濃淡をつけて、シールド機の掘削距離に合わせて表示することで、シールド機械天端近傍地山の2次元断面図が表示される。

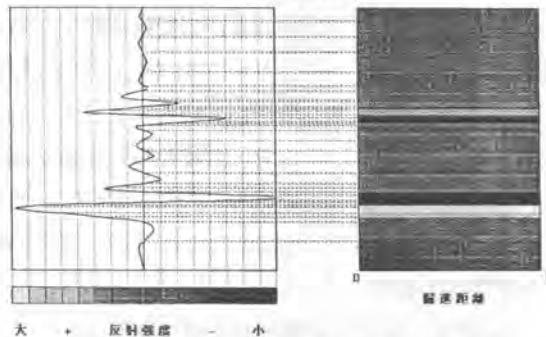


図-3 受信信号の2次元変換原理図

## 3. 自動計測

本装置は、オペレータの作業負担を増やさないようにカット回転指令、推進ジャッキ伸び指令、及び、ジャッキストローク長から、計測の開始、終了信号を検出して、自動的に、計測を行なうようにした。図-4に自動計測フローを示す。

・カット回転指令、推進ジャッキ伸び指令ともにオンで計測開始信号が発生し、計測状態になる。

・計測状態で、掘進長さが4mm増加するごとに1ラインずつデータを記録してゆく。

・計測状態で、カット回転指令、推進ジャッキ伸び指令がオフしたときに、ジャッキストローク長が指定長さ(≒1リングの長さ)を越えていれば、計測終了信号を発生して、計測を終えて、レポートを印刷する。また、指定長さを越えていなければ、休止状態になり、記録を一時中止する。

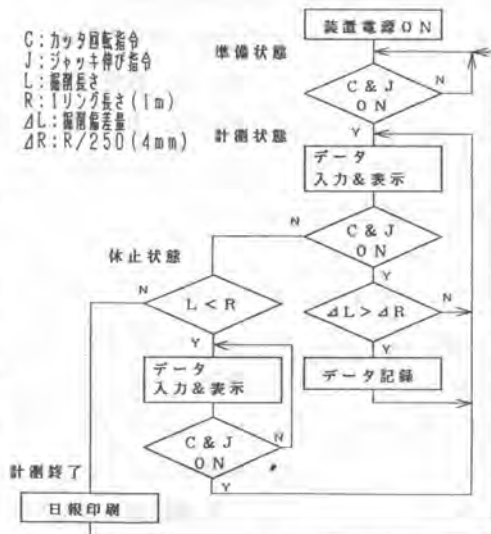


図-4 ボイドシーカの自動計測フロー



#### 4. 画像処理

本装置は、微小な信号波形を検出するため、減算処理、相関演算処理、STC処理など各種処理機能を持つ。

##### ・減算処理

本装置は、送受アンテナを別々にもつタイプであるので、送信アンテナと受信アンテナの間の電磁波のダイレクトカップリングが、アンテナ近傍からの信号をマスクしてしまうという問題があるが、予め、ダイレクトカップリング波のみを計測し、それをメモリ内に蓄えて置き、計測波形より減ずることにより、反射波形のみを抽出することができる。図-5にアンテナと地山の間隔が2 [cm] の場合の波形の減算処理結果を示す。

A波は地山が近傍にある場合の受信波形である。B波は同一媒質における、ダイレクトカップリングのみの受信波形である（即ち、地山が遠方にある場合）。どちらも、アベレージで100回平均化してある。ここで、A波から、B波を減ずることで、C波を得るが、この波形が、近傍地山からの反射波形を示している。

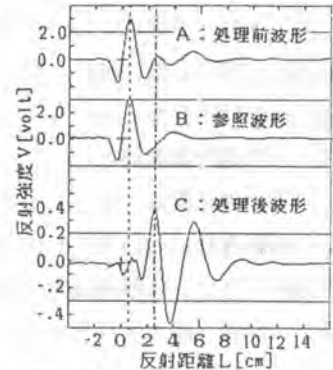


図-5 減算処理波形  
間隔2 cmの場合

##### ・相関演算処理

反射信号と同じ周波数成分を持つ信号を強調することで、S/N比の向上をはかる。図-6に処理ブロック図を示す。メモリ内に地山からの反射波形を参照波として蓄えて置く。計測波と、参照波をフーリエ変換し、掛け合わせ、再びフーリエ逆変換を行なうことで、S/N比の向上した波形が得られる。

##### ・STC処理

深さ方向に応じて、信号ゲインを増大させることで、深い位置からの微小な反射信号を強調する。また、同時にダイレクトカップリング波を抑制するので、近傍から、遠方まで全ての時間領域に渡って、信号波の検出が可能である。

##### 相関演算

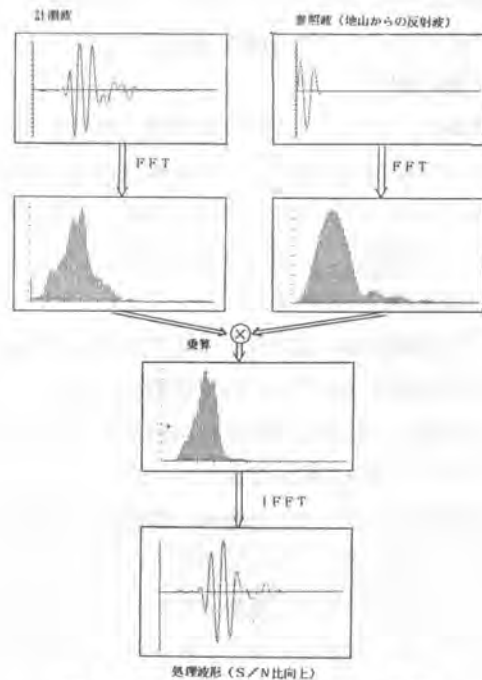


図-6 相関演算処理ブロック図

## 5. フィールドテスト

本装置を名古屋地下鉄椿町工区納入の当社製泥水シールド機械（TM725W）に取り付けて、昭和62年12月から、昭和63年4月までの間、計測を行なった。得られた結果を図-7、図-8、図-9、図-10に示す。

### [I] 安定した掘削

図-7は、掘削後の地山に何の変化もおこらなかった例である。図の下方に平行に走っている白黒の帯が、ダイレクトカップリング波と近傍地山からの反射の合成であって、この場合は、減算処理によって地山とスキンプレートの間隔が、約1 [cm] であることが判った。

### [II] 地山内の異物

図-8は、地山内に地山土質と電気的性質が大きく異なるものが存在している波形である。この前後で、排泥管から、れきが排出されたことから考えて、これもその1つであると推定される。

### [III] 空洞

図-9（相関演算処理画面）は、地山内に幅約20 [cm] 深さ約10 [cm] 程の空洞が生じていることを示している。規模が小さいため、裏込め量、掘削乾砂量等に大きな影響は現われなかった。

### [IV] 地山の緩み

図-10（STC処理画面）では、左下から右上にかけて、（掘削方向）不安定で、微弱な反射が広がっている。この計測位置の裏込め量が、他の場所に比べて、多かったことから考えて、これは地山の緩みを示しているのではないかと推定される。

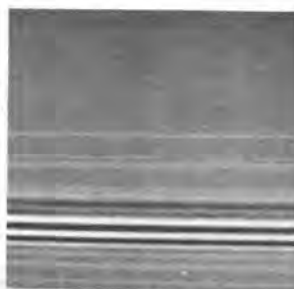


図-7 正常掘削時の計測画面

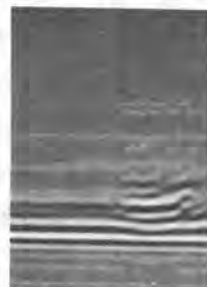


図-8 異物が存在した場合の計測画面

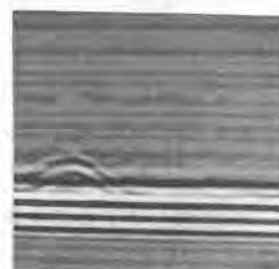


図-9 空洞が生じた場合の計測画面

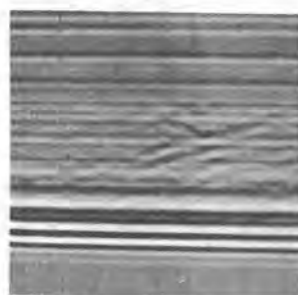


図-10 地山の緩みを示す計測画面

## 6. まとめ

UHF帯の電磁波を用いた泥水シールド機械用の地山探査レーダシステム=ボイドシーカを開発し、名古屋地下鉄椿町工区にて、4ヶ月間地山の観測を行なった。その結果、本装置がシールド機械近傍0～30 [cm] の空洞、異物などの地山の変化をとらえることができること、過酷な環境の中（温度、湿度、水圧等）でも問題なく動作することを確認できた。

最後に、この装置のフィールドテストの実施、及び本稿をまとめるにあたり、シールド施工に関する様々なお助言を頂いた名古屋市交通局、及び、鹿島・飛鳥・大豊・東亜建設共同企業体 地下鉄椿町工区JV工事事務所の皆様に心から感謝の意を表します。

## 12. タワークレーン総合監視システムの開発

(株)竹中工務店： 山下 進・山田 弘道・田中 幸一郎  
宮崎 喜代一・石嶋 浩

### 1. まえがき

原子力発電所建設工事等の大規模工事では、タワークレーンを使用する機会が多い。タワークレーンは、資材量、重さ等の関係上益々大型化し、据付位置も接近して、数多くの台数が設置される傾向にある。またクレーンによる労働災害も依然あとを絶たず、一度災害が起れば直ちに重大災害につながる危険性がある。このようなことから昭和58年にタワークレーン衝突防止装置を、H原発工事に採用した。その後稼働データ収集システムを加えたものをK原発工事(昭和61年)に適用させ、その実績をふまえて今回「タワークレーン総合監視システム」を完成させた。写真-1にタワークレーン設置状況を示す。



写真-1 タワークレーン設置状況

以下にその概要について示す。

### 2. システムの概要

本システムは、[衝突防止システム]、[稼働管理システム]から構成され、機器構成としては、ホストシステムと、ブランチシステム及びサブシステムから構成されている。

図-1に本システムの全体機器構成図を、表-1に主な仕様を示す。

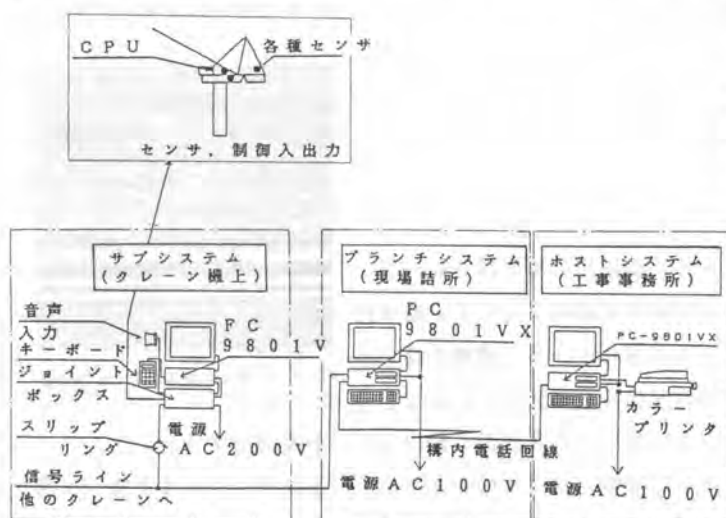


図-1 システム全体機器構成図

表-1 総合監視装置仕様

個別台数	最大10機 最小1機(別固定障害物)
突	最大敷設ケーブル長 1 Km(ホスト又はブランチまで)
防	警戒方式 三次元 座標値算定方式
止	警戒距離設定 任意設定 単位 0.1m毎
シ	固定障害物警戒 8 線分 6ポイント(各クレーン毎)
ス	警戒出力 音声 警報
テ	停止出力 音声警報、リレー出力
ム	
稼	レコード番号、日付、クレーンNO、
働	稼働開始時刻、玉出し時刻、資材種別
管	休止種別、吊向荷重、吊上、吊下位置
理	最大瞬間風速、平均風速、
シ	
ス	資材種別 8 種類 (最大15 種類)
テ	休止種別 5 種類
ム	風速計測時間 24時間、10分毎
	稼働予定表作成 6:00-21:00 10分単位 8 作業

### 3. 衝突防止システム

衝突防止システムは、サブシステムで検出されたクレーン位置データ（旋回、起伏、巻上）及び、予め設定されたパラメータ（クレーン位置座標、クレーン各諸元、警戒・停止距離、固定障害物）とブランチシステムを通じて送られてきた他のクレーン位置データを解析して、接近監視を続け状況に応じて、警報、停止動作を行ないクレーンの安全を確保するシステムである。通常作業時は、クレーン位置を監視画面上に平面、立面合成グラフィックで刻々写し出し、各クレーンの動作状況が一目で把握できる。また、警報、停止動作を行う場合、音声による状況告知を行なうと同時に監視画面上に衝突回避方向の表示を出す。

#### <衝突防止システムの特徴>

- ① 最大16台のクレーンを制御できる。
- ② パラメータの設定（クライミングによる高さ変更、ジブ長さの変更、固定障害物等）が、現場詰所で可能である。
- ③ クレーンにCPUを搭載しているため、単独で旋回規制装置としても使用することができシステムの移設、再構成が容易に行える。
- ④ 三次元制御、三次元表示による効果的な稼働ができる。
- ⑤ 接近度合に色別表示を採用（緑→黄→赤）すると共に、音声で警報、危険を知らせるため、オペレータの疲労軽減に役立つ。
- ⑥ 信号線は、四芯ツイストケーブルのため光ケーブルに比べ保守が容易であると共にコスト低減につながる。
- ⑦ 故障の時、どの機種が故障かブランチ（現場詰所）でモニタリングできる（異常の場合：白色となる）。

### 4. 稼働管理システム

稼働管理システムは、クレーン作業の状況を記録して各種日報、管理帳票を作成するシステムである。衝突防止システムにデータ入力用キーボードを接続して、マニュアル入力との併用でデータを収集して、伝送装置を通じてホストCPUに送り記録する。

ホストCPUでは、受け取ったデータをディスクに記録すると共に、稼働状況、風速状況をモニター画面にディスプレイして、一日の作業が終了すると日報をプリントアウトして次の収集にそなえる。またホストでは、オフライン作業として、各種管理帳票のプリントアウト・クレーン作業計画表の作成等を行う。表-2に発行帳票を示す。

表-2 発行帳票

1	稼働日報	9	吊荷荷重パターン集計表
2	風速日報	10	稼働状況月次グラフ
3	オペレータ乗務日報	11	荷移動パターン解析
4	稼働率月次集計表	12	吊荷、荷降ろし頻度解析
5	稼働率月次グラフ	13	風速状況月次集計
6	稼働時間月次グラフ	14	オペレータ勤務月次集計表
7	揚重回数月次集計表	15	接近警報停止回数月次集計表
8	吊荷荷重ヒストグラム		

#### <稼働管理システムの特徴>

- ① 実績の集計・分析作業の省力化が図れる。
- ② 最大瞬間風速、平均風速が、工事事務所で10分毎に確認できるので、安全管理に活用できる。
- ③ 各種日報データは、自動的にアウトプットされる。

④データ収集用キーボード(荷の種別, 業者名)の操作内容が、液晶表示パネルに明示されるため、クレーンオペレータが確認しやすい。

## 5. 各機器構成と動作

### 5.1. ホストシステム

ホストシステムは、稼働管理システムの稼働データファイリング処理及びデータの表示機能をリアルタイム処理し、稼働データの編集、日報の発行等のバッチ処理をおこなう。

#### (1) 通信制御

ホストシステムが起動すると電話回線に接続されたブランチシステムと通信を開始し、ブランチがサブクレーンから収集した稼働データと風速データをホストへ送信する。受信した稼働データはファイルし風速データは表示データとしてディスプレイする。

#### (2) ディスプレイ表示

リアルタイムにクレーン稼働状況を表示する。稼働予定実績対比画面、風速状況表示画面の二画面を持ち、ファンクションキーにて各画面を呼び出して表示する。図-2に風速状況表示例、図-3にタワークレーン稼働実績対比表示例を示す。

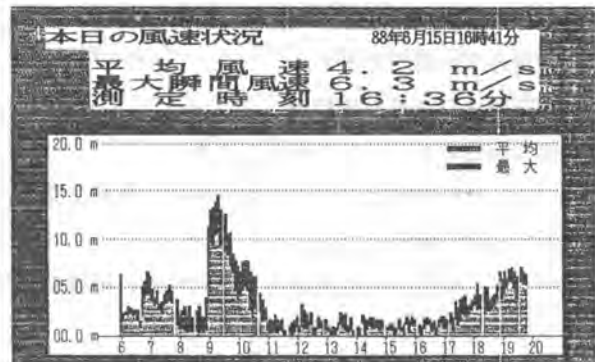


図-2 風速状況集計表示例



図-3 稼働実績対比表示例

#### (3) 日次処理

一日の作業が終了データの収集が終了するとデータの日時更新を行ない、ファイルの編集と日報の発行を行う(日時更新の実行は、24:00になると自動的に実行)。

#### (4) 月次処理

月が変わると新年度のデータを収集するために、月次処理を行う(手動)。

### 5.2 ブランチシステム

ブランチシステムは、衝突防止システムの通信管制、サブシステムパラメータの入力作業、アップロード、送られてきた稼働データ、風速データをホストへ送る中継機能である。

#### (1) 通信制御

ブランチシステムが起動すると、自らを0号機として通信ラインに接続されたブランチシステムを通じてサブシステムと交信を始め、1号機から順にサブクレーンデータを通信ラインに出力するよう連絡をとり続ける。サブクレーンが送り出したデータは、他のサブクレーンと共に受取り稼働データ風速データは、電話回線を通じホストシステムへ送信する。



## (2) ディスプレイ表示

リアルタイムにクレーン稼動状況を表示する。

## (3) パラメータの設定

サブクレーンに必要なクレーン諸元パラメータの設定は、ブランチシステムが起動した状態から、パラメータ画面に呼出しキーで入力する。入力が終わるとデータを保存し、通信ラインを通じてサブクレーンにアップロードする。

## 5.3 サブシステム

サブシステムは、クレーンの接近を監視する衝突防止機能、衝突計算に必要な他のクレーン情報を交信する通信制御及び、クレーンの稼動状況をブランチシステムに送る稼動管理システムから構成されている。図-4にサブシステム機器構成を示す。

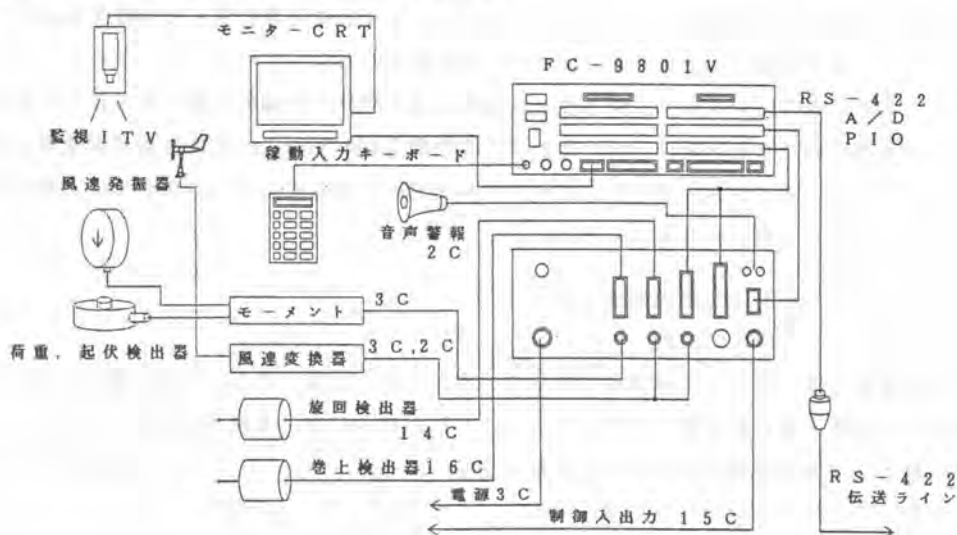


図-4 サブシステム機器構成図

## 6. あとがき

本システムは、九州電力玄海発電所3・4号機建設工事用の延14基のタワークレーンに採用され、工事完成まで長期間使用する予定であり、その成果が待たれる。今後も複数のクレーンが近接する作業所や、周辺障害物等の厳しい作業所では、本システムは必要不可欠なものになっていくと思われる。データを蓄積して、揚重作業の合理化と労働災害の防止を目指すと共に、さらに考え方を発展させて、建設機械の自動化に寄与していきたいと考えている。

最後に、本システムの適用に際し御理解いただいた九州電力(株)、工事施工会社各社と貴重な御意見をいただいた各作業所の方々や関係各位に紙面を借りて謝意を表す次第である。

## 参考文献

- 1) 「建設の機械化」 1986年 1月号……P40～44 (日本建設機械化協会)
- 2) 「建設の機械化」 1986年 6月号……P62 (日本建設機械化協会)
- 3) 「クレーン」 1985年 5月号……P29～34 (日本クレーン協会)



# 13. 超高速自動リフトの開発

(株)竹中工務店： 東藤 隆義・川村 芳男  
今井 崇賀・河崎 義信

## 1. まえがき

昭和40年代から始まった建物の超高層化に伴って、この資材揚重の合理化を図るために各社において研究がなされた。この結果、超高層建築における揚重の基本システムが完成したといえる。しかし、時代の経過とともに、さらに高層化と工期短縮傾向にある建築生産ニーズに照らし合わせると、この技術は陳腐化しつつあり改良が望まれていた。そこで、当社設計施工の代表的建物である梅田センタービル（昭和62年竣工）を対象として、ジャスト・イン・タイムに必要な資材を供給するという新しい思想をもとに、第1段階としてハード・ソフト技術を開発した。

上記考えをもとにさらにレベルアップを図り、建築生産の効率を飛躍的に高めるために、新しい機能を有する超高速自動リフトを開発した。また、この性能を100%引きだすための運用管理システムも開発し、OBP（大阪ビジネスパーク）キャッスルタワーで実用化した。本報告は、このうち主にハード面の開発について報告するものである。

## 2. 現状におけるリフト本体と周辺環境の問題点

### 2・1 設置場所とスペースの制約

リフトの設置場所は、図-1に示す通り建物の内部と外部に分類できる。外部の場合、資材の取入口等の関係より外壁工事が最上階まで残される。さらに、期中における風雨が建物内に侵入するなどの理由で、最近では内部設置が多い。そして駄目工事の最も少ないエレベータシャフトが選ばれる。

しかし、このシャフト内は、他の揚重機械設置においてもこのメリットにより利用されるため、リフトの設置台数は建築面積にもよるが、減少方向へと制約されつつある。このため、必然的にリフトの高性能化が要求されてくる。

資材の積込み・荷降しは、一般的に能率の高いフォークリフトによるが、エレベータホールの狭さよりフォークリフトの回転半径と資材長さの関係で、資材の搬出入が難しい。この場合、多くの人力でカバーしている。

### 2・2 揚重サイクルと必要人員

従来機による揚重サイクルと人員配置の実績の一例を図-2に示す。これを、効率化の観点より見た時、リフト本体については、積荷の有無にもかかわ

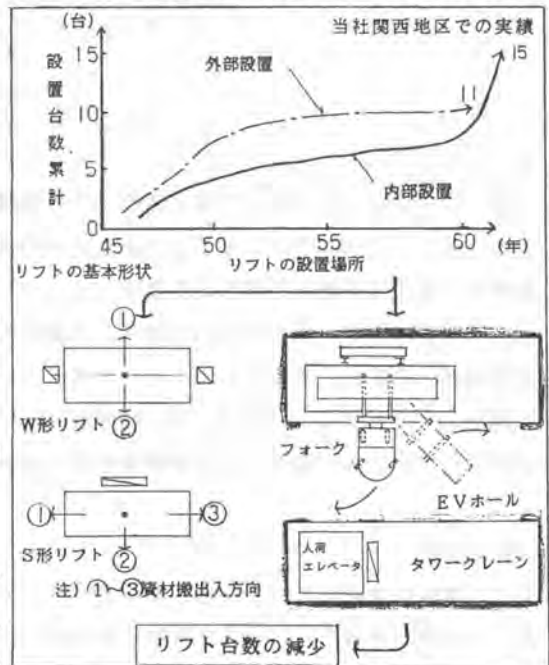


図-1 設置場所とスペースの制約

らず、上昇と下降時間が同じである。つまり  
 負荷に応じた速度変換ができていない。一方  
 資材の積み込み・荷降しに伴う時間も大きい。  
 これは、図-2備考に示す10工程の作業が必  
 要なためである。そして作業者は長時間拘束  
 されるが間欠的な作業で省人化されにくい。  
 3. 超高速自動リフトの概要

サイクルタイム：T	積み込み 作業工程 1~10 60	上昇 110	荷降し 作業工程 1~10 60	下降 110
H=100m T=340Sec				
積み込み 階	相伴工 (7r-10.12r) リフトロ. P	拘束時間		
荷降し 階	相伴工 (7r-10.12r)	実働時間		

表-1にリフトの仕様、図-3に概要図を  
 示す。

このリフトの主な特長を以下に示す。

- 1) 資材の積み込みから荷揚げ・荷降しを全  
 自動化（ワンマンによる集中制御）した。
- 2) 荷台の速度は、負荷に応じて自動的に  
 切替えられ最大速度は150m/minである。
- 3) 揚重実績把握システムを本体に装備し  
 した。

以下、この特長を可能とした個別の技術概  
 要と効果等について述べる。

### 3・1 自動積み込み・荷降しシステム

図-4に、本システムの構成を示す。資材  
 の積み込み・荷降しを自動化するには、図中の  
 ①~⑤の装置を順序よく作動させる必要があ  
 り、これはシーケンス制御を利用してい  
 る。①と⑤の装置は市場のリフトには  
 なく、自動化を成功させた装置の一  
 つである。

次に、もう一つのポイントは、超高  
 速で昇降する荷台内の各装置に電源、  
 信号をスムーズに供給できる集電装置  
 を初めて採用したことである。これに  
 より、従来行なっていた、キャブタイ  
 ヤケーブル方式によるケーブルの切損  
 等がなくなり、安全、保安全性を高め  
 るとともに、集中操作盤によるワンマン  
 コントロールが可能となり大きな省人  
 化が図れた。

- 備考) ①. 扉開(建物側)→②. 電源接続→③. 扉開(リフト)  
 ④. 把握装置作動~踏板倒し→⑤. 荷の積み降し  
 ⑥. ④の逆動作→⑦. ②の外し→⑧. ③の閉→⑨. ①の閉  
 ⑩. 降下合図(o.p)

図-2 従来の資材揚重サイクルタイムと人員配置

表-1 仕様

積載荷重	2000kg
巻上速度	0~1.3t 1.3~2.0t 150m/min (95m/min)
巻上機	37kw 60%EO(クレーンマ)
揚程	MAX 200m
荷台寸法	1500×5000 (1500×4300)
巻上索	6×W(19)20(エレベーター用ロープ) 昇降フレーム落下防止装置
安全装置	上下制限リミット付初ミット 過荷重制限装置
組立方式	頂部締定式
制御方式	一次電圧制御
操作方式	遠隔操作

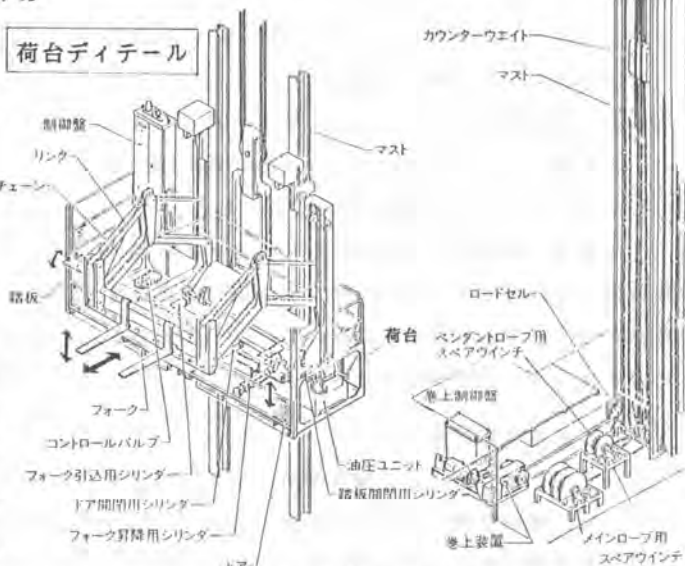
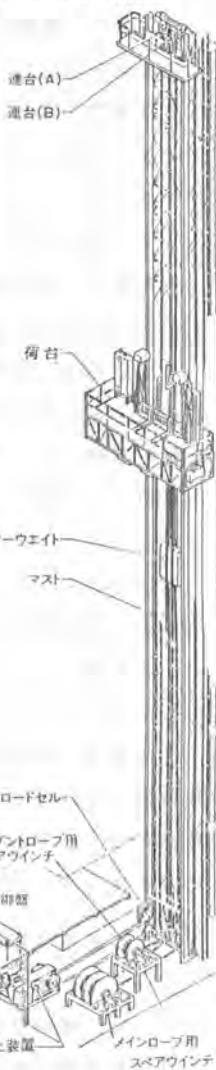


図-3 超高速自動リフトの概要図

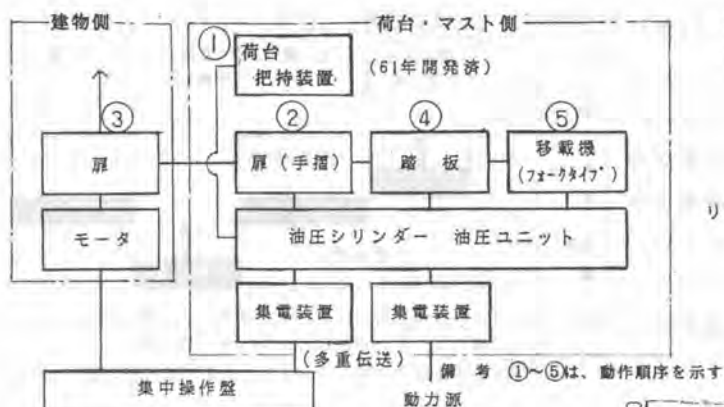


図-4 自動積み込み・荷降しシステムの構成

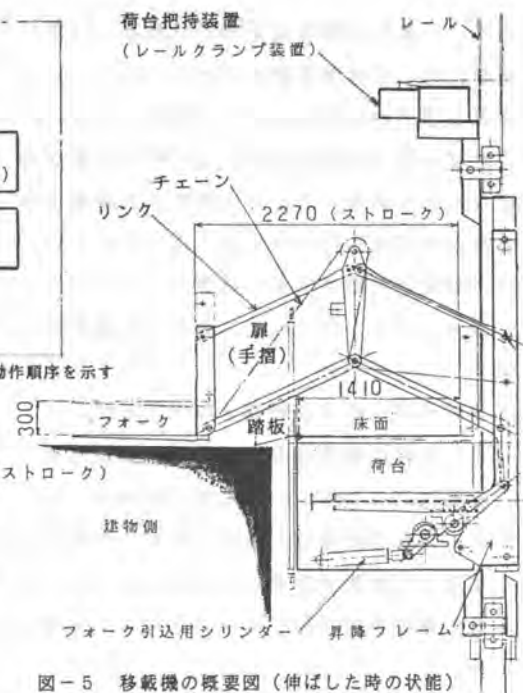


図-5 移載機の概要図(伸ばした時の状態)

図-5に、移載機の概要図を示す。これは、リンク機構を利用したフォークタイプのため、各種形状の資材運搬台車と、建物の施工段階により変化する床のレベルと凹凸に対しスムーズに資材の積み降しができる。

### 3・2 超高速化・巻上装置のコンパクト化

超高速化と巻上装置のコンパクト化を可能とした要素技術の関連を図-6に示す。

急激な発進、減速などによる荷くずれを防止し超高速化を図るために、建築クレーンで実績のある一次電圧制御(サイリスタ)と電磁クラッチの組合せを採用した。荷台の昇降方式は、ラックピニオンとワイヤーロープ式が考えられるが、前記の限界速度(約100m/min)と昇降時の騒音、イニシャルコストを考え、後者を採用した。そして巻上装置のコンパクト化を狙い、モータに対する負荷の軽減が図れるカウンターウエイト方式を採用した。

この結果、超高速にもかかわらず、モータ容量は従来機5.5kwが、3.7kwに、巻上機の据付面積は、従来7.6㎡に対し5.3㎡となりコンパクト化と合わせて省エネルギー化が図れた。

### 3・3 揚重実績把握システム

図-7に、本システムの構成機器を示す。このシステムは、運用管理システムの一部でもあり、狙いは、リフトを効率よく使用することである。揚重データを次期プロジェクトの計画、ならびに期中におけるタイムリーな計画の修正に利用する。また使用会社毎にリフトの使用料を算出し配賦すれば、より効率の良いリフトの使用が行なえ工事原価の

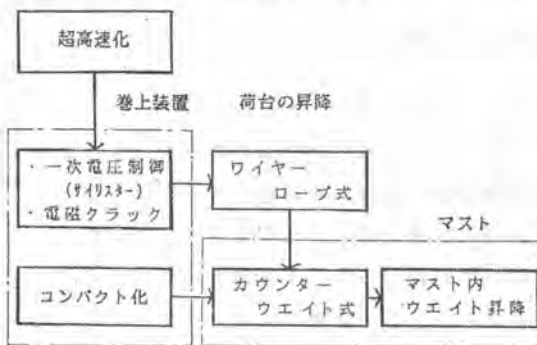


図-6 超高速・巻上装置のコンパクト化

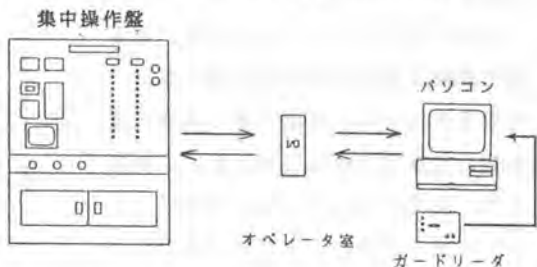


図-7 揚重実績把握システムの機器構成

低減が図れる。本システムで測定している項目は  
①リフトの運行時刻、②荷台の上昇・下降量、③  
積荷の重量、④使用会社名である。このシステム  
の特長は、作業所内労務管理で利用しているID  
カードを用い、使用会社を入力することである。

#### 4. 従来機との比較

超高速自動リフトの開発により得られた主な成  
果を従来機と比較し下記に列記する。

1) 自動積込み・荷降しシステムの開発により  
従来5人のところを1人にする省人化の可能性  
が得られた。・・・(図-8)

2) 超高速化によりサイクルタイムの減少が図  
れた。揚程100~200mで30.3~37.3%短縮  
・・・(図-9)

また、上記揚程で1日(7.5H)での揚重可能  
回数は、従来52~84回が、83~121回となり1.4  
~1.6倍の能力アップが図れる。

3) 揚重コストは、揚程100~200mで4~13%低  
減できる。・・・(図-10)

4) 巻上装置は、従来の55kwから37kwとなり、  
これによりコンパクト化と省エネルギー化が図  
れた。

5) 揚重実績把握システムの装備により、より  
効率の良いリフトの使用が可能となる。

#### 5. あとがき

超高速自動リフトは、OBPキャッスルタワーで  
昭和62年7月~63年6月まで使用され、この  
間大きなトラブルもなく順調に稼働した。ここ  
での揚重実績の最大値は、2500回/月、140回/日と膨大な揚重量を1台のリフトでこなし  
た。これを従来機で処理するには、過去の実績からも2台必要となり大きなコストダウンが図れた。これは、リフト  
の高性能化と、作業所における運用管理システムの開発による相乗効果によるものである。

今後の課題としては、資材の自動積込み・荷降しシステムに連動する基準階における水平運搬装置  
の開発を行ない、本格的な省人化に結びつけていきたい。

共同開発者 (株)竹中工務店 古田 周三・谷口 惺・中西 一吉・荒井 三武郎  
宮下 喜吉・小山 良樹・菊池 公男・山下 進  
石川島輸送機(株)

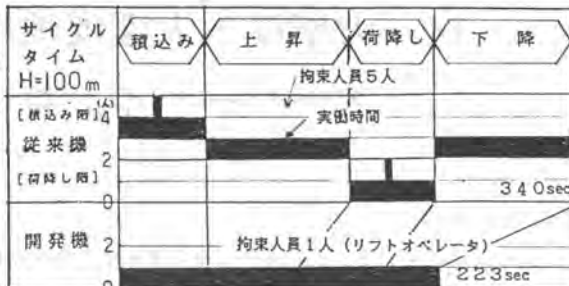


図-8 従来機と開発機の拘束人員比較

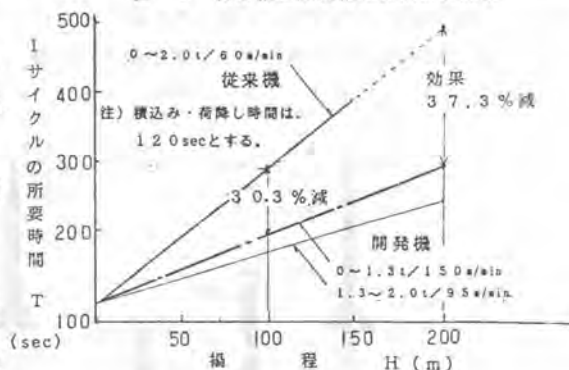


図-9 サイクルタイムの比較

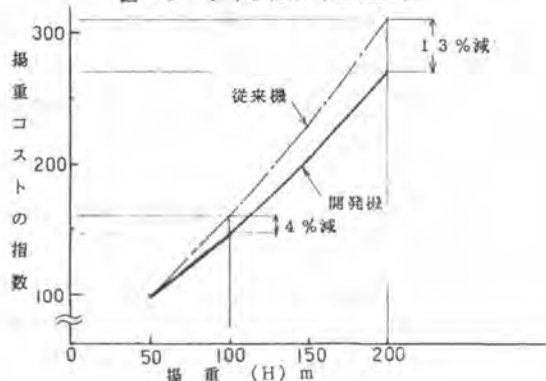


図-10 揚重コストの比較

備考  
1. 揚重コスト  $\frac{\text{日当り機械使用料}}{\text{揚重可能回数}}$  で表し、H=50mの時を100とした。  
2. 開発機と従来機の揚重コストはH=50mで同じである。

# 14. 大壁厚・大深度地中連続壁築造用掘削機 スーパーハイドロフレイズ掘削機の開発

(株)大林組：加藤 実・中村 俊男

## 1. まえがき

近年大型プロジェクトにおける地中連続壁工事の規模は大壁厚、大深度化している。このような大規模地中連続壁を築造する掘削機開発のニーズに対応できるよう大林組では高性能掘削機“スーパーハイドロフレイズ掘削機”を開発し、実験工事を経て実用化に成功した。本機は最大掘削深度 170m、壁厚 1.5m～3.2mの地中連続壁が施工でき、適応地質は岩盤、玉石を含むすべての地質でありさらに止水性を高める為、ジョイント部のコンクリート壁面カッティングが可能である。

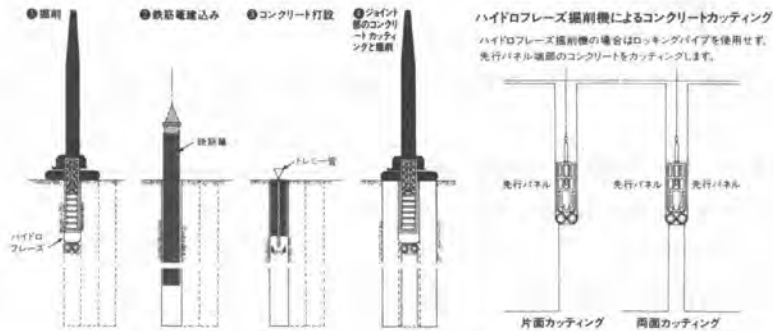


図-1 ハイδροフレイズ掘削機による地中連続壁施工順序

## 2. スーパーハイドロフレイズ掘削機の特徴

地中連続壁はビル工事等の土留、止水壁として壁厚 1m 以下、深度 20m 前後といったものから LNG 地下タンクの止水壁等壁厚 1.5m、深度 100m 以上の大規模連続壁まで用途は広い。特に大壁厚、大深度の連続壁施工にあたっては従来の掘削機の能力では十分な施工はできない。そこでこのような大規模連続壁の施工を可能にする掘削機として“スーパーハイドロフレイズ掘削機”が開発された。本機の特徴は次の通りである。

- ① 油圧駆動により高い掘削性能を有している。
- ② 高性能カッターにより岩盤、玉石を含むすべての地質に対応できるとともにコンクリートカッティングを行ない連続壁接合面の止水効果を高める。
- ③ コンピュータを利用した掘削管理システムを採用し、より高度な精度管理を行なうことができる。



写真-1 スーパーハイドロフレイズ掘削機



### 3. スーパーハイドロフリーズ掘削機の概要

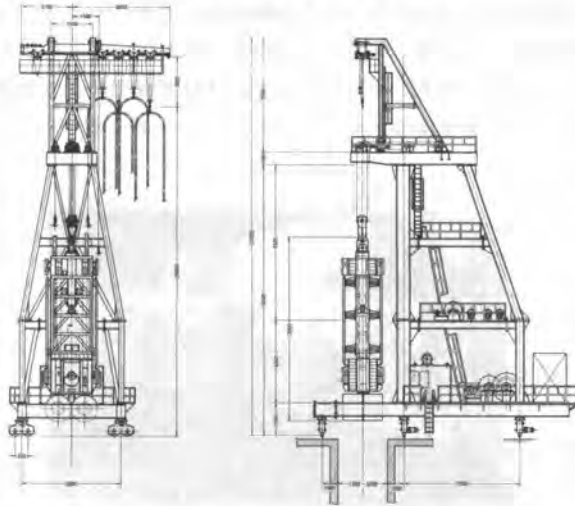


図-2 スーパーハイドロフリーズ掘削機全体図

- ①掘削機本体
- ②専用機
- ③油圧ユニット
- ④補助ウインチ
- ⑤主ウインチ
- ⑥運転室
- ⑦走行車輪

#### 主たる仕様

・掘削幅 (mm)	1500~3200
・掘削長 (mm)	3200
・掘削深度 (m)	170
・カッタードラム (個)	4
・ポンプ口径 (mm)	200
・掘削機重量 (t)	43
・掘削機長さ (m)	13
・カッター駆動方式	油圧
・ポンプ駆動方式	油圧
・信号伝送方式	多重伝送方式

図-2に示されるようにスーパーハイドロフリーズ掘削機は専用機によって吊り下げられているが条件によってはクローラークレーン等をベースマシンとして掘削することも可能である。本機は現在当社が使用しているハイドロフリーズ4000型と基本構造は同じであるが大壁厚、大深度の地中連続壁を施工できるようなさらにカッタートルクを増大し揚泥ポンプの能力アップおよびコンピュータを使用した掘削管理システムの採用によりさらに高度な掘削能力を有する掘削機として開発された。本機の主たる仕様は上記の通りである。

### 4. 掘削管理システム

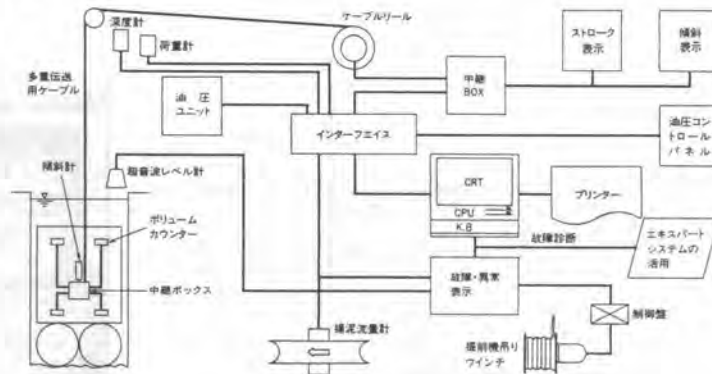


図-3 スーパーハイドロフリーズ掘削管理システム

大壁厚、大深度地中連続壁施工にあたっては、従来の掘削管理よりさらに高度な精度管理を含めた掘削管理が要求される。図-3に示すように掘削機本体に取り付けられた各種センサーにより検知されたデータは多重伝送システムを介して運転席へリアルタイムに逐一伝送される。こういった掘削管理上重要なデータはCRT上にディスプレイされるとともに必要に応じてプリントアウトされる。同時にコンピュータ



によって処理されたデータは掘削機へフィードバックされる。スーパーハイドロフリーズによる掘削は地質が均一の場合には“定速運転”とし掘削速度を自動的に一定とする、また地盤の硬さに応じてカッター面のスラスト荷重を一定にすることにより“定荷重運転”も可能となる、このような掘削制御は油圧吊り下げシリンダーとサイリスタ制御電動ウインチによって行う。写真-3に示すように運転室もこれまでの建設機械の運転室のイメージと違って製造業のF Aラインの管理室のイメージとなっておりオペレーターの作業環境の改善に寄与している。

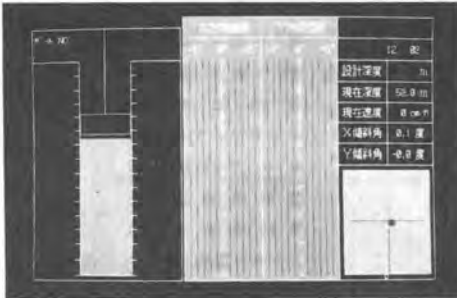


写真-2 CRT上にディスプレイされた掘削管理データ



写真-3 スーパーハイドロフリーズ運転室

#### 5. 泥水管理および土砂分離装置 (バイブレックススクリーン)

地中連続壁施工時には掘削中の連続壁には泥水(ベントナイト、ポリマー泥水等)が満たされており孔壁の崩壊を防いでいる、従って泥水の品質管理は連続壁施工においては不可欠なものとなる。泥水の品質管理を自動的に行なう“泥水管理装置”を採用することによってより能率的な泥水管理が可能となる。

(写真-4)

揚泥された泥水中には掘削土砂が混入している、従って掘削土砂と泥水を分離する必要がある、そこで土砂分離装置(バイブレックススクリーン)によって分離する、そして土砂分を除かれた泥水は再度連壁内へ送泥される。

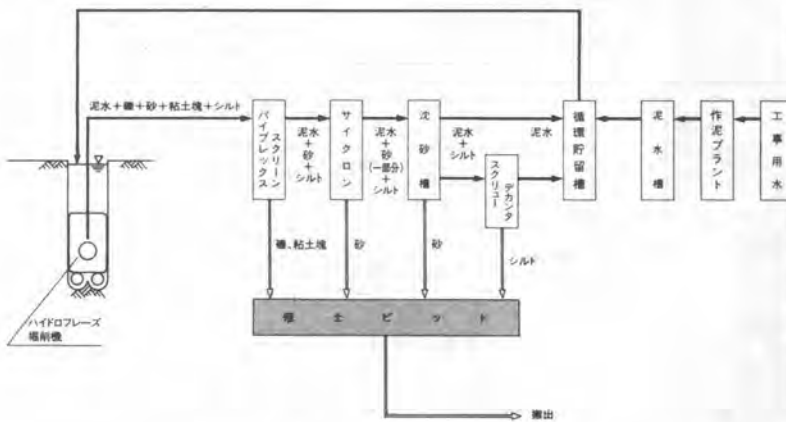


図-4 泥水循環フロー図

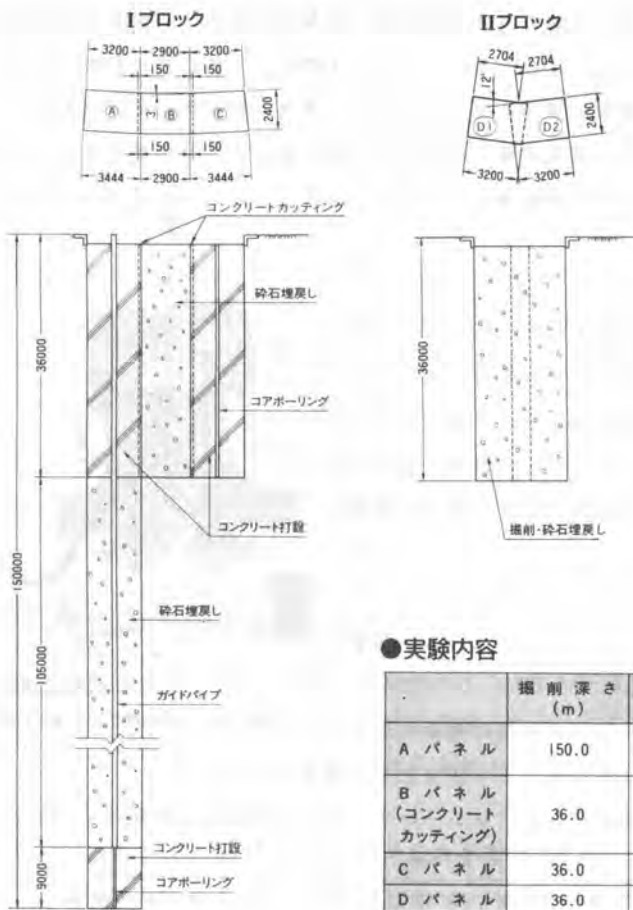


写真-4 自動泥水管理装置

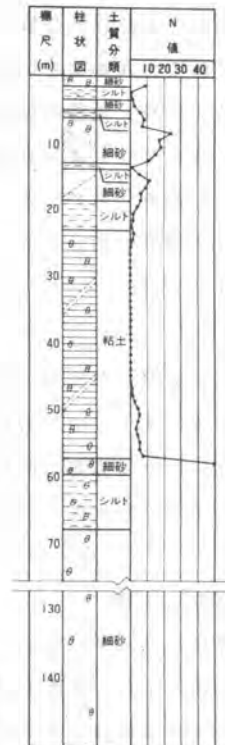
## 6. スーパーハイドロフリーズ掘削機性能試験概要

昭和62年9月～11月に千葉県浦安市において本機を使用して大壁厚、大深度連続地中壁工事における性能試験を行なった。地質は下記柱状図の様に主として細砂およびシルトであったN値はGL-60m付近から50以上となった。まず下図に示す様にIブロックのAパネルを150m掘削した。この時、掘削中心線に対する垂直精度は1/3000以上であった。次にCパネルを36m掘削しA、Cパネルへコンクリートを打設し4週間経過後に15cm幅でA、Cパネルのコンクリートカッティングを行なった。さらにIIブロックにおいて下図に示す様な変形拡幅掘削を行なった。本試験工事の結果スーパーハイドロフリーズ掘削機の性能は本機の設計仕様に十分適合し、満足すべきものであった。

### ●試験体構造図



### ●土質柱状図



### ●実験内容

	掘削深さ (m)	コンクリート打設 (m)	
		上部	下部
A パネル	150.0	36.0	9.0
B パネル (コンクリート カッティング)	36.0	—	—
C パネル	36.0	36.0	—
D パネル	36.0	—	—

## 7. あとがき

大壁厚、大深度地中連続壁工法におけるスーパーハイドロフリーズ掘削機について紹介したが、今後こういった大規模地中連続壁を利用した地下構造物および建築物の地下階の外壁や抗体ならびに岩盤層における地中壁の構築等に対応し得るものとする。

# 15. 油圧式バイブロハンマ(KOBELCO-ICE) の性能特性

建設機械化研究所：安達 経治・上石 修二  
 (株)神戸製鋼所： 青井 實・芦田 恵樹

## 1. まえがき

年々拡大する建設需要にともない、土木施工技術はますます多様化と高度化の傾向を呈している。とくに近年具体化の進む多くの海洋大型プロジェクト工事や市街地域の都市再開発事業などの分野では、水上や水中での施工方法と、より高まる公害対策に関して新しい技術の開発が期待されている。

ここで紹介するKOBELCO-ICE油圧式バイブロハンマ（以下油圧バイブロと略す）は新しいタイプの振動式杭打抜機であり、打込み性能の良さ、低騒音、低振動に加えて、直接本体を水中につけて施工できるなどの特徴をもっている。このため陸上、海上を問わず、仮設杭の打設や引抜き、基礎杭の打設、地盤の振動締固めなど振動を要する様々な工事への適用が期待できる。（写真-1）

1987年にオランダより導入以来、多くの開発実験工事ならびに実工事による性能確認を行い、性能の向上、改善に努めてきた。本稿ではこれらの結果にもとづき、本油圧バイブロの特徴およびその性能特性の概要を紹介する。

## 2. 作動原理

振動式杭打工法は、杭に上下方向の振動を伝え、杭に作用する土の抵抗を低減した状態で装置や杭の重さにより打込みをおこなう工法である。上下方向の振動は、二つの偏心ウェイトを同一の回転速度で互いに反対方向に回転させることによってえられる。各対の偏心ウェイトの発生する合成力の和が上下振動に対する機械の起振力である。

## 3. 構造と仕様

装置は、バイブロ本体と油圧パワーバックに大別される。装置の構造を図-1に、仕様を表-1に示す。

バイブロ本体は、クレーンなどにつり下げられ杭に振動を伝える装置で、ハンマヘッド、振動発生装置、油圧式クランプなどから構成されている。

ハンマヘッドは本体の発生する振動を吸収して、クレーンブームへの振動伝播を防ぐものである。



写真-1 大型機種による海洋工事  
(SHP240型)

表-1 仕様一覧表

項目	型式	SHP 15	SHP 20	SHP 35	SHP 65	SHP 70	SHP100	SHP130	SHP240
偏心モーメント	kgf.cm	400	700	1150	2300	1150	2300	4600	11500
最大起振力	tf	15	20	34	67	69	105	129	239
最大周波数	rpm	1800	1600	1600	1600	2300	2000	1570	1350
空振幅(片振幅)	mm	5.0	5.6	7.8	6.6	6.3	5.8	10.2	13.5
最大油圧力	kgf	40	71	95	188	157	261	300	442
総重量	kgf	1330	1700	2070	5950	2570	6450	6950	12400
長さ	mm	1450	1550	1590	2650	1590	2650	2650	2440
幅	mm	405	405	400	495	440	700	720	1040
高さ	mm	1710	1915	2275	2900	2575	2900	3300	4080
エンジンパワー	kw	50	85	128	220	200	300	375	552

従来の電動バイブロでは振動部がコイルスプリングを介してつり下げられているため、杭の建込み時や引抜き時には振動の吸収が不十分となる場合が多い。本油圧バイブロは、振動吸収材に振動の緩衝効果の高い高分子ゴムを採用している。

振動発生装置は、高速回転の油圧モータでピニオン、ギヤを介して偏心体を回転させ、前述のメカニズムによって振動を発生させる。また油圧式クランプは油圧シリンダによって杭と振動発生装置を結合し振動を確実に伝達するもので、従来のバイブロの構造とほぼ同じものである。

油圧パワーバックは本体を駆動させる油圧を発生させる装置で、ディーゼルエンジンにより油圧ポンプを駆動して圧力油をえている。

#### 4. 特徴

上述の原理および構造にもとづく本油圧バイブロは、つぎのような特徴を有している。

- 1) 全油圧駆動方式であるため漏電やスパークなどの事故がないことに加え、密閉型ギヤボックスに取付けられた内外圧バランス装置の採用により、直接本体を水中につけて施工を行うことができる。
- 2) 高い振動周波数によって大きな振動加速度がえられる一方、地盤の振動減衰が大きいので周辺への振動の伝播が小さい。このため都市部など振動の規制された場所での使用が可能である。
- 3) 振動の緩衝には高分子ゴムの特殊振動吸収材を採用しているため本体騒音が小さく、その上クレーンブームへの振動伝播がほとんどない。このためオペレータの作業環境改善、クレーンの小型化、さらにクレーンブームから発生する2次騒音の低減が可能である。また中小型機種においてはラフテレーンクレーンでの使用が可能である。
- 4) 特殊振動吸収材を介する非振動のハンマヘッドにエキストラウェイトを容易に装着でき、振幅や振動加速度を低減させることなく打込み荷重を大きくすることができる。このため打込み速さの向上や打込み抵抗の大きな地盤への適用が可能である。
- 5) 全油圧駆動方式の採用に加え、複数組の小型偏心体によって偏心モーメントを発生させているため、本体が軽量コンパクトである。このためクレーンなどベースマシンの小型化が可能である。

#### 5. 施工性能

##### 5.1 概要

本油圧バイブロはヨーロッパ、中近東、東南アジアを中心に多くの施工実績を有しているが、各現場での土質にもとづく性能評価のデータは十分

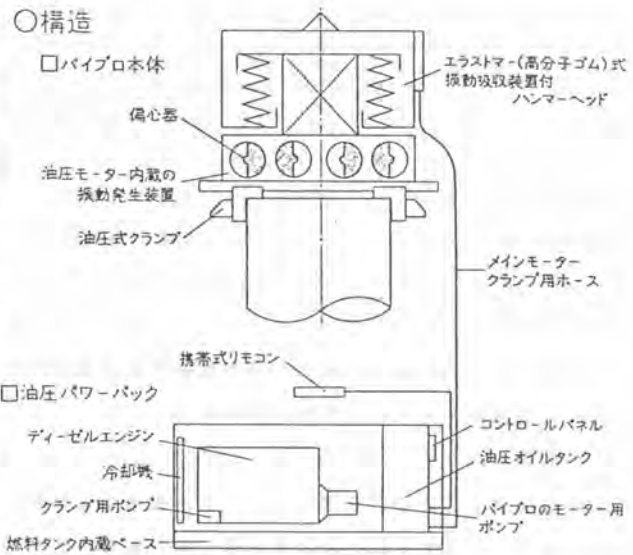


図-1 油圧バイブロの構造図

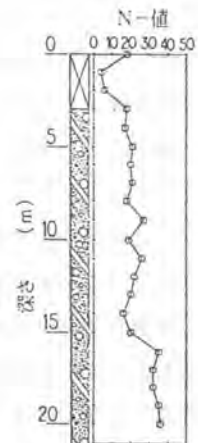


図-2 性能試験現場の土質柱状図

表-2 試験に用いた機種の種類

項目	機種	SHP130 Normal	SHP130 withEW	SHP200 Normal	SHP200 withEW	Electric Vibro
偏心モーメント	kgf.cm	4600	4600	11500	11500	15000/20000
最大起振力	tf	129	129	185	185	65/66
最大周波数	rpm	1570	1570	1200	1200	620
振動部重量	kgf	6150	6150	10700	10700	10950
総重量	kgf	8600	12600	14600	29100	11380

注) EWはエキストラウェイトを表す。

ではない。そこで本油圧パイプロの性能特性を把握するために、大型機種をもちいて性能試験を実施した。

### 5.2 土質データ

試験現場の土質柱状図を図-2に示す。現場は洪積粘土質砂礫層で、介在する粘土によりほぼ一様の粘着力を有する地盤である。三軸圧縮試験(UU試験)によってえられた粘着力は、 $c = 2.7 \text{ tf/m}^2$ であった。また試験によりえられた粒径加積曲線を図-3に示す。

### 5.3 打込み性能

鋼管杭の打込みによる各機種能力比較を行った。試験に用いた機種の種類を表-2に示す。またそれぞれの機種、打込み深さとそれに要した時間の関係、および一定深さにおける打込み速さを図-4、図-5に示す。

図-4では、SHP130型の打込み速さが従来の電動型機種(偏心モーメント15000 kgf.cm)よりも大きいことが示される。また同じSHP130型においても、前述のエキストラウェイト(4t)を装着して非振動部重量を増すことによって打込み速さが大きくなることわかる。図-5ではSHP130型とその上級機種SHP200型との打込み速さの相違が示され、またSHP200型におけるエキストラウェイト(14.5t)の効果も顕著に表される。

### 5.4 打込み速さの予測

パイプロの打込み性能要素のひとつに、杭の重量とパイプロの重量を合わせた総重量があげられる。パイプロの発生する振動によって杭周囲の土の抵抗が低減したとき、打込み性能は上下方向の荷重、すなわち総重量に支配されると考えられる。

この考えのもとつき、打込み時の動的地盤抵抗値に対する総重量の割合と、打込み性能を表す打込み速さとの関係を図-6に示す。ここに総重量はパイプロ本体の全重量と杭の重量の和であり、エキ

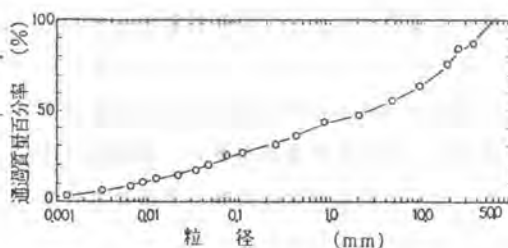
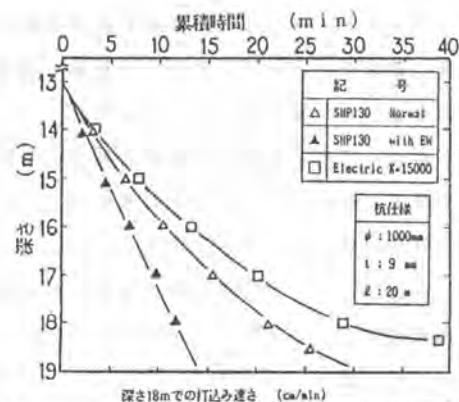
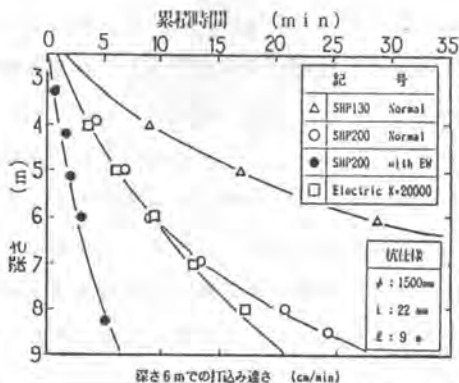


図-3 現場試料の粒径加積曲線



機種	深さ18mでの打込み速さ (cm/min)			
	10	20	30	40
SHP130 Normal	△	18.3		
SHP130 with EW	▲			37.5
Electric K-15000	□	11.3		

図-4  $\phi 1000\text{mm}$ 鋼管杭による打込み性能比較



機種	深さ6mでの打込み速さ (cm/min)				
	20	40	60	80	100
SHP130 Normal	△	16			
SHP200 Normal	○		38		
SHP200 with EW	●				100
Electric K-20000	□	28			

図-5  $\phi 1500\text{mm}$ 鋼管杭による打込み性能比較

ストラウエイト装着時はその重量も含んでいる。また動的地盤抵抗は以下によって求めた値である。

(動的地盤抵抗) = (動的先端抵抗) + (動の周面抵抗)

ただし、動的先端抵抗  $R_v = e_v \cdot R$

動の周面抵抗  $T_v = e_v \cdot \mu \cdot T$

$R$ 、 $T$ はそれぞれ静的先端抵抗、静的周面抵抗、 $\mu$ は周面摩擦低減率、 $e_v$ は動的低減率である。

この図から、総重量(打込む力)が動的地盤抵抗(抵抗する力)より大きいほど杭が速く貫入し、これらが等しくなった点において貫入が停止することが確認でき、打込み性能が総重量によって支配されるとする考えの妥当性が示される。また同図から次の打込み速さ予測式がえられる。

$$V \text{ (cm/min)} = 83 \cdot (W / F_v) - 83 \quad \dots (1)$$

以上からエキストラウエイトの効果が定量的に表現されるとともに、この考えにもとづいてデータを積み重ねることによって、パイプロ性能予測手法の確立の可能性がうかがえる。

#### 6. クレーンブームへの振動伝播緩衝特性

前述のとおり本油圧パイプロは振動吸収材を内在したハンマヘッドを介してクレーンにつり下げられているため、クレーンブームへの振動伝播がきわめて小さい。この効果を定量的に把握するために、性能試験において杭径1500mm、肉厚22mm、長さ18mの鋼管杭の打込み中に計測を実施した。この結果を図-7に示す。ここに縦軸の振動伝播率は、パイプロ本体の振動加速度に対するクレーンブームの振動加速度の比を表し、伝播の大きさを示す指標である。

この図から、従来の電動パイプロでは杭の建込み中や引抜き時などパイプロをクレーンでつっている状態に、とくにクレーンブームへの振動伝播が大きいことに対し、本油圧パイプロの振動緩衝効果が大きいことが顕著に示される。

#### 7. あとがき

以上油圧式パイプロハンマの特徴と性能の概要を述べ、粘性を有する地盤での本油圧パイプロの位置づけを示した。しかし振動方式による杭の打設は、パイプロ本体の性能に加え地盤の条件や杭の仕様、施工の方法など確認しなければならない要素の多い分野である。今後も試験データをさらに解析して装置の改善、研究開発を継続するとともに、様々な施工現場でのデータを積み重ねて、より精度の高い施工性評価手法の確立に反映させていく予定である。

- 参考文献 : 1) 日本建設機械化協会編: 仮設鋼矢板施工ハンドブック, (1972), 技報堂出版  
 2) 日本建設機械化協会編: 日本建設機械要覧, (1986), 技報堂出版

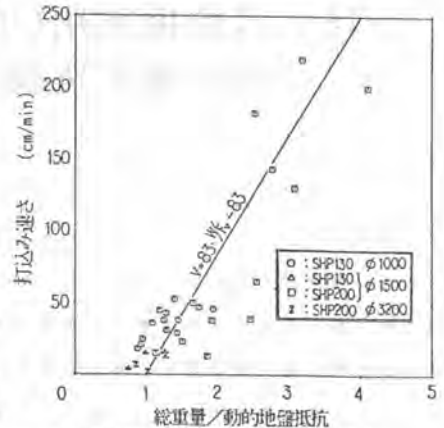


図-6 動的地盤抵抗に対する総重量の割合と打込み速さとの関係

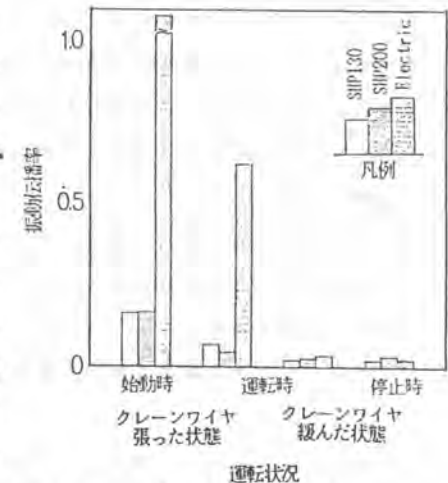


図-7 クレーンブームへの振動伝播に対する振動吸収材の効果



# 16. 岩盤掘削用CD1500ケーシングドライバとその施工実績

日立建機(株)：久住 宏・野崎 敏

## 1. まえがき

一般に供されているオールケーシング施工機は、左右にケーシングを揺動させながら押し込む工法のため、最近の杭工事の多様化に適用できないケースが出てきた。すなわちケーシングの支持層への根入れや転石層の掘り抜き、都市再開発に伴う既設建築物の解体、抑止杭の施工、周辺地盤に影響を与えないで杭を施工するケースなどである。

このことから先端にカッタの付いたケーシングを一方向に回転させて、岩も含めた硬土質を施工する多くのオールケーシング施工機が開発されている。

当社でもCD1500回転式ケーシングドライバを日進基礎工業(株)と共同で開発し、昭和60年2月に試験施工を行って以来種々の改良と工法の確立を図り、昭和62年3月正式に発売を開始した。現在まで様々な杭施工に多くの実績を上げ、稼働台数も10台に達している。

本報では本機の仕様と構造および施工実績について述べたものである。

## 2. 本機の特長

(1) 岩盤を含む支持層への根入れが容易でかつ能率が高い。

① 先端にカッタを取付けたケーシングビットを一方向に回転させて岩盤を掘削。

② ケーシングの全断面を覆う岩盤に行きあたっても岩を小割させる必要がない。

(2) 少ないエネルギーで、精度の高い施工が可能。

① ケーシングに対し偏心荷重が発生しにくい圧入機構の採用。

② 杭心のずれが少ないケーシング全周回転機構の採用。

③ ケーシング垂直計による監視とジャッキシリングによる修正装置の取り付け。

④ 回転反力取り装置の取り付け。

(3) 狭い現場や敷地コーナ部でも施工可能。

(4) 輸送および現場搬入が容易。

(5) 安全な作業。

① 主要な操作をリモートコントロールで行える。

② バンドシリング用油圧ホース着脱装置の採用。

③ 各種インターロック機構の採用。

(6) ミキサ車案内用傾斜台が不要。

## 3. 仕様及び構造の概要

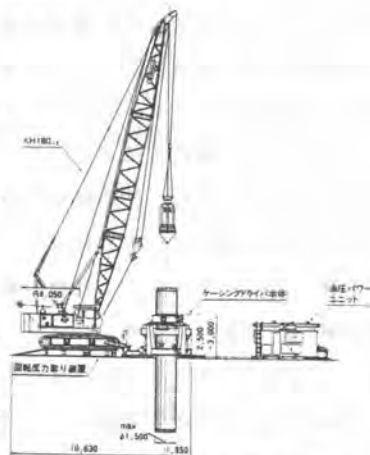


図-1 日立CD1500施工全体図

表-1 主要諸元

型 式	CD1500
適用ケーシング径 (mm)	φ1000 ~ φ1500
押し込み力 [シリング力] (t)	27 [97]
引き抜き力 (t)	166
ケーシング回転力 (t-m)	正逆転共 130
ケーシング回転数 (rpm)	0 ~ 1.2 [オプション 0 ~ 2.0] <sup>※</sup>
スラストシリングストローク (mm)	500
エンジン	型 式 日野 EM100
	出力 (ps/rp)

※ 最大ケーシング回転力は 6.5 t-m。

### 3. 1 仕様

本機の主要諸元を表-1に示す。開発当初に対し、今後の高深度化を配慮してスペックアップを図ったものである。

### 3. 2 構造

本機はケーシング圧入装置と油圧パワーユニットが分離されている。これは特殊な施工条件にも幅広く対応できるようにすることと、輸送性を考慮したことによる。ケーシング圧入装置はケーシングドライバ本体と回転反力取り装置とに分かれる。

ケーシング内の土砂を排除するための中掘り機として、アースドリルやハンマグラブ付クレーンが用いられる。ここではハンマグラブ付クレーンを用いた時の施工全体図を図-1に示す。

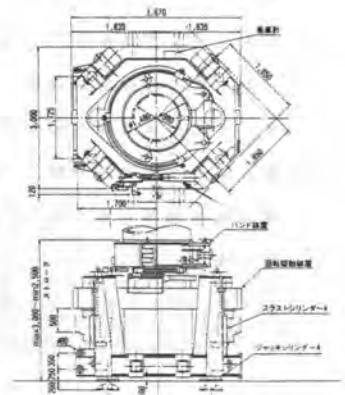


図-2 ケーシングドライバ本体

#### (1) ケーシングドライバ本体

図-2に本装置の構造を示す。

本装置にとって最も重要な技術課題は「どのような構造にしたら精度良くケーシングを建て込めるか」にある。これはケーシングを垂直に建て込めれば、少ない回転力や押し込み力それに引き抜き力で済む上、掘削馬力も小さくて済むからである。

このことから、図-2で示すように、ケーシングをチャッキングしたバンド装置と一体の回転駆動装置が、回転反力を受けながら上下に昇降するための案内用ガイドポストと、ケーシングに押し込み力を与えるためのスラストシリンダが、ケーシングに対し対称位置に設けられている。このためケーシングに対しアンバランスな荷重を作用させることなく、精度良く垂直に押し込むことができる構造になっている。

#### (2) 回転反力取り装置

ケーシングを回転させて掘削を行うということは、その回転反力を何かによって支持してやらなければ、ケーシングドライバ本体は反動で振りまわされてしまう。従ってこの反力を確実に支持することが必要となる。このために設けられたのが回転反力取り装置である。本装置には標準型とオプション型とがある。標準型は本装置の上に中掘り機を載せ、その自重を利用して反力を取る機能とミキサ車案内用傾斜台とを兼ねたものであり、オプション型はケーシングドライバ本体に取付けられたビームを掘削機の走行体にあてて反力を取るものである（実用新案出願中）。

標準型は狭いスペースでの使用を考えたものであり、

オプション型は安価であるが、標準型に比べて広いスペースを必要とする。

#### (3) 油圧パワーユニット

本装置はケーシングドライバ本体と回転反力取り装置に取付けられている油圧シリンダや油圧モータに圧油を供給するものである。

操作はリモートコントロールによって行う。

表-2 CD1500 騒音評定試験結果

音源からの距離	7m	15m	30m
	エネルギー平均dB(A)	71	65
評定基準値	79dB		

作業時最大負荷、エンジン回転数最大

本装置はできるだけ燃費及び騒音を低減するため、同様なオールケーシング施工機と比較して小さなエンジンを使用している点が特長である。これは長年の岩掘削に関する研究及び施工実績により、カッタの必要切削速度とケーシングの周面摩擦力から求めたものである。

表-2は建設機械化研究所による建設機械騒音評定試験結果を示す。これは作業時での最大負荷状態を想定して行った値である。これによれば評定基準騒音79dB(A)/7mを大きく下回り、十分な騒音低減対策が施されていることが立証された。

#### 4. 施工実績

図-3にCD1500による施工場所及び工事の種類とその規模を示す、また表-3に主な施工実績を示す。今まで66箇所(昭和63年7月着工分まで)の工率をこなし、延掘削長も約2.7万mに達している。

表-3のN0.1は丸亀市の都市再開発にからむ鉄道高架橋工事である。昔石垣作りの岸壁のあったところに杭を構築する上、線路そばであるため路床を痛めないかという懸念と、杭のすぐ近くのホームに1日2本の列車が入ることから、その時には施工途中であっても速やかにCD1500を撤去しなければならないなど施工上難しい点があったが、本機の特長が発揮されて全く問題なく所期の目的を達成した。写真-1は施工途中での本体の撤去の模様を示したものである。

N0.2は昔防波堤のあったところを埋めたて、魚市場を建設するというもので、地中約6mまでの間に捨石、テトラポット、転石が存在する。このためこれを掘り抜かなければならないことから本機が採用された。海水の干満差によるヒーピングが生じたが、水頭差をもたせて解決した。

N0.3は約50°の傾斜を有する層厚2mの風化花崗岩と層厚4.3mの新鮮花崗岩に根入れをするというものである。ここで2つの点が懸念された。1つは傾斜がきついことによるケーシングの逃げはないか(φ1.2mのケーシングの中にφ1.0mの鋼管を入れるため垂直精度が要求された)、もう1つは上部に砂層を多く有するため、孔壁との周面摩擦により回転トルクが消費され、50m下方での花崗岩を掘削するのに必要な回転トルクが残っているかという点である。しかしながら1/1250以上の垂直精度で



図-3 CD1500施工地図



写真-1 ホームに列車が入ってくるため一時的に本体を撤去

施工できたほか、ほとんど杭心のずれもなく、掘削トルクも余裕を持って施工することができた。杭は移設を含め約1本/3日で施工を完了した。ここの地層図を図-4に示す。

写真-2はNO.4で掘り出された安山岩である。ここでは150PSのロツクオーガでも施工したが、これの約3倍の速度で掘削することができた。

写真-3はNO.6での施工状況を示したものである。

NO.8はダムの貯水池側に道路橋の形で拡幅しようというもので、スペースがないため中掘り機や油圧パワーユニットを台船に載せ、僅かなスペースの構台を築いてケーシングドライブ本体を据付けて工事を行った。回転反力取り装置はできるだけコンパクトにかつ据付け性を良くするため、特殊な形状に改造したものを使用した。重量が軽くかつコンパクトなCD1500を使用したことにより、構台建設費の節減を図ることができた。

5. あとがき

本機は一軸圧縮強度約2300kg/cm<sup>2</sup>、ショア硬度108という日本でも有数の硬い岩層での掘削工事や非常に狭い敷地(12m×12m)において、土留壁を設けずに周囲のビルに全く損傷を与えることなく非常に短い工期でビルの建て替え工事を完了した例もある。

このように施工条件による制約をあまり受けることなく施工できる本機は、今後ますます様々な施工場所に適用されていくものと考えられる。このことからこれらに充分対応できるように改良を図り、さらに良い機械にすべく努力していく所存である。

表-3 CD1500による主な施工実績

No.	丁 取 名 称 (施 工 の 種 類)	施工場所	仕 様			完工年月	
			径	長さ	本数		
1	国鉄丸亀駅高層ビル2~3工事 (道路橋基礎)	香川県 丸亀市	φ1000	18.5m	15本	上層 既存基礎埋設物及び 隣接(在来線)障害 下層 砂礫	561.02
2	西濃観光建物新築工事 (建築基礎)	福留市 西区	φ1500	20.0m	10本	上層 埋立土及び巨大転石 (花崗岩)、砂 下層 風化花崗岩	561.11
3	一般国道鳥取砂丘緑地公園開け工事 (新築仮橋) (道路橋基礎)	鳥取市	φ1200	40m ~50m	3本	上層 砂礫、シルト、砂 下層 砂礫、転石、軟岩、花崗岩	561.12
4	朝里ダム建設工事 (既設置換)	北海道 小樽市	φ1000 φ1500	11.5m 14.5m	12本	上層 φ9.2~6.7m転石層 下層 安山岩	562.03
5	山本ビル新築工事 (都市再開発関連、建築基礎)	横浜市	φ1000 φ1500	21.5m 21.5m	10本 5本	GL~2~4m既存杭障害 上層 シルト 支持層 土丹1~1.5m	562.05
6	八戸市立東中学校 (建築基礎)	青森県 八戸市	φ1000	25m 51.4m	31本	上層、中層、下層 砂質シルト 支持層 1~2m石灰岩	562.08
7	赤池2号橋下部工事 (道路橋基礎)	山梨県 西八代郡	φ1500	18m ~40m	23本	転石混じり砂礫 支持層 凝灰角礫岩 (層厚2~3m)	562.11
8	国道219号線道路災害復旧工事 (道路橋基礎)	熊本県 球磨郡	φ1500	8m ~16m	15本	砂岩、チャート、矢板 場所打ち杭等の地中障害	563.01
9	澤野市総合体育館建設工事 (建築基礎)	神奈川県 海老名市	φ1000 φ1200 φ1500	33m 35.7m	80本	上層 10m砂礫 中層層 シルト 支持層 礫層	563.02



写真-3 八戸市立東中学校新築工事

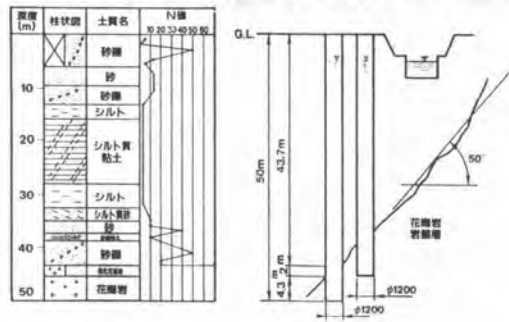


図-4 鳥取における地層図



写真-2 朝里ダムで掘り出された安山岩

# 17. 拡底杭施工用アースドリルとその施工実績

基礎工業(株)：小泉 眞五  
 大洋基礎(株)：永沼 吉三郎  
 日立建機(株)：久住 宏・網代 秀一

## 1. まえがき

昭和59年3月16日に日立拡底杭施工用KH125-3アースドリルで、基礎工業(株)と大洋基礎(株)が(財)日本建築センターより日本で最初のアースドリルによる拡底杭施工評定を取得して以来、今日まで前者を含め本機による評定取得業者は12社を数えている。そして図-1で示すように、年間の杭施工長は年を追って飛躍的に増大している。

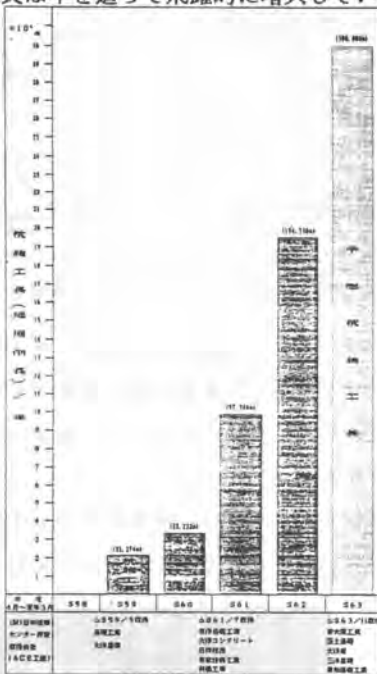


図-1 日立拡底杭施工用KH125-3アースドリルによる年度別杭施工長

表-1 仕様

形 式		拡底杭施工用 KH180,										
ブーム長さ (m)		25										
拡底 バケット 使用時	拡底バケット型式	1016	1219	1324	1527	1731	1833	2036				
	最小基本径 (φmm)	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	
	最大拡底径 (φmm)	1600	1920	2300	2400	2600	2700	3000	3100	3200	3300	3600
	最大掘削深度 (m)	55.3		55.7			57					
バケット回転トルク (t·m)		(正転) 4.1 (逆転) 5.0			(正転) 6.2 (逆転) 6.6							
バケット回転数 (rpm)		(高速) 25					(低速) 12.5					
ケリーパイ最大巻上力 (t)		21.2										
エンジン馬力 (PS/rpm)		200/2000										

拡底杭施工用KH125-3アースドリルによる施工可能な最大拡底径は2.6mであるが、更に大きな拡底径を施工出来る機械の要望が高くなったことから、今回最大拡底径3.6mまで施工可能な拡底バケットを装着できる拡底杭施工用KH180-3アースドリルを開発したのでここに紹介する。

## 2. 日立拡底杭施工用アースドリルの仕様

拡底杭施工用アースドリルは、本施工用に特に改装された拡底掘削機と拡底バケットによって構成される。全体の構成と名称を図-2に、仕様を表-1に示す。

## 3. 拡底杭施工用KH180-3アースドリルの特長

- 1) 超大型の拡底バケットが装着出来るパワフルウインチ搭載。
- 2) 回転トルクは6.2t·mと大きく、掘削が容易。
- 3) 57mの大深度掘削が可能。
- 4) ケリーパイの圧入ストロークが大きく施工能率が向上。

- 5) 拡底状況管理記録装置は標準装備なので施工管理が容易。

#### 4. 拡底杭施工用KH180-3アースドリルの主要な構成装置

##### 1) 拡底バケット

土砂の取り込みについて、その確実性と高い掘削能率を有する日立拡底バケットは、今までの3種類の拡底バケットの他に、新たに4種類のバケットを加えた事により、最大拡底径3.6mの大径杭にも対応出来るようになり、施工範囲の拡大と充実を図る事が出来た。

また今まで1526型と呼んでいた1527型バケットや1324, 1731, 1833型バケットはスタビライザとバケットドラムにアダプタを取り付ける事により、更に直径で100mm大きな拡底径が得られるものである。これは1種類のバケットであるにもかかわらず、さしずめ2種類のバケットの機能を有するに等しい効果を生むことが出来る。

軸部掘削用として開発したスタビライザ付油圧閉式両開きバケットを写真-1に示す。

##### 2) 拡底状況管理記録システム

本システムはバケット拡大翼閉閉量検出システムと掘削深度管理システム、それにこれらを総合的に集約して演算を行うとともに、ディスプレイとプリントを行う管理記録装置からなる。

管理記録装置は事前に計画値である杭の拡底径や掘削深度をインプットしておき、これに対し実際の拡底状況をリアルタイムで比較出来るようにするとともに、拡底終了時その結果をプリントアウト出来るようにしたものである。このため拡大翼閉閉量検出システムと掘削深度管理システムからの信号を入力させ、拡底径が掘削に応じて広がって行く状態を明かにするとともに、計画された径になった時アラームで運転者に告知するようになっている。

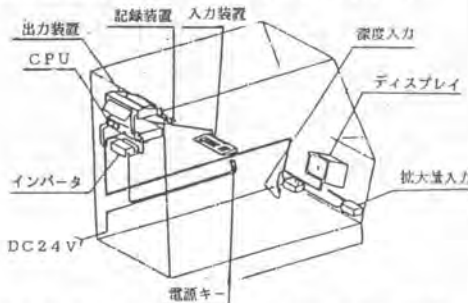


図-3 運転室内演算装置及び管理記録装置

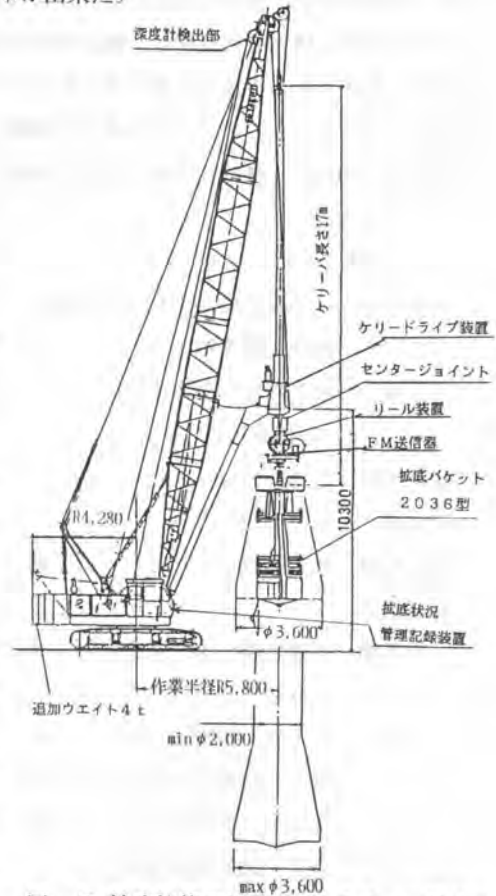


図-2 拡底杭施工用KH180-3アースドリル



写真-1 軸部掘削用油圧閉式両開きバケット



## 5. 施工実績

従来、ACE工法の建築センターの評定範囲は軸部で2.0m、拡底径2.6mまでであったが、昭和63年2月の追加評定では軸部で2.6m、拡底径3.6mまでの評定を得ている。以下に示す施工例では、最大拡底径が3.0mで設計されており、従来ではリバース拡底工法の範囲になるが、新型機の開発によってアースドリル拡底工法の採用が可能になったものである。

一方、本工法に限らず拡底杭は、鉛直方向荷重に対しては経済的な設計が可能であるが、地震時には直杭と比較すると水平抵抗に若干劣る傾向にある。従って、重量構造物の場合には、これを補うため杭頭部分を拡大したり、リブ付き鋼管で補強する方法をとることがある。施工例は後者の方法によって杭頭部分を補強し、軸部径を施工可能な範囲に縮小する経済設計を行っている。

### 5.1 工事概要

#### (1) 建物概要

工事名称 日本電気株式会社玉川事務所  
新9工場新築工事  
所在地 神奈川県川崎市中原区  
下沼部1753  
建築面積 2,589.99㎡  
延面積 18,190.96㎡  
構造規模 鉄骨鉄筋コンクリート造7階  
基礎形式

杭基礎 基礎工業・大洋基礎式アースドリル  
拡底杭工法（ACE工法）  
杭種 杭上部 鋼管コンクリート杭  
軸部 鉄筋コンクリート杭  
拡底部 鉄筋コンクリート杭

総合施工 株式会社大林組横浜支店

表-2 地盤構成

深 度 (m)	層 厚 (m)	土 質 名	成 年 層 代	地 記 層 号	N 値
GL- 0.00~ 2.00	2.00	硬 土 沖 積		F	
GL- 2.00~ 5.70	3.70	細 砂	*	A <sub>ss</sub>	1.6~7
GL- 5.70~ 7.30	1.60	砂 礫	*	A <sub>ss</sub>	20
GL- 7.30~ 8.00	0.70	シルト質砂	*	A <sub>ss</sub>	4
GL- 8.00~ 10.60	2.60	層状シルト	*	A <sub>cs</sub>	2~4
GL- 10.60~ 13.50	2.90	シルト	*	A <sub>cs</sub>	0.9~1.9
GL- 13.50~ 16.50	7.50	層状シルト	*	A <sub>cs</sub>	2
GL- 16.50~ 17.30	1.80	砂 礫	*	A <sub>ss</sub>	50
GL- 17.30~ 18.50	1.20	層状シルト	洪 積	D <sub>c</sub>	9
GL- 18.50~ 20.10	1.60	中 砂	*	D <sub>s</sub>	16
GL- 20.10		錨 岩	第三紀	K <sub>a</sub>	N > 50

#### (2) 地盤条件

当該地の地盤構成を表-2に示す。

表-3 杭リスト

### 5.2 杭の仕様

表-3に杭リストを示す。また、杭の使用材料は次の通りである。

鉄筋：主筋S D35，副筋S D30

コンクリート：F<sub>c28</sub> = 240kgf/cm<sup>2</sup>，  
スランプ = 18cm

リブ付き鋼管：φ1,300×t12×ℓ6,000

φ1,700×t16×ℓ5,000

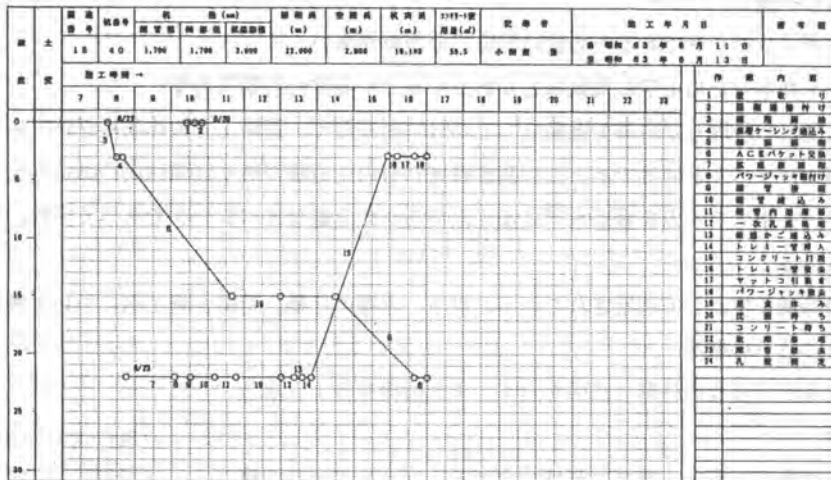
軸部径	施工拡底部径	掘削長	空掘長	杭実長	本数
*1,300	*1,800	23,000	2,900	20,100	8
*	*2,200	*	4,100	18,900	2
*	*	*	2,900	20,100	20
*1,700	*2,600	*	4,100	18,900	1
*	*	*	2,900	20,100	5
*	*2,800	*	*	*	9
*	*	*	4,100	18,900	1
*	*3,000	*	2,900	20,100	2

### 5.3 杭施工

当該地の支持層は、第三紀の泥岩で一軸圧縮強度50kg/cm<sup>2</sup>を超えていると想定される極密な土質であった。しかし、新型機は回転トルクが約50%アップされていたためか、比較的容易に掘削できていた。

本現場における全工期は45日であった。このうち実質的な杭の施工日数は36日であり、鋼管挿入を含めた施工能率は約1.25本/日台である。表-4に施工記録を、図-4にこの時の孔壁測定結果を示す。

表-4 杭施工記録表



### 6. あとがき

ACE工法も第一回の評定取得後、追加評定の1及び2によって前記のように施工範囲が大きくなっている。また、掘削可能深度も当初の40mから57mと、場所打ちコンクリート杭の施工深度をほとんどカバーすることが出来るようになった。今後ますます本工法が広く採用されていくと考える。施工管理面をさらに充実させ信頼性の高い杭との評価を得るべく努力していきたい。

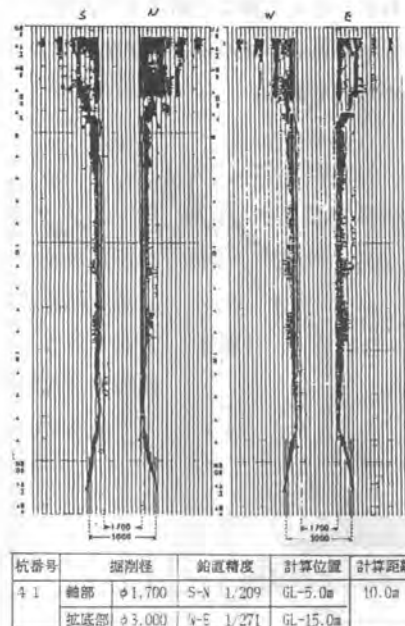


図-4 孔壁測定結果

## 18. リーダレス型基礎機械RX2000の開発と施工実績

日立建機(株)：宮田 憲一

### 1. はじめに

小規模工事用仮設杭打機として開発したRX2000も発売以来半年を経過して、いろいろな現場で施工実績をあげてきている。

#### 当初のねらい通り

- ◎ 本体がコンパクトであるため狭い現場での利用が多い。
- ◎ リーダがないため上空に電線などがある現場では非常に有効である。
- ◎ 搬入搬出の段取りが容易で稼働立ち上がり時間が短く、道路上での作業も好評である。
- ◎ 外観がショベルと同等であるため基礎機械特有の圧迫感が無く近隣住民の抵抗が少ない。
- ◎ レバー1本でアームを垂直水平に操作出来るため高齢なオペレータでも早く慣れ、すぐ実作業に入れる。

など、その特徴を生かして利用されている。以下、本機の仕様、特徴と施工例について報告する。

### 2. RX2000の概要

図1にRX2000の外形寸法図を示す。また仕様を表1、表2表3に示す。

フロントは第1、第2、第3、及びエクステンションアームで構成される。そして第2、第3アームをマイコンで制御し、レバー1本でオーガあるいはパイプロアタッチメントを垂直、水平に動かすことが可能である。

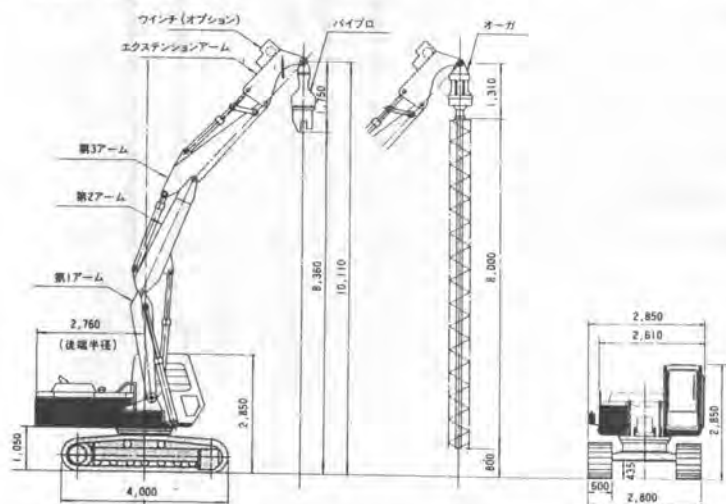


図1 RX2000外形寸法図

表1 RX2000本体仕様

本体型式	RX2000
全装備重量	18.9t
原動機	125PS/ 2000rpm
垂直軌跡速度	10m/min
水平軌跡速度	6m/min

表2 アタッチメント仕様

パイプロ型式	HHV-07R
振動数	1800cpm
起重量	16.3t
オーガ型式	SKH20-S
回転数	49.6rpm
トルク	1.6t-m

表3 オプション仕様

ウインチ	
ラインプル	950kg
ロープ径	12.5mm
リアージャッキ	
ジャッキ力	2t×2本
ストローク	1.0m

パイプオーガアタッチメントの段取り替えはクイックカプラ、置き台を標準装備して短時間で可能である。また矢板やH鋼の吊込みなどの補助作業用に小型ウインチを装備している。

### 3. 軌跡制御システム

図2に軌跡制御システムの概要を、図3に基本ブロック線図を示す。各アームの関節部に取り付けられた角度計から各々のアームの相対角度の信号を、また本体に取り付けられた傾斜形から傾斜角度の信号をマイコン（コントローラ）に取り込む。制御レバーからはマイコンに軌跡速度の信号として入力されレバーの倒し角度に応じた垂直、水平速度が得られる。レバーを入れた瞬間の作業半径を演算、記憶し、この半径を保つように制御する。レバーを中立に戻すと記憶していた半径

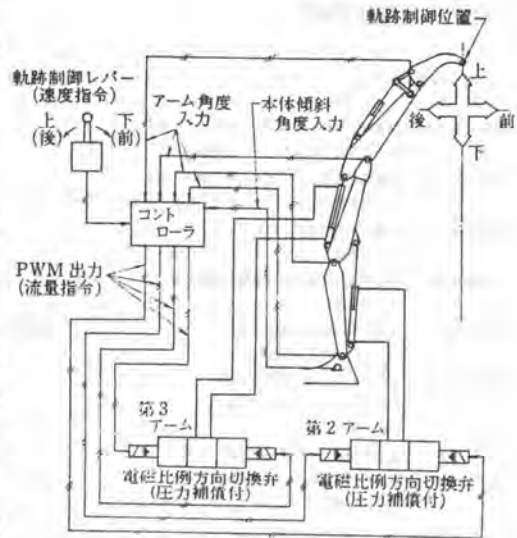


図-2 軌跡制御システムの概要

はクリアされる。マイコンはこれらの信号をもとに第2、第3アームのシリンダ流量を逐次計算しこの結果を電気信号として電磁比

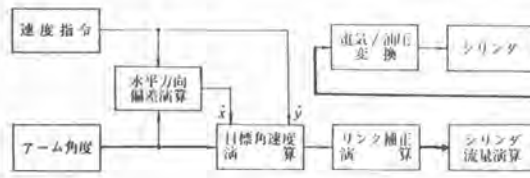


図-3 基本ブロック線図

例方向切換弁（圧力補償付）に出力する。図4に垂直精度の測定結果を示す。

### 4. 施工実績

主な施工実績を表4に示す。オーガ、パイプロの両方が使えると言う特徴を生かしているいろいろに使われている事がわかる。

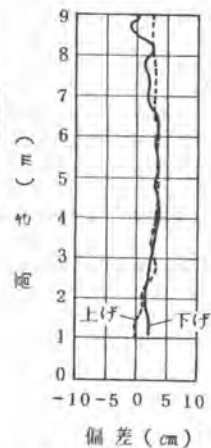


図4 垂直精度測定結果

#### 施工例1 (写真1)

工事場所；千葉県印旛郡栄町

工事内容；下水道雨水函渠築造の土留め、パイプロ2号6m矢板打込み  
本現場は民家に近いところであったがパイプロによる直打ちを行った。

オペレータは余り経験のない高齢の人であったが3日目には50枚/日になった。作業サイクルタイムを表5に示す。チャッキングに慣れれば更にサイクルタイムが縮むものとする。図5にN値と打ち込み時間を示す。N値30以下ではほぼ一定速度で打ち込まれている事がわかる。

表5 作業サイクル

#### 施工例2 (写真2)

工事場所；神田川川幅拡張のための仮橋延長工事

工事内容；オーガ作業、H350 x 13m、パイプロ打止め

本現場は川沿いに民家が建て込み、川の上の仮設棧橋上からオーガで

段取り	3分24秒 45%
チャック	2分32秒 33%
打ち込み	1分38秒 22%
合計	7分34秒

表4 主な施工実績

No	工事場所	工事内容	備考	
1	神奈川県大和市	相模鉄道大和駅周辺改造に伴う土留工事 オーガ作業 H350×7m建込み	施工例1	
2	横浜市石川町	高速道路基礎工事(道時と河川間の土留め) オーガ先掘り、パイプロ3号7m矢板打込み		
3	横浜市関内	新築ビル工事地下土留め オーガ作業 H250×10、5m建込み		
4	東京都青梅市	トンネル工事土砂捨て場橋台建設工事 オーガ先掘り、パイプロH350×7、5m打込み		
5	千葉県栄町	下水道雨水函渠築造の土留め パイプロ2号6m矢板打込み		
6	愛知県春日井市	ビルの上下水施設建設の土留め パイプロ2号6m矢板打込み		
7	東京都渋谷	渋谷川護岸改修工事山止め オーガ作業、パイプロ打止め		
8	東京都東中野	神田川川幅拡張のための板橋延長工事 オーガ作業、H350×13m、パイプロ打止め		施工例2
9	神奈川県藤沢市	1) 送電用函渠築造の山止め パイプロ2号6m矢板打込み、 2) 送電用函渠間をつなぐマンホール部の基礎工事 オーガ作業φ400×14m既製杭		
10	東京都練馬	老人ホーム建設のための山止め オーガ作業、止水用ソイル壁φ400×9m		
11	茨城県出島村	工場建設に伴う雨水用函渠築造の土留め 矢板圧入のためのオーガ先行掘りφ400×6m		施工例3
12	青森県弘前市	下水発達到達立坑の土留め 矢板圧入のためのオーガ先行掘りφ500×10、5m		施工例4
13	川崎市日吉	日吉駅周辺改造に伴う土留め工事 オーガ先掘り、パイプロ4号×12m矢板打込み		
14	北海道手稲町	JR手稲駅構内増築のための杭建て込み オーガ先掘り、φ300×7m既製杭		
15	北海道新篠津村	下水発達到達立坑の土留め パイプロ2号6m矢板打込み		

12、5mまで削孔して、20tレッカーでH350×13mを建て込んだ。5本建て込み後パイプロに段取り替えして頭揃えをした。施工能率は10本/日の施工だった。重量が軽く傾斜した足場条件でも施工でき好評であった。また、川床部の矢板打ちは、民家が建て込み重機が近づけないため50tクローラークレーンで、毎日上げ下ろしして川床を走って行き施工を行った。

施工例3

工事場所；茨城県出島村

工事内容；工場建設に伴う雨水用函渠築造の土留め

本工事は当社の工場建設に伴う工事であり、かつN値も50あるため各種の実験施工を行った。

図6に地質柱状図と打込み時間及び地盤振動の関係を示す。打ち込み深さ4.5mまで(N値30以下)はスムーズに入ったが、それ以降はほとんど入らず5mで打止めとなった。地盤振動もN値30を境に極端に異なることがわかる。

また、圧入機による施工も行った。圧入機単独では30枚/日であったが、RX2000による先行掘りを行った場合は63枚/日であった。最終的には、この組み合わせで施工を行った。

写真 1



写真 2

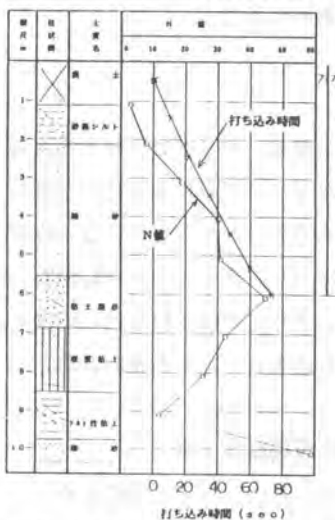


図5 地質柱状図と打込み時間



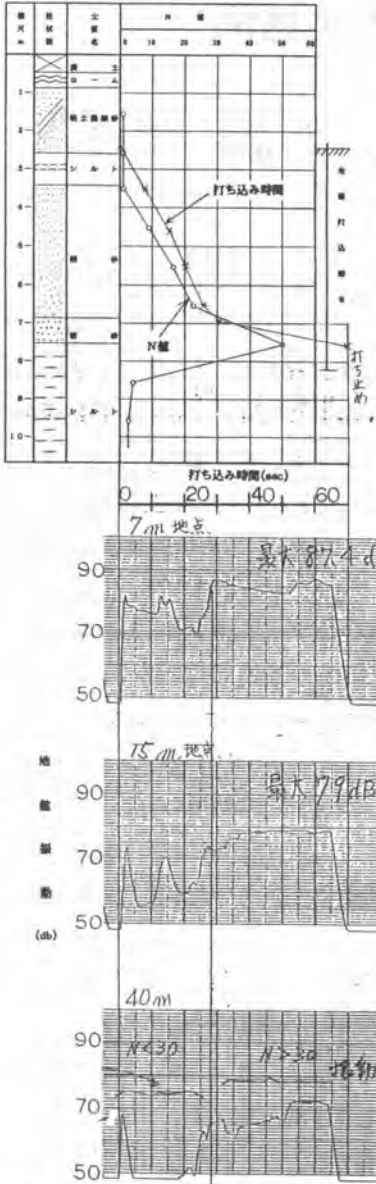


図6 地質柱状図と打ち込み時間及び地盤振動の関係

#### 施工例4 (写真3)

工事場所；青森県弘前市

工事内容；下水発進到達立坑の土留め

本現場は交差点内に下水管理設用推進機の発進到達坑を、RX 2000オーガで先行掘りを行い、圧入機で矢板を圧入する。

掘削深さ10.5mのため5m2本のスクリュウをつないで施工した。図7に地質柱状図を示す。深さ5mから礫層で、N値も40を越えており施工能率は25分/本であった。ピット1つを、オーガ作業2.5日、矢板圧入1.5日、計4日で施工した。なお、圧入機のみでは6.5日を要していた。

また、本体がコンパクトであるため交通への影響は最小限に抑えられた。さらに、上空には電線や電話線が交錯しており、フロントが柔軟であるという特徴が生かされた。

写真 3

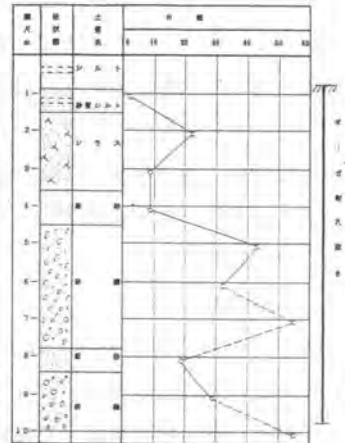


図7 地質柱状図

#### 5. あとがき

以上、RX 2000の紹介と施工実績について述べた。高度な熟練を要する多関節型アーム作業機を、レバー1本で垂直水平に操作できるため、アースオーガやパイプロアタッチメントを装着することが可能になり、従来にない基礎機械として好評を得ることが出来た。今後さらに種々のアタッチメントを開発して用途の拡大を図ると共に、シリーズ化も進めて行きたいと考えている。



# 19. 潜函工法による最近の実施例

(株)竹中工務店： 柴田 恭同・菊池 公男  
北野 勝康

## 1. まえがき

潜函工法は、地上で地下構造体(以下潜函体という)を構築し、その内部を掘削して構造体の自重により沈設させる工法である。

本工法は、戦前に開発され昭和40年代まで大規模建築の地下工法として数多く採用されてきた。その後、新しい地下工法の開発等の理由により、最近では採用される例が少なくなってきた。しかし、浄化槽などの場合、工期的および経済的理由により採用される場合がある。

潜函工事において重要なことは、潜函体を均等に沈下させるとともに掘削担当者の安全を図ることである。そこで、施工中の潜函体の状態をリアルタイムに把握し沈下の予測、掘削効率の向上および安全を図ったシステムを構築し、適用した。

本報告は、最近実施した2つの潜函工事の概要を述べるとともに、計管測理システムの概要および施工結果について述べる。

## 2. 工事概要

潜函工事の概要を表-1に示す。両工事は、水を入れるための施設の建設で、ほぼ同規模である。

工事は、潜函体を構築した後に潜函体内部にバックホウおよびブルドーザを配置して掘削を行い、クラムシェルによって掘削した土砂を搬出した。

図-1は、両工事の概略を示したものである。

加古川食肉センターの場合は、クラムシェルを潜函体上部に配置し、山止めとしてH形鋼を1mピッチで潜函体外周部に貫入して施工した。サントリー桂の場合は、クラムシェルを潜函体の外部に配置し、潜函体外周部にソイルパイル柱列を構築した後に施工した。

図-2は、掘削面における土質柱状図を示したもので

表-1 工事概要

項目	加古川食肉センター	サントリー桂
規模	W = 23.7m L = 35.5m H = 9.6m	W = 28.7m L = 20.7m H = 9.2m
構造	RC造	同左
重量	3,200 t	3,300 t
掘削土量	8,900 m <sup>3</sup>	5,300 m <sup>3</sup>
計画沈下量	8,200 mm	7,250 mm
山止め	H型鋼	ソイルパイル柱列
掘削	バックホウ ブルドーザ クラムシェル	同左

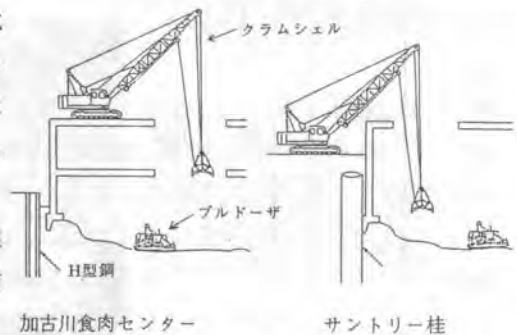


図-1 工事の概略

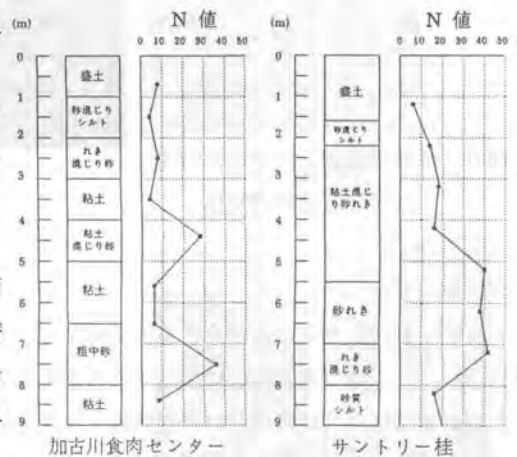


図-2 土質柱状図

ある。加古川食肉センターの場合は、硬質化した粘土層が多く、サントリー柱の場合は、砂れきを多く含んだ地盤となっている。

### 3. 計測管理システム概要

#### 3.1 計測管理項目

潜函工事において、潜函体を均等かつ安全に沈設させるためには、潜函体の挙動を随時施工管理者が把握し、適確な施工管理を行う必要がある。このため、潜函体の沈下量および刃先部の土圧を連続的に計測するとともに、掘削および排土作業におけるクラムシェルの動きを自動的に監視することにした。

表-2は、計測管理項目を示したものである。

#### 3.2 計測機器の構成

図-3は、計測機器の構成を示したものである。潜函体の挙動は、沈下量をストローク計、刃先部の土圧を土圧計で計測した。計測データは、計測室に設置したパーソナルコンピュータにより一括収集し、時系列に記録および画面表示する。

また、掘削担当者は潜函体の傾きが分からないため、ストローク計のデータよりレベルの一番低い所を基準にレベル差をパソコンで演算し、掘削面に設置した表示器にcm単位でデジタル出力し、掘削担当者への目安とした。

施工管理者は、画面表示された計測データより潜函体の挙動を把握し、沈下が起こると判断される場合には、手元スイッチにより掘削面に設置したパトライトを点灯する。さらに、マイクを用いて掘削担当者に沈下予知を行い安全を図った。表-3は、主な計測機器の仕様を示したものである。図-4は計測機器の設置箇所を示したものである。

#### 3.3 測定方法

図-5は、沈下量および土圧の測定方法を示したものである。ストローク計は、潜函体四隅の潜函体とは縁切れした位置に設置し、潜函体上面に設置したアングルとの間にワイヤーロープを張る。潜函体が沈下するとストローク計に内蔵したエンコーダを介してモータ

表-2 計測管理項目

測定項目	測定点数	目的
潜函体の沈下量	4	潜函体の挙動を常時監視し、掘削作業の効率化および安全を図る。
刃先部の土圧	8(4)	
クラムシェルの旋回	2(1)	掘削および排土作業の安全を図る。
集土位置の状況	2(1)	

\* ( )内はサントリー柱

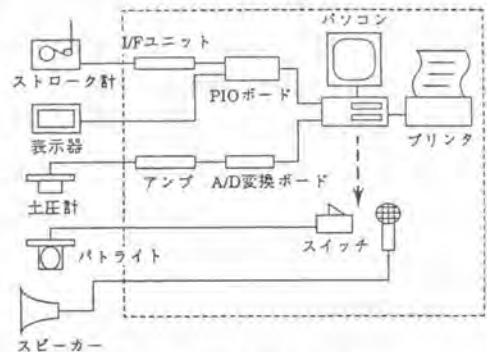


図-3 計測機器の構成

表-3 主な計測機器の構成

計測機器名	形式	仕様
ストローク計	L-30	分解能: 1mm
土圧計	BE-5KR 86	容量: 5kg/cm <sup>2</sup>
アンプ	DPM-613B	出力: ±5V, ±5mA
光センサ	JC-R2M-X9	出力形態: 長距離反射形
パソコン	FC-9801V	CPU: μPD70116

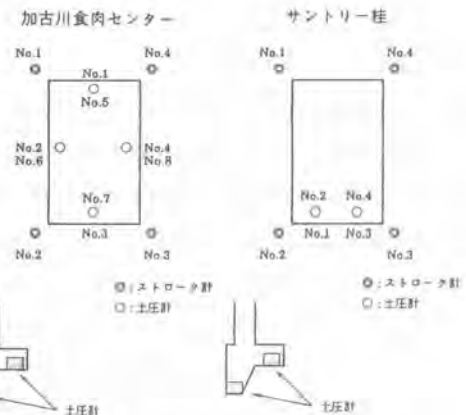


図-4 計測器設置位置

がワイヤーロープを巻き取る。このとき潜函体の沈下量をエンコーダによって検出する。

土圧計は 潜函体の刃先構築時に設置のためのスペースを確保しておき、潜函体構築後に設置した。

### 3.4 安全管理システム

掘削と排土作業は、上下重複するため双方の施工担当者への安全対策を講じる必要がある。このため、図-6に示すようにクラムシェルの開口部への旋回を光センサによって検出し、掘削面に設置したパトライトを点灯させる。また、クラムシェルのバケット降下位置をT.Vカメラで撮影し、クラムシェルの運転室でオペレータがモニタできるようにして、二重の安全システムにした。

### 4. 施工管理結果

潜函工事期間中の潜函体の沈下は、図-7に示すような結果であった。

掘削開始より2~3日間は、捨コンおよび地盤改良した層の掘削のため沈下は起こらなかった。沈下が始まって1週間程は、ほぼ毎日のように沈下が起こったが、沈下が進むに従って沈下しない日が増加した。

図-8は、掘削土量の実績を示したものである。掘削は、上下作業によるトラブルもなく期間中順調に行われた。

最終沈下量は計画沈下量に対して、加古川食肉センターの場合±85mm, サントリー桂の場合+150mm以内であった。

#### 4.1 沈下量の測定結果

図-9~10は、今回の潜函工事における代表的な沈下の記録結果である。今回の沈下の特徴は、数時間にわたって40~50cmという非常にゆっくりした速度で沈下する場合と、最初徐々に沈下が起こり、5~10分後に急激な沈下が起こったことである。このため、沈下の予測は徐々に沈下が起こった段階で把握することができ、急激な沈下の起こる前に十分な余裕をもって、掘削担当者への警報を確実に伝え、安全に掘削を完了することができた。

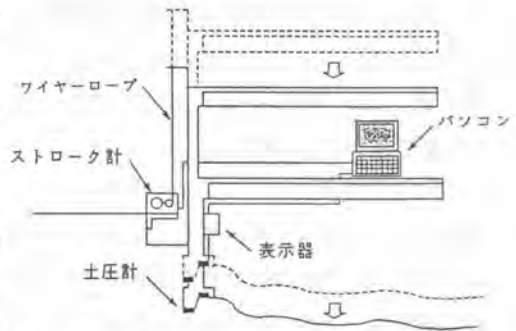


図-5 沈下量・土圧測定方法

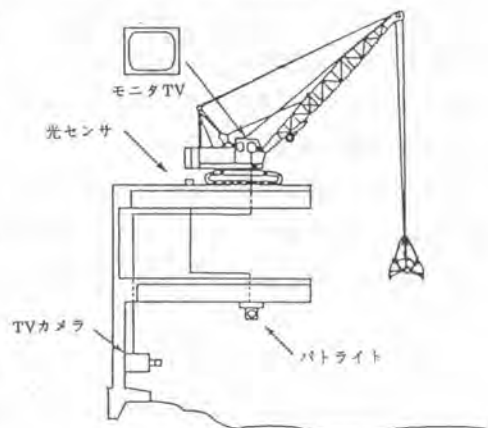


図-6 安全管理システム

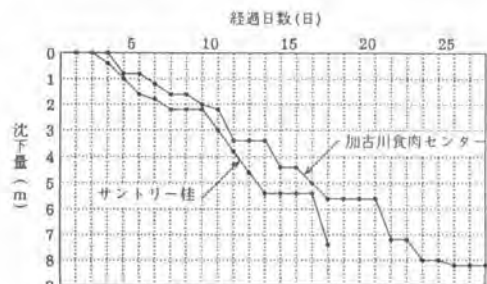


図-7 施工期間中の沈下量

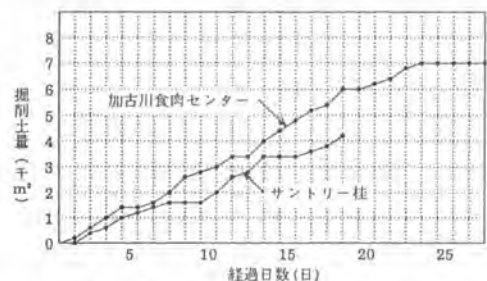


図-8 掘削土量の実績

また、潜函体の沈下は、最初片側の短辺を基軸に長辺方向に交互に起こったが、沈下が進むにつれて潜函体全体が一度に起こる場合が多かった。

この原因は、地盤改良を行った層を含め全体に硬質で、沈下が進むにつれて周面摩擦抵抗が増大したため、刃型付近の掘削を刃型下部に向かって徐々に進めて行った結果と考えられる。

#### 4.2 土圧の測定結果

刃型部の土圧は、沈下前に増加あるいは減少の変化が確認された。土圧に変化の現れる時間は、沈下前5～20分の範囲の場合が多かった。深度0～2.5mの浅い所において、沈下する側の辺の沈下前の土圧は、増加する場合が多く、2.5m以深では減少する場合が多かった。

図-11は、潜函体の刃先位置と支持土圧を示したものである。実測された土圧は、刃先部の土の支持幅25～50cm程度とし、周面摩擦を考慮して計算した土圧の範囲にあり、実際の掘削に近い結果であった。

#### 5. まとめ

今回、2つの貯水施設の潜函工事に対して、潜函工法施工管理システムを構築し適用した。その結果、潜函体の挙動をリアルタイムに把握することができ、潜函体の沈下を確実に予測できた。これにより、施工能率の向上および安全性の確保に効果を上げたことから当初の目標を満足したものと考えられる。

以下に施工管理結果をまとめて示す。

- 1) 潜函体の沈下性状は、数時間にわたって徐々に沈下する場合と最初徐々に沈下を始め5～10分後に急激な沈下をする場合があった。
- 2) 1回の沈下量は、ほぼ200～1000mm程度で沈下が進むにつれ沈下量は大きくなった。
- 3) 沈下が進むと潜函体は、全体が急激に沈下する場合が多かった。

今後の課題は、沈下量の制御、定着方法等の検討が上げられる。

最後に本システムを適用するにあたり御協力頂いた関係各位に感謝の意を表します。

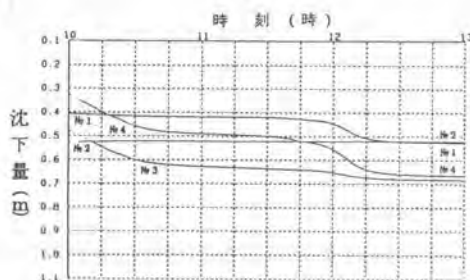


図-9 沈下量測定結果

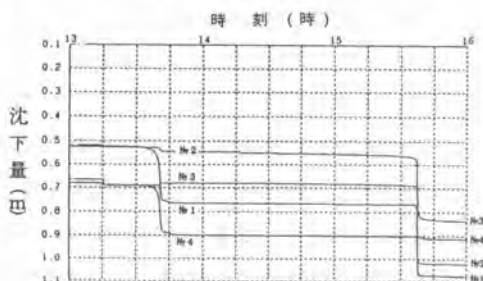


図-10 沈下量測定結果

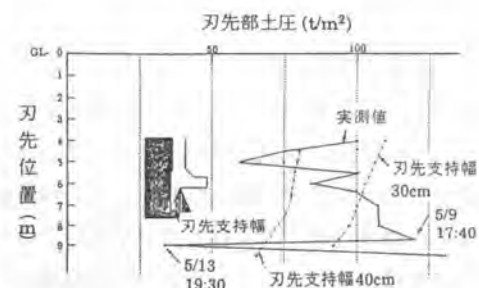


図-11 潜函体の刃先位置と刃先部土圧

## 20. DOT工法と横二連形実証実験工事

(株)大林組： 宮 清  
 大成建設(株)：伊野 敏美  
 大豊建設(株)：近藤 紀夫

### 1. はじめに

近年、都市において地下空間の有効利用が要望されており、シールド工法でも、利用する目的に応じた、不要な空間を持たない断面のシールド工法が求められている。これらのニーズを先取りする形で、昭和56年から研究開発されたのが多連形泥土圧シールド（DOT）工法である。このDOT工法の実用化に向けて、外径2.5mの円形泥土圧シールドを2基組合わせた、写真-1に示すDOTシールド機を製作し、実証実験工事を行った。その結果シールド機の特長や姿勢制御などの施工性や地盤変状について多くのデータを得られたので、ここにその概要を報告する。



写真-1 DOTシールド機

### 2. DOT工法

DOT工法は、複数のスポーク状のカッターを歯車が噛み合う様に同一平面に配置した多連形泥土圧シールド機（DOTシールド機）を用いて、多連形のシールドトンネルを築造する工法である。ここでDOTシールド機のカッターは、互いに逆方向に回転し接触、衝突を起こさない様、同期制御され地山を同一平面に掘削することが可能である。DOT工法の主な特徴は、次の通りである。

- ①占用幅及び地下の占有面積が小さい：円形断面に比べ不要な断面が少ない為、地上及び地下の占有面積が小さく、地下空間の有効利用が可能である。
- ②円形断面の組合せが自由：円形断面を左右もしくは上下に組合わせることが可能であり、設計、計画、周辺条件に応じた最適な断面形状を選択できる。
- ③切羽を同一平面で掘削できる：カッターを同一平面に配置しているため、切羽の安定がよく、掘削に伴うカッターの掘削抵抗が打ち消され、掘進のバランスが良く掘進管理も円形シールドと同様である。
- ④経済性に優れている：不要な断面が少ない為、掘削土量等が少なくなると共に、立坑も浅くできることから従来の円形断面に比べ経済性に優れている。

### 3. DOT工法実証実験工事

#### ①実験工事概要

実験工事は昭和62年11月か

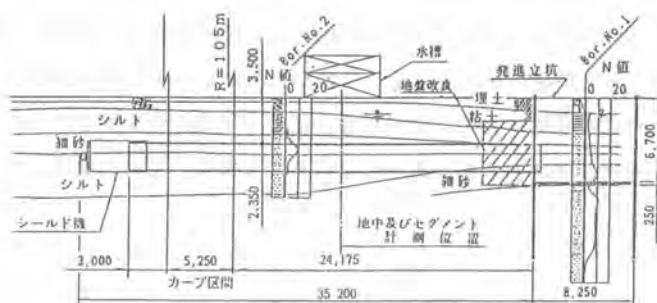


図-1 実験路線図



ら仮設備、立坑に着手し、昭和63年2月～3月に掘進実験を行った。実験路線は図-1に示した通り掘進延長35.2m、土被り3.5mで水平に掘進し、途中でR=105mの曲線施工を行った。掘進部の土質は沖積世藤代層と呼ばれ、細砂、シルトがそれぞれ薄く堆積している。N値はシルトで0～2、細砂で8～10と軟弱であり、含水比は細砂が30%、シルトが58～61%で液性限界(44%)を越えている。

#### ②DOTシールド機及びセグメント

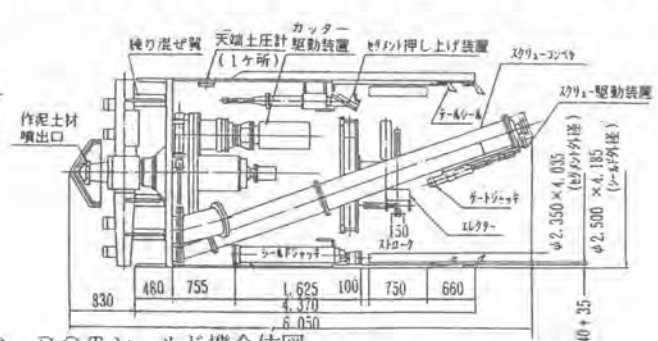
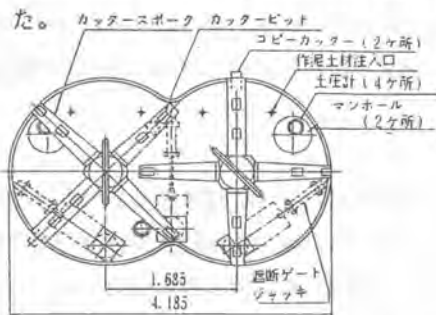
本実験で用いたDOTシールド機の全体図は、図-2に示すもので主な仕様は以下の通りである。

- ・シールド縦径×横径：φ2500mm×4185mm
- ・シールド本体長：4370mm
- ・シールドジャッキ総推力：80tf×12本
- ・カッター駆動方式：電動機駆動
- ・カッタートルク：最大 22tf×2基
- ・カッター回転速度：0～2.8rpm
- ・カッター回転制御方式：インバーター制御
- ・ローリング修正ジャッキ：8本
- ・スクリーコンベア回転速度：0～1.6rpm
- ・セグメント押上げ装置：2基
- ・エレクター形式：リング式×2基

本実験に用いたセグメントは、RCセグメントであり主な仕様は以下の通りである。

- ・セグメント縦径×横径：φ2350mm×4035mm
- ・セグメント幅：750mm
- ・円弧部セグメント厚さ：125mm
- ・セグメント分割数：9分割
- ・中柱部セグメント厚さ：160mm

曲線区間はテーバー量42mmの両テーバーセグメントを用い、テーバー：標準=2：1で使用した。



4. 実験結果

図-2 DOTシールド機全体図

#### ①シールド機の特長及び施工性

##### 1) シールド機の姿勢制御

掘進時の姿勢制御のうち、ピッチング、ヨーイングは従来の円形シールドと同様にジャッキ操作で制御可能であった。ローリングはカッターの回転方向に無関係で且つ殆ど発生しなかった。シールドジャッキのうち、左右の外側に配置した8本のジャッキ(ローリング修正ジャッキ)の後端部を円周方向に移動させ、偏心させることにより強制的にローリングを発生させることが可能であった為、この方法がローリング修正に有効であることが確認できた。(図-3参照)

##### 2) カッターの同期制御

本シールド機のカッターの回転同期制御にインバーター制御方式を採用した。左右のカッターは45°の位相差をもって配置されており、この角度を維持しながら互いに逆方向に回転するもので、



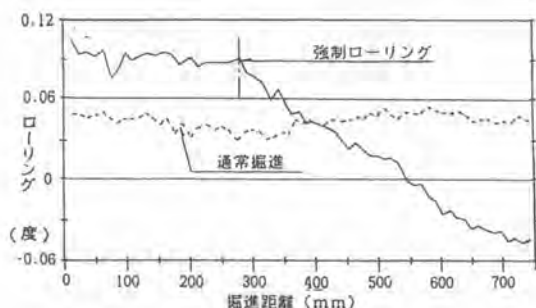


図-3 1リング掘進中のローリング変化図

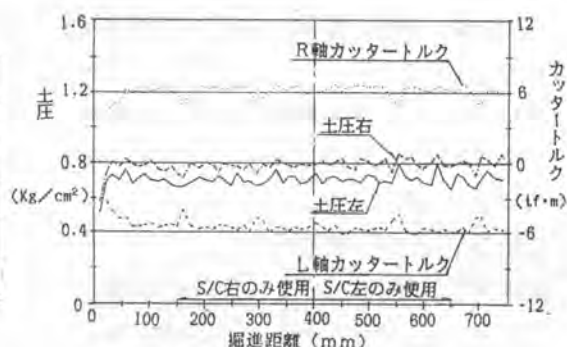


図-4 片S/C時の泥土圧及びカッタートルクの特  
性

この正規の角度からのズレ角を偏差角度という。そして、この偏差角度は実験工事の全線を通じ最大で0.1度(制御目標3度)であり、同期制御方式の信頼性を確認できた。

### 3) スクリューコンベアの配置と本数

今回の実験では左右のスクリューコンベアを同時に使用して掘進する場合と、左又は右のみを使用した場合のそれぞれについて、左右の泥土圧及びカッタートルクの変化を比較した。図-4は片側のみ使用した掘進時の左右のカッタートルク及び泥土圧の変化を示すグラフである。このグラフから排土スクリューコンベアの位置を変えても、カッタートルク、泥土圧に変化は見られず、チャンパー内の泥土は均一な塑性流動性を保ち、スムーズな土砂移動が行われていたことが推定される。又、左右2本での掘進時も片側のみ使用した場合と同様な結果が得られた。従って、チャンパー内の泥土が塑性流動化されていれば、スクリューコンベアの配置や本数は切羽安定等に関して無関係であると判断できた。

### 4) 切羽土圧管理

本シールド機は泥土圧シールド機であり、切羽土圧はシールドジャッキの推進速度とスクリューコンベアの回転速度によって制御される。本実験ではシールドジャッキの推進速度をほぼ一定に保ちスクリューコンベアの回転速度の調節によって切羽泥土圧を制御した。全工程を通じチャンパー内の泥土圧は、 $0.7 \text{ kg/cm}^2$  前後でスクリューコンベア速度、ジャッキ速度と共にほぼ一定の安定した掘進状態であり、円形の泥土圧シールドと同様、正確な土圧管理が可能であることが確認できた。

### 5) セグメントの組立性能

セグメントの組立は、下部のジョイントセグメントを設置し、円弧セグメントを左右のエレクターを用いて同時に行い、上部ジョイントセグメントを設置した後、柱部のパネルセグメントを水平に挿入した。パネルセグメントの組立には、図-2に示すセグメント押上げ装置を使用し、組立済みの円弧セグメントを押上げ、パネルセグメントの組立スペース



写真-2 施工完了全景

を確保することで容易に挿入、組立ができた。テーバーセグメントについても標準セグメントと同様全く問題なく組立ができた。(写真-2は施工完了全景)

### 6) 曲線施工性

曲線半径R=105m, 曲線長C.L.=5.25mの曲線施工は、シールドジャッキの選択のみで計画通りの線形を施工できた。

### 7) 同時裏込め注入

DOTシールド機の上下のくびれ部に設けた同時注入管から、二液混合の可塑状固結形の裏込め材を注入した。この結果、上部あるいは下部のヶ所からの注入で、ほぼ均一に注入できることがセグメントに取り付けた土圧計により確認できた。注入率は、150~200%, 注入圧は、二液混合直前のホース先端部で、2.2~2.6kg/cm<sup>2</sup>であった。

### ②地盤変状

#### 1) 計測機器, 計測装置

シールド掘進に伴う地盤変状の計測の為、土水圧計、層別沈下計、沈下板、水盛式沈下計等を配置した、計器の配置平面図を図-5に示す。

#### 2) 計測結果

図-6はシールド機先端通過時前-2mから通過後掘進完了時の沈下の変化を表したものである。沈下は地盤が軟弱で土被りが小さいにもかかわらず、最大で12mm程度であり、影響範囲は、シールドに外接する45°の線とほぼ一致している。

### 5. おわりに

DOT工法の実用化に向けて横型二連形の実証実験工事を行った結果、シールド機の特長や施工性、地盤変状、セグメント等いずれの点においても、従来から行われてきた円形泥土圧シールド工法と大きく変わるところはなく、切羽の安定その他の優れた利点を生かした工法であることが確認できた。今後は、更に、縦型二連形へと発展させるべく新たな実験を行う予定である。最後に、本実証実験工事を行うにあたりご指導、ご協力をいただいた関係各位の皆様へ深く感謝します。

### 凡 例

× 地中沈下測点(ワイヤー式)	• 地中水平変位測点
⊗ 地中沈下測点(ロッド式)	○ 土中間隙水圧測点
△ 地表面沈下測点(レベル)	□ 地中側方土圧測点
▲ 地表面沈下測点(水盛式)	

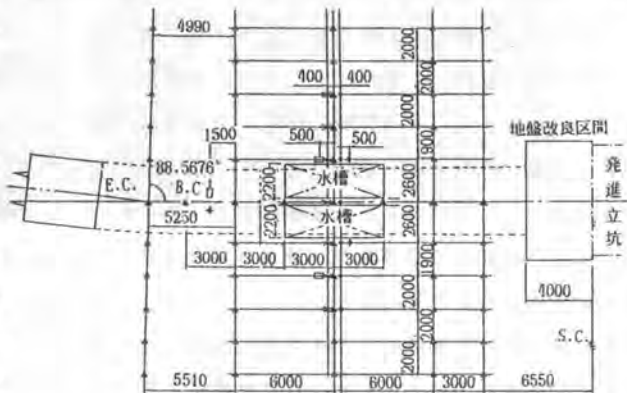


図-5 計器の配置平面図

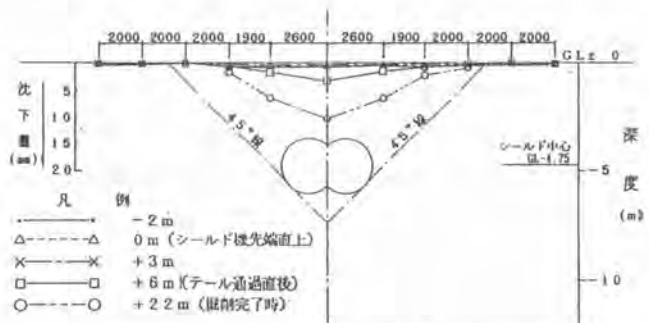


図-6 シールド機の接近・通過に伴う地表面沈下横断分布図

## 21. アンカレス・マンドレル装置の開発と施工実績

東洋建設(株)：福富 泰・後藤 聖一

### 1. まえがき

プラスチックボードを用いたドレーン工法を、より経済的かつ施工性の良い確実な工法として確立させるための昭和60年度からプラスチックボードドレーン工法の弱点であった「共上り」の発生を無くすことを目指し、水陸いずれの施工も可能な独自の打設装置の開発を進めてきた。

この装置はドレン材自身の先端部を鉤状に湾曲させることにより生じるアンカー効果（以下「J効果」と呼ぶ）を利用し、鋼製やプラスチック製のアンカーを全く使用せずに打設が可能であることからアンカレス・マンドレル装置（以下「アンカレス」と略す）と名付けられた。

今般、出雲空港整備事業（滑走路延長工事）における約8万6千本の水中打設において本装置の優れた性能が実証されたことを一つの区切りとして、このアンカレス装置についての機構、J効果の確認実験、そして実績をとりまとめて報告する。

### 2. アンカレス・マンドレル装置の概要と特徴

#### (1) 概要

本装置はドレン材そのものの先端部をJ型にして打設するものである。これは油圧機構を装備したアンカレス本体を中心とした一連の打設システムの開発によって可能となったものであり、その特徴を次に列記する。

- ① 共上りが発生しない。
- ② アンカープレートを使用しないため、その取付けの手間や費用が不要となる。
- ③ 水中施工にあたり上記②の効果は特に顕著であり、マンドレルを水上（船上）に引揚げる必要がなく打設サイクルの短縮が可能となった。
- ④ ドレン材は開閉可能な蓋で保護されるため買入の際の損傷が無い。
- ⑤ 同時に開発したドレン材の自動切断装置や管理計器を含めアンカレス打設システムの構築が可能となった。
- ⑥ 下部硬土盤迄の打設のみならず軟弱層での浮遊状態でもドレン材の定着が可能となった。
- ⑦ 超軟弱地盤での打設が可能となった。

#### (2) 打設の原理

アンカレスによる打設の原理を図-1に沿って説明する。打設にあたってはドレン材をマンドレル先端部より10～20cm垂らした状態で蓋を閉めドレン材をJ型に湾曲させる。（順序1,2）この状態で土中に入らし所定深度迄マンドレルが到達した時点で蓋を開く。（順序3,4）次にマンドレルをを引き抜き始めると同時にシリンダーロッドがマンドレルと同じ速度で伸進することにより、ドレン材は所定の深度に保持された状態となる。（順序5）その後ドレン材はJ効果により定着する。（順序6）地中からマンドレルが引き抜かれた時点で切断し、直ちに順序1に戻り次の打設が可能となる。（順序7）

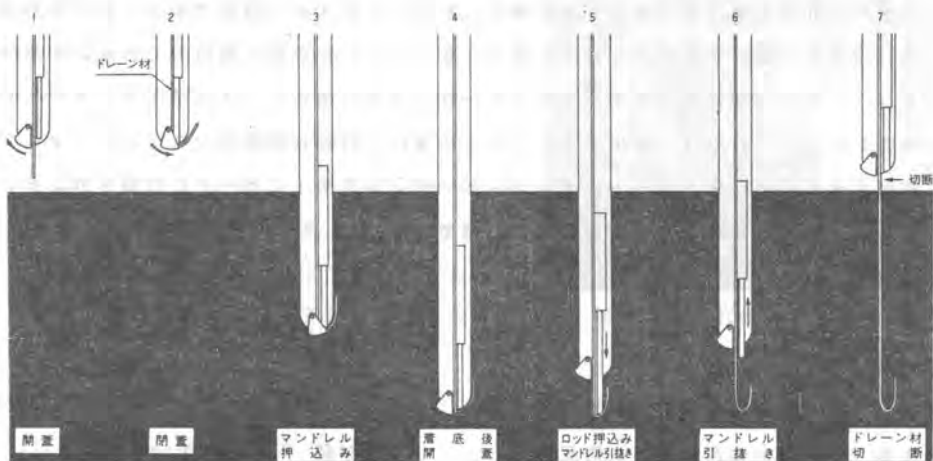


図-1 打設の原理

### 3. 装置の基本構成

#### (1) マンドレル本体

アンカレスは本体が一辺 150mmの角型構造であり、蓋開閉及びドレン材定着用の二つ油圧シリンダーを備えている。蓋開閉用のシリンダーはマンダレルが所定の深度に貫入到達後、土圧に打ち勝ち、すみやかに開くパワーが必要であり、蓋はそのシリンダーからリンク機構を介して開閉される。この蓋はドレン材を保護し貫入時の全抵抗を受けるために特に堅牢な構造となっている。

一方のドレン材定着用のシリンダーは1200mm（標準）のストロークを有し、そのロッドは蓋が開いた後、マンダレルの引抜き速度に合わせて伸進する。この伸進速度は、速過ぎればドレン材を突き破り、また遅過ぎれば共上りとなるため安定した動作が要求される。

これら2つのシリンダーを左右に配置し、その中央部をドレン材が貫通するためマンダレル先端は狭隘な空間を最大に利用した構造となっている。このような構造に至る迄に多くの開発実験を必要とした。

#### (2) ドレン材切断装置

今日、ドレン材の切断はナイフやハサミを使用して手作業に頼っているのが殆どである。切断に際しては車輛の下方に潜り込む姿勢を取らざるを得ないため効率安全の両面から改善がのぞまれていた。

また水中施工においてはドレン材切断装置が必要不可欠のものであることは言うまでもなく、アンカレスと並行して本装置の開発に着手し写真-1に示す切断装置を完成させた。この装置は油圧シリンダーのロッド先端に平刃及びスプリング付のドレン材押え板が取り付けられている。

このスプリング付押え板があらかじめドレン材を固定するため確実な切断が可能である。



写真-1 ドレン材自動切断装置

### (3) 計測管理装置

アンカレス用の計測管理は陸上施工、水中施工とも同一のシステム構成である。計測項目は、①マンドレルの打設深度、②ドレン材のくり出し長さ、③マンドレルの貫入抵抗力である。①及び②はロータリーエンコーダー、③はロードセル（ワイヤー押し込み式の場合）、又は油圧センサー（ローラ押し込み式の場合）によりそれぞれを検出する。これらの値は、打設状況監視システムのディスプレイやパネルに表示される。また本システムにてフロッピーディスクやICカードに収録されたデータはそのまま事務所に持ち帰り各種管理表の作成に利用できる。

## 4. 施工実績

### (1) 施工例 1

#### ① 工事概要

工事名 : 錦海塩業跡塩田跡地改良工事  
工事場所 : 岡山県邑久郡邑久町尻海                      工事期間 : 昭和61年11月  
工事内容 : 平均実改良長 20m/本、総打設本数 750本（内 400本は沈下計測対象）

#### ② 実績

750本の打設のうち 350本はアンカレス装置の実験を兼ねた試験打設であり、残り 400本については、20m 正方のマウンド上に 1m ピッチの連続打設を行った。転石等による NG は発生したが共上りによる NG は皆無であった。

また、マウンド形成時にあらかじめ設置した沈下計と間隙水圧計により地盤沈下量等の計測を行った。この結果、盛土開始後約 6 ヶ月後の圧密度は未改良（理論値）が 9% であるのに対し、ドレン材使用（実測値＋双曲線法）では 75% に達した。

一方、未改良の状態で圧密度 75% に達するに要する時間は圧密理論から 36.5 年と予想されることから、アンカレスにて打設したドレン材が確実に効果を發揮していることが明らかになった。

### (2) 施工例 2

#### ① 工事概要

工事名 : 出雲空港整備事業滑走路延長第一期、第二期工事  
工事場所 : 島根県簸川郡斐川町                      工事期間 : 昭和62年 4月～昭和63年 3月  
工事内容 : 平均実改良長 20.78 m/本、実打設本数 86,122

#### ② 実績

写真-2は本工事専用に当社が新造したペーバードレーン1号船である。

打設の原理及び水中自動切断装置を含めたアンカレス装置そして管理計器等の基本構成は前述のものと同じであるが能率の向上を計り、マンドレルは4連装×2基を採用し同時に8本の打設が可能である。



写真-2 ペーバードレーン1号船

また、打設状況の監視やデータの収録にパソコンのモニタリングシステム（写真-3）を採用したことや夜間作業が可能な船舶の位置出しシステムを採用したこと等、新規技術を結集したものである。本工事における施工実績を表-1に示す。NG率は1%未満と通常のベーパードレーン工法に比べて大巾に少ない。これはアンカレス装置を採用して初めての本格的施工であったことや、従来方式でも事例の少ない夜間の水中施工であったことを考え合わせれば本装置の特徴が十分に実証されたものと考えられる。

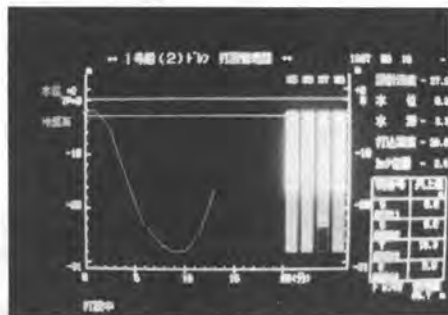


写真-3 打設状況モニタリング

システム

### 5. 確証実験

一般に打設したドレン材の地中での状態を知ることは非常に困難なことである。当社では矢板締切り内にアンカレスを用いてドレン材を打設した後、矢板内を慎重に掘削し、ドレン材先端部のJ型形状や鉛直性、おじれについての確認を行った。

打設工事は次の通りである。

打設本数 : 16本                      打設深度 : 10m (支持地盤への定着) 及び 8m (浮遊状態)  
 打設間隔 : 1m                      対象土質 : 自然含水比約 100%の軟弱地盤

この結果、ドレン材の打設深度とくり出し長は、①管理計器による表示値、②掘削後のドレン材の実測長、及び③ドレン材にあらかじめ付けたマーキングの読み取り、の3種類の値が完全に一致していることが分った。このことからアンカレスにより共上りのない確実な打設ができること、そして管理計測手法も確実であることが実証できた訳である。また、地中でのドレン材のおじれや変形も無く鉛直性も確実に保たれていることが分った。(写真-5)そして、アンカレスによる打設の大きな特徴であるドレン材先端部のJ効果が、間違いなく実現されていることも目視確認できた。(写真-4)

表-1 ベーパードレーン施工実績 (総括)

	PD1号船	PD2号船	合計
総打設本数	44,885 本	41,237 本	86,122 本
NG本数	235 本	226 本	461 本
実打設本数	44,149 本	40,370 本	84,519 本
施工日数	199 日	177 日	376 日
打設能力	221.85 本/日	228.08 本/日	224.78 本/日



写真-4 J効果の確認 (深度10m)



写真-5 ドレン材の鉛直性確認 (深度3m)



## 22. 礫対応型小口径推進機の開発

(株)小松製作所： 竹内 卓・大久保 保夫

### 1. まえがき

小口径推進工法は、都市集中化による地下埋設物の輻輳化、騒音、振動や交通量の増大により、急速に普及している。この主な需要先は下水道工事であり、日本の下水道普及率は、第6次下水道整備計画の終了するS65年に46%へ達する見込みである。しかし欧米先進国普及率70~90%に比較してもまだ需要増大が期待できる。一方下水道工事の主体が平野部の大都市から比較的内陸部に多い中小都市に移っていくにつれより広範な土質、特に礫地盤へ適用可能な推進機械が要求されてきている。

これまでも種々の礫対応の機械が開発されてきているが、適用可能な礫の大きさが小さいため、推進工法の採用ができなかったり、また予測以上の大礫に遭遇し（正確な土質調査が難しいため）、推進を途中で断念せざるを得ないケースも生じている。

本報では、カッタヘッドにディスクカッタ、超硬ビットを装備し大径礫でも精度を確保しながら、破碎突破でき、しかも低施工コストをねらった一工程方式の礫対応型小口径推進機械を開発し、フィールドテスト、実施工工事への適用を計ってきたので、その概要について報告する。

### 2. 工法の概要

#### 2.1 工法システム

本工法は、推進工法の中の一工程方式に属するものであり、施工手順を図-1に工法仕様を表-1に示す。

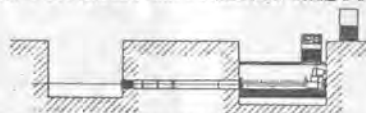
(1) 後部推進装置と先導管を発進立坑にセットします。



(2) 先導管の後に順次ヒューム管を接続し、発進立坑へ排土しながら推進します。



(3) レーザセオドライトで先導管の位置を把握し、推進計画線に沿って方向修正しながら到達立坑まで推進します。



(4) 到達立坑にて先導管を回収します。

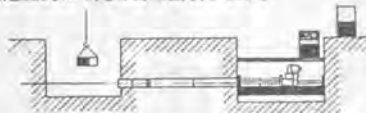


図-1 施工手順

項目	仕様	
適用ヒューム管径	φ250, φ300, φ350, φ400 φ450, φ500, φ600, φ700	
排土方式	スクリュコンバア方式	
適用土質	(1) 土質の種類 広範囲な土質(粘土、シルト、砂・礫等) (2) 可能N値 5~50 (3) 最大礫径 適用ヒューム管径の1/2程度 (4) 被水圧力 0.6 kg/cm <sup>2</sup>	
発進立坑 ※ (全長× 全幅(m))	φ250, φ300	最小 3.6 × 2.0
	φ350 ~ φ700	最小 4.0 × 2.0
到達立坑	φ250, φ300	1号マンホール(φ900)
	φ350 ~ φ450	2号マンホール(φ1200)
	φ500 ~ φ700	3号マンホール(φ1500)

※止水器装着時には、止水器の長さ分、又両発進時には、ヒューム管の押し残し分だけ立坑寸法が長くなる。

表-1 工法仕様

## 2.2 機械仕様

機械は、基本装置（推進装置、コントロールユニット、油圧ユニット）と各管径別の先導管及び延長パーツより構成されている。全体構成を図-2に示し、各装置の仕様を表-2に示す。特に新機構を織り込んだ推進装置、コントロールユニット及び先導管について詳細を述べる。

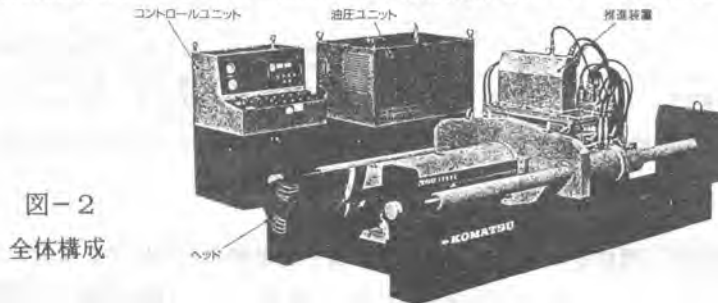


図-2  
全体構成

装 置		諸 元	装 置		諸 元	
推進装置 (含駆動装置)	寸法(mm)	(W×L×H) 1580×3940×1483	先導管 (φ250用)	寸法(mm)	(外径×全長) φ374×2585	
	重量(kg)	5140		重量(kg)	850	
推力(ton)	208	揺動角(度)		0~4°		
コントロール ユニット	トルク(kg-m)	1680	延長パーツ (φ250, φ300用)	揺動力(ton)	15	
	ストローク(mm)	270		ピン弁耐圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	15以下	
	寸法(mm)	(W×L×H) 920×800×1453		位置計測 範囲(mm)	上下 ±19.5 左右 ±50	
油圧 ユニット	重量(kg)	470	スクリュ 寸法(mm)	(全長) 2080		
	電圧×電力	AC100V×950W			重量(kg)	51.5
	寸法(mm)	(W×L×H) 929×1366×1553			ケーシング 寸法(mm)	(全長) 2020
	重量(kg)	1020	重量(kg)	71.6		
	電圧×電力	AC200V(3相)×35KW				

表-2  
機械仕様

### 2.2.1 推進装置

本装置は、掘削・排土及び推進機能を有している。特徴として、図-3に示すように連続推進可能な油圧チャック方式及びヒューム管推進が終了し、次の管のセット時間を短縮するために、駆動装置を30秒前後で戻ることが可能な図-4に示すような早戻り機構を採用し、作業の迅速化を実現した。



図-3 連続推進機構



図-4 早戻り機構

### 2.2.2 コントロールユニット

本装置は、掘削、推進、排土、方向をコントロールするものである。特に方向検出システムは、図-6に示すように、先導管に装着されたレーザーターゲットからの電気信号をパソコンにて演算処理し、CRT画面に表示する。CRT画面には図-7の表示例のごとく、現在位置及び将来位置をローリング補正を行いデジタル及びアナログ表示して方向修正操作を容易にしている。又立坑内での操作特に管継手作業を容易にし、日進量を多くするためリモート装置を装着した。

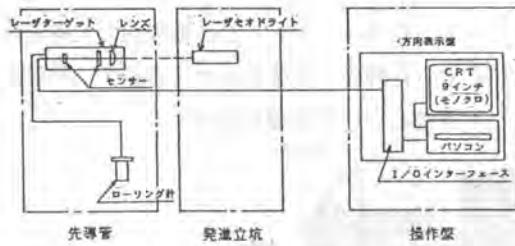
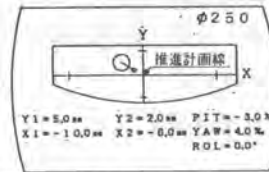


図-6 方向検出システム



現在位置：推進計画線に対し、上に 5.0mm、左に 10.0mmズレている。  
 将来位置：推進計画線に対し、上に 2.0mm、左に 6.0mmズレている。  
 姿勢：上下方向（ピッチング角）は下に 3.0%、左右方向（ヨーイング角）は右に 4.0%、ローリング角は 0.0° 従って、先導管の姿勢は、推進計画線より、ズレが小さくなる方向です。

図-7 CRT表示例

### 2.2.3 先導管

本装置は、掘削排土方向修正機構を持ち、図-8に示す通り隙破碎のためにベアリングで支持されたカッターヘッドにディスクカッター、カッタービットを有し、全方向に最大4°揺動可能で方向修正作業が容易な球面構造を採用している。滞水層、軟弱地層の掘削時、方向修正を確実にするために、土砂の取込量を制御する、図-9に示すピンチ弁を取り入れてある。方向検出システムは図-6に記載した通りであるが、二枚のポジション・センサを採用することにより、現在位置のみならず1m先の将来位置まで予測できる、図-10に示すレーザー受光システムを搭載し、高精度推進を確保できるようにしてある。さらに傾斜計及びローリング計及び目視用ターゲットを内蔵しており、万一レーザー受光システムにトラブルが発生しても推進可能としている。

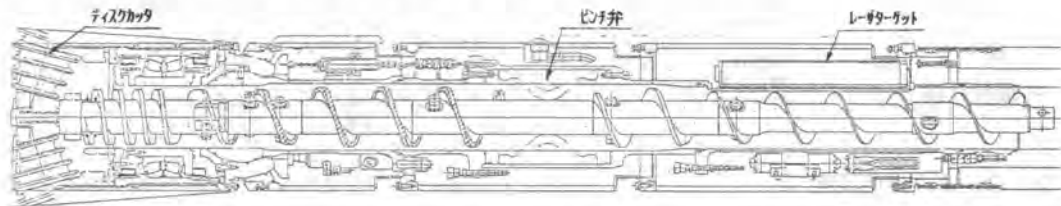


図-8 先導管

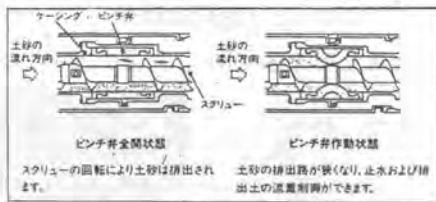


図-9 ピンチ弁

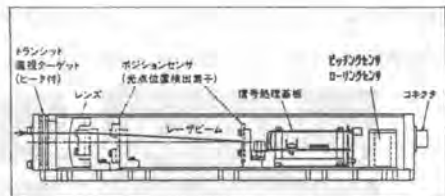


図-10 レーザ受光システム

ここで本機に、採用した隙破碎機構につき言及してみる。従来の隙破碎方式は、図-11に示すように、固定外筒内に入ってきた隙を破碎するもので、通常外筒径の1/3位の隙破碎が限度である。さらに隙が下部にあり枕状になる場合及び隙径の大きなものは、制御できずに上にせり上るか、推進を断念せざるを得ない。

この問題を解決するために、図-12に示すように掘削ヘッドを外周回転させ、枕状になった隙に対して、超硬を配したカッタービットで切削し、前面の大きな隙に対しては、ディスクカッターで破碎する機構を採用した。

このため管外径と同等以上の隙がでてきても、精度良く掘削推進ができる。そのうえディスクカッタは、押し付けられた状態で掘削推進すると自転し、ディスクカッタ形状のくさび効果により低トルクで、隙を破碎することが可能である。

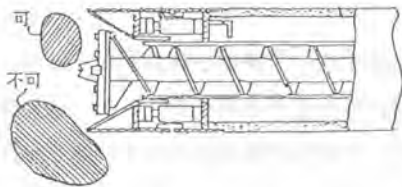


図-11 従来型隙破碎方式

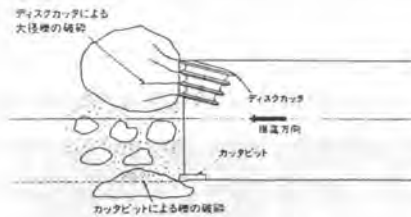


図-12 新型隙破碎方式

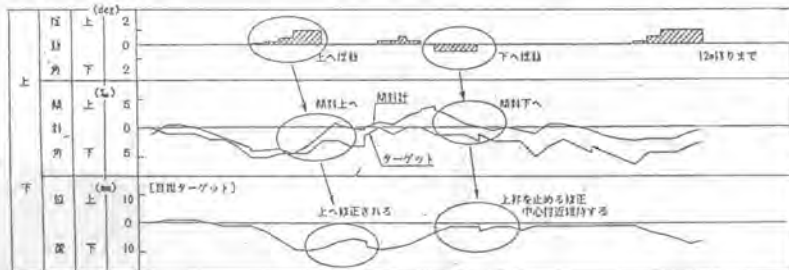
### 3. 施工実績

#### 3.1 フィールドテスト

機械の開発にあたっての最終目標は機械性能・作業性・経済性をトータルで評価すべきものであるが、まず最も難地盤に相当するφ10～φ150の隙を敷きつめた人工地盤でフィールドテストを行い検証した。その結果を図-13に示す。

図-13

#### 隙(φ10～φ150)推進結果



#### 3.2 実施工例

フィールドテスト結果に基づき、実施工に適用可と判断し、ユーザの御協力のもとに実施工に導入し良好な結果が得られたので施工例を図-14に示す。

図-14  
実施工例

管 径	φ250				φ600			
	推進距離	難質	値	到達精度(mm)	日進量(m/H)	備考		
推進距離	18	45	63.5	58.6	24.9	7.0	39.44	
難質	砂礫	粘土・シルト・砂礫	シルト	シルト	火山灰・荒砂	←	←	
N値	14	←	2	2	50 11	←	←	
被圧水圧(kg/cm <sup>2</sup> )	0.3	←	0.1	0.1	0.4	←	←	
最大隙径	φ25	φ70	—	—	φ70～80	←	←	
到達精度(mm)	下 6 右 10	下 9 左 11	上 9 左 5	上 5 左 13	上 10 左右 0	下 2 左 2	上 2 左 9	
日進量(m/H)	12	←	14	18	10	7	12	
備考					上半分荒砂 下半分火山灰	先導管による マンホールの切削		

### 4. あとがき

隙対応の小口径推進機について、工法と機械概要、実施工例について述べたが、今後さらに難しい地盤での施工実績を増やしてソフト、ハード両面での一層充実したシステム向上を計るべく、改良にとめていく所存である。

尚、機械の開発、特に実施工に当たり、多大な御協力を頂いた施主の方々及び実際に施工して頂いた方々に厚く感謝する次第である。

## 23. 特殊海上作業台の開発と施工法

鹿島建設(株)：芳野 雄一・鳥井 浩一郎

### 1. はじめに

近年の海洋構造物は、立地条件等の制約を受けるため施工法の多様化が要求されている。今回上五島洋上備蓄建設工事で、岩盤上に大口径鋼管杭を建込み先端部の削孔を行い、一体化を計るためアンカーパイルを設置し、モルタル注入することにより杭と岩盤の根固めする施工を行った。

施工にあたり既存するSEPに比べ、機動性、経済性に優れた特殊海上作業台(JEP)を発注者と共同開発を行い、63年3月に工事を竣工した。

### 2. 工事実績

- ・ 工事名称 配管橋及び海上アンカー建設工事
- ・ 工事数量 配管橋脚・6基、海上アンカー・24基、計 30基  
(鋼管杭 φ1900=14本、φ1800=12本、φ1600=84本 計 120本)
- ・ 工期 昭和60年7月～昭和63年3月

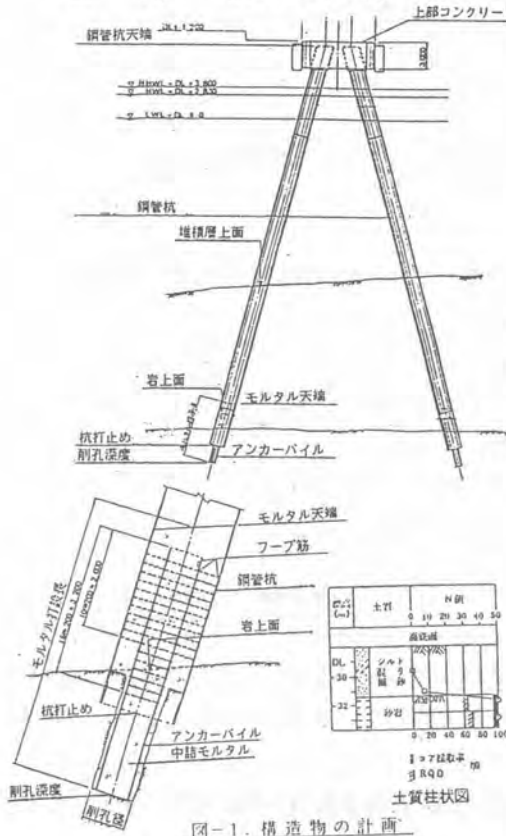


図-1. 構造物の計画



写真-1. 完成した海上アンカー



写真-2. 完成した配管橋脚

### 3. 施工と施工機械

工事海域の地質は、やわらかい堆積層と一軸圧縮強度  $300\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 1,500\text{kg}/\text{cm}^2$  の岩盤であり、大口径斜杭 ( $Q=20^\circ$ ) で杭の自立が難しく、杭打船等による在来工法では、施工出来ない。このため既存する自己昇降作業台船“SEP”で検討を行ったが、大幅な改造、作業制限、コスト等に問題があり、当工事のために専用特殊海上作業台を開発することになった。

開発にあたり築造物、現場等の条件を考慮した構造とした。諸条件は次の通りである。

- ① 堆積層が浅く、杭打後の自立が困難である。
- ② ①からテンプレート方式が採用されたためテンプレートの確実な保持が必要である。
- ③ 構造物は危険物貯蔵設備であり、厳しい精度が要求されている。
- ④ 杭の根固め工法として、杭内及び先端部の削孔、モルタル注入等の作業がある。
- ⑤ 工場海域は他工事が施工中であり、影響を最小限に抑えるために、施工、稼働作業がすみやかに実施出来る。



写真-3. 海上作業台鳥かん図

- (1) JEPとは、海面上に構築された構造物をあたかもジャンプするがごとく移動出来る自己昇降式作業台 (Jumping & Elevating Platform) のことです。

区画	№	名称	数量	仕様	備	
JEP (4台)	1	昇降装置	4基	パワージャック型、昇降能力 450t		
	2	作業台	1基	鋼板組立構造、30.5m $\times$ 3m	開口部 22.5m $\times$ 0	
	3	支柱	4本	パイプスタック、7m $\times$ 7m $\times$ 7m		
	4	脚 (レグ)	4本	丸型鋼管、 $\phi$ 2300mm $\times$ 0.5m		
	5	バイルラダ	1基	(ワイヤロープ + 油圧シリンダ)方式	水中作業	
	6	ラローラクレーン	1基	150 15t (ブーム長 約40m)		
	7	斜吊機	1基	ワイヤ全長40m、前後向き、斜吊位置調整可	油圧式	
	8	バイルラダ	1基	吊、ハンマ付車、側孔機 取り付け可		
	10	テンプレート組	2セット	1,500 $\times$ 1,000 $\times$ 100,000	油圧ジャック付き	
	9	ハンマ付車	1基	ワイヤ巻取シンジヤ方式		
	杭打装置	10	ハンマ	1基	MH11-1500 (IH1)、ラム重量15t	エア駆動
		11	キャップ	2基	$\phi$ 1500、 $\phi$ 1810、 $\phi$ 1700適用可	スベア交換方式
		12	導管機	—	—	—
その他		組立 (自給給油機、引輪、積込金輪、巻上げ、吊钩)				

表-1. 杭打作業設備

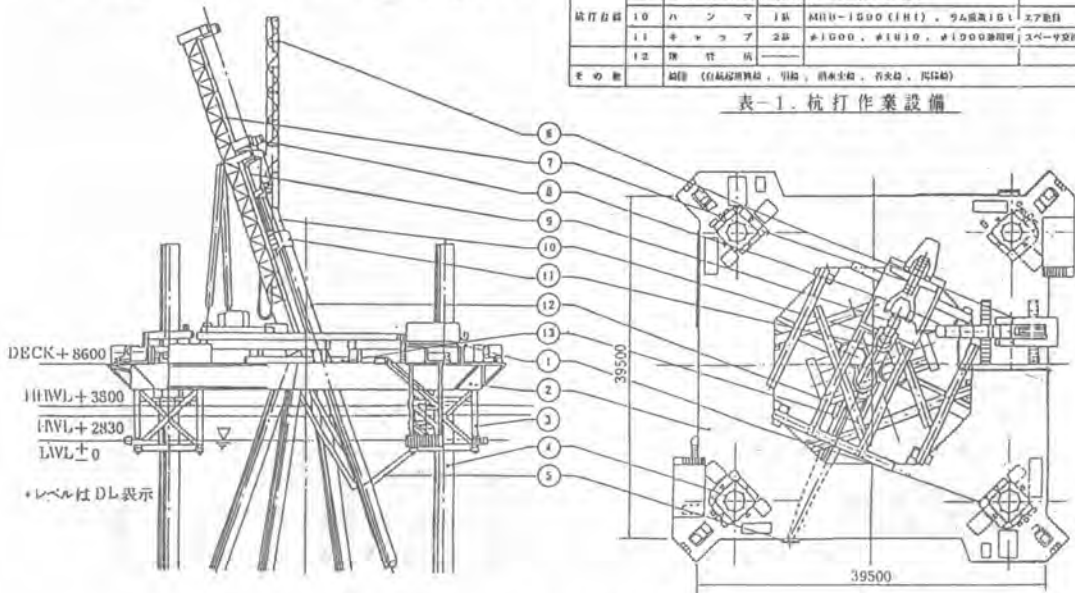
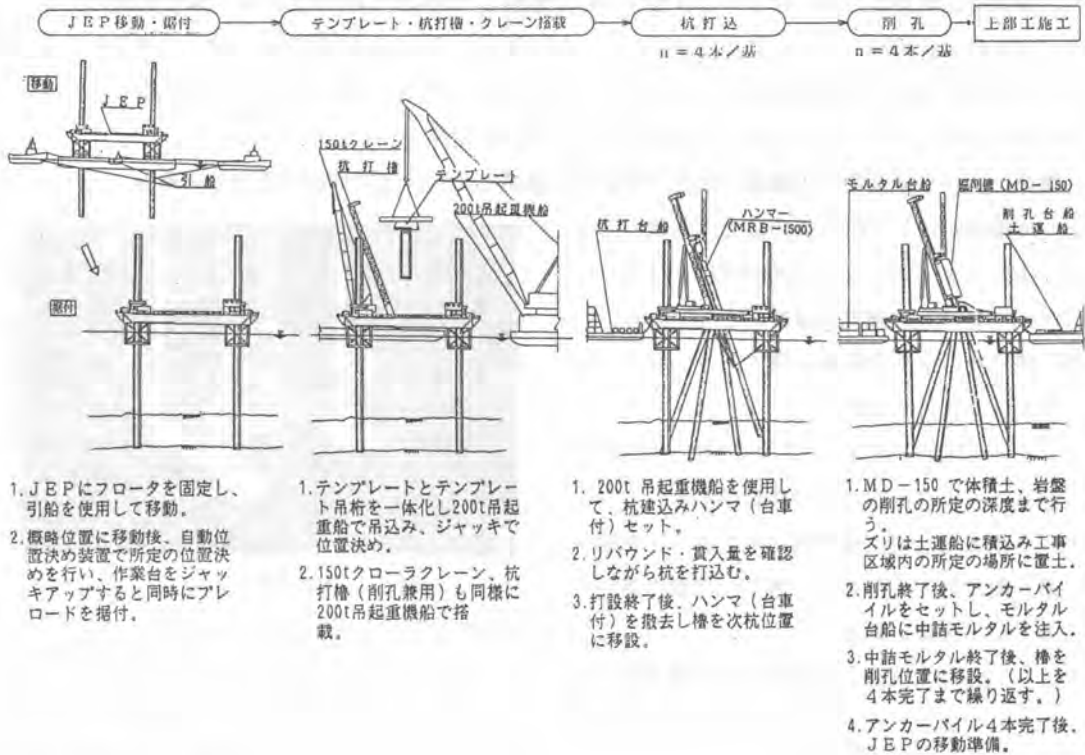


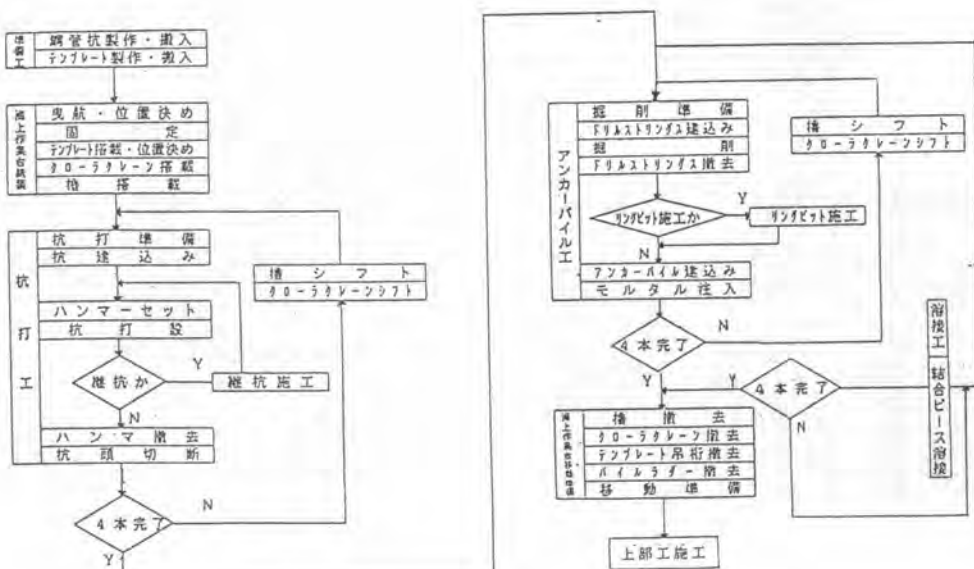
図-2. 作業設備概要



(2) 施工手順 図-3



(3) 作業フロー 図-4



#### 4. 海上作業台の仕様

この作業台は、図-5 に示すように次の主要部で構成されている。中央に開口部を設けた口の字型の作業台、海面上に高く持ち上げるための支持架台、海底面から支える4本の脚、脚を木登りするように上下する昇降装置、移動時にその浮力となる脱着可能なフロート1組で、その機能性を発揮する。

作業台の仕様は表-2 に示すとおりである。

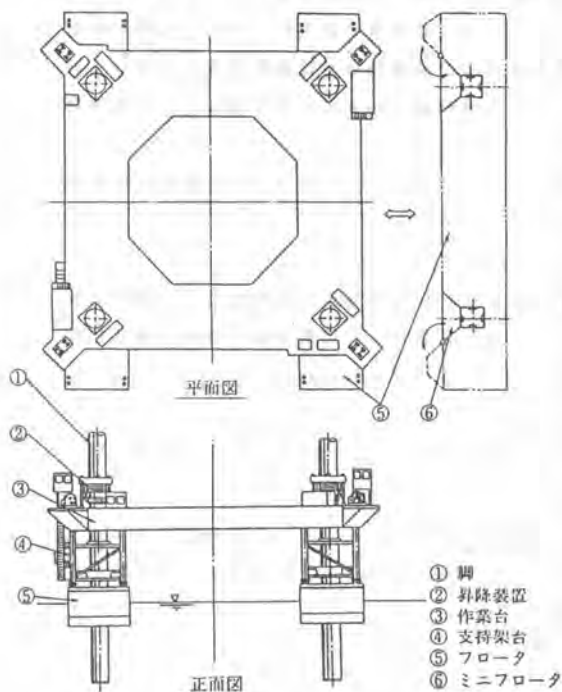


図-5 海上作業台

#### 5. 今後の活用法

- (1) 従来の海洋構造物建設，重量物運搬，据付海上足場。
- (2) 移動用フロートは数基の作業台に兼用が可能であり、橋梁や海上基地として使用。

分離型海上作業台は、多くの新しい活用法が期待される。

#### 6. おわりに

本装置の開発に当たっては、上五島石油備蓄圏の御指導があったことを報告します。

表-2 海上作業台仕様

名 称	仕 様		
作業台本体	型 式	鋼板箱型構造	
	主 要 寸 法	39.5m×39.5m×3m (トップ幅8.5m)	
	開 口 部	口字型 22.5m×22.5m	
	積 装 品	舷梯(ウィンチ能力3.7kW)	1基
		ボラード	8基
		操作室	1基
休憩室		1基	
清水タンク		10m <sup>3</sup> 1基	
	燃料タンク	10m <sup>3</sup> 1基	
支持架台	型 式	パイプトラス構造	
	主 要 寸 法	7m×7m×7m	
脚	型 式	丸型鋼管	
	主 要 寸 法	φ2,300mm×38mm×65.5m	
	数 量	4本	
レゾガイド	全 長	8.95m	
	数 量	8本/脚	
フロート	型 式	鋼板単底構造(脱着機構付)	
	主 要 寸 法	50m×8.5m×4.5m	
	搭 載 能 力	1,300t/隻	
	数 量	2隻	
昇降装置	型 式	パワージャッキ型	
	昇 降 能 力	450t/脚×4脚=1,800t	
	保 持 能 力	900t/脚	
	昇 降 速 度	10m/h	
	操 作 方 式	遠隔(中央ワンマン)/機側操作	
操船装置	型 式	電動油圧ウィンチ	
	定 格 巻 込 み 力	20t/10t	
	定 格 巻 込 み 速 度	6m/min/12m/min	
	ワイヤーロープ	φ38mm×350m	
	操 作 方 式	遠隔(中央ワンマン)/機側操作	
	ア ン カ ー	5tストックレス	
	フ ェ ア リ ー ダ	シーブタイプ	
数 量	4基		
発電設備	型 式	防音耐塩型エンジン発電機	
	容 量	60kVA×1台	
		150kVA×1台	
		220kVA×1台	
380kVA×2台			
照明設備	操 作 室 上	1kW水銀灯×4台, 450Wナトリウム灯×2台	
	休 憩 室 上	1kW水銀灯×4台, 450Wナトリウム灯×2台	
	昇 降 装 置 上	1kW水銀灯×16台	
	舷 側 灯	500W白熱灯×4台	
	舷 梯 灯	500W白熱灯×1台	
	マ ス ト 灯	乙種紅燈40W×2台, 乙種白燈20W×1台	

## 24. 簡易形凍結防止剤散布機の開発

建設省四国技術事務所：須田 道夫・河野 信雄  
市原 道弘

### 1. はじめに

温暖な地方の特に平野部における路面の凍結は部分的（橋梁上や日陰等）であり、凍結防止剤の散布には小形トラックの荷台後部に人力供給式（ハンガー式）散布機を取付け、25kg入袋詰薬剤を人力により開袋し散布機のホッパーへ投入して散布する方法が効率的且つ経済的であるとされている。しかしながらこの方法は、作業員にとっては劣悪な作業環境であり更に安全面においても問題があり決して最良の方法であるとは言えない。

そこで、凍結防止剤散布作業の省力化と安全性並びに作業環境の向上を図ることを主目的に経済的にも有利な「簡易形凍結防止剤散布機」の開発を行ったものである。

### 2. 調査概要

今回開発した装置は、袋詰薬剤（25～30kg）の使用を前提とした簡易形で、従来のハンガー式散布機の特質を生かしながら袋詰薬剤の開袋・投入等の一連の作業が、一部最小限の作業を除き自動で行えることを基本としたもので、開発は図-1のフローに従い実施した。

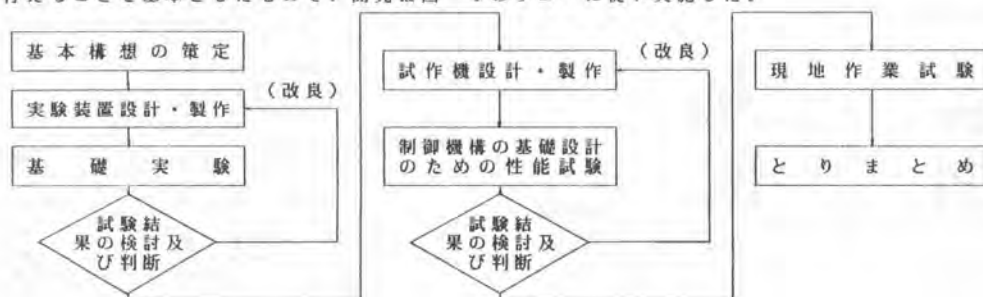


図-1 開発フロー

### 3. 調査結果

#### 3-1 基本構想の策定

袋詰薬剤を供給、開袋、投入、散布、空袋回収する各作業のうち実袋を供給する作業を人力に置き換え、以降の作業を機械により連続して行えることを基本として、基本的諸元を下記のとおり決定した。

薬剤収納数量	-----	5袋程度（ホッパー内容量を含む）
薬剤散布量	-----	20～70g/m <sup>2</sup>
薬剤散布幅	-----	3～7m
作業速度	-----	5～20km/h
対象車両	-----	2t積トラックに積載可能

これらの条件から、基本構想として4種類程度のプランを立案し、構造、価格、安全性、操作性等を総合的に検討した結果、装置の構造はチェーンコンベア式を基本とすることに決定した。

### 3-2 実験装置の製作と基礎実験

基本構想の策定に基づき袋詰薬剤の間袋、ホッパーへの投入、空袋の回収等を調査するための基礎実験用としてチェーンコンベア式実験装置を製作し、作業機構に関する基礎実験を実施したところ、薬剤をホッパーへ投入する作業（袋内の薬剤を取り出す作業）が以外に困難であることが判明した。そこで、新たに薬剤吐出方法とそのため機械装置について考案と改良を繰り返し、実験を行った結果、袋の左右両端を水平に切断し、袋の中央で2つ折りにして吊るすという方法が、機械的に薬剤を吐出するのに最も効果的で、空袋の回収状況も良好であることが判明した。

実験装置の外観と薬剤の吐出状況を図-2に示す。

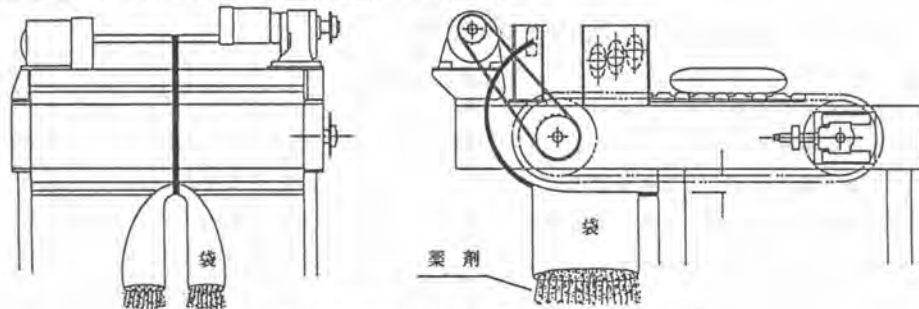


図-2 実験装置の外観及び袋詰薬剤吐出状況

### 3-3 試作機による制御機構の基礎設計

#### (1) 試作機の製作

基礎実験の結果を踏まえ、各機械要素等の仕様を決定し図-3に示すような試作機を製作した。

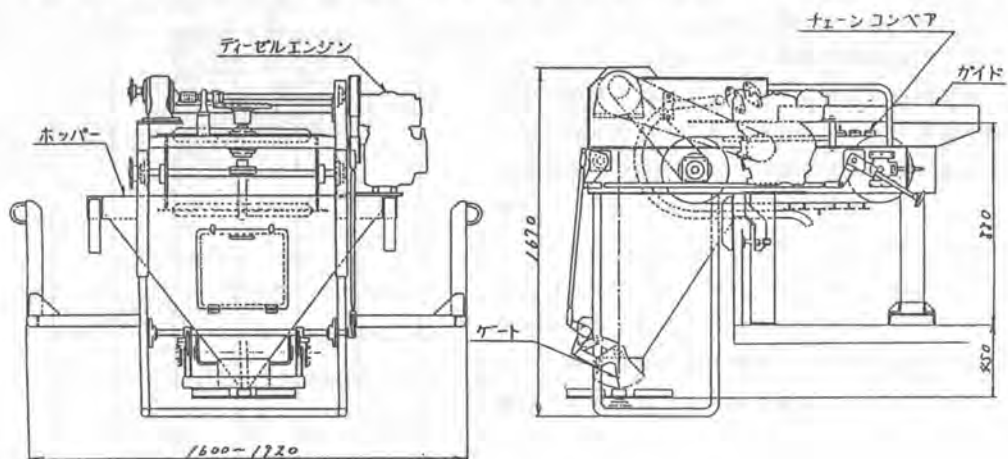


図-3 試作機の外観図

(2) 制御機構の基礎設計

前述の基本的諸元を満たすべく、試作機を用い性能試験を実施することにより開発機の基礎設計を行った。

1) 薬剤散布量の制御

基本構想の策定で、散布量20~70g/m<sup>2</sup>、散布幅3~7m、作業時最高速度20km/hの基本条件を満たす性能が要求されており、時間当たり散布量の関係式は

$$W = B \cdot D \cdot V \quad \text{--- (式-1)}$$

但し

- W : 時間当たりの散布量 (kg/h)
- B : 散布幅 (m)
- D : 散布量 (g/m<sup>2</sup>)
- V : 作業速度 (km/h)

で与えられる。この関係式より時間当たり散布量を算出すると

$$\begin{cases} W_{\min} = 1,200 & (\text{kg/h}) \\ W_{\max} = 9,800 & (\text{kg/h}) \end{cases}$$

となり相当の開きがある。

図-4は、塩化カルシウムの粒状及びフレーク状について、ゲート開口部の面積を変化させて時間当たり散布量との関係を調査した結果である。

図より1,200~9,800 kg/hの散布量を得るためにはゲート開口面積は15~120 cm<sup>2</sup>の範囲で5~8段階に調整できる機構とすれば、時間当たり散布量の定量的制御が可能であると判断した。

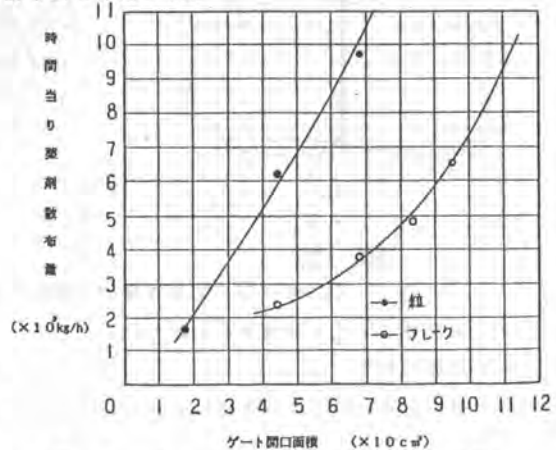


図-4 ゲート開口面積と散布量との関係

2) 薬剤散布幅の制御

散布円盤の回転数を変化させれば、薬剤の飛距離(散布幅)も比例変化することは経験的に判っているが、これを定性的に解明するため粒状及びフレーク状の塩化カルシウム各々について、円盤回転数と散布幅の関係を実験により求めてみた。

図-5は、実験結果を図示したもので、粒状とフレーク状では多少の差はあるが両者とも実験値には相関関係があり、開発機の計画散布幅(3m~7m)に対して定量的制御が可能であると判断した。

また、開発機の設計については、実作業における作業条件(散布高さ)等を若干加味する必要が

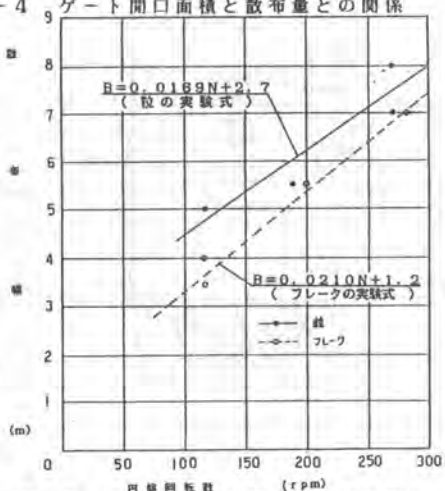


図-5 円盤回転数と薬剤散布幅の関係

あるため、実験式を次のとおり補正して設計の目安とした。

$$B = 0.0252N + 1.4 \quad (\text{m}) \quad \text{——— (式-2) 但し [N:円盤回転数]}$$

式-2より、散布幅3~7mに対する散布円盤の回転数Nは  $63 \text{rpm} \leq N \leq 222 \text{rpm}$  とすればよく、この調整は主として機関回転数を変えることにより制御可能であると判断した。

#### 3-4 試作機による現地作業試験

装置の機能、性能、その他について実用化に向けての最終的なチェックを行うことを目的に試作機を現地(四国技術事務所構内)に持ち込み作業試験を実施したところ、試験段階で確認された機能、性能はほぼ満足しており、十分実用性があると判断された。

なお、本試験等の結果を基に判断した開発機の特徴は次のとおりである。

- ①作業員は薬剤の粉塵に曝されることなく、また安全である。
- ②袋詰薬剤は1袋ずつ開袋、投入、散布されるため、薬剤がホッパー内に残ることが少なく経済的である。
- ③機構が単純であるため故障が少ない。
- ④2t積トラックに開発機を積載した場合、40袋程度の予備用薬剤を搭載できるため、散布延長が長い場合でも対応が容易である。
- ⑤塩化カルシウム(粒状及びフレーク状)及び塩化ナトリウムのうち凍結防止剤用に製造された四号特例塩については、問題なく散布できるが、粉碎塩については散布薬剤の性状及び安息角等の関係で、散布が困難である。

また、試作機を2.75t積の作業車に積載した写真を次に示す。



写真-1 散布機積載状況(後面)  
4. おわりに

写真-2 散布機積載状況(側面)

今回、凍結防止剤散布作業の省力化と安全性並びに作業環境の向上を図ることを主目的に「簡易形凍結防止剤散布機」の開発を行った結果、一応当初の目標に沿った機械を開発することができた。

本装置は、従来のハンガー式散布機に比べ大巾に作業環境や安全性が向上できたものと自負しており、四国の平野部のような凍結頻度の少ない温暖な地域では十分活用されるものと期待される。

また、今後は四国地建管内で凍結頻度が少なく、主として現在ハンガー式散布機を使用している地域を対象に順次導入する予定であり、実作業を通じて調査を行い、信頼性の向上に努める所存である。



## 25. 降灰対策形路面清掃車の開発

建設省九州技術事務所：宅間 義明・木村 直紀  
 梶 治幸

### 1. まえがき

鹿児島県の桜島では近年火山活動が活発化しており、噴火に伴う火山灰は降灰となり、道路上に堆積して通行車両のスリップや巻き上げられた粉塵によって運転視界を妨げるなど衝突、接触事故等を引き起こす原因となっている。

現在、車道上の降灰除去は主としてブラシ式路面清掃車により実施しているが、異常降灰時の能力不足やガッタブラシによる粉塵の巻き起こし等の問題がある。

このため、降灰量が多い場合にも路面清掃車の清掃速度が低下することなく、清掃能力を向上させるとともに粉塵対策を施した降灰対策形路面清掃車の開発を行ったものである。

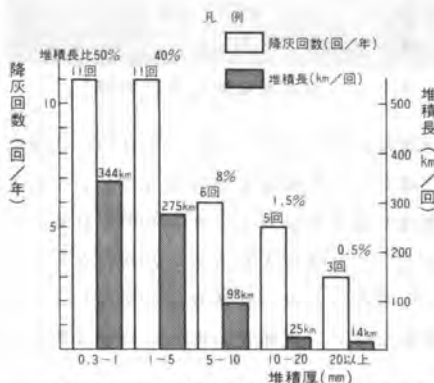


写真一 路面清掃作業状況

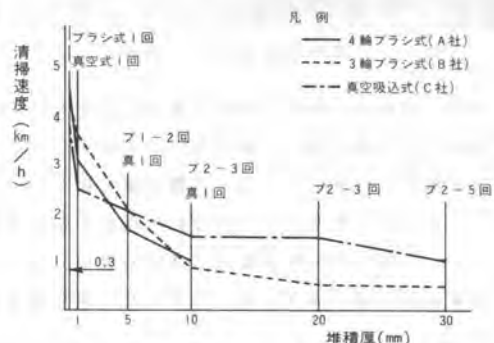
### 2. 降灰地区における路面清掃の実態

降灰量は、鹿児島県内の各地に設けられた観測所で月別、週別、日別（气象台のみ）で記録されている。桜島地区における異常降灰とは、1回当たりの降灰量が概ね $500\text{g}/\text{m}^2$ を越えた場合を指す。

しかし、路面清掃車の清掃能力が著しく低下する異常降灰は火口からの距離、方角等が異なるため、かなり集中的であり上記の観測所からは判断出来ない。このため、現地清掃実績を参考とし、過去5箇年の異常降灰状況を調査した。この結果、異常降灰の98%は降灰堆積厚 $10\text{mm}$ 以下にあり、清掃速度は降灰堆積厚が厚くなるに従い著しく低下していることが分かる。図一に降灰堆積厚と堆積長との関係を図二に降灰堆積厚と路面清掃車の清掃速度の関係を示した。



図一 降灰堆積厚に対する堆積長及び降灰回数



図二 降灰堆積厚に対する清掃速度

### 3. 開発機の基本方針

開発機の清掃条件及び清掃能力等についての基本方針を次に示す。

#### (1) 除去降灰堆積厚

異常降灰の98%は、10mm以下（図-1参照）のため、最大除去平均降灰厚は10mmまでとした。

#### (2) 清掃速度

清掃速度は、3km/h以上とした。

車両の走行速度は減速比の関係で下限値があり、一般に3km/h程度以下は半クラッチを使用しなければならないため、一時的な使用しかできない。

また、3km/h以上の清掃速度があれば効果的な降灰除去が行なえるものと考えられる。

#### (3) 清掃効率

清掃効率はこれまでの路面清掃の実態を考慮して、降灰堆積厚10mm、清掃速度3km/hにおいて、80%以上を開発目標とした。

### 4. 開発機の主要仕様

開発機の清掃条件及び清掃能力の基本方針に従い、清掃方式等の主要構造について次に示す。

#### (1) 降灰除去方式

現在、路面清掃車にはガッタブラシで掻き集めたゴミをメインブラシでベルトコンベアに載せて清掃するブラシ式とガッタブラシ及び掃寄ブラシで掻き集めたゴミを真空吸込装置（ブロウ）で吸い込み清掃する真空吸込式の2つの方式があるが、今回は降灰対策用のため、大量のゴミを清掃しなければならず単に各装置の出力をアップしただけでは対応しきれない。

このため、ブラシ式と真空吸込式を直列に配置した新しい清掃方式であるブラシ・真空吸込併用式とした。これは、ガッタブラシ、掃寄ブラシで堆積した降灰を掻き集め、ブラシ部で一次除去を行い真空吸込部で二次除去及び仕上げを行うものである。

#### (2) 主要寸法

在来の真空式路面清掃車（高速形リヤリフトダンプ式）程度とした。

#### (3) 捨土方式

ダンプトラック等へ直接積み込みが行えるリフトダンプ式とした。

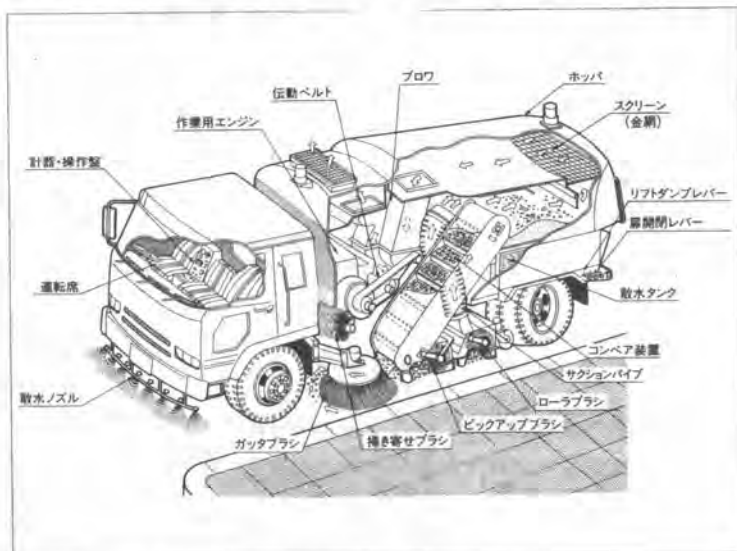


図-3 降灰対策形路面清掃車概略図

(4) 粉塵対策

① 水幕装置

ガッタブラシ部から発生する粉塵を押さえるため、水を霧状に発生させ水幕を作る水幕装置を左右両ガッタブラシ部に取り付けたものである。

② 防塵カバー

車両右側の前・後輪の間から発生する粉塵を車両の外側へ出さないようゴムカバーを取り付けたものである。

③ ホッパ内フィルター

ブロワ排気口から吹き出す粉塵を押さえるため、ホッパ内にロックフィルターを取り付けたものである。

(5) その他

① 大量の降灰を掻き上げられるよう各ブラシ

は、腰の強い強力型鋼毛ブラシである。

② 真空吸込装置内の詰まり等を防止するため

ゴムコーティングを行い集中散水するものとした。

③ 通常の清掃にも使用

出来るよう各装置は調整式である。



写真—2 降灰対策形路面清掃車

表—1 主要諸元

● 性能		
清 掃 速 度		3 ~ 30 Km/h
清 掃 幅		最大 3.3 m
ホ ッ パ 容 量		6.0 m <sup>3</sup>
水 タ ン ク 容 量		1,200 ℓ
最 大 ダ ン ピ ン グ ク リ ア ラ ン ス		1,850 mm
● 各部の要目		
本 体	全 長	8,300 mm
	全 幅 (回送)	2,490 mm
	全 幅 (作業時最大)	3,300 mm
	全 高	3,600 mm
	最大積載量	3,250 Kg
	車両総重量	15,570 Kg
作 業 機 関	シ ャ シ	8 tonトラックシャシ
	型 式	4サイクル水冷ディーゼル機関
	総排気量	5,654 cc
送 風 機	定格出力	125ps/2,000rpm
	型 式	ターボブロワ
コ ン ベ ア 装 置	風 量 (単体性能)	350 m <sup>3</sup> /min
	最大静圧	1,090 mm Aq
	コンベアベルト幅	650 mm
ブ ラ シ 装 置	横 横 横	250 mm × 75 mm
	ベルト速度	2 ~ 3 m/s (可変式)
	縦形ブラシ (ガッタ用)	φ 900 mm 左右各1個
	横形ブラシ (掃寄せ用)	φ 450 mm × ℓ 1,250 mm 1個
	横形ブラシ (吸込用)	φ 400 mm × ℓ 850 mm 1個
	横形ブラシ (ピックアップ用)	φ 450 mm × ℓ 750 mm 1個

## 5. 清掃試験

開発機の作業能力を調査するため、清掃試験を行った。

### (1) 清掃効率

図-4に示すとおり、開発目標である清掃速度3km/hにおいて清掃効率80%以上を十分に満足するものである。

### (2) 防塵効果

粉塵対策前と後を比較すると次のとおりである。

① 左ガッタブラシ部からの粉塵発生量は3分の1程度である。(表-2参照)

② 右ガッタブラシ部からの粉塵発生量は5分の1程度である。(表-3参照)

③ ブロワ排風口からの粉塵発生量は3分の2程度である。

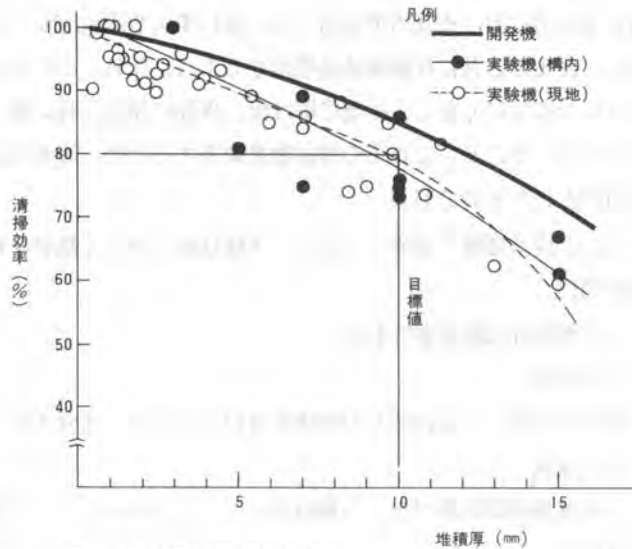


図-4 開発機の清掃効率

表-2 粉塵発生量(左ガッタブラシ部)

堆積量	粉塵発生量 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	
	対策前	対策後
1 mm	4.2	0.6
1~2 mm	5.6	0.9
2 mm	10.3	3.5
3~4 mm	8.8	0.9

表-3 粉塵発生量(右ガッタブラシ部)

堆積量	粉塵発生量 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	
	対策前	対策後
1~2 mm	1.1	0.2
2 mm	0.7	0.1
3~4 mm	2.2	0.3

## 6. おわりに

開発機は、新しい清掃方式を採用したブラシ・真空吸込併用の路面清掃車である。清掃試験より良好な結果が得られ、昭和62年度に第1号機を現地に導入した。多少の手直しは必要であったが、異常降灰時にも効率よく清掃作業を実施している。

なお、昭和63年度には更に2号機が現地に導入される予定である。

## 26. 路側氷雪盤除去機械の開発

建設省関東技術事務所：小河 義文・須田 幸彦・菅 俊和

### 1. まえがき

特に寒冷地における降雪地道路では、通行車両や除雪グレーダ等により寄せられた雪氷が路側に堆積し、泥土砂と共に長期間凍結残留するようになる。この状況は、車道幅員を狭くし良好な交通の妨げになるだけでなく、昼間に解け出し夜間に路面（特に輪だち掘れ部）を凍結させる等危険を増大させる。そこで、これらの残留物を除去するため、能率の良い氷雪盤除去機械の開発を図ることを目的としたものである。

ここに、現地試験を実施したので、予備試験と併せて概要を報告するものである。

### 2. 調査項目

#### 2.1 氷雪盤破碎試験装置の製作

#### 2.2 予備試験

破碎部の形状と破碎能力の関係を検討するため、各要因別に破碎試験を行った。

#### 2.3 現地試験

予備試験結果に基づき、山梨県富士スバルラインにおいて破碎試験を行った。

### 3. 調査結果

#### 3.1 氷雪盤破碎試験装置の製作

氷雪盤を破碎する能力の優れた破碎機構の開発を行った。

それは、切刃を路面に平行に回転させると路面に大きな傷を付けないというメリットを生かし、かつ能率を向上させる機構で、図-1に示すような破碎部形状の切刃を製作した。この切刃は硬質チップをカッターにロウ付けしたもので、路面と氷雪盤の縁を切る形で切り込んで行くと、ホルダー部に設けたクサビが縁を切られた部分の氷雪盤に剪断力を与えるため、比較的大きな氷片となって割れていく。

破碎部の形状と破碎能力の関係を調べるため、カッターの径、クサビの高さ、クサビの角度、クサビの数、ホルダーの高さ、ホルダーの角度、刃先とクサビ先端の間隔などを検討、5種類の切刃を製作し試験を行った。

図-2は破碎試験装置の機構である。実用機段階では、できる限り小型軽量にする目的をもっているため、動力は1.5kwの電動モータとし、また、瞬間的に働く大きな抵抗に対して円滑な回転を保持できるように、12kgのフライホイールを回転軸に取付けられるようにした。さらに、氷雪盤の路面を破碎していく場合、かなりの不陸があるため、これに追従することができるように、ユニバーサルジョイントと球面軸受による首振り（軸心から約5°）を可能としたことなどの特徴を持った装置である。

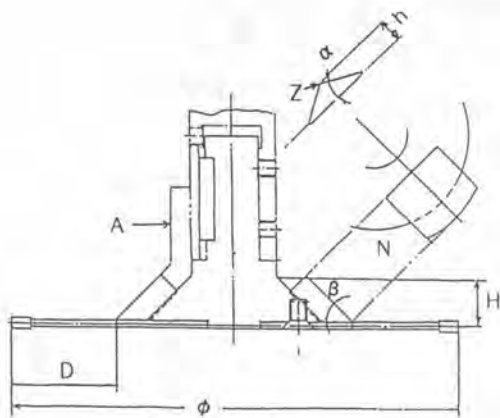


図-1 破砕部形状

### 3.2 予備試験

現地試験を行う前に、5種類の切刃について破砕特性を把握することを目的として、工作課の工場内において予備試験を実施した。

図-3に試験装置図を示す。

表-1に予備試験実施区分を示したが、これらの要因と破砕厚の関係を調査した。

#### (1) 試験結果

図-4に、破砕部形状とそれぞれの最大破砕厚の関係を示す。

試験結果では、ホルダー傾斜角 $35^\circ$ のときが最も厚く割れている。これより傾斜角が大きくなると、氷に働く力が剪断力よりも水平方向の圧縮力として作用するようになり、傾斜角が小さいとクサビ部が氷を切削してしまい、剪断力が小さくなる傾向が認められた。また、破砕部の形状にかかわらずカッター回転数が $2,000\text{rpm}$ 付近で最大破砕厚が得られた。フライホイールの効果については、均質な氷片を破砕しているため顕著な差は確認できなかった。

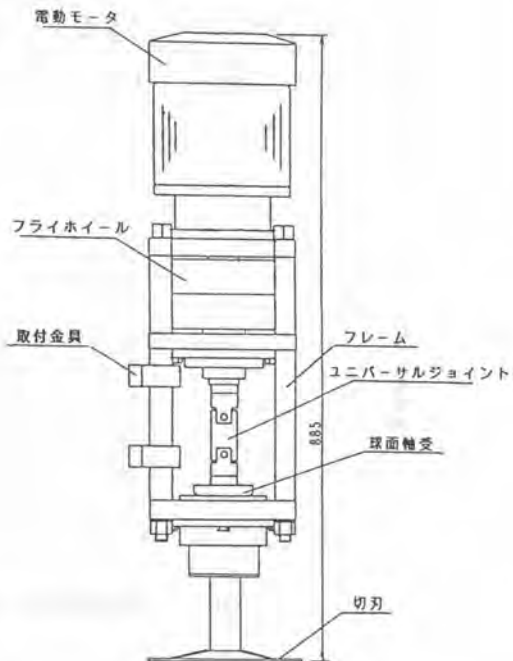


図-2 破砕試験装置

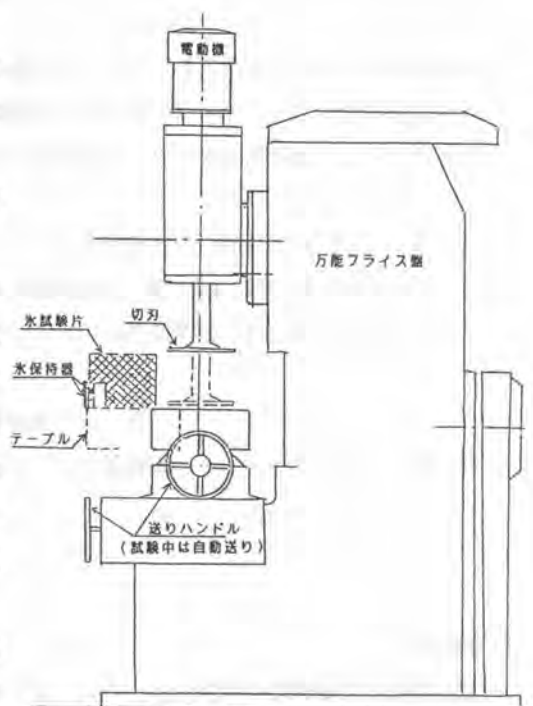


図-3 試験装置図



表-1 予備試験実施区分

区分	フライホイール重量	破碎部形状	回転数
内容	0kg, 12kg	I, II, III, IV, V	1,500 2,000 3,000 3,600rpm

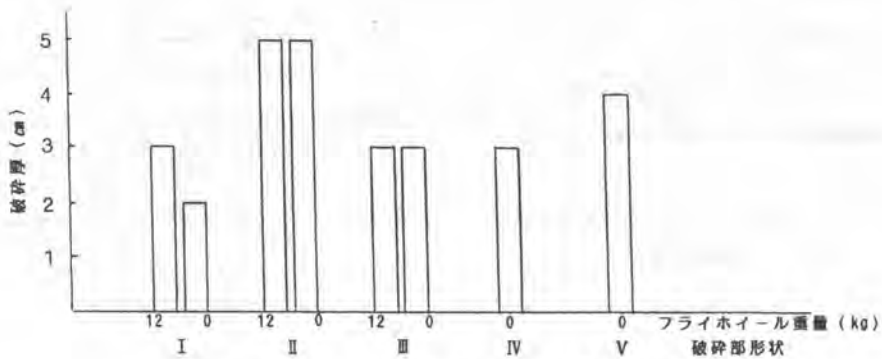


図-4 破碎部形状と破碎厚の関係 (予備試験)

### 3.3 現地試験

予備試験での破碎厚はおおむね3~5cm程度であったが、実際の冰雪盤ではそれ以上の厚みも考えられるため、ホルダー上部のシャフト部にカッターを設けた。これによって、クサビ部で冰雪盤の破碎ができない場合でもシャフト部で切削が可能になるためである。

現地試験は富士スバルラインにおいて、試験装置を台車に取り付けて行った。表-2に現地試験実施区分を示す。破碎部の形状は、予備試験で比較的効果的だったII、III、V型のケースで行った。

試験は、人間2人が台車につき操蛇を行い、試験時間を1ケースにつき10分と定めて実施し、破碎部面積、平均破碎厚、破碎後の路面状態等の調査を行って、破碎部形状、回転数、フライホイールの有無など各項目との関連性についての検討資料を得た。

表-2 現地試験実施区分

区分	フライホイール重量	破碎部形状	回転数
内容	0kg, 12kg	II, III, V	1,500 1,800 3,000 3,600rpm

#### (1) 試験結果

破碎部形状と破碎厚の関係を図-5に、また最も効果的であった破碎部形状II型のカッター回転数と破碎面積との関係を図-6に示す。

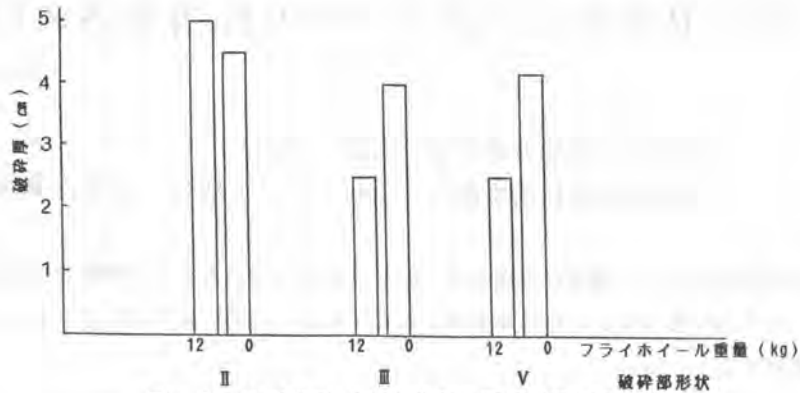


図-5 破砕部形状と破砕厚の関係（現地試験）

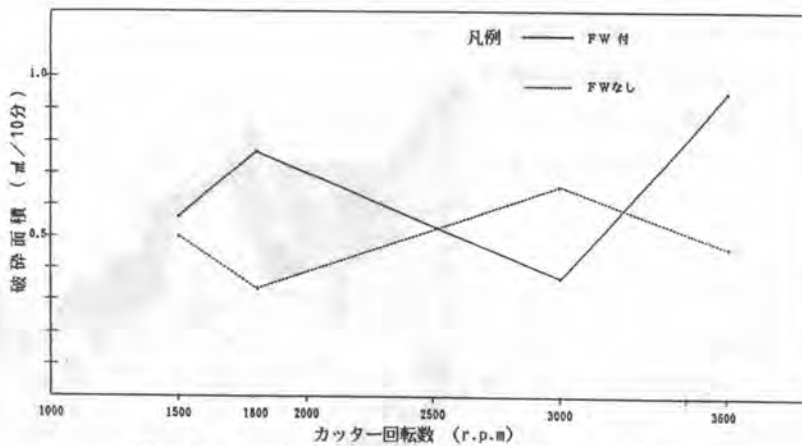


図-6 カッター回転数と破砕面積の関係（Ⅱ型）

#### 4. 考 察

現地試験の結果から、動力の電動モータ容量の再検討の必要性が重要課題となった。これはカッター底面と路面との摩擦抵抗が予想以上に大きかったため、能率低下の要因となった。また、カッターが冰雪盤と路面の間を切込んだとき冰雪盤が破碎されないと、カッター自体の自由度がなくなり同じ位置で回転している状態になった。この場合不陸追従機構が動かないため、2～3mmの路面切削が見られた。

これらの問題の対策として、動力検討、破碎装置の複数化、自走式台車の開発等が考えられるが、現地条件よりできる限り小型機が望ましいことから、今後次の各項目の検討を行って、実用機設計を実施し、実用機の実証試験を行っていく予定である。

- ① 最も性能の良かった破碎部形状Ⅱ形について、路面への押付力と正常な回転を維持できる出力の関係を調査する。
- ② 台車の選定において、農業用機械から特殊用途車両に至るまで、小型自走式車両の実態を調査し、適切なベース機械を選定する。
- ③ 破碎装置を複数並べる事のできる保持機構を検討する。

## 27. サイドスライド式ロータリ除雪装置の開発

建設省北陸地方建設局：羽賀 清治

建設省北陸技術事務所：上村 弘・穂苅 正昭・姫野 芳範

### 1. はじめに

多雪地域では降雪量が多く、路側の雪堤が高くなると堆雪空間が狭まり次期降雪の拡幅作業が困難となる。また、交差点付近では、これら高雪堤により一般通行車両の視界が阻害され交通の支障となるといった問題が生じている。

現状では、この高雪堤を処理する施工法として、車道側からバックホウで掻き崩したり(写真-1)雪堤上からブルドーザ等で押し出したり、除雪グレーダによるバンクカット工法等があるがいずれも車道に掻き出された雪を、二次的に処理している。

しかし、これらの施工法は作業の連続性が悪いことや、車道上に仮置きした雪の二次処理が必要となることなどから作業能率が悪く、連続的にワンパスで能率良く施工できる除雪機械の開発が望まれていた。

今回開発された機械は、これらの要望に応じて雪堤の上部を連続的にワンパスで施工できることを目的に、一般に普及している車輪式トラクタショベルをベースマシンとしたサイドスライド式ロータリ除雪装置である。



写真-1 バックホウによる高雪堤処理

### 2. 開発の基本構想

雪堤処理の実態と作業の特質から施工法を検討した結果、雪堤をベンチ状にカットし次期降雪に備え堆雪空間を確保することとし、開発機械に要求される基本条件及び性能等を次のように定めた。

#### ① ワンパスで施工が可能なもの

2次処理作業を省略することにより、作業効率の向上と作業中における交通障害を少なくする。

#### ② 多目的使用が可能なもの

雪堤処理の他、車道の一般拡幅除雪、歩道除雪(歩道と車道の境界に防護柵のない箇所)等にも使用できる機械とする。

#### ③ 製作コストが低いこと

専用機ではコストアップとなるため、ユニットタイプのアタッチメント方式とする。

#### ④ 雪堤処理断面は1.4 m<sup>2</sup>以上とする。

連続降雪(日降雪量50cm、連続降雪日数4日として)による車道の雪を堆雪できる断面が必要となり、車道幅員3.5mでは約1.4m<sup>2</sup>の断面が必要となる。

#### ⑤ 汎用性のあるベースマシンとする。

ベースマシンは借り上げ等も可能なように、一般に普及している建設機械とする。なおベースマシンについては、これらの条件を勘案し、機動性や利用効率等から、ホイール式トラクタショベル、ダンプトラックまたは除雪トラック、ホイール式バックホウ、ロータリ除雪車の4機種について検討した結果、装置の架装やベースマシンの改造も容易なホイール式トラクタショベルを選定した。

### 3. 開発機械の概要

前項の基本条件に基づき、基礎試験から実験機による現場試験の結果から、実用機を開発した。本機はホイール式トラクタショベルのバケット部に、ロータリ除雪装置を取り付けることにより、最高4.5 mの雪堤を処理できるものである。また、除雪装置部が左横方向に1.45 mまでスライドさせることができるので、雪堤に沿って走行すると同時に雪堤処理作業が行えるものである。図-1にその外観図を、表-1に主要諸元を示す。

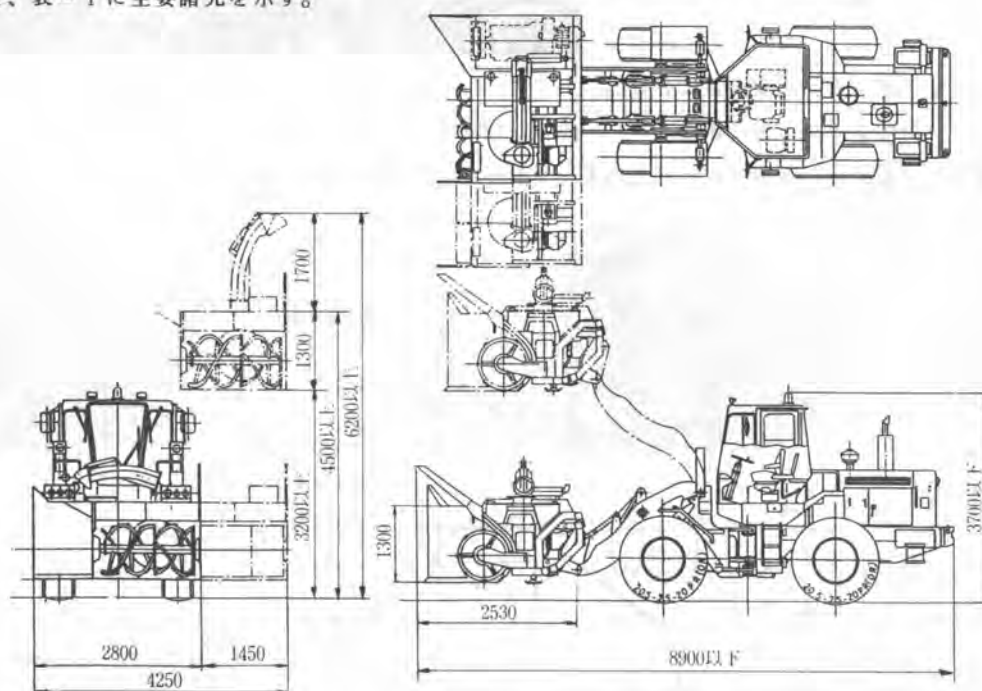


図-1 実用機外観図

表-1 実用機(除雪装置)主要諸元

項目	諸元	項目	諸元
形式	ツーステージ式ロータリ形	最大除雪量	700 t/h(暫定)
オーガ巾×外径	リボンスクリュー型 1621×920 mm	最大投雪距離	20 m
プロワ外径×奥行	4枚羽根遠心式 850×330 mm	最大除雪巾×除雪機構前面高	2800×1300 mm
機関定格出力	139 PS/2400 rpm	最大スライド量	1450 mm
油圧ポンプ	可変容量プランジャ式 214 l/min (240 kg/cm <sup>2</sup> /2509 rpm)	全高(シュート上端)	3000 mm
油圧モータ	定容量プランジャ式 214 l/min (240 kg/cm <sup>2</sup> /1415 rpm)	全長(雪切板先端から ベース取付ピン)	2530 mm
適応ベースマシン	12t級ホイールローダ	車重	3900 kg

また、本装置の特長を次に示す。

- ① トラクターショベルに取り付け、「2. 開発の基本構想」の条件を満たすため、除雪装置部にサイドスライド機構を持たせることとした。写真-2はサイドスライド状態である。
- ② サイドスライド機構を持たせる際、除雪装置の動力伝達機構のレイアウト及びスライド時の重量バランス等について検討した結果、他機種のベースマシンに対する応用性も考慮し、機械式より多少伝達動力は低下するが油圧駆動方式とした。



写真-2 サイドスライド状態

図-2に除雪装置部の油圧駆動のパワーライン図を示す。

- ③ 除雪装置の形式は、堆積された変化の多い雪質に対して適応性の良いツーステージタイプとした。

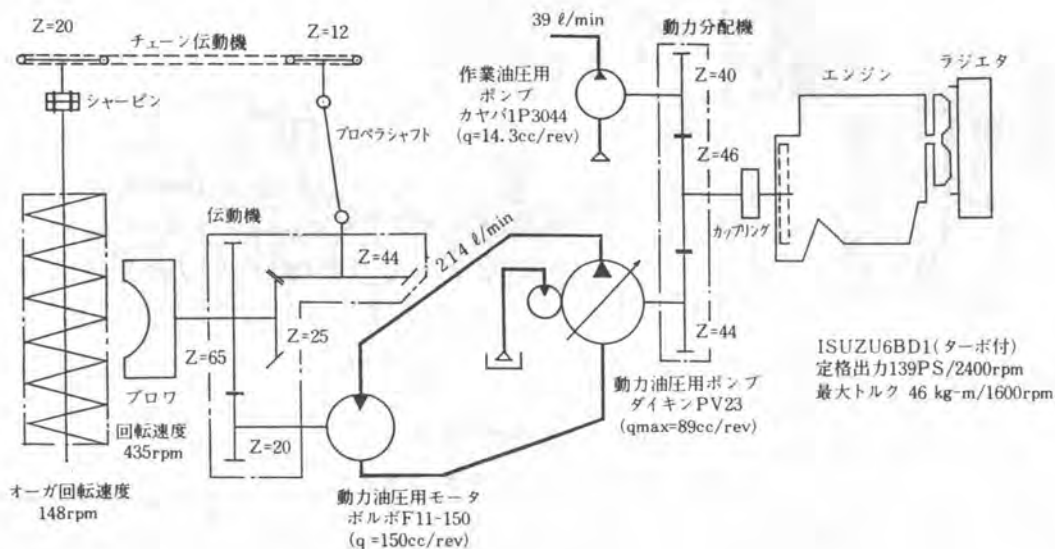


図-2 パワーライン図

#### 4. 性能確認試験

表-1の仕様によって設定された各基準除雪能力を確認するため、最大除雪能力、拡幅除雪能力、高雪堤除雪能力、最大投雪能力の各項目について、試験コース内に雪堤を形成し試験を行った。

試験調査結果を表-2に、試験状況を写真-3に示すが、各能力試験とも表-1の仕様を上回っており、実用機としての性能を確認することができた。

表-2 試験調査結果

最大除雪能力試験		拡幅除雪能力試験		高雪堤除雪能力試験		最大投雪能力試験	
(t/h)	雪密度	(t/h)	雪密度	(t/h)	雪密度	(t/h)	雪密度
702	0.45	878	0.45	544	0.51	24.8	0.51
745	0.45	720	0.45	667	0.51		
820	0.68			522	0.51		
774	0.71			514	0.51		



写真-3 試験状況(高雪堤除雪能力試験)



写真-4 ダンプトラック積込み状況

また、ダンプトラックへの積込み能力も確認したが、雪の集束性が良く、ダンプトラックへの積込み作業は一車線方式で行うことができ、積込み時間も約100秒(10t積ダンプトラック、9㎡)と良好な結果を得ることができた。写真-4はダンプトラックへの積込み状況である。

#### 5. まとめ

近年除雪精度の向上が望まれているなかで、今回開発されたサイドスライド式ロータリ除雪装置による高雪堤処理作業は、機能確認調査の結果が良好であったことから、新しい工法として定着させてゆくとともに、除雪作業現場で今後の活躍が期待される。

#### ◎参考文献

除雪機械の操作性・安全性に関する研究(段切用ロータリ除雪装置の開発)

昭和63年3月 北陸技術事務所

北陸地方建設局管内技術研究会論文集「高雪堤段切ロータリ除雪車による新規除雪工法の検討」

昭和63年7月 長岡国道工事事務所



## 28. 歩道除雪機(ハンドガイド式ロータリ除雪機)の安全対策

建設省建設経済局：山元 弘・建設省土木研究所：村松 敏光

建設省東北技術事務所：遠藤 紘・建設省北陸技術事務所：穂苅 正昭

### 1. まえがき

ハンドガイド式ロータリ除雪機(写真-1)は、従来から主に業務用として歩道や農家のハウスの回り、ガソリンスタンド、駐車場、スキー場などの除雪用として使用されてきているが、取扱いの簡便さや価格の安さから、最近一般家庭の除雪用として急速に普及し始め、それに伴い事故の発生が目立つようになってきた。

一方、国や県市町村においても歩道の除雪用としてハンドガイド式ロータリ除雪機が使用されているが、今後も歩道除雪の一層の推進が図られ、これらの機械の使用ひん度が増加すると予想されることから、安全性確保の方策をたてることが必要となった。



写真-1 ハンドガイド式ロータリ除雪機

本研究は以上の背景を踏まえて、ハンドガイド式ロータリ除雪機(以下、歩道除雪機という)の使用に係わる歩道除雪作業の安全性確保について「歩道除雪機安全対策指針」(以下、指針という)として検討したものである。

指針は、安全に施工するために発注者、施工者、作業員、製造メーカー等が留意すべき事項についてとりまとめたもので、作成にあたっては事故の発生実態について調査を行い、それを基にして、それらの事故を防止するための手段について検討を行い指針としてとりまとめた。

### 2. 事故の発生状況

指針の検討を行うためには、事故の発生状況を把握する必要があることから、雪寒関係25道府県の救急担当部局を通じて事故調査を行い、60～61年度にかけての58件の事例を回収した。

その結果から、事故の原因別発生状況を図-1に示すが、図-2のような「雪づまり除去時に除雪装置に手を入れて負傷」といった事故が30件(51.7%)と過半数を占めているのが特徴である。

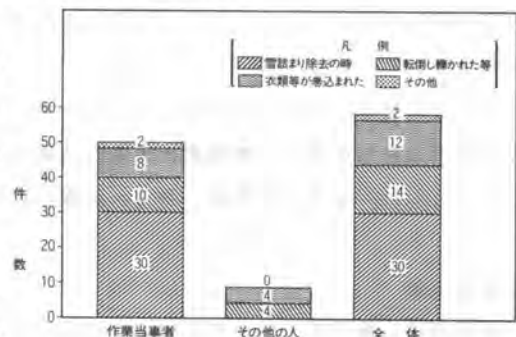


図-1 事故原因別発生状況

それ以外には、「転倒して機械に轢かれた」及び「衣類が巻込まれた」が事故原因として上げられ以上3つの原因で56件(36.6%)と事故の大半を占めている。従って、この3つの原因を中心に事故防止対策を施せば、その効果は極めて大きいことが判明した。

### 3. 「歩道除雪機安全対策指針」の検討

### 3. 1 指針の概念

事故の発生原因を分析すると、安全に対しての施工段階における準備不足や、オペレータのちょっとした不注意やミスに起因するものがほとんどである。

従って、安全性の確保に関して施工方法や運転操作方法の留意点などをマニュアルとしてとりまとめ、普及、徹底を図れば事故防止効果は大きい。

しかしながら、人間の注意力には限界がありミスを完全に無くすことは不可能で、現実の問題として事故が発生していることを考慮すれば、可能なかぎり機械



図-2 事故の事例（雪づまり除去時に除雪装置に手を入れ負傷）

側の安全機構でカバーすべきである。以上の観点から指針は次に示す3つの内容で作成した。

- 第1編 「安全施工要領」：歩道除雪作業の安全施工に係わるもので、主として道路管理者や作業監督者を対象とした。
- 第2編 「安全規格」：歩道除雪機が最低限具備すべき安全機構の技術指針に係わるもので、主として機械管理者や製造メーカを対象とした。
- 第3編 「オペレータハンドブック」：歩道除雪機の操作取扱要領、安全作業要領に係わるもので、主として機械を直接取扱う作業員を対象とした。

### 3. 2 指針の骨子

とりまとめた指針の骨子を表-1に示すが、指針としてとりまとめるに至るまでの検討内容については、第2編「安全規格」を例として3-3で紹介する。

表-1 「歩道除雪機安全対策指針」の骨子

第1編 安全施工要領	第2編 安全規格
第1章 総則	第1章 総則
1-1 目的	1-1 目的
1-2 適用範囲	1-2 適用範囲
1-3 歩道除雪体制	1-3 用語の定義
1-4 作業計画	第2章 安全機構
第2章 関係者との連絡及び調整	2-1 運転者離脱時安全機構
2-1 地域住民との調整	2-2 シュート安全機構
2-2 関係機関との連絡及び調整	2-3 雪づまり除去具
第3章 歩道除雪の施工と事故防止	2-4 後進時緊急停止機構
3-1 安全教育及び作業の安全管理	2-5 セーフティスタータ機構
3-2 歩行者へ事故防止	2-6 オーガサイドカバー
3-3 作業員の健康と安全確保	2-7 クレーン吊り具
3-4 安全対策型機械の使用	2-8 緊急停止機構
3-5 歩道除雪機の保険加入	2-9 黄色回転灯
3-6 積み込み、積み降ろし時の事故防止	2-10 危険箇所の表示
3-7 作業上の注意	第3編 オペレータハンドブック
3-8 作業時間帯に対する配慮	第1章 歩道除雪機の取扱説明
3-9 投雪方向	1-1 機械各部の一般名称
3-10 歩道除雪機の横断等	1-2 取扱要領
3-11 事故発生時の処置	1-3 作業方法と注意事項
3-12 点検整備	1-4 機械の故障と対策
	第2章 事故例と安全作業の秘訣
	2-1 除雪作業中の事故例
	2-2 安全作業の秘訣

### 3. 3 「安全規格」の検討

安全規格として取込むべき項目について検討するために、事故調査から判明した三つの事故原因と合せ、今回事故調査では原因として見当たらなかったが、施工実態から見て当然事故発生が考えられる事例も追加し事故の発生パターンとして分類した。次にそれらの事故を防止するための対策内容及び具体的な機構について、表-2に示すように検討を行い安全規格項目を決定した。

さらに、それらの安全規格項目について指針としてとりまとめたが、その概要を図-3に示す。

表-2 「安全規格」項目の検討

事故のパターン	対策内容	具備すべき安全機構	
		安全機構のイメージ	安全規格項目
雪づまり除去時にオーガ・プロアで手指等を負傷	雪づまり除去時にはオーガ・プロア及びエンジンを機械的に停止させる	オペレータが機械操作ハンドルから離れば、オーガ・プロア又はエンジンが止まる	運転者離脱時安全機構 (デッドマンクラッチ) (セーフティスイッチ)
		プロア等へ手等の一部が容易に届かないシュートカバーを装備し、シュートカバーを開くとオーガ・プロア、エンジンが停止する 又はオーガ・プロアが停止しなければシュートカバーが開かない	シュート安全機構 (セフティカバー)
	雪づまり除去時に、人が直接オーガ・プロアに触れない	専用の除去具で雪づまりを除去する	雪づまり除去具
シャーピンを交換している時に第三者がエンジンを始動させ負傷	エンジンをONにしても作業装置や走行装置が同時スタートしない	作業装置や走行装置のクラッチがONの時は、エンジンスタートができない	セフティスタータ
後退時にオペレータが転倒して、クローラにはさまれて負傷	オペレータが転倒した状態で、機械的に走行をストップさせる	オペレータ転倒状態で容易に操作可能な位置に、走行ストップバー等を設置する	後進時緊急停止機構 (緊急停止レバー)
		オペレータが操作ハンドルから手を離せば走行ストップ	運転者離脱時安全機構 (デッドマンクラッチ) (セーフティスイッチ)
オーガ側面で人が転倒し、足先を負傷	オーガ側面の露出部分を無くす	オーガ側面を平滑な鉄板等で覆う	オーガサイドカバー
機械を移動のためトラックに積込時、歩み板から機械とオペレータが転落して負傷	歩み板による積み込み、積み降ろしは危険の度合いが大きいため、クレーン等を利用する	容易に積み込み、積み降ろしが可能なように、アイプレート又はアイボルトを装着する	クレーン吊り具 (アイボルト) (アイプレート)
作業装置が回転している時、第三者が装置前方で転倒したが、とっさのことで混乱し、装置の停止が遅れて負傷	緊急時に最も単純な操作で、作動している全機能を停止させる	オペレータの手が容易にとどく範囲内に、エンジンの緊急停止ボタン等を設置する	緊急停止装置 (緊急停止ボタン)

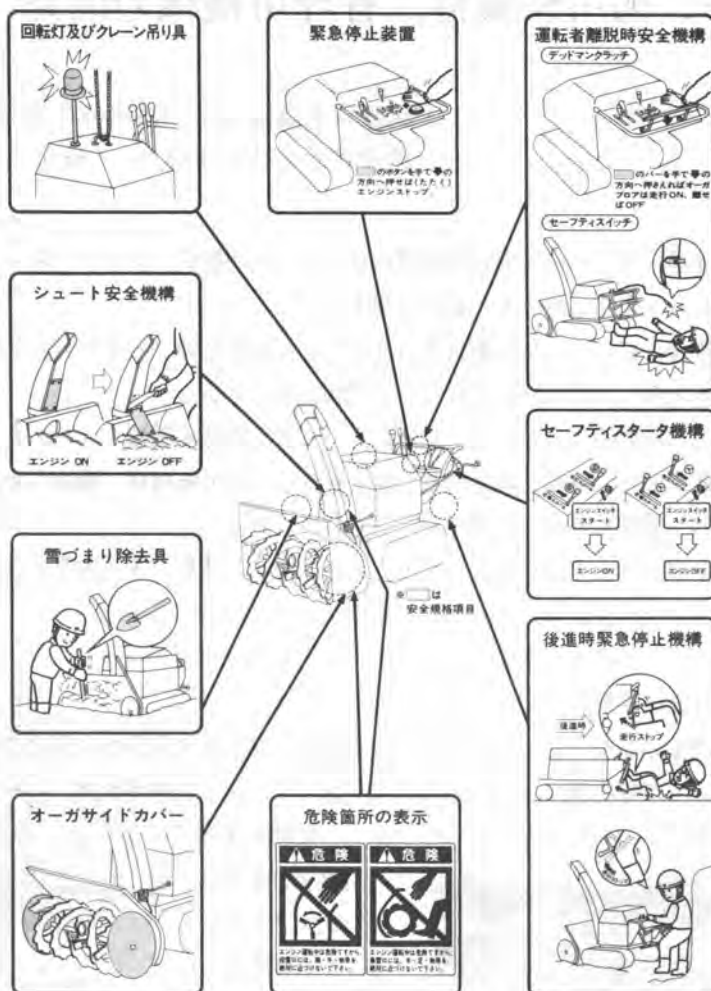


図-3 「安全規格」の概要

#### 4. あとがき

ハンドガイド式ロータリ除雪機の普及台数は年々大幅な伸びを示し、それに伴い事故が多発してきており、一部には新聞等にも報道されるなどして社会的な問題となりつつある。

一方、歩道除雪作業においても、今後このような機械を数多く使用することが予想されるところから、安全対策は緊急な課題となっている。それに対処するために今回とりまとめた指針は今冬までに現場にフィードバックされる予定となっており、事故防止に大いに効果を発揮することを期待する。

なお本指針は、東北及び北陸地方建設局が(社)日本建設機械化協会に委託し、建設省、土木研究所、東北地方建設局、北陸地方建設局、山形県、新潟県、製造メーカ、有識者から成る委員会を設立し昭和61～62年度にかけて検討を行ってきたもので、栗山委員長((社)北陸建設弘済会)を始めとして、委員、幹事の各位に対し厚く御礼を申し上げる次第である。

## 29. 河川敷維持、管理用機械の開発

建設省大阪国道工事事務所：川辺 登美男

建設省近畿技術事務所：横江 重行

### 1. はじめに

近年、河川改修の進展に伴ない堤防周辺の整備がなされ、河川敷内においても多くの施設及び公園緑地帯が設けられており、今後も増えることが予想される。

これら公園の維持管理において、集中豪雨等の出水による堆積土砂（ヘドロ）が芝生を覆い枯死すること、及び公園の利用者への供用がおくれるなど問題となっている。

堆積土砂の処理は、非能率的な人力処理が中心であり、又、既存の機械では、かえって芝生を損傷させるため、安全で能率的に、堆積土砂の回収、除去を行い、河川敷維持・管理作業の省力化を図る目的で、「河川敷維持・管理用機械」の開発を行ったものである。

又、当機械は、出水期以外の平常時においては、芝刈、草刈、集草、等の作業も出来る、多様能化を図ったものである。

### 2. 堆積土砂（ヘドロ）の実態

近畿地建で直轄管理している「淀川・河川公園」で、昭和57年7月末の台風10号による状況

#### 2.1 ヘドロによる被害状況



写真-1 ヘドロ堆積状況

#### 2.2 ヘドロ処理状況

被害状況例（昭和57年9月、台風17号）から「ヘドロ除去」には、復旧総額の54.9%の費用がかかっている。



図-1 被害復旧費用内訳

#### 2.2 ヘドロ処理の状況



写真-2 機械施工による処理作業



写真-3 メカ施工による処理作業



### 3. 河川敷維持管理用機械の開発調査

#### 3.1 基本的構想図

基本的設計条件等で検討して、総合的にまとめた「河川敷維持管理用機械」の基本的構想図は、図-2に示すとおりである。

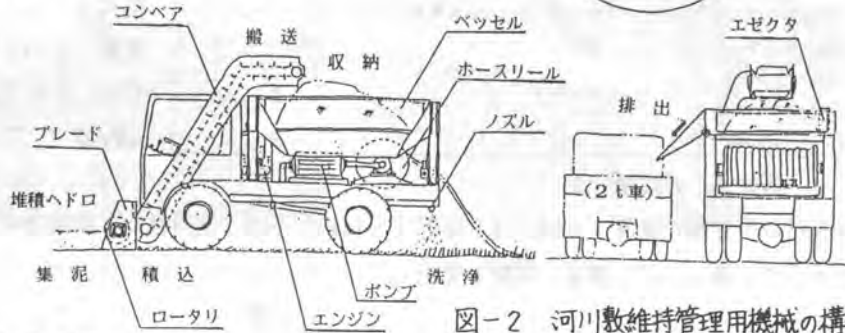


図-2 河川敷維持管理用機械の構想図

#### 3.2 実験用装置の製作

構想に基づいて、基礎実験を行い各装置の問題点を解明し、実用機に向けた機能、性能、操作性等の検証を行うため、実験用装置を製作して、現地適応性試験を実施した。



写真-4 実験用装置 (正左側面)

##### 3.2.1 実験用装置の概要・主要諸元

最前部にスクリュ付ブレード (収集部)、バケツフィーダ (搬送部) の作業装置を備え、ディーゼルエンジンと油圧ポンプ・油圧モータを径り、走行・作業装置を駆動する。

作業能力:  $15 \text{ m}^3/\text{H}$  以上 移動速度:  $1 \text{ km}/\text{H}$   
 ブレード中:  $2,200 \text{ mm}$  機関:  $34 \text{ PS}/2400 \text{ rpm}$   
 スクリュ径:  $500 \text{ mm}$  接地圧:  $3.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$  以下  
 重量:  $3,600 \text{ kg}$  水含有比:  $60\%$  以下

#### 3.3 現地適応性試験-I

淀川河川公園において「ヘッドロ」を搬入して、適応性について調査・試験を実施した。なお、試験当日及び前々日より降雨があり、実作業時と同様な条件であると思われる。



写真-5 同装置が「めり込む」状況等の問題点が判明したため「改造」を実施した。

結果は、①、ヘッドロ含水比が  $95\%$  と高いために、各作業装置へ附着し、「バナレ」が悪い。②、接地圧が高いためタイヤが地盤にめり込み芝生を痛める。



写真-6 改造後の実験用装置



### 3. 4 実験用装置の「機能追加」・改造及び「主要諸元」

現地適応性試験の結果を受け、表-1のとおり、機能追加と改造を実施した。

表-1 機能追加・改造箇所と結果

追加・改造項目	対 策	結 果
排出装置機能追加	ベルトコンベヤ(ターンテーブル方式)	ダンプトラック(2t)種込み
接地圧低減	ゴム履帯式	3.0kg/cm <sup>2</sup> →0.36kg/cm <sup>2</sup>
作業速度 アップ	油圧ポンプ及び油圧モータの容量アップ	50m <sup>3</sup> /H → 220m <sup>3</sup> /H
パワーアップ	及び	→3.4t
バケットコンベヤの「ヘドロ」ばなれ対策	パイプレータの取付	良
ブレードのフリット操作		良

### 主要諸元

作業能力・作業装置・機関等(下記項目以外)については、変更せず。

重量: 5,750kg 全長: 5,405mm  
 接地圧: 0.36kg/cm<sup>2</sup> 全幅: 2,380mm  
 移動速度: 30km/H 全高: 2,595mm

### 3. 5 現地適応性試験-II

改造後の「実験用装置」の適応性を確認するため、宇治川河川敷に「排水機場のサージタンク内」のヘドロを搬入して、調査・試験を実施した。



写真-7 現地適応性試験の実施状況

### 結果

- ①. 機能追加・改造対策については、所定の成果を確認した。
- ②. 作業能力 18.8m<sup>3</sup>/H (含水比53%)
- ③. バケットコンベヤのヘドロばなれが十分でないため、対策を検討する。
- ④. ヘドロ搬出用のダンプトラックでは、地盤の軟弱化に対応出来ないため、「不整地運搬車」等が必要である。

## 4. 多機能化のための開発計画

同機械は、ヘドロの回収を主目的としたため、出水期以外の平常時にも、稼働させて、有効利用をはかる必要があるため「アタッチメント」を開発した。

### 4. 1 開発する「アタッチメント」

河川公園管理作業の内、作業量の多い作業から、「アタッチメント」を開発した。

表-2 開発する「アタッチメント」と作業内容

アタッチメント名	作 業 内 容
草刈装置	施設・野営地区の草刈作業を対象
芝刈装置	施設地区の芝刈作業を対象
集草装置	草刈・芝刈された刈草・芝を集草する作業を対象
エアレーション装置	芝生地盤を穿孔し、通水、通風性を良くする作業を対象
スプレッド装置	芝生の目土及び肥料を散布する作業を対象
清掃装置	施設・野営地区に散乱するゴミ類を収集する作業を対象

### 4. 2 草刈装置

作業量の多い草刈作業を対象にした「草刈装置」を製作した。

前部に「ハンマーナイフ式」の草刈機構を備え、後部に刈上げられた刈草

を集草・搬送する「集草用ベルトコンベヤ」で構成している。実験用装置のヘドロ関係の装置を取外し、草刈装置を取付け、本体の油圧ポンプから、草刈・ベルトコンベヤ用の油圧モータを駆動させる。作業能力: 1,140m<sup>3</sup>/H (1.5km/H) ~ 2,160m<sup>3</sup>/H (1.7km/H)

#### 4.3 エアーレション装置

芝生地盤を穿孔し、透水・通風性を良くする作業である「エアーレション装置」を製作した。「穿孔機構」を備え、索引されることで「自動的に穿孔」する。

作業能力：2.620<sup>m<sup>2</sup></sup>/H (2.0<sup>km</sup>/H)



写真-8 草刈装置を装置した状況

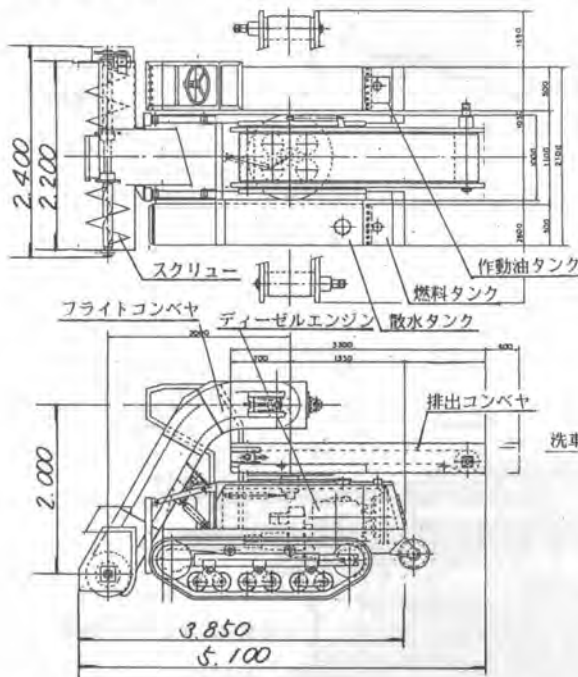


写真-9 エアーレション装置

#### 5. 河川敷維持：管理用機械の開発

「実験用装置」による現地適応性試験を2回実施し、その結果に基づいて、「河川敷維持・管理用機械」を開発した。

##### 主要諸元



作業能力：15 <sup>m<sup>2</sup></sup> /H以上	エンジン：ディーゼル
作業幅：2.2 <sup>m</sup>	出力：52 <sup>PS</sup> /1800 <sup>rpm</sup>
接地圧：0.03 <sup>kg</sup> / <sup>m<sup>2</sup></sup> 以下	作業装置
移動速度：4.0 <sup>km</sup> /H	収集装置：スクリュウ中寄式 スクリュウ径・0.5 <sup>m</sup>
登坂能力：30°	積込装置：フライト コンベヤ式 幅・0.5 <sup>m</sup>
クローラ：ゴムクローラ 幅・5.00 <sup>m</sup> パターン・三角ラグ 接地長・1.500 <sup>m</sup>	排出装置：ベルトコンベヤ式 幅・0.5 <sup>m</sup> 柵回角度・右左90°

#### 6. あとがき

河川敷に堆積するヘドロ回収を中心とする「河川敷維持管理用機械」を開発したが、作業対象面積が大きく、同時施工による投入台数検討、又、近年出水期に貯水することがない等の理由で、当面、実験用装置で対応することになったため、実用機械の導入は、当面見送られている状況にある。

# 30. 大径間トラベリング工法の開発

(株)竹中工務店： 柳沢 功・山崎 敦徳・石川 善弘

## 1. まえがき

横浜市の市制100周年記念事業として、新横浜駅前に建設中の「(仮称)新横浜イベントホール」は、最大収容人員17,000人、アリーナ面積8,000㎡、100mの直線トラックが優に取れるわが国最大規模の多目的イベントホールである。

本工事は当初よりオープンの日が決定しており、工期については特に22ヶ月の短工期(工期率85%)を要求された。多目的イベントホール特有の大空間を形成する大屋根(スパン108m×桁行108m・重量3,000t)の施工法が、全体工期に大きく寄与すると考え、設計・施工に際し、各工法検討の結果、工期・コスト・品質・安全面において最も優れている「トラベリング工法」を採用・実施した。

## 2. 工法の概要

トラベリング工法とは、大架構をいくつかのブロックに分割し、クレーン操作が可能な場所で1ブロックずつ組立て、これを順次移動させながら架設するものであり、表1の工事工程表でもわかるよ

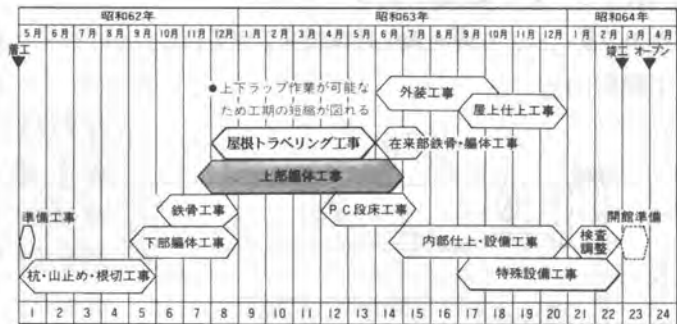


表1 工事工程表

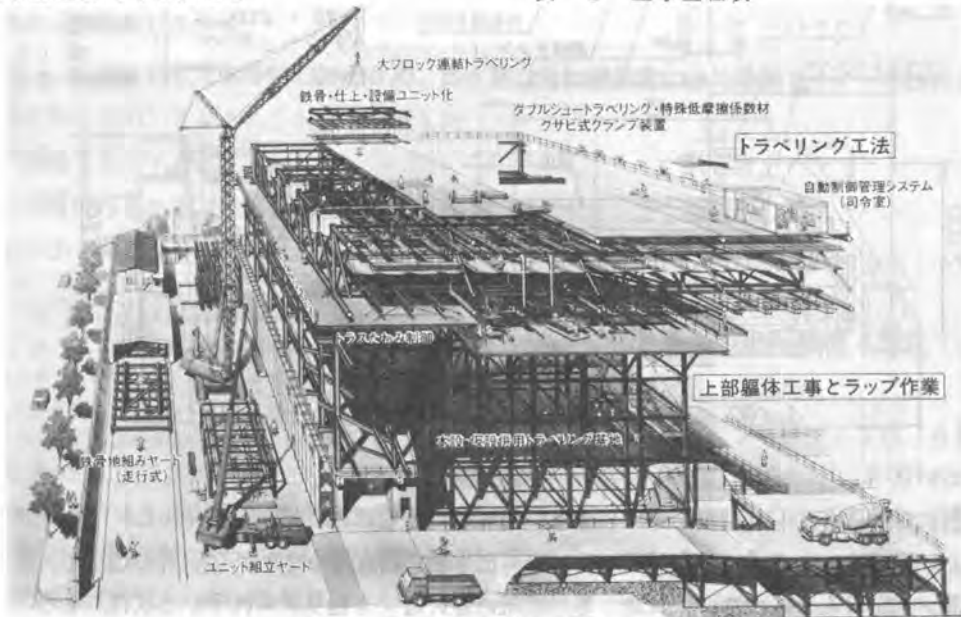


図1 工法概要図

うに、屋根トラベリング工事と上部躯体工事とのラップ作業が可能のため工期の短縮が計れる。

当社におけるトラベリング工法の歴史は古く、昭和43年以来施工実績は10件を超えるが、スパン40m・重量700t程度のものであり、これに対して今回はスパン108m・重量3000tとわが国でも最大級の規模となり、従来のトラベリング工法では、長大スパン・大重量に対して各種の問題点がでてくる。「大径間トラベリング工法」はこのような大架構における「長大スパン」・「大重量」に対応できる工法であり、巨大な構造物も鉄骨・仕上げ・設備等を複合化させ、各部位に何ら支障を来たすことなくトラベリングさせる工法である。本工事における採用工法の概要図を図-1に示す。

### 3. 開発技術

「大径間トラベリング工法」を可能とするため、図-2に示す4つのシステムを開発した。

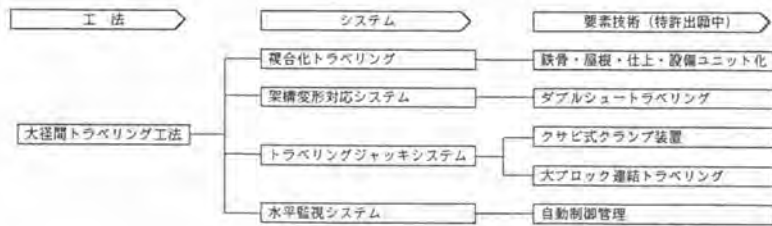


図-2 システム概要図

#### 3.1. 複合化トラベリング

高所作業と資材揚重回数を低減させるため、鉄骨建方時に仮設・仕上げ・設備をユニット化し同時に建方を行う。作業ステージを3ブロックにわけ、第1ブロックは鉄骨・屋根工事を主にした工事、第2・第3ブロックは鉄骨下部のキャットウォークや仕上げ・設備工事を主に施工し、完全に仕上げたトラベリングした。

#### 3.2. 架構変形対応システム

108m架構の熱応力による変形(30℃で40mm)と撓みによる端部のせり出し変形(最大54mm)をトラベリングシュー上部に設けたピン・ローラーで吸収し、各変形をトラベリング時に発生させないシステムとして「ダブルシュートトラベリング」を開発した。トラベリングシューは長期の屋外施工で大重量に耐える「特殊銅合金+特殊焼付レール」を開発した。これらにより摩擦係数(μ)は0.08を確保できるが、更に界面上にテフロン粉末を吹付けしμを0.06に低減させた。

#### 3.3. トラベリングジャッキシステム

反力装置として、従来のピン差し込み式から反力の大きくとれる「クサビ式クランプ装置」を開発した。鉄と鉄との摩擦面を利用してクサビジャッキを伸長させ仮設レールを締め付ける軸力を増加させて、大きな反力を得るシステムである。2連式で100tの水平耐力が得られる。また従来の先端2台のジャッキによるトラベリングに替え、架構を幾つかのブロックに分割し、各ブロックを各々のジャッキが分担し、架構全体を連結された状態で同時トラベリングさせる「大ブロック連結トラベリング」を開発した。このシステムによりいかに巨大な構造物もトラベリングが可能となった。今回使用したジャッキの性能は、押・引共120t、1ストローク1100mm、速度25cm/分である。

#### 3.4. 水平監視システム

従来の手動操作に替え、各4台のジャッキを同調制御させるため、パソコンによる自動制御管理システムを開発した。ジャッキストロークの左右の相対変位が10mm、前後の相対変位が5mmを超え

ると先行するジャッキが停止し、遅れているジャッキが追いつき再スタートを繰り返すシステムである。CRTには、ジャッキ圧力・移動量・クランプの開閉・摩擦係数等必要なデータがビジュアル表示される。

#### 4. 実施結果

##### 4.1. 実施工程

昭和62年12月4日に第1スパンの鉄骨建方を開始し、12月21日に第1回目のトラベリングを実施、延9回に渡るトラベリングは順調に工程を消化し、昭和63年4月19日に第9回目のトラベリングを完了した。スパン別に計画及び実施の工期をまとめたものを表-2に示す。この間トラベリング工事関係では、62000時間の無災害を達成し、昭和63年8月末日現在は、全体で100万時間の無災害を継続中である。これは「大径間トラベリング工法」により、作業ステージが屋根面積の約1/3であり、高所作業がこの限定されたステージ上であるため、安全の集中管理ができたこと。又安全な上下ラップ作業が可能であったためと考えられる。

##### 4.2. 作業工数

作業員数をトラベリングスパン毎にまとめた結果を図-3に示す。各スパン毎の作業員数の合計は減少の傾向にある。4・5・6スパンで作業員数が増加したのは、排煙口工事があり他スパンより施工数量が増加しているためである。施工歩掛り（単位施工量当りの作業員数）も減少の傾向にある。トラベリング工事期間中は1260人の省人化が計れた。

トラベリング工法と在来工法との作業員数の比較を工事別にまとめた結果を図-4に示す。

トラベリング工事以外は全て減少しており、特

に構台工事においては在来工法の約30%である。これは屋根面積に対して構台面積が約30%に減少したためである。全体で約3500人（約35%）の省人化が計れた。

また、鉄骨・仕上げ・設備工事については、同一場所での繰り返し作業となるため、作業員の平準化と習熟度の向上によって大幅な省人化が計れた。

計画	第1回 16日 +2日	第2回 13日 +2日	第3回 13日 +2日	第4回 13日 +2日	第5回 13日 +2日	第6回 13日 +2日	第7回 13日 +2日	第8回 13日 +2日	第9回 13日 +2日
実施	16日 +2日	12日 +2日	12日 +2日	12日 +2日	12日 +2日	12日 +2日	11日 +2日	11日 +2日	11日 +2日

表-2 スパン別工期

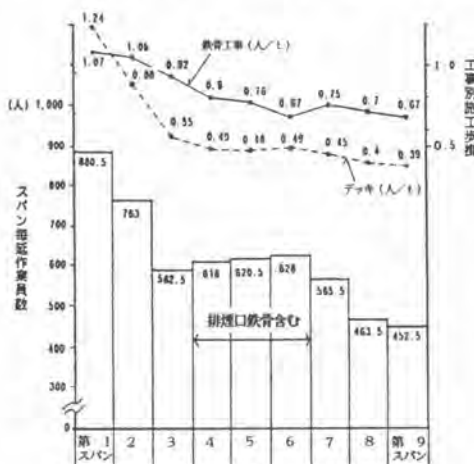


図-3 スパン別作業員数

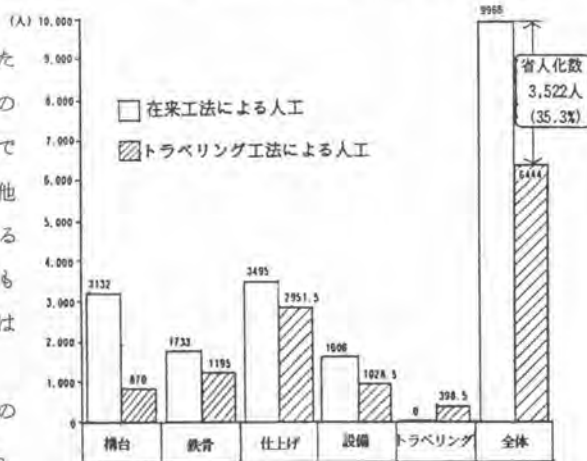
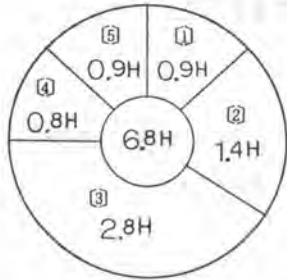


図-4 工事別作業員数





- ① 準備・仮定着外し等
- ② 点検・計測
- ③ トラベリング
- ④ 仮定着
- ⑤ 休憩

図-5 作業別平均時間

#### 4.3. トラベリング作業

1 スパン12mのトラベリングにかかる平均時間の内訳を図-5に示す。準備工事から終了まで約7時間である。トラベリング自体は約3時間であり、1mの移動時間は約15分となる。これはジャッキの性能では、1mの伸・縮にかかる時間は8分であるが、クサビ式クランプ装置の開閉、司令室との確認・通信時間等が含まれるためである。

摩擦係数( $\mu$ )の実施結果を図-6に示す。摩擦係数の平均値 $\bar{\mu}$ は0.058であり、バラツキも少ない。トラベリング重量が増加しても摩擦係数はほぼ一定かやや減少の傾向にある。

水平監視システムにおける相対変位の自動制御回数をスパン毎にまとめた結果を図-7に示す。この結果からトラベリングジャッキが先端2台の場合1ストローク(1m)で約1回の制御回数であるが、6スパン目より4台になった場合は1ストロークで3回の制御回数になった。ジャッキの台数が増えれば制御回数も増加するが、トラベリング重量が増えても、制御回数には影響がない事がわかる。

#### 5. あとがき

本工事に「大径間トラベリング工法」を開発して実施した結果、安全・品質・コスト・工期の全ての面において初期の目標を十分に達成でき、大架橋構造物に対する「大径間トラベリング工法」の設計・施工技術の確立ができたものとする。今後の展開として、長大スパンによる軌道上・道路上の再開発や大規模市街地再開発等に採用が可能である。

最後に、本工事の実施にあたり、多大な御協力を頂いた関係各部・各社に、深謝の意を表します。

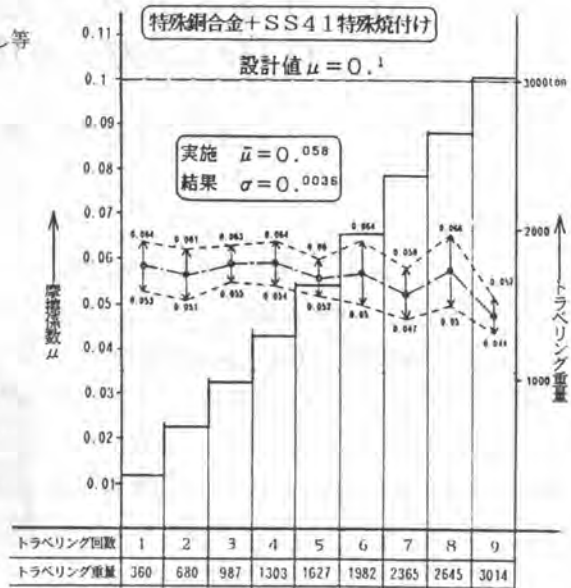


図-6 摩擦係数

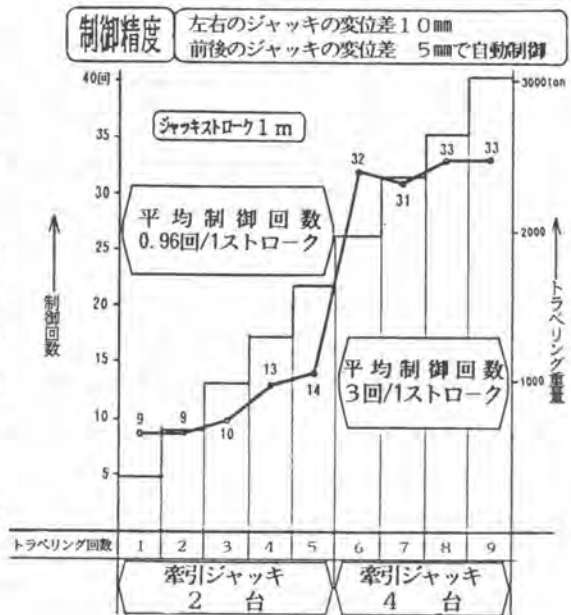


図-7 制御回数



# 31. リフトアップ工法による全日空 O'Hハンガーの施工結果

(株)竹中工務店： 菊池 公男・浅井 修・安積 健次  
高畑 顯信・柴田 恭同

## 1. まえがき

リフトアップ工法は、大空間建物の構築法の1つとして、体育館、工場等の建設に適用される。

全日空HANGAR新築工事は、100m×80mという長大スパンで、重量は約1,300tである。また、本工事は飛行場に隣接しているため、工事にあたっては高さ制限があり、地上で組立て、制限高さまでリフトアップするという工法が最適であった。

本工事は、仮設水平タイバーに張力を与えて、屋根トラスを一旦所定量縮めた状態にしてリフトアップし、その後、張力を緩めて本設側柱に屋根トラスを定着させる工事である。施工にあたっては、屋根トラスの高さ管理の他、水平変位管理、タイバー張力管理等を行い、リフトアップ工事を完了したのでここに報告する。その内容は、主として昭和62年9月3日に実施したリフトアップ工事についてである。

## 2. 本論

### 2.1 工事概要

表-1に工事概要を、図-1には、HANGAR工事の施工概要を示す。また、図-2には、その施工のフローを示す。

側柱、大屋根トラスを地組し、仕上げ工事を行った後、大屋根に仮設タイバーをセットし、水平力を導入する。大屋根のスパンが約50mm短縮したところで、サポートを撤去する。次に、大屋根の変形、張力を調整し、ジャッキによるリフトアップ作業をおこなう。その後、張力調整をしながら大屋根を側柱に定着する。

### 2.2 リフトアップ概要

図-3は、リフトアップ用ジャッキおよび水平タ



写真-1 リフトアップ後のHANGAR

表-1 工事概要

項目	概要
工事名称	全日空大阪O'H・HANGAR新築
工事場所	大阪府豊中市箕輪3-72
建築主	全日本空輸株式会社
設計管理	株式会社梓設計
施工	竹中・間・大日本土木共同企業体
建築面積	8791.693m <sup>2</sup>
構造	鉄骨造(ダイヤモンドトラス造り)
リフトアップ揚程	6,350mm
スパン	100m×80m
重量	1,300 t
リフトアップ日	昭和62年9月3日
工期	昭和62年3月10日～昭和63年2月29日

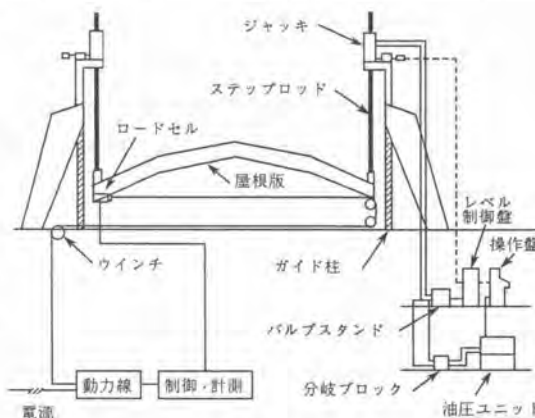


図-1 施工概要

イバーの配置図を示したものである。表-2には、大屋根トラスの荷重分布に基づく各ジャッキの負担荷重および水平タイバーの張力を示した。

図-4は、リフトアップに使用するジャッキの概略である。センターホール式のジャッキで150mmのストロークである。合計22台のジャッキを用い、各ジャッキに4mmのストローク差が生じた場合、先行するジャッキをとめ、一定レベルになったところで再びスタートする制御方式を採用している。

### 2.3 計測管理システム

図-5は、今回のリフトアップ工事に採用した計測管理システムの概要を示したものである。

施工にリアルタイムに対応するために、リフトアップ中の荷重、タイバー張力、大屋根の水平、垂直変位等の変動を制御室のパソコンにグラフ表示する。

表-3には、その測定項目を示す。

リフトアップ前に、設計値のタイバー張力を導入するが、そのときの張力を11台のロードセルで、また、大屋根トラス部材の縮み具合を棒状の変位計にて測定する。

リフトアップ中は、各4隅に設定したストローク計にて大屋根の揚程をmm単位で管理する他、22台のジャッキすべての荷重をエコライザーに取り付けた圧力ヘッドにて管理する。また、大屋根は、22本のステップロッドにて吊られた状態であるので、その水平方向の変位を、レーザー垂直器からのレーザー光をターゲットで受光し、そのレーザー光をカメラで撮影し、画像処理装置にて数値化する方式で管理する。

## 3 施工結果

### 3.1 作業工程

図-6は、今回のリフトアップ工事の作業工程を示したものである。

6.35mの全揚程に対し約6.5時間要した。途中、



図-2 施工フロー

表-2 設計時のジャッキ荷重とタイバー張力

ジャッキ荷重 (t)	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	No 8
	51.8	53.6	57.6	63.1	65.4	64.8	64.6	58.4
	No 9	No 10	No 11	No 12	No 13	No 14	No 15	No 16
	58.4	46.1	45.4	51.8	53.6	57.6	63.1	63.1
	No 17	No 18	No 19	No 20	No 21	No 22		
	65.4	64.8	64.6	58.4	46.1	45.4		
タイバー張力 (t)	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	No 8
	51.8	76.5	86.8	100.5	100.0	104.7	103.8	102.8
	No 9	No 10	No 11					
	87.1	59.5	102.6					

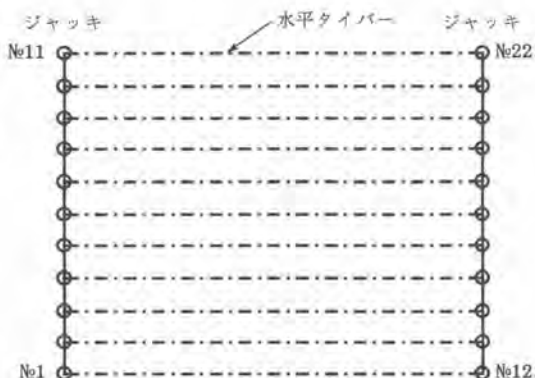


図-3 ジャッキ位置と水平タイバー配置

油圧ホースのはずれ、No.6ジャッキ荷重の急激な低下のため、点検、調整に約20分要した。

### 3.2 ジャッキ荷重

図-7は、リフトアップ中のジャッキ荷重および水平タイバー張力の管理用グラフの表示例である。設計荷重、設計張力と対比したものである。

この表示例では、設計値と実測値はほぼ一致している。しかし、今回使用したジャッキは、4mmのストローク差が生じると先行したジャッキが停止する制御方式であるため、停止したジャッキの荷重が低下し、両隣りのジャッキ荷重が増加するという現象を交互に繰り返していた。

図-8は、各ステップスタート時のジャッキ荷重をプロットした一例であるが、図に示すように、スタート時先行するジャッキは一定しておらず、あるステップで荷重負担が大きかったジャッキが次のステップでは小さな荷重負担になっている。しかし、総荷重の変動は約1%でありほとんど変化しなかったと考えてよい。

41ステップ目のリフトアップ中、図-7に示すディスプレイのNo.6ジャッキの荷重が急に低下する現象がおきたため、すべてのジャッキを停止させた。そのとき、両隣りのジャッキは大幅に増加したが、側柱と大屋根端部が接触して起きた現象であり、直ちに点検、調整し、目標通りのリフトアップを終了した。その結果、側柱と大屋根のレベル差がほとんどなく、その日のうちにすべてのボルトの挿入がスムーズに行えた。

### 3.3 タイバー張力の経時変化

図-9は、張力調整時からリフトアップ中、仮ボルト挿入までの各タイバー張力の経時変化を示したものである。図を見て分かる様に

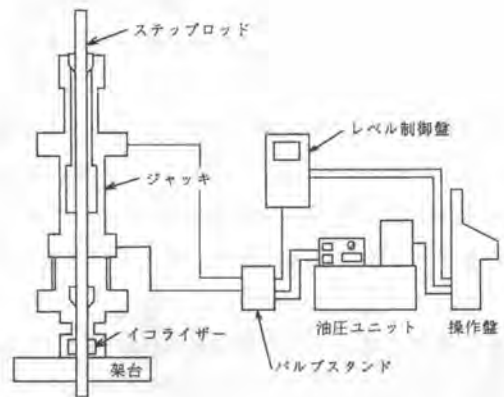


図-4 リフトアップ用ジャッキ

表-3 測定項目

測定項目	点数	使用機器
ジャッキ荷重	22	圧力ヘッド
水平タイバー張力	11	ロードセル
揚程	4	ストローク計
水平変位	2	レーザ鉛直器+カメラ

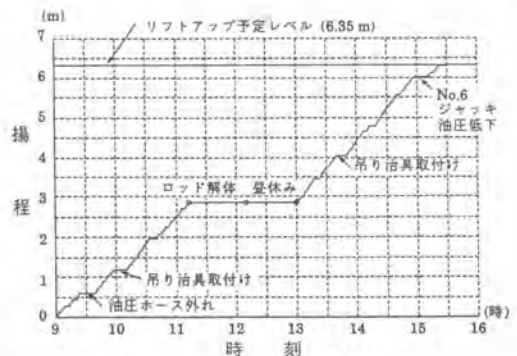


図-6 リフトアップ作業工程

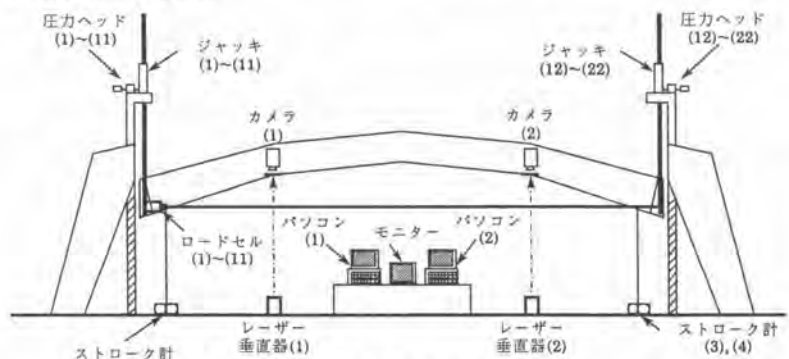


図-5 計測管理システムの概要

地切り時からリフトアップ前までの間にNo.1のタイバーに1割弱の減少が見られたが、リフトアップ中はほとんど変化がなかった。仮ボルト挿入によって大屋根荷重が側柱に流れ、その分タイバー張力は減少した。

### 3.4 水平変位

設計値のタイバー張力導入時、大屋根トラスの水平変位を棒状の変位計にて測定したが、大屋根の東側面一方だけが、約50mm縮み反対側はほとんど変化しなかった。その後、地切り作業時、全体に20から30mm東側へ水平移動し、バランスのとれた形状になった。リフトアップ中の水平変位は、垂直レーザー光での測定の結果、5mmの範囲内で、わずかにゆれながらリフトアップしていく様子が窺えた。

### 4. まとめ

今回、新しい試みである仮設タイバーを利用したリフトアップ工法を実施したが、ほぼ設計通りに施工することができた。それは、ジャッキ荷重、タイバー張力、部材応力等をリアルタイムに管理したことも大きな要因の1つと考えられる。

施工の結果をまとめると、

- 1) 80m×100mの大屋根を4隅のストローク差±10mm内でリフトアップすることができた。
- 2) 休憩時間を除いたリフトアップ速度は約1.2m/時間であった。
- 3) リフトアップ中タイバー張力の変動はほとんどなかった。
- 4) 各ジャッキは、4mmのストローク差を保ちながらリフトアップしていく様子が、荷重の測定より分かった。

最後に、本工事に御協力いただいた(株)粹設計、(株)巴組、(株)巴組技研、(株)川鉄機材の関係者各位に感謝の意を表します。

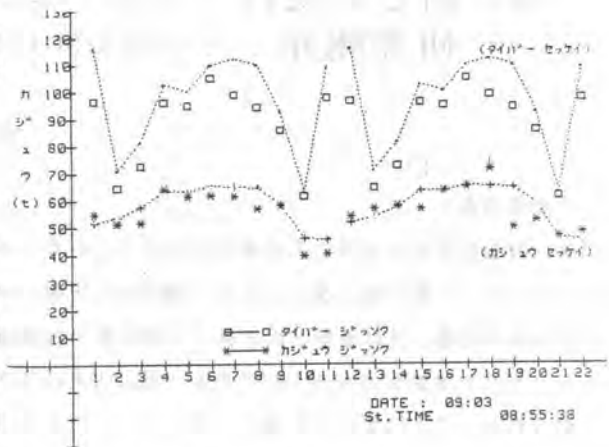


図-7 ジャッキ荷重・水平タイバー張力実測値表示例

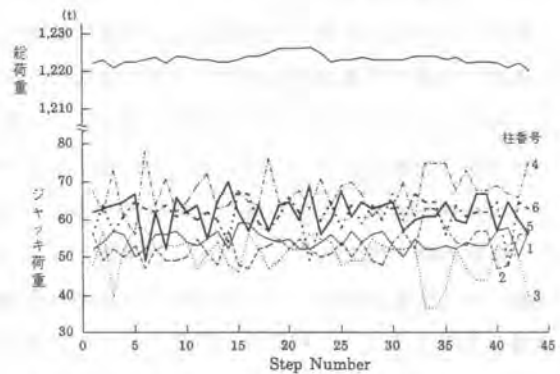


図-8 各ステップにおけるスタート時のジャッキ荷重(1~6)

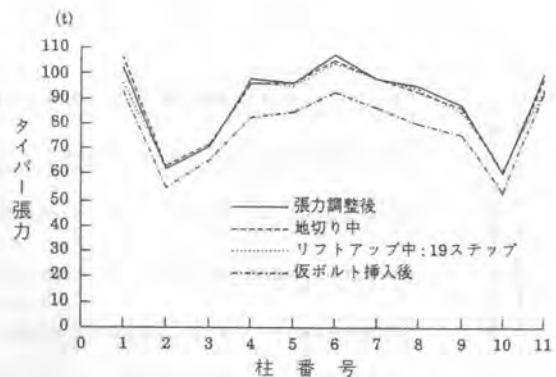


図-9 タイバー張力の経時変化

## 32. 新しい攪拌メカニズムの深層地盤改良装置の研究開発 —ZECOM工法—

(株) 銭高組：鶴岡 胤英・岩崎 則夫

### 1. まえがき

狭い国土を有効に利用する必要性が高まっている今日、各種建造物が厳しい地質条件を克服して設けられている。軟弱地盤改良工法の一つであり研究・開発・実用化されてまだ十数年しか経っていない深層混合処理工法は地盤と固化材とを原位置で強制攪拌することによって一種の人為的にコントロールした人工地盤を造ることができる。従ってそのできばえは使用機械の特性・施工管理法に大きく左右される。ここに報告する新しい攪拌メカニズムの深層地盤改良装置はできばえの面で改良するのに困難な地盤でも優れた特徴を発揮できるものと確信している。

### 2. 研究・開発過程

#### 2.1 研究・開発のねらい

既存工法の技術内容を特許情報・学会協会誌論文・各社の技術資料等から調査分析した結果および実施工の現場での要望とを検討し、我々は次の点を改良すれば更に深層混合処理工法の技術が向上すると考えた。つまり①固化材と攪拌混合しにくい粘性土地盤での改良強度のバラツキを解消する。②一軸で改良面積をできるだけ大きくし、施工速度を向上させる。③空掘し改良施工する際、改良深度までの無駄な回転・削孔を減らし地盤の必要以上の乱れを防ぐ。④地中の埋設物に対して貫入・引上げ・攪拌の際、処理機の公転を止め対象物と接することなく地盤改良ができる。⑤小規模な土留工事の際、改良装置の特性を活かして柱列式土留壁を経済的に形成する。等である。言いかえるとこれ等の課題を実現化することが研究・開発のねらいであり目的であった。

#### 2.2 深層地盤改良装置（処理機）の構想検討

改良効果として問題視されることの多い粘性土地盤を対象として解決策を考え基本的に必要な装置機構のイメージを具体化できるよう技術整理を行った。（図-1）

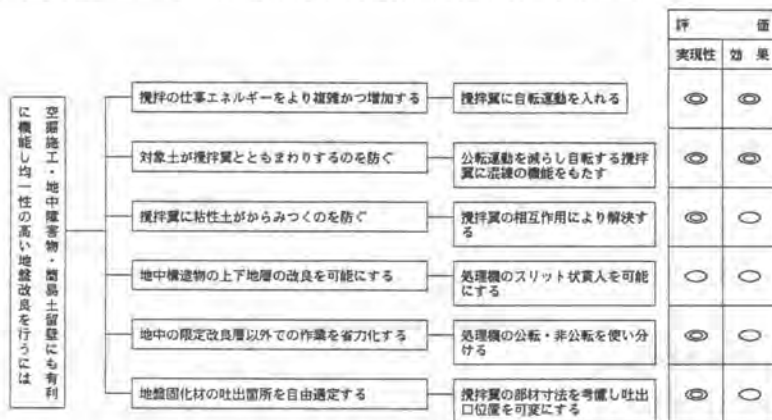


図-1 処理機構想展開図

図-1の主要因より、開発処理機の装備機能他を次のように設定した。

- ①攪拌翼の公転運動は低速度とし、事象に合わせて使用・不使用を選択する。
- ②攪拌翼は高速自転とし、鉛直ロッドを中心に公転する。
- ③攪拌翼は水平2段程度の配置とし自転により相互

に攪拌翼ピンが干渉し合い地盤のからみつきをとる。

④地盤の固化材の吐出口は上下2段の攪拌翼各々に2カ所ずつ設ける。

これ等の主要装置・機能を含めて考え合わせると基本形は図-2のようになった。

### 2.3 実験と解析

深層地盤改良装置の開発構想に基づいて昭和56年から昭和60年まで各種実験を繰返して行った。実験No.1

～4、7については東大阪特有の沖積粘性土を対象に深度10mまでを実験範囲とした。(表-1)

#### ① 実験No.1

(実験目的) 開発装置の内、処理機本体部(外径 $\phi 370$ mm)が地山の貫入抵抗に逆って貫入できるか、またこの孔を利用して投入したOBW機を使って翼の自転トルク・全体を回転させるに必要な公転トルクの値がどれ位か等を観察・測定し必要機械能力のあらましを決めることを目的とした。

(実験装置)

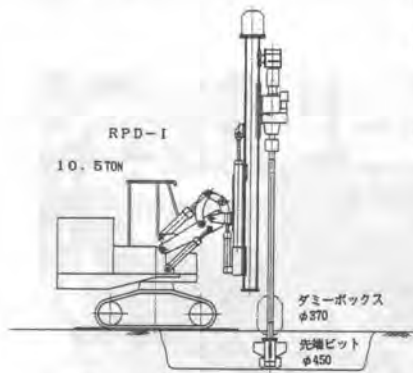


図-3 実験装置図

#### ② 実験No.2

(実験目的) 開発目標である改良径 $\phi 2,000$ mm用の改良機をまず攪拌翼一段式で試作し、貫入力、貫入速度、自転トルク、公転トルクの設計値の把握にあった。また若干実際に固化材スラリーを送り攪拌効率についてもチェックを行った。攪拌翼も3種試作し施工効率の比較を試みた。

(実験装置)

#### 写真-1

地上機と処理機全景

自転トルク:  $667 \text{ kgf}\cdot\text{m}$

公転トルク:  $1,000 \text{ kgf}\cdot\text{m}$

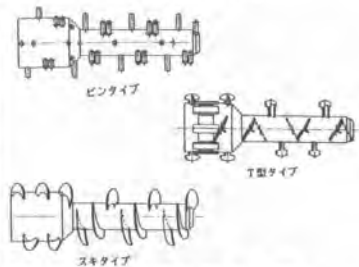


図-4 実験用攪拌翼形状図

表-1 実験場土性値表

深度 (m)	経緯 (m)	地層構成 地層名	N値
1		表土	
2	1.7	砂質土	
3	1.7	砂質土	
4	1.7	砂質土	
5	1.1	砂質土	
6	2.1	砂質土	
7	2.5	砂質土	
8	2.1	砂質土	
9	2.7	砂質土	
10	2.1	砂質土	
11	2.1	砂質土	
12	2.1	砂質土	
13	2.1	砂質土	
14	2.5	砂質土	

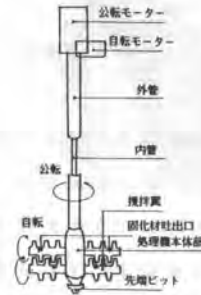


図-2 装置基本図

(実験結果)

- 先端ビットのみは無水で回転貫入が可能であった。
- 処理機本体部に相当したダミーボックスは $30 \text{ l/mim}$ の送水削孔をしないと貫入不能であった。
- OBW機のアーム長 $2,100$ mmで自転トルクは約 $100 \text{ kgf}\cdot\text{m}$ 、公転トルクは約 $300 \text{ kgf}\cdot\text{m}$ 程度と測定できた。

表-2 機械関係装備能力概略値

必要貫入力	10tf以下
公転トルク	1000kgf・m以下
自転トルク	300kgf・m以下

この実験より $\phi 2,000$ mm改良径クラスでは必要装備能力は表-2の値程度であらうことが分った。



(実験結果)

- (1) 圧入装置付き地上機であったため貫入速度は1.0 m/minが定常速度であった。
- (2) 圧入力は10tf以下であった。
- (3) 貫入時の自転トルクは注水を前提として520~680 kgf・mであった。
- (4) 引上げ力は公転を伴っても0.8tf程度であった。(公転トルク800~1,100 kgf・m)
- (5) 攪拌翼は自転翼に棒状ピンを設けたものが良さそうであった。
- (6) やはり一段式の攪拌翼では公転を主にする従来工法より改良効果が劣る課題が残った。

表-4 機械関係数値表

必要貫入力	10tf
必要引上げ力	自重+3tf
公転トルク	1100kgf・m
自転トルク	600kgf・m
公転回転数	1~6rpm
自転回転数	60~105rpm

表-3 攪拌翼関係表

必要段数	最低2段
攪拌翼形状	ピンタイプを基本とする
吐出口位置	上段外周2箇所、下段内周2箇所

以上のことよりまとめとして、実用機の機械能力・仕様は表-3、4のように考えるべきと最終的な判断をした。

③ 実験No.3

(実験目的) 前回の実験No.2までで機械の装備能力についてはほぼ解明できたが、地盤をいかに確実に均一攪拌混合して改良するかと言う問題を残した。そこで今回の実験では問題の内、攪拌翼の形状(段数、ピン長H、ピン間隔L)、自転回転数(Nj)、公転回転数(Nk)、固化材の吐出口位置、引上げ速度(Vu)、練り回数(M)等を変化させて攪拌混合に寄与する要因を追求するために一軸で改良径φ1,000mm×長さ1.5mの供試体を造成した。

(実験装置)

写真-2

実験機全景



写真-3 実験用処理機(攪拌翼ピンタイプ)

(実験結果)

- (1) 引上げ速度が遅いほど、自転回転数が多いほど、練り回数が多いほど攪拌はよく強度も上がった。(図-5、6、7)

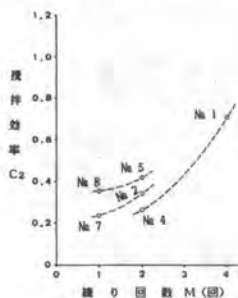


図-5 Cz~M関係図

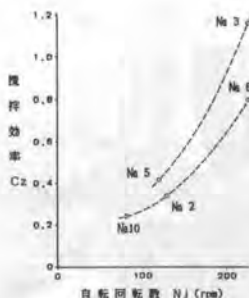


図-6 Cz~Nj関係図

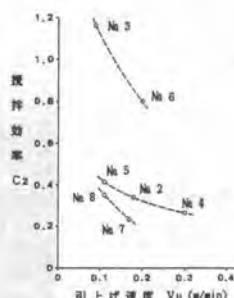


図-7 Cz~Vu関係図

(2) 引上げ速度の平方根が攪拌効率に反比例する。

(3) 自転回転数の自乗が攪拌効率に正比例する。

(4) 練り回数の3乗が攪拌効率に正比例する。

その他の傾向値を示すと

(5) 攪拌翼のピン長は長いほど、翼段数は多いほど

攪拌もよく強度も上がる傾向にあり、一段式は  
前同様、攪拌は悪かった。

(6) ピン長の平方根が攪拌効率に正比例傾向にある。

(7) 翼段数の1.5乗が攪拌効率に正比例傾向にある。

(8) 固化材の吐出口位置だけの傾向は不明であった。

(9) セメント量は多いほど強度は上がったが、攪拌効率に表わせる程顕著でなかった。

以上の結果から攪拌効率 $C_2$ を表わすと式(1)のようになった。また開発装置の攪拌機構については、攪拌翼段数>練り回数>自転回転数>引上げ速度>攪拌翼ピン長>セメント量>公転回転数の順に寄与すると判断できた。

④ 実験No.4 ;  $\phi 2,000$ mmの攪拌翼2段式実用機1号を製作し各種実用テストを行った。

⑤⑥ 実験No.5、6 ;  $\phi 1,200$ mm(2号機)、 $\phi 2,000$ mm改良径の試験工事実施。

⑦ 実験No.7 ; 2現場の実績を踏えて能力アップの改良テスト、施工管理体制の確立テスト実施。  
実験結果と実用機仕様決定についての関係を詳細に述べることは紙面の関係でできなかったが、攪拌翼を水平2段式とし自転・公転運動をとり入れた効果は絶大でその後の実施工でも実証できた。

### 3. 実用機と施工法

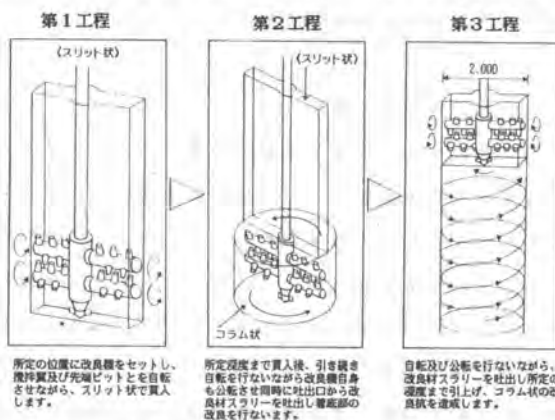
① 実用機 ; 完成機は写真-5のとおりである。 ② 施工法 ; 図-8の施工順序・内容のとおり

写真-5  
実用機  
全景



表-5 実用機仕様

自転t-ク	45kw4P (3相220V×60Hz)	公転t-ク	11kw4P
自転数	90rpm	公転数	3.6rpm
自転t-秒	487kgf・m( $\eta=100\%$ )	公転t-秒	2960kgf・m



### 4. あとがき

図-8 施工順序図

開発実験後、今日まで実施例は京都市淀水路改修工事①②、長岡京市立第4中学校敷地造成工事、阪神高速道路公団原野第2工区下部工事、大阪府鴻池処理場水処理施設工事など延改良土量約24、000 $\text{m}^3$ である。最後に研究開発にあたって、種々御指導下さいました京都大学、共同開発者の㈱大阪防水建設社の方々に深く感謝いたしております。

### 33. 振動ローラと突固め試験との対応関係とその利用

京都大学： 畠 昭治郎・建山 和由

#### 1. まえがき

土の締固めは、最も一般的かつ有効な土質改良工法として、古くから数多くの土構造物の造成において利用されてきた。反面、この工法は、経験に頼るところが多く、必ずしも合理的な施工が行われてきたとは言い難い。図-1は、締固めた土の密度と強度との関係を簡易的な原位置強度試験により調べたものである<sup>1)</sup>。この図より、締固めた土の強度は、密度の変化に対して非常に敏感で、密度が10%小さくなると強度は半減してしまう場合もあり、従来のD値管理法に見られるような密度にのみ依存した締固め施工管理法では、十分とはいえない。また、現在の締固め施工では、締固め機械の多様化にともない、標準突固め試験は土の締固め特性の評価、ならびに締固め施工基準の決定に利用されるにとどまり、現場で重機を用いて行われる締固めとの関連も明確でないのが現状である。

本報告では、合理的な締固め施工の考え方について著者の考え方とこれに関する研究の概要を述べる。なお、紙面が限られているため、研究内容について詳細に述べることができない。この部分については、論文の最後に参考文献を載せておくので、それらを参照されたい。

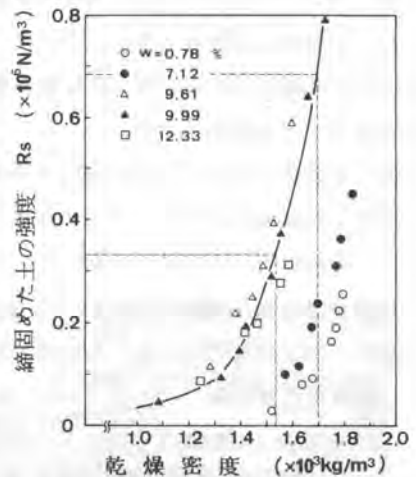


図-1 締固め土の強度と密度の関係

#### 2. 合理的な締固め施工の考え方

図-2に今回、提案する締固め施工のフローチャートを示す。簡単に説明すると、①土構造物の設計から盛土が安定を保つために必要とする締固めた土の強度等の力学特性が決まる。②この強度を満たすためには、土をどこまで締固めなければならないかという締固め施工基準が決まる。③締固め施工基準を達成するためにはどのような締固め施工を行えばよいのか(転圧回数、まき出し厚さ等の施工条件)を室内試験より決定する。④決定した施工条件に従い施工を行う。

図-3は、水浸時の強度低下と体積変化を考慮した締固め施工管理基準であり、図-2のフローチャートでは、②に相当する部分である。この図は、締固めにより造成される土構造物が一般には不飽和の状態にあり、これが施工後、水浸を

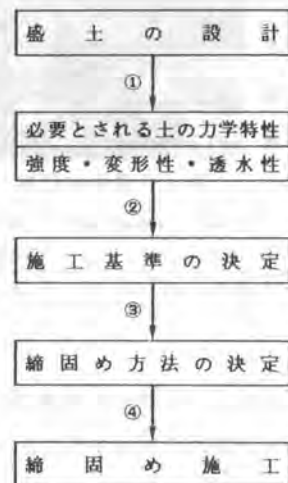


図-2 合理的な締固め施工

受けると強度低下、体積変化を引き起し、崩壊等の危険性が高くなることを考慮して作成した基準である。詳細については、述べないが、図の縦軸は締固めた土の間隙比、横軸は、盛土中の対象としている点の土かぶり圧を対数で表現したものである。締固め後の土の状態が図のハッチをほどこした部分に入っていれば、この盛土は、降雨などの水浸を受けても崩壊につながるような体積変化、強度低下を引き起さないというわけである<sup>2)</sup>。図-2のフローチャートに従えば、施工基準が決定されたなら、次にこの基準を達成するための施工法を決定することになる(フローチャート③)。従来、この施工法の決定には、実機を用いた現場試験か経験に頼るところが多かったが、本報告では、室内試験のレベルでこの施工法の決定を行うことにする。以下に、これに関する研究内容の概略を記す。

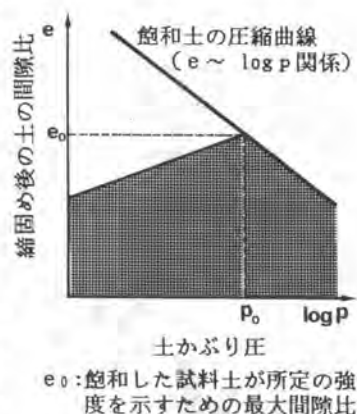


図-3 水浸時挙動を考慮した締固め施工基準

### 3. 現場締固めと突固め試験との対応について<sup>3)</sup>

JIS A 1210 で規定されている標準突固め試験は、ランマ重量、落下高さなどの試験方法が細かく規定されているため、この試験結果から、多様化した現場での締固めに関する情報を得ることは困難である。そこで、ここでは、現場での締固めに合わせて突固め試験の試験条件(ランマ重量、落下高さ等)を変化させ、室内試験により現場での締固めを予測する手法について検討を行うことにする。

いま、現場で用いる締固め機械として、振動ローラを取り上げる。まず、室内突固め試験と振動ローラによる締固めとの対応関係を求めるのであるが、ここでは、1) 振動ローラとランマ重量・落下高さとの対応関係、2) 振動ローラの転圧回数とランマの突固め回数との対応 という2種類の対応関係を考え、それぞれ、個別に検討していく。個々の対応関係の求め方は、18種類の振動ローラに対して行なわれた締固め試験結果と、同じ土を用いて行った突固め試験結果(ランマ重量、落下高さなどの試験条件を変えて実験、1000 cc モールド・3層を適用)を比較し、同程度の締固めが得られるところを対応するとして、両者の対応関係を求める方法によった。このとき、振動ローラの締固めでは、締固め土の密度～転圧回数関係に、また、突固め試験においては、締固め土の密度～突固め回数関係に双曲線近似法を適用することにより、1)、2) 2種の対応関係に分けて議論を行った。

図-4は、この結果得られた振動ローラの動線圧と突固め試験における落下エネルギー(ランマ重量×落下高さ)との対応関係を示したもので、前述の1)の対応関係である。この図より、振動ローラの動線圧とそれに相当するランマの落下エネルギーとは比例することがわかる。この関係を式に表わすと(1)式ようになる。なお、動線圧とは、振動ローラの振動輪荷重と起振力との和を転圧幅で除した値であり、振動ローラ能力を表わす指標の一種である。

$$\text{ランマの落下エネルギー (N・m)} = 0.16 \times \text{振動ローラの動線圧 (kN/m)} \quad (1)$$

対応関係2)の転圧回数と突固め回数との関係についても同様の検討を行ったところ、振動ローラの転圧回数1回にランマの落下3回が対応することが明らかになった。

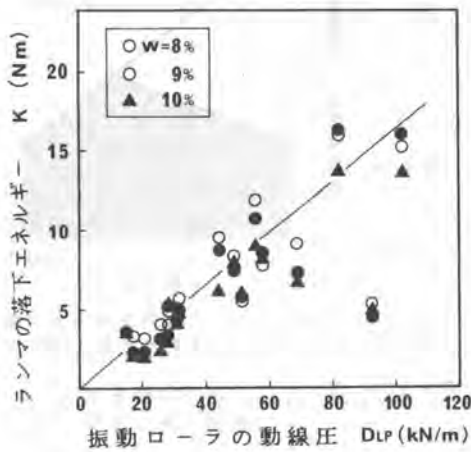


図-4 振動ローラの動線圧とランマの落下エネルギーの対応

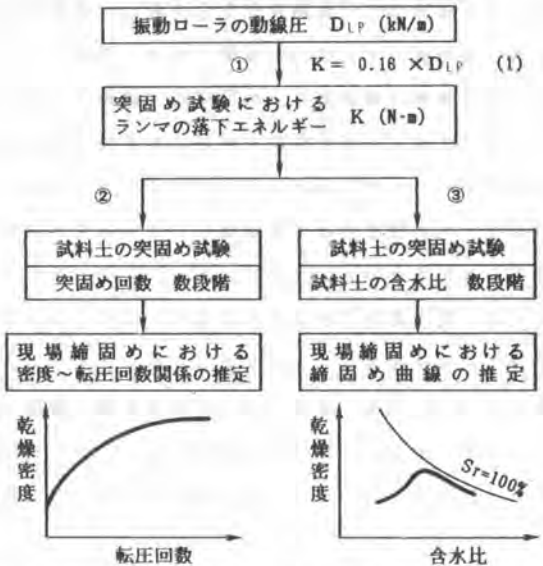


図-5 現場締固めの予測に関するフローチャート

これらの対応関係を利用すると、振動ローラを用いた現場での締固めを室内試験により予測することができる。図-5はこれをフローチャートに表わしたものである。簡単に説明すると、①現場で用いられる振動ローラの動線圧から(1)式により、それに相当するランマの落下エネルギーを求める。②現場での締固め密度～転圧回数関係を予測する場合には、試料土の含水比を一定にして突固め回数を変化させる。ただし、この場合には、振動ローラの転圧1回がランマの落下3回に対応するものとする。③現場で重機を用いた場合の締固め曲線を求めたい場合には、突固め試験における突固め回数を一定にして、試料土の含水比を変化させればよい。

この手法を用いれば、簡単な室内試験の結果から、現場での施工条件を決定することができる。

#### 4. 最適まき出し厚さの簡易的決定方法<sup>4)</sup>

締固め施工において、まき出し厚さの大きさは、施工上、非常に重要な要因である。最適なまき出し厚さの条件としては、1)まき出し層全体にわたって均一な締固めが得られること、2)施工速度を大きくするために、できるだけ大きくとること、という2つの相反する条件を満足しなければならず、その決定に際しては、経験か実機を用いた現場試験に頼っているのが現状である。そこで、ここでは、突固め試験を利用して、簡易的にまき出し厚さを決定する手法について述べる。

まき出し厚さを決定する際には、当然、地中の締固め状況を十分考慮する必要がある。地中の締固め状況は、主に振動ローラの能力と土の締固め特性により決定される。ここでは、土の締固め特性を突固め試験を利用して評価する。具体的には、突固めエネルギーを種々に変えた突固め試験を行い、それにより得られる密度(縦軸)と突固めエネルギー(横軸)との関係をグラフに表わす。次に、このグラフの初期接線勾配の逆数 $\alpha$ を求め、これをその土の締固め特性とする(図-6参照)。



図-7は、前述の振動ローラを用いた締固め試験結果をここで述べた土の締固め指標 $\alpha$ について整理したものである。縦軸は、振動ローラにより締固められた地中の密度分布をもとに『地表面の95%の密度を生じる深さ』を推定したものである。プロットした点の違いは、振動ローラの実験能力の違いを表わしており、動線圧 $D_{LP}$ により大、中、小、3段階の振動ローラに分けてプロットしている。一般に、締固められた地中の密度分布は、地中では、深さとともに減衰するため、最適まき出し厚さを『均一な締固めを得る』という考えから『地表面密度の95%密度を生じる深さ』と定義する。このとき、図-7を用いれば、簡単にまき出し厚さを決定することができる。すなわち、まず、現場で用いられる土に対し、突固めエネルギーを変えた突固め試験を行い、土の締固め特性の指標 $\alpha$ を求める。次に、図-7において、現場で用いる振動ローラの動線圧に相当するクラスの下限值と実験で求めた $\alpha$ の値により、最適まき出し厚さを求めるわけである。

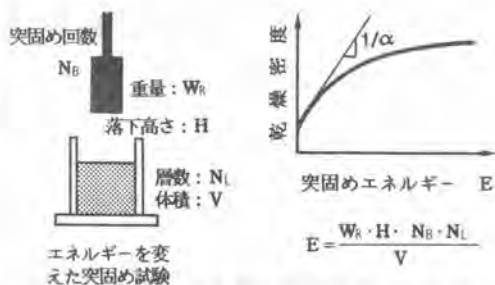


図-6 土の締固め特性 $\alpha$ の求め方

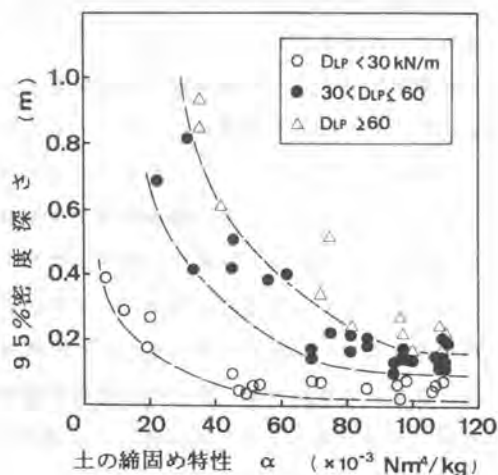


図-7 最適まき出し厚さと $\alpha$ との関係

## 5. おわりに

以上、現在の締固め施工の問題点と提案する合理的な締固め施工について述べてきた。紙面の都合上、十分な説明を行うことができなかつた。詳細については、参考文献を参照されたい。なお、ここで用いた振動ローラの締固め試験結果は、社団法人日本建設機械化協会附属建設機械化研究所より提供を受けたものである。

## 6. 参考文献

- 1) 建山和由、島昭治郎、納多 勝：比偏剛抵抗 $R_s$ による締固め施工管理について、第37回土木学会年次学術講演会議録概要集、1982年
- 2) 島昭治郎、建山和由、藤木直昭：水浸時挙動を考慮した土の締固め施工基準の決定方法について土木学会論文集、第382号、Ⅲ-7、pp.227~235、1987年
- 3) 島昭治郎、建山和由、石澤利昭：振動ローラを用いた現場締固めにおける密度予測に関する研究土木学会論文集、第384号、Ⅲ-4、pp.229~237、1985年
- 4) 島昭治郎、建山和由：締固め施工におけるまき出し厚さの決定方法について、土木学会論文集、第378号、Ⅲ-6、pp.85~91、1986年



## 34. 地下水位低下工法による液状化対策工

東亜燃料工業(株)：大森 弘一

大成建設(株)：坪根 康雄・林 伸行

### 1. はじめに

東亜燃料工業御川崎工場400号地は、神奈川県川崎市浮島町の臨海埋立地にあり、地表面から約1.5mが埋立及び旧海底砂層、その下に約4.0mにも及ぶ軟弱な粘土層、その下は地表面下約15.0mの泥岩層まで密実な洪積砂または、固結粘土層である。また地下水位は、地表面下約1mである。

この敷地に、大小60基を数える総容量100万 $\text{m}^3$ のタンクが設置されており、その基礎は、プレロード工法(埋立中にサンドシームが多かったため、バーチカドレーンを実施していない)で建設されている。そして、建設以来18年間に2.5m程度の圧密沈下が生じ、なお0.6m程度の沈下が予想されている。

このうち、表層をなす埋立砂層は、消防法等によれば「液状化の可能性は低い」と推定されたが、より大規模な地震(地表面300gal程度)については、液状化の技術的知見も少ないことから、

「地震リスクアナリシス」を実施し、企業の社会的使命、経営基盤の確立等の経営判断により、液状化対策を実施することになった。

### 2. 地下水位低下による液状化対策工

地震時の地盤の液状化の対策工としては、地盤が液状化しないようにする対策、液状化が構造物に及ぼす被害を軽減する対策、液状化しても支障が生じないように構造物を設計しておく対策等が考えられるが、臨海埋立地にある既存の石油タンク施設のように、既存構造物がある広大な敷地を対象とする場合は、早急な対策がとりにくい。そこで、対策工として地下水位低下工法の検討を行い、この工法を採用することにした。この工法は、

- ① 浅層の砂を不飽和に変える。
- ② 飽和砂として残る部分についても、有効応力を増加させる。

などの効果により、既存構造物のある敷地の液状化対策を急速に、しかも確実に行うことが出来る。このとき、敷地外周を止水壁で囲むことにより、近隣施設への地下水位低下の影響を最小限に止め、また揚水設備への負担を軽減することが出来る。図-2に、地下水位低下工法の概念図を示す。

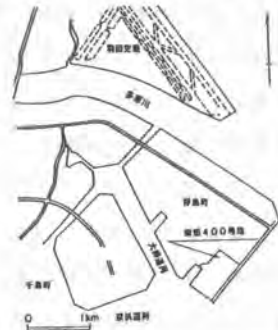


図-1 400号地位置図

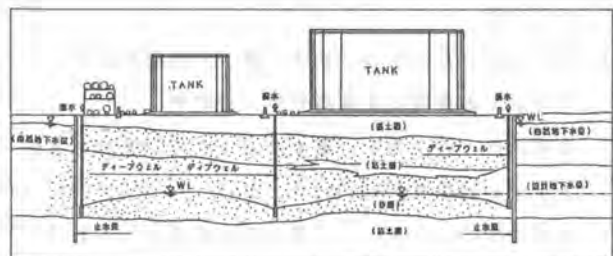


図-2 地下水位低下工法概念図

工事の概要は以下の通りである。(図-3参照)

対象面積 : 約26万㎡

止水壁 : 壁厚80cm, 深度約16m,  
延長約2400m,

設計透水係数  $1 \times 10^{-7} \text{ cm} / \text{sec}$

揚水井戸 : エアードンプ式ディーブウェル 17本

目標水位低下量 : 5m

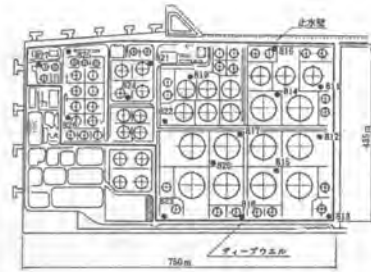


図-3 工事概要

### 3. スラリー止水壁工法

止水壁としては、欧米において汚染防止壁あるいは、止水壁として使用されているスラリーウォール(ベントナイト泥土壁)を採用した。これはトレンチを連続的に掘削して、現地発生土にベントナイトを添加、ミキシングしたものをトレンチの中に流し込んで築造するもので、次のような特徴がある。

- ① 高い止水性を有し、透水係数  $1 \times 10^{-7} \text{ cm} / \text{sec}$  が確保出来る。
- ② 可とう性にすぐれ、周辺地盤の挙動に追随出来るので、耐震性がある。
- ③ 継目のない止水壁が得られ、またクラックの自癒性がある。
- ④ コストが低廉であり、施工速度が速い。

#### (1) スラリーウォールの配合

一般に、スラリーウォールは、現地発生土に、土の乾燥重量あたり、2~6%のベントナイトを混入して使われているが、本例の場合、発生土砂が、海水雰囲気であること、また、浸透してくるものも海水であることにより、配合試験及び劣化試験を行い、ベントナイトの添加量を6~8%とした。

しかしながら、施工の進行に伴い、スラリーウォールの壁厚が時間とともに80cmから約10cm程度圧密する箇所がみられたので、ベントナイトのみの配合からベントナイト3%、粉末粘土20%の配合に変えた。

#### (2) スラリーウォール構築方法

スラリーウォールの施工フローを図-4に示す。また、スラリーウォールの掘削・埋戻しの施工方法を図-5に示す。スラリーウォールの特徴は、ロングアーム式バックホーを使って、トレンチを連続的に掘削していくことにある。ここで採用したロングアーム式バックホーの諸元は、図-6に示すものであり、その母機には、UH23を採用した。

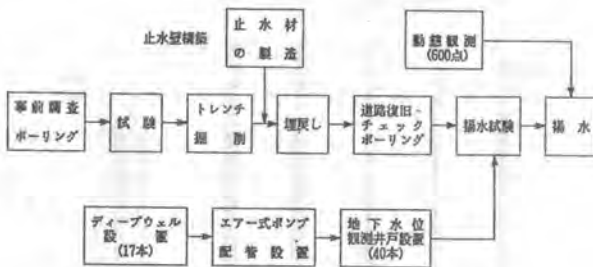


図-4 工事全体フロー

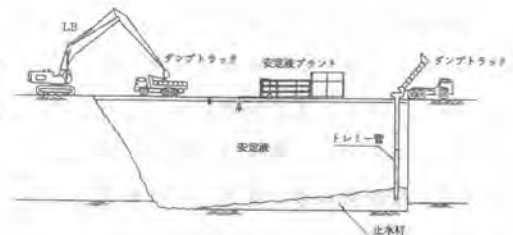
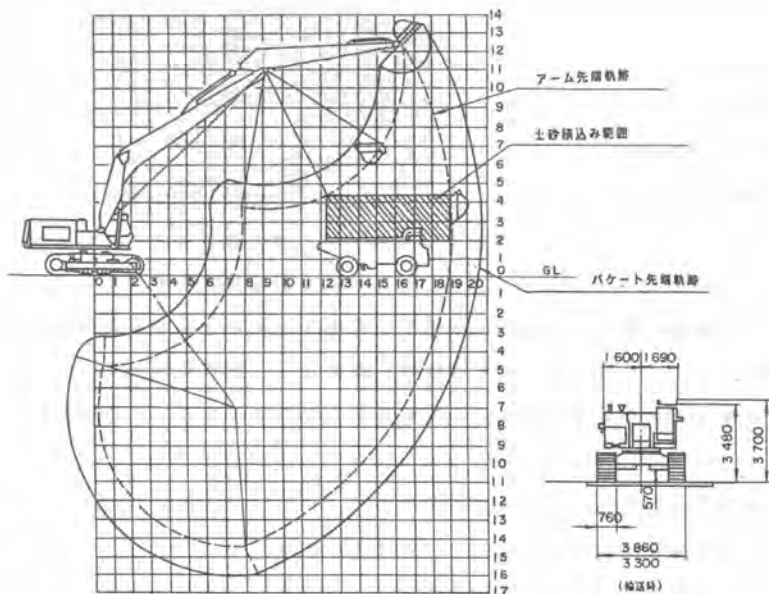


図-5 スラリー止水壁の施工手順



タイプ	16,000 mm型
ブーム長	12,000 mm
アーム長	7,400 mm
バケット容量	0.9 m <sup>3</sup>
バケット幅	800 mm
全重量	65,000 kg
全長	6,610 mm
全幅	3,860 mm
高さ	3,500 mm
接地圧	0.92 kg/cm <sup>2</sup>
最大掘削半径	20,400 mm
最大掘削深さ	16,220 mm

図-6 ロングバックホー諸元

このロングアーム式バックホーの掘削可能深度は16mであり、止水壁の根入れ深さが、これ以上のものについては、ML（真砂式のクラムシェル）を用いて掘削した。

溝壁の安定は、高濃度泥水（比重1.1～1.2、ナトリウムベントナイト5%）を用いて、トレンチを無限開放長（実施は約70mまで）で、安全に施工することが出来た。

### (3) 止水材の製造

止水材は、まずフロージェットミキサーで50%濃度のベントナイト泥土をつくり、これと発生土をスタビライザーでミキシングして作成した。止水材混練プラントを図-7に示す。

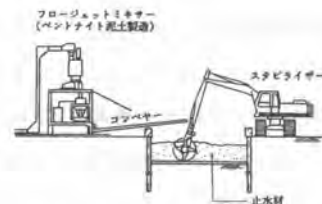


図-7 止水材混練プラント

### (4) 止水材の埋戻し

製造した止水材は、ダンプトラックで現場まで運び、トレミー管（φ600）を用いて埋戻した。

### (5) 補助工法

埋設の障害により、ロングアーム式バックホーによる施工が不可能な場所に対しては、スウィング工法を採用した。これは図-8に示すように、埋設物の脇をロッドで通過させ埋設物以深で翼を広げて掘削し、注入、かく拌を行うもので、削孔径は、

φ1000～φ3200までが可能なもの

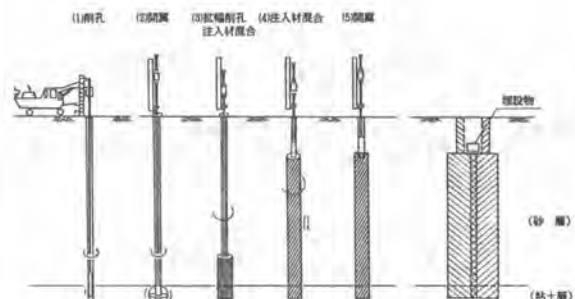
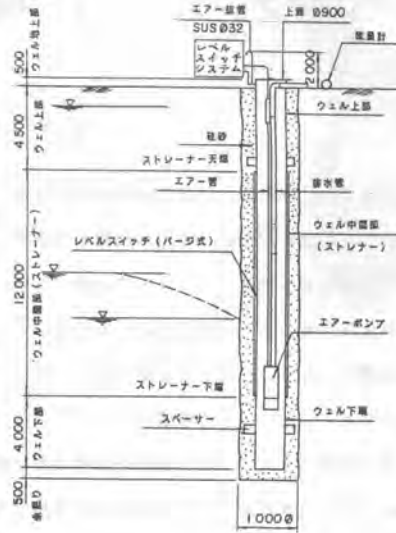


図-8 スウィング工法概念図

である。注入材としては、ベントナイトと粘土を使用した。

#### 4. 揚水設備

揚水設備は、事前に実施した揚水試験結果の水理定数に基づいて浸透流解析を行い、水位低下区域内に有害な不等沈下が生じないように、地下水位をコントロールするため17本のディープウェルを配置した。ディープウェルの構造は図-9に示すように、φ1000の削孔をし、その中にφ600のストレーナーを設置し、周辺を珪砂で充填したものである。ストレーナー



ウェル採用		用
削孔	削孔法	オーロケージングのハンマーチップ及びBH
	径、深さ	φ1,000 mm, KP-17.00
上部	名称、材質	鋼管, SUS316L, t=9.5
	径、長さ	φ600, 4,500+500 mm
中間	名称、材質	FRAM 多層式スクリューFRAM+ABS樹脂
	径、長さ	φ600, 12.0 m, t=17.5 mm
下部	スクリュー寸法	1.5 mm程度
	開孔率、透水量	17%
フィルター	名称、材質	FRPM樹脂, FRPM
	径、長さ	φ600, 4.0 m
ポンプ	名称	砂砂
	径、長さ	D85 > 3.0 mm
ポンプ	名称、材質	エアージェット, SUS 316L
	揚水量	MAX. 67 t/min (可変型)
ポンプ	揚水量	40 m
	動力	エアージェット
ポンプ	揚水管、径、材質	φ60, SUS 316L
	水位検出	エアージェット式
成層計	積算流量測定	現地指示器接続!

図-9 ディープウェル構造図

は長期的な使用を考慮し、FRPMを使用している。またポンプはエアージェットで駆動し、レベルスイッチをはじめ、揚水井戸の付帯設備は全てエアージェットを動力とした安全性及び信頼性の高いものである。

#### 5. 管理・計測

地下水位は図-10の揚水コントロールフローに示す方法でレベルスイッチの操作によりコントロールしながら低下させた。また、管理・計測は、地下水位観測井戸約50点、沈下観測点約600点について行い、パーソナルコンピューターを用いて組織的に行った。

揚水は、1986年1月より行い、7月より定常運転に入った。1年後の平均的な水位低下量は約4.5 mで沈下は平均6 cm程度生じたが、当地区の年間平均沈下量が2~4 cm/年であるため、地下水位低下による沈下の増加は2~4 cmであった。

また、地下水位の低下に伴い、降雨浸透量が増大し、ディープウェルの揚水量は、当初解析により求めたものを上まわり、80 m<sup>3</sup>/日・本程度となったが、システムは順調であり、本工事を通じて、地下水位低下工法は実用化することができた。

参考文献) 大森、伊佐：石油タンク施設、土木学会誌、昭和61年4月

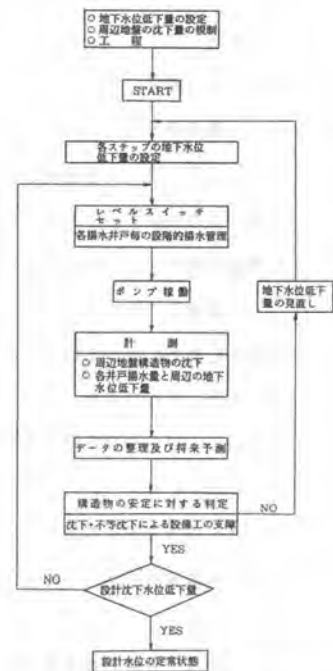


図-10 揚水コントロールフロー

## 35. ホイルローダ用スーパービジョン(カラーCRTによるモニタリングシステム)と現場計測システム

東洋運搬機(株)：佐々木 智彦

### 1. はじめに

近年、ホイールローダなどの建設車両において、車両の故障診断や管理のために種々のモニタリングシステムが採用されているが、これらはただ単に「車両の状態を表示するメータに属するもの」や「車両の異常に対し、警告・注意を与えるワーニングランプに属するもの」に止どまっております、始業点検の自動化などの車両管理や故障診断、また作業管理にまで発展していないのが現状である。

当社では、作業管理・車両管理を行なうことのできる新しいモニタリングシステムとして、「スーパービジョン」を開発し、当社のホイールローダに搭載して、ユーザーの好評を得ている。このシステムは、インストルメントパネルの狭いスペースを有効的に活用するためCRT(Cathode Ray Tube = 陰極線管)をモニタリングシステムの表示部として採用している。また、システムの一部としてホイールローダの作業量を把握するためのロードメータも搭載して車両管理のみならず作業管理をもなうことができる。CRTでの表示と合わせて車両の状態や作業量をプリントアウトすることにより、作業管理・車両管理を管理者がダイレクトに行なうことが出来るようになった。

ここでは、このスーパービジョンのシステムについて概要を紹介する。

また、スーパービジョンのシステムを活用した、現場計測システムについて簡単に説明する。

### 2. システム概要

#### 2.1 基本構成

スーパービジョンを搭載しているTCMホイールローダ890は、車速・機関油圧などをデジタル表示する液晶メータユニット、車両の異常時に警告・注意を発する液晶モニタユニットを装備した液晶仕様とスーパービジョンを搭載した仕様の2仕様ある。スーパービジョン仕様のCRTモニターは液晶モニタユニット(インストルメントパネル右側に配置)を取り除き、その場所にCRTを組み込む構造になっており、仕様変更は簡単に行なうことができる。また、運転席の右後方には、プリンタを配置する。

スーパービジョンのCRTディスプレイとプリンタの外観図を写真-1、写真-2に、システム構造図を図-1に示す。

#### 2.2 CRTとスイッチユニット

CRTは、当初、乗用車用として開発された車載専用のものを検討したが、6インチ程度の小さなものしかなく、建設機械のメイン



写真-1 CRTディスプレイ

のモニタとして使用するには文字等が小さくなりすぎ適当でないため、産業用8インチカラーCRTを採用する方向で検討を進めた。この結果、耐熱寒性で問題はなかったが、耐振性などの機械的強度面で問題が発生し、標準状態での車両搭載は困難と考え、CRTの固定方法・配線位置などを見直して補強・改造し、車両に搭載した。

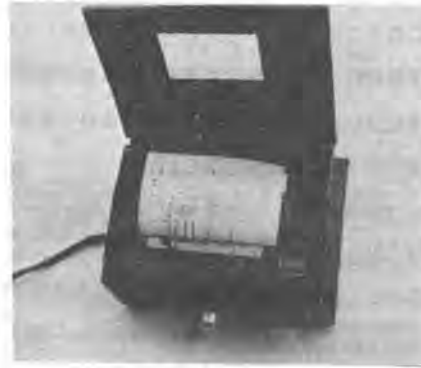


写真-2 プリンタ

CRTに表示される情報を操作するスイッチユニットは、操作スイッチとスクリーンフィルタで構成されており、スクリーンフィルタは、CRT本体の保護・視認性向上の役目を果たしている。操作スイッチはオペレータの操作ミスを防ぐとともに、夜間操作を容易にする目的で照光スイッチを使用しており、操作可能なスイッチを常に照光するようにしている。また、スクリーンフィルタは、直射光が当たってもCRTが視認できるようにCRTの色とスクリーンフィルタの組合せから最適のものを選択し、昼間作業でも問題ないようにした。

CRTは、昼間の視認性を考え少し輝度を上げて使用している。そのまま夜間使用した場合は、明るすぎてまぶしい

ため、車両の前照灯の点灯と連動してCRTの輝度を下げ、夜間作業にも問題ないようにしている。  
(輝度の調整は、RGBカラー信号の電流を制限することによって行なっている)

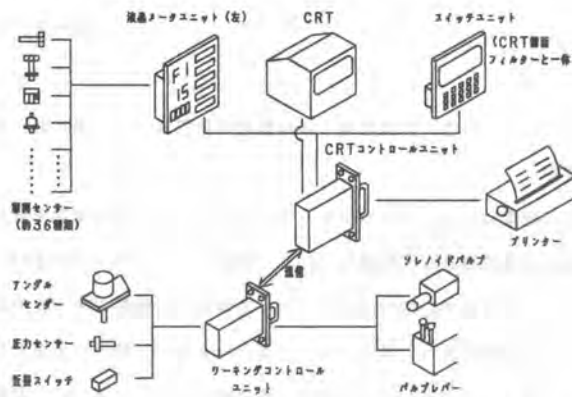


図-1 システム構成図

### 2.3 CRTコントロールユニット・ワーキングコントロールユニット

スーパービジョンのシステムの制御は、CRTコントロールユニットとワーキングコントロールユニットで行なっており、双方は通信により結ばれている。

#### (1) CRTコントロールユニット

このユニットには、8ビットCPU、RAM、ROM、RTC (リアルタイムクロック)、CRTIC (CRTコントローラ)、A/Dコンバータ等で構成されており、車両センサーからの信号処理・CRTの制御・プリンタの制御を行なっている。



(2) ワーキングコントロールユニット

このユニットは、ロードメータ（荷重計）・GSS（グランド・ストップ・システム；ブームの下降時に、任意の設定位置でブームを自動停止させる機構）の制御を行なっている。ロードメータについては、既に当社のホイールローダ850〜870で多くの実績を持っているシステムをスーパービジョンに採用した。

2.4 プリンター

プリンターからプリントアウトされたデータは、日報のかわりになるものとしてA4サイズを採用した。管理者は、プリントアウトの紙をファイルすることにより作業管理・車両管理ができる。

開発当初、ICカードによる集計の自動化もオプションで用意したが、現在までの実績はプリントアウトの方式のみである。プリントアウト例を図-2に示す。

■ アウメータ	13081	—	13086	Hr
■ 作業記録 (本日の総作業量)	615	回	7619	Ton
■ メンテナンス記録	○:正常, ×:異常, ~:非測定			
フィルター:	機 関	油	油	機 関
ミッジョン	油	油	油	油
作 動	油	油	油	油
ブレーキ	油	油	油	油
燃 料	油	油	油	油
エア	ク	リ	エ	ン
直 量:	機 関	油	油	機 関
ミッジョン	油	油	油	油
作 動	油	油	油	油
ブレーキ	油	油	油	油
風 関	油	油	油	油
バッテリー	水	電	電	電
温度・圧力:	機 関	油	油	機 関
コッパ	油	油	油	油
エマツ	エ	ン	ス	テ
作 動	油	油	油	油
ブレーキ	油	油	油	油
ブレーキ	油	油	油	油
燃 料	油	油	油	油
バッテリー	機	機	機	機
機 関	機	機	機	機
■ 給油, 交換	機 関	油	機 関	油
機 関	油	油	油	油
ミ ッ ジ ョ ン	油	油	油	油
作 動	油	油	油	油
ブ レ ー キ	油	油	油	油
ア ク ス ル	油	油	油	油
ア ビ ー	油	油	油	油
エ ア ク リ ー ナ	機	機	機	機
燃料給油	180	リットル		

図-2 プリントアウト例

3. 機能

スーパービジョンによる、作業管理・車両管理の動作は、(1) 始業時 (2) 稼働時に分けられる。

3.1 始業時

ここでいう始業時とは、エンジンキースイッチ「オン」から車両を動かすまでをさしている。従来、作業前に始業点検として実施していた、液量・フィルター目ずまり・油圧・温度の点検を、スーパービジョンでは各部に取付けたセンサーで素早く自動的にチェックし、その結果をCRTに表示する。ここで異常があった場合、CRTはそれを表示し続け、正常となるまで表示は続く。異常部を修復し正常となってもデータは残り、終業時のプリントアウトで記録されるためメンテナンス状態なども一目で把握することができ、確実な車両管理を実施できる。

3.2 稼働時

稼働時の機能を図-3に示す。機能（モード）は、「荷重モード」・「メンテモード」・「ブームモード」・「終業モード」・「燃料モード」・「モニタモード」と6つあり、それらの選択は、スイッチユニットの各操作スイッチを押して行なう。

CRTの表示がいかなるモードでもモニター項目に異常が発生した時には、その表示・警報を割込みで優先して行なう。また、異常の内容により「注意」・「作業中止」・「機関停止」を合わせて表示する。

稼働時の正常・異常についても、始業時の場合と同様、プリントアウトされるので車両管理が容易となる。

作業管理面においては、終業モードで「作業開始時間」・「作業終了時間」・「作業時間」・「作業量 (ton)」・「積込回数」を表示するとともにプリントアウトするため、その日の確実な作業内容を把握でき有益な作業管理ができる。

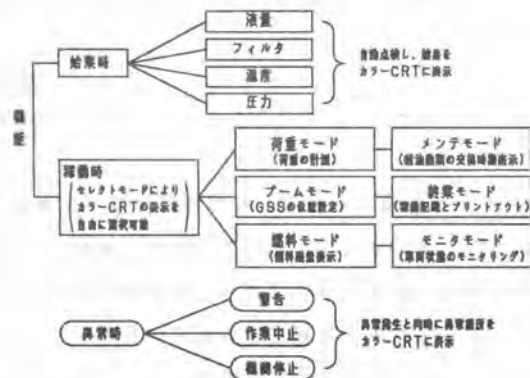


図-3 機能図

#### 4. 現場計測システム

スーパービジョンは、車両への搭載を目的に開発したものであるが、現場計測システムは、TCMがユーザの車両に計器を取り付け、燃費・荷重・稼働記録などを短期間計測・分析しユーザの作業管理に寄与することを目的とし、開発したものである。

図-4に示すように計測ユニットを車両に搭載し、約8時間データ測定を行なった後その場で即座に分析して、ユーザーにアドバイスを行なうというもので計測器はすべて、容易に持ち運び、取付けが可能である。

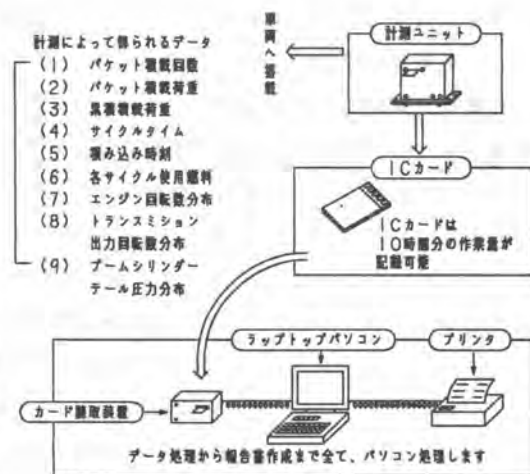


図-4 現場計測システム構成図

#### 5. おわりに

スーパービジョンは、既にユーザーにおいて作業管理・車両管理に高い評価を得ているが、なにも車両のみについての管理である。今後は、ユーザの生産全般にわたる管理システムに発展させていきたい。

## 36. 湿地ブルドーザの最適作業性能

愛媛大学：室 達朗・柳楽 篤司

日本電信電話(株)：尾本 清

1. まえがき 本研究の目的は、軟弱地盤における剛性履带式車両のドーピング作業に必要な有効牽引力に着目し、土-車両系について力学的に解析した後車両実験によって解析結果を実証することにより履带式車両の開発に有効な設計と操縦指針を明らかにすることである。まず、車両の地盤反力の偏心率を考慮して履帯主要部と前後輪部に作用する推進力、走行抵抗および有効牽引力について解析し、牽引エネルギーを最大とする最適スリップ率を求めた。その後、含水比30%(コーン指数31kPa)の軟弱なシルト質ロームについて土槽上での履帯モデル牽引実験及び車両実験を実施し、有効牽引力と沈下量のスリップ率による変化を計測した。次に、車両の仕事量を最大とする最適有効牽引力と接地圧の関係を求め、最適作業性能を発揮する最適接地圧での湿地ブルドーザの設計法についていくつかの提案を行う。

2. 地盤-車両系力学 図1に車両諸元と諸力の作用位置として、車両重量 $W$ 、重心の高さ $h_0$ と偏心率 $e$ 、接地長 $l_0$ 、履帯幅 $B$ 、前輪半径 $R_f$ 、後輪半径 $R_r$ 、グラウザ高さ $H$ 、牽引力作用点の高さ $h_0$ と車両中心線からの距離 $l_0$ 、駆動トルク $Q$ 、駆動力 $T_1$ 、深さ $Z$ に作用する締め固め抵抗 $T_2$ 、グラウザ先端部に作用する全推進力 $T_3$ 、有効牽引力 $T_4$ 、前・後輪部の沈下量 $S_f, S_r$ 、トリム角 $\theta_{til}$ 、地盤反力 $P$ と偏心率 $e$ 、 $l_0$ 、車両速度 $V$ および車体に対する履帯の回転速度 $V'$ を示す。スリップ率 $i$ は $1-V/V'$ で定義され、力の平

$$T_2 + T_4 = T_3 \cos \theta_{til} - P \sin \theta_{til} \quad (1)$$

$$W = P \cos \theta_{til} + T_3 \sin \theta_{til} \quad (2)$$

$$P = (p_{rl} + p_{rr}) BD$$

$$p_{rl} = p_{m1} (1 - 6e_1)$$

$$p_{rr} = p_{m1} (1 + 6e_1)$$

$$p_{m1} = P / (2BD)$$

$$\tau = (c + \sigma \tan \phi) \{1 - \exp(-aj)\} \quad (3)$$

$$\sigma = p_{rl} + 12p_{m1} e_1 / l_0 \cdot X$$

従って、

$$T_{m1} = 2B \int_0^D \tau dx \quad (4)$$

$$T_{m1} = 4H \int_0^D \{c + (\sigma / \pi) \tan \phi \cot^{-1}(H/B)\} \\ \times [1 - \exp\{-a(j_{m1} + i' X)\}] dx \quad (5)$$

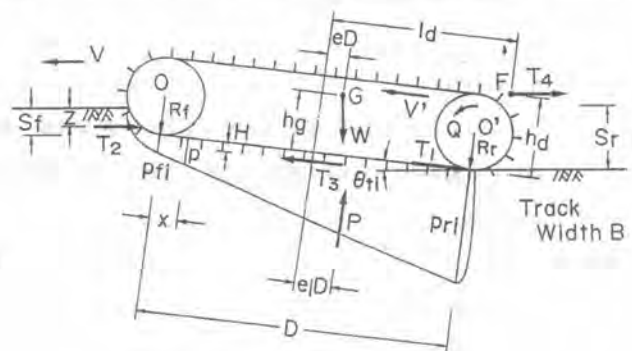


図1 車両諸元と作用力

ここに、 $i' = 1 - (1-i)\cos\theta_{11}$  で、 $j_B$  は前輪直下でのスリップ量である。

前輪部でのスリップ量  $j_r(\theta)$  は、接地角  $\theta_r$ 、接地部の任意の中心角  $\theta$  ( $0 \leq \theta \leq \theta_r$ ) に対して

$$j_r(\theta) = R_r [(\theta_r - \theta) - (1-i) \{ \sin(\theta_r + \theta_{11}) - \sin(\theta + \theta_{11}) \}] \quad (6)$$

で与えられ、 $j_B = j_r(\theta = 0)$  である。次に、土の接地圧  $\sigma_r(\theta)$  が沈下量  $S_r(\theta)$  の関数として、

$\sigma_r(\theta) = k \{ S_r(\theta) \}^n$  ( $k, n$  は土の定数) で与えられるとすると、

$$\tau_r(\theta) = \{ c + \sigma_r(\theta) \tan \phi \} [1 - \exp \{-a j_r(\theta)\}] \quad (7)$$

$$\sigma_r(\theta) = k [R_r \{ \cos(\theta + \theta_{11}) - \cos(\theta_r + \theta_{11}) \}]^n \cos(\theta + \theta_{11}) \quad (8) \quad \text{となり}$$

$$T_{r0} = 2BR_r \int_0^{\theta_r} \tau_r(\theta) \cos \theta \, d\theta \quad (9)$$

$$T_{r3} = 4HR_r \int_0^{\theta_r} \{ c + \sigma_r(\theta) / \pi \cdot \tan \phi \cot^{-1}(H/B) \} [1 - \exp \{-a j_r(\theta)\}] \, d\theta \quad (10) \quad \text{で与えられる。}$$

同様に、後輪接地部における推進力  $T_{r0}, T_{r3}$  も算定することができる。なお、偏心率  $e_l$  が  $1/6$  を越えるときは、接地反力分布は三角形となり、接地長  $l$  は  $3D(1/2 - e_l)$ 、後輪接地圧  $p_{r1} = P/Bl$  として、各推進力を算定する必要がある。この場合、 $T_{r0} = T_{r3} = 0$  となる。

次に、車両の通過によるわだちの深さ  $S_r$  に対して、締め固め抵抗  $T_2$  のなした仕事量が沈下変形エネ

$$T_2 = 2k/(n+1) \cdot BSr^{n+1} \quad (11) \quad \text{ルギーに等しいと仮定すると、(11)式で算定される。なお、}$$

$$S_r = \sum_{n=1}^M C_n \{ p(nd) \}^{c_1} [(nd)^{c_2} - \{ (n-1)d \}^{c_2}] \cos \theta_{11} \quad (12) \quad \text{その作用位置 } Z \text{ は駆動トルクが } 0 \text{ で純粋回転している場合の}$$

$$p(nd) = p_r + 12p_w e_l (n-1/2)d/D$$

$$d = l/N + iD/(1-i)$$

$$T_4 = T_3 / \cos \theta_{11} - W \tan \theta_{11} - T_2 \quad (13) \quad \text{有効牽引力が } -T_2 \text{ であるとし、モーメントの釣合式より算定}$$

$$e_l = 1/2 + 1/PD \cdot [-T_2(R_r - S_r + Z) + T_4 \{ h_a \cos \theta_{11} - (l_a - D/2) \sin \theta_{11} \} - R_r \cos \theta_{11}] + W(h_a + H) \sin \theta_{11} - WD(1/2 - e) \cos \theta_{11} \quad (14) \text{式で与えられる。有効人力エネルギー } E_1, \text{ 締め固めエネルギー } E_2, \text{ スリップエネルギー } E_3, \text{ 有効牽引力エネルギー } E_4 \text{ として、}$$

$$\theta_{11} = \sin^{-1} \{ (S_r - S_r')/D \} \quad (14) \quad \text{履帯が車体に対して } D \text{ 移動するとき車体が } (1-i)D \cos \theta_{11} \text{ 走}$$

$$E_1 = T_1 D = (T_3 - W \sin \theta_{11}) D' \quad (15) \quad \text{行する間のエネルギーを算定すると、式(15)~(18)のように与}$$

$$E_2 = T_2 (1-i) D' \cos \theta_{11} \quad (16) \quad \text{えられる。ここに、} D' = (1+H/R_r) D \text{ である。以上の計算は車重}$$

$$E_3 = (T_3 \cos \theta_{11} - P \sin \theta_{11}) \times i D' \cos \theta_{11} \quad (17) \quad \text{諸元と土の定数を与えることにより、各スリップ率に対して}$$

$$E_4 = T_4 (1-i) D' \cos \theta_{11} \quad (18) \quad \text{マイクロコンピュータにより数値計算が可能であり、以下の}$$

3. 実験結果 実験車両として、 $W=3.55\text{kN}$ 、 $D=71.0\text{cm}$ 、 $B=20.0\text{cm}$ 、 $R_r=R_f=14.8\text{cm}$ 、 $H=3.20\text{cm}$ 、

$e=-0.005$ 、 $h_a=35.3\text{cm}$ 、 $l_a=50.8\text{cm}$ 、 $h_s=32.5\text{cm}$ 、 $V'=8.40\text{cm/s}$  の剛性履帯式車両を製作した。

1.5kWモータを搭載し、後輪駆動とした。有効牽引力  $T_4$  はロードセルで、駆動力  $T_1$  はトルクセル

で計測し、沈下量  $S_r$ 、 $S_r'$  は走行中の写真撮影とノギスによる実測を行った。履帯の形状はT字型

標準グラウザでピッチ10.2cmのものを使用した。

実験土槽は540cm×150cm×60cmの鋼製パネルで製作し、含水比30%、コーン指数31kPaの練り返したシルト質ロームを充填した。特に鉛直方向の強度が等しくなるように十分攪拌を行った後試験に供した。牽引装置は3.7

kWの可変速モータを使用し、種々のスリップ率で試験を行った。写真1は試験開始時の実験車両である。車両実験に先立ち、同一の履板で作成した長さ70cmの履帯モデルにより、種々の接地圧下で初期沈下量、牽引力と滑り沈下量のスリップ量に伴う変化を計測した。

その結果、 $c=7.94\text{kPa}$ 、 $\phi=0.431\text{rad}$ 、 $a=0.150\text{ l/cm}$ 、 $k=10.2$ 、 $n=0.395$ 、 $Ca=0.1002$ 、 $C_1=0.855$ 、 $C_2=0.486$ を得た。なお、牽引速度は車両実験におけるスリップ速度の範囲にあり、速度変化に伴う上記データの変化は殆どない。図2は、 $T_1$ 、 $T_4$ の*i*による変化について実験値とシミュレーション解析結果を比較したものであり、両者はかなり良い一致を示している。図3は、 $S_f$ 、 $S_r$

の*i*による変化であり、理論解析値と実験値とはよく一致しており、*i*が100%に近付くとスリップ沈下量が顕著に増大していくことが判る。図4は、この場合のPの偏心率 $e_1$ とトリム角 $\theta_1$ のスリップ率*i*の変化についてシミュレーション解析を行った結果であり、 $i=19\%$

以上になると $e_1>1/6$ となり接地圧分布は三角形となることが判る。なお、各エネルギー $E_1, E_2, E_3, E_4$ の*i*による変化は図5のように算定され、 $E_1, E_3$ が*i*とともに増大するのに対し、 $E_2, E_4$ はある*i*の値で最大値を有することが明らかである。 $E_4$ を最大ならしめる*i*を最適スリップ率 $i_{opt}$ 、その場合の $T_4$ を最適有効牽引力 $T_{4opt}$ と称し、

湿地ブルドーザの最大仕事量を達成することができる。この場合、 $i_{opt}=27\%$ 、 $T_{4opt}=2.63\text{kN}$ で最大仕事量21.8

kNcm/sを発揮している。

4. 最適設計 湿地ブルドーザの最適作業性能を達成するためには、 $i_{opt}$ における $T_{4opt}$ を最大ならしめるための最適接地圧 $p_{opt}$ を決定することである。接地圧 $p$ は、履帯の接地面積を一定とすると*W*を変化させることにより種々の値が得られる。図6は、前述した実験車両諸元



写真1 実験車両と土槽

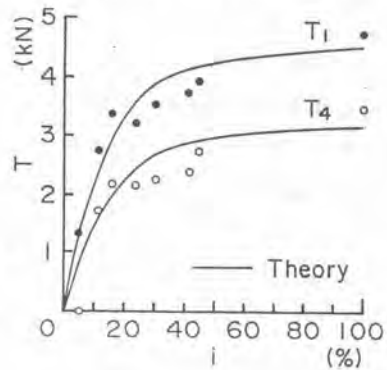


図2 駆動力 $T_1$ 、有効牽引力 $T_4$ とスリップ率*i*の関係

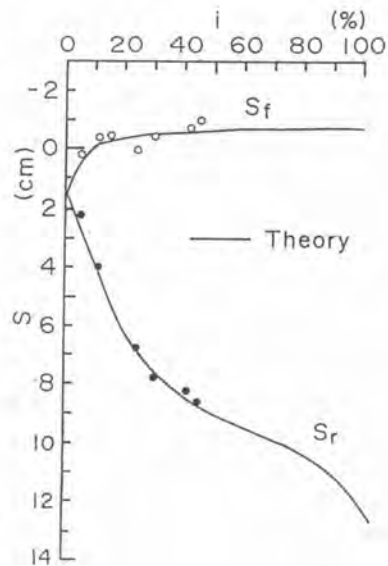


図3 沈下量 $S_f, S_r$ とスリップ率*i*の関係

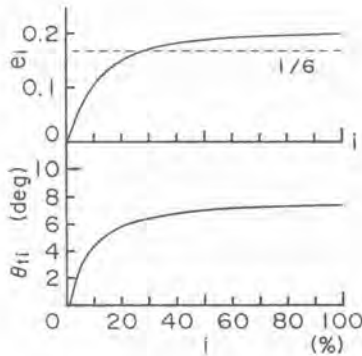


図4 偏心率 $e_i$ 、トリム角 $\theta_i$ とスリップ率 $i$ の関係

( $2BD=2840\text{cm}^2$ ,  $D/B=3.55$ )について、種々の $p_m$ に対して $T_{4opt}$ を計算したものである。車両重心の偏心率 $e=0, \pm 0.05, \pm 0.10$ について算定したが、 $p_{mopt}$ が明確に表れるのは $e=0$ の場合のみであり、他は初期設定で×印の位置において転倒している。なお、 $p_m$ の増大とともに $i_{opt}$ も増大していることが判る。この場合の $p_{mopt}$ は、 $e=0$ に対し $15.0\text{kPa}$ で最大 $T_{4opt}=2.65\text{kN}$ を得ている。図7は、 $2BD=2840\text{cm}^2$ ,  $e=0$ として $D/B$ を変化させたときの $T_{4opt}$ と $p_m$ の関係を算定したものである。その結果、各 $p_{mopt}$ において $D/B$ が増大する程 $T_{4opt}$ も増大することが明らかとなった。

5. 結論 軟弱地盤においてドーピング作業能力を最大限に発揮するための湿地ブルドーザの操縦は最適スリップ率で運行すべきであり、またその最適設計は、最適接地圧を得るべく車両重量と履帯接地面積を決定し、車両重心の偏心率をできるだけ小さくし、さらに履帯長と幅の比率を可能な限り大きく設計することであり、土質特性に適合した値を決定することが可能であることから本研究が実車両の設計・製作に大いに役立つものと確信する。

6. 参考文献 1)室・河原・尾本：履带式車両の有効牽引力に関するエネルギー解析，愛媛大学工学部紀要，第11巻，第3号，PP.409-419，1988年2月。

2)Muro.T: An optimum operation of a bulldozer running on a weak terrain, Proc. of the 5th International Symposium on Robotics in Construction, JSCE, Vol.2, PP.717-726, June, 1988.

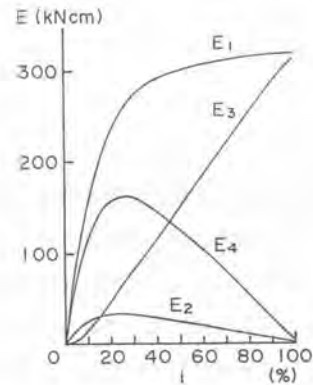


図5 各種エネルギー $E_1, E_2, E_3, E_4$ と

スリップ率 $i$ の関係

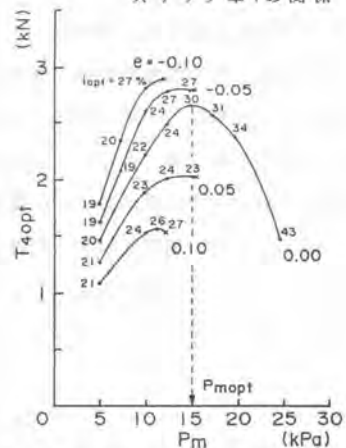


図6 種々の偏心率 $e$ に対する最適有効牽引力 $T_{4opt}$ と平均接地圧 $p_m$ の関係

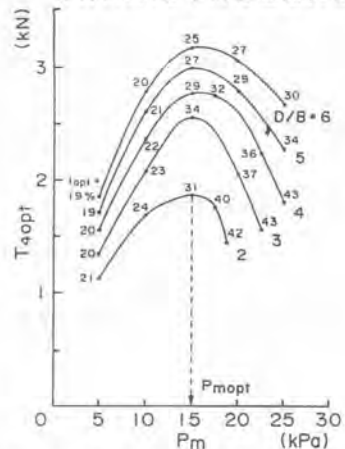


図7 種々の $D/B$ に対する最適有効牽引力 $T_{4opt}$ と平均接地圧 $p_m$ の関係



## 37. 都市型土木工事における建設機械の適応

(株)小松製作所：吉田 和宏

### 1. まえがき

従来建設機械は、人間の生活環境から比較的離れた所での稼働が大半であったが、数年前より都市再開発・住宅環境整備等、都市における建設機械を用いた土木工事が人間の生活環境の真ただ中で急速に増加してきている。この事により建設機械は従来にない都市土木型建設機械としての様々な性能・機能を要求される様になってきた。それらの要求に対してどのように対応したかを当社の超小旋回パワーショベルを例にして紹介し、さらに今後の都市土木型建設機械の動向について述べる。

### 2. 都市型土木工事での必要機能

都市再開発、住宅環境整備等、都市における土木工事の典型的なものとしては、上下水道管・ガス管の埋設工事、電線の施設工事、住宅基礎掘り、道路整備等があげられる。これらは 交通量の多い道路での片側車線工事であり、交通安全上の配慮を要し、また、家屋に接した壁ぎわ掘削、側溝掘りなど狭隘な場所での工事が多く、作業安全上の配慮を要するだけでなく 作業機能性の向上も求められている。一方、環境に対する配慮も厳しくなっている。このような都市型土木工事に使われる建設機械は 従来の必要機能に比べて、交通、安全、環境と狭隘地作業性に対する配慮をもった機械にしていくことが要求されている。表1に特に重要と考えられる機能とその達成の手段について説明する。

表1 必要機能と達成手段

	必要機能	達成手段
1	狭隘地作業性 <ul style="list-style-type: none"> <li>狭い所でも自由に動ける</li> <li>どこにでも作業機が動き自由度が高い</li> <li>意のままにコントロールできる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎機械のコンパクト化</li> <li>◎新しい高自由度の作業リンクモーション開発</li> <li>◎制御機構の開発、操作性向上</li> <li>◎安全機構の開発</li> <li>○オペレータの居住性向上・視界確保</li> </ul>
2	安全性 <ul style="list-style-type: none"> <li>オペレータ、回りの作業者機械及び通行人への安全確保</li> </ul>	
3	社会性無公害 <ul style="list-style-type: none"> <li>環境保全</li> <li>騒音が低い</li> <li>道路等地盤を汚さない・傷つけない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○低騒音化 防音、遮音構造の開発</li> <li>◎ゴムシューの開発</li> </ul>
4	汎用性省力化 <ul style="list-style-type: none"> <li>補助作業者の雑多な仕事をこなす</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○機能付加</li> <li>○各種先端A T Tの開発</li> </ul>

機能付値により従来機械の成長発展

⇒新建機類  
 -コーナワーショベル  
 -超小旋回PS  
 -リーチローダ  
 -プロセック  
 -他

### 3. 達成手段の具体的構造

#### (1) 機械のコンパクト化

図1. に3大都市圏の宅地に接する道路幅の割り合いを示す。本図から分かる様に4m以下の道路が60%を占めており、最近では枝管埋設工事としてこのような狭い道路での作業が増えている。例えば、3.5m幅の道路で、道路構造令で定められ歩行者道路幅を確保するためには、図2. の様に機械は2.35m以下内で作業ができなくてはならない。

図3. は、当社超小旋回パワーショベル系列で最も大きいPC75UU (7.9ton バック0.25m<sup>3</sup>) と従来機PC10 (2.1ton 0.06m<sup>3</sup>) の旋回径を示す。この超小旋回化により、従来ミニPSしか入れなかった所に大型のパワーショベルを入れて図2に示す道路幅3.5mでの効率のよい作業が可能となった。

2m未満	13.0%
2~3.9m	47.9%
4~9.9m	36.4%
10m以上	2.3%
広場に接する	0.4%

図1. 宅地に接する道路幅の割り合い



図2. 道路幅 3.5mでの工事想定図

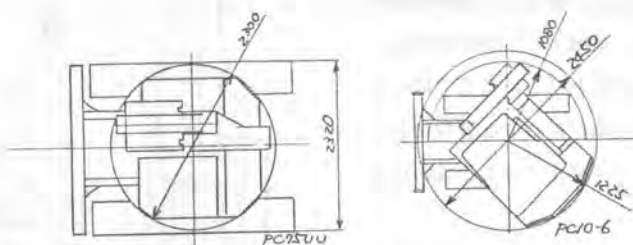


図3. 最小旋回比較

#### (2) 新しい高自由度のリンクモーション

パワーショベルの作業機は、人の手の動きに近く巾広く使われてきた。しかし、人の手の動きは図4. の様に7方向に対し、パワーショベルはブーム・アーム・バケット旋回の4方向に過ぎず十分でない。

この自由度を上げた機械として 6方向の自由度をもった2ピース+アーム回転作業機 (図5)、5方向の自由度をもったオフセットブーム式作業機 (図6) があり 人の手の動きに近い作業機能が得られるようになった。



図4. 人の手の動き



図5. 2ピースブーム+回転アーム

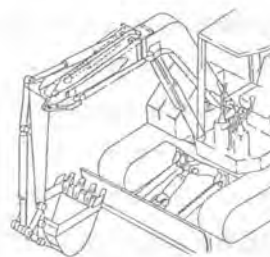


図6. オフセットブーム付作業機

### (3) 制御機構の開発

高自由度の作業機をより簡単に操作する必要がある。例えば前述の2ピースブーム+回転アームについては、アーム回転自動制御装置を装備し、側溝掘り時のアーム回転と本体旋回とを同期化するように自動的な制御が可能としている。

図7. はその制御システム図を示す。

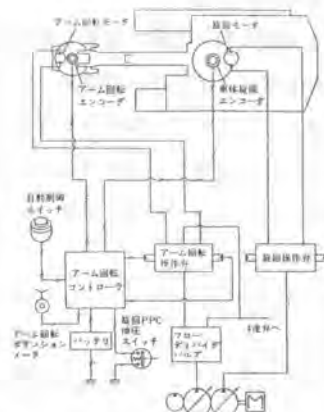


図7. 自動制御システム図

### (4) 安全機構

自由度の高い作業機は、その作業範囲が広がることも意味する。場合によってはオペレータキャブまでも作業範囲内に入る程広くしないと十分な作業範囲が得られないこともある。この場合 オペレータキャブに作業機が干渉しないように制限しないと、安全に使える機械として成り立たない為 機械的ストッパが必要となる。当社ではこの程オペキャブ領域に作業機が近づくと警報を鳴らし、かつアクチュエータを停止させる干渉防止装置を開発した。

これにより作業機のもつ作業範囲を安全に最大限有効に活用することが可能となった。

図8. に超小旋回パワーショベルの干渉防止装置のシステム図を示す。

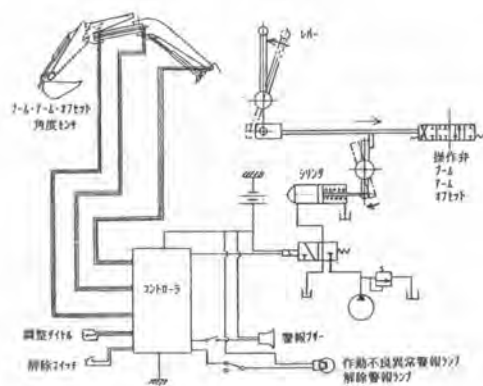


図8. 干渉警報装置システム図

### (5) ゴムシューの開発

従来舗装路面を傷つけないよう施工に当ってはゴムマットを敷設したり様々な苦労が必要であったが、ゴムシューの強度面の大幅な改善が進み、パワーショベルへの適用も可能となり、当社では当社独自の機能を加えたゴムシューを開発し好評を得ており、当社超小旋回パワーショベルの約7割がゴムシュー装着の状況である。

当社ゴムシューの特徴として図9. の様に

- ①鉄シューとののはきかえが簡単に出来る。
- ②下転輪両外端の軌道面でゴムシューを走るため、振動が少なく安定性に優れ、耐久性も良く、またシューがはずれにくい。

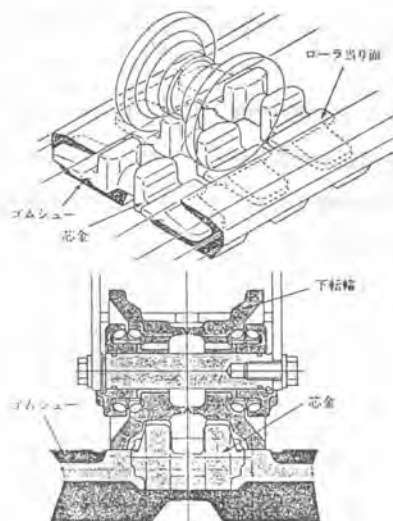


図9. 小松方式ゴムシュー

#### 4. 超小旋回パワーショベルとその施工例

次に、当社の超小旋回パワーショベルによる都市土木工事の施工例を紹介する。

写真1. は配電線地中化工事である。コンパクトな本体で履帯内での旋回が可能で、通行車線を確保し、オペレータは全く後方に気をはらわず掘削積み作業に専念でき作業性が上がった。また、自由度の高い作業機により、この狭い現場において11ton ダンプへの積み込みが可能となり作業性が向上した。

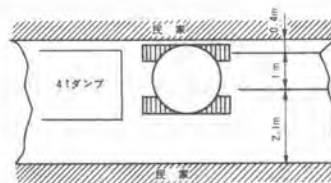
写真2. は住宅地での下水管理設工事であるの例を示し道路幅が3.5mであるが走行者の通路幅を十分確保して作業が可能。建設省指定の低騒音型であり、住宅地でも安心して作業が可能である。



写真1. 配電線地中化工事



写真2. 住宅地での下水管理設工事



#### 5. 都市型土木工事における今後の建設機械の方向

今後は、今回述べた必要機能への要求が一層高度化するものと予想される。このため生活環境を乱すことなく、さらに喜ばれる機械を実現するため、次のような事項の開発に挑戦していきたい。

- ①各種作業機リンクモーションの多様化・複合化
- ②そのコントロールを容易にする制御システム
- ③低騒音化（本体のみならず プレーカ・コンパクタ等のA T T. を含む）
- ④埋設物の検出装置、埋設物の自動回避装置
- ⑤自動化掘削

## 38. ダンプトラックの操作容易化と作業効率の向上

(株)小松製作所：垂水 泰正

### 1. まえがき

大量土工の工事や、各種の鉱山で用いられるダンプトラックに於いては、その作業効率をさらに向上したいという要求は極めて強い。またそれに関連して、オペレータの環境や操作性を快適にすることも時代の急務である。当社に於いてはこれらの要求に答えるため、各種の研究、開発を行っている。ダンプトラックの作業条件は極めて多岐に渡っており、この作業効率を上げるためには、それぞれの作業条件に応じた性能を提供することである。ここでは、「走行条件に応じた、エンジン、トランスミッション、サスペンションのコントロールシステム」を開発し作業効率向上を達成したので、報告する。

### 2. 土工量、燃料消費量の改善について

#### 2-1 ダンプトラックの走行条件と作業効率

ダンプトラックの作業現場の走路は、大別すると「積上り」「平坦」「積下り」の3種類に大別される。これらの中で「積上り」「積下り」は坂路走行のため、土工量を上げようとする、エンジン出力も大きなものが要求され、各社とも高出力化の道を歩んで来たのが実情である。

しかしながら、もう1つのモードである「平坦地」の作業に於いては、高出力化が必ずしも高土工量化には結びつかない面がある。例えば、ほとんどの現場がそうであるが、主に安全上の理由から車速制限が設けられていたり、または運土距離が短かくて車速が基本的に上がらない といった現場である。

このような現場に高出力エンジンを装備した車両を投入すると、不要な急加速や、積込み待等のため、土工量は上がらないのに、燃料消費量だけが增加するという結果になってしまう。

このような問題点を解決するため、新しいエンジンコントロールシステムを開発する必要がある。

#### 2-2 新エンジンコントロールシステムについて

当社の最新モデルに装備されたエンジンコントロールシステム概要を図2に示す。

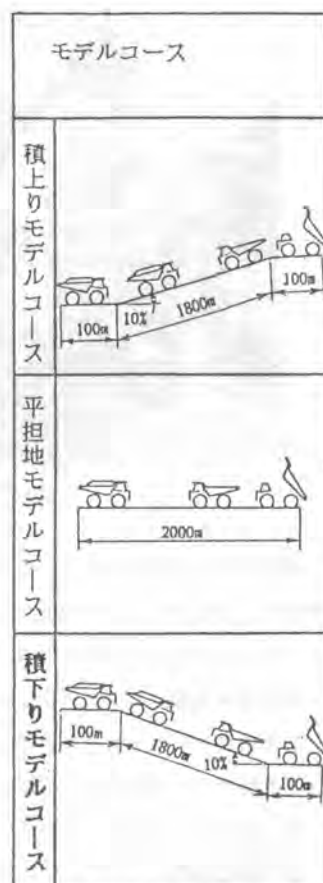


図1. 走行条件

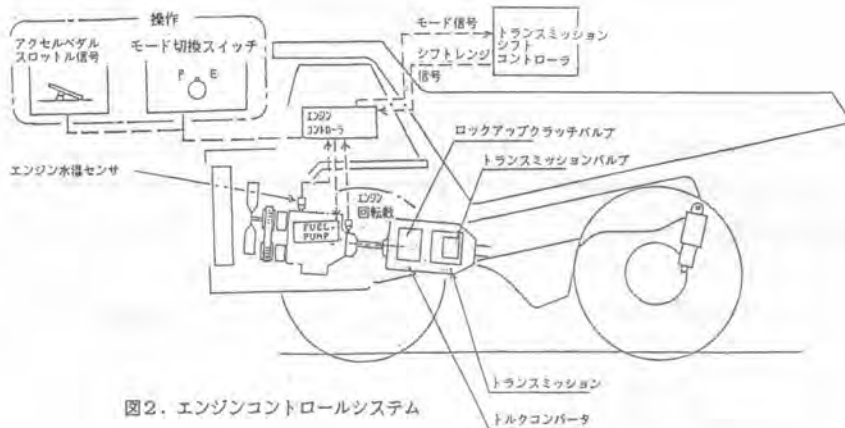


図2. エンジンコントロールシステム

本システムは、負荷に応じた燃料噴射量制御を電子ガバナにて行うものであるが、さらにモード切換スイッチを装備し、「積上り作業」等に最適なP（パワー）モードと、「平坦地作業」に最適なE（エコノミー）モードに、ワンタッチで切換え可能としたものである。Pモードではフルパワーを発揮して土工量を上げ、Eモードでは図3に示すごとくパワー、回転数を下げることにより燃料消費量を最小限に抑えることができる。

この結果は表1に示す通りで、従来機に対し平坦地作業では、燃費を25%以上向上することができた。



図3. エンジンモード切換え

表1. 土工量と燃費

コース	土工量 (l/h)	燃費 (l/l)
平坦地 (指数)	120 100 80 旧モデル (P) 新モデル (E)	120 100 80 旧モデル (P) 新モデル (E)
積上り	120 100 80 旧モデル (P) 新モデル (E)	120 100 80 旧モデル (P) 新モデル (E)
積下り	120 100 80 旧モデル (P) 新モデル (E)	120 100 80 旧モデル (P) 新モデル (E)

### 3. トランスミッションコントロールの改良

図4に従来モデルと新モデルのコントロール回路を示す。従来形の場合2つのモジュレーションコントロールバルブで7個のクラッチコントロールを行っていたため、各クラッチの差異、負荷の違いなどのため、変速時の「息つき」や「ショック」

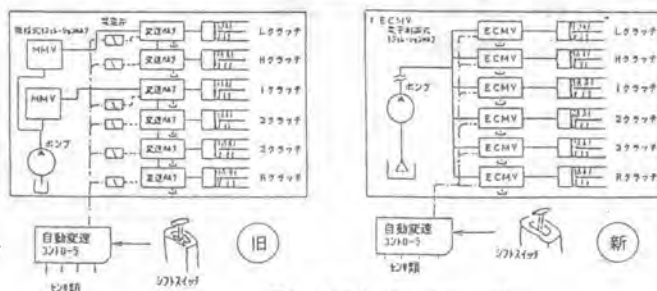


図4. シフトコントロール回路



が、ある特定の変速や、負荷条件で感じられた。

新システムにおいては、各クラッチ毎に設けられたECMVにより、各クラッチに応じた、また負荷条件に応じたモジュレーション油圧制御が可能となった。この結果変速油圧特性は、図5に示すごとく、息つぎのない、ショックの極めて少ないものが得られた。

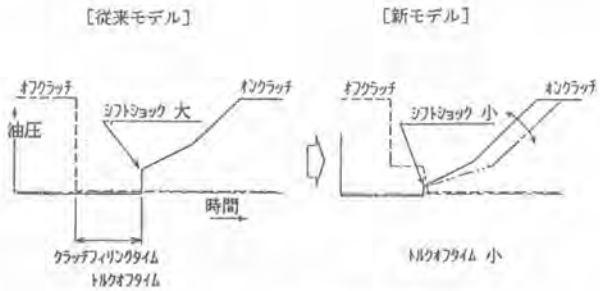


図5. ミッションクラッチ油圧特性

#### 4. サスペンションコントロール

ダンブトラックの乗心地を大きく左右するサスペンションは、ほとんど全てのメーカーがハイドロニューマチック式を採用している。

これらの減衰力性能は、サスペンションシリンダに設けられたオリフィスによって決められるが、従来空車条件と積車条件の最大公約数的な値に設定されるのが実情であった。

今回最新のモデルに搭載されたサスペンションコントロールシステムに於いては、図6に示すようにサスペンションに圧力センサを設けることによって、空車条件、積車条件にそれぞれマッチするサスペンション性能を提供するものである。

このオートマチックサスペンションシステムには、さらにコーナリング時のアンチロール機能、ブレーキング時のアンチダイブ機能、ダンブ時のアンチリフト機能も具備する(表2参照)ことにより、走行中の乗心地振動レベル、および走行安定性が大巾に改善された。

これによりオペレータの疲労は軽減され、ひいては機械の生産性向上にも大きく寄与するも

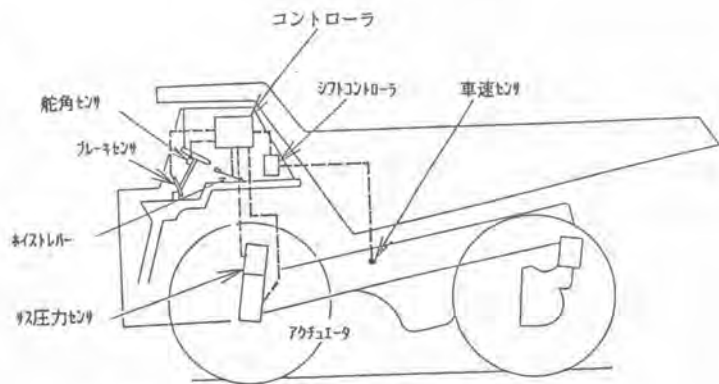


図6. オートマチックサスペンションコントロール

表2. オートサスペンションの機能

制御パターン	機能
空積判別	空車時はSモード、積車時はMモードに切りわり、車両負荷に応じた最適なサスペンション特性が得られます。
アンチロール	車速とステアリング舵角速度を感知して、減衰モードを切換え、高速旋回時の車体ロールを防止します。
アンチダイブ	ブレーキング時は減衰モードを強くして、ノーズダイブ(フロントの沈み込み)を防止します。
アンチリフト	ダンブ時には減衰モードを強くして、フロントの浮きを防止します。
高速安定	車速が55 km/h以上になると、減衰モードを強くして、走行安定性を向上させます。

のと考えられる。

### 5. モニタリングシステムとオペレータコンパートメントの改良

オペレータがダンプトラックを運行する場合、キャブ内の各種機器類の設置及びそのレイアウトは車両の状態の監視性や、操作性の良し悪しを大きく左右するものである。

ここではその中で特長的ないくつかについて述べる。

図7にオペレータコンパートメントの全体を示しているが、ダッシュボード右に設けられたバイロードメータは常に現在の積載量を表示しメモリ化することにより土工量管理を容易化している。またコンソールには、メンテナンス上の各種情報をモニタリングするメンテナンスモニタを装備している。メインのインストールパネルは液晶表示となっており車速、回転等の他エンジンやサスペンションのモードや、各部コントロールが正常か否かのモニタリングも行っている。更に本キャブの開発に当っては視界性、騒音、スペース等も大巾な改善を加えダンプトラックキャブの概念を一新した。

### 6. むすび

以上のような、各システムの開発、改良を行うことによって、ダンプトラックの作業効率、オペレータの快適性は画期的に向上した。これらの開発が今後の土工工事や鉱山の発展に必ず貢献できると確信している。

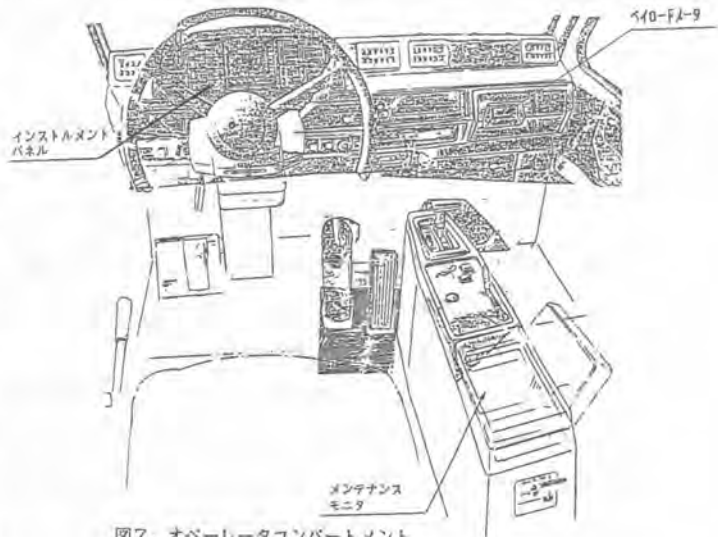


図7. オペレータコンパートメント



図8. バイロードメータシステム



図9. メンテナンスモニタ

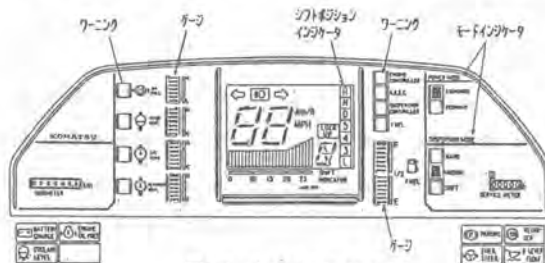


図10. インストールパネル

## 39. 章動ローラ(N3型)の開発

酒井重工業(株)：岩隈 秀樹

### 1. まえがき

締め固め機械の発展の経緯を大雑把に述べると、無振動の鉄輪ローラがその原型であることは一般的に異論のないところであり、ついでタイヤローラ・タンピングローラなど様々なタイプのローラが開発され、土木・道路建設現場で広く使われるようになった。そして最近になり振動ローラが普及して以降は、その効果的かつ経済的な転圧特性により、締め固め分野での主役を演じるようになってきたといえる。しかし既存の振動ローラに関して言えば、その採算上の優位性にもかかわらず種々の問題点をもっているといわざるをえない。具体的には

- (1) ローラの振動がフレームを共振させることによる運転環境の悪化。
- (2) 地盤振動の伝播による周辺地域への振動・騒音公害の発生。
- (3) 急激な振動インパクトを地盤に与えることによる骨材の破壊や間隙水圧の上昇。

などである。加えて(1)～(3)の事項の意味するところは、本来締め固め作業に消費されるべきエネルギーを不必要な運動に浪費していることにほかならず、この点を第4の問題点としてあげることが出来る。もちろんローラメーカーとしてもこれらの点の改善努力を怠ってきたわけではないが、しかし上述の問題点は、既存の振動ローラのもっている本質的な欠点ということができ、それらを完全に克服することは不可能に近いといえる。また実際にこうした欠点をもつがゆえに、せっかく振動ローラを使用しているのにその振動機能を利用せず無振動で作業せざるをえないという現場をしばしば見うける。

このような状況を勘案すれば、上述の諸欠陥を除去し、かつ実用的な振動ローラを開発することは急務であり、またそれは必然的に既存の振動ローラとは振動形態を異にする新しい概念に基礎を置くものでなくてはならなくなる。

### 2. 水平振動の概念

いわゆる「土」というものは、土の粒子・水分・間隙で構成されている。これにある種の外力を加えることによって、粒子間の摩擦抵抗に打ち勝って空気や水分を追い出すことにより粒子同志を接近させ、結果として土壌の強度・安定度を向上させることを「締め固め」と称する。力の加え方には基本的に二通りの様式があり、一つは重力を利用した静的方法であり、もう一つは運動を利用した動的方法である。このような基本的なモードに従うと締め固め機械を以下のように二つのグループに分けることができる。

- (1) 静的重量を利用する機械群・・・鉄輪ローラ・タイヤローラ・タンピングローラ等
- (2) 動的重量を利用する機械群・・・振動ローラ・タンバ・プレートコンパクタ等

我々ローラメーカーとして長年土壌の機械的締め固めにかかわっている過程で、しばしば注目すべき現象に遭遇することがある。それは、締め固めようとする地盤に単純に上から圧縮応力を加えるだけ

でなく、水平方向の剪断力をくわえることによって締め固めは行われるということである。身近な例としては、鉢植えの鉢に土を盛ってならず時、鉢を水平に揺すったり横からポンポンとたたく現象がそれである。

これについては英国の S.F. Brown ならびに P. A. nsel によっても実験室で定量的に研究されているので、彼らの論文を引用させていただきたい。それによると、彼らは図1のように単粒度の石灰石の試験片に、ある一定の垂直応力のもとに上下逆方向の剪断応力を繰り返し載荷して、試験片の体積変化を測定したのである。図2はその試験結果であるが、この試験片には繰り返し回数に応じた永久体積歪みが生じていることがわかる。パラメータ  $R = 0.78$  のラインに注目すれば、繰り返し回数  $10^4$  回において永久体積歪みは12%にも達している。既存の締め固め機械は振動ローラも含めて静的・動的にかかわらず上からの圧縮応力を利用しているわけだが、彼らの実験は水平方向に振動するローラを用いても充分効率的な締め固めが達成できる可能性を示唆している。

以上のような考え方のもとに開発されたのが、N3型章動ローラ（酒井重工業製）である

### 3 N3型章動ローラの原理

路面に水平方向剪断力を与える方法としては、幾通りもの方法が考えられる。例えばロールを前後方向に振動させる。あるいは左右方向に振動させる。または振動輪にトルク変動を与える。さらにはそれらを組み合わせるなどである。これらのなかで、当N3型章動ローラはトルク変動による方法を採用している。

図3-1に示すように、当ローラの振動輪には、両端に偏心質量を持つ一對の回転軸が鏡板に平行に装着されている。2本の回転軸はギヤを介して互いに逆向きに回転するようになっている。上下の偏心質量はそれぞれ向き合う方向（aとb）、あるいは反対向きの方向（cとd）に配置され、これらが回転することによって生じる遠心力は、ロールの左右方向（x軸方向）が常に相殺され、前後方向（z軸方向）のみが残るようになっている。しかもその前後方向の遠心力も図3-2に示すように、上下で相殺する方向に発生するため、結局ロールの軸回りに周期的トルクを与えることになり、こ

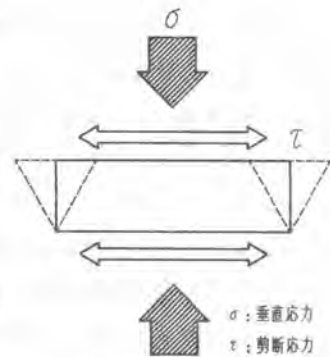


図1 繰り返しせん断応力テスト

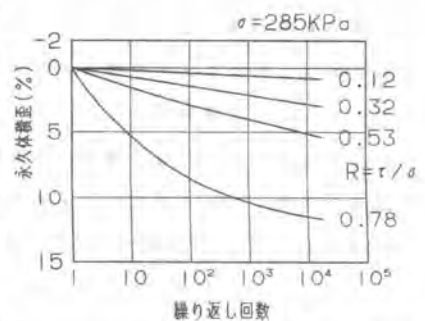


図2 繰り返しせん断応力テスト結果

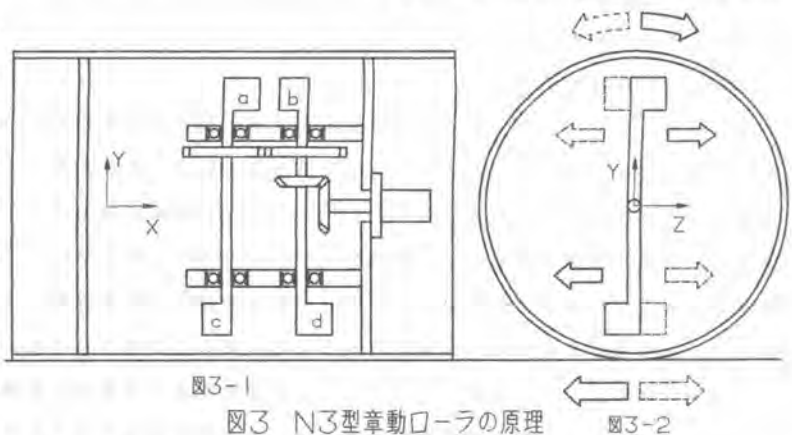


図3-1

図3 N3型章動ローラの原理

図3-2

のトルク変動がロール接地部に周期的な接線力を発生させ、路面に水平剪断力を与えるのである。

#### 4 実用機における試験結果

章動ローラの実機テストは、章動の効果従来型の鉛直振動と比較することに重点を置いて行った。比較を容易にするためには、同サイズ・同ウェイト・同ロール径をもつ章動ローラと振動ローラを使用するのが好ましく、この目的で当試験においては、従来型振動ローラとそのローラの振動輪のみを章動タイプに組み換えたものの平行テストという形をとった。これらのテスト機の主な諸元を表1に示す。この表で章動ローラにおける起振力というのは4箇の偏心質量が発生する起振力の単純合計で、実際上の意味はあまりもない。これに対して起振トルクというのがロールを軸回りに回転させる力であり、章動ローラ的能力を表す実質的な値といえる。

##### 4-1 路面伝播振動

図4に示したグラフは、機械停止状態で振動させた時の周辺地盤の振動加速度レベルを測定したものである。側方1mの地点で従来型の振動ローラが約95dBであるのに対し、章動ローラでは約65dBとなっており30dBもの差がある。側方7mの地点においてすら15dB近い差が確認された。章動ローラの側方1mにおける65dBという値は地震の際の震度1に相当し、静止している人や特に地震に敏感な人だけに感じる程度になっている。

##### 4-2 消費動力

図5に示したグラフは、両ローラのフル作業時における消費動力の分布状況を示したものである。エンジン馬力は74PSで、このうち駆動のために消費される動力はともに14PSであるが、振動に消費される動力は従来型が26PSの対して章動型は約半分の14PSと遙かに少ない値になっている。このことは4-1でふれた周囲に伝播する振動やローラの機体自身に与える機械的振動など、無駄に浪費される動力が少なく、本来の目的である締め固めに動力が有効に消費されていることを意味する。結果的に余裕動力が多くなりその分燃費向上が計られるわけで、昨今建設機械に限らず消エネ化が進められている中で、注目すべき特性だといえる。

##### 4-3 締め固め試験

締め固め能力に関しては、締め固める材料・粒径・まき出し厚・含水比など様々な要素がからんでくるため、ある特定の締め固め試験のみでそのローラ能力を断定し他のローラと比較することは危険である。従ってある程度客観的な結論を得るためには数多くの比較転圧試験をおこなってみる必要がある。その意味で当試験においても、土・アスファルトともに幾度かの試験を繰り返して行った。その中から典型的とおもわれるデータを図6（アスファルト）・図7（土）に示す。両グラフとも横軸は

	従来型振動ローラ	章動ローラ
総重量	7100 kg	←
前輪重	3400 kg	←
後輪重	3700 kg	←
ロール幅	1450 mm	←
ロール径	1050 mm	←
振動数	3100 rpm	←
起振力	5500 kg	6300 kg
起振トルク		2200 kgm

表1 試験機仕様

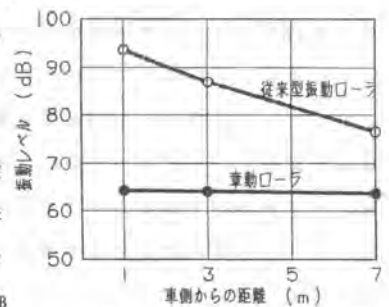


図4 路面振動伝播の比較



図5 消費動力の比較

転圧回数、縦軸は締め固め度を表す。これらが示す通り章動ローラと振動ローラとでは締め固め能力にほとんど差は無く、ほぼ同等といえることができる。さらに注目すべき点は、アスファルト転圧においても土の転圧においても、章動ローラのほうが密度増加の立ち上がり早いという点である。例えばアスファルト転圧において最終のP8では章動ローラ・振動ローラ共に97%程度の締め固め度になっているが、途中P4においては振動ローラが95%であるのに対し、章動ローラでは早くも96%に達している。この事は章動ローラを使用した場合、ある所定の密度を得るための転圧回数を以前より少なくできることを意味し、工事によっては施工時間を短縮できる可能性をもっている。

#### 4-4 RCCP工法

このところ注目を集めているRCCP工法(Roller Compacted Concrete Pavement)においても章動ローラはその特性を充分発揮している。従来型振動ローラによる施工の場合しばしば見られることであるが、コンクリート表面付近の骨材が振動により剥離を起こし、仕上げ面はクラックや凹凸の多いものとなる。これに対し章動ローラによる施工では、路面をこすりながら転圧していくため、ある種のカレンダーリング効果をもち、骨材の剥離もなく、他のローラでは得られない平坦できめの細かい表面仕上げが可能になることが確認された。N3型章動ローラのロール表面にラバーコーティングを施したものがN3R型であるが、これは上記章動ローラの特徴にさらにニーディング効果を付加し、表面仕上げ性を向上させる目的で開発されたものである。

#### 5 おわりに

きわめて簡単に章動ローラの開発経緯および試験結果を述べたが、開発当初のねらいである従来型振動ローラの欠点をカバーするという点、即ち

- (1) フレーム振動などを無くし運転環境を向上する。
- (2) 周辺地域への振動公害を無くす。
- (3) 骨材の破壊や、間隙水圧の上昇を防ぐ。
- (4) エネルギー効率を向上させる。

についてはほぼその目的を達成した。さらに低騒音化への配慮がなされれば、病院・学校付近や郊外住宅地など周辺環境への影響を考慮しなくてはならない場所での工事には非常に適したローラであるといえる。章動ローラの振動特性については、現段階では、現象的な面からの把握にウェイトが置かれ、理論的な面からのアプローチはまだこれからであるが、今後、最適設計条件の把握のためにもこの点での研究を進めていく必要がある。

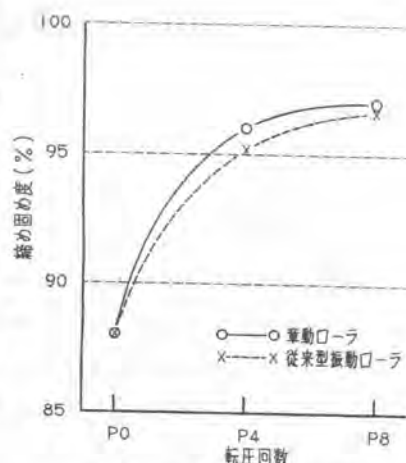


図6 アスファルト転圧試験

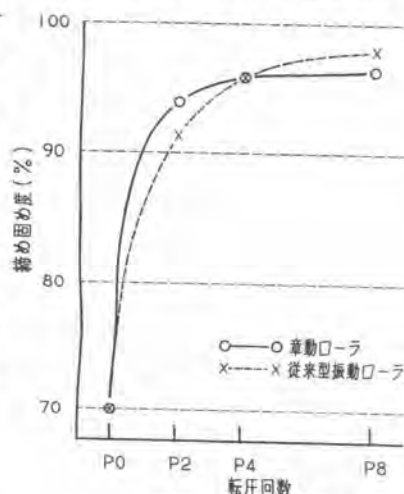


図7 土転圧試験



## 40. 自律走行式床作業ロボットの開発

(株)大林組：竹本 靖・菱河 恭一  
井上 康夫・汐川 孝

### 1. はじめに

建築現場における床面の仕上げ作業には、コンクリート打設作業後凝結状態に応じて表面を仕上げる直仕上げ作業、床表面に各種の仕上げ材を塗布するゴテ仕上げ作業、床のケレンや研磨そして清掃など、多くの作業がある。これらの作業は比較的単純ではあるが、人手中心に行われており、長時間にわたって中腰姿勢を続けるためかなり重労働である。このため早くから機械化や自動化が叫ばれてきた。

こうした要請から床面の仕上げ作業の一連の自動化を目標に「床作業ロボット」の開発に取り組み、その第一段として直仕上げ作業のロボット化を進めてきた。

本報では、その開発の経緯、開発ロボットの概要および適用結果について述べる。

### 2. 開発概要

#### 2.1 床直仕上げ作業の現状

開発機の目標仕様を設定するため、床直仕上げ作業の現状について情報収集を行った。直仕上げ作業については、土間屋と称される専門の作業グループがあり、図-1に示す作業を主に分担している。その作業手順や方法については、明瞭な作業標準はなく、各グループごとに異なっているのが現状である。このため、この作業では以下のような問題がある。

- ① 品質のバラツキが大きい。
- ② コンクリートの凝結状態に応じて作業を行うため、冬期では作業時間帯が深夜になることがあり、また夏期では短時間に集中するなど労働条件が厳しい。
- ③ 長時間にわたって、腰を屈めて作業を行うため、作業者に腰痛を訴えるものが多い。
- ④ 新規の参入者が少なく、また熟練工も不足している。

#### 2.2 開発の基本方針と進め方

床直仕上げ作業についての現状および問題点の把握からロボット開発の目標設定および制約条件の整理を行った。開発と設計上において、主に留意した点は以下のとおりである。

- ① 各種の床面仕上げ作業に適用できること。
- ② 現場における準備作業を極力少なくすること。
- ③ 作業強度の低下および省力化を図ること。
- ④ 仕上げレベルなど品質の安定化を図ること。

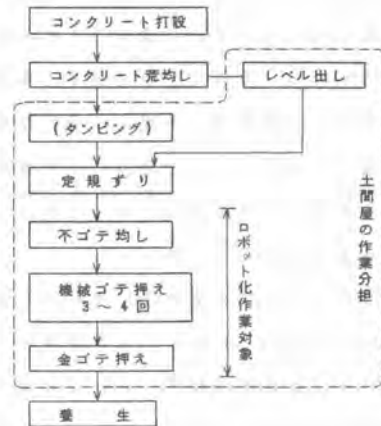


図-1 床直仕上げ作業手順（現状）

⑤ 操作が容易で、誰にでも使えること。

・なお、床直仕上げ作業のロボット化を進めるには、作業条件や技能についての定量的把握が不可欠であるが、これまでほとんど調査研究が行われてこなかった。このためロボットの開発を④予備調査（直仕上げ作業条件等の把握）、⑤回転式機械ゴテによる作業性能の確認、⑥走行や運転の自動化の三段階に分けて、その可能性を確認しながら進めた。

### 3. ロボットの概要

#### 3. 1 基本構成と主な仕様

本ロボットは多くの床仕上げ作業に適用することを目指していることから、ロボットを自律走行機能を備えた走行台車部と作業機能を備えた作業装置部の2つに分けた分割型とした。走行台車部は各作業に共通に使用し、作業装置は作業ごとに取替える方式である。また現場における準備作業を軽減することから、小型・軽量化を図るとともに動力源や制御装置を搭載した自立性の高いものとした。開発したロボットの外観図および主な仕様を図-2、表-1に示す。

##### (1) 走行台車部

走行台車部は走行部、制御部、動力部（エンジン発電機）、位置計測装置、フレームおよびカバー（防音用）から構成されている。制御部には無線受信装置、サーボモータ制御装置および16ビットマイクロコンピュータが搭載され、位置計測装置とのデータ通信、走行台車の誘導および作業装置の制御を合せて行っている。また走行経路を発生する教示用コンピュータとのデータ転送も行う。走行台車はラジコンによるマニュアル運転および自動運転の両方が可能である。

##### (2) 作業装置

作業装置としては、現在4枚のブレードを持った回転ゴテ2組をそれぞれ反対方向に回転させて床面を仕上げるツイントロウエル装置を開発している。この装置は走行台車部とは別に動力用エンジンを搭載しているが、その回転数やエンジン停止、センサ類の制御は、走行台車側で行う。

#### 3. 2 自律走行方式

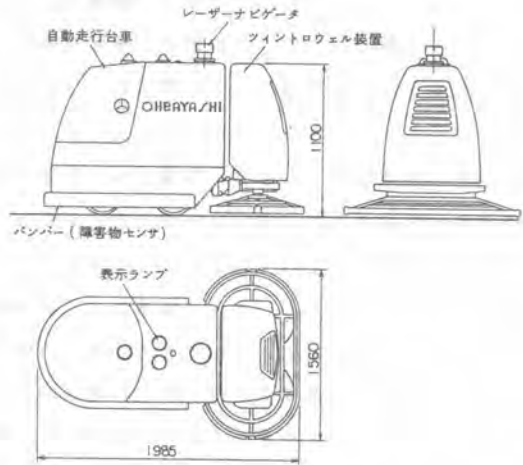


図-2 床作業ロボットの外観図

表-1 主な仕様

構成	ツイントロウエル・台車牽引式
性能	仕上げ能力：平均約500m <sup>2</sup> /h 走行速度：0～10m/min 連続作業時間：4時間以上
制御	無線式マニュアルコントロール，全自動
センサー	開口部・障害物センサー
動力源	エンジン発電機搭載
外径寸法	(幅)1,560×(長さ)1,985×(高さ)1,100(mm)



写真-1 建築現場への適用例

本ロボットでは、レーザ位置検出装置（レーザナビゲータ）を搭載し、ロボットの絶対的位置を検出しながら走行制御を行う自律誘導方式を採用した。レーザナビゲータは、レーザ光を水平方向に発信させながら一定速度で回転（垂直軸回り）させ、作業区域の外部に設けた基準点から反射された自分のレーザ光を読み取る。そして図-3に示すように3点以上のコーナーキューブまでの角度を知ることにより、ロボット本体のX、Y座標と向きをリアルタイムで得ることができる。また、障害物等により、3点以上の基準点が得られない場合には、ロボットの内界センサにより走行を続け、レーザナビゲータによる検出ができる場所では、再び本装置による走行誘導を行う。レーザナビゲータの検出能力は50m程あるので、一度の基準点設定で広範囲の作業が可能である。図-4は、15×10mにおける予定軌道と実際の走行経路の1m間隔での誤差計測結果を示したものである。この方法による動的な位置決め制度は、約±10cm程度期待できる。

### 3.3 走行経路の教示

本ロボットの自動運転時の走行経路は、ロボットと別のコンピュータにより、作業区域の大きさ、コーナーキューブの位置、ロボットの出発位置や障害物の位置を入力すると自動的に作成される。これをCRT上のグラフィックで確認し、ロボット本体にデータ転送する。なお、この走行経路データの保存や一部の修正も簡単に行える。

### 4. 現場適用

本ロボットをこれまで複数の建築現場に適用し、その性能の確認を行ってきた（写真-1参照）。

#### (1) 仕上り精度

床直仕上げ作業では、仕上り精度が最も重要な要求項目であるが、従来の方と定量的に比較するために、写真-2に示すレーザ変位計を応用したレベル測定器を開発した。この装置は、1m間におけるコンクリートレベルを0.05mmの測定精度で自動記録できるものである。

これにより本ロボットによる仕上げ精度は、従来の人手によるゴテ押えおよび機械ゴテ押えに比較してバラツキが小さく良好な結果が得られることを確認した。その結果の一部を図-5に示す。

#### (2) 施工能率

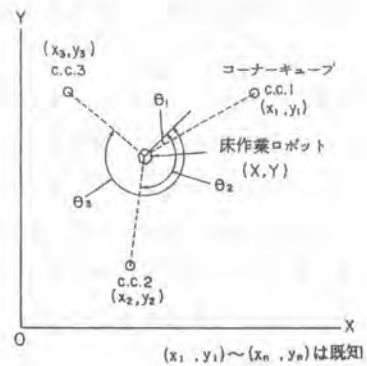


図-3 レーザナビゲータの原理

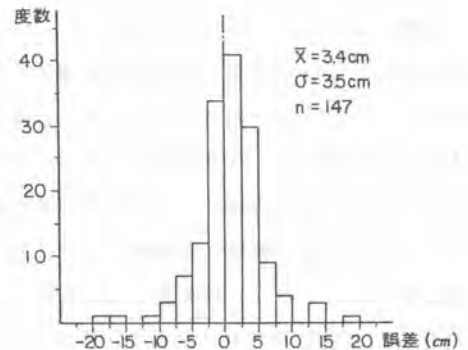


図-4 走行誤差

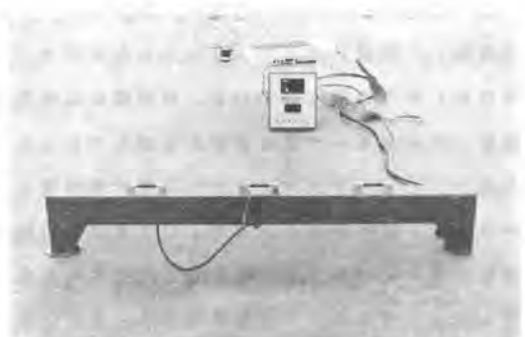


写真-2 レベル測定器

本ロボットによる施工能率について、いくつかのケースのタイムスタディを行い、平均で約 500㎡/hr の施工能率を持つことを確認した。前述のようにロボットの走行動作はいくつかの決まった動作パターンで構成されており、これらの動作パターン（要素動作）の所要時間は設定した走行速度で決まる。これらの要素動作ごとの時間データを収集して、事前に仕上げ作業時間を計算するソフトウェアの開発も行っており、作業計画に役立てている。

### (3) 作業開始時期の判定

床直仕上げ作業は作業時期の判定が重要な問題であり、これまではコンクリートの硬化状態や表面水分量などに応じて判定する熟練工の経験や勘に頼ってきた。予備調査において、作業時期とコンクリート初期強度とは、図-6 に示す関係が見られたことより、写真-3 に示す簡易貫入抵抗試験器を作成し、作業時期を定量的に把握する方法を試みている。

### 5. おわりに

コンクリート床仕上げ作業のロボット化の一環として、まず直仕上げロボットへの適用を図ってきた。建築現場での試験施工を通じ、品質面や施工能率面で十分当初の目標を達成していることを確認した。今後、多機能化を目指して床の研磨、ケレン清掃などの仕上げ機能を追加していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 竹本、菱河、汐川他「大林組の建設ロボット」、ロボット No. 58, 日本産業用ロボット工業会、pp 46~52、1987
- 2) 竹本、井上、汐川「建設用ロボットにおける位置決め制御について」、第二回建築施工ロボットシンポジウム予稿集、日本建築学会材料施工委員会、昭和62年2月

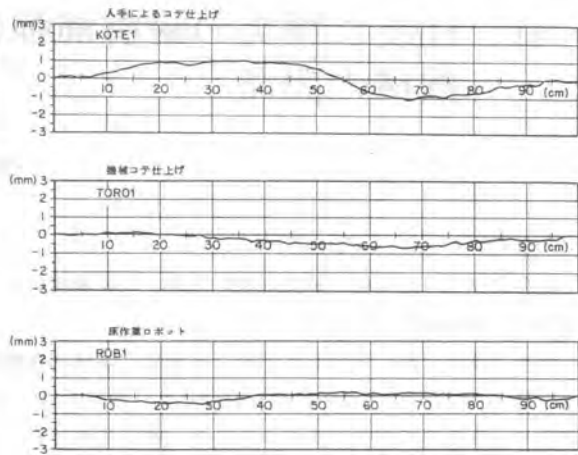


図-5 仕上げレベル測定結果



写真-3 簡易貫入抵抗試験器

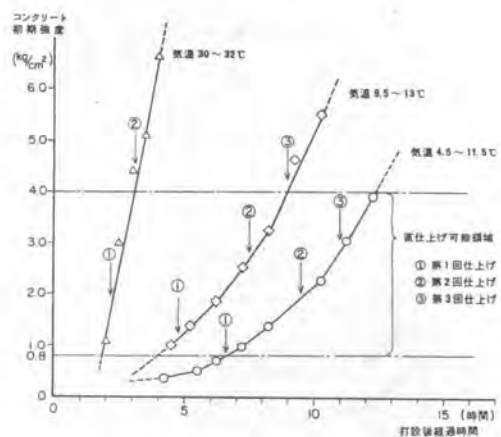


図-6 初期強度と作業時期の関係

# 41. 柱及び煙突の耐震補強における炭素繊維巻付機械の開発

(株)大林組：吉崎 正明・野村 潤

## 1. まえがき

建設業界で、新素材の研究が進められ、炭素繊維のG P級（低強度、短繊維）を、モルタル等に混入させて使用されている。

当社では、これに変わるH P級（高強度、連続炭素繊維）材を、柱及び煙突に軸方向（曲げ補強筋…UDプリプレグ、 $175\text{g}/\text{m}^2$ ）貼付ける。円筒方向（せん断補強筋…CFストランド、 $8\text{u}12\text{k}$ ）にスパイラル状に巻付けることにより、耐震性能が向上することを確認した。

そこで既存の柱・煙突に連続炭素繊維を自動的に巻付ける機械を開発した。

## 2. 耐震補強工法の現状

### (1) 柱の耐震補強工法

- ・ 既存建物を増改築する際の耐力不足
- ・ 構造部材を撤去したり建物階数を増やす時の耐震性能が落ちる。
- ・ 耐震診断の結果耐震性能が不足している。などの時に補強工法を取入れる事が必要となる。

この補強方法としては、壁の増設、柱の補強があるが、オープンスペースを確保するため、柱の補強が多く採用されている。

補強工法としては、

- ① CFストランドを円筒状（スパイラル状）にせん断補強筋として巻付ける。
- ② 鋼板を巻付ける。

の2工法があるが、当社としては、① CFストランドをコンクリート表面に巻付けて、せん断補強を行なう方法とした。



写真-1 炭素繊維巻付機（柱用）

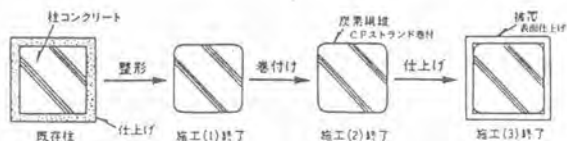


図-1 施工順序図

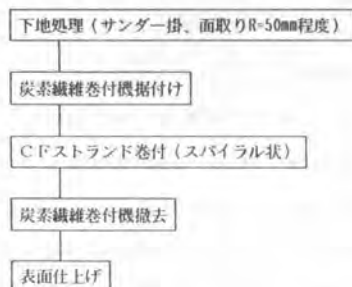


図-2 柱の補強フロー図

(2) 煙突の耐震補強工法

- ・ 旧設計体系による鉄筋コンクリート造
- ・ 塩害・排ガス温度の上昇等によってひび割れが発生している。

煙突

に補強工法を取入れる事が必要となる。

この補強工法としては、

- ① 煙突上部の老朽化した部分を切断し、ステンレス・FRP等で復元する。
- ② 煙突の周囲に鋼板を巻き補強する。
- ③ コンクリート表面のUDプリプレグを軸方向に、CFストランドを円周方向に貼付ける。

の3工法が代表的であるが、

- i. 煙突外周のみ補強するため、通煙中でも施工でき、作業を停止する事がない。
- ii. 炭素繊維を用いるため、補強による自重の増はほとんどなく、補強の範囲が最小限ですむ。
- iii. 炭素繊維で覆うため、過酷な環境条件にも適用でき、耐久性の向上が期待出来る。

等の優位性があるため、今回開発した工法である。

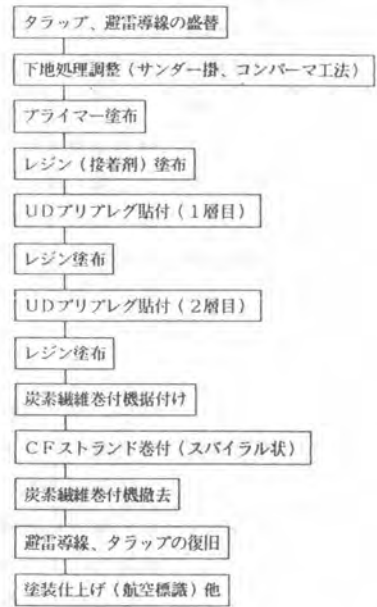


図-3 煙突の補強フロー図



写真-2 煙突にCFストランドを巻付中  
(左手に見えるのは高所作業車)

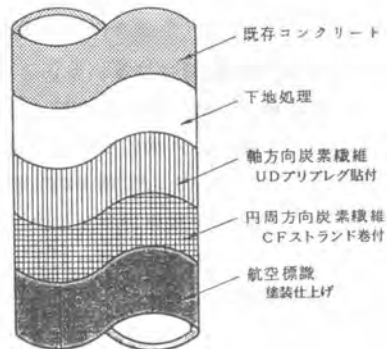


写真-3 煙突にCFストランドを巻付中



### 3. 巻付機械の開発

#### (1) 柱の巻付機械

巻付機械は、図-4のように、

- ・内輪 ……柱に油圧ジャッキ8台にて押付け、機械全体を柱に固定する。
- ・外輪 ……内輪に取付けた旋回用ギヤードモーターによって柱のまわりを回転する。
- ・昇降装置 ……外輪にセットされ、外輪の旋回に合わせて、設定したピッチで上昇下降させCFストランドを柱に巻付ることができる。又、ジョークラッチを中立にすれば、上下の移動はストップする。
- ・含浸装置 ……外輪にセットされ、レジン（エポキシ樹脂接着剤）を生（生）のCFストランドに定量的に含浸させ、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）材として柱に一定の張力を加えながら柱に巻付る装置である。

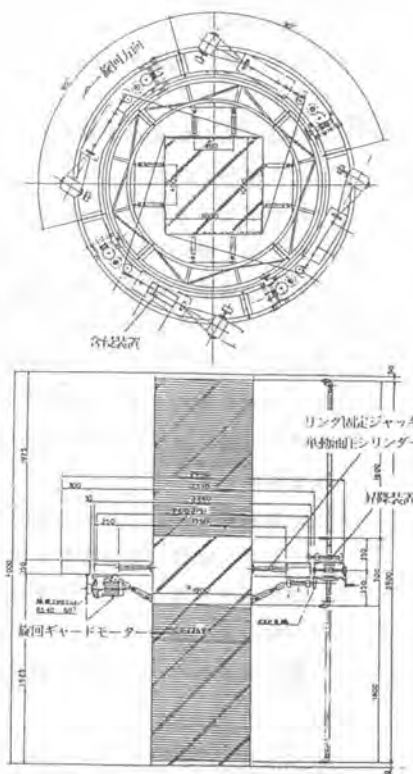


図-4 柱の巻付機械

#### (2) 煙突の巻付機械

巻付機械は、図-5のように、

- ・内輪 ……外輪に取付けた旋回ギヤードモーターによって煙突のまわりを回転する。
- ・外輪 ……昇降用のモーターウィンチ、エンドレスワインダーによって上昇、下降する。
- ・昇降装置 ……外輪に取付けられた昇降用のモーターウィンチ、エンドレスワインダーで上昇、下降する。

※CFストランド巻付時

……モーターウィンチが30mm/min

※巻付機械盛替時

……エンドレスワインダーが

6m/minの速度でそれぞれ移動する。

- ・含浸装置 ……内輪にセットされ、レジンを生（生）のCFストランドに定量的に含浸させ、CFRP材として煙突に一定の張力を加えながら煙突に巻付る機構などが組込まれている。

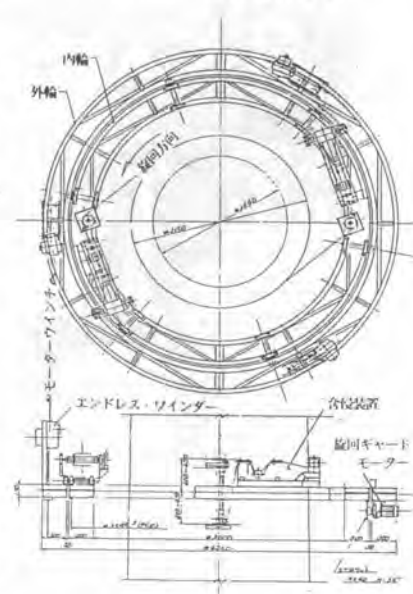


図-5 煙突の巻付機械

表-1 補強工法用の巻付機械の仕様

	柱の巻付機械	煙突の巻付機械
CFの巻付ピッチ	2.5~10.0mm	2.5~10.0mm
回転リングの回転数	4.85RPM	3.0RPM
昇降速度	10mm/min(炭素繊維巻付時) (ジョークラッチによる 上昇下降中立切替装置付)	30mm/min(炭素繊維巻付時) [モーターウインチ] 6m/min(移動時) [ワインダーモーター]
含浸装置の台数	4台	2台~4台
CF巻付時の張力	1~3kg	1~3kg
巻付対象の径	1.0m丸又は角柱	3.0mφ
機械の外形寸法	=3.0m	=4.3m
総重量	1.1ton	1.5ton
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 旋回ギヤードモーター 0.4kw/200Vを全ての 動力源としている。</li> <li>・ 油圧ジャッキ 4.5T×100mm…8台</li> <li>・ 油圧ポンプ ……4台</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 旋回ギヤードモーター 0.4kw/200V</li> <li>・ モーターウインチ 0.1kw×4P…3台 500kg巻 巻取量50m</li> <li>・ ワインダーモーター 0.5kw…3台 500kg巻</li> <li>・ ワイヤロープ 8mm</li> </ul>

#### 4. まとめ

鉄筋コンクリートの表面にCFストランド（HP級連続炭素繊維）・UPプリプレグを耐震補強材として土建分野では、日本で初めて施工した、ユアサ建材工業㈱衣浦工場2号煙突、当社技術研究所の煙突及び柱の補強工事をした結果、UDプリプレグ貼付けの自動化、CFストランド巻付時のレベル・張力の自動管理、足場の簡素化等、巻付機械としてまだまだ自動化、省力化するところがある。今後実績を踏まえて開発していきたい。

#### 謝辞

本工法を開発するにあたり、終始、御協力、御助言をいただきました、三菱化成㈱ 炭素線事業部および、総合研究所の方々に対し、深く感謝いたします。

## 42. ダム用自動型枠(ハザマ式)の開発

（榎間 組： 畠山 修・木川田 一弥・志野 和巳

### 1. まえがき

コンクリートダム施工の合理化は、RCD（ローラー・コンパクトド・ダムコンクリートの略称）工法をはじめ多方面で鋭意進められているが、コンクリート打設時に用いられる大型型枠のスライド（脱型、上昇移設）作業は、高所作業になることや、再据付けに精度を要する等の理由から、作業に高度な熟練を要し、多数の作業員によりホイールクレーン等をその都度スライド箇所を設置して行っているのが現状である。

しかし、建設業界の労務事情は年々高齢化、減少化の傾向にあり、特に型枠のスライドのように安全への配慮や高い仕上り精度が要求される作業においては自動化への期待が大きい。

そこで当社では、これら従来工法の問題点を解決し型枠作業を合理化するためにダム用自動式型枠（以下、ハザマ式ダム用自動型枠と呼ぶ）を開発した。この型枠は、内部に取付けられた自昇装置（油圧シリンダー）によってクレーン類を使用せずとも自力でコンクリート壁面をスライドさせることができるものである。

### 2. ハザマ式ダム用自動型枠の概要

#### 2.1 型枠の構造

本型枠は、写真-1に示すように、従来は幅3mごとの型枠パネルを5基並べて1ブロック分（1スパン15m）としていた型枠全部を、上部に設けた桁により吊下げ、この両端部に油圧作動の自昇装置を取付けた構造をしている。型枠の操作は、この自昇装置を備えた外側の型枠（幅、各3mのもの）と内側の型枠（幅9mのもの）を交互にスライドさせるもので、ブロック打設工法およびRCD工法のいずれにも使用できる。また、鉛直面用および斜面用の型枠装置は基本的に同一構造である。



写真-1 施工状況（鉛直面用）

#### 2.2 本型枠の特長

この自動型枠の主な特長は、次の通りである。

- 1) 構造がシンプルかつ軽量なので操作性が良く、経済性に優れている。
- 2) 型枠のスライドは、内装された油圧機器を使用するためクレーン類を必要としない。
- 3) 熟練工でなくとも操作でき、しかも少人数で作業ができる。
- 4) 型枠の両端に自昇機構を備えた構造であり、型枠の鉛直精度の調整は自昇装置そのもので可能である。

- 5) 内型枠と外型枠を交互にスライドさせるシステムをとっており、ダム軸方向（横方向）のズレを生じにくく据付け精度の確保が容易である。
- 6) 型枠のスライドは堤体上での遠隔操作により行え、しかも一体化された内、外型枠のどちらかが常に固定されているので安全性が高い。
- 7) 型枠装置全体の高さは、コンクリートの打設3リフト以内であり後行ブロックのリフトスケジュールに対する影響が少ない。
- 8) 上昇時の反力源を型枠固定用のアンカーと共用しているため、自昇装置用として別個のアンカーを設置する必要がない。
- 9) 自昇装置を取り外せば、従来型枠としても使用が可能である。

### 2.3 型枠装置各部詳細

型枠装置各部詳細を、図-1に示す。自昇用の油圧シリンダーは、特に横荷重（最大2.5トン）に十分耐え得るように特別に設計したものを使用している。また、型枠のスライドは内蔵したジャッキ車輪（ゴム製）により型枠を打設したコンクリート面より剝離した状態で行えるので、型枠に面木を取付けたままで移設でき、コンクリート表面にキズを着けることがないよう工夫している。

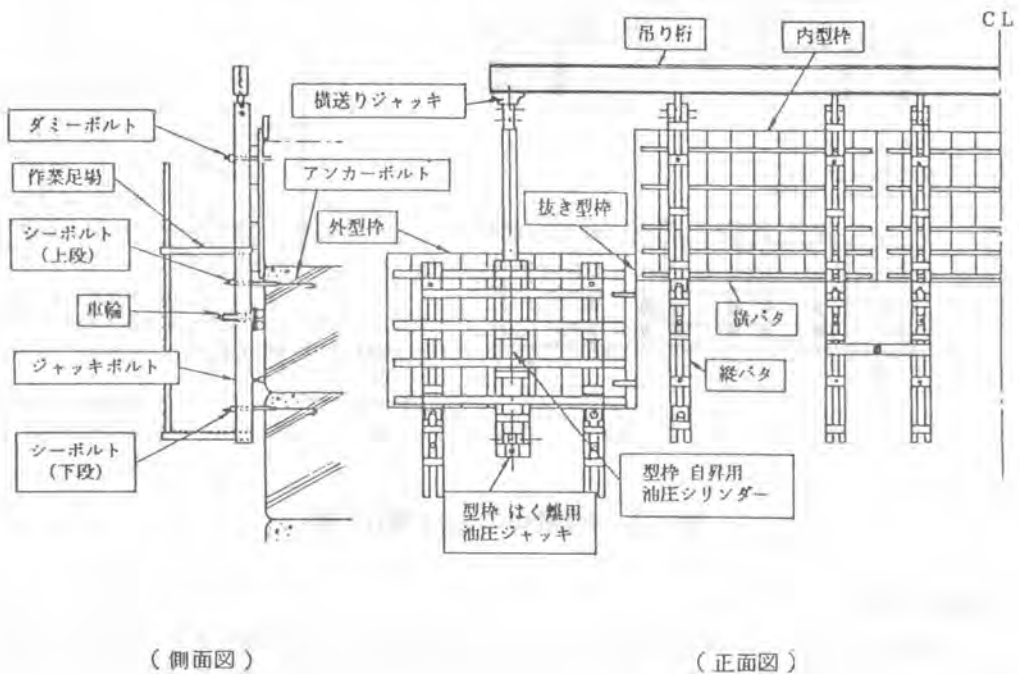


図-1 型枠装置各部詳細

## 2.4 操作手順

本型枠のスライド原理を図-2に示す。

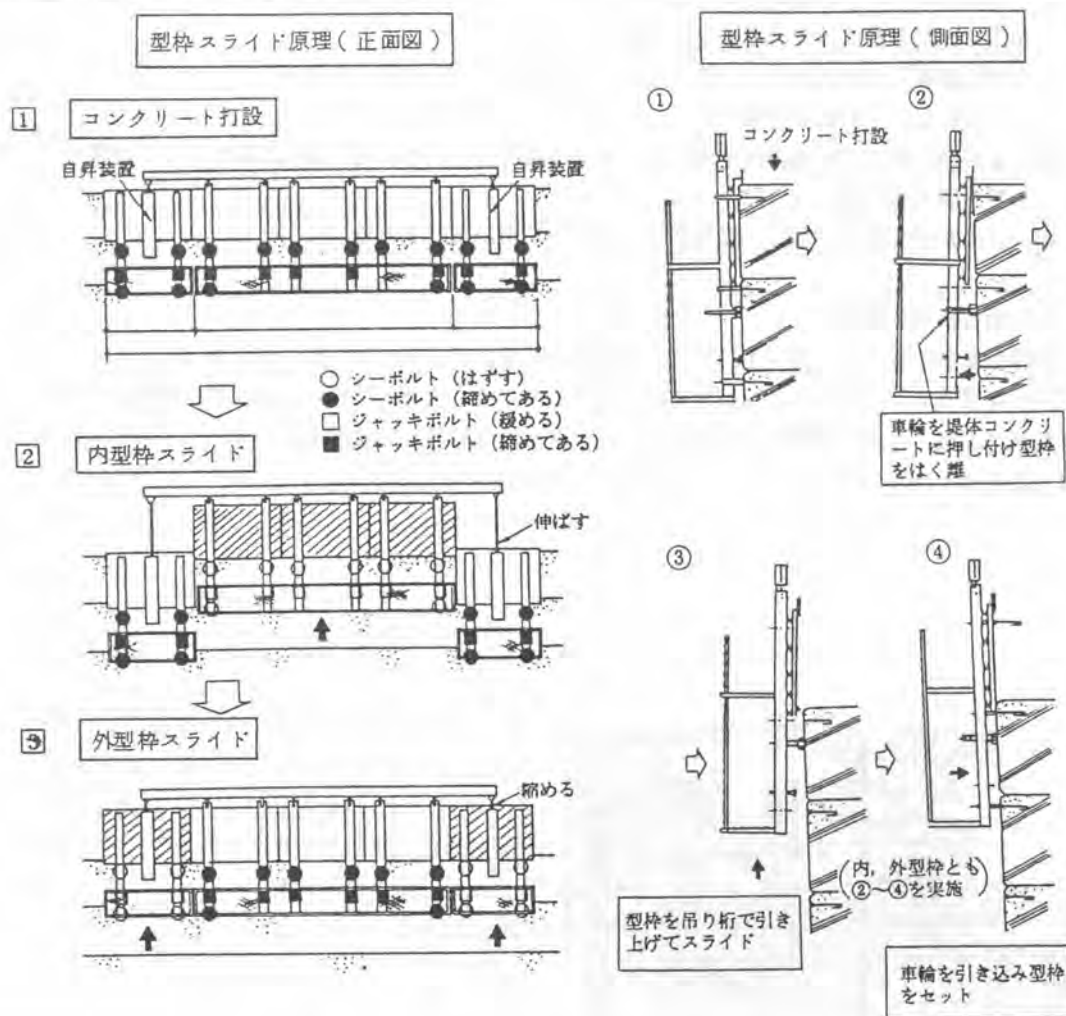


図-2 本型枠のスライド操作手順

## 3. 試験施工結果

上、下流面各々1ブロック分の試験機を製作し、当社で施工中のA現場において企業先の了解を得て通算27リフト分の試験施工を行った。その結果およびガム諸元を表-1, 2に示す。

## 4. まとめ

試験施工の結果から本型枠についてまとめると、以下のようなことがいえる。

- ① 構造がシンプルであるため、熟練を要さず少人数で施工が可能、しかも宙吊り状態の型枠上に人間が乗る等の作業がなくなり、安全性が向上した。

表-1 試験施工結果

型枠の種類		鉛直用	斜面用	備考
仕様諸元	有効高×有効幅 1セット当りの重量	1.5m×15.0m 8.8 ton	1.9m×15.0m 11.1 ton	<ul style="list-style-type: none"> <li>動力源(パワーユニット)は堤体上に別置き共用。</li> <li>必要人員はスライド作業時のみの人数。</li> </ul>
	動力源出力 必要標準人員	(3.7 kw) 3~5名	(3.7 kw) 3~5名	
施工時間	機器運搬据付け	6 min	6 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器運搬据付けはパワーユニット搬入、油圧ホース取付け等の作業。</li> <li>準備とはアンカーボルト撤去等の作業。</li> <li>自昇とはスライド作業。</li> <li>微調整とは据付け作業。</li> </ul>
	自昇準備 自昇 微調整 機器運搬撤去	28 16 45 4	37 20 44 5	
	合計	99 min	112 min	
据付け精度	前後傾斜(上端)	4.3mm (7.3mm)	3.9mm (8.0mm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>型枠の据付け精度。</li> <li>各数値は平均誤差。</li> <li>( )内は最大誤差。</li> </ul>
	〃(下端)	3.4 (7.7)	4.6 (9.3)	
	ダム軸(上端)	1.9 (3.3)	4.0 (7.3)	
	方向(下端)	2.0 (5.0)	3.9 (8.0)	
	鉛直方向(上端)	3.3 (7.7)	5.1 (8.7)	
仕上り精度	前後傾斜(上端)	2.5mm (5.7mm)	-mm (-mm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート仕上り精度。</li> <li>各数値は平均誤差。</li> <li>( )内は最大誤差。</li> <li>-表示部は未測定。</li> </ul>
	〃(下端)	3.1 (6.3)	- (-)	
	ダム軸(上端)	2.2 (4.0)	- (-)	
	方向(下端)	2.7 (5.0)	- (-)	
	鉛直方向(上端)	3.2 (7.7)	4.4 (8.3)	

- ② 設計当初において内、外型枠間のスライド時のせり合いによる不具合の発生が懸念されたが、試験施工によりスムーズにスライドすることが確認できた。
- ③ 施工精度についても従来型枠と同程度以上のものが得られた。
- ④ 操作方法が従来の型枠とほぼ同様なので作業員の違和感が少なく、習熟が速かった。

型式	重力式コンクリートダム
堤高	48.3m
堤頂長	185.0m
堤頂巾	4.5m
最大敷巾	42.44m
法勾配	上流 鉛直 下流 1:0.78
堤体積	85,000m <sup>3</sup>

表-2 ダム諸元

## 5. あとがき

本型枠は、実用化を第一に考え経済的に成立することを前提として開発したものであり、必要以上の高度な自動化は行っていない。なお、本型枠は昭和60年度、建設省建設技術評価制度「ダム用自動式型枠の開発」へ応募し、本現場における性能確認試験を経て63年8月に評価を取得したものである。さらに、本型枠は耐久性を評価する目的で現在当社施工中のB現場への適用を行っている。最後に、本型枠の開発にあたり、ご指導、ご協力を頂いた関係各位ならびに当現場、丸山所長以下の皆様に誌上を借りて感謝の意を表します。



## 43. 超高層ビル外壁塗装ロボットの開発

大成建設(株)： 坂本 成・酒井 佳人・松村 昭  
白土 篤・竹野 雅博

### 1. まえがき

本稿に御紹介する超高層ビル外壁塗装ロボットは開発過程で多くの試行錯誤をくりかえしてきたがこの度、ようやく実現化に至った。

以下、超高層ビル外壁の塗装作業に伴う危険性、作業能率の低下、周辺への公害などの解決技術としての本ロボットについてその開発の過程、技術内容について詳述するものである。

### 2. 研究開発の背景と経緯

我が国において、1970年代後半以降、次々と超高層ビルが建てられてきた。これらの外壁面には、コンクリートパネルに塗装したり金属パネルを貼り付けたりする仕様の外装が多い。このうち、コンクリートパネルに塗装したビルでは、約8年のサイクルで塗装のリフレッシュが必要であると言われている。この塗り替え作業は、高所における風雨の間をぬって、ゴンドラ上でローラーかハケで多くの人員と時間をかけて行われているのが現状である。

一方、建設工事をとりまく諸環境変化の中で、工事労働者の高齢化、若年労働者の雇用難の傾向は年々顕在化し、特に熟練工、高所作業従事者は“平均年齢が毎年1才増える”といわれる状態にある。

本稿に述べる超高層ビル外壁塗装ロボットは、このような背景のもと、昭和59年の基礎研究、60年構想研究、61年実験機製作及び工場実験、62年実用機製作を経て開発を完了し本年8月1日より新宿副都心の新宿センタービル外壁において実施工事にはいった。

### 3. 研究開発の内容

#### 3-1. 塗装対象の調査

今回塗装工事の対象となる新宿センタービルは、昭和54年10月竣工した地上54階、地下5階、高さ219.5m、外壁面積47,700㎡(窓部を除く)、外壁はエポキシ樹脂系復層仕上塗材を施した巾3m高さ3.6mのコンクリートパネルによるカーテンウォールでその形状は中折れ屏風状から出窓がでていという複雑なデザインとなっている。(写真-1)

壁面は9年を経て特に高層部にヘアークラック、チョーキング現象がみられ、内部コンクリートの防護を考え、本年8月ロボットの開発完了とともに工事を開始することとした。



写真-1 対象ビル外壁

### 3-2. システム構想の設定

本ビルの壁面は±25mmの凹凸の石割模様でこれに対する塗装手段についてローラ、ハケ、はいずれも採用不可能であることを予備実験から判断した。ローラは凹部の塗装が不十分であるばかりか材料の滴下が著しい。ハケは作業能率が悪くかつ信頼性にかけ、材料供給の自動化が困難である。従ってスプレー塗装方式にならざるを得ないが、スプレー塗装による塗料ミストの飛散対策が大きな課題であった。一般に行われるガラス面、サッシ枠へのマスクングは地上200mの高所では、強風や剝離落下を考えると不可能と判断した。刺激臭を持つ溶剤及び主材からなるミストは大気に放散されると建物の吸気ガラリから吸引される。特にレストラン系への侵入は許され得ない。ガン噴射圧115kg/cm<sup>2</sup>では平均20%のリバウンドがあり、これを回収する必要がある。また、ミストと同時にガンや周辺部品からの塗料の滴下の問題もある。

我々研究グループは吸引ファンによる検討と実験を繰り返したが、ロボットの軽量化、稼働率の問題からこの方法は断念した。最終的に採用したのは我々がスタンプ方式と呼ぶ方式でフードの開口面周辺に溶剤耐性に富みかつ柔軟性を備えたパットを設置、壁面にこれを押し当て、この中でガンの旋回噴射、ミストの沈静を1サイクルとして行う方法である。パットの塗面上の痕跡の問題はパットの表面処理、押付力、及び塗料の調合により解決することが出来た。

### 3-3. 建築施工精度と機械精度のマッチング

建築の施工精度には限界があり、今回特に問題となった外壁パネルの水平方向の取付寸法誤差は抜き取り実測の結果、最大±7.5mmであった。

この結果ロボットの昇降をスムーズに行うためにはレール内のガイドローラを実際のガイド巾より最低15mm小径化する必要が生じた。しかし、ロボットは270kgのフード部をX、Z方向に移動させ塗装を行うため、重心が常に変化する。空隙が生ずることはロボットと外壁パネルとの相対的位置決めを不可能とし、サッシ又はガラス面へのフードの衝突の危険が派生する。一方工場において成型生産された外壁パネル自体は製作精度が±2mmと比較的高精度であった。我々はこれに着目し、ロボットとパネルの相対位置の精度を確保するためロボットが所定レベルに停止した後、ロボット両端に設けられた空圧シリンダーにより、巾3mのパネルを抱き込む把持機構を設けることとした。この結果、実施工事ではほぼ満足のいく押し当て精度±3mm以内、を得ることが出来ている。

## 4. 技術の内容

### 4-1. システム構成

本システムは屋上のバラベットに沿ったレール上を走行するルーフカーとこれに吊下され、外壁のガイドレールに沿って昇降する塗装ロボットに大別される。(図-1、表-1)塗料及び動力はルーフカーよりロボットに供給される。

### 4-2. ロボット部

ロボット部は機器を搭載した搬機とその下部に取り付けられたレールに沿って左右に動くフード部分の二つのブロックから成っている。

搬機には制御盤とスプレーガンの開閉やエア・アクチュエータを駆動させるためのコンプレッサー、

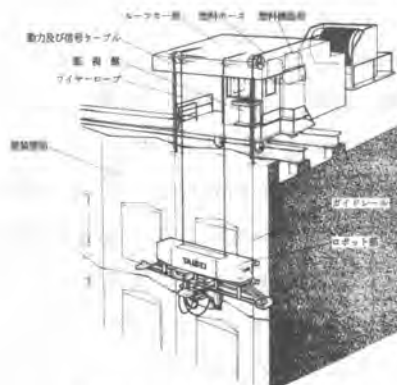


図-1 システム構成

表-1 構成機器仕様一覧

屋 上 部 分		ロ ボ ッ ト 部 分	
項 目	仕 様	項 目	仕 様
ルーフカー	吊下荷重 1.5ton 下降スピード 8m/min 上昇スピード 16m/min 使用電力(ウインチ) 7.5KW(400V)	全体寸法	5 m×1.6 m×2.0 m (L×W×H) 使用電力 5 KW(200V)
塗装機器	使用電力 7.5KW(200V)	制 御	プログラマブルコントローラ (NC制御併用)
塗装タンク	80ℓ 2基	センサ	昇降距離、壁目地、壁面判別、他
塗装ポンプ	13ℓ/min MAX	安全装置	機器固定ロック自動解除他
		コンプレッサ	2.2KW(200V)
		レスサ	
		フ ード	750mm×600mm (W×H)
		スプレーガン	エアレスタイプ 8基

余剰塗料（フード内に付着した塗料ミストを回収したもの）用のタンクが搭載されている。搬機前面には建物に予め設けられているガイドレール内を走行するガイドローラと塗装時にロボットの姿勢を安定させるため壁面に搬機を固定させるロック装置が装備されている。

作動部分には、四種類の駆動装置がある。フード（スプレーガン内蔵）を左右に移動させる走行用モータ、前後に移動させる前後用モータ、フードを壁面に垂直に向けるためのフード揺動用アクチュエータ、そしてスプレーガンの揺動を行うガン揺動用モータである。

スプレーガンは8基有し、ミスト飛散防止用のフードの中に取りめられている。8基のスプレーガンは2基づつセットになっており、この2基は凹凸のあるテクスチャーを塗り残しなく塗装するため同一エリアを違った角度から塗装するように調整されている。又、窓を含む部分と含まない部分の塗装パターンが異なるため窓の有無を検出するセンサーを有している。（図-2、図-3）

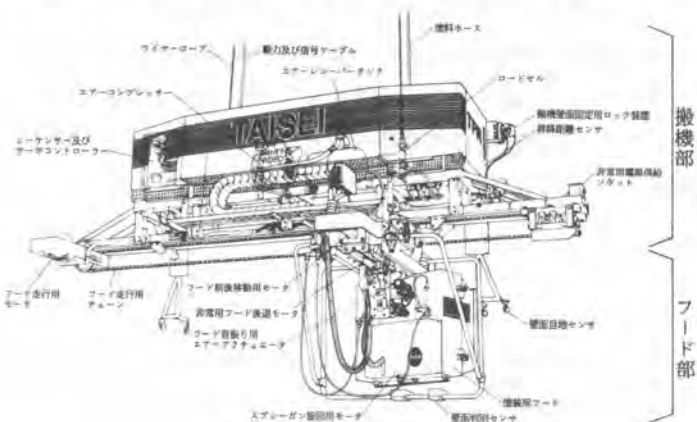
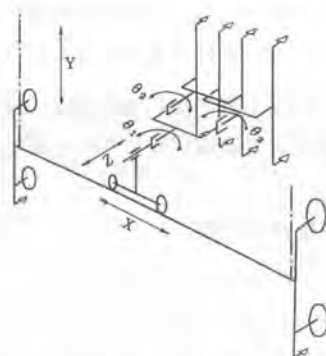


図-2 本体の各機器名称



	作動(許容精度)	駆動方法
$\theta_1$	左右25° (± 0.5°)	エアアクチュエーター
$\theta_2$	左右50° (± 1.0°)	サーボモーター
X	2,000mm (± 1.5mm)	サーボモーター, チェーン
Y	200m	ウインチ
Z	700mm (± 2.0mm)	サーボモーター

図-3 ロボット骨格図

#### 4-3. ルーフカー部

建物の屋上にはロボットを2本のワイヤーで吊り下げ、上下移動させるルーフカーを設置する。ルーフカーにはワイヤ

一巻取り用ウインチと電力通信用ケーブルを巻き取るリールが搭載されている。又、ロボット監視盤が搭載されている。オペレーターはここで監視体制をとる。ルーフカーに搭載される塗料機器は塗料ポンプ・塗料タンク（上塗り用・下塗り用）・ポンプ駆動用コンプレッサー・塗料ホース巻き取り用リールから成る。

#### 4-4. 制御システム

本ロボットの制御は、2組のプログラマブルコントローラで行われており、1組はロボットに搭載され、1組は屋上監視盤の内部に設置されている。

ロボット本体での各センサーからの信号処理及びサーボシステムのコントロールはロボット内のコントローラで行い、システム全体の制御は屋上監視盤で行っている。ルーフカーとロボットの間は配線を少なくする目的から多重伝送を行っている。但し、ロードセルからの信号は、応答時間を短くする必要性から、専用線による非常発信を行っている。（図-4）



写真-2 稼働状態

### 5. 本技術の評価

当ビルにおける作業方式の違いによる諸比較は以下のようなになる。

表-2 本機と人力との比較評価

	ロボット（1台）方式	人力、ゴンドラ（3台）方式
作業員数	2人 <sup>(1)</sup> ×2交代=4人	4人×3台=12人
塗装能力	1980㎡/日（昼夜）	60㎡ <sup>(2)</sup> /日人×12人=720㎡/日（昼）
塗装回数	下塗、上塗、計2回	下塗1、上塗2 <sup>(3)</sup> 計3回
作業日数 <sup>(4)</sup>	実働48日間	実働198日間

(1)オペレーター、塗料調合員 (2)マスキング作業含む (3)塗膜厚保障上2回塗必要  
(4) 両者の最大能力の比較

### 6. あとがき

本技術の延長上には次のような用途の展開が考えられる。

壁面クラックや内部剝離の検査、診断、及び洗浄、表層剝離である。これらのリフレッシュ工事に関しては、建設省、建築産業ビジョン研究会の昭和61年度報告「21世紀への建設産業ビジョン」の中で、昭和65年度には建築総需要の11.3%、3兆5000億円の市場があると予測され、関係企業においても、専門セクションや新規会社を設立して、準備体制を整えつつある。

高所危険現場での無人作業はロボットの大きな使命の一つであり、今後とも可能な部分から各分野の御指導を仰ぎつつ研究を続けていく所存である。諸兄の御理解御鞭撻をお願いして筆をおきます。

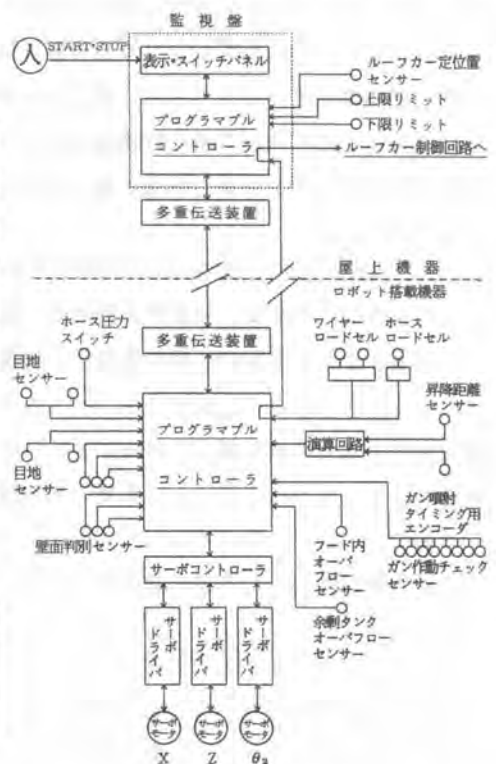


図-4 制御システム概要図

## 44. 外壁自動吹付け装置(SB Multi-Coater)

清水建設(株)： 山崎 忍  
日本ビソー(株)： 藤田 宏

### 1. はじめに

一般にコンクリート外壁の仕上げにはタイルや石板を張り付ける方法と塗装を施す方法とがあり、建物個々の景観、コスト、工期などの観点から決定される。なかでも塗装による外壁仕上げはコストが安いことを理由に従来より広く普及しており、新築、リフォームを問わずかなりの工事量が見込まれている。また、新築時にはコンクリート打放し仕上げの多かった倉庫、冷凍庫をはじめとする大型のRC構造物においても躯体保護の観点からコンクリート外壁に塗装を施す例も多く見られるようになってきている。

一方、外壁用塗材も従来のように単に着色と模様付けを目的としたものだけでなく、防水を主目的とする各種の材料が用いられるようになり塗装の仕様も多層化、高級化が進んでいる。このように、塗装による外壁の仕上げ工事では美観に加えて塗膜の機能や品質を重要視する傾向が強くなってきており、塗装作業者にとっては今まで以上に高度な塗装技術が要求されている。

本報では、以上の背景のもと安定した品質の確保（主に均一な膜厚）と外壁塗装作業の安全性の向上とを主眼に開発した外壁自動吹付け装置(SB Multi-Coater)の概要について述べる。

### 2. 開発コンセプトと設計条件

ひと口に建物外壁といっても凹凸部、窓、金物などがあり表面の状態は様々である。そのような外壁のすべての部位に対して自動的に最適な状態を選択、維持しながら塗装作業を行なう装置を開発することは装置の複雑化とコストアップを招き、実用性に欠けたものとなることは容易に想像できる。そのため、本装置の開発に際しては実用性とシステムの操作性とを重視して万能タイプのロボットを指向するのではなく、比較的平坦な外壁を対象とし、その部位の吹付け作業を効率よく施工できる省力化機械を開発することとした。システムの構築にあたっては自動機と従来工法との組み合わせとなるため、作業者の足場確保と自動機の移動を考慮してゴンドラ方式とした他、以下の条件を設定した。

- (1) 塗装の方法としては能率を重視して吹付けによるものとする。
- (2) 塗装仕様については防水化粧材による複層仕上げを対象とし、下吹き、主材吹き、模様吹き、仕上げ吹き的全工程に対応できること。
- (3) 吹付け品質は仕上りの美観および膜厚が熟練作業者と同等以上。



写真-1 外壁自動吹付け装置



- (4) システムのオペレーションは一人で対応可能とする。
- (5) 装置の形態はオールインワンタイプとする。

### 3. システムの概要

#### 3-1 システムの構成

システムは吹付け作業を行なう自動外壁吹付け装置(SB Multi-Coater)と本装置の横移動を行なうレールAssyとからなる。図-1に外壁自動吹付け装置の機器構成を、表-1に装置の仕様を示す。

本装置は建物上部のバラベットに設置したレールAssyの横行トロリよりワイヤロープで吊下げられており、装置自体の昇降機能とトロリによる横行機能により外壁面内の任意の位置へ容易に移動させることができる。

装置自体の基本的な構成は吹付け用の自動ガンAssy、ガン横行装置、昇降用のエンドレスワインダ、エアパネル、制御パネル、および主材ポンプからなるが、これらに加えて装置下降量、ガン横行量、材料消費量を検出する各種センサと装置全体の振れを防止するための吸着装置とガイドローラを具備している。また、塗料の飛散を防止するため集塵ファンとミストカバーにより簡易型の塗装ブースを形成している。

ガンのストローク制御にはロータリーシーケンサを用い、システム全体はプログラマブルコントローラで制御している。また、装置の操作は吹付け条件の設定や調整、あるいは塗材やガン横行パターンの選択などの準備作業は制御パネルで行なうが、装置の昇降、自動運転の始動などの通常動作はすべて無線を用いて制御している。

本システムではガン吹付け系統と吸着装置に空気圧を用い、他はすべて電気を駆動源としており、外部からエアホースとAC200Vの電源ケーブルとが装置につながる。

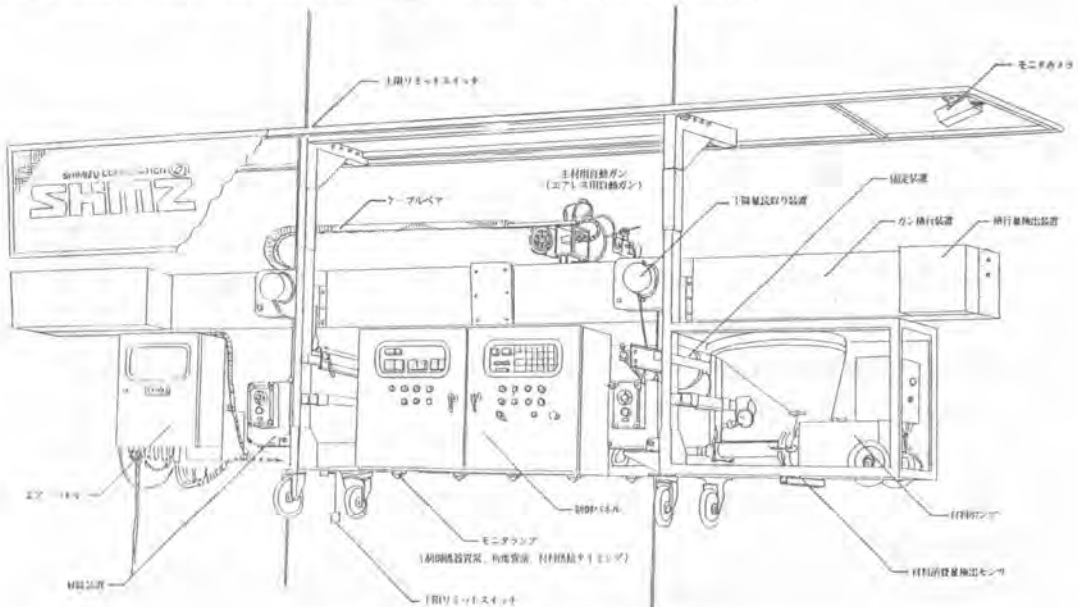


図-1 外壁自動吹付け装置概要図



### 3-2 作業手順

図2からわかるように装置は事前に入力したデータに従い横一列の吹付け完了後、所定量だけ下降する。建物上部より最下端にいたるまでこの動作を自動的に繰返し、縦一列の吹付け作業を実行する。この間オペレータはモニターテレビで吹付け状況を監視するとともに、必要に応じて装置へ材料を補給する。補給の開始と完了のタイミングは装置側の材料ホッパーに取付けられた重量センサとモニタランプによりオペレータに知らされる。

一方、所定幅の縦一列の吹付けが終了すると横行トロリを操作して次のスパンへの移動が行なわれる。

### 4. 吹付け方法と特徴

吹付け塗装は、材料の吐出状況や塗装状態を見極める作業者の感覚と巧みなガンさばきとが美観と膜厚を左右し、外壁全面にわたって均一に仕上げるには熟練を要す。なかでも、粘度が高く、0.5～1 mm程度の膜厚を要求される主材のベース吹きと模様吹きは高度な技術が要求される。

本装置では単純なガンのレシプロ動作に独自の工夫を加えることにより、熟練作業者に匹敵する安定した吹付け塗装を可能とした。まず、材料供給を安定化するため主材用のポンプは一軸のスネーク式とし、更に圧損による吐出量の変化を防ぐためにポンプを装置搭載型とした。次に自動吹付けで致命的なトラブルとなるガンの閉塞を防止するため、口径を大きく出来るエア式の自動ガンを開発するとともに、ガンOFFの状態でも湿潤エアを材料吐出口から噴出させてガン先からの材料の逆流と堆積とを防止している。また、ガンを単に横行させただけではガンの軌跡が残る、塗料の噴霧パターンに乱れが生じた場合にビ

表-1 外壁自動吹付け装置の仕様

装置動作諸元	装置昇降速度	3 m/min
	装置走行速度	3 m/min
	ガン横行速度	0～8 cm/sec
	ガン横行ストローク	max. 4.5 m
	主材ガン回転速度	max. 200rpm
吹き付け装置	エアレスガン首振り角度	±15°
	主材用ガン	エア式スタイル、リシン兼用自動ガン (1または2 T)
	下吹き、上吹き用ガン	エアレス自動ガン(2T)
	主材ポンプ	スネークポンプ
制御及び操作	下吹き、上吹き用ポンプ	ダイヤフラム式エアレスポンプ
	制御方式	アログラムブルコントローラによる シーケンス制御及び一部数値制御
寸法及び重量	操作方法	無線による自動または手動運転
	寸法	幅5,000×高さ1,840×運行距離800 mm
重量	重量	990 kg
	電源	AC200V 30A
その他	エアース	コンプレッサ5馬力相当
	安全装置	機器異常及び装置の傾斜検出による 自動停止
その他	漏洩防止装置	ミストカバー及び吸塵ファン
	固定装置	磁着パッド及びエジェクタポンプ による

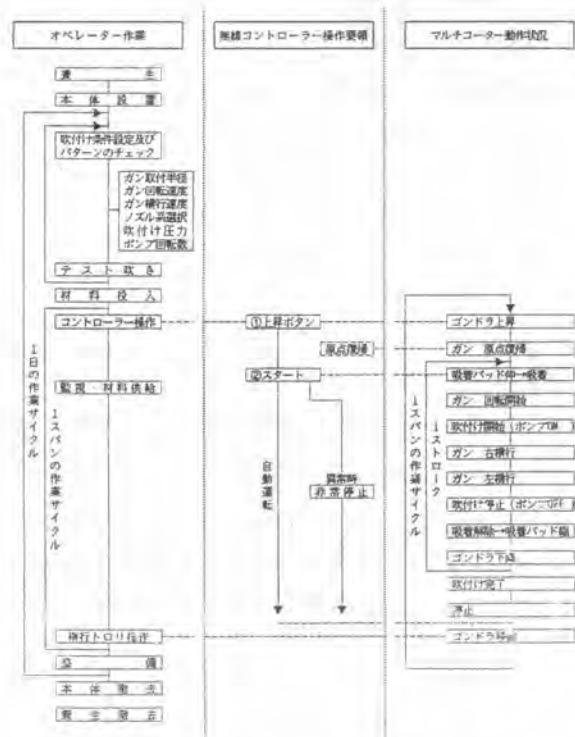


図-2 マルチコーターの作業及び動作フロー

ンホールが発生する、あるいは効率が悪い、などの理由から2丁のガンに特殊なロータリジョイントを介して材料とエアーを供給し、これを回転させる方法を開発した。ガンの先端は回転とレシプロ動作により2重のサイクロイド曲線を描き、薄く、幾重にも吹付けることができるので効率よく均一な塗膜が確保できる。

隣のスパンとの吹き継ぎにおいては、ラップ量を調節するとともにポンプからの初期吐出量を微妙に制御することで最適な状態をつくりだしている。

一方、下吹き、上吹きではシステムがシンプルなエアレスポンプと上下一対に取付けた2丁の自動ガンにより一度に幅広い吹付けが可能である。

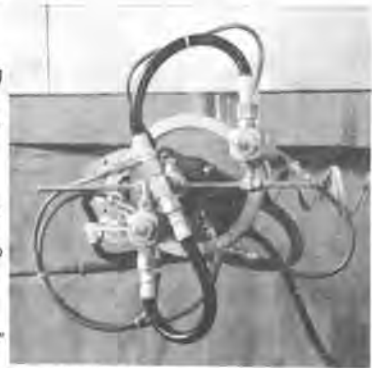


写真-2

主材吹き用回転ガンAssy

図-3に厚膜弾性塗材のベース吹き時のガン横行パターンを示す。

また、図-4に同塗材にて膜厚1.2mm(2度吹き)を目標値としてベンチテストを行った時の測定データを示す。測定は1対の超音波センサを用いて1.8×0.9mの石膏ボード全面に吹付けたサンプルボードに対して、ガンの横行軸と平行に走査させて得られた乾燥膜厚データである。

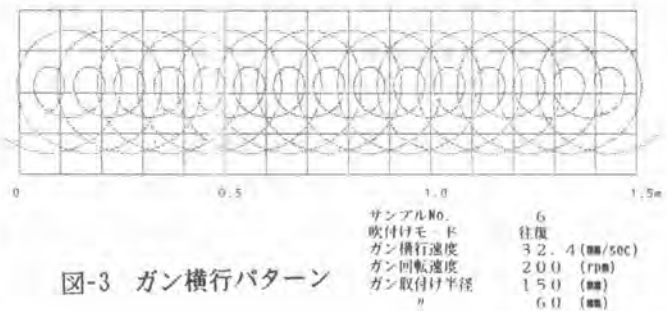


図-3 ガン横行パターン

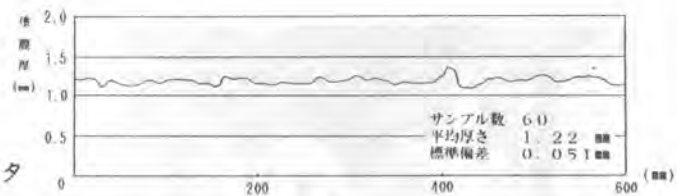


図-4 塗膜厚測定データ

## 5. 本装置の特長

- (1) 模様吹きを含め、下吹きから上吹きまでの全工程に対応できる。
- (2) ゴンドラを用いて3人1組で行っていた作業をオペレータ1人に省人化できる。
- (3) 高所作業の大半を代行させることができるので安全性が大幅に向上する。
- (4) 吹付け仕様に応じた均一な膜厚が確保でき、仕上り観も熟練作業者と同等以上。

## 6. おわりに

本装置の開発では吹付けデバイスとその信頼性を高める周辺技術に重点をおき、各メーカーの様々な塗材とテクスチャーに対する吹付け実験を繰返し行ってきた。今後は能率を一層向上させ、適用範囲の拡大を進めていく一方で、天気により大きく工程が左右される外壁吹付け作業を材料も含めた視点から見直し、多少の降雨でも施工可能なシステムと工法の開発にも取り組んでいきたい。

# 45. コンクリート床均しロボットの開発

清水建設(株)：野村 肇・小峯 富夫・梶岡 保夫

## 1. まえがき

建築現場における床コンクリート工事は、その作業形態からみて比較的機械化・ロボット化に取り組みやすい分野で、ここ数年の間に「コンクリート床仕上げロボット」が大手ゼネコン数社によって開発されている。しかし、このロボットは床コンクリート全作業工程の内後段の部分に適用するものであり、工程全体で見るとその省人化等の効果は十分とは言えない。そのため今回、床コンクリート工事全体のロボット化施工をはかるべく、仕上げの前段階である均し工程のロボット化に取り組みコンクリート床均しロボットの開発に着手した。本報ではコンクリート床均しロボットの内、特に均し機構の特性試験の結果を中心として報告する。

## 2. コンクリート床作業の現状と開発の動機

コンクリート床の工法としては、直仕上げ工法（モノリシック工法）が主流となっており、全床の90%以上を占めるに到っている。この工法は図-2に示すような作業工程で行なわれており、こうして仕上げられたコンクリート表面に後日プラスチックタイルやカーペットを張って床を完成させる。



図-1 定規ずり作業

作業は土間屋と呼ばれるコンクリート床の専門業者によって行なわれており、床面積に応じて数人がチームを組み、レベル出し、定規ずりから最終金鏝押えまでを主として担当している。これらの作業は専門家の経験と勘を頼りに行なっており、以下の問題点がある。



図-2 コンクリート床の作業工程

コンクリート床作業全体からみると、

- 1) 長時間中腰で行なう重労働である。
- 2) 新規参入者が少なく、定着率も悪いため熟練工が不足している。
- 3) 施工品質のバラツキが大きく、後工程に影響を与える。

ということが上げられる。

この内床仕上げの前段である床均し工程について顕著な問題点として

- 1) レベル出し、定規ずりは特に技量の必要な作業であり、作業を行なえる熟練工が不足している。
- 2) 熟練工不足による施工品質の低下 —— 特に床の精度\* は全てレベル出し、定規ずり工程で決定される。

といった点がある。

\* : JASS-5による

また、省人化の面からも左官ロボット(当社)のみの施工では、表-1に示す様に省人効果も顕著ではない。この様な現状に鑑み、床コンクリート工事のロボット化によるシステム化の第一歩としてコンクリート床均し装置の開発に着手した。

表-1 コンクリート床工事必要人員

		Aビル 7~8月(700㎡)	Bビル 6月(700㎡)	Cビル 8月(800㎡)
手 作 業	総人員 (押え, 仕上げ) (実質)	9名 (4~6名)	6名 (3~4名)	6名 (3~4名)
左 官 ロ ボ 導 入	総人員 (コーナ押え, 左官ロボット 操作による押 え・仕上)	7名 (3名)	5名 (2名)	5名 (2名)

### 3. 装置の概要

コンクリート床均し装置は、均し部、走行部及び制御部から構成され、鉄骨などに設置された回転レーザーレベルのレーザー光を受光しながら鉄筋上を走行し、均し部によってコンクリートの均しを行なうものである。運搬の便を考慮し均し部と走行部は分割可能であり、また、夫々作業所内のリフト等にて揚重が可能な寸法となっている。さらにより自立性の高い装置とするため、動力源や制御装置を走行部に一括して搭載する方式としていることが大きな特徴である。

コンクリート床均し装置の概念図を図-3に、完成した試作機の外観を図-4に示す。

#### (1) 均し部

均し部はメインオーガ、サブオーガ(還流オーガ)、タンパー、レベル・傾斜調整機構(レーザー受光器、傾斜計)及びモータから構成されており、レーザー受光器のセンターでレーザー光を受光できる様に傾斜・レベルを調整しながらメインオーガ、サブオーガ及びタンパーを動作させてコンクリート表

面を所定のレベルに均す。

### (2) 走行部

走行部は走行車輪、車輪押付用エアスプリング、フレーム、スタビライザー、方向変換用センターリング及びモータから構成されており、左右の走行車輪を夫々モータで駆動してフラブ配筋上を走行する方式としている。また走行安定のためフレーム下部にスタビライザーを設け、装置重量を分散させるとともに進行方向に対する左右のブレが小さくなるようにしている。進行方向を変える時にはセンターリングを下降させ、センターリングを鉄筋（配筋）に支持させ走行車輪を互いに逆方向に回転させることを行なう。

### (3) 制御部

制御部は制御盤（シーケンサ内蔵）、動力源（エンジン式発電機）及び無線受信装置から構成されており、無線遠隔操作によって均し部及び走行部が決められた手順で動作するように制御している。また点検・保守時のことも考慮し、マニュアル操作で各部を動作させることも可能である。制御部は走行部のフレーム上に搭載されている。

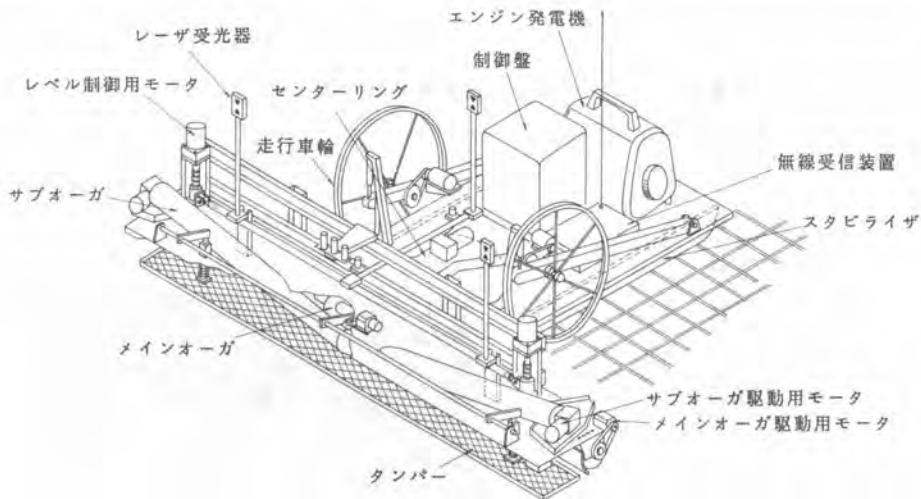


図-3 コンクリート床均し装置概念図

### 4. 均し機構の実験結果

試作機の製作に先立ち、図-5に示す実験装置にて均し機構の応答を確認するための実験を行なった。実験装置は均し機構を模擬したものであり、ハンドルによって加えられた外乱に対し、レーザー受光器センターでレーザー光を受光するように均し部をモータで昇降させる構造となっている。

入力外乱及び均し部の動きは、均し部下部

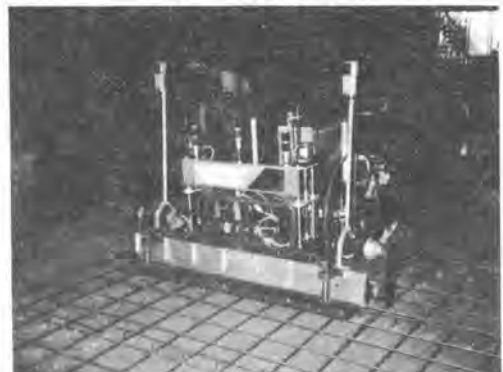


図-4 試作機外観

と側部に設けた変位計にて測定し、出力をペンレコーダにて記録した。図-6に均し部動作結果の一部を示す。

尚、実験は下記条件の組み合わせによって行なった。

- 1) 入力外乱の種類
- 2) 均し部に加える負荷(ウェイト重量)
- 3) レーザ受光器のレーザー光検出精度(粗, 精)
- 4) 回転レーザーレベルの発信回転数

実験により以下の結果が得られ、この均し機構によりバラツキが小さく良好な均し精度が確保できることが確認できた。

- 1) レーザ受光器検出精度が粗の時、均しレベルの最大と最小の差は5~7mm, また精の時には2.5~3mmの範囲内に納まる。
- 2) レーザ発信回転数600r.p.m.の方が、300r.p.m.の場合に比べて応答がスムーズであり滑らかな均し面が得られる可能性が高い。

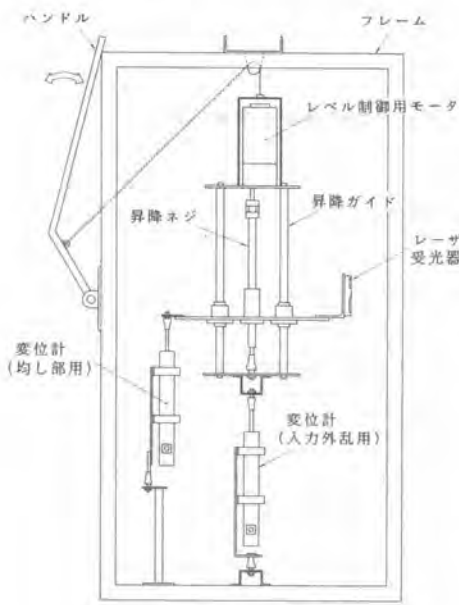


図-5 均し機構実験装置

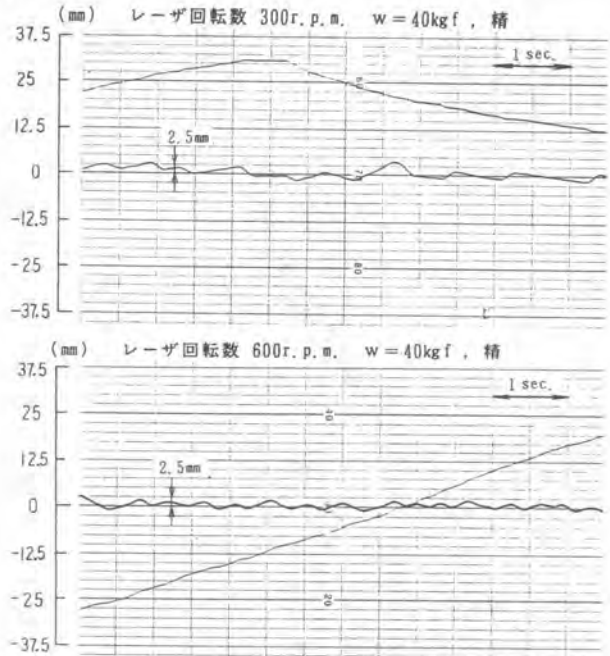


図-6 均し部動作結果

## 5. あとがき

以上、床コンクリート工事全体のロボット化施工を目指したコンクリート床均し装置と均し機構の実験結果の概要を述べた。現時点では試作機が完成した段階であり、装置全体の性能について報告できなかったが、今後試作機を用いて均し性能、走行性能確認実験を行ないデータを集積するとともに改良を加え完成させて行きたい。先に開発した左官ロボット(「床仕上げロボット」)と組み合わせ、床コンクリート工事のロボット化施工を行ない、一層の省人化を図っていく予定である。



## 46. ダム用自動式型枠(ASFOD)の開発

清水建設㈱： 小峯 富夫・梶岡 保夫  
松田 重好・渡辺 茂

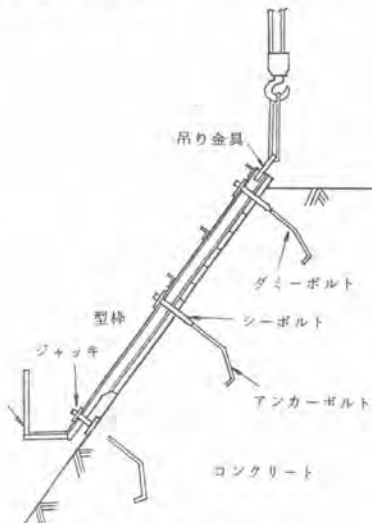
### 1. まえがき

従来、ダム工事における型枠の盛替え作業は、高所に位置する型枠外部の足場に作業員が乗り、人力作業により行われており、作業性、安全性の面から、改善が必要とされていた。このような背景のもとに、建設省は作業員の安全確保、作業能率の向上等をねらいとして、昭和60年度の建設技術評価制度のテーマに「ダム用自動式型枠」を取り上げ、当社もこれに応募した。

今回完成したこの型枠は、回転上昇式全自動型枠であり、シーボルトの脱着も自動で行うものである。本報文はこのダム用自動式型枠(ASFOD)の開発概要について述べたものである。

### 2. 従来のダム用型枠

従来型枠(図-1)の盛替え作業は表-1の手順で行われる。この作業には、必ず移動式クレーンが必要となっている。



従来のダム用型枠(図-1)

従来のダム用型枠盛替え手順(表-1)

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| ① | ダミーボルトを抜く                        |
| ② | クレーンで型枠を吊る                       |
| ③ | シーボルトを抜く                         |
| ④ | クレーンで型枠を引き上げ、上昇させる               |
| ⑤ | ダミーボルトの入っていたアンカーボルトにシーボルトを入れて締める |
| ⑥ | ジャッキボルトにより型枠の倒れ調整等を行う            |
| ⑦ | シーボルトを完全に締める                     |
| ⑧ | ダミーボルトを入れる                       |

### 3. 開発目標

開発にあたり、現場ニーズをもとに作業員の安全確保を重点とした開発目標(表-2)を設定した。

開発目標(表-2)

- | ダム用自動式型枠の開発目標 |                        |
|---------------|------------------------|
| ①             | 自動的に上昇し、型枠の盛替えが可能であること |
| ②             | 取扱いが容易で安全であること         |
| ③             | 打設したコンクリート精度が確保されること   |
| ④             | 作業能率、省人化に寄与できること       |
| ⑤             | 他の作業に影響を与えないこと         |
| ⑥             | 工賃が従来の型枠と同等以下であること     |

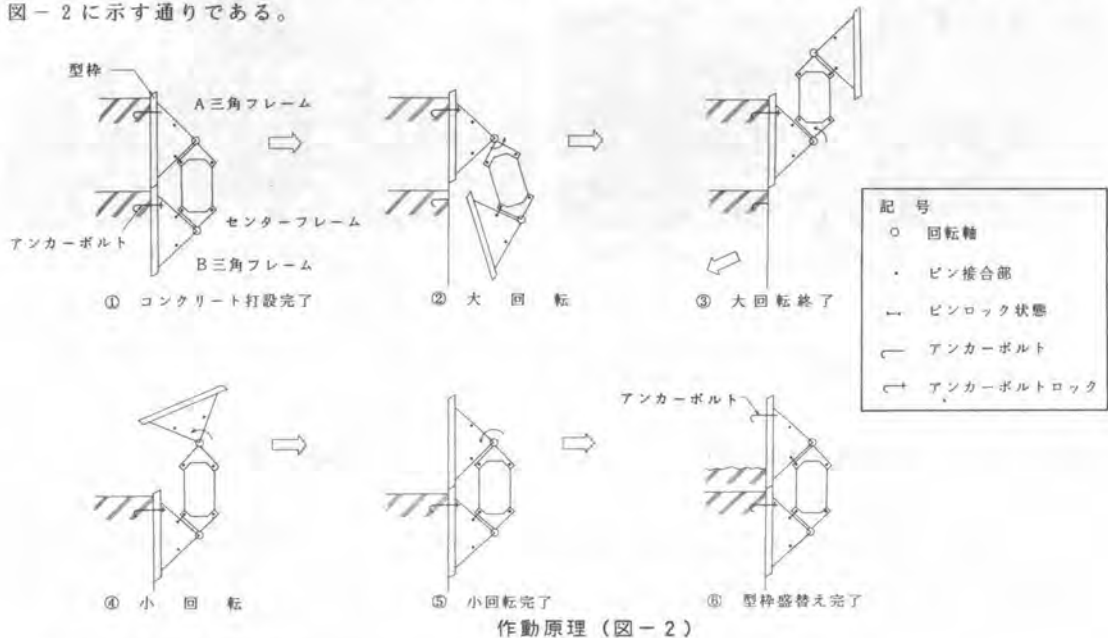
#### 4. 装置の概要

##### 4.1 装置の作動原理

型枠の上昇方式については、スライド方式と回転方式を検討した。その結果

- ① シーボルトは常にはずす操作のみでよい（全自動化が比較的容易になる）
- ② 型枠の脱着と上昇の2つの作業が同時に行える
- ③ 型枠をコンクリート面から引離す装置が不要である

等の長所を備えた回転方式を採用することとした。この回転方式による型枠の上昇原理については、図-2に示す通りである。

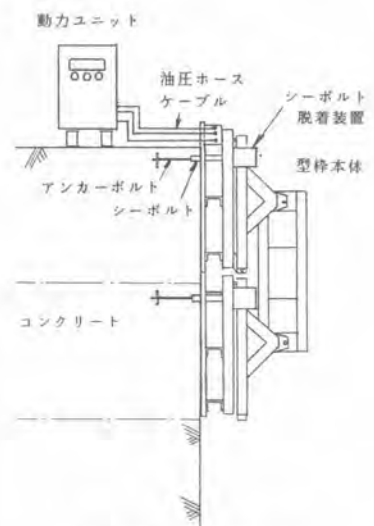


##### 4.2 装置の構成・仕様

本装置は、回転機構とシーボルト脱着装置を備えた型枠本体と、制御装置を備えた動力ユニットから構成されている。型枠側とユニット側を、油圧ホース及び電気ケーブル等により接続して、型枠の回転上昇を行う。

ダム用自動式型枠 (ASFOD) の仕様 (表-3)

1. 型枠本体	2. シーボルト脱着装置 …… 6台
・ 寸 法 …… 3.75m × 3.0m (3.75m × 1.5m 2面)	・ 電動機 …… 1台
・ 重 量 …… 4.3ton	・ エアシリンダ …… φ 40 × 1本
・ アンカーボルト …… 3本	・ エアダンプ …… 1本
・ 回転用油圧シリンダ …… φ 125 × 4本	3. 動力ユニット
・ ロック用油圧シリンダ …… φ 63 × 4本	・ 寸 法 …… 1.35m × 0.7m × 1.77m
	・ 重 量 …… 680kg

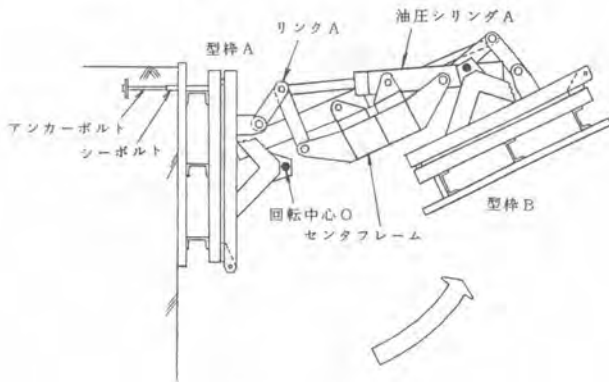


#### 4.4 回転装置

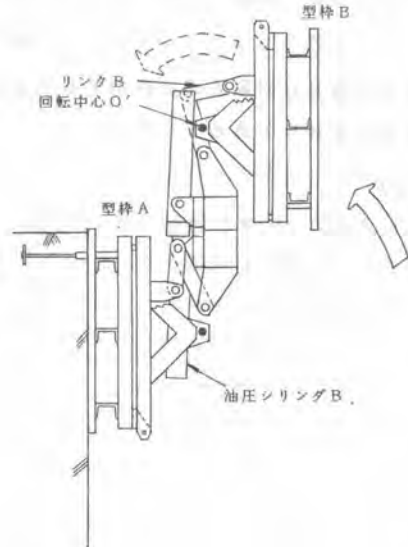
回転機構はリンクとシリンダで構成され、180度の回転が可能のように設計されている。

図-4において、回転用油圧シリンダAを縮めることでリンクAにより、型枠Bとセンターフレームは回転中心Oを中心に回転する。シリンダのロッドがストローク分縮まると型枠Bは180度回転する。(図-5)

同様に型枠Bは、回転用油圧シリンダBとリンクBによって回転中心O'を中心に180度回転して、回転上昇を終了する。



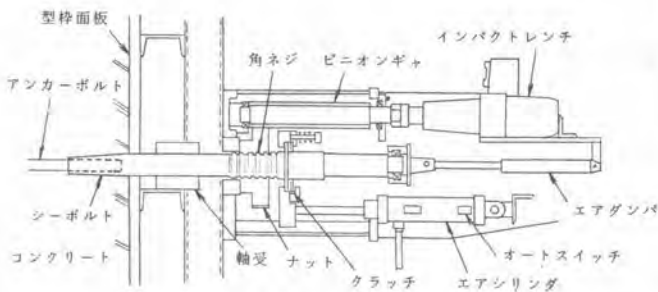
大回転中 (図-4)



大回転終了時 (図-5)

#### 4.5 シーボルト脱着装置

この装置は、型枠装置を回転させる前に下部型枠のシーボルトをアンカーボルトから抜き取る作業を自動的に行っている。(図-6)



シーボルト脱着装置 (図-6)

#### 4.6 制御

制御は制御盤 (写真-1) 内に内蔵されたプログラマブルコントローラにより行われ、誤動作、誤操作を防止するため、重要工程にはインターロック回路を設けている。操作は、全自動、半自動、手動 (遠隔操作) の3通りのモードで行うことができる。



制御盤 (写真-1)

## 5. 現場実証実験

試作機完成後、回転試験、応力試験、コンクリート打設実験等を行い一部改造して昭和62年5月に当社施工中の北海道美利河ダム工事に適用して、性能確認を行った。3基の自動式型枠は順調に稼働し、初期の目標を達成することができた。(写真-2)(写真-3)



回転上昇中の自動式型枠(写真-2)



順調に稼働中の3基の自動式型枠(写真-3)

## 6. 施工結果

実際の現場において、安全面、能率面等を従来の型枠施工と比較検討した結果、次の点が明らかになった。

- ① 作業者がダム堤体の外側に出る必要がなく危険作業がない。
- ② 型枠の盛替えは、2名の配員で余裕をもって作業できる。
- ③ クレーン等揚重機が不要である。
- ④ 1面の型枠盛替え時間及び作業員数は、従来型枠に比べ改善される。
- ⑤ シーボルト脱着時に騒音が発生する。

## 7. あとがき

実験の結果、建設技術評価委員の高い評価を受けることができ、本年8月に建設大臣から評価書が公布された。

現在、施工コストメリットを高めるため、1基あたりの型枠幅の拡幅及びシーボルト脱着装置の騒音対策等一部の改造を行い、兵庫県安室ダムで稼働中である。

今後、現場フォローを継続しながら、長期使用時の耐久性及び実際の歩掛等を確認していきたいと考えている。

## 47. 宅地造成用マニプレータ

東急建設(株)：鷹巢 征行・福田 澄男

### 1. はじめに

現在、建設業界は、技能労働者の不足および労働者の高齢化が進んでおり、それに伴ない労働生産の停滞、労働災害の多発化傾向に直面している。こういった状況の中でこのマニプレータは、特に宅地造成工事において、掘削、石積用ブロック、下水道用ヒューム管などのコンクリート2次製品の運搬、据え付け、コンクリートや裏込栗石の流し込み、投入といった一連の作業をアタッチメントを交換することなしに行うことができる万能マニプレータである。

### 2. 従来の作業

従来、宅地造成の擁壁工事では、コンクリートブロックの集積場で、パワーショベル、トラクタショベルなどのバケットに、人力によりブロックを積み込み据え付け場所まで運搬し、またここで人力で荷下し、据付といった作業を行っていた。しかしながら、ブロックは、60kgもの重量があり、1日に100個もの数量を扱うと腰をいためたり、ブロックの間に手を挟み怪我をしたり、特に高齢者にとっては過酷で危険を伴う作業であった。



写真-1. 作業状況

このような重労働や危険から労働者を解放する目的で開発したのがこの宅地造成用マニプレータである。

### 3. 特長

(1)アタッチメントの交換をすることなしに、土砂の掘削、ブロックの運搬、据え付け、生コンの打設、裏込栗石の投入といった一連の作業が迅速に行なえる。

(2)スライドアームと、全旋回式バケットにより、様々な状況のもとで、ブロック、ヒューム管の位置決めが容易となり、また作業範囲が大きい。

(3)グリップの把持力は材料に応じ変えることができ、ブロック、ヒューム管などを破損させることなく、また落下させることなく据え付けることが可能である。

(4)ブロック据え付け作業の専用時(連続してブロックのみを積む場合)にはバケットを簡単に取り外せ、また掘削作業の際にはグリップ部分は簡単に格納でき障害となることはない。

(5)本体の前面にはベッセルを備えており、このベッセルに材料を積み込むことによってトラックの

搬入できない場所においても運搬が効率良く行なえる。

(6) バケツは自動水平機構を持ち運転、操作が容易である。

(7) 操作はリモートコントロールが可能で、オペレーターから確認できない場所でも安全に作業ができる。

#### 4. 構造

(1) バケツ：バケツは0.45 m<sup>3</sup>の容量を持ち、掘削、生コンの運搬、栗石、砕石等の運搬を行う。油圧センタージョイント方式の採用によりバケツ部分は左右自在に回転でき、あらゆる姿勢に材料を把持し置くことができる。ブロックの運搬、据え付けのみを連続して行なう際にはバケツを取り外し行なう。

(2) グリップ：グリップはバケツの背面に装着され、最大巾700 mmのものまで把持でき、また350 kgの重量を把持する能力をもつ。把持力は最大1800 kgfであるが、材料に応じて可変であり、材料を損傷させることなく、また

落下させることなく運搬できる。グリップの先端にはボールソケットを用いており、接触面はコンクリートブロックなどの複雑な形状であっても追従し確実に保持することができる。グリップはバケツの背面に簡単に格納でき、掘削時に障害となることがない。格納時はストッパーにより確実に固定され、また引き出しも容易で直ちにブロックの運搬作業に多ることができる。

(3) バケツの自動水平保持機構：バケツの旋回台上に傾斜角センサを組み込んでおり、センサからの信号に応じ常にバケツの上面を水平に保つ機構である。ブーム、アームの操作を行なうのみで自動的にバケツシリンダーが伸縮し、例えば生コンなど流体を運搬する際に用いる。特に運転席から高い位置もしくは低い位置での操作においては、オペレーターから確認しにくいため有効に機能させることができる。

(4) スライドアーム：1000 mmのストロークを持ち作業範囲が大きく、特に高所および低所へのブロックなどの据え付けには有効である。

(5) ベッセル：本体の前面に装着され、最大2 tonの重量を積載可能である。地盤が軟弱でトラックによる資材の搬入が不可能な場所でも効率良い作業ができる。また傾斜地での走行において障害とならぬように、ベッセルは上下に各10°傾けることができる。また、ブロックなどを把持し易いよう前後にも900 mmのストロークで伸縮できる構造となっている。

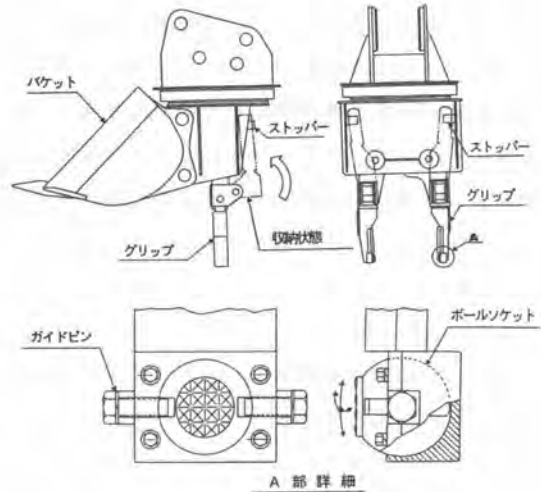


図-1. バケツ・グリップ

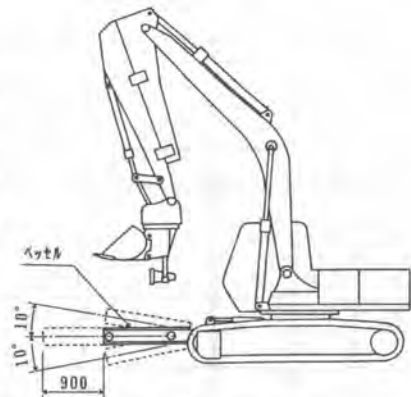


図-2. ベッセル



(6)リモートコントロール：このマニプレータは通常の運転席での運転操作はもとより、リモートコントロールも可能としている。ベースマシンの全ての操作レバーは油圧パイロット式であり、操作力が軽く、またストロークが短いので軽快な操作ができ、さらに、パイロット配管が太く、パイロット圧力も高いため確かな応答性が得られている。リモートコントロールはコントロールパネルに多方向操作開閉器を備え、本体に組み込んだ電磁比例制御弁用の定電流アンプを介して、手動によるパイロット回路と並列に組み込んだパイロット回路の電磁比例制御弁の開閉を行なっている。このリモートコントロールシステムは、例えば運転席から確認しにくい場所での微妙な位置決めを可能とした。

#### 5. マニプレータ導入による効果

この宅地造成用マニプレータの導入により、バケットによる掘削、基礎の生コンの打設、グリップによるブロックの運搬、据え付け、ブロック背面への栗石の投入、生コンの打設作業が全て一台で可能となった。従来の施工方法と比較すると表-1のようになる。すなわち、機械がバックホウとトラクタショベルの2台からマニプレータ1台になり、オペレータも2人から1人に減少する。石工は1パーティ1人で変化はないが、従来、石積ブロックの積み込み、積み下しに要していた作業員4人が2人に減少することができた。この2人は、マニプレータの誘導、合図、生コンの敷き均し、型枠設置などの作業を行なう。またこのマニプレータの導入により1日

表-1. 比較表

	従 来 工 法	マニプレータ使用
バックホウ	1	0
トラクタショベル	1	0
マニプレータ	0	1
オペレータ	2	1
石 工	1	1
土 工	4	2
施工数量(個/日)	150	250

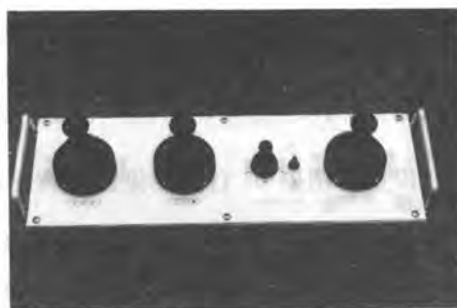


写真-2. リモートコントロールボックス



写真-3. 傾斜計



写真-4. ヒュム管敷設状況



写真-5. フック保持状況

当たりの施工数量も150個から250個に増大させることができた。このような使用機械、人員の減少および施工数量の増大により、およそ20%のコストダウンが計れた。また、重労働からの解放、安全性の向上について大いに貢献できたと確信する。

6. おわりに

この宅地造成用マニプレータは主として石積擁壁のコンクリートブロックを対象として開発したものであり、当社の石積ロボットとしては昭和60年に開発したものに続く2号機である。1号機は石積ブロックのみを対象としたものであったが、今回の2号機は宅地造成工事に用いるあらゆるコンクリート2次製品(石積ブロック、ヒューム管、U字溝、入孔等)の取り扱いを可能とし、高い稼働率を実現させることができ、また、多機能を果たせたことで効率の良い作業が可能となった。

現在の石積ブロックの重量は60kgであり、これは人間が持つことのできる重量から設定されているものであるが、今後、このマニプレータの

使用を前提として据え付け、位置決めが容易な形状とした大型のブロックの開発と、新たな施工法の開発へと展開させる方針である。

また、宅地造成工事に限らず、広い範囲での用途の拡大と、普及を行なって行きたい。

なお宅地造成用マニプレータは東急建設株式会社と日立建機株式会社と共同で開発したものである。

参 考 文 献

- 1) 鷹巣：石積ロボット，建設機械，1986.1

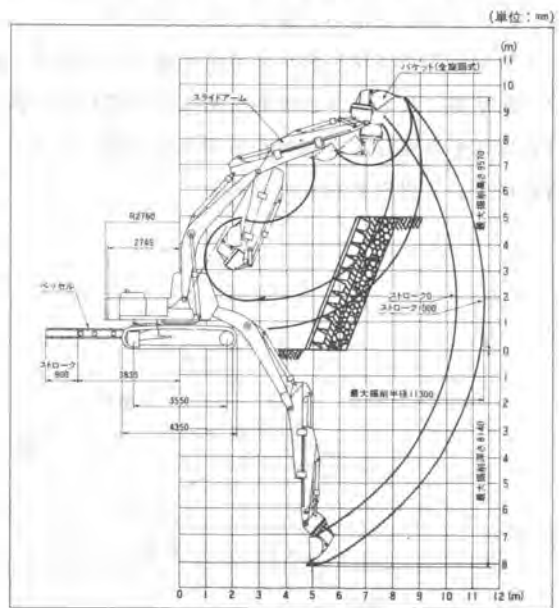


図-3. 寸法図・作業範囲図

表-2. 作業サイクル(例)

作業内容	時												時間	施工数量
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5				
ブロック据え付け	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	141分	250個
裏込め石投入	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	40分	6m³
生コンクリート投	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	157分	17m³
バケツ洗	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	18分	
荷戻	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	111分	
グリップ戻	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	10分	
オペレーター	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
石工	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
土工	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		

表-3. 仕様

全装備重量(t)	21.5
エンジン出力(PS)	125
バケツ容量(m³)	0.45
最大把持重量(kg)	350
最大把持力(kgf)	1800
最大把持巾(mm)	700
ベッセル積載量(t)	2
ベッセルチルト角(°)	±10

## 48. PC斜張橋主塔施工用クライミング足場の開発

鹿島建設(株)：三尾 興平・合津 信貞・白井 俊輔

### 1. はじめに

最近、橋梁を新設する際、経済面、景観面ならびに維持管理の容易性からPC斜張橋(図-1)が多く採用されるようになってきた。さらに、斜張橋は長大スパンに適した橋梁形式としてますます脚光を浴びてきている。しかし、長大スパンになるほど、より高く、より大きな主塔が必要とされる。従来、この主塔は総足場で施工されてきたが、スパンの長大化に伴う高い主塔、あるいはA型、逆Y型、X型といった特殊な形状の主塔を施工する場合、経済面においても総足場が必ずしも有利とはいえず、総足場に代るより合理的な施工法を望む声が高くなってきた。このような背景から斜張橋主塔の構造特性を考慮した合理的かつ安全性に優れたクライミング足場の開発を行った。本文は、この開発概要について報告するものである。

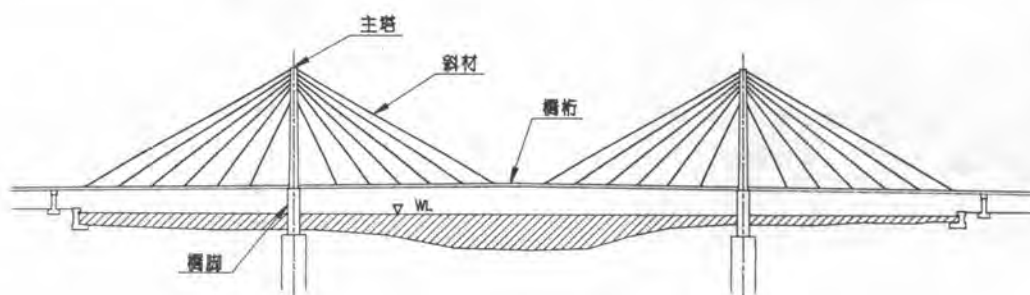


図-1 PC斜張橋一般図

### 2. クライミング足場の概要

#### (1) 設計条件

クライミング足場の開発に際して、主塔の構造特性、施工性及び安全性について十分に検討を行い設計仕様を次のように決めた。

- ① 鉛直面に対し最大傾斜角 $20^{\circ}$ まで対応できること。
- ② 逆Y型、X型のように合流部があるものにも対応できること。
- ③ 逆Y型、X型のように屈曲部があるものにも対応できること。

- ④ コンクリート養生中にクライミング可能であること。
- ⑤ コンクリート養生中に鉄筋組立作業ができること。
- ⑥ リフト高は、最大4 mまで可能であること。
- ⑦ 出来るだけ軽量化をはかること。
- ⑧ 小ユニットに分割でき、組立て解体、輸送が容易であること。

(2) 設 計

(1)で挙げた設計条件に従って足場の基本設計を行った。その主要諸元を表-1に示す。

表-1 クライミング足場主要諸元

		実 施 工 用	実 験 用
足 場 本 体	足場段数	7 段	5 段
	最大機高	約14 m	約8 m
	最大打設ロット長	4 m	4 m
	自 重	約30 t	約20 t
ク 設 ラ 備 イ ミ ン グ	昇降方式	センターホールジャッキとゲビンDESTAUBによる懸垂式	
	昇降用油圧ジャッキ	20t x 350st以上	20t x 150st (415 kgf/cm <sup>2</sup> )
	昇降用油圧ユニット	1.5kw x 4p 200v 0.8 ℓ/min	0.4kw x 4p 200v 0.41 ℓ/min
	昇降作業時所要人員	4 (5) 人	

(3) 施工要領

本クライミング足場を逆Y型主塔の施工に適用した場合の模式図を(図-2)に示す。図中、下段に大傾斜角部施工状況を、中段に合流部施工状況を、上段に合流、屈曲動作終了状態をそれぞれ模式的に表している。

また、傾斜部の施工におけるクライミング足場の上昇機構及び作業手順を(図-3)に示す。

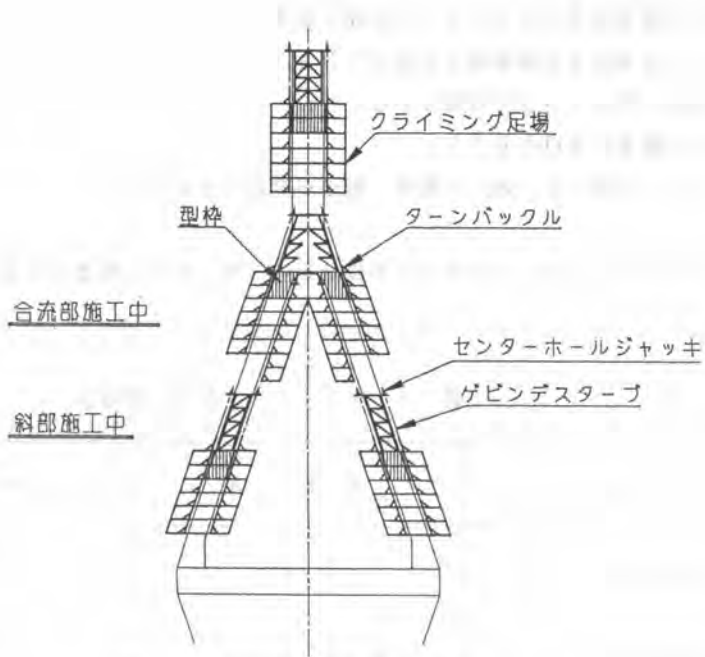


図-2 逆Y型主塔施工模式図

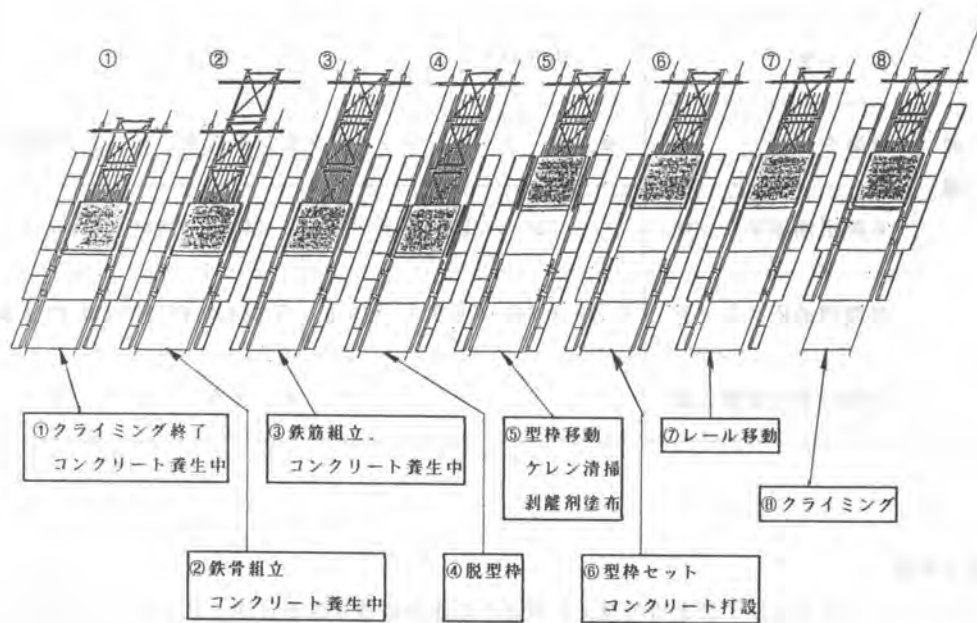


図-3 クライミング足場施工手順図

### 3. 実証実験

#### (1) 実験項目

表-1に示すような実験用クライミング足場を試作し、傾斜部用(図-4)、合流部、屈曲部用(図-5)の2種の実験設備を用い、実施工に近い条件で以下の項目について実証実験を行った。

- (a) 昇降動作状況、動作時間の測定
- (b) 足場を用いた作業性の確認
- (c) 安全性の検証

#### (2) 実験設備諸元

(表-1参照)

#### (3) 実験結果

a) 動作等は傾斜部、合流部、屈曲部の各部について所期の品質を十分満たし、実用に供し得ることが確認できた。

#### b) 昇降作業時間

① 上昇作業時間(4m当)

: 約1時間30分

② 下降作業時間(4m当)

: 約2時間10分

#### 4. おわりに

実証実験を通してクライミング足場が実用化できた。今後は実施工に適用して、より汎用性の高いクライミング足場にレベルアップして行きたい。



図-4 傾斜部実験設備図



図-5 合流部・屈曲部実験設備図



## 49. ダム用自動型枠の開発

—TN式フルオートクライミングフォーム—

(株)竹中土木： 桜井 洋

日本軽金属(株)：秋山 喜八郎

### 1. まえがき

建設業が当面する課題の一つは、労働生産性の停滞をどう克服するかということであり、もう一つは建設労働災害の発生を以下に防止していくかということである。一方、近年建設業に携わる熟練労働者不足と労働者の高齢化が叫ばれており、ダム建設工事に於ても例外ではなく工程管理、品質管理、安全管理等の面で次第に支障をきたしている。こうした背景の基に、ダム建設工事の中で特に熟練作業を必要とし、しかも危険を伴うダム型枠の上昇作業に着目し、これらの問題点を軽減することを目的に「ダム用自動型枠の開発」に着手した。

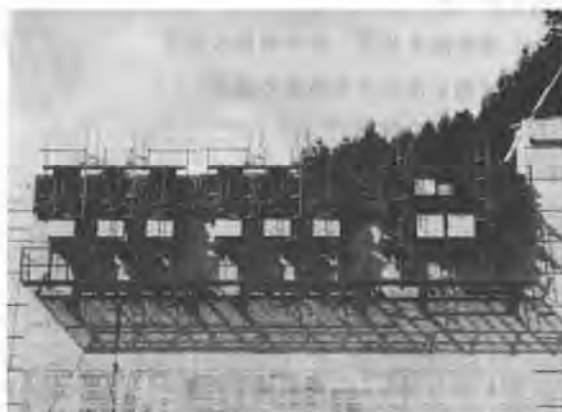


写真-1 自動型枠の前景

### 2. 開発のねらい

ダムコンクリートは型枠の剥離・上昇・設置、埋設物の設置、コンクリートの打設・養生・打ち継ぎ面処理の一連の作業の繰返しにより行なわれている。型枠作業はこの一連の作業の中で最終的にコンクリートの出来形および品質に大きく影響する重要な作業の一つである。この型枠上昇作業は、装置外のクレーン等による吊り上げ機材を用いて、作業員の介添えにより行なわれているのが一般的である。しかし、この方法は、多大な時間と労力、スペースを必要とする上に、高所作業となる為作業員に対する危険を伴う。また、型枠設置作業においては、特別な資格や高度の熟練が必要である。

この様な点を踏まえ、開発のねらいとして以下の項目を設定した。

- (1) 所要の仕上がり精度が確保されること。
- (2) 内装する機器により自ら上昇出来、その操作は装置外から行なえる。
- (3) ボルト、アンカー類の据え付け、着脱、締め付けを自動化し操作が容易かつ安全な構造とする。
- (4) ブロック打設工法、RCD工法の両工法に対応出来る。
- (5) ダム上下流面の鉛直面、斜面の射擦れにも対応可能である。
- (6) 型枠の据え付け、撤去が容易に行なえる。
- (7) 装置の組み立て、解体、運搬が容易に行なえる。

### 3. 自動型枠の概要

自動型枠の作動原理は、コンクリート打設時に面板を定規にしてアンカーヘッドおよびアンカーボルトを堤体中に埋め込み、これを反力にして上部フレームと下部フレームとが尺取り虫式に伸び縮み

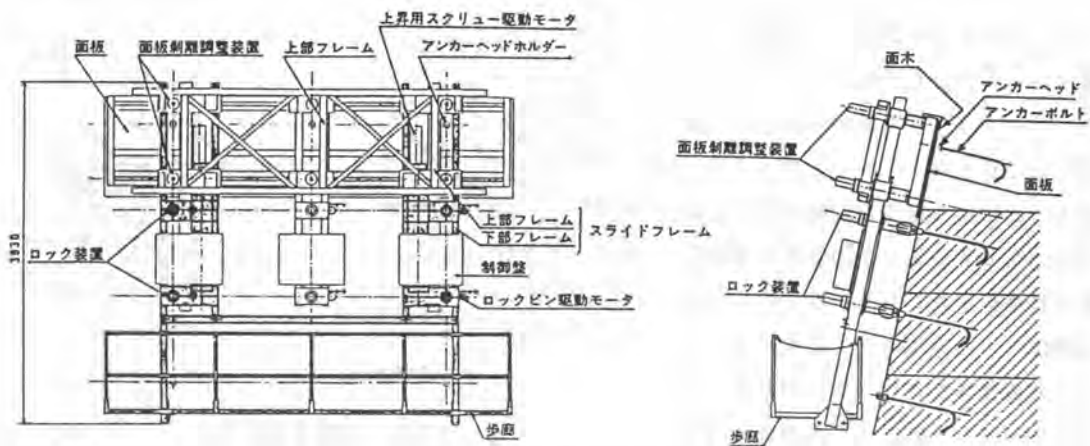


図-1 自動型枠の概要図

しながら上昇していくものである。運転操作は堤体上からリモートコントロールボックスで行ない、各部の操作は押しボタンによるマニュアル操作で行なうが、アンカーヘッドに対するロック装置の着脱、装置の上昇に関する連動動作は自動で行なう方式を標準運転モードとしている。装置全体は、上部フレームおよび下部フレームに大別され、これらのフレームに対して面板剥離

表-1 自動型枠の基本仕様

項目	仕様	
打設コンクリートのリフト高さ	1.0 m	
面板の寸法	(高さ×幅)1.2m×5.0m	
コンクリート側圧耐力	4,800 Kg	
施工誤差	型枠据付け誤差	前後傾斜±10mm以内 水平・鉛直±10mm以内
	仕上がり誤差	前後傾斜±10mm以内
上昇サイクルタイム	15 min以内	
操作人員	3名(安全指揮者1名、オペレーター1名、補助員1名)	

剥離調整装置、上昇装置、ロック装置、制御装置等が組み込まれ有機的に結合されている。図-1に自動型枠の概要を、表-1に自動型枠の基本仕様を示す。

### 3-1 主な構成装置

#### (1) 上昇装置

左右縦フレームに収められた2台の電動スクリーロッドにより上部フレーム、下部フレームを交互に上層リフトへ上昇させる。電動スクリーロッドは左右の同調回転および微調整の為に正転逆転、単独回転が可能である。

#### (2) スライドフレーム

スライドフレームはコンクリート打設時の側圧に耐えると共に、上部フレームおよび下部フレームの伸縮を円滑に行なう必要がある。この為角パイプのテレスコピック構造とし、摺動面に高密度ポリエチレン材を使用し、剛性、摺動性、耐久性等を確保している。

#### (3) 面板剥離調整装置

上部フレームに取り付けられた6台の電動スクリージャッキにより、コンクリート壁面から面板を剥離させる。また、面板セット時の位置決め、傾斜角度の微調整が容易に行なえる様に6台の電動スクリージャッキは同調回転と各々の正転、逆転、単独回転が可能である。

#### (4) ロック装置

ロック装置は上部フレームおよび下部フレームに計6台取り付けられており、コンクリート壁面から突出して設置されたアンカーヘッドとロックピン挿入方式により確実な締結が行なえる構造となっている。この着脱作業は完全に自動化されており、6台のロック装置は1つの押しボタン操作により容易に着脱作業を行なう事ができる。自動型枠装置全体はこの6台のロック装置により堤体壁面に固定されている。図-2にロック装置の作動原理図を示す。

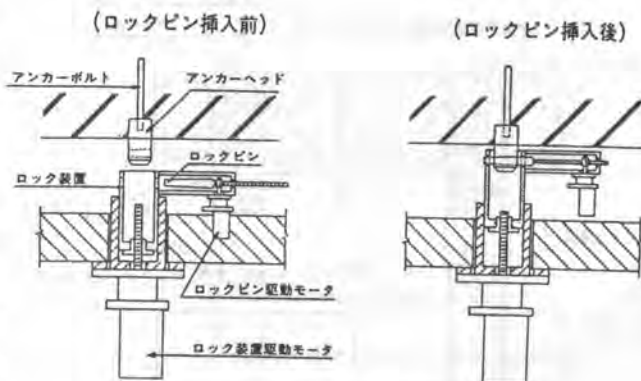


図-2 ロック装置作動原理図

#### (5) 制御装置

本体縦フレームに取り付けられた制御盤からキャブタイヤケーブルにより接続されているコントロールボックスにより全ての駆動装置をダム堤体上から遠隔操作することが出来る。また、面板剥離調整装置、上昇装置、ロック装置の各駆動装置は電動モータを使用しているため、上昇作業中における停電等の不測の事態に置いてもセルフロックされ、安全に支持される機構になっている。

#### 3-2 上昇手順

自動型枠の上昇動作手順を図-3に示す作動手順で行なわれる。

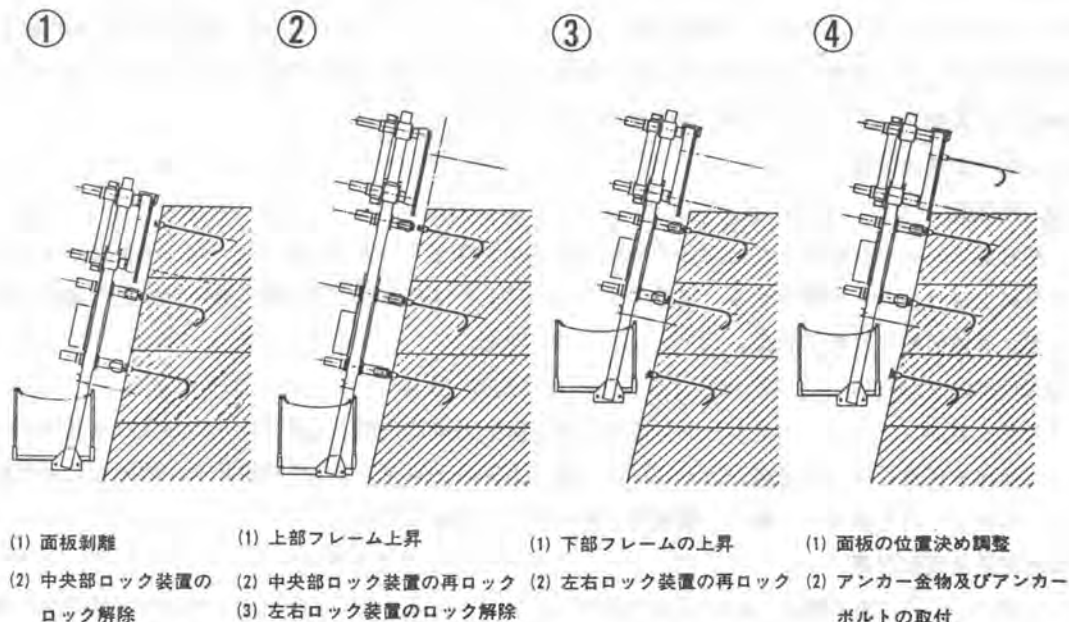


図-3 自動型枠の上昇手順図

#### 4. 施工実績について

自動型枠による施工は図-4に示す西の沢ダムにおいて1986年9～10月および1987年7～8月に実施された。以下にその概要を示す。

##### 4-1 工事概要

- ◇工事名称：西の沢砂防ダム建設工事      ◇工事内容  
 ◇工事場所：長野県北佐久郡立科町西の沢      ◎堤 長：102.0m ◎堤 高：18.0m

ダム背面図

ダム標準断面図

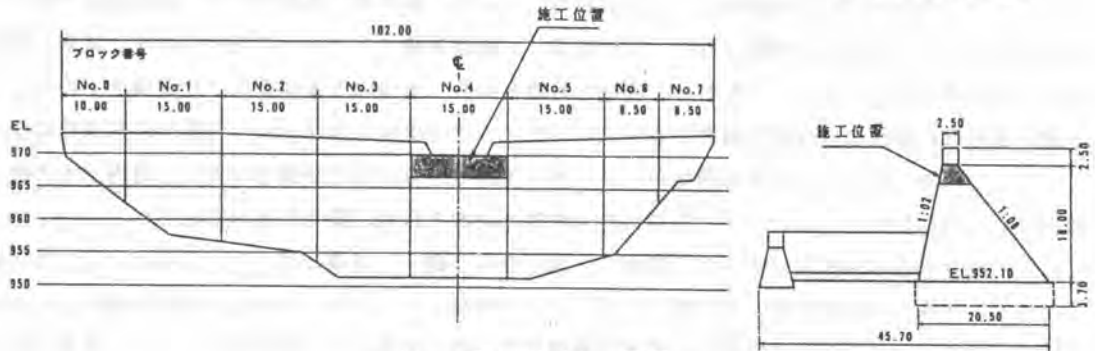


図-4 西の沢ダム一般図

##### 4-2 施工結果

自動型枠による施工結果の主なものを次に述べる。

- (1) 施工精度は型枠据え付け誤差および仕上がり誤差の各測定結果より $\pm 10$  mm以内に収まっていることが確認され、実用上十分な施工精度が確保された。
- (2) 操作性は面板セット時の微調整作業を除き一連の動作が自動連動方式になり熟練を必要としなくなった。また、操作は堤体上から遠隔操作により行なえるため極めて安全である。
- (3) 型枠の上昇は他の揚重機を必要とせず内装する上昇装置により自昇でき、必要な作業員は従来型枠の4～5人に対し2人で行なう事ができ、作業時間も約15分と極めて短時間で、容易に行なえることが分かった。
- (4) 装置全体は面板、左フレーム、右フレーム、中央フレーム、上部フレーム、下部フレームの6ピースに分割されており、4.5Tクラスのトラッククレーンを使用して容易に現場組立て、解体ができた。
- (5) 堤体壁面への据え付けは20Tクラスのトラッククレーンを使用して、あらかじめ埋設した6ヶ所のアンカーヘッドにロック装置を堤体上からリモートコントロールボックスを操作し、締結させることにより、容易に行なえた。

#### 5. あとがき

以上の様に、1986年3月より開発してきたダム用自動型枠は西の沢ダムにおける2度の施工実績により施工精度、操作性、安全性、作業性等の面でほぼ実用機のレベルに達している事が確認された。今後はさらに安全性、経済性、品質の向上を目指して改善、改良を加えて行かねばならないと考えている。最後に、この開発にあたりご協力を賜った関係各位の方々に厚く感謝の意を表します。

## 50. 水中歩行型作業ロボット

五洋建設(株)：近藤 敏夫

### 1-1. まえがき

昨今の港湾工事は大型化、沖合化が進み、大水深化の傾向にあり、外海の高象も悪化することと合わせて、施工条件は次第に困難になってきている。一方、東京湾に代表される、臨海周辺の種々の再開発計画でも、施工法が複雑になり、安全施工、大量急速施工、という要求と合わせ、従来工法では施工が困難な場合が多い。とりわけ、海底を対象とする、海中の土木作業は、作業場所そのものが人間が通常は近寄れない危険な場所であり、それをとりまく環境も海洋という苛酷な作業条件になっている。この為、陸上の土木建設機械が、メーカー主導でメカトロ化が進む一方で、港湾土木の建設機械は立ち後れが目立っていたが、次第に施工者側の主導で研究、開発が進められている。

以下に紹介する水中作業ロボット2機種、「捨石ならし機」、浚渫ロボット「ふたば」は、五洋建設が各々、(株)小松製作所、東京電力(株)と共同開発したもので、いずれも海底8脚歩行式の本格的な重作業ロボットである。これらは高象の影響を受け難い海底から一捨石ならし機、一浚渫機をリモートコントロールのロボットが無人で行うものである。以下、2機種について記す。

### 1-2. 「捨石ならし機」の概要

防波堤、護岸の直立部は、通常コンクリートケーソンを据えて造る。このケーソンの据え付け面(ケーソンマウンド)は30~200Kgの石材を海上からガット船で投入し、この上面が平らになるように「捨石ならし」を行う。この捨石ならしは、従来、潜水士が海底で捨石を1個ずつ手作業で敷き並べる「潜水士工法」が主流になっている。この工法は人間が石の大きさ、方向を1個ずつ判断し、置きかえる為、きめ細かい施工が出来る利点がある。その一方、この工法には、潜水事故、潜水士の高齢化、人員不足、及び作業量の限界等の問題があり、機械化施工が要望されていた。

「捨石ならし機」は昭和57年に完成し、すでに約28,000㎡の実績がある。本機の施工の概要は、ガット船からの投入後の捨石の上に本機を吊り下し、本機が水平を保ちながら、8本の脚で前後左右に自動歩行し、任意の箇所では熊手状のレーキで捨石の凹凸をならし、その後ローラ転圧する。これらの操作はすべて、海上の支援台船上のコントロールハウスからワンマンコントロールされる。

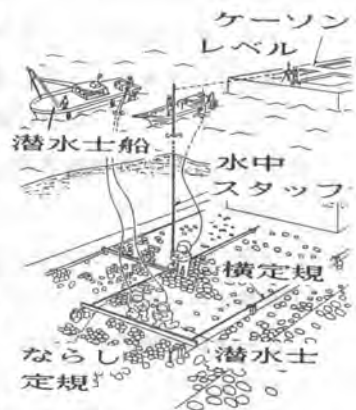


図-1 捨石潜水士ならし図

### 1-3. 「捨石ならし機」の機器構成

本機は本体脚フレーム、移動脚フレーム、ならし台車で構成されている。本体脚フレームには本体





写真-1 「捨石ならし機」全景

ラ転圧はローラを下げたて台車を前送りする。これらの歩行、ならし動作は、給電ケーブルで供給される電力により、水中電動モータで油圧ポンプを駆動し、この油圧で各シリンダを伸縮させることにより行う。システムとして、この本機の他に、海上の支援台船上にコントロールハウス、発電機等があり、支援台船と「ならし機」は1本の給電ケーブルで結がっている。またこの他に、位置出し用にレーザ測位儀と、レベルを陸上におく。

脚4本、油圧ユニット、信号伝送ボックス等が搭載されている。移動脚フレームには歩行用の移動脚が4本あり、この2つのフレームは前後進用のシリンダ2本、左右進用シリンダ2本でつながっている。本体脚フレームの中には、ならし台車があり、この台車に直接海底の捨石の凹凸をならすレーキ、転圧するローラが装備されている。ならし台車は本体脚フレームの前部にある牽引ウインチでワイヤーを介して前後に往復する。

レーキ均しはレーキを下に下げて前送りし、ロー

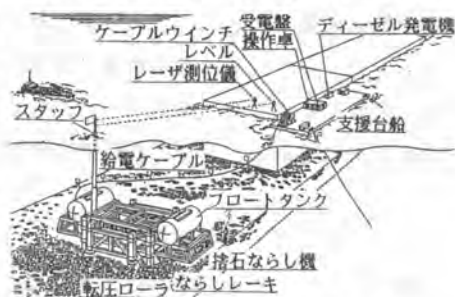


図-3 捨石ならし施工図

#### 1-4. 「捨石ならし機」の制御

激しい起伏のある海底で安全に歩行し、この凹凸を水平にならすには、本体を常に水平に保つ必要がある。これらの制御は、操作室からの指令にもとずき、ストロークセンサ、油圧計、傾斜計、の信号を取りこんで、操作室、ロボットの2台のコンピュータでシーケンス制御される。各油圧シリンダはコンピュータからの制御信号で動作するバルブからの油圧でシステム的に駆動される。

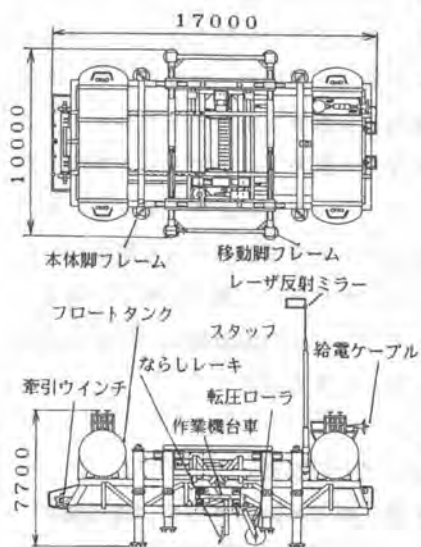


図-4 捨石ならし機外形図

#### 1-5. 「捨石ならし機」の特徴

本機は8脚步行の利点を生かし、通常のキャタピラ（履帯）で歩行できないような海底の凹凸の上を本体の水平を保ちながら、安全に歩行し、ならし作業を行う。このシステムでは操作がすべて海上、陸上から安全にリモートコントロールされ、ロボットが海面の影響を受けない海底で精度の良い作業が可能で、作業量も殖やすことができる。また、レーザ測位、超音波測深儀を併用した記録装置により、施工管理も向上する。



## 1-6. 「捨石ならし機」の実績

現場名	住友金属和歌山	東京電力柏崎	東京電力富津	東京中防	九州電力苅北	中国電力三隅
施工時期	58年3月	58年8月	59年11月	60年9月	62年4月	63年5月
施工面積	1100㎡	10170㎡	3000㎡	8500㎡	900㎡	3000㎡
水深	-11.42m	-7.0m	-4.0m	-3.4m	-9.85m	-14.0m

### 2-1. 浚渫ロボット「ふたば」の概要

本ロボットは8脚海底歩行型の浚渫ロボットである。フロートタンクを母体とした本体フレームの4脚と、浚渫設備を搭載した移動フレームの4脚で歩行して、浚渫作業を行う。本機は光電力ケーブルで、陸上の遠隔操作室からリモートコントロールされる。水中重量の調節や、海底地盤状態（高低、硬軟）に応じた、歩行モードの変更機能があり、多様な海底状況に対応し、安全で経済的な浚渫作業を行う。

### 2-2. 「ふたば」の機器構成

本機を中心とするシステムは、遠隔操作室、レーザ式自動位置だし装置、中継ポンプ、海上-陸上パイプライン、光電力ケーブルに大別される。本体脚で自立し、移動フレーム上のラダーを油圧シリンダでスイングして浚渫する。ラダー先にはディスクカッターを装備しており、4台の測深器で浚渫前後の地盤を検知しながら作業を行い、後進浚渫も可能である。本機の位置と深さは、レーザ式自動位置だし装置と、本体上の水深計で検知する。これらの情報は本体上のジャイロコンパスの方位信号、脚長、脚荷重等の信号と合せて、遠隔操作室内の監視用CRTにグラフィック表示される。操作室にはこの他に、制御用、位置だし用、浚渫支援用の3台のCRTがあり、各々（ロボットへの歩行速度、脚踏替荷重等の指令の入力表示）（ロボットの港湾内位置のグラフィック表示）（カッターの4台の測深器の信号をコンピュータ処理した浚渫断面のグラフィック表示及び土量表示）等、浚渫作業全般にわたる支援システムを構成している。レーザ式自動位置だし装置は無人でロボットのポール上のミラーを自動追尾し、位置を測量し操作室にそのデータを送る。

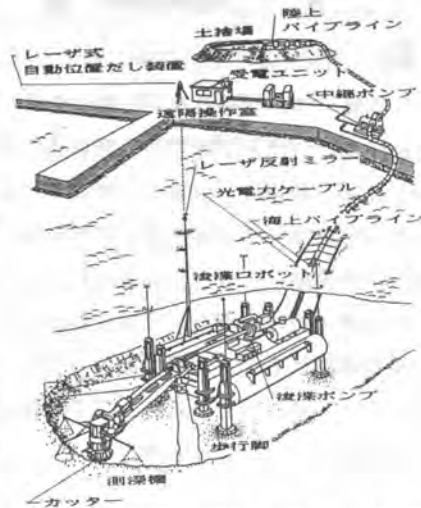


図-5 浚渫ロボット施工図



写真-2 浚渫ロボット「ふたば」全景

### 2-3. 「ふたば」の制御

図-7に制御、監視系統図を示す。遠隔操作、監視を目的とし、ロボットの制御は機能的に「自動歩行システム」「浚渫運転支援システム」「遠

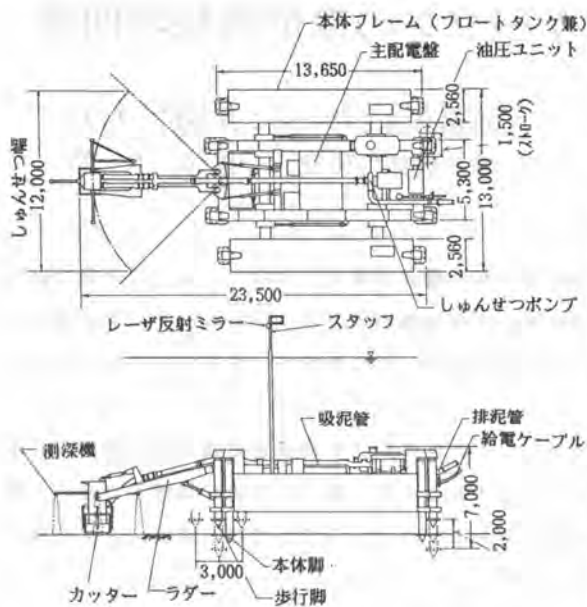


図-6 浅瀬ロボット「ふたば」外形図

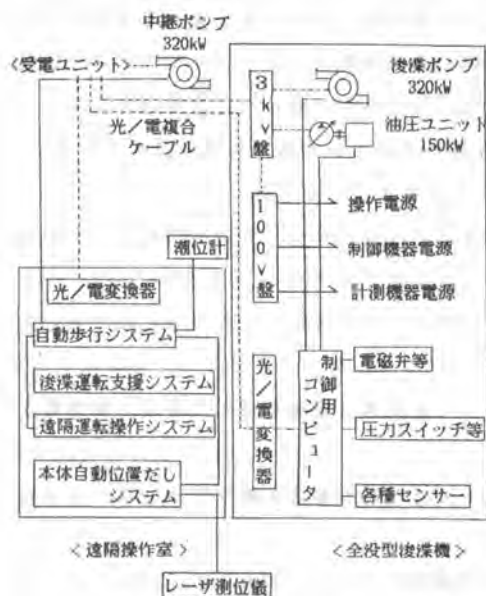


図-7 制御・監視系統図

発、製作は必要不可欠となる。また、工事そのものが一連の組合せ工法で成り立っている為、一部分の機械化施工についても他分野との関係を無視できない。出来形の管理基準の見直しについても、施工主、施工業者の両者が共同で施工システム全体を考えながら、積極的に取り組む事が必要であろう。

隔運転操作システム」「本体自動位置だしシステム」から構成されている。これらシステム用に、4台のCRTの他に操作室に遠隔制御盤、制御コンピュータが設けられている。ロボット上のセンサー信号は、光ケーブルを通り、コンピュータを介してCRT表示される。キーボードからの指令による、コンピュータの自動歩行等の出力は、光ケーブルを通り、本体上のアクチュエータを駆動し、油圧で各シリンダを順番に伸縮させる。

#### 2-4. 「ふたば」の特徴、実績

本ロボットは、ポンプ船等、海面浮遊型作業船に較べ、海象の影響を受け難く、通常、作業船が有義波高 0.5~0.7m の稼働限界に対し、本機は水深 6.5m で、最大波高 2.8m

まで作業可能で、稼働率が大幅に向上する。また本機は遠隔制御に前述の4システムを採用しており、オペレータは操作盤の他に、CRTで多様な情報を得ることが出来る。この為、オペレータが熟練を必要としないで、システムをワンマンコントロールできる。施工精度も本機が海底に自立し、作業中本体傾斜を自動で  $\pm 0.2$ 度以内に制御し、測深機でモニタしながら浅瀬するので高い仕上精度が得られる。また、バラストタンクにより浮上曳航も可能である。本機は昭和63年 2月、現場において歩行、浅瀬の実証試験を行い、計画能力の確認を行った。  
 〈揚土能力 運転時当り 76 m<sup>3</sup>/h (シルト)〉

#### 3. あとがき

海底8脚歩行式作業機は従来機種の範囲を踏み出して、実績を重ね、次第に認知されてきている。港湾土木工事の機械化施工は、その稼働環境が極端に劣悪で苛酷であり、厳しい使用状況に耐える、信頼性の高い機器の開

# 51. 大型ニューマチックケーソンの掘削機械の開発

首都高速道路公団：長谷川 和夫  
建設機械化研究所：横沢 圭一郎

## 1. まえがき

近年、渡海部や航路横断部等で大規模な橋梁が建設される機会が増えており、これらの橋梁では大規模な基礎が必要になっている。また、これらの地域では軟弱層が地中深く分布し、その下に硬い支持層が現われる場合があり、このような条件下での基礎構築のための掘削は、従来の施工法では著しく困難となる。

そのため、本研究では、大深度・大規模ケーソンとして計画中の「東京港連絡橋のアンカレッジ基礎」をモデルとしてとり上げ、従来の工法を機械化することにより、厳しい制約を克服するという観点から、①新しい掘削工法の考案、②実用化の可能性のあるものについての設計・試作、③試作機による掘削実験を実施した。

この報文は、それらの結果の概要を示すものである。

## 2. 新しいケーソン掘削システムの考案

(1) 開発の必要性；東京港連絡橋のアンカレッジ基礎は、平面寸法70m×45m、高さ49.5mの超大型ニューマチックケーソンで計画されている。基礎の支持地盤はTP-38m付近から出現する土丹層(一軸圧縮強度30kgf/cm<sup>2</sup>程度の団結シルト)になるが、傾斜が厳しく、吊橋のアンカーとして約30,000tにもおよび水平力がかかるため、支持層にケーソンを約8m貫入させる必要があり、高圧下において約25,000m<sup>3</sup>もの土丹層を掘削しなければならない。

しかし、これまでのケーソン工事においては土丹層の大量掘削の例はなく、専用掘削機といったものもないのが現状である。現在の土丹掘削の手段としては、ハンドブレーカ(人力施工)、小型バケットを装着した函内掘削機、函内掘削機のバケットの代わりにブレーカを装置したものなどの方法があるが、いずれの方法も能率は低い。

以上のことから、土丹層を効率良く掘削するためには、土丹掘削専用機能を備えた新しい掘削機を検討、開発する必要があると考えられた。

(2) 開発上の基本事項；新しいケーソン掘削機を開発する上での基本事項を整理すると次の7項目になる。

① 掘削機はケーソンの刃口下掘削用とそれ以外の一般部掘削用とに分けて考える。このうち、前者についてはケーソンの1回当り沈下ストローク(15～20cm)に合わせ、できる限り薄層掘削が可能ないようにする。後者についてはその制約はないので能率向上を第一に考える。

② 上記掘削機と組合せる積込み、集土、排土機械の能力を照査し、全体システムとしてバランスのとれたものとする。

③ 掘削対象岩盤は一軸圧縮強度30kgf/cm<sup>2</sup>程度の土丹とする。

④ 掘削面の深度は水面下50mとする。

⑤ 圃内での高圧下作業を極力少なくするため、カプセル内からの遠隔操作あるいは自動化を組込んだ運転システムとする。

⑥ 各機械の遠隔操作あるいは自動運転の場合の位置検出を容易にし、かつ確実に行うため、天井レール走行型を基本に計画する。

⑦ 本工事に採用することを考えると、開発の工期が約1年程度でかなり制限を受けるので、現有機械を極力活用すること、あるいは現状の延長線上で実用化の見通しの強いものを主体に検討する。

(3) 新しいケーソン掘削システム；上記の基本事項を考慮のうえ新しいケーソン掘削システムを検討した結果、図-1に示すシステムを最適案として選択した。この場合の土丹掘削の各作業は図-2に示す各機械を使用して行われることになる。この

うち今回開発した機械の概要は次のとおりである。

### 3. 開発機械の概要

(1) 刃口下掘削用ジブカッタ(図-3, 表-1参照)

炭鉱での採炭における薄層掘削機にヒントを得てケーソン工事用向きに設計した新機種。林業で使用されるチェーンソーの大型機のようなもので、ケーソン刃口下を薄く、連続的にまた抜き掘り式に掘削できる機能を持ち、ケーソン沈下の微妙な制御にも対応できるように考えてある。機械本体はケーソン刃口内側に取付けたガイドレールを基に走行し、カッタ部は、伸縮、旋回、俯仰の各機能を適宜組合せることによって、ケーソン刃口の直線部、コーナー部ともすべての範囲の掘削ができる。運転は手動と自動が可能である。

(2) 一般部掘削用ツインヘッド(図-4, 表-2参照)；ツインヘッドは、軟岩用トンネル掘削機として多くの実績を誇るロードヘッドの技術を応用して開発されたバックホウに搭載可能な多目的に使用できる油圧式回転切削機である。明り工事では宅地造成、法面仕上げ、鉄塔基礎掘削等に使用されている。今回のニューマチックケーソンでは、土丹層を掘削するとき、従来のケーソンショベルでは掘削能力不足が懸念されるので、ショベルのバケットをツインヘッドに取替えて使用する。掘削作業はツインヘッドの回転部を必要量土丹に押し込み、ブームの伸縮あるいは旋回を利用して行う。ショベル本体は、現有機にカプセル内から遠隔操作ができる天井レール走行式の機種があるので、それを選定し、自動運転も可能なように制御装置等を付加した。

(3) その他；上記2種の掘削機と組合せる上で、後続の機械についても次の工夫をしている。①ケーソンショベルに装置するバケットは、ジブカッタあるいはツインヘッドでほぐした土丹を取扱うことになるので、通常より大き目の0.25<sup>3</sup>バケットとした。②ケーソンの平面寸法が大きいため、ずりの集土方法および排土バケットとの連携が鍵になる。そのため、移動式の間コンベアを設置し、排土バケットの帰りを待ち、溜め置きした土丹を一気に積込む方法とした。運転は排土バケットの帰りと連動させ自動運転するようにした。



図-2 土丹掘削時の使用機械

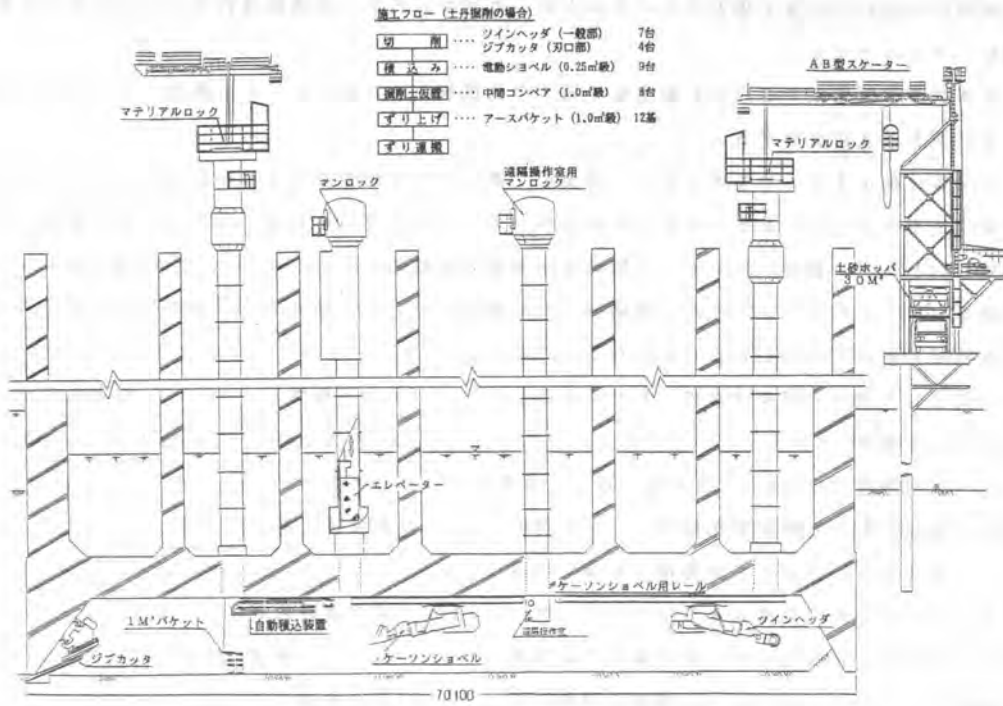


図-1 ケーソン筒内掘削システム

表-1 ジブカッタの主要諸元

油圧	電動機	22kw
圧	電圧 × 周波数	200v × 50Hz
ット	油 圧	170kgf/cm <sup>2</sup> (切削用)
ト	機 作	電機弁
切	駆 動 方 法	油圧駆動
削	チェーンスピード	約60m/min
	伸縮ストローク	750mm
部	旋 回 角 度	180° (±50°)
走	走 行 駆 動	ラック
行	走 行 速 度	1~2m/min
部	駆 動 方 式	油圧駆動
	電 量	約4500kWh

表-2 ショベル及びツインヘッダの主要諸元

シ	バケット容量	0.25m <sup>3</sup>
ョ	電 動 機	15kw × 4p
ベ	常 用 油 圧	175kgf/cm <sup>2</sup>
ル	旋 回 速 度	5/6rpm, 50/60Hz
	走 行 速 度	25/30m/min, 50/60Hz
	電 量	2,900kg
	電 動 機	15kw × 4p
ツ	駆動油圧・油量	175kgf/cm <sup>2</sup> ・45ℓ/min
ヘ	ド ラ ム 径 × 幅	555mm × 896mm
ッ	回 転 数 × トルク	30rpm × 340kg・m
ダ	電 量	550kg

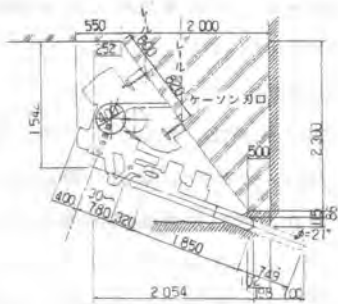


図-3 ケーソン刃口下掘削用「ジブカッタ」  
(新規開発機械)

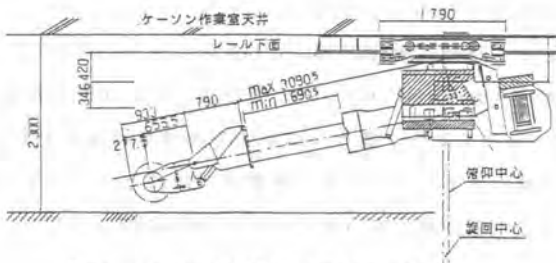


図-4 ケーソン一般部掘削用「ツインヘッダ」  
(既存の筒内ショベルのバケットの代わりに取付ける)

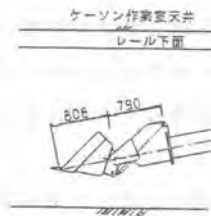


図-5 掘削土積込用「筒内ショベル」



#### 4. 実用化試験の結果

前記したケーソン掘削機械を試作あるいは現有機械を一部改造し、各機械の実用化試験を実施した。試験は、本工事と同じ寸法のケーソン作業室の一部を製作し、各掘削機械で土丹と類似した模擬地盤を掘削することによって、運転制御方法の確認、掘削性能の調査、全体システムとしての機能および能力面の照査、無人運転の可能性の追及等を行ったものである。ここではその中から掘削性能の調査結果を述べる。

(1) ジブカッタの掘削性能；試験結果より下記のことが判明した。

① 最適切削速度は、走行切削および伸ばし切削とも  $1\text{ m/min}$  が妥当であり、ケーソン刃口下全域の薄層掘削が可能である。

② 自動運転により最適切削速度で掘削を行った結果、問題なく試行できる。

③ 隅角部の切削を手動運転で行い、機械の最適な動作を把握できたので、今後はカッタに俯仰機能を付加することにより、自動運転も可能である。

(2) ツインヘッドの掘削性能

① 走行、ブーム伸縮、ブーム旋回による切削試験を行った結果、旋回切削が一番能率的である。

② 旋回切削の基本動作としては、旋回と静止を組み合わせたインチング操作を行い、一往復旋回して所定の深さを切削した後に本体を移動させ同一動作を繰り返す方法が最適である。

③ 自動運転の旋回切削において、最大能力約  $1\text{ m}^3/\text{hr}$  が発揮された。このときの各動作の設定値は、切削深さ約  $25\text{ cm}$  (1回目  $15\text{ cm}$  , 2回目  $10\text{ cm}$ ) , 切込み幅  $40\text{ cm}$  , 1動作当りの旋回角度  $3$  度、静止時間  $1.5$  秒である。

④ 手動、遠隔、自動運転の各切削能力を比較すると、手動と自動運転がほぼ同じで、遠隔が若干低いという結果であった。

(3) ケーソンショベルの積込み性能

① ずりの堆積厚さを  $20\sim 40\text{ cm}$  に変化させて積込むと、ずりが厚いほど積込み能力は向上する。

②  $0.25\text{ m}^3$  バケットのバケット係数は、手動、遠隔、自動のどの操作方法でもずりの厚さ  $40\text{ cm}$  の時約  $1.0$  で最大となる。

③ 積込み能力は、手動と遠隔操作がほぼ同じで、自動運転はその約  $60\%$  の能力であった。

#### 5. あとがき

超大型ニューマチックケーソンの沈設にあたって出現する大量の土丹層を、より能率的に掘削する目的から考案された各掘削機は、上記の能力を持つことが実用化試験から確認され、これを東京港連絡橋下部工の本工事用として考えると、前掲図-2に示すシステムとしての能力はケーソン沈下量にして  $18\text{ cm/日}$  程度(21時間稼働の場合)になる。

これらの値は、実際の工事においては試験時とは掘削地盤の性状や作業環境等が異なるため若干の変動はあると思われるが、各掘削機とも土丹程度の強度(一軸圧縮強度  $30\text{ kgf/cm}^2$ )であれば十分掘削可能であり、運転の自動化についての見通しも得たことから本工事の適応性は十分あるものと確信している。今後は、より使い勝手のよい機械とするために若干の改良として本工事まで万全を期するつもりである。最後に、本研究を進める過程でご指導を戴いた各位に謝意を表わしこの報告を終る。



## 52. 建築ロボットの開発

(株)竹中工務店：山田 弘道

### 1 はじめに

他産業に比較して、低生産性とその格差拡大に危機感を持った建設業が、生産性向上の手段として製造業で使われた産業（工業）用ロボットを、そのまま建設業に導入しても使いものにならないことは明白であった。なぜなら、建設業特有の制約条件である、イ.屋外での使用、ロ.振動・衝撃・粉塵の多い作業環境下での使用、ハ.大型大重量物のハンドリング、ニ.広範囲をカバーすべく移動機能（又は、リーチを大きく）が必要、ホ.取扱う部品の材質・寸法形状・重量が多種多様である、などに適したロボットが見当らなかつたからである。

また、このような制約条件下では技術的に困難な課題が多過ぎるためか、産業用ロボットの製造に追われ過ぎていたためか、ロボットメーカーは建設業には目を向けなかつた。そこで、建設各社はこぞって独自開発、あるいは建機メーカーとの共同開発を目指した。その結果、昭和56～57年頃より建設用ロボットと呼ばれるものが世に出始めた。竹中工務店においても独自又は、共同開発によって各種建築用ロボットを開発して来た。本稿では、これらのロボットの实用化に主眼を置いた報告をする。

### 2 竹中の建築用ロボット

竹中工務店における建築用ロボット開発経過は図-1に示す如くである。

建築の躯体工事、特に、コンクリート工事を対象に選び力を入れて来たことがわかる。鉄筋工事では、原子力建屋用の太径鉄筋を対象としており、一般のビル建築に使われる鉄筋については手をつけていない。仕上げ工事に関連するものとしては、外壁の塗装や、タイルの剥離検査、リフレッシュ用の塗膜剥離など、外壁に関係するものが多い。又、仕上材や、仮設材の垂直揚手手段であった建設用リフトの周辺技術を整備し、資材の積込みから、使用階での所定位置までの分配を自動化させたシステムをも、ロボットの範疇に入れさせてもらって以下に説明する。

#### 2-1 コンクリート工事用ロボット

建築工事で最も重要かつ、過酷作業の一つであるコンクリート工事の生産効率を高める手段として機械化・ロボット化を推進して来た。

コンクリート工事には、大別して、生コンクリートの打設分配、床均し、養生、(直)仕上げの作業があり、打設分配用としてディストリビュータを、(直)仕上げ用としては"サーフロボ"を実用化させてきた。他の作業についても検討中である。

	s55	56	57	58	59	60	61	62	63	
コンクリート	エグゼット水平ディストリビュータ		ディストリビュータの自動運転							
	エグゼット床仕上げ分(9-10分)									
	コンディンスクレール		養生の自動化		エグゼット均しロボット					
鉄筋	鉄筋組立てロボット									
	鉄筋加工ライン									
外壁	外壁調査ロボット									
						外壁塗装ロボット 外壁剥離ロボット				
搬送						資材搬送の自動化				

図-1 建築ロボット開発経過

## A. コンクリートディストリビュータ

2通りのタイプがある。1つは水平方向にアームが曲がる水平ディストリビュータ（写真-1）であり、もう1つは垂直方向にアームが曲がるタイプで、クレーン機能を併せ持ったコンディスクレーン2020（写真-2）である。

水平タイプは上階の梁などに影響を受けずに作業ができるので、S造やSRC造の建物に適應できる。開発当初の操作方法は、手動レバー方式で6個所の関節を直接操作する方式を採っていたが、最近ではCPU搭載により自動障害物回避システムや、全関節を1本レバーで操作できるシステムを採用し、より使い易いロボットに育てている。

垂直タイプは、打設階の上部に梁などがあると筒先の振廻しに障害となるので、RC造や積層工法の建築物に適しているタイプである。運動機能としては、垂直方向に曲がる3関節ブームと旋回用の4自由度の操縦型ロボットである。本機も、開発当初は手動操作方式であったが、最近では、筒先の垂直・水平移動をスムーズな運動とさせる自動コントロール方式が採用されている。

以上のディストリビュータは、一般的にはレベルが低いとされている操縦型ロボットであるが、現状のコンクリート打設作業のように、ロボットへの情報が不安定で変動が大きい場合は人間の判断や操作を加えられるこのロボットの様な方式が、より現実的かつ効果的である。

2種のコンクリートディストリビュータは、40弱の作業所で約20万 $m^3$ 以上の生コン打設を行ない、図-2に示す省人効果や、能率向上の効果を上げている。ただし、コストダウンについては、現状の下請制や、作業の発注形態等技術以外の点で難しい問題もあり、全ての作業所で効果を出せるとは限らない。又、配筋の乱れ防止など品質向上や施工管理のし易さなどでも若干の効果が出ている。

## B. コンクリート直仕上げ機"サーフロボ"

昭和61年12月に発表した"サーフロボ"（写真-3）は、共同開発会社である（株）三和機材が、建機の販売・リースを行っている伊藤忠建機（株）と販売契約を締結（62年夏）したことにより、10数台のサーフロボが各地で活躍するまでに育っている。

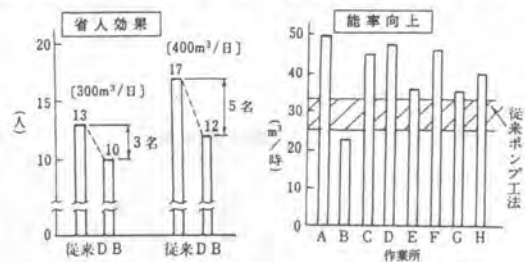


図-2 ディストリビュータによる効果



写真-1 コンクリート水平ディストリビュータ



写真-2 コンディスクレーン2020

この間の実績は、試験施工も含めると西日本地区で15万m<sup>2</sup>、東日本地区で6.5万m<sup>2</sup>、計21.5万m<sup>2</sup>にのぼり、現場数では、当社分38現場、他社も含めると約50現場で稼働したことになる(63年7月現在)。これまでに、広がった理由としては、開発者グループの改善活動とユーザーである左官業、特に関西の"桑地建塗"、関東の"サンキ"のコンクリート床の直仕上げ作業の効率化に対する熱意があった為と思われる。

効果の1つとして当社P作業所(神戸)の工期短縮の例を図-3に示す。

## 2-2 鉄筋工事用ロボット

原子力建屋の鉄筋工事用として、現場内でD-38の鉄筋を一本一本配筋する鉄筋組立ロボット(写真-4)と、同じD-38鉄筋を籠状にユニット化(プレハブ鉄筋の一種)する鉄筋ユニット自動加工ラインを昭和60年に開発し、K作業所に適用した。

鉄筋組立ロボットは、建築用ロボットとしては比較的高度なロボット技術を採用しているが、可搬重量300kg、最大作業半径13m、揚程15mの性能を確保し、位置決め精度を5cm以内に納める為には、本体重量が約20ton(含4ケのバラスト)にもなり、移設性に問題があり実用化までにはいたらなかった。ただし、重量鉄筋のプレハブ化用として活用性を検討中である。

鉄筋ユニット自動加工ラインでは、K作業所における全鉄筋量の20%(約10,000ton)の加工を行ない、鉄筋工事の労務工数低減に効果を上げた。

図-3  
サーフロボ  
による効果

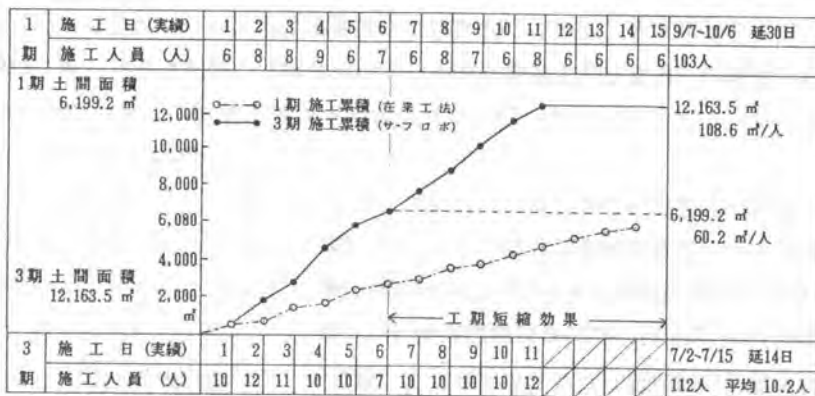


写真-3 コンクリート直仕上げ機  
"サーフロボ"



写真-4 鉄筋組立ロボット



写真-5  
外壁タイル剝離  
調査ロボット

### 2-3 仕上げ工事用ロボット

外壁タイルの剝離調査ロボット(写真-5)は、昭和58年に完成し、昭和59年の建設省技術評価を得たものである。以来20数件の実績を上げているが調査後の分析用専門家が十分に育っていないこともあって、全社的展開までできていないのは残念である。

外壁の塗装ロボットは、塗料の吹付部とガイドレール(リーダ)方式については完成したが、ゴンドラ方式を検討中で、本格的な施工実績はない。

外壁塗膜剝離ロボット"ジェットスクレーバ"(写真-6)は本年5月に完成したもので、今後増大する建物のリフレッシュ工事に威力を発揮するものと期待している。

### 2-4 資材揚重運搬の自動化

大型リフトへの積込み、積降し作業を自動化させた2方式の揚重運搬システムを62年度に開発し、東京・大阪の代表的作業所にて稼働させた。その結果、揚重専従員の削減、揚重時間の低減等の効果を得た。詳細は別掲にゆずる。

### 2-5 その他のロボット

施工関連以外のロボットとして、当社が最近発表したものに、書類や郵便物を各個人のデスク等に搬送・集配するオフィス用小型ロボット"Be-e-T"とクリーンルーム計測ロボット"SMART"がある。

## 3 あとがき

建築ロボットとして公表されたものは30数種、製造台数は100台以上と推察されるが、実用化までなされた例は少ない。その中でも当社の場合は実績を上げた物件を多くもっていると自負しているが、充分とはいえない。品質向上、労働負荷の低減、作業環境の改善、安全性の向上といった目標(ねらい)を達成したとしても、実際にコストダウンに繋がらないと、実用化には結びつかない。また、自動化レベルを高めたロボットを開発しても、ユーザーであるサブコンに充分使えるものにしておかなければ普及はしない。さらに、ロボット化施工を容易にさせる建築生産システムの確立も大切である。以上の点に留意しながら、今後も建築の機械化施工(自動化、ロボット化)を推進させていきたいと考えている。



写真-6 外壁塗膜剝離ロボット  
"ジェットスクレーバ"

#### 参考文献

- 1) 「第1回建築施工ロボットシンポジウム論文集」1987年 日本建築学会材料施工委員会
- 2) 「第2回建築施工ロボットシンポジウム論文集」1988年 日本建築学会材料施工委員会
- 3) 建築の技術「施工」1988 no.271 (5月号) 彰国社
- 4) 「建設の機械化」1988 6月号 日本建設機械化協会
- 5) 「最先端の産業用ロボット」 p123-131 技術調査会

## 53. 砂の脱水機の開発

大成建設(株)：会田 精一・荒井 厚俊

(株)北川鉄工所：白木 久・永久 利夫

### 1. まえがき

コンクリートの素材である砂の表面水を安定した一定の値に調整することは、コンクリートの品質管理上重要な課題である。今回、大成建設(株)と(株)北川鉄工所は共同で遠心力により砂の表面水率を安定化できるバッチ型の砂の脱水機(商品名・サンドスタビライザー)の開発に成功した。本機は、砂の表面水率の安定化はもとより、海砂の除塩、砂の冷却等の多目的に使用できることが実用実験により確認できたので、その概要を報告する。

### 2. サンドスタビライザーの構造及び機能

サンドスタビライザーの構造、外形を、図-1、図-2に示す。

#### 2-1. 砂の表面水率の調整

ドラムを低速で回転させながら、砂をドラム内に投入しスクレーパーにより均等にする。次にドラムの回転数を上昇させ、遠心力により水分をふり切ることにより、ドラム内の砂は表面水率の低く安定した砂となる。次にドラムの回転数を低速に落して傾胴し、スクレーパーにより砂を掻き取り排出する。

#### 2-2. 海砂の除塩

表面水率の調整と同様に、海砂をドラム内に投入する。次に必要量の洗滌水(清水)を、ドラム中央に取りつけられた散水ノズル(図-1参照)より散水し、海砂の表面に付着している塩分を溶解し希釈する。次にドラムの回転数を上昇させ、遠心力により塩分を含んだ洗滌水を砂の粒子間から分離させ、ドラム内面のフィルターの網目を通してドラム外に排出し、ドラム内の砂を塩分濃度の低い表面水率の安定した砂にする。次にドラムの回転数を低速に落して傾胴し、スクレーパーにより砂を掻き取り排出する。

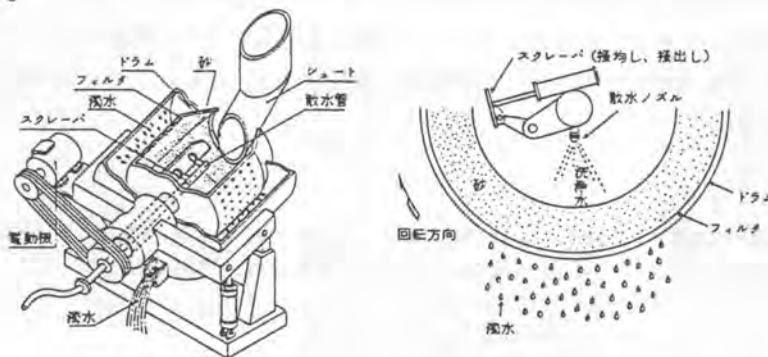


図-1 構造図



●寸法表

型式	処理容量 M <sup>3</sup> /B	動 刀		寸 法							本体重量 TON
		rw	V	A	B	Dφ	H	W	X	Z	
SS-08	0.8	75	220	1100	2500	1380	2800	2700	3571	3170	9
SS-16	1.6	185	440	1500	3400	1660	3480	3400	4343	4130	16

## 2-3. 砂の冷却

洗滌水に替えて冷却水を用い、これを散水することにより砂を冷却する。

## 3. 実験の方法

### 3-1. 表面水率の調整及び海砂の除塩の場合

#### 3-1-1. 実験用サンドスタビライザー仕様

型式 SS-16 (図-2参照) 遠心効果 0~240G (0~510r.p.m.)

#### 3-1-2. 実験使用砂

表-1に示す3種類の砂を使用した。

#### 3-1-3. 実験方法

一回の実験で処理する砂の量は、すべて1.6 m<sup>3</sup>になるように計算してサンドスタビライザーに入れた。また、散水量は処理前の砂の含水率を測定して、砂の絶乾重量に対して所定の散水量になる

ように補正し、その散水量を1~3回に分けて散水した。(例えば散水率30%, 散水回数3回とは、10%の散水量を3回散水することである。)

#### 3-1-4. 実験項目

##### 3-1-4-1. 表面水率の安定性能の確認

遠心効果を一定にし散水率および散水回数を変えた場合の砂の表面水率を測定し、3種類の砂で表面水率の安定性を比較する。

##### 3-1-4-2. 砂の除塩性能の確認

遠心効果を一定にし散水率および散水回数を変えた場合の砂の塩分濃度を測定し、3種類の砂について除塩性能を比較する。

##### 3-1-4-3. その他

砂の処理前後の物理的性質を測定し変化を調べる。また、排水のSS濃度および流出泥分を調べる。

### 3-2. 砂の冷却性能の確認 (中間報告)

#### 3-2-1. 実験用サンドスタビライザー仕様

型式 SS-08 (図-2参照) 遠心効果 0~180G (0~485r.p.m.)

#### 3-2-2. チリングユニット仕様

型式 ターボチラー HTD, 能力 225000Kcal/h, モーター出力 75KW

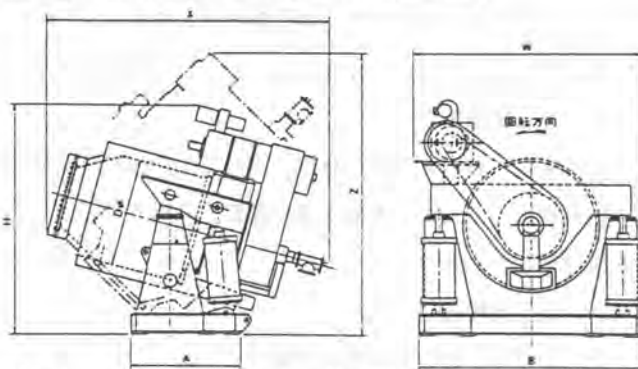


図-2 外形図

産 地	物理的性質					塩分濃度 (Nacl%)
	比重	吸水率 (%)	相対率	単位容積重量 (t/m <sup>3</sup> )	透水係数 (cm/sec)	
丸亀産海砂	2.55	2.22	1.90	1.24	$3.8 \times 10^{-1}$	0.222~0.290 平均0.262
瀬戸田産海砂	2.53	2.27	2.59	1.37	$2.9 \times 10^{-1}$	0.370~0.505 平均0.430
長浜産海砂	2.60	2.35	2.33	1.39	$2.8 \times 10^{-1}$	0.249~0.311 平均0.269

表-1 実験使用砂



### 3-2-3. 実験使用砂

広島県 豊田郡 瀬戸田町 高根島沖産 海砂

粗粒率 2.80, 比重 2.51, 吸水率 2.22%

### 3-2-4. 実験方法

一回の実験で処理する砂の量は、すべて0.8 m<sup>3</sup>になるように計算してサンドスタビライザーに入れた。散水量については、表面水率の調整と同様である。(冷却用水にはチラーにより、3℃に冷却した水を使用した。)

### 3-2-5. 実験項目

#### 3-2-5-1. 砂の冷却性能の確認

遠心効果を一定にし散水率および散水回数を変えた場合の元砂の温度と冷却後の温度を比較する。温度の測定箇所については、ドラム内の測定場所を定め、体積計算による平均値により算出した。

#### 3-2-5-2. その他

砂の処理前後の物理的性質を測定し変化を調べる。また、排水の循環使用の可否を調べる。

## 4. 実験結果

### 4-1. 表面水率の安定性能

処理後の表面水率は、処理前の散水率の高低にかかわらず5~6%で安定している。

(図-3参照)

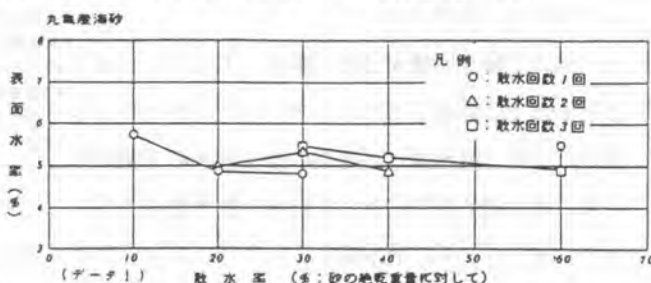


図-3 散水率と表面水率の関係

$$\text{散水率} = \frac{\text{散水量}}{\text{砂の絶乾重量}} \times 100 (\%)$$

$$\text{表面水率} = (\text{含水率} - \text{吸水率}) \times \frac{1}{1 + \frac{\text{吸水率}}{100}} (\%)$$

### 4-2. 除塩性能

砂の塩分濃度を0.02% (NaCl) に処理するならば

①丸亀産海砂は散水率30%, 散水回数1回もしくは散水率20%, 散水回数2回の処理でよい。(図-4参照)

②他の海砂については散水率30%, 散水回数2~3回の処理でよい。(データは紙面の都合上割愛)

・散水率が同一の場合は、散水回数が多い程処理後の塩分濃度が低くなる。

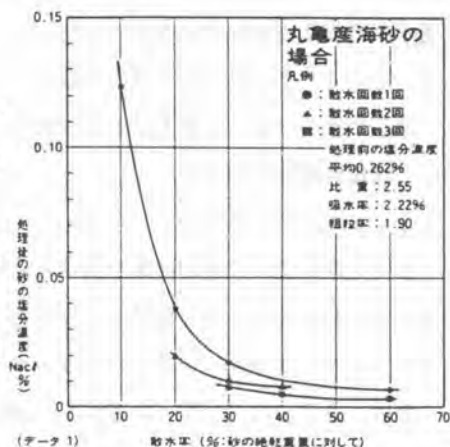


図-4 散水率と砂の塩分濃度との関係

#### 4-3. 処理後の砂の物理的性質（表面水率の安定、除塩 共通）

処理砂の比重，吸水率，および粗粒率は処理前に比べると殆ど変化はない。また，微粒分の流出も非常に少ない。

#### 4-4. 冷却性能

20%散水よりも，40%散水の方がよく冷却されている。しかし，40%散水と60%散水とでは顕著な冷却差は認められない。30℃の砂を8℃に冷却することは十分可能である。（図-5参照）

冷却用水を循環使用した場合，12～15バッチ程度でSS濃度は安定してきており，冷却用水の循環使用は問題ない。チラーの泥水使用についても，付着等の不具合は一切なく問題はない。

#### 4-5. 冷却処理後の砂の物理的性能

冷却処理後の砂の物理的性質は処理前と比べ変化していない。

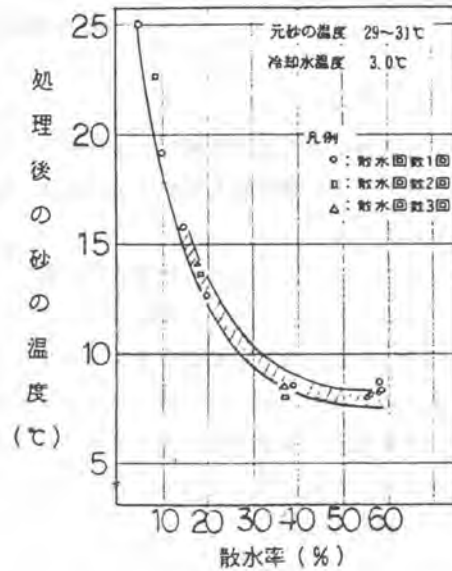


図-5 散水率と砂の温度との関係

### 5. 今後の展開

サンドスタビライザーの実用上のフローチャートを図-6に示す。砂の冷却，表面水率の調整を同時に行えば，マスコンクリート工事（ダム，大型橋脚等）の暑中コンクリートにおけるプレクーリングにも用途が拡がり，除塩も含めて多目的な活用が期待できる。

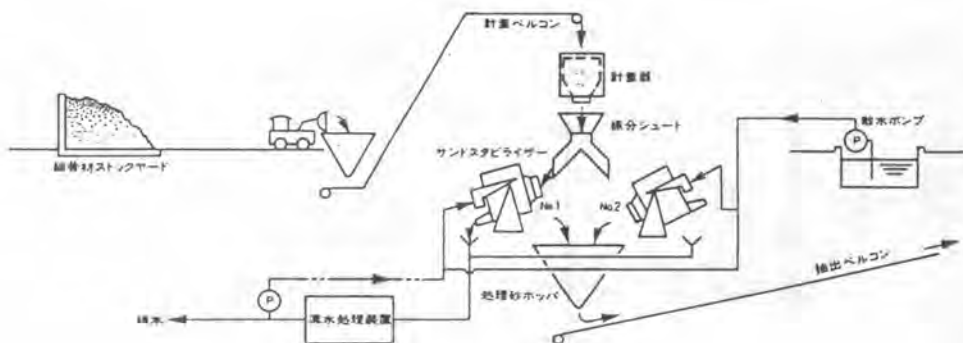


図-6 フローチャート

## 54. ハイドロカット工法による公団住宅の壁および床切断

(株)大林組： 重松 寧・栗原 雄二・早淵 敬太郎

### 1. まえがき

ハイドロカット工法は超高圧ウォータージェットに珪砂やガーネット等の研磨材を混合し、鉄筋コンクリート、岩、鋼材等を切断する工法で、通称、アブレイシブウォータージェット工法といわれているものである。

現在では、 $12\ell/\text{min}$ 程度の少量で、厚さ  $70\text{cm}$ のコンクリートの切断も可能となっている。鉄筋コンクリートのように材質の異なるものを1回のノズル移動で切断する場合は、厚さ、 $40\text{cm}$ ぐらいが実用の範囲と考える。

筆者らは、背面カバー、前面カバーで切断水の飛散を防ぎ、バキューム装置で排水を吸取ることにより、無振動、低騒音の施工ができるシステムを完成した。ここでは、住宅都市整備公団による賃貸集合住宅の大型化の推進にそったリフォーム工事にハイドロカット工法が採用されたので、その概要について紹介する。

### 2. 戸堺壁の切断（仙台宮城野団地）

#### 2-1. 工事概要

1階建の集合住宅で隣り合った2戸の2DK住宅（34戸）を4LDKの大型住宅（17戸）に改造するために通路としての壁を17ヶ処切断した。

#### 2-2. 壁切断仕様

切断寸法は図-1の通りである。これはエレベータに乗せて地上階に降すため運搬しやすい寸法とするため3分割にした。又、切断は①～⑧の順序で行い、切断し終わったコンクリートブロックは上から順番にハンドフォークリフトで降し、ハンドパレットトラックに乗せ、エレベータを使って地上階まで降し処分した。

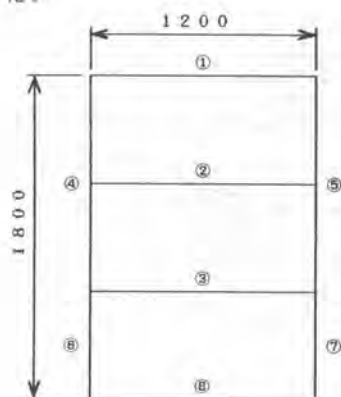


図-1 壁切断寸法図

#### 1ヶ所切断長さ

$$1.2 \times 4 + 1.8 \times 2 = 8.4 \text{ m}$$

・水圧	2000kg/cm <sup>2</sup>
・水量	11ℓ/min
・水ノズル径	φ0.7mm
・研磨材量	2.5kg/min
・平均切断スピード	6.3cm/min
・壁厚	150～200mm
・鉄筋	D-13mm 丸鋼22mm

### 2-3. 壁切断のシステムならびに機械・器具

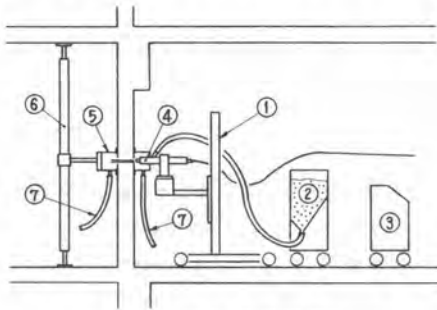


図-2 屋内使用機器

⑧ 超高圧ホース	耐圧 2.000kg/cm <sup>2</sup>
⑨ 遠隔操作ケーブル	26芯
⑩ バキュームホース	2"
⑪ 増圧機	75 kw
⑫ 給水ポンプ	2.2kw
⑬ エンジン掛発電機	150kVA
⑭ バキュームポンプ	7.5kw 3速
バキュームタンク	3 m <sup>3</sup>

① ノズル移動装置	送りスピード 20-300mm/min	80kg
② アブレイシブフィーダ	0-6kg/min	35kg
③ 遠隔操作盤		40kg
④ ノズル本体、前面カバー		
⑤ 背面カバー		
⑥ 背面カバーサポート		
⑦ バキュームホース		2"

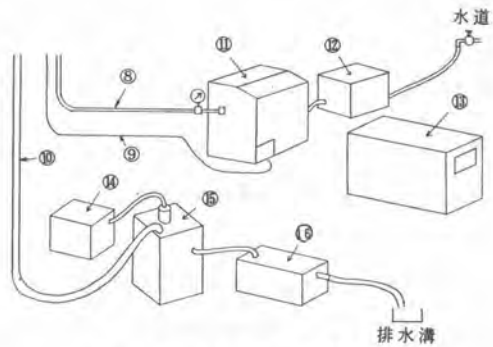
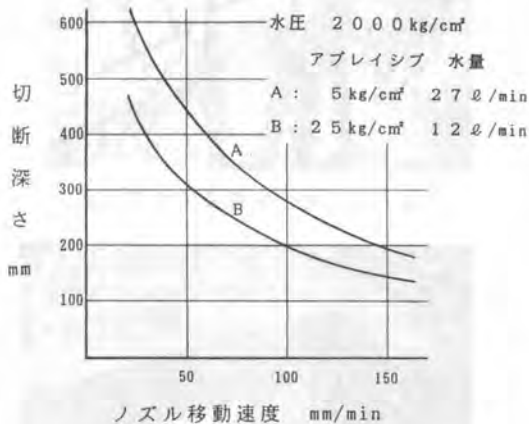


図-3 屋外設置機器

### 2-4. 切断状況

切断時の水圧は、内径8mmの超高圧水ホースの最大常用使用圧2000kg/cm<sup>2</sup>で設定し、アブレイシブはガーネット#36を使用、その使用量は、2.5kg/minで最適な切断ができた。又、切断スピードは、グラフ-1.の通り、7~10cm/minで行い、鉄筋切断時は0~5cm/minとスピードダウンして切断した。



グラフ-1. 切断速度-切断深さ



写真-1. 仙台宮城野団地壁切断

### 3. 階段取付用床切断（名古屋豊成団地）

#### 3-1. 工事概要

14階建の集合住宅で、上と下の2DK住宅を1つにして、各戸2階のあるメゾネットタイプの大型住宅にするため階段取付用開口部として床を69ヶ処切断した。

#### 3-2. 床切断仕様

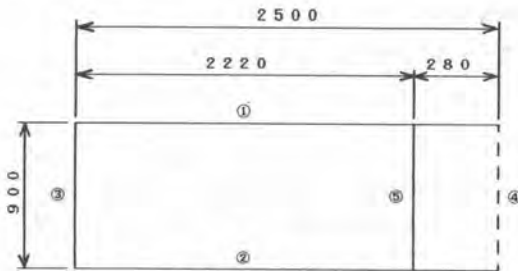


図-4. 床切断寸法

1ヶ処切断長さ  $2.5 \times 2 + 0.9 \times 2 = 6.8 \text{ m}$

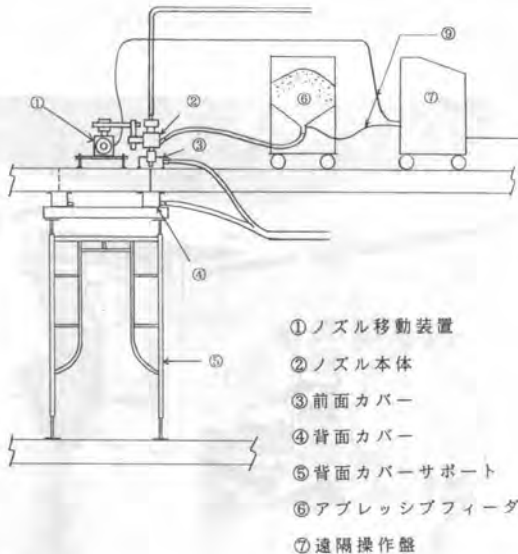
・水圧	2000kg/cm <sup>2</sup>
・水量	11ℓ/min
・水ノズル径	φ0.7mm
・研磨材料	2.5kg/min
・平均切断	4.0cm/min
・床厚	230mm
・鉄筋	D-22, D-16, D-10

但し、④は鉄筋を残す切断 深さ 100mm

#### 3-3. 床切断のシステムおよび切断状況

屋外設置機器については壁切断と同じであるので省略し、屋内使用機器についてのみ紹介する。しかし、屋内使用機器についてもほとんど同じで、背面カバーの取付方法とノズル移動装置がより単純なものを使用した。なお、切断ヶ処が多いため装置は2セット準備し、2班で切断を行った。

切断したコンクリートブロックは、チェーンブロックでそのまま下の作業床に降し、ベビークラッシャで小割し、袋詰して搬出した。



- ①ノズル移動装置
- ②ノズル本体
- ③前面カバー
- ④背面カバー
- ⑤背面カバーサポート
- ⑥アブレッシブフィーダ
- ⑦遠隔操作盤

図-5. 屋内使用機器



写真-2. 名古屋豊成団地床切断



写真-3. 同上切断面

#### 4. 壁および床切断1ヶ処当りの平均実作業時間

	壁切断	床切断
①. 屋外機器の据付・撤去	1時間08分	46分
②. 切断作業	2" 00"	3時間05"
③. 屋内機器の移動・据付	2" 25"	1" 55"
④. 背面カバー・サポート取付	2" 32"	2" 18"
⑤. その他	46"	46"
実作業時間合計	8" 51"	8" 47"

#### 5. 騒音測定結果

	壁切断	床切断
①. 切断室（カットヘッド側）	90～95dB	85～95dB
②. 切断裏室（背面カバー側）	80～85"	80～85"
③. 切断室のベランダ・戸を開	80～85"	80"
④. 切断室のベランダ・戸を閉	65～72"	65"
⑤. 切断室の横室	55～60"	55～60"
⑥. 切断室の下室	65～70"	60～65"（斜下）

切断室の騒音は前カバーの密着の程度により変動する。又切断済の溝を完全にカバーすれば騒音はさらに低下することができる。

#### 6. 安全対策

- ①. 超高压水を使用するため超高压水ホースおよびジョイント部の水もれは完全に無くするのは当然であるが、万一運転中に水もれがあった場合でも直接人に当たる恐れのないよう通路横断部は鋼製の踏板でカバーし、ホースは外壁に沿って立あげた。
- ②. 超高压ポンプ等の設置場所と切断場所は常に離れた位置にあるため連絡ミスの起らないよう遠隔操作盤を使用して、ポンプの始動、停止を含め全ての操作が運転手1名でできるようにした。
- ③. 背面カバー側には監視員を1名付け、有線で水もれ等の異常がある場合は、直ちに運転手に合図できるようにした。

#### 7. おわりに

以上アプレッシュウォータージェットによる住宅の壁・床切断の一例を紹介したが、この工法が一層数多くの工事で利用されるために、効率の良い鉄筋切断方法の開発、機器の移動・設置時間の短縮等による工事費の低減、安全な施工をするために専従作業者の育成などをさらに推進していきたい。



# 55. アブレイシブジェットによる病院改修工事

(株)間組：荒沢 弘樹・山口 修一・松本 浩一

## 1. はじめに

近年、集合住宅の隣合う2戸の隔壁を取り除き1戸とする工事(2戸1化)や、建築時の予定にはなかった大型の医療機器を導入するための病院の改修工事、より高機能なビルにリフレッシュするための事務所ビルの部分的な改修工事などが増加している。

しかもこれらの部分的な工事は建築物全体に関わるものではないため、事務所ビルやホテルでは通常の営業中に、病院では普段の診療業務が行われている状態で行われなければならない。

しかしながら、従来のブレーカーやダイヤモンドカッターによる鉄筋コンクリートの床や壁の撤去工事では、振動、騒音、粉塵の発生が問題となり、前記のニーズに答えられない場合が多かった。

アブレイシブジェットは、2,000 kgf/cm<sup>2</sup> 程度の高圧水にガーネットなどの研磨材(アブレイシブ)を添加しノズルから噴射しながら連続的に対象物を切断する工法であり、前記の問題を生じないことを特長とする。

本文は、アブレイシブジェットを病院の改修工事に適用し、通常の診療業務を行いながら工事を完了させた一例であり、この際用いた切断システムの紹介と工事中に得られた知見を報告するものである。

## 2. 工事概要

表1に切断工事の概要を示す。この病院では新型の医療機械を導入するために、設置するCTスキャン室とその操作室の間の鉄筋コンクリートの間仕切り壁を切断撤去する必要がある。しかもこの工事箇所と廊下をはさんで向い側の部屋では通常どおり外来の診察が行われており、また工事箇所の真上は手術室でときおり手術が行われている状況であったため、大きな騒音と振動を発生する機械的な工法では困難な撤去工事であった。

表1 切断工事の概要

工事時期	昭和63年4月
場所	富山市杉野脳神経外科病院
RC壁厚	250～280mm
鉄筋	D10 複鉄筋
切断延長	約48m
撤去面積	約21m <sup>2</sup>

## 3. 切断システム

表2に本工事におけるアブレイシブジェットの切断条件と図1に本工事で用いた切断システムを示す。

このシステムは、アブレイシブジェットのノズル移動を行うカッター(写真1)、壁をはさんで切断

表2 アブレイシブジェットの切断条件

切断速度	約4cm/min
研磨材	約2kgf/min
ジェット水圧	2,000kgf/cm <sup>2</sup>
ジェット水量	15l/min

中のジェットを受けるキャッチャー（写真2）、これら2つの装置のカバー部でジェット水を吸引するバキューム、回収した廃水を屋外に圧送するスラリー回収圧送装置、その他に屋外に設置した高圧発生装置から構成される。

図2に示すようにカッター装置は、本体の走行は人力によるがその他の自由度を持つ部分は主として油圧による駆動であり、手元の小型のコントローラから遠隔操作が可能である。このカッター装置の主な仕様を表3に示す。またこのカッターとキャッチャーは、いくつかのモジュールに分解が可能になっており、寸法、重量は一般の住宅のドアの幅を通過可能な大きさとして設計されていることを特徴とする。これは2戸1化の場合などエレベータのない建築物を想定しての条件である。

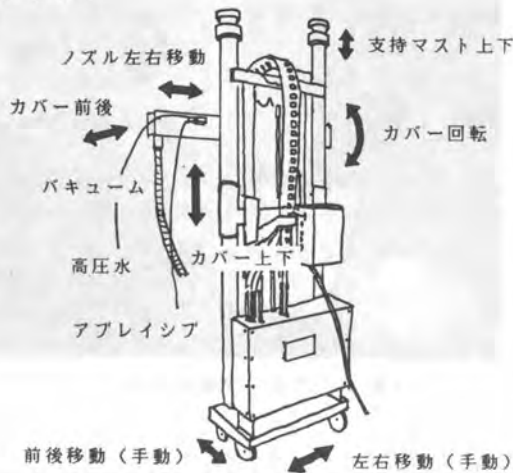


図2 カッターの自由度

表3 カッターの主な仕様

重量	368kgf
寸法	H1,640×W904×L704mm
ノズル移動速度	0~2,000 mm/min
切断高さ	75mm~2,700 mm

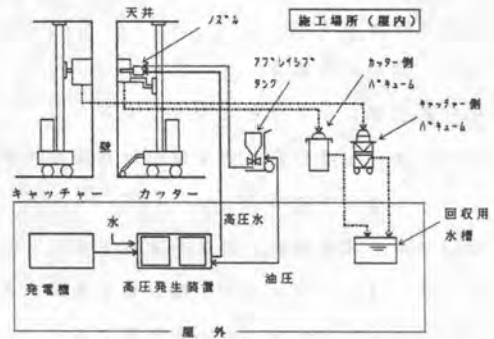


図1 切断システム



写真1 カッター



写真2 キャッチャー

#### 4. 施工状況

##### 1) 切断状況について

写真3にカッターを壁際にセットし切断作業を行っている状況を示す。

まず、実際の作業は、

- ①切断位置にカッターをセットする
- ②カッター位置に合わせて壁の反対側にキャッチャーをセットする
- ③ノズルの移動方向、速度を選定する
- ④アブレイシブジェットを噴射して切断する
- ⑤カッター、キャッチャーを移動する
- ⑥切断されたブロックを搬出する

という一連の作業によって進められた。

この中で、カッターとキャッチャーのセッティングは、基本的に2本の支柱を天井と床に上下に張り出しこの摩擦力で装置本体を支える方式のため、病院のように天井付近に多種の配管、ケーブルがある場合には、その支柱をセットする場所にやや制約があるため、一箇所にセットしてそこから本体を移動させずに切断可能な部分はまとめて切断することとした。

そのため、鉄筋コンクリートの壁を完全に切断してしまうとブロック状に落下する恐れがあるため、コンクリートは切断できるものの、鉄筋は完全には切断されないようにアブレイシブジェットの噴射条件を調整した。ここで完全に切断されなかった鉄筋はブロック搬出直前にアセチレンガスで切断するという手法を用いた。

切断後のブロックは、小型の台車で搬出した。今回の工事ではドア等も比較的大きく建物の1階部分であったため、重量が最大で200kgf程度のものでこの方法で搬出可能であったが、ドアが小さく階段を使って搬出する必要がある場合等では、これよりも小ブロックに分割しないと搬出は困難と考えられる(写真4)。

切断の際の問題は、カッター、キャッチャーのカ



写真3 切断状況



写真4 ブロック搬出状況



写真5 カッターのカバー部

一部と壁面の密着の良否である。それぞれのカバーには柔らかなウレタンゴムが貼ってあり、壁面との密着を考慮したが、コンクリート表面の凹凸が大きい箇所、ドア枠などの金属がある場合には部分的に密着が悪く、多少の漏水が認められた（写真5）。

また、今回用いたカッターはカバーの中心をノズルが左右に移動する方式のため、床から壁が立ち上がるコーナー部では壁と同じ高さでは切断できない。設計時は最大でも切り残し部の高さは床から約50mmになるようにしたが、実際にはそれ以上になった（写真6）。



写真6 床面付近の切れ残り部

## 2) 騒音の発生について

前記のように、施工箇所は、廊下を隔てて内科等の外来患者の診察を行っている部屋と近接しており、また真上の手術室では施工中にも数時間にわたる外科手術が行われていた。

しかしながら、アブレイシブジェットが発生する騒音を調査したところ、図3に示すように廊下では70dB程度、5m離れた待合室では62dBであり、通常の診療業務には一切支障がないことがわかった。

尚、アブレイシブジェットによる振動の発生や粉塵の発生はほとんど認められず、本工法の特徴を發揮ししたと考える。

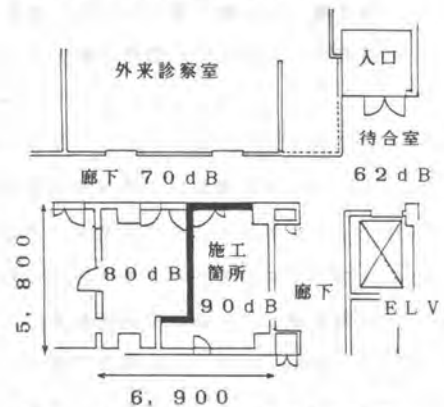


図3 アブレイシブジェット噴射時の騒音

## 5. まとめと今後の課題

通常の診療業務を行っている病院において、部分的な改修工事のためにアブレイシブジェットを用いた切断工法を適用し、この工法のための切断システムを実際に設計、適用した。

この結果、騒音を低く抑え、振動、粉塵の発生もほとんど見られず、予定通り鉄筋コンクリートの壁の切断を完了することができた。

今後の課題としては、切断後のブロックをさらに効率よく搬出するシステムを考える必要がある。

# 56. スロットを利用した硬石トンネルの掘削工法

(株)奥村組： 萩森 健治・大野 浩平

## 1. まえがき

市街地近くで硬岩を掘削するトンネル工事が増えているが、これらの工事では、振動や騒音の影響の少ない無発破工法や低振動発破工法の採用を要請されることが多い。無発破工法では通常、膨張性破砕剤、油圧くさび、油圧ブレーカあるいは自由断面掘削機などが併用される。これまでのこの種の施工例をみると、施工能率を高めるために重要なこととして切羽に多くの自由面を作成することをあげており、そのための機械開発が最近になって著しいようである。当社においても自由面を作成するスロット削孔機（SD機と称する）とこれを利用する無発破あるいは低振動発破工法（SD工法と称する）を開発し、これまでに数件の施工を行ったので、その概要を報告する。

## 2. SD (Slot Drill) 工法の概要

SD工法は、SD機により溝状の自由面（スロットと称する）を作成することを基本とする工法で施工方法は図-1に示すとおりで、大きくわけて無発破、低振動発破としての使い方がある。このほか、アブレイプ・ジェットによる自由面作成あるいはブロック掘削工法も開発中である。施工に際しては岩質、トンネル断面、発破の制約の程度に応じてこれらの中から適切なものを選択する。

### (1) SD機

SD機は図-2に示すように1台の油圧ドリフタで5本のロッド、ビットに打撃、回転を与える構造であり円形孔がラップした形状のスロットを作成できる。

ベース・マシンは通常油圧クローラジャンボを使用する。

削孔長1.0mの試作機製作後、試験施工や実施工を通じて改良を重ね、現有機は実用

機として十分な性能を有している。おもな改良点は以下の通りである。i) 削孔長をI型機1.5m、II型機2.2mと伸ばし、III型機はロッド継足し可能とした。ii) タベットの形状、ロッドとビットの

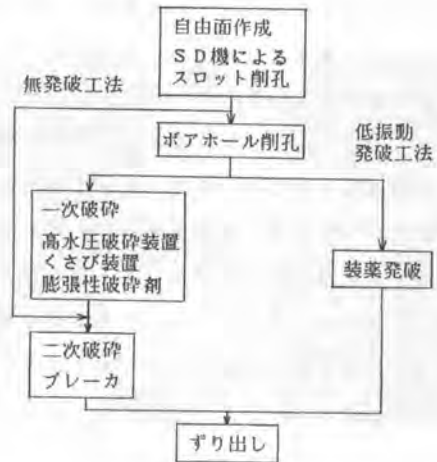


図-1 SD工法の概要

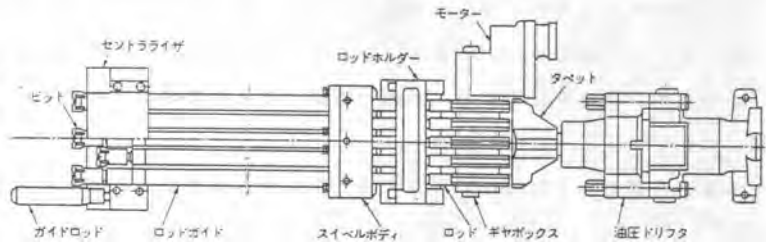


図-2 SD機の構造

形状、材質を改良した。iii) 油圧ドリフタをHD 260からHD 300と大型化した。

II型3ブームSD機の仕様を表-1に示す。I型機、II型機による花崗岩削孔時の削孔速度(のみ下り)を図-3に示す。一軸圧縮強度はシュミットロックハンマーの反発硬度から換算した。ブーム移動、ビット交換等を含む実削孔速度は、ここに示す値の80~70%となっている。

### (2) 高水圧破碎装置

一次破碎には膨張性破碎剤、油圧くさび、高水圧破碎装置等が用いられる。これらのうち、当社ではゴムチューブ式の高水圧破碎装置を開発している。この装置は図-4に示すように5連ないしは10連の液圧管とポンプユニット、バルブユニット、制御装置とから構成される。加圧能力は100MPaである。制御装置では液圧を計測して割岩状態を判断し加圧操作の制御を半自動的に行う。液圧管の大きさは外径50mm、長さ450mmが標準である。

### 3: 施工例

これまでの実施工例を表-2に示す。いずれも一軸圧縮強度が100MPa以上の硬質の花崗岩を対象としている。試験施工を含めるとトンネル延長で840m、掘削数量で37000m<sup>3</sup>を無発破あるいは低振動発破工法により掘削した。

#### (1) Aトンネル(無発破掘削)

ここに示す施工

例は、道路トンネルの市街地および既設構造物に近接した区間(本坑300m、ランプ208m)にて無発破掘削を行ったものである。

トンネル名	岩 質		掘削断面積 (m <sup>2</sup> )	掘削延長 (m)	掘 削 方 法				
	岩石名	一軸圧縮強度 (MPa)			弾性波速度 (km/s)	区分	スロット削孔	前 岩	ブレーカ重量 (Kg)
A (兵庫県)	花崗閃緑岩	80~200	3.0~5.0	41~76 66	208 300	無発破	2ブームII型機 3ブームII型機	なし	2900
B (広島県)	黒雲母花崗岩	70~200	4.0	36	115	無発破	2ブームI型機	高水圧破碎装置	1100
C (岡山県)	黒雲母花崗岩	100~150	3.9~4.4	9.1	180	スロット発破	2ブームI型機	爆 薬	-

表-1 SD機の仕様

ベース・マシン	
型式	全油圧クローラジャンボ (JCH-3)
長さ	15 100mm
高さ	4 330mm
ブーム	上段用 J E 150 T R 下段用 J E 160 T R
全幅	2 800mm
重量	39tf

SD機			
型式	ZCA-6270	ドリフター	H D 300
長さ	5 507mm	全 幅	500mm
高さ	581mm		
重量	950kgf (ガイドシエル含む)		
動作圧力	100~160kgf/cm <sup>2</sup>		
回転数	0~250rpm	打撃数	2 300bpm
フィード長	2 200mm	使用水量	30~70 l/min
ビット	径60mmクロスステーバ		
ビット径	31.5mm	シャック部	H-25

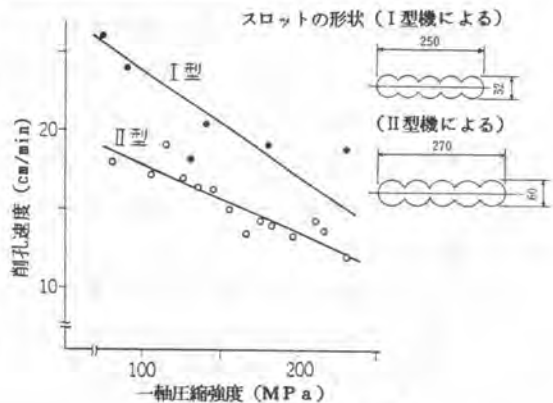


図-3 スロット削孔速度



図-4 高水圧破碎装置

表-2 SD工法の実施工例



a. 掘削方法

全断面ないしは上半先進、下半ベンチカット掘削を行った。断面が大きいため破砕能力の大きい超大型ブレイカを採用し、一次破砕は行わずスロット削孔後、ブレイカにより直接打撃破砕した。油圧ブレイカは、本坑上半は日本ニューマチックH-20Xのアームを改造して使用し、ランプおよび本坑下半はクルップMK B 2000をスライド式アームに搭載して使用した。

b. 削孔パターンとサイクルタイム

スロット削孔パターンは、切羽の観察結果とシェミット・ロックハンマーにより判断した岩質データとそれまでの施工データをもとに選定した。このため、各サイクル毎に削孔パターンは異なるが代表例を図-5に示す。1サイクルの掘進長は2.0~2.1mで、サイクルタイムは岩質によって大きくばらつき20~60時間となった。本坑上半の月進は23mである。

c. 計測

本坑の切羽通過前からの地中変位の計測結果によると、壁面に近い測点の最終変位は0.44mmで、2m以上離れた測点では変位はほぼ0であった。変位は切羽通過直後に生じ、そのまま収束した。支保は、5cm厚の吹付コンクリートのみである。

民家の直下(土かぶり50m)の掘削では、坑内で振動測定を行ったが、施工箇所から10m離れた地点でスロット削孔時は0.02カイン、ブレイカ打撃時は0.4カインであった。

(2) Bトンネル(無発破掘削)

当トンネルでは断面の制約により大型のブレイカを使用できなかったため、5連装の高水圧破砕装置により一次破砕を行ってからブレイカ破砕した。スロット削孔にはI型SD機を用い、削孔長は1.5m、掘進長は1.3mである。削孔パターンとサイクルタイムを図-6に示す。

(3) Cトンネル(スロット発破)

当工事では、発破使用の承諾は得られたが、振動、騒音の規制が厳しく、従来の制限発破工法の適用は難しい状況であった。そこで、図-7に示す外周スロット発破を試験発破した後に採用した。なお、比較のため心抜スロット発破、通常の制限発破を試行したが、地元からの苦情により数回の発破

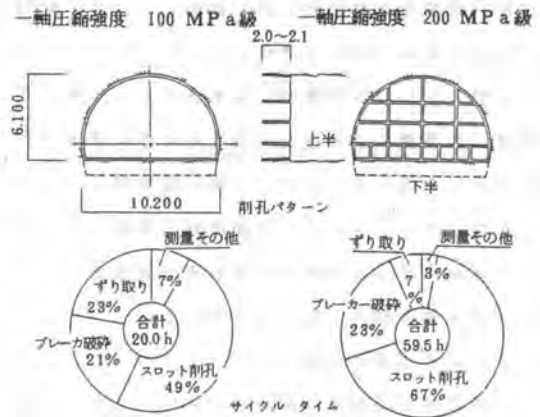


図-5 削孔パターンとサイクルタイム

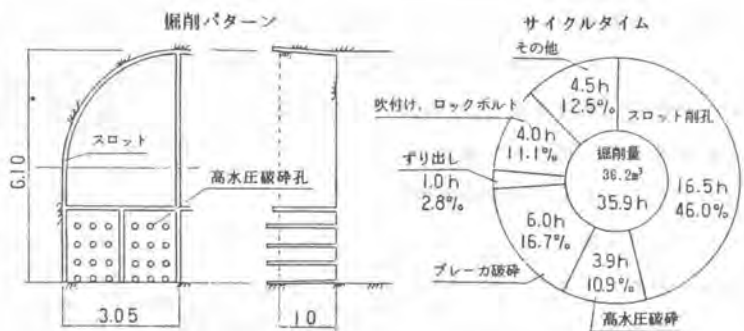


図-6 削孔パターンとサイクルタイム

で中止した。振動測定は、既設トンネル内（距離 6～50m）4ヶ所、地表部（距離 100～120m）1ヶ所、各3成分とし、計15ヶの速度計を用いて行った。発破結果を表-3に示す。外周スロット発破は通常の制限発破に比べ最大振動速度は1/6、薬量は1/3、K値は1/2程度となっている。このほか以下の特徴が明らかとなった。

i. 発破孔の削孔精度を必要とせず、確実に起破できる

ii. 発破後の壁面は、目視観察によれば壁面の損傷はみられず余堀が少ない

iii. 短所としては、今回実施した通常の制限発破と比べ施工能率、コストの面ではやや劣る

#### 4. あとがき

本工法と他の無発破工法の平均月進を図-8に示す。岩質は花崗岩で、断面積は35～52m<sup>2</sup>の施工例である。同図より本工法は能率面でやや有利といえる。しかし、現状においては発破工法に比べかなり高価で能率も劣るため、今後はi)専用ベースマシンの製作と自動化、ii)ドリフタの大型化、iii)ロッド、ビットの改良を行う必要がある。また、小断面トンネルへの適用をはかるため、アブレイシブジェットとの併用を考えている。今のところ特殊ノズルにより、ノズル移動速度が10cm/minで稲田花崗岩に深さ20cmのスリットを切削できるようになっている。本装置の実用化も今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 本田裕夫, 萩森健治, 古川浩平, 中川浩二; 硬岩トンネルの無発破掘削に関する研究、土木学会論文集、第379号/VI-8, pp.55-64, 1987年3月
- 2) 萩森健治, 竹知芳男, 古川浩平, 中川浩二; スリット工法を用いた低振動発破工法に関する研究、土木学会論文集、第381号/VI-8, pp.142-150, 1988年3月

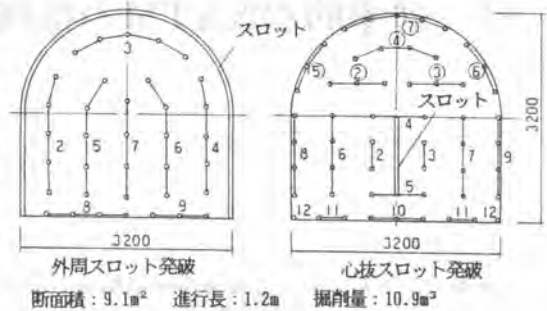


図-7 発破パターン

表-3 発破結果一覧

発破種別		外周スロット発破	心抜スロット発破	通常制限発破
発破 元	割定回数(回)	9	3	2
	使用薬量(kg)	5.8	11.0	16.3
	諸孔数(孔)	36	54	82
	元m3当り薬量(kg/m3)	0.53	1.0	1.5
	m3当り孔数(孔/m3)	3.9	5.9	6.8
最大振動速度(Kine)*1		0.020	0.041	0.123
K値*2	最大値*3	464	794	1011
	平均値*4	281	394	493
騒音 250m地点(dB)		57	67	66
振動レベル 150m地点(dB)		41	45	53

- \*1 各発破毎の最大値の平均(E観測のデータ)
- \*2  $V = K \cdot W^{2/3} \cdot D^{-2}$ によりK値を算出(E観測のデータ)  
V:速度(Kine) W:薬量(kg) D:距離(m)
- \*3 各発破毎の最大値の平均
- \*4 各発破毎の平均値

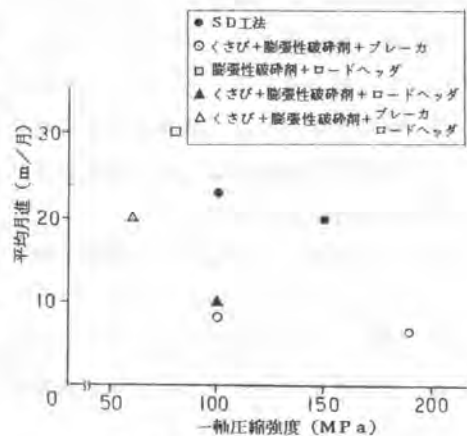


図-8 無発破工法の平均月進

## 57. 効率的なNATMの機械化施工(SMB工法)の開発

佐藤工業(株)：石田 義昭・目時 康男

### 1. はじめに

大断面トンネルにおけるNATMの掘削工法は、一部の硬岩トンネルを除けばトンネルを上半、下半の二つに分割して掘削するベンチカット工法が標準工法であり、一般にはロングベンチカット工法およびショートベンチカット工法による施工例が多い。しかし、従来のベンチカット工法は施工性、安全性、作業環境の面で問題点を抱えているのが現状である。

ここに紹介するSMB工法は、油圧式ホイールジャンボ(3ブーム、2チャージングケーシング装備)および2アーム吹付ロボットを開発することによって、ベンチ長のマイクロ化と上半、下半の並行作業を可能にし、施工性、安全性、作業環境の抜本的な改善を図った効率的な掘削システムである。

この掘削システムは、九州横断自動車道杵島トンネルの上り線( $D=1194.5m$ )で実施し、成果をあげているので、SMB工法の概要と新規に開発した機械について報告する。

### 2. SMB工法

従来、ベンチカット工法は地質、湧水、工期等の諸条件により、ロングベンチカット工法、ショートベンチカット工法、ミニベンチカット工法および多段ベンチカット工法に区分され、施工されている。特に地質の悪い長大トンネルでは、工期等の関係から上下半同時併進によるベンチカット工法を採用する機会が多いが、次のような問題点がある。

#### (1) 従来のベンチカット工法の問題点

- ① 施工性の面では、上半、下半の競合作業による施工効率の低下。
- ② 安全性の面では、上半、下半の輻輳作業による重機車輛との接触災害の発生。
- ③ 経済性の面では、機械や作業員増強によるコストアップ。
- ④ 作業環境の面では、吹付作業およびずり出し中の粉じんや排気ガスの発生が2箇所にまたがり坑内環境悪化の要因となる。
- ⑤ 地質が悪化した場合、早期断面閉合および掘削工法変更への対応力に欠ける。

#### (2) SMB工法の特徴

- ① 上半、下半の並行作業により、作業工程を短縮し施工効率の向上を図ることができる。
- ② せん孔から吹付までの一連の作業が、切羽を1箇所に集約することにより、作業が単純化され安全性が向上する。
- ③ 使用機械の削減、省力化が図られる。
- ④ 換気用風管、電線等の発破による損傷およびこれらの移設作業のムダ、ロスを解消できる。
- ⑤ ずり出し、吹付作業の回数が従来の半分になり、必要な換気量を確保することによって、粉じんや排気ガスの暴露時間が減少し、坑内作業環境の改善を図ることができる。
- ⑥ 地質が悪化した場合、早期に断面閉合が可能であり、また、幅広い地質条件に適用できる。

### (3) SMB工法の概要

図-1に従来工法とSMB工法の比較を示す。以下、SMB工法のシステム概要と施工順序について述べる。

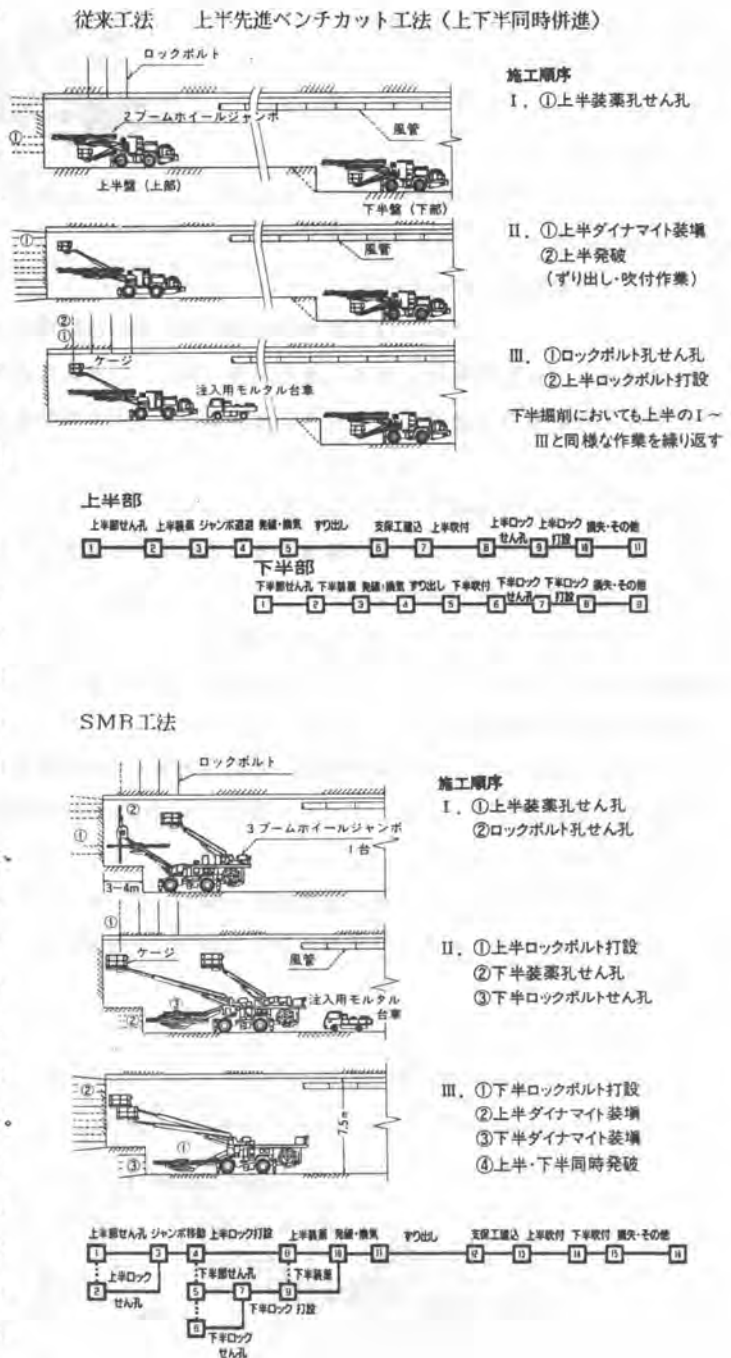
掘削断面は切羽の安定性と作業スペースを確保するために3~4mとした。せん孔からロックボルト、装薬までの一連の作業はSMB工法用に開発した油圧式ホイールジャンボ(3ブーム, 2チャージングケージ装備)によって並行作業できるのが、この工法の大きな特徴である。並行作業の施工順序は以下のとおりである。

① 上半装薬孔とロックボルト孔のせん孔は並行作業で行う。その際、スライド式チャージングケージは2台ともジャンボの最後部に移動しているため、せん孔用の3ブームとの干渉がなく、効率的にせん孔することができる。

② 上半のせん孔作業が完了後、油圧式ホイールジャンボは4~5m後退し、下半の装薬孔とロックボルト孔をせん孔する。並行して2台のチャージングケージを上半切羽までスライドさせ、ロックボルトを打設し引続いて装薬をする。

③ 下半も上半と同様、せん孔完了後、ロックボルトの打設、装薬を行う。実績では上半のみ支保工の入るCIIパターンのせん孔準備からロックボルト、発破、換気までのサイクルタイムは平均150分である。

図-1 従来工法とSMB工法の比較





## (2) 2アーム吹付ロボット

2アーム吹付ロボット（マンティスSF-2）は、富士物産と共同で開発した機種で、NATMの効率化を進めるうえで重要な課題の一つである吹付時間の短縮、大断面トンネルにおける早期地山の安定化に必要な大容量吹付けおよび粉じんの暴露時間の減少による坑内作業環境の改善を図ったものである。

開発項目と実施効果を以下に示す。

① 2台の吹付機（アリバ280FF）と2基の吹付アーム（アリバ305）をコンパクトに一体化することによって、2系統での吹付けが可能になり、吹付能力が大幅に向上し、吹付時間の短縮を図ることができる。大断面トンネルにおいて地質の悪い場合には大容量吹付けによって、地山の早期安定化が図られ、また、長孔発破時でも短時間に吹付けすることができる。特に吹付け作業時の粉じんは、吹付時間の短縮により暴露時間が減少し、環境改善されている。

② 2基の吹付アーム間に干渉防止機構（電気的、機械的ストッパー）を装備することにより、同時に操作しても互いに干渉することなく、トンネルの左、右半分を各々のアームで安全に吹付けることができる。また、どちらかのアーム、吹付機が故障した場合にも、残りのアーム、吹付機を用いて全断面吹付けが可能である。

③ 通常は、トラックミキサーを2台並列に並べて吹付けするが、1台でもY字型パイプレータホッパ（強制供給材ホッパシュート）を装備することによって、吐出量を低下させることなく、2系統の吹付けをすることができる。

吹付ロボットの吹付能力の実績は2アームで18~20 $\text{m}^3/\text{hr}$ であり、従来方式と比較して吹付時間は1/2~1/3に短縮されている。吹付け中の粉じんについては時間短縮と大容量換気（風管径1400 $\phi$ 、最大換気量2000 $\text{m}^3/\text{min}$ ）によって早期に排出されているが、一時的に粉じんが多く発生するため、粉じん低減剤を使用して環境改善を図っている。

## 4. 工事実績

トンネルは、坑口から73mは従来のベンチカット工法、残りの1121.5mをSMB工法で施工した。トンネルの地質は想定より悪く、大半が上半のみ支保工の入るCIIパターンで、支保工のないCIパターンはわずか9mであった。CIIパターンの実績進行は、最大日進6m、最大月進144m、トンネル全体の平均月進は105mである。表-1に各パターンの施工実績を示す。

表-1 施工実績表

パターン	CI	CII	CIII	DI	DII	DIII	合計
延長(m)	9.0	970.05	8.1	80.0	24.05	30.3	1121.5
平均日進(m/日)	6.0	4.6	2.3	2.7	1.8	3.0	4.2

## 5. おわりに

SMB工法は、本トンネルのように地質があまり良くない場合でも、新しい機械の開発によって全断面に近い環境のもとで、効率的で安全性に優れた工法であることが実証できたものと評価している。

今後は、硬岩から軟岩、土砂と地質が目まぐるしく変化する我が国の大断面トンネルにおいても、十分に対応できる工法であると確信している。



## 58. 無発破岩盤破碎機・ラバースプリッタの開発

鹿島建設(株)：三尾 興平・渡辺 松男

### 1. はじめに

最近、原子力発電所、水力発電所、工場等重要施設の近隣ならびに、民家密集地域に隣接した場所での岩盤掘削工事の需要が多くなってきており、振動、騒音、粉塵公害等への対処が、従来に増して要求されている。そこで鹿島建設は、ウレタンゴム（弾性体）を利用した無騒音、無振動かつ経済的な硬岩破碎用の機械を開発した。本報告はその概要を紹介するものである。



写真-1 ラバースプリッタの全景

### 2. ラバースプリッタの概要

#### 2-1 割岩の原理と機械の特長

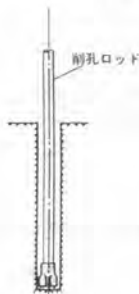
割岩は第1図に示すように、あらかじめ削孔された孔に、ウレタンゴム輪を挿入、両端座金を軸方向に圧縮して、ゴムを孔壁方向に膨脹させて岩盤を破碎する。

本機の主な特長は次の通りである。

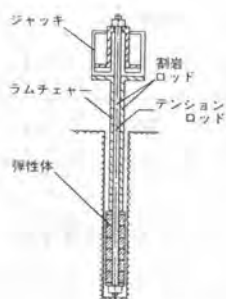
- ① 構造がシンプルであるため、故障が少なく、また小型・軽量である。
- ② 孔の円周方向に均等な加圧が可能で孔底まで割岩できるので、能率が良い。
- ③ 削孔ロッドと割岩ロッドの交換と調芯が容易な構造になっており、割岩サイクルタイムが短縮できる。
- ④ ウレタンゴムは消耗品で、比較的安価である。

#### ① 削 孔

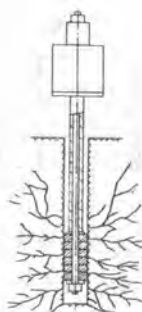
削 孔 径：115mm  
削 孔 深 さ：1,000～  
2,000mm



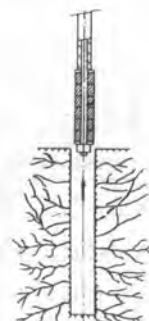
#### ② 割岩ロッドの挿入



#### ③ 圧縮・割岩



#### ④ 割岩ロッドの引抜



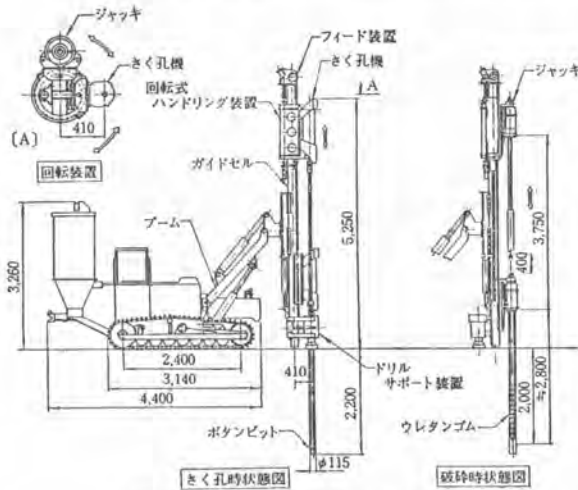
第1図 割岩手順

## 2-2 機械の構造と機能

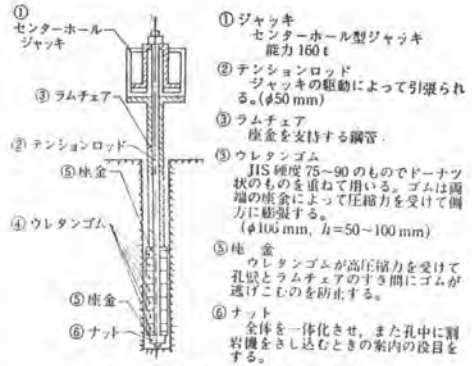
ラバースプリッタの全体図と主要諸元をそれぞれ第2図、第1表に、機械の構造を第3図に示す。

第1表 ラバースプリッタの主要諸元

ベースマシ		まく孔・割岩装置			
項目	仕様	項目	仕様		
本体型式	アトラスコプコ ROC 812 H	ドリフタ	型式 COP 1038 型 (油圧式)		
全装備重量	9,500 kg	打撃数	1,800 bpm		
寸法 (輸送姿勢)	全長	7,300 mm	回転数	0~200 rpm	
	全高	3,260 mm	回転トルク	70 kg・m	
	全幅	2,840 mm			
クローラ	接地長	2,400 mm	割岩	ゴムリンク材質	ウレタンゴム
	履帯幅	305 mm		形状	φ105×100~50 mm
エンジン出力		0.6 kg/cm <sup>3</sup>	シャッキ	160 t センターホール型	
	走行速度	100 PS/2,300 rpm	シャッキストローク	400 mm	
		1.5~10.0 km/hr			



第2図 ラバースプリッタ全体図



第3図 機械の構造と機能

## 2-3 施工方法

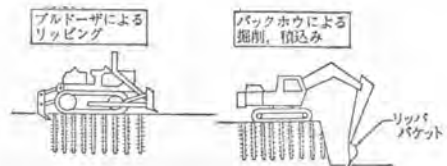
施工は1次破砕と2次破砕に分けて実施する。

1次破砕は削孔機で直径115mm、ピッチ1m~2m(ピッチ、深さは岩質により変化させる)で千鳥状に削孔し、前述の割岩原理に基づき岩盤表面にクラックが認められるまで高低から逐次割岩する。(通常は2m深さを孔底と中間の2回に分けて割岩する)

2次破砕は1次でクラックを入れた岩盤を、第4図に示すようにブルドーザによるリッピング、またはバックホウによりダンプトラックで運搬可能な大きさに破砕する。



写真-2 1次破砕後のクラックの状態



第4図 2次破砕要領

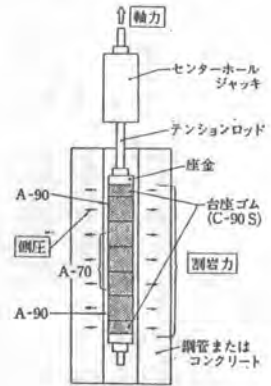
### 3. 割岩特性

第5図に示した実験装置を用い、室内実験で得られたウレタンゴムの基本的な割岩力特性を示す。

#### 3-1 割岩力とゴム個数の関係について

割岩力とゴム個数との関係は、第6図で明らかなように、ゴム個数が7個以上になると割岩力が増加しなくなる特性を示した（コンクリート拘束面）。したがって実用機においては、ウレタンゴムの個数は7個を採用している。

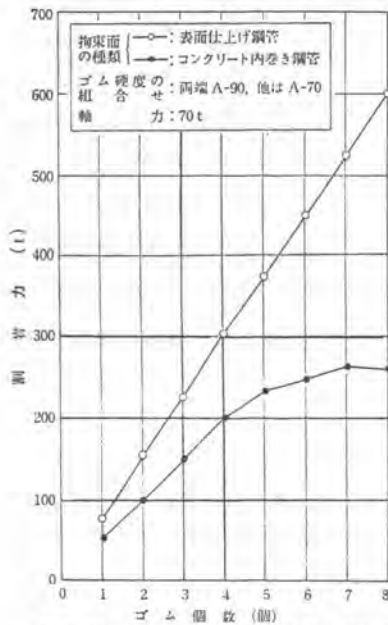
また、この実験で軸力を割岩力（測圧）に効率的に変換するためには、両端に硬度A-90、中間に硬度A-70を配列するのが最も良いことが判ったので、実機ではこの配列を採用している。



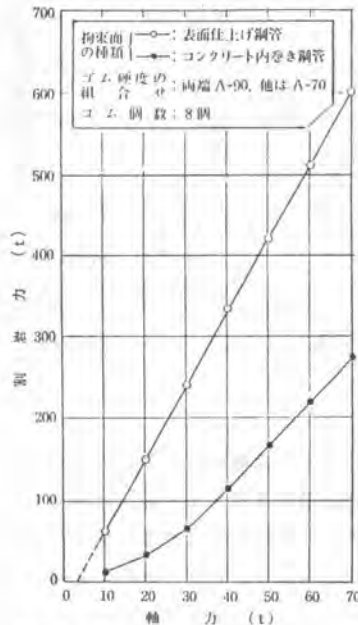
第5図 実験装置

#### 3-2 割岩力と軸力との関係について

割岩力と軸力との関係は第7図で明らかなように、孔壁の粗度に大きく左右される。したがって割岩力400tを得るために実用機のジャッキ能力は約160t（最大軸力）とした。



第6図 割岩力とゴム個数の関係



第7図 割岩力と軸力の関係

### 4. 割岩検知システムについて

#### 4-1 開発の背景

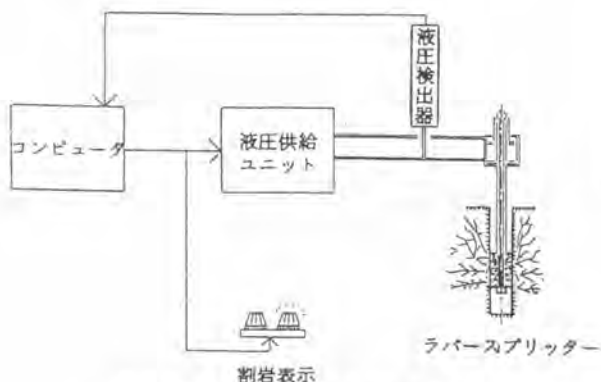
岩盤やコンクリート構造物等の被破砕物に削孔井を設け、その削孔井内側から弾性体等により測圧を加えて、被破砕物を割岩（破砕）する工法の場合、割岩後の不必要な加圧により岩のクラックへ弾性体が食い込み、この食い込みにより弾性体に損傷を与えるという問題があった。

そこで、本装置を実用機に採用し、弾性体の耐久性を向上させるとともに、従来の問題点の解消を図った。

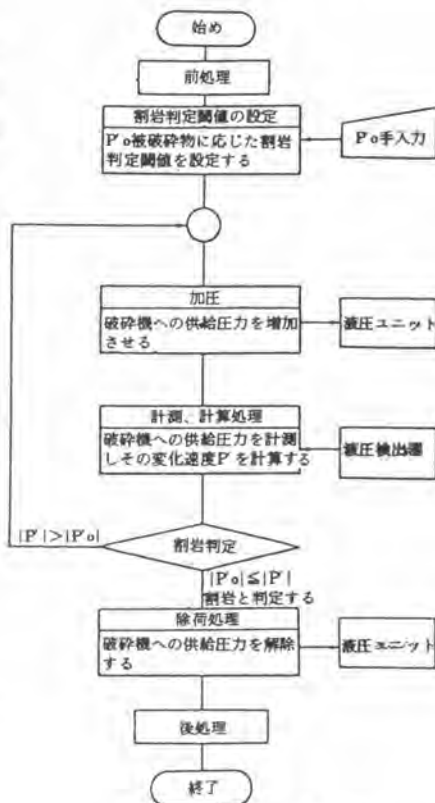
#### 4-2 システムの要点

弾性体に発生する側圧は、割岩時期の直前までスムーズに増加するが、割岩と同時に被破砕物の半径方向断面積が瞬時に増加するため、破砕機への供給圧力（油圧）は一瞬減少する。そこで油圧の変化速度（油圧の微分値）を監視することにより割岩時期を検知する装置である。

本システムの機器構成、加圧制御フローをそれぞれ第8図、第9図に示す。



第8図 割岩検知システム機器構成



第9図 加圧制御フロー

#### 5. 施工実績

本機の施工実績は延20,000mあり現在順調に稼動中である。以下その代表3例を紹介する。施工実績を第2表に示す。

第2表 施工実績

		施工例その1	施工例その2	施工例その3
現場の状況及び制約条件等		原子力発電所基礎掘削工において、稼動中の原子炉に隣接しているため企業者より指定された無発破ゾーンに適用した例。	空港造成工において隣接民家に対する振動規制区域に適用した例。	トンネル工において、側壁コンクリート破砕に適用した例。
岩質	岩種	緑色片岩	花崗岩	(対象物)無筋コンクリート
	弾性波速度	$V_p=2.6\sim3.0\text{km/sec}$	$V_p=1.5\sim2.0\text{km/sec}$	(圧縮強度)225kg/cm <sup>2</sup>
	掘削形態	ベンチ掘削(ベンチ高2.0m)	盤打ち	-
施工方法	2次破砕	2.5m <sup>2</sup> 油圧シヨベル(リッパバケット付)	32t級ブルドーザ(リッパ付)	0.6Tエアブレーカ
	削孔パターン	1.5×1.5m(千鳥配列)	1.3×1.3m(千鳥配列)	0.3×0.3m(千鳥配列)
	削孔深さ	1.5m	1.5m	1.1~1.2m
施工能力	時間当りの割岩孔数	6.5孔/hr	9.0孔/hr	3.2孔/hr
	時間当りの1次破砕量	約20.0m <sup>3</sup> /hr	約25m <sup>3</sup> /hr	約3 m <sup>3</sup> /hr
	時間当りの2次破砕量	40~50m <sup>3</sup> /hr	150~200m <sup>3</sup> /hr	3~5 m <sup>3</sup> /hr

#### 6. あとがき

ラバースプリッターは各種施工例を通じて従来の無発破工法と比較し、施工性、経済性ともすぐれていることが確認できた。今後も機会あるごとに各種の施工条件における実績を重ね、一層の高効率化を図ると共に応用範囲を拡大し、無発破施工技術の確立に努力したい。

建設機械と施工法シンポジウム論文集（昭和63年度）

---

昭和63年10月20日 印刷

昭和63年10月24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）

電話 (03) 433-1501

FAX (03) 432-0289

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