

平成15年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成15年10月23日～24日
東京・機械振興会館

社団法人 日本建設機械化協会

平成15年度

「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. 【土工とその機械】

1. 簡易遠隔操縦装置による施工の効率化検討
……………国土交通省 九州技術事務所：*久保田 孝行、湯浅 祥次… 2

2. 【コンクリートとその機械】

2. テルハ型クレーンによるダムコンクリート運搬・打設設備の開発
……………(株)間組：館岡 潤仁、藤田 司、
間・前田・奥村特定建設工事共同企業体：*寺田 幸男… 8

3. 【維持とその機械】

3. 道路標識点検手法の開発
…………… 国土交通省 関東技術事務所：持丸 修一、茂木 正晴、*増尾 健… 14
4. 消雪井戸の維持管理点検ロボットの開発
…………… 国土交通省 北陸技術事務所：柴澤 一嘉、前田 光昭、*長谷川 学… 18
5. 既設トンネルの覆工背面空洞調査法（PVM）システムの開発
……………日本道路公団：大嶋 健二、清水建設(株)：河野 重行、
古河機械金属(株)：*阿部 裕之… 22

4. 【舗装とその機械】

6. 高速型排水性舗装機能回復車の開発
……………(株)NIPPOコーポレーション：*勝 敏行、斎藤 徹、
石川島播磨重工業(株)：鈴木 宏… 28
7. 三次元マシンコントロールシステムを応用した道路建設機械
……………鹿島道路(株)：*山口 達也、山埜井 明弘… 32
8. 路上再々生路盤工法の高効率化
……………(株)NIPPOコーポレーション：泉 秀俊、相田 尚、*梶原 覚… 38

5. 【基礎とその機械】

9. 完全無人化を目指したNew DREAM工法のトラベリングシステムの開発
……………大豊建設(株)：*上月 直昭、小林 隆治、今村 秀雄… 42
10. 地盤に適したスラリー供給によるソイルセメント柱列式地下連続壁の施工
……………佐藤工業(株)：*瀬谷 正巳、花田 行和、前田 幸男… 46

6. 【自動化・ロボット化・施工管理】

11. 加速度応答を用いた締固め度管理手法の検討
.....大成建設(株)：*西澤 修一、川上 純... 52
12. 画像認識を利用した自動監視システムの開発
.....大成建設(株)：松本 三千緒... 58
13. 煙突内壁レンガ解体装置の開発
..... 東急建設(株)：*上田 広孝、西尾 仁、中村 聡... 64

7. 【環境・リサイクルとその機械】

14. 関門航路浚渫工事における土砂の分級ならびに今後の展開
.....国土交通省 関門航路事務所：村山 伊知郎、
信幸建設(株)：田中 泰弘、*峯吉 武志... 68

8. 【その他の機械】

15. プラズマによる破砕技術（PAB工法）の開発
..... (株)熊谷組：*北原 成郎、垣内 幸雄... 74

9. 【建築とその機械】

16. モルタル剥離装置を用いた耐震補強システムの開発と実用化
.....佐藤工業(株)：*中橋 誉之、水谷工業(株)：水谷 幸治... 80
17. 外部作業用セルフクライミング足場の開発
.....東急建設(株)：*大野 浩正、西尾 仁... 86
18. 超高層マンション施工革命 セルフクライミング天井クレーンシステム「シャトライズ工法」
.....鹿島建設(株)：*領木 紀夫、井山 哲雄、水谷 亮... 90

10. 【トンネルとその機械】

19. ツインスクリーールド工法の開発と実用化
.....大成建設(株)：*伊東 憲、石川島播磨重工業(株)：中根 隆... 96
20. 小断面トンネル吹付けシステムの開発
.....三井住友建設(株)：*山下 高俊、中野 陽一、長野 祐司... 102
21. センターホールジャッキ方式によるシールドの発進方法
.....佐藤工業(株)：*宮崎 康生、早川 淳一、村本 利行... 106
22. 都市部における既設下水管（φ700mm）の引き抜き撤去施工事例の報告
.....佐藤工業(株)：*横山 正樹、宮澤 竹久... 110
23. ラッピング工法（トンネル外周被覆工法）の開発
.....大成建設(株)：*島田 哲治、高見沢 計夫... 116
24. 泥水式斜坑推進工法で施工した大深度換気立坑の施工機械設備
.....横浜市 下水道局：黒川 満、清水建設(株)：*飯泉 勝、久原 高志... 122
25. 低土被りシールド機の開発と掘進実証試験の実施
.....大成建設(株)：*小林 弘太郎、石川島播磨重工業(株)：中根 隆... 128

1. 簡易遠隔操縦装置による施工の効率化検討

国土交通省 九州技術事務所：*久保田 孝行、湯浅 祥次

1 はじめに

遠隔操縦機械による無人化施工は、平成2年11月に噴火した雲仙普賢岳の堆積土砂を緊急に除去する災害復旧工事として、試験フィールドで平成6年度に採用されて以来、改良・発展を遂げ、災害復旧現場等での導入実績も多くなってきている。しかし、有人施工と比較して施工効率や施工精度等が劣るといった遠隔操縦施工特有の課題が残されており、その向上が望まれている。

そこで、主に災害対策用に用いられている遠隔操縦機械の、一般工事への導入を目的として施工効率、施工精度の向上のための検討を行うもので、九州技術事務所が災害対策用として開発した簡易遠隔操縦装置（通称ロボQ）を用いて、平成13年度と平成14年度の2カ年にわたり調査・検討を行ったものである。

この簡易遠隔操縦装置の特徴は、市販の建設機械を改造せずに装置を搭載させることにより、遠隔操縦を可能にしたもので、装置本体をコンパクトに分割できるため、災害現場へ迅速に運搬でき、建設機械へ容易に設置することができる装置である。

2 検討概要

(1) 遠隔操縦機械の実態

現在の遠隔操縦建設機械の使用実態及び作業内容について次の各項目毎に整理した。

- ①文献調査
- ②カタログ調査
- ③URL調査（情報化施工、無人化施工）
- ④建設機械の自動化・ロボット化調査

無人化施工に使用されている遠隔操縦建設機械はバックホウをはじめブルドーザー、ダンプトラック等があり、作業内容は土木構造物等に対する複雑な作業は少ない。また、遠隔操縦機械による施工が作業効率、施工精度の向上よりも、作業員の安全性の確保や苦渋作業からの解放を目的としたものが多いことがわかった。

(2) 導入のための基礎検討

遠隔操縦機械の一般土木工事へ導入するための問題点、改良点を抽出するために、バックホウに簡易遠隔操縦装置を搭載して、様々な視覚情報条件による掘削、旋回、ダンプトラックへの積み込みの一連の作業による基礎的な試験を次のパターンにより行った。

①目視近傍による掘削

オペレータが掘削作業ヤードと遠隔操縦機械に対して一番見やすく作業感覚をつかみやすい近傍からの遠隔操縦掘削作業

②作業ヤードから20m離れた掘削

オペレータが作業ヤードから20m離れて、目視による遠隔操縦掘削作業。

③搭載カメラによる遠隔掘削

オペレータが操作室の中から、簡易遠隔操縦装置に搭載したカメラ映像による遠隔操縦掘削作業。

④搭載カメラ+固定カメラ（1台）による遠隔掘削

上記③と同様、オペレータが操作室の中から簡易遠隔操縦装置に搭載したカメラ映像及びダンプへの積み込み状況が把握しやすい場所に設置した固定カメラからの映像による遠隔操縦掘削作業。

⑤搭載カメラ+固定カメラ（2台）による遠隔掘削

上記④と同様、オペレータが操作室の中から簡易遠隔操縦装置に搭載したカメラ映像、作業状況を正面、側面から映像を取得できるように、上記④にもう1台固定カメラを配置し、3つの映像による遠隔操縦掘削作業。

作業後のオペレータへのヒヤリングの結果、①作業ヤードの全体的な空間の把握、②バックホウと掘削面またはバケットとダンプトラックとの相対的な位置把握（奥行き情報）についての情報を必要としている事が分かった。これは、視覚に関する情報が施工効率及び精度に多大な影響を及ぼすということである。

(3) 視覚情報機器の機能評価試験

オペレータへが必要とする視覚情報とは、作業ヤードの全体的な空間把握と対象物への奥行き情報であり、試験はカメラを運転室内足元、室内運転席、張出し、ブームにそれぞれのパターンで設置（図-1、写真-1、2参照）し、バケット刃先の位置決め（図-2参照）作業について機能評価を行った。

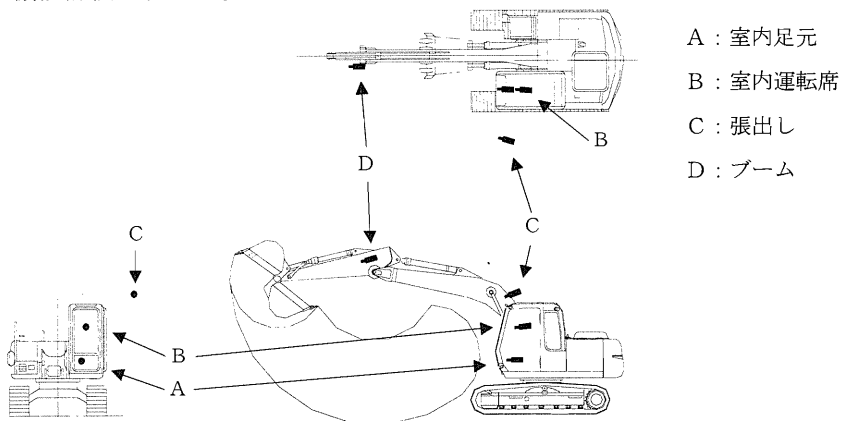
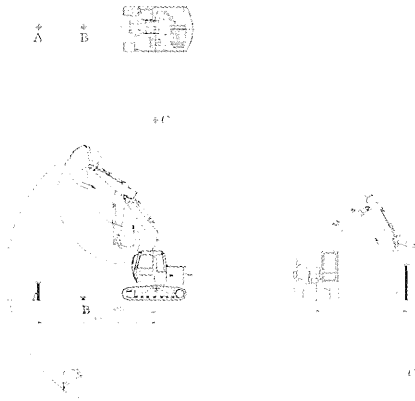


図-1 カメラ取付け位置



目標A : H= 1 m GLより高い作業視線を想定
 目標B : H=0.2m GLの作業視線を想定
 目標C : H= 2 m ダンプ 積み作業視線を想定

図-2 バケット刃先の移動による位置決め試験要領図



写真-1 張出しカメラ取付け状況

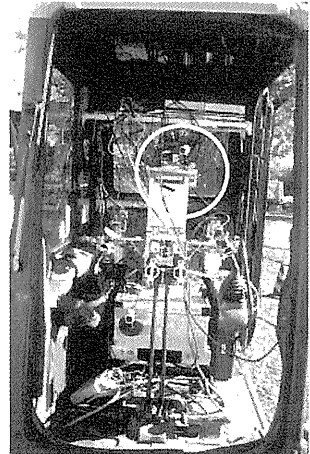


写真-2 運転席カメラ取付け状況

① 位置決め作業試験結果

試験の結果、良好な成果が得られたのはパターン4（表-1参照）であった。これは、室内運転席カメラが搭乗した場合と同じ感覚であったことと、張出しカメラが遠近感を認識しやすいカメラの配置であり、作業全体のイメージがつかみやすかったためである。よって、このカメラ配置により実証試験を行う。なお、機能評価試験では張出しカメラのレンズを通常で行ったが、実証試験では広角レンズでも行い有効性を確認する。また、3Dレンズを含めた試験についても行うこととした。

表-1 カメラの各配置による試験結果

		カメラ配置				評価試験におけるオペレーターの評価	本実験時における判定
		室内足元	室内運転席	張出し	ブーム		
通常レンズ+広角レンズ	パターン1	○	○			搭乗した場合と同じ視線高で高さ感覚がつかみやすいが、足元カメラでは遠近情報は得にくい。	△
	パターン2	○		○		張出しカメラで高さ、遠近感はつかみやすく作業はしやすいが、室内足元カメラでは遠近情報は得にくい。	○
	パターン3	○			○	足元カメラで高さはつかみやすい。ブームカメラが作業時にぶれるが、位置決めは把握しやすい。	△
	パターン4		○	○		搭乗した場合と同じ視線高であり、張出しカメラにより遠近感がかかるため作業はしやすい。	◎
	パターン5		○		○	視線高が搭乗した場合と同じであり違和感はない。ブームカメラがぶれるため作業しにくい。位置決めは把握しやすい。	△
	パターン6			○	○	張出しカメラで遠近感がかみやすい。ブームカメラがぶれるため作業しにくい。位置決めは把握しやすい。	△
	パターン7		広角	○		張出しカメラで遠近感がかみやすい。広角レンズは広い範囲でとらえるため運転席の一部も映るので作業しにくい。	○
	パターン8	○		広角		足元カメラで高さはつかみやすい。広角の画像は、バケット稼働範囲を広くとらえるため、遠近感がかみやすい。	○
通常レンズ+広角レンズ(3画面)	パターン9	○	○	広角		3画面は視覚情報が多すぎる。	
	パターン10	○	○	広角		3画面は視覚情報が多すぎる。	

(4) 視覚情報機器での実証試験

実証試験は、視覚情報機器の機能評価試験結果に基づき実現場で掘削、法切、整形作業、原石投入作業の試験を行った。使用した機械及び試験要領については次のとおり。

1) 使用機械

作業別に使用した機械は次に示すとおり。なお、掘削、法切、整形作業についての使用機械は平成13年度と同規格の機械を使用している。

①掘削、法切、整形作業

バックホウ 0.5m3級(簡易遠隔操縦装置搭載運転)

ダンプトラック 4T車(有人運転)

②原石投入作業

バックホウ 0.5m3級(簡易遠隔操縦装置搭載運転)

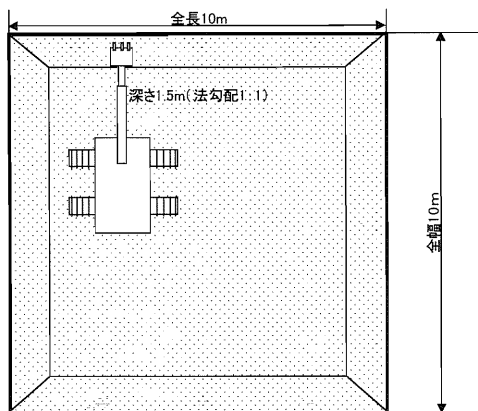
移動式クラッシャー(有人運転)

バックホウ 2~3m3級(有人運転)

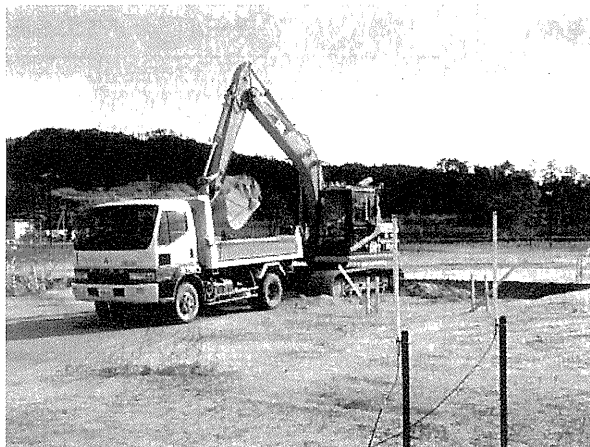
ダンプトラック 10T車(有人運転)

2) 掘削、法切、整形作業試験

0.5m3級のバックホウを用いて、実証試験ヤードを図-3のとおり設定し、掘削、法切、整形、積込みの一連の作業における試験を行った。表-3に作業時間、掘削土量等の項目についてまとめた。また、平成13年度の試験結果についても有効性について比較を行った。実証試験状況を写真-3に示す。



図－3 実証試験ヤード



写真－3 ダンプトラックへの積み込み作業

表－3 掘削、法切、整形作業試験結果

	実験条件	掘削時間	設計掘削土量(m ³)	実掘削土量(m ³)	設計に対する割合	掘削基準面との差		標準偏差	掘削面の状況
						掘削不足の最大値	掘削過多の最大値		
平成14年度	① 遠隔運転(室内カメラ+張出しカメラ(通常レンズ))	6:11	110	100.8	92.0%	+180mm	-90mm	95.3	掘削土量はやや不足気味であり、掘削基準面とのバラツキも大きい。また、角部の掘削不足がある。
	② 遠隔運転(室内カメラ+張出しカメラ(3D))	7:23	110	118.9	108.0%	+60mm	-70mm	51.6	掘削土量はやや過掘削気味であるが、掘削基準面とのバラツキは少ない。また、法面勾配はほぼ設計どおり確保されている。
平成13年度	③ 遠隔運転(搭載カメラ+外部固定カメラ)	9:25	180	170	94.0%	+592mm	-289mm	280.1	掘削土量はほぼ設計土量に近いが、全体的に掘削基準面とのバラツキが大きい。また、法面勾配も全体的に確保されていない。
	④ 遠隔運転(搭載カメラ+外部固定カメラ2台)	9:59	180	159.5	89.0%	+536mm	-65mm	254.3	掘削土量は不足している。また、掘削基準面とのバラツキも大きい。法面勾配も全体的に確保されていない。

3) 試験結果

試験結果では、作業ヤードの全体イメージと遠近感が認識できたため、実際のダンプトラックへの積み込み作業時においては、外部カメラ(カメラ車等)無しでの施工が可能となった。3Dレンズは法面整形、角部などの細かな施工には有効であることがわかった。また、掘削誤差については平成13年度と比較して大幅に向上した。

よって、2台のカメラの適切な配置とレンズにより、施工精度の向上及び画像システムの有効性が確認された。

4) 原石投入作業による試験及び結果

掘削作業による試験と同様のカメラ配置により、移動式クラッシャーへの投入作業の試験を行った。試験状況を図-4に示す。試験結果は、有人作業と比較して約80%の作業効率を得られ、掘削以外の作業でも有効性を確認できた。

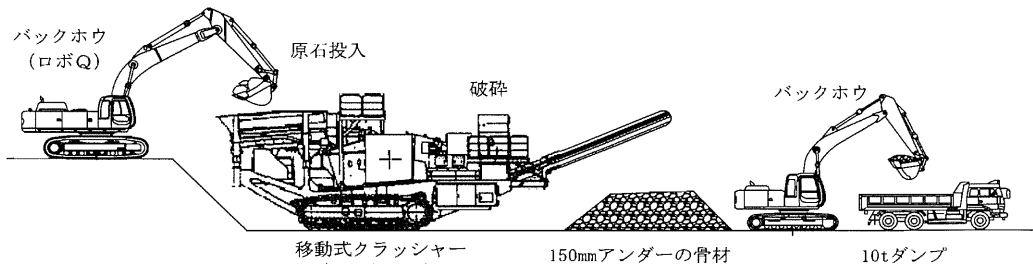


図-4 原石投入試験機械配置図

3 委員会の導入

簡易遠隔操縦装置を用いた遠隔操縦の施工性向上および効率化について審議・助言を戴くため、「遠隔操縦による施工の効率化検討委員会」を設置した。委員には、九州大学大学院の松永教授を委員長とし、土木研究所、原子力研究所、建設無人化施工協会などに所属する学識経験者10名を選出した。委員会は年2回実施し、①視覚情報機器の機能評価試験結果、②実証試験計画及び結果について検討して戴いた。

4 おわりに

主に緊急災害対策用に用いられている遠隔操縦機械の、一般工事への導入を目的として簡易遠隔操縦装置による実証試験の結果、有効な視覚情報機器を機能付加して施工精度の向上を確認した。

また、掘削作業以外でも原石投入実験においても有効性が確認された。今後、これらの結果やデータをもとに一般土木工事に幅広く普及していくことが肝要であると考えます。

2. テルハ型クレーンによるダム コンクリート運搬・打設設備の開発

（株間組：館岡 潤仁、藤田 司、
間・前田・奥村特定建設工事共同企業体：*寺田 幸男

1. はじめに

長井ダムのコンクリート主運搬設備は発注者（国土交通省東北地方整備局）より、特記仕様書にて2基で390m³/hの最大運搬能力を持つ鉛直昇降型クレーンを使用するように規定されていた。これに対応して港湾の荷役機械として使用されているテルハクレーンをベースに、ダムの打ち上がり高さに合わせクレーン本体をリフトアップさせるクライミング装置を有した「自昇式テルハクレーン」を開発した。さらに、トランスファーカと連動した自動運転機能を設備し省力化・安全性を向上させ、現在2系統の設備が稼働している。その設備概要、開発内容等について報告するものである。

2. 長井ダムの工事概要

長井ダムは、最上川水系の長井市を流れる置賜野川に建設される、重力式コンクリートダムであり、洪水調節、河川環境の保全、灌漑用水及び水道用水の供給、発電を目的とした、多目的ダムである。

ダムの規模は堤高125.5m、堤頂長381m、堤体積120万m³でありRCD工法によるコンクリート打設を行っている。

今回、長井ダムでは、ダム直上流の河床部に基礎掘削ズリを流用盛土したヤード造成を行い、骨材製造からコンクリート製造・運搬設備までの一連の設備を集中配置し、テルハ型クレーンを用いて堤体にコンクリートを運搬する方法を採用している。テルハ型クレーンの採用はダムでは初めてである。

2000年4月に本体工事に着手し、2002年10月に本体コンクリート打設を開始した。現在まで打設は順調に進捗しており、2007年に打設を完了する予定である。表-1及び図-1に長井ダムの概要とダム越流部及びダム下流面を示す。

3. 自昇式テルハクレーンの開発目的

重力式コンクリートダムのコンクリート運搬設備としては、ケーブルクレーン、インクライン、タワークレーン、ベルトコンベヤなどが使用されてきた。

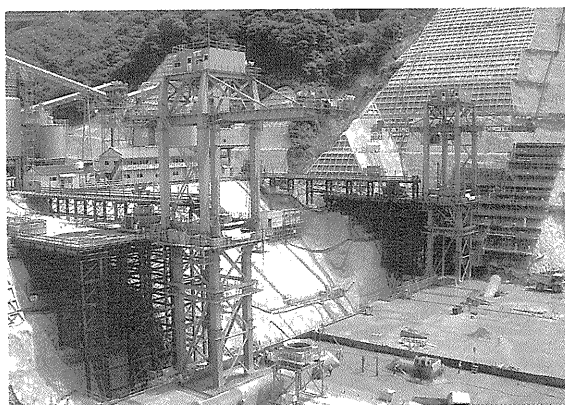


写真-1 テルハクレーンとコンクリート製造運搬設備

表-1 長井ダムの概要

工事名	長井ダム本体建設第1工事
発注者	国土交通省長井ダム工事事務所
所在地	山形県長井市平野・寺泉地内
総貯水量	5,100万m ³
型式	重力式コンクリートダム
形状	堤高:125.5m 堤頂長:381m 堤体積:120万m ³
施工	間・前田・奥村特定建設工事共同企業体

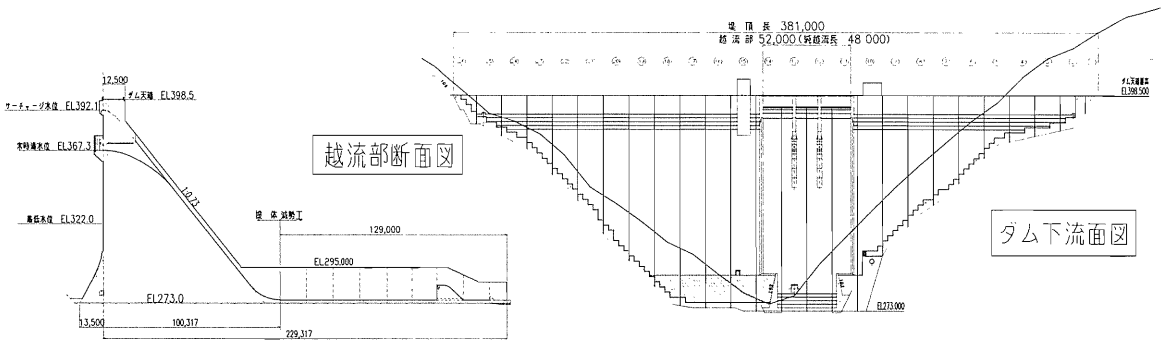


図-1 ダム越流部及び下流面図

こうした仮設備配置にあたって最近では、環境への配慮からコンクリート運搬設備は、法面掘削などによる自然環境の改変を極力少なくする機種が求められている。

長井ダムにおいても骨材生産、貯蔵、引出及びコンクリート生産設備をダム上流の河床ヤードに集中配置するなど、ダムサイト周囲の掘削量を極力少なくし、自然環境の保全に配慮した仮設備配置となっている。(写真-1)

こうした設備配置からコンクリート運搬設備は、ダム上流に設置し、ダム施工高さに合わせ鉛直昇降させるクレーンが指定された

(表-2、図-2)。

開発にあたっては以下の項目に留意した。

- ① 港湾、地下 LNG タンクで実績のあるテルハクレーンをベースにクライミング機能を開発する。
- ② 指定能力を確保するため 9m³コンクリートバケットを使用し、吊り上げ能力を 32t とする。
- ③ ダム用クレーンとして、荷となるコンクリート 9m³ を短時間に放出するため、その繰り返しの衝撃に耐えられる構造とする。
- ④ コンクリートを運搬する

表-2 自昇式テルハクレーンの仕様

吊上荷重	32.0 t
定格荷重	29.5 t
アウトリーチ	上下流とも中心から15m コンクリートバケット9m ³ 装着
揚程	揚程100m
巻上速度	70m/min、空荷時130m/min
横行速度	100m/min、空荷時150m/min
クライミング	6m/30分
本体重量	本体重量220t中間マスト4m
使用電源	三相400V 回生機能付きインバータ方式

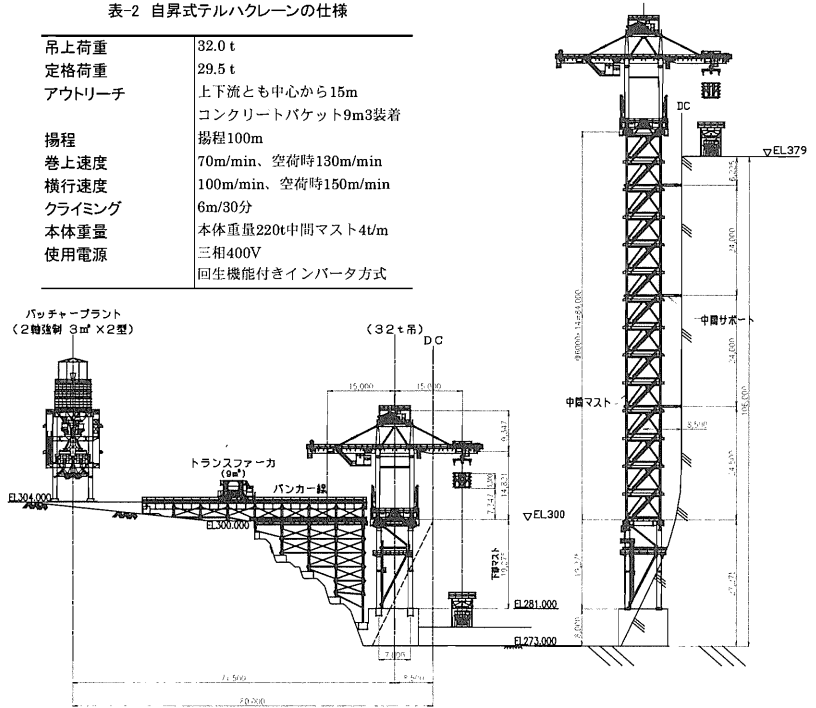


図-2 コンクリート製造・運搬設備

トランスファーカと自昇式テルハクレーンを連動させた自動運転を行うことにより、サイクルタイムの均一化を図り、長時間の運転から発生するミスをなくし、打設能力を向上させる。

- ⑤ 安全性の向上及び自動化によりシステムが複雑化してきているが、トラブルが発生したとき、迅速に対応できるシステムとする。

上記を目標に開発を行った。

4. 自昇式テルハクレーンの構造と動作

自昇式テルハクレーンはダム直上流部に2基配置している。構造は、マストと横行ガーダで構成されており、横行ガーダは上下流方向に各 15m 張り出している。その動作は、巻上げウィンチにより油圧蓄圧型コンクリートバケットを吊り上げ、横行ガーダ上のトロリにより横移動し、堤体内にコンクリートを運搬するしくみである。

巻き上げウィンチは、密閉型減速機に接続された450kW 交流電動機をインバータ制御により4段階(2~130m/min)に速度制御を行う。また、横行トロリはダブルレール式にて22kW 2基の交流電動機をインバータ制御で4段階(6~150m/min)に速度制御する。ウィンチ及びトロリいずれにも位置検出用エンコーダを接続し、フック位置の表示を行うと共に、横行及び巻上下の設定範囲外での自動停止を行う。

クライミング用のマスト(□7,550mm、高さ6,000mm)は現場で組立てる。そのマストをテルハ自体により既設マストの上部に吊り込み、継ぎ足し、油圧式のクライミング装置により自昇する。最終的には6m マストを14柱、計84m 継ぎ足し全高127mとなる。

また、クライミング装置をマスト側に装着することによりクレーン本体の軽量化を図っている。

解体時は堤体側のガーダを取り外し、クライミングと逆の動作で下降可能としている(図-3)。

クレーン全般の構造としては、豪雪地での越冬を考慮して、積雪量を3mに設定するとともに、クライミング中に震度6の地震が発生しても、十分耐えられ構造とした。

5. 自昇式テルハクレーンの運搬能力

自昇式テルハクレーンの運搬能力は巻上げ・下げ、横

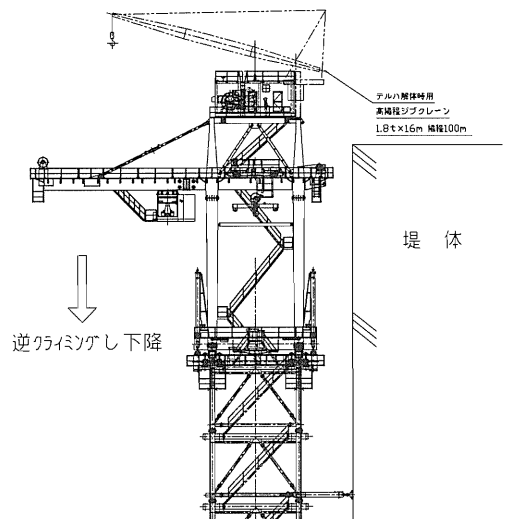


図-3 テルハ解体状況

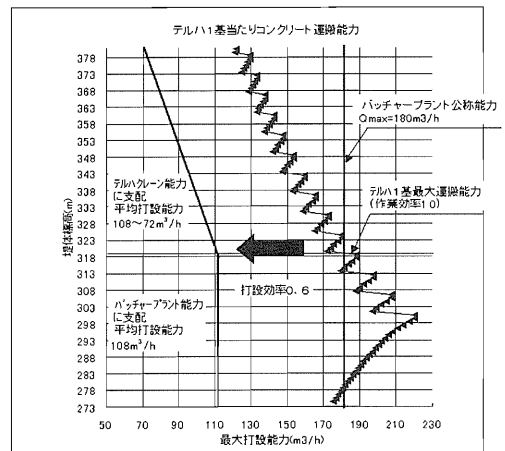


図-4 テルハ コンクリート運搬能力

行上下流及びコンクリート放出時間から求めたサイクルタイムより算出される。

図-4 で示すように、バンカ線高さ EL300 において1基当たり最大能力 220m³/h となる。その後テルハクライミングにより、バンカ線からの巻き上げ時間が多くなり運搬量は減少する。

6. 開発内容

(1) クライミング装置の概要

ダム用タワークレーンの1回のクライミングは3mであり、本体部を油圧シリンダで押し上げる方式である。しかし、当テルハクレーンのマスト高さは6mと長く、押し上げ式の油圧シリンダではロッドの座屈が考えられ、そのために油圧シリンダが大きくなり、クライミング装置が巨大化してしまう。

この解決のために4本のシリンダによる引き上げ式とした。これにより、クライミングシリンダを細くし、装置の軽量化が行えた。

クライミング装置は、テルハクレーン本体の重量220t 及び、上下流方向に伸びた40mのガーダの水平度を保ちながらクライミングさせる機能を有する。

(2) クライミング機能

クライミング装置は図-5 に示すように上部フレームと下部フレームからなる。

(a) 上部フレーム

上部フレームはマスト上部に設置し、クレーン本体と接合されている。フレームの四隅にストローク長6mのクライミングシリンダ4本を配置し、各シリンダを制御する油圧ユニットを搭載する。

クライミングシリンダはロッド長を0.2mmまで検出する高性能なりニアセンサを内蔵し、4本のクライミングシリンダのストロークを計測する。

クライミング中は各シリンダのストローク長、油圧及び、角度センサーによるクレーン本体傾斜角度を常に検出しフィードバック制御を行い、4本のシリンダストロークを同期させる。

(b) 下部フレーム

下部フレームはクレーン本体基底部にあり、テルハ本体荷重を支えるかんぬきを設備する。

かんぬきはテルハの脚部4箇所に対してそれをまたぐように左右に2本、計8本配置し、油圧シリンダにより出し入れする。

クライミング時はクライミングシリンダとかんぬきは、お互いインターロックを取りながら連動し作動する。

(3) クライミング手順

クライミング方法は図-6 の手順により行われる。

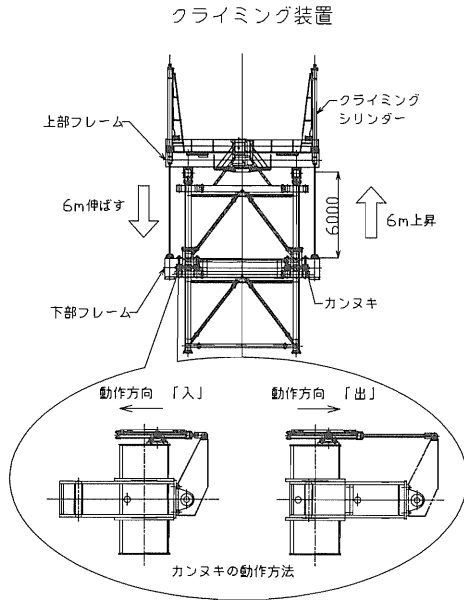


図-5 クライミング装置機能

① 構台上でテルハマストを組み立てる。

② 上部フレームを外し、堤体に仮置きする。

③ マストを吊上げ、クレーン中心に置きマストを継ぎ足す。

④ 上部フレームを、継ぎ足したマスト上に吊り上げ固定する。

⑤ 油圧シリンダを 6m 伸長し、下部フレームに固定する。

⑥ 油圧シリンダを縮め、本体が 2cm 上昇したら下部フレームのかんぬきをを外し、クライミングを行う。6m のクライミングを 30 分で行う。

⑦ 6m クライミング終了後、かんぬきを入れ、クレーンを固定する

写真-2 にクライミング状況を示す。

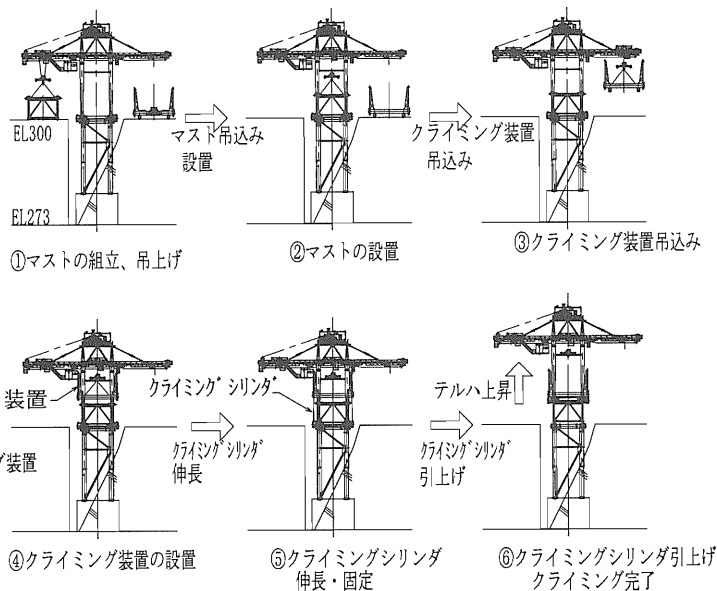


図-6 クライミング手順

7. コンクリート自動運搬システム

従来よりバッチャープラントからコンクリートを受け取り、クレーンまで運搬する、バンカ線自動運転システムは、数多くのダム現場で採用され実用化されてきている。

長井ダムにおいても、国内最大級となる 9m³トランスファーカ 2 台の自動運転を実施している。

さらに、テルハクレーンの運転をトランスファーカと連動させ自動運転とすることで、サイクルタイムの均一化、オペレータの負担軽減を行い、テルハクレーンの最大能力を引き出すこととした。写真-3 に自動運転状況を示す。

自動運転方式はクレーンオペレータの運転を記憶する、ティーチング方式とし、雑運搬などでは速やかに



写真-2 シリンダを伸張した状態

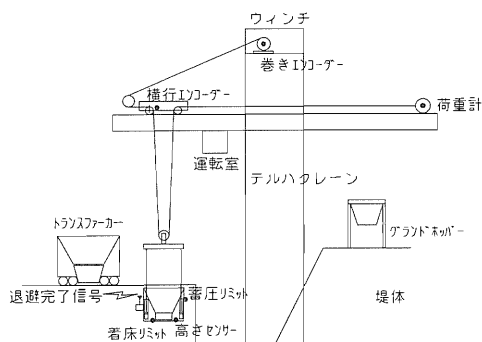


図-7 自動運転概要図

手動に切り替えるシステムとした。

図-7 に各種センサーの位置、図-8 に自動運転のフローを示す。

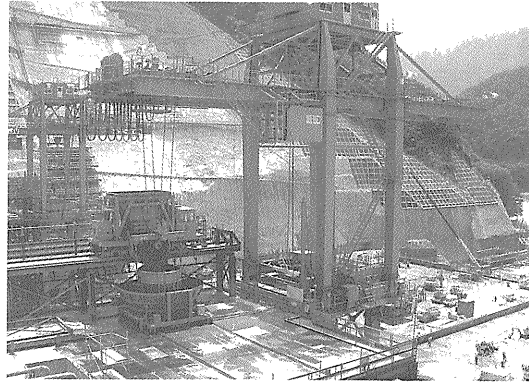
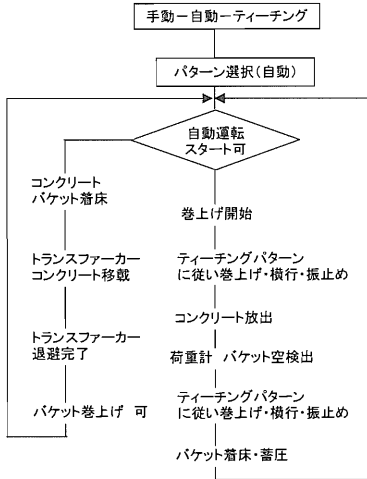


図-8 自動運転フロー

写真-3 自動運転によるコンクリート運搬状況

8. リモートメンテナンス機能

上記の様に多くの機器の自動化が進められると、制御システムの故障時には専門の技術者が必要となり、復旧に時間がかかることが予想された。

当長井ダムでは事務所及び現場内に LAN を敷設し業務の効率化を図っている。

テルハクレーンの運転制御において、シーケンサを上位のコンピュータにより制御を行い、現場内 LAN に接続している (図-9)。

この機能を利用し、現場内の LAN をインターネットに接続し、外部の専門の技術者が現場まで来なくとも故障原因を突き止めることができ、トラブルを短時間に解決することが出来るようになった。

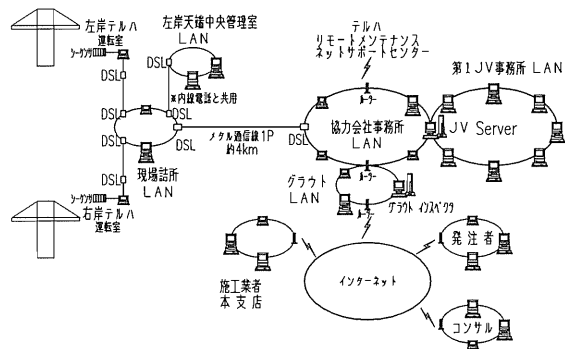


図-9 現場内 LAN 構成図

8. おわりに

国内初となる自昇式テルハクレーンによる、大容量コンクリート打設システムは、順調に稼働し RCD 工法による高速施工を日々行っており、当初の開発目標をクリアし成果を上げている。

また、仮設用地確保のための自然改変を極力少なくすることができる、上流ヤードへの設備集中配置方式では、今回開発した自昇式テルハ技術が有効と考える。

最後に、この設備導入に向けて多大な指導をいただいた工事事務所、メーカー、協力会社等の関係各位に深く感謝致します。

3. 道路標識点検手法の開発

国土交通省 関東技術事務所：持丸 修一、茂木 正晴、
*増尾 健

1. はじめに

首都高速道路の標識柱落下事故を契機に、標識、道路情報提供装置等の点検手法を確立する必要が高まり、平成11年度に「道路付属物の安全性に関する調査委員会」が設置され、「道路付属物点検・対策マニュアル(案)」が策定された。

マニュアル(案)では、設置後1以内に行う「初期点検」と、設置後5年サイクルで行う「定期点検」の実施が盛り込まれている。しかし、高所の近接目視点検を行うためには、高所作業車による人力点検が必要となるが、交通渋滞の発生や作業安全性の確保、作業効率の面で苦渋を伴うため、高所での目視点検の代替としての点検方法の開発が望まれた。

そこで今回、画像装置を用いた点検手法を開発し、作業効率の向上および安全かつ円滑な道路交通の確保を目的とした道路標識点検手法の開発を行った。

2. 開発内容

2.1 点検箇所の整理

マニュアル(案)の中の初期点検とは、供用後比較的早い時期に発生し易い損傷、発生すると進行の比較的早い損傷を早期に発見するために、供用後1年以内を実施する点検であり、主に亀裂、ナットの緩み、変形等が対象である。

定期点検は、発生してもその進行が比較的緩やかな損傷、および通常は点検しにくい部位の損傷を発見するため、供用後5年以上の付属物を対象に5年サイクルで実施する点検である。

点検箇所は、マニュアル(案)に基づき、片持式は標識上部の横梁仕口溶接部、横梁取付部及び標識板取付部とし、門型式はさらに横梁トラス材溶接部を点検の対象とした。図-1に片持式、門型式の点検箇所を示す。

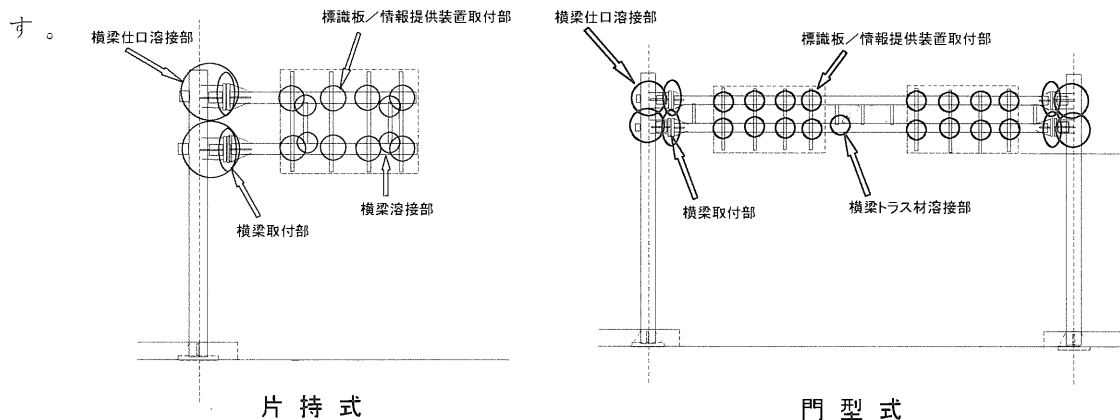


図-1 点検箇所

2.2 カメラ移動範囲

標識の最大高さは、片持式、門型式ともに支柱頂部は路面から約9m、点検部位の横梁取付部上面高さで約8.9mであることからカメラの高さは9m以上到達可能とした。

水平移動範囲は、最大1.7mとし、各点検部位を十分撮影可能な移動範囲とした。



写真-1 点検状況（片持式）



写真-2 点検状況（門型式）

2.3 点検カメラ

近接画像点検において、損傷状況を正確に把握するため、一定以上の画素数と車輻操作室から手動でアリス(明暗感度)及びフォーカス(焦点)調整が可能な3CCDカメラを採用し、点検箇所の各環境条件下(逆光や狭隘部等)において点検部位を十分認識できる画質が取得可能になった。また、ボルトにマーキングを施すことによりボルトの緩みの検出が容易となる。写真-3に試験的に、テープをずらしてマーキングを施したナットの画像を示す。

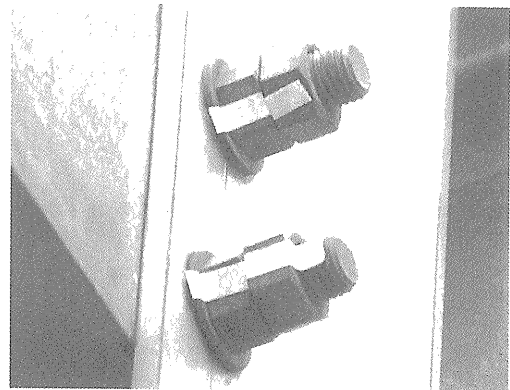


写真-3 取込画像

また、本開発では、画像処理による損傷の自動判定システムの検討を行った。写真-4に標識板の腐食を画像処理により識別した画像を示す。しかし、影の誤検出や背景、文字部の色情報検出領域の設定等システム全体の検討が必要なため、採用を見送った。



画像処理前



画像処理後

写真-4 画像処理

2.4 画像操作制御

伸縮ポール・伸縮アーム・旋回俯仰装置およびカメラ画像の切替やフォーカス(焦点)、ズームなどの制御は、後部座席に集中制御盤を装備し、点検員1人で操作することを可能とした。

写真-5に室内操作室を示す。画面左はC CDカメラからの取込画像、画面右は点検記録表の記入画面である。

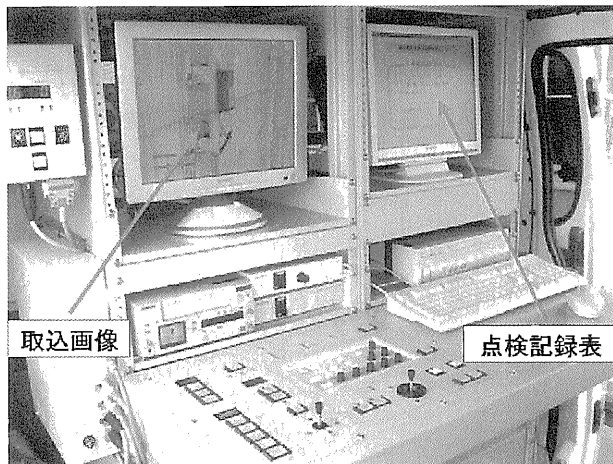


写真-5 室内操作制御盤

2.5 画像記録システム

従来、点検終了後に出張所等に戻ってから点検記録表の作成を行っていたが、各部の損傷状況を点検と同時に車内にて記録・作成できるシステムを採用した。点検記録表をデータベース化することにより、過去の検索等が容易になる他、電子記録媒体を用いデータを持ち運び、事務所、出張所での保存等が可能になる。記録表への記入は、損傷内容入力画面において、マウスのクリック操作のみで行うことができ、点検の効率化を図った。

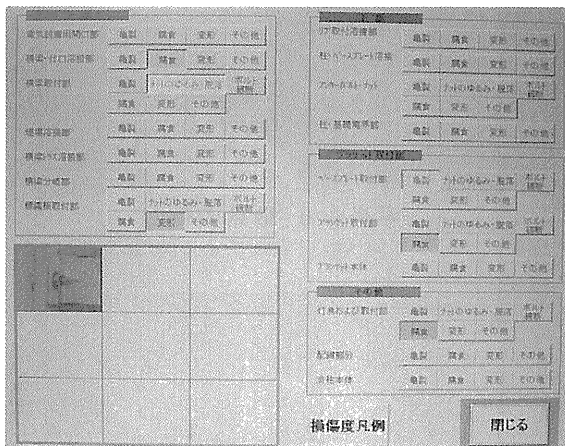


写真-6 損傷内容入力画面

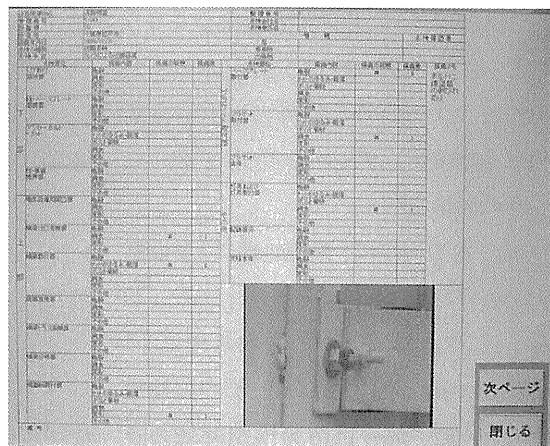


写真-7 点検記録表

2.6 車両自動水平制御

点検作業時の安全性の向上と、作業の効率化を図るために、電動油圧式のアウトリガ4本を取付け、自動水平制御装置を採用した。これは、室内において張り出し格納操作および自動に水平制御が行える装置である。

2.7 主要諸元

表-1に開発車の性能諸元を、写真-8に開発車の基本構成を示す。

表-1 主要諸元

車両寸法(L×W×H)	4,560mm × 1,690mm × 3,160mm	
車両総重量	2,665kg	
乗車定員	3人	
ポール	スライド高さ	H = 3.1m ~ 9.5m
	上昇速度	5.2cm / s
	下降速度	6.8cm / s
	伸縮方式	テレスコープ機械式
アーム	スライド巾	L = 0.3m ~ 1.75m
	回転角度	左右180度
	伸縮速度	0 ~ 24cm / s (可変式)
	伸縮方式	マジックハンド式
カメラ旋回俯仰装置	旋回角度	±270度
	俯仰角度	±90度
点検用カメラ	CCDカメラ(屋上)	38万画素 光学10倍ズーム
	CCDカメラ(アーム上)	38万画素 3CCD 光学17倍ズーム
画像記録システム	CPU	Intel Pentium III 1.2GHz
	HDD	40GB(外付ハードディスク付20GB)
	使用ソフト	Ulead VideoStudio6, ACCESS2002
安全装置	アウトリガ自動水平制御装置、情報表示板	



写真-8 開発車

3. おわりに

3CCDカメラの採用、点検記録表の電子データ化、車内での点検記録が可能になったこと、アウトリガの自動水平制御等により、作業効率の向上、安全性の確保を図ることができた。

本開発機による点検の適用範囲は、亀裂、変形、腐食等で、ナットの緩みについては、マーキング等を施すことにより、より詳細な点検が可能となる。ただし、本開発機で画像による異常の判定が困難な部分については高所による目視点検が必要になってくる。よって今後はマニュアル(案)に基づいた初期点検に活用し、さらに定期点検の一次調査として活用していきたい。また、現場の意見を反映しながら、さらなる点検の効率化、安全性の向上を目指し、精度を高めていく。

4. 消雪井戸の維持管理点検ロボットの開発

国土交通省 北陸技術事務所：柴澤 一嘉、前田 光昭、

*長谷川 学

1. はじめに

消雪パイプに代表される消融雪施設は、冬期交通確保に重要な役割を果たしている。この熱源となる消雪井戸の揚水能力が低下した場合、内部の状態を把握するため、水中カメラで異常を確認しているが、現在の水中カメラでの点検は水中ポンプ引き上げ作業が伴い、費用が高価である。また、その修繕方法はケーシング等の部分腐食でも二重ケーシング工法や堀替え等大規模な修繕が必要となる。そこで、消雪井戸の信頼性向上と維持管理コスト削減を目的に、水中ポンプを引き上げなくても井戸内部の点検ができる小型水中カメラと部分腐食が修繕可能な修繕ロボットの開発を行ったので、その概要と試験用井戸での動作確認試験結果について報告するものである。

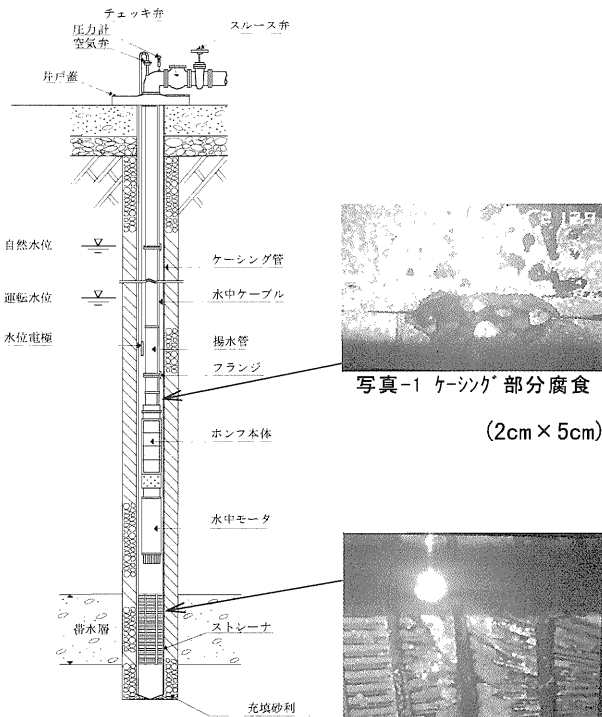


図-1 消雪井戸標準構造図

写真-2 ストレーナ全周腐食

2. 消雪井戸の異常実態

北陸地方整備局管内で直轄管理している消雪井戸は約300本ある。その深度及びケーシング径別の設置数を表-1に示す。そのうちの揚水能力低下等の異常がある消雪井戸を調査した結果、図-2に示すように約6割が写真-1のような部分腐食であった。

表-1 北陸地整管内における消雪井戸の深度及びケーシング径別設置数(本)

井戸深度別内訳	0~100m	101~200m	201~300m	301m以上	計
	本数	110	160	22	4
割合	37.2%	54.1%	7.4%	1.4%	100.0%
ケーシング径別内訳	200A	250A	300A	350A	計
	本数	14	150	103	29
割合	4.7%	50.7%	34.8%	9.8%	100.0%

なお、部分腐食とはケーシング管等に比較的狭い範囲で、部分的に”穴”が開いたように腐食しているものを定義した。

また、異常のあった井戸深度分布は図-3に示すように100m以上の深度では腐食等の異常は発見されなかった。このことから水深100mの使用に耐えるものを開発することとした。

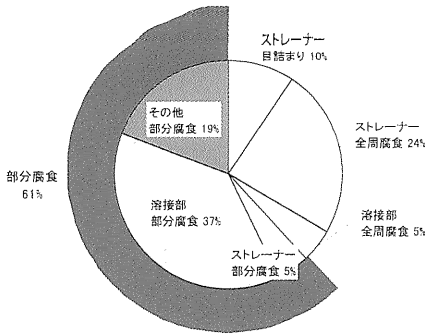


図-2 消雪井戸異常分類

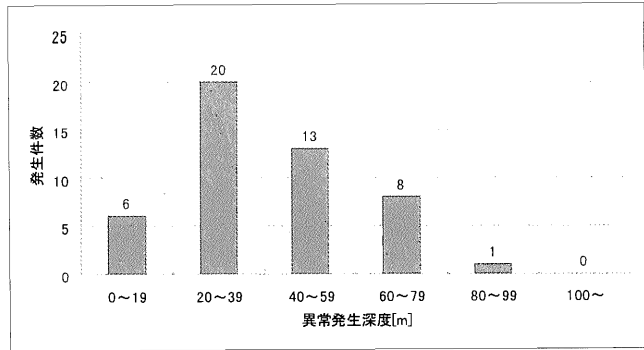


図-3 異常発生深度分布

3. 小型水中カメラの開発

井戸ケーシングとポンプの隙間に挿入でき（図-4）、水深100mの使用に耐えるのが市場調査の結果無いことが判明したため小型水中カメラ（写真-3）を開発した。

特徴は下記のとおりである。

- ①カメラ外径φ23mmと小型のため、ケーシングとポンプの隙間に挿入することで、ポンプを引き上げずに点検が可能。
- ②井戸深度100mまで使用可能。
- ③側視型カメラは側部視野360°
- ④直視型カメラで大まかに点検、側視型カメラで詳細撮影。

4. 修繕ロボットの開発

修繕ロボット（写真-4）は、設置実態から消雪井戸ケーシング内径204.7mm（200A）、254.2mm（250A）、304.7mm（300A）に対応できるものとし、修繕方法は、腐食部分に板を当てて塞ぐ当て板方式とした。補修材（当て板）は帯状のバネ鋼を使用し、井戸径より小さく縮めて修繕位置まで持っていき、位置決め後、装着（解放）する方式とした。装着方法としては補修材を縮めた状態で両端をワイヤーで連結し、そのワイヤーを切断することで装着できるものであり、補修材はバネの力で張り付くものとなっている。

（図-5）

修繕ロボットの特徴は下記のとおり。

- ①部分腐食の修繕補修が可能である。
- ②井戸深度100mまで修繕可能。
- ③本体外径φ200mm以下であることからケーシング径204.7mm（200A）から適用可能。
- ④本体重量30kg以下のため人力2名で運搬可能。

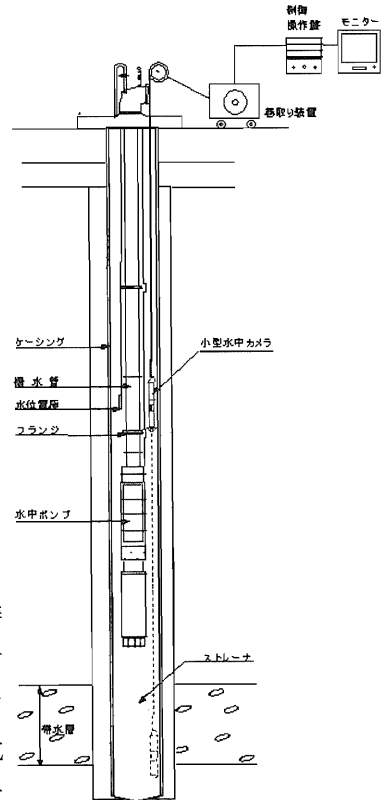


図-4 点検イメージ図

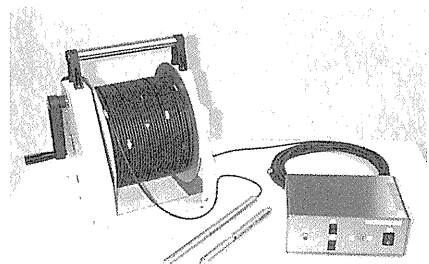


写真-3 小型水中カメラ

- ⑤異常部分を確認しながら修繕できる。
- ⑥求心固定機構により位置決めが容易。

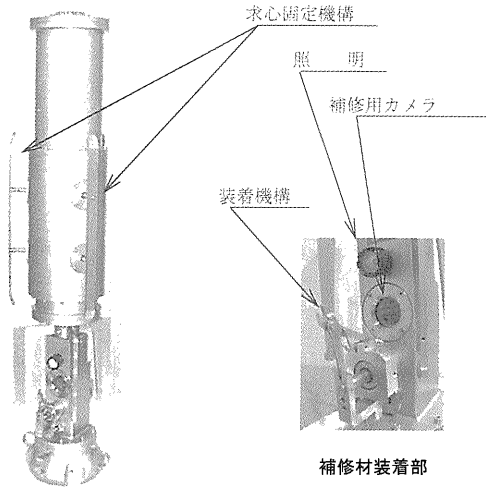


写真-4 修繕ロボット本体

5. 動作確認試験結果

1) 小型水中カメラ

ケーシングとポンプの隙間に挿入するため、視野が広くとれないものの井戸内部の状況は把握できることが確認できた。

2) 修繕ロボット

消雪井戸深度17m付近に修繕ロボットで補修材(当て板)を装着し状況を確認した。(写真-5)
 水中での動作及び装着状況は良好であった。
 補修材の傾き及びずり落ち現象も無かった。(写真-6)

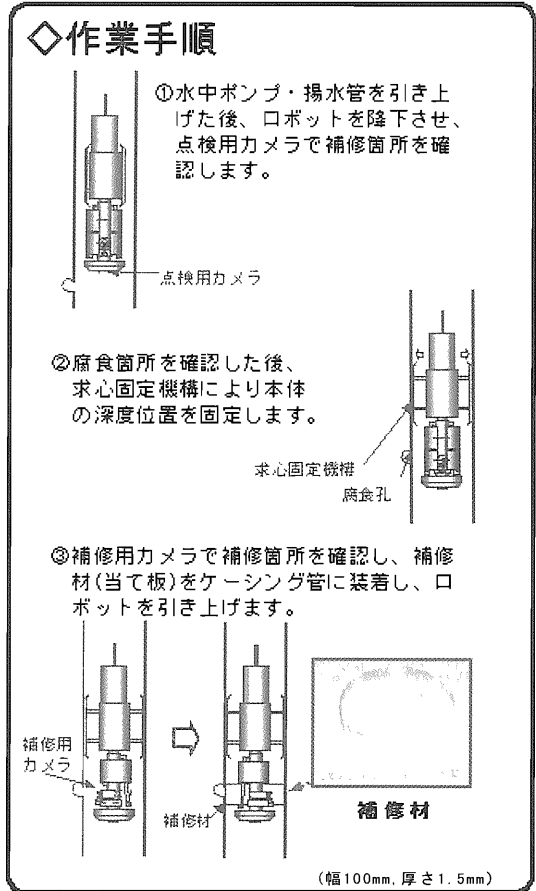


図-5 修繕ロボット作業手順



写真-5 動作確認試験状況



写真-6 補修材装着状況

6. 開発の効果

開発した小型水中カメラと修繕ロボットの従来工法と比較した作業工程を図-6、7に示す。

1) 小型水中カメラ

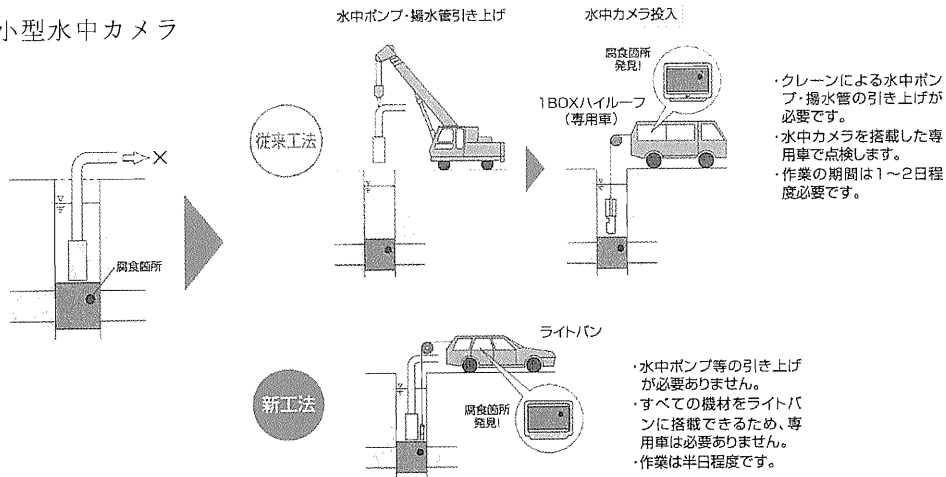


図-6 小型水中カメラ開発の効果

2) 修繕ロボット

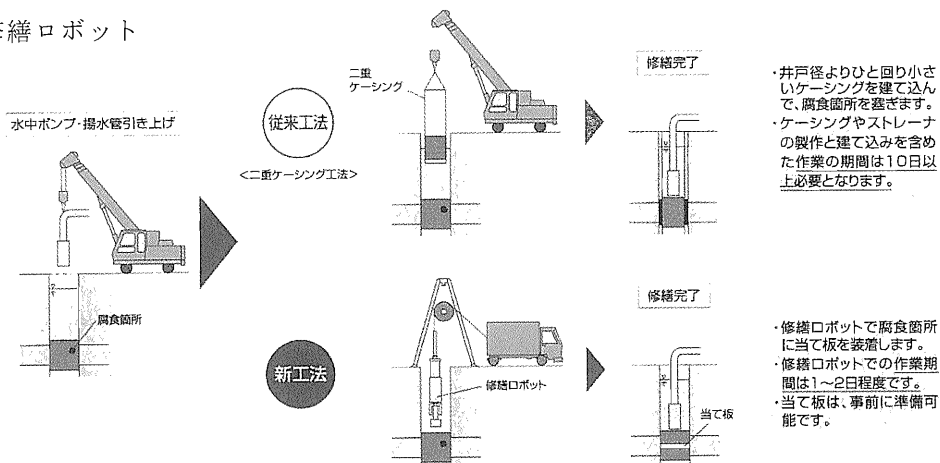


図-7 修繕ロボット開発の効果

7. あとがき

小型水中カメラにより、ポンプを引き上げなくても点検が可能であることが確認出来た。修繕ロボットの動作状況も良好であり、開発目標は達成出来たと考えている。

試算の結果、小型水中カメラでの1箇所当たりの点検費用は従来工法の30%になる。修繕ロボットによる修繕費用は二重ケーシング工法の20%になる。また、小型水中カメラによる腐食箇所の早期発見と修繕ロボットによる早期修繕を行った場合、井戸の延命化が図られ、10年で掘りかえした井戸をケースに試算すると消雪井戸のライフサイクルコストは10%程度縮減できる見込みである。

なお、平成14年度には消雪井戸の定期点検時に井戸10本について小型水中カメラで点検を実施しており良好な結果を得ている。点検結果からは腐食等の異常が発見されていないため修繕ロボットによる施工は実施していないが使用できる準備は整えている。

今後は、効果の検証、歩掛調査及び修繕後の経年変化等のデータ蓄積を行っていきたい。

5. 既設トンネルの覆工背面空洞調査法 (PVM) システムの開発

日本道路公団：大嶋 健二、清水建設(株)：河野 重行、
古河機械金属(株)：*阿部 裕之

1. はじめに

既設トンネルの覆工背面の空洞や地山の性状を高精度に調査することは、トンネルの適切な維持補強工法の選定にとって非常に重要である。一般に、覆工背面に空洞が存在する場合、トンネルは構造上不安定となり長期耐久性が低下するため、空洞が存在するトンネルを対象に、裏込め注入材等でその空洞を充填する必要がある。

その空洞規模の調査には、これまで電磁波レーダや超音波などの非破壊物理探査手法が広く用いられて来たが、覆工コンクリートが厚い場合や背面に崩落土砂が堆積していたり地下水が存在する場合などでは、調査精度の低下が危惧されていた。

そのため、現在ではコアボーリングによって覆工を実際に削孔し、計測棒を用いて直接的に空洞高を調査計測する手法が採用されているが、削孔自体に時間が掛かるため、密な間隔 (10m 以下) での調査削孔は費用面で課題もあり、結果として空洞規模調査の精度低下を招く可能性が依然として残っていた。

そこで日本道路公団、清水建設(株)及び古河機械金属(株)の三社は、覆工及びその背面地山を小孔径で高速穿孔しながら、精度よく覆工背面の空洞規模や性状を調査できる PVM (Percussive-drilled Void Measuring) システムを共同で開発した。

PVM システムによる調査穿孔の基礎実験と、供用トンネルでの実証テストを踏まえ、今回『トラック搭載型覆工背面空洞調査専用機 (PVM-I)』を開発したので、実用機完成に至るこれまでの経緯を報告する。

2. PVMシステムの概要

本システムは小型油圧ドリフタ (打撃回転式さく岩機) で覆工及び背面地山を小孔径 ($\phi 33$) で高速穿孔し、複数のセンサーで穿孔にまつわる各種

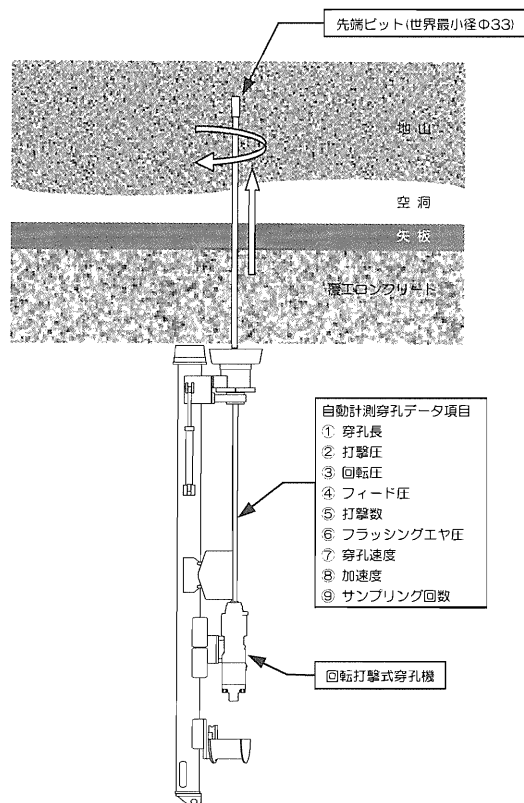


図 2-1 調査手法概要図

機械データを同時計測し、コンピュータシステムへ送信、リアルタイムで可視化・解析を行うものである。

具体的には①穿孔長（ストローク）、②打撃圧、③回転圧、④フィード圧、⑤打撃数、⑥フラッシングエヤ圧の6要素を0.2秒間隔でサンプリングしている。①ストロークの変化量から⑦穿孔速度、⑦穿孔速度の変化量から⑧フィード加速度を夫々算出して表示し、更に単位ストローク長当りの⑨サンプリング回数を⑦穿孔速度の逆数として便宜上表示させている。

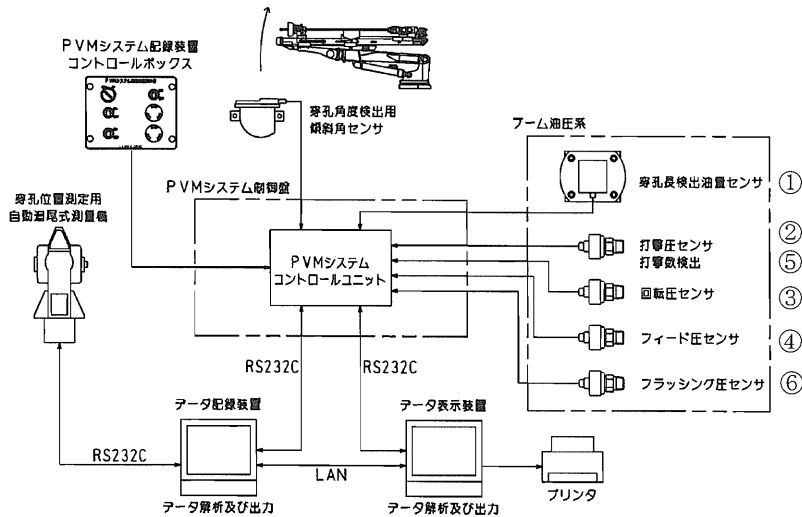


図 2-2 システム図

3. 基礎テストの経緯

まずコンクリート覆工背面の空洞を検知できる事を確認する為、コンクリート、矢板、花崗岩の各種材料を予め決められた空隙をもって組み合わせた供試体を準備し、実際にφ33で穿孔し、材料の違いによる各データの変化と空洞通過時の特性把握を試みた。

また後の裏込め充填の際に必要なφ65への拡径穿孔も行い振動の影響も同時に把握した。

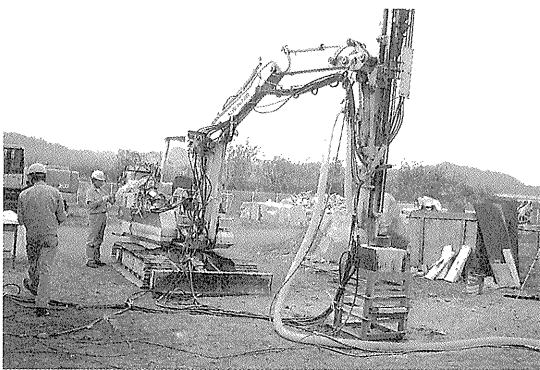


写真 3-1 場内テスト

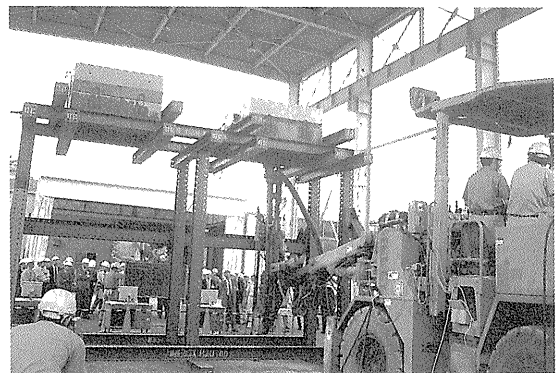


写真 3-2 公開テスト

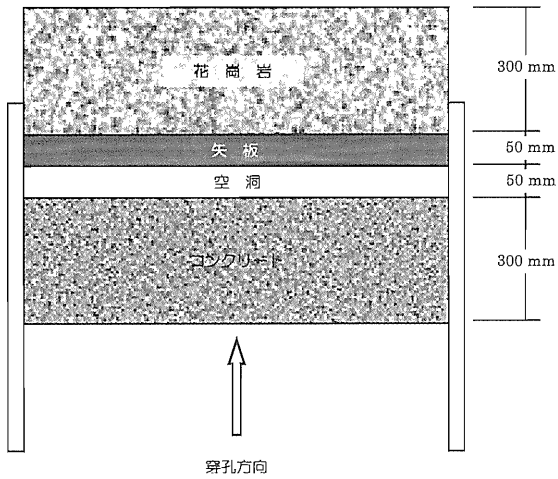


図 3-1 供試体(公開テスト)

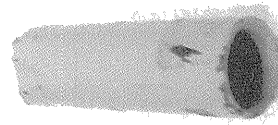


写真 3-3

φ33 調査ビット

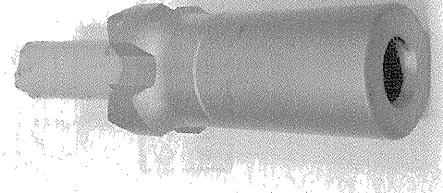


写真 3-4 φ65 拡張ビット

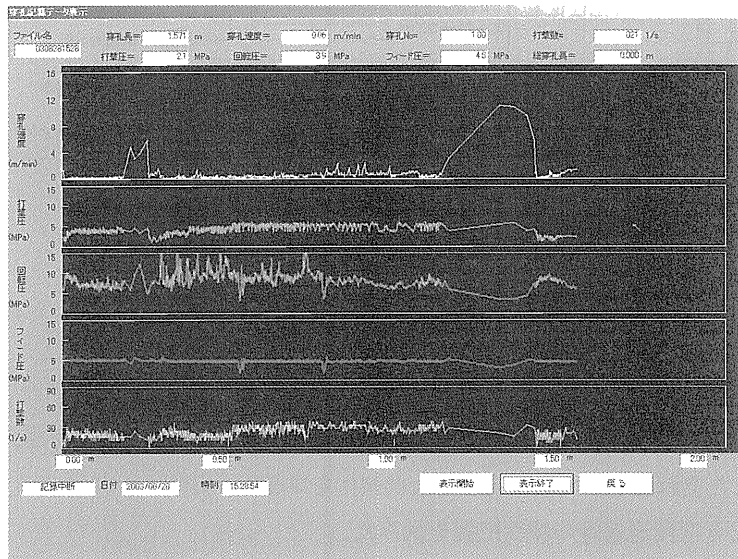


図 3-2 データ表示装置穿孔データ表示画面

図 3-3 データ記録装置穿孔データ記録画面

4. 実証テストの経緯

通常のホイールジャンプに PVM システムを搭載して、供用中のトンネル（3ヶ所）における実証テストを実施した。実際にφ33で覆工を穿孔し、収集データから判断した状況と実際とを比較するため、小型モニターカメラを調査孔に挿入し確認した。また最終的な充填作業を想定し、φ65への拡径穿孔や埋栓の施工を検証した。更に打撃振動が覆工へ及ぼす影響度を確認するため振動計測も実施した。一連の作業手順を検証し、実用機のあるべき姿を確認した。

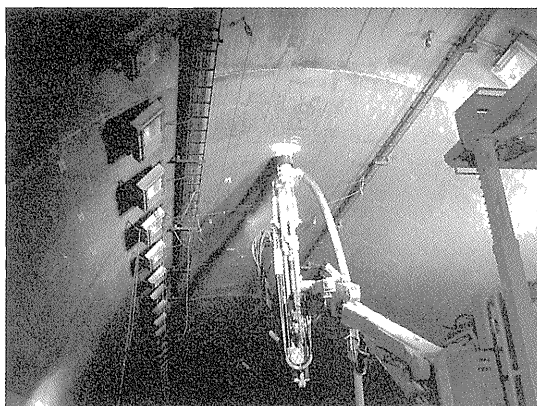


写真 4-1 H トンネル現場写真



写真 4-2 M トンネル現場写真

5. PVM調査専用機

空洞調査専用機は、図 5-4 に示すように、ベースとなる 8 トントラックに、穿孔装置、エクステンションブーム（ヨークスライド/ヨーク回転機構付き）、電動油圧パック、油圧制御ユニット、電気制御盤、ダストコレクタ、発電機、コンプレッサ、クレーン、そして解析用コンピュータユニットから構成される。穿孔装置を乗架するブームには角度センサを内蔵し、穿孔角度が自動記録されるようにした。更にトンネル延長方向の穿孔調査位置と穿孔データを自動的にリンクさせるため測量機も搭載している。



写真 5-1 完成機(右側面)写真

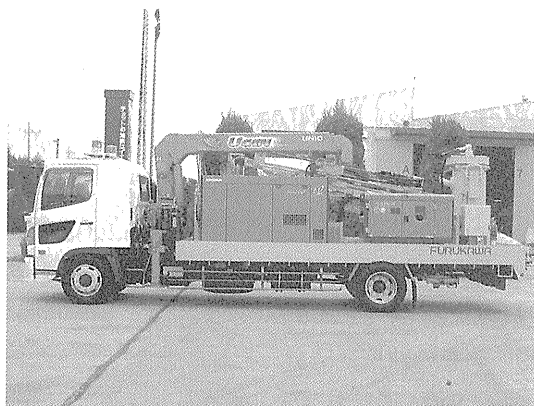


写真 5-2 完成機(左側面)写真

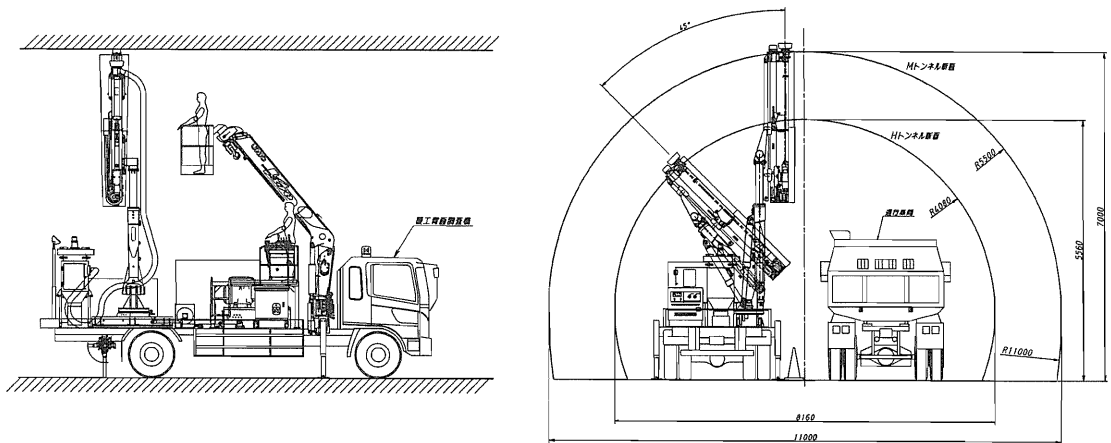


図 5-1 作業イメージ図

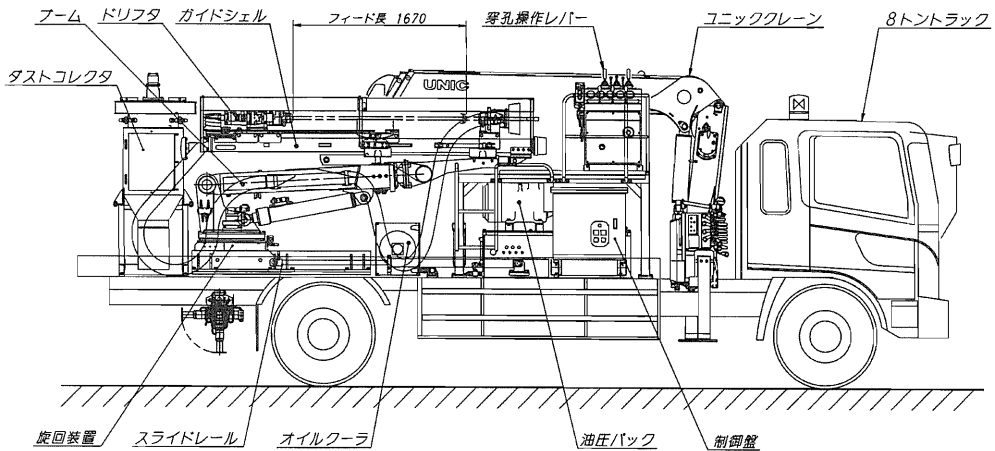


図 5-2 完成機機器配置図

6. まとめ

- ① 覆工厚や空洞高を高精度で調査測定が可能である。
- ② 調査精度は、覆工厚や地下水の存在などに影響を受けない。
- ③ 穿孔径は $\phi 33\text{mm}$ と小さく、トンネル構造や管理面への影響を最小限にできる。
- ④ 1ヶ所当りの穿孔時間は約5分程度であり、従来のコアボーリングによる調査に比べ、極めて短時間(1/8程度)で調査が可能。規制日数の短縮他コストの削減が期待できる。
- ⑤ データ解析がより客観的になり、瞬時に自動判読する事も可能になった。
- ⑥ 調査の結果空洞が判明した場合、裏込充填する為にその孔を $\phi 65$ まで拡径する作業がそのまま『PVM機』で実施可能である。
- ⑦ 『トラック搭載型空洞調査専用機』の完成で、PVMシステムに機動性と安全性が備わり、あらゆる現場に公道を自走して急行し直ちに調査を実施できる。

7. おわりに

今後は誰が調査穿孔に携わっても普遍的なデータが得られるよう、ある一定の決められた穿孔操作手順に従って自動穿孔が可能な機械に改良して行く。更に誰がデータを見ても客観的な判読結果が自動的に得られるよう、この空洞調査専用機を運用して、多くのトンネルにおける調査穿孔データを蓄積し次なる飛躍を目論んでいる。

現在 PVM システムで採集される膨大なデータを複合的に判読し、高精度かつ客観的に穿孔対象の性状を判定する手法として、人工知能技術として知られている SOM（自己組織化マップ）を用いたデータ分類／判別手法を試みている。この手法で基礎テストや実証テストのデータを学習させた後、新しい穿孔データの自動分類を試みたところ、かなりの高精度で実際と一致する事が確認できた。

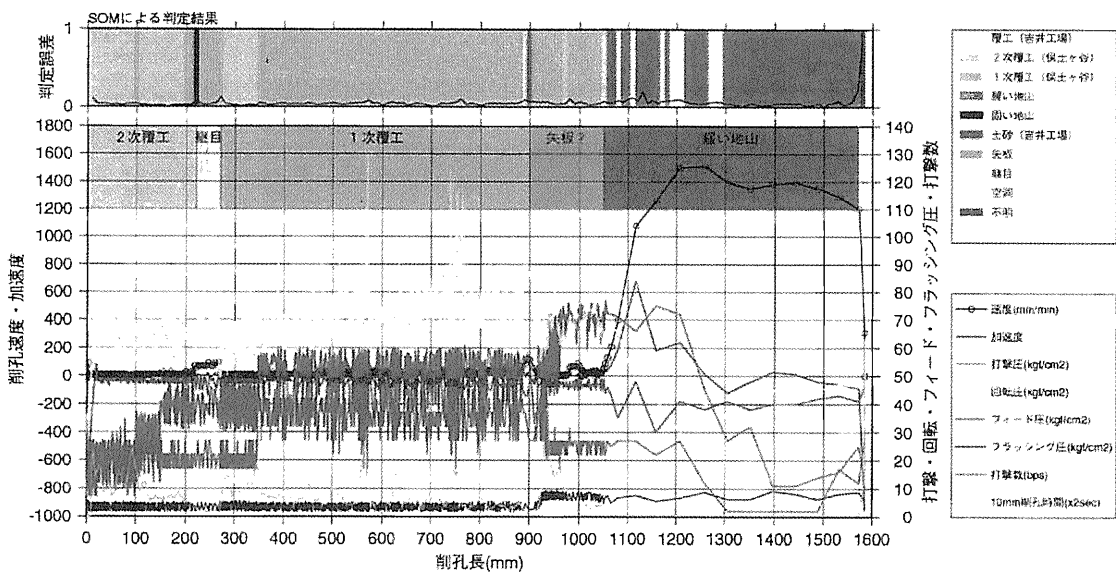


図 7-1 H トンネル SOM 解析データグラフ

更に一断面当りの調査穿孔本数を増やし、これらのデータを複合的に解析しながら、覆工及びその背面の地山性状を 3 次元的に可視化する技術を開発して、空洞規模調査の総合システムへと進化させて行く所存である。

最後に、本システムの開発に際して日本道路公団及び清水建設（株）の関係各位から頂いたご指導／ご協力に心から感謝申し上げます。

以 上

6. 高速型排水性舗装機能回復車の開発

(株)NIPPOコーポレーション：*勝 敏行、斎藤 徹、

石川島播磨重工業(株)：鈴木 宏

1. はじめに

排水性舗装の持つ排水機能や騒音低減機能は、空隙づまりや空隙つぶれにより経年的に低下していくことが知られている。このうち空隙づまりに対しては、現在、排水性舗装機能回復車（以下「機能回復車」）による対応が実施されている。しかしながら、作業速度が遅い、作業コストが高い、全層の回復はできないといった理由により広く普及展開するには至っていない。今回、筆者等は、道路管理者の求める機能回復作業を可能とするべく従来にはない発想の洗浄ユニットを有し「速い・安い・リーズナブル」を基本コンセプトとした機能回復車の開発を行い完成を見た。

本報告は、以上の観点に基づき作業速度の高速化、作業コストの低減を主眼に開発した機能回復車とその工法についての概要を報告するものである。

2. 開発の経緯

現在の機能回復作業の課題は、イ)作業速度が遅い(0.5 ～ 1km/h)、ロ)このためコストが高くなり、ハ)車線規制も必要、一方、全層回復を狙うも、ニ)実際には上部 20 ～ 25mm 程度のつまり物しか除去できない、ことに集約できる。この対策を、保有する既存の機能回復車（仏 HUWER 社製）の改造で対応しようとしたが、良い結果は得られなかった。そこで、米国の BATTELLE 記念研究所に現状分析等の業務委託を行ったが、舗装断面から見て高圧水での全層洗浄は困難であり、他の洗浄技術の導入が必要との結論に至った。

以上の経緯を踏まえ、舗装表面部 20mm のつまり物の除去を必須要件とし、車線規制の不要な 6km/h 以上の作業速度を新たな目標として設定した。

開発においては、種々の要素技術について予備実験を行ったが、最終的には新たに考案した図-1に示す「トルネード式回収機構」（回収部が渦巻き形状になっている）を有効な方法として選択した。

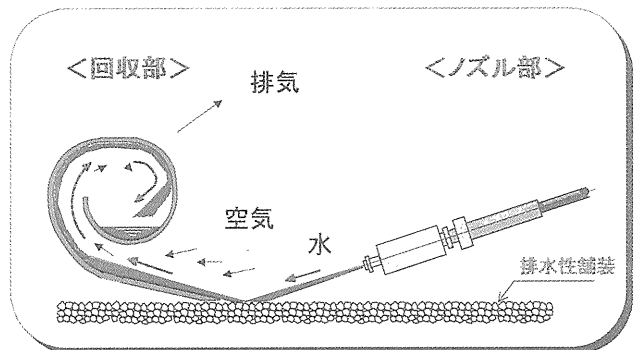


図-1 トルネード式回収機構

3. トルネード式回収機構

(1) 従来機の回収機構

従来機の回収機構は図-2に示すようにノズルより路面に高圧水を噴射し、その後に路面より水およびつまり物をブローあるいは真空吸引により吸い上げている。本機構では、吸引装置の仕様にもよるが移動車両に積載できる能力のものでは噴射された水およびつまり物を瞬時に回収するわけには行かず、また、作業速度を上げると回収効率が低下するため従来機では作業速度を高速化することは困難であった。

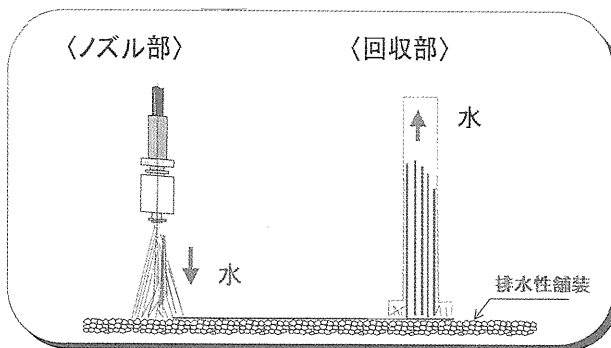


図-2 従来機の回収機構

(2) トルネード式回収機構

トルネード式回収機構は、図-1に示すように路面に向けて角度を付けたノズルから噴出した洗浄水が路面で跳ね返った勢いを利用してつまり物および洗浄水を回収するものである。この時、ノズルから噴出される洗浄水は非常に高速であるため、洗浄水の周りの空気を巻き込んだ流れを作りだす。この水と空気の一方向への流れに乗って効果的につまり物が回収部へ回収されるのである。本機構の採用によりブローあるいは真空による吸引装置を必要としない機能回復車を開発することが可能となった。さらに、本機構によるつまり物および洗浄水の回収作業は非常に高速で短時間に行われるため、吸引装置を用いる従来機では困難であった速度 10km/h での作業が可能となった。

4. 高速型機能回復車の開発

(1) 高速型機能回復車の概要

トルネード式回収方式は、ノズルから噴出した洗浄水が路面で跳ね返った勢いを利用してつまり物および洗浄水を回収するもので、真空吸引を必要としない。このため、つまり物の除去は上部 20mm 程度であるものの、6～10km/h の作業速度が実現でき、また真空吸引装置が不要であるため機械コストも低減できる。

実機の開発に当たっては、プロト装置を製作し数次にわたる路上実験により効果の確認を行った。

その後、仕様を表-1に、外観を写真-1に示す実機を完成させた。実機には、排水性舗装表面の凹部に万遍なく洗浄水を当てるために

表-1 開発した機能回復車の仕様

名称	(仮称)	トルネード式機能回復車
メーカー		IHI・NIPPON共同開発
重量	車両重量	18,050kg
	車両総重量	19,910 kg
寸法	全長	11,900 mm
	全幅	2,490 mm
	全高	3,620 mm
性能	作業幅	2,000 mm
	シフト量	左右各 700 mm
	作業速度	6～10 km/h
	最大回送速度	80 km/h
水タンク	容量	1.86 m ³
洗浄方式	高圧水噴射方式	前後2段 (20ノズル/段)
	吸引方式	トルネード式
高圧水ポンプ	吐出量	480l/min
	作業吐出圧力	19MPa
シャーシ	型式	いすゞ KC-CY282V2W
	出力/回転数	220kW / 2,300min ⁻¹
補助エンジン	型式	いすゞ 6 WG1T
	出力/回転数	235.4kW / 2,000min ⁻¹

図-1に示すトルネード式洗浄装置が図-3に示すように対向する形で横方向に2列配置されている。

(2) 高速型機能回復車の特徴

- 1) 作業速度が 6 ~ 10km/h であり、車線規制無しでの路上作業が可能である。(ただし、作業に当たっては、道路管理者と協議が必要である)
- 2) 洗浄ユニットにトルネード式回収機構(図-1に示す渦巻き形状の回収機構：特許出願中)を採用しており、従来機にあった真空吸引装置が必要ないため同クラスの従来機より安価である。
- 3) 高速作業が可能、機械費が安価、車線規制が不要などの理由により施工単価が低減できる。
- 4) 空隙づまり物の除去深さは、在来機と概ね同等である深さ 20mm 程度である。



写真-1 開発した高速型機能回復車の外観

- 3) 洗浄ユニットは左右各 700mm シフトするので施工性がよく、また自由に上下動および左右揺動するので路面の凹凸に柔軟に追従できる。

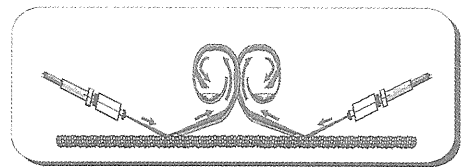


図-3 ノズルの配置

(3) 高速型機能回復車の適用条件

実機製作後、現時点までの試験供用結果などから適用条件を整理する。

- 1) 舗設後、排水性機能が大きく低下する前に、短いインターバルで予防的維持として行うのに適する。
- 2) 実施時期の目安としては、作業前の現場透水量が 400 ~ 800ml/15sec 以上が適当と思慮される。

5. 高速型機能回復車の性能評価

実路施工がまだ少なく、機械性能を統計的に整理できる段階にはないが、概ね次のことを確認している。

(1) 排水機能の回復

図-4に排水性舗装(13mmTop)面における作業前後の現場透水量の関係を示す。この実験は作業速度 6km/h、1回通過で行った。この図から、空隙づまりが支配的な箇所では、作業前の現場透水量が 400 ~ 900ml/15sec の領

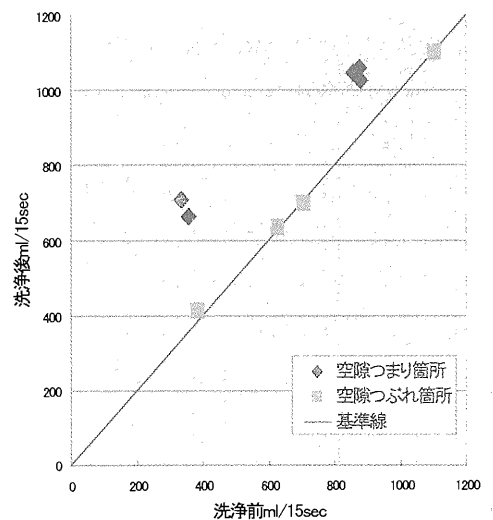


図-4 現場透水試験結果

域において、およそ 200 ～ 300ml/15sec 程度の機能回復が確認できた。

しかしながら、施工後間もない箇所や空隙つぶれが支配的な箇所では、作業前後の現場透水量に変化は無かった。

(2) 騒音低減機能の回復

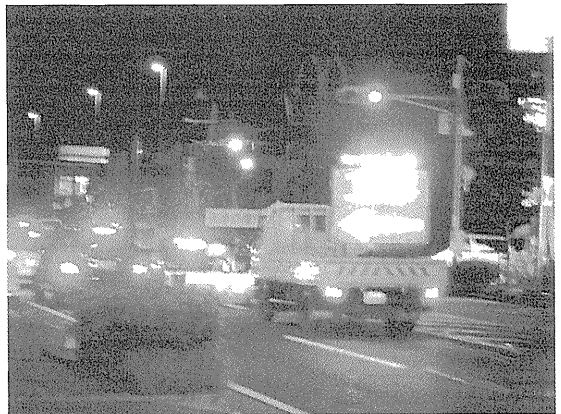
前項と同じ場所で、作業前後の騒音値を写真－2に示す RAC 車 (IHI 保有) により測定した結果、本機の作業により 0.5dB 程度の低減効果が確認された。



写真－2 RAC 車による騒音測定状況

(3) 作業性および作業能力

現道において車線規制無しで作業を行った状況を写真－3に示す。本機の後方に警戒標識車を追走させて 10km/h で作業を行った。夜間の走行車両が少なくなった状態ではあるが、走行車線および追い越し車線の作業においても通過車両の妨げになることはなく渋滞などは生じなかった。また、作業能力に関してはこの現場において夜間 10:00 ～翌朝 6:00 の作業時間で 10,000 m²強の作業面積を記録した。現場状況を勘案すれば洗浄水の補給時間の短縮や補給場所から作業位置までの経路が短いなど作業条件がもっと有利な条件であれば、更に作業面積を増やすことが可能だと思われる。



写真－3 車線規制無し作業の状況

6. おわりに

今回開発した高速型排水性舗装機能回復車は、従来の課題を解決すべく「速い・安い・リーズナブル」を基本コンセプトとし開発したものである。従来の高圧洗浄・真空吸引からの脱却に時間が掛かったが、新しいアイデアとして「トルネード式回収機構」を考案した。また、本機は完成後、平成 15 年 8 月現在までに国道など 5 箇所の現場で約 60,000 m²の機能回復作業を行っている。

これまでの工事は、排水性舗装の機能が相当低下してからの発注が多い。この機械は、排水性舗装の機能低下が初期の段階に、車線規制を行わずに作業を行う場合に本領が発揮されるものと思慮している。試算では、全ての条件が整えば、これまでのコストの 40 % 以下まで低減が可能である。したがって、予防的維持の考えが浸透し、短いインターバルで作業が発注されることを願うものである。

今後は、実路施工を通じて開発機の各部材の耐久性の把握、機能回復効果の統計的な把握等を行うとともに、さらに機械の性能向上と工法の普及に務める所存である。

7. 三次元マシンコントロールシステムを 応用した道路建設機械

鹿島道路(株)：*山口 達也、山埜井 明弘

1. はじめに

コンピュータ或いは通信技術などの情報化分野の急速な技術革新を背景に、建設分野においても情報化技術を建設機械施工に応用して施工の合理化を図る情報化施工の取組みが行われるようになって久しい。なかでも 3D-MC (三次元マシンコントロールシステム) は設計、測量、施工それぞれ異なる管理データを一元化出来るため、設計データを用いて直接、施工機械を制御することが可能で、施工全体において大幅な合理化が実現できる可能性を秘めたシステムである。

鹿島道路においては 2000 年より 3D-MC を導入し、小型・中型のブルドーザに搭載して大規模ダムなど広大で複雑な形状の現場での施工を重ねてきた。これまでの施工実績で得られたノウハウをもとに、3D-MC をモータグレーダ或いはアスファルトフィニッシャに搭載し、実施工において機能と性能を確認した。本報文は国内では未だ例を見ないモータグレーダに適用した 3D-MC システムの有効性と施工精度を報告するものである。

2. 三次元マシンコントロールシステムの概要

今回使用した三次元マシンコントロールシステム (以下 3D-MC : 3 Dimensional Machine Control System) は測量工学機器メーカーであるトプコン社製である。この種のシステムは他の光学測量機器メーカーも製造しているが、制御用レーザに光通信機能を付加し、建設機械側にデータ処理用のパソコン及び無線通信装置を搭載する必要の無いことが大きな特徴である。

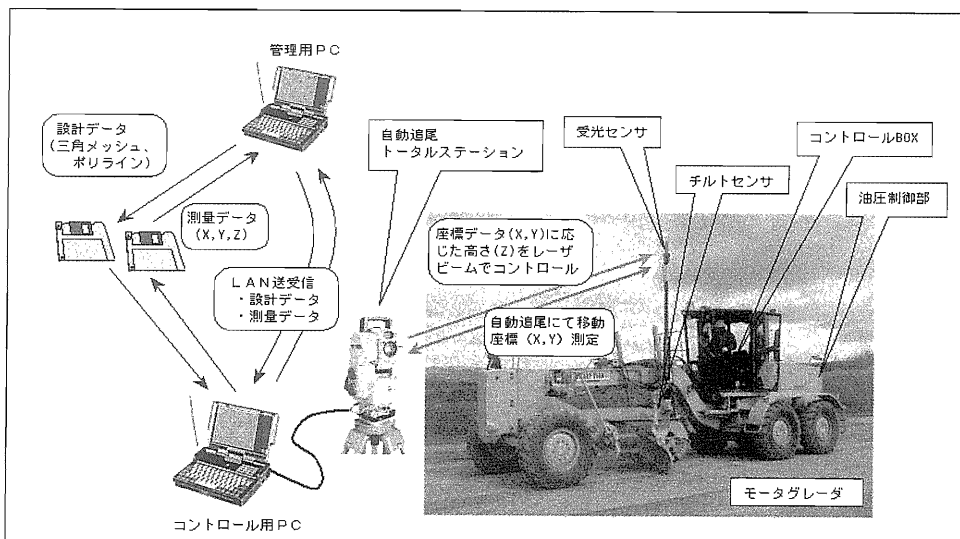


図-1 3次元マシンコントロールシステム グレーダのシステム構成

3D-MC グレーダは前頁の第1図に示すとおり、グレーダのブレードに設置された受光センサのターゲットプリズムを自動追尾式トータルステーション（以下 TS）が追尾、測定する。その位置情報 (X,Y) と進行方向をもとに、その位置に合致する設計高さ (Z) 及び横断勾配データ等を TS に直結しているパソコンから引き出し TS に内蔵された光通信機能を備えた発信装置からデータをレーザ光として発信し、グレーダ側の受光センサに受光させ、ブレードの高さ及び横断勾配を自動制御させる。その際レーザ光にステアリング情報を付加し、運転席に備えられたインジケータに進路を表示させることも出来る。

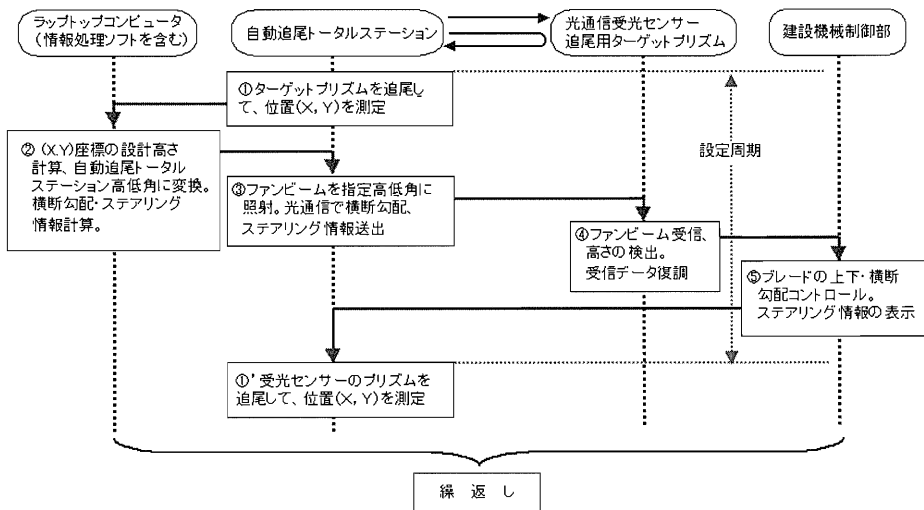


図-2 3次元マシンコントロールシステムのフロー

グレーダの従来工法においては、オペレータは目視で丁張の高さと施工面との偏差を移動するグレーダ上で感知、判断したうえで機械操作を行わなければならない、高い技量を必要とし、また勘に頼る部分も少なからずあるため、他の建設機械に比べて、より高い技量が要求された。さらに施工途中に出来形の測定作業を並行して行わなければならない、多くの手間を必要とするとともに、重機周りでの作業であるため、接触事故等の危険も伴っていた。

しかし 3D-MC は設計データを用いて、直接グレーダを制御することが可能であるため、従来工法のように施工基準としての丁張を設置する必要が無く、施工時のオペレータの負担や測量作業も大幅に軽減される合理化された施工が可能である。また測量作業のための検測員が重機周りに居ないため安全性の向上も図れる。また 3D-MC を用いて出来形測量を実施することにより、設計データとの差も自動計算され、データの一元管理が可能となる。

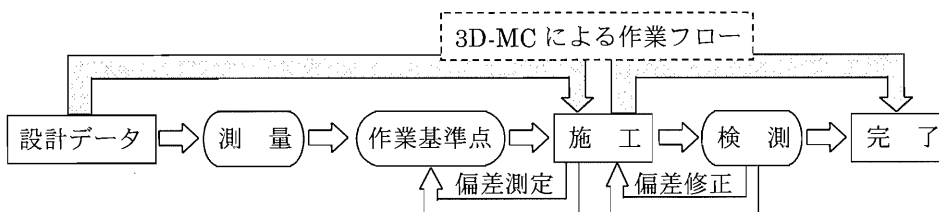


図-3 従来の施工手順と3D-MCのプロセス

3. 試験施工の概要と結果

実施工への適用を踏まえて試験施工ヤードにおいて3D-MC グレーダによる仕上り高さ精度と、横断勾配制御、勾配折れ線認識等の基本機能確認試験を実施した。

3-1. 試験施工概要

- ・試験施工場所：北海道上川郡比布町
- ・試験施工実施日：2003年4月17日
- ・試験施工規模：45×6m（270㎡）規模で2ケース
- ・路盤厚さ：170mm（切込砕石0～40mm）

試験施工の敷均し形状は、次の2ケースを実施した。

① ケース1：横断勾配を片勾配とし勾配変化を+2.5%区間、勾配変化区間、0.0%区間、勾配変化区間、そして-2.5%区間と順次変化させ、仕上り精度を確認。実際の施工では本試験施工で設定したような急激な勾配変化はあり得ないが、追従性を確認する意味も含め実施した。縦断勾配は試験施工ヤードに沿ったものを設定。

② ケース2：施工幅員内で両勾配への対応を確認するため、勾配変化を±0.0%、勾配変化区間、±2.0%両勾配区間に变化させ、仕上り精度を確認。また、ブレードが勾配の頂上を越えるときの動作を確認した。

3-2. 試験施工結果

(1) 仕上り精度

敷均しの仕上り精度の測定結果を第1表に示す。これより、ケース1、ケース2ともに敷均し仕上り精度は全体平均で±2.0mm、最大値でも±15mm以内と、従来工法と同程度の結果が得られた。また、この表には表されていないが、ハンチングを起こさない程度にデッドバンド（不感帯）の幅を狭めた方が、良い精度が得られることも確認できた。



写真-1 試験施工中の3D-MC グレーダ

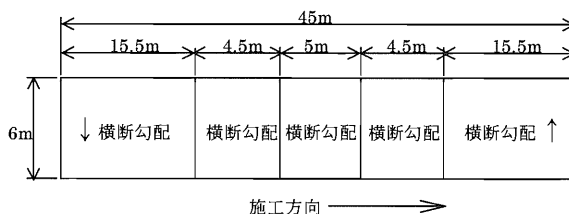


図-4 試験施工ヤード：ケース1

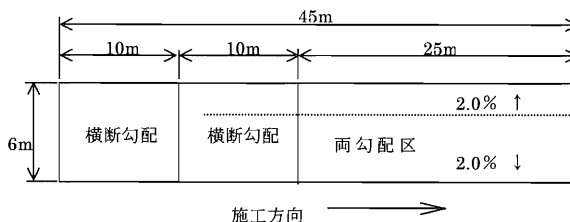


図-5 試験施工ヤード：ケース2

表-1 仕上り精度（単位：mm）

	勾配	平均	最大	最小
ケース1	+2.5%	0	11	-9
	0.0%	0	8	-11
	-2.5%	5	15	-3
	全体	2	15	-11
ケース2	0.0%	-7	6	-14
	両勾配	0	13	-8
	全体	-2	13	-14

これまでブルドーザで 3D-MC 制御を実施して仕上がり精度を確認してきたが、敷均しが全体的に高く仕上がる、或いは逆に低く仕上がる、といった傾向が見受けられた。これはブレードのガタ、バルブの応答性等に起因する機械固有の特性と思われる。今回の測定結果からは仕上がり精度に偏りが現れることも無く、問題となるような仕上がり特性は見受けられなかった。

(2) 勾配折れ線の認識とブレードの作動

3D-MC グレーダは初期設定時に入力されたブレード長の中央部が位置している場所における勾配データにブレードの勾配を一致させるようソフトウェアにより制御され、このとき受光器がブレードのどちら側に設置されていても制御上制約を受けない、という機能を備えている。ケース 2 の試験において実際にこの機能を発揮できるか確認を行った。

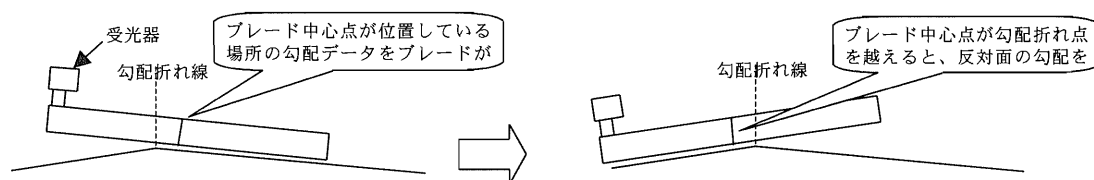


図-6 折れ点上でのブレードの制御イメージ

結果は勾配折れ点上を意識的にブレード中心を何度も行き来させても図-6のように極めて迅速にブレードの勾配を変化させた。この機能により勾配折れ線は歪むことなく綺麗な直線を得ることが出来た。

4. 実施工への適用

(1) 実施工現場

試験施工の結果を踏まえ、日本道路公団の下記工事における上層路盤に 3D-MC グレーダを適用した。

- ・工 事 名：北海道縦貫自動車道 剣淵舗装工事
- ・施 工 業 者：鹿島道路(株) 佐藤道路(株) 共同企業体
- ・総 延 長：6,560m
- ・路盤工面積：138,000 m²

(2) 結果と効果

日当り施工量の向上：条件の良い施工エリアにおいては日当たり 3,000 m³以上の施工量がコンスタントに得られた。4,000 m³以上の施工量を記録した日もある。

- ① 仕上がり精度の向上：従来の施工では検測位置（丁張り）では仕上げ高さを許容値に入るよう管理できるが、検測位置と検測位置の間ではオペレータの腕と勘に頼ることになり、実際の精度は不明である。3D-MC により検測位置において確認された仕上げ高さを連続的に再現できるため、極めて精度が高く且つ平坦性の良い仕上がり面が得られた。当該現場においては検測箇所の 80%以上が ±10mm 以内に収まった。この結果を確認したうえで設置する丁張りを大幅に削減することが出来る可能性を秘めていることが分かった。

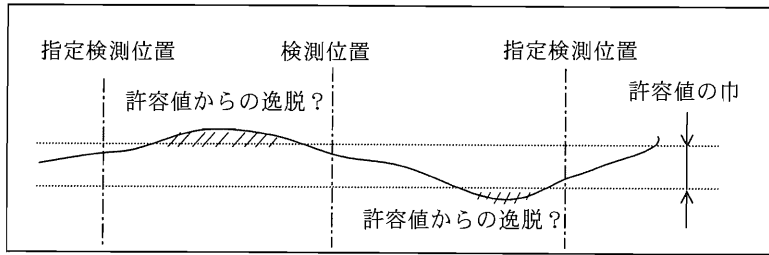


図-7 従来の仕上り面と許容値の関係

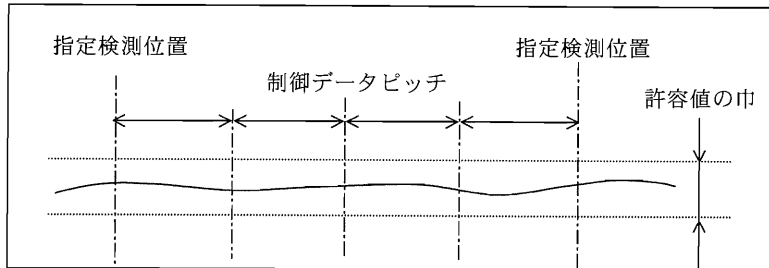


図-8 3D-MCによる仕上り面と許容値の関係

この関係をイメージ化したのが図-7、8である。上層路盤の仕上り精度が良かったため、本現場ではアスファルト安定処理の舗設時にセンサワイヤを張らずにロングスキーによる厚さ管理が可能であった。センサワイヤ設置工の省略により大幅な省力化が図られた。

- ② 余盛調整量の適正化：敷均し後ローラによる転圧減量を確認し、それに相当する余盛量をブレードオフセット（設計面に対し任意の高さを制御装置により加減する機能）させることにより、具体的な数値として加減することが出来るようになった。

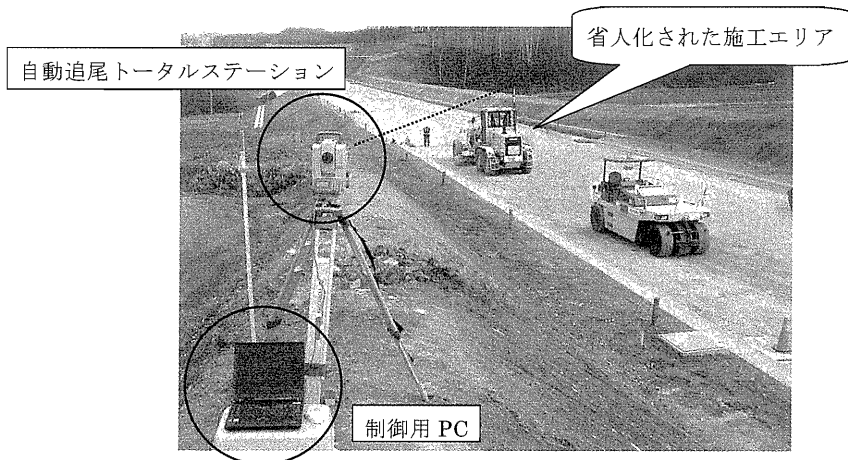


写真-2 3D-MC グレーダ施工状況

- ③ 人員の省力化・安全性の向上：規定されている検測位置以外での検測作業を省略できるので、検測員が削減された。また、検測作業が削減されたため重機との近接作業が低減されて接触事故の防止に有効であった。

- ④ データの一元管理：現場においては施工から出来形管理に至るまでデータの一元管理が可能となった。出来形測量は TS により実施できるので、測量データと設計データとをソフトウェア上で照合・自動計算させることにより、手入力、手計算の手間を一切無くし、出来形管理を省力化することができた。また、設計データを 3D-MC アスファルトフィニッシャの制御用データとして、舗装作業まで管理することも可能である。

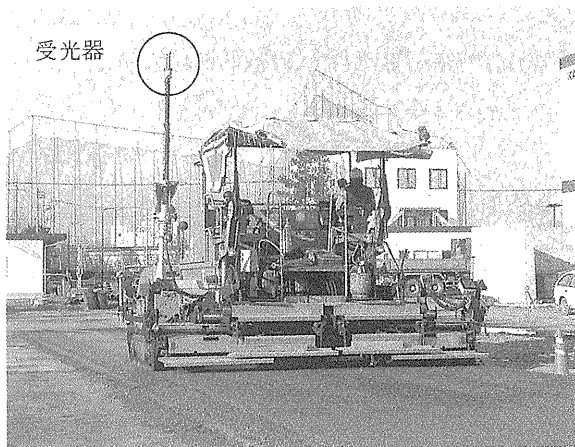


写真-3 3D-MC フィニッシャによる敷均し試験

3D-MC アスファルトフィニッシャによる

5. おわりに

今回の実施工ではグレーダの自動制御部分のみの適用であり、3D-MC が持つ能力の一部を使用しているに過ぎない。実施工の結果で記したように、施工から出来形管理に至るまで 3D-MC を用いることにより、丁張りの削減・施工時の検測員及び出来形管理用検測員の省力化・データの一元管理による省力化が図られコスト縮減にも寄与するであろうことが確認できた。また、現時点では設計図書がペーパーでの受け渡しであるため、制御用の設計データの作成に労力を必要としているが、今後建設 CALS が普及し、三次元電子データでの受け渡しが可能となれば、さらなる省力化が図れていくものと考えられる。しかし何より特筆すべきは 3D-MC の仕上り精度である。ベテランオペレータをして、かつてこれほど平坦性の良い路盤は見たことが無い、と言わしめた仕上り精度が得られたことである。良好な仕上り状態が得られたことにより、次工程作業への省力化をもたらした。

精度の向上のみならず、3D-MC の活用により、オペレータの技能補助や施工時の負担を軽減させる利点もあり、熟練オペレータ不足問題の解決策のひとつとして期待される。

8. 路上再々生路盤工法の高効率化

(株)NIPPOコーポレーション：泉 秀俊、相田 尚、*梶原 覚

1. はじめに

路上再生路盤工法は、舗装廃材の適正処理および資源の有効利用ができ、かつ打換工法と比較して工事費の低減、工期の短縮が行える修繕工法として、地方自治体を中心に普及してきた。しかしながら、初期の頃に施工された路上再生路盤はすでに十数年が経過し、交通量の増大、通行車輛の大型化などに伴い破損が生じて、修繕を必要とする箇所が多く見られるようになってきた。

修繕に当たっては、再度同じ方法で路盤材料として再利用すること（＝路上再々生路盤工法）が、前述したように最も有効な手段の一つと考えられている。しかし、破損はしていても各部分は強固な固結路盤として残っているため、従来のロードスタビライザによる破碎は困難なことが多いのが現状である。このような場合、切削機等で予備破碎後、ロードスタビライザで安定材と混合する方法をとることがあるが、大幅なコスト増となってしまう。また、路上再生路盤工法が採用される道路は市町村道が大半を占めているため、ロードスタビライザの他に大型切削機を用いることは道路事情に合わず、安全性と施工効率が悪くなる傾向にある。

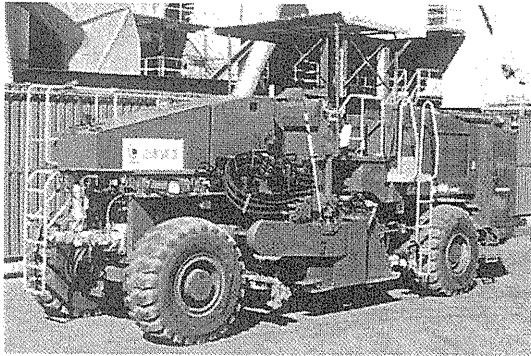
以上のような問題点を解決すべく高機能・高性能ロードスタビライザである「ロードリサイクラ」をコマツと共同で開発し、これを基本機械として、固結した再生路盤を効率よく再々生する「スーパーFRB工法」を実用化した。ここでは、ロードリサイクラおよびスーパーFRB工法の概要について紹介する。

2. ロードリサイクラ

2-1 概要

ロードリサイクラは、従来のロードスタビライザの機能性を保持しつつ、操作性および破碎能力を大幅に向上させたスタビライザである。以下にその特長を示す。また、外観を写真-1に、主要諸元を表-1に示す。

- ①高出力エンジン、切削ビットの採用で破碎・混合能力が大きい
- ②ロータがサイドシフトするため、マンホール等の構造物周囲の施工が容易
- ③フォームドアスファルト、アスファルト乳剤いずれにも対応できる瀝青材散布装置搭載
- ④コンパクトボディで幅員の狭い道路やカーブの多い道路にも順応
- ⑤車検が取得でき、公道の自走が可能
- ⑥運転席から作業装置の両サイドが見通せる構造のため、破碎・混合作業が安全に行える



写真－1 ロードリサイクラの外観

表－1 ロードリサイクラの主要諸元

総重量	26,155 kg
全長	8,480 mm
全幅	2,650 mm
全高(回送時)	3,800mm (3,000 mm)
定格出力	364 kW (495 PS)
作業速度	0～10m/min
混合幅	2,150 mm
最大混合深さ	400 mm
ロータシフト量	350 mm (左右)
ビット本数	154本 (小型コニカル式)

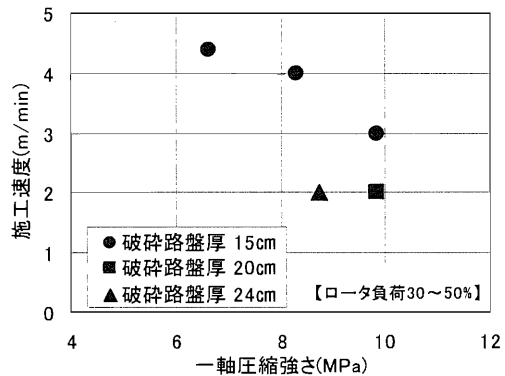
2-2 破砕性能

破砕性能を確認するために、一軸圧縮強さおよび厚さの異なるセメント安定処理路盤において、ロータ負荷が30～50%となるように施工速度を変化させて破砕試験を行った。

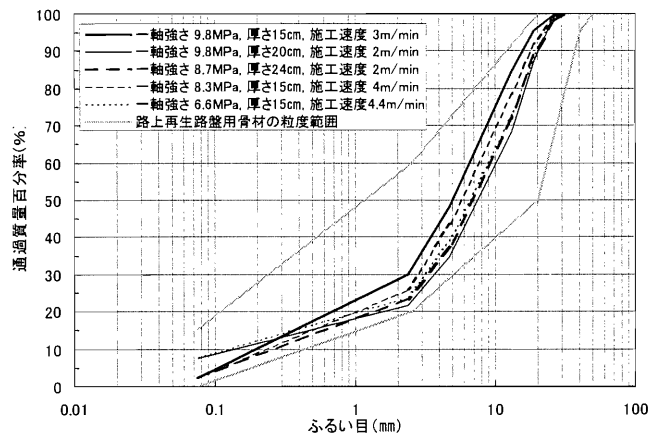
施工速度の測定結果を図－1に示す。一軸圧縮強さの増加とともに施工速度は減少するものの、一軸圧縮強さが10MPa程度であっても経済的な速度で破砕できることがわかる。また、ロータ負荷を70%まで上げた場合、一軸圧縮強さ6.6MPa、厚さ22cmの路盤において、施工速度6.5m/minで破砕できることも確認している。

破砕した路盤材のふるい分け試験結果を図－2に示す。破砕された路盤材は細粒分がやや少なくなる傾向が見られるが、路上再生路盤工法技術指針(案)¹⁾の路上再生路盤用骨材の粒度範囲にある。また、同程度の強度・厚さでは施工速度が速いほうが粗くなる傾向が見られる。

既設アスファルト舗装の破砕については、厚さが15cm程度の場合、施工速度3～4m/minでスムーズに破砕できることを実際の工事を通して確認している。



図－1 施工速度測定結果



図－2 破砕粒度測定結果

3. スーパーFRB工法

3-1 概要

以上のように優れた破碎性能を持つロードリサイクラを用いて、再生路盤や水硬性鉄鋼スラグ路盤、セメント安定処理路盤などの固結した路盤を路上で破碎・混合して再生利用する路上再生路盤工法がスーパーFRB工法である。本工法は以下の特長を有することから、環境保全、工期短縮、コスト縮減などの社会的要請に適合し、汎用性に富む工法といえる。

- ①修繕の時期を迎えた路上再生路盤を、効率的・経済的に再生することが可能（既設舗装の掘削・入れ換え不要、新規路盤材不要）
- ②一軸圧縮強さ10MPaの固結した路盤や、厚さ15cm超のアスファルト舗装の破碎も可能であり、適用範囲が広い（予備破碎不要、切削機不要）
- ③再生路盤用添加材の全てに対応できる

3-2 施工編成

路上再生(々)生路盤工法においては、既設構造物との取り合いや、既設舗装のリサイクル方法の多様化により施工断面が異なり、それにともない施工編成も違ってくる。ここでは、既設のアスファルト舗装と固結した再生路盤とをセメントおよび瀝青添加材により路上再生路盤(スキ取り不要)とする場合(図-3)の施工編成を図-4に示す。図にはロードスタビライザを用いた従来工法の編成も併記した。スーパーFRB工法では予備破碎が不要なことから、施工の簡素化が図れることが分かる。

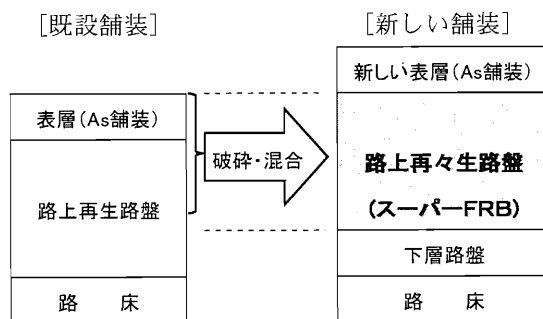


図-3 施工断面図

図にはロードスタビライザを用いた従来工法の編成も併記した。スーパーFRB工法では予備破碎が不要なことから、施工の簡素化が図れることが分かる。

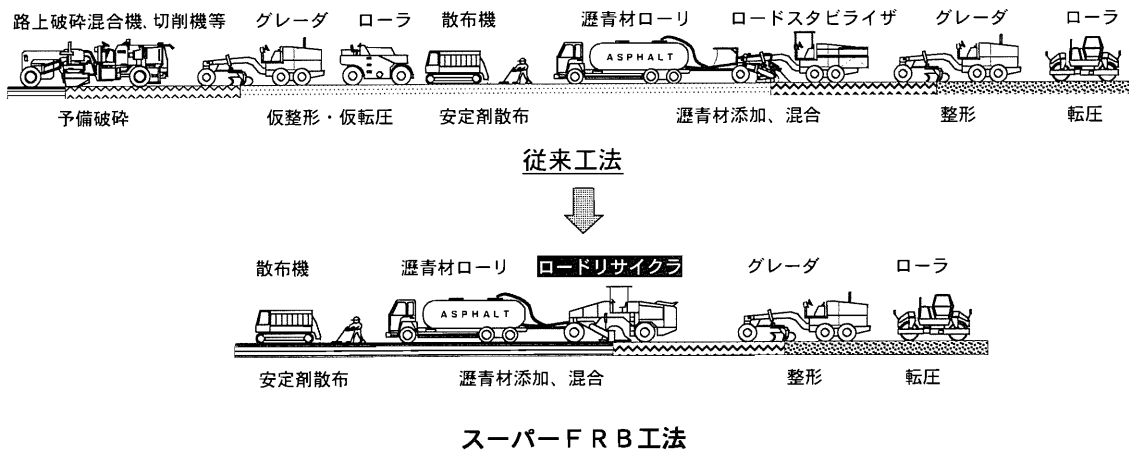


図-4 施工編成

3-3 経済性

「3-2 施工編成」における施工例において、既設アスファルト舗装5cmと固結再生路盤15cmとをセメント・フォームドアスファルトで路上再生するケースを試算すると、スーパーFRB工法では予備破碎が不要なことなどから、従来工法と比較して直接工事費で約30%のコスト削減が可能となる。

4. 実施工

平成14年9月から平成15年5月までに、約4万㎡の施工を重ねてきた（写真-2、写真-3）。その間、現場において問題点を抽出しながら改良を加え、施工性、メンテナンス性等ほぼ満足のできる機能を有する形となった。

また、施工後の供用性については、現在までのところ問題は生じていない。

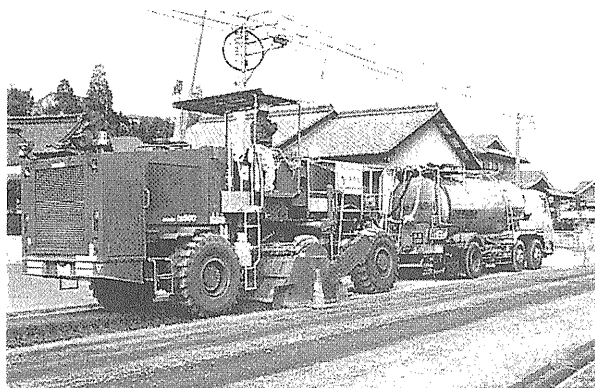


写真-2 施工状況

5. 今後の課題

ロードリサイクラの破碎性能試験において、良好な結果を得ることが出来たが、破碎された路盤材の品質に関する傾向（路盤強度や破碎厚さの違いが破碎粒度へ及ぼす影響等）については、データ数が少なくつかむ事が出来なかった。今後、施工を重ねてさらにデータを蓄積し把握に努めたい。



写真-3 破碎・混合状態

6. おわりに

近年の建設業界を取り巻く社会情勢は建設リサイクル法の施行にともない、資源の繰り返し利用が今後一段と強く求められる。また、公共工事縮減の中、企業においては創意・工夫しコストダウンがより強く求められている。今回開発したロードリサイクラとそれを用いたスーパーFRB工法は、これらの要請に応えるものであり、今後施工を通じて技術の確立に寄与していくとともに、さらなる高度化を図って行く所存である。

<参考文献>

- 1) (社)日本道路協会：路上再生路盤工法技術指針(案)、昭和62年1月

9. 完全無人化を目指したNew DREAM工法のトラベリングシステムの開発

大豊建設(株)：*上月 直昭、小林 隆治、今村 秀雄

1. はじめに

ニューマチックケーソン工法は、高気圧作業の無人化が進められ、掘削作業は地上からの遠隔操作で行うため高気圧作業は発生しない。しかし、掘削機の日常点検や修理・回収作業は高気圧作業となり、現在実施されている高気圧作業の殆どの部分を占めている。

また、大深度においてはヘリウム混合ガスも使用され、今なお厳しい作業環境となっている。

本稿では、完全無人化を目指した New DREAM 工法の概要と掘削機トラベリングシステムの試験概要と結果について述べる。

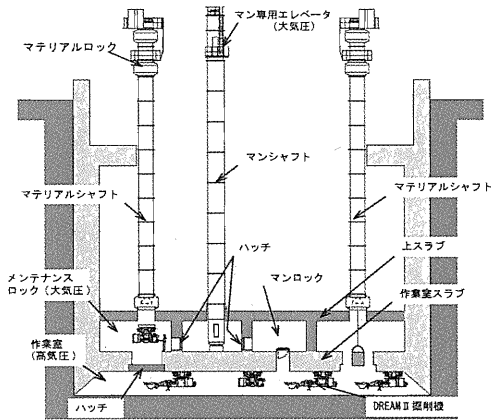


図-1 New DREAM 工法概念図

2. New DREAM 工法の概要

New DREAM 工法は、二重スラブ、高能力 DREAM 掘削機、大気圧エレベータ、広いマンロック（非常用）、メンテナンスロック、ヘリウム混合ガスシステム（非常用）を組み合わせて使用することで、大深度（水深70m）の施工や完全無人化を目指した人に優しい究極の無人化ニューマチックケーソン工法であるほかコストの縮減も目的としている。

トラベリングシステムは、本工法の要素技術の一つであり、掘削機の日常点検や修理・回収作業を大気圧下のメンテナンスロック内で行うために必要な掘削機の3次元移動システムである。

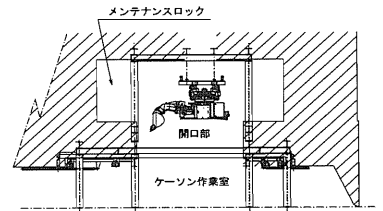


図-2 ケーソンイメージ図

3. 試験概要

本試験は、作業室内の掘削機をメンテナンスロックに回収するためのトラベリングシステムの性能および耐久性の確認試験であり、本システムの確実性を実証する。

本試験は、実物大の作業室やメンテナンスロックを想定した空

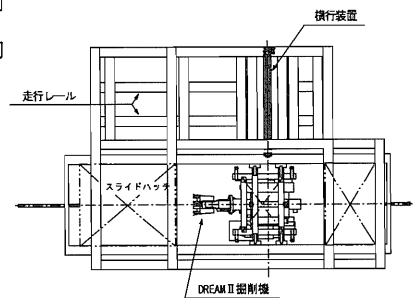


図-3 試験装置平面図

間を山留め材で構築し、大気圧下でトラベリングシステムの稼働試験を行った。

トラベリングシステムは、吊り上げ装置、スライドハッチ、横行装置、電線脱着装置、遠隔操作装置から構成される。

吊り上げ装置は電動式チェーンブロック（5 t）を4台使用した。

スライドハッチは鋼製で、油圧ジャッキにより開閉する構造としているが、今回は大気圧で使用するため、耐圧構造とはしなかった。

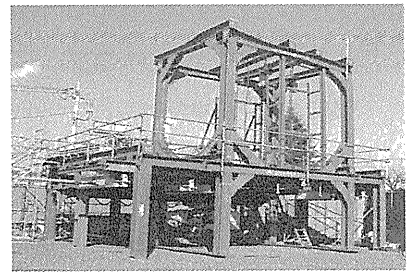


写真-1 試験装置全景

横行装置は駆動装置、横行レール、横行架台からなっており、油圧モータにより稼働する。

電線脱着装置は、掘削機の動力や制御ケーブルの脱着を遠隔操作で行うもので、本装置を使用することで、複数の掘削機がメンテナンスロックに回収可能となる。

耐久試験に使用する掘削機（DREAM II）は、出力37kw、バケット容量0.3m³の多機能型ケーソン掘削機で普通土から岩盤（160MPa）まで掘削可能である。

上記設備のうち、スライドハッチ以外は全て実際の現場で使用可能な機器である。

4. 実施内容

DREAM II 掘削機を作業室内の走行レールから、一連のトラベリング（移動）でメンテナンスロックに回収し、その後、元の位置に戻す動作を遠隔操作で500回（掘削深さ100m相当）実施する。

DREAM II 掘削機の一連のトラベリングは、次の順序で行われる。

- ① 掘削ラインを走行し横行装置位置で停止 →
- ② 動力・制御等の電線切り離し →
- ③ 掘削機横行 →
- ④ 掘削機の吊り上げ架台乗り移り →
- ⑤ 掘削機吊り上げ →
- ⑥ スライドハッチ閉 →
- ⑦ 掘削機回収完了 →
- ⑧ スライドハッチ開 →
- ⑨ 掘削機吊り下げ →
- ⑩ 掘削機の横行装置へ乗り移り →
- ⑪ 掘削機横行 →
- ⑫ 掘削機の掘削ライン乗り移り箇所停止 →
- ⑬ 動力・制御等の電線接続 →
- ⑭ 掘削ラインを走行し元の位置に停止

実際にトラベリングシステムを使用して、掘削機をメンテナンスロックに回収し、点検・修理する手順の概念を図-4に示す。

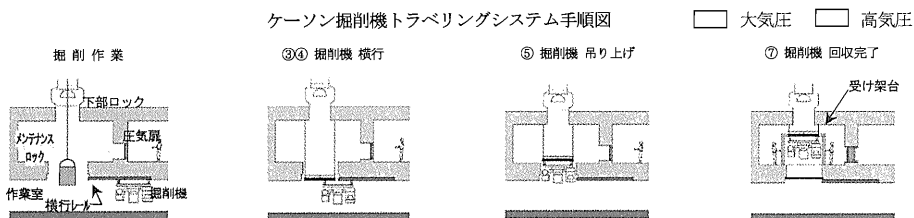


図-4 DREAM 掘削機回収要領概念図

5. 試験結果

トラベリングシステム耐久試験で、以下の内容が確認された。

1) トラベリングシステムの動作および耐久性確認

① 掘削ラインから横行装置への乗り移り

掘削ラインの掘削機走行レールは、掘削機の横行箇所では切断されており、レールが不連続となっているが、掘削機の乗り移りは影響を全く受けず円滑であった。

② 電線等の遠隔脱着

電線脱着は掘削機の動力、制御、映像用の複数のケーブルを同時に脱着するものであるが、円滑に行われた。遠隔操作による電線脱着装置は、高湿度・高圧下（0.7MPa）で200回及びトラベリングシステム耐久試験時に500回の脱着操作をトラブルなしで完了した。

脱着の所要時間は約5分であり、短縮は可能であるが、今回は現実性を第一として、時間短縮の改良は行わなかった。（表-1参照）

③ 掘削機の横行（往復）

横行距離が長いので、1サイクル合計タイムの約1/3以上を要したが、円滑な動きで横行用機器の摩耗は殆ど発生しなかった。

また、掘削機横行の始終点はセンサーにより正確に停止した。

④ 掘削機の吊り上げ架台への乗り移り

横行レールと吊り上げ架台の間には、スライドハッチの走行レールとの関係で大きな不連続部が発生したが円滑に乗り移ることが出来た。

⑤ 掘削機の吊り上げ、吊り下げ

掘削機の吊り上げ吊り下げ時、掘削機の横行装置からの切り離し結合は、遠隔操作で円滑に行われた。また、ケーソン躯体が約3°傾斜しても掘削機は吊り下げ時に元の位置に戻る構造となっているほか、つり吊り上げ装置に4台のチェンブロックを用いたため、掘削機の水平調整が容易であった。

吊り上げ架台には、巻上げ、巻下げ及び固定による繰り返し荷重が連続的に作用したが、全ての部材や部材接合部等の損傷は皆無であったほか、掘削機と横行装置の接続部の摩耗や損傷は殆ど発生しなかった。

⑥ スライドハッチの開閉

スライドハッチは、DREAM II 掘削機のブームがほぼ水平状態で回収するため、土砂搬出用のハッチに比べて大型であり、2分割構造となっている。

スライドハッチの開閉は、各々のハッチの水平移動と垂直移動によって行われるが、円滑に作動することと、ハッチの受け金物に密着できることが確認できた。

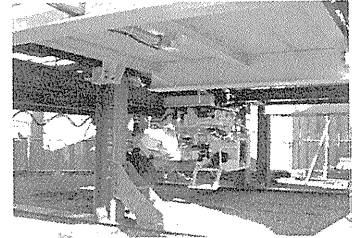


写真-3 掘削機横行状況

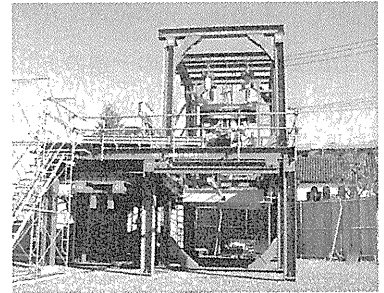


写真-4 掘削機吊り上げ状況

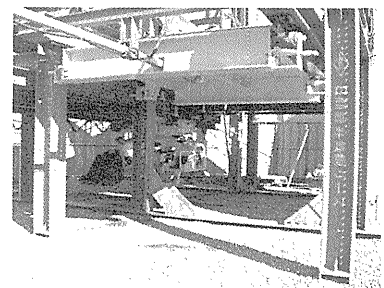


写真-5 スライドハッチ

また、気密保持のためのシール構造は別途実証試験により確認されている。

⑦ 遠隔操作室より各項目の状況確認

各動作は、監視カメラにより明確に確認でき、支障は発生しなかった。



写真-6 遠隔操作室

3) トラベリングシステムのサイクルタイムの確認

一連動作のサイクルタイム計測結果は、表-1の通りであった。表-1 トラベリングシステムのサイクル
これは、当初予定した30分/回を満足する値となった。

設備名	動作	所要タイム
1. スライドハッチ	開・閉(2往復)	5' 45"
2. 吊り上げ架台	巻上げ・巻下げ	5' 1"
3. 掘削機	走行(1往復)	1' 18"
	巻上げ・巻下げ	3' 17"
4. 電線脱着装置	開放・接合	5' 21"
5. 横行装置	横行(1往復)	10' 27"
6. ロスタイム		23"
合計タイム		27' 22"

また、今後機器の改善によりサイクルタイムの短縮は可能と思われる。

6. ニューマチックケーソン工事想定事例検討

試験結果をもとに、ニューマチックケーソン工事にトラベリングシステムを使用した場合の効果について、事例検討の結果を次に示す。

検討条件 ・ケーソン規模：縦×横×高さ・45m×50m×45m・最大気圧：0.42MPa・土質：普通土
・掘削方法：遠隔操作のDREAM II掘削機(37kw, 0.3m³)16台により掘削

掘削機の日常点検に要する作業時間を、New DREAM M工法と従来工法と比較すると、表-2の結果のようにNew DREAM工法の掘削機の日常点検に要する時間は、短時間の大気圧作業となる。従来工法は、作業時間が長くなるだけでなく、常に高気圧作業が発生し厳しい作業環境となる。大深度では高気圧障害を抑制するため、ヘリウム混合ガスを日常的に使用するが高コストとなる。

表-2 日常点検サイクルタイム比較表 単位：分

作業項目	New DREAM工法		従来工法	
	1台の場合	3台の場合	1台の場合	3台の場合
加圧作業	6(2/回)	18	5	5
点検作業	30	90	30	90
減圧作業	3(1/回)	9	36	154
回収作業	30	90	0	0
計	69	207	71	249

表-3 高気圧作業量の比較

また、高気圧作業量を比較した表-3より、New DREAM工法は、従来工法より高気圧作業を約98%削減でき、本システムは高気圧作業削減に大きな効果があることが明らかである。

項目	New DREAM工法①			従来工法②			差(①-②)
	人数/回	回数	合計人数	人数/回	回数	合計人数	
日常点検	4	9	0	12	190	2280	-2280
整備・修理	4	10	40	4	101	404	-364
回収作業	4	0	0	10	33	330	-330
地耐力試験	2	8	16	2	8	32	-16
計		18	56		332	3046	-2990

7. おわりに

トラベリングシステムの試験により、本システムは掘削深さ100m相当の掘削機回収を実施した場合でも、十分な耐久性のあることが確認されたことで、完全無人化を達成する見通しがついた。また、大深度においてもヘリウム混合ガスシステムは非常用で良いため、コスト縮減も可能となる。今後は、実現場で本工法を実証し普及に努める所存である。

10. 地盤に適合したスラリー供給による ソイルセメント柱列式地下連続壁の施工

佐藤工業(株)：*瀬谷 正巳、花田 行和、前田 幸男

1 はじめに

ソイルセメント柱列式地下連続壁（SMW）工法は、土とセメントスラリーを原位置で混合・攪拌し、地中に壁体を造成する工法であり、高い遮水性が得られる、周辺地盤に対する影響が少ない、多目的利用が可能である、などの特徴から、遮水性山留め壁、耐土圧構造物及び止水壁などの用途で広範に用いられている。

SMW工法の施工において、注入スラリーの配合は、土質の変化に関係なく、通常、深度方向にW/Cを一定としている。地盤性状が砂礫-粘土のように変化する場合には、遮水性や強度の低下が懸念される砂礫層などを対象にW/Cを低めに設定し、粘性が増加し混練性が懸念される粘土層に対しては、W/Cを高めるのではなく、注入量を増やすことにより水分を付加することで混練性を高め対応している。このような場合、粘性土地盤での注入量の増加は、セメントのロス、産廃となる排出汚泥量の増加が伴う。このため、深度方向の配合制御（W/Cの制御）の実現が望まれたが、従来のスラリー作成方法はバッチ式であり、また、連続的にW/Cを制御するためには設備が複雑になるため、深度方向にW/Cを制御することは行われなかった。

本報告では、火力発電所灰埋立地の鉛直遮水壁工にSMW工法を採用した工事において、試験的に導入したW/C制御システムの事例とともに、併せて、排出汚泥の減量・再利用を図るプラント（余剰ソイルセメント再利用システム）の適用事例について紹介する。

2 工事概要

管理型廃棄物処分場の構造が要求される灰埋立地では、高い遮水性（表-1 要求品質参照）が要求される。SMWの遮水壁への適用事例は、ダム堤体下部止水や地下ダムなどではあるが、処分場や環境関連への適用例は余り多くなく、大規模な工事例はなかったといえる。

建設予定地は、旧海底面まで約20mを砂質土（山砂）で埋立てた海上埋立地であり、旧海底面下は、古い年代の溺れ谷があり、局所的に土質の変化が著しい複雑な地盤となっており、また、改良範囲の大部分を占める埋土層も粒度の変化が大きく、局所的に砂礫あるいはシルトがレンズ状に堆積している層が認められる（図-1 埋土層粒度分布参照）。*1)

表-1 遮水工の要求品質

項目	規定値または設定値
遮水壁の厚さ	50cm以上
遮水壁の透水係数	1×10^{-6} cm/sec以下
不透水性地盤の透水係数および層厚	1×10^{-5} cm/sec以下 かつ層厚5m以上
不透水性地盤への根入長	泥岩層(Tg)：1.0m以上
	沖積粘性土層(Ac2)：2.5m以上
目標一軸圧縮強度	300kN/m ² 以上

準拠基準

- ・廃棄物の処理及び清掃に関する法律（平成11年6月施行）
- ・一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令（H.12.1.14改正）
- ・廃棄物最終処分場使用前検査マニュアル（H13.6.1発行）

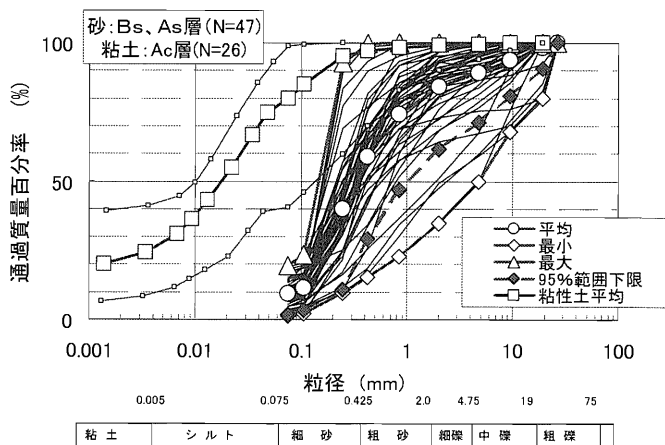


図-1 埋土層粒度分布

このような広範囲な粒度分布を示す埋土層・沖積砂層に対し、また、要求品質確保が懸念される粘土分が少ない層や礫分が多い層に対し、さらに、遮水性確保の確認、粒度が及ぼす影響に対して事前検討を行い、スラリー配合を設定した(表-2 施工時配合)。

施工は、完全ラップとし、鉛直精度の施工実績(0.5%以下)を考慮し、規定値の壁厚50cm以上を確保するために改良径 $\phi 850$ mm、設計最小壁厚を602mmとした(図-2)。改良深度は、根入れ部の不透水層となる泥岩層、沖積粘土層の深度を地質調査結果より確認して定めた。

以下に本工事の工事概要を示す。

工事件名：常陸那珂火力発電所1号機新設工事
のうち灰埋立遮水工他工事

工期：平成14年2月1日～14年10月31日
柱体形状： $\phi 850$ mm×深さ18.0m～38.0m
柱列延長：1,680m(東西490m×南北350m)
壁側面積：41,954 m^2 (1404セット)

3 W/C制御システム

3.1 開発の背景および目的

ソイルセメント地中連続壁工法においてセメントスラリーの配合はソイルセメントの品質条件に基づいて決定されるが、一般的には土質の性状に従って、表-3の配合*2)が標準とされている。

しかし、土質性状が深度方向に変化するような砂礫-粘土の2層から成る地盤を改良する場合には、粘土層に合わせて高W/Cの配合を用いると、砂礫層の強度不足や遮水性の低下が問題となり、反対に、砂礫に合わせて低W/Cの配合を用いると、粘土層の粘性増加による混練性が低下し混合し切れなかった粘土塊が残留するなど改良体が不均質となる不具合(遮水性の低下)が懸念される。

このような場合、土質の変化に関係なくW

/Cを一定とする従来の方法では、セメント添加のため粘性が増加して混練性が問題となるため、粘土層に対しては、スラリー注入量を増加させ、スラリー中の水分を増加(付加)させることで粘性を低減させるか、あるいは攪拌効率を上げるために貫入・引上げ速度を低減するなどの対処を行っていた。しかし、このような方法では、地山条件に最適な配合となっていないため品質が懸念され、セメント量のロス、排出汚泥量の増加、施工効率(歩掛)の低下などが問題となる。

このため、注入スラリーの配合(W/C)を任意に変えることが望まれるが、これまでのスラリーの作成方法はバッチ式であり、配合を変更することは困難であった。また、水、セメント、ベントナイトなどを連続的に計量制御することはプラント設備が大がかりとなり実用的とは言えなかった。

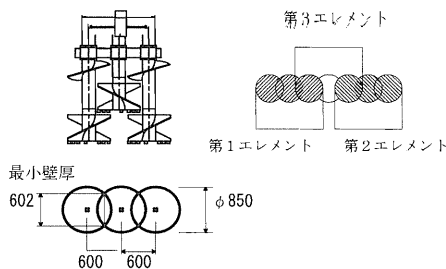


図-2 遮水壁形状およびラップ方法

表-2 施工時の(1 m^3 当りのスラリー)配合

地山	セメント	ベントナイト	混練水	w/c	注入量
m ³	kg	kg	kg	%	%
1	330	20	594	180	700

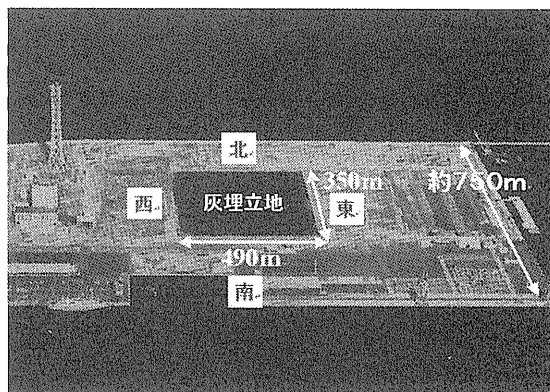


写真-1 現場全景

表-3 セメントスラリーの標準配合

土質	粘土	砂	礫
セメント添加量 地山1 m^3 当り	多 300 kg 程度	中 280 kg 程度	少 250 kg 程度
W/C(濃度)	薄(高) 200~300%	中 200~250%	濃(低) 150~250%
ベントナイト添加量 地山1 m^3 当り	少 5 kg 程度	中 10 kg 程度	多 15 kg 程度
スラリー注入量 地山1 m^3 当り	多 700~850 %	中 655~795 %	少 588~713 %

3.2 システムの概要

本システムは、SMWを施工する際に、低W/Cスラリー（高濃度）を最初に作成しておき、地盤性状の変化に応じて別ラインで必要量の水を加え、深度方向にW/Cを連続的に制御することによって、壁体品質の向上、セメントロス量の低減、排出汚泥量の削減、施工効率の向上などを図るものである。

本システムは、図-3、写真-2に示すように、原液となる高濃度スラリーの貯留タンク、濃度調整用の水の貯留タンク、流量を調整できるスラリー吐出ポンプ、流量を調整できる加水ポンプ、高濃度スラリーおよび水の流量を制御する制御盤、高濃度スラリーと水を混合するためのY字管（必要に応じてラインミキサーを設置）から構成され、原液スラリー吐出ポンプおよび加水ポンプの吐出流量を計測しながら、その結果をフィードバックして所定配合となるように各ポンプの流量を制御することで、任意の配合・量の注入スラリーを連続的に得ることができる。

本システムの主な特徴を以下に示す。

- ・スラリー配合・注入量の容易かつ連続的な可変制御
- ・地山の性状に適したスラリーを使用することによる、施工品質の向上
- ・注入スラリー量の適正化による、スラリー材料費・排出泥水量の低減
- ・原液スラリーの高濃度化による、作泥槽および付属設備のコンパクト化
- ・原液スラリー濃度を固定することによる、計量装置の構造などの簡略化

3.3 W/C制御状況

試験的に実施したW/C制御は、原液スラリーW/C=150%を所定深度で、W/C=160、170、180、200%となるように行った。各ケースの設定深度に対するW/Cおよび加水率を表-4、表-5に示す。また、西-40のケースの深度、注入量の記録を図-4に示す。

なお、注入プラントは2セット用い、各設定W/C時の流量は、原液スラリー吐出量（=487L/min）×（1+加水率）であり、同図中の流量は1セット分を示している。同様にミルク+水は原液スラリーと加水の各流量の和を、掘削機流量はY字管混合後の流量を示し、おのおの1、2は2セットのプラント番号を示している。

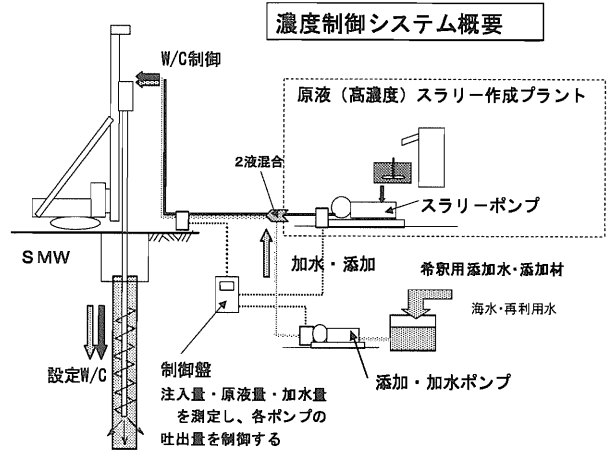


図-3 注入スラリーW/C制御システム概要

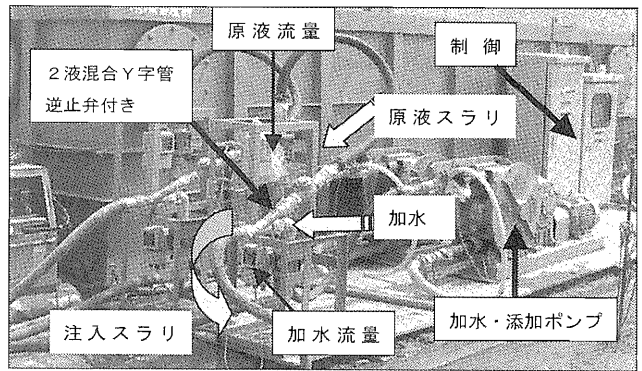


写真-2 W/C制御システム（加水・添加ポンプ部）

表-4 各ケースの設定深度に対する設定W/C

No 深度 (m)	No		
	西-40	西-38	西-34
0~15(21)m	170%	160%	170%
15(21)~26.5m	180%	200%	200%

表-5 設定W/Cに対する加水率

	設定W/C			
	160%	170%	180%	200%
原スラリーW/C=150%に対する設定加水率	5.4%	10.8%	16.2%	27.0%
施工実績加水率	5.4%	11.0%	15.4%	-

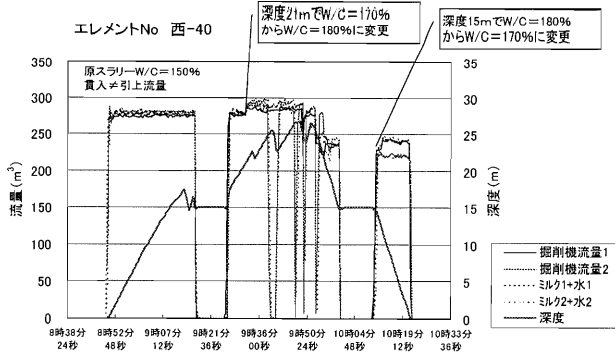


図-4 実施事例 (深度、注入量記録)

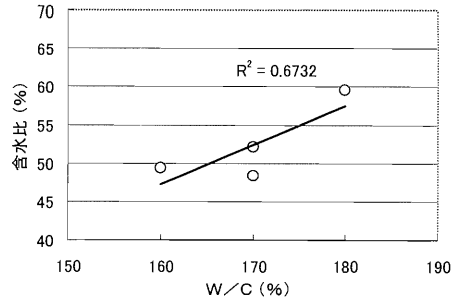


図-5 W/Cと含水比

表-5 に示したように加水率は、設定W/C=170%までは設定と実績が一致しているが、W/Cの増加とともに差が認められる。W/C=200%のケースはポンプ吐出能力の不足のため、実施しなかったが、高吐出能力のポンプを使用すれば設定加水率を満足できたと考えられる。

図-5 に各W/Cのケースに対する施工直後の改良体から採取した (深度7.5m) 試料の含水比を示す。同図に示すように設定W/Cに対応して改良体の含水比が変化していることがわかる。

3.4 品質管理結果

本工事の品質管理試験結果として、採取深度と透水係数の関係および透水係数管理図を図-6、図-7に示す。施工初期の西面施工時の28日材令における透水係数 k_{28} が若干大きく基準値に僅かに満たないものの材令90日では、 10^{-7} オーダー以下を示し、管理値を満たしていることが確認できる。図-6をみると、溺れ谷があり土質変化の激しい西面でバラツキが認められるものの k_{28} と採取深度の関係は、相関が余りなく、平均的に深度方向の品質の変化は少ないといえる。

今回、W/C制御システムを使用した施工では図-7に示すようにNo. 西-34~40において適用したが、透水係数については他の箇所と同等の品質が得られた。

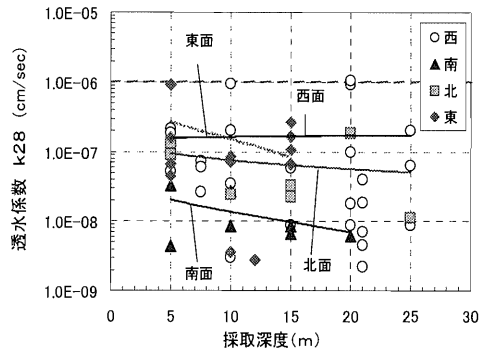


図-6 採取深度と透水係数の関係

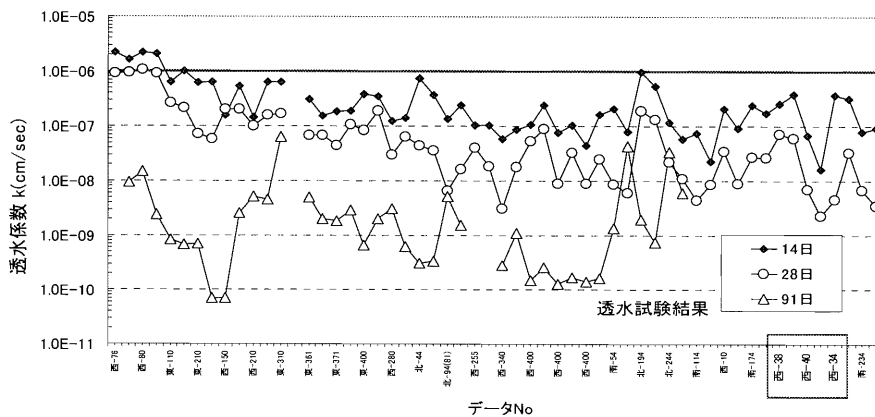


図-7 透水係数管理図

4 余剰ソイルセメント再利用システム

4.1 余剰ソイルセメント再利用システムの概要

余剰ソイルセメントの再利用システムは、産廃扱いとなるSMW排出スラリーをリサイクルプラントで泥水（再利用分：微粒分+セメント分）と土砂（粗粒分）とに分離し、微粒分とセメント分を含む廃泥水を再利用液として、注入スラリーを作成する際の混練水の一部に使用し、再び地盤内へ注入するものである。

排出汚泥の粗粒（砂）分（75 μ m以上）を分離（残土化）し、残りの水分・細粒分を多く含む余剰スラリーを再び地盤内に注入することで排出汚泥（産廃）の減量化を図り、再利用分に含まれるセメント・微粒分により、改良体品質の向上を図るものである。同システムの概要を図-8、写真-3に示す。^{3), 4)}

処理の流れは以下のとおりである。

- ①排出スラリーをポンプで排泥スラリー貯留槽へ送り、振動フルイ上（フルイ目大）に送る。
- ②フルイ通過分は、1次サイクロンへ圧入され、粒径の大きなサイクロンアンダー分と粒径の小さなオーバー分に分級され、アンダーは振動フルイ（フルイ目中）へオーバーは2次サイクロンでさらに分級され、水分・微粒分のみとなるオーバー分は再利用分として貯留される。
- ③フルイ残留分は、粗粒土（低含水比：砂分、残土扱い）として利用・処理する。
- ④再利用分は、注入スラリー作泥プラントへ送り、再び土中へ注入する。

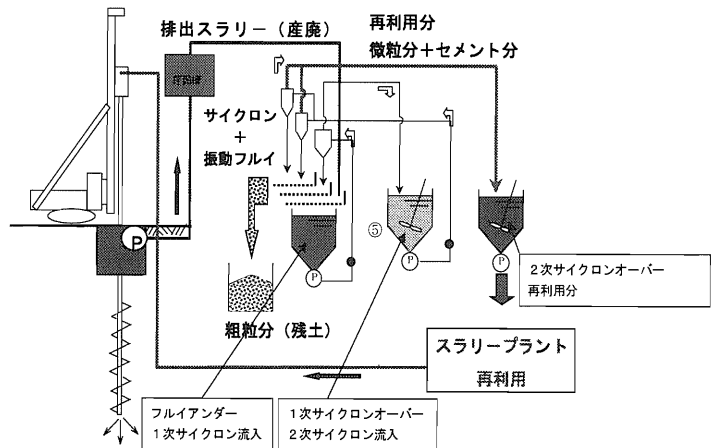


図-8 余剰ソイルセメント再利用システムの概要

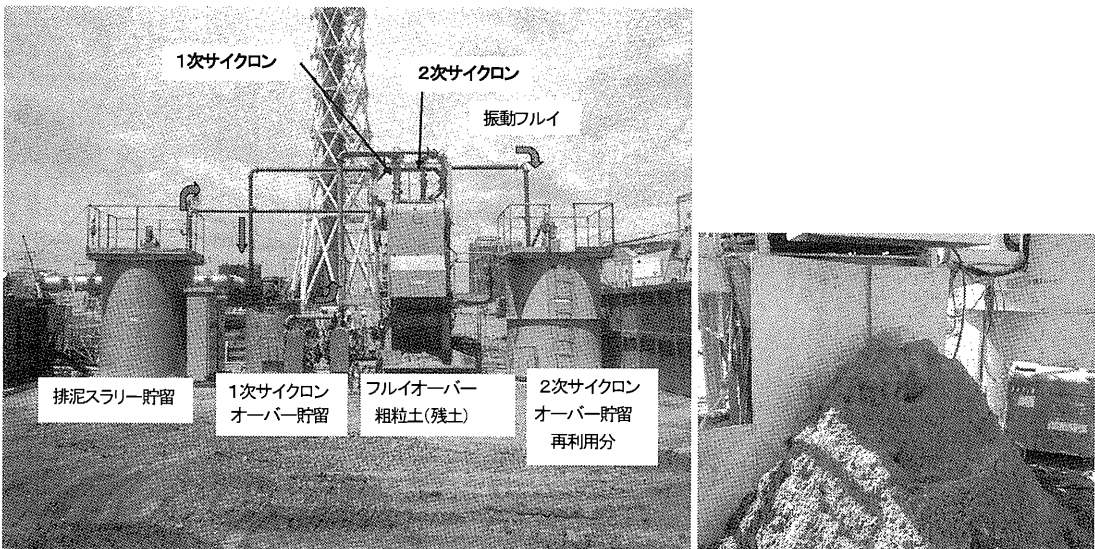


写真-3 余剰ソイルセメント再利用システムの概要と振動フルイ排土状況

4.2 余剰ソイルセメント再利用システムの分級結果

余剰ソイルセメントの再利用システムによる分級の各処理過程における粒度分布状況を図-9に示す。

同図より、2次サイクロンまでの分級手段を経ることによって、粒径75 μ mを超える粗粒(砂)分の大部分を分離することが出来、粗粒分を分離した後の2次サイクロンオーバー分については再利用水として十分に再利用可能なことが分かる。また、比重1.6~1.7の排出スラリー(原水)は、2次サイクロンオーバー(再利用水)では、比重1.01~1.05になることが確認された。本工事の改良対象地盤の大部分は、埋立土(砂質土)であり、細粒分が比較的少なかったため、本システムの分級効果は高くなったといえる。

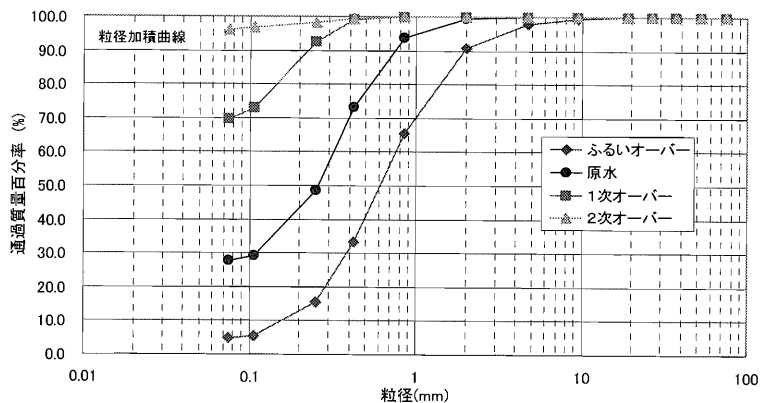


図-9 再利用システムの各処理過程における粒度分布状況

5 おわりに

本工事で試験的に導入したW/C制御システムについて、その基本的な機能を確認することが出来た。今回の施工では、原液スラリー吐出量一定条件で実施したため、W/C制御の加水量に応じて注入量に変化した。注入量一定(原液スラリー吐出量可変)条件も流量計・ポンプ吐出量制御方法を変えることで容易に対応可能であり、単純なシステムで任意の配合・注入スラリー量の制御が可能となると考えられる。

余剰ソイルセメント再利用システムについては、砂質系地盤における有効性が確認された。今後は、同システムの再利用水をW/C制御システムを用いて連続的に稼動・制御させる方法の機能を付加させたシステムの構築などと併せて、高品質・コストダウンを目指し、実用化に向けて開発を進める予定である。

なお、管理型処分場の構造と同等の構造が要求される火力発電所灰埋立地の遮水工において、SMW工法による鉛直遮水壁を施工した本工事では、改良対象地盤の物性の変化が著しく、一部、砂礫層の遮水性能が懸念されたが、事前の配合検討と施工中の品質管理を適切に行うことによって、高い遮水性能の品質を満足することが出来た。

最後に、配合検討から施工に際して、ご指導頂きました東京電力株式会社常陸那珂火力建設所の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 柏木, 安部, 前田: SMW工法による産業廃棄物処分場遮水工の施工と品質管理, 電力土木No. 303, 2003. 1, pp. 50-54
- 2) SMW協会: SMW連続壁ソイルミキシングウォール標準積算資料 [設計・施工・積算編], 平成11年4月版, pp. 87
- 3) 大浦, 福田: ソイルセメント柱列壁造成における余剰液再利用 - リサイクルプラントの開発 -, 佐藤工業研究所報 No19, pp131-137, 1993,
- 4) 公開特許公報, 特願平3-303087 特開平7-1439, 余剰ソイルセメントの再利用プラント, 公開H7. 1. 6

11. 加速度応答を用いた締固め度管理手法の検討

大成建設(株)：*西澤 修一、川上 純

1. はじめに

本研究は、土の締固めにおける新たな管理手法として、加速度計を締固め機械に装着して、施工中の締固め度をリアルタイムに管理しようとする方法である。この手法は、特にヨーロッパにてCMV値などの指標を用いて実用されており、また、日本では乱れ率の指標が研究されている。

そこで、本手法の締固め度管理への適用の可能性について、室内大型土槽設備を使用した実験と、現場転圧試験を通して検証を行った。以下に、室内及び現場における転圧試験の目的、方法、結果等について報告する。

2. 加速度応答の概要

加速度波形は軟らかい地盤上では正弦波形を示すが、やや硬い地盤では図-1（参考文献-1）に見られるように波形がスパイク状に変化してくる。これは転圧輪が跳ね上がり、地表面衝突時に上向きの加速度が生じて正弦波形が乱された結果と考えられる。また、波形データを周波数分析すると、地盤の締固めが進んで硬くなると、転圧輪の基本振動数が20Hzの場合、図-2で示すように高調波といわれる整数倍（例えば、40Hz,60Hz）に対する振幅値 $S_0, S_1, S_2 \dots$ 、さらには $1/2$ 分数調波といわれる基本振動数の $1/2$ 振動数とその整数倍（例えば 10Hz,30Hz,50Hz）に対する振幅値 $S' 0, S' 1, S' 2 \dots$ が卓越してくる。

$$CMV = S_1 \div S_0$$

$$\text{乱れ率} = (\sum S_i + \sum S'_i) \div (S_0 + S'_0) \quad \text{ただし、} i=1 \sim 3$$

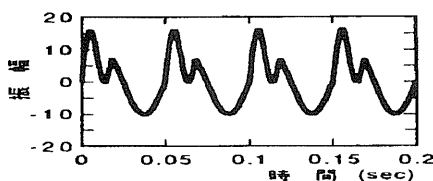


図-1 スパイク状の波形例

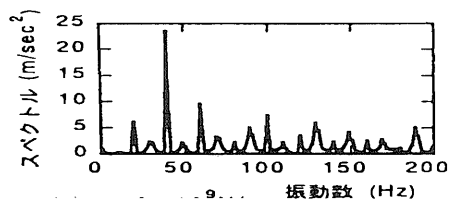


図-2 スペクトル例

3. 転圧試験

3-1 室内・現場転圧試験の目的

室内転圧試験では、表-1 で示す粘性土系の材料を使用し、表-2 で示す振動タイプの異なる2種類の締固め機械を使用して、振動タイプの違いと加速度応答との関係を調べた。また、現場及び室内にて礫質土系の材料を使用して転圧試験を行い、基盤面の違いと加速度応答との関係を調べた。

転圧試験は、加速度計を締固め機械の振動転圧輪の回転軸付近に、上下及び左右の2方向の振動波形検出用として2個設置し、転圧回数 0, 2, 4, 6, 8, 10 回（室内試験は 16 回まで）ごとの波形データを記録した。同時に、R I 計器を用いて乾燥密度や空気間隙率、レベルによる表面沈下量などの締固め特性を回数ごとに測定し、両データの比較を通じて加速度応答を用いた締固め度管理手法の適用性を検証した。

3-2 試験ヤードと計測方法

室内試験は、室内土槽設備（酒井重工業（株）技術研究所）を使用して行い、厚さ約 38cm の基盤を締固め、その上に試験材料を厚さ約 43cm で敷き均した。また、現場転圧試験は、中部国際空港埋立工事の施工ヤードを使用して行った。

3-3 使用材料

室内試験では、表-1 で示す粘性土系（①）と礫質土系（②、③）の2種類の材料を使用した。また、現場試験は礫質土系のみを使用した。

室内及び現場試験で使用した礫質土系の材料は、両者は最大粒径がそれぞれ 53mm と 120mm と違いはあるが、粒度分布に関しては顕著な差異はない。また、最適・施工含水比に関しても、両者間での顕著な差異は見られない。

表-1 室内および現場での使用材料物性一覧

試験場所	材料分類	土粒子の比重 (g/cm ³)	最大乾燥密度 (%)	最適含水比 (%)	礫分 (%)	細粒分含有率 (%)	最大粒径 (mm)	施工含水比 (%)
① 室内試験	礫まじり 細粒分質砂	2.758	1.952	12.2	7.4	40.5	9.5	9.8
② 室内試験	細粒分まじり 砂質礫	2.704	2.195	7.6	68.2	6.4	53	5.3
③ 現場試験	粘性土まじり 砂質礫	2.750	2.257	7.5	65.7	8.9	120	4.4

3-4 加速度データの解析方法

振動波形データは解析精度を高めるため、4秒間蓄積したデータ数を使用した。そ

して、振動ローラーの走行に伴い、1秒ごとに最新波形データと4秒前の古いデータとを絶えず交換しながら、蓄積した4秒間のデータを用いて、1秒間隔で解析結果を出力した。

締固め度管理で使用する指標には、振動ローラーの基本振動数および基本振動数の1/2振動数に関する振幅値を解析して取り出した。

4. 室内および現場試験結果

4-1 振動タイプと加速度応答との関係

表-2で示す振動タイプの異なる締固め機械を用いた場合の加速度波形への影響について、表-1に示す粘性土系の材料(①)を用いて行った。本材料は、ダム堤体盛立工事におけるコア材を想定したもので、含水比をほぼ9.8%に調整したものを使用した。

粘性土を締固めた場合、土中の水分が分離して地表面付近に上がってくる現象が発生しやすく、締固め密度が増加しても、地表面の剛性変化がこれと比例しない場合があることは、以前より知られている。

そこで本試験では、粘性土系の材料に対して加速度応答を用いた手法の適用性の面も検証を行った。

その結果、まず締固め度と表面沈下量に関しては、振動タイプの違いによる大きな差異は見られなかった。締固め度と表面沈下量の変化傾向は図-3、図-4に示す。

表-2 室内及び現場で用いた振動ローラーの諸元

試験場所	使用機種(酒井重工業)と振動タイプ	自重 (tf)	起振力 (tf)	転圧力 (tf)	動線圧 (tf/m)
室内	全遠心方向：SV510D(20tf級)	10.30	21.00	26.00	12.10
室内	垂直方法：SV510DV(20tf級)	10.30	21.00	26.00	12.10
現場	垂直方向：SV160DV(30tf級)	17.60	30.00	40.20	18.70

一方、上下・水平振動波形のスペクトルへの影響について、特に基本振動数の振幅値の変化傾向において、図-5～図-8に示すとおり、使用した2種類の振動タイプの違いが明確に現われた。

すなわち、転圧回数に伴う上下波形の変化傾向は、全遠心タイプでは上昇と下降を繰り返すのに対し、垂直タイプでは16回までほぼ一貫した上昇傾向を示した。また水

平波形の変化傾向は、全遠心タイプでは5回まで上昇した後、ほぼ横這いとなるのに対し、垂直タイプでは9回まで下降し、それ以降はやや上昇を見せた。

締固め機械の振動機構タイプの違いにより振動波形に違いが見られることから、加速度応答を用いた管理手法を適用する場合、機械の振動タイプに応じて、スペクトル解析方法を替える必要がある。

4-2 基盤面の特性と加速度応答との関係

締固めに伴う基盤面の特性が加速度応答に及ぼす影響について、礫質土系の材料を用いて、室内土槽試験と、海上空港工事の現場にて行った。

室内と現場では表-1 で示すほぼ同じ物性の材料を使用し、表-2 で示す同じ垂直振動タイプの締固め機械を使用した。ただし、最大粒径は室内試験が 53mm (表-1②参照) であるのに対し、現場試験では 120mm (表-1③参照) の粗粒材を使用した。

しかし、室内と現場での基盤面の剛性には大きな差異がある。室内試験はコンクリート・ピットの上に厚さ約 38cm の基盤を締固め、その上に試験材料を厚さ 43cm で撒き出して行った。これに対して、現場試験では、深さ 6m の海をブルドーザで均しながら埋め立てた後、撒出し厚 55cm、8 回転圧で約 3m の基盤を構築している。そして、この基盤面上にて厚さ 45cm で材料を撒き出して行った。

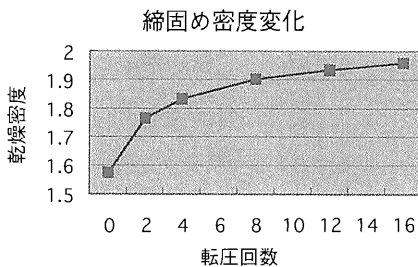


図-3 粘性土の室内試験結果

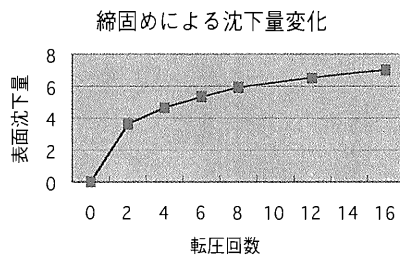


図-4 粘性土の室内試験結果

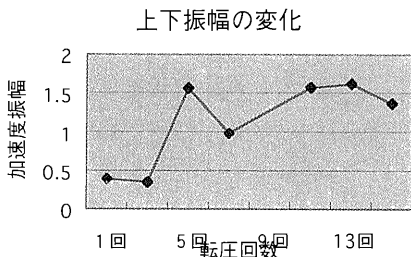


図-5 全遠心タイプの上下加速度

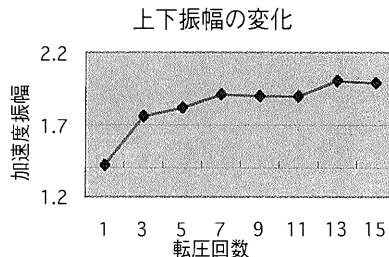


図-6 垂直タイプの上下加速度

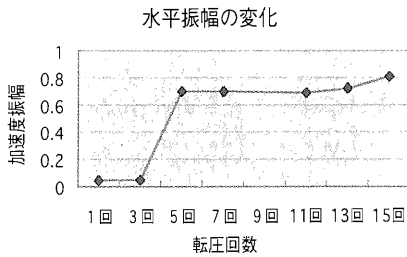


図-7 全遠心タイプの水平加速度

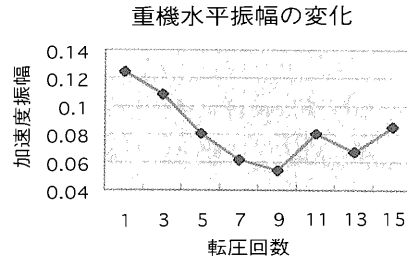


図-8 垂直タイプの水平加速度

その結果、図-9 で示すように、硬い基盤上で行う室内試験の場合、10 回転圧後の締固め度が 108%であるのに対して、海上を埋め立てて締固めた基盤上で行う現場試験の場合、締固め度は93%にとどまっていた。

同様に、図-10 で示すように、乱れ率も現場試験結果は相対的にかなり感度が弱く、定性的な傾向は認められたものの、定量的な指標にはなりにくい。

したがって、加速度応答を用いた締固め度管理指標は、基盤の剛性の違いによっては、重機を走行させながらのリアルタイム管理への適用は難しいと思われる。

4-3 表面沈下量と加速度応答との関係

転圧走行では、振動転圧輪は地表面の沈下に伴い、土砂を排土しながら走行する。このとき、走行抵抗の影響によって転圧輪に発生した振動のうち、特に水平方向の振動を捉えた結果が水平加速度データである。

走行抵抗の影響を水平加速度計で顕著に捉えるためには、図-7 と図-8 の比較から、締固め機械の振動機構は垂直方向タイプを使用した場合に限られる。

水平加速度の振幅データは、締固め開始時が最も高く、その後しだいに下降傾向を

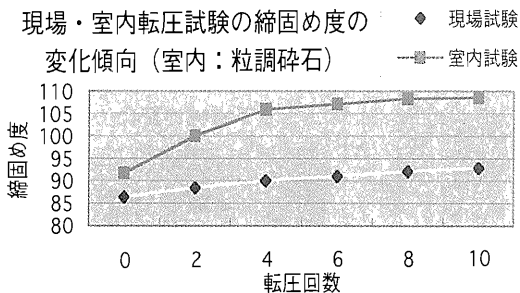


図-9 室内・現場試験の締固め度の傾向

示す。そして、転圧走行において、振動しながら打ち下ろす転圧輪の1回の沈下量が約 2mm より小さくなった時点で、振幅データの下降傾向は止まり、横這いを示す。粘性土を用いた室内試験結果では、そのときの転圧回数は 9 回、締固め度は、約 98%であった。同様に、粒調砕

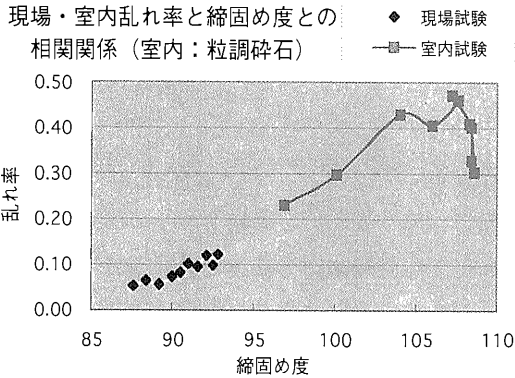


図-1 0 室内・現場試験の乱れ率の傾向

石を使用した例では、転圧回数が7回、締固め度が約100%になったときに横這傾向を示した。

この結果、垂直方向振動タイプの締固め機械を用いた場合に限り、水平加速度応答を用いた沈下量及び締固め度の管理手法は、振動しながら打ち下ろす転圧輪の1回の沈下量が約2mm以下になるまでは、適用性があると考えられる。ただし、粗粒材への適用は難しく、適用できる材料の条件としては、①

② 転圧開始から締固め密度の規定値に至る沈下量が5~6cm以上あり、③ 振動転圧時の沈下量が2mm以下になったときの締固め度が約100%近く確保できる場合に限り、水平加速度を用いた沈下量・締固め度管理が可能と思われる。

5. まとめ

本管理手法の研究において、現場での適用事例は本試験で行った1件のみであり、締固め度をリアルタイムで管理できる実用化レベルにまで高めるためには、今後多くの現場試験運用を通じて波形データを取得し、さらに成果を積み上げていく必要がある。

参考文献

- 1) テラメカニクス研究会ローラ設計指針作成委員会編、転圧ローラ工学、pp.167、1999

12. 画像認識を利用した自動監視システムの開発

大成建設(株)：松本 三千緒

1.はじめに

画像技術の応用は様々な分野・領域で急速に進んでいる。例えば、警備会社でのセキュリティーシステム、医療関係の様々なシステム、ロボットの目としての特徴抽出や認識、犯罪捜査におけるモニターシステム、インターチェンジにおけるナンバープレート自動読取り、斜面崩壊の自動監視、道路・鉄道トンネルでの路線自動監視など実用化から開発段階のものまで色々な分野に応用が広がっている。

また、近年においてはコンピュータ処理の高速化・記憶メディアの大容量化・低コスト化などに伴い、以前では実現が難しいとされていた内容を低コストで短期間に実現できる可能性がでてきた。さらに、ネットワークなどデータ伝送におけるインフラ整備にも大きな進歩が見られ、光通信・ISDN・ADSLをはじめ、大容量・高速通信に対応した携帯電話、病院などローカルな用途に向けた無線LANやBluetoothなど、情報のユビキタス的な利用を目指し、開発・実用化が進んでいる。

このような背景の中で、動画像を利用し、指定した領域の変状を捉え、安全確認や異常警報を行うシステムの開発を行った。本システムは時間差分方式を中心に、監視で必要とされる対象物や異常の感度調整ソフト、あるいは異常警報表示ソフトなどで構成されており、多用途に対応できる柔軟なシステムの開発を目指した。

2.システム概要

時間差分法による画像からの情報抽出、各種フィルター、検出エリアの設定操作など画像による自動監視に必要な各ソフトウェアおよびシステム概要について述べる。(図-1 参照)

2-1.各ソフトウェアの内容

① マンマシンインターフェイスソフト

各処理ソフトを操作するためのメイン画面になる部分で、

- ・画像入力設定（サンプリング時間、サイズ、形式など）
- ・フィルターの選択・指定
- ・抽出を行うためのパラメータ設定
- ・実行状態の表示、抽出結果の表示

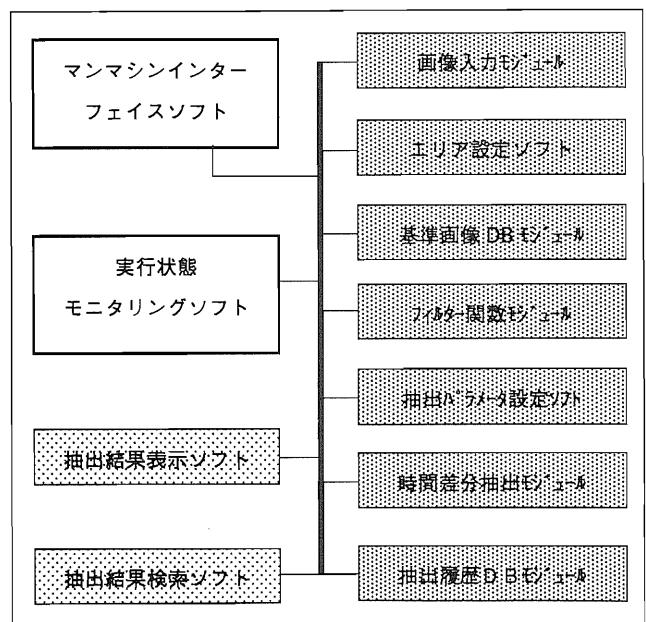


図-1 監視ソフトの構成

・ 画像DBの操作

などを行うためのソフトウェア。

(図-2 参照)

② 実行状態モニタリングソフト

画像入力、抽出、DB保存など現在の実行状況をモニタリングするソフトであり、①のソフトによりON/OFFされる。図-1での画像部分にあたる。

③ 抽出結果表示ソフト

抽出履歴DBから、抽出結果を選択的に表示するソフトであり、④と関連して動作する。

④ 抽出結果検索ソフト

複数のカメラ画像の抽出結果が記憶

されたDBから、目的のカメラ画像・時間に相当する結果を検索するソフト。③から制御出来ると同時に、監視対象に応じたアプリケーションソフトからも制御できる構造となっている。

⑤ 画像入力モジュール

標準的には、使用するコンピュータに組込のキャプチャボードから画像取込を行うソフトであるが、MP EGファイル、モーションJPEGファイルあるいはネットワークを介した遠隔からの画像収集にも対応できるように設計した。

⑥ エリア設定ソフト

対象画像の中の監視・検出エリアを指定するためのソフト。マウス操作でエリアを指定できるようになっている。一つの画面に設定できるエリアの数には制限はなく、すべてエリア番号付きで整理される。①のマンマシンインターフェイスソフトにて操作される。

⑦ 基準画像DBモジュール

画像を比較する上で基準となる画像(侵入物や移動物体がない正常(安全)な画像)を整理・記憶する部分であり、DB内にはカメラ(画像)番号別に整理され、基準画像毎に設定されている監視・検出エリア情報、フィルター情報も関連して記憶するモジュールである。

⑧ フィルター処理モジュール

前述のフィルター処理(関数)を集合したものであり、ノイズ除去など抽出処理時に呼び出され実行される。

⑨ 抽出パラメータ設定ソフト

各画像に対する、時間差分処理で必要となる設定値(輝度差しきい値、RGBしきい値、検出最小サイズ等)、使用フィルター情報などを設定するソフト。①のマンマシンインターフェイスソフトにて操作される。

⑩ 時間差分抽出モジュール

比較画像と基準画像の差をとり、変化の有無および変化内容を抽出するソフトである。ここでの基本概念を図-3に示す。また、ノイズの影響を回避する場合などを考慮し、しきい値の下限(min)と上限(max)を設定し、判

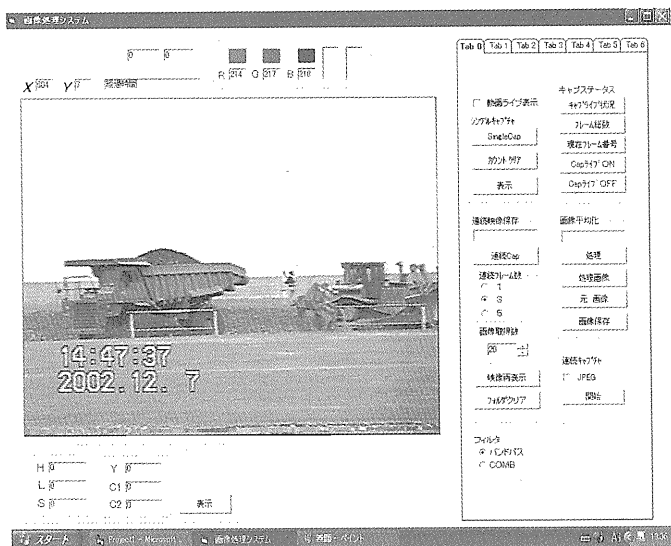
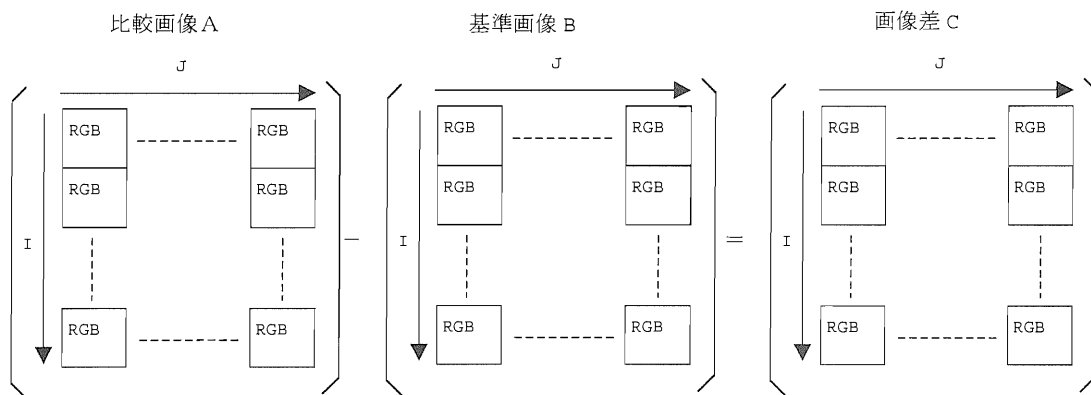


図-2 マンマシンインターフェイス画面



上記画像の各画素のRGB成分に対して、

$(n=1toi, m=1toj : [Anm] - [Bnm] = [Cnm]) = 0$ ならば 変化無し

$(n=1toi, m=1toj : [Anm] - [Bnm] = [Cnm]) \neq 0$ ならば 変化有り

但し、しきい値 \min, \max を設けた場合、

$\min < (n=1toi, m=1toj : [Cnm]) < \max$ ならば $C=0$ と見做し、変化無しとする

図-3 時間差分による変化抽出方法

定にある幅を持たせられるようにしている。

① 抽出履歴DBモジュール

⑩の時間差分抽出モジュールにより検出された情報は、このDBに蓄積される。また、このDBの参照方法は、前述の④抽出結果検索ソフトを通して行うことで、画像番号や時間情報別に引き出すことができる。但し、DBファイル自体はJPG情報および付属情報で成り立つため、独立して扱うことが可能な構成となっている。

2-2.開発ソフトによる情報抽出の検証

施工現場の監視画像を利用し、本システムの核となる、時間差分による情報抽出機能の検証を行った。

2-2-1.侵入車両検出および方向・速度演算（図-4 参照）

この例では、時間差分により変化領域（ダンプ画像）のみを抽出し、2つの時間差を持った画像を比較したものである。そして、比較画像1、2からダンプの走行方向が、またダンプのサイズ（あらかじめ設定）および比較画像1、2の時間差より、走行速度を算出したものである。なお、外乱（目的外の情報）除去のためダンプ走行エリアのみを監視・検出エリアとして設定している。

2-2-2.車両検出および荷降ろし確認の例（図-5 参照）

この例では、2-2-1と同様の手順で目的物の抽出処理をし、その画像の変化の追尾を行なったものである。方法としては、①荷降ろし場所でのダンプ停止の確認→②抽出画像の形状変化の追尾（ダンプ抽出画像の重心位置の変化を見る）→④重心位置の移動（相対的）が規定量に達した状態の確認→⑤荷降ろしの完了というフローで

認識処理を行なっている。この場合、荷降ろし場所や荷降ろし位置が一定とは限らないため、あらかじめ記憶されたパターンと比較する方法は採用できない。従って、侵入物体の抽出（検出）→追尾→停止の確認→形状変化（特に上下方向）の追尾という手順により、リアルタイムで連続的なターゲット追尾が必要とされる。また、画

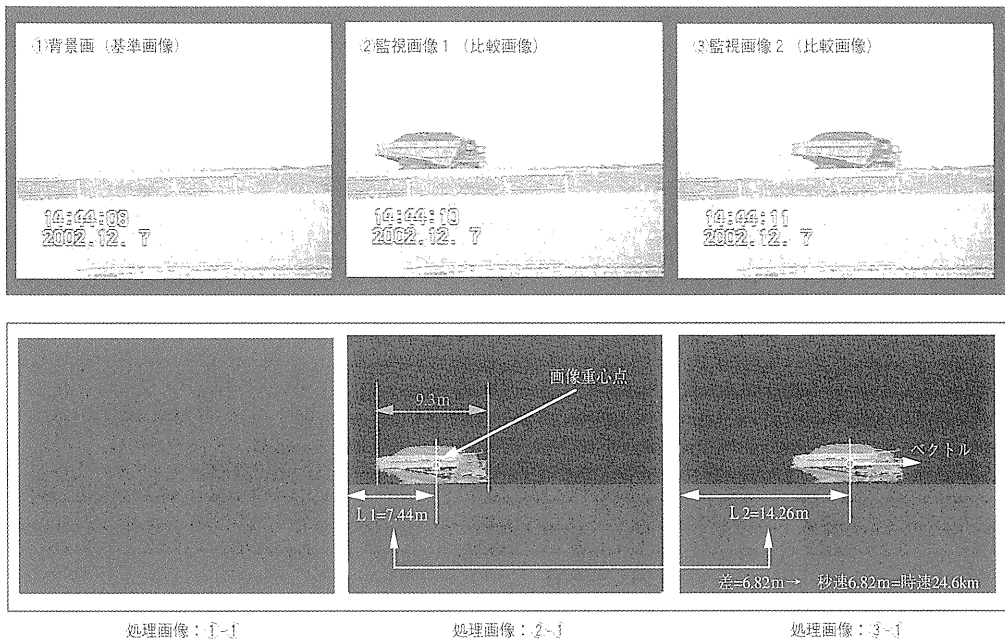


図-4 侵入車輛検出および方向・速度演算

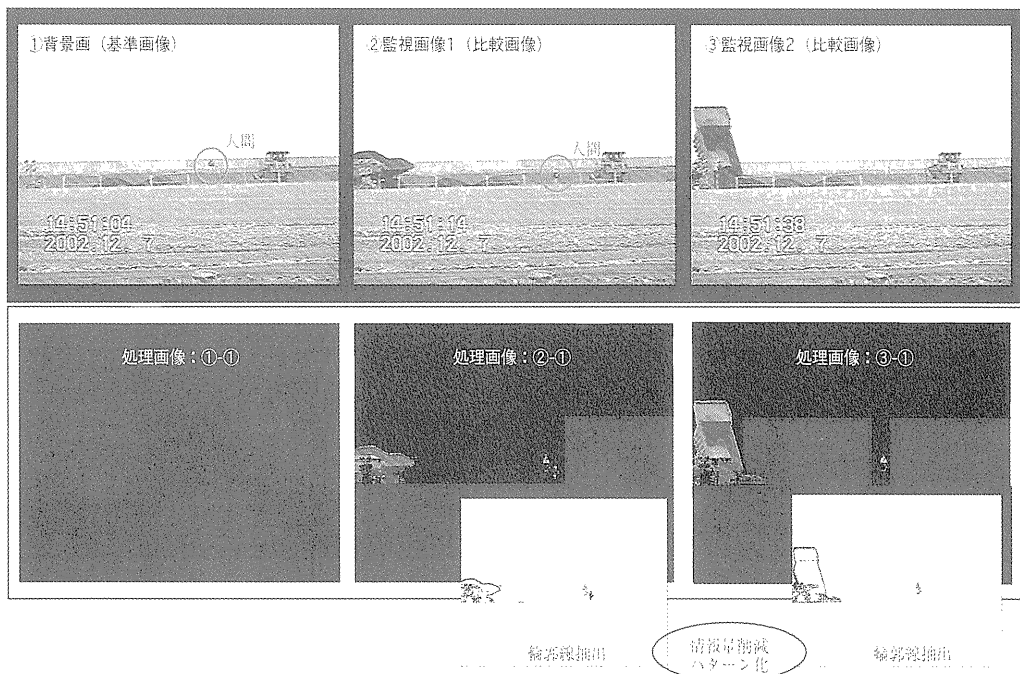


図-5 車輛検出および荷降ろし確認

像上には人間の移動も抽出されているが、画像解析のエリアを区分することで、画像処理上の混乱を避けている。

図-5 には輪郭線抽出画像も加えられているが、これは荷降ろし記録として保存する際の見やすさ、情報量削減を考慮したものである。但し、上記は荷降ろし場所が特定できる場合の方法であり、荷降ろし場所が特定できないケースでは、適用が難しいものと思われる。

3. その他の適用例

本システムをトンネル坑内での落下物や側壁部の剥落検知などに適用した例を示す。このシステムを導入したトンネルでは、既に坑内に赤外線カメラが配置され、人間による監視が行なわれていた。また、監視画像は光通信で配信され、事務所のサーバーに JPEG 形式で蓄積される方式であったため、キャプチャーボードによる取込

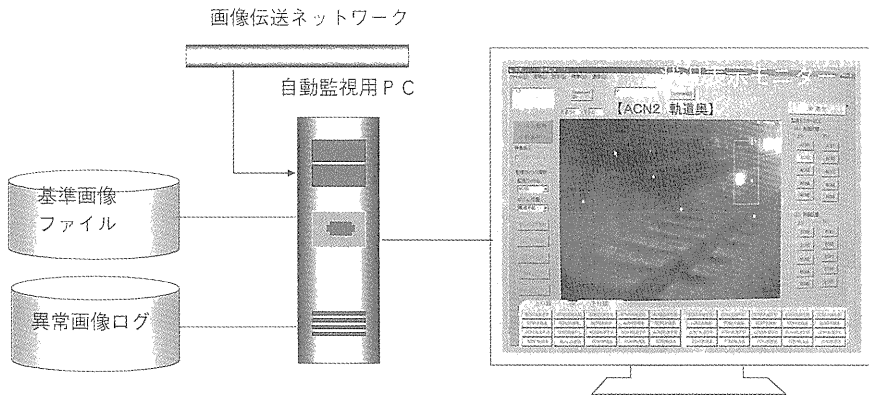


図-6 坑内自動監視システム構成図

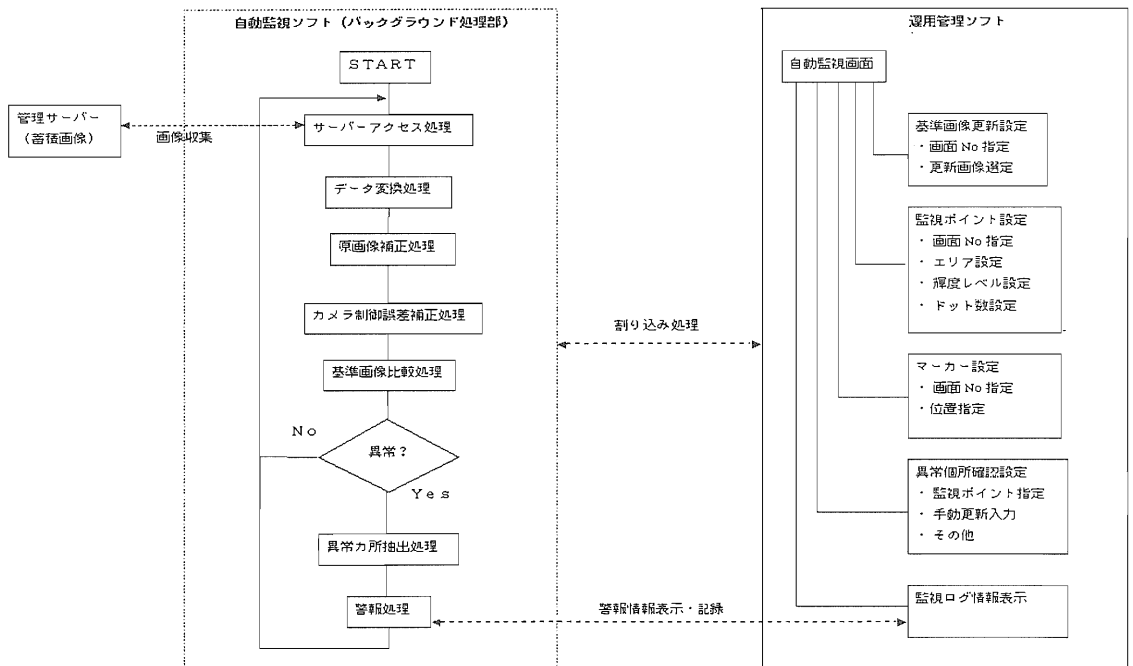


図-7 坑内自動監視システム ソフトウェア構成図

を行わず、ネットワーク経由で最新画像をサーバーに取りに行く方式とした。従って、本システムは、①サーバーアクセスによる最新画像入手→②JPEG・PICT 変換→③ノイズ処理→④正常画像（基準画像）との比較→⑤警報判断の手順で動作しており、24時間の連続監視を行なっている。

システム構成を図-6 に、ソフトウェア構成を図-7 に示す。ここでは、トンネル内を列車が走行した場合にカメラが振動し、画像にズレが生じるため、画像内の特定の点を不動点（マーカー）として登録し、基準画像との比較時に位置合わせを行なう方式をとった。また、列車通過時には坑内が列車で隠されて正常な判断が出来なくなるため、マーカーの位置合わせ量がある設定値を越えた場合、列車接近（または通過）による振動と見做し、さらに列車の前方照明（ヘッドライト）による画面の特定領域の平均輝度上昇を検知することで列車接近の判断情報としている。

ここでの留意点としては列車運転手への配慮から、赤外線照明とそれに対応したカメラを使用した結果、色識別の手法が利用できず、画像の濃淡のみによる判断方式となった点である。また、屋外と違い、全体に暗い環境での監視画像となっているため、カメラのCCDの熱雑音の影響が懸念され、これによるノイズを如何に除去するかが課題となった。図-8 にノイズを含んだ画像の例（小さな黒点がノイズによる影響）を、また図-9 には基準画像から比較画像を引く時の輝度差（しきい値）とノイズの影響度を示したグラフを示す。このケースでは、基準画像と比較画像との差を取るときに、ノイズの影響を除去しつつ感度に支障がない輝度差（しきい値）として±5以下の変化は無視する（変化と判断しない）事とした。この設定値は、現地に様々なサンプルを設置し、実用上で支障が無いかどうかの確認試験を繰り返した結果から決定したものである。なお、このシステムは、24時間体制で現在も稼働中である。



図-8 ノイズを含んだ画像の例

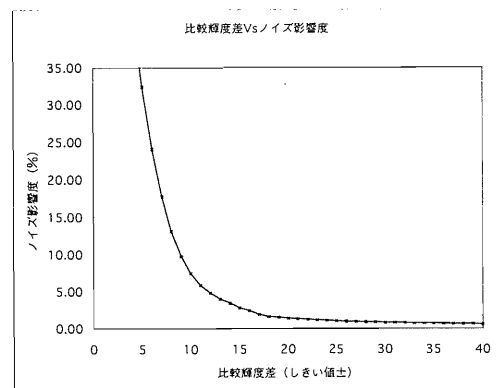


図-9 輝度差（しきい値）とノイズ影響度

4.今後の課題

以上、画像認識を利用した自動監視システムについて報告を行った。フィールドでの自動監視（情報抽出）を目的に開発を進めてきたが、フィールド特有の天候の影響や目的外の物体（鳥獣、陰、風による草木の揺れなど）の影響除去など、解決すべき課題は多く残されているのが現状である。また、現場への導入に際しては、現場の特性（環境）・運用目的・要求レベルなどに対して様々な工夫と対応が必要とされる。今後は、自動監視を行なう上での技術的課題や現場への対応を考慮し、認識ソフト・アプリケーションソフトの充実を図りながら現場への展開を図っていく予定である。

13. 煙突内壁レンガ解体装置の開発

東急建設㈱：*上田 広孝、西尾 仁、中村 聡

1. はじめに

近年、大幅な法改正等によりダイオキシン類の発生源となる環境基準に満たない焼却施設の改修や解体が、公共、民間を問わず大きな課題となっている。実際に焼却施設を改修、解体する工事においては、作業従事者の健康に悪影響を及ぼすダイオキシン類のばく露防止が重要であり、周辺環境にも配慮した対策が求められている。このような背景から、焼却施設解体工事におけるダイオキシン類の除染技術開発の一環として、煙突内部における耐火レンガの解体作業を機械化した「煙突内壁レンガ解体装置」を開発した。本論文では解体装置の概要と実証施工の結果について報告する。

2. 煙突内壁レンガ解体装置の概要

2-1. 解体装置の概要

本煙突解体装置は、レンガを解体する「レンガ解体ユニット」、煙突内壁に本体を位置決めする「芯出ユニット」、解体状況をモニターする「監視ユニット」、遠隔操作するための「操作ユニット」の4ユニットで構成され、レンガ解体ユニットは、開閉する2本のアームとその先端のドラムに取り付けられた多数の鋼製リンクチェーンからなり、ドラムがモーターによって高速回転することでチェーンがレンガを打撃し、さらに旋回・昇降しながらレンガを解体する。また、アームの開閉角度を変えることにより煙突上部から下部までの煙突内径φ1,100 mm～φ3,100 mmに対応できる。(写真-1)

2-2. 装置の特長

- ① 汚染された内壁レンガの解体を、遠隔操作により無人化施工するため、作業員を高所における危険作業だけでなく、狭隘な場所での苦渋作業から開放し、ダイオキシン類等の汚染物質のばく露から作業員を守ることができる。
- ② レンガ解体の方式は、「リンクチェーン回転打撃方式」を応用したものでチェーン自体が比較的軽量な上、装置本体の質量を約1トンと軽量化したことにより、従来の解体方法に比べて煙突躯体に与える反力や振動を最小限に抑えられる。このようなことから老朽化した煙突躯体への適用も可能である。
- ③ リンクチェーンを交換することで、レンガ及びコンクリート表面のダイオキシン汚染物の切削も可能である。

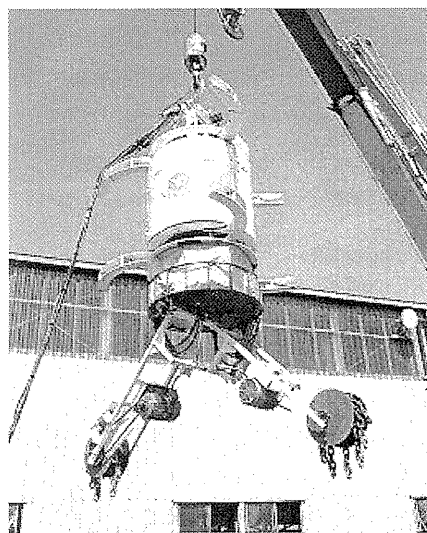


写真-1 煙突内壁レンガ解体装置

2-3. 解体装置の仕様

解体装置の外形図を図-1及び仕様を表-1に示す。

(1) レンガ解体ユニット

レンガ解体ユニットは、以下の4つの装置から構成される。

① 回転ドラム装置

回転ドラムに装備しているリンクチェーンが軽量なうえ、ドラムへの装着が容易で耐磨耗性に優れている点から、解体方式にリンクチェーン回転打撃方式を採用し、1ドラムに8本のリンクチェーンを取り付けた装置である。煙突内壁レンガは煙突上部から解体を行うのが原則であり、レンガ目地の拘束や各レンガ間の拘束を開放し解体しやすくするため、ドラム回転方向をレンガに対して下から上へたたき上げる上向き方向とした。

② アーム拡張装置

2本のアームで煙突内壁レンガ内での回転ドラム位置決めを行い、煙突内壁レンガへのチェーンドラム貫入量の調整を行う装置である。この2本のアームはそれぞれ独立した任意のストローク調整が可能である。

③ アーム昇降装置

煙突内壁に本体を位置決めする芯出ユニットより、回転ドラム装置及びアーム拡張装置を油圧ジャッキの伸縮により上下方向に昇降させる装置である。解体作業時には、1サイクルの昇降で高さ約1mの内壁レンガの解体が可能である。

④ アーム旋回装置

回転ドラム装置及びアーム拡張装置を旋回モーターにより煙突の円周方向に旋回させる装置である。2本のアームに回転ドラム装置が装備されていることから、解体時に死角ができないように、旋回角度は左右200°とした。

(2) 芯出ユニット

芯出ユニットは、油圧ジャッキの制御により上下各3枚の羽根が本体装置部より均等に張出し、煙突内の中央に解体装置の位置決めをする。また、レンガ解体時の反力としても使用し、解体装置の安定性及び狭隘空間での移動性を考慮した構造とした。

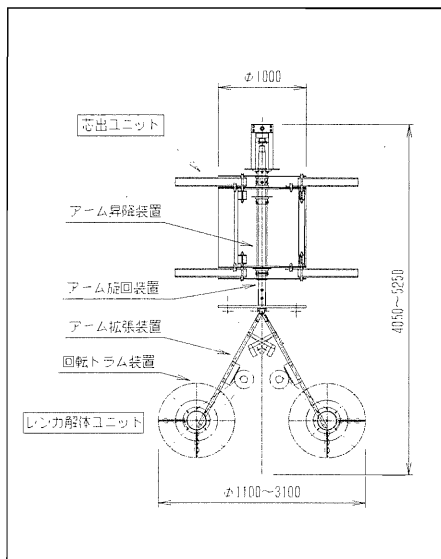


図-1 解体装置外形図

表-1 解体装置仕様

名称	仕様	規格
回転ドラム装置	切削方式 切削解引用 駆動モーター ドラム回転数 切削チェーン	回転チェーン打撃式 φ1,100mm～φ3,100mm 3.7kw 2台 547rpm 強力チェーン 線径φ16mm
アーム拡張装置	拡張用油圧ジャッキ	ストローク250mm 2本
アーム昇降装置	昇降用油圧ジャッキ	ストローク1200mm
アーム旋回装置	旋回モーター 旋回角度 旋回回転数	ギヤードモーター 60W 左右200° 0.6rpm
芯出ユニット	芯出寸法 芯出用ジャッキ	φ1,100mm～φ3,100mm ストローク200mm 2本
監視ユニット	CCDカメラ	5台
機作ユニット		有線遠隔操作方式
本体付属装置	油圧ユニット	1.5kw
質量		約1,000kg
寸法		φ1,100mm×4,050mm(総身長)

(3) 監視ユニット及び操作ユニット

解体装置は煙突内ダイオキシン類のばく露防止のため、有線方式による遠隔操作とした。本装置には作動状態及び煙突内状況を監視するため、赤外線式 CCD カメラを設置しており、このモニター映像を監視しながら遠隔操作を行う。

3. 実機による実証施工

3-1. 工事概要

発注者	根室市
工事名	根室市じん荼焼却場排ガス高度処理施設 等整備工事 既設煙突解体工事
工事場所	北海道根室市幌茂尻
施工者	JFEエンジニアリング株式会社
解体範囲	GL-0.3m ~ 50.0m
煙突規模	煉瓦式煙突 GL+50.0m 正八角形 (底部)3.80×3.80m (頂部)2.01×2.01m

3-2. 実証施工内容

根室市じん荼焼却場 既設煙突解体工事においては、まずダイオキシン類のばく露防止のため、濃度を検査し、躯体に足場と養生シートを設置した後、内筒の壁面を高圧水で洗浄してダイオキシン類を含んだ灰を除去した。次に、GL+50.0m(塔頂部)~GL+4.8m までの 45.2m にわたる内壁レンガは、在来工法であるハンドブレーカを用いた人力による解体とし、残りの約 4.8m 分を解体装置により解体した。解体装置により実証施工を行った内壁レンガの構造は一枚積み(レンガ長辺が煙突内筒の厚みとなる方向に積む)であり、耐火レンガを円筒形に設置した形状である。実証施工範囲での内壁レンガ内径は頂部で約φ2,400 mm、底部で約φ2,600mm である。

解体装置の揚重は通常、クレーン及びウインチにて煙突頂部から行うことを原則としている。しかし、今回の実証施工においては施工区間が短いため、煙突内部に電動チェーンブロックを設置して高さ約 6m の範囲で内壁レンガ解体装置の揚重を行うこととした。解体装置の実証施工断面図を図-2に、遠隔操作状況写真を写真-2に、解体レンガ状況写真を写真-3に示す。

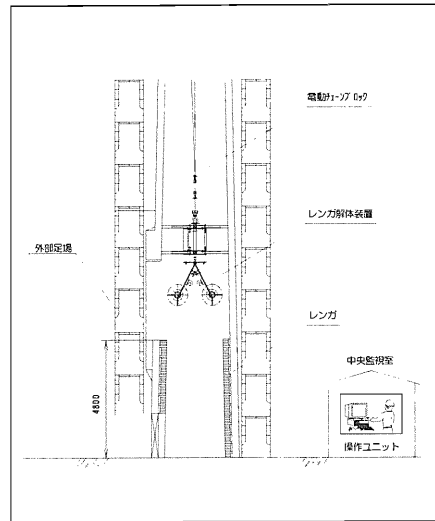


図-2 実証施工断面図



写真-2 遠隔操作状況



写真-3 解体レンガ状況

3-3. レンガ解体実証施工作業手順

煙突レンガ解体作業手順は以下の3項目である。

- ① 電動チェーンブロックによる解体装置の揚重・位置決め(操作室による遠隔操作)
- ② 解体装置の芯出ユニットによる拡張位置決め (写真-4)
- ③ 煙突内壁レンガの解体(解体装置を旋回及び昇降させながら耐火レンガを解体) (写真-5)

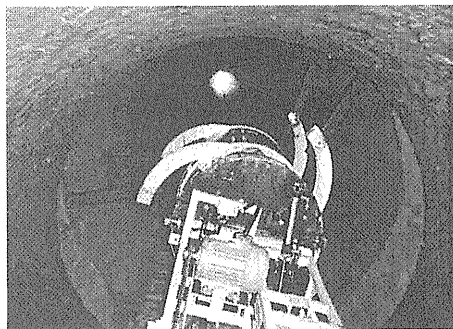


写真-4 拡張位置決め状況



写真-5 レンガ解体状況

作業手順①～③の1サイクルを施工することにより、高さ約1mの煙突内壁レンガを解体する。

3-4. レンガ解体実証施工結果

今回の実証施工では、解体装置のレンガ解体ユニット及び芯出ユニットについては、計画通りの施工性があること、監視ユニット及び操作ユニットについては、モニター監視による位置決め、レンガ解体が容易に操作できることを確認した。この解体装置を用いることにより解体作業中は煙突内に立ち入ることなく、安全に耐火レンガを解体できることを確認した。

この実証施工において得られた作業能力のデータをもとに、高さ50mの煙突内壁レンガ解体の施工日数を想定したところ、人力に対し解体装置では約20%の工程短縮が図れることが判明した。また、人力では解体作業員2名が必要なのに対し、解体装置ではオペレータ1名で実施することを確認した。

4. おわりに

今回の実証施工では、解体したレンガを搬出する作業員が必要であったが、今後は解体レンガ搬出装置等の開発により煙突内に立ち入る人員をさらに減らし、安全性の更なる向上を図る予定である。また、解体装置の能力向上と焼却施設の解体・搬出・処理の一連の流れを見直し、解体工事の一貫したシステムを早期に確立してトータルコストの低減を図る予定である。

最後に、本誌をお借りして今回の実証施工において協力を頂いた根室市、施工者である JFE エンジニアリング株式会社の関係各位に感謝の意を表したい。

14. 関門航路浚渫工事における土砂の分級 ならびに今後の展開

国土交通省 関門航路事務所：村山 伊知郎、
信幸建設(株)：田中 泰弘、*峯吉 武志

関門航路はわが国と東アジアを結ぶ国際的な海上交通の要衝となっており、営々として航路の増深、拡幅、埋没対策のための浚渫工事が行われ、今後も浚渫工事を継続していく必要がある。大量に発生する浚渫土砂は、主に埋立地や人工島建設に有効利用されているが、土砂処分場の受入容量にも限りがあり環境負荷を低減するためにも、浚渫土砂の減容化を図り現処分場の延命化を最大限図ることが必要である。そこで今回、大容量の処理能力を有する遠心分離装置を用いて関門航路中央水道地区の浚渫土砂を効率良く砂とシルト・粘土に分級する新しい分級工法（ソイルセパレータ工法）を採用し、約 30 万 m³ の浚渫土砂から約 20 万 m³ の砂を取り出す事に成功した。本報告では、分級工法の概要と現場施工への適用実績ならびに今後の展開について紹介する。

1. はじめに

平成 14 年度、国土交通省九州地方整備局関門航路事務所は図-1 に示すように関門航路中央水道地区の浚渫・分級工事を実施した。本区域の浚渫土砂はシルト混じり砂で比較的多くの砂を含んでいた。一方、新北九州空港建設工事では浚渫土砂により造成した地盤上への覆土工事の最中であり、大量の良質土を必要としていた。そこで、浚渫土砂から砂を取り出して覆土材に活用できれば、土砂を購入・運搬せずに空港工事を進めることができ、処分場に捨てる土砂も減らすことができる。

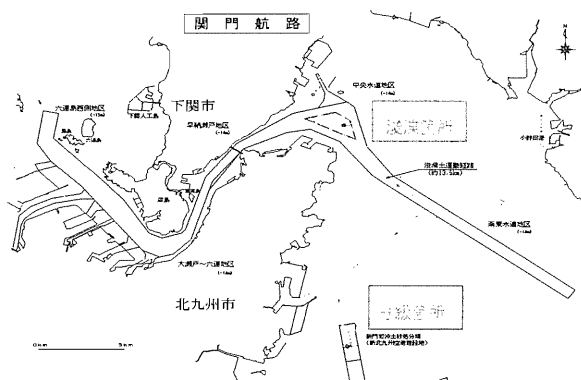


図-1 浚渫・分級工事の位置図

土砂を砂とシルト・粘土に分ける分級は、これまで小規模な実施事例しかなく、港湾工事における浚渫土砂のような大量に発生する土砂に適用するのは困難であった。今回採用した「ソイルセパレータ工法」は、港湾、河川、湖沼、ダム等から発生する砂分を含む浚渫土砂を分級装置により砂分とシルト・粘土分とに分け（分級）、養浜や盛土などの各種建設材料としてリサイクルするシステムである。本システムの最大の特長は、遠心分離装置の一種であるソイルセパレータの泥水処理能力が最大約 3,000m³/hr と従来工法の 10 倍以上の泥水処理能力を持っていることである。

本システムにより、

- ① 浚渫土砂のリサイクル推進
- ② 海砂や山砂採取による自然環境への負荷低減
- ③ 浚渫土砂リサイクルによる建設材料購入費の節約などの効果が期待できる。

2. ソイルセパレータ

(1) ソイルセパレータの形式と仕様

ソイルセパレータは、上下水道施設の大規模沈砂池や沈殿池の代替、製鉄所クーラントのスケール除去、各種工場の冷却水・処理水・雑用水の異物除去、ワイン醸造工程の異物・不純物除去など、水や溶液に含まれている粒子や異物の分離、濃縮、回収、除去を行う分離装置として広範囲に用いられているものである。ソイルセパレータには軽負荷、中負荷、重負荷の3形式があり、浚渫土砂を取り扱う場合には、混合濃度が比較的濃く大粒径を対象としている重負荷専用機を用いる。適用流量は最小 $6\text{m}^3/\text{hr}$ から最大 $2,895\text{m}^3/\text{hr}$ までのものがある。表-1にソイルセパレータの性能を示す。

(2) ソイルセパレータの構造・分級原理と特長

重負荷用ソイルセパレータの構造は図-2に示す通りであり、極めて単純な構造となっている。

作動原理は以下の通りである。

- ① 液体と固体は接線方向でソイルセパレータに流入し、分離筒の内側で一様な渦流状態となる。
- ② 液体より重い固形物は、遠心力により分離筒の内壁に当たりながら固形物と液体との分離が始まる。
- ③ 固形物は内壁に沿ってゆっくりと沈降して行き、下部のコレクションチャンバーに貯まる。
- ④ 渦流となって下降してきた液体は下部案内羽根機構（反転板）によって瞬間的に急減速され、更に固液分離（2次）される。
- ⑤ 固形物を含まない液体は中心渦（負圧）によって急上昇し、吐出口から外部に排出される。
- ⑥ コレクションチャンバーに堆積した固形物は必要に応じて、定期的に、あるいは連続的に排泥口から排出する。

以上のように、ソイルセパレータは極めて単純な構造と分級原理から成り立っており、その特長をまとめると次のようになる。

- ① 本体が小型・軽量で電力その他の動力を必要とせず、設置面積が極めて小さい。
- ② 密閉構造であり、騒音を発生せず、周囲を汚さない。
- ③ 圧力損失が極めて小さく、処理流量幅が大きい（最大流量は最小の約2倍）ため、処理水量が急激に変化しても分離性能に影響がない。
- ④ 分級性能が優れている。

ソイルセパレータの設置角度は、小型のものでは 90°

表-1 ソイルセパレータの性能
(メーカー推奨値)

分離性能	$74\mu\text{m}$ までの回収率：98%
最大圧力×温度	$1.0\text{Mpa} \times 315^\circ\text{C}$
最高濃度	2.5% (25,000ppm)
流量範囲	最小 $6\text{m}^3/\text{hr}$ から 最大 $2,895\text{m}^3/\text{hr}$ まで
通過粒径	6.0mm 以下の小型から 50.0mm 以下の大型まで
最大堆積量	1.2% の小型から 416% の大型まで
圧力損失	$0.03 \sim 0.08\text{Mpa}$

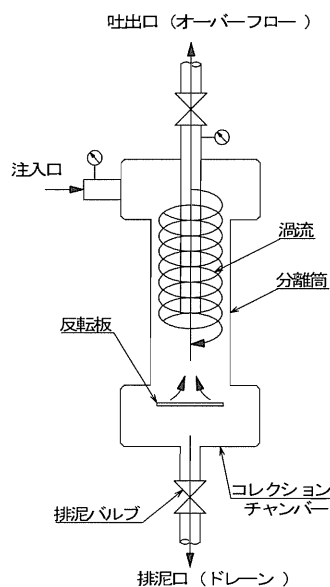


図-2 重負荷用ソイルセパレータの構造

直立型が一般的で、中・大型では 45°、22.5° 傾斜型も選択可能で、分級性能は同様である。

写真-1 に今回使用した最大規模のソイルセパレータを示す。直径 1.2m φ、長さ 6.0m、設置角度 22.5° となっている。

3. ソイルセパレータ工法の概要

浚渫土砂を材料化する新しい分級システムでは、砂分を含んだ泥水状態の浚渫土砂から砂分とシルト・粘土分とに分級するために遠心分離装置の一種であるソイルセパレータを使用している。

今回の分級工事では、分級専用揚土船により泥水化された浚渫土砂を泥水処理能力が 1,785～2,895m³/hr の最大クラスのソイルセパレータを 2 基使用している。そして、分級後の砂を含む高濃度泥水は、搬送能力が 150m³/hr の大型脱水コンベア 4 基により自然含水比に近い程度まで脱水され、脱水後の砂の質量は計量コンベアにより常時管理されている。約 300,000m³ の浚渫土砂を分級して砂を取り出し、建設中である新北九州空港の覆土材として有効活用している。

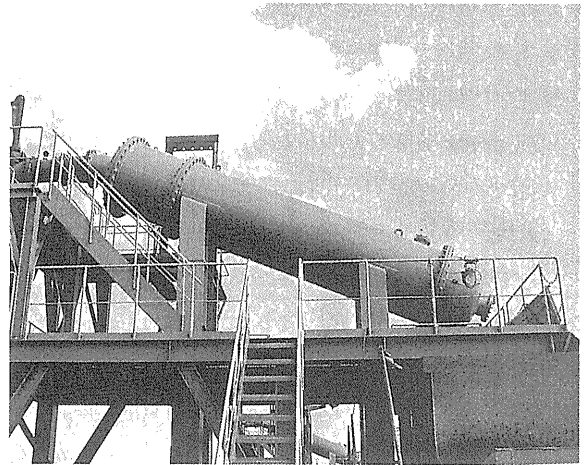


写真-1 ソイルセパレータ

浚渫・分級の具体的手順は以下の通りとなり、図-3 に分級システムフローを示す。

- ① グラブ浚渫した浚渫土砂を土運船で土砂処分場(新北九州空港)まで運搬。
- ② 分級専用揚土船の大型バックホウにより浚渫土砂を揚土(揚土量約 600m³/hr)。
- ③ さらに、分級専用揚土船で浚渫土砂に加水し(含泥率約 15%)、陸上に設置した 2 基のソイルセパレータに送泥(送泥量約 2,300m³/hr×2 ライン)。
- ④ ソイルセパレータで砂分を分級(泥水処理能力 1,785～2,895m³/hr、砂抽出量約 240m³/hr×2 基)
- ⑤ 砂分は振動装置付き脱水コンベアで脱水し(含水比約 25%)、計量コンベアにより分級砂を計量。
- ⑥ 分級後の泥水は土砂処分場内の汚濁防止装置を施した区域に放流する。

写真-2、3 に主要な分級設備を、表-2 に分級設備の主要目を示す。

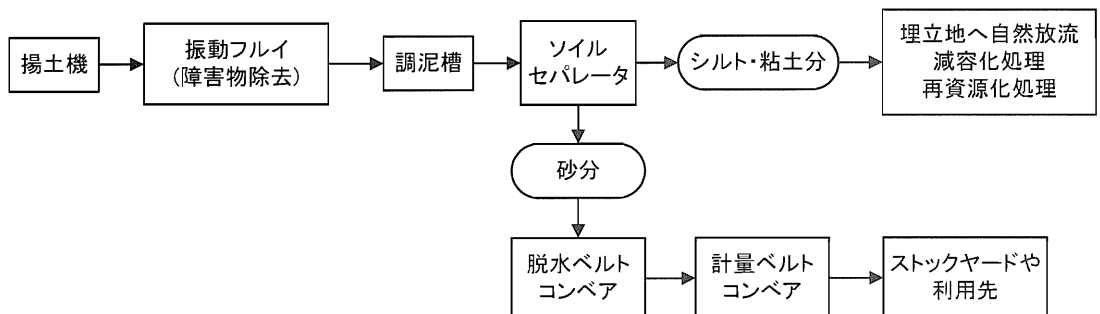


図-3 分級システムフロー

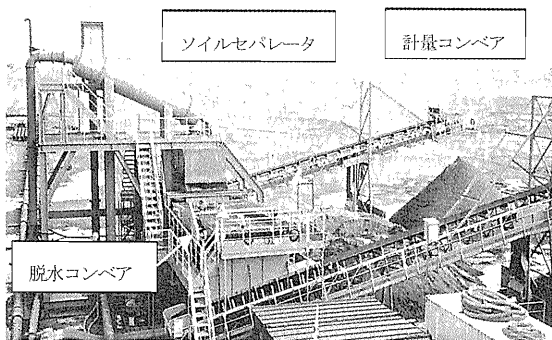


写真-2 分級システム全体

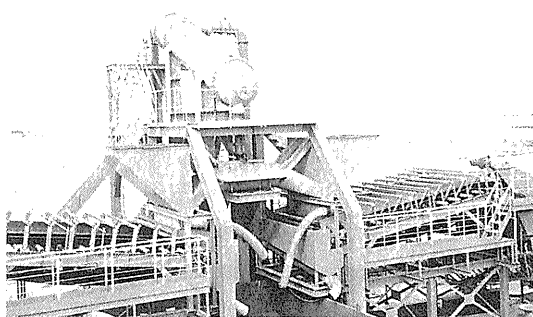


写真-3 脱水コンベア

表-2 主な分級設備の主要目

名 称	規 格	数 量	備 考
分級専用揚土船	能力 600m ³ /hr	1 隻	写真-4
ソイルセパレータ	泥水処理能力 1,785~ 2,895m ³ /hr	3 台	RFD2000 1 台は予備
脱水コンベア	搬送能力 150m ³ /hr 3000*L8000	4 台	
計量コンベア	計量能力 400t/hr	4 台	砂計量
施工管理装置		1 式	

表-3 土質試験結果一覧

項 目	浚渫土	分級砂
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.636	1.630
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.105	1.292
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.654	2.652
自然含水比(%)	50.4	26.3
砂分含有率(%)	76.2	98.0
シルト・粘土含有率(%)	23.8	2.0

※各数値は、20 回の土質試験結果の平均値

表-4 浚渫・分級数量のまとめ

項 目	数 量
浚渫土量	338,081m ³
分級砂回収率	91.2%
分級砂量	226,628m ³



写真-4 分級専用揚土船

4. 分級工事の実績

分級性能を管理するため、分級前の浚渫土砂および分級砂に対し定期的に土砂サンプリングを行い、物理試験(湿潤密度、乾燥密度、土粒子密度、含水比等)と粒度試験を実施した。表-3、4に土質試験の結果及び浚渫・分級数量のまとめを示した。浚渫土砂の平均砂分含有率は約 76.2%と当初推定値 75%に

近い値となった。一方、分級砂は砂含有率 98.0%、含水比約 26.3%と高品質の建設材料となり、覆土工事に支障の無い砂を供給することができた。また、浚渫土砂の砂分乾燥質量に対する分級砂の乾燥質量の比を分級砂回収率と定義すると、今回の分級工事における分級砂回収率は約 91%となり高い分級性能を示した。

5. 今後の展開

今回、大容量かつ高能率な分級工法(ソイルセパレータ工法)を世界で初めて採用し、当初計画通りの成果をあげることができた。ソイルセパレータ工法は、分級砂を有効に活用できるとともに浚渫土砂の減容化により土砂処分場の延命が図れるという一石二鳥の効果があり、浚渫土砂のリサイクル技術の幅がさらに広がった。一方、分級後の残されたシルト・粘土分泥水、あるいはもともと砂分の少ない浚渫土砂の減容化として、一般的には機械脱水などが採用されているが、処理容量が小さい、処理コストが高い等の問題がある。

今後は大量のシルト・粘土を効率的に処理できる技術開発が必要と考え、シルト・粘土分を各種建設材料として容易にリサイクルできる安価な固液分離システムの開発に取り組み、平成 15 年 7 月に実証実験を行ない、本システムの分離性能および安全性を確認した。この固液分離システムは、大量の泥水を比較的簡単な設備により連続処理することにより大容量・低コスト化を実現している。

今回開発した固液分離システムは、凝集剤注入装置、迂流式水路、フロック分離箱から構成されている。当システムにより作り出されるフロックは、十分に粗粒化され脱水が容易なので、利用目的に合った減容化処理を行うことにより養浜や盛土などの各種建設材料としてリサイクルすることが可能となる。

固液分離システムと既に実績のある分級工法を組み合わせることにより、浚渫土砂を 100%リサイクル可能な「ソイルセパレータ工法トータルシステム」を完成させた。写真-5、6に固液分離設備及び分離状況を、図-4にソイルセパレータ工法トータルシステムを示す。

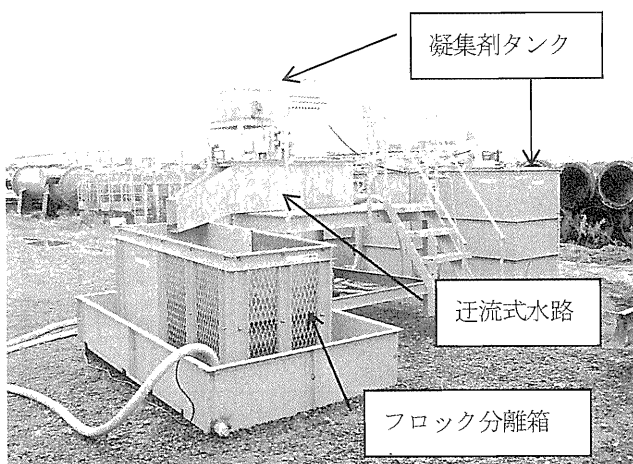


写真-5 固液分離設備



写真-6 固液分離状況（フロック分離箱内）

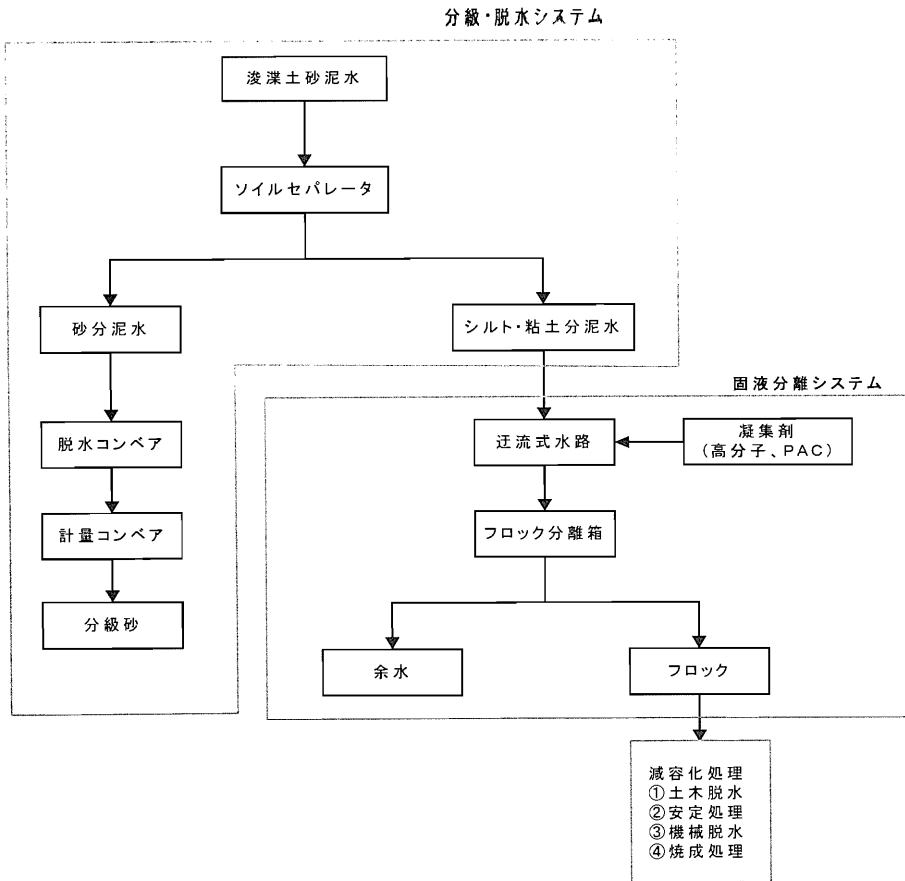


図-4 ソイルセパレータ工法トータルシステム

6. おわりに

今回、関門航路の浚渫工事に於いてソイルセパレータ工法が採用され、当初計画通りの成果をあげることができ、喜ばしい限りである。さらに分級されたシルト・粘土分泥水についても固液分離システムの開発により、建設材料としてリサイクルできる方法を確認することができた。今後は、従来の減容化処理技術（機械脱水、安定処理等）では困難な大容量かつ低コストの新しい処理技術を開発し、浚渫土砂のリサイクル促進を図り、循環型社会の構築、ひいては地球環境負荷低減に貢献していきたい。

最後に、本工事の施工に際し、いろいろとご指導、ご鞭撻頂いた九州地方整備局殿並びに関係各位に対して心からの謝意を表するものである。

15. プラズマによる破砕技術（PAB工法） の開発

(株)熊谷組：*北原 成郎、垣内 幸雄

1. はじめに

近年、土木工事も都市化に伴い、住宅や近接構造物等の周辺環境に与える騒音・振動が、大きな問題となってきた。そのため、発破工法は使用できず、大型掘削（切削）機械を採用しても中硬岩地山では掘削能力に限界が有り、難渋する事が多い。

硬岩破砕技術は、自由断面掘削機や大型ブレーカの発達で掘削能力が大幅に向上しているが、発破工法と比較すると80～100MPa以上の一軸圧縮強度を持つ硬岩では、潜在的なクラックが少ない場合などを除き、著しく掘削効率が低下する。ビット先端のチップやチゼルが性能が限界に近づいていて、これ以上、性能を大きく向上させることは難しい状況であることから、新しい破砕工法が求められている。

これまでの機械掘削とは異なる破砕技術を検討した結果、放電により発生する衝撃波を利用することで非接触で対象物を破砕することができる本技術が将来性があると判断し、研究開発を進めてきた。こうした背景より『水と電気だけで岩を割る』ことに注目し、環境に優しいプラズマによる岩盤破砕技術（PAB：Plasma Acoustic Blasting）を開発した。

以下本報では、本システムの概要と試験結果及び実施工事例について報告する。

2. 技術概要

本技術は、電源から充電器を介してコンデンサに蓄積したエネルギーを、対象物体内に挿入した電極棒の先端で一気に放電させることによってプラズマを生成し、その時に発生する衝撃波により岩等を破砕するものである（図-1）。電気エネルギーのみを利用し、化学物質や金属などの反応に頼らないことがこれまでの放電技術と異なる点である。また、騒音、振動が少なく破片の飛散が無いことや、電圧を調整することにより破砕力を調整することができるなど、重要構造物の近傍でも施工できることが特徴である。また使用する電極は繰り返し利用できる固定電極により、破砕状況に応じて繰り返し同じ孔で放電することができるため、必要以上に対象物を破壊することが少ない。

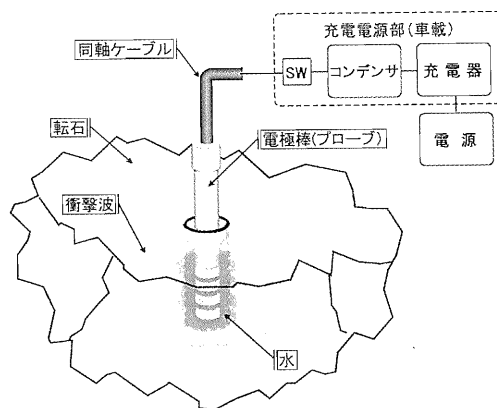


図-1 技術概要図

作業は図-2に示すように、以下の手順を繰り返す。

- ①始めに削岩機等で電極より一回り大きい削孔径の孔を削孔する。通常は事前に施工しておく。
- ②水を孔に注入する。クラック等で水が溜まらない場合はゲル化液を入れる。
- ③電極（プローブ）を孔に挿入し、充電を開始する。充電時間は1分以内。
- ④充電が終了したら、放電を行い、破碎する。

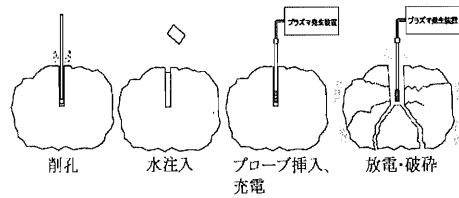


図-2 岩破碎手順

3. 装置概要

本装置の構成要素は、主に充電電源部と電極棒（プローブ）およびそれらを接続するケーブルから成る。図-3には、全体システムの概略を示し、以下、個々の構成要素について説明する。

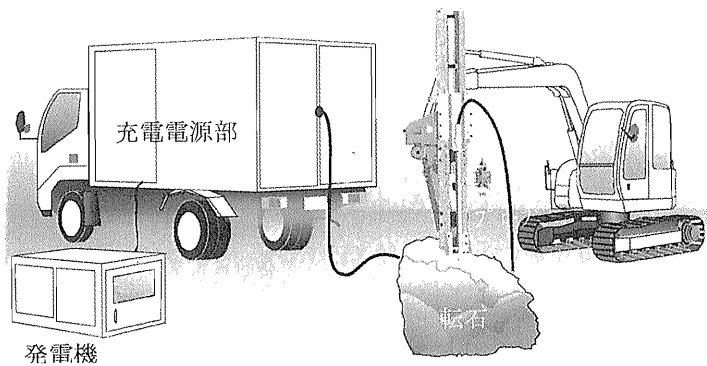


図-3 プラズマ破碎システム概

(1) 充電電源部全体構成

充電電源部の仕様を表-1に、基本回路を図-4に示す。これらは充電器、接地回路、制御・インタロック回路、コンデンサ、スイッチ、出力コネクタなどで構成する放電回路である。充電部全体のインダクタンスはエネルギー効率を重視して $0.5\mu\text{H}$ と極めて小さい値になっている。

全体の重量は約3tonであり、発電機とともに4tonトラックに積載可能である。

(2) 充電器

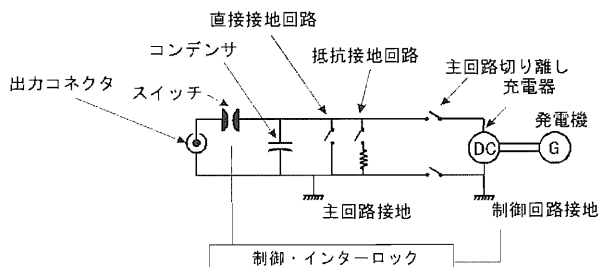
充電器には軽量、コンパクトなインバータ式を用いている。容量が12kWであるため、300kJの充電時間は約25秒になる。電源は3相200V、25kVAの一般的な屋外工事用ディーゼル発電機を用いている。

(3) コンデンサおよびスイッチ

1個の容量が $333\mu\text{F}$ の直流コンデンサを6個並列に接続しており、全体の蓄電容量は2mFである。

表－1 電源装置仕様

項目	主要諸元
外形寸法	L2.6×W1.4×H1.7m
重量	3ton
コンデンサー容量	2mF
定格電圧	22kV
定格エネルギー	480kJ
定格ピーク電流	300kA
必要電源	25kVA



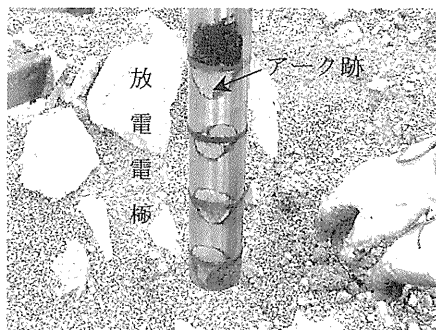
図－4 基本回路図

スイッチは平板大気圧ギャップ式を採用した。平行に配置された平板を空圧アクチュエータで駆動して距離を縮めることでギャップ間に放電を起こし、出力コネクタへと電流が流れる仕組みである。

(4) 電極棒（プローブ）およびケーブル

プローブはインピーダンスの低減と構造的強度を確保するため同軸構造になっている。外部導体は放電時の衝撃に耐えるように鉄製パイプとした。写真－1に示すように、プローブ先端の放電部には複数のギャップを設けて放電抵抗が回路の最適値に近づくよう工夫している。各ギャップ間で放電が起こるため、複数個のアークが発生するようになったことと、エネルギー効率が向上したことの相乗効果で破砕力が飛躍的に増大した。プローブの長さは1.0 m～3.0m、外径は50mmと25mmの2種類がある。

ケーブルには放電時に数百kAにも及ぶ大きな電流が流れるため、ケーブルの中心から外へ向かって強大な電磁力が作用する。その大きさは数十MPa（数百気圧）にも達するため、外縁部には強固な補強層を設けているが、扱い易さを考えて、柔軟性を重視した構造になっている。



写真－1 放電後のアーク痕跡
(4連直列ギャップ)

全長は標準では約30mで、同軸コネクタにより延長が可能である。

(5) 防音装置、ハンドリング

放電時の騒音を低減するために写真－2に示すような防音装置をプローブに装着した。現状の騒音は、250kJで放電した場合、放電位置から30mの地点で80dB程度である。放電エネルギーが小さくなれば騒音値も低下する。放電時には衝撃力の反作用でプローブが孔から抜け出ようとする。その対策として約100～350kgの重さのカウンターウェイトを吊金具の部分につけている。写真－3は実現場での使用状況である。

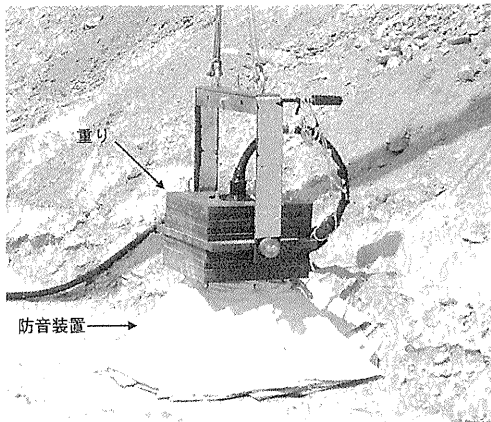


写真-2 防音装置



写真-3 現場作業状況

4. 岩破碎試験

破碎に使用した供試体は兵庫県赤穂市採取の一軸圧縮強度150～240MPaの流紋岩で、大きさは約0.2m³～4.0m³である。あらかじめ、深さが供試体高さの半分程度で径が75mmの孔を削孔面のほぼ中央に設けた。

破碎後の形態には典型的なパターンがあり、孔底を頂点とした円錐形の破片と、孔を中心に3～4分割された破片に分かれることが多い。図-5に転石破碎に要したエネルギーを示す。点線は今回投入したエネルギーの最低値が転石の体積に比例することを示している。このことから、転石を破碎する場合には体積に応じて必要な最小エネルギー値を予測できるのではないかと考えている。このケースでは、1m³あたりの必要最小エネルギーは約70kJということになる。

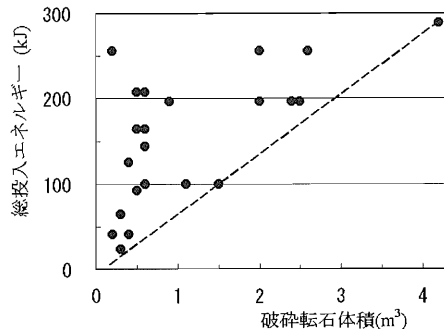


図-5 転石破碎結果

さらに、これまでの実験結果から、1回あたりのエネルギーを変化させて放電を行っても、破碎に必要な累積エネルギーはほとんど一定であることが明らかになっている。発生したひび割れによって孔内に水が貯まりにくい場合には増粘剤（食品添加物）を使用し、粘性を高めることで漏水を防いでいる。

5. 実施工例

以下は平成13年5月より実施工への導入した実施工事例の一部を紹介する。

(1) 変電所内鉄塔基礎解体工事

既設の鉄塔撤去に伴い、その基礎部コンクリートを60基PAB工法にて、破碎した。施工箇所は変電所周辺民家から20m程度と近接しており、ブレーカなどの騒音発生となる工法は使用できない状況であった。当初静的破碎剤で施工予定であったが、鉄筋等の拘束により穿孔ピッチを細かくして

も破砕が困難であり、効率が悪いなど問題があった。当該施工では、 1m^3 程度の基礎に1孔～3孔程度コアカッターで削孔し、放電破砕した。100～150kJの放電により、バックホウのバケットやコンクリート破砕機でつかめる程度にクラックを入れ、支障なく破砕した。



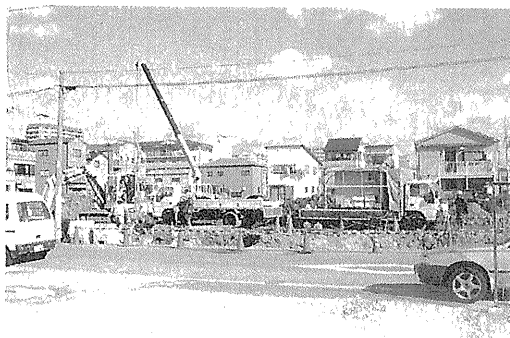
写真－４ 施工状況



写真－５ 破砕状況

（２）市街地での解体事例

騒音振動規制の厳しい市街地での事例を写真に示す。コンクリート基礎約 60m^3 を解体した。二次破砕はバックホウのバケットのみで行った。



写真－６ 市街地における作業状況

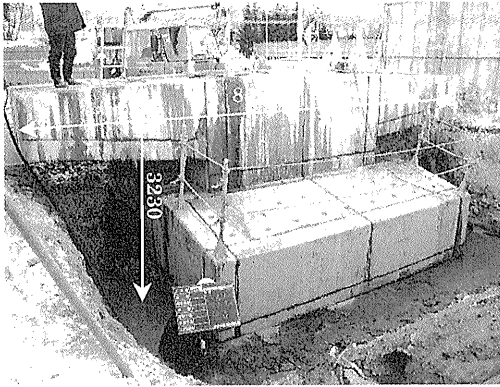


写真－７ 放電後の解体状況

（３）橋脚の解体事例 （写真－８、９）

市街地での新設の高架橋工事に伴う既設の橋脚解体工事である。

解体は上部のウィング不から基礎のフーチングまでPAB工法で放電破砕した。二次破砕は使用機械が限定され、バックホウのバケットのみで行った。鉄筋量の多いコンクリート構造物も、放電によって内部のコンクリートも細かく粉砕する事ができた。



写真－８ 解体前の橋脚



写真－９ 解体時の作業状況

(4) 硬岩転石の破砕工事例

当工法の本来の開発目標である硬岩破砕事例を以下に示す。

写真－１０、１１は、住宅造成工事に伴う花崗岩の転石破砕事例である。花崗岩の目のない大きな転石は“しわく”（粘っこい）ブレーカでは破砕が困難であったが、PAB工法では容易に破砕できた。



写真－１０ 花崗岩破砕状



写真－１１ 花崗岩破砕状

6. まとめ

硬岩では200MPa以上の岩を放電のみで破砕することが確認できた。また静的破砕剤では壊れにくい鉄筋コンクリート構造物に対しても効果があることが解ってきた。破砕時の飛石が少ないなどのメリットがあるがこれまでにない破砕方法であるため、その特徴を生かした破砕手順や工法の開発を見出すこと今後の課題である。今後更にシステム全体の合理化を図ると共に、立坑等の基礎掘削工事、都市地下土木工事、硬岩トンネルの無発破工法、構造物等の近接工事などに適用できるように開発普及を図っていきたい。なお当工法は熊谷組、住友電工、奥村組土木興業の3社共同開発技術である。

最後に本工法の実施に対してご支援いただいた関係者の皆様にこの場を借りて感謝いたします。

16. モルタル剥離装置を用いた耐震補強システムの開発と実用化

佐藤工業(株)：*中橋 誉之、水谷工業(株)：水谷 幸治

1. はじめに

阪神・淡路大震災以来、公共建築物の耐震補強整備工事が盛んに行われるようになり、既設R C、S R C造の建築物において一般的に行われている耐震補強工事には、耐震壁の増し打ち工事がある。この耐震壁の増し打ち工事では既設壁の仕上げモルタルの撤去を、従来はハツリ作業によって行ってきたが、ハツリ作業で発生する騒音、振動、粉じんにより建物機能の移転が必要な施設もあった。

今回、耐震補強工事の工期短縮と、低騒音、低振動、無粉じん化を図り、お客様に建物を使用し頂きながらでも耐震補強工事ができるように、コンクリート躯体部とモルタルの界面で切断分離するモルタル剥離装置（フレックスソー工法）と、コア削孔とレール併用による後施工アンカー（サイレント工法）を用いた耐震補強システムを開発した。

本報告は、国立名古屋病院耐震強化整備工事で使用した「モルタル剥離装置を用いた耐震補強システム」のうち主にフレックスソー工法を紹介するものである。

2. フレックスソー工法開発の背景

コンクリート建築物においては、鉄筋コンクリートの躯体表面にモルタルを金鏝によって塗り付けることによって仕上げが行われているが、経年後の仕上げの改修工事や壁体の増厚による耐震補強工事が発生した場合、新たな仕上げ塗りや躯体増厚に先立ってコンクリート躯体表面に積層されたモルタルの剥離が行われる。

従来、このモルタル剥離作業は、チップパーあるいはハンマードリルを使用して作業員が直接ハツリ作業を行ってモルタル層の解体を行っていた。これらのハツリ機械は、コンプレッサーによる圧縮空気を送り込んで、モルタル面に振動および打撃を加えることにより破壊を行うものであるため、打撃音が大きく、作業効率が非常に悪いなどの問題があった。特に、工事対象の建物が24時間営業であったり、静けさが要求される病院等である場合には、騒音のために作業時間帯が大幅に制限されるため、工期が長期化するなどの問題が発生していた。

また、これらの打撃・振動系のハツリ機械の場合には、打撃および振動が躯体にも伝達されるため、躯体にクラックなどの損傷が誘発される恐れがある、また特に耐震補強工事では、強度の期待できないモルタルを完全に除去しコンクリート面を露出させる必要があるが、ポイント的にハツリを行う従来の方法では綺麗にモルタルを除去するのに時間が掛かり過ぎるなどの問題があった。

さらに、これらのハツリ装置の場合には、粉塵の発生が多く作業環境が悪化するとともに、除去されたモルタルは細かな破砕片となるため、ハツリガラ処理に手間が掛かるなどの問題もあった。病院改修工事における耐震壁の増し打ち工事において、

① 振動、粉じんによる医療機器への影響による機器の故障

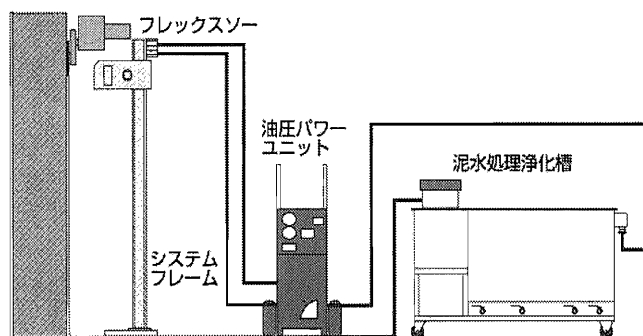
② 騒音、振動による診療・測定・診察の妨げ

③ 病院スタッフ、入院患者への精神的苦痛

等、病院営業に支障をきたし、診療室では、病院の休日、もしくは夜間（病院の診療・診察終了～外来者の終了までの数時間）しか施工することができなく、長期間の施工となっていた。さらに、病棟等24時間入院患者がいるような場所では、施工不可能とされ、実際に施工する場合は、施工する場所の他、隣接する病室等も空室にしなければならない状況であった。

3. フレックスソー工法の概要

病院改修工事における耐震補強工事の工期短縮と、低騒音、低振動、無粉じん化を図り、お客様に建物を使用して頂きながらも耐震補強工事ができるように、コンクリート躯体部とモルタルの界面で切断分離するモルタル剥離装置（フレックスソー工法）と、コア削孔とレール併用による後施工アンカー（サイレント工法）を用いた耐震補強システムを開発した。



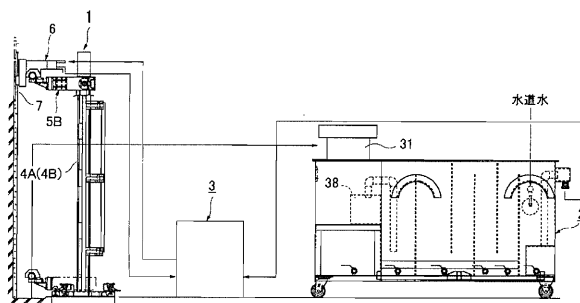
図一 フレックスソー工法システム構成図

フレックスソー工法は、コンクリート躯体部とモルタルの境界部をスライスして剥離させるものであり、システム構成図を図一に示す。

1) モルタル剥離装置概要

図二は、モルタル剥離システムを示す設備全体図である。

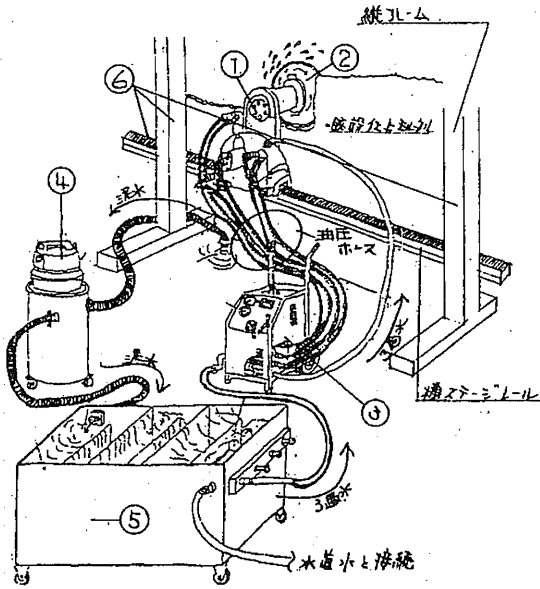
モルタル剥離システムは、モルタル剥離対象施工面に対峙して設置されるモルタル剥離装置1と、モルタル切削部から流下するモルタル切削泥水を回収するとともに浄化しモルタル剥離装置1に冷却水として供給するための浄化槽2と、モルタル剥離装置1のカッター装置6に対して作動油を供給するとともに、冷却水の供給を制御するパワーユニット3とから構成されるシステムである。



図二 モルタル剥離システム全体図

図三に全体構成説明図、図四に装置詳細図を示す。

ここで①～⑥の名称は次のとおりである。①：フレックスソー、②：ブレード（削孔刃）、③：油圧パワーユニット、④：水中ポンプ内蔵バキューム、⑤：浄化槽、⑥：システムフレーム



図一三 全体構成説明図

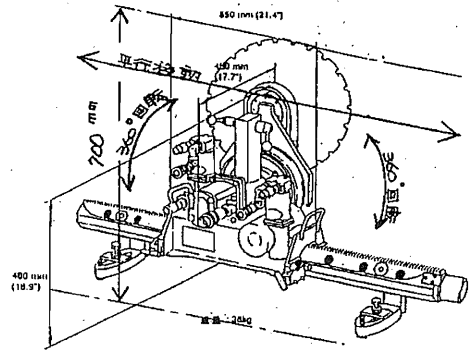
2) 切削装置

図一五は、コンクリート表面のモルタル剥離要領を示す斜視図であり、図一六は、その断面図である。

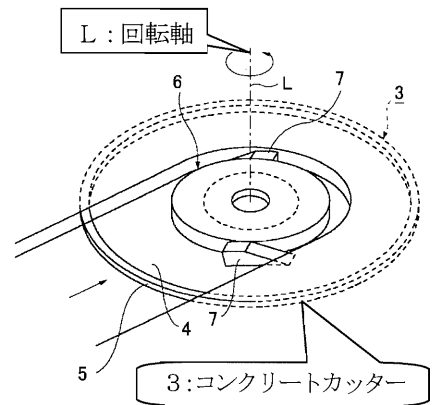
コンクリート躯体の表面にモルタルが所定厚で積層された壁面を対象として、モルタルを除去するために、回転軸に保持された円板状のコンクリートカッターを持ち込み、モルタルをコンクリート躯体から切削分離し除去するようにしている。

すなわち、回転軸Lをコンクリート躯体面に対して直交的に保持し、コンクリート躯体とモルタルとの境界部にコンクリートカッターを挿入し、コンクリートカッターをコンクリート躯体面に対して平行的に移動させることによりモルタルを切削分離するようにしている。

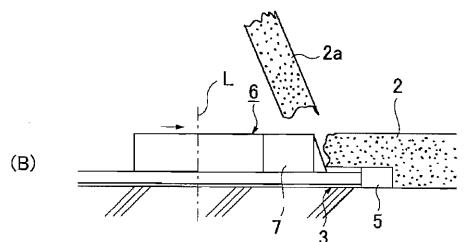
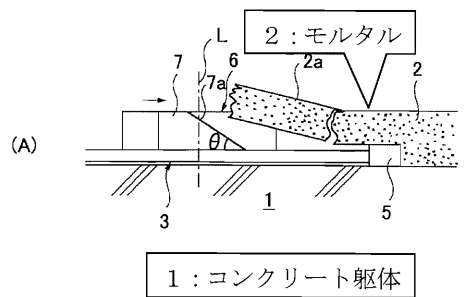
無垢のカッター基板とし、かつ発生音を抑えるためには中間層に樹脂板を介在させ両面に基板用鋼板を積層した、消音型カッター板を使用することが望ましく、消音型カッター板を使用することにより、単に鋼材よりなるカッター基板を用いた場合と比較すると騒音が約40%程度低減されるようになる。



図一四に装置詳細図



図一五 モルタル剥離要領斜視図



図一六 モルタル剥離要領断面図

3) カッター装置の移動

モルタル剥離装置は、床面に対して起立支持される縦フレームと、縦フレームに沿って昇降自在な横ステージと、この横ステージ上を水平方向に沿って移動自在で、回転軸がコンクリート躯体面に直交的に保持されたコンクリートカッターを備えるカッター装置で構成されている。

カッター装置は、装置本体よりコンクリート躯体面に沿う方向に突出するとともに、基端部を回転中心として水平軸回りに揺動自在のアーム部材を備え、アーム部材の先端部にコンクリート躯体面に対して回転軸が直交的に支持された円板状のコンクリートカッターを備えた装置である。

コンクリート躯体とモルタルとの境界部にコンクリートカッターを挿入し、コンクリートカッターをコンクリート躯体面に対して平行的に移動させることによりモルタルを切削分離する。なお、カッター装置は、コンクリート躯体面に直交する方向に数十 mm 程度であるが移動できるようになっており、コンクリート躯体面とモルタルとの境界部に精度良くコンクリートカッターを置決めできるようになっている。

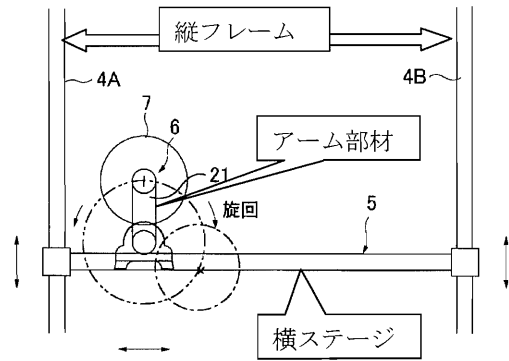


図-7 カッター装置6の操作要領図

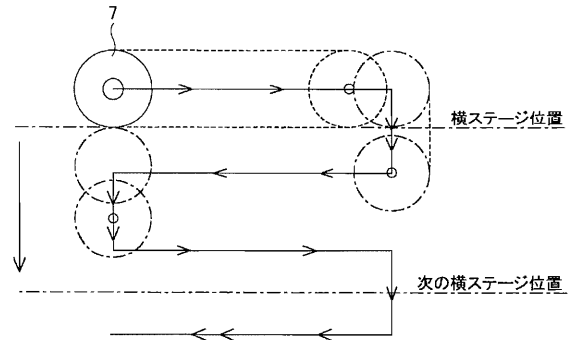


図-8 コンクリートカッター7の移動軌跡図

4) フレックスソー工法の特徴

- ① フレックスソーは、H2.5m×W3.0mのシステムフレームの横ステージにセットし、水平・垂直移動、カッター部の360度旋回機能を有し、1回の固定で7.5m²の作業が可能。
- ② 耐震壁の増し打ち工事の全工程を施工できる耐震補強システムを、あと施工アンカーを打設するサイレント工法とで構成できる。
- ③ フレックスソーは、マイコン制御、リモコンで操作する。
- ④ 切削作業で発生するモルタル切削泥水は、バキュームホースで吸引し、浄化槽でろ過して、再びカッター部へ冷却水、切削水として循環利用する。
- ⑤ コンクリート躯体部とモルタルの境界部をスライスして剥離させるため、低騒音・低振動・少粉塵を実現。
- ⑥ 耐震補強するエリアを空けるだけで作業が可能で、建物機能の大掛かりな移転、引越し等が不要となり、経費の大幅な低減が可能。

4. 国立名古屋病院耐震強化整備工事施工実績

国立名古屋病院は、SRC造、地下1階、地上10階で800床を有する大規模病院である。

耐震強化整備工事は、「病院の建物を使用したまま基本的な病院機能を止めることなく、確実かつ安全に施工する。」ことが最重要要求項目で、耐震強化整備工事のうち耐震壁増し打ち補強での既設仕上げモルタルの撤去が工事の成否を決定する工種となっていた。

フレックスソー工法にて施工した結果の振動・騒音および工程について報告する。

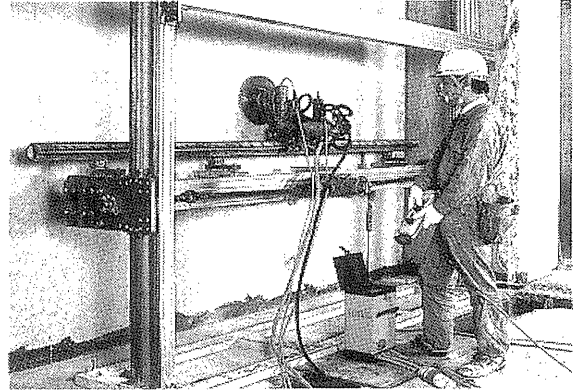


写真-1 フレックスソーによる施工状況

1) 騒音・振動

在来工法とフレックスソー工法との騒音・振動の比較実験では、図-9に示すように大幅に低下している。

フレックスソー工法による施工時と施工していないときの騒音・振動を同室内で測定した結果を、図-10、図-11に示す。

振動は、施工していないときより値は若干大きくなっているが20dB台であるため、ほとんど違いを実感しなかった。

騒音は、施工していないときと比べ約10dB大きな70dBであった。実験値に比べ大幅に低騒音化となっている。

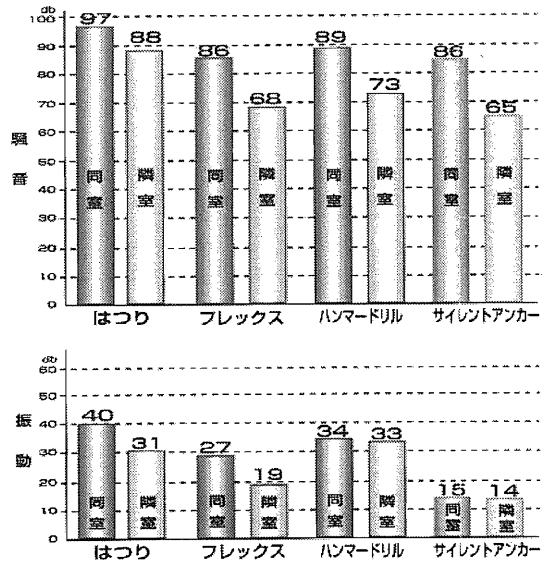


図-9 振動、騒音比較図

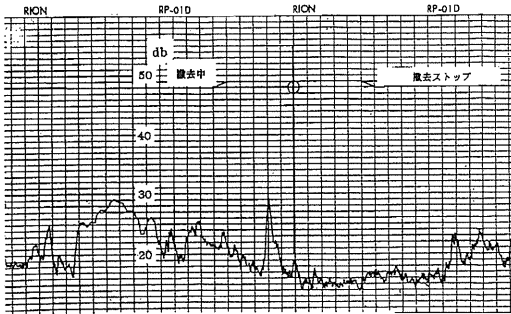


図-10 振動測定

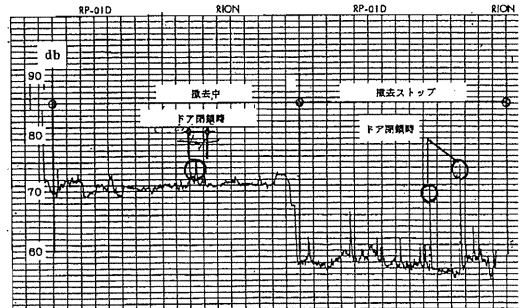


図-11 騒音測定

2) 工程

「病院の建物を使用したまま基本的な病院機能を止めることなく、確実かつ安全に施工する。」というコンセプトから、エリア区分を行い、施工エリア以外の場所では、診療を行う方法とした。

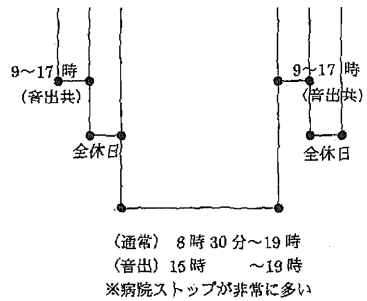
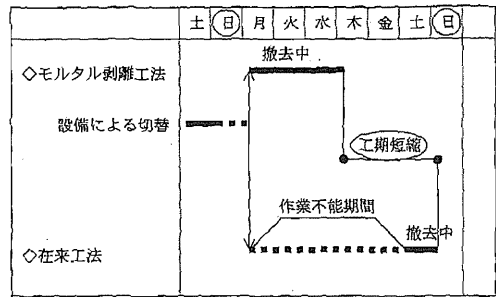
1 エリア内での耐震壁仕上げモルタル撤去は平均3壁として、1壁の仕上げモルタル撤去数量は、平均15m²であり、1エリアでは45m²になる。1エリアでの在来工法と本工法との比較工程を図一2に、表一に工法比較表を示す。

工事条件は、

- ①作業時間は、平日8時30分～19時、
- ②音がでる作業は、15時～17時

1 エリア全体概略工程条件

- ・モルタル撤去、設備配管切り回し・・・1ヶ月
 - ・後施工アンカー、躯体工事・・・1ヶ月
 - ・仕上げ、医療機器移設調整・・・1ヶ月
- 計3ヶ月



図一12 工程比較図

表一1 工法比較表

在 来 工 法	モルタル剥離工法(フレックスソー工法)
<ul style="list-style-type: none"> ・はつり作業は平日にはほとんどできないため、病院が休日の土曜日作業となる。 ・しかし、休日も入院患者対応がある場合、翌週までの作業となることが多い。 ・1週間単位のズレが常態化し、工程管理にならない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・平日の8時30分～19時に作業ができた。 ・病院より工事ストップを指示されることは極めて少なかった。 ・1日当たり平均6m²で1壁3日間と安定していた。

5. おわりに

フレックスソー工法により、安定した工程管理が実現したが、騒音は、施工していないときと比べ約10dB大きな70dBと従来工法より大幅に改善しており、病院から工事ストップを指示されることは極めて少なかった。

しかし、依然工事騒音を発生させていることに違いはなく、医療機器使用時の電子音が聞きづらい、あるいは、病院スタッフ・入院患者への精神的苦痛を与える等、病院機能を損なう恐れもあり、更なる低騒音化に努力する所存である。

17. 外部作業用セルフクライミング足場の開発

東急建設(株)：*大野 浩正、西尾 仁

1. はじめに

近年、地価の下落や遊休地の売却に伴い、大都市圏の中心部においてRC造の集合住宅建設が多く行われるようになってきた。これらの工事においては一層の施工法の効率化や仮設費の低減等が求められている。

そして、従来の外部作業用足場を設置する場合には下記のような問題点がある。

- ・ 全面足場の場合は建物高さが60mを超えると吊足場よりコストが増大する。
- ・ 適用現場毎に吊足場を設計・製作した場合、転用が困難でコストが増大する。
- ・ 吊足場盛替時に揚重機を使用する場合、その間揚重作業ができず工期の短縮ができない。又、足場盛替時に風等の影響を受けやすく、躯体を傷める。

今回開発した外部作業用セルフクライミング足場(写真-1)は、上記の問題点を解決するために開発したものである。本報告文では、新規開発を行ったセルフクライミング足場について、その構造および優位性を実施工にて適用した事例に基づき報告する。

2. 開発条件

- ・ 転用可能な吊足場であること。
- ・ セルフクライミングが可能でかつ装置が小型で盛替作業に時間が掛からないこと。
- ・ 安全にセルフクライミング作業が行えること。
- ・ 一般形状の建物に対応できること。
- ・ 仕上げ作業が完了するまで足場が設置できること。

上記の条件を満たす足場を検討した結果、図-1に示すような形状の足場となった。



写真-1 セルフクライミング足場全景

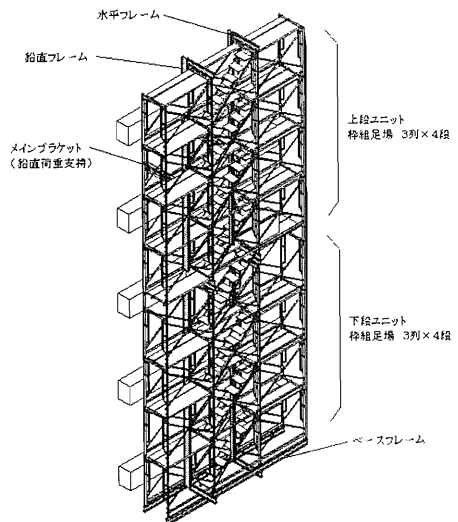


図-1 足場イメージ

3. セルフクライミング足場の概要

3-1. 足場の概要

①足場構造

構造フレームと枠組足場(3列×4段)を組合せてユニット化し、さらにユニット同士を上下に連結し、最上部に枠組足場1段を組み、外部作業用足場(1ユニット・3列×9段・総重量 約2.9t)とする。また、下段フレーム上にはベースフレームが取り付けられており、枠組足場の荷重を受ける。

②使用材料

・構造フレーム(主要部材:H-175×90)及び一般鋼材 ・枠組足場・単管パイプ他仮設材

③支持方式

・ブラケット(□-125×125×4.5)2ヶ所による懸垂式(写真-2) ・風荷重は12ヶ所の壁継ぎで足場を支持

④安全対策

・各層水平ネット養生 ・最下部はシートによる落下養生 ・メインブラケット2層設置による荷重支持
その他詳細を図-2 ・ 写真-3, 4, 5, 6 ・ 表-1, 2に示す。

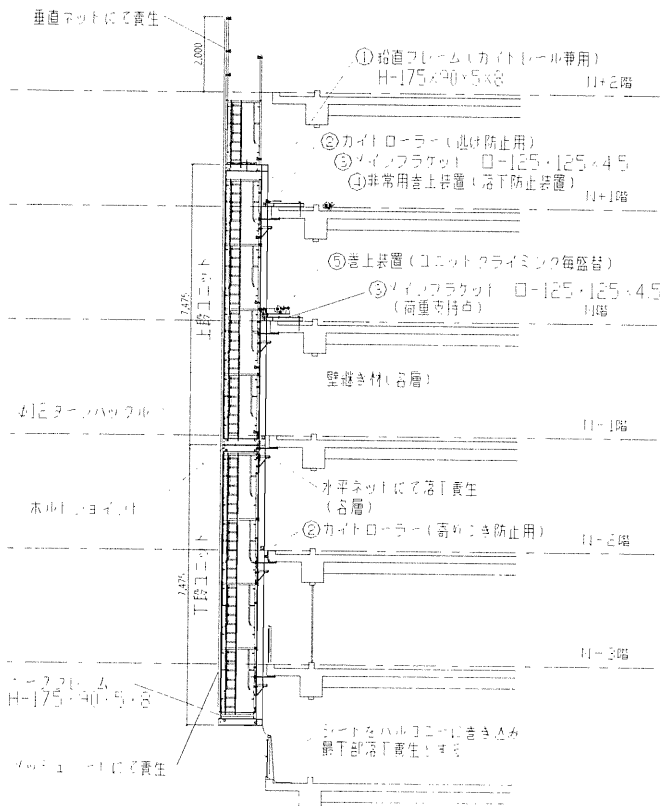


図-2 クライミング足場断面詳細図

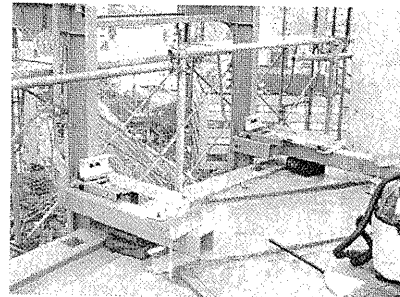


写真-2 メインブラケット・カイトローラー(N+1階)

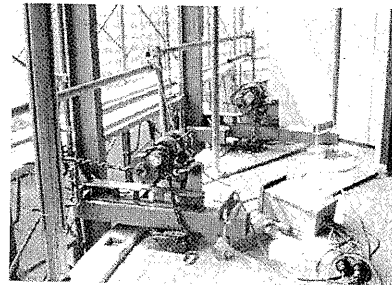


写真-3 巻上装置設置状況(N階)

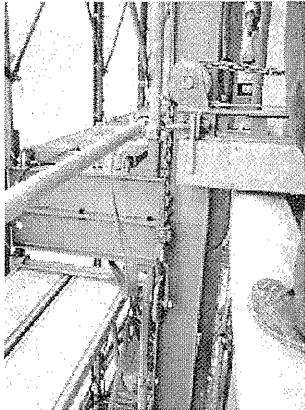


写真-4 クライミング状況

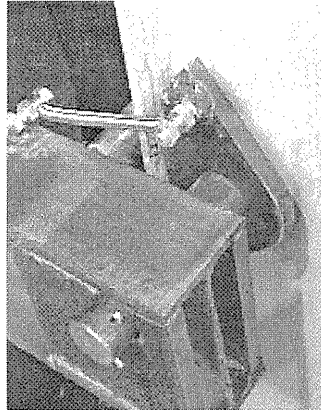


写真-5 カムロック機構

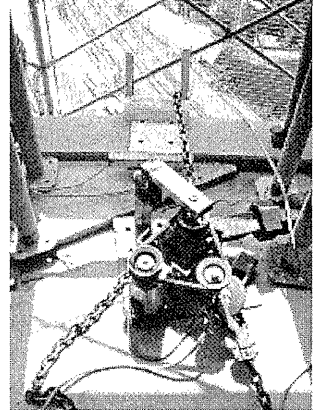


写真-6 非常用巻上装置

表-1 巻上装置仕様

名称	仕様
巻上装置	定格荷重 2.5t・巻上速度 83 cm/min
ブレーキ付きモータ	200V-0.4kw-6P
V級強力チェーン	許容荷重 6.4t・破断荷重 12.7t

表-2 落下防止装置

カムロック機構(写真-5)
巻上装置先端にカムロックを設置、逸走した場合鉛直フレームに当りロックが作動する。
非常用巻上装置(写真-6)
3tレバーフックに小型のモータを取付け、一定のテンションを掛けながら巻上げる。

3-2. クライミング手順

クライミング手順フローを図-3, 4に示す。

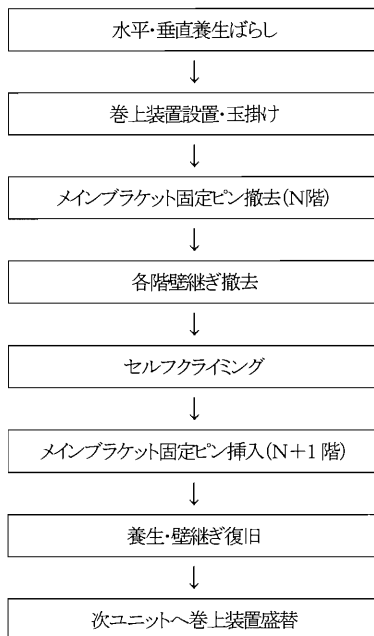


図-3 クライミング手順フロー図

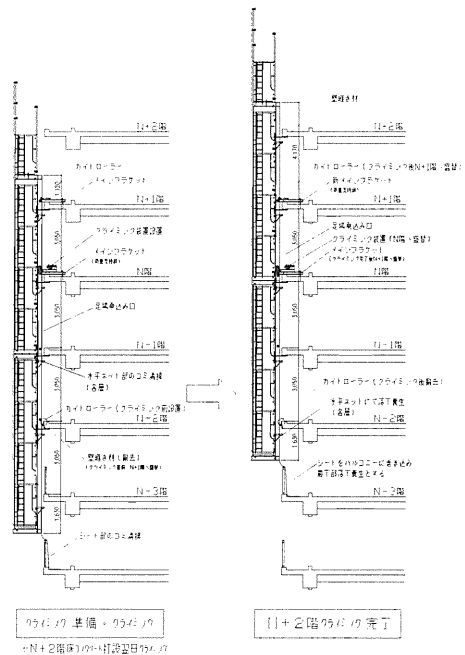


図-4 クライミング段階図

4. セルフクライミング施工事例

4-1. 実施現場工事概要

建物概要 RC造 地下1階 地上23階 塔屋2階 最高高さ 69.55m
 延床面積 13175.24 m²
 基準階床面積 523.5 m²

4-2. 適用範囲

現場基準階平面に対して足場を13ユニット使用する。(図-5)

4-3. クライミング作業実施内容

今回クライミング足場を設置した現場では13ユニットのセルフクライミング作業を1ユニットごとに行っている。タイムテーブルを図-6、作業工程を表-3に示す。

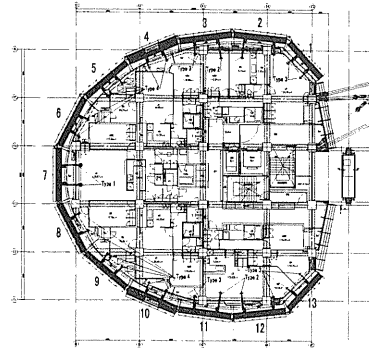


図-5 クライミング足場平面配置図

図-6 1ユニット当たりタイムテーブル

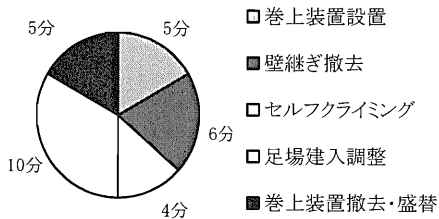


表-3 クライミング作業工程

	作業時間	作業内容
1日目	4時間45分	8ユニット・クライミング作業
	2時間30分	メインブラケット盛替及び足場整備
2日目	2時間45分	5ユニット・クライミング作業
	2時間	メインブラケット盛替及び足場整備

現在クライミング作業の中で、鉛直荷重解放後のメインブラケット盛替をクライミング当日中に行っている。この事によりメインブラケットが二層に設置できる為、鉛直荷重支持の安全性を高めている。その為セルフクライミング作業は8ユニット/日のサイクルとなっている。

5. 今後の課題

従来の吊足場と比較し、セルフクライミング足場はメインブラケットの盛替作業を行わなければならない為、クライミング作業自体を終日行う事が出来ない。今後は盛替作業の簡素化を図りより多くのユニットがクライミング出来るようにしていきたいと考えている。

6. おわりに

今回開発したセルフクライミング足場は、2つの巻上装置(左右独立運転が可能)とガイドローラーを用いた結果、ユニット同士がお互いに干渉することなく、安全にクライミング作業を行う事が出来た。又、23階の建物に対して19回のセルフクライミング作業を行う事で揚重機の使用日数が削減できる為、工程を19日短縮する事が出来る見込みである。今後もこのクライミングシステムに改良・改善を加え、より一層の工期短縮・コスト削減に努めたいと考えている。

18. 超高層マンション施工革命 セルフ クライミング天井クレーンシステム 「シャトライズ工法」

鹿島建設㈱：*領木 紀夫、井山 哲雄、水谷 亮

1. はじめに

超高層マンション建設が益々増加する中で、よりフレキシブルな住空間・全戸南向き・免震など居住性の充実が求められている。板状超高層免震集合住宅はこれらのニーズを解決する構造だが、その工事施工にあたり、従来のタワークレーンによる施工では免震構造に対しステー（控え）にかかる水平力荷重負担が難しく、また移動式クレーンによる施工では敷地条件や地盤条件など数々の制約を受けることとなり、いずれの施工法も限界がある。さらに、居室の大空間を確保するためにプレキャスト部材が大型化・重量化してくるのに合わせて、施工機械も大型し、施工コストも増加する傾向にある。そこで、免震構造・超高層かつ狭隘な敷地条件でも、合理的に短工期で施工できる新たな施工システムの開発が求められていた。

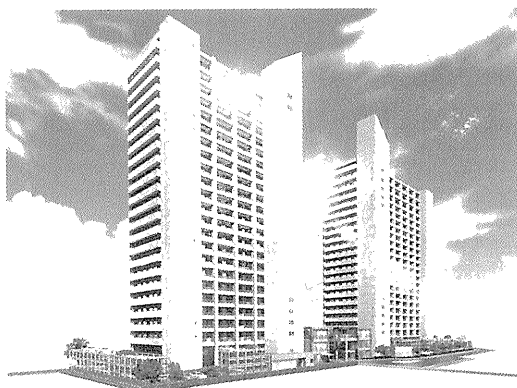


図-1 建物完成予想図

今回の報文では、柱や梁の架構をフルプレキャスト化し、PC鋼材で締め付け一体化する圧着工法により自由な空間確保を可能とした22階建てと23階建てのツインタワーマンション工事において、新規開発・採用した施工システム「シャトライズ工法」について紹介する。

2. 適用物件概要

工事名称	小田急海老名分譲マンション新築工事
建物用途	共同住宅
敷地面積	WEST- 3,919.80m ² EAST- 2,791.57m ²
建築面積	WEST- 1,423.07m ² EAST- 1,031.21m ²
延床面積	WEST- 20,932.24m ² EAST- 15,148.99m ²
構造	PCaPC造（プレキャストプレストレストコンクリート構造）+免震構造
階数	WEST棟 地下1階，地上22階 EAST棟 地下1階，地上23階
工期	WEST棟 2002年6月1日～2004年7月31日 EAST棟 2002年4月17日～2004年2月28日 (全体工期 27.5ヶ月)



写真-1 施工状況

3. 構工法概要

①PCaPC（プレキャストプレストレストコンクリート）工法

PC鋼線やPC鋼棒など鋼でできた高張力材料によりあらかじめ圧縮力（プレストレス）を与え、圧縮には強く引張りに弱いコンクリートの弱点を大幅に改善する構法で、プレキャスト化された部材に現場で緊張力を導入し、圧着接合にて構築していく。

PCaPC工法は、柱・梁に高強度・高密度コンクリートを使用しているため耐久性に優れる。構造強度が高いため、柱・梁の断面を小さく、柱と柱の間隔を広くとれるなどの特徴がある。

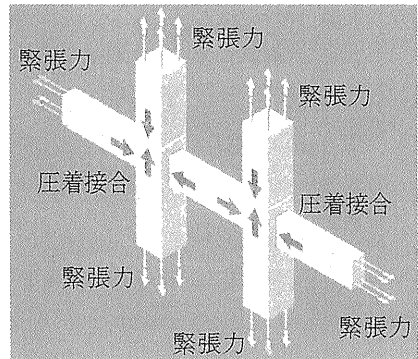


図-2 PCaPC工法概念図

②免震構造

柱の直下に積層ゴム式免震装置をWEST棟20基、EAST棟14基配置することにより、地震エネルギーを効果的に吸収し、大地震に対して揺れを大幅に低減する構造躯体となっている。

4. 施工システム「シャトライズ工法」概要

本施工システムは従来の「常識」にはとらわれずに新規開発した革新的施工法である。

20tを超えるプレキャストコンクリート部材を40t建設用リフトで施工階まで垂直搬送し、その部材を建屋上部に取付けられた40t天井クレーンにて所定位置まで水平搬送して建方を行うものである。建屋上部に取付けられた天井クレーンシステムは、建方の進捗に合わせてセルフクライミングする機構となっている。

従来の建築施工の常識では考えられない積載荷重40tの建設用リフトや、フロアクライミング方式で全ての天井クレーンシステムをクライミングさせる機構、摩擦接合による天井クレーン基礎の固定方法など、システムを構成する個々の要素技術も、技術的な知恵と創意工夫を活かした新たなものである。

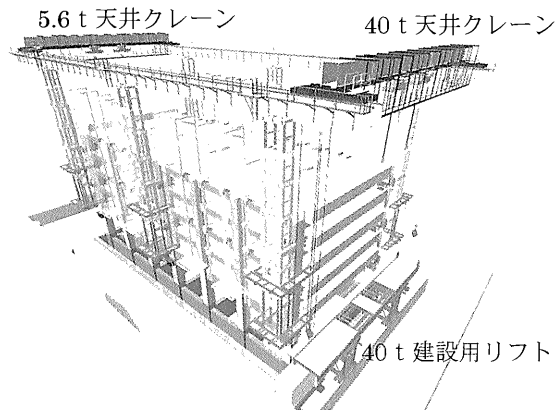


図-3 シャトライズ工法概念図

5. 各システムの詳細と施工手順

① 天井クレーンシステム

天井クレーンシステムは、900tmのタワークレーンに匹敵する40tの吊上能力を有し、大重量部材への対応が可能である。また、能力の異なるクレーン（吊上能力5.6t）を配置することで、柱、梁などの大重量部材と床版などの軽い部材を分けて作業することができ、建方作業を効率的に行うことができる。

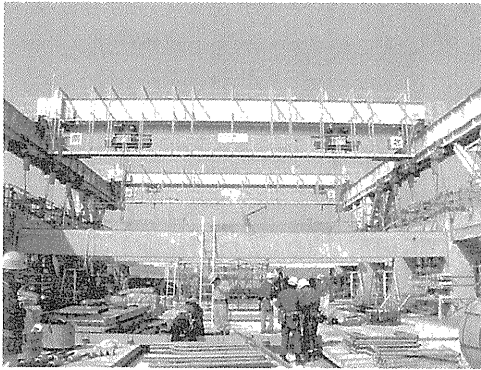


写真-2 天井クレーンシステム

表-1 天井クレーンシステム性能表

	40 t クレーン	5.6 t クレーン
定 格 荷 重	40 t 20 t ホイスト 2 台	5.6 t 2.8 t ホイスト 2 台
ス パ ン	21.85m	20.85m
ガータの長さ	22.15m	
揚 程	12m	12m
巻 上 速 度	4.7m/m i n	7.5m/m i n
横 行 速 度	15.0m/m i n	21.0m/m i n
走 行 速 度	17.8m/m i n	17.8m/m i n
運 転 操 作 方 法	無線操作 (単独 o r 連動)	無線操作 (単独 o r 連動)

a. P C a 柱 (重量=17 t/本) の建方作業

地上で立て起しし、立てた状態で建設用リフトに積載された柱 2 本を 2 台のホイストそれぞれが同時に吊上げ、所定の場所へ移動し建方を行う。

b. P C a 桁梁 (重量=8 t/本) の建方作業

建設用リフトに 4 本積載され施工階まで揚重された桁梁を 2 台のホイストがそれぞれ 1 本ずつ同時に吊上げ、所定の場所へ移動し建方を行う。

c. P C a スパン梁 (重量=22 t/本) の建方作業

建設用リフトに 1 本積載され施工階まで揚重されたスパン梁を 2 台のホイストで相吊りし、所定の場所へ移動し建方を行う。



写真-3 P C a 柱施工状況

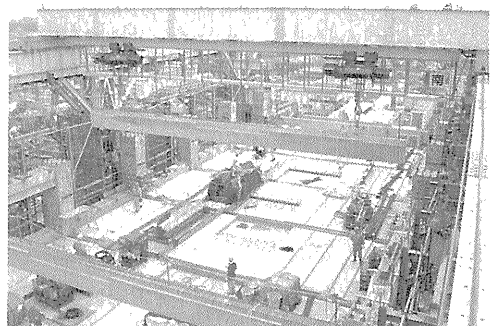


写真-4 P C a スパン梁施工状況

② 建設用リフト

構造部材の垂直揚重は、最大積載荷重 40 t の超大型建設用リフトを新規開発し導入した。2.2 m × 3 m の床面積を持つ搬器をエンジンウインチにて、建方作業階までスピーディに搬送する。高層ビルでの建方作業は、クレーンによる部材の垂直揚重時間がサイクルタイムに大きく影響するが、P C a 部材の垂直揚重をクレーン作業から切り離し、建設用リフトで行うことにより、天井クレーンでの作業を効

率的に行えるようにした。

表-2 建設用リフトの主な性能

最大積載荷重	40 t
搬器の大きさ	長さ22m×巾3m
昇降動力	出力224KWエンジンウインチ2台
昇降速度	(最大) 30m/min



写真-5 建設用リフト揚重状況

a. PCa柱積載方法

重量17t、長さ6.2mの柱を施工階でホイストにて立て起こす作業は非常に困難であり、サイクルタイムにも大きく影響する。そこで建設用リフト搬器床に開口を設け、柱支持フレームを取付けることによりPCa柱を立てた状態で2本積載できる構造とした。柱以外の部材を揚重する際は柱支持フレームを外し、開口を復旧することでフラットな床を確保した。

b. ガイドレールの構造

建設用リフトの搬器重量は20tあり、積載荷重40tと合計すると60tもの大重量を昇降させることとなる。通常の建設用リフトはマストをガイドとし、ラック&ピニオンあるいはワイヤーにて昇降する機構となっているが、本建設用リフトでは地震時の水平力などを負担するとなると大規模な設備が必要となる。そこで本件ではH型鋼を構造体梁に直接取付け、それをガイドとし昇降する構造とした。

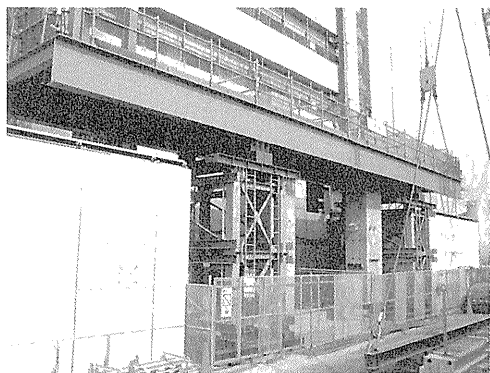


写真-6 PCa柱積載状況

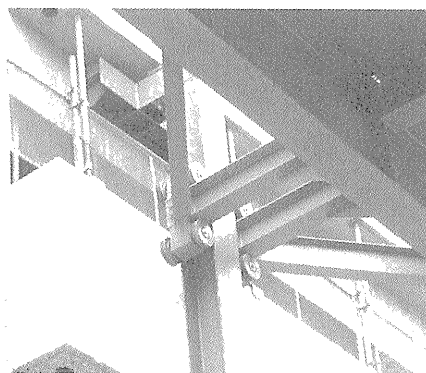


写真-7 建設用リフトガイド機構

③ クライミングシステム

クライミングシステムは、これまで大空間構造物のリフトアップ工法で豊富な実績のある、PC鋼より線チャックタイプを採用した。全ジャッキを集中制御し、タワークレーンと同程度のクライミング時間で天井クレーンの全システムをクライミングさせることが出来るものとした。

表-3 クライミングシステムの主な性能

ジャッキタイプ	PC鋼より線チャックタイプ (70tジャッキ×2台/マスト×6マスト)
クライミング速度	1節 (6.2m) を半日
クライミング管理	全箇所集中管理 (同時運転・能力の65%以上で偏荷重停止・積算ストローク20mmで誤差停止)

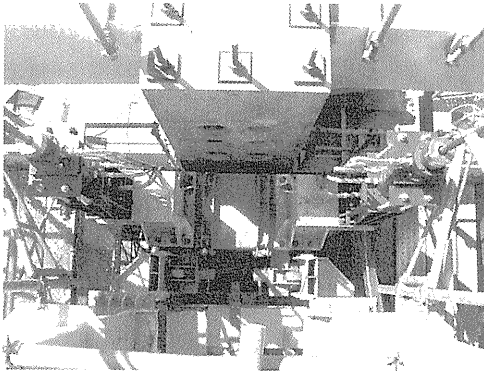


写真-8 ジャッキアップ装置

6. システム開発上の問題点と解決策

「シャトライズ工法」の開発にあたり技術的最重要課題がクレーンマストの躯体への固定方法であった。クレーンマスト下部には作業時最大119 tの鉛直力と33 tの水平力がかかる。

PC a柱にボルト貫通して荷重を負担させると、コンクリート支圧が厳しく現実的ではない。そこでクレーンマスト下部を支えるブラケット金物をゲビンデスターブによる摩擦接合にてPC a柱に取付け、荷重を受けることとした。ゲビンデスターブは熱間圧延時に鋼棒の両側面にネジ状のリブが形成されたものであり、ストレッチング・ブルーイング処理により全数が降伏点荷重まで製造工程中に緊張されたものである。建築工事ではあまり使用された実績がなく、特性が今回のクレーンシステムに適用できるものなのか、鉄とコンクリートの摩擦力が確保できるかなど実証実験を行なった。

すべり摩擦抵抗試験では、ゲビンデスターブの緊張により固定されたブラケットを300 tジャッキにて強制的に押し、摩擦係数0.5の実験結果を得た。(実施設計では安全側の摩擦係数0.3とした)

また、ゲビンデスターブのセットロスおよびリラクゼーション試験においては、ジャッキ緊張ロスおよびセットロスが約10%、リラクゼーションによる導入張力減少が約4%となった。

これら実験結果を基にブラケットおよびゲビンデスターブの設計を行った。

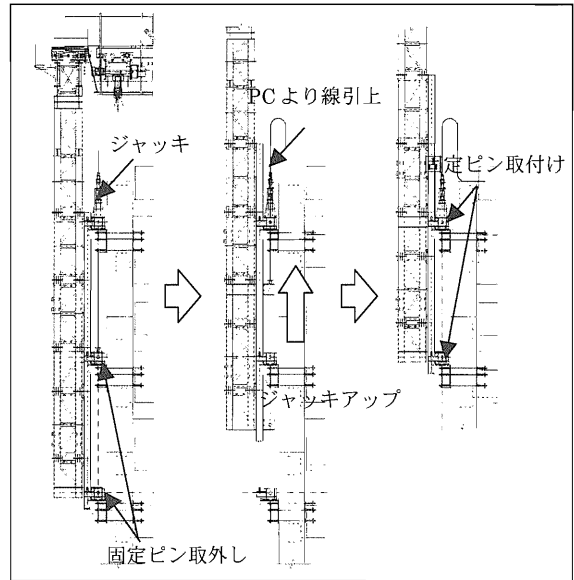


図-4 クライミングシステム

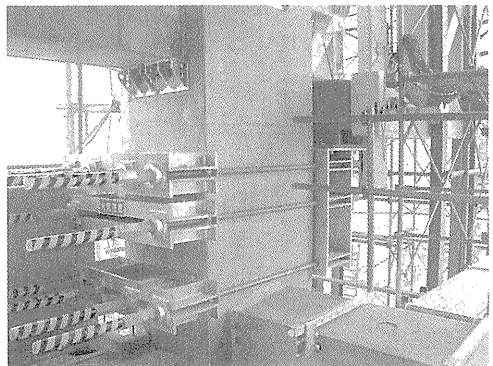


写真-9 クレーンマスト基礎固定状況



写真-10 すべり摩擦抵抗実証実験

7. 施工実績

施工が完了したEAST棟は、2フロアを1節としたプレキャスト部材を7日間で建てた後、PCaPC圧着の残作業を1日、天井クレーンおよび緊張作業用連層足場のクライミングを1日とし、1節(2フロア)を9日の短サイクルで施工した。基準床面積が約1.5倍となるWEST棟工事では、1節(2フロア)を12日サイクルで行う計画としている。

表-4 サイクル工程表

	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
サイクル1日目			柱7本建方					柱7本建方			
サイクル2日目	部材搬入		B梁12本建方		G梁2本建方		ALC揚重(PCaPC緊張作業)				
サイクル3日目	部材搬入		G梁5本建方		床板敷込						
サイクル4日目		バルコニー4枚取付		PC鋼線・鉄筋揚重			仮設材揚重	PCaPC緊張作業			
サイクル5日目	部材搬入		B梁12本建方		G梁2本建方		ALC揚重(PCaPC緊張作業)				
サイクル6日目	部材搬入		G梁5本建方		床板敷込						
サイクル7日目		バルコニー2枚取付		PC鋼線・鉄筋揚重			仮設材揚重	バルコニー2枚	PCaPC緊張作業		
サイクル8日目				PC鋼線緊張作業					クライミング準備		
サイクル9日目		天井クレーンクライミング							緊張用連層足場クライミング		

8. 「シャトライズ工法」の特徴と効果

新たな発想により試行錯誤を重ねて確立した本施工システムは、数々の効果を得ることが出来た。

- ① 大型かつ重量部材の施工 → 生産性向上・工期短縮
- ② 建設用リフトで構造部材の揚重 → 狭隘な敷地条件で施工可能
- ③ 水平・垂直運搬の分離 → 生産性向上・サイクルタイム短縮
- ④ 複数のホイストクレーン → 生産性向上・工程短縮
- ⑤ シンプルな構造 → 大型タワークレーンに比べて安価・転運用可能

9. おわりに

市場の低迷が続くマンション市場ですが、超高層住宅を始めとする大規模物件は好調な売れ行きを維持しており、ますます工事が増加する傾向にあります。市街地に位置する大規模集合住宅の施工は、窮屈な敷地条件の中で、建設コスト削減を見据えた急速施工が必須となり、大部材プレキャスト化がますます進むものと思われます。数々の課題を解決すべく新たな発想のもとに開発されたシャトライズ工法は、全てのシステムが初めての試みであり、かつ従来にない大型能力となっていますが、綿密なPCaPC施工検討の上で施工システムの開発を行ったことで、シンプルな構造で高い施工力を発揮するものとなりました。

本施工システムは、免震構造のマンション、特に柱配列が短辺方向は2列で、長辺方向が長い板状構造の施工には大きな力を発揮するシステムである。将来は、システムの応用で超高層H i R C構造への適用も積極的に検討していきたい。

19. ツインスクリュシールド工法の開発と実用化

大成建設(株)：*伊東 憲、石川島播磨重工業(株)：中根 隆

1. はじめに

近年、都市部においては人口集中による都市施設の需要拡大や都市機能の多様化等のため、地下の過密化が深刻な問題となり、コストダウンを前提とした大深度大断面の地下空間構築技術の開発が急務となっている。

都市部における地下空間の構築、そのうちトンネルの構築においては、シールド工法により施工を行うのが主流となっており、泥水式シールドと泥土圧式シールド工法に大別される。なかでも泥土圧式シールド工法は、地下30mを超える大深度施工の実績はあまりなかった。

これは、大深度になると切羽が高水圧となり、排土装置であるスクリュコンベアから掘削土砂を取出す際、掘削土や地下水が押し出されてしまう噴発現象を起し、切羽土圧の制御ができなくなるという問題があったからである。切羽土圧を制御できなくなることは、すなわち周辺の地盤を変状させることである。また、スクリュコンベアの操作はシールド機オペレータが手動で行っている場合もあり、人的な操作ミスもあった。

これらの問題を解決するため、大成建設株式会社と石川島播磨重工業株式会社は、1996年からその原因であるスクリュコンベアの構造・手動による操作の改善としてツインスクリュシールド工法（TSシールド工法）の開発を行った。

本論文では、ツインスクリュシールド工法の開発の内容、実験結果、実施工結果について報告する。

2. 開発概要

(1) 開発の目的

本工法の開発の目的は、泥土圧式シールド工法を大深度に適用可能な新しい切羽安定制御技術を完成させることで、大深度あるいは浅深度においも、切羽土圧の安定制御を可能にする技術の開発を行うことである。

(2) システムの説明

ツインスクリュシールドシステムとは、泥土圧式シールド機にツインスクリュを装備し、中央制御システムの集中制御により掘進管理を自動化し、切羽土圧の制御および掘削土砂量の管理を行うものである。またツインスクリュの回転数を計測することで、掘削土量管理も可能である。特徴を以下に示す。

- ①高水圧下、近接施工等での自動による切羽の安定制御。
- ②掘削土量管理が可能。
- ③排土口から後方へ土砂を圧送可能。

図-1 にシステム全体図を示す。

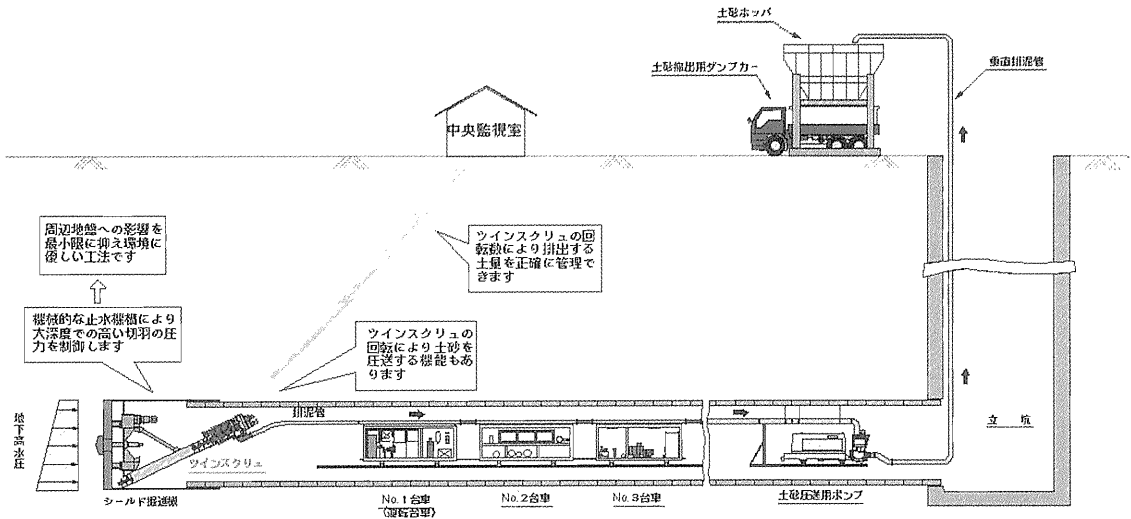


図-1 システム全体図

(3) ツインスクリューの構造

ツインスクリューは、2本の軸付きスクリュコンベアとそのケーシング、および駆動モータから構成されている。2本の軸付きスクリュコンベアは、フライト（羽根）の厚みが異なる2本のスクリュを相互に逆方向に組み合わせた構造としている。

構造図と写真を図-2、写真-1 に示す。この機械的密閉構造により、ツインスクリューは低～高水圧に対して止水性能を発揮し、掘削土の排土性能を連続的に行える。

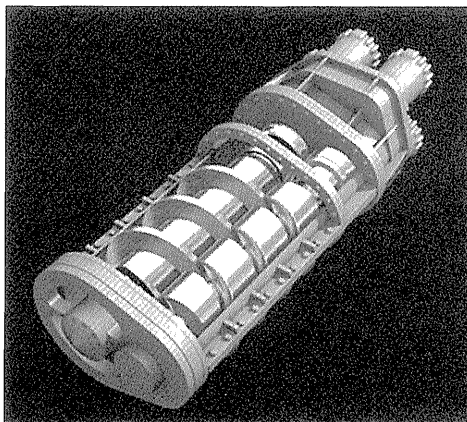


図-2 構造図（内部）

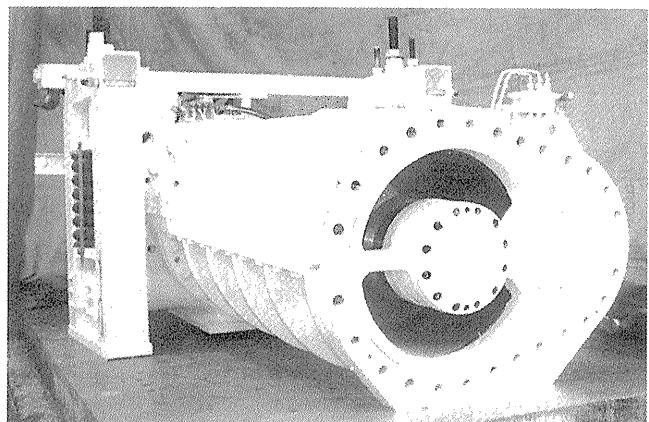


写真-1 ツインスクリュー本体

3. 実証実験

開発段階に行った高水圧での切羽土圧制御の確認実験について紹介する。

(1) 実験概要

実証実験は、排土能力 100m³/h のツインスクリュ排土装置に対して、寸法で約 1/3 に縮小したモデル実験装置（排土能力 1.4 m³/h）を製作して行った。実験装置の装置図を図-3 に、その諸元を表-1、全景写真を写真-2 に示す。

実験装置は、切羽土圧を発生させるための土砂シリンダと加圧ジャッキ、ツインスクリュ、駆動用油圧モータ、油圧ポンプユニット、投入ロゲート、排土ロゲート及び、土圧計・ストローク計などの計測装置から構成される。

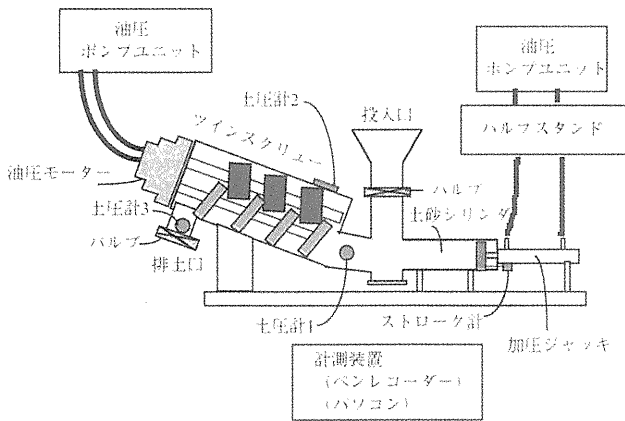


図-3 実験装置図

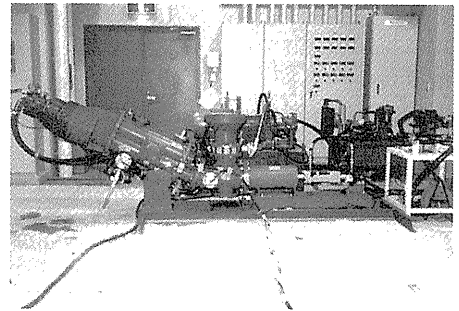


写真-2 実験装置全景

表-1 実験装置の諸元

輸送能力	1.4m ³ /h
回転数	0~12rpm
薄肉フライ径×フライピッチ	φ 199mm×P92mm
厚肉フライ径×フライピッチ	φ 199mm×P92mm
駆動トルク	12.2kN-m

(2) 実験の方法

実験パラメータとして、試料の粒度分布・スランプ、切羽土圧、スクリュの回転数を変化させることにより、ツインスクリュ排土装置前後での土圧、スクリュの回転トルク、排土される土砂量の変化を計測した。また、2本のスクリュの羽根が噛み込む部分の隙間や、羽根と回転軸との隙間が止水性に大きく影響するものと考え、その隙間を 5mm、3mm、及び 1mm 以下と変化させて実験を行った。

実験に用いる泥土は、砂質泥土と砂礫泥土の2種類とし、泥土の配合は「泥土加圧シールド工法協会」の作泥土材の必要・不要の境界線の粒度分布を基本に決定した。実験では、水量の加減によりスランプ 10cm と 20cm に調整して行った。切羽土圧は 0.3、0.6、1.0MPa の3種類、スクリュ回転数は 3、6、12rpm の3種類とした。また、実験方法は以下の手順を繰り返して行った。

- ① 土砂シリンダ内に泥土が充満するよう、内部振動機を用いて投入口より泥土を投入。
- ② 投入口のバルブを閉め、排土ロゲートバルブ全開、スクリュ回転停止した状態で設定切羽土圧を作用。
- ③ 設定土圧を確認、スクリュを所定の回転速度で回転させ排土。
- ④ 油圧ジャッキのストロークエンド直前で、スクリュ回転停止、設定土圧維持確認。

(3) 実験結果

①高水圧切羽の安定制御

図-4 に砂質泥土、スランプ 20cm、羽根の隙間 1mm 以下という条件における切羽土圧の経時変化図を示す。(凡例の 1M-3 は、切羽土圧 1MPa、スクリー回転数 3rpm の条件を表す。)

開発したツインスクリー排土装置は、高水圧 (1MPa) という条件下において、設定した切羽土圧を安定制御しながら排土でき、また、切羽土圧の大きさ、スクリー回転数の影響をほとんど受けずに、切羽圧を安定制御できる装置であることがわかった。スクリー回転時の切羽土圧平均値に対して、瞬間的に低下する変動圧力は、各切羽土圧においても 0.01~0.03MPa という結果であった。また、スランプ 10cm の砂質泥土については、羽根の隙間 3mm という条件においても切羽土圧を同様に安定制御することができた。

また、砂礫泥土、スランプ 20cm、羽根の隙間 3mm という条件においても、スクリーの回転と同時に設定した切羽土圧はやや変動するもの、砂質泥土とほぼ同様の結果が得られた。切羽土圧平均値に対して低下する変動圧力は 0.02~0.05 MPa であった。また、砂礫泥土に関しては、羽根の隙間 5mm という条件においてもスランプの大きさに影響されず、切羽土圧を同様に安定制御することができた。

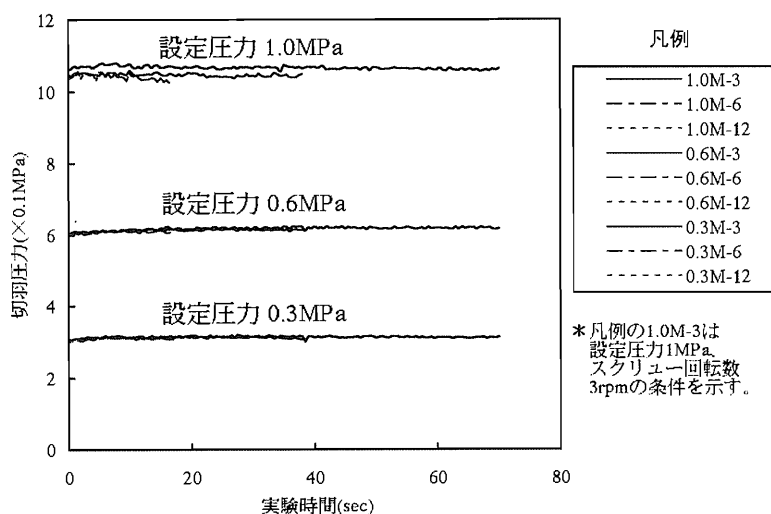


図-4 切羽土圧経時変化図(砂質泥土、スランプ 20 cm)

②排土状況

掘進における排土量の管理は、一般的にスクリーの回転数とその排土量が比例するものとして管理するが、実際にはスクリー内部での共回りや、噴発などにより正確な排土量を把握することは難しい。実験における排土量と理論排土量(スクリー1回転当りの土砂搬送容量と回転時間から計算)を比べた結果、このツインスクリー排土装置の場合は、羽根の隙間が大きい場合、実際の排土量の方が多くなる傾向があるが、羽根の隙間を小さくすれば理論排土量と実際の排土量がほぼ一致し、スクリー回転数に合った定量の排土が可能であることを確認した。

4. 実用化

土被りの深い粘性土地盤で実証施工を行いその後、土被りの浅い砂礫地盤の工事で採用され、初めて実用化された。砂礫地盤の工事の切羽土圧の制御、土量管理の実績について以下に紹介する。

(1) 砂礫地盤での施工

① 工事概要

工事件名：福岡市高速鉄道3号線渡辺通南工区建設工事

工事場所：福岡市中央区白金一丁目2番地～中央区渡辺通二丁目1番地

発注者：福岡市交通局

施工者：大成建設・竹中土木建設工事共同企業体

工事期間：平成8年12月12日～平成15年2月28日（全体工事期間）

工事概要：泥土圧式シールド、掘削外径5.44m、延長756m

土質：砂礫土 N値10～30

土被り：7～9m（構造物直下3mでの施工区間あり）

この工事で採用したツインスクリュの写真を写真-3に、その仕様を表-2に示す。

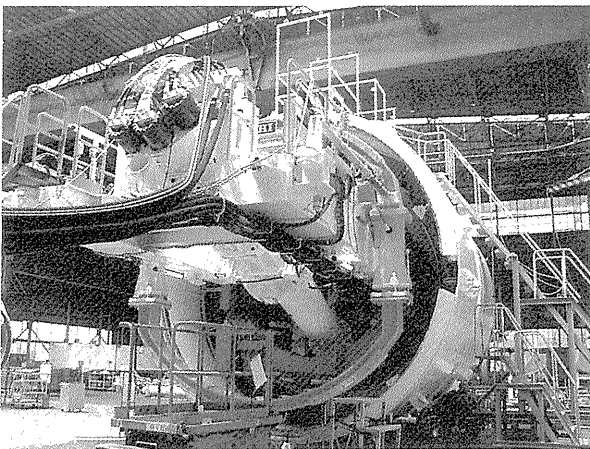


写真-3 ツインスクリュを装備したシールド機

表-2 使用したツインスクリュの諸元

輸送能力	67 m ³ /h
回転数	0～23rpm
薄肉フライ径×フライピッチ	φ597mm×P324mm
厚肉フライ径×フライピッチ	φ387mm×P324mm
駆動トルク	48.7kN・m

② 切羽土圧の自動制御の実績

ツインスクリュが自動制御できるか否かの確認を行うため、1リング掘進中に掘進速度を10、15、20mm/分と強制的に変化させツインスクリュが自動制御できるかの確認を行った。データは掘進速度、切羽土圧とツインスクリュ回転速度の実測値とした。結果を図-5に示す。

この結果、ツインスクリュ回転速度が掘進速度の変化に追従し、切羽土圧が設定値の0.15MPaに制御できた。

③ 土量管理の実績

土量管理においても、同じく1リング掘進中のデータとし、掘進距離に応じた掘削土量の理論値（掘削土量に加泥材の注入量を加算した値）に対して、ツインスクリュの回転数から算出した土量値の比較を行った。その結果を図-6に示す。

理論総排土量（掘削土量に泥材の注入量を加算した値）を 100%とし比較すると、ツインスクリュ回転数から算出した総排土量は 97%と理論値に近い値となった。

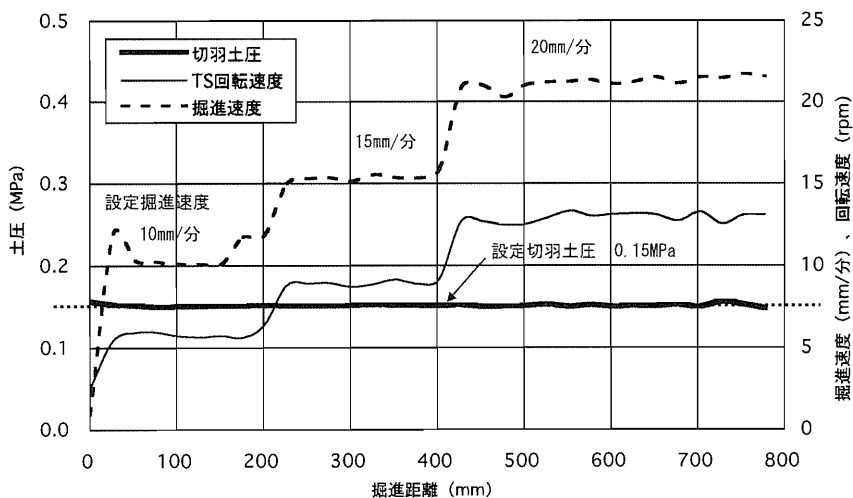


図-5 切羽土圧の自動制御の実績図

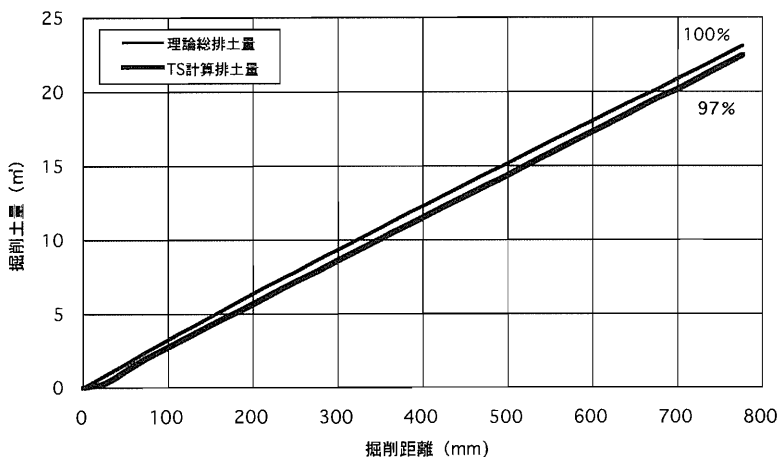


図-6 掘削土量管理の実績図

5. おわりに

本システムは、粘性土及び砂礫地盤での実施工により切羽土圧制御、掘削土量管理の性能が確認された。しかし、礫を多く含む地盤ではツインスクリュ内のフライトやケーシングの磨耗が想定されるため、現在磨耗に対する研究を進めている。この研究で耐久性を向上させ、ツインスクリュシールド工法を泥土圧式シールドの一般工法に目指したい。

最後に本工法の実用化として、採用して頂いた福岡市、工事を行った関係各位に感謝し、紙面を借りお礼を申し上げる。

20. 小断面トンネル吹付けシステムの開発

三井住友建設㈱：*山下 高俊、中野 陽一、長野 祐司

1. はじめに

トンネル建設工事において、コンクリート吹付けは特に粉じん発生量の多い作業である。小断面トンネルの場合、一般に人力で吹付けを行うことが多く、狭隘な場所で多量の粉じんが発生するため、非常に過酷な環境下での作業となり、骨材のはね返りやノズルの取り回し等にも注意が必要である。

本報文は小断面トンネルでの粉じん低減および省力化を目的に開発した遠心力方式による吹付けシステムの概要について報告する。

2. 吹付けシステムの概要

(1) 開発経緯

吹付け作業における粉じん低減技術としては、主に以下のようなことが考えられる。

- ① 換気・集じん設備の増強（大容量換気、大型集じん機の配置等）
- ② 吹付け材料の改良（粉じん低減剤、液体急結剤等）
- ③ 新方式による吹付け（遠心力吹付け機等）

通常、吹付け作業はエア方式が多く採用されているため、上記の検討課題のうち主に①および②についての解決が進められている。しかし小断面トンネル(TBMを含む)においては、スペース的な制約から①の方法は難しく、②または③による粉じん低減方法が最も有効であると考えられる。

③のうち遠心力吹付け機については、これまでに深礎、立坑、大断面のトンネル用としてそれぞれ開発を進めてきており、これらの試験結果から通常のエアー吹付け方式よりも粉じん発生量が低減できることが確認されている。この技術を応用して、小断面トンネル工事の吹付け時の作業環境改善を図ることとした。

(2) 遠心力吹付け機の構造

遠心力吹付け方式は、圧縮空気を使用せず高速回転するインペラの遠心力により、吹付け材料を投射し吹付けを行う新方式の吹付け方法である。

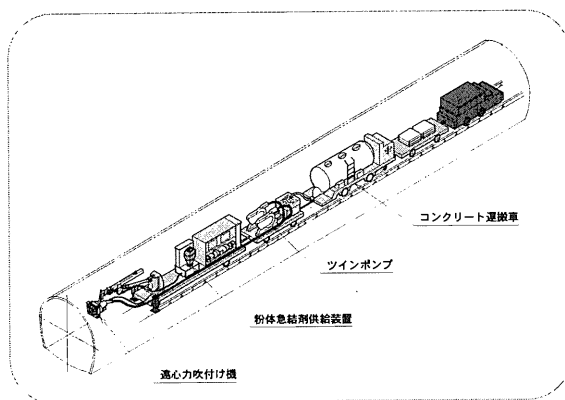


図-1 小断面吹付けシステムイメージ図

一般にエア吹付け方式の場合、使用する圧縮空気の消費量の増加に伴い、粉じん発生量も増大することが知られている。また急結剤はマテリアルホースへの吹込みによる添加方式であるため、未混合のまま空气中に拡散するものも多く、これも粉じん発生量が多い原因となっている。

一方遠心力吹付け方式の場合は、機械的な混合により未混合の急結剤が減少し、空気中への拡散も少ないため粉じん発生量が非常に少ないという特長がある。図-2に遠心力吹付け機の構造を示す。

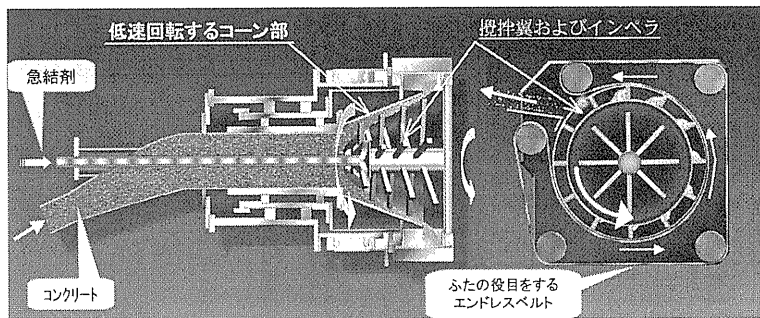


図-2 遠心力吹付け機の構造

3. 実証試験

(1) 吹付け装置

本システムの開発にあたっては、小断面トンネル（TBM含む）における吹付け作業を想定し、模擬トンネルと吹付け装置を製作して、吹付け実証試験を行った。

本試験に用いた吹付け装置には以下の機構を装備した。

- 1) 通常の吹付けコンクリートと急結剤が使用可能。
- 2) 遠心力吹付け機本体の移動はガイドに沿って旋回・スライドさせる機構とし、動作速度は任意調整が可能。
- 3) 遠隔操作方式とし、手動／自動両方での吹付けが可能。
- 4) 吹付け機本体を前後に傾斜させることで、支保工背面のコンクリート充填が可能。

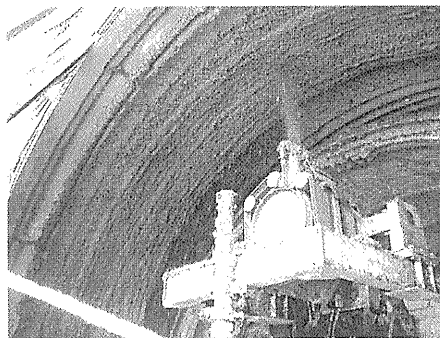


写真-1 模擬トンネル吹付け状況

尚、模擬トンネルはR=2.0mと2.5mの2種類を設置し、投射距離0.5～1.0m程度を目標に吹付け試験を行った。写真-1に模擬トンネルでの吹付け状況を示す。

(2) 材料供給装置

吹付け粉じんを低減させる条件のうち、コンクリートを低容量でかつ脈動無く連続供給させることは、最も重要な課題であった。試験当初、コンクリート供給にスクリュークリートを使用したのが、より低容量で安定した供給を行うためコンクリートポンプの並列運転を検討した。しかしピストン式ポンプの場合、同調運転が難しく設備も大きなものになってしまうため、スクイズポンプをツイーン式に改造し可変式連続供給を可能とした。これにより、遠心力吹付け機内部でのコンクリートと急結剤との混合効果が十分に発揮され、投射距離や旋回速度に応じた最適な吹付け吐出量も調べることができ、より低粉じん化を図ることができた。

また急結剤については、粉体と液体のどちらも使用可能であるが粉体急結剤の場合の供給装置は、材料搬送に多量の圧縮空気を用いないため、通常使用されているものより簡素化した少送気式の供給装置を使用している。

(3) 吹付け材料

本システムは開発当初より、標準的な吹付け材料での施工を目標としており、吹付けコンクリートは標準的な配合のものを主体に試験を行った。

急結剤については表-1の2種類の粉体急結剤を使用し比較を行った。

表-1 急結剤の種類

性状	名称	製造者	備考
粉体	ナトミックT-5	電気化学工業	一般的に使用されている
粉体	ショットマスターR	太平洋マテリアル	粉塵抑制型

4. 吹付け試験結果

吹付けは所定の強度や仕上がりを確保し、かつ粉じん低減効果の大きい方法を検討した。

(1) 吹付け試験強度

強度試験は同条件において、遠心力方式と通常のエアー方式の2種類の方式で行い、所定の強度が確保されていることが確認された。表-2に試験強度の平均値を示す。尚、参考値として基準強度を記す。

表-2 吹付け試験強度結果

吹付け方法	σ 24 h (N/mm ²)	σ 28 d (N/mm ²)	備考
①遠心力方式	7.2	26.2	粉体急結剤7%添加
②エアー方式	7.7	28.5	粉体急結剤7%添加
③基準強度	5	18	

(2) 粉じん濃度測定

粉塵低減効果を確認するため密閉した模擬トンネル内において、遠心力方式とエアー方式の場合の粉じん濃度の比較を行った。尚測定は換気設備を設けず、吹付け断面の前方1.0~1.5m付近においてガイドラインに準じた方式で行い、デジタル粉じん計による相対濃度(CPM)で記している。

吹付け試験における粉じん濃度測定結果を表-3に、粉じん発生状況を写真-2、写真-3に示す。

表-3 粉じん測定結果

吹付方式	吹付コンクリート	急結剤	相対濃度 cpm	(参考値) K値0.04 とした場合 の換算値 mg/m ³	吹付け 容量 m ³ /H
エアー方式	標準配合	粉体(ナトミックT-5)	1166	(47.0)	4
遠心力方式	標準配合	粉体(ナトミックT-5)	136	(5.4)	4
	標準配合	粉体(ショットマスターR)	43	(1.7)	4

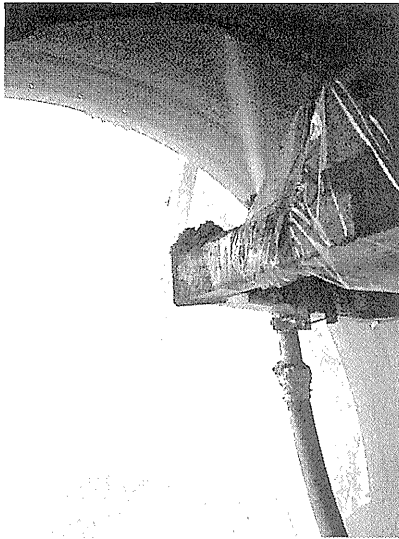


写真-2 エア方式吹付け状況



写真-3 遠心力方式吹付け状況

上記粉じん測定結果より、本システムは粉じん濃度は通常のエア方式に比べ、従来型粉体急結剤を使用した場合で $1/6 \sim 1/9$ 、さらに低粉じん対応型粉体急結剤を用いた場合では $1/20 \sim 1/30$ にまで低減させることができた。

5. まとめ

本開発において超低粉じんの小断面トンネル吹付システムが実現できた要因としては以下のようことが考えられる。

- 1) 従来の圧縮空気を全く使用しない、遠心力方式を採用した。
- 2) 投射距離 $0.4\text{m} \sim 0.9\text{m}$ の範囲での近接吹付けにより、狭隘なスペースにも吹付機本体をレイアウトすることを可能とした。
- 3) コンクリートポンプの改良により脈動のない連続供給を可能とし、急結剤の混合効果を改善することができた。
- 4) コンクリートポンプの低吐出量調整を可能とし、 $2 \sim 6\text{m}^3/\text{h}$ の低容量での吹付けを行うことで、粉じん発生量を抑えることができた。
- 5) 粉じん低減型粉体急結剤の使用により、さらに粉じんを抑制することができた。

本システムは、小断面トンネル工事において吹付け粉じんを低減させ、切羽での作業環境を改善することに有効であることが確認され、この吹付けシステムの採用により、これまでの吹付け作業環境は大幅な改善が可能となる。今後システム全体の構成、施工性、耐久性等についてさらに確認や改良を行い、水路トンネル等の中小断面トンネル(TBM含む)およびトンネルの活線拡幅工事、トンネル補修等の狭隘なスペースでの作業環境改善に適用したいと考えている。

21. センターホールジャッキ方式によるシールドの発進方法

佐藤工業(株)：*宮崎 康生、早川 淳一、村本 利行

1. はじめに

センターホールジャッキ方式によるシールド発進方法を、名古屋市上下水道局発注の「鳴尾雨水幹線下水道築造工事」(以下、「本工事」と記す。)において初めて実工事に適用した。本稿は、従来の発進方法のように仮組セグメント等を組み立てること無く、シールドの発進が可能なセンターホールジャッキ方式の概要および実施工結果を報告するものである。

2. 本方式の採用理由

この発進方法はコンパクトシールド工法¹⁾の一環として開発されたものである。コンパクトシールド工法で用いるシールドは前胴・中胴・後胴に3分割した構造を採用しているため、発進に際しては各胴を順次投入・掘進・接続を繰り返す分割発進を基本としている²⁾。推進のためのシールドジャッキやセグメント組立用のエレクターが装備されていない前胴および中胴を掘進させる場合は、従来のように仮セグメントを組立ながら掘進することができないので、センターホールジャッキを用いたシールド発進方法を開発したものである³⁾。

従来の仮セグメント組立方式とセンターホールジャッキ方式の発進方法の比較を図-1に示す。両方式を比較すると、バックアンカーが固定式と可動式の違いにより、有効に活用できる作業空間に大きな差が生まれることである。本工事で、後者の発進方法を採用した理由は以下の通りである。

①立坑のシールド路線上部に仮覆工があるため、上部空間に制約を受ける

②立坑空間の有効利用及び作業効率の向上

仮セグメント組立方式では、立坑内に設置した天井クレーンの吊り代の確保が困難であった。また、シールドが発進した後も立坑内に仮セグメントが残り、作業空間の制約を受ける。このため、人の出入りや資材の搬出入時に作業性、能率、安全性が低下すると考えられる。そこで、作業空間が有効に活用でき、仮セグメントの設置・撤去工程が省略できる本方式を採用した。

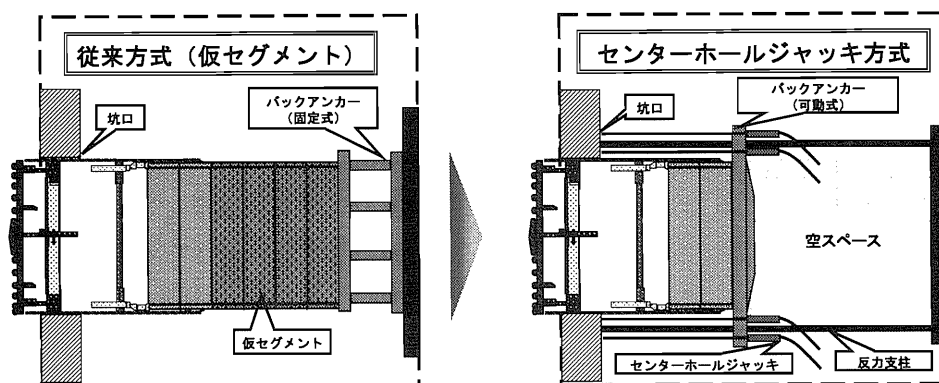


図-1 従来方式とセンターホールジャッキ方式の比較（断面図）

3. 工事概要

本工事は名古屋市南区鳴尾地区において、浸水対策を目的とする合流式幹線管渠の築造工事である。シールド延長が1,110m、2箇所の急曲線(R=15)を含む線形で、一次覆工は内径φ3,800mmの鋼製セグメント、二次覆工の仕上り内径はφ3,000mmである。掘削対象土質はN値=0(自沈)の軟弱粘性土で、シールド工法は泥土圧シールド工法である。中折れ式シールドの外径はφ3,940mm、機長が6,325mmである。

発進立坑は図-2のように長さ

10.0m×幅10.31m、開口部がシールド路線直上に配置できない構造である。搬出土の運搬方法は鋼車方式で、立坑内の移動はトラバーサ方式とした。センターホールジャッキ方式の発進方法を採用したことから、初期掘進期間中(約70m)においても、搬出土の運搬にトラバーサ方式による4m³鋼車を使用することが可能となった。

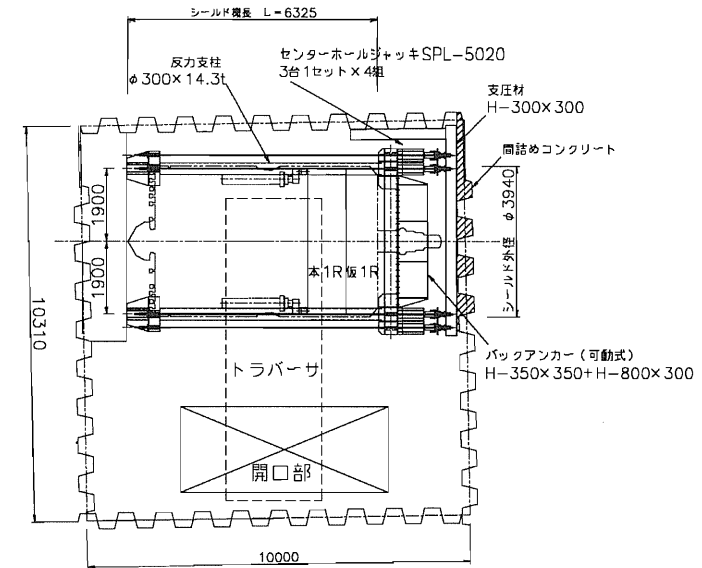


図-2 発進立坑及びセンターホールジャッキ方式の発進設備

4. センターホールジャッキ方式によるシールド発進方法の概要

センターホールジャッキの所要性能を表-1に示す。

シールド発進手順は以下のとおりである。

- ①立坑にシールドを設置し、テールブラシ保護のためセグメントを2リング組立てる。
- ②直径300mmの反力支柱とバックアンカー(可動式)を組立てる。
- ③バックアンカーの4隅に、各々3台のセンターホールジャッキを取り付ける。
- ④反力支柱の先端に取り付けたPC鋼線(φ28.6mm)をセンターホールジャッキに固定する。
- ⑤PC鋼線及び反力支柱に反力を取ることによって、シールド本体を前進させる。

センターホールジャッキは、3台×4カ所=12台を配置している(図-3参照)。設計上必要な推進力は4,000kN程度でジャッキ本数は8本で満足するが、この発進方法を始めて適用すること及びシールド発進にお

表-1 センターホールジャッキの所要性能

項目	性能	備考
推進力	500kN	総推力6,000kN
ストローク長	200mm	
スピード	0~20mm/分	油量で制御
制御装置	2台	制御装置1台でジャッキ6台を制御

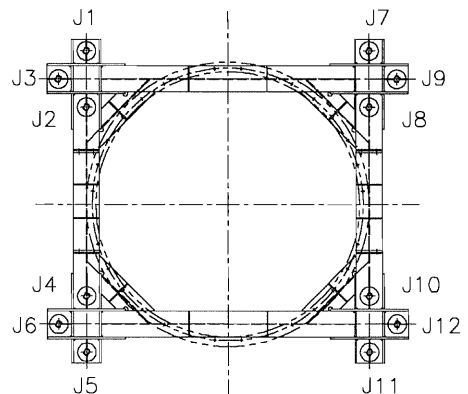


図-3 センターホールジャッキ配置図

る姿勢が不安定な状態になりやすいため、ジャッキを多めに計画した。

また、仮セグメント方式の推進反力はセグメントを通して支圧壁全体に作用するが、センターホールジャッキ方式では、図-4のように①センターホールジャッキ→②PC鋼線→③反力支柱固定部→④反力支柱→⑤支圧壁の順で反力が伝達される。反力支柱と坑口コンクリートを固定しているアンカーボルトは推進反力に対して抵抗できない構造である。そのため、反力支柱の固定部は図-5に示す補強を実施した。

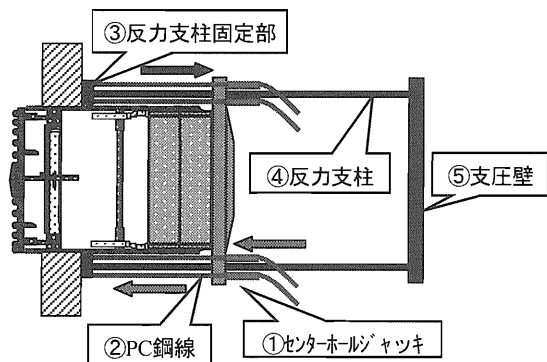


図-4 推力の伝達経路

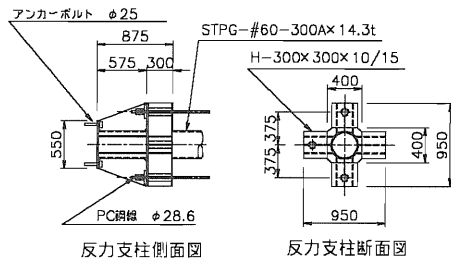


図-5 反力支柱固定部詳細図

5. 実施工結果

本工事における施工結果の概要は以下の通りである。仮推進開始時および仮推進がほぼ終了した時点の立坑内部の状況を写真-1に示す。

仮推進時の最大ジャッキ推力は2,200 kN（ジャッキ8本）で、想定推力4,000 kNの55%であった。推進速度は10～20 mm/分、切羽の土圧は90～95 kN/m²（管理土圧95 kN/m²）の範囲内であった。

本工事のような軟弱粘性土の場合は、シールドのノーズダウンの発生が懸念される。上下左右の4隅に配置した各々のジャッキ推力を制御することにより、シールドの姿勢をコントロールすることが出来た。また、発進時はシールド外周と地山抵抗が小さいために、ローリングが発生しやすい。本工事ではカッターの回転方向制御とバックアンカーの底部に切込みを設けてローリングを防止した（写真-1参照）。

センターホールジャッキの稼動状況を写真-

2に示す。ジャッキは、ストロークが200mmで前後に2つのチャック（固定治具）が設置されている。ジャッキが伸びの作動時には第2チャックが固定され、第1チャックが開放される。縮みの作動時には各チャックは逆の状態になる。これらは、ジャッキの作動方向とチャック内の楔により自動的に切替わる。

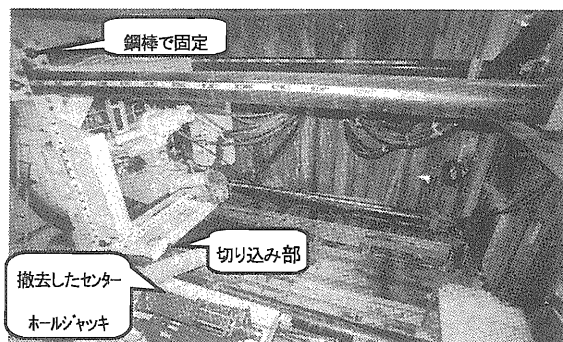
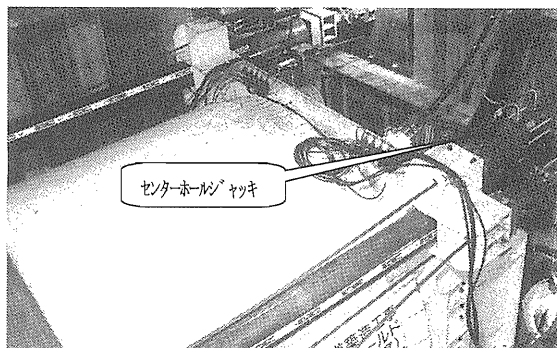


写真-1 仮推進状況

このような仕組みにより、ジャッキの押し引き動作を繰り返すことによりジャッキ本体は移動・停止を繰り返しながら一定方向に進んでいく。すなわち、PC 鋼線の全ストロークを、切羽反力を開放することなく、一気に推進することが可能となる。実施工では、土砂搬出設備の組み替え等を推進ストロークに併せて実施したため、仮推進区間 5,700 mm を約 8 時間の推進時間で終えることができた（ロータリポンプ取付け時間を除く）。

初期掘進による地表面の鉛直変位は 0～8 mm 程度に抑制することが出来た。これは、従来の発進方法と比較して、シールドをほぼ連続的に速やかに地山中に押し込むことが出来たため、周辺地山への影響を抑制できたものと考えられる。

仮推進完了後はセンターホールジャッキを撤去、φ58 mm の鋼棒を用いてバックアンカーと反力支柱を固定し、初期掘進区間の推進反力を受けた。初期掘進時においても、仮セグメントの支障を受けることなく、作業スペースを有効に利用することができ、施工効率、安全性とも、従来の発進方式と比較して大幅に改善できることを確認した。

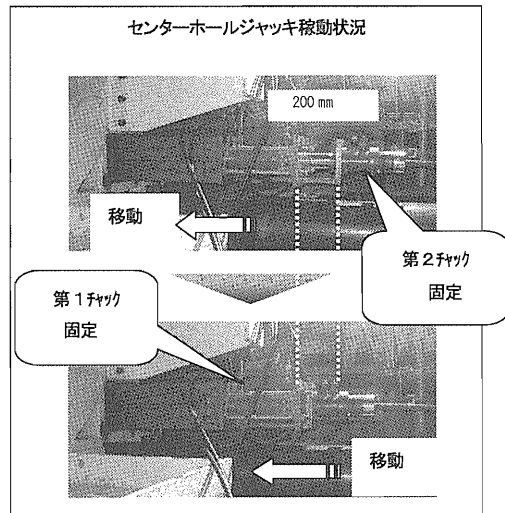


写真-2 ジャッキ稼働状況仮推進状況

6. センタージャッキ方式の発進による効果

本方式を始めて施工した結果、以下のことが確認できた。

- (1) 本方式による初の施工であったため、発進時の種々のリスクへの対応を考慮して若干過大な設備を計画した。実施工から、従来の発進計画と同程度の設備で対応できることが明らかとなった。今後は、設備規模を縮小し、コスト削減を図れることが確認できた。
- (2) シールドの地山への慣入を迅速かつスムーズに行うことができ、作業の安全性が向上するとともに、周辺地山への影響を抑制することが出来る。
- (3) 仮セグメントの組立および撤去作業が省略できること、作業空間への制約が大幅に無くなることから、作業効率が向上し、安全性も大幅に改善される。

7. おわりに

本工法による発進は平成 14 年 9 月に行い、掘進は順調に進み平成 15 年 3 月初旬に一次覆工が完了し、引き続き 2 次覆工を施工している。本発進方法は、シールド径に左右されないため、今後大口径シールドにも適用できると考えている。特に都市部においては立坑面積の確保が難しい状態であり、立坑面積を有効に使用できる本方式が参考になれば幸いである。

<参考文献>

- 1) 前田、申山：コンパクトなシールドシステムの開発と実用化 東京都下水道局 三筋・鳥越付近再構築工事：トンネルと地下, 2001. 8
- 2) 高久、片岡、勝沼：コンパクトシールド工法の機械システムの開発：平成 13 年度 建設機械と施工法シンポジウム, 2001. 10
- 3) 守屋、勝沼他：後方設備内包型 3 分割シールドの開発：第 56 回年次講演会, 2001. 10

22. 都市部における既設下水管（φ700mm）の引き抜き撤去施工事例の報告

佐藤工業(株)：*横山 正樹、宮澤 竹久

1. はじめに

都市部における埋設管撤去方法は、開削工法で行われるのが一般的で、工事期間の交通への支障その他の埋設物への影響、狭隘掘削による安全等の問題があった。これらの問題を、既設推進管に対し特殊治具とPC鋼棒を使用し、立坑から引き抜き、同時に埋め戻しを行う「既設推進管の引き抜き撤去工法」を考案し実施することにより解決した。

横浜環状鉄道建設工事（高速鉄道4号線北山田駅工区土木工事）では、土留壁（ソイルセメント壁）施工位置に配置されている土被り約6.2mの下水道管（φ700mm）が支障となるため、開削工法（横矢板による土留）により撤去・埋め戻しを行うには、近傍に配置されている東京電力埋設管（16万ボルト）の防護を必要とし、且つ狭隘掘削を伴い困難な施工が予測された。

本報文は、本工法を用いて支障既設下水管φ700mmを撤去した事例を紹介するものである。

2. 工事概要

横浜環状鉄道中山～日吉間は、JR横浜線中山駅からすでに開業している横浜市営地下鉄センター南・センター北駅を通過し、東京急行東横線日吉駅までの13.1kmを建設する工事である。北山田駅工区土木工事は、このうちセンター北駅に隣接する駅部の開削工事で、長120m・深さ27.5m・掘削土量約5万立方メートル・コンクリート量約1万1千立方メートルの工事である。

工事区域は交通量の多い県道日吉元石川線に位置し、周囲は、マンション・中古車販売店などの比較的新しい建物が立ち並び、駅開通を見越して、マンションの建設ラッシュの地域でもある。

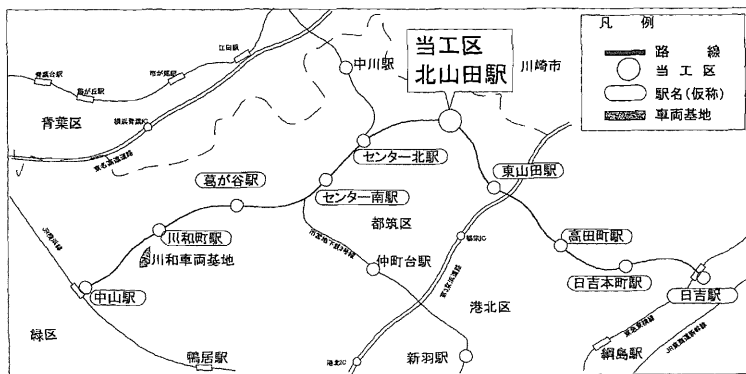


図-1 工事位置図

3. 地質特性

施工位置の地質は、関東ロームであることが土質試験結果から判明はしていたが、近傍で施工した立坑築造工事より、一部で土丹層が出現することも想定された。

地下水位は地表面より、1.0から1.5m程度であり、非常に地下水位は高かった。

30mに及ぶ、引き抜きが想定されたため、入念な周面摩擦の把握が必要で、調査の結果関東ロームが12m程度、残りの18mは土丹部分に位置していることがわかった。

直前に施工した、下水切り回し工事の経験から、土丹部分での推進管の締め付けによる周面摩擦は、隙間の存在から非常に小さいと推定した。

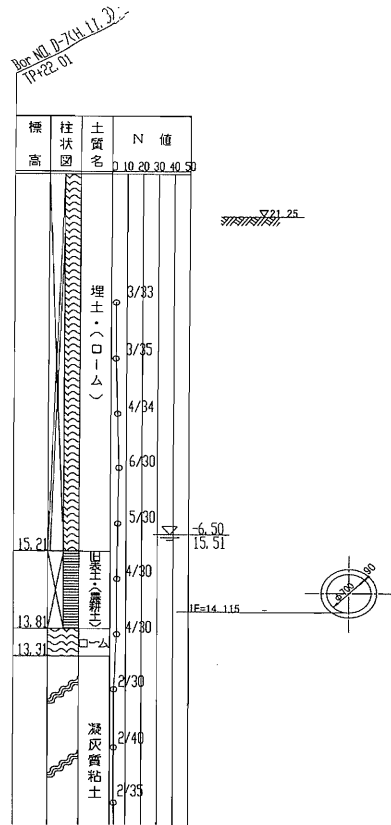


図-2 当該地盤の柱状図

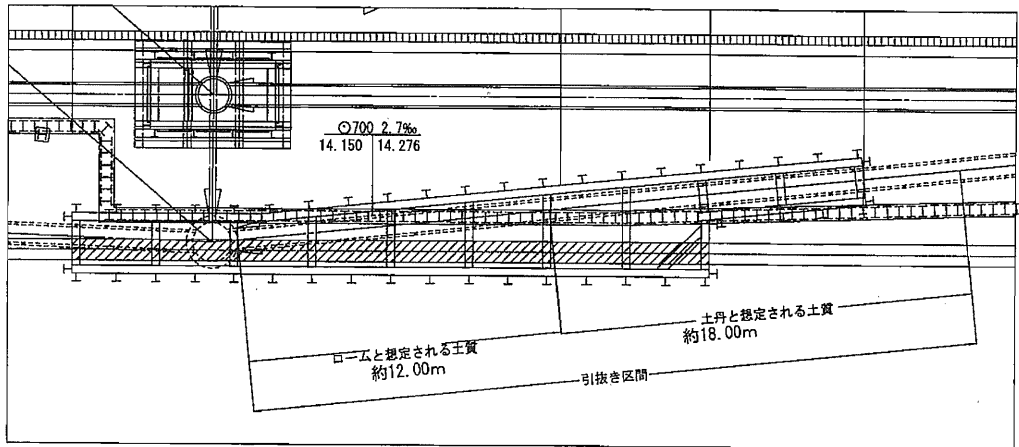


図-3 推進管引き抜き部平面

4. 工法検討

開削工法以外での撤去方法について調査したところ、鉛直の杭等については、管径より大きなケーシングを管に被せて挿入し、周辺摩擦を低減させてから引き抜く実績がある。しかし、この工法を今回の工事に適用した場合、立坑の大きさに限りがあるため、立坑直径より短いケーシングを溶接したり、反対に引き抜く際には、ガス切断機によりケーシングを切断することが必要となり、時間と材料のロス（全損）が大きくなり、かなり高価な施工法となる。

今回引き抜く推進管はφ700mmで、通常この径の推進工は裏込め注入を行っていないことに着目し、特殊な治具およびPC鋼棒を使用し、推進工法と逆向きに反力を取り、推進管を引き抜けないか検討した。通常泥水式推進工法の推力計算において推進管と土の付着力は、粘性土で、 $0.3 \sim 1.5 \text{ t/m}^2$ で計算される。

仮に管外面抵抗力を大きく見積り、 2.0 t/m^2 と仮定すると、 $0.88 \times 3.14 \times 30.6 \text{ m} \times 2.0 \text{ t/m}^2 = 169.2 \text{ t}$ で縁を切ることができる。平均付着力 2.5 t/m^2 でも 212 t の推力で縁切りが可能であり、これは管自体の耐力 240 t に比較して小さいので勝算はあると考えた。また、付着力が予想以上に大きくても、管周辺を水平ボーリングで乱し緩めることにより、付着力を低減することも可能であり、また管を分割して縁を切り、管外面抵抗力を低減させてから引き抜くことも可能であると判断した。

5. 施工

施工は、図-5に施工の順序図に示すとおり、立坑築造→滑材注入→引き抜き設備工→PC鋼棒の配置と定着→下水管引き抜き→下水管搬出→設備撤去の順に行った。

写真-1に引き抜き治具、写真-2に引き抜き治具設置状況、写真-3に下水管引き抜き状況を示す。

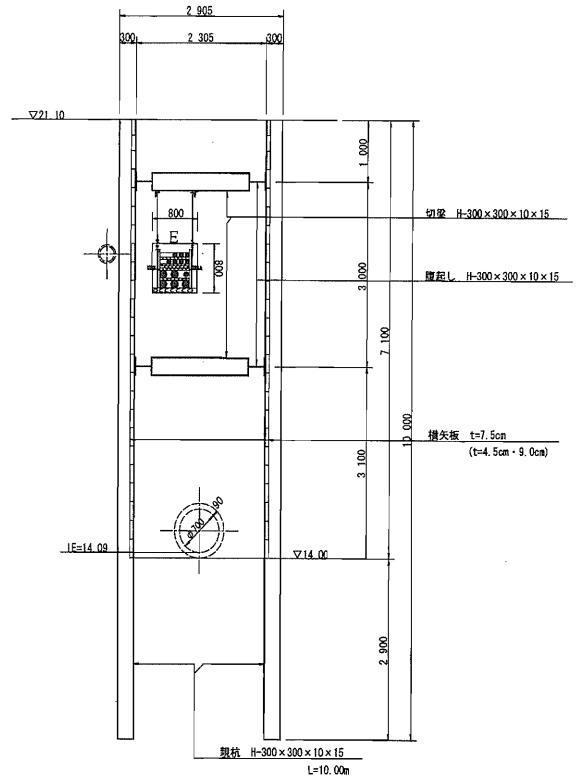
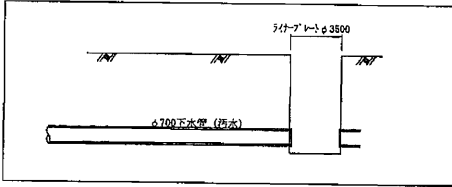


図-4 既設推進管の位置と開削土留図（原設計）

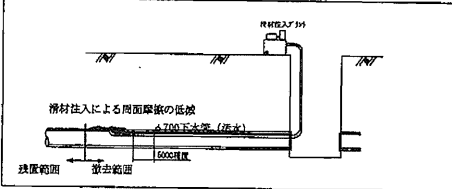
1. 立坑築造

既設人孔を包括した大きさのライナープレートで既設人工を撤去しながら床付けする。



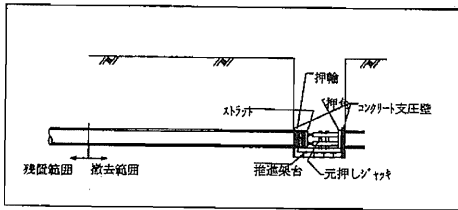
2. 滑材注入

φ700mm既設下水管を5mピッチ程度で穿孔し(φ20mm)し、推進用滑材を注入する。



3. 引き抜設備工

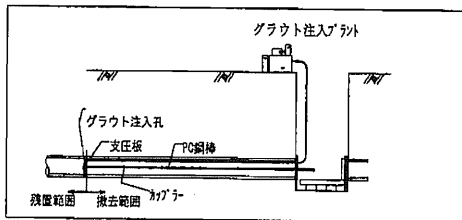
立坑に推進架台・反力壁・元押しジャッキ(100t×2~4台)・押し輪を設備して、下水管を10cm程度推進して外周抵抗の縁を切ると同時に管外周抵抗を把握する。



4. PC鋼棒の配置・定着

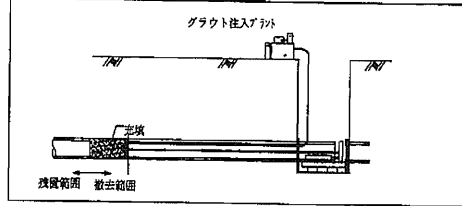
撤去部の先端(残置部の終端)の下水管を一部(10~20cm程度)はつり撤去し、引き抜き治具(φ50mm注入孔つき)を取り付ける。

下水管内にPC鋼棒(φ36mm)を2本設置して、カップラーで接続する。なお、カップラーの先端を押し角に定着する。



5. 下水管引き抜き

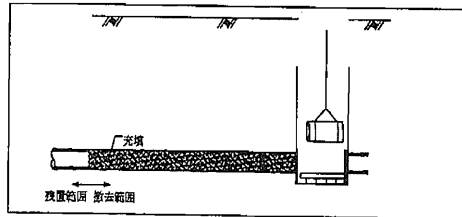
推進元押し装置を通常の推進工事と逆向きに配置し、PC鋼棒をこの推進元押し装置に接続し緊張して下水管を引き抜く。この時下水管を引き抜きと同時にCBを注入し空隙を充填する。



6. 下水管搬出

立坑内に引き出された下水管は、クレーンにて立坑外へ搬出し、処分する。

PC鋼棒はカップラーにて切り離し再利用する。



7. 引き抜設備撤去

上記5~6を繰り返して、下水管を全て引き抜き空洞を充填完了後、推進設備を撤去し立坑を埋戻し復旧する。

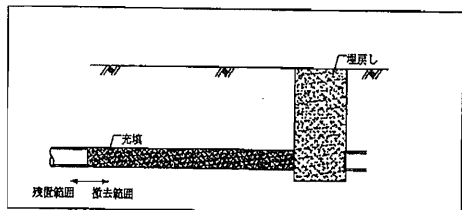


図-5 既設推進管の施工順序図

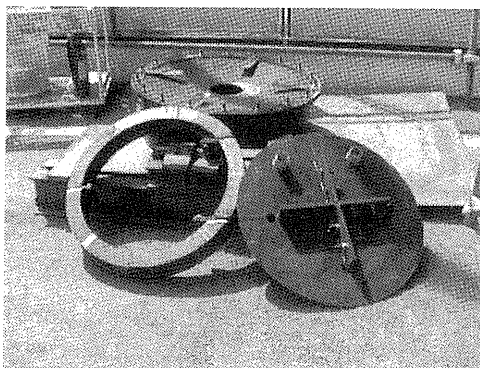


写真-1 引き抜き治具

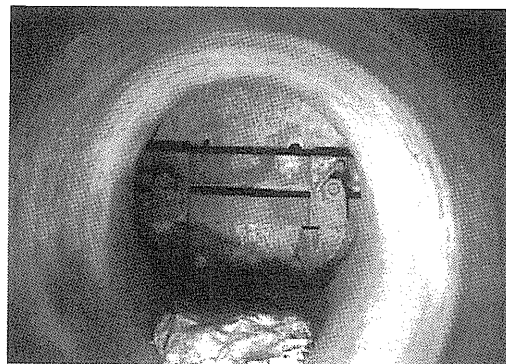


写真-2 引き抜き治具設置状況

6. 施工結果

結果として4箇所の引き抜きを行い、すべての管の引き抜きに成功した。

それぞれの引き抜きの距離は、30.56m, 6.21m, 19.54m, 7.80mであった。引き抜く前に一旦押し込みにより縁切り推力を与えたが、その最大値は212tに達した。押し込みによる縁切り作業後引き抜きを行ったが、一旦縁を切ったにも関わらず、最初は推力が200t以上となり、滑材を注入しながら、引き抜くにつれ、徐々に推力が下がり始めた。

引き抜きを軌道に乗せるまで、バックアンカーが破損したり、特殊治具が破壊したりと種類の紆余曲折があった。

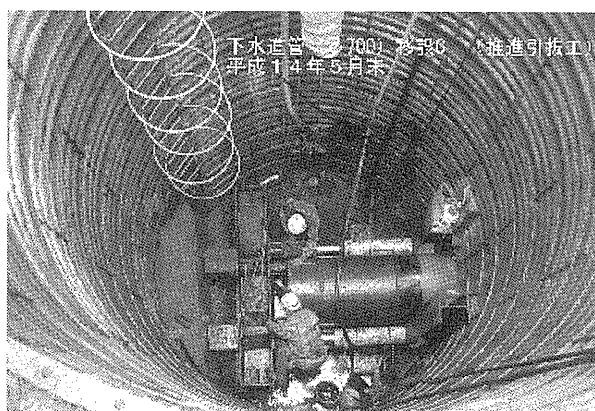


写真-3 下水管引き抜き状況

7. 施工結果の反省と今後の展望について

今回の推進管の引き抜きは、土被りが深く、上部に埋設物があるという難条件下での発想から生まれた工法である。結果的には推進管の引き抜きという所期の目的は達成されたものの、縁切り時の推力が大きくなり、特殊治具が破損する等の失敗もあった。今回の推進管引き抜きにおいて気がついた点、反省点について以下に記述する。

- ① 湧水が多く、立坑築造掘削が予想外に苦勞した。これは既設推進工施工時も同様であると考えられ、旧立坑内部には薬注を行った形跡が見られ、これが推力を予想以上に増大させた原因の一つであると思われる。
- ② 通常φ700mmの推進工の場合、裏込め注入を行わないが、引き抜き後の管の付着物から考え

ると一部裏込め注入を行った形跡があり、これも推力を予想以上に増大させた原因の一つと思われる。

- ③ 滑材の注入は、縁切り時の推力を低下させることには、寄与しないが、縁切り後の推力の再上昇を防ぐことは出来た。
- ④ ジャッキの配置、PC 鋼棒の伸び、バックアンカーの耐力等は十分な検討が必要である。(当初見込みが甘く、手戻り・試行錯誤が発生した)
- ⑤ 人孔の撤去及び推進管の引き抜きヤードより立坑寸法を決定したが、実際は既設管設置時の立坑内に空伏せコンクリート及び立坑の山留等が残置されているため、前工事の状況をよく調査する等、立坑形状の決定には注意が必要である。(経済性にも大きく響く)
- ⑥ 東京電力管の吊防護は、予想通り小規模で済み、管路に対する影響は非常に少なく済みだ。
- ⑦ 管内での特殊治具の取り付け作業はすべて人力となり、狭い場所での作業となるため、出来る限り分割し取り付けやすくする必要がある。
- ⑧ 立坑内のジャッキで推進管の引き抜きができない場合、中押しジャッキの取り付けを検討したが、今回の管径では重量的に無理であることがわかった。
- ⑨ 推進管の引き抜きと同時に注入作業だけでは、注入材料のブリージングがあるため、補足充填注入が必要である。
- ⑩ 管内のはつり作業は、推進管のカラー一部で実施したため、地山の崩壊の危険が無かったが、必要に応じ薬液注入等の対策が必要である。

8. おわりに

今回施工した工法は、当工事においては、開削工法で撤去するよりさまざまな面で有利であったが、この工法を採用するに当たっては、いくつかのポイントがある。以下に工法採用時のポイントを示す。

- ◎ 管の土被り
- ◎ 裏込め注入の有無
- ◎ 埋設物の有無
- ◎ 土質
- ◎ 埋設されている管の種類とその耐力
- ◎ 配置できる立坑の大きさ
- ◎ 引き抜き距離 (今回は 30m が上限)
- ◎ 立坑築造位置
- ◎ 旧管施工時の諸情報

上記ポイントに留意し施工可能であれば、都市土木工事において、交差点がある等、施工位置の条件が厳しい場所での施工には、大いに役立つものと思われる。また、上部に他の企業管路がある場合、影響を最小限にして施工することが出来、しかも周辺住民に対しても開削工法に比べて影響を与えない工法である。ただし、この工法の採用にあたっては、前述の事項について綿密な調査計画を立てることが重要である。

23. ラッピング工法（トンネル外周被覆工法）の開発

大成建設(株)：*島田 哲治、高見沢 計夫

1. はじめに

都市トンネル建設の主流に位置づけられているシールド工法は、地下構造物の輻輳化により大深度化する傾向にある。また、「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」の施行により、その傾向にますます拍車がかかるものと考えられる。そのため、これからのシールド工法の課題の一つに、大深度高水圧下に対応できる「止水技術」が挙げられる。

一方、海底部や臨海部でのトンネル建設においては、塩害等の腐食性環境下におけるセグメントの「劣化防止技術」が求められている。

ラッピング工法（トンネル外周被覆工法）は、これらの要望に応えるべく開発された技術で、セグメント外周全体を防水シートで覆うことで、土と水からセグメントを遮断し、止水性と耐久性に優れたシールドトンネルを構築するものである。

本稿では、ラッピング工法の概要と実証実験の結果を報告する。

2. ラッピング工法の概要

(1) 施工法

図-1にラッピング工法の概要図を示す。

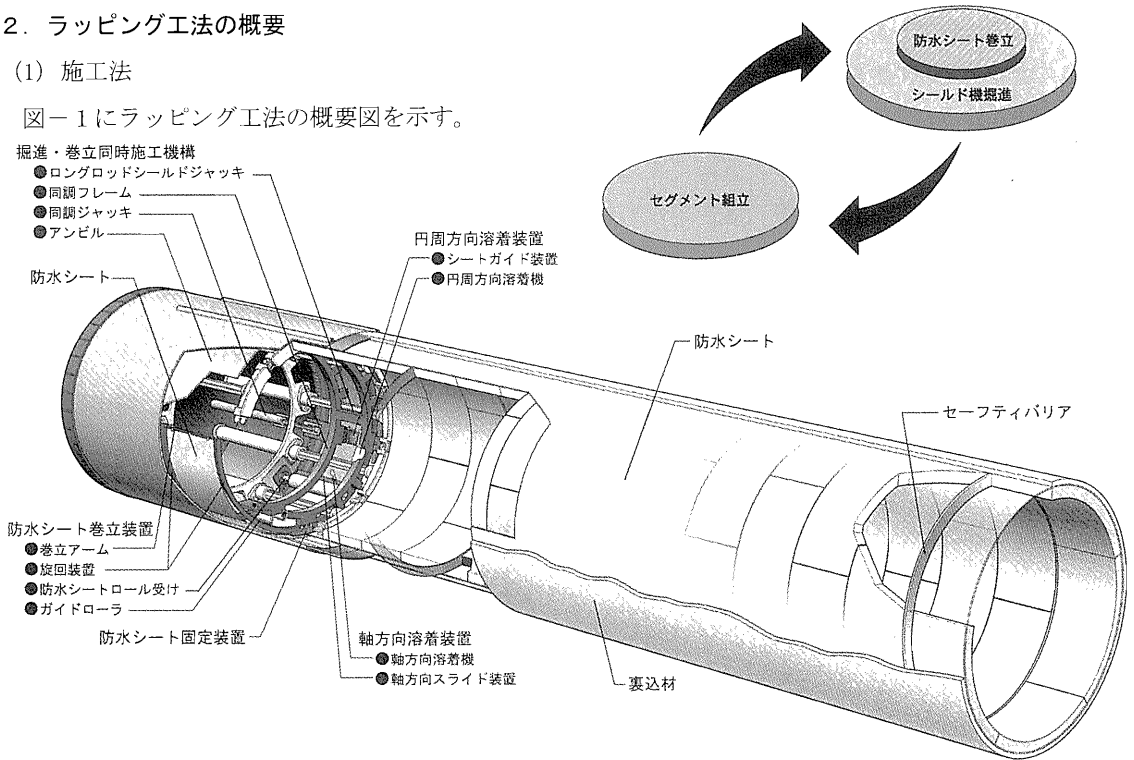


図-1 ラッピング工法概要図

本工法の施工は、シールド機テール部に装備したラッピング装置を使用して行う。1リング毎にシールド掘進と併行して防水シートを巻立て、円周および軸方向の溶着を行う。その後、防水シートの内側にセグメントを組み立てる。これを1サイクルとして繰り返し行い、セグメント外周全体が防水シートで覆われたシールドトンネルを構築する。

なお、約 30m間隔のセグメントリング間にセーフティバリア（鏢状の隔壁）を取り付け、止水区間を区画化することで、万一の漏水時にも漏水範囲を限定し、漏水箇所の発見と補修を容易にしている。

また、裏込め注入は、セグメントを覆った防水シートの外側に、シールド機の同時裏込め注入装置より行う。

(2) 特長

本工法（外周被覆工法）の特長（効果）は次の3項目である。

① トンネルの長寿命化

- ・トンネルを土と水から遮断し、構造物、坑内設備の長寿命化を達成する。

② トータルコストダウン

- ・高水圧や腐食性環境下においても、二次覆工の省略に貢献し、工事費用の低減ができる。
- ・供用中の排水処理などランニングコストが、削減できる。
- ・構造物、坑内設備の劣化を抑止し、ライフサイクルコストが低減できる。

③ 地下環境の保全

- ・止水性能が高いため、地下水の変動や地盤沈下など、環境に対しての影響を防止することができる。

(3) 防水シート

本工法に使用する防水シートは、施工性・溶着性・耐久性・経済性・実績等で検討を行い、厚さ 2mm以上のポリエチレンシートを使用することとした。

表-1に本工法に用いるポリエチレンシートの物性を示す。なお、規格値は、「併進工法におけるシート防水工設計施工の手引き（案）・都市トンネル編」を参考に設定した。

表-1 防水シートの物性

試験項目	単位	規格値	試験方法
比重	-	0.95±0.05	JIS K 6773
硬さ	-	85~98	JIS K 6773
厚さ	mm	2.0以上	JIS A 6008
引張強さ	20℃	14以上	JIS K 6773
	-10℃	26以上	
伸び	20℃	500以上	JIS K 6773
	-10℃	400以上	
引裂強さ	N/mm	50以上	JIS K 6252 準拠
接合部破断荷重	N/mm	10以上	JIS K 6773 準拠 試験片 JIS K6850
耐薬品性 質量変化率	アルカリ	%	±1以内
	酸		
	食塩水		

(4) ラッピング装置

ラッピング工法のシールド機には、従来の機構に加え、ラッピング装置が装備される（図-2参照）。ラッピング装置は、掘進・巻立同時施工機構、防水シート巻立装置、防水シート固定装置、溶着装置等から構成される。また、ラッピング工法シールド機には、防水シート破損防止機構として、フリーロック装置とシートプロテクタが装備される。

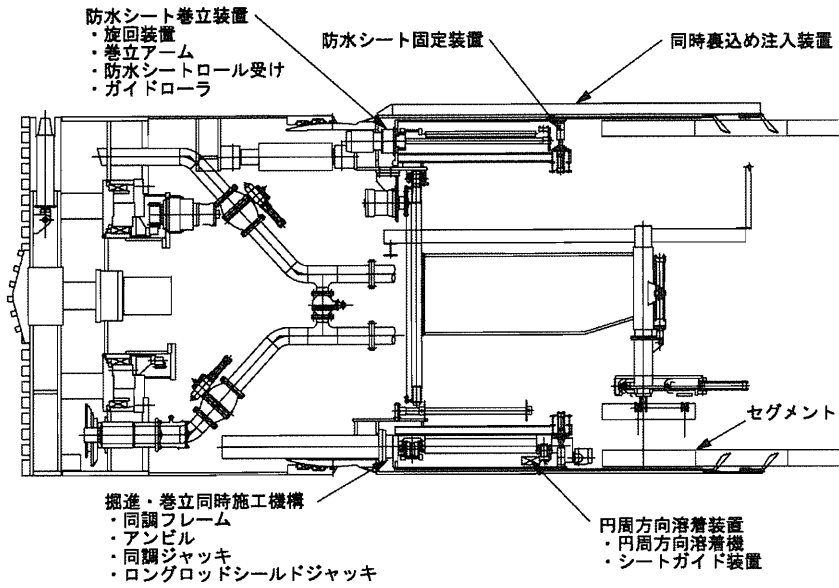


図-2 ラッピング工法シールド機

(5) 施工手順

施工手順を以下に示す (図-3 参照)。

1. 掘進開始前に、既設防水シートを防水シート固定装置にてアンビルに押付け固定する。
2. 掘進開始と同時に、防水シートロール受けにセットされた新設防水シートの端部を巻立アームに把持し、旋回装置によりシートを巻立てる。
3. 新設防水シートをシートガイド装置でアンビルに押付けながら、円周方向溶着機により既設防水シートとの重なり部を溶着する。
4. 軸方向スライド装置で軸方向溶着軸方向溶着機を走行させ、新設シートの重なり部を軸方向に溶着する。
5. 掘進および防水シート巻立・溶着が完了した後で、防水シートの内側にセグメントを組立てる。

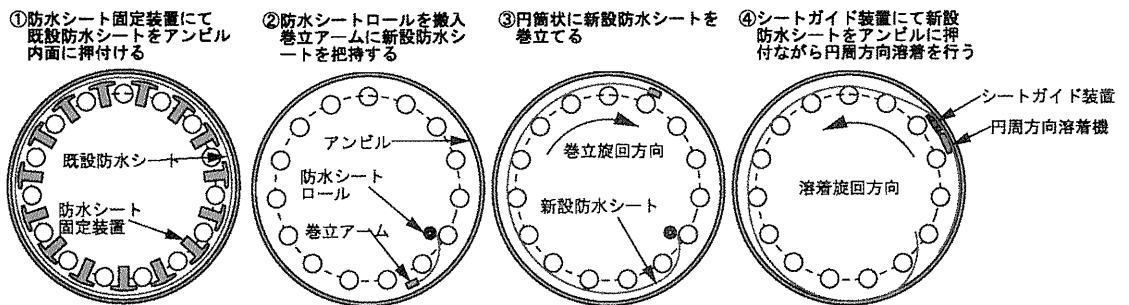


図-3 防水シート巻立・溶着手順

3. 実証実験

(1) 実験機の仕様

開発したラッピング装置の機能・施工性と品質検証のため、φ3,478mm シールド実験機に搭載し、各装置の性能確認実験および実施工レベルの掘進・巻立同時施工とセグメント組立の連続施工を行った。

実験機を写真－1、仕様を表－2に示す。



写真－1 実証実験機全景

表－2 実験装置仕様

シールド機	外径	φ3478mm
	シールドジャッキ	ロングロッドシールドジャッキ 100kN×1450mm×10本 スプレッダ（フリーロック装置）
	テールシール	ワイヤーブラシ2段
	ラッピング装置	同調フレーム／ガイドロッド 防水シート巻立装置 防水シート固定装置 円周方向溶着装置 軸方向溶着装置
	シートプロテクタ	超高分子量ポリエチレン
セグメント	種類	スチール製／5分割／軸挿入式
	外径／内径／幅	φ3350mm／φ3050mm／900mm
防水シート	材質／厚さ	ポリエチレン／2.0mm

(2) 実験装置の製作

ラッピング装置の製作にあたり、特に検討を要した項目について、表－3に示す。

表－3 検討項目一覧

項目	内容	対応
同調装置	・構造	・固定ジャッキの仕様（固定力）と作業スペース確保を考慮して強度計算。 ・機内作業スペースを確保するため、溶着装置の配線はケーブルリールを使用。 また、電磁弁等は、同調フレーム内に収めた。
	・制御方法	・制御対象、精度 ・基本的には、同調ジャッキにストローク計を付ける。 実験装置では、ガイドロッドを設け、同調フレームとシールドジャッキを接続する制御方法にした。
アンビル	・仕様	・アンビルの剛性確保（真円度） ・厚さ、幅 ・固定ジャッキの仕様（固定力）により解析し、実験機スキムプレートとの隙間50mm以内に確保できる厚さにした。
	・巻立長さ	・内径 ・セグメント外径+4mm（防水シート厚×2）
固定装置	・仕様	・形状、配置 ・ストローク ・既設防水シートをポイントではなく、全周をアンビルに押付けて固定。
	・固定力	・固定ジャッキ ・防水シート引張試験機のつかみ力を参考に算定。
	・表面材質	・防水シートとの摩擦 ・防水シートと摩擦の少ない材質であるMCナイロンを使用。
シートガイド装置	・構造	・狭い区間に設置 ・溶着中に防水シートに張力を発生させない ・従動式のキャタピラ方式を採用し、キャタピラが新設シートを引きずらないように回転速度とキャタピラの回転速度の同期をとった。 ・昇降機構をリンク構造とした。 ・押付力は、「新設シート重量+新設シートの引込み抵抗≦必要押付力」とし、新設シートの引込み抵抗は、バンドブレーキの張力計算方法を参考にした。 ・アンビル上に摩擦材を貼付け、アンビルと新設シート間の摩擦力を確保した。

(4) シートの溶着

防水シートの接合方法は、諸検討の結果、現場での高速施工と品質確保を重視し、熱コテ（以下、ウェッジと呼ぶ）式溶着方法を採用した。

溶着機は、図-4と写真-2に示すように、防水シートとシート間にウェッジを挿入し、押圧ローラによってアンビルに押付けて接合する構造で、旋回リングに装備される。この時、防水シートの接合部強度は、溶着速度、溶着温度、押付力の3要素に影響を受ける。

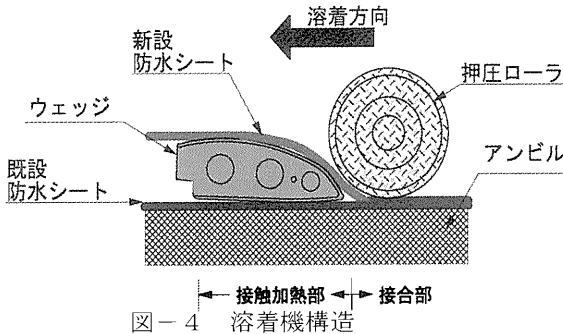


図-4 溶着機構造

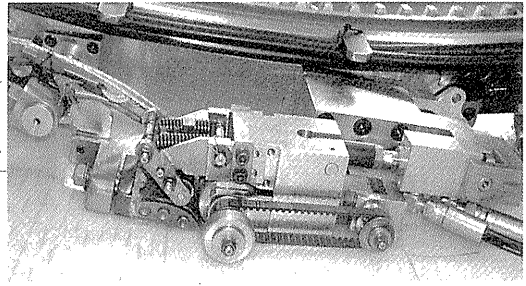


写真-2 円周方向溶着機

実験により、円周方向と軸方向の溶着速度をそれぞれ設定した溶着速度に対して、溶着温度と押付力は、規格値である接合部強度 10N/mm 以上を広い範囲の中で確保できることが確認できた。

実験より、得られた3要素の値は、以下のとおりである。

●円周方向溶着：溶着速度 2.5m/min に対して、溶着温度 460℃～520℃，押付力 0.6kN～1.0kN

●軸方向溶着：溶着速度 1.0m/min に対して、溶着温度 370℃～430℃，押付力 0.6kN～1.0kN

このことから、現場施工においても、防水シート溶着の施工管理が容易であることが確認できた。

(5) 施工性

本システムの各機構、装置については、固定装置の固定力等に多少オーバースペックな部分があったが、基本的な構造や仕様に問題はなかった。

シート防水工と掘進同時施工を検証するために、実験機を前進させながら同時施工を行った結果、立案した施工方法や手順で、作業性や施工性に問題はなかった。曲線施工（曲線半径 50m）についても、防水シートの溶着部の重ね幅を調整することで、シートに極端なしわや張力が発生することなく施工可能であることを確認した。

また、セグメント組立は、シートの固定により垂れが防げ、シートがない状態とほぼ同じ時間で施工できた。

(6) 品質

防水シートの巻立・溶着は、しわやずれが少なく、アンビル内径（セグメント外径）とほぼ同径で行えることが確認できた。

溶着後は、溶着部確認検査であるウォータチェック（溶着不良箇所を容易に発見できるように色水を注入して加圧）とバキュームチェックを行った。

また、溶着部より試験片を採取して写真-3に示す耐水圧試験機で、2MPa まで加圧して耐水圧性

を確認し溶着品質に掘進やセグメント組立の影響がないことを確認した。

(7) サイクルタイム

このクラスの径での目標とした防水シート1リングの所要時間25分に対して、実験より得られた巻立時間は21分で、目標を達成することができた。

また、実験結果より試算すると、中口径・大口径に対しても充分対応できることが確認できた。

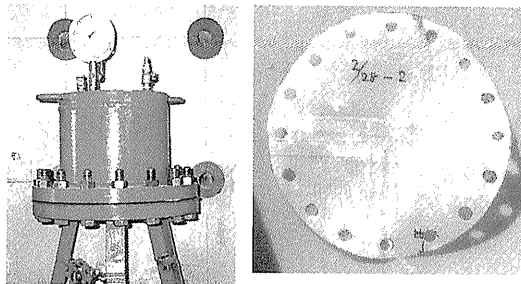


写真-3 耐水圧試験機と試験片

5. おわりに

平成12年度からラッピング工法の開発に着手し、施工技術を確認してきた。その後、以下に示すように、適用範囲の拡大、品質の向上およびコストダウンを目指し種々の改良技術の開発に取り組んできた。

- ①ラッピング工法用防爆システム
- ②ラッピング工法用可とうセグメント
- ③改良型シート巻立固定装置

本工法は、大深度地下を有効利用する上で必要な技術であり、さらなる技術の向上を図るには、実工事へ適用され実績を積み重ねることが必要不可欠と思われ、さらなる努力を行う所存である。

近々、現場にて実証する予定であり、今後、さらに本工法の普及を図る予定である。

24. 泥水式斜坑推進工法で施工した大深度換気立坑の施工機械設備

横浜市 下水道局：黒川 満、清水建設㈱：*飯泉 勝、
久原 高志

1. はじめに

近年、推進工事における施工技術は急速に発展し、延長1,000mを超える超長距離、曲線半径10m以下の急曲線施工や急勾配施工などが報告されている。今回報告する推進工事施工事例は急勾配というよりは立坑と表現した方がふさわしいほどの特殊な斜坑推進工事である。

建設工事場所は横浜市保土ヶ谷区の国道1号線直下。地下87mの深さに、地域の浸水被害防止、軽減を目的として、内径10.8m、延長2,000mのシールドトンネル式地下調節池（今井川地下調節池）が建設され、平成13年度より暫定供用されている。今回の特殊な推進工事は、この供用中である地下調節池の換気用立坑として、国道に隣接する高台の公園敷地内地表面から伏せ角度75.6度で呼び径2,000mmの泥水式推進工を実施し、供用中の地下調節池シールドトンネル頂点に接続するものである。（図-1 地下調節池施設概略図、

図-2 換気孔断面および土質縦断図参照）

接続部での地下水圧は0.66MPaにもおよび、通常の推進では考えられない大きな水圧や、大きな浮力が作用するため、機械設備には数多くの対策を必要とした。

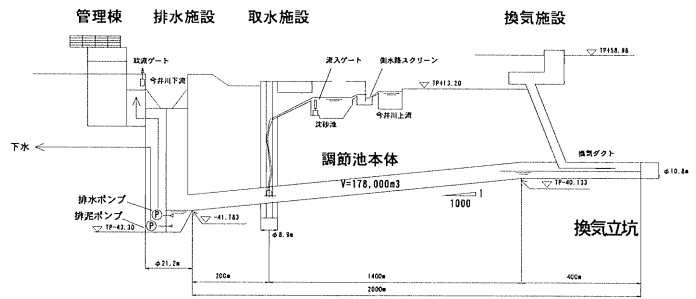


図-1 地下調節池施設概略図

2. 工事概要

工事内容は下記のとおり

- ・ 工事件名： 今井川地下調節池建設工事（その10）
- ・ 企業者： 横浜市下水道局
- ・ 施工者： 清水建設株式会社
- ・ 工期： 平成13年12月27日～平成15年3月31日

工事内容

①泥水式推進工法

- ・ 管種： 呼び径2,000mm ダクタイル推進管
- ・ 延長： 87.7m
- ・ 勾配： -389%（伏せ角度75.6度）
- ・ 土質 盛土、ローム、洪積粘土、砂礫、細砂、固結シルト

②推進仮設備工

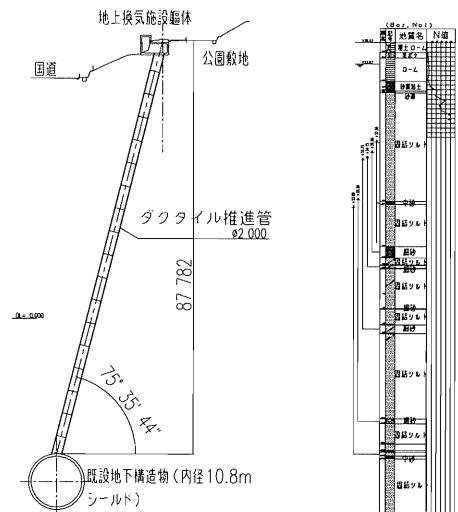


図-2 換気孔断面および土質縦断図

- ・反力構台
- ・斜坑エレベータ
- ・管固定用浮上り防止装置

③地盤改良工

- ・到達防護薬液注入（地下調節池シールド内部から）

④調節池内支保工

- ・到達部シールドセグメント変形防止用支保工

⑤換気施設躯体工

⑥付帯工

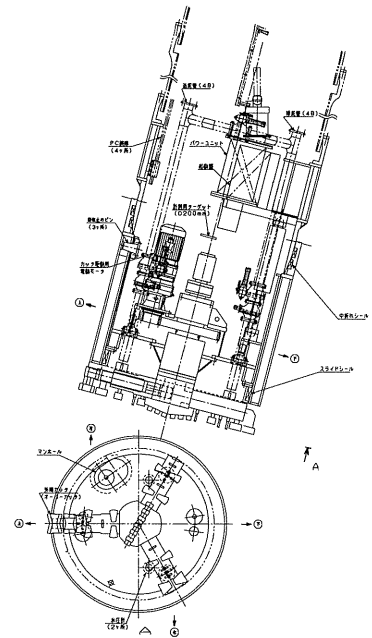


図-3 泥水式掘進機

3. 土質概要

推進工事を施工する箇所の土質は、第三紀鮮新世～第四紀前期の更新世に堆積した上総層群（固結シルトおよび細砂）を基盤とし、上位に相模層群（層厚さ：砂礫0.5～1.0m、粘性土2.0m）、ローム（層厚さ4.0m～5.0m）、黒ボク（層厚さ1.5m）が堆積している。

上総層群は固結シルトを主体とし、厚さ1cm～2.4mの砂層を挟在する。

この挟在砂層は全体的に若干の傾斜を有し、ちょうどシールドとの接続箇所厚さ50cm程度となっている。

上総層は硬質(N値>50)であり、一軸圧縮強度で2.7N/mm²を有している。挟在している砂層は細砂を主体とし、粒径は均一で、良く締まっている。砂層の透水係数は1.1×10⁻³～9.6×10⁻³cm/secを示し、到達部での間隙水圧は0.66MPaである。

表-1 掘進機仕様

4. 推進用設備

4. 1 泥水式掘進機

泥水式掘進機は下記の対策を考慮した仕様で製作した。(図-3 泥水式掘進機、表-1 掘進機仕様参照)

①高水圧対策

- ・全てのシール類の止水性能は 1MPa（水深100m 相当）仕様。

②固結シルト層における掘削性の向上

- ・先行ビット配置による切削性の向上。
- ・カッタスポーク背面に攪拌翼を設けチャンバ内固結を防止。
- ・フィッシュテールビットの配置で、カッタ中心部の切削性向上。

③斜坑推進精度の確保

- ・方向修正方法として全方向最大中折れ角 1.0 度の中折れ機構（球面中折れ）
- ・最大余掘り量 50mm の伸縮式オーバーカッタを1基装備。

項目	仕様
外径 × 全長	φ2209 × 3880 mm
方向制御ジャッキ	700KN × 500mm × 6本
カッタトルク	(最大) 60.6 kN-m
カッタ回転数	3.5 min ⁻¹
オーバカッタジャッキ	79.4 kN×225mm×1本

④到達部地下調節池との接続部の防護

・スライドフード（外筒）機構による到達部地山開放域の縮減。

・到達部で掘進機周辺に薬液注入できる構造。

⑤解体作業の簡素化

・主要解体品は全てボルト接合。

・カット駆動部を2分割のボルト接合（大ブロックにて解体引き上げ可能）。

4. 2 推進仮設備

斜坑推進という特殊性を考慮して各設備機械の設計製作を行った。地上の仮設備全体を図-4と写真-1に示す。下記に各設備について特色を述べる。

① 元押しジャッキおよび反力構台

・元押しジャッキ横行スライド（推進管の投入・据付や斜坑内の揚重作業が容易）

・発進レールの設置（推進管投入接続作業時のガイド）

・長さ 2.8m のストラット使用（推進管長さ 5.0m に対し、元押しジャッキ最大ストローク 3.0m）

・元押しジャッキの能力 2,000kN/本×4 本=8,000kN（計算最大推力値から）

・グラウンドアンカーによる反力確保（アンカー引抜き力は元押しジャッキと同じ）

②管固定用浮き上がり防止装置

・元押しジャッキの圧力解除・推進管接続時の地下水による浮力による浮き上がり防止（パワーケーシングジャッキ：引抜き力 3,600kN）

・グラウンドアンカーによる反力確保（アンカー引抜き力はパワーケーシングジャッキ能力と同じ）

③斜坑エレベータ

・斜坑内での作業（ダクトイル推進管継手内面の止水処理や送排泥管、掘進機、排泥ポンプ等の電源および操作線の接続作業）足場および斜坑内点検等のための昇降設備。

・エレベータ構台頂部が前後にスライド可能（推進管の投入・据付け時の支障となるため）。また上端部エレベータガイドレールは上下にスライド可能。

・エレベータ駆動方式はワイヤロープ式（推進管の継ぎ目

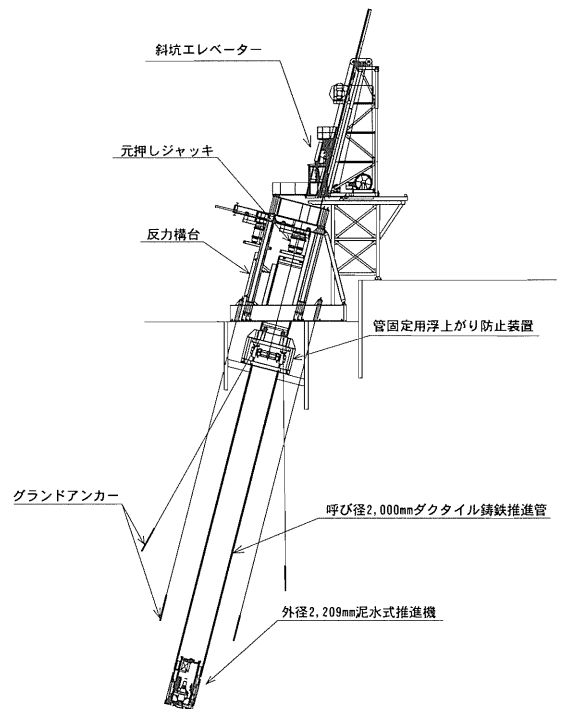


図-4 仮設備全景

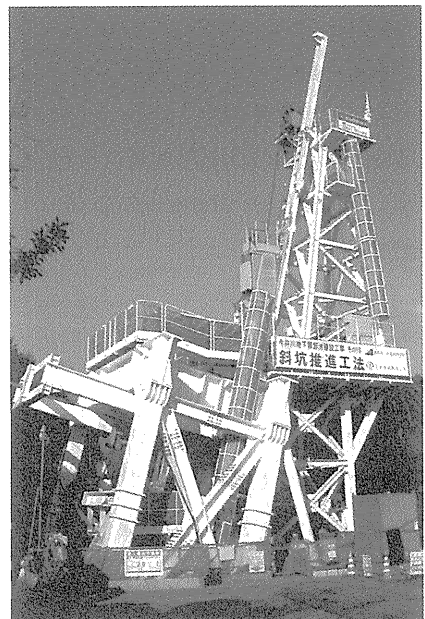


写真-1 地上仮設備全景

における目開き等によるガイドレールの微妙なズレへの対応)

④測量機器

・地上の構台上から計画トンネル軸線をレーザ光線により掘進機に取付けたターゲット板まで照射し、そのターゲット板を CCD カメラで撮影し、運転操作室で監視。

・自動追尾ノンプリズム式光波距離計内蔵のレーザセオドライドを使用（地上に設置した基準点 (X, Y, Z 座標) を 3 点視準することにより、自器の座標を自動計算するプログラム内蔵)

これらの仮設備は、製作工場にて仮組み、試運転調整後、現場への納入・組立を行った。試運転調整においては、実際に工事で使用する推進管を仮設備の製作工場に持ち込み、推進管の投入・接合作業を行って、現場で使用する際に起こりうる不具合を未然に防止した。

5. 推力の算定

設備計画に必要な斜坑推進の推力算定は下記の計算により求めた。

$$F = Fw + Fm - Wg - Wh$$

F : 総推力

Fw : 浮力

Fm : 推進抵抗力

$$Fm = F_0 + f_0 \times L$$

(F_0 : 先端抵抗力、 f_0 : 周面抵抗力、 L : 推進延長)

Wg : 推進用掘進機重量

Wh : 推進管重量

総推力 $F \approx 6,500\text{kN}$ となり、計算結果から、装備する推進用ジャッキは $2,000\text{kN} \times 4$ 本とした。また、推進開始から 30m 程度までは掘進機と推進管の重量合計の方が浮力よりも大きく、自重で掘進機が地山に食い込んでしまうため、掘進機を吊り下げながら掘進することとした。



写真-2 推進管投入状況

6. 推進工

6. 1 施工サイクル

斜坑推進工事の施工サイクル概要を下記に示す。

- ①推進管投入 (写真-2 推進管投入状況参照) : 既設の推進用泥水配管および配線類の切り離し→クレーンを使用し、ダクタイル推進管投入→反力構台の発進レールに沿って管の設置
- ②推進管接続 : エレベータ構台が前進・移動→エレベータガイドレール下降および接続→エレベータ下降および管内部接続作業 (同時に管外部接続作業) →エレベータおよびエレベータガイドレール上昇
- ③一段目掘進 : 泥水配管、配線類接続→エレベータ構台後退および元押しジャッキ横移動設置→管固定装置を解除→元押しジャッキ伸びにより掘進 (ストローク 3,000mm)

- ④ストラット設置：管固定装置を作用し管を固定→元押しジャッキ縮およびジャッキ横移動→ストラット投入・設置
- ⑤二段目掘進：元押しジャッキ横移動設置→管固定装置を解除→元押しジャッキ伸びにより掘進（ストローク2,000mm、合計5,000mm）
- ⑥ストラット撤去：管固定装置を作用→元押しジャッキ縮および横移動→クレーンにてストラット撤去
- ⑦掘進（1本）完了

6. 2 施工実績

浮力よりも重量が優る区間では掘進機は重量により地盤に食い込まないように吊っておく必要がある。この区間では平均掘進速度約10mm/分で施工した。また、掘進機を吊るのはPC鋼棒で計画していたが、実施工においてPC鋼棒の盛替えや、緊張力の調整が複雑であるため、管固定装置のパワーケーシングジャッキの上下伸縮による掘進速度調整に切り替えた。その結果、継手のガタによる伸びにより先端掘進機は垂れる傾向を強く示した。対策として掘進機中折れ装置を作用させ前胴を持ち上げるようにして姿勢を維持するようになった。

掘進の深度につれて浮力が大きくなり、元押しジャッキを必要とし始めたのは深さ25mからであった。

計画掘進速度20mm/分、計画日進量1本(5.0m)/1日に対し、実績は前半平均15mm/分、後半平均10mm/分で、2本(10.0m)/3日の施工ペースであった。姿勢制御については推進管先端に作用する浮力により先端が持ち上がるとうする傾向を強く示し、対策として掘進機中折れ装置を作用させ前胴を下に折るようにして姿勢を維持するようになった。(図-5

推進管蛇行量グラフ参照)

推力は大きくばらつき1,500~3,800kNを示した。掘進時の切羽泥水圧力や推進速度の変化に加え、方向修正による周面抵抗に敏感に反応したものと考えられる。推力の

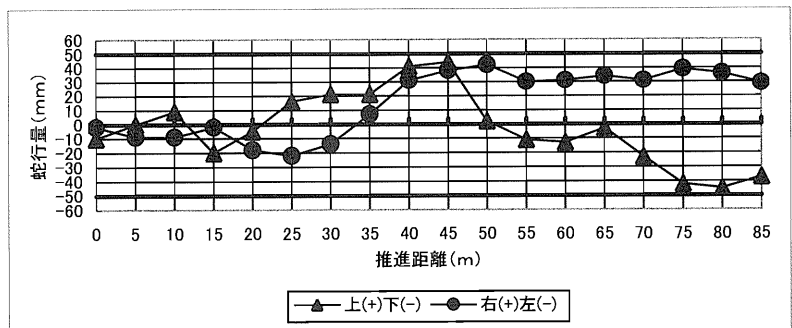


図-5 推進管蛇行量グラフ

実績を図-6 推力推移グラフに示す。

また到達時の精度は X 方向+29mm、Y 方向37mm で掘進途中の蛇行量も通常の推進工事の管理値(±50mm)以内であった。

7. 掘進機内部解体・引上げ

到達部の地下調節池シールド坑内での作業は資機材の投入搬出口

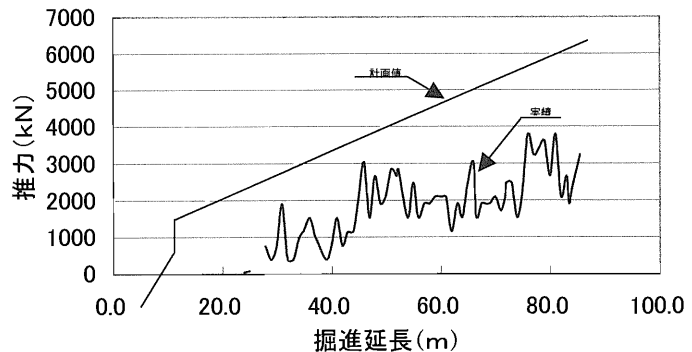


図-6 推力推移グラフ

が他の工事（地下調節池排水施設工事）との競合になっているため、大幅に制限されていた。そのため掘進機の解体された部材は、全て斜坑を通じて地上に引上げを行うこととなった。また作業員が内径2.0mの推進管内部を87m下り、人力で解体し、部品を地上に引上げるのは非常に危険であると判断し、事前の計画段階で機械内部部品を一括して引上げることとしていたが、この方法により安全性が確保されたのと同時に大幅な工期短縮が可能となった。引上げ作業は2日間（昼間のみ）で完了した。（写真-3 掘進機内部解体・引上げ状況参照）

8. おわりに

今回、通常は横方向に掘進する推進工法で縦方向の掘進を高精度で施工することができた。推進管の重量や浮力といった要素が大きく係わってくるために、推進反力の算定時には圧入ケーソンの沈下関係図を応用してみたが、種々の荷重の関係を整理して考えるのには有効な方法であったと思える。

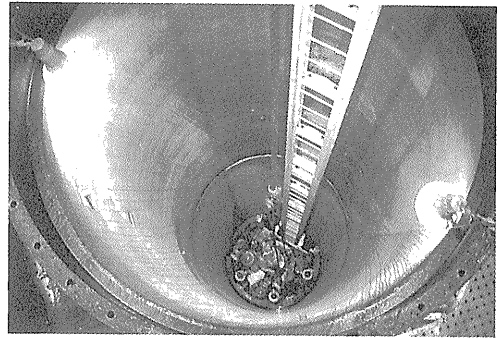


写真-3 掘進機内部解体・引き上げ状況

施工においては、測量、墨出しから、資材投入・設置まで全てのものを斜め75.6度で施工したため非常に気を遣う工事ではあったが、極めて高精度で地下87mの既設シールドに到達することができた。

最後に、推進工法で斜めや縦方向のトンネルも施工可能であるという認識が広まることで、大深度地下へのアプローチや換気立坑、ライフラインへの接続用立坑等、今後の本工法の需要を期待したい。また、本報告が今後の類似工事に携わる方々の参考になれば幸いである。

参考文献

「高水圧下における斜坑泥水推進工法による施工」－今井川地下調節池建設工事（その10）－扇原 博他 建設の機械化 2003年2月

25. 低土被りシールド機の開発と掘進実証試験の実施

大成建設(株)：*小林 弘太郎、石川島播磨重工業(株)：中根 隆

1. はじめに

交差点部や開かずの踏切部の交通渋滞解消は社会のニーズであり、国や地方自治体等の重要な施策の一つとなっている。しかし、その工事により更なる渋滞が長期間発生し、工事着手出来ない場合が多く、渋滞を発生させずに立体交差施設を構築する技術が要求されている。そこで、渋滞発生の少ない非開削工法であるシールド工法で、超浅深度施工を可能とするルーフプロテクトシールド工法を開発した。本工法の特徴は、図-1 に示すようにシールド機の上部

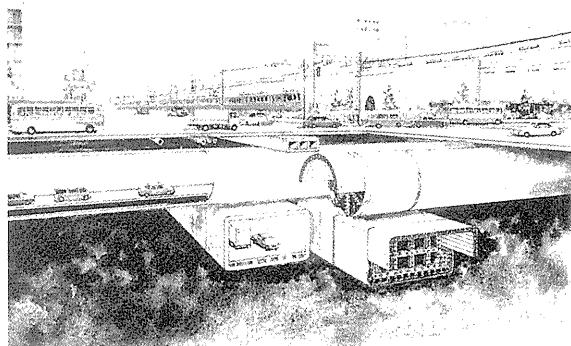


図-1 工法イメージ図

に装備した先受け機構としての「ルーフプロテクター」により、シールド掘進時の切羽の緩みを遮断し、地盤変状を抑制し、トンネル等の超低土被り施工を可能とすることである。このルーフプロテクターには、低土被り掘進時の地盤変状を防止するために、一般の泥土圧式シールド工法と同様の掘削・排土・土圧調整機構が組み込まれているが、従来と形状や規模は異なる。そこで、これらの機構が、超低土被り施工時に必要である高精度な土圧値で制御可能であることを実証するために、当社と石川島播磨重工業株式会社は2002年12月に掘進試験を行った。

本論文では、ルーフプロテクトシールド工法の概要と超低土被り施工時における泥土圧管理に関する数値解析検討、並びに掘進実証試験の内容及び結果について報告する。

2. 工法の概要

本工法は、前述の通りシールド機の上部に装備した庇状のルーフプロテクターにより、トンネル等の超低土被り施工を実現するものである。この庇状のルーフプロテクターは、トンネルのフォアパイリングやパイプルーフと同様の切羽の先受け機構であり、切羽を常に先受けしながら、地中を掘削するためのものである。本工法は、このルーフプロテクターの他、「外面摩擦低減工」、「最適裏込注入機構」、「シールド機姿勢制御機構」の低土被り対策技術から構成されている。

低土被り掘進時の切羽安定機構を以下に示す。

①密閉型ルーフプロテクトシールド機

図-2 に示すようにシールド機本体掘進時に発生する切羽の緩みを、ルーフプロテクターで機械的に遮断することで、地表面への地盤変状の影響を防止する。ルーフ長は、対数螺旋式による切羽の緩み範

囲としている。

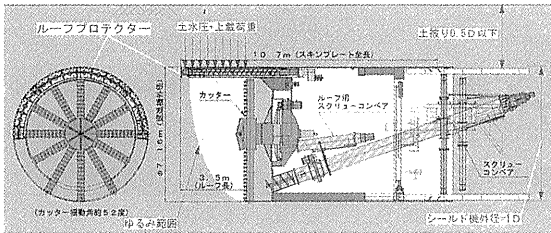


図-2 工法概要図（密閉型）

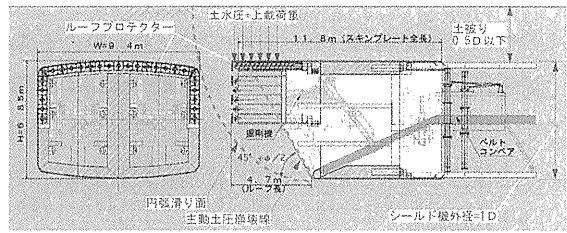


図-3 工法概要図（開放型）

②開放型ルーフ プロテクト シールド機

図-3 に示すように主動土圧崩壊線をルーフプロテクターで機械的に遮断することで、地表面への地盤変状の影響を防止する。更に、円弧滑りによる滑りの安全率も大きくなり、これらのルーフ効果によって、地盤改良規模を低減することが出来る。ルーフ長は、円弧滑りに対する安全率が 1.2 以上となるように設定する。

本工法の主な適用範囲とその効果を以下に示す。

- ①超低土被り施工が可能のため、立体交差施設においてアプローチ部の延長短縮が図れ、立坑の浅深度化によるトータルコストの低減が可能。
- ②シールド工法であるため、従来の非開削工法と比較し、長距離施工及び曲線施工が可能。開放型では、地中障害物撤去も容易。
- ③低土被り対策技術を装備しているため、従来の非開削工法やシールド工法と比較し、地盤改良の規模を縮小し、コストの低減が可能。
- ④開放型では、矩形シールド機の断面を縦横方向に可変型とし、任意の断面を構築し、転用可能となることでトータルコストの低減が可能。
- ⑤多様なシールド機（密閉型、開放型、円形、矩形）にルーフプロテクターの取付けが可能。ルーフプロテクターには、可動式、固定式、一体式の3種類があり、用途に応じた使い分けが可能。

3. 泥土圧管理に関する数値解析検討

3.1 目的と概要

一般的な泥土圧式シールド工法では、通常、「主動土圧+水圧<P<静止土圧+水圧」のように、水平土圧として上限値と下限値から設定されている。しかし、低土被り施工時は、切羽直上付近の地盤において、沈下や隆起（噴発）が生ずる恐れがある。このため従来行われている水平土圧による土圧管理の他に、鉛直土

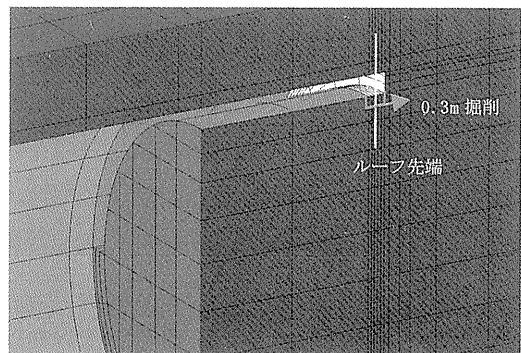


図-4 解析モデル

圧を考慮した土圧管理が必要となる。ところが、現状では、鉛直土圧を考慮した土圧の管理基準が明確にされていない。そのため、図-4 に示す解析モデルにて、低土被り施工時の3次元線形弾性FEM解析を行い、鉛直土圧も考慮したルーフプロテクター先端部の管理土圧の上限値と下限値を各々求めた。

泥土圧の下限値は、シールド掘進時に切羽の土水圧に対抗する泥土圧が不足し、地盤が破壊し緩むことのないように設定しなければならない。そこで、諸条件下での地盤の破壊安全率を解析によって求め、この破壊安全率が 1.0 となる泥土圧を下限値とした。

泥土圧の上限値は、シールド掘進時の泥土圧が過大で、地盤の隆起や泥土・泥水の噴発のないように設定しなければならない。この泥土・泥水の噴発する状態とは、地盤内に発生する最大主応力が引張側となる状態と考えられるため、この最大主応力が引張域に存在しない泥土圧の最大値を上限値とした。

3. 2 解析結果

1) 泥土圧の下限値

上載荷重 10kPa の土被り 1.5m での砂質土地盤の破壊安全率の分布図を図-5 に示す。この分布図で示すように、緩みや噴発等の掘削による影響範囲は、泥土圧が静止土圧である 20kPa の時に最も小さい。そこで、泥土圧が静止土圧の時の破壊安全率が 1.0 以上であることを確認し、粘性土の場合も同様の結果が得られた。以上より、低土被り施工時の泥土圧の下限値は、静止土圧程度であると言える。

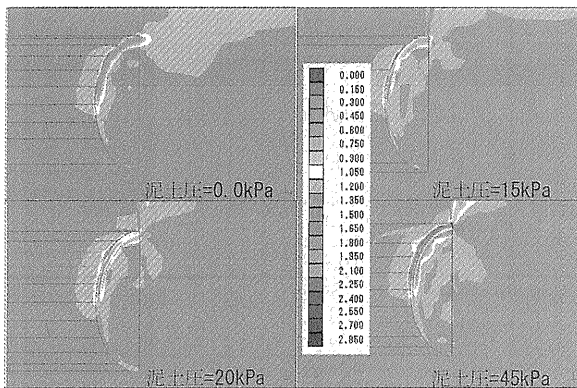


図-5 破壊安全率分布図

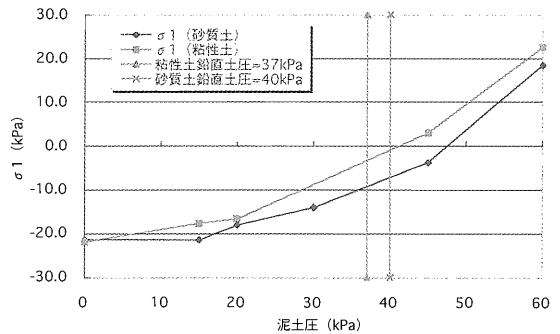


図-6 解析結果（最大主応力）

2) 泥土圧の上限値

図-6 に示すように、砂質土地盤の場合、ルーフプロテクター先端部の泥土圧が鉛直土圧 40kPa の 1.2 倍の約 48kPa を超えると、地盤の最大主応力 $\sigma_1 > 0$ となり地盤内に引張応力が発生し、地盤の隆起や噴発の恐れが生じる。粘性土地盤の場合も同様に、鉛直土圧 37kPa の 1.1 倍の約 41kPa を超えると、地盤の最大主応力 $\sigma_1 > 0$ となる。以上から、低土被り施工時の泥土圧の上限値は鉛直土圧であると言える。

以上より、上載荷重を 10kPa とし、砂質土地盤で土被り 1.5m の超低土被り施工時の場合、ルーフプロテクター先端部の管理土圧は、下限値が静止土圧より 20kPa、上限値が鉛直土圧より 40kPa と各々算定される。したがって管理土圧の変動幅は ± 10.0 kPa 以内となり、超低土被り施工時には非常に高精度な土圧制御が必要であることがわかる。

4. 掘進実証試験

4. 1 目的と概要

(1) 目的

ルーフプロテクターは一般の泥土圧式シールド工法と同様の掘削・排土・土圧調整機構が組み込まれ

ている。従来とは形状や規模の異なるこれらの機構が、前述の3次元FEM解析により算出した、超低土被り施工時に必要な高精度土圧値で制御可能であることを実証するために掘進試験を行った。

(2)概要

ルーフ プロテクト シールド実機のルーフプロテクターと同様の掘削・排土・土圧制御機構を装備した幅 500mm、高さ 1300mm の小断面形状の試験機を 1 台製作し、2002 年 12 月に大型実験土槽により、粘性土及び砂質土での掘進実証試験を行った。その試験状況を写真-1 に示す。

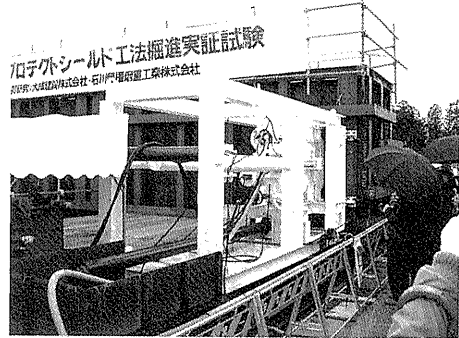


写真-1 試験状況

4.2 ルーフプロテクター試験機的设计

(1)試験機本体

写真-2 及び図-7 に示す試験機は、長さ 500mm、幅 50mm の一文字状カッター3 基が回転時に互いに干渉しない機構とした。切羽側から装置を見て、それぞれのカッターの切削軌跡内の隔壁部に加泥材注入孔を 3 箇所、隔壁上下に土圧計を 2 箇所設置した。掘進時の受台、転倒防止架台、反力装置の兼用と輸送・組立・移動性から、試験機本体をH鋼等で周囲を取り囲む構造とした。

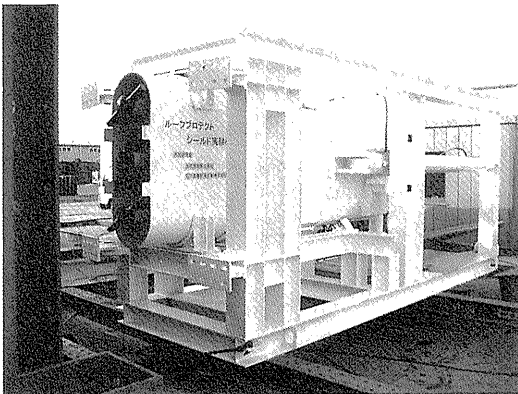


写真-2 試験機全体

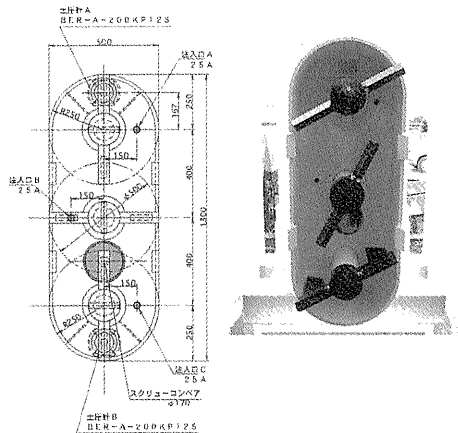


図-7 試験機正面

(2)カッター

チャンバー内の土砂を確実に混練し、塑性流動化させるため、それぞれのカッター背面に攪拌翼を設けた。混練効果を大きくするため、試験時のカッターの回転速度は通常のカッターの周速2倍程度で回転させた。カッター位置は、未切削領域を最小とするように、個々のカッターを互いに寄せるように配置した。そのため、カッター回転駆動は 1 台の油圧モーターから、3 基のカッターロッドに設置されたスプロケットに、チェーンで伝達し機械的に同期する構造とし、カッターの干渉防止を図った。

(3)スクリーコンベア

スクリーコンベアには通常の軸付フライトを採用した。スクリーコンベアの下流にゲートバルブを設置し、バルブ開度調整可能な仕様とした。

(4) 土圧計

低土被り施工時を対象とした試験であるため、切羽土圧を高精度に検出するために定格容量 200kPa、測定精度 2kPa の精密な壁面土圧計を採用した。

(5) 推進装置

試験機本体の推力用として、500kN ジャッキを 2 本設置した。推進反力は、試験機前面に設置した接続プレートを、試験土槽のH鋼とボルトや万力で接続することで、試験土槽の自重から確保した。

(6) パワーユニット

カッター回転、スクリーコンベア回転、ジャッキ推進は全て油圧で駆動を行った。回転数、推進速度の調整はパワーユニットに設置されているフローコントロールバルブにより作動油量を手動調整した。

4. 3 掘削地盤の選定

掘削地盤は地山相当地盤を想定し、流動化処理土による人工地盤を作成した。その物性は、砂質土系と粘性土系の 2 種類とし、N 値で 5～10 程度の地盤とするために、設定一軸圧縮強度を $\sigma_{28}=150\sim 200\text{kN/m}^2$ とし、予備試験を行った。その結果から以下の表-1 に示す試験時の計画配合を決定した。

4. 4 加泥材の選定

本試験では砂質土系には粘土付与用として水溶性高分子系の加泥材、粘性土系には付着防止用として界面活性剤系の加泥材を選定した。選定に当たっては、対象土質を前述の流動化処理土（材令 28 日）とし、泥土加圧シールド工法協会の積算資料により、砂質土系と粘性土系について各々濃度と注入率を算定し予備試験を行った。この結果から以下の表-2 に示す試験時の計画配合を決定した。

表-1 流動化処理土計画配合 (1.0 m³ 当り)

	泥水 (L)	硬化材 (kg)	細骨材 (kg)	遅延剤 (kg)
砂質土系	818	100	401	2.1
粘性土系	960	120	—	1.8

表-2 加泥材計画配合

	加泥材種類	水溶液濃度 (%)	地山土量に対する 注入率 (%)
砂質土系	水溶性高分子系	1.50	25
粘性土系	界面活性剤系	0.05	10

4. 5 掘進実証試験計画

試験装置の全体を図-8 及び写真-3 に示し、当試験の全体計画を以下に記す。

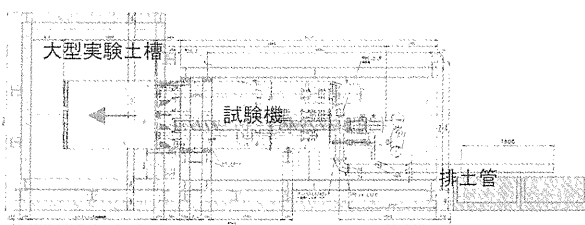


図-8 試験装置

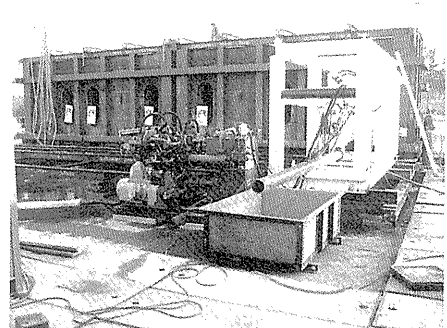


写真-3 試験装置

(1) 試験土槽及び掘進手順

試験土槽は山留材、鉄板、矢板等を用いた構造で中央部を仕切り、左右に各々粘性土系と砂質土系の流動化処理土を 50 m³ ずつ打設した。また、掘進試験機による掘削時の土被りを 1m とし、有効掘進スト

ロークを 1700mm とし、掘進終了後の水平移動により計 10 回掘削可能なものとした。

通常の泥土圧式シールド工法と同様の下記手順で試験を行った。1. ゴムパッキン式のエントランスを設置後、鏡割を行い、掘進試験機を発進させる。2. 試験土槽中を掘進速度 30mm/分に設定し、加泥材を注入しながらジャッキ推進し、掘削する。3. 掘削土砂を混練り・塑性流動化させ、切羽土圧を制御しながら、排土を行った。

(2) 設定管理値

- 1) 前述の 3 次元 FEM 解析結果の管理土圧変動幅 ±10.0kPa に対して、変動圧の管理値を ±7.5kPa 以内とし、高精度な土圧制御の実証を目標とした。
- 2) 排土スランプ値を 12~19cm とし、ルーフプロテクターによる確実な塑性流動化の実証を目標とした。
- 3) 定常掘進速度を 30mm/min とし、スムーズな排土の実証を目標とした。

4. 6 試験結果

砂質土の場合の土圧制御結果を図-9 に示し、粘性土も含めた全体の土圧制御結果を表-3 にまとめた。

下図は、掘進速度一定で掘進し、スクリーアの回転数を調整し、予め定めた土圧設定値に土圧をスムーズにコントロール出来ていることを示している。

- (1) 土圧設定値に対するルーフプロテクター先端部での土圧の変動幅を ±3~6kPa にて制御でき、高精度な土圧制御を実証した。この数値は、通常のシールド掘進時の土圧変動値が 30kPa であるから、通常の 5~10 倍の精度であると言える。
- (2) 排土スランプ値が 18cm 程度であり、ルーフプロテクター先端での確実な塑性流動化を実証した。
- (3) 定常の掘進速度 30mm/min にて試験を実施し、スムーズに排土出来ることを実証した。

土圧制御結果（粘性土）（掘進速度=30mm/min）

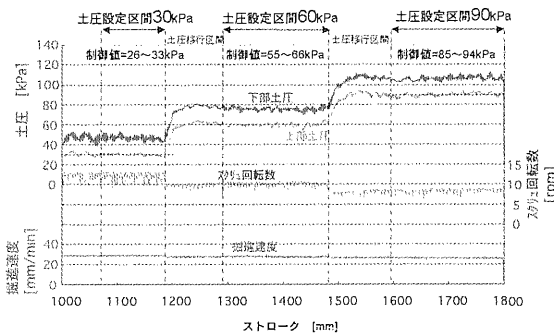


図-9 切羽土圧の制御結果

表-3 切羽土圧の制御結果

土 質	粘 性 土			砂 質 土			
	設定土圧 (kPa)	30	60	90	30	60	90
	制御値	26~33	55~66	85~94	26~34	54~64	84~95
土 圧	変動幅 (kPa)	+3	+6	+4	+4	+4	+5
		-4	-5	-5	-4	-6	-6
スクリーア回転数	制御値	13.9	10.3~10.5	8.5~8.8	13.8~14.0	12.8~13.3	12.0~12.8
	平均値	13.0	10.4	8.7	13.9	13.1	12.4

試験の結果、通常の泥土圧式シールド機とは形状や規模の異なるルーフプロテクターであっても、高精度な土圧制御を実現した。従来の一一般的な泥土圧理論が「ルーフプロテクトシールド工法」にも適用されることが実証されたことより、本工法の超低土被りでの安定掘進が確認されたと言える。

5. おわりに

アンダーパスによる立体交差化工法として、業界に先駆けて開発した本工法は、低土被り対策技術を装備しているため、近接施工工事など幅広く適用できる。様々な技術を駆使し、トータルコストダウンを可能とした本工法を都市再生事業に大きく貢献できる工法として積極的に提案し、早期実用化を目指している。

建設機械と施工法シンポジウム論文集（平成15年度版）

平成 15 年 10 月 1 日 印刷

平成 15 年 10 月 7 日 発行

編集 社団法人 日本建設機械化協会
発行所

〒105-0011 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 00120-4-183852

複製 厳禁

印刷所 共立速記印刷㈱

東京都千代田区飯田橋3-11-24