

平成13年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成13年10月25日～26日

東京・機械振興会館

社団法人 日本建設機械化協会

平成13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. チェーンの打撃力による「土質材料混合装置」の開発
..... 日本国土開発(株)：*佐藤 潤一、川上 博、
小幡 博志... 2
2. セルフクライミング式大型インクラインの開発と実用化
..... 清水建設(株)：菅原 尚也... 8

2. 【基礎とその機械】

3. ストランド（SRD）場所打杭工法の開発と実用化
..... 東日本旅客鉄道(株)：高崎 秀明、
大成建設(株)：近藤 昭二、*本多 清暢... 14
4. センターポール式深礎掘削工法
..... (株)大本組：*太田 俊行、小林 光雄、
佐藤 彰祐... 20

3. 【維持とその機械】

5. 打音検査自動化システムの開発
..... 佐藤工業(株)：*篠川 俊夫、歌川 紀之、伴 享... 24

4. 【舗装とその機械】

6. SSP施工機械の開発と施工

.....大成ロテック(株)：*多田 勝俊、松浦 千秋、
荒井 義昭… 28

5. 【除雪機械とその機械】

7. 運搬排雪車の開発

.....国土交通省 東北技術事務所：山尾 昭、*伊藤 圭、
工藤 貢… 34

6. 【環境・リサイクルとその機械】

8. 底泥置換覆砂工法

.....大成建設(株)：*小林 峯男、岡田 和夫、
上野 成三… 40

9. 堆肥化した木チップを緑化基盤材とする工法

.....前田建設工業(株)：*林原 茂、小口 深志、
安井 利彰… 44

10. 土圧シールドの掘削土再利用における流動化処理土製造方法の開発と実用化

.....帝都高速交通営団：藤木 育雄、
佐藤工業(株)：*小林 拓、花田 行和… 48

7. 【自動化・ロボット化・施工管理】

11. 遠隔測量システムの開発

.....(株)フジタ：*浅沼 廉樹、森 巖彦、
岡村 慶治… 52

12. 三次元マシンコントロールシステムによる現場施工の合理化

.....鹿島道路(株)：*鈴木 泰、
(株)トプコン：竹内 幸弘… 58

13. GPSを利用したダンプトラックナビシステム
鹿島建設(株)：青野 隆… 64
14. マトリックス演算手法を用いたトータルステーション変状計測システム
東日本旅客鉄道(株)：桑原 清、
 大成建設(株)：宮崎 裕道、*近藤 高弘… 70
15. 情報化施工による盛土締固め管理
 国土交通省 関東技術事務所：*門口 勉、持丸 修一、
 小坂 知広… 76
16. ジャンボマシンの作動特性を基にした地山地質構造の可視化
 室蘭工業大学：板倉 賢一、
 三井建設(株)：*山地 宏志、中野 陽一… 80
17. 電波を用いたシールドでの移動体所在管理システムの開発
佐藤工業(株)：*津島 信、中田 恭博、
 倉田 学… 86

8. 【建築とその機械】

18. (仮称) PCP丸の内ビル新築工事におけるスーパーストラクチャーフレームの施工
 (株)竹中工務店：*石川 敦雄、安富 良久、
 井ノ口 浩一… 90
19. ウェイクアップ工法の開発と実施～壁面鉄骨の安全・高精度建方技術～
(株)竹中工務店：西村 博之、竹内 満、
 *森田 将史… 96
20. 鉄塔生産システム～Tower-SMART System～
清水建設(株)：*西村 淳、衛藤 雅章、
 在田 浩徳… 102
21. 超高層RC集合住宅における機械化施工
 清水建設(株)：山崎 忍、水島 敏文、
 *廣瀬 豊… 108
22. 逆打ち工事における土砂フィーダ装置の開発
東急建設(株)：*大矢 和久、西尾 仁、
 木村 喜代司… 114
23. 鉄骨柱建起し装置の開発.....東急建設(株)：*遠藤 健、西尾 仁… 118

9. 【その他の機械】

24. デメテル工法（水中構造物の合理的な解体工法）の開発
.....京成電鉄(株)：大嶋 雅夫、(株)奥村組：*大河 澄男、
日立建機(株)：藤沢 勤… 122

10. 【トンネルとその機械】

25. 大断面泥土圧シールドにおける大型土砂圧送ポンプ採用実績の報告
.....佐藤工業(株)：*花田 行和、小林 拓、
軽込 茂… 128
26. 大型土砂圧送ポンプから発生する振動・騒音対策
.....佐藤工業(株)：*花田 行和、小林 拓、
軽込 茂… 134
27. コンパクトシールド工法の機械システムの開発
..... 東京都：高久 節夫、片岡 正造、
コマツ：*勝沼 清… 138
28. TBM用新システムによる合理的施工
..... 日本道路公団：源島 良一、
(株)奥村組：*中山 隆義、伊藤 健二… 144
29. トンネル活線拡幅工事の移動架台（プロテクタ）の開発
.....佐藤工業(株)：*小林 裕二、山本 徹、
北野 都教… 150
30. 長大トンネルずり搬出システムの開発
.....佐藤工業(株)：*城井出 義久、小早川 忠行、
今岡 彦三… 156
31. 小断面TBMの合理化施工システムの開発と実用化
.....佐藤工業(株)：*名村 均、北村 昭久、
佐々木 俊明… 162
32. バルクエマルジョン爆薬発破システムの開発と実用化
.....佐藤工業(株)：*京免 継彦、今村 仁悟、
馬場 真一郎… 168

1. チェーンの打撃力による「土質材料混合装置」の開発

日本国土開発㈱：*佐藤 潤一、川上 博、
小幡 博志

1 はじめに

建設発生土は本来、埋立、盛土、土地造成などの土工事に必要な建設資材であり、これらの工事において計画的に有効利用されるべきものであるが、需要の時期、使用場所、土質条件などの不整合や情報不足から有効活用されにくい状況である。したがって、建設工事の関係者が各々の立場で建設発生土の有効利用に関して創意と工夫を凝らし、有効利用することが求められている。

当社はこのような観点から、環境保全、経済性を考慮しつつ建設発生土と添加材とを同時に細粒化・混合処理可能な「ツイスター工法」を開発した。

従来の混合方式では、原材料の選別が必要で、別の破碎設備を必要としていたが、本工法ではこのような設備を必要とせず、同時に細粒化・混合が可能で、高精度な品質、良好な混合性および高い経済性を確保することができた。

2 開発の目的

建設工事発生材の有効利用を目的とし、次の工事を対象に装置の開発を行うこととした。

- ① 廃棄物最終処分場の遮水土の製造（礫混じり土、ベントナイト混合土、セメント混合土など）
- ② ダム貯水池における水面部の法面保護土の製造（セメント混合土など）
- ③ リサイクル材の製造（礫質土、無筋コンクリート、アスファルトガラなどの細粒化）

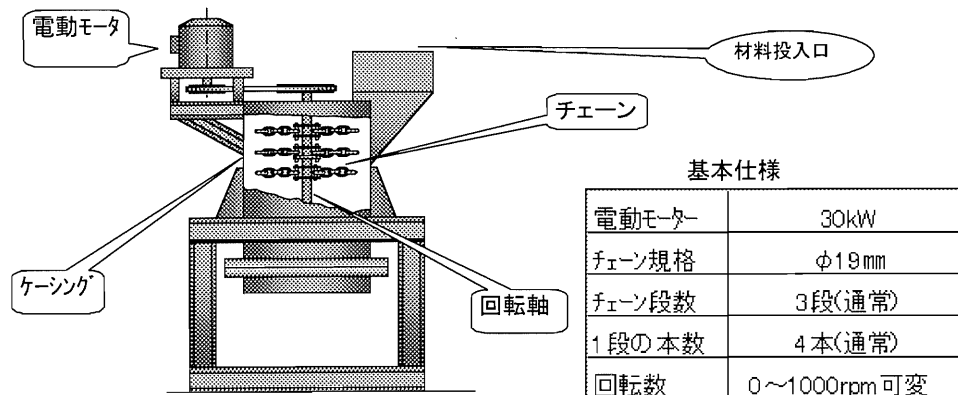
また、装置の設計にあたっては、以下の点に留意した。

- ① 設備がコンパクトで、設置・撤去が容易であること
- ② 適応土質の範囲が広いこと（岩から粘性土まで対応できること）
- ③ 添加材料との同時混合が可能であること
- ④ 製作コストが安価なこと

3 性能確認試験

3-1 試験機の概要と仕様

本装置は回転軸に取り付けた複数本のチェーンを電動モータで高速回転させることによって生じる打撃力で、土質材料を細粒化すると同時に添加材料の混合を行うものである。



3-2性能確認試験

本装置の基本的な性能確認と問題点の抽出を行うため、各種材料を使用して細粒化・混合試験を行った。表-1に各種材料の試験前後の粒度組成を示す。いずれのケースも試験後の最大粒径が小さくなるとともに均等係数が大きくなることが認められ、細粒効果の大きいことが認められた。

また、混合性能を評価するために処理土中のセメント含有量のばらつきを測定した(カルシウム分析)。表-2にセメント含有量の測定結果を示す。ばらつきの程度を評価する変動係数は7.1%で混合が極めて良好であることが確認できた。また、写真-1、2は混合前後の状況を撮影したものであるが土砂が細粒化され、混合状態も良好である。

表-1 粒度組成

土質材料		粒度試験(空气中ふるい)				均等係数 U _c
		最大粒径 (mm)	粒度分布(%)			
			2mm以上	2~0.074mm	0.074mm以下	
泥岩	前	250.0	100.0	----	----	----
	後	37.5	67.0	26.0	8.0	77.4
コンクリート	前	100.0	100.0	----	----	----
	テストピース	後	19.0	35.3	64.3	0.4
河床砂礫	前	37.5	100.0	----	----	1.1
	後	26.5	72.3	25.7	2.0	13.6
碎石	前	37.5	100.0	----	----	1.1
	後	26.5	72.4	27.1	0.5	18.0
礫混り土	前	37.5	57.0	30.9	4.1	8.0
	後	19.0	34.1	60.9	5.0	15.7
関東ローム 土塊	前	150.0	100.0	----	----	----
	後	19.0	67.0	32.0	1.0	5.0

表-2 セメント含有量の測定結果

サンプル点数	平均値	標準偏差	変動係数
点	(%)	(%)	(%)
10	4.5	0.320	7.1

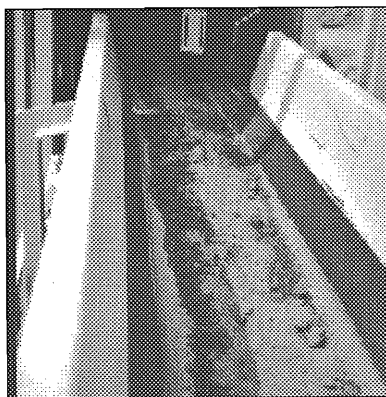


写真-1 混合前

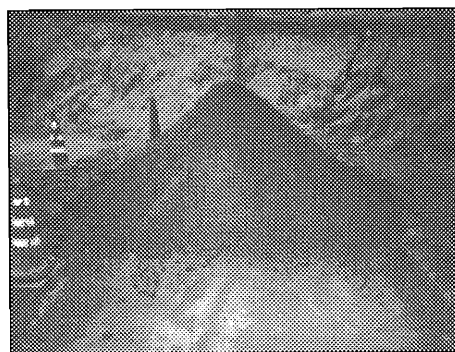


写真-2 混合後

3-3 試験機の問題点と解決策

本試験装置の基本的な性能は極めて優れていると認められたが、長時間運転におけるケーシング内部への土の付着により、以下の問題が明らかとなった。

- ① 付着土とチェーンの接触に伴うチェーンの摩耗
- ② 付着土とチェーンの摺動抵抗による電動機負荷増大
- ③ 付着土の除去による時間のロスと手間の増大

付着の状況を図-1に示す。以上の問題点に対して対策を行い、対策効果を観察するため試験を行った。その結果を表-3に示す。ケーシングへの対応に対してはエアノッカー、温熱シート、縦リブに若干の効果が認められた。チェーンへの対応に関しては先端部に耐摩耗特殊鋼を取付け現在試験中である。本体構造の変更による対応では逆テーパケーシング、強制掻き取り装置が効果大で、特に強制掻き取り装置の効果は良好であった。

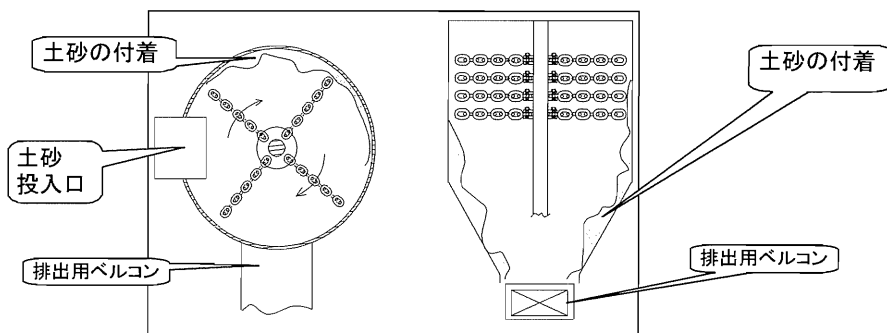


図-1 付着状況

表-3 対策試験結果

ケーシングへの対応	対策	エアノッカー	温熱シート	縦リブ	SUSライナー	X
	効果	△	△	△	×	
	評価	剥離性・良 剥離性・良 細粒化・良 効果なし				
チェーンへの対応	対策	高張力チェーン	先端ハードフェーシング		先端耐摩耗鋼	
	効果	△		×	△	
	評価	コスト・大		効果・小	コスト・大	
本体構造変更による対応	対策	逆テーパ型ケーシング	強制掻き取り装置			X
	効果	○	◎			
	評価	製造コスト・中	製造コスト・大			

4. 実機と施工実績

これまでの試験結果を踏まえ、生産能力、経済性および土質条件を考慮して表-4に示す3タイプの実機を製作し、試験施工を行った上で本工事に適応した。以下に施工実績と施工品質について述べる。

表-4 実機(3タイプ)

タイプ	装置の改良点	土質条件	目標条件
タイプ1	逆テーパ型ケーシング	砂質土、礫混じり土	土質が適合すれば、生産能力大
タイプ2	強制掻き取り装置	粘性土、高含水量	適応土質が広範囲、生産能力大
タイプ3	エアノッカー、温熱シート	砂質土、礫混じり土	生産能力は低い、機械費は小

* タイプ1はエアノッカー併用とした。

4-1 タイプ1 礫混じり砂質土対応機

工事名 : 郡山東部開拓建設事業 金沢調整池付帯工事(その2)工事

工期 : 平成12年3月~平成13年3月

目的 : ダム貯水池内の法面保護工として現地発生土(風化花崗岩、まさ土)のセメント安定処理土の製造

施工数量 : 25,500m³

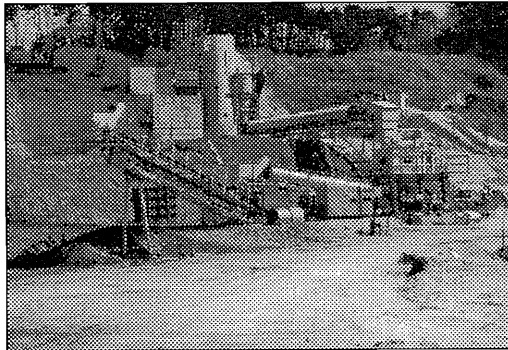
添加材料 : セメント(乾燥土砂質量に対して5%添加)

現地発生土 : 200mm以下の風化花崗岩混じりまさ土

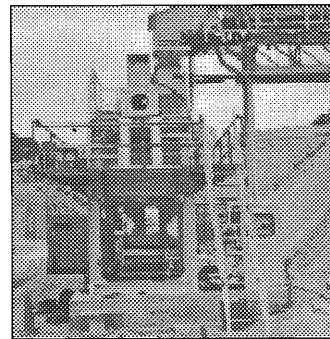
対応機種 : 逆テーパ型ケーシング(エアノッカー併用)

品質規格値 : 一軸圧縮強度 $qu_{28} \geq 0.98N/mm^2$

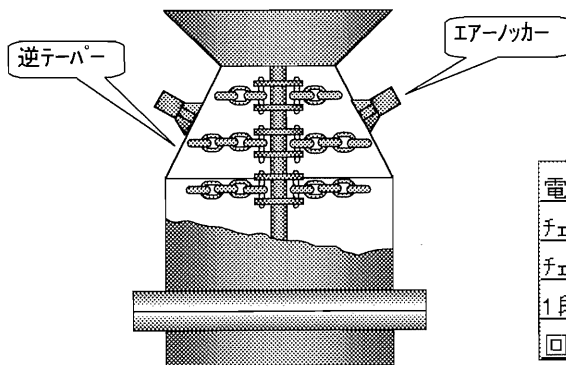
上記実績値 : 一軸圧縮強度 2.0~4.0N/mm²



プラント全景



ツイスター本体



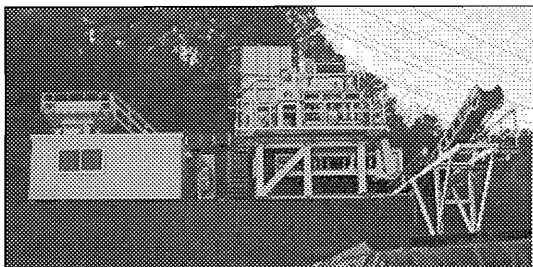
タイプ1 基本構造

タイプ1 基本仕様

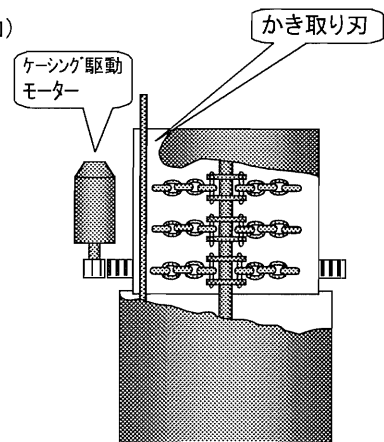
電動モーター	55kW
チェーン規格	φ19mm
チェーン段数	3段(通常)
1段の本数	4本(通常)
回転数	0~1000rpm可変

4-2 タイプ2 礫混じり粘性土(高含水比)対応機

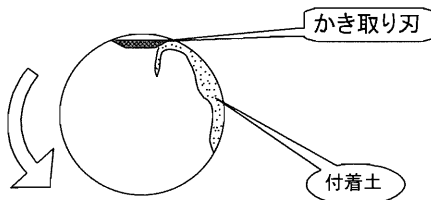
- 工事名 : 第2御前石最終処分場建設工事
- 工期 : 第1期工事 平成12年7月～平成12年8月, 第2期工事 平成12年12月～平成13年2月
- 目的 : 一般廃棄物最終処分場の遮水工のうち、置換工(遮水土工)として現地発生土を利用したベントナイト混合土の製造
- 施工数量 : 第1期工事 1,000m³ 第2期工事 1,500m³
- 添加材料 : ベントナイト(乾燥土砂質量に対して5%添加)
- 現地発生土 : 200mm以下の風化岩混じり関東ローム
- 対応機種 : 強制かき取り装置
- 品質規格値 : 透水係数 $K < 1 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$
- 上記実績値 : 透水係数 $1 \sim 3 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$



プラント全景



タイプ2 基本構造



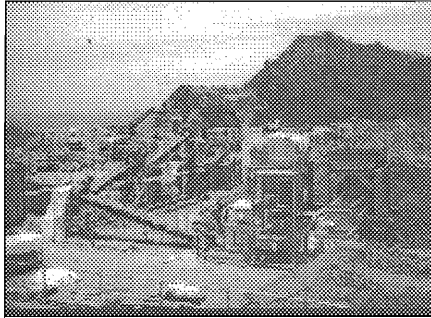
かき取り部詳細(平面)

タイプ2 基本仕様

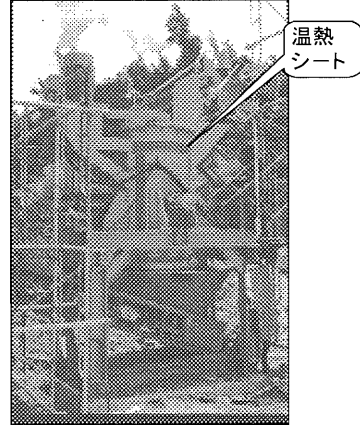
電動モーター	55kW
チェーン規格	φ19mm
チェーン段数	3段(通常)
1段の本数	4本(通常)
回転数	0~1000rpm可変

4-3 タイプ3 礫混じり粘性土対応機

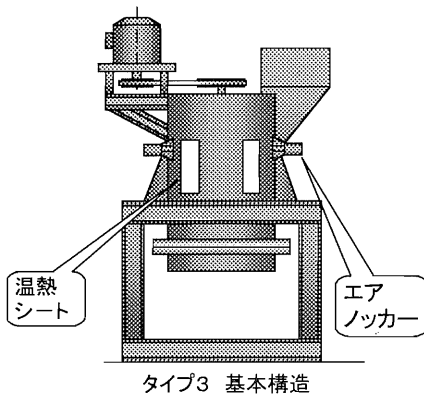
- 工事名 : 東京都小笠原村父島処分場施設建設工事
- 工期 : 平成12年7月～平成12年8月
- 目的 : 一般廃棄物最終処分場の貯留堰堤上流側の混合改良部に使用される現地発生土を利用したベントナイト混合土の製造
- 施工数量 : 1,500m³
- 添加材料 : ベントナイト(混合土の乾燥土砂質量に対して5%添加)
- 現地発生土 : 200mm以下の角礫岩とラテライト(化学的風化の進んだ極めて粘り気のある粘土)の混合土
- 対応機種 : エアノッカー+温熱シート
- 品質規格値 : 透水係数 $K < 1 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$
- 上記実績値 : 透水係数 $4 \sim 7 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$



プラント全景



ツイスター本体



タイプ3 基本構造

タイプ3 基本仕様

電動モーター	30kW
フェーン規格	φ19mm
フェーン段数	3段(通常)
1段の本数	4本(通常)
回転数	0~1000rpm可変

5. まとめ

これらの実施工により、それぞれの品質規格値を満足する結果が得られ、付着対策についても良好な結果が得られた。表-5はそれぞれの機種の特徴をまとめたものである。タイプ2は製造コストは大きい、適応土質範囲が大きく生産能力も高いことから比較的大規模施工に最適である。

表-5 各機種の特徴

タイプ	装置の改良点	生産能力	付着除去	混合性能	施工費	備考
タイプ1	逆ターバー型ケーシング	○	○	◎	○	適合必要
タイプ2	強制掻き取り装置	◎	◎	◎	○	適応性大
タイプ3	エアノッカー、温熱シート	△	△	◎	△	機械費小

6. おわりに

建設発生土の有効利用を目的としたツイスター工法は、約3年半に亘る開発期間と、本施工による経験のなかで当初の目的を達成することができた。本施工中においては、前述した付着以外の問題として大小さまざまなトラブルにみまわれ、対策を繰り返すことにより現在に至っている。

今後の課題としては、施工条件や仕様の違いから施工のニーズに合致させた形でのプラント設計をその都度実施しているが、本施工での実績を生かしプラント機械の汎用性、更なるコンパクト化を進め、本工法を低コストで手軽な手段として活用できるよう開発を進めていく所存である。

2. セルフクライミング式大型 インクラインの開発と実用化

清水建設㈱：菅原 尚也

1. はじめに

空港大橋を架設するために資機材を始め、掘削土砂搬出用ダンプトラックやコンクリートミキサー車を運ぶためインクライン設備が建設されている。本インクラインは、完成すると「最大積載重量 40t」、「昇降勾配角度 34°」、「最大移動距離 約 200m」、「最高速度 75m/min」の大型運搬設備となる。

インクラインはH型鋼で架設された架台上の軌道を昇降する。架台延伸作業は、インクライン台車上に 25t ラフタークレーンを積載し、ダウンザホールハンマーにより杭を打設し、架台を下方から 1 スパンごとに組み立てていく。従来工法では最先端に巻上機を設置するか、あるいはリターンシーブを先端に配置して、巻上機を下方に設置する方法しかなかった。しかし、架台延伸作業中はこれらを盛り換える必要があり、盛替作業が作業効率を下げる原因となる。このため、架台延伸作業時においても架台の資材及び作業構台の資機材を効率的に運搬できる新しい昇降方式のインクラインを開発・実用化したので、ここに報告する。

2. 工事概要

空港大橋は、広島空港と中国横断自動車道尾道松江線とを結ぶ全長 30km の地域高規格道路の一部である。図-1 に空港大橋架橋地点を示す。当共同企業体はこの橋梁工事の内、左岸側下部工の施工を担当している。橋梁下部工は勾配 34°～38° の傾斜地に建設されるため、工事で使用する「油圧ショベル、ダンプトラック、コンクリートミキサー車、移動式クレーン」等の重機及び「鋼材、鉄筋、覆工板」等の資材の運搬及び人員輸送のために「インクライン」を使用する。

工 事 名：主要地方道本郷大和線橋梁整備工事（空港大橋 左岸側 下部工）

工事場所：広島県豊田郡本郷町大字船木

工 期：平成 11 年 10 月 6 日～平成 16 年 12 月 28 日（63 ヶ月）

発 注 者：広島県

施 工 者：清水建設・鴻池組・広成建設 共同企業体

工事内容：作業構台 4 箇所、掘削工 約 36,000m³、法面工 約 4,600m²、深礎工 26 本
躯体工（橋脚工 6 基、コンクリート工 約 48,000m³、鉄筋工 約 7,400 t）
インクライン設備工（40 t・30 t 搭載）2 基

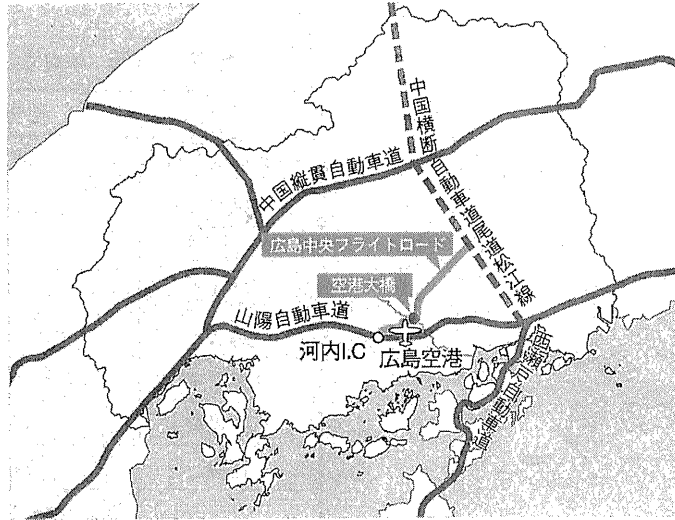


図-1 空港大橋架橋地点

3. 完成時のインクライン

図-2の工事概要図に示すとおり、インクラインは上段と下段の2基設置され各作業構台間の移動を行う。また、H型鋼で架設された架台上を昇降する設備であり、最終的には図-3に示す昇降機構となる。下方に「巻上機」を設置し、巻上機と台車を上方に配置された「上部シーブ」を介して、ワイヤロープで接続したものである。また、表-1に完成時のインクライン主要諸元を示す。

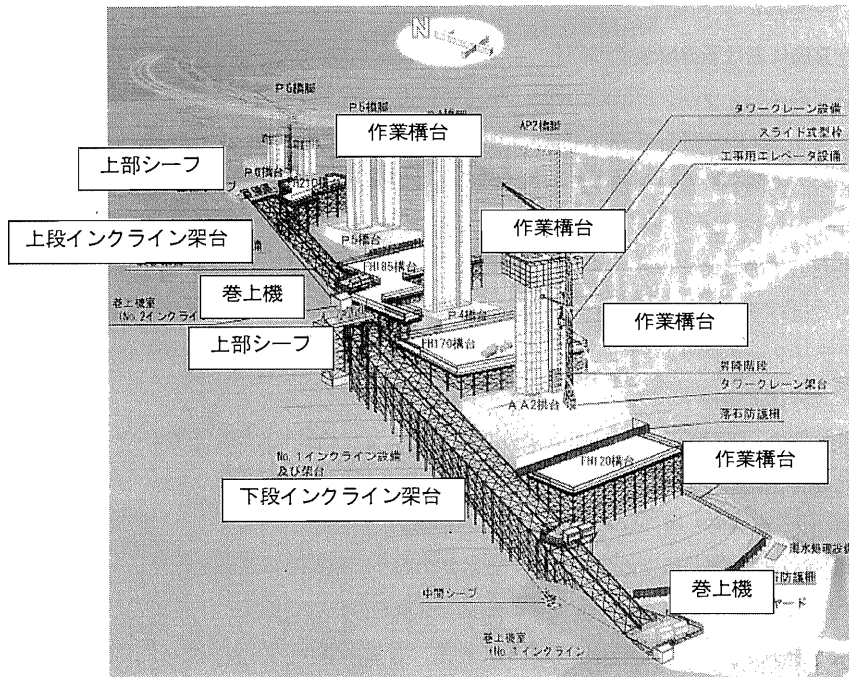


図-2 工事概要図

表-1 主要諸元（架台完成時）

項目	仕様
最大積載荷重	40t
台車質量	60t
停止位置	4箇所
軌道延長	199m
傾斜角	34°
台車寸法	14m×6.5m
軌条幅員	10m
定員	20名
操作盤位置	巻室・台車上・各停止場所 計6箇所
巻上機出力	800kW
台車運搬速度	75m/min, 70m/min, 60m/minの3段階
緊急ブレーキ	ディスクブレーキ

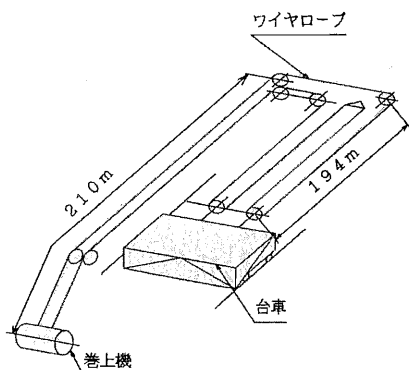


図-3 昇降機構

4. 架台延伸作業時における昇降装置の開発

最終設備としてのインクラインは前述の通りであるが、架台延伸作業はインクライン台車上から施工しており、架台を1スパン（水平距離L=5m）完成すると台車を上方に移動する必要がある。この架台延伸作業時において、簡易に台車を移動できる昇降装置を開発した。

（1）開発にあたっての条件

開発にあたっては以下のような条件があった。

- ① 台車上にラフタークレーンを配置し、ダウンザホールハンマーによる杭打ち作業を含むインクライン架台延伸作業を行う。
- ② 架台延伸作業時、架台が1スパン完成する度に、更に上方の架台を施工するため、台車昇降範囲を順次延伸できる。
- ③ 架台延伸に伴う資機材の搬入を本インクラインで行う。
- ④ 架台延伸作業と作業構台架設作業を併行する必要があり、重機等の運搬を行う。
- ⑤ 万が一、台車が逸走した際にも安全で且つ確実に台車を停止できる。

以上の要求項目を満足するための装置を検討した結果、台車がセルフクライミングできる「ラックアンドピニオン方式」のインクラインを開発・実用化した。

(2) ラックアンドピニオン方式の概要

図-4に「ラックアンドピニオン方式」インクラインの駆動部概要図、表-2にその主要諸元を示す。

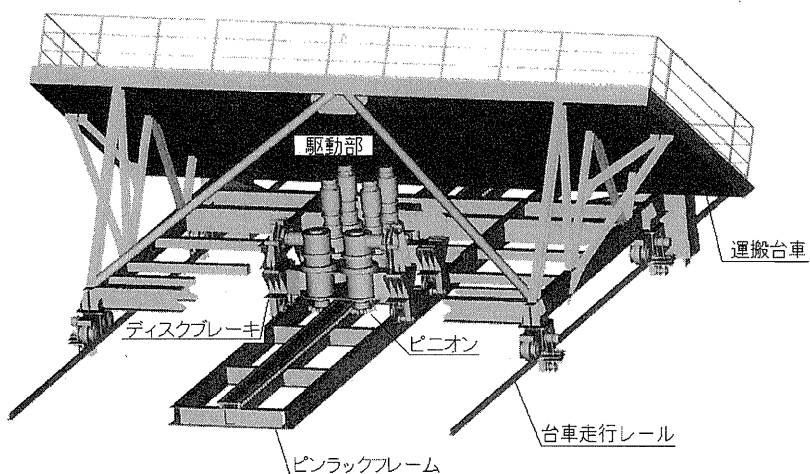


図-4 駆動部概要図

表-2 主要諸元 (架台延伸時)

項目	仕様
最大積載荷重	35t
台車質量	65t
停止位置	任意
傾斜角	34°
台車寸法	14m×6.5m
軌条幅員	10m
定員	20名
操作盤位置	台車上1箇所
巻上機出力	30/15kW×4/8P×4台
台車運搬速度	8m/min, 4m/minの2段階
駆動部減速比	1/345.1 (縦型遊星減速機)
ピニオン	P.C.D 507.5 (11枚歯)
ピンラック	Φ70mm, ピッチ 140mm
緊急ブレーキ	ディスクブレーキ

(3) 駆動部

本開発機は図-4に示すように重機を積載する「運搬台車」の内側に自力昇降のための「駆動部」を設けているのが最大の特徴である。

駆動部には独立したピニオンを前後6台（前後方向3台×2列）設置している。このピニオンで左右からピンラックフレームを挟み込む構造である。ピンラックフレームとはΦ70mmのピンを2列、140mmのピッチで配列しフレーム状に組んだものである。これをH型鋼で架設された架台中央桁上に配置する。

図-5にラックアンドピニオンによる駆動部側面図を示す。6台のピニオンのうち、前方4台のピニオンには減速機を介し、それぞれに電動モータ(30kW)が接続されている。この電動モータによりピニオンが回転すると、台車はピンラックに反力を取りセルフクライミングすることができる。

また、後方2台のピニオンには増速機を介し、ディスクブレーキが取り付けられている。インクラインが昇降する際、ディスクブレーキが接続されたピニオンはフリーに回転する。しかし、台車が逸走した際には、過速度検出器で台車運搬速度の130%を検出し、ディスクブレーキが作動する機構になっている。ディスクブレーキが作動するとそれに接続されたピニオンの回転が停止し、ピニオンがピンラックと噛み合うことで台車自体を安全且つ確実に停止させることができる。

この駆動部と運搬台車部とはそれぞれ独立した構造であり、お互いの揺れが伝達されないように、球面軸受を介し、ピン接続されている。また、駆動部は自重をピンラックフレームで支え、その上を昇降する構造になっているため、駆動部自体にも運搬台車部と同様に「車輪」「サイドローラ」「バックアップローラ」が取り付けられている。

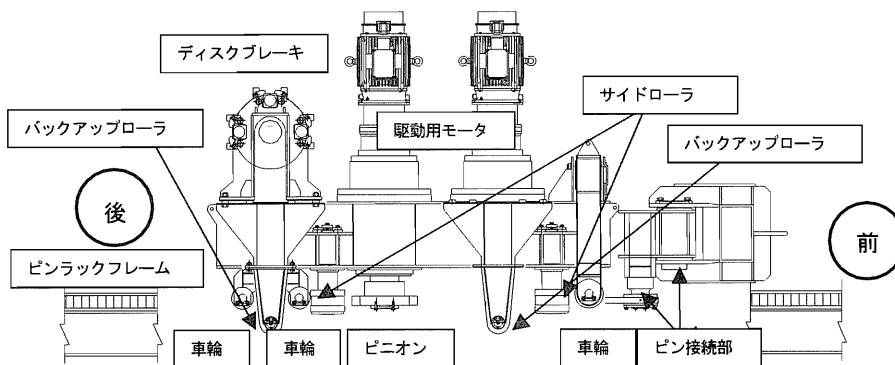


図-5 駆動部側面図

(4) 架台完成時の台車改造

下段インクライン架台は35スパンである。架台完成時、台車にはワイヤーロープが接続され、インクラインはワイヤーロープ牽引力により昇降する設備となる。このため、台車に取り付けられた駆動用モータ、ピニオン、減速機は不要となり撤去する。

ディスクブレーキは「ワイヤーロープ巻上方式」に変更した際も台車側に残される。ワイヤーロープ切断時、台車を非常停止させるためである。

また、前方の駆動用モータ撤去跡には、更に一組のディスクブレーキを増設する。これは「ワイヤー

ロープ巻上方式」においては台車運搬速度が最高 75m/min と高速であるため、ブレーキ熱容量の問題を解決するためと、一方のディスクブレーキが故障した際にも、もう一方のディスクブレーキにより台車を安全に停止させるためである。

5. 効果

インクラインの昇降を今回採用した「ラックアンドピニオン方式」によるセルフクライミングとしたことにより、以下のような効果をあげることができた。

- ① 台車はインクライン架台上において、任意の場所に移動、停止することができ作業性が向上した。
- ② 台車はインクライン架台延伸作業時においても、作業構台へ重機等を運搬することができた。
- ③ 他の盛替方式に比べ移動速度が速いため、所定の作業場所までスムーズに移動することができた。
- ④ 緊急時、ピニオンに取り付けられたディスクブレーキを作動させることで安全且つ確実に停止することができる構造となった。



写真－1 架台施工状況

6. おわりに

今回、急勾配の傾斜地をラックアンドピニオンでセルフクライミングするインクラインを開発実用化したことで、架台延伸作業時における作業効率を向上させることができた。また、ディスクブレーキによる制動で台車を安全にしかも確実に停止させることができ、台車上的における杭打ちを含むクレーン作業を支障なく安全に行うことができた。

今後は架台延伸作業と併行して資機材の運搬を必要とする同種の土木工事にも水平展開が可能であり、用途の拡大も図っていこうと思っている。

最後に、開発・実証を共に行ってきた三井三池製作所の担当者、ならびに採用にあたり、ご指導、ご鞭撻をいただきました関係各位の皆様に感謝の意を表する次第です。

3. スtrand (SRD) 場所打杭工法の開発と実用化

東日本旅客鉄道株：高崎 秀明、
大成建設株：近藤 昭二、*本多 清暢

1 はじめに

秋葉原駅改修工事は、つくばエクスプレス秋葉原駅新設に伴い、乗換客数が増大すると予想されるため、新しい駅コンコースの構築および、総武線と山手・京浜線の連絡通路の拡幅工事を行うものである。その施工方法は、まず現秋葉原駅の1F部分に高架橋を新設して、駅舎部を受け替えた後、既設の高架橋を撤去することにより、新しいコンコースを構築するものである。

改修工事にあたって、作業現場は高架橋下部で幅が狭く、極端に狭隘な空間であり、また、桁下の空頭制限も最低高さ2.75mと厳しい。したがって、高架橋の新設に際して、基礎部の場所打杭施工を行うには、従来の工法では、杭の鉄筋籠が空頭制限の長さで分割されるため、継ぎ手箇所が多くなってしまふ。そのため、施工が煩雑になり、コストアップにつながるるとともに、狭隘な施工場所でのクレーン等重機械を使用した危険作業時間も多くなってくる。

そこで、本改修工事では、鉄筋継手を必要としないstrand場所打ち杭工法を採用した。本稿では、strand場所打ち杭の特徴を紹介するとともに、工事の実施結果を報告する。

2 工事の概要

秋葉原駅改修工事の平面図を図-1に、断面図を図-2に示す。

2-1 工事概要

発注者：東日本旅客鉄道株式会社

設計：日本交通技術株式会社

施工：大成建設株式会社

工期：1999年12月14日～2004年10月29日

2-2 strand場所打ち杭の概要

strand場所打ち杭の配筋図を図-3-1と図-3-2に、および杭の鉄筋建込装置を写真-1に示す。杭は直径1.8m、長さ27mの場所打ち杭24本である。strand場所打ち杭は、軸方向鉄筋としてΦ16.5mmのstrandを3本束ねたものを36セット使用し、せん断補強鉄筋としてスパイラル状の高強度異形PC鋼棒を使用した。

杭の建込装置は、下部のローラーで自由に移動でき、油圧ジャッキにより高さが2.45mから4.3mに調整可能な構造になっており、鉄筋籠の下降用に10tチェーンブロックを1基、昇降ビームの盛替用に3tチェーンブロックを4基を装備している。また、その下部ステージにはターンテーブルが設置されており、スパイラル筋(帯鉄筋)が巻きつけられる構造になっている。

strand場所打ち杭のコンクリート打設量は1900m³、その施工期間は6月中旬から8月下旬の約1ヶ月半であった。

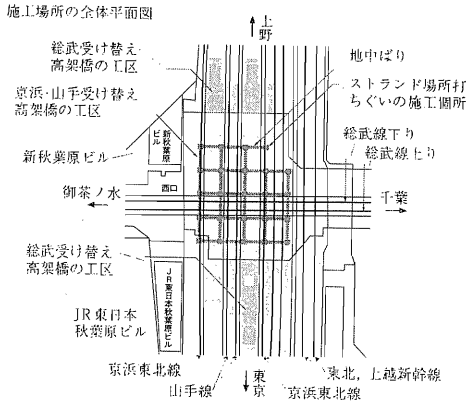


図-1 平面図

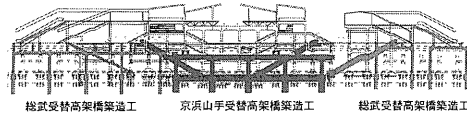


図-2 断面図

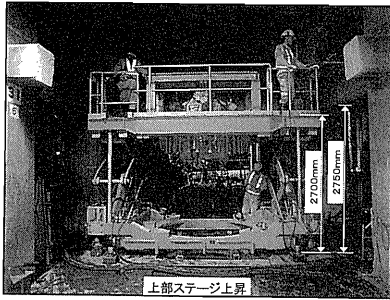


写真-1 鉄筋籠建込み装置

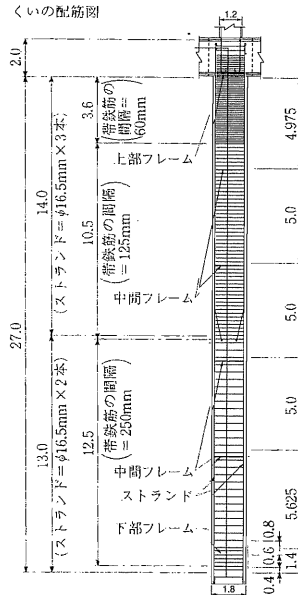


図-3(1) 配筋図

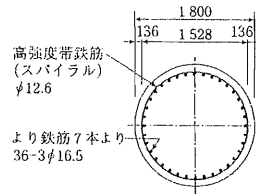


図-3(2) 断面配筋図

3. ストランド場所打ち杭の使用材料および部材特性

秋葉原改修工事に先だって、東日本旅客鉄道株式会社と大成建設株式会社の共同で低空頭での場所打ち杭工法の開発を平成8年から平成10年の3ケ年実施し、ストランド場所打ち杭工法の開発を行った。その開発の目標は、低空頭場所打ち杭→機械式継手をなくす→鉄筋籠建て込み作業の効率化→トータルコスト縮減である。

3.1 材料特性

ストランド場所打ち杭に使用されているストランド鋼材は、JIS G3506-1973硬鋼線材に適合した7本より線で、公称径として12.4mmと16.5mmの2種類がある。ストランド鋼材は通常の異形鉄筋に比べて高強度(規格降伏強度 900N/mm^2)だけでなく、フレキシブルに曲げ変形できることが最大の特徴である。本工事では、 $\phi 16.5\text{mm}$ のものを2~3本束ねたストランドロットを使用した。

ストランドの素線の表面は滑らかで異形鉄筋のような節がないため、縁切れ後のコンクリートとの付着抵抗の増加は期待できない。さらに、泥水中にコンクリートを打設する場所打ち杭の場合は初期滑り強度も気中打設に比べて低下する。そこで、初期滑り発生後の付着強度を向上させる目的で素線の表面にインデント加工(小さな凹み)を施すことにした。

ストランドの高強度を有効に発揮させるために、確実かつ効率的なコンクリートとの定着方法が必要である。ストランドは曲げ加工ができないため、通常の鉄筋のように端部にフックをつけて定着することはできない。一方、機械的な定着方法は可能であるが、コスト的に不利である。そこで、ストランド場所打ち杭工法では、VSLインターナショナル社が開発したHタイプ定着法(以下球根定着と略す)を採用して、杭頭および段落とし部でのストランドの定着長を大幅に縮めることができた。球根加工はストランドを建て込み時に行い、ハンドタイプの球根加工機を使用して現場で極めて簡単にできる経済的な定着方法である。

ストランド場所打ち杭工法では、通常の場合打ち杭に比べ高強度コンクリートの使用が要求される。その理由は、①ストランド強度とのバランス、②ストランドとの付着強度の確保、および③耐震設計上に部材変形性能の確保が挙げられる。本工事では、場所打ち杭に用いるコンクリートとして設計基準強度 42N/mm^2 の高強度タイプの自己充てん型高流動コンクリートを使用した。

3.2 部材特性

ストランド場所打ち杭の一連の要素実験及び部材確認実験を実施したことにより、ストランド場所打ち杭の曲げせん断特性を確認し、以下に示すような設計の考え方を得た。

1) ストランドとコンクリートの付着が十分でない場合、ストランド場所打ち杭の曲げ耐力と剛性は、通常の RC 部材に比べて低下する傾向にある。ストランドの素線の表面にインデント加工を施すことにより、ストランドが降伏するまで RC 部材としての曲げ耐力を確保することができた。また、部材の曲げ剛性は、設計荷重レベルではほぼ異形鉄筋と同等で、大規模地震時の降伏割線剛性においても異形鉄筋を使用したものの7割以上を確保することができた。

2) ストランド場所打ち杭工法では、構造性能の確保および施工の簡便さへの配慮から、杭のせん断補強鋼材として異形鉄筋に替えてスパイラルの高強度せん断補強鋼材(異形 PC 鋼棒)を使用することにした。スパイラルの高強度せん断補強鋼材によって補強されたストランド杭のせん断耐力は、従来の RC 部材のトラス理論による設計手法で安全側に評価できることが確認された。

3) ストランドの定着方法として直線部と球根部を併用することで定着長の短縮を図った。直線定着部(付着効果)が 60%、および球根定着部(付着効果とメカニカル効果)が 40%を分担することで、泥水中打設の場合でもストランドが降伏に達するまでの定着を確保できることが確認された。

4) 杭の水平繰返し載荷試験によって得られた履歴形状は RC 部材と異なり、繰返し載荷荷重の除荷時には原点指向の傾向が強かった。これについては異形鉄筋の履歴モデルを修正することで、ストランド杭の地震時挙動を概ねシミュレーションすることができた。

1 例として写真-2 にストランド杭の正負交番載荷実験の様子を、図-4に実験および解析シミュレーションの結果を示す。試験体の杭径は 850mm、杭長 3860mm、載荷実験のせん断スパン比 4.5、ストランドロッドは $\phi 12.4\text{mm}$ のストランドを3本束ねて 12 組(36 本)を使用した。コンクリート圧縮強度は 40N/mm^2 、導入した軸圧縮応力は 3N/mm^2 であった。

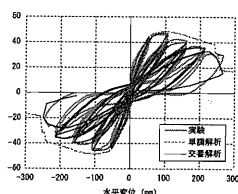


図-4 正負交番載荷実験及び解析シミュレーションの結果



写真-2 ストランド杭の正負交番載荷実験

4 施工方法

ストランド場所打ち工法は、TBH工法による掘削完了箇所において、ストランドの建込を行うものであり、その手順を図-5の施工フローに従って説明する。

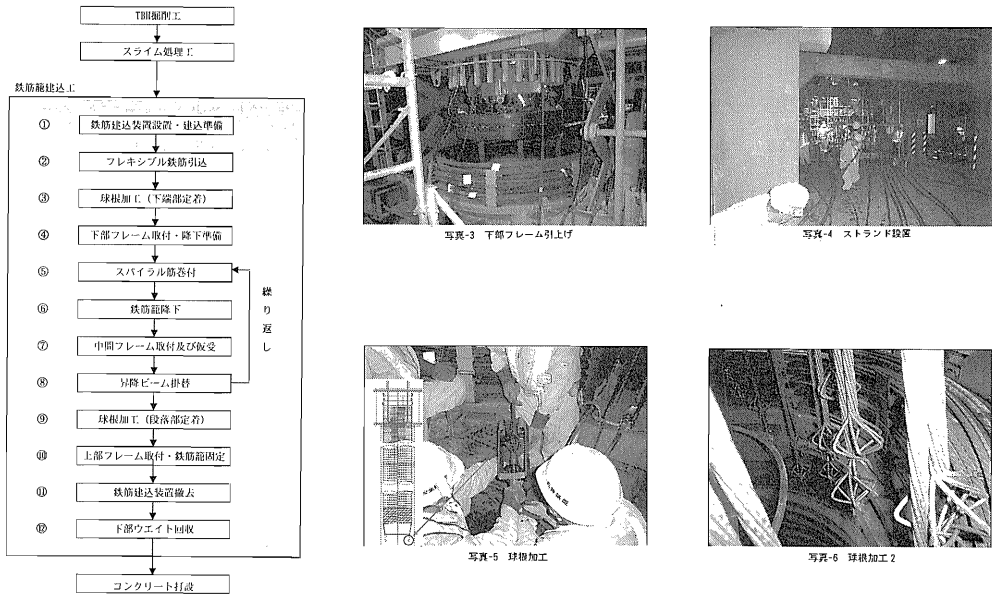


図-5 施工フロー

① 鉄筋籠建て込み装置設置・建込準備

TBHで地盤を掘削後、カンザシ桁を用いて下部フレームをセットする。その後、杭の施工位置まで建て込み装置を移動し、所定の位置に固定する。その後スパイラル筋をフォークリフトを用いて鉄筋籠にセットし、下部フレームを吊り上げる。(写真-3参照)

② ストランド引き込み

ストランドを引き伸ばし、建て込み装置の上部ステージからガイドパイプに引き入れる。ストランドはドラムで巻いても使用できるが、今回は長さがさほど長くないため、場内で引き延ばして用いた。(写真-4参照)

③ 球根加工

ストランドの定着力を高めるために、球根加工を下部、鉄筋段落し部、および上部で行う。ハンドタイプの球根加工機にフレキシブル鉄筋先端をセットし、油圧によって、球根加工を行う。(写真-5、写真-6参照)

④ 下部フレーム取り付け・降下準備

下部フレームは、鉄筋籠の平面形状と主筋ピッチ確保、及び鉄筋籠初期建込荷重の増加材としての機能を有する。手動チェンブロック(仮吊用)4基を用いて下部フレームを水平に調整する。固定治具を用いてフレキシブル鉄筋を挟み、ナットをインパクトレンチにて所定のトルクで締め付ける。ストランド先端の球根部が鉄筋先端の球根部が鉄筋籠の外側に突出して孔壁に接触しないように、中心方向へ絞り込む。(写真-7参照)

⑤スパイラル筋巻きつけ

スパイラル筋を順に引き上げて鉄筋籠に所定のピッチで巻付ける。主筋(フレキシブル鉄筋)との固定は、結束線又は、番線を用いて全交点の半数以上の結束を行う。主筋には事前に帯筋(スパイラル筋)の取付け位置のしるしを付けておく(写真-8参照)

⑥鉄筋籠降下

昇降ビームと下部フレームをロックピンで接続する。電動チェーンブロックを操作して、下部フレームの荷重を昇降ビームで受ける。この時、手動チェーンブロックが緩んだことを確認して、下部フレームから外す。スパイラル筋を巻付けながら鉄筋籠を降下させる。

⑦中間フレーム取り付け及び仮受け

鉄筋籠の形状保持、およびスペーサー取り付けのために中間フレームを5mピッチで鉄筋籠に取り付ける。鉄筋籠内に4分割された中間フレームを入れ、所定の位置に設置し、番線を用いて仮止めする。4分割の中間フレームをボルトナットで接合して組み立てる。固定金具でストランドを挟み、ナットをインパクトレンチにて所定のトルクで締め付ける。取付けた中間フレームに手動チェーンブロック(仮吊用)を掛け、鉄筋籠を仮吊する。ロックピンを解除して、昇降ビームを下部フレームから切り離し上昇させる。(写真-9参照)

その後、昇降ビームの受け替えを行い⑤のスパイラル筋巻きつけから昇降ビームの受け替えまでのサイクルを繰り返す。尚、鉄筋段落し部では球根加工を行う。杭の最上部では、上部フレームを取り付け、鉄筋籠を固定し鉄筋籠の施工が完了する。



写真-7 下部フレーム取付状況

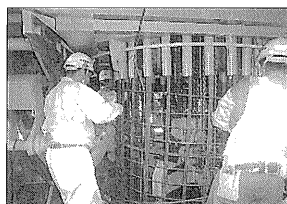


写真-8 スパイラル筋取付け

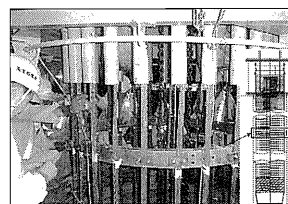


写真-9 中間フレーム取付け

5. 実施結果

5.1 コンクリート配合について

従来から施工されてきた一般の場所打ち杭では設計基準強度が 24 あるいは 30N/mm²であり、本ストランド場所打ち杭に用いたように 42N/mm²を超えるコンクリートの適用例はなかった。本工法においてはストランド場所打ち杭の構造性能を確実に確保できる高性能水中コンクリートを適用した。このコンクリートは土木学会規準に適合する併用系の高流動コンクリートであり、以下の特徴を有する。

①コンクリートの有する高い流動性と充てん性によって、安定液中に打込んだ場合であっても、気中での施工と同等の品質の構造体が構築可能である。

②設計基準強度 42N/mm²に対応する配合強度 64N/mm²を確実に満足する。

③高強度用の3成分系セメントと流動性の保持に優れたポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤、分離低減剤を適切に組み合わせることによって、高い品質安定性が得られ、一般のレディーミク

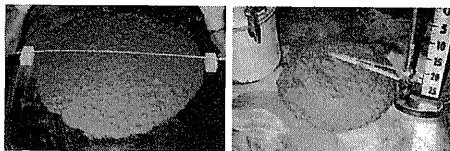
ストコンクリート工場から容易に供給できる。

コンクリートの仕様と配合を表-1に示す。コンクリートの流動性は写真-10に示すようにスランブフローで測定されるものである。施工されたコンクリートのスランブフローは図-7に示すように所要の範囲に管理され、構造体としての品質は図-8に示すように大変均質なものが得られた。

表-1 ストランド場所打ちくい用高性能水中コンクリートの仕様・配合

設計基準強度 (N/mm ²)	指定材齢 (日)	呼び強度 (N/mm ²)	配合強度 (N/mm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	自己充てん性 ランク	スランブフロー (mm)	500mmフロー 時間(sec)	空気量 (%)
42	91	53	64	20	2	650 ±50	5~12	3.0 ±1.5

水結合材比 (%)	単位粗骨材絶対容積 (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³)					
		水	結合材 (低発熱 三分系)	細骨材	粗骨材	高性能 AE 減水剤	分離 剤 ポリボリ-
32.0	0.310	160	500	857	840	11.0	0.5



高流動コンクリート
スランブフロー 60~70 cm
普通水中コンクリート
スランブフロー 20~22 cm

写真-10 水中コンクリートの流動性

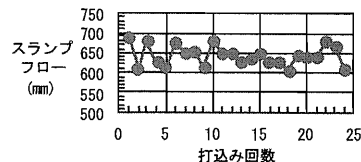


図-6 打込み時の流動性

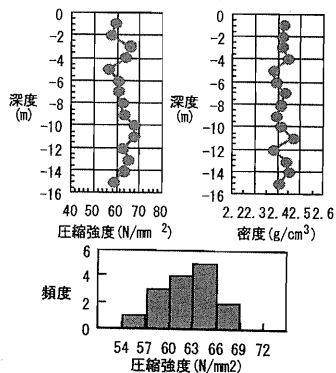


図-7 構造体から採取したコアの品質

5.2 施工全般について

対象となる場所打ち杭24本の施工には、約1ヶ月半の期間を有した。鉄筋の建込時間は、従来の機械式継手間では約29時間を要するが、本工法では約1/2の14時で施工を行った。この結果トータルで、約20%の工期短縮をはかることができた。

また、従来工法に比較して、ストランドや高強度コンクリートを用いたことにより材料費のコストはアップするが、工期の短縮や、高強度の材料を使用することによる杭径のサイズダウンにより、トータルで約10%施工費のコストダウンができた。従来工法では、鉄筋の継手数が施工時間に大きく影響してきており、ストランド場所打ち杭のコストスタディによると、25m以上の杭長であれば、ストランド杭の経済的優位性が高くなる。

本工事で用いた鉄筋籠建込み装置は、約7tと重量が重く、狭隘な部分では動きは良くなかったが、今後は、より軽量化、コンパクト化をはかることにより、作業環境の適応範囲が広がるものと思われる。

6 おわりに

本工事で実施したストランド場所打ち杭施工は、実験工事を実施してはいたものの、未知数の多い工事ではあったが、施工の途中で鉄筋籠建て込み装置の改良を行うなど、様々な工夫を行い、無事施工を完了することができた。従来の場所打ち杭工法では、低空頭の条件下では径が細く短い場所打ち杭の施工に限られていたが、実施したストランド場所打ち杭工法は大口径、大深度を可能にした画期的な工法である

といえる。ストランド場所打ち杭工法は、杭長が短い杭の場合は従来の場所打ち杭の方法が経済的であるが、建て込み装置さえ、設置できれば、これまで鉄筋を建て込むことができなかった狭い場所でも杭を施工でき、杭の補強やアンダーピーニングの工事にも使える応用範囲の広い施工方法である。

4. センターポール式深礎掘削工法

(株)大本組：*太田 俊行、小林 光雄、
佐藤 彰祐

1. はじめに

従来の人力施工を主体とした深礎工法は、機械設備の規模が小さく、工事ヤードも狭くできる等の利点から、山岳地に建設される橋梁や鉄塔基礎、並びに地べり抑止杭等に多く採用されてきた。

しかし、その施工は狭隘な立坑内で危険を伴う苦渋作業を呈しているのが実状である。また、近年の熟練労働者の減少と高齢化などから、特殊労働者の確保が困難な状況にある。

一方、橋梁基礎や地すべり抑止杭等の大型化に伴って、深礎工事は大口径・大深度化の傾向にあり、従来の施工法では安全性や施工速度に問題が生じている。このような背景から、大深度・硬質地盤の深礎掘削工事における安全性の向上、省人化、施工効率の向上、およびコスト縮減に向けた機械化施工法の開発が望まれている。

本報文は、これらのニーズへの対応を目指し、遠隔操作可能な深礎掘削工法の試験施工までを取りまとめたものである。

2. 工法の概要

本工法は、深礎杭の中心にセンターポール（厚肉鋼管）を先行して建込み、このポールを支柱軸にして、システム化された上下移動・旋回可能な掘削機、削岩機（鉛直方向・水平方向）を取付け、掘削・積込作業や発破装薬孔やロックボルト孔の穿孔作業を行う。

また、アタッチメントとしてプレーカおよびコンクリート吹付けノズルの取付けが可能であり、軟岩・中硬岩の小割作業や NATM への対応も図っている。

これらの各作業ツールを使用することによって、土砂から硬岩までの地山に対応し、効率的な施工を行うことができる。

また、上下移動・旋回および各作業ツールの運転は、機械本体に装着した監視カメラを介して、地上に設けた操作室から遠隔操作が可能である。このため、作業員の関与が低減される。概念図を図-1 に示す。

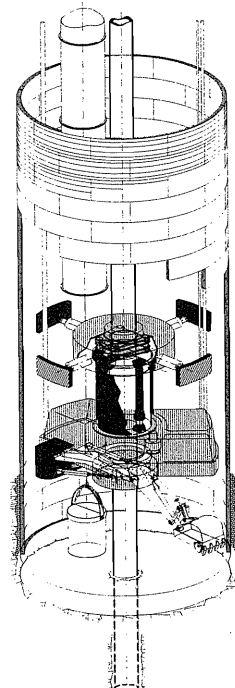


図-1 センターポール式深礎掘削工法概念図

3. 工法の特徴

従来工法による深礎杭の標準的（国土交通省積算基準）施工法は、掘削深さ 20m～40m で掘削径 5.0m以下の場合は人力および超ミニバックホウ（0.03m³級）、また掘削径 5.0m～7.5mの場合は人力およびミニバックホウ（0.2m³級）で掘削し、トラッククレーン（15t 吊級）で排土する。これらの施工法と比較し、以下に示すような特徴を有している。

① 掘削効率の向上

センターポールに本体を固定（ピンロック機構およびバンドブレーキの併用）させ、強力な掘削反力を得ることができるため、従来型より大型のバケットおよびブレイカの装着ができ、岩盤部では特に威力を発揮し掘削効率の向上が図れる。

② 発破時の退避機構

上下移動機構を装備したことにより、発破の影響範囲から迅速に退避させることができる。

③ 確実な遠隔操作性

深礎杭芯と機械本体芯を同芯にしたことにより、軌道が一定し作業位置の把握が容易にでき、遠隔操作性に優れている。

④ 機動性を考慮した機構

掘削機の軽量化・小型化を図り、本体機械は3分割で搬入し、組立・解体や移動等の機動性を高めた。

⑤ 高い汎用性

掘削機ブームスイング芯と機械本体芯を偏芯（偏芯量約 1.3m）させることによって、掘削径 4.0m～8.0m の施工に対応できる。（図-2 拡径機構図）

⑥ 安全性の向上

昇降・旋回・掘削・削岩等の作業は、地上からの遠隔操作で行うことにより、危険作業を低減し安全性の向上が図れる。

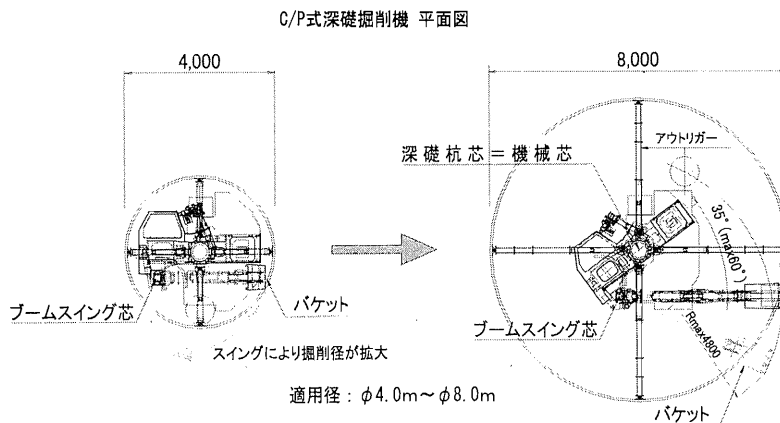


図-2 拡径機構図

4. 主要仕様

表-1 センターポール式深礎掘削機仕様一覧表

区分	構成機器	項目	仕様
作業装置	掘削機	バケット（平積）	0.15m ³ ：掘削径 4.0～6.0m 未満 0.25m ³ ：掘削径 6.0～8.0m 以下
		最大掘削力／作業半径	37.3 kN／4,800 mm
	ブレーカ	形式／質量	NPK-H4X（バケットとワリタッチ交換）／510kg
	鉛直方向削岩機	形式／質量	YH35AD（油圧駆動）／120kg（本体）
	水平方向削岩機	形式／質量	YLD-90（エア駆動）／33kg（本体）
本体装置	旋回装置	最大旋回速度	1.6 rpm（360°／38秒）
	昇降装置	昇降シリンダ／昇降速度	1000 mmストローク×2本／0.3 m/分
	固定装置	バンドブレーキ方式	締付力：350kN（円周上中心に向かい）
		ピンロック方式	ピン径 110 mm×4本（油圧駆動、押 160kN）
	原動機	出力	45kW×400/440V×50/60Hz ×1台
運転装置	機械側運転	外部設置ジョイスティック方式	
	遠隔操作による運転	監視カメラ 8台、モニター 3台	
全装機械重量			15.5 t（下部 6.5t+旋回部 3.5t+上部 5.5t）

図-3 に主要装置の名称を示す。

5. 適用条件

1) 適用範囲

- ①掘削径：4.0m～8.0m
- ②適用土質：土砂、玉石混り土、軟岩、硬岩
- ③掘削深度：60m程度までを想定

2) 施工条件

- ①大型車搬入路確保
- ②施工ヤードは、概ね 400m²
（排土一時仮置場含む）

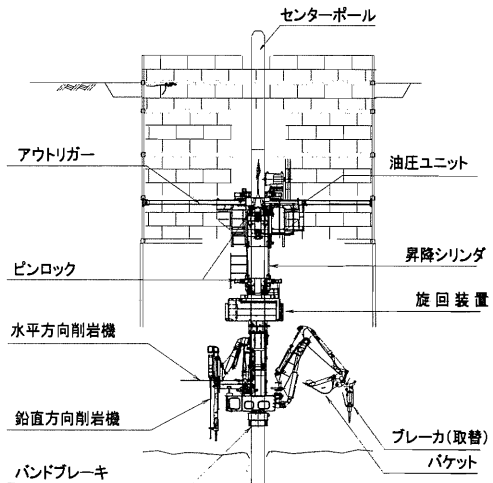


図-3 主要装置名称

6. 施工手順

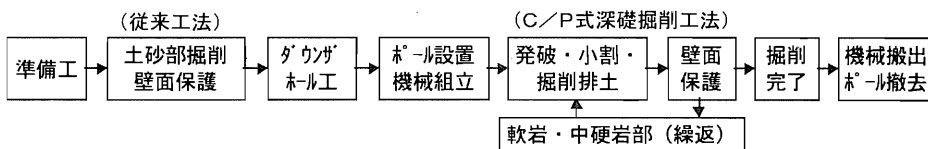


図-4 施工フロー図

7. 試験施工

1) 試験施工概要

平成13年6～7月、日本道路公団発注の長崎自動車道平間工事において、本工法による試験施工を実施した。

図-5 試験施工断面図

施工は、センターポール（φ457,27m）を設置し、①軟岩から硬岩のブレーカ掘削、発破掘削、②コンクリート吹付け（t=10cm）、③ロックボルト（D25、L=3.0m）の施工を行った。

2) 試験施工結果

本掘削機の各作業ツールによって、掘削・吹付け・ロックボルトの施工は、計画通りの性能を発揮することができた。

特に、杭芯と機械芯を一致させた同心円の軌道で作業を行うため、あたり掘削やロックボルト、発破用穿孔の位置決めが容易にできることが確認できた。

3) 試験施工状況写真

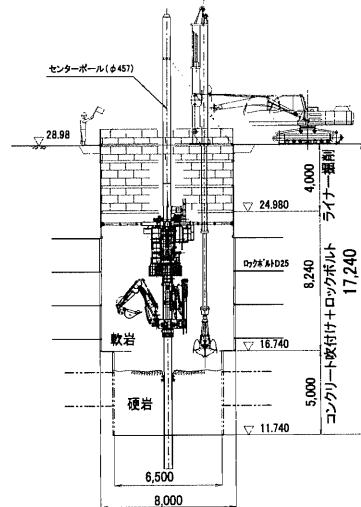


図-5 試験施工断面図

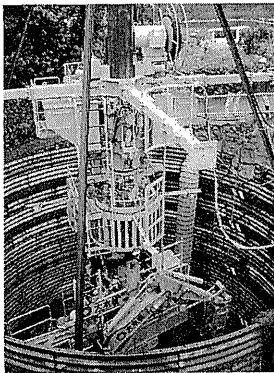


写真-1 組立全景

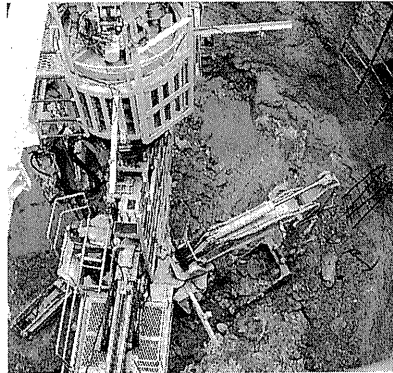


写真-2 掘削状況

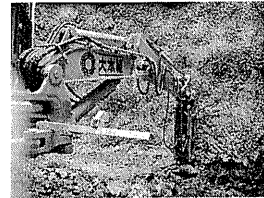


写真-3 小割状況

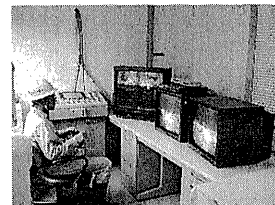


写真-4 遠隔操作

8. おわりに

今回の試験施工の深度では、在来工法と同等の施工能力であるが、センターポール式深礎掘削工法は、20m、30m と深くなるほど施工効率の向上が可能と考えられる。同時に、危険作業・苦渋作業の低減を図ることが可能である。

センターポールの設置撤去に関わるコスト的な課題が残るが、掘削後センターポールを支柱とした鉄筋組立やコンクリート打設足場への利用、またセンターポール内に排水設備を先行して設け、簡易ウエルポイント工法によりドライワークが容易になる等、更なる作業環境の改善となる有効利用方法が考えられる。

5. 打音検査自動化システムの開発

佐藤工業㈱：*篠川 俊夫、歌川 紀之、
伴 享

1. はじめに

従来のトンネル覆工コンクリートの打音検査は手作業によるたたき検査であり、足場の設置あるいは高所作業車等を用いて検査者が覆工コンクリート付近まで近づき、ハンマーなどの検査器具を用いて行っている。この方法は、覆工コンクリートをハンマーで打撃したときの音を覆工コンクリート面から離れた位置で検査者が耳で聞き、聴覚により音質の違いを判断している。そのため、検査者の経験と勘に頼るところが大きい、評価が主観的となり定量的に行えない、検査結果をデータベース化しにくいなどの問題点がある。また、トンネル天端付近では上向きに叩くことから苦渋作業となり、多大な労力と時間を要している。さらに、壁面からの深さが10cm程度を超えると変状を見つけることが難しい。

このような手作業によるたたき検査の問題点を解決するために、加振力を検出できるインパルスハンマー（打撃力を電圧等で出力できる機構を有するハンマーで、打撃入力に加振力や周波数などの特性を把握できる）を用いてコンクリート構造物を打撃し、フード付きマイクロフォンを用いて発生する打撃音を測定する打音法の開発を行ってきた^り（図-1参照）。この方法により、人やたたき方の違いによって変化する打音の判断を客観的に行うことができるようになる。ここでは、打音測定部分をユニット化することにより1回の打撃と打撃音の収録・評価を自動化して、連続的かつ効率的な打音測定が行えるようにシステム化した『トンネル覆工打音検査自動化システム「ライニングヒッターⅡ」』について報告する。

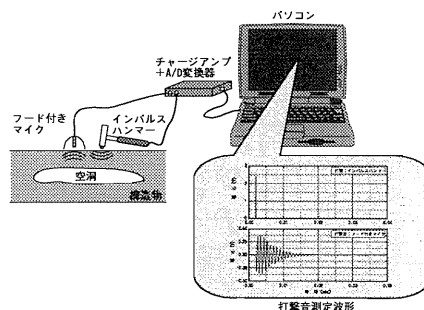


図-1 打音測定イメージ図

2. 打撃音の評価方法

打撃音のような過渡的な音を表す基本的な特性としては、振幅、減衰、周波数や位相などがある。打撃音の評価では、得られる打撃音を簡単なパラメータに置き換えて、パラメータの面的な分布や長期的変化を評価する方法が有効である。そこで、評価パラメータとして振幅、減衰、周波数に着目する。

(1) 振幅比 (A_m/A_i)

打撃音最大振幅値 (A_m) をインパルスハンマー加力振幅最大値 (A_i) で除した値で、振動の大きさを示すパラメータである (図-2参照)。

$$\text{振幅比} = A_m / A_i$$

A_m : 打撃音最大振幅値

A_i : 加力振幅最大値

(2) 実効値比 (R_m/R_i)

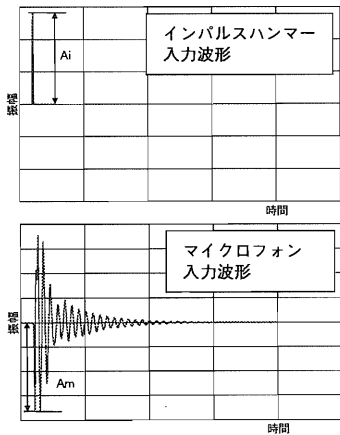


図-2 振幅比

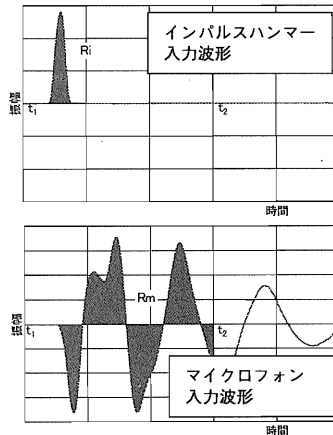


図-3 実効値比

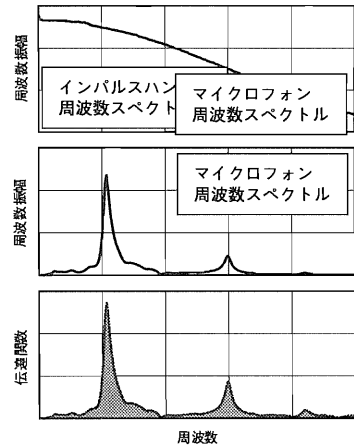


図-4 周波数重心

一定時間における打撃音実効値（Rm）をインパルスハンマー加力実効値（Ri）で除した値で、振動の大きさおよび減衰の大きさを示すパラメータである（図-3 参照）。

$$\text{実効値比} = R_m / R_i$$

$$R = \sqrt{(\int_{t_1}^{t_2} a^2 dt) / (t_2 - t_1)}$$

R：実効値

a：振幅

t1, t2：実効値を算定する開始時刻，終了時刻

（3）周波数重心

測定範囲の周波数スペクトルの重心を計算したもので、打撃音の音色の平均的な高低を示すパラメータである（図-4 参照）。

$$F = \frac{\int A f df}{\int A df}$$

F：周波数重心

A：周波数振幅

f：周波数

3. インパルスハンマーとフード付きマイクロフォンを用いた打音法

インパルスハンマーとフード付きマイクロフォンを用いた打音法を各種コンクリート構造物の調査に適用した結果、内部に空洞や浮きが存在する場合と健全な場合で打撃音が異なることが定量的に確認され、本方法が空洞や浮き等の変状を検査する方法として有効であることが検証されている（図-5 参照）。鉄筋の有無、コンクリート面の向きやトンネル以外の用途など、いずれの場合でも有効であり、変状の深さも、従来のたたき検査の 10cm 程度に比較して 30cm 程度までの検知が現在可能である。

この打音法の特長は以下のとおりである。

- ①打撃に加振力の検出が容易に行えるインパルスハンマーを用いることで打撃力の違いの影響を受けない。
- ②打撃音をフード付きのマイクロフォンで測定することで周囲の騒音の影響を受けない。
- ③打撃音の評価を、打撃音出力の振幅、減衰、周波数に着目して、打撃入力と打撃音出力の比から判断することにより、定量的かつ客観的に行える。
- ④打撃音の分析結果をデータベース化することで、覆工コンクリートの変状の経年変化が把握できる。

さらに、この打音法を多くの実トンネルや試験体レベルに適用し、図-6に示すような打音評価パラメータと部材厚さの関係式を得ている。この関係式を用いることにより、得られた打撃音パラメータからはく離厚さや空洞までの距離を推定することができる。

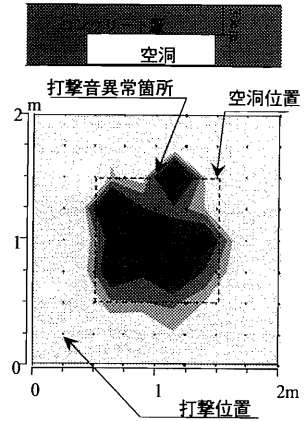


図-5 打音測定の検証例

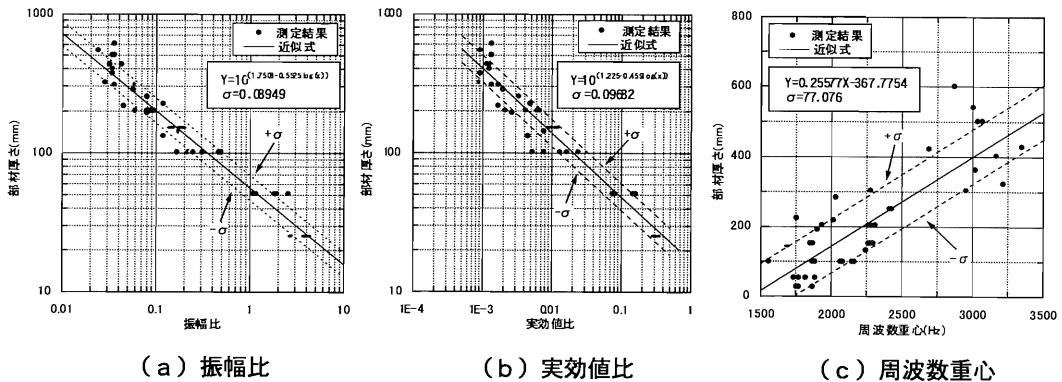


図-6 打撃音評価パラメータと部材厚さの関係

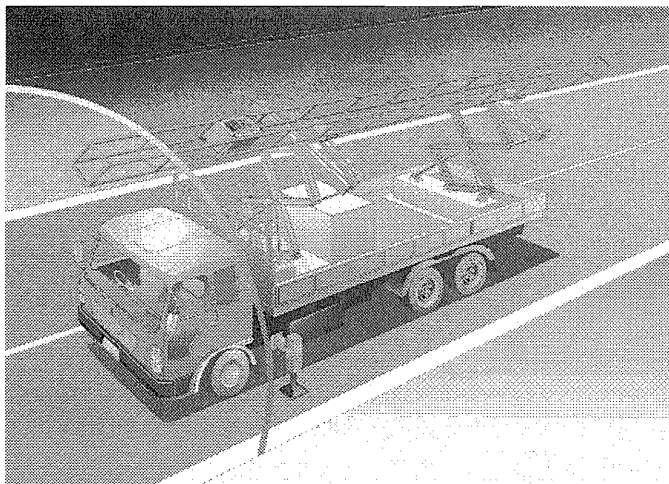
4. トンネル覆工打音検査自動化システム

この打音法は、従来のたたき検査と同様に、検査者が人力で打撃と打撃音の測定を行うため、作業の効率化を図る必要がある。そこで、打音測定部分をユニット化して打撃と打撃音の収録・評価を自動的に行う「トンネル覆工打音検査自動化システム」を考案した。トンネル縦断方向に12mの走行レール、円周方向に2.5mのアーチ形状の走行ガイドレールを装備し、1回のセットで約30㎡を自動的に検査していく(図-7、8参照)。

本システムでは、覆工コンクリート一打設長ごとに以下のような手順で打音検査を行う。

- ①検査台車に設置した伸縮支保を伸縮・傾斜させることにより打音測定ユニット走行レールをトンネル円周方向の任意の位置に移動する。
- ②打音測定ユニットを覆工コンクリート表面に接触させる。
- ③打音測定ユニット走行レールに沿って打音測定ユニットをトンネル縦断方向に走行・停止を繰り返して停止を繰り返しながら、覆工コンクリートの打撃と打撃音の収録を行う。

- ④その結果を瞬時に判断・評価し、トンネル覆工コンクリートの状態を診断する。
- ⑤診断の結果、変状箇所と評価された場合には、打音測定ユニットに取り付けたマーキング装置により覆工コンクリート面にマーキングする。
- ⑥一測線の測定終了後、打音測定ユニット走行レールをトンネル円周方向に移動させ、次の測線の測定を行う。

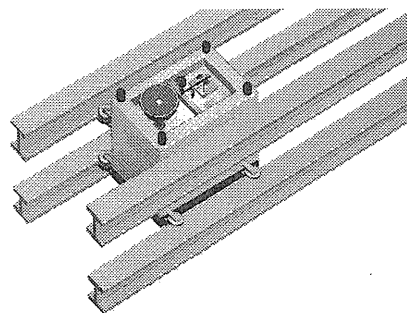


図一七 打音検査自動化システム

- ⑦トンネル覆工コンクリート一打設長の測定が終了したら、検査台車を次の打設位置へ移動する。

本システムの特長は以下のとおりである。

- ①打撃音の分析を瞬時にを行い、変状箇所と判断された箇所にマーキングをするので、離れたところから変状箇所の位置を目視確認できる。
- ②打音検査を自動化することで省人化が行え、人件費を低減できる。
- ③従来の手作業によるたたき検査に比較して検査時間が短縮できる（60 m² (12m×5m)を50cmピッチで打撃した場合の測定時間は約40分である）。
- ④高所作業が不要なため作業の安全性が向上する。
- ⑤フレキシブルに走行レールを移動させることができるためトンネルの断面や形状に左右されず検査が行える。
- ⑥トンネル覆工コンクリート一打設長の検査を検査台車の移動なしで行える。
- ⑦打音測定ユニット部分を他の検査装置と交換することもできる。



図一八 打音測定ユニット

5. おわりに

本システムにCCD（ビデオ）カメラを取り付け、壁面の状態や打音時の状況を画像として同時に記録することも検討している。これにより、非破壊試験法として詳細な調査に適用するとともに、定期点検として実施される目視検査と打音検査の2つの機能を本システムに持たせたいと考えている。現在、これら機能を持った実機の製作に着手しているところである。

参考文献

- 1) たとえば、歌川紀之ら：打音法によるトンネル覆工の健全性評価のための現地実験，土木学会第56回年次学術講演会（CS），2001（発表予定）

6. SSP施工機械の開発と施工

大成ロテック㈱：*多田 勝俊、松浦 千秋、
荒井 義昭

1. はじめに

近年、騒音低減舗装として広く普及している排水性舗装は、空隙詰まり・空隙つぶれにより、騒音低減効果が低下するという問題がある。当社では、排水性舗装よりさらに騒音低減効果が高く、効果の持続性が長いと期待される超低騒音弾性舗装スーパーサイレントペーパー（以下SSPと称す）の開発を行ってきた。SSPとは、廃タイヤゴムチップ（以下ゴムチップと称す）、細骨材およびポリウレタン樹脂からなる弾性混合物（以下SSP混合物と称す）を現場で製造・敷均し・締固めを行う「現場混合式弾性舗装」である。

SSP開発当初、舗装工事に一般に使用される施工機械により施工していたが、日施工能力が少ない、施工精度が悪いといった課題が明確となった。そこで、SSPの合理的な施工を目的として専用機械を開発し、施工したのでここに報告する。

2. 開発経緯

当機械を開発するにあたり、アスファルト舗装工事に使用される施工機械により試験施工を行った。試験施工では、SSP混合物製造能力・施工精度を確認し評価した。

(1) SSP混合物製造について

SSP混合物は、モルタルミキサ（容量200L）を用い、予め練り混ぜ容量にあわせてゴムチップ・細骨材を袋詰めしておき、現位置で製造した。事前袋詰め・材料投入・混合物排出の作業が人力であったことから、時間あたりの製造量は1.2m³程度と少なかった。製造能力の向上を図るため、材料供給装置を含めたSSP混合物製造装置（以下SSPミキサと称す）が必要となった。

(2) 敷均しについて

敷均しは、小型アスファルトフィニッシャ（以下フィニッシャと称す）で行ったが、フィニッシャの敷均し速度に材料供給が追いつかず、材料待ちによるフィニッシャの停止が頻発した。その結果、スクリードの自重により混合物が周囲に流動し、施工面に図-1に示すような段差が定期的に残り（3mプロファイルメータによる平坦性は、標準偏差で4.12mmと大きい値を示した）、騒音低減効果に影響を及ぼすことが懸念された。また、混合物付着防止のためスクリードを加熱したが、プロパンバーナによる加熱方式は、高温での温度制御しかできず混合物を劣化させるという問題もあった。そこで、SSP専用敷均し機械（以下SSPフィニッシャと称す）を開発するに至った。

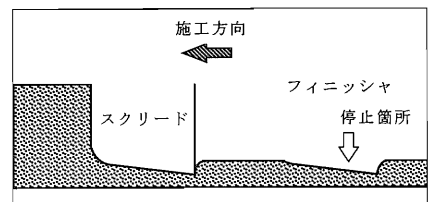


図-1 段差発生状況

(3) 締固めについて

締固めは、舗装工事に一般に使用されるローラ、軽量のコートローラにより行った。しかし、ローラの進行方向に材料が押され、基盤とSSPが剥離する。また、ローラ端部で材料流動による盛り上がり現象が発生し、写真-1に示すようなローラマークが発生し、その箇所を再度締固めてもローラ端部で再度盛り上がり現象が生じ、

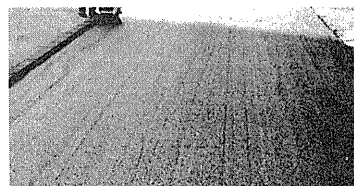


写真-1 ローラマーク発生状況

ローラマークが消去できなかった。そこで、舗装面をベニヤ板により養生し、60kgプレートコンパクタで締固めしたところ、ベニヤ板養生の跡は残ってしまったが、転動締固め機構に比べ、舗装表面は均一になった。したがって、ローラ系の転動締固め機構ではなく、平面締固め機構にし、かつ、施工幅員を一度に締固めできる施工機械（以下SSPコンパクタと称す）を開発する必要があった。

3. 開発機の紹介

3-1 SSPミキサ

SSPミキサは、製造能力を向上させるため、材料の計量・混合・排出を全自動にして省力化を図った。機動性を考慮して他の施工機械と共に移動しながら施工できるよう車載式にした。また、ウレタン樹脂は、水分・油分・空気と接触すると硬化してしまうため、ウレタン樹脂搬送ラインは、できるだけ密閉構造とした。SSPミキサは、取扱いの困難なウレタン樹脂系の混合物製造機械で、かつ、車載式の移動式プラントであるため、製造能力は4.0m³/hである。SSPミキサの全景を写真-2、主要諸元を表-1に示す。

表-1 SSPミキサ主要諸元



写真-2 SSPミキサ全景

全長	14,200mm (15tセルフ含む)
全幅	2,490mm (15tセルフ幅)
全高	4,105mm (15tセルフ含む)
重量	5,500kg (SSPミキサ空状態)
製造能力	4.0m ³ /h
1回当たりの混練り量	0.4m ³
1回当たりの混練り時間	6.0min

3-2 SSPフィニッシャ

SSPフィニッシャは、SSPミキサの製造能力(4.0m³/h)に対応した施工速度(微速走行)で停止することなく安定走行を可能にした。また、付着防止であるスクリード加温は、電熱ヒータによる加熱方式で設定温度±5℃で温度制御可能とした。SSPフィニッシャの全景を写真-3、主要諸元を表-2に示す。

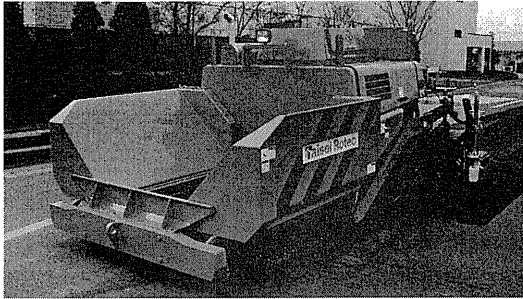


写真-3 SSPフィニッシャ全景

表-2 SSPフィニッシャ主要諸元

全長	4,800mm	全高	1,700mm
全幅	2,430mm	重量	6,780kg
舗装幅	2,300~4,000mm		
舗装厚	10~200mm		
施工速度	0.5~2.0m/min		
最高速度	38m/min		
ホッパ容量	1.3m³		

3-3 SSPコンパクト

SSPコンパクトは、平面締め機構にし、施工幅員を一度に締め込める構造にした。また、舗装面を養生しなくても締め込めるように、プレート内部に電熱ヒータを入れ（プレート底面を設定温度±5℃で制御）付着防止対策を施した。SSPコンパクトの全景を写真-4、主要諸元を表-3に示す。

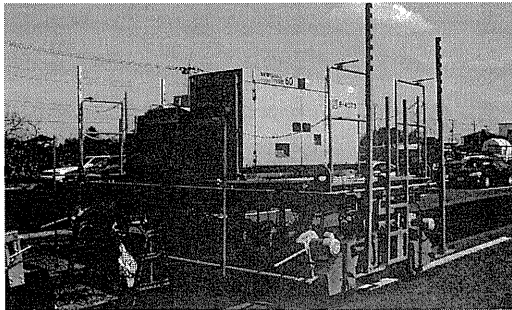


写真-4 SSPコンパクト全景

表-3 SSPコンパクト主要諸元

全長	施工時/回送時	2,450mm/2,200mm
全幅	施工時/回送時	4,500mm/5,450mm
	全高	2,170mm（発電機まで）
	重量	6,000kg（発電機含まず）
	施工幅	2,500~4,000mm
	施工速度	0~8.0m/min
	振動力/接地面積	0.6kgf/cm²

4. 施工事例

4-1 試験施工概要

【施工箇所】 埼玉県鴻巣市 大成ロテック(株) 機械技術センター構内

【施工数量】 施工幅員 3.0m 施工厚 30.0mm

施工延長 60.0m 施工数量 5.4m³

当試験施工は、SSP施工機械の施工性の確認および舗装体の性能を確認することを目的として行った。基層に半たわみ性舗装（表面処理）を設け、その上にSSPを舗設するものである。施工断面を図-2に、配合表を表-4に示す。

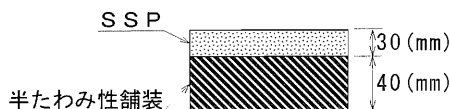


図-2 施工断面図

表-4 SSP混合物容積配合表

細骨材	ゴムチップ	バインダ
19 (%)	56 (%)	25 (%)

4-2 施工方法

SSP舗設作業フローを図-3、SSP混合物製造フローを図-4に示す。

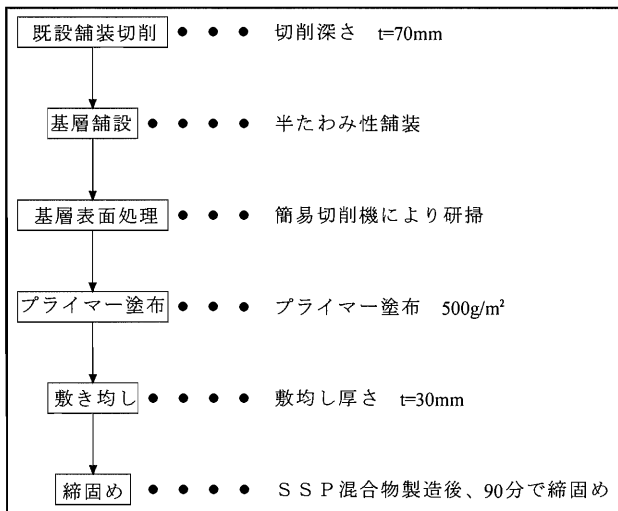


図-3 SSP舗設作業フロー

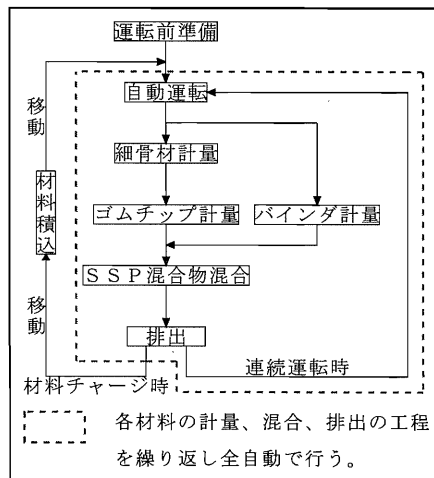


図-4 SSP混合物製造フロー

4-3 施工結果

今回の試験施工は、施工面積180.0m²を実稼働3.0時間（施工能力：約60.0m²/h）で完了した。SSPミキサは、実稼働時間1.5時間で5.4m³（3.6m³/h）のSSP混合物を製造した。従来の人力によるSSP混合物製造能力1.2m³/hと比較すると、3倍の施工能力の向上を達成した。また、SSPミキサを機械化することで、表-5に示すように人力作業も低減し、総人員で40%の省力化を達成する事ができた。新旧施工体制での施工状況を図-5、図-6に示す。

表-5 旧施工体制と新施工体制の比較表

項目	旧施工体制		新施工体制	
	作業人員	使用機械	作業人員	使用機械
材料準備	5人		2人	4tトラック1台
混合物製造	7人	ミキサ(0.2m ³)1台	3人	SSPミキサ(0.4m ³)1台
敷き均し	4人	アスファルトフィニッシャー1台	4人	SSPフィニッシャー1台
締固め	4人	60kg ⁷ プレート2台	1人	SSPコンパクタ1台
			2人	60kg ⁷ プレート1台
施工量	240m ² /日		720m ² /日	
総人員	20人		12人	

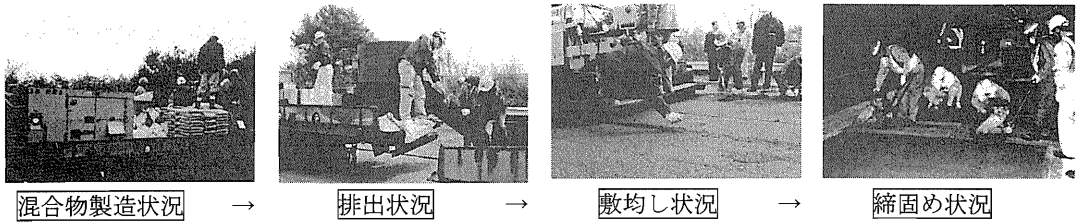


図-5 旧施工体制の施工状況

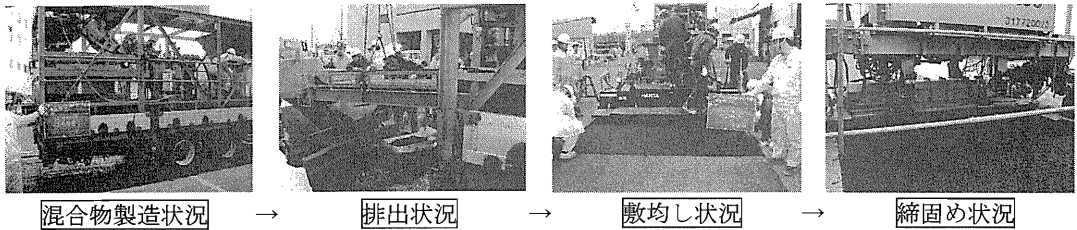


図-6 新施工体制の施工状況

舗装面性状は、SSPフィニッシャを微速走行することで材料待ちによる停止がなくなり、舗装面に段差ができることもなく、3mプロフィールメータによる平坦性は、標準偏差で2.1mmと大きく改善することができた。また、付着防止であるスクリード加温は、電熱ヒータにより温度制御することで舗装面を劣化させることもなかった。

騒音低減効果については、乗用車が50km/hの速度で走行した場合の車両通過騒音を測定した。測定位置を図-7に示す。その結果、密粒舗装と比較すると5dB程度低減していることを確認している。

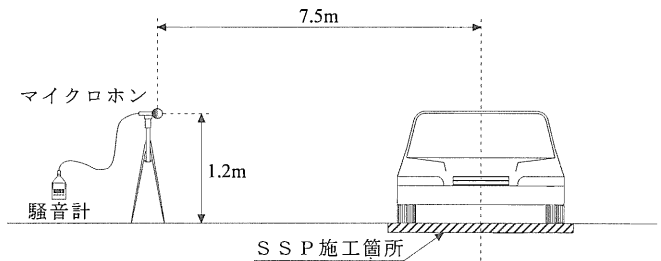


図-7 通過騒音測定位置

5. 今後の課題

- ①現在、SSPミキサの整備は、「各装置の分解・組立」「ミキサ内部・ベルトコンベア等に付着したSSP舗装材の除去」といった時間のかかる作業が多いため、およそ4人工を要している。作業性を考慮して整備・清掃方法を確立し、各装置を改良して整備日数を減らす必要がある。
- ②SSPミキサは、現状で1回の材料チャージに約30分の時間が必要である。表-6のサイクルタイムに示すように、1日実稼働6時間の場合には(24^mの混合物を製造)、4回の材料チャージで2時間を費やす

こととなる。したがって、作業時間は少なくとも10時間は必要になってしまうため、効率の良い材料チャージ方法を検討する必要がある。

表-6 サイクルタイム (例)

項目 \ 時間(h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
材料チャージ	—		—		—		—			
S S P 混合物製造	—	—	—	—	—	—	—	—		
敷均し	—	—	—	—	—	—	—	—		
締め固め		—	—	—	—	—	—	—	—	
終了作業										—

③構造物等に隣接している場所で施工する際、S S P コンパクタの走行装置周りの付属品 (写真-5) が接触する恐れがあるので、構造を見直す必要がある。

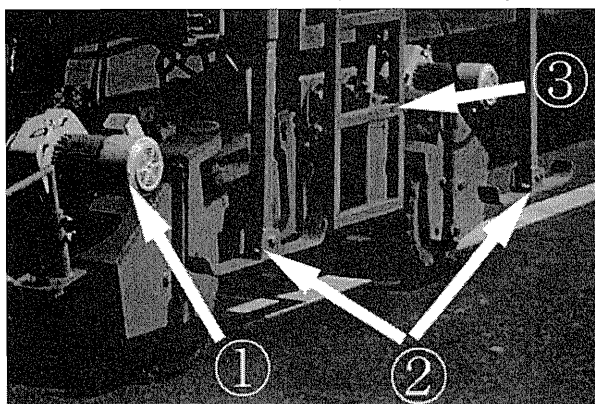


写真-5 走行装置周り付属品

- ①：走行モータ
- ②：高さ調整案内棒
- ③：昇降梯子

6. おわりに

S S Pの実用化に合わせて、現場施工に対応した専用機械を開発し、施工体制を整備した。S S Pを専用機械により施工することで、製造能力・施工精度の向上は達成した。しかし、今後の課題に示す通りまだまだ開発・検討の余地がある。今後、施工実績を重ね、データを収集し、本施工の技術的な確立を目指していくつもりである。

7. 運搬排雪車の開発

国土交通省 東北技術事務所：山尾 昭、*伊藤 圭、
工藤 貢

1. はじめに

本報告は、除排雪作業を効率的かつ効果的に行うことを目的として、開発を進めている「運搬排雪作業用除雪機械」（「運搬排雪車」と仮称）の開発報告である。

本開発機械は今までに事例のない除雪機械であるが、今般、試作機を製作、性能確認試験を実施し、基本技術の確認を得たことから、現在までの成果と今後の課題について報告する。

2. 開発目的

寒冷地における冬季道路の交通確保は極めて重要であるため、除雪機械を用いた除雪作業が行われている。このうち道路外への投雪が出来ず歩道境界に十分な堆雪幅が無い箇所では、ある程度路側に堆雪させた後、ロータリ除雪車でダンプトラック等に積み込む運搬排雪作業を行っている。

この作業は除雪効率が悪く、交通規制も伴うことから交通渋滞の一因となり頻繁な作業が出来ない。また、歩道等に雪堤を形成している場合もあり、歩行者に支障を与えることがある。

これらを踏まえ、除排雪作業を効率的かつ効果的に行うための運搬排雪作業用除雪機械及び工法等について開発・検討を行うものである。



写真－1 従来の運搬排雪作業

3. 開発計画

本開発は、平成11年度から平成13年度までの3ヶ年計画で、表－1の計画により開発を進めている。

表－1 開発計画

平成11年度	運搬排雪を要する道路条件の整理 除排雪システムの検討 除雪機械設計条件の設定および装置の試作・試験
平成12年度	雪堤の形成を低減する除雪作業の検討 詳細設計 試作機製作 性能試験
平成13年度	試作機改良 現場適応性試験 施工マニュアル（案）の提案 とりまとめ

3. 開発概要

3.1 運搬排雪を要する道路条件の整理

検討を進めるにあたり、運搬排雪を要する道路条件を整理した。その結果、路外への排雪ができない立体交差部や家屋連担地域の堆雪帯の確保が困難な場所で、運搬排雪が必要となっている。また、東北地方整備局管内における運搬排雪作業が必要な立体交差橋梁222橋の内、橋長100m以下の橋梁が全体の78%を占めるという結果が得られた。

また、堆雪帯が設置されていない箇所では歩道部が堆雪帯となっており、歩行者に負担がかかっている事例も確認された。

3.2 除排雪システムの検討

運搬排雪が必要な箇所でも適用可能な除排雪システムの検討を行った結果、施工コスト等において消融雪施設と比較し機械除雪が有効という結果が得られた。そこで、従来の機械除雪工法の得失を表-2のとおり整理した。その結果、従来の機械除雪工法では以下に掲げる課題から作業の効率化、交通障害の低減、経済性等の課題について抜本的な解決が図ることが出来ないため、新たな運搬排雪用機械の開発を行う必要性を確認した。

表-2 従来工法の得失

除雪工法	長 所	短 所
ロータリ除雪車と ダンプトラック (作業速度:0.5km/h)	<ul style="list-style-type: none"> ・ダンプトラックへの積み込み時間が短い ・汎用性のあるダンプトラックを活用できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・作業に二車線程度を要する ・ダンプトラックを必要とするため迅速且つ容易な作業が行えない ・長時間の通行規制(片側交互通行、通行止め)が必要 ・一般車両や歩行者の誘導が必要 ・雪捨て場までの距離に応じたダンプトラックの台数が必要 ・ロータリ除雪車の回送速度が遅い
一車線ローダと ダンプトラック (作業速度:1~2km/h)	<ul style="list-style-type: none"> ・1車線積み込みが可能 ・連続的な施工が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・専用車であるため稼働機会が少なく、経済性に課題がある ・一般車両や歩行者の誘導が必要 ・雪捨て場までの距離に応じたダンプトラックの台数が必要 ・一車線ローダの回送速度が遅い

●従来の機械除雪工法の課題

- ① 作業に二車線程度を要する(ロータリ除雪車とダンプトラック)
- ② ダンプトラックを必要とするため即応性が無い
- ③ 専用車であるため稼働機会が少なく、経済性に課題がある(一車線ローダとダンプトラック)
- ④ ロータリ除雪車、一車線ローダとも回送速度が遅い

3.3 除雪機械開発条件の設定

条件設定にあたって、前述の検討結果から運搬排雪作業が必要な立体交差橋梁に着目すると、橋梁の実態調査から延長100m程度の除排雪作業の能力を持たせることができれば、約8割の橋梁で対応可能となることが判る。また、除排雪回数を多くすることにより、大きな雪堤を形成させないという工法が考えられる。

よって、開発条件として、次のとおり整理した。

①基本条件	開発目標：従来型運搬排雪作業の頻度を減少させ、交通障害の低減を図る
②絶対条件	<p>基 本：雪堤が大きく成長する前の段階の除雪作業を行う</p> <p>対 象：路肩又は歩車道間の堆雪帯の比較的小規模な雪堤とする</p> <p>施 工 法：1車線のみ占有で除排雪作業が可能な工法とする</p> <p>開発機械：除雪機械の有効利用のため、専用機械とはせず、従来型除雪機械の発展型とする</p>
③必要条件	<p>能 力：延長100m程度の除排雪が可能なものとする</p> <p>排雪方式：1車線のみで作業が可能とするため自車積込方式とする</p> <p>機械構造：開発コストを抑えるため、可能な限り既存技術を利用する</p>

3.4 開発機械の構想

前述の開発条件を踏まえ、一台のみでの作業を可能とする除雪トラックベースの機械を構想（以下「運搬排雪車」と仮称）し検討を行った。検討の結果、基本構造として除雪トラックの側方にロータリ装置を配し、動力確保の問題からリフトコンベヤ装置と車両上部の水平コンベヤにて後部ベッセルに積み込む構造とした。運搬排雪車の想定される得失について整理すると表-3のとおりとなり、前述した課題の解決が図られる。

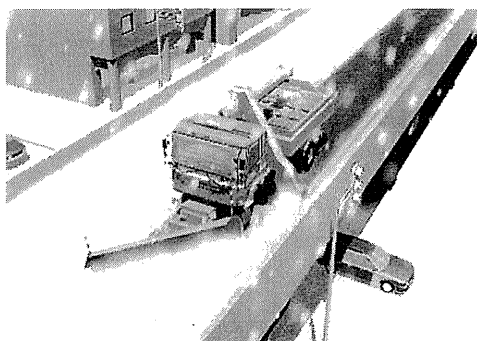


図-1 運搬排雪車イメージ

表-3 運搬排雪車の想定される得失

除雪工法	長 所	短 所
<p>運搬排雪車</p> <p>〈作業速度:1~5km/h〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・1車線積み込みが可能 ・除雪トラックの多機能化で、稼働機会が多く、除雪車を有効活用できる ・回送速度が速い ・ダンプトラックが不要であるため迅速且つ容易に作業が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ベッセルが雪で満杯になると捨てない限り積み込めない

3.6 設計・製作

上記の開発基本条件等を踏まえ、運搬排雪車の試作機の設計・製作を行った。

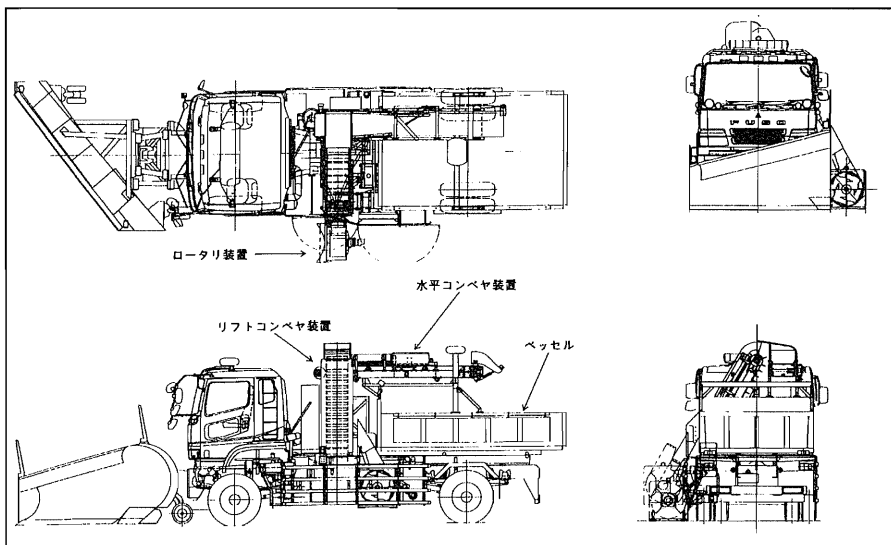


図-2 運搬排雪車4面図

表-4 運搬排雪車主要仕様

ベース車両	除雪トラック 10t 4×4 AT(低速走行用副変速機付)	
全長×全幅×全高	11,230×3,630×3,750(作業時)	
車両総質量	18,900kg	
運搬排雪装置	ロータリ装置	ワンステージロータリ式、除雪幅800mm×除雪高800mm、除雪能力550m ³ /h
	リフトコンベヤ装置	搬送速度450m/min、ベルト幅450mm、帆布入りゴム製エンドレスベルト(棧付)
	水平コンベヤ装置	搬送速度220m/min、ベルト幅450mm、帆布入りゴム製エンドレスベルト(棧付)
	ベッセル	積載量4,900kg、9.8m ³ (雪密度0.5)、後方ダンプ
	動力	車両からのPTO出力
作業速度	プラウ作業時：通常の除雪トラックと同様 運搬排雪作業時：1～5 km/h程度	



写真-2 運搬排雪車

3.7 試作機の性能確認試験

試作機の性能確認及び問題点等を抽出するため性能確認試験を行った。試験は、最大除雪量、積込状況について行った。その結果、表-5のとおり想定した性能を確認できた。

しかし、積み込み状況については、水平コンベヤ下部、ベッセル左後部における積み込み量が比較的小さいことが判明した。また、走行に要する動力に比べ作業に要する動力が小さいため、除雪負荷の増加によるエンジン回転数の低下等の情報が得られず、許容作業速度を超えてしまいシュート詰まり等を起こすといった課題も抽出された。



写真-3 性能確認試験状況

表-5 試験結果

試験項目	設計値	試験値	備考
最大除雪量(m ³ /h)	550	619	設計値比: 1.13
積込量(m ³)	9.8	7.7	積載率79%、新雪除雪後のウインドロー96m相当
作業速度(km/h)	1~5	1.3~5.8	

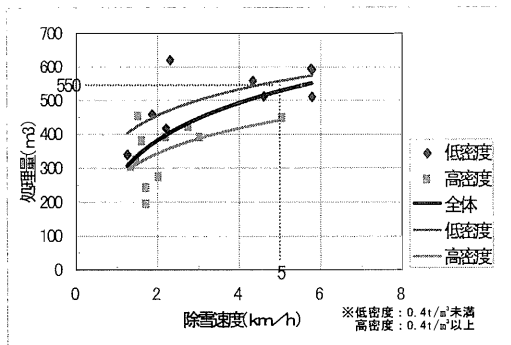


図-3 性能曲線図

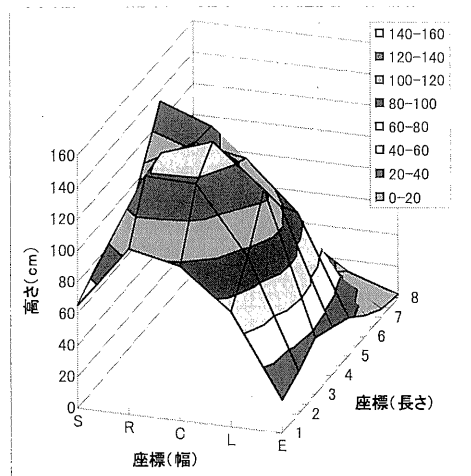


図-5 積み込み状態図

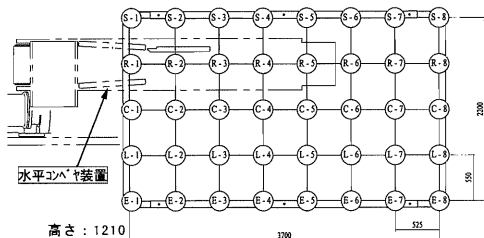


図-4 ベッセル座標図

3.8 今後の課題と対応策

試作機の性能確認試験結果から、実用化へ向け、表-6に示す課題が抽出された。

また、本開発機械の除雪対象は「路肩又は歩車道間の堆雪帯の比較的小規模な雪堤」としているが、次に列挙する特長から「歩道除雪（歩車道境界に植栽等が無い場合）」、「トンネル抗口の吹き込み雪の除雪」等における適応が考えられるため、これらの適応性についても把握していくこととしている。

開発機械の特徴

- ①車両側方にロータリ装置を配している。
- ②1車線積み込みが可能である。
- ③ダンプトラックが不要であるため迅速且つ容易に作業が可能。
- ④ウインドローや雪堤を直接自車バッセルに積み込みが出来る。

表-6 今後の課題と対応策

	課 題	対 応 策
①	ワンステージ式ロータリ装置を採用しているため、硬い雪質等への対応が困難	オーガの装備、高出力P T Oの採用、ツーステージ化に対応する懸架構造を検討する。
②	早期圧雪化等に対応可能とするため、トラックグレーダが必要である	装着スペースを確保するため、ロングホイールベースシャーシの採用を検討する。また、プラウとトラックグレーダを共に装着した場合、車両重量の制限から、積載量が確保できなくなるため、簡易着脱式プラウによる対応を検討する。
③	オペレータが除雪負荷増減を把握できないため、作業速度の制御が困難である	除雪負荷をオペレータに知らせる機能付加の検討をする。(エンジン回転低下アラーム機能、自動制御機能の付加等)
④	現状でバッセル積込量が8割程度であるため、均一な積み込みが必要である	スクレーバ構造や積み込み制御方法を検討する。
⑤	想定（許容積載量）以上の除雪延長に対応する必要がある	中継コンベヤ装置等により、後方に配したダンプトラックへの積み込み（1車線）による連続作業対応の検討を進める。
⑥	作業速度が遅いため、交通処理対策が必要である	標識装置の搭載等による対応を検討する。

4. まとめ

本開発機械の運搬排雪車は、今までに事例のない機械であるが、性能確認試験から基本技術については確立できたものとする。

しかし、幾つかの課題が抽出されていることから、今年度はこれらの課題について解決を図っていくとともに、現場適応性試験を実施し、実用化にこぎつけたいと考えている。また、あわせて運搬排雪車導入における運用計画の設定や施工方法を示す施工マニュアルを取りまとめることとしている。

8. 底泥置換覆砂工法

大成建設(株)：*小林 峯男、岡田 和夫、
上野 成三

1. はじめに

湖沼や内湾などの湾閉鎖性水域では、アオコ・赤潮の発生や貧酸化などの水質問題に悩まされている。主要な水質改善対策としては、汚濁底泥の浚渫や覆砂が実施されているものの、浚渫土の処理場や捨場の確保が困難なこと、清純な砂の入手が困難なことなどの課題を抱えており、水域内で底泥を直接浄化する新技術の開発が望まれている。そこで、著者らは、浚渫処理土が発生しない現位置での底泥浄化が可能な工法として「底泥置換覆砂工法」を開発した。本論文では、底泥置換覆砂工法の概要と、諏訪湖での現地実証実験及び室内水理実験の結果を報告する。

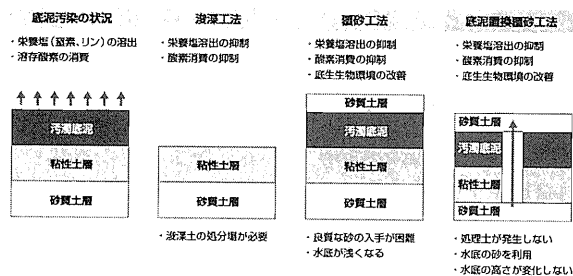
2. 底泥置換覆砂工法の概要

底泥置換覆砂工法は、汚濁底泥の下に堆積する砂質土をジェット水流により湖底上部へ浮上させて、汚濁底泥の表層に砂質土層を形成させる工法である。本工法の概念図と他工法の比較を図-1 に示す。本工法は、従来工法である浚渫工法に比べて汚濁底泥の除去が必要ないので、浚渫土の処理ヤード、処分場問題が解決できること、また、湖底に埋没している砂質土を利用するため、覆砂工法における砂質土の入手問題が解決できること、湖底の高さがほとんど変化しないため貯水容量に影響しないことなどのメリットがある。

本工法による水質浄化効果・生態系修復効果として、以下の点が期待できる。

- ①汚濁底泥上に清純な砂質土層が形成されるので、底泥の酸素消費量や窒素・リンなどの栄養塩の溶出量が低減され、湖水の貧酸素化・富栄養化が抑制されること。
- ②湖底環境が有機底泥主体の嫌気性環境から砂質土主体の好気性環境に変化することから、二枚貝など底生生物や水生植物の移入が始まり、健全な湖底生態系へ改善されること。
- ③水域外からの砂搬入がないことから、外来種移入などの生態系攪乱の影響が少ないこと。

図-1 底泥浄化工法の比較



3. 施工方法

底泥置換覆砂工法の施工手順を図-2 に示す。作業船としては、ジェットパイプを装着した組立式台船を使用する。図-3 は、1 サイクル 100m² (10m×10m) 施工の作業台船で、φ50mm ジェットパイプを 1 mピッチ (正方形配置) で 100 本装着している。

図-2 底泥置換覆砂工法の標準施工手順

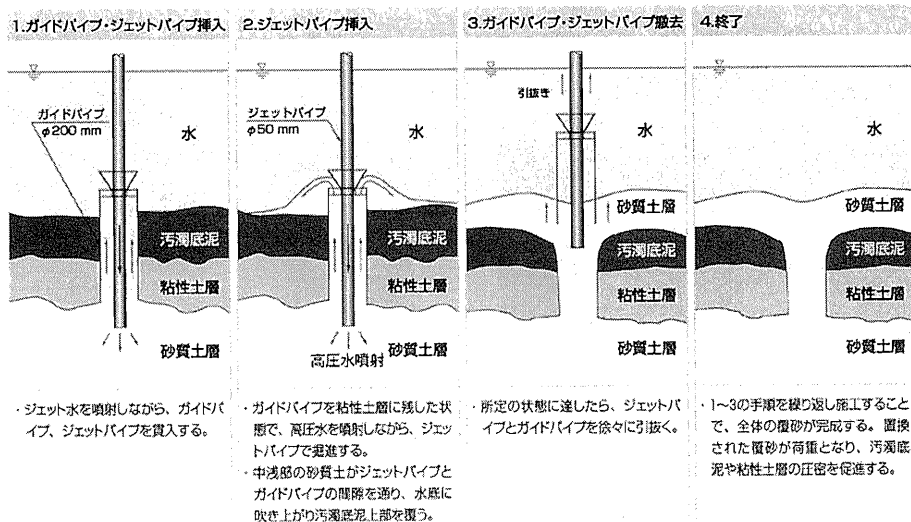
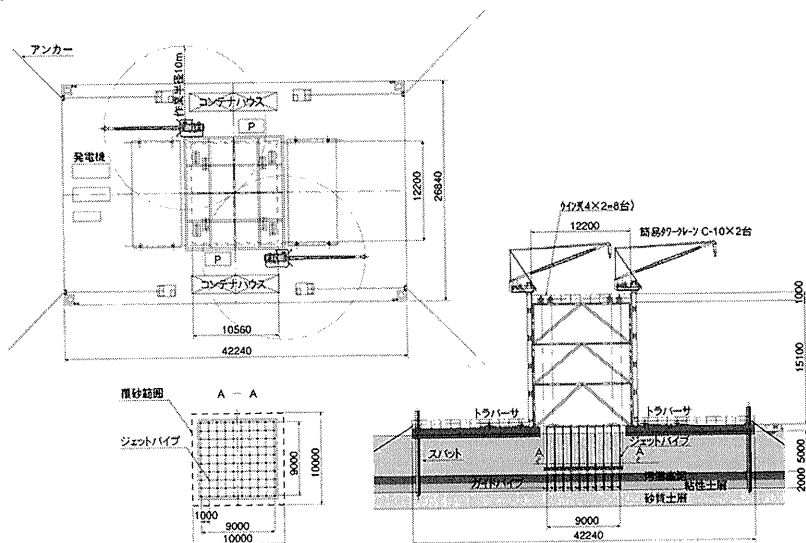


図-3 底泥置換覆砂工法装置

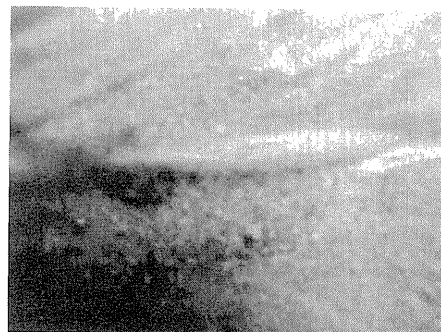
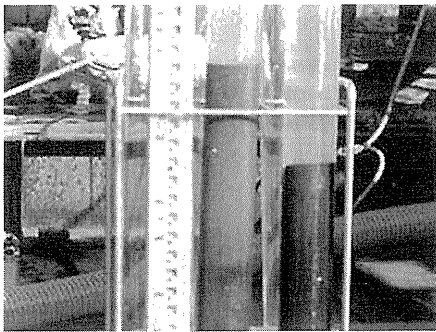
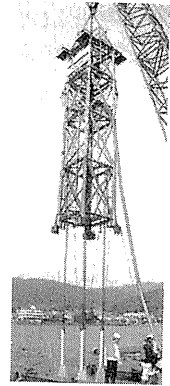
1サイクル100m² (ジェットパイプ100本、1.0mピッチ正方形配置) の例



4. 諏訪湖における現地実証実験の内容

(1) 実験方法

実証実験は平成12年10月31日から11月1日にかけて諏訪湖の北部水域で実施した。作業台船上のクレーンにより、ジェットパイプ（φ40mm）とガイドパイプ（φ200mm）を4セット設置したユニットを吊り下げ、ジェット水流を噴射しながらジェットパイプを湖底中に貫入した。主な実験諸元は、水深4m、底泥層厚さ2m、ジェット流量400 l/min（1本当たり）、ジェットパイプの間隔1mである。実証試験状況写真を示す。覆砂結果は、ダイバーによる目視と、不攪乱底泥コアの採取・分析により確認した。



試験前後湖底サンプリング

湖底状況（ジェットパイプ近傍）

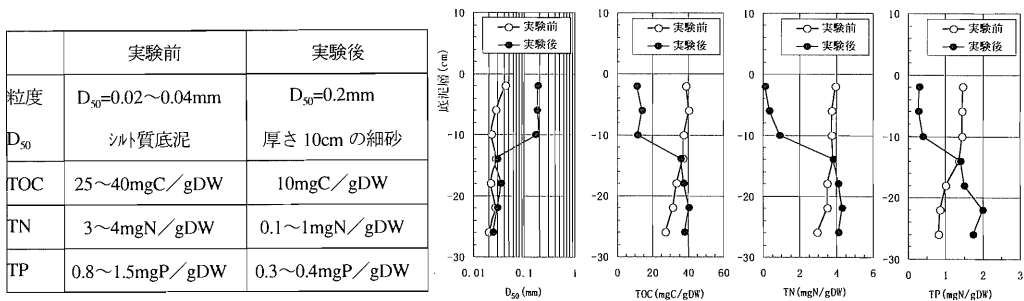
左：20～30cmの覆砂 右：底泥

(2) 底質改善結果

本工法による覆砂状況として、ダイバーによる目視確認によると、ジェットパイプの周囲約1mの範囲で厚さ10～30cmの砂層が確認された。また、濁りの発生範囲も湖底の近傍に限定されていた。

実験前後における底質分布の比較の一例として、中央粒径 D_{50} 、全有機炭素 TOC、全窒素 TN、全リン TP の鉛直分布を図-4に示す。底泥コアの採取位置は4本のジェットパイプの中心位置で、厚さ10cmの覆砂厚であった。

図-4 覆砂実験前後の底質変化



以上より、本工法により、汚濁底泥上に清純な砂層が確実に覆砂され、湖底表層の有機物含有量が約 1/3 に低下する底泥浄化効果が確認された。

5. 覆砂・にごり拡散の室内水理実験

本工法の覆砂状況とにごりの拡散範囲を調べるために水理実験を実施した。実験条件を表-1 に示す。

表-1 実験条件

項目	仕様
実験縮尺	諏訪湖実証実験の 1/4
底泥	霞ヶ浦産湖底泥
砂層	珪砂 8 号 (中央粒径 0.096mm)
実験水槽寸法	φ 4600×h3100
流量 Q (ℓ/min)	10, 15, 20 の 3 ケース

覆砂厚の断面分布を図-5 に示す。覆砂範囲は 20～30cm の範囲で、その厚さはジェットパイプの近傍で大きく、距離が離れるにつれて減少した。また、ジェット流量の増大に伴い覆砂厚・範囲とも増大することが確認され、ジェット流量と覆砂厚・範囲の関係が求まった。

浮遊物質濃度 SS の鉛直分布を図-6 に示す。高濃度のごりは底面近傍の 5cm に限定され、それより上層ではほとんどにごりが発生しなかった。この状況は、諏訪湖の現地実験でのダイバーの目視状況と一致する。以上より、本工法によって発生するにごりの範囲は湖底の極近傍層に限られることが定量的に把握された。

6. まとめ

閉鎖性水域の水質改善工法として、処理土が発生しない現位置での底泥浄化工法である「底泥置換覆砂工法」の現地室内実証実験を行い、良好な底泥改善結果が得られた。本工法は従来の浚渫・覆砂工法の課題を解決した有望な水質浄化工法として期待される。今後、栄養塩の溶出量・酸素消費量の低減などの水質浄化効果、水生植物・底生生物などの生態系修復効果の検討を行う予定である。

図-5 覆砂状況の断面図

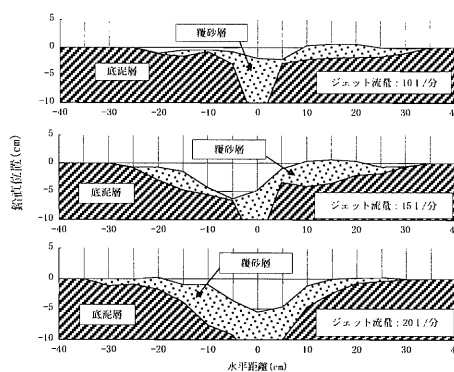
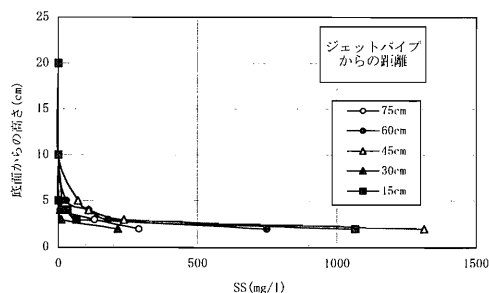


図-6 ごり拡散分布 (ジェット流量 15l/分)



9. 堆肥化した木チップを緑化基盤材とする工法

前田建設工業㈱：*林原 茂、小口 深志、
安井 利彰

1. はじめに

建設廃木材については平成7年度でリサイクル率が40%と低く、建設省（現在、国土交通省）で掲げたリサイクル推進計画’97の目標値である90%を達成するための対応が迫られている。中でも、伐採材については、野外焼却の禁止、自ら利用の促進といった行政面での規制強化のため、場内リサイクルの気運が高まっている。このような現状から、土で育った伐採材を「土に返す」という考えに基づき、伐採材を場内にて短期間の堆肥化を行い、法面緑化基盤材に有効利用する工法（ウッドベース工法）を開発した。本工法は、生木を使用することにより懸念される土壌中の窒素飢餓等の弊害を防ぐことができ、また、堆肥化の簡易化によってスペース、工期、コストの低減に寄与するものである。本工法の開発にあたっては、堆肥化チップが法面緑化用の厚層基材（バーク堆肥代替材料）として利用できることを目標とし、チップの二次破碎方法、堆肥化副資材の配合、堆肥化設備、吹付仕様の検討を重ねてきた。本報告は、平成12年に実施した現地試験の結果について報告するものである。

2. ウッドベース工法概要

伐採樹木の利用方法は図-1のようにいくつかあるが、ウッドベース工法は造成工事により発生する伐採樹木の有効利用を対象としている。

本工法は①チップ化工程、②堆肥化工程、③吹付工程に大別される。

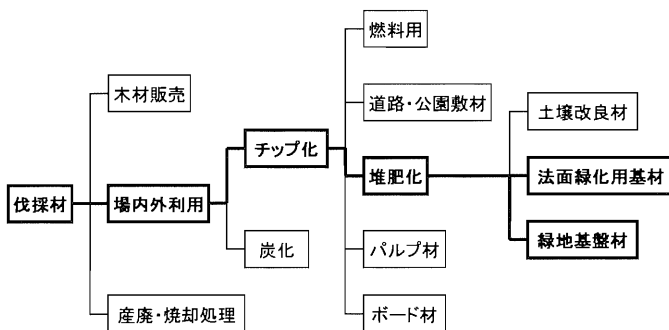


図-1 ウッドベース工法の位置づけ

3. 試験施工概要

図-2に本工法の施工フローを示す。

①一次破碎

試験には、タブ式グラインダーによって、50～100mm程度に粗破碎した伐採チップ材を使用した。

②二次破碎

本工法は、堆肥化したチップ材を、法面吹付けに有効利用することを目的としているので、一次破碎チップを、さらに10～15mm程度にまで二次破碎する工程を設けている。前回の試験では二次破碎機に植繊機を使用したのが、根株に付着した砂利が混入した場合、切削刃が薄いことによる刃の損傷が激しくなり処理能力に対して課題が残されていた。そこで、今回は肉厚の刃が回転しながら叩き砕く機構であるハンマークラッシャー型二次破碎機(コマツゼノア製CR550M)を使用した。

③副資材添加・混合

表-1に試験ケースを示す。堆肥化を促進するための副資材である堆肥菌(ブイエス科工:VS34)と栄養源供給を目的とした廃糖蜜、発酵鶏糞を添加した。なお、水分調整については、二次破碎後におけるチップの含水率が53%と堆肥化に適した含水率(50～60%)の範囲内であったため、特に行わなかった。

④簡易堆肥化

図-3に示した簡易堆肥化(野積み)を約1ヶ月程度実施し、約35m³程度のチップを試験に供した。野積み高さを1～1.5m程度とし、降雨や蒸発による含水率の変動防止と放熱防止として堆肥山全体をブルーシートで養生した。また、堆肥に伴う発熱の温度差により外気が自然に堆肥山内

を流通し、好気性が保持されることを期待して、自然通気管(φ13mm塩ビ有孔管)を地面から約20cmの高さに奥行き方向1mピッチで敷設した。同様のピッチで、堆肥山天端に排気管(堆肥山内を通ってきた空気を排気する管)を敷設した。

⑤法面緑化用厚層基材吹付

通常の厚層基材吹付に使用しているφ50mmのモルタルガンを用いて法面に5cmの厚さで、約300m²吹付けた。吹付けプラントのレイアウトを図-4、仕様を表-2に示す。

また、吹付け材料の配合を表-3に示す。生育基盤材として堆肥化チップを体積比で65%添加した。

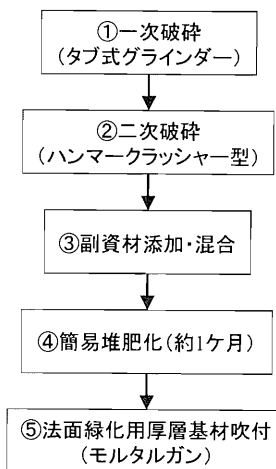


図-2 施工フロー

表-1 試験ケース

試験ケース	副資材	添加率	吹付け面積
1	廃糖蜜	0.5%	125m ³
	堆肥菌	0.1%	
2	発酵鶏糞	0.5%	125m ³
	堆肥菌	0.1%	
3	発酵鶏糞	5.0%	50m ³

※廃糖蜜は体積比、発酵鶏糞、堆肥菌は重量比で添加した。

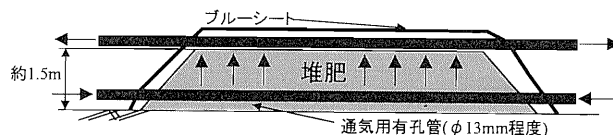


図-3 堆肥化模式図

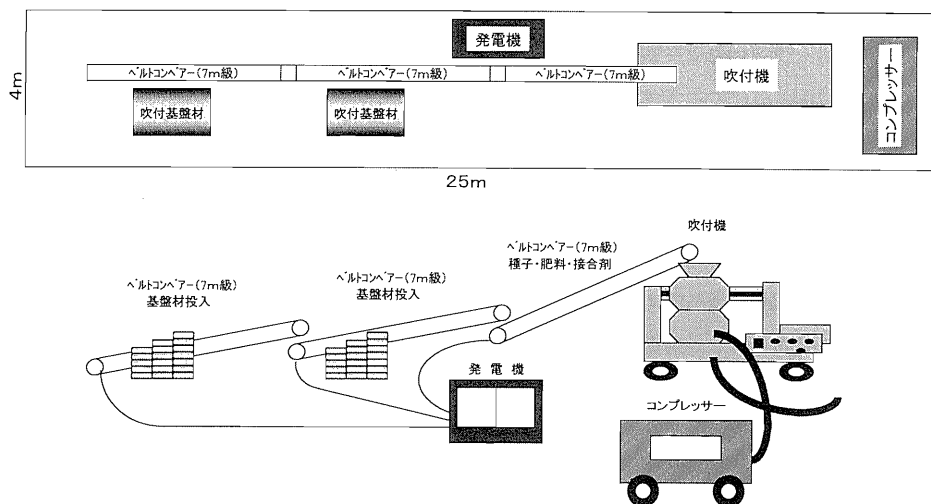


図-4 吹付けプラントのレイアウト

表-2 吹付け
プラントの仕様

機械名称	仕様	台数
吹付け機	45 p S	1
コンプレッサー	100hp	1
発電機	25kVA	1
ベルトコンベアー	7m	3

表-3 吹付け材料の配合

生育基盤材			肥料	接合剤	種子
堆肥チップ	ピートモス	バーライト	高度化成肥料	高分子系粘結剤	フェスク、ハギ類
体積率65%	30%	5%	緩効性肥料		
2000ℓ			6kg	0.8kg	1.2kg

4. 試験結果

(1) 二次破碎処理能力

タブ式グラインダーを使用することにより伐根材に付着した砂利も破碎することができ、処理能力を低下させることはなかった。タブ式グラインダーは植繊機型の約3倍の処理能力を有しており、耐久性の面でも有利であることが確認できた。

(2) 堆肥化促進効果

堆肥化中に堆肥温度を継続的に測定し、堆肥化終了段階(約一ヶ月後)でC/N比の測定を実施した。堆肥温度測定結果を図-4、C/N比の測定結果を表-4に示す。図-4を見ると、廃糖蜜を添加したケースでは、堆肥温度が50℃ぐらいまで上昇するが、すぐ下降し、一ヶ月後には30℃を下回っていることがわかる。一方、

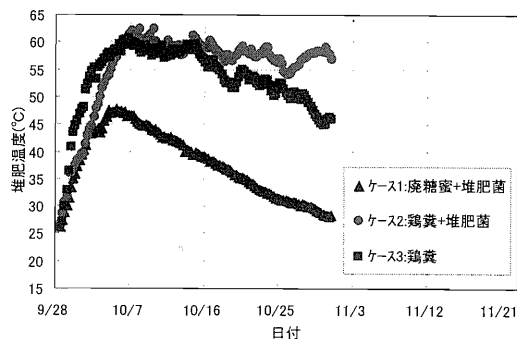


図-4 堆肥温度測定結果

鶏糞を添加したケースでは60℃程度まで上昇した後、高温が長期間保持され、一ヶ月後でも45℃以上を維持していた。これは、一次発酵熱によるもので、鶏糞添加による堆肥化促進効果が大いことを意味している。なお、鶏糞+堆肥菌のケースは、鶏糞のみ添加のケースに比べて、さらに高温が保持される傾向を示し、堆肥菌添加の効果が確認できた。表-4に示すC/N比は堆肥化が促進されるかを示す指標の1つで、チップ内の全炭素と全窒素の比率を表すものである。市販のバーク堆肥のC/N比は30~40程度である。廃糖蜜を添加したケースは一ヶ月後でもC/N比が100以上であったが、鶏糞を添加したケースは36~40まで低減し、市販のバーク堆肥と同等のレベルに達していた。C/N比についても、鶏糞の優位性が確認できた。

表-4 C/N比の測定結果

試験CASE	堆肥化前C/N比	堆肥化1ヶ月後C/N比(平均値)
1 廃糖蜜+堆肥菌	125	101
2 鶏糞+堆肥菌	64	40
3 鶏糞	—	36

(3) 法面吹付け

各ケースの堆肥化チップ混入基材を勾配1:0.8の切土岩盤斜面に吹付けた。その結果、通常のバーク堆肥を使用したときと同等の処理能力を有し、ホースの閉塞等は全く見られなかった。

(4) 植生

発芽時期における植生状況を写真-1に示す。ケース1~3に顕著な差は現れず、良好な植生状況を確認することができた。今後も、追跡調査を含めて総合評価していく予定である。

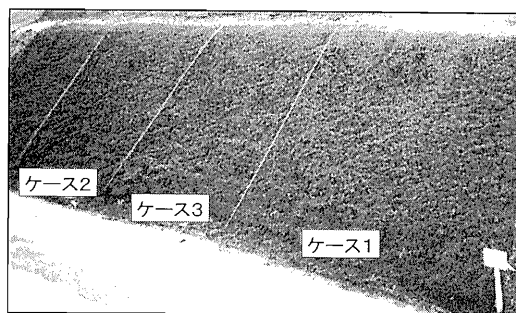


写真-1 植生状況

5. まとめ

建設現場で発生する伐採チップを現場内で二次破碎、堆肥化し、法面吹付け基材として有効利用する工法を開発し、現地施工で諸検討を行った結果、以下に示す結論が得られた。

- ① ハンマークラッシャー型の二次破碎機は植繊機型と比較して耐久性ならびに処理能力が高い。
- ② 窒素分としての発酵鶏糞ならびに堆肥化菌の添加による堆肥化促進効果は大きい。
- ③ 本工法で、堆肥化した伐採チップ混入基材で法面吹付けを実施したところ、通常の処理能力でホースが閉塞することなく施工することができた。
- ④ 発芽時期における植生調査の結果、良好な植生状況を確認することができた。

6. おわりに

本工法のコストは伐採面積:26,000m²、一次破碎チップ量:845m³、発生木材を全量使用、吹付厚50mmという積算条件において、従来の厚層吹付け工法と伐採材の産廃処分を合わせたコストより約10%の低減ができると試算される。現在、本工法は高速道路現場で実施中であり、今後は大量施工した場合の効率的な堆肥化方法や堆肥化したチップの保管方法の検討を進めていく予定である。最後に、本研究において多大なご指導を賜りました東京農業大学牧恒雄教授に深謝いたします。

10. 土圧シールドの掘削土再利用における流動化処理土製造方法の開発と実用化

帝都高速交通営団：藤木 育雄、
佐藤工業㈱：*小林 拓、花田 行和

1. はじめに

近年、シールド工事において、建設副産物の発生量の抑制やリサイクルの推進を図るため、建設発生土を有効利用した、埋め戻し工法（流動化処理土）を採用するケースが多くなっている。

営団地下鉄半蔵門線（渋谷～水天宮前）をさらに北東部に延伸する11号線本所工区では、土圧式シールドから発生する泥土を用いて、トンネルのインバート材や駅部の埋戻し材に利用した。本工事から発生する泥土は、極めて粘性の高いシルト・粘土であったことから、今回、この土質に適した流動化処理システムを開発した。

平成12年度に「泥土圧シールドの掘削土再利用における流動化処理システムの開発」として、粘性土解泥ミキサー、および泥水とセメント等を混練するミキサーの選定について報告した。

本稿は、良質な品質と単純工程を実現するために開発・実用化した、流動化処理土製造方法について報告するものである。

2. 開発の課題

土圧式シールド工事から発生する泥土を用いて、一定品質の流動化処理土を製造する場合、掘削される地盤の性状変化によって、泥土中に混入される砂等の含有率が異なると、一定の比重または含水比に調整された流動化処理土であっても、強度にバラツキが生じる。また、掘削された粘性土を溶解させるには加水する必要があるため、地盤の性状変化によっては、効率良く一定の含水比に調整することが困難となる。

これらのことから、本工事のシステムは、硬化後の強度にバラツキの少ない、一定品質の流動化土を効率良く、かつ精度良く得るための製造方法および装置を提供することにある。

3. システム概要

上記の解決策として、強度にバラツキが生じる原因となる砂、砂礫、貝殻、ガラ等の不純物を除去し、効率良く、かつ精度良く流動化土を製造するために、目的とする含水比に徐々に収束するよう、所望含水比の泥水を製造する単純工程を実現した。

3.1. システムフローの概要

本システムの流動化処理土の製造方法は、「泥水製造工程」と「固化材混練工程」の2つの製造工程からなる。流動化処理土の製造フローを図—1に示す。

「泥水製造工程」は、加水しながら粘性土を主体とする泥土を解泥装置で解泥し、最終的に所望含水比の泥水を得るもので、「固化材混練工程」は、泥水製造工程を経て得られた泥水に固化材を添加・混練して流動化処理土を製造するものである。

泥水製造工程は、「解泥工程」と「選別工程」および「泥水調整工程」の3つの工程からなる。「解泥工程」は、使用する掘削土を均質な材料にするもので、「選別工程」は、解泥工程によって得られた泥水から、シルト・粘性土以外の砂、砂礫、貝殻、ガラ等の不純物を除去するものである。また、「泥水調整工程」は、選別工程を経た泥水の容量および比重を測定し、これらの測定値に基づいた加水量を算出し、所望含水比の泥水を得るものである。

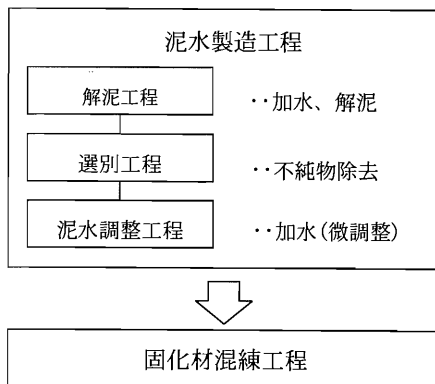


図-1 流動化土製造フロー

3.2. 泥水製造フロー

「解泥工程」においては、効率良くかつ精度良く一定の泥水を製造するため、解泥装置に取り付けたロードセルで、供給される泥土の重量を測定する。また、二周波流量計と γ 線密度計で測定された比重から、土および水の重量・加水量を演算し、所望含水比よりも低く、かつ近似する含水比に調整しながら泥土の解泥を行う。図-2に泥水製造フローを示す。

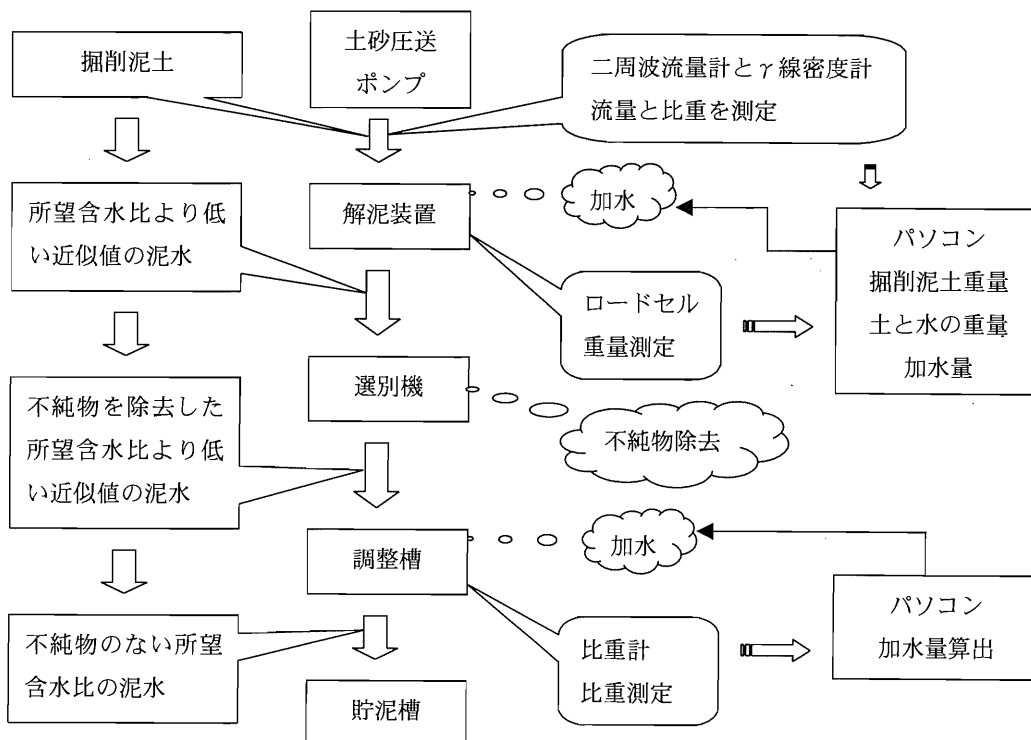


図-2 泥水製造フロー

4. 施工報告

4.1. 工事概要

「11号線本所工区土木工事」は、営団地下鉄半蔵門線（渋谷～水天宮前）をさらに北東部に延伸するもので、水天宮前を起点とし、清澄、住吉、錦糸町を経て押上に至る延長6.1kmのうち、押上停車場から錦糸町停車場までの907mの外径9,600mmの複線トンネルを、泥土圧シールドで掘削する工事である。

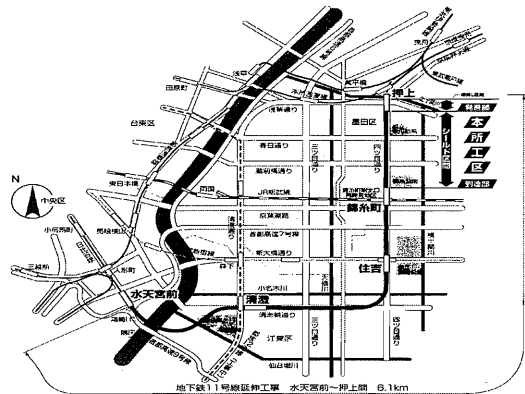


図-2 工事位置図

4.2. 流動化処理土概要

今回の工事では、シールド掘進に伴う発生土の一部を直接現場内で処理し、シールドトンネルのインバート築造および駐車場の埋戻しを行った。シールド掘進部の土質は、全断面極めて軟弱で鋭敏比の高い下部有楽町粘性土層（Y1c）である。物性を表-1に示す。

表-1 シールド掘進部の土質

発生土インバート材と流動化処理土の要求品質を、表-2に示す。これらの条件を満足するよう、現場発生土による配合試験を行い、現場配合を表-3のように設定した。

施工数量を表-4に示す。

表-2 要求品質（基準値）

種類	一軸強度 (28日材令) (N/mm ²)	JHS A313 70-値 (mm)
発生土インバート材	6.0以上	規定値 (130以上)
流動化処理土	0.13～0.56 (0.21以上)	180～300 (180以上)

() 数値を目標とした

土質	下部有楽町粘性土	
分類	粘土[CH]	
自然含水比	60～65 %	
液性限界	50～70 %	
塑性限界	35～40 %	
土粒子の密度	2.60～2.65	
粒度分布	粗砂分	1～2 %
	細砂分	6～10 %
	シルト分	88～94 %
	粘土分	

表-4 施工数量

種類	施工数量 (m ³)	
発生土インバート材	7,140	30,620
流動化処理土	23,470	

表-3 現場配合

項目	含水比 %	発生土 m ³ /m ³ ($\rho=1.6t/m^3$)	セメント kg/m ³	水 m ³ /m ³	分散材 kg/m ³	保持材 kg/m ³
発生インバート材	180	0.41	400	0.46	6.0	4.0
流動化処理土	190	0.46	50	0.54	—	—

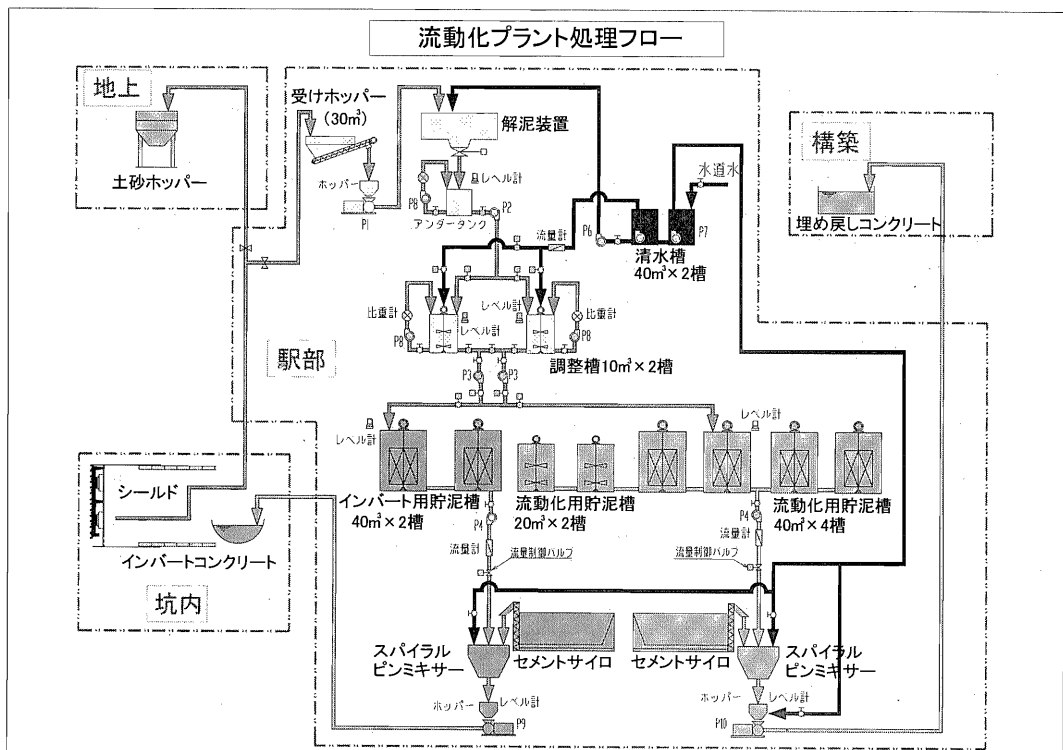
4.3. 設備概要

図-3は、流動化処理土製造システムの概念図である。シールド掘進より発生した掘削土は、坑内から駅部構内へポンプ圧送される。埋戻し土として必要な量は掘削土の一部であり、掘進過程では、地層の変化により、流動化処理土として不適な砂層、または砂を多く含む土層に遭遇する場合もあるため、泥土流路を切り替え可能な設備とした。その他の掘削土は地上の土砂ホッパーより搬出した。

流動化処理プラントへ圧送された掘削土は、受けホッパーを経てバッチ式の解泥装置へと送られる。ロードセルで供給される泥土の重量を測定し、二周波流量計とγ線密度計で測定された比重により土および水の重量を割り出す。同時に、所望含水比よりも低くかつ近似する含水比に調整するための加水量を演算し、この水量を解泥装置に供給して泥水を製造する。

この泥水は、アンダータンクを通して選別機（図示していない）に送られ、不純物の除去後、調整槽へ送られる。調整槽では、比重測定後、演算された加水量を攪拌し、所望含水比の泥水を製造する。

二次的に比重を計測するため、アンダータンクにおいても、引き抜いた泥水を再びアンダータンクに戻す循環路を設けている。



図一 3 流動化処理土製造システム概念図

5. おわりに

今回、開発・実用化した流動化処理土製造方法は、泥水中に含まれる不純物を除去する工程と、固化材混練前に、徐々に所望含水比に収束する泥水の製造方法を特徴とするもので、本工事の掘削量約 65,000 m³の内、約30%を効率良く、かつ良質な品質を精度良く製造することができた。

今後は、建設工事に伴う建設副産物発生量の抑制や、リサイクルの推進が要求される。

したがって、建設発生土を有効利用する流動化処理土工法を採用するケースがますます多くなっていくものと思われるので、本システムが参考になれば幸いである。

11. 遠隔測量システムの開発

㈱フジタ：*浅沼 廉樹、森 厳彦、
岡村 慶治

【概要】

近年のシールド工事における技術開発は、自動掘進や自動搬送等の開発をみても分かる様に、めざましい進歩を遂げて来た。しかし、各作業が自動化や省力化に移行している今日でも、測量作業は、人間による作業が中心であり、この測量頻度が多いほど信頼性の高い線形管理が可能と言われて来た。しかし、これは職員労務に頼ることが多く、近年、職員を削減する傾向にあるなか、変形勤務の要因となり大きな負担となっていた。その為、これらの測量作業を自動化もしくは省力化可能なシステムの開発が求められていた。

そこで株式会社フジタでは、坑外(事務所)より遠隔操作にて測量作業を行い、シールドマシン挙動解析を可能とする遠隔測量システム(Fujita Remote control Surveying system)を開発。小碓幹線下水道築造工事、新兵庫高区汚水幹線敷設工事、当知雨水幹線下水道築造工事への導入を行った。本論文では、本システムの現場導入結果を報告するものである。

1. システム概要

遠隔測量システムは、坑内に設置した測量台車と事務所間を通信ケーブルで接続する事により、台車内の光波測距儀を遠隔操作し、シールドマシン及びセグメントの測量を行うシステムである。

1-1. システム構成

下記にシステム構成図及び、構成機器を示す。

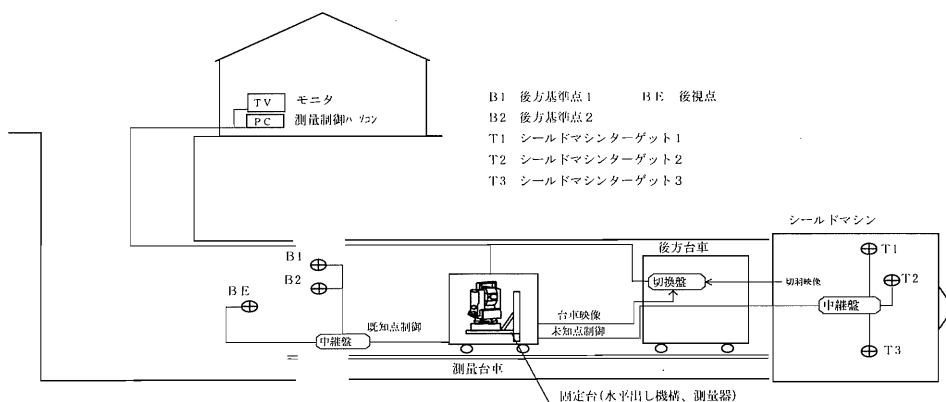


図 1-1 遠隔測量システムレイアウト図

表 1-1 構成機器

坑内側	事務所側
①セグメントに固定された既知点キューブ3台	①坑内との通信や座標計算を行う制御パソコン
②シールドマシン内に取り付けられた未知点キューブ3台(6台まで増設可)	②測量台車や光波測距儀を操作する遠隔操作盤 (DOS/V版では不要)
③光波測距儀監視用カメラ(坑内監視用と光波測距儀監視用を切換える映像切換盤)	③通常は坑内監視用の映像に使用し、測量時のみ光波測距儀監視用の映像を映すTVモニター
④光波測距儀を搭載した測量台車	

1-2. 機械概要

表 1-2 機械諸元表

機 械 名	仕 様	
測 量 台 車	寸 法(縦×横×高さ)	3,800×450×1,050(mm)
	重 量	820kg(本体部)
	入 力 電 源	AC100V
	駆 動 モ ー タ	旋回部・上昇下降共に200W
光 波 測 距 儀	測 距 精 度	±(3mm+2ppm)m. s. c
	測 角 精 度	2秒読み
	チ ル ト 補 正	±3分以内
	入 力 電 源	DC12V
整 準 台	水 平 精 度	±5秒以内
	傾 斜 調 整 範 囲	±5度
	入 力 電 源	DC24V
キューブシヤッタ (未知点用)	寸 法(縦×横×高さ)	150×90×150(mm)
	重 量	0.5kg
	入 力 電 源	DC24V
	開 閉 方 式	DCソレノイド方式

1)測量台車

測量台車は、大きく分けて、下記の3つから構成されている。

- ①旋回アーム：光波測距儀と整準台を坑内軌道上のほぼセンターに設置する装置
- ②制 御 盤：台車本体を操作する装置
- ③電 装 盤：事務所との通信や光波測距儀の制御を行う装置

通常、光波測距儀と整準台を搭載した旋回アームは、湿度管理された密閉ボックス内に格納されており、事務所からの測量開始信号を受信することにより、密閉ボックスのスライド扉をあけ、旋回、下降動作を行って、坑内軌道上のほぼセンターに光波測距儀を設置する仕組みになっている。図 1-2 に測量台車図を写真 1-1 に測量台車全景を示す。

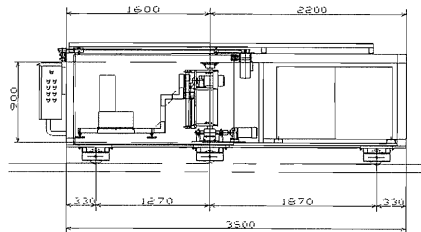


図 1-2 測量台車図

2)計測装置

本システムでは、計測装置には自動追尾機能を有した光波測距儀を使用し、その水平保持には自動整準台を測距儀の下に取り付け、計測制御を行なった。

3)キューブシャッタ

本システムにおけるプリズムの視準は、光波測距儀を直接覗き込む事が出来ない為、光波測距儀の自動追尾機能に頼っている。そこで、視準時シャッタを開閉し、目標プリズムのみ視準を可能とするキューブシャッタを開発、自動追尾による視準ミスを防止した。写真 1-2 はシールドマシン側に設置された未知点キューブである。

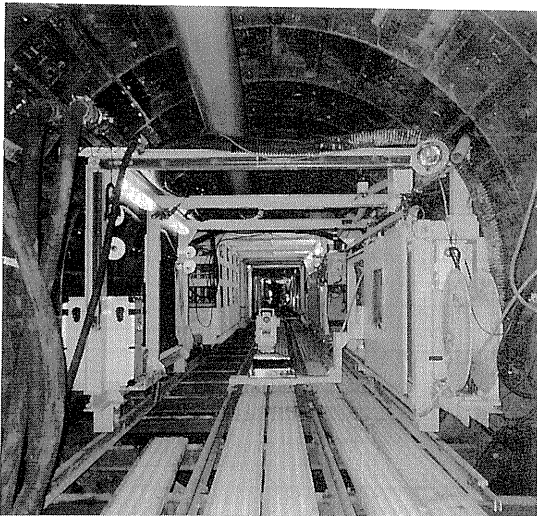


写真 1-1 測量台車全景(後方台車牽引方式)

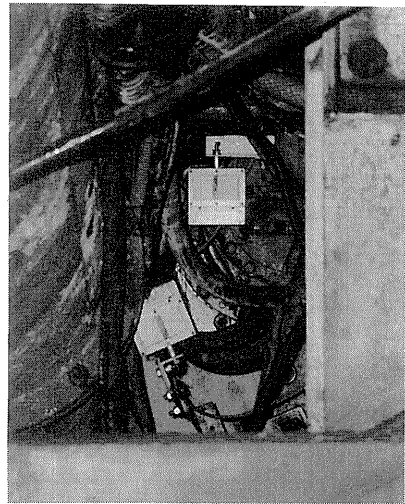


写真 1-2 未知点キューブ

2. 運用状況

本システムは、平成 11 年 1 月より運用を開始し、測量精度や運用性の面から各現場での考え方が異なる為、以下の 2 つの運用方式にて現場運用を行なった。

半固定方式……………測量台車を後方台車レール上に設置し、マシン内未知点キューブが視準可能な限り台車の移動(盛換)をしない方式。この場合、既知点キューブの盛換えも同時に行なう。(盛換えサイクルは、マシン施工線形により異なる為、不定期。)

後方台車牽引方式…測量台車を後方台車の編成に入れ、シールドマシンと共に常に移動する方式。この場合、台車の盛換え作業は不要となるが、既知点キューブの盛換えは定期的に行なう必要がある。(機械点算出精度の関係から、盛換え距離は 75m 程度に 1 回となる。)

この 2 つの運用方式の特徴を表 2-1 に、半固定方式の状況と既知点キューブ取付状況を写真 2-1、2-2 に示す。

表 2-1 運用方法比較

測量方式	半固定方式	後方台車牽引方式
長 所	既知点間の夾角を広くとる事により、機械点誤差が減少する。	後方台車接続により、台車盛替え作業が不要となる。
	既知点キューブと光波測距儀が常に対向している為、測距誤差が少ない。	既知点のみの盛替え作業となる為、盛替え時間が短縮される。
短 所	次回盛換え作業まで後方台車レールや制御線の延長が必要となる。	既知点間の夾角減少により、機械点誤差が増大する。
	台車盛換えに約2時間要す。(既知点測量含む)	既知点キューブミラーの不对向により方向角設定誤差を生じる。

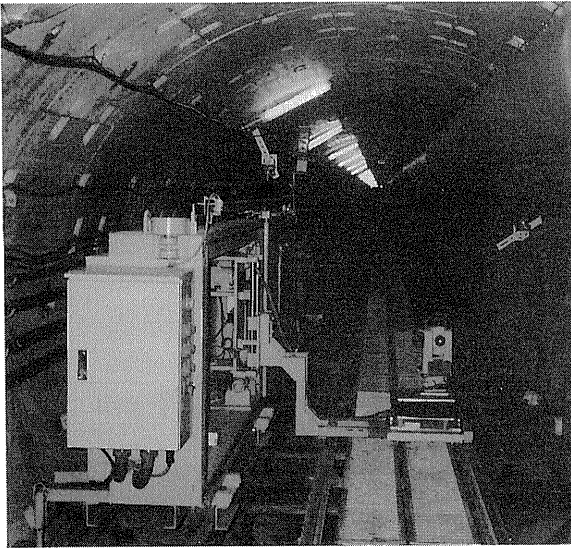


写真 2-1 測量台車全景(半固定方式)

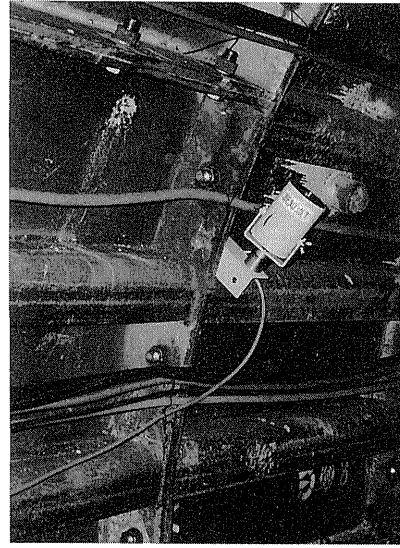


写真 2-2 既知点キューブ

3. 運用結果

3-1. 測量精度

本システムは、人による測量の様にダボ点(機械点)に測量器を設置してマシンの測量を行なう方法と異なり、機械点を既知の点から算出してマシンの測量を行なうシステムである。

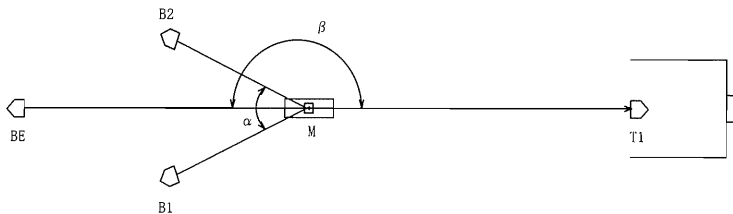


図 3-1 FRS 測量方式

従って、その測量精度は、事前シミュレーションでも確認したが既知点間の夾角が減少した場合、機械点座標の算出精度の低下が考えられる。これは現場での運用を行なった場合、夾角一定の半固定方式に比べ、常に夾角が減少する後方台車牽引方式の方が測量精度の低下を生じると言う事である。従って、後方台車牽引方式ではキューブ治具の変更を行ない精度の向上を計った。以下にその精度を示す。

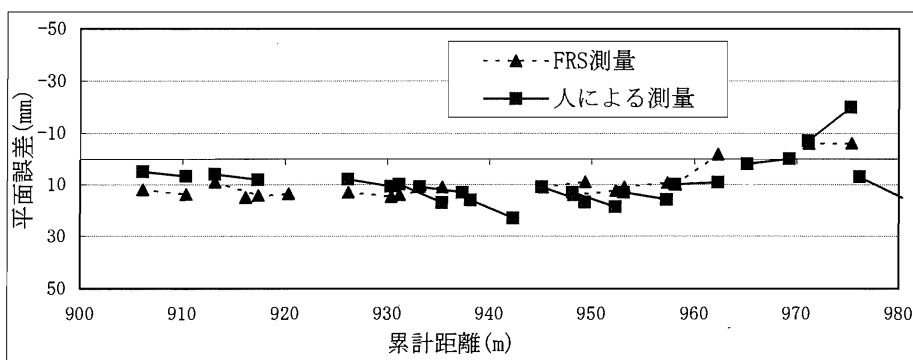


図 3-2 計画線に対するシールドマシン平面誤差(半固定方式の場合)

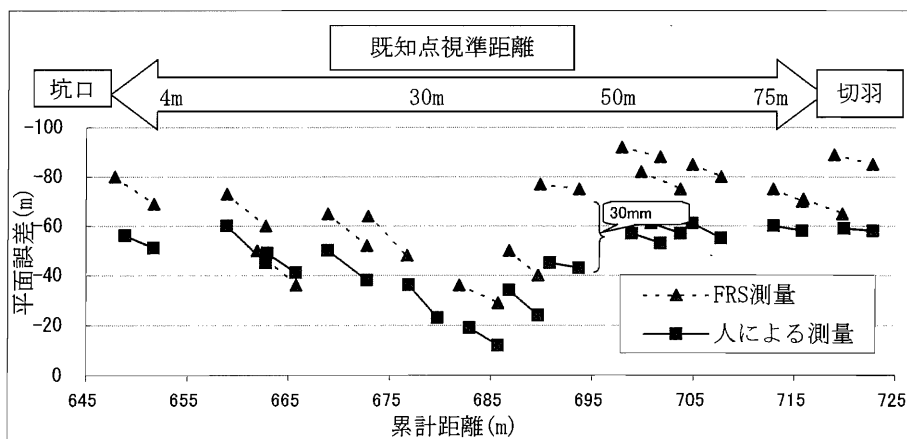


図 3-3 計画線に対するシールドマシン平面誤差(後方台車牽引方式の場合)

以上の結果より、マシン先端の誤差量と未知点の誤差量が等しい事を考慮すると、半固定方式の場合、人による測量と等しい結果になる事が分った。また、後方台車牽引方式では、夾角の減少により誤差量が増加傾向になる為、既知点視準距離が 75m を越えた時点で既知点の盛換えが必要な事が分った。また、ジャイロ方位角と遠隔測量システムによって算出された方位角は各方式ともにジャイロ精度 ± 5 秒の範囲内にある事が分った。

3-2. 運用性

本システムを現場に導入する事により、

- ①測量時間の短縮が出来た。(切羽までの往復時間・測量結果の計算時間の60分短縮)
- ②1名での測量作業が可能となった。(表3-1 測量体制比較 参照)
- ③測量頻度を増やし、線形出来形精度の向上を計れた。

以上の事が確認された。

表 3-1 測量体制比較

線形		測量頻度(マシン・セグメント測量)					
		FRS導入前			FRS導入後		
		職員	人工	職員	人工	FRS	人工※
直線		1回/日		1回/週		2回/日	事務所：1名 坑内：1名
曲線	R=1,000m	1回/日	2名	1回/日	2名		
	R=500m	1回/日	以上	1回/日	以上		
	R=300m	1回/日	(坑内)	1回/日	(坑内)		
	R=100m	2回/日		2回/日			

※セグメント出来高測量では、センタースタッフを移動するために、坑内に1名必要となる。

3-3. まとめ

本システムの現場への導入結果を表3-2に示す。

表 3-2 導入結果比較

	半固定方式	牽引方式
測量精度	0~30m 30~75m	±40mm ±30mm
測量時間	15~25分	15~25分
盛替サイクル	視準可能な限り盛換えなし。	5日に1回程度(既知点のみ)
盛替時間	2時間	15~25分
カーブ測量	---	1000Rまで対応
セグメント測量	---	対応

以上の結果より、半固定方式では人による測量とほぼ同等の結果になる事が確認された。また、当初の予想通り後方台車牽引方式では測量精度は低下したが、既知点の盛換え作業を定期的に行なう事で、対応可能な事が確認された。また、台車を牽引する事により、半固定方式では不可能だったカーブ測量やセグメント測量にも対応可能な事が確認された。

4. 今後の課題

遠隔測量システムは、今回の現場適用によりその有効性が確認された。今後、本システムをより一層向上させる為には、以下の項目について対応が必要と思われる。

- ・急曲線施工時の位置出しシステムの開発。
- ・小口径シールドマシン内未知点キューブ取り付け方法の確立。

これらの項目は実用化するに当たり、全て解決しなければならない問題だと思われる。従って、今後はこれらの問題を解決し、より実用性の高いシステムに改造改善を行ってゆく所存である。

12. 三次元マシンコントロールシステムによる現場施工の合理化

鹿島道路㈱：*鈴木 泰、

㈱トプコン：竹内 幸弘

1. はじめに

三次元マシンコントロールシステムとは、自動追尾トータルステーション技術、レーザ利用の光通信技術、精密な機械作動を行える油圧制御技術を融合させることにより、三次元的に建設機械を管理する情報化施工管理システムである。

この三次元マシンコントロールシステム技術が開発された背景には、ここ数年間において急速に発展、安価化したコンピュータ、通信技術など、情報化分野の技術を応用出来る環境が整ったことがある。これらの環境のもとで、測量、計測機器は、様々な機能を持つことが可能になった。

一方、建設機械においては、複雑な油圧回路をコントロールする技術が向上したことにより、その操作を更に容易に出来るようになった。近年、この測量機器の機能を使用することにより、建設機械のコントロールをするシステムの開発が行われてきた。建設分野においても、建設機械にこれらの技術を活用することにより、施工の合理化を図る情報化施工の具体化を望む声が聞かれるようになってきた。

当社では、広大で複雑な形状の現場での施工の合理化に対応すべく、設計データを用いて直接、建設機械の施工高さをコンピュータ制御する三次元マシンコントロールシステムを導入し、ブルドーザに搭載して基礎実験を行った。本報文は、基礎実験で得られたデータをもとに、このシステムによる現場施工の合理化の可能性を報告するものである。

2. システム導入の目的

システムの導入は、形状の複雑な精密土工の大型建設プロジェクトが計画されたことに端を発する。当該プロジェクトにおいて以下の問題点が挙げられ、その問題の解決を目的として三次元マシンコントロールシステムの導入が検討された。

- (1)溜池形の法面は曲面部と平面部とで形成され、複雑な形状となっている。その形状を正確に成形する為には多数の基準杭の設置と、測量作業が要求される。
- (2)当該プロジェクトは、当地の気象条件から年間で作業が出来る期間が限られるため、すべての工種に従来以上の合理化が要求される。測量作業も例外ではない。
- (3)複雑な形状の法面の施工は基準杭の設置が困難な為、整形作業は勘に頼る部分が多く、熟練オペレータによる作業が要求されるが、熟練オペレータの絶対数の不足が現実のものとなってきている。
- (4)今後、設計データにより、測量、施工、検査を管理できる可能性がある。即ち、建設CALSへの対応も、視野に入れることが出来る。

3. システムの概要

(1) システムの特徴

三次元マシンコントロールシステムは、建設機械の施工高さの自動制御を中心に据えた三次元的施工管理システムのことで最新の自動追尾トータルステーション技術、レーザ利用の光通信技術、油圧制御技術を融合した総合施工管理システムであり、建設機械の平面位置の計測、計測された位置での設計高さの建設機械側への指示、機械制御を自動的に行うシステムであるため、施工基準となる丁張り等を削減することが可能であり、従来の測量、丁張り設置作業を大幅に軽減することができるものである。

(2) システム構成

三次元マシンコントロールシステムを構成する主要な機器を以下に示す。

①自動追尾トータルステーション

トータルステーションとは、電子式セオドライトと光波測距儀を一体化して、角度並びに距離を同時に測定し、データを自在に加工・電子記録し、また、自動的にデータを出力できる測量機器のことをいう。本システムでは、光通信機能付きの自動追尾トータルステーションを用いる。

自動追尾式トータルステーションは建設機械に取付けられた受光センサーを自動で追尾し、自動追尾式トータルステーションの設置された位置からの角度、距離を計測する。設計データに基づいた施工高さを建設機械側へ指示する。

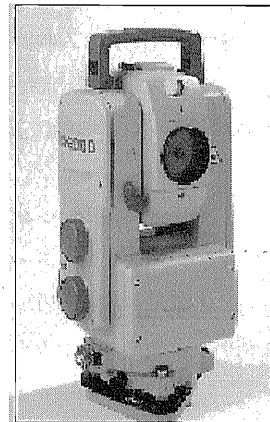


写真-1 自動追尾式トータルステーション

②受光センサ

自動追尾のための全周プリズムで構成された、光通信、レーザ検出のためのセンサ。自動追尾式トータルステーションから建設機械の現位置での設計高さ、横断勾配、ステアリング情報を受取り、作業装置の制御部に渡す。

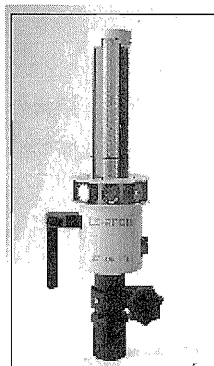


写真-2 受光センサ

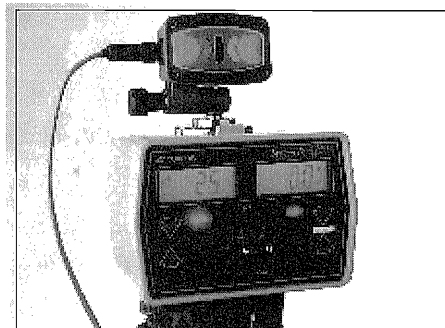


写真-3 建設機械制御部

③建設機械制御部

自動追尾トータルステーションから送信された制御信号を元に、建設機械の排土板等の作業装置の高さと傾きを制御する。また、コントロールボックスによる電動マストの上下操作、制御時の高さおよび傾斜表示、ステアリング情報表示を行う。

④制御ソフト

三次元マシンコントロールシステム用の処理ソフト。Windows95, 98, Me, NT, 2000 環境下のラップトップPCで動作し、機能的には CAD 部（3次元設計データの入力・編集機能）と重機のリアルタイム制御部に大別される。

CAD 部は、設計データの入出力、編集、等高線表示等から構成され、現場でのデータ管理・編集を容易にする。扱うデータは作業工種に応じて道路用の路線データ(ポリライン)と、造成用の三角メッシュの処理が可能である。

重機のリアルタイム制御部は、自動追尾トータルステーションで計測された建設機械の位置情報に応じた作業装置の高さ、勾配、ステアリング情報を自動追尾トータルステーションを経由して制御データを重機側に送る。

⑤ラップトップパーソナルコンピュータ

制御ソフトをインストールして、システムのデータ作成、整理、コントロール情報の発信指示を行い、建設機械の制御を管理する。現場に持ち込むので、防塵、防滴、耐衝撃性に優れた機種を用いる。RS232ケーブルで自動追尾トータルステーションに接続して使用する。

(3) システム動作

- ①自動追尾トータルステーションで建設機械の受光センサ全周に配置されるプリズムを自動追尾し、その座標位置 (X, Y) をリアルタイムに測定し、制御ソフトに転送する。
- ②制御ソフトは (X, Y) 位置の設計高さや横断勾配等の、施工に必要な情報を3次元設計データを基に算出し、自動追尾式トータルステーションに返送する。
- ③自動追尾式トータルステーションは、制御ソフトからのデータに従い、扇状のビーム（ファンビーム）の送出により (X, Y) 位置での高低位置を直接指示する。また横断勾配等の数値データを変調し、受光センサに送出する。
- ④受光センサは、自動追尾式トータルステーションからのファンビームを受信し、センサ中心に対する受信高さの検出、および数値データの復調を行い、建設機械制御部にそれらを通信する。建設機械制御部は受信データに基づき、ブレードの高さ・傾き等が設計値に合致する様、機械の油圧回路を制御する。

この一連のシーケンスを0.1秒毎に繰り返し、リアルタイムに機械制御を行うことで、PCに格納された3次元設計データ通りの施工が可能となる。

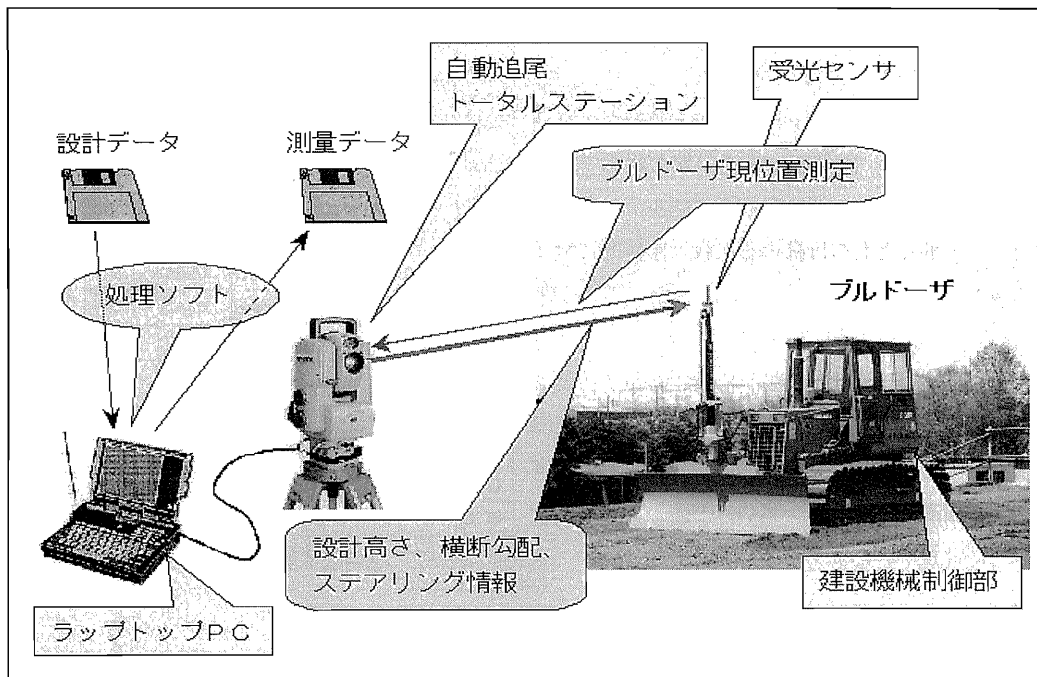


図-1 システム構成

4. システムの効果

平面的な現場及び急勾配法面（2割5分勾配）の現場において7 ton クラスのブルドーザを使用して、路盤材料の撒き出しを行い、その時の仕上げ精度の測定を行った。検測の結果は表-1、表-2に示す通りである。

平面的な場所では誤差平均値+1.0mmで、実用上問題ない満足行く結果が得られている。また、急勾配法面では誤差平均値-2.2mmであり、全体的にマイナス傾向となった。

このように、急勾配法面では若干誤差が大きくなる傾向を示したが、三次元マシンコントロールシステムを導入することにより、捲き出しの目安となる丁張りを設置せずに十分な数均し精度が得られることが確認出来、施工の合理化が図れるものと判断された。また、ここで特筆すべきことは、このときのブルドーザの運転操作はブルドーザ運転経験が10

(単位:m)

No.	座標		誘高	数均高	誤差
	X	Y			
CH1	1060.0310	1049.8790	179.338	179.344	0.006
CH2	1060.0290	1050.6940	179.341	179.355	0.014
CH3	1060.0290	1051.8060	179.346	179.358	0.012
CH4	1059.9200	1052.8260	179.350	179.358	0.008
CH5	1059.9620	1053.8540	179.354	179.365	0.011
CH6	1060.0560	1054.8440	179.358	179.377	0.019
CH7	1064.0410	1049.8650	179.346	179.353	0.007
CH8	1063.9090	1050.8500	179.350	179.363	0.013
CH9	1063.9260	1051.8550	179.354	179.370	0.016
CH10	1063.9560	1052.8340	179.358	179.367	0.009
CH11	1063.9630	1053.8200	179.362	179.361	-0.001
CH12	1063.9350	1054.8820	179.366	179.376	0.010
CH13	1068.0820	1049.8580	179.354	179.360	0.006
CH14	1068.0960	1050.8780	179.358	179.363	0.005
平均					0.010

表-1 平面での数均し精度結果例

時間未満の、いわゆる、素人オペレータによって、このような精度が確保されたということである。

なお、急勾配法面の巻き出しで全体的にマイナス傾向となった原因としては、「撒き出しが下り勾配方向で行われ、使用した盛立材料の最大粒径が100mmであったので、設計面に中途半端な状態で配置されていた碎石は、その粒径ゆえ、ブルドーザの排土板に引っ掛ったものは掻き出され、全体的にマイナス（低め）の仕上がりになった。」事が考えられる。

したがって、粒形が小さくなれば仕上がり精度は向上すると予想されるが、実施工においては、実際に敷均しを行う材料を用いて撒き出し試験施工を実施し、計画高さとの誤差を事前に把握し、その値を制御時に考慮する必要があると思われる。

(単位:m)

No.	座標		設計高	敷均し高	誤差
	X	Y			
CH1	-83496.5949	33988.4023	778.835	778.831	-0.004
CH2	-83498.4951	33989.1134	778.024	778.022	-0.002
CH3	-83502.2394	33990.4463	776.434	776.412	-0.022
CH4	-83504.1183	33991.1446	775.632	775.626	-0.006
CH5	-83496.0869	33989.8412	778.830	778.809	-0.021
CH6	-83497.9558	33990.4891	778.039	778.010	-0.029
CH7	-83501.7446	33991.8788	776.425	776.384	-0.041
CH8	-83503.6100	33992.5641	775.630	775.605	-0.025
CH9	-83506.3364	33992.0263	774.678	774.658	-0.020
CH10	-83508.8570	33992.8301	773.620	773.610	-0.010
CH11	-83511.3981	33993.6683	772.569	772.503	-0.066
CH12	-83514.3691	33994.7780	771.592	771.555	-0.037
CH13	-83517.2820	33995.7316	770.985	770.965	-0.020
CH14	-83519.7587	33996.6968	770.727	770.715	-0.012
平均					-0.022

表-2 急勾配法面での敷均し精度結果例



写真-4 平面での施工



写真-5 急勾配法面での施工

5. 今後の課題

今回三次元マシンコントロールシステムを搭載した機種は、試験施工を実施するのに取り扱いの容易な7トンクラスのブルドーザであったが、実施工には16トンクラスのブルドーザが要求される。今後は実施工に対応するクラスのブルドーザで機能を確認する計画である。また、本システムはブルドーザのみならず、モータグレーダ、アスファルトフィニッシャに対しても作業装置の制御が可能であるので、これらの建設機械に応用展開することも計画している。特にアスファルトフィニッシャのステアリングの自動化は、他の作業装置の制御とは異なるフィードバック制御が必要となるので、制御動作の確認が要求される項目である。

6. むすび

今回の一連の試験施工により、三次元マシンコントロールシステムにより、基準杭の設置を大幅に削減できるのを確認すると同時に、オペレータの技量に左右されることなく、均一で精度の高い施工結果が得られることが実証された。

建設機械の自動コントロールシステムは本件の三次元マシンコントロールシステムのみならず、油圧ショベルを自動コントロールして、一定の法勾配の成形に対応出来るものも実用化されている。

また、三次元マシンコントロールシステムとはシステムが異なるが、GPSを利用し、建設機械が自分自身の位置（座標）及び進行方向を認識し、建設機械に搭載したコンピュータがその作業ポイントにおけるデータを記憶装置から読取り、作業を実行するシステムも実用化されつつある。

現場施工において、三次元マシンコントロールシステムの有効性を確認すると同時に、このようなさらに進んだ技術により現場管理を行う方法についての調査研究を実施していく所存である。

13. GPSを利用したダンプトラックナビシステム

鹿島建設(株)：青野 隆

1. はじめに

大規模造成工事において大土量の急速施工を進めるためには、効率的な施工管理が重要な要素である。今回、IT技術を応用したシステムを構築することで、現場内の様々な情報をリアルタイムで工事事務所に集約・管理する情報化施工管理システムの開発を行った。

2. 開発の経緯

空港、フィルダム、高速道路など、大土量の造成工事においてはゾーニング盛土（場所ごとに、使用する盛土材の土質が規定されている盛土方式：図-1参照）を行うケースが多い。

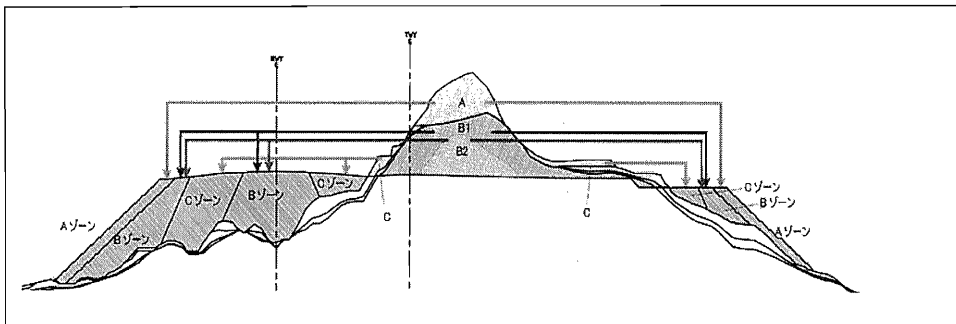


図-1 ゾーニング盛土例

ゾーニング盛土工事では、盛土場における土質（ゾーン）別の出来形を把握し、切土場側では盛土場の受け入れ容量に応じた土質の材料を安定して供給することが、効率的な施工を行う上で必要不可欠である。

通常、ダンプトラックの運転手の日報を作業終了後に回収し、集計することで土質別の出来形を把握する。しかしこの方法の場合、ダンプ台数、土質の種類や1日の施工数量の増大に比例して集計作業に要する労力・時間も増加し、運土計画や工事の遅延対策をタイムリーに行うことが困難である。

このような現状を改善する手法として様々なシステムが以前から開発導入されているが、各種問題点があるため、運搬土量をリアルタイムで把握できるダンプトラックの運行管理システム（ダンプトラックナビシステム）を新たに開発した。

開発したシステム概略図を、図-2に示す。

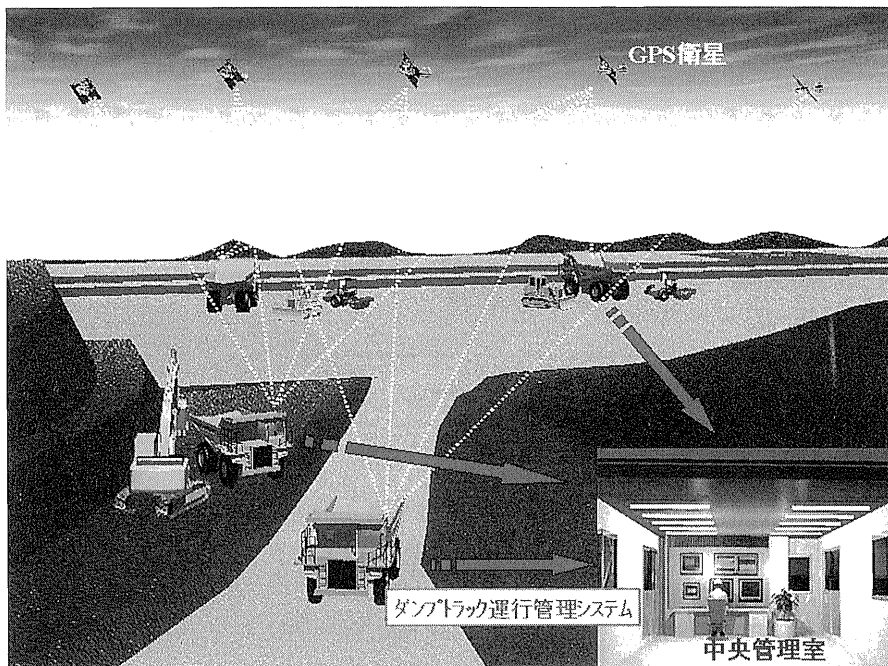


図-2 システム概略図

3. ダンプトラックナビシステムの特徴

(1) 既存システムの問題点

以前に開発されているシステムとしてIDカードを利用した運行管理システムがある。これは、ダンプトラックに必要な情報を書き込んだIDカードを装着し、運搬経路上に設置した読取装置を通過する際に情報を収集するシステムで、固定されたルートを走行するダンプトラックを対象に運用されている。このシステムは、施工範囲が広く現場内に切盛エリアが複数箇所存在する場合や、土量バランスが必要な工事においては以下のような問題点がある。

- ① 切土場・盛土場が複数点在すると、ダンプトラックの走行ルートは最短経路で決定されるため、常に通過する地点を限定する事が不可能であり、走行ルートごとに多数の読取装置を設置する必要がある。
- ② 工事の進捗に伴い、工事用道路の付替えが頻繁に行われるため、読取装置をその都度移設する必要があり、移設中はシステムの運用が不可能となる。
- ③ 各ダンプトラックの1日の作業内容で、切土場、盛土場、運搬土の土質が変化するため、変更の度にIDカードの情報を書き換えるか、各パターンごとにIDカードを準備し、その都度取り替える必要がある。

(2) 今回開発したシステム

D-GPS 方式によるダンプトラックの位置情報取得と運転手の操作による土質情報を組み合わ

せることにより、IDカード方式では対応困難であった走行ルートや運搬土の土質の変更に対応する自由度の高いシステムを開発し、上述（１）の問題点が全て解決可能となった。

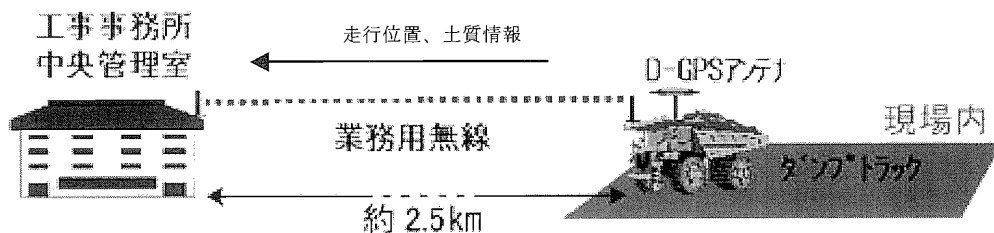


図-3 GPS を利用したダンプトラックナビシステム

図-3に示すように、ダンプトラックから中央管理室へデータ伝送されることで、リアルタイムに各ダンプトラックの位置、土質情報を一元管理することができる。したがって、「どの車両」が「どこ」から「なに」を「どこ」へ運搬しているのかがリアルタイムに把握できることから、遅延のないタイムリーな施工管理、運土計画、出来形管理が可能となる（写真-1の中央管理室内参照）。

実際に導入した現場での施工状況を写真-2に示す。



写真-1 工事事務所の中央管理システム



写真-2 現場施工状況

(3) 使用機器

各ダンプトラックに搭載する機器は、GPS受信機（写真-3）、運転室内の操作盤、ダンプアップを検出するセンサ及び業務用無線機移動局（2W）等である。また、工事事務所（中央管理室）に設置する機器は、D-GPS基準局（写真-4）、業務用無線基地局（写真-5）、及び無線の制御や画面表示等を行うパソコンとモニタである。

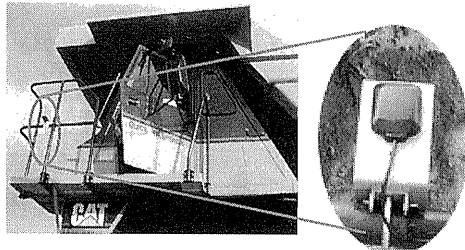


写真-3 GPS受信機

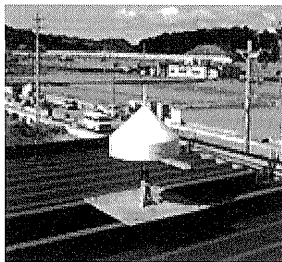


写真-4 D-GPS基準局
(工事事務所)

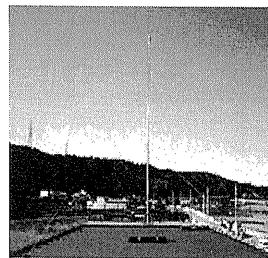


写真-5 業務用無線基地局
(工事事務所)

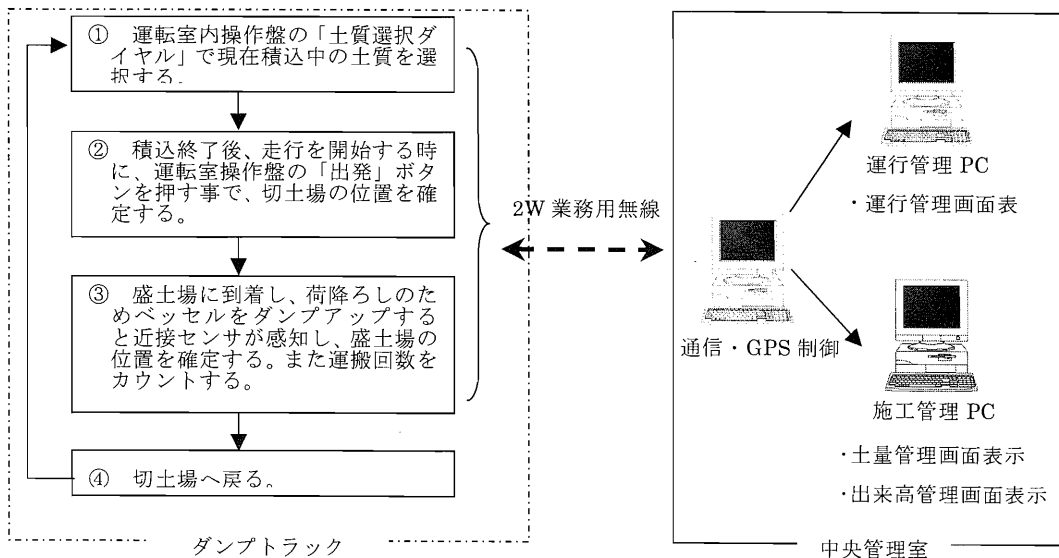


図-4 システムのフロー

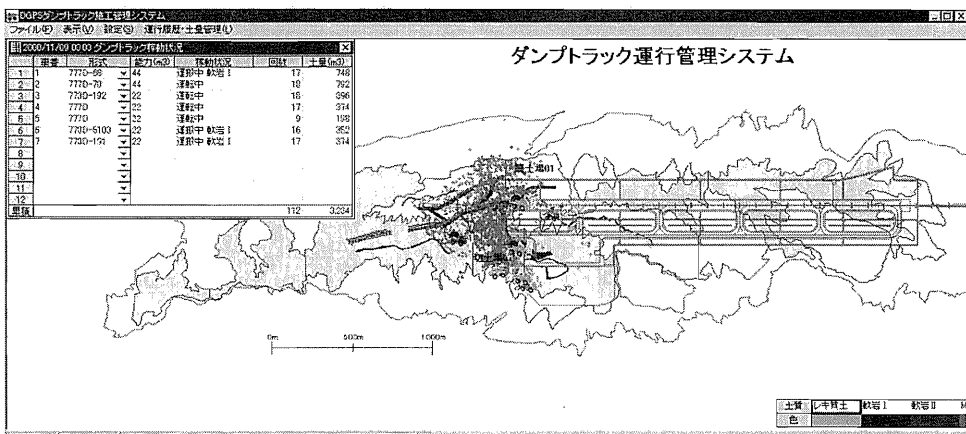
(4) システムのフロー

図-4に示すフローの①～③で得られる情報は、出力2Wの業務用無線により各車順番に工事事務所へ伝送され、コンピュータで処理し、約60秒ごとに情報が更新される。

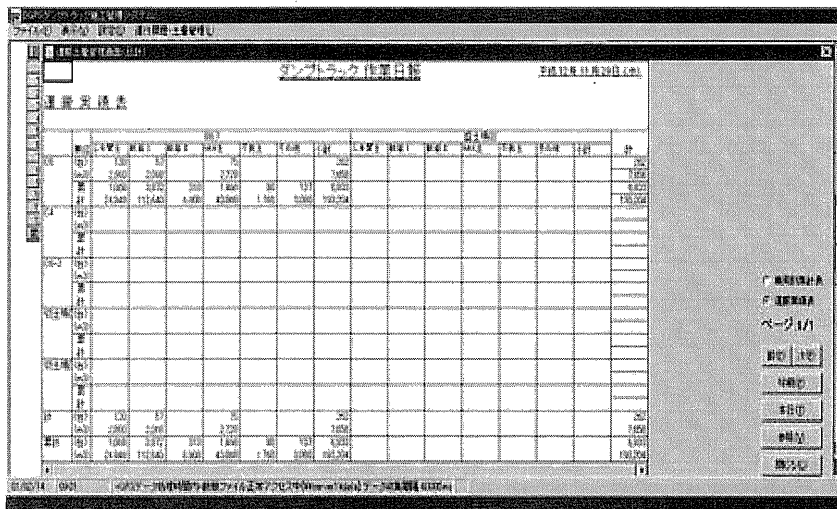
(5) 中央管理室における管理画面

a. 運行管理画面

工事エリアを表示した平面図上に、ダンプトラックの最新位置がアイコンで表示される。また、稼働中のダンプトラックのアイコンがリアルタイムで移動すると共に、積荷は土質別に色分け表示されており、何号車が「どこ」から「どこ」へ「何を」運搬しているかが容易に管理できる。また、当日の累計運搬回数、累計運搬土量がダンプ別に一覧表として表示される。これらにより、現在の施工状況を容易に把握することが可能となった（図－5 参照）。



図－5 運行管理画面



図－6 土量管理画面

b. 土量管理画面

切土場別、盛土場別、土質別の運搬土量の最新情報が一覧表として表示される(図-6参照)。したがって、施工実績をリアルタイムで把握できることにより、運土計画の立案や変更が十分な時間的余裕をもって行うことができる。

また、作業終了時にはこの一覧表を各ダンプトラック別に集計し、作業日報としてプリントアウトできるため、運搬作業中の日報記入や回収後の集計作業が不要である。

c. 出来形管理画面

日々の運搬実績を集計し、日運土量を棒グラフで、累計の運土量とあらかじめ設定した予定累計運土量をそれぞれ折線グラフで表示する(図-7参照)。これにより常時、予定と実績の比較・対比が可能となり、工程の遅れを早期に察知して的確かつ迅速な施工計画の立案・土砂運搬計画の変更が可能である。

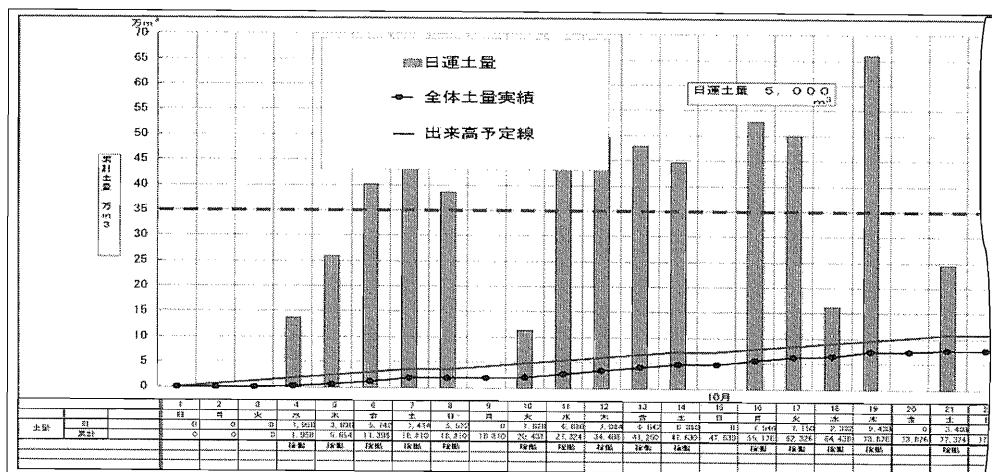


図-7 出来形管理画面

4. むすび

大規模造成工事の急速施工化に伴い、工程管理、土量管理の重要性がますます高まっている。品質を確保しつつ施工の効率性をより高め、施工現場における安全性の確保も図る情報化施工技術として、当システムを有効利用することにより、的確な対応を迅速に行えることが実証された。

施工の合理化・工事管理の合理化・品質の向上・コスト縮減・安全性の向上を図るためには、こうした新しい情報化技術を用いた施工全体のマネジメントを行うシステムの開発が必要不可欠である。

14. マトリックス演算手法を用いたトータルステーション変状計測システム

東日本旅客鉄道(株)：桑原 清、
大成建設(株)：宮崎 裕道、*近藤 高弘

1. はじめに

近接工事に伴う構造物等の変位・変状の計測には、従来は水盛式沈下計や電子スタッフなどが用いられてきた^{1)、2)}。これらの計測機器は、計測の方向成分が鉛直、水平または傾斜などの一次元のみであった。また、既設構造物が鉄道や高架橋のような場合、影響が線状に長く及ぶ事例もあり、この場合、測点側のセンサーが多数となり配線の複雑化や設置工事費のコストアップなどの問題が生じていた。

これらの対応として近年、新しい方法として自動追尾式のトータルステーション（以下TS）が用いられるようになった。しかしながら、単純にTSだけを用いると、気温や日射、振動などによるTS設置架台自体の変位・変形が発生するため、長期安定性や精度などが低下し、TSの利便性を活かすことが難しかった。

我々は、TSを活用した計測の測定誤差について、一般に用いられている補正方法のみでは不十分と考え、TS設置位置そのものが変位しても影響をキャンセルできるマトリックス演算手法を考案した。

このマトリックス演算手法を用いた計測システム（HyPos：ハイポス）は、長期安定性や精度を格段に向上させた。HyPosに市販の自動追尾式TSを接続するだけで、内蔵されたマトリックス演算が利用でき、100m先の三次元変位量を1mmの精度で、自動的に測定できる。マトリックス演算の効果は、TSの設置架台に日射等による微妙な傾斜や変位が発生しても影響されず、高い測定精度が維持できることである。

本報告は通称HyPosと呼んでいるTSを用いた変状計測システムについて報告するものである。

2. 開発内容と来歴

近接工事に用いる変状計測システムにTSを活用し、構造物の変位・変形、地盤変形等を監視する事を目的として、東日本旅客鉄道(株)と大成建設(株)で共同開発を行った。

平成 9年度：TS基本性能の確認試験、およびデータ補正アルゴリズムの研究を実施

平成10年度：マトリックス演算アルゴリズムを用いた長期安定性の試験、およびマトリックス演算アルゴリズムを用いたユーザインターフェースの設計試作を実施

平成11年度：試作HyPosによる長期安定性・性能試験、および従来方法での測定とHyPosとの比較試験の実施

以上の来歴によりHyPosが開発され、一般ユーザでも、難解なアルゴリズムを意識しないで利用できるTS変状計測システムを完成した。

3. HyPoSの概要

HyPoSは、市販の自動追尾型トータルステーションを接続することで、内蔵されたマトリックス演算処理機能によって、簡単に高精度な「多測点自動変位計測システム」として構築することができる³⁾。

システムの構成を以下に示す。

- ・ TS (1秒読み自動追尾型TS) : 1台
- ・ HyPoS : 1台
- ・ TSシェルター (自動開閉式) : 1台
- ・ パソコン (データ収集用) : 1台

HyPoSには、マトリックス演算処理およびTSの制御・シェルターの制御等を行い、計測時は気象補正・振動検出再計測機能や雨天時のシェルター開閉などの機能をもたせてある。

また、TSシェルターは、TSを防護するドーム開閉昇降式の収納装置である。

HyPoSの利用に当たり測点とは別に立体的に基準点4点以上を配置する。

HyPoSの利用者は、面倒な補正計算や計測時の振動や気象データの取り込みなど意識する事なく、現在の計測結果を要求するだけで、

長期間にわたり高精度な測定結果を入手できる。

(100m先で1mm以内の測定精度)

また、マトリックス演算によりTSの設置架台が微妙に傾斜したり変位しても測定精度に影響を与えず計測する事が可能になっている。

HyPoSとその他TSシステムの機能比較を表-1に示す。

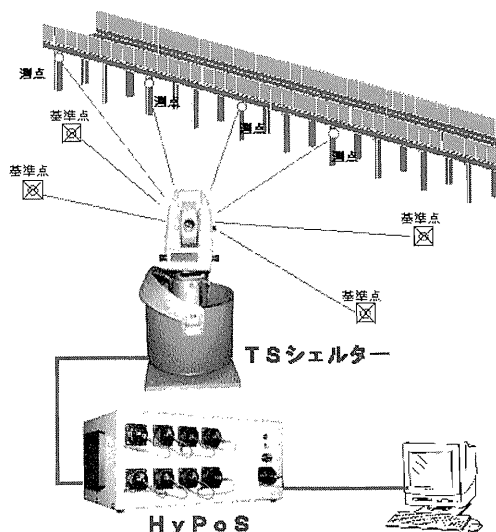


図-1 HyPoSシステム構成図

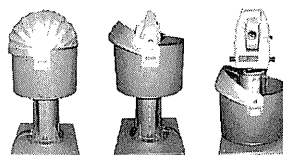


写真-1 TSシェルター開閉状況

	HyPoS	他のトータルステーションを用いたシステム
気象補正機能	HyPoSには気象センサーを内蔵しており、気温、気圧、湿度の気象補正を行う。	気象補正機能は別途
処理方法	マトリックス演算処理による三次元リアルタイム座標変換にて高精度を確保 従来の補正方法は用いない。	幾何学的計算処理のみ補正を行う場合基準点の鉛直角の補正を行う場合が一般的
TS設置架台の影響	TS設置架台が微妙に傾斜したり、変位しても影響を受けず測定可能	設置架台の傾斜および変位には対応できない。
測定時振動対策	測定時振動がある場合自動的に再測定して信頼できるデータを確保する。 (振動計内蔵)	測定時の振動があっても測定してしまう。
実用精度	100m地点で±1.0mm以内	距離によって変わるが 実績で±5~10mm程度

表-1 HyPoSとその他TSシステムの機能比較

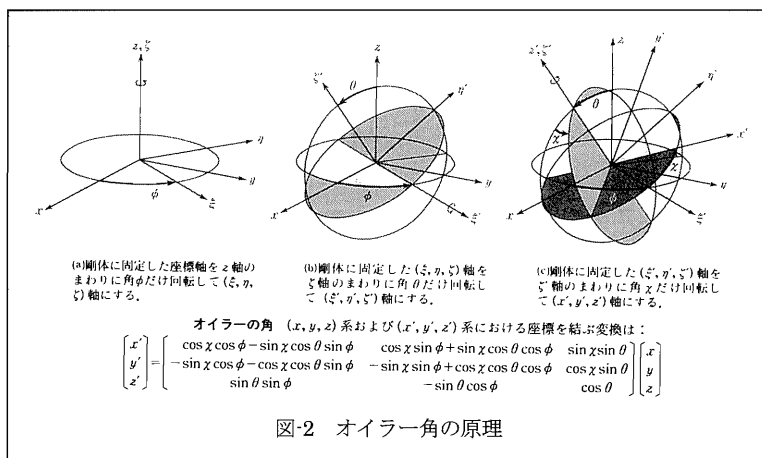
4. マトリックス演算の原理

TSを利用して、構造物の変状・変位量を長期に観測しようとする発想は以前よりあった。その発想は、測量機で精密にmm単位で測量している現実から、単に測量機を利用して構造物を監視すればmm単位の精度で観測できるだろうとするものである。

確かに測量するとmm単位の精度で測定できる。しかし多くの場合、長期観測を続けるとその精度劣化は数倍以上にもなる。測量機を利用した多くの変状・変位計測の問題がこの点にある。

測量技術は幾何学体系によって構築された完成技術である。測量そのものと精度には何の矛盾点も見出せない。しかし変状・変位を測定するとこの幾何学体系では説明できない矛盾が発生する。

そもそも測量では座標系が固定されている事が前提に幾何学が成り立っているからである。実際に長期観測する測量機は自然界の影響（日射や温度変化など）を受け常に同じ状態に固定され初期の座標系を維持することが事実上不可能であるために精度劣化をおこすのである。



即ち、測量機の微妙な変位や傾きで座標系そのものが変化してしまう。それに対して実際に変位が発生していない測点は、初期に観測した座標点とある時刻経過して観測する座標系ではTS設置架台の傾き等が発生してしまい変位が無くても変位が発生したかのように観測されてしまう。

この解決策として座標系の傾きを計測する方法が考えられるが、実際この三軸の傾きを計測したとしても三軸の傾きからは元の座標系への計算は不可逆的になり計算は成立しない。



写真-2
Leonhard Euler

この三次元座標系の問題に取り組んだのがスイスの数学者 Leonhard Euler 1707-1783 (オイラー) である。オイラー角としてその原理を発表している⁴⁾。

そこでオイラー角の行列パラメーターを同一平面上にない基準点4点から逆に計算する方法を考案した。この手法をマトリックス演算と呼び、これにより長期観測時の座標系の傾きを初期状態の座標系に戻す事ができるようになり、変状・変位を測量機の精度で確保することができるようになった。

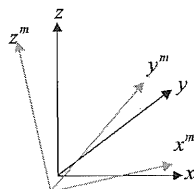


図-3 4C4の座標系

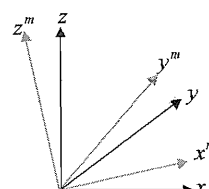


図-4 3C3の座標系

基準点4点からマトリックス演算を行う手法を4C4と呼んでいる。4C4マトリックス演算機能は、初期座標系からの三軸の回転と三次元の変位移動が発生した座標系の変換を可能にするものである。

また基準点3点からなるマトリックス演算を3C3と呼び、初期の座標系の三軸回転成分のみを変換可能にするものである。

5. 実証試験および結果

5-1. 屋内基本試験

試験で用いるTSの機能および性能をカタログ調査した結果、測定精度に関わる、測距および測角の測定精度の優れていた2機種（ライカTCA-1800、ジオジメータ640型）を用いて屋内試験を行った。

屋内試験場所として工場内に7個のターゲット

を設置して順次視準した。各TSの測距データは気温、気圧、湿度による気象補正を行い24時間連続で計測した。

図-5に示すNo.5のターゲットには三軸方向に各々、所定量微動させ、計測値と微動量を比較することで分解能を確認した。その結果両TS共に81.5m離れた位置で0.1mmの移動量を検出することができた。

この状態でターゲットの計測座標を従来の方法で三次元座標に変換したターゲットNo.2の計測結果を図-6に示す。

この4日間の連続計測データから、明らかに日変化がTSの計測結果に現れている。即ち実際には変位が無いのに、計測結果には変位が一日を通して変化するような観測結果となっている。

この解決策としてマトリクス演算による手法が有効になる。図-6のデータをもとに、基準点4点を用いる4C4マトリクス演算をシミュレーションした結果を図-7に示す。図-7の基準点は屋内試験ターゲットNo.(1-3-6-7)を用いた。

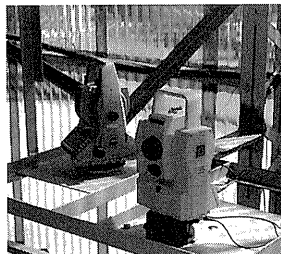


写真-3 TCA-1800と640型

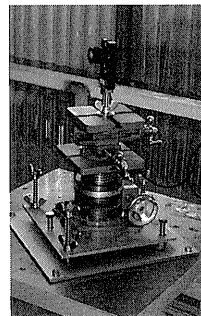


写真-4 三軸テーブル

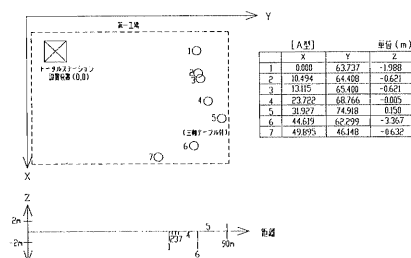


図-5 屋内配置図

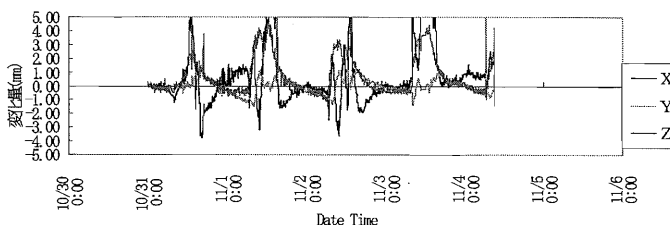


図-6 No.2ターゲットの従来方式の計測結果

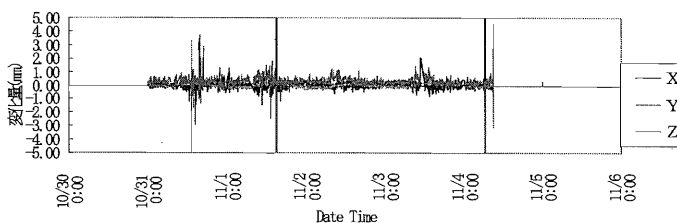


図-7 No.2ターゲットにマトリクス演算を用いた計測結果

この手法により、計測結果はほぼTSのカタログ精度に近づき、日変化の影響を受けずに非常に安定した結果を得ることができた。

マトリックス演算手法による2機種の差異はほとんど無く、ほぼ同等の性能を有するものと考えられる。

5-2. 計測時振動による影響の処理

計測時の振動の影響を調べるため、鉄道列車通過の振動を受けやすい場所にTSを設置して試験を行った。

その結果、マトリックス演算手法における長期間計測で最も計測結果に影響を与えたのが振動であった。図-8に計測

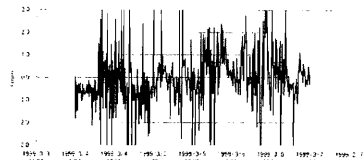


図-8 列車振動の影響による計測結果

中に列車振動の影響を受けた様子を示す。列車振動の影響を取り除く測定方法として、振動加速度および前回計測値との絶対差を比較判定して、再計測を行う処理方法を考案してその有効性を確認した。振動・計測しきい値による処理アルゴリズムを図-9に示す。

振動加速度計で計測した計測値を設定振動値と比較して、計測結果が有効か無効かを判定する。続いて前回計測値と現計測値との絶対差を求め、設定した計測しきい値Sとを比較して再計測を実施するかを判断する。

前回計測値(x_f, y_f, z_f)、現計測結果を(x_s, y_s, z_s)とする。

再計測回数をn回までとする。

この処理方法により、計測時振動影響を受けたイレギュラーな計測を排除し、安定した計測結果が得られ、かつ実際の変位を捕えることができた。

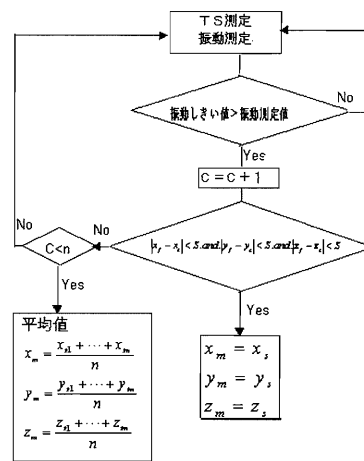


図-9 振動・測定 Algorithm

5-3. 従来計測器との比較検証

本システムの信頼性を検証するため、従来型の計測方法（水盛式沈下計・電子スタッフ（EPS））で計測した時の計測値とHyPosで得られた計測値の比較試験を行った。

比較試験は、上下方向に微動可能なスライド機構のある計測機器設置架台上に、水盛式沈下計1・電子スタッフ・TS用ターゲットを設置して行った。

この状態で、スライド架台を上下させ、各方法の計測値を比較し、精度試験を行った。

図-10に水盛式沈下計および電子スタッフ（EPS）のスライド架台強制変位後の応答変化を示す。

スライド架台に強制変位を発生させ、各従来型計測機はその変位量をとらえている。

同様にHyPosのスライド架台強制変位による計測変化量を図-11に示す。

強制変位量は2→3→6→10→20→30→15→0→-10→-20→-30→0mmと段階的に変位させたときのターゲットの計測結果（Z軸方向）である。

スライド架台を用いた強制変位による計測結果より、Hy P o Sを用いた計測は、従来計測器と比較しても良好な結果が得られた。

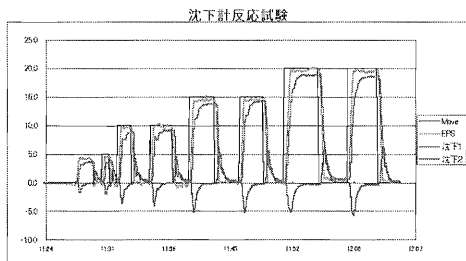


図-10 従来型計測器の強制変位応答結果

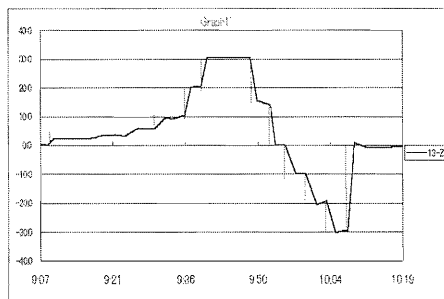


図-11 Hy P o S計測による強制変位応答結果

6. おわりに

マトリックス式変位自動計測システムは、現場の変位・変状を計測するのに有効でかつ容易に構築することができるシステムである。

また、現在近接工事に伴う構造物の変位・変状計測として、7箇所の現場でHy P o Sが利用されている。本システムの使用に当たり、従来の測量的な考えと異なる点について留意が必要である。

- ・基準点の配置位置は、幾何学的に立体になるように配置する。
- ・TS設置場所は、日変化で変形する場所に設置しても対応できる。
- ・TS設置場所に間欠的な振動があっても対応できる。

以上のようにHy P o Sを用いる変位計測は、従来のTSのみを用いたシステムとはかなり異にする。

またHy P o Sを用いる事で、一般の利用者は簡単な操作のみでマトリックス演算手法を利用でき、その高精度な計測結果を得ることができる。

参考文献

- 1) 土質工学会編：近接施工、1989.
- 2) 宮崎裕道：電子スタッフによる沈下計測システム、測量、Vol45, No.9, pp.30-35、1995.9.
- 3) 古高昇始、桑原清、宮崎裕道、近藤高弘：トータルステーションを利用した計測装置に関する基本試験、土木学会第53会年次学術講演会、VI-353, pp.707-706、1998.10.
- 4) 広中平祐 編集代表：現在数理学事典 (ENCYCLOPAEDIA OF MATHEMATICAL SCIENCES)、大阪書籍株式会社出版、1994.

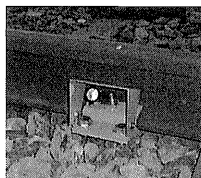


写真-5
ターゲット設置状況

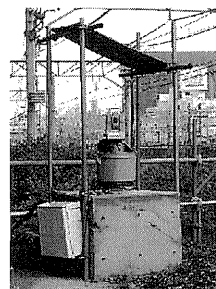


写真-6
Hy P o S設置状況

15. 情報化施工による盛土締固め管理

国土交通省 関東技術事務所：*門口 勉、持丸 修一、
小坂 知広

1. はじめに

少子・高齢化による生産年齢人口の減少や、環境への意識の高まり等を背景に、安全・品質・環境・コストを含めた更なる建設生産の合理化が求められている。

そこで、公共事業の品質確保と生産性向上を目的として、既存の建設機械に自動制御技術や電子情報技術を取り入れた、情報化施工技術の開発が進められている。

本稿は、情報化施工の要素技術の一つである「自動追尾TS等を用いた盛土締固め管理システム」を実工事へ導入した場合の施工管理手法について報告するものである。

2. 盛土締固め管理システムの概要

(1) 情報化施工による盛土締固め管理の概要

盛土の締固め管理は、現場密度や飽和度等を点的に測定する品質規定方式が主流である。この管理方式は、砂置換等による密度管理に時間と労力を必要とし、施工の流れが中断する問題があり、盛土全体の品質に関してはオペレータの技量によるところが大きいのが現状である。

これに対し、情報化施工による盛土締固め管理では、工法規定方式として、自動追尾TSで計測する締固め機械の3次元位置データにより、予め定めた転圧回数と施工位置を施工と同時に車載モニタに表示しながら、リアルタイムで施工管理を行うものである。その結果、盛土全面の均一な締固めによる品質の向上と、現場密度管理の省略による作業の効率化を図ることが可能となるものである。

(2) システムの機器構成

本システムは、締固め機械の位置を計測する自動追尾TSとデータ送受信機、現場事務所にてデータの演算・モニタ表示・記録・管理帳票の作成を行うコンピュータとプリンタ、

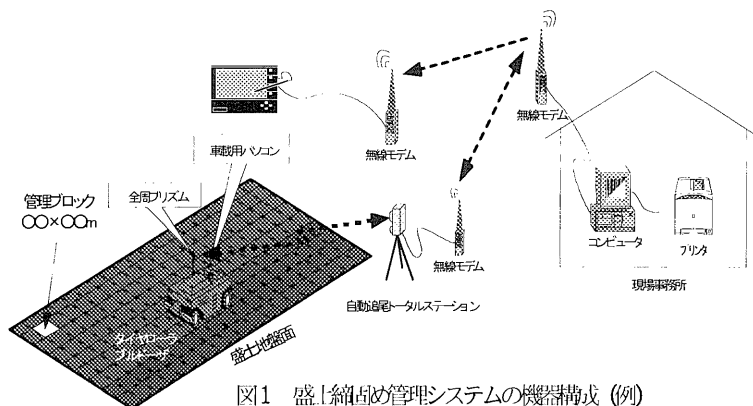


図1 盛土締固め管理システムの機器構成 (例)

オペレータが締固め回数を確認するモニタ用車載パソコンなどで構成される。盛土締固め管

理システムの構成例を図1に示す。自動追尾TSで計測した締固め機械の三次元位置データは、無線で現場事務所のコンピュータに送信・処理される。さらに、現場事務所から車載用パソコンにも送信され、オペレータは、モニタ表示された転圧回数分布図を見ながら所定回数の締固めを行う。

(3) データの出力例

自動追尾TSで計測した締固め機械の三次元位置データは、無線で現場事務所内のコンピュータに送信され、データが蓄積される。このデータを基に、転圧回数分布図、走行軌跡図、層厚分布図等を出力できる他、データの後処理を行うことによって概略の盛土断面出来形図の作成や、概略土量を管理できる。データ処理後の出力例を図2に示す。

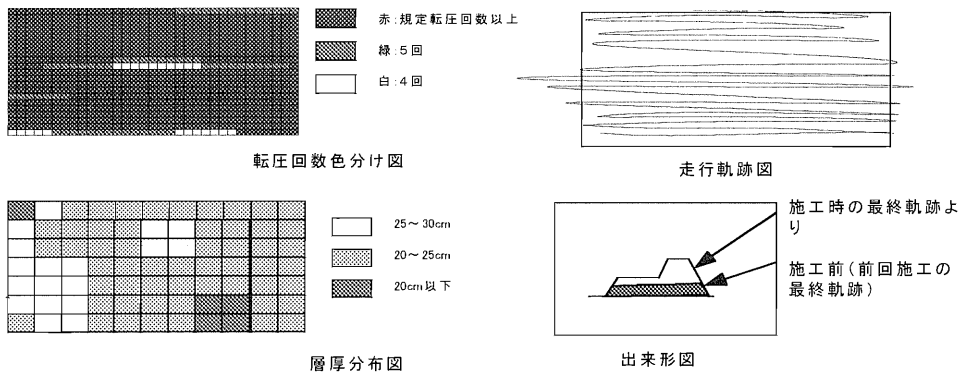


図2 管理帳票の出力例

3. 施工実験

(1) 実験方法

前述したシステムを用いて、国土交通省関東地方整備局管内の河川盛土工事(ブルドーザ転圧)および道路盛土工事(タイヤローラ転圧)の2箇所盛土の締固め施工実験を実施した。図3は実験時のシステム導入の手順をフローで示したものである

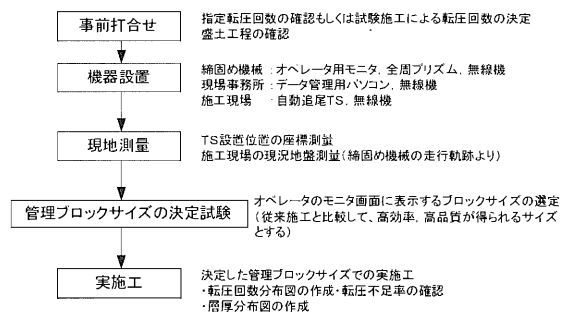


図3 施工実験フロー

(2) 管理ブロックサイズ決定試験

管理ブロックとは、施工時に盛土面を締固め機械が何回通過したのかをモニタ上で確認す

るため、締固め回数毎に着色表示させる締固めヤード内の分割ブロックサイズをいう。

管理ブロックサイズ概念図を図4に示す。

本システムは、この管理ブロックの一辺(一点)にローラ幅が接触した場合に締固めたと認識するロジックとなっており、管理ブロックの大きさによって実際の転圧範囲や施工時間に差が生じることとなる。今回の試験では、幅15.5m×長さ30mの試験ヤードを

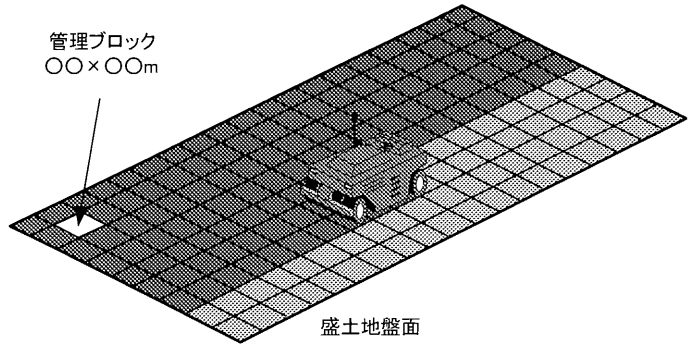


図4 管理ブロックサイズ概念図

設け、管理ブロックサイズを3種類変更した結果とシステムを利用しない従来施工の結果を比較し、従来施工と同等以上の品質を確保しつつ作業効率の落ちない管理ブロックサイズを選定する。

(3) 実施工

管理ブロックサイズ決定試験で得られたブロックサイズを適用した実施工の実験を数層の盛土で行い、管理ブロックサイズ決定方法と実施工へのシステムの適用性を検証する。

4. 実験結果

(1) ブロック選定試験

管理ブロックサイズ決定試験の結果を図5に示す。図5において、従来施工よりも転圧不足率が少なく(品質向上)、作業時間の短い(施工の効率化)範囲内で施工できるブロックサイズが、実施工において最も合理的に作業を実施できる管理ブロックサイズとなる。

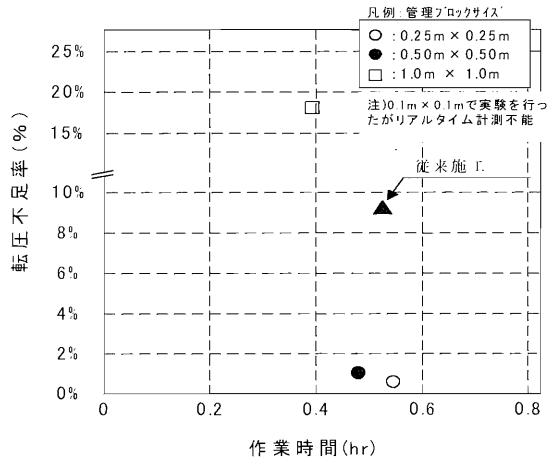


図5 管理ブロックサイズ決定試験結果(タイヤローラ)

転圧不足率は、締固め終了後に、システム上で最小管理ブロックサイズ0.1mに分割し「未転圧ブロック数/全体ブロック数×100」で算出して評価した。図5より、実施工では管理ブロックサイズ0.50mが最も適切と考えられるが、実施工時の施工誤差を考慮し、施工実験は0.50mと0.

2.5mの2種類について実施した。

(2) 実施工

実施工での締固め結果のまとめを図6に示す。図より、転圧不足率は、管理ブロックサイズ0.25mが0.5%以下、0.50mが最大で3.2%であり、いずれも管理ブロックサイズ決定試験の時と大差はない。作業能力についてもその傾向は同様であり、管理ブロックサイズ0.50mにおいて従来施工よりも高能力

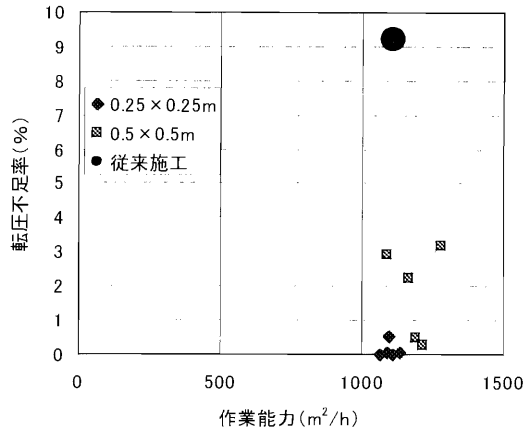


図6 タイヤローラによる締固め結果

である。よって、管理ブロックサイズ0.50mの場合、従来施工に比べて作業能力および品質の向上が図られた。

5. おわりに

情報化技術を活用した盛土締固め管理システムが、機器の測定精度および機能上も実工事に十分適用できることが確認でき、実施工へ適用する場合の手順や試験施工の手法についても提示する事ができた。今後は、施工実績をデータベース化し、管理ブロックサイズの決定試験を省略する必要がある。関東地方整備局では、今回の実験結果を基に、盛土締固め管理システムによる「盛土施工管理要領(案)」を作成した。今後、試験フィールド事業等で実績を積み重ね、本要領案を運用しやすいよう順次修正を加えていく予定である。

現状では機器(ソフト含む)の価格が高価であり、また、専門的な知識を持ったオペレータの養成も必要であるが、目前に迫ったCALSへの対応や、将来、盛土の厚層化等を行っていくことなどを考えた場合には有効な技術であると考えられる。

16. ジャンボマシンの作動特性を基にした地山地質構造の可視化

室蘭工業大学：板倉 賢一、

三井建設㈱：*山地 宏志、中野 陽一

1. はじめに

今日、トンネルの支保設計は地山分類に基づいて行なわれることが一般的であり、その支保パターンの妥当性は現場計測結果によって評価されるものとされている。しかしながら、その支保パターンが不適切とされた場合、変位計測を主体とした現場計測結果だけではどのように支保を変更することが妥当であるか判断することが難しく、定量的な評価よりも経験や既往の実績に基づいてその支保量に変更される実情にある。

一方、NATM の主要な支保部材であるロックボルトに関しては多くの研究成果があり、いくつかの定量的な支保設計法^{1),2),3)}が提案されているものの、それらが前提とする地山条件が未知であるため、ほとんど実用に供されていない。これらの研究成果を総括するとき、ロックボルトの打設長に関して、単純でかつ普遍的な一つの原則を見出すことができる。すなわち、ロックボルトはトンネル周辺に発生する緩み域、もしくは存在する弱部を貫いて打設されねばならない、という原則である。

しかし、この原則さえもその緩み域、もしくは弱部を把握することが難しいという現状のために必ずしも達成されている保障はなく、経験則に依存してその妥当性が類推されているに過ぎない。したがって、リアルタイムで、かつ簡便に緩み域や弱部を同定することができるならば、適切なロックボルト打設長を任意の精度で打設することが可能となるだけでなく、ロックボルトの本数や吹付けコンクリート、さらには鋼製支保工の適切な数量を評価できる可能性がある。本報文は、このような考えに基づき、ジャンボ削岩機の機械量から、トンネル周辺の緩み域や弱部を評価することを試みた事例を示すものである。

2. 検層方法と検層区間

検層試験は志津見ダム第1志津見トンネル工事において実施した。検層は、ロックボルト打設の削孔作業中に表-1 に示すジャンボ削岩機の機械量をモニタリングし、その変動と空間的な分布から、掘削による緩み域や地質的弱部を把握し、これらの分布と現状ロックボルトの打設間隔、及び打設長を比較し、支保の妥当性を評価する。

表-1 ロックボルト打設量評価のための測定機械量とその緒元

測定項目	センサー		測定緒元		
	計測器名	型式	容量	初期値	較正係数
打撃圧	圧力計	AP-15	20 MPa	1. 013	5. 0 MPa/V
回転圧			20 MPa	1. 012	5. 0 MPa/V
フィード圧			20 MPa	1. 016	5. 0 MPa/V
フィード長	流量計	ギアメーター	0. 08m ³ /min	0. 000	1018. 592mm/V

当該の削孔には古河機械金属(株)社製ドリルジャンボ HD-150を用い、削孔時にモニターする削孔機械量は表-1に示すように①打撃圧、②回転圧、③フィード圧である。また、地質性状を評価する上で欠かせない、④削孔速度に関してはフィード長の伸び・縮みを測定し、その作動時間との関係から求めることとした。これらのセンサーの系統図を図-1に示す。検層区間はNo. 31+66.5~71.5m間の6断面とし、モニターを行うロックボルト孔は天端部を中心とした5本とした。なお、以後では便宜のため、これらに各孔ついて図-2に示すような呼称を用いることとする。

3. 検層結果と考察

(1) 検層結果と考察

図-3~6に各断面における機械量分布を示す。これらの図は、それぞれ削孔時の打撃圧、回転油圧、及びフィード圧を示し、その単位はbarである。また、図-6は削孔速度の分布を示し、その単位はm/minである。

図-3の打撃圧分布を見ると、今回削孔検層を行ったほぼすべての領域が125~130barの打撃圧で削孔されていることがわかる。今回用いたジャンボドリルHD-150は基本的に打撃圧一定の条件で削孔が行われるが、回転圧が上昇し100barを超えると打撃圧、及びフィード圧は自動的に35barまで低下し、いわゆるザグリ削孔を行うよう制御される。これは、はなはだしい孔荒れや、粘土を噛む亀裂などを想定した制御であり、その意味は地山にロッドを取られないこと、及び強い打撃で岩を破碎するよりも、低圧で孔清掃を行うほうが削孔上効率的なためである。したがって、今回の検層領域には、ザグリ削孔を行う必要があるほどのはなはだしい孔荒れや粘土を噛む地質弱線等は存在しないものと判断される。また、打撃圧の変動幅はフィード圧の変動に比較的關係しているようであり、とくにフィード圧を低下させる場合には不安定化し変動幅が大きくなるようである。ただし、ほとんどの場合、120~135barの範囲に収まっている。

次に、回転圧分布をみると多くの領域が30~50barの回転圧で削孔されている。回転圧が60bar以上の領域はNo. 31+67.5mの右側(深度1.5~4.0m)、No. 31+68.5m及び69.5mの左側(深度1.5~4.0m)、No. 31+70.5mの左側(深度1.5~4.0m)と右側(深度0.5~4.0m)、及びNo. 31+71.5mの中央部(深度0.0~4.0m)などである。特にNo. 31+67.5mでは90barにも達している。

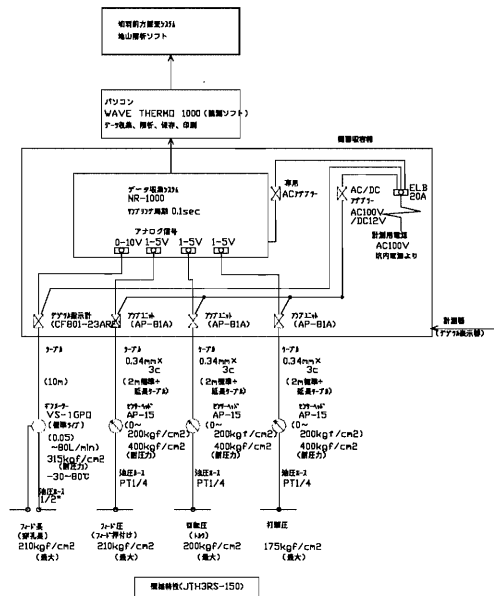


図-1 機械量モニターのための系統図

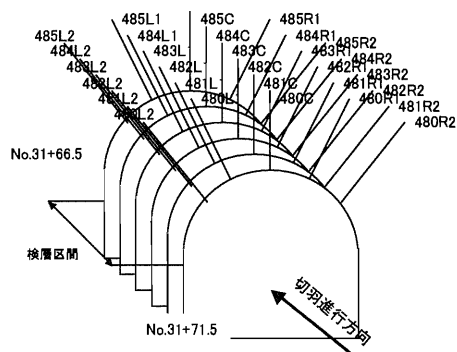
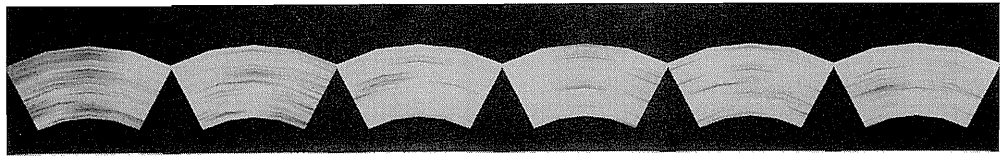


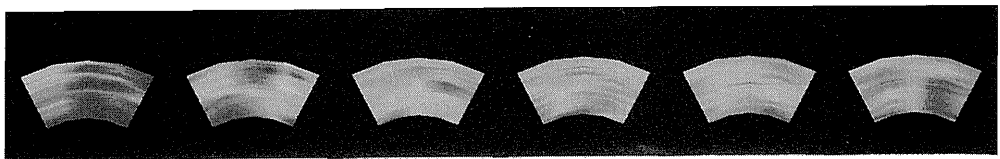
図-2 検層区間と検層孔番号の模式図



(a)No.31+66.5 (b)No.31+67.5 (c)No.31+68.5 (d)No.31+69.5 (e)No.31+70.5 (f)No.31+71.5



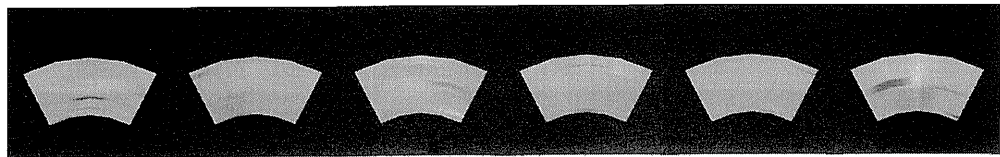
図-3 各測定断面における打撃圧分布



(a)No.31+66.5 (b)No.31+67.5 (c)No.31+68.5 (d)No.31+69.5 (e)No.31+70.5 (f)No.31+71.5



図-4 各測定断面における回転圧分布



(a)No.31+66.5 (b)No.31+67.5 (c)No.31+68.5 (d)No.31+69.5 (e)No.31+70.5 (f)No.31+71.5

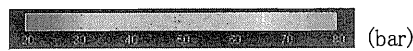
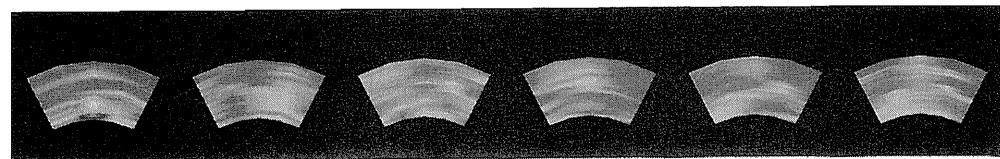


図-5 各測定断面におけるフィード圧分布



(a)No.31+66.5 (b)No.31+67.5 (c)No.31+68.5 (d)No.31+69.5 (e)No.31+70.5 (f)No.31+71.5



図-6 各測定断面における削孔速度分布

HD-150では、回転圧を制御のパロメータとして用いているため、回転圧の変動は削孔能率、すなわち地山状況が直接的に反映される。回転圧が高くなる理由としては、当該部の岩質自体が硬い場合と、孔荒れや粘土

をはさむ亀裂が存在する場合の二つが考えられる。この二つは地山の評価としては全く正反対であるため、回転圧だけから地山状況を推定することはできず、他の測定値との関係を考慮する必要がある。

先にも述べたように、HD-150では回転圧が100barを超えた場合、ザグリ削孔に移行するため、はなはだしい孔荒れ箇所や厚い粘土をはさむ亀裂などが存在する箇所は打撃圧から特定することができる。ところが、今回の検層領域ではそのような箇所を見出すことができなかった。したがって、今回の測定領域に地質的弱部が存在するとしても、断層や破砕帯のように地質的な構造作用や強い風化を受けた性状ではなく、ある程度の風化し軟弱な地質性状である可能性が強いことが分かる。

このような地質性状では、回転圧と削孔速度の関係を整理することで、地山性状を把握することが比較的容易ではないかと考えられた。今回の削孔検層時に測定した1本あたりの削孔所要時間は3分30秒～4分30秒程度であった。したがって、当該地山における標準的な削孔速度は0.89～1.15m/min程度である。ところが、図-6の削孔速度分布をみると2m/min以上の削孔速度で削孔された箇所が比較的広いことが分かり、はなはだしい箇所では10m/min以上にも達している。

図-4の回転圧の分布と対比させてみるとNo. 31+66.5の中央部(深度0.0～1.8m)、No. 31+68.5mの右側(深度2.7～3.0m)、No. 31+70.5mと+71.5mの左側(深度0.0～2.0m)では回転圧が30～40barでしかないのに、3～7m/min以上の削孔速度で削孔が行われている。このような箇所は、岩質が柔らかいにもかかわらず、粘土も存在せず、孔荒れもなく削孔が行われたものと判断してよかろう。すなわち、非常に脆弱な地質であることが分かる。一方、回転圧が100bar以上でありながら、削孔速度が2m/min以下でしかない領域、たとえばNo. 31+66.5mの左側やNo. 31+70.5mの右側などは、削孔水が白色から透明で、比較的新鮮な岩の存在が目視からも伺われていた。

したがって、問題はNo. 31+67.5mの右側(深度2.0～4.0m)において、当該地山としては比較的高い75～90barの回転圧で削孔が行われている領域である。当該部の削孔速度は2.5～3.5m/minと平均的な削孔速度に比べると、やや大きめではあるが、今回の削孔検層区間内では決して大きな削孔速度とはいえず、何らかの地質的な要因によって回転圧が上昇したと考えるべきであろう。

HD-150の回転圧はロッドの回転速度にだけ比例し、回転トルクは一定の条件で削孔が行われる。したがって、回転圧が上昇するものの削孔速度がさほど大きくない領域は、練り粉等の排出が滑らかでないとか、孔荒れがはなはだしいなどの理由で、同一個所でビットが空回りを続けるものと考えることができる。したがって、当該区間は比較的孔荒れした地質であるか、もしくは粘土をはさむであろうことが推測できる。以上を総合すると、2.5m/minもしくは3.0m/min以上の削孔速度で削孔されている領域は地質的な脆弱部であるものと推測できる。

最後に、フィード圧分布の図-5をみると、ほとんどの領域が40～60barのフィード圧で削孔されていることが分かる。フィード圧は今回の削孔検層で唯一作業員が調整することのできる機械量であり、作業員がどのように地山を評価して削孔したかを示すパラメータである。このフィード圧分布と図-6の削孔速度分布を比較すると、削孔速度のきわめて早い領域(概ね7m/min以上)において、フィード圧が20～30bar程度まで下げられていることが分かり、この領域は目視によるのみ下がりもかなり早かったであろうことが伺われる。

(2)地質構造推定とロックボルト支保量の評価

前述のように、今回の調査区間では脆弱部を削孔速度によって評価することが可能と思われ、そのシキイ値は2.5m/min、もしくは3.0m/minであろうと推測される。図-7は脆弱部を強調するために3.0m/min以上の領

域を、黄～赤色で塗り分けた削孔速度分布である。この図を見ると当該地山の脆弱部が二つの区分に分けられることが分かる。一つはトンネル掘削によって発生したであろうと考えられる緩み領域であり、No. 31+66.5mの中央部、No. 31+70.5mの左側などがこれにあたる。また、No. 31+67.5～69.5mの天端壁面近傍をみても、数10cm幅で削孔速度の速い領域が存在しており、この領域は掘削によって発生した緩みと考えることが自然であろう。もう一つは、地山内部の潜在的な弱層である。No. 31+69.5mと71.5mを除いて、右側深度2.0～2.5mには至って削孔速度の大きな領域が存在しており、これらは連続するものと考えられる。

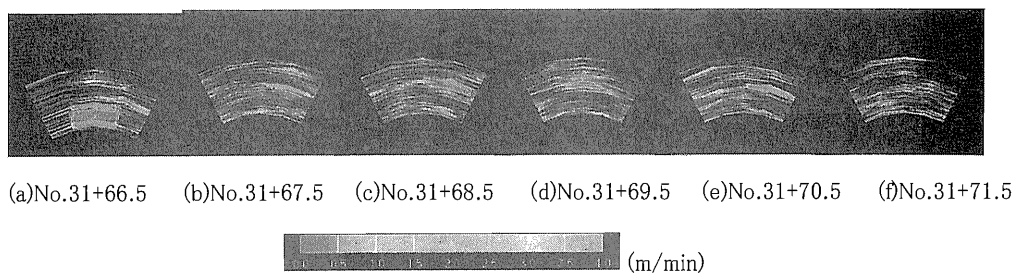
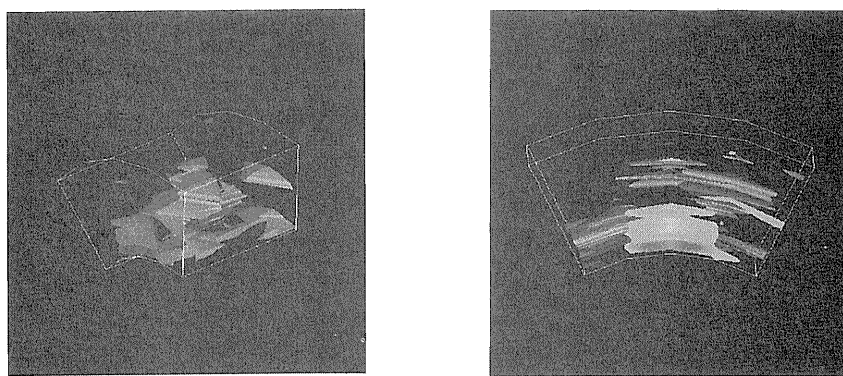


図-7 各測定断面における削孔速度分布

図-8はこれを3次元的に把握するために、削孔速度が3.0m以上の領域の空間分布を示したものである。これらの図からトンネル壁面近傍に、削孔速度の大きな領域が集中し、地山内で削孔速度の大きな領域はトンネル縦断方向に連続性があることが理解できる。



(a)坑口側右上方よりの俯瞰図

(b)坑口側正面上方より俯瞰

図-8 削孔速度 3m/min 以上の領域の空間分布

さらに、図-9はトンネル壁面から一定距離の平面内における削孔速度分布を示すものである。図でみるように削孔速度が2.5～3.0m/min以上の領域(水色よりも赤色側の色)がトンネル平面縦断内を斜めに横切ることが分かり、これまで論じてきた地山内の潜在的な弱層が3次元的にも連続したものであることが分かる。

以上の地質的弱部の分布をみると、No. 31+67.5mの右側を除いて、トンネル壁面から3mの範囲内までに弱部が集中していることが分かる。したがって、4m程度のロックボルト打設長があれば、弱部を健全な岩盤に定着し得るものと判断される。また、現状のボルトピッチでトンネル弱部をほぼ全面的に貫いているようであり、妥当であると判断される。以上から、現状のロックボルト長、並びに打設間隔は適切なものであると判断される。

4. おわりに

今回の検層結果評価では、主として削孔速度に着目して地山評価を行った。これは、その他の機械量との相関も良く、また最も直接的に地山の状態を評価し得る機械量と判断されたためである。今後、数理的な手法を導入し、削孔速度の力学的な意味を明確化することを目指すとともに、より直接的な緩み評価(たとえば真空透気試験など)との比較を行い、その精度に関しても評価を行ってゆく方針である。

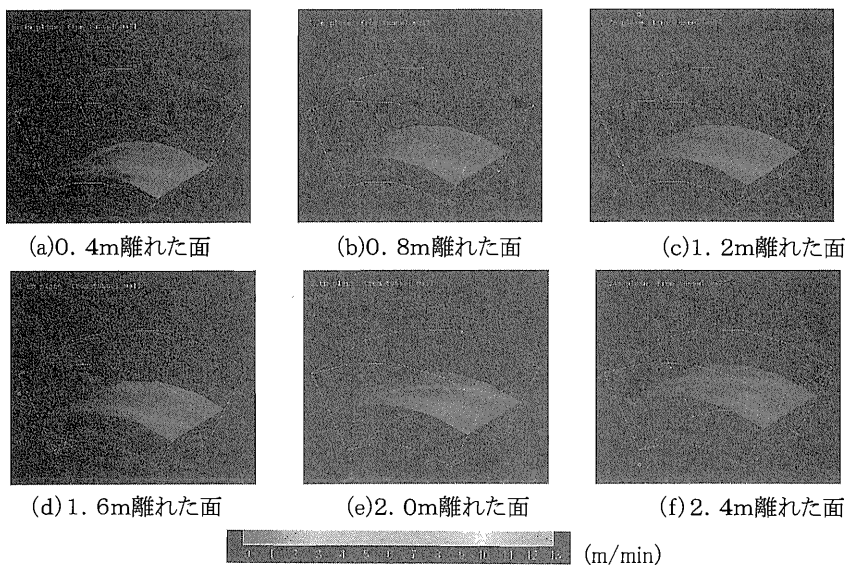


図-9 トンネル壁面から一定距離面内における削孔速度分布

最後に、本研究は(財)先端建設技術センターの平成12年度研究開発助成を受けて実施した成果の一部を取りまとめたものです。また、当該検層を実施するにあたりご指導いただきました建設省中国地方建設局斐伊川・神戸川総合開発工事事務所の皆様に深甚のお礼を述べ本小文の結びとさせていただきます。

参考文献

- 1) 山地宏志, 桜井春輔, 平井正雄, 中田雅夫: 現場計測に基づくロックボルト作用効果の評価, 土木学会論文集, No.529/III-33No, pp.1-9, 1995
- 2) Littlejohn, G.S. and D.A. Bruce: Rock Anchors - Design and Quality Control, Proc. 16th U.S. Symp. Rock Mechs., pp.77-88, 1977
- 3) Famer, I.W. : Stress distribution along a Resin Grouted Anchor, Int. J. Rock Mechs. and Min. Sci. & Geomech. Abter., Vol.12, pp.347-351, 1975

17. 電波を用いたシールドでの移動体所在管理システムの開発

佐藤工業㈱：*津島 信、中田 恭博、
倉田 学

1. はじめに

トンネル工事は、情報化施工の最も進んでいる工種の一つではあるが、個別の作業単位における効率化に貢献しているにすぎず、施工全体の効率性・安全性・作業環境の向上のため、各種データ情報を伝送するシステムの開発が待たれている。

トンネル工事は、狭く細長い空間であり、通信形態・伝送手段として、有線通信は電気信号の減衰が大きく長距離通信に限界があり、無線通信は電波が届きにくいといった問題がある。さらに、建設機械と作業者の接近情報や現場内位置情報など、作業者を含めた移動体の所在管理は、構造上無線通信となるが、信頼性の高いシステムが確立していない問題点がある。

本稿では、新たなトンネル工事におけるマルチメディア情報を伝送する情報通信システムについて、開発した情報通信システムの概念と、そのシステムの重要な要素システムである作業者を含めた電波を用いたシールドでの移動体所在管理システムの開発を報告する。

2. 新たなトンネル工事におけるマルチメディア情報を伝送する情報通信システムの概念

本システムは、トンネル施工現場において、特定小電力無線等を数チャンネル使用し、音声信号、画像信号、データ信号等からなるマルチメディア情報を共有化する基地局で通信エリアを拡大し、所定の伝送路に乗せて伝送することで、通信設備の簡略化、施工の効率化および合理化、安全性の向上、情報の共有化、建設現場の一元監視・制御システムの構築などを可能とするものである。図-1に情報通信システム概念を、図-2に情報通信システム構成を示す。

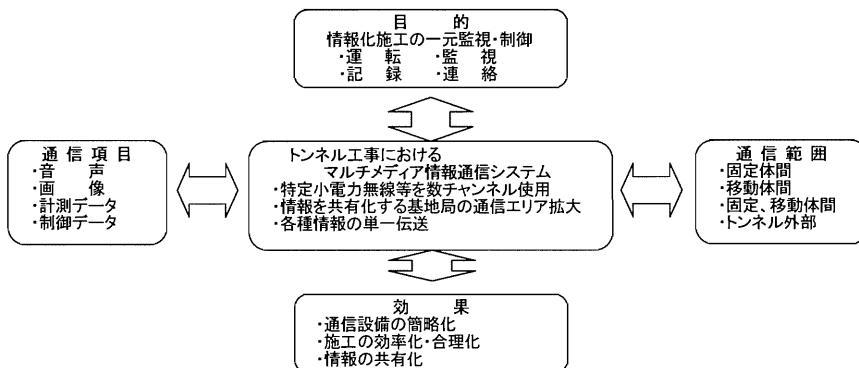


図-1 情報通信システム概念

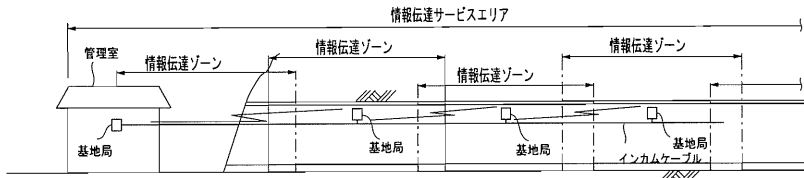


図-2 情報通信システム構成

3. 移動体の所在管理の現状と課題

移動体の所在管理の目的は、作業員の位置把握・移動車両の位置把握による作業員と移動車両との接触事故等防止のための安全管理、および、車両の自動運転を含めた運行管理による省力化・高効率化が主である。以下に移動体の所在管理の現状と課題を示す。

移動体の所在管理の現状は、車輛の運行管理で当社のジオ・シャトル、PHSを使用した同様システムによる自動運転による方法を行っている例はあるが一般的には、

- ① 入出坑者管理は坑口に設置した入坑管理ボードの記名板により表示している。
- ② 作業者の位置把握は、坑口に設置したセンサーが検出体を認識するが、個人別および坑内移動位置の確認は行っていない。
- ③ 車輛の位置把握は、作業者の位置把握同様、個体別および坑内移動位置の確認は行っていない。
- ④ 作業員と移動車両との接触事故等防止のための安全は、手動スイッチ・機械的なりミットスイッチ等により、信号および回転灯で車両の進行方向等を表示し、作業員を退避させている。

以上より、新たなトンネル工事におけるマルチメディア情報を伝送する情報通信システムについて、重要な要素システムである作業員を含めた移動体の所在管理を、特定小電力無線を使用し、安価で信頼性の高いシステムを確立する目的で、小断面かつ延長2kmを越えるシールドトンネル現場で計画した。

4. 工事概要

今回、このシステムを計画するシールドトンネルは、小断面・長距離・急曲線という特徴がある。

表-1に工事概要を、図-3にシールド路線平面を示す。

表-1 工事概要

工事件名：手賀沼流域下水道管渠築造工事(906工区)
工事場所：千葉県我孫子市日の出～柴崎地内
掘削工法：泥水式シールド
セグメント内径：φ2,494mm
工事延長：2,388.5m
曲線：15mR（2ヶ所）
セグメント：スチールセグメント

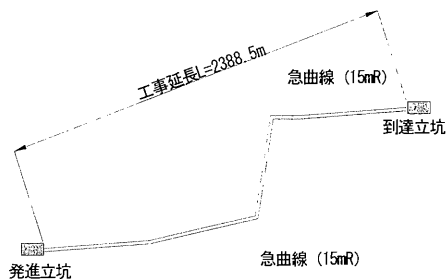


図-3 シールド路線平面

5. 移動体の所在管理と車両接近警報

移動車両は、セグメントおよび泥水輸送設備等の運搬を行うバッテリー機関車を使用する。単線軌道方式とし、バッテリー機関車との接触防止に専用の安全通路を確保するが、小断面のため泥水輸送用のポンプ等設置個所、および急曲線部では専用の通路を設けることができない。

また、長距離のため、バッテリー機関車の往復に最長1時間、人間は1.5時間も要し、各々の位置把握ができないことにより、連絡し合う場合、時間的に非効率となる。

以上のことから、安全確保の観点および施工の効率化を目的に、作業員・バッテリー機関車の個別および坑内移動位置把握を行うシステムと、その位置検出を使用し、車両接近警報システムを検討した。図-4にシールドトンネル坑内断面を示す。

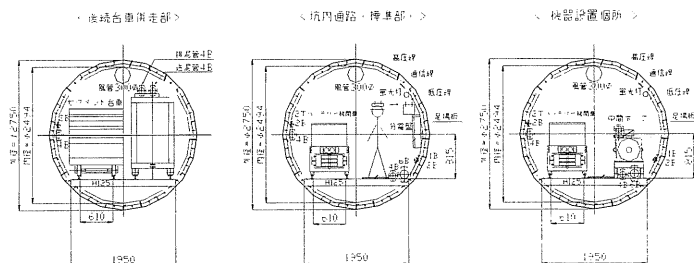


図-4 坑内断面図

5-1. 坑口入坑者管理システム

本システムは、立坑上の歩行者用昇降階段入口にアンテナゲートを設け、無線式入坑者管理制御装置をアンテナゲート付近に設置する。入坑者はRF-IDシートを一人一個装着し、アンテナゲートをくぐると、無線式入坑者管理制御装置から発信される電波をRF-IDシートが受信し、トークバックID信号を送信してくる。このトークバックID信号はアンテナゲートを通して無線式入坑者管理制御装置が受信し、通過した入坑者のIDを記憶し、出坑した時に記憶されていたIDは削除される。この状況を入口にランプ表示させると共に中央管理室で表示・管理するシステムである。

5-2. 入坑者および移動車両位置管理システム

本システムは、トンネル坑内を移動する人間および車輛（バッテリー機関車、トロカート）が小型無線送信機を携帯する。この無線送信機の送信周波数は、300MHz帯でチャンネルを割り当て、複数の移動体の個別認識を行う。

トンネル坑内には、小型無線受信機を適度な間隔（今回200m）で設置する。小型無線受信機で感知された電波信号は、固定局（400m間隔に設置）を通して有線で地上の中央制御室まで伝送される。伝送された信号は、基地局で変換されLED表示盤で確認できる。固定局はガス・酸素濃度検知器、非常警報装置、スピーカーなどの信号も取り込み基地局まで多重伝送によって一括管理する。写真-1に中央LED表示盤を示す。

5-3. 車両接近警報システム

本システムは、バッテリー機関車から送信された電波信号を感知した小型無線受信機は、200m間隔に設置した回転灯と急曲線ではピカピカチューブライトを点滅させ、車両が接近してきたことを警報するシステムである。図-5に移動体位置管理システムの概要を示す。写真-2にトンネル坑内状況を示す。

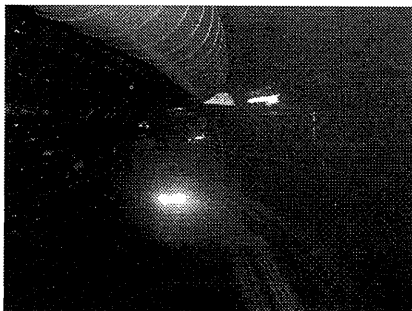
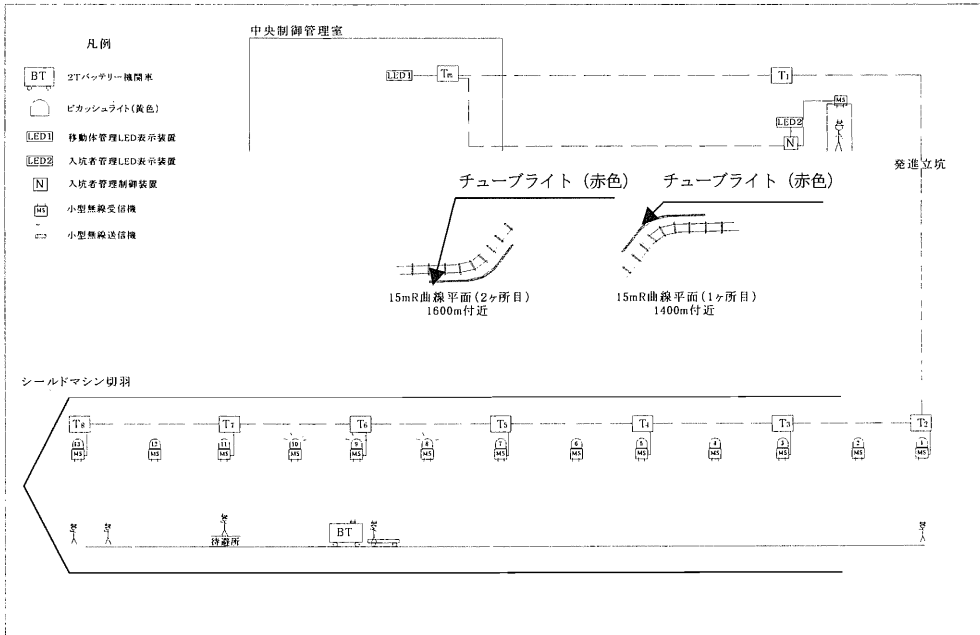
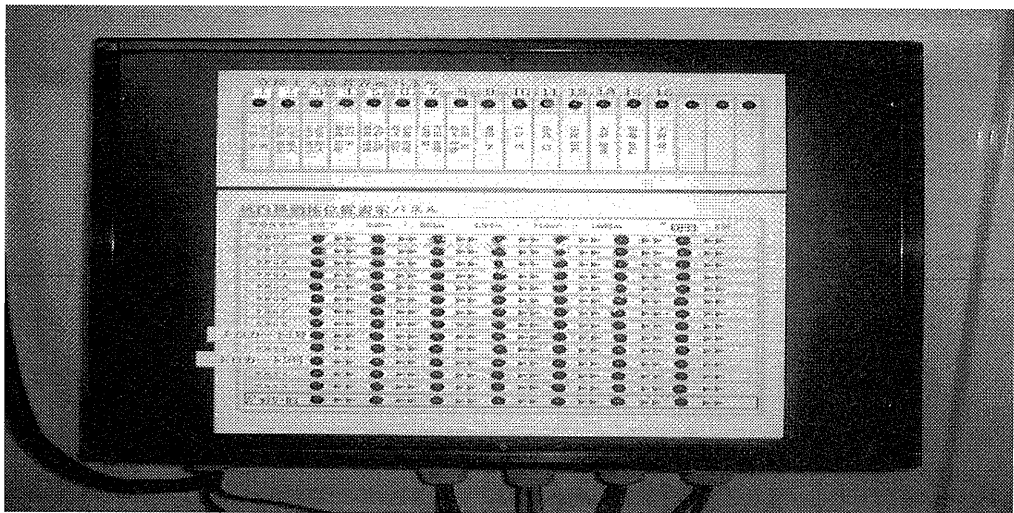


写真-2 トンネル坑内状況



図一5 移動体位置管理システム



写真一1 中央LED表示盤

6. おわりに

情報通信システムの重要な要素システムである作業者を含めた移動体の所在管理について報告するものであるが、施工後の実績をもとに、さらに信頼性の高いシステムの確立し、安全管理・施工の効率化をめざしていく所存である。

18. (仮称)PCP丸の内ビル新築工事における スーパーストラクチャーフレームの施工

(株)竹中工務店：*石川 敦雄、安富 良久、
井ノ口 浩一

1. はじめに

(仮称)PCP丸の内ビルは、東京駅八重洲南口に建設される地下4階、地上32階の超高層オフィスビルである。この建物の地下および低層部(地下4階～7階)にはスーパーストラクチャーフレームがあり、高層部(8階～32階)荷重の1/2以上を支えている。

全体工期27.5ヶ月(工期率85%)の短工期でこの建物を完成させるためには、スーパーストラクチャーフレームの構築を合理化する必要があった。

当プロジェクトでは建築工事のスケールをはるかに超える巨大な部材からなる架構の合理化施工として、スーパーコラムの先行構築、トランスファーガーダーのリフトアップ施工を採用し順調な工程と設計品質を確保した。これら2つの施工法についての施工計画、実施結果を報告する。

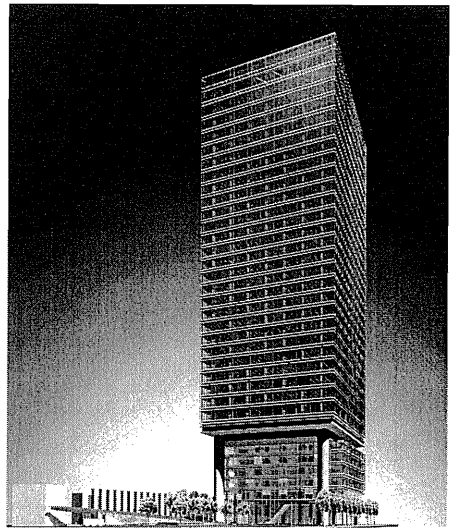


図1 建物外観

2. 建物概要

工事名称	(仮称)PCP丸の内ビル新築工事
建築地	東京都千代田区丸の内1-1-25 外
事業主	日本パンフィックセンチュリーグループ(株) 東日本旅客鉄道(株)
建築主	レールシティ東開発(株)
設計・監理	PCP共同設計室 (日建設計・竹中工務店)
施工	竹中・鹿島共同企業体
工事期間	1999年8月5日 ～2001年11月20日
用途	事務所、店舗、ホテル
構造	地上：S 地下：SRC、RC
規模	地下4階、地上32階、塔屋1階
最高高さ	SGL+149.8m
敷地面積	6,382.87 m ²
建築面積	3,051.90 m ²
延床面積	81,751.97 m ²

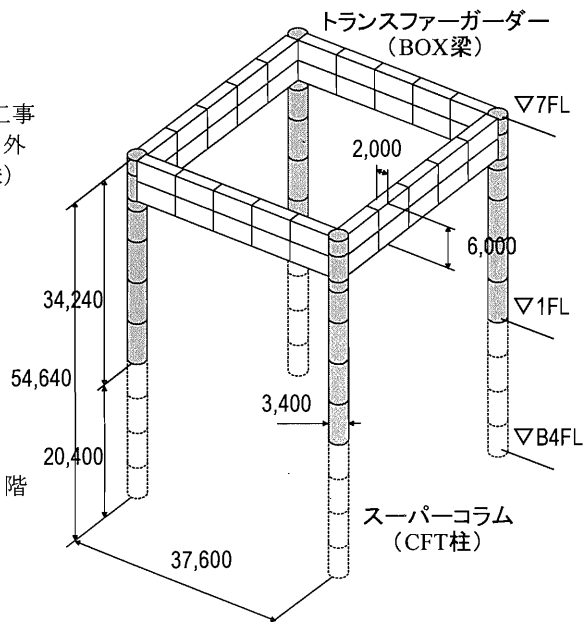


図2 スーパーストラクチャーフレーム

3. 構造概要

図2に示すようにスーパーストラクチャーフレームは、地下20mから地上34mまで立上がる直径3.4m、最大板厚100mmのCFT柱4本とそれらを地上7階レベルでつなぐ梁せい6.0m、梁幅2.0m、最大板厚90mmのBOX梁4台で構成される。本架構の部材は、揚重作業の限界で分割されている。

表1 ピース分割および総重量

	スーパーコラム	トランスファーガーダー
ピース分割	10分割	10分割
最長ピース	7700mm	10800mm
鉄骨重量	最大ピース46t(柱1本350t)	最大ピース36t(梁1台250t)

4. 工法概要

(1) スーパーコラムの先行構築

当プロジェクトを契約工期内に竣工させるためには、スーパーストラクチャーフレームを含む低層部分の工事を2000年8月までに完了させて高層鉄骨工事に着手しなければならなかった。

このため、従来の構真柱施工法では設置することのできないスーパーコラムを逆打地下躯体工事に先行して構築する必要があった。

そこで、本体建物掘削工事に先行して深礎掘削をおこない、その立孔内部にスーパーコラムを設置する施工方法を考案・実施した。

(2) トランスファーガーダーのリフトアップ施工

スーパーストラクチャーフレームの施工期間は、逆打地下躯体工事と重なっており、1階には掘削工事・躯体工事のための作業エリア・動線を確保する必要があった。このような状況下でトランスファーガーダーを構築するためには、限られたスペースの中で搬入から組立・接合までの全ての作業をおこなえることが必要条件となった。

複数の施工法を比較検討した結果、新幹線近接作業となる大型重機を使用した組立作業期間が短くできること、1階床上での作業が中心となり高所での作業を極力少なくできることなど安全に関してメリットが大きく、省仮設・省スペースで施工可能であるリフトアップ工法を採用した。

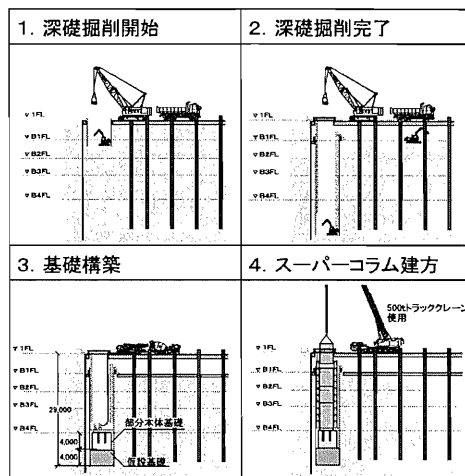


図3 スーパーコラムの先行構築

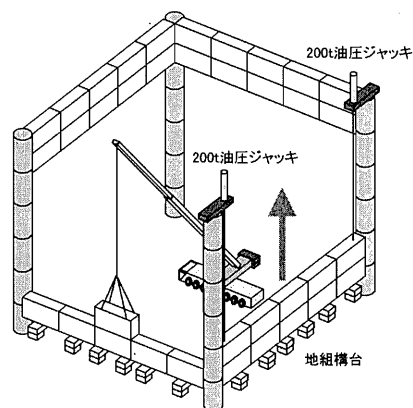


図4 トランスファーガーダーのリフトアップ工法

5. スーパーコラム先行構築

(1) 施工計画

深礎掘削は山止めとして円形鋼矢板ユニットを採用した。直径 3.4m のピースの建方・溶接作業をおこなうための足場が設置可能であること、地下躯体工事との干渉を極力少なくすることから直径 6m で深礎掘削をおこなうこととした。

部分本体基礎の下部には、本体基礎が完全に構築されるまでの鉛直荷重を支持するため仮設基礎を設ける必要があった。部分本体基礎のみで支持しなければならない鉛直荷重 2300t/本（6 節建方完了時）に対する地盤支持力と弾性沈下量の解析結果をもとに直径 6m、深さ 4m の円柱状仮設基礎を構築するものとした。

仮設基礎深さ	支持層	地盤許容支持力度	判定 (>81 t/m ²)
0 m	砂	54.7 t/m ²	×
1.0 m	砂	89.0 t/m ²	△
2.5 m	砂	126.5 t/m ²	○
4.0 m	固結シルト	178.6 t/m ²	○

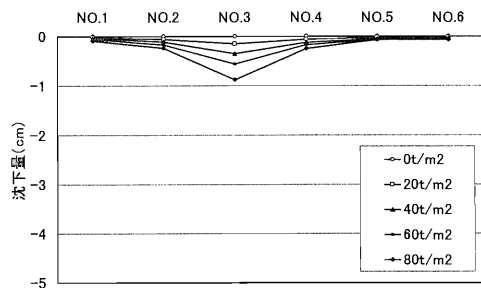


図 5 支持力および弾性沈下量の検討

(2) 実施結果

(a) 円形鋼矢板ユニットによる深礎掘削

仮設基礎底盤 (GL-28.5m) までの深礎掘削では、土砂の掘削・搬出をクラムシェルとミニバックホウ 1 台ずつの組み合わせでおこない、円形鋼矢板ユニットを用いた山止め壁の組立は、5、6 人の作業員による人力でおこなった。結果として、立孔 1 個所の深礎掘削を実動 20 日間で完了させた。

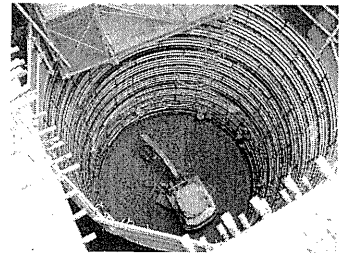


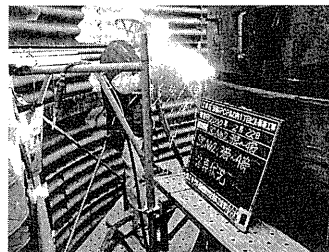
写真 1 深礎掘削

(b) スーパーコラム建方

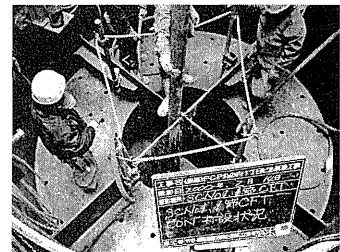
スーパーコラムは「建方→溶接→高強度コンクリート打設」という手順を 10 節分繰り返して施工した。スーパーコラム 4 本を同時に効率良く建方するため、作業エリア中央に 500t トラッククレーンを定置して 40t を超える大重量ピースの建方をおこなった。



建方



溶接



高強度コンクリート打設

写真 2 スーパーコラム施工

直径 3.4m、板厚 32~100mm のパイプ状ピースを溶接で接合するスーパーコラムは、柱 1 本の延べ溶接長さが 10000m を超える。そこで、溶接作業を平準化し、クリティカルとなる溶接作業を連続して実施できるよう、柱 4 本の工程を時間単位で調整して 5~8 名の溶接工により対応可能な工程を組み立てた。結果として、柱 1 本の施工を 60 日間という短工期で完了させることができた。

(c) 建方精度の確保

スーパーコラムとトランスファーガーダーとの溶接接合部のルートギャップは、設計値 15mm (許容最小値 5mm) であり、トランスファーガーダー地組全長精度±5mm を確保した場合でも、スーパーコラム建方の垂直精度は±10mm が要求された。直径 3.4m、高さ 55m の鋼管柱を自立させる建方において要求精度を確保するためには、ジョイント部の目違いおよび建方ピースの鉛直度を微細に調整する必要がある。

またスーパーコラムはピース重量が 40t を超えるため、歪み直しワイヤーなどによる通常鉄骨建方でおこなっているような建入直し方法が適用できなかった。そこで、4 個所のガイドピースと 3 台の油圧ジャッキ (50t、ロックナット付き、写真 3) を用いた建方方法を考案・実施した。この油圧ジャッキとガイドピースにより建方ピースの鉛直度・レベルおよびピース上端での水平位置を調整し仮固定した。

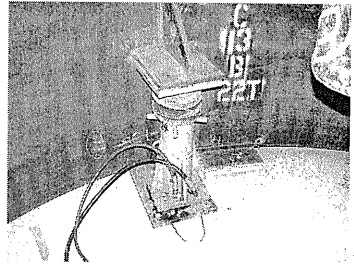
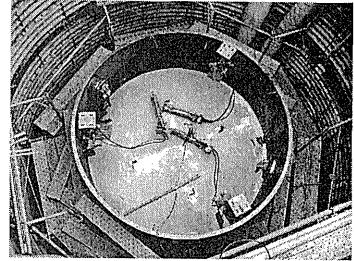


写真 3 建入れ調整ジャッキ

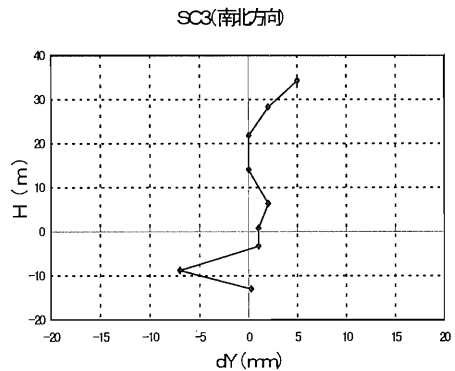


図 6 建方精度測定結果

6. トランスファーガーダーリフトアップ工法

(1) 施工計画

(a) リフトアップ工法の概要

今回のリフトアップ工事では地下工事の動線、作業エリアを確保するため、トランスファーガーダーを 1 台ずつ地組みして、順次リフトアップした。また、このような工程の採用によりリフトアップ設備が転用でき、作業の平準化ならびに施工コストの低減が実現できる。また、トランスファーガーダー組立精度の確保、地組み日数の短縮のため、全てのトランスファーガーダーを製作工場で作成し仮組パイロットホールを設けた。リフトアップ工事の内容を表 2 に示す。



写真 4 製作工場における仮組み

表 2 リフトアップ工事の内容

項 目	内 容
リフトアップ重量	(250t + α) / 回
リフトアップ回数	4 回
リフトアップ高さ	27m
リフトアップ設備	200t ステップロッドジャッキ×2 台
計測項目	ジャッキ荷重(自動計測) ジャッキストローク(自動計測) ローラー型押しジャッキ反力(手動計測) スーパーコラム・トランスファーガーダー仕口クリアランス(手動計測)

(b) 狭小隙間でのリフトアップの実施

通常のリフトアップ工事では躯体施工誤差を考慮して、リフトアップ後の実測寸法をもとに製作した調整材により定着する方法が一般的である。このような施工法を採用した場合には、調整材を製作する期間だけ工期が延び、部材製作やジョイント部増加によるコストアップが生じる。

これとは別に施工時の構造解析から、吊り上げるトランスファーガーダーの荷重によりスーパーコラム頂部は約 10mm 内側に変位することが予測された。

躯体施工誤差や変形があることから、設計図書のままのトランスファーガーダーをリフトアップした場合にはスーパーコラム仕口と干渉する可能性があった。

そこでスーパーコラム、トランスファーガーダーを高い精度で構築するとともに、トランスファーガーダー内側上部にローラー付き油圧ジャッキを取付けて、これにより柱スパンを押し広げながらリフトアップする方法を考案した。この方法によって、リフトアップ時における仕口同士の干渉をなくし、調整材を設けることなく定着できる施工を実現した。

(2) 実施結果

(a) 調整材不要のリフトアップ工法

調整材を不要にしたことによってリフトアップ設備に即日盛替が可能になり、1 台目の地組み構台組立開始から 4 台目の仮定着までの全てのリフトアップ工事を実動 35 日間で完了させることができた。

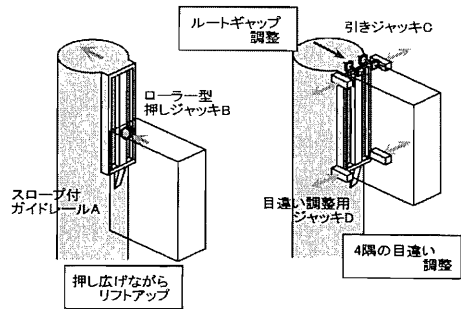


図 7 調整機構

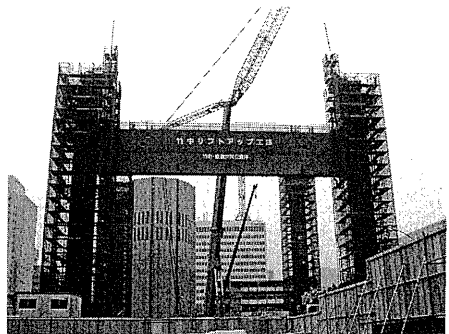
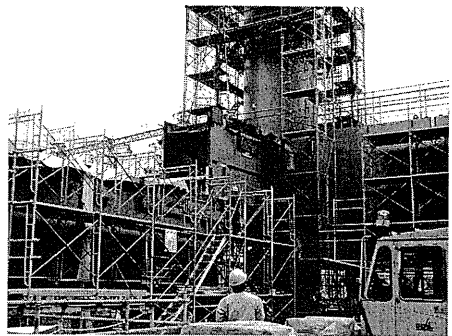


写真 5 リフトアップ施工

(b) 接合部の調整

定着高さ近傍までのリフトアップを完了した段階でローラー付き油圧ジャッキとセンターホールジャッキを用いて、スーパーコラムとトランスファーガーダーとの溶接接合部のルートギャップを調整した。

仕口のずれに対しては、トランスファーガーダーの4隅に取り付けた油圧ジャッキ4台を用いて目違いを構造上許容される寸法内に修正した。

このような調整機構を採用したことにより、設計品質を確保したスーパーストラクチャーを短工期で構築することができた。

表3 調整機構

機能	仕様	台数
柱スパンを広げる	ローラー付き油圧ジャッキ (50t) + ガイドレール	2
柱スパンを狭める	センターホールジャッキ (50t) + ロッド	4
目違いを修正する	油圧ジャッキ + 反力アーム	8

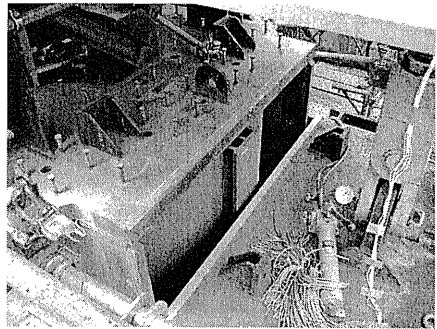


写真6 狭小隙間でのリフトアップ

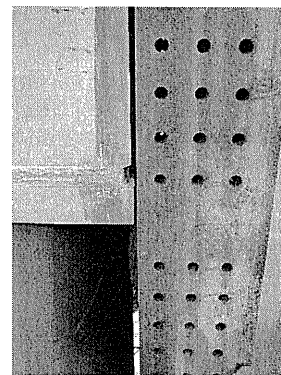


写真7 リフトアップ中の仕口

7. おわりに

スーパーコラム先行構築工法の実施によりスーパーストラクチャーフレームを逆打地下躯体工事に先行して施工することができ、マイルストーンである地上高層鉄骨工事着手日を守り、順調な工程を確保することができた。

トランスファーガーダーリフトアップ工法の採用により地下工事との並行作業を実現するとともに、高所作業の削減など安全を先取りした施工を実施できた。加えて調整材を不要とする15mm狭小隙間でのリフトアップ施工の実現により、工期短縮とコスト削減を図ることができた。

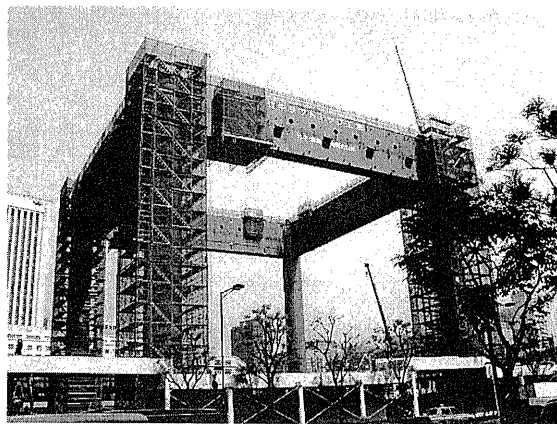


写真8 スーパーストラクチャー工事完了

今回のスーパーストラクチャー工事では、多くの皆様のご指導、ご協力の元にさまざまな技術を実施し、目標とする成果を獲得することができました。ここにあらためて感謝いたします。

19. ウェイクアップ工法の開発と実施 ～壁面鉄骨の安全・高精度建方技術～

（株）竹中工務店：西村 博之、竹内 満、

*森田 将史

1. はじめに

国立国会図書館関西館（仮称）建築工事において、外装ガラスカーテンウォールの下地となる全幅 127.5m、全高 28.2m、総重量 500t の格子状鉄骨を 2 ブロックに分け、地上に寝かした状態で組立てた後、鉄骨の一端に取付けたピン支承を回転軸として油圧ジャッキで扇状に引出し、本体鉄骨に取付ける新工法を採用した。

多くの移動架構工法では架構の移動中における力学的変化が僅かであるのに対し、本工法では振り子を逆さに立てるように、鉄骨が起き上がるにつれて不安定な状態に近づいていく建方となる。また、本来立った状態で設計された構造体を寝かせた状態から起こすため、設計上考慮されていない応力状態を与えることになり、構造体への補強が必要になると考えられる。

このように、一見矛盾しているとも言える施工法を採用した理由は、設計仕様を満足させる組立精度の確保と従来工法では得られない生産性の飛躍的向上のためである。

当該工事における鉄骨は、地上 20.7m の吹き抜け空間の前面に位置しており、細い柱材を格子状に組合せたファイレンディール構造体で、鉄骨そのものを仕上材とするため、主に PL-60×120 の無垢鉄骨 3600 ピースを±2mm の精度で組み立て、溶接部全てをグラインダーで直角に仕上げる仕様となっている。

この仕様を満足し、かつ施工効率を上げるためには、鉄骨組み立て作業を、部材の迅速な揚重・運搬作業が実現でき、安全で安定した作業台・作業床が構築できる地上で行い、重量作業、高所作業を極力少なくすることが肝要と考えた。これを具現化するために、前述した本工法における構造的課題を施工条件、構造体仕様に合致した建方システムの開発によって対処し、安全で高精度・高効率の施工を実現した。以下にその実施結果について報告する。

工事概要

建物名称	国立国会図書館関西館（仮称）
所在地	京都府相楽郡精華町精華台
発注者	国土交通省近畿地方整備局
設計者	陶器二三雄建築研究所
監理者	国土交通省近畿地方整備局
敷地面積	10,500㎡
延床面積	59,500㎡
階数	地上4階 地下4階 塔屋1階
構造	地上S造 地下SRC造
軒高	GL+27.95m (1FL+21.0m)
掘削深さ	1FL-23.6m
工期	平成10年10月～平成14年3月予定
施工者	竹中・住友・五洋特定建設工事共同企業体
別途施工	電力・通信・空調・衛生・EV他

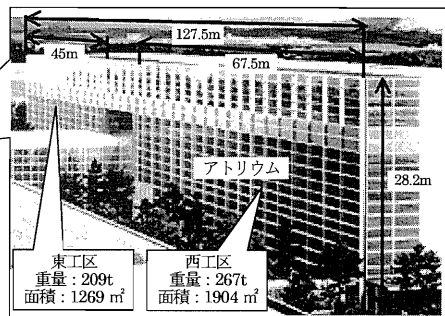
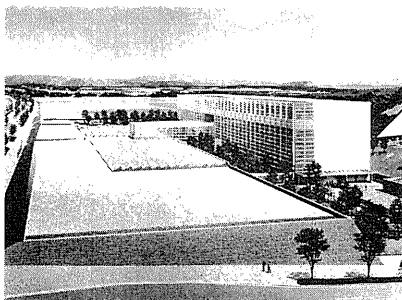
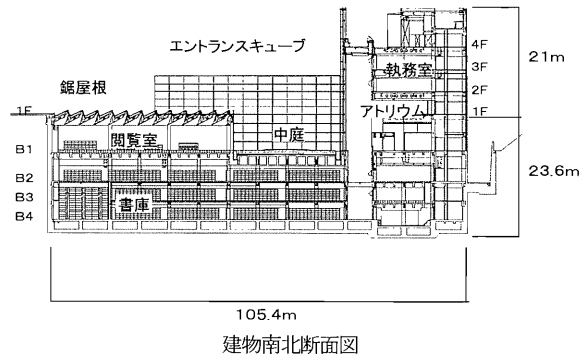


図-1 工事概要、建物完成パースおよび当該工事範囲図

2. 本論

2-1 施工計画

北側アトリウムのCW下地鉄骨は、写真-1に示す無垢鉄骨を図-2のように1グリッド高さ 1.2~1.8m、幅 3.75mの格子状に組立てたもので、原設計では表-1のとおり、3600ピースの部材を、5,000ヶ所溶接接合した後、グラインダーで直角に仕上げる仕様であった。総重量は、500t、組立精度は±2mmである。

本体鉄骨との接合は、図-3に示すように下地鉄骨自重の8割を4階仕口部で、残り2割を最下部(B1F)跳ね出し梁で支持する設計となっており、溶接接合となる壁つなぎ材(1柱あたり7ヶ所)で風荷重を負担する。

この施工条件で①安全性・②組立精度・③工期の確保を図るためには、従来工法では倒壊防止策、鉄骨位置決め精度確保策や安全な作業床の構築等に対して様々な仮設材を必要とし、高所における資材の揚重・運搬が組み立て作業の多くを占めることになるため、施工法検討を行った結果、図-4に示す部材のユニット化・地組みによる施工を採用した。鉄骨形状が単純なことから、極力工場にてユニット化し、作業所での組立部材数を低減すること。また作業所での組立作業を、迅速な揚重・運搬ができ、安定した作業台・作業床を構築できる地上で行うことで、作業の効率化、精度確保を図ると同時に、前工程である本体鉄骨工事の完了を待たずに施工を開始すること。さらに、工程上クリティカルとなるグラインダー仕上げ作業のうち、極めて時間と労力を要する溶接部下端研削作業の機械化を図ることが上記①~③を実現する上で肝要と考えた。

工場でのユニット化に関しては、工場内生産設備と輸送上の制限から写真-2に示すように形状・寸法を決定した。ユニット化により作業所で組み立てる部材数は3600ピースから711ピースとなり80%低減できる。

作業所での地組み形状・寸法は、地組みヤードの大きさと建方方法によって制限される。地組みヤードとしては、アトリウムの前面にあたる東西中庭が適当と考えた。建方方法としては、鉄骨・躯体の強度面、地組時の

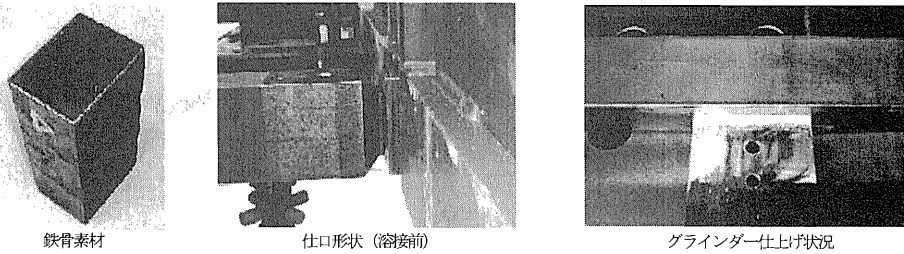


写真-1 鉄骨素材と仕口形状および仕上状況

表-1 施工条件

項目	内容
主材	PL-60×120 (SN400B、56.5 kg/m) PL-75×100 (SN400B、58.9 kg/m)
部材長さ	柱材：6m~8m 梁材：3.75m
全体寸法	幅127.5m、高さ28.2m、奥行き0.66m
総重量	500 t
組立精度	±2mm
部材数	3600ピース
溶接箇所数	5,000ヶ所
仕上箇所数	28,000ヶ所

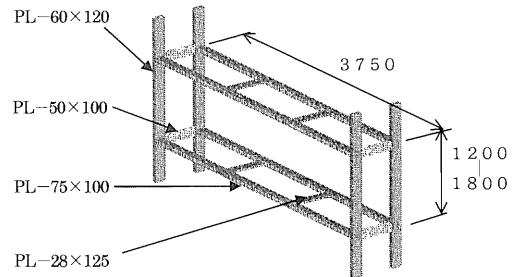


図-2 CW下地鉄骨構造概要

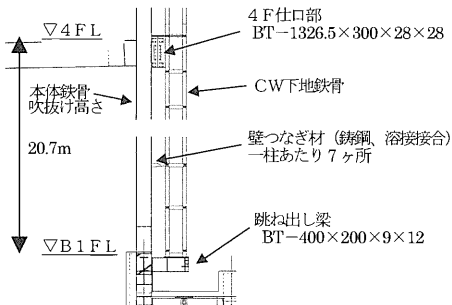


図-3 本体鉄骨との接合状況

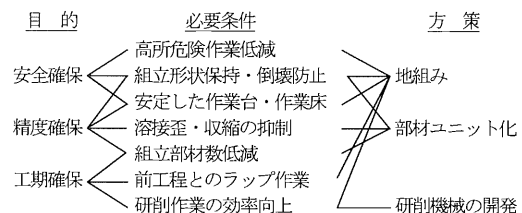


図-4 施工方法の検討

精度確保と施工性、地組みヤードの有効利用、仮設費用などの点から、東西中庭で地組みした鉄骨を、柱脚部に設けたピン機構を回転軸として油圧ジャッキにて扇状に引き起こす“ウェイクアップ工法”（図-5）を採用した。

この工法は日本で初めての試みであり、実現化に際しては、構造体の強度検討・補強方法、柱脚部ピン機構の組立精度と機能的・強度的信頼性、円弧状建方に適した建方設備と管理方法、本体鉄骨との接合手順・機構などの検討・具体化が必要であった。

そこで、故障解析（FMEA）手法を用いてリスクアセスメント的検討を行い、写真-3に示す、確認施工による検証を実施し、信頼性・安全性を確認した上で施工を開始した。

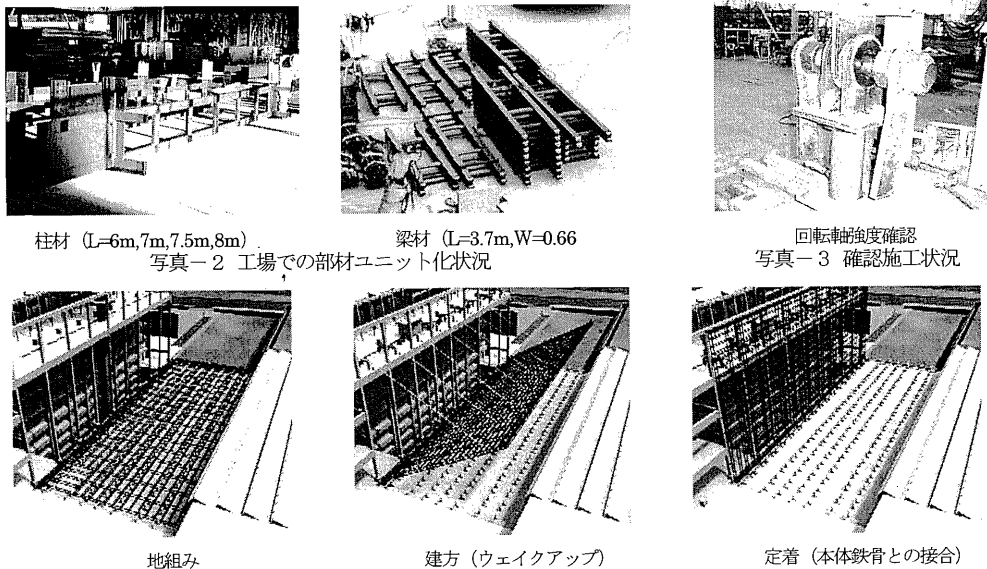


図-5 ウェイクアップ工法概要図

2-2 地組み工事

鉄骨全体を図-6に示すように東西2ブロックに分け、地組み作業を実施した。工場にて寸法精度±1mmでユニット化した部材を作業所にて写真-4に示す高さ1.2mのH鋼架台上に油圧クレーンで据付けた。部材接合部は写真-5に示すように、部材相互に±0.5mmの位置精度で加工されたφ14の孔にスプリングとピンを挿入することで位置決め・仮支持する機構としている。地組み部材の鉛直度・平行度・水平度および柱材の出入りはトランシットと鋼製巻尺で管理した。計測精度を確保するため、トランシットは測角精度1秒のものを採用し、さらに、基本墨の管理を徹底するため、敷地外に設けた基準点から三次元測量器を使って各通りの基準ポイントを毎日確認した上で作業を実施した。工程上、クリティカルとなるグラインダー仕上げ作業には、開発した研削機械（写真-4）を導入し、溶接部下端研削作業の効率向上を図った。溶接・グラインダー仕上げ作業とも写真-4に示すように全て地上もしくは高さ60cmの足場上で行ない、大型仮設テントの設置による作業の全天候化（写真-6）の効果もあって、表-5、6に示す工程で安全に作業を完了した。本工事の他部位（エントランスキューブ）で同様の鉄骨を在来工法で施工した工数と比較した結果、溶接作業で1.9倍、仕上げ作業で1.6倍の施工効率向上が図れた。

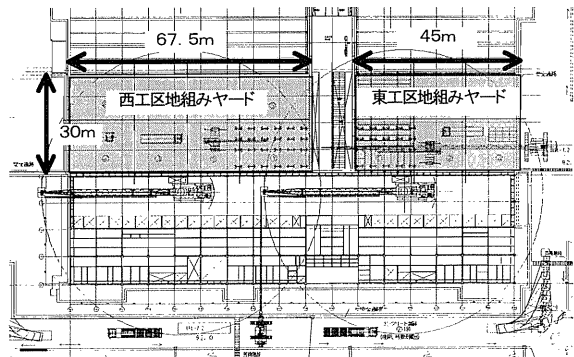
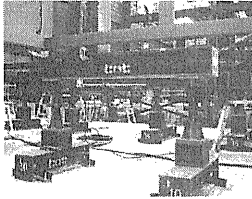
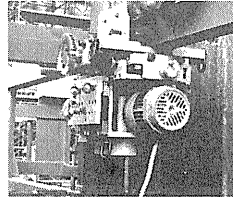


図-6 鉄骨地組みヤード



部材据付け状況

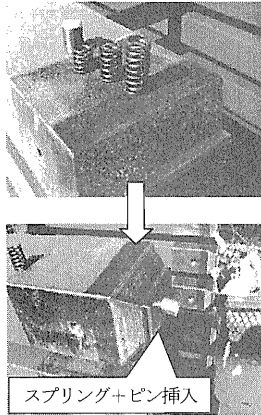


開発した研削機械



溶接・仕上げ作業状況

写真-4 地組み作業状況



スプリング+ピン挿入

写真-5 部材接合機構

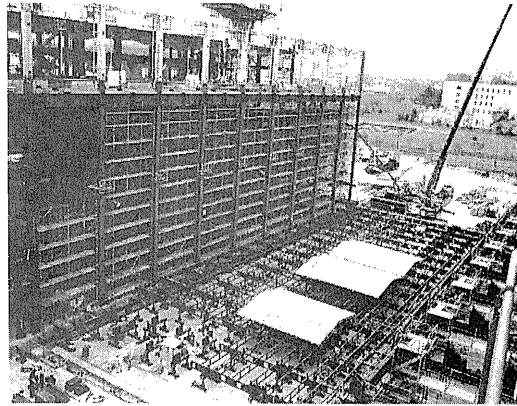


写真-6 西工区地組み状況全景

表-5 地組み施工結果

項目	内容	
	西工区	東工区
地組期間	1.5ヶ月	1ヶ月
全体寸法	幅67.5m 高さ28.2m 奥行き0.66m	幅45m 高さ28.2m 奥行き0.66m
総重量	267t	209t
組立精度	±2mm	±2mm
部材数	柱: 78ピース 梁: 356ピース	柱: 63ピース 梁: 214ピース
溶接箇所数	1495ヶ所	955ヶ所
溶接工数	延べ112人工 施工日数32日 平均 13ヶ所/人日	延べ 53人工 施工日数12日 平均 18ヶ所/人日
仕上箇所数	8030ヶ所	5120ヶ所
仕上工数	延べ 1066人工 施工日数 43日 平均 8ヶ所/人日	延べ 459人工 施工日数12日 平均 11ヶ所/人日

(ヶ所/人工・日)

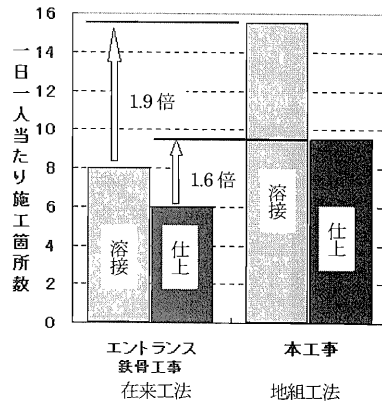


表-6 実施工程

		2000年			2001年	
		10月	11月	12月	1月	2月
ウエイクアップ工事	西工区	架台設置	鉄骨設置・溶接 グラインダー仕上げ	▼12/8 ウエイクアップ 塗装 建方準備	定着・壁つなぎ溶接・G仕上げ	CW工事
	東工区		架台設置	鉄骨設置・溶接 グラインダー仕上げ	▼12/21 ウエイクアップ 塗装 建方準備	定着・壁つなぎ溶接・G仕上げ CW工事
本体 その他 工事			▼11/15 上棟		定着・壁つなぎ溶接・G仕上げ	
		地上階本体鉄骨工事			エントランスキューブ鉄骨工事	
		地上階スラブ・CFT CON打設			北面中央部 (24t)、地上棟東西面CW下地鉄骨 (97t) 工事	
		地上棟南面CW下地鉄骨工事 (114t)				

2-3 建方工事

西工区 267t、東工区 209 t の鉄骨引き起し作業には、図-7 のとおり、地上 4 階に設置した西工区 9 台、東工区 6 台の 100t 油圧ジャッキを用いた。

ウェイクアップ工法による建方作業の管理ポイントは地切り直後と起き上がった状態での揚体変位制御である。図-8 に示すように、地切り直後に、揚体に作用する圧縮応力、曲げ応力、変形は最大となる。各部の強度面から隣接する吊り点の変位差は 15mm 以内に抑える必要があった。そこで、ジャッキ本体と揚体吊り点にストローク計を、揚体各部に歪ゲージを取り付け、変位制御と応力管理を行い、安全性の確保を図った。

建方中は、揚体、柱脚、揚重設備等の異常を即時発見・対応できるよう各所に監視員を配置し、指令室の指揮者との無線応答による確実な状況把握と情報の一元管理により、安全を十分確認しながら作業を進めた。

また本工法では、図-9 に示すように、揚体が垂直に起き上がるにつれて、吊り点荷重（ジャッキ負荷）が減少し、回転軸と揚体重心位置が鉛直に並ぶ位置（バランス点）を境に、揚体が自重により本体鉄骨側に倒れる状態になる。したがって、揚体がバランス点に到達する直前に、自重による転倒を制御すべく、柱脚部に写真-7

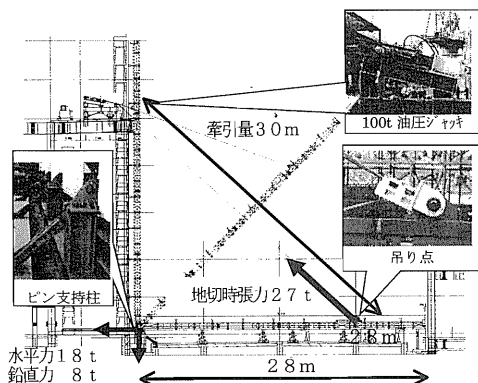


図-7 建方設備概要

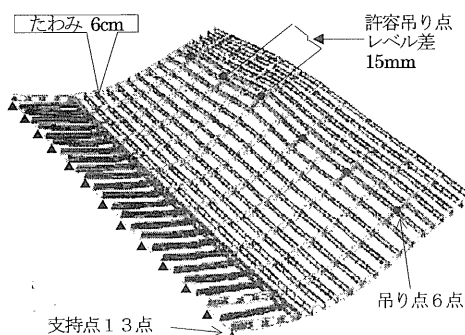


図-8 地切り時 鉄骨変形状態（東工区地組み鉄骨）

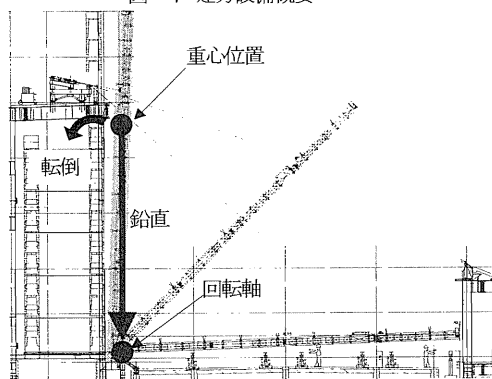
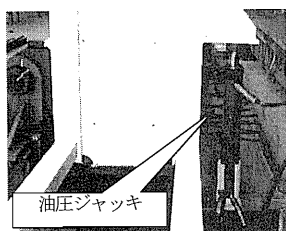
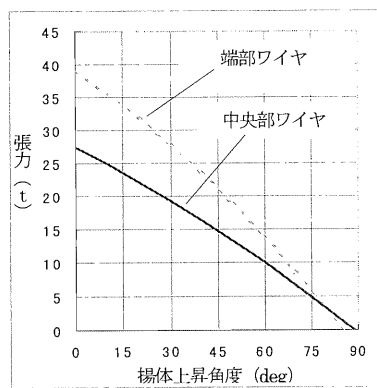
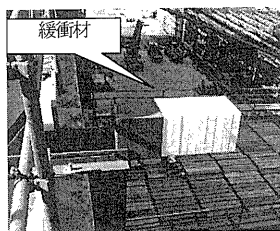


図-9 定着前の揚体挙動とワイヤ張力の変化



転倒防止ジャッキ



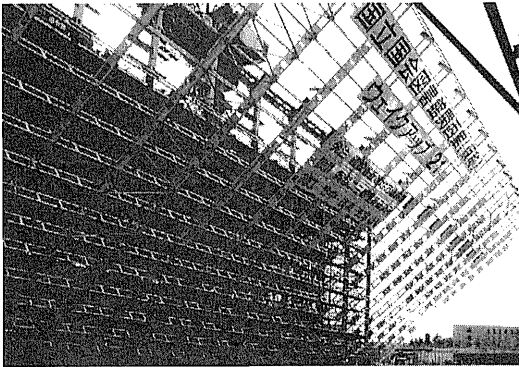
緩衝材（圧縮前）



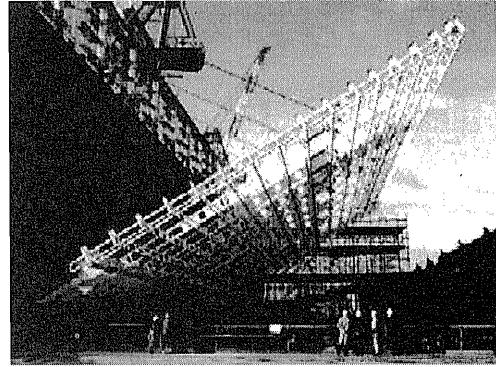
緩衝材（圧縮後）

写真-7 定着作業時 安全装置

に示す油圧ジャッキを、4階の本体鉄骨との接合部に写真-7の緩衝材を設置し、揚体移動量の制御管理を行った。緩衝材には積層加工した発砲ポリプロピレンを採用し、その機械的特性を利用して定着点近傍で緩衝材を写真-7のとおり圧縮変形させながら揚体移動量を制御し、安全に定着させた。ジャッキ牽引量30mを8時間で建方完了した。



西工区 (267 t)



東工区 (209 t)

写真-8 ウェイクアップ状況

3. 結論

ウェイクアップ工法の開発・実施により500tのCW下地鉄骨を安全・高精度・高効率で施工できた。

本工事で得られた成果は以下のとおりである。

① 新工法の開発・実施により大規模な地組みが可能となり、高所作業の低減、安全で安定した作業台・作業床での組立てによる精度確保ができ、作業効率は従来工法と比べ、溶接作業で1.9倍、研削作業で1.6倍の向上が図れた。

② 下地鉄骨全面積の96%を地組みしたことで本体鉄骨工事と並行して施工でき、工期確保が図れた。

③ 本工事において構築した建方設備（揚重設備、計測設備、揚体回転部、定着部における揚体移動量制御機構など）や管理手法の本工法に対する適正、信頼性が実証できたとともに、様々な施工条件に応じて生産性向上を実現する上で必要な生産設備と施工技術の蓄積に寄与することができた。

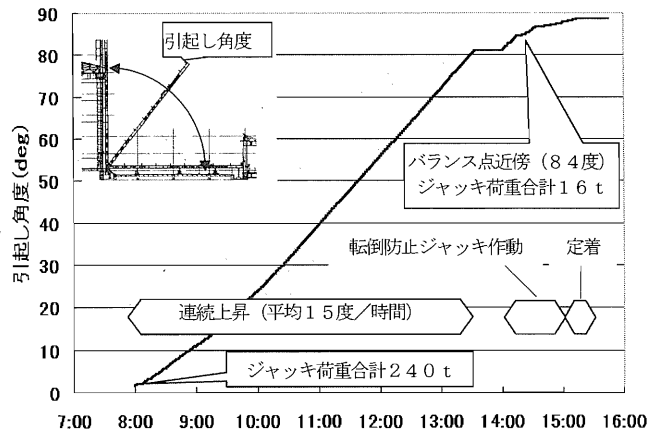


図-9 ウェイクアップ実施工程 (東工区)

20. 鉄塔生産システム～Tower-SMART System～

清水建設(株)：*西村 淳、衛藤 雅章、
在田 浩徳

1. はじめに

近年、携帯電話に代表される移動通信機器の普及にはめざましいものがあり、通信エリアの拡大・安定化・さらに携帯電話の機能の拡大を目的に各地にその通信拠点となる施設が盛んに構築されている。通常、これら施設の屋上には通信アンテナを設置するための大規模な通信鉄塔が構築される。

鉄塔施工方法は施設屋上にタワークレーン、あるいは敷地内に移動式クレーンを設置して建設するのが実状で、資材の搬送・組立作業は開放状態での作業が中心となり施工中の周辺環境への配慮、安全性の面で不十分な状態となる。

さらに今後の鉄塔案件を想定すると、タワークレーン、移動式クレーンでは施工困難な

- ・屋上スペース、あるいは揚重機設置用の補強に制限がある施設屋上の鉄塔施工
- ・隣地の建物、構造物と接近した狭隘な敷地での鉄塔施工
- ・マイクロウェーブ等の上空制限下での鉄塔施工

等に対応できる新しい施工法を確立することも必要である。

これらの課題から、清水建設(株)とエヌ・ティ・ティ ファシリティーズは共同で、無線中継用アンテナ鉄塔を全天候・機械化施工して確実な品質確保と工期短縮、安全施工を実現する「タワー・スマートシステム」を開発した。本文では本システムの詳細を説明するとともに本システムを採用し施工を行ったエヌ・ティ・ティ・ドコモ関西京都ビル鉄塔新設工事での施工実績を報告する。

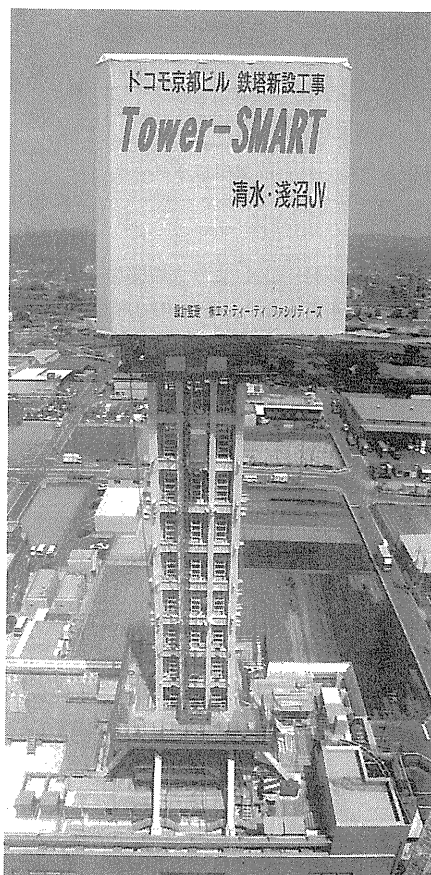


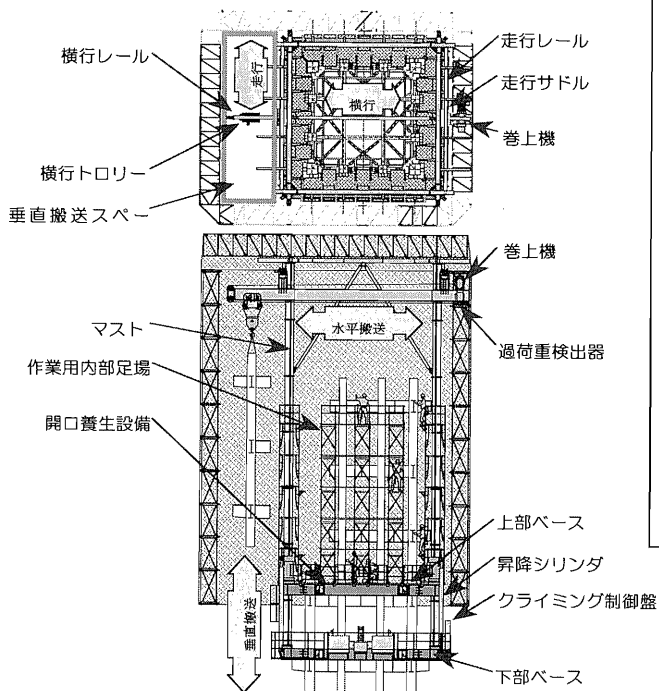
写真1. Tower-SMART System 全景

2. Tower-SMART System の概要

「タワー・スマートシステム」は、清水建設で開発した「全天候型ビル自動施工・スマートシステム」の技術を鉄塔施工に応用して考案されたシステムである。

本システムは、通常使われている天井クレーンを応用した鉄骨の搬送・組立システム、プラントを覆う透光性の高い外周養生システム、プラント全体をせり上げるクライミングシステムで構成するボックス型の機械化施工プラントで、鉄塔を組立てながらクライミングしてゆく。プラントの規模は、幅 10m、奥行き 15m、高さ 21m、重量は軽量化を図り約 100 t に抑えている。鉄塔の鉄骨組立時には機械化施工プラントがフル装備で稼働するが、鉄塔から跳ね出したプラットフォームと呼ぶ構台の設置時にはクライミングシステムを利用した作業構台に組替え施工を行う。

具体的な施工手順は、初めに搬送・組立システムの天井クレーンで既存屋上から鉄骨柱や鉄骨梁を垂直搬送してプラント内部に吊り込んだ後、水平搬送して所定の位置に据え付ける。1 節分の鉄骨工事が終了すると、クライミングシステムを稼働させ、プラント脚部に設置している 4 基の 30t ジャッキを伸縮させることにより、鉄塔に設置しているプラントを約 30 分で 7m せり上げる。鉄骨の搬送・据え付け、溶接、溶射、塗装、そしてプラントのクライミングという施工サイクルを繰り返して鉄塔を建設してゆく。鉄塔本体の建設後、鉄塔最頂部まで上昇しているプラントは、屋根部を外して鉄塔基部まで一旦降下させた後、外周養生システムならびに搬送・組立システムを解体・撤去し、クライミングシステムだけを使うプラットフォームの設置作業に移る。プラッ



Tower-SMART System仕様

① 搬送・組立システム

定格荷重：6,000 kg

揚程：100 m

巻上速度：30/3.0 m/min

走行速度：10 m/min

横行速度：10 m/min

② クライミングシステム

有効ストローク：3,500 mm

クライミング能力：約 30ton×4 本

③ 外周養生システム

マルチトラス・メッシュシート方式

図 1. システム概要

トフォームは、クライミングシステム上につくった作業構台の上で安全に先組みした後、所定の設置位置までクライミングシステムを上昇させて鉄塔本体に取り付ける。そして、クライミングシステムだけを鉄塔基部まで再び降下させる。この施工サイクルを繰り返して、鉄塔上部に設置するプラットフォームから順に設置してゆく。今回の工事では7基のプラットフォームを設置した。

3. 鉄塔施工ステップ

鉄塔の施工は頼杖がある関係から、2節までを在来方法で行い、3節以降をタワー・スマートシステムにより施工した。

システムを組立てた後、プラットフォームを除いた塔体本体の建方を行い、小鉄塔まで組立てる。その後、システムの屋根を解体し、システム組立を行った位置まで下降する。この時点で搬送・組立システム、外周養生システムを解体し、クライミングシステムを利用したプラットフォーム構台に組替える。

プラットフォームは最上段から順に取付けてゆく。取付部材は、プラットフォーム構台が最下の位置まで降下しているときに構台上に積み込み、取付位置までクライミングして取付ける。このサイクルを繰り返し行い、プラットフォーム全段を取付ける。

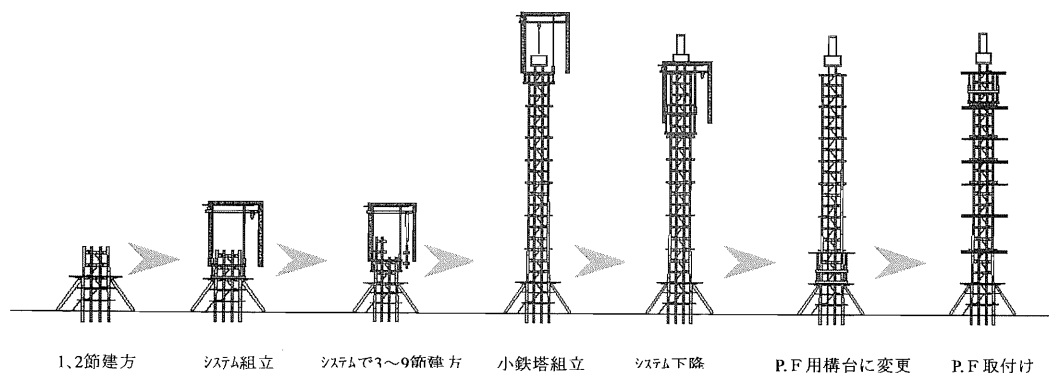
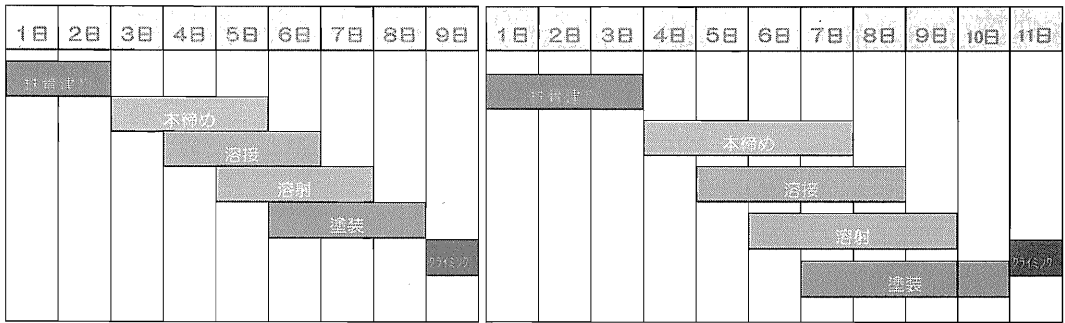


図2. 施工ステップ

4. 塔体施工

3節以降の柱は2層1節の場合と3層1節の2通りあり、2層1節は9日サイクル、3層1節は11日サイクルで施工を行った。図3に鉄塔建方サイクルを示す。このサイクルは、外周養生システムの採用により、雨、風の影響を受けることなく作業ができることから、計画された工程通り進めることができた。

また、取付作業はクライミング毎に開口養生設備を移設することにより、開口部のない安全な空間となり、常に床面がある状態で作業ができ、さらにシステム内部には、鉄骨取付け位置にアプローチできる内部足場を備えているので作業性・安全性が従来方法に比べ格段に向上した。



9日サイクル

11日サイクル

図3. 鉄塔建方サイクル



写真2. 荷取構台からシステムによる揚重

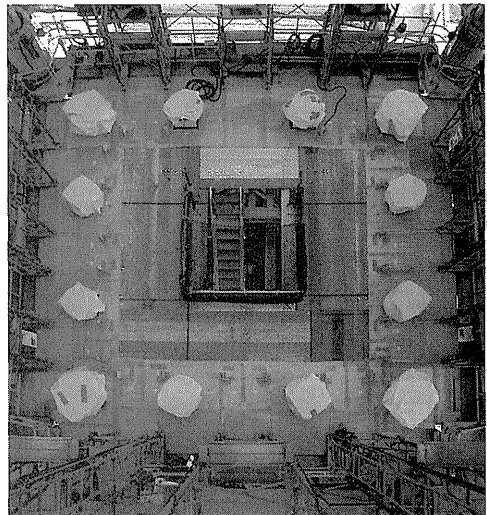


写真3. システム内開口養生設備

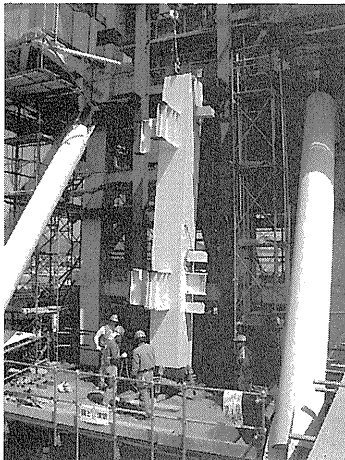


写真4. 荷取構台への揚重

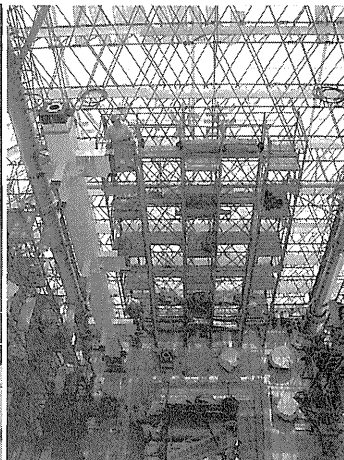


写真5. 鉄骨建方用内部足場

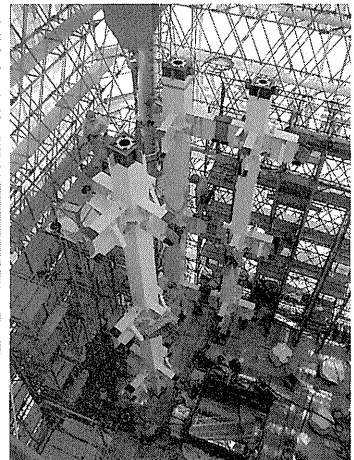


写真6. 鉄骨建方状況

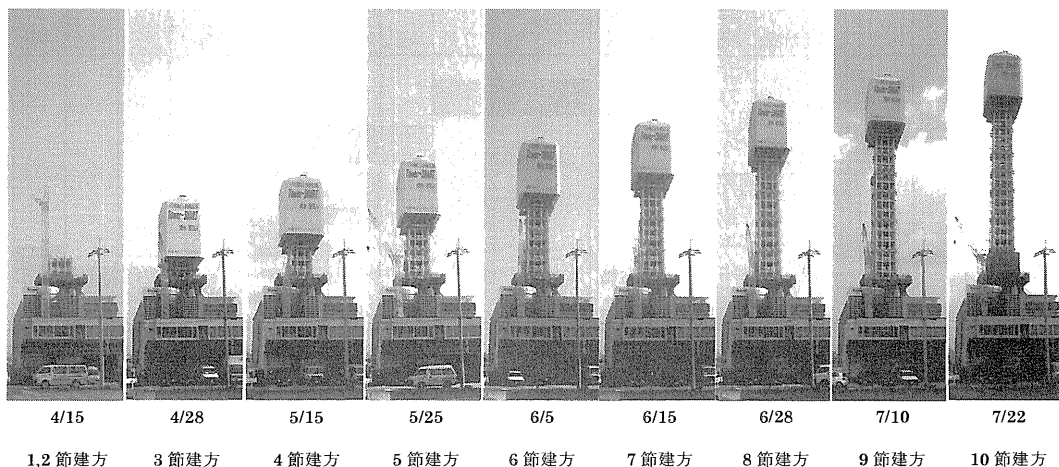


写真7. 塔体施工実績

5. プラットフォーム施工

プラットフォームの施工サイクルは、クライミング距離の関係から最上段で7日、中間部で6日、下部で5日のサイクルで施工を行った。塔部施工時と異なり全天候で施工できないため、数日間、雨、風の影響を受けることがあった。

鉄塔建設においてプラットフォームの取付が一番張り出した部分の作業となるため、最も危険な作業となるが、今回の工法によりすべての作業がプラットフォーム構台上で行え、また、クライミングシステムにより作業構台の高さを自由に変えることができるので、鉄骨取付け時、溶接・溶射時、塗装時と、それぞれの作業のし易い高さに作業構台の高さを変えることにより作業性が向上し、安全に作業することができた。

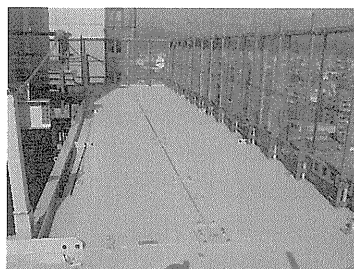


写真9. プラットフォーム構台床



写真10. プラットフォーム材料揚重

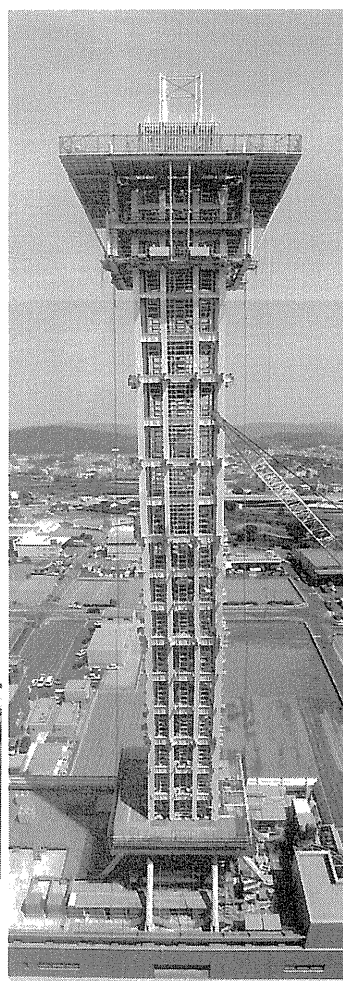


写真8. プラットフォーム構台

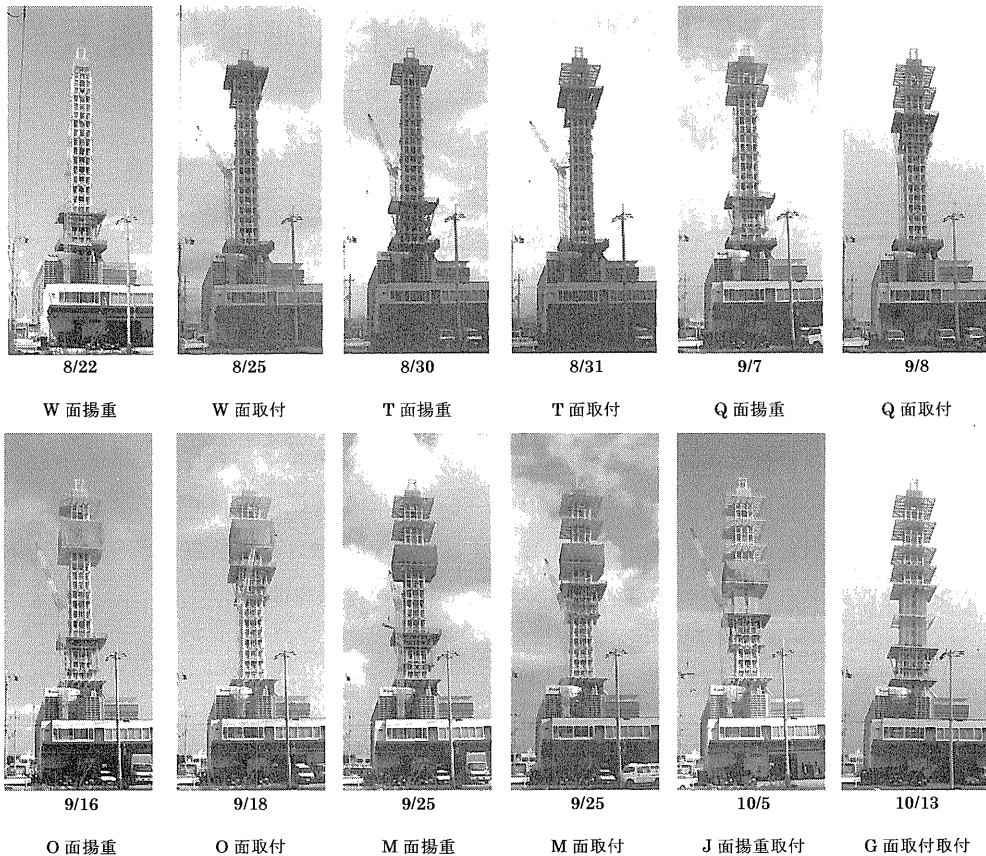


写真11. プラットフォーム施工実績

6. 効果

1. 雨・風によって作業が中断することがなく、しかも機械化施工プラントにより鉄塔部の施工スピードが大幅にアップするため、従来の施工法に比べて全体工期を約20%短縮できる。
2. 作業員は屋根・外周養生・床のあるプラントの内部で作業するため、従来のような吹きさらしの鉄塔上での高所作業がなくなり安全性と施工性が格段に向上するとともに、鉄骨の施工品質も向上する。
3. 屋上に設置するタワークレーンや広い敷地が必要な移動式クレーンが不要のため、敷地や屋上の条件などに左右されずに無線中継用アンテナ鉄塔を建設できる。

7. おわりに

携帯電話の旺盛な需要などにより、無線中継用アンテナ鉄塔の迅速な建設が求められている。また、その建設工事はクレーンの設置が困難な都市部に集中している。現在、このシステムの考え方を逆の手順で応用し、不要となった鉄塔の解体工事に適用し実施している。

このため今後、鉄塔の建設・解体工事に対して両社で共同開発した「タワー・スマートシステム」の採用ニーズが増加するものと期待される。

21. 超高層RC集合住宅における機械化施工

清水建設(株)：山崎 忍、水島 敏文、

*廣瀬 豊

1. はじめに

近年、高強度材料を使用した超高層 RC（鉄筋コンクリート造）集合住宅の建設が多いなか、施工の合理化、工期短縮を目的とした PC（プレキャスト）化を主とする工業化工法が採用されている。本工法の躯体工事においては主要作業をタワークレーンに大きく依存しており、タワークレーンの揚重負荷低減、稼働率の向上が工期を大きく左右している。今回、超高層 RC 集合住宅の施工にあたり、タワークレーンの揚重負荷低減を目的として開発された装置や、敷地の狭い場所での工業化施工を達成するために考案された装置を積極的に導入し、成果を挙げたので、それぞれの装置の概要及び稼働状況を報告する。

2. 機械化施工導入に至る経緯

2-1 工事概要

紹介する作業所の工事概要を下記に示す。

工事名称：(仮称)月島駅前地区第一種市街地再開発事業施設建築物新築工事

工期：平成 11 年 5 月 16 日～平成 14 年 6 月 30 日

主要用途：共同住宅、区民館、保育園他

階数・構造：住宅棟 地下 2 階 地上 38 階 塔屋 2 階

区施設棟 地下 2 階 地上 4 階

敷地面積：5,680.04 m²

建築面積：2,891.71 m²

延床面積：57,129.36 m²

この作業所の特徴として、①RC 超高層集合住宅、低層棟（区施設棟）及び地下 2 階の大空間からなる大型複合施設 ②住宅棟建物中央部は約 10m×10m の大空間吹き抜け ③RC 造の住宅棟の一角（2×2 スパン）が S 造 等が挙げられる。

2-2 施工環境・条件

本作業所は、作業ヤードとして使用できる敷地が、他の超高層 RC の現場に比べ 1/2 以下と非常に狭い。かつ、躯体の物量は 2 分割の工区割りをせざるを得ないほど多く、また敷地条件などにより、タワークレーンの配置に偏りがあり、クレーンの負荷率が異なる。このような条件の中、躯体構築サイクル工程は 7 日を順守しなければならないという命題をかかえ

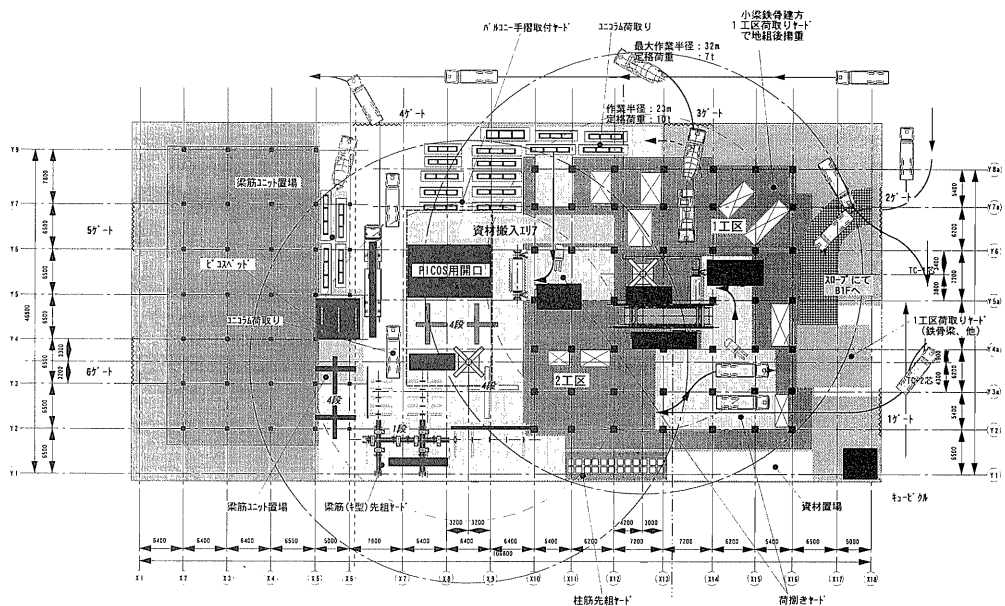


図1 1階平面計画

ていた。当初の計画のクレーン作業シミュレーションでは、1サイクル工程のほとんどで早出・残業が必要となることが判明し、クレーン作業の軽減と工業化が必須課題であった。

これらの課題に対し、躯体サイクル工程の平準化・短縮するためにタワークレーンの負荷を低減させる為の装置の立案・導入を図り、また、狭所での工業化工法を実現する為に地下空間の有効活用を含めた3次元的ヤード計画を行い、それに対応する機械化生産設備（サイトプラント計画）の立案・導入を図った。結果、早期に目標施工サイクル7日を実現することができた。以下に個々の装置の紹介をする。

3. タワークレーン揚重負荷低減装置

3-1 昇降式ステージ

(1) 概要

大開口吹抜け部に設置する荷上げ・荷受け兼用のステージ。本装置はアウトリガーを擁し躯体に支持される固定フレーム、固定フレーム最上部に取付けられた昇降装置、及び昇降装置により懸垂支持され固定フレーム内を上下移動できる昇降ステージで構成される。

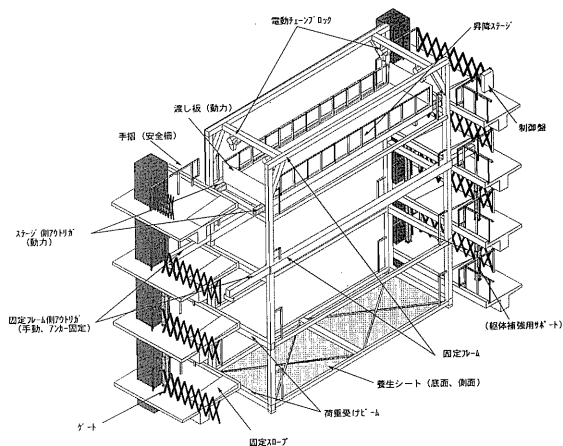


図2 昇降式ステージ概要

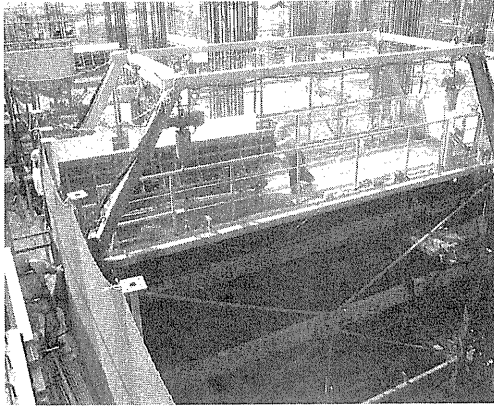


写真1 現場稼動状況

表1 昇降式ステージ仕様

積載荷重	2000kg
ステージ有効寸法	2200mm×9875mm
揚程	12m
昇降速度	7.1m/min
操作方法	制御盤面押し釦
電源	200V 50Hz
総重量	10500kg

また、懸垂支持された昇降ステージ自体も伸縮式のアウトリガーを具備し、各階サービス時に固定フレームの荷重受けビームにアウトリガーを支持させることで、ステージの揺れを防止できることを特徴とする。

装置全体の荷重を受ける固定フレームのアウトリガーは躯体（梁）に支持されるため長い、昇降ステージのアウトリガーは装置自体の固定フレームに支持させることで短くすることができている。

(2) ねらい

主な機能としては以下の通り。

- ① 資材揚重……システム型枠、支保工などの転用部材の上階への揚重
- ② 荷受けステージ……仕上げ材などの搬入

(3) 仕様

主な仕様を表1に示す。

(4) 導入結果

① 資材揚重の機能について

転用部材は、タワークレーンを用いず本装置を使用して全て揚重した。揚重回数は1サイクル工程につき80～90回。従来のクレーンによる揚重と比較すると、タワークレーンの拘束時間は約4時間（クレーン1台・1サイクル）短縮することができた。

② 荷受けステージとしての機能について

施工階の2～3階下へALC、手摺パネル、設備配管材などの搬入のためのステージとして使用した。従来の荷取りステージのような移設手間は軽減され、エレベーターの負荷も低減できた。使用時間は1サイクル工程につき約10時間であった。

3-2 梁システム型枠セッター

(1) 概要

梁システム型枠の取付けに係わるタワークレーンの補助装置。従来のシステム型枠脱型用のリフターを進化させ、脱型時に使用したバッテリー式のリフターをそのまま取付けにも活用できるように開発したものである。

下階から荷上げされた型枠の所定位置へのハンドリング、リフトアップ、水平微小位置決めを行う機能を有する。また、スラブコンクリート打設数日後に床上に設置・移動できるように機械の軽量化を図っている。前後の車輪にリンク機構を持たせ、ハンドルにより車輪を90度回転させて水平移動を可能とする。

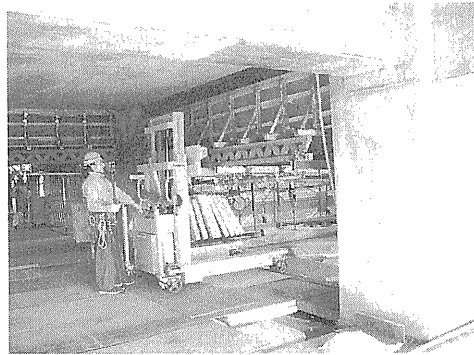


写真2 梁システム型枠脱型状況

(2) ねらい

主な役割としては以下の通り。

- ① 施工階下のフロアでの梁システム型枠の脱型
- ② 施工階に荷上げされた梁システム型枠の取付け

(3) 仕様

主な仕様を表2に示す。

表2 梁システム型枠セッター仕様

最大荷重	1250kg
全高（マスト縮小時）	2540mm (1720mm)
フォーク爪最高高さ	2200mm
フォーク爪最低高さ	470mm
自重	約 690kg

(4) 導入結果

- ① 梁システム型枠の脱型について
当初の計画通り、全数（1707-当り 39 台）の脱型に使用した。
- ② 梁システム型枠の取付けについて
クレーンの補助として取付けに使用した。タワークレーンの拘束時間は最大約 1.5 時間（クレーン1台・1サイクル）短縮することができた。

4. 機械化生産設備(サイトプラント計画)

4-1 ピコス搬送トランスポーター

(1) 概要

地上ヤードだけでは物理的にサイトプラント計画が不可能なことから、地下にピコス床板のサイトプラントヤードを設定。このため、積層打設したピコス床板をクレーンがサービスできる開口部直下まで水平移動させる必要がある。本装置はピコス床板をベッドごと(約30t)所定の場所まで水平移動させることを目

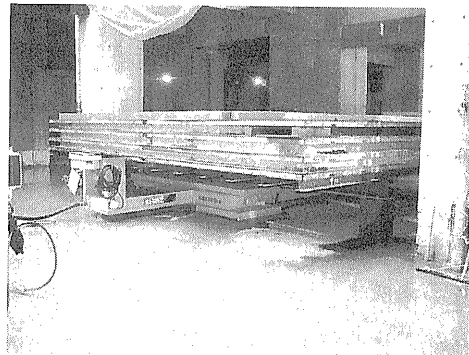


写真3 ピコス搬送トランスポーター

ものとした。またバケット自体を旋回させる事で、レールの直下だけでなくその周辺にもコンクリートの打設を可能としている。

バケットへのコンクリートの投入方法は、レール上の1F床に開口を設け、その上部に

コンクリートホッパーを設置することで、直接生コン車からバケットへコンクリートを投入することができる。

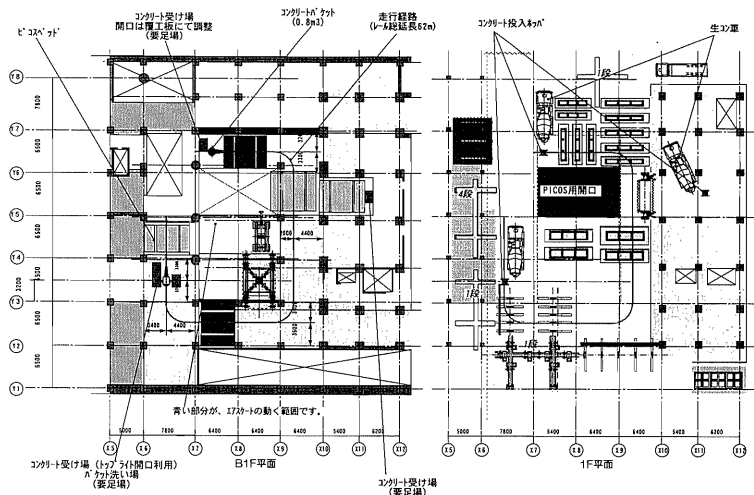


図4 ピココンクリート打設計画図

(2) ねらい

狭所でのサイトファクトリーにおけるコンクリート打設労務の軽減

(3) 仕様

主な仕様を表4に示す。

(4) 導入結果

従来のクレーン使用による打設に比べ、特に今回は地下という狭い空間の中での作業であるので、安全性は向上し、また、生コン車からの直取りの作業に比べても、旋回、起伏が可能なバケット・シュートにより、作業員の労務の低減が図れた。

表4 テルハ式コンクリート打設システム仕様

走行レール	I-350×150
バケット容量	0.8m ³
走行速度	20m/min
電動機出力	1.35kw
電源	3相 200V

5. おわりに

今回紹介した作業所ではこれら機械化生産設備が順調に稼動し、また作業所職員、作業員の方々の努力により、目標であったサイクル工程7日を早期に8F立上り時に達成することができた。そして、更なる短縮に取り組み27F立上りでは6日サイクルを実現することができた。

今後は、これらの装置をブラッシュアップし他現場に適用することはもちろんのこと、様々な厳しい条件の超高層RC集合住宅施工の中で、新たなタワークレーン負荷低減装置、工業化支援装置を立案・導入し、工期短縮・コストダウンに貢献していきたいと考える。

22. 逆打ち工事における土砂フィーダ装置の開発

東急建設(株)：*大矢 和久、西尾 仁、
木村 喜代司

1. はじめに

近年、都市部の建築工事における狭い敷地条件への対応や工期短縮を目的として逆打ち工法を採用する機会が少なくない。東京都渋谷区における「渋谷桜丘町プロジェクト新築工事」(セルリアンタワー新築工事、地上41階、地下6階、延床面積約106,000㎡)においても逆打ち工法が採用された。この工法は1階が作業床として早くから利用でき、地上階と地下階が同時進行できるため工期の短縮が図れるなどの長所がある一方、地下階の作業が床下になるため作業能率が低下し、作業環境が悪くなるという問題が指摘されている。同工事における地下工事は根切り面積約9,000㎡、最大掘削深さ約36mと、建築工事においては国内でも最大規模の逆打ち工事であり、躯体工事との同時進行で地下の掘削工事が行われるため、掘削発生土の搬送動線の確保と諸設備の選定及び工夫が重要であった。

本稿では今回開発した、掘削発生土の搬送システムの概要と主要機器である土砂フィーダー装置について報告する。

2. 逆打ち工法における土砂搬出計画

地下工事の根伐掘削は0次～7次に分けられ、この間に発生する計画土量は約265,000m³におよぶ。根伐掘削初期の0～3次根伐は開口が確保でき、クラムシェルバケット等で直接土砂を地上階へ搬出できるものの、4～7次根伐時には地上階の高層部躯体が立ち上がるため、地上部の揚土開口部は2箇所しか確保できない。土砂搬出計画としては、1日当たり1,000m³を予定した。ダンプの積込み量から1日の搬出台数は約166台となり、2箇所からの搬出であるので搬出可能な作業時間(7時間)から、搬出に要する時間は約6分以内/2台と想定された。したがって1箇所・時間当たり70m³の土砂を地下階において滞る事無く、水平搬送しなければならなかった。

具体的手順としては、B3F床上に9箇所開口部を配置し、B4F～B6Fでの発生土砂を一旦B3Fに揚直し、この床上を搬送経路として地上部揚土開口位置まで水平運搬することとした。図1に本工事における地下階掘削土砂の搬出経路を示す。

- ① 掘削は主にショートリーチバックホウを用いて上部スラブ開口域まで移送し、集積する。

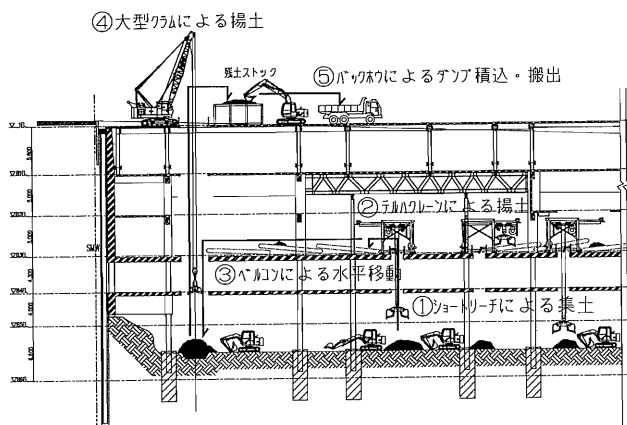


図1 土砂搬出経路

- ② 1.6m³油圧グラブを搭載した移動式テルハクレーン（以下油圧グラブ）をB3Fスラブ開口部に設置して土砂を揚重する。
- ③ B3F床にベルトコンベアを設置して水平搬送する。
- ④ 地上に配置した3.5m³クラムシェルにより、地上の残土ストック用ベッセル（容量150m³）に揚土する。
- ⑤ 積み込み用バックホーにより大型ダンプへ積み込み、場外へ搬出する。

なお、地上開口部が2箇所なので、3.5m³クラムシェル、残土ストック用ベッセルはそれぞれ2基用意した。

3. 事前検討および装置の開発

B3Fスラブ開口部に設置した油圧グラブからベルトコンベアへの乗り継ぎ部が、スムーズな土砂搬送の重要なポイントと予想された。

3. 1 油圧グラブからベルトコンベアへ直接移送する方法の検討

B3Fにおける天井高さの制限として、油圧グラブ高さを最小3,300mmに配置しなければならず、そのときベルトコンベアの土砂受け取り有効高さは600mm以下としなければならなかった。油圧グラブより直接ベルトコンベアへ載せるには土砂容量から幅1,500mm以上のベルトコンベアが必要で、これは高さが700mm以上となるため、幅750mmの薄型・中折れ・耐衝撃荷重平型インパクトキャリアローラ（可変速制御式）の特注ベルトコンベアを並列に2台配置（図2）する方法を計画した。

現場へ導入する前に試作機による実証試験を実施した結果、以下の問題点が判明した。

- ① ベルトコンベアへ土砂を積み込む際、土砂の落下衝撃と重量により大きな抵抗が生じ、停止してしまう。
- ② ベルトコンベアが2連のため合流部にホッパーシュートを設けたが、そのシュート口に土砂が堆積して閉塞してしまう。
- ③ ベルトコンベア中折れ部において土砂抵抗によりベルトが逸脱する。
- ④ 汎用品ではなく特注品のため、1基当たりのコストが高価となる。

以上の結果より、土砂連続搬出の信頼性と運用コストに問題があり、ベルトコンベアへの土砂の直接投入は見合わせる事とした。そこで土砂を仮置きテーブルに一度受けた後ベルトコンベアに投入するという、油圧グラブの断続運搬とベルトコンベアの連続運搬の整合性を図るフィーダー装置の開発を検討した。

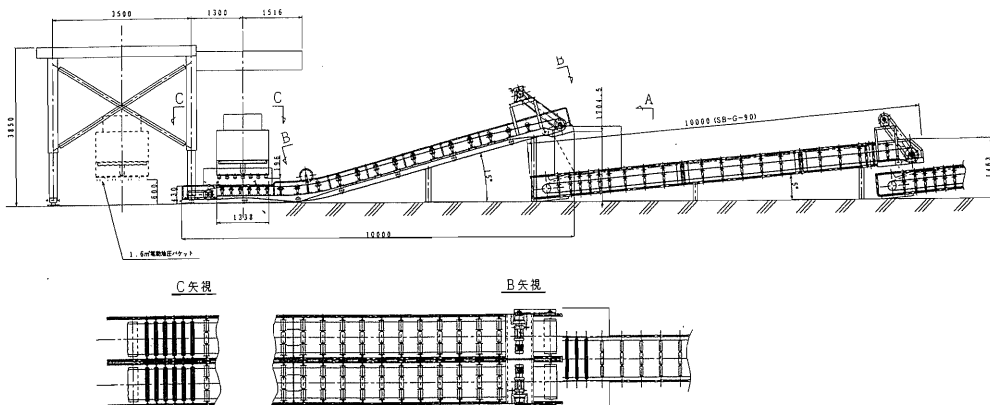


図2 薄型中折れ特注ベルコン（2連）

3. 2 土砂フィーダ装置の開発

装置を開発するに当たり、以下の項目を目標とした。

- ① 運転に関して省人化・自動化を図る。
- ② 土砂フィーダ装置の機械高さを最大 600mm 以下とする。
- ③ 最大土砂積載量 3,000Kg とする。
- ④ ベルトコンベア積み込み時間および積み込み土量特性の調整を可能とする。
- ⑤ 装置の低コスト化を図る。

本装置は 1.6m³油圧グラブによる土砂の断続運搬とベルトコンベアという連続運搬の異なる搬送特性の整合を図るもので、構造としてはヒンジ式翼型テーブル（ベッセル）を油圧シリンダにてダンプアップさせるものである。

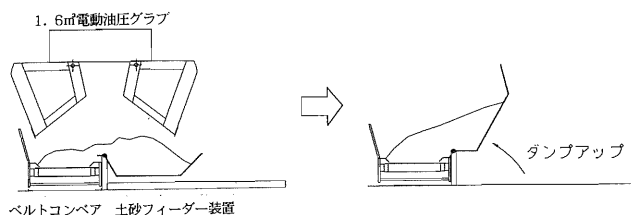


図4 土砂フィーダ装置イメージ図

土砂フィーダ装置はベルトコンベアの横に設置し、両者にまたがる形で油圧グラブの土砂を投入する方式とした(図4に土砂フィーダ装置のイメージ図を示す)。これにより油圧グラブより直接ベルトコンベアに載る土砂量はおよそ 1/4 程度となり、残り 3/4 の土砂は土砂フィーダ装置で受け、土砂の積み込み時におけるベルトコンベアに及ぼす衝撃荷重が大幅に軽減された。土砂フィーダ装置上の土砂は、油圧グラブが移動した後、土砂フィーダ装置のベッセルをダンプアップさせ、ベルトコンベアに土供給する。このときには、先に直接投入された土砂は運搬済みとなっており、断続運搬と連続運搬の整合性が図れることとなる。

土砂フィーダ装置の作動

は1回のスイッチ操作でダンプアップ～ダウンまで自動で行なうものとし、スイッチにはフットスイッチを採用して簡単な操作で油圧グラブのオペレータが兼務できるように考慮し、省人化を図った。また、土砂フィーダ装置の1サ

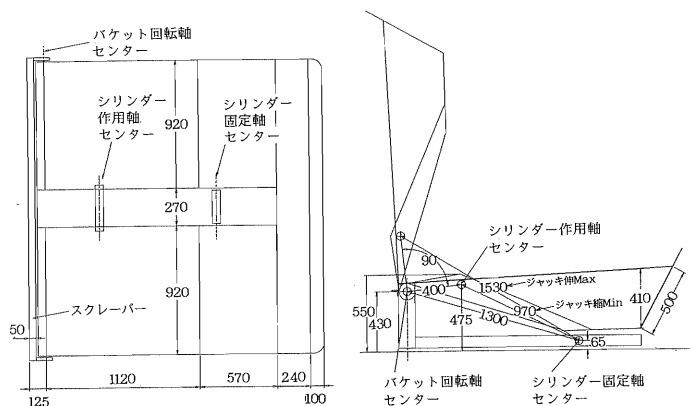


図5 土砂フィーダ装置外形図

イクル稼働時間は土砂量や土砂の性状により変更出来るものとし、長期にわたる土質の変化にも柔軟に対応できるシステムとした。図5に装置外形図を示す。

4. 現場導入

セルリアンタワー新築工事では4次根伐より B3F における水平搬送システムとして土砂フィーダ装置を導

入した。1.6m³油圧グラブおよび土砂フィーダ装置各3基が最大24基（予備含む）のベルトコンベアと組み合わせられ、9箇所の開口部より土砂を揚重し、B3Fにて水平搬送させた。土砂は2箇所の、地上への開口部へ集土され、2基の3.5m³クラムシェルバケットにより次々と搬出された。掘削の進捗に伴い油圧グラブと土砂フィーダ装置は順次開口部を移動した。写真1、2は現場における稼働状況である。写真1は油圧グラブから土砂を投入した状況、写真2は土砂フィーダ装置のダンプアップ状況の写真である。4次根伐以降、平均760～860m³/日、最大1,280m³/日の土砂を搬出することができ、累計約25万m³の土砂のうちその半分以上を本システムにて搬出することが出来た。表1に残土搬出の実績を示す。4次～7次が本装置稼働による実績であり、当初目標の1日当たり1,000m³を達成できた。また機械的にも開発目標を達成でき、自動化・省人化・低コストが実現できた。

平成13年7月現在、本装置は東急・東横線の東白楽作業所（鉄道工事）において軌道直下の高さ制限のある状況下、油圧グラブとの組み合わせで掘削残土搬出システムとして稼働し、実績をあげている。写真3に稼働状況を示す。

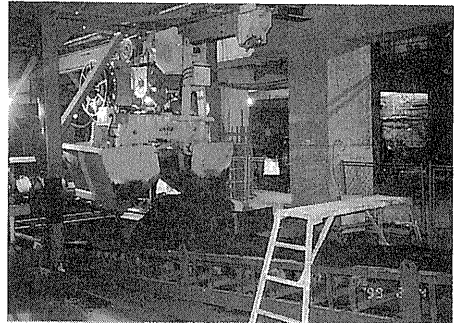


写真1 土砂投入状況

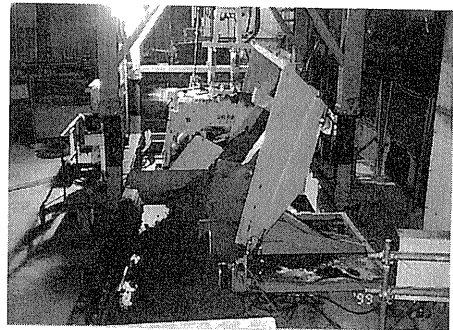


写真2 ダンプアップ状況

表1 残土搬出実績

根伐次数	0次	1次	2次	3次	4次	5次	6次	7次
時期	97.12～98.4	98.6～98.8	98.8～98.10	98.11～98.12	98.12～99.2	99.3～99.4	99.4～99.6	99.6～99.8
搬出土量 (m ³)	24,500	32,095	40,033	21,686	36,764	30,485	31,917	31,824
累計土量 (m ³)	24,500	56,595	96,628	118,314	155,078	185,563	217,480	249,304

5. おわりに

今回開発された土砂フィーダー装置は、上下空間の制限された狭隘な現場での適用を前提に掘削残土搬出システムの一部として考案されたものである。

今後ますます施工条件の厳しくなる都市部での地下工事において、建築地下工事に限らず先の鉄道現場のように土木工事においても更なる適用範囲の拡大を考えていきたい。

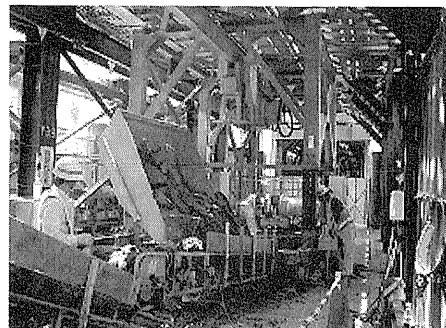


写真3 鉄道工事施工例

23. 鉄骨柱建起し装置の開発

東急建設㈱：*遠藤 健、西尾 仁

はじめに

建築の鉄骨工事に於いて建方前の鉄骨柱は、地上の作業ヤードに水平仮置きされ、安定した状態で鉄筋の地組や仮設材の取り付けがおこなわれる。

地組み完了後の建方時には、下端部保護のため、浮かしながら徐々に建起す必要がある。従来の建起し作業は建方に補助クレーンを用いる相吊り方式（写真1）が主流であり、クレーン設置スペースの確保や、クレーン間の合図やバランス保持にも注意が必要であった。また補助クレーンを用いない方法として、柱下端部を地上で支える固定式やレールスライド式の回転架台方式があるが、これらの方式はクレーンによる回転架台装着工程を必要とし、建起し終了後の切り離し時に、クレーン巻き上げロープ芯と鉄骨柱の重心位置とが一致しないと思わぬ方向に吊荷が触れる危険があった。さらに、ベース鋼材などに固定するため、作業ヤードの一角を占有し、ヤードの有効利用が困難であった。

これらの問題を解決するため建起し工程の作業性向上を目指した自走式建起し装置を開発（写真2）し、実施工に導入したので報告する。



写真1 補助クレーン相吊り方式

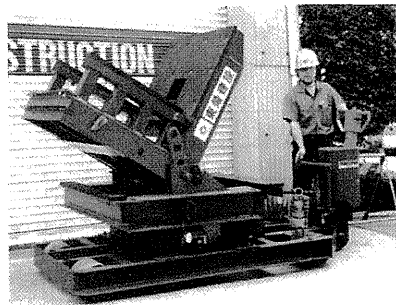


写真2 開発機

1. 鉄骨建起し装置の概要

1-1. 開発方針

装置の開発方針は次の通りとした。

- ①柱下端部回転支持方式とする。
- ②装置の稼働性を向上させるため自走式とする。
- ③作業床面はコンクリート、鉄板敷床、アスファルトに対応する。

1-2. 建起しの順序

本装置を用いた建起し作業フローを図1に示す。

- ①仮置き架台上水平に置かれた鉄骨柱の下端部位置に建起し装置を自走させて移動する。
- ②鉄骨下端部と回転架台部を止め金具で固定する。回転架台高さ調整油圧ジャッキを上昇させて、荷重を受けた後、仮置き架台1を撤去する。
- ③柱上端部を建方クレーンで吊り上げる。
- ④本装置の下端部滑走機により重心は建方クレーンの吊芯方向に移動しながら柱下端部架台は回転する。柱が鉛直に吊上がった後、柱下端部を回転架台から切り離し建起しは終了する。

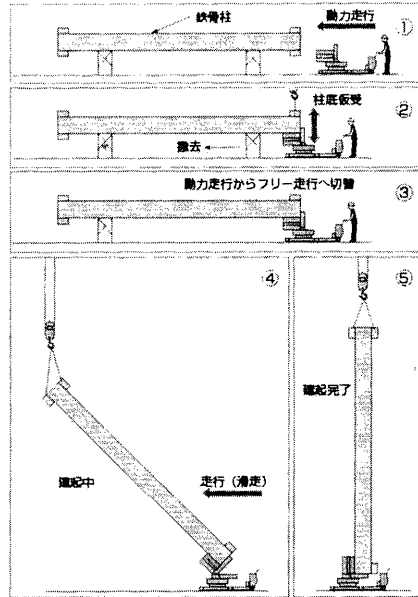


図1 作業フロー

2. 装置の構造

本装置は走行フレーム、昇降フレーム、柱下端部回転支持装置の3つの主要構造部により構成される(図2)。仕様を表1に示す。

2-1. 走行フレーム機構

本装置の走行機構は次に示す車輪で構成される。

2-1-1. 滑走用主車輪

鉄骨建起し時に鉄骨柱の荷重を受けながら直線滑走する車輪である。滑走路面はコンクリート、敷鉄板、アスファルト舗装と範囲を限定した(短期許容設置圧980MPa)。

定格荷重は196KNと設定し、実大走行実験により接地圧、走行抵抗を確認しながら車輪構造、形状を検討した結果、直径250mm、車輪幅280mmの鉄車輪で4軸固定とした。

直線安定性及び走行安定性を考慮し、車輪のホイールベースは2100mm、トレッド幅を1050mmとした。

2-1-2. 空車時移動車輪(通常時)

作業区域での本体移動車輪は3輪走行構造とした。3輪の内、固定2輪は滑走用主車輪を兼用しステアリング車輪はバッテリー電源の1輪動力走行ユニットを使用した。滑走モードと移動モードの切替えは耐久性を考慮して手動油圧ジャッキを

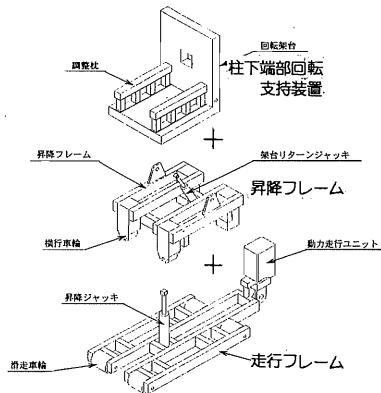


図2 主要構造図

表1 仕様

仕様(カッコ内は最低高さ時)	
定格荷重(N)	196
本体寸法(mm)	2815×1050×1869(1669)
本体質量(kg)	1750
回転架台高さ(mm)	1130(930)
建起し時走行	鉄車輪 4輪滑走追従
移動時走行	通常走行 3輪動力走行
	横走行 3輪動力走行 昇降フレームに連動
回転架台復帰	油圧シグナルによる動力復帰
動力電源	12V 120AH

走行ユニットに組み込んだ（写真3）。

2-1-3. 走行用補助車輪（横移動時）

上記の通常3輪走行機能とは別に、柱下端部と回転架台装着位置の微調整や狭隘空間での移動モードとして横移動機能を付加し、開発機本体昇降フレーム下端に鉄車輪2輪を設けた。

2-2. 昇降フレーム部

建起し滑走時の安定及び狭隘作業区域での移動性を考慮し、フレーム幅（最大）1200mm、全長は2300mmとした。フレーム高さは4本の同調シリンダ昇降機構と中央の油圧シリンダにより、930mmから1130mmまで200mmのストローク幅で任意の高さに調整可能であり、回転架台の支持ピンを昇降する。

2-3. 柱下端部回転支持装置

柱の下端部を支持し、建起し終了直後には全垂直荷重と衝撃荷重が作用する構造上重要な部位である。回転フレーム部、回転軸、柱下端部エレクションピース保護用枕金物、回転リセット用油圧シリンダーにより構成する。回転架台は質量が120kgであり、建起し終了後の初期位置人力復帰は、挟まり事故の危険性や重心位置変更に伴う衝撃が発生する苦渋作業である。このため油圧シリンダによる動力駆動方式を採用し初期位置復帰工程を動力化した。動力復帰操作は足踏みスイッチおよびハンドスイッチの二重操作回路を設けヒューマンエラーによる誤動作防止対策とした（写真4）。

動力復帰時には警報音と回転灯の点滅により回転架台移動部への作業員接近を防止する。枕金物はエレクションピース形状取り付け位置の変更に対応可能とするためピン差込方式とした（写真5）。

2-4. 動力制御操作部

本装置の動力走行ユニットおよび、昇降フレーム高さ調整や回転架台フレーム復帰装置の直流油圧ポンプは全てD.C.12Vモーターを使用し、手元操作盤（写真6）での集中制御とした。

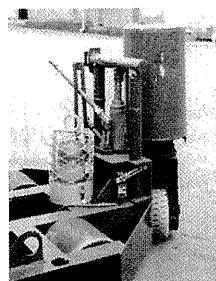


写真3 手動式油圧ジャッキ

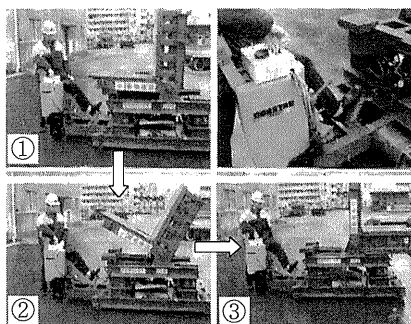


写真4 回転架台動力復帰機構



写真5 枕金物取り付け位置変更機構

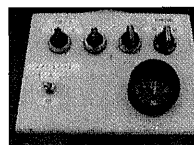


写真6 操作盤

3. 導入事例

3-1. 事例 1

工事概要 S 構造 8 F

鉄骨柱数量 72 本、最大質量 10ton/本

最大長さ 8.5m

施工計画においては鉄骨建方に定格過重 120Ton の移動式クレーン、鉄骨柱建起しにはさらに定格過重 25 Ton の補助クレーンの併用を予定していた。また作業ヤードが狭く、夜間に前面道路の占有許可を取り建起し作業を行う計画であった。

本装置の導入により作業ヤード内で昼間の建起しが可能となり夜間作業および補助クレーンが不要となった（写真 7）。

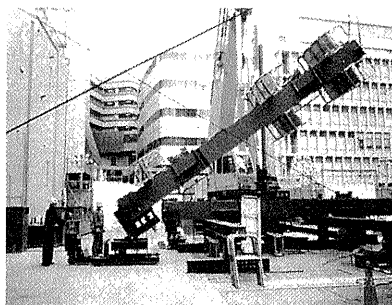


写真 7 移動式クレーンによる建起し

3-2. 事例 2

工事概要 S 構造 25 F

鉄骨柱数量 27 本/節×6 節=162 本

最大質量 16ton/本 最大長さ 10.5m

定置式タワークレーン 2 基を用いて中間構台上に仮置きした柱を相吊りしながら建起す計画であったが、施工速度の向上策としてクレーンの有効利用が課題となっており本装置の導入効果を検討した。

その結果、建物中段の仮置きヤードに本装置を配置することで、鉄骨柱搬入トラックから仮置きヤードへの柱荷降しと、仮置きヤードからの別部材の建起し作業を 2 基のクレーンで同時に平行して行う事が可能となり、施工速度が 2 倍に向上した（写真 8）。

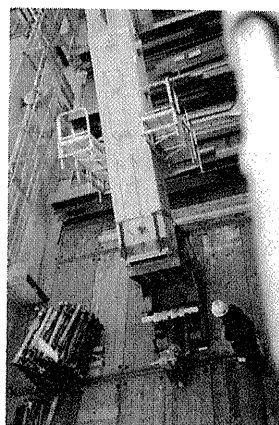


写真 8 タワークレーンによる建起し
（仮置用中間構台上にて）

おわりに

本装置の現場導入により、狭隘な作業ヤードで安定した建起し作業が実施できること、および自走式により作業スペースへの影響を極力低減できることが確認できた。本装置を使用するときには床面滑走速度の制御が重要であり、滑走速度はクレーンの巻き上げ速度に比例する。特に建起し終了直前の安定確保のために巻き上げ速度の微速操作が必要であるが、走行車輪は柔軟に追従し、巻き上げロープと吊荷重心位置が常時一致するため、荷振れが少ないことが判明した。

今後は鉄骨柱の適用種類の拡大を図るため、閉断面形状のボックス型鉄骨柱だけでなく、円筒型柱や交差型、クロス型の H 鋼柱にも対応できるよう、回転架台および枕架台の開発も図りたいと考えている。

24. デメテル工法（水中構造物の合理的な解体工法）の開発

京成電鉄(株)：大嶋 雅夫、(株)奥村組：*大河 澄男、

日立建機(株)：藤沢 勤

1. まえがき

これまで、河川などの水中に位置する構造物の解体は、構造物の周囲に仮設締切り工を施工し、その中を排水した後、ドライな状態で工事を行うのが一般的であった。しかしこのドライ工法では、耐水圧性能の確保や、近接構造物への解体工事に伴う変位抑制などのため、仮設締切り工が必然的に大規模なものとなる。その結果、自然環境保全および工期・工費などに関して多くの課題があり、合理的な工法を開発することが強く望まれていた。

近年になって、地盤沈下に伴う既設橋梁の沈下や、河川の計画流量の見直しによる堤防計画高さの変更等が多くの既設橋梁で必要とされ、新しい橋梁の建設と既設橋梁の撤去工事による橋梁架け替え

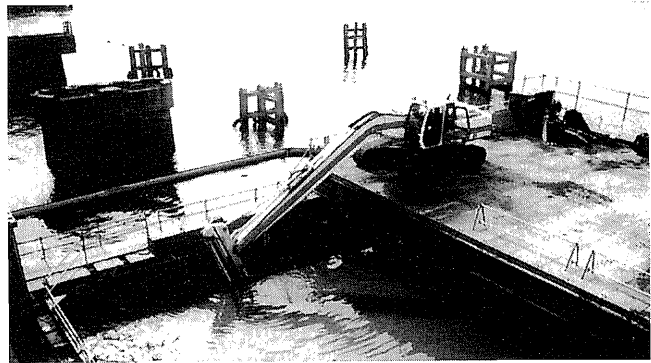


写真-1 橋梁下写部工の解体状況

工事が進められている。このような状況下で、撤去工事の合理化工法を開発することは特に重要な課題となっている。

今回開発した工法は、写真-1に示すように、水上の栈橋上に設置したバックホウなどの建設機械の先端に、油圧ブレイカや解体手段に応じた破碎装置を装着して、遠隔システムを利用し、陸上と同様に水中の構造物を解体する方法である。対象構造物が一定以上の深さの水中にある場合、従来の方法では、オペレータがブレイカなどの位置、方向などの姿勢と構造物の相対的な位置関係を直接目視によって把握することができず、陸上工事で用いられる解体装置による方法は不可能であった。水中カメラなどにより、視覚的にリアルタイムに確認できれば良いが、水中の解体工事では水の濁度が大きく非常に困難である。

新しく開発した方法は、

- ① 竣功書類及び現地における測量調査などから対象構造物の座標データを確定
- ② GPSや3次元デジタルカメラ、もしくは自動追尾トータルステーションなどの測量システムによる施工機の座標および方向の確認
- ③ 施工機に取付けられたブーム角度計やスライドアームシリンダストロークセンサ、バケットシリンダストロークセンサなどの各種センサによる機械の姿勢および中心位置からの破碎装置の

相対位置および姿勢の確認

等を行うことにより、水中の構造物の位置と解体装置の相対的な位置関係を数値化し、その結果を、コンピュータ処理によりリアルタイムにモニタ画面に表示して、オペレータが運転席に居ながらにして水中の状況を容易に把握することを可能にした。この結果、オペレータは陸上の解体工事と同様に水中における解体工事を容易に行うことができるようになった。

また、本工法は、破碎された部分と未破碎の部分をモニタ画面により視覚的に識別可能にすることが可能であり、オペレータが容易に作業の進捗具合が把握できるようになっている。更に、ブレーカ等により破碎された構造物ガラの撤去状況の確認が、超音波ソナー水中モニタリングシステムにより数量的に把握できるなど、新技術を利用した様々な点で改良、改善がなされている。

本工法を、京成電鉄荒川線旧荒川橋梁下部工解体工事に適用し、良好な結果を得ることができたので、概要とともに以下に報告する。

2. 工法の概要

2.1 施工機械および施工システム

本工法の施工機は図-1 に示すように油圧ショベルをベースマシンとしロングブームとロングスライドアームを装着している。また、フロントの姿勢を把握するために、センサー付きシリンダ、ブーム角度センサ、本体傾斜センサを装備している。ベースマシンの仕様を表-1 に、本工法のシステム構成を図-2 に示す。

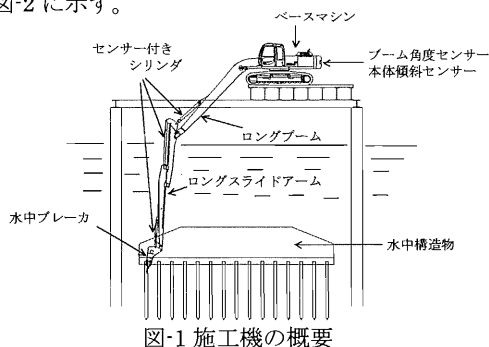


表-1 施工機の仕様

油圧ショベル形式	日立 EX220LC-5
全装備重量	27000kg
エンジン型式	日野 H07-TD
定格出力	118kW/2000min ⁻¹
最大作業深さ	13640mm
最大作業半径	13500mm
スライドストローク	2000mm
ブレーカ形式	OUB308(0.45 クラス)

2.2 モニタリング

施工機の運転席には、テンキーボードと初期設定などのための6.5インチディスプレイが操作しやすい位置に装着されている。オペレータは、これらの機器を用いて、解体作業を行う。

ディスプレイ画面は側面画面、平面画面を切替え式で表示しているほか、拡大・縮小も可能である。また、平面画面でも、対象構造物の高さ方向のデータを等高線で色分けして表示しているので容易に作業の進捗状況が把握できる。更に、対象構造物を細分化したブロックとして表示しており、このブロック内をブレーカ先端が通過したことで解体完了として把握、表示を変えている。このブロックの大きさについては、

- ① ブレーカにより破碎されるコンクリート塊の大きさ

- ② ブレーカ先端の位置設定精度
- ③ 対象構造物の大きさ

等を考慮し、事前の実験結果と兼ね合わせ決定した。図-3にモニタ画面を示す。

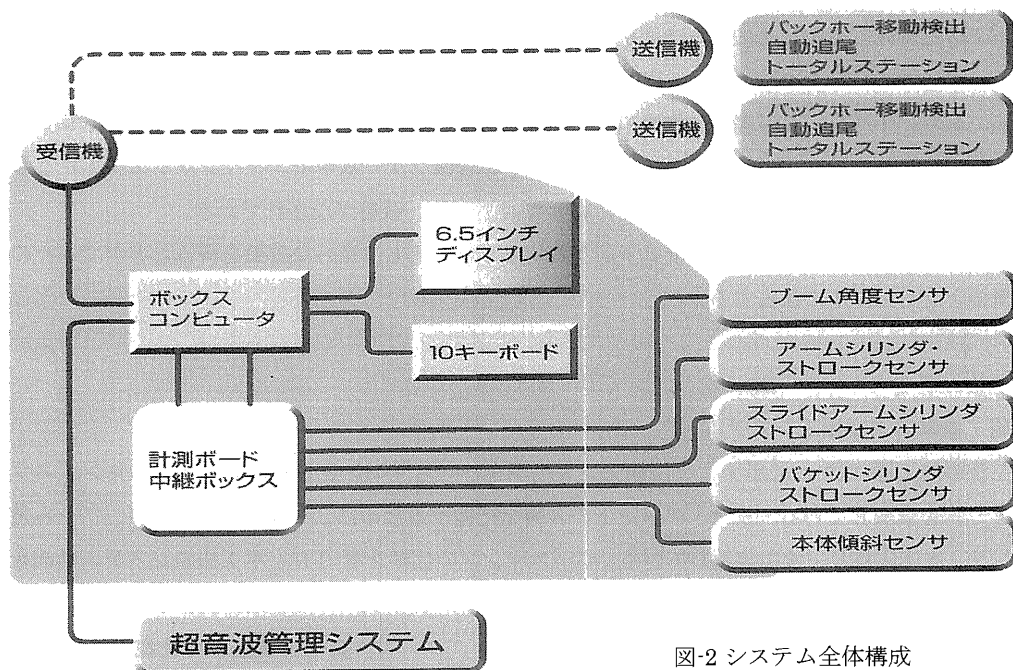


図-2 システム全体構成

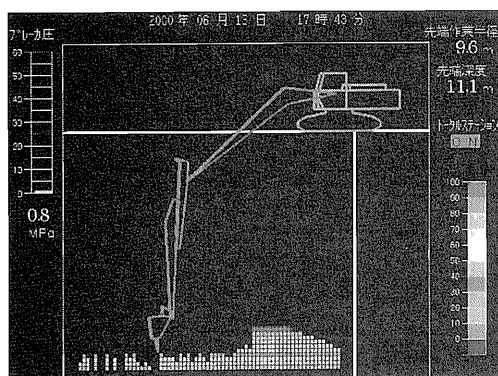


図-3(1)モニタ画面(側面)

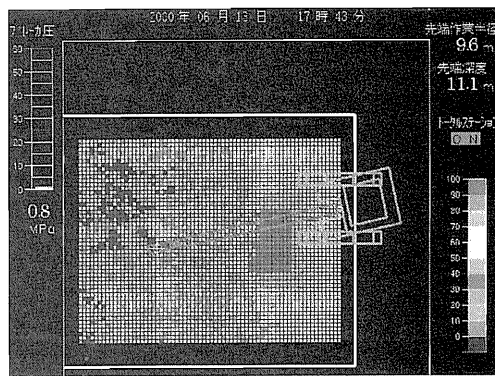


図-3(2)モニタ画面(平面)

2.3 施工管理

施工機械に搭載されているボックスコンピュータには、フラッシュメモリーが装着されており、対象構造物の解体進捗状況をリアルタイムに CSV 形式で保存できるようになっている。このフラッシュ

メモリを事務所などの汎用パソコンソフト（例えば EXCEL など）を利用して施工管理を容易に行うことができる。図-4 に管理図の例を示す。

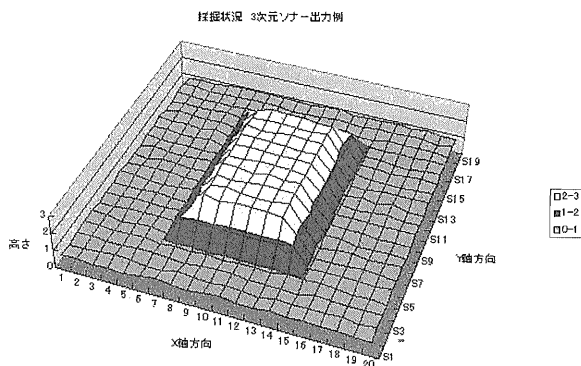


図-4 出来高管理図の例

2.4 安全および環境対策

水上の栈橋上に施工機を設置させ、水中構造物の解体作業を行うことから安全に対する対策や、水質汚濁を始めとする環境への配慮を種々実施している。以下にその概要を列記する。

・安全への配慮

- ① 施工機の安定性を確保することから、フロントの作業半径 13m で警報を発し、13.5m でアームのダンプおよびスライドアームの伸びが自動停止するようにした。
- ② ブレーカの空打ちによる機器類の損傷を防止するため、ブームの押付圧をモニタに表示し、オペレータが空打ちしないようにした。
- ③ 水中ブレーカ仕様のため、エアをブレーカ先端から出しながら作業する。この際、エアの供給が低下するとブレーカの故障の原因となるため、運転席にエア圧低下警報を装備した。
- ④ 水中で、ホースが切れると作動油が流出してしまう。水中では、流出したことが確認できないため、そのまま使用するとポンプの焼付きを招く恐れがあるため、作動油油量低下警報を装備した。
- ⑤ 本工法そのものが締切り内に作業員が入ること無く、すべての作業が水上の栈橋上から可能であるため、高い安全性が得られる。
- ⑥ 施工機は、あらかじめ測量データをもとに作業範囲をコンピュータで制限できるので、重要な施設の近傍でも、施設に影響を与えることなく安全な工事ができる。

・環境への配慮

- ① エンジンには、排出ガス対策型クリーンエンジンとした。
- ② 作動油は生分解性作動油を使用し、万が一、ホース類の破損により作動油が水中に流出しても、水と酸素があると微生物の働きにより、水と炭酸ガスに分解され環境汚染には繋が

らないものを使用した。

- ③ 本工法そのものが水中における解体作業なので、結果的に騒音振動が大幅に低減できるなど周辺環境にも配慮することが可能である。

3. 他の水中解体工法との比較

構造物の解体工法には、本工法に採用している水中ブレーカ工法の他に、ワイヤソーによる解体工法や基礎工法の一種の全周回転ケーシング工法など、いくつかの工法がある。

京成電鉄押上線旧荒川橋梁下部工解体工事における当初計画では、フーチング部の撤去を本工法と全周回転ケーシング工法で行う予定であった。橋脚部は、すべて水中ワイヤソー工法で行う予定であったが、一部の橋脚部の中には、船舶衝突事故時の補強工事により各種の鋼材による補強が付帯されている個所があり、水中ワイヤソー工法の適用が困難であったため、急遽本工法により施工した。以上のことから、各々の解体工法を、必ずしも同一条件下で比較することはできないが、工事実績の比較を参考データとして表-2、3に示す。表は単に破砕のみでなく撤去工を含んだ比較であるが、

デメテル工法は、水中ワイヤソー工法や全周回転ケーシング工法と比較して、いずれも1日当たりの施工量は優れており、水中解体工法としての優位性が認められた。

水中ワイヤソー工法では鉄骨を含んだ複合構造物や木材等への適用に難点がある。また、全周回転ケーシング工法は施工機械の重量などが大きくなり、栈橋工等の規模が大きくなる。これらを考慮すれば、本工法は、施工性が良く汎用性に富んだ工法であると言える。

以上のように、本工法は、技術的、経済的にも優れた特長を有しており、他の解体工法と比較してもその良さを十分引き出せる工法であると思われる。さらに、この工法の改善による将来的な応用場面として、

- ① オペレータは、必ずしも運転席にいる必要はなく、劣悪な作業環境における遠隔操作による無人化施工
 - ② すべての情報が、コンピュータに集録されるので、種々の制御理論を活用した自動化への展開
- が期待できると思われる。

表-2 橋脚部の解体施工実績比較例

	デメテル工法	水中ワイヤソー工法
対象構造物の概要	P.15 橋脚 無筋コンクリート 101m ³ 鉄筋コンクリート 135m ³	P.13 橋脚 無筋コンクリート 85 m ³
主な施工機械	デメテル機、テレスコ式パイプクラム、ダンプ	ワイヤソー装置、水中コアボーリング機、100t クレーン、トレーラ、油圧破砕機
施工日数(日)	26	16
施工能力(m ³ /日)	9.1	5.3

表-3 フーチング部の解体施工実績比較例

	デメテル工法	全周回転ケーシング工法
対象構造物の概要	P.13 フーチング 鉄筋コンクリート 236 m ³	P.15 フーチング 鉄筋コンクリート 233 m ³
主な施工機械	デメテル機、テレスコ式パイプクラム、ダンプ	全周回転ケーシング掘削機、100t クレーン、油圧破砕機
施工日数(日)	38	48
施工能力(m ³ /日)	6.2	4.9

4. 従来工法（ドライ工法）との比較

従来、一般的に行われている仮締切り排水によるドライ環境下のブレーカ解体工法と本工法の工期・工費比較を図-5に示す。本工法によれば、解体直接工では、水中解体のため若干コスト高となるものの、仮設工の大幅な簡素化が可能のためトータルでは工費で約30%の経済化が計れる試算結果となった。同様に、工期においても、締切り工事の簡素化によりおよそ40%の短縮が可能との試算結果を得た。

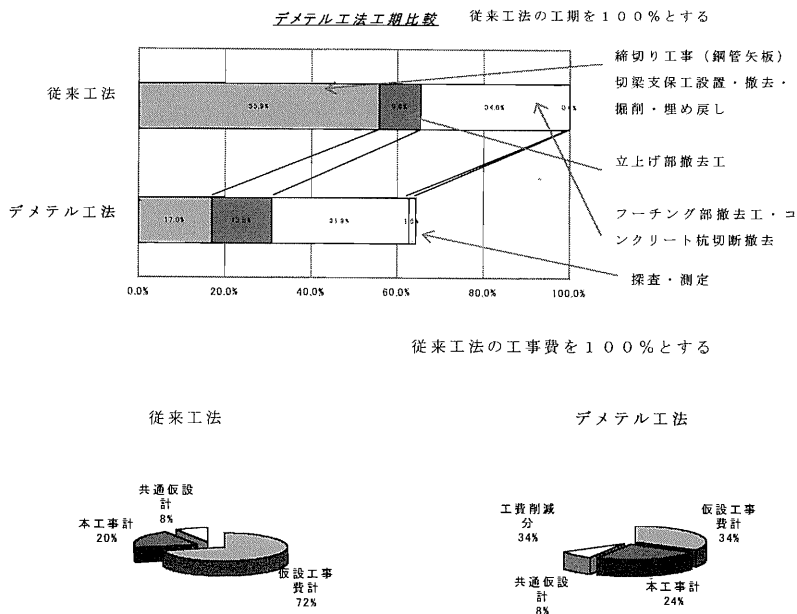


図-5 工期・工費比較

5. あとがき

デメテル工法は、水中構造物の解体作業において、従来、最も困難であった目視による施工ができないという致命的な点を、可視化を通じて施工可能にしたものとして、今後の解体工事において大きなメリットを与えるものと思われる。

とくに、近年における建設産業は、社会資本投資の進展から国土の整備が充実され、これまでのような新設一辺倒の環境から徐々に変革を迫られてきつつある。すなわち、建造物の新設から既設構造物の維持補修を主とした延命化、さらには、既設構造物の老朽化に伴う撤去工事の必要性と、これまでとは若干、様子を殊にした場面に展開しつつある状況にあるといえる。例えば、道路橋においては、2011年には供用年数50年以上のものが全体の10%を越えると予測され、この点からも、その維持補修とともに、解体工事の比重は大きなものとなると予測される。

水中構造物の解体工事の合理化工法としてデメテル工法を開発し、その現場適用に関して報告したが、今後は、この分野の技術開発を更に進めるべく検討を進める予定である。

25. 大断面泥土圧シールドにおける 大型土砂圧送ポンプ採用実績の報告

佐藤工業㈱：*花田 行和、小林 拓、
軽込 茂

1. はじめに

最近、10mクラスの大断面土圧式シールド工法が採用される例が増えてきている。土圧式シールド工法では掘削土量と排出土量をバランスさせることにより、掘削土砂をカッターチャンパー内、およびスクリーコンベア内に滞留させ、切羽地山の土圧・水圧に対抗させて、切羽の安定を確保している。掘進時の切羽安定管理は、土圧計測と排土量計測により行われ、排土量をリアルタイムかつ高精度に計測する土圧制御が最も重要な事項となっている。

従来、土圧式シールドではスクリーコンベアが切羽安定制御の中心的機構と考えられてきたが、シルト層ではロータリーポンプで制御し、スクリーコンベアは付随的な制御手段との報告¹⁾がなされており、その制御は、1台のポンプを技術者の経験に基づく判断で行っていた。

しかしながら、10mクラスの大断面では、時間当たりの排土量が多く、従来使用されている圧送ポンプでは容量不足となり、複数台で行う切羽安定制御は非常に難しくなる。

本稿は、10mクラスの大断面土圧式シールド工法において、切羽安定制御を行う1台のポンプと台車後方から坑外まで搬出する二次圧送を1台で行う、最もシンプルな1系統により全坑長を圧送するシステムについて報告する。

2. 工事概要

「11号線本所工区土木工事」は、営団地下鉄半蔵門線（渋谷～水天宮前）をさらに北東部に延伸するもので、押上停車場から錦糸町停車場までの907mを外径9,600mmの複線泥土圧シールドで掘削する工事である。

工事区域は交通量の多い都道に位置し、周囲にはビルや商店等が密集した商業地域である。また、シールドトンネルが通過する地盤は、N値0～5の軟弱な沖積粘性土層である。

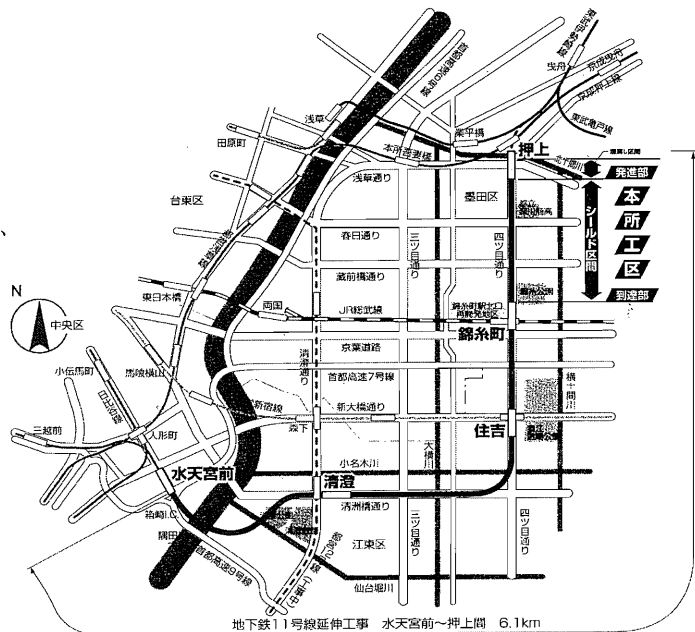


図-1 工事概要図

3. 地質特性

シールドが通過する位置は、下部有楽町層粘性土のほぼ中央にあたり、貝殻を含み、粒土特性はシルト粘土分が85～90%を占めている。また、シールド断面および上部のN値は0であり、モンケン自沈量は50～70cmを示すなど、きわめて軟弱な地盤で、自然含水比が液性限界を超えている箇所も多くみられる。

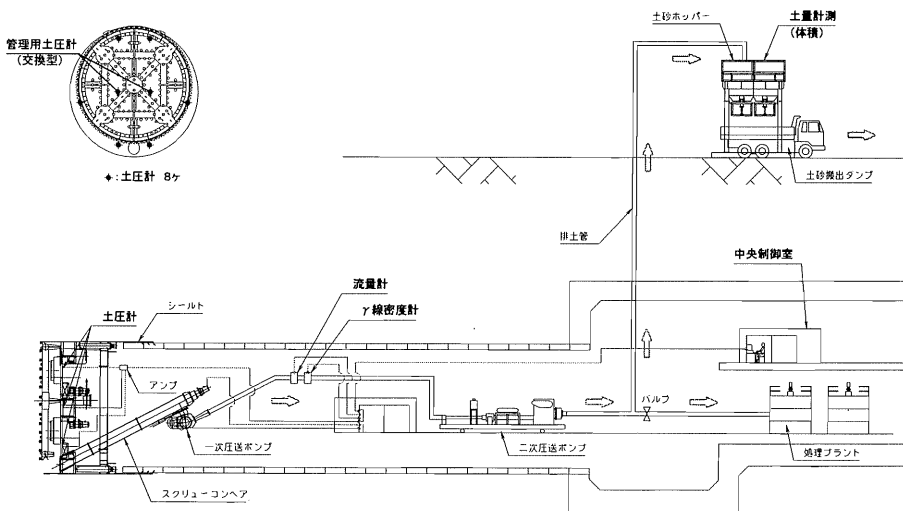
4. 土砂圧送システムの検討

4.1 土砂圧送方式の検討

泥土圧シールド工法における切羽の安定は、塑性流動化した掘削土砂をカッターチャンパー内に充満させ、切羽の土水圧とバランスさせることによって得られる。この土砂は、切羽の安定を保持しながら、スクリーコンベアーを通してシールド外に搬出される。当工区においては、土砂の搬出方法が切羽土圧を保持する最も重要な要素と考え、バルコン方式や鋼車方式に比べ、より精度の高い排土管理ができる方法として、ポンプ圧送方式を採用した。

ポンプ方式を構成する一次圧送ポンプは、切羽安定管理ができ、リアルタイムで高精度の計測が行え、圧送量に変動の無いスムーズで脈動の少ないことが要求される。また、シルト層や滞水砂層においては、切羽安定制御の中心的機構と位置づけている。そのため、当工区では、常に安定した制御ができるロータリーポンプを選定した。

また、台車後方から坑外まで搬出する二次圧送ポンプには、排土作業効率の高さ、に対して多くの実績のあるピストン式の土砂圧送ポンプを採用した。



図一2 土砂圧送システム概要図

4. 2 圧送系統の検討

10mクラスの大断面掘削においては、時間当たりの排土量が多いため、従来使用されている圧送ポンプ1台では容量的に能力不足である。過去の事例としてφ11.52mのシールドでは、一次圧送ポンプ、二次圧送ポンプ共に2系統とすることによって排土量の容量を確保している。しかし、当工区のように綿密な土量管理が要求される超軟弱地盤では、左右それぞれの排土効率の不均衡は、より複雑な制御システムが必要となる。また、従来のポンプでは圧送能力に問題があり、シールドの延長に応じて中継ポンプを追加する必要がある。ポンプ台数が増加することは、メンテナンス等の頻度が格段に増えるため、その管理に多大の労力が費やされる。さらに、坑内の安全性についても、機械類の増加に伴う作業通路の確保等に問題が生じてくる。

そのため、当工区においては、掘進管理の確実性、機械メンテナンスの容易性、さらには坑内の作業環境を考慮した安全面から、最もシンプルなシステムとして、1系統・1台のポンプによって全坑長を圧送する方式を選定した。

以下に、系統別の圧送フローを示す。

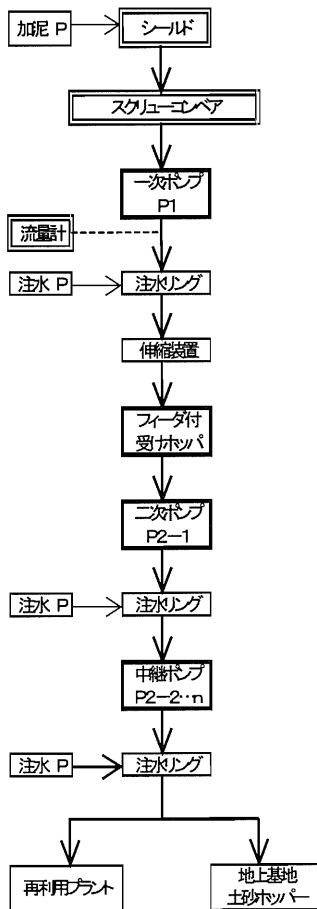


図-3 1系統図

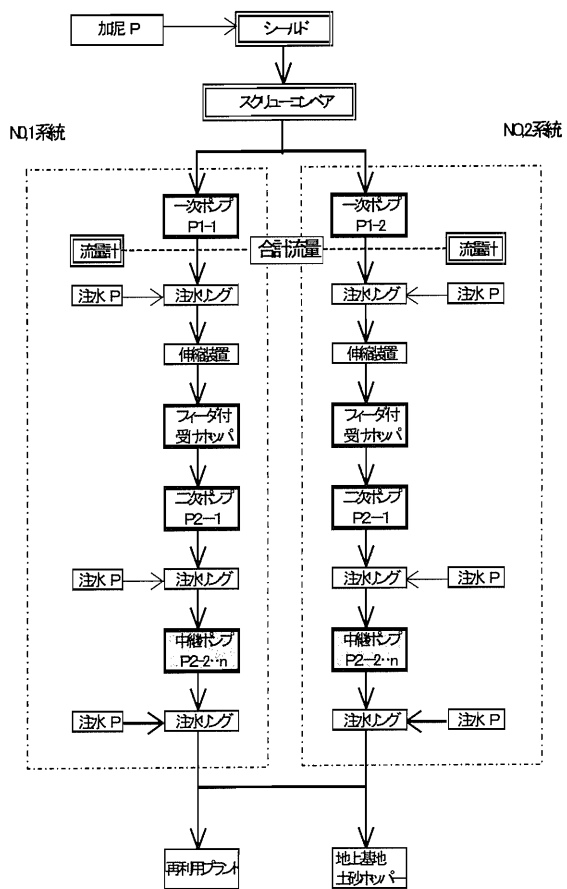


図-4 2系統図

4. 3 ポンプの必要容量

ポンプの必要能力を選定するための基本条件を表一1に示す。表中の注水量は、泥土圧シールド工法協会の表より算出したもので、対象土質の含水比と液性限界を考慮して設定したものである。

表一1 基本条件

項目	設定値
シールド径	φ9.6m
断面積	72.4m ²
土量換算係数	1.05
注水量	50L/m ³

表一2 ポンプ必要容量 (m³/hr)

項目	設定値			
	1系統	2系統		
平均掘進速度		50:50	35:65	
25mm/min	120	60	78	
30mm/min	143	72	93	

表一2には、圧送ポンプに必要な圧送能力を系統別に分け、掘進速度に応じて設定した値を示す。2系統の欄に示す比率は、左右に設置したポンプの圧送効率が均衡した場合（50:50）と不均衡な場合（35:65）を示す。

4. 4 ポンプの種類と選定機種

【一次圧送ポンプ】

2系統方式において、掘進速度を30mm/minに設定すると、従来使われているピストンポンプでは、理論吐出量が75～100m³/hr程度の機種が2台必要となる。また、ロータリーポンプを使用する場合は、市場にある機種の中で、最も大きな吐出能力90m³/hr（公称70m³/hr）が2台必要となる。したがって、本工区の厳しい施工条件を満足するためには、脈動が少なく、正確な土量管理を行うことができる、1系統・1台のロータリーポンプが最も適した機種となる。

そこで、今回、新たに従来機種の2倍以上の吐出能力をもつポンプを製作し、本システムに適用した。これは、従来型をスケールアップしたもので、構造および機能は実績に基づいたものである。

表一3 一次圧送ポンプの仕様

名称	機種	電気容量	最大吐出量	最大吐出圧	重量
ロータリーポンプ	従来型	55kw	90m ³ /h	0.68MPa	3,100kg
	新型機種	95kw	152m ³ /h	0.64MPa	6,700kg

【二次圧送ポンプ】

二次圧送ポンプの吐出圧力は、配管径12Bを使用し、坑外までの圧送距離と地上に設置した土砂ホッパーまでの揚程から算出すると、5.2MPaが必要とされる。

表一4に、二次圧送ポンプの機種別能力比較表を示す。

二次圧送ポンプに従来の機種を使用した場合、吐出量からみると、1台で必要数量を満足するものが無いため、2系統方式が条件となる。

また、吐出圧力からみても全坑長を圧送するのに必要な吐出圧力（5.2MPa）を超えるポンプがないため、1台で全坑長を圧送することは困難である。これを補充するには、坑内に中継ポンプが必要となり、全体で4台のポンプを設置することになる。

一方、1系統の場合は、従来型の大容量ポンプを大幅に改造（吐出量135m³/h）することで

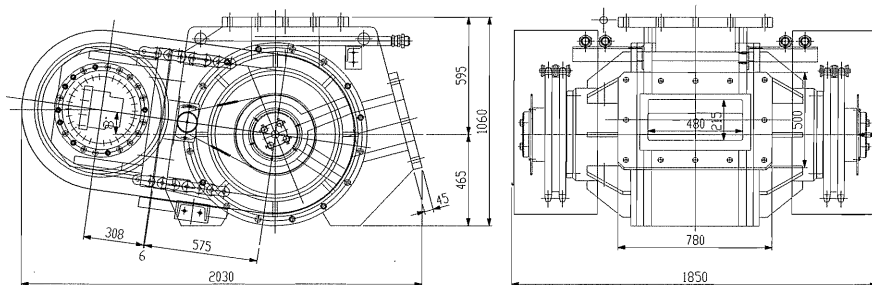
吐出量は確保できるが、この場合の吐出圧力は2.9MPaであるため、必要な吐出圧力を満足することができない。したがって、従来型のポンプを改造しても、中継用のポンプとして、さらに同クラスの機種が必要となる。また、ポンプ効率を考慮すると、さらに15m³程度の土砂をストックする受けホッパーを設置しなければならない。

表一4 二次圧送ポンプの種類

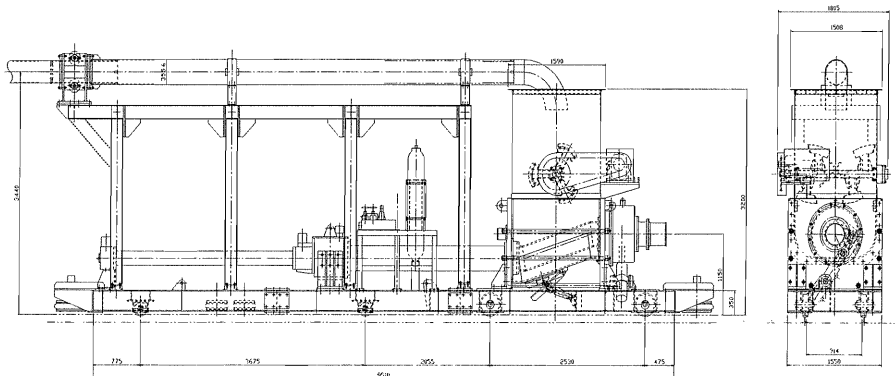
システム	機種	台数	電気容量 (kw)	理論最大吐出量運転		理論最大吐出圧運転	
				吐出量 (m ³ /h)	吐出圧力 (Mpa)	吐出量 (m ³ /h)	吐出圧力 (Mpa)
2系統	ピストンポンプ (従来型)	4	110	100	2.9	75	4.0
1系統	ピストンポンプ (改造型)	2	160	135	2.9	70	5.7
	ピストンポンプ (浚渫用大型)	1	405	207	4.9	125	6.8

4. 5 ポンプの仕様と構造

下記に、当工区で採用した一次圧送ポンプおよび二次圧送ポンプを示す。



図一5 一次圧送ポンプ構造図



図一6 二次圧送ポンプ構造図

5. 施工結果

5. 1 ロータリーポンプによる掘進管理

土圧式シールドでは、土圧管理と土量管理が重要となるが、特に、発進直後の土砂取り込み過多による地盤の陥没が心配される。本工事では、掘削土量を正確に管理するため、二周波流量計と γ 線密度計を用いた連続計測を行った。さらに、初期掘進区間においてはホッパーの内容容量を実測し、流量計の精度を検証した結果、理論排土量に対する流量計の比率は、平均99%と高い精度が確認された。(報告では5%以内の誤差が実証されている。2))

この様にロータリーポンプを主制御として正確な土量管理を行うこととともに、スクリーコンベアとロータリーポンプの同期制御を行い、微妙に変化する切羽土圧の管理を行った。

5. 2 圧送ポンプの吐出量・吐出圧

本掘進における掘進速度は、初期掘進時での沈下計測結果を基に2.0~2.5mm/minの範囲に制限した。そのため、圧送ポンプの実排土量は、加泥量および注水量を加算すると12.0~13.0m³/hであった。この値から、今回採用した大型圧送ポンプの吐出量(最大吐出量20.7m³/h)には十分余裕があったと思われる。

図一7に、掘進距離とピストン前面押し圧力との関係を示す。実績からみても、計画時に設定したポンプの吐出圧力5.2MPaは、ほぼ妥当な値であったと思われる。

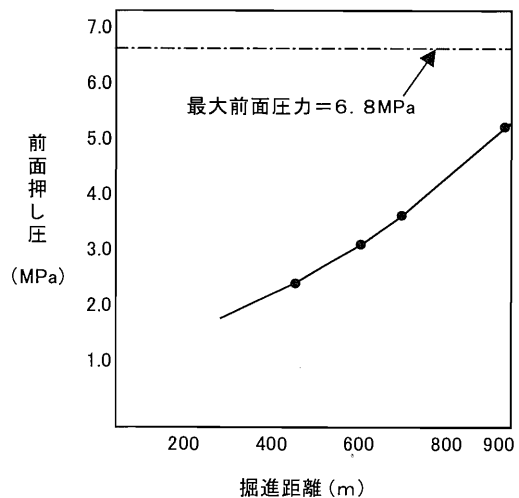
6. おわりに

本報告は、大断面泥土圧シールドの土砂搬送において、1系統・1台の土砂圧送システムが、掘進管理の確実性、機械管理の容易性、および坑内の安全性の面で有効であることを実施工にて確認したものである。システムに使用したポンプは、一次圧送に大型のロータリーポンプ、二次圧送に大容量のピストンポンプであり、その圧送能力には十分な結果を得た。今回対象となった土質は、軟弱な粘土・シルトであったが、他の土質にも対応できるシステムとして適応範囲の拡大を図っていきたい。

参考文献 1) 土木学会第48回年次学術講演会、土圧式シールドにおける切羽安定制御データの重回帰分析、佐藤工業(株)森本藤雄、志村和伸、金山吉。2) 土木学会第47回年次学術講演会、土圧式シールド工法における掘削排土量管理システムの開発、佐藤工業(株)桐谷祥治、志村和伸、直井保。

表一5 掘進距離と前面押し圧

掘進距離 (m)	主ポンプ圧 (MPa)	前面押し圧 (MPa)
450	8.0~9.0	2.46
600	11.0~12.0	3.28
700	13.0~14.0	3.83



図一7 掘進距離と前面押し圧の関係

26. 大型土砂圧送ポンプから発生する振動・騒音対策

佐藤工業㈱：*花田 行和、小林 拓、
軽込 茂

1. はじめに

営団地下鉄11号線土木工事の本所工区において、大断面泥土圧シールドの土砂搬出設備に大容量のポンプを使った土砂圧送システムを採用し、その施工能力について十分な結果を得た。

しかし、二次的な問題として、土砂圧送ポンプから発生する振動・騒音に関して、その対応策が求められた。ピストン式土砂圧送ポンプから発生する振動・騒音は、構造上避けられないものであるが、坑内の作業環境が悪くなるだけでなく、その大きさによっては坑外、および近隣の住民に影響を与えることになる。

本工事においても、掘削土を搬出する土砂圧送管から発生する衝撃音や、圧送ポンプ本体から発生する振動に対して、沿道住民から苦情が寄せられたため、作業時間帯の工夫や設備の固定方法の改善等様々な方法で対処した。本稿では、これらの対策方法として、設備の面で最も効果的と思われる防音対策（圧送配管の途中に取り付けたサイレンスダンパー）および、振動対策（ポンプ本体に取り付けたエアークッション）について、その構造と測定結果を報告する。

2. 工事概要

工事場所：墨田区錦糸三丁目～墨田区業平三丁目

掘削期間：平成12年6月29日～平成13年2月28日

工事内容：トンネル施工延長	907m	地質概要：施工地盤	沖積粘性土層
シールド外径	φ9,600mm	掘進地層	下部有楽町粘性土
セグメント種類	R C平板型	N 値	0～1(GL-20m まで)
セグメント外径	φ9,400mm		2～5(GL-20m 以下)
セグメント厚さ	440mm	液性指数	1.0 (掘進区間の大部分)
構築平均土被り	約 15m		1.4～2.0 (到達付近)

3. 土砂圧送システムの概要

大断面泥土圧シールドの土砂圧送システムに、従来の圧送ポンプを組み合わせた場合、吐出量および吐出圧力共に能力不足となる。

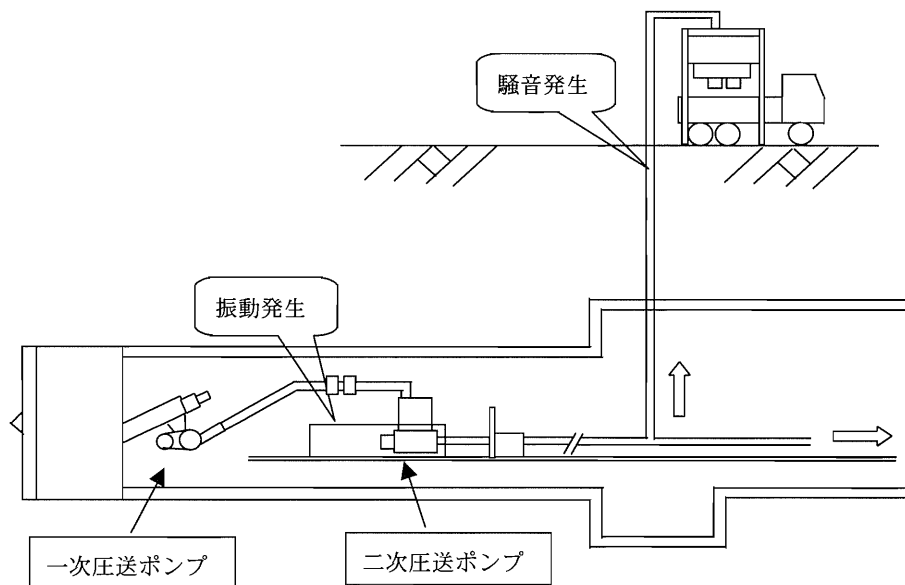
そこで、今回新たに大容量のポンプを製作し、大断面シールドに対応した土砂圧送システムを確立した。これは、一次ポンプに、ロータリーポンプ、二次圧送ポンプには、超大型ポンプを組み合わせたものであり、切羽から坑外までの土砂搬出を1系統・1台で圧送可能とし、坑内には中継ポンプの無い最もシンプルなシステムである。

4. 施工上の問題点

4. 1 輸送管の騒音対策

土砂搬送に圧送ポンプを用いる際、輸送管から生じる衝撃音と振動は、管内流速が大きい程、また圧送抵抗の大きい程大きくなる傾向がある。この騒音・振動は、当工区のような市街地工事においては、非常に大きな問題となる。(図一1に騒音・振動の発生個所を示す)

当工区では、配管から生じる騒音の最も効果的な解消方法として、サイレンスダンパー(衝撃音と振動を同時に吸収し、低減できる装置)を採用した。

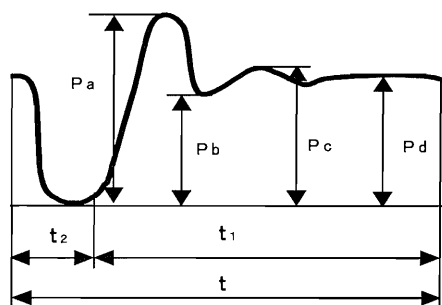


図一1 土砂圧送設備概要図

○土砂の管内圧送メカニズム

図一2に、ピストン式圧送ポンプの圧力波形模式図を示す。

ポンプの圧送機構上、ピストンの動きは連続的ではないため、輸送管内の土砂の流れは間欠的になる。これは、左右のピストンが切り替わる際、ピストンが一時的に停止する時間(t_2)に、圧送圧力は0に近づき、その後、ピストンの移動開始に伴って瞬間的に最大ピーク圧力



図一2 圧力波形模式図

(P_a)に達し、(P_b)(P_c)の変動を経て、定常圧力(P_d)となるためである。

このような圧力の変動は、輸送管内を流れる土砂の形成を乱し、最大圧力時から正常な状態になろうとした時、管壁に衝突し、衝撃音と振動を誘発する。

○装置の構造と原理

図-3にサイレンスダンパーの構造を示す。サイレンスダンパーは、圧送管の中間にY字形管と、その枝管部の先端に取付られたシリンダーとからなり、シリンダー内部には常時圧力 0.5~2.0Mpa の窒素ガスがピストンにより封入されている。圧送管内の圧力が上昇すると、枝管部に流入した土砂によってピストンが押し上げられ、窒素ガスが圧縮される。圧送管内の圧力が低下した際は、この窒素ガスの圧力によって枝管部の土砂が圧送管に押し戻される。その結果、衝撃音や振動の発生が緩和される。

○サイレンスダンパー取付位置と騒音測定結果

サイレンスダンパーは、二次圧送ポンプの後部に移動式（シールドの進捗に応じて移動する）を設置し、トンネルの中間点（450m）および、坑口付近に、固定式を設置した。図-4に、土砂圧送ポンプ稼働時の騒音測定結果を示す。

圧送ポンプ稼働時の衝撃音は、ポンプ後部より200mの位置で最大115dBを示しているが、トンネル中間点に設置したダンパー②においては、100dBまで下がり、10~15dBの減衰効果が現れている。

また、坑口に設置したダンパー③では、15~20dBの顕著な減衰効果が現れており、坑口から100m離れた位置、および200m離れた位置では、坑内における暗騒音（70dB）近くまで下がっている。昇降階段に沿って配置した配管および路上においては、土砂圧送における騒音は全く感じられなかった。

4.2 機械の振動対策

ポンプ稼働時の振動に対する苦情に対し、原因調査のために、振動源と思われる圧送ポンプ直上の路面において振動調査を行った。

その結果、ポンプ圧送時の振動が最大53dBとなり規則正しく現れていた。この振動レベルは、「騒音に関する環境基準」でも一部の人に影響があることが記されている。

本工程では、この振動防止対策として、圧送ポンプ

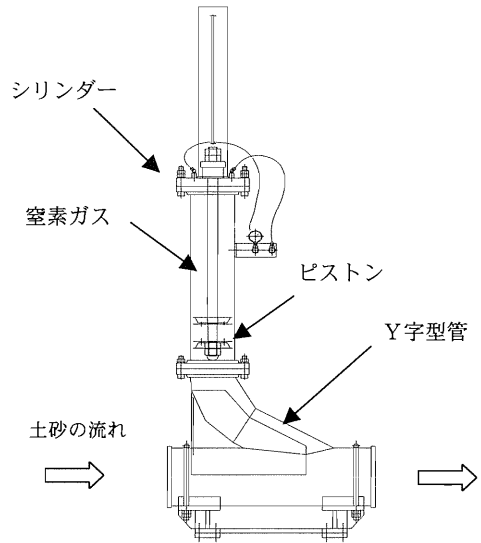


図-3 サイレンスダンパー構造図

番号	ダンパー位置
①	ポンプ後部
②	トンネル中間点
③	坑口付近

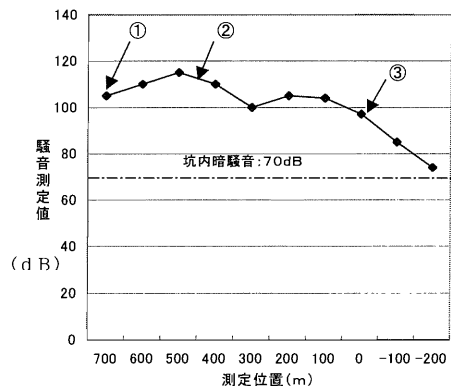
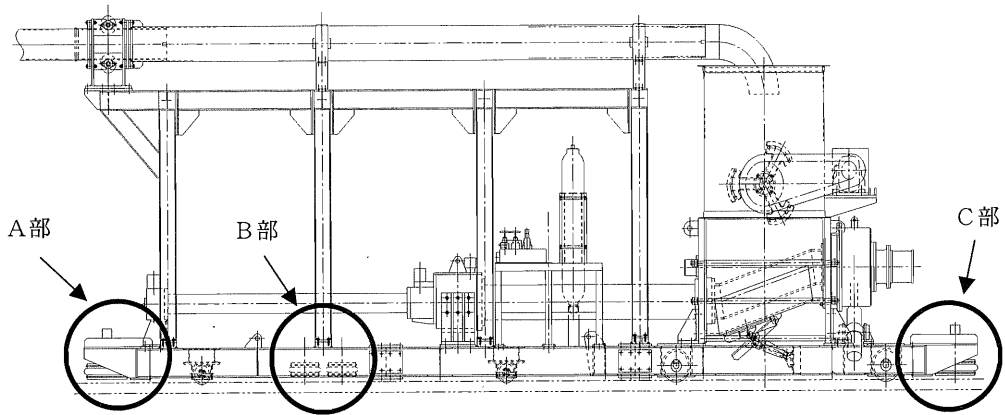


図-4 騒音測定結果

とレールとの間に緩衝材を取り付けることによって、セグメントに伝わる振動をできるだけ抑える方法を採用した。図-5にエアークッションの構造および取付図を示す。(A, B, C部)

エアークッションは、機械の重量配分によって選定し、また、圧送配管の延長時にはポンプ本体を移動する必要があるため、油圧ジャッキを縮めて牽引できる構造とした。



○ 振動測定結果

エアークッション取付後に、再度振動測定を行った結果、トンネル坑内では、エアークッション取付前の値60 dBに対し、5～6 dBの減衰となった。路面での測定結果では、エアークッション取付前の値に対し、約10 dB減衰し42～43 dBまで低減したことが確認された。これは、人体にはほとんど感じられない値である。

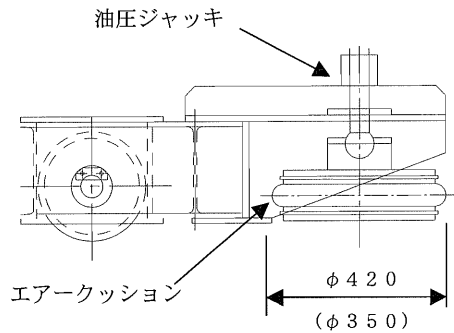


図-5 エアークッション取り付け図

5. おわりに

大容量のポンプを使った土砂圧送システムにおける施工上の弊害として、圧送時に発生する騒音振動の影響が、坑内の作業環境および沿道住民に対して大きな問題となった。

本工事では、これらの防止対策として、サイレンスダンパーやエアークッションを採用することにより、その影響を機械的に低減させ、作業員や住民の苦情等に対処した。

今後は、これらの防音・防振装置について、より効果が発揮できるよう、設置位置の再検討が必要と思われる。

表-1 振動測定結果 (dB)

測定位置	対策前	対策後
坑内	60	54～55
路上	53	42～43

27. コンパクトシールド工法の機械システムの開発

東京都：高久 節夫、片岡 正造、
 コマツ：*勝沼 清

1. はじめに

東京都では管渠の老朽化や汚水量・雨水流出量の増大に伴い、下水道再構築事業の推進が急務となっている。幹線に導くための主要枝線の新設工事は下水道再構築事業の中核をなすものであり、小口径のシールド工法によるものが多い。東京都におけるシールド工事では、工事費の低減や都市部固有の問題である生活環境への影響、地上や地下空間の過密化等の解決すべき課題がある。このような背景から筆者らは、下水道管渠の再構築に適した新たなシールドシステムを「コンパクトシールド」工法として開発し、今回実用化するに至った。

本報告は、コンパクトシールド工法の機械システムの開発概要とその開発にあたっての検討経緯を述べたものである。

2. 後方設備内包型3分割シールドの開発

1) 開発の概要

コンパクトシールド工法においては、図-1に示すように分割数が少なく、かつ二次覆工を一体とした厚さの大きなセグメントを扱っている。このため後方設備が大きな支障となり種々の検討を行った結果、図-2に示すようにシールドに1ユニット増設し、後方設備をシールド機内に収容することで解決することとした。

1ユニット増設することでシールドの機長が長くなること

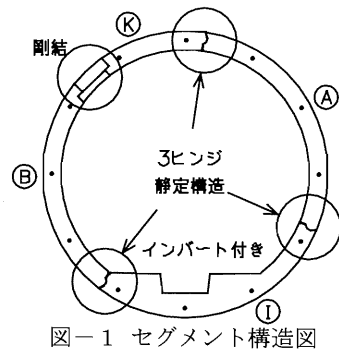


図-1 セグメント構造図

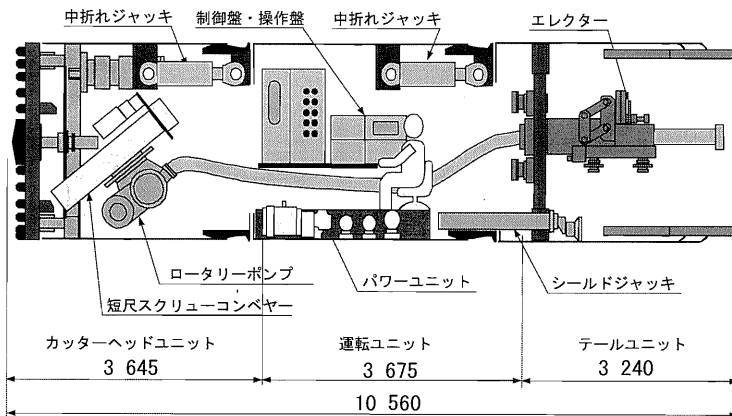


図-2 後方設備内包型3分割シールド

となるが、3分割構造とすると共に分割発進・分割回収が容易に行える構造とすることで、発進・到達の両立坑サイズの縮小化も実現することができた。さらに、各ユニット間では中折れ構造で接合することにより、R=15mの急曲線施工にも対応できる構造としている。なお、表-1に仕上り内径2,000mmに対応するシールドの主要仕様を示す。

表-1 後方設備内包型シールドの主要仕様

シールド 外径	シールド 機 長	シールド ジャッキ	中折れ ジャッキ	総質量	本体 分割数	最大ユニット 質量
2,430mm	10,560mm	80t×8本	150t×8本	61t	3	26t

2) シールドの特長

(1) 急曲線への対応

写真-1のように中折れ部を2箇所有する3分割構造とし、さらに短尺のスクリーコンベアを装備することによって、R=15mの急曲線でも対応できる構造とした。

(2) 発進・到達立坑面積の縮減

各シールドユニット（前、中、後）が独立して推進できる3分割構造としたため、分割発進・分割到達が可能となり、従来と比較して立坑面積の縮減が図れる。

(3) 切羽の安定性向上

ロータリーポンプをスクリーコンベアに直結させ、それぞれの回転数の同調制御を行うことにより、切羽の土圧管理を容易にした。

(4) 経済性の向上

採用する主要枝線の仕上がり径を一種類に統一（現状では2,000mm）し、シールド機の転用を促進することにより、経済性を向上させた。

3) 改善効果

- (1) シールドの後方設備を内包化することにより、シールド後方の坑内空間が広くなり、後述するとおり大きなブロックのセグメントを運搬できるとともに、坑内作業者の安全性が向上する。
- (2) シールド掘進に必要な設備がすべて機内に内包し、シールドをユニット化したために到達立坑で分割回収が可能となりシールド機の転用が容易であり、経済性が向上する。
- (3) 後方設備が無く、シールドを分割発進することにより、初期掘進期間を短縮できる。

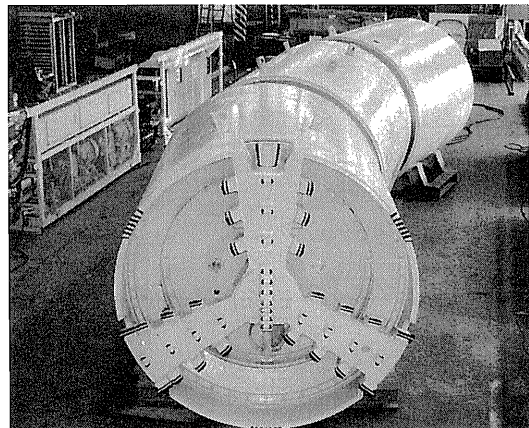
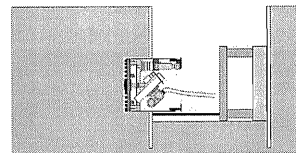
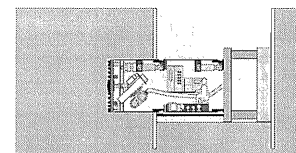


写真-1 シールド屈曲状態 (R=15m 対応)

①前シールドセット・発進



②中シールド接続・掘進



③後シールド接続・掘進

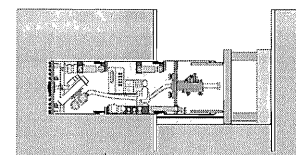


図-3 シールド発進手順

(4)発進立坑では図-3による手順で各ユニットを順次投入しながら発進を行うことにより、立坑面積を図-4に示すように従来の68%程度にまで小さくすることが可能となる。また到達立坑についても、発進時と逆の手順を経ることにより、同様に小さくすることが可能である。

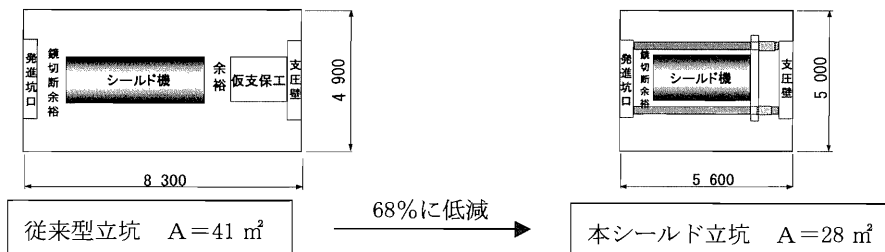


図-4 立坑面積の比較

3. セグメント組立システムの開発

1) 開発の概要

コンパクトシールド工法に使用されるセグメントは図-1に示したとおり、(a)二次覆工一体型、(b)1リングが4分割3ヒンジ構造、(c)BセグメントとKセグメントはC形金物と水平スペーサによる剛結構造、(d)リング継手はボルトレスタイプのクイック接合方式、(e)インパートセグメントは溝付き水平構造などの特長がある。また、セグメントは中心角度が105度であり、小口径トンネルとしては1ピースの大きさ及び厚さが従来と比較して大型である。従って、セグメント供給から組立までのシステムを全く新しい着想で開発する必要がある。

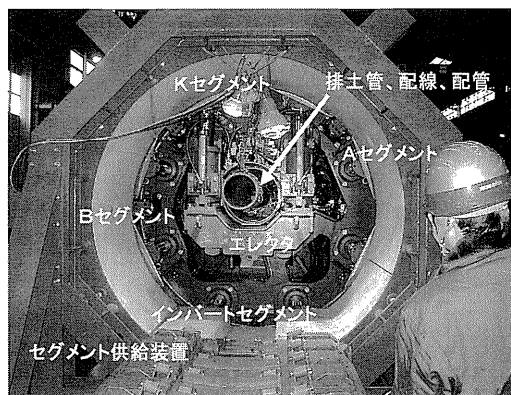


写真-2 セグメント組立システム

本システムの外観を写真-2に、全体図を図

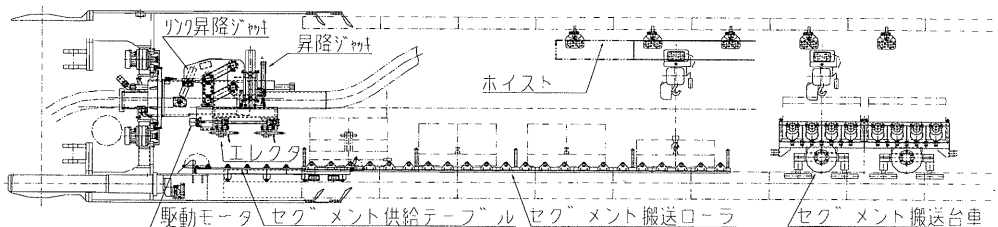


図-5 セグメント組立システム全体図

ー5に示す。セグメント搬送台車で運搬されたセグメントはホイストで吊り上げられ、セグメント搬送ローラ上の回転ローラを利用して切羽側へ移動される。セグメント供給テーブルはエレクタとセグメント搬送ローラ間のセグメント受け渡しスペースを補間する役割を果たす。受け渡し時のみ使用できるようセグメント搬送ローラ内にスライド格納が可能な構造とした。エレクタは狭い作業空間でも大ブロックセグメントを合理的に組み立て可能な装置とした。

2) システムの特長

(1)セグメントの把持、高低速旋回、リンク・スライド昇降、摺動、振止め等の多彩な機能の組み合わせにより、大ブロックRCセグメントにもかかわらず1リングを約20分で組み立て可能とした。

(2)小口径シールドにもかかわらずエレクタ用のホース、ケーブルは巻き取り装置を設置することで、機内の作業スペースを大きく確保した。また、旋回中心をシールド中心から上方へ偏心させる工夫をするとともに2段式昇降機構を採用し、セグメントの取り回しを容易にした。

(3)排土管や機内へ引き込む配線・配管類は他装置への巻き込みや切断を防止するため、センタシャフト内に全て収納し信頼性と安全性を高めた。また、万一インバートとA、Bセグメントの倒れによりKセグメントの挿入代が狭くなった場合を想定し、シールドジャッキ間に設置したセグメント拡張装置によりA、Bセグメント間の挿入代を確保し作業性の向上を図った。

3) 開発課題と対応策

本システムを開発するにあたり、解決すべき主な課題と対応策について表一2にまとめる。

表一2 セグメント組立の課題と対応策

No.	項目	課題	対応策
1	大型インバートセグメント	インバートセグメントが厚く大ブロックのため、A、Bセグメントがスキンプレートと干渉し組みにくい	(1)エレクタ旋回中心をシールド中心から上方に115mm 偏心させ干渉を避けた (2)2段式の昇降機構により約600mmの大きなストロークを確保した
2	ナックル継手	ピース間はナックル継手のため切羽側のセグメント端面が開き易く、ナックル部の位置合わせが難しい	(1)片テーパKセグメントを軸挿入し易くするため、ジャッキによりセグメント間を拡張する装置を設けた (2)エレクタに微調整位置合せ機能を装備した
3	ズリ排土管、ケーブル、ホース等の養生	エレクタ旋回時にケーブル、ホース類が煩雑になり、ズリ排土管の取りまわしが困難となる	エレクタの昇降はリンクと伸縮ジャッキの2段式により有効中空を確保し8B排土管などを設置した
4	KセグメントとBセグメント締結用水平スペーサ	水平スペーサを確実に打込む装置が必要となる	ポータブル式の水平スペーサ打込みジャッキ装置を開発した
5	セグメント供給	大ブロックセグメントを効率良く供給する装置が必要となる	ローラ式の供給装置と受渡し装置を開発した

4. タイヤ式坑内搬送システムの開発

1) 開発の概要

インバート溝付き二次覆工一体型セグメントを採用することから、図-6に示すようにインバート部には溝を挟んで平坦な部分が形成される。このような形状を施工時に有効に活用する方策について検討を行った。

従来のシールド工事では、施工時の資機材搬送のため、セグメント内にレール・枕木を設置し、バッテリーロコを運行しているのが通常である。この方式では、シールドの掘進に併行して枕木設置・レール布設を行わなければならない、さらには、二次覆工時にはレール・枕木の撤去作業を行う必要がある。

そこで、写真-3に示すようなインバート溝をガイドとして活用する、無操舵のタイヤ式坑内搬送システムを開発して適用することとした。

無操舵走行機構は走行車軸と一体構造であるガイドローラ機構を装備した。また、滑らかな做い操舵とするために水平ガイドローラは1つの車軸に対して前後に2輪を設けた構造である。動力台車は走行車輪の駆動をしながら水平ガイドローラの做

いに応じて車軸を回転可能な機構とした。一方、土砂搬送台車およびセグメント搬送台車の車軸は駆動力を持たない従動輪なので、水平ガイドローラの做いに応じて車軸を回転できる機構となっている。これらの機構を図-7および図-8に示す。

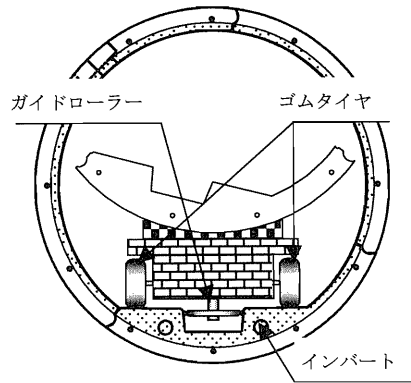


図-6 坑内断面



写真-3 タイヤ式坑内搬送システム

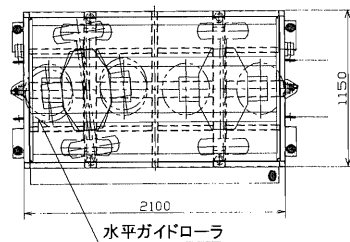


図-7 土砂搬送台車平面図

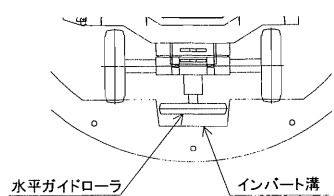


図-8 インバート部詳細

2) システムの特長

(1) インバートの水平部を走行軌道面として活用するタイヤ走行式とした。

(2) インバート溝を台車の操舵のガイドとして活用して、従来の軌条レール方式と全く同様に走行・停止の操作のみで行うことができる。なお、台車の水平ガイドローラはタイヤ製としセグメントの損傷を防止した。

(3) タイヤはノーパンクのホワイトタイヤとして走行の安全を図ると共に、セグメントの汚れを防止した。

(4) 小口径トンネルにおける安全対策機構を付加した。

a) 運転席上部にスライドカバーを設置

b) 運転席出入口の安全バーを設置

c) システム先端、後端部には無線式TVカメラを設置して視界性を確保

3) 改善効果

従来方式である鉄車輪方式と比較して表-3に示すようにレールの施設・撤去の工程が不要となるほかにタイヤによる摩擦力が大きい為に、制動距離が短くなるなどの改善効果が期待できる。

表-3 改善効果

項目	本システム (タイヤ式)	従来方式 (鉄車輪式)
1. レール敷設・撤去	レール、枕木の敷設・撤去が不要	レール、枕木の敷設・撤去が必要
2. 静粛性	タイヤ式なので騒音が少ない	レール継ぎ目などで騒音が発生する
3. 制動距離	2 m (最大牽引力で 5 km/h 走行時)	12 m (最大牽引力で 5 km/h 走行時)
4. 走行速度	5 km/h (最大は 10 km/h)	5 km/h

5. おわりに

本システムは、平成13年秋頃から東京都台東区の下水道発注工事で実稼働の予定である。今後、性能、作業性、安全性など当初の開発目標値と実際の稼働データを収集して評価解析を行い、コンパクトシールド工法の構成システムとして更に合理化を図る予定である。

参考文献

- 1) 桐谷、前田、串山、武田、山本：下水道再構築に向けた新しいシールドシステムの提案：第56回年次学術講演会, 2001, 10
- 2) 金崎、前田 他：下水道シールドトンネルにおける二次覆工工程の省略：第56回年次学術講演会, 2001, 10.
- 3) 山森、横田 他：内面が平滑な溝付き二次覆工一体型セグメントの継手構造：第56回年次学術講演会, 2001, 10.
- 4) 田中、焼田 他：溝付き二次覆工一体型セグメントの載荷試験：第56回年次学術講演会, 2001, 10.
- 5) 守屋、勝沼 他：後方設備内包型3分割シールドの開発：第56回年次学術講演会, 2001, 10.
- 6) 勝沼、守屋 他：ガイドローラ付きタイヤ式無操舵搬送システムの開発：第56回年次学術講演会, 2001, 10.
- 7) 北原、菊池 他：後方設備内包型3分割シールド・セグメント組立システムの開発：第56回年次学術講演会, 2001, 10.

28. TBM用新システムによる合理的施工

日本道路公団：源島 良一、

(株)奥村組：*中山 隆義、伊藤 健二

1. はじめに

近年、TBM工法は、トンネルの高速施工とコスト縮減を目的として急速に採用事例が増加している。TBM工法の特徴の一つは、他の掘削工法と比べて施工速度が著しく速いことである。しかし、崩壊性地山に遭遇した場合に、崩落した岩塊の処理や支保作業に多大の時間を要し、高速性と安全性を阻害するという問題があった。

今回採用した新支保システムは、鋼製簡易ライナー（ロックライナー：以下ライナーと称す）をTBMのサポート内でエレクタにより組立て、サポート直後でジャッキにより拡張することを特徴としている。このことにより、岩塊の崩落を抑え地山のゆるみ拡大を防止することができる。

また、支保作業において、機械化、単純化を図ると共に、サポート内作業および他サイクルとの並行作業の比重を高めることで、作業時間の短縮や省力化、安全性の向上につながり、TBMの合理的施工を可能としている。本稿は、新支保システムの概要、およびこのシステムを掘削径 5.0m のTBMによる導坑掘削工事に適用した結果について述べる。

2. 従来支保方式の問題点と課題

崩壊性地山におけるTBM工法の支保は、リング支保工を組立後、矢板を支保工と地山の間に挿入する方法や、吹付け・ロックボルトにより岩塊の崩落や、地山の緩みの拡大を防止しているのが一般的である。しかし、この方法では、① 大きな岩塊や大量の岩片の崩落時は岩塊の処理や支保の構築に長時間を要すると共に、危険な作業を伴う② また、シールド型TBMでセグメントを組み立てる方式も行われているが、セグメントのコストが高いという問題がある。

3. 新支保システムの概要

3.1 ライナーの支保機能と構造および施工

前述の従来支保の長、短所を考慮し、支保に求める機能を次のように考えた。

- ① 崩壊性地山に対する支保機能を有すること。
- ② 組立直後より面に近い構造で地山を支持し、坑壁近傍の岩塊の崩落、肌落ちを防止できること。さらに、ゆるみ領域が地山の深部にまで拡大するのを防止できること。
- ③ 速やかに安全に施工できること。
- ④ TBMの進行を阻害せず、サポート内でエレクタを用いて安全、かつ、容易に組み立て可能であること。
- ⑤ 経済的であること。
- ⑥ 必要に応じて吹付けコンクリートやロックボルトとの併用により、支保の増強ができる構造とすること。

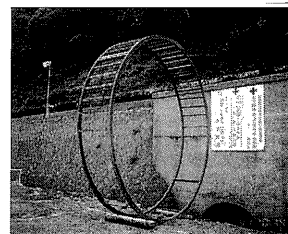


写真-1 ライナー姿図

これらについて検討した結果、ライナーは、写真-1に示すように、リング支保（溝型鋼）間に金網を貼り、継ぎ材として山形鋼を取付けた構造とした。

ライナーの施工方法は、① TBMのサポート内でエレクタにより組立てる（組立方式の詳細は後述）、② 掘進に伴いライナーが坑壁に出ると同時に油圧ジャッキにより拡張し、坑壁に密着させる、③ ライナーの拡張部にスペーサを取付けて固定する、ことにした。

これは、サポート内で組立作業を行うことで、安全性の向上と掘進作業との並行作業化を図ると共に、ライナーの拡張により地山に内圧を加え、崩落と地山のゆるみ拡大を防止することを目的としている。

3.2 ライナー設計の考え方

ライナーの設計は、シールドトンネルで用いられているセグメントの設計の考え方に準じ、岩盤用に荷重設定や応力度の照査方法を修正した。ライナーが受ける荷重は、従来の矢板とリング支保の荷重条件を参考に、以下のとおりとした。

① 主桁が受ける荷重

崩壊性地山の力学的特性は多種多様であるが、無支保状態では天盤の崩壊が次々と起こる地質でゆるみ土圧が主体であることを想定し、Terzaghi の支保工に作用する地圧の考え方に従い、ゆるみ高さを $0.6D$ (D : トンネル掘削径 $5\text{m} \times 0.6 = 3\text{m}$) とし、この土圧が分布荷重として作用するものとした。

② 金網が受ける荷重

最大 0.5m^3 の岩塊が集中荷重として作用するとした。また、 $0.6D$ のゆるみ土圧が分布荷重として作用するとした。

主桁および金網は、実大の強度試験を実施し、十分な耐荷力を有していることを確認した。

3.3 ジャッキ拡張による内圧効果

掘進に伴いライナーがサポートから坑壁に出ると同時に低圧の油圧ジャッキ ($100\text{kN}/\text{台} \times 4\text{台}$) により拡張し、坑壁にライナーを密着させる。この際、図-1 に示すように、ライナーにはジャッキ圧力により軸力 N が作用し、結果的に地山には下式に示す内圧 p が働く。

$$P = N/r = 200 / 2.5 = 80 \text{ (kN/m}^2\text{)} ; \text{ (掘削径 } 5.0\text{m、ライナー幅 } 1.0\text{m の場合)}$$

ここに、 p : 地山押付け力による内圧 (kN/m^2)

N : ライナー1.0m あたりの軸力 (kN/m) (=200)

r : トンネル半径 (m) (=2.5)

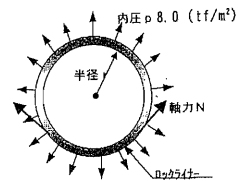


図-1 発生軸力と内圧の関係

これは厚さ 3.0m ($=80.0\text{kN/m}^2 / 26.0\text{kN/m}^3$) の地山を押付ける (押し上げる) ことができる値に相当する。

なお、ライナーの構造は 1.0m 幅あたり 2 本の主桁を継ぎ材と金網で連結しており、地山全体を主桁で押付けているわけではないが、例えば、図-2 に示すように、坑壁より地山側深部 0.5m 付近では地山を 2 本の主桁で押付けていると考えても良く、その前面については、金網が地山を押し付けていることになる。

3.4 ライナーの旋回組立方式

ライナーは、搬送上の制約から 1 リングを 4 ピースとしており、その組立は、① 1 ピースずつ、組立位置の下部へ搬送後、エレクタで第 1 ピースを把持し、 90 度

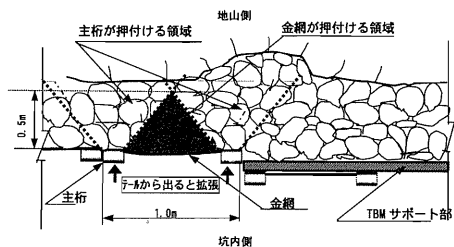


図-2 主桁による押し付け領域

旋回する、② 第1ピースを把持したまま第2ピースをボルトで締結する、③ さらにエレクタを旋回させ、順次第3、4ピースを組立ててリングを完成させる、旋回組立方式を採用した。このことにより、高所作業無しで安全かつ効率的な組立作業が可能となった。図-3に組立方法を示す。

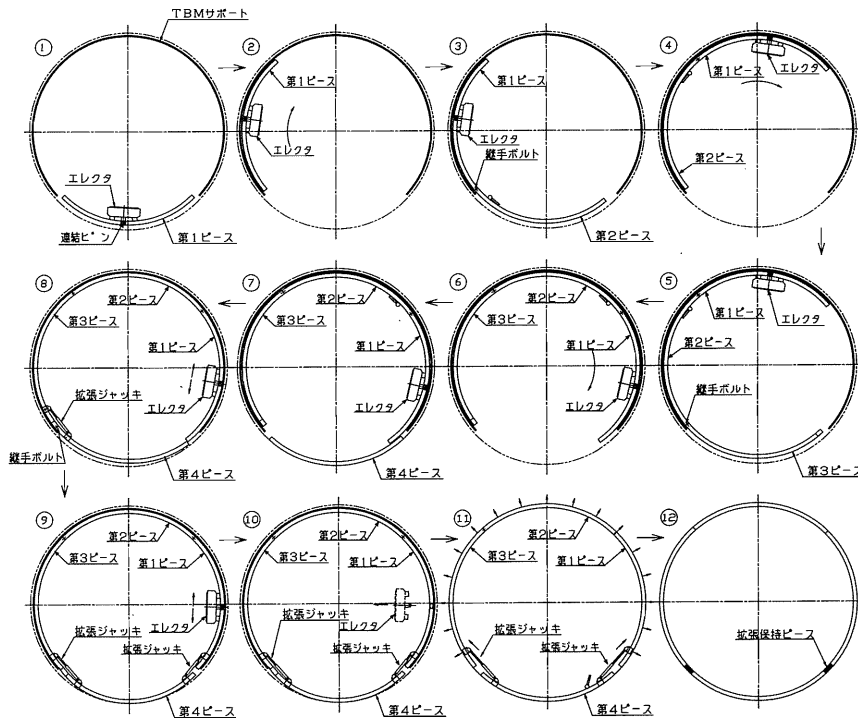


図-3 ライナーの旋回組立方法

4. 導坑掘削工事への適用

4.1 工事概要

新支保システムを適用した導坑トンネル掘削工事の概要を以下に示す。

工事名：第二東名高速道路金谷トンネル東工事

発注者：日本道路公団 静岡建設局

施工場所：静岡県榛原郡金谷町（図-4参照）

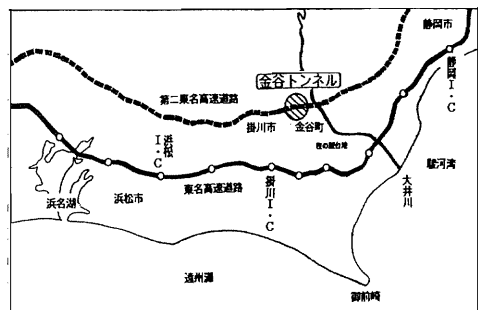
工期：平成9年3月25日～平成15年1月15日

工事内容：TBM掘削による道路トンネルの先進

導坑掘削工事（掘削径：5.0m、施工延長：4,167m） 図-4 金谷トンネル位置図

地質概要：地質は、東側約2kmは、砂岩、頁岩及びその互層からなる古第三紀漸新世の瀬戸川層群で断層破砕帯が断続的に出現し、層理が発達した崩壊性の地山が大半を占めている。

一方、西側は、新第三紀中新世の倉真層群の礫岩、砂岩、泥岩が分布し、比較的良く締まった地層とされていたが、層境付近は固結度の低い泥岩層が主体で崩壊しやすい構造となっていた。3,000m付近より、比較的安定した松葉累層の地質となったが、砂岩層では、多量の湧水に遭遇した。



計画時の地質縦断を図-5に、標準断面を図-6に示す。

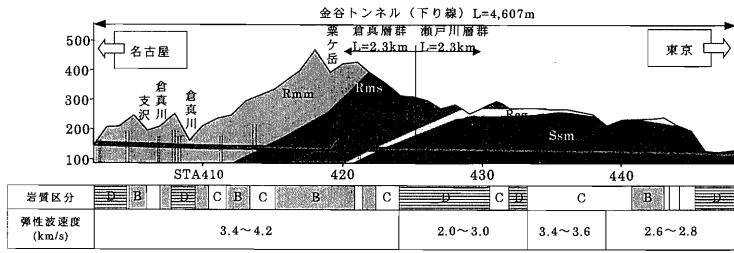


図-5 地質縦断図 (計画時の地質及び岩級区分)

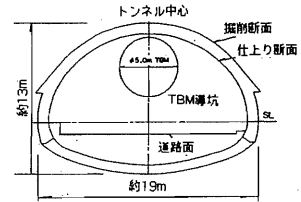


図-6 標準断面図

4.2 支保計画とライナー採用の経緯

図-7に当初計画の支保パターンを示す。しかし、TBMの発進坑掘削時に、岩塊の崩落が激しく、湧水も発生した。ポーリング等地質調査結果から導坑の施工においても、同様の岩塊等の崩落と湧水の発生の可能性が高く、崩落岩塊の処理による施工速度の低下やモルタル吹付けの施工困難が予想された。そのため、崩落と湧水対策として、D1-Tパターンの支保を変更してライナーを採用した。シールド型TBM用のライナーを図-8に示す。

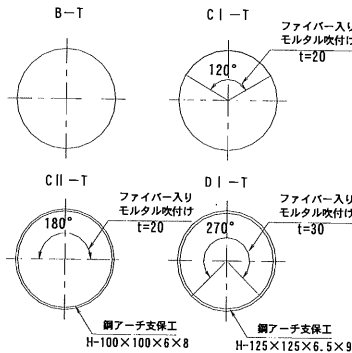


図-7 計画支保パターン

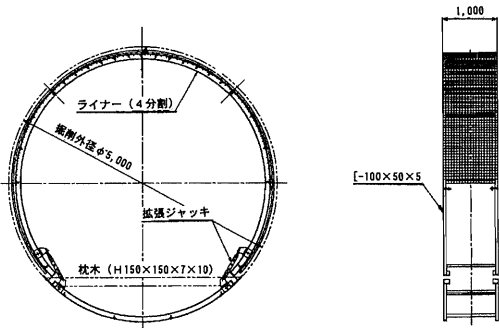


図-8 シールド型TBM用ライナー

ライナーは、4分割とし、エレクタとの接続治具の設置や油圧ジャッキによる拡張構造の採用(サポート内で組立てるときの施工余裕となる)など、旋回組立方式でスムーズに組立可能な構造とした。また、リング状に組立てたライナーに油圧ジャッキ(油圧ユニットをTBMに搭載し、レバー操作で作動)を取付けて、サポート(後胴のテール)内面まで一次拡張し、掘削終了後の後胴盛替えにより、ライナーがサポートから出ると同時に二次・三次拡張を行うことにした。このことにより、シールド型TBMのグリッパ反力が確保できれば(シールドジャッキを使用しない時)掘進と支保工組立の同時施工が可能であり、施工速度のアップを図ることができる。

4.3 シールド型TBMの仕様

使用したシールド型TBMを写真-2に、TBMの主要仕様を表-1に示す。

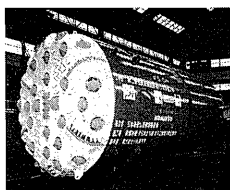


写真-2 シールド型TBM

表-1 シールド型TBMの主要仕様

掘削径	φ5.0m	カットヘッド回転速度	0.8~9.5rpm
本体機長	9.0m	カットヘッドトルク	最大2,254kNm
全長	65m	総推力	9,408kN
重量	本体:241t 台車:114t	グリッパ押付力	19,992kN
総出力	1,300kW	後続台車	5両
カットヘッド出力	150kW×6台	ベルトコバキ	600mm幅×2条

現場での施工に先立ち、工場においてライナーの組立試験を行い、エレクタの作動状況、各種資機材との取り合い、治具の要否、拡張作業の課題等を確認し、必要に応じて改良を行った。組立試験の状況を写真-3に示す。

4.4 施工結果

実施工においては、崩落性地山が連続する箇所が多く多量の湧水も発生したことから、ライナーを長区間使用した。ライナーの施工は、計画どおり安全かつ効率的に実施できた。このことにより、坑壁の崩壊を防止でき、施工速度の確保とゆるみの防止につながったと考える。施工状況を写真-4～9に示す。

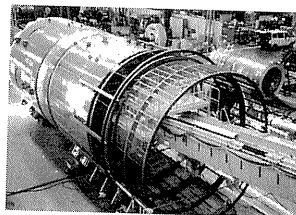


写真-3 ライナー組立試験

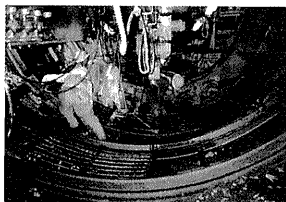


写真-4 ライナー搬入

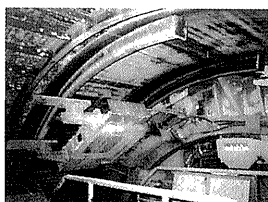


写真-5 ライナー把持・旋回



写真-6 ジャッキ取付 (1次拡張)



写真-7 後胴盛替 (2次拡張)



写真-8 最終拡張 (三次拡張)



写真-9 スペーサ溶接固定

ライナーの幅は基本的に1.0mとし、比較的崩落の少ない箇所ではコスト低減と進行の向上を目的として幅1.2mも使用した。

ライナーに作用する荷重や変位量は計測管理を行い、支保機能と耐荷力を確認し、円形の支保としての有効性を実証した。局部的に想定以上の荷重が作用した箇所は、吹付け等による補強を実施することで、過度の変形や鋼材の座屈等には至らなかった。(写真-10 参照)

また、グリップ反力が取れない箇所では、ライナーの下部ピースにかえてインバートライナーを設置し、補助シールドジャッキを使用した。(写真-11 参照)。

ライナーは、湧水量に関係なくサポート内で組立が可能で、組立直後より面状に荷重を負担できるため、湧水箇所においても問題なく施工を行うことができた。(写真-12 参照)

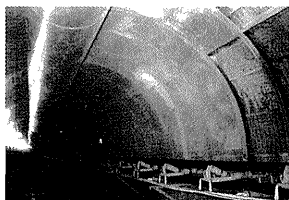


写真-10 吹付け補強状況

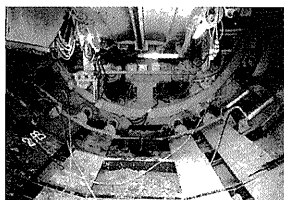


写真-11 インバートライナー

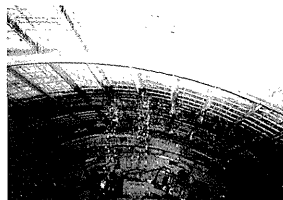


写真-12 湧水箇所の施工状況

図-9にライナー施工区間の平均サイクルタイムを示す。支保作業に要した時間は9%で、一般的な値(40~60%)に比べ少なくなっている。これは、シールド型TBMに本工法を適用した結果、ライナーがサポート(後胴テール)内で安全に効率的に組立てられ、ほとんどの場合に掘進との同時施工が可能であったためである。この結果、連続した崩落性地山や湧水箇所においても、支保作業のためにTBMを長時間停止することなく、稼働率34%(掘削27%+盛替7%)を確保できた。

全区間4,167mの平均月進は245mとなった。また、ライナー組立用の旋回組立方式を他の支保パターン(モルタル吹付けとリング支保工の組合せ)におけるリング支保工の組立にも適用した結果、支保工組立時間の短縮等により、最大月進682m(掘削径3m以上のシールド型TBMの最高月進記録)を記録した。施工完了後のライナー設置状況を写真-13に示す。

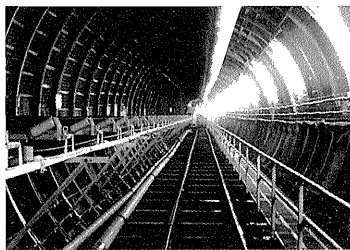


写真-13 ライナー施工完了状況

5. 本システムの課題と今後の展開

ライナーは、対象工事の施工条件(トンネルの用途、覆工方式、掘削径、TBMの型式)や地質による荷重条件等により構造や各部材の設計を行うが、条件に応じてライナーの幅をさらに変化させその適用範囲を拡げることが可能と考える。

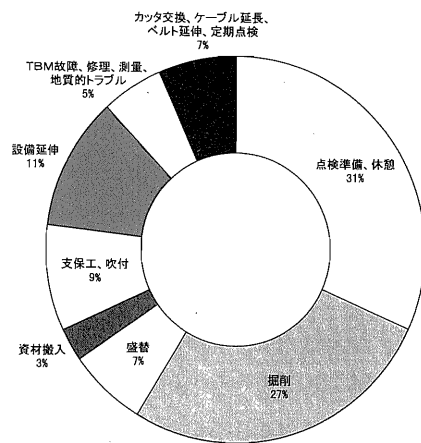


図-9 ライナー施工区間のサイクルタイム

(実績: 1.0m、1.2m、さらに0.5m、1.5m等のサイズの追加も考慮)

また、今回の現場では、金網の取付け範囲を上半180度としたが、場合によっては270度程度にすることが必要である。

6. おわりに

本システムをシールド型TBMによる導坑掘削工事に適用した結果、不良地山でもTBMを長時間停止することなく安定した進行が得られた。また、TBMのサポート内で早期かつ短時間で支保構築が可能となり、支保作業の作業性・安全性を向上させることができた。

昨今の社会経済情勢の大きな変化を背景に、効率的な社会資本整備がより強く求められる中、TBM工事は、今後、需要の増大とともに、ますます高速施工による工期短縮、施工コストの縮減が強く要請されると考えられる。しかし、我が国の厳しい地質条件においては、良好な地山が連続することは珍しく、この要請に応えるためには、不良地山でいかに安定した進行を確保するかが大きなポイントとなる。本システムは、これらの問題解決に一つの方向性を見いだしたと考えられる。

最後に、本システムの適用に当たり、ご指導をいただいた関係者の皆様に深く謝意を表します。

<参考文献>

- ・トンネル技術協会：第44回施工体験発表会概要集、第二東名最長のトンネルをTBMで高速施工、1999.11
- ・土木学会論文集：TBM用ロックライナー(簡易ライナー)の開発と実用化、No.679、VI-51、2001.6

29. トンネル活線拡幅工事の移動架台 (プロテクタ) の開発

佐藤工業㈱：*小林 裕二、山本 徹、
北野 都教

1. はじめに

近年、道路構造令が一部改正され、歩行者の安全かつ円滑な通行確保に関する規定や車両の大型化への対応といったことから、トンネル部分に関しても最小幅員の縮小規定が廃止され、断面を拡大する必要がでてきている。さらに、交通量の急激な増加による交通渋滞解消や老朽化したトンネルの改良・安全性の向上といった観点からも、既設トンネルの拡大・拡幅を効率的に行える施工技術が求められている。

トンネルの拡幅工事は、新設トンネルを施工するよりも、自然環境への影響や新たな用地買収が最小限ですみ、環境にやさしい工法として注目されている。

今までのトンネル拡幅工事は、ほとんどが、交通止めをしておこなっていたが、近くに迂回路が無かったり、交通止めが社会に及ぼす影響が多くなるような場合には、車両の通行を確保しながらのトンネル拡幅工事つまり「トンネル活線拡幅工事」が必要となる。これまでの一般的なトンネル活線拡幅工事では、一般交通用の空間を確保するための門型プロテクタをトンネル全線にわたって設置したり、既設のトンネルをロックボルトや支保工を用いて補強して施工する工法が採用されてきた。しかし、これらの工法は、効率性や経済性の面から問題点が多く、今後、ますますリニューアルに対するニーズが増大するなかで、早急な対応が求められている。

このような現状をふまえて、既設トンネルの拡大・拡幅工法の開発課題として、①活線拡幅工法（1車線確保）であること、②発破工法の採用が可能であること、③機械掘削にも対応可能であること、④中長大トンネルに対応できること、⑤休工時に2車線（片側1車線）の開放が可能であること、⑥効率的でかつ経済的な工法であること、という条件のもとに開発を目指した。

本報は、新たに開発した移動架台（プロテクタ）を採用したトンネル活線拡幅工事について、その概要と有効性について紹介するものである。

2. 従来の施工方法とその問題点

これまでのトンネル活線拡幅工事としては、図-1に示すように、既設トンネルを拡幅掘削に先だってあらかじめロックボルトや支保工によって補強し交通の切り替えを行いながら施工する方法もおこなわれているが、一般的には、図-2に示すように、トンネル全線に一般交通の安全を確保するための門型固定式の防護プロテクタをあらかじめ設置する方法により行なわれてきた。

トンネル全長にわたってプロテクタを設置する方法では、必要となるプロテクタが多くなるために、それらの製作や設置に多大な工費や工期が費やされていた。

さらに、比較的硬岩の地山においては掘削効率の高い発破工法の採用が望まれる。しかし、発破工法を用いる場合は、発破による飛散ずりの衝撃力等をも考慮してプロテクタを設計する必要がある、全線

にわたって強固なプロテクタの製作が必要となる。このため、これまで国内においては、発破工法を用いた活線拡幅工事はほとんど行われておらず、比較的短いトンネルを機械工法により拡幅した事例が多いのが現状であった。

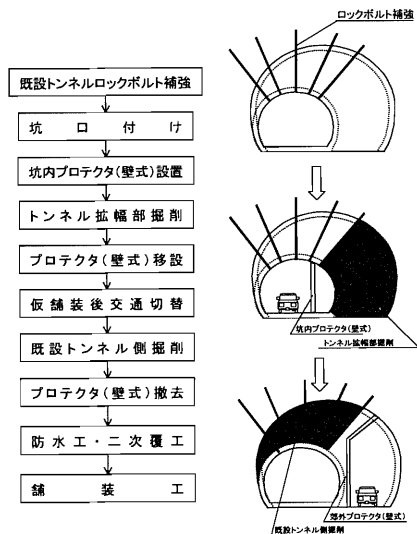


図-1 従来拡幅工事例

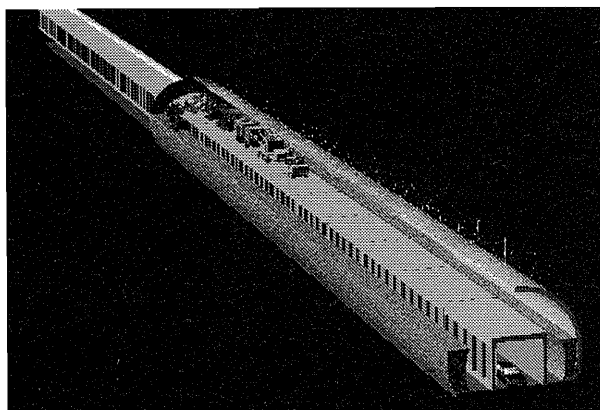


図-2 従来の一般的な活線拡幅工事の概要

3. 移動式架台（プロテクタ）の概要

3.1 構造機構とその特徴

開発した移動式架台（プロテクタ）を用いた施工状況の概要図を図-3に示す。

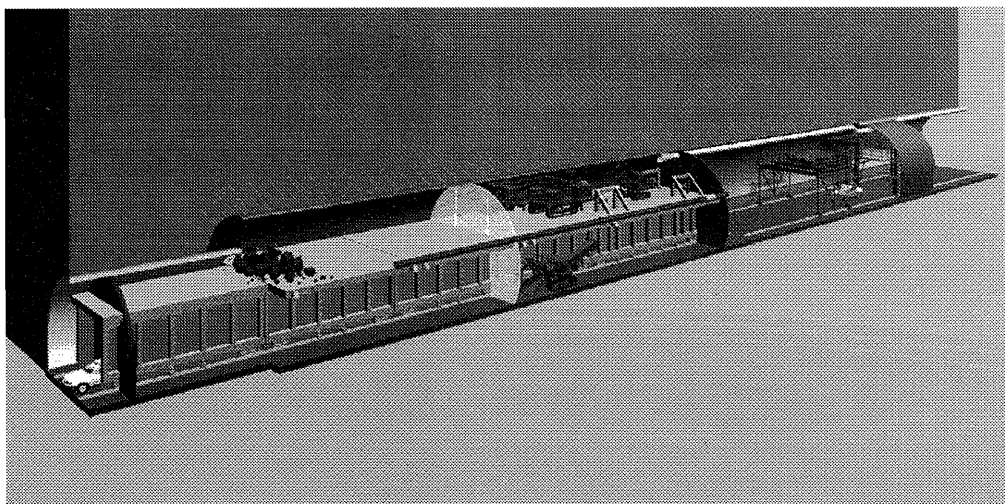


図-3 移動式架台（プロテクタ）を用いた施工概要図

移動式架台(プロテクタ)は、作業床と、この作業床の下側に設けられた脚壁とからなる。脚壁には走行装置が設けられており、レールを定置することで、トンネル縦断方向に沿って架台(プロテクタ)全体が自由に移動可能な構造となっている。これにより、架台(プロテクタ)の長さが必要最小限ですみ、従来工法のように、トンネルの全線にわたって設置する必要がなくなった。さらに、移動式としたことで、発破をかける箇所が特定できるために、発破が影響する箇所(先端架台)のみを部分的に強化するだけで発破工法の採用が可能となった。移動式架台(プロテクタ)は、図-4に示すように、大きく分けて先端架台・中間架台・後方架台の3つの部分より構成されている。各部位の構造機構を図-5に示す。

先端架台は、全長10m程度であり、門型構造となっている。この部分を既設トンネル内に挿入した状態で掘削を行うため、切羽は常に先端架台直上に位置することとなる。よって、発破工法を採用した場合にも、発破による影響範囲は、常に先端架台部分に特定できるために、この先端架台のみは発破による衝撃荷重にも耐え得るように強固に設計がされている。また、後述するが、架台の左右の脚壁は、休工事に2車線の解放が可能ないように、左右に開く構造となっている。

中間架台は、1基当りの長さは、先端架台と同様に10m程度である。π型構造となっており、この部分が汎用の施工機械による作業床となる。中間架台の数は、施工機械の規模や台数によっても異なるが、図-4の標準タイプにおいては3基となっている。中間架台の脚壁も左右に開く構造となっている。

後方架台は、基本的な構造形式は中間架台と同じであるが、施工機械や資機材の搬出入をおこなうリフトを装備している。全長は15m程度であり、後方架台の脚壁も左右に開く構造となっている。

これらの架台は互いに連結されており、標準仕様の図に示した架台数で全長で55m程度、総重量が420t程度となる。

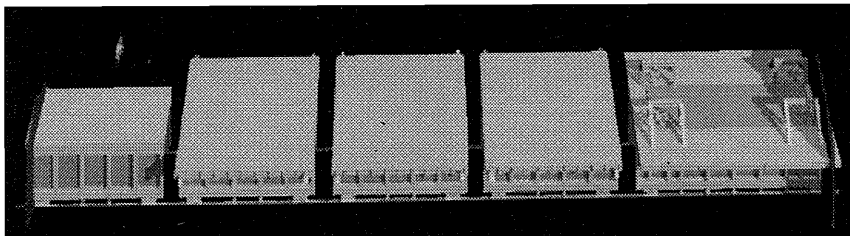
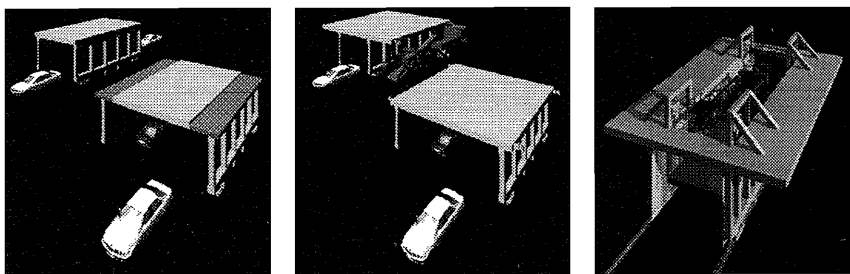


図-4 移動式架台(プロテクタ)の構造機構



(前方架台)

(中間架台)

(後方架台)

図-5 各部位の構造機構

3.2 安全および環境に対する対応

開発した移動式架台（プロテクタ）には、最先端部と最後方に図-6に示すような防護隔壁を設けることによって、拡幅施工を行作業エリアと一般車両が通行するエリアとを完全に分離し、工事が一般交通へ影響を及ぼさないようにしている。また、発破や吹付け作業によって発生した後ガスや粉塵等は、集塵機や風管等の換気設備を完全に隔離した作業エリアに効果的に配置することによって、作業エリア内において完全に除去し、周辺環境に影響を及ぼさないようにしている。

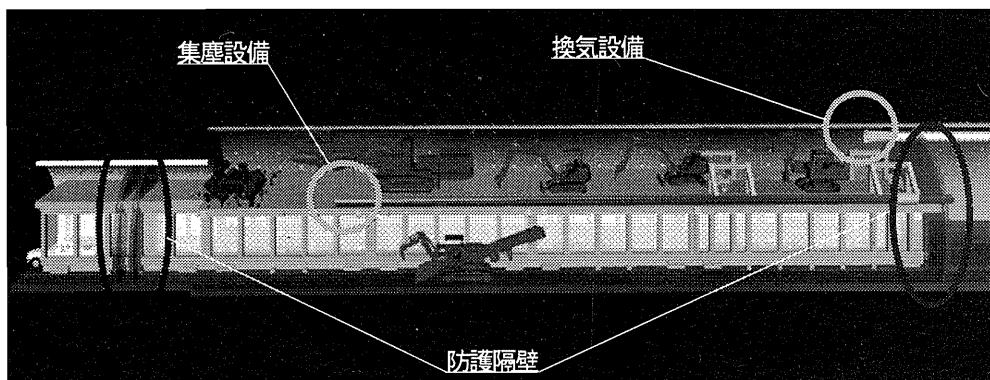


図-6 防護隔壁と効果的な換気設備

3.3 休止時に2車線の確保が可能

従来のプロテクタを全線に設置しておこなう拡幅工事では、プロテクタをすべて撤去しない限り、トンネル内の車線数が規制され、施工期間中に車線の数を増やすことは実際上不可能であった。

開発した移動式架台（プロテクタ）では、図-7に示すように、脚壁がそれぞれトンネル幅方向に開くことができるため、施工時には1車線の交互通行であっても、作業の休止時には、改築完了区間にトンネル改築用移動ステージを後退移動し、両側の脚柱をトンネル幅方向の外側位置に移動して車線の開放を行うことで、2車線の車両通行を確保できるようにした。

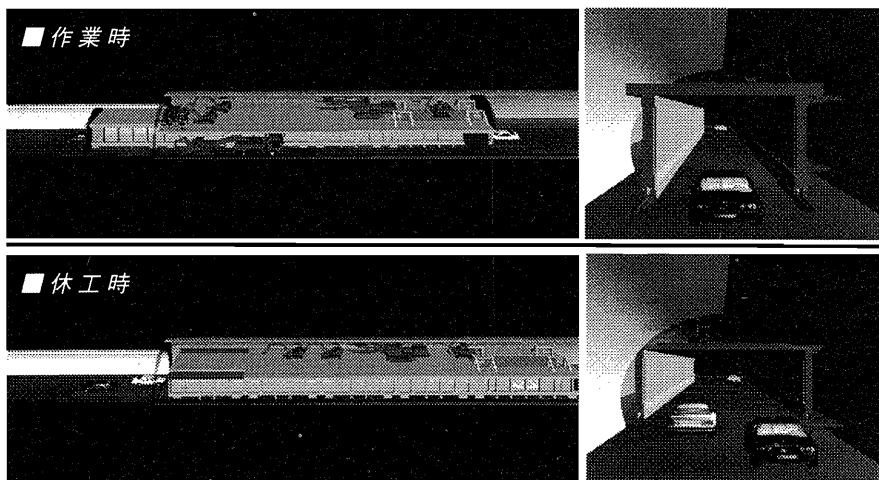


図-7 休工事2車線確保

4. 施工手順

開発した移動式架台（プロテクタ）を用いた拡幅工事の主要作業の概要を図-8に示す。作業手順としては基本的には NATM 工法によるトンネル掘削と同様である。

①穿孔・装薬

穿孔・装薬は、上半部・下半部に、ブーム式ドリルジャンボを配置して施工する。

②発破

発破は、地山への損傷防止、振動・騒音の制御、架台（プロテクタ）への損傷を考慮して、制御発破を行う。発破作業時は、発破防護壁・発破防護シートの設置を行い、待機させた施工機械の防護や、道路に掘削ずりなどが飛散するのを防止する。さらに、爆破時は、一般交通への安全第一に考えてトンネルの坑外において通行止めを行う。爆破を行ったのち、換気および安全の確認をおこない、再び一般交通の解放を行うまで約 20 分程度の通行止めが必要となる。

③ずり出し

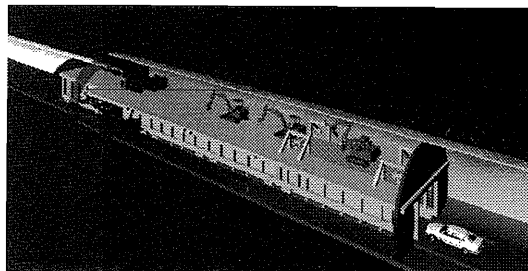
プロテクタ上の掘削ずりは、バックホウまたはブレイカ等で下に落としシャフローダ等の積込機械とダンプトラック等により搬出する。ずり出しと同時に、コソクおよび既設トンネルの支保工やロックボルトの解体・切断・撤去を行う。

④支保工

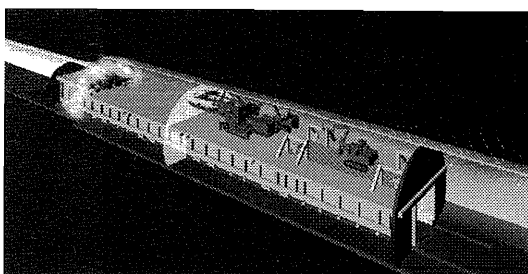
鋼製支保工などの建込みは、ブーム式ドリルジャンボのブームを利用し、吹付けコンクリートは、プロテクタ上に配置した吹付けロボットにより、上半・下半部分の全周を同時に施工する。ロックボルトの施工は、3~4m程度の長さを標準として、掘削面に対して直角に打設する場合には、既設トンネルより先行打設する。また、プロテクタ上から打設する場合で、必要なスペースが確保できない場合においては、継ボルトや斜め打ちボルトの採用も検討する。

⑤移動式架台（プロテクタ）の移動

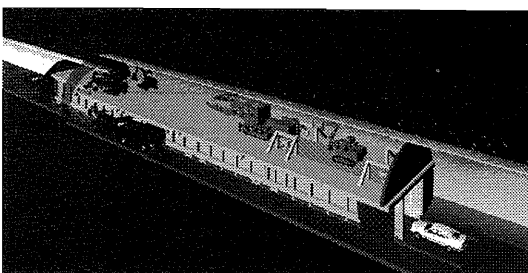
これら一連の作業が終了したのち、移動式架台（プロテクタ）を移動して、次の掘削サイクルを行う。



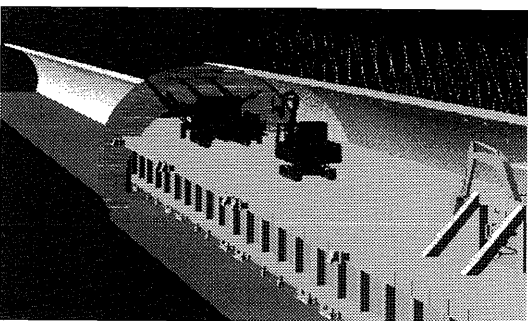
(穿孔・装薬)



(発破)



(ずり出し)



(支保工)

図-8 主要作業の概要

また、拡幅が終了した区間では、従来工法ではプロテクタを撤去しない限り取り掛かれなかった、後続作業としてのインバートおよび覆工が、図-9に示すように、架台（プロテクタ）が移動式としたことから、掘削と併行して行えるようになった。

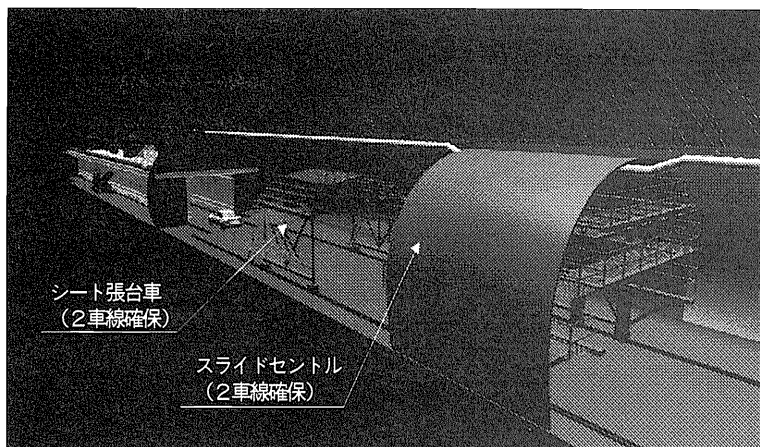


図-9 同時併進が可能な後続作業

5. 本工法の効果

本工法の効果を、従来工法の比較において以下に列挙する。

施工延長：従来工法での実績では、効率性や経済性などから 100m 程度の短いトンネルの拡幅事例がほとんどであったが、本工法では発破工法が採用できるため効率性がよく中長大トンネルにも対応できる。

工期：従来工法では硬岩地山においては苦渋の策として掘削効率の悪い割岩工法が採用されることとなり工期が多であったが、発破工法の採用により効率性が向上し工期短縮が図られる。また、プロテクタを撤去しない限り取り掛かれなかった後続作業が同時併行して行えるようになった。

プロテクタ：固定式のため全線も設置が必要であり発破工法を採用する場合には全長にわたる強化が必要であったが、移動式であるために全長も 55m 程度と短くてすみ、さらに発破影響箇所が特定できるため部分的に強化すればよくなった。

交通規制：架台（プロテクタ）の全長が短いため、従来工法に比較して設置・撤去にかかる時間が短縮できる。また、従来工法では工事期間中は撤去するまで車線が規制（1 車線）されたままであるが、脚壁が掘られるため、休工時に車線を増やす（2 車線）ことが可能となった。

6. おわりに

交通を確保しながらトンネル拡幅工事を行うことのできるこの拡幅工法は、安全でかつ経済的な工法であり、今後も数多くのトンネルで広く採用されることを期待している。

また、最近、古いトンネルの覆工の一部が剥落する事故が続発しているが、その対応策の1つとしての部分的な縫い返し工事にも適用できると考えている。

30. 長大トンネルずり搬出システムの開発

佐藤工業㈱：*城井出 義久、小早川 忠行、
今岡 彦三

1. はじめに

近年、トンネル工事は大断面・長大化になっており、従来掘削後のずり出し作業は、重ダンプトラック等を使用する場合が一般的で、施工の省力化・急速化がしにくいことや、排気ガスによる坑内環境の悪化・車両による接触事故等安全衛生上に問題があった。

今回、トンネル工事の省力化・急速化と坑内環境・安全性向上を進めるため、ベッセルによる運搬・仮置き工程と、インパクトロールクラッシャーを備えた連続ベルトコンベヤによる搬出工程を組み合わせた「長大トンネルずり搬出システム」を開発した。

運搬・仮置き工程と搬出工程に分けた「長大トンネルずり搬出システム」は、切羽解放までを大幅に時間短縮することから、急速化施工を実現すると共に、ずり発生形態に影響を受けないため掘削工法の変更に柔軟に対応できる等の特徴がある。

本報告は、東北新幹線「八戸・新青森」間の八甲田トンネル [全長 26,455m] で、完成すれば世界最長の陸上トンネルとなる6工区のうち、全長 4,325mの市ノ渡工区に導入した「長大トンネルずり搬出システム」を紹介するものである。

2. 開発の課題

2.1. 施工の省力化・急速化

従来のトンネル掘削のサイクルは、①さっ孔・装薬・発破または機械掘削、②ずり出し、③吹付けコンクリートおよびロックボルト施工の繰り返し作業である。この内②ずり出しは、切羽でダンプトラックに積み込み坑外まで搬出するのが一般的であるが、この方法では施工距離が長くなるにつれて、ずり処理作業時間が増加し、サイクルタイムに大きな影響を及ぼす。

最近採用されている連続ベルトコンベヤ方式では、一般にホイールローダ1台によるため、切羽から連続ベルトコンベヤまでのずり運搬時間、また、連続ベルトコンベヤで運搬できない大きさのずりを小割するのに要する時間がかかり、切羽を早期に解放できないため次工程に進めない。

2.2. 坑内環境等安全衛生

ダンプトラックに積み込み坑外まで搬出する方式では、車両による接触事故の危険性が高く、また、トンネル内全般にわたり排気ガスおよび走行面からの粉塵が発生し、坑内環境が悪化する。

連続ベルトコンベヤ方式では、連続ベルトコンベヤで運搬できない大きさのずりを小割する時、広い範囲で粉塵が発生する。坑内環境の悪化を改善するため、換気方式の改善、中継送風機の増設や大流量送風機への取替、漏風率の小さい風管や大口径の風管の採用、大型集塵機の採用等、主として換気設備対応の対策を行うも、粉塵発生量抑制対策とはなっていない。

3. 新システムの概要と特徴

トンネル工事の省力化・急速化と坑内環境・安全性向上を進めるため、ベッセルによる運搬・仮置き工程と、インパクトロールクラッシャを備えた連続ベルトコンベヤによる搬出工程を組み合わせた「長大トンネルずり搬出システム」を開発した。

3.1. 新システムの概要

本工法は、トンネル掘削で発生する岩塊（ずり）の搬出工法として、従来のダンプトラックやコンテナ式運搬車を使用する代わりに、ずり容器（ベッセル）とインパクトロールクラッシャを備えた連続ベルトコンベヤを使用するシステムであり、以下の3工程で行う。図-1にシステム概要図を示す。

第1段階：掘削場所（切羽）で発生したずりをベッセルに積み込み、50～100m程度後方まで、運搬、仮置きする。

第2段階：インパクトロールクラッシャにより、ずりを破碎・小割する。

第3段階：破碎後のずりを連続ベルトコンベヤで坑外まで搬出する。

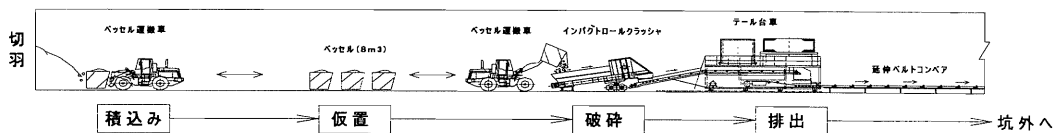


図-1 システム概要図

3.2. 新システムの特徴

- ①ベッセルを用いた仮置き方式による搬出時間の短縮に伴って、切羽での施工サイクルが早くなる。
- ②ベッセルを用いた仮置き方式による時間当たり搬出量の低下（平均化）に伴って、クラッシャやコンベヤ能力の小規模化が可能になる。
- ③切羽～クラッシャ間を小運搬するため、掘削方法の変更（全断面掘削から上半先進）にも柔軟に対応できる。
- ④ダンプトラックの排気ガスや車両粉塵による汚染がきわめて少ないので、換気設備を省力化できる。
- ⑤走行車両数の減少により、車両接触等に対する安全性が著しく向上する。
- ⑥クラッシャによって破碎されたずりの摘要範囲が拡大し、建設廃棄物の減量化、再利用化が促進される。

4. 新システムの構成

新システムは、切羽よりベッセル運搬、インパクトロールクラッシャ、テール台車に搭載した乗り継ぎベルトコンベヤ、延伸ベルトコンベヤおよび傾斜ベルトコンベヤから構成される。

市ノ渡工区に導入した仕様を以下に示す。

4.1. ベッセル運搬

ベッセル容量：8 m³

ホイールローダ仕様：TCM870(クイックカップ[®]採用)

4.2. インパクトロールクラッシャ

クラッシャは、縦型のジョークラッシャタイプが一般的であるが、ずり積み込み位置が高く作業性が悪いため、当現場では、チェーンコンベヤと円筒状に5本の破碎歯が取り付けられ高速回転するコンパクトで高性能である横型インパクトロールクラッシャを組み合わせたものを採用した。

また、坑内を簡単に移動できるようにするため、市販のユニークタイヤ(φ850-8 輪)を取り付けた。

メーカー：DBT社（ドイツ）
型式：SB-1310
動力：132kw +30kw（400v）
投入最大寸法：950*600*2000 mm
破碎後寸法：0~200 mm
処理能力：120~200 t/h
インパクトロール回転数：442 rpm

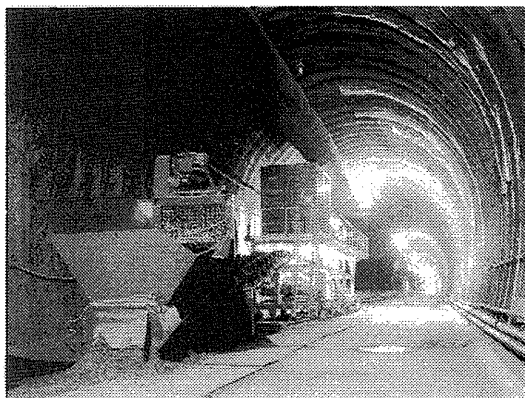


写真-1 インパクトロールクラッシャ

4.3. 乗り継ぎベルトコンベヤ

インパクトロールクラッシャのずり排出口と、延伸ベルトコンベヤの受け口との高さ調整、また、インパクトロールクラッシャの設置位置決めをスムーズにするため、テール台車に搭載された中継ベルトコンベヤである。

ベルト幅：900 mm 機長：14.7 m
ベルト速度：60 m/分 電動機：7.5 kw（200v）
最大運搬能力：300 t/h テークアップ方式：スクリュー方式

4.4. 延伸ベルトコンベヤ

新システムの主構造であり、破碎したずりを坑口まで運搬するベルトコンベヤと、延伸用ベルトを蓄積しておくベルトストレージ部および駆動部のメインドライブから構成されている。

(1) 延伸ベルトコンベヤ

延伸ベルトコンベヤに使用するベルト自体は、1巻300mであるため、切羽の進行が150m 近くになった時点で、新しいベルトを加硫接合して、延伸させる。

ベルト幅：610 mm
ベルト速度：150 m/分
最大運搬能力：300 t/h

(2) ベルトストレージ

ベルトストレージ内に蓄積したベルトを切羽の進行に合わせて、油圧制御によりベルトに一定の張力を与えながら自動的に延伸していく設備である。



写真-2 延伸ベルトコンベヤ

蓄積ベルト能力：最大 450m

ユニット寸法：1.65m*3.16m*77m

電動機：30kw*4p (400v)



写真-3 ベルトストレージ

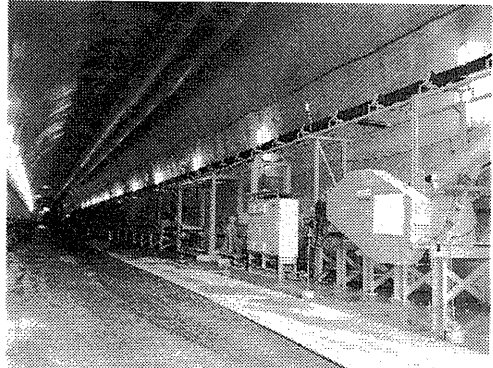


写真-4 メインドライブ

(3) メインドライブ・ブースタードライブ

延伸ベルトコンベヤ全体の動力部である。1台の電動機での駆動可能なベルトコンベヤの延長は、約2,400mである。当JVでは今後切羽が2,800mに到達した時点で、中間地点に2台目の電動機(ブースタードライブ)を増設する予定である。

電動機：30kw*4p (400v)

テークアップ方式：油圧シリンダー式

4.5. 傾斜ベルトコンベヤ

延伸ベルトコンベヤで坑口まで運搬したずりを坑外の仮置きヤードに排出するベルトコンベヤである。

ベルト幅：900 mm

ベルト速度：70 m/分

最大運搬能力：300 t/h

機長：51.4m

傾斜角度：15°

電動機：37 kw (200v)

テークアップ方式：グラビティー式

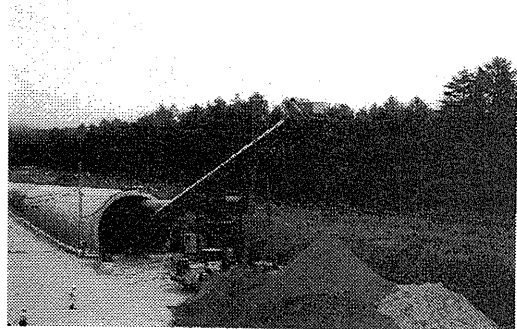


写真-5 坑外傾斜ベルトコンベヤ

5. 採用にあたっての問題点とその対策

新システムを八甲田トンネルに導入するにあたり、問題点とその対策を以下に示す。

5.1. 延伸ベルトコンベヤの設置場所

ベルトコンベヤの設置場所を考える際、次のような検討項目を考慮した。

- ・こぼれたずりによる危険が無い様、できる限り低く設置するとともに、設置撤去を容易にする。
- ・防水シート張り架台やアーチセントルの通過時に、盛替えを必要としない。

この検討項目に対し、以下の考えで設計した。

- (1) ベルトコンベヤの高さは、運転時に人間の腰の高さより低い場合、挟まれ等の恐怖感が生じるため、1mとし、ベルトコンベヤからこぼれたずりの処理と維持補修のため、下部の空間を50cmとした。(図-2参照)

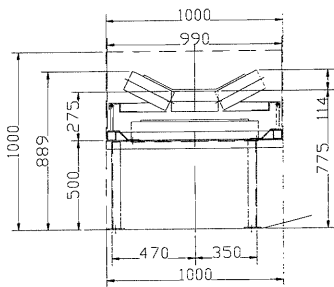


図-2 延伸ベルトコンベヤ標準断面図

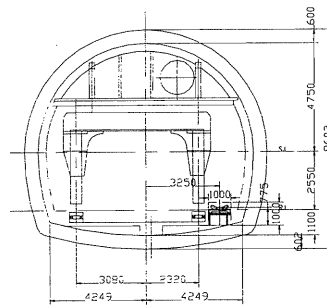


図-3 アーチセトル偏心状況

- (2) アーチセトルはセット・移動のため、片側のガントリ部を38cm偏心した。(図-3参照)
- (3) アーチセトルのベルトコンベヤ通過部に鋼製の防護カバーを設けた。(写真-6参照)
- (4) アーチセトルのセット・移動時には、ベルトコンベヤ側には作業員の出入りが不可能なので、ベルトコンベヤ側の下猫は油圧シリンダーで作動する構造とした。

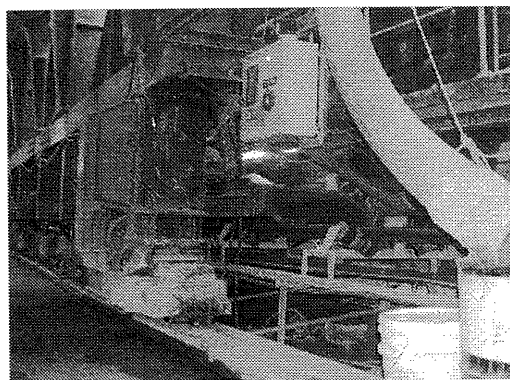


写真-6 アーチセトル通過状況

5.2. 安全対策

当現場で実施している安全対策を以下に示す。

(1) 運転時の警報

- ・ベルトコンベヤ運転開始1分前に、傾斜ベルトコンベヤ落下付近に音声で知らせる。
- ・ベルトコンベヤ運転開始時にチャイムを鳴らす。
- ・ベルトコンベヤ運転中は100m毎に設置した回転灯が点灯している。

(2) 巻き込まれ防止

- ・全線ネットで柵を設ける。
- ・防水シート架台やアーチセトルの作業箇所では、鋼製の囲いを設ける。

(3) ベルトコンベヤを跨ぐ場合

- ・移動できる跨線橋を100m毎に設置する。(写真-7参照)

(4) 緊急停止

- ・引き綱式緊急停止スイッチを全線に張る。(写真-8参照)



写真-7 ベルコン跨線橋

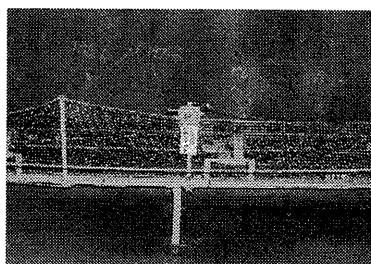


写真-8 緊急停止装置

6. 経済性について

採用にあたって、当工区 4,325mをトラックコンテナ方式による在来工法と延伸ベルトコンベヤ方式による新工法とのコスト比較をした結果、延伸ベルトコンベヤ採用分岐点は、トンネル延長 3,750mとなった。

環境や安全面での評価をどのようにコスト面で考慮するかは難しいところではあるが、トンネル延長 2,500mを越える場合は、新システム採用に対する検討を行う必要があると考えている。

7. 現況

平成12年8月から新システムによるずり出しを開始し、現在トンネル延長 1,300mの内約 590mを施工した。平均すると1日当たり約7時間の稼働で、合計 51,000m³のずりを処理し、大きなトラブルもなく順調に稼働している。

坑内環境は、坑外に設置した送風機(インバータ制御)で換気量を 1,200m³/分、坑内に設置した大型集塵機(インバータ制御)で換気量 700m³/分で運転しているが、従来のダンプ方式や新システムを導入する以前に比べ、切羽後方から坑口までクリーンな状態である。特に覆工作業箇所では、車両の往来が著しく少なくなったため、安全性・作業性が大幅に向上している。

また、ずり出しの所用時間は、40～50分程度で、従来工法と比較して約半分となっており、当初の目的である「急速施工化」を実現している。

8. おわりに

当トンネルは、ほぼ全線、当初設計でインバートコンクリートや中埋めコンクリートがあり、平坦な仕上がりとなっているため、延伸ベルトコンベヤの固定は容易に行うことができる。しかし、インバートコンクリートのない大断面トンネルに適用していくには、コンベヤの固定方法や掘削断面から覆工断面へのコンベヤの簡単な盛替え方法を考案するのが不可欠である。

現在、東北新幹線八戸・新青森間のトンネル現場は10現場あり、この内4現場は、延伸ベルトコンベヤによるずり出しを実施または実施予定である。いずれのトンネルも延長 2,500m以上であり、長大トンネルでは今後ますます採用が増えると考えられる。

今後、トンネル工事の省力化・急速化と坑内環境・安全性向上を実現した「長大トンネルずり搬出システム」が、延伸ベルトコンベヤ方式を用いる場合の参考になれば幸いである。

31. 小断面TBMの合理化施工システムの開発と実用化

佐藤工業㈱：*名村 均、北村 昭久、
佐々木 俊明

1. はじめに

水力事業の導水路トンネル工事や大断面トンネルの先進導坑に代表される小断面のトンネル工事では、在来工法に比べ安全で急速施工が可能なトンネルボーリングマシン（TBM）による施工が増加している。しかし、TBM工法は、支保・運搬・掘削の各要素においてまだ施工的に様々な問題点が存在しており、システムの合理化されているとはいえない。

問題点を解決するために、「掘削と覆工の同時施工を可能にする自動吹き付けシステム」、「複線レール方式の採用を可能とした特殊ずり鋼車と積込装置」、「TBM機械データによる地山評価」の3つの技術開発を行い、合理化施工システムを実用化した。

本報は、実用化した小断面TBMの合理化施工システムの概要と、永久覆工を施工しながら4,925mの導水路トンネルを約13ヶ月で掘削完了し、平均月進約381m/月（国内記録）の進捗を達成した新大長谷第一発電所（第1工区）導水路トンネル工事の実績を紹介するものである。

2. 工法の課題

(a) 支保関連

小断面トンネルは作業空間が狭いので掘削と覆工の同時併行作業が困難であり、例えば掘削完了後に覆工を開始せざるをえないなど、結果的に長い工期が必要となる。また、切羽を直接観察できないため、迅速な支保選定ができない。

(b) 運搬関連

小断面トンネルでは、ずりの搬出効率の高い連続ベルコン方式や複線レール方式が適用外となり、大掛かりな処理設備や資材搬入設備が別途必要な流体輸送方式や、搬出効率の悪い単線レール方式を採用せざるをえない。そのため、TBM本来の最大の利点である連続掘進が行えなくなる。

(c) 掘削関連

TBM工法本来の課題である、切羽を直接観察できず掘削中の地山状況を正確に把握できないことは、支保選定が遅れがちとなり支保材料の搬入によるタイムロスが生じることや、地山トラブルに遭遇し掘削が長期間中断しがちである。

3. 急速施工のための開発技術

上記の問題点を解決するため、以下の3つの技術を開発・採用し、掘進速度・品質の向上を図った。

3.1. 自動吹き付けシステムの開発による掘削と覆工の同時施工（問題点(a)の改善）

TBMの掘削と併行して、TBM直後で自動吹き付けシステムによる覆工を迅速に行い掘削と覆工

の同時施工を可能とした。自動吹き付けシステムは、吹き付けロボットによる吹き付け（覆工）作業の全自動化を可能としたもので、急速施工のみならず、作業環境の改善、品質の向上を果たした。

本システムは自動吹付システム、自動断面測定システム、自動吹付厚測定システム、自動測量システムからなり、TBM工法における掘削坑壁面の水洗い、掘削面断面計測、掘削坑壁面への吹付、吹付面断面計測、吹付厚算出の作業を自動で行う。（写真-1参照）

吹付ロボットはTBMの後方に架設し、掘削・覆工一体型TBM工法として実用化した。これによりTBMの掘削作業と並行して、TBMテール直後で吹付けを迅速に行い、早期に覆工を完成させることができる。写真-1

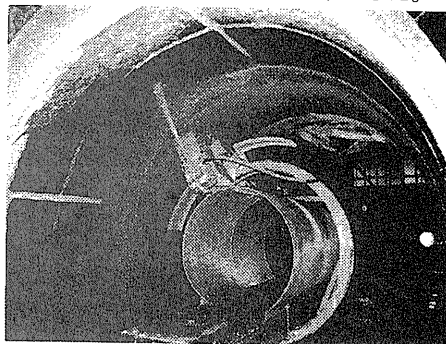


写真-1 模擬トンネルに於ける吹付け状況

吹付作業の自動化により、作業員の粉塵作業や苦渋作業からの開放が可能となり、作業環境が改善され、安全性が向上する。また、高精度の吹付厚管理システムにより、目標の吹付厚さが確実に確保されるほか、吹付厚さのばらつきが減少して品質が向上する。これにより、余分な吹付材の使用を抑えることができ、コスト低減が図れる。（図-1、図-2参照）

▲特 徴

- ①吹付ロボット本体は、旋回リングと吹付ノズルから構成され、TBMのズリ排出用のベルトコンベヤフレームに取付けられたレールに搭載されており、TBM本体から独立して自走できる。
- ②吹付ロボットは、レール上を自由に移動でき、TBMの掘進速度にかかわらず、吹付ロボットの制御が可能であり、TBMによるトンネル掘削作業と並行した吹付作業が可能である。
- ③吹付ロボットは、吹付仕上がり面の出来栄を良好にする制御システムを有しており、円滑な吹付け面仕上げが可能である。
- ④吹付ロボットは、レーザー測定機による自動断面測定システムと吹付厚自動管理システムを有しており、掘削作業を中断することなく、掘削の余掘り量、吹付けの余吹き量や吹付厚さデータが自動計測され、高精度の管理がパソコンで可能となる。

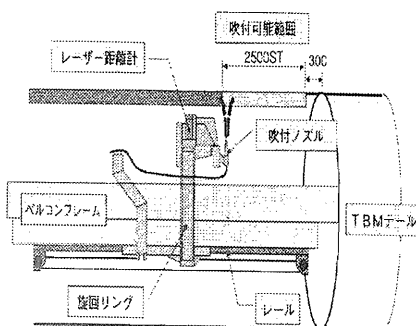


図-1 自動吹付けロボット

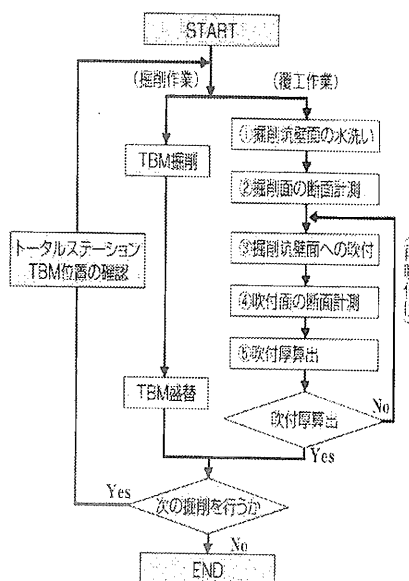
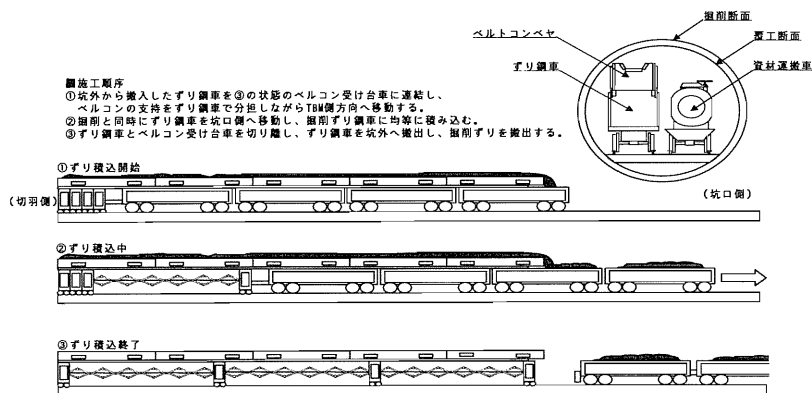


図-2 システムフロー図

3.2. 複線レール方式の採用を可能とした特殊ずり鋼車と積込装置（問題点(b)の改善）

小断面トンネルの狭い空間において軌条設備を複線化しTBMの高速掘進に対応するために、上部に支持ローラーを装備しベルトコン受け機能を有した小断面用特殊ずり鋼車と、伸縮方式（パンタグラフ方式）のベルトコン受け台車によってベルトコンベアを支持（固定の支柱なしで仮受け）する方式を考案した。

この方式の採用により、これまで必要とされていた固定式の支柱や、トンネル天端にアンカーを設置してベルトコンベアを吊持するの必要がなくなり、小断面トンネルの狭い作業空間においても複線軌条方式の採用を可能とした。軌条設備の複線化により、ずり搬出効率が飛躍的に向上するとともに、ずり搬出を妨げることなく迅速な資材搬入も可能となり、さらに先進ボーリングやTSPなどの前方探査も比較的容易に行えるようになった。図一3に掘削ずりの搬出作業の順序図を示し、その手順を以下に述べる。



図一3 掘削ずりの搬出作業順序図

3.3. TBM機械データによる地山評価（問題点(a)(c)の改善）

掘削中のTBM機械データの活用により切羽の地山評価を行う技術を開発した。これは、TBMの機械データから掘削エネルギー値を算出し、地山判定の1指標とするもので、切羽の地山状況のリアルタイムでの把握と迅速な支保パターンの選定を可能とした。

■特徴

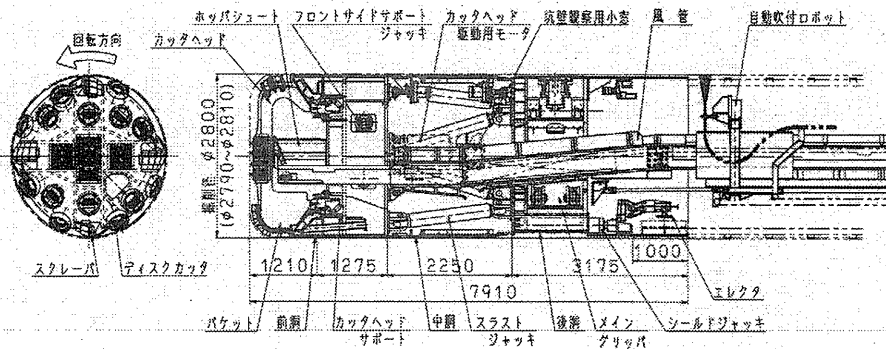
- ①TBM工法ではカッターヘッドで切羽全体を掘削するため、掘削時にマシンにかかる抵抗値は岩石の強度のみならず亀裂等の情報もすべて含まれていると考えられる。そのため、マシンデータを用いて算出される掘削体積比エネルギーの値は岩盤全体の特性を示す指標として用いることができる。
- ②TBM掘削の急速施工に対応できるように、パソコン画面によるリアルタイムの表示が可能であり、掘削切羽が見えないTBM掘削において切羽の地山情報が即座に得られ、安全で確実な施工が可能となる。
- ③試験区間において得られたデータを、さまざまな統計手法を用いて解析することで、それ以降の掘削における岩盤等級や支保パターンを決定する際におけるの基準とすることが可能となり、より確実で安全なTBM掘削によるトンネル施工を可能とする。
- ④本工法における掘削体積比エネルギーの値は、TBMの掘削時に得られるマシンデータを用いて以下の式によって算出する。(図一4参照)

基盤岩を覆い、また、^{下伏}楡原累層は北陸層群の岩稲累層に整合関係で覆われていた。導水路経過地の地質は、上流側は晶質石灰岩を伴う片麻岩及び花崗岩等の硬岩を主体とした飛騨変成岩類であり、下流側には軟岩及び中硬岩である新第三系の凝灰岩や凝灰角礫岩が分布していた。

4.3. TBMの概要

小断面トンネルにおける従来型TBM工法の課題や地点条件等を考慮し設計・製作した当工事に採用したTBMの概要を以下に述べる。TBM本体構造の概要を図一8に示す。

- (1) 幅広い地質に対応するため、機体が全面シールドに覆われているダブルシールド形式とし、前胴部、中胴部、後胴部の接合点が屈曲可能な構造とした。また、通常の地質ではメイングリッパにより地山から反力を得るスラストジャッキによるスラスト推進とし、グリッパ反力が得られない不良地山の場合には、後方のセグメント等から反力を得るシールドジャッキによる推進機能を付加した。
- (2) 吹き付けによる覆工は永久覆工とし、覆工作業は掘削と同時に施工が可能な自動吹き付けシステムを搭載した。
- (3) ずり搬出に影響せず支保・覆工材料などの運搬が効率的かつ迅速に行えるように、また、先進ボーリングやTSP探査などの切羽前方探査が十分に行えるように、軌条設備は完全複線化した。
- (4) ターゲット自動追尾型の自動測量システムを採用した。
- (5) TBMの機械データをリアルタイムに収集・分析し掘削中においても切羽面の地山状況を把握でき、かつ、正確な支保判定が確実にできるようにTBM機械データ（掘削体積比エネルギー値）による地山評価システムを導入した。



図一8 TBMの本体構造

4.4. 工事実績

4.4.1. 実施工程

図一9に本工事における実施工程を示す。TBM工事は、平成11年5月中旬より初期発進を始め、度重なる多量湧水（最大坑内湧水量 8t/分）、底盤部に堆積する多量のヘドロ、特殊地山による3度のTBM拘束、突発湧水による天端崩落、連続的な地山崩落などに見舞われたが、平成12年7月上旬には無事貫通を迎えることができた。

自動吹き付けシステムによる永久覆工を施工しながらのTBM掘削は、数多くの改良を重ねつつも確実にその機能を果たし、覆工一体型TBM工法の実現を果たした。

さらに、完全複線化によるずり搬出方式の採用や、その他さまざまな導入システムともあいまって、TBM区間 4,925 mの導水路トンネルを約 13 ヶ月で掘削完了し、平均月進約 381m/月（国内記録）の進捗を達成することができた。また、平成 12 年 3 月には、当工事において最大月進 701m、最大任意月進 785mの進捗を達成し、国内のトンネル工事における月進記録を更新することができた。

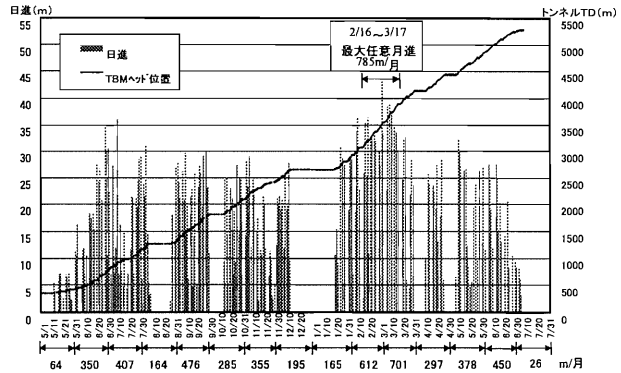


図-9 TBM掘削実績

4.4.2. 機械データによる地山評価の検証

図-10 に掘削エネルギー値と支保パターンとの関係を示す。

掘削エネルギー値は、1 ストローク掘削長（約 1,200mm）の平均値を算出し示している。支保パターンの選択は、掘削ずりの形状やTBM本体の中胴部に設けた観察用小窓とテール部での掘削坑壁面観察などによって決定している。両者の傾向はよく一致しており、掘削エネルギー値は、切羽の地山状況にある程度予測し、支保決定のための1指標とすることが可能といえる。ただし、本施工では、まだ十分な技術が確立されていない掘削体積比エネルギー値のみでの地山評価による支保判定は危険であると判断し、支保判定は従来の壁面観察を重視した方法で行い、掘削体積比エネルギー値は補助的に用いた。しかし、切羽が直接観察できないTBM掘削において地山状況をリアルタイムで把握でき、TBMの運転制御に大いに活用し、トラブル回避につながった機会も多くあった。また、掘削中に支保パターンをある程度絞り込めることは、切羽に支保材料を仮置きできない小断面トンネルの施工において迅速な支保材料の搬入が可能となり急速施工に大いに貢献した。

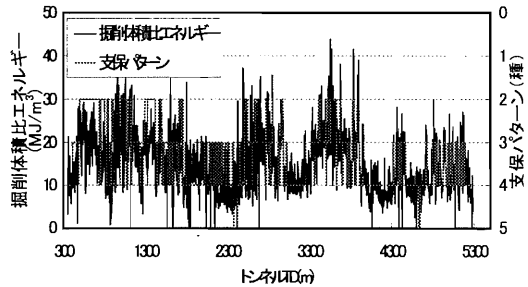


図-10 掘削エネルギー値と支保パターンとの関係

5. おわりに

現在、水力事業以外でも、第二東名高速道路や新幹線建設にみられるようにトンネルの比率は増加し、その延長も長大化している。一方、公共投資の削減により建設投資に対する効果や採算性が重要視されている。今後のトンネル建設に際してはコスト縮減や工期短縮（早期供用）の観点から高速施工や合理化施工が重要な課題となっている。

TBM工法を系統的に捉え、掘進速度を阻害する要因を分析し、3つの技術開発によって改善し、平均月進の国内最高記録を得たことは十分評価できるものと考ええる。また開発した技術の中で特に、自動吹き付けシステムは吹き付けによる覆工の品質・作業環境を著しく向上させており、このシステムは、今後山岳トンネルにおけるTBM工法において、生かされれば幸いである。

32. バルクエマルジョン爆薬発破システムの開発と実用化

佐藤工業(株)：*京免 継彦、今村 仁悟、
馬場 真一郎

1. はじめに

近年のトンネル工事は、削孔機械・積込機械・運搬機械の大型化やシステム化により、施工の効率化が図られているが、発破作業の改善による更なる高効率化施工が求められている。

現在、発破作業に用いられる爆薬は、一般的に含水爆薬または ANFO 爆薬が使用されており、発破効果に影響が大きい密装薬の可否・装薬手間・耐水性・後ガス量などについて、それぞれ一長一短がある。今回開発したバルクエマルジョン爆薬は、爆薬自体を低粘度のゲル化することで、包装タイプ膠質状爆薬と ANFO 爆薬の長所を合わせ持ち、機械装填による作業性の効率化を図ることが可能である。

このバルクエマルジョン爆薬とその発破システムの実用化を目的に、発破効果・安全性・装填能力・取り扱いなどを確認するため、「長崎自動車道 現川トンネル工事」において実用化の実証実験を行った。

本稿は、実証実験の結果を踏まえ、この次世代発破システム、特に装填ポンプシステムについて報告する。

2. バルクエマルジョン爆薬発破システムの概要

1) バルクエマルジョン爆薬の概要

バルクエマルジョン爆薬とは、包装タイプ膠質状エマルジョン系含水爆薬と組成・性状・性能が異なった低粘性爆薬で、機械による装填（モノポンプ）を可能にした爆薬である。従来の含水爆薬・ANFO 爆薬との違いを表-1 に示す。

表-1 爆薬性状・性能比較表

	膠質状エマルジョン系含水爆薬	ANFO 爆薬	バルクエマルジョン爆薬
性状	膠質状	顆粒状	ゲル状（バルク状）
粘度 (Pa・S)	>2000	—	792
爆轟速度 (m/s)	5900	2800	5220
密装薬	× 不可	○	◎ ゲル状なので良好
装薬手間	△ 手作業。要込め物	○ エアー式で簡易	○ 簡易
装薬量	○ 100g 単位で管理可能	△ 管理難	◎ g 単位で管理可能
耐水性	◎ 湧水箇所での使用可	× 使用不可	○ 使用可
後ガス	○ 良好	△ アンモニア臭が残る	○ 良好

バルクエマルジョン爆薬の性状は一見マヨネーズに似ている。かなり柔らかいが、画像-1 右側の様に配管に入れ逆さにしても落ちてくることはない。運搬は 20kg のポリ容器運搬とした。



写真一 1 バルクエマルジョン爆薬の性状

バルクエマルジョン爆薬発破システムの長所を下記にまとめる。

- ① 発破効果が大きい密装薬が可能である。
- ② ポンプ装填により作業が簡易である。また、装薬量の細かい調整、管理が可能である。
- ③ 耐水性に優れ、削孔水の除去や湧水に気を配る必要が無い。
- ④ 後ガスが良好である。

2) 装填ポンプ概要

バルクエマルジョン爆薬はモノポンプユニットで圧送し、装薬を行う(図一1、写真一2参照)。この圧送システムの特徴を表一2に示す。装填ポンプは当初ポンプ1基搭載タイプを使用したのが、後に1基タイプの問題点を踏まえた改良型であるポンプ2基搭載タイプでも実証試験を行った。

表一2 装填ポンプの特徴

項目	特徴
圧送ポンプ	モノポンプを使用する。最大25kg/分。ポンプ部とモータ部のシャフトの連結部が爆薬と接しないように外でジョイントし安全性を高めている。
駆動装置	1基タイプはエンジン式。2基タイプは電動駆動式。ともに油圧ユニットを駆動しバルブを開閉する。 2基タイプの電動ユニットは400V、200V両用で18KWのモータを装備。
圧送ホース	圧送ホースはカーボン入り耐圧ホースを使用する。内径でφ25mm、切羽までの延長30mを装備する。油圧駆動の巻き取り装置を装備している。
爆薬タンク	エマルジョン爆薬タンク：0.60m ³ (約700kg)バルクエマルジョン爆薬をスムーズに圧送ポンプにチャージするために、タンク内にオーガーが設置されている
破裂板	圧送ホースが250psi(17.6kg/cm ²)以上の圧力を受けると破裂し、システムの圧力を瞬時に解放する。さらに140psi(9.86kg/cm ²)以上の圧力で電氣的にシステムが停止する安全装置が備わっている。
コントロール装置	爆薬圧送を制御するため電子コントロールパネルが設置されている。爆薬供給量がパネルにデジタル表示される。予め供給量(装薬量)を入力しておき、スイッチONにより供給量がカウントダウンされ、供給完了後停止する。各供給量は自動的に積算表示される。
水注入システム	別項参照
機体重量 2基タイプ	システム全体は、架台3.5m×1.5mに組み込まれ、4トントラックに積載可能。(装置総重量2.5トン)

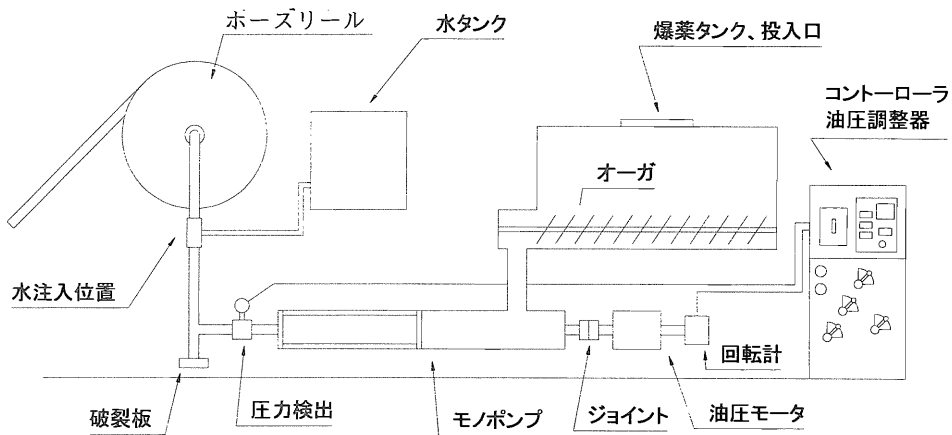


図-1 装填ポンプ概念図

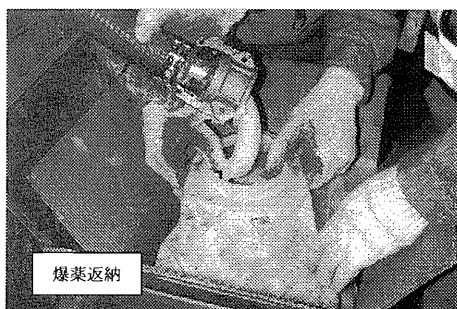
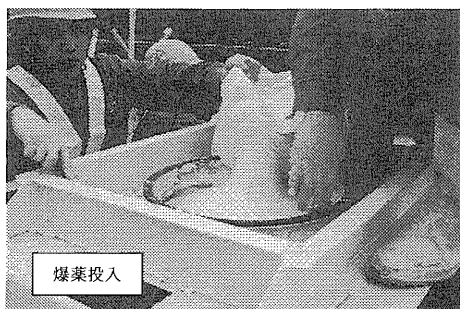
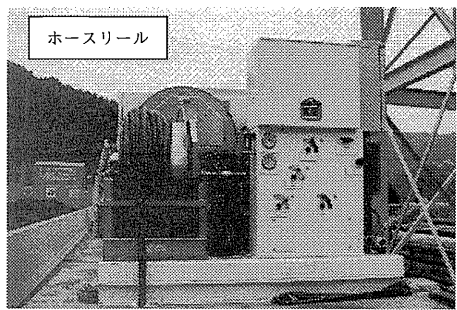
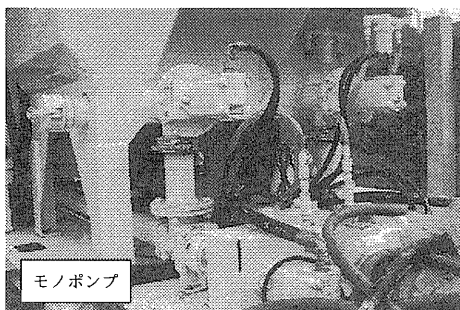
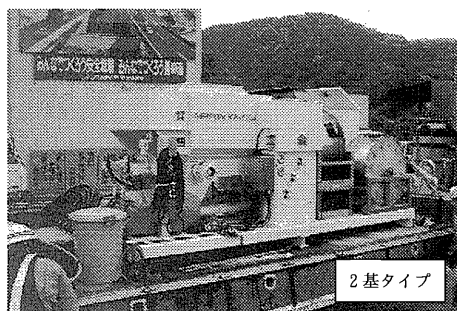
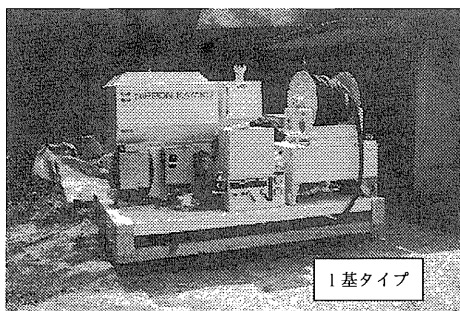


写真-2 装填ポンプ詳細

3) 水注入システム（ウォーターインジェクション）

この装填ポンプの大きな特徴として爆薬の圧送に水を使用する点である。逆の言い方をすれば爆薬単品では装填ホース内の圧力が高くなり過ぎ切羽まで圧送する事ができない。φ25mmのホースだと数mが限度と思われる。機械設置位置から切羽までは、最低でも30m程度のホース延長が必要である。この延長をスムーズに圧送するために考案されたのが水注入システムである。装填ホース内壁と中のエマルジョン爆薬との間に水の膜を作り摩擦を小さくする事で圧送を可能にしている（図-2、写真-3参照）。

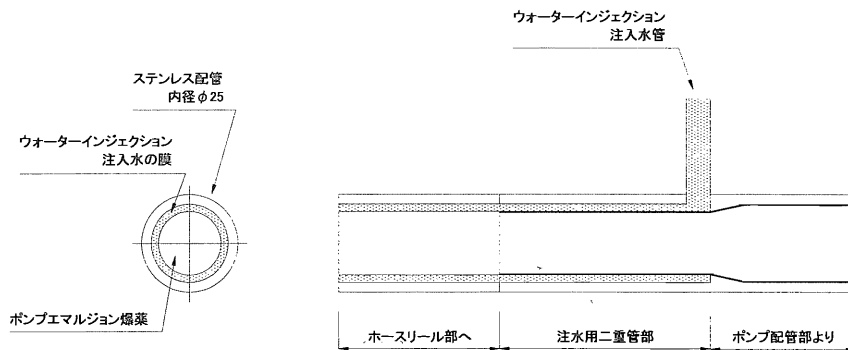


図-2 水注入システム概念図

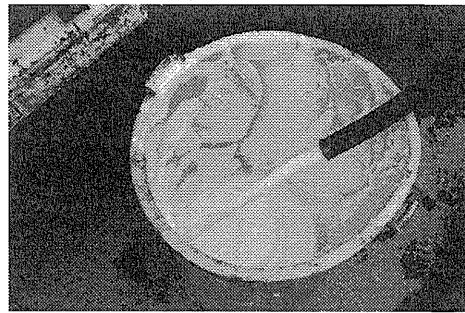


写真-3 吐出状況

3. 実証実験に対する考察

今回、現川トンネルでは約2ヶ月にわたってバルクエマルジョン爆薬での掘削作業を行った。その間に発生した問題について考察する。

1) 装填ポンプについて

装填時に発生した問題を列記する。また、問題に対する考察を表-3にまとめる。

- ① 装填時の圧力が上昇しホースが詰る。
- ② 圧力上昇が急激に発生し破裂板が動作する。
- ③ 装填時にホースの脈動が発生し爆薬の吐出量が不均一となる。

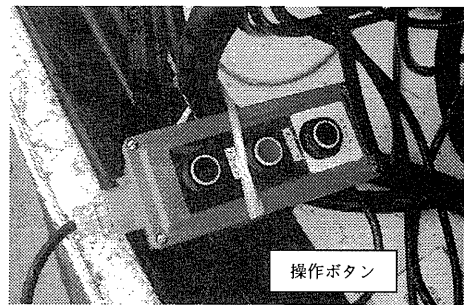
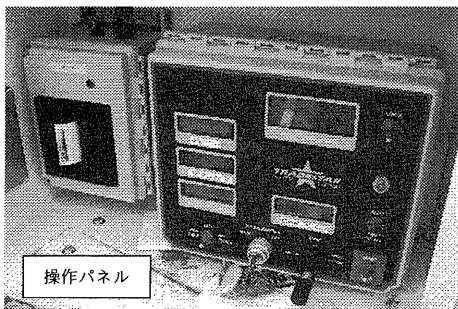
表一 3 原因と考察

項目	考察	対策
現象：圧力上昇 原因：ホースのねじれ	φ25 の耐圧ゴムホースは取り回し難い。切羽ではどうしてもねじれ、折れが発生し圧力上昇の原因となり易い。	今回は挑戦していないが、アンホ装填機に使用されている様なポリエチレンパイプの使用も考えられる。
現象：破裂板動作 原因：新品ホース	破裂板の破損は新品ホースの使用時、長期休工後の作業再開時に多く発生している。ホースと爆薬との慣れが問題と思われる。	通常の作業開始時を行うが、装填開始前に装填圧を安定させるための循環運転を念入りに行う。また水のみ循環を行いホース内の摩擦を減らす。
現象：圧力上昇、脈動 原因： タンクでのエア混入	タンク内の爆薬量が減少したり、返納爆薬の再利用を行う場合、爆薬の中に空気が混ざる場合があるとと思われる。このため装填ホース内に空気が混入し脈動、圧力上昇の一因となっていると思われる。	タンク内の残量を常に監視する。また爆薬の再利用時は良くかき混ぜ気泡を出す。
現象：脈動 原因：配管系統	当初の1基タイプでは、設備のコンパクト化のために爆薬タンクからポンプまでの配管系統が曲がっていた。また構造的に分解清掃が不可となっていた。スムーズな爆薬供給に支障をきたす不安があった。	2基タイプではポンプへ直管で供給できるように改造し、また分解清掃可能な構造とした。
現象：脈動 原因： 水注入と爆薬の粘度 送液圧のバランス	基本的に水注入によって爆薬を滑らせて送っている。ホース内でしっかりした水の膜ができていなければ安定した圧力、量を得る事ができない。これを左右するのが水注入と爆薬の粘度送液圧のバランスと思われる。	実証実験途中で爆薬の組成を多少変化させた時に脈動が多く発生した。その後、送液圧を高くし、水量を増す事で安定化させる事ができた。

装填時の脈動の原因については、はっきりした原因を特定できていない。安定した圧送を行うには、いかにホースと爆薬との摩擦を減らすかが問題と思われる。ホースの材質、爆薬の粘度、水注入量、装薬圧のバランスについてさらに検討を重ねる必要がある。

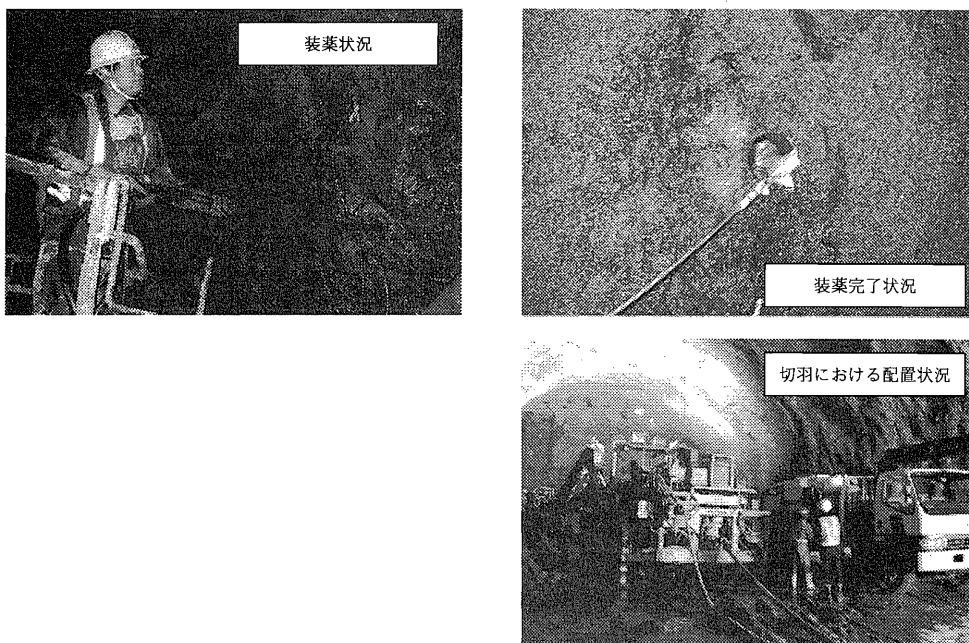
2) その他のシステムに対する問題と対応

①操作者について：エマルジョンポンプはコントロール装置により装填量を制御している。このため1孔あたりの装薬量をg単位で変化させる事ができる。また1発破での積算使用量も確実に把握する事ができる。ただし、このコントロール装置を操作するため専任で作業員1人、さらに、今回使用した設備では装填ボタンを押す作業員・ホース操作者との計3人必要になる。この点は操作ボタンのコンパクト化、無線通信設備の装備などで対応する必要がある。



写真一 4 操作パネルと操作ボタン

②密装薬について：発破効果に大きく影響を与える密装薬について、バルクエマルジョン爆薬は、その性状より優位性があるが、ANFO 爆薬のように圧入する訳ではなく、爆薬を装薬孔内に流し込む感じになる。この為、操作者がホースを装薬孔内から引き抜くタイミングによって装薬状況に差異が生じる場合がある。この対策として、装薬孔に見立てた透明ホースを使用し装薬タイミングの練習を行うと良い。



写真一5 発破作業状況

4. おわりに

現川トンネルでは出水（最大 7t/分）などがあり最後までバルクエマルジョン爆薬を使用することができなかったが、爆薬量調整が容易であることから、制御発破にも有効で、湧水・削孔水の耐水性に優れ、込め物を必要とせず装薬時間・手間の簡素化が可能など次世代発破システムとしての実力の片鱗を見る事ができた。装填ポンプの取り扱いに ANFO 装填ほどの簡易さは現在のところ無いが、今後さらに装薬の安定性を向上させトンネル工事の効率化に寄与させたい。

建設機械と施工法シンポジウム論文集（平成13年度版）

平成 13 年 9 月 7 日 印刷

平成 13 年 9 月 11 日 発行

編集
発行所 社団法人 日本建設機械化協会

東京都港区芝公園 3 - 5 - 8

（機械振興会館内）

T E L (03) 3433-1501

F A X (03) 3432-0289

振替口座 00120-4-183852

印刷所 共立速記印刷㈱

東京都千代田区飯田橋3-11-24