

平成 8 年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成 8 年 10 月 3 日～ 4 日  
東京・機械振興会館

社団法人 日本建設機械化協会

平成 8 年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成 8 年 10 月 3 日～ 4 日  
東京・機械振興会館

社団法人 日本建設機械化協会

「建設機械と施工法シンポジウム」論文集

目 次

\*印 口述発表者

【1】『トンネルとその機械』

1. シールド排土量計量システム ……三井建設(株)：\*川原啓一，石田喜久雄… 2
2. 効率的な線路下横断工法の開発……鉄建建設(株)：\*小室好孝，齋藤雅春  
東日本旅客鉄道(株)：有光 武… 6
3. 小断面トンネル用ミニ油圧プレーカの開発 ……鹿 島：塩田孝輔，\*林 拓夫… 10
4. トンネル内画像無線伝送システムの開発……鹿 島：平井淳一… 14
5. ハニカムセグメント自動組立装置の開発……(株)奥村組：\*畑山栄一  
石川島播磨重工業(株)：北山仁志… 18
6. シールド工事のセグメント自動搬送装置……(株)大林組：\*柿沼 武  
高橋栄次，山崎和敬… 24
7. 山岳トンネルにおけるマルチメディアネットワークシステムの開発  
……清水建設(株)：深井日出男，河野重行，\*小野啓二… 30
8. シールド工事における統合制御システムの開発  
……五洋建設(株)：\*植田勝紀，杉本英樹，石関潤一… 34
9. 泥水回収装置の開発 ……飛鳥建設(株)：真中 弘，\*岡 利博，稲田義和… 40
10. 連続孔による新しい自由断面形成工法“FONドリル工法”  
……(株)フジタ：川崎俊彦… 44
11. トンネル現場管理システムの開発 ……ハザマ：\*配野 均，齋藤 篤… 48
12. ラチス式同時施工シールド工法の開発……(株)鴻池組：\*古川和義  
西村良平，梅谷 彰… 52
13. 中口径シールドにおけるセグメント全自動組立……佐藤工業：鈴木哲郎  
\*金田富美男，守山 亨… 56

【2】『コンクリートとその機械』

14. 勾配可変式コンクリート舗装機械の特長と施工実績  
……前田道路(株)：\*早坂英明，森川欣英… 62

15. 土木工事用仮設屋根“パラガスC”の開発……ハザマ：\*杉浦仁志  
谷田部好信，今村信夫… 68
16. 全天候式ダムコンクリート打設システムの開発と要素実験  
……清水建設(株)：\*岸野富夫，小田原卓郎，福元洋一… 72
17. 高効率，低粉じん型吹付けコンクリート工法の技術報告  
(遠心吹付け工法；ケレスシステム) ……日本国土開発(株)：奥津一俊… 76
18. ウォータージェットによるダム用グリーンカット機の開発  
……(株)鴻池組：\*栗副耕治，吉岡由郎，松生隆司… 80
19. 二軸強制練りミキサーの内張ライナーの長寿命化……大成建設(株)：市原正一  
(株)栗本鐵工所：\*八木伸人，上辻栄次… 86

### 【3】『建築とその機械』

20. FCF 工法による高層大型煙突の施工……(株)フジタ：\*森本正一，松尾宗義… 92
21. 支柱支線用アンカー敷設新工法……古河機械金属(株)：渡辺英志  
(株)ニッチツ：\*堀 葛郎… 98
22. 建築自動化生産システム (AMURAD) の開発  
……鹿 島：\*宮本武三，本間完介… 102
23. 壁面作業ロボットの開発 ……東急建設(株)：\*後久卓哉，福田澄男，坂本浩一… 106
24. 軽量マニピュレータの開発と施工事例……東急建設(株)：\*難波健治  
鷹巣征行，小島茂之… 110
25. マレーシア“KLCC タワー1プロジェクト”の揚重設備 …ハザマ：館岡潤仁… 116
26. 建設用アルミ足場板自動洗浄装置の開発・実用化……(株)大林組：\*井上文宏  
菱河恭一，脇坂達也… 122
27. ラジオ放送用アンテナ塗装ロボットの開発  
……大成建設(株)：\*村山達雄，西村正宏… 128
28. 仕上工事におけるロジスティクス一貫システム……大成建設(株)：田村恵彦… 134

### 【4】『環境・リサイクルとその機械』

29. 植物廃材処理システムの提案……建設省四国技術事務所：岩澤委式  
\*二川義人，伊藤昭宏… 140
30. 浚渫土砂脱水システムの開発と施工例 ……大豊建設(株)：\*大場弘明，神山 隆… 146
31. 作業環境にやさしい“トンネル内新換気システム” ……鹿 島：横田依早弥  
木下健二，\*青野 隆… 152

32. 車載型トンネル作業環境計測システム ……鹿 島：藤井義久，\*戸梶慎一… 158
33. 軟泥土の固化処理による高盛土施工……東洋建設(株)：藤尾良也… 162
34. 環境対応・高性能潤滑油脂の開発 ……コマツ：大川 聡，\*小西晃子… 168
35. DJM 機を用いた汚染土壌の浄化技術  
 ～有機塩素化合物によって汚染された土壌の修復～  
 ……大成建設(株)：氏家正人… 174

#### 【5】『維持とその機械』

36. 排水性舗装機能回復車の開発……酒井重工業(株)：岸 幸雄… 178
37. 多機能型排水性舗装清掃車の開発……建設省北陸技術事務所：渡部敏男  
 本間政幸，\*阿部和成… 184
38. ホイール式草刈車の開発 ……建設省東北技術事務所：菊地幹雄，\*鈴木邦昭… 188
39. 凍結防止剤散布の自動化技術の開発  
 ……建設省東北技術事務所：菊地幹雄，\*落合信孝… 192
40. 除雪トラック(10t級 4×4)の開発  
 ……建設省東北技術事務所：菊地幹雄，\*澤田敏樹… 198
41. 排水性舗装機能回復機の開発……東亜道路工業(株)：長谷部勝郎… 202

#### 【6】『土工とその機械』

42. 新しい岩盤機械掘削工法の試験施工実績……鹿 島：甚内郁郎  
 榎本 誠，\*秦 輝道… 208
43. 建設機械周辺の作業者認識システムの開発……鹿 島：三浦 悟  
 \*松石佳久，今井道男… 212
44. リーチタワークレーン“LT500”の開発……コマツ：\*武原秀幸  
 小松メック(株)：高田邦彦… 216
45. 測量ロボットの開発～測量作業における高率化と省力化を実現～  
 ……東急建設(株)：鷹巢征行，佐藤 務，\*小島茂之… 220
46. 巨大ドライヤーの開発とその効果……(株)フジタ：\*須郷茂夫  
 倉谷勝敏，鈴木伸治… 226
47. 無人化施工における遠隔操縦技術の開発……建設省九州技術事務所：木村直紀  
 \*松岡雅博，三浦成治… 230
48. 次世代ホイール式油圧ショベル (URBAN GEAR128) の開発  
 ……コマツ：北田智夫，\*金山 登，大島陽二郎… 236

49. 最大級の超小旋回油圧ショベル PC228UU の開発……コマツ：\*松下重則  
川端敏則，北谷泰一郎… 242

## 【7】『基礎とその機械』

50. ヘリウム混合ガスを併用した大深度ケーソンの施工法……日本道路公団：佐久間智  
（株）鴻池組：\*福本修三，（株）白石：中西哲也… 246
51. ニューマチックケーソン工法における無人掘削・自動排土技術の開発  
……（株）大本組：平田忠積，小林 豊，\*小滝勝美… 252
52. GPS による地盤改良船位置決めシステム……不動建設（株）：川上高弘  
フドウ技研（株）：\*出口敏博，石田 修… 258
53. 深礎の機械化工法の開発……東日本旅客鉄道（株）：新堀敏彦  
鉄建建設（株）：齋藤雅春，\*山村康夫… 264
54. 深礎全断面掘削機の開発 ……中部電力（株）：須田 悟，（株）熊谷組：\*三村友男… 268
55. JACSMAN（交差噴流式複合攪拌工法）の開発・実用化  
……不動建設（株）：三好朗弘，フドウ技研（株）：\*松沢 論… 274
56. 深礎ナトム 自動吹付ロボットの開発……大豊建設（株）：\*宮村誠一郎  
中西芳雄，夏目 茂… 278
57. 集水井掘削における深礎工事機械化工法の適用事例  
……東急建設（株）：\*柳原好孝，福田澄男，鷹巣征行… 284
58. 深礎杭工事用小型式移動エレベータの開発……清水建設（株）：\*佐藤成美  
大鳴茂樹，野村 肇… 290
59. 機械式シート敷設工法 ……東洋建設（株）：\*牧野栄一，松崎哲夫，富沢桂太… 294
60. 液状化防止対策 テラシステム……東洋建設（株）：\*伊佐野隆  
佐藤道祐，佐藤 毅… 300
61. 地下連続壁掘削精度管理システムの開発  
……前田建設工業（株）：\*宮崎勇一郎，小川朗二，浅井秀明… 306
62. 路下式深礎掘削機械化工法（JORS 工法）の開発……（株）大林組：\*小山浩史  
東日本旅客鉄道（株）：森本武夫… 312
63. 圧入ケーソンの自動制御システム “ケーソンナビゲーションシステム・CANAS”  
……大成建設（株）：\*藤谷俊実，喜志恭博，明神知夫… 316

# 1. シールド排土量計量システム

三井建設㈱：\*川原 啓一，石田 喜久雄

## 1. はじめに

シールドの施工管理において排土量の把握は重要である。排土量の計測方法として、電磁流量計、密度計、超音波、ロードセル等を用い計測する各種の方法が開発実用化されてきた。しかしながら、これらの計測方法には対象土砂を限定するものや、連続計測不可、計測がリアルタイムでない等の問題点があった。また、計測機器の取付方法によりパイプ輸送でなければ計測できない。流速が低すぎると計測誤差が大きくなる。計測器そのものは正確な計測性能を発揮するが、その取付方法により累積誤差を生じ、計測結果の信頼性に欠けること等の問題があった。

今回開発したシールド排土量計量システムは、ロードセルを鋼車の車軸部に取り付けることにより鋼車の重量を直接計測できるシステムであり、計量データを無線伝送することにより、排土量計量値をリアルタイムに把握することが出来る。この方式は、計測のばらつきが大きい砂礫を含む掘削土砂量をより高精度に計測できること。小口径断面であっても鋼車の車軸部の実荷重を計測できることから適用可能であることを特長としている。

このシステムの実用化によりシールド施工管理の徹底、切羽の安定に効果が期待される。

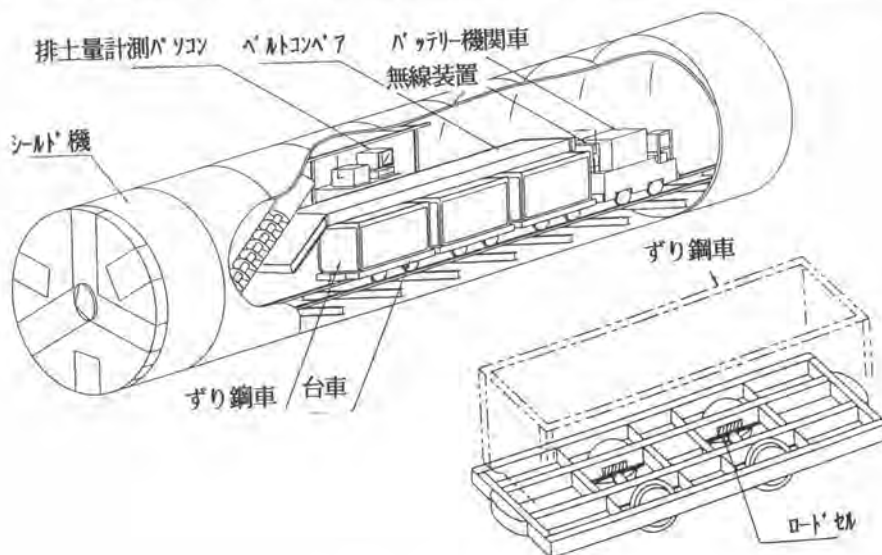


図1. システム説明図

## 2. システムの構成

本システムは、通常のバッテリー機関車、ずり鋼車、軸受け用ロードセル、計測用コンディショナー、無線モデム、パソコンから構成されている。システムブロックを図2に示す。測信号の処理方法は、ずり鋼車の台車部に取り付けた4点の軸受け荷重計測用ロードセルの検出信号を和算器で合成する。この信号は抵抗値であることから、計測用コンディショナーで、0-5Vの電圧信号に変換し、無線モデム部でデジタル化し無線伝送する。信号の送信間隔は、1秒毎にシールド運転席に設置された無線モデムに伝送され、6秒間のデータを平均化しパソコン表示する。

各機器で使用する電源は、使用するバッテリー機関車のDC電源をDC-DCコンバータで電圧変換し使用している。

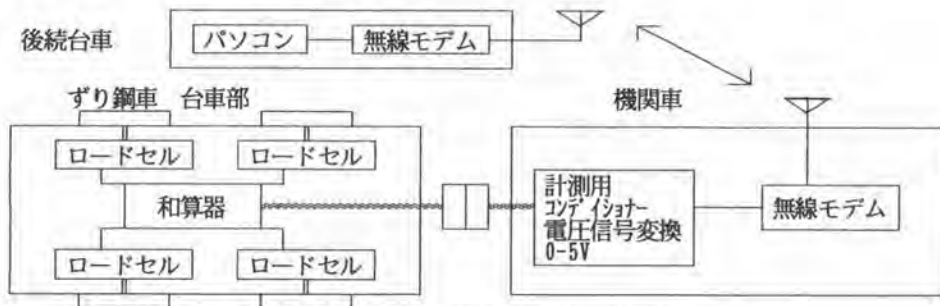


図2. システムブロック図

## 3. 計測機器の主な仕様

計測機器の主な仕様を表1. に示す。図3. は、ロードセルの取付方法である。

表1. 計測機器の主な仕様

機器名	ロードセル
形式名	LC-2TSN48
定格負荷	2tf (圧縮)
許容過負荷	150%
定格出力電圧	1mV/V
印加電圧	AC・DC10V以下
入出力抵抗	175Ω±1%以内

機器名	無線モデム
入出力電圧	DC12V
入力点数	最大8点
A-D入力信号	0-5V
A-D分解能	12BIT
A-D変換時間	6.5μsec
データサンプリング速度	1秒

機器名	特定小電力無線機
無線周波数	400MHz
伝送距離	約100m
伝送速度	4800bps
インターフェース	RS-232C準拠

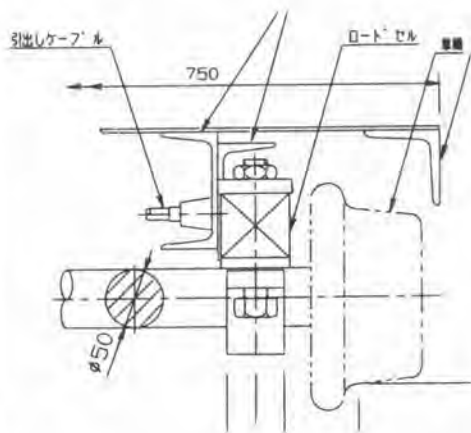


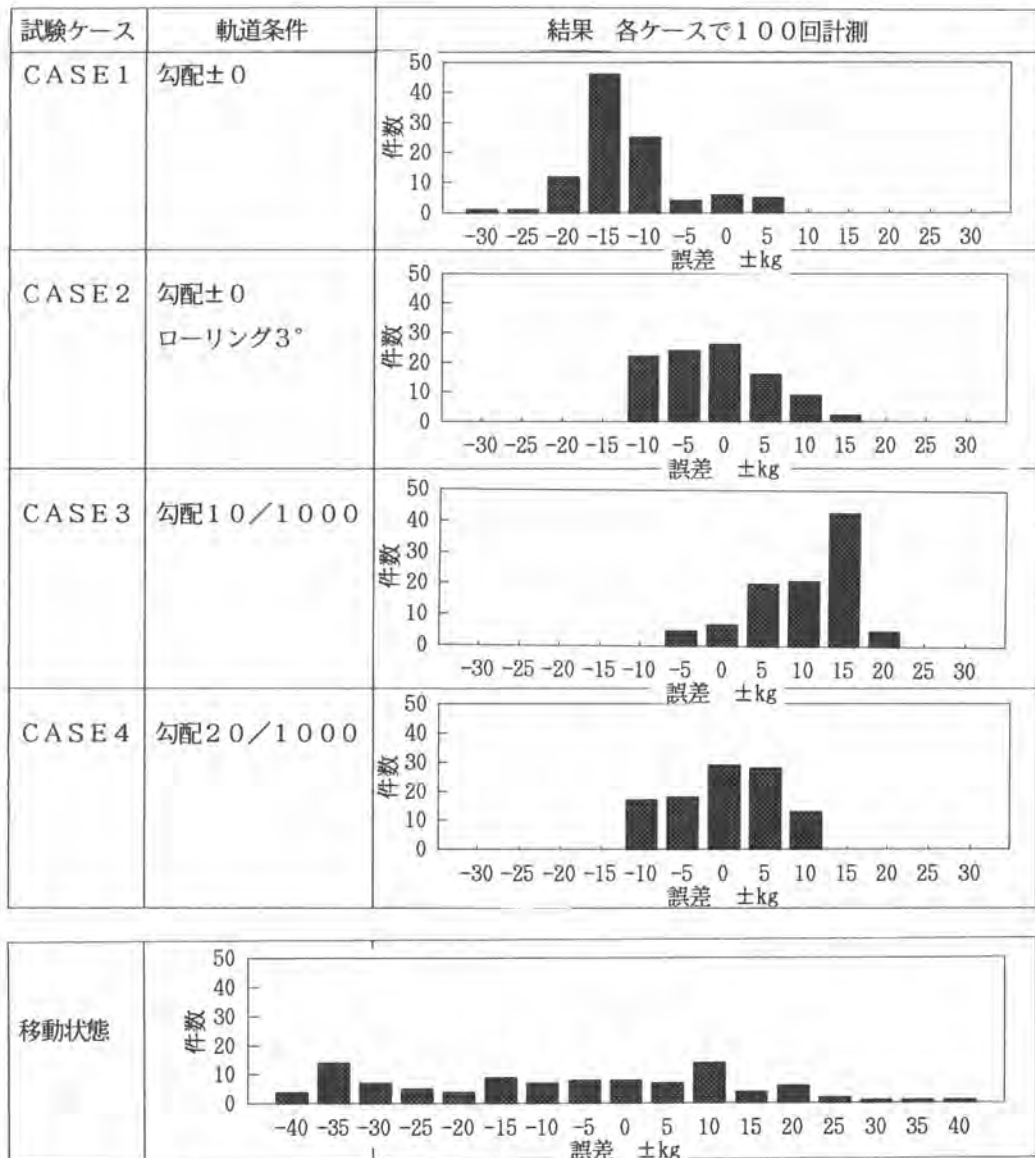
図3. ロードセル取付方法



#### 4. 性能

システムの性能を確認するために室内試験を実施した。試験方法は、長さ15mの試験軌道を敷設し、1m<sup>3</sup>鋼車と2トバッテリー機関車を使用し、静止状態で砂利を1袋あたり25kg詰めた試験荷重をベルコンを介して1m<sup>3</sup>鋼車に積み込み、1700kg迄、100kg毎に静止時間を設け計測した。計測は、鋼車の停止状態と走行移動状態で行った。軌道は実施工での条件を考慮し表2. に示す4ケースについて行った。

表2. 試験ケースと誤差



CASE 1~4を通して+20~-32kgの計測誤差が発生し、平均誤差は-3.1kgとなった。精度換算値は+1.2~-1.9%の誤差範囲で平均は-0.2%となる。

移動状態では1700kgに対し、+37～-41kgの計測誤差が発生した。精度換算値は+2.2～-2.4%となった。

## 5. システムの評価

本システムの開発により、従来困難であった砂礫層の排土量を3%程度の誤差範囲内で計測する見通しがたったといえる。今後、実工事での適用を計画中であり耐久性や厳しい作業環境下での機器の保護対策効果の確認を行う予定である。

参考として、当社の現場における3種類の掘削土砂計量方法の実績を表3. に示す。このデータは、排出土の計測値であることから計測器の誤差と排土のばらつきを含んでいるため、直接本システムの計測精度と比較することはできないが、比較的ばらつきの少ない粘性土、砂質土層でも平均15%程度となっている。砂礫層のデータは立坑部でロードセルによる吊り上げ計測値であり、ばらつきの要因として、礫の大小、加泥材の多少による密度変化、運搬途中のこぼれ等が影響を与えていると考えられる。

掘削土砂を高精度に計測するためには、計測土砂の状態を均一化することと排土口の近くで計測することが課題である。

表3. 計測方法と計測値のばらつきの例

計測方法	土質	マシン外径mm	計測精度
回転数計測 ローラーポンプ の回転数× 部屋容積	T作業所 粘性土 砂質土	2280 理論容積 4.08m <sup>3</sup>	
流量計 ポンプ圧送 ドップラー流 量計	N作業所 粘性土	2130 理論容積 2.67m <sup>3</sup>	
重量計測 ロードセルで吊 り上げ	S作業所 砂礫	2480 理論重量 10.6ton	

## 2. 効率的な線路下横断工法の開発

鉄建建設(株)：\*小室 好孝, 齋藤 雅春  
東日本旅客鉄道(株)：有光 武

### 1. はじめに

近年、我が国では国土の開発、都市機能の発展が急速に進み、それに伴ってインフラ施設の整備のための工事が急増している。こうした状況のなかで、交通施設相互の交差は避けることは出来ず、交差工事、なかでも鉄道線路下を横断する工事が増加している。この場合、従来は推進機によってエレメントを線路直角方向に挿入し、構造物を構築する工法が採用されてきた。しかしながら、これらの方法は、施工期間が長くなること、これに伴って列車の徐行や軌道保守なども長期に及ぶため、工事費や運転コストの増加をもたらすなどの課題がある。こうした課題を解決するために、新工法の開発が求められている。図-1に線路下横断工法を示す。

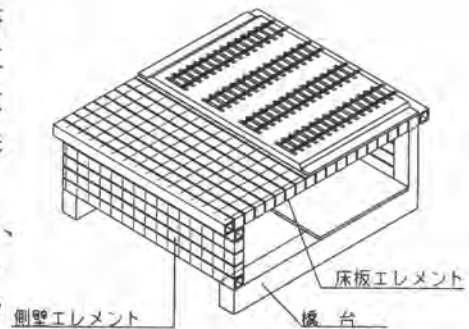


図-1 線路下横断工法

今回は、こうした課題の中で高速施工を実現する工法として、エレメントけん引工法を考案し、試験によりその施工性を調査した。本工法は、高速施工に伴う設備の増加が少ないとともに、高速施工により懸念される施工精度の低下を抑制する効果が期待できる。

### 2. エレメントけん引工法の概要

本システムは、掘削機構を内蔵した掘削装置（刃口）、センターホールジャッキからなるけん引装置、吸引排土方式による排土装置、および管理システムから構成されている。システムを図-2に示す。

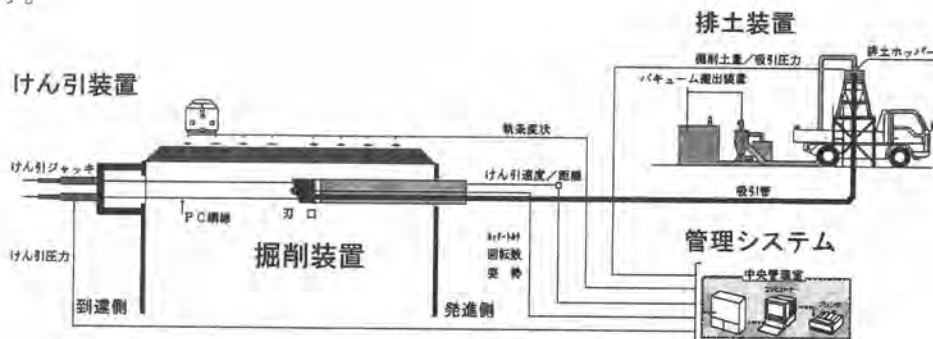


図-2 けん引工法システム

本工法は、到達側から水平ボーリングによって削孔した穴にPC鋼線を貫通させた後、このPC鋼線を到達側から油圧ジャッキでけん引することにより、発進側からエレメントを引き込む方法である。施工手順図を図-3に示す。

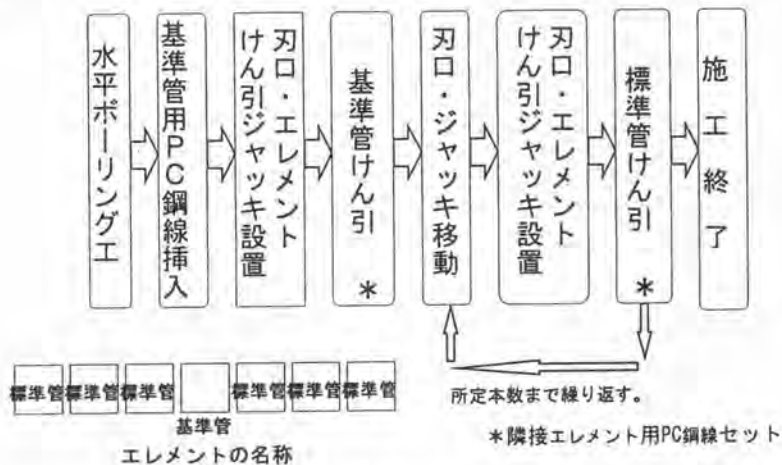


図-3 施工手順図

なお、PC鋼線挿入のための水平ボーリングは、基準管施工時のみ行い、標準管については隣接する先行エレメントがPC鋼線を引き込む方法とした。けん引方法を図-4に示す。

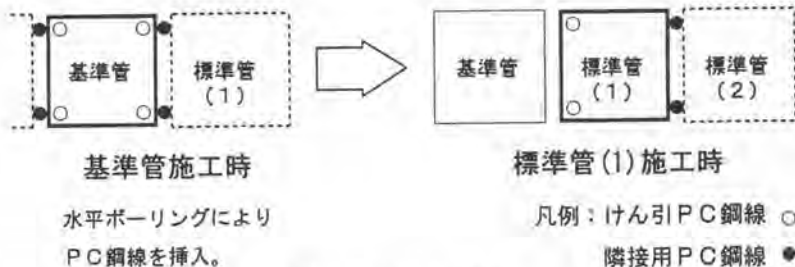


図-4 けん引方法

### 3. エレメントけん引工法施工設備

今回の開発では、けん引速度は複々線の距離を線路閉鎖間合(3時間)で施工するとして、後続のエレメント延長の作業時間を考慮し250mm/min.を目標とした。またエレメント寸法は□850mmとした。

#### (1) 掘削装置(刃口)

オーガー長を短くし、駆動部を刃口内に装備することにより、装置の簡略化を行った。また支障物対策として、駆動部が後方に解体できる構造とした。オーガー径はφ650mm、カッタートルクは、1,185kgf-m、重量2.6tonである。掘削装置を図-5、写真-1に示す。



図-5 掘削装置

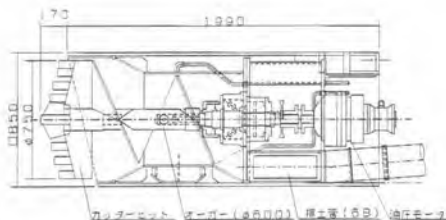


写真-1 掘削装置

(2) けん引装置

けん引装置は、けん引ジャッキ、PC鋼線、定着材で構成されている。施工条件から必要けん引力を算定し、それぞれの仕様を決定する。

けん引力 $P$ は、 $P = P_1$ (先端抵抗) $+ P_2$ (桁外周摩擦による抵抗) $+ P_3$ (桁自重による摩擦抵抗)で求められる。<sup>1)</sup>

今回は、けん引ジャッキとして能力70tonf、ストローク1,200mmのセンターホールジャッキを使用した。また油圧ポンプには、各ジャッキ間のストローク差が生じないようにマルチフローポンプを採用した。けん引装置を写真-2に示す。



写真-2 けん引装置

(3) 排土装置

刃口からの排土については、高速施工に対応するため、ホース一本で連続排土が行える吸引排土装置による吸引排土方式とした。排土は、吸引排土装置と刃口の間に、排土ホッパー1.2m<sup>3</sup>を設置し行った。使用する吸引排土装置の仕様を表-1、吸引排土装置を写真-3に示す。

表-1 吸引排土装置諸元

形式	SS-11BWP	
風量	100 m <sup>3</sup> /min.	
静圧	-650 mmHg	
寸法	全長	9,900 mm
	幅	2,490 mm
	高さ	3,350 mm
処理能力	25ton/hr(ト*ライ磅)	



写真-3 吸引排土装置

#### (4) 管理システム

従来工法における施工管理は、オペレーターの経験により行っており、変化に対して迅速な対応が難しかった。特に本工法では高速で施工するために厳密な施工管理が重要となる。本工法の管理システムは、エレメントの進行に伴い変化する、軌条変状、掘削土量、けん引力、けん引速度、位置・姿勢などをリアルタイムで把握、解析し、軌道への影響を最小限に抑制できる。全作業の制御、管理が中央管理室において可能である。管理項目を表-2、管理画面を写真-4に示す。

表-2 管理項目

①軌条変状	②けん引力/けん引速度
③掘削土量	④刃口姿勢
⑤刃口(カッタートルク、回転数)	⑥排土圧力

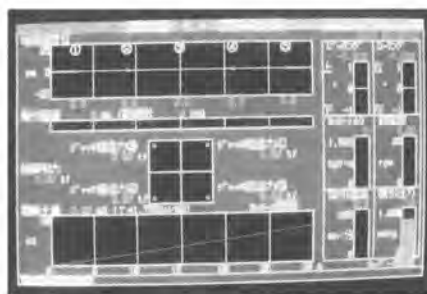


写真-4 管理画面

#### 4. 実証試験

実証試験は、模擬地盤による基礎試験、次に現場における場施工試験を行った。基礎試験は模擬地盤として関東ローム、砂質土を使用した土槽で基準管を5mけん引した。現場施工試験は、PCR工法の工事現場で上床・側壁両エレメントの施工が終了した時点で、その内側部分で基準管30m標準管10mの2本のけん引を行った。試験状況を写真-5に示す。試験により、以下の項目が確認できた。



写真-5 現場施工試験状況

- ①けん引速度は、基礎試験では250mm/min.を確保出来たが、現場施工試験では掘削地盤が粘性土であったため、50~100mm/min.であった。
- ②けん引は、特に問題なく施工できた。標準管の片側けん引についても支障なく施工できた。
- ③施工精度を向上させる為には、水平ボーリングの精度を確保する必要がある。
- ④吸引排土装置により、従来工法で人力で行っていた排土作業がなくなり、排土効率と労働環境の改善ができた。但し粘性土の場合、閉塞対策が必要である。
- ⑤管理システムは計画通り機能した。経験に頼って行っていた施工管理の信頼性が大幅に向上した。

#### 5. まとめ

今回の試験により、けん引工法が実施工にも適応可能なことが確認出来た。今後も、より施工性の向上を計り、実用化に向けて研究開発を進めていくことにより、けん引工法が、従来工法の問題を解決して安全かつ、短期間に線路下に構造物を施工することが可能になると考えている。

【参考文献】1)東日本旅客鉄道株式会社監修：PCR工法計画・設計・施工の手引き、1991

### 3. 小断面トンネル用ミニ油圧ブレーカの開発

鹿 島：塩田 孝輔，\*林 拓夫

#### 1. はじめに

営業運転中の原子力発電所に隣接(最小距離 $l=15\text{m}$ )する増設2号機の岩盤調査用試掘トンネルの掘削工事において、掘削断面積 $9.0\text{m}^2$ で中硬岩よりなるトンネル横坑を、無発破工法により掘削した。

この工事のために、ミニショベルをベースマシンとして、これに出来るだけ大きな油圧ブレーカを取付けるなど、急速施工のための種々の改造を行い、小断面トンネル用油圧ミニブレーカを開発した。

この開発試作機は、予想以上の性能を発揮したので、開発から実施までの一連を報告する。

#### 2. 開発の経緯

##### (1) 施工条件

トンネル横坑を無発破機械掘削するに当たり、次のような施工条件があった。

①横坑を掘削するためのアクセストンネルの断面が小さい(アクセス立坑 $\phi 2.95\text{m}$ 、アクセス水平坑内空 $H=2.6\text{m}$ 、 $B=2.2\text{m}$ ；図-1参照)。

②横坑そのものの断面も小さい(内空 $H=2.6\text{m}$ 、 $B=3.1\text{m}$ ；図-2参照)。

③横坑は、安山岩(均質)・安山岩(角礫質)及び凝灰角礫岩からなっており、その一軸圧縮強度は、 $100\sim 2000\text{kgf/cm}^2$ と広い範囲にある。安山岩(均質)は硬く、 $30\sim 50\text{m}$ 間隔で亀裂が見られ、安山岩(角礫質)・凝灰角礫岩はそれ程硬くないが、亀裂が少く“しわい”岩質である。

④工程上、硬質な岩盤で $0.5\text{m}^3/\text{h}$ 、その他の岩盤で $1.0\text{m}^3/\text{h}$ 以上の割岩能力をもつ必要がある。以上の施工条件に基づき、小断面トンネル用油圧ミニブレーカの開発を実施した。

開発フローを図-3に示す。以下、フローに基づき、開発の経過を説明する。

##### (2) ベースマシン(ミニショベル)選定

ベースマシンの選定条件として、アクセストンネル断面に入る出来るだけ大きな機種とした。

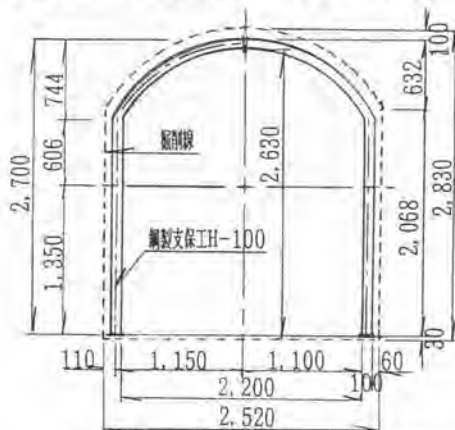


図-1 アクセス水平坑標準断面図

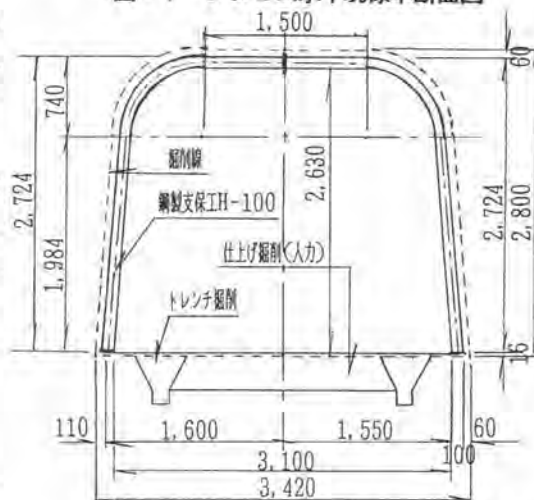


図-2 調査トンネル横坑標準断面図

アクセス水平坑断面にベースマシンをそれぞれ IS45J、IS35Jとした時の通過図を図-4に示す。

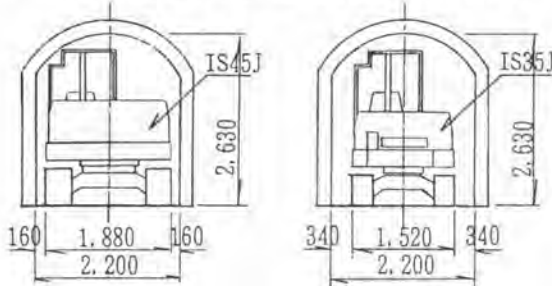


図-4 アクセス水平坑内通過図

図より、IS45Jでもぎりぎり入坑することが可能であるが、機械停止中であっても、入坑者が機械の側方を通過することが非常に難しい状況であることがわかる。また、アクセス立坑からの搬入においては、アタッチメント及びヘッドガードの解体程度で入る機種とした。その他、アクセス水平坑から横坑への廻り込みなどを勘案して、IS35Jとした。

### (3) プレーカ選定

ベースマシン(ミニショベルIS35J)に搭載出来る標準仕様のプレーカは、HB3G(100kg)である。しかし、工程確保のため出来るだけ大きな割岩能力を確保する必要があったので、これより2ランク上のHB8G(270kg)を搭載することとした。このため、ベースマシン本体を以下に示すように大々的に改造した。

### (4) 本体仕様の改造

①アームの改造：ベースマシン(ミニショベルIS35J)

に2ランク上のプレーカHB8Gを取付けることによ

り“頭でっかち”のバランスの悪い構造になる。そこで、2本継ぎのアームを根本の1本とし、さらにこれも天地を反転させたV型の構造とした。これにより、重量が軽減されるとともにショートアームにすることでバランスを良くし、狭い場所での稼働性向上と、落石の抱込み防止を図った。

②カウンターウエイト装着：さらに、本体後部に600kgのカウンターウエイトを取付けることにより、バランスの改善を図った。

③油圧機構の改造：プレーカHB8Gを取付けることによる作動油量の不足を解消するため、電磁弁によって走行動作とプレーカ動作を自動切替え出来るようにし、プレーカ作動中は走行用油圧ユニットからも油圧を補うようにした。また、坑内が狭隘なので、排気ガス及び騒音が環境上問題になることが想定されたことと、万一の油量不足に備えて外部油圧ユニットを接続出来る構造とした。

## 機械メーカー選定

- ① 地元機械改造メーカー(A社)と共同開発
- ② ミニショベル(B社)
- ③ プレーカ(C社)

## ベースマシン(ミニショベル)選定

- ① トンネル断面形状に入るできるだけ大きな機種の選定
- ② IS45J、IS35Jの比較
- ③ 稼働性からIS35Jに決定

## プレーカ選定

- ① 掘削量 $10\text{m}^3/\text{日}$ の確保
- ② IS35Jに取付けられる最大仕様のプレーカの選定
- ③ HB8Gを取付けたい

## プレーカHB8Gを取付けるための本体仕様の改造

- ① アームの改造
- ② カウンターウエイト装置
- ③ 油圧機構の改造
- ④ 水冷式オイルクーラの取付

## その他機構の改造

- ① プレーカスライド機構
- ② ブームスイング機構
- ③ 安全設備

## 試験運転

## 実 施 工

図-3 小断面トンネル用油圧ミニプレーカの開発フロー



④水冷式オイルクーラの取付：過装備及び過労働による作動油温の上昇を抑制するために、ベースマシン後部に水道水を利用する水冷式オイルクーラを取付けた。これにより、打撃力の低下を防ぐとともに、油漏れも防止出来るようになった。

(5) その他機構の改造

①ブレーカスライド機構の取付：狭いトンネル内でブレーカ掘削をする場合、ブレーカのノミ先を切羽へ直角に押し付ける必要がある。底盤面をたたく場合は、機体の重量で押し付けるが、垂直面をたたく場合は、従来のブレーカでは履帯の前進走行力により押し付ける。これでは作業性も悪く打撃力が十分に活かされない。そこで、ブレーカを垂直面に押し付けるスライド機構を取付蹴ることとした。原理は、削岩機のスライド機構と同じである。

②アームスイング角度の検討：天端部の掘削及び下部のトレンチ掘削に対して、すべての部分にノミ先が届くか、CADにてシミュレーションをした。(図-5参照)

③安全設備：ブレーカ掘削をした岩片が飛んだり、肌落ちや落石から運転者を防護するため、ヘッドガードは、鋼管パイプと溶接金網で補強したものとした。また、機械運転中であることが周囲からわかるよう、黄色回転灯を取付けた。

### 3. 開発機の概要

ベースマシン(ミニショベルIS35J)にブレーカHB8Gを取付けた開発試作機の外観を写真-1に、その

表-1 開発試作機の仕様



写真-1 開発試作機外観

掘削機		
項目	単位	概略仕様
旋回速度	rpm	8.5
走行速度(低速/高速)	km/h	2.8/4.8
登坂能力	%(度)	58(30)
エンジンメーカー、モデル	-	ISUZU 3LD1
形式	-	49(l), 渦流室, 水冷却上弁式
シリンダ数-内径×行程	mm	3-83.1×92
総排気量	cc	1,496
定格出力/回転数	ps/rpm	29/2,400
最大トルク/回転数	kgf·m/rpm	9.7/1,800
機体重量	kg	4,300
平均接地圧	kgf/cm <sup>2</sup>	0.41
燃料タンク	l	40
作動油(レバ/全系統)	l	45/100
エンジンオイル	l	3.5~6.3
冷却水(エンジン/全量)	l	2.5/5.7
油圧ブレーカ		
項目	単位	概略仕様
形式	-	HB8G
本体重量	kg	270
総重量	kg	430
作動油圧	kgf/cm <sup>2</sup>	130~150
所要油量	l/min	45~85
打撃数	b.p.m	400~800
ホース径(高圧/低圧)	mm	19/19
ロッド	-	モイルポイント900mm



写真-2 油圧装置の外観

後部に取付けた油圧装置・水冷式オイルクーラの外観を写真-2に示す。また、開発試作機の仕様を表-1に、形状寸法を図-5に示す。

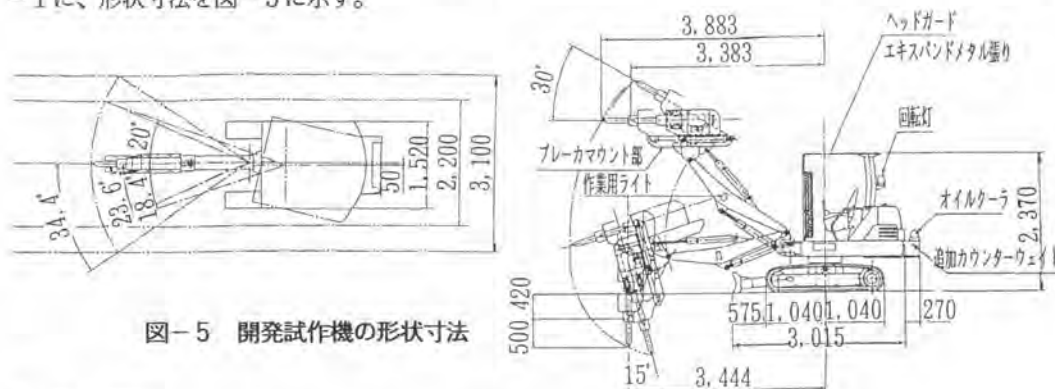


図-5 開発試作機の形状寸法

#### 4. 施工実績

掘削状況を写真-3に、施工実績を表-2に示す。



写真-3 掘削状況

表-2 施工実績

施工箇所	岩質 一軸圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	対象掘削量 (m <sup>3</sup> )	掘削時間 (h) ※	平均掘削能力 (m <sup>3</sup> /h)
A	岩Ⅲ, (200±80)	242.10	403.5	0.600
B	岩Ⅰ, (1500±500)	247.97	181.0	1.370
C	岩Ⅱ, (180±80)	200.62	170.0	1.180
D	岩Ⅰ, (1500±500)	95.90	61.5	1.559
E	岩Ⅱ, (180±80)	240.78	231.5	1.040
合計		1,027.37	1,047.5	0.981

※：作業開始前点検時間・切羽確認による一時停止時間  
・切羽変更による移動時間を含む。  
ずり出し・支保工建込時間は含まず。

開発試作機の割岩掘削能力は、当初の計画では、岩Ⅰ0.5m<sup>3</sup>/h、岩Ⅱ・岩Ⅲ1.0m<sup>3</sup>/h、加重平均0.89m<sup>3</sup>/hと見込んでいた。

施工実績では、岩Ⅰ1.37~1.56m<sup>3</sup>/h、岩Ⅱ・岩Ⅲ0.6~1.18m<sup>3</sup>/h、加重平均0.98m<sup>3</sup>/hと満足する結果が得られた。当初難渋すると考えていた岩Ⅰは、亀裂により割目から落ちるように掘削ができ、掘削速度が速くなった。かえって軟かい岩Ⅱの方が岩が“しわく”かつノミ先が刺さり、いわゆる“つぶ状態”になり、実績0.60m<sup>3</sup>/hと掘削しづらい状況であった。また、補助工法として、芯抜ボーリング(スリット状)・油圧クサビ・静的破碎剤などを用いたが、結局本機でひたすら割岩したほうが、能率的であった。

#### 5. まとめ

小断面トンネル用ミニ油圧ブレーカを開発し、当現場で初めて試作し、中硬岩トンネル横坑の無発破掘削に使用した。当初の目標以上の成果を発揮し、無事工程通り完了することができた。

ベースマシンに標準仕様より、2ランク上の油圧ブレーカを搭載した開発試作機において、本体に与える影響がどのような形で現われるか懸念されたが、特に異常は確認されなかった。

開発から試作まで各部署のアイデアを出し合い検討することにより、当現場にマッチした掘削機を完成することが出来た。今後、同様な小断面トンネルの無発破掘削工事の参考にされたい。

## 4. トンネル内画像無線伝送システムの開発

鹿 島：平井 淳一

### 1. はじめに

小断面トンネルの覆工作業において、トンネル断面が狭いため、コンクリートを遠方より圧送し打設することがある。この場合、コンクリートポンプオペレータは打設作業員の連絡のみでポンプの運転操作をしなければならない。従来、この連絡は音声のみであり、情報を的確に伝えることが難しく作業効率が悪くなりがちであった。

今回、このようなトンネル工事においても取扱い性に優れる画像無線伝送システムを開発したので、この概要について紹介する。

### 2. 工事概要

本システムを導入したのは北九州市水道局を企業者とする耶馬溪導水路トンネル築造工事（2工区）で、総延長1,981 m、仕上り断面は幅1.8 m、高さ2.2 mで内空断面積3.52 m<sup>2</sup>と狭隘なトンネル工事である。路盤コンクリート打設時は坑内搬送車が打設箇所まで近づくことができず、最大で250 m程度離れたコンクリートポンプから圧送し打設した。（写真1）

### 3. 開発概要

#### 3.1 要求項目

無線による画像伝送システムに要求される事項を次のように設定した。

- a. 作業状況が明確に把握できる
- b. 300m程度の画像伝送が可能
- c. 音声情報の伝送も可能
- d. 取扱いや保守が簡便
- e. 無線免許などの手続が簡易

#### 3.2 伝送方式

無線により簡易に画像伝送ができる方式として2.4GHz帯のSS通信（スペクトラム拡散通信方式）とミリ波帯の電波を利用した通信方式があり、この二方式について検討した。表1に伝送方



写真1 坑道全景

式の主要仕様を示す。

### 3.3 伝送実験

2.4GHz帯のSS通信やミリ波帯の電波を利用した画像伝送装置は地上空間での実績は数多くあるがトンネルなどの閉塞された地下空間での使用実績はほとんどなかった。このため、小断面トンネルにおいて伝送可能距離や障害物の影響等について把握する目的で伝送特性把握実験を実施した。

この結果、二方式とも十分に要求伝送性能を満足したが、特にミリ波帯の電波はトンネル壁面での反射効果により

- a. 簡易なアンテナにより長距離の伝送距離を確保できる
- b. 伝送経路の障害物の影響を受けにくい
- c. アンテナの指向角の調整が不要

など地上空間以上に適用性があることがわかった。

### 3.4 伝送システムの評価

今回のシステムには、音声の双方向通信や動画像の伝送が可能なミリ波帯電波を利用した50GHz簡易無線を採用した。表2に総合評価結果を示す。

なお、2.4GHz帯SS通信による伝送方式は画像・音声同時送信の開発が進められており、簡易なトンネル内画像・音声伝送装置としての今後の進展に注目していきたい。

表1 伝送方式の主要仕様

項目	2.4GHzSS通信	50GHz簡易無線
電波型式	スペクトラム拡散方式	FM変調方式
周波数帯域	2.447～2.497GHz	50.44～51.40GHz
空中線電力	10mW/MHz	15mW
通信方式	半二重	映像：片方向、音声：双方向
伝送速度	256kb/s	6312kb/s
空中線種別	スリープアンテナ	コニカルホーンアンテナ
電源	AC100V (50w)	DC12V (約15w)

表2 伝送システム評価表

評価項目	要求条件	2.4GHz SS通信	50GHz簡易無線
伝送距離 (3.5 m)	300m以上	○ (550m)	◎ (700m)
伝送遅延時間	数秒以内	○ (1秒程度遅延)	◎ (リアルタイム)
障害物、指向性	影響を受けない	◎	○
画質	作業状況把握程度	△ (1秒毎の静止画)	◎ (動画、鮮明)
音声情報伝送	集音拡声機能	△ (別装置必要)	◎ (双方向通信可)
形状寸法	小型・軽量	○	△
操作性	簡便、保守不要	○	○
免許	簡易	◎ (届出不要)	○ (全国移動で申請)
価格	安価	△	△

## 4. 画像無線伝送システム

### 4.1 システム概要

本システムは打設箇所を設置された画像送信装置とコンクリートポンプに設置された画像受信装置により構成される。図1にこのシステムの概要を示す。

#### (1) 画像送信装置

画像送信装置は打設状況を撮影する小型 CCD カメラ、作業場所の音声を集音するマイク、ポンプオペレータからの音声を放送するスピーカ及び 50GHz のミリ波帯電波を送受信する伝送装置により構成される。この画像送信装置は打設箇所に追従する移動式インバート均し機に設置し、一日あたり 50m 程度で進行する全区間の監視が可能ないようにした。(写真 2)

#### (2) 画像受信装置

画像受信装置はコンクリートポンプに設置し、打設箇所からの画像、音声情報の電波を受信し、液晶モニターテレビ及びスピーカーにより打設状況を視覚・音声情報としてポンプオペレータに伝える。また、音声通話は相互通信が可能でポンプオペレータから打設作業員への音声指示も可能である。(写真 3～5)

### 4.2 システムの特徴

#### (1) 優れた機動性

画像送信装置は小型軽量であり 배터리



写真 2 打設箇所送信装置

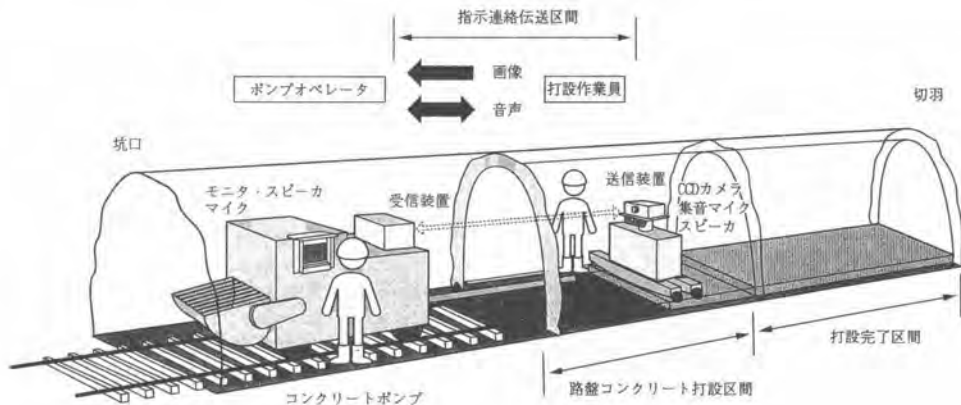


図1 システム概要

駆動のため、移設手間や電線の引回しなどが不要である。

### (2) メンテナンス・調整が不要

一般に、ミリ波帯電波を使用した通信機器を移動する物体に設置する場合には電波方向の調整が必要となるが、小断面トンネルでは壁面での電波の反射効果により電波方向の調整が不要である。また伝送区間内の各種建設資材や作業員などによる伝送障害が少ない。

### (3) 優れた情報伝達機能

ポンプオペレータは常時作業状況を監視できるとともに作業場所の音声聞き取りにより臨場感ある情報が得られる。また、オペレータから作業員へ適切な指示ができる。



写真3 コンクリートポンプ搭載受信装置

## 5. まとめ

本システムの採用により打設時間が短縮し、また安全性が向上した。今後、総合的な通信システムとしてさらに発展させていく予定である。

最後に、画像伝送実験に多大な御協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表します。



写真4 コンクリートポンプ操作状況



写真5 液晶モニタ画像

## 5. ハニカムセグメント自動組立装置の開発

㈱奥村組：\*畑山 栄一  
石川島播磨重工業㈱：北山 仁志

### 1. はじめに

六角形のセグメント（以下、ハニカムセグメントと呼ぶ）を対象にした自動組立装置を開発した。同セグメントの特徴を活かすことで、製作コストの低減を図るとともに、従来の人手による組立よりも大幅な時間短縮を可能にした。

以下に自動組立装置の概要と工場での性能確認実験について述べる。

### 2. ハニカムセグメント

ハニカムセグメントは奥村組が「シールドトンネルの長距離・急速化施工法の開発」の中で実用化したセグメントで、自動化を図る上で以下の利点を備えている（図-1参照）。

- ①全ピースが同一形状で、組立位置が同じであることから、セグメントの位置決め制御手順が矩形セグメントに比べて簡単になる。
- ②凹凸状に組み立てた既設セグメントの斜辺部が位置決めガイドになる。
- ③セグメントに設けた凹凸のプラグ・ソケットが位置決め精度向上につながる。
- ④継手ボルトの本数が少なく、事前にセグメントに挿入しているので、ボルト締結機構の簡素化が図れる。

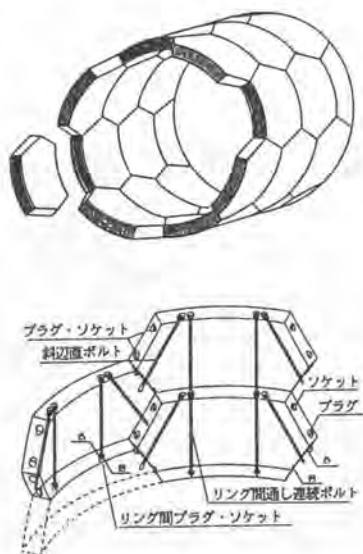


図-1 ハニカムセグメント

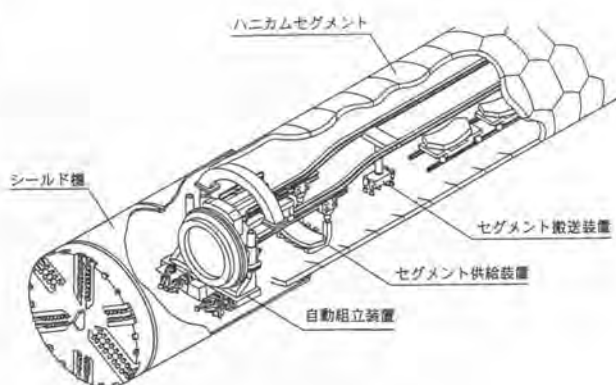


図-2 セグメント自動組立システムの概要

### 3. 開発目標

開発に当たって以下の目標を設定した。

- ①従来の人手による組立よりも時間短縮を図る。
- ②装置の機構を簡素化し、コストダウンを図る。
- ③装置を小型化し、中小口径シールド機への適用を図る。
- ④急速化施工を目的とする掘進とセグメント組立の同時施工用シールド機に適した構造とする。

### 4. 自動組立装置の概要

#### 4.1 基本構造

セグメント自動組立システムの概要を図-2、自動組立装置（エレクタ）の基本構造を図-3に示す。セグメントの位置決めには旋回、伸縮（トンネル半径方向）、摺動（トンネル軸方向）、ローリング、ピッチング、ヨーイングの6自由度の動作が必要になる。今までのエレクタは自由度ごとに個別に動く機構を備えていたが、今回は摺動動作とヨーイング動作、およびローリング動作とピッチング動作をそれぞれ同じ機構で行えるようにした。摺動ジャッキの2本のストロークを同じにすると摺動動作ができ、ストロークに差をつけるとヨーイング動作ができる。微調ジャッキの3本のストロークを同じにすると把持したセグメントの姿勢は中立位置を保ち、前後・左右の微調ジャッキのストロークに差をつけると把持ピンを中心にピッチングとローリングの動作ができる。エレクタには高い精度の姿勢制御性能が要求されることから、各ジャッキにストローク計と圧力計を取り付け、サーボ弁を用いてジャッキのストロークと圧力を制御できようとした。

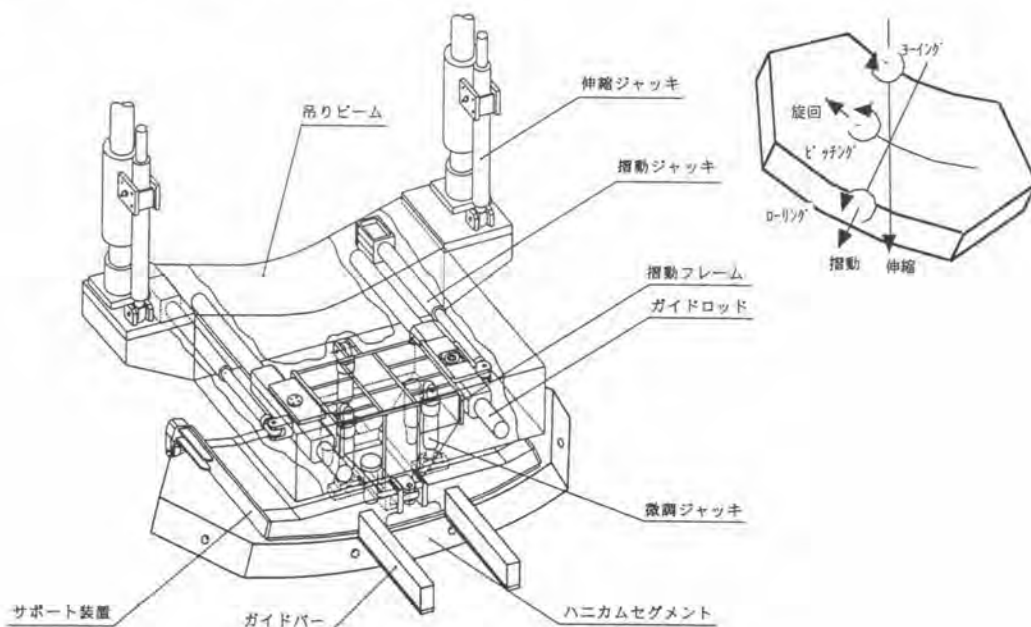


図-3 エレクタの基本構造



## 4.2 位置決め方法

従来の自動組立装置の位置決め方法は、エレクタに取り付けたセンサで既設セグメントとの相対距離を計測し、エレクタの姿勢を制御して位置決めを行うのが一般的である。今回開発した位置決め方法は、位置計測用のセンサをなくし、エレクタに取り付けた2本のガイドバーと既設セグメントの斜辺のガイドを利用し、新しく組み立てるセグメントを既設セグメントに沿わせて力制御ではめ込む方法である。はめ込む時に生じる反力をエレクタの各ジャッキで計測し、所定の反力になるようにジャッキのストロークを調整して位置決めする。

従来のセンサを用いる方法に比べて、センシング機構がなくなり装置を簡素化できる、連続した動きにより組立時間の短縮が図れる、センサに起因した不具合がなくなるなどの利点がある。

以下にセグメントの組立手順を示す（図-4参照）。

- ①粗位置決め終了後、伸縮ジャッキを伸ばしてエレクタに取り付けたガイドバーを既設セグメントの内面に押し当てる。
- ②組み立てるセグメントと既設セグメントの内面が同一になるようにガイドバーの傾きを微調ジャッキで制御し、ピッチングとローリングを調整する。
- ③ガイドバーが既設セグメントから離れないよう適度な力で押し当てながら、摺動ジャッキで組み立てるセグメントを既設セグメントに挿入する。
- ④挿入時に生じる反力を2本の摺動ジャッキで計測し、既設セグメントにスムーズにはまり込むように旋回位置とヨーイング方向を調整する。
- ⑤摺動ジャッキによる位置決め終了後、シールドジャッキを押し付け、ボルト締結を行い、1ピースの組み立てを終了する。

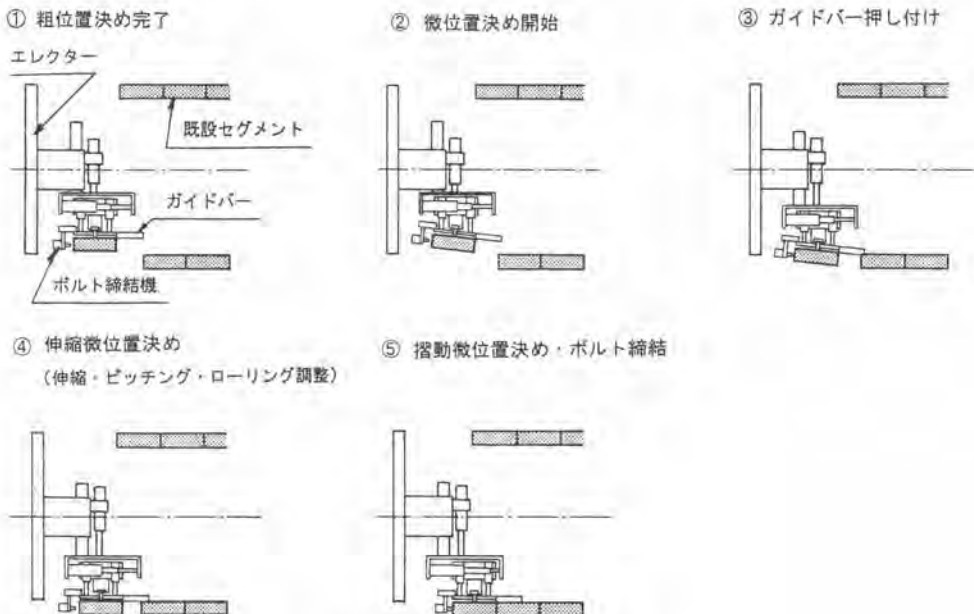


図-4 セグメント組立手順

### 4.3 ボルト締結機

ボルト締結機を図-5に示す。エレクタの切羽側にスライド機構を有したボルト締結機を取り付け、位置決め終了後、ボルト締結機をセグメント側に移動してボルトを締結する。

従来の矩形セグメントはボルトの本数が多く、トンネル内面側からボルトの挿入・締結を行うため、位置計測用のセンサとボルト締結機が干渉して機構が複雑になる。このため、トンネル半径方向の寸法を短くするのに限界があった。ハニカムセグメントは締結ボルトの本数が少く、トンネル軸方向からボルトを締結するので、エレクタの半径方向の機器の配置がコンパクトになり、セグメント内径3mクラスまでの適用が可能になった。

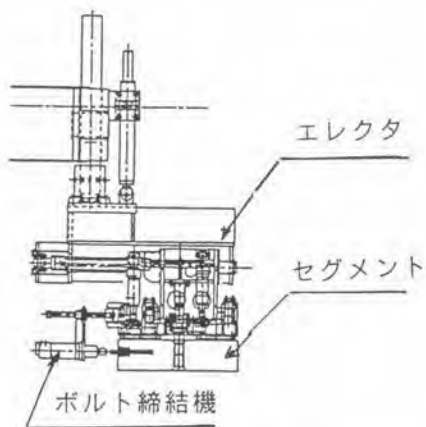


図-5 ボルト締結機

## 5. 性能確認実験

### 5.1 実験目的

エレクタの性能を確認するため、工場で大規模の組立実験を行った。なお、位置決めについては、センサを用いた方法も同時に行い、性能を比較した。

### 5.2 実験装置

実験装置を写真-1に示す。エレクタを取り付けた実験架台にハニカムセグメント（外径：5300mm、幅1000mm、6分割）を1.5リング分を組み付けた。実験時のセグメントの組立位置は架台に組み立てた既設セグメントの下側と斜め上方とし、下側の組立位置には、シールドジャッキに相当する油圧ジャッキを1台設置した。エレクタの仕様を表-1に示す。

表-1 エレクタの仕様



写真-1 実験装置

形式	リングギア式	
最大取扱重量	2 ton	
旋回速度	2 rpm	
旋回角度	±200 度	
旋回微調ジャッキ	8.3 t × 200 st × 1 本	
伸縮ジャッキ	6.3 t × 575 st × 2 本	
摺動ジャッキ	4.1 t × 490 st × 2 本	
微調ジャッキ	4.1 t × 70 st × 3 本	
ボルト	適用ボルト径 M24	
締結機	リング間締結機	2 台
	斜辺間締結機	2 台
	締結最大トルク	74Kgf・m

### 5.3 実験方法

セグメントをエレクタで把持した後、手動運転で所定の組立位置の近くまで旋回する。自動運転で、粗位置決め、微位置決め、ボルト締結、把持解除を行い、1回の実験を終了する（写真-2参照）。

### 5.4 実験条件

実験条件を以下に示す。セグメントの初期姿勢、組立位置、締結順序の条件を組み合わせる実験した。

#### a. セグメント初期姿勢

- ①各自由度中立位置の場合
- ②ローリング角 0.6度ずらした場合
- ③ピッチング角 0.6度 "
- ④ヨーイング角 0.6度 "
- ⑤旋回角 0.6度 "
- ⑥上記を複合した場合

#### b. 組立位置

- ①下側（天端から 180度）
- ②斜め上方（天端から 60度）

#### c. ボルト締結順序

- ①リング間ボルトから締結
- ②斜辺間ボルトから締結
- ③リング間、斜辺間を同時に締結

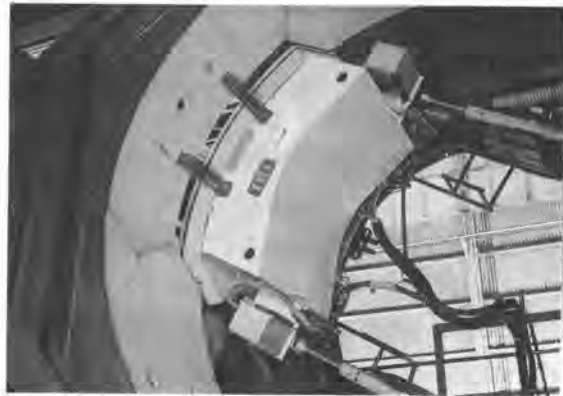


写真-2 組立実験状況

### 5.5 調査項目

1ピース組立ごとに、組立時間、セグメントの組立精度（既設セグメントとの目開きと段差）、ボルトの締結状態を調べた。

### 5.6 実験結果と考察

#### a. 組立時間

組立時間を表-2に示す。セグメント1ピースの測定結果をもとに1リングの組立時間を算出し、従来の手動エレクタを用いた手組の時間と比較した。1リングの組立時間は、従来の手組による方法が約40分であるのに対し、センサを用いた方法が25分、ガイド機構を用いた方法が20分であった。センシングを必要とせず、連続組立が可能なガイド機構を用いた位置決め方法が、最も組立時間が短く、従来の手組による方法に比べて大幅な時間短縮が可能であることが分かった。

表-2 組立時間

	1ピース平均組立時間（実験値）	6ピースの組立時間	1リング組立時間（粗位置決めの含）
人手による組立（実績値）	-	-	約40分
センサを用いた自動組立	2分20秒	14分	25分
ガイド機構を用いた自動組立	1分50秒	11分	20分

## b. 組立精度

組立位置が下側のセグメント段差の測定結果を図-6に示す。位置決め方法に関係なく、シールドジャッキで押し付けてボルト締結した後の段差は $\pm 1\text{mm}$ 以内に納まり、実用上十分満足できる結果を得た。また、セグメントの目開きも $1\text{mm}$ 以内に納まった。

斜め上方の組立位置の場合はシールドジャッキによる押し付けができないため、摺動ジャッキで押し付けた時の位置決め精度を測定した。測定の結果、所定の精度内であることを確認した。

## c. ボルト締結機の性能

ボルトの外径に対してセグメントのボルト挿入穴の内径が大きく、締結機とボルトに約 $3\text{mm}$ の芯ずれが生じたが、確実にボルトを締結することができた。締結順序の違いによる締めつけトルクの差はみられず、4本同時に締結することが組立時間の短縮につながる事が分かった。

## 6. まとめ

開発の結果をまとめると以下のようなものである。

- ①ガイド機構を用いた位置決め方法の開発で、従来の手組に比べて組立時間を約半分に短縮できる。
- ②装置の機構を簡素化することで従来の矩形セグメントの自動組立装置に比べて製作費を30%低減できる。
- ③軸挿入式のボルト締結機を用いることでセグメント内径 $3\text{m}$ クラスへの適用が可能である。
- ④セグメント挿入およびボルト締結がすべてトンネル軸方向のため、掘進とセグメント組立の同時施工に適している。

## 7. あとがき

ハニカムセグメントの特徴を活かしたエレクタを試作し、実大規模の組立実験によって所期の性能を満たすことが確認でき、実用化に目処がついた。

本開発は、前述したようにシールド工法の急速化施工を目的に取り組んでいるものである。今後は、自動組立装置の現場への適用を図るとともに、掘進とセグメント組立の同時施工法の実現に向けて開発を進めていきたい。

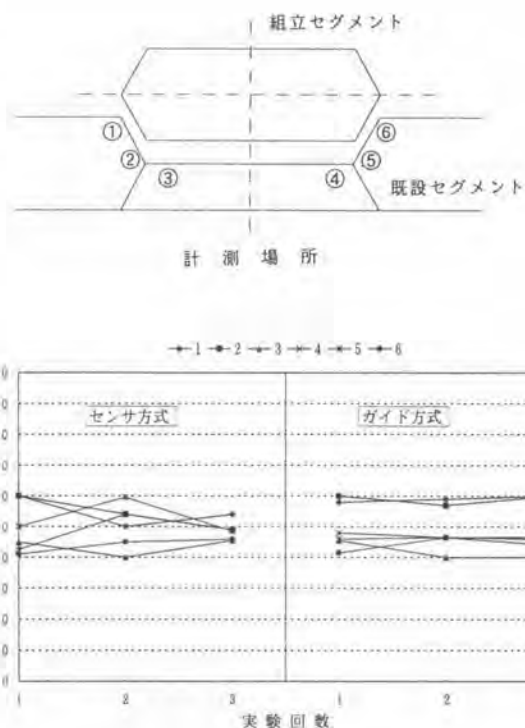


図-6 セグメント段差の測定結果

## 6. シールド工事のセグメント自動搬送装置

(株)大林組：\*柿沼 武，高橋 栄次  
山崎 和敬

### 1. はじめに

近年、シールド工事においては、大深度・大断面・長距離化の傾向にあり、作業者の安全性の確保、工事の効率化と確実性を高めるために、施工機械の無人化・自動化が進められている。本装置は、シールド工事におけるセグメントの搬送を自動で行うものであり、仕様の異なる機械にでも適用できる汎用性を有し、すでに二現場（平野川シールド及び2号新淀川共同溝シールド）で使用され、良好な結果を得ている。上記現場では施工条件が各々異なり、形状の違うバッテリー機関車にこの装置を適用した。2号新淀川共同溝シールドでは、

立坑下でのセグメント積み込みから組み立てまでの一連の自動運転の一部に使用したのに対し、平野川シールドでは、地上部でセグメントを積み込み、立坑部でのリフト昇降を経て切羽までのセグメント搬送を自動化した。



写真1. 中央制御室

今回、本論文では、立坑下で作業員がセグメントを積み込んだ後から、切羽手前で停止するまでの往復のシステム(2号新淀川共同溝シールド)概要と安全対策、モニタリング機能及び制御方法などについて紹介する。

### 2. システムの概要

本システムに用いられるバッテリー機関車は、AGV (Auto Guided Vehicle: 自動搬送車) と呼ばれ、立坑から切羽までを自動運転により無人でセグメントなどの資材を運搬する。図1. に示す様に、AGVの位置や入出力信号、各種異常信号は、

常時中央制御室でモニタリングされる。通信ネットワークは、図1.に示すように、シールド坑内にあるAGV表示盤、セグメントを切羽において自動で搬送するハンドリング装置、中央制御室の



図1.セグメント搬送システム(2号新淀川共同溝シールド)

コンピュータなどと、光ファイバネットワークで中央制御装置に接続され、また、AGVと中央制御装置とは、特定小電力無線にて信号の伝達を行っている。表1.に設備機械の仕様を示す。

### 2-1. システム構成

セグメント自動搬送システムは、図2.に示すように大きく分けて三つの部分に分かれる。

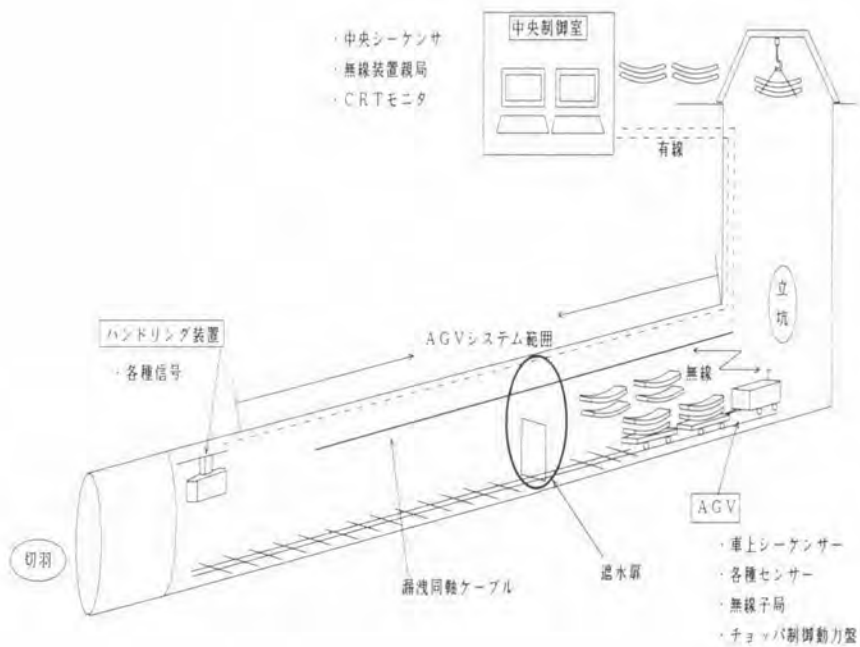


図2.システム構成図(2号新淀川共同溝シールド)

- ① 各種センサーと無線機子局、シーケンサ装置などを装備したバッテリー機関車とセグメント台車からなるAGV
- ② 坑内のAGVの位置や速度を常時監視するモニタリング装置
- ③ AGVとハンドリング装置をリンクして制御する中央制御装置

表1. AGV設備機械仕様

2号新淀川共同溝シールド			
設備機械	仕様		数量
バッテリー機関車	牽引力	650kg	1台
	自重	8 t	
	最大速度	8 km/h	
	制御方式	チョッパー制御	
	走行電動機	DC180V 20KW×2個	
システム制御機器	動力伝達方式	二段減速方式	1台
	中央制御盤	管理用FAコントローラ: CRT GP-B10 シーケンサ: A2-A	
通信装置	使用周波数	454MHz(下り)、413MHz(上り)	1台
	電波波形	F2D・F3E	
	空中線電力	1mW以下	
	信号点数	親局1台 入出力各40CH 子局1台 入出力各20CH	
	無線局免許	1mW陸上移動業務用無線局	
平野川シールド			
設備機械	仕様		数量
バッテリー機関車	積載重量	15.5 t	2台
	自重	5 t	
	最大速度	8 km/h	
	制御方式	チョッパー制御	
	走行電動機	DC90V、5.5KW×1個	
リフト	動力伝達方式	二段減速方式	1台
	積載過重	20 t	
	揚程	35.8m	
	定格速度	20m/min	
	電動機	110KW 10P	
システム制御機器	制御方式	電磁ブレーキ及び油圧ブレーキ	1台
	中央制御盤	管理用FAコントローラ: CRT GP-B10 シーケンサ: A2-A	
通信装置	使用周波数	454MHz(下り)、413MHz(上り)	1台
	電波波形	F2D・F3E	
	空中線電力	1mW以下	
	信号点数	親局1台 入出力各40CH 子局2台 入出力各20CH	
	無線局免許	1mW陸上移動業務用無線局	

## 2-2. 動作

一連の動作は、図3. 及び図4. に示す通り、立坑でオペレーターによりセグメントが積み込まれ、行先が設定される。スタート釦を押されたAGVは、切羽に向かって走行を開始し、途中、中央制御装置で設定された減速区間で一旦速度を落とし、ハンドリング装置からの進入許可信号を受けた後、減速しながら自動停止する。AGVは、到着信号を送信し、ハンドリング装置がそれを受けて、セグメントを自動で荷取りする。セグメント台車では、セグメントを積み重ねるのに用いる枕木が、ハンドリング装置と信号のやり取り

をしながら自動で取り外される。この動作を何回か繰り返し、セグメントがすべて降ろされると、ハンドリング装置から退出許可信号が送られ、AGVは立坑に向かって走行を開始し、立坑の停止位置で止まる。一連の動作でのAGVとハンドリング装置相互の信号の入出力は、全て無線と光ファイバーネットワークを介して行われる。

### 2-3. 速度制御

速度制御は、AGVに装備されている磁気センサーと光電センサー、エンコーダーによる情報を中央制御室のシーケンサーとAGVに搭載されているシーケンサーにて図4. に示すような制御を行っている。制動装置には抑速用に回生ブレーキ、停止用に電磁ブレーキ、パーキン

グ用に電磁ブレーキと手動ディスクブレーキ、非常用にトラックブレーキを装備し、確実に安全な制動を行っている。AGVの位置検出は、測距輪に取り付けたエンコーダーにて行

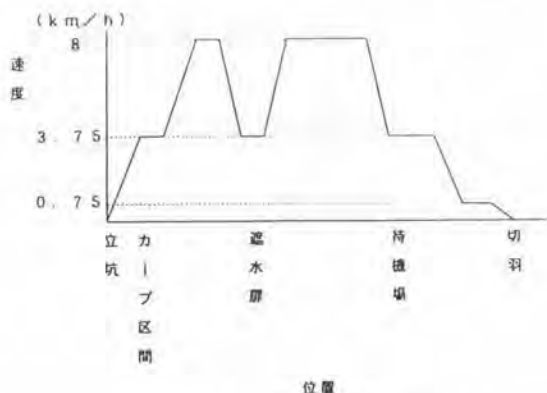


図4. AGVの位置-速度グラフ

め、光電センサー、磁気センサー及び半導体レーザーセンサーを並列で用いた。

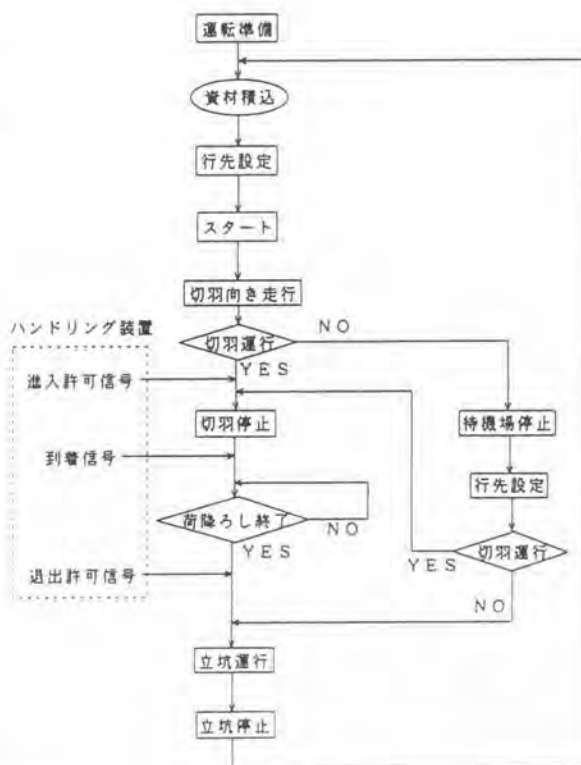


図3. 運行フロー図

われ、中央制御室でモニターされているが、測距された位置をメータとして減速区間をCRTタッチパネルで自由に設定できるようになっている。加減速については坑内に設置した磁気盤を磁気センサーが検知することにより加減速指令が出され、チョッパー制御による速度制御をしている。後方台車内での定位置停止は、検知ミスが重大事故に繋がるため、



## 2-4. センサー及び安全装置

自動運転に伴う安全対策には細心の注意を払った。安全装置は以下の通りである。

### ①障害物検知センサー

#### 1) 20mセンサー

検出エリアを20m前方に設定したCCDカメラで監視し、入力される画像から基本となる背景画像を差分(引き算)して、背景画像と変化のある部分(発生した障害物)を抽出する。抽出された成分に対し、その大きさ(画素数)が設定した大きさの範囲内であれば、これを障害物として検出する。(図5。)

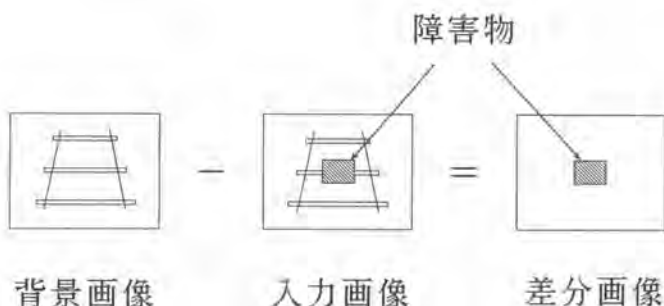


図5. 前方監視システム(20mセンサー)画像処理方法

#### 2) 3mセンサー

前方3m以内の障害物を赤外線センサーで検知し、非常停止する。

#### 3) バンパーセンサー

前方に取り付けたバンパーに障害物が接触し、非常停止する。

#### 4) 6mセンサー

前方6m以内の障害物を半導体レーザーセンサーで検知し、非常停止する。

### ②過速度検出センサー

モーターに取り付けたエンコーダーで速度を検出し、定格速度より1km/h以上過速度の状態が3秒以上続くと非常停止する。

表2. センサー仕様

検出装置	機器	仕様	数量
障害物検知センサー	画像処理センサー	CCDカメラ、制御装置、操作パネル	一式
	赤外線センサー	DC10~30V、60mA、	4個
	半導体レーザーセンサー	レーザー距離測定器、ディテクトリレー	1個
速度センサー	エンコーダー	二相原点付出力形、1000パルス/1回転	1個
位置検出センサー	磁気センサー	DC24V、10mA、N極検出型	6個
	光電センサー	DC12~24V、15mA、リフレクタ反射形	3個
	エンコーダー	二相原点付出力形、600パルス/1回転	1個

### ③ オーバーラン検出センサー

坑内で設定されている停止位置の範囲を超えた場合、磁気センサーと光電センサー及び半導体レーザーセンサーにより、非常停止する。

### ④ 非常停止押釦スイッチ

セグメント台車を含むAGV、坑内及び中央制御室など、合計12ヶ所に非常停止押釦スイッチが設置されている。

上記以外にも、シールドマシンの後方台車内に進入するときや退出するとき、ハンドリング装置からの進入許可信号や退出許可信号などをインターロックの条件としている。また、後方台車内の軌道の安全が確認されないと異常信号が出され、進入・退出ができない仕組にもなっている。中央制御室以外に、立坑下・切羽の坑内二ヶ所に非常停止釦を含む表示盤を設置し、その場所でAGVの状態が分かるようになっている。

## 3. 特徴

① 自動運転における装置の信頼性を確保するため、安全には二重、三重の対策を施した。

② 運搬作業の効率を高めるため、速度制御幅、操作機能の充実を図った。

③ 運転管理室でのモニタリング機能を充実させた。

特に、軌道上の障害物検知用画像処理装置の採用などに特色を持つ。

## 4. おわりに

シールド工事は、更に自動化の傾向が進むと予想される分野である。その中で、バッテリー機関車の自動運転は、もっとも基本的な部分である。従って、信頼性があり汎用性のあるシステムが不可欠であるが、本文で述べたように、本システムは、既に二つの現場で実用化され、良好な結果が得られている。画像処理型20mセンサーの信頼性が今後の問題として残ってはいるが、殆どトラブルもなく施工が行えた。今後、システムに付随するハードの改良が更に進めば一層万全のものになると思われる。

これからの自動化は、従来の施工機械を自動化するのではなく、最初から自動化を意識した設計にするといったようなことが必要である。



写真2. AGV各部名称

# 7. 山岳トンネルにおけるマルチメディアネットワークシステムの開発

清水建設㈱： 深井日出男，河野 重行  
\*小野 啓二

## 1. はじめに

昨今の急激な地下開発の需要増に対し、構造物の大断面化、大深度化、長大化が進み、建設現場においては、厳しい施工管理が求められる。しかしながら、近年、熟練者の高齢化や若者の建設業離れなどに起因する労働力不足が深刻化しており、建設現場においては、従来以上の人員削減が予想され、現場管理の合理化が求められる。建設現場の施工状況のリアルタイムな集中管理は多くの作業が輻輳するトンネル工事では安全面においても作業性の向上においても、非常に重要なものとなっており、特にシールド工事などはそのために総合管理システム [1] が導入され、稼働し、良好な結果を得ている。しかしながら、一方、山岳トンネルでは人間の経験や勘に頼る部分が多いため、作業の定量的な管理が難しいだけでなく、掘削機械が主体であるシールド工事と比べ、トンネル工種別に各種機械が輻輳するトンネル工事では坑内を施工管理のためのケーブルを布設することは実用的ではなく、その結果、山岳トンネルのリアルタイムな施工状況の集中監視は一般的ではなかった。

筆者らは、トンネル坑内における切羽などの状況に関する画像および音声情報、トンネル坑内の環境および換気状況などの数値情報、非常警報や坑内放送などの複数の情報を事務所においてリアルタイムに集中管理できるマルチメディアネットワークを開発し、現在、富山県にある山岳トンネル工事において適用しており、その概要を報告する。

## 2. システムの目標

このシステムの開発に先立ち、次の事項を目標とした。

- ①システムの取り扱い性を高めるうえでも、伝送ケーブルを使用しない無線化を検討する。
- ②同一の伝送媒体により、リアルタイムにトンネル坑内の画像、音、声、計測データなどで構成される複数の情報の伝達が可能であること。
- ③システムが坑内の電気設備、その他各種機械設備からの影響を受けず、操作可能であること。
- ④1対の伝送装置でトンネル坑内での各情報の伝送距離が1km以上であること。
- ⑤このシステムは軽量でかつ移動が容易にできること。

このシステムはトンネル工事の過酷な状況下においても、安定した性能を発揮するものであること。

これらの目標のために筆者らは数種類の無線装置を調査し、実際のトンネルの現場でシステムへの適用性を確認する実証実験をおこなった。そして、このシステムの目標を満たす無

比較項目	簡易無線局	小電力データ通信システム
画像伝送	動画の伝送可能	静止画のみ可
音声伝送	2chの伝送可	不可(開発中)
データ伝送	可能	可能
伝送距離	空中で約10km トンネル内で2.4km	空中で約1km トンネル内で1.2km
指向性	指向性が強く電波の方向に注意	無指向性
障害物の影響	伝送路に金属体があると影響有	殆ど影響無し
免許	不要	不要

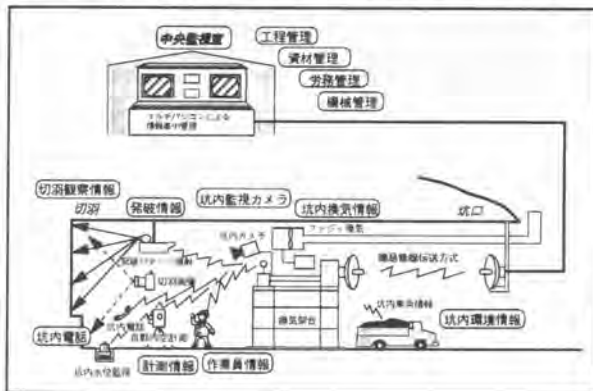
表-1 伝送方式の比較検討表

線装置として、簡易無線局50Ghzを選択した。その比較検討表を表一に示す。

この伝送媒体は映像情報1チャンネル、音声情報が双方向2チャンネルの伝送容量をもっている。今回は音声の1チャンネルに坑内の環境・換気情報データを音声モデムを介して数値データを伝送させ、他の1チャンネルではトーン信号での坑内のカメラ制御と坑内と事務所の会話に使用し情報の多重化を図り、少ないチャンネル数で効率的な運用を行っている。

### 3. システムの概要

本システムの構成図を図一に示す。システムの基本構成は無線伝送装置、坑内監視カメラとそのコントローラ、各種計測装置、坑内の音や声を伝えるマイクロフォン、マルチメディアパソコン、プリンターとこのシステムを機能させるソフトウェアからなる。その伝送媒体は切羽と坑口間を簡易無線局50Ghz、坑口と事務所の中央監視室を同軸ケーブル等の複合ケーブルで構成している。中央監視室では坑内環境・換気データ（ファジィ換気システム [2]）をはじめとする各種計測機器から測定した数値情報、坑内監視カメラでとらえた坑内状況のカラー画像情報、坑内作業の音声情報などを集中管理できる。



図一 システム構成図

特に中央監視室から坑内監視カメラの方向、ズームなどの遠隔作業ができ、坑内作業のリアルタイムな状況把握が容易となっている。

今回使用した無線伝送装置の伝送距離は屋外では約10kmとされている。開発したシステムでは各種データが確実にトンネル坑内を2~3km伝送されるように計画されている。各種データの伝送距離が性能以上に大きくなり、データが正確に伝送されなくなった時には無線装置を増設し、中継用として設置する。

### 4. システムの適用

本システムを現在、富山県において施工中の山岳トンネル工事にて導入し、良好な結果を得ている。当工事は長大トンネルであり、切羽におけるリアルタイムな作業状況の把握の必要性より、本システムが導入された。

本システムの代表的な機能を中央監視室にて出力される具体的なイメージに基づき以下に説明する。

#### (1) 坑内映像情報

写真一は、中央監視室に設置されたマルチメディアパソコンとその画面であり、パソコン画面上には坑内の環境情報（数値データ表示）と作業状況の映像がリアルタイム（完全動画）に映し出されている。したがって、従来は数値データのみを坑内の管理に活用していたがこのシステムを導入すれば数値データと作業状況の映像をリアルタイムに確認でき、坑内の状況把握がさらに高度化できる。この映像は最大フル画面で（14インチ）まで任意に拡大可能である。当初は、マルチメディアパソコン1台で管理を予定していたが作業管理上、この映像が非常に有用であることがわかり、現在では20インチ専用モニターを増設し、映像分配器で分配させ、中央監視室では2ヶ所で坑内の映像が確認できる。



写真-1 マルチメディアパソコンとその画面

また、監視カメラは後方100m~200mに位置する換気架台上に電動雲台とともに設置されており、写真-2に見られるカメラコントローラから旋回運動、上下運動、ズーム（10倍）、ピントなどの遠隔制御が可能である。旋回角度は350度、上下角度は-70~+20度と幅広い制御が可能のため、切羽をはじめ、覆工作业など坑内の殆どの作業状況が確認できる。

さらには、マルチメディアパソコンに表示される映像情報はフリーズ・キャプチャー機能により、デジタル情報として取り込むことができ、坑内環境情報やワープロ機能によって任意の情報を付加して作業記録として保存が可能となる。保存された情報は、いつでも必要時にアウトプットが可能となり、ペーパーレス作業に役立つ。その他、このシステムにビデオ装置を組み合わせることで必要な映像を録画し、その後に編集し提出書類の作成も可能である。



写真-2 監視モータ+カメラコントローラ+マイク

### (2) 坑内音声情報

換気架台上にはヘッドセット型の音声通話機器が設けられているため、常時は坑内の作業音が中央監視室で確認できる。坑内と事務所での通話が必要なときは事務所からパトライトを遠隔操作して坑内と事務所間での通話が可能となる。ヘッドセット型の通話機器を選択したのは坑内の作業音に通話が妨げられることをできるだけ防止するためで重機類が稼働時にも特別大きな声でなくとも良好な会話ができる。(写真-3)



写真-3 交信状況

### (3) 坑内環境・換気情報

坑内の環境・換気情報は写真-1に見られるようにマルチメディアパソコン上に常時表示されてい

る。このため、坑内映像情報と組み合わせて事務所で坑内の作業環境が詳細に把握できる。この情報は5分間隔でコンピュータの補助記憶装置（ハードディスク）に蓄積され、随時検索ができるため、坑内環境日報を作成することができる。さらに今回は坑内でトンネル工種にあわせた電気機械が稼働する時に得られる電流値を検出し、中央監視室に伝送している。これらの坑内環境データとその他の数値データと集中管理することにより、サイクルタイムの自動評価や作業工程の自動化が可能になる。

当現場における使用状況は坑内を重機類が移動するときに映像情報が瞬時乱れることはあるが実用上、特に問題にはなっていない。また、電波受信レベルの減衰も比較的少なくデータ伝送のエラー発生率は殆ど見られず、伝搬状況は良好で実証実験程度の伝送距離は確保できると思われる。無線方式にすることにより、配線の盛り替え工事等が発生せず、安全性に優れており無線化の有用性が確認できた。

#### 5. システムの効果

本システムの適用効果としては、個別では説明してきたが、システム全体としては以下の効果が実現できた。

坑内の作業状況がリアルタイムに把握できることにより、

- ①技術者個人の作業管理が容易になり、効率的な作業の向上がはかれる。
- ②坑内の作業工程の管理が迅速にでき、必要に応じて適切な作業指示が出せる。
- ③画像情報を盛り込んだ作業日報や坑内環境記録を自動作成でき、現場管理の効率化、省力化がはかれる。
- ④サイクルタイムを含む作業の定量的な管理が可能となる。
- ⑤緊急の場合には迅速な対応が可能となり、安全性の向上のつながる。

特に一般的には現場事務所と切羽の距離が長くなってきており、長大化が進むにつれてその傾向は増加する。事務所でリアルタイムに坑内作業状況が把握できることにより、作業場所への移動作業が軽減される。また、常時坑内作業情報が集中管理できることにより、安全に対する心理的負担が大幅に軽減された。

#### 6. おわりに

マルチメディアネットワークにおける映像、声、音、各種数値データの情報伝達・処理は世界的傾向であり、その要求は確実に高まってきている。筆者らはトンネル工事だけにとらわれず、ダム、土地開発といった他の建設分野でも応用し、建設業界における生産性の向上や労働力の確保にさらに貢献できるよう努力する次第である。また、このシステムから得られる情報は、将来の建設の自動化・省力化には必要不可欠なものになるであろう。

#### 参考文献

- [1] 菊池雄一、後藤 徹、藤井 攻、「シールド総合管理システムの開発と適用」、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、平成7年度
- [2] 河野重行、菊池雄一、「ファジィ換気システム」、第11回国際ロボットシンポジウム

## 8. シールド工事における統合制御システムの開発

五洋建設(株)：\*植田 勝紀, 杉本 英樹  
石関 潤一

### 1. まえがき

シールド工事の一次覆工では、多くの機械設備がシールド機の掘進作業に併せて連携動作する。この工事は次第に大型化・長距離化する傾向にあり、個々の設備の稼働バランスを図るための管理と、これを的確に制御する技術がさらに重要となっている。五洋建設(株)は、こうした工事を“安全に高速に”施工する技術として、「シールド統合制御システム」(以下、本システム)を開発推進してきた。

本システムは、過去数年間に渡って順次開発・実証してきた複数の装置をまとめ、運用性向上を目指して統合化したものである。現在、施工延長約3kmの長距離工事の現場に導入し運用中である。本報では開発システムの現場導入概要を報告する。

### 2. システムの概要

本システムの目的は、遠隔制御と遠隔管理の一元化である。司令塔となる統合制御室(写真-1)において施工情報を一括収集し、散在する機械設備を総合的な判断のもとで確実に制御するものである。また、統合制御室以外の場所(例えば、遠方事務所等)にも同様のシステムを設置し、状況監視装置として併用することができる。遠隔制御・管理の基本操作はタッチパネル式操作を採用した。1台のCRTはマルチウィンドウ操作により多機能を処理できる。



写真-1 統合制御室

## 2. 1 システム構成

全体のシステム構成を図-1に示す。表-1に統合化システムの機能及び操作位置の一覧を示す。統制制御室には6台（4台でも可）のCRTを設置し、図-1中の機能全てを遠隔操作・管理・監視する。オペレータは、通常NO.3部に位置しワンマンコントロールを行う。ローカルエリアネットワークは同軸ケーブルを用いているが、コンピュータ間的高速処理が重要となる制御室回りは光ファイバケーブルを使用した。

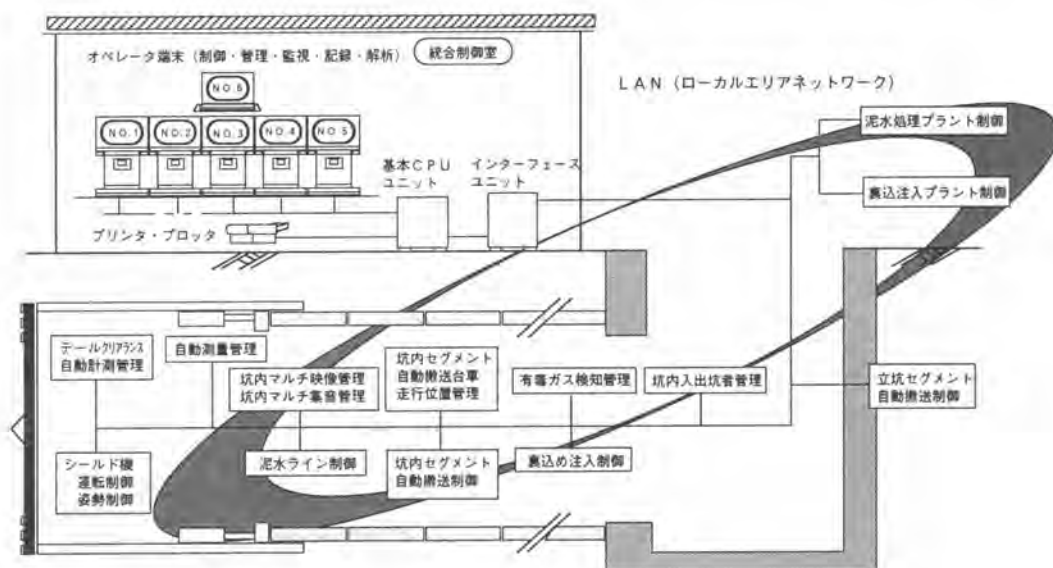


図-1 システム構成図

## 2. 2 システムの特徴

- (1) 施工情報の一元管理と遠隔制御  
長距離施工を前提とした一元管理、および遠隔集中制御を行う。
- (2) 自動と半自動および手動制御の切替  
姿勢制御装置等の制御は、状況に応じて自動・半自動・手動の切替えが可能。
- (3) フェイルセイフが基本の安全設計  
電源のブラックアウト対策、誤操作時の安全確保インターロック、不慣れなオペレータに配慮した回避機能がある。
- (4) 画像と音信号のマルチ伝送と管理  
施工上キーポイントとなる場所の映像

表-1 機能・操作位置

項	装置	機能	制御・管理項目	図-1 操作位置
1	遠隔制御・管理装置	制御	・シールド機運転制御 ・泥水輸送ライン制御 ・泥水処理プラント制御 ・裏込め注入制御 ・自動搬送制御	NO. 1 ～NO. 3 いずれにても可
		管理	・坑内出入坑者管理 ・坑内有毒ガス検知管理 ・自動搬送台車走行位置管理	
2	シールド機 自動姿勢制御装置	制御	・シールド機 ジャッキパターン選択	NO. 4
3	シールド機自動測量 ・軌跡管理装置	管理	・自動測量データ受信 ・シールド機掘進軌跡管理 ・テールクリアランス計測管理	NO. 5
4	坑内マルチ映像 ・集音管理装置	管理	・地上、地下6カ所の 映像監視・集音管理	NO. 6



および音をマルチ伝送し、統合制御室においてもオペレータの五感が十分発揮できるよう考慮した。

#### (5) 機器の盛替え、増線作業の簡素化

各種盛替え作業を容易化した。小型自動測量装置の開発や、坑内一制御室間の配線ケーブルを制御・管理系と映像・音声監視系の2系統にまとめ、トンネル工事進捗に伴うケーブル等増線作業の簡素化を行った。さらにSS無線による坑内無線技術のケーブルレス化試験も進めている。

#### (6) タッチパネル式操作による多機能化

タッチパネル式の操作切替えにより、1台のCRTのウィンドウ変更で全ての操作が行える。

### 2.3 構成装置の内容

#### (1) 遠隔制御・管理装置（表-1、項1）

1台のコンピュータで5項目の制御、3項目の管理を行う。今回の実施例では当装置用に3台のコンピュータを設備し、複数のオペレータによるマルチ操作も可能なシステムとした。

##### ①遠隔制御

図-2に示す制御要素を経時データの変化を確認しながら遠隔制御する。この5制御項目は、全体がバランス良く連動する必要があるため、本装置の総合的な状況判断のもとで最適制御が可能となる。写真-2にタッチパネルの一例としてシールドマシン制御画面を示す。

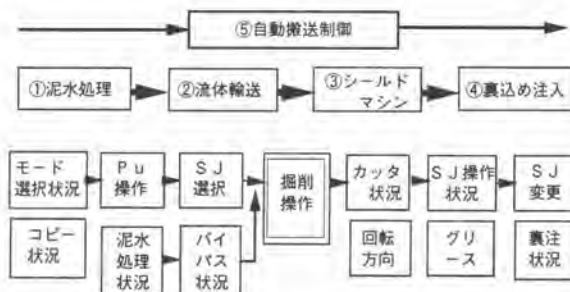


図-2 システム制御要素と概略フロー



写真-2 タッチパネル操作画面例

##### ②遠隔管理

比較的優先度の低い管理要素を遠隔制御の裏処理で実行し、必要に応じて表示・運用する。但し、緊急を要する状況が発生した場合は、全ての画面に警告を表示し音声合成装置により注意喚起する。

##### ・<入出坑者自動管理>

非接触式のIDカードを入退出ゲート部で自動検知し、各人の入出坑データが自動集計される。

##### ・<坑内有毒ガス検知管理>

坑内数カ所に設置された有毒ガス検知センサ（ $O_2$ 、 $CH_3$ 、 $H_2S$ ）の情報を常時自動管理する。

##### ・<自動搬送台車自動位置出し管理>

セグメント自動搬送台車（立坑搬送、坑内搬送）の運行状況管理を行う。図-3、写真-3に示した自動搬送システムにおいてセグメント無人搬送台車の走行位置を常時管理する。

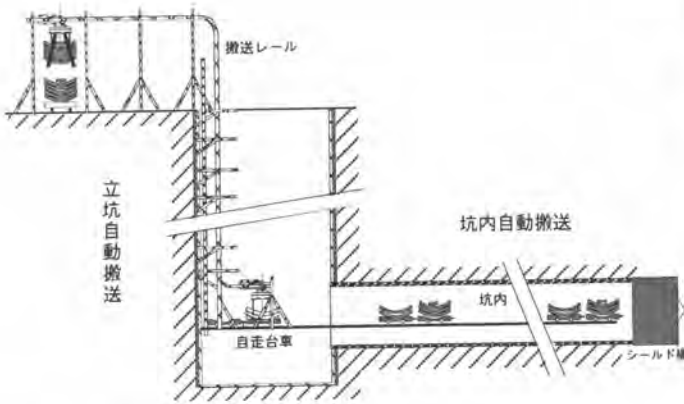


図-3 セグメント自動搬送システム概念図



写真-3 立坑搬送装置

## (2) 自動姿勢制御装置

シールド機の姿勢制御は、単にトンネル施工路線を計画路線に誘導するだけに止まらず、セグメントに目開きや欠けのない高品質のトンネル築造のための重要な技術である。本装置は、こうした出来形精度向上を目的としたシールド機の自動姿勢制御を行うものである。制御モードには“手動”の他に以下の2種類がある。自動姿勢制御の制御フローを図-4に示す。

### ・<全自動モード>

シールド機を全自動で方向制御するモードである。現在のシールド機の位置・今後数リングの計画路線の線形・使用するセグメントを考慮して、目標とするシールド機の姿勢を算出する。この目標姿勢を達成するための最適なモーメントを直近数リングの掘進データから推定、この制御効果の変化をさらに学習しながら自動掘進する。

### ・<半自動モード>

シールド機自動姿勢制御の目標姿勢（掘進指示値）を手動入力し自動制御させるモードである。掘進開始直後や、土質変動が大きい場合、シールド機掘進特性が安定しない場合に用いる制御モードである。

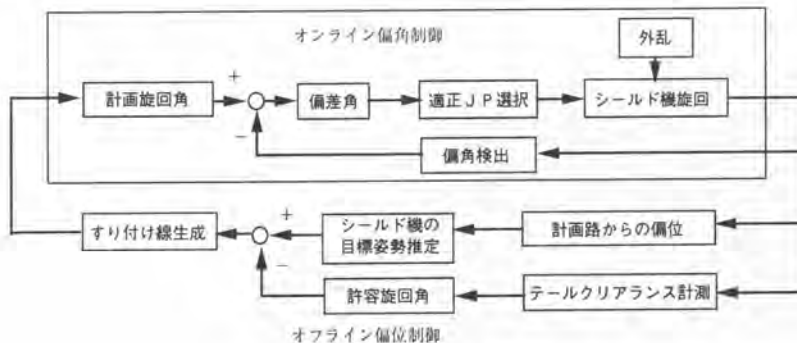


図-4 自動姿勢制御フロー

### (3) 自動測量・軌跡管理装置

シールド機掘進中の詳細な掘進軌跡を計画路線に対する3次元相対位置で管理する。測量管理を行うと同時に前述自動姿勢制御装置の基本データとなる。鉛直旋回レーザを用いた本自動測量装置は開発以来8現場の運用実績があり、機能検討・改良を繰り返し現在に至っている。運用面での使い勝手を向上させるため、自動測量の生データ（測距、測角、レーザ受光ポイント値等）の誤差を確認・修正する逆演算シミュレーション機能等、特殊な技術要素を組み込んだ。写真-4、写真-5に示す小型自動測量装置およびターゲットは、シールド機外径2800mm、曲線半径30Rでの運用実績がある。また、セグメントとシールド機の間隙を自動計測するテールクリアランス計を具備し、セグメントの位置・変形管理も同時に行うことができる。このクリアランス計はシールド機掘進中常に作動するものであり、シールドの環境に十分耐えられるよう設計した。設置状況を写真-6に示す。



写真-4 小型自動測量装置      写真-5 受光ターゲット      写真-6 テールクリアランス計

### (4) 坑内マルチ映像・集音管理装置

CATV（ケーブルテレビジョン）の幹線ネットワークを利用したシステムで、複数のカメラ映像と集音信号を1本のケーブルで伝送する。統合制御室では1台のCRT・スピーカでマルチ画面監視・集音管理でき、マウスによって操作切替えを行う。1本の同軸ケーブルで映像・音情報最大30チャンネル、デジタルデータ5チャンネルを双方向に送る性能を持っている。また、マルチドロップで端末機器を接続できるため、ネットワークケーブルの配線ルート付近であれば自由にカメラの増減設が可能である。また現在、坑内自動搬送台車搭載カメラのSS無線映像を当ネットワークに繋がる中継局で受信し、他信号と同様に地上へ伝送する実験も進めている。CRT映像表示画面例を写真-7、図-5に、全体システムの概念図を図-6に示す。



写真-7 マルチ映像画面例

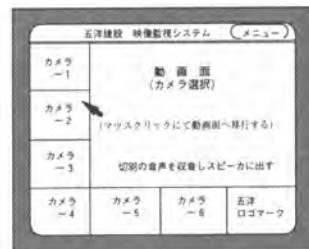


図-5 マルチ映像分割例

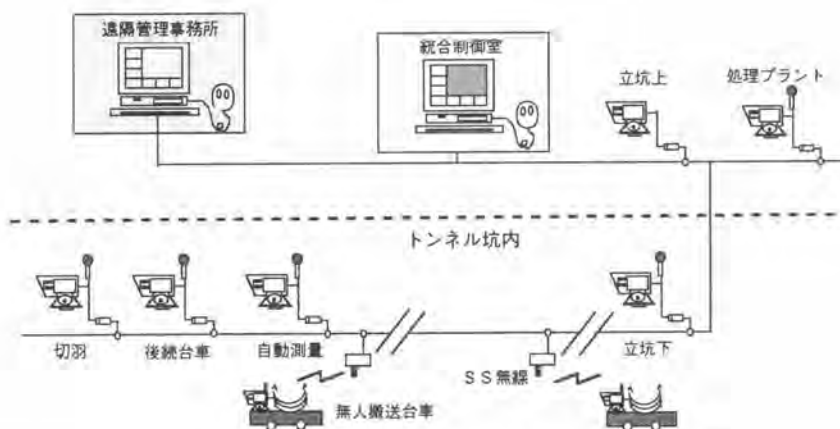


図-6 マルチ映像・集音管理装置概念図

### 3. 現場導入

本システムは、施工延長3 kmの横浜幹線シールドに導入し平成8年4月から運用開始した。本論文執筆の6月現在において、ほぼワンマンコントロールが可能な状況にある。工事が進捗し最終到達付近(3 km)になると、切羽まで人間が歩いて通常40～50分程度かかる。今後、職員全員が本システムに慣れることにより、さらに運用効果が向上することを期待している。

### 4. あとがき

導入したシステムの最大の狙いは、工事後半になってからの施工全般に渡った確実な状況判断と、的確な制御による効率的な設備運用である。当社は、ここ数年「シールド掘進自動化の開発」というテーマのもとでシールド自動化関連技術開発を順次手がけてきた。このため、単独装置としてはすでに数現場の実績を持っているものが多い。今般、統合制御システムとして組み込んだ装置は十数項目であるが、今後さらに追加されるもの、重要性が低く淘汰されるもの、等、様々な展開があるものと予想している。こうした実績の中から、真に必要とされる技術を見極め、多くの現場に受け入れられる使い易いシステムに仕上げていきたいと考えている。

#### <参考文献>

- 1) 五洋建設(株)：建設省技術評価書、「シールドトンネル掘削機の自動姿勢制御システムの開発」、1991年8月
- 2) 植田：シールド工法講習会「シールド機の自動測量システムと姿勢制御」、日本プロジェクトリサーチ編、1992年4月
- 3) 原、植田：「小口径シールド用自動測量装置」、(社)日本測量協会月刊「測量」、1993年2月号

## 9. 泥水回収装置の開発

飛鳥建設(株)：真中 弘、\*岡 利博  
稲田 義和

### 1. はじめに

泥水加圧式シールド工法では送・排泥水管の延伸作業は不可欠な作業であり、スライドボールバルブ等の泥水流出防止用の配管延伸補助器を使用することにより、シールド坑内への泥水流出を大幅に減少させ、坑内清掃作業の軽減と坑内環境の浄化が進んだ。しかし、これら一連の作業によっても、実際には一定量の泥水と同量の薄泥水（栓体送りのための清水が濁ったもの）が立坑部および配管延伸部にて流出・廃棄されている。また、配管延伸時の後方配管部でのバルブ操作や廃棄泥水の清掃が必要になり、改善すべき問題点を含んでいた。

### 2. 従来の配管延伸作業

ここで、従来一般に利用されている泥水流出防止用の配管延伸補助器（スライドボールバルブ・スライドスプールボールバルブ・プランジャーバルブ等あり）による配管延伸作業について述べる。泥水流出防止用の配管延伸補助器（以後、補助器と記述）は泥水加圧式シールド機の後方において送・排泥管の配管を延長する際、配管ジョイントを一時的に切り離す場合に発生する泥水流出を防ぐ装置である。通常補助器は、伸縮管の立坑側に直結して設置される。（図-1参照）

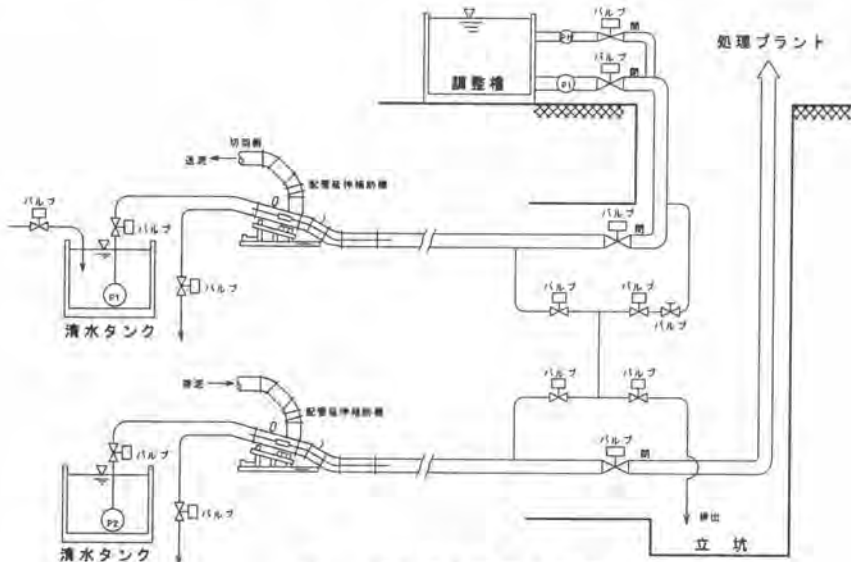


図1. 配管延伸機器状況図

配管延伸作業は以下の手順に従って行われてきた。

- ①伸縮管が所定の長さに伸び新管を継ぎ足す際、立坑側と切羽側のバルブを閉じる。
- ②補助器本体の油圧ジャッキをスライドさせ、送排泥水ラインを遮断する。バイパスラインより水中ポンプ等の水圧で栓体（硬質ゴムの筒型クリーナー）を既本設管の先端に押し込む。
- ③伸縮管と既設管をつないでいるピクトリックジョイントを外し、伸縮管を縮め、そのスペースに新設管をセットする。（この時、伸縮延長分の栓体を押し出した清水が流出。又、後方でも同量の押し出された泥水が流出）
- ④立坑側のバルブを解放すると、立坑の水頭で泥水が栓体を押し戻し、ボールシリンダー内に戻る。
- ⑤補助器本体を油圧ジャッキでスライドさせて、新設管接続作業が完了する。

これらの作業を行うのに、3～4人の作業員とインターホン等で連絡を取り合っのバルブ操作等の作業が必要であった。更に、配管を切り離す作業の際、約1.3m<sup>3</sup>（10Bの送泥管、8Bの排泥管の場合）の泥水と栓体を押し出した薄泥水が坑内に廃棄されていた。

### 3. 開発したシステムの概要

泥水回収のフローを図-2に示す。ここでは新規に開発した栓体の通過検知装置について詳細に述べる。

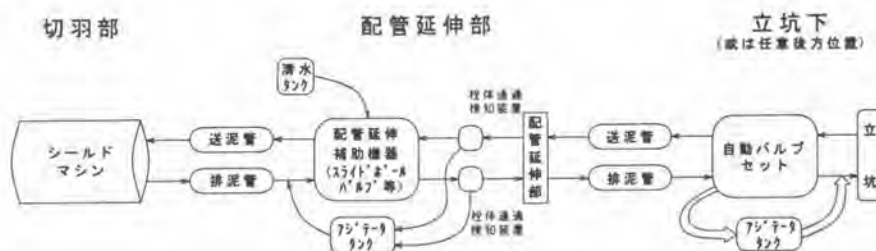


図2. 泥水回収フロー

従来は清水で栓体を押し出し、所定の位置で止めるために清水タンクの目盛りの減り具合を見たり（又は、水位センサーを利用）、既設配管をたたいて栓体の位置を探っていた。また、これまで一番実な方法として、高圧ホース端部の小バルブを開いて、流出泥水が清水になる変化を見て、栓体通過の確認を行っていた。この方法でも、水が栓体に先行して走る場合もあり、栓体通過を誤認し大量の泥水をシールド坑内に流出する事例があった。また、栓体を押し出した薄泥水は管切り離し時、坑内に廃棄せざるを得ない。

今回開発した栓体通過検知装置は、確実に栓体の通過を検知でき、さらに薄泥水を回収することにより坑内への流出を最小限にすることができる。

栓体通過検知装置を図-3に示す。

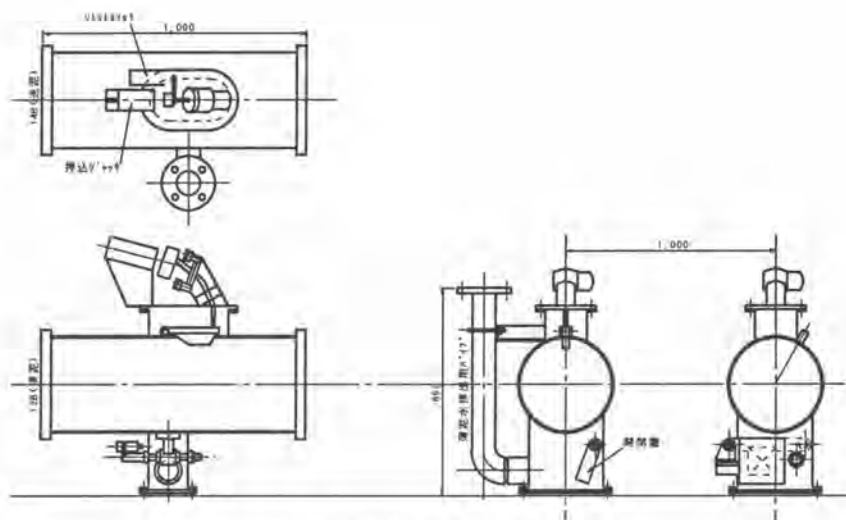


図3. 栓体通過装置(14B、12B)

- ①栓体が検知装置を通過するまでは、装置の往復杆は下がった状態になっている。
- ②栓体が検知装置を通過する際栓体がカム部を押し上げるので、これに接続した往復杆が上昇する。
- ③これをリミットスイッチ等で電氣的に検出し、栓体の通過を知ることができる。更に、設定時間後（任意に設定）に清水送りポンプを止め、所定の位置で栓体を停止させる。
- ④管切り離し時、薄泥水が坑内へ流出するのを防ぐため、栓体検知装置部に高圧エアーを導入し薄泥水を回収タンクへ押し出す。
- ⑤清水で栓体を押しした容積だけ、立坑部に設けた自動バルブセットでは泥水が流出するので、これを一時アジテータータンクに受け、排泥ラインに戻す。

以上の動作を補助器のシーケンサに組み込むことにより、栓体通過の検知から薄泥水の回収まで一連の動作を自動化することが出来る。

#### 4. 本システムの現場適用事例

本装置を東京湾横断道路作業所（掘削径 $\phi = 14.14\text{ m}$ 、送泥管14B、排泥管12B）に導入した。

写真1に栓体通過検知装置を示す。中央部が補助器（スライドボールバルブ）に取り付けた栓体通過検知装置である。向かって右が送泥管14B、左が排泥管12Bである。

写真2は配管延伸のため栓体通過検知装置と既設管を切り離した状況を示している。（左が切羽方向）



写真1 栓体通過検知装置

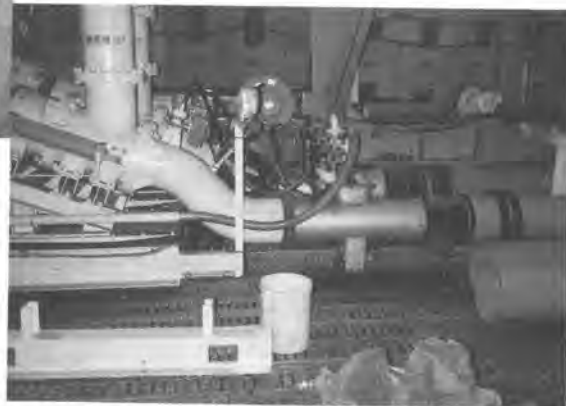


写真2 栓体通過検知装置配管状況

## 5. 本システム利用による効果

本装置の開発により以下の導入効果があった。

- ①廃棄泥水がほぼ無くなった。前述の事例によれば、コップ3～4杯程度の薄泥水流出で収まった。
- ②本現場では一次掘削と二次覆工を同時に施工するため、配管延伸部の下で鉄筋組立てやシート貼り作業を行っていたが、泥水流出による作業中断は無く、これに伴う坑内清掃作業は無かった。
- ③配管延伸時のバルブ操作が不要になり、これに伴う作業の削減が計れた。
- ④シーケンスの導入により、ボールバルブ装置の一連の操作が自動化され、作業員は配管延伸作業のみに専念することが出来た。
- ⑤泥水および薄泥水回収タンクの設置によりリサイクルが可能になり、泥水の廃棄損失が防げた。

## 6. 終わりに

今回開発した泥水回収装置は、栓体通過検知装置部の泥水回収用機能部分のサイズが大きく、10インチ・8インチの送・排泥管以上に対応可能である。現状では、検知部のみの利用は、小口径対応できるが、今後、回収用機能部分の小型化を図り小口径現場にも対応可能としたい。

今回開発は、平成3年より、当社施工の汐留幹線・新浮間幹線・元宮シールドと試用・改造を経て東京湾横断道に導入、成果を収めた。又、開発時期を同じくして送排泥設備レンタル会社により後方部の自動切り替えバルブの開発商品化がはじまり、元宮シールドからは、設備同化する方向で開発を行った。

最後に初期段階より協力いただいた、株式会社アクティオ・東洋工業株式会社に感謝致します。



# 10. 連続孔による新しい自由断面形成工法 “FON ドリル工法”

(株)フジタ：川崎 俊彦

## 1. はじめに

都市部近郊でトンネルを掘削する場合、発破による騒音・振動の影響を考慮し、機械掘削による無発破工法を採用することが多い。圧縮強度200MPaを越える花崗岩では、自由断面掘削機械のような従来の単一機械では施工が不可能である。この場合、トンネル切羽に自由面を形成した後、割岩工法によりトンネルを掘進する工法が採用される。自由面形成方法は、種々開発されているものの、専用機を必要とすることや形成効率・自由面の連続性に問題を残していた。本文では、新たに開発した自由面形成方法として、汎用の穿孔機械を用い、従来の方法よりも効率が高く、連続性の精度も優れている連続孔穿孔方法（FONドリル工法）について述べる。

## 2. 施工概要

図1に本工事で行っている施工順序を示す。

トンネル掘削における機械掘削工法には、割岩工法と自由断面掘削機あるいは油圧ブレーカなどの単一機械による掘削工法およびTBM工法に分類される。単一機械による掘削工法は、施工機械の能力に限界があり、一軸圧縮強度100MPa程度以上の硬岩になると施工性、経済性に問題がある。一方、TBM工法は、硬岩トンネルの掘削用ではあるものの、地質がある程度均質、良好で、中小断面の長大トンネルの掘削に限定される。従って、硬岩地山に対する汎用性のある機械掘削工法としては、割岩工法が適用される場合が多くなってきている。



図-1 施工順序

## 3. 自由面の意義

割岩工法における自由面は発破工法の心抜きに相当するものであるが、割岩工法においては破碎に用いられる割岩機のエネルギーは発破工法に比べて著しく小さく、このため自由面形成が特に重要な点となる。ここで、割岩工法とは、岩盤の引張強度が圧縮強度の1/8～1/20程度であることを利用し、割岩孔の壁面に割岩機により力を与え、自由面に向けて引張応力を発生させることにより岩盤を破碎する工法である。従って自由面が連続せず柱状の不連続面（以下ロックブリッジと称す）が

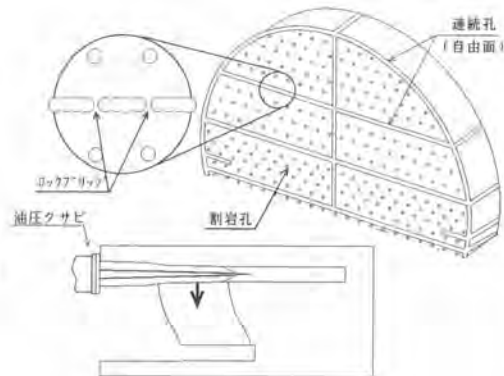


図-2 自由面概念図

残ると、これを破砕するために強大な圧縮力が必要となり、割岩に不利となる。このため、自由面を形成するときロックブリッジを残さず施工する事が特に重要となる。図-2に自由面形成の概念図を示す。

#### 4. 自由面形成連続孔穿孔（FONDドリル工法）

##### 1) SABロッドの構造

SAB (Spining Anti Bend)ロッド本体は、図-3に示すようにブラケット取り付け部、芯材、外管 (SCH80×80A)、先端コーンで構成されている。SABロッドの外径は89mmであり穿孔ビット径よりも一回り小さい。回転可能な部分は、外管と先端コーンでありそれぞれ単独に回転する。先端コーンは芯材にボルト止め構造となっており、外管の抜け落ち防止をすると同時に、外管が消耗したとき簡単に取り外すことによって外管の交換を可能にしている。外管は、芯材に差し込むだけの単純な構造となっている。外管と芯材は、既製品の厚肉パイプを使用しており、任意の長さに切断し、SABロッドを制作することが可能である。従って、材料のロスが少なく経済性に優れており、実施工に合った長さのSABロッドの制作ができる。その他の部材は特注品となるが先端コーン以外は殆ど消耗することがなく、このことからFONDドリル工法が経済的であると言える。

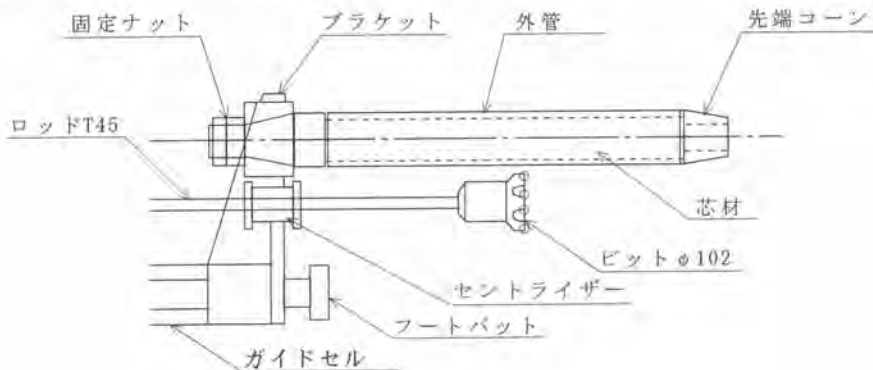


図-3 SABロッド構造図

連続孔を穿孔する際、SABロッドとビットは平行かつ固定されていることが重要である。このため、ブラケット取り付け部をテーパ構造とし、ダブルナットで締め付けることにより、簡単に平行かつ堅固に固定することができる。ここで、SABロッド挿入・引き抜き時にはかなりの力が加わるため、ブラケットとガイドセルは頑丈に固定しておく必要がある。

##### 2) FONDドリル工法の施工

FONDドリル工法 (Fast Onside & Non-Parallel drilling method) は、汎用削岩機の能力を最大限に発揮するために、単一孔を連続的に穿孔して自由面を形成する方式であり、連続孔穿孔時にロッド・ビットが隣接する既設孔方向に曲がりやすい性質を利用して開発した。

連続孔穿孔手順は、まずSABロッドを既設孔に挿入し、穿孔を開始する。このとき、ビットは孔曲がりによってSABロッドに接触・打撃しながら穿孔すると同時に、ビットの回転力はSABロッドを回転させながら所定の位置まで穿孔する。順次SABロッドを挿入して穿孔を繰り返し連続孔を形成していく (図-4)。

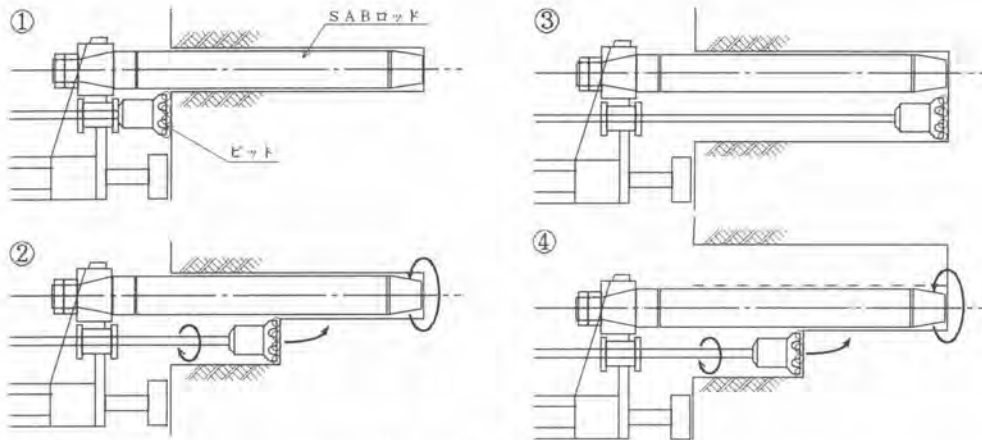


図-4 連続孔穿孔手順

ビットをSABロッドに接触・打撃させることによりビットとSABロッド間にロックブリッジが残らず、自由面の連続性が確保される。また、SABロッドの回転により穿孔時のビットとの接触・打撃による抵抗は減少し、高速穿孔を可能としている。さらに、ビットの消耗も低減され、SABロッド自体も均等に磨耗するために長時間使用可能となる。SABロッドは、ガイドセル先端のブラケットに取り付ける方式であり、ガイドセルのスライドにより挿入・引き抜きを行う。

この工法の特徴は、高い施工能力だけでなく、SABロッドを簡単に脱着できる点にもあり、割岩孔やロックボルト打設を同一機械で施工する事により、坑内の施工機械の削減を図れる。

## 5. 実施工への適用

### 1) トンネル切羽への適用例

図-5に実トンネル施工における穿孔パターン例(Bパターン)を示す。1切羽当たりの連続孔延長は62mであり、割岩孔数を合わせた総穿孔数は約1,000孔となり、穿孔作業が掘削サイクルの半分を占める。掘削断面 約 $70\text{m}^2$ に対して総穿孔容積は $7\sim 10\text{m}^3$ となり、地山の10%以上をクリ粉として排出することになる。

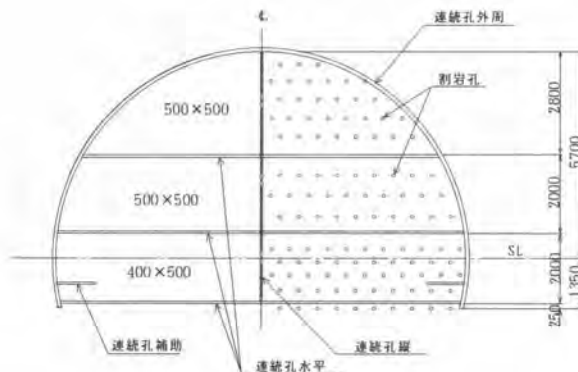


図-5 連続孔穿孔パターン図



写真-1 連続孔、割岩孔穿孔完了

1 サイクル当たりの掘進長を1mとすれば、連続孔深さは、1.1m必要である(写真-1)。

FONドリル工法は、前述したように連続孔と割岩孔を同一機械で施工するため、機械の入れ替えを必要とせず順次割岩孔穿孔作業から連続孔穿孔作業に移行できる利点もあり、ロスが少ない。この穿孔作業時間の短縮を実現したことは、ジャンボへの負担を軽減したことにもなる。

## 2) 連続孔穿孔能力

本報では、連続孔の穿孔能力を定量的に表現するために、単位時間当たりの連続孔穿孔面積を用いる。図-7は連続孔延長62m深さ1.1mの際の連続孔穿孔能力と、岩の一軸圧縮強度の関係を示したものである。連続孔穿孔能力は、連続孔穿孔開始から完了までの時間と施工面積から割り出したものである。従って、これにはノミ移動やブーム移動を含んでおり、1切羽の総穿孔時間を平均化したものとなっている。

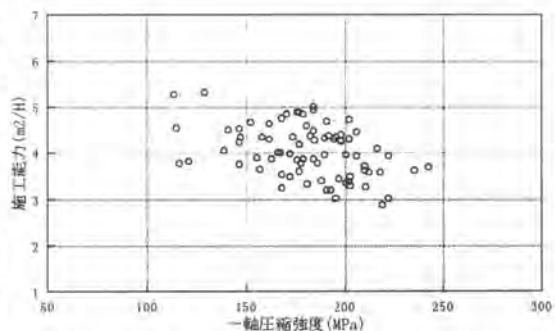


図-7 一軸圧縮強度-施工能力

現段階では、連続孔穿孔能力は岩の一軸圧縮強度150~250MPaにおいて1ブーム当たり3.5~4.2m<sup>2</sup>/hの実績を残している。ここで、既存の工法では本トンネルのような200MPaを超える超硬岩での施工例は無く、岩の一軸圧縮強度150MPa程度以下で1.7m<sup>2</sup>/h程度であり、割岩作業に不利となるロックブリッジを残さず施工することは完全に解決されていない。これに対して、このFONドリル工法はロックブリッジを残さず完全な連続孔を形成でき、なおかつ2~3倍の施工能力となっている。

## 6. おわりに

FONドリル工法を開発することにより、以下のことが実証された。

- ①SABロッドは脱着可能な構造となっているため、掘削機械の削減を図れる。
- ②連続孔施工能力1ブームあたり3.5~4.2m<sup>2</sup>/hと高速施工が可能である。
- ③ロックブリッジが残らず、割岩作業に有効な自由面を形成できる。
- ④SABロッドは、殆どのドリルジャンボに取り付けることが可能であり、汎用性に優れている。
- ⑤消耗品のほとんどが市販されている規格品であり、安価で経済性に優れている。

硬岩トンネル掘削における割岩による機械掘削工法は、都市近郊でのトンネル施工が増加する中で、ますます増加すると思われる。このFONドリル工法を開発し硬岩における高精度の自由面の形成、高速施工が実現できたことは、今後のトンネル割岩工法の施工に貢献できるものと確信している。

最後に、今回の工法が今後行われる同様な施工の一助となれば幸いである。

# 11. トンネル現場管理システムの開発

ハザマ：\*配野 均，斎藤 篤

## 1. はじめに

建設現場では、労務（作業員入退場）管理、資機材管理、出来高・工程管理、安全管理など種々の管理業務があり、また、発注者からのデータ要求等も増加している。現場では、これらに対応するため作業所毎に、表計算ソフトなどを用いて独自の管理を行っているが、データの共有性がなく管理帳票毎に必要なデータを入力するなど多大な労力を要している。これらの管理業務にコンピュータ利用したデータ収集の自動化、帳票出力の自動化などを行い、現場情報処理を合理化することが望まれている。

本開発は、パソコンを使用した現場データベースを設け、必要データを1度入力すれば各種の管理業務に利用できるようにし、また汎用ソフトを利用し現場での活用性を重視した。

ここでは、今回トンネル現場を対象として開発した、人員（労務）管理システム、工程進捗管理システム（資材管理を含む）システムについて、その内容および現場での試行結果を報告する。

## 2. システムの概要

今回開発した現場管理用のシステムは、人員管理・状況表示システム、工程進捗・資材管理システムである。人員管理・状況表示システムは、入場・入坑状況を会社別、職種別、資格別でリアルタイムに表示する。また、各種マスター一覧、業者施工体系図、入場状況、指定期間の就労状況の出力を行う。

工程進捗・資材管理システムは、作業日報からのデータ入力、掘進管理システム（SDACS）の機械データにより、掘進日報、掘進サイクル調査表、機械データ調査表、月間進行、月間・年間掘進実績表（予実績比較表）などを出力する。図-1にシステム概要を示す。

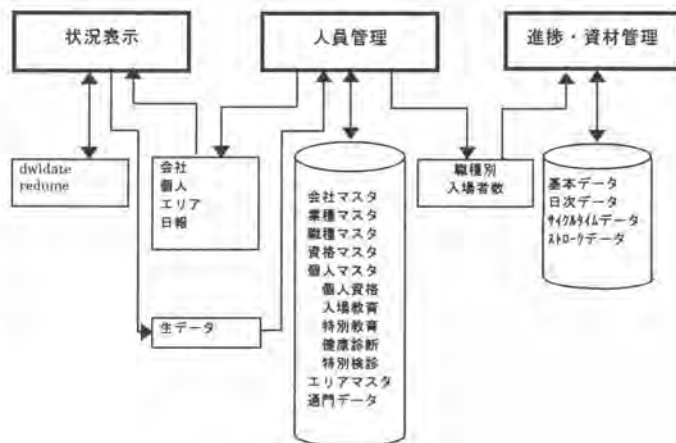


図-1 システム概要

## 3. システムの構成と機能

### 1) 人員管理・状況表示システム

現場に入場する人員をリアルタイムで把握するためのシステムであり、以下の装置を使用している。

### 非接触型IDカード

入場、入坑状況を自動的に収集するために、無線式の非接触型IDカードを使用した。IDカードは専用ゲートを通過したときに、ゲートアンテナからの電波により誘導起電し、8桁のID番号を発信する。運用方法としては、ヘルメットの内側に装着しゲートを通過するようにした。

### 人員ゲート・入坑表示器

IDカードを装着している人がゲートを通過すると、ID番号を即座に読み取り表示器に送信し、人員管理データベースのIDと照合して表示器に氏名、所属会社を表示する。また、ゲートの前後には光電センサーが設けてあり、入出の方向判断を行っている。

入坑表示は、11.4インチのTFTディスプレイに、会社別に入坑者を表示しており、切替えスイッチにより、入場者、明り作業員（入場者→入坑者）を表示することもできる。

図-3に人員管理・状況表示システムの入力データ、データベース、出力情報を示す。

### 2) 工程進捗・資材管理システム

進捗・資材管理は、運用開始に先立って、会社マスタ、個人マスタ等のデータ入力、およびトンネル掘進計画データ入力を行っておく。運用開始後、毎日のトンネル掘進データと資材の出入庫状況を日報に基づき画面入力することにより、あらかじめ入力しておいた計画データと比較して、工事の進捗度合や資材の使用状況、作業員出面等の様々な角度から分析した情報を出力する。

図-4に工程進捗・資材管理システムの入力データ、データベース、出力情報を示す。

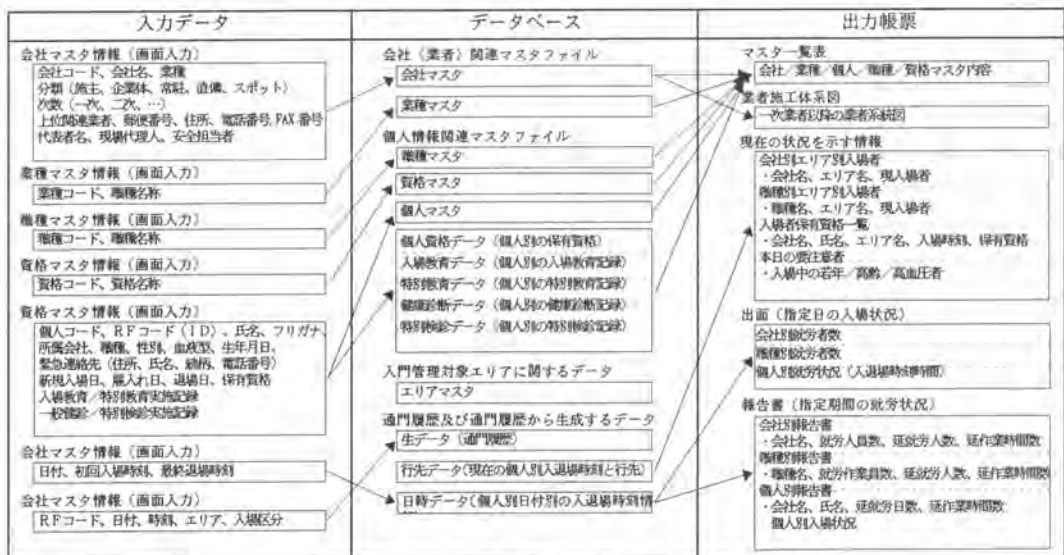


図-2 人員管理システム

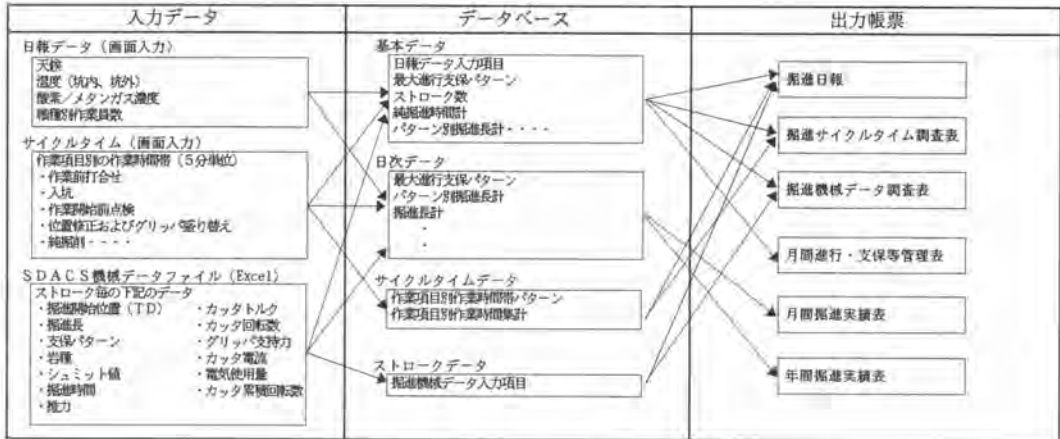


図-3 進捗・資材管理システム

#### 4. 現場適用

##### 1) 現場適用システム

TBMのトンネル現場において、図-4に示すシステムで試行を行っている。

人員管理用に通門ゲート (写真-1) と入坑ゲート (写真-2) を設け、現場から約2 km離れた事務所のホストコンピュータまでNTT電話回線で通信し、リアルタイムで人員管理ができる。

進捗・資材管理は、毎日の作業日報に基づき、図-3に示すような各種のデータを手入力している。なお、TBMの掘進管理は本システムとは別の掘進管理システム (SDACS) によって行っており、この掘進記録はフロッピーディスクに記録して持ち帰り、ホストコンピュータにデータ読み込みができるようにした。

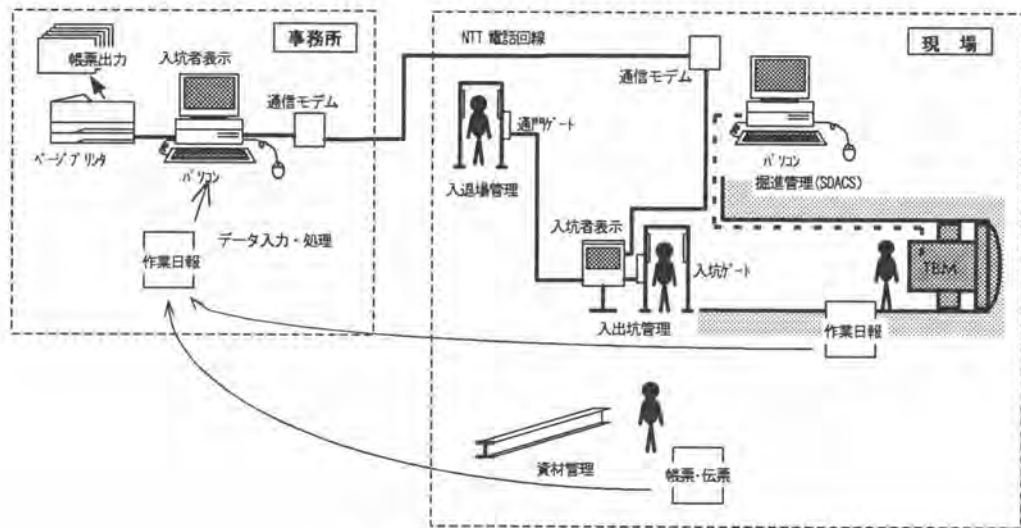


図-4 現場システム全体図



写真-1 通門ゲート



写真-2 入坑ゲートおよび坑口表示器

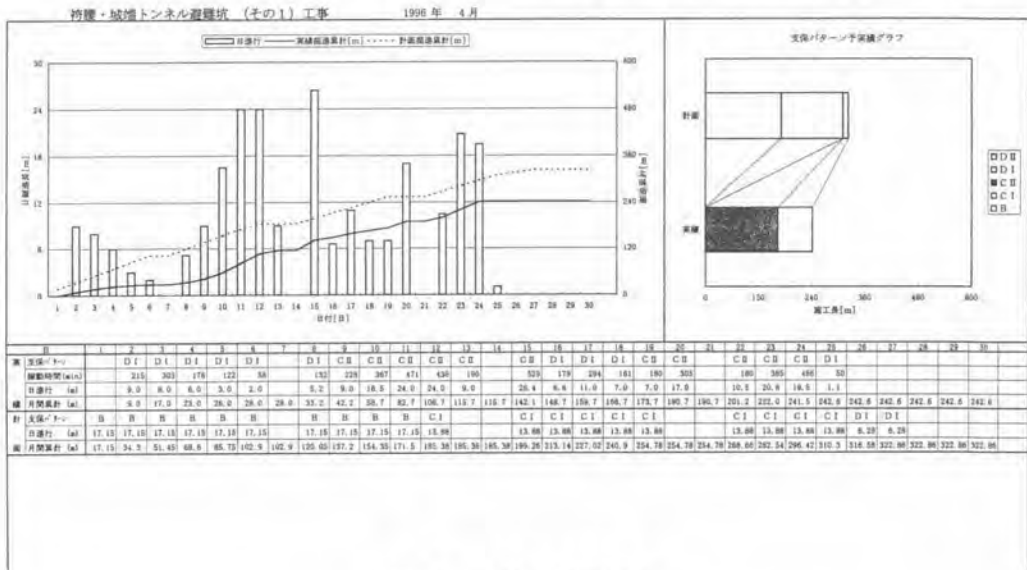


図-5 月間掘進実績表

導入当初、入坑ゲートでのID番号の読み取りがうまくいかず、原因調査の結果、インバータノイズによることが判明した。今回使用したIDカードは、12.5~15.6kHzの周波数帯でID番号を送信するが、ノイズ測定の結果、ちょうどこの周波数帯に100dB  $\mu$ V/m (通常事務所内では60dB  $\mu$ V/m程度)を越える電波ノイズがあり、読み取りに障害となっていた。ノイズ対策としては、インバータの動力線を電磁シールドして対応した。図-5に出力帳票の例を示す。

### 5. おわりに

労務管理システムの通門管理を非接触IDカードを使用したシステムとしたが、IDカードおよび通門ゲートがコスト高となり今後の普及に向けて、コストダウンの必要がある。

今後の計画では、現場情報の入力を携帯端末(ペンコンピュータ)を使用したシステムとし、入力作業の省力化を進めたいと考えている。



## 12. ラチス式同時施工シールド工法の開発

（株）鴻池組：\*古川 和義，西村 良平  
梅谷 彰

### 1. はじめに

現在のシールド工事では、地下構造物の輻輳化と立坑用地の確保難から、大深度・長距離施工技术が要求されている。そこで筆者らは、長距離施工の効率向上を可能にする技術の一つである高速施工を目的として、掘削とセグメント組立の同時施工（以下、同時施工と称す）が可能なシールド機（以下、ラチス式同時施工シールド機と称す）の開発および実証施工を行った。本報告書では、開発した工法の概要と実証施工結果について述べる。

### 2. 工事概要

表-1 に実証施工の工事概要を示す。施工区間には、半径200mの曲線区間が2ヶ所（延長140m）含まれている。同時施工は本掘進の工事区間のうち直線区間約350mで実施した。本工事の特色として、掘進速度60mm/min以上にも対応する泥水輸送・処理設備を採用し、通常施工時にも高速施工を可能にしている。

表-1 工事概要

工事場所	大阪府堺市
工事延長	1109m
工 法	泥水加圧式「ラチス」工法
セグメント	RCセグメント外径 φ2800mm
土 被 り	14.9(海底部)~36.9m(陸部)
土 質	洪積粘土層 (N値 7~9)

### 3. ラチス式同時施工シールド機の概要

図-1 に、当工事で使用したシールド機の概要を示す。本シールド機は同時施工を可能とするために、前胴と後胴を摺動可能な二重構造とした複動式を採用した。さらに、後胴にシールドジャッキ（100t×12本）、前胴と後胴の間は後述するラチスジャッキ（150t×6本）を設置することにより前・後胴に独立した推力を与えた。これらにより、後胴内でセグメントを組立中に前胴を掘進し、組立終了後に後胴を引き寄せせることを可能にした。以下に、本シールド機の主な構造上の特徴を述べる。

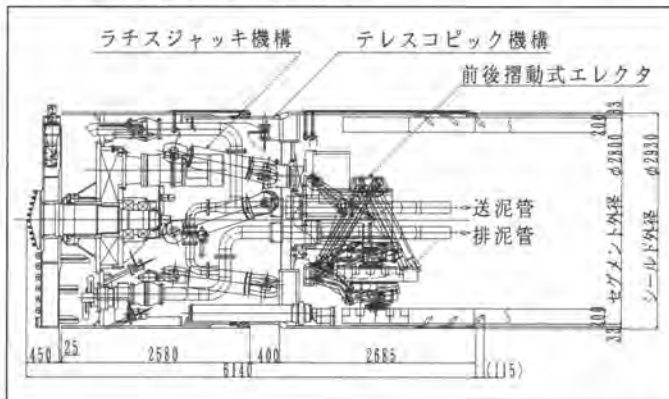


図-1 ラチス式同時施工シールド機

#### 1) ラチスジャッキ機構

前後に分割したシールド機を、ラチスジャッキと称する6本の油圧ジャッキを用いて連結する。このラチスジャッキは、通常の中折れジャッキとは異なり、シールド機中心軸に対して平行ではなく角度を持って取り付けられている。6本のジャッキそれぞれに対してサーボ制御を実施するこ

とにより、各ジャッキを任意の伸縮速度・ストロークに設定することが可能である。この機構により、前胴部は後胴部に対して、6自由度（前後・上下・左右・左右首振り・上下首振り・回転）の姿勢制御を同時に行うとともに、外力に対する姿勢維持も可能となる。

## 2) テレスコピック機構

シールド機を分割するテレスコピック機構は、前後に伸縮（450mm）するとともに、任意方向への屈曲（ $\pm 1.1^\circ$ ）し、半径200m程度の曲線施工に対応可能である。摺動部は高耐久性シールによって止水され、シールド機内の送排泥管は、テレスコピック機構の動きに合わせて伸縮・屈曲する。

## 3) 前後揺動式エレクタ

セグメントエレクタは、前後揺動ジャッキと並行リンクの組み合わせにより、エレクタヘッドが前後方向に1200mmの移動が可能な機構を有する。この機構により、すでに組み立て完了したセグメント上に置かれたセグメントピースを直接ピックアップすることが可能になり、セグメント組立作業の高速化・安全性の向上が図れる。

## 4. 管理システム及び制御方法

図-2に、今回採用した管理システムを示す。シールド機の運転は地上の中央管理室からの遠隔操作とし掘削中の計測データはすべて管理室でモニタを行った。また、同時施工時の前・後胴の位置・姿勢およびそれぞれに作用する内外力を管理するラチス管理専用モニタを設置した。

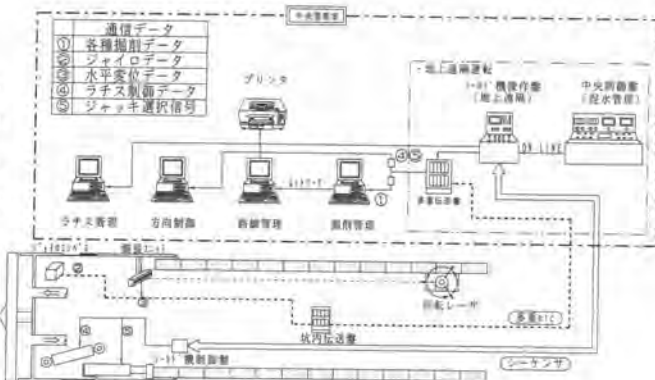


図-2 管理システム構成図

方向制御に関しては、回転レーザ

・ジャイロコンパス・レベル計等の自動計測装置を使用して、リアルタイムにシールド機的位置・姿勢を検出し、これらのデータをもとにコンピュータによる自動方向制御を実施した。自動方向制御は、掘進長10cmごとに指令を出し、同時施工時にはラチスジャッキストロークの制御、通常施工時にはシールドジャッキ選択にて実施した。

また、同時施工時において、

- ①セグメントへの偏荷重の作用とシールド機の後退
- ②摺動部分の噛み込みによる破損

の2つの問題が想定されたため、以下のような対策を講じ、実証施工を実施した。

- ①各ジャッキ及び伸縮管部のストロークセンサによる異常検知。
- ②シールドジャッキの圧力上昇を監視してセグメント破損を防止。
- ③後胴引き寄せ時に、中折れ角度を $0^\circ$ にして、テレスコピック部の破損防止。
- ④後胴引き寄せ時のシールドジャッキ伸長速度とラチスジャッキの短縮速度比率制御。

## 5. 実証施工結果

### 1) 施工サイクル

図-3に同時施工と通常施工の計画サイクルの比較を示す。今回の施工では、立坑寸法等の制約により、テレスコピック部の摺動距離を450mmとし、シールド機長の短縮を図った。施工順序は、

①ラチスジャッキを使用して前胴のみ450mm掘進する。(シールドジャッキは伸ばしきった状態)

②前胴掘進中にセグメントを組立てる。

③残り450mmの掘削と後胴リフト(引き寄せ)を同時に行う。

④軌条設備や配線延長等の準備を行って①に戻る。

今回は、摺動長を450mmにしたために、複胴式に通常必要な引き寄せ時間も掘削できるので、通常施工と比較すると、セグメント組立時に掘進した時間がサイクルタイムの短縮になる。

図-4にサイクルタイムの施工実績を示す。通常施工時の平均サイクルタイム41分、同時施工時のサイクルタイム35分となり、1リングあたり6分の時間短縮となっている。図-5は平均速度を比較したもので、通常施工は毎分53mm、同時施工時は毎分36mmの平均掘進速度であった。この速度差は、泥水輸送・処理設備が毎分60mmの高速掘進に対応していたこと、ラチスジャッキ作動油ポンプの仕様が毎分45mmであったことによる。このように掘進速度で約1.5倍の差がありながら、サイクルタイムは逆に同時施工の方が短くなっているため、高速施工法の有効性が確認できた。

1リング施工サイクルタイムの比較

作業内容		0	15	30	45	合計
今回工法	掘進	前胴のみ掘進	12分			42分
		後胴リフト掘進		12分		
	セグメント組立	20分				
	付帯工			10分		
従来工法	掘進	24分			54分	
	セグメント組立		20分			
	付帯工			10分		

図-3 サイクルタイム比較(計画)

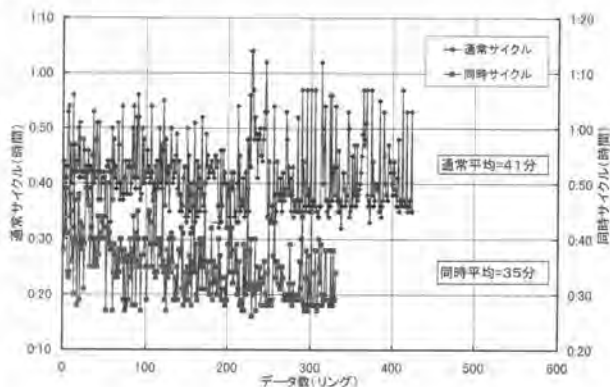


図-4 サイクルタイム実績

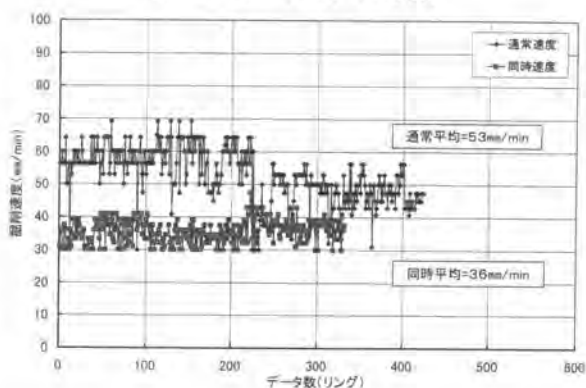


図-5 掘進速度実績

## 2) セグメント組立時のシールド機の挙動

ラチスジャッキを使用して掘進中に、セグメント組立に伴うジャッキの入れ替えを行うと、選択ジャッキの本数が減少し、一部のジャッキが過負荷となってシールド機が後退したり、後胴部分が左右に移動するおそれがある。特にシールド機の後退は、切羽圧力の低下や、テールシールドの破損につながるため極力防止しなければならない。

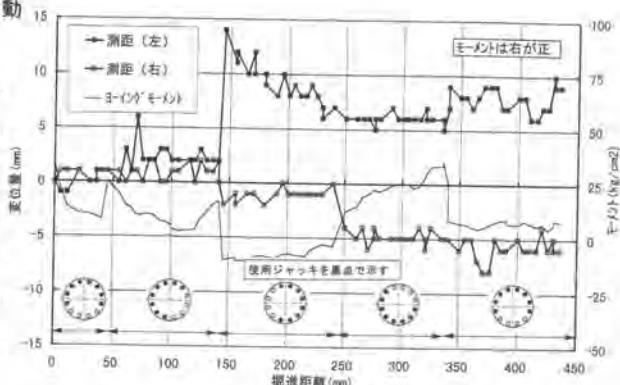
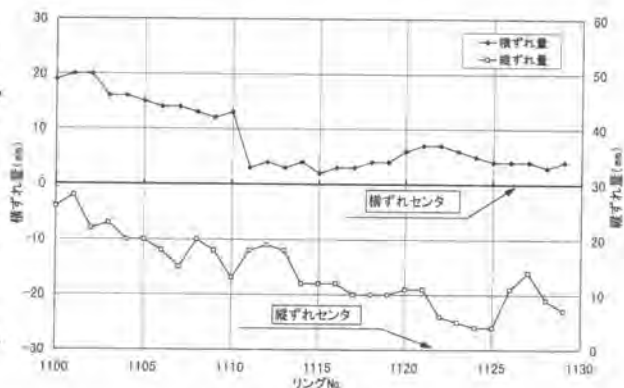


図-6は、同時施工時に1リングのセグメント組立を行った時の後胴部の挙動を示したものである。図中の測距データは、シールド機後胴部の外周内側の左右に光波測距機を設置し、シールド機と既設セグメントとの距離を計測した結果で、ヨーイングモーメントはラチスジャッキにより前胴部に発生した水平モーメントの推移結果である。

シールドジャッキを縮めた部分にラチスジャッキによるモーメントが作用する場合もあるため、後胴の後退量は最大で10mm程度になっている。しかし、通常施工の場合に、セグメント組立前と組立後と比較したときの後退量が常に10mm程度発生することを考えると、同時施工時のジャッキ入れ替えによる後胴部の挙動は実施工に支障がないことが実証された。

## 3) 方向制御

図-7は、同時施工区間において方向制御を実施したときの測量実績を示している。水平・鉛直方向ともに計画線に対して30mm程度のずれ量の地点からの自動方向制御を実施したが、10リングから20リング程度の掘進で修正されてずれ量が小さくなっている。このことから、同時施工においても、方向制御が十分に可能なことを確認できた。



## 6. まとめ

本実証施工結果より、同時施工法による高速施工が可能であることが実証された。さらに実用性についても、同時施工実施時に懸念されたセグメント組立時のシールド機の安定性および方向制御についても良好な結果を得た。今後、土圧系シールドや曲線施工において本工法の高度化を図るとともに、実工事への適用を進めていきたい。

おわりに、本工法の開発及び実証施工にあたり、御協力頂いた関係者各位に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 池田 他；ラチス式同時施工シールド機の開発；第51回土木学会年講概要集，1996，9
- 2) 梅谷 他；ラチス式同時施工シールド機による実証施工；第51回土木学会年講概要集，1996，9

# 13. 中口径シールドにおけるセグメント全自動組立

佐藤工業：鈴木 哲郎，\*金田 富美男  
守山 亨

## 1. はじめに

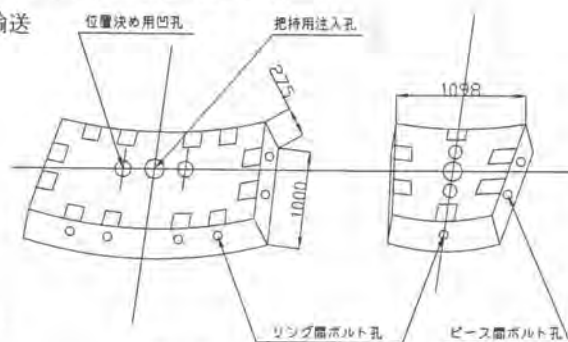
シールド工法におけるセグメント組立作業の自動化は、昭和63年にセグメント外径7600mmの共同溝工事において最初に実用化された。自動組立ロボットは、組立作業時間の短縮化や組立作業員の省力化、重量物の取り扱いからの解放、あるいは組立精度の向上を図れるなどから、ロボットの設置空間に余裕のある10m以上の大口径シールドを中心に用いられた。

一方、施工件数の多い中口径のシールドにおいてもセグメント自動組立の実用化は潜在的に期待されており、昨今のシールド工事の長距離化、高速化からますます自動化の期待は高まっている。

建設省発注の調布共同溝工事では、中口径シールドとしては国内で初めてセグメントの搬送からボルトの締結までの作業の全自動化を図ったセグメント自動組立システムを開発、採用している。本システムは、①組立システムのコンパクト化、②組立て作業の高速化、③対応範囲の広い組立ロボット、という3つの大きな特長を有している。ここでは、1リングを27～30分で組立中の本組立システムの概要と実績について報告する。

## 2. シールド工事概要

工事延長	: 2,548m
最小曲線半径	: R=150m
縦断勾配	: i=0.3% (下り)
立坑	: 発進立坑1カ所、中間立坑4カ所、到達立坑1カ所
シールド工法	: 泥土圧シールド+流体輸送
シールド外径	: 6,340mm
仕上がり内径	: 5,250mm
セグメント	: 6分割RCセグメント
外径	: 6,200mm
幅	: 1,000mm
厚さ	: 275mm
最大重量	: 2,500kg/1ピース
Kセグメント	: 軸方向挿入型
ボルト	: M27単ボルト、締付トルク490N・m、ボルト本数33本/リング、シールドパッキン付



図一1 セグメント構造概要図

セグメントシール：水膨張性シール

図一1にセグメント構造概要図を示す。

### 3. セグメント自動組立システム

#### 3-1 システム概要

自動組立システムの主な構成は、運搬してきたセグメントを自動組立ロボットに供給する供給装置（フィーダー、供給台車）、搬送装置（ターンリフター、搬送コンベア）、セグメントを組み立てるロボットおよびこれらを自動制御する制御システムからなる。自動組立システムの概要を図-2に、自動組立ロボット構造概要図を図-3に示す。

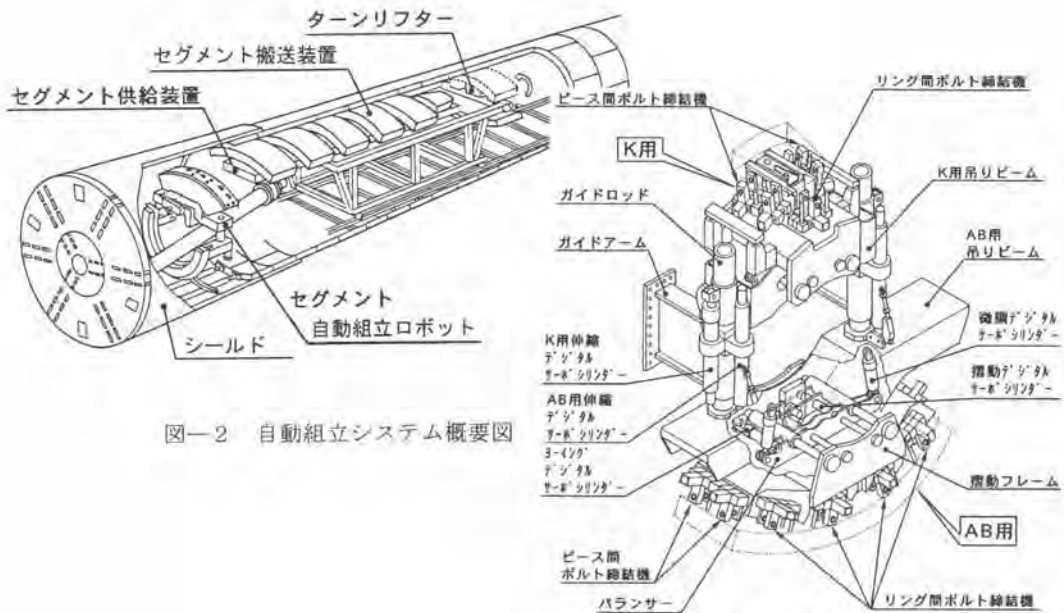


図-2 自動組立システム概要図

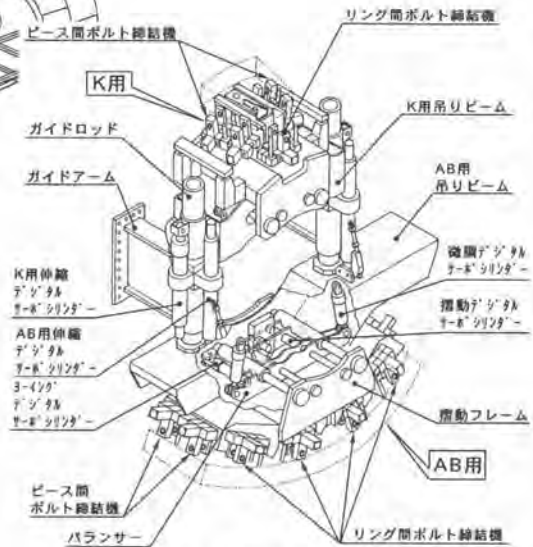


図-3 自動組立ロボット構造概要図

#### 3-2 組立手順

図-4に自動組立ロボットの制御フロー図を示す。各作業のポイントは次のとおりである。

##### ① セグメント運搬～組立待機

バッテリーカーで運搬したセグメントをターンリフターで吊り上げ、その位置で90度回転させた後、上下反転させながら搬送装置に搭載する。この作業を掘進中に6回行い、1リング分を組立待機の状態にする。

図-5にターンリフター概要図を示す。

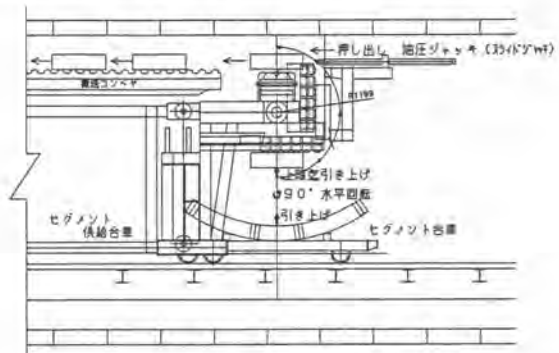


図-5 ターンリフター概要図

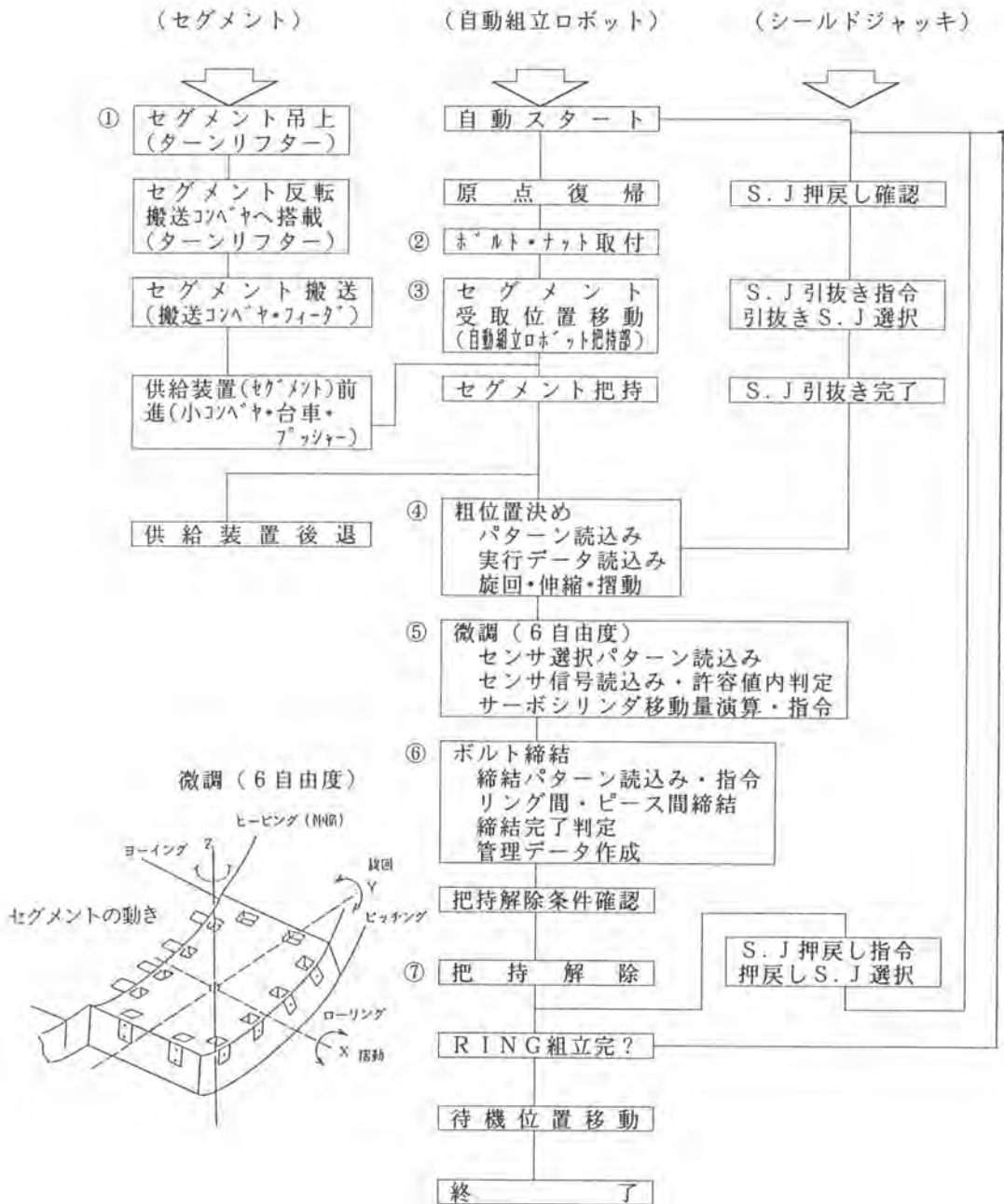


図-4 自動組立ロボット制御フロー図

## ② ボルト・ナット取付

セグメント組立開始とともに、待機位置にあった組立ロボットがボルト・ナット取り付け位置に旋回し、1ピース分のボルト・ナットを締結機に作業員が供給する。締結機はA・Bセグメントロボットにリング間、ピース間用として計8台、Kセグメントロボットに同じく計5台装着されており、ボルト・ナットは磁石により締結機に固定される。

## ③ セグメント供給・把持

組立ロボットは、セグメント受け取り位置まで旋回し、供給装置からセグメントを受け取り把持する。セグメントの把持は、セグメントに設けた2カ所の把持位置決め用凹部にロボットから位置決めピンを差し込み、注入孔にあらかじめ取り付けられている把持ピンをロボット側に引き寄せる。

## ④ 粗位置決め

あらかじめ入力してあるセグメント組立パターンに従いセグメントを組立位置まで旋回移動して粗位置決めを行う。また同時に組立位置付近のシールドジャッキを自動的に引き戻す。写真-1にAセグメント組立状況を示す。



写真-1 Aセグメント組立状況

## ⑤ 微調位置決め

センサーにより、既設セグメントとの位置ずれを検出しながら、許容誤差内に収まるように微調位置決めを行う。

微調位置決めは、セグメントX、Y、Z軸および各軸まわりの回転（ローリング、ピッチング、ヨーイング）の6自由度の位置を制御する。（図-4参照）

## ⑥ ボルト締結

微調位置決め制御が終了すると、シールドジャッキは自動的に当該セグメントを押し固定する。締結装置がボルトボックスに挿入され、リング間、ピース間ボルトを同時にセットし、ピース間、リング間ボルトの順に締結する。

## ⑦ 把持解除

締結終了後、セグメントを把持解除し、ボルト・ナット取り付け位置に旋回する。

以上②～⑦の動作を6回繰り返し、1リングのセグメント組立てを完了する。

## 3-3 特長

本セグメント自動組立システムは、次の特長を有している。

### ① 組立システムのコンパクト化

- 後続台車の上方にセグメント搬送装置を装備した上部搬送・上部供給方式を採用している。これまで坑内のデッドスペースとなっていた空間を有効に活用することにより中口径シールド



での全自動組立てを可能とした。

- セグメント台車で搬送したセグメントを180度反転させ、上部搬送装置に搭載するターンリフターを新たに開発した。

#### ② 組立時間の高速化

- 組立ロボット各駆動部の作動時間（ジャッキ伸縮、旋回、センシング）を分析し、組立時間の短縮に寄与する動作の絞り込みを行い、当該動作に関する駆動能力をあげ、高速化を図り1リングの組立時間を30分以内とした。
- あらかじめロボット制御システムに最適組立動作を教え込むティーチングプレイバックシステムを採用した。

#### ③ 適用範囲の広い組立ロボット

- A・BセグメントとKセグメントにそれぞれ専用のロボットを装備した。
- A・BセグメントとKセグメントの形状寸法の違い、組立方法の違い（半径方向挿入式と軸方向挿入式）に対応しているため、従来のセグメントを改良することなくそのまま用いることができる。

### 4. 組立実績

平成8年6月末現在、1, 100m (1,100リング) 付近を掘進中であり、これまでにR=15.0mの曲線区間を3カ所（区間距離 右31m、左19m 左9m）、中間立坑を2カ所通過している。ここでは、セグメントの自動組立の実績について報告する。（図-6 参照）

#### 4-1 組立時間について

初期掘進期間中、組立時間は当初計画の30分を大幅に越えたが、これらの原因を分析、検討した結果、メーカーによる組立ロボットの調整、操作指導、作業員の不慣れ、および組立ロボットの動作の一部に次のような不具合のあることが判明した。

- ①伸縮ジャッキの微調位置決め
- ②伸縮ジャッキの振動
- ③ヨーイングのずれ

本掘進段取替え期間中、前述不具合に対し制御ソフトの改良、部品の改良、交換および操作員の教育等を行った結果、90リングからの本掘進では、ほぼ当初計画を達成するにいたった。

#### 4-2 ボルト締結手順について

本工事のボルト・ナットには、シールパッキンを接着したものを使用し、ボルト先端部は、特殊な加工を行っていない。このため、ボルト孔合わせの高い精度を確保する必要がある。

初期掘進時のボルト締結率（1リングにおける締結実本数/締結計画本数）は79%と低かった。組立状況の調査から締結率の低い箇所は、主にリング間であることがわかった。当初の締結順序はピース間ボルトを孔に通して締結し、次にリング間ボルトを孔に通して締結していた。このようにピース間ボ

ルトを先に締結した場合、組立セグメントの真円度が保持できなくなる現象が見られ、リング間ボルト孔に「ずれ」が生じた。そのためリング間およびピース間ボルト孔にボルトを通した後ピース間、リング間の順序でボルトを締結する制御ソフトに改良し、締結率を95～100%に向上することができた。

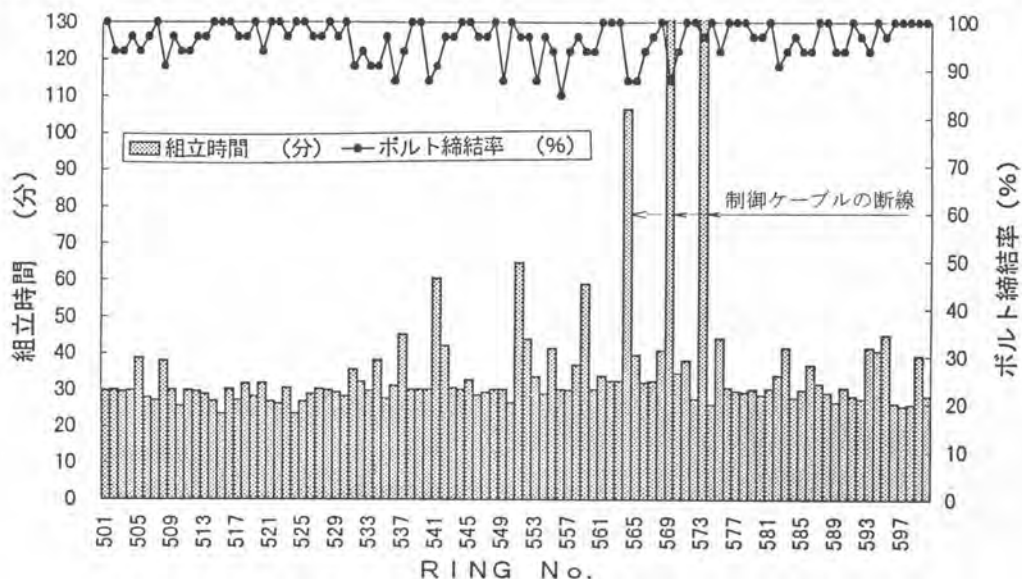


図-6 501～600リングの組立時間とボルト締結率

#### 4-3 自動組立ロボットの成果について

覆工状況は写真-2にみられるように、セグメントの目違い、クラック漏水等、ほとんど見られない。中口径シールドの中央にスクリーコンベヤを有する狭小な空間にもかかわらず、通常のセグメントでしかも、Kセグメントが軸方向挿入式という条件のなかで1リング25～27分の実績を得て、当初計画の成果をあげることができた。



写真-2 覆工状況

#### 5. おわりに

本ロボットの施工は、中口径以上のすべての形式のシールド、セグメントの種類に対応でき、これまでのセグメント自動組立の集大成といえる。本実績が今後のセグメント自動組立装置を採用する上で参考になれば幸いである。

# 14. 勾配可変式コンクリート舗装機械の特長と施工実績

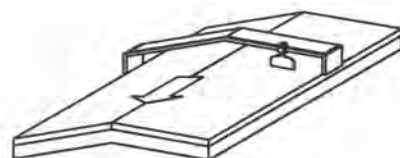
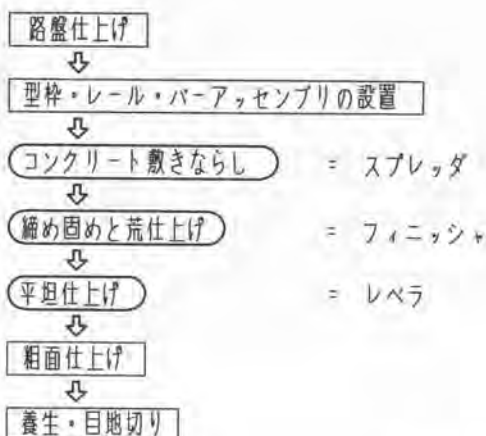
前田道路㈱：\*早坂 英明，森川 欣英

## 1. はじめに

道路建設のコンクリート舗装において、これまで直線区間など両勾配のある対面二車線の施工では、片勾配づつコンクリートを舗装してきた。このためコンクリート舗装機械のレーン移設や時間を要する養生等が作業工程にあることから手間と時間が掛かっていた。このような背景より両勾配部を同時舗装でき施工期間の短縮、省力化および品質の向上をめざした勾配可変式コンクリート舗装機械（Gスローバ）の開発を行った。

今回開発した両勾配に対応した舗装機械はコンクリートスプレッダ、フィニッシャ、レベラより構成されている。それぞれの作業装置等がクラウン装置を備え、中央部で折れ曲がるようになっており両勾配に対応している。この折れ曲がるクラウン部に目的に応じた工夫があり機械を開発するうえでのポイントになった。また高度化する機械に対してオペレータの作業が難しくならないように電気や油圧化を推進し作業性を向上させている。そして、現場での設置や幅員調整も簡易にできるように考慮した。このように両勾配に対応させ、それにとまなう作業の煩雑さについても工夫することにより実現現場でも多く採用され始めている。本文ではこれら舗装機械の特長と施工実績について報告する。

## 2. 施工の概要



2車線同時舗装



従来の工法

図-1 施工手順

施工手順は(図-1)で示すとおり、基本的に従来の工法と同じである。片車線づつ施工を行うと施工幅員が半分となり一日あたりの施工延長はのびるが施工能力は両車線施工と同等と考えられる。ところが片車線施工では片車線終了後に型枠を外し、養生をおこない、レールを設置し、複数の機械を移設する作業が必要になる。そしてその後、残りの車線のコンクリート打設を行う。これらの作業工程と日数が両勾配同時施工に比較して多くなる。このように2車線同時舗設が採用できる条件であればメリットは多くなる。

### 3. スプレッダ

ダンプトラックより運び込まれたコンクリート材をブレードにより敷きならす機械である。スプレッダが適切な予盛りですばやく敷きならせばフィニッシュ、レベラも止まることなく作業が行える。言い換えれば、スプレッダの作業能力は施工量に与える影響が大きいと言える。

両勾配に対してはフレーム全体を折り曲げる方式を採用し、コンクリート材の荷おろし時にできた小山にも機体をすらないよう作業空間を確保した。

操作系統には電気-油圧化を図っている。スプレッダは機体の前後進とブレードの横行により材料を隅々まで高速で敷きならす細かな操作が要求される。そこで、2次元制御のジョイスティックと電気比例油圧制御の組合せにより、ジョイスティックの操作方向と操作量に応じて走行と横行の方向と速度をなめらかに操作できるようにした。また機体上下も上層、下層と引きならすため頻繁に行うが、設定値にあわせてブレード回転と同じレバーひとつで調整できるようにした。

勾配変化区間では両手でジョイスティックを操作しているオペレータが高速で前後進しているスプレッダの勾配調整をおこなうことは困難である。そこでオートクラウンを開発した。オートクラウンはあらかじめ勾配変化開始地点から終了地点までのクラウン値を設定しておき、施工中は走行に追従して自動的に折れ曲がるようにした制御システムである。



写真-1 コンクリートスプレッダ外観



写真-2 コンクリートスプレッダ操作盤

表-1 コンクリートスプレッダ主要諸元

舗 装 幅	5.5~8.5m	
全 長	2,350mm	
全 幅	9,190mm(8.5m舗装幅時)	
全 高	2,570mm	
総 重 量	8,800kg(8.5m舗装幅時)	
原動機出力	50PS/2,000rpm	
走行速度	~45m/分	
本体上下調整量	上	220mm
	下	470mm
ブレード寸法	600×1,500mm	
ブレード 旋回角度	360°	
クラウン量	0~4%	

#### 4. フィニッシャ

スプレッタで敷きならした後に、フィニッシャのロータリーストライクオフ、パイブレータ、フィニッシングスクリードでそれぞれ、切りならし、締固め、荒仕上げをする。両勾配に対応するには、フィニッシングスクリードの機構に特長をもたせた。

図-2のとおり単純にスクリードを折り曲げるだけでは仕上げ面に添って摺動できない。そこで図-3のようにスクリードを中央で二つに割り、それぞれをロットを使いリンクとしてつなげた。そしてスクリードはクラウンフレームの平行な方向のみ摺動できるようにした。この機構により山形の形状を成形可能にした。そして摺動による横揺れを減少させるため、スクリードを前後ダブルにして逆位相で摺動させた。これにより横方向の慣性力を相殺し、さらに形状を正確に仕上げられるようにした。

定まった動きの作業には簡易自動化を採用している。例えば、パイブレータを回転させて降ろす作業などは常に同じ操作をおこなうが、それぞれのスイッチを順次操作するのではなく、ひとつのスイッチで動作できるようにした。



写真-3 コンクリートフィニッシャ外觀

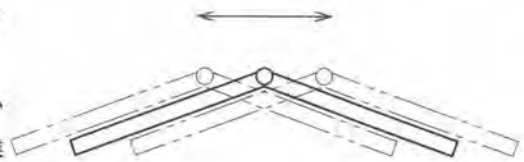


図-2 折れ点中央

表-2 コンクリートフィニッシャ主要諸元

鋪 装 幅	5.5~8.5m	
全 長	5,100mm	
全 幅	9,180mm(8.5m鋪装幅時)	
全 高	2,480mm	
機 重 量	12,000kg(8.5m鋪装幅時)	
原動機出力	71PS/1,800rpm	
走行速度	作業時	~8m/分
	自走時	~40m/分
ロータリーストライクオフ径	400mm	
ロータリーストライクオフ回転数	80rpm	
パイブレータ駆動方式	一輪偏心式	
パイブレータ駆動数	3,000rpm	
フィニッシングスクリード摺動量	100mm	
フィニッシングスクリード摺動数	~80回/分	
クラウン量	0~4%	

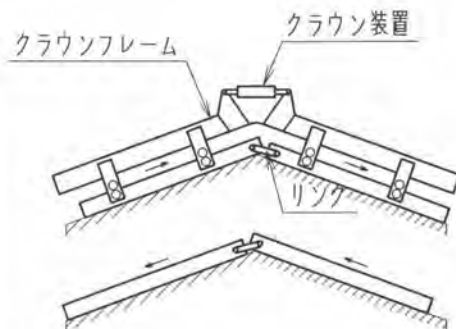


図-3 リンク式

## 5. レベラ

縦方向に長いスクリードによりコンクリート舗装表面を平坦に仕上げる機械である。フィニシャにより成形された両勾配の山形を崩すことなく平坦に仕上げられるようにクラウン部のレールとスクリード側のローラに特長をもたせた。

スクリードがレールの頂点を通過するさい二点支持ローラ（図-4）では頂点を押さえつづていくことが懸念される。そこで、三点支持ローラとガイドレール（図-5）の組合せにより頂点を通過するさいにも山形を崩すことのないようにした。

高さ調整等も操作性を考えオペレータがスクリードフレームの上で操作を行えるようにした。簡易自動化についてもフィニッシャと同様にスクリードの摺動と上下などに採用した。



写真-4 コンクリートレベラ外觀

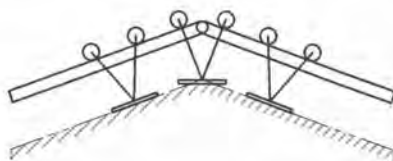


図-4 二点支持ローラ

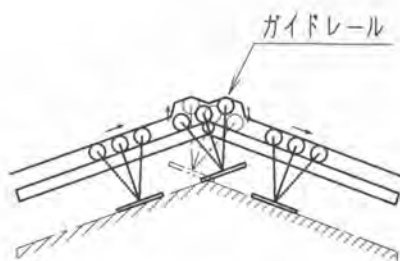


図-5 三点支持ローラ

表-3 コンクリートレベラ主要諸元

舗装幅	5.5~8.5m	
全長	5,630mm	
全幅	9,260mm(8.5m舗装幅時)	
全高	1,960mm	
総重量	8,000kg(8.5m舗装幅時)	
原動機出力	28PS/1,800rpm	
走行速度	作業時	~8m/分
	自走時	~40m/分
スクリード長さ	3,030mm	
スクリード幅	300mm	
スクリード横行速度	~8.6m/分	
スクリード摺動量	150mm	
スクリード摺動数	~50回/分	
クラウン量	0~4%	

## 5. 幅員調整と搬入設置の省力化

作業現場ごとに異なる施工幅員に対して、コンクリート機械はその都度、幅員調整を行う。このため施工に取りかかるまでも準備作業があり日数を要した。また、現場での設置においても、作業状態での回送ができないので組み付け作業が必要となる。Gスローバシリーズでは施工幅員の調整をアウトリガと油圧作動のねじ棒を利用しており、調整を簡略にして省力化と作業期間の短縮を図った。また、機体重量を出来るだけ軽く（10T以下/ユニット）しておりクレーン作業を円滑に行えるようにした。

写真-5, 6, 7, 8は機械の搬入設置時である。レベラの組み付けも含め2時間で終了した。



写真-5 コンクリートスプレッダ搬入



写真-6 コンクリートフィニッシャ搬入



写真-7 コンクリートレベラ組み付け



写真-8 コンクリート舗装機械搬入完了状況

## 6. 施工実績

Gスローバを用いた施工実績として長野県・飯綱高原浅川線浅川2号トンネル（東条工区）のコンクリート舗装工事を紹介する。

### 6-1. 施工概要

施工延長	520m
施工幅員	6、580mm
施工コンクリート版厚さ	25cm
縦断勾配	3%
横断勾配	片勾配部 2%
	両勾配部 2%

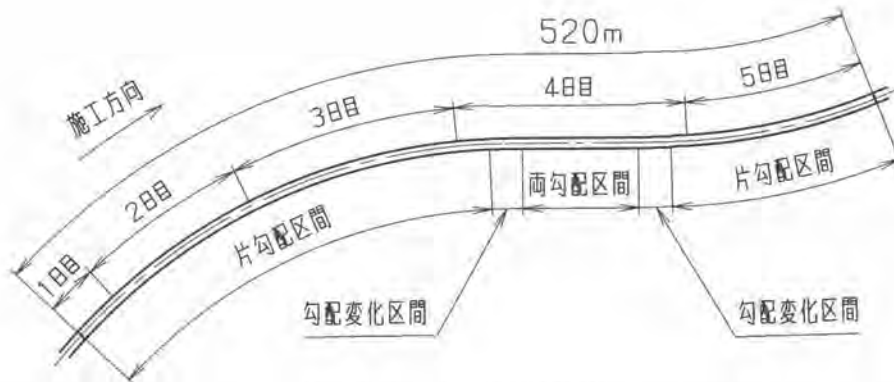


図-6 コンクリート舗装平面図

図-6 のとおり、施工は片勾配区間から始まり、4日目には2回の勾配変化区間と両勾配区間がある。

## 6-2. 施工量

表-4 施工量

作業日(日)	施工延長(m)	施工量(m <sup>3</sup> )	* 作業時間(H)	時間当たりの施工量(m <sup>3</sup> /H)
1	30	49	4	12.3
2	100	165	6.5	25.4
3	130	214	7	30.6
4	140	230	7.5	30.7
5	120	197	6.5	30.3

\* プレ、ダ作業開始からレベラ終了まで、材料持ち合。

表-4 のとおり、施工延長と施工量をみると勾配変化区間や両勾配区間が含まれていても、片勾配区間と同等である。

## 6-3 平坦性

3mプロフィールメータで測定した結果は次のとおりである。

左車線  $\sigma_{3m} = 1.11$  (< 2.0 基準値)

右車線  $\sigma_{3m} = 1.13$  (< 2.0 基準値)

## 7. おわりに

Gスロープを用いたコンクリート舗装工事は、多くのメリットがあり実施工をとおして実証され初められている。今回の論文では、特長と施工実績を報告したが、各機種は両勾配対応というだけではなく様々な技術を用いている。両勾配施工のアイデアを形にし、効率をあげ、機能を増やし、かつ簡易化も実現するには改めて施工全体を見渡しながら開発することが重要であると認識した。今後も、さらなる自動化やシステムの見直しも考えていく所存である。



## 15. 土木工事用仮設屋根“パラガスC”の開発

ハザマ：\*杉浦 仁志, 谷田部 好信  
今村 信夫

### 1.はじめに

施工品質の確保、作業環境の改善、工期安定による生産性向上等を目的とした土木工事用仮設屋根「パラガスC」\*を開発した。現在、建設業においては、仮設屋根の開発・適用が積極的に行われているが、その主体は建築現場であり、土木工事を対象とした仮設屋根の開発例は少ない。これは、①広い作業範囲、②作業場所の平面的移動、③不陸や高低差のある作業場所、といった土木工事特有の制約条件が原因の1つになっている。これらの課題を考慮し、土木工事への適用を



写真-1 パラガスCの全景

可能にするため、今回の開発では、エアチューブ構造によるアーチ形状の屋根（写真-1）を採用し、ダム工事における堤体のコンクリート打設作業を当面の適用ターゲットとした。本報では、屋根の概要、設置・移設方法、現場での模擬実験について報告する。なお、本開発は労働省指定の建設雇用近代化モデル事業の一環として実施している。

\*パラガスC：スペイン語の傘（PARAGUAS）と土木（Civil）を意味する。

### 2.屋根の概要

#### 1) 構成

パラガスCの構造を図-1に、装置仕様を表-1に示す。

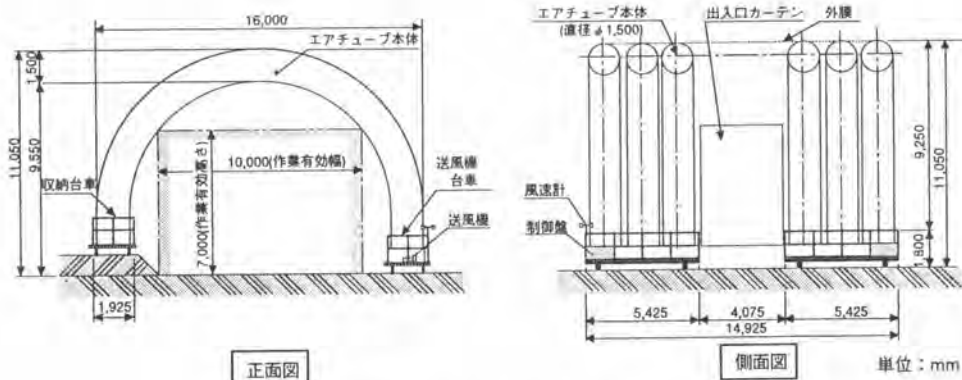


図-1 パラガスCの構造

屋根は4つの台車（送風機台車2台、収納台車2台）とアーチ形状の屋根膜で構成し、重機が稼働できるように、高さ7m×幅10mの作業有効空間を確保した。桁行方向には、同タイプの屋根を連結して拡張ができる。

20m/s（設計風速）以上の暴風時には屋根をしぼませて対処する。エアチューブの内圧は常時6.9kPaであり、外部風速が15m/s以上になると、自動制御で12.7kPaに昇圧される。

## 2) 特徴

- ・屋根膜は、エアチューブ構造なので屋根形状に柔軟性があり、設置面の不陸や1m程度の高低差があっても支障はない。
- ・台車を配置し、エアチューブを膨らます送風ファンを起動するだけで、短時間で設置ができる。
- ・台車の移動には、主にフォークリフトを使用する。屋根膜は台車に収納できるので保管が容易。

## 3. ダム工事への適用

### 1) 設置手順

- ①屋根の待機：連結した4台車（屋根裾部を台車上に接続したまま、屋根を構成する4つの台車を固め、台車同士を連結プレートで固定）の上に、屋根膜を載せた状態で、仮置場にて待機する。
- ②堤体上へ搬入：クレーンにより、連結した4台車を吊り上げ、堤体上に降ろす（写真-2）。
- ③4台車の分割：連結プレートを外す。
- ④各台車の移動：分割した4つの台車を各々の所定の位置へフォークリフトで移動する（写真-3）。
- ⑤電気配線：電源・制御ケーブルを接続する。
- ⑥エアアップ：送風ファンを起動し、屋根膜へ空気を送り込む（写真-4）。
- ⑦設置完了：設置完了後も送風ファンの電源は切らず、自動運転状態とする（写真-5）。



写真-2 連結した4台車の吊り上げ



写真-3 各台車の移動

表-1 主な仕様・諸元

項目		仕様・諸元
全体	形式	空気調方式
	外形寸法	15m (L)×16m (W)×11m (H)
	水平面投影面積	約 230 (㎡)
	内部作業有効寸法	15m (L)×10m (W)×7m (H)
	設計風速	20(m/s)
総質量	約 8t	
膜材	使用膜材	C種防災膜材
	膜材厚さ	0.65 (mm)
	膜材引張強度	縦1960×横1960(N/3cm)以上
	膜材単位質量	0.785 (kg/㎡)
台車	台車台数	送風機台車2台、収納台車2台
	台車質量	送風機台車 約 1.7 (t/台) 収納台車 約 1.4 (t/台)
	送風機	ターボファン×4台
設備機器	エアチューブ内圧	常用 6.9 (kPa)、最大 12.7 (kPa)
	内圧制御	内圧および風速によるインバータ制御
	送風機電源	AC200V 10(kW)
	付属品	風速計、バトライト



写真-4 エアーアップ



写真-5 設置完了

## 2) エアーアップ

送風ファンを起動させてから、屋根膜のアーチ形状が形成されるまでのチューブ内圧の経時変化(エアーアップ時)を図-2に示す(▲印)。ファン起動後23分でアーチが自動的に形成される。また、強風時の昇圧も3分程度の短時間で完了する。

通常の使用状態では、膜接合部からの空気漏れを補充するために、アーチ形成後も送風ファンを稼働させている(ファン出力40%程度)。図-2の●印は、停電等でファンが停止した場合に、バルブを閉めた状態で、アーチがどの程度の時間、形状を維持できるかを計測した結果である(エアーリーク時)。これにより、ファン停止後約20分間はアーチ形状を維持できることがわかった。

## 3) 移設方法

図-3に、ダム工事の堤体コンクリート打設に伴った屋根移設のタイミングを示す。段の高い方が打設終了面、低い方がこれから打設を行う面である。第2レーンを打設し、振動ローラーでの転圧が完了した時点(③)で屋根の移設を行う。移設は、クローラ式のフォークリフトを2台使用し、図-4に示す方法で行う。

台車にはボール形状の4本のソリ足を設け、

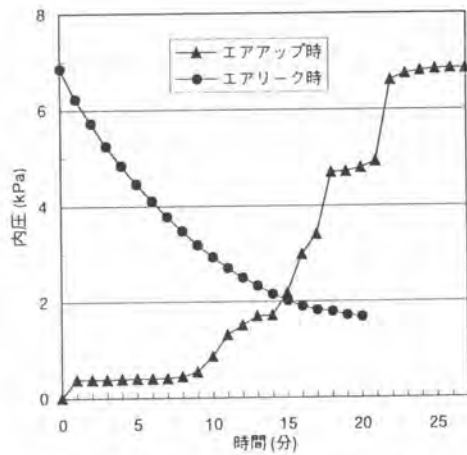


図-2 チューブ内圧の経時変化

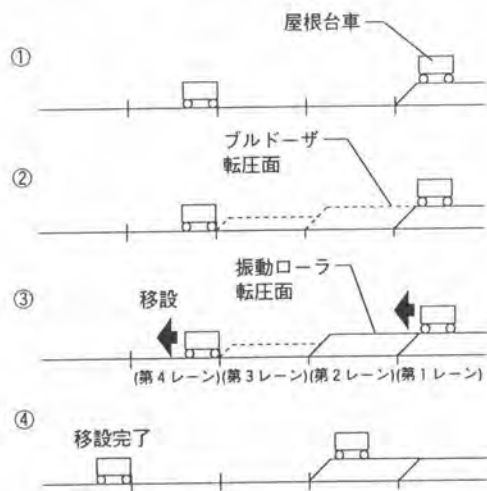
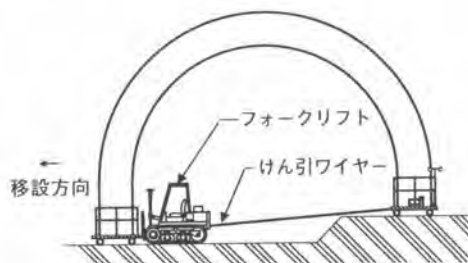


図-3 屋根移設のタイミング

接地圧を小さくすることによって、移設による跡を打設面に残さない様にした（写真－6）。



図－4 移設方法



写真－6 ソリ脚部

#### 4. 現場実験

実際のダム現場において、性能確認のための模擬実験を実施した（平成8年1月と7月）。実験では、掘削ズリを使用し、堤体のコンクリート打設作業を実際の重機によりシミュレートして、屋根の設置時間、作業重機との空間的干渉、装置の使い勝手をチェックした。表－2は、先に述べた設置手順③から⑥までの各作業に要した時間を示したものである。実験結果からの考察を以下に示す。

- ・設置時間は、目標50分に対して、実際は65分を要した。設置手順の見直しと作業員の習熟により15分程度の時間短縮が可能である。
- ・作業員8人（フォークリフトのオペレータ含む）で設置したが、作業に慣れれば4名程度でできる。
- ・台車を連結する際に、膜を吊り上げるためのクレーン（吊り代13m、作業半径9m、吊上荷重1.5ton）が必要となる。
- ・フォークリフトによる台車の移動の際に、フォークリフトの姿勢を安定させるために、段差法面の勾配をできるだけ緩くする必要がある。



写真－7 現場実験状況

表－2 実験結果（設置作業時間）

手順NO	作業内容	作業時間
③	4台車の分割	10分
④	各台車の移動	20分
⑤	電気配線	5分
⑥	エア－アップ	30分
合 計		65分

#### 5. おわりに

今後は、設置手順の見直しや作業員の教育により、実施工への早期適用を目指すとともに、他の利用方法（地下掘削工事、作業員の休憩所等）についても、幅広く検討して行きたい。

## 16. 全天候式ダムコンクリート打設システムの開発と要素実験

清水建設(株)：\*岸野 富夫, 小田原 卓郎  
福元 洋一

### 1. まえがき

コンクリートダム工事におけるコンクリートの打設は屋外作業でかつ広範囲のため、降雨に影響されやすい。現在は少量の雨を除いて一定量以上の降雨になると施工品質に影響が出るのを防ぐためコンクリートの打設作業を行う事ができない。このように雨天による作業の休止、中断は全体工程に大きな影響を与える。作業所としては工程を確保するために休日等に振り替え作業を行なわざるをえない。このような背景のもとに

①安定した工程管理及び工期短縮

②作業員の労働環境改善

③作業効率向上

をねらいとして「全天候式ダムコンクリート打設システム」(ダム・ワークショップ)を開発した。

本報文ではこのシステムの概要とシステムを構成する各施工装置についての実証実験について報告するものである。

### 2. 施工の順序

本システムは重力式コンクリートダム建設工法の一つである拡張レイア工法を対象としている。施工手順は柱状打設工法と同じである。下記手順は降雨時に施工可能となった場合の手順(図-1)である。

\*①打設面の除水・止水

\*②打設面の水分除去

③モルタル敷き均し

④コンクリート打設

⑤コンクリート締め固め

\*印は雨天時のみに必要となる作業

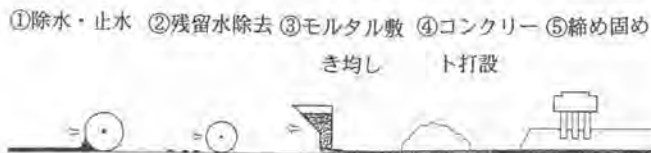


図-1 施工手順

### 3. システムの構成

本システムは移動式の大型屋根の中に各施工装置を組み入れ、雨天並びにそれ以外の日においても大量のコンクリートを効率良く打設していくためダム・ワークショップとしてのシステム構成(図-2)となっている。移動式の大型屋根に「除水・止水装置」「残留水吸水装置」「モルタル敷き均し装置」「コンクリート締め固め装置」等の施工用装置が組み込まれている。このワークショップ内で

は、順次コンクリート運搬用ダンプトラックによりコンクリートが運ばれ打設されていく。

このようにして移動式屋根内の各施工装置により1サイクルの作業が行われると屋根全体が移動し順次作業を行いながらダム堤体を構築していく。

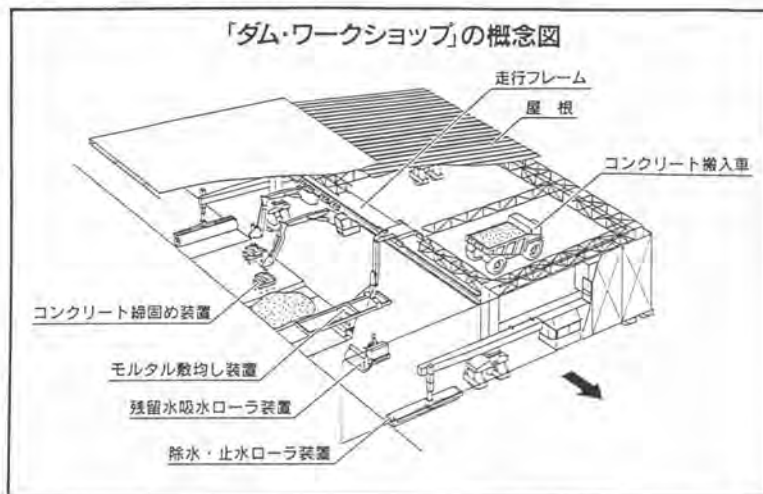


図-2 全天候式ダムコンクリート打設システム「ダム・ワークショップ」概念図

### 3.1 移動式大型屋根

作業部分を降雨から防ぐための鋼製屋根部、各施工装置を支持する走行フレーム部及び屋根全体を支持移動しかつ昇降させる脚部から構成されている。脚部には一対のタイヤを4箇所に配置し計8本のタイヤで屋根全体が支持されている。タイヤ間の脚下部にはワークショップ方向変換時昇降ジャッキが各々に内蔵されている。

### 3.2 除水・止水装置

この装置は屋根作業部の前方と後方に配置され打設面に溜まった水の排除と排除した水の再流入を防ぐ機能を有している。鋼製ローラの表面に特殊スポンジをまいており、打設表面の凹凸に対応できる。端部は隣接打設レーンの法尻部がありこの部分の除水・止水を行うために複数のノズルからエアを噴射するエアカーテン方式を採用している。(写真-1)

表-1 除水・止水装置仕様

寸法	w4.7 x D1.0 x H1.0(m)
径	φ 0.32(m)
重量	900(kg)
プロア出力	11(kw)
施工幅	4 m



写真-1 除水・止水装置

### 3.3 残留水吸水装置

本装置は除水・止水装置によって大方の水が排除された後コンクリート打ち継ぎ表面の凹部等の残留水を取るとともに全体の表面水分を取る機能を持っている。この装置は機動性が要求されるため小型クローラ式ベースマシンも含め開発した。構造は穴あき鋼製ドラムに特殊スポンジを巻き、上部の絞りローラよりスポンジで吸水した水を絞り内部の桶内に水を溜め、溜まった水をポンプにより装置後方のノズルから排出する形になっている。

表-2 残留水吸水装置仕様

寸法	w2.0 x D2.1 x H2.1(m) φ 0.7(m)
重量	900(kg)
処理能力	10リットル/min
走行速度	0~3.5km/h

### 3.4 モルタル敷き均し装置

この作業は打ち継ぎコンクリートの下にモルタルを敷くことで前回打設したコンクリートとの付着力を増す目的で行われる。この作業は一定範囲を迅速に行う必要があり、本装置は一定量ずつモルタルが入る2室に別れたホッパー部と同一幅に所定厚さでモルタルを敷き均すマウス部で構成されている。

今回の実験ではこの装置をクローラ式ベースマシンに搭載した形で行ったが、最終的なダム・ワークショップではこの装置をガイドレール上に移動させながら作業を行う計画である。モルタルの供給はポンプで行う予定である。(写真-3)



写真-2 残留水吸水装置

表-3 残留水吸水装置仕様

寸法	w2.0 x D3.0 x H1.2 (m)
重量	1,900(kg)
処理能力	15 m <sup>3</sup> /min
走行速度	0~5.5km/h
施工幅	2.0 m
施工厚	15±5mm



写真-3 モルタル敷き均し装置

### 3.5 締め固め装置

コンクリート大量打設に対応するには、運搬・打設とともにバイブレータによる締め固め能力を向上させる必要がある。その能力向上策として本装置では9本のバイブレータを600mmピッチで配列するとともにコンクリートへの挿入効率を高めるために垂直スライド機構を採用している。またバイブレータの挿入位置合わせを容易にするため回転機構も装備している。最終的なダム・ワークショ

ップでは屋根の梁を兼ねた走行フレームに取付ける計画であるが、今回の実験では油圧ショベルに締め固め装置を取り付け、パイプレータは6本と9本で実証実験を行った。(写真-4)

表-4 締め型め装置仕様

寸法	w1.5 x D1.7 x H4.3 (m)
重量	2,600(kg)
処理能力	250 m <sup>3</sup> /h
パイプレータ 本数	φ 150 L1,000(mm) 9本 9本(6本に変更可)
回転角度	±90度
挿入 s t	1,000mm



写真-4 締め固め装置

#### 4. 実証実験と結果

移動式屋根部を除いた各施工装置について実験装置を設計製作し性能確認を行った。実験はダム提体を模擬した実験ヤード(幅12m×奥行き27m)にて実施した。各施工装置は自走式にして、ダム・ワークショップの施工手順に従って実施した。打設面は降雨時と同様に水溜り状態を作りダンプトラックにてコンクリートの連続打設を行った。実験は各装置の性能確認及び連続打設時のシステムとしての性能確認と問題点の把握を目的に実施した。尚今回の実験では、全体打設時のコンクリート処理量目標を100m<sup>3</sup>/hとした。

実験結果については性能面に関しては良好な結果を確認できた。又、各装置の構造的面ではいくつかの問題点も明らかとなった。(写真-5、6)



写真-5 各施工装置実証実験(1)

#### 5. あとがき

雨天時の施工とコンクリートの大量打設をねらいとして「全天候式ダムコンクリート大量打設システム」を開発し、今回は移動式屋根を除いた、システムを構成する各施工装置の実験機による施工システムの実証実験を中心に紹介した。今後は移動式屋根を含めたワークショップ全体の実証や細部の養生等について検討して行く予定であります。



写真-6 各施工装置実証実験(2)



# 17. 高効率、低粉じん型吹付けコンクリート工法の技術報告（遠心吹付け工法：ケレスシステム）

日本国土開発㈱：奥津 一俊

## 1. はじめに

NATMの吹付けコンクリート工法は、作業環境への負担軽減、苦渋作業の軽減等の社会情勢を踏まえ、低粉じん型工法が建設省のパイロット事業等をとおして定着しつつある。

また、3車線断面道路トンネルに見られるような大断面化、施工の対象地山範囲の大幅な拡大化等が進み、発生応力度が従来より極めて大きくなるため、吹付け工法にも変化が求められ新しい工法を模索する時期に突入したと考える。

この状況下で、低粉じん、高品質、高強度、高耐久性吹付けコンクリート工法が各機関で研究・開発されているなか、当社では低粉じん型吹付け工法であるケレスシステムの適用拡大を図るため、施工実績の蓄積、実証実験等を行っている。

今回の報告は、ケレスシステムが低粉じん、高品質、高効率、高強度に適する工法であると判断できる内容を提供するものである。

## 2. ケレスシステムの概要

ケレスシステムは、写真-1に示すように粉体急結材を使用する湿式吹付方式であり、図-1に示すように定量搬送されたコンクリートと粉体急結材を遠心吹付装置内で攪拌混合したのち、水車形状したロータの高速回転によりコンクリートに遠心力を与え、吹付ける吹付方式である。

ケレスシステムの特長としては、

- ①粉じん発生原因である圧縮空気使用量が微量なため発生粉じん量を大幅に低減できること、
- ②コンプレッサー設備、受電設備及び使用電気料金等を大幅に縮小できること、
- ③坑内配管が不要であること

等を有し、従来の空気吹付けコンクリート方式と比して経済性、作業環境等に対し優位性がある。

ケレスシステムの機械構成は、図-2に示すように①遠心吹付装置、②多関節マニピュレータ、③急結材供給装置、④エアコンプレッサー、⑤エアドライヤー、⑥コンクリートポンプ、⑦ケーブルリール⑧電源制御盤、⑨油圧ユニット、⑩油圧駆動型高圧洗浄機等で、ホイール式自走台車およびレール台車等に搭載したコンパクトな形状としている。



写真-1 ケレスシステム全体

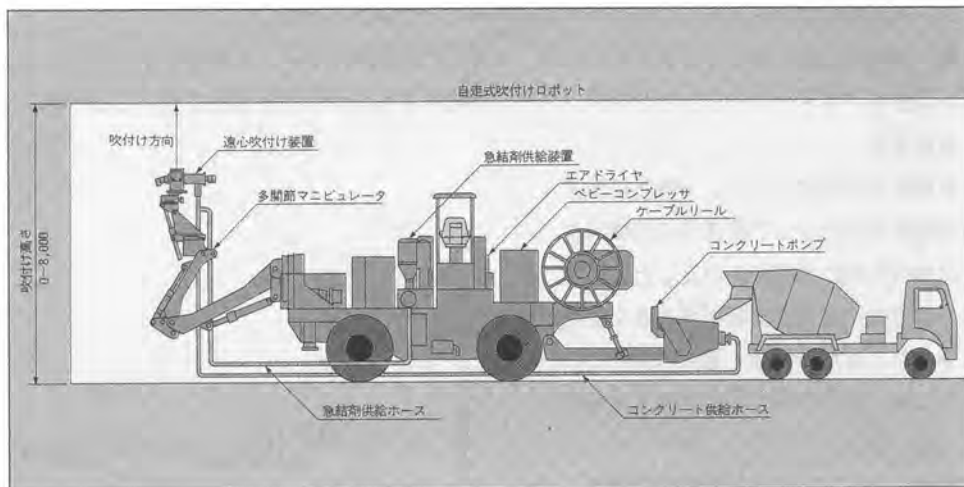


図-1 ケレスシステム概略図

遠心吹付け装置	最大吹付け能力	10m <sup>3</sup> /h
	ロータ寸法・回転数	φ400×150mm・700～1200rpm
	攪拌スクリュウ回転数	150～250rpm
コンクリートポンプ	吐出能力	10m <sup>3</sup> /h
	電動機出力	3相400V、30kW
急結剤供給装置	供給能力	3.0～10.0kg/min
	タンク容量	150ℓ
	吐出空気量	0.4Nm <sup>3</sup> /min
	ベビーコンプレッサ	7kgf/cm <sup>2</sup> 、5.5kW
	エアドライヤ	0.38kW
ロボットアーム	吹付け高さ	0～8000mm
	水平移動距離	1500mm
	操作方式	電気式リモートコントロール
走行台車	走行速度	8.5km/h
	登坂能力	30%
	運転席・操舵装置	横向運転席・4輪操舵
給電装置	供給電源	3相400V、200A
	ケーブルリール	4心、60mm <sup>2</sup> 、80m
寸法・重量	全長×全高×全幅	11300×3130×2400mm
	全装備重量	18500kg

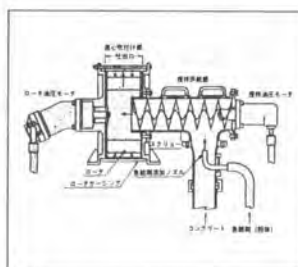


図-2 ケレスシステム機械構成図

なお、当ケレスシステムは、適用するトンネルの断面積、掘削方式等の相違に対応できるように以下に示す機種を有している。

- ①ショートベンチカット用ホイール式自走台車形式（全断面積：50m<sup>2</sup>～100m<sup>2</sup>）
- ②全断面掘削用ホイール式自走台車形式（全断面積：30m<sup>2</sup>～50m<sup>2</sup>）
- ③小断面（10m<sup>2</sup>クラス）用ホイール式自走台車形式
- ④小断面（10m<sup>2</sup>クラス）用レール台車形式

### 3. ケレスシステムの適用性の判定

低粉じんでクリーンな作業環境を実現したケレスシステムは、遠心力を利用した吹付コンクリート工法である。そのため、コンクリートを投射する回転部に摩擦を生ずるが、その量は現場条件によって大きな差があることが施工実績（現在まで施工吹付けコンクリート数量=20,000m<sup>3</sup>、施工延長=3,000m）より明らかになっている。この原因として、骨材の物性が関与していると推察されたので、各現場の骨

材について一連の物性試験を実施し、施工時の機械摩耗量との関係を把握した。

その結果、骨材の品質によってはケレスシステムの導入が不経済なケースも判明できたため、ここでは、骨材の品質をパラメーターとしてケレスシステムが適用できるかの判定方法について述べる。

### 3-1 判定方法

細骨材の適用性の判定方法は、一軸圧縮強度や圧裂引張試験およびシヤ硬度等の試験のように、供試体の作成に手間がかかること、異方性の試料では方向によって試験値が大きく変動すること等より、骨材の評価・選定試験として適切でないため、以下に示す摩耗試験方法を開発して行っている。

摩耗試験は、図-3に示す試験装置であり、小さい鉄製羽根(斜線部、材質:SS41)を取り付けたロッドを骨材中で回転させ、羽根のすりへり減量を測定するものである。骨材は、一定の粒度配合(標準的細骨材粒度)に調整した気乾試料を1試験あたり2kg仕様する。羽根の

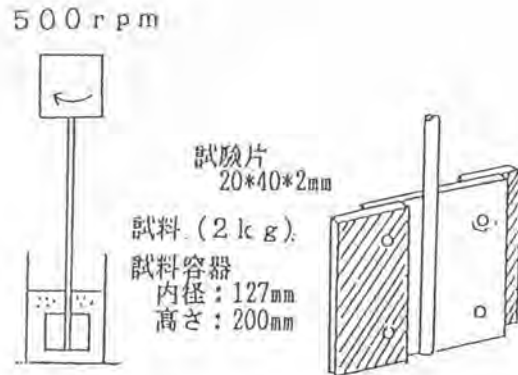


図-3 摩耗試験装置概要図

重量は、試験前と攪半時間(10、20、30min)のときに測定する。同一現場の試料について試験を3回行い、30分攪半時の羽根すりへり減量の平均値を当該骨材の評価値とした。

また、粗骨材の試験方法は、骨材の集合体を対象とした試験であることおよび試験方法が比較的容易であること等を考慮してピッカース硬度試験を採用した。

### 3-2 ケレスシステム適用限界値

適用限界値は、機械消耗率、材料ロス率、電気料金および機械費等を考慮して従来の空気吹付けコンクリート方式と同等な経済ベースが確保できる骨材の判定値とする。

(ケレスシステム適用限界値)：①粗骨材に対し：ピッカース硬度試験値=700、0以下

②細骨材に対し：摩耗試験値=10、50以下

## 4. 低粉じん型の実績

ケレスシステムによる吹付けコンクリートで発生する粉じん濃度を施工実績により整理し、従来の空気吹付けコンクリート方式と対比する。

測定要領は、毎月2回デジタル粉じん測定器で、吹付けコンクリート作業中の切羽付近で実施した。

なお、測定したトンネル数は10トンネルであり、それぞれのトンネルについて空気吹付けコンクリート方式とケレスシステムによる吹付けコンクリート方式を同一の換気設備の環境下で実施した。その結果を図-4に示す。

現場測定結果より理解できるように、従来の空気吹付けコンクリート方式で発生する粉じん量の35%に抑えられていること、換気量増大に伴う効果の度合いは従来の空気吹付けコンクリート方式の2.6倍であること、等が理解できる。

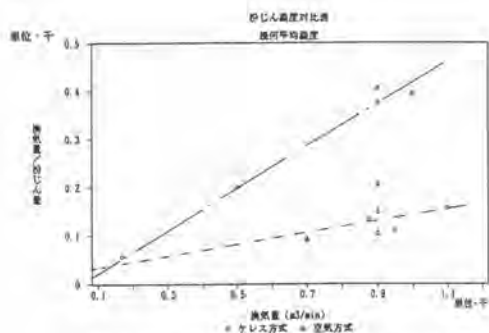


図-4 粉じん発生量対比グラフ

### 5. 高品質型、高効率型の実績

ケレスシステムが、高品質型、高効率型であることを同一トンネルで、従来工法の空気吹付けコンクリート方式と比較した。その結果、表-1に示すように従来工法と同等または同等以上の品質や効率が確保されていることが理解できる。

表-1 吹付けコンクリートの品質、効率等に関する比較表

種 別	単 位	ケレスシステム	従 来 工 法	備 考
透水係数	cm/sec	$2.99 \times 10^{-7}$	$2.26 \times 10^{-7}$	室内透水試験
付着力	kg/cm <sup>2</sup>	11.4	11.2	コア試験
単位体積重量	t/m <sup>3</sup>	2.2	2.2	コア試料
吹付け能力	m <sup>3</sup> /h	8.5	8.5	ショットパツカト工法
余吹き率	%	3.65	3.84	CIIパター、上半
急結材添加量	%	7.3	7.7	CIIパター、上半

### 6. 高強度型の実績

高強度・高品質吹付けコンクリートでは、コンクリート材料の性状と施工のシステム機能等がなかなか適合しない場合があり、粘性の高いコンクリートに対する施工性やコンクリート圧送の定量性等に問題がある。そこで、空気によるコンクリートの圧送を行わないケレスシステムで、粘性の高いコンクリートに対し定量的に吹付けコンクリートが施工できるかの現場試験を実施した。その結果、計画時に算定した吹付け能力 8 m<sup>3</sup>/h を十分に確保できることが判明した。

### 7. おわりに

低粉じん型吹付け工法として開発したケレスシステムは、施工実績等を踏まえその適用範囲を高品質型、高効率型および高強度型等に拡大することができた。

今後は、2車線断面を全断面で施工できるシステムの開発、吹付け能力の向上および適用骨材の範囲拡大等に対応していき、今後のトンネル需要を考慮し研究開発および施工実績の蓄積等が続けていく所存である。

## 18. ウォータージェットによるダム用グリーンカット機の開発

(株)鴻池組：\*栗副 耕治, 吉岡 由郎  
松生 隆司

### 1. はじめに

コンクリートダム建設工事におけるグリーンカット作業とは、コンクリート打設後まだ硬化しないうちに表面に浮いたレイタンス（不純物）や弱層モルタルを削り取り、粗骨材の一部を露出させて次のコンクリートの付着向上を図り、ダムを一体化させ止水性を確保する重要な作業である。

従来、このような作業は、人力で水ジェットを使用して行われていたが、レイタンス混じりの水しぶきが飛散し作業者には苦渋作業であった。今回、本グリーンカット機を開発したことにより劣悪な作業環境や施工能率の低さを解消し機械化施工を可能とした。現場で使用するグリーンカット機および作業状況のイメージ図を図-1、図-2に示す。

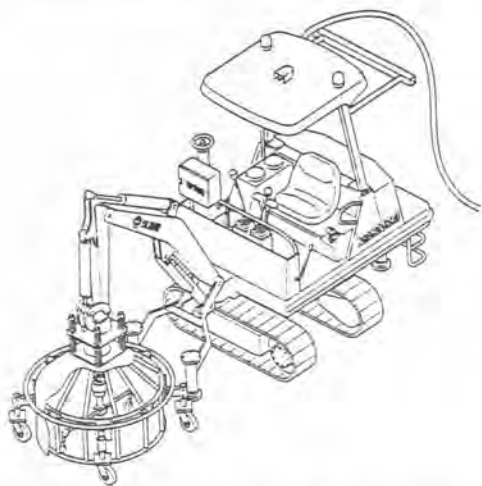


図-1 グリーンカット機イメージ図

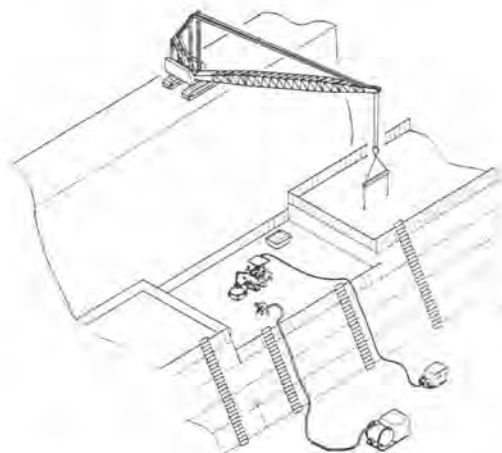


図-2 グリーンカット作業イメージ図

### 2. 開発目的

今回、開発したグリーンカット機の開発目的を列記する。

- 1) 人力作業の2倍以上の施工能率
- 2) 作業員の苦渋作業からの解放
- 3) 作業員5人から3人への省人化

なお、本機が対象とするダム工事のグリーンカット面積は、600~900m<sup>2</sup>以内、工法が拡張レア工法

とブロック工法、工事規模がコンクリート量20万m<sup>3</sup>以下である。開発に当たっては、次の課題を設定し重点的に進めた。

- 1) ノズル基礎実験で最適なノズル種類選定とジェット噴射条件を求めること。
- 2) 対象となるコンクリート強度（10～20kgf/cm<sup>2</sup>）に応じカット深さ2～5mmが得られること。
- 3) コンクリート表面の凹部の隅も仕上がりが良好であること。

### 3. グリーンカット機の概要

本グリーンカット機は、高圧水を噴射するジェット噴射部とコンクリート表面を自走する走行台車で構成する。ジェット噴射部は、ノズル、旋回アーム、ロータリースイベル、緩衝装置で構成しレイタンスを切削除去する。走行台車は、動力を内蔵し高圧ジェット圧力調整弁、リフトアップ用油圧ジャッキ、制御盤で構成しコンクリート面を連続的にカットしながら走行する。また、手持ちで操作するガン式ノズルを併せて装備し、高圧水の送り回路を切り替えることによりジェット噴射部のノズルとガン式ノズルのいずれかを選択して使用できる。なお、走行台車は汎用性、機動性に優れた超小型油圧ショベルを採用しているが、ディーゼルエンジン、油圧ポンプを一部改造している。

次に、本機の特徴を下記に示す。

- 1) 対象となるコンクリート強度に応じ、水圧力を無段階に調圧できる圧力調整弁を装備している。
- 2) 高圧ポンプを停止することなく高圧水をバイパスするため、アンロード弁を設け作業の効率化を図っている。
- 3) 走行台車の前後に油圧ジャッキを装備し、方向転換時に油圧ジャッキで走行台車をリフトアップさせ、コンクリート面を痛めることなく方転換する事ができる。
- 4) 安全装置には、ジェット部の飛散防止用シートカバー、タッチセンサ、旋回および後進用音声警報装置、パトライトを装備している。本機の全体図と仕様を図-3、表-1に示す。

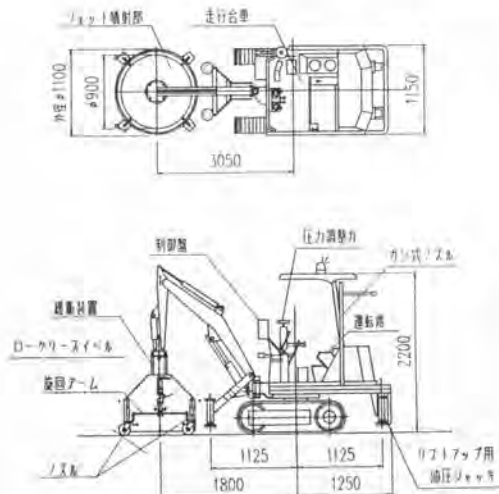


図-3 グリーンカット機全体図

表-1 仕様

グリーンカット機	全長	3600mm
	全幅	1150mm
	全高	2200mm
性能	走行速度	4.2m/min
	旋回速度	2.1rpm
	揚圧圧	0.22kg/cm <sup>2</sup>
	カット幅	800mm
機本体	質量	1500kg
エンジン	型式	空型水冷3気筒ディーゼル
	定格出力	14.5PS/1150rpm
ポンプ	全長	2090mm
	全幅	1000mm
	全高	1240mm
ユニット	吐出圧力	200kg/cm <sup>2</sup>
	吐出水量	60 L/min
	電動機	200V, 30kW
ト	質量	900kg

#### 4. ノズル基礎実験と結果

##### 4-1 ノズル基礎実験

本機を中心技術となるノズル基礎実験を当社の実験敷地にて実施した。実験の目的は、本機のノズル種類選定およびジェット噴射条件を求めることである。実験項目は、コンクリート圧縮強度、吐出圧力、スタンドオフ距離（コンクリート面から噴射ノズルまでの高さ）、ノズル旋回回転数、噴射角度を変化させ切削除去部のカット幅および深さを測定する。実験状況およびノズル基礎実験装置を写真-1、高圧水フロー図を図-4に示す。



写真-1 ノズル基礎実験装置

##### 4-2 実験結果

実験の結果、対象となるコンクリート強度が10～20kg/cm<sup>2</sup>では、ノズル種類を孔ノズルと扇状ノズル間の噴射特性を有するものが適正と判断し、楕円孔とノズル端を凹面にカットした耐磨耗性に優れた超硬合金チップのデスクレーン洗浄ノズルを選定した。ノズル回転数は、旋回アームに取りつけたノズルの位置で周速を変化させカット深さを実測し毎分35～70回転を設定した。

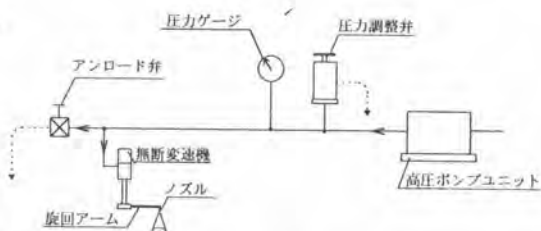


図-4 高圧水フロー図

スタンドオフ距離は、1旋回あたりカット処理幅とカット作用力を勘案し90～225mmとした。表-2にノズル種類及びジェット噴射条件の設定を示す。次に、ノズル基礎実験で実施したコンクリート供試体の1ショット・カッティング状態を写真-2に示す。以上、このノズル基礎実験をベースにノズル種類及びジェット噴射条件を設定し、本開発機の設計、製作を行った。

表-2 ノズル種類とジェット噴射条件

ノズル種類	デスクレーン洗浄ノズル
スタンドオフ距離	90mm～225mm
ノズル回転数	35～70rpm
1旋回当たり処理幅	90mm
吐出水圧	200kgf/cm <sup>2</sup>
吐出水量	60 l/min

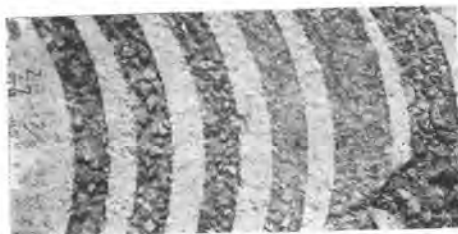


写真-2 1ショット・カッティング状況

## 5. 現場試験施工

### 5-1 概要

現場試験施工を福島県の田島ダム工事で平成8年5月16日から6月27日まで5回に分けてダム堤体内で実施した。試験施工の目的は、対象とするコンクリート強度に対し適正なカット深さ及び仕上がり状態が得られるかどうかを確認する。さらに、作業能率(150㎡/h)と施工性も合わせて確認した。現場全景とグリーンカット機を写真-3、写真-4に示す。ダム施工法は、ブロック工法で全体コンクリート量は8万㎡である。グリーンカット面積は、240㎡以下でダム堤体下部の比較的広い場所で試験施工を実施した。表-4に本工事のコンクリート配合を示す。



写真-3 現場全景



写真-4 グリーンカット機

表-4 コンクリート配合表

配合	最大粗骨材寸法 (mm)	スランプ (cm)	水比 (%)	空気量 (%)	単量 (kg/m <sup>3</sup> )						
					水	セメント	細骨材	混和剤	粗骨材 (mm)		
									80~40	40~20	20~5
A	80	3±1	50.5	3.5	106	210	551	2.31	532	380	608
B	80	3±1	70.0	3.5	105	150	607	1.65	528	377	605

### 5-2 試験施工方法

試験施工方法は、対象となるコンクリートを計画した材令で一軸圧縮試験を行いスタンドオフ距離、走行速度を一定に設定し走行台車の前部に取り付けたジェット噴射部を走行する。(図-5参照)

その後、ノズル回転数を変化させて、コンクリート強度に対応した水圧を圧力調整

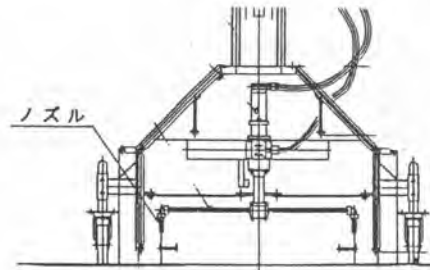


図-5 ジェット噴射部



弁で操作しながら連続作業を行う方法とする。

コンクリート切削面の状況判断は、カッティング後、直ちに水洗いを行い切削深さ、仕上がり状況を確認する。なお、走行速度は、ノズル回転数と1回転当たりノズルカット処理幅90mmのノズル軌跡を求めコンクリート面にカット残りが生じない速度とする。また、ノズル回転数は、ロータリースイベルの駆動軸の回転数を、近接センサで1回転1パルスタイプの発振式回転数をデジタル表示で正確に読み取る方式を採用する。

### 5-3 試験施工結果

#### 1) 試験施工結果データ

試験施工で得られたカッティング試験施工結果を表-3に示す。作業能率はコンクリート強度の変化に関わらず作業面積が大きくなれば本機の作業能率も向上することが判明した。すなわち、本機をベースに改善、改良を図れば作業面積の大きい拡張レア工法でのグリーカット作業にも十分適用できる見込みを得た。

表-3 カッティング試験施工結果

日付	材令 (h)	コンクリート強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	スタブ オフ (cm)	走行 速度 (m/min)	水圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ノズル 回転数 (rpm)	作業 面積 (m <sup>2</sup> )	実作業 時間 (h)	作業 能率 (m <sup>2</sup> /h)
5/16	45	21.2	12	4.2	100	50	28	0.5	56.0
5/22	24	11.2	12	4.2	30	50	45.5	1.0	45.5
6/12	24	14.5	12	4.2	50	60	180	4.5	40.0
6/13	24	18.6	12	4.2	70	50	240	3.0	80.0
6/27	30	20.0	12	4.2	70	65	132	2.3	57.4

#### 2) ノズル回転数と走行速度

ノズル回転数は50~65rpm、走行速度4.2m/minに調整し施工した結果、写真-5に仕上がり状況を示すごとくカット深さ、仕上がり面とも良好であった。



写真-5 カット面仕上がり状況

### 3) コンクリート強度と水圧

対象であるコンクリート強度に対し、必要なカット深さ2~5mmを得るため水圧を調整する必要がある。このため、コンクリート強度10~20kg/cm<sup>2</sup>に対し最大水圧200kg/cm<sup>2</sup>を確保した。試験施工結果からコンクリート強度に追従した水圧は、30~100kg/cm<sup>2</sup>であった。この水圧調整は、走行台車の運転席横で無段階の圧力調整弁で比較的容易に行え必要なカット深さ2~5mmを得ることができた。

### 4) コンクリート表面凹部の仕上げ

コンクリート表面には、コンクリート打設時、作業員の足跡等で凹部が生じ、この隅のレイタンスを除去する必要がある。そのため、図-6の平面図に示すごとくジェットノズルの噴射方向を一致させ、1回転する移動の中で凹部の隅部両面にジェットを噴射し、レイタンスの未処理部を除去する方法で良好な仕上げ面が得られた。図-7にレイタンス除去方法の模式図を示す。

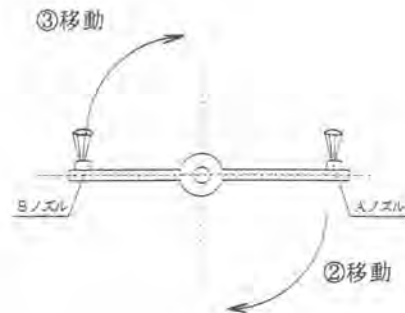


図-6 ジェットノズル噴射方向（平面図）

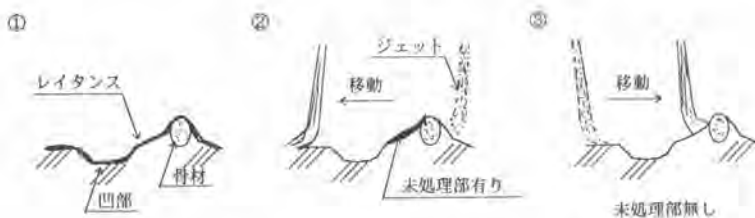


図-7 レイタンス除去方法（模式図）

## 6. おわりに

ウォータージェットによるダム用グリーンカット機は、ノズルから噴射された高速の水流のもつ破壊力などを利用する技術で、切削反力が小さくノズル移動が容易なため、速度制御や位置決め制御等、機械化、自動化しやすい特徴がある。今回、ノズル基礎実験や現場試験施工を実施した結果、機械化、自動化が可能なグリーンカット機が開発できたとと言える。また、開発目標である作業員の苦渋作業からの解放、作業能率の向上にも貢献できると考える。今後は、本機の研究、改善を図ると共にグリーンカット後のレイタンス処理も含めた自動化、システム化、に向けて展開していきたい。

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

## 19. 二軸強制練りミキサーの内張ライナーの長寿命化

大成建設(株)：市原 正一  
(株)栗本鐵工所：\*八木 伸人, 上辻 栄次

### 1. はじめに

コンクリートダム建設の最新技術の一つであるRCD工法は、現在、コンクリートダムの代表的な施工法になっている。このRCD用コンクリート製造に使用されている二軸強制練りミキサーの内張ライナーには、高クローム鑄鉄品が用いられていたが、摩耗が激しく混練り量が30,000~40,000m<sup>3</sup>で寿命となり、頻繁な交換が必要であり、ミキサーの保守管理や稼働率および打設工程に支障をきたし、ミキサーの性能改善が要請されていた。そこでミキサーの摩耗機構の分析を行い、高性能耐摩耗材を研究した結果、タングステン(WC)粒子入り硬化溶接材(カタブツ)を肉盛りしたライナー(以下カタブツライナーと記す)を開発した。

本カタブツライナーの製法を3年前に開発し、RCD用コンクリート製造二軸強制練りミキサーの内張ライナーに適用するために、種々の耐摩耗試験を行った結果、在来の高クローム鑄鉄製ライナーに比べ、内張ライナーの寿命が大巾に改善されることが判明した。

本稿は、二軸強制練りミキサー用に開発した、カタブツライナーの諸性質、および実機における実証試験の成果について報告するものである。

### 2. 二軸強制練りミキサーの構造

RCD用コンクリート練りに使用される二軸強制練りミキサーの斜視図を、図-1に示す。

二本の回転軸にそれぞれ装着した複数の羽根が、相互に反対方向に回転して、内張ライナー内に投入されたセメント、混練水、骨材およびその他の添加物を、強力に攪拌するとともに、羽根とケーシングライナー内面との間で、投入物を強制的に練り上げるミキサーである。

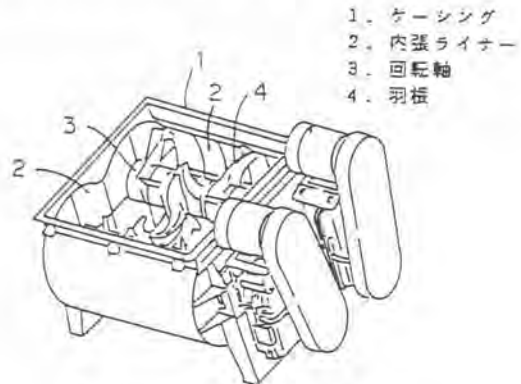


図-1 二軸強制練りミキサー

### 3. 内張ライナーの摩耗機構

二軸強制練りミキサーの内張ライナーの摩耗機構は、機械の構造から表-1および図-2に示すように、グラインディング摩耗とスクラッチング摩耗からなる。

表-1 アブレッシブ摩耗の分類

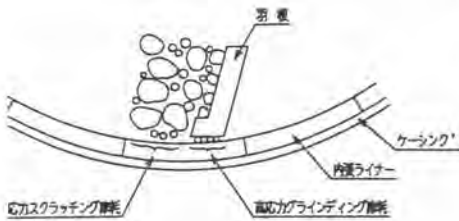


図-2 内張ライナーの摩耗機構

この場合の高応力グライディング摩耗（内張ライナーと羽根間の摩耗）および低応力スクラッチング摩耗（羽根が作用しない部位の内張ライナーの摩耗）は次式（J. F. ACHARD）で求められる。

(1) 高応力グライディング摩耗

$$W_g = K \frac{P_1}{3 H_m} V^n \gamma m \sigma_c S \dots (1)$$

(2) 低応力スクラッチング摩耗

$$W_s = K \frac{P_2}{3 H_m} V^n \gamma m \sigma_c S \dots (2)$$

但し

$W_g$  = グライディング摩耗による摩耗量

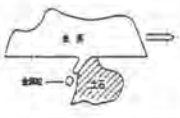


$W_s$  = スクラッチング摩耗による摩耗量

$K$  = 定数,  $V$  = 速度,  $\gamma$  = 粒形,  $m$  = 配合比,  $\sigma_c$  = 骨材の圧縮強度

$S$  = 骨材の  $SiO_2$  の含有量,  $n$  = 指数,  $P_1 \cdot P_2$  = 圧力

$H_m$  = ライナーの硬度 (HB)

ここで両者の摩耗差を検討すると、 $K$ ,  $H_m$ ,  $V^n$ ,  $m$ ,  $\sigma_c$ ,  $S$  は、同一ミキサー内であり一定となり、両者の摩耗差は圧力  $P$  のみの比較で良い。いま、ミキサーのモーターの出力  $P_0 = 55 \text{ kW}$ 、骨材の最大粒径を  $15 \text{ cm}$  とすると、圧力  $P$  は ( $P_1 \cdot P_2$ ) は

分類	特長
ガウジング摩耗 gouging abrasion 	gouge というのは、丸のみでえぐり取るという意味で、このタイプの摩耗では、金属の表面から比較的大きな金属の粒子がむしりとりられ摩耗面には、溝状の痕跡がこる。アブレッシブ摩耗の中でも、もっとも苛酷な摩耗である。
グライディング摩耗 grinding abrasion 	研磨剤を金属の間にかみ込んで、破碎しすりつぶす場合の摩耗現象である。研磨剤の粒子と金属面の接触点における集中圧縮力によって摩耗がおこる。金属面の塑性流れと圧縮応力による疲労がおこり、また金属のもろい組織成分（例えばカーバイド）は破碎される。
スクラッチング摩耗 scratching abrasion 	砂粒が金属の表面を流れる場合などにおこる摩耗現象であり、砂粒に加わる力は小さく、砂粒の破碎はこらない。摩耗は、比較的少なく摩耗痕も整微である。

$$P_1 = \frac{102 P_0}{V} \left( \frac{\cos \alpha}{u} + \sin \alpha \right) \dots (3)$$

$$P_2 = \frac{4 \pi r^3}{3} \rho \dots (4)$$

噛み込み角度  $\alpha = 16^\circ$  , 骨材の摩擦係数  $u = 0.3$  , 速度  $= 1.6 \text{ m/sec}$   
 骨材の半径  $r = 7.5 \text{ cm}$  , 比重  $\rho = 2.6 \text{ g/cm}^3$  とすれば

$$\frac{W_g}{W_s} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{12.202 \text{ kg}}{4.6 \text{ kg}}$$

この結果より、内張ライナーと羽根に骨材が噛み込んだ場合の摩耗は、グラインディング摩耗が支配的になり、摩耗量は著しく増加する。

#### 4. タングステン粒子入り肉盛溶接材と在来耐摩耗材

##### (1) タングステン粒子入り肉盛溶接材

タングステン粒子入り肉盛溶接材（以下カタブツと記す）は、一般に広く使用されているMIG、または、MAG溶接法を利用し、その溶着金属中にタングステン・カーバイドの超硬粒子を、使用目的に合せ、特殊装置により投入し、溶着金属の耐摩耗性を大巾に改善した、特殊硬化肉盛溶接材である。

##### a) 化学組成

化学組成は、(W, Co, C) + (Fe, C, Si, Mn, P, S) の混合組成である。

##### b) 物理的性質

表-2にカタブツの代表的な物理的性質を示す。

表-2 カタブツの物理的性質

抗折力	シャルピ-の衝撃値	硬度(HV)
2148 N/mm <sup>2</sup>	21.3 J/cm <sup>2</sup>	1195

##### c) 顕微鏡組織

写真-1にカタブツの顕微鏡組織を示す。溶着金属中に、投入されたタングステン・カーバイドは、マトリックスによく融着している。また、一部溶出したタングステン・カーバイドの魚骨状の炭化物が析出している。溶着金属中のタングステン粒子の外周部は、肉盛り溶接直後、この部分が融点近傍まで達して、再凝固し変色している。

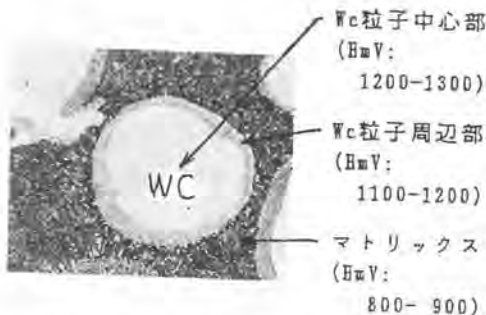


写真-1 溶着金属中のタングステン・カーバイド(WC)

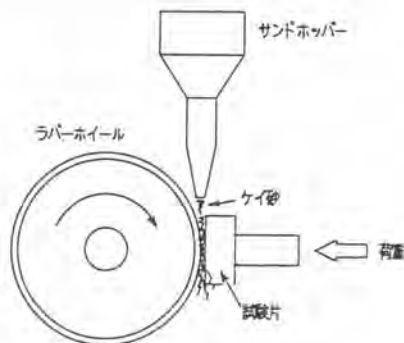


図-3 摩耗試験機の構造

各種の材料の耐摩耗性を確認するために、図-3に示すラバーホイール式摩耗試験機にて試験を行った。表-3および表-4に、試験条件とその結果を示す。

表-3 試験条件

荷重	8.8 kg
試験回転数	12,000回
回転速度	120 r.p.m.
円盤寸法	15 × φ250 mm
研削粉末	けい砂6号
落下量	300 g/min
試料寸法	20 × 20 × 50 mm

表-4 耐摩耗性の比較

	摩耗減量 (mg)	耐摩耗倍数
SS400	1,764.5	1.0
高クロム鑄鉄	392.1	4.5
カタブツ	62.3	28.3

(2) カタブツと在来耐摩耗材の物理的性質の比較

カタブツと在来材の物理的性質の比較を表-5に示す。

表-5 物理的性質の比較

	抗折力 (N/mm <sup>2</sup> )	シャルピーの衝撃値 (J/cm <sup>2</sup> )	硬度 (HV)
カタブツ	2148	21.3	1195
高クロム鑄鉄	940以上	3.0 以上	490以上
超硬 (G5, E5)	1191以上	0.25以上	1100以上

以上の結果より、カタブツは、高応力グライディング摩耗下においても、在来高クロム鑄鉄材のように使用時に破損することがなく、二軸強制練りミキサーの内張ライナーに適した長寿命耐摩耗材であることが判明した。

5. 実証試験

二軸強制練りミキサーに、カタブツライナーを取付け、内張ライナーとしての適用性および耐摩耗性等を確認するために、小玉ダムにて予備試験を行い、カタブツライナーの本格的な耐摩耗性能を確認するために、四万川ダムにて本試験を行った。

(1) 予備試験

a) 試験方法

図-4に示すように、二軸強制練りミキサーの右側に在来の高クロム鑄鉄ライナー (36枚)を取付け、同条件下にて試験を行った。写真-2および写真-3に、カタブツライナーの取付状況とカタブツライナーの外観を示す。

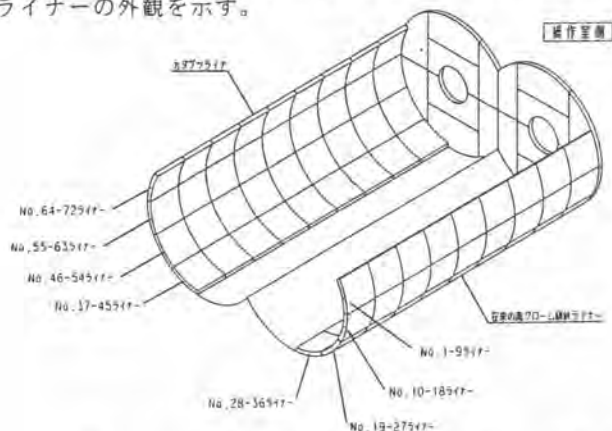


図-4 小玉ダムミキサーの内張ライナーの取付位置



写真-2 カタブツライナーの取付状況



写真-3 カタブツライナーの外観

b) 試験結果

表-6 カタブツ内張ライナーの小玉ダムにおける性能結果

在来高クローム鑄鉄ライナー			カタブツライナー		
ライナーの取付位置	摩耗量 (Ave: g)	混練り1m <sup>3</sup> 当りの摩耗量(g/m <sup>3</sup> )	ライナーの取付位置	摩耗量 (Ave: g)	混練り1m <sup>3</sup> 当りの摩耗量(g/m <sup>3</sup> )
A28~A36	8,015	0.067	A37~A45	1,930	0.016
A19~A27	9,076	0.064	A46~A54	1,855	0.013
A10~A18	8,145	0.056	A55~A63	1,765	0.012
A1~A9	10,781	0.051	A64~A72	2,146	0.010
平均 総打設量: 156,300 m <sup>3</sup>	36,017	0.238 (1)	平均 総打設量: 156,300 m <sup>3</sup>	7,696	0.051 (4.68)

注1) 上表の( )内数値は耐摩耗倍数を示す。

2) 在来高クローム鑄鉄ライナーの平均総打設量は、カタブツライナーと比較するために同一打設量とした。

予備試験より、在来高クローム鑄鉄ライナーと比べて4.68倍(表-6)の耐摩耗性があり、内張ライナーとして非常に優れた耐摩耗材料であることが確認された。

(2) 本試験

表-7 カタブツ内張ライナーの四万川ダムにおける性能結果

ライナーの取付位置	摩耗量 (Ave: mm)	摩耗量 (Ave: g)	混練り1m <sup>3</sup> 当りの摩耗量(g/m <sup>3</sup> )
A21~A30	3.11	2,070	0.008
A31~A40	4.70	3,626	0.014
A41~A50	5.03	3,736	0.014
A51~A60	4.52	3,105	0.012
A61~A70	4.97	3,427	0.013
A71~A80	5.11	3,780	0.014
A81~A90	4.18	3,155	0.012
A91~A100	3.57	1,891	0.008
総打設量: 258,000m <sup>3</sup>	4.40	24,790	0.095

本試験では、タングステン粒子の充填率を変えることにより、小玉ダムの予備試験結果より更に良好な結果が得られた。

6. 在来内張ライナーとの比較

表-6と表-7の性能結果を整理し、表-8にその性能比較をまとめた。

表-8 カタブツ内張ライナーと在来高クローム鑄鉄品の耐摩耗性

使用 ライナー 項目	小 玉 ダ ム		四 万 川 ダ ム	
	カタブツ ライナー	在来の高クローム 鑄鉄ライナー	カタブツ ライナー	在来の高クローム 鑄鉄ライナー
打 設 量(m <sup>3</sup> )	156,300	33,400	258,000	51,000
内張ライナーの 全摩耗減量(kg)	7,696	36,017	24,790	24,790
打設量m <sup>3</sup> 当りの 摩耗減量(g/m <sup>3</sup> )	0.051	0.238	0.095	0.485
タングステン粒子 の充填率(%)	50	—	60	—
耐 摩 耗 倍 数	4.68	1	5.1	1

本試験の結果、四万川ダムの資料の通り在来の高クローム鑄鉄に比べ、5.1倍の耐摩耗性が認められた。

7. おわりに

RCD用コンクリート製造二軸強制練りミキサー用に開発した、複合カタブツ内張ライナーを適用することにより、在来の高クローム鑄鉄品ライナーの5倍以上の長寿命化に成功し、大きな成果を収めることが出来た。今後、羽根および側板などにカタブツを適用すれば、強制練りミキサーの耐摩耗性の改善により大巾な総合的性能向上を図ることが出来ると共に、メンテナンスフリー、長期安定操業による生産性の改善および作業環境の改善に大きく寄与出来るものと確信している。

最後に、実証試験時、ご多忙中にもかかわらず、多大な御尽力を戴いた、小玉ダム建設工事作業所および四万川ダム堤体工事作業所の関係各位に深甚の謝意を表する。

参考文献

- 1) H. S. AVERY : Wear4(1961) P427~449
- 2) 橋本建次 : 粉粒体によるアプレシブ摩耗 P136~180。
- 3) Material for the Mining Industry, Symposium, Vail Colorado July30~31, 1974. P15~41



## 20. FCF 工法による高層大型煙突の施工

(株)フジタ：\*森本 正一、松尾 宗義

### 1. はじめに

当社では高橋脚等の高層構造物の施工を対象に①安全性向上、②工期短縮、③コストダウンを目的に昇降ロボットジャッキを中枢とする、FCF工法（Fast Failsafe Climbing Form）を開発し、これまでに多数の現場へ導入してきた。

このたび本工法を更に進化させて、作業空間を全天候型とし、種々の付加価値を加え、高層構造物である高さ118mのRC造の煙突を施工した。本文にて、施工内容を記述すると共に、当工法の高層構造物の施工に対する有効性を述べる。

### 2. 工法概要

FCF工法は、高橋脚等の塔状あるいは筒状の高層コンクリート構造物の施工のために開発された工法である。当工法は複数台の昇降ロボットジャッキ群を用いてフレーム全体の上昇のみでなく、下降もできることを最大の特徴としている。

図-1にFCF工法の構造概要を示す。橋脚の周囲にはシステムの受け台であるメインフレームがその大きさにより通常4～8本の鋼管ロッドを介して躯体周囲に設置される。ここで、鋼管ロッドは移動時のガイド及び鉛直荷重に対する支え支柱になっている。メインフレーム上には作業用の足場が、通常5～7段（約8～12m：鉄筋長さによる）に組み、さらに大型型枠（高さ約5m）、上昇・下降を行うための昇降ロボットジャッキを制御するローカルマイコン及びシステム全体を制御する中央制御盤が組み込まれている。

図-2に制御システムの概念図を示す。各々の昇降ロボットジャッキの設置箇所に据えられているレベルセンサのデータ、及び機器への動作指令、モニタ信号は各昇降ロボットジャッキに組み込まれたローカルマイコンと中央制御盤のLANにより送受信される。中央制御盤では、各レベルセンサに現れる相対的な差異を高低差情報として処理し、この高低差を許容範囲内に制御するための制御データを、各ローカルマイコンへ送信する。ローカルマイコンはそれに基づき油圧ユニット、鋼管を把持するためのチャック等を作動させて上昇または下降を行う。

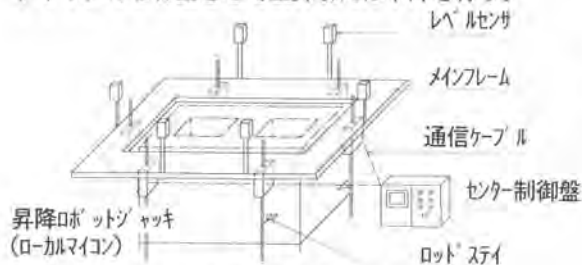


図-1 FCF工法構造概要



図-2 制御システム概念図

図-3に今回、本工法を適用した施工現場を示す。

施工対象はRC造、高さ118m（内筒120m）の煙突である。底部は対辺寸法10.4m、一辺の長さ4.3m、コンクリート厚さが、0.8mの正八角形の形状である。コンクリート厚さは上部になるほど数度にわたり段階的に薄くなる構造である。GL+9.8mから真円となり、最上部の約10mは設備のための複雑な形状になっている。

本工法では、作業床、型枠、鉄筋用足場を、メインフレーム上に一体化し、開閉式屋根を備えた全天候作業空間を形成している。この作業空間全体は、施工する煙突の外周及び内周に立設した鋼管ロッドにより支持され、昇降ロボットジャッキシステムにより上昇、下降できる。図-4にこれらの施工状況を示し、図-5に施工対象煙突の立面図・平面図を示す。

### 3. 施工用設備

工法関連の主な設備とその特徴は以下のとおりである。

#### (1) 昇降ロボットジャッキ

本機は、その中心を貫通しているロッドを開閉可能なチャック装置で把持しこれを反力として上昇又は下降できる装置である。1ストローク15cmの作業を繰り返し所定の高さ分の移動を行う。通常は6～8台程度の複数台を中央制御盤でコンピュータ制御し一元管理する。これにより装置全体が水平を維持しながら上昇、下降できる。

今回は、煙突外周については、そのメインフレーム上に構成される種々の施工設備全体の総荷重は約70tでありジャッキ能力を考慮し、且つ躯体が正八角形であることから各辺1台の合計8台とした。

煙突内周については、その総荷重は約20tであり、躯体が正八角形ではあるが、ジャッキ能力より合計3台としそのセット位置は荷重バランスを考慮し設定した。これら

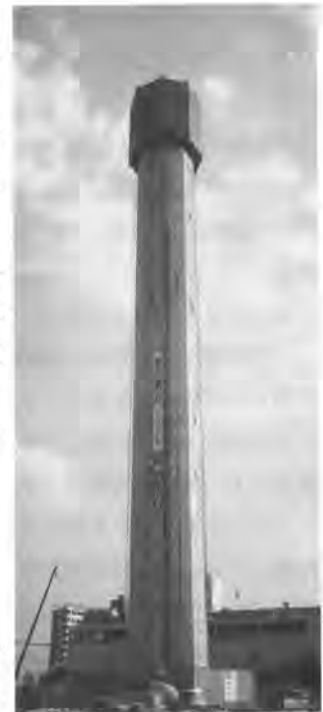


図-3 施工現場

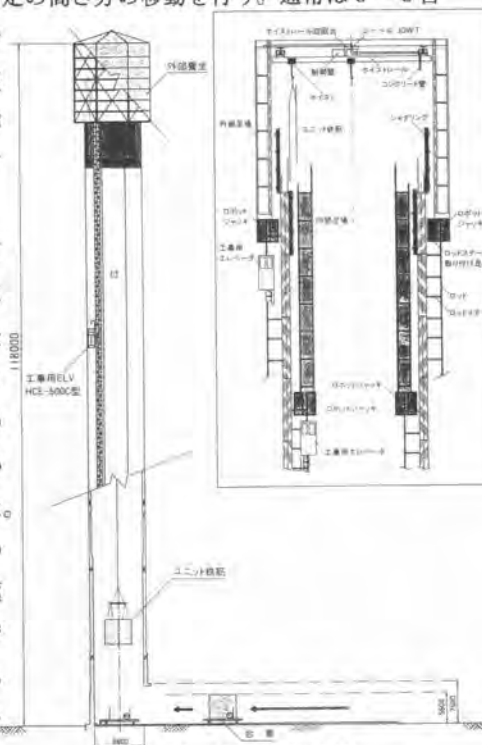


図-4 施工状況

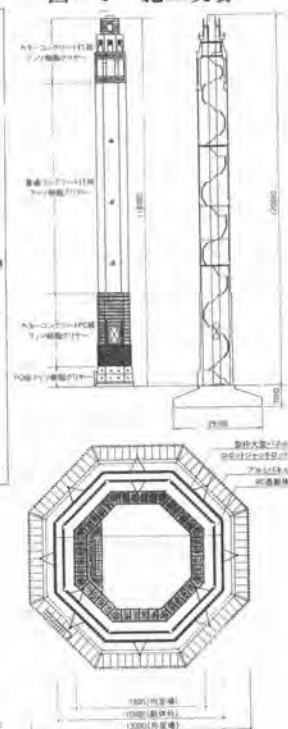


図-5 施工対象煙突

は、各々中央制御盤を持ち、別途システムとして作動する。

図-6に昇降ロボットジャッキの外観図を示し、表-1に主要仕様を示す。

また当該現場へのセット状況を図-7に示す。

### (2) 揚重クレーン

作業空間上部に資材の揚重設備として専用サークルクレーンをセットした。装置は揚

重能力1.4t、揚重高さ120m対応の電動チェーンブロックで、360度の旋回機能、横行機能により作業エリア全体に有効である。操作はラジコンにより行う。巻き上げ速度は最大で6.6m/min100mを越える揚重時には、15分以上の時間がかかるため、電動チェーンブロックを2台設置し、巻き上げとフックの下降を同時に行うシステムとした。

### (3) コンクリートディストリビュータ

コンクリート打設作業のうちの分配作業を省力化するため、サークルクレーンにコンクリートディストリビュータを合体させた。サークルクレーンの360度旋回機能を利用し、配管の振り回しを機械化し従来の重労働を無くし省力化した。

### (4) 鉄筋運搬台車

ユニット鉄筋は地上で約1,280kgのメッシュ鉄筋パネルに地組みされ揚重される。その結果、揚重回数が低減し、大きな効果が得られる。このユニット鉄筋を煙突内部に搬入するため、搬入口に電動の搬送台車を設置し、外部で搬送台車上に、メッシュを縦置きし、揚重の準備を整えてから煙突内に搬入する。

この方式により、煙突内部での上下作業の時間を極力減らし、安全性と作業効率の向上を図った。

### (5) 大型型枠

型枠面には合板を、根太材に木製トラスを用い軽量化された型枠は、正八角形の各辺1枚に大型化されて

表-1 昇降ロボットジャッキ主要仕様

項目		内容
装置能力	推力	15.3tonf/台(120kgf/cm <sup>2</sup> )
	速度	31.5cm/min(単体速度)
	寸法	1,100H×620W×450D
油圧ユニット	ポンプ	(50Hz)3.5ℓ/min 1500rpm (60Hz)4.8ℓ/min 1800rpm 圧力 MAX 140kgf/cm <sup>2</sup>
	電動機	1.5KW 4P 200V 3φ
油圧シリンダ	タンク	20ℓ
	シリンダ径	内径 φ90 ロット径 φ50
	ストローク長	200mm(作業ストローク 150mm)
	受圧面積	押側63.6cm <sup>2</sup> 引側44.0cm <sup>2</sup>
本数	2本/台	

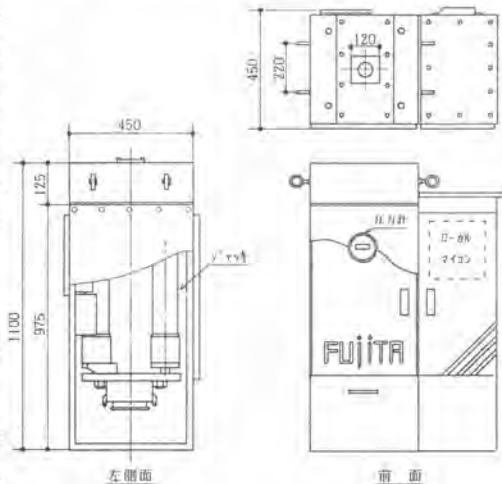


図-6 昇降ロボットジャッキ外観



図-7 昇降ロボットジャッキセット

いる。大型型枠は昇降フレームのブラケット上にセットされており、脱型後昇降フレームと共に上昇する。

#### (6) 全天候作業空間

昇降可能な全天候型作業空間は昇降ロボットジャッキ上に配置されたメインフレームの上に構成されている。これらは、鉄骨構造で構成され、屋根部分は開閉式テントで覆われている。作業空間の総高さは、約13mである。

この作業空間は躯体施工前地上で組み立てられ、躯体完了後、仕上げ工事を行いながら地上まで下降し、地上で解体したため安全性が大きく向上した。

#### 4. 施工手順

FCF工法による施工開始までの準備工を図-8に示す。

これらの作業の後、1ロット（標準部4、2.5m高）毎に図-9に示すサイクルで施工を繰り返す。クライミング動作は、全天候作業空間（ハウス）内の最下部にセットされた昇降ロボットジャッキが、その中心を貫通しているロッドを開閉可能なチャック装置で把持し、これを反力として行われる。

1ストローク15cmの上昇を繰り返す。

途中ロッドステイを1.4m毎に取り付け、1ロットのクライミングを約2時間で終了する。今回外部型枠と内部型枠の両者にクライミング工法を採用した。このため、まず全天候作業空間及び外部型枠をクライミングし、その後型枠剥離作業、組鉄筋の取り込み、組立、サークルクレーンによる内部型枠の上昇剥離作業、内部作業足場クライミング、型枠セットまでの一連のコンクリート打設前作業を行う。

コンクリート打設は地上よりポンプ車で圧送され、全天候ハウス天井部に設けられたコンクリートディストリビュータにより各辺型枠内に効率よく分配される。その後養生期間を経て型枠脱型する。これらのサイクルを繰り返し、最終施工完了後装置全体を準備工の組立位置まで下降させ地上で解体する。

これらの施工手順を図-10に示す。

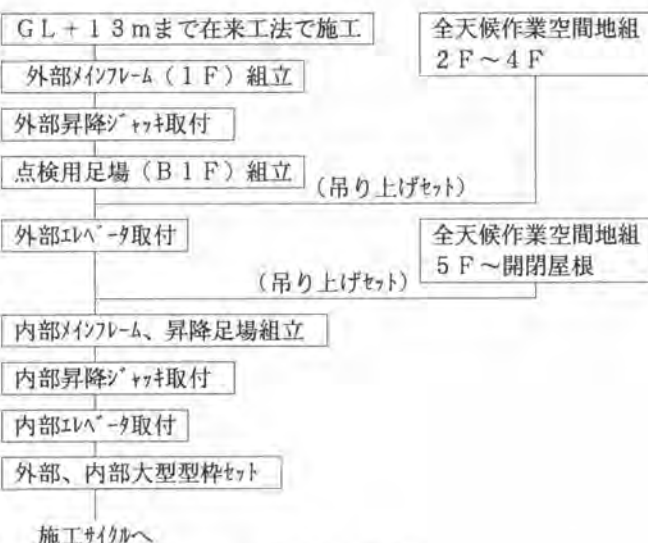


図-8 準備工

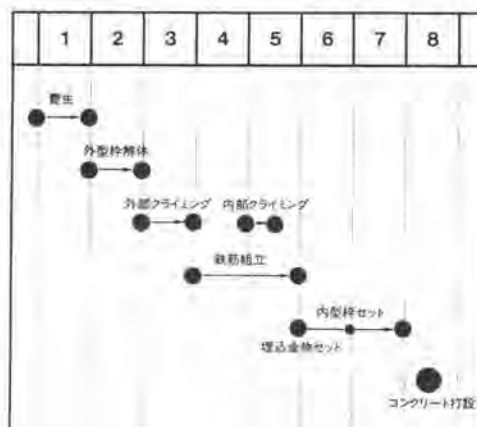


図-9 施工サイクル

## 5. 施工対策

### (1) 風荷重

工事場所は都市部であるため山岳部の強風発生地に比べて風は少ないものの、高さ100m超までクライミングを行うため、全天候作業空間の設計は入念に実施された。この作業空間は総高さ約14mである。このため設計上、風荷重が大きな検討対象となった。統

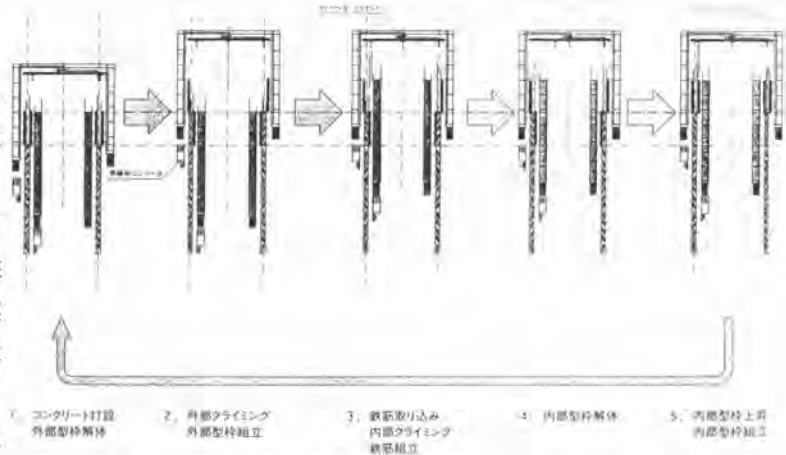


図-10 施工手順

計上当地において、 $35\text{m/sec}$ 以上の強風発生率は3日/年である。対策として風向・風速は常時計測記録した。またクライミング時以外はメインフレームを躯体等に固定する等の対策を施した。全天候作業空間の設計強度上、風速による作業条件を表-2のように定めた。

### (2) クライミングロッド軸力荷重

昇降可能な作業空間を全天候型とし揚重装置も設備したためロッド軸力が大きくなった。また、気温の上昇によりロッドが熱膨張し、結果的に軸力が増加することも考えられた。このためロッド座屈防止の検討を入念に行った。座屈に直接的に影響するロッドステイ取り付け間隔は設計値を前提とし、施工実績を参考に、より安全側に設定した。更に今回の施工に先立ちロッドの圧縮試験を行い、安全性を確認した。

表-2 作業条件

風速	対策
0~25m/sec	クライミング作業
25~35m/sec	足場上での作業
40m/sec以上	メインフレーム下降 (足場を躯体に固定)

## 6. 施工結果

### (1) 工程

FCF工法による第16回クライミング作業までの累積施工日数は、図-11のとおりである。

計画工程に沿って順調に推移した。

### (2) 風荷重

高さ60mを施工中に、戦後最大級の台風(中心風速 $45\text{m/sec}$ )が関東地方を通過した。当現場への直撃は避けられたものの、最大風速 $23\text{m/sec}$ 、2時間に亘り $20\text{m/sec}$ の風を受けた。特別な対策として、全天候作業空間をワイヤで

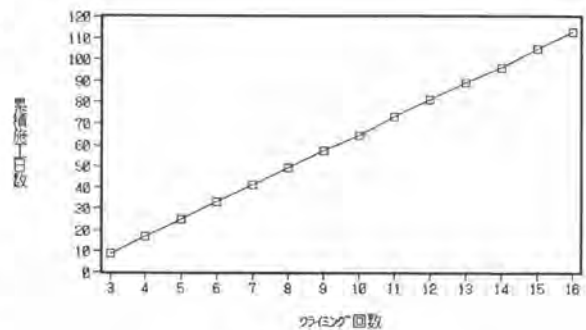


図-11 累積施工日数

煙突躯体に緊結処理したが、風に対する検討を充分に行っていたため問題なかった。

### (3) ロッド軸力

クライミング時各昇降ロボットジャッキは、その相対高さを設定レベル差（通常15mm）以内になるよう自動制御され上昇（下降）する。レベルは一定以内に収まるが、微妙なレベル差が各ロッドの軸力の差として現れる。また、気温の上昇によりロッドが熱膨張し、それが原因と考えられるロッドの軸力の増加が認められた。

これらの変動幅は、設計時の安全性をクリアーできる範囲のものであった。

## 7. 終わりに

ハイピアーに施工実績のある昇降ロボットジャッキを中核とするFCF工法に、今回、種々の新機能を付加し、高層煙突施工にも威力を発揮できる新システムになった。

本システムを用いて高さ118mの高層煙突を施工した。

これにより以下の成果が得られた。

- ①高所での作業にもかかわらず、安全作業で施工できた。
- ②全天候作業空間を実現し作業効率を向上した。
- ③機械化された作業空間を実現できた。

- ・昇降ロボットジャッキシステム
- ・昇降ステージ
- ・大型型枠
- ・自動開放テント
- ・サークルクレーン
- ・コンクリートディストリビュータ
- ・鉄筋運搬台車

を合理的に配置できた。

- ④工期短縮、省力化を実現できた。

今回の施工を終了し、本工法は高さ100m超の高層構造物の施工に充分に対応でき、有効な工法であることを実施工により確認できた。

今後、高層橋脚、高層煙突を中心に本工法を広く展開していきたい。

## 21. 支柱支線用アンカー敷設新工法

古河機械金属(株)：渡辺 英志  
(株)ニッチツ：\*堀 葛郎

### I) まえがき

架空配電線の電柱の倒れ止めには支線を利用する場合が多く、一般的には支線止めアンカーブロックを地中に埋め込み固定する必要がある。

このブロックを埋め込むためには従来から人力で孔を掘り、ブロックを孔の中に落とし込んだ後土を埋め戻す工法がとられている。

ここで紹介するジョイントアンカー工法は従来の工法の機械化を目的に考案したものであるが、併せて関東地区に広範囲に分布するローム層の未攪乱状態の強度が攪乱された土に比べて著しく大きいことに着目し、埋込地点の攪乱範囲を可能な限り少なくする様に設計した。

この結果、実地試験では施工コストの低減と併せて予想を上回る引抜強度が得られたので報告する。

### II) 関東ロームの土質・特性について

関東ロームは関東平野の沖積層低地を除く地域に普遍的に分布するものであり性質は極めて複雑であり充分解明されていない。その一つの理由として、その生成の過程における特殊性にある。

#### ① 粒度組成

微細な結晶や風化粘土化した火山ガラスやその他の生成成分が膠結して単粒とも団粒とも区別出来ないものが含まれていて粒度分析はむずかしい。

例えば、粘土分が30%以下の場合など粘土粒子が綿毛化現象をおこし、見かけ上粗粒子と成った様になることもあり粒度分析の結果から土の物理性を推定することはむずかしい。

#### ② 単位体積重量、含水率、間隙率

##### (イ) 間隙率

非常に大きな間隙比をもっていることが一つの特質である。

通常の沖積土では砂で50%～40%あるがロームは75%～80%程度が多い。

##### (ロ) 含水率

一般に44%～64%程度が多く、不飽和な土である。間隙の中の水は単純に自由水ばかりでなく、土に拘されている非自由水の含有量が極めて多く、重要な性質となっている。

##### (ハ) 比重と単位体積重量

比重は2.8前後であるが、間隙率が多いので1.3～1.4g/cm<sup>3</sup>である。乾燥した場合は0.7g/cm<sup>3</sup>程度になることがある。

③ 液性と塑性

含水量の変化により塑性が変化し、ある含水量以下では可塑性を示さなくなるし、またある含水量以上では可塑性を失い液性を示すようになる。

特にローム層中の多量の非自由水は、一度乾燥すると非可逆的に失われ再び水を与えても元の性質には戻らない。この様に含有水は土粒子と拘束力を異にするいくつかの状態にわけられ、単純な自由水として考えることは出来ない。

④ ロームの強度と圧縮性

(イ) 地耐力が大きい割にN値が少ない。N値から推定される許容支持力  $q = 3 N$

(ロ) 一般的には圧縮強度が大、圧縮歪少、粘土組成上細粘土分が多いことと合わせて特殊な骨格構造を形成している。

骨格構造にある外力が働いた場合この骨格構造が破壊を起こすまでの過程では塑性的な変形というより弾性的な変形が起こっていると考えられる。

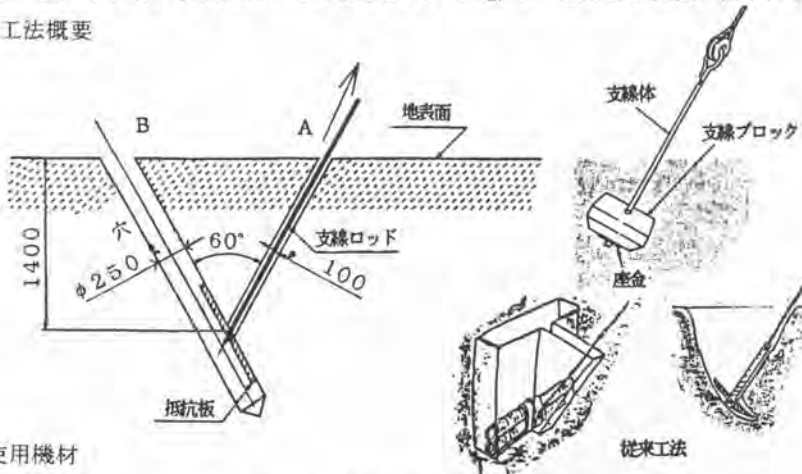
こうした特性は種々な測定値からもこれを裏づけるような記録が多い。圧密圧縮特性としては先行荷重（過去に応力を受けた履歴）が大きい（ $2 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ ）又、先行荷重以内では体積圧縮率は小さい。

それを越す荷重がかかった場合に本来の圧縮率が表れる。

⑤ ロームの強度

一般に攪乱、転圧後しばらく期間を置くと土の一軸圧縮の強さは $0.3 \sim 1.0 \text{ kg/cm}^2$ 程度である。乱さない状態においての強度が $1.5 \text{ kg/cm}^2$ と比して強度の低下は著しくなる。

Ⅲ) 工法概要



① 使用機材

- 削孔機械                      ミニユンボ搭載      削孔機（後述）
- ジョイントアンカーは、支線ロッドと抵抗板との2部材からなりいずれも鉄製品である。
- 支線ロッド                      丸鋼  $16 \text{ m/m} \phi$       長さ  $1,800 \text{ m/m}$
- 抵抗板                               $210 \text{ m/m} \times 900 \text{ m/m}$
- 抵抗板挿入用治具              一式                       $1,800 \text{ m/m}$



② 工法要領

(イ) 削孔

前頁断面の如く、地上のA、B 2地点から孔を1孔ずつ掘る。この孔は地下1.4mの地点で互いに60°で交叉するように設定する。

Bの孔径は250mmφで抵抗板挿入用の孔である。

Aの孔径は100mmφで支線ロッド埋込用の孔に使用する。


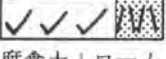
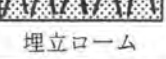
(ロ) アンカーセット

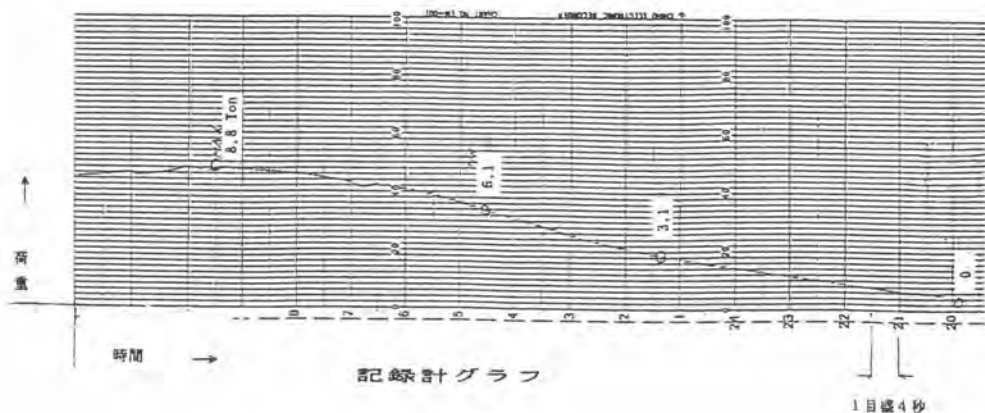
先ずAの孔に支線ロッドをさし入れる。次いでBの孔に抵抗板を挿入するが、ロッドと抵抗板を地中で完全にドッキングさせる為に特殊治具を使用する。

(ハ) 埋めもどし

アンカーが確実にセットした事を確認後、A、Bの孔に土を充填し工事を完了させる。

IV) 支線ロッドの引抜試験結果

	試験日	場 所	試験荷重	地層の状況	備 考
1	7年 7月11日	埼玉県入間市 大井町	①11,000kg ②10,800kg	0 1.4  ローム	抵抗板強度限界
2	8年 1月31日	埼玉県所沢市 中富南	① 5,000kg ② 5,000kg	0 0.8 1.4  腐食土+ローム	地盤強度不十分
3	8年 6月 1日	東京都板橋区 小豆沢	① 8,000kg ② 8,800kg	0 1.4  埋立ローム	実験機能力限界



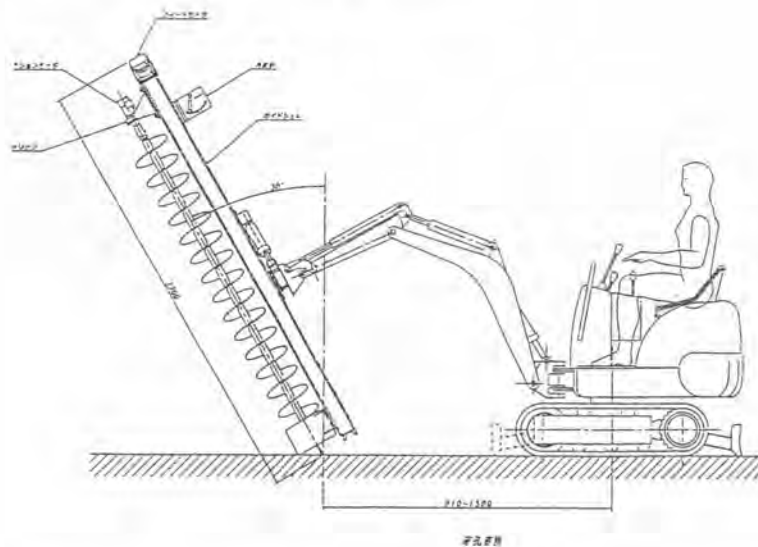
## V) 新工法の特長

- ① 未攪乱ローム層の特性を利用することにより、引抜強度の増加がはかれる。
- ② 抵抗板の埋込みの機械化が出来、施工時間が大幅に短縮出来る。
- ③ 地層の種類により孔の深さを変化し、必要とする引張強度が確保出来る。

## VI) 使用機械概要

### 仕様

- ① 本体寸法重量 全長3350mm 巾700mm 重量900kg
- ② オーガモーター 回転トルク4.52kg・m 回転数500rpmMAX
- ③ オーガビット径 100mmφ 及 250mmφ
- ④ ミニバックホー 油圧145kg/cm<sup>2</sup> 吐出量10ℓ/min×2



## VII) あとがき

今回の敷設試験については、一応所期の目的を達せられたが今後は電柱用以外の建設用仮設等の支線にも適用を拡めたい。次段階では地層に対応して交叉地点を上下させ引抜強度の増減の関係を把握し、併せて引抜強度20トン用アンカーを考案したい。

### 参考資料

- |                |                |
|----------------|----------------|
| ・電気機器材料仕様書     | 東京電力(株)        |
| ・グラウンドアンカー手引書  | 日本アンカー協会 土質工学会 |
| ・関東ローム その起源と性状 | 関東ローム研究グループ    |

## 22. 建築自動化生産システム（AMURAD）の開発

鹿 島：\*宮本 武三，本間 完介

### 1. はじめに

建設に関わる情報をコンピュータで統合管理しながら、建物を最上階より一層づつ組立て・完成させ、これを順次押し上げ、常に下階で連続繰り返し施工する建築自動化生産システム（通称AMURAD）を開発した。本報告は、この工法の適用第一号である当社名古屋支店千種社宅建設工事の機械化施工について、概要を紹介する。

### 2. 背景

産業界においては抜本的な生産性の向上を目指して、コンピュータによる情報の統合化が急速に進んでおり、そのシステムは工場内でフルに活用され、優れた製造業の生産方式を確立している。

建設業界ではいまだ労働集約型生産方式を脱しきれず、他産業に比べ作業環境の整備の遅れや労働負荷の過大さが指摘され、技能労働者不足や若年労働者離れなどの問題を生み出している。そのために従来の労働集約型生産から脱皮した新しい生産方式の開発が望まれている。そのなかで当社は、図面などの設計段階の情報、施工計画・管理情報、資機材の物流情報などをコンピュータで統合管理し、生産性の向上と品質保証を徹底すること（C I C：Computer Integrated Construction）を基本コンセプトに、下層階の固定された生産工場で、この施工に適した独自の機械を用いて連続繰り返し施工する自動化生産システムを開発した。図1にC I Cに基づいた今回の施工システムを示す。

### 3. AMURAD概要

この工法は、1階から順に上に建物を積み上げていく従来の生産方式とは逆に、建物を最上階より順に一層づつ下階で組立て、設備工事や仕上げ工事も平行して下階で進め、



写真-1 施工状況

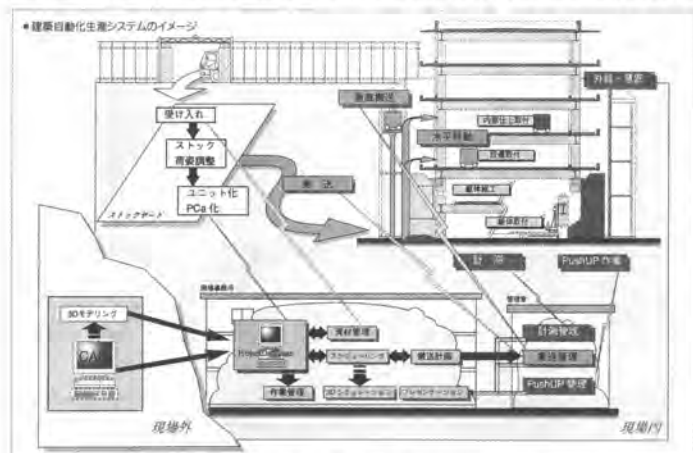


図-1 C I Cによる建築生産システム

これを順次プッシュアップし、常に下階で連続繰り返し施工するものである。今回の工事では地上1・2階を躯体施工階とし、3・4階を設備・内外装仕上げ階として固定化された生産工場を設定した。これにより地上1・2階には躯体施工用の機械や設備を固定して設置し、その作業員もいつも決まった階で仕事を行い、3・4階には必要とされる資機材をジャストインタイムに供給し、決まった場所で取付けを行った。これにより作業員の移動は大変少なく、生産性と作業の安全性の向上に寄与することができた。次にAMURADの作業手順について説明する。この社宅は地上9階建のSRC構造である。地下の基礎工事を終了した後、最も重要なプッシュアップ装置を組み立て、1～4階の生産工場を構築し、同時に最上階9階を装置上に施工する。これをプッシュアップし、その下に8階のPCa柱・S梁・PCa梁・ハーフPCaスラブを取付け、各ジョイント・スラブ・壁をコンクリート打設する。その上では9階のバルコニー・廊下を施工し、外壁・配管の取付けを行う。更に進むとその上の階では内装仕上げと設備機器の取付けが行われ、

コンクリート強度が確認された後プッシュアップする。2階の施工が終了するまで、これらの作業を一層8日のサイクルで連続繰り返し実施する。(図2) 1階施工後機械装置を解体する。この間情報の統合により資機材の動きが管理されている。

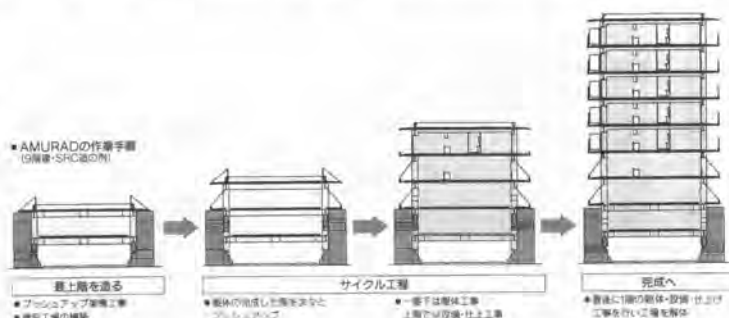


図-2 AMURADの作業手順

#### 4. 機械装置の概要

AMURADにおける主な機械装置は、①建物全体を1フロアずつ順次押し上げる、プッシュアップ装置Z-UP、②生産工場部分の地上1階で柱、梁および床板を取り付ける、躯体取り付け装置Z-HANDおよび③内部工事を行う作業階に資材を自動搬送する、資材搬送装置Z-CARRYで、これらはいずれも今回新しく開発適用された。AMURADにおける各機械装置の現場における設置イメージを図3に示し、これら機械装置の概要について述べる。

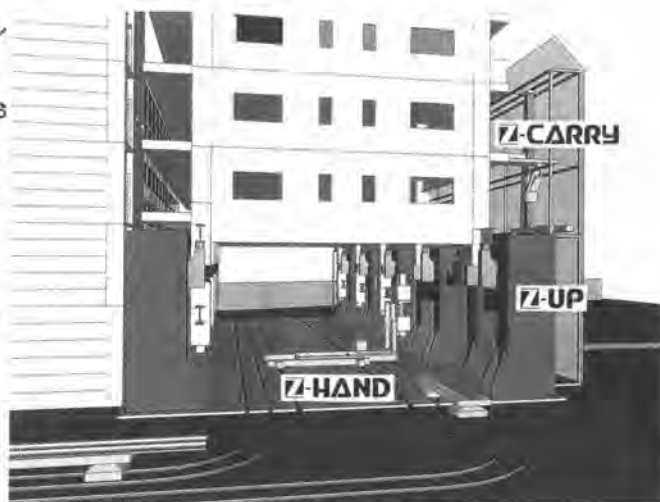


図3 機械装置設置イメージ

#### 4.1 Z-UP

Z-UPは電動ジャッキで、図4に示すようにフレーム、トラベリングブロック、ローディングアーム、駆動装置（電動ネジ方式）および中央制御盤で構成されている。千種社宅工事の場合、ジャッキの配置は、建物支柱の位置に中央部600t×6台、コーナー部400t×4台の計10台設置されている。建物重量は3,000tである。

これらの各ジャッキは、それぞれ各柱の両脇梁下面2箇所をローディングアームにより支持、同調制御しながら1階分建物全体を連続して押し上げる。写真2に建物の押し上げ状況を示す。

本装置の主な仕様はつぎのとおりである。

- ・装置重量：約50t /1基      ・装置寸法：B2,900mm×W4,000mm×H5,975mm
- ・同調性能：全体0～10mm、隣接柱間0～3mm、同一ジャッキ支持アーム間0～1mm
- ・押し上げストローク：3,250mm      ・押し上げ速度15mm/min

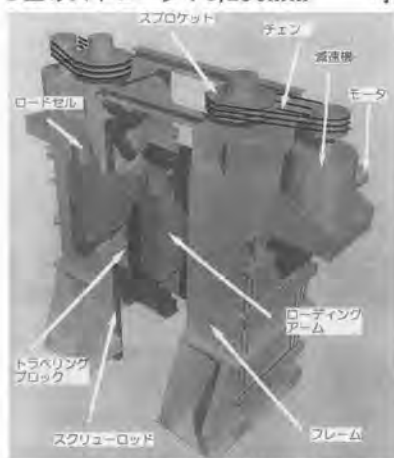


図4 Z-UP (600t)



写真2 建物押し上げ状況

#### 4.2 Z-HAND

柱、梁および床板の取り付けはZ-HANDにより、生産工場となる1階で行う。本装置はレール上を走行し、走行フレーム上を横行フレームが左右にスライドする。横行フレーム上の旋回可能な揚重フレームには昇降装置が組み込まれ、これに傾斜可能なプレートが設置されていて、当プレートには柱または床板の保持装置が取り付けられている。躯体材のZ-HANDへの供給は、柱はストック場所にてクレーンで積まれ、梁および床板は付属の運搬台車より受け取る。可搬能力は5tである。本装置を図5に示す。

#### 4.3 Z-CARRY

Z-CARRYの全体構成を図6、搬送台車を写真3に示す。内装および仕上げなどの一般資材はコンテナケージに入れて、本装置により、取り付け作業階（設備取り付け階および内装仕上げ階）まで搬送する。当装置は搬送台車、トラバサ、走行レール、制御盤および資材搬送管理装置により構成

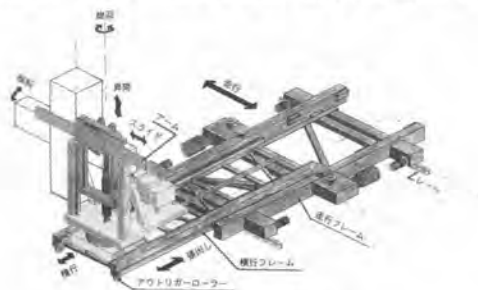


図5 Z-HAND

されている。

地上荷捌場でフォークリフトにより、コンテナケージが搬送台車に積み込まれ、行き先場所が指示されると、搬送台車はコンテナケージを水平に保持しながら上昇してトラバーサのレールに乗り移り、搬送階高さの位置で停止する。搬送台車がトラバーサに乗り移るとトラバーサは水平に移動して、指定した資材取り入れ位置で停止する。コンテナケージを載せているテーブルが90度回転し、スライドテーブルが張り出して荷物を建物内部に取り込める位置まで移し、スロープ板をセットしてケージを降ろす。

搬送は荷捌場において各ケージに取り付けたバーコードの読み取りまたは行き先ボタンの操作により、荷物取り入れ位置まで自動的に行われる。また空ケージの地上荷捌場への戻しも本装置により行う。

本装置の主な仕様は、可搬能力1.3t、搬送速度 水平20m/min・昇降10m/minとなっている。

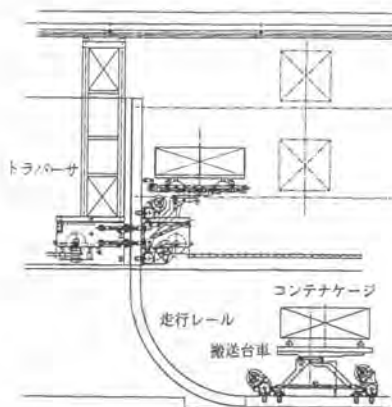


図6 Z-CARRYの全体構成



写真3 搬送台車

## 5.AMURADの特徴

- ① 従来の工法に比べ、工期を30%短縮、作業員数を50%削減、コンクリートのガラや木材・梱包材などの産業廃棄物の排出量を50%カットできる。
- ② 汎用性が高くS造、RC造およびSRC造にも適用できる。
- ③ クレーンが不要のため、飛行場の近隣等高さ制限がある場所などでの施工に適している。
- ④ 全天候型自動化施工のため、施工の品質・コスト・安全性・工程が安定し、建設作業環境が飛躍的に向上し、また完成された建物が立ち上がっていくため、近隣に対する工事環境を大幅に改善できる。
- ⑤ 既存建物の下階の増改築や免震装置の組み込みができる。

## 6.おわりに

AMURADでターゲットとする建物は、高さが12~15階程度でしかも建物高さが建物幅の3倍以下のプロポーシヨンの中高層建物である。千種社宅工事に引き続きオフィスビル工事（S造、地上11階、地下1階）に本年10月から適用する。

今後あらゆる方面に本工法の採用を積極的に働きかけていくと共に、当工法を通して『CIC』に本格的に取り組んでいく予定である。

## 23. 壁面作業ロボットの開発

東急建設㈱：\*後久 卓哉，福田 澄男  
坂本 浩一

従来、構造物における壁の塗装作業や検査作業は、対象とする壁面全体に足場を仮設、もしくはゴンドラを用いて人間の手によって行われており、高所における煩雑で危険な作業である。また、塗装作業においては、汚れ作業であるなど多くの問題点を抱えている。

壁面作業ロボットは、プログラムに従い壁面を吸着移動しながらアームに搭載したスプレーガンによって一般的な単色の塗装はもとより、ロボット制御用のコンピュータに取り込まれた描画データに基づき複数の色を使い分けることによって、壁画塗装も可能にしたものである。また、アタッチメントを交換することで壁面における清掃およびタイル剥離検査などの作業を行うことができる簡易なシステムであることから、作業対象を限定せず広範囲な構造物への各種作業が可能である。

### 1. はじめに

建築物は今までの大量供給の時代から、ストック調整の時代に移行しつつあり、既存構造物の機能維持・向上を図る事を目的とした定期検査、再塗装などリニューアル市場が拡大している。

また近年、建築物や土木構造物の建設は周囲との景観の調和が問題とされており、シビックデザインは新たな都市開発における重要なポイントとなっている。その一環として集合住宅などの壁や擁壁、工業地帯の石油タンクなどに、構造物の重圧感を与えないよう、また人々の目を楽しませることを目的として壁画が描かれている例がある。

しかしそれらは、ほとんど人間の手によって作業を行っているのが現状である。そこで、省力化、作業環境の改善、安定した施工品質を得ることを目的として、アタッチメントを交換することにより壁面の清掃、塗装、タイル剥離検査など1台で多様な作業が行える壁面作業ロボットの開発を行った。

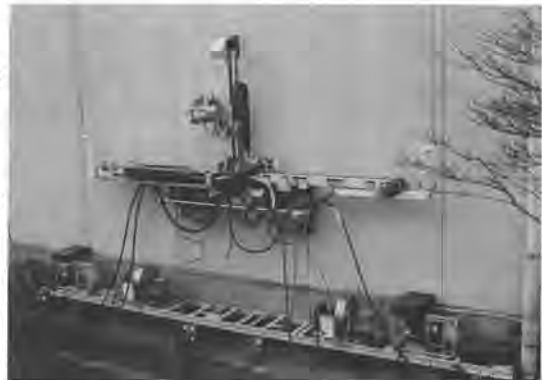


写真1 壁面作業ロボット

### 2. 開発の目的

#### 2. 1 目的

従来、構造物における壁面で行われる各種作業は対象箇所の全面に足場を仮設しその上で人間の手によって作業が行われている。この作業は危険な高所作業であり、また塗装作業においては、典型的な汚れ作業、検査作業においては、検査員の個人差により結果が異なる、等の問題が挙げら

れる他、足場を組立解体する必要があるため、工期の短縮やコストダウンが図りにくいといった傾向がある。

また、単色の塗装やタイルの剥離検査を行うロボットはいくつか開発されていたが、それらは対象が限定的なものであり汎用性を持ったものは少なかった。

このような現状を解決するために、壁面作業ロボットの開発目的を次のように設定した。

(1) 無足場での施工を可能とし、安全性の向上を図る

(2) 機器の構成を簡易なものとし、また容易に架設できるものとする

(3) アタッチメントを交換することで1台で多種の作業が行えるものとする

(4) 塗装においては単色はもとより、複数の色を使用しての描画塗装を可能とする

(5) 建築物の外壁のみでなく、土木構造物の壁面など広範囲にわたり適用可能なものとする

## 2. 2 開発条件

上記の様な開発目標を満足させるために、以下のような開発条件を設定した。

(1) あらかじめ入力したプログラムに基づいて、自動的に各種作業が行えること

(2) 壁面上を円滑に移動し、任意の点で停止できること

(3) 壁面上部に設置するものは簡易なものとし、装置、設備は地上に設置すること

(4) 作業場所への搬入作業を容易にするため、構成機材の最小分割重量は、100kg以下とすること

(5) 描画塗装の場合、1回で同時に5色の塗装が行えること

表1 壁面作業ロボット仕様

項目	寸法・重量
外形寸法	縦 1,765、横 3,350、高さ 495 mm
重量	80 kg f
塗装7- $\mu$ 寸法	3,350 mm (X軸)、1,050 mm (Y軸)
有効塗装幅	2,500 mm (X軸)、650 mm (Y軸)
塗装装置	超低圧温風塗装機、5ヘッド
検査装置	可聴域音波

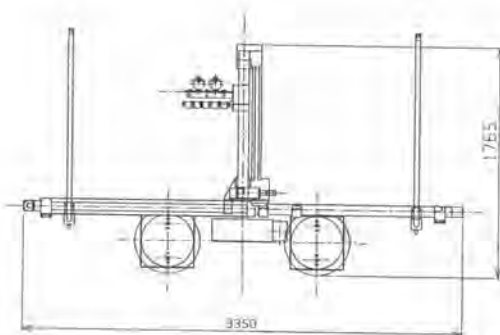


図1 壁面作業ロボット本体図

## 2. 3 システム構成および概要

前述した条件より開発を行った壁面作業ロボットは、ベースとなるX軸、X軸上をスライドするY軸、Y軸上をスライドするアタッチメントホルダ、またX、Y軸全体を壁面に安定させる2つの吸着パットから構成される。図1に壁面ロボット本体図、表1に仕様を示す。

壁面上の移動は、地上に設置した左右2台のウインチにより行う。ウインチはベースフレーム上に中心から等しい間隔で固定され、ジャッキにより壁面の基準線と常に水平に設置してある。また、ウインチベースには高さを計測するエンコーダを2台固定してあり、計測した高さより2つのウインチを同期させ本体の水平を保持する。(図2



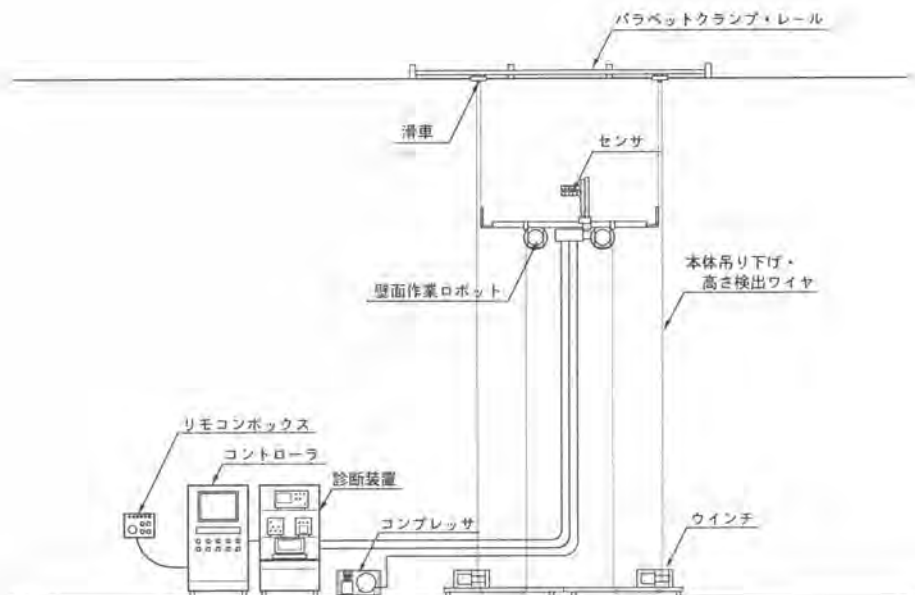


図2 システム構成図（タイル剥離検査時）

#### システム構成図

1回のウインチの設置で行える作業範囲を1パネル（幅 2,500mm）とし、1パネルの作業が終了した後に右にウインチベースを移動させ、以後同じ作業を繰り返す。

この壁面作業ロボットは、作業時の本体の揺れを防止し、反力を得るため、吸着パットを有しているが、吸着する壁面に5mm以上の段差や深い目地が存在する場合、パット内部の空気が漏れてしまい、吸着が不完全となる。そこで、本体上昇時にセンサーで段差を計測し、下降時にパットの吸着位置を段差から回避する段差回避プログラムが組み込まれている。

壁面作業ロボットは、アタッチメントを交換することにより以下の各種作業を行うことができる。

- ①単色塗装作業
- ②描画塗装作業（1ドットφ50～100mm、10色以内）

③清掃作業（ワイヤブラシ使用）

④タイル剥離検査（音波センサ使用）

以下に描画塗装作業およびタイル剥離検査作業の概要について述べる。

#### 3. 作業概要

##### 3. 1 描画塗装作業

描画塗装作業は、以下の手順で行う。

- ①描画に使用する原画を塗装ガンで塗装色と壁面上の場所を指定するドットによる描画データに変換する
- ②対象壁面の高さ、描画ドットの大きさ、吹き付けガンの動作設定値を入力する
- ③プログラムによる段差位置を計測しながらの上昇
- ④描画塗装をしながらの下降
- ⑤次のパネルへのウインチベースの移動

で1サイクルとなる。

本機は塗装ガンを5台搭載していることから



写真2 描画塗装状況



写真3 壁面検査状況

1度に5色までの塗装を行うことができるが、それ以上の塗装を行う場合は、レイヤを複数に分け、同じパネルを使用する塗料の色に入れ替えて2回塗装を行う。

パソコンによるデータで描画を作成することから下絵を描く必要がなく、また事前に完成壁画の状況を確認することができる。写真2に壁画塗装状況を示す。

### 3. 2 タイル剥離検査

タイル剥離検査は、以下の手順で行う。

- ①対象壁面の高さ、検査ピッチの入力
- ②プログラムによる深い目地及び段差の位置を計測しながらの上昇
- ③タイル剥離検査をしながらの下降
- ④次のパネルへのウインチベースの移動

で1サイクルとなる。また、検査を行うピッチは、プログラムにより容易に変更することができる。1サイクル終了後は、壁面上の位置と判定を1組にした検査結果を、数値データとしてコンピュータに保存する。保存した数値データは、CAD図面上に点として表すことができるので壁面上のどの部分がタイル剥離の危険性があるのか正確に表すことができる。

また、マニュアルでも操作可能なことから不良個所が頻繁に測定された部分や、確認を行いたい部

分の再計測を行うことができると同時に、搭載したカラーCCDカメラで壁面の状況を確認することが可能である。写真3に検査状況を示す。

### 3. 3 施工能力

各作業の施工能力は以下の通りである

清掃作業	33.6 m <sup>2</sup> /h
単色塗装作業	140 m <sup>2</sup> /h
描画塗装作業（5色,50mm）	3 m <sup>2</sup> /h
剥離検査作業	45 m <sup>2</sup> /h

## 4. まとめ

壁面作業ロボットは、タイル剥離検査の他、アタッチメントを取り替えることにより、単色、多色の描画塗装を行う機能、清掃、補修作業を行える機能を加え、一連のリニューアル作業の自動化、効率化を図った。

建築物外壁のタイル外壁については、定期点検が義務づけられており、今後同様の物件は数多く存在することが確認された。また、塗装の塗り替えなどもあり、リニューアル物件の市場性の高いことが判明した。

今後は、この壁面作業ロボットを一般の建築物外壁での作業に限らず石油タンクなどの鋼構造物、ダムや橋脚、など土木構造物への広範囲な適用を図っていきたい。

## 24. 軽量マニピュレータの開発と施工事例

東急建設㈱：\*難波 健治，鷹巣 征行  
小島 茂之

### 1.はじめに

これまでの内装工事は、ほとんどが作業員の手作業に頼っているのが現状である。重量のある内装材の持ち上げ・取り付けは手作業で行っており、天井工事など高所作業では鋼製足場板と脚立で構成される不安定な仮設足場上での作業のため、踏み外しや倒壊による転落事故の危険性が高かった。また、この仮設足場は作業場所が変わるたびに移動・設置・解体を繰り返しており、作業効率低下の原因となっていた。

このような理由から、今までに多くの内装工事前用建設ロボットが開発されたが、天井ボード貼り付けや壁材のハンドリングなど単機能なロボットが多く、多種多様な内装工事ではロボット化による効果が十分に得られず、あまり普及していないのが現状である。

そこで、各種の内装工事に適用できる多機能型建設ロボットとして軽量マニピュレータを開発した。軽量マニピュレータは、ハンドリングマシンと自走式移動足場の機能を兼ね備え、各種内装工事に高い適用性を持つ建設ロボットである。

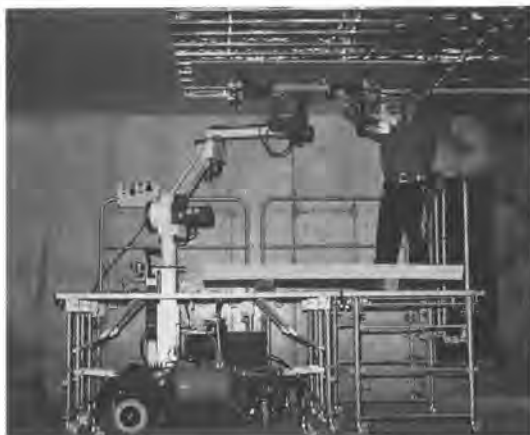


写真1 軽量マニピュレータ

### 2.軽量マニピュレータ概要

軽量マニピュレータの開発にあたり、以下の条件を設定した。

- (1) 仮設足場を不要にすることで施工速度と安全性の向上を実現すること
- (2) 重量のある内装材の持ち上げ作業から作業員を解放し、作業の省力化を図ること
- (3) 多種多様な内装工事に対応できること
- (4) ロボットの小型・軽量化のため構成機器を分割可能にすること

前記の条件をもとに製作した軽量マニピュレータの概要図と仕様を図1と表1にそれぞれ示す。

本装置は、マニピュレータと走行台車から成る本体とそれらに接続されるアタッチメントおよび作業ステージにより構成される。

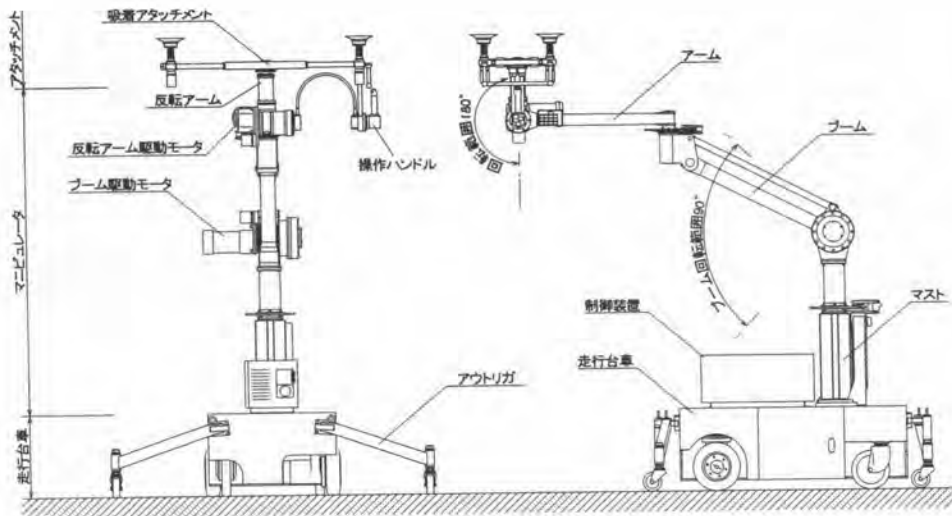


図1 軽量マニピュレータ概要

1) 本体

①マニピュレータ

内装材の持ち上げを行うマニピュレータは5つの関節を持ち、鉛直方向の関節は電動モータ駆動、水平方向の関節は軽いわずかな力で移動できるマニュアル操作型とした。

②走行台車

走行台車はバッテリー電源を用いたモータ駆動で、前後進・旋回・横行の3パターンの走行が行える。

2) アタッチメント

各種の内装材や工種への対応はアタッチメントで行う。アタッチメントには吸着アタッチメントとテーブルアタッチメントがある。

吸着アタッチメントは、4つの吸着パッドにより板状の内装材の把持を行う。取り扱う内装材の大きさにあわせて吸着パッドの間隔を変更できる。

テーブルアタッチメントは天井仕上げボードなどの小さな内装材の積載、ファンコイルやダクトの取り付けなどに使用する。

壁や床を施工する場合は吸着アタッチメントとマニピュレータ先端部との間に専用アダプタを用いる。

表1 軽量マニピュレータ仕様

収納寸法	*アウトリガ有り:L×W×H=1,490×712×1,500mm *アウトリガ無し:L×W×H=1,260×712×1,500mm
重量	*本体:560kg *吸着アタッチメント:30kg *作業ステージ:45kg(1台あたり)
動作寸法	*最高高さ:2580mm(反転アーム基部中心) *最低高さ:870mm(---) *最大半径:1750mm(---) *マストストローク:400mm *施工可能天井高さ:3,030mm以下
可搬重量	*マニピュレータ:150kg *反転アーム:120kg
電源	*走行台車:DC24V *マニピュレータ:AC200V(3φ)

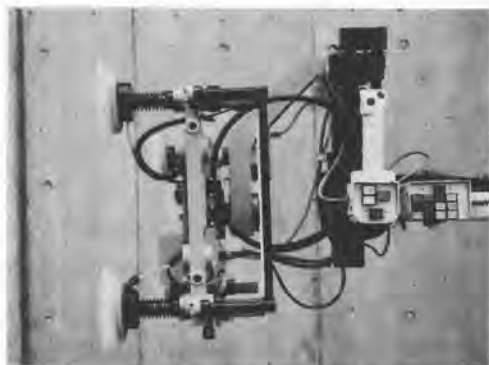


写真2 壁用アダプタ装着状況

壁用アダプタは吸着アタッチメントを壁面に平行になるよう回転軸を付加するものである。床用アダプタは反転アームを延長し、吸着アタッチメントを床面まで到達させるものである。

### 3) 作業ステージ

天井工事などの高所作業では作業ステージを用いる。本体と作業ステージを連結することで自走式移動足場として使用することができ、この作業ステージは作業内容やフロアの状況に応じて自由にレイアウトが変更できる。

作業ステージを用いることで堅固でフラットな足場を確保できるため、つまずきや踏み外しによる転落事故を防止でき、安全な作業が行える。

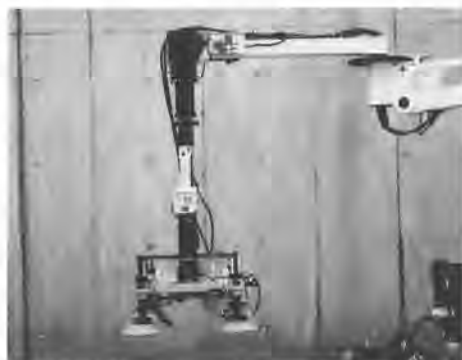


写真3 床用アダプタ装着状況

## 3. 試作機による施工実験および改良

### 3.1 施工実験およびヒアリング調査

製作した試作機による施工実験を行い、施工能力および作業性の調査と内装業者へのヒアリングを実施した。表2に天井工事での施工実験結果を示す。

表2 天井工事における施工実験結果

	天井下地ボード	天井仕上げボード	天井仕上げボード
内 装 材	材料:石膏ボード 寸法:910×1,820mm 厚さ:9mm	材料:岩綿吸音板 寸法:300×600mm 厚さ:12mm	材料:化粧石膏ボード 寸法:455×910mm 厚さ:9mm
作 業 構 成	軽量マニピュレータ:1台 作業員:2名	軽量マニピュレータ:1台 作業員:2名	軽量マニピュレータ:1台 作業員:1名
作 業 ス テ ー ジ	台数:6台 寸法:3,000×4,000mm	台数:8台 寸法:3,000×5,000mm	台数:10台 寸法:3,000×6,000mm
施 工 面 積	256.1m <sup>2</sup>	140.6m <sup>2</sup>	338.1m <sup>2</sup>
施 工 速 度	82.5[m <sup>2</sup> /日・人]	55.6[m <sup>2</sup> /日・人]	55.8[m <sup>2</sup> /日・人]
従来での施工速度	60.0[m <sup>2</sup> /日・人]	40.0[m <sup>2</sup> /日・人]	40.0[m <sup>2</sup> /日・人]
施 工 速 度 比	従来作業の1.4倍	従来作業の1.4倍	従来作業の1.4倍

天井工事の施工実験では、軽量マニピュレータにより天井下地ボード、化粧石膏ボード、岩綿吸音板の3種類の内装材の貼り付け作業を行い、施工時間および施工面積を測定し施工速度を算出した。

施工実験の結果、適用したすべての作業において従来作業に比べ施工速度の向上が確認できた。これは軽量マニピュレータの開発条件である仮設足場を不要にすることによる準備作業の低減と、マニピュレータによる持ち上げ・位置決め作業による効果と考えられる。

施工実験と同時に軽量マニピュレータを実際に使用した内装業者にヒアリング調査を行った。

軽量マニピュレータ導入による作業性や安全性の向上など良い評価が多く得られたが、操作性や装置の取り扱いなどで問題点が指摘された。ヒアリング調査で得られた問題点を以下に示す。

- ・現場での組立作業が多く、複雑である
- ・吸着した内装材の落下防止対策が不完全である
- ・マニピュレータ用電源が AC200V では使いづらい
- ・壁材取り付け作業時のマニピュレータの操作性が悪い
- ・走行台車の直進性が悪い

これらをもとに軽量マニピュレータの改良を行った。

### 3.2 本装置の改良点

前記の問題点から以下の改良を行った。

#### 1) 組立作業の低減

- ・分割していた構成機器を走行台車上に設置し、組立点数を低減
- ・走行台車と作業ステージとの連結部をピン挿入による簡易な方法に変更

#### 2) 安全装置の付加

- ・吸着不良による内装材落下の危険を知らせる警告ブザーを新設
- ・内装材を吸着中に停電や故障により電源が切断した場合でも、吸着力を保持する装置を新設
- ・転倒防止用アウトリガ使用時のみマニピュレータが使用できる安全装置の増設

#### 3) 操作性、作業性の向上

- ・走行台車の操作性向上のため、ステアリングを 2 輪式から 4 輪式へ変更
- ・壁工事用の簡易ステップの増設
- ・マニピュレータの操作性向上のため、上下操作スイッチを吸着アタッチメントに増設
- ・最大施工天井高さを 600mm 延長するマスト延長用アダプタの新設
- ・マニピュレータ部の電源を AC200V から AC100V へ変更

## 4. 施工事例報告

軽量マニピュレータを天井工事に導入した事例について報告する。事例は天井下地ボード貼り付け作業と天井仕上げボード貼り付け作業である。

### 4.1 天井下地ボード貼り付け作業

天井下地ボード貼り付け作業における軽量マニピュレータの作業構成を図 2 に示す。アタッチメントは石膏ボードを把持するために吸着アタッチメントを使用した。作業ステージはマニピュレータの動作範囲と作業性を考慮して 3m×4m に配置した。

軽量マニピュレータの組立・調整作業は約 2 時間、内装業者への指導は約 2 時間であった。

天井下地ボード貼り付け作業は二人一組で行い、作業員は軽量マニピュレータの操作とねじ留めに作

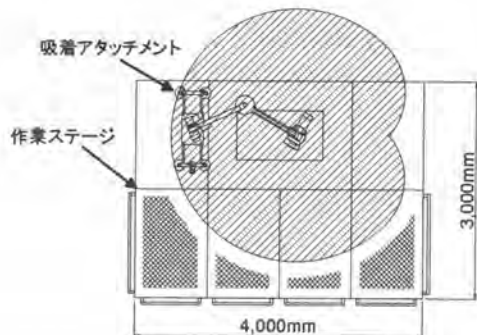


図2 作業構成



写真4 施工状況

業を分担した。石膏ボードの貼り付けは基本的にマニピュレータを使用した。柱の周囲や壁際などの加工を要する石膏ボードの貼り付けは手作業で対処した。

軽量マニピュレータによる天井下地ボード貼り付け作業の結果を表3に示す。

軽量マニピュレータを使用することにより、施工速度が従来作業に比べ約1.3倍に向上した。実施工においても施工実験と同様に、仮設足場を不要としたことによる準備作業時間の低減とマニピュレータによる作業効率の向上が確認できた。

また、重量のある石膏ボードの持ち上げ・保持をマニピュレータで行うため作業員の身体への負担が少なくなることから、疲労の蓄積が少ない、コンスタントな作業が行えるなどの意見が得られた。

表3 施工結果

内 装 材	種類:石膏ボード 寸法:910×1,820mm 厚さ:9mm
作 業 構 成	軽量マニピュレータ:1台 作業員:2名
計 測 日 数	約3.5日(延べ16.8時間)
施 工 面 積	423m <sup>2</sup>
施 工 速 度	75.5[m <sup>2</sup> /日・人]
従来 <sup>1)</sup> の施工速度	60.0[m <sup>2</sup> /日・人]
施 工 速 度 比	従来作業の1.26倍

#### 4.2 天井仕上げボード貼り付け作業

天井仕上げボード貼り付け作業における軽量マニピュレータの作業構成を図3に示す。作業対象が化粧石膏ボードであるため吸着アタッチメントを使用せず、テーブルアタッチメントとした。テーブルアタッチメントは100kgまでの重量が積載可能で、910×910mmの化粧石膏ボードでは約20枚に相当する。テーブルアタッチメントを使用することで、化粧石膏ボードを常に取りやすい位置に置くことができる。

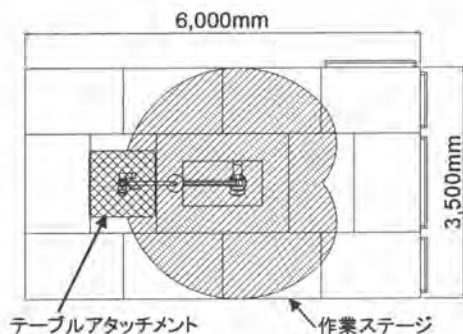


図3 作業構成

作業ステージはボードを貼る方向に長い作業エリアを確保するため、12台を細長く配置した。

軽量マニピュレータを導入した現場は大型店舗でフロア面積が広く、複数のフロアを同時に施工するため3台の軽量マニピュレータを2~4階の各階に1台ずつ導入した。また4階ではすでに作業が終了



写真5 施工状況

表4 施工結果

内 装 材	種類:化粧石膏ボード 寸法:910×910mm 厚さ:9mm
作 業 構 成	軽量マニピュレータ:2台 作業員:1日平均3.4名 (延べ17名)
計 測 日 数	5日(延べ30時間)
施 工 面 積	1190m <sup>2</sup>
施 工 速 度	70.0[m <sup>2</sup> /日・人]
従 来 の 施 工 速 度	55.0[m <sup>2</sup> /日・人]
施 工 速 度 比	従来作業の1.27倍

した軽量マニピュレータを導入し、2台を同時に使用して作業を行った。

軽量マニピュレータによる施工結果を表4に示す。軽量マニピュレータを使用することで、従来作業と比べ施工速度が向上するという結果が得られ、仕上げボード貼り付けにおいてもその効果が確認できた。

#### 5.おわりに

本論文では、軽量マニピュレータの仕様、試作機による施工実験、施工実験で得られた改良点、改良機による施工事例について報告した。

施工事例では、実施工においても軽量マニピュレの導入効果を確認することができた。軽量マニピュレータは既に十ヶ所以上の現場に導入しており、今後も現場施工を継続して天井工事だけでなく壁工事や床工事などを含めたトータル的な内装工事の効率化、安全性の向上を目指し改善改良を進めていく予定である。

#### 〈参考文献〉

鷹巣征行 他「軽量マニピュレータの開発－内装工事における無足場工法の実現－」第4回建設ロボットシンポジウム論文集 1994.7



## 25. マレーシア “KLCC タワー1 プロジェクト” の揚重設備

ハザマ：館岡 潤仁

### 1. まえがき

東南アジアは、現在、世界の各地域の中で一番の経済成長圏となっており、さらにマレーシアのGDP（国内総生産）成長率は7年続けて8%以上持続する程の、高い経済成長を示している。

このマレーシアの首都クアラルンプールの中心部に、単一の新規不動産開発としては、世界最大規模を誇るクアラルンプール・シティ・センター（KLCC）の開発が進められている。

敷地面積は40万㎡に及び、この敷地の北西部に当たる約5万㎡に、第一期工事として、ツインタワーの事務所ビル（延べ床18万㎡：1棟あたり）、地下駐車場（7000台収容）、商業棟（延べ床4万㎡）などが計画され、中でも高さ452mのこのツインタワー（仮称KLCCタワー1、タワー2）はクアラルンプールの新しい象徴となるもので、1998年のグランドオープンに向け、現在建設が進められている。写真1及び2に工事初期及び直近の全容を示す。

我々はこのツインタワーのうちタワー1の施工を担当した。構造的にはタワー1とタワー2は共通である。中央部にRC造コア壁を配し、外周部は16本のRC柱（コラム）とそれを円周方向に繋ぐRC梁（リビングビーム）とで外チューブを構成、このコア壁とリングビームをつなぐ鉄骨造の梁上でデッキプレートとメッシュさらにコンクリートで構築された合成床板（シェルスラブと呼ぶ）によって、コア壁と外周部を結合した独特の複合構造である。コア内の床形式も合成床板である。

さらに、外周部のリビングビームには、三角形と弓方に張り出す鉄骨梁が取り付けられ張り出しスラブ（アイブローと呼ぶ）を構成している。外周部柱間のファサードとしては、見通しのきくガラスとステンレスパネルによるカーテンウォールがこのアイブローに取り付けられている。

付属棟は、円筒形の外周に12本のRC柱を配置し、それらを繋ぐRC梁とで外チューブを構成し、付属棟の床及びタワー本体との間の床（リンクと呼ぶ）も合成床板となっている。図-1に基準階の構成平面を示す。

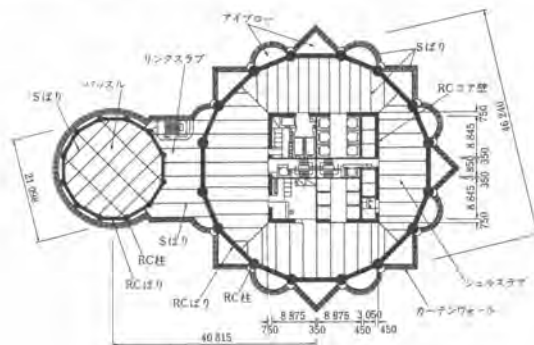


図-1 基準階の構成平面



写真-1 94年3月全景



写真-2 96年6月全景

## 2. タワークレーン

地下掘削工事及びツインタワーの基礎工事（杭、基礎盤）は、別途発注工事となっていた。また、ツインタワー回りは、地下駐車場工事（さらに別の施工者の請負）が数カ月後に開始される計画であった。そのため、地下駐車場の一部（ウイングと呼ぶ）を荷上げヤードとして確保するために、当JVが受け持ち、工事着工の94年2月から7月末までに、地上レベルまで先行施工を行った。従って、当初の躯体工事のアクセスはすべて地下4階にあたる基礎盤の周りから行い、ウイングの地上レベルまでの施工が完了した後は、タワー本体の工事のアクセスはすべて地上のウイングエリアを介してのみとなった。本格的な揚重設備計画は、この時点がスタートとなった。

タワークレーンは東南アジアで起伏式クレーンの実績の多いオーストラリアFAVELLE FAVCO社製を選択した。吊り上げ容量は45階と46階に本設エレベーター用ウィンチ（約23t）を設置する必要から、1台を380t・m級（TC2）、他の1台を310t・m級（TC1）とした。さらに初期工程の遅れを取り戻すためにタワーと付属棟の間のリンク部に180t・m級（TC4）を1台設置し、4ヶ月間使用した（94年9月～12月）。付属棟用タワークレーンは最大鉄骨重量（約10t）より算出し、120t・m級（TC3）とした。

これらのクレーンの内、TC1及びTC2はインターナルクライミング方式をTC3及びTC4はエクスターナルクライミング方式を採用した。

本工事のような超高層ビルでは揚重能力が工程を大きく左右するため、タワークレーンは極力地上からの材料揚重に使用し、層間の資機材移動は自昇システムを取り入れた。すなわち、コアウォールの型枠はセルフジャンピングフォームを、またコンクリートプレーシングブームはセルフジャッキングシス

テム式を採用し、さらにブレーシングブーム架台も工事途中よりブレーシングブーム自体に盛替え装置を取り付け、タワークレーン無しで全ての作業が完了する様にした。この結果、層間の資機材移動はコラム及びリングブーム用型枠のみとすることができた。

タワー本体に使用したクレーン（TC1及びTC2）の標準階における作業別使用割合を図-2に示す。クレーンの稼働状況は、日曜日約12時間、それ以外の日は、ほとんど24時間稼働という過酷な状況であった。このため毎日2回30分づつ、各々日例点検及び燃料補給（本クレーンのパワーユニットはディーゼルエンジンであった）のためエンジンを停止させ、エンジンのクールダウンを行った。また、月1回の月例点検はメーカーのメカニックによって行った。

タワー本体に使用したクレーンの解体にあたっては120t・m級（RC-1）、60t・m級（RC-2）、30t・m級（RC-3）を順次設置して行った。この内RC-1は最大揚重能力及び巻き上げワイヤー長が不足していたため、ウインチを改造した。

また、これらのクレーンはタワー本体内に設置スペースがなかったため、外周部のコラムよりカンチレバー型式の鋼製架台を張り出しこの上に設置した。（写真-3参照）

RC-3はドイツウォルフ社が開発した解体用ジブクレーンであり、解体作業完了後、25mの起伏ブームがセルフジャッキダウンする機構を持っている事、全部材が200kg以下のコンポーネントに分解でき、エレベータを使って回収できる設計になっている事が特徴となっている。

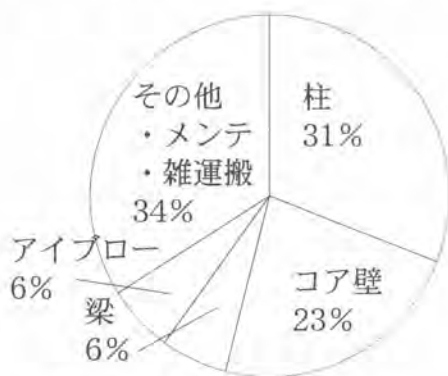


図-2 標準階のクレーン作業



写真-3 解体用クレーンの設置

### 3. 工事用エレベータ

工事用仮設エレベーターは300m以上の揚重高さがあることから、米国内の超高層ビルで多くの実績を持つUSA Hoist社製のHS80（最高速150m/分：40人乗り）2台を設置し、補助エレベーター（主として層間移動及び小運搬用）として、同じUSA Hoist社製のラックアンドピニオン式ホイスト（R&P、最高速90m/分：30人乗り×2ケージ）を採用した。またカーテンウォール、空調機器などの大型材料運搬用に積載容量3.1t、ケージ幅5.2mの荷物専用リフト（HS80M）を用意した。

HS80（高速ホイス）はワイヤー式でその機構は本設エレベータとほぼ同じであるが、ウインチ室が下部に設置され、最頂部には、巻き上げシーブが取り付けられたキャットヘッドと呼ばれる架台がある。このキャットヘッドにはエレベータフレームを自昇する機構があり、エレベータを供用しながら新たなフレームを据え付けることができ、その後約半日運転休止し、キャットヘッドをジャッキングし供用階を伸ばして行くことができる。荷物専用リフト（HS80M）はHS80と同じキャットヘッド及びエレベータフレームを改造使用して、巻き上げ装置を油圧ウインチに変更したものであり、安全装置を荷物専用のため簡略化してある。

R&Pホイス及びHS80ホイスの据付け状況を写真-4、写真-5に示す。



写真-4 R&Pホイス



写真-5 HS80ホイス

#### 4. コンクリート搬送設備

本工事では地上88階（380m）までいかに効率良く安定してコンクリートを搬送するかがポイントのひとつになった。

高さ200mを超す高所圧送では多くのトラブルが予想され、直圧送の場合の理論吐出圧力は最低でも180kgf/cm<sup>2</sup>以上必要と試算された。

一方現状市販されているコンクリートポンプは最大吐出圧力200bar級までであったため、300m以上の高さでは、200bar級ポンプによる直圧送はコンクリートの品質如何によって配管閉塞のリスクが高い工法と判断された。

このため本工事では複雑なシステムではあるが、地上より途中階までコンクリートホイスを用い、それ以降をポンプ圧送するリレー搬送方式を採用した。

システムを概念を図-3にコンクリートホイスの外観を写真-6に示す。

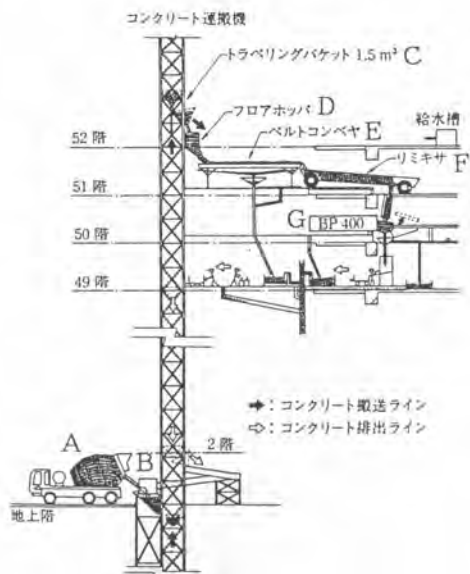


図-3 リレー搬送システム



写真-6 コンクリートホイスト

トラックミキサー（A）より搬出されたコンクリートは、地上階に設置されたチャージングホッパー（B）に一時滞留される。このホッパーには排出ゲートが設けてあり、トラベリングバケット（C）が所定の位置に停止した後ゲートを開きコンクリートをバケットに投入する。トラベリングバケットの容量は1.5m<sup>3</sup>あり、コンクリート搭載後、特定フロアに設置されたフロアホッパー（D）に揚重移送され、自動反転しフロアホッパーにコンクリート投入する。

フロアホッパーに滞留したコンクリートは、コンクリートポンプ側の指示により、間歇的にベルトコンベヤ（E）に放出され、リミキサー（F）による再混練過程を経てコンクリートポンプ（G）へ投入される。輸送管を通じて圧送されたコンクリートはブレーシングブームによって所定の打設地点へ打ち込まれる。

ここで、リミキサーの設置は計画初期においては想定していなかった。しかしトラックミキサーからの排出後、コンクリートの乗り継ぎが多いことを考慮し設置することとした。リミキサーは当初搬送中のコンクリートの分離を復旧することを目的としたが、打設地点での段取替えのために圧送を一時中断する時にも、リミキサー内にコンクリートを滞留させ攪拌を継続できたため大きな効果があった。

コンクリートポンプは18階、30階、50階、56階と順次設置階を盛り替え最終的には50階、56階に設置したコンクリートポンプにより380m（88階）までの打設を完了した。

本方式の採用によりコンクリートポンプの圧送高さはおおむね180m以下に押さえることができ、コンクリートポンプの圧送性からコンクリートの調合を変更することなく、高品質のコンクリートを最

後まで打設することができた。

図-4に月別打設実績を示す。ここで折れ線グラフは累計打設量、3本の棒グラフは各月の直圧送、リレー搬送、その他の補助工法での打設量を示す。

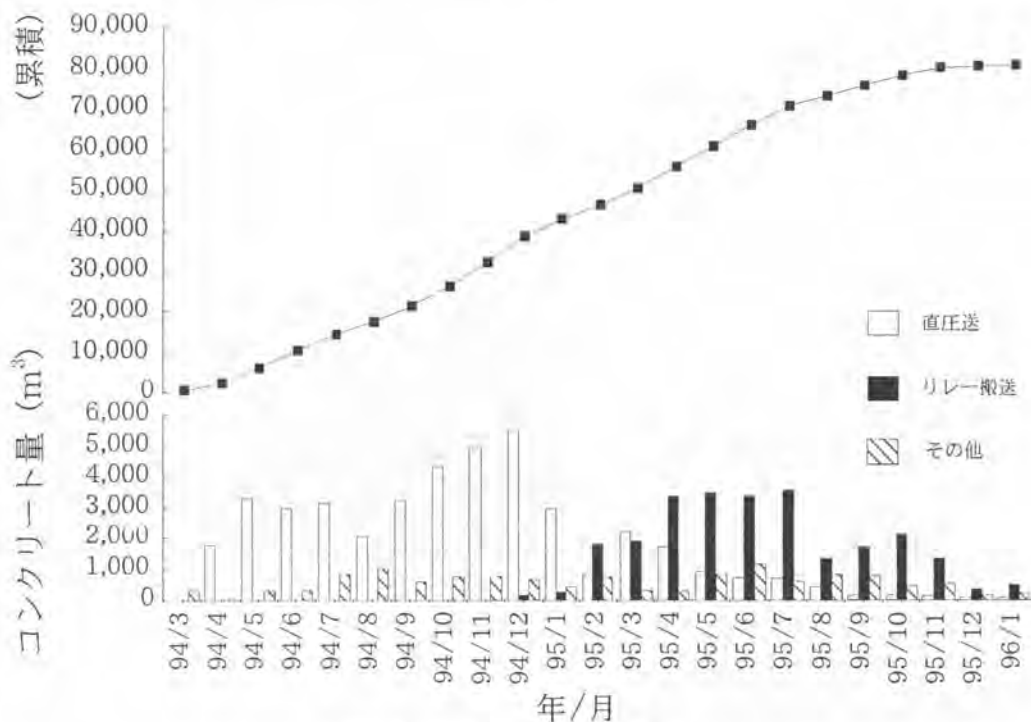


図-4 月別コンクリート打設量

## 5. まとめ

軀体工事は、本年3月初旬に完成し、452mの姿となり、本稿の提出時点で設備、仕上げ工事の一部を残すのみとなった。

揚重設備においても前述の最終解体用クレーン(RC-3)のみを残し、解体撤去を完了した。

本プロジェクトの内、我々の担当する範囲は年内に完成し、執務フロアの内装工事(別途発注)が最盛期を向かえることになろう。

本稿が今後の超高層ビルの揚重計画の一助となれば幸いである。

## 26. 建設用アルミ足場板自動洗浄装置の開発・実用化

(株)大林組：\*井上 文宏，菱河 恭一  
脇坂 達也

### 1. まえがき

建設工事では多種大量の仮設材が使用されている。仮設材は各現場の工事工程に合わせて適時利用されるが、現場より機材センターに返却された仮設材にはコンクリート片、塗料、泥などがかなり付着しているため、通常汚れを除去し、強度と安全を確認した後次の現場に転用される。しかし、仮設材の清掃は一部で機械化されているが、大部分は小型機械を利用した人力作業で行われ、その作業状況は効率、安全、経済面で改善すべき点が多く残されている。

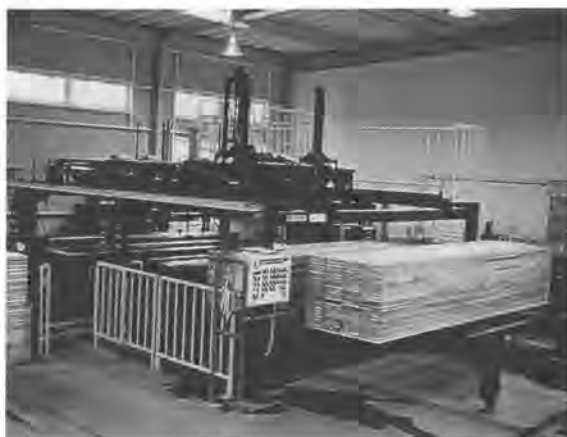


図1 アルミ足場板自動洗浄装置の外観写真

そこで、本研究では仮設部材における清掃作業の改善を目的とし、建設現場で大量に使用されているアルミ製足場板洗浄装置の開発を行った。洗浄方法には高圧力のウォータージェットと超音波洗浄を併用した効率の高い洗浄方法を提案し、その洗浄効果を実験的に検証した。また、洗浄装置には自動搬送、水リサイクル装置を結合させ、作業の自動化、コストの低減および環境改善を達成した。本報では、アルミ足場板の洗浄方法、図1に示す洗浄装置の概要と構成および実際の稼動状況について述べる。

### 2. 洗浄方法の現状と問題点

建設用に使用される仮設部材の中で、アルミ製の足場板は比較的軽量であり、腐食し難いため、最近、木製および鋼性の足場板に代って頻繁に使用されている。しかしながら、アルミ板の素材自体は弱く傷付き易いため、その洗浄には鋼性用の粗いケレン方法（振動式あるいはプレスローラ式）は使用できず、付着した汚れを溶剤によって処理する化学的方法が用いられている。

この方法は、アルミ板に付着したコンクリートを人力でたたき落とし、その後酸性溶剤に長時間浸して処理するものである。しかし、強固なコンクリートをたたき落とすことは難しく、かえって部材に損傷や傷を与えやすい。そして長時間の化学処理はアルミを侵す危険性があり、数種の付着物が混合した場合には化学処理はほとんど効果が現れないようである。また大量のアルミ板を洗浄するにはかなりの時間を必要であり、そのコストもかなり高額になっている。さらにこのような洗浄を取扱う専門業者は少なく、作業環境は必ずしも良いとはいえない。したがって、これらの現状を解決するためには、洗浄方法の確立、作業の機械化・自動化による作業の効率化と環境改善が不可欠と考えられる。

### 3. アルミ足場板の洗浄実験

本研究ではアルミ足場板の洗浄に、ウォータージェットおよび超音波の2種類の方法を採用し、部材に悪影響を与えず、最も洗浄効果が得られる条件を実験的に見いだした。対象とした足場板の仕様を表1に示す。

#### 3. 1 ウォータージェット洗浄実験

この実験ではノズルより噴出する超高压のジェットをアルミ足場板に衝突させ、物理的にコンクリートおよびその他の汚れを洗浄する方法を検討した。

ウォータージェットによる洗浄効果を調査するため、ジェット圧力およびノズル送り速度を種々に変化させて実験を行った。ノズルは中心角約12°の回転ノズルを使用し、アルミ板の幅と実用的なノズル本数を考慮して、スタンドオフ距離を150mmとした。供試体にはセメントペーストがほぼ全面に付着した実際のアルミ足場板(4m)を使用し、アルミ板一枚毎に各実験条件を統一した。表2に洗浄の実験条件を示す。

洗浄効果はジェット圧力が高くなるほど大きくなり、約40MPaでほぼ飽和する。圧力が60~80MPaではアルミ表面に微細な傷痕が確認され、100MPa以上では目視で傷の状態がわかる。ジェット圧力を40MPaに固定し、ノズル送り速度を変えると、約60mm/s以下で十分に洗浄可能な限界であり、それ以上送り速度が早くなる

と汚れが残ることが示された。図2に送り速度60mm/sにおける洗浄例を示す。圧力20MPaではコンクリートが若干残り、40MPa以上ではコンクリートが完全に除去され、洗浄面の境界が鮮明に分かる。

同様の実験を他の付着物(塗料、吹付材、泥など)に対して行った。塗料を除去するにはジェット圧力が100MPa以上必要であり、アルミ足場板に損傷を与える危険性がある。吹付材および泥では40MPa以下で十分洗浄できる。したがって、塗料を除くと、ウォータージェットの洗浄条件として圧力40MPa以上、送り速度約60mm/s以下であれば、大部分の汚れを洗浄できることが示された。

#### 3. 2 超音波洗浄実験

超音波洗浄は機械部材の超精密洗浄方法の一つとして工業分野では広く使用されている。その原理は水槽内に設置した振動子から約25~100[kHz]の高周波数振動を発生させ、水槽内部に生じる微小気泡(キャピテーション)の崩壊圧力を利用して付着物を洗浄するものである。その洗浄エネルギーは局部的に非常に大きく、水に接触する全ての部材表面に作用するため外面から隠れた部分の洗浄も可能である。またゴム性の部材には超音波は作用し難い特徴がある。したがって、アルミ足場板の全ての表面に超音

表1 アルミ足場板の標準仕様

寸法(厚さ, 幅, 長さ)	重量	許容荷重
29×240×4,000 mm	10.1 kg	120 kg

表2 ウォータージェットの実験条件

ノズルスタンドオフ	150 mm
ノズルの送り速度	20 - 100 mm/s
ポンプ吐出圧力	20 - 150 MPa
ポンプ流量	20 l/min

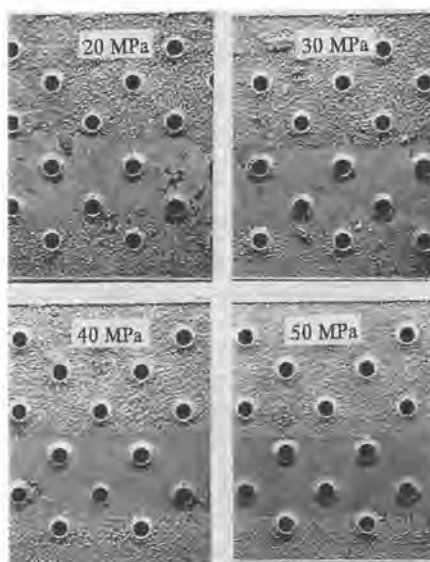


図2 ウォータージェットによるコンクリート洗浄

と汚れが残ることが示された。図2に送り速度60mm/sにおける洗浄例を示す。圧力20MPaではコンクリートが若干残り、40MPa以上ではコンクリートが完全に除去され、洗浄面の境界が鮮明に分かる。

同様の実験を他の付着物(塗料、吹付材、泥など)に対して行った。塗料を除去するにはジェット圧力が100MPa以上必要であり、アルミ足場板に損傷を与える危険性がある。吹付材および泥では40MPa以下で十分洗浄できる。したがって、塗料を除くと、ウォータージェットの洗浄条件として圧力40MPa以上、送り速度約60mm/s以下であれば、大部分の汚れを洗浄できることが示された。

#### 3. 2 超音波洗浄実験

超音波洗浄は機械部材の超精密洗浄方法の一つとして工業分野では広く使用されている。その原理は水槽内に設置した振動子から約25~100[kHz]の高周波数振動を発生させ、水槽内部に生じる微小気泡(キャピテーション)の崩壊圧力を利用して付着物を洗浄するものである。その洗浄エネルギーは局部的に非常に大きく、水に接触する全ての部材表面に作用するため外面から隠れた部分の洗浄も可能である。またゴム性の部材には超音波は作用し難い特徴がある。したがって、アルミ足場板の全ての表面に超音



波は作用するが、裏側のゴム性ストッパには影響を与えることなく、非常に最適な洗浄方法といえる。

超音波洗浄の能力を調査するため、コンクリートが付着した供試体（30cm平方）を図3に示す試験水槽に入れ、25～100kHzの超音波振動を与えた。実験に偏りが生じるのを防ぐため定期的に供試体を揺動した。



図3 超音波洗浄の実験装置概要

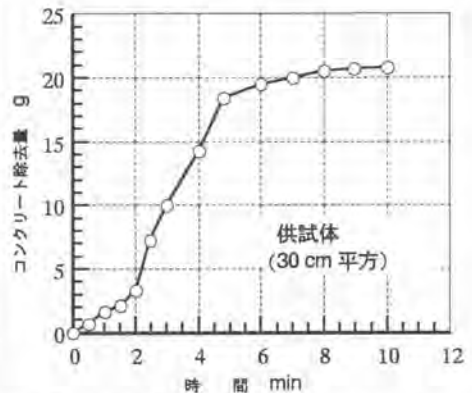


図4 波洗浄時間とコンクリート除去量の関係

図4に超音波洗浄によるコンクリート除去量と洗浄時間の関係を示す。洗浄開始後約2分までは除去量はわずかであるが、その後急激に増加して5～6分で除去量は飽和状態に達している。大部分のコンクリートは除去でき、部材に損傷根は確認されていない。図5に足場板の片がわ半分に超音波を与えた洗浄実験の結果を示す。足場板裏面の汚れがほぼ完全に除去でき、超音波洗浄されていない部分との差が明瞭である。ただし、超音波洗浄では足場板おもて面の一部分に厚く堆積した付着物を完全に除去するのは難しいが、付着物の上層を除去した薄層残留物の洗浄には非常に効果的である。なお超音波洗浄の能力は洗浄水の脱気度を高くするほど大きくなることが実験的に示されている。



図5 超音波洗浄による洗浄状態

以上の二つの実験結果を基に、ウオータジェットと超音波洗浄を結合させた実験を行った。この結果、まずアルミ足場板おもて面に付着した比較的厚いコンクリートをウオータジェットで除去し、その後超音波洗浄によって足場板全体の汚れを除去することが最も効果的な洗浄方法であることが示された。

#### 4. アルミ足場板自動洗浄装置の開発

##### 4. 1 洗浄装置の概要と構成

3章で検討した2つの洗浄方法を基に、アルミ足場板を対象とした自動洗浄装置の設計、製作を実施した。図6に洗浄装置全体の概略を示す。本装置は次の4つのシステムより構成さ

##### (1) ウオータジェット洗浄システム

高圧ジェット発生装置とウオータジェット洗浄室より構成される。高圧源はプランジャ型高圧ポンプ（吐出圧力40MPa）を使用し、三方向弁を切替え洗浄室に送られる。図7に洗浄室内部の概略を示す。洗浄室はジェットの反射とコンクリートガラの飛散を防止するため密閉防音構造であり、耐圧窓を通して内部の洗浄状況が十分観察できる。洗浄室内部には合計6本の回転ノズルが取付けられ、その4本は足場板表面を、残りの2本はアルミ板側面をそれぞれ洗浄する。ジェットのラップや干渉を抑制する

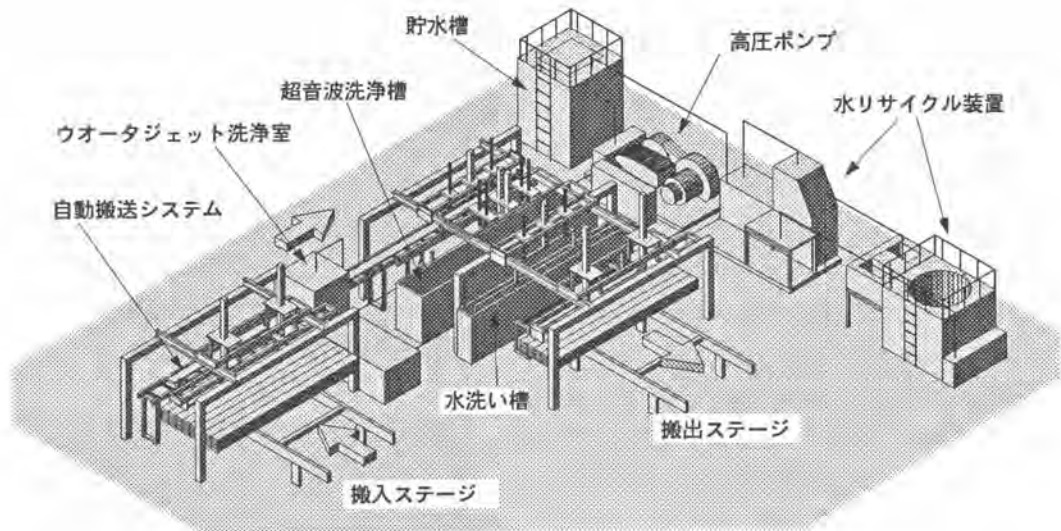


図6 アルミ足場板自動洗浄装置のシステム構成概略

ため、上部4本のノズルはちどり状に配置されてる。

図7で示した回転ノズルから噴射されるジェットに対し、一定の送り速度で足場板を移動させることにより、足場板おもて面および側面の汚れを瞬時に洗浄する。送り速度によって、洗浄効果を変えることができる。

### (2) 超音波洗浄システム

超音波洗浄槽と洗浄水処理装置から構成される。図8にシステムの外観を示す。洗浄槽は足場板全体を洗浄できる大型のオーバーフロー式タンク(長さ4.5m、幅0.5m、深さ0.5m)を使用する。その底部には14台の振動板が設置され、ここより超音波振動が発信される。洗浄槽の内部は3列に分割され、足場板は一度に3枚、搬送アームを介して順次3回洗浄される。超音波の洗浄効果を高めるため、水処理装置より超脱気水を供給し、キャビテーションの発生を活性化させている。

### (3) 自動搬送システム

ローラコンベアと6台のアーム式搬送ロボットを連続的に稼動し、足場板洗浄工程における搬入から搬出、整列を自動で行う。図9に搬送システムの例を示す。各ロボットは位置検出センサによるシーケ

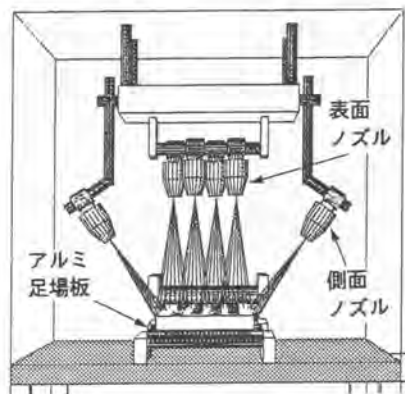


図7 ノズルおよびウォータージェット洗浄室



図8 超音波洗浄槽およびアルミ板の洗浄状況

ンス制御で運転され、洗浄条件に合わせて搬送速度を調整することができる。また、手動操作に切換える事により各ロボットを自由に操作することができ、必要に応じて集中洗浄が可能である。

#### (4) 洗浄水リサイクルシステム

各洗浄システムで使用された廃液は、図10に示す水処理装置によって浄化され再利用する。コンクリート微片を含む廃液はまず250 $\mu$ m以下のメッシュでろ過される。次いでポリマを添加し、マイクロダストを高分子化させて凝集沈澱を行う。その上澄み液は再度30 $\mu$ m以下のメッシュでろ過され、貯水槽に送られる。処理水は水質基準を満足している。

### 4. 2 本装置の仕様

#### (1) 仕様と予備設定

洗浄装置の仕様を表3に示す。予備設定として、アルミ足場板の長さおよび洗浄速度を選択する。通常、高速洗浄モードで処理するが、汚れが激しい場合にはウオータジェット洗浄効果を高めるため低速モードにする。アルミ足場板は100枚を1ユニットとし、連続3ユニットまで搬入でき、1ユニットの洗浄が終了すると、順次1ユニットが追加できる。1日の処理枚数は4mのアルミ足場板で約400枚であり、長さが短い3m、2mでは処理時間は早くなるため、400枚以上の処理が可能である。

#### (2) 洗浄工程

図11に本装置の洗浄工程および高速洗浄モードにおけるフローチャートを示す。足場板1枚は約6分で全洗浄工程を終了する。ウオータジェット洗浄が終了すると同時に次の足場板が順次洗浄され、その後約1分間隔で連続的に処理される。超音波洗浄は3工程に分けられ十分な洗浄時間を取って足場板全体の洗浄を行う。仕上げ工程として水洗いを行い、付着物を完全に取除く。全ての洗浄が終了した足場板は搬出ステージで整列され、仕上げ枚数はカウンタ計測され、データベースに記録される。



図9 自動搬送システム



図10 水リサイクルシステム

表3 洗浄装置の仕様

洗浄対象物	アルミ足場板 4m, 3m, 2m
洗浄速度	40枚/時(低速) 60枚/時(高速)
洗浄手法(1)	ウオータジェット洗浄 400気圧, ノズル6本
洗浄手法(2)	超音波洗浄 25[kHz], 14台
処理枚数	400枚/日

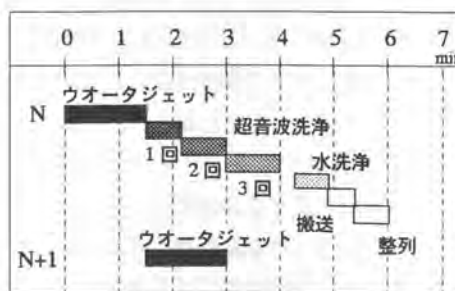


図11 洗浄工程とタイムチャート

### (3) 洗浄結果の評価

洗浄後のアルミ板の仕上げ状態は画像処理を利用して評価する。実画像を8ビットのデジタル濃淡画像として画像処理プロセッサに取込み、これを実験的に求めたしきい値で2値化(白黒)する。図12に実験による結果を示す。洗浄された部分と未洗浄の部分は輝度値に極端な差が見られ、これを統計的に処理することによって洗浄度を評価できる。

### 4. 3 装置の稼動状況

開発した洗浄装置は平成7年4月より、大林組東京機材センターに導入、設置され、実際の作業に使用されている。建設現場より返却されたアルミ足場板は予想をはるかに越える激しい汚れであるが、本装置の洗浄能力で十分処理することができた。図13にアルミ足場板の洗浄状況を示す。洗浄後、アルミ板にはコンクリート片およびその他の汚れは全て除去されていることがわかる。

現在、作業員1人が本装置の運転および管理を行い、仕様を満たす1日400枚以上の洗浄処理が達成されている。

## 5. あとがき

ウォータージェットおよび超音波を利用したアルミ足場板の洗浄方法を実験的に検証し、これを応用した自動洗浄装置の開発を行った。ウォータージェットの粗い洗浄と超音波の精密洗浄を結合することで、アルミ部材に優しい洗浄が可能となった。この装置を実際の作業に適用した結果、計画仕様を満たすアルミ足場板の洗浄が達成でき、さらに作業効率の向上、作業環境の改善が実現された。本開発は当社仮設機材課および東京機材センターの要請による。

最後に本装置の開発にはあたりご協力頂いた(株)荏原製作所遠藤課長および田中氏に深謝致します。

## 文 献

- (1) F. INOUE et al, A Practical Development of Automated Cleaning System for Construction Aluminum Scaffolding Boards, 13th Int. Symp. Automation and Robotics in Construction, Tokyo, Japan, 1996, 6.
- (2) 井上, 池田他, 建設場アルミ足場板自動洗浄装置の開発(第1, 2報), 日本建築学会大会, 1996, 9.

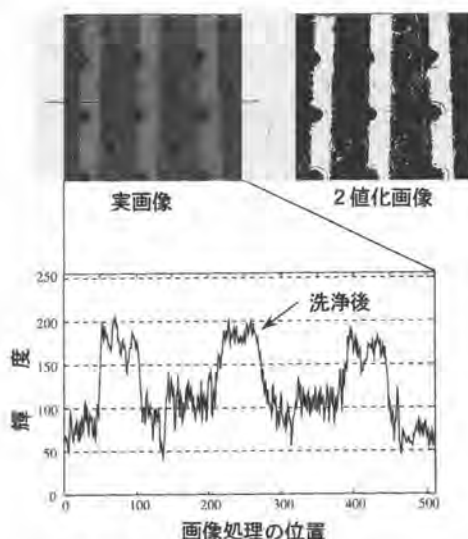


図12 画像処理を利用した洗浄評価実験

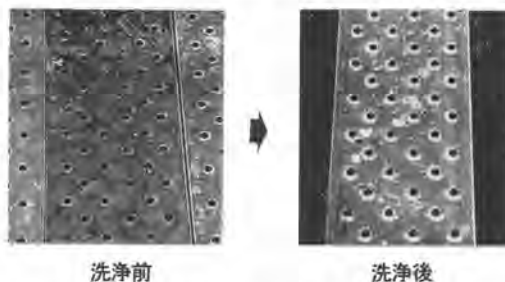


図13 本装置を用いたアルミ足場板の洗浄状態

## 27. ラジオ放送用アンテナ塗装ロボットの開発

大成建設㈱：\*村山 達雄，西村 正宏

### 1. はじめに

本システムはAMラジオ放送用アンテナの補修工事の効率化、工事期間の短縮、高所作業の削減、塗装品質の向上などを目的とした塗装ロボットである。

ラジオ放送用アンテナの多くは支線式円管柱と呼ばれるタイプのもので、数段に構成されたワイヤ支線によって支えられている。アンテナ本体は鋼管で作られており、経年変化によって塗装が剥げ落ちたり、錆が発生するので、定期的な保全のための塗装が必要となる。

この種のアンテナのうち送信電力の大きなもの（10kw以上）の補修塗装（再塗装）工事は、電磁界が塗装作業者に与える影響を考慮して、放送休止時間帯に実施している。工事は放送休止時間となる夜間になる場合が多く、さらにその時間は限られていること、高所作業を行なう塗装作業者の確保が難しいこと、作業工程が天候に左右されやすいことなどの課題を抱えている。

これらを解決するため、ラジオ放送用アンテナ塗装ロボットの開発を日本放送協会と共同で行ない、実用化した。

本報では、システムの概要、構成機器、組み込まれている特徴的な技術、工事への適用結果について報告する。

### 2. システムの概要

#### 2.1 ロボット作業の範囲

ラジオ放送用アンテナ補修塗装工事の一般的な作業内容とロボットに行なわせる作業の範囲を図1に示す。図1に示す作業のうち、素地調整（ケレン）作業やタッチアップ作業はアンテナ全域に対して連続して行なわれる作業ではないので、ロボット化による作業能率の向上が困難であり、塗装ロボットによる作業の対象範囲から外した。当ロボットの開発は補修塗装工事の主要作業である塗装作業のロボット化に重点をおき、下塗り材塗布作業から上塗り材塗布作業を対象範囲とした。

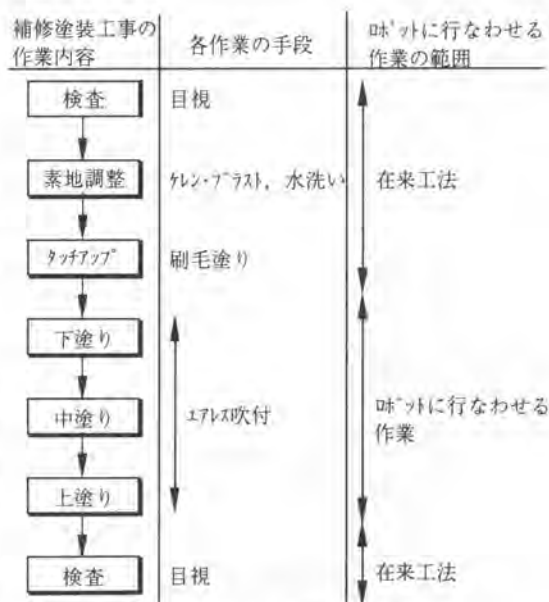


図1 ロボット作業の範囲

## 2. 2 システム構成

システム構成を図2に示す。本システムは昇降移動して吹き付け塗装を行なう塗装ロボット、塗装ロボットを昇降させるウインチユニット、システム全体を制御する制御ユニット、塗料を塗装ロボットに供給する塗装ユニット、および動力源のパワーユニットにより構成される。

その他の設備として、塗装ロボットにロープを中継するためにアンテナ頂部に取りつけるシーブ、ロボットの導入前に梯子に取り付けておく昇降用ガイドレール（作業者の墜落防止用、市販品）がある。

図2のように塗装ロボット、ガイドレールおよびシーブ以外の機器類は、すべて地上に設置される。

本システムの概要を以下に示す。

①塗装ロボットはロープで吊り下げられ、アンテナ頂部のシーブを介して地上に設置されたウインチにより、毎分2～24mの速度で昇降移動する

②塗装ロボットから伸びている塗装アーム上に搭載されるスプレーガンで、エアレス式塗装を行なう

③塗料は塗料ホースを介して地上からポンプによって圧送する

④1度の下降で、アンテナの全周または一部に対して1層の吹き付け塗装を行なう

⑤アンテナに取り付けられたガイドレールを利用して、塗装ロボットのアンテナに対する位置・姿勢を一定に保つとともに、ロープの弾性による上下方向の振動を減衰させる

⑥支線部および中間歩廊の開口部を通過する場合、塗装アームを背中側に開き、これらとの干渉を回避する

⑦作業に必要な周辺機器（塗料タンク・ポンプ、コンプレッサ、ウインチ、塗料ホースリール、制御装置など）は、アンテナ基部周辺の地上に設置する

⑧塗装ロボットと制御ユニット間の通信は、無線による双方向通信で行なう

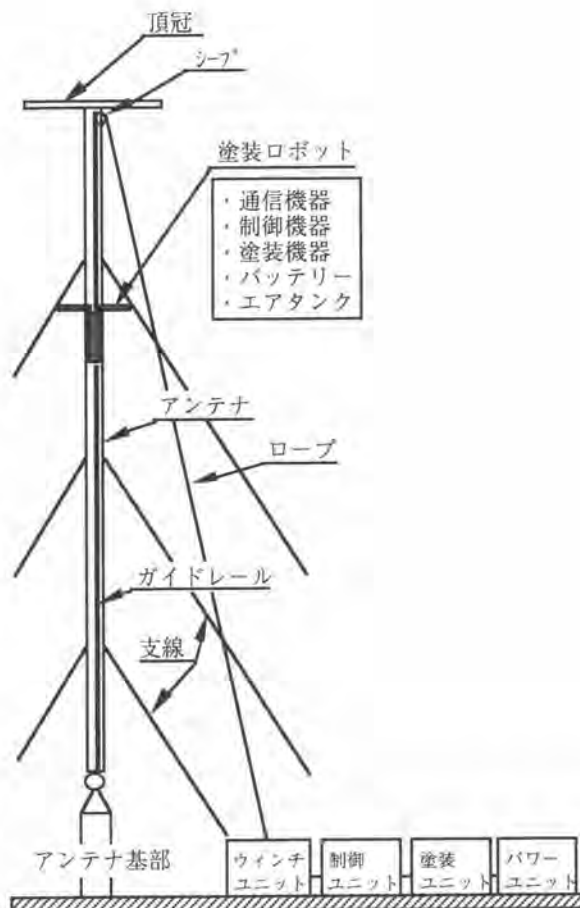


図2 システム構成

### 3. 構成機器

#### 3. 1 塗装ロボット

塗装ロボットは写真1に示すように、アンテナの中間部に設置されている回廊の開口部（作業者用）を通過するため、作業者とほぼ同じ大きさの胴体と塗装アームにより構成される。胴体の背中側にはエアレススプレーガンのノズルを開閉するためのエアタンクを装備しており、塗装ロボットの外寸（塗装アーム、エアタンクを除く）は高さ1,700mm、幅300mm、奥行き300mm、重量は約250kgとなっている。エアレス塗装方式は強風下での塗装作業が可能、装置が小型・軽量、機構が簡単などの特長があり、本システムに採用した。

塗装ロボットのアンテナへの昇降移動は、梯子に取り付けられたガイドレールをガイドとして行なう。ガイドレール内を転動する塗装ロボットのローラーが、ガイドレール内で前後・左右4方向の移動を拘束している。

ラジオ放送用アンテナは数段のワイヤ支線により支えられており、また塗装ロボットの上部に設けられた塗装アームはアンテナを取り囲む形状になっているため、昇降移動時にアームが支線と干渉する。これを避けるために塗装アームは可動式となっており、図3に示すように支線部分では塗装ロボットの背中側に開いて支線を回避する。

塗装ロボットの操作・制御は地上の制御ユニットより、特定小電力電波を用いた無線で行なう。また塗装アーム開閉などに用いる電源には、塗装ロボットに搭載されているバッテリーを用いる。



写真1 塗装ロボット

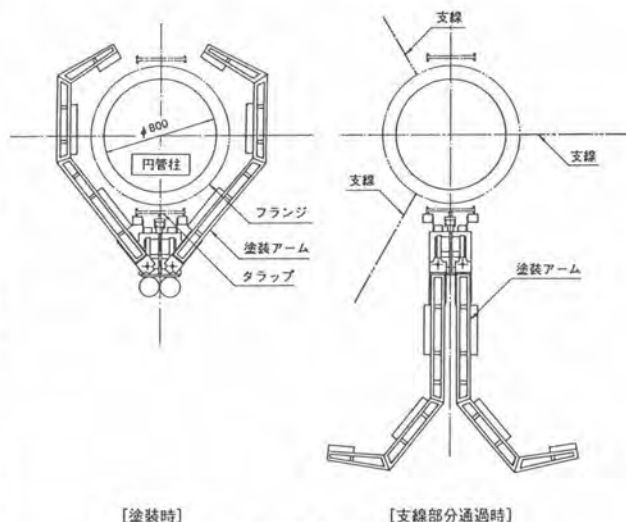


図3 支線の回避

### 3. 2 ウィンチユニットおよびロープ

地上に設置されたウィンチユニットにはインバータ専用電動機が搭載されており、制御システムからの信号に応じて塗装ロボットを2~24m/minの任意の速度で昇降させる。

ロボットを吊り下げているウィンチロープには、緊急放送時に送信されるAM電波に影響を与えぬように樹脂ロープを選択し、さらにロープの伸びが小さいアラミド繊維ロープ（ケブラーロープ）を採用することで、塗装ロボットの位置・速度制御を行ないやすくしている。

使用しているケブラーロープは表1に示すように、ナイロンロープの約9.5倍の弾性係数を持つ。

表1 ケブラーロープの特性

ロープの種類	弾性係数 (kg/mm <sup>2</sup> )
ケブラーロープ	5980
ナイロンロープ	630

### 3. 3 塗装ユニット

塗装ユニットは塗料を塗装ロボットまで圧送するためのポンプユニット、塗料ホースを電動で巻き取るホースリールユニットに分かれている。

塗装方式は塩化ゴム系の塗料を高圧（100~150kg/cm<sup>2</sup>）でノズルまで圧送し、ノズルより噴射・霧化させることで塗装を行なうエアレススプレー方式を採用している。また塗料ホースはウィンチロープと同様にAMラジオ放送に影響を与えぬように絶縁性のあるものを用いた。

塗料の付着効率は圧送圧力、塗料ノズルの口径、ロボットの下降速度、作業の環境条件などにより異なり、適正な圧送圧力や下降スピードなどの塗装仕様を模擬柱を用いた事前の塗装実験より決定した。

### 3. 4 制御ユニット

制御ユニットからの操作によりウィンチユニットの作動、塗装ロボットのスプレーガンの開閉動作、塗装アームの開閉動作などの各構成機器の制御を行ない、その指示は自動・手動操作を選択できる。また塗装ロボットはリモートコントローラを搭載しており、塔上の作業者によるスプレーガンの開閉動作や塗装アームの開閉動作が可能である。

制御システムと塗装ロボット間の信号伝達方式には特定小電力無線による双方向通信方式、リモートコントローラと塗装ロボット間には有線送受信方式を採用した。

## 4. 特徴的な技術

### 4. 1 制動装置（ダンピングシステム）

この塗装ロボットが作業対象とするアンテナは最大240mであるため、実際の施工においてはウィンチからロープ先端（塗装ロボット）までのロープ長は500mにも達する。このようにロープ長が大きい場合には、塗装ロボットが移動する際、ロープの粘弾性とウィンチ始動時の加速度による制御応答性が問題となる。これは、ロープの粘弾性を要因とするロボットの上下方向の振動に関する



ものであり、ロープ内の縦振動に伴い先端の重量物も振動するため、塗装ロボットの昇降速度は一定にならない。この塗装ロボットの縦振動は塗装品質に対し、塗装膜厚の不均一などの悪影響を及ぼす。この影響を軽減するため、塗装ロボットの内側（腹側）には、この上下方向の振動を抑えるための速度比例型の制動装置（ダンピングシステム）を搭載した。

図4に示すように塗装ロボットの内側に設置されたローラーは発電機と連結しており、このローラーをガイドレールに押しつけ、ロボットの昇降の際に生じる発電機の発生電流を抵抗に流すことで、ローラーの回転速度に比例した抵抗がローラーとガイドレール間に生じ、ロープの伸縮および移動開始時に発生する振動をすみやかに抑えて円滑な昇降移動を得ることができる。

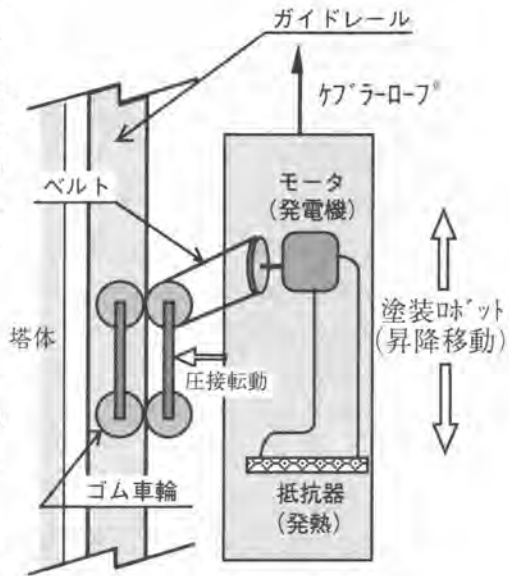


図4 抵抗発生装置

#### 4.2 塗装ロボットの軽量化

ロボットは地上から最大240mまで上昇するため、ロボットと地上間で連結されているケーブル・ワイヤ類が多いと、その重量はロボット本体重量に対し大きな割合を占める。これを避けるため、ワイヤレス化を積極的に取り入れて塗装ロボットの軽量化を図った。図5に示すワイヤレス化によりロボットと地上を連結するものは、吊りロープと塗料ホースのみとした。

軽量化の内容を以下に示す。

##### ①ロボットの電源

本体内に充電式バッテリーを搭載  
(約3日分の作業が可能)

##### ②塗装ガンの作動用エア源

本体背中に高压空気タンクを搭載  
(約1週間分の作業が可能)

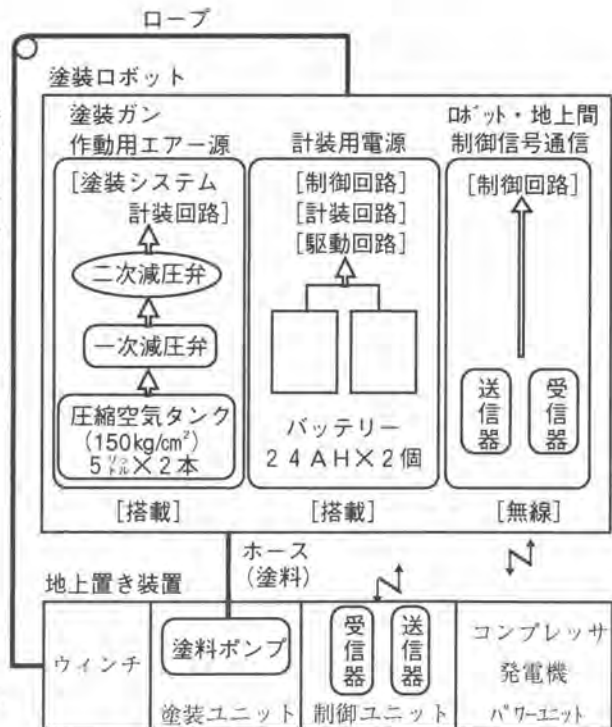


図5 ワイヤレス化

### ③地上とロボット間の通信

特定小電力無線による双方向通信

### ④構造

塗装アームおよび胴体をトラス構造

(すべてをアルミニウムで構成)

## 5. 工事への適用

### 5. 1 工事概要

本システムを適用したアンテナは高さが149.5m、直径800mmの円管柱形状で、3方に伸びる5段の支線により支えられている。ロボットによる補修塗装工事は1995年9月中の3日間の夜間放送休止時間帯(1:00AM~5:00AM)に、アンテナ基部から第2段支線までの高さ約50mの区間に対して、下地調整後の中塗りおよび上塗り(白及び赤)工程が行なわれた。

### 5. 2 塗装工事の状況

ロボットによる塗装作業はまず1日目に薄い桃色の中塗り工程を行ない、塗料ユニットの塗料を入れ換えた後、2日目に上塗りの白色塗料を全面に吹き付けした。前日と同様に塗料を入れ換えた後、3日目に赤色塗料を吹き付けた。このとき、2日目に塗装した白色部分との塗り分け部分には事前にテープによるマスキングを行なって、塗り分け境界部を仕上げた。上塗り工程の塗装状況を写真2に示す。

今回の工事にロボットを適用した結果、赤・白の塗り分け状況や膜厚、塗装ロボットの稼働状況および施工速度などは十分満足いくものであった。

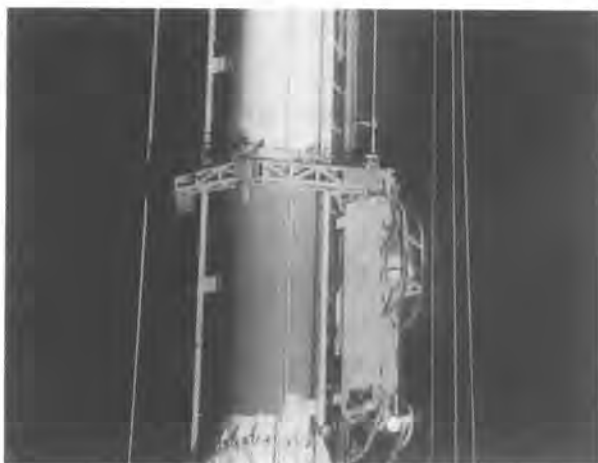


写真2 塗装状況

## 6. おわりに

本システムに含まれる要素技術は次に示す作業・用途への転用が可能と考えられ、今後さらに研究を進めていく所存である。

①塗装以外の作業(検査、下地処理など)への適用

②他の構造物(煙突、橋脚、送電鉄塔など)への適用

## 28. 仕上工事におけるロジスティクス一貫システム

大成建設㈱：田村 恵彦

### 1. はじめに

元来軍事用語であるロジスティクスが経営の世界に用いられるようになって久しいが、建築工事の実務の領域で用いられるようになったのは最近になってのことである。即ち、建設業の業務の進め方にこの用語が意味する兵站の考え方を当てはめて取り組んでみると、建築生産の合理化に寄与することが次第に明らかになってきたのである。従来、建設業では運搬の概念が実際に物を運ぶという意味合いで捉えられていた。従って、合理化に取り組もうとしても効果を上げるのが難しかった。しかし、上述した従来の運搬の概念に工事の計画や実施の方法を組み合わせた上で、更に兵站の概念を加えて建築工事の物流に取り組むと、単に物を運ぶだけではなく施工戦略的な意味が加わり、施工と物流の両面で合理化を進められることが分かってきた。以下に、建築生産に於ける仕上工事に的を絞ったロジスティクス一貫システムについて説明する。

### 2. 本システムの狙い

本システムは工事を合理的に進めるために「必要なものを、必要なときに、必要なだけ、必要な場所に」供給することを狙いとしている。

建築工事、特に超高層ビルの仕上工事は15前後のタクトに区分けして、15前後の階に亘ってさまざまな仕事が同時並行して行われる。しかも、そこでは数百種類の部品や材料が膨大な量使われる。この工事を合理的に進めるには上述した狙いが達成され、且つそこに必要な作業員と必要な機械や工具など、つまり生産に必要な資源を適切に配置供給することが前提条件になる。あとは、仕事の一つ一つのプロセスの中で人がどう知恵を働かし工夫をしていくかである。

### 3. ロジスティクスの範囲

ロジスティクスの意味を広義に解釈すると、上述した物の供給から人が知恵を働かし工夫するところまでになるであろう。本稿ではそこまで広げず、物の供給に的を絞っている。どのように施工するかと言った施工にまつわる領域は施工計画や施工要領などで扱った方が適切であると考えられる。しかし、仕上工事のタクト工程や全体工程を本システムの中の重要なデータとして活用する点を考慮すれば、それらの工程表は施工計画側で作成されるので、施工計画と密接な関係がある。

### 4. システム構築のポイントと適用理論

#### 4.1 ポイント

上述した狙いを達成するには4つのポイントがある。それらを次に示す。

- 1) 施工に必要な材料や部品を計画として把握でき、且つシミュレーションが出来ること
- 2) 物の搬出入がジャスト・イン・タイムに出来ること
- 3) 自動搬送が出来ること

4) 実施の結果をデータとして収集分析し、フィード・バックできること

#### 4.2 適用理論

上述した4つのポイントの中でも1)に示した事項が一番重要である。この点が理論的に曖昧であると、極論すればロジスティクス一貫システムは成り立たない。そうならないために、本システムに図1

に示すMRP (Material Requirements Planning) 理論を適用した。次に、この理論の概要を述べる。ある建物の設計が完了すると、その設計図から工事数量(製造業では部品表に該当する)を算出することが出来る。工事数量は材料や部品で構成される。ここに示される材料や部品をどの順序で手配すればよいかを手配基準(図1ではタクト工程)に従って割り付ければ、供給する順序が決まる。この段階ではまだ時間の要素を持っていない。そこで、工事数量と供給順序を組み合わせたものに時間の関数を持った全体工程計画を組み合わせることで「何を、いくつ、いつ、どこに」供給すればよいかを算出することが出来る。つまり、手配計画が出来上がることになる。施工がこの計画通りに進められれば、必要な材料や部品を施工場所に

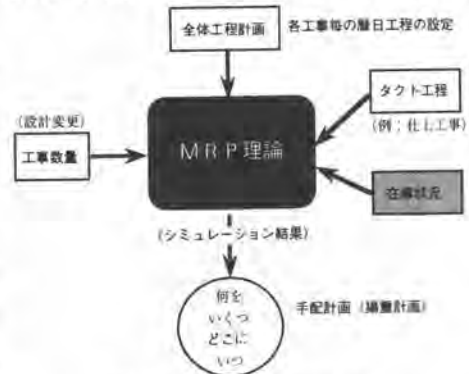


図1 建設業のMRPシステムの構造

ジャスト・イン・タイム供給できる準備が出来たことになる。

### 5. 本システムのシナリオ作りと具現化

#### 5.1 シナリオ

上述した4つのポイントを満足するシステムを作るに当たりシナリオを描いた。その要旨を述べる。まず、「必要なものを、必要な時期に、必要なだけ、必要な場所に」供給できる計画とそのシミュレーションができる。そのようにして最適化された計画に基づいて、物の手配や現場へのタイムリーな搬入、そして搬入された物の形状や重量に左右されず、一定の時間で搬送できる自動搬送システムを使い必要な場所に届けられるようにする。最後に、これらのプロセスで発生したデータを収集分析し、分析結果をその現場の搬送管理や施工管理、あるいは次の現場の計画などに活用できるようにする。

#### 5.2 具現化

シナリオを具体的に検討し、下記のシステムで構成されるロジスティクス一貫システムを開発した。その概要を図2に示す。

1) 揚重計画管理システム、2) 搬出入管理システム、3) 自動搬送システム、4) 施工データ管理システム

### 6. 各システムの概要説明

#### 6.1 揚重計画管理システム

揚重計画管理システムは上述したMRP理論をベースにして作られている。即ち、工事数量から導き出される細目別材料数量と工程表に基づいて揚重山積みを出力する「計画システム」と計画に基づいて揚重申込、調整、実施、データ収集と集計を行う「管理システム」及び両システムをサポートする「データベース」から構成される。

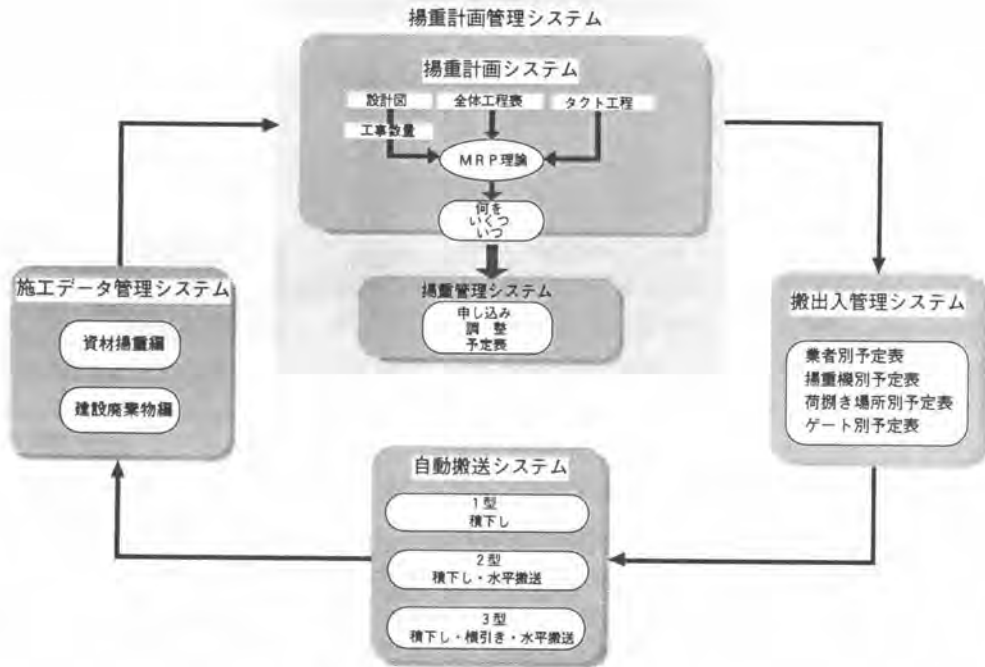


図2 ロジスティクス一貫システムの概要

### 6.1.1 計画システム

計画システムでは、先ず階別工区別の工事数量を入力すると、データベースにある材料歩掛りや揚重ユニット（単位揚重量）を用いて材料の揚重回数や発生する副産物を降ろす回数の自動算定をする。各々の揚重品目に対して、基準階仕上工程の中でどのタイミングで揚重すべきかを想定し、タクト工程上の「何番タクトの第何日」という属性情報を入力する（表1）。次に階別の暦日仕上工程表を入力すれば、前記の揚重回数と組み合わせられて揚重山積みが出力される（表2）。またデータベースからサイクル・タイムを自動計算し、揚重所要時間を表示する。

表1 材料・揚重回数・タクト一覧

階	日	材料名称	材料品質寸法	揚重回数(計)	別	備考
31-	31	ナ14材		3	3	-67%
05-	05*	ナ17材-1材		15	15	2 -1 建機
06-	06*	ナ17材-1材		47	24	2 -1 建機
					23	2 2 建機
30-	36	ナ17材-1材		15	15	2 -1 不二
05-	29	フ31材-1材		28	28	8 -2 建機
30-	36	フ31材-1材		28	28	8 -2 不二
05-	16	50種	片置き(2㎡未満)	10	10	3 -4 昭調
17-	36	50種	片置き(2㎡未満)	10	10	3 -4 建機
05-	16	50種	片置き(2㎡未満)	3	-3	15 -2 昭調
17-	36	50種	片置き(2㎡未満)	3	-3	15 -2 建機
05-	16	50種	両置き	4	4	3 -4 昭調
17-	36	50種	両置き	4	4	3 -4 建機
05-	16	50種	両置き	4	4	15 -2 昭調

表2 暦日揚重山積リスト

月	日	積重数	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
11	25	土	56																	
11	27	月	68																	
11	28	火	50																	
11	29	水	74																	
11	30	木	54																	
12	1	金	93																	
12	4	月	61																	
12	5	火	48																	
12	6	水	53																	
12	7	木	74																	
12	8	金	79																	
12	9	土	86																	
12	11	月	91																	
12	12	火	53																	
12	13	水	88																	
12	14	木	75																	
12	15	金	88																	
12	18	月	49																	

### 6.1.2 管理システム

管理システムでは、先ず申込段階で各専門工事業者の職長が計画システムから出力された揚重計画に

基づいて、パソコンで揚重申込みを行う。各専門工事業者の申込みを受けて、揚重専門業者によって運営される揚重センターで調整する。その結果を時間割り表として出力する。実施段階では、当日の変更分も盛り込んだ最新の時間割りに従って揚重を実施しながら実施データを収集し自動集計する。

## 6.2 搬出入管理システム

揚重計画管理システムや他のシステムで作成された計画を実作業に移す準備作業としてのつなぎの役割を果たし、資機材の手配や受け入れを行うシステムである。具体的には、日々の揚重予定や搬出入予定として決定された資機材を、後述する申し込みのプロセスを経て、更に細かくスケジュール化する。尚、システムはソフト及びパソコンとその関連機器で構成される。

### 6.2.1 搬出入調整システム

搬出入調整システムでは、先ず搬出入に係わる場所としてのキー・プランを作成する。キー・プランは一般的に1階の仮設計画図を元図として取り込んだ図面を基本にして仮囲、ゲート、導線（ルート）、荷捌き場所をプロットする。ここまでの準備が出来た上で、社員や職長がパソコンを使って明日又は一週間の予定として搬出入する資機材の申込みをする。申込みは「何を、幾つ、いつ、車何台で、どのゲートから、どの荷捌き場所に」搬入又は搬出するかなどを手順に従って行う。この際、他業者との重複の有無は考慮せずに自由に申込みことが出来る。重複して申込みれると、その部分がキー・プラン上に点滅表示されるので、重複した関係者間で干渉調整機能を使い調整を行う。調整が終わると業者別、ゲート別、荷捌き場所別、揚重機別の予定表が出力される。関係者は予定表に基づきFAXなどで手配をする。なお、揚重計画管理システム側で申込みれた搬出入データは本システムに自動的に取り込まれる。

### 2) 受入管理システム

予定表に基づき当日搬入される資機材がゲートに到着すると、運転手又はガードマンがゲートに配置されたパソコンでバーコード等により入場受付をする。入場時間やゲートが正しければ、入場指示書が自動発行されるので、運転手は指示書に示された導線を通して指定された荷捌き場所に行く。また、指示書が発行されると同時に、申込み時に登録された荷受人が電話や場内放送で自動的に呼び出される。荷降ろしや荷積みが終わると、ゲートで運転手又はガードマンが退場登録をする。これにより入場から退場までの時間や搬入品目などが実績として自動記録され、集計される。

## 6.3 自動搬送システム

搬出入管理システムを介して搬入された資機材を予定に準じて、一定のサイクル・タイムで垂直と水平に自動搬送するシステムである。システムは5つの装置で構成される。その概要を図3に示す。

次に、1サイクルの動作の説明をする。トラックで運ばれてきた荷をフォークリフトで荷取りし、1階の高速リフト（1）の前の所定の位置に荷降ろす。搬器が1階に到着すると、シャッター・ゲート（2）と搬器の扉（以下両扉と称す）が自動的に開き、リフト・イン・フォーク（3）が荷取りして搬器に戻る。戻り終わると、両扉が自動的に閉まり、搬器は行き先階へ向けスタートし、その階で自動停止する。停止すると、両扉が自動的に開き、リフト・イン・フォーク（3）がスタートし、所定の位置に荷を降ろして搬器に戻る。搬器に戻った信号を受け、トランスファー・フォーク（4）がスタートし、荷取りして居室（事務室部など）の所定の位置に荷降ろしする。そうすると、最後に水平自動搬送

システム（5）がスタートし、荷取りしてストック・ヤードまで搬送して、順次並べて置いてくる。

## 6.4 施工データ管理システム

現場で発生するデータを発生時点で収集し、分析結果を搬送管理や次の揚重計画などに活用するシステムである。

### 6.4.1 システムの構成

本システムはソフトとデータ収集装置とパソコンで構成される。その内訳は次のようになる。1）ソフト（施工データ管理システム）、2）データ収集装置（バーコード・リーダー及びバーコード表）、3）パソコン（データ収集携帯端末及び集計分析用パソコン）

### 6.4.2 データ収集方法

施工データ管理システム（揚重編）におけるデータ収集は必須の入力項目と必要に応じて入力する項目になっており、現場の管理の仕方に応じて入力項目を使い分けることができる。前者は業者名、揚重品目、発階、着階、揚重回数の5項目であり、後者はゴミ台車数、揚重予約の有無、合積みの有無になっている。時間に関するデータ、つまり日付や所要時間は携帯端末に内蔵されているタイマーの活用により自動的に記録される。入力作業はバーコード・リーダーを使い、人荷エレベータや建設用リフトのオペレータが行う。オペレータがこの作業を行うことによるオペレーション作業への悪影響や負担の増加は全くない。

### 6.4.3 データ分析

収集されたデータは集計され加工分析された後、当該作業所で活用する揚重管理用と次の計画やそれ以降の計画への活用あるいはデータベースとして蓄積する実績分析用の情報になる。分析結果、次のようなものが作成される。揚重管理用は業者別揚重月報（費用の清算に活用）、フロア別揚重回数（工事の進捗管理に活用）、ゴミ台車回収月報（廃棄物処理費の清算に活用）、リフト別揚重月報（リフトの負荷の配分に活用）であり、実績分析用は品目別揚重回数、品目別揚重歩掛、品目別揚重機割合、月別揚重回数である。

## 7. 実施例

本システムを当社の横浜支店MM2 1中央地区2 4街区作業所の仕上工事に平成7年9月25日から平成8年5月31日の約8カ月間活用した。それが現場でどのように実施されたかを任意の日（ここでは平

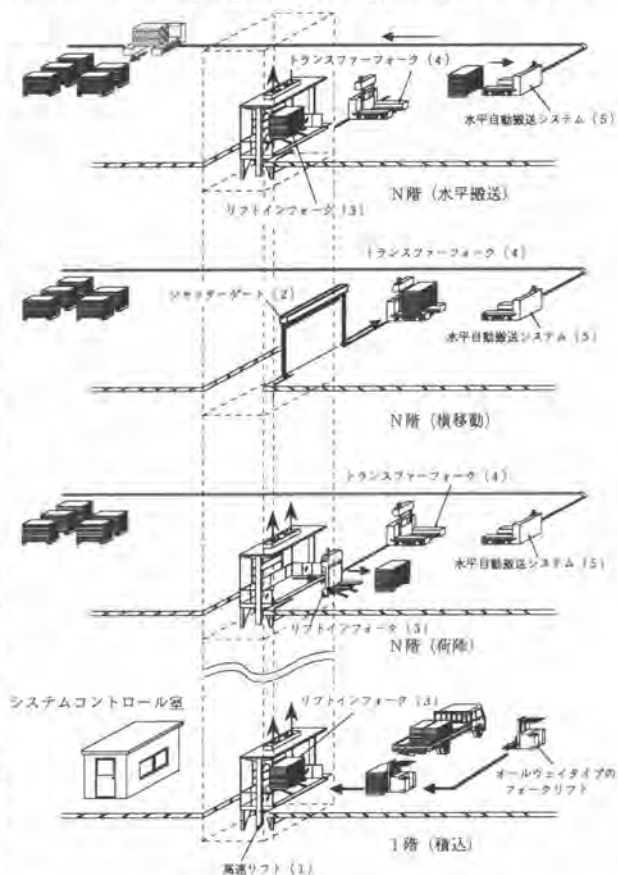


図3 自動搬送システム概要

成7年11月9日(木曜日)の例で説明する。

まず、揚重計画システムから計画情報がファイルで得られ、計画通りであればそこに時間情報などを  
入れて申し込む。計画変更や追加が合った場合も同様である。その結果、揚重予定表ができ上がる。こ  
の表が搬出入システムに転送され、6.2.1で説

明した業者別予定表などの予定表に置き変わる。予定に従って搬入されると、自動搬送シ  
ステムで揚重される。揚重された結果を施工  
データ管理システムでデータを収集する。こ  
の日は79回であった。次に実施例の総括と  
して、当該工事での仕上工事に於けるロジス  
ティクス一貫システムの適用結果の要約を述  
べる。揚重計画システムで計画として作成さ  
れた総揚重回数は13905回である。この計画  
に対し、日々の実施を上述した施工データ管  
理システムでデータを収集し、集計した結果  
本システム適用の対象になった品目の総揚重  
回数は14975回である。これは計画より7.7%  
多かったことになる。この程度の誤差は現段  
階では許容値と考えてよいと思う。最後に、  
合理化の度合いを在来の方法との比較で評価  
する。表3から明らかなように本システムを  
適用すると、在来の方法に比べ総所要時間で  
約60%の合理化を達成できたことが分かる。

## 8. おわりに

これまで、仕上工事に於けるロジスティクス一貫システムについて、その狙いから開発そして現場へ  
の適用結果までを述べたが、狙いがジャスト・イン・タイムであるなら、分単位あるいは秒単位で内容  
を捉えていないではないかとお叱りを受けると思う。その点を補足する。製造業と建設業では仕事を処  
理していく速度が違う。建設業は、例えば上述した揚重計画に於て日単位で捉えても支障がないし、ま  
た搬出入管理で10分単位で捉えても現場の施工速度との関係から判断すると、現状では支障がない。こ  
のように施工速度と物の供給速度が合っていれば、これまでに述べてきたロジスティクス一貫システム  
は十分に成り立つと考える。今後、多くの実績と研究を重ねより良いシステムにしていく所存である。

## <参考文献>

田村恵彦：揚重計画管理システムを核にした搬送合理化（1996年、建築技術3月号）

表3 ロジスティクス一貫システム合理化評価

システム	作業項目	在来方法		ロジスティクス一貫システム	
		内容	所要時間	内容	所要時間
揚重計画システム	揚重荷姿の確認	調査	40	データベースを利用	0
	揚重回数の算定	手計算	2	自動計算	0
	毎日揚重計画の作成	手集計	10	自動計算	0.5
	データ入力			コンピュータ入力	8
	小計(1)		52		8.5
施工データ管理システム	データ入力	手入力	800	データ転送	8.0
	日報作成	手集計	128	自動出力	0.16
	データ集計分析	手集計	107	自動出力	0.03
	小計(2)		1035		8.19
	搬出入管理システム	予定表作成、手配確認	手作業	80	自動出力
到着後の手続き		照とY-1確認、運轉	480	検索、自動呼出	72
荷降ろし場所への誘導と揚重準備		誘導と準備	240	案内図と予定表を利用	0
日報作成、データ集計		手作業	160	自動出力、集計	14.4
小計(3)			960		89.6
自動搬送システム	センター長	1人	1280	1人	1280
	作業員	積降作業員兼務	0		
	高速リフトの運轉	1人	1280	0	
	システムコントロール	0		1人	1280
	フォークリフトの運轉	1人	1280	1人	1280
	1階での積み降ろし	4~6人	5120~7680	0	
	荷補償での荷降ろしと水平移動	4人	5120	2人	2560
小計(4)	11~13人	14080~16640	5人	6400	
総合評価	合計(1+2+3+4)	A=16075	18635	B=6498	
	合理化時間(A-B)		7582	12137Hr	



## 29. 植物廃材処理システムの提案

建設省四国技術事務所：岩澤 委式，\*二川 義人  
伊藤 昭宏

### 1. はじめに

従来、街路樹や中央分離帯に施工されている低木列植栽等の道路植栽の剪定作業に伴って発生する剪定枝葉（植物廃材）は、収集・運搬の後に焼却処理されていた。しかし、地球温暖化現象などグローバルな見地での環境問題が叫ばれ、廃棄物処理法が改正された現在では、野焼き等の焼却処理が難しくなった。また、資源の有効活用・再生利用促進の観点からも、剪定によって発生した植物廃材の有効活用が必要となっている。

加えて、従来の道路植栽の剪定作業は、植栽の剪定・植物廃材の収集・ダンプトラックへの積み込み等、ほとんどの作業が人力主体で行われていたため作業効率が悪く、また、現道上での作業であり、危険を伴う重労働作業であった。

このような背景のもと四国技術事務所においては、道路植栽剪定作業の効率化と植物廃材の有効活用を目的とした最適処理の体系化に取り組んでいるので、ここに紹介する。

### 2. 体系化の概要

現在取り組んでいる植物廃材処理の体系化の概要は、図-1のフローに示すとおりである。

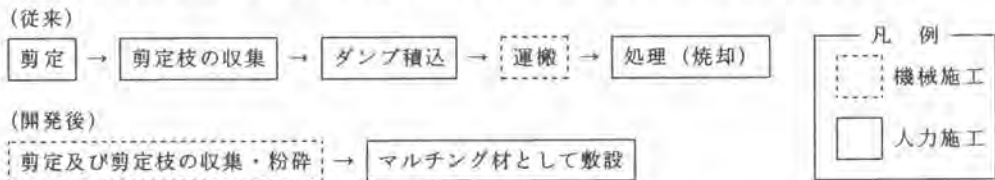


図-1 植物廃材処理体系（処理システム化）

本開発によるメリットとしては、下記があげられる。

- ・作業効率の向上と、重労働作業の解消 → 省人化と経費節減に寄与
- ・植物廃材の積み込み・運搬・焼却処理作業の省略 → 省力化と省エネに寄与
- ・資源の有効活用とその二次的効果 → 環境保護と雑草の発芽成長の抑制効果ほか

### 3. 要素技術の開発

#### 1) 街路樹剪定機及び集枝粉碎機の開発

剪定作業の機械化を図るために四国技術事務所では昭和59年度よりハンドガイド式の街路樹剪定機（写真-1）を開発し、四国管内全域で使用してきたが、作業能率の向上と、より一層の作業環境改善が望まれ、平成2年度より自走搭乗式街路樹剪定機（写真-2）の開発に着手した。自走搭乗式街路樹剪定機は平成6年度に完成し、平成7年度には実用機第1号が香川工事事務所に導入

された（写真－3）。平成7年度からは、道路面に散乱する剪定クズの収集と同時に粉碎が行なえる集枝粉碎機の開発を実施している（写真－4：試験用機械）。



写真－1 ハンドガイド式街路樹剪定機



写真－2 自走式街路樹剪定機及び集枝装置



写真－3 自走搭乗式街路樹剪定機  
(香川工事事務所所有)



写真－4 集枝粉碎機 (試験用機械)

表－1 自走搭乗式街路樹剪定機の主要仕様及び特徴

主 要 仕 様		機 能 及 び 特 徴
全長	2,992mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>・剪定装置は剪定精度の高い大型バリカン刃を装備しており、水平、垂直面を同時に剪定できる。</li> <li>・剪定枝葉を道路面まで排出する機構を有しており、排出機構は、水平剪定面においてはチェーンコンベアによる横送り方式を、垂直面においては自由落下した剪定枝を回転円盤で受け、遠心力で道路面に排出する方式を採用している。</li> <li>・走行及び作業装置の駆動は、それぞれ単独の油圧ポンプによる油圧駆動方式を採用している。</li> <li>・総輪駆動であるため、走行安定性に優れている。</li> <li>・2トン車による輸送が可能である。</li> </ul>
全幅	1,750mm	
全高	2,300mm	
重量	1,600kg	
エンジン型式	水冷ディーゼル4気筒	
総排気量	1,906cc	
最高出力	41.5PS/3,000r.p.m.	
駆動方式	4輪駆動	
剪定刃型式	大型バリカン(刃長5.5m、刃山調整)	
水平剪定刃長さ	1,200mm	
水平剪定範囲	地上高500mm～1,200mm	
垂直剪定刃長さ	1,000mm	
垂直剪定範囲	地上高150mm～1,250mm	
剪定速度	1～4km/h	
移動時最高速度	10km/h	

自走搭乗式街路樹剪定機を導入することにより、時間当たり作業量が従来のハンドガイド式と比較して約1.5倍に改善され、結果的に路上作業時間並びに交通規制時間の短縮と作業員の疲労軽減が期待できる。また、市販のブラシ式清掃機を改造した集枝装置(写真-2、画面右参照)と組み合わせることにより、植物廃材の集枝清掃も機械化が可能となったが、夏季の生い茂った街路樹の剪定時には植物廃材の体積も多量であるため、20~30mに1回は剪定作業を中断して、収集した植物廃材をダンプトラックに積み替える作業をしなければならないことと、剪定速度を速めると集枝能力が不足して補助清掃作業が必要となる等の問題がある。これらは、集枝粉碎機の開発に際して避けて通れない課題と認識している。

集枝粉碎機は、ブラシ式清掃機と粉碎機を一体化し、路面上の植物廃材を連続集枝しながら粉碎するものである。平成7年度に管内の代表的な5種類の街路樹を試料として粉碎の可否等の基礎試験を実施した後、試験機を製作し、集枝→粉碎→排出(回収)の一連作業を構内試験により実施した結果、集枝部から粉碎部への送り込み部の構造と、粉碎能力の面で課題が発覚した。平成8年度には送り込み部に1次粉碎機構を取り入れ、また、粉碎能力も増強し、街路樹剪定機の剪定作業速度に追従可能な試作機を製作する予定である。

集枝粉碎機の開発目標及び作業イメージ図を図-2に示す。

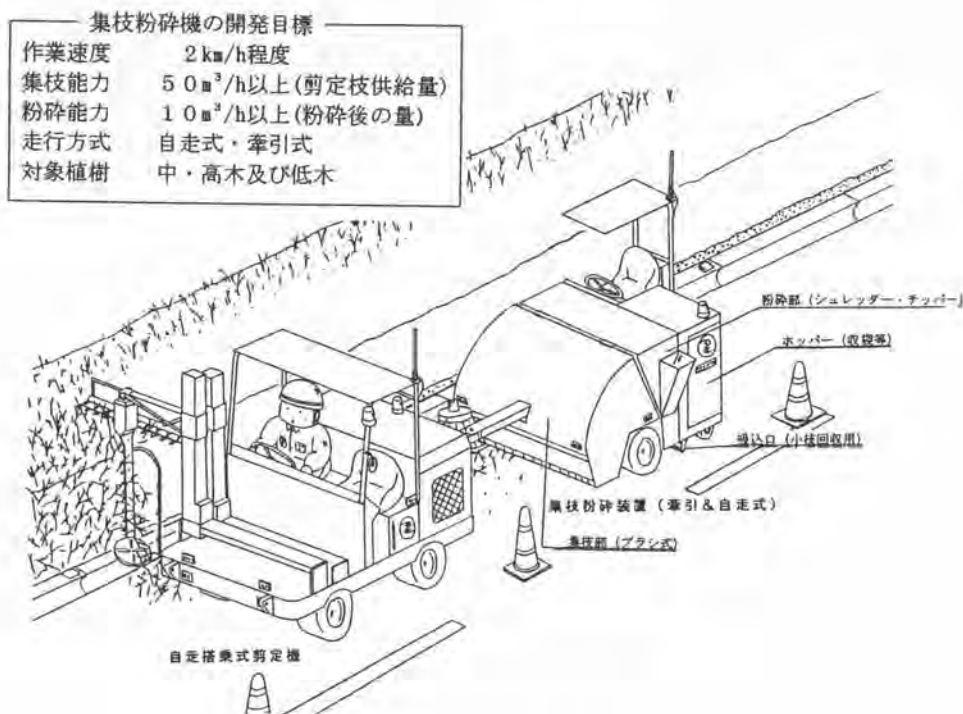


図-2 集枝粉碎機の開発目標及び作業イメージ図

## 2) 緑化廃材マルチング試験

### ①概要

マルチングとは、畑の乾燥や霜害防止などのため、作物の根元にわらやビニールをかぶせる栽培法のことであるが、わらやビニールの代わりに粉碎した植物廃材をマルチング材として植栽の根元に敷設した場合の効果を調査するために、平成7年1月より高松市郊外の国道32号円座バイパスにおいて、中央分離帯1アイランド分を使用して「緑化廃材マルチング試験」を行っている。



写真-5 緑化廃材マルチング試験

本試験では、剪定した植物廃材を粉碎しただけの生のものと、粉碎後、腐熟・堆肥化したものとをそれぞれ5cmと10cmの厚さで長さ25mづつ、計100mにわたって中央分離帯低木列植栽根元に敷設した。植物廃材をマルチング材として街路樹の根元に敷き詰めることにより、雑草の発芽成長の抑制効果、土中水分の蒸発散防止、雨水の浸透助長、表土の固化防止、有機肥料効果、土中の昆虫や微生物の活動を助長するなど多くの効果が期待されるが、特に雑草の発芽成長の抑制効果に注目して観察を行っている。なお、雑草等の種子は、覆土厚8cm以上で極端に発芽率が低下することが実験により確認されている。

### ②経時変化

平成7年1月から平成8年1月までの1年間の経時変化は以下のとおりである。

施工からおよそ半年経過した平成7年7月24日(写真-7)の観察では、マルチング材施工部に雑草はほとんど観察されなかったが、マルチング材非施工部には雑草が生長しつつあるのが観察された。

さらに1ヶ月余り経過した平成7年9月4日(写真-8)には、施工部にはまだほとんど雑草が観察されないのに対し、非施工部には一面に雑草が観察された。

平成7年10月9日(写真-9)には、施工部にわずかの雑草が観察されるが、繁茂しているということはないのに対し、非施工部ではかなり草丈の高くなった雑草も多く観察された。

施工からちょうど1年経過後の平成8年1月26日(写真-10)には施工部では相変わらず雑草はほとんど観察されないのに対し、非施工部では11月頃に観察場所周辺の除草が行われたにもかかわらず、早くも雑草が観察された。

以上1年間の観察から、マルチング材施工部と非施工部では雑草の生育状況に明らかな違いが生じることが判明し、街路樹根元にマルチング材を敷設することにより雑草の発芽成長が大幅に抑制されることが確認された。

なお、敷設素材としての“生のもの”と“堆肥化したもの”との差異については、街路樹の生育状況・雑草の発芽成長など、いずれの面からも両者の間には観察されなかった。

また、施工時に10 cmと5 cmの厚さで敷設したマルチング材は、1年後にはそれぞれ5～6 cm、4～5 cmの厚さに減少しており、今後は、敷設厚の違いによる長期的な効果の差異について観察を継続する予定である。ちなみに、10 cm厚に敷設した木本系植物廃材が完全に腐熟消滅するには、概ね10年を要するとの報告がある。



写真-6 平成7年 1月26日(施工直後)



写真-7 平成7年 7月24日(6ヶ月後)



写真-8 平成7年 9月 4日(8ヶ月後)



写真-9 平成7年10月 9日(9ヶ月後)



写真-10 平成8年 1月26日(1年後)

#### 4. おわりに

現在のところ、街路樹剪定機等の施工機械の開発及び植物廃材のマルチング材としての活用等の面において植物廃材処理の体系化を実現するに十分な手応えを感じている。今後は集枝粉碎機の実用化を第一目標に、既開発の要素技術についてもそれぞれの検討・改良を繰り返し、より完成度の高い処理体系の構築を目指す予定である。

## 30. 浚渫土砂脱水システムの開発と施工例

大豊建設(株)：\*大場 弘明, 神山 隆

### 1. はじめに

田子の浦港は、静岡県駿河湾最奥部にあり、富士山南側を流れる沼川と西部を流れる潤井川の合流点に建設された「掘り込み式人工港湾」で、昭和33年より10余年の歳月をかけて完成した。

開港当時から、河口港の宿命として河川からの土砂、夾雑物が流入している。特に当地の主産業である製紙工場群からの浮遊物の流れ込みと、潤井川から流入する、富士山西麓の大沢崩れの土砂の影響が大きい。

そのため静岡県田子の浦港では港湾管理上、維持浚渫を余儀なくされており、なかでも昭和46年から昭和55年にかけては、港内の堆積土砂の除去及び、水質悪化を改善するため公害防止対策事業として約182万 $\text{m}^3$ の浚渫を行う大事業を実施した。

近年、流入河川の野溪対策の伸展、製紙工場群の排水水質の改善などにより、港内堆積土砂は当時に比べて減少傾向にあるものの、港湾の機能を維持し洪水の疎通能力を増し、更に入港船舶の大型化に対応するためには今後共、毎年十数万 $\text{m}^3$ もの浚渫工事を続ける必要があると思われる。

### 2. 浚渫土砂の処理状況

従来、浚渫土砂は、グラブ船で浚渫し、セメント系固化材で固化処理して相当期間仮置き措置した後、富士山麓等、近隣で埋立処分を行ったり、又、一部は海上運搬して県外へ処分している。

しかし、現在のセメント固化処理方法では、再利用には制約があり、処分地の確保には限界がある。このことから、新しい処理システムを開発したものである。

### 3. 脱水処理システムの開発

浚渫土の処理については、いままで多くの提案や試験が行われたが、堆積した土砂の中にはカン、ビン、プラスチック製品、ビニール製品、落ち葉、パルプ原料のチップ等の有機物、ワイヤー、タイヤ、自転車などのゴミが多量に混在しており、これらの分別除去が困難であった。

今回、開発した脱水処理システムは、スラリー圧入圧40 $\text{kgf/cm}^2$ の高圧フィルタープレス（脱水機）を中心に、浚渫土砂の前処理装置として、ビン、缶等を破碎するとともに、浚渫土を整粒して、スラリー状にする解こう機と骨材・ゴミの分別装置を組み合わせたプラントで、システムの連続運転とゴミの混入しない良質な脱水ケーキを生産することに成功した。

工法の特徴は下記のとおりである。

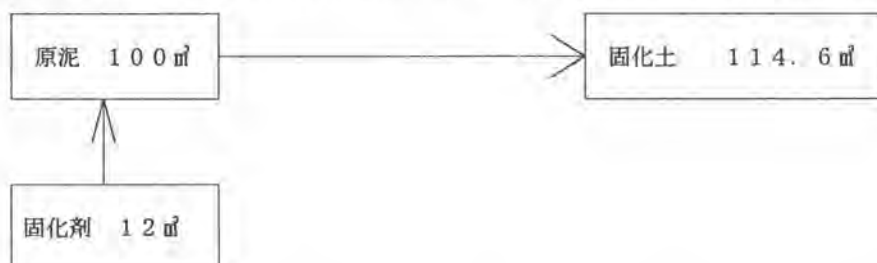
- 1) 浚渫土砂を大幅に減容できる。
- 2) 前処理で砂、砂利、ゴミと分級するため、長時間の連続運転ができる。

- 3) 前処理とスラリー調整のための加水により、脱水ケーキの塩分を減少できる。
- 4) 分級した砂、砂利は建材等に利用できる。
- 5) 脱水ケーキは、盛土材や畑土など広い範囲に利用できる。

#### 4. 在来工法と本工法の比較

##### a) 在来工法

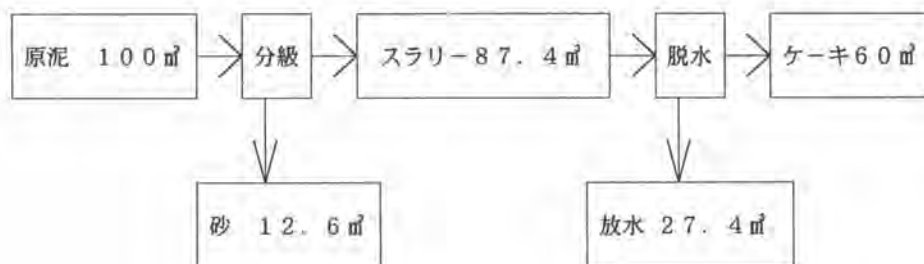
在来の固化処理工法は浚渫土量より増加し、全部埋立処分となることから処分費が高くなる。



##### b) 本工法

本工法は砂・砂利を分級して取り出し、脱水ケーキは再利用可能なうえ発生量は約60%に減少する。

※数字は当工事の参考値



#### 5. 処理プラントの概要

運転処理能力 150 m³/day (作業時間 前処理：8時間、脱水：15時間)  
 (最大処理能力 200 m³/day フィルタープレス2台)  
 (敷地面積 1,500m²)

##### a) 前処理設備 (解こう機・分別機等)

前項で述べたとおり、浚渫土の中には種々のゴミが混入しており、その除去方法が大きな問題であったが、当プラントでは解こう機という機械を使用して満足できる結果を得た。

解こう機は内部が鑄鉄製の凸部を持っており、これを回転させて混在するあらゆるゴミの粉碎、すりつぶし等の工程を同時にできる。そのため、後に続く振動篩とサイクロンによる分級作業が確実にでき、良質なスラリーを脱水機に供給でき、システムの連続運転を可能にした。また、脱水作業に適する泥水濃度約20%のスラリーを作るため真水を加水することで、脱水ケーキの減塩効果が得られる。



表-1 解こう機 (HS-1) の仕様

解こう能力 (t/hr)	外側電動機 (kw)	内側電動機 (kw)	外形寸法 (m)
19 ~ 38	22 ~ 30	30 ~ 55	4.6×6.0×2.2H

b) 脱水機 (高圧フィルタープレス)

脱水機は、田子の浦港の浚渫土砂から砂分を分級したスラリーを、短時間で低含水率の脱水ケーキをつくる高圧フィルタープレスを採用した。この脱水機は従来にはない高圧のため、凝集剤を節約出来るとともに、良好な粒度分布の土砂に対しては、凝集剤を使用しなくても脱水可能な能力をもっている。

表-2 高圧フィルタープレス (P-120-280) の仕様

高圧打込ポンプ部				高圧フィルタープレス部							
最大吐出圧 kgf/cm <sup>2</sup>	最大吐出量 m <sup>3</sup> /hr	使用モーター kw	外形寸法 m	濾過圧 kgf/cm <sup>2</sup>	ケーキ厚 mm	濾室容量 m <sup>3</sup>	濾過面積 m <sup>2</sup>	濾室数 室	濾板寸法 mm	使用モーター kw	外形寸法 m
40	22	22 5.5	2.9×4.5 ×2.4H	40	23.5	3.2	283	122	1200	計 6.45	9.8×2.2 ×2.5H

(重量 95t)

c) 脱水プラントフロー図

脱水プラントの処理フローを図-1に、全体平面および断面を図-2、3に示す。また全景を写真-1に示す。

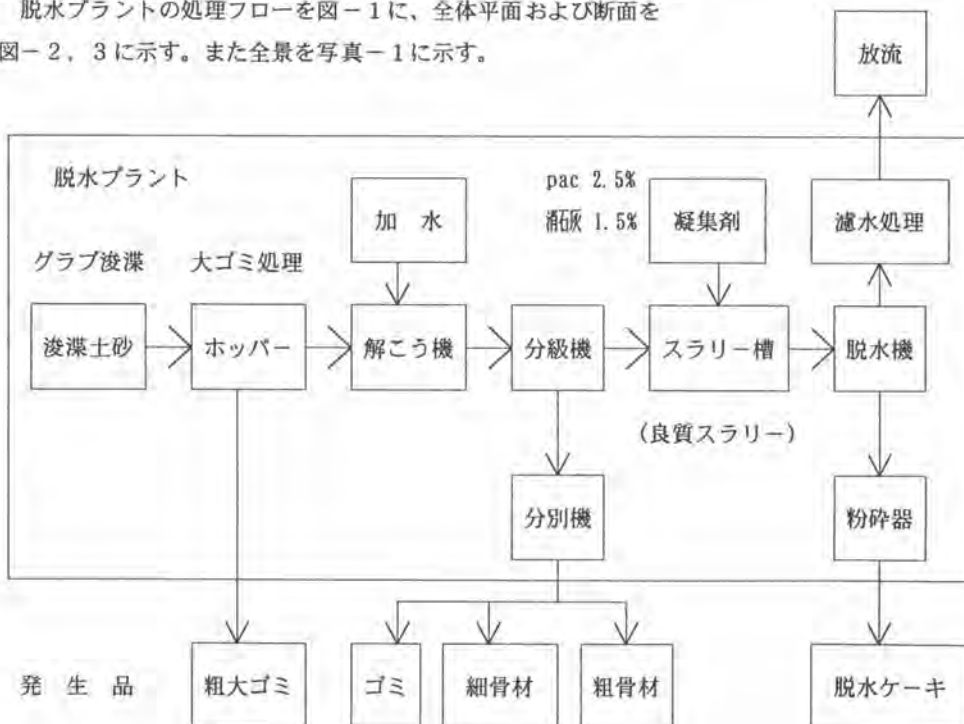


図-1 脱水プラントフロー図

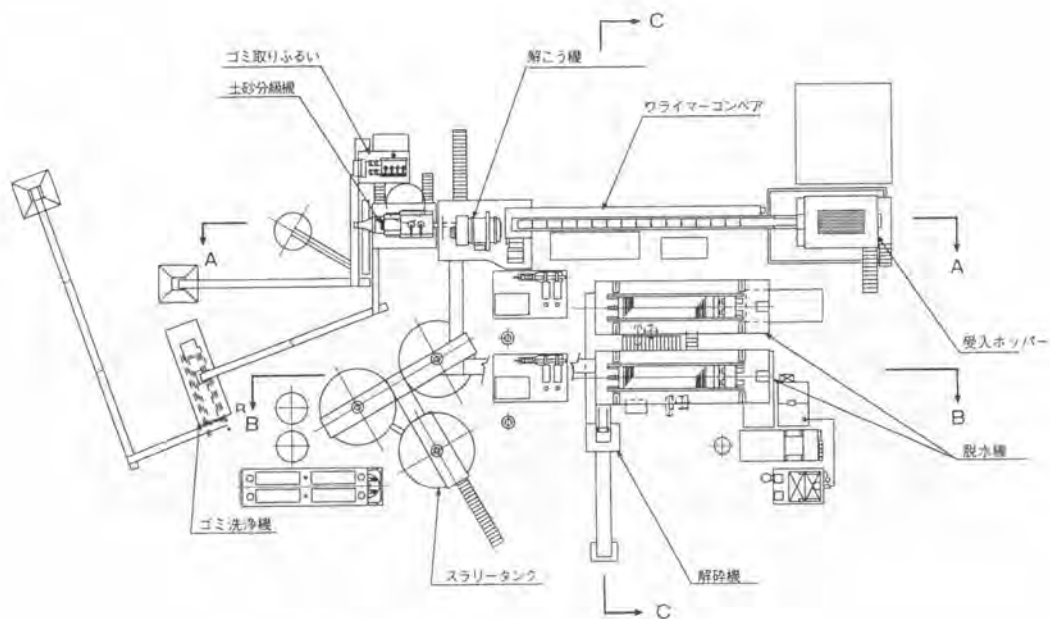


図-2 浚渫土砂脱水プラント平面図

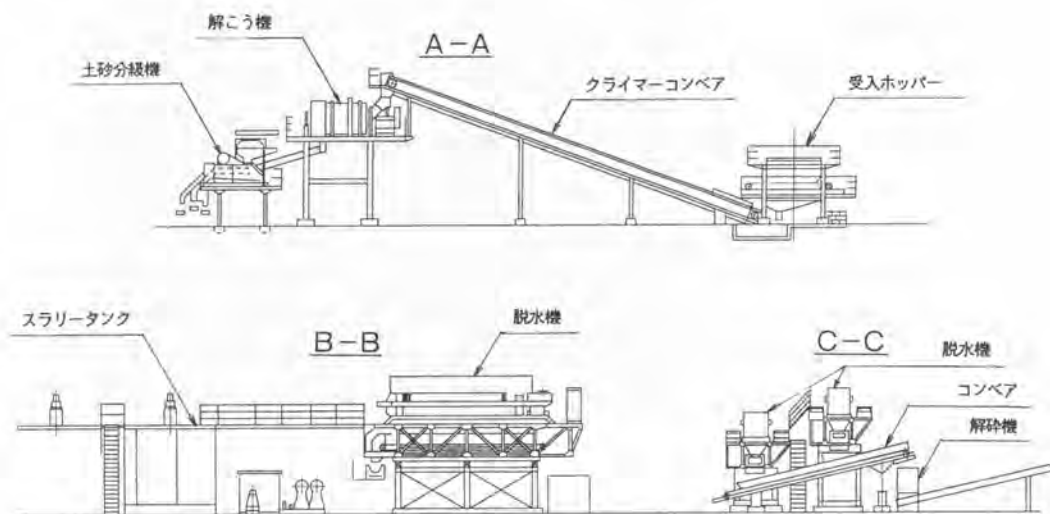


図-3 浚渫土砂脱水プラント側面図



写真-1 プラント全景

#### 6. 発生品の再利用について

平成6年度から試験工事として浚渫土砂の脱水を行ったが、平成7年度からは規模を拡大して150 $\text{m}^3$ /日の処理を行い、同時に脱水ケーキ再利用の基礎研究を行った。脱水ケーキは細粒分を60~70%、有機物を10%程度含有する特徴がある。

建設資材として脱水ケーキを見たとき、表-3に示すように含水率が40%程度と低いが、リサイクル法による建設省令の「第4b種建設発生土」に属し、水面埋立用以外に使用できない土砂である。

脱水ケーキを写真-2に示す。



写真-2 脱水ケーキ

表-3 浚渫土砂・脱水ケーキ土質試験一覧表 (H6, 11~H8, 2供試体)

項 目		単 位	浚渫土砂	脱水ケーキ
土粒子の密度		gf/cm <sup>3</sup>	2.417 ~ 2.659	2.335 ~ 2.644
自然含水率		%	48.8 ~ 67.7	31.1 ~ 47.8
PH		-	-	7.3 ~ 9.0
粒 度 分 布	礫 分		1 ~ 18	-
	砂 分	%	9 ~ 34	10 ~ 37
	シルト 分	%	38 ~ 69	52 ~ 73
	粘土 分	%	8 ~ 23	7 ~ 21
分 類 名		-	有機質火山灰土 OV	砂質シルト

試験は骨材を混合する物理的改良法と、強度発現の早いセメント系固着剤添加による化学的改良法を行った。

a) 物理的改良法

5mm以下の骨材を混合させてのコーン試験を行った結果では、混合率50%から強度増加を示した。

(表-4 参照)

脱水プラントから分別された骨材を使用すれば、約25%の脱水ケーキが高度な建設用資材に改良できる可能性がある。

表-4 物理的改良法 (粒度調整)

ランマ-2.5kgf

	単 位	骨材混合率					骨材は5mmアングラー モールドは10cm径 締り回数 25回
		10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	
コーン指数	kgf/cm <sup>2</sup>	8.4	8.3	8.3	9.4	15.0	

b) 化学的改良法

セメント系固着剤のコーン指数は、添加率2%でも強度増加を示した。(表-5 参照)

表-5 化学的改良法 (固着剤添加)

	無添加	添加量	養生 1日	養生 3日	養生 5日	コーン試験の 条件は、粒度 調整法と同様
コーン指数	7.5	2 %	8.6	10.4	11.3	
kgf/cm <sup>2</sup>		3 %	10.3	-	-	

農業資材としては種々試験が行われてきたが、平成8年度より広範囲の再利用を目的とした研究開発プロジェクト「水底土砂を利用した高付加価値人工培土の製造に関する研究」が静岡県で発足した。

参加機関は、農業試験場、茶業試験場、柑橘試験場、工業技術センター、田子の浦港管理事務所その他である。

7. おわりに

以上、施工の概要について述べたが、今後も各所で問題となる浚渫土処理に関して研究を続けるとともに、本工法に関しては工事費の低減と発生品の再利用を目標に研究・改良を進めたい。

最後に、工事の施工にあたりご指導、ご協力いただいた関係各位に対し深く感謝の意を表します。

# 31. 作業環境にやさしい“トンネル内新換気システム”

鹿 島：横田 依早弥，木下 健二

\*青野 隆

## I. はじめに

近年、山岳トンネルの施工技術が著しく進歩するにつれ、トンネル工事が高規格化してきており、トンネルの長大化が進んでいる。また、NATM が標準工法として定着し、各種補助工法の発展によってミニベンチカット工法、全断面掘削工法などの大きな加背で施工されることが多くなっている。それに伴い、坑内で使用する施工機械が大型化し、使用材料も多量化している（1回に使用する吹付けコンクリート量が多くなったり、発破工法の場合、1回の発破に使用する火薬量が多くなっている）。また、排気ガスを発生するタイヤ工法の採用が主流となっている。こういった状況下で、トンネル坑内の作業環境が悪化しやすくなっているのが現状である。

そこで今回、長大山岳トンネルにおける新しい換気設備を開発し、実工事への適用で良好な結果を得たので本システムの概要について述べる。

## II. 開発概要

### 1. 開発の経緯

山岳トンネル工事に使用する換気ファンには、大きく分けて遠心式と軸流式の2種類があるが、これまでの当社における換気ファンの使用状況を調査した結果によると、風量 2,000 m<sup>3</sup>/min、静圧 500 mm Aq、モータ出力 220kW の軸流式ファンが主流であった。

しかし、軸流式のファンを使用する換気方式では、長大トンネル工事（3,000m 級）の場合、風を送る圧力が不足することから、坑内に圧力上昇のためのファンを直列に設置して使用する必要があること、ファンや風管の接続部に漏風などのロスが生じ、ファンの騒音が大きいことなどが問題となっていた。また、必要時に最適な換気を行うための運転制御方法などに、大きな問題点をかかえていた。

そこで、これらの問題点を解決し、作業員が常に好環境下で作業が行えるように、低騒音かつ高効率で、必要な時に最適な換気を行えるシステムの構築が望まれていた。

### 2. 開発計画

今回の開発においては、換気システムの核となる新型ファンの開発、センサを高度に利用した制御システムの開発に取り組むこととした。

まず、開発の第一段階として施工延長距離 2,000~3,000m の片押し施工の長大トンネルをモデルに、大風量、高静圧かつ低騒音な換気ファン、及び高効率の運転制御システムの開発を目標とした。

## III. 基本システム

### 1. 概要

本システムは、主ファンとして従来主流である軸流式のファンに代えて、遠心式のターボファンを使用し、補助ファンには効率の高い軸流式のファンを用いた。また、これらのファンは新たに開発した消音装置により低騒音化が図られている。

さらに、ファンの運転制御にインバータと各種センサを用いることにより作業状況に応じた最適かつ高効率な換気が実現できるシステム（図-1 坑内配置図参照）である。

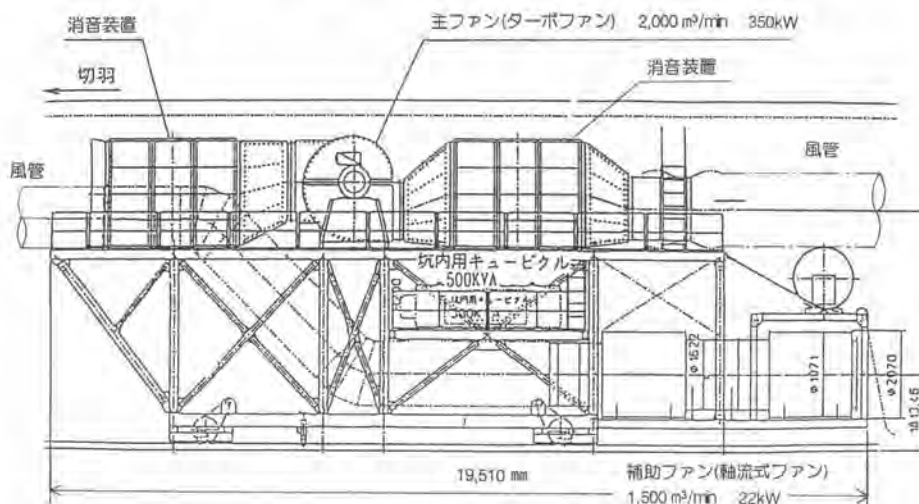


図-1 換気台車に搭載した坑内配置図

## 2. システム内容

### (1)換気方式

換気方式は、切羽の汚染空気を拡散させずに坑外に出すように主ファンを坑内に設置し、切羽には補助ファンを設置する排気方式とした。

### (2)送風機

軸流ファンは、静圧が低く換気量が多い場合に広く使用されている。羽根を直列に複数個設置したコントラファンのような高静圧なものもあるが、静圧500 mm Aqが限界である。

これに対して、遠心式のターボファンは、高静圧を出すことができるため、高静圧、大風量を必要とする場合に適しており、ファン効率も高効率が望めるので採用した。ただし、軸流式のファンに比べ、風の方向がモータ軸に対して直角となるため、ファンと風管の配置に工夫が必要となった。

今回開発した主ファン及び補助ファンの仕様を表-1に示す。

表-1 ファンの仕様

項目	口径	風量	送風機全圧	回転数	電動機	電圧	極数	重量
主ファン	1500 mm	2000 m <sup>3</sup> /min	800 mm Aq	1770 rpm	350kW	440V	4P	8100 kg
補助ファン	1500 mm	1500 m <sup>3</sup> /min	43 mm Aq	870 rpm	22kW	440V	8P	1720 kg

### (3)運転制御

一般に換気設備の能力は、必要換気風量、風管径、風管延長距離、圧力損失などによって決定される。

換気風量は、各作業ごとに必要な風量の内の最大風量で決定される。これは作業内容によって必要とされる換気量変動することを示している。したがって、換気風量を多く必要とする作業時に大風量を発生させ、その他の作業時には通常運転に戻す方式を採用した。

本システムは、坑内で行われている作業状況や粉塵発生状況などを常時センサが検知しており、より多くの換気量を必要だと判断すると換気量を増加させるよう自動的に制御する。

このセンサは大きく2種類に分けられる。一つは、作業状況を調べるセンサである。強力な換気を必要とする作業の開始をセンサで検知して換気量を増加させるものであり発破・吹付けといった坑内の空気が非常に汚れる作業前に強力な換気量を発生させ作業環境が悪化する前に換気体制を十分に整えるものである。



写真-1 新換気システム

もう一つは、坑内の環境を測定するセンサである。坑内の粉塵濃度、温度などの状況を検知し、空気中に含まれる粉塵量などが一定の基準を超過すると自動的に換気量が増加され、坑内の状況に応じた最適な換気を行うものである（写真-1に新換気システム設置状況を示す）。

#### (4)騒音対策

送風機をトンネル内に設置する場合、騒音が作業環境上問題となる。騒音レベルの大きな環境下での作業は、意思の疎通、坑内走行車両の接近音による危険の察知・退避ができにくくなるなどの安全上の支障、難聴などの聴力障害など、作業員へ悪影響を与えるためである。

そこで、主ファン及び補助ファンでの騒音レベルを大幅に低減する消音装置を開発した。

##### a)主ファン用消音装置

送風機の消音装置は、一般に吸音材をケーシング(鋼板)内に取り付けられたものが用いられていた。しかし、本換気システムでは、主ファンをダスト、粉塵などを含んだ汚染空気を坑外に直接排出するのに用いるため、その吸気側、排気側に消音装置を取り付けた場合、消音装置内の吸音材(グラスウール)にダスト、粉塵などが付着し吸音材が目づまりして吸音効果が低下することが予想された。このため吸音材を簡単に着脱できる方式を採用した。

また、消音装置のケーシングの内側に取り付ける吸音材としては、超軽量発砲コンクリートを用いた。この吸音材は以下のような特徴がある。

- ①グラスウールなどの吸音材と同程度の吸音効果を持つ。
- ②コンクリート製であるため遮音効果がある。

③耐水、耐候、加工性に優れている。

さらに、ダンピングシートを超軽量発泡コンクリートと消音装置ケーシング内壁間に貼り付けた。こうすることにより、ダンピングシートが消音装置ケーシング壁と剛体である超軽量発泡コンクリートに挟み込まれることで、すりによる消音装置ケーシングの大きな制振効果が得られ、消音装置ケーシング壁の振動による騒音放射が低減できた。さらに、超軽量発泡コンクリートの遮音効果とも相まって、消音器ケーシング壁外側へのラギング(防振・遮音)処理も不要となった。主ファンの消音装置(吸気側)を写真-2に示す。



写真-2 主ファンの消音装置

#### b)補助ファン用の消音装置

補助ファンは、その機構上、送風機ケーシング内の中央部には空気の流れが少ないことから、消音器中央部には円筒状吸音体（グラスウール充填）を組み込みその消音装置ケーシング内壁には吸音材を貼る形式を採用した。

今回開発した消音装置は、上記の機構に加えて送風機と吸気側消音装置の間に整流機構を設置して乱流音を低減するとともに、送風機と消音装置のケーシング外壁にはダンピングシートを貼り、その上に薄い鋼板を貼り、さらにグラスウールと鋼板で被ったラギング処理をすることにより、ケーシングと薄い鋼板の間にダンピングシートが挟みこまれることによる、すりの制振効果でケーシング壁の振動によるケーシング内外への音放射を低減している。

## Ⅳ. 導入実績・効果

本システムは北陸新幹線五里ヶ峯トンネル（坂城工区）工事で実証実験を行い、運転制御に係わる各種データを取得した。この結果をもとに換気システムを確立し、九州新幹線第2紫尾山トンネル工事に導入した。現在までに得た各種データ計測結果を報告する。

### (1)送風機の性能試験結果

今回開発した主ファン及び補助ファンは、性能試験の結果から設計性能を満足できるものであり、回転数と風量、圧力と動力の関係は、理論式とほぼ一致した結果であることが確認できた。

図-2に、運転周波数60Hzにおける主ファンの性能を示す。この送風機の定格点は静圧800mm Aq、風量2,000 m<sup>3</sup>/minであり電動機出力350kWのポイントである。また、最大出力が1,000mm Aq、最大風量が3,000 m<sup>3</sup>/minであり、電動機出力は風量に比例して増大する傾向がある。また、図-3に示す特性曲線からは、周波数に比例して風量が増加していることが読み取れる。

図-4は、運転周波数60Hzにおける補助ファンの性能を示す。この送風機の定格点は静圧43mm Aq、風量1,500 m<sup>3</sup>/min、電動機出力22kWのポイントである。また、図-5に示す特性曲線からは、周波数に比例して風量が増加していることが読み取れる。



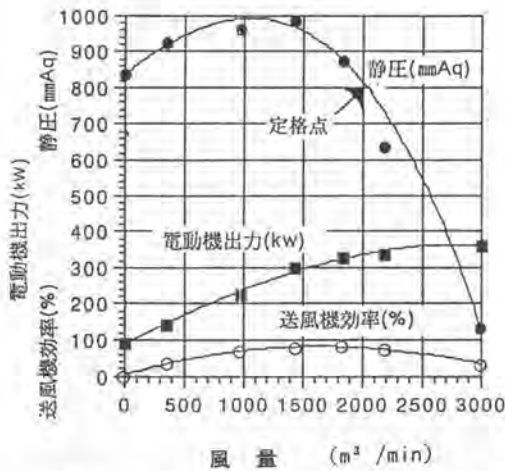


図-2 主ファンの出力-圧力-風量特性(60Hz)

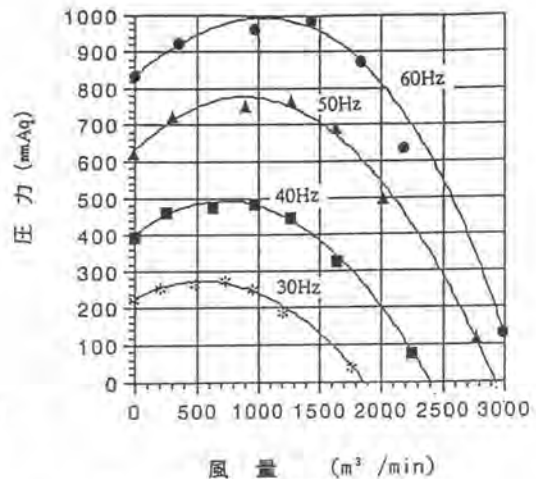


図-3 主ファンの圧力-風量特性

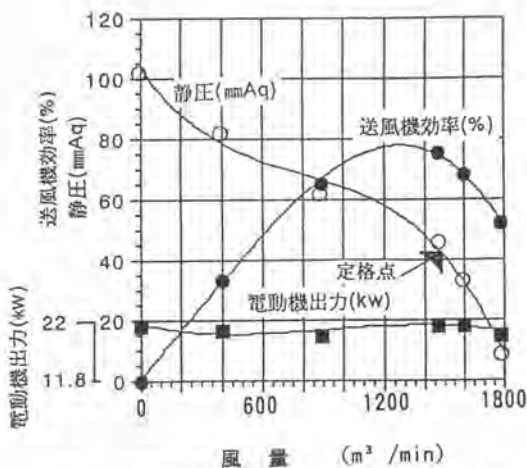


図-4 補助ファンの出力-圧力-風量特性(60Hz)

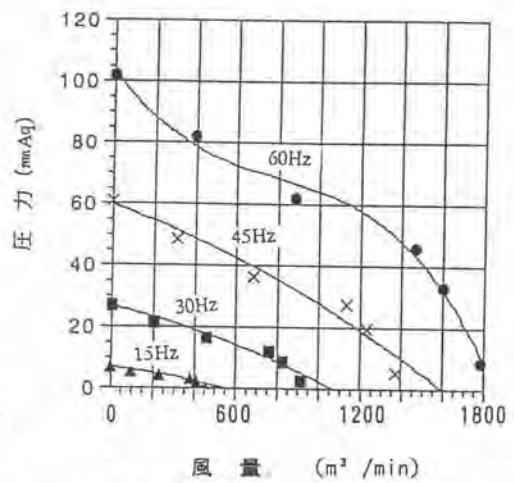


図-5 補助ファンの圧力-風量特性

(2) 自動運転制御による効果

従来の軸流式ファンでは、換気量が一定であるが、本システムでは、インバータ制御により風量調整が自由に出来るため、作業状況に応じた効果的な運転が行われる。したがって、自動運転時の粉塵濃度を測定した結果、図-6に示すように予想通りの結果であることが検証された。

(3)開発した消音装置の消音効果

a)主ファン用消音装置の効果

本消音装置の消音効果は、吸気口から斜め45度方向1.5m地点で、定格の回転(1,770rpm)時の騒音レベルが108dB(A)であったものが、84dB(A)に低減した。送風機から5mくらい離れた地点では74dB(A)程度であった。1.5m地点での結果を図-7に示す。

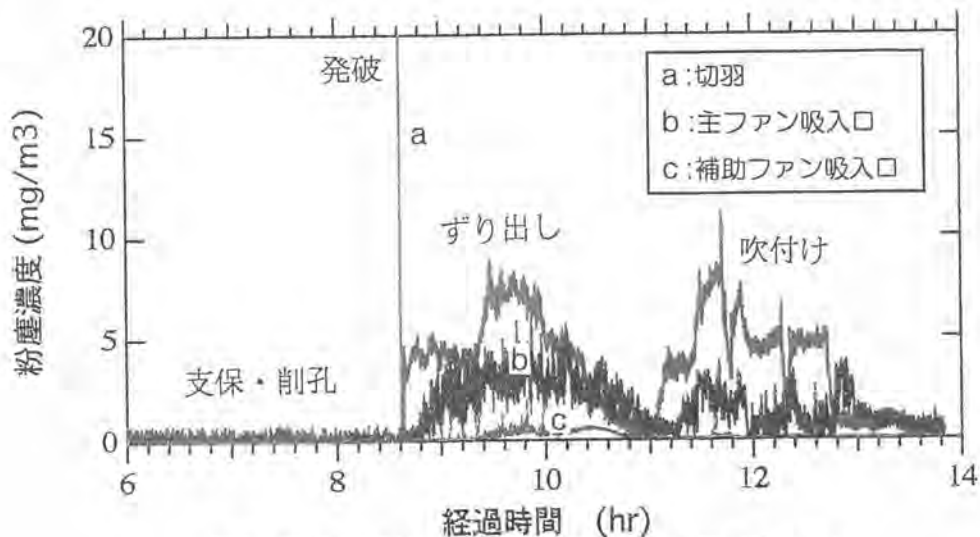
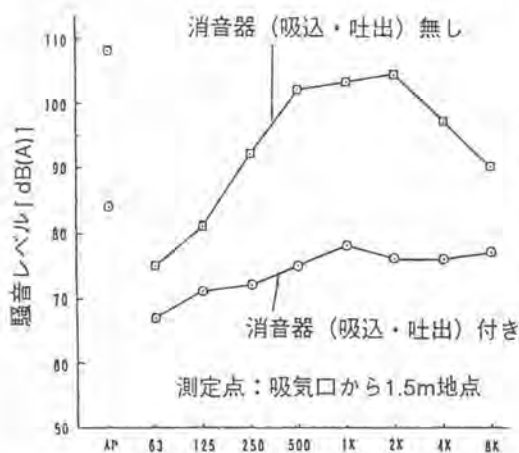
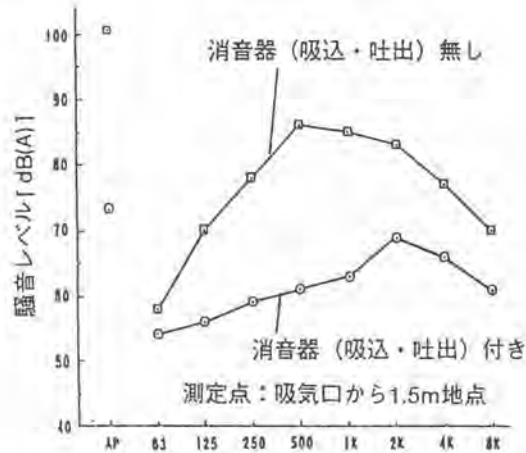


図-6 自動制御運転における各作業時の粉塵濃度(計測データ)



1/1 オクターブバンド中心周波数 [Hz]

図-7 主ファン用消音装置の消音効果



1/1 オクターブバンド中心周波数 [Hz]

図-8 補助ファン用消音装置の消音効果

#### b) 補助ファン用消音装置の効果

本消音装置の消音効果は、吸気口から斜め45度方向1.5m地点で、定格の回転(780rpm)時の騒音レベルが101dB(A)であったものが、73dB(A)に低減した。送風機から5mくらい離れた地点では、63dB(A)程度であった。1.5m地点での結果を図-8に示す。

## V. むすび

作業状況によって時々刻々と変化する坑内環境にあって、常に良好な状態を維持することは安全衛生上重要な課題である。本換気システムは、長大トンネルの効果的な換気を低騒音で実現でき、常に作業環境を最適な状態に保ちかつ作業性・安全性の向上に役立つものである。

## 32. 車載型トンネル作業環境計測システム

鹿 島：藤井 義久、\*戸梶 慎一

### 1. はじめに

山岳トンネルの作業環境（換気風速，ガス濃度，粉塵・煤煙濃度，温湿度，視界不良度）の測定は，従来手持ち式の計測器による巡回測定か，または定点における自動測定に限られていたため，地下発電所や長大トンネル工事など大規模地下工事に対してきめ細かな測定を行うことは困難であった。

今回，広範囲な作業環境の把握と換気設備の診断を目的として，車載型作業環境計測システムを開発したので，その概要と測定結果について報告する。

### 2. 計測システムの概要

図1に車載型作業環境計測システムの概要を，また表1に主な仕様を示す。本計測システムは，坑内を20km/h程度で走行中に表2に示す作業環境測定項目を最短2秒間隔で収録，広範囲な

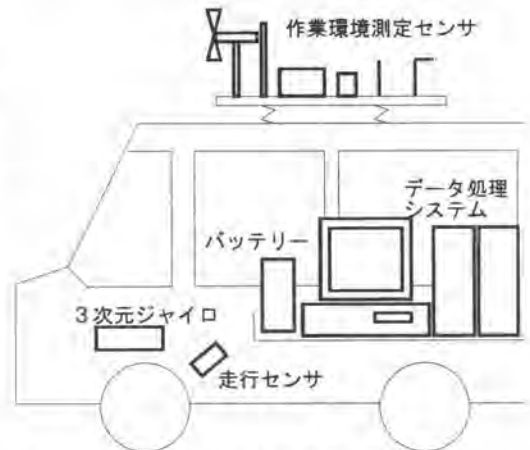


図1 車載型トンネル作業環境計測システム

表1 主な仕様

項目	仕様
車体	ロングバン
測定時の走行速度	20km/h 以下
測定間隔	2秒以上
データ収録・解析	Windows 対応パソコン

表2 測定項目・測定法

測定項目	測定法	測定範囲	測定精度
計測車位置	ジャイロと走行センサによる3次元測定	10km四方以内	走行距離の3%
坑内換気風速	無指向風速：熱線風速計，風向：プロペラ風速計	0.1～10m/s	±0.1m/s
CO <sub>2</sub>	非分散型赤外分析法	0～9,950ppm	±10%F.S.
CO	定電位電解法	0～100ppm	±5%F.S.
NO <sub>x</sub>	減圧化学発光法	0～2,000ppm	±1%F.S.
粉塵・煤煙量	光散乱相対濃度計（濾紙重量法により校正）	0.001～100mg/m <sup>3</sup>	±10%F.S.
温度	T熱電対	-20～100℃	±0.5K
湿度	サーミスタ絶対湿度計	0～50g/kg	±2g/kg
視程（減光量）	光透過型視程計	0～100%	±2%F.S.

坑内の情報を即座に画面表示し、作業環境の総合的な診断を行うものである。測定センサ及びデータ処理装置はバッテリーで駆動し連続1日の測定が可能である。

### 3. 主な特徴

本システムの主な特徴を以下に示す。

- ① 約10分で3,000mのトンネル内の測定を行い、掘削、吹き付け、ずり出しなど作業別の坑内環境状況をリアルタイムで表示する事ができる。
- ② 広範囲な作業場に対して約10m間隔の高密度な環境計測ができる。
- ③ 計測システムはユニット化され、必要な計測器を市販のロングバンに搭載できる。
- ④ 坑内換気風速分布の測定結果からは、風管の漏風量及びファン風量が、また粉塵濃度分布からは集塵機効率など換気設備に対する診断が行える。



写真1 走行計測状況

### 4. 測定方法

写真1に走行計測状況を示す。測定開始点においてジャイロの方向を校正した後、走行測定を開始する。図2に車体位置並びに坑道換気風向・風速の測定フローを示す。

車体の位置座標はジャイロの方位角と光電管式走行センサによる車体移動距離から求める。しかし、ジャイロには経時誤差があり、またタイヤのスリップによっても走行距離測定に誤差を生じることから、通過点の要所においてあらかじめ入力されたトンネル座標と比較し測定誤差を補正する。

坑内気流の風向・風速は車体に取り付けられた風向・風速センサの測定値に対して車体の走行速度を差し引いて求め、算定結果はトンネル車体の位置座標をもとにパソコンのモニター画面に表示される。表示結果からは、坑道換気の風量が適正であるか否か、また風管からの漏気量の有無など換気設備の性能診断を行う。

粉塵やガス濃度などの測定結果はカラー色濃度としてパソコン画面に出力され、許容濃度を満足しているか否かが判定される。さらに、濃度分布からは重機類からの煤煙、排気ガスの発生量及び吹き付け粉塵量が算定され、これをデータベースとして換気設備計画を行うことができる。

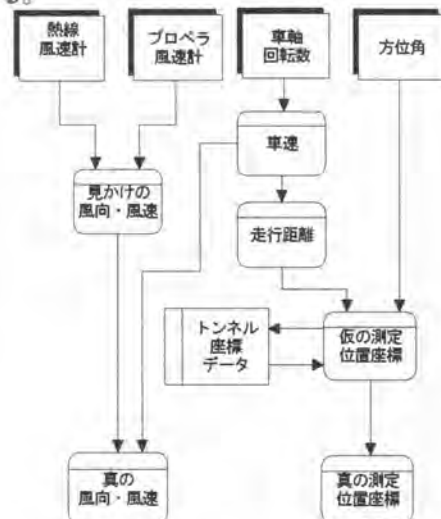


図2 測定位置並びに風向・風速の測定フロー

## 5. 測定結果

### 5.1 1本トンネル

図3に測定を行った1本トンネルの換気方式を示す。この例では坑内に設置した主ファン(定格風量  $2,000\text{m}^3/\text{min}$ )によって排気し、局所ファン(定格風量  $1,500\text{m}^3/\text{min}$ )によって切羽に新鮮空気の供給を行うものである。掘削には発破とNATM工法を、ずり出しには10tダンプトラックによるタイヤ工法を採用している。

図4に坑内の換気風量分布を示す。坑口から主ファンが設置されている1,400m点までは坑口からトンネル奥に向かって約  $2,000\text{m}^3/\text{min}$  の新鮮空気が流れ、切羽(1,800m点)から200m後方までは逆に坑口に向かって約  $1,500\text{m}^3/\text{min}$  の空気が流れている。この結果から換気設備は当初計画を満足しており、風管のよじれや曲がりに起因する圧力損失の上昇及び風量の低下がないことが診断された。ここで、測定結果には $\pm 15\%$ 程度の変動が生じているが、これはダンプトラックの通過などによって坑内気流に乱れが生じているためである。また、坑口に向かって換気風量はやや減少しているがこれは風管からの漏気によるものであり、風管延長に対する風量変化の勾配から、漏風率は100m当たり1.7%と算定された。ビニール風管の漏気率は一般に1.5~3.0%<sup>11)</sup>であることから見て、風管は破れもなく健全であることが判定された。

図5にずり出し時における $\text{CO}_2$ 濃度の分布を示す。坑道を通過するダンプトラックからの排気ガスの影響により坑内奥に向かって $\text{CO}_2$ 濃度の上昇が生じているが、トンネル内のどの箇所も労働衛生規則の許容濃度  $5000\text{ppm}$ <sup>11)</sup>を大きく下回っており、ガスの停滞がなく作業環境は適正に保たれている事がわかる。また、同時に $\text{CO}$ 並びに $\text{NO}_x$ の測定を行い、それぞれ許容値を十分満足していることが確認された。

図6に切羽における吹付け時の粉塵濃度の測定結果を示す。吹き付け時には切羽近傍はモルタルコンクリート粉塵の発生によって視界不良と作業環境の悪化が懸念されたが、効率のよい排気を行った結果、切羽の極近傍を除いて粉塵濃度は低く作業に支障はなかった。また、風管の漏風が少ないため、0~1600m区間における粉塵の蓄積は少なく視界不良は認められなかった。

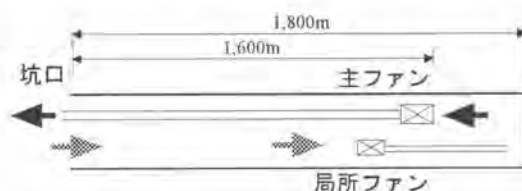


図3 換気方式

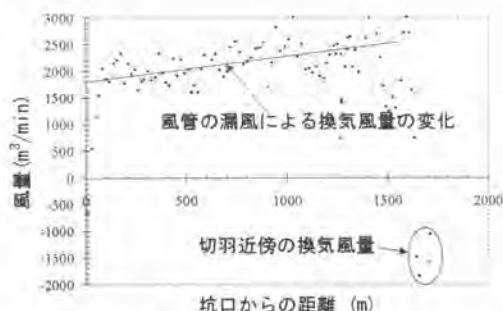


図4 坑内通過風量分布の測定結果(切羽へ向かう風量を正とする)

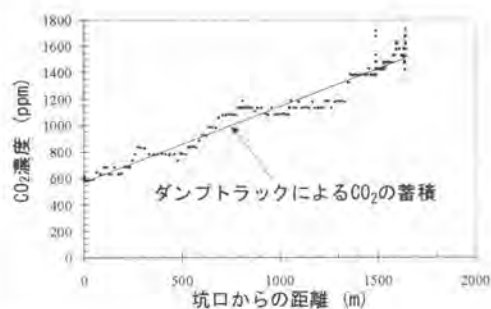


図5 ずり出し時の $\text{CO}_2$ 濃度分布の測定結果

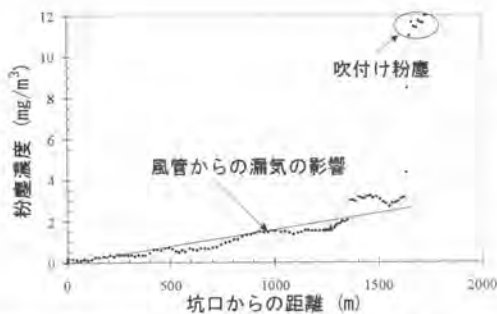


図6 吹付け時の粉塵濃度分布の測定結果

### 5.2 複雑トンネル

図7及び図8に複雑なトンネルを対象にした風向・風速及び温度測定時のパソコン出力画面を示す。地下発電所や補助坑を伴う長大トンネルでは、坑道換気と風管換気の併用を行う場合が多いが、坑道通過風量は換気設備のみならず、大気温度と坑内温度差による自然通気の影響を大きく受けるため換気が停滞しないような計画・運用が重要である。車載型計測システムの導入によって、すべて坑道において計画通りの換気風速が満足されて

いること、また、大型ダンプトラックの排気によってずり搬出路の温度は上昇するが、作業環境への影響が懸念されるレベルには達しないことが一目で判定された。

### 6. まとめ

本システムの開発により、従来測定が困難であった広範囲、高密度、多項目の作業環境測定が簡便かつ短時間でい、安全で快適な地下作業環境の維持改善に役立てるようになった。

今後は、データの蓄積を図るとともに、換気計画システムを組み込み地下作業環境の計測・診断・計画までのトータルシステムの確率を目指して行く計画である。

#### <参考文献>

- [1] 建設業労働安全防止協会：ずい道等における換気技術指針（改訂新版）

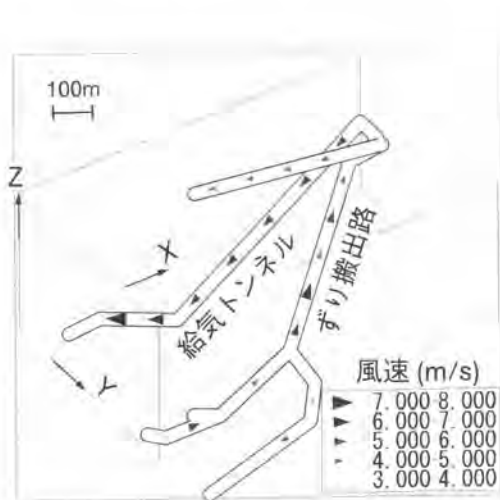


図7 風向・風速測定時の画面出力

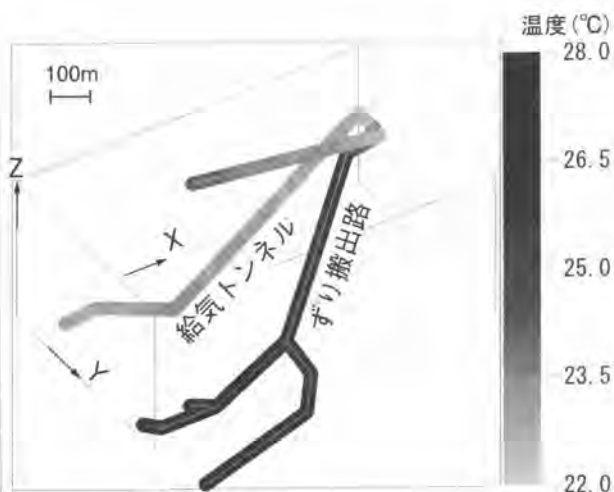


図8 坑内温度分布の画面出力

### 33. 軟泥土の固化処理による高盛土施工

東洋建設(株)：藤尾 良也

#### 1.はじめに

近年、資源の有効活用・リサイクル等と様々なところで叫ばれており、建設業界においても建設残土の有効利用がいろいろと研究がなされている。今回、当社で開発した固化処理システム（デイコンシステム）を用いて浚渫泥土を改良固化し、盛り立て材に利用・施工した事例を紹介するものである。

四国電力の橘湾発電所建設工事において護岸工事・岸壁工事等の浚渫で発生する軟泥土の掘削残土約35万 $m^3$ をセメントで固化処理し、処分地に捨土・高盛土する。その盛土高さは40～50mにおよび、全国的に事例のない固化処理土の盛立工事である。上記工事において本システムを使って施工した。

#### 2.工事概要

図-1に示すフロー図の通り、浚渫された土砂をバargeで固化処理船まで海上輸送し、処理船に搭載されたバックホウにて固化処理プラントに土砂を投入する。固化処理された土砂（固化土）は、ベルトコンベヤおよび垂直コンベヤで揚土機橋に設置されたダンピングホッパーに運ばれ、ダンプトラックで土捨場に運搬、盛土される。

今回の1期工事では、高さ15～25mまで盛土し、さらに2期工事では高さ55mまで盛土する予定である。

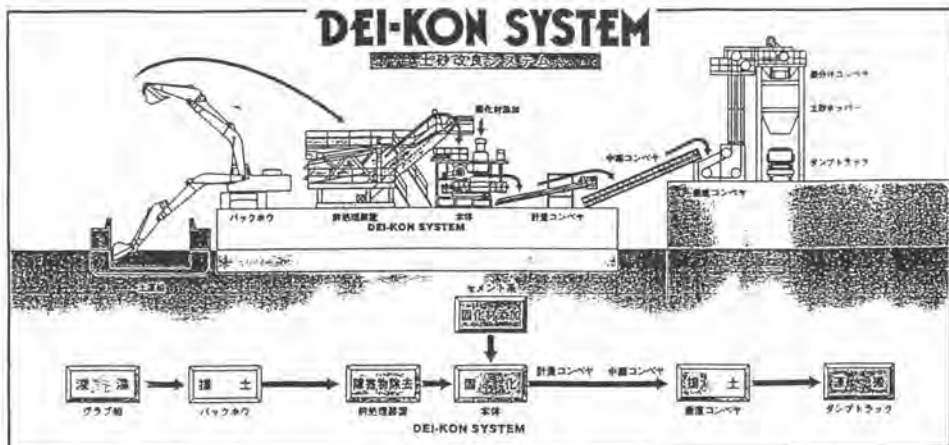


図-1 固化処理フロー図

### 3. DEI-KON システムの概要

本システムは、土砂をスノーシェーブで定量供給し、添加剤（固化材）をスクリーコンベアで所定量をコントロールしながら投入し、二軸攪拌ミキサーにて効率よく混合する固化処理プラントである。今回は本装置の品質の向上を図るため以下の装置を追加装備した。

- ① 固化材を計量するためのロードセル
- ② 固化土を計量するためのベルトスケール
- ③ 固化処理対象土の湿潤密度を計測するR1密度計

さらに、プラントの運転状況を集中管理する運転管理室を設置した。

このように計量器を充実させ、図-2のように管理システムを構築し、各検出器で得られたデータを互いに補正することにより、浚渫土量および固化材添加量を正確かつ合理的に計量し、浚渫土および固化材の供給を正確にできる固化処理プラントとなり、品質の安定した固化処理が可能となった。

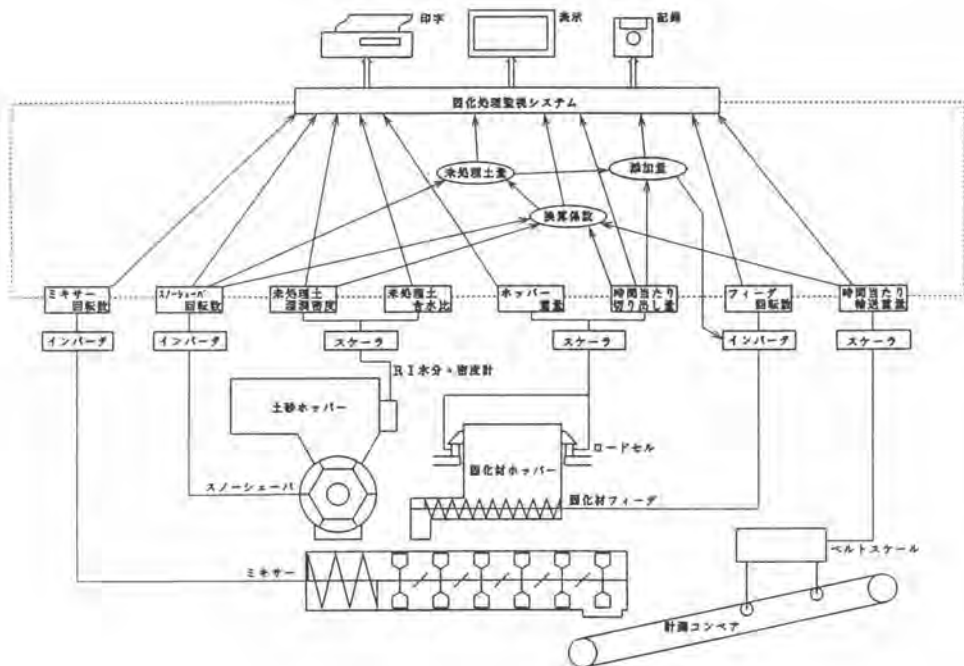


図-2 固化管理システム



#### 4. 固化土の強度設定

当初、円弧すべりに対する安定計算から、固化土の設計強度は材令28日で一軸圧縮強度 $2.2\text{kgf/cm}^2$ に設定されていた。

しかし、その後の詳細な検討の結果、盛立高さ50m以上におよんだ場合、盛土の鉛直応力が固化土の圧密降伏応力以上に達する箇所が発生し、変形が過大となり盛土内にテンションクラックが生じ、地震および降雨時に盛土の安定性が損なわれる可能性があることが指摘された。

よって、固化土の強度を盛土の発生応力以上になるように盛立位置別に固化土の強度設定を行った。

FEM解析による鉛直応力のコンター図  
 入力  $r_t = 1.6\text{t/m}^2$   
 原位置  $r_t = 1.8\text{t/m}^2$



図-3 盛土のFEM解析図

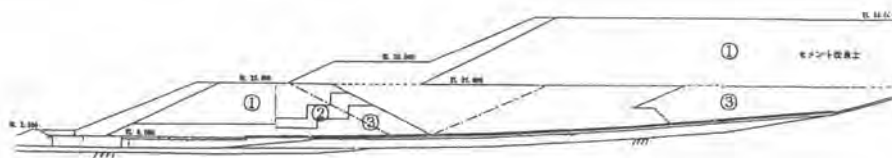


図-4 ゾーニング計画図

表-1 固化処理土の設定強度

凡例	盛立ゾーン		計算鉛直応力 $\sigma_v(\text{kgf/cm}^2)$	設計強度 (材令28日)	
				圧密降伏応力 $p_c(\text{kgf/cm}^2)$	一軸圧縮強度 $q_{uk}(\text{kgf/cm}^2)$
①	固化土	原設計強度ゾーン	4.0以下		2.2
②		強度増加ゾーンA	4.0~5.0	5.0	2.9
③		強度増加ゾーンB	5.0以上	6.0	3.4
	発電所基礎掘削残土				

## 5. 浚渫土の物性

浚渫土の物性（湿潤密度、含水比、砂分含有率）は、固化土の強度に大きく影響するため、本工事は、土運船毎に湿潤密度、含水比、砂分含有率を測定し、その測定値を基に固化処理プラントにおけるセメント添加量を設定した。

浚渫土の採取は、浚渫土の解泥などによる物性の変化をより正確に把握するため、固化処理プラントのバケットコンベヤで採取することとした。

含水比に関しては、平均値で30～40%程度で、計画時の予測値の100%よりかなり低い値であった。これは、計画時の土砂採取が表層部だけであったためと考えられる。また、図-5に示すように、同じ工区でも浚渫土の物性がかなり変動している。これは、原地盤の物性が変化しているのではなく、各工区が施工したサンドコンパクション等の敷砂が影響しており、その混入割合で物性が変化するものと思われる。

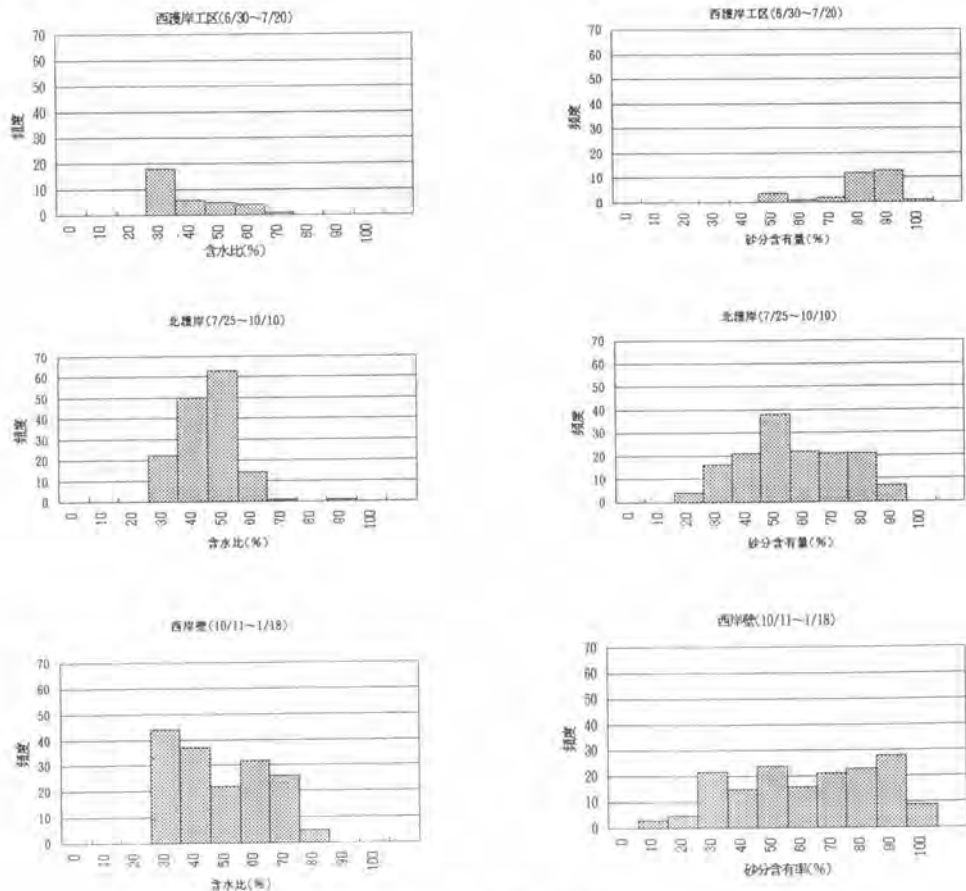


図-5 浚渫土の特性

## 6. セメント添加量の設定

固化土の強度は、固化処理対象土である浚渫土の土質や含水比などにより大きく変化する。よって、固化処理でセメント添加量を定める場合は、固化処理の対象となる土を事前に採取し、室内配合試験を行い、設定強度を満足するセメント添加量を設定することが一般的である。本工事の場合も、事前の室内配合試験に基づき、土運船毎にセメント添加量を設定し、材令3日で強度確認を行い、その傾向に準じてセメントの添加量の見直しを行った。固化土の強度結果がある程度、蓄積された段階で、固化土の強度に対する浚渫土の物性をパラメーターとした重回帰分析を行い、この回帰結果から、土運船毎にセメント添加量を設定することとした。

## 7. 固化土の強度結果

強度データによる重回帰分析の推定式を用いて、含水比、砂分含有率に応じたセメント添加量を土運船毎に設定したことにより、変動係数が20%となった。

浚渫土の物性の変動が大きいにもかかわらず、変動係数を小さくすることができたのは、重回帰分析による推定式の効果があったものと考えられる。

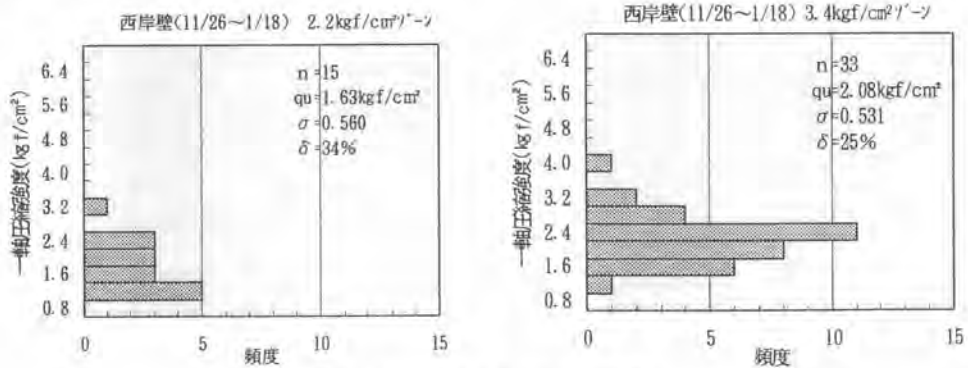


図-6 材令3日における強度

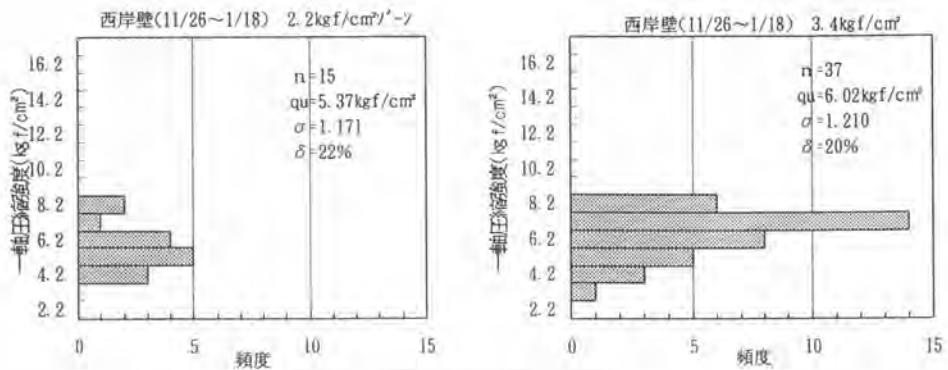


図-7 材令28日における強度

## 8. 考察

本工事において、前述した固化土の品質管理を行ったことにより、以下のような結論が得られた。

- ・固化土の強度には、浚渫土の含水比、砂分含有率が大きく影響する。
- ・固化土の強度推定式により、固化強度の変動を小さくすることができた。
- ・固化土の強度伸び率は、固化土の練り上がり温度に影響される。

今回、固化処理を行った浚渫土は、物性の変動範囲が大きく、土運船毎に物性が変化する状況であったが、それにもかかわらず、固化強度の変動係数を20%まで小さくすることができ、セメント添加量においても、経済的で効率のよい設定が行われた。これは、固化処理により蓄積された固化土の品質管理結果を、統計的方法で分析し、固化土の強度とその要因の相関式をもとめ、それをセメント添加量の設定にフィードバックした結果によるものと思われる。

また、このような固化土の品質管理が実施できたのは、DEI-KON システムにおける、固化処理量とセメント添加量の正確な計量管理と効率のよい混練りによるものと思われる。

## 9. おわりに

本工事では、DEI-KON システムを使い、現在約150,000㎡の固化処理を行い、良好な結果が得られた。今後、軟泥土固化処理における課題としては、

- ・固化土の盛土施工方法の確立（品質管理を含む）。
- ・固化土の強度に影響をおよぼす要因（軟泥土の物性）の管理手法。

また、DEI-KON システムにおいては、

- ・浚渫土の粘土塊の対応。
- ・1日当たりの固化処理量のアップ。

などの課題が考えられる。

本工事のように、固化土を高盛土する工事は他に例がなく、今回報告したデータが、今後の固化処理工事を検討するにあたり参考になれば幸いである。

最後に、この報告書を作成するにあたり、様々なご指導、ご協力いただいた四国電力㈱ならび関係者の方々に感謝の意を敬します。

## 34. 環境対応・高性能潤滑油脂の開発

コマツ：大川 聰，\*小西 晃子

### 1. はじめに

世界的な自然環境保護の動きに伴って、建機も排気ガス規制を始めあらゆる項目について自然環境保護に対応すべき時代に入っている。一方では、都市型工事の増加により周辺の環境になじむ作業環境への配慮も必要になった。従来の建機用潤滑油脂の品質は機械の耐久性維持だけに的が絞られていたが、これからは自然環境保護や作業環境改善に役立つ品質も必要となっている。

既に欧州では自然環境保護のため、土や水中のバクテリアによって自然に分解して無くなる生分解性作動油の使用が義務付けられている。しかし、元来は水門用などの低圧油圧機器向けに作られたオイルを流用しているため、建機に悪影響を及ぼす油種も少なくない。このため建機の安全性や耐久性を損なわない新しい生分解性作動油を開発する必要があった。また、黒色の固体潤滑剤を含む高荷重グリースが作業環境を汚損するため、これに代わる新しいグリースの開発も望まれていた。本稿では新たに開発した(1)建機用の新しい生分解性作動油と(2)非黒色高荷重グリースについて紹介する。

### 2. 建機用新生分解性作動油の開発

#### 2. 1 日本における生分解性作動油の意味

欧州における生分解性作動油の建機への行政指導は水源周辺の工事から始まった。国内の工事でもホース破損などによる作動油漏洩事故はあり、森林や湖沼内にこぼれたオイルを回収するのは困難である。また、日本に於ける使用済み潤滑油の環境への排出量も欧州と同程度との統計もあり、今後国内でも生分解性作動油が必要になると予想された。

#### 2. 2 欧州の市販生分解性作動油の品質と開発目標

欧州の代表的な市販生分解性作動油の品質性状の調査結果を表 1 に示す。主に菜種油系と合成エステル系の 2 種類があり、粘度特性などはいずれもエンジン油 SAE 10W（以下エンジン油）よりも優れている。しかし、①駐車ブレーキの摩擦係数を大きく低下させる、②エンジン油と混合すると沈殿を生じてフィルタ詰まりを起こす、③ゴム膨潤が大きいなど共通の欠点がある。さらに、菜種油系は④消泡性が悪く、⑤酸化安定性が悪く劣化しやすい、⑥一部銘柄は銅合金の腐食を生じるなどの問題がある。合成エステル系では⑦耐摩耗性や⑧鉄の防錆性が低い場合もある。

そこで、安全上問題となる駐車ブレーキの摩擦係数をエンジン油以上とすることを最重点として、エンジン油と同じように使用できる建機用の新生分解性作動油を開発することにした。

表1 市販生分解性作動油と開発油の品質性状

性状	エンジン油	市販菜種油A	市販合成エステルA	建機用新生分解性作動油	エンジン油SAE10W
	基油	菜種油	合成エステル	新開発合成エステル	鉱油
引火点 (°C)		270	221	254	220
流動点 (°C)		-39	-58	-45	-35
動粘度(mm <sup>2</sup> /s) 40°C		40	46.1	42.5	38
	100°C	8.8	8.4	8.3	6.1
粘度指数		205	191	175	107
消泡性		×	○	○	○
摩擦係数		×(エンジン油の1/2)		○	○
酸化安定性		×	○	○	○
耐摩耗性		○	△	○	○
鋼合金に対する防食性		×	○	○	○
鉄に対する防錆性		○	×	○	○
エンジン油との混合性		×(微細な沈殿)		○	○
ゴム膨潤		△	×	△	○
生分解率 (%)		96	95	97	-

### 2. 3 建機用新生分解性作動油の性能

高い摩擦係数を得るためには、分子構造の異なる合成エステルの基油を25種類以上も試作する必要があった。また、試作した添加剤配合も100種類にも達した。開発油の一般性状を表1に示す。

図1のように市販生分解性作動油中（菜種油A、合成エステルA）では駐車ブレーキ用ペーパー材の摩擦係数はエンジン油の1/2しかないが、建機用新生分解性作動油はエンジン油よりの高い摩擦係数を示す。一方、摩擦係数が高くなることで耐摩耗性が低下するおそれもあったので、往復しゅう動摩耗試験により耐摩耗性を評価した。結果は図2のようにエンジン油とほぼ同等の摩耗量であった。

生分解性作動油へのオイル交換後にエンジン油が残って混ざり、フィルタ詰まりが起こる場合がある。建機用新生分解性作動油は添加剤配合を工夫して、エンジン油が混入しても図3のようにフィルタ詰まりを起こさないようにした。なお、エンジン油が混ざった状態でも生分解率は混入割合に比例して低下するが、生分解性が失われることはない。

ゴム膨潤に関しては基油組成の改良により市販

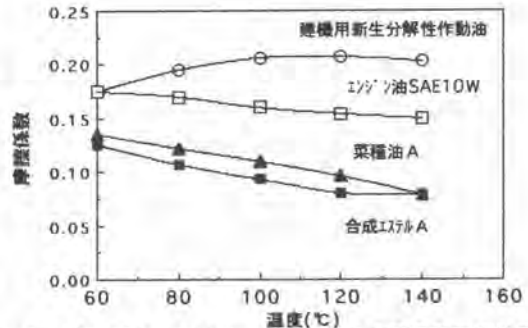


図-1 駐車ブレーキ用ペーパー材による摩擦係数測定結果 (マイクロクラッチ試験機)

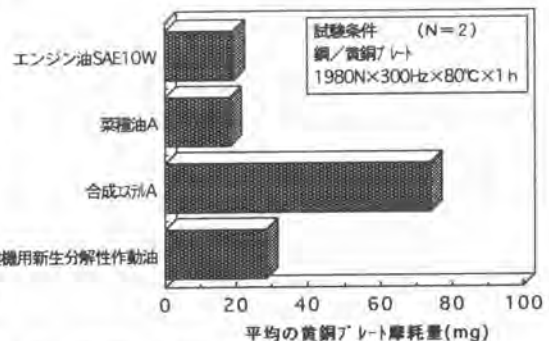


図-2 往復しゅう動試験機による耐摩耗性評価

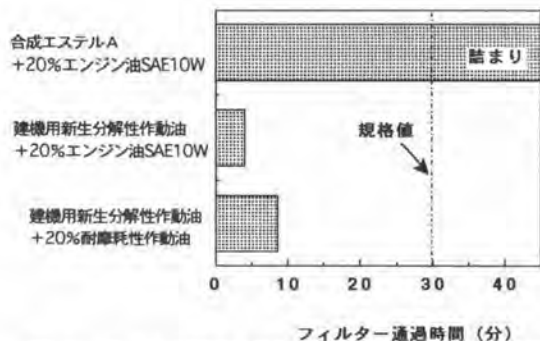


図-3 フィルタ詰まり性試験 (3 $\mu$ mフィルタ水1%添加) 合成エステルAよりも小さくなったが、エンジン油よりは膨潤は大きい(図4)。しかし、実車試験などから建機用新生分解性作動油では実用上ゴム膨潤の問題は起こらないことを確認した。

#### 2. 4 油圧ポンプベンチ試験

公的な規格である低圧ベンポンプ試験を行った結果、図5のように菜種油Aは規格値を大きく越える摩耗量を示したが、建機用新生分解性作動油はエンジン油と同等の耐摩耗性を示した。35MPaの建機用高圧ピストンポンプ試験結果を写真1に示す。菜種油Aでは銅合金の著しい腐食によりシリンダーしゅう動面が黒色化した。建機用新生分解性作動油はしゅう動面に焼付きや変色は見られず摩耗も少なかった。使用油の粘度変化(図6)も少なかった。

#### 2. 5 実用上の生分解性確認

建機用新生分解性作動油が湖沼にこぼれた場合を想定して生分解性の実験を行った。汲み置きした水道水中に土と水草を入れて、厚さ3mmに供試油を注ぎ状態変化を観察した(写真2)。エンジン油の場合は全く油膜の変化はなかったが、建機用新生分解性作動油は1週間で油膜が分解して水面が現れ、1ヵ月後には油膜がほとんど消失した。また、基油と添加剤には毒性がないので、環境に悪影響を残すおそれはない。

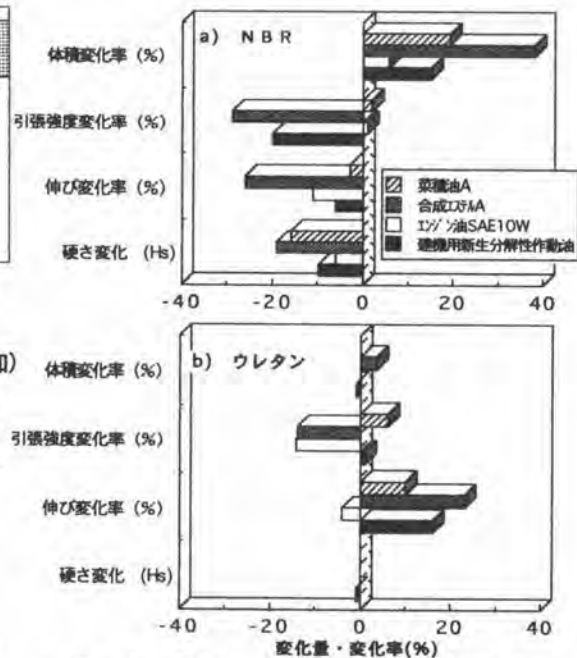


図-4 ゴム膨潤試験結果(120°C×70h)

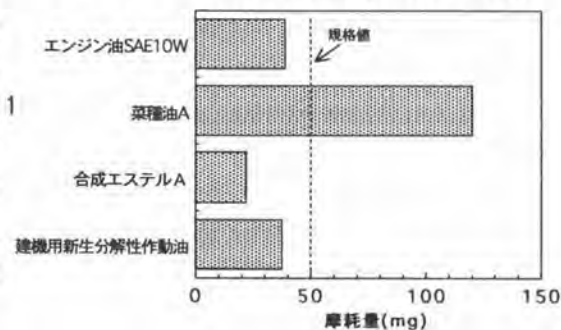


図-5 ASTMベンポンプ試験結果(P=13.7MPa)



写真1 高圧ピストンポンプ試験後のシリンダーの状態

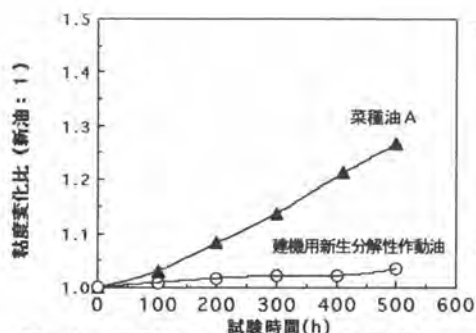


図-6 高圧ピストンポンプ試験におけるオイル粘度変化



写真 2 実的な生分解性の確認試験

### 3. 非黒色高荷重グリースの開発

#### 3.1 高荷重グリースへの要求

建機の高性能化に伴って二硫化モリブデンや黒鉛などの固体潤滑剤を配合した高荷重グリースの採用が増えているため、作業環境の汚損が問題となることがある。さらに、従来の高荷重グリースの耐荷重能が最近の建機に対しては不十分な場合も出てきており、給脂間隔延長の要求もある。そこで、建機用として殆どの箇所に使用できる非黒色の高荷重グリースを目標として、次世代の複合リチウムグリースをベースに世界初の固体潤滑剤「燐酸ガラス」を組合せて開発した。なお、自然環境に対して燐酸ガラスは無毒性であり、亜鉛、鉛や亜硝酸など環境毒性を持つ添加剤も配合していない。但し、基油には一般の鉱油を使用した。

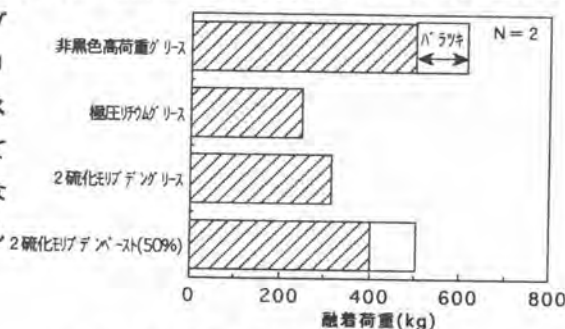


図-7 4球式耐荷重能試験結果

#### 3.2 非黒色高荷重グリースの性能

##### (1) 耐荷重能

高荷重グリースに必要な耐荷重能は図7に示すように一般の極圧(E.P)リチウムグリースの2倍以上あり、二硫化モリブデンペースト以上の耐荷重能があることが分かった。

##### (2) 耐ダスト性能

作業機のピンブッシュなどでは泥水が入り込み早期摩耗を生じることがある。そこで、1%のダスト(関東ローム土)をグリースに添加して摩耗

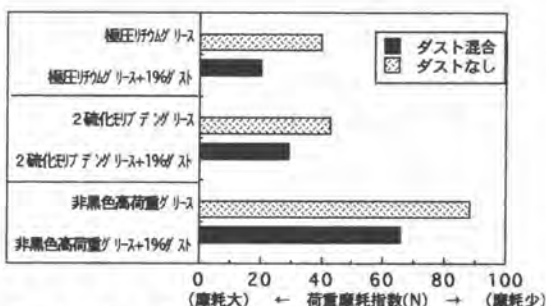


図-8 ダスト入りグリースの4球式耐荷重試験結果



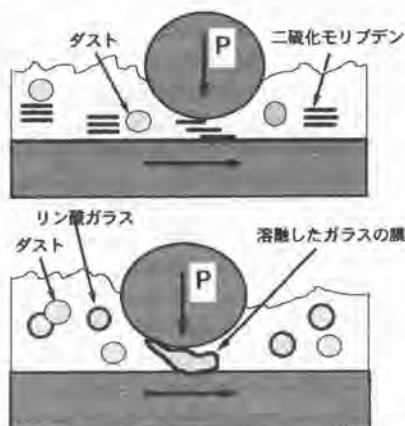


図-9 非黒色高荷重グリースの作用メカニズム

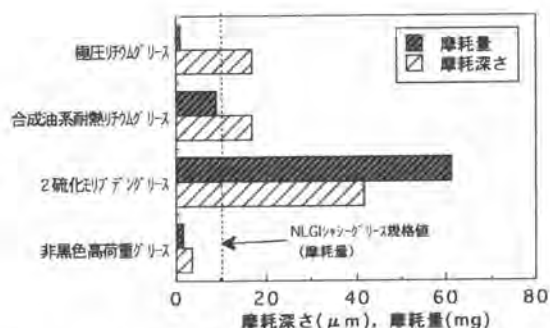


図-10 ASTMベアリング・フルティンク 摩耗試験の結果

量を調べた。非黒色高荷重グリースはダストを混合した状態においても二硫化モリブデングリース新品よりも耐摩耗性は高かった (図 8)。

リン酸ガラスの潤滑作用メカニズムは従来の固体潤滑剤と異なり、摩擦やダストにより摩擦面温度が上がると溶解して厚い潤滑膜を形成して摩耗や焼付きを防ぐと考えられる (図 9)。

### (3) 耐フレッチング性

二硫化モリブデンはフレッチング摩耗に悪影響する可能性がある。これに対して非黒色高荷重グリースのリン酸ガラスは図10のように耐フレッチングに悪影響を与えないことも分かった。

### (4) 高温ベアリング性能

非黒色高荷重グリースは複合リチウムグリースを採用しているため高温での耐久性は高い。また、高温・高速ベアリングに対しても優れた潤滑性があり、一般リチウムグリースの3倍の寿命が得られる (表 2)。従って、エンジンやパワーライン回りの高温・高回転のベアリングにも採用可能である。

### (5) ダンプホイールハブ用としての性能

ホイールハブではグリースのせん断安定性が要求され、極圧リチウムグリースでは著しく軟化してグリース漏れが生じる。非黒色高荷重グリースは建機用ホイールハブグリースよりもちょう度変化が少な

表 2 ASTMベアリンググリース潤滑寿命試験 (3,500rpm × 125°C)

供試グリース	ベアリング 寿命 (h)
極圧リチウムグリース	500
耐熱ウレアグリース	1,500
非黒色高荷重グリース	1,500

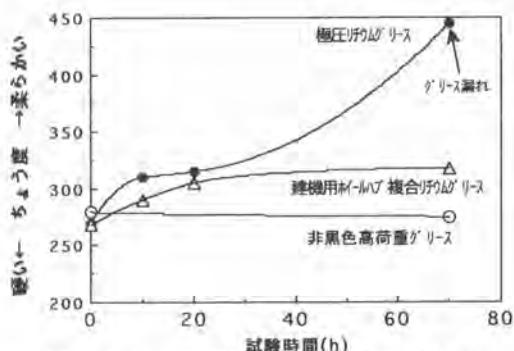


図-11 低速ロール安定度試験結果

く（図11）、ホイールハブ用としても使用できる。

### 3. 3 油圧ショベル実車試験

実用的な性能を確認するため、建機で問題となりやすい作業機ピンブッシュに対する潤滑性を評価した。作業機油圧シリンダのピンブッシュにグリースを充填した後、かじりが生じる迄の作業機の上下動回数を測定した（写真 3）。この結果、非黒色高荷重グリースは図13のように極圧グリースや二硫化モリブデングリースの 2倍以上の回数までかじりを起こさず、給脂間隔延長をできることが確認できた。



写真 3 油圧ショベルによる作業機ピンかじり試験状況

## 4. まとめ

建機用新生分解性作動油について、

- (1) エンジン油 S A E 10Wと同様に使用できる建機用の新生分解性作動油を開発した。
- (2) 本油は、エンジン油と同等の高い摩擦係数を有しているため、駐車ブレーキの安全性を確保できる。また、高い耐摩耗性やエンジン油との混合安定性があり、建機の高圧油圧ポンプに対しても耐久性を保證できる。

- (3) 自然環境下では約一ヵ月で生分解して無くなり、自然環境を復元することができる。

非黒色高荷重万能グリースについて、

- (4) 作業環境改善のため、非黒色の固体潤滑剤入り高荷重グリースを開発した。
- (5) 本グリースは二硫化モリブデンペースト以上の耐荷重能があり、優れた耐ダスト性やフレットィング防止性を有している。また、万能グリースとしてエンジン回りなどの高温用やホイールハブ用などにも使用できる。
- (6) 油圧ショベル実車試験でも本グリースはピンブッシュの給脂間隔を延長できることが実証された。

## 5. あとがき

なお、本油脂開発の経験を生かして、生分解性グリースも同時開発した。今後、これらの油脂が自然環境保護と作業環境改善のために広く利用されることを期待している。

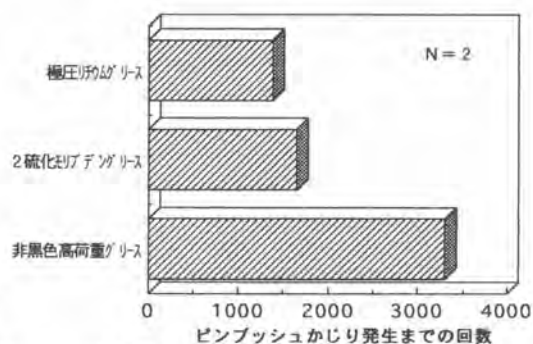


図-12 油圧ショベルによる作業機ピンかじり試験

# 35. DJM 機を用いた汚染土壌の浄化技術

～有機塩素化合物によって汚染された土壌の修復～

大成建設(株)：氏家 正人

## 1. はじめに

半導体産業のようなハイテク産業が盛んになる中で、トリクロロエチレンに代表される揮発性有機塩素化合物（VOCs）による汚染地下水及び土壌汚染が近年社会的問題として大きくクローズアップされている。これに対して我が国では、1994年2月に環境庁によって土の汚染にかかわる環境基準が設定され、土壌環境基準の達成に向けた事業者などによる取組が指導されている。

この汚染土壌に対する浄化技術の1つとしてDJM工法を応用し、この汚染土壌からの汚染物質の除去を試みた。ここにその結果について報告する。

## 2. 浄化法の概要

### 2. 1 原理

本工法は主として揮発性有機塩素化合物（VOCs）の粘性土層からの除去を目的として、土と汚染物質双方の特性に着目し、

- ① 土の含水比の低下
- ② 汚染物質の揮発促進

を同時に満足させる方法として考案したものであり、図-1に示す生石灰の水和反応原理を利用した攪拌混合工法である。

反応式およびメカニズムを以下に示す。

反応式：



メカニズム：

- ①生石灰と土を攪拌混合する。
- ②生石灰の水和反応の際の土中の水分奪取、及び水和反応熱による水分の蒸発により含水比は低下し、粘土層のような粘性の高い土質は砂状化する。
- ③水和反応により空気を通り易くなった土壌を攪拌曝気することにより、ガス化した汚染物質を回収する。

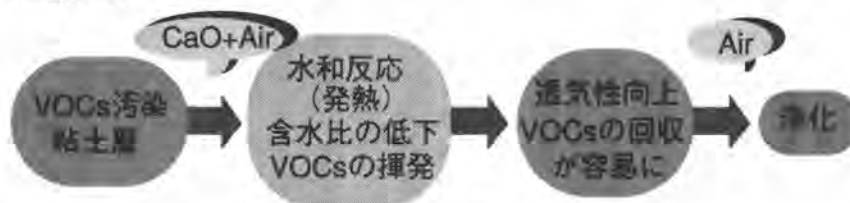


図-1 浄化メカニズムフロー図

## 2. 2 浄化方法

既存の軟弱地盤改良工法で用いられるDJM機を用いて、圧縮空気と生石灰を攪拌翼の先端に送り、攪拌・混合する。土壌中に混合された生石灰は、前記の水和反応によって土中に存在する汚染物質をガス化させ、圧送されたエアと共にフードに回収される。回収された汚染物質を含む空気は、溶剤回収装置に送られここで汚染物質は原液として回収され、また浄化された空気は大気に放出される。

以上のような浄化システムで、汚染土壌中から除去された汚染ガスが大気中に放出されることなく回収できる。(図-2)

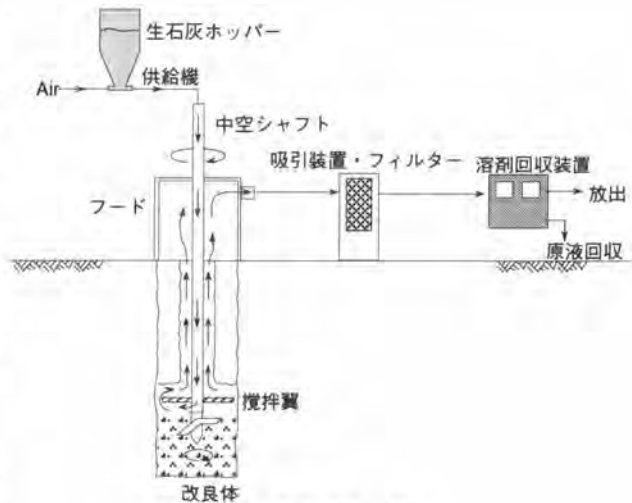


図-3 浄化フロー図

## 3. 実証試験

前記による方法を用いて実際の汚染サイトで浄化を行ない、浄化程度および工事としての実用性について検証した。

### 3. 1 浄化運転条件

#### (a) 混合機運転条件

生石灰混合量： 100 及び 150 kg/m <sup>3</sup>	ロッド回転数： 30 rpm
貫入速度： 0.4m/min	吸引エア-量： 3~4m <sup>3</sup> /min
羽根きり回転数： 300回転/m	1 コラムの径： φ 1.0 <sup>m</sup>
吐出エア-量： 2.5m <sup>3</sup> /min	深 度： GL-5.5m

#### (b) 生石灰攪拌混合条件

生石灰混合方法は、1サイクル目の引抜き吐出を基本とし図-3に示すような手順で行い、放置日数、再攪拌回数、生石灰混合量のパラメータに対し、効果的な浄化が達成できる最適条件について調べるために、以下のようなブロックに分割しての試験を行なった。

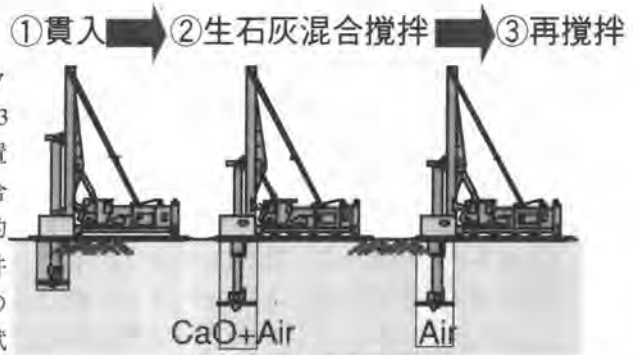


図-3 浄化手順図

Aブロック：生石灰混合量を100kg/m<sup>3</sup>で、2サイクル終了後に1, 3, 7日の放置期間において再攪拌する方法を3ケース行なった。

Bブロック：生石灰混合量は100kg/m<sup>3</sup>で、4ケースについて数回の再攪拌を行なった。  
 Cブロック：生石灰混合量を150kg/m<sup>3</sup>で、5ケースについて数回の再攪拌を行なった。  
 ここで1サイクルは、貫入+引抜きとした。

### (c) 攪拌翼の改良

DJM工法は本来軟弱地盤の改良を目的としているため、本体の攪拌トルクは土質によって異なるが、N値10程度の改良を限界値としている。

ところが今回のような土壌の浄化に用いる場合、工場が隣接しているサイトが多く支持地盤も安定していることが予想できる。

今回の試験サイトにおいても事前調査結果からは、N値15~20を示していた。またこの浄化工程では生石灰混合後再攪拌を伴うため、生石灰の水和反応による再攪拌時の負荷が増大することが予想されたため、攪拌トルクの軽減を目的とした攪拌翼の改良を行った。

図-4に作成した攪拌翼を、表-1にこれを用いた負荷について電流値で従来型との比較を行った。

この結果より貫入・引き抜きいずれの工程においても、明らかに本体にかかる負荷の低減を確認することが出来た。またその後のボーリングサンプルによって、土壌中には十分に生石灰が混合されており、回収ガス濃度も従来型と同等の高濃度ガスを回収することが出来た。

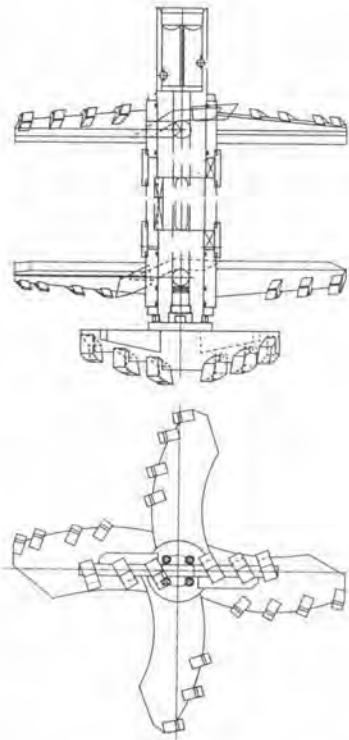


図-4 改良攪拌翼略図

表-1 攪拌翼の負荷の比較

サイクル	従来型	改良型
貫入	100	90
引抜き混合	200	140
再貫入	80	60
再引抜き	200	200

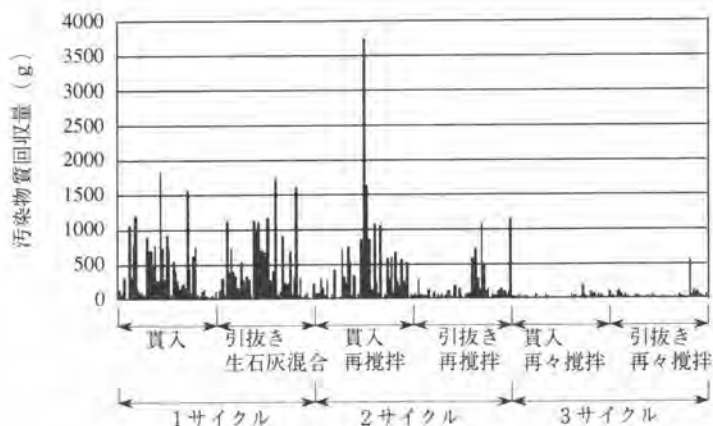
\*単位：電流値A

## 3. 2 浄化試験結果

### (a) 浄化運転中の汚染ガス回収量状況

汚染ガスの回収量は、溶剤回収装置に入る配管中のガス濃度から算出した。図-5に回収量の一例を示す。

この図より、1~2サイクルでガスを回収する量が多いことがわかる。これは、1サイクル目の貫入時では土壌の攪乱が主として行われ、引抜き時には生石灰の混合と同時に昇温して汚染物質の気化が促進され、さらに再攪拌を行なうことによる曝気効果によってガス化した汚染物質を効率良く系外に取り出しているものと考えられる。ここで全回収量に対する1~2サイクルまでの回収量の割合を算出すると、平均で約93%に達している。



生石灰混合搅拌工程

図-5 各サイクル毎のガス回収量

(b) 検証調査

改良施工1週間後にボーリング試料から汚染物質の残留濃度を測定した。そして、改良前の値との比較から浄化率を求めた。深度別浄化結果を表-2に示す。

改良パターンの違い、再搅拌回数の違い、さらには生石灰混合量の違いによる浄化率の違いは、顕著には表れなかった。しかし、初期濃度が各物質の合計で数百～数千mg/kgであった汚染土が、処理後には全ての箇所において数～数十mg/kgとなり、90%以上の浄化率が得られた。

この結果から、本サイトの汚染粘性土の場合、生石灰混合量は100～150kg/m<sup>3</sup>程度で平均98.1%の浄化率が得られることが確認できた。

表-2 本方法を用いた浄化結果

ブロック	深度 (m)	初期濃度 (mg/kg)	浄化後濃度 (mg/kg)	浄化率 (%)
Aブロック (CaO100Kg/m <sup>3</sup> )	1.0	1721.90	0.30	99.98
	2.0	943.40	9.70	98.97
	3.0	2991.30	15.56	99.48
	4.0	658.10	61.63	90.64
	5.0	560.20	56.00	90.00
Bブロック (CaO100Kg/m <sup>3</sup> )	1.0	1721.90	2.70	99.84
	2.0	943.40	7.15	99.24
	3.0	2991.30	4.13	99.86
	4.0	658.10	2.14	99.67
	5.0	560.20	4.76	99.15
Cブロック (CaO150Kg/m <sup>3</sup> )	1.0	—	0.44	—
	2.0	440.00	1.72	99.61
	3.0	522.40	1.39	99.73
	4.0	117.00	2.55	97.82
	5.0	509.90	3.44	99.33
平均		1095.65	11.57	98.10

5. まとめ

今回のオンサイト試験結果から得られたことがらについて以下に整理した。

1. 搅拌翼の形状を変えることによって、本体の負荷を軽減させることが出来た。
2. トリクロロエチレンなどの有機塩素化合物で汚染された粘性土層に対し、生石灰を搅拌・混合することによって、短時間に高い浄化率を得ることができた。
3. 引抜き時に生石灰を混合し2サイクルの搅拌を行うことで90%以上の浄化率が得られた。
4. 排出した有機塩素化合物は、溶剤回収装置によって大気に放出することはなく回収することができた。

## 36. 排水性舗装機能回復車の開発

酒井重工業㈱：岸 幸雄

### 1. まえがき

わが国における排水性舗装は、昭和62年に東京都で初めて施工されて以来、平成5年度末には200万㎡を超えている。排水性舗装は、雨天時の車両の走行安全性の向上効果および車両走行騒音の低減効果を期待したものであるが、これらの効果は排水性舗装の空隙への塵埃等の詰まりにより供用後低下の傾向にあり、排水性舗装の普及上の課題の一つになっている。このような状況に鑑み、排水性舗装の空隙詰まり物質を効果的に除去し、本来の排水性舗装の持つ機能を回復させるための排水性舗装機能回復車（クリーンジェットCJ400）を開発したので、その概要を述べる。

### 2. 開発の目標

開発の目標として下記の項目を設定した。

- (1) 機能回復効果があること。
- (2) 作業性がよいこと。
- (3) 使用した水は回収・再利用できること。
- (4) 機能回復作業に伴い、沿道に汚泥水の流出等沿道環境を害することがないこと。
- (5) 骨材やバインダの剥離等、舗装体への影響が少ないこと。



写真1 排水性舗装機能回復車

### 3. 機能回復手法の選定

機能回復の方式としては、次のようなものがある。

- (1) 圧縮空気吹き付け－塵埃吸引方式
- (2) 高周波振動－汚泥水吸引方式
- (3) 薬剤による洗浄方式
- (4) 回転ノズルによる高圧水噴射－汚泥水吸引方式
- (5) 固定ノズル（フラットノズル）による高圧水噴射－汚泥水吸引方式

これらの方式はそれぞれ次のような特徴を持っている。

- (1) 圧縮空気吹き付け－塵埃吸引方式  
⇒フィルターシステムが大掛かりなものとなり車載には適さない。
- (2) 高周波振動－汚泥水吸引方式

⇒単位時間当たりの処理能力を大きくすることが難しい。

(3) 薬剤による洗浄方式

⇒環境への配慮等、取扱いに細心の注意を要する。

(4) 回転ノズルによる高圧水噴射－汚泥水吸引方式

⇒少数のノズルで広い面積をカバーできる利点がある反面、高速での作業時にはノズルが1回転する間の移動距離が大きくなり、洗浄できない部分が増える。

(5) 固定ノズル（フラットノズル）による高圧水噴射－汚泥水吸引方式

⇒比較的大きな動力を要する。

以上の点に鑑みて、比較的大きな動力を要するものの、高速での洗浄作業にも適する固定ノズルによる高圧水噴射－汚泥水吸引方式を採用した。

4. 開発された排水性舗装機能回復車の概要

4.1 概要

開発された排水性舗装機能回復車は、高圧水噴射および汚泥水吸引方式による自走式排水性舗装機能回復車であり、吸引回収された汚泥水は沈澱濾過され再利用される。

排水性舗装機能回復車の外観を写真1に、外観図を図1示す。また、システムの概要を図2に、主要諸元を表1に示す。

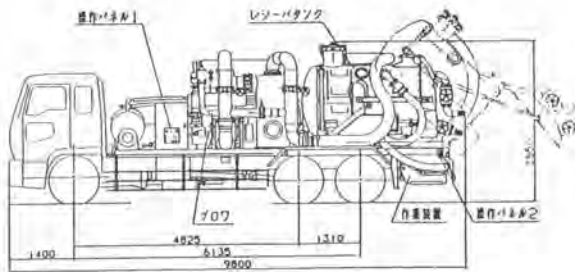


図1 排水性舗装機能回復車の外観

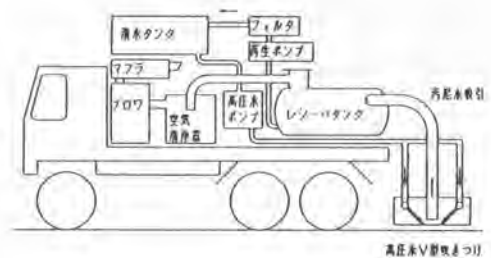


図2 システム概要

表1 主要諸元

重量	車両総重量	19,500 kg	車両	いすゞ ギガ(CXM81R1)
	最大積載量	2,000 kg	作業装置	
機関	型式(メーカー)	10PE1 (いすゞ)	作業幅	2,000 mm
	最高出力	360ps/2,300rpm	シフト量	700 mm (左右共)
寸法	全長	9,800 mm	作業速度	0~30m/min
	全幅	2,490 mm	清水タンク容量	2,000 ℓ
	全高	3,550 mm		



## 4.2 特徴

開発された排水性舗装機能回復車は、次のような特徴を持っている。

### (1) V型ノズル配置の採用

作業装置は、図3に示すとおり、前後2列にV型に配置された高圧水噴射ノズルとその中央部を直接吸引する吸引ダクトにより構成され、V型の水噴射による中央部の空隙詰まり物質に対する前後からの押し出し効果とその中央部を直接吸引することの相乗効果で高い機能回復効果を得ている。そして、前からと後ろからというようにそれぞれ別の方向からV型に高圧水を噴射することで、骨材裏側の空隙詰まり物質の除去も効率良く行えるようにしている。

また、路面に衝突した洗浄水が路面に滞留することなく直ちに吸引回収されるようにしていることで、滞留水が高圧水の路面への衝突を妨げることがなく、また一度遊離した空隙詰まり物質が再び空隙内に戻ってしまうことがないようにしている。

さらに、作業装置内への空気の流れを噴射された高圧水と平行にすることで、高圧水の持つ衝突エネルギーのロスを最小限に抑えている。

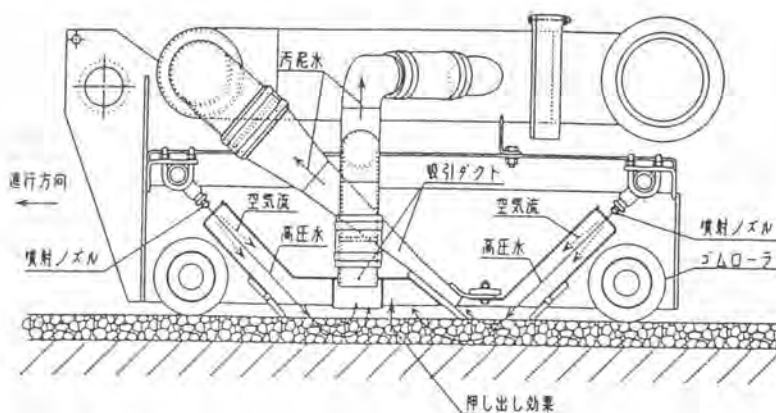


図3 排水性舗装機能回復車の作業装置

### (2) 作業装置のフローティング

作業装置の路面との接触部には、外部との遮蔽板と作業装置の支持用キャストを兼ねた軟らかいゴムでコーティングされた長い回転ローラが採用されている。

したがって、わだち等の路面の不陸に対しても作業装置内部の気密性がよく保たれ作業装置が路面に吸い付いて走行しずらくなってしまいうことなく、高い真空度を保ったままの作業が行えるようになっている。

### (3) 作業装置のシフト機構の採用

作業装置は、油圧により左右にそれぞれ700mmシフトすることが可能である。

これにより、路肩や中央分離帯際あるいは隣接車線際での機能回復作業が安全・容易にできる。また、作業開始時における左右の位置決めが、車両の幅寄せに頼ることなく容易に行える。

#### (4) 容易な回収汚泥水の排出

レシーバタンクに回収された汚泥水ないし汚泥の排出は、レシーバタンクを車両後方にスライドさせ、さらにダンプさせることで行われる。(図1参照)

レシーバタンクのスライド、ダンプそして後部ハッチの開閉は、全てスイッチ操作により油圧で行われるため、工具を使うことなく、容易に短時間で汚泥水の排出及びタンク内部の洗浄ができる。また、タンク内の水洗浄の便に供せるように、散水ポンプとホースが装備されている。

#### (5) H S Tを用いた微速走行装置

作業用微速走行装置は、H S T駆動を採用しているため、作業条件に合わせた最適な速度が得られる。

### 5. 性能

排水機能の回復効果を確認するため、場内排水性舗装テストヤードにて3回にわたり機能回復試験を行った。試験の状況を写真2に示す。また機能回復試験結果を表2に、目詰め材と目詰め方法を表3に示す。なお、作業速度は毎分10mで行った。



写真2 機能回復試験

表2 機能回復試験結果一覧

	測点数 n	現場透水量 (cc/15sec)		透水時間 (sec/400cc)		回復率 (%)	回復倍率
		回復前	回復後	回復前	回復後		
試験1	18	23	984	263	6.1	—	43
試験2	12	97	968	61.6	6.2	89	10
試験3	20	164	1017	36.5	5.9	92	6

表3 目詰め材と目詰め方法

	目詰め材	目詰め方法
試験 1 & 試験 2	真砂土 (5mm 以下) ↓ 石 粉 ↓ アスコン細材 (5mm 以下) ↓ 真砂土 ↓ 石 粉	① 真砂土を散布する。 ② 箒で均し、余剰分を除去した後、プレートコンパクタにより全面一回振動を与える。 ③ 石粉を散布し、②の作業を行う。 ④ アスコン細材を散布し、②の作業を行う。 ⑤ 散水しながらタイヤローラにて転圧する。 ⑥ 真砂土を散布し、②の作業を行う。 ⑦ ⑤の作業を行う。 ⑧ 開口部に石粉を散布し、散水しながらタイヤローラにて転圧した後、余剰分を除去する。
試験 3	真砂土 (2.5mm以下)	① 乾燥した真砂土を2.5 kg/m <sup>2</sup> の割合で散布し、ゴムレーキにより擦り込む。 ② 0.5 l/m <sup>2</sup> の割合で水をジョーロで散布する。 ③ 3時間養生する。

「回復率」とは、機能回復作業により、完全機能回復状態（試験2においては5.5秒、試験3においては5.4秒であった）にどこまで近づいたかという概念から定めたものであり、透水性能が、①目詰まり物の影響、②舗装体の空隙の大きさや配列による影響、③計測器による影響等の要因を包含した評価指標であることを考慮したものである。

一方、「回復倍率」とは、機能回復作業前と後の透水時間の比を表したものである。

式1および式2に回復率および回復倍率の算出方法を、図4に透水性能の概念図を示す。

$$\text{回復率} = \frac{\text{完全機能回復状態における透水時間}}{\text{機能回復作業後における透水時間}} \times 100 (\%) \quad \text{式1}$$

$$= \frac{A}{C} \times 100 (\%)$$

$$\text{回復倍率} = \frac{\text{機能回復作業前における透水時間}}{\text{機能回復作業後における透水時間}} \quad \text{式 2}$$

$$= \frac{B}{C}$$

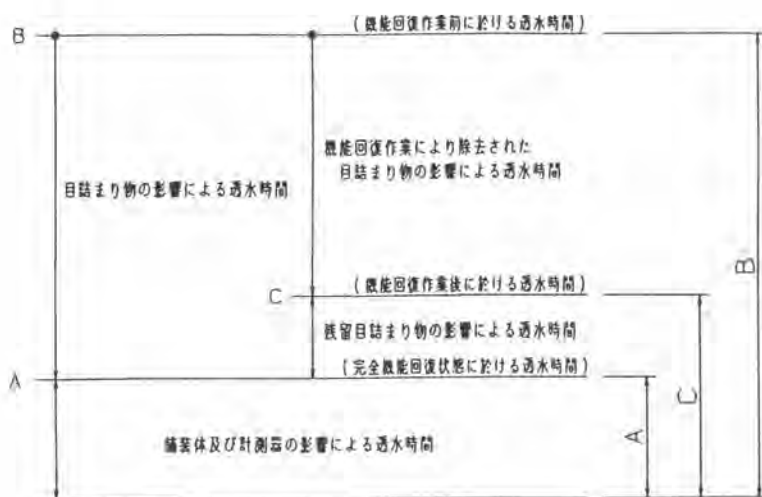


図4 透水性能概念図

表2に示すとおり、試験1～試験3の全てにおいて、回復前の現場透水量が300cc/15sec以下であったものが、機能回復作業を実施したことにより900cc/15sec以上まで回復した。また、その他の開発目標についても、いずれも目標を満足する結果であった。

#### 6. あとがき

今回行ったテストヤードにおける試験は、人為的に作った空隙詰まりに対するものであるため、比較的容易に空隙詰まり物質の除去ができた。しかし、実際の道路での空隙詰まり物質の除去は、空隙詰まり物質、空隙詰まりが起るまでの経緯等千差万別であり、実際には空隙詰まり物質の除去は容易ではない場合も多々あるものと思われる。

また、テストヤードでの人為的空隙詰まりに対して最適な空隙詰まり物質の除去方法が必ずしも実際の道路におけるそれと一致するとは限らない。今後、実際の道路での施工実績を積み重ねる中で、より完成度の高い排水性舗装機能回復車の開発を進めていきたい。

# 37. 多機能型排水性舗装清掃車の開発

建設省北陸技術事務所： 渡部 敏男, 本間 政幸  
\*阿部 和成

## 1. まえがき

近年施工箇所が増大している排水性舗装は、北陸地建管内において平成7年度末現在で総施工面積49,800m<sup>2</sup>、総延長は12.2kmに達しておりその機能性から今後益々増大すると予測される。

排水性舗装は施工後、土砂やホコリ等によって空隙詰まりが進行し、図-1に示す様に次第に排水機能が低下してしまうため、清掃等により機能の回復を図る必要がある。

しかし、現状ではそれらを清掃するための適当な手段や機械がないため、高圧水洗浄と吸引等により機能回復手法が試行されている程度で、車道用としての清掃車は完成されていなかった。そこで、排水機能の回復を図る目的で清掃基礎試験と実験装置による現道清掃試験を行い、排水性舗装清掃装置を開発するとともに、効率的運用の観点から、側溝・排水管の清掃も行うことのできる「多機能型排水性舗装清掃車」の開発を行うものである。

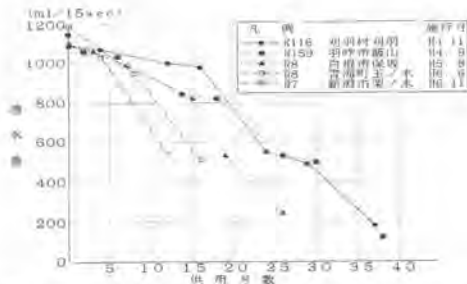


図-1 排水性舗装の空隙詰りによる機能低下

## 2. 開発の概要

現状の機能回復手法は調査研究開発段階で、かつ清掃規模も歩道を対象とした小型装置で実施されている。そこで、車道規模の清掃車を開発するため、清掃基礎試験を実施し「高圧水+真空吸引」の清掃方法が効果的と判断した。また、清掃には多量の洗浄水を必要とするが、実験装置により80~90%を回収できたことから、吸引した水を再利用することにより、連続清掃延長の延伸を図ることとした。これらの結果を基に排水性舗装清掃車として実用機の仕様を作成した。なお、清掃効果の評価は舗装試験法便覧の「透水性アスファルト舗装の現場透水試験方法」によった。

## 3. 実験装置による基礎試験

### 3.1 清掃基礎試験

排水性舗装の具体的な清掃方法を決定することを目的とし清掃基礎試験を実施した。

調査は北陸技術事務所構内に施工した排水性舗装に、空隙詰り実態調査で求めた粒度と同様の分布に調整した物質(表-1)を水と混合して散布し、人工的に空隙詰り状態を作り清掃試験を行った。

また、清掃装置の要素試験として表-2に示す試験項目と清掃条件の組み合わせにより効果的な清掃方法を確認した。清掃基礎試験の結果を表-3に、試験状況を写真-1に示す。

表-1 人工空隙詰り物質

材料名 (重量比)	
砂丘砂	(65.0%)
7号珪砂	(20.0%)
石粉	(12.5%)
消石灰	(2.5%)
密度	1.65g/cm <sup>3</sup>

表-2 試験項目と清掃条件の組合せ

試験項目	条件の組み合わせ
①洗浄水吐出圧力	60, 100, 150 kgf/cm <sup>2</sup>
②ノズルの種類	0°(直進), 30°(扇形), 65°(扇形)
③路面への噴射角度	0°(直角), 15°, 30°, 45°
④清掃後の方法	水洗, 真空吸引(2,3,4回), そのまま

表一 3 清掃基礎試験の結果

清掃方法及び清掃試験結果	判定
①高圧水による洗浄 硬化した空隙詰り物質をほぐす効果がある。ただし、ほぐされた物質を除去しないと再び空隙詰りを起こす。	○
②真空吸引による洗浄 表面の砂、ホコリ等は除去されるが硬化した部分は殆ど清掃できない。	△
③高圧水+真空吸引 高圧水により硬化した空隙詰り物質をほぐす効果と、ほぐした後の吸引により清掃効果が期待できる。	◎
④過酸化水素水(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) 硬化した空隙詰り物質を緩め厚き上がらせる洗浄効果を期待したが、有効な結果が得られなかった。薬品は劇薬扱いであり現道上での取り扱いは現実的でない。	×
⑤超音波振動機による洗浄 硬化した空隙詰り物質を緩め吸引効果促進を期待したが、コアの水中洗浄試験の結果、空隙詰り物質が分離せず効果が得られない。	×



写真一 1 清掃基礎試験状況

調査の結果、「高圧水による洗浄+真空吸引」の清掃方法が効果的であることが判明した。

清掃装置の洗浄水吐出圧力、ノズルの噴射角度、路面への噴射角度については次のことが解った。

- ①洗浄水吐出圧力：圧力差による歴然とした差は見られなかったものの、圧力が高くなるほど洗浄効率が良くなる傾向がある。ただし150kgf/cm<sup>2</sup>になると排水性舗装材の飛散が非常に多くなるため、吐出圧力は100kgf/cm<sup>2</sup>程度に抑える必要がある。
- ②ノズルの噴射角度：噴射角度の違いによる清掃効果の差は確認できなかった。清掃装置を開発する場合、清掃の均一性の確保からノズルの噴射角度を広く(65°)した方が良い。
- ③路面への噴射角度：路面への噴射角度の違いによる清掃効果は15°が若干良かった。

### 3. 2 実験装置の製作

清掃基礎試験結果を受けて清掃実験装置(図-2)を製作した。実験装置の構造は、①の2組のバーの先端に、路面に対して角度を付けた②の2個の洗浄用ノズルを取り付け、噴射される水の圧力で舗装表面近くの固結した空隙詰まり物質を緩めて粉碎した後、③の吸引口から真空吸引により、清掃するものである。なお実験装置には作業の安全性・作業性能向上のため以下の対策を施した。

- (1) 高圧水の飛散防止のため全体を鋼製カバー④で覆い、道路と接する部分には水・ゴミ等の飛散防止および吸引口の真空状態を高めるため作業装置の周囲にゴム板⑤を取付た。
- (2) 吸引口は、試験のため路面間の高さ調整が可能で、吸引口と舗装間はゴム板⑥で真空状態を保持する。
- (3) 吸引口③からホース取付け口⑧の間で形状が変化するため、この部分の真空吸引内部損失を極力少なくするように⑦の扇形等断面形状のダクト構造とした。

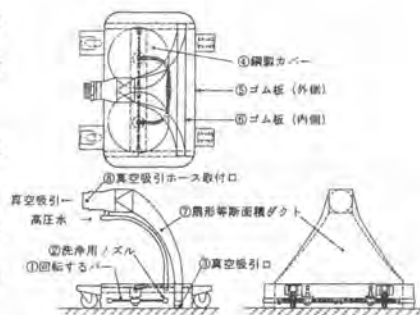


図-2 清掃実験装置

### 4. 清掃効果試験

清掃実験装置を使用して清掃速度と清掃効果の関係を構内の試験舗装で、現道上での清掃効果試験を図-3に示す2現場において写真-2のように実施した。

清掃速度と透水量の増加量の関係を図-4に示す。試験の結果から清掃速度と透水量の増加量には相関傾向がみられたが、速度を速くすると清掃効果は減少傾向にあるので適切な速度を選択する必要

がある。本調査結果からは 2~3km/hが適当と思われる。

現道上での清掃試験の結果は図-5のとおりで、清掃前の透水量（道路横断5箇所平均）が 400ml/15secの保坂1回目と栗の木BP3回目の清掃では 800ml/15sec程度まで機能の回復が確認された。しかし空隙詰りが進行し清掃前の透水量が 100ml/15sec前後となった保坂2回目の清掃では機能回復にバラツキがあり、目標とする透水量には回復しなかった。したがって空隙詰りが相当進行した場合の清掃は複数回清掃を行うか、清掃速度をかなり落として作業する必要があると思われる。



図-3 現場試験位置図



写真-2 清掃試験状況(栗の木BP)

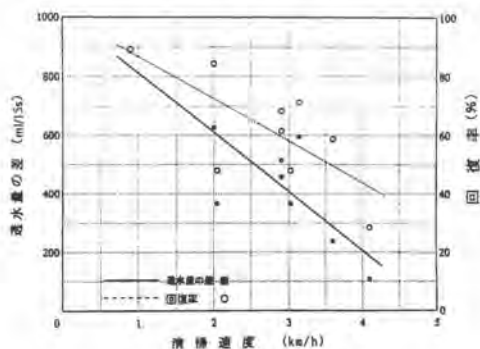


図-4 清掃速度と清掃効果

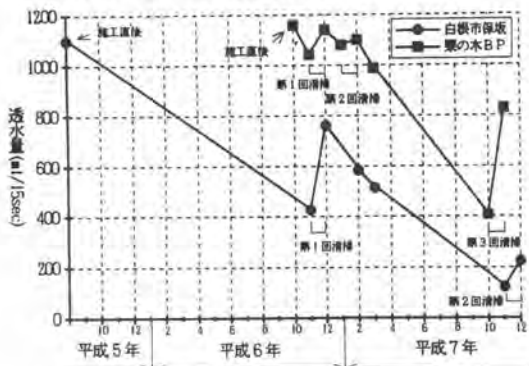


図-5 清掃実験装置による効果

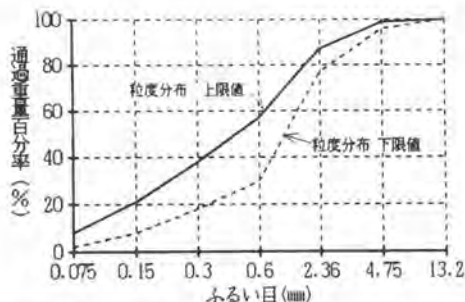


図-6 清掃により回収した空隙詰り物質

### 5. 回収試験

清掃により回収した空隙詰り物質粒度分布を図-6に、回収物の状況を写真-3に示す。

回収した空隙詰り物質はふるい目で13.2~0.075mmに幅広く分布しており吸引結果が良い。測定できなかった濁水中の泥分については 200ccあたり 0.4gであった。

清掃水の回収状況は清掃速度、高圧水の噴射と吸引のタイミングによる影響が大きいが、使用した水は80~90%回収できることが確認され、再利用の可能性と作業後の環境対策に期待が持たれる。

## 6. 実用機仕様のとりまとめ

実験装置による試験の結果を基に実用機として開発する排水性舗装清掃車の仕様を表-4に、全体図を図-7にとりまとめた。

- (1) 開発機の基本コンセプトは、以下に示す特徴を備えた。
  - ① 経済性や道路上の作業性を考えて、1台の車両で清掃を可能とした。
  - ② 清掃に使用した水はリサイクル使用を可能とした。
  - ③ 機械の効率的な運用を図るため排水性舗装の清掃、側溝清掃、排水管清掃が可能な多機能型排水性舗装清掃車とした。
  - ④ 清掃作業操作は運転室からも操作できるようにした。
- (2) 清掃作業を効率良く行うため、清掃装置につきの事項を考慮した。
  - ① 1車線を2回の走行で清掃可能な清掃幅とした。
  - ② 吸引効率を向上させるため、清掃装置に扇型等断面積形状ダクト構造を採用した。
  - ③ 清掃を均一に行うため、ノズルの回転を油圧駆動とした。



写真-3 回収物の状況

表-4 排水性舗装清掃車の仕様

全	長	9,700mm
	幅	2,400mm
全	高	3,400mm
	ホイールベース	5,650mm
車	体重量	16,190kg
	最大積載量	3,690kg
高	水圧ポンプ	最高圧力 200kg/cm <sup>2</sup> 吐出量 136ℓ/min
	真空ポンプ	風量 80m <sup>3</sup> /min 最高真空度 (-)450mmHg
本	セパレータ兼水切装置	形状 円筒型 分離形式 慣性分離方式
	タンク兼リサイクル装置	容量 3,690ℓ 濾過装置 多孔板分離式 湿式サイロン、円筒フィルター式
清	掃幅	2,200mm
	吸引開口部	2,100×40mm
	洗浄ノズル方式	4列 ロータリー型
	洗浄ノズル	1/4" 8個
	吐出ノズル回転方式	油圧モータ駆動方式
ス	ライド量	450mm

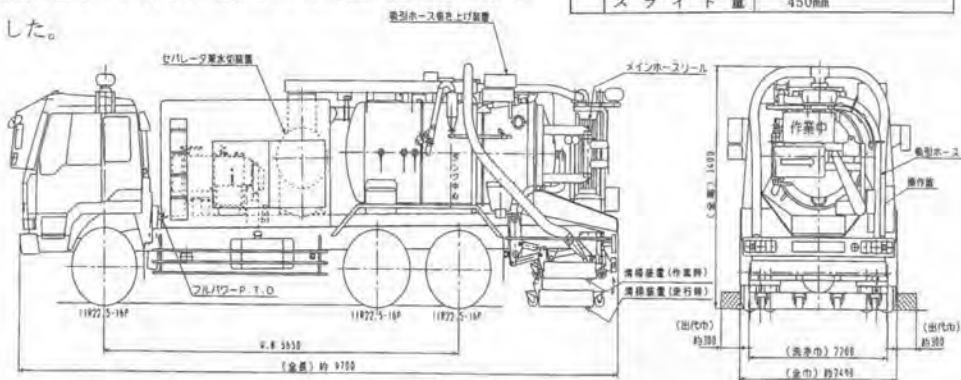


図-7 排水性舗装清掃車全体図

## 7. 結び

本調査の結果から、「高圧水+真空吸引」方式の清掃により排水性舗装の機能の回復が可能であることが判明し、作業速度と透水量の関係など、清掃効果の傾向が把握できた。本研究の成果に基づき、多機能型排水性舗装清掃車は平成8年度に1台実機として導入が予定されており、引き続き技術的なフォローを行っていきたい。

また、清掃サイクル等の施工法も合わせて現場へフィードバックする必要がある、それについてはマニュアルとして平成8年度にとりまとめる予定である。



## 38. ホイール式草刈車の開発

建設省東北技術事務所：菊地 幹雄，\*鈴木 邦昭

### 1. はじめに

河川堤防は出水時において、国民の生命と財産を守る重要な構造物である。その堤防の機能を維持するために除草作業は重要な役割を果たしている。

現在の除草作業は主に「肩掛け式」および「ハンドガイド式」により施工されている。一部で「大型自走式」が使用されているが、方向転換時等に堤防法面を傷めやすいという問題点がある。

そこで既存の草刈機械を見直し、新しい構想のもとに「ホイール式草刈車（8輪駆動・8輪操舵）」の開発を行った。

### 2. 基本開発構想

- ①堤防への損傷を極力少なくするために8輪ホイール式とし、懸架方式は全輪タンデムとする。
- ②堤防勾配1：1.9（約27.8°）まで施工可能な機械とする。
- ③作業効率の向上。

### 3. 堤防除草の実態調査

東北地建管内12工事事務所を対象に河川堤防実態調査を行い、管内延べ除草面積、法勾配、施工機種等について調査した。（平成2年度調査）

その結果、管内年間の除草延べ面積は約48,000千㎡であり、法勾配の内訳では1：1.9より緩い勾配が約82%（約39,500千㎡）であった。使用機械の割合では肩掛け式とハンドガイド式が合計で90%以上で法面自走式及びロングリーチ式で実施しているのが約7%と極めて低い結果が出た。

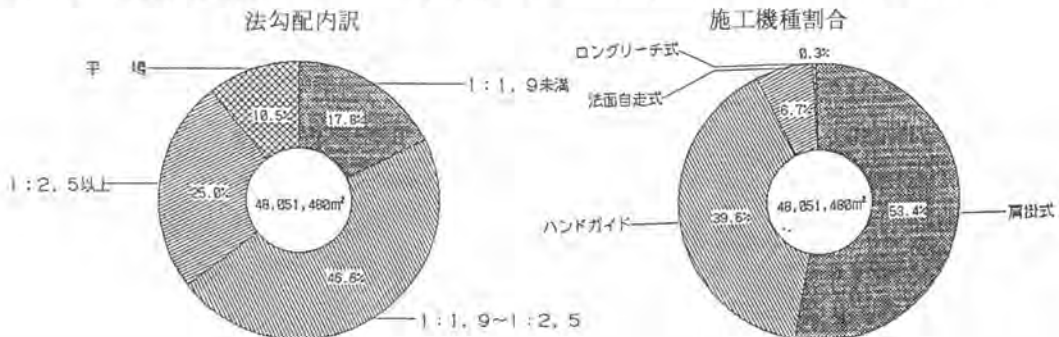


図-1 堤防除草の実態

#### 4. 各種草刈機械



ハンドガイド式



法面自走式（履带式）



ロングリーチ式



遠隔操縦式

写真-1 各種草刈機械

##### ①履带式の特徴

利 点：起伏の激しい斜面や不整地での走行が可能である。

問題点：旋回や方向変換の場合、スキッドステアリングが一般的で、地面を傷つけやすい。

##### ②ホイール式の特徴

利 点：旋回や方向変換の場合、タイヤ操舵なので地面の損傷が少ない。

問題点：搭乗式の法面自走草刈機械での使用実績が少ない。

#### 5. 試作機の製作及び現場適応性調査

堤防除草の実態調査を行った後、開発構想を基に試作機を製作した。（2機）

1号機は草刈作業装置を付けない走行体みの製作とした。（8輪ダブルタイヤ）

2号機は実際に草刈作業装置を取り付けた機械を製作した。（8輪シングルタイヤ）

2機の試作機の現場適応性調査の結果及び考察は次のとおりである。

##### ①1号機

1：1.7（約30.5°）の急勾配堤防において走行可能であった。

法面に対するスイング機構は運転席部分のみとし、主要機器（エンジン、油圧ユニット等）は同時にスイングしない構造とする。

##### ②2号機

草刈作業装置を当初ディスクモア式としたが石などの障害物に弱いことなどからハンマナイフモア式に交換した。

刈草によるラジエータの目づまりが生じ、作業停止があったので実用機製作時には構造を検討

する必要がある。

1：2。9堤防勾配で調査を行った結果、刈り取り面積を機械延べ運転時間で割った作業能力は約1,400m<sup>2</sup>/hとなった。同時施工したハンドガイド式草刈機（刈幅800mm）は460m<sup>2</sup>/hで約3倍の施工能力となった。

## 6. 実用機の設計及び製作

### ①走行装置

8輪式の場合、機械式デフ機構を持った車軸では4軸駆動とするためには4本のデフ軸あるいは2本のデフ軸と4個の動力分配装置が必要となり、各機器類の配置に苦慮している。実用機は既製品で機械式ブレーキを内装し、比較的コンパクトにまとまった油圧ホイールモータを採用した。動力系統の取り回しが配管のみで済むため自由度が高い。

タイヤは斜面（芝・草地）で滑りにくく、また堤防を傷つけないという目的からターフタイヤを採用した。

### ②キャビン自動スイング機構

堤防の傾斜に対し、常にキャビンを水平に保ち、運転者の疲労軽減を図るためキャビンに傾斜センサを設け傾斜時の出力により電磁バルブを作動させ水平を保つ。センサの異常時あるいは任意の角度に調節したいときのため手動操作にも切り替え可能とした。



図-2 キャビンスイングブロック図

### ③操舵方式

操舵は前二軸（4輪）と後二軸（4輪）で行い、走向位相の切り替え（通常・同相・異相）が可能で、切り替えは押しボタンにて操作が容易に行えるようにした。

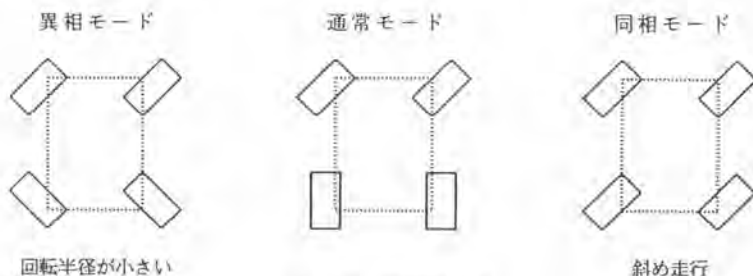


図-3 操舵モード

### ④制動装置

制動装置は前後進レバーを中立位置にすることにより、ホイールモータ内で自動的にかかる構造となっている。緊急時に備えペダル式制動装置も設けた。

### ⑤機械の大きさ

運搬時を考慮して試作機（2号機）より全長で約1.2m短くした。

### ⑥草刈作業装置

試作機（2号機）と同様、市販のものを装着した。

（ハンマナイフモア式）

### ⑦集草作業装置

草刈作業装置を取り外し、オプションで市販の集草作業装置を取り付けられる構造とした。

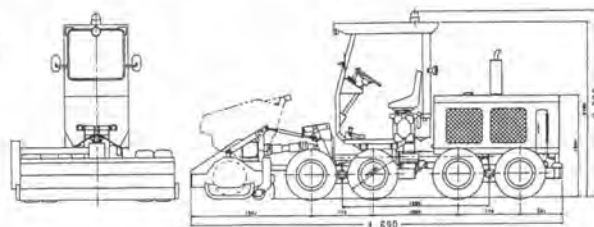
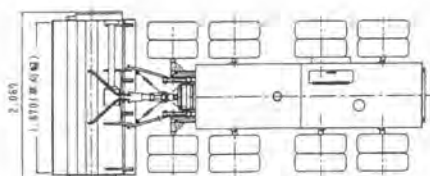


図-4 実用機平面図

表-1 実用機仕様

項目	仕様	項目	仕様	
機械形式	8輪(タフナイフ)式	エンジン出力	60.0PS /2200r.p.m	
走行形式	総輪駆動・総輪操舵	最大トルク	20.5kgm/1400r.p.m	
法面作業勾配	最大1:1.9(約27.8%)	走行速度	0～6km/h	
登坂能力	27.5°	重量	走行体	2,450kg
静的転倒角度	55°		草刈作業装置	450kg
			集草作業装置	160kg
全長	4,690mm	油圧ポンプ	押しのけ容積	40.6cc/rev
全高	2,320mm		定格圧力	210kgf/cm <sup>2</sup>
全幅	2,080mm		最高回転数	3600r.p.m
草刈作業幅	1,870mm	集草作業装置形式	集草・反転・拡散式	
草刈作業装置形式	ハンマナイフモア式	燃料	軽油	
蓄電池	24V			

### 7. 実用機の現場走行試験（平成8年3月）

実用機製作後現場において走行試験を行った。

1：2、4勾配の堤防は問題なく走行可能であった。

キャビンの自動スイング機構は斜面に応じて追従した。

走行速度は平均で約6km/hとなった。



写真-2 現場走行試験

### 8. おわりに

今後実際の草刈作業状況を調査し、さらに改善を行い2台目以降の実用機をより良いものとする。

## 39. 凍結防止剤散布の自動化技術の開発

建設省東北技術事務所：菊地 幹雄，\*落合 信孝

### 1. 開発の目的

冬期における道路交通の確保のため、道路除雪と路面凍結防止対策を実施しているが、特にスパイクレス化と共にその重要性が増しており、年々散布量及び除雪費用の増大も問題となってきている。

東北地方の冬の気象の特徴として、冬日日数が長く、かつ豪雪地域から少雪地域及び橋梁部、日陰部までと同一路線でも種々様々な路面状況が存在する。その状況に応じて、熟練オペレータの経験と判断により散布作業を行い、各路面状況に対して均一で経済的な散布を実施することは非常に困難である。オペレータの違いによっては散布判断も異なり、作業中の苦渋性も大きいものとなっている。また、オペレータの高年齢化に伴う熟練運転員不足から、散布作業のワンマン化、簡略化も望まれてきている。

このような背景の中、オペレータに左右されない、均一で経済的な散布の確立のため凍結防止剤散布の自動化技術の開発を検討するものである。また、本自動化が開発されると次の効果が期待される。

- ① 防滑作業における適正散布の実現（散布量・除雪費用の節減）
- ② 一定質・高レベルな冬期道路管理の実現
- ③ 凍結防止剤散布の単純化（ワンマン化・熟練運転員不足への対応）

### 2. 開発の全体計画

本開発は、平成7年度から平成9年度の予定で図-1に示す開発フローにより実施するものである。

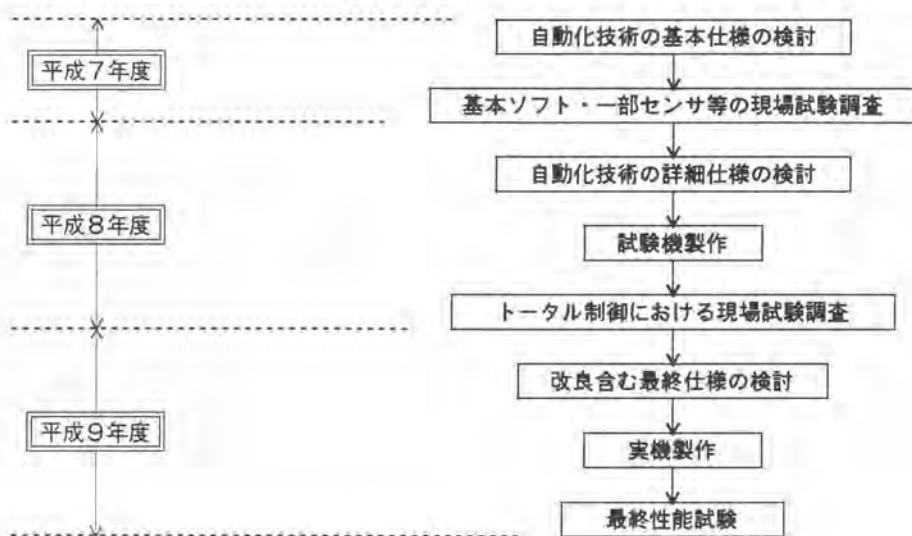


図-1 開発全体フロー

### 3. 検討概要

#### 3. 1 基本仕様の検討

散布作業の現場として、事前散布と降雪中散布を行うときの散布区間は散布作業時期になる前に、事前に現場の調査（道路パトロール）を行ったり、過去の作業データを調べることであらかじめ散布が必要と思われる区間を決め散布作業を行っている。しかし再凍結防止散布と滑面除去散布については、あらかじめ決められた散布作業予定区間以外の現場も、その時の路面状態に応じて散布を行っている。

以上のことから、散布作業の自動化を進めるにあたって表-1の機能が必要となる。

表-1 自動化に必要な機能一覧表

必要機能	機能の内容
あらかじめ決められた散布区間の位置データを記憶しておくメモリ機能	散布区間の位置情報の他にその区間における散布密度、散布幅等の散布に関する情報を記憶しておく。(メモリカード)
車両走行時に現在位置を常時検知できる走行測位機能	散布車の現在位置の緯度、経度を検知する。
車両走行時に路面状態を判別できる路面判別機能	乾燥・湿潤・新雪・圧雪・氷膜・氷板の路面状況を、走行しながら瞬時に判別する。
トータル制御	上記の機能を総括し、一連の制御を行う制御器の開発をする。

次に、これらのシステムの流れを図-2に示す。

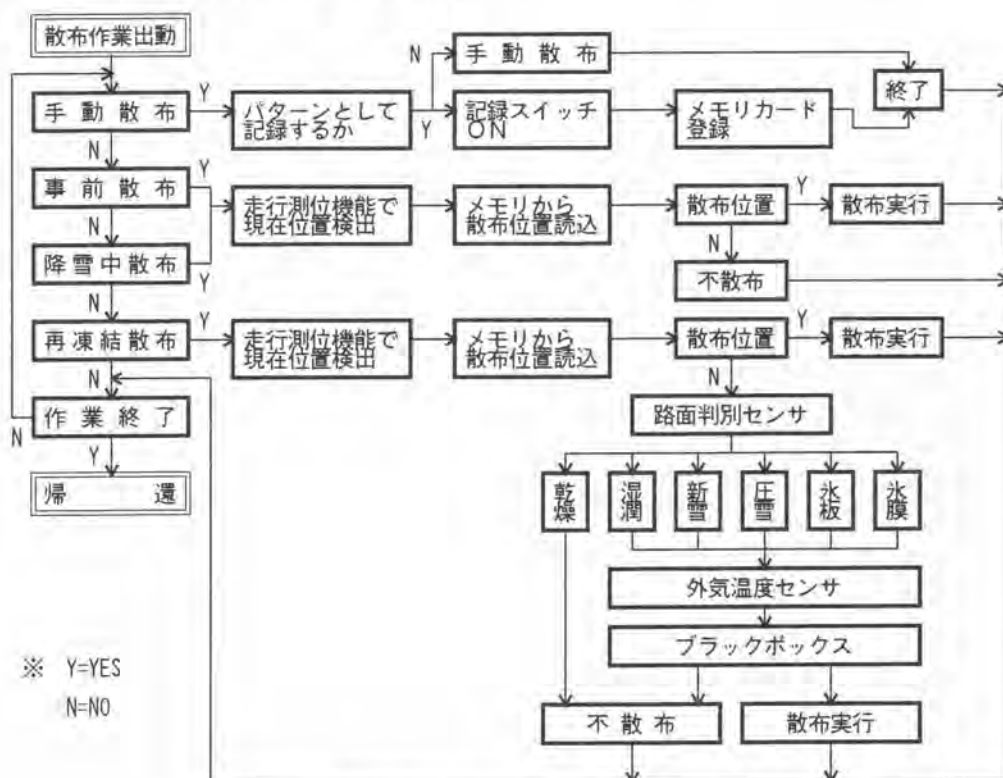


図-2 システム全体フロー

### 3. 2 検討項目

#### 3. 2. 1 道路状況パターン

道路状況パターンの位置データ及び散布密度、散布幅等の各散布データを保存するメモリ機能には次の条件が必要となる。

- 1) パソコン等で入力、編集が可能であること。
- 2) 制御器に装着しティーチング方式によりデータ入力が可能であること。
- 3) 車載の際、振動等による物理的な問題が起りにくいこと。
- 4) 記憶容量が十分なこと。

橋梁、日陰、トンネル等の各道路状況パターンの情報は、最終的には散布区間又は、散布解除区間の情報として大別される。また、作業区間全体は散布区間と散布解除区間が連続している状態と考えられる。従ってメモリカードに登録するデータは散布区間、散布解除区間を各ステップと考え連続した番号を付けることによって表すことになる。また各ステップ毎に車両の散布作業状態のデータ（車両位置データ、設定散布密度、設定湿式割合等）を1グループにまとめて一緒に登録する。各グループ毎のデータは各道路状況パターン区間を、車両が走行した時に通過する順番に並べることにした。

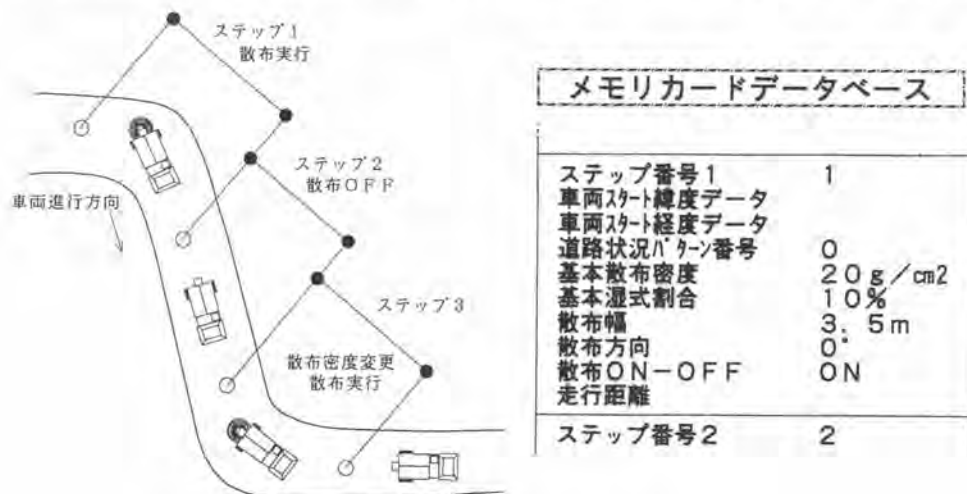


図-3 道路状況パターンと散布作業

#### 3. 2. 2 走行測位システム

走行測位システムは散布区間、散布解除区間、又は橋梁、日陰、トンネル等の道路状況を含めた道路状況パターンの位置を検知するために使用する。各道路状況パターンの位置を検知する方法は、あらかじめメモリ機能に各道路状況パターンの位置情報を用意しておき、車両走行中に位置検出センサから得られる位置情報と、照らし合わせることで行なう。自車位置検出方法の候補として走行パルスによる方法とGPSが考えられるが、実作業中に作業を中断し、逆方向に戻りながら作業を行なう等の途中変更がある場合を考えると、走行中の車両の絶対位置検出が必要不可欠になる。従って位置検出センサはGPSをメインに考え、市販のカーナビゲーションシステムを用いることにした。



- GPSアンテナ
- ユニット本体
- ディスプレー
- ジャイロユニット
- CD-ROM (地図データ等)

写真-1 GPSシステム

### 3. 2. 3 路面状況判別センサ技術の検討

#### 1) 路面判別センサ

路面状態を乾燥・湿潤・新雪・圧雪・ICE1（圧雪の凍結状態）・ICE2（ブラックアイス）の6種類に類別し検出するセンサを使用する。非接触型であり、パソコンのRS232Cを使用し外部にデータを出力できる。また、路面判別以外に速度、走行距離も検出できる。判別可能な対応速度は、5～120km/hである。

#### 2) 路面判別アシストセンサ

非接触温度センサを使用し、路面温度を検知することによって路面判別センサの路面状態判断の補助をする。



写真-2 路面判別センサ



写真-3 非接触温度センサ

## 4. 現場確認試験

### 4. 1 試験概要

走行測位システムの性能試験・路面状況判別センサの性能試験・非接触温度センサの性能試験・トータル制御システムの確認試験を表-2のとおり実施した。

- 試験場所：岩手県盛岡市雫石町 国道46号地内
- 試験期間：平成8年2月20日～23日



表-2 試験概要

試験項目	走行測位システム	試験区間十数kmの中で、橋及び跨線橋（1～3km）を目印に利用し散布区間、散布解除区間を決めティーチング方式でメモリカードにパターン記憶した。その後スタート位置より走行し、データレコーダに記録し、ずれ量を計測した。（上り・下り 2パターン実施）
	路面状況判別センサ	乾燥、湿潤、新雪、圧雪、氷板、氷膜それぞれの路面状態で試験区間を30～40m設定し、試験車両を走行しながら検知した判別結果の正誤割合を調査した。
	非接触温度センサ	非接触温度センサを装着した試験車両を走行させ、別に計測した各位置での路面温度と非接触温度センサから取込んだ、路面温度データ値を比較調査した。
	トータル制御システム	試験車両走行中に散布区間をGPSによって検知し、自動散布する作動の確認試験を行った。散布区間のデータは1度手動散布を行いティーチング方式により、散布区間の開始位置と終了位置の経度・緯度データをメモリカードに登録した。再び試験区間を走行し自動散布を行い、ずれ量を計測した。

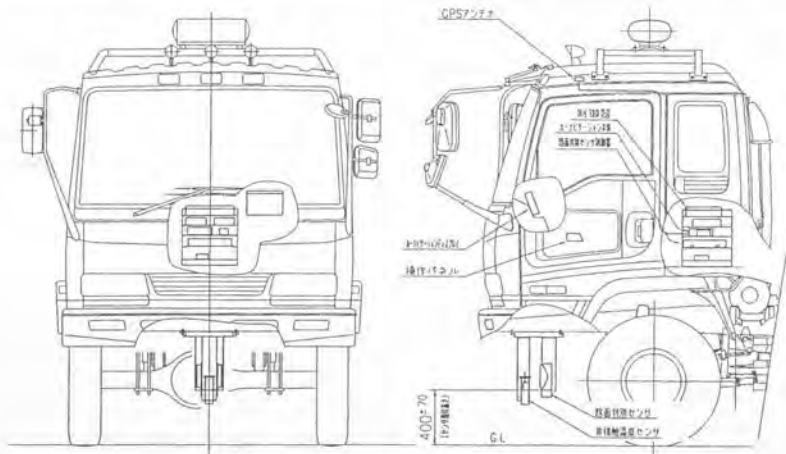


図-4 各種センサ取付位置



写真-4 路面判別センサ・路面温度センサ



写真-5 制御器ユニット等

#### 4. 2 試験結果

各試験結果の要約を表-3に示す。

表-3 試験結果

試 験 項 目	走行測位システム	パターン1 平均ずれ量 2.0m 最大ずれ量 5.1m パターン2 平均ずれ量 7.1m 最大ずれ量 26.6m
	路面状況判別センサ	路面判別一致率：乾燥=5% 湿潤=94% 新雪=21% 圧雪=17% 湿潤路面以外については、総じて信頼できる判別結果にはならなかった。今回は非接触温度センサからの温度データを、判定結果の補助として利用していないため、温度データを取込んだ結果にするべと思われる。また、車両走行速度及びセンサ設置高さによる影響は、ほとんど無いという結果であった。
	非接触温度センサ	接触型温度計：非接触型温度計=+側最大0.4°C -側最大0.6°C 車両走行速度による影響もなく、充分実用可能な誤差レベルであり路面判別センサのアシストセンサとして利用できる結果であった。
	トータル制御システム	走行速度20km/h 最小ずれ量 1.2m 最大ずれ量 78.0m 平均 26.5m 走行速度40km/h 最小ずれ量 11.1m 最大ずれ量208.9m 平均 71.8m GPSが行う車両進行方向の検知は、ジャイロユニットから送信する信号を使用して演算している。試験区間走行中に交差点等があり進行方向が変わるとき、その変化の度合いが大きくなるほど、GPSの進行方向検知の処理に時間がかかり追従性が悪くなる。この時に車両速度が速いとGPSで演算処理した車両位置と実際の位置とでは、大きく差がでる結果となった。

#### 5. 問題点等今後の課題

今回実施した走行測位システム・路面状況判別センサ・非接触温度センサの3要素技術の試験で、実用レベルの結果が得られたのが、非接触温度センサのみという結果であった。走行測位システムにおいてはジャイロユニットの追従性の悪さが、精度に大きく影響しているため、今後の十分な検討が必要であり、仮に数十mのずれ量でも一定の範囲の誤差にまともれば、ソフトにおいてその分を見越したプログラムにすることで、対応したいと考えている。路面状況判別センサについては、非接触温度センサを補助としての判別試験等を実施し、実用化に向けて更なる検討を続けるものである。

最終的には、均一で経済的な散布の確立・散布作業の省人化・開発機の低コスト化を実現するため、開発を進めるものである。

## 40. 除雪トラック(10t級 4×4)の開発

建設省東北技術事務所：菊地 幹雄，\*澤田 敏樹

### 1. はじめに

除雪トラックは、7t級4×4と高出力・多機能化した10t級6×6の除雪トラックの2機種が主力となってきているが、作業環境から機動性と高出力・多機能化を備えた除雪トラックが求められてきている。また、現状ベースでは前軸の許容荷重制限により付加機能の追加が困難である。

本開発は、前軸の許容荷重を増加させ7t級4×4の機動性と10t級6×6の高出力を合わせ持ち、多機能化に対応できる、10t級4×4の除雪トラックの開発を行うものである。

### 2. 除雪トラックの問題点

- ① 10t級6×6除雪トラックでは、車体が大きく配備が困難なところがある。
- ② 10t級6×6除雪トラックでは、車体全長、ホイールベースが長く小回りが効かないため広幅員道路以外では操作性が悪い。
- ③ 7t級4×4除雪トラックでは、性能上広幅員、山岳部、多積雪地域への対応が困難である。
- ④ スパイクタイヤの廃止により、交差点など局所的に凍結防止剤を散布する必要が生じてきており、現状の凍結防止剤散布車では台数が少なく、7t級除雪トラックにその機能を付加させたいが、車両重量の制限から困難である。
- ⑤ 若年作業員の減少や作業員の高齢化、熟練作業員の減少などの問題や、オペレータの負担軽減、安全性の向上などのユーザ要望がある。

本開発は、除雪トラックの上記問題点を解消することと、従来車両（10t級6×6）と同等の除雪能力を確保することを開発目標とした。

### 3. 開発機の主要諸元と全長の比較

平成7年度導入した開発車両の主要諸元を表-1に、全長の比較図を図-1に示す。

表-1 主要諸元表

フロントブラウ	新開発クワイラウ	路面整正装置除雪幅 mm	2,850~4,000
路面整正装置	左右独立伸縮型	駆動方式	フルタイム4×4
凍結防止剤散布装置	塩1.7m <sup>3</sup> 湿式	ブレーキ	空気式(ABS)
機関最高出力	355PS	最小回転半径 m	9.1
トランスミッション	トルコン付自動変速	全長 mm	11,450
車両総重量 kg	18,480	全幅 mm	3,000
前軸重量 kg	8,875	全高 mm	3,400
後軸重量 kg	6,755	軸距 mm	4,440
最大積載量 kg	2,040+700	タイヤサイズ(前輪)	365/70R22.5-160J
ブラウ除雪幅 mm	2,900	タイヤサイズ(後輪)	12R22.5-16PR

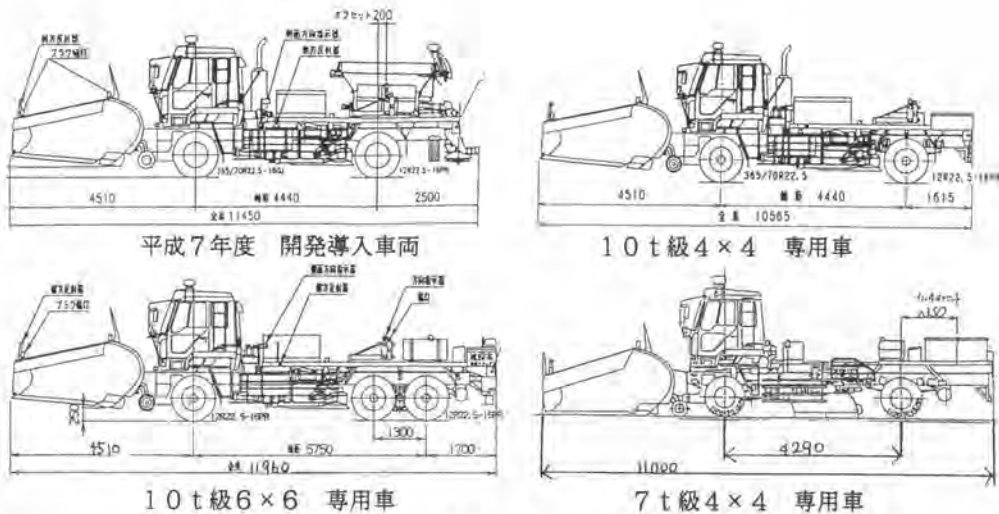


図-1 除雪トラック全長比較図

#### 4. 試験内容

本開発にあたり、開発機の試験・調査を下記のとおり実施し、性能を把握するためのデータ採取、現場のヒアリング調査及び試験データの解析・とりまとめを行った。

##### 4. 1 基本性能試験

本試験は、トラック本体の基本性能を把握するため、次の項目を実施した。

- ①定置燃費調査
- ②加速性能試験
- ③急制動試験
- ④牽引力試験
- ⑤横ずれ抵抗比較試験(図-2)

試験の結果、①②は10t級6×6と能力が同等であったものの、③④では、6輪と4輪の違いによるスリップ抵抗の差から若干の低下があった。しかし、⑤では、あて蛇量(ハンドルによる修正角)が10t級6×6と開発機を比較すると約1/4に減少しているため路面整正時の直進安定性が向上していることがわかった。

##### 4. 2 現地性能試験

###### 1) フロントブ라우除雪試験

①平押し試験は、チェーン脱着所等での除雪が可能であるかを確認するために実施したもので、幅約1m、積雪20~30cmを堆雪させ、ブ라우を平押し状態で指定速度(約10km/h)により除雪を行い、測定開始地点からブ라우より雪がこぼれるまでの距離を測定し、ブ라우で

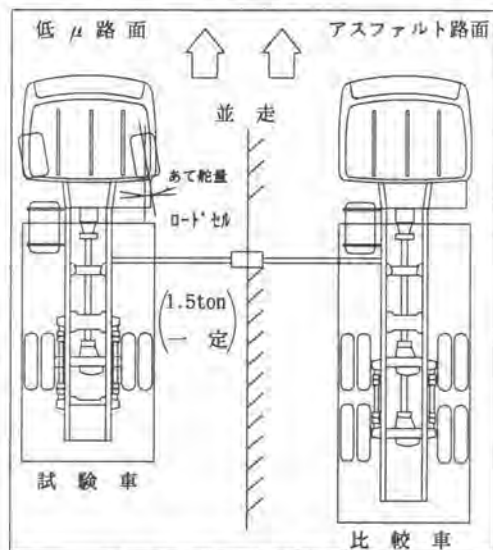


図-2 横ずれ試験状況

の雪の抱え込み量を計測した。その結果、約1.2m程度の平押しが可能であり、若干雪がこぼれるもののチェーン脱着所等での除雪に十分使用可能であることを確認できた。

- ②進行角可変試験は、交差点処理の効率的な作業が可能であるか確認するために実施したもので、平押し試験と同様に堆雪させた試験区間を、指定速度（約20km/h）でブラウ除雪を行いながら（写真－1）、進行角を平押し方向に可変させ平押し状態を保った後（写真－2）、再び進行角を通常方向へ可変させ、進行角可変の時間、距離及び除雪状況を確認した。その結果、可変時間は約3秒、走行距離は約20mであり、交差点処理には十分な能力ではないが、速度を落とし交差点の手前から可変させることにより、対応可能であると考えられる。



写真－1 通常除雪方向状況



写真－2 平押し状況

## 2) 路面整正装置除雪試験

路面整正装置除雪試験は、圧雪硬度65kg/cm<sup>2</sup>程度を2速最高速度で除雪を行い、測定区間の除雪量の計測を、下記の条件により実施した。

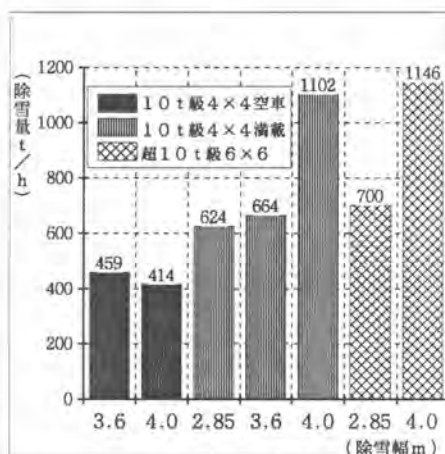
散布剤満載 最大幅4m、最小幅2.8m、

左拡大幅3.6m

散布剤無載 最大幅4m、左拡大幅3.6m

※比較車両の10t級6×6の除雪データが不備で比較不可能であったため超10t級6×6の除雪データを使用し比較することとした。

試験結果から、図－2に示すように超10t級6×6と10t級4×4を比較すると、若干の差であり、ほぼ同等の除雪能力があると考えられる。しかし、散布剤の満載時と空車時では除雪能力に大きな格差があり、路面整正の能力が低下することを確認した。



図－2 除雪能力比較

## 5. 散布剤の積載量変化による除雪能力

現地試験から、散布剤の積載量により除雪能力（路面整正能力）が変化するため、除雪能力が積載量によって、どのように変化するかを検討した。

表－2から、散布剤の積載が100%の時は約20km/h（エンジン出力による除雪速度）で作業が

可能であるが、積載0%では10km/h（牽引力による除雪速度）の除雪速度となり、散布剤の積載がなければ、タイヤがスリップし、本来持っている除雪能力を発揮出来なくなる事を示している。

したがって、本開発車両は散布剤を積載して作業を行うならば、ほぼ10t級6×6専用車と同等ではあるが、散布剤がなくなると、大きく除雪量が低下し、かつ車両がスリップするようになる。

表-2 散布剤の積載量変化による除雪能力

項目	種類	散布剤積載 0%	散布剤積載 50%	散布剤積載 100%
車両総重量		15,815kg	17,295kg	18,665kg
前輪荷重		8,855kg	8,900kg	8,965kg
後輪荷重		6,960kg	8,395kg	9,825kg
最大圧雪切削深さ		2.08 cm	2.25 cm	2.43 cm
牽引力による除雪速度		10.1 km/h	22.5 km/h	30.7 km/h
エンジン出力による除雪速度		21.0 km/h	20.9 km/h	20.7 km/h
エンジン出力		355 ps	355 ps	355 ps
ブレード除雪幅		4.00m	4.00m	4.00m
設定除雪深さ		2.0 cm	2.0 cm	2.0 cm

## 6. 除雪トラックの多様化

本開発車両は、除雪性能を高めることを目的として前軸許容荷重を高めた結果としてカウンターウェイトを削減でき、いままで不可能であった装置も架装可能になった。これにより表-3に示す架装が可能である。

表-3 除雪トラック（10t級4×4）の架装種類

①除雪専用車	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多積雪地域向け</li> <li>・除雪能力に優れ、後方視界が良い</li> </ul>
②凍結防止剤 散布装置架装	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少積雪地域向け</li> <li>・降雪条件、道路条件により架装する組み合わせ及び凍結防止剤の容量を変えることができる。</li> <li>・路面整正装置との組み合わせは、散布剤の積載量により圧雪除去能力が変化するため導入に当たっては十分な検討が必要となる。</li> </ul>
③散水装置架装	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少積雪地域向け</li> <li>・降雪条件、道路条件により架装する組み合わせ及び散水タンクの容量を変えることができる。</li> <li>・路面整正装置との組み合わせは、水の積載量により圧雪除去能力が変化するため、導入に当たっては十分な検討が必要となる。</li> </ul>
④ダンプ装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少積雪地域向け</li> <li>・ブロー、路面整正装置を架装した状態で積載量が確保できる。</li> <li>・除雪に当たっては、適当なウェイト（砂利、土砂で可）を積載し重量バランスをとることにより、常に安定した除雪能力を発揮できる。</li> <li>・後方視界が余り良くない。</li> </ul>
⑤他の作業装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少積雪地域向け</li> <li>・ブロー、路面整正装置を架装してもカウンターウェイトがほとんど必要がない。</li> <li>・後方視界が悪くなる。</li> </ul>

## 7. まとめ

今回開発した除雪トラック（10t 4×4）は、除雪専用車とした場合10t 6×6に匹敵する除雪性能を有し、全長の縮小、機動性の向上が図れた車両である。また、汎用性に優れた車両でもあり、当初の目的を達成する事が出来た。なお、凍結防止剤散布装置等を架装した汎用車の採用には各現場の作業形態、配備車両等を十分検討し現場に合った選定が必要である。

# 41. 排水性舗装機能回復機の開発

東亜道路工業(株)：長谷部勝郎

## 1. はじめに

わが国における排水性舗装の施工実績は、平成7年度末までに400万㎡を超え、今後さらに実績が伸びると考えられる。これは排水性舗装が雨天時に車両の走行安全性に効果があることと、騒音の低減効果を期待してのことである。しかしこれらの機能は供用後に低下する傾向にあり、排水性舗装の適用上の課題となっている。配合設計やバインダーにより機能低下を抑える手法についても検討されているが、経時による機能低下を避けることができず、供用中に一定のレベルの機能を保持し、良好な走行環境を提供するためには、低下した排水性舗装の機能を回復する手法の確立が必要である。

## 2. 開発の概要

自走式の大型車に各種ユニットを搭載し、排水機能の低下した排水性舗装の空隙目詰まり物質を高圧水の噴射によって除去しその機能を回復させ、同時に洗浄水は吸引回収し再利用するものである。全体の外観を写真-1、図-1に示す。

## 3. 開発目標

- 1) 機能回復効果があること
- 2) 作業性の良いこと
- 3) 舗装体への影響が少ないこと
- 4) 沿道環境への影響が少ないこと
- 5) 他の維持修繕工と比較して高価でないこと



写真-1 排水性舗装機能回復機の外観

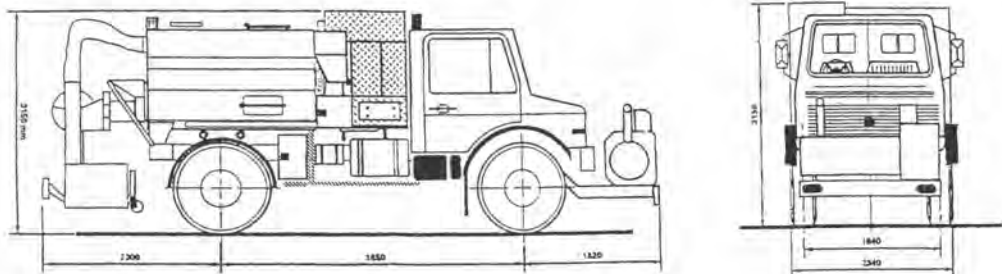


図-1 排水性舗装機能回復機の全体図

#### 4. システムの構成

排水性舗装機能回復機のシステムの概略図を図-2に示す。

自走式の大型車に清水タンク、泥水タンク、噴射用高圧ポンプ、吸引装置、回収水再生利用システムを搭載し、高圧水の噴射は車両後部の洗浄ユニット（クリーンボックス）内の7個のディスクに設置した特殊ノズルにより行われ、洗浄水は吸気タービンを介して異物と共に回収される。回収された洗浄水は、泥水タンク

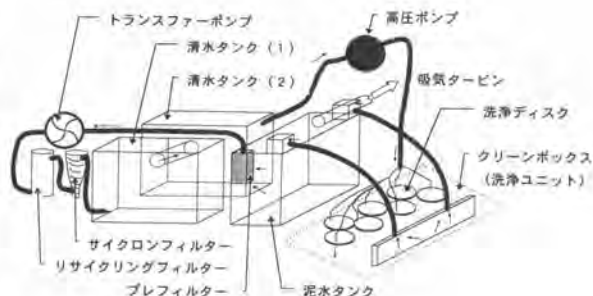


図-2 システムの概略図

に一時貯蔵されるが、定量に達すると洗浄水のリサイクリングシステムは、トランスファーポンプより回収泥水を3段階のろ過工程（プレフィルター、リサイクリングフィルター、サイクロンフィルター）で再生し、清水タンクに循環させる。

#### 5. 排水性舗装機能回復機の特徴

- 1) 回転式の高圧噴射機構により、高い洗浄効果を発揮するばかりでなく、使用水量が少なく長時間の連続運転が可能である。
- 2) 強力な吸引装置により、泥水の流出等はなく、沿道環境に優しい。
- 3) 骨材の飛散等、舗装体を傷つけない。
- 4) リサイクリングシステムのバックアップ機構により、フィルタの清掃が容易に行える。
- 5) クリーンボックスのスライド機構により、施工の位置だしや、端部までの施工が容易である。
- 6) 作業用の低速ギヤにより、安定した低速作業が可能である。
- 7) 汚泥は、排出バルブ、および泥水タンクのダンプアップにより排出できる。

システムの仕様を表-1に示す

表-1 排水性舗装機能回復機の仕様

項目	仕様
寸法	全長：7,970 mm 全幅：2,340 mm 全高：3,150 mm
重量	車両総重量：14,000 kg 車両重量：12,060 kg 最大積載量：1,830 kg
動力（作業用）	7バルブA1F0 水冷6気筒ターボ 198HP 2,500 rpm（作業用）
動力（走行用）	4バルブOM3661A 水冷直列5気筒ターボ 214HP 2,600 rpm（走行用）
洗浄ユニット （クリーンボックス）	回転ディスク：7個（高圧ノズル：7本） 噴射水 水圧：2.94×10 <sup>7</sup> Pa（最大3.63×10 <sup>7</sup> Pa） 洗浄幅：2 m 高圧スライド装置：±600 mm
作業速度	最小作業速度：2m/min（標準作業速度：11m/min）
高圧ポンプ	WOMA752 type 水圧：3.63×10 <sup>7</sup> Pa 吐出量：73 ℓ/min
吸引装置	22,000m <sup>3</sup> /h 2,900 rpm
タンク容量	清水タンク：1,980 ℓ（1,080 ℓ+880 ℓ） 泥水タンク：1,450 ℓ



## 6. 本システムを用いた施工実績

### 1) 施工例 (1)

実施箇所 県道水原福島線杉妻地内

路線概要 施工後約3年経過した県道における施工事例。透水機能は比較的良好である。

実施日 平成7年12月5日

施工速度 7.5m/mi

洗浄水圧 300kgf/cm<sup>2</sup>

### 2) 機能回復効果

現場透水量試験結果を表-2と、図-3、4、5に示す。

表-2 現場透水量試験結果

	位置	測点	透水量(cc/15sec)		
			施工前	施工後	
1工区	非わだち部	(a)	0.0	107.3	
		(b)	566.0	1,052.6	
		(c)	521.7	1,032.7	
		(d)	374.5	833.3	
		平均	365.6	756.5	
			(e)	161.7	172.4
2工区	わだち部	(b)	742.6	1,052.6	
		(c)	248.7	419.9	
		(d)	235.4	119.4	
		平均	347.1	441.1	
			(a)	175.8	833.3
			(b)	373.1	1,000.0
3工区	路肩部	(c)	0.0	833.3	
		(d)	0.0	1,052.6	
		平均	137.2	929.8	

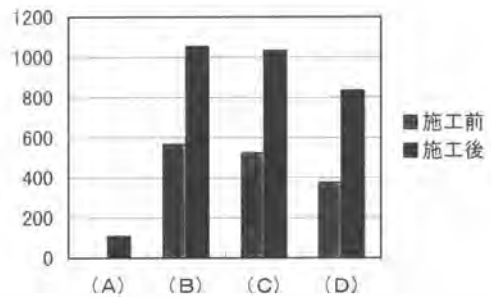


図-3 1工区

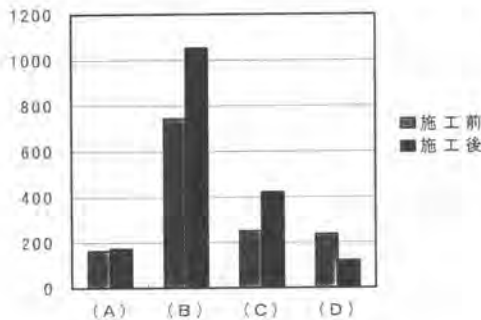


図-4 2工区

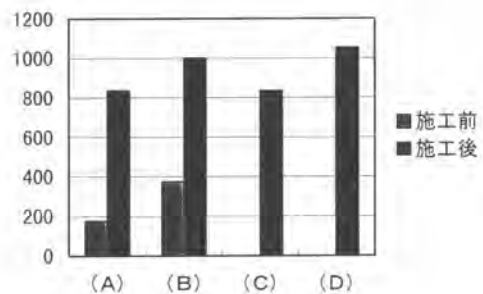


図-5 3工区

### 3) 機能回復効果の評価

目視結果、現場透水量試験より、各工区で透水機能の回復が確認された。ただし、本施工において最も効果が確認されたのは3工区であり、次に1工区、2工区となっている。これは、2工区が車両走行位置であり、3工区はほとんど走行車両の影響を受けない路肩部であることから各工区の機能低下メカニズムの違いに起因していることが推測される。つまり、前者において**空隙つぶれ**の要因が大きく、後者では**空隙つまり**の要因が強いことから本工法は空隙つぶれよりも空隙つまりにより効果的であると推測される。

4) 施工例 (2)

実施箇所 日本大学理工学部 小型飛行機用滑走路

路線概要 透水機能は失なわれているが、交通車両の影響による空隙つぶれは少ないと想定される。

実施日 平成7年12月5日

施工速度 7.5m/mi

洗浄水圧 300kgf/cm<sup>2</sup>

4) 機能回復効果

現場透水量試験結果を表-3、4と図-6、7に示す。

表-3 現場透水量試験結果 (空隙率20%)

位置	透水量 (cc/15sec)	
	洗浄前	洗浄後
1_A	23.5	563.4
2_A	45.6	281.7
1_B	45.7	636.9
2_B	39.5	462.2
3_C	95.1	767.3
4_C	122.1	906.3

表-4 現場透水量試験結果 (空隙率15%)

位置	透水量 (cc/15sec)	
	洗浄前	洗浄後
3_A	15.3	394.7
4_A	38.7	559.7
3_B	24.3	364.7
4_B	32.5	340.3
1_C	1013.5	767.3
2_C	996.7	906.3

■ 洗浄前  
■ 洗浄後

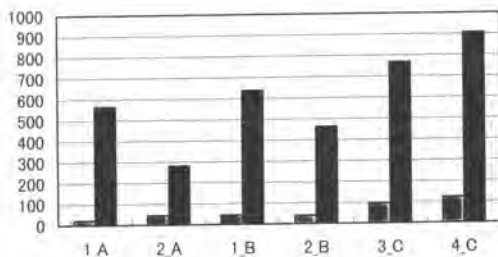


図-6 現場透水量試験結果 (空隙率20%)

■ 洗浄前  
■ 洗浄後

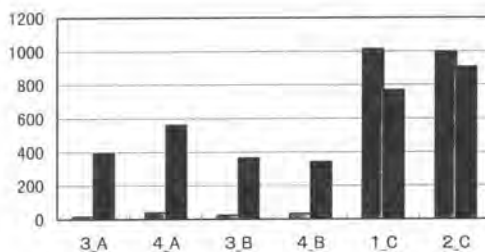


図-7 現場透水量試験結果 (空隙率15%)

### 5) 機能回復効果の評価

表一5、6の結果より、機能回復施工前の現場透水量が1000cc程度と良好な地点I\_C、および、2\_Cでは、試験後の透水機能はほぼ変わらない。その他の地点の透水量は、施工前に比べ約5～20倍の回復を示し、回復効果はかなり大きいことが分かる。また、個所によって機能回復率は異なるものの空隙率15%よりも20%の舗装が、若干ではあるが、回復効果が、大きく、この結果、透水機能も大きいことがわかる。

### 6) 施工例(3)

実施個所 国道257号、浜松市初生町地内(静岡)

路線概要 施工後約4年半経過した国道における施工事例。部分的に空隙つぶれによる透水機能低下個所が見受けられる。

実施日 平成8年3月11日～12日

施工速度 7.5m/mi

洗浄水圧 300kgf/cm<sup>2</sup>

### 6) 機能回復効果

現場透水量試験結果を表一5、6と図一8、9、10、11に示す。

表一5 現場透水量試験結果(その1)

測定位置	わだち部(OWP)(cc/15sec)			非わだち部(BWP)(cc/15sec)		
	平成7年2月	事前調査	回復試験後	平成7年2月	事前調査	回復試験後
No.80(左)	22	16	23	17	18	25
No.160(左)	735	317	419	520	338	517
No.240(左)	1,212	662	786	972	776	891
No.320(左)	1,173	786	989	1,082	853	938
No.400(左)	1,126	669	942	1,048	811	874
No.480(左)	1,052	796	900	1,116	750	822
No.560(左)	907	766	933	976	882	870
No.640(左)	1,104	349	504	1,092	423	559
平均	916	545	687	853	606	687

表一6 現場透水量試験結果(その2)

測定位置	わだち部(OWP)(cc/15sec)			非わだち部(BWP)(cc/15sec)		
	平成7年2月	事前調査	回復試験後	平成7年2月	事前調査	回復試験後
No.120(右)	999	684	735	971	738	818
No.200(右)	878	786	874	1,048	822	891
No.280(右)	1,078	814	841	1,007	923	918
No.360(右)	1,186	882	874	1,029	896	874
No.440(右)	893	703	786	1,082	703	857
No.520(右)	867	773	826	1,066	756	963
No.600(右)	651	286	407	1,039	266	409
No.680(右)	13	10	15	11	11	16
平均	821	617	670	907	639	718

図-8

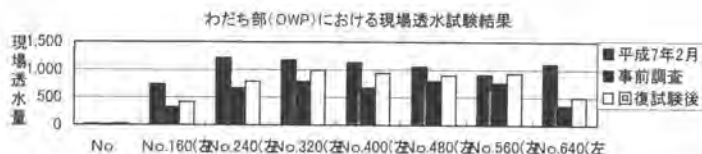


図-9

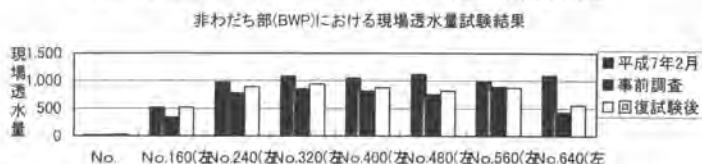


図-10

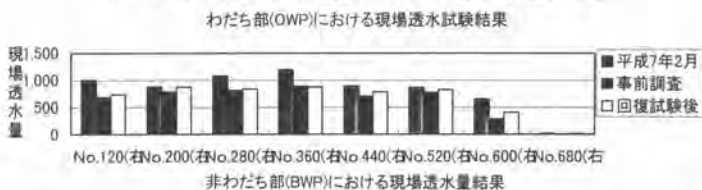
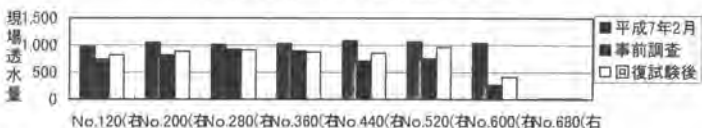


図-11



### 7) 機能回復効果の評価

表一5、6の結果より、平成7年から事前調査の間に透水機能が大きく低下した箇所は、施工後の透水能力は、30～50%の回復率を示し、一方、その他の地点では0～20%程度の回復率を示している。空隙詰まりが顕著である地点では、平成7年の調査時点で透水機能がほぼ失われており、施工後の回復率は大きいものの透水能力の復元にまで至っておらず、この結果、空隙つぶれが発生していると考えられる。以上のことから、施工後の現場透水量は、ほとんどの地点で施工前の透水量を上回っており、起終点付近は別として概ね600cc/15sec以上を示している。

又、公団規格（舗設直後における400ccの透水時間が10sec以内：600cc/15sec）を適用すると、概ね良好な透水機能の回復を示したと言える。

### 10. まとめ

今回の開発機器が排水性舗装の機能回復に効果があることがわかったが、この機器を使用する工法がもっとも有効にかつ経済的に利用されるには、まだまだ多くの施工実績とそのデータの分析が必要である。すなわち排水性舗装は、その特殊機能に加えて一般的な表層舗装に求められている耐久性に関しても高度な性能を有しており、この機能に比べて特殊な機能は早期に低減してしまう、特殊機能のみを失った時点での切削オーバーレイ等による補修は不経済である。このような観点から、高圧水の洗浄により特殊な機能のみを回復させる本工法は経済的であるといえる。ただし、本工法では目つぶれ箇所においては、目詰まり箇所ほど効果が明確ではないこと、また、新設時の機能迄に回復させるにはなかなか困難であること等を考慮すると経済的な維持管理には、その適用時期や施工頻度等についてさらに研究や検討が必要とされる。

## 42. 新しい岩盤機械掘削工法の試験施工実績

鹿島： 甚内 郁郎, 榎本 誠  
\*秦 輝道

### 1.はじめに

大きな騒音・振動を伴う発破掘削工法に対して、環境保全上あるいは重要構造物の保護を目的として、制御発破、ゆるめ発破、静的破砕剤、機械掘削などの工法が、今日採用されている。

中でも、近年の建設機械の大型化、多様化、高度化に伴って、比較的固い岩盤においても能力が高い掘削機が開発され、騒音・振動の制限を受ける場所で採用されることが多くなっている。

今回の試験施工では、地山弾性波速度  $V_p=2.1\sim 3.0\text{km/s}$  の安山岩(角礫質)あるいは凝灰角礫岩よりなる中硬岩を、以下の3種類の工法で掘削し、それぞれの掘削能力及び振動・騒音を測定した。

- ①石灰岩の掘削や石炭などの採掘を目的に、ヴィルトゲン社(独)によって開発された岩盤切削機サーフィスマイナー(3500SMJ)による機械切削工法。
- ②キャタピラー社(米)の大型ブルドーザD11Nにインパクトリッパを装備し破砕力を向上させたインパクトリッピング工法。
- ③岩盤を削りし、大型のくさびを打ち込み割岩する KNBB(Kusabi-striking Non-Blast Bench-cut)工法。

以下、3工法の概要及び試験施工実績について紹介する。

### 2.機械切削工法(サーフィスマイナー)

#### (1)試験内容

サーフィスマイナーは、160本の切削ビットのついたドラムが、アップカット方向に回転して切削する。切削概念図を図-1に、掘削試験状況を写真-1に示す。

掘削試験は46m×20mのエリアで、1層あたりの掘削深さを25cmとして5層実施した。

掘削ずりの積み込み方法は、直接ダンプに積み込む方法と、後方へ排出しながら連続掘削し、ダンプ入替時間ロスがサイクルに含まない2通りの方法を試みた。

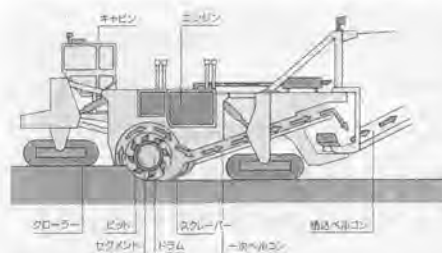


図-1 切削概念図



写真-1 掘削試験状況

(2)試験結果

- ・掘削作業効率 43.2%(直接ダンプ積込)
- ・平均純掘削能力
  - 直接ダンプ積込 180 m<sup>3</sup>/h
  - 連続掘削 382 m<sup>3</sup>/h

・騒音・振動

騒音・振動については掘削作業中に、機体からの距離を変え、4地点で測定を行った。結果を表-2に示す。

弾性波速度は2.1~2.3 km/sec程度の岩盤であったが、連続掘削では純掘削で382 m<sup>3</sup>/hと高い掘削能力を発揮した。しかしながら、直接ダンプに積込む場合は入替時間が大きなロスとなった。

また、試験エリアが狭い為、方向転換などに時間がかかり作業効率は低くなった。

掘削面は±6 cmの精度に仕上がっており、構造物の基礎レベルの仕上がりとしては、経済的品質的にも良好である。

騒音・振動についても低騒音・低振動の工法といえよう。

表-1 サーフィスマイナー (3500SMJ) 機械仕様

区分	仕様	
寸法	全長	14,100mm
	全幅	4,900mm
	全高	7,080mm
総重量	作業時	145,500kg
切削ドラム	切削幅	3,500mm
	最大切削深さ	500mm
	直径	1,400mm
	回転数	36~48 rpm
機関	名排気量	37,800CC
	定格出力	1,217ps/2,100rpm
	燃料タンク	2,300 ℓ
	総重量	1,200PS
積込装置	積込能力	1,900m <sup>3</sup> /h
	ベルト幅	1,400mm
	積込高さ	10,300mm
走行性能	作業速度	0~25m/min
	登坂能力	20°
	最小回転半径	15m

表-2 騒音レベル及び振動レベル測定結果

測定地点	騒音レベル/dB(A)	振動レベル/dB
7m	89	57
15m	83	48
30m	75	31
60m	72	28

3.インパクトリッピング工法(D11N インパクトリッパ)

(1)試験内容

インパクトリッパは、リッパシャフトの上端を大型ブレードで打撃し、ブルドーザの牽引力とリッパの押付力の合成力である貫入力に加え、ブレードの打撃力が付加されて岩盤を破碎する。

D11N インパクトリッパの仕様を表-3に、掘削試験状況を写真-2に示す。

表-3 D11N インパクトリッパ機械仕様

区分	仕様	
総重量	102,700kg	
ブルドーザ	全長	11,000mm
	全幅	5,645mm
	全高	4,560mm
	接地長	4,440mm
	履帯中心距離	2,895mm
	ブレード幅	5,645mm
	ブレード高	2,305mm
ブルドーザ	エンジン出力	781ps
	タンク容量	1,490 ℓ
リッパ装置	重量	17,000kg
	最大貫入深さ	953mm
	最大上昇量	860mm
	貫入力	332.7t
	打撃数	650rpm
	チップ重量 (D11N)	78.02kg
チップ重量 (D11N)	68.41kg	



写真-2 D11N 掘削試験状況

掘削試験は20m×10mのエリアで、1層あたり

の掘削深さを70cmとして3層実施し、インパクトの有無、リッピング方向を替えて試みた。

## (2)試験結果

### ・純掘削能力

時間効率 100%でのリップング作業、ドーピング作業及び合成作業の純掘削能力を表-4に示す。

表-4 純掘削能力表

層	リップング純作業 能力(m <sup>3</sup> /h)	ドーピング純作業 能力(m <sup>3</sup> /h)	合成純作業 能力(m <sup>3</sup> /h)	備考	
				インパ外	リップング方向
1	233.8	781.5	180.0	無	2方向
2	244.1	719.0	182.2	有	2方向
3	306.1	504.0	190.5	有	1方向

※時間効率 100%の場合

### ・騒音・振動

騒音・振動については掘削作業中に、機体からの距離を変え、4地点で測定を行った。結果を表-5に示す。

弾性波速度は2.3~3.0km/sec程度の岩盤であったが、インパクトリップングを行う

表-5 騒音レベル及び振動レベル測定結果(D11N)

測定地点	騒音レベル dB(A)	振動レベル dB
7 m	102	56
15m	89	51
30m	84	45
60m	83	28

ことによって、合成純作業能力で180 m<sup>3</sup>/h程度の能力を発揮した。しかし、実際の作業においては現場状況に応じた作業効率を乗じて作業量を推測する必要がある。また、振動についてはサーフィスマイナー同様といえるが、騒音についてはインパクト打撃時の音が高くなっている。

## 4.KNBB 工法

### (1)試験内容

KNBB 工法は、予め削孔した孔内にクサビを挿入、打撃し、孔壁内面から岩盤に引張り応力を与えて破碎させるものである。この工法は、4種類の装置で構成されており、その機械仕様を表-6に示す。地盤の弾性波速度が2.1~2.3 km/sec程度であることより、削孔・割岩ピッチを1.2×1.2m、割岩深さを1.2mと設定した。割岩試験状況を写真-3に示す。

表-6 KNBB 工法機械仕様

区分	仕様
削孔機	メーカ式 インガソルランド社 CM-695D 700-FJX L 10,183×W 2,505×H 3,078mm 18,536kg 削孔径 φ100 ~ φ152mm
クサビ	メーカ式 国土開発工業(株) PW-1000 L 2,000×W 320×H 146 210kg/本 L 1,150×W 110×H 65 36kg/本
KNBB工法 リーダー	メーカ式 国土開発工業(株) 2,000kg #1本 全長11,970mm 27t- 揚程 7,720mm 9t引抜力 108t
クレーン	メーカ式 神鋼コベルコ建機(株) RX 250-3 773-7V-7 25 t L 11,010×W 2,480×H 3,450 26,500kg



写真-3 割岩試験状況

## (2)試験結果

削孔・割岩作業における作業効率、能力を表-7に示す。

表-7 作業効率、能力

作業名	作業効率	平均削孔・割岩量(m <sup>3</sup> /h)	備考
削孔	0.65	27.6	削孔長 2.0m
割岩	0.65	18.7	割岩深さ 1.2m

騒音・振動については各作業毎に、4地点で測定を行った。結果を表-8に示す。

表-8 騒音レベル及び振動レベル測定結果 (KNBB)

測定地点	削孔作業		割岩作業	
	騒音レベル dB(A)	振動レベル dB	騒音レベル dB(A)	振動レベル dB
7 m	92	58	99	60
15m	88	50	92	51
30m	80	45	89	47
60m	74	29	85	34

KNBB 工法の削孔・割岩によって、地盤の弾性波速度は、2.1~2.3 km/sec から 0.8 km/sec と油圧ショベルで掘削できる程度に低下した。しかしながら、割岩能力が低めに押さえられたのは、限られたエリアでもあり、試験時間が短いという制約も影響している。

騒音・振動については、削孔作業は、低騒音低振動の作業であるが、割岩作業は衝撃的に発生する騒音・振動である。

## 5.まとめ

以上本試験工事によって、3 工法の当地に類似した岩盤での掘削能力、騒音・振動の推測はある程度可能となるであろう。しかしながら、作業効率は各現場固有の条件が存在しその条件を十分に把握し、実作業能力が算定されなければならない。

現時点での評価とすれば、騒音・振動の制限を受け、それぞれ以下のような条件の場所での岩盤掘削で最大の能力を発揮すると考えられる。

### ①機械切削工法(サーフィスマイナー)

- ・施工面積が広く、長く一方向での長距離掘削が可能である場所(空港拡張工事など)。
- ・掘削面の清掃、掘削精度が必要とされる場所(重要構造物基礎底盤掘削など)。

### ②インパクトトリッピング工法(D11N インパクトリッパ)

- ・多方向からのリッピングが可能な広い施工面積で、切盛土工事を行う場所 (岩盤での宅地造成、ゴルフ場造成)。

### ③KNBB 工法

- ・上記2工法でも掘削困難な均質で固い岩盤の割岩。



## 43. 建設機械周辺の作業員認識システムの開発

鹿島：三浦 悟，\*松石 佳久  
今井 道男

### 1. はじめに

建設工事で起こる労働災害の要因として、建設機械に巻き込まれたり、挟まれたりといった機械との接触事故がある。この災害発生の原因のひとつとして、作業員が機械運転員の死角に侵入し、運転員がそれに気づかずに機械を運転してしまうことがあげられる。

このような建設機械と作業員との接触事故の低減、防止を目的に、建設機械周辺に侵入する作業員を検知して運転員に知らせる「建設機械周辺の作業員認識システム」の開発を行った。本報文では、そのシステム概要および適用性確認実験結果について概要を述べる。

### 2. 背景（建設災害の現状）

建設業安全衛生年鑑によると、建設業全体における死亡災害の原因別発生状況を見ると、「巻き込まれ、挟まれ、激突され」といった建設機械との接触による死亡事故の割合は、図-1に示すように約16%である。

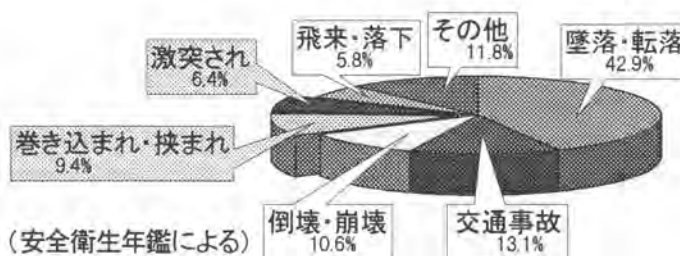


図-1 建設業における死亡災害の原因別発生状況

このような災害を防止する目的で、いくつかの同様のシステムが市販されている。

これらは超音波や磁界を利用したシステムであるが、安定した検知範囲の設定が困難であったり、周辺のノイズの影響を受けやすいといったこと、また、複数の作業員を同時に検知できない、侵入者が誰かが判らないといった問題点がある。特に機械と人間との協調作業などでは、作業効率を低下させてしまうこととなり、あまり使われていないのが現状である。

そこで、機械周辺の複数の作業員の検知と、誰であるかを認識できるシステムの開発を目標とした。

### 3. システム概要

#### 1) 検知原理

検知原理は、電界内で物体の静電容量に応じた電圧が誘起されるという静電誘導現象を利用している。実際には建設機械周辺に電界を発生させて検知領域を作り、この領域に侵入してきた作業員を検知する方法をとっている。

#### 2) システム構成・概要

本システムは、図-2に示すように、建設機械に搭載する「電界発生装置および警報発生装置」と、作業員に持たせる「IDカード」とで構成されている。

図-3に検知フローを示す。機械に搭載する電界発生装置と平板電極により静電界を発生させて検知領域を作る。作業員のヘルメット内には受信電極が内蔵されており、その電極に誘起される受信電圧のレベルにより検知領域への侵入を判断し、IDデータを微弱電波で送信する。機械側では受信装置で受信し、IDデータを判断した後、警報発生装置で作業員の侵入を運転員に知らせる。

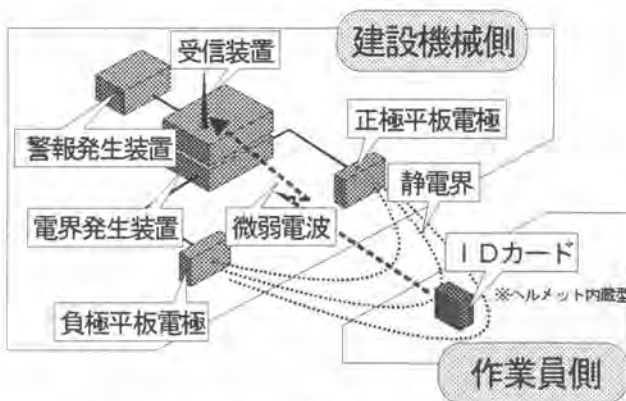


図-2 システム構成イメージ



図-3 検知フロー

表-1に本システムの主な仕様を示す。また、写真-1に主装置と平板電極を、写真-2にIDカードとヘルメット内蔵電極を示す。

表-1 システム主要仕様

電界発生装置	印加電圧	0~5kV <sub>p-p</sub> 25kHz
IDカード	データ量	メモリ256キロバイト
	最大使用可能文字	10文字
	通信キャリア周波数	309kHz
	静電界検知レベル	40dB <sub>μV</sub>

#### 4. 適用性確認実験

##### 1) 実験方法

本システムを試作し、50t クローラクレーンを用いて検知範囲の把握、検知性能の確認実験を行った。主装置を機体に搭載し、その周辺の受信電圧分布をヘルメット内蔵電極に誘起する電圧を計測することによって把握するとともに、検知可能領域、検知人数、伝送データの信頼性を調べた。写真—3に実験状況を示す。



写真—1 主装置と平板電極



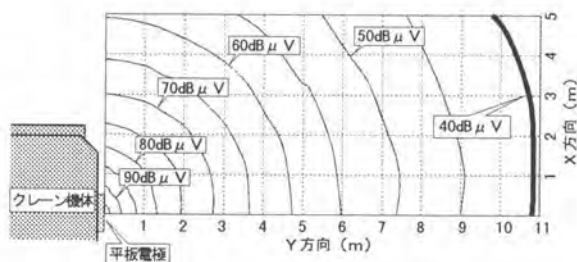
写真—2 IDカードとヘルメット内蔵電極



写真—3 電界強度計測状況

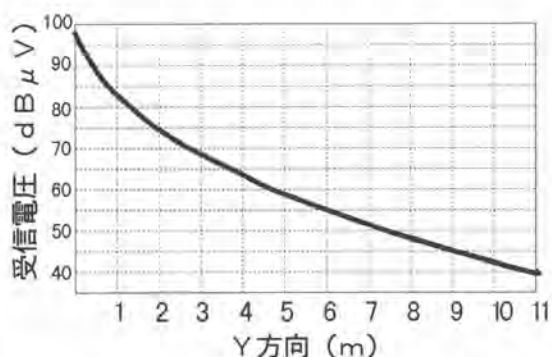
##### 2) 実験結果

印加電圧を 5kV、平板電極 1 枚を高さを 3.2m に設置した場合の地上高さ 1.8m の受信電圧分布を図—4 に、その距離減衰を図—5 に示す。また、図—6 に平板電極からの距離がそれぞれ 3, 6, 9m 地点での平板電極の設置高さを受信電圧の関係を示す。

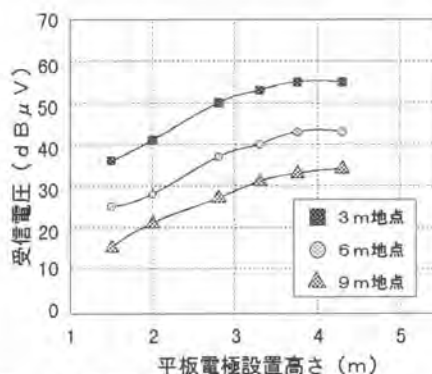


図—4 受信電圧水平分布(H=1.8m)

- a. IDカードの検知レベルは $40\text{dB}\mu\text{V}$ であり、検知範囲は平板電極から半径約10mで、平面的な等電圧線分布はほぼ円形である。
- b. 平板電極の設置高さが3.5~4mの時、ヘルメット電極の受信電圧が最も高くなり、検知範囲が拡大した。
- c. 同時に4名の作業員の検知が可能であり、また侵入者が誰であるのが把握できた。
- d. ヘルメット電極は指向性が無く、作業員の姿勢に関係なく検知が可能であった。



図—5 受信電圧距離減衰(H=1.8m)



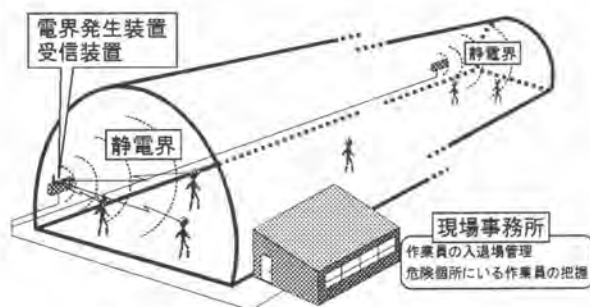
図—6 平板電極設置高さ別受信電圧強度 (H=1.8m)

## 5. まとめ

今回の実験により、本システムの基本的な適応性が確認できた。今回の適応性実験で確認できたように本システムの特徴は、検知領域が半径約10mと広範囲でかつ安定した設定ができること、また複数の作業員が同時に侵入してもよく、それぞれが誰であるかを判断して認識できる点である。このような特徴により機械周辺の作業員認識だけでなく、次のような応用も考えられる。

図—7のように、本システムを現場内の任意の位置に配置すれば、作業員に持たせた同じIDカードによって、現場への作業員の入退場の自動管理や、立入禁止区域や危険区域で、そこに誤って侵入しようとする作業員に自動的に警報を与えたりといったようなシステムである。

今後は、装置の小型化、低価格化などを考慮しながら、上記のような応用例も併せて、現場への適用を図っていきたいと考えている。



図—7 システム応用イメージ

## 44. リーチタワークレーン“LT500”の開発

コマツ：\*武原 秀幸、  
小松メック(株)：高田 邦彦

### 1. はじめに

近年都市部において、マンション需要は好調であるが、建物は高層化かつ敷地は狭小化してきており、施工条件は安全・騒音・道路条件等でますます難しくなっている。とりわけ躯体工事で重要な作業であるクレーンでの揚重作業は、移動式クレーンが主流であるが、進入路や設置スペースの制約で大型クレーンの使用が困難になってきている。それ故、小型クレーンでは高さ奥行きともに届かないし、大型クレーンでは進入・設置が困難であり、施工計画が難しくなっている。

当社においては以上の状況を鑑みて、屈曲式ブームを装着し懐を広くした、リーチ機構を持つ新型ホイールクレーンLT500「ピタゴラス」を開発した。昨年度発売し好評を得ているLT300と同様のコンセプトで、一段とスケールアップしたLT500は、前述した狭小地での中層マンションの施工を安全にかつ効率良く機械化施工できるようになった。



写真-1

### 2. 製品仕様

#### 2-1 走行姿勢

狭小地での進入性・作業性を良くするため、走行台車は25トクラスとほぼ同じサイズに押さえ、かつ35トクラスの重量を支えるため、最適な強度設計を行った。また作業機も走行視界性を良くする為、前方の飛び出し量を極力抑えた新機構の反転・張り出し方式を採用した。その結果走行姿勢は図-1に示すように25トクラスと同等であり、4.5m幅の直角道路も進入可能となった。

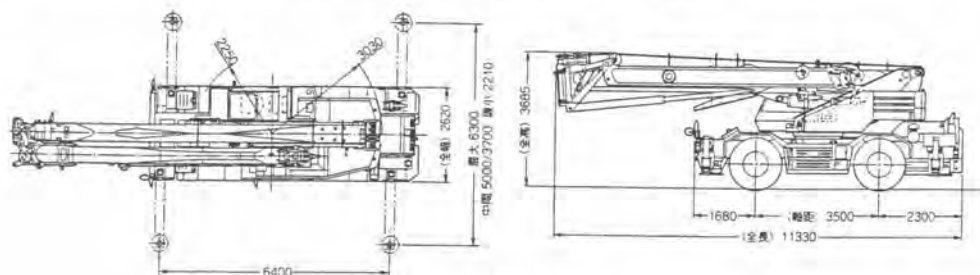


図-1

## 2-2 作業範囲

24.9 mの伸縮3段メインブームと22.1 mの伸縮4段水平ブームから形成される懐の深さは驚異的であり、8階建てのマンションを山越えて楽々と部材を送り込むことができる。建物にアウトリガを近接した設置状態において、1トンを吊れる作業可能範囲を50トクラスと比較したのが図-2である。点線は50トクラスで作業可能な建物の奥行きを示しており、8階建て24 mではブームと建物本体が干渉して奥行き10 mの建物しか送り込み作業はできない。一方ピタゴラスの場合実線で示すごとく、メインブームと建物は干渉しないので20 mの建物まで部材を送り込むことができる。平均的マンションの奥行きは仮設足場を含めると15 mになるため、5階以上の建物においてはピタゴラスが有利になっている。

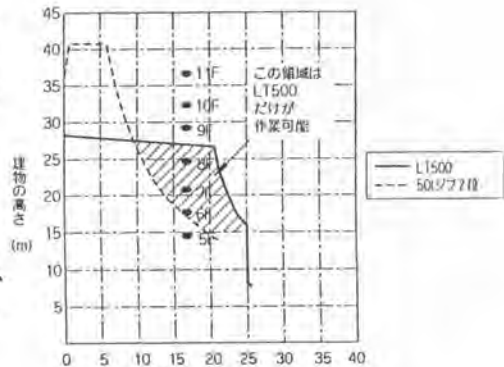
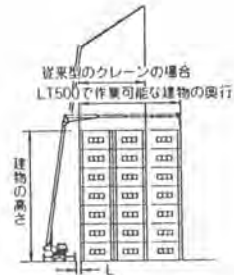


図-2

## 2-3 反転・張り出し機構

前述のような大きな作業を可能にする2本のブームをコンパクトに収めるため、コマツは独自の反転・張り出し機構を考案・採用する事によって、水平ブームを反転してメインブームの側方に横抱きすることを可能にした。図-3に張り出し手順を示す。このような反転操作を行う時、ワイヤ長さが変化するため、通常フックをワイヤで引っ張って固定するのは困難である。それ故、従来はキャブから降り、脚立に昇って、作業機先端位置でワイヤの掛け替えを実施していた。弊社は新しく考案したワイヤラインプル制御システムを織り込む事によって、低圧に制御されたラインプルによってフックを常時引っ張って固定しながら、反転・張り出し作業をキャブ内で操作可能にした。

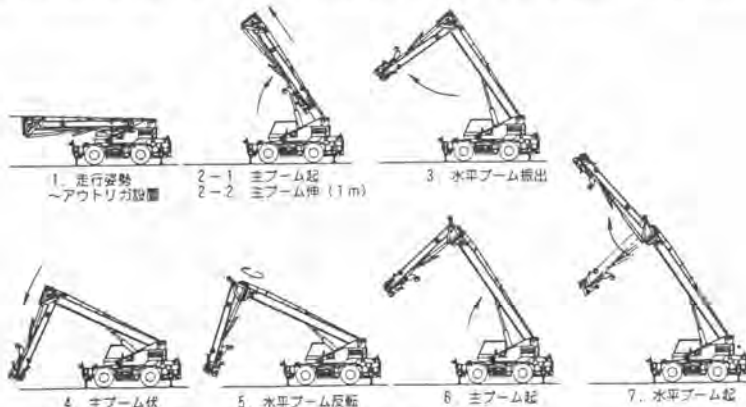


図-3

## 2-4 安全装置

本機は建物越えて作業するため、従来タイプのクレーンよりもより高い安全性が要求される。メインブームと水平ブームそれぞれに長さセンサーと角度センサーを装着し、吊り荷の位置を正確に把握するとともに、起伏シリンダーに装着された圧力センサーの値をコンピュータに読み込んで、リアルタイムに吊り荷重量を演算し、過負荷になると自動停止するシステムになっている。メイン3段水平4段の各ブーム段数の組み合わせ毎に、荷重表を記憶する必要があるため、コンピュータは独自の大容量のものを搭載している。また通常の作業状態においては、過負荷解除のキースイッチを操作しても、解除できないシステムにしている。

## 3. 本開発のキー技術

### 3-1 高剛性ピタゴラスブーム

ピタゴラスブームは通常のブームの先端にもう一本のブームを装着しているため、ブーム自身のモーメントが大きくなり、そのままでは大幅に吊り能力が低下してしまう。この二本のブームならびに接続部の軽量化と高強度化が、クレーンの能力を左右するキー技術となった。これらをクリアするため最新のFEM解析技術と三度にわたる作り直しと応力確認を実施した結果、姿勢によっては35tクラスを凌ぐ吊り能力を実現する事ができた。

### 3-2 反転・張り出し機構と安全ロジック

反転・張り出し機構は前述した通り、本機の最大の特長であり苦労したポイントであるが、それにも増して安全ロジックの構築も大きな課題であった。現実の作業においては、オペレータの誤動作や外的要因も含む機械のトラブル等、様々な事態が予想される。とりわけ張り出しが正規に完了していないまま作業をすると、吊り荷の落下等重大事故につながる恐れがある。そのためFMEAを駆使して、予想されるすべての故障解析を実施し、危険側への作動禁止と安全側への回避が可能になるよう安全ロジックを構築した。これによって安心して安全なクレーン作業が可能になった。

## 4. 本機を使用する事による効果

### 4-1 建物裏側の足場解体作業

写真-2に見られるようにマンションの立地条件は厳しく、大型のクレーンの進入・設置は困難である。このような建築現場において、従来足場の解体作業は人手で実施しており、工期・人件費の面で経費がかさむばかりでなく、安全の確保にも苦労していた。本機を使用することによって、足場をまとめて吊り上げて解体することが可能になり、工期が約1/3になっただけでなく、安全な解体作業を実施することができた。



写真-2

#### 4-2 建物裏側の外構工事

外構工事は躯体工事が完了してから実施する場合も多く、客土や樹木を搬入するのに苦労している場合も多い。写真-3のケースも客土の搬入通路がなく、当初10トもの土をネコを使用して建物内を人力運搬する予定であった。本機を使用することによって、建物越えて土砂とミニショベルを搬入し、わずか半日で仕上げることができた。

#### 4-3 その他作業

上記以外にも屋上ペントハウスや、PC部材の揚重に効果を発揮しているが、躯体がある程度高くなってからはほとんどの場合、大型クレーンを使用するよりも便利である。また躯体が完成した後の型枠撤去作業や空調機等の設備揚重作業にも大きな効果を発揮する。



写真-3

### 5. 今後の展開

昨年度2ヶ月にわたってテストマーケティングを実施して、実際の建築現場でピタゴラス施工の効果を確認してきた。しかしながら大部分のケースが従来の施工法において、大型クレーンや人力に代わっての作業であり、当初からピタゴラスを念頭において施工計画したものではなかった。今後はゼネコン、クレーン業者と協力して、本機を組み入れた施工法を検討し、更なる効率化・安全施工を開拓していく所存である。

### 6. あとがき

本年4月の発売以来、各方面より様々な反響を頂いている。今後もアタッチメントの開発を含め、昨年発売し好評を得ているLT300共々改良を進めていくつもりである。最後に本機を開発するにあたり、ご協力頂いたゼネコンの諸先輩、ならびに機械のテストと評価に尽力くださったクレーン業者の皆様に、この場を借りて感謝の意を表します。



## 45. 測量ロボットの開発

～測量作業における高率化と省力化を実現～

東急建設(株)： 鷹巣 征行, 佐藤 務  
\*小島 茂之

### 1. はじめに

土地造成や高速道路などの土木工事で  
行われる測量作業は、未だにそのほとん  
どの作業が人手によって行われているた  
めに、据え付け誤差の発生やデータ記入  
ミスなどの人為的な誤差が生じやすく、  
しかも作業の効率化を図ることが困難で  
あった。

そこで、測量作業における省人化と効  
率化を目指し、現場における測量機器の  
運搬や据え付け、測量、現場事務所で行  
われる座標データの処理、管理を行う測  
量ロボットを開発した。



写真-1 測量ロボット

### 2. 開発の背景

測量ロボットの開発目標を設定するために、土地造成工事で行われる現状の測量作業についてヒアリング調査を行った。その結果、次のことが判明した。

- 1) 工事開始直後の現場は斜面が多く車両などが乗り入れできない。したがって全ての作業が人手により行われ、一日に測量できる点数も非常に少ない
- 2) 埋設管敷設工事や石積み工事、街築工事などの構造物設置のための測設作業は、高い精度が要求され、しかも測量点数も多い
- 3) ほとんどの測量作業が複数の作業員により行われ、省人化が図れない
- 4) 測量機器の運搬、設置作業に手間がかかり、作業員の省力化および作業時間の短縮が図れない

そこで、測量ロボットの主な作業対象を構造物設置のための測設作業とし、機器運搬作業、測量機設置作業、測設作業の効率化を基本方針とし、開発目標を次のように設定した。

- a) 精密機器である測量機や使用する資材を搭載した状態で測量地点まで移動できること
- b) 作業員一人で測設作業が行えること
- c) 測量機の設置に要する時間が最小限で済むこと
- d) 従来行われていた測量と同等の精度が確保できること
- e) CAD システム等と接続して、測量データの書き込み、取り込みが容易に行えること

### 3. 測量ロボットの構成

#### 3.1 測量ロボットの構成

開発した測量ロボットの構成図と仕様表をそれぞれ図-1、表-1に示す。

測量ロボットを構成する自動追尾式トータルステーション、走行台車、整準台の3つの機器について、詳細を述べる。

##### 1) 自動追尾式トータルステーション

自動追尾式トータルステーションは、反射プリズムの自動サーチ機能と自動追尾機能を有し、全ての測量作業が作業員一人で行えるものである。

反射プリズムの視準作業が迅速に行うため、望遠鏡の上部には CCD カメラを搭載し、自動追尾式トータルステーションの視準位置の映像を操作盤上の液晶モニタに映し出す。

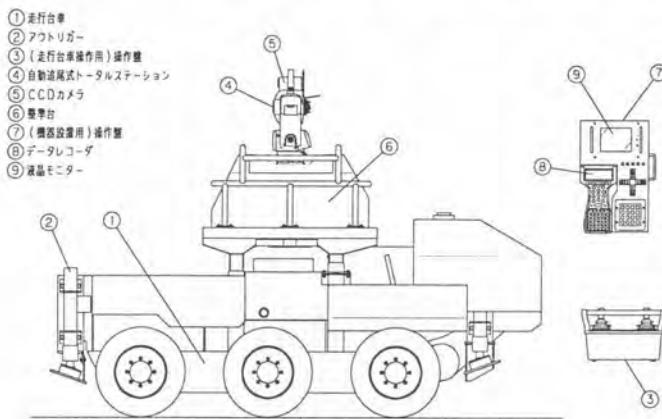


図-1 測量ロボット構成図

表-1 仕様表

・寸法	2,270×1,000×1,620mm
・重量	850kg
・測量可能距離	ピンホープリズム: 4~400m 1カラム : 7~700m
・測距精度	±(3mm+2ppm)
・追尾速度	10°/sec
・CCDカメラレンズ	8倍ズーム(f=5.9~47.2mm)
・傾斜補正範囲	±30°(水平面に対して)
・登坂能力	30°(前後、左右方向とも)
・走行速度	0~7.5km/h
・台車操縦方式	無線操縦方式



写真-2 自動追尾式トータルステーション

自動追尾式トータルステーションは、計測した測距・測角データを無線モデムにより離れた位置のデータレコーダに送る。データレコーダはこの測距・測角データから、反射プリズムの3次元座標を計算して表示する。測設作業の際に、反射プリズムの視準、測距・測角データの読み取り、および測量地点への合図を行う作業員を必要としないため、作業の合理化と省人化を図ることができる。

## 2) 走行台車

走行台車は、土木工事現場内を自由に走行するためにエンジン駆動で6輪式の不整地走行台車を採用した。斜面や荒れ地、ぬかるんだ場所での走行が可能であるために、走行経路やロボットの設置場所が限定されることがない。またタイヤ走行のために、搭載するトータルステーションに振動や衝撃が伝わりにくい。

台車の周囲にはアウトリガーが装着され、測量時に揺れや振動が発生するのを防止する。4本のアウトリガーにはそれぞれ圧力センサが配置されており、すべてのアウトリガーが均等に接地するように各シリンダに作用する力を管理している。

## 3) 整準台

整準台は、傾斜補正と振動吸収の2つの機能を有する自動追尾式トータルステーションの架台である。傾斜補正機能は、搭載する自動追尾式トータルステーションを水平に維持するための機能で、トータルステーションを固定するテーブルに内蔵された傾斜計の出力をもとに、 $\pm 30^\circ$ までの傾きを自動的に補正する。

振動吸収機能は、不整地走行時に発生する衝撃や走行台車の振動を、トータルステーションに伝えないためのサスペンション機能である。精密な光学機器であるトータルステーションに長期にわたり衝撃や振動を与えることは故障や精度の低下を引き起こす原因となる。振動吸収機能により、自動追尾式トータルステーションを搭載したまま不整地走行が可能である。

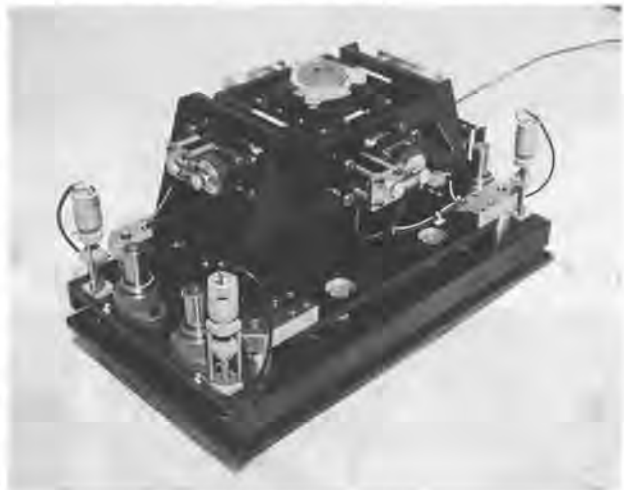


写真-3 整準台

## 3.2 測量システムの構成

測量ロボットを含めた測量システムの構成を図-2に示す。

測量ロボットは、現場での測量作業を省力化するとともに、CADシステムや測量支援システムと接続することで、測設する点の座標データ作成作業や測量後のデータ処理など、現場事務所における測量管理作業が効率的に行える。

## 4. 作業手順

測量ロボットの作業手順について、構造物基準点の測設作業を例にとって図-3に示す。

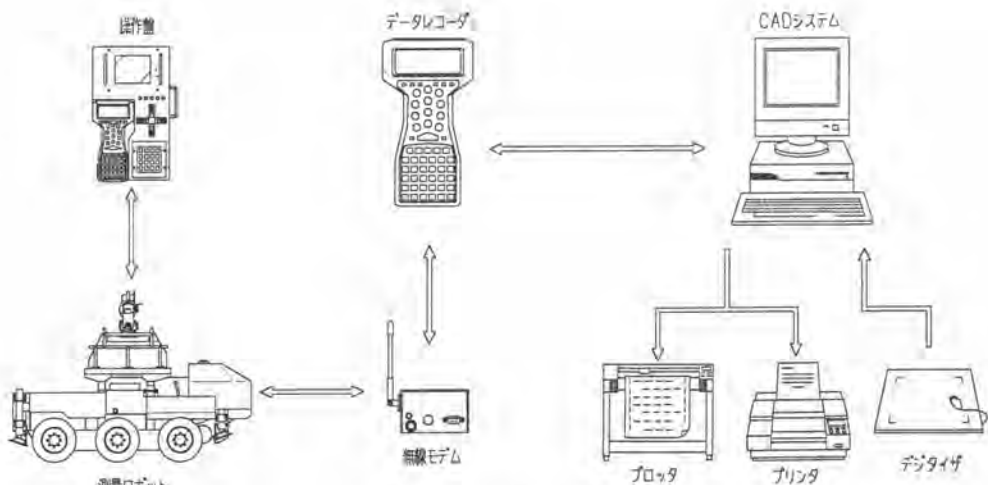


図-2 システム構成図

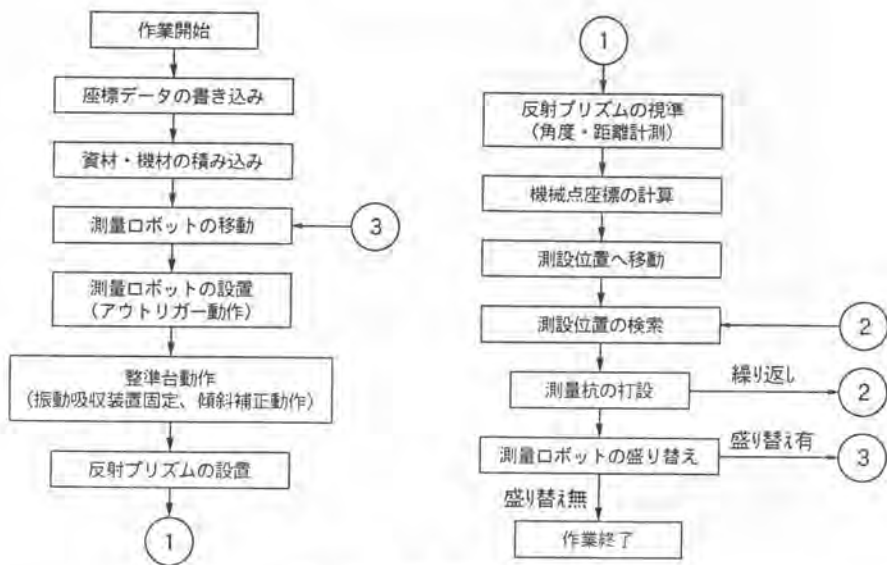


図-3 作業手順フロー図

1) 測量準備作業

測設する点やトラバース点の座標データをデータレコーダ内に書き込む。(データレコーダと CAD システムと接続して座標データの書き込みを行う)

測量に必要な機材(反射プリズム、三脚、測量杭等)を、測量ロボットに搭載する。

2) 測量地点まで移動

ロボットを操作して測量する地点まで移動する。走行時には整準台の振動吸収機能が動作し、振動や衝撃をトータルステーションへ伝達させない。

### 3) 測量ロボットの設置

測量地点に到着した後に、アウトリガーの張り出しと整準台の振動吸収装置の固定を行い、トータルステーションの揺れを防止する。また、傾斜補正機能によりトータルステーションの傾きを補正する。

### 4) 反射プリズムの設置

測量ロボットの機械点を計算するための基準点となるトラバー点上に反射プリズムを設置する。

### 5) 機械点の算出

操作盤上のモニタに映し出されるトータルステーションの視準位置を確認しながら、反射プリズムを順次視準し、角度と距離を計測する。

反射プリズムまでの測距・測角データをもとに後方交会法により機械点の座標計算を行う。

### 6) 測設作業

データレコーダを測量ロボットから切り離して測設点付近まで移動する。作業員はデータレコーダの表示を確認しながら、測設する点の位置を求める。

測設位置に測量杭を打ち込み、次の測設点に移動する。



写真-4 測量ロボットの移動状況



写真-5 測設位置の検索状況（U字溝構築のための測設作業）

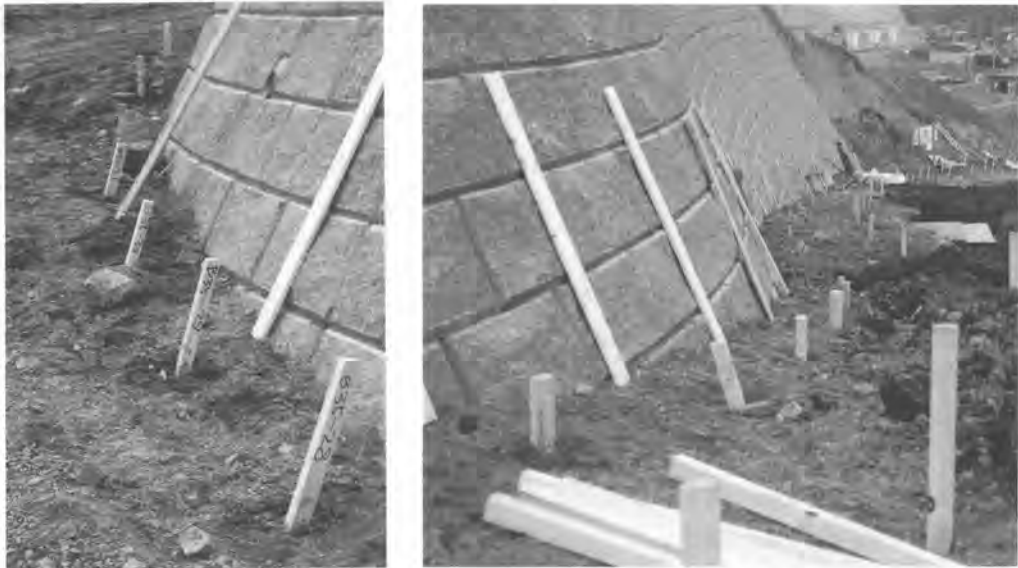


写真-6 測量杭の打設状況（U字溝構築のための測設作業）

## 5. 現場実験結果

測量ロボットの製作終了後、土地造成工事現場へ導入し、機能確認実験と精度確認実験を行った。その結果、次の効果が確認できた。

- 1) 作業員一人で全ての作業が行え、省人化が実現できた。また、作業効率が向上することで一日に測設できる点数が増加した。
  - 2) 測量に必要な機材をすべて搭載して移動するため、運搬作業に要する時間と労力が減少した。
  - 3) CAD システムから測量ロボットへ直接座標データを書き込めるために、入力ミスの発生がなく、座標データの入力作業が短時間で行えた。
  - 4) 従来行われていた測量と同様の精度が得られた
- 以上の結果から、開発当初に設定した目標をほぼ満足する結果が得られた。

## 6. おわりに

測量ロボットは、以下の点に重点を置いて開発を行った。

- 1) 自動追尾式トータルステーションを搭載したまま不整地を走行でき、しかも傾斜地でも測量が可能である走行台車と整準台の開発
  - 2) 自動追尾式トータルステーションの作業性を向上させるための制御装置とソフトウェアの開発
- 現場に導入して行った実験により、測量ロボットは開発当初の目標を達成できることが確認できた。今後、さらに測量ロボットの作業性を高めるために、本体やソフトウェアについて改良を行っていく予定である。また、土地造成工事における測量作業だけでなく、トンネルや高速道路工事などの測量、計測作業への適用も行っていく。

最後に、測量ロボットを開発するにあたり、御協力をいただいた方々に感謝の意を表します。

# 46. 巨大ドライヤーの開発とその効果

（株）フジタ：\*須郷 茂夫，倉谷 勝敏  
鈴木 伸治

## 1. はじめに

ロックフィルダム工事は、盛立工事を中心として雨が天敵である。なぜならば、盛立工事中に降雨があれば、管理基準により盛立材の水分が乾燥するまで工事ができない状況となる。そこで降雨後、早期に盛立施工が出来るよう様々な方法が取られているが、その方法や対策には労力と時間がかかり、決定的な解決方法がないのが現状である。

この大きな問題の解決に、ホバークラフトの原理（下部方向への風圧で船体を浮かせ、推進方向の風圧で走行を可能にする）を応用した巨大ドライヤーを開発し、高温多雨地域のダム工事に供用し初期の目標を達成することができた。

本報告は、盛立施工前に含水比をコントロールし、施工品質の向上と工期短縮を図る巨大ドライヤー（正式名称はスーパージェットドライヤー）の開発とその効果について報告する。

## 2. ロックフィルダム工事における含水比調整の重要性

ロックフィルダムのコア材は、プロクターの原理により透水性や密度等が含水比と対応しており、それらの管理基準の確保は、ダムのコア材として最も重要な項目となっている。従ってコア材の盛立は、ある一定の含水比の範囲（図2-1に示す突固め・透水試験結果の斜線ハッチング部分で、「最適含水比+0～3%」の範囲）でないと施工できないことになっている。その為、降雨後に盛立材が水を含んだ場合は、所定の含水比に戻るまではコア材の盛立はできない状況にある。ロックフィルダムの標準断面を図2-1に示す。

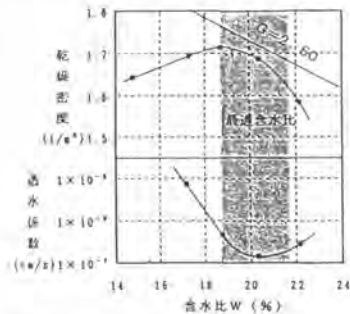


図2-1 突固め・透水試験結果

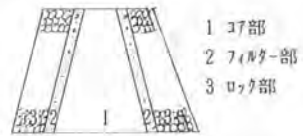


図2-2 ロックフィルダム標準断面図

### 3. 開発の目的

従来、降雨対策としては、盛立材をシート等で覆う方法が採られていた。また、溜まり水については柄杓・バケツを使って排水するが、そのほとんどの作業を人力に頼っていたので時間がかかり、一定の品質を確保することが難しい状況であった。

写真-1に従来の排水状況を示す。そこで、コア材の表面を乱さず、広い範囲を短時間で乾燥させることのできる巨大ドライヤーの開発を行った。



写真-1 従来の排水状況

### 4. 巨大ドライヤーの概要

#### 4-1 短時間で盛立材を乾燥させるメカニズム

このメカニズムは、ドライヤーと同じであるが熱風ではなく、大型ファンによる狂風（強烈に吹く強い風）により溜まり水を吹き飛ばし、蒸発面積を広げることにより乾燥しやすくしている。

図4-1に巨大ドライヤーに搭載された大型ファンの風向き系統を示す。

尚、巨大ドライヤーの走行は、巨大ドライヤー本体が地面から約20cm浮いて走行するために、盛立表面を傷つけることなしに作業ができる。

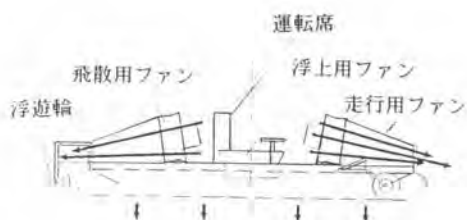


図4-1 大型ファン風向き系統図

#### 4-2 巨大ドライヤーの仕様と能力

図4-2に巨大ドライヤーの概略を示し、表4-1に巨大ドライヤーの仕様を示す。

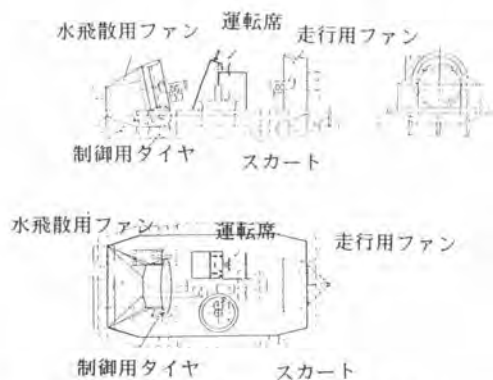


図4-2 巨大ドライヤー概略図

表4-1 巨大ドライヤー仕様

項目	仕様・規格
全長	5,300 mm
全幅	2,200 mm
全高	1,450 mm
重量	550 ~ 800 Kg
浮上用エンジン	空冷 2サイクル 500cc 37HP
飛散用エンジン	空冷 2サイクル 500cc 50HP × 2台
ファン風圧	34.8m/s 125.28Km/H
ファン風量	30 m <sup>3</sup> /s × 2



#### 4-3 巨大ドライヤーの特徴

巨大ドライヤーの特徴は以下の通りである。

- ①降雨後から盛立開始まで、乾燥時間の短縮がはかれる。  
(自然乾燥の場合6日間、強制乾燥の場合4日間)
- ②人力での排水作業に比べ、大幅な省力化及び時間短縮ができる。(20人で一日作業が、一台で2~4時間で完了する。)
- ③車体が浮上して走行するため、盛立表面を傷つけない。
- ④ダム以外への汎用性がある。(道路工事、競技場、サッカー場等)
- ⑤軽量およびコンパクトに設計されており、運搬が容易である。(4TONトラックで運搬可能)



写真-1 巨大ドライヤー

また、写真-1に巨大ドライヤーの外形を示す。

### 5. 施工実績

#### 5-1 盛立の実施日数

盛立実施日数は、1月から4月の実績で

8.5日の盛立日数の増加を得ている。

表5-1に盛立実施日数を示す。

表5-1 盛立実施日数

月	盛立実施日数				
	1月	2月	3月	4月	計
強制乾燥	6.5	3.0	1.5	17.0	28.0
自然乾燥	4.5	1.5	0.5	13.0	19.5
増加日数	2.0	1.5	1.0	4.0	8.5

#### 5-2 降雨後の含水比の変化

降雨後の含水比の変化において、自然乾燥の場合は降雨後5日目で23.1%であるのに対し巨大ドライヤーの稼働による強制乾燥では、降雨後4日目で21.2%迄に低下し、曝気作業が行える状態に移っている。表5-2に、降雨後の含水比の変化の比較表を示す。

表5-2 降雨後の含水比の変化

降雨後日数	降雨後の含水比の変化					
	0日	1日	2日	3日	4日	5日
天候	雨	曇	晴	晴	晴	曇
降雨量 mm	26.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
強制乾燥方式の含水比 %	---	---	26.3	23.7	21.2	---
自然乾燥方式の含水比 %	---	---	26.4	25.3	24.3	23.1

### 5-3 コア材盛立再開のフロー

自然乾燥の場合、降雨後 6日目からの曝気盛立になり、巨大ドライヤーで強制的に表面水を除去した場合、降雨後 4日目で曝気盛立になり、2日間の工期短縮がはかれた。図 5-3 にコア材盛立再開のフローを示す。

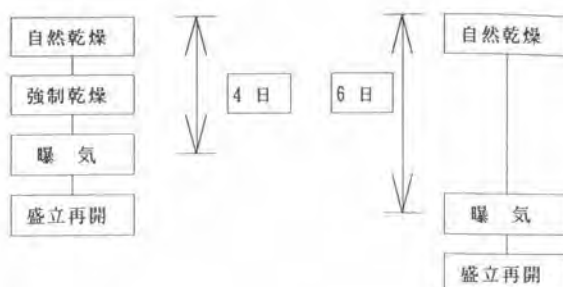


図 4-3 コア材盛立再開のフロー

### 5. 今後の展開

巨大ドライヤーの開発は、当初の発想によりコア材の表面をドライヤーの原理により、風量・風圧を利用して乾燥効果を上げる方法を目指し、その有効性を確認した。また、一方では、コア材表面を乱さないように、ホバークラフトの浮遊特性を活かすことができた。その施工結果は、水切り性能に優れ、機動力もあり、省力化に寄与できる等、機能上当初の予想を上回る能力があることが確認された。次の展開としては、競馬場、サッカー場、道路工事等への利用が検討されている。

写真-3 に巨大ドライヤーの施工状況を、写真-4 に造成現場での施工状況を示す。



写真-3 巨大ドライヤー施工状況



写真-4 造成現場での施工状況

### 6. おわりに

ロックフィルダムの現場に、ヘリコプターのホバリングによる水切風影からの発想と、レジャー用ホバークラフトという思いもよらない分野の技術を応用することで、降雨後のコア材の含水比調整という重要、かつ難しい課題に挑戦し、成果を見いだすことができた。また、本工法はコア材の乾燥という限定された用途に開発されたものではあるが、その技術に予想を上回る汎用性があり、全国へ広く照会された。

近年、大幅な省力化・効率化が叫ばれている中で、専門・分野の違い等にこだわらず広く情報を集め、発想の転換を図ることや工夫を凝らすことにより、新しい高度な合理的な技術を見いだすことができると考える。

# 47. 無人化施工における遠隔操縦技術の開発

建設省九州技術事務所；木村 直紀，\*松岡 雅博  
三浦 成治

## 1. はじめに

建設機械の遠隔操縦で行われた本格的な無人化施工は、雲仙普賢岳の大規模な堆積土砂の除去作業で知られている。この作業で、短期データではあるが通常の土工工事と変わらない施工実績を挙げており、我が国の遠隔操縦技術は一応のレベルであることを証明した。

しかし、これは雲仙普賢岳の土砂除去作業という特殊条件下において、大型機械の導入や無人化が幸いして思い切った運転を行えたことなどによるものであり、一般的な汎用の建設機械では、無人化施工に対応できておらず施工効率は、50%程度といわれている。

そこで、本研究は遠隔操縦支援システムの開発を目的に、汎用機械である油圧バックホウを例に取り、遠隔操縦に熟練していないオペレータの作業能率改善のため、部分定型自動化と先行視野モニタリングを導入し、無人化施工が合理的に行える調査を行ったものである。

## 2. 調査内容

### 2.1 調査試験の方法

遠隔操縦の作業効率が低下する詳細原因分析のため、油圧バックホウとダンプトラックの組合わせによる掘削・積み込み試験を表-1の要領で行い、その運転形式を図1～5に示す。

### 2.2 遠隔操縦によるサイクルタイム増大要因分析

各施工パターンのサイクルタイム構成から、搭乗運転に比べ大幅に施工効率が低下する遠隔操縦によるタイムロスがどの部分に存在するか詳細分析を行った。

### 2.3 サイクルタイム短縮への有効性調査

#### (1) 部分定型自動化

掘削から排土までの旋回、排土から掘削に至るまでの動作をソフトプログラミングにより部分定型自動化し、その有効性を検証した。

なお、本試験での部分定型自動化は、1回目にティーチングモードで実際の作業を行い、その後スイッチ切替により自動モードとなるリプレイ方式を採用した。

#### (2) 先行視野モニタリング

左右旋回時に必要な前方向（先行視野）の情報を与え、単画面（視角60度）と連続画面（視角180度）による作業効率調査を行った。

### 2.4 無人化施工支援システム

無人化施工を行うためには多くの支援システムが必要であり、これらのシステムについて無人化施工に対する位置付けの取りまとめを行った。

表-1 油圧バックホウによる掘削・積込み試験要領

運 転 形 式	運 転 内 容
パターン① (搭乗運転)	運転席で通常どおりオペレータが作業を行い、作業性、操作性の評価の基準値を得る。
パターン② (無線操縦機搭乗運転)	運転席でオペレータが無線操縦機を抱えて、目視により操作する。
パターン③ (無線操縦1ITV)	キャブ上にカメラ1台を設置し、機外からモニタ画像を見ながら操作する。(ただし、先行視野情報が無いため、モニタ画面上にダンプベッセルの高さ位置を矢印表示する)
パターン④ (無線操縦3ITV)	キャブ上にカメラ3台を設置し、先行視野情報を取り入れ、機外からモニタ画像を見ながら操作する。
パターン⑤ (パターン2+27システム)	パターン3+機外の2方向から撮影する2台の補助カメラを用い、モニタ画像を見ながら操作する。
パターン⑥ (パターン3+27システム)	パターン4+機外の2方向から撮影する2台の補助カメラを用い、モニタ画像を見ながら操作する。
パターン⑦ (定型自動化技術併用)	機外から掘削・積込み位置を目視で確認しながら、掘削は無線操縦機による操作とし、ホスト旋回、排土及びびくろ旋回については自動化による操作とする。

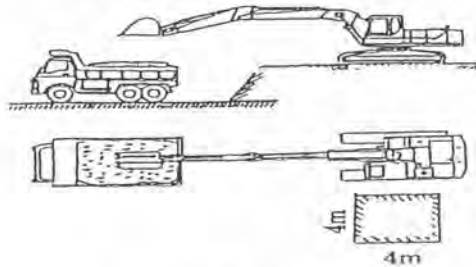


図-1 パターン①②⑦

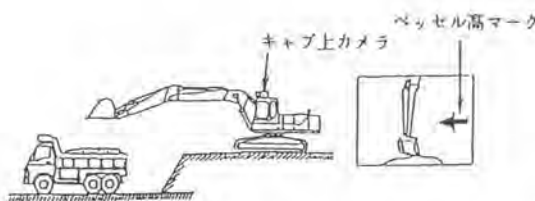


図-2 パターン③

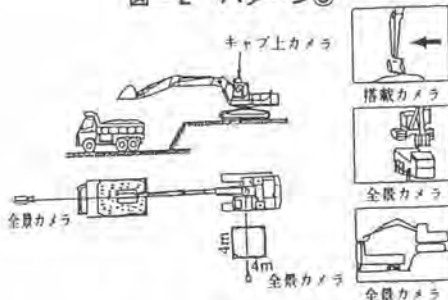


図-4 パターン⑤

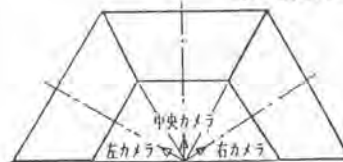
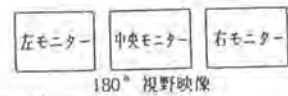


図-3 パターン④

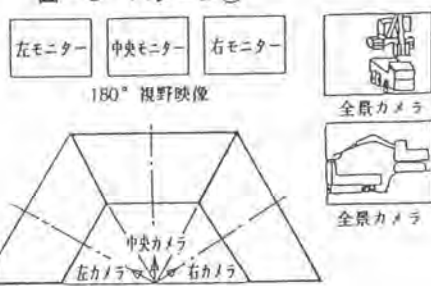


図-5 パターン⑥

### 3. 調査試験結果

#### 3.1 遠隔操縦によるサイクルタイム増大要因分析

ダンプトラック1台当たり7回の掘削・積込みを1セットとし、施工パターン①～⑥で延べ37

セットの試験を実施した。

また、パターン⑦の自動化システム併用については、4回の積込みを1セットとし、延べ4セットの施工試験を実施した。図-6に各パターン別サイクルタイムの平均値を示す。

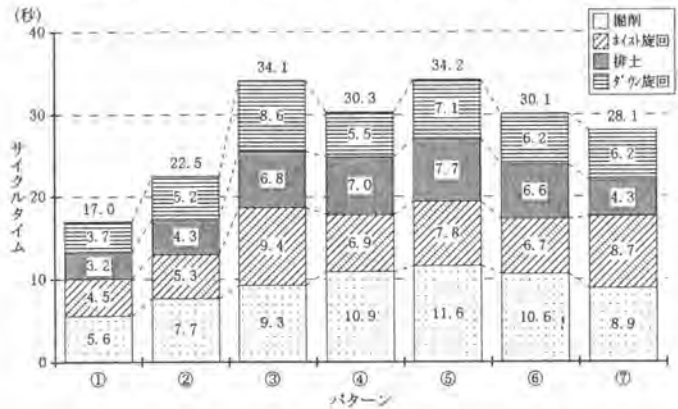


図-6 施工パターン別サイクルタイム

なお、行程動作内容は次のとおりである。



また、無線による固定タイムロス、パターン①の搭乗運転とパターン②の無線操縦機搭乗運転の比較により、視野情報に関係なく無線操縦機を使用したための固有遅れであると考えられる。

そこで、搭乗運転に対しての無線操縦運転の増加率を行程動作別に示してみると図-7となり、無線操縦機使用のための固有遅れは全体の30%以上であることが判る。

特に、掘削とダウン旋回にみられる増加率は大きく、これは、この行程の無線操作回数が多いため、無線の送受信に伴う影響と考えられる。この固有遅れを減少させるためには、無線の応答回数を最小限にし、定型的な動きを自動化する必要がある。

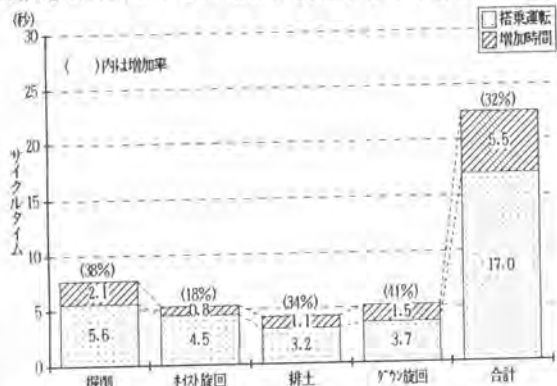


図-7 無線操縦機使用のサイクルタイム増加率

次に、図-8に示す施工パターン別複合作比率を見ると、搭乗運転における複合作の占める割合は80%を越えている。

これは、作業に必要な目視判断が容易に行え、機械にとって最適な複合作が取れるためである。

また、パターン③の複合作が占める割合は、36%であったものが、パターン④の連続画面では51%まで向上している。

これは、単画面に比べて連続画面では、目視判断が容易に行えるため、先行視野情報の有効性があると判断できる。

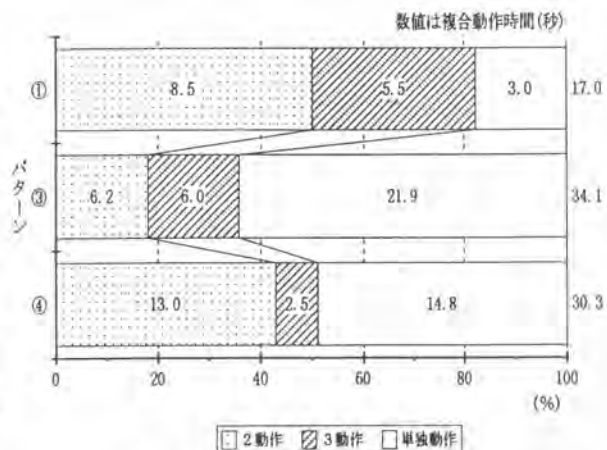


図-8 施工パターン別複合作比率

### 3.2 サイクルタイム短縮への有効性調査

#### (1) 部分定型自動化

図-9より、パターン⑦（自動化技術併用）とパターン②（無線操縦機搭乗）のサイクルタイムを比較すると、パターン⑦が25%増となり作業効率の面ではあまり効果が認められなかった。これは、本試験の手動自動切替スイッチの操作を、無線操作レバーから一旦手を離して操作を行う機構としたため、サイクルタイムの増加原因となったものと考えられる。

そこで、今後次のような技術を開発すれば、搭乗運転のサイクルタイムに近い水準まで可能であり、定型自動化技術の有効性は高まるものと考えられる。

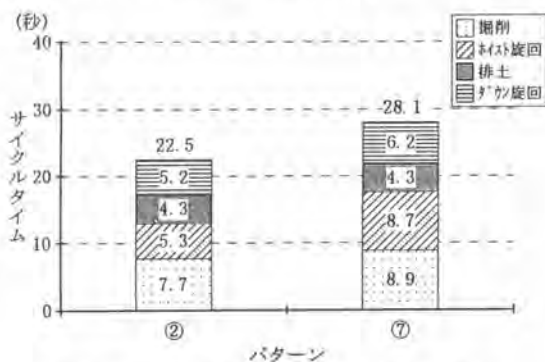


図-9 自動化併用サイクルタイム比較

- ① 手動自動切替スイッチの位置やその回数等を考慮した無線操縦機の改造。
- ② 現場において指定点（掘削位置）から指定点（排土位置）を与えると座標軸管理を行い、途中の動きは最良の複合作で動くソフトプログラムの開発。
- ③ 荷こぼれ防止の排土作業が可能なセンサー等の開発。
- ④ 排土時にダンプトラックの荷台に合わせ、均等に積込む事が可能となるソフトプログラムの開発。

以上の項目が改善されたとして、パターン⑦のシミュレーションを行うと図-10のようになり、改善前に比べて改善後の施工効率は約28%向上する。

また、パターン①の搭乗運転に対しても遠隔操縦では約50%といわれていた施工効率が、約88%まで向上できると考えられ、自動化技術の更なる開発が望まれる。

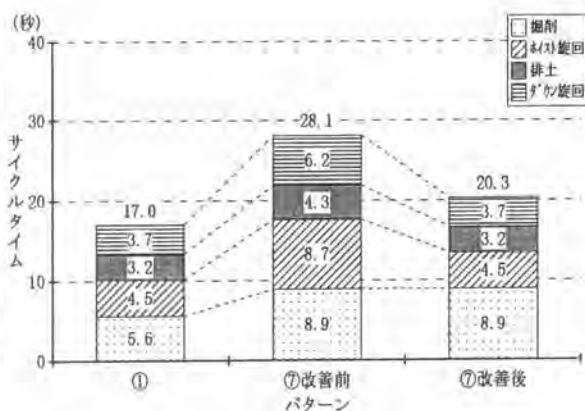


図-10 部分自動化改善効果シミュレーション

## (2) 先行視野モニタリング

図-7より、搭乗運転のサイクルタイム17秒に対し、無線による固有遅れが5.5秒であることがわかった。

このことから、固有遅れを固定した時の施工パターン別サイクルタイムは図-11となり、旋回時から掘削点または排土点の情報が得られるパターン④（連続画面）と、先行視野がないパターン③（単画面）の画像遅れに着目して比較すると、

$(11.6-7.8)/11.6 \times 100 = 33\%$  となり、30%以上の作業効率向上が認められ、先行視野情報が有効であることが確認された。

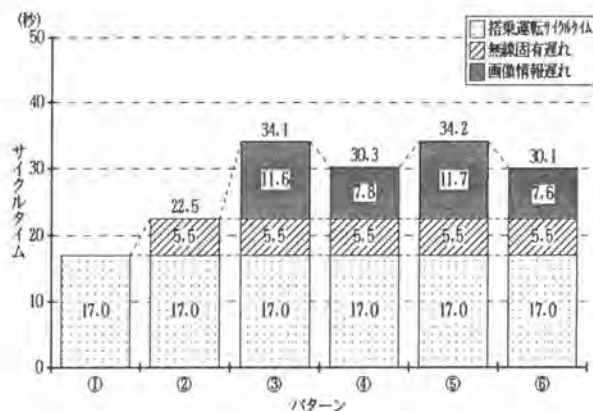


図-11 画像情報によるサイクルタイムの増加

しかし、周囲補助画像（アシストモニター）については、安全・確実の面では効果があり好ましいが、単純な掘削、積込み作業ではパターン③と⑤及び④と⑥から、顕著なタイム差は認められず効率の面では効果があるとはいえない。

## 3.3 無人化施工支援システム

遠隔操縦には、リモートコントロールされる建設機械だけでなく、それをサポートしている操縦支援システムが非常に重要であり、無人化施工を行うために多くの要素技術からなる支援システムが必要である。

これらの支援システムはリモートコントロール建設機械の操縦そのものを支援する遠隔操縦システムと、施工を助ける遠隔操縦施工支援システムに大別され、図-12のようにまとめられる。

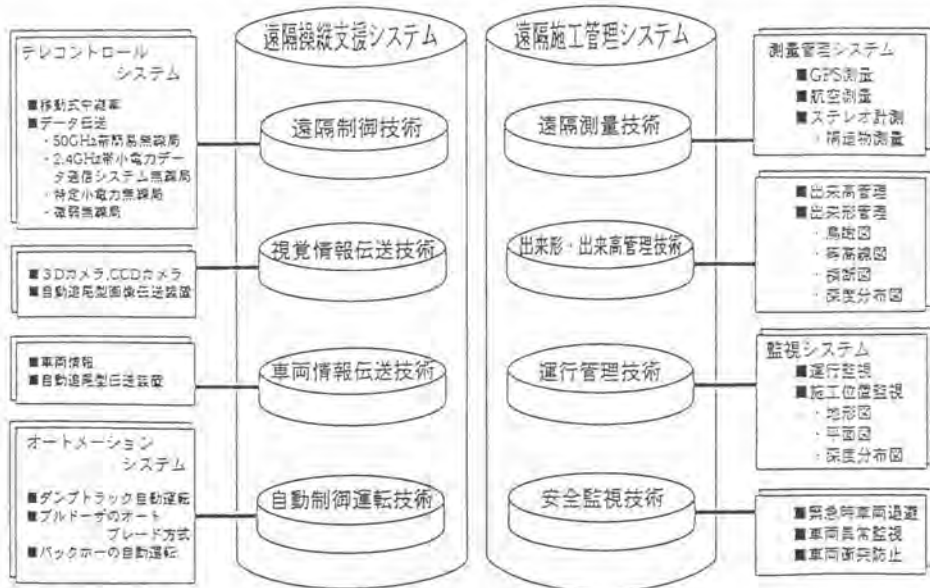


図-12 無人化施工支援システム

#### 4. まとめ

今回の試験分析結果から土工作業に最も有効である自動制御運転技術と視覚情報技術に着目し、部分定型自動化技術、先行視野モニタリングのそれぞれの有効性を定量的に示すことができた。

今後の遠隔操縦建設機械は、様々な現場条件に合わせた施工方法が可能なものが望まれており、遠隔操縦専用機械（運転席をなくす、指令信号による定型自動化）を製作することで、高効率、コスト縮減可能な遠隔操縦建設機械を開発でき、専用機と制御技術、情報伝送技術等の組合せにより、理想的な遠隔操縦支援システムとすることができる。

しかし、現状では専用機をそれぞれが持つという事は困難であるため、一般的には、従来型の汎用機に遠隔操縦機を取付け、有人運転と無人運転を容易に切替可能な機種の開発が望ましい。

また、遠隔操縦で施工することを前提とした特殊条件下の現場では先に述べた理想的な遠隔操縦支援システムの導入が望ましい。



# 48. 次世代ホイール式油圧ショベル (URBAN GEAR128) の開発

コマツ：北田 智夫, \*金山 登  
大島陽二郎

## 1. はじめに

油圧ショベルは中小土木、都市土木、道路補修、住宅等各種工事に使われ、特に近年においては、作業装置の旋回半径を極力小さくして狭所での作業性をしやすくした超小旋回型油圧ショベルのニーズが高まっている。

一方、一昨年の道路交通法の改正により、建設機械の輸送規制が厳しくなると共に、路上放置に対する規制も益々強化されている。

こうした中において、ホイール式油圧ショベルは、道路上を自由に自走できる建設機械としてユーザに高く評価されているが、走行性能及び操縦安定性等の点で問題があり、しばしば交通渋滞の原因となり社会的問題ともなっている。

コマツでは、こうした走行性能のみならず安全性、作業性、さらには環境保全性にも優れる URBAN GEAR 128 (PW128uu：写真-1) を商品化したので現場間の公道での走行性能と狭い現場内での作業性を中心に紹介する。



写真-1. URBAN GEAR 128

## 2. 開発の狙い

### 2-1. 現場間の移動における機動性の向上

道路交通法の改正に伴い、それまでトラック輸送していたクローラ式油圧ショベルのバケット容量 0.45~0.8 m<sup>3</sup>クラスはトレーラ輸送に切り替えざるを得ず輸送コストの増加は避けられない状況となって来た (図-1)。

そこで、従来のホイール式油圧ショベルの最高車速は大略 35Km/h であった

油圧ショベルの大きさ		道路輸送の手段	
バケット容量 (m <sup>3</sup> )	コマツ機種	改訂前	改訂後
0.28	PC60ｸﾞﾗｽ	トラック輸送 (セルフ)	トラック輸送 (セルフ)
0.45	PC100Nｸﾞﾗｽ		
0.45	PC100ｸﾞﾗｽ		
0.50	PC120ｸﾞﾗｽ		
0.80	PC200ｸﾞﾗｽ		
1.4	PC300ｸﾞﾗｽ	トレーラ輸送	トレーラ輸送
1.8	PC400ｸﾞﾗｽ	トレーラ輸送 (分解要)	トレーラ輸送 (分解要)
3.1~	PC750ｸﾞﾗｽ~		

(新JIS)

図-1. 道路交通法改正の影響 (輸送手段の比較)

が、URBAN GEAR 128では最高車速を同 49.5Km/h としたことのみならず加速性、操縦安定性等を含めた機動性の向上により輸送費を含めたトータルコストの低減を図った。

図-2にクローラ式油圧ショベルとトータルコストについて比較した結果を示す。PC100、120(バケット容量 0.45~0.50 m<sup>3</sup>)のユーザに対しては、月に1~2回以上輸送を必要とする使い方において(ケース1)、またトラック輸送が可能なPC60、PC100N(バケット容量0.28~0.45m<sup>3</sup>)のユーザに対しては、月4回以上移動を必要とする使い方においては(ケース2)、トータルコスト上有利となる。

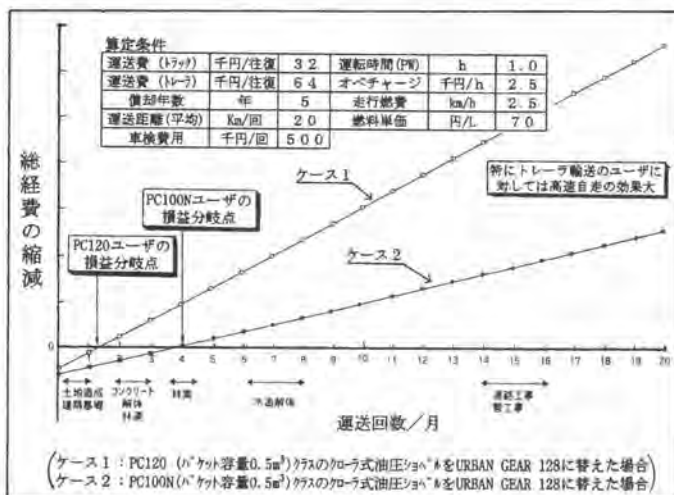


図-2. 経済性の比較 (対クローラ式油圧ショベル)

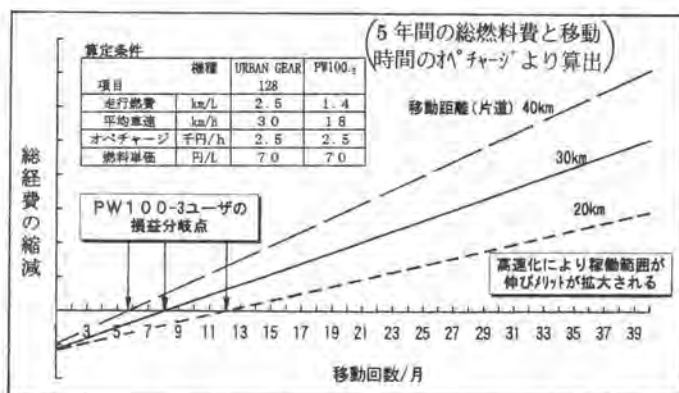


図-3. 経済性の比較 (対従来のホイール式油圧ショベル)

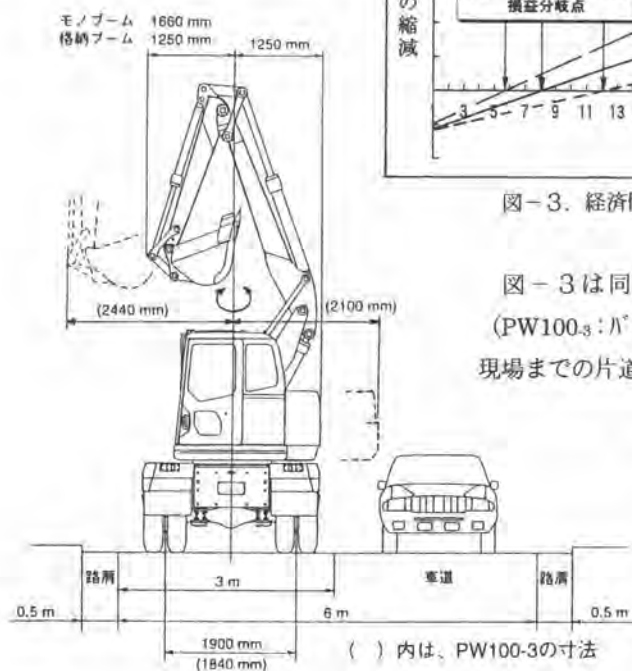


図-4. 超小旋回性

図-3は同じく従来のホイール式油圧ショベル (PW100-3:バケット容量 0.45 m<sup>3</sup>) と比較した結果を示す。現場までの片道走行距離が 30Km(PW100-3の平均値)の場合で、月7回以上移動を必要とする使い方においてはトータルコスト上有利となる。

そのほか、高速走行による移動時間の短縮により業務エリアを拡大でき、同一移動時間内でカバーできるエリア(面積)は約2.8倍(平均車速比の二乗)となる。

## 2-2. 現場内での作業性の向上

特に片側一車線の幅内でのアスファルトの打ち替え等の工事では、作業装置を旋回する時、その作業装置の一部が対向車線内にはみ出すと、対向車線を通行する車両の安全確保に配慮するため作業効率が上がらず、しばしば道路渋滞の原因にもなっている。

URBAN GEAR 128 は車幅内での旋回を可能としたため、片側一車線内での作業により現場スペースを有効に活用できる上、進行車両の安全も確保される（図-4）。

さらには、工事中の通行車両の安全確保のための監視員の数も減らすことができ、施工コストの低減にも寄与することができる。

## 3. URBAN GEAR 128 で採用した新技術

### 3-1. 走行性能の向上

これまでのホイール式油圧ショベルの駆動方式は現場作業での複合操作性に優れる油圧駆動方式が採用されている。しかしながら、同駆動方式は高速走行時の駆動効率が低く、最高車速を上げるにも限界があることが知られている。

#### (1) 新油圧機械式変速機（HDT\*1）

そこで、URBAN GEAR 128 では手と足の複合操作性が要求される現場作業時および自走するときの発進時は油圧駆動とし、また道路走行時の中・高速走行域では機械式（ダイヤル・レバ・ワフト）とした新油圧機械式変速機（HDT）を採用した（図-5、図-6）。そして、エンジン、変速機、油圧ポンプおよび油圧モータは下部走行体内に配置した低重心設計により、高速走行時の車体安定性の向上を図った（図-7）。

#### (2) 新4輪駆動システム

フロントハブ内に組み込んだ2段遊星歯車式減速機と油圧モータおよびその動力を係合・遮断するハブクラッチとで構成したフロントアクスルによる4輪駆動方式としている（図-8）。

	油圧駆動	機械駆動 (ダイヤル)
パワーライン 伝達効率	×	◎
手と足の 複合操作性	◎	×

図-5. 油圧/機械駆動の特徴

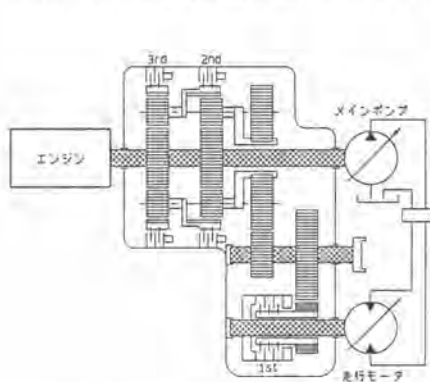


図-6. HDT（3速）の構成

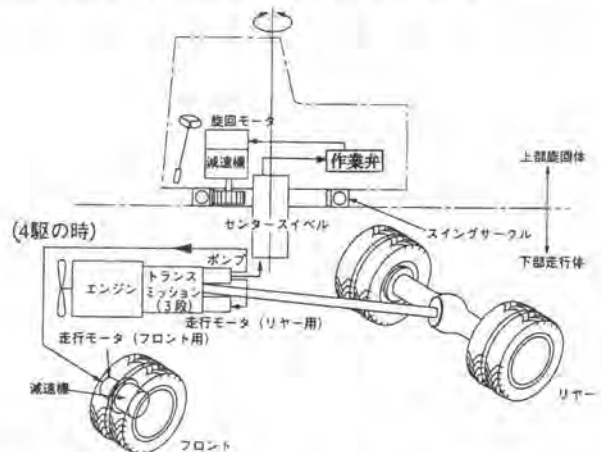


図-7. パワーラインの構成

\*1. HDT : Hydrostatic & Direct Drive Transmission

前後輪の油圧モータは別々のCLSS\*2バルブにより制御され、牽引力が必要とされる低速走行域ではCLSSバルブの圧力補償機能により前輪または後輪がスリップしても他方の車輪の牽引力が補償される（センターデフロック機能）。また、センターデフロック機能を必要としない中速走行域では両油圧ラインを連通させることにより、デフロック機能を解除し4輪駆動走行の効率化を図っている。

2輪駆動での高速走行時には、フロントハブ内のクラッチを遮断することによりフロントアクスルの空転ロスを低減している（車速 50Km/h 時のフロントアクスルの空転ロスは、リアアクスルの空転ロスの約 1/5）。

### (3) 電子制御システム

HDTのクラッチ制御は、コマツにてすでに実用化している全段電子モジュレーションバルブ(EMCV\*3)を採用することにより、ショックの無い変速を、また走行油圧モータのブレーキ弁（カウンターバランス弁）を使わず、直接走行弁を制御してアクセルオフ時の惰性走行、微速走行性（クリープ）等トルコン車と同等の走行フィーリングを実現させることにより、格段に運転操作性を向上している。

以上の新システムの採用により、旧モデルと同一出力のエンジンにも関わらず表-1、図-9に示す性能向上が達成できている。

## 3-2. 走行安全性の向上

### (1) 高速走行に適した操縦安定性

これまでのホイール式油圧ショベルはサスペンションを装備していないため乗り心地が悪いだけでなく操縦安定性にも改善ニーズが多い。

URBAN GEAR 128 は、ホイール式油圧ショベルでは初めて hidroニューマチックサスペンションを、さらにフロントアクスルはマクファーソンストラット式独立懸架、

\*2. CLSS : Closed Center Load Sensing System  
\*3. EMCV : Electric Control Modulation Valve

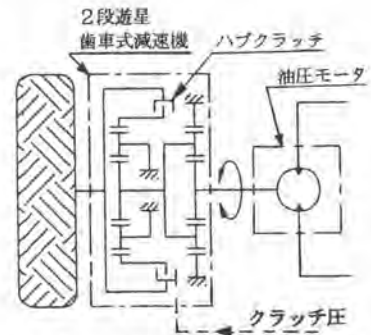


図-8. フロントファイナルドライブ

表-1. 仕様・性能の比較

項目	単位	URBAN GEAR 128	PW100-3 (旧モデル)
エンジン出力	PS	110	110
重量	kgf	13200	11000
バケット容量	m <sup>3</sup>	0.45	0.45
最高車速	km/h	49.5	34.5
走行駆動方式	—	HDT	油圧駆動
発進加速性 (0→100m)	sec	16.7	19.6
2度勾配車速	km/h	31.6	23.2
T/M変速方式	—	自動変速	停止手動変速
走行燃費	km/L	2.5	1.4
走行騒音 (35Km/h時) 周囲15m	dB (A)	75	82

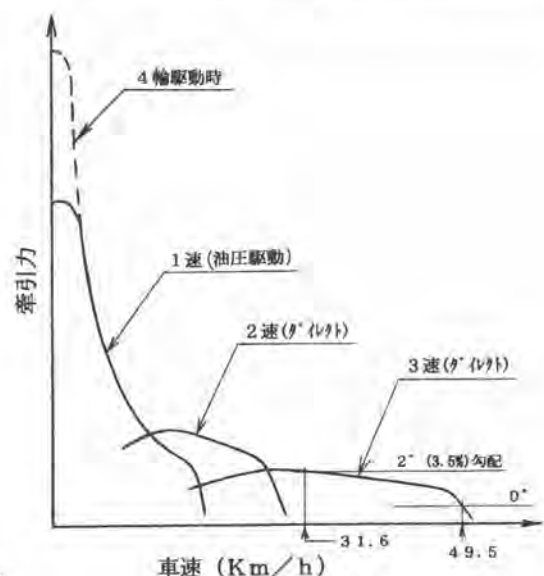


図-9. 走行牽引特性

リヤは4リンク式車軸懸架を採用している(図-10)。その結果、高速走行での直進性、操縦安定性に優れるだけでなくコーナリング時のローリングも極めて小さい。

図-11に車速30Kmで5cmのブロックを乗り越えた時の上下G(加速度)とその減衰特性の比較を示す。上下Gが小さくなっているだけでなく、振動がすみやかに減衰するようになっていることが分かる。

また、作業現場等では左右のフロントサスペンションの油圧回路を自動的に連通させ、左右のサスペンションシリンダの揺動量を大きくする(イコライズ機能)ことにより凹凸路面での追従性を高めると共に走破性を向上させている。

## (2) ブレーキシステム

安全な高速走行を実現するためには、走るための性能とともに止まるための性能も重要である。

URBAN GEAR 128は2速、3速のダイレクト走行時に可変容量式油圧ポンプをリリースさせ吐出容量を制御することにより制動力とする油圧リターダを装備している。そして、油圧リターダは単にアクセルペダルを離しシフト(変速)レバーによるシフトダウン操作により作動し、長い下り坂でのブレーキの加熱を防ぐとともに、ブレーキパッドの寿命も大幅に向上する。また、オーバーラン時には安全性を高めるため、操作に依らず作動するオートリターダを採用している。

さらに、サービスブレーキには応答性及び制動性にすぐれた全油圧式とし、前後のブレーキ力を

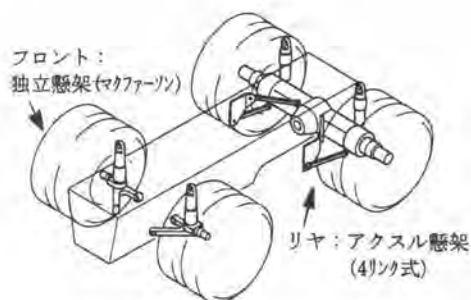


図-10. サスペンションの構成

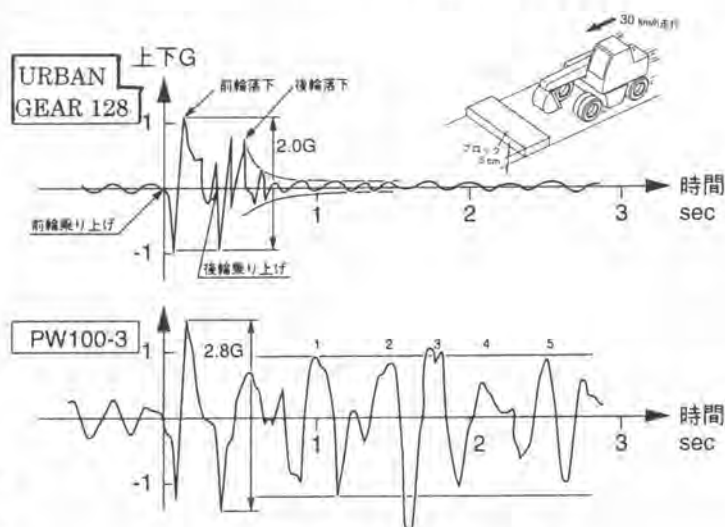


図-11. サスペンションの動特性

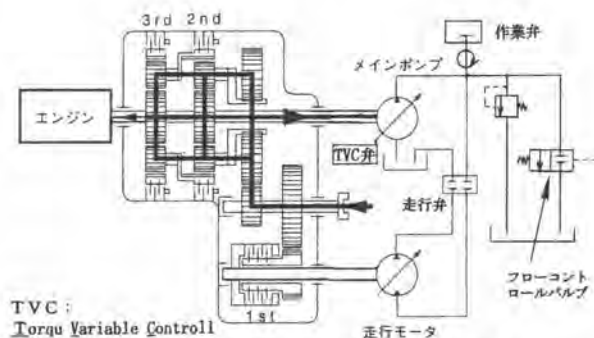


図-12. 油圧リターダの作動原理

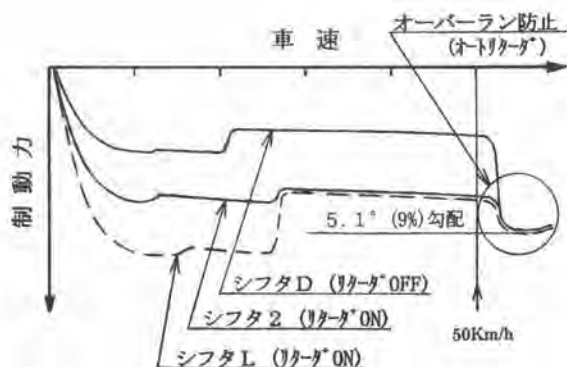


図-13. 油圧リターダの制動特性

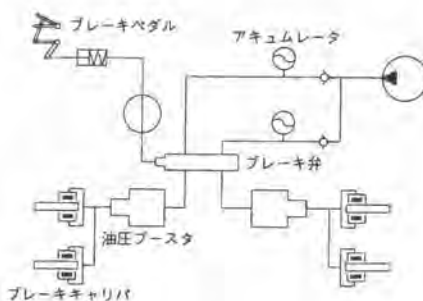


図-14. 全油圧式2系統ブレーキシステム

最適に配分した2系統乾式ディスクブレーキを採用している。

### (3) 走行視界性の向上

2ピースブームと新リンクの採用により実現した格納式作業機により、前方への張り出し量と車両の高さが押さえると共に走行時の視界性が大幅に向上した（右前方視界性 52%→73%）。その結果、右折時の安全確認のみならず高速走行時の疲労低減にも寄与し安全運転に大きく貢献している。

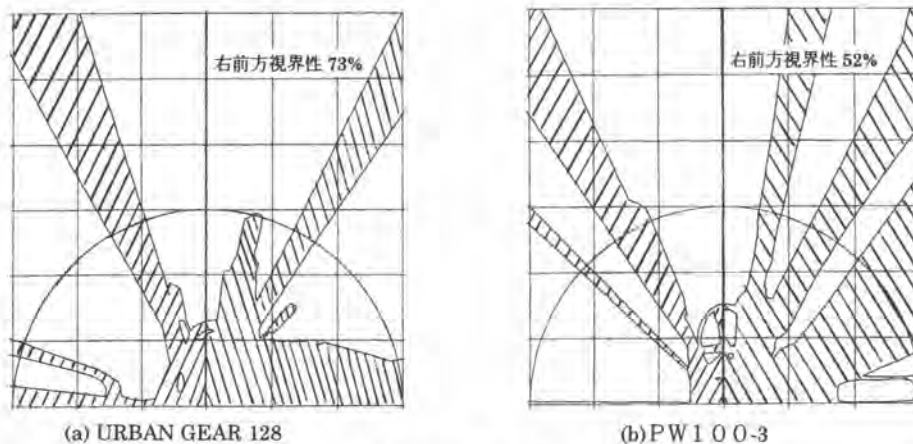


図-15. 走行視界性の比較

## 4. おわりに

今回、ホイール式油圧ショベルで初めてエンジンおよび新油圧機械式変速機（HDT）などを下部に配置し、いくつかの新技術を採用することによりユーザーニーズのもっとも高い高速走行（約50Km/h）と超小旋回性を両立させることができた。

今後も、既成概念に捕らわれることなく、ユーザーニーズや市場の動向を踏まえた建設機械の開発に取り組んでいく所存である。

最後に、今回の開発にあたり、御指導・御協力頂いた関係各位の皆様へ深く感謝します。

## 49. 最大級の超小旋回油圧ショベル PC228UU の開発

コマツ：\*松下 重則，川端 敏則  
北谷泰一郎

### 1. はじめに

超小旋回油圧ショベルは各作業分野において、その安全性と運転の容易性が評価され、従来タイプの油圧ショベルにとって変わりつつある。この種の車両は現在12トンクラスまでが商品化されているが、さらに大型化に対する要望も強く、今般20トンクラスの開発をし、市場導入を行った。



写真1.1 PC228UU-1

### 2. 開発のねらい

1987年から開発された超小旋回油圧ショベルは、狭所作業の効率化と運転のしやすさや巻き込み事故防止等安全の観点から、多くのカスタマから好評を博してきている。1994年に12トンクラスを市場導入し、その結果も良好であり、さらに大型の20トンクラスの超小旋回仕様車の期待が大きい。これに応えるべく、分野別仕様としてオフセットブーム仕様、モノブーム仕様、トンネル仕様、スライドアーム仕様を同時に開発した。しかも、この開発で開発期間を従来に比べ20%短縮した。

### 3. 現状の問題点

(1) 狭所作業が困難である。

20トンクラスの旋回半径では、7m道路上の作業においては道路を通行止めにしなければならない、またビルやマンションの解体作業や林道等の作業においても、このクラスの作業には多くの使用制限あるいは作業条件の悪化が強いられていた。

(2) 旋回時の後方の安全性がよくない。

油圧ショベルの作業には必ず旋回動作を伴い、後方の視界性の悪さのため、後部の旋回体で人やモノに接触するという危険性をはらんでいる。オペレータの非常に神経を使うところであり、そのためスピードを落とし作業性を低下させる要因にもなっている。

(3) 従来の超小旋回仕様車は運転席が小さい。

後端旋回半径を小さくするために、一番に影響を受けるのはキャビンで、各コンポーネントの配置を工夫しても、キャビンのサイズが小さくなり、オペレータの居住性を低下させていた。

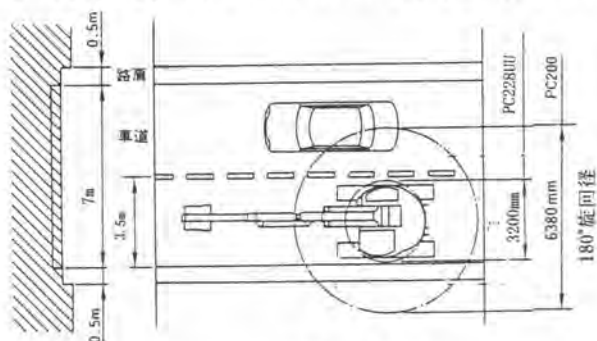


図 3.1 道路上の作業

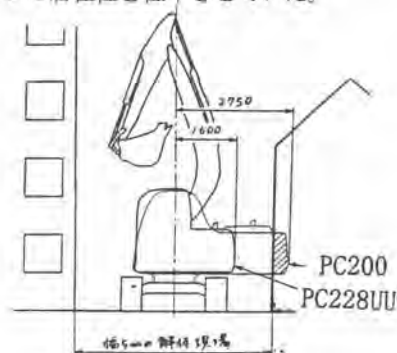


図 3.2 ビルの解体作業

#### 4. 開発の目標

開発のフィロソフィとして以下の点を目標とした。

- ① 20トンクラスで旋回半径1600mmを達成し、3.5m道路内での作業を可能とする。
- ② 作業範囲、作業能力は20トンクラスの一般油圧ショベルと同等とする。
- ③ 0.8mクラスの各種作業機を有する超小旋回ベースマシンとし、各種の用途別対応を図る。
- ④ 開発期間を11カ月とする。

#### 5. 開発した技術レベルとその評価

表 5.1 主要スペック

		オフセットアーム仕様	モノアーム仕様	トン内仕様	スライドアーム仕様
バケット容量	m <sup>3</sup>	0.8	0.8	0.8	0.5
重量	Kg	23900	20600	21000	23800
全幅	mm	2980	2980	2980	2980
後端旋回半径	mm	1600	1600	1600	1600
用途	—	道路	土木全般	トンネル	管工事
特徴	—	・ポートライク標準 ・3.5m道路で作業量+20%アップ	・作業機 PC200 と共通	・ショートアーム、ショートアームで、トン内 で2台同時稼働	・最大掘削深さ 9mまで可能



(1) 作業機の使用別対応

分野別に最も適切な作業機を選べるように4種類の作業機を同時開発した。(表5.2参照)

(2) 機器の共通性

現行機種との共通性を80%以上を目標とし、信頼性の維持と開発工数の低減とカスタマの補給部品の削減を図った。(表5.3参照)

表5.2 分野別作業機

No.	分野	ブーム	アーム	バケット
1	道路	オフセット	STD	0.8 m <sup>3</sup>
2	一般	モ/	STD	0.8 m <sup>3</sup>
3	管工事	モ/	スライ*	0.5 m <sup>3</sup>
4	トンネル	ショート	ショート	0.8 m <sup>3</sup>

表5.3 機器の共通化率

主要機器	共通化率
エンジン	95%
油圧機器	90%
足回り	100%
スイング*サークル	100%

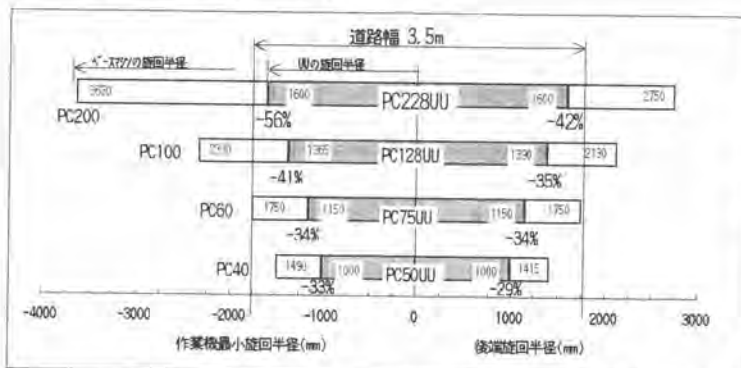
(3) 運転席回りでは今までのUUシリーズに比較して容積で1.5倍の大きさにした。また、オペレータシートは、スライド量、リクライニング量を十分に確保し、オペレータの居住性を向上した。

(4) 足回りはワイドゲージ、ロング接地長で安定性を確保した。さらに、ロードライナ(新しいタイプのゴムパッド式クローラ)の採用で低騒音、低振動(走行時)を実現し、また路面を傷つけないため、都市土木分野へスムーズに参入できるようにした。

(5) カウンタウエイトはコンパクトで、しかもウエイト効果の大きい鉄+鉛構造を考案した(特許申請済み)。さらに、用途に応じて2種類を準備し、外形を変えずに対応を図った。また、安全性等を十分に考慮し、リサイクルを行う。

(6) 輸送性については市場性の高い2.5トントレーラで輸送可能とするため、車幅を押しさえ3m道路でも輸送可能にした。

表5.4 旋回半径の比較



\*1: UUはコマツの超小旋回車の機名符号

\*2: 数字は超小旋回仕様車と一般仕様車の旋回半径を表す。

\*3: %表示は旋回半径で一般仕様車からの減少率を表す。

2ランク下のクラスの油圧ショベルが入れる現場で作業することが可能になっている。

(7) カスタマのニーズに早く応えるために開発期間の短縮を試みた。その方策として

①専門技術を持つ協力メーカーの設計者を、開発計画段階からゲストエンジニアとして開発に参画してもらい、設計から部品製作まで一貫して共同作業を行い、やり直しを無くし開発効率をアップした。

②カスタマの補給部品の管理を少なくするためにも、また品質確認の工数を削減するためにも部品の共通化率を高めた。(新規アイテムは20%に押さえた)

③開発ステップにおいて、生産性検討は各部門で専任者を決め、意志決定の階層のフラット化を図り、簡素化を図り、迅速化し、またやり直しを極力少なくした。

④デモ機を導入し、早期に市場評価を得た。ここで、その専門分野のカスタマの要求等を得、開発車にフィードバックし、仕様の早期確立を行った。

その結果として当初の目標とした11カ月の開発期間で量産までこぎ着けた(従来の20%短縮)。なお、トンネル仕様車については開発当初にカスタマから受注を受け、特に6カ月にて仕上げカスタマに納入できた。この効果はさらに開発費の削減にもつながった。

## 6. 開発の効果

高速道路等のトンネル内(幅:1.1m、高さ:8m)作業に導入されて、車体後端を気にすることなくブレーカとショベル作業を同時に稼働させることが可能となり、コソク作業の効率化を一段と高めることができ、好評を博している。

また、その他の作業現場においても①11トンドンプの積み込みが容易 ②快適な居住空間 ③快適な操作性等で期待通り、カスタマの満足を得てきている。

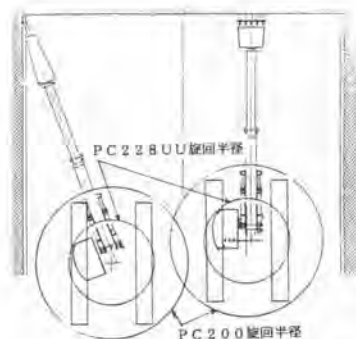


図 6-1 トンネル内作業

## 7. 今後の課題

現在、分野別に4仕様の作業機を同時に開発してきたが、今後さらにカスタマの意見を聞きながら新しい分野、用途に応じた最適な仕様車を迅速に準備していきたい。さらに、生産性をキープしてバランス、旋回、リサイクル、公害、環境との調和を図りながら、さらなる改善を実施していく。

## 8. あとがき

最後になりましたが、本機の開発に当たり、トンネル等の各分野において開発の各ステップにおいて、詳細に使われ方や仕様その他多方面にわたりご指導、ご協力頂いた関係各位の皆様へ深く感謝致します。さらに今後とも、本機をカスタマの使いやすい機械に育てるために、色々ご教授願います。

# 50. ヘリウム混合ガスを併用した大深度ケーソンの 施工法

日本道路公団：佐久間 智  
 ㈱鴻池組：\*福本 修三  
 ㈱白 石：中西 哲也

## 1. はじめに

21世紀を目前とした現在、地下空間の有効利用や施工規模の拡大に伴い、大規模・大深度の地下構造物が求められ、しかも安全で機械化による省人化や作業環境に優しい工法の開発が望まれている。

本施工法は、無人ケーソン工法（大気圧下からの遠隔操作により無人掘削を行う工法）をさらに発展させ、深海潜水技術を応用したヘリウム混合ガス（酸素・窒素・ヘリウム）呼吸システムを併用することにより、大深度でのニューマチックケーソン施工を可能としたものである。

ヘリウム混合ガス呼吸システムは、ニューマチックケーソン工法最大の欠点と言われる高気圧障害を防止する目的で開発したもので、現況ではどうしても避けられない一部の高気圧下の作業（機械のメンテナンス等）に使用する。

この新工法は、現在日本道路公団が進めている、伊勢湾岸道路の名港西大橋II基線のP3橋脚基礎工事に採用したもので、その工事概要と施工方法ならびに施工結果について記述する。

## 2. 工事概要

工 事 名：伊勢湾岸道路 名港西大橋（下部工）東工事

工事場所：愛知県名古屋港区金城埠頭地先

工 期：平成5年11月10日～平成8年8月25日

工事内容：P3主塔基礎 ニューマチックケーソン基礎

基礎平面寸法 25×40m

掘削深さ 28m

理論気圧 4.0kgf/cm<sup>2</sup>

P4端橋脚部 場所打杭基礎

P3主塔基礎は海面下40mに設置する大深度で、かつ大規模なフローティングケーソン基礎である。また、この工事の重要な課題は、現在供用中のI基線基礎との離隔距離が13.4mという近接施工での影響を最小限にすることであった。基礎断面図を図-1に示す。

当初計画では、薬液注入による遮水壁とディーブウエル工法を併用した地下水位低下工法で作業気圧の低下を図ったニューマチックケーソン工法であったが、I基線基礎への悪影響を防止し、工期短縮、ならびに高気圧障害を防止する理由から大深度ニューマチックケーソン工法を採用した。

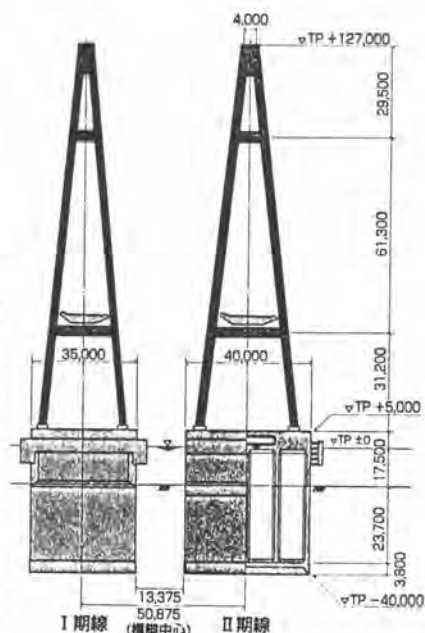


図-1 基礎断面図

### 3. 大深度ニューマチックケーソン工法

無人ケーソン工法 + ヘリウム混合ガス呼吸システム = 大深度ニューマチックケーソン工法

大深度ニューマチックケーソン工法は、これまで最大作業気圧4kgf/cm<sup>2</sup>程度を限度として施工されてきたニューマチックケーソン工法を、無人ケーソン工法を基本に、高気圧下での作業はヘリウム混合ガス呼吸システムを使用することにより大深度化を可能にする新工法である。工法の概念図を図-2に、地上設備の全景を写真-1に示す。

#### 1) 無人ケーソン工法

無人ケーソン工法は、掘削・排土作業の能率向上と労働環境の改善を目的として開発したもので、大気圧カプセル方式と地上遠隔操作方式がある。

大気圧カプセル方式は、ケーソンシヨベルによる掘削と自動積込装置による排土を、作業室内に設置した大気圧状態のカプセル内（大気圧カプセルという）から、オペレータが掘削状況等を目視により確認しながら操作を行うものである。また、カプセル内のオペレータ席から死角になる部分は、ケーソンシヨベルに取り付けられた補助カメラや作業室内に取付けられた監視カメラの映像を見ながら掘削機械を運転することになっている。作業室内の大気圧カプセルと無人掘削状況を写真-2に示す。

地上遠隔操作方式は、地上に設けた遠隔操作室（地上遠隔操作室という）から、ケーソンシヨベルに設置したテレビカメラの映像とコンピュータ・グラフィック表示を見ながら、掘削・排土を遠隔操作するもので、一部の作業についてコンピュータ制御の自動運転により省力化を図っている。地上遠隔操作室には、大気圧カプセルと同等の作業室内情報量を入力するように、ケーソンシヨベルに取り付けられた補助カメラ2台と作業室天井に取り付けられた監視カメラ5台（内3台は遠近と方向が自在なもの）による映像を14インチテレビモニター2台と32インチマルチビジョン（4分割）モニタに映し出した。



写真-1 地上設備全景



写真-2 無人掘削状況



写真-3 地上遠隔操作状況

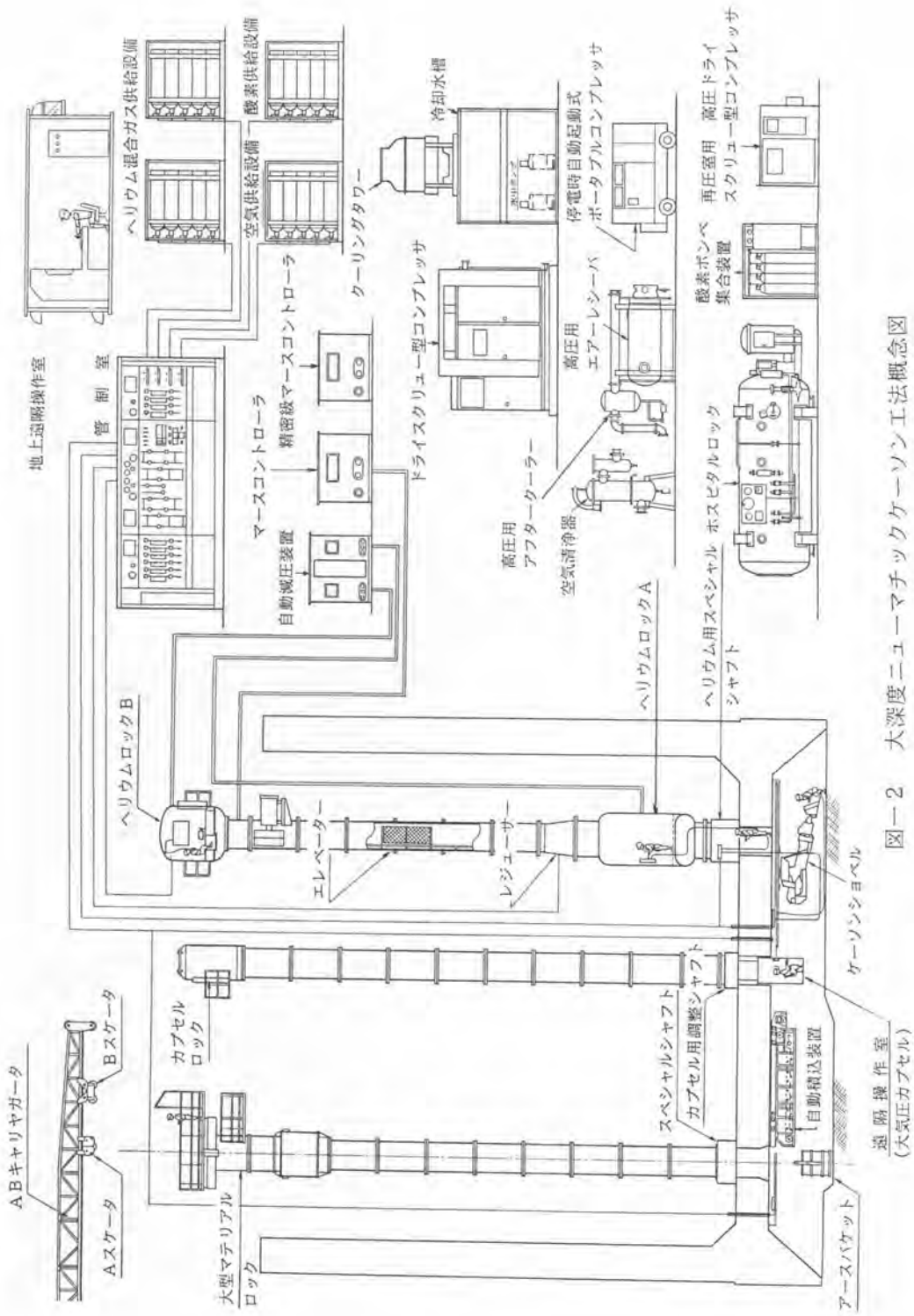


図-2 大深度ニューマチックケーソン工法概念図

また、ケーソンシヨベルの位置および姿勢、掘削深さ等自動運転に必要な情報を、ケーソンシヨベルに取り付けたセンサーからの信号をコンピュータ処理し、CRT画面にグラフィック表示した。地上遠隔操作室での掘削機械の操作状況を写真-3に示す。

無人ケーソン工法は、これまでに40数件の施工実績がある。通常、作業気圧が $2.0\text{kgf/cm}^2$ を越えると、一般的な有人掘削と掘削効率を比較した場合、無人掘削の方が有利となり、本工事では $2.0\text{kgf/cm}^2$ を越えた作業に採用した。

本工事では、大気圧カプセルを4基、地上遠隔操作室を1基設置し、ケーソンシヨベル ( $0.15\text{m}^3$ ) 6台、自動積込装置 (ベルトフィーダー式) 4台を遠隔操作し、掘削・排土作業を行った。

## 2) ヘリウム混合ガス呼吸システム

無人ケーソン工法とは言うものの、掘削機械などの維持管理や修理には、作業室に立入って行う高気圧作業が要求される。一方、作業気圧 $3\text{kgf/cm}^2$ を超えるような高気圧下では、「窒素酔い」、「減圧症発症率の急増」等の問題が生じる可能性が高くなる。これらの問題を解決するためには、呼吸ガス中の窒素をヘリウムに置き換えることが効果的であり、その概念は20世紀初期から提案されている。現実には深海潜水の分野ではヘリウム混合ガスの実用性が証明され、安全性も確立されている。

ヘリウムは、常温では無色、無臭、無味、無毒の極めて反応性に乏しいガスであり、窒素のような麻酔性もなく、分子量が窒素の1/7であることから呼吸抵抗も小さなガスであり、高圧下での呼吸ガスの一成分としては理想的なガスである。

ヘリウム混合ガス呼吸システムは、深海潜水技術をニューマチックケーソンに応用したもので、酸素、窒素、ヘリウムを人工的に混合したヘリウム混合ガスを呼吸して、高気圧内作業を行うものである。

本工事のヘリウム混合ガス呼吸システムでは、ニューマチックケーソンの作業室内の環境ガスを、圧縮空気で満たすため、作業員は地上に設置されたガスカードルからホースで呼吸マスクに供給されるヘリウム混合ガスを呼吸した。呼吸マスクは、マスク内圧を外圧よりわずかに高く ( $0.005\text{kgf/cm}^2$ 程度) する揚圧型を採用して、環境空気の混入を防いでいる。マンロック内圧 $3\text{kgf/cm}^2$ までは空気を呼吸し、 $3\text{kgf/cm}^2$ を超えてから呼吸マスクを装着して、ヘリウム混合ガスを呼吸した。一方減圧時には体内にとけ込んだ窒素の排出を促進させるため、マンロック内圧 $1.5\text{kgf/cm}^2$ 以下で酸素吸入を併用した。表-1に加減圧の手順を表にしたものを示す。

システムの一連の操作は、作業室内技術員の負担を軽減するため、ヘリウム混合ガスの供給、ヘリウムロックの加減圧、作業員の監視や指示通話等は、すべて地上の管制室から行った。

表-1 加減圧の手順 (作業気圧= $4\text{kgf/cm}^2$ の場合)

作 業 場 所	加 圧		実 作 業	減 圧			
	ヘリウムロック A			ヘリウムロック A	エレベータ	ヘリウムロック B	
圧力( $\text{kgf/cm}^2$ )	0~3	3~4	4	4~3	3~2.7	2.7~P <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> ~P <sub>2</sub> ~0
呼 吸 ガ ス	空 気	ヘリウム混合ガス		空 気		酸素or空気	
環 境 ガ ス	空 気						

ただしP<sub>1</sub>:エレベータによるヘリウムロックBへの移動完了時の圧力  $2.7 > P_1 > P_2$  ( $\text{kgf/cm}^2$ )

P<sub>2</sub>:第一減圧停止圧力  $1.5(\text{kgf/cm}^2)$

## ヘリウム混合ガス呼吸システム（上下分離配置型） 主な用語説明

ヘリウムロックA：下のマンロックのことで、内圧 $3\text{kgf/cm}^2$ でヘリウム混合ガスを供給する装置が付いている。

ヘリウムロックB：上のマンロックのことで、減圧時に酸素を供給する装置が付いている。また、ヘリウムロックAとの移動にはケーソンエレベータを使用する。写真-4にヘリウムロックB周辺の地上設備状況を示す。

ガスカードル： $7\text{m}^3$ 入りのガスボンベ（ヘリウム混合ガスおよび酸素）を25本一組の束にしたもの。

管制室：ヘリウムロックの加減圧の操作（減圧は自動減圧装置を使用する）、作業室内技術員のテレビモニタでの監視・通話、ヘリウム混合ガスの供給を行う場所で、コンテナハウスに収納されている。

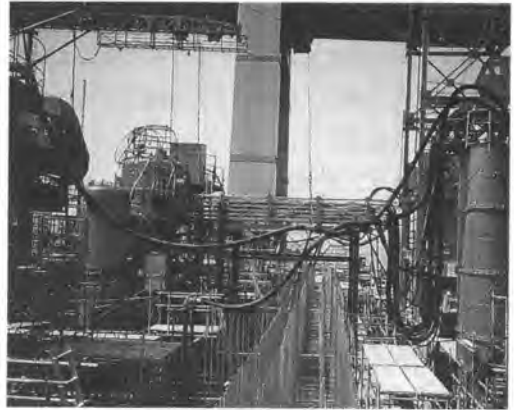


写真-4 ヘリウムロックB設備

## 4. ヘリウム混合ガス呼吸システムの実施

ヘリウム混合ガス呼吸システムでは、作業室内技術員を2～4人一組として、高圧下の時間は最大120分、緊急時を除き1日1回/人とした。写真-5に作業室内での掘削機械のメンテナンス状況、写真-6に管制室の操作状況を示す。作業室内技術員の主な作業内容は以下の通りである。

- 1) 掘削機械の定期点検および整備作業
- 2) 掘削機械の故障時の修理作業
- 3) 掘削機械その他の作業室内設備の解体および撤去作業
- 4) 地耐力試験作業
- 5) 中埋コンクリート打設状況の確認作業



写真-5 掘削機械メンテナンス状況



写真-6 管制室操作状況

本工事の施工のフロー図を図-3に示す。

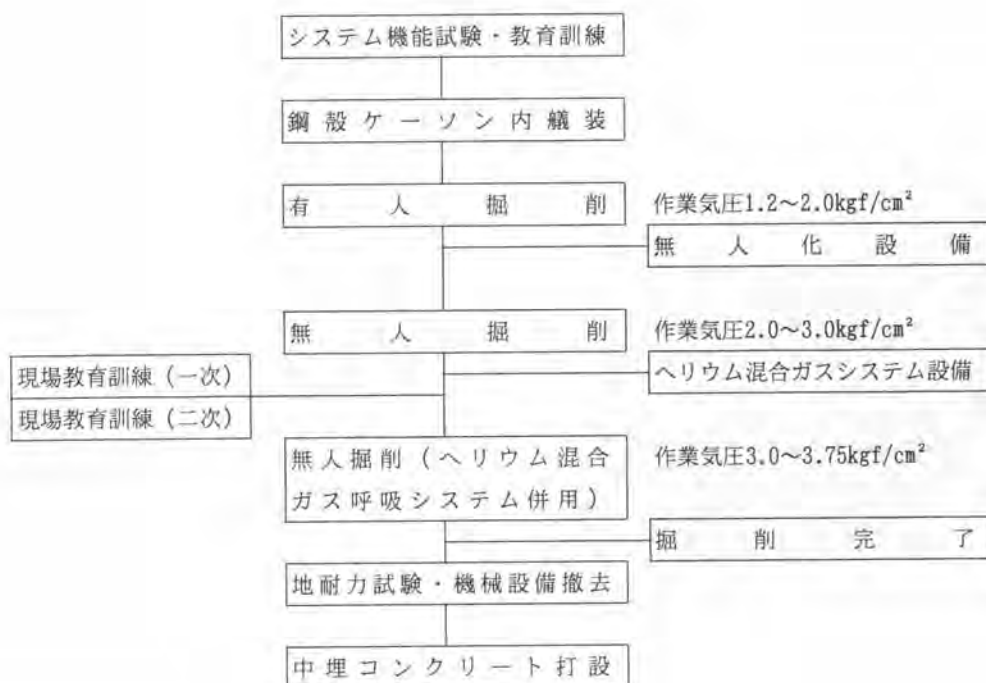


図-3 施工フロー図

本工事の施工結果は、作業気圧 $3.0\sim 3.75\text{kgf/cm}^2$ の高気圧下で、ヘリウム混合ガス呼吸システムを使用して、延べ143回の高気圧内の有人作業を行ったが、このシステムの異常はなかった。

また、ヘリウム混合ガス呼吸システムを使用した延べ524人の作業室内技術員において、高気圧障害の発症はなかった。

## 5. おわりに

大深度ニューマチックケーソン工法で施工したP3橋脚基礎は、新工法を採用することにより、無事トラブルなく、精度よく、安全に、早期完了することができた。

また、近接するI基線基礎への影響も動態観測の結果、異常はなかった。

ニューマチックケーソン工法は、地質や地層の変化に対応し、支持層を直接確認できる優れた工法で、名港三大橋をはじめ大型構造物の基礎として用いられている。しかし、現時点では無人ケーソン工法を用いても、一部の作業で高圧下に入函する必要があり、完全な無人化に至っていない。ヘリウム混合ガス呼吸システムは、作業員の健康管理を留意した施工法であるが、無人ケーソン工法をあくまでもバックアップするためのものであり、今後さらなる技術開発で、基礎構造物の大型化、大深度化に対応する21世紀を目指した工法となることを期待したい。



# 51. ニューマチックケーソン工法における無人掘削・自動排土技術の開発

(株)大本組：平田 忠積，小林 豊  
\*小滝 勝美

## 1. まえがき

近年、ニューマチックケーソン工法は大深度化の傾向が著しく、これに伴い函内作業気圧が高くなり作業員にとっては常に高気圧障害（潜函病）の危険に曝された、非常に厳しい環境下での労働を強いられてきた。一方、建設業就業者の高齢化や熟練労働者の減少等の問題が深刻化し、土木・建設施工現場の苦渋作業や危険作業から労働者を開放することが望まれてきた。

このような背景を基に、本技術においてはニューマチックケーソン工事における掘削・排土作業の無人化を行うため、函内作業の主な工種となる沈下掘削と排土工の施工改善を行うとともに、掘削土の函外への排土作業を自動化することにより、省人化・高効率化並びに安全性の向上を行ったものである。

なお、本技術の開発によりケーソン作業室内に作業員が入って掘削作業を行う必要は無くなったものの、函内設備機器の点検整備・維持補修のために作業員が函内に入ることは、現状技術では避けられない状況にある。

函内の作業気圧が $392\text{kPa}$  ( $4.0\text{kgf/cm}^2$ ) 以下であれば従来法規に則った加圧・減圧による施工が可能であるものの、 $294\text{kPa}$  ( $3.0\text{kgf/cm}^2$ ) を越えると窒素酔いなどの高気圧障害の危険性が徐々に増大することとなり、 $392\text{kPa}$  ( $4.0\text{kgf/cm}^2$ ) 以上の大深度になると有人作業はほとんど不可能とされていた。

このため、より深いケーソンの施工に対応すべく、従来より深海潜水で用いられてきているものとして、空気に代わり麻酔作用の少ないヘリウムを含む混合ガスを応用し、安全衛生に十分配慮したメンテナンス（バックアップ）システムの構築を行うべく研究開発を進めてきた。

本稿においては、本技術を採用して施工された日本道路公団発注の伊勢湾岸道路名港西大橋（下部工）西工事における施工実績を中心に、各設備とシステムの紹介を行うとともに、今回、同工事においてニューマチックケーソン工事としては世界でも初めて実施工に適用された、混合ガスを用いたメンテナンス作業の実績について報告するものである。

## 2. 技術の概要

本技術は有線遠隔操作方式による函内掘削機を中心とした函内掘削システム、掘削・排土効率を高めるために開発された、自動制御による土砂積替えシステム並びにスケータクレーンを中心とした土砂排土システムにより構成されている。また、掘削深度が $40\text{m}$ （地下水面下）を越えるような大深度ケーソンにおいては、函内機械設備のメンテナンスシステムが採用される。以下に名港西大橋（下部工）西工事において配備された各設備の概要を示す。

### （1） 函内掘削システム

掘削機は作業室天井に取り付けられた走行レールに沿って、懸垂状態で走行する天井走行掘削機を採

用しており、油圧式制御バルブを用いた有線遠隔操作方式である。掘削機のブーム先端には旋回軸受けを介してバケットを取り付け、地上の遠隔操作盤からショベル掘削・バックホウ掘削、あるいは任意の角度での掘削を可能とし、刃口さらえ作業にも対応できる構造となっている。また、本掘削機には自動運転機能も装備されており、掘削作業から走行移動と土砂の積込作業を、中央管理室に設置された遠隔操作盤のボタン操作により自動運転される機構となっている。表-1に掘削機の自動制御機能の一覧表を、写真-1には稼働中の掘削機を示す。

表-1 自動制御機能一覧表

機能	内容
自動掘削・積込機能	指定された位置より地面を掘削し、設定された排土位置まで移動し、掘削した土砂を排土し元の位置まで戻る機能
深さ制限監視機能	手動での掘削に際し、掘削バケット先端の深さを監視し、管理値を越えるとオペレータに警告
複数台制御・衝突防止機能	隣接する2台の掘削機が近接した場合に警告音を発すると共に自動停止を行う機能



写真-1 稼働中の掘削機

## (2) 土砂積替えシステム

土砂積替えシステムは、従来は函内作業員が行っていた土砂バケットの交換作業を無くし、函内の無人化を行うために開発されたものであり、本システムを用いることにより、掘削土砂を土砂バケットに積み込む時間を短縮することができ、掘削・排土効率の向上を図ったものである。

本システムの作動は、シーケンス制御による自動運転で行い、中央管理室において掘削機オペレータが制御盤上の操作ボタンを押すことにより行われる。また、オペレータは函内及び同装置内に配備された監視カメラの映像によりモニタリングを行う。

## (3) 土砂排土システム

本技術においては、安全性と作業効率の向上並びに省人化を行うため、土砂積替えを行った後のマテリアルシャフト内での土砂バケットの上昇作業、マテリアルロックの扉の開閉作業、マテリアルロック

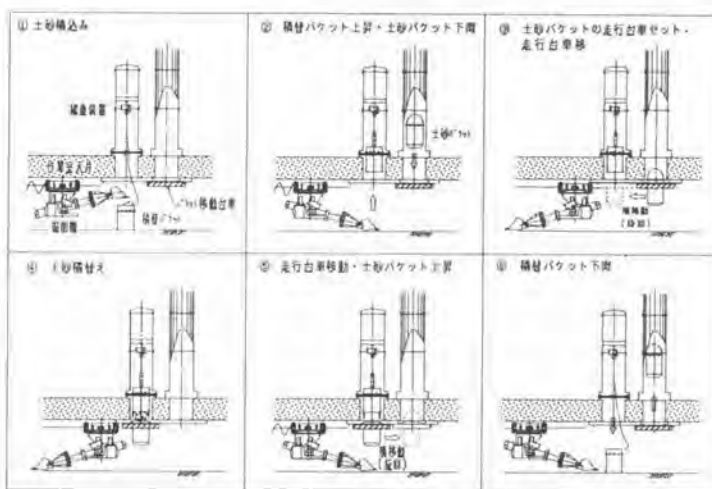


図-1 土砂積替え施工手順

上から土砂ホッパへの移動作業、および土砂ホッパへの排土作業を自動運転としている。

自動運転はマテリアルシャフトやマテリアルロック内、及びスケータクレーンに配備された各種センサの情報を基にシーケンス制御される。本システムのオペレータも同様に、中央管理室において運転・監視を行う。本システムの施工手順を図-2に示す。

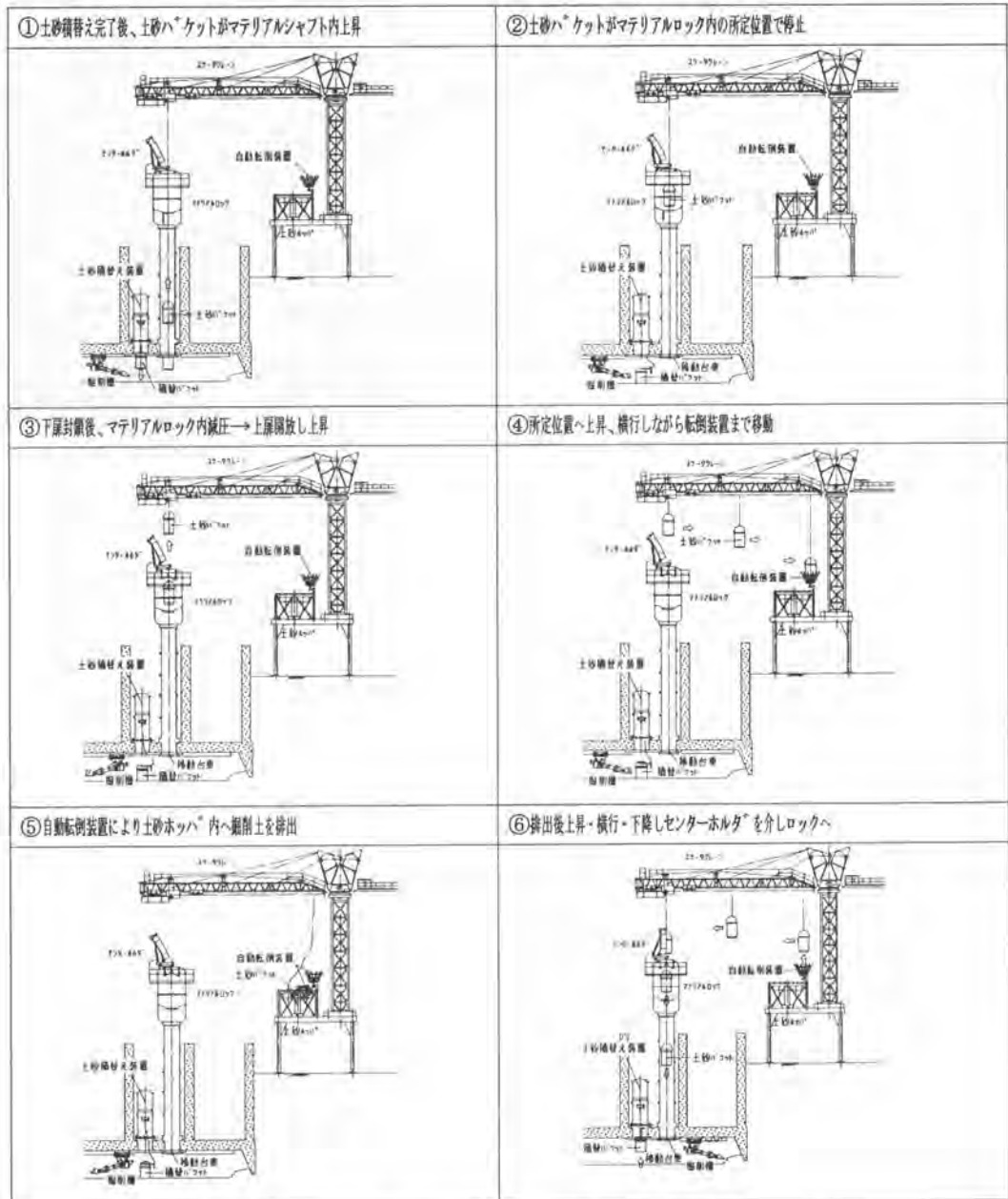


図-2 自動排土施工手順

#### (4) 制御・監視システム

中央管理室における制御・監視システムは、掘削機及び土砂積替え装置並びに自動排土装置の操作機器、監視機器、躯体の挙動やケーソン作業室内環境(気圧、酸素濃度、有害ガス)の自動計測システムからなる。図-3に本技術における標準的な制御・監視機器の配置例を示す。また、写真-2には名港西大橋(下部工)西工事における中央管理室の状況を示す。



番号	名称	数量	設置位置	備
①	掘削機遠隔制御・操作盤	1	1.8×1.2×1.8	
②	液晶モニタテレビ	1	28インチ	
③	監視モニタテレビ	1	25インチ	
④	操作モニタテレビ	1	28インチ	
⑤	掘削機専用パソコン	1	PC-9821	
⑥	液晶モニタ	1	PC-6012FD	
⑦	掘削機制御コンピュータ	1	PC-6512FD	
⑧	掘削機制御ホストパソコン	1	PC-9821	
⑨	室内監視テレビカメラ	複数	CCTVカメラ	
⑩	土砂積替え装置制御盤	1	400×300方式	

注1: 表中の数量は、掘削機1台分の数です。  
注2: 掘削機1台につき、掘削機専用パソコン1台が1台あります。



図-3 制御監視機器配置図

写真-2 中央管理室における掘削状況

#### (5) メンテナンスシステム

地上からの遠隔操作により掘削機及び土砂排土装置を運転することにより、函内の無人化が図られ作業員は高気圧下の作業環境から開放されることとなったが、完全な無人化には至っておらず、作業室内の有人作業は皆無とは言えない。函内有人となる主な作業は以下のとおりである。

- ①掘削機などの定期点検・整備作業
- ②掘削機などの故障時の修理作業
- ③掘削機などの解体・回収作業
- ④地耐力試験作業
- ⑤中埋めコンクリート打設管理作業
- ⑥非常時作業

このような作業室内作業において、作業者が空気呼吸により作業を行う場合、作業室内圧力の上昇とともに、呼吸抵抗の増大や窒素酔いのため作業効率の低下のみならず、災害を招く危険性が高い。

このような大深度潜函での諸問題を解決するため、空気に替えてヘリウム・窒素・酸素(Trimix: トライミックス)の三種混合ガスを用いたメンテナンスシステムの開発を行った。

開発に当たっては、埼玉医科大学衛生学教室の梨本教授を座長とする”大深度潜函混合ガス利用研究会”を組織し、大深度潜函でのトライミックスの妥当性、特に減圧症罹患リスクについての安全性を評価するために、高圧チャンバでのシュミレーション試験等を行い、トライミックス利用に関するハード及びソフトの両面から検討した結果、実用化への目処がたてられた。

名港西大橋(下部工)西工事においては、函内気圧が294kPa(3.0kgf/cm<sup>2</sup>)を越えた時点で、メンテナンスシステムの採用を行った。

函内に入る技術者、補助作業員は写真-3に示す混合ガスマンロックを経由して出入りした。

入函者はマンシャフト内を昇降するエレベータで混合ガスマンロックまで降り、上部トランク、副室を介して主室に入り、主室天井のハッチを開けて加圧を開始する。加圧は写真-4に示す混合ガス管理室の係員の監視・制御の下に行われる。

圧力が294kPa(3.0kgf/cm<sup>2</sup>)に達したら、混合ガスマンロック内に備えてあるホース式の全面型トライミックスマスクを装着し、正常に呼吸できることを確認した上で、作業気圧まで加圧する。

作業室との圧力が平衡すれば床側のハッチを開き、作業室へ降りて掘削機の点検・整備など予定の作業に従事する。(写真-5参照) 予定の作業が完了すると、混合ガスマンロックの主室に戻り、ホースのリールを巻き取った後、ハッチを閉めて地上の混合ガス管理者に連絡し減圧を開始する。

減圧が始まり第1減圧点に到達するとトライミックスマスクを外しマンロック内の空気を呼吸する。その後、減圧段階では管理者の指示に従い、備え付けの酸素呼吸器で純酸素を呼吸する。減圧が終了すると天井側ハッチを開きエレベータで地上へ戻ることとなる。

本システムを用いての減圧スケジュールの安全性は、作業を完了し地上に戻った技術者や作業補助員の体内気泡の出現状況により客観的に評価を行った。超音波ドプラー法とエコー法による気泡検査を減圧終了後2時間以内に観察するため、また、万一減圧症が発生した場合の対処を兼ね、潜水・高圧医学の専門家である医師が工事終了まで常駐した。(写真-6参照)



写真-3 混合ガスマンロック(中央)と  
混合ガス再圧室(左下)



写真-4 混合管理室



写真-5 トライミックスマスクを装着しての作業状況

1995年6月中旬にメンテナンスシステムが稼働を初めてから、約4ヶ月半411kPa(4.2kgf/cm<sup>2</sup>)に上昇した11月末までに、本システムを利用した入函者数は約1000名に達したが、減圧症は一例も発症しなかった。

しかしながら、サイレントバブルと呼ばれる無症状気泡の出現する例を少なからず認めており、減圧に関してさらに調整が必要かどうか今後の研究課題として検討していく必要があるものと考えられる。

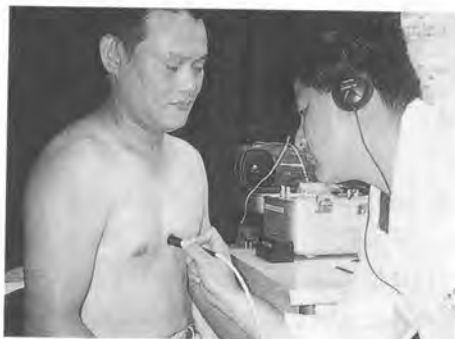


写真-6 体内気泡検査状況

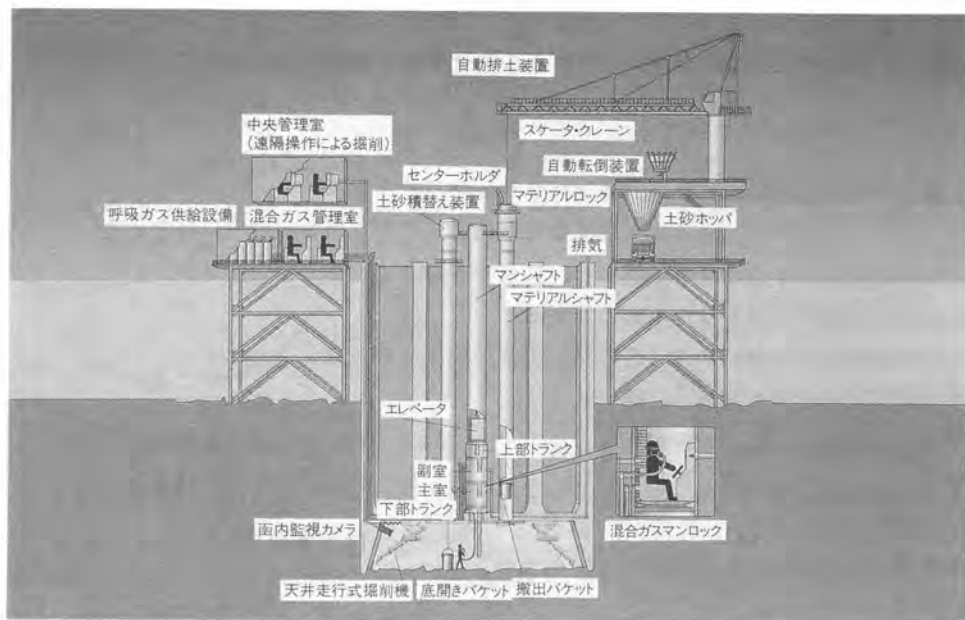


図-4 バックアップシステムを有する無人化掘削工法概念図

### 3. おわりに

ニューマチックケーソン工事においては、潜函病をはじめとする高気圧障害をいかに克服するかが安全衛生上の大きな課題であった。本技術では遠隔操作により掘削・排土を行い、これらの問題を一挙に解決し、作業不可能とされてきた大深度ケーソン工事を可能とした。また、函内設備機器のメンテナンスには最小限の作業者が入函する必要があるが、今回、名港西大橋(下部工)西工事にメンテナンスシステムが採用され、確実な施工実績を挙げたことは、今後の大深度潜函工事の問題の解決に大いに役立つものと考えられる。

## 52. GPS による地盤改良船位置決めシステム

不動建設(株)：川上 高弘  
フドウ技研(株)：\*出口 敏博, 石田 修

### 1. はじめに

GPS (Global Positioning System)による建設機械の位置決め、浚渫船・測量船の位置決めについての実験報告は多数発表されているが、実工事に適用した例は少ない。

当社は地盤改良のパイオニアとして、いち早くGPSの特長に目をつけ平成3年頃から地盤改良船の位置決めに応用できないかと調査・基礎実験を繰り返してきた。

最近GPSの技術が飛躍的に向上したのを受け、システムとして完成させ現場テストを経て本工事に導入した。

特に、障害物による捕捉衛星数不足による測位不能状況が操船作業に及ぼす影響を調査し、さらに調査データからジャイロ支援システムの付加による効果も予測したので報告する。

### 2. 海上の地盤改良工法(サンドコンパクションパイル工法)

サンドコンパクションパイル工法は振動機によって中空鋼管を地中に打ち込み、この中空鋼管を通して砂を地盤中に排出し、拡張することで、よく締まった砂杭を地中に造成し海底軟弱地盤の安定をはかるものである。

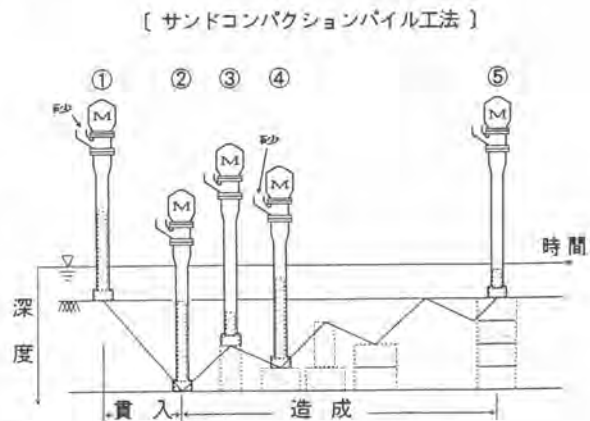
サンドコンパクションパイル(SCP)工法の施工手順を図-1に示す。

①作業船を打設位置へ移動し、固定する。改良材としての砂を中空鋼管(ケーシングパイプ)内に投入後、貫入工程に入る。

②所定深度まで貫入したら造成工程に入る。

③砂杭造成工程では、ケーシングパイプを引き上げながら管内の砂を強制排出する。

④続いてケーシングパイプを再貫入しながら排出した砂を圧入し、地盤中に締め固まった砂杭を造成する。途中で安定材(砂)を補給し、③、④を繰り返しながら砂杭を造成する。



⑤造成完了後、つぎの打設位置へ作業船を移動する。

上記工程に示した作業船の打設位置への移動に際して、従来から光波測位システムを使用しているが、雨・霧などの悪天候には追従機能が動作しなかったり、可動部の故障が多い事から、天候に左右されづ軽量で耐久性に富むGPSを利用したシステムの開発を行った。

### 3. GPSによる作業船位置決めシステム

GPSとは人工衛星を使った測位システムである。24個のGPS衛星が地球の重心位置を中心に地表から約2万km上空を約12時間で1周する速さで回っている。図-2にGPS衛星の軌道を示す。図-3にGPSの測位原理を示す。GPS衛星を既知点として地球上の位置を求める測位方法で4衛星の電波を受信して衛星からの距離を求め、地上での位置を決定する。

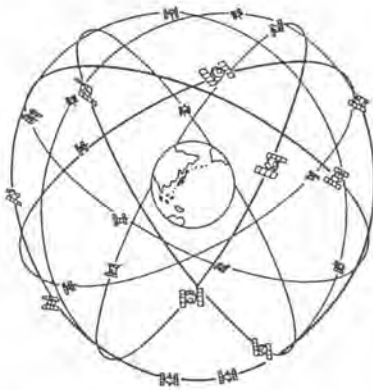


図-2 GPS衛星の軌道

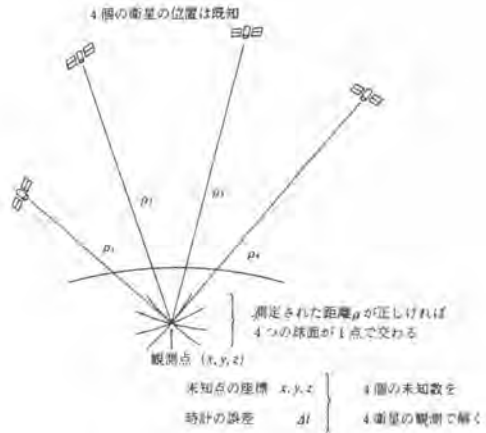


図-3 GPSの測位原理

作業船位置決めシステムのGPS配置を図-4に示す。固定局にGPSを1台、移動局(船上)にGPSを2台設置する。

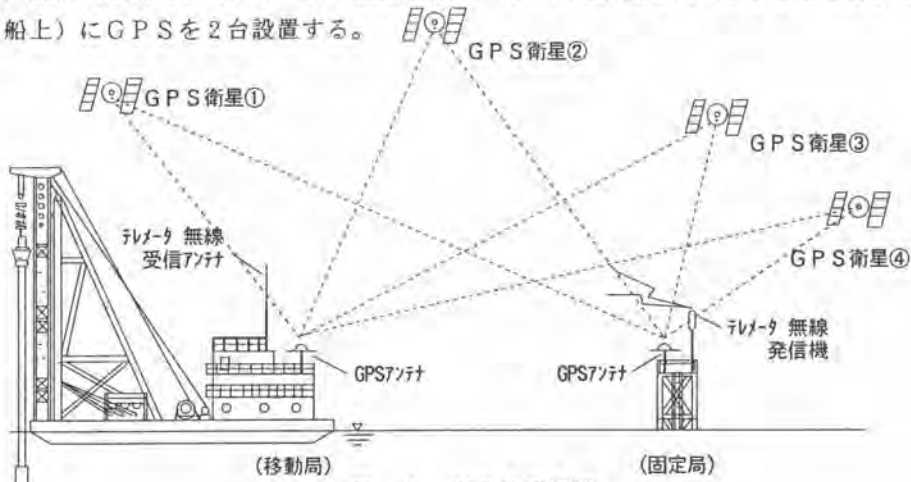


図-4 GPSの配置



工事エリアから4 km以内（使用テレメータの安定到達距離）の周囲が開けた既知点に固定局GPSを設置する。固定局には、誤差情報を送信するテレメータ無線発信機とバッテリーとソーラ発電機が付属設備されている。図-5に固定局の機器構成を示す。移動局アンテナは作業船上後部の障害物が少ない場所、2箇所に配置する。さらに、テレメータ無線アンテナと受信機を操船室屋上に設置する。図-6に移動局の機器構成を示す。

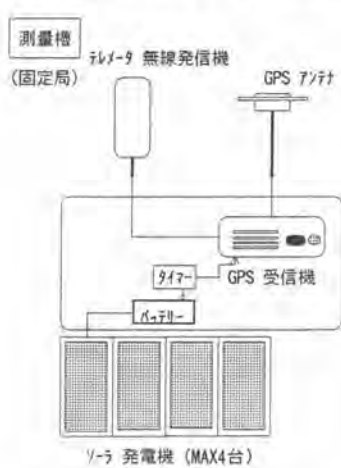


図-5 固定局の機器構成

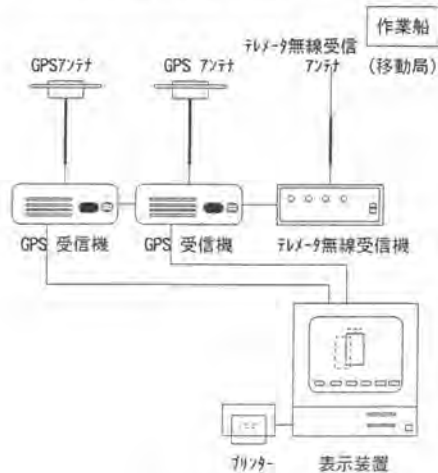


図-6 移動局の機器構成

固定局からの誤差情報をテレメータ無線で受信して、移動局GPS内で補正し移動局アンテナ座標を1秒毎に求める。移動局アンテナ座標は固定局アンテナ座標を基準として、 $\pm(1\text{cm} + 2\text{ppm}D)$ の精度で求まる。（但し、D：固定～移動局アンテナ間距離）船上2箇所のGPSアンテナの位置が求まると、図-7のGPSアンテナとケーシングとの位置関係からケーシングの座標が求まる。

杭の座標は、設計上決まっているのでケーシングの座標と目標杭座標のズレ量を計算・表示する。図-8に表示画面を示す。

#### 4. 測位状況調査

障害物の少ない海上においては24時間切れ目無く測位出来る。

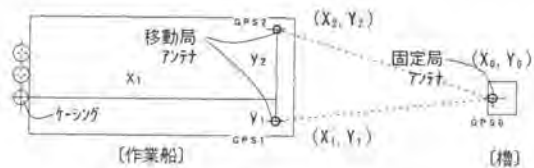


図-7 GPSアンテナとケーシング位置

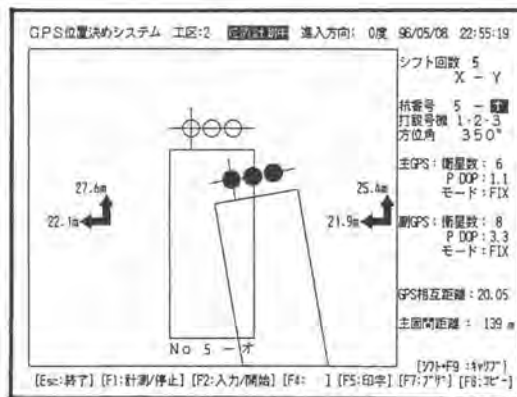


図-8 表示画面

しかし、地盤改良船（写真-1）のように、前面部に高い構造物を有していると、天空から衛星電波が遮られ測位不能状況が発生し、操船作業に支障を来す懸念がある。

そこで、東京湾内の当社船第31不動号にGPSシステムを搭載して、GPSの測位状況を3日間にわたり調査した。内容は、作業船上の2基のGPSを主と副と定め、主・副各々の測位状態（測位中・測位不能中）を10秒間隔で記録した。2基のGPSの内、1基でも測位不能になると方向がわからなくなりシステムが測位不能状態になる。

システムの測位不能時間を秒単位で調査し、測位不能原因がGPSの主か副かを明らかにした。調査結果例（3月19日分）を表-1に示す。表-1から、



写真-1 地盤改良船

作業開始の6時41分から17時42分の作業終了までの約11時間の内、測位不能回数が26回、測位不能時間が68分であることが判る。同様に3月20日、3月21日について、回数と時間をまとめたものを表-2に示す。

### 5. 調査結果とシミュレーション

測位状況のまとめ（表-2）から測位不能回数21~34回、測位不能時間55~85分程度であることが判る。

砂杭造成完了から次の打設位置に移動する時に測位不能状態になると操船が出来なくなり作業が停止する。通常、1回の操船時間は2~3分とわずかであり、砂杭造成時間は施工長により変化する。南本牧の実績から施工砂杭長と造成時間を表-3のように3区分することができる。そこで、造成時間の3タイプについてGPS測位不能時間帯と操船時間帯が合致する回数と停止時間をシミュレーションにより求める。但し、操船時間を2~3分の範囲でランダムに決定し、造成時間も各タイプの10分間の範囲でランダムに決定す

表-1 測位不能時間調査結果（3月19日）

時	分	秒	不能時間		測位不能GPS	NO	時	分	秒	不能時間		測位不能GPS	NO				
			分	秒						分	秒						
6	42	46	56	17	3	21	主	①	13	20	07	37	0	30	副	②	
7	8	8	27	57	0	30	副	②	13	40	41	17	0	40	主	③	
	9	10	07	47	1	30	副	③		49	50	17	07	0	50	主	④
8	40	41	57	37	0	40	副	④	14	25	26	47	27	0	30	副	⑤
	42	43	57	37	0	40	副	⑤		26	29	57	47	3	50	副	⑥
9	8	10	27	07	1	40	副	⑥	14	36	38	37	37	2	00	副	⑦
10	57	58	37	27	0	50	副	⑦		55	55	27	47	0	20	副	⑧
11	2	3	17	27	0	50	主	⑧	15	55	58	47	37	2	50	主・副	⑨
12	3	6	27	37	3	10	主	⑨		15	5	21	47	16	00	主	⑩
	12	13	07	27	1	20	主	⑩	17	9	16	37	47	7	10	副	⑪
13	30	32	37	27	1	50	主	⑪		20	21	17	47	1	30	副	⑫
	33	38	47	07	4	20	主	⑫	20	30	17	17	1	00	副	⑬	
13	8	18	37	27	9	50	副	⑬	35	35	17	17	1	00	主	⑭	
作業開始 6:41:19								~		作業終了 17:42:57		合計		68分41秒			

表-2 測位状況のまとめ

項目	作業時間	測位不能回数	測位不能時間
3月19日	11時間01分	26回	68分41秒
3月20日	11時間09分	21回	55分20秒
3月21日	11時間14分	34回	85分25秒

表-3 施工砂杭長と造成時間

施工深度YP	50m	55m	60m
砂杭長	10m	15m	20m
造成時間	20~30分	30~40分	40~50分

る。表-4に3月19日、20日、21日のGPSデータを使用して3つの造成時間パターンについてシミュレートした時の操船停止回数と合計停止時間（100回の平均）を示す。結果、造成時間が短くなるほど1日の移動回数が増え、停止回数・時間とも増加する。2~6

表-4 シミュレーション結果

GPSデータ	作業開始時間 ┌ 作業終了時間	作業時間パターン		操船停止回数		合計停止時間 平均値 (100回)
		操船時間	造成時間	1日操船回数		
3/19	6:41:19 ┌ 17:42:57	2~3分	20~30分 30~40分 40~50分	5回/23回 4回/17回 3回/13回		23分 17分 13分
3/20	6:47:09 ┌ 17:56:29	2~3分	20~30分 30~40分 40~50分	4回/23回 3回/17回 2回/13回		15分 12分 4分
3/21	6:39:21 ┌ 17:53:01	2~3分	20~30分 30~40分 40~50分	6回/23回 5回/17回 4回/13回		25分 18分 18分

操船時間・造成時間は~範囲でランダムに決定

回の停止回数で4~25分の停止時間となることが判る。

この停止回数・時間をさらに短縮させるために、主・副どちらかのGPSが測位不能になった場合でも、操船可能なようにジャイロを用いることにした。それを以下に述べる。

## 6. ジャイロ支援システム

GPSシステムは主・副2セットのGPSにより作業船の位置と方向を求めている。主副GPSが共に測位状態で、はじめてシステムは動作する。しかし、主・副のどちらかが測位しなければ、他の手段で作業船の方向を検知すればGPSシステムを短期的にサポートすることができる。そこで、変化角度を精度よく検出する光ファイバジャイロを活用して支援システムを構築する。光ファイバジャイロの角度検出精度は0.01度以下であり、GPSによる検出精度0.04度(2/3000)を上回っているため精度的には問題ない。図-9にケーシング位置とGPSの関係を示す。作業船前方に配置したケーシングの位置は、主GPSの座標と主・副間GPS基線の方向角(北を基準とした回転角)と主GPSからの距離で求まる。ケーシング1号機の座標 $(X_3, Y_3)$ は式①②で表される。 $(X_1, Y_1)$ 、 $\alpha$ はGPSで求められ、 $l$ 、 $\theta$ は作業船上での実測値であることから、式①、②でケーシング1号機の座標が判る。

$$X_3 = X_1 + l \cos(\alpha - \theta) \quad \text{--- ①}$$

$$Y_3 = Y_1 + l \sin(\alpha - \theta) \quad \text{--- ②}$$

$$(\tan \alpha = Y_2 - Y_1 / X_2 - X_1)$$

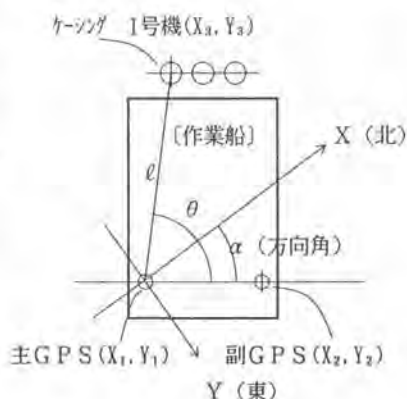


図-9 ケーシング位置とGPSの関係

今、副GPSが測位不能になると方向角 $\alpha$ が判らなくなりシステムとして動作しなくなる。そこで、副GPSが測位不能になった時から、GPSで求めていた方位角 $\alpha$ からの変化角をジャイロが継続して検出することでシステムは支障なく動作させることができる。これがジャイロ支援システムである。主GPSが測位不能になっても、副GPSを基準に

した計算方式を用いれば支援システムは動作する。

### 7. ジャイロ支援システムによる改善効果予測

ジャイロ支援システムを付加した場合の操船停止回数、停止時間をシミュレーションにより求める。GPSデータは3月19日、20日、21日分を用いる。表-1（測位不能時間調査結果）の測位不能GPSの項目を見ると、主と副が同時に測位不能状態になっている場合は少ない。ジャイロ支援システムを付加すると、ほとんどの時間帯で作業船位置位置決めシステムが動作することが判る。

表-5 シミュレーション結果  
（ジャイロ支援システムを付加した場合）

3月19日、20日、21日分のGPSデータを用いて、主と副が同時に測位不能の時間帯に操船作業が何回重なり何分停止するかを100回のシミュレーションを行って求めた。その結果を表-5に示す。3月19日、20日については、ほとんど操船停止は発生しない。3月21日は操船停止が1回で最大7分程度の停止時間があることが判る。

GPSデータ	作業時間パターン		操船停止回数 / 1日操船回数	合計停止時間 平均値 (100回)
	操船時間	造成時間		
3/19	2~3分	20~30分	0回 / 23回	0分
		30~40分	0回 / 17回	0分
		40~50分	0回 / 13回	0分
3/20	2~3分	20~30分	0回 / 23回	0分
		30~40分	0回 / 17回	0分
		40~50分	0回 / 13回	0分
3/21	2~3分	20~30分	1回 / 23回	7分
		30~40分	1回 / 17回	5分
		40~50分	1回 / 13回	3分

操船時間・造成時間は～範囲でランダムに決定

### 8. あとがき

海上CP船は、障害物が多くGPS衛星の電波を遮る状況が多く発生するとの懸念があった。南本牧の第31不動号で調査したGPSシステムの測位不能時間データを用いてシミュレーションした結果、操船時間帯と重なる確率が高いものの1日の作業時間（約11時間）に対してわずかに4~25分の停止時間に収まることが判った。通常の現場ではGPSシステムで十分に対応できるものと思われる。

作業船が輻輳してGPSの電波が遮られ、頻繁にGPSシステムの測位不能が発生する場合は、ジャイロ支援システムを付加することで操船停止回数・停止時間が大幅に減少することも確認した。

すでに、当社では全ての地盤改良船にGPSシステムを搭載する計画で、96.7 現在11隻に搭載している。今後は、引き続き稼働データの集積、分析を行い、さらに稼働率アップへ向けてシステムの安定化を図っていく所存である。

### 参考文献

- (1) (株)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 1996.10
- (2) (株)日本測量協会「やさしいGPS測量」

## 53. 深礎の機械化工法の開発

東日本旅客鉄道(株)：新堀 敏彦

鉄建建設(株)：齋藤 雅春，\*山村 康夫

### 1. はじめに

近年、土木建設工事の大規模化に伴い、合理的で効率の良い施工法が要求されるようになり、さまざまな新工法の開発・実用化が進められている。このような状況の中であって、深礎工法は基礎杭等の構築方法として古くから用いられている工法の一つであるが、複数の同時施工ができること、障害物の撤去が可能なこと、床付け盤の確認ができることなどのメリットから、現在でも幅広く採用されている。しかし、この工法にはバケットによる土砂搬出の際の上下作業、昇降時の転落、墜落の危険といった安全面の問題や、建設工事の3Kにからんだ熟練労働者の不足などの問題が常につきまとっていた。そのため、より効率的で安全性の高い工法となるよう機械化・省力化技術の開発が望まれてきた。

東日本旅客鉄道(株)と鉄建建設(株)では、深礎工法における掘削から土砂搬出までの機械化施工と、直打ちコンクリートライニングによる山留め構築方法を組み合わせた「深礎の機械化工法( JTS 工法)」を共同開発した。本文では、この工法の概要と実証試験結果について述べる。

### 2. 工法の概要

本工法は、掘削装置、土砂搬出装置およびライニング型枠から構成される。

施工方法は、まず、所定の位置に掘削装置を設置し掘削を開始する。このとき、発生した土砂は土砂搬出装置で坑外の排土ホッパーに連続搬出される。1 スパン掘削後掘削装置を停止し、ライニング型枠を移動、セットして型枠と地山の隙間にコンクリートを打設する。所定の強度発現後、再び次のスパンを掘削する。以上を所定の深さまで繰り返し、底盤コンクリートを打設によるライニングを構築し山留めするものである。図-1 に施工概要図を示す

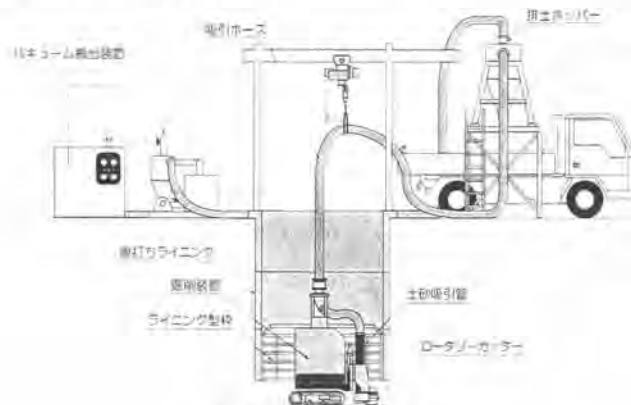


図-1 施工概要図

## 2.1 掘削装置

掘削装置は、小型走行機構にロータリーカッターと土砂吸引機構を装備している。無線操縦で、360° 回転しながらN値 15～50 程度の土砂地山を、最小掘削径φ 2.5 m、平均速度 1.2 m<sup>3</sup>/h で連続掘削する。

特長は、①カッタードラムに旋回掘削に適した縦型タイプを採用することにより、外径φ 2.5m まで対応できる。②運転操作は、FM変調方式の無線操縦（作業条件に応じて有線にも切り換え可能）なので、オペレータの安全を確保できる。③油圧回路のバルブ制御は、ジョイスティックによる比例制御方式を採用しているので、未経験者にも扱いやすく長時間の作業でも疲れにくい。④油圧ユニットを本体に搭載しているため、現場への搬入が容易である。などが挙げられる。

図-2 に概要図を示す。また、表-1 に仕様一覧表を示す。

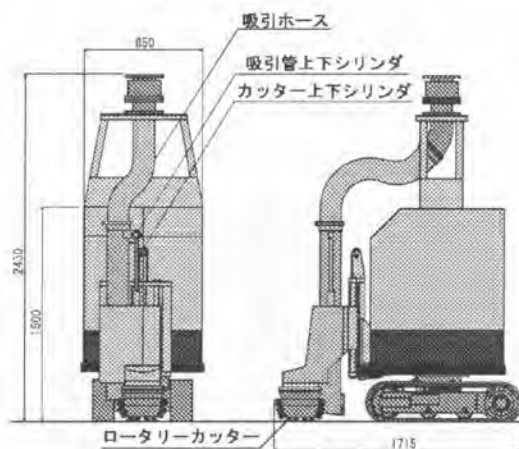


図-2 掘削装置概要図

## 2.2 土砂搬出装置

ロータリーカッターで切削した土砂は、地上に設置した土砂搬出装置で発生させた大風量・高真空圧の空気流によりホース内を移動し、排土ホッパーに蓄積される。排土ホッパーに蓄積された土砂は、あらかじめタイマーで設定した時間毎にダンプトラック等に排出される。

特長は、①φ 150 mmホースを延長していくだけで、垂直距離約 30 m、水平距離約 200 mを連続搬送できるので、土砂の積み替えがなく効率が良い。②粉塵やガスなどが発生した場合でも吸引・排出してしまうので、作業環境が良い。③清掃は、キャッチャー内の水の汚れた水を交換するだけなので簡単。

表-2 に仕様一覧表を示す。

表-1 掘削装置仕様一覧表

外形寸法	長さ 1,715 mm 幅 850 mm 高さ 2,430 mm
重量	本体 1,200 kg
切削方式	縦型ロータリーカッター
カッター径	φ 364 mm
回転数	120 rpm
走行方式	クローラ式
走行速度	10 m/min.
接地圧	0.5 kg f/cm <sup>2</sup>
電源	動力 200V 60A 制御 100V 15A
ポンプ形式	4連式ギアポンプ
操作方式	リモートコントロール方式 (無線または有線選択可)

表-2 土砂搬出装置仕様一覧表

架装型式	SS-11BWP
適応シャーシ	11 Ton
外形寸法	長さ 9,900 mm 幅 2,490 mm 高さ 3,350 mm
車両総重量	19,935 kg
駆動方式	特殊強化型 PTO
使用馬力	192 PS
風量	100 m <sup>3</sup> /min
静圧	-650 mmHg.
処理能力	ドライ砂 30 Ton/Hr 汚泥 120 Ton/Hr (ホース長さ 20 m)
レシーバ <sup>®</sup> 全容量	5,200 ㎥
使用ホース径	150 mm

## 2.3 ライニング型枠

掘削箇所の山留めは、円形のライニング型枠を移動・セットしながら、型枠と地山の間に連続したコンクリートライニングを構築することによって行う。

使用するライニング型枠の特長は、①フレームにアルミ合金を使用し鋼製型枠の約1/2と軽量である。②掘削との並行作業を考慮し、内側にサポート類を一切設けないリング形状をしている。また、円周の一部を取り外して内側に折りたためる構造なので、脱型・移動・組立が迅速にできる。③面材にFRP樹脂パネルを使用しているので、耐久性に優れ、また剥離性も良く仕上がりがきれいである。図-3に概要図を示す。また、表-3に仕様一覧表を示す。

表-3 ライニング型枠仕様一覧

(ライニング内径φ 2700 mmの場合)

構成	外径	φ 2700 mm
	内径	φ 2550 mm
	全高	1160 mm
材質	フレーム	アルミニウム成型材
	面材	ガラス繊維補強可塑性合成樹脂ボード
	傘部	一般構造用圧延鋼板
造	脱型・移動方法	ヒンジ部分を内側に折りたたんで行う
	コンクリート打設方法	型枠上部からシュート等で行う

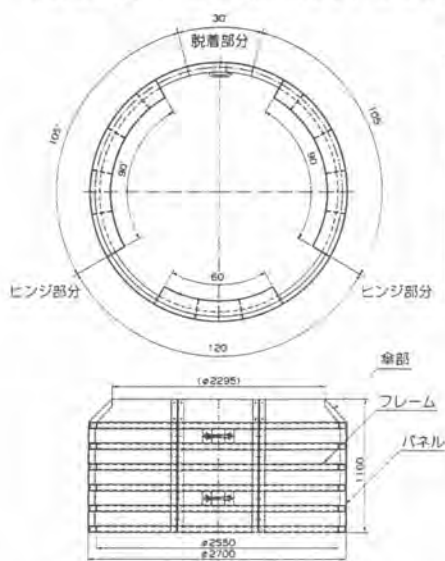


図-3 ライニング型枠概要図



写真-1 試験状況

## 3. 実証試験

### 3.1 試験方法

本工法の現場導入に先立ち、各装置の性能を確認・評価するために、外径φ 3.0 m、深さ 10 mの深礎杭を施工した。写真-1に試験状況を示す。

### 3.2 試験結果

#### (1)掘削装置

360° 旋回機構の採用により広範囲を連続して掘削できるので、カッター移動の際のロス時間の短縮、ならびに掘削の不連続が防止できた。また、無線操縦の採用により、周囲の安全確認が容易で、さらに掘削面全体を確認できるので、底面および土留周辺部において余掘りの少ない平滑な仕上がりとなり、人力による整形がほとんど必要なかった。

掘削能力は平均で約 1.2 m<sup>3</sup>/h で、硬い砂 (N 値 30 以上) やシルトの場合低く、軟らかい砂 (N 値 30 以下) の場合高かった。表-4に掘削能力一覧表を示す。<sup>1)</sup>

表-4 掘削能力一覧表

リング	地質	N値	掘削土量 (m <sup>3</sup> )	掘削時間 (min)	掘削能力 (m <sup>3</sup> /h)
1	砂	15	1.45	40	2.19
2	砂	15	7.31	350	1.25
3	シルト混じり砂	14	7.67	290	1.59
4	砂	19	7.68	335	1.38
5	砂	35	8.04	395	1.22
6	シルト混じり砂	20	13.51	790	1.03
7	砂・シルト	40	2.56	380	0.40
8	砂	56	8.04	360	1.34
9	砂	29	8.04	340	1.42
10	沖積砂	25	8.04	340	1.42
計/平均			72.34	3620	1.20

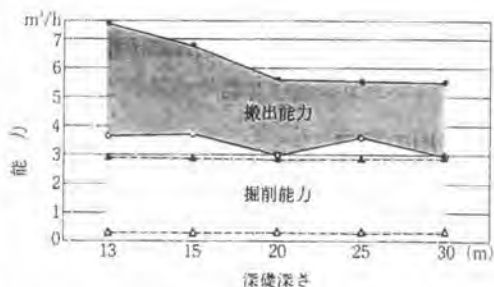


図-4 掘削と搬出のバランス

(2)土砂搬出装置

深さ10mまで、閉塞することなく連続吸引できることが確認された。

掘削外径φ3.0mの場合、1リング当たりの掘削土量は約7~8m<sup>3</sup>であるが、これを連続搬出するためには、『掘削土量≤搬出土量』でなければならない。図-4は、土砂搬出試験と掘削試験より得られたデータの最大と最小を示したものである。<sup>2)</sup>このグラフより、深さ30m程度までは連続搬出が可能であると予想できる。

(3)直打ちライニング

型枠に関しては、機能を阻害するようなフレームの変形や面材の破損等はなく、安全に作業できることが確認された。また、脱型時のコンクリートとの剥離も容易で、覆工表面も平滑であった。

ライニングに関しては、地山との密着状態も良好で、打継ぎ目の目開きもなく良質な覆工が形成できることが確認された。

表-5に型枠組立・脱型時間を示す。<sup>1)</sup>

表-5 型枠組立・脱型時間 (分)

リング	据付	打設	脱型	移動	合計
1	60	-	-	-	60
	-	50	-	-	50
	-	-	25	-	25
2	60	60	-	-	120
3	40	70	20	10	140
4	30	25	15	15	85
5	30	40	30	10	110
6	25	40	50	25	140
7	20	70	30	10	130
8	50	35	20	5	110
9	35	30	30	5	100
10	40	60	35	10	145
平均	39	48	28	11	127

なお、脱型時間は、供試体の一軸圧縮強度より判断した。

4. おわりに

今回の実証試験により、掘削装置・土砂搬出装置およびライニング型枠の単体ならびにシステムとしての機能が確認され、実用化に向けて大きく前進したと思われる。

今後、現場での試験施工等を踏まえてさらに詳細な点を探り、施工法として確立して行きたいと考える。

【参考文献】

- 1) 新堀ら：路下式深礎機械化施工の開発について 土質工学研究発表会 1995年
- 2) 新堀ら：路下式深礎機械化施工の開発 土木施工 1995年5月号



## 54. 深礎全断面掘削機の開発

中部電力㈱：須田 悟  
㈱熊谷組：\*三村 友男

### 1. はじめに

山岳地に建設する送電線鉄塔や橋梁などの基礎、急傾斜地における地滑り抑止杭などには経済的に有利な深礎基礎が多く採用されているが、掘削工事など施工の大部分が狭隘な円形立坑内での有人作業であり、作業環境も大変厳しいものとなっている。その3Kイメージに加え、近年の労働人口の減少と高齢化などから労働力の確保は益々厳しくなる状況にあり、深礎基礎工事の機械化・自動化による作業環境改善、安全性向上、省人化、工期短縮およびコストダウンが重要な課題となっている。

このような状況を踏まえ、地上のオペレータ1名の監視操作により坑内無人で全断面を掘削しながら、同時に連続排土を行う深礎全断面掘削機を開発した。本掘削機は、掘削からコンクリート打設までを対象とした深礎基礎坑内無人化工法の開発の一環として、中部電力、熊谷組、トーエネック、中電工事、大豊建設、白石が共同開発したものである。

本報告では、深礎全断面掘削機の概要と試作機による現場実証施工および本掘削機を中心とする深礎基礎坑内無人化工法の概要について紹介する。

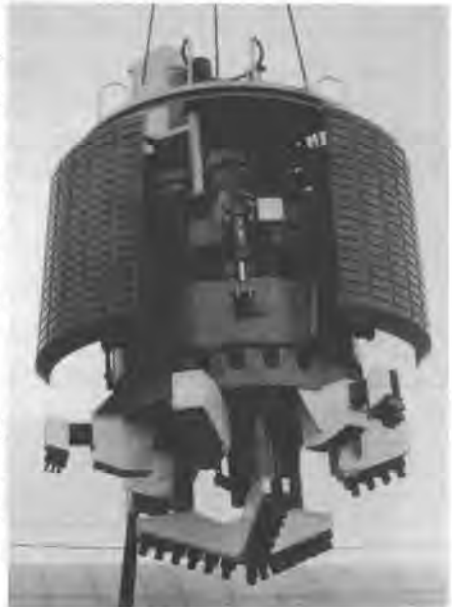


写真-1 掘削機本体

### 2. 深礎全断面掘削機の概要

#### 2.1 特長

本システムは以下のような特長を有している。

- ① 地上のオペレータ1名の監視操作により、掘削から排土までを坑内無人で行うことができる。
- ② 普通土砂から一軸圧縮強度  $500\text{kgf}/\text{cm}^2$  級の中硬岩までの幅広い地盤に対して全断面を能率良く掘削できる。
- ③ バキューム吸引式の空気輸送により、掘削しながら連続して排土を行う。
- ④ グリップと最外周カッタの部品交換のみで容易に掘削径の変更ができる。
- ⑤ 山岳地の現場搬入を容易にするために、各装置の分割単体質量を  $2.0\text{t}$  以下としている。また、掘削機本体の現地組立解体は、各1日程度で行うことができる。

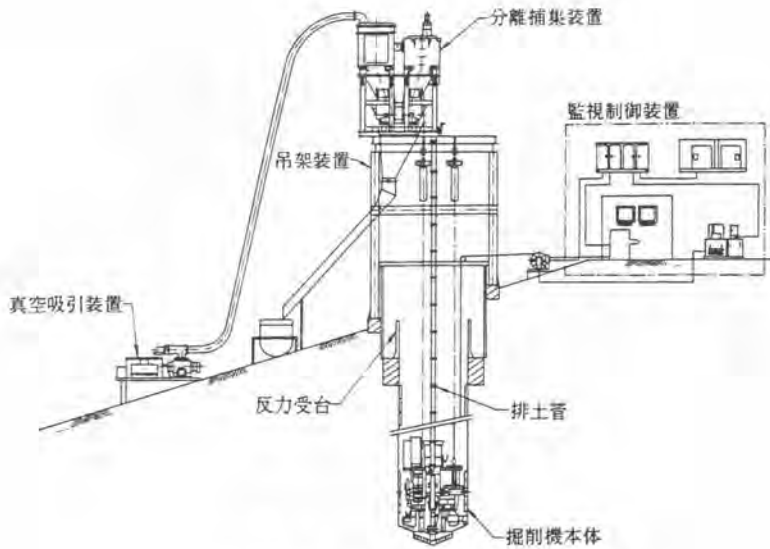


図-1 全体システム概要図

## 2.2 システムの構成および機能

図-1に全体システム概要図を示す。本システムは掘削機本体、バキューム排土装置、監視制御装置、吊架装置および反力受台から構成される。

### (1) 掘削機本体

図-2に掘削機本体構造図を示す。本掘削機は、掘削坑壁にグリッパを押し付けて本体を固定し、推進用のシフトジャッキによりカッタ部を押し出して掘削を行う。シフトジャッキストローク分の掘削終了後、グリッパを緩めてシフトジャッキを縮める操作により本体が下降する。この繰り返しにより、1シフト50cmづつ掘進する。

カッタ部は、中央カッタと外周カッタに分割され、両カッタが互いに逆方向に回転しながら全断面を掘削する。この回転機構は、グリッパに作用する掘削トルク反力の低減を図ったものである。また、カッタ部は中央カッタが外周カッタに先行して掘削する2段構造で、掘削面に傾斜を設けた形状としたことにより、掘削された土砂（ズリ）はカッタ回転に伴って中央カッタの中心付近に掻き寄せられる。このズリ溜り部に排土管先端を配置することにより、掘削しながら連続してズリの吸引、排土を可能にしている。

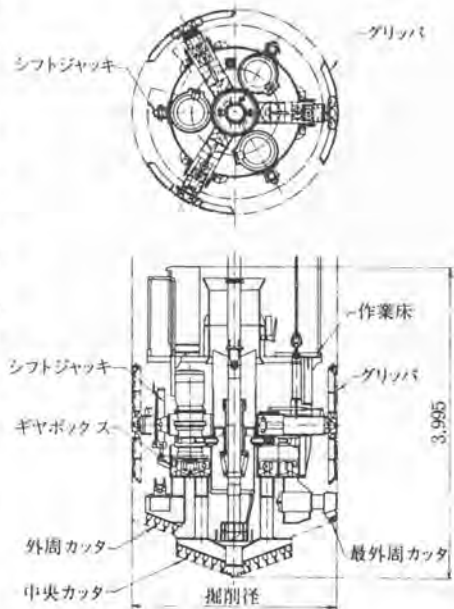


図-2 掘削機本体構造図

カッタビットは、両方向回転対応の切削型ビットで、普通土砂から中硬岩までの幅広い地盤に対して掘削が可能である。ビットの取付けは、現地でのビット交換が容易なピン脱着式として

いる。  
掘削完了後、仮土留の設置された坑内から掘削機本体を一体撤去・回収するため、最外周カッタは地上の監視操作盤での遠隔操作により縮径することができる。

掘削径の変更は、呼径φ2.65mからφ3.35mまでの4種類に対して、グリッパと最外周カッタの部品をアタッチメント的に交換するだけで容易に行うことができる。表-1に掘削機の主要性能、表-2に主要仕様を示す。

### (2) バキューム排土装置

バキューム排土装置は、真空吸引装置、分離捕集装置、連続排土機および排土管から構成される。中央カッタのズリ溜り部に掻き寄せられたズリは、真空吸引装置の発生する気流により吸引され、排土管を通して地上の分離捕集装置まで空気輸送される。分離捕集装置は、粗大粒子を捕集するレシーバと、粉塵を捕集するフィルタ装置から成り、気流からズリおよび粉塵を分離、捕集する。捕集されたズリおよび粉塵は、連続排土機により気流の気密性を保ちながら機外に排出される。また、排土管先端は常にズリと一定の間隔を保つように、ズリの集まり状況に応じて上下させることができる。

### (3) 監視制御装置

掘削機およびバキューム排土装置の運転操作は、1名のオペレータにより地上の監視操作盤において、掘削地盤、排土管先端のズリの吸い込み状況およびシュート排出口の状況をモニタテレビにより監視しながら坑内無人で行う。

### (4) 吊架装置

吊架装置は、掘削開始時における段掘部内への掘削機本体の吊り降ろしおよび掘削完了後の坑内からの一体撤去・回収を行うもので、チェーンブロック(5t)3台を装備している。また、鉄筋工事における鉄筋かこの沈設も本装置を使用して行う。

### (5) 反力受台

反力受台は、鋼製の円筒形で段掘部内の掘削位置に設置される。この内壁面にグリッパを押し付け

表-1 掘削機の主要性能

項 目		性 能
掘 削 径	呼称φ2.65 m	φ2.50 m +0~0.15m
	呼称φ2.85 m	φ2.70 m +0~0.15 m
	呼称φ3.15 m	φ3.00 m +0~0.15 m
	呼称φ3.35 m	φ3.20 m +0~0.15 m
掘 削 地 盤		普通土砂~中硬岩 (一軸圧縮強度 50 N/mm <sup>2</sup> 程度まで)
掘 削 深 さ		35 m 以下 (標準)
分割単体質量		2.0 t 以下
総 質 量		約 12 t (掘削機本体のみ)
掘 削 速 度 (参考値)		砂 礫 60 cm/h 軟 岩 50 cm/h 中硬岩 30 cm/h

表-2 掘削機の主要仕様

項 目		仕 様
掘 削 機 本 体	カッタ装置	カッタ回転数 中央カッタ 4.7 r/min 外周カッタ 3.3 r/min カッタトルク 中央カッタ 55.9 kN・m 外周カッタ 79.4 kN・m (ΣT=135.3 kN・m) 電 動 機 18.5 kW×4 p 220 V×60 Hz 3台
	シフトジャッキ	78.5 kN×550 mm 3本 駆推力 235.5 kN 伸長速度(最大) 5.6 cm/min
	グリッパジャッキ	240 kN×300 mm 3本
油 圧 ユ ニ ッ ト	シフト系	油圧ポンプ 0.28 L/min×3口×15.7 MPa 電 動 機 0.4 kW×4 p 220 V×60 Hz 1台
	グリッパ系	油圧ポンプ 6.4 L/min×3口×15.7 MPa 電 動 機 7.5 kW×4 p 220 V×60 Hz 1台
バ キ ュ ー ム 排 土 装 置	真 空 吸 引 装 置	エ ン ジ ン 空冷ディーゼルエンジン 76 kW 2,300/min 真 空 ポ ンプ 250 A ループブロウ 理 論 処 理 能 力 98 kN/h
	分 離 捕 集 装 置	電 動 機 1.5 kW×4 p 220 V×60 Hz 1台 払 い 落 し 方 式 パルスエア方式 必 要 空 気 量 360 NL/min×0.5MPa(G)
	連 続 排 土 機	電 動 機 0.75 kW×4 p 220 V×60 Hz 2台 最 大 排 土 量 0.3 m <sup>3</sup> /min

て掘削機本体を固定し、段掘部からの掘削を開始する。



写真－2 掘削状況



写真－3 監視操作状況

### 3. 現場実証施工

普通土砂から中硬岩までの模擬地盤を構築して、試作機による掘削性能試験を行った後、現場実証施工を以下の送電線鉄塔建設現場において、掘削地盤をかえて3現場実施した。その結果を表－3に示す。

工事名：中部電力500kv愛岐幹線新設工事

第7工区No.120号 φ2.6m AD脚〔94.4〕

第9工区No.154号 φ2.8m D脚〔94.9〕

第3工区No.23号 φ2.6m C脚〔94.12〕

平均日進量では、1.7～2.5m/dの比較的良好な結果が得られたものの、純掘削速度の値からみると、ロスタイムを減少させることなどにより、さらに施工サイクルの向上が可能と言える。

今回の開発では、これらの試作機による掘削性能試験および現場実証施工において明らかになった改善すべき点についての改良検討を実施し、実用機的设计製作に反映させている。



写真－4 施工状況

表－3 現場実証施工結果

	砂 礫	軟 岩		中硬岩
岩 種	まさ土	強風化花崗岩	強風化チャート	チャート
岩 級	D	D～CL	D～CL	CL
換算N値	30	100～貫入不能	100～180	貫入不能
純掘削速度 (m/h)	2.4	1.7	1.3	1.1
平均日進量 (m/d)	1.9	2.5	1.8	1.7

#### 4. 深礎基礎坑内無人化工法

##### 4.1 工法の概要

本工法は、深礎基礎工事における掘削からコンクリート打設までの総合的な坑内無人化を図ったもので、深礎全断面掘削機の開発を軸として、仮土留の省略、鉄筋かご沈設工法および深礎用自己充填コンクリートの各要素技術を開発、総合化したものである。図-3に本工法の施工ステップを示す。

以下に、各要素技術の概要を示す。

##### (1) 仮土留の省略

仮土留は、坑壁崩壊の防止および坑内作業員の保護対策として設置されるが、本工法では坑内における有人作業が全く不要となるため、坑壁が自立する場合には仮土留を省略することが可能であり、コストダウンおよび工期短縮を図ることができる。実施への対応としては、地質調査結果からの仮土留省略の判定基準、坑壁崩壊のレベルに応じた対策フローチャートを作成した。

##### (2) 鉄筋かご沈設工法

本工法は、主鉄筋にカブラ接続のネジ節鉄筋を用い、掘削位置の直上で鉄筋かごの組立および沈設を行うものである。鉄筋かごの沈設は、掘削機に使用した吊架装置により行う。

鉄筋かごは、外側3ヶ所に取付けられたエアバッグを所定の沈設位置で加圧することによって位置決めを行い、必要かぶりを確保する。エアバッグは、鉄筋かご据え付け後、脱気して回収される。

##### (3) 深礎用自己充填コンクリート

現在、締固め不要コンクリートとして高流動化コンクリートが実用化されているが、高性能減水剤と特殊な粉体を添加するため、一般のプラントでの製造が難しいことやコスト高などの問題があった。

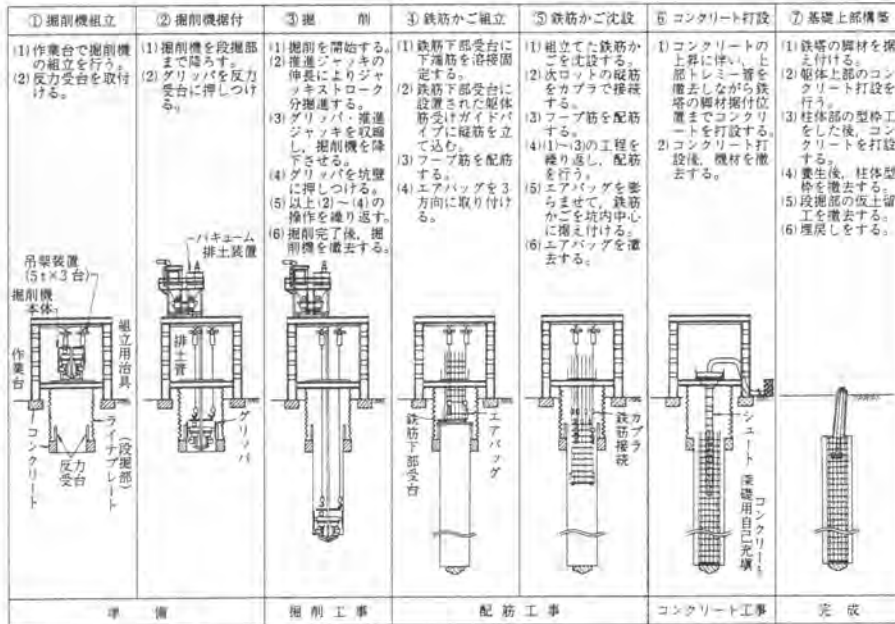


図-3 坑内無人化工法の施工ステップ

今回開発した深礎用自己充填コンクリートは、高性能減水剤と配合調整のみで所定の流動性と材料分離抵抗性を満足するもので、締固めや打継ぎ面の処理が不要であり、一般のプラントでも製造可能である。表-4にコンクリートの所要性能、表-5にコンクリート配合表を示す。

表-4 コンクリートの所要性能

項目	所要性能
呼び強度	21 N/mm <sup>2</sup> 以上
スランプフロー	50 cm
同上保時間	指定時間
空気量	4.5 %
ブリージング率	5 %以下
塩化物量	0.3 kg/m <sup>3</sup>

表-5 コンクリートの配合表

水・セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					混和剤添加率 (%)
		セメント	水	細骨材		粗骨材	
				粗砂	細砂		
41.6	4901	375	156	687	170	896	1.90

#### 4.2 導入効果

坑内無人化工法は、中部電力500kv越美幹線№10号で実証施工を実施し、十分な実用性があることを確認した。この結果から、本工法の送電用深礎基礎への適用において、以下のような効果が期待できる。

- ① コストダウン：百万円/基
- ② 工期短縮：4ヶ月/基⇒3ヶ月/基
- ③ 安全性向上：坑内無人、発破等の爆発物が不要
- ④ 作業環境改善：作業の軽労働化、坑内作業⇒地上作業
- ⑤ 省人化：作業班の小数化（8人⇒5人）

#### 4.3 工法の適用範囲

坑内無人化工法の適用範囲は、経済性および掘削機の性能の面から以下のとおりとなる。

- ① 坑壁が自立性に優れた地盤
- ② 厚い高粘土層のない地盤
- ③ 地盤強度は中硬岩（500kgf/cm<sup>2</sup>級）程度まで
- ④ 湧水は滲み水程度

#### 5. あとがき

今回紹介した深礎全断面掘削機および坑内無人化工法は、掘削からコンクリート打設までの一連の深礎基礎工事の坑内無人化を実現した。これにより、とくに作業環境改善および安全性向上の面で大きく寄与できるものと期待している。また、本開発の第2段階として、機械の稼働率向上とオペレータの熟練度を必要としないことを目的として、掘削から排土までの全自動化の研究を実施し、基本設計までを完了している。

なお、深礎全断面掘削機は、平成8年4月から中部電力の基幹送電線建設現場に、坑内無人化工法として本格的に採用され、現在稼動中である。今後、さらに機械および工法の改良を行い、工法の適用範囲の拡大を図っていく予定である。

## 55. JACSMAN (交差噴流式複合攪拌工法) の開発・実用化

不動建設(株)：三好 朗弘  
フドウ技研(株)：\*松沢 諭

### 1. はじめに

軟弱地盤を使用目的に応じた地盤強度に改良する多種の地盤改良工法の中で、施工時に振動・騒音を発生しないなどの環境にやさしい工法としては、深層混合処理工法が代表的である。

当工法は、セメントなどの固化材を原位置土と攪拌混合して固化柱体を地中に造成して地盤を強化する工法で、その造成方法の違いから大きく機械式攪拌工法と噴射式攪拌工法に分類される。前者は、攪拌翼を回転させて改良体を造成するため、既設構造物に密着させた造成や、改良体相互を一体化したソイルセメントブロックの造成が難しい。後者は、高圧噴射によって地盤を切削・攪拌して造成するため土性などの影響により改良体径が不均一になったり、施工コストが高価であるといった課題がある。

それらの課題に対処して、両工法の特長を合わせもった新しい深層混合処理工法「JACSMAN (Jet And Churning System MANagement) = 交差噴流式複合攪拌工法」が、高速施工のもとで均一な大断面改良体の造成を可能としたうえで、多種多様な施工条件下での適用性を経済的に拡大させる工法として、開発・実用化したので紹介する。

### 2. 工法の特長

JACSMAN は、新しく考案した「高圧交差噴流」という造成方法と、機械式攪拌との新しい組合せ技術によって開発されたもので、以下のような特長を持っている。

写真-1 に示す交差噴流により、

- ① 2方向から高圧で噴射した噴流を所定の位置で衝突させて噴流を失速させることで、その噴流交差点で切削能力がなくなり、土性の相違に左右されることなく改良体の径を均一に造成できる。
- ② 均一な切削範囲内に同量のスラリーを噴射攪拌することで、交差噴流部の攪拌混合性能を飛躍的に向上できる。

という噴射造成部での高品質化が図れたことで、機械式攪拌との組合せである複合攪拌で、



写真-1 交差噴射状況

③ 施工能率の向上を図るために高圧噴射による切削負担を軽減したうえで、大断面の改良体を造成できる。

④ 既設構造物等との密着施工が、高施工能率のもとで行える。

という経済的で汎用性の高い「複合攪拌」工法として開発・実用化したものである。

図-1に、交差噴流による造成メカニズムを模式的に示す。

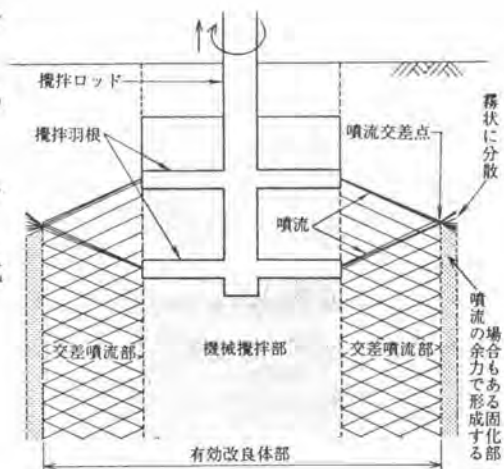


図-1 造成模式図

### 3. 施工機械

#### (1) 施工機械の全体構成

施工機械は、図-2に示すように打設機と周辺装置により構成されている。

打設機は、JACSMAN 処理機、JACSMAN 専用特殊攪拌軸および専用特殊攪拌翼からなっており、周辺装置は、固化材プラント、大容量超高压ポンプ、その他の機器により構成される。

打設機には二軸型と単軸型があり、二軸型は主として大規模工事や沿岸土木工事への適用をねらいとしている。一方、単軸型は機械の行動可能範囲が狭い、既設構造物近傍での施工や、都市部の覆工板上での施工等への適用を想定している。

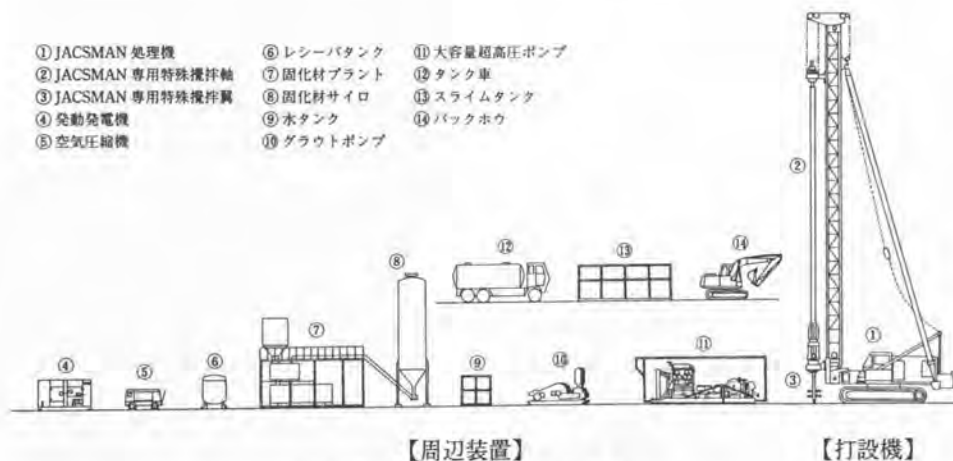


図-2 打設機・周辺装置の構成



## (2) 単軸型打設機の特長

単軸型打設機の姿図を図-3に示す。本機は以下のような特長をもっている。

- ① 都市部での施工のために、低重心化して安定性を向上させている。

図-3において、回転駆動装置をリーダーの下部へ設置する下部駆動方式を採用することで駆動装置の重心を下げている。さらに、昇降装置は、回転チャック機構を装備したものを2段に設けることによって、上部リーダーを軽量化し、全体の低重心化を図っている。

- ② クランク式共回り防止装置を装備して、軸芯部分の攪拌混合性能を向上させている。

単軸施工においては、二軸機で通常装備されている連結式の共回り防止板が使用できないため、単軸施工独特な共回り防止装置が必要である。本機は、写真-2に示すようなクランク式共回り防止装置により、攪拌混合性能の向上を図っている。

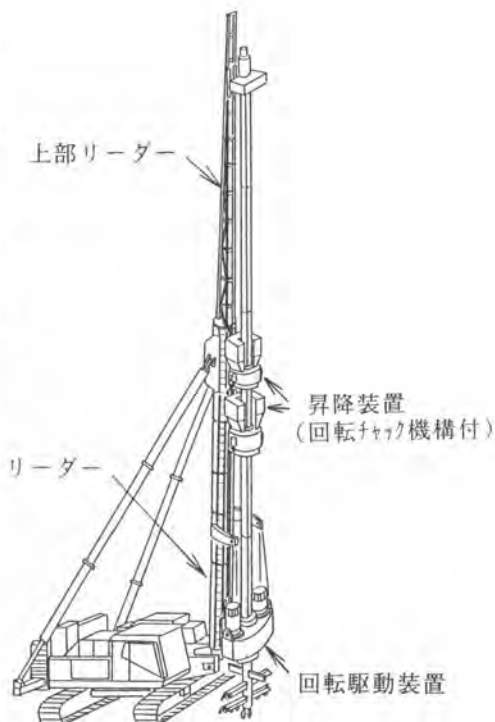


図-3 単軸型打設機姿図

## 4. 施工方法

### (1) 施工管理方法

図-4に施工管理システムを示す。

改良体の品質に関わる主要な施工管理項目として、施工深度、スラリー量、攪拌回数が挙げられる。攪拌回数とは、機械攪拌部で所定の攪拌混合性能を確保するために重要な管理項目である。

### (2) 施工手順

図-5に施工手順を示す。

- ・貫入時は低圧でスラリーを吐出させて機械攪拌部を造成し、引抜き時は超高压でスラリーを噴射させ交差噴流部を造成する。
- ・貫入速度 1.0m/min、引抜き速度 0.5m/min、軸回転数 20rpmを標準とする。



写真-2 クランク式共回り防止装置

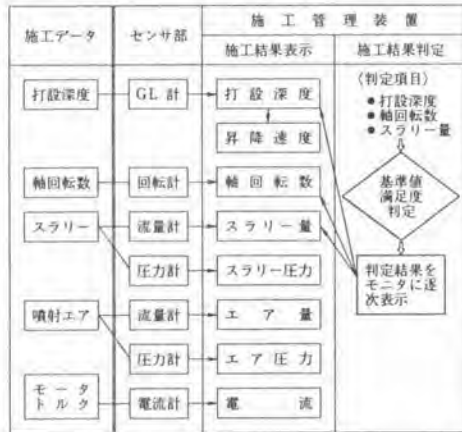


図-4 施工管理システム

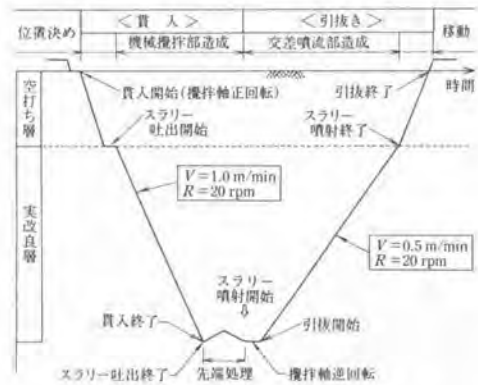


図-5 施工手順

### 5. 施工実績

平成4年に基礎実験を、さらに平成5年には実証実験を経て開発を完了、これまで6件の施工実績を有している。表-1にJACSMAN 施工実績一覧表を示す。いずれの実績工事においても、改良体の品質（改良体径と強度）は良好な結果が得られている。

表-1 JACSMAN 施工実績一覧表

工事名	地盤改良の目的	施工仕様			備考
		施工機種	打設長(m)	造成長(m)	
A工事	掘削法面の安定確保	二軸	15.0	12.0	海上施工
B工事	PC杭の水平支持力確保	二軸	8.5	3.0	
C工事	鋼管矢板の水平支持力確保	単軸	14.1	4.9	
D工事	〃	二軸	21.5	3.0	
E工事	矢板岸壁の水平支持力確保	単軸	9.0	7.9	
F工事	護岸裏込埋立の強度増加	二軸	14.0	9.7	

### 5. おわりに

機械式攪拌工法と噴射式攪拌工法のそれぞれの特長をもったJACSMAN は、多種多様な施工条件下での適用性を経済的に拡大する工法として、確実に施工実績を増やしつつある。

今後は、施工機械面ではより安定性のある機械の開発を、施工面では一層のコストダウンのために、努力したいと思っている。

## 56. 深礎ナトム 自動吹付ロボットの開発

大豊建設㈱：\*宮村誠一郎、中西 芳雄  
夏目 茂

### 1. はじめに

現在、送電線用深礎基礎の土留めとして、ライナープレートが一般に使用されている。このライナープレートの代わりに吹付コンクリートを使用することによって、断面変化に柔軟に対応することができ、経済的な基礎設計が可能となる。

従来、熟練工が経験により行っていた吹付作業を吹付ロボットに代行させることにより、品質の均一化と作業環境の改善を図る。自動吹付ロボットに使われるコンクリート吹付機は山岳地でも運搬が容易な小型の吹付機で、比較的粉塵・リバウンドの少ない乾式を選定した。

この乾式吹付機による最適吹付条件を基礎実験で決定し、開発した自動吹付ロボットにより、送電線用深礎基礎内で実証実験を行った。

### 2. 吹付機械の選定

吹付機械は、公表されている資料や現地調査などにより、最も粉塵量やリバウンド量が少なく、軽量で扱いやすい乾式のSBS吹付機を選定した。

#### a) SBS吹付機の特長

- 1) 乾式吹付機なので、設備が簡便である。
- 2) ドライコンクリートの圧送に、ポケットフィールドを使用することにより、常時定量を間断無く送り脈流がない。
- 3) 添加水を最大100kgf/cm<sup>2</sup>の高圧で、3層のノズルからマテリアルホースに直角に噴射することにより、ドライコンクリートを圧送するエアに負けることなく、セメントと骨材の殆ど全てが水に補足され、水セメント比の一定なコンクリートができ、粉塵とリバウンド量が少ない。

#### b) SBS吹付機 (Model-C) の仕様

吐出量	1~8m <sup>3</sup> /h
最大骨材径	16mm
マテリアルホース径	40・50・65mm
エア消費量	4~18m <sup>3</sup> /min
最大吹付距離	水平1,000m・垂直150m

### 3. 基礎実験

基礎実験は、以下の項目について行い、各々の最適組み合わせを確認した。

- 1) ノズル間隔と吐出圧
- 2) 単位時間当たりの吹付厚（量）
- 3) 最適ノズル回転速度
- 4) 上向き・下向きによる吹付量
- 5) 最適最大骨材径

基礎実験用装置としては、吹付壁をコンクリートパネルにて、 $H=1.8\text{m}$ 、 $L=9.9\text{m}$ の鉛直で直線の壁を製作し、壁に平行にレールを設置して、その上に吹付ロボットを固定した走行架台を乗せた。架台には吹付ロボットの移動速度が調整できるようにインバーター付きモーターを取り付けた。



写真-1 基礎実験状況

吹付モルタルのリバウンド量の測定は、吹付完了後落下モルタルを集めその重量を測定し、付着量の測定は、壁に付着したモルタルを落とし、その重量を測定した。

リバウンド率は、下記の式による。

$$\text{リバウンド率} = \frac{\text{リバウンド量}}{\text{付着量} + \text{リバウンド量}}$$

- 1) ノズルの間隔と吐出圧

ノズル間隔を $0.70\text{m} \cdot 1.00\text{m} \cdot 1.30\text{m}$ の3パターン、吐出圧を各々 $1.0\text{kgf/cm}^2 \cdot 2.0\text{kgf/cm}^2$ の2パターンの組み合わせで試験を行った。

その結果、ノズル間隔 $1.00\text{m} \cdot$ 吐出厚 $1.0\text{kgf/cm}^2$ の組み合わせが、付着率 $88\%$ ・リバウンド率 $12\%$ で最適となった。

- 2) 単位時間当たりの吹付厚（量）

ノズル間隔 $1.00\text{m} \cdot$ 吐出圧 $1.0\text{kgf/cm}^2$ に固定し、吹付時間 $3\text{秒} \cdot 5\text{秒} \cdot 10\text{秒} \cdot 20\text{秒}$ の吹付厚・吹付幅（体積）を測定した。

その結果、厚さ・幅ともに吹付時間に比例して増加するが、 $15\text{秒}$ で自重により剥離落下する。最大吹付厚は、 $18\text{cm}$ であった。以上の試験から、1層の吹付厚は、 $10\text{cm}$ 以下が望ましい。

- 3) 最適ノズル回転速度

ノズル間隔 $1.00\text{m} \cdot$ 吐出圧 $1.0\text{kgf/cm}^2$ に固定し、回転（水平移動）速度を $0.075\text{m/s} \cdot 0.100\text{m/s} \cdot 0.125\text{m/s} \cdot 0.150\text{m/s}$ の4パターンで、付着厚・付着率・リバウンド率を測定した。

その結果、付着厚は、速度の遅いほど厚いが、速度 $0.125\text{m/s}$ が付着率 $86\%$ ・リバウンド率 $14\%$ と最適であった。

- 4) 上向き・下向きによる吹付量

ノズル間隔 $1.00\text{m} \cdot$ 吐出圧 $1.0\text{kgf/cm}^2$ に固定、回転速度を一定にして、上向き・下向きの2パターンで、吹付厚・吹付幅を測定した。

その結果、付着量は上向きが吹付厚で30%、吹付幅で40%多く上向きが適している。

#### 5) 最適最大骨材径

ノズル間隔1.00m・吐出圧1.0kgf/cm<sup>2</sup>・旋回速度を0.125m/sに固定し、最大骨材寸法を1mm・5mm・10mm・15mmの4パターンで、吹付厚・リバウンド量を測定した。

その結果、最大骨材径1mmの場合は、モルタルが飛散してリバウンド量測定不能であった。最大骨材径10mmが付着量86%・リバウンド量14%で最適であった。

以上、基礎実験の結果により、ノズル間隔1.00m・吐出圧1.0kgf/cm<sup>2</sup>・1層の吹付厚10cm・ノズル旋回速度0.125m/s・最大骨材径10mmで上向吹付けが最適となった。

### 4. 実証実験施工

試験施工地	岐阜県恵那市	
基礎種別	送電線深礎基礎	
深礎基礎杭径	φ3,700mm	
深  さい	H=15,00m	
土  質	G.L. ~ 2.4m	N値 7~50の崖錐
	2.4m ~ 15.0m	N値 49~107の花崗閃緑岩
地表勾配	約30度	
資材運搬方法	ケーブルクレーン(最大吊り上げ荷重3t)	

#### 1) 深礎掘削坑の安定性・コンクリート吹付厚の検討

解析は、簡略で設計上安全側の結果が予測される2次元平面ひずみモデルを採用した。

##### ・地盤の特性

	単位重量 (t/m <sup>3</sup> )	弾性係数 (t/m <sup>2</sup> )	ポアソン比	粘着力 (t/m <sup>2</sup> )	摩擦角 (度)
G.L. ~ 2.4m	1.8	700	0.33	1.0	45
2.4m ~ 15.0m	2.0	16,000	0.30	9.0	30

##### ・吹付コンクリートの特性

弾性係数	E = 2,000 tf/m <sup>2</sup>
圧縮強度	σ <sub>c</sub> = 120kgf/cm <sup>2</sup>
許容応力度	σ <sub>ca</sub> = 40kgf/cm <sup>2</sup>
吹付コンクリート厚	t = 10cm

##### ・深礎基礎掘削ピッチ

80cm

##### ・解析結果



写真-2 吹付ロボット全景

掘削時の地山の安定性に関しては深礎底部付近で局所安全率が1.0~1.5の領域が見られるが、せん断破壊に至るまでは至っていない。局所的な破壊が認められるが、地山の安定性に影響を及ぼすものとは考えられない。掘削終了時の地山の变形では、底面の変位量は最大値で3.3mm、側壁の変位量は最大値で2.7mmと小さい値となっている。

吹付コンクリートの安定性に関しては、吹付コンクリートに発生する周方向の応力 $\sigma_c$ と許容応力 $\sigma_{cs}$ に対する安全率は、1.3以上を確保しており、安定性はよい。

以上の結果より、深礎掘削坑および吹付コンクリート厚の10cmは安定である。

## 2) 吹付機および吹付ロボット

吹付機は、SBSを使用した。吹付ロボットは、基礎実験の結果から下記の仕様で製作した。

### ・吹付ロボットの仕様

深礎基礎杭径 3,700mm 対応

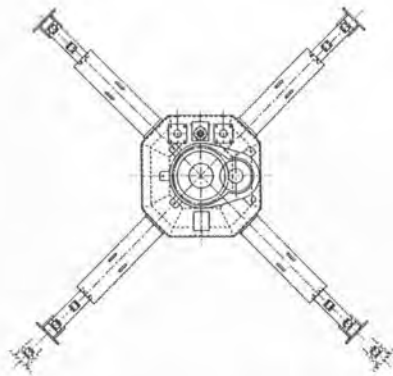


図-1 吹付ロボット平面図

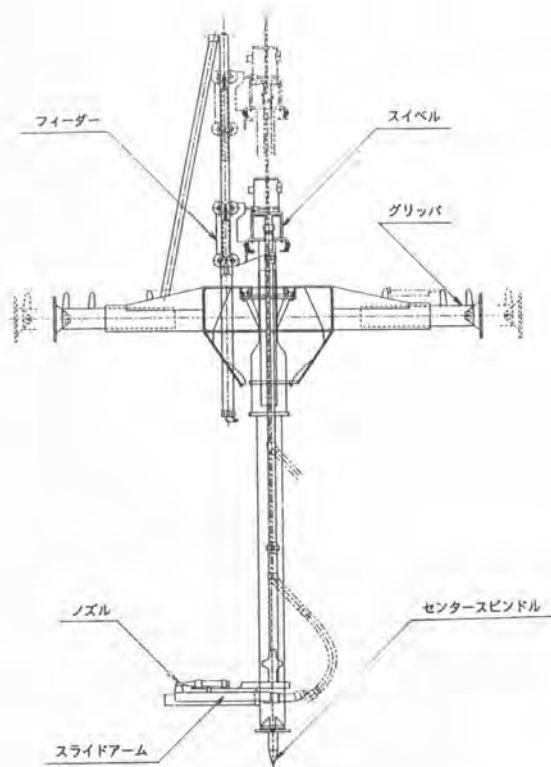


図-2 吹付ロボット正面図

旋回範囲 360° 全旋回  
 ノズル水平ストローク 100mm  
 ノズル上下ストローク 1,000mm  
 回転数 0~2.6 rpm  
 グリッパ伸縮範囲

min φ3,314mm~max φ3,914mm

・吹付ロボットの設定諸元

吹付面とノズルの間隔 1.00m  
 吐出圧 1.0kgf/cm<sup>2</sup>  
 吹付面ノズル旋回速度 0.125m/s  
 吹付回数 2層

吹付ロボットは、最下部より旋回しながら上昇し、既吹付箇所まで達すると旋回しながら下降する。

### 3) コンクリート材料

配合：セメント 360kg・水 180kg・細骨材676kg・粗骨材1,086kg・急結剤25.2kg  
 最大骨材寸法を10mmとし、最寄りの生コン工場よりドライコンクリートを搬入した。

### 4) 発破による影響

発破深さ 0.8m  
 発破体積 8.6m<sup>3</sup>  
 削孔本数 48本  
 爆薬量(最大) 2.4kg  
 雷管段数 0~5

発破間隔は、吹き付け完了24時間後とした。その結果吹付コンクリートに、クラック等の異常はなかった。

### 5) 計測

・地表面の沈下：測定の結果、沈下はほとんど見られなかった。

・内空変位：3段階の注意レベルの基準を求め、注意レベルⅡの基準値11mmを管理基準とした。変位測定の結果、最大変位量は、3.4mmであった。また、吹付厚は、設計厚100mmに対し、測定値平均125mmであり設計値以下はなかった。

## 5. 考察



写真-3 吹付機全景



写真-4 吹付状況

基礎実験で得られた最適データを吹付ロボットの各諸元に設定し、地上からの遠隔操作により、深礎基礎杭1脚ではあるが、定量・自動吹付で所定の成果が得られることが確認できた。

深礎掘削坑の安定および吹付コンクリートの安定は、設計値通りであることが確認された。

この実験の目的の1つである、品質の均一化・作業環境の改善は、達成されたと思われる。

任意断面に対応する吹き付けも、ノズルを前後し一定間隔を保つことにより、十分対応可能だと思われる。また、施工の経済性も、吹付材料は生コン工場よりドライコンクリートで搬入し、1基の吹付プラントで数本の深礎基礎杭を同時に施工する、1回の吹付高さを2m程度にする等の方法により、工事費を低減できると思われる。



写真-5 吹付完了

## 6. おわりに

この実験成果を生かし、今後、設計・施工の改良を重ねることにより、安定した吹付コンクリート強度の確保、自動化による施工精度の向上を図っていきたい。

最後に、工事の計画および実験施工にあたり、ご指導、ご協力いただきました関係各位に対し、深く感謝の意を表します。



写真-6 現場全景



## 57. 集水井掘削における深礎工事機械化工法の適用事例

東急建設㈱：\*柳原 好孝，福田 澄男  
鷹巣 征行

### 1. はじめに

集水井の掘削は他の基礎杭などの用途で採用される深礎工事に比較して機械化施工が難しい。その要因の第1は、施工条件の違いである。集水井は、山間部での施工が大半で、間隔が50m以上分散して設置されるため、複数の集水井を同時に施工することが少ない。また、大掛かりな工事用道路も設置されないのが一般的である。第2に構造上の相違があげられる。ライナプレートの他に補強リング、バーチカルステフィナを山留に使用する他、杭基礎で使用される仮設の昇降設備と異なり完成後にも使用される本設の昇降用タラップを掘削と並行して設置しなければならない、坑内作業スペースが制限され、大型掘削機による施工が難しい。

本報告では、このような機械化が難しいとされていた集水井工事に「深礎工事機械化工法」を適用し、得られた施工データをもとに、集水井工事において機械化を図るための施工上の改善点、導入効果について述べる。

### 2. 深礎工事機械化工法の概要

深礎工事機械化工法は、安全性と省人化を主眼に開発した深礎工事の機械化工法である。これまで作業員4人（深礎径3.5m時）で行っていた掘削・排土作業を、オペレータ1人で作業床上4～5m上部のステップからリモコンにより遠隔操作でき、1台の深礎工事ロボットで掘削から残土の搬出までの一連の作業を可能としている。深礎工事ロボットを写真-1に、主仕様を表-1に示す。ロボットは総重量が2tと軽量コンパクトであり、クローラ上部に旋回体を有し、旋回体の前後に土砂切削用のカッタとバケットまたは、バキューム（図-1）を配置している。ロボット掘削の適用範囲は深礎径3.0～6m、掘削深度20m程度であり、掘削地盤は普通土から、一軸圧縮強度10MPa程度の軟岩まで適用できる。



写真-1 深礎工事ロボット

表-1 深礎工事ロボット仕様

外形寸法	全長 1,750mm 全幅 1,190mm 全高 2,250mm
掘削装置	切削方式 ドラムカット式
	原動機 5.5kW 4P 電動機
走行装置	方式 クローラ
	走行速度 10m/min
	接地圧 40kPa
	原動機 油圧モータ
排土装置	方式 バキューム式
	管径 150mm
油圧装置	電動機 7.5kW 4P
	入力電源電圧 200V、50Hz
	吐出量 24ℓ/min
	吐出圧力 13.7MPa
	総出力 約13kW
	総重量 約2,130kg

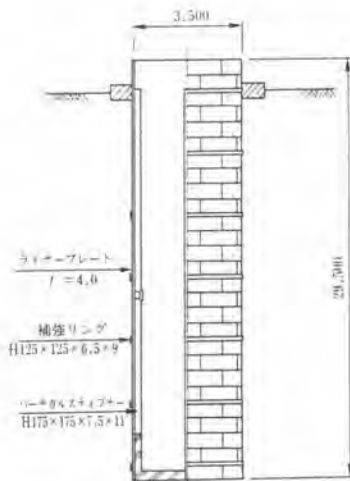


図-2 集水井の構造

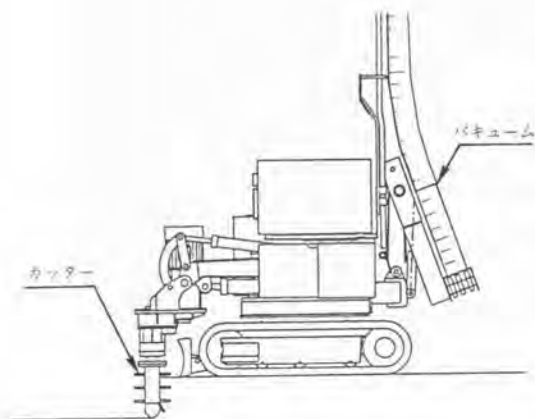


図-1 深礎工事ロボット

### 3. 集水井工事

#### 3.1 集水井工事の施工の現状と課題

集水井工は、横ボーリング工で集水できない深い部分の地下水を排除するため、井戸を施工する工事であり、施工法は深礎工事と同形態である(図-2)。集水井の掘削土留作業は、従来から地滑り地帯という特殊性もあって、人力作業が主体であった。作業は4人1組となって0.7m程度の深さまで掘削および排土積込を行い、次に1リング(0.5m)当り7枚のライナープレートを組み立てる作業工程の繰り返しである。作業員は常に狭い坑内で長時間苦渋作業を強いられる。また、坑内作業

は、掘削時の坑壁崩壊(ボイリングの発生)や、有毒ガス発生による酸素欠乏などの危険性を伴う作業でもある。これら多くの問題点があるにもかかわらず、これまで掘削作業条件の大幅な改善は施されておらず、①作業員の劣悪な作業環境からの解放、②安全性と施工能力の向上の技術開発が大きな課題になっていた。

#### 3.2 工事概要

図-3に本工事の施工フィールドの断面、およびロボット掘削のシステム構成を示す。また、仮設の

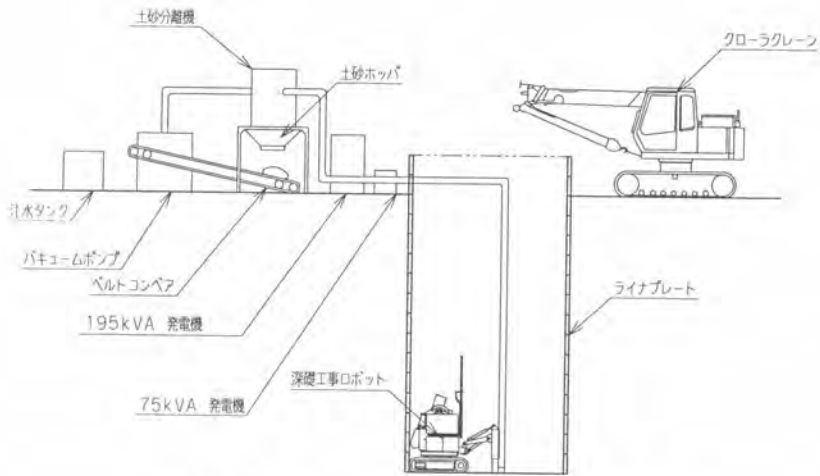


図-3 深礎工事機械化工法システム構成図



写真-2 現場施工全景

全景を写真-2に示す。集水井の構造は、直径 $\phi$ 3500、深度29.5mの規模で山留はライナプレート、補強リング、パーティカルスティフナである。

施工はロボットをクレーンで掘削位置に移動後、遠隔操作により1層を300mmとして、2層すなわち600mm程度の掘削を行う。掘削された残土は、地上のループロー式真空ポンプによって排土ホース( $\phi$ 150mm)で吸引し移送され、混合土砂は地上の土砂分離機内で、気流と土砂に分離され、ホッパに集積される。さらに、ベルトコンベアによってダンプトラックに積み込まれ現場から搬出される。掘削終了後、ロボットをクレーンにより引き上げ、ライナプレート、補強リング、パーティカルスティフナ、昇降階段等の組立作業を行う掘削土留1サイクル500mmごとの繰り返し作業である。

表-2 土質試験結果

杭番号 深度	W-21 GL-5.0	W-21 GL-12.0	W-21 GL-19.0	W-21 GL-23.5
土粒子の密度 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	2.650	2.574	2.642	2.606
自然含水費 $\omega_n$ %	38.6	34.9	25.8	20.7
礫分	0.5	60.1	31.1	0
砂分	90.1	20.2	42.8	66.3
シルト分	5.9	13.9	10.6	20.7
粘度分	3.5	5.8	15.5	13
均等係数 $U_c$	3.58	189.5		68.18
曲率係数 $U_c'$	1.16	0.585		13.60
最大粒径 mm	1.76	19.1	19.1	2.00
分類名	砂	礫質土	砂質土	砂質土
分類記号	S	GF	SF	SF

### 3.3 土質条件

掘削した集水井の土質は、GLより-13.8mまでが強風化砂岩であり、13.8m以深は砂岩層となっている。表-2に各深度の土質試験結果を示す。

## 4. 施工調査の概要

### 4.1 調査内容

施工では、次の点に主眼をおいて調査を行った。

#### 1) 省人化

オペレータ1人による掘削が可能か。

#### 2) 施工性

深礎工事ロボットの施工能力、およびバキュームの排土能力（掘削適用深度）。

#### 3) 安全性

作業員の安全性が向上しているか。

### 4.2 施工結果

- ①ロボットの運転・操作は特別な法定資格を必要とせず、オペレータが2日程度訓練すれば習得でき、ロボット1台で全断面の機械掘削が可能となり、従来工法より省人化施工が実現できた。
- ②砂岩層の一軸圧縮強度は3~5MPaで、切削カッタで十分に掘削できた。
- ③バキューム排土は掘削深度25m程度から極端に作業効率が落ちることから、掘削深度20m程度までが有効適用範囲と考えられる。
- ④従来の集水井工事の掘削土留作業は、人力併用機械掘削（クラムシェルやミニバックホウ）で軟岩程度の地質条件の標準作業量は0.4m/日程度である。今回の施工でもほぼ同程度の掘削能力

表-3 施工結果

土質		強風化砂岩	砂岩
深さ (m)		8.3	15.2
掘削	準備	880	2102
	掘削排土	4760	12515
	移動		200
	後片付け	440	485
	小計	6080	15302
井枠材組立	準備	150	407
	ライナプレート組立	660	757
	補強リング組立	60	154
	梯子・踊り場組立	300	600
	パーチカルスティフナ組立	280	531
	後片付け	60	222
	小計	1510	2671
その他		1540	1943
合計		9130	19916
作業日数 (日)		19.0	41.5
1日当り掘削長 (m/日)		0.44	0.37

であった（施工調査結果を表-3に示す）。

- ⑤バキューム排土方式の場合、掘削土の土質が粘性土およびシルト質系で高含水比の土質条件では、バキュームホース内に土砂が付着し閉塞を起こすため閉塞対策が必要となった。
- ⑥集水井工事での代表的な事故は、飛来落下物による作業員の負傷、有毒ガス発生、酸素欠乏など坑内掘削作業時に発生するものが多い。したがって、掘削中の杭底部での作業を無人化した本工法は安全性が大きく向上したといえる。

#### 4.3 バキューム排土の閉塞対策

バキュームホース内は掘削土の付着により施工の初期段階においてたびたび閉塞した。要因としては、切削ブリの土質試験結果からも明らかなように、GL-5.0m地点の土質は砂分90.1%で、土質分類上は砂となるが、シルト分5.9%、粘土分3.5%で、自然含水比が38.6%と高く、粘着性に富む土質条件であったと考えられる。

閉塞箇所は、ロボットのバキューム排土取り込み用ロータリーフィーダ部、バキュームホース内では曲管部と接続部、排土装置のタンク内部であった。このため、施工現場では次のような閉塞対策で対応した。

##### 1) 高分子系吸水剤使用による搬送土の土質改良

搬送経路の閉塞については、高分子系の吸水剤で対応した。添加剤は高いゲル強度を有し、土粒子間のベアリング効果が期待でき、流動化しやすく、固化しても減圧で水分を放出せず、環境に対しても無

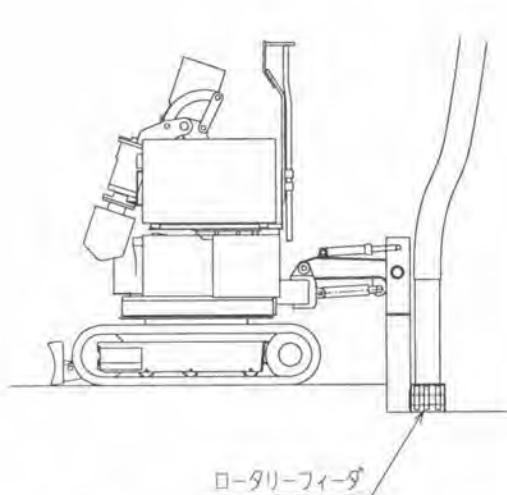


図-4 ロータリーフィーダ

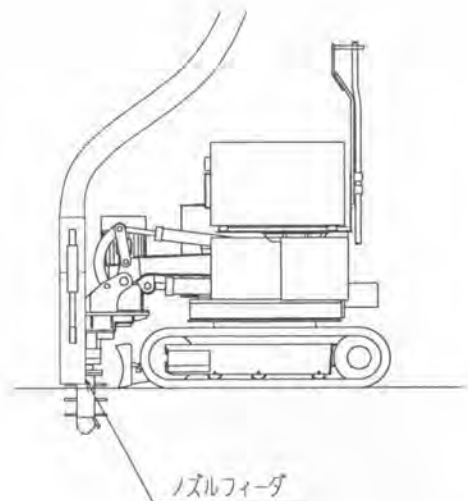


図-5 ノズルフィーダ

害であるアクリル酸ナトリウム混合物を選定した。なお散布量は、使用量と管内の閉塞状況の現地試験結果に基づき1㎡当り0.7kgとし、混合形態は地山に直接散布し、切削カッタによる掘削中の自然攪拌混合とした。

## 2) 吸引ノズルの改良

ロータリーフィーダ部も掘削土が粘着性に富むため閉塞した。改良前の掘削ロボットには、図-4に示すように当初、ロータリーフィーダを掘削用カッタードラムと対向した部分に装着していたが、フィーダー部および各部の閉塞を解消するためには、高分子吸水剤による改良土を短時間で搬送する必要があり、図-5に示すノズルフィーダをカッタードラム側面に伸縮可能にして取付け、掘削後、ただちにバキューム排土が可能な構造に改良した。

以上の対策の結果、経路の閉塞を軽減することができ、定期的な清掃で完全閉塞を回避することができた。

## 5.おわりに

深礎工事の中でも最も機械化が難しいとされる地滑り対策工の集水井工事に、深礎工事ロボットによる掘削とバキューム排土を用いた「深礎工事機械化工法」を適用した。その結果、集水井における掘削から搬出までの連続的施工が可能であることが検証できた。しかし、掘削地盤が粘着性が高い地質の場合、バキュームホースの閉塞対策が必須であることが判明した。

今後は、掘削適用土質を軟岩 (5MPa) から中硬岩掘削までの幅広い土質に拡張し、さらに山間部など急峻な地形での施工にも対応できるよう開発を進めていきたい。

## 58. 深礎杭工事中用小型式移動エレベータの開発

清水建設(株)：\*佐藤 成美、大嶋 茂樹  
野村 肇

### 1. はじめに

近年建設産業の内、インフラ整備の基幹として高い伸びを示している高速道路や主要な幹線道路は、山岳地の急峻な所を通過するようになってきた。しかしこのような場所での地滑り抑止杭やコンクリート構造物用場所打ちコンクリート杭の施工は、通常使用する杭打機では大型で設置が困難であり、人力掘削による深礎工法に頼らざるを得ないのが現状である。この工法は山岳地の傾斜地に限らず、市街地内の狭隘な場所、鉄道線間工事、既設構造物の路下等でも簡易な機械設備で施工でき、騒音振動も少なく、あらゆる地盤にも適用可能で、目視確認もできる等、数々の優れた面がある工法でもあるので、人力に頼る安全性・作業環境に課題が多く残されている非近代的な施工方法であるにもかかわらず継続される由縁であろう。

作業する場所は主として杭底部であり、深さは20～30m程度の深さとなるものが多いが、深さは45mになる場合も往々にしてある。作業員の昇降手段としては、通常深さ15m程度までは梯子を使い、それ以上になると、工事予算との関係もあるがエレベーターを設置することになる。梯子での昇降は15mでも大変な労力を使い、安全上に問題がある。このように人力に頼る工法であるが故にどうしても危険な苦渋作業が避けられず、若い労働力が維持できずに高齢化の一途を辿っているのが現状である。早急に機械化を進めて行かなければならない。

今回、日常作業の内使用頻度が高く安全性にも課題のある昇降用機械設備の改善を行うこととし、作業員が使いやすいことを基本理念に、掘削のスピード化にも貢献ができるエレベーターを開発、実用化した。

### 2. 機械概要

当機は、現場内の不陸な場所を自由に移動できるように、クローラ式走行装置を設けた油圧ショベルをベースにしており、その旋回架台にはエレベーターケージへの乗降用デッキ、定置式エレベータのガイドレールに相当するウエイト付きガイドロープ、ガイドロープを伝って昇降する3人乗りケージ及びこれら各々の巻き上げ装置を搭載している。設置方法は非常に簡単であり、設置位置まで当機を移動した後、ガイドロープで吊られた緊張用ウエイトを杭底部まで下げるだけですみ、後は押し釦スイッチを押すだけで自由に昇降できる。又撤収方法も簡単で、ケージと緊張用ウエイトを巻き上げるだけで済み設置撤収とも所要時間は5分程度で完了する。尚ガイドロープは、800Kg fのカウンターウエイトで緊張しているので、ケージ昇降中の大きな揺れはない。

### 3. 機械仕様

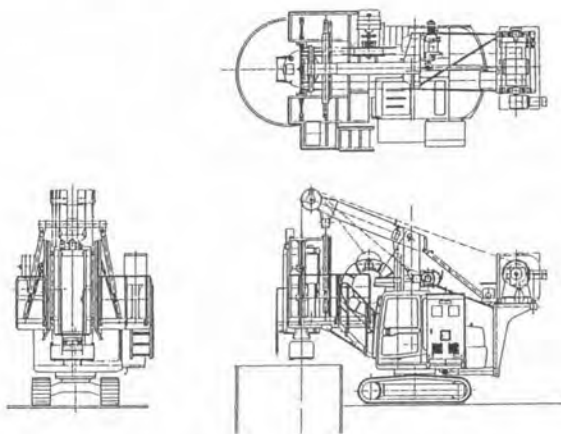
- ・搭乗人員 3名 最大積載量 240Kg f
- ・ケージ昇降速度 30m/min
- ・最大降下長 40m
- ・全装備重量 約12ton
- ・動力
  - 巻上げ装置関係 200/220V 外部電源
  - 走行・旋回関係 ディーゼルエンジン
- ・機体寸法
 

全長	6.585m
全幅	3.370m
全高	5.145m
- ・ケージ巻上げ装置 5.5Kw (インバーター制御)
  - ロープ径  $\phi 12\text{mm}$  (S・Zヨリ)
  - ブレーキ装置 ・モーターブレーキ
  - ・油圧ディスクブレーキ
- ・ワイヤーガイド巻上げ装置 2.5Kw
  - ロープ径  $\phi 12\text{mm}$
- ・ベースマシン 0.25m<sup>3</sup>級 油圧ショベル
  - ・走行速度 2m/min
  - ・旋回速度 1rpmに設定
- ・ケージ (照明装置・インターホーン付)
 

全長	2.000m
外径	$\phi 900\text{mm}$
- ・機械全体図

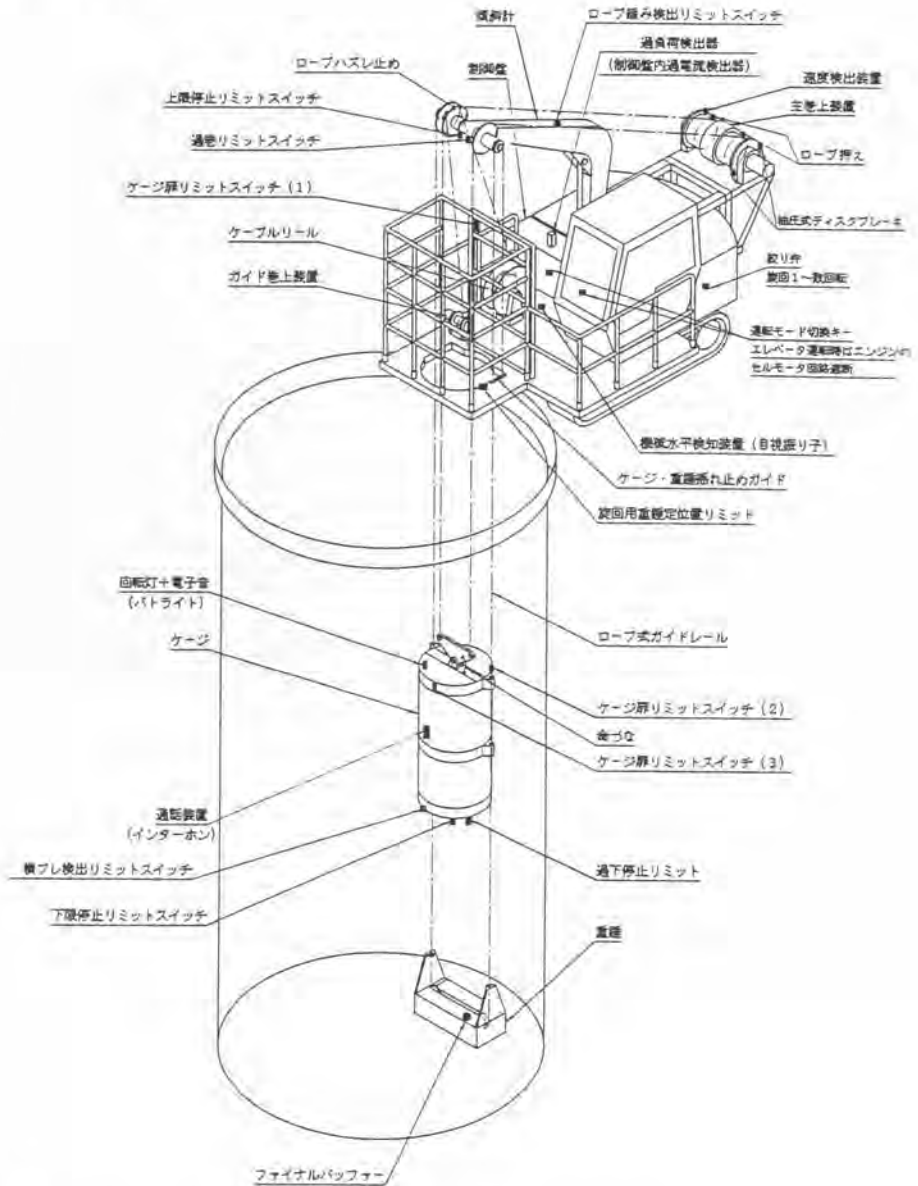


現場使用状況





・安全装置配置図



4. 特 徴

- 1) 足廻りにクローラーを装着したエレベータであるので、移動が簡単にできる。
- 2) 設置、撤収も短時間でできる。
- 3) 従来の定置式エレベータの場合、各杭に1台ずつのエレベータが必要であったが、当機であれば1台で2〜3本の杭を兼用して使用できる。

- 4) 定置式（固定型）エレベータと異なり、移動式エレベータが移動・撤収した後は、杭の内壁には何の障害物も残らないので、掘削機が杭内部を自由に動くことができる。特に深さ20mまでの掘削にテレスコ式コラムを使った場合には掘削時間を短縮することができ、工期の短縮、工事費の削減が可能となる。
- 5) 定置式エレベータをテレスコ式コラム等の掘削機と併用する場合には、φ3, 5m以上の杭にしか適用出来ないが、当機は撤収移動が容易にできるので、更に小さな径の杭にでも十分適用出来る。
- 6) 当機は深礎工法用以外の工種へも転用ができ、例えばLNG地下タンク、地下鉄工事、シールド立坑等が考えられる。

## 5. 開発の成果・実績

### 1) 設置・撤収・移動手間の低減 (1サイクル 設置→撤去→移動→別の杭へ設置迄)

	定置式EV	移動式EV	差
a) 工 程	2.0	0.5	1.5日短縮
b) 人 工	5.0	1.0	4.0人削減
c) クレーン車	1.0	0.5	0.5台削減

### 2) 坑内作業性の向上

定置式エレベータの場合には、地上部設備が掘削機に接触し障害となっていたが、当機の場合には移動撤収ができるため何の障害物もなくなるので、機械による掘削可能深度が5m延長できた。

(上記により12mから17mまで掘削可となり、20mまでの掘削工程が28日から24日に短縮された)

### 3) 安全性の向上

- a) 定置式と違い掘削開始時から使用できる。
- b) ガイドロープ延長方式であるため、エレベータから直接坑内切羽へ降り立つことができ且つ、杭下部壁面へのガイドロープ緊張用金具の取り付け、盛り替え作業が不要となる。
- c) 定置式エレベータが使えない小口径深礎杭用にも使える。

## 6. 今後の展開

本機は、現在奈良県 近畿地方建設局大滝ダム工事事務所発注の『宮の平宅造作業所』で稼働中である。今後現場での実証を重ね、低コスト化の検討を主に、作業性・生産性に寄与する機械として行きたい。

## 59. 機械式シート敷設工法

東洋建設(株)：\*牧野 栄一，松崎 哲夫  
富沢 桂太

### 1. はじめに

防砂シート敷設工法における潜水士による捨石均し作業及び防砂シートの人力敷設作業を削減することにより、大水深海域において施工可能な機械式防砂シート敷設工法を開発したので、その概要について報告する。

### 2. 開発の背景

土砂漏出防止工法は、潮位の干満等で発生する海水の流れによる埋立土砂の外部への流出を防ぐことを目的として施工される工種である。

浅海域では、潜水士による捨石均しの後、防砂シートを敷設することで施工されてきた。しかし、近年、大水深海域における埋立護岸築造の必要性が高まり、漏出防止工の対象区域も大水深域へと変化しつつある。

これに伴い、従来工法では安全性・施工能率・大水深域での作業可能な熟練潜水士の確保の面等で対応が困難となり、漏出防止工における従来の防砂シート工法では、浅海域（水深15m程度）においては十分対応できるが、大水深海域（水深40m）においては、人力施工が非常に困難であるので適用は難しいと考えられていた。

### 3. 工法概要

捨石投入状態（ $\pm 70\text{cm}$ ）の不陸に追従可能な高伸度型シート（伸び率130%）の開発と、これを機械化敷設する敷設機の開発により、潜水士の人力作業を大幅に削減した機械式シート敷設工法を開発した。

図1は施工イメージ図であり、施工方法は防砂シートを鋼管軸にロール状に巻取ったシートユニットをクレーン船により敷設位置に吊り降ろし、潜水士によつて端部を固定した後、捨石マウンド面を転がし、クレーン船よりの遠隔操作によりシートの敷設を行う。

シートユニットは工場にて制作し、現地へ搬入するが、陸上輸送上の制限よりシートの製作最大寸法は13mとなる。敷設後のシートの接続はシートのラップ幅（3m）を確保することにより対処し、これにより潜水士の接続作業を削減した。

工法の特長として、

- ・ シートの高伸度特性により、捨石マウンドの均しが不要である。
- ・ 機械化敷設により、大水深から浅海域まで施工が可能である。
- ・ 急な法勾配においても施工が可能である。

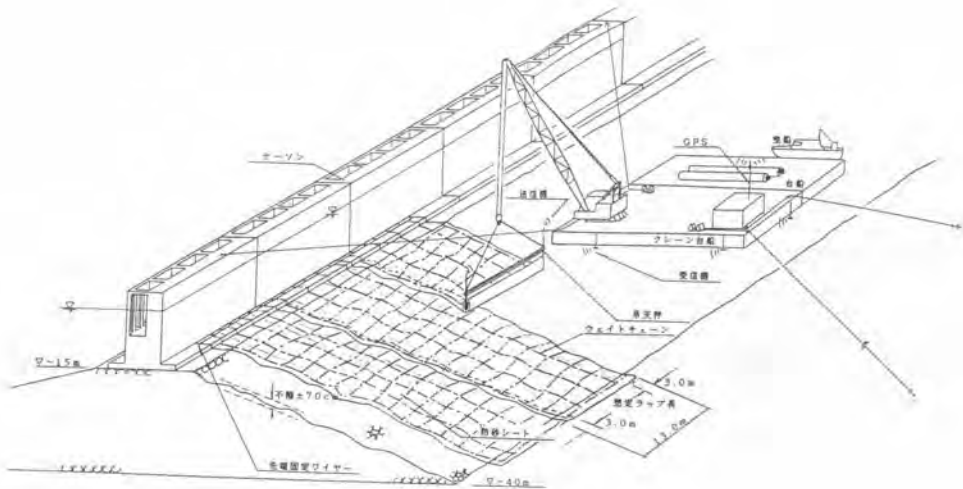


図1 施工イメージ図

- ・ 施工管理システムの装備により、高精度の施工管理が可能である。
- 等が挙げられ、大水深域でのシート敷設において、
- ① 捨石均し費が不要なので、建設費の低廉化が図れる。
  - ② 潜水作業が大幅に削減されるので、安全性の向上が図れる。
  - ③ 捨石均し工程が不要なので、工程の短縮が図れる。
- 等の効果が実現できる。

写真1は、平成8年2月に横浜市南本牧地区で行った実海域公開試験の状況である。

シートを能率良く、正確に敷設するため敷設機には次の機能が装備されている。

- シート繰出量の計測機能
- シート繰出量を制御するブレーキ機能
- 超音波を利用した水中位置出し機能
- 水中ビデオによる敷設状況監視機能
- マウンド地盤との離隔距離計測機能

作業船の船位はGPSとジャイロコンパスにより計測し、敷設機の水中共位置は超音波送受信機により計測する。



写真1 実海域公開試験状況

写真2は施工管理用のCRT画面であり、画面には前回敷設のシートの軌跡、今回の敷設計画区域、敷設中の敷設機の水中共位置がリアルタイムに表示されており、オペレータはこの画面に従い、操船および敷設機位置を制御し、必要なラップ幅を確保しながらシートの敷設を行う。

#### 4. 防砂シート材料

防砂シートに求められる特性は、

- ・大きな不陸に対する追従性  
均しが施されず、投入された状態の捨石マウンドの不陸は±70cm
- ・敷設後の敷設面の変形に対する追従性
- ・突起及び埋立柱投入に対する耐久性
- ・経年変化に対する耐久性

等であるが、これらの特性を満足させるため高伸度型シートを開発した。

##### 【高伸度シートの特性】

材 質：ポリエステル 100%

化学的に安定しており、優れた耐候性、強度を有する。

織構成：多重織り3層構造

伸 度：破断時伸度

シート本体 130%以上

縫合部 100%以上

強 度：引張強度

600Kg f / 3cm以上

引裂強度

650Kg f以上

図3に高伸度型シートと従来型シートの特性の比較を示す。従来型シートは伸び率15%前後で破断するが、高伸度型シートの破断は伸び率130%と優れた高伸度特性を有する。

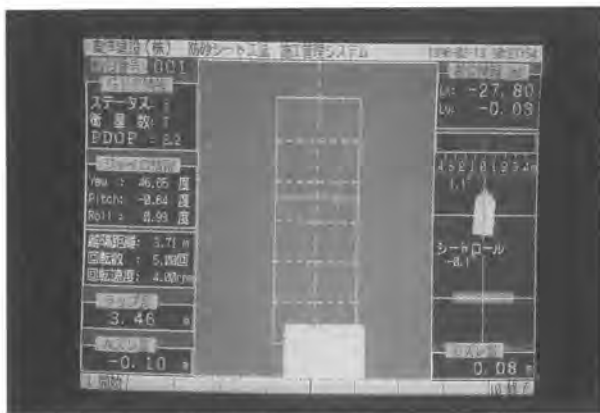
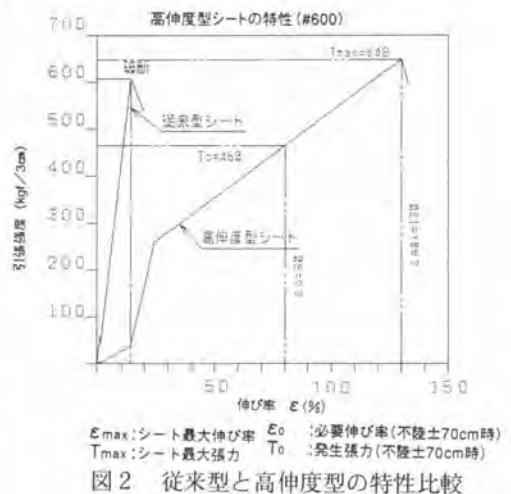


写真2 CRT画面



シートの追従性、埋立柱投入時のシート耐破損性を確認するため、陸上において±70mの不陸を造成し、落下高3.5m(投入材の水中最終速度に相当する)で埋立柱を投入する陸上載荷試験を実施した

状況を写真3に示す。試験結果は、シートを貫通する破損は皆無でマウンドにシートが十分追従しており、防砂シートに必要な強度・伸び率が確認できた。

## 5. 防砂シート構造

写真4は、実海域公開試験で使用した高伸度型防砂シートの状況である。シートには、Φ16mmのウエイトチェーン（重量5kg/m）が2mピッチの格子状に取り付けられおり、これにより敷設時の浮力や潮流により生じるシートの捲れ上がり、及びシート本体に初期張力が生じるのを防止する。

ウエイトチェーンは結束材によりシートに取り付けられているが、埋立柱投入時には結束材が埋立柱の重量により切断され、シートと分離する仕組みとなっている。



写真4 シート状況図



写真3 陸上載荷試験（落下高3.5m）

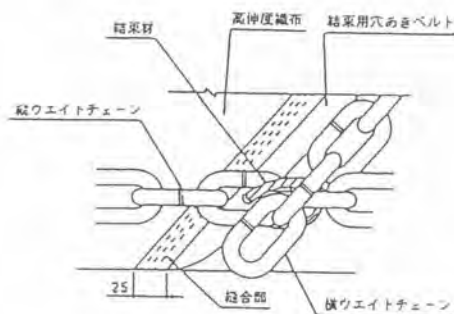


図3 結束部詳細

## 6. 実海域公開試験

本工法の実用性を検証するため実海域での公開試験を実施した。

実験月日 平成8年2月13日～15日

場 所 横浜市南本牧地区

敷設枚数 4枚（幅1.3m×長さ30m）

敷設水深 水深5m～2.2m（図4参照）

敷設完了後、潜水士により測定したシート敷設出来形図を図5に示す。

### 【実験結果】

①シートの有効敷設幅の減少

シートが不陸に追従することにより、シートの有効敷設幅が減少する。この減少量は不陸形状により異なると予想されるが、投入管理状態の不陸にたいしては、シート幅の約10%程度である。また、シートの展張方向に対しては、約2%程度生じる。

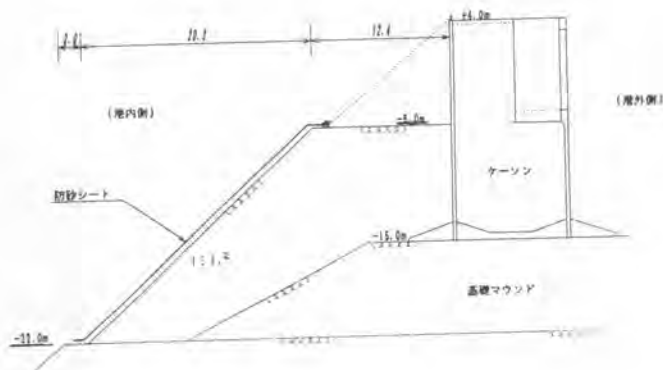


図4 シート敷設断面図

②シートの敷設精度

敷設目標位置に対して最大1m程度の、敷設誤差が生じる。敷設誤差を生じる主要因としては、水中位置計測の誤差、敷設機の動揺による誤差が挙げられる。

③シートのラップ長

設計上必要とされるラップ長は0.5mである。3mのラップ長を設定してシートを敷設したところ、最低でも1.5mのラップ長が確保された。但し、埋立柱を投入すると、さらにシートが不陸に巻き込まれることが予想されるので、施工上適正な設定ラップ長は今後さらに研究する必要がある。

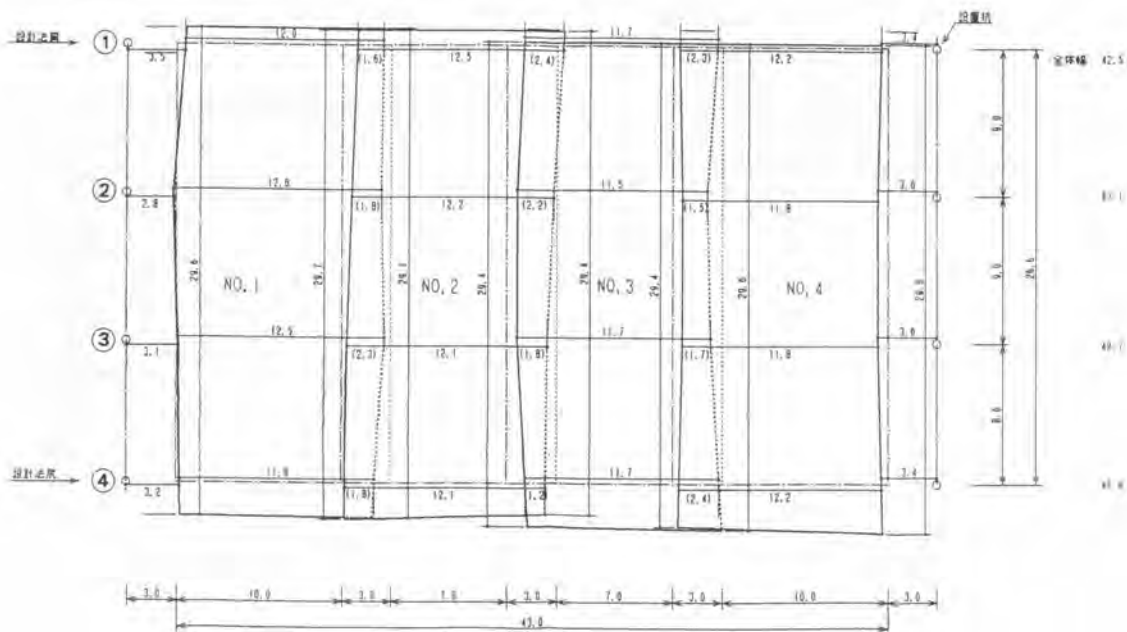


図5 シート敷設出来形図

## 7. 在来のシート工法との工費比較

在来の潜水士によるシート敷設工法は水深が深くなると施工能率が急激に低下し施工費が割高になるのに対し、機械式シート敷設工法の施工能率・施工コストは施工水深にほとんど影響を受けない。(図6参照)

公開実験で施工した条件では、機械式シート敷設工法の施工単価は約14千円/m<sup>2</sup>となるが、これを在来のシート工法と工費比較をした場合に機械式の施工費が有利になる水深は15m以深となる。

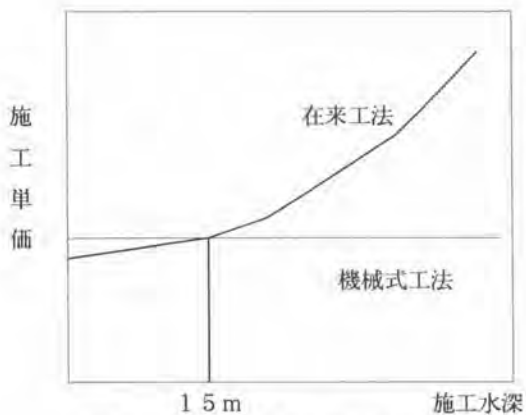


図6 従来工法との工費比較図

注記：

- ① 比較条件は、南本牧の施工条件による
- ② 従来工法は、捨石均し+帆布敷設(クレーン付き台船使用)
- ③ 機械式敷設機の能力は、実験実績より約900m<sup>2</sup>/日

## おわりに

本工法は帆布以外のシート材を使用した施工も可能であり、併せて機械化工法であるため、潜水作業の困難な条件(水中視界の極端に悪い海域、作業足場を確保できない浮泥層や不陸の大きな地盤等)でのシートの敷設ができる点から、護岸の土砂漏出防止工だけでなく、さまざまな工種への適用が可能であり、今後多方面への用途研究を進めていく計画である。



# 60. 液状化防止対策 テラシステム

東洋建設(株)：\*伊佐野 隆、佐藤 道祐  
佐藤 毅

## 1. はじめに

我が国の経済基盤である大都市部は、港湾の埋め立て地や河川に堆積した沖積低地に位置している。このような場所で巨大地震が発生すると、飽和した緩い砂地盤は液状化し、その上部に建設された構造物やライフライン施設には大きな被害が及ぼされる。

テラシステムは、液状化対策として開発された工法である。今回は、室内実験および金沢と西宮においての実機による実証実験における成果を報告する。

## 2. 工法概要

### (1)液状化対策工法の中のテラシステムの位置づけ

『テラシステムは密度増大、有効応力の増大を原理とする振動締固め工法である。』

液状化対策工法の中のテラシステムの位置づけとしては、図-2.1に示すサンドコンパクション工法・振動棒工法と同様の位置に分類される工法である。この分類にある工法は、細粒分の少ない緩い飽和砂地盤の液状化対策工において最も多くの施工実績を有している。

### (2)テラシステムの特徴

『TERRA (Toyo Earth Refor mation Rapid/Auto densification) System (吸水・載荷併用型振動締固め工法)は、中空円筒鋼管の先端に吸水機構を設け、強制的に過剰間隙水圧の消散を図ることが第一の特徴である。』

それ以外に、複数の砂供給孔から鋼管内部への補給材の供給・鋼管先端の開閉蓋による補給材の突固め・載荷板による地表面付近の締固め・固定式土砂ホッパーによる補給材の安定供給を特徴としている。

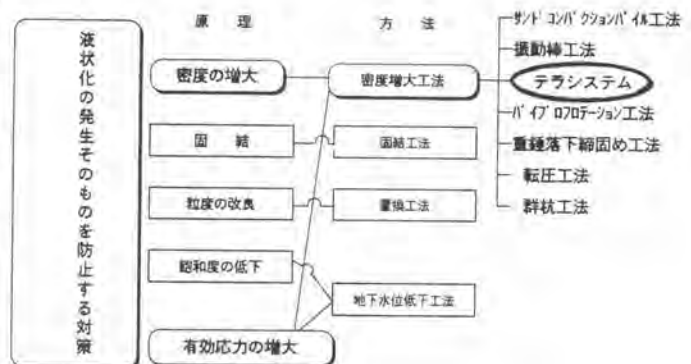


図-2.1 液状化対策工法の中のテラシステムの位置づけ

図-2.2にシステム概念図、図-2.3に吸水・排水サイクル図、写真-2.1にロッド先端吸水機構、写真-2.2に載荷板兼用固定式土砂ホッパーを示す。

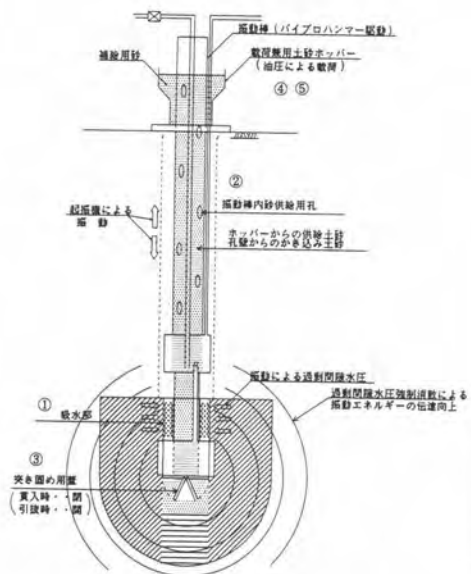


図-2.2 システム概念図

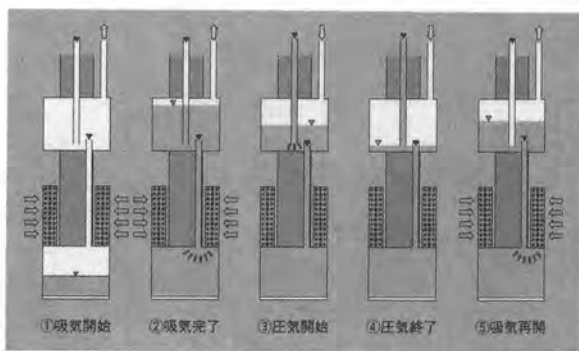


図-2.3 吸水・排水サイクル図



写真-2.1 ロッド先端吸水機構



写真-2.2 振動兼用固定式土砂ホッパー

### (3) テラシステムの地盤締固めメカニズム

バイプロハンマーの振動によりロッド周辺の間隙水圧は上昇する。この時発生する過剰間隙水圧を先端のストレーナーからの吸水により強制的に消散させることにより振動エネルギーを広範囲に効率よく伝達できるので、従来の振動締固め工法と比較して、地盤をより素早く、より高い密度に改良できる。

図-2.4に地盤締固めメカニズムを示す。

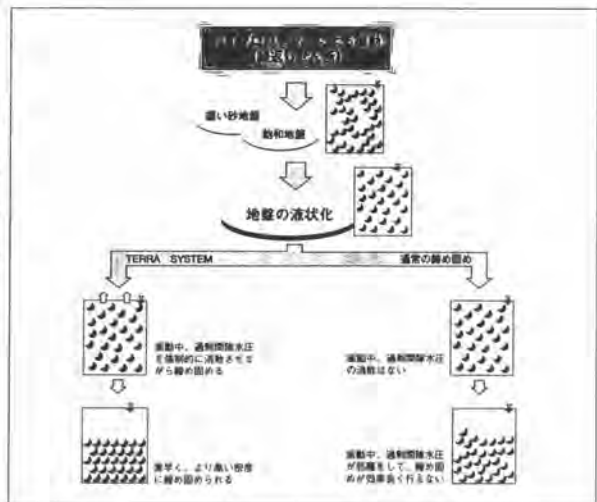


図-2.4 地盤締固めメカニズム

### (4) 本工法と従来工法との比較

本工法と従来の振動締固め工法の比較を、表-2.1テラシステム・従来工法比較表に示す。

表-2.1 テラシステム・従来工法比較表

(丸番号は、図-2.2 システム概念図の番号に対応)

比較項目	テラシステム	従来工法
①吸水機構	過剰間隙水圧の強制消散により振動エネルギーの伝搬が広範囲に渡り、改良範囲の拡張が見込める。	間隙水圧が自然消散であり、左記の効果が得られない。
②砂供給孔付き中空鋼管	土砂ホッパーからの補給材の他、地盤中の土砂も供給材として使用可能である。	砂供給孔がないため、鋼管上部より投入地盤中の土砂の補給が得られない。
③鋼管先端の開閉蓋	補給材を突固めることにより、周辺地盤への振動伝搬・高密度化・コンパクション効果により粘性土を挟む場合も対応可能である。	同左
④載荷板	地表に載荷することにより、地表面付近も十分に締固めることができる。	表層部の乱れにより、地表面付近はゆるむ傾向がある。
⑤固定式土砂ホッパー	固定式で、上下しないため安定した砂の補給と安全施工ができる。	砂供給用スキップバケットの上下により十分注意して施工する必要がある。

### 3. 施工機械

テラシステムに使用する施工機械はクローラ式サンドパイル杭打機をベースマシンとし、吸水システムのある専用ロッド・載荷装置・その他の付帯装置を搭載している。

#### ①ベースマシン

- ・クローラ式サンドパイル打設機

#### ②吸水・載荷併用振動締めシステム

- ・パイプロハンマー
- ・振動ロッド
- ・吸水・排水装置
- ・載荷装置
- ・発電機
- ・コンプレッサー
- ・真空ポンプ他

#### ③付帯設備

- ・トラクターショベル
- ・水槽
- ・水ジェット他

図-3.1に施工機械の仕様・規格を示す。

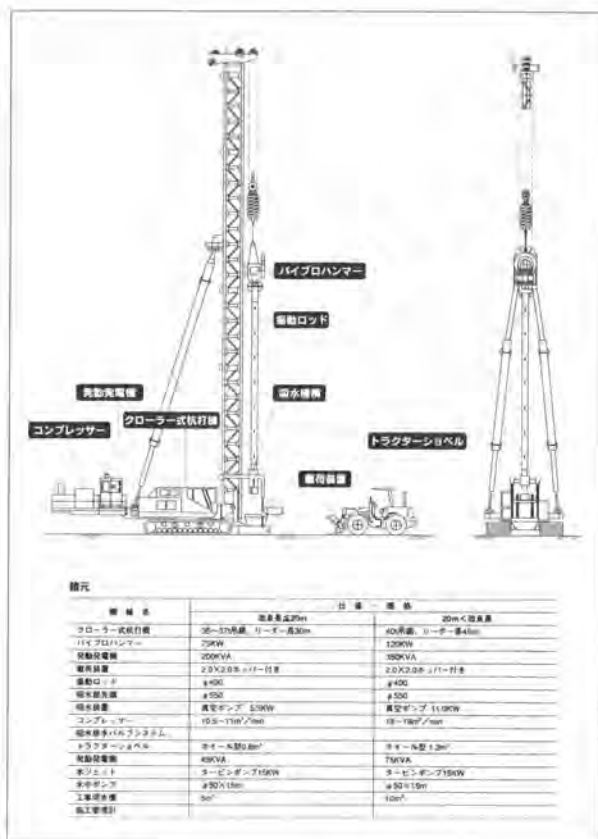


図-3.1 施工機械の仕様・規格

### 4. 施工手順

テラシステムの施行サイクルを以下に示す。

#### ①機械セット

改良機を所定の位置に移動し、ロッドの鉛直性を確認しながらロッドおよび載荷板をセットし、供給材をホッパーに投入する。

#### ②振動ロッド貫入

鉛直性を確保しながら、ロッドを所定深度まで貫入する。吸水部が地下水位面に到達した時点で吸水を開始する。供給材は常時補給する。貫入時、表層が硬い場合は貫入補助として、ウォータージェットを使用する。

#### ③吸水・載荷併用振動締め

ロッドが所定深度まで達すると、ロッドの引抜き・再貫入を繰り返し振動締めを行う。標準サイクルは3m引抜き・2m再貫入を繰り返し、加振時間は1m当たり10秒とする。砂杭の締め具合（杭間強度）の目安は、パイプロハンマーの電流値で確認する。

#### ④吸水完了

ロッド先端が、地下水位面を越えると、吸水を終了する。

#### ⑤縮固め完了

現地盤までの必要な供給材の補給を行いながら、載荷振動縮固めを行う。ウォータージェットにて貫入補助を必要とする表層地盤では、通常施工を行うと強度増加が大きくなりすぎ、次の砂杭の貫入が不能となる場合があるので、表層付近の施工方法は十分検討する必要がある。

#### ⑥ロッド引抜き完了

現地盤までの縮固めが終了するとロッドを引上げる。

#### ⑦載荷板引上げ・移動開始

載荷板を引上げ、次の施工位置へ移動する。吸水部の目詰まり状況によっては、洗浄もしくは交換する。

図-4.1にテラシステム施工フロー図を示す。

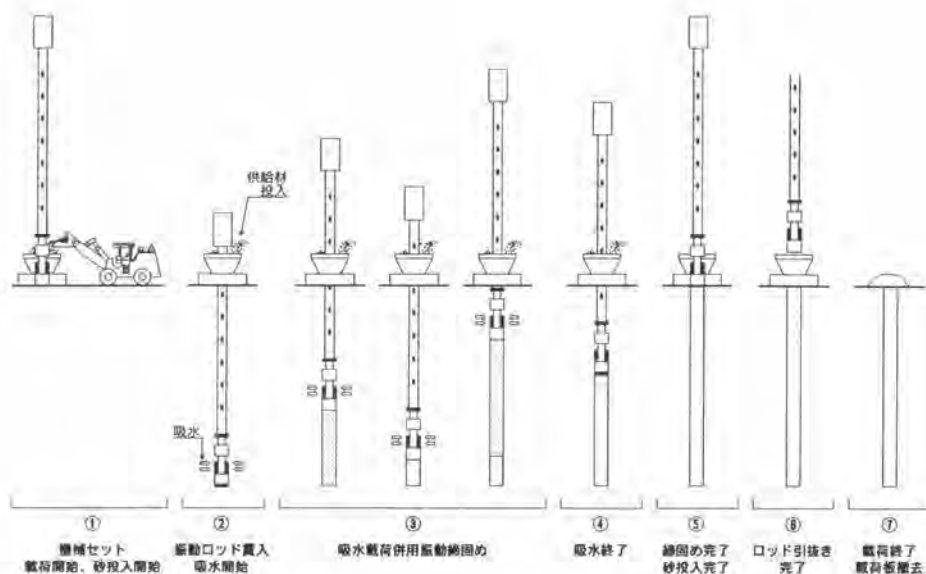


図-4.1 テラシステム施工フロー図

## 5. 設計手順

テラシステムの設計手順は、以下のように行う。(図-5.1 設計手順参照)

- ① 対象地盤の液状化強度を判定する。
- ② 対象地盤が液状化すると判定された場合、所定の液状化強度 ( $F_{li} \geq 1.0$ ) になるような、必要N値を算出する。
- ③ ②の必要N値を満たす改良ピッチを、これまでの実証実験から得られた図-5.2の改良ピッチ算定図より求める。

テラスシステムの設計により求めた改良ピッチは、事前検討による目標値であることから、実施工においては必要N値を満足する改良ピッチを、試験施工により決定する。

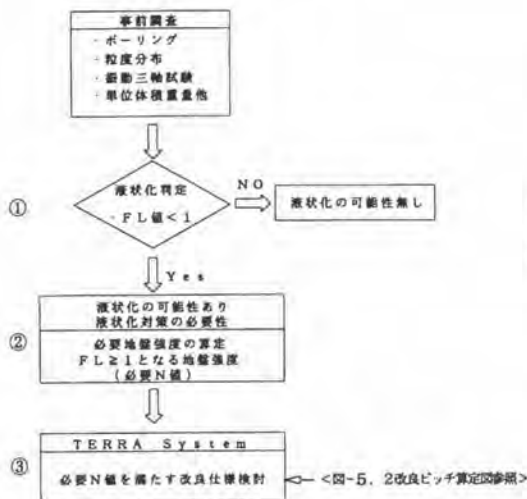


図-5.1 設計手順

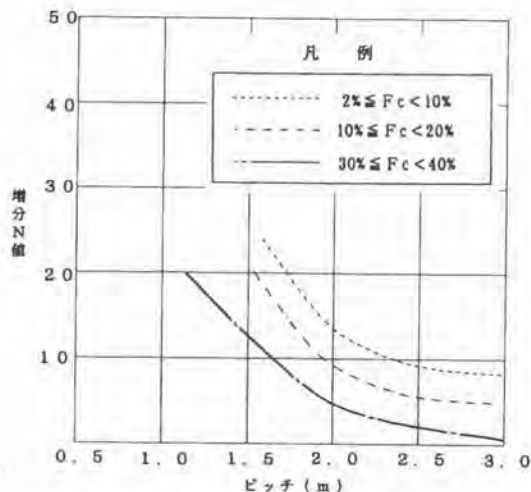


図-5.2 改良ピッチ算定図

## 6. 作業能率

(1) 1日当たりの施工本数

$$Q = \frac{60 \times T \times E}{C_m}$$

Q : 1日当たり施工本数 (本/日)

T : 打設機の標準運転時間 (6.1時間)

E : 現場作業効率 (普通0.7, やや悪い0.6)

C<sub>m</sub> : 1本当たりのサイクルタイム (分/本)

(2) 1本当たりのサイクルタイム

$$C_m = \frac{L1}{V1} + \frac{L2}{V2} + t$$

C<sub>m</sub> : 1本当たりのサイクルタイム (分/本)

L1 : 貫入長 (m)

V1 : 貫入速度 (m/分) V1=3.0m/分

(表層部がN値10を越える場合は別途考慮)

L2 : 改良長 (m)

V2 : 改良速度 (m/分) 1.2m/分標準

t : 移動、杭芯出し、ストレーナー洗浄、  
取り替え時間等 t=4.0分

## 7. おわりに

1964年の新潟地震以来、砂地盤の液状化問題が注目されはじめ、昨年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、多くの人命が奪われ、構造物やライフライン施設に大きな被害が発生した。

テラスシステムはこのような状況のなか、液状化対策工法として開発され、従来工法に比べ改良範囲を広げることができる示唆が得られたため、今後、同工法の実績づくりに向けて、努力を続ける所存である。

# 61. 地下連続壁掘削精度管理システムの開発

前田建設工業(株)：\*宮崎勇一郎，小川 朗二  
浅井 秀明

## 1. はじめに

近年、地下連続壁は、高度多様化のために大深度化が求められてきた。そのため、壁体の施工精度については、厳しい精度が要求されてきた。

今回、当社は、新しく導入した大深度・大壁厚対応の水平多軸回転式掘削機について、正確で効率的な運転管理を行うため、リアルタイムで絶対位置を検出する掘削精度管理システムの開発を行った。本文は、このシステムの紹介と開発成果について報告するものである。

## 2. 掘削機の概要

今回適用した掘削機は、水平多軸回転式掘削機BC30とした。掘削機は、油圧モーターによりカッタードラムを回転し、ドラムに取り付けられたティースによって地盤を切削する回転式掘削機である。切削土砂は、大容量・高揚程の排泥ポンプによって安定液とともに地上に排出され、土砂分離設備で安定液と分離される。

この掘削機の特徴は次の通りである。

- ①粘土層から砂礫層、岩盤層まで掘削が可能
- ②掘削と排土の連続運転により、高速施工が可能

BC30掘削機の標準的な構成は、図1に示す通りである。掘削管理は、掘削速度の制御、アジャスタブルガイドの活用による姿勢制御、定張力ウインチのコンピュータ制御等を行っているが、今回開発した掘削精度管理システムは、これらの機能をベースとして、さらに高度な精度管理を行うものである。



写真1 BC30掘削機

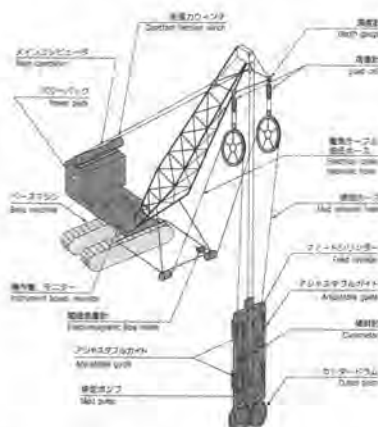


図1 BC30掘削機の標準的な掘削管理システムの構成

### 3. 掘削精度管理システム

掘削精度管理システムは、掘削の初めから、計画深度まで高精度に掘削することを目的として開発したもので、初期掘削管理装置、精度管理装置（（株）間組と特許共同出願）、運転管理装置で構成されている。

#### 3.1 初期掘削管理装置

カッター本体がガイドウォール内に隠れるまでの初期掘削は、それ以深の掘削精度に大きく影響するため、高精度の掘削が要求される。

初期掘削では、カッター本体が掘削するとき浮力を受けることでブーム角度が変化するためカッター本体が傾斜する。このときのカッター本体の傾き制御は、オペレータ独自の判断で行われるため、オペレータの技量に左右される。

初期掘削管理装置は、この問題に応える目的で開発したものであり、図2に示すように、カッター本体の掘削位置を固定する初期掘削ガイド、および浮力によるブーム角度の微動を検出するブーム角度計、ベースマシンの旋回角度を検出する旋回角度計から構成される。

#### 3.2 精度管理装置

##### (1)概要

精度管理装置は、溝壁内にカッター本体が隠れたあと、カッター本体の絶対位置をリアルタイムに検出する装置であり、本システムの中核を成している。これまで開発されてきた位置検出装置は、カッター本体と地上検出装置を細径のワイヤーで結び、カッター本体の動きに伴うワイヤーの変位量を各種センサーにより検出する原理が多い。この原理は、地上部でワイヤーの端部を固定するため、ワイヤーが斜めに傾くことが避けられず、大深度掘削の場合、ワイヤーのcatenary（懸垂線）現象に伴う誤差が生じやすくなる。

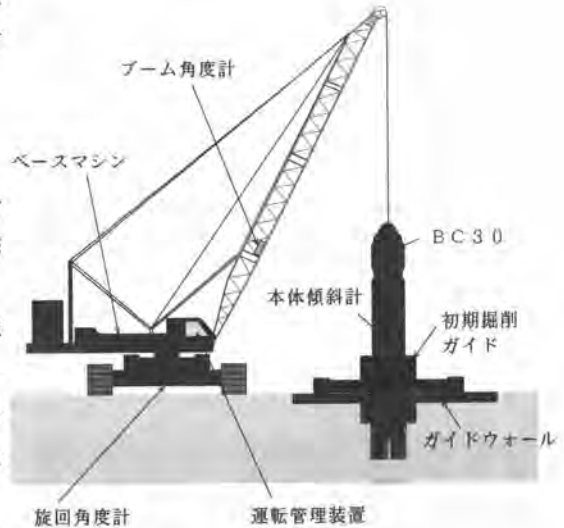


図2 初期掘削管理装置

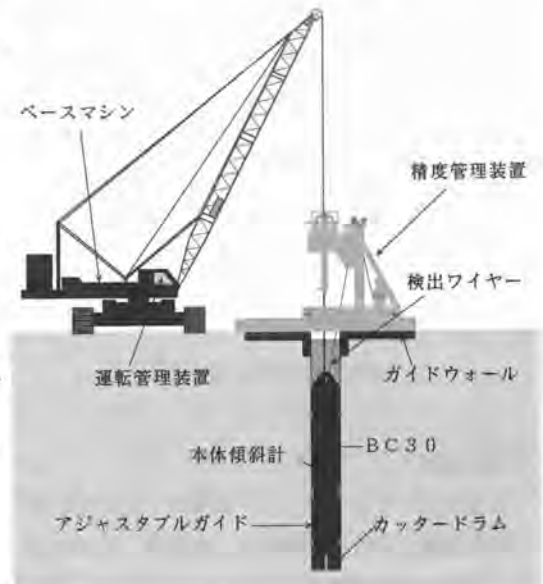


図3 精度管理装置を使った掘削



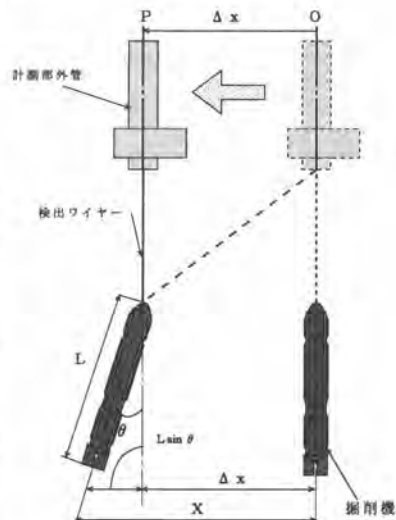
今回開発した精度管理装置は、検出ワイヤーが常に鉛直に保つことができるように、地上部のワイヤー取付部の移動を可能にしたものである。溝壁内におけるカッター本体の移動量を、そのまま地上部の精度管理装置の中で自動追尾させる新しいタイプの位置検出装置を組み込んでいるところが最大の特徴である。

### (2)計測原理

カッター本体の位置計測原理は、図4に示すようにカッター本体が $\Delta x$ 移動したとき、検出ワイヤーが常に鉛直になるように計測部が追尾し、このときの移動量 $\Delta x$ を計測して、カッター本体の位置を求める。また、カッタードラムの移動量 $X$ は、精度管理装置の計測部の移動量 $\Delta x$ にカッター本体の傾斜による変位 $L \sin \theta$ を累加して求めることができる。



写真2 精度管理装置



- 移動量： $X = \Delta x + L \sin \theta$   
 $X$ ：掘削機先端移動量  
 $\Delta x$ ：移動量測定装置移動量  
 $L$ ：掘削機長  
 $\theta$ ：掘削機傾斜角度  
 $O$ ：計測原理  
 $P$ ：計測点

図4 計測原理

### (3)構成機器

本装置は、1台でカッター本体の上端2点の $X$ 、 $Y$ 方向を同時に計測するタイプの装置であり、図5に示す各機器から構成される。構成される機器は、検出ワイヤーの動きを常に監視するレーザー変位計を有する計測部外管、計測部外管に内蔵されている傾斜計つき計測ロッド、カッター本体の移動に追尾するサーボ式移動量測定装置、および検出ワイヤーを常に一定張力で引っ張る定張力ウインチ、さらに精度管理装置を前後に移動させる装置用架台等から成る。

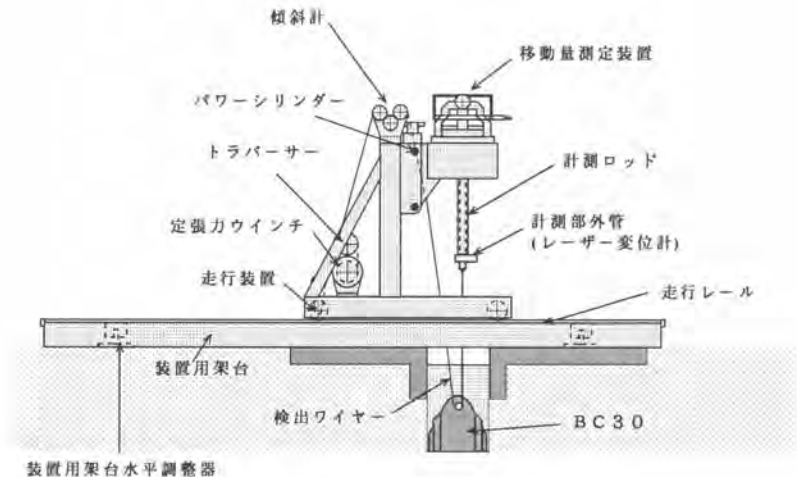


図5 精度管理装置の構成機器

### 3.3 運転管理装置

運転管理装置は、カッター本体、初期掘削管理装置、及び精度管理装置に内蔵される各種センサーから掘削に必要なデータを収集・演算し、モニター画面にリアルタイムに表示するパソコン機器と、得られた情報からカッター本体を制御する操作機器から構成されている。オペレータは、モニター画面にリアルタイムに表示されるカッター本体の状況を把握しながら、カッター本体の移動量が常に管理値内に収まるようにアジャスタブルガイドを作動させ、姿勢制御を行う。

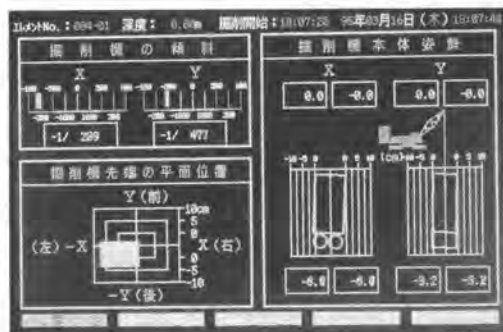


写真3 掘削精度管理画面

## 4. 実証試験

### 4.1 試験概要

試験は、名古屋市内のBC30掘削機を使用した地下連続壁の工事現場で行った。地下連続壁の壁厚は800mm、深さは45mである。現地の地盤は、砂とシルトの互層であり、一部GL-35m付近に砂礫層を含むもので、その概要を図6に示す。GL-16mまでは、初期掘削管理装置を用いた掘削を行い、GL-16m以深は、精度管理装置を用いた掘削を実施した。

掘削精度管理システムの機能を実証するに際しては、特に精度管理装置の機能確認に重点を置き、

検出された各深度毎のカッター本体の刃先位置と超音波溝壁測定結果を対比する方法で検討を行った。超音波溝壁測定位置を図7に示す。

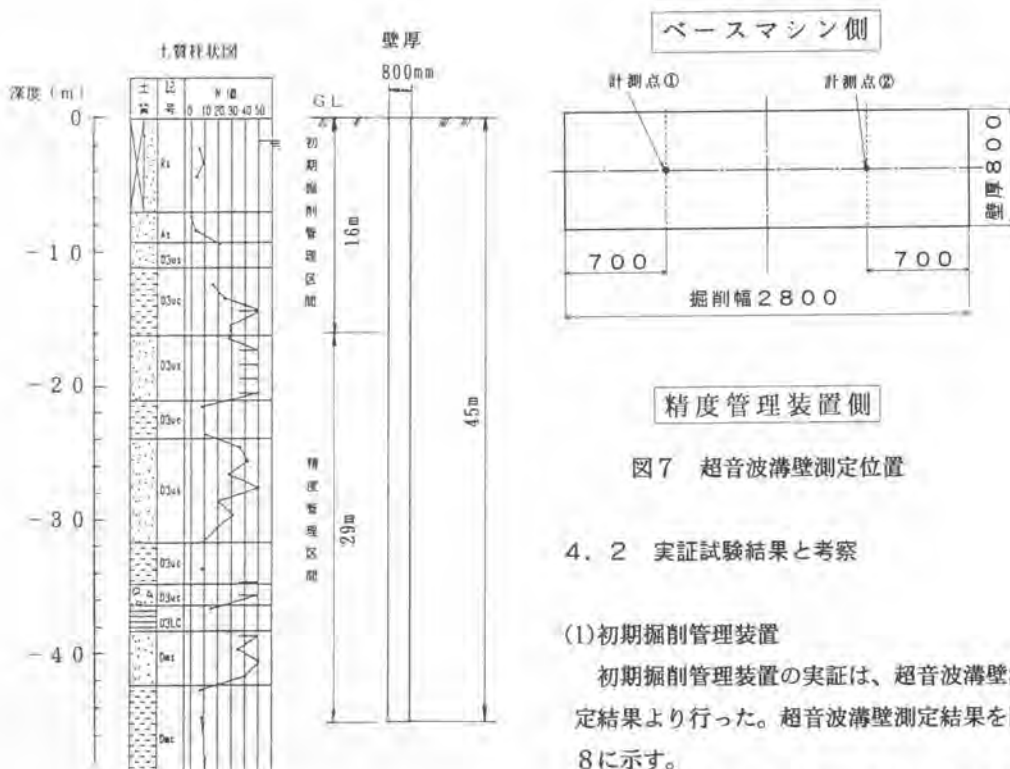


図6 地盤条件

図7 超音波溝壁測定位置

#### 4.2 実証試験結果と考察

##### (1)初期掘削管理装置

初期掘削管理装置の実証は、超音波溝壁測定結果より行った。超音波溝壁測定結果を図8に示す。

図8のGL-16m区間を考察すると、計測点①と②とも超音波溝壁測定結果の掘削誤差は、1.5cm以内に収まっている。

この結果より初期掘削管理装置は、十分に機能を果たしたと判断できる。

##### (2)精度管理装置

超音波溝壁測定結果と精度管理装置の計測データの位置を合わせて、両者の比較を深度50cm毎に行った。その結果を図9に示す。

図8に示した超音波溝壁測定結果によれば、精度管理装置の計測データと対比するGL-16m以深区間は、溝壁の崩落、余掘等により、壁厚は大きくなるが、概ね1~3cm (平均で2.1cm) の範囲で収まっている。今回超音波溝壁測定結果と精度管理装置の計測データを比較するとき、壁厚よりも多く掘削している場合でも壁厚の中心を比較検討することとする。

図9に示された超音波溝壁測定結果と精度管理装置による測定結果の状況を比較すると、両者の動きはほぼ一致している。このことから、カッター本体の動きに精度管理装置の計測部がよく追従していることが認められる。また、超音波溝壁測定結果と精度管理装置の測定結果にみられるデータ間の差は、

±1.3cm以内（95%確率）にあり、計測精度は、非常に高いものと判断できる。

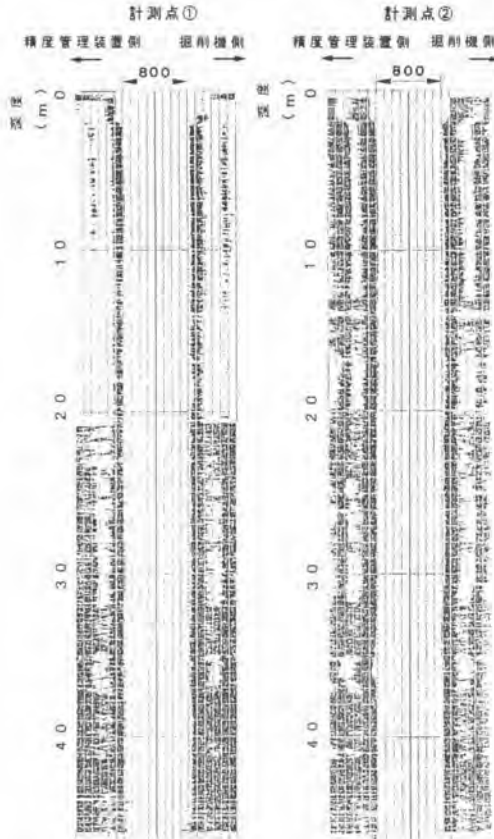


図8 超音波溝壁測定結果

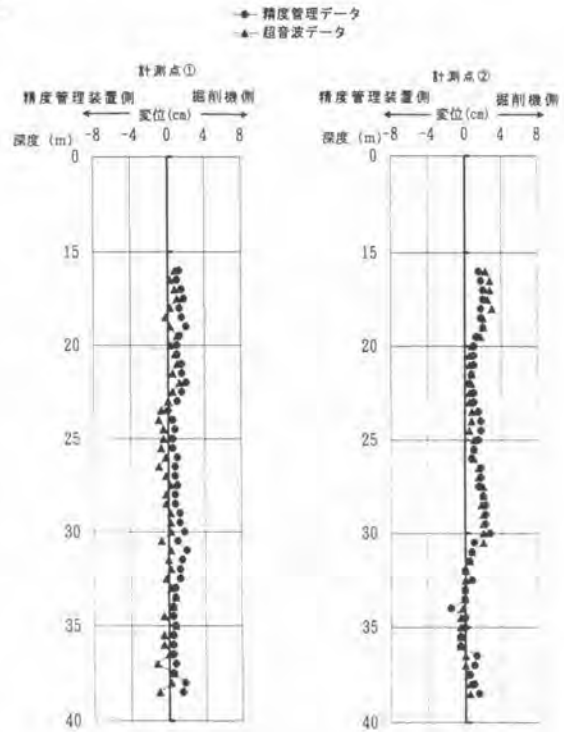


図9 超音波溝壁測定結果と  
精度管理装置測定結果

## 5. まとめ

今回、新しいタイプの精度管理装置を中心として、精度管理システムの開発、実証を行った。その結果をまとめると次の通りである。

- ①初期掘削管理装置は、カッター本体がガイドウォールに隠れるまでの姿勢制御に利用するためのもので、高精度掘削ができ運転管理に有効であった。
- ②精度管理装置は、自動追尾機構も良好で、超音波溝壁測定結果と照合しても、高い検出精度を有していることが確認できた。
- ③運転管理装置は、情報処理が適切でわかりやすく、安定した画面を提供でき、操作性の向上に寄与した。

今後は、さらに多様な地盤条件のもとで、使用実績を重ねていくとともに、一層の高機能化を図っていく所存である。

## 62. 路下式深礎掘削機械化工法（JORS工法）の開発

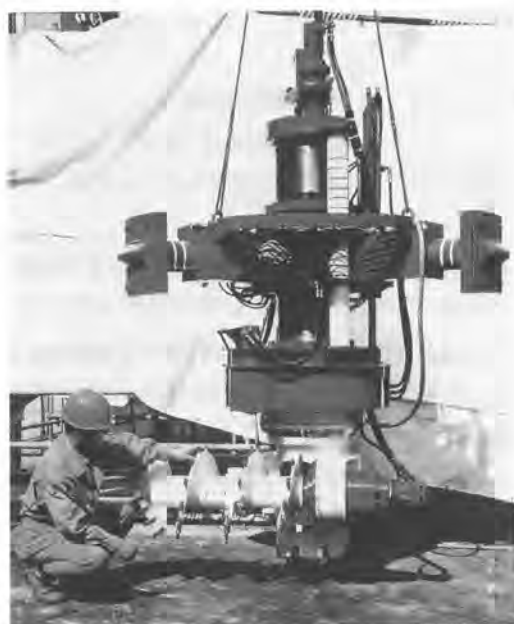
（株）大林組：\*小山 浩史  
東日本旅客鉄道（株）：森本 武夫

### 1. はじめに

近年、高架橋下や既設ビル下といった空頭が限られた条件下での基礎杭工事が多くなっている。現在杭径 $\phi$ 1m～3m、空頭4m～5mの条件下で採用されている基礎杭の施工法としては、リバース工法や深礎工法などがある。各工法とも施工条件に応じてその特徴を活かされているが、まだ解決されていない課題も種々あるのが現状である。特に深礎工法は、設備が簡便である、狭い場所での施工が可能である、支持層を直接確認できるなどの利点がある反面、人力による作業が中心である、狭い空間での典型的な苦渋作業をとまなう、硬質地盤での施工速度が低下するなどの問題がある。特に最近では、熟練労働者の減少、作業条件の向上が問題となっており、深礎工法の機械化に対する開発が望まれていた。

以上のような背景のもと、東日本旅客鉄道（株）と（株）大林組は、深礎工法の掘削及び土砂搬出を低空頭下でも施工できる深礎掘削機械化工法「JORS（ジョーズ）工法」を共同開発した。本報告は、今回開発した本工法の概要と実証実験結果について報告するものである。

写真－1 機械全景



表－1 機械仕様

掘削機	ヘリカル ドラム	形状	$\phi$ 500mm
		回転数	0～60rpm
		駆動方式	油圧駆動
	旋回機構	旋回角度	360° 全旋回
		旋回回転数	0.5～3rpm
		駆動方式	油圧駆動
機	グリップ	伸縮方式	油圧シリンダ－3本
		シュー寸法	400mm×400mm
	グリップ－架台 スライド機構	スライド方式	油圧シリンダ－1本
械		ストローク	550mm
	機械寸法	高さ2420mm 外径 $\phi$ 1800mm ヘリカルドラム先端脱着時 $\phi$ 1500mm	
	掘削外径	$\phi$ 1.8m～3m程度（標準 $\phi$ 2.0m）	
	機械重量	1650kg	
風送設備	機種	パワープロベスター SS-11BWP	
	馬力	192PS	
	風量	100m <sup>3</sup> /min	
	静圧	-650mmHg	

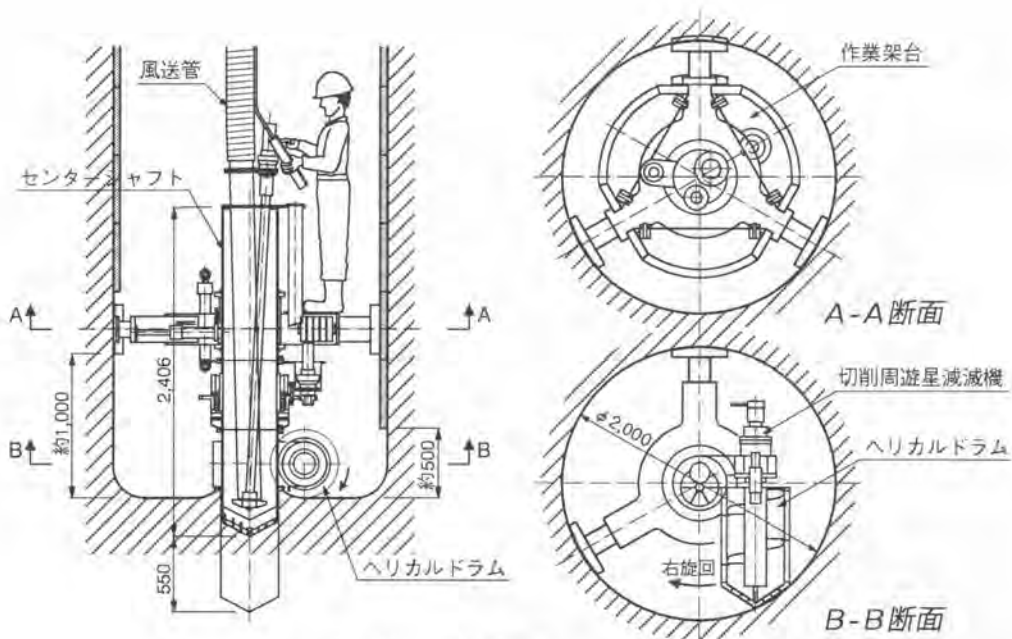


図-2 機械概要図

## 2. 機械概要

今回開発した機械の全景写真を写真-1に、機械概要を図-2に、機械仕様を表-1に示す。掘削および掘削土の中央部への集土はヘリカルドラム自体の回転とセンターシャフト回りの旋回機構により行う。センターシャフト内に取り込まれた掘削土は風送（バキューム）方式により連続的に地上部まで揚土される。

本工法の特徴を以下に示す。

①機械高さが2.5mと低く、空頭が限られた場所での施工が可能である。②機械本体重量が1.7tonfと軽量であり、さらに機械を分割可能としているため、狭隘な場所への搬入が容易である。③掘削と揚土が同時にでき効率的である。④覆工方式は、ライナープレート、吹き付けコンクリートなど任意に選べる。⑤掘削外径は、ヘリカルドラムの先端部を取り替えることにより、φ1.8～3.0mまで容易に変更可能である。⑥対象地盤は、中硬岩および巨礫混じりの礫層を除く全ての地層に対応可能である。⑦機械操作はグリッパー架台で行うことを基本としたが、地上で操作することも可能であり、掘削・揚土時の坑内作業の無人化が図れ、安全性が向上する。

## 3. 施工順序

ライナープレートによる覆工を行った場合の施工順序図を図-2に示す。①グリッパーをライナープレートに当て機械の位置決めをする。②センターシャフトを1回転当たり数cmずつ貫入させながらヘリカルドラムにより掘削し、同時に風送による揚土を行う。③1リング分(50cm)掘削が完了後、ライナープレートを設置する。④グリッパーを縮め、機体本体を吊るすワイヤーを緩めながらグリッパー架台をスライドさせる。以下①から④を繰り返す。

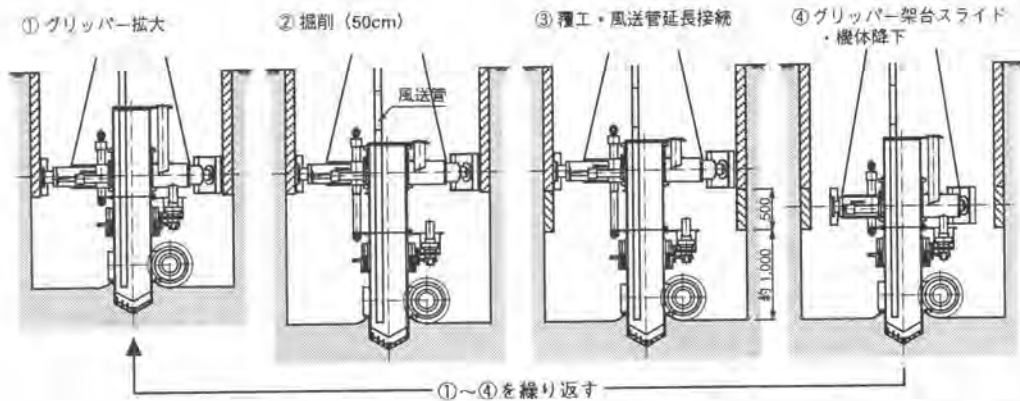


図-2 施工順序図

#### 4. 実証実験結果

今回試作した機械の掘削能力・施工性を確認する目的で実証実験を実施した。実験の規模はφ2.0m、掘削深さ15mで、実験位置での土質条件を図-3に、本工法の全体システム図を図-4に示す。

##### (1) 切削・集土性能

今回試作した掘削機械の特徴であるヘリカルドラムの自転および旋回機構により、粘性土（N値=2~3）、砂質土（N値=9）及び土丹層（N値 $\geq$ 50）のいずれの地盤に対して、少なくとも $8\sim 9\text{m}^3/\text{hr}$ 程度の切削能力があることがわかった。また、ヘリカルドラムへの土砂の付着についても、土砂の横送り機能に対し、特に問題となるようなことはなかった。

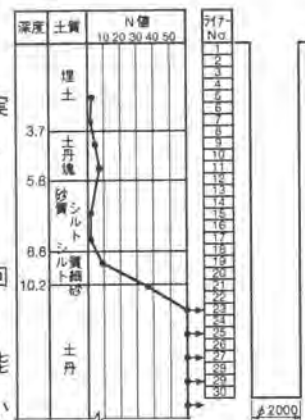


図-3 土質条件

##### (2) グリッパーによる機械保持性能

3本のグリッパーをライナープレートに押し当てることより、掘削時の反力は充分確保できた。グリッパーの押し付け面形状を変え、直接土丹層に当たった場合でも同様であった。

##### (3) ライナープレートの組立性

本掘削機による掘削形状は、ほぼ真円（ $\pm 10\text{mm}$ ）に近く、はつりが少ないためライナープレートの組立性は良好であった。また、余掘り量が最小で済むため、掘削後の立坑の鉛直精度は $\pm 10\text{mm}/10\text{m}$ と高精度であった。

##### (4) 掘削・揚土効率

掘削・揚土効率は、風送による揚土効率により決まり、この風送効率は風送管内への土砂の

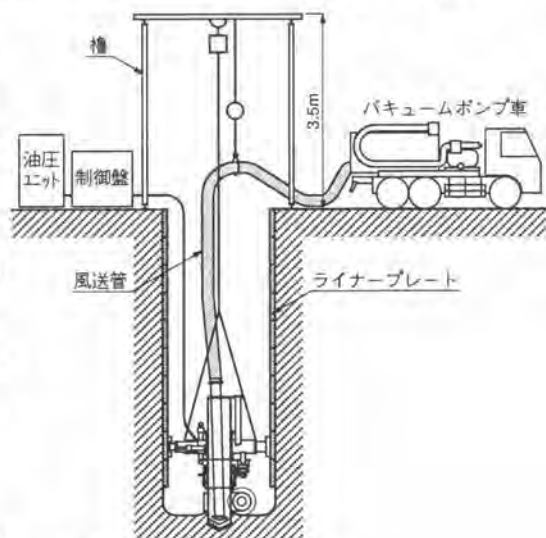


図-4 全体システム図

付着やそれにとまなう管内閉塞によりかなり低下していく。このため掘削・揚土全体システムとしての効率は、 $2\text{m}^3/\text{hr}$ 程度であった。この風送効率を低下させる主原因である風送管内の土砂の付着は、直管より曲がり管部で顕著であった。

#### (5) サイクルタイム

今回の実験において土丹層を50cm ( $1.57\text{m}^3$ ) 掘削・揚土するのに要した時間は概ね60～160分であった。所要時間にばらつきがあるのは、特に土丹層の場合では風送管内に土砂が付着することによる風送能力の低下、および風送管内が閉塞した場合の除去に時間がかかったためである。

本掘削システムによる1リング(50cm)当たりのサイクルタイムの平均値を土丹層掘削の場合を例として表-2に示す。なお、実施工の場合には、表記作業の他に揚土用の風送管接続等の時間が必要となる。これらを含め1日当たりの施工可能量は2リング(100cm)程度となり、従来の人力による土丹層掘削時と比較すると、約2倍の施工速度となる。

土丹層の掘削状況を写真-2に、立坑内の機械設置状況を写真-3に示す。

#### 5. まとめ

以上の結果から、今回開発したJOR S工法は充分実用化に耐える性能を有することが確認できた。今後は、風送管への土砂付着防止機構を検討するとともに、掘削・揚土・覆工の一連作業のシステム化や坑内作業の無人化を目指し、駅の改良工事や地下街の建設工事などに本工法への活用を図っていく予定である。なお、本工法を開発するにあたり御協力頂いた(株)三井三池製作所ならびに兼松エンジニアリング(株)の関係各位に感謝の意を表します。

表-2 1リング当たりのサイクルタイム

貫入・掘削 (50cm)	101分
グリッパー縮め	1分
本体降下	2分
位置決め・グリッパー張り	6分
ライナープレート組立	65分
合計	175分

写真-2 土丹層の掘削状況



写真-3 立坑内の機械設置状況





## 63. 圧入ケーソンの自動制御システム “ケーソンナビゲーションシステム・CANAS”

大成建設㈱：\*藤谷 俊実，喜志 恭博  
明神 知夫

### 1. はじめに

圧入オープンケーソン工法は、施工形態が単純かつ経済的な工法であるため、施工件数の増加並びに大型化・大深度化の傾向にある。この工法は、予め地中深くに埋設されたグランドアンカーの引抜き反力を利用し、ケーソン躯体頂部に設置された載荷桁を介してセンターホールジャッキにより地中に圧入・掘削しながら所定の深さまで圧入沈設する工法である。しかしながら、従来の圧入・沈設作業は、ケーソンの姿勢を測量によりその都度確認しながら、その結果を基に、圧入技術員が手動で各ジャッキのON、OFFを操作し姿勢制御を行っており、ジャッキ台数が数台といった比較的小規模なケーソンに適用されていた。しかし、大型あるいは大深度のケーソンの施工では沈下抵抗が増大するため、当然、大容量の圧入荷重が必要となり、ジャッキ台数も増加・大型化し、手動操作での制御は極めて困難となる為、ケーソンを自動で効率良く高精度に沈設できる制御技術が望まれていた。

新たに開発したシステムは、ケーソンの沈設に必要な諸情報と、ケーソン躯体内に設置された傾斜計などの姿勢制御情報をコンピュータで処理し、常にケーソン姿勢を高精度で管理できるものである。

本文では、新たに開発したシステムの概要と、実工事への適用結果について報告する。

### 2. システムの概要

本ケーソンナビゲーションシステムは、ケーソンの沈設に必要な刃口荷重、周面摩擦などの諸情報を計測処理する「計測システム」およびケーソンの姿勢を制御する「姿勢制御システム」で構成する。このシステムでは、VSLジャッキの駆動用として使用する主油圧ユニット本体には起動、停止、伸び、縮等の各種の操作ボタンとケーソンの姿勢制御をジョイスティックの倒れ量で行う手動操作盤が装備されている。今回の施工現場では、ケーソン躯体上部に設置された10台の非対称配置のVSLジャッキを同調する4系統に分け、傾斜計のデータからケーソン本体の姿勢が絶えず水平になるように、4系統のジャッキへの油圧流量を個別に制御している。そして、盛り替え作業のみ手動で行い所定の沈設深さになるまでくり返し圧入、沈設作業を実施するものである。写真-1に施工状況を示す。



写真-1 施工状況

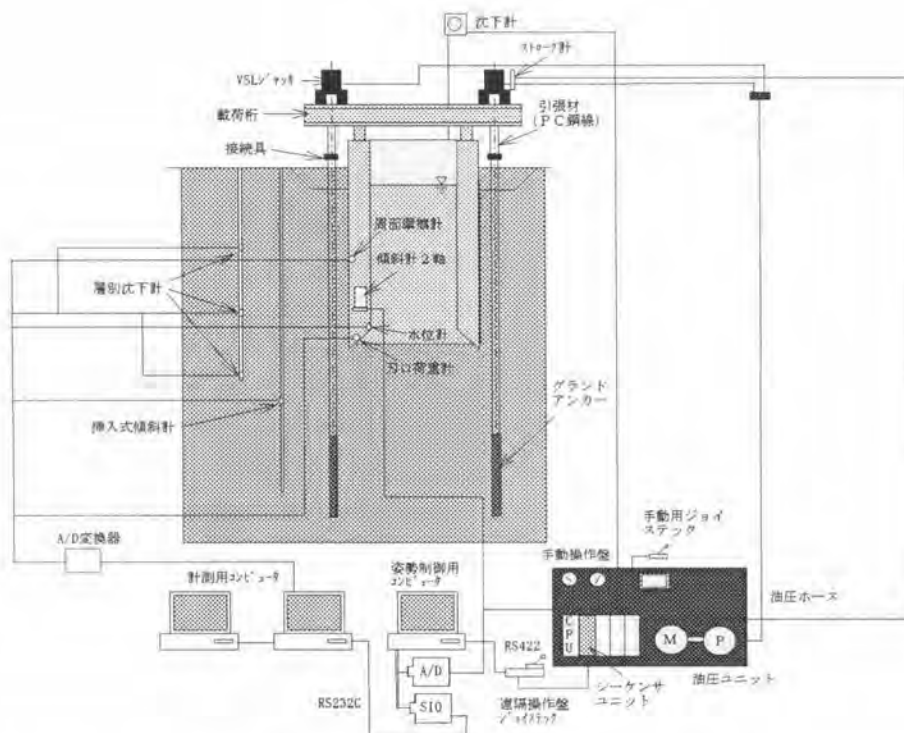


図-1 ゲーソンナビゲーションシステム概要図

### 3. システムの構成

本システムは、姿勢制御システムと計測システムおよびVSLジャッキ駆動用の主油圧ユニットから構成する。個々のシステムは、それぞれ必要な諸計測情報を収集している。表-1に、機器の構成と収集する計測データ項目を示す。

表-1 システムの構成一覧表

番号	システム、装置名	台数、仕様、概要	計測項目、機器	備考
1	主油圧ユニット	油圧ポンプ 4台 最大吐出圧 350kg/cm <sup>2</sup> 遠隔手動操作盤 (ボタン、ジョイスティック操作)	ジャッキ油圧 ジャッキストローク量 深度 (30m計測型) インバータ回転数	VSL ジャッキの運転
2	計測システム	計測コンピュータ 2台 (PC9801)	刃口荷重 周辺摩擦力 水圧 挿入式傾斜計 層別沈下計	計測データ 収集、保存 印刷
3	姿勢制御システム	制御コンピュータ 1台 (PC9801)	本体傾斜 X, Y 軸	計測入力と 制御出力

### (1)主油圧ユニット

本ユニットは、VSLジャッキの駆動用動力源であり、それぞれ一对の油圧ポンプと電動機を、4組セットした油圧ユニットと各電動機へ電力を供給するインバーターユニットおよび制御盤から構成されている。各油圧ポンプの運転・停止及び各油圧系統毎のジャッキの押し、縮動作等を個別に手動操作可能である。更に、操作盤には、ケーソンの姿勢制御を手動でも可能なように、姿勢制御用ジョイスティックレバーが装備されている。予め、設置された各ジャッキの油圧系統とレバーの方向を対応させておき、レバーの倒す方向と量に応じて、各油圧系統の油量を可変制御できる。また、付属の表示盤には、ケーソン躯体の傾斜角度、各ジャッキストローク量、油圧力、電動機の運転周波数、運転操作選択状況が表示され、ジャッキの運転状況がひと目で把握できる。

図-2に主油圧ユニットの概要を示す。

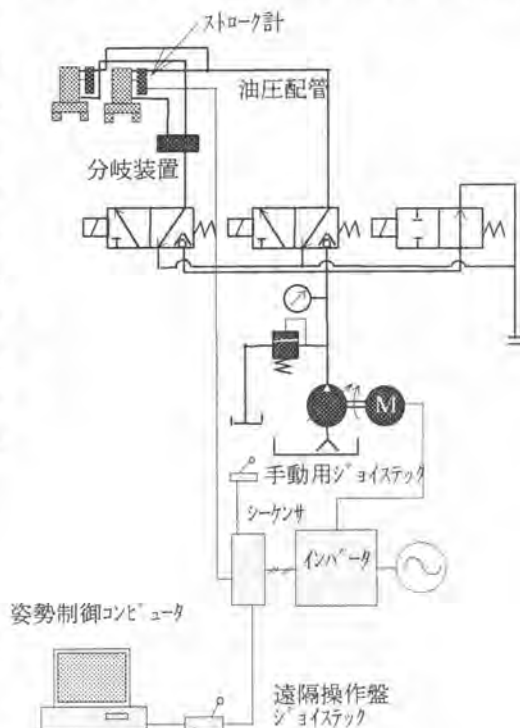


図-2 主油圧ユニットの概要

### (2)計測システム

圧入ケーソン工事において、最も配慮しなければならない点は沈設時の慎重な姿勢管理である。それには、ケーソンの姿勢制御に大きな影響を及ぼす地盤等の情報も同時に把握する事が重要である。その為に、周辺地盤の傾斜、刃口荷重、周辺摩擦、沈下、水圧の各計測器を設置して、掘削・圧入時の周辺地盤をリアルタイムに把握可能な計測システムとした。

この計測システムでは、2台のコンピュータを使用し、1台は、諸データのリアルタイム収集表示を行い、もう1台は、データの保存と処理、印刷出力用としている。また、計測システムは、同時に姿勢制御システム及び主油圧ユニットからケーソン躯体の傾斜や制御データ及び各ジャッキの操作データ受け取り、表示保存を行っている。図-3に計測システムの画面表示状況を示す。

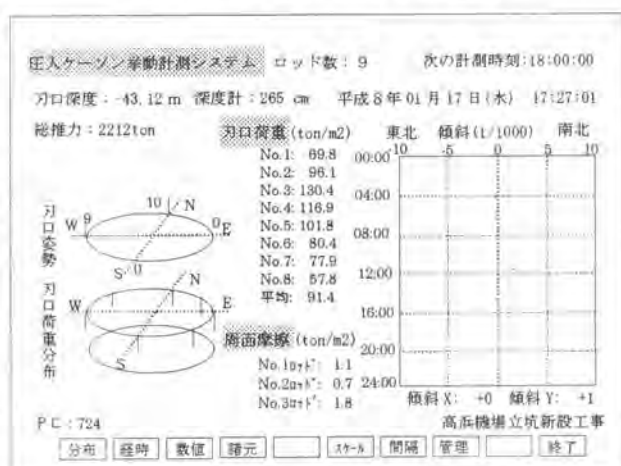


図-3 計測システムの画面表示

### (3) 姿勢制御システム

本姿勢制御システムでは、圧入用のV S Lジャッキの制御を、従来のジャッキ選択方式に代えて、ジャッキグループ毎の油量制御方式とした。ここでは、一般的な油圧回路内の流量バルブによる油量制御ではなく、油圧ポンプ駆動用の電動機の回転数をインバータ制御により行い、油圧ポンプからの油の吐出量を制御している。今回の姿勢制御システムを構築するにあたり、手動操作のジョイスティックで各ジャッキグループの油量を操作するのと同じイメージで制御機能を考えた。つまり、ジョイスティックが中立状態にあれば、全てのジャッキグループへ同一の油量が吐出される。また、ケーソン本体の高い方へ、ジョイスティックを倒せば、倒された側に配置されたジャッキグループへ、油量が多く流れ、逆の側は、倒したジョイスティックの角度に対する分だけ、油量が少なく流れるようになる。この場合、ジョイスティックは、全方向へ倒す事が可能となっている。更に、この手動操作を遠方でも行えるように、遠隔操作盤にも小型のジョイスティックが設置されていて、同一の操作が可能となっている。姿勢制御コンピュータでは、このジョイスティックによる手動操作をプログラム化している。

概略の姿勢制御の流れは次の通りである。

- ①初めに、本体傾斜計により、2方向の傾斜量を測定する。各傾斜量より、ケーソン本体上部端面の全周の相対高さを求める。
- ②最高高さとは最低高さ両地点の相対的な高低差を算出する。
- ③最高地点にあるジャッキグループに、相対的な高低差に応じた最大の油量が流れるように、また、逆に最低地点にあるジャッキグループには、最少の油量が流れるようにする。中間の高さ地点のジャッキグループには、それぞれの高さを按分して、油量を設定する。
- ④この設定油量に対応するように、各ジャッキグループ毎の電動機の回転数を制御するインバータの設定回転周波数を制御する。この制御は、設置された各V S Lジャッキの内最大のストローク量が、10 mm（設定変更可能）伸びる毎に各地点の高さの計算と油量に対応するインバータ回転数を計算して、制御コンピュータから、操作盤のシーケンサへ制御データを送信する。
- ⑤制御は何れかのジャッキストロークが最初に300 mmに達した時点で、自動的に油圧用の電動機の運転を停止して、自動から手動操作に切り替わる。
- ⑥V S Lジャッキを手動操作に切り替えて、ジャッキの盛り替えを行う。再び、同一の操作を所定の深度になるまで繰り返す。
- ⑦施工中に地層が変わり、地盤が比較的柔らかくなった場合は、姿勢制御システムでの姿勢制御を行いながら、設定荷重以内でV S Lジャッキによる先行圧入を行う。  
その後、クラムシェルバケットによる掘削を行う。
- ⑧また、地盤が固く、すぐに設定荷重に達し所定の先行圧入量を確保できない場合には、姿勢制御システムにて姿勢制御を行いながら、クラムシェルバケットによる掘削を同時に実施する。

ここで、ケーソン本体の圧入に対する抗力は、切羽の刃口反力や周辺摩擦等の違いによりケーソン本体の各部分によっても異なる。従って、これらの抗力の合力に釣り合ったものが、V S Lジャッキの圧入油圧となる。つまり、V S Lジャッキの発生している油圧は、その時点の油量と（圧入速度）とケーソン本体の抗力の合力が一致するものとなる。

実際の姿勢制御システムの表示画面を図-4に示す。また、本システムの制御プログラムの概略の制御フローを図-5に示す。実際の制御では、姿勢制御コンピュータが、諸計測データよりケーソン本体の姿勢状況を演算処理して、各ジャッキ系統毎の制御割合を算出し、更に油圧ポンプの電動機の回転数として、シーケンサへ制御データを送信している。なお姿勢制御コンピュータ機器の設置状況を写真-2に示す。

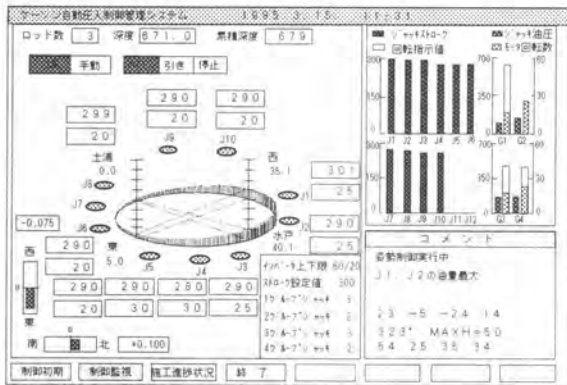


図-4 姿勢制御システム表示画面



写真-2 姿勢制御システム設置状況

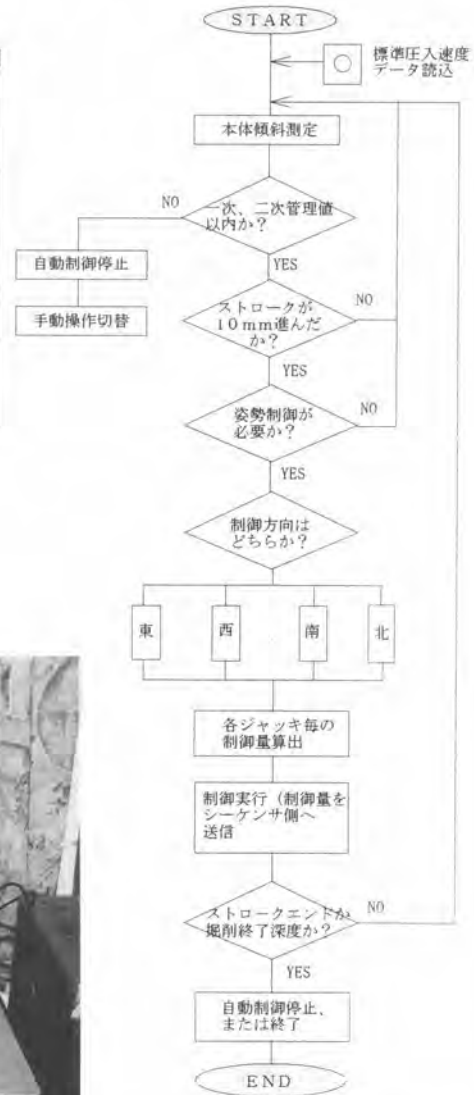


図-5 姿勢制御システムフロー

#### 4. 現場実施状況

今回、本システムは、建設省関東地方建設局の霞ヶ浦導水工事事務所御発注の高浜機場圧入ケーソン工事にて採用された。作業所の工事概要は、下記の通りである。

この圧入式オープンケーソンはシールドトンネルの発進用の立坑に利用されるもので直径23.0m・内径19.4m・深さ47.8mであり、10台のVSLジャッキによる設計圧入力は250t/台であり、この反力材として長さ73.5mのアースアンカーを施工した。ケーソンの姿勢に変位が発生しやすい初期沈設（GL-0～2.0m程度迄）の姿勢管理が、ケーソンの最終沈設施工精度に及ぼす影響が大きいと予測されていたが、本システムの採用により、従来的人力測量による作業中断がなく、連続した躯体姿勢測定データから素早く姿勢制御への対応が可能となり、本工事では大変良好な施工状況であった。圧入、沈設は、1ロッド（6m）を、昼夜の施工で平均6日間で実施した。平成7年5月から開始された圧入作業は、最初の1、2ロッドから9ロッドまでの8回の圧入、沈設を平成8年1月に完了し、最終沈設時の沈設施工精度は、最終管理目標値に設定している1/200に対して1/1643にもおよぶ良好な結果を得ることができた。

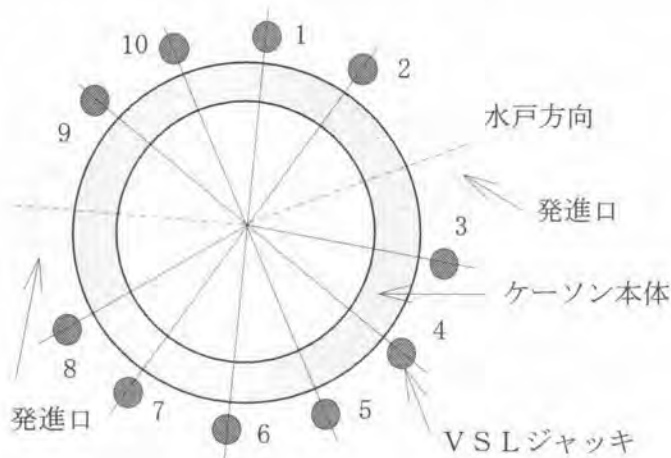


図-6 VSLジャッキの配置

#### 5. おわりに

本システムの施工に当たっては、当社関連高浜機場作業所の指導により、システム及びプログラムの改良を数度に渡り実施し、施工に密着したシステムとなったことを感謝するとともに、今回の実施を踏まえてより完成度の高いシステムへ発展させたいと考えている。

最後に、本システムを実施するにあたり、御理解をいただいた建設省関東地方建設局霞ヶ浦導水工事事務所殿にお礼申し上げます。

建設機械と施工法シンポジウム論文集 (平成8年度版)

---

平成8年9月11日 印刷

平成8年9月13日 発行

不許

複製

編集  
発行所 社団法人 日本建設機械化協会

東京都港区芝公園3-5-8  
(機械振興会館内)

TEL (03) 3433-1501

FAX (03) 3432-0289

振替口座 00170-5-71122

---

印刷所 株式会社昭和工業写真印刷所  
東京都港区三田5-14-3