

平成10年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成10年10月29日～30日

東京・機械振興会館

社団法人 日本建設機械化協会

平成10年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成10年10月29日～30日

東京・機械振興会館

社団法人 日本建設機械化協会

---

平成10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】『基礎とその機械』

1. 空気圧送式管中固化処理工法“Pipe Mixing工法”の開発と試験工事への適用  
……五洋建設(株)：池田 省三，\*野元 義一… 2

【2】『自動化・ロボット化・施工管理』

2. オートリフター1060（立坑資材自動搬送装置）  
……(株)奥村組：\*笠井 隆，奥村機械製作所(株)：井之下 巖… 8
3. 地中連続壁掘削精度管理システム……西松建設(株)：\*田口 毅，  
熊谷 健洋，小栗 利夫… 14
4. RC造建物の自動化施工における並列搬送システムの開発  
……(株)大林組：\*堂山 敦弘，栗田 庸平，池田 雄一… 20
5. 切土補強土工法用オートボルトセッター……清水建設(株)：\*宮田 和，  
川崎 廣貴，小原 由幸… 26
6. DGPSを用いた盛土の締固め管理システムの開発……(株)大林組：古屋 弘，  
栢本 繁，\*富岡 彰… 32
7. 免震レトロフィット掘削工事への直動式遠隔操作の適用  
……清水建設(株)：\*佐藤 成美，西尾レントオール(株)：市側 義治… 36
8. 建設機械の自律化に関する研究（自律作業の研究）…大成建設(株)：宮崎 裕道，  
\*近藤 高弘… 40

9. 区画線自動施工機械の開発

……建設省近畿技術事務所：\*加藤 義紀，児玉 孝司，  
三菱重工業(株)：山内 崇賢… 46

10. GPS・ダム・テレコンシステム～雲仙普賢岳砂防ダム無人化施工～

……大成建設(株)：神崎 正，大浦 幹男，\*西澤 修… 52

【3】『建築とその機械』

11. 梁鉄筋組立てシステム …清水建設(株)：\*野路 利哉，坂口 昇，桑原 秀敏… 58

12. 最上階クライミング型高機能タワークレーンの開発

……(株)竹中工務店：\*宇内 康弘，奥田 健史… 62

13. 火力発電所建屋&ボイラー一括解体工法……………大成建設(株)：\*草加 俊資，

池田 宏俊，養輪 達男… 66

14. ホイールクレーンの作業準備における安全向上技術の開発

……コマツ：長谷川 健… 72

15. 積層工事における外周養生システムの開発と工事への適用

……大成建設(株)：森 正人，\*西村 正宏，江里口 靖久… 76

16. 建築工事のための資材搬送装置（リーチバランサー）の開発

……(株)フジタ：\*磯村 渉，(株)日本技術センター：竹迫 涼一… 82

17. 既存競技場ドーム化工事における新しい機械化施工法

……鹿島建設(株)：水谷 亮，\*川音 一郎，佐々木 直也… 86

【4】『コンクリートとその機械』

18. 高性能吹付けコンクリートシステムの開発

……(株)青木建設：\*駒田 憲司，牛島 栄，太平洋機工(株)：石橋 良正… 90

19. ダム建設における給水設備

……佐藤工業(株)：\*槌谷 徹，中村 克己，永松 敏弘… 96



20. スリップフォーム工法による連続鉄筋コンクリート舗装～東名高速道路  
新日本坂トンネルコンクリート舗装工事～  
……日本舗道(株)：梶原 覚, \*大西 秀樹, ニッポメックス(株)：工藤 真…100
21. 環境への影響を配慮したダム用コンクリート運搬設備の開発  
……清水建設(株)：\*福元 洋一, 垂水 直樹…106
22. 鹿島式ケーブルクレーン自動運転システム  
……鹿島建設(株)：塚本 克美, \*岸 光輝…112

### 【5】 「トンネルとその機械」

23. 自在接合型親子シールド機の開発……………大成建設(株)：金子 研一,  
石川島播磨重工業(株)：山田 茂弘, \*伊藤 広幸…118
24. TWSによる泥岩トンネルの急速施工 ……………日本道路公団：芹川 博,  
山王トンネルJV工事事務所：山本 宏司, (株)大林組：\*藤井 剛…124
25. トンネル用ハイブリッド式ダンプトラックの開発  
……(株)大林組：山本 幸信, 井上 幸芳, トモエ電機工業(株)：\*田崎 愛真郎…130
26. 偏心多軸 (DPLEX) シールドによる到達部繊維補強仮壁の切削  
……大豊建設(株)：\*小林 隆治, 富沢 勉, 平林 勉…136
27. ラッピングシールド工法の開発 (完全止水型シールド工法)  
……五洋建設(株)：原 修一, \*松藤 広行…142
28. 中継方式による坑内無線通信システム  
……佐藤工業(株)：\*村上 裕二, 高橋 浩, 長谷川 健一…148
29. トンネル工事用高速電気機関車……………トモエ電機工業(株)：守田 信稔…152
30. 大型自由断面掘削機の掘削技術  
……佐藤工業(株)：\*安藤 章一, 今村 仁悟, (株)タイクウ：高木 茂雄…158
31. 電気集塵機による坑内集塵システム……………ハザマ：\*芳賀 佳之,  
青山機工(株)：石賀 裕, (株)エルデック：鈴木 幸治…162
32. 同時注入冷却システム……………佐藤工業(株)：\*出村 肇, 谷口 和之,  
(株)立花マテリアル：石井 三郎…168

33. プレイニングマシンの実施工への適用  
 ……(株)フジタ：三村 洋一，\*浅沼 廉樹…172
34. ジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターの開発  
 ……清水建設(株)：\*小野 啓二，宮沢 和夫，今津 雅紀…178
35. 矩形・揺動シールドの開発  
 ……鹿島建設(株)：尾上 順吉，\*池添 勝次，福田 昌弘…182

#### 【6】 【舗装とその機械】

36. フォームドアスファルト混合物の製造プラント（可搬型常温プラント）  
 ……鹿島道路(株)：海老沢 秀治，\*木下 洋一…188
37. アスファルトプラント“RAVコンピネーションシステム”の開発  
 ……日 工(株)：蓬莱 秀人，\*藤原 和也，川村 克裕…192

#### 【7】 【維持とその機械】

38. 大型遠隔操縦除草機械の開発  
 ……建設省北陸技術事務所：上杉 修二，\*小泉 倫彦，大崎 智，  
 (株)クボタ：渡辺 誠…198

#### 【8】 【その他の機械】

39. LMP工法～浚渫土固化圧送工法～…東洋建設(株)：鏡田 昌孝，\*佐々木 康裕…202
40. ORタイヤのモデル化に関する一考察  
 ……愛媛大学：室 達朗，明石工業高等専門学校：\*江口 忠臣…208
41. 移動式クレーン転倒事故低減システムの開発  
 ……建設省関東技術事務所：小笠原 保，\*廣末 理恵，  
 (株)小松製作所：大草 一昭…212

【9】 『土工とその機械』

42. SSデジタル無線遠隔操作システムの開発  
……(株)大本組：安藤 一男，河本 利夫，\*神田 浩志，藤澤 秀行…218
43. 吸水型振動棒締固め工法（SIMAR工法）の開発と実施工事例  
……前田建設工業(株)：\*石黒 健，清水 英樹，北川 吉信…224
44. 建築地下工事などで安全かつ効率的に作業する超低車高油圧ショベル  
の開発と工法の改善……………コマツ：西村 悟…230
45. Numerical Analysis to Predict Turning Characteristics of a Rigid Suspension  
Tracked Vehicle Running on a Soft Terrain  
……EHIME UNIVERSITY：TATSURO MURO，\*TRAN DANG THAI…236
46. 地中環境に優しい車輪式車両の開発 ……愛媛大学：\*重松 尚久，室 達朗…242
47. 浅層地盤改良用固化材供給設備“PJプラント”の開発  
……日本舗道(株)：山口 栄一，稲葉 七生，\*相田 尚…246
48. 垂直コンベア掘削揚上システムの開発……………(株)間 組：町 俊輔…250

# 1. 空気圧送式管中固化処理工法“Pipe Mixing工法”の開発と試験工事への適用

五洋建設㈱：池田 省三，\*野元 義一

## 1. はじめに

近年、軟弱な浚渫土を固化処理し、埋立材料や護岸、岸壁の裏込材料として活用したいという要請が急速に高まりつつある。

従来埋立地に転用された軟弱土は、圧密促進工法による改良を施すことで力学的安定を図ってきたが、圧密改良に要する工期、コストが大きくなり、採算性を圧迫することもしばしばであった。

一方、固化処理改良の利点は圧密促進を必要とせず、埋立造成の工期を大幅に短縮できることであるが、改良処理コストが重むことが課題であった。これは固化処理プラント船の設備が高価であるため、簡易で低廉な固化処理方法の実現が望まれていた。

そこで、固化処理プラント船に替わる大量急速施工が可能な方法として、空気圧送船の圧送圧力を利用した管中固化処理技術が最近注目され始めている。

空気圧送式の管中固化処理技術は、従来の空気圧送船の土砂圧送ラインの中途に固化材添加装置を設置するだけで施工できるため、経済的で大規模施工への適用性も高い。

しかし、管中固化処理技術は、空気圧送時に生じる土砂プラグの大きさや速度が一様でないため、固化材の混練度や定量添加方法が課題となっている。

本稿では、これらの課題を解決した Pipe-Mixing 工法という新しい管中固化処理技術の概要と、現場実証実験を通じて得られた本工法の混練性能など固化処理施工上の有効性を述べる。

## 2. Pipe Mixing 工法の概要

図 2-1 に Pipe Mixing 工法の施工概要図を示す。

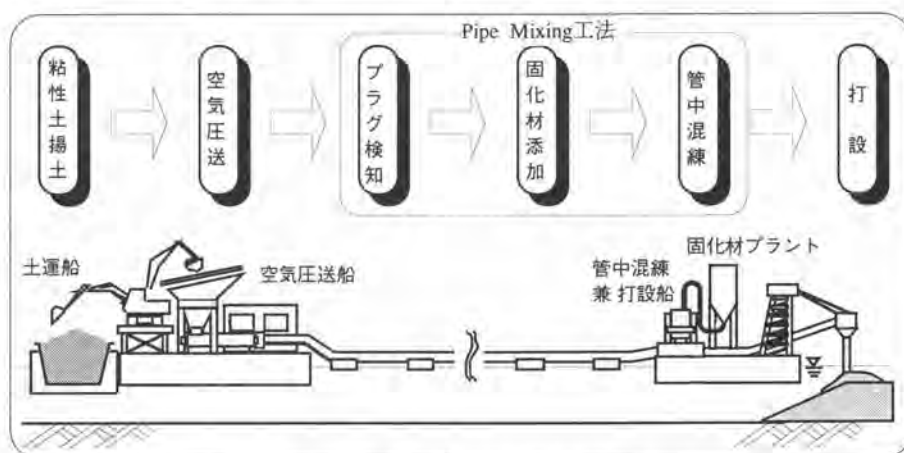


図 2-1 バイブミキシング工法概要

Pipe-Mixing 工法は、揚土・圧送機能を有する空気圧送設備（船）と、固化材添加・混練機能や打設機能を有する固化処理設備（船）、圧送ラインなどで構成される。

これまで管中固化処理工法は、固化材を連続的に噴射していたが、この方法では、粘土プラグは一定ではなく断続的に送られてくるため、固化材は各プラグごとに異なった量が添加されることになる。また、固化材の添加時期を空気圧送前にすれば、圧送管内への固化材の付着の問題により、長い時間洗浄が必要となり、また圧送抵抗が増大するという問題点があった。

そこで Pipe Mixing 工法は、空気圧送船により揚土・空気圧送されてきた圧送管内の土砂に対し、圧送土砂の速度および量を検知し、それに見合った固化材を定量的に添加する。さらに排砂管の末端近くで圧送管内に固化材を添加することにより、圧送の元圧の上昇を抑えることを可能にした。固化材を添加された圧送管内の土砂は、「パイプシャワー式固化材添加システム」の補助効果により短距離で圧送エネルギーにより圧送管内で混練される。

## 2. 1 管中固化の原理

空気圧送状況と管中混練状況をあらわす模式図を図2-2に示す。

空気圧送中の管内では、粘性土はプラグ流（乱流状態）となって圧送されているので、粘土プラグは形成と崩壊を繰り返している。固化材スラリーを添加するとこの乱流効果によって、粘性土と固化材を十分に混練することができる。

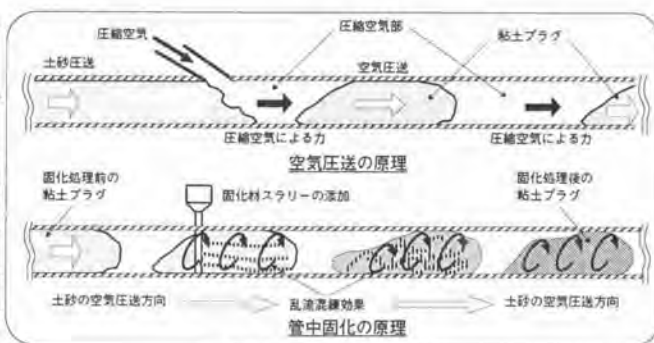


図2-2 管中混練の原理

## 2. 2 Pipe Mixing 工法の特長

管中混練方式「Pipe Mixing 工法」の主な特長を以下に示す。

### (1) 固化材スラリー定量添加システム

本システムは、空気圧送中の粘土プラグの来るタイミングと量を把握し、プラグだけに定量の固化材スラリーを添加するものである。連続添加システムは、空気層にも固化材スラリーを添加していたため、プラグ毎の固化材濃度にバラツキがあった。新しい断続添加システムを使用すると、プラグだけに固化材を添加するので、固化処理土の強度のバラツキを小さくすることができる。連続添加と断続添加の違いをあらわす模式図を図2-3に示す。

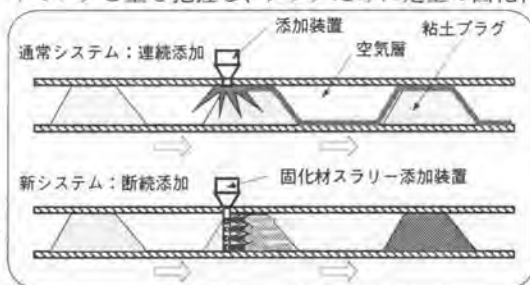


図2-3 添加システムの比較

この断続添加システムを実現させるために新たにプラグ検知システムを開発した。以下にその内容を述べる。

### ●プラグ検知の原理

プラグ検知システムの概要を図2-4に、プラグ検知・制御のフローを図2-5に示す。図2-4に示すように、システムは、振動計、圧力計、制御用コンピュータ、固化材添加用ポンプなどにより構成されている。

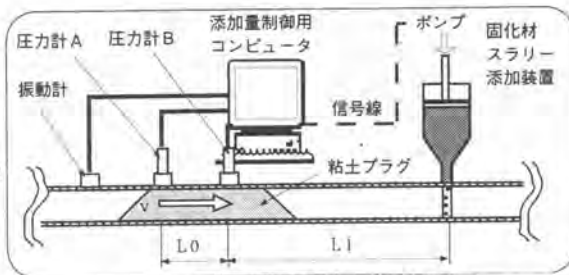


図2-4 プラグ検知システム概要

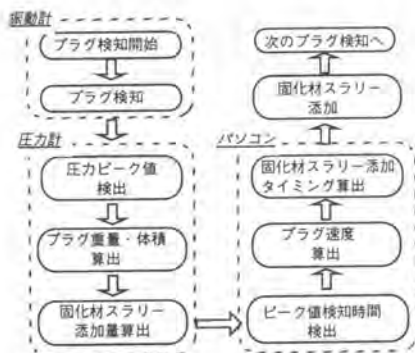


図2-5 プラグ検知フロー

プラグ検知・添加フローは、まずプラグ検知を開始すると振動計により、管内を流れるプラグを検知する。次に圧力計により圧力のピーク値を検出する。検出したピーク値よりプラグの重量と体積を算出する。(図2-6に模型実験で求めた「プラグ重量-管内圧力」の関係の一例を示すが、このグラフから、「プラグ重量-管内圧力」には比例関係があることを模型実験により見いだした。この関係に基づいてプラグの重量および体積を算出する。)算出したプラグの体積に合わせて、固化材スラリーの添加量を算出する。ついで添加量制御用パソコンによって、圧力ピーク値の時間を検出し、圧力計A,Bの検出時間の差よりプラグの速度を算出する。プラグのスピードと固化材スラリー添加装置までの距離L1より、固化材スラリーの添加タイミングを算出し、プラグが添加装置の場所を通過するとき、プラグの量に見合った固化材スラリーをポンプによりプラグ内へ添加することができる。

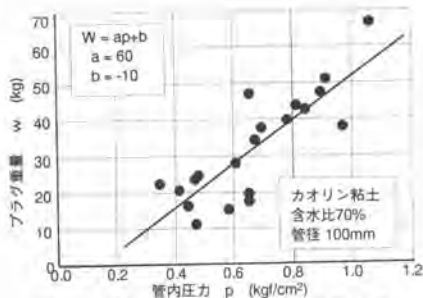


図2-6 管内圧力とプラグ重量の関係

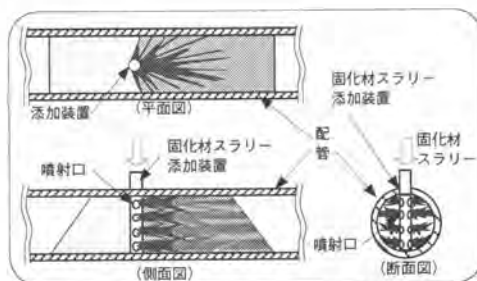


図2-7 バイブシャワー式固化材添加システム

### (2) バイブシャワー式固化材添加システム

バイブシャワー式固化材添加システムは、固化材スラリーの噴出口を備えたパイプを圧送管中に複数設置し、固化材スラリーを添加ものである。粘土プラグ内部へ直接添加するため、混練効果が高い。図2-7にバイブシャワーの概要を示す。

P1	P2	プラグ						
入力	圧力	通過時間	速度	体積	長さ	点灯開始	消灯時間	
20	618.76	1.15	618.93	14.29	0.383	5.423	612.30	612.67
1.83	616.92	1.13	618.84	16.67	0.377	5.929	620.15	620.44
1.66	625.73	1.04	626.26	6.05	0.347	4.904	629.36	630.16
1.7	622.81	1.07	633.02	9.52	0.357	5.046	635.12	635.64
1.7	641.77	1.04	641.92	13.53	0.347	4.904	643.41	643.77
1.69	649.53	1.28	646.84	16.67	0.400	5.659	647.83	648.16

写真3-1 制御用コンピュータ表示画面



写真3-2 プラグの検知状況（可視化実験）

### 3. 現場実験

平成9年度、当社技術研究所にて配管径 $\phi 100 \times 100\text{m}$ 、圧送量 $20\text{m}^3/\text{h}$ の模型実験を行い、粘土プラグの流速や、重量と圧力の関係、プラグのバラツキ度合などの基礎データを収集し、Pipe Mixing 工法の考察とともにその有効性を確認した。

平成10年度に九州地区の現場において、本工法の実大規模の実用性実証のために現場実験を行った。

#### 3. 1 現場概要

実験は、当社保有の空気圧送船「五盛号」( $300\text{m}^3/\text{h} = 150\text{m}^3/\text{h} \times 2$  系統)の1系統の管路( $\phi 300 \times 180\text{m}$ )を利用し、中間に Pipe Mixing 工法設備を設置して行った。図3-1 に実験現場の平面図を示す。

本実験は、空気圧送船より圧送されてきた粘土をプラグ検知装置により検知し、固化材添加装置により固化材を添加、処理土サンプリング装置により固化処理された粘土のサンプリングを行った。サンプリングした処理土の強度のバラツキは、コーン貫入試験(1H,3H)、一軸圧縮試験(7D,28D)により評価した。

表3-1 実験使用機器一覧

実験主要機器名称	機器仕様
空気圧送船「五盛号」	$300\text{m}^3/\text{h}$ (排砂管 $\phi 300$ )
プラグ検知装置	
固化材スラリープラント	$24\text{m}^3/\text{h}$
固化材添加プランジャポンプ	$400\text{L}/\text{min} \times 4$ 台
パイプシャワー式固化材添加装置	$\phi 50 \times 4$ セット
減勢サイクロン	$\phi 1200 \times 2$ 連



写真 3-1 空気圧送船「五盛号」



写真 3-2 固化材プラント

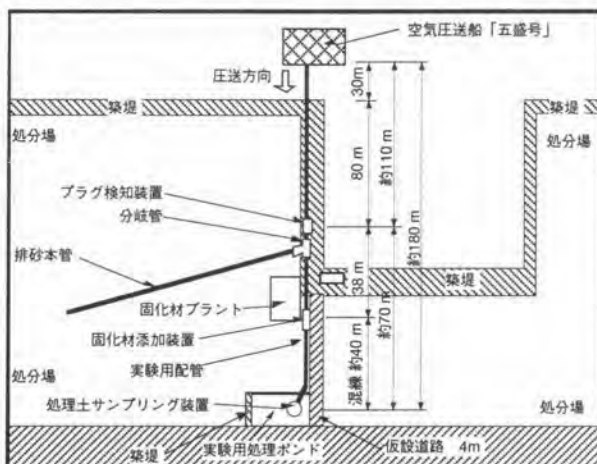


図3-1 実験現場平面配置



写真 3-3 パイプシャワーシステム  
ノズルパイプ



写真 3-4 パイプシャワー設置状況



### 3. 2 現場実験結果

#### (1) プラグ検知および定量添加システム試験結果

図3-2～4に「振動の検知→圧力の検知→プラグ検知システムからの命令値」の結果のグラフからなる、実験時におけるプラグ検知結果および定量添加システムの作動結果のグラフを示す。

実施工規模におけるプラグの検知度は、かなりの高精度でプラグ

が検知され、そのプラグに合わせて固化材が添加されていることがわかる。このことから、本プラグ検知システムが実施工規模においても十分に作動することが確認できた。

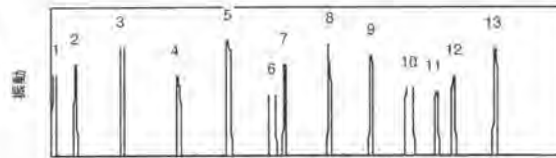


図3-2 振動計プラグ検知結果

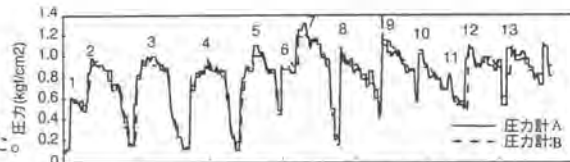


図3-3 圧力計プラグ検知結果

#### (2) 混練処理土の土質試験の結果

本現場実験に使用した供試粘土の土質試験結果を表3-2に、現場実験時の土質条件と固化材添加量を表3-3に示す。

表3-2 供試粘土土質試験結果

特性	結果	
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.68~2.74	
圧送時の粘土含水比 w(%)	80~105	
粒度組成	砂分 (%)	13~35
	シルト分 (%)	37~57
	粘土分 (%)	28~30
コンシステンシー	液性限界 wL (%)	40~49
	塑性限界 wP (%)	25~26
	塑性指数 IP	15~23
強熱減量 Li (%)	7	

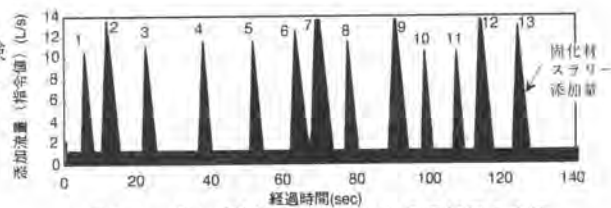


図3-4 プラグ検知システムからの添加量命令値

表3-3 現場実験実験条件

	圧送時の粘土含水比 (%)	固化材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )
case 1	107	81
case 2	88	62
case 3	91	75

現場実験においては、処理土の強度発現の評価として、「経過時間による強度の変化」および「経過時間における変動係数の変化」を計測した。計測結果を図3-5、3-6に示す。

図3-5より、各土質条件・添加条件で固化処理した粘性土は、各ケースとも同様の強度変化を示している。このことから、本工法は混練装置として十分に効果を発揮することが確認できた。また、図3-6より、各ケースとも強度のバラツキ（変動係数）が20%以下程度に収まっていることから、（室内試験における変動係数は、15.5%）本工法にて混練した処理土は、非常に高品質であることが確認できた。

また、各実験条件における強度のバラツキの計測も合わせて行った。図3-7に実験ケース2の各材令における強度分布のグラフ、図3-8に室内実験時の強度分布のグラフを示す。この結果より、本工法に



よって混練処理を行った粘土は機械混練で行う、室内試験とほぼ同等のバラツキ程度であった。

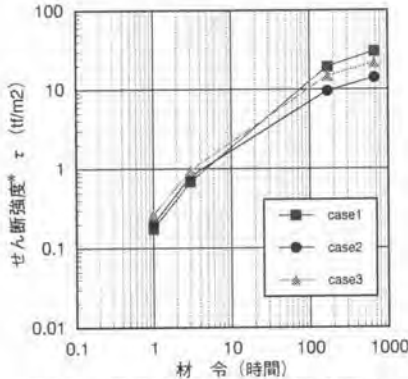


図 3-5 経過時間による強度の変化

\*：せん断強度 (τ) = 軸圧縮強さ (qu) / 2

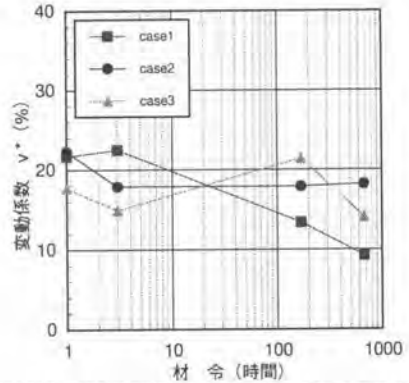


図 3-6 経過時間による変動係数\*の変化

\*：変動係数=標準偏差/平均強度

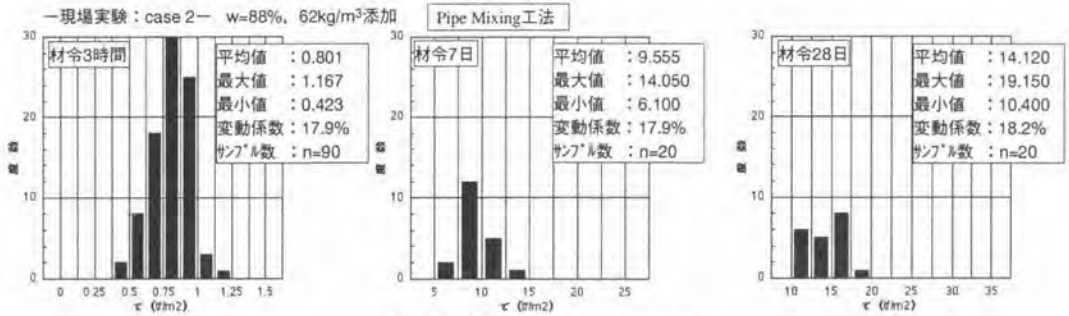


図 3-7 各材令における強度分布

以上の計測結果より、Pipe Mixing 工法により固化処理を施した粘土は、施工条件を十分に満たす強度発現と品質を確保することが可能であることが確認できた。

#### 4. まとめ

当社の開発した Pipe Mixing 工法が、机上検討・模型実験・現場実験を経て、実施工においても十分な施工性と混練効果を確保できることが確認できた。

今後も大規模施工に対応可能な工法として、技術を確立するために研究・開発を進めていく所存であります。

最後に本工法の模型実験・現場実験に御尽力頂いた関係各位に感謝の意を表します。

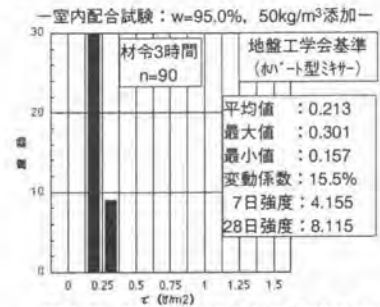


図 3-8 室内試験における強度分布



写真 3-5 固化処理土 (処理日の翌日)

## 2. オートリフター1060（立坑資材自動搬送装置）

（株）奥村組：\*笠井 隆  
奥村機械製作所（株）：井之下 巖

### 1. はじめに

近年都市土木におけるシールド工事は施工条件として、ますます大深度、長距離化の傾向にあり、それにもとない立坑も大深度となる。今回の設備を適用した工事は、横浜市下水道局発注の、鶴見川下流域における雨水による低地域の浸水解消を目的とした雨水幹線築造工事である。

大深度（立坑深さ65m）、大断面（シールド外径9.45m）、長距離（計画延長約4km）シールド工事で使用する主要資機材（主としてセグメント）のトンネル内への搬入設備として、従来は天井クレーンや橋型クレーンが使用されているが、これにかわる設備として、施工の安全化、省力化、能率化を目的として、オートリフター1060（立坑資材自動搬送装置）を設置した。

この装置を使用して現在シールド工事を施工中であるが、トラブルもなく順調に稼動しており、今後の同様な工事での利用に大きな効果が期待される。

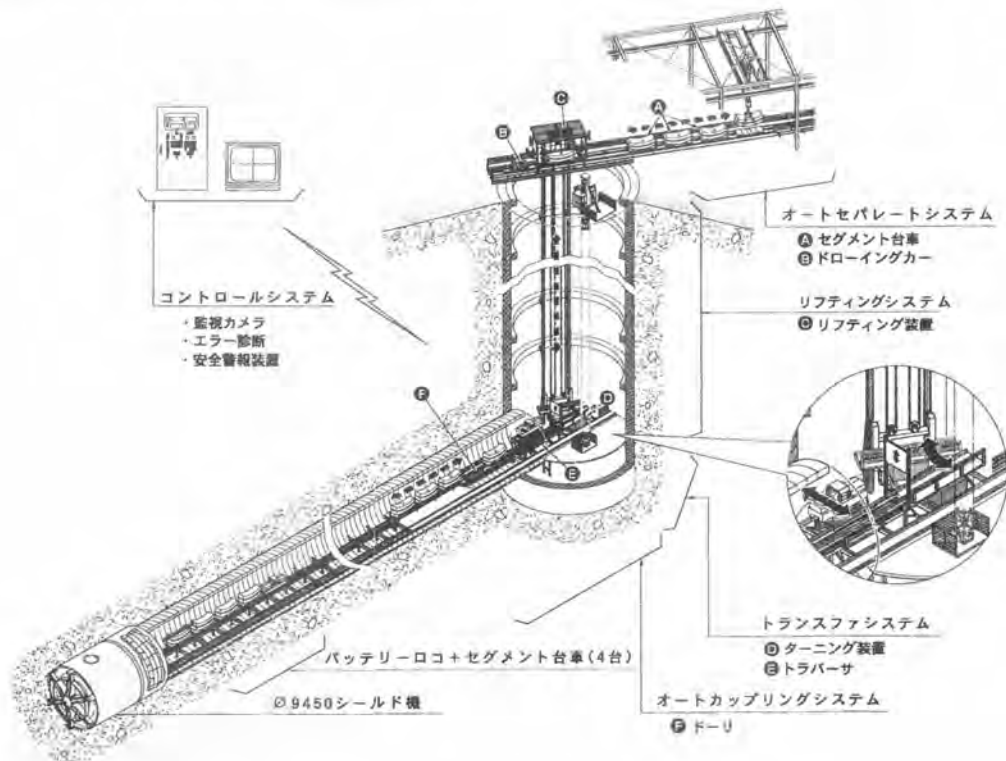


図1. システム説明図

## 2. システムの概要

オートリフター1060は、セグメント台車4両に積載した大口径RCセグメント（外径 $\phi$ 9250mm厚さ375mm幅1000mm）1リング分8ピースを、4両のセグメント台車に、順次1台ずつ積み込み、地上走行路より、60m下の坑内まで、自動搬送・定位置停止・係留・自動連結を行うとともに、バッテリーロコとも自動連結を行い、トンネル切羽への走行待機状態とするものです。

また、空のセグメント台車の地上への搬出は逆の手順で、トンネル切羽より戻ってきて立坑内の定位置に停車・降車後、自動スタート釦を押すことにより、バッテリーロコ連結器解除からトラバサ待避・セグメント台車連結器解除・地上走行路（積み込み部）への自動搬出・定位置停止・係留を完全自動で行うシステムです。

今回設置した装置の特徴は、大深度（60m）・大重量（10t f）・高速搬送（積載時30m/min、空車時60m/min）・地上部と坑内の平面角度違い（42度）・セグメント台車とバッテリーロコの自動連結装置、および連動自動制御システムが主なものです。

## 3. システムの構成・機能

### (1) 地上設備

#### 1) 走行路設備（セグメント台車係留・積み込み作業場）

セグメント台車4両分の係留・位置決め装置を有する両側歩道付のセグメント積み込み作業場（全長約25m）である。

坑内から自動搬出されたセグメント台車を牽引台車で搬送して、定位置に位置決めし、油圧式係留ピンを自動的に挿入・固定（係留）した後に、天井クレーンによるセグメント積み込み作業を行う。

#### 2) セグメント台車

2ピースの舟形状セグメントと枕木用H型鋼（合計約8t）を積載する36インチゲージ車輪付台車と、新方式の連結・牽引装置を1対備えている。（4両/1編成）

#### 3) 牽引台車

地上部セグメント台車の自動搬送用機関車である。インバータ可変速制御駆動装置と各種センサー・制御盤・給電装置・横型自動連結牽引装置を備え、キャリッジおよび走行路上のセグメント台車の牽引・係留・連絡・等の作業を、正確な位置決め精度で自動搬送を行う。



写真-1. 地上走行路設備



写真-2. セグメント台車と牽引台車

## (2) 立坑リフト設備

建設用リフトに該当し、地上設備と立坑内設備間（60m）を高速度（30m/min/17.5tf時・60m/min/8.5tf時）及び自動制御システムにて自動昇降しており、カウンターウエイトバランス方式によるインバータモータ可変速ウインチ・ウインチ架構・昇降ガイドレール・キャリッジ（搬器）等により構成されている。



仕 様		
積 載 重 量	10000kgf	
搬 器 重 量	7310kgf	
カウンターウエイト重量	14210kgf	
昇 降 器	積 載 時	6~30m/min (10Hz~50Hz)
	空 時	6~60m/min (10Hz~100Hz)
速 度	積 載 時	4~20m/min (10Hz~50Hz)
	空 時	4~40m/min (10Hz~100Hz)
揚 程	搬 器	61.50m
	カウンターウエイト	41.0m
コ ン ト ロ ー ル	搬 器	φ22.4×4本掛け
	カウンターウエイト	φ22.4×6本掛け

写真-3.リフティング装置

表-1.リフティング装置仕様

### 1) 昇降ウインチ

55KWベクトルインバータ制御駆動方式で、キャリッジ（搬器）の昇降上・下限、着床時位置決めにおける微速運転や、空台車昇降時の2倍速運転を可能にしている。また、モーター負荷を軽減するために、カウンターウエイトバランス方式による1ドラム軸2ウエイワイヤリングとしている。

### 2) ウインチ架構・デッキ・シャッター設備

立坑上部の載荷受け架・ウインチ架構、点検作業デッキ、シャッター設備および防護柵で構成され、地上走行路と昇降ガイドレールの直角取り合い、接合部における各台車の移動を確実にするためのキャリッジ着床フックを備えている。

### 3) キャリッジ（搬器）・受け枠

リフトの昇降デッキ部であるキャリッジ本体部と受け枠で構成された上下着脱構造である。

本体部は4本掛けワイヤー・シーブブロックで吊り、昇降ガイドレールを上下で両側のガイドローラで保持・転動して昇降する。受け枠は走行レール部および台車ロック装置を備え、本体部とは着床フック装置により連結されている。

## (3) 坑内設備

### 1) 旋回設備

地上部と坑内線路の角度変換（42度）のため、キャリッジ上の受け枠およびセグメント台車を旋回台枠で受け、乗せて旋回させ、坑内走行路と連結接続させる。

### 2) トラバース装置

坑内バッテリーロコ待避用設備で、連結器自動脱着装置と待避時のセグメント台車の搬入走行路を備えている。



写真-4. 旋回設備・トラバーサ装置

積載重量	8 tバッテリーロコ	
ストローク時間	約20 sec	
ストローク	1600mm	
油圧ユニット	流量	63.0 l/min
	使用圧力	5.0 Pa
	電動機	7.5 kw×4 P
	電源	AC440V・φ3.50 Hz

表-2. トラバーサ装置仕様

### 3). ドーリ台車

坑内のセグメント台車自動搬送用機関車であり、地上部牽引台車と同様な機能を有するが、違いは走行路下部の専用レール（セグメント台車下通過スペース）を走行して自動連結・連結解除・牽引等の作業を正確な位置決め精度で自動搬送を行う。

### 4). 坑内走行路設備

セグメント台車4両分の走行路（約25m）に係留・位置決め装置を有し、下部にドーリ台車走行路を備えている。



写真-5. ドーリ台車

速度	20 m/min ~ 2 m/min	
牽引力	400 kgf	
牽引装置	速度	90 mm/sec
	ストローク	300 mm
	モータ	0.4 kw×4 P×400 V
ウェイト	約2200 kgf	
レール	15 kgf/mレール	
レールセンター	600 mm	
給電方式	ケーブルレールによるキャタパ給電	
電源	AC400V・φ3.5 Hz	

表-3. ドーリ台車仕様

## (4) 操作・制御システム機器

### 1) 地上操作制御盤

地上設備および立坑昇降設備関係の動作指令確認、各センサー情報、安全確認インターロック等をシーケンサーにて制御しており、関連する牽引台車制御盤、坑内設備関係制御盤とも同様なシーケンサーをリモートターミナルを介して連結制御を行っている。

中央管理室のシステムモニター（パソコン）ともケーブルリンクにて接続しており、動作状態表示、異常表示は常時モニターにて見ることが出来る。

盤面には各操作スイッチ・ボタン、動作状態表示および異常表示を配置している。

### 2) 昇降ベクトルインバータ盤

昇降ウインチ（ベクトルインバータモータ）の動力・インバータ制御盤で関連する抵抗器、ブレーキと連結制御を行う。

### 3) 坑内操作制御盤

坑内設備（旋回装置、トラバーサ、走行路関係、ドーリ台車）および地上操作制御盤とシーケンサリンクして地上操作制御盤と同様な機能・制御を行う。

### 4) システムモニター

地上操作制御盤とリンクして中央管理室パソコンおよびグラフィックパネルに動作状態表示、各種情報を表示する。システム動作異常時は、モデムを介してリモートメンテナンスに切り替えて電話回線で遠方にてプログラム確認、システムチェック、変更等を行うことが出来る。

### 5) 各種センサー機器

オートリフター1060には各種リモートスイッチ、近接センサー、光電センサー、エンコーダ等約110セットを組み込み、動作確認、位置制御信号を制御盤と交信しながら各装置・設備の自動制御作動、安全確認および異常検出を行っている。



写真-6.坑内制御盤及び操作盤



写真-7.システムモニター

## 4. 施工結果

### (1) 運転状況

シールド初期掘進完了後の平成9年8月より据付工事を行い、約2ヶ月半で設置を完了し、本掘進開始時より使用した。

又、サイクルタイムについては、空のセグメント台車が切羽より立坑へ戻って停止後、自動スタートを行い、空台車の搬出、地上でのセグメントの積み込み、立坑内への搬入、バッテリーコトの連結、切羽への走行可能状態までを約52分で完了させることが出来た。これは初期掘進時、天井クレーンによるセグメントの立坑内への吊り卸しに比べ約8分の短縮となった。

「オートリフター1060」はセグメント・資材の搬入・搬送の自動化を本格的に大規模な土木工事に適用したものであるが、順調に稼動するまでは種々の問題点が発生し、その都度改善を行った。これまでの主な問題点と対策は次のとおりである。

### (2) 問題点と対策

トラブルの最大原因は、センサー類の精度と、台車や各装置の製作精度、据付精度のギャップに起因するものが多かった。

以下にその主なものを列記する。

## 1) 問題点

- (1) 全自動制御ゆえに各種の安全インターロック回路になっており、センサー検知トラブル時は、その発見・処置に高度の技術、教育が必要であった。
- (2) セグメント台車を自動連結・解除するために、数ミリ単位の精密な相互位置検知・動作が必要であり、多数の台車の検知用ドク取付け寸法の均一化と、レール・台車間の許容差の拡大等の矛盾する問題対策に時間を要した。
- (3) センサー、ドク等がしばしば、牽引・搬送中に変形・損傷した。

## 2) 対策

- (1) 設備の機能・運用・保守・保全に対する教育と定期的なメンテナンス（2回/月）及び緊急時メンテナンス体制の確立
- (2) パソコンシステムモニターによる運行表示、記録とトラブルシューティングシステムによるトラブル究明・対処法指示
- (3) 電話回線によるシステムのリモートメンテナンスで遠隔地からのシステムチェック・対処
- (4) センサー機能変更や反射シール等突起物を無くする対策等
- (5) センサー等の予備品の常備と管理

## 5. おわりに

オートリフター1060は運転開始して約1年近くではあるが順調に稼動している。

大深度立坑・大断面・長距離シールド工事での資機材搬入設備として、施工の安全化、省力化、能率化をめざして設置したが、その目的は十分達成出来た。

当設備は今まで建設現場ではあまり見かけることのなかった「建設ロボット」として見学者の興味を引いている。

今後もシールド工事は長期にわたってつづくが、適切なメンテナンスで対応するとともに、積極的に他の工事へも適用していきたい。



### 3. 地中連続壁掘削精度管理システム

西松建設(株)：\*田口 毅，熊谷 健洋，小栗 利夫

#### 1. はじめに

平成5年に大深度・厚壁地中連続壁実験工事を実施し、高精度かつ効率的な掘削管理を目的とし150m級までの大深度地中連続壁工事に対応できる、西松式掘削精度管理システムを開発した。平成6年に実施工に採用し、以降、現在に至るまで8件の工事に適用した。掘削精度管理システムの中核をなす精度管理架台は、度重なる改良を加え、現在、4号機にまで発展している。

本論文では、掘削精度管理システムについて、その開発経過、概要を報告する。

#### 2. 開発経過

高精度かつ効率的な掘削管理を目指した掘削機位置検知システムの開発は、深度150mにおいて掘削機の変位1cm(傾斜角換算で1.4秒の微小角度)を確実に検知できる性能の実現を目標とした。この目標精度をクリアし信頼性の高い計測を達成するため、精度管理架台は高剛性・高精度な構造を、傾斜計方式の計測機構部にはジンバルユニット・計測ロッドなど独自のメカニズムを採用している。

平成5年に深度140mの地中連続壁工事に採用した精度管理架台1号機(TYPE-I)を開発し、以降、平成6年に2号機(TYPE-II)・3号機(TYPE-III)、平成8年に4号機(TYPE-IV)を開発し、実施工に適用している。写真-1に、タイプ別精度管理架台を示す。



TYPE-I



TYPE-II



TYPE-III



TYPE-IV

写真-1 精度管理架台



### 3. 掘削精度管理システム

本システムは、掘削中の掘削機位置・姿勢を検知し、その情報をリアルタイムでオペレータにフィードバックして掘削機の姿勢制御操作を支援するもので、データの保存、記録も可能である。図-1にシステムの概要を示す。

基本的な位置検知原理は、掘削溝上の精度管理架台と掘削機頭部のシーブ（滑車）との間にワイヤを一定張力で張り、ワイヤの長さ・傾斜角および掘削機の傾斜角を測定し、掘削機の水平変位量を算出する方式である。

以下に、本システムを構成する精度管理架台、ベースマシンシステム、管理室システムについて概要を示す。

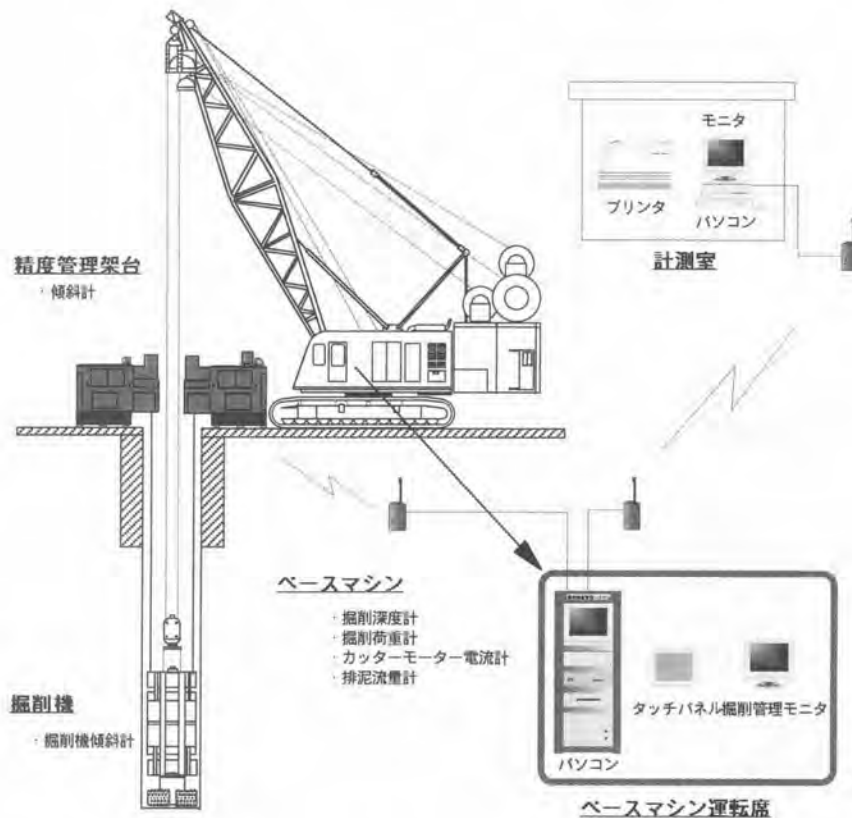


図-1 システム概要図

### 3-1. 精度管理架台

精度管理架台は、高精度傾斜計・計測ロッド・ジンバルユニット・X-Yテーブルがユニット化された計測機構部、ワイヤ張力発生用ウインチ、計測機構部移動装置、架台水平調整装置、制御盤・パソコン・無線通信ユニットなどの制御機器から構成される。図-2に、架台構成を示す。

掘削機の水平変位量を2方向に分けて算出するため、X軸（壁長方向）、Y軸（壁厚方向）の2軸それぞれに傾斜計を設置し、掘削機の動きに伴うワイヤの挙動を直接計測するのではなく計測ロッドと一体化されたジンバルユニットの動きを傾斜計が検知する機構としている。精度管理架台は掘削溝上部に2台設置され、2本のワイヤからスピニング角（Z軸まわりの回転角）も算出する。ジンバルユニットに一体化された計測ロッドの先端にワイヤを取付け、ワイヤは掘削機頭部に設置されたシーブを介し架台内に戻され、ウインチによって一定張力を付与されている。

平成5年に開発し、深度140mの地中連続壁工事に採用した精度管理架台1号機（TYPE-I）は、壁厚2.1mに伴い掘削機の計測点2点を片側に配置した一体型タイプであり同工事に3台製作した。TYPE-II以降は、架台設置方法の柔軟性、利便性を考慮し、計測点の設定位置を選択できる分割型タイプを採用している。また、計測ワイヤ用ウインチの改良、ダンパ機構の追加など架台構成機能の性能向上を図るとともに、架台計測部待避方式の工夫などにより簡便に設置でき、作業スペースや掘削ガット形状に合わせて柔軟に架台タイプの使い分けが可能となっている。

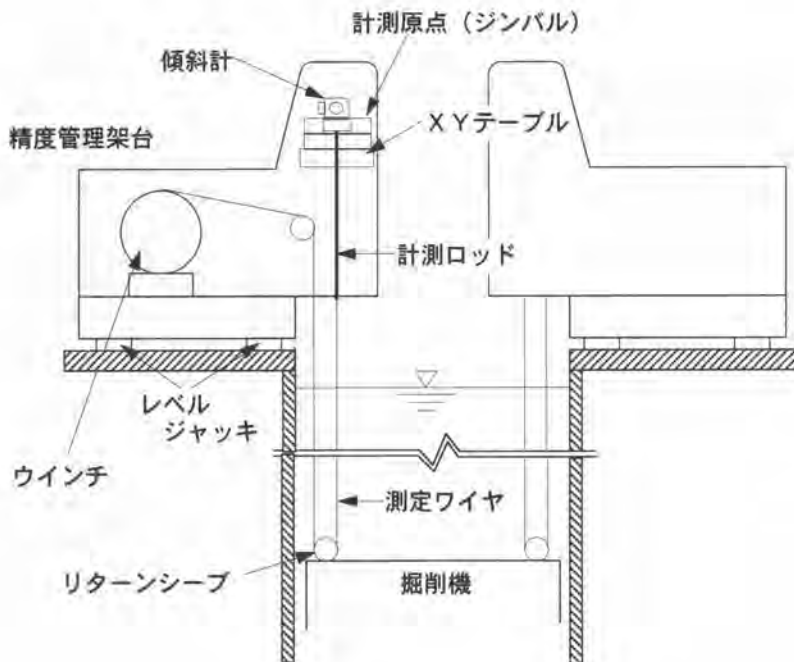


図-2 架台構成図

以下に、精度管理架台の特長を示す。

#### ①架台本体および計測部機構

架台本体は、TYPE - II以降、更に高剛性・高精度な構造を採用し、計測の信頼性を高めている。計測機構部に採用している計測ロッド・ジンバルユニットは、ワイヤの挙動を検知する応答性を向上させるための独自に開発したメカニズムである。

#### ②架台設置方法

TYPE - Iは、計測点2点を1台の架台内に設けた一体型タイプで、掘削溝の片側に設置する。このタイプは、片吊りによる掘削機の操作性への影響が懸念される。TYPE - II・III・IV架台は、計測点1点につき1台の分割型タイプの架台である。掘削溝の壁長（左右）方向、壁厚（内外）方向に分割させ、現場での作業スペースや掘削ガット形状等により設置位置の選択が可能である。また、TYPE - II以降、ガイドベースの採用により架台設置が簡便に行え、架台の水平調整機構についても、短時間で調整が可能になっているのも特長の一つである。

図-3に架台設置方法の一例を示す。

#### ③架台退避機構

掘削終了時など掘削機を引揚げる際の計測機構部を計測原点より退避させる機構は、前後スライドタイプ（TYPE - I・II・III）と回転タイプ（TYPE - IV）を開発し、作業スペースや掘削ガット形状などの制約に対する架台選択範囲を広げている。（図-4参照）

#### ④張力発生用ウィンチ

トルクモータ仕様（TYPE - I・II・III）とサーボモータ仕様（TYPE - IV）を開発した。サーボモータ仕様は、正確な張力制御と高い応答性により計測の高精度化を図っている。サーボモータの採用により、将来的に精度管理架台の小型化が期待できる。また、掘削時のワイヤ切断を防止する補助的なダンバ機構を、ワイヤ配索経路に組込んでいる。

### 3-2. ベースマシンシステム

ベースマシンシステムは、ベースマシンのサブキャビン内に設置し、演算処理用システムラック、モニタ、オペレータ操作盤、無線通信ユニットにより構成される。精度管理架台の無線通信ユニットから送信されるデータ、ベース

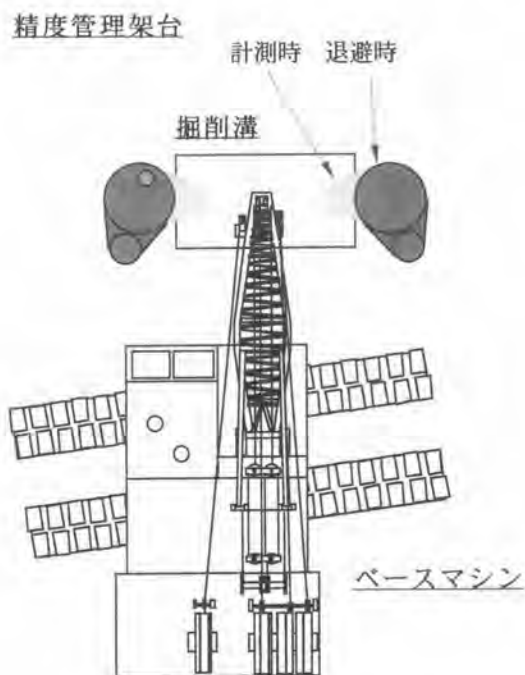


図-3 架台設置状況

マシンから得られる掘削深度、掘削機傾斜角および掘削機運転状況データが取込まれ、掘削機の位置・姿勢情報が掘削機の運転状況データと共にモニタに表示されオペレータに情報が伝達される。また、取り込まれたデータの保存、管理室システムへの無線送信も行う。

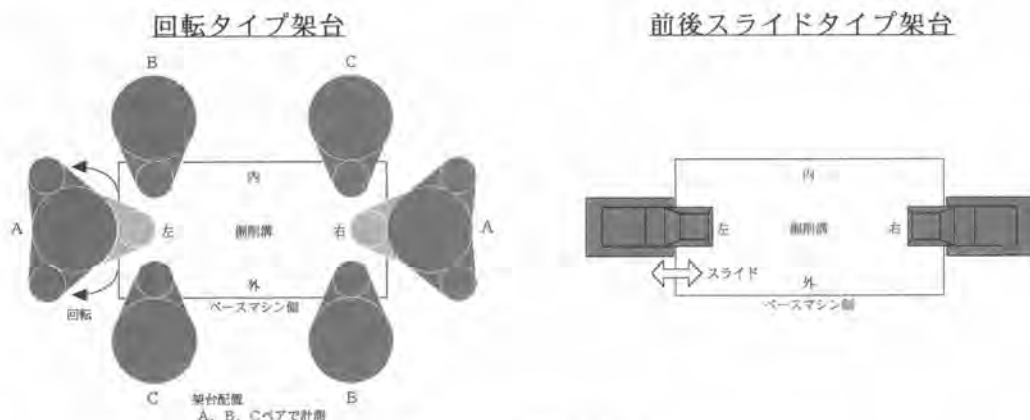


図-4 架台退避機構

### 3-3. 管理室システム

管理室システムは、ベースマシンシステムから送信される掘削機の位置・姿勢データ情報と掘削機運転状況データを受信し、オペレータ用モニタと同様の情報をモニタに表示する。また、収集されたデータは連続壁掘削工の施工管理データとして保存され、変位軌跡図などの出力が可能である。パソコン、モニタ、プリンタ、無線通信ユニットから構成され、これらの機器を事務所等に設置することにより掘削状況の把握、監視が事務所内で可能となる。図-5に、モニタ画面の一例を示す。

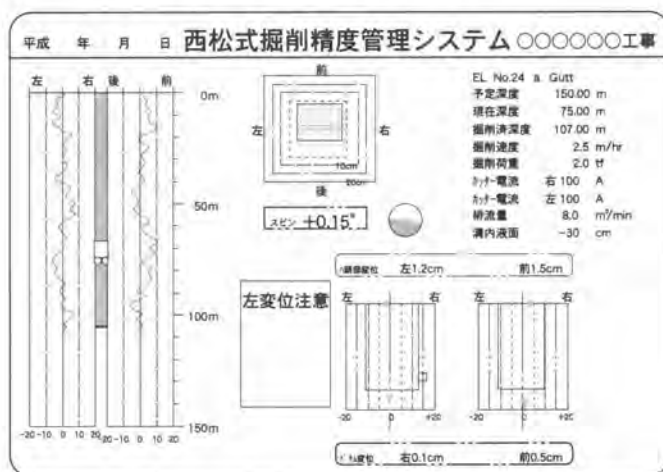


図-5 モニタ画面

#### 4. 使用実績

平成6年以降、掘削深度100m以上の工事2件を含む計7件の立坑工事に適用した。また、現在、1件稼働中である。図-6に、掘削精度管理システムを使用した施工の概要を示す。

表-1 使用実績表

工事名称	掘削深度 (壁厚)	使用架台 タイプ	掘削機仕様
外郭放水路第3立坑新設工事	140 m (2.1 m)	TYPE-I	EMX-240 (株利根)
谷町筋管路新設工事	88.1 m (1.3 m)	TYPE-II	EMX-240 (株利根)
環7東海松原橋管路新設工事(第3工区)	40 m (1.0 m)	TYPE-III	BW-90120 (株利根オ-リング)
門真寢屋川(二)増補幹線第1工区下水管渠築造工事	50 m (1.2 m)	TYPE-II	EMX-240 (株利根)
神谷ポンプ所建設その2工事	64.9 m (1.2 m)	TYPE-III	FD32/180 (CASAGRANDE)
南台幹線立坑新設工事	108.5 m (1.2 m)	TYPE-IV	EMX-240 (株利根)
桑名地区洞道新設工事(第1工区)	75.5 m (1.2 m)	TYPE-III	EMX-240 (株利根)
五反田川放水路分流部立坑築造工事	74.5 m (1.2 m)	TYPE-IV	EMX-240 (株利根)

#### 5. おわりに

高精度かつ効率的な掘削管理を目的として開発した掘削精度管理システムは、開発から5年以上経過し、幸いにもいくつもの現場で採用して頂きその役割を担っている。関係者の方々から多くのアドバイスを頂き改良を進め、4タイプの精度管理架台を製作するまでに至ったが、信頼性の向上、取扱い性の向上、低コスト化、小型化等々改善すべき点は数多くあると考えている。

最後に、本システムの開発、実用化にあたり御指導、御協力頂いた関係各位に深く感謝致します。



写真-5 施工風景

## 4. RC造建物の自動化施工における 並列搬送システムの開発

(株)大林組：\*堂山 敦弘，栗田 庸平，池田 雄一

### 1. はじめに

近年、建設各社では建設現場の生産性向上、労働力不足、作業環境の改善などを図る方策の一つとして全天候型の自動化建設工法の開発を進めている。このような状況の中で、当社ではトータル生産性の向上を目的として、鉄骨造対象の全自動ビル建設システム<sup>1)</sup>の開発・実用化や高層RC造建物対象の自動化建設システム<sup>2)</sup>(以下、RC自動化建設システムと称す)の開発を進めてきた。

本報では、RC自動化建設システムの概要とシステムを構成する要素技術の一つである並列搬送システムの機能・特徴、および現場への適用結果について述べる。

### 2. RC自動化建設システムの概要

RC自動化建設システムは、(a)同調クライミング式の全天候仮設屋根架構、(b)貨物リフトと天井クレーンによる並列搬送システム、(c)部材のプレファブ化とユニット化、(d)施工図CADにリンクした資材総合管理システム、の4つの要素技術から構成されている。RC自動化建設システムを3件の工事に適用した結果、高い生産性や工期の短縮、作業環境の改善等の成果を確認し、さらにシステムの改良を重ねている。表1にシステムを適用した工事の概要を、写真1に各工事の外観を示す。

表1 RC自動化建設システム適用工事の概要

	Y工事	K工事	H工事
施工場所	千葉県八千代市	福岡県福岡市	兵庫県神戸市
工期	1995年1月～ 1997年2月	1996年9月～ 1998年3月	1997年4月～ 1999年6月
建物規模	地上26階 地下1階	地上20階	地上33階 地下1階
延床面積	25,540m <sup>2</sup>	12,641m <sup>2</sup>	28,505m <sup>2</sup>
最高高さ	GL+90.5m	GL+69.1m	GL+114.25m



Y工事



K工事



H工事

写真1 システム適用現場の外観

### 3. 並列搬送システムの概要

並列搬送システムでは、部材の据え付け場所までの搬送行程を貨物リフトによる垂直搬送と天井クレーンによる水平搬送に分割し、これらの設備が同時に稼働する。この結果、(1)タワークレーンによる搬送よりも作業員の手待ち時間が減少する、(2)垂直搬送の設備が1基でまかなえる、といった効果が期待できる。Y工事とK工事において採用した並列搬送システムを並列搬送Aタイプと称し、H工事において採用した並列搬送システムを並列搬送Bタイプと称す。各並列搬送システムの構成機械の仕様を表2に、平面配置を図1に示す。

表2 並列搬送システムの構成機械仕様

	並列搬送Aタイプ	並列搬送Bタイプ	
貨物リフト	積載重量	6.0t	7.5t
	昇降速度	40~60m/min	55m/min
	荷台寸法	(幅)2500mm×(長さ)9630mm	(幅)2500mm×(長さ)9000mm
	電動機	インバータモータ55Kw×2	DCブラシレスサーボモータ 60Kw×4
天井クレーン	制御方式	インバータ制御方式	同調制御方式
	巻上	2~23m/min	1.2~17m/min
	走行	建方: 40m/min 搬送: 30m/min	50m/min
	横行	33m/min	40m/min
	旋回		1.0rpm
	定格荷重	建方: 7.5t 搬送: 7.5+7.5t	8.0t

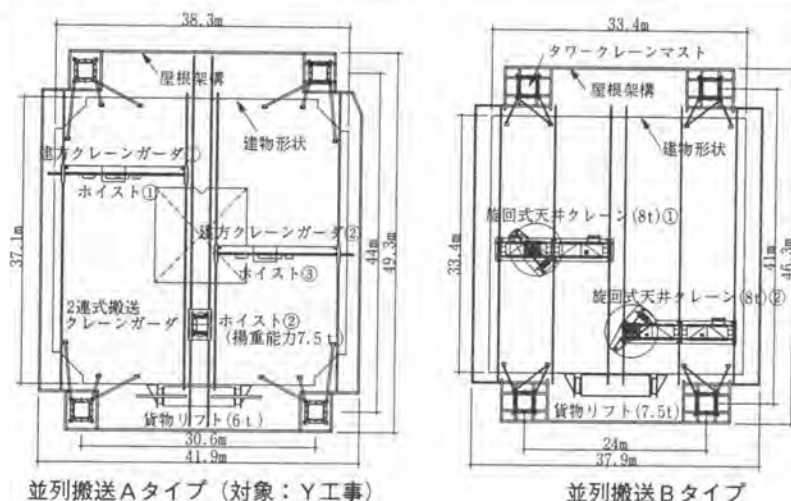


図1 並列搬送システム構成機械の平面配置

#### 3.1 並列搬送Aタイプ

並列搬送Aタイプでは、部材の搬送に貨物リフトと乗移り式天井クレーンを使用する。貨物リフトは部材の垂直方向の搬送をおこなう。貨物リフトは昇降荷台、駆動部、ポストから構成される。駆動部は地上に設置され、ウィンチとインバータモータから構成される。昇降荷台は駆動部のワイヤー巻き取り・繰り出し動作にしたがって、ポストに沿って昇降する。乗移り式天井クレーンは施工階での水平搬送と建方をおこなう。乗移り式天井クレーンの構成は2連式搬送クレーン1基、建方クレーン2基、電動横行ホイスト3基、および無線操縦装置3台である。貨物リフトからの荷の吊上げ、および建方位置までの搬送の一部は中央の搬送クレーンがおこなう。左右の建方クレーンは荷を吊ったホイストを搬送クレーンから受取り、荷の搬送と建方をおこなう。図2(a)に示すように、搬送経路はラフテレーンクレーンから搬送クレーンまでは1本であり、乗移り以降2本となる。



### 3.2 並列搬送Bタイプ

並列搬送Bタイプでは、部材の搬送に貨物リフトと旋回式天井クレーンを使用する。貨物リフトは部材の垂直方向の搬送をおこなう。貨物リフトは昇降荷台、駆動部、ポストから構成される。駆動部は、昇降荷台下部に設置され、ピニオンギアとピニオンギアを駆動するサーボモータから構成される。昇降荷台はピニオンギアの動作によって、ポストに付いているピンラックに沿って昇降する。旋回式天井クレーンは施工階での水平搬送と建方をおこなう。旋回式天井クレーンの構成は本体クレーン2基と無線操縦装置2台である。図2(b)に示すように、搬送経路はラフテレーンクレーンから貨物リフトまでは1本であり、貨物リフト上での玉掛け以降2本となる。

なお、タワークレーン(2基)の搬送経路は、図2(c)に示すように地上での玉掛けから施工階での建方まで2本である。

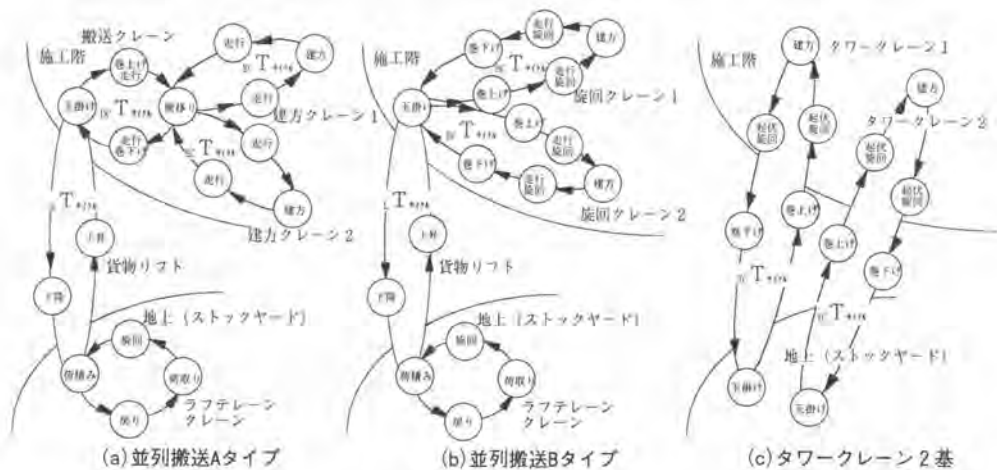


図2 部材搬送の流れ

## 4. 並列搬送システムのサイクルタイム

RC自動化建設システムを開発するにあたって、タワークレーンと並列搬送システムのサイクルタイムを比較・検討した。

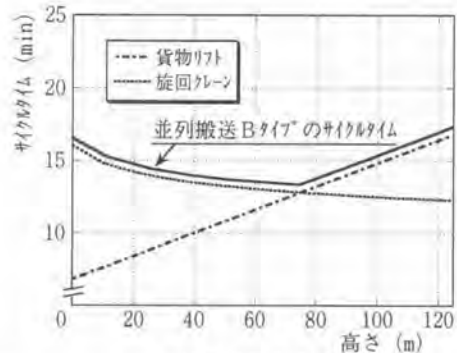
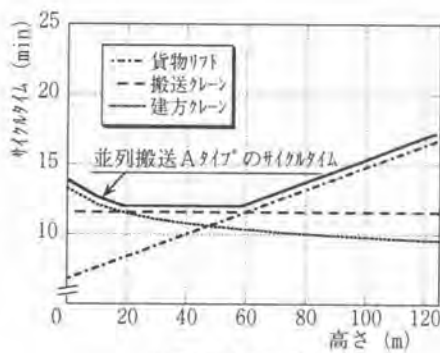
### 4.1 サイクルタイムの算出

並列搬送システムは、複数の搬送機械間で部材を受け渡して搬送する。このため、各搬送機械のサイクルタイムのうち最大値がシステムのサイクルタイムとなる。また、各機械設備の台数が異なるため、少数の機械設備は、多数の機械設備に対する台数差分を負担する必要がある。並列搬送システムの各搬送機械のサイクルタイムは式(1)で表すことができる。したがって、並列搬送システム全体のサイクルタイムは式(2)に示すように各機械のサイクルタイムの最大値となる。一方、タワークレーンのサイクルタイムは台数によらず一定であり、その値は式(3)で表せる。式(1)~(3)における記号の左下の添え字は機械を、右下の添え字は図2に示した作業内容を示す。式(2)で貨物リフトと搬送クレーンのサイクルタイムを2倍にして、最大値を選択しているのは、建方クレーンとの台数差を考慮してのことである。式(1)において、貨物リフトの昇降時間 $[L T_{\text{上昇}}]$ 、 $[L T_{\text{下降}}]$ は施工階が高くなるにしたがって増加する。また、部材の建方時間 $[E c T_{\text{建方}}]$ 、 $[B c T_{\text{建方}}]$ は施工が進捗し、建方



作業者が習熟するにしたがって減少し、その減少の推移は式(4)で示す対数線形モデルを用いて表現できる<sup>3)</sup>。式(1)に示す他の記号で表した時間は、部材の種類や機械の仕様から求めた。各搬送機械のサイクルタイム算出値と施工階高さとの代表的な関係を図3に示す。図3中の建方クレーンと巡回クレーンのサイクルタイムが施工階が高くなるにしたがって、減少しているのは建方作業の習熟効果が考慮された結果である。図3で示した各搬送機械の数値のうち、同一施工階高さでのサイクルタイムが最も大きい数値(実線)が、並列搬送システムのサイクルタイムとなる。

貨物リフトサイクルタイム $[LT_{\text{サイクル}}] = [LT_{\text{荷揚げ}}] + [LT_{\text{上昇}}] + [LT_{\text{下降}}]$	}	(1)
搬送クレーンサイクルタイム $[DC T_{\text{サイクル}}] = [DC T_{\text{荷揚げ}}] + [DC T_{\text{巻上げ・走行}}] + [DC T_{\text{乗降り}}] + [DC T_{\text{走行・巻下げ}}]$		
建方クレーンサイクルタイム $[EC T_{\text{サイクル}}] = [EC T_{\text{乗降り}}] + [EC T_{\text{走行}}] + [EC T_{\text{建方}}] + [EC T_{\text{走行}}]$		
巡回クレーンサイクルタイム $[BC T_{\text{サイクル}}] = [BC T_{\text{荷揚げ}}] + [BC T_{\text{巻上げ}}] + [BC T_{\text{巡回・巡回}}] + [BC T_{\text{建方}}] + [BC T_{\text{巡回・巡回}}] + [BC T_{\text{巻下げ}}]$		
並列搬送Aタイプサイクルタイム $[HA T_{\text{サイクル}}] = \text{Max}([LT_{\text{サイクル}}] \times 2, [DC T_{\text{サイクル}}] \times 2, [EC T_{\text{サイクル}}])$		
並列搬送Bタイプサイクルタイム $[HB T_{\text{サイクル}}] = \text{Max}([LT_{\text{サイクル}}] \times 2, [BC T_{\text{サイクル}}])$	}	(2)
タワークレーンサイクルタイム $[TC T_{\text{サイクル}}] = [TC T_{\text{荷揚げ}}] + [TC T_{\text{巻上げ}}] + [TC T_{\text{巡回・巡回}}] + [TC T_{\text{建方}}] + [TC T_{\text{巡回・巡回}}] + [TC T_{\text{巻下げ}}]$		
部材の建方時間: $[T_{\text{建方}}] = t_1 x^n$ ..... (4)		
※Lは貨物リフト, DCは搬送クレーン, ECは建方クレーン, BCは巡回クレーン, HAは並列搬送Aタイプ, HBは並列搬送Bタイプ, TCはタワークレーンを示す。; $t_1$ は第1回目の建方時間, $x$ は繰返し回数, $n$ は習熟係数を示す。; $\text{Max}(a,b,c)$ で示した関数は、 $a,b,c$ のうち最大のものを選択することを表す。; 各搬送機械の動作時間は表2に示した仕様から算出した。タワークレーンの動作時間は、JCC-200Wを参考に算出した。		



並列搬送Aタイプ 並列搬送Bタイプ  
 図3 施工階高さと各搬送機械のサイクルタイムの関係

#### 4.2 サイクルタイムの比較・検討

並列搬送システム(Aタイプ、Bタイプ)とタワークレーン2基のサイクルタイムを施工階高さに関連づけて図4に示す。図には各工事の最高施工階高さも示した。第1回目の建方時間  $t_1$  として、5分、10分、20分の3ケースを想定して示した。図4より、以下のことが確認できる。

- (1) 並列搬送システムAタイプとBタイプのサイクルタイムは低層階ではことなるが、施工階高さがある一定値を超えると等しくなる。

(2)建方時間  $t_1$  が長い場合、低層階においては、並列搬送システムAタイプのほうがBタイプより有利となる。

(3)建方時間  $t_1$  が長くなるにしたがって、並列搬送システムのほうがタワークレーンのほうが有利となる。

(4)施工階が高くなるにしたがって、タワークレーンのほうが並列搬送システムより有利となる。

(1)の理由は、図3で示したように施工階高さがある一定値以上になると、貨物リフトのサイクルタイムが並列搬送システムのサイクルタイムとなるためである。(2)の理由は、並列搬送Aタイプでは、建方中に搬送クレーンでの搬送がおこなえるため

である。(3)の理由はタワークレーンでは、部材搬送と建方が連続しておこなわれるのに対して、並列搬送システムでは部材の建方中でも部材搬送がおこなえるためである。(4)の理由はタワークレーンでは垂直搬送を2基でおこなうのに対して並列搬送システムでは1基(貨物リフト)でおこなうためである。

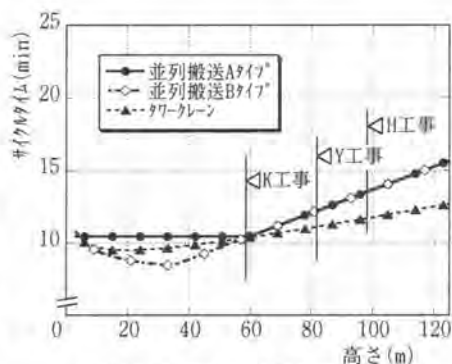
PCa工法では、第1回目の建方時間  $t_1$  は10分以上となることが過去の実績から確認されており、また、対象工事の最高高さが100m以下であることを考慮すると、上記(1)~(4)より、対象工事では、タワークレーンよりもRC自動化建設システムを適用したほうが有利であると判断した。

## 5. システムの適用結果

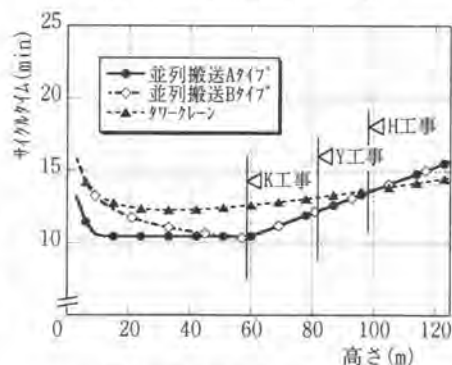
### 5.1 サイクルタイムの推定と実績との比較

Y工事とH工事における柱と梁部材のサイクルタイムの実績と、両工事のサイクルタイムの推定値を図5に示す。推定値の算出にあたり、式(2)中に用いる第1回目の建方時間  $t_1$  および  $[T_{\text{玉掛け}}]$  等の各作業時間には、両工事の作業実績より得られた値を用いた。Y工事の施工実績にもとづく作業改善により、H工事の  $t_1$  の値はいずれの部材もY工事よりも小さくなった。

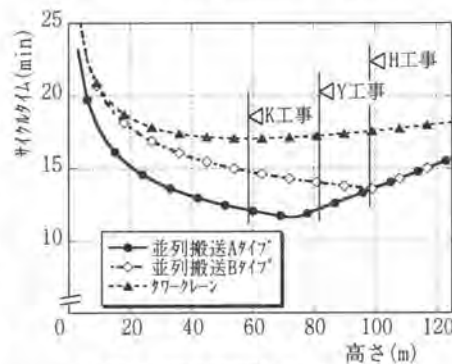
実績値との比較から、並列搬送AタイプのY工事の実績値は推定値を下まわった点や、並列搬送BタイプのH工事の柱部材の実績値は、 $[L T_{\text{ホイッスル}}]$  が推定値よりも低層階から最大となった点など、細部に若干の相違が見られるものの、推定値はほぼ実績と対応している。以上により、第1回目の作業時間  $t_1$  と各作業時間を適切に仮定することにより、両並列搬送システムのサイクルタイムは式(2)によって推定可能と考えられる。



(a) 第1回目の建方時間  $t_1 = 5$  分



(b) 第1回目の建方時間  $t_1 = 10$  分



(c) 第1回目の建方時間  $t_1 = 20$  分

図4 施工階高さとサイクルタイムの関係

## 5.2 並列搬送システムとタワークレーンの比較

Y工事における23階施工時の部材建方時間を、タワークレーンJCC-200H 2基を用いて施工された他工事の施工実績と比較し、図6に示す。この比較した工事ではY工事と同様のPCa工法を採用している。図8から、23階施工時の並列搬送システムの建方時間はタワークレーンJCC-200H 2基の約80%となり、23階施工時の並列搬送システムの搬送能力はタワークレーンJCC-200Hの2.5基分であることが確認できる。なお、並列搬送システムがタワークレーンより優れている点として、作業者の手待ち時間が少なくなることがあげられる。

## 6. まとめ

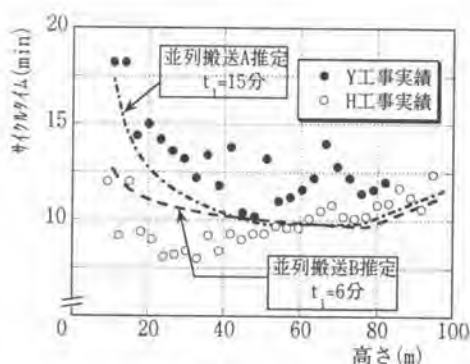
RC自動化建設システムを3つの実工事に適用し、2種類の並列搬送システムについて、考察および稼働状況の調査をおこなった。その結果、以下のことを確認した。

- (1)第1回目の建方時間 $t_1$ や搬送・玉掛け等の作業時間を用いて、並列搬送システムのサイクルタイムを推定し、適切な機械仕様を設定することにより、効率のよい搬送・建方を実現することができた。
- (2)並列搬送システムの搬送・建方効率はタワークレーンの2基以上に相当し、天候に左右されない快適な作業環境のもとに、工期の短縮をはかることができた。

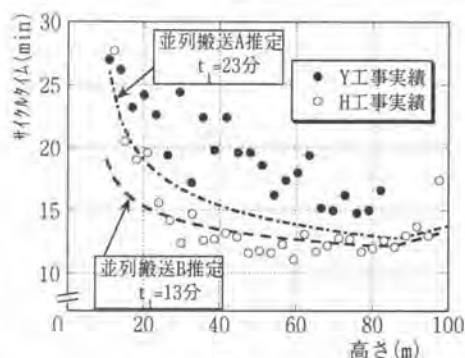
今後は並列搬送システムをさらに改善し、システムを発展させていく予定である。最後に、開発・適用にあたって協力をいただいた関係者各位に対し、深く感謝する次第である。

## <参考文献>

- 1)森, 他:全自動ビル建設システムの開発, その1~3, 日本建築学会大会梗概集, 日本建築学会, 1993.9
- 2)脇坂, 他:RC自動化建設システムの開発, その1~10, 日本建築学会大会梗概集, 日本建築学会, 1996.9; 1997.9; 1998.9
- 3)作業能率測定指針, 日本建築学会, 1990.2



(a)柱



(b)梁

図5 施工階高さとサイクルタイムの関係

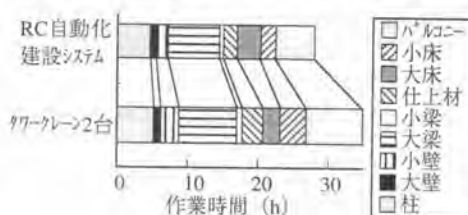


図6 サイクルタイムの比較

# 5. 切土補強土工法用オートボルトセッター

清水建設(株)：\*宮田 和、川崎 廣貴、小原 由幸

## 1. はじめに

切土補強土工法は、地山の中規模崩壊対策の抑止工や切土勾配の急勾配化対策工および構造物掘削の仮設のり面工等に広く用いられている。図-1に示すとおりこの工法は、鉄筋やロックボルトなどの比較的短い補強材を地山に多数本挿入することで、地山を補強する工法であり、その基本的な構造図は図-2に示すとおりである。切土補強土工法の施工手順は、のり面工を施工した後に地山を削孔し、その穴に注入材と補強材を挿入し、最後に頭部処理を行う方法が一般的である。

本報は、この切土補強土工法を自動化・省力化し、施工能率を向上させた切土補強土工法用オートボルトセッター（以下ABS）について、その仕様、特長ならび施工手順と実際の施工事例について報告する。ABSは、清水建設（株）、三信建設工業（株）および古河機械金属（株）との共同開発である。

## 2. オートボルトセッターの仕様

図-3にABSの走行・打設状態と各部名称を示す。ABSは大きく分けてベースマシン・ガイドポスト・自動打設装置の3つで構成されている。

ABSのベースマシンは、クローラ式バックホウを転用・改造したもので、地山勾配が15°以内であれば施工場所まで自走可能である。ベースマシンには自動打設装置を上下させるためのガイドポストが取り付けられており、自動打設装置とガイドポストの重量を地山に支持させるためのサポートとアンカーがガイドポストに設備されている。サポートは、ガイドポストの任意の位置に取り付け可能であり、サポートおよびアンカーは、切土のり面勾配によって取付位置を変更する。

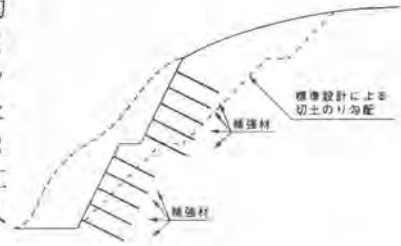


図-1 切土補強土工法の適用例

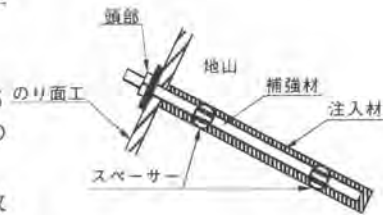


図-2 切土補強土工法基本構造図

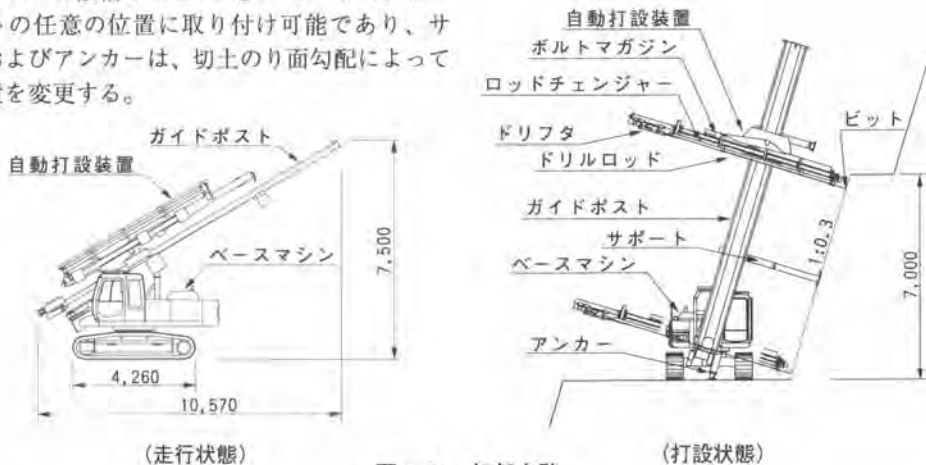


図-3 各部名称

自動打設装置は、主にドリフタ・ビット・ドリルロッド・ボルトマガジン・ロッドチェンジャーから構成されている。ドリフタは、土砂から中硬岩まで削孔可能な高性能タイプである。ビットは、クロスまたはボタンビットを改良し、くり粉と呼ぶ削孔した岩ズリをスムーズに孔外に出すため、また、グラウトが確実に充填されるためにエア穴の位置を改良している。ABSの特長であるグラウト注入は、ドリルロッドが中空構造となっていることを利用し、ドリルロッド内を通じて行う。ボルトマガジンは、鉄筋ならD16～D25を6本、長さ2.5～5.0mまで搭載可能である。ロッドチェンジャーは、削孔後ドリルロッドと補強材を交換したり、再度ドリフタにドリルロッドを装着する際に使用する。



写真-1 自動打設装置

組立は、ベースマシン、ガイドポストと自動打設装置を別々に搬入し、現地で組み立てる。各切土勾配でのABSの打設姿勢と打設可能高さを図-4に示す。

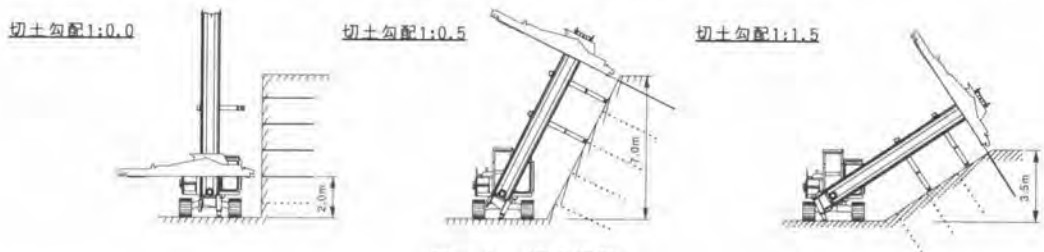


図-4 打設姿勢

### 3. オートボルトセッターの特長

従来工法とABSを用いた工法の作業手順を図-5に示す。縦方向に連続して補強材を打設する場合、従来工法はドリフタのセッティングと削孔を繰り返しながら行い、所定の本数分の穴を削孔した後、グラウト注入、補強材挿入を行う。

この従来工法の欠点は、

- 1) 削孔可能高さが削孔機械の仕様によって決まる
- 2) ドリフタの削孔角度を正しくセッティングすることに時間がかかる
- 3) 人の背丈よりも削孔穴が高い位置にある場合、グラウト注入や補強材挿入のために何らかの足場、もしくは、足場を必要としない高さに施工基盤を設定する必要があることが挙げられる。

これに対し、ABS工法は、自動打設装置のセッティングから補強材挿入までを繰り返して行い、

- 1) 図-4に示すとおり、1:0.0（垂直壁）の場合直高2mまで、1:0.3～1:0.8までの勾配で直高7mまで、1:0.8～1:1.0までの勾配で直高5mまで、1:1.0～1:1.5までの勾配で直高3.5mまで施工可能である

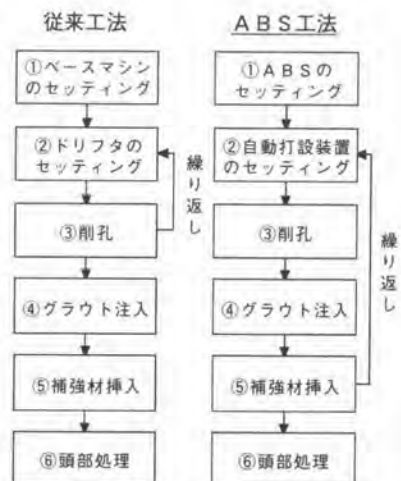


図-5 作業順序



2)ガイドポストを切土勾配と同じ勾配に傾け、高さ方向に連続的に補強材の打設を行うため、一度ABSをセッティングすると自動打設装置を上下させるだけで列方向の打設を短時間で終了させることができる

3)連続的に削孔・グラウト注入・補強材挿入を行うため、足場も高所作業車も必要としないことが挙げられる。

#### 4. オートボルトセッターの施工手順

ABSの施工手順は、以下の通りである。

- ①作業場所にABSを移動し、ベースマシンをのり面と平行にセッティングする
  - ②傾斜計の表示を確認しながら、のり面の正面方向から見てガイドポストが垂直になるようにたてる
  - ③ガイドポストのサポートとアンカーを張り出す
  - ④傾斜計を確認しながらガイドポストをのり面勾配に倒す
  - ⑤サポートを張り出し、地山に支持させる
  - ⑥傾斜計の表示を確認しながら、自動打設装置を所定の角度に回転後、所定の高さに移動する
  - ⑦ドリフタで削孔する
  - ⑧削孔終了後、ドリルロッド内を通じてグラウトを孔底から注入する
  - ⑨ドリルロッドを回収後、ロッドチェンジャーでボルトマガジンに収納する
  - ⑩補強材をロッドチェンジャーでボルトマガジンからドリフタに設置し、補強材を孔内に挿入する
  - ⑪ドリフタにドリルロッドを取り付ける
  - ⑫次の打設位置まで自動打設装置をそのままの角度を保持させながら上昇させる
  - ⑬すべての列方向の補強材打設終了後、サポートとアンカーを収縮し、ガイドポストをたてる
  - ⑭次の列に移動後、同じ作業を繰り返す
- ①～⑥, ⑫～⑭はキャビン内で操作し、⑦～⑪はコントローラを使用して車外で操作を行う。

#### 5. 施工事例

ABSで施工を行ったのは、千葉県鴨川市と(財)鴨川市開発公社が房総リゾート構想の中で推進している鴨川コンベンションリゾートの一つである太海多目的公益用地造成工事内の切土のり面である。当該地の切土は、1段(直高H=5.0m)が10段あり、最大直高はH=約50m、のり面面積約7,600m<sup>2</sup>の大規模なものである。地質的には強風化・風化泥岩が分布するところに、土地の利用計画上、切土下部に進入路を確保し、かつ、切土上部の用地の有効活用面積を広げるために、のり勾配を風化の著しい岩に相当する強風化・風化泥岩の安定勾配1:1.2~1.5から1:1.0に立てる必要があった。のり勾配を安定勾配から急にすることで、すべり力が発生し、切土のり面の安定性上問題となるため、その対策として切土補強土工法を採用することとなり、ABSで施工を行った。

##### 5.1 地形・地質

当該地の平面を図-6に示す。対象場所の地形は、大きなやせ尾根の一部であり、切土のり面となる箇所を詳しく見ると、小さな尾根と谷が連続している。地山勾配は急峻で所々表層崩壊跡も見られ、褶曲や断層により、岩がかなり破碎されている模様である。

ボーリング調査から崖錐堆積物の下に強風化泥岩、風化泥岩が分布することが判明した。強風化泥岩は、スレーキングがかなり進行しており、亀裂が非常に多く現状のままではかなり不安定な状態にあり、表層から深度7m~13m付近まで分布して



写真-2 施工状況

いる。風化泥岩は、強風化泥岩の下方に分布し、亀裂が多く亀裂沿いに風化が進んでおり、切土掘削により地表に露出し、応力解放やスレーキングがおり、長期的には強風化泥岩に変質することが予想された。

切土の上段では、地山をスライスカットするため、強風化泥岩が主体となって切土のり面に表れ、中段から下段に行くに従い風化泥岩が主体となって表れると考えられた。

### 5. 2 設計

設計は、「高速道路の新技术・新工法、長大のり面の縮小化工法<sup>1)</sup>」に基づき行った。その設計フローを図-7に示す。ここでは、強風化泥岩・風化泥岩は、フロー上、軟岩（風化岩）に当てはまる。

設計検討は、以下の手順で実施した。

- 1) 当該地のボーリングデータから地層構成を強風化泥岩、その下に風化泥岩が分布するものとし、のり面に表れる地層毎に崩壊規模を分けて設定する。すなわち、対象とする切土の崩壊規模は軟岩（風化岩）では2～3段となっているため、本設計では崩壊規模を強風化泥岩は現状でのり面の不安定さを考慮して3段（ $H = 15m$ ）、風化泥岩は2段（ $H = 10m$ ）と設定する。
- 2) 地盤定数（単位体積重量  $\gamma$  t、内部摩擦角  $\phi$ ）は、既往の土質調査報告書を参考に風化泥岩は長期的な観点から強風化泥岩と同じと設定し表-1に示す値とする。
- 3) 粘着力  $c$  は、安定勾配の切土のり面においてどの崩壊深さでも安全率が  $F_s = 1.2$  を満足するように、直線すべり法により逆計算で求める。求められた粘着力  $c$  を表-1に示す。強風化泥岩と風化泥岩はほぼ同じ値となった。
- 4) 「切土補強土工法設計・施工指針（案）<sup>2)</sup>」を参考に直線すべり法で安定計算を行い、計画安全率  $F_{sp} = 1.2$  を

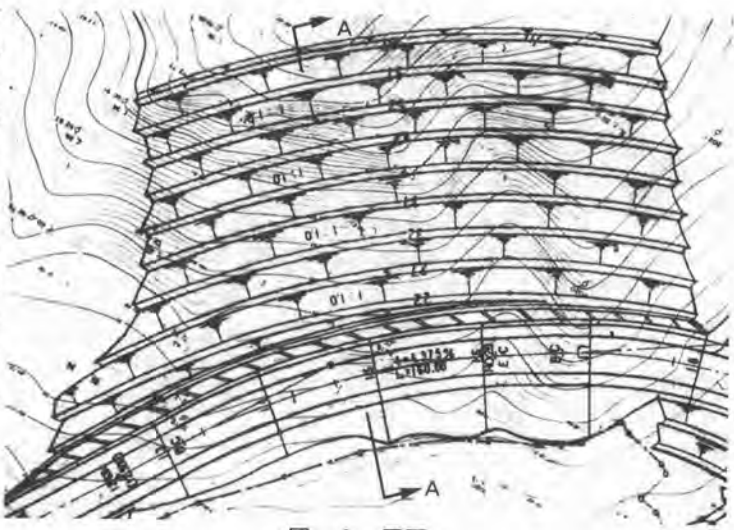


図-6 平面

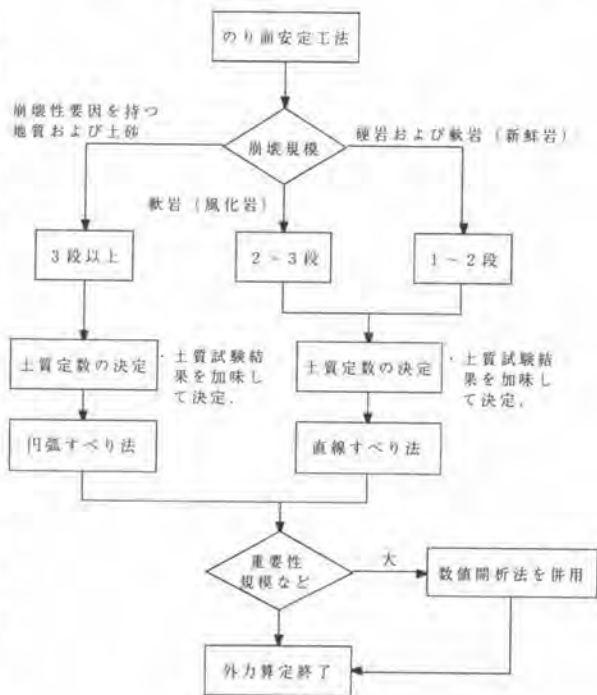


図-7 設計フロー

表-1 土質定数

地層構成	単位体積重量 $\gamma$ t( $tf/m^3$ )	内部摩擦角 $\phi$ (°)	粘着力 $c$ ( $tf/m^2$ )
強風化泥岩	1.91	24	0.292
風化泥岩			0.222

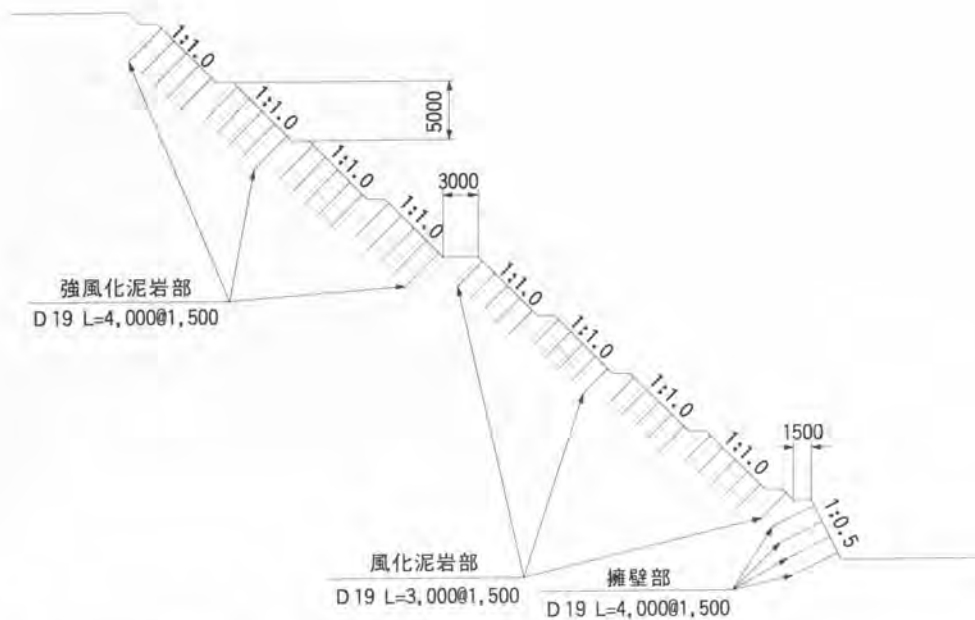


図-8 断面A-A

満足するよう切土補強土工の仕様を決定する。

以上、検討の結果から最終的な仕様を図-8に示す。

強風化泥岩部の仕様は、D 19、L=4.0m、1本/2.25m<sup>2</sup>となり、風化泥岩部の仕様は、D 19、L=3.0m、1本/2.25m<sup>2</sup>となる。鉄筋の打設配置は、両部とも千鳥配置とし、鉄筋はのり面に直角に打ち込む。

### 5.3 施工

切土のり面の施工手順は、上段から切り下がる逆巻き施工で、掘削工、切土補強土工、のり面保護工の順に行った。掘削は安定上問題とはならなかったので、切土1段を一度に切り下がり、ABSで切土補強土工を行い、縦方向に連続打設できる特長を生かすことができた。ここでは、バックホウにアタッチメントを装着した従来機も使用したので、ABSと施工能率の違いを表-2に示す。

ABSの縦方向に連続的に打設できる作業方法が、削孔位置にセッティングする時間を大幅に短縮し、所要時間は従来工法の30%となった。

ABSの油圧ドリフタは、従来機の空圧ドリフタより能力的に差があるため、削孔時間が30%短くなった。

全体工程を通じて、従来工法と比較して1本当たり25%の作業時間の短縮となった。

しかし、注入、鉄筋挿入、鉄筋補充の過程で、施工手順の⑨～⑪までの鉄筋挿入作業が予想していた時間より長くかかることが判明した。これは、従来工法にはないドリルロッドの切り離し、装着の時間



写真-3 ABS稼働状況



があること、鉄筋挿入時にコントローラでの操作が多く一つ一つ確認しながら作業を進めていることが原因であることが分かった。

従来工法と比較して、すべての作業工程でABSが作業時間の短縮となるように、鉄筋挿入装置の改良に現在、着手している。

ABSの特長として、注入作業を削孔後、ドリルロッドを通じて孔底から行ったため、孔壁の安定性が良く、鉄筋の挿入が従来

工法の所定本数削孔後注入する方法と比較してスムーズに行えた。すなわち、削孔後、すぐに注入、鉄筋挿入を行うことで、地山の施工時の安定性と鉄筋挿入のし易さがABSのメリットとなることが現場施工を通じて明らかとなった。

労務の面では、従来工法では世話役を含め5人必要であったが、1人減って4人で十分施工を進めることができた。

#### 6. まとめ

現在、2機のABSが稼働中であり、施工実績も増加しつつある。その施工実績を踏まえ、ABSの長短所を把握し、前述の鉄筋挿入装置の改良・改善や岩種別の施工能力、制約条件下での施工サイクル、消耗品の寿命の把握等を行っている。今後、改良を加えたABSについて、さらなる報告ができるよう努めたい。

最後に、ABSの開発に携わった関係各位と、ABSの施工に協力的に対応して頂いた鴨川市、(財)鴨川市開発公社ならびに清水建設(株)鴨川太海作業所の関係者の皆様に本論文を通じて感謝の言葉を述べたいと思います。

#### 【参考文献】

- 1) 竹内、長野、毛利：高速道路の新技术・新工法、長大切土のり面の縮小化工法、土木技術Vol. 51、No. 11、平成8年11月
- 2) 日本道路公団：切土補強土工法設計・施工指針（案）、平成7年6月

表一 2 施工能率の比較

条件	のり勾配 1:1.0 で長さ 4.0m の鉄筋を 1 列 5 本打設したときの 1 本当たりの打設作業について (従来機を 1 とする)	
	ABS	従来機 (アタッチドリル)
作業工程		
1. ベースマシン移動	1.00(±0%)	1
2. 削孔位置にセッティング	0.30(-70%)	1
3. 削孔 (L=4.0m)	0.70(-30%)	1
4. 注入、鉄筋挿入、ボルト マガジンに鉄筋補充	1.30(+30%)	1
全作業	0.75(-25%)	1

## 6. DGPSを用いた盛土の締め管理システムの開発

(株)大林組：古屋 弘，栢本 繁，\*富岡 彰

### 1. はじめに

一般に、盛土施工の品質管理には、品質規定と工法規定の2通りの手法が採用される。この内、工法規定とは、試験盛土の結果に従い、盛土の締めめに使用する転圧機種、転圧回数、まき出し厚を規定して品質を保つ方式である。従来は工法規定における転圧回数を客観的に管理する手段としてはタスクメーター等を利用するものがあったが、最近ではGPS (Global Positioning System) や自動追尾式トータルステーション等を利用して、転圧機械の位置を自動計測し転圧回数管理を行うシステムの開発事例が見られる。しかし、これらのシステムも実状は、利用環境やコスト面で問題を抱えているようであり、まだ施主や施工業者に認められて広く普及するまでには至っていない。

こうした中、今回我々は、従来システムの持つ様々な問題点を解決した、DGPS (Differential GPS) 利用による盛土転圧管理システムを開発し、実工事に本格的に採用した。本文は、開発したシステムの概要と工事への適用状況について報告するものである。

### 2. 開発目標

システム開発にあたり、以下の6項目を重要な検討項目とした。尚、主機能は、「振動ローラーの転圧回数を自動管理する」ことに絞った。

- ①できるだけ経済的 (安価) なシステムとする。
- ②山間部等の現場 (衛星の捕捉状態が悪い現場) においても確実に利用できること。
- ③位置計測値が転圧管理に対して必要十分な精度を有すること。
- ④振動ローラーのオペレーター自身が現在の転圧状況を確認しながら作業できること。
- ⑤複数台の振動ローラーで同時に利用でき、各振動ローラーの転圧状況をリアルタイムで一元管理できること。
- ⑥結果は迅速に整理でき画面表示や帳票出力を行うなど、誰もが客観的に確認できるようにすること。

まず、⑤の複数台を同時管理できる必要がある点から自動追尾式トータルステーションは不向きと判断し、GPS を利用したシステムに絞った。建設分野でのGPS利用とえば、数年前からRTK-GPS (Real Time Kinematic-GPS) を利用してシステムを構成するものが多かったが、我々は、利用目的に対する計測の要求精度およびコストパフォーマンスを十分考慮する必要があると感じていた。RTK-GPS の場合、開発目標に対して次の課題があった。

- ・複数台へ搭載した場合には非常に高価なシステムになり、①を満たせず現場で採用されにくい。
  - ・位置座標を確定するのに5衛星必要であり、周囲の障害物等で衛星をロストした場合、再確定に約60秒ほどかかりその間解を得られないなど、②を満たせず現場に使用制限を強いることになる。
- そこで、我々は①、②を満たしかつナビゲーション利用向きのDGPS専用機の適用を検討し、最終的

に③の許容範囲を満たす高精度タイプのものを採用した。

### 3. システム概要

今回開発したシステムは、工法規定における振動ローラーの転圧エリアおよび転圧回数を自動計測し、管理するものである。すなわち、複数台の振動ローラーの位置を GPS 測位装置にてリアルタイムに求め、施工エリア内を任意サイズに分割したメッシュ枠の通過回数をカウントし、その通過回数の状況を各振動ローラーの運転席に設置した携帯コンピュータ画面に表示するものである。また、各振動ローラー毎に計測した通過回数および通過位置の情報は、無線機を使って管理室（事務所または無線通信が可能な範囲内に設けるハウス等）のコンピュータへも同時に伝送するため、施工エリア内全ての振動ローラーの転圧回数の表示と結果の記録に対して、一元的な監視・管理が実施できる。尚、事務所と現場が離れているような場合には、記録したデータはオンライン処理または記憶媒体等にて事務所に持ち帰り、事務所のパソコンにて別途管理および帳票出力することも可能である。さらに、無線機のトラブル等で振動ローラー側の計測データが管理室に届かなかった場合でも施工記録に欠損が生じないように、振動ローラー側の設備ではデータのバックアップを行っている。システム構成概念図を図-1に示す。

振動ローラーの位置計測には、DGPS 測位装置を採用した。これは、これまで DGPS の測位精度は数 m 程度と言われてきたが、技術の進歩により、水平方向の測位精度が 15cm というものが出現し、転圧管理には必要十分な精度を有していると判断したためである。

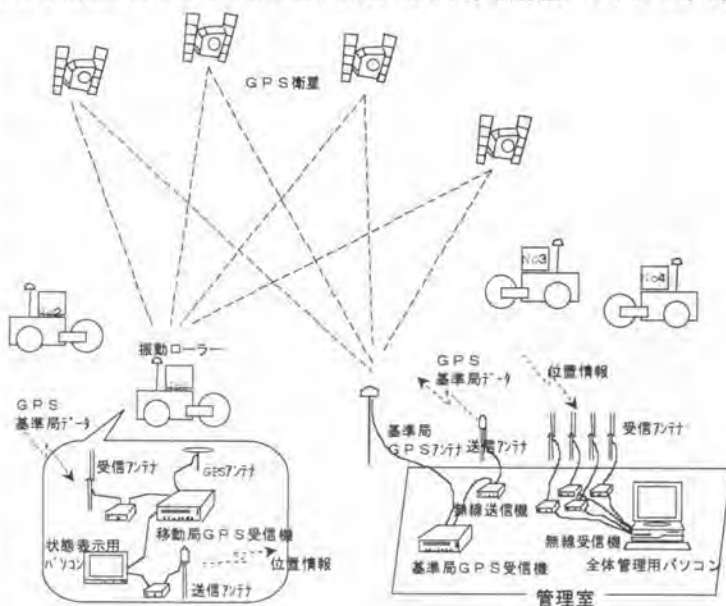


図-1 システム構成概念図

表-1 各システムの特徴

比較内容	DGPS 採用の今回開発したシステム	RTK-GPS を採用した場合
利用環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要衛星数が最低4つで済み、上空視界の狭くなる山間部等での利用にも有利となる。</li> <li>システムの立ち上がりがスムーズ。</li> <li>3衛星でも2次元処理（平面座標のみ取得）にて本システムの動作が可能にした。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要衛星数が5つ（初期化時）であり、山間部等では利用不可な場所や時間が発生する。</li> <li>何らかの原因での衛星捕捉中断毎に初期化による待ち（約60秒）が発生。すなわち、上空視界の狭い場所ではより問題となる。</li> </ul>
コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>GPS機器のみで、RTK-GPSの約1/4程度。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GPS機器そのものが高価。</li> </ul>
精度	<ul style="list-style-type: none"> <li>水平方向で数十cm、垂直方向でその2～3倍悪いが、回数管理上はこの水平精度で十分と判断。</li> <li>垂直精度がいくぶん劣るため、出来形管理には別途補助手段による補正情報などが必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高精度であり、水平方向で数cm、垂直方向でその2～3倍悪い程度。</li> <li>高さ情報を使って、自動出来形計測を付加したシステムとすることも可能。</li> </ul>

DGPS を採用した本システムの特徴を、開発例の多い RTK-GPS を採用した場合と比較して表-1に示す。

#### 4. 工事への適用

##### 4-1 工事概要

工事名称：能勢変電所新設工事に伴う土木工事  
のうち敷地造成工事

発注者：関西電力株式会社

施工場所：大阪府豊能郡能勢町吉野

工期：平成9年1月27日～11年3月25日

整地工事：切土 788,000<sup>m</sup><sup>3</sup>、盛土 982,000<sup>m</sup><sup>3</sup>  
盛土厚 60m、盛土高 100m



写真-1 現場の盛り立て初期状況

##### 4-2 システムの導入

現場は写真-1のように、谷沢部に盛土を造成するため GPS 衛星の捕捉状態が悪い施工位置および時間帯が存在し、GPS 利用上大変不利となる。そこで、システム稼働中は各振動ローラー側で衛星捕捉データを常時記録して状況の把握を行っている。その結果、盛土初期時の作業時間帯のうち4衛星以下の時間帯が約20%あり、更にそのうち3衛星の時間帯（それ未満はない）が数%ほど存在した。そこで、3衛星時には平面座標のみを求めることで位置管理し、4衛星以上になれば3次元座標を求めるといったソフトとしたことで、データ欠損の無い24時間適用可能なシステムとなった。

本システムを搭載した振動ローラーを写真-2に、運転席のモニター設置状況を写真-3に示す。データ記録管理の仕様上、稼働中にオペレータは本システムに対して多少の操作を行う必要があるが、これをできるだけ簡素化すると共にその手段も写真-3に示すような簡易なテンキー入力とした。

また、現場の施工エリアを最も良く見渡せる位置に管理室を設け、一元管理用のコンピュータ機器、無線機、および DGPS の基準局機器等を設置した。

転圧回数の表示は、各まき出し回数（層）毎に、施工エリアを任意サイズに分割したメッシュを転圧回数に応じて色分した分布図として表示される。尚、当現場ではこのメッシュは DGPS の精度と振動ローラーのローラー幅を考慮して50cmとした。



写真-2 システムを搭載した振動ローラー



写真-3 振動ローラーの運転席状況

分布図の表示例として、振動ローラー運転席のモニター画面を図-2に、管理室内の管理コンピュータ画面を図-3に示す。

#### 4-3 システムの稼働状況

平成10年3月より稼働を開始して以来、大きなトラブルもなく、現在3台の振動ローラーがシステムを搭載して稼働中である。現場は盛土の終了までの期間、本システムによる管理を実施することを発注者と確認しており、導入当初より管理体制を整えて本システムに対応している。

結果の管理は管理室のコンピュータ画面上での確認の他に、図-4に示すようなまき出し層毎の帳票印刷を行っている。出力結果は視覚的に判り易く客観的な管理が実施できることから、現場のみならず発注者にも非常に好評である。また、現場は、図-4に示す印刷物を盛土の品質管理記録として日報と一緒に発注者に提出している。

#### 5. おわりに

今後、盛土の品質管理の一手段としてこのようなシステムを普及させていくには、システムの実用性の実証と信頼性の確立はもちろんのこと、何よりもその費用対効果が問われる。そして、従来にはない管理手段であるため、発注者の信用と理解を得ることが必要である。

今回、位置計測に高精度 DGPS を採用したことにより、RTK-GPS や自動追尾式トータルステーションを利用したシステムに比べ、より安価で実用的なシステムとすることができた。今後、本システムの適用実績をふまえ、盛土の施工管理手段として汎用的に利用されるようになることを期待している。

最後に、本システムの開発にあたりご指導、ご協力を頂いた関電能勢工事事務所はじめ関係者の方々、現場導入にご理解、ご協力頂いた関西電力(株)関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

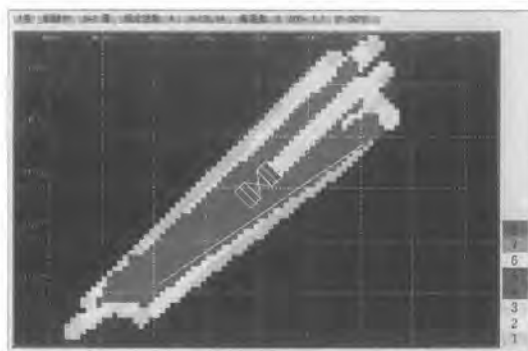


図-2 振動ローラー運転席のモニター画面

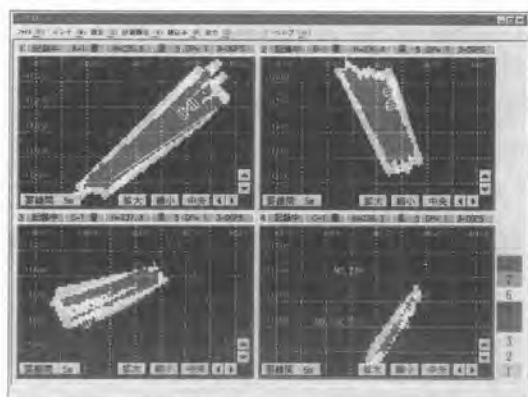


図-3 管理室内の管理コンピュータ画面

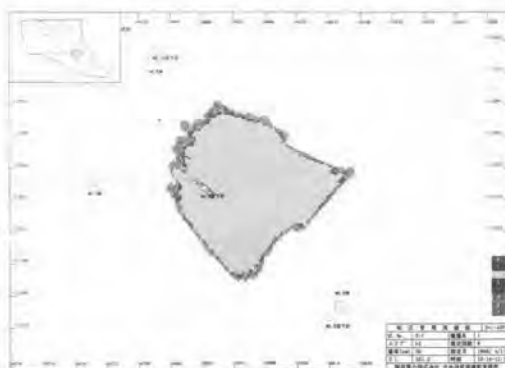


図-4 管理実績帳票

## 7. 免震レトロフィット掘削工事への直動式遠隔操作の適用

清水建設(株)：\*佐藤 成美  
西尾レントオール(株)：市側 義治

### 1. はじめに

既存建物の耐震性向上の施工事例が、1995年1月の阪神・淡路大震災の発生を契機に増加しており、これに伴い、耐震性向上のための構造計画や施工技術も多数提案されている。

国立西洋美術館本館の耐震改修工事では、歴史的・文化的価値が極めて高い建物の外観・内観などを保存する目的もあり、各種耐震改修工法の検討の結果、既存建物の基礎下に免震装置を置く基礎免震(免震レトロフィット)を採用している。基礎免震化は、既存直接基礎の下部を掘削して、躯体(免震ピット)を構築し、既存基礎柱芯直下に免震装置を設置する工事となる。

既存建物基礎下での狭くかつ低空頭の空間で実施される掘削工事に、作業環境・施工効率・安全性の向上を図るため、直動式遠隔操作システム(ALDシステム)を開発採用し、機械化施工を実施した。

### 2. 国立西洋美術館本館耐震改修工事の概要

既存建物の基礎形式は、関東ローム層を支持地盤とする直接基礎である。本工事は、既存建物に地下のない部分、地下1階の部分があり、さらに地下階を増築する部分が計画されるため、複雑な掘削断面形状(図-1参照)を持つことが施工上の特徴である。既存建物に有害な変位を与えることのないように、建物のレベルを保持したままでの掘削を行う必要があるため、基礎下面以深の掘削を実施する前に、建物を仮に支える「仮受け」を行う。その「仮受け」完了後に所定のレベルまでの掘削を行い、新設の基礎、免震ピットの構築、免震装置の設置という施工手順となる。

表-1 国立西洋美術館本館工事概要

工事名	国立西洋美術館本館(1959年竣工) 免震レトロフィット工事
建築主	建設省関東地方建設局
所在地	東京都台東区上野公園7-7
建築面積	1,692.61m <sup>2</sup>
延べ面積	3,995.67m <sup>2</sup>
階数	地上3階、地下1階、塔屋1階
構造	鉄筋コンクリート造
設計監理	関東地方建設局営繕部、(株)前川建築設計事務所 (株)横山建築構造設計事務所、清水建設(設計協力)
工期	平成8年5月～平成10年3月

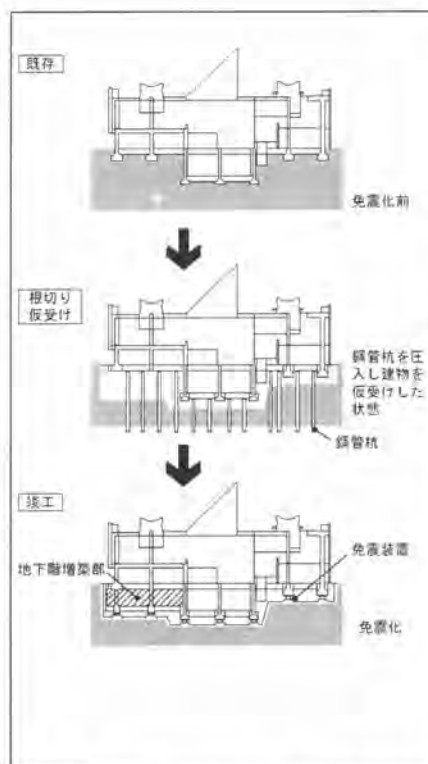


図-1 国立西洋美術館本館工事概要図



おおまかに工程を表現すれば、「仮受け」～「掘削」～「構築」の手順である。

「仮受け」は支持地盤の条件、対象建物の構造条件、掘削形状、施工性を考慮し、建物の重量を反力とする鋼管杭圧入工法を用いた杭基礎形式を計画した。鋼管杭は、施工性を考慮して、フーチングを避けたスパン中間部に柱1本当り4本配置した。建物がスパン中間部の梁底で支持される状況となるため、杭施工の前工程で既存梁の構造補強を実施した。

また、工事中、特に「仮受け」期間中には、既存建物への有害な変位を与えないことと、工事そのものの安全を確保することが必須の条件であり、工事期間中に既存建物の沈下と傾斜および振動に対する計測管理も実施して工事を進めた。

図-2に、免震化工事の施工手順を示す。

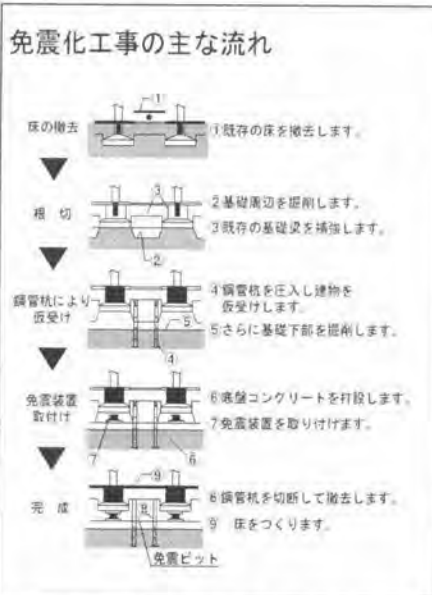


図-2 免震化工事施工手順図

### 3. 掘削工事の施工計画

本掘削工事は仮受け施工を途中に実施しながら、1階基礎直下の1次・2次根切り、および地下1階基礎下部の3次・4次根切りの4工程に分け施工することとなる。各基礎下部の掘削深度は1.5m程度であり、当初はスコップによる人力作業により掘削することを計画したが、鋼管杭の乱立する狭大な空間での作業であり、掘削時におけるフーチング直下のラップルコンクリート落下、床スラブ・梁下部の均しコンクリートの剥落、土砂崩落等の危険性を考慮し、作業環境・施工効率・安全性の向上を目的として、機械化施工に計画を変更することとした。(図-3参照) しかしながら、既存のミニショベルでは、①梁下での移動・作業ができない。②屋根を外すとオペレーターが危険である。③オペレーターは前後左右を確認しながら運転しなければならない。等の問題があり、屋根・運転席を外し、機械高さを低くし、オペレータの搭乗運転を止め、安全な場所から無線による遠隔操縦により運転できるように改良した。

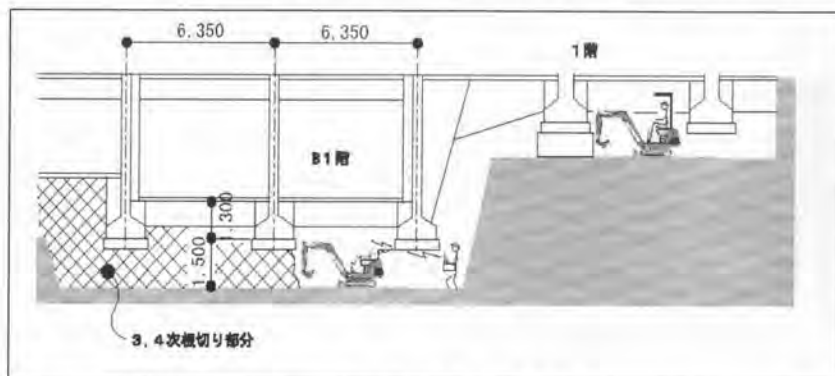


図-3 掘削工事概要図



#### 4. 遠隔操作システム

従来では既存の油圧式掘削機械に遠隔操作システムを組み込むためには、重機本体の油圧制御弁、油圧配管類、コントロールボックス等の脱着乗せ替え等の改造工事に高額な費用と、改造期間がかかる。しかも、部品が特注品であるため、納期が2～3か月かかることも考慮しなければならない。

このような状況から、汎用型で機種を選ばない方法で、しかも出来るだけ低廉でリースも可能なことを基本コンセプトとし、操作性を損なわないために機械本体内部の各油圧機器を現状のまま維持し、すべて関連装置を後付けする方式である『操作レバー直動システム』(Active Lever Drive Control System)を開発し、0.02m<sup>2</sup>ミニショベルに搭載した。(図-4参照)



図-4 ALD-SYSTEM構成図

オペレーターの腕にあたる、本装置の心臓部は、応答性の良いリニアステッピングモータを採用し、この推力がプッシュプルケーブルを介し、レバーを作動させる簡易なシステムである。

遠隔操縦装置のジョイスティックレバーを操作すると、送信されたアナログ信号は無線を通じ無人のミニショベルに設置されたコントローラに入力される。信号はコントローラ内でデジタル信号に変換された後、リニアステッピングモータが作動し、プッシュプルケーブルを介し、ミニショベル本体のマニュアル操作レバーを直接作動させ、オペレーターが搭乗して直接運転しているのと同じように動く。

遠隔操縦装置の非常停止ボタンを押すと、ミニショベル本体の全てのレバーをニュートラルに戻し、全ての作動を停止させるとともにエンジン停止信号を送り続けるような安全対策を取っている。

遠隔操作とミニショベル本体での手動操作との切替もスイッチの切替で容易にできる。

使用した無線機の仕様を表-2に示す。

表-2 無線機定格

インチング	10～16/秒
送受信周波数	特定小電力帯の40波
伝送距離	送受信アンテナ見通しにて約200m
通信方式	単向または単信
通信内容	テレメータ・テレコントロール用のための信号伝送
電波型式	F1D
チャンネル間隔	12.5kHz
無線回線制御方式	固定・手動・外部制御によるチャンネル切換
呼出名称信号方式	郵政省告示による
電源	DC5V±10%以内
非常停止時間	約20msec



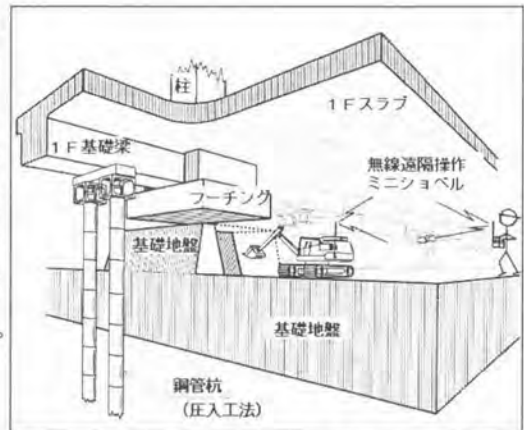
遠隔操縦装置

## 5. まとめ

直動式遠隔操作システム（ADLシステム）を搭載したミニショベルを平成9年5月～10月の期間掘削工事に適用した。

既存基礎部の直下で、作業高さが1.5mに過ぎない狭隘なスペースの中、約600m<sup>3</sup>の掘削を行い優れた作業性が確保できた。特に地下1階スラブ下の掘削においては、スラブ下均しコンクリートの剥落等の状況においても安全性を確保することができた。

本システムの特徴を挙げると以下ようになる。



図一5 ミニショベル遠隔操作概要図

- ① 従来の油圧装置系をそのまま使用するため、スピード、パワー、微調整、複合操作等のフィーリングを損なわない。
- ② 面倒な油圧系の改造が不要でシステムの取り付けが比較的容易であり、改造にかかる期間、コストの低減が可能。
- ③ プッシュプルケーブルを介して作動させるためリニアステッピングモーターやコントローラ本体の設置場所が選べる。
- ④ 車輛系だけではなく、油圧レバー操作型のどのような建設機械への取り付けも可能である。
- ⑤ 手動運転も遠隔操作装置を搭載したままできる。

今回採用した直接基礎建物での免震レトロフィット掘削工事における直動式遠隔操作システムは、類似の工事でも適用できることが確信された。現在では油圧ブレーカ・ブルドーザ等に搭載したモデルにも水平展開されその有効性が実証されている。今後、緊急災害復旧・悪作業環境下等の様々な工事への展開が期待される。



写真一1 ミニショベルによる掘削状況①



写真二2 ミニショベルによる掘削状況②

## 8. 建設機械の自律化に関する研究 (自律作業の研究)

大成建設株：宮崎 裕道，\*近藤 高弘

### 1. はじめに

現在主に使用されている建設ロボット等は、特定な作業を決められた通りに動作する自動化機械である。このような機械では予め作業パターンが設定されていてパターン化した作業を実行する能力しか持っていない。このパターンを実際の作業に合わせて、その都度組み変える必要がある。

このようなやり方では作業の変更に手間取り、想定された作業動作以外は機械が対応できないなどの問題がある。

建設作業の自動化を図る上で建設機械自身が事態に対応して自己判断できることが好ましい。このような問題を解決するアプローチの一つとして建設機械の自律化に関する研究に取り組んできた。

理想的には人間の直接的操作を全く介すことなく建設機械自らが自律的に移動・作業を行う未来的なロボットの研究である。その様なロボットが経済コストの範囲内で検討され開発できれば人間の操作を

必要としない無人で働く建設機械ができることになり、社会に与える影響も十分大きく多大な効果が期待できるものと考えられる。また、このようなロボットは作業効率を向上させ、人間が行う危険作業を回避することができる。すなわち生産性を向上させるための投資と人命尊重のための投資の両方を包含することができる。

平成9年度建設機械と施工法シンポジウムに自律走行に関する研究内容を発表した。今回は自律走行の続きとして自律作業に関する研究成果を発表する。



写真1 自律式トラクターショベル

### 2. 研究内容の来歴

平成6年度：三軸光ファイバージャイロを使用して慣性航法の基礎実験を実施。

平成7年度：慣性航法の精度を高めるため、三軸リングレーザージャイロを使用した基礎実験を実施  
実機のトラクターショベルのサーボ化および無線操縦化を行った。

平成8年度：高精度の慣性航法を経済的に実現するため一軸光ファイバージャイロと地磁気センサーによる慣性航法を実現し、障害物回避を含む完全無人操作による自律走行の実験を実施。

平成9年度：土砂の荷取りとダンプへの荷積み完全無人化した自律作業実験を実施。

### 3. 概要

建設機械を自律化させる研究では、まず機械自らの位置と姿勢を検知する方法として、自律走行機械の活動エリアを限定せず構造物の内部でも位置・姿勢が検知でき、かつ初期値のみの入力でも位置・姿勢が把握できる慣性航法を選択した。

また事前に計画された路線を走行していてもルート上に障害が発生することを想定し、自律走行時に迂回機能を持たせる事を前提とした。

土砂の荷取りや荷積み作業では、周囲の状況を認識してルートの決定を自ら設定できることとした。建設機械を自律化させるために必要な研究要素として以下の研究内容を設定した。

- ①. 機械の現在位置・姿勢を検知する技術の研究
- ②. 建設機械の自律走行を制御するためのアルゴリズムの研究
- ③. 緊急時に対応した建設機械の自己判断機能の研究
- ④. 各装置を有機的に結合し暴走などを未然に阻止するための電子制御技術の研究
- ⑤. 前方方向の地形認知技術の研究
- ⑥. 自律作業のため周囲の状況を認識して判断制御するためのアルゴリズムの研究
- ⑦. 上記研究内容をフィールド走行実験で検証

以上の内容を実証実験した。3 ton 級トラクターショベルを用いて自動走行（障害物回避を含む）、自動作業（荷取り・荷積み）を人間の直接操作を介さず機械自ら判断する自動制御が可能になった。

### 4. 研究内容

土砂の荷取り・荷積み作業の自律化に必要な研究内容を以下に示す。

- ①. 荷取り・荷積みエリアでのコース設定はトラクターショベル自ら行う。
  - ②. 荷積み用ダンプの停止位置が何処であっても対応できる。
  - ③. 荷取り時スリップなどで慣性航法の座標ズレをマーカボールを用いて補正する。
- 以上の内容を実験検証する。

今回は荷取り・荷積みを自動化する自律作業の研究が主内容である。そのためシステム全体の構成は、新たにレーダーPCがSHUBに接続されることになった。

また荷積みするダンプトラックも完全自律走行が可能な自動機械であると想定し、ダンプとトラクターショベルは互いに位置情報を交換しながら協調して土砂の荷取り・荷積み作業を行った。

通信 STD: 外部との通信および内部通信の分配を制御する。

制御 STD: 建設機械の操作部（アクセル、シフト等）を指示値通りに制御する。

監視 PC: 建設機械をどのように操作するかを指示値を制御する。

慣性 PC: 自律走行の計画路線の指示と慣性航法による座標処理を制御する。

レーダーPC: 地形形状の探査および障害物の探査を制御する。

SHUB: 各サブシステム間のデータ蓄積型通信ネットワークシステム。

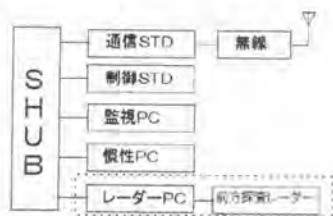


図1 自律システムの構成

#### 4-1. レーダPC

前方探査レーダーはレーザ距離計を内装しており、前方左右方向±90°、上下方向に±45°の探査エリア能力を持ち80m先の探査物体までの距離を±1cmの精度で三次元的に探査することができる装置である。

この探査レーダーによって入手される情報は、探査装置の設置位置を原点としたローカル座標系での三次元座標データの集合となる。しかし計測時トラクターショベルのピッチングおよびローリングの傾斜影響をうけ、計測データをグランドレベルの水平面とするように座標変換を行う必要がある。

即ちXY平面のピッチング・ローリングの補正式は

ローリング角：(y軸正方向に右ねじ回り(正))

ピッチング角：(x軸正方向に右ねじ回り(正))

とすると

以下はローリング角の補正式

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & \tan \theta_y \cdot \cos \theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_y & 0 & \sec \theta_y - \tan \theta_y \cdot \sin \theta_y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

以下はピッチング角の補正式

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & -\tan \theta_x \cdot \cos \theta_x \\ 0 & \sin \theta_x & \sec \theta_x - \tan \theta_x \cdot \sin \theta_x \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

この式により三次元座標の補正を行なう。探査レーダ装置でダンプトラックを探査したときの三次元探査結果を図2に示す。

実際に必要な情報はこの三次元データから探査内容別に抽出する。

ダンプ探査の情報：ダンプの両端の座標値と荷台のある位置

砂山探査の情報：砂山の頂点座標と荷取り時進入点座標(砂山の稜線座標)

図3に砂山探査を行いXY平面のコンター図に変換し、点P(砂山頂点)および点A(荷取り進入点)の座標を抽出した様子を示す。



写真2 レーダー探査装置

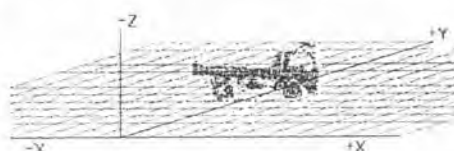


図2 レーダー探査したダンプの三次元イメージ

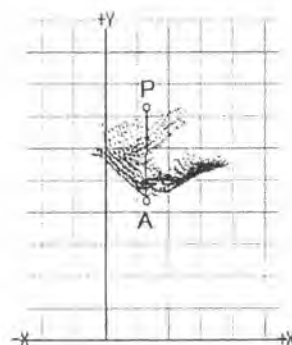


図3 砂山探査情報の抽出結果

#### 4-2. 荷取り・荷積み位置の決定

通常の自律走行ではコースを設定してそのコース上を走行するように制御されている。

自律的に荷取り・荷積みを行う場合、荷取りの砂山位置および積み込みダンプの停止位置が決定するまでは事前にコースを設定することはできない。

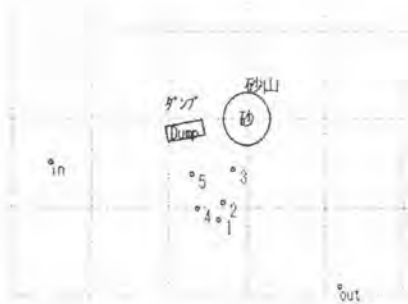


図4 荷取り・荷積み位置の決定



写真3 マーカーポールと砂山

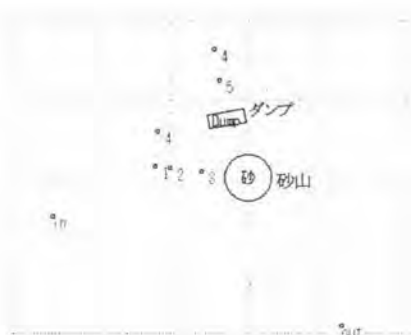


図5 迂回のある荷積みルート

する。点4でダンプ位置をレーダー探査してダンプの荷台の位置を決定し、ダンプ側面に垂直になる様な最適アプローチ位置点5を再計算し進入方向を決定する。

実際に荷積みアプローチ位置点5に移動する場合、トラクターショベルは方向と位置が適切になるまで再トライを行う。

点5で最適なポジションを確認して、ダンプまでの距離を計測しながら前進して最終的にダンプに荷積み作業を実施する。荷積み累積がダンプ積載量以上になれば、点1まで後進してout点へ走行して正規の設定コースに戻る。

積載量が満たない場合、再度点1まで後進して、同様に砂山アプローチを繰り返す。

コース設定はダンプが積み込みエリアに進入して停止し、その停止位置情報をトラクターショベルに連絡してきたときにはじめて決定することができる。そのため荷取り位置に近づいたトラクターショベルはダンプ停止位置情報をもとに自ら荷取り・荷積みに必要な走行ルートを決める必要がある。

図4に示すように荷取り位置に近づいたトラクターショベルの最初の通過点1を決定する。点1は荷取り・荷積みを繰り返して行っても互いの作業領域を侵さない点を求める。

全体のコース設定は、まず作業エリアin点を通過後、点1に進み、点1から砂山までは点2、点3の位置設定を仮定する。

点2で砂山位置をレーダー探査して最適アプローチ位置、点3と進入方向を再計算する。点3は図3に示すように砂山の稜線方向に沿って設定される。

コースを再構築して最終的に砂山にアプローチし荷取り作業を実施する。

荷取り作業を行うと荷取り負荷により駆動輪のスリップが発生する。このスリップ量は慣性航法の位置計算に大きな誤差を生じ、後の荷積み作業での位置決定にも影響を与える。

そこで荷取り後、トラクターショベルは荷取り重量を計算して荷取り量を把握すると同時に、砂山後部に設置されている、マーカーポール的位置をレーダー探査で計測する。

このマーカーポールを計測することで自らの位置および方位角を補正することができる。

その後トラクターショベルは点1まで後進して行く。

同様に点1からダンプまでは点4、点5の位置設定を仮定

またダンプと砂山の位置関係によっては、荷取り後点1に戻り点4に向かう場合、ダンプ自身が障害となって直線的に移動ができない場合がある。この様な場合は図5に示すように、点4の迂回点を発生させ回避させるようなルートアルゴリズムになっている。

#### 4-3. マーカボールによる位置補正

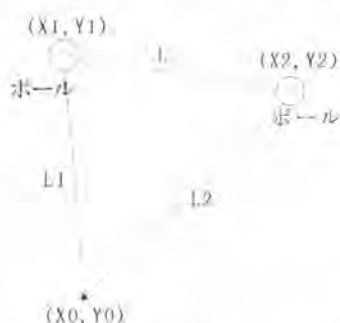


図6 マーカボール探索による慣性座標補正

とする。

マーカボールのレーダー探査座標を $(lx_1, ly_1)$ および $(lx_2, ly_2)$ とする。ただしレーダー探査装置を原点座標とする。

計測座標より各ボールまでの距離を $L1$ および $L2$ とする。

$$\begin{cases} L1^2 = (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 \\ L2^2 = (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 \end{cases} \text{より修正慣性座標を}(x_0, y_0)\text{求める}$$

修正方位角 $Hh$ は以下の式により求められる。

$$Hh = Hp - \left( \tan^{-1} \left( \frac{ly_2 - ly_1}{lx_2 - lx_1} \right) + 90 \right)$$

以上の修正方法はマーカボールの設置位置および大きさ、計測位置の関係で精度は変化する。

フィールド実験では慣性座標の補正結果は

位置座標の補正精度は $\pm 30$  cm、方位角精度の補正は $\pm 1^\circ$ を得ることができた。

#### 5. 自律作業実験結果

自律作業の検証をフィールドで実験を行った。

実験は、まず従来のように設定コースを決め、コース上に土砂の荷取り・荷積み作業を含めた。コースには障害物を設置して障害物回避走行を行わせた。荷取り・荷積みの作業エリアのコースはトラクターショベル自身がダンプ位置情報（座標値、方位角）を入手して自らコースを決定して自律操作されている。

これらの一連の研究実験で、トラクターショベルの走行および作業に関して完全自律化が達成できた。



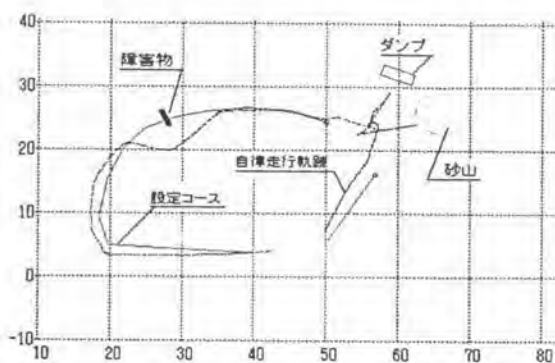


図7 フィールド実験の走行軌跡

図7に障害物回避をして土砂の荷取り・荷積み作業の一連を実施した時の走行軌跡を示す。

この結果からより高速に情報を処理し、操作系のレスポンスを向上させ、システム全体の完成度を増すことで完全自律型建設機械の実用化は可能な域にあると考えている。

## 6. おわりに

研究に際して自律ロボットのコンピュータシミュレーションやミニチュアロボットなどの実験で終わらず、実機（3ton級トラクターショベル）を用いて自律制御実験ができたことは、今後各種の建設機械を自律化する上で貴重なデータが得られた。

このような自律制御系の機械は、ラジコン操作や、パターン操作のような動きとは違い、同じ動きの反復動作や人間の判断を介入するような操作を伴わない。完全に独立した制御系をもっている。そのため従来では不可能だった24時間連続作業や、無線の届かない場所や、危険で周囲の状況を判断しながら行動しなくてはならない自動機械には大いに有効となる。

この技術の発展のためには分野を越えた知恵とアイデアが必要で、また多くの方々のアドバイスをいただきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 宮崎裕道・近藤高弘：建設機械の自律走行に関する研、平成9年度、建設機械と施工法シンポジウム論文集、(社)日本建設機械化協会
- 2) 宮崎裕道・近藤高弘：建設機械の自律化に関する研究、建設機械 '98 6 400. Vol. 34. No. 6、日本工業出版
- 3) 宮崎裕道・近藤高弘：建設機械の自律化に関する研究、第7回建設ロボットシンポジウム論文集、(社)土木学会、(社)日本建築学会、(財)先端間接技術センター、(社)日本建設機械化協会、(社)日本ロボット学会、(社)日本ロボット工業会 共催

## 9. 区画線自動施工機械の開発

建設省近畿技術事務所：\*加藤 義紀、児玉 孝司  
三菱重工業(株)：山内 崇賢

### 1. はじめに

交通量の増加に伴い道路上での工事施工は危険性が高いものとなっており、特に区画線設置作業は供用中の道路上において交通規制を行いながら路面の清掃・下書き・ペイント塗布等の多くの工程を人力にて作業しているため、交通事故防止の対策が強く望まれている。

そこで、当該作業の安全性確保とともに省人化および施工効率の向上を可能とする区画線自動施工機械の開発を三菱重工業(株)との共同開発のもと平成6年度に着手した。

### 2. システム概要

本機械は、車載仕様で傷んだ実線および破線の既設区画線をカメラによる画像処理で検出し、忠実にトレースしながら溶融式塗料を吹き付ける機構であり、図-1に示すよう従来における道路上での人力による各作業をほぼ機械化ならびに自動化した。これにより作業の安全性・省人化・施工効率を大幅に改善するとともに、作業の距離や速度等の施工実績データの整理・記録管理を機能化し、施工管理についても向上を図った。

なお、概略的な開発工程は表-1のとおりである。



<従来の作業>



<開発機械による作業>

図-1 区画線設置作業の作業形態

表-1 開発工程

内 容	H. 06	H. 07	H. 08	H. 09	備 考
実 態 調 査	-----				
試 験 装 置 設 計	-----				
試 験 装 置 製 作		-----			
現 場 適 応 性 試 験		-----	-----	-----	

### 3. システム構成

#### 3.1 機器配置・機構

本機械の開発にあたっては、実用機としては車両の左右方向どちらでも施工可能な仕様が必要であるが、システム技術の構築を重視し試験装置としては車両の進行方向に対して右側（中央線側）のみを施工できる機器仕様とした。

試験装置の機器配置は図-2のとおりである。

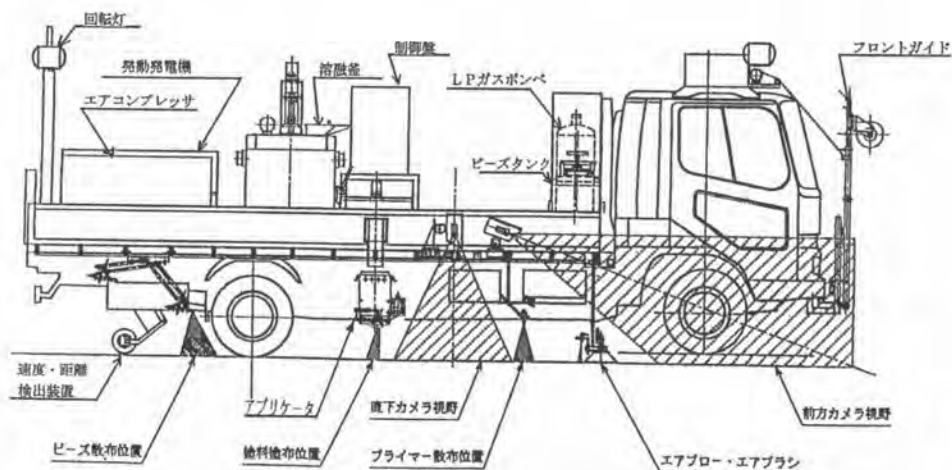


図-2 試験装置の機器配置図

また、自動施工にともなう機構は次のとおりである。

#### ① 区画線位置の判定

既設区画線を前方および直下カメラにて撮像し、画像処理方式にて区画線の位置を判定する。前方カメラでは、車両の前方約5mの範囲を撮像し、曲線に対応させるため視野を広げ既設線の概略位置と破線の始終端を検出する。

## ② 塗料の吹き付け

塗料吹き付け位置直前に設置した直下カメラで既設区画線の位置と破線の始末端を詳細に検出しペイントノズルである車載式回転ブラシ噴射型アプリータの微い制御を行い、既設区画線を忠実にトレースしながら溶融式塗料を吹き付ける。

破線に対しては始末端を検出し、アプリータシャッタの自動制御を行う。自動制御時のアプリータは、進行方向に対して左右各100mmのストロークを持ち、既設区画線に対する車体のブレを自動修正するものとし、特に破線の場合における線の無い部分での車両位置のブレ発生によるペイントノズルの位置修正の遅れに対処して、前方カメラによる概略位置の情報にもとづき事前に位置修正の制御を行う。

## ③ 施工実績データの管理

施工距離と施工速度のデータはコンピュータにより管理し、実施工延長の記録と施工開始時にテストヒースに塗布した厚みを計測することにより、規定の厚さを確保するための速度管理を行う。

## ④ 施工モード

施工にあたっては、「自動」「半自動」「手動」の3モードがあり、区画線の状況に応じて随時対応を可能なものとしている。

「自動」 ----- 既設区画線の補修に対応するものであり、既設区画線に沿った車両走行でアプリータが自動追従し塗布する。

「半自動」 ----- 新設（破線）に対応するものであり、破線（5m～5m、6m～9m）を自動施工する。ただし、作業開始時にのみ墨うち等による車両の位置決めが必要である。

「手動」 ----- カメラで認識できない補修や新設（実線）に対応するものであり、従来の加熱ペイント式と同等の施工を行う。

## 3. 2 設計仕様

本機械における主要機器の設計仕様は、表-2のとおりである。

表-2 試験装置の設計仕様

項 目	設 計 仕 様	項 目	設 計 仕 様
車 両 サ イ ズ	4トン車	速度距離検出装置	中空ゴムタイヤ接地式
ペイント溶融装置	300kg×2層式	清 掃 装 置	回転ブラシ-ニアプロー式
ペイント塗布機	回転ブラシ噴射型 15cm幅 20cm幅 実線・破線共用	ビーズ散布装置	エアレス自動ガン
区画線検出装置	前方・直下カメラ画像 処理方式	微い・移動機構	電動モーターボールねじ スライド式

#### 4. 現地適応性試験

本機械の技術的達成度を検証するため、各種の試験により適応性を調査した

##### 4. 1 工場試験

###### ① 試験条件

工場における試験条件は、次のとおりである

- ・ 車両走行速度 ---- 3 km/h
- ・ 区画線曲率 ---- 半径100 m
- ・ 区画線パターン ---- 実線および破線
- ・ 影の有無 ---- 人工的に影を生成
- ・ かすれの程度 ---- 輪郭存在率50%以上

###### ② 検出性能評価

かすれた区画線に対する検出機構としては、図-3に示すとおりカメラが検出した区画線の輪郭点を検出する。

有効処理範囲内の区画線輪郭真値範囲に残る既設区画線を検出するが、誤検出防止のため同じ走査ライン上に必ず左右一対で存在する必要がある、どちらか一方が検出不可の場合はその位置でのデータは無効として取扱われるが、部分的に無効データが存在しても前後の連続性で判断するため、施工上の問題は無い。

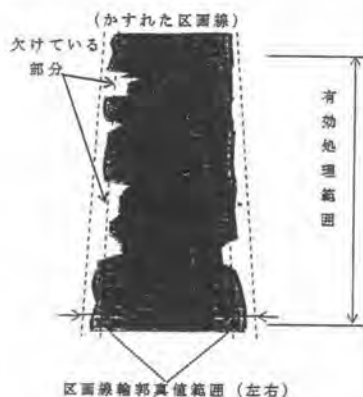


図-3 輪郭検出模式図

一般に既設区画線のかすれ方は一様でないため、これらを定量的に評価するものとして、輪郭存在率に対する区画線の検出精度を調査し、表-3に示す結果を得た。

これらより輪郭残存率50%以上の区画線であれば、実用上は問題がないものと判断できた。また、実際の施工誤差となるペイント塗布の施工精度は表-4のとおりであり、アプリケーションの移動速度の追従性および車両の運転技術が誤差の発生要因となっていることが判明したが、区画線設置作業の経験が全くないオペレータによる施工精度という観点では相応の評価ができる。

表-3 区画線検出精度

輪郭線存在率	80%以上	50~80%	50%未満
代表的なパターン例			
左輪郭	誤差平均 標準偏差	-0.8 mm 4.5 mm	-2.7 mm 5.1 mm
右輪郭	誤差平均 標準偏差	-3.5 mm 6.2 mm	-4.9 mm 6.8 mm
全体	誤差平均 標準偏差	-2.1 mm 5.6 mm	-3.8 mm 6.1 mm

表-4 ペイント塗布の施工精度

	施工位置誤差 (左右のズレ)	始終端誤差* (前後のズレ)
直線(破線)	15 mm以内	最大3 cm以内
曲線(100R破線)	15 mm以内	最大3 cm以内
曲線(15R実線)	20 mm以内	最大3 cm以内

#### 4. 2 試験フィールド事業

工場における試験結果にもとづく諸改善を試験装置に施し、平成9年度に近畿地方建設局管内の福知山工事事務所および滋賀国道工事事務所の2事務所において施工延長1.4kmの試験フィールド事業を実施した。

施工結果は表-5のとおりであり、試験フィールド事業を先行した福知山工事事務所の施工においてはオペレータによるアプリケーション移動許容範囲の認識性および破線施工の現場対応に不具合が生じ、破線箇所の手戻りによって施工データとしては施工速度および材料使用量等に課題を残すものとなった。

そのため、改善策としてアプリケーションの移動許容範囲をオペレータが容易に認識できるよう運転席の表示モニター画面上に照準を設置するとともに、破線施工時の不具合にともなうソフト改良を実施した。

このような改善を施した後、滋賀国道工事事務所の試験フィールド事業に臨み、施工結果でも明らかに大きな成果を得ることができた。

表-5 施 工 結 果

内 容	近 畿 地 方 建 設 局 福 知 山 工 事 事 務 所	近 畿 地 方 建 設 局 滋 賀 国 道 工 事 事 務 所	備 考	
条 件	施 工 日	平成9年7月15日	平成9年8月27日	
	施 工 場 所	京都府福知山市 一般国道9号・上り車線	滋賀県甲賀郡 一般国道1号・上下車線	
	施 工 延 長	約 3 km	約 1.1 km	
	道 路 状 況	ほぼ直線	S字カーブ、勾配あり	
	区 画 線 状 況	ほぼ認識が可能	かすれ、消滅箇所多い	
	交 通 状 況	普通	大型車両が多く、スピードも出ている	
工 績	実施工延長	1.350 km	4.588 km	<目標値> 施工速度 3.0 km/h
	施 工 速 度	2.27 km/h	3.02 km/h	
	使 用 材 料	ペイント 730 kg/km ビーズ 55 kg/km アプリケーションの許容範囲がオペレータに認識できず、既設区画線位置の判定不足のため再度作業を実施。 破線箇所で11%の手戻りが発生	ペイント 583 kg/km ビーズ 50 kg/km 破線箇所で3%の手戻りが発生	
視 認 性	始終端が若干ぼやけているが支障なし	始終端が若干ぼやけているが支障なし	※ 滋賀国道工事事務所の施工は福知山工事事務所での諸問題対策後のデータ	
果 評 価	アプリケーション追従機能の改善が必要。 区画線長に対する現場対応機能が必要。 ペイント・ビーズ使用量が多い。	ビーズ使用量が多い。 曲線部での追従性向上が必要		



写真-1 施工前状況



写真-2 施工後状況

### 5. 今後の課題

現場適応性試験等の結果において、表-6に示すような課題を残しているが、システム技術としては概ね目標の技術水準に到達しており、それらの課題についても継続的な追求により改善さらなる技術向上が可能であると判断する。

このような状況のもと、新たなステップとして車両の左右方向どちらでも施工が可能となる実用機としての機器仕様改造を現在取組んでいる。

表-6 今後の課題

項目	課題内容	改善方針
区画線始末端	視認性には支障がないが、若干のぼやけがある。	視認性に支障がないので、当面は現状のままとするが、他の課題解消を先行させ、将来的には改善。
プライマー散布装置	プライマー散布装置が近いため、塗布位置が乾燥状態となり、剥離の可能性がある。	設置位置の変更もしくはプライマー先行散布等。
ビーズ使用量	ビーズ散布装置を固定式としていたため、広範囲にビーズを散布してしまう。	ビーズ散布装置の追従性向上。
ペイント塗布	ペイント塗布時に白煙が発生するたため、カメラによる検出が通車車両の視界を妨げる可能性がある。	低温塗料等を使用し、白煙発生を抑制。
施工速度	アプリケーションの容量やパソコンの性能により、現在3~4 km/hの施工速度となっているが、さらなる向上が必要である。	当面は5~6 km/hに向上。

### 6. おわりに

以上のように、本機械の開発は実用化を前提とした試験装置から実用機への第一歩を踏み出したところであるが、この機械を実用化することにより、次のような効果が期待できる。

- ① 車載仕様の機械であるため、路用での人力作業が不用になり安全性が飛躍的に向上する。
- ② 施工に要する人員が、従来の方式と比較して1/4程度に削減できる。
- ③ 施工速度が速いため、1日の施工能力は従来の4倍程度に拡大できる。
- ④ 交通規制等を含めた1m当たりの施工費用は、従来の2/3以下に削減できる。

このように、本機械は安全性・省人化・施工性・コスト削減の複合的観点において、極めて有効性の高いものであるため、今後は早期に実用機を完成させ現場適応性試験およびパイロット事業等で技術の検証・評価を行い、積極的に普及を図っていく。



## 10. GPS・ダム・テレコンシステム ～雲仙普賢岳砂防ダム無人化施工～

大成建設(株)：神崎 正，大浦 幹男，\*西澤 修一

### 1. はじめに

1990年11月、200年ぶりに噴火活動を再開した雲仙普賢岳は、度重なる火砕流や土石流により多数の人命を奪い、2500戸を超える家屋等に大きな被害をもたらした。現在でも、2億 $m^3$ とも3億 $m^3$ とも言われる火山噴出物が、不安定な状態で大量に堆積している。溶岩ドームの崩落による火砕流の発生、降雨による土石流の発生の危険がいまだ残されている。

1993年に着手した建設省による雲仙普賢岳直轄火山砂防事業は、こうした土石流の防止を目的として、水無川上流に40基の砂防ダムと中下流部に延長2.5kmにおよぶ導流堤を構築する計画となっている。

こうした中、40基の砂防ダムの最下流に位置する基幹ダムで、堤長870m、高さ14.9m、計画貯砂量100万 $m^3$ 、日本一の砂防ダムとして、水無川1号砂防ダムの建設工事がおこなわれた。工事に際して、越流部区間320mのうち200mは火砕流、土石流などの危険性が高いため、工事の安全確保を図るため人の立ち入りができない無人化施工区間とした。この区間は、GPSを活用した施工支援システムを構築し、遠隔操作による無人化施工を実施した。



図-1 無人化施工状況図

## 2. RCCダムの無人化施工

無人化施工の採用に当っては、現地の条件下に最も適した方法としてRCC工法を選定し、わが国ではじめてRCCダムの無人化施工を実施した。

RCC (Roller Compacted Concrete) 工法とは、ローラー転圧コンクリートダム工法の一つである。セメント量の少ない、流動性のほとんどないコンクリートをダンプトラックで運搬し、ブルドーザーで敷均し、振動ローラーで締め固めてコンクリートダム本体を構築する。図-2のように地下およそ6mまで現地盤を掘削した後、コンクリートを打設していく。

無人施工に使用された重機は、表-1の通りである。

本システムによるダム堤体の無人化施工の手順は次の通りである。

まず、45tダンプトラックにより無人運転でRCCコンクリートを堤体部へ運搬する。流動性のほとんどないコンクリー

トは、無人ブルドーザーで25cmの厚さに敷均しされる。その厚さは、映像とGPSデータにより確認され、広範囲に均等に敷均すよう遠隔制御により施工される。

25cmずつ2回にわたって敷均されたRCCコンクリートは50cmの厚さの状態で振動ローラー（10t級）で転圧される。以上が1サイクルとして繰り返され、ダム堤体の施工が進められていく。



写真-1 完成したダム越流部

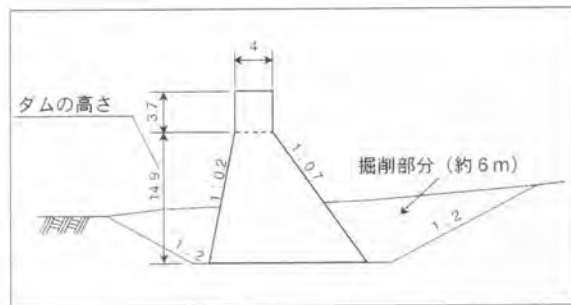


図-2 越流部の標準断面図

表-1 無人重機一覧表

重機名	規格	台数	操作方法
ダンプトラック	CAT-773 (45t級)	3	CCDカメラ搭載・遠隔操作
ブルドーザー	CAT-D6D (16t級)	1	GPS・CCDカメラ搭載・遠隔操作
振動ローラー	SD-451 (10t級)	1	GPS・遠隔操作
バックホウ	CAT-330 (1.3m <sup>3</sup> 級)	1	GPS・CCDカメラ搭載・遠隔操作
バックホウ	CAT-375 (2.8m <sup>3</sup> 級)	1	CCDカメラ搭載・遠隔操作
ブルドーザー	CAT-D10N (60t級)	1	CCDカメラ搭載・遠隔操作
移動カメラ車	クローラー走行	4	CCDカメラ搭載・遠隔操作



写真-2 移動式操作室



写真-3 遠隔操作状況

### 3. GPSダム・テレコンシステム

RCCダムの無人化施工では重機を遠隔操作するため、次の3つの構成技術からなる「GPSダム・テレコンシステム」を用いて行われる。

- a. 重機を無線操縦するリモートコントロール技術
- b. CCDカメラによる重機前方やヤード全体の映像監視技術
- c. GPSによる重機位置の3次元計測や出来形の管理支援技術

上記3つの技術のうち、特に施工管理上、GPSによる測位技術は不可欠である。施工中における各種重機の3次元位置をGPSを用いてリアルタイムに把握しながら、遠隔操作室のモニター画面上に重機の現在位置をグラフィック表示させ、遠隔操作でもって施工管理を行う。GPSダム・テレコンシステムは、図-3のようなサブシステムにより構成されており、GPS 3次元データの数値解析とモニタリングによる出力を利用した各種の工事管理を行っている。

#### 3-1 掘削管理システム

その日の掘削作業の終了後に、GPS搭載ブルドーザーでランダムに走行することにより、地盤の3次元座標を計測する。前日との差分を計算することによって、その日の出来高を求め土工数量の管理を行う。

また、荒掘削された法面（傾斜面）の整形には、写真-3のようにGPSモニター画面を利用して、ブルドーザーの遠隔操作により行う。

最終仕上げの段階においては、写真-5、-6の

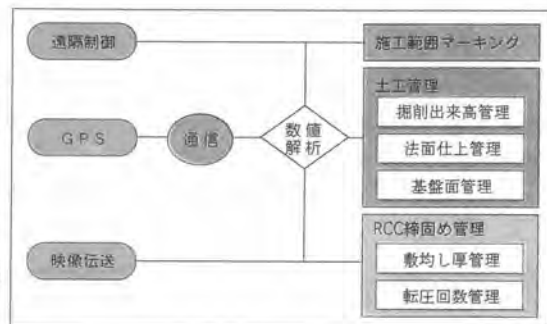


図-3 GPSダム・テレコンシステム

ような法面・基盤面管理モニターで確認しながら、ブルドーザーによる仕上げ整形を行う。画面上には、計画断面と現況の出来形断面を表示するほか、リアルタイムに重機の位置と設計高さとの差が表示され、その数値により最終仕上げを行っていく。

### 3-2 RCC締固め管理システム

流動性がほとんどないRCC（Roller Compacted Concrete）コンクリートは、厚さ25cmずつ撒き出され、2層に敷均されて50cmとなった時点で振動ローラーにより締固められる。写真-7は、敷均し厚を管理するモニター画面である。計画高に対する敷均し高さ分布状況を、画面上で色分けして表示する。施工管理は敷均し範囲を1mメッシュに分割し、それぞれのメッシュの現在の高さを図-4のように10 cm 刻みに色分けして表示し、目標高さの±5cmの範囲に仕上げる。

- (a) 敷均し範囲
- (b) ダム軸
- (c) 20mピッチ横断線 (No.xx+0.0)
- (d) 1mメッシュの色分け

50cmの厚さに仕上げられたRCCコンクリートは、GPS搭載の振動ローラーにより締固められる。オペレーターは、転圧走行ラインが表示されたモニター画面を見ながら、振動ローラーを遠隔操作する。

オペレーター用モニターは、振動ローラー走行割付線および振動ローラー位置を表示する。

- (a) 敷均し範囲
- (b) ダム軸
- (c) 20mピッチ横断線 (No.xx+0.0)
- (d) 1mメッシュの色分け

ローラーで一定回数の締固めを行う際、通過するローラー端部が隣りの通過痕との間で透き



写真-4 法面掘削状況



写真-5 法面仕上げ管理モニター画面

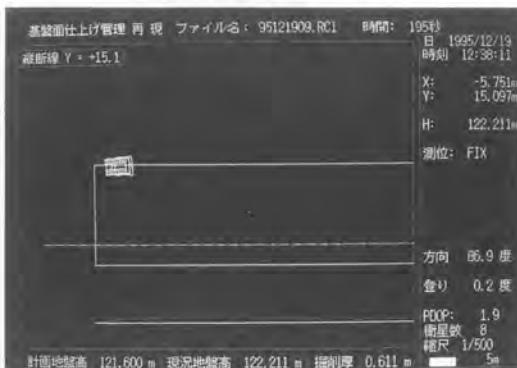


写真-6 基盤面管理モニター画面

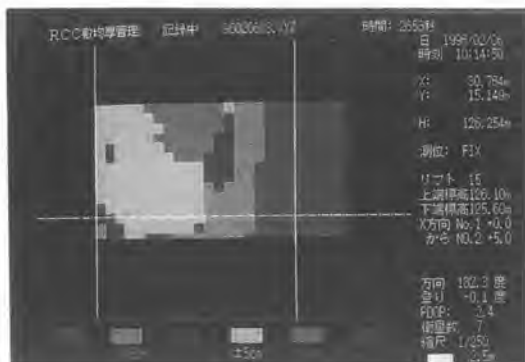


写真-7 敷均し厚管理モニター画面

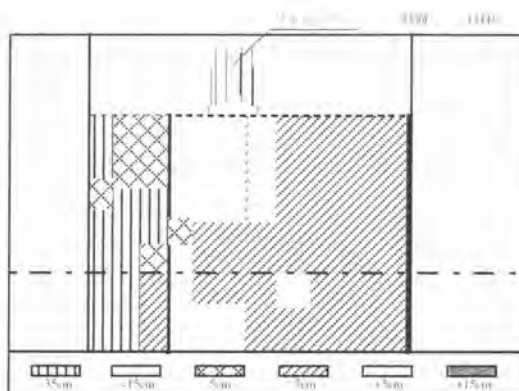


図-4 敷均し厚管理

間ができないよう、ラップ範囲を設定し、図-5に示すように1.6m間隔に割付けし、その範囲を振動ローラーが移動した（締固めた）回数を画面に色分けして表示することで行う。すなわち、画面上の帯（1.6m幅）が規定の色に変われば規定の転圧回数（10回）に達したことが確認される。ローラーが管理幅内を完全に通過しない限りカウントしないため、目測による有人施工よりも管理精度が向上する。

#### 4. 無人化施工の実績と評価

無人化施工の施工能力に関しては、表-2のように、有人比約85～90%の施工実績が得られた。ただし、これらの能力は実稼働中での比較である。無人化施工ではカメラ車の配置等、有人には無い準備作業が必要であり、カメラ等の精機器類のメンテナンスも必要である。また、これらのデータは特定の機械で特定のオペレーターによるもののため、個人差が含まれている。一日の作業の中で、カメラ車の配置やメンテナンスに平均約1.5時間ほどかかるが、この比較表には加味されていない。こうした要素も考慮して両者の適正な評価を行うことが必要である。

一方、敷均し、締固めについて、通常死角で見えない部分やオペレーターの勘に頼っていた

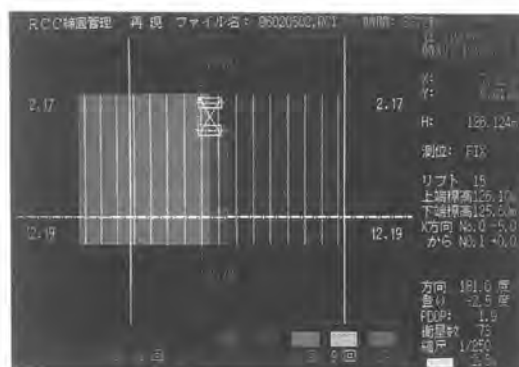


写真-8 転圧回数管理モニター画面

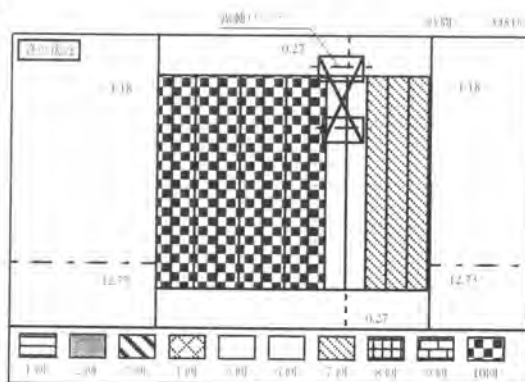


図-5 転圧回数管理

部分を、外部カメラからの映像により確認しながら作業ができるということに関しては、無人化施工の有利な一面と考えられる。

品質に関しては、R I 密度、コア圧縮強度、単位体積重量などの比較を行ったが、有人、無人ともほぼ同等の結果が得られている。

施工精度については、標準偏差で有人が30mm、無人が35mmと良好な結果が確認されている。

#### 5. おわりに

本工事では、ダムとしてのコンクリート構造物を図面に基づいて無人化施工で構築したことにより、GPSダム・テレコンシステムは、精度と施工効率の両面において有効性が実証された。これを契機として、無人化施工技術は、災害等による危険区域の復旧工事や苦渋作業からの解放など、今後多方面への展開が期待できる。

コンピュータやハイテク技術のソフト・ハードの進歩は日進月歩であり、無人化施工法を一新する可能性を秘めている。今後は、この成果を踏まえ、さらにこうした情報化技術の高度化を図りつつ、各種施工支援システムの改良、展開を進めていきたい。

表-2 施工能力の比較

(単位: m<sup>3</sup>/h)

工 種		施工条件	有人	無人	対有人比
上 工 事	上砂運搬	約180m運搬	102	88	0.96
	掘削・積込		288	247	0.86
R C C	敷均し	25cm×2層	62	56	0.90
	締め固め	10回	69	61	0.88



写真-9 工事完了全景

# 11. 梁鉄筋組立てシステム

清水建設㈱：\*野路 利哉，坂口 昇，桑原 秀敏

## 1. はじめに

高層建物や大型構造物の鉄筋工事は躯体工事の主要工種の一つである。なかでも梁鉄筋についてはその形状・構造から特に組み立てが困難な部位であった。そこで、地上部で地組みしたり、PC化することにより生産性を高める工法が盛んに採用されるようになった。

近年RC超高層集合住宅などの梁鉄筋工事においては太径鉄筋が使用されており、鉄筋重量が大きくなっている。また、U型アンカー部（外周柱部で上筋と下筋がU型に繋がっているもの）を有する梁主筋や閉鎖型スタラップを採用する場合が多く、組立て作業が一層難しくなり、作業歩掛りがさらに低下している。

このような背景から、梁鉄筋先組み装置を開発、実用化したので、装置の概要と現場における稼動状況、成果等について報告する。

## 2. 装置の概要

本装置は個々の要素機器を組合わせて構成されており、取り扱いは極めて簡単で、初めて取り扱う職人さんでも容易に運転できる実用的な装置となっている。

本開発にあたっては、この装置を人力による組立て作業の補助用装置と位置づけることとし、組立て作業の非能率的な部分(例えば、相番クレーンを必要とする主筋の横移動持ち上げ等)を機械化することで、作業者に受け入れやすく使い易い装置とすることを心掛けた。

### 2-1 主要要素機械 (第1図参照)

#### (1) 主筋送り出し装置

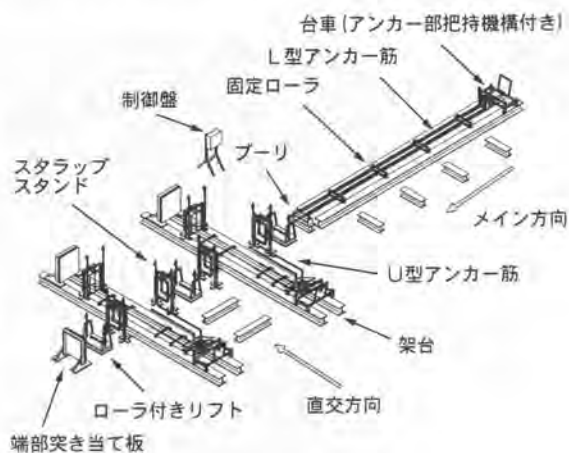
主筋をその軸線方向に送り出す装置で、固定ローラと駆動用のプーリから成る

#### (2) ローラ付きリフト

スタラップの内側に挿入された主筋をローラ上に支持した状態で所定の高さに持ち上げるリフト装置

#### (3) スタラップスタンド

スタラップを仮受けするスタンドであり、組立て時に主筋を任意の高さに支持する機構をあわせ持つ



第1図 π型装置概要



(4) 端部突き当て板

送り出された主筋の端部位置を規制し、正確な配筋位置での組立てをおこなうストッパー

(5) 制御盤

各部に配置されたローラ付きリフトのうち任意のものを選択して操作(上昇下降)することができる運転制御盤

(6) 台車

L型、U型のアンカー部を有する鉄筋の挿入を容易に行う為のアンカー部把持機構付き台車

第1表にキ型(フロアーの内部の梁を対象とするキの字形状)ユニットとπ型(外周部の梁を含むπの字形状)ユニットの標準使用台数を示す。

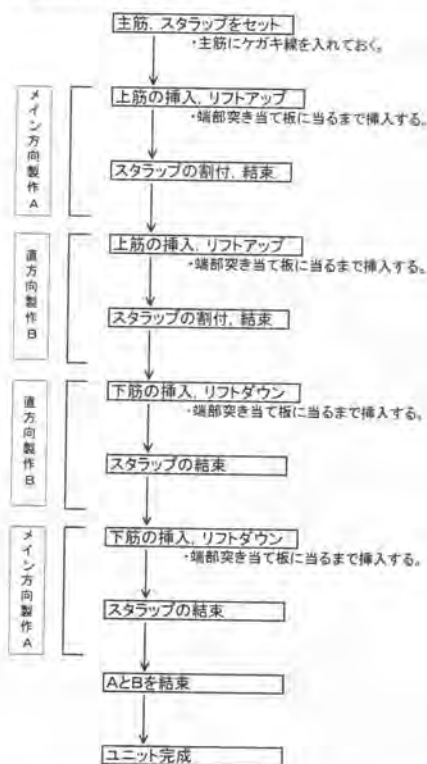
2-2 ユニットの製作方法

第2, 3図にキ型, π型ユニットの製作フロー図を示す。

構成機械	1セット当たり標準使用台数	
	キ型	π型
ブーリ	3	1
ブーリ用制御盤	3	1
固定ローラ	11	19
ローラ付きリフト	8	4
リフト用制御盤	1	1
スタラップスタンド	16	10
端部突き当て板	3	3
台車	0	3

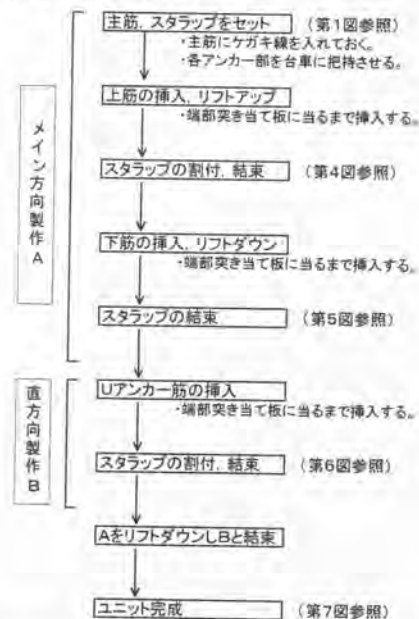
第1表 装置の標準使用例

[キ型ユニット製作フロー]



第2図 キ型ユニット製作フロー (写真1)

[π型ユニット製作フロー]



第3図 π型ユニット製作フロー (写真2)

## 2-3 装置の特長

### ①汎用性

- ・各要素機器の配置を変えるだけで、直型（直交する方向の梁がない形状）キ型、 $\pi$ 型等様々な形状の鉄筋ユニットを地組みできる。
- ・組立てる鉄筋ユニットの梁断面寸法が変化しても、リフト装置での昇降量を変更するだけで自在に対応できる。
- ・特別な機械基礎を必要とせず、コンクリート床上に山留H鋼を配置するだけなので、配置計画も簡易である。

### ②作業環境の改善

- ・重量物である鉄筋の移動(挿入)や昇降等は動力を用いて行うので、作業者の負担を軽減することができる。
- ・地上の足場の良い作業場で作業できるため、作業者の安全性が向上する。
- ・扱いに手間のかかるL型、U型アンカー筋の挿入が、台車により楽に行なえる。

### ③品質確保

- ・組立てて精度の高い高品質な地組みができる。

### ④コストダウン

- ・クレーン等の揚重機の出番が不要である。
- ・1ユニットを大きく作ることで、主筋の接合部箇所を少なくすることができ、接合部材数を削減できる。
- ・組立てが軽作業となるので、作業歩掛りが向上する。

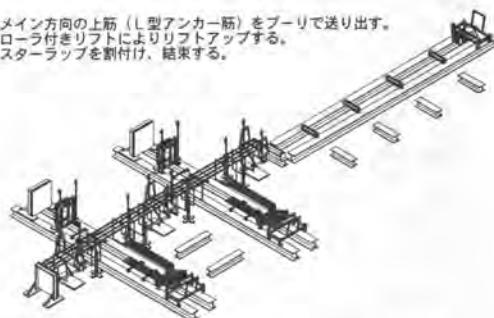
### ⑤工程短縮

- ・歩掛りが向上する事により、サイクルタイムの短縮に貢献する。

## 3. 現場適応

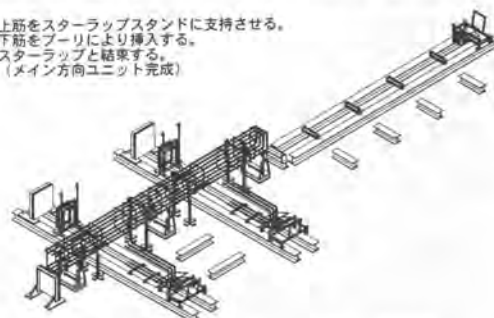
本システムは、現在建設中の超高層マンション（地下1階 地上32階 塔屋1階 延床面積 22,783.867 m<sup>2</sup>）で活用している。

メイン方向の上筋（L型アンカー筋）をフーリで送り出す。ローラ付きリフトによりリフトアップする。スターラップを割付け、結束する。



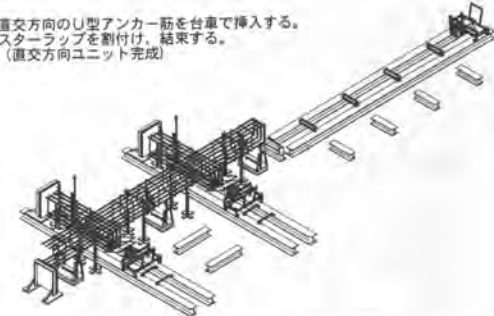
第4図 メイン方向のユニット製作①

上筋をスターラップスタンドに支持させる。下筋をフーリにより挿入する。スターラップを割付け、結束する。（メイン方向ユニット完成）



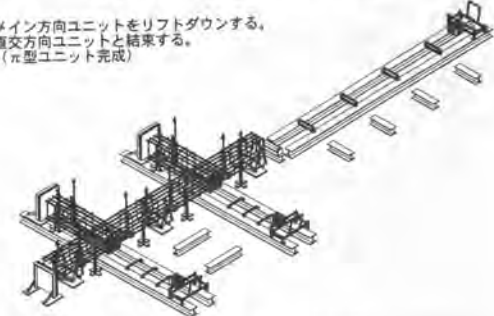
第5図 メイン方向のユニット製作②

直交方向のU型アンカー筋を台車で挿入する。スターラップを割付け、結束する。（直交方向ユニット完成）



第6図 直交方向のユニット製作

メイン方向ユニットをリフトダウンする。直交方向ユニットと結束する。（ $\pi$ 型ユニット完成）



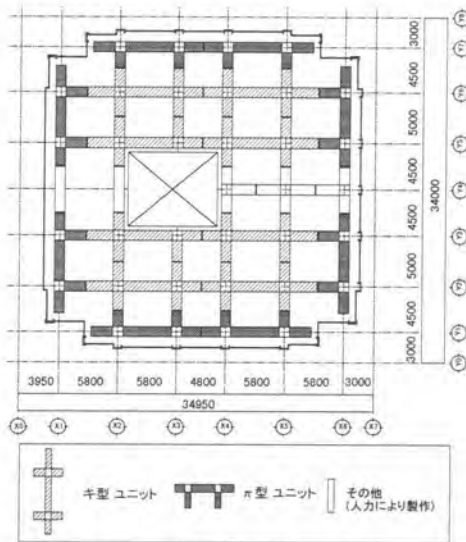
第7図  $\pi$ 型ユニットの完成

装置により製作する梁鉄筋は、1フロアーにつき16ユニット（キ型8台、π型8台）約54tある（第8図参照）。これをキ型、π型装置1セットづつにより、8人工/日で3日間で製作する。

昨年の12月に導入して以来、良好な結果を得ている。施工精度の問題もなく稼動し、習熟度の向上により現在では従来の約2倍の能率で梁鉄筋の組立てを確実にこなしている。

### あとがき

R/C超高層集合住宅等の普及につれ、サイトPCと共に鉄筋の先組みの重要性が一層高まると考えられる。今後は様々な躯体条件、先組みヤード条件に適應できるような改良・改善を行うとともに、更に簡易化を進めたいと思う。



第8図 鉄筋ユニット割付け図



写真1 キ型ユニットとキ型装置



写真2 π型ユニットとπ型装置

## 12. 最上階クライミング型高機能 タワークレーンの開発

(株)竹中工務店：\*宇内 康弘，奥田 健史

### 1. はじめに

建設工用タワークレーンは30数年前より国内で使用されているが、建物の高層化による巻上速度の高速化や、P C a板・メガストラクチャー等の大重量部材による大型化等能力の向上、制御装置・安全装置の高度化による操作性・安全性の向上がなされてきた。しかしながら、クライミングクレーンとしての形態はあまり大きな進歩はない。

また、作業所の工程やコストは厳しさを増しており、工期短縮・機械経費・本設補強費の削減が強く求められている。

今回作業所の生産性向上・安全性向上を図るべく、最上階クライミング機能という新たなクライミング装置を持つタワークレーンを開発し、作業所での稼働を無事完了したのでその概要と効果を報告する。

### 2. 開発の背景

通常タワークレーンのクライミング方法は、フロアクライミング（基礎架台を上層階へ盛替る）とマストクライミング（マストを継ぎ足す）がある。

フロアクライミングは、図-1のように鉄骨最上節の梁に上部昇降フレームを仮固定して、基礎架台とマストを上層階に引き上げて盛替を行う。上部昇降フレームの下端から油圧シリンダー・下部昇降フレーム・基礎架台までの寸法で盛替可能な階が決定される。S造オフィスビルで一般的な階高4m程度の建物の場合、クライミングの反力を受ける階から2～3フロア下が基礎架台の盛替可能な階となる。このクレーン設置スペースは駄目穴開口となり、墜落・落下防止のため手摺・垂直ネット等の養生をしなければならない。さらに、駄目穴開口から雨水が侵入してしまうため、仕上工事の工程と品質に少なからず影響を与えてしまう。特に最終段階では外装の揚重が終了し、タワークレーンを解体するまで開口となり大型工事では2ヶ月以上も開口を塞げない状態となってしまう。



写真-1 新型クレーン全景

また、仕上工事を早期に着手するため仮設の構台を設けて屋上階に基礎架台を盛替る場合もあるが、大掛かりな仮設工事となりコスト・工期ともかかるため通常では行われない。

RC・SRC造の建物では最上階の梁に上部昇降フレームを仮固定してフロアクライミングする方法では、最上階の躯体強度が発現するまでクライミングができない。そのため、短いタクトで躯体工事を繰り返す超高層RC造住宅工事では、マストクライミングを採用し外部設置となっているが、作業半径が大きくなるため1ランク上のクレーン能力が必要となるケースが多い。

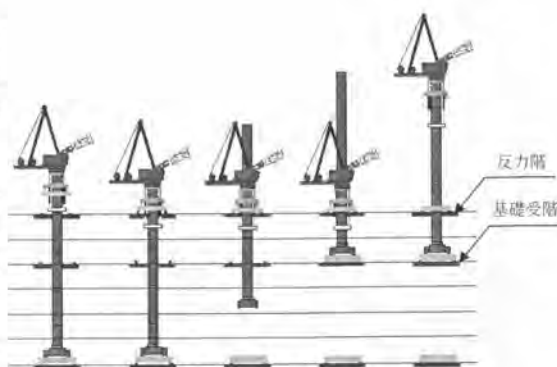


図-1 従来のフロアクライミングフロー図

また、マストクライミングの場合、建物から控え材を取る必要があるが、最上部の躯体工事が完了するまで下層階の仕上げに駄目が残る問題がある。

このような既存形式のクライミング機構を見直し、鉄骨最上階へのフロアクライミング及びRC造超高層住宅において下層階でクライミング反力を取ることで、新たなクライミング機構を持つタワークレーンの開発を行った。

### 3. クレーンの概要

#### (1) 主な仕様

本機は図-2のように最大定格荷重12t・最大作業半径35m・最大モーメント204t・mの能力を持ち、最大揚程250mの超高層に対応したクライミングクレーンである。

巻上装置(DC90kw)には、サイリスター制御を採用し、最大112m/min(3t以内)と高速化を図っている。

起伏装置・旋回装置はインバーター制御と、ユニバーサルコントロール・フック位置をティーチングすることによって設定する作業半径規制装置・燃焼式トイレを運転室内に取り付け操作性・快適性の向上を図っている。

仕様		5 t	10 t
定格荷重		5 t	10 t
作業半径		30.0m	8.0m~3.0m
速度	巻上	12t時35m/min 3t時112m/min	
	起伏	110sec	
	旋回	0.65rpm	
電動機	昇降	0.3/0.63m/min 50Hz	
	巻上	DC90kw サイリスター制御	
	起伏	22kw4P	インバーター制御
揚程	旋回	5.5kw4P×2台インバーター制御	
	昇降	15kw4P 連続	
	最大作業半径時	250m	
電源	440/400V 60/50Hz		
安全装置	過巻制限・起伏制限・モーメントリミッター		

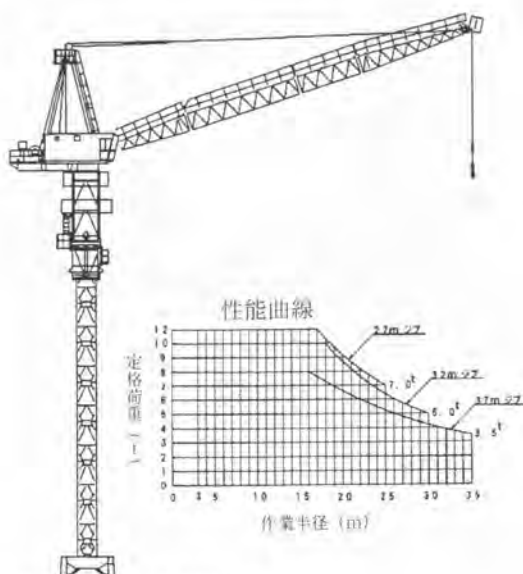


図-2 新型クレーン(OTA-150H)概要

## (2) 特長

本機の特長は図-3のように従来機と発想を変えたクライミングの機構である。

作業時とフロアクライミング時はマストと旋回体が直接固定されており、昇降装置は単独で上下することができる。さらに、フロアクライミング時にクレーンを建物に仮固定する盛替架台を標準装備とし、アウトマスト最下部に配置している。

また、クライミングフレームはアウトマスト内部に従来と上下逆方向に構成し、盛替架台を門型形状とすることにより、基礎架台を盛替架台下に干渉せずに同レベルまで引き上げ可能とした。これによって、S造オフィスビルで鉄骨最上階に盛替架台を設置し、基礎架台を最上階まで盛替える「最上階クライミング」を実現した。

RC・SRC造の超高層住宅においても昇降装置が単独で上下し、所定の強度が発現した階まで下降させ盛替架台を仮固定することにより、フロアクライミングが可能となる。フロアクライミングフローを図-4に示す。

マストクライミングは写真-2のようにアウトマストと旋回体を固定し、マストを挿入できる高さ(約3m)までクレーン本体を押し上げ、アウトマスト上部前面から吊ハンガーを用いてマストを横にスライドし、ジョイントを行ってクライミングをする。

このため、旋回環上部からマストを継ぎ足す従来の0mクライミング方式と比較して旋回体の小型軽量化が図られ、後端旋回半径がマスト芯よりR6045mmと従来の70%程度にコンパクトとなり、機械全体重量の軽減(22%減)・基礎荷重の低減(20%減)が図られた。さらに、超高層での大型タワークレーン解体機としての使用を考慮し、分解重量は2.8t以内で30~40t程度の小型機で解体可能となる。

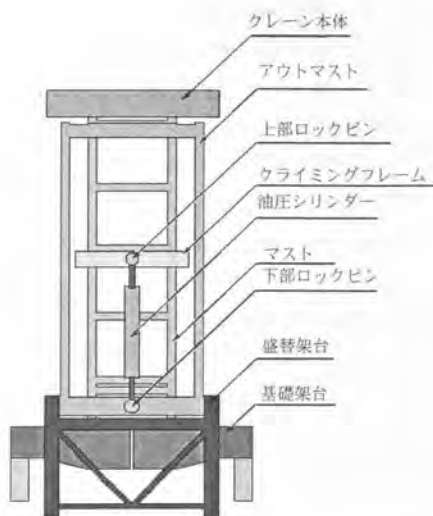


図-3 昇降装置

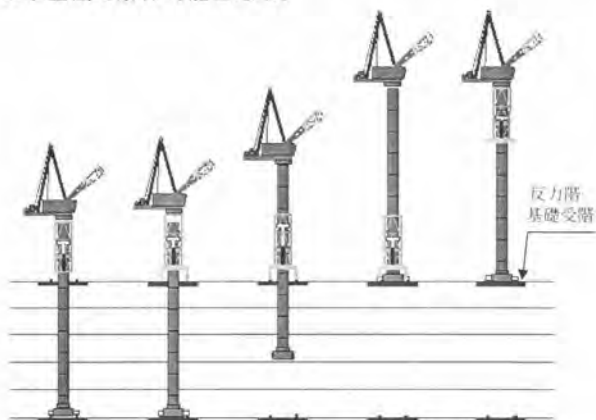


図-4 フロアクライミングフロー図



写真-2 マストクライミング



#### 4. 実施結果

S作業所にて本機を設置し、最上階フロアクライミングを2回、マストクライミングを2回実施した。フロアクライミングの実施状況を写真-3～5に示す。

従来フロアクライミング1回に1.5日かかっていたものが1日で完了し0.5日の時間短縮ができた。また、最上階クライミングにより駄目穴のコンクリートをクライミング完了後10日後に打設し、特に屋上階のコンクリートは従来の工程に対し2.5ヶ月も早く打設することができた。

雨仕舞いができた条件での仕上げのため、良好な環境の中で高品質な施工ができた。また、開口部を早期に塞ぐことができ安全の面からも成果が得られた。

今後はRC・SRC造の超高層住宅工事でのフロアクライミングによる施工を実施し、効果を確認する予定である。



写真-3 昇降装置上昇状況



写真-4 盛替架台セット状況

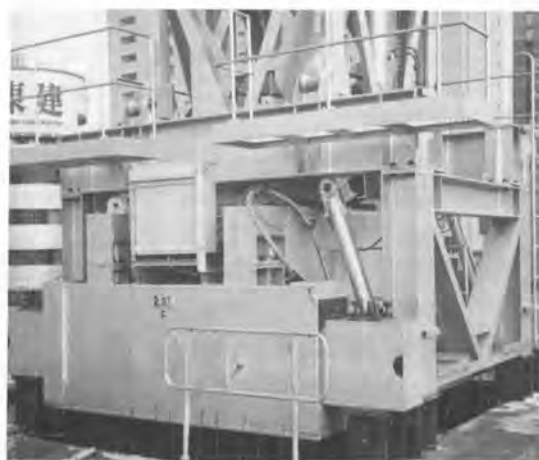


写真-5 基礎架台セット状況  
(クライミング終了時)

#### まとめ

今回の開発により、最上階クライミング・RC造フロアクライミングというタワークレーンの新たな機能を開発し、施工機械の新機能によって工期短縮や安全性向上を実現した。

今後もさまざまな機械化施工のニーズに適確に対応できるように、開発を進めていく所存である。

最後に、本機の開発と実施に際して、ご指導・ご協力いただいた関係各位に深く謝意を表する。



# 13. 火力発電所建屋&ボイラー一括解体工法

大成建設(株)：\*草加 俊資，池田 宏俊，蓑輪 達男

## はじめに

一般的に解体工事の施工計画、安全管理は難しく、乱雑な工事になりがちである。今回、解体工事の中でも難しいとされる火力発電所のボイラー棟の解体に、重量物のジャッキダウン技術を用いた解体工法を世界で初めて採用し、徹底した安全管理により無事解体を終了した。本工法は吊り構造で重量物のボイラー本体を本設大梁ごと吊り下げて、ジャッキダウンしながらボイラー本体と建屋を同時解体する、安全で計画的な解体工法である。建物を建てるがごとく解体を行う本工法は、環境対策、工期、コストの面でも利点を持つ。その特徴をとって、SSP工法=Safe & Systematic Pulldown工法と名付けられた。



SSP工法

## 計画の内容

今回解体した建物は東京の都心部に位置する火力発電所である。この発電所が建設された東京湾の埋め立て地は経済の高度成長により建設当時とは全く異なった環境となった。現在は高層ビルが林立するオフィス街を間近に控えた、都市型の火力発電所となり、解体にあたり本格的に周辺環境への影響を考慮した工事計画を立てる必要があった。特にボイラー棟は敷地中心に位置する一番高い建物であり、周囲に配慮して安全かつスマートに解体したいとの施主の強い要望があった。

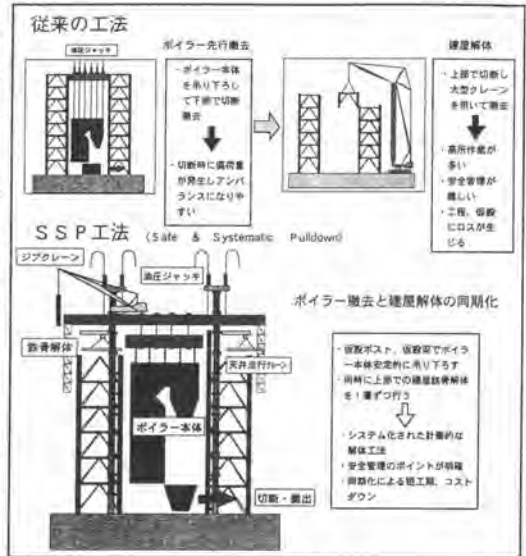
火力発電所ボイラー棟は正方形プランの建物で、その中央部にボイラーを設置するための全層の吹き抜けがあり、最上部には堅固な梁（トップガーター）が架設されている。ボイラー本体は熱膨張に対応するためトップガーターからの吊り構造となっている。ボイラー本体は水・蒸気循環用管（壁管）の集合体で重量が非常に重く、解体には高度な技術を要する。（今回解体したもので約 2500t）解体するボイラー棟は約 13 万 kw の能力のものが 3 棟である。



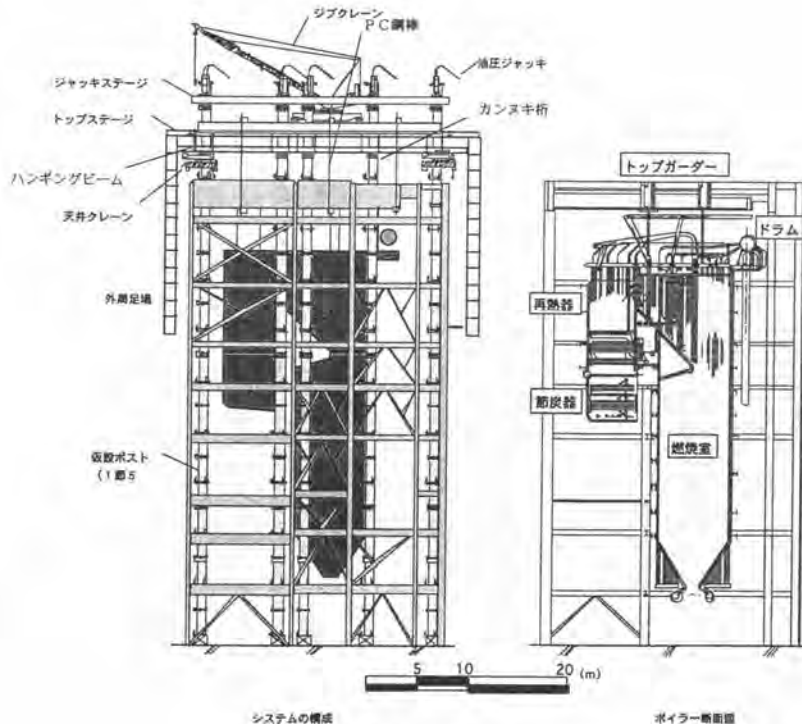
火力発電所全景

従来の解体工法ではトップガーター上にジャッキを多数設置して個々のジャッキを操作しながらボイラを吊り降ろして解体撤去した後に、建屋を解体する方法が一般的であった。この工法では、降下時のボイラ安定性の欠如やボイラ解体と建屋解体の分離施工による工期のロスと仮設の重複が問題であった。

このような問題点をふまえるとボイラを安定した状態で降下させるためには、ボイラがトップガーターから吊られたままの状態を吊り降ろすことが最良と考えられ、また工期短縮のためにボイラと建屋を同時に解体する必要があった。このような背景からボイラ・建屋一括ジャッキダウン工法を提案し採用された。本工法は建屋内にボイラを挟むように仮設ポストを建て、仮設梁（ハンギングビーム）を用いてボイラをトップガーターごと吊り替える。安定した状態で、ハンギングビーム、トップガーター、ボイラを一体でジャッキダウンし、上部での建屋鉄骨解体と地上でのボイラ撤去の同時作業を可能にした。また周辺への飛散防止から外周に全面養生足場を設置した。

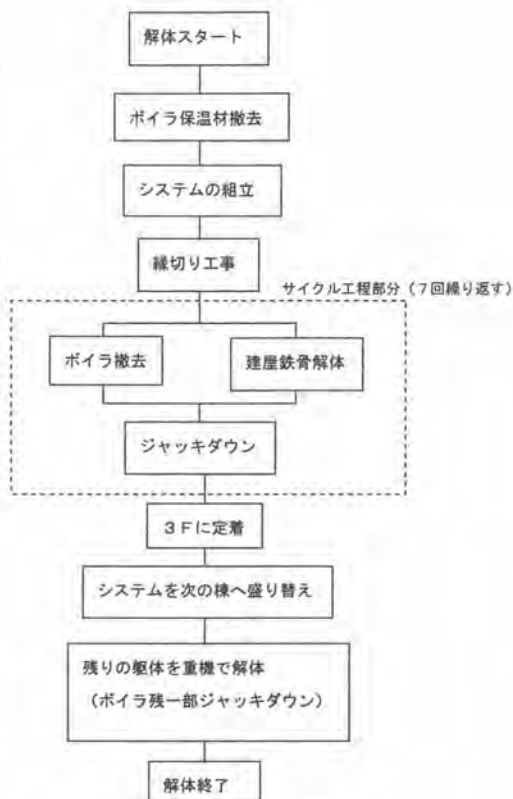


従来の工法とSSP工法

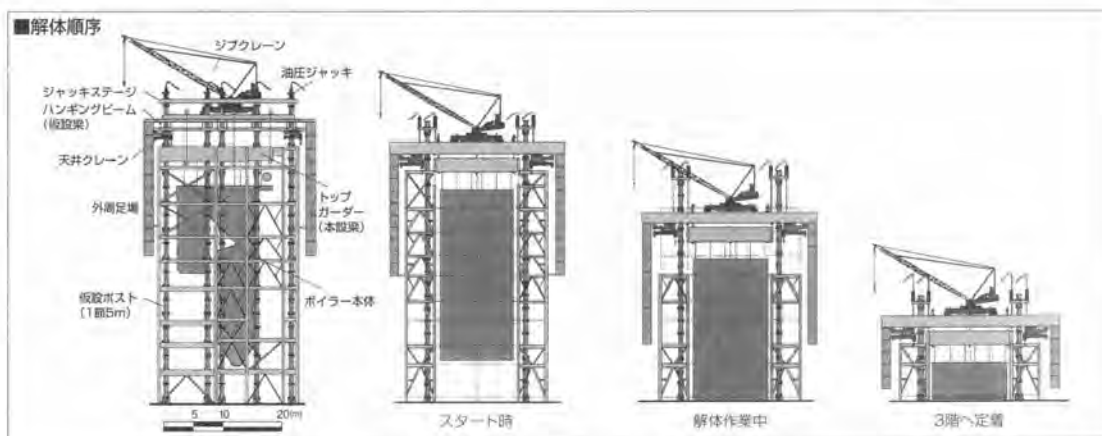


システム概要図

システムは全体を支える仮設ポスト、ボイラをトップガーターごと吊り上げるハンギングビーム、仮設ポスト上部のジャッキステージ、建屋解体用クレーン及び外周足場で構成される。解体施工はボイラと建屋を1層ずつ解体しながらシステム全体が降下する。ジャッキダウン1回の降下量を、ボイラの切断位置と建屋の階高を考慮して5mとした。外周足場は外壁撤去と建屋解体時の埃、粉塵などの飛散防止に用いられる。外周足場に囲まれた中での作業となる建屋鉄骨の解体工法はハンギングビーム下に天井走行クレーン、ハンギングビーム上にジブクレーンを設置して、解体材を天井走行クレーンで屋上ステージの開口部に運び、ジブクレーンで建物外に吊りおろす。ボイラ撤去は地上から5mの高さで高所作業車を用いて、大きなパネル状に切断する。足場を使用した場合に比べ、足場と解体部材の接触がなく安全である。従来の工法では、ボイラ保温材の撤去はボイラの解体と同時進行で行っていたが、今回は先行撤去するため、切断の工程が整然と進み、作業環境、効率が良い。切断されたパネル状の管はさらに細断され重機により搬出される。



解体フローチャート

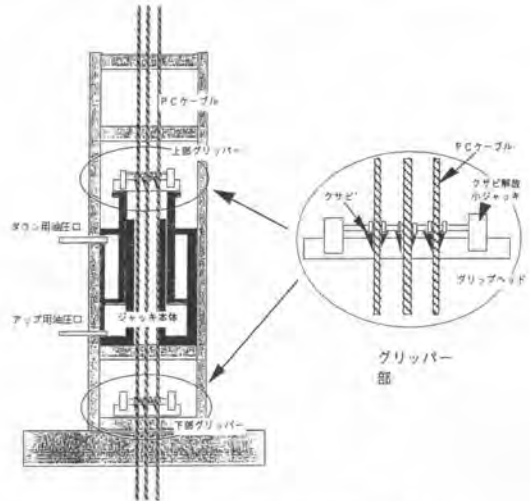


解体順序図

ジャッキダウン用のジャッキはストランドの柔軟性により横ゆれや衝撃に強いVSLジャッキを用いた。ジャッキの操作は情報・指揮系統の一本化と安全性を考慮して、すべて指令室で集中監視操作出来るシステムとした。計測に関しては、トップガーダーは剛性が高く吊り点レベル差によって吊り荷重が他の吊り点へ移行することが考えられるため、各吊り点のレベル・荷重を関連付けての計測管理を行うシステムとした。

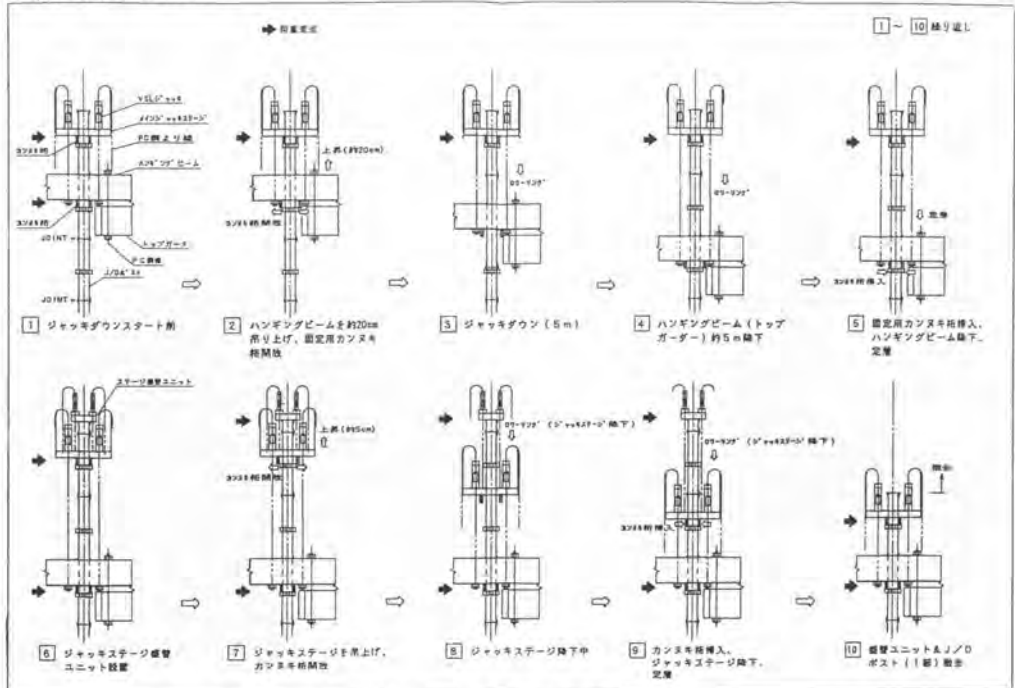


VSLジャッキ



VSLアップダウンジャッキの機構

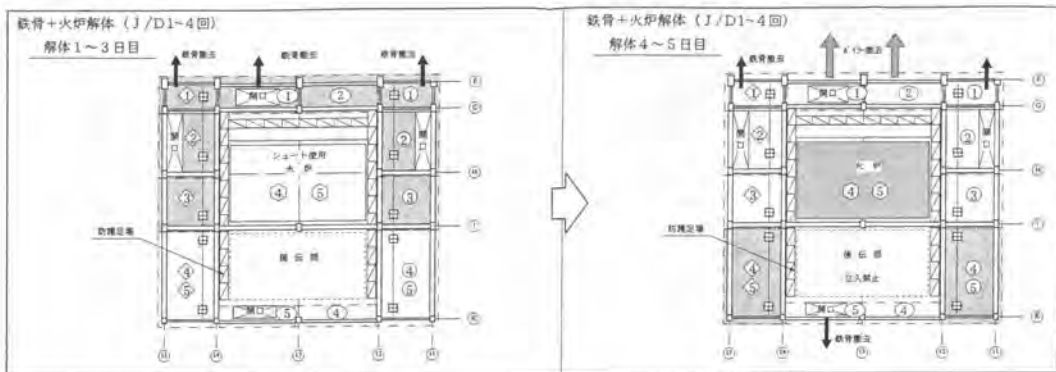
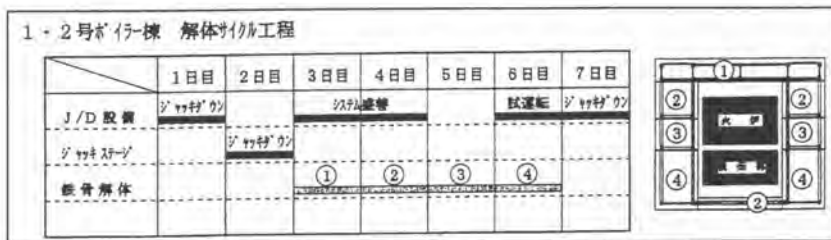
ジャッキダウン ステップ図



ジャッキダウンステップ図

### 実施結果

解体作業は1層6日のサイクル工程に従って行われた。サイクル工程の中でボイラと建屋解体の各工程が正確に盛り込まれていたため、上下同時作業の危険もなく行われた。海沿いのため風が強くしばしば作業中止になる日があったが、建屋内に開口を設けて、天井走行クレーンから直接地上に解体材をおろすことで対処した。ボイラ切断作業では、切断時のボイラの振れや回転はくねらいどおり安定した状態で作業が行われた。ジャッキダウン工事は1回のジャッキのストローク 18cm の下降を 28 回繰り返してトータル 5 m の降下を約 5 時間で行った。



解体サイクル工程の一例

・改良型工法（オープン型SSP工法）：1、2号ボイラ棟の施工で都市型対応の環境重視システムでの解体施工法を確立した。この経験を生かしてさらなる工法の合理化を行うべく、3号ボイラ棟では解体の全体コンセプトは同じでより簡易な普及型システムを目指し検討を加えた。オープン型と名付けられたこの工法では、外周吊足場をなくして、外部のクレーンにより鉄骨の解体をブロックで行うようにした。ブロック解体により解体工事の安全性と施工性が向上し、解体サイクルは4日に縮まった。



3号ボイラ棟の施工

## 考察と今後の展開

当初の目的であった環境保全、解体の安全性、工期短縮についてそれぞれ成果を上げることができた。特に周辺環境の保全については外周養生足場の内側で埃等を飛散させることなく施工した。外からの景観も、計画的に手順良くサイクル工程にのって解体が進んだため、周辺環境との違和感もなく解体工事に対して良好なイメージを残すことができた。

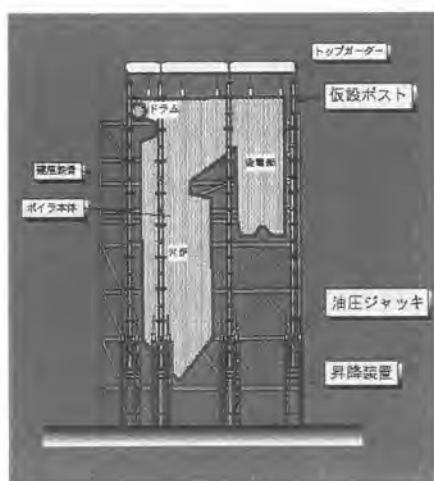
今後は1、2号機の環境重視の都市型と3号機の施工性重視のオープン型の2つの工法が標準となり、場合によって使い分けていくことになる。

今後同様な工事を行う場合は、上記の工法の特徴を理解した上で、以下に示す点について改善の余地があると思われる。

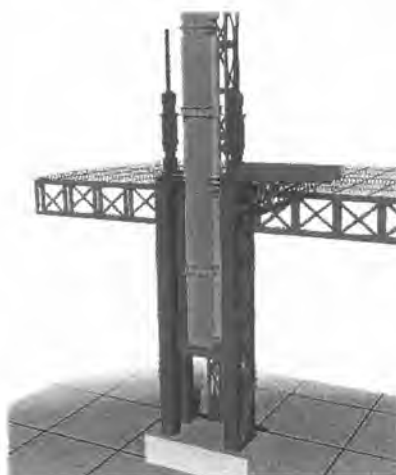
- ① ジャッキの配置を地上に移す。
- ② 仮設ポスト頂部とトップガーターを直接連結してハンギングビームを合理化する。
- ③ ジャッキシステムをパッケージ化し扱いやすくコンパクト化する。

今回の施工で解体工事における最重要項目の安全という点で、飛躍的に安全性を高めた工法を開発できた。昭和30年代に建設された火力発電所はこれから本格的にリプレースの時期にはいる。当発電所解体はその先駆けとなるものであり、解体技術の確立と今後の方向付けを行うことができた。今後ともこれからの主流工法としてさらに発展させる方針である。

またこのような体系的な解体工法は一般の建築物はもちろん、今後考えられる超高層ビルの解体などにも適用可能な技術であると考えている。



改良型SSP工法



地上に配置されたジャッキシステム



# 14. ホイールクレーンの作業準備における安全向上技術の開発

コマツ：長谷川 健

## 1. はじめに

ホイールクレーンにおける死亡災害はクレーン全体の約20%を占めている。

落下、転倒など作業中の災害が殆どであるが、作業準備における災害も毎年数件発生しており、作業準備における安全確保の重要性が伺える。作業中の安全確保は過負荷防止装置など最近機能が著しく進化してきたが、オペレータの心の準備を含めた、作業準備における安全性確保がその後の作業に大きく影響することは言うまでもない。作業準備時の安全向上技術をホイールクレーンに織込み、研究、開発したので報告する。

## 2. 現状の問題点とねらい

### (1) アウトリガの設定

現場に着いてクレーン設置場所を養生し、最初にアウトリガを張り、車体の水平出しをする。

この時4本のアウトリガ操作で水平に、荷重バランス良く張出すのが理想だがこれを均一にするのはプロでも至難な業であり、水準器を見ながらの操作で時間もかかる。一本の足の反力が10パーセント以下であっても、車体の水平がでてしまうし、仮にその状態で作業をし、土場が弱かった時危険を伴う。この問題点を改善すべく、「アウトリガ自動水平システム」を開発、実用化した。このシステムは作業準備作業の時のもので、作業中の地盤陥没など、反力を検出して転倒を防止するものではない。

### (2) 補助ジブの張出し

ホイールクレーン等において、作業範囲を拡大する手段として、主ジブの先端に補助ジブを装着することが多いが、作業準備としてその張出作業が頻繁に行われる。補助ジブの形式は主としてAフレーム式、箱形ジブ式と2種類ありいずれも通常は主ジブの横へ抱えて、必要時主ジブの先端へ装着するものである。Aフレーム式ジブの張出し工程は表-1のとおりであるが、工程が多く、運転室の出入り多く、高所危険作業もあり、オペにとっては疲労要因、苦渋作業となっている。張出しの工程を間違えてジブを落下させ、災害に至る事故も毎年発生している。これらの問題を改善するため「シングルトップ跳上げ式補助ジブ張出しシステム」を開発し、短時間で安全に疲労を軽減した張出しが可能になった。

工程	作業位置	キャブ内外	安全上の問題点
1	ブーム1m伸長	内	
2	ジブ格納ピン外し	外	
3	ジブをブーム下に回動	内	
4	ジブアセットピン取付け	外	ピン忘れてジブ落下の恐れ
5	主フック巻上げ	内	
6	ジブ連結ピン抜き	外	ブームを伸長するとジブ落下ピン外し忘れてジブ破損
7	ブーム起し65度	内	
8	付属ロープをフックに取付	外	旋回台がバー上の高所作業
9	同ロープをジブに通し	外	ワイヤロープを捕り回し
10	補フック巻上げ	内	
11	ブーム起し80度	内	
12	ブームをわずかに伸長	内	
13	補フック下げジブ垂直に	内	
14	付属ロープを外し	外	
15	補フックをジブに取付け	外	
16	ブーム下げ伸長	内	
17	シングルトップ接続	外	作業台の上など3mの高所で15~20kgを持上げ苦渋作業
18	ホースをがけ付に入れる	外	
19	ブーム上げ縮小	内	

表-1 Aフレームジブ張出工程

以上、2つのシステムは98/1に市場導入し、作業の安全性向上に寄与している。



### 3. システムの概要と効果

#### (1) アウトリガ自動水平システムの概要

本システムは4本のアウトリガの反力を直接検出し、車体傾斜角計の検出と併せて自動的に車体を水平制御しつつ、4本に規定値以上の反力を確保するようにするものである。操作は最初にボタン一つを押すだけで、自動的に制御し設置完了させる。本システムの制御系統図を図-2に、制御フローを図-3に示す。

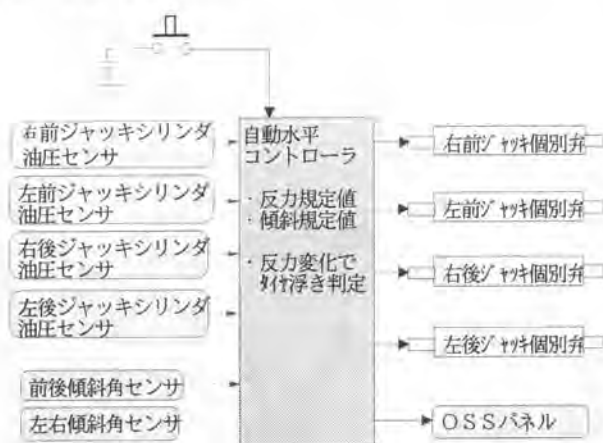


図-2 自動水平装置系統図



図-3 制御フロー

アウトリガ反力をジャッキシリンダで検出し、その情報をコントローラに入力、また車体の傾斜計からの情報もコントローラに入力され、タイヤ浮きを認識した後、水平出し、反力確保するようにそれぞれのジャッキシリンダに操作指令を発令、規定値に入るまで繰り返す。また設定が完了すると、運転席モニタにブザーと共に設定完了表示される。

#### ① 本案による効果

クレーンは水平堅土設置を作業の条件としている。傾斜状態で作業すると過負荷防止装置が正確に作動せず安全上問題がある。アウトリガにて車体の水平を出す時は運転席の水準器を見ながら4本を個別に調整し、全旋回をしたり試行錯誤を繰り返すが、それでも4本の反力をバランスよく張るのは至難の業である。本システムはこれをボタン一つで自動的に水平を出し、しかも規定値以上の反力を与える。水平出しの時間は従来約5～10分かかっていたが、この自動水平システムではボタン一つで約15～30秒程度で可能である。しかも、反力のある程度確保することで地盤に荷重を与え、地盤強度も事前確認できる。また、反力をバランス良く張れることからアウトリガが浮きにくく、クレーンの作業安定性向上にも寄与する。

## (2) シングルトップ跳上げ式補助ジブ張出しシステムの概要

ジブ張出し工程において危険で、苦渋作業であるテンションロッドの接続を廃止すべく、補助ジブの形式は箱形ジブ式を採用した。補助ジブは主ジブの先端に装着して使用するが、本来この場所には軽荷重作業のためのシングルトップがあり、箱形ジブの場合、従来はシングルトップを高所手作業で横へ格納してからジブを張出していた。このシングルトップを運転席からの操作で跳ね上げ、張出し時の苦渋作業を廃止したものである。この開発で特長的であるシングルトップ跳上げ機構につき、その構成図を図-4、5に、系統図を図-6に示す。

主ジブと補助ジブの格納連結ピンを外した後、主ジブ先端に補助ジブを振り出し、左ロックシリンダによりピンを挿入する。シングルトップの跳ね上げはこの左ロックシリンダを共用して、リンクを介して運転室からレバー操作により跳ね上げている。

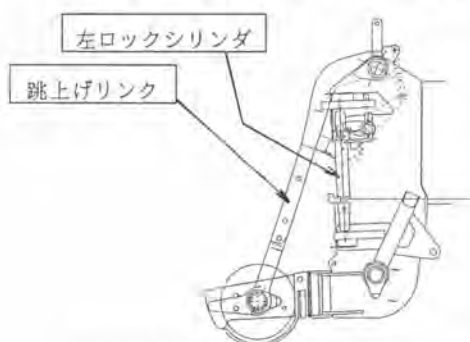


図-4 主ジブ作業時（シングルトップ格納）

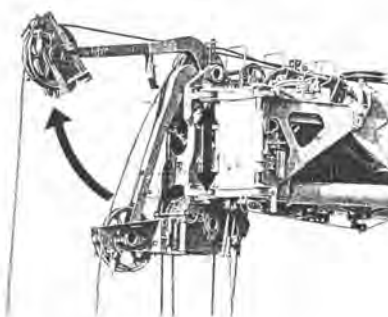


写真-1

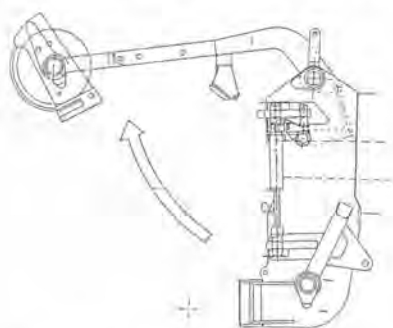


図-5 ジブ張出し時（シングルトップ跳上げ）

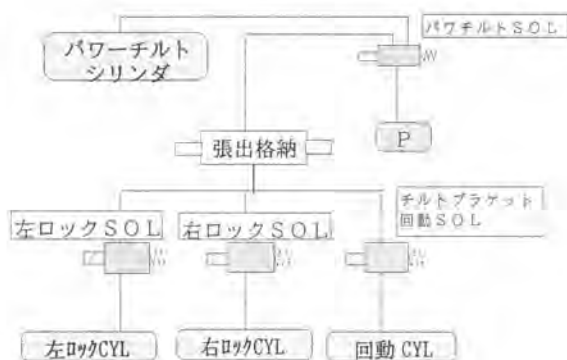


図-6 補助ジブ張出し系統図

### ①制御回路

油圧パワチルト式ジブは従来から油圧回路を保有しており、その回路を電磁弁切換えにて、パワチルト、ジブの回転、連結ピンの挿入&シングルトップ跳上げに使用している。それぞれの操作は全て運転席から一本のレバーで行う。シングルトップの跳上げはリンク比が大きいので跳上げ速度をコントロールする必要がある。跳上げモードにした時その電気信号により油圧ポンプの流量を制御している。

## ②ジブ張出しインタロック機能

補助ジブの張出しには表-1のように多くの工程があるが、ブームとの格納ピンを抜き忘れたり、また、抜いたままでブーム先端の連結ピンを繋がずにブームを伸縮したりすると、ジブ損傷、ジブ落下などの事故に至る恐れがある。これを改善するためインタロックシステムを採用した。

ブームとのジブ格納ピン入りセンサによりピンの抜き・挿しを検出し、ピンを抜かないと、ブーム先端のジブ左ロックピンが入らない、このピンが入らないとブーム伸び禁止リレーが作用、伸び油圧をアンロードしてブームを伸び防止する。

一つの工程を誤ると次のステップへ進めないようになっており、工程に異常があった場合、ブザー警報すると共に、その原因は運転席のランプで確認できるようになっている。

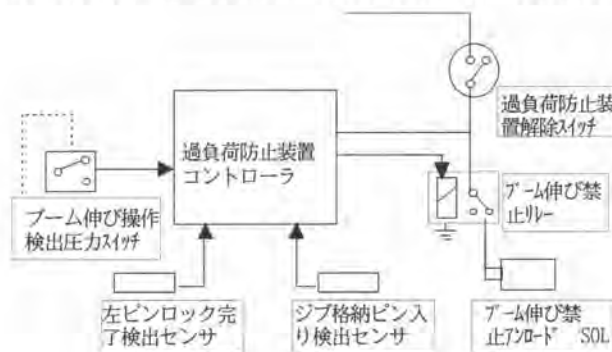


図-7 ジブ張出しインタロック機構系統図

## ③本システムの効果

従来方式との比較

表-2

	本方式	Aフレーム式	箱形ジブ式
張出し時間	約8分	約15分	約10分
運転室出入り回数	2回	6回	4回
高所作業	なし	有 (テンションロッド 7回)	有 (シフト&トップ 格納 7回)

運転室の出入りが少なく、短時間で張出しが出来、約高さ3mでのテンションロッド繋ぎ(15~20kgを持ち上げ)など、高所での苦渋作業が廃止できる。オベの疲労が大幅に軽減でき、高齢者、女性でも楽にジブ準備作業ができる方式である。作業の容易化のみならず本インタロックシステムにより、オペミスによる災害防止をはかることが出来、安全性向上に大きく寄与するものとする。

## 4. あとがき

オベの高年齢化がすすみ、また女性オベの増加など建設機械の安全環境はますます重要視されてきている。建設機械の安全対策、建設現場の安全教育、安全対応はかなり進んでいるが、作業中に発生する災害が準備時に起因するものもあり、今回着目した作業準備における、簡単操作、苦渋作業の削減など今後も取り組み、災害の低減に貢献していきたい。

最後に開発にあたって多くのご意見をいただいたオペレータの皆様、関係各位に深く感謝する。

# 15. 積層工事における外周養生システムの開発と工事への適用

大成建設㈱：森 正人，\*西村 正宏，江里口 靖久

## 1. はじめに

近年、鉄骨造高層建築の積層工事では、さまざまな施工技術が導入され、工事の合理化・安全性の向上が図られている。建方方法についても、鉄骨柱1節分（通常2～3階分）を一度に建てるのではなく、柱建方完了後、1階分ずつの梁鉄骨建方・床板敷込み・外壁取付けを繰り返す方法が多く採用されている。節単位で鉄骨建方を行う積層工事では床から2～3階分の高さでの建方、接合作業が存在していたが、1階ずつ施工することにより、鉄骨建方の作業位置は常に1階下の床上となるため安全性を格段に増すことができる。また、このような手順で工事を進めることにより、鉄骨建方の終わった直下階には床板・外壁がすぐに取り付けられるので、外周垂直養生の必要な部位は取付け終わった外壁の上部から梁鉄骨の建方作業を行う位置までの1階分強で済む。

本報で報告する『外周養生システム』はこのような工事に適用すべく開発されたものであり、上述した積層工法の特徴的な技術としてあげることができる。『外周養生システム』はユニット化された外周養生用のシートやネットを施工の進捗に合わせて盛替え、取付け終わった外壁の直上から鉄骨建方作業の高さまでの外周養生を行うものである。これにより、鉄骨建方・床板敷込み・外壁取付けなどすべての作業を養生の内部で行えるため、積層工事の最上部における作業の安全性が確保されると同時に、鉄骨建方作業時のボルト・工具などの落下防止にも寄与する。さらに、梁鉄骨建方用の作業足場を本システムの内側に装備するケースもあり、この場合には、危険作業である建物外周の建方用足場の撤去作業を行わずに済む。

『外周養生システム』は工事の特性によりさまざまなタイプが開発され工事に用いられている。本報では、外周養生システムの概要を述べた後、当社の積層工事における実施事例を複数紹介し、各タイプの特徴・効果などについて比較検討する。

## 2. 開発・適用事例

上にも述べたように、外周養生システムはさまざまなタイプが考案・開発され、実際の工事に適用されているが、共通して組込まれている機能としては、『鉄骨建方時の外周養生の盛替え・取付けを高所に上らずに、先行して行えること』があげられる。また、養生枠の形状・寸法は対象工事物件の鉄骨形状・外壁形状などによりさまざまであるが、その盛替えのために部材揚重の要であるタワークレーンをなるべく拘束しない工夫が実施事例の中に多く見られる。

また、付随的な効果として『外周養生システム』により工事の最上部の鉄骨建方作業が外部から見えないため、スマートな工事外観を確保しながら工事を進められることをあげることができる。以下に当社の工事で用いられた外周養生システムのうち、典型的なものを4タイプ取り上げ、その概要と特徴を説明する。

2-1.固定枠タイプ・・（大崎駅東口第2地区第一種市街地再開発事業西工区施設建築物他新築工事）

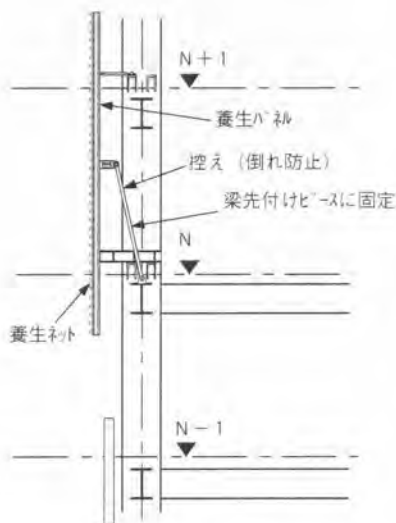


図-1 概要図



写真-1 工事外観

表-1 養生規模

最高高さ	108.8m
養生面積	1445㎡
周長	235m

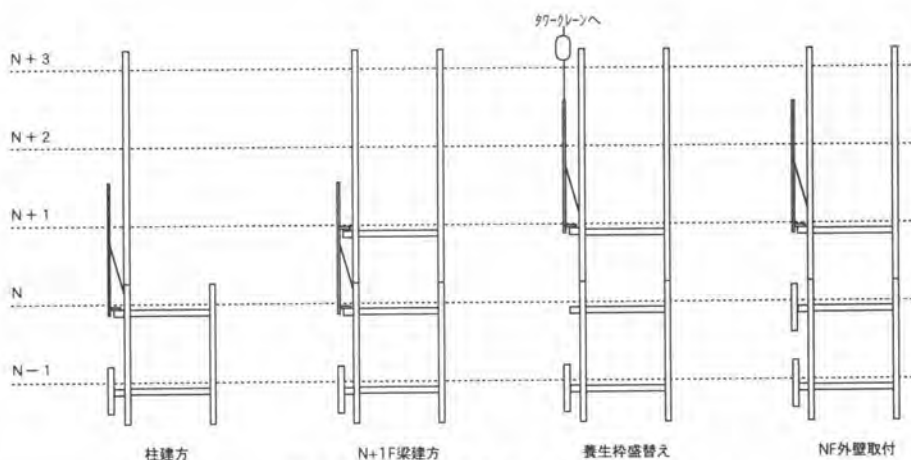


図-2 盛替えタイミング

このタイプの外周養生システムは、鉄骨で製作した枠にメッシュシート等を張って構成されている。柱に先付けした仮設ピースに養生枠のアーム部をボルトで固定して鉛直荷重を受け、さらに、大梁の吊上げ用ピースに控えを取ることで養生枠と躯体とを固定する。養生枠は下階の外壁取付けに先行して上階に盛替えるが、その盛替えはタワークレーンにより行う。

本タイプは養生枠の形状・寸法を比較的自由に計画できるので、養生枠を経済的に設計でき、さらに建方手順に良くフィットしたコンパクトな外周養生システムが実現できる。

## 2-2.吊り治具兼用タイプ・・・(I物件新築工事)

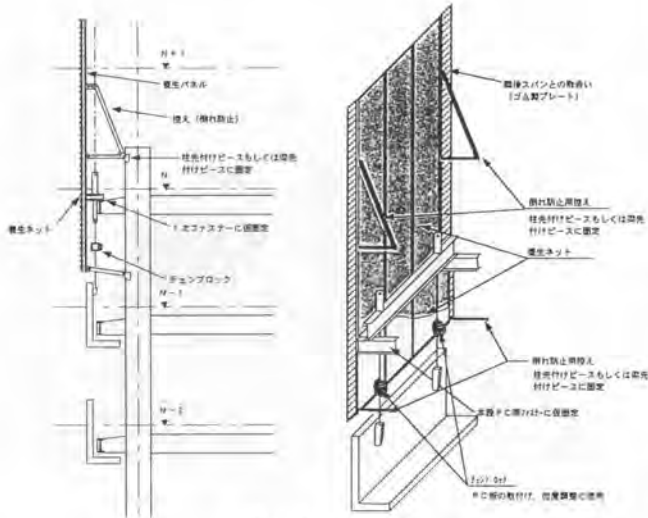


図-3 概要図

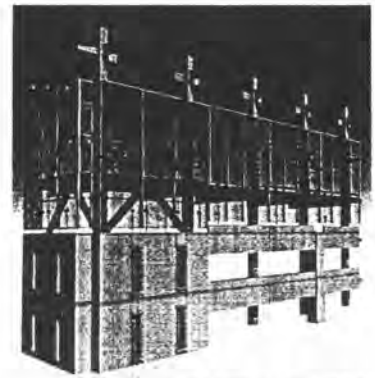


図-4 工事外観 (ハース図)

表-2 養生規模

最高高さ	90.15m
養生面積	2305㎡
周長	276m

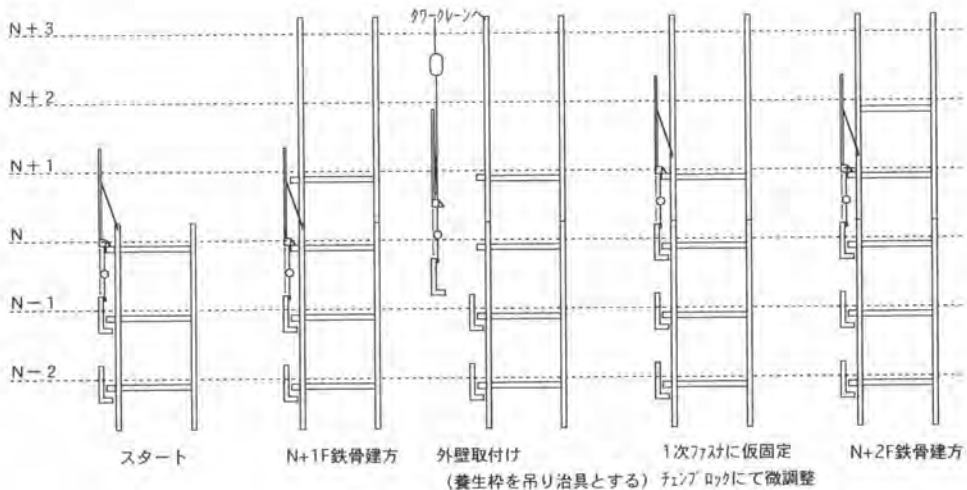


図-5 盛替えタイミング

このタイプは、養生枠そのものは前記「固定枠タイプ」とほぼ同様であるが、上階の1次ファスナーと柱に先付けした仮設ベースを用いて躯体と固定している。養生枠の下部には外壁PC板を吊下げるためのチェンブロックを装備しており、外壁板揚重用の吊治具を兼ねている。

外壁取付け時に養生枠を外壁板の吊り治具として用いることにより、養生枠単独での盛替え時間を無くし、タワークレーンを拘束する時間を減らしている。さらに、外壁の位置調整・固定作業は養生枠に仕込まれたチェンブロックで行えるので、揚重後のクレーン離れも早い。

2.3.セルフクライム式養生枠・・・（JRセントラルタワーズ新設工事）

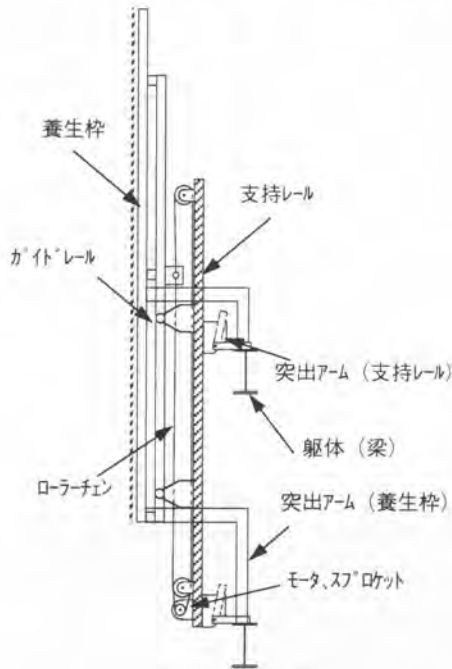


図-6 概要図



写真-2 工事外観

表-3 養生規模

	ホテル棟	オフィス棟
最高高さ	226m	245m
養生面積	1668㎡	2066㎡
周長	166m	210m

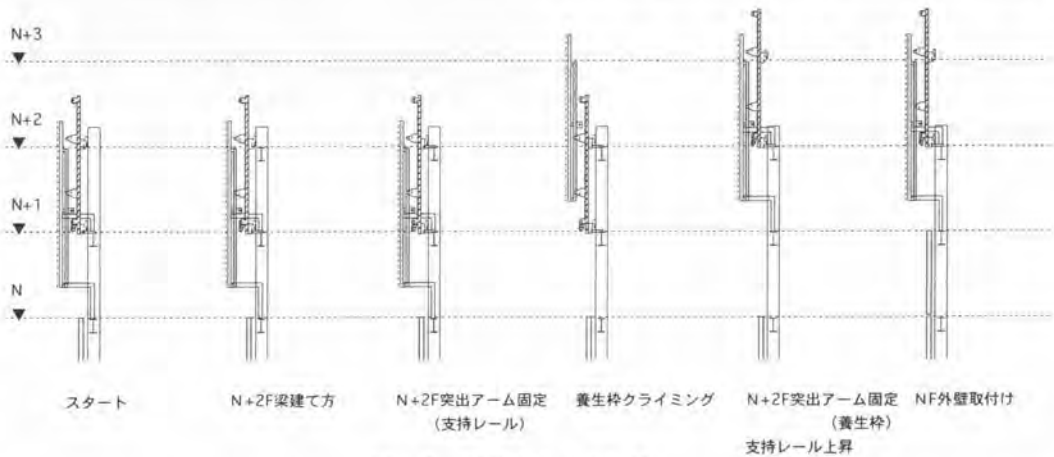


図-7 盛替えタイミング

このタイプの特徴は、養生枠の上階への盛替えをセルフクライム式にしたことにある。養生枠そのものは鉄骨とメッシュシートで構成されるが、枠の内側に1対のガイドレールと支持レールを有し、交互に上昇させるための動力を装備している。上昇後は、梁に先付けした仮設ボルトに養生枠を固定する。

養生枠をセルフクライム式にしたことにより、揚重の主役であるタワークレーンの稼働を拘束しないので、建方サイクルのスピードを阻害することがない。また、養生枠は上昇時にも常にレールに支持されているので、風にあおられることが無く、安全に盛替えることができる。



2.4.セルフクライム式垂直ネット・・・（仮称）国際ファッションセンター新築工事、  
ガーデンシティ・タワーズ安田生命西梅田ビル新築工事）

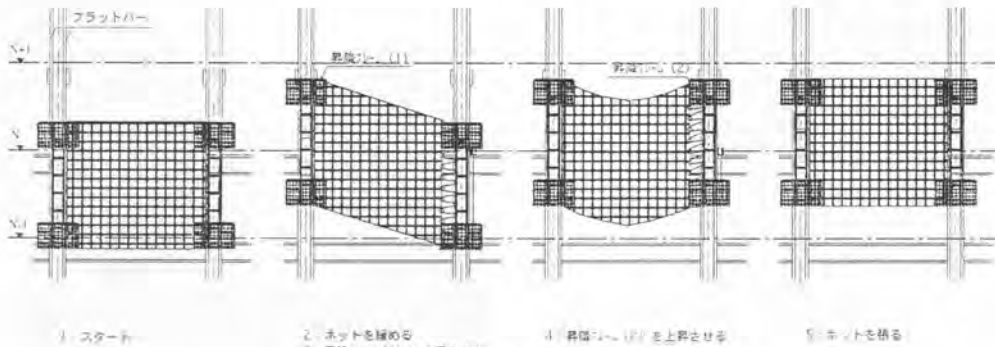


図-8 概要図

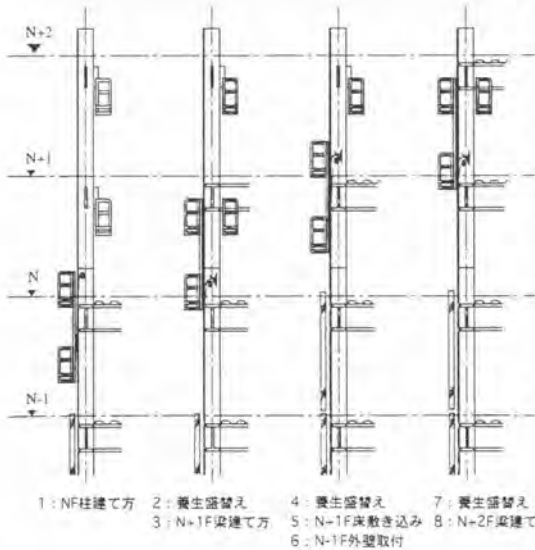


図-9 盛替えタイミング



図-10 工事外観（パース図）

表-4 養生規模

	国際ファッションセンター	ガーデンシティ・タワーズ
最高高さ	101.51m	155.8m
養生面積	459㎡	817㎡
周長	102m	165m

本タイプは、柱に先付けされたレールに噛合う昇降フレームと隣り合う昇降フレーム間に張られたネットで構成されており、各昇降フレームは柱に取り付けられた小型ウィンチのワイヤで吊られている。小型ウィンチの動力には電動トルクレンチを用い、各柱間での転用が可能である。上階への盛替えは、昇降フレーム間に緊張ワイヤを介して張った垂直ネットを一時緩ませ、ウィンチで各々の昇降フレームを上昇させ、再び緊張ワイヤを緊張することによりネットを張って盛替えが完了する。昇降フレームには摩擦カム式の落下防止装置を装備し、停止位置では昇降フレームを躯体に固定する。

外周養生をセルフクライム式にしたことにより、前記「JRセントラルタワーズ」に適用したタイプと同様の効果が得られる。

### 3. まとめ

本報では、当社の積層工事で用いられている外周養生システムの中から典型的な4タイプをピックアップし、その概要を紹介した。ここで各タイプの比較を試みるが、各工事で養生システム導入に関する制約条件が異なるため、一様な比較は難しい。例えば、JRセントラルタワーズ新設工事では、鉄道に近接した工事であるため、極めて嚴重な飛来落下事故防止と、機械的に拘束された状態での盛替えが要求された。また、鉄骨形状を見ると、国際ファッションセンター・ガーデンシティ・タワーズ安田生命西梅田ビル新築工事は外周小梁が無い骨組みであるが、他の3物件は外周小梁を有する骨組みであった。さらに、外壁形状を見るとI物件だけがバルコニー板タイプであり、他の4物件は層間を塞ぐ外壁割りとなっている。このように、工事の条件・施工に当たっての制約条件が異なると、導入すべき外周養生システムも異なってくる。

下表に一般的な切り口での比較を示す。

表-5 タイプ別養生比較

種類	比較項目	養生枠のタイプ別比較		
		機能性	作業性	安全性
2-1 固定枠タイプ		・養生枠高さは一層分で済む ・N-1階の外壁取付けが可能	・クレーンによる盛替えを要す 〔一工区に6~8枚の盛替えに半日〕 ・一層で支持させるため先付け仮設ビームが大がかりになる	・積層枠(外)全ての作業を養生枠の内部において行なうことができる ・強風時の盛替えは困難
2-2 吊り治具兼用タイプ		・外壁PC板揚重時の吊り治具として使用 ・外壁パネル板と一体化した養生 ・ハンゴロクを仕込むことにより揚重枠の短縮が可能(養生枠を上階マスにはずし、クレーンは即時に解放される。)	・クレーンによる盛替えを要すが外壁PC板揚重と同時作業	・積層枠(外)全ての作業を養生枠の内部において行なうことができる ・強風時の盛替えは困難
2-3 セルフクライム式養生枠		・自昇式のためクレーンの主業務である鉄骨組立等の作業を阻害しない ・外壁建て方枠に合わせて養生を適宜盛替えすることが可能	・全ての階に動力、駆動装置を装備 ・支持レールとガイドレールを交互に上昇させて養生枠を盛替える	・積層枠(外)全ての作業を養生枠の内部において行なうことができる ・養生枠を機械的に確実に固定できる(風にあおられることなく盛替え可能) ● 軌道近接工事において列車が接近しても作業を中断することなく進められる(施主からの強い要請)
2-4 セルフクライム式垂直ネット		・自昇式のため、クレーンの主業務である鉄骨組立等の作業を阻害しない ・上昇フレームに作業足場を取り付けることも可能(鉄骨建て方、本締め、溶接用)	・動力、駆動装置は可搬式 ・各上昇フレームはワイヤを介してワイヤで上昇 ・上昇フレーム間に度したワイヤを介して養生枠を引繰らせる	・積層枠(外)全ての作業を養生枠の内部において行なうことができる ・養生枠を機械的に確実に固定できる(風にあおられることなく盛替え可能) ・最上階に上がることなくネットの設置が可能

### 4. おわりに

上のまとめでも述べたように、外周養生システムは各工事における条件によってその形態や方式が異なるものであり、どの工事にも有効な最適なシステムは存在しにくいと思われる。様々なバリエーションをもつ外周養生システムについて要素的な技術を整理し、今後の工事に活用したいと考える。

本報で紹介した4タイプの外周養生システムは、実際の工事への適用を想定しながら開発されたものであり、各工事の担当者の尽力の成果である。最後に下記工事物件の関係者に感謝の意を表す。

大崎駅東口第2地区第一種市街地再開発事業西工区施設建築物他新築工事	吉沢 真氏
JRセントラルタワーズ新設工事	有原 高志氏 雑賀 俊宏氏
(仮称)国際ファッションセンター新築工事	岩崎 孝氏 村山 達雄氏
ガーデンシティ・タワーズ安田生命西梅田ビル新築工事	奥畑 浩一郎氏 井上 浩一氏

## 16. 建築工事のための資材搬送装置 (リーチバランサー) の開発

(株)フジタ：\*磯村 渉

(株)日本技術センター：竹迫 涼一

### 1. はじめに

資材の搬送作業は建物を構築する上で欠かすことのできない最も重要な作業の一つである。建築工事の躯体材料の搬送は、例えば鉄骨はクレーンで、またコンクリートはコンクリートポンプ車など一般的に機械で行っている。しかし、内装資材の搬送は、垂直搬送だけは工事用エレベータなどで概ね機械化されているが、水平搬送については一部で機械化されているものの一般的とはいえない。特に集合住宅の工事では、水平搬送のための通路の確保が困難なため、ほとんど手作業で運んでいるのが現状である。水平搬送の手作業は効率が悪く、おもに貴重な技能労働者が行う場合が多く、大きな無駄となっていると思われる。そこで、クレーンを使って、建物の廊下などの壁面の開口部から直接資材を搬入、搬出することができる天秤方式の装置を開発した。集合住宅工事への適用では各戸の前の廊下やベランダ等に資材を搬送できたため非常に有効であった。また、内部にオフセットした位置にPCa版などを取り付ける応用的な使用方法でも好結果が得られたので紹介する。

### 2. 装置概要

#### 1) 機能概要

この装置はクレーンに吊り下げて使用し、資材を搬送するためのものである。この装置を使用すると、クレーンのフック位置から離れた位置に資材を吊ることができる。その理由は、フックの位置から資材重心までの距離と資材重量によって生ずる回転モーメントに見合うだけの回転モーメントを、内蔵のカウンタウェートを移動させることで得られるようになっているからである。

図-1に使用方法の概念図を示す。オントラックで資材の玉掛けを行い、ベランダなどの壁面開口部に搬送し、クレーンのフックから離れた内部に降ろすことができる。

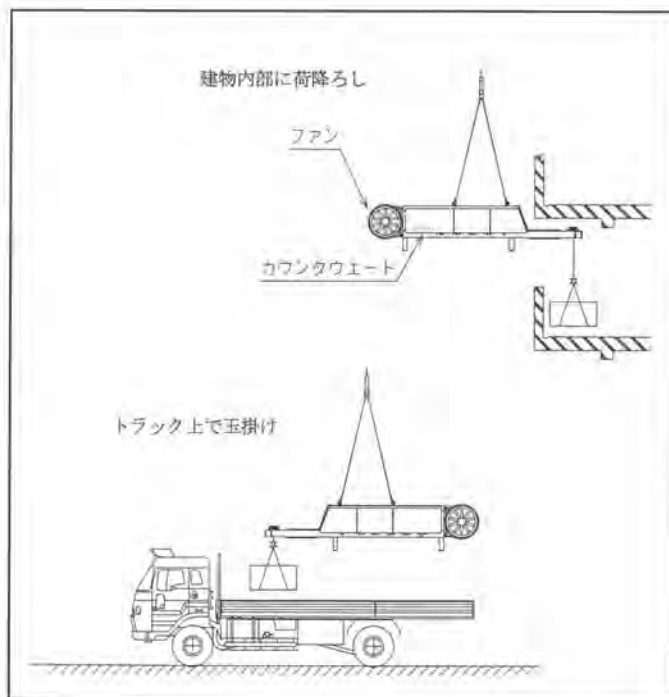


図-1 使用方法概念図

## 2) 仕様

表-1に仕様概要を示す。装置全体の旋回姿勢を修正するためのものとして手動のファンが取り付けられている。従来の介添えロープの代わりに、適切な姿勢となるように旋回させることにより、玉掛け作業および建物への資材の挿入が安全で行い易くなっている。

揚程は最低限手すり等の高さだけあればよいとの判断から1.5mとしている。

搬入口である壁面開口部の高さが小さい場合が多いので、吊り代を小さくするためにフックを複数取り付けている。

カウンタウェートの移動はチェーンを用いて行っており、傾いた場合でも動かない構造としている。

電源はバッテリーで充電器（AC100V）も内蔵している。

表-1 機器の仕様概要

昇降	定格荷重	490kgf
	昇降速度	2.5m/分
	揚程	1.5m
	モータ	430W
	安全装置	上限、下限リミット
平衡	トロリー速度	5m/分
	トロリー移動距離	2.25m
	モータ	430W
	安全装置	エンドストッパー
旋回	推力	3.4kgf
	モータ	1kW
共通	自重	1100kg
	外形寸法	長さ4730×幅1300×高さ1000mm
	電源	蓄電池（DC24V）
	操作方法	無線リモコン、ペンダント

## 3) 使用方法

資材を搬入する作業手順を図-2に示し説明する。

- ①資材の玉掛けをして、クレーンで少し吊り上げると資材側が少し低くなる。そこで、カウンタウェートを後方に移動させ、資材重量とバランスさせることで装置全体が水平となるようにする。
- ②クレーンで所定の位置に吊り上げ、旋回用ファンで建物に対し直交する向きになるよう回転させる。そしてクレーンにより建物の中に資材を差し込む。
- ③クレーンで下降させ、下げ代が足りない場合は、内部のウィンチで巻き下げて資材を着床させる。着床すると資材側が少し高くなる。そこでカウンタウェートを前方に移動させ原点まで達すると、資材重量は装置から完全に床に移動する。
- ④資材重量が完全に床に移っているので、玉掛け外しを行い、クレーンで建物から引き抜く。

この一連の作業で資材を揚重できる。また、この逆の手順を行えば建物から資材を搬出することもできる。なお、旋回用のファンは無線リモコンで操作するが、カウンタウェートの移動と資材の昇降は装置先端に取り付けてあるペンダントでもできる。

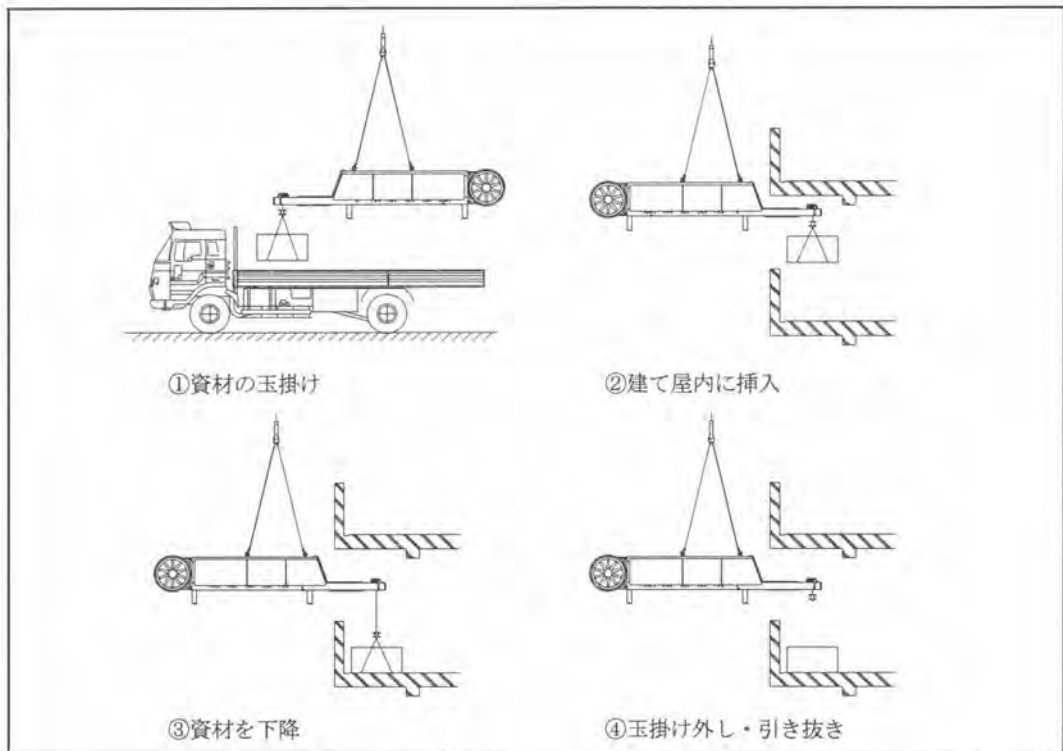


図-2 作業手順

### 3. 適用結果

1回当たりの搬送重量が450kg程度の木材をトラックから直接マンションの7階および8階に揚重した。写真-1はクレーンで搬送している状況である。写真-2は資材を取り込んだところである。この作業所においては初めて使用したため、地上のトラックの作業員も上階の作業員も慣れていなかったが、1回のサイクルタイムは6～7分であった。バランスさせるためのカウンタウェートの移動は手動であるが全体の挙動は安定感があり、インチングなどの必要はなかった。搬送した資材はここでは、木材と石膏ボードおよびPCa部材が大部分であった。

### 4. 用途実績例

本来集合住宅工事の仕上げ用資材の搬送を目指して開発した装置であるが、他の用途に使用された実績を紹介する。



写真-1 搬送状況

### 1) P C a 部材の取り付け

図-3にP C a部材の取り付けの概念図を示す。セットバックした位置にP C a部材を取り付ける場合、P C a部材を吊り下げる場合もあるが、図のように吊り代が無い場合は、アタッチメントを製作し、これを使用して取り付けを行うことができる。この図に示したリーチバランサーは別のタイプで、吊り能力1.5トン用、ファン無し、巻き上げ機能無しのものである。写真-3に示す。

### 2) 事務所ビルの仮設開口部からの搬送

事務所ビルで仮設開口部（ダメ穴）を利用した資材の搬出入を行った。A L C版、軽量鉄骨、石膏ボード、防火シャッター、設備機器、などを搬送し、有効であった。工専用エレベーターの搬器よりも大きな資材には特に有効であった。

### 5. おわりに

クレーンは3次元的に搬送できるためその搬送能力は非常に大きい。しかし、資材を建物内に搬送するためには場所が限定された荷取り用跳ね出し構台などが必要となり、クレーンの機能を十分に活かせなかった。この装置は搬送前後の準備・片づけ作業がほとんど不要で、どの場所でも搬送できる長所があるが、カウンタウェートを内蔵するという構造上、クレーンの吊り能力に対し、搬送資材の重量が小さく制限されるという短所もある。このことを理解した上で、適切な計画により工事を推進させる道具として使って頂けるようお願いしている。



写真-2 取り込み状況

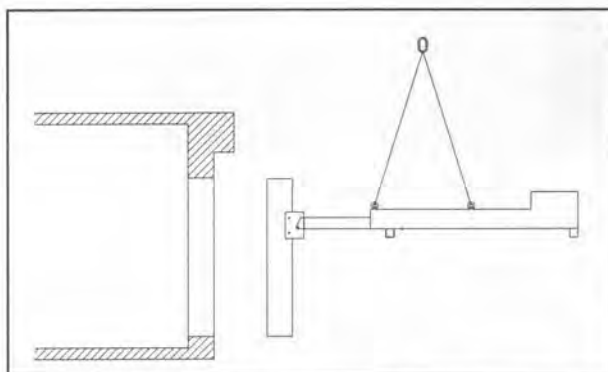


図-3 P C a 部材の取り付け



写真-3 1.5トン用リーチバランサー



# 17. 既存競技場ドーム化工事における新しい機械化施工法

鹿島建設㈱：水谷 亮, \*川音 一郎, 佐々木 直也

## 1. はじめに

既存競技場のドーム化工事は、新築のドーム建設工事と違い、すでに存在する施設およびグラウンドの上に屋根を架けるということで様々な厳しい制約条件が生まれてくる。

今回報告する工事は、プロ野球の球場をドーム化するという大規模なもので、その施工はオフシーズン中に行わなければならない、効率化、工期短縮化に適した施工法が要求された。そこで一番のクリティカルとなる屋根鉄骨建方工事と金属屋根葺き工事において新しい施工方法を検討し採用した結果、良好に施工することができた。

本報では、上記2つについて、それぞれの施工方法の概要、採用した新機械・システムについて報告する。

## 2. 全体工事概要

当工事は2回のシーズンオフを利用して行われ、今回報告するのはその第1期工事である。1期工事では球場の周囲に24本の柱を建て、中央部分を抜いたお椀を伏せた形に屋根鉄骨を架構しそこに金属折版屋根を敷設するといったもので、上から見るとドーナツ状となる。第2期工事では膜屋根中央部をグラウンド内で構築してリフトアップする。

工期：1997年7月～1999年3月

工事規模：屋根直径 220m

：屋根高さ 64.5m

：屋根面積 39,000 m<sup>2</sup>

構造 基礎：鋼管補強現場造成杭

柱脚：鉄骨造

上部構造 周辺金属屋根部：鉄骨造

中央膜屋根部：A種テフロン膜による  
鉄骨膜構造

## 3. 鉄骨建方（リング状せり出し工法）

### 3. 1 リング状せり出し工法概要

ドームのような大規模な屋根の鉄骨建方は、仮設ペント（支柱）を多数建て、設計位置に合わせたベ



図-1 1期工事施工手順



ント頂部に大梁等主要鉄骨部材をあずけるようにして順次鉄骨を接合していくのが一般的である。しかし、本工事では、既存の階段状の観客席の上に大きな荷重を支えるペントを無数に建てることは工期的に厳しく不可能であることから、球場外周部に新たに設置した柱から中心に向かって放射状に鉄骨を空中にせり出す新しい手法の鉄骨建方（リング状せり出し工法）を検討し実用化した。この鉄骨構造の特徴としては、上から見てドーナツ形の外周部（下部）と内周部（上部）にあたる場所にリング状鉄骨が、そしてその間を放射状および円周状に鉄骨が架構されており、このリングがたがの効果をもつというものである。これによりペントの数を1列（1周）に抑えることができた。

### 3. 2 鉄骨建方新測量システム

#### 3. 2. 1 新測量システム開発の経緯

本工事での工期短縮となる鉄骨建方では、本締めまでをいかに早く終了させるかが重要となる。建方と同時に位置修正して本締めを行う為には、柱や梁を設計位置へ正確に誘導することが重要だが、リング状せり出し工法によると空中にせり出す鉄骨部材の頂部接合部には、目に見える設計位置がなく、また屋根自体が傾いた格好をしていて一つとしてXYZとも同じ座標がない為、トランシットやレベルでの誘導は難しい。

そこで対象物の位置をリアルタイムに、かつ正確に把握して、三次元でずれ量を表示し、建方指揮者にそれを伝えて対象物（鉄骨）を設計位置に誘導する新測量システムを開発し、本工事に適用した。

#### 3. 2. 2 システムの概要

本システムは図-2に示すように、対象物（鉄骨）に取り付けたプリズム（回収式）を逐次自動で捉える自動追尾式トータルステーションと、建て入れ目標と実際の位置及びずれ量をパソコンの画面に数値とグラフィックで表す表示システムで構成されている。



写真-1 鉄骨建方、計測状況

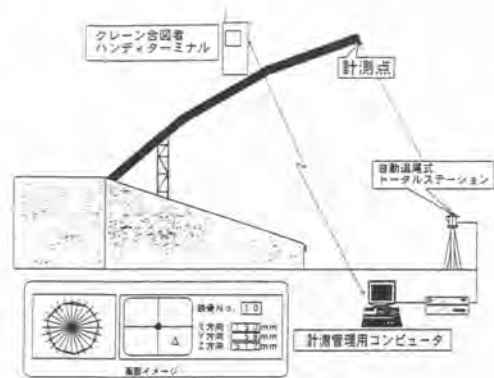


図-2 システム概要

#### 3. 2. 3 計測手順

- ①ドーム中央付近に計測器をセットし、ドーム内の2つの基準点を計測、計測機本体座標を認識させる。
- ②鉄骨先端にマグネット式プリズムを固定し（この固定位置の座標はあらかじめシステムに入力されている）、鉄骨を吊り込む。
- ③パソコンに鉄骨Noを入力。自動的に計測器がその鉄骨の方向に向いて追尾、自動計測を開始し、パソコン上で鉄骨の現在位置と目標座標との較差を計算し表示する。

④測量作業員はその較差をクレーン合図者に連絡・誘導する。

### 3. 2. 4 本システム採用の効果

①建方中の鉄骨の位置を迅速かつ正確（±3 mm）に計測することができた。

②歪み直し作業の省略ができた。（仮ボルトの省略）

③リアルタイムに出来形を求めることが可能で、次のステップへのフィードバックが迅速にできた。

以上より工期の短縮、品質の確保ができた。

## 4. 金属屋根葺き工事（屋根折版送り出し工法）

### 4. 1 屋根葺き工事概要

第1期工事のドーナツ状の屋根はステンレス製の折版葺きで約23,700㎡の面積がある。この折版1枚の大きさは幅約500mm、長さ約20mの短冊型の形状で、重量は140kg/枚あり、上下2段（40m）で円周状に敷設され、総数2700枚で全体を覆う。屋根勾配は最大で約40度あり、円周方向に通っている鉄骨母屋材（L-100×100×10）にタイトフレームを介して固定される。

### 4. 2 屋根折版搬送・敷装置

#### 4. 2. 1 装置開発の経緯

本工事は前述のように短期間のうちに行わなければならない、クリティカルとなる鉄骨建方工事と屋根葺き工事を並行して行い工短をめざす必要があった。しかし、実際には工短のため4班で鉄骨建方を行うので、グラウンドに鉄骨建方用クレーンが林立することになり、また外周にはクレーンを設置する場所がほとんどなくクレーンによる並行作業は困難であった。さらに、屋根が最大40度と急勾配であるため従来の人力による運搬・取付は安全上からみても工期的にもかなり無理があると予想された。そこで、図-3に示すように球場の入り口の外周広場一カ所から鉄骨屋根上に折版を揚重し、そこから所定の位置まで円周方向に搬送し敷設する方法（屋根折版送り出し工法）を試みた。今回は作業量から検討して2台の装置を製作し、折版揚重場所から左右に半周ずつ同時に搬送・敷設作業を行うこととし、上段の鉄骨建て方中に下段の敷設を開始し、上段の鉄骨建て方完了後に装置を上段に盛り替え、上部の敷設を行った。

#### 4. 2. 2 装置の概要

本装置は、折版を敷設するための逆L字型のアーム2本（吊り装置）と搬送のためのゴム車輪駆動式の積



図-3 屋根折版送り出し工法

表-1 装置仕様

積載荷重	800kg
吊り装置荷重	200kg
走行速度	15m/分
走行装置	電動モータ、インバータ制御
外形寸法	約 L 20 m × B 1.9 m × H 2.6 m
自重	2,100kg
操作方法	ペンダントスイッチ（タッチセンサー付）
安全装置	逸走防止装置、走行リミットスイッチ
	ロープスイッチ、警報付バトライト、車止め
電源	100V 60Hz 発電機

載架台で構成されている（図-4）。この架台には折版を5～6枚積載することができ、円周方向に幾重にも配置された折版取付用の鉄骨母屋（アングル）のうち上下2段を走行路として利用し、所定の位置まで移動する。駆動装置部には屋根面に対して垂直方向の荷重を支える車輪（駆動輪）と傾斜方向の荷重を支える車輪（従動輪）が組み込まれている。移動後アーム部に取り付けてある手動式チェーンブロックと独自に開発した吊り治具で折版を1枚ずつ敷設する。この吊り治具は、折版の折り返し部分を挟み込むクランプをクロスリンクバー端部4箇所に取り付けたもので、クランプはワンタッチで折版を把持固定できる機構となっており、またクロスリンクバーには変形防止の機能を持たせているため、ハンドリングが素早く、急勾配でありながら安全に作業することができる。



写真-2 敷設状況

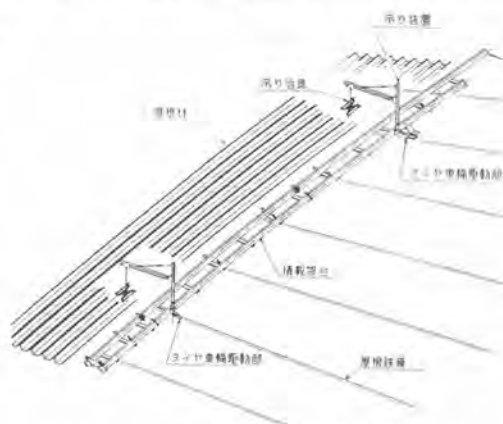


図-4 装置外観

#### 4. 2. 3 本装置採用の効果

- ①本設母屋材を走行路としたため仮設レールを必要としなかった。
  - ②吊り治具はワンタッチ把持で作業効率が良く、斜め吊りでも滑りがなく安全であった。また少ない人数での取付ができた。
  - ③クレーン揚重特有の風による荷振れの影響がなかった。
  - ④クレーンは荷を積込むだけなので通常のクレーンによる取付よりも使用比率が減った。
- 以上より工期の短縮、省力・省人化、コストの削減ができた。

#### 5. おわりに

本工事においては超短工期施工というのが大前提にあり、そのためにはどうしたら良いか、そうするためにはどういう機械が必要かということで、大それたものではないが、新機械・システムと新工法が互いに融合して所期の目標を達成できた良い例である。今後もこのような施工に根づいた機械・システムの開発を行い、更なる施工技術の躍進に貢献したいと考えております。



写真-3 第1期工事完了

# 18. 高性能吹付けコンクリートシステムの開発

(株)青木建設：\*駒田 恵司，牛島 栄  
太平洋機工(株)：石橋 良正

## 1. はじめに

我が国における吹付けコンクリート工法は、山岳トンネルにおける NATM の普及に伴い進歩を遂げ、吹付けロボットの開発等により、施工の自動化・省力化が図られ、 $15\text{m}^3/\text{hr}$  を超える高速吹付けも可能となっている。しかし、従来の粉体急結剤を使用した吹付けコンクリートシステムを用いた場合は、リバウンド量、発生粉塵量が多く、その作業効率および作業環境は決して良いとは言えない。その原因となるものに、粉体急結剤の定量供給性の低さおよび急結剤とコンクリートの混合性の低さがあげられる。急結剤の均一な添加がなされずに、多量添加された場合には、発生粉塵量およびリバウンド量も増加し、急結剤の種類によってはコンクリートの長期強度が低下するなど品質が低下することが指摘されている。一方、急結剤の添加量が少なくなった場合には、吹き付けられたコンクリートが自重で剥落するため、リバウンド量の増加につながる。

本報では、コンクリートと圧縮空気および急結剤の混合部分に特徴を有するポンプ圧送方式の吹付けコンクリート機械とアルカリフリーの液体急結剤を組み合わせた吹付けコンクリートシステムにより、従来の上記問題点を解決し、リバウンド量と発生粉塵量を大幅に低減することが可能となったので、以下に報告する。

## 2. 新しい吹付けシステムの概要

本吹付けシステムのフローを図-1に、混合管の形状を図-2に示す。また、システムの機械設備構成を表-1に示す。本システムは、ピストンポンプによりコンクリートが圧送される湿式吹付け方式であり、急結剤はコンクリートポンプのピストンの動きに連動した（油圧回路が連動）ドージングポンプ（液体急結剤仕様）により定量圧送され、混合管手前で圧縮空気と合流し霧化された後、コンクリートと合流する。急結剤とコンクリートはノズルホース（5m）内で混合攪拌されながら移動し、ノズルより吹き付けられる。従来の混合方式に比べ、本システムはコンクリートが分断され易く、液体急結剤の使用により、急結剤が均一に分散混合されるため、均質な吹付けコンクリートが得られるとともに、リバウンド、発生粉塵の少ないことが特徴である。

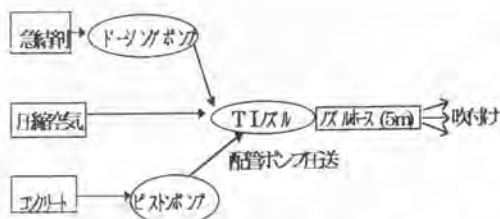


図-1 吹付けシステムフロー図

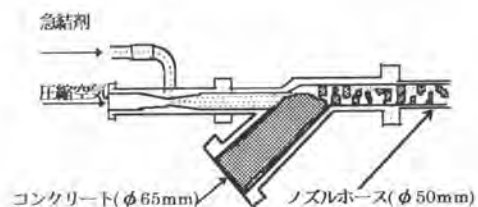


図-2 混合管機構図

表-1 機械設備構成一覧表

機 械 設 備 名	項 目	仕 様
コンクリートポンプ (BP300RE-15)	ポンプ形式	ピストンポンプ式
	モーター出力	37KW
	最大理論吐出量	33.6m <sup>3</sup> /hr
	最大吐出圧力	6.5Mpa
	最大主油圧	30Mpa
	シリンダ口径	180mm
	ピストンストローク	630mm
	寸 法 (L×W×H)	5378×1810×1740mm
	重 量	3100kg
ドージングポンプ (コンクリートポンプ連動)	ポンプ形式	ピストンポンプ式
	最大理論供給能力	約18 L/min
モノポンプ (高粘度液体急結剤用)	ポンプ形式	一軸偏心ネジポンプ
	供給能力	2~20L/min
コンプレッサ	搬送空気量	9.5Nm <sup>3</sup> /min
	空気圧	0.7MPa
ジェネレータ	電 圧	200V
	出 力	60KW

### 3. 施工模擬実験

#### 3.1 実験概要

##### 3.1.1 使用材料

実験に用いた使用材料を表-2に示す。急結剤はアルカリ骨材反応の防止と接触によるアルカリ焼けの防止を考慮して新たに開発されたアルカリフリーの液体急結剤と比較用に

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 比重 3.15
細骨材	霞ヶ浦産陸砂, 表乾比重 2.57, 粗粒率 2.60
粗骨材	筑波産碎石, 表乾比重 2.70, Gmax10mm
高性能減水剤	主成分: ポリグリコ-ルエステル誘導体, 比重 1.03~1.07
液体急結剤	主成分: 水溶性アルミニウム塩, 比重 1.44, pH2.5~3
粉体急結剤	主成分: 急結性セメント鉱物, 真比重 2.8, pH13 以上
粉塵低減剤	主成分: 水溶性セチルアルコール

急結性セメント鉱物系の粉体急結剤を用いた。ベースコンクリートの配合を表-3に示す。

表-3 ベースコンクリートの配合

スラブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				高性能減水剤 (C×%)	粉塵低減剤 (G×%)
				W	C	S	G		
12	4.0	46.3	65	185	400	1082	613	0.6	0.1

##### 3.1.2 実験方法

###### (1) リバウンド試験

圧縮空気消費量(以下エア量と称す)および急結剤の使用量がリバウンドに及ぼす影響を把握するため、表-4に示す水準でコンクリートを吹き付け、リバウンド試験を実施した。試験は、幅 2000mm、高さ 1000mm の範囲で鉛直鋼製壁面に厚さ 200mm を目標に吹き付けを行い、跳ね返ったコンクリート重量と壁面に付着したコンクリート重量を計量し、リバウンド率を算出した。吹き付け

表-4 リバウンド試験水準

試 験 No.	エア量 (Nm <sup>3</sup> /min)	急結剤使用量 (C×%)
1	8	5
2		6
3		7
4		10
5	6	7
6	9.5	

時のコンクリート圧送量は  $7\text{m}^3/\text{hr}$ 、ノズルと吹付け面の距離は約  $120\text{cm}$  とした。エア量は、最適と思われる  $8\text{Nm}^3/\text{min}$  の他に、コンプレッサの最大能力  $9.5\text{Nm}^3/\text{min}$  とした場合と、不足気味と思われる  $6\text{Nm}^3/\text{min}$  の場合で吹付けを行った。エア量はコンプレッサのエンジン回転数とエア吐出量の機械特性図より算出して調整を行った。

### (2) ポンプ圧送実験

吹付け機械の搬入が困難な小断面のトンネルを想定して、4B管 ( $\phi 100\text{mm}$ ) 配管、水平距離約  $265\text{m}$  (水平換算距離約  $330\text{m}$ ) の圧送実験を行い、長距離圧送の可能性を確認した。また、圧送前後のコンクリートのフレッシュ性状試験を行った。ポンプ圧送配管図を、図-3に示す。

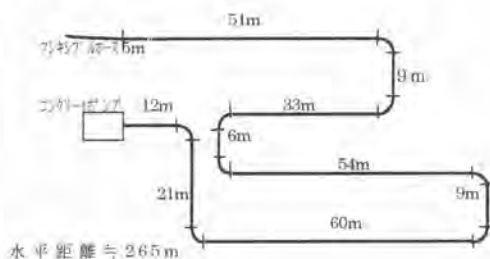


図-3 配管状況

### (3) 実大模擬トンネル吹付け実験

図-4に示すような実大規模のトンネル試験体 (内空  $H=4.1\text{m}$ ,  $L=10.5\text{m}$ ) の内側に、キーストプレートと溶接金網 ( $\square 100 \times \phi 5$ ) を配し、吹付け厚さ  $150\text{mm}$  を目標に吹付けを行った。実験に用いた急結剤の使用量はセメント重量の  $8\%$  とし、半断面の周方向  $4\text{m}$ 、長さ  $3\text{m}$  の範囲を  $7\text{m}^3/\text{hr}$  の施工速度で約  $2.2\text{m}^3$  の吹付けを行った。試験項目は、浮遊粉塵濃度、リバウンド率とし、浮遊粉塵濃度は、吹付け面から  $5\text{m}$  離れ、地上高さ  $1.5\text{m}$  の位置にヒエゾバランス粉塵計を設置して測定を行った。リバウンド率は、跳ね返ったコンクリート重量とポンプ圧送されたコンクリート量から算出した。なお、トンネルの両端部はシートで覆い、空気の出入りが無い状態で実験を行った。

### (4) コンクリートの硬化性状試験

吹付け前のベースコンクリートと吹付け後の吹付けコンクリートの硬化性状を把握するため、初期および中長期における強度試験を実施した。なお、吹付けコンクリートの試験体は、翌日コアを採取し、所定の養生を行った。

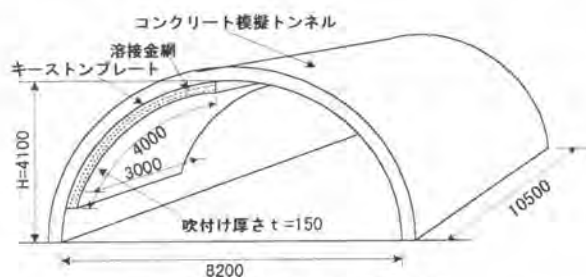


図-4 模擬トンネルの形状

## 3.2 実験結果および考察

### (1) リバウンド試験

#### ① 急結剤使用量を変化させた場合

急結剤使用量を  $5, 6, 7, 10\%$  に変化させた場合のリバウンド試験結果を、表-5に示す。試験結果より、急結剤の使用量が増加するにつれてリバウンド率は低下する傾向で

表-5 リバウンド試験結果 (急結材使用量を変化)

急結剤使用量 (C×%)	リバウンド率 (%)	施工性
5	11.3	吹付け面でダレが認められた
6	8.8	壁面では良好だが、天端吹付け時に剥落があった
7	7.9	良好だが天端吹付け時に若干の剥落があった
10	6.6	良好



あった。今回実験を行った垂直壁面においては 7%の使用量で十分であったが、天端のような上向き吹付け時に 15cm 以上の厚吹きをした場合には、若干の剥落が認められており、リバウンド率は試験結果より大きくなると思われる。しかし、使用量を 10%とした場合は、20cm 厚さで天端を吹き付けた場合でも剥落は認められず、施工性も良好であった。

#### ②エア量を変化させた場合

エア量を変化させた場合のリバウンド試験結果を表-6に示す。コンクリート圧送量  $7 \text{ m}^3/\text{hr}$  時の最適エア量は  $8 \text{ Nm}^3/\text{min}$  程度であり、その時のエア Vol.に対するコンクリート Vol.の割合は 1.5%であった。

表-6 リバウンド試験結果 (エア量変化)

エア量 ( $\text{Nm}^3/\text{min}$ )	リバウンド率 (%)	コンクリート/エア (Vol.%)	施工性
6	11.2	1.9	吐出状態が一定しない。ノズル先端部からノロ分が落下。表面の平坦性を欠く。
8	7.9	1.5	脈動による反動等は認められない。仕上げ面の平坦性も良好。
9.5	13	1.2	粗骨材のリバウンド量が多い。吹き付けたコンクリートはエア圧によってダレる。

#### (2) ポンプ圧送実験

コンクリート圧送時のピストンポンプ主油圧は  $25 \sim 29 \text{ N/mm}^2$  で限界圧の  $30 \text{ N/mm}^2$  に近い値であった。圧送前後におけるコンクリートのフレッシュ性状を表-7に示す。圧送後に空気量の減少が認められたものの、スランブの大きなロスは認められなかった。

#### (3) 実大模擬トンネル吹付け実験

吹付け実験に用いたコンクリートのフレッシュ性状を表-8に、経過時間毎の粉塵濃度の推移を図-5に示す。吹付け施工時の浮遊粉塵濃度は、吹付け開始から 10 分後に最大値  $3.95 \text{ mg/m}^3$  を示した。また、この時のリバウンド率は 8.0%であった。これらの値は昭和 60 年度における建設省建設技術評価制度の研究開発課題である吹付けコンクリート工法に関する発生粉塵の目標値  $5.0 \text{ mg/m}^3$ 、リバウンドの目標値 25%を十分に満足していた。

#### (4) 硬化性状試験

圧縮強度試験結果を、表-9に示す。アルカリフリー液体急結剤を使用した場合の初期強度発現性状は、セメント鉱物系の粉体急結剤を用いた場合と同等の強度発現性状を示した。また、液体急結剤

表-7 圧送前後のフレッシュ性状試験結果

項目	スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
圧送前	13.1	4.9	23
圧送後(筒先)	12.5	3.1	24

表-8 フレッシュ性状試験結果

スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
10.0	5.8	14.0

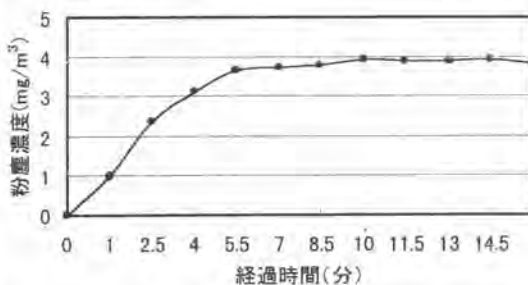


図-5 粉塵濃度と経過時間の関係

表-9 圧縮強度試験結果

急結剤添加量 (C%)	初期強度( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		中長期強度( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		
	3時間	6時間	1週	4週	13週
6%	1	2.3	22.5	31.3	33.7
8%	2	3	25.7	30.7	35.1
10%	2.4	5.4	21.7	31.6	34.7
7%(粉体)	1.7	3.5	24.3	40.2	40.3
0%	—	—	26.7	41.8	44.2



を使用した場合、急結剤の使用量が中長期強度に及ぼす影響は、初期強度発現性状と比較すると小さく、材齢 28 日強度では急結剤の使用量にかかわらずほぼ同等の圧縮強度となっていた。ベースコンクリートの強度と比較すると約 80%程度であり、通常の吹付けコンクリートの強度低下割合と同等程度であった。

#### 4. 施工事例

##### 4.1 工事概要

中部電力名北東洞道新設工事において、小断面シールドトンネルの鋼製セグメント使用区間の耐久性を確保するため、本システムを用いた吹付けコンクリートによる二次覆工が適用された。

小断面シールドトンネルの発進・到達立坑および曲線部には鋼製セグメントが使用されることが多く、従来は型枠支保工を用いてコンクリートを打設する二次覆工方法が適用されるが、工期および工費の面で負担が大きかった。そこで、型枠支保工が不要で連続的な施工が可能となる吹付けコンクリートを用いて二次覆工を施工する合理化施工について検討を行い、実施に至ったものである。工事平面図を図-6に示す。吹付けコンクリートの施工区間は R=20~100m の曲線区間と発進・到達立坑部の計 182m で、総延長 533m の約 1/3 にあたる。施工区間中央部の 100R 部分は、両立坑から最も遠く、到達立坑上に設置したコンクリートポンプからの配管（4B 管）は最長で約 280m に及ぶ。トンネル断面は、仕上がり内径が  $\phi 3000\text{mm}$  で、 $\phi 2.6 \times \#100\text{mm}$  のラス網を設置後、 $t=200\text{mm}$  のコンクリート吹付けを行うものである。このような施工条件のなか、適用される吹付けシステムには以下のような条件を満足する必要があった。

- ① 300m以上の長距離圧送が可能。
- ② リバウンド量が 10%以下。
- ③ 吹付け能力が  $5\text{m}^3/\text{hr}$  以上。
- ④ 少ない粉塵量、安全な作業環境。
- ⑤ 高耐久性な吹付けコンクリート。

上記条件を満足する吹付けシステムとして、本システムを採用し、約  $300\text{m}^3$  の吹付けコンクリートを施工した。

##### 4.2 使用材料

吹付けコンクリートの使用材料を表-10に、ベースコンクリートの配合を表-11に示す。

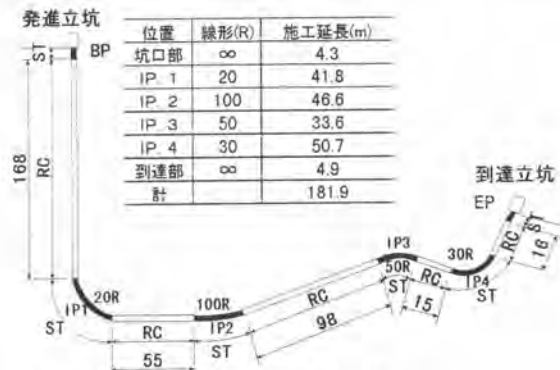


図-6 工事平面図

表-10 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 比重 3.15
細骨材	笠原産山砂、表乾比重 2.56、粗粒率 2.80
粗骨材	小野田産碎石、表乾比重 2.61、Gmax 10mm
高性能減水剤	主成分：ポリカルボキシレート誘導体、比重 1.03~1.07
液体急結剤	主成分：水溶性アルミニウム塩、比重 1.44、pH 2.5~3
粉塵低減剤	主成分：水溶性シリカステル

表-11 ベースコンクリートの配合

スラブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単用量(kg/m <sup>3</sup> )				高性能減水剤 (C×%)	粉塵低減剤 (C×%)
				W	C	S	G		
10±2	4.5±1.5	47.5	55	190	400	899	749	0.6	0.1

#### 4.3 施工実績

##### (1) リバウンド

幅1m区間における跳ね返ったコンクリートの重量を計量して設計数量(3740kg/m)からリバウンド率を算出した結果を表-12に示す。なお、急結剤使用量は、C×7~10%で施工を行い、全体使用量から逆算すると平均8.9%の使用量であった。

##### (2) 浮遊粉塵濃度

ピエゾバランス粉塵計を用いて、吹付け位置から5m離れ、高さ1.5m位置で、施工中6区間において測定を行った結果の平均が0.4mg/m<sup>3</sup>であった。なお、施工中は、65m<sup>3</sup>/minの送風機(φ300mm風管)による強制送風+自然換気の条件であった。

##### (3) コンクリート強度

吹付けコンクリートの強度試験結果を表-13に示す。材齢28日強度は、25.0~34.9 N/mm<sup>2</sup>とバラツキが大きかった。これは、途中から粘性が高く圧送抵抗が高くなる粉塵低減剤の使用を中止したため、水セメント比が小さくなり強度が増加したためと思われる。全区間平均では29.5 N/mm<sup>2</sup>となり、設計強度の21 N/mm<sup>2</sup>を満足する結果であった。また、標準養生を行ったベースコンクリートの強度と比較すると77~80%の強度発現状況であった。

表-12 リバウンド実績

吹付け区間	リバウンド量(kg/m)	リバウンド率(%)
E.P.	220	5.6
30R	150	3.9
50R	180	4.6
100R	120	3.1
20R	210	5.3
B.P.	175	4.5
平均	176	4.5

表-13 コンクリート強度実績

吹付け位置	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )					強度低下率
	3時間	6時間	7日	28日	ベースコン28日	
E.P.	2.19	3.78	—	31.7	38.7	0.82
30R	1.44	3.1	—	34.9	41.1	0.85
50R	1.14	2.29	19.6	25	—	—
100R	2.09	2.97	17.9	26.9	—	—
20R	1.21	2.97	—	33.7	43.6	0.77
B.P.	1.63	2.78	14	25	—	—
平均	1.62	2.98	17.2	29.5	41.1	—

#### 5. まとめ

今回の施工実験および実施工から、本吹付けコンクリートシステムを用いることにより、リバウンド量と発生粉塵量を大幅に低減できることが確認できた。施工実験、実施工とも7m<sup>3</sup>/hr程度の吹付け速度でノズルマンの手吹きにより実施したものであるが、機械設備スペックには15m<sup>3</sup>/hr以上の吹付け速度で施工が可能であると記載されており、吹付けロボットを使用し、ノズルホース径やエア量の調整等を行えば、15m<sup>3</sup>/hr以上の高速吹付けも可能であると考えられる。

今後の課題として、今回使用したアルカリフリー液体急結剤は、吹付けコンクリートの高品質化、リバウンド・発生粉塵の低減化の面で有効となることが確認されたが、吹付け直後の急結性は若干劣るので、湧水箇所への対応策等について検討を要する。また、吹付けコンクリート分野への高強度化についても検討を行っていく必要があると思われる。

## 19. ダム建設における給水設備

佐藤工業(株)；\*樋谷 徹，中村 克己，永松 敏弘

### 1. はじめに

ダム建設における給水設備は、施工場所で大別すると、堤体用給水設備（コンクリート混練り水、コンクリート養生・清掃水、ボーリング・グラウト関係水、雑用水）と骨材製造用給水設備（洗浄水、製砂用水、雑用水）に分けられる。

堤体用給水については、ダム天端標高より高い位置に水槽を設置し、自然落差で使用箇所へ送水して使用する高架水槽方式が一般的である。今回、比奈知ダムでは、給水方式として自然環境と景観保護に配慮し、経済性も向上する配管圧力制御方式（以下、タンクレス方式という）を採用した。また、同方式で施工した境川ダムの実績と高架水槽方式についても紹介する。

### 2. 比奈知ダムの概要

比奈知ダムは、三重県名張市上比奈知に位置し、淀川水系木津川支川名張川に建設中で洪水調整・流水の正常な機能の維持・新規利水・発電（県企業庁）を目的とし、平成5年3月本体着工、平成9年1月打設完了、平成10年5月試験湛水を終了した。ダムの主要諸元については、表-1に示す。

また、給水に係わる骨材製造・コンクリート製造・濁水処理の各設備は、堤体左岸直上流の仮設ヤードに配置し、ELCM工法による合理化施工でコンクリート打設を行った。

表-1 ダムの主要諸元

主 要 諸 元	
形 式	重力式コンクリートダム
堤 高	70.5m
堤 頂 長	355.0m
堤 体 積	426,000m <sup>3</sup>
天端標高	307.5m

### 3. 給水設備の概要

堤体用・骨材製造用給水は、濁水処理水を再利用し、補給水と混練り水は、河川水を使用した。骨材製造用給水設備は、給水量12m<sup>3</sup>/min・水圧2kgf/cm<sup>2</sup>、堤体用給水設備は、給水量3m<sup>3</sup>/min・水圧4kgf/cm<sup>2</sup>とし、いかなる給水位置（標高）でも安定した水圧と水量を供給できるタンクレス方式とした。

### 4. 制御方式の特徴

タンクレス方式の制御方式を大別すると、台数制御方式と回転数制御方式がある。台数制御方式はポンプ台数で制御するもので、大小ポンプの組合せでポンプ台数が増え設備が増大する。また、回転数制御方式には、①インバータ、②二次抵抗、③極数変換、④セルピス制御などがあり、②～④では特殊モータ・可変範囲が狭い・装置が過大・維持管理費が大きいなどの問題がある。

堤体の使用水量は、季節や時間によって大きく変動し、最大使用水量にあわせてポンプ能力を設定すると、小水量時動力損失が大きくなる。そのため比奈知ダムでは、打設前清掃（写真－1参照）や岩盤清掃に必要な高圧水を得るために、ポンプ3台の内2台は台数制御とし、1台をインバータ制御とする方式を採用した。なお、使用するポンプは基礎・建屋・呼水が不要で維持管理が容易な水中ポンプとした。比奈知ダムの使用水量実績としては、最大2.15m<sup>3</sup>/min～最小0.70m<sup>3</sup>/minと大きく変動している。



写真－1 打設前清掃

#### 5. タンクレス方式と高架水槽方式の比較

タンクレス方式と高架水槽方式の比較については、表－2に示す。

表－2 堤体用給水方式による比較表

項目	タンクレス方式		高架水槽方式	
水槽	受水槽のみ	○	要 設置場所の選定・確保困難	△
地山掘削	不要	○	要	×
配管距離	短い 送水、給水配管同系統	○	長い 送水、給水配管別系統	△
ポンプ実揚程	小さい	○	大きい	△
給水圧力	若干、変動有り	△	変動が少なく、安定供給	○
制御方式	ポンプ回転数制御方式 圧力、流量一定制御	○	運転制御、バルブ調整	△
設備費	高い	△	安い	○
消費電力	小	○	大	△
維持費	安い	○	高い	△
修景工事	不要	○	要	×
総合評価		○		△

(凡例) ○：有利 △：やや劣る ×：劣る

タンクレス方式の運転は、堤体上（打設面）の給水圧力を一定にするよう堤体打設にあわせて設定圧力を調節して行う。配管は、タンクレス方式の性質上ループ状（写真－2参照）になるように堤体下流

面のキャットウォーク上に設置する。堤体が打ち上がらないうちは、左右岸の水圧変動は大きく、低標高部では配管内は高圧になるため給水を行う場合、減圧対策が必要となる。なお、配管内は常時水圧がかかっており、取扱については十分注意し、高圧水に対する安全教育を実施する必要がある。また、比奈知ダムでは処理水を使用しているため木クズや微小フロックが混入し、グリーンカットマシンや高圧ジェットフィルタの目詰まりの原因となった。

しかし、降雨時に河川が濁った場合でも、堤体の処理水や貯泥池の上澄み水を使用し、打設前清掃を行うことができ、コンクリート打設工程を確保できた。また、境川ダムはRCD工法による合理化施工で行われ、高圧水をグリーンカット作業の前処理、打設前清掃、岩盤清掃として使用した。堤体用給水管は下流側フーチング外側に設置し、岩盤検査が行われる標高以上の範囲まで行った。配管は給水・排水・給気管を配管ブラケットに固定し、岩盤へはロックアンカなどで強固に固定した。



写真-2 堤体下流面配管

高架水槽方式では、堤体の打ち上がりに伴い落差が小さくなり、水圧が減少する。そのため、堤体上で必要な水圧を得るためには別にポンプを設置する必要がある。流量制御は、バルブ操作によるものが一般的で、流量の調整が簡単・設備が安価であるが、配管は送水と給水の2系統必要でポンプ容量が大きくなり、維持管理費が大きくなる欠点がある。また、ダム天端よりも高標高部に水槽を設置するため、進入路・水槽基礎が必要であり、地山掘削は避けられず、水槽撤去後修景工事をする必要がある。

## 6. 給水系統について

給水系統については、タンクレス方式（比奈知ダム図-1・境川ダム図-2）と高架水槽方式（図-3）に分けてに紹介する。

### (1) タンクレス方式

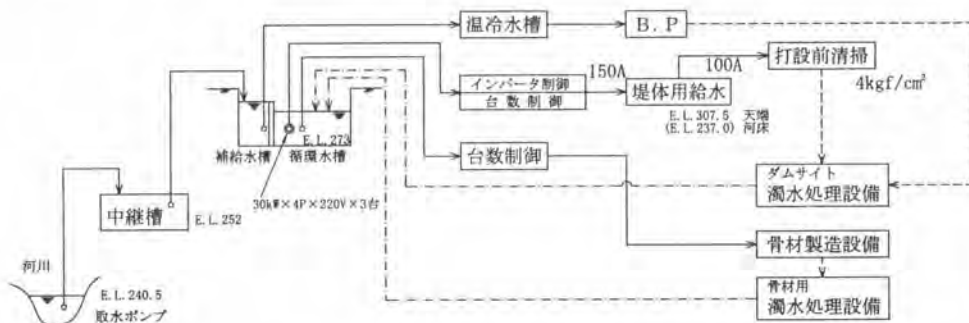


図-1 比奈知ダム給水系統図

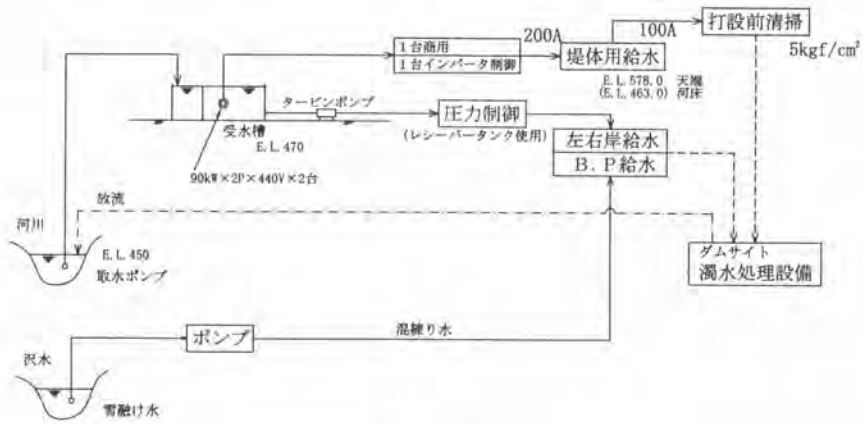


図-2 境川ダム給水系統図

(2) 高架水槽方式

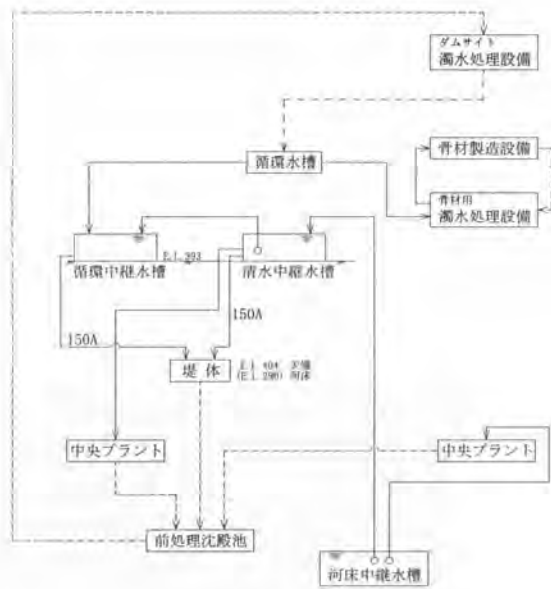


図-3 高架水槽給水系統図

7. おわりに

タンクレス方式を比奈知ダム・境川ダムと実施工し、安定した堤体用給水を行った。また、整然と配管することにより、現場のイメージアップにも貢献した。

今後、ポンプ全数をインバータ制御した場合との比較をし、より効率的な給水システムの開発を図っていきたい。



## 20. スリップフォーム工法による連続鉄筋コンクリート舗装～東名高速道路新日本坂トンネルコンクリート舗装工事～

日本舗道(株)：梶原 覚, \*大西 秀樹  
ニッポメックス(株)：工藤 真

### 1. はじめに

スリップフォーム工法は、予め組み立てられた型枠及び、レールを用いることなくコンクリート舗装の敷き均しと締固めと成形を1台の機械にて施工することができる方法である。施工高さ及び、走行のためのステアリング角度を自動制御することでアスファルト舗装に匹敵する平坦性を得ることができる。さらに、施工性が非常に良く、レール、型枠の設置及び、機械の操作に掛かる労力を減らすことで少人数で高い施工能力を発揮することができる。このことから近年、日本における労働者の高齢化、コスト縮減等の諸問題の解決策として見直されるようになってきた。

そこで、弊社でもこれらの諸問題と次期、第二東名名神高速道路でのコンクリート舗装工事に焦点を置き、ドイツ・ヴィルトゲン社の協力を得てスリップフォーム工法用施工機械の開発と導入をした。社内での試験施工をかさね、引き続き、第二東名名神の試験工事としての新日本坂トンネル工事で使用し、良い結果を得たので、機械と施工方法についてまとめた。

### 2. 日本での実績

1台の機械にてコンクリートを敷き均し、締固め、成形を行うことのできるスリップフォームペーパーは1940年後半にアメリカで開発された。その後、施工能力が極めて高いことからアメリカ各州に普及するようになり日本でも1969年(昭和44年)に建設省によって導入され国道17号線新大宮バイパスで施工された。

1972年までに桐生・佐野・甲府・水戸の各バイパス工事に採用され総延長60km 総面積21万 $\text{m}^2$ の実績を残した。当時は工事規模が小さかったこと、コンクリート材料の供給に制約があったこと、構造物が多く連続施工ができなかったこと、などにより経済性及び、施工能力の向上といったスリップフォーム工法の利点を生かすことができず、



写真-1 スリップフォーム工法用施工機械(新日本坂トンネル明かり部)



それ以後は採用されなかった。しかし、小型スリップフォームペーパーを1台所有し、任意の成形型枠を組み替えることにより、多種多様な付帯構造物が施工できるという利点が受け入れられ、付帯構造物施工業者に普及しはじめた。その影響と最近の合理化、省力化から道路業界でもスリップフォームペーパーを所有する気運が高まり、舗装用の機械が導入され一般工事で使用されてきた。又、高速道路では山陽自動車道三木工事、東関東自動車道市原工事などの試験工区に採用されている。

### 3. 導入に当たっての工法調査

アメリカで開発されたスリップフォームペーパーはその後、1960年代にヨーロッパ各国に普及し始めた。近年ドイツではコンクリート舗装の大部分がセットフォーム工法からスリップフォーム工法に移行し、セットフォーム工法用の施工機械は製造を中止している。しかしながら日本でのコンクリート舗装は、アメリカやヨーロッパ各国が無筋構造であるのに対し、鉄鋼や連続鉄筋など有筋構造が多い。このため、ブレードスプレッドやボックススプレッド的役割を持つ運搬と敷き均しをする機械が必要となる。ここ数年、機械及び施工方法の導入にあたりスリップフォーム工法用の施工機械を製造しているドイツとアメリカの会社及び施工現場の調査を実施した。特に、今後の第二東名名神高速道路の工事及びトンネル内の舗装での使用を想定した内容に重点を払った。その結果、ドイツ・ヴィルトゲン社の機械の開発と導入へとすすんだ。

### 4. 開発及び導入機の概要

スリップフォーム工法用に開発、導入した機械は表-1に示す通りである。材料横取り機、成形機、粗面仕上げ機の3台から成り立っている。以下にそれぞれの機械の概要、諸元等を示す。

表-1 スリップフォーム工法用施工機械

機 械 名 称	製作会社	能 力	用 途
サイドフィーダ	ヴィルトゲン社	4.75 ～ 9.50 m	材料横取り、荒均し 新たに開発
スリップフォームペーパー		2.60 ～ 9.50 m	締固め、成形仕上げ 一部改良
キュアリングマシン		3.75 ～ 9.50 m	粗面仕上げ、養生剤散布 そのまま導入

#### 4-1. サイドフィーダ

サイドフィーダとは、側方のダンプトラックから受けた生コンクリートを、引き込み格納式ホップを備えたベルトコンベアで舗装の中央に供給し、拡散オーガにて左右に広げスクリードにより必要な余盛りをコントロールしながら荒均しのできる機械で、スリップフォームペーパーと同一のフレームに、新たに大容量のベルトコンベアを取り付け、短時間で材料の供給ができる様に開発した。

主な特徴は、

- ①ホップが引き込み格納でき、ダンプトラックの通行帯を広く確保できる。
- ②ホップの組み替えにより施工方向に対し左右及び前後の4方向から材料の供給が可能である。
- ③独自のレベリングセンサにより敷均し厚さが制御できる。

④ PLC（プログラミングロジックコントロール）によるステアリング制御で自動操行ができる。

#### 4-2. スリップフォームペーバ

型枠を使用しないコンクリート舗装機械で、供給されたコンクリートの拡散からバイブレータによる締固め、成形、仕上げまでの一連の作業をこの一台で施工を行うことができる。本機は、ベースマシンと舗装キットから構成されており、舗装キットを変えることにより防護壁等の付帯構造物施工にも対応できる。サイドフォームの部分に改良を加えてある。

主な特徴は、

- ① 摺動ビームによる横仕上げ装置と摺動フロートによる縦仕上げ装置を装備しておりモールド成形後、更に均一な面を得ることができる。
- ② 各作業装置がユニット式になっており取付、取外しが容易である。
- ③ 独自のレベリングセンサにより舗装厚をコントロールし、高い平坦性が得られる。
- ④ PLCによるステアリング制御で、スムーズな自動操行ができる。
- ⑤ 少人数で運転操作及び作業が可能である。

#### 4-3. キュアリングマシン

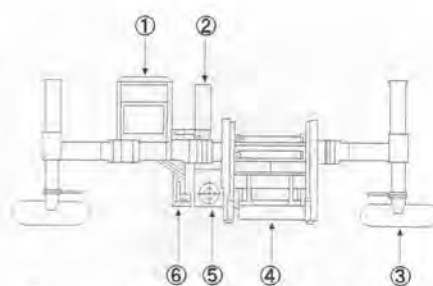
コンクリート舗装表面にホウキ目による粗面仕上げ、及び養生剤の散布を全自動で行うことのできる機械として導入した。

主な特徴は、

- ① レベリングセンサ、ステアリングセンサ、距離計により完全な自動運転が可能である。
- ② 1行程（散布と粗面仕上げ）の距離を設定することができ、そのラップ量も調整可能である。
- ③ 養生剤の散布量を流量バルブ、圧力バルブにより適切に調整できる。
- ④ 舗装端のブラシ持ち上げ機構により、スラブ端部を痛めない。

表-2 サイドフィーダ主要諸元

型 式	ISF-950
全 長	9,700mm
全 幅	15,300mm
全 高	3,500mm
全装備重量	30,000kg
施工速度	0~5m/min
回送速度	0~20m/min
材料供給能力	200m <sup>3</sup> /h
舗 装 厚	最大400mm
クローラトラック	4基
エンジン型式	CAT3306D1-TA
定格出力	203HP/2,100rpm

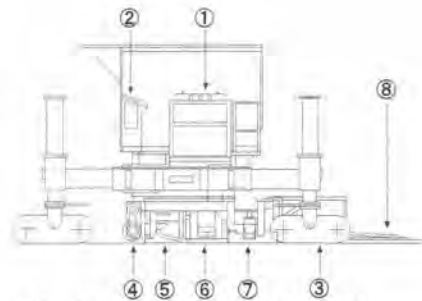


- ①・・・トラクターフレーム（エンジン）
- ②・・・運転席、操作盤
- ③・・・クローラーユニット
- ④・・・引き込み格納式ベルトコンベア
- ⑤・・・大型拡散オーガ
- ⑥・・・昇降式スクリード

図-1 サイドフィーダ平面図

表-3 スリップフォームペーパー主要諸元

型 式	SP-950
全 長	6,755mm
全 幅	10,630mm
全 高	3,000mm
全装備重量	38,000kg
施工速度	0~5m/min
回送速度	0~20m/min
クラウン	0~3%
舗装厚	最大450mm
クローラトラック	4基
エンジン型式	CAT3306DI-TA
定格出力	203HP/2,100rpm

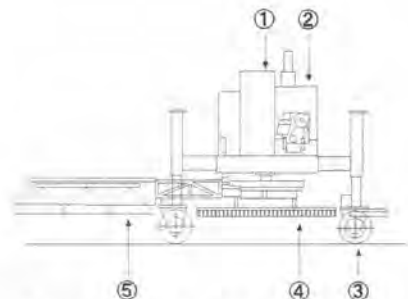


- ①・・・トラクターフレーム（エンジン）
- ②・・・運転席、操作盤
- ③・・・クローラーユニット
- ④・・・拡散オーガ
- ⑤・・・大型バイブレータ
- ⑥・・・敷均しモールド
- ⑦・・・撓動ビーム
- ⑧・・・スーパースムーサ

図-2 スリップフォームペーパー

表-4 キュアリングマシン主要諸元面図

型 式	TC-950
全 長	6,625mm
全 幅	10,500mm
全 高	2,580mm
全装備重量	12,500kg
施工・回送速度	0~20m/min
クラウン	0~3%
舗装厚	最大500mm
養生剤タンク	300リットル
スプレー幅	3,000mm
ブラシ幅	2,500mm
エンジン型式	ドイツディーゼルエンジン
定格出力	43HP/2,100rpm



- ①・・・エンジン部、運転席（図面奥側）
- ②・・・養生剤タンク
- ③・・・ホイール
- ④・・・粗面仕上げ装置
- ⑤・・・養生剤散布装置

図-3 キュアリングマシン平面図

## 5. 新日本坂トンネル工事での施工状況

平成9年夏に実施されたこの工事は、日本坂トンネル付近での渋滞緩和を目的とした拡幅工事であり、新たに構築したトンネルを3車線の新下り線として使用し、それまで供用していた上下線2つのトンネルを4車線の新上り線トンネルとして使用するものである。新規構築された下り線は、コンポジット舗装として下層に連続鉄筋コンクリート舗装をし、上層に排水性アスファルト舗装を行った。

これはコンクリートベースを使用することにより下層の支持力を高め、上層にアスファルト舗装を用いることで騒音防止及び、わだちやひび割れを防ぐことにより、後のメンテナンスを容易にして道路の耐久性、経済性の向上を狙ったものである。このうち、連続鉄筋コンクリート舗装の施工において、工期の短縮と平坦性の向上からスリップフォーム工法を採用している

使用した機械は、サイドフィーダ（ISF-950）、スリップフォームペーパー（SP-950）、キュアリングマシン（TC-950）の3台1セットで、表-5に機械編成を示す。

スリップフォーム工法機械編成図（連続鉄筋コンクリート工）

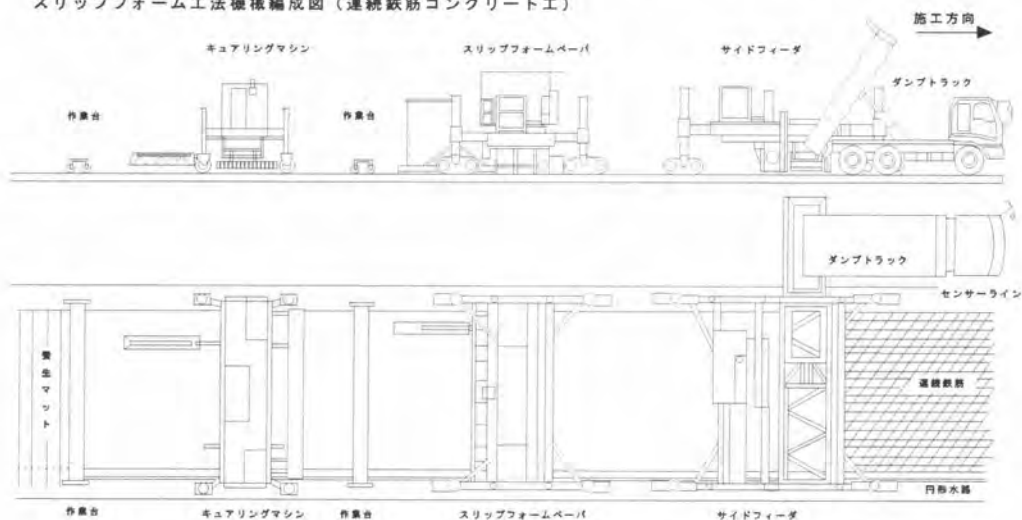


図-4 機械編成図（東名高速道路、新日本坂トンネルコンクリート舗装工事）



写真-2 スリップフォームペーパー（新日本坂トンネル内）

## 6. セットフォーム工法との比較

セットフォーム工法が日本で発展してきた理由としてレールによる施工機械の走行安定性の良さ、型枠による平坦性と端部の出来形の確保などがあげられる。スリップフォーム工法の場合、セットフォーム工法に匹敵しうる性能を有しているにもかかわらず、普及しなかった歴史がある。しかし、冒頭でも述べたように労働者の高齢化が進まなからず、型枠やレール設置に掛かる人員を必要とするセットフォーム工法では施工能力の向上が、今以上は期待できない状況である。又、図-5及び図-6の機械編成図を比較しても施工機械の台数と施工に掛かる人員など、建設業の大きなテーマである省力化やコスト削減を考えるとスリップフォーム工法は、これらの問題を解決しうる一工法であると思う。

セットフォーム工法機械編成図（連続鉄筋コンクリート工）

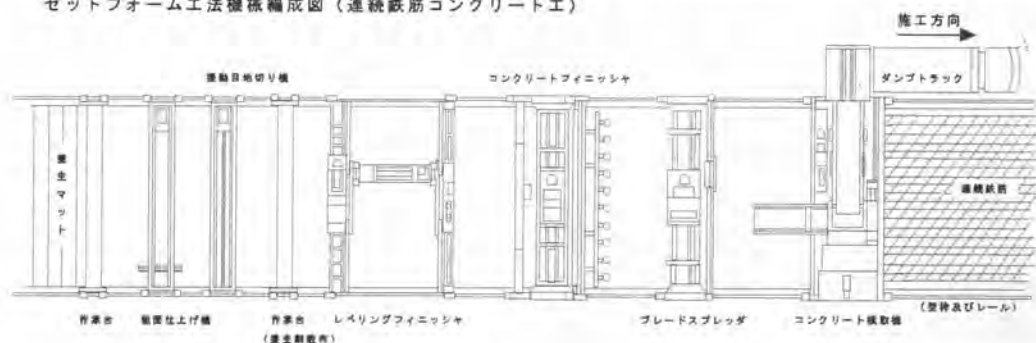


図-5 機械編成図（日本における連続鉄筋コンクリート舗装工事）

表-5 スリップフォーム工法とセットフォーム工法との比較

	スリップフォーム工法	セットフォーム工法
機械台数	3台	5台
準備工	センサーロープだけの設置	型枠、レールの設置
打設人員	機械オペレータと助手で4～5人	機械オペレータと助手で7～8人
汎用性	多種多様なアタッチメントが可能	型枠、レールに左右

## 7. まとめ

開発、導入したスリップフォーム工法用の施工機械は、コンクリートの日打設量、各施工機械の作業効率、平坦性等とも満足できる結果が得られている。この工法は今後のコンクリート舗装工事に大きな影響を与えられると考えられる。それは、発注者である日本道路公団から工事結果に対し非常に有効だと評価されているからである。

これから、スリップフォーム工法の普及に向けて一般工事の主流である中小規模のセットフォーム工法分野にも進出できると思う。その他にもスリップフォームペーパーを使用しての各種アタッチメント交換による道路防護壁等の付帯構造物工事にも威力を発揮できる複合施工機械として役立ててゆきたい。

## 21. 環境への影響を配慮したダム用 コンクリート運搬設備の開発

清水建設㈱：\*福元 洋一，垂水 直樹

### 1. はじめに

近年、コンクリートダムの合理化施工法として、RCD工法や拡張レイヤー工法に代表される全面レイヤー方式が広く普及している。この方式における一般的なコンクリート運搬方法は、なんらかの手段で堤体上に運びこまれたコンクリートをダンプトラックで打設場所まで運搬するというものであり、クレーンとバケットで直接打設していた従来のブロック工法とは決定的な違いがある。そのため、コンクリート運搬設備は堤体の全範囲を必ずしもカバーする必要はなく、堤外から堤体上のダンプトラックまでコンクリートを運搬できることが最低条件である。つまり、運搬形態の自由度が広がり、従来のものに加えて新たな設備を考案できる余地が拡大したのである。

このような局面を迎えて筆者らは、設置に伴う自然環境への影響を極力抑えた、新しいコンクリート運搬設備の開発に取り組み、2つの新設備Ⅰ、Ⅱを開発するに至った。本稿は、その開発成果について報告するものである。

### 2. 新設備Ⅰ

#### (1) 概要

新設備Ⅰは、巻上げ機を搭載した移動式架台をダム堤体上に配置し、堤体の上流面あるいは下流面に走行レールを設置し、コンクリートを積載したバケットを堤体の足下から巻上げ機によりレールに沿って巻上げて、堤体上で待つダンプトラックまで運搬するものである。つまり出来上がっていくダム堤体

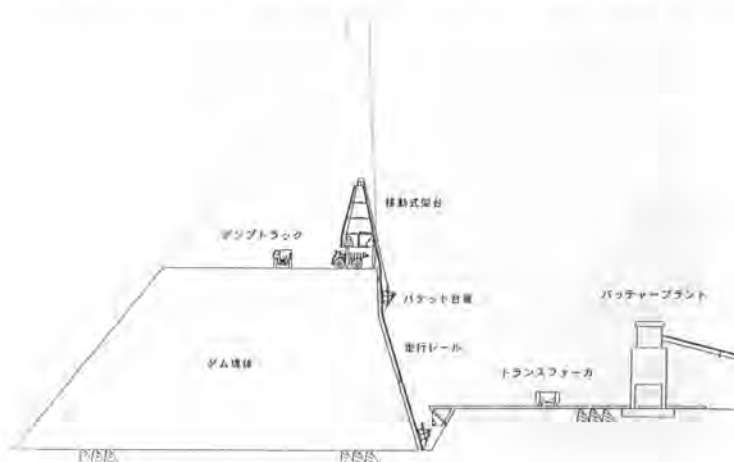


図-1 全体概要（新設備Ⅰ）

そのものを利用する設備といえる。この設備の第一の特徴は、パッチャープラント等の仮設備を河床付近に集約できるため、ダム天端周辺の地山の切取りを極力抑えることができる点にある。

図-1に当設備の全体概要を示す。また写真-1には、実証機の設備全景を示す。

## (2) 構造

実証機（バケット容量 $2\text{m}^3$ ）の構造を図-2に示す。巻上げ機、発電機、油圧ユニット、ホッパー、槽、支持架台などが一体となって移動式架台を構成している。この移動式架台はダム堤体上に配置され、コンクリートを積載したバケットを堤体上まで巻上げ、ダンプトラックに積み替えるものである。また、内側架台と外側架台の一对から構成される支持架台を駆使して、堤体コンクリートの1リフト毎の立ち上がりに応じて自ら上昇できるようになっている。



写真-1 設備全景（新設備Ⅰ実証機）

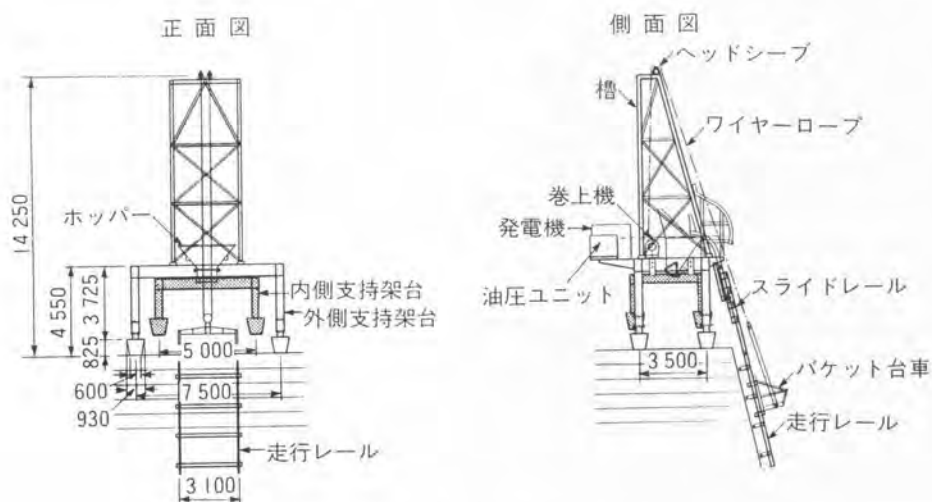


図-2 構造（新設備Ⅰ実証機）



表-1 主要諸元（新設備Ⅰ実証機）

・全高	14 m	・バケット台車の巻上げ速度	30/15 m/min
・全幅	7.5 m	・巻上げワイヤーロープ	φ 20mm×2本
・全重量	34.2 t	・バケット容量	2.0 m <sup>3</sup>
・巻上機出力	50/25 kW×4/8(P)	・レール幅	3,100 mm

バケット台車は、下方で荷受けしたコンクリートを移動式架台まで運搬する。また、このバケット台車に専用の架台を取り付けて車両を搬送することもできる。堤体の上流面あるいは下流面に設置する走行レールは、バケット台車を走行させるための走行路である。実証機の主要諸元を表-1に示す。

### （3）主な機能

#### 1) コンクリートの運搬

パッチャープラントからトランスファーカで運ばれてきたコンクリートは、堤体足下でバケットに積み替えられると、レールに沿って移動式架台まで巻き上げられる。そして架台内のホッパーを介してダンプトラックに投入される。この一連の作業は、巻上げ開始の信号入力以外は全て自動制御で行われる。また運搬性能は、計画に応じて、コンクリートバケット容量と巻上げ機との組み合わせによりフレキシブルに設定できる。

#### 2) 車両の搬送

バケットに専用架台を取り付けることにより、車両の搬送が可能となる。

#### 3) 移動式架台の移動

移動式架台は、内側と外側の一对からなる支持架台を駆使して、堤体コンクリートの1リフト毎の立ち上がりに応じて自ら上昇する。

### （4）施工事例

熊本県内の砂防ダム（堤高 25 m、堤体積 8,000 m<sup>3</sup>）建設工事にバケット容量 2 m<sup>3</sup>の新設備Ⅰを適用し、次の項目を確認している。

#### 1) コンクリート運搬能力の確認

運搬作業のサイクルタイムを実測し、従来の同規格設備と同等の運搬能力（約 50 m<sup>3</sup>/h）を有することを確認した。

#### 2) 疲労破壊に対する検証

ダム用コンクリート運搬設備には、一般建設機械よりも厳しい構造基準が採用される。繰り返し応力による疲労破壊についての検討基準である『JIS B8821 クレーン鋼構造部分の計算基準』では、ケーブルクレーンやダム用タワークレーンは最も基準の厳しいⅢ群又はⅣ群に分類されている。そこで主要材にひずみゲージを取り付けて作業中の変動応力を計測した結果、一部で大きな変動応力が発生したが JIS B8821 に準拠して疲労破壊について照査したところ、いずれもⅣ群の条件を満足していることを確認した。

### 3. 新設備Ⅱ

#### (1) 概要

新設備Ⅱは、堤体上流面の近傍に設置したタワーに、昇降式のベルトコンベヤ（＝フィーダベルコン）が取り付けられている。タワーは鉛直方向の運搬路であり、フィーダベルコンは水平方向の引き出し装置である。すなわち、コンクリートを積載したバケットはタワー内を通過して堤体の足下から上方へ巻上げられ、そこでコンクリートはフィーダベルコンに積み替えられ、堤体上で待つダンブトラックまで水平に引出される。新設備Ⅱの

第一の特徴も新設備Ⅰと同様に、ダム天端周辺の地山の切り取りを少なくできる点にある。

新設備の全体概要を図-3に、実証機の全景を写真-2に示す。

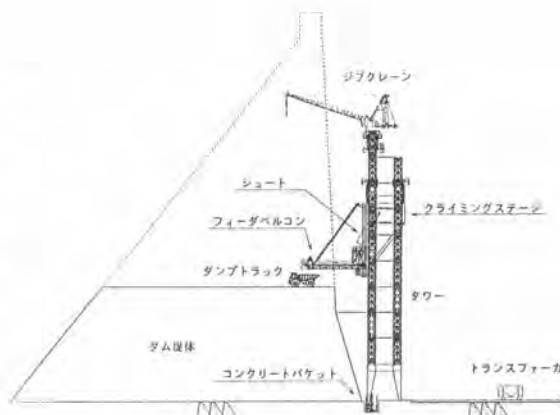


図-3 全体概要（新設備Ⅱ）

#### (2) 構造

新設備Ⅱは、タワー、巻上げ装置、コンクリートバケット、クライミングステージ、ジブクレーンから構成されている（図-3参照）。クライミングステージの内訳は、ホッパー、シュート、フィーダベルコン、クライミング装置等である。ジブクレーンは、タワーの延伸や雑運搬に使用される。また、タワー部材には汎用性の高い既存の建築用タワークレーンマストを使用しており、コスト縮減を図っている。なお、タワーの自立限界高さを超える場合には、ダム堤体から控えを取ることで対処する。実証機の主要諸元を表-2に示す。

#### (3) 主な機能

##### 1) コンクリートの運搬

新設備Ⅱによるコンクリート運搬は、まず、トランスフォーマでタワーの足元まで運ばれてきたコンクリートがバケットに投入され、バケットは巻上げ機によりタワー内を上端ま

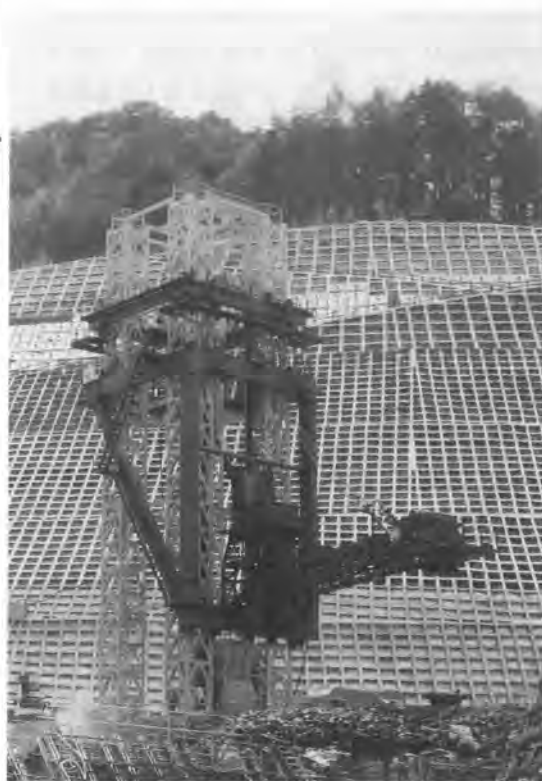


写真-2 設備全景（新設備Ⅱ実証機）

表-2 主要諸元 (新設備Ⅱ実証機)

①タワー		ベルト幅	1,200 mm
クレーンB型7スト×4柱	□1.9m×1.9m, L=6m	長さ	13 m
②コンクリートバケット		ベルト速度	50m/min
容量	9 m <sup>3</sup>	起伏角度	±10°
③巻上機		出力	70 kW
出力	110 kW	⑤クライミング装置	
バケットの巻上げ速度	17 m/min	油圧メインシリンダ	φ 250×φ 150×4本
④フィーダベルコン		油圧ロックシリンダ	φ 50×φ 28×8本
運搬能力	1,950 t/h		

で巻き上げられる。次にその位置でバケットのシャットが開放され、コンクリートはホッパーを通してフィーダベルコンに積み替えられる。そしてフィーダベルコンが作動してコンクリートをダム堤体上で待つダンプトラックに積み出す。以上がコンクリート運搬作業の1サイクルである。

また、運搬性能はコンクリートバケットの鉛直搬送能力から決まり、バケット容量と巻上げ機との組み合わせによりフレキシブルに設定できる。一例として、バケット9m<sup>3</sup>×2基、バケット巻上げ速度90m/minにおける理論運搬性能を図-4に示す。

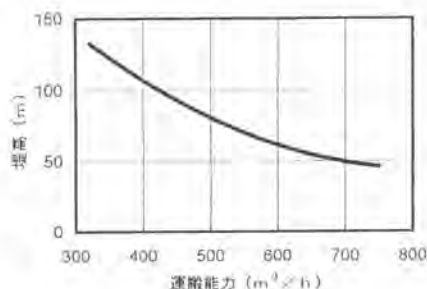


図-4 理論運搬性能 (新設備Ⅱ)

## 2) クライミングステージの上昇

タワー上端までバケットで運ばれてきたコンクリートを、水平方向に引き出すための各設備が納められたクライミングステージは、ダム堤体の成長に応じて、タワーに沿って上昇出来るようになっている。この上昇機構は、セルフクライミング式のタワークレーンの上昇機構と基本的に同じである。

## (4) 施工事例

平成8年、新設備の性能試験と運搬物であるコンクリートの品質試験を目的とした試験施工を実施し、実施工への適用に問題のないことを確認した。そして、その結果を踏まえて平成9年には、長野県水上ダム (堤高38m、堤体積66千m<sup>3</sup>) 本体工事の一部に当設備を適用した。

## 4. 従来設備との比較

一般的な従来設備である固定式ケーブルクレーンと新設備との比較を、表-3に示す。

経済性に関しては、堤体積がそれぞれ6、30、130万m<sup>3</sup>の実際のコンクリートダム工事をモデルとして、主運搬設備としてケーブルクレーン (固定式) と新設備Ⅱを適用した場合のコンクリート運搬費を試算して、比較を行った。各モデルにおける新設備Ⅱの運搬費をそれぞれ100として両者を相対比較したものが図-5である。試算では、堤体積が大きいほど新設備Ⅱの経済性の優位が顕著になるが、そ

表-3 従来設備と新設備との比較

項目	従来設備（ケーブルクレーン）	新設備 I・II
①自然環境への影響	・クレーン基礎やバッチャープラン ト等の仮設備工事に伴う、ダム天 端以上の切取り量が多い。	・ダム天端以上の切取り量が、ケー ブルクレーンに比べて少ない。
②設置に関する制約	・複数台の設置には検討を要する ・堤頂長が一定以上になると、設置 できない	・複数台の設置が容易である。 ・堤頂長の長さによらずに設置 できる ・新設備IIは、下流側には設置でき ない
③盛替えに関する制約	・堤体のコンクリート強度発現に左 右されずに、盛替えできる。	・堤体のコンクリート強度がある程 度発現しないと盛替えできない。
④安全性	・操作ミスが起きやすい。 ・飛来落下事故が起きやすい。	・操作ミスが起きにくい。 ・飛来落下事故が起きにくい。
⑤操作性	・操作するには免許が必要である。 ・操作にはある程度の熟練を必要と する。	・特別教育だけで操作できる。 ・操作が単純かつ簡易である。
⑥多機能性	・雑運搬にも兼用できる。	・雑運搬用設備を別途必要とする。
⑦経済性	※図-5 参照。	

の原因として以下のことがあげられる。

- ・新設備IIによる施工は、堤頂部のために別途設備を必要とするため、堤体積が小さいと割高になる。
- ・ケーブルクレーンの基礎価格は、規格が大きくなるほど割高になる。一方新設備IIは、その構造上の特性から、運搬能力を増大させるのに部材をそれほど大型化する必要がなく、価格増の程度がケーブルクレーンほど大きくならない。

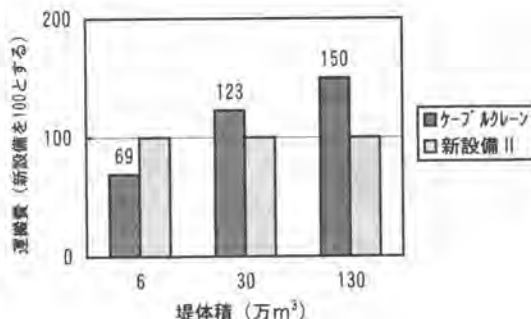


図-5 コンクリート運搬費の比較

## 5. おわりに

以上、2種類の新設備について述べてきたが、両者はともに（財）ダム技術センターからダム建設技術・技術審査証明を取得しており、新しいコンクリート運搬設備の開発という筆者らの当初の目的は達成できたと考えている。なお、2機種の使い分けとしては、ダム堤体の上下流のどちらにも設置できる新設備Iと、上流側のみに設置可能な新設備IIという位置付けである。

わが国は今後、限られた予算の中で効率的に社会基盤を整備していく必要がある、ダム工事においてもさらなる合理化、効率化が強く求められているのは周知のとおりである。このような状況の中で、今回開発した新しい設備がダム施工設備の選択肢に新たに加わることにより、ダム工事の一層の合理化推進に寄与できれば幸いとするとところである。

## 22. 鹿島式ケーブルクレーン自動運転システム

鹿島建設㈱：塚本 克美，\*岸 光輝

ダムコンクリート打設作業の安全性・生産性の向上および熟練オペレータ不足対策をねらいとして、開発したケーブルクレーンの自動運転システムの概要と、実証計測の結果を紹介する。

### 目次

- I. 背景と開発目標
- II. システム概要
- III. 振れ止めと位置決め
- IV. 確認した性能
- V. 今後の課題
- VI. おわりに

#### 1. 背景と開発目標

本ケーブルクレーン自動運転システムの開発にあたっては下記のような背景があり、それに伴って開発目標をつぎのように定めた。

##### 1. 背景

- ① コンクリートダム施工の合理化・自動化の強い要請がある。  
ケーブルクレーン自動運転技術を開発し、現在保有している骨材・セメント輸送、バッチャープラント、トランスファーカ、コンクリートバケットの自動運転と組合わせて、コンクリート打設の総合自動運転システムを確立し、コンクリートダム施工の合理化を図りたい。
- ② 熟練オペレータの減少と高齢化が進んでいる。

##### 2. 開発目標

- ① 位置付け：当技術開発をコンクリート打設の総合自動運転システムの主要なサブシステムとする。
- ② 開発技術：両端固定式、弧動式、軌索式等全ての型式のケーブルクレーンに対応できるものとする。
- ③ ダム形式と打設工法への適用：柱状工法・拡張レーア工法・RCD工法等、あらゆるコンクリート

ダム打設工法と、重力式、アーチ式等全てのコンクリートダム形式に適用出来るものとする。

- ④ 繰返し精度：未熟練オペレータでもベテラン並に運転でき、繰返しの苦渋作業を軽減する。
- ⑤ 到達精度：目標位置への高い到達精度を確保する。
- ⑥ 能率の向上：安定したサイクルタイムにより能率を向上する。
- ⑦ 安全性の向上：確実な障害物回避と高い振れ止め技術により安全性を向上する。  
：簡単な運転操作と不具合発生時に確実な処置ができるものとする。

## II. システム概要

### 1. 構成

ケーブルクレーン自動運転システム概要を図-1に示す。

システムは次の4サブシステムで構成される。

- (1) 運転室システム
  - a. 自動運転CPU
    - a) システム全体管理
    - b) システム初期設定
    - c) コンクリートパケット位置計算
    - d) 運転レート計算
    - e) 振れ止めメーター計算
    - f) 原点リセット
    - g) 停止位置補正
    - h) コンクリート打込み位置設定
  - b. 横行トロリー自動追尾トータルステーションデータ処理

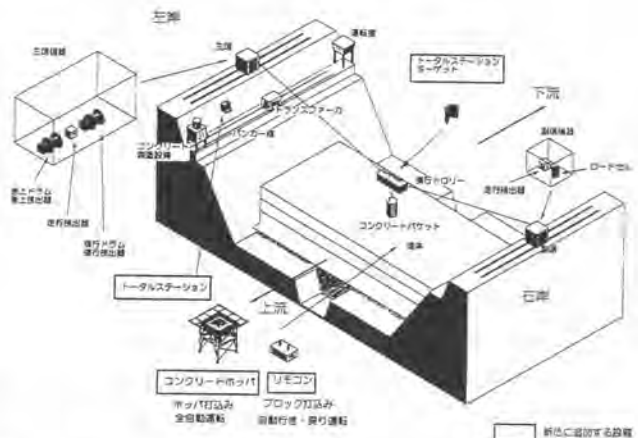


図-1 ケーブルクレーン自動運転システム概要図

### (2) トランスフェーカ自動運転システム

運転室システムとタイミングを取り合いながら、ハンカ線での進入、待機、再発進、コンクリート投入、後退等の制御を行い、「コンクリート投入完了」信号を運転室システムに出力すると、ケーブルクレーンは自動行き運転を開始する。

### (3) コンクリートパケットシステム

2本のハンギングワイヤに接続された油圧シリンダによって発生する油圧をパケットゲートの開閉力に使う、遠隔操作油圧開閉式コンクリートパケットを使用する。

パケットゲートの閉異常が発生した場合、運転室システムに「閉異常」を送信する。

運転室システムはエラーを表示すると共に、自動運転ポーズ状態となりパケットはハンカ線上で

一時停止する。

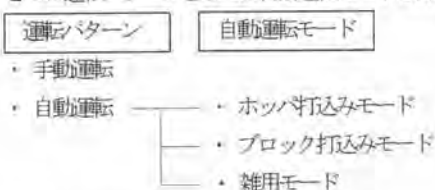
#### (4) コンクリートホップシステム

バケット到達検出用のIDセンサと、高さ検出用の反射式光電センサおよび荷重検出装置を備えている。到達高さはコンクリートの分離を防止するためにホップ上 1.5 m以内で放出するようにセットした。2つのセンサで到達を確認すると微弱無線を使ってコンクリートバケットシステムに“バケット開”信号を発信しコンクリートを放出させ、荷重検出装置でコンクリート放出完了を確認し“放出完了”信号をSS無線により自動運転システムに伝送する。

## 2. システムの特徴

### (1) 運転パターンと自動運転モード

2つの運転パターンと3つの自動運転モードを持ち、必要に応じて簡単に切替できる。



#### a) ホップ打込みモード: 全自動運転

初回の自動運転開始時刻操作以後、バンカー線～ホップ間の繰り返し往復運転およびホップへのコンクリートの放出を全自動で行う。

#### b) ブロック打込みモード

バンカー線を起点としてバンカー線～ブロック間の繰り返し運転を自動で行う。ブロックへのコンクリートの放出作業は、リモコン無線操作器およびバケット開閉無線送受信器を使って行う。

#### c) 雑用モード

現在位置から指定された場所まで、資機材等の運搬を自動で行う。吊り荷の地切り、目標位置における荷卸し作業はリモコン無線操作器を使って行う。

### (2) 振れ止めと到達位置精度

高度なフィードフォワード制御とファジィ制御を用いた2段階加減速による振れ止めにより、目標位置への高い到達位置精度と少ない残存振れを確保している。

### (3) 通過安全高さ検出

簡単な通過安全高さの検出とシステムが持つダム形状データとを合わせて、運搬経路中

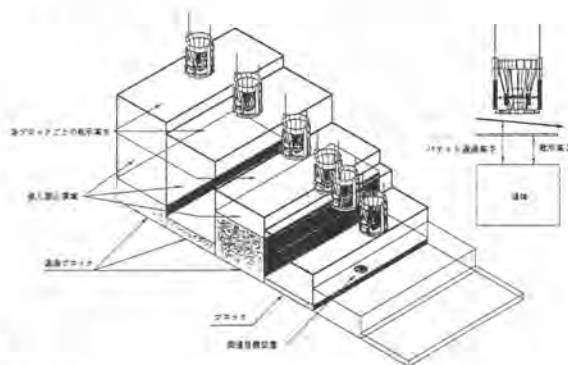


図-2 バケット通過安全高さおよび侵入禁止検出



の侵入禁止エリアを自動設定し、安全で最適な運転パターンをその都度計算して運転している。

#### (4) システムの適用性

以上の特徴を生かすことで、各ダム形式、各打設工法、および各種のケーブルクレーン型式で適用可能なシステムを構築している。

表-1 ケーブルクレーン自動運転システム適用範囲  
(コンクリートダムへの適用)

ケーブルクレーン型式 ダム形式 打設工法		両端固定式	弧動式	両側走行式	軌索式
重力式	柱状ブロック工法	◎	◎	◎	○
	拡張レアー工法	◎	◎	◎	○
	RCD工法 (ホップ打設)	◎	—	—	—
アーチ式	柱状ブロック工法	—	◎	◎	○

◎印：現状で適用可能

○印：一部改良で適用可能

### 3. システム全体フロー

図-3にシステム全体フローを示す。

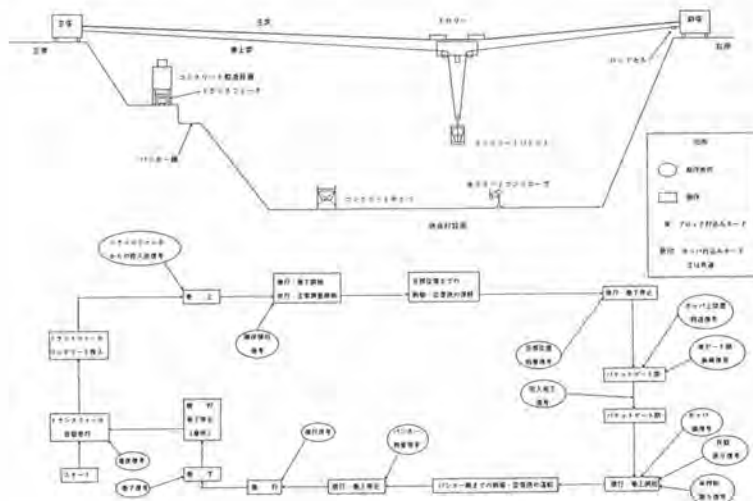


図-3 システム全体フロー図

#### 4. 操作

##### (1) 手動運転と自動運転の切替

運転パターンの切替は、運転席近くに設けた自動運転操作盤内の、手動-自動切替スイッチにより行う。

##### (2) 自動運転モードの切替

次のように作業内容により自動運転モードの切替の必要が生じた場合、パソコンのメイン画面のタッチキーにより、メニュー選択の形で簡単に切替を行うことができる。

- ① RCD工法のコンクリートホッパ式において、ダム天端付近のダンプ運転ができない直打の場合
- ② 柱状工法の構造物の周辺や、減勢工打設時等の定点へ繰返しコンクリート運転が必要となる場合
- ③ 資機材の自動運搬を行う場合

##### (3) その他のパソコン操作

下記に示す最小の事項について、パソコン画面のタッチキーにより設定と操作を行う。  
初期設定後、通常運転中は、キーボード入力は一切不要で、オペレータは“監視”に専念できる。

- ・ 打設ブロック番号とELの入力 (画面テンキー)
- ・ 画面切替操作 ・安全高さ表示解除
- ・ 自動運転開始 (初回のみ) ・雑運転時の目標位置番号入力 (画面テンキー)
- ・ 自動運転一時停止 (ポーズ指令) ・エラー発生時メッセージの確認

##### (4) コンクリート打設位置

今回の実証工事現場は、アーチ式ダムのため打設ブロック面積が狭く自動打設位置設定ができないため、ブロック打込みモードにおける次回コンクリートバケットの到達目標位置は、打設現場のリモコンオペレータが、“自動戻り”鈕を押した位置の座標とし、コンクリート打設位置を日々事前にキーボード入力する必要がないようにした。

##### (5) 通過安全高さ教示

ホッパ打込みおよびブロック打込みにおいて、始業点検を兼ねて目標位置とバンカー線間を空バケットを手動運転することで、“通過安全高さ”をシステムへ読み込ませることができる。

この“通過安全高さ”と、初期値データとして入力済みのブロック座標から、進入禁止領域を設定される。このように通過安全高さを教示するだけで、ブロック上の最低安全高さが決まるので、ジブクレーンを設置したり、足場を組んだ場合等の障害物の座標データを、改めてキーボードで入力する必要はない。

##### (6) 打設実績の収集

自動運転中のロギングデータとして必要な項目を自動記録し、簡単な市販ソフト (Excel) で分析が可能で、実績データの収集が容易にできるため作業日報等を手書きする必要がない。

### III. 振れ止めの制御方法

教示した障害物を回避する最適パスを決定後、そのパス上を移動する横行・巻上下・走行の速度パターンを決定する。振れ止めは横行・走行の2段階加減速により行う。2段階加減速とは加速（または減速）を2段に分けて行い、1段目の加速で発生する振れを2段目の加速（減速）で打ち消し振れ止めする方法である。トロリー横行位置が横行駆動ドラムから遠くなるにしたがって横行糸のゆるみが増加し、ドラム回転時、そのゆるみによりドラムの回転量とトロリーの移動量との間に差が生じる。このため加減速タイミングを、トロリーの横行位置によりファジィ演算により補正しているのが本システムの特徴の一つである。

### IV. 確認した性能

表-3に示すように実用的な残存振れ幅・到達位置精度およびサイクルタイムが得られた。

表-3 振れ幅・到達位置精度 (単位: mm) とサイクルタイム (単位: 秒)

モード	項目	残存振れ			到達目標			到達精度	サイクルタイム		
		X	Y	Z	X	Y	Z		標準	実測	差
ホッパ 打込み (件数: 12)	平均	766	1388	363	69	93	104	178	146.8	144.5	-2.3
	最大	963	1687	996	158	193	396	401	160.0	+13.2	
	最小	244	1069	197	7	2	18	92	139.0	-7.8	
ブロック 打込み (件数: 27)	平均	561	938	502	161	240	204	389	143.2	145.2	+2.0
	最大	888	1719	964	443	672	383	805	147.4	165.0	+17.6
	最小	276	480	196	10	3	0	82	142.8	134.0	-8.8
雑用 (件数: 15)	平均	398	400	177	211	167	279	421	—	173.4	—
	最大	498	507	301	370	325	468	621	—	174.0	—
	最小	233	302	91	3	54	11	257	—	172.0	—

### V. 今後の課題

アーチ式コンクリートダム建設工事において使用した、同心円弧動型昇降走行式ケーブルクレーンを、幾多の問題点を解決しながら自動化に成功した。今後は他のダム形式及びケーブルクレーン型式において実用に供し、当システムの有効性を実証する。

### VI. おわりに

以上鹿島式ケーブルクレーン自動運転システムの概要について述べた、これによりコンクリートダム施工の総合自動運転システムを確立することができた。今後コンクリートダム施工の自動化に本システムが貢献できるものと確言している。

なお本システムはダム技術センターの「民間開発建設技術審査」を受審し、'98年3月末に技術審査証明書を受領した。

## 23. 自在接合型親子シールド機の開発

大成建設株：金子 研一

石川島播磨重工業株：山田 茂弘，\*伊藤 広幸

### 1. はじめに

近年、都市部におけるシールド工法の傾向は、大深度化および長距離化の傾向にある。それに伴い経済面をさらに考慮する必要があり、トンネル途中でトンネル断面を機能上必要な形状に変化させる施工方法およびシールド機の開発が要求されている。

これまで、トンネル断面を路線の途中で変えたい場合は中間に立坑を設け、そこから断面形状を変えたシールド機を新たに発進させていたが、都市部においては希望する位置に中間立坑を設けることが困難な状況が多くなっている。このため、掘進途中で断面を小さくすることが可能なシールド機として親機の内部から子機が発進可能な親子シールド機が開発され、表-1に示す工事で実績がある。表に示すように下水、電力、鉄道など広い分野で需要があり、今後、増える傾向

にある。ここに示す実績のうち営団地下鉄の例を除いては土中で子機を分岐発進させたもので、いずれも親機と子機が同芯となる管芯接合式であった。

しかし、トンネルの用途によっては、管芯接合式ではなく大断面トンネルの任意位置で小断面トンネルを接合できれば、さらに合理的な計画が可能となる。このようなトンネルを掘削できる親子シールド機が求められ、それに応えて自在接合型親子シールド機が開発された。図-1に本機のイメージを示す。

本文では、自在接合型親子シールド機の概要と実証実験の結果を報告する。

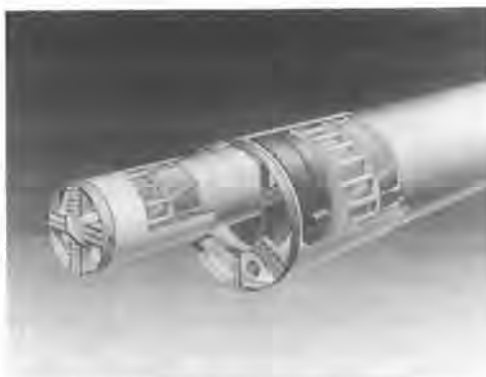
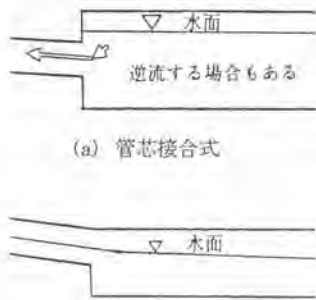


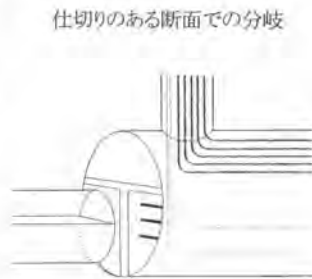
図-1 自在接合型親子シールド機のイメージ図

表-1 親子シールド機の実績表

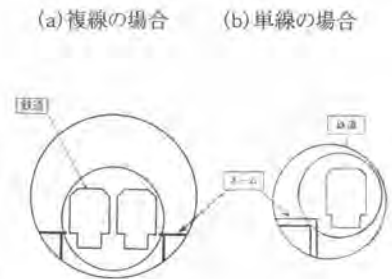
	工事名	発注者	工期	口径(距離)
1	観音川雨水滞水池建設 工事その8	日本下水道事業団 (川崎市下水道局)	1992. 7~ 1994. 3	φ 5. 53m→φ 3. 68m (260 m) (65m)
2	7号線南麻布工区 (麻布留置場) 土木工事	帝都高速交通営団	1995. 1~ 1998. 2	φ 14. 18m→φ 9. 7m (364m) (777m)
3	環七東海松原橋管路 新設工事	東京電力	1995. 3~ 2000. 3	φ 6. 4m→φ 4. 3m (1736m) (958m)
4	南部処理区八幡幹線 下水道整備工事	横浜市下水道局	1995. 11 ~1999	φ 4. 93m→φ 3. 93m (990m) (1136m)
5	高槻島本雨水幹線(第4 工区) 下水管渠築造工事	大阪府北部流域 下水道事務所	1996. 1~ 1999. 3	φ 4. 93m→φ 3. 93m (87m) (1464m)



(a) 管芯接合式  
(b) 管頂接合式  
図-2 下水道の接合方式



仕切りのある断面での分岐  
図-3 共同溝・電力の接合方式



(a) 複線の場合 (b) 単線の場合  
図-4 鉄道トンネルの接合方式

## 2. 自在接合型親子シールド機の概要

### 2-1. 開発の背景

各分野の需要として、管芯接合式に代わる下記に示す形状のトンネルの接合形式が要求されている。

図-2には下水道の例を示す。(a)図の管芯接合式では水面位置が小断面側の位置で制約され、大断面側の断面が有効に使用できない。また、大断面側の水面位置が上がり過ぎた場合は小断面側へ逆流するなどの問題があった。それに代わり(b)図に示す大断面側の頂部で小断面側が接合する管頂接合式とし、水面位置が同一レベルでの接合が可能なトンネルが求められている。

図-3には共同溝、電力の例を示す。トンネル内に仕切りを設けた大断面側に小断面トンネルを分岐の必要位置に接合が可能なトンネルが求められている。

図-4には駅部分と鉄道トンネルが接合する例を示す。単線の鉄道トンネルで駅舎を設ける際、大断面側の駅舎スペースを最低必要限度に抑えたい場合に大断面側と偏芯させて小断面側を接合できるトンネルが求められている。

これらのトンネルを1台のシールド機で施工するという課題に応じて、自在接合型親子シールド機は開発された。これにより、大断面トンネルの管頂あるいは管底など自在な位置に小断面トンネルを接合させることが可能となった。

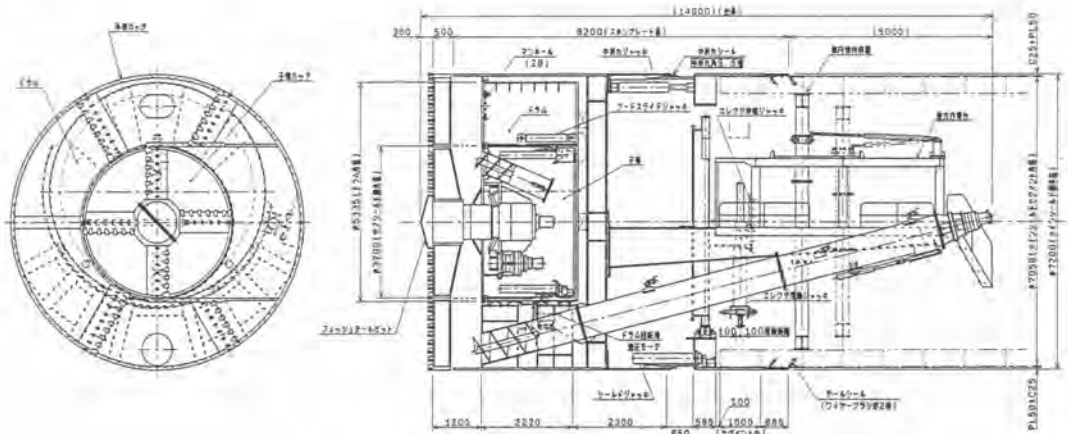


図-5 自在接合型親子シールド機全体図

## 2-2. 構造

自在接合型親子シールド機の土圧タイプを図-5の全体図に示す。自在接合型親子シールド機は親機の内部に親機の中心と偏芯させた位置に回転可能なドラムを設け、ドラムの中に子機を収納していることを特徴とする。以下に本機の特徴的な要素であるドラムと外周カッタについて説明する。

### (1) ドラム

子機を位置を移動させるためにドラムを利用する。ドラムは外部に設置した駆動モータで回転される。ドラムの内部にはドラムの中心と偏芯した位置に子機が収納されていて、ドラムが回転すると子機の位置が親機断面内で移動する。

ドラムの形状は、親機の中心に子機を設置した位置と子機を移動させた後、分岐発進する位置を包括する円形とする。図-6は管頂接合式のドラムの配置および寸法の決め方を示したものである。

子機を移動する手段として直線的にジャッキなどを利用してスライドする方法があるが、隔壁のスライド部を止水するシール機構と親機の端部まで子機を移動させることが構造上難しい。これらの課題を解決する手段としてドラムを採用することで子機の移動が可能となった。

### (2) 外周カッタ

土圧式の場合は子機のカッタの外周にU字形の切り欠きを設けた外周カッタをはめ込む形で装備する。図-5の全体図に示すようにカッタはスポークおよび外周リングと内周の子機カッタスライド部支持材により構成される。親機の掘進時には、子機カッタと外周カッタを伸縮可能なピンで接合し前後方向の固定を行い、カッタトルクの伝達はキー構造で伝達する。

泥水式の場合はカッタ部に面板が必要になり、U字形の溝が設けられないため、図-7に示すように、外周カッタ部をドラムと同じ形状および位置で切り離し、子機カッタを含めて3重構造とし、それぞれを回転自在の構造とする。それぞれのカッタの固定方法は土圧式と同様とする。

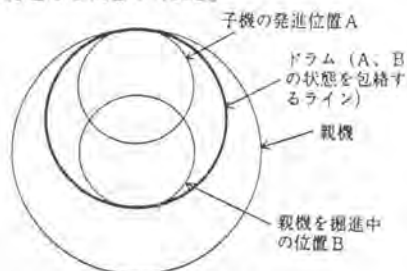


図-6 ドラムの形状

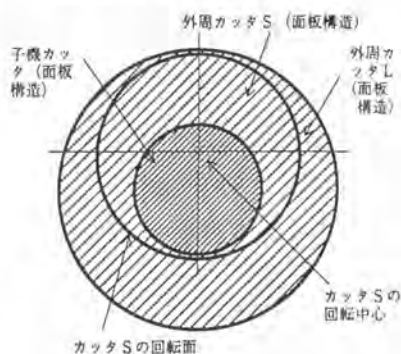


図-7 泥水式シールドのカッタ構造

## 2-3 子機の移動および分岐手順

管頂接合で土圧式の場合における、子機の発進位置に移動するまでの外周カッタと子機カッタおよびドラムの位置関係を図-8に示す。

- ① 外周カッタのU字形切り欠き部が横に寝かせた位置でカッタを停止させる。
- ② 子機カッタと外周カッタの接合ピンを解除し、ドラムを回転させる。
- ③ ドラムの回転に伴い子機は中央から端部に移動する。子機の移動に伴い外周カッタも回転する。
- ④ 子機が親機の頂部に達した時点でドラムの回転を停止する。このときの外周カッタのU字形切り欠き部は上向きになり、ドラムの回転が180度回転する間に、カッタは90度回転することになる。
- ⑤ ドラムと子機の固定を解除し、子機を発進させ、後方のスペースを確保したうえでテール部などの後方部分を設置する。

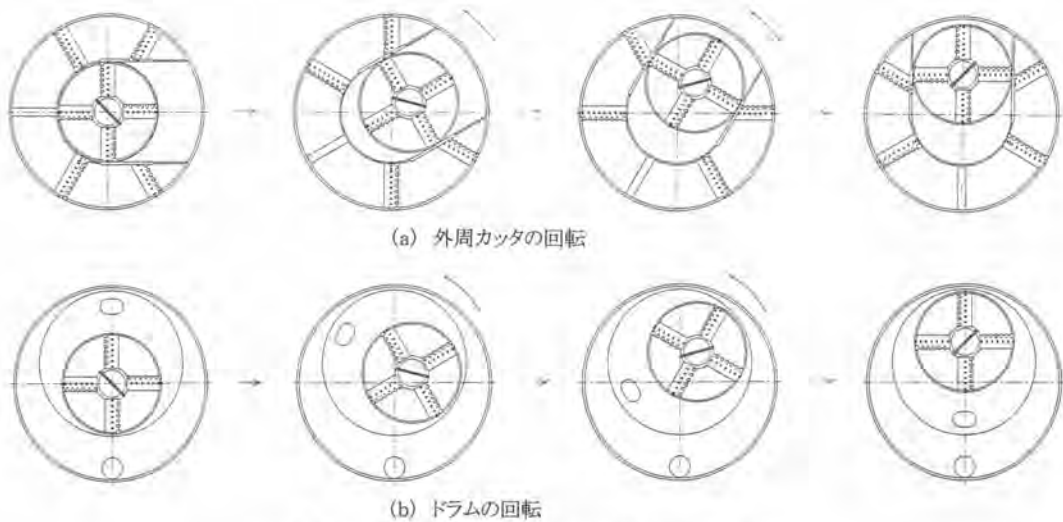


図-8 外周カッタ回転とドラム回転の位置関係

#### 2-4 適用範囲

親子シールド機の適用範囲は、子機の装備カッタトルクと親機の必要カッタトルクの関係で決定される。ここでは、子機に装備可能な最大カッタトルクを設定し、親機の機種別に一般的な必要トルクから、上限の親子外径比率(親機外径/子機外径)を機種別に算出するからで適用範囲を示した。検討条件として、子機の装備可能な最大カッタトルク係数は $\alpha=4.0$ とした。これは、一般的なシールドとしては高い装備トルクであり、カッタ駆動モータに特殊な高トルク出力モータを装備し可能となる。また、機種別の必要カッタトルク係数は下記とした。

- ① オープンメカニカルシールド  $\alpha=0.5$
- ② 泥水シールド(砂礫以外の地盤)  $\alpha=1.0$
- ③ 砂礫対応泥水シールド  $\alpha=1.4$
- ④ 土圧シールド(砂礫以外の地盤)  $\alpha=1.4$

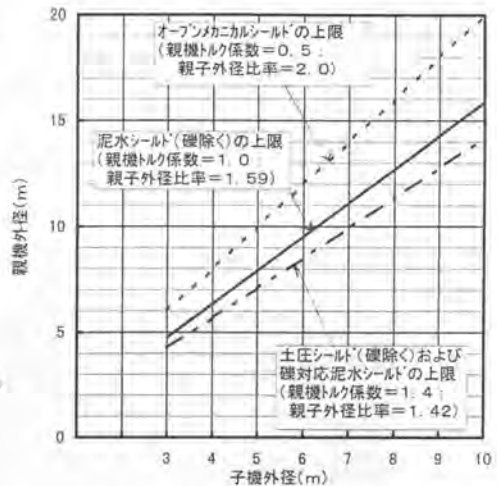


図-9 自在接合型親子シールド機の適用範囲

適用範囲の検討結果を図-9に示す。

この結果は、適用範囲の目安であり、詳細についてはドラムと排土装置の取り合いなど機内のスペースを条件にあった形で検討する必要がある。特に小中口径の土圧シールドの場合、親機のスクリーコンベアをドラム外に設けることが困難であるため、子機のスクリーコンベアと兼用する方法など検討が必要となる。

土圧シールドの砂礫地盤対応では、親機に必要なカッタトルクが $\alpha=2.0$ 以上必要となり、親子外径比率が1.26倍以下となる。この場合、ドラムを装備して子機を移動するメリットがなく、構造上でも成立しないため適用外とした。また、子機の外径3mクラス以下は子機への高カッタトルク装備の面でも対応が難しく適用外としたが、工事の条件ごとに検討し適用を決定する。



### 3. 子機位置移動実証実験

#### 3-1 実験の目的

実証実験の目的は、自在接合型親子シールド機の子機移動機構について、子機カッタに外周カッタがはめ合った状態でドラムの回転にともない、子機の位置を親機の任意位置に移動できるか確認することである。

この機構を検討するなかで、ドラムの回転力のみで外周カッタを回転させることは、回転開始時において外周カッタに回転力が有効に伝わらず難しいことが判明した。この対策として、子機のカッタの回転を利用して外周カッタを回転させることにした。また、この時のドラムの回転速度と外周カッタの回転速度の比率が2:1であることに着目し、お互いの回転速度を制御することにより子機の移動をスムーズに行うことを検討した。これらの機構および制御方法が意図どおり機能し、子機の移動が実際に行えることを確認するため、図-5に示す計画機を1/6に縮小した実験機を製作した。

#### 3-2 実験機の概要

実験機の写真を写真-1に示す。実験機の全体図を図-10に、仕様を表-2に示す。外周カッタは子機がスライドするU字形切欠き部を設けたうえで5本のスポーク構造とし、外周部はフード部スキンプレート内でガイドし、外周カッタの位置が軸方向および径方向にずれない構造とする。子機カッタは4本のスポーク構造とした。U字切欠きを右横にした場合、左側を伸縮スポークとし外周カッタ内側に設けられたガイド部を摺動する。上下のスポークは親機掘進時に外周カッタと連結する油圧ジャッキによる可動ピン内蔵とする。右側のスポークは固定スポークである。

子機の本体は移動を確認するための実験機であることから、ドラムに固定した。子機本体はカッタと一体のセンターシャフトを支持する。センターシャフトの後端にはカッタ回転モータを連結する。

ドラムは親機内部で回転可能な形で支持される。ドラム回転モータは縮小実験機のため機内に設けるスペースがなく、親機の上部に設置し、ローラーチェーンにより横引きして回転できる構造とする。

ドラムおよびカッタの回転モータはインバータモータを採用し、各々の回転角度をロータリーエンコーダで検出し、その信号により2:1の回転角の位置関係を確保しながら、お互いの角度差を必要以上に発生させない形で速度制御する。また、子機の移動に伴う一連の作動は自動運転で行う。

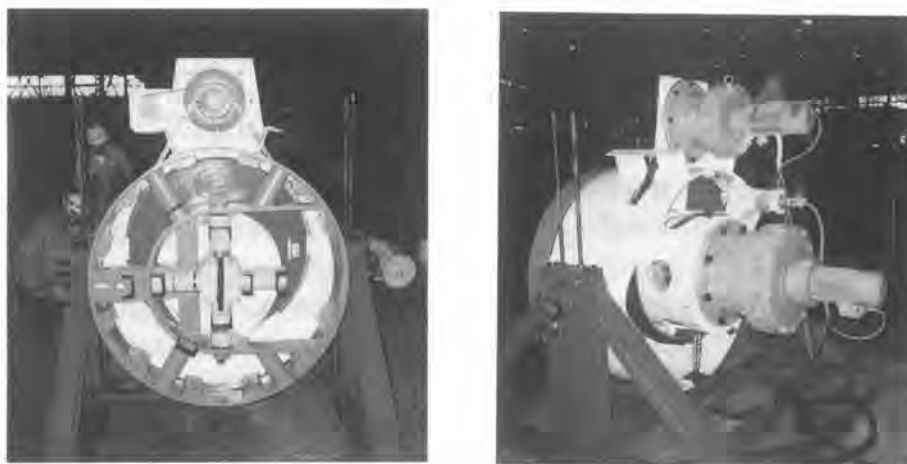
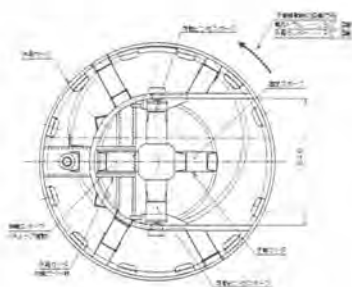
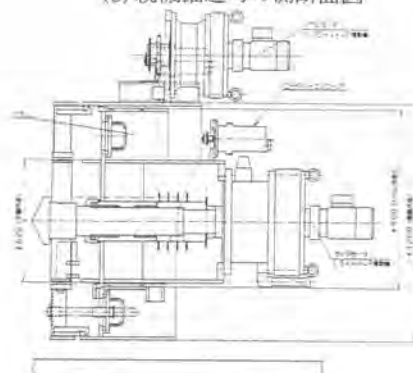


写真-1 縮小実験機

(a) 親機掘進時のカッタ状態



(b) 親機掘進時の側断面図



(c) 子機移動後のカッタ状態



表-2 実験機の仕様

親機外径	φ 1200 mm	
子機外径	φ 620 mm	
接合方式	管頂接合式	
ドラム外径	φ 900 mm	
子機移動量	240 mm	
カッタ モータ	容量	1.5kw×4P(インバータモータ)
	トルク	1450 kgf-m
ドラム モータ	容量	0.75kw×4P(インバータモータ)
	トルク	415 kgf-m
ドラム駆動トルク	2100 kgf-m	

図-10 実証実験機の全体図

### 3-3 実験の結果

外周カッタをドラムより先行させて回転させて、子機カッタと外周カッタの摺動部における隙間を確保できない状況では、外周カッタ内側ガイド部と子機伸縮スポークの摺動部および外周カッタ外側のガイド部に大きな荷重(クサビ現象による荷重)が作用し、移動が停止する現象が発生した。実験では試行錯誤を繰り返し、スムーズに子機が移動できるカッタの先行角度を探究し、移動開始前にカッタの先行角度を設定することにより、スムーズな移動動作を検証することができた。このような試行錯誤できたのは、先に述べた制御システムを採用していたことによるもので、実機でもこの制御システムが必要であるといえる。

この実験結果より、実験機で採用した機構および制御システムが実機でも採用できることを確認した。ただし実機での子機移動は土砂の中での作動になるため、実機への採用にあたり、さらに土砂対策を検討しているところである。

## 4. おわりに

ここへきて、特に発注者の間では公共工事のコスト削減対策が検討されている。それを受けて業界では様々な施工方法の開発がされているわけだが、自在接合型親子シールド機もその一役を担う工法として、実用化を目指して、さらに技術を磨いていく所存である。この結果を実機で試し、効果が示されることを期待する。その意味で、この本文を読んで頂いて、この工法に興味を持たれた方々から採用についての検討の声が、かかれば幸いである。最後に、この開発に協力していただいた関係者の方々に謝意を表する。

## 24. TWSによる泥岩トンネルの急速施工

日本道路公団： 芹川 博  
山王トンネルJV工事事務所： 山本 宏司  
(株)大林組：\*藤井 剛

### 1. はじめに

北陸自動車道山王トンネルにおいて、泥岩地山の急速施工を主目的として検討・開発された多機能型全断面掘削機（トンネルワークステーション、以下TWSと称する）による機械化施工が本格的に実施された。このTWSは、支保の合理化や機械設備の集約化といったコンセプトのもとに設計され、新支保方式を含む切羽作業からインバート閉合までの一連の作業を集約した総合的な機械システムであり、将来の軟岩地山におけるトンネル施工方法を示唆する有力な工法の一つとして期待されている。現在までに掘削はほぼ完了しており、幾つかの課題はあるもののロスタイムの低減による施工の急速化や安全性の向上等について良好な結果を収めている。

本稿では、TWSの概要と施工結果について報告するとともに、最適なシステムとするための今後の課題について報告する。

### 2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

工事名称：北陸自動車道 山王トンネル工事  
工事場所：新潟県西頸城郡能生町大字百川  
発注者：日本道路公団 北陸支社  
工期：平成7年10月～平成11年3月  
掘削断面積：約85m<sup>2</sup>  
施工延長：2,227m  
施工方法：TWS（写真-1）によるNATM  
両坑口部は従来NATM  
地質：主として泥岩・砂岩互層



写真-1 TWS外観（上：前部 下：後部）

### 3. TWSの概要

#### 3.1 TWSの開発コンセプト

開発コンセプトは以下のとおりである。

- ①トンネルの早期断面閉合による、構造物としての早期安定性の向上（支保の合理化）
- ②機械設備の集約化による切羽人力作業の軽減（切羽の施工安全性の向上と迅速化）
- ③機械設備の集約化と併行作業によるロス時間・作業時間の短縮（施工速度の向上）

### 3. 2 TWSの機能

上記コンセプトに基づき、以下のような機能を盛り込んでいる。

- ①切羽作業からインパット閉合までの一連の作業が可能な機械システム
- ②作業の合理化を目指し、切羽作業の機械をガントリーに集約して配置
- ③作業時間の短縮を図るため、一次吹付けコンクリートと二次コンクリートの作業箇所を分離

なお、二次コンクリートは粉塵による坑内環境と他の機械設備への環境を考慮し、全周型枠式コンクリート（NTL）を採用した。

### 3. 3 TWSの構造

TWSの全体構造を図-1に示す。TWSは全長約 110m、総重量約 660tf（ずり積み機、インパット掘削機を含む）の規模で、構成は切羽側よりガントリー部（切羽作業）、全周型枠部（NTLによる二次コンクリート）、インパット部（インパット掘削・打設）および電源台車部（全体制御・監視、ずり積込み、吹付材圧送等）の4つの部分に大きく分けられ、全体をずり運搬用のコンベアフレームが貫通した構造とした。

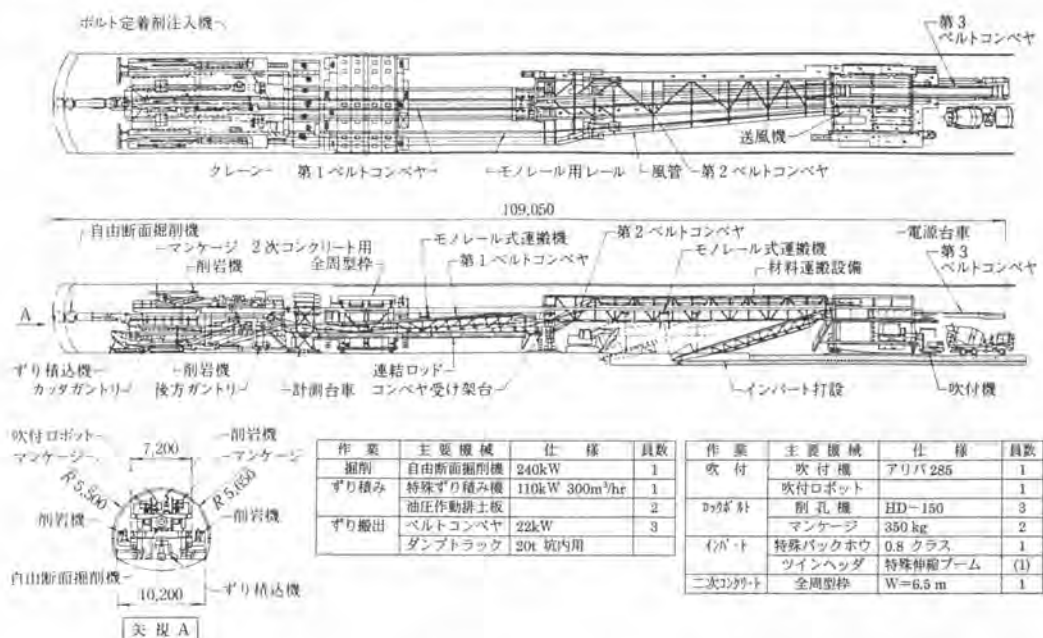


図-1 TWS全体構造

### 4. 新支保システム

ここで採用された新支保システムはTWSと一体として機能するものであり、鋼製支保工の省略等切羽での支保の軽減を図っている。

#### 4. 1 断面形状

##### (1) 円形近似断面

以下の諸条件を考慮し、泥岩地山でのTWS工法に適合する新しい円形近似断面を採用した。

- ①泥岩トンネルの長期安定性
  - ②支保の合理化に伴う曲げモーメント発生抑制
- (2) 球面切羽形状

切羽外周部地山の応力集中の緩和と鏡面の安定を図るため、切羽形状はガントリー搭載の定置式掘削機により図-2に示すような安定性の高い球面形状とした。

#### 4. 2 支保方式と支保材料

急速施工への対応と支保の合理化を図るため、以下の新支保方式を採用した。

- ①早期の支保効果を発現する瞬結モルタルによる薄肉の一次支保
- ②急硬性注入式ボルトによる先行斜打ちロックボルト
- ③切羽後方での二次コンクリート (NTL)
- ④変位の大きな区間での一次吹付け厚の増加 (5cm→10cm) もしくは鋼繊維吹付けコンクリート

当工事の地山区分と代表的な支保パターンを表-1に、支保構造の一例を図-3に示す。

表-1 支保パターン

項目	地山区分		摘要
	I	II	
I掘進長			
	1 m	1 m	
支保部材	一次吹付けモルタル (瞬結タイプ)	t = 5 cm	t = 10 cm (5 cm)
	二次コンクリート (NTL)	t = 10 cm	t = 10 cm
	二次吹付けコンクリート (SFRFC)	—	(t = 5 cm)
	ロックボルト	— (必要に応じて)	L = 4 m × 18本/2m
切羽対策工	地山区分 I, II 共通		
	球面切羽で掘削し、切羽の状態により以下の対策工を選定する。		
	① 注入式フォアポーリング (L=4m)		
	② 先行斜打ちロックボルト (L=4m)		
	③ 部分鏡吹付け (一次吹付けモルタルと同じ)		
	④ 全面鏡吹付け (一次吹付けモルタルと同じ)		
⑤ 鏡止めロックボルト (L=4m)			

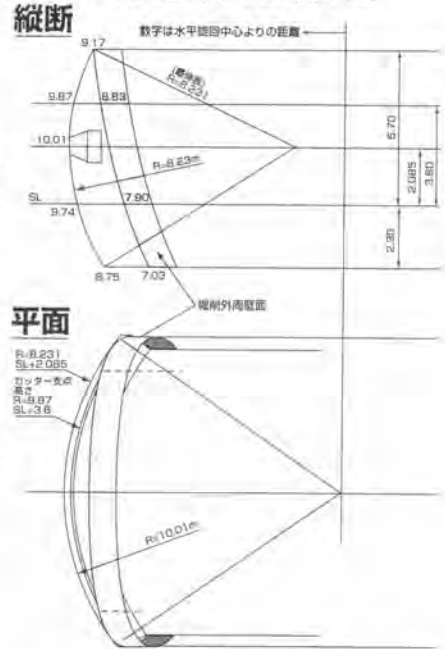


図-2 球面切羽形状

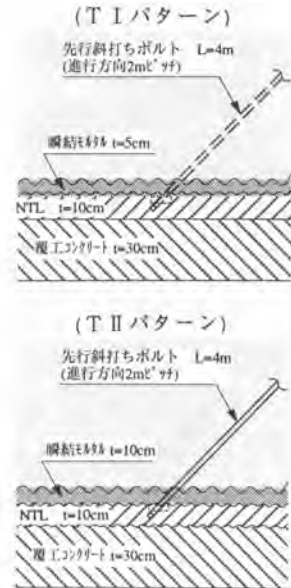


図-3 支保パターン構造例

#### 5. 施工方法と運転管理システム

##### 5. 1 TWSによる施工方法

支保パターンにより異なるが、基本的には以下のように切羽、NTL、インバートの3作業場所での

併行作業となる。

①掘削・ずり出しの併行作業

掘削カッター下余裕を4m程度確保し、掘削とずり出しの併行作業を図った。

②掘削と二次コンクリート施工の併行作業

ガントリー後方での二次コンクリート施工により支保を分離し、掘削と二次コンクリート施工を併行作業とした。

③掘削とインバートの併行作業

掘削断面の早期閉合を図るため、TWS内にインバート施工スペース(24m)を設け掘削と同時進行の併行作業とした。なお、掘削ずりの搬送は、NTL、インバート施工箇所を貫くベルトコンベア方式とした。

## 5. 2 TWS運転管理システム

大規模機械システムにおける安全確保、システムの円滑な運用そして適正な施工管理を行うため、コンピューターネットワークを用いた運転管理システムを構築した。このためTWS内に中央監視室を設け、総合的な管理を行った(図-4)。管理項目は以下のとおりである。

- ①安全管理
- ②運転管理
- ③連絡通信
- ④施工情報管理

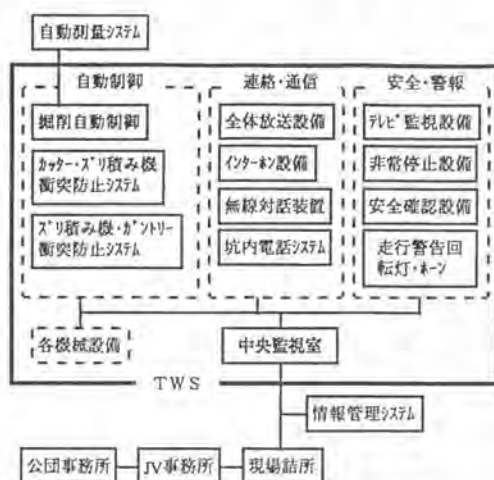


図-4 TWS運転管理システム

### (1) 自動測量・掘削システム

TWS機械設備はトンネル断面を占有し、従来のレーザーや測量の見通し確保が困難なことや、球面切羽で立体的に複雑な外周形状となり、レーザー等によるマーキングが困難なことから、測量・掘削の自動システム化を図った。図-5に自動測量・掘削システムの概念を示す。

自動測量システムは、後方の自動追尾式トータルステーションとTWS本体内の姿勢検出用の計器類(ジャイロ、ピッチング・ローリング計)により、切羽におけるカッターガントリーの位置と姿勢を計測するシステムである。

また、自動掘削システムは、自動測量システムから得られる機械の位置・姿勢データと線形・断面データから油圧制御により自動掘削を行うシステムであり、正確な掘削形状の確保と作業員の労力の低減を図った。

### (2) 安全設備

TWSの全体走行とベルトコンベヤの起動・停止が安全確保の上で最も懸念されたため、3台の監視カメラを設置し、中央監視室で管理することによりこれらの安全確認を行うと同時に、警報・回転灯等各種安全設備を設置した。



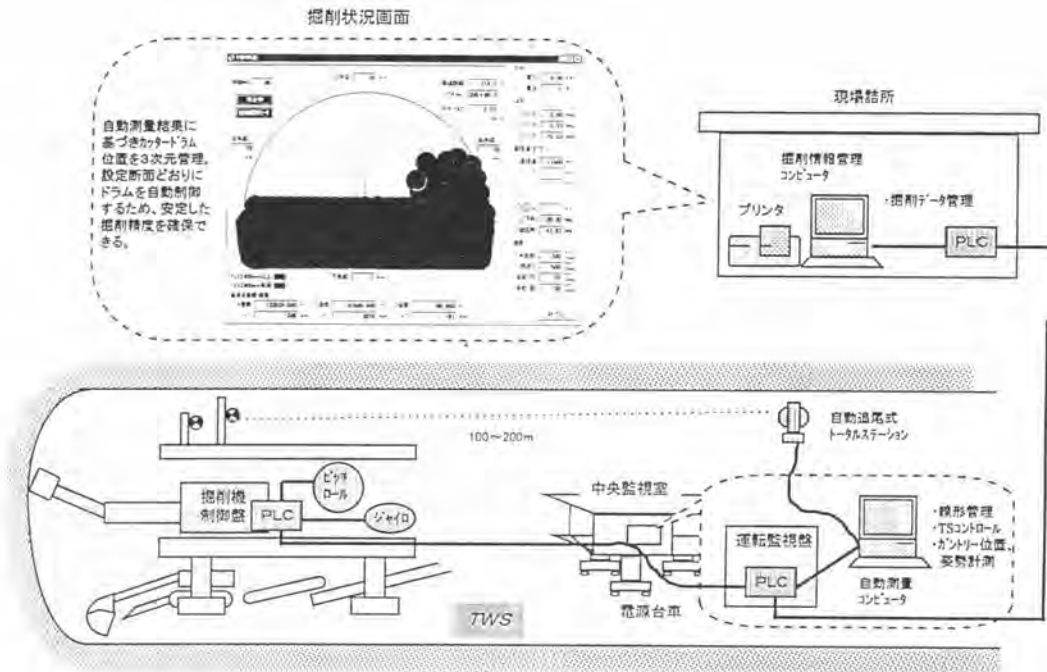


図-5 自動測量・掘削システムの概念

### (3) 情報伝達・監視設備

TWSでは相互に離れた場所での連携操作を必要とすることから、中央監視室では作業状況、機械設備の運転状況、故障・異常の程度や場所等の情報を速やかに検知できるようにし、また検知した情報を速やかに伝達できるように連絡・通信設備を設置した。

### 6. 施工結果および評価

平成8年11月の掘削開始以来、約18ヶ月で計画通りほぼ掘削は完了した。施工は、切羽観察、変位計測および支保クラックなどの変状観察等に基づいて行い、地山の変状が大きくなった区間では、吹付けコンクリートの厚さの増加や鋼繊維吹付け、ロックボルトの増打ち等の補助工法を盛り込んだ支保パターンを設定し、随時実施した。

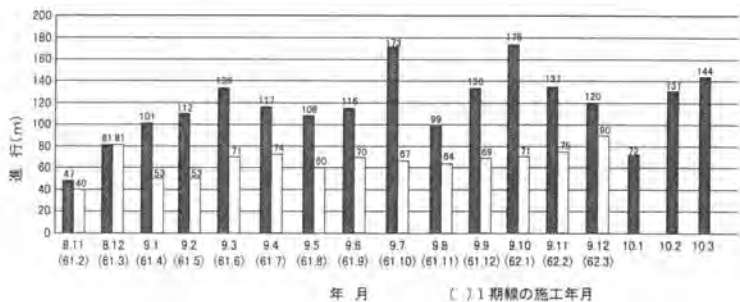


図-6 I期線との月進行比較



図-6に従来NATMで施工したⅠ期線工事の上半切羽進行とTWSにより施工したⅡ期線工事の月進行の比較を示す。Ⅰ期線工事に対し、Ⅱ期線工事では掘削、ずり積込みの併行作業化や吹付け、ロックボルト作業の機械入れ替え時間削減により切羽での作業ロスが減少し、結果として従来NATMに比べ約2倍程度の急速施工が実現できた。

さらに、自動測量・掘削システムの採用により従来に比べ大幅な切羽作業時間の短縮や省力化が可能となり、また遠隔操作や円形近似断面・球面切羽形状の採用により明らかに切羽災害の要因が減少したものと考えられ、当初の開発コンセプトに対してほぼ満足できる成果があげられたものと考えている。

## 7. 今後の課題

TWSによる施工をさらに最適なシステムとするための課題を以下に述べる。

### ①早期の適切な支保の判断

今回採用された新支保システムは、鋼製支保工を省略して切羽での支保軽減を図り、地山に応じて斜め打ちボルト等の補助工法を行ったものであるが、地山の変化が激しいところではその変化をより早期に捉え、迅速に対処できる支保システムの構築や適用範囲の広いシステムとする必要があると思われる。

### ②TWS機械構造の柔軟性

施工設備が切羽に集約されているため、ガントリー通過区間の支保補強が困難であることや故障・修理時のガントリー下部での機械の入れ替えが困難であること等から、TWS後退機能の追加やガントリー下部の汎用機械通過スペースの確保等、今後はより柔軟なシステムにする必要があると思われる。

### ③二次コンクリート（NTL）の今後の利用方法の検討

NTLは全周型枠による石灰石微粉末を添加した高流動コンクリートであり、その材料特性の観点から今回の二次支保としての利用以外に一次支保や永久支保、防水工といった利用方法も考えられる。それぞれ利用にあたっては、1打設長・巻厚・強度・透水性等の十分な検討が必要であるが、検討価値は大きいと思われる。

## 8. おわりに

今回の実績から、新支保システムとTWSによる施工システムは軟岩地山におけるトンネルの急速施工に有効となる可能性があることが実証された。この実績をもとに今後課題を克服すべくより合理的なシステムの構築について検討を進めていきたい。

最後に本システムの開発・現場への導入にあたり、御指導・御協力いただいた関係各位に対し、感謝の意を表します。

## 25. トンネル用ハイブリッド式 ダンプトラックの開発

(株)大林組：山本 幸信，井上 幸芳  
トモエ電機工業(株)：\*田崎 愛真郎

### 1. はじめに

近年、山岳や都市トンネル工事において、大断面や長距離の施工が増加しつつある。また工事費縮減のために工事期間の短縮とそれに伴う施工速度の向上が求められている。そこでこれらの要求を満たすために、高性能な大型機械の導入や台数の増加が図られているが、エンジンから排出する有害ガスのために坑内の空気をより一層汚染する原因ともなっている。そこで今回、電気自動車の低公害性とディーゼルエンジン車両の持つ良好な作業性に着目し、長距離施工に対応できしかも坑内汚染が少ないダンプトラックの開発を行った。本稿ではこのハイブリッド式ダンプトラックの開発経緯と小型試験車両（写真1）による現場適用結果について報告する。



写真1 ハイブリッド式ダンプトラック

### 2. 開発経緯

#### 2.1. 背景

近年、地球環境保全が社会的課題となり、

地球温暖化防止のために炭酸ガスの排出抑制が叫ばれている。またISO14000の批准により、各事業者には事業活動を通じて可能な範囲での環境対策が求められている。このような環境問題に対する関心の高まりの中、国内の社会基盤整備の一環として、第二東名名神工事などのように、従来よりも長大なトンネルの計画が、今後さらに増加すると考えられている。ところが、トンネル工事では、線形の狭隘な作業空間という特殊性から換気が悪く、従来より坑内車両から排出される有害物質、特にNOx等による作業環境汚染の防止が特に重要な課題となっていた。

#### 2.2. 開発の目的

そこで山岳トンネル工事において、車両の排気ガスによる汚染を少しでも防止し、快適な作業環境の確保を図ると共に、最適な動力システムを構築することで省エネルギー化を促進し、さらに換気設備等の低減などを意図し、最も多数の同種の車両が稼動するずり出し作業に対して適用可能な車両の開発に着手した。以下に開発目的をしめす。

##### ①トンネル坑内環境の改善

作業に最適な車両動力システムを採用することにより、エンジンの小出力化を行い排気ガス量を少なくし、有害ガスによる、坑内空気汚染を最小とする。

##### ②省エネルギー化

燃料消費率の向上と廃棄エネルギーの回収を行うことにより、運搬に要するトータ

ルエネルギーの低減を図る。

### ③付帯設備の低減

トンネルの長大化に伴い大容量化するプロアーなど付帯設備への負担を低減する。

## 2.3.開発期間

本開発は、平成7年より基礎研究を行い、山岳トンネルにおけるずり搬出（写真2）に必要な諸条件を調査の後、車両の仕様を定め、平成8年において試作車両による現場適用試験を行い、設計法の確認と適用評価を行った。

## 2.4.トンネルずり運搬作業の現状

通常、トンネル工事のずり運搬作業は、大出力のエンジンを搭載した数台のダンプトラックを用いて、切羽から坑外のずり捨場までの往復を繰り返すことにより、1時間程度の比較的短時間に集中的に行われる。このとき坑内の排気ガスの発生量は最大となるため、対策が求められている。通常この対策としては、大容量のプロアーにより坑外の新鮮な空気を切羽まで送り、排気ガスを希釈して坑外へ排出する方法が採られている。また、排気ガス発生源への対策としては、低公害認定エンジンの車両を用いたり、触媒マフラーを用い有害ガスの除去を行ったりしている。しかし他の建設工事の作業環境と比較しても、現状ではまだ満足な環境状態には至っていない。



写真2 ずり搬出状況

## 3. 低公害車両

低公害車両としては、実用車両にもさまざまな方式のものが実施されている。今回はトンネルに適応可能な動力源として、基本的に電気自動車を選択した。以下に低公害車の特徴を述べる。

### 3.1.電気自動車

モーターとバッテリーを搭載した電気自動車であり、自動車でなければバッテリー機関車としてレール方式の施工現場で利用されている。特徴として以下のものがある。

- ①排気ガスをまったく出さないため、坑内車両として最適である。
- ②運転時間以外に充電時間が必要であり、時間がかかる。
- ③充電用の車両外設備が必要である。このため作業距離が大きく取れない。

### 3.2.ハイブリッド式電気自動車

ハイブリッド方式の自動車には電気とエンジンを組み合わせたものや、油圧とエンジンを併用したものなど動力源を種々組み合わせたものが開発されている。以下にモーター（電気）・エンジン併用のハイブリッド式電気自動車の3つの方式についてのべる。これには動力エネルギーの方式により①シリーズ方式②パラレル方式③スプリット方式がある<sup>2)</sup>。

#### (1)シリーズ方式

発電機で発電し、この電力でモーターを回し車輪を駆動する。余剰電力はバッテリーに充電し高負荷時のエネルギー源とする。

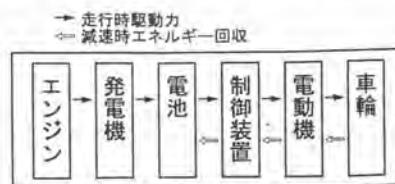


図1 シリーズ方式

## (2) パラレル方式

エンジンは既存の自動車と同様に車輪を駆動する。モーターは高負荷時にバッテリーの電力を使い駆動を補助する。軽負荷時にはモーターを発電機として作動させ、発生電力をバッテリーに充電する。



図2 パラレル方式

## (3) スプリット方式

シリーズ方式とパラレル方式の複合方式で、車速やエンジンの負荷時に応じて車輪の駆動をエンジン、モーターで単独駆動したり併用したりする方式。充電はエンジンの低負荷時に行われる。

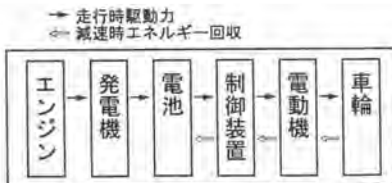


図3 スプリット方式

### 3.3.他のシステム

低公害車両には電気自動車以外にもさまざまなものが開発されている。表1に参考として示す。

表1 低公害車の例

番号	名称	特徴	用途
1	電気自動車	排気ガスなし	ゴミ回収車、トラック、バス、軽四輪車、フォークリフト、ゴルフカート
2	ハイブリッド電気自動車	モータ・エンジン併用	バス、トラック、乗用車
3	LPG車	比較的導入が容易	ゴミ回収車、小型トラック、乗用車
4	天然ガス車	イオウ、黒煙なし	バス、トラック、乗用車、軽四輪車、フォークリフト
5	メタノール車	Noxがディーゼル車の半分	バス、トラック
6	水素自動車	炭素化合物の発生なし	実験室段階

## 4. ハイブリッド式ダンプトラック

### 4.1. 採用システム

検討の結果、建設現場での使用が多いモーター・ディーゼルエンジン併用のハイブリッド式ダンプトラックを開発することとした。方式はシリーズ式である。

この中で期待した項目は次のとおりであった。

- ①有害物質を発生源で抑制が可能。
- ②省エネルギーシステムの構築が容易。
- ③現場導入が容易。

### 4.2. 仕様

試験車のベース車両としては市販の2ton積みダンプトラックを用いた。そしてトンネル施工現場における車両の実態調査により、車両の走行エネルギー状態を解析し、試験車両の仕様を表2のように定めた。

また開発のコンセプトはつぎの項目のように定めた。

- ①ハイブリッド方式を活用した低公害・省エネ車両とする。
- ②通常のダンプトラックの機能をすべて保持する。

③良好な操縦性や作業性を確保する。

表-2 2トン積みハイブリッド式ダンプトラック仕様

番号	項目	原型車	ハイブリッド車
1	定員・重量 ・乗車定員 ・最大積載重量 ・車両重量 ・車両総重量	3名 2,000kg 2,700kg 4,865kg	3名 2,000kg 4,250kg 6,410kg
2	寸法 ・最低地上高	1990H*1695W*4690Lmm 200mm	1990H*1695W*4690Lmm 170mm
3	性能 ・登坂能力(Tanθ)	0.53	0.15
4	駆動機構 ・駆動原動機 ・変速機 ・最終減速比	ディーゼルエンジン 前進：5速、後進1速:MT 6.142	直流直巻モータ 前進：1速、後進1速 6.142
5	動力供給システム a. 原動機 ・エンジン型式 ・定格出力 ・回転速度 ・総排気量 b. 電池 ・種類・型式 ・容量・電圧 ・積載個数 ・総電圧	ディーゼルエンジン 4HF1 130PS 3,200rpm 4,334cc ---	ディーゼルエンジン 発電機YAG25S-4型 4TNE84T-AGD 33PS(60Hz) 1,800rpm 1,955cc 鉛蓄電池, 165AH/5HR, 2V 96個 192V
6	制御方式	---	トランスミッション制御
7	充電装置 ・充電制御方式	---	モーター制御, 定電圧, 定電流

### 4.3.本体の構成

#### (1)試験車両の構成

ベース車両のフレームを生かし、モーター、エンジン、バッテリーなどの主要機器を重量バランスを考慮して配置した。特に運転感覚を通常の車両と異ならないように配慮した。

また保安機器や制動機、ステアリング、などの主要装備については現状のままとした。

図4に機器配置を示す。

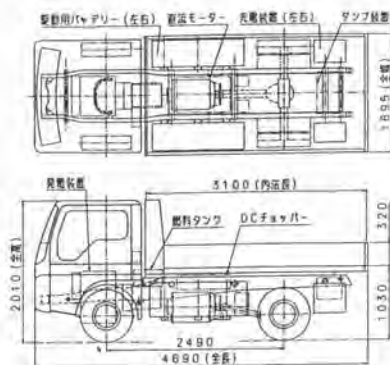


図4 機器配置

#### (2)システム構成

車両のシステムは次の構成となっている。

- ①駆動部：直流モーターによる直接駆動
- ②発電部：動力源となる発電機を搭載
- ③充電部：余剰・不足電力の充放電
- ④制御部：各機器の制御

また、図5に従来の自動車とのシステム比較を示す。

#### (3)機能・性能

基本コンセプトにより、通常のダンプトラックの機能はすべて組み込んだ。この車両の性能・特徴をつぎに示す。

##### 1)走行

モーターによる電気走行。変速機無し。

設計走行速度 15km/H (勾配上り 3%)

##### 2)エネルギー回収

回生ブレーキによるエネルギー回収可能。

##### 3)発電・充電

常時発電と充電をサイリスタ制御により行う。

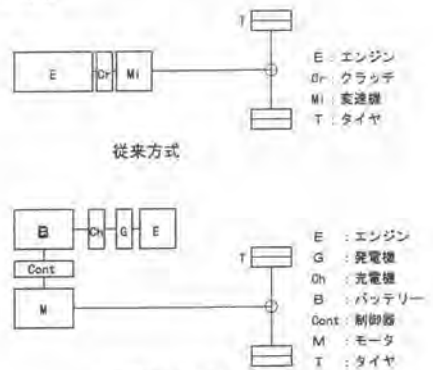


図5 システム比較

## 5. 試験結果および考察

### 5.1 排出ガス測定

車両の排出ガスの測定を以下のように行った。今回の開発システムでは、車両走行状態において、エンジンは常に一定回転数の状態であり、バッテリー充電を行いながらモータ

走行を行う。つまり、車両の発進、加速など  
と関係無くエンジン回転数は一定となる。こ  
のため、開発車両に直接適合する車両の測定  
法が見当たらなかったため、旧6モードテス  
トを参考にして評価を行った。結果は表3の  
ようになり、NO<sub>x</sub>は6モードの規制値に対  
して52%程度の値となった。また黒煙も小  
さい値であった。全体として低公害システム  
となっている。

参考として6モードテストの規制値を表4  
に示す。また黒煙規制値は3モード運転条件  
で、50%以下とされている。

表3 排ガス測定

項目	測定結果	規制値
NO <sub>x</sub>	305ppm	590ppm
HC	80ppm	670ppm
CO	205ppm	980ppm
黒煙	11%	50%

(回転数 1500rpm)

表4 6モードテスト規制値

各モードによるエンジン回転数、負荷お  
よび運転時間の状態で排出されたガス濃度  
に一定の加重係数を乗じた値が以下のとお  
りでなければならない<sup>1)</sup>。

NO<sub>x</sub>≤590ppm、HC≤670ppm、CO≤980ppm

(車両重量 2.5 トン以上の重量車用ディーゼル機関が対象)

## 5.2. 現場適応試験

平成8年、阪神高速道路公団唐櫃東トンネ  
ル工事において、試験走行と適用試験を実施  
した。試験項目は①動力性能②走行性③操縦  
性④作業性の確認などであった。

なお、試作車は2トン積載のため、実際の  
ずり出し作業のように、岩塊をホイールロー  
ダーから直接積み込むことはできなかった。  
従って2トンの鋼材を用いて試験を行った。

## (1)現場条件

トンネルの縦断勾配や切羽ずり捨場間の距  
離などは図6のとおりであり、BからDの区  
間で計測を行った。なお試験状況を写真3に  
示す。

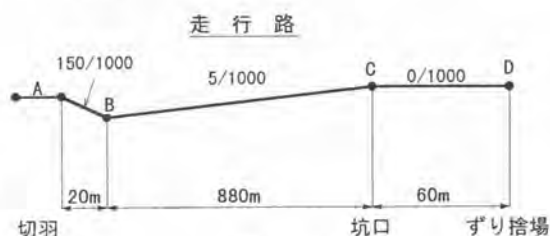


図6 現場条件



写真3 試験状況

試験場所のトンネル縦断勾配が0.5%であ  
り、当初開発計画時の上り3%でなかったた  
め、動力関係では余裕のある値が得られた。  
運搬作業については従来のディーゼルダンプ  
トラックと比べて全く遜色がなく、走行性、  
操縦性、作業性とも問題がないことが確認で  
きた。

## (2)調査結果

- ・最高速度 50km (空車)
- 29km (実車)



- ・ 1 充電走行距離      124km (空車)  
                             55km (実車)
- ・ 燃費：9 km/L 空車 (V=23km/H)  
          4 km/L 実車 (V=12.4km/H)
- ・ 回生電力：電力は 15%程度回生できた。  
(走行時の運動エネルギーを 100%とする)
- ・ 作業性の評価  
    充電しながらモーター走行を行うため、  
    前もって充電しておく必要が無く、また  
    外部充電設備も必要がないため、建設現  
    場での導入が容易である。複雑な機器搭  
    載のため整備性が悪い。

## 6.まとめ

トンネル工事対応のハイブリッド式ダンプトラックについて以下にまとめる。

### (1)長所

#### ①低公害

トンネル工事用として設計したため、市販車と比べ小出力のエンジンで済んだ。

(130PS から 33PS のエンジンへ変更)有害ガスの発生量も少なく低公害である。

#### ②省エネルギー

エネルギーの利用効率が良いため省エネルギー性に優れている。

#### ③現場適応が容易

外部充電設備や充電作業が不要なことから、低公害車として現場への導入が容易である。

### (2)短所

#### ①バッテリー等の重量と容積が大きい。

このため機器搭載場所に制約がある。

#### ②システムが複雑

従来の自動車に比べメンテナンスや機器の耐久性に課題がある。

### ③車両に適したエンジンが必要

自動車用エンジンは汎用エンジンと比べ小型、軽量であり大出力を発揮する。本システムをより有効に発揮させるには車両用の専用エンジンが望ましい。

### (3)課題

ハイブリッド車両がトンネル工事用車両に方式が有効なことは確認できた。しかし、今後の適用を図る上で、バッテリーなどの主要機器の性能の向上が必要である。今後より高エネルギーを貯えられるバッテリーや小型軽量の周辺機器の出現が望まれる。

## 7.おわりに

トンネル現場における作業は、主として掘削や吹き付け作業による粉塵、そして発破や車両の排気ガスによる有害ガスなどにより汚染されている。この中で坑内車両の排気ガスによる汚染を少しでも減少させ、坑内作業環境を改善するためにモーターエンジン併用のハイブリッド式ダンプトラックを開発し、現場への適用確認を行った。今後、より実用的な大型ダンプトラックや各種の建設機械、またバッテリー機関車などへの適用性についても検討を行い、より快適な建設環境の創造の手助けとなるよう検討を行っていきたいと考えている。最後に協力していただいた現場の方々に感謝を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 広安博之、寶諸幸男： 内燃機関  
1986年 p148～149 (株)コロナ社
- 2) 大阪低公害自動車コミュニティシステム事業推進  
協議会： 電気自動車資料「ハイブリッド自動車  
について」1998年



## 26. 偏心多軸 (DPLEX) シールドによる到達部繊維補強仮壁の切削

大豊建設㈱：\*小林 隆治, 富沢 勉, 平林 勉

### 1. はじめに

偏心多軸 (D P L E X) シールド工法は、任意断面のシールドトンネルを築造する工法として開発され、千葉県習志野市で第1号工事として円弧状矩形断面シールド工事を施工し順調に完了した。

今回、東京都下水道局発注の円形シールドに当工法が採用された。本工事の掘進路線には、JR橋梁の近接構造物や河川護岸の残置鋼矢板がある。

到達部は繊維補強コンクリート仮壁であり、これをシールドで切削して到達した。

D P L E Xシールド工法による繊維補強仮壁を切削して到達するのは今回初めてであり、本文は

この到達概要について報告する。写真-1にシールド到達状況を示す。

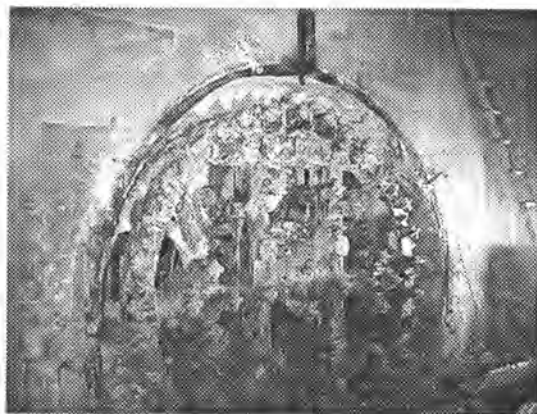


写真-1 シールド到達状況

### 2. 工事概要および地質条件

工事名：江東区南砂一丁目、北砂一丁目付近再構築工事

工事場所：江東区南砂一丁目、北砂一丁目

工期：平成8年7月～平成10年2月

発注者：東京都下水道局北部建設事務所

施工者：大豊・若築建設共同企業体

工事内容：シールド工法 泥土圧式偏心多軸シールド

路線延長 L = 1,455.9 m

仕上内径 φ 2,600 mm

シールド外径 φ 3,480 mm

セグメント外径 φ 3,350 mm (鋼製)

最小曲率半径 R = 30 m

土質 有楽町層 (軟質シルト層：N値 = 0 ~ 4)

土被り 8 ~ 11.5 m

地下水位 GL - 2 m

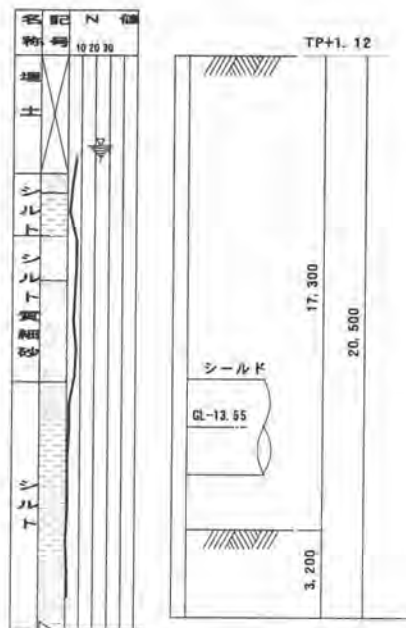


図-1 到達人孔部地質図

到達人孔部の地質図を図-1に示す。

### 3. 繊維補強仮壁概要

本工事の到達立坑は別工事で施工された既設の人孔で、図-2および図-3に到達人孔の平面図と繊維補強仮壁配置図を示す。仮土留め壁はSMW工法で、応力部材としてH形鋼（H-440）を建て込んでいる。

シールドが通過する箇所は、プレキャスト製の繊維補強仮壁部材（9本）を使用し、上部および下部の応力部材には通常部と同じH形鋼（H-440）を、プレートを用いてボルト接合されている。

繊維補強仮壁の仕様を下記に示す。

コンクリート：石灰砕石コンクリート

一軸圧縮強度 810 kgf/cm<sup>2</sup>

設計基準強度 750 kgf/cm<sup>2</sup>

主筋：ピッチ系炭素繊維6本

保証切断強度 8080 kgf/cm<sup>2</sup>

呼び径 φ 30 mm

断面積 5,383 cm<sup>2</sup>

スターラップ：PAN系炭素繊維

呼び径 φ 10 mm

断面積 0.785 cm<sup>2</sup>

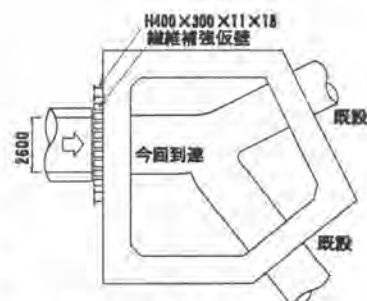


図-2 到達人孔平面図

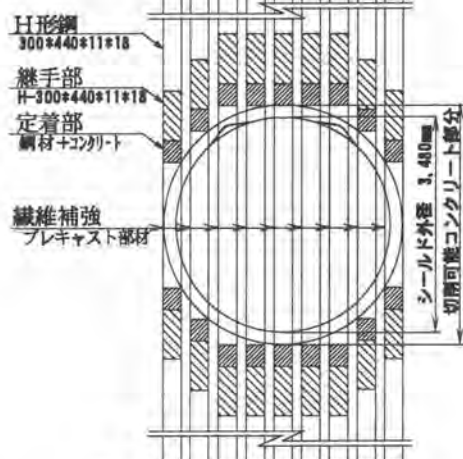


図-3 繊維補強仮壁配置図

### 4. 繊維補強仮壁切削の対策

#### 4-1) シールド対策

本工事に使用したシールドは、円形DPLEXシールドであり、下部2軸が駆動軸、上部1軸が支持軸の3軸支持である。

DPLEXシールドの掘削は従来の単軸シールドとは異なった切削運動を行うため、負のすくい角を持つクロススリーブビットを使用している。

図-4に本シールドの概要を、図-5にクロススリーブビット形状を示す。

このビットは頂部に超硬チップを

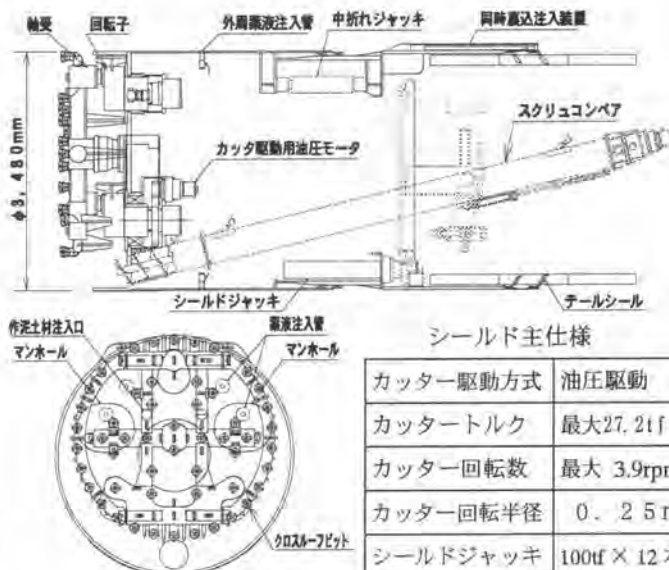


図-4 DPLEXシールド概要図

シールド仕仕様

カッター駆動方式	油圧駆動
カッタートルク	最大27.2tf・m
カッター回転数	最大 3.9rpm
カッター回転半径	0.25m
シールドジャッキ	100tf × 12本

十文字に埋め込んだ形状で、すくい角は負の32.5度、先端角160度とし、超硬チップはE5を使用した。

高強度の繊維補強仮壁を切削するため、超硬チップの先端幅を1.3mmとした。カッタービットの配置は、軟弱地層を掘進後繊維補強仮壁を切削するため、最外周フード部を含め切り残しを少なくするビット配置とした。

図-6にカッターの切削軌跡を示す。

シールドの推進速度は、事前に行った高強度コンクリートの切削実験結果から1mm/min程度と想定した。

この推進速度を制御するため、シールドジャッキの油圧ユニットに小流量調整弁を取付け、低速の推進速度で掘進した。

#### 4-2) 既設到達人孔対策

既設到達人孔は、到達時の土水圧や繊維補強仮壁切削の反力に対応するため、図-7の示すようにプレート(t=3.2mm)とH形鋼(H-350、250、200)で到達人孔の補強を行った。既設人孔のシールド通過部分は、発砲モルタル(壁厚1.3m)が充填されていたが、空隙部分に薬液(懸濁型)を補足充填した。

到達部の地盤改良は行わず、そのまま繊維補強仮壁を切削し到達した。

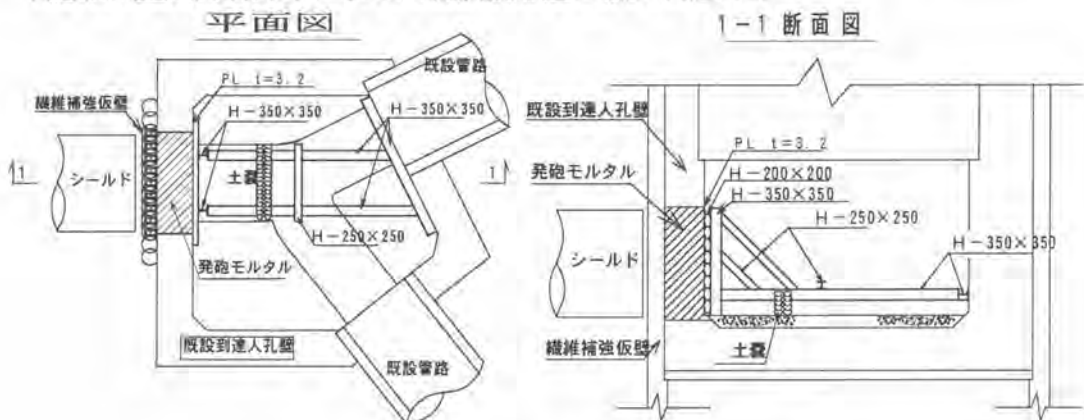


図-5 クロスループビット形状図

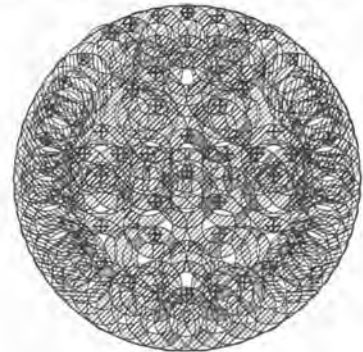


図-6 カッター切削軌跡図



図-7 既設到達人孔補強

#### 5. 繊維補強仮壁切削状況

繊維補強仮壁部材の切削は昼夜連続して掘進し、異物(鋼矢板)による排土ポンプ閉塞の一時中断以外、シールドの故障は発生しなかった。切削時間は、一時中断を含め、2日(実掘削時間17時間)で終了した。仮壁部材の切削長は580mmであった。

平均推進速度は、想定した推進速度1mm/minよりやや遅い0.6mm/minであった。平均推進速度が

想定より遅くなったのは、繊維補強仮壁到達の2m手前および仮壁部材切削中の異物により、一部の Cutter ピットが破損したためと思われる。

写真2に排土ポンプから回収した鋼矢板の切れ端と繊維補強部材の一部を示す。

繊維補強仮壁部材を切削したときの Cutter 一回転数は3.8rpmとした。

切削状況は、切削開始から80mm（ストローク480mm）付近までの Cutter トルクが7～16tf・m、推進速度1～3mm/minと順調に切削したが、その後推進速度が徐々に低下した。

ストローク480mmで、Cutter トルクが27.2tf・m（最大装備トルク）まで数回上昇した。その後トルクが安定したので、そのまま20mmほど掘進したが、排土ポンプが閉塞したので掘削を一時停止した。

切削開始から200mm（ストローク510mm）付近で炭素繊維の主筋φ30mm（2本×9箇所＝18本）の切削を始めると、Cutter は小刻みに止まりかけながら掘進した。

ストローク600mm付近から、Cutter の油圧ホースが激しく脈動を始めた。これ以後後方台車が左右に激しく振られるようになった。

主筋φ30mm（4本×9箇所＝36本、ストローク810mm～900mm）の切削では、トルク上昇による切削停止が時々起きた。

### 5-1) Cutter トルク

繊維補強仮壁切削の Cutter トルク経時変化を図-8に示す。

Cutter トルクは切削開始から切削終了（ストローク320～900mm）まで4～27.2tf・m（最大装備トルク）と大きく変化した。このときのトルク係数 $\alpha$ は0.1～0.6である。

### 5-2) ジャッキ推力

ジャッキ推力経時変化を図-9に示す。

ジャッキ推力は、切削開始からストローク480mmまで200～400tfであったが、繊維補強部材手前の主筋（18本）を切削するストローク510～650mmでは100～300tfであった。

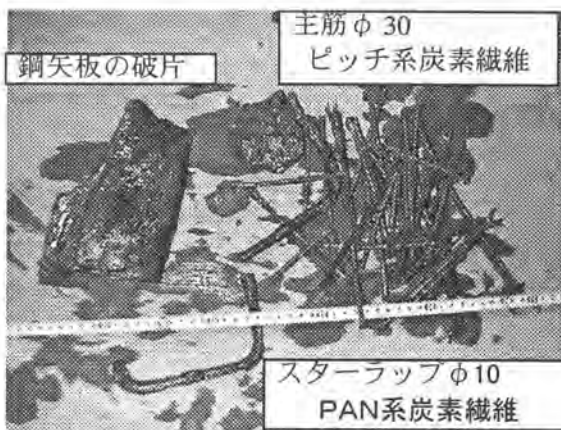


写真-2 排土ポンプ内の鋼矢板と繊維補強部材

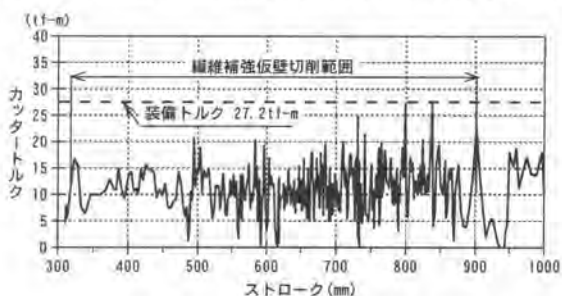


図-8 Cutter トルク経時変化図

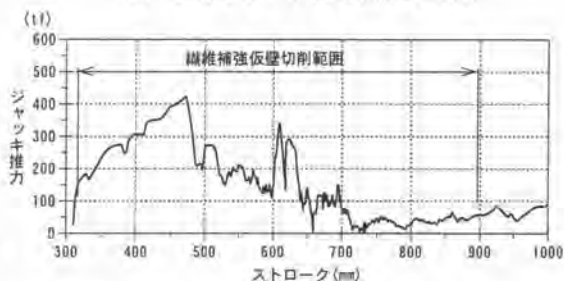


図-9 ジャッキ推力経時変化図

到達側の主筋（36本）を切削するストローク 810～900mm では 50～100tf と下がった。

### 5-3) チャンバー内土圧

チャンバー内土圧経時変化を図-10に示す。

シールドのチャンバー内土圧は、推進速度と切削ずりの排土量を制御しながら掘進し、 $1.0 \sim 2.0 \text{ kgf/cm}^2$  を維持した。

### 5-4) カッタービット状況

繊維補強仮壁部材切削後のカッタービットは、鋼矢板に当たったと思われる部分のビットが一部破損していたが、他のビットの摩耗はわずかであった。

写真-3、4にクロスルーフビットと外周切削用ルーフビットの状況写真を示す。

カッタービットの超硬チップ摩耗量は  $0.16 \sim 0.55 \text{ mm}$  で、ビット摺動距離  $1 \text{ km}$  当たりの摩耗量を表す摩耗係数は  $0.02 \sim 0.08 \text{ mm/km}$  であった。これは事前に行ったカッタービットの切削実験結果における摩耗係数  $0.1 \sim 0.35 \text{ mm/km}$  の  $1/4 \sim 1/5$  であった。

この要因として、ビットの切削実験で使用した模擬地盤は均一な高強度コンクリート（一軸圧縮強度  $90 \text{ N/mm}^2$ ）を切削したが、本工事で切削した繊維補強仮壁部材の高強度コンクリート（一軸圧縮強度  $80 \text{ N/mm}^2$ ）は、 $450 \text{ mm}$  間隔で配置され、部材間にはセメント固化材を充填している。このためシールド掘削断面に対して高強度コンクリートの割合（部材中心部では  $55\%$ ）が小さく、仮壁部材切削の開放面が大きくなることが考えられる。

図-11に繊維補強仮壁部材の詳細を示す。

### 5-5) 地盤変状

繊維補強仮壁切削に伴うシールド上部の地盤変状は水準測量により行い、仮壁切削開始前から切削終了後まで

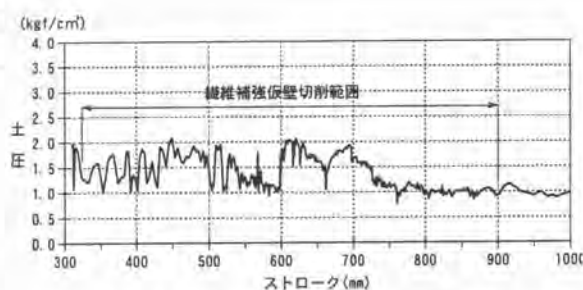


図-10 チャンバー内土圧経時変化図



写真3 クロスルーフビット摩耗状況



図-11 仮壁部材詳細図

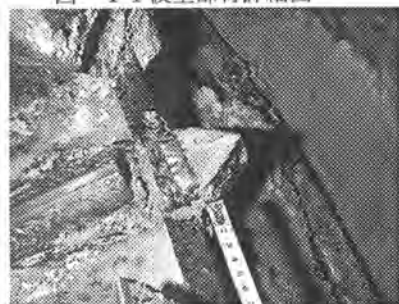


写真-4 外周部ルーフビット状況



継続して計測を行った。沈下量測定結果は、+1～-1mmの変状であった。

#### 5-6) 既設到達人孔の応力測定

繊維補強仮壁切削時における到達人孔補強材の応力をひずみ計で測定した。

応力測定は、繊維補強仮壁切削の直前から到達完了まで、30分間隔で自動計測した。到達人孔には監視員を配置し、絶えず監視を行った。ひずみ計の設置位置を図-12に示す。

軸力測定としては、補強材のH形鋼にひずみ計を2枚ずつ取付(A～D点)計測値の平均を軸力とした。曲げ応力は、ひずみ形を2枚補強材の水平梁に取付(E点)で、圧縮、引張りの絶対値を平均した。応力測定結果の軸力経時変化を図-13に、曲げ応力経時変化を図-14に示す。

応力測定の初期値は、既設人孔のシールド通過部分に薬液(懸濁型)を補充充填したときの値とした。繊維補強仮壁切削による、切梁(ひずみ計A、B)の軸力は17～23t程度であり、シールド到達直前におけるジャッキ推力の約1/2～1/3程度であった。

また曲げ応力(ひずみ計E)は最大で70 kg/cm<sup>2</sup>で到達する事ができた。

断面図

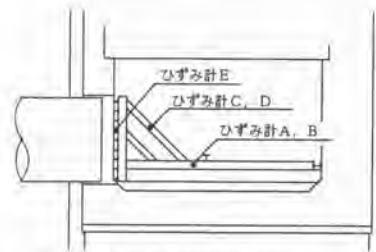


図-12 応力測定位置図

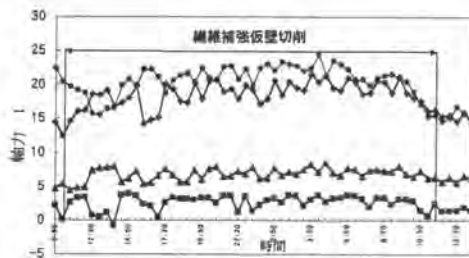


図-13 軸力経時変化図

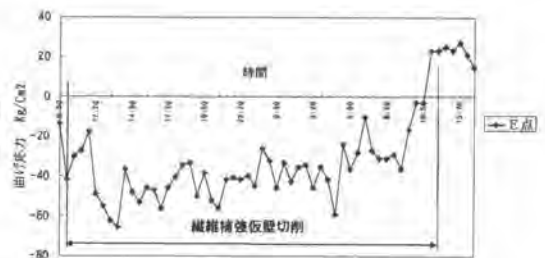


図-14 曲げ応力経時変化図

#### 6. おわりに

偏心多軸(DPLEX)シールドによる繊維補強仮壁の掘削は、周辺地山がN値0～4の極めて軟弱な地層にもかかわらず、地盤変状や周辺の影響もなく安全に到達することができた。

本シールドのカッタービットは、クロスルーフビットとルーフビットの組み合わせからなり、実工事においても切削実験とほぼ同様な切削状況で高強度コンクリート壁を掘削できることが確認できた。

参考文献：1) 近藤・富沢・小林・本間・金井 「負のすくい角を持つビットによるコンクリート切削実験結果」トンネル工学研究論文報告集 1997, 11

2) 伊東・関口・伊藤・田中 「NOMSTによる軟弱地盤中のシールド発進 都下水道南幹線シールド工事」トンネルと地下 1996, 2

## 27. ラッピングシールド工法の開発 (完全止水型シールド工法)

五洋建設(株)：原 修一，\*松藤 広行

はじめに

近年のシールド工事は、浅深地下における埋設物の輻輳化によりますます大深度化が進み、高水圧に対する止水技術の要求が高まっている。

シールドトンネルの止水対策は、セグメントに施す止水シール・裏込注入・二次覆工等があるが、いずれも完全とは言い難い、そこで東京湾横断道路や横浜地下鉄では、セグメントの内側にシート防水を施し二次覆工を行う内防水型の止水対策も採られている。

しかし、近年では、コスト縮減や工期短縮の面から二次覆工を省略するという方向性にある。「ラッピングシールド工法」は、セグメントの外側でシート防水を行い地下水を完全に遮断する外防水型の「わかりやすい防水」を行い、二次覆工の省略はもとより地下構造物の劣化を抑え、さらに地下水保全の意味から環境にもやさしい完全止水型の新しいシールド工法である。

### 1. 工法の概要

「ラッピングシールド工法」は、セグメントの外周全体に防水シートを巻き立てた、完全止水のシールドトンネルを構築する工法であり、従来のシールド機構に加え、「防水シート巻立て機構」「掘進・巻立て同時施工機構」「シートプロテクタ」、さらに、「セーフティバリア」を施すための機構等から構成される。

### 2. 工法の特徴

(1) 厚さ2 mm以上の防水シートをセグメント外周全体に巻立てるため、シールドトンネル内への漏水を完全に防止できる。

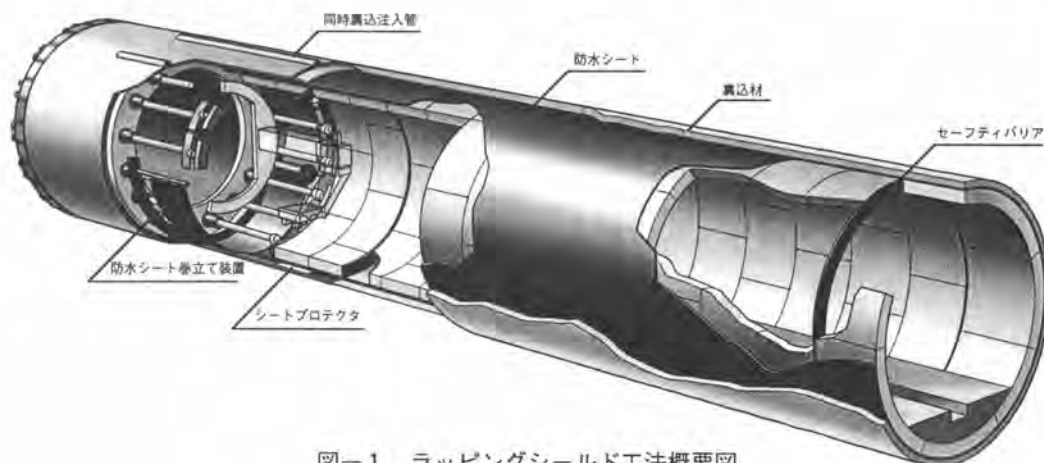


図-1 ラッピングシールド工法概要図



- (2) 防水シートが破損した場合でも、セーフティバリアにより止水性能を完全に回復することができる。
- (3) 完全止水が実現できるため、漏水による地下水の変動や地盤沈下など、環境に対する影響を与えない。
- (4) 防水シートを用いることにより、二次覆工の省略が可能。そのため大幅な工期短縮が実現できる。
- (5) 工事コストダウンはもとより、供用中の排水処理などのランニングコストが削減できる。さらに、構造物・施設の劣化が抑止されライフサイクルコストの低減が行なえる。



写真-1 防水シートを巻立てたセグメント  
(97年度実証実験)

### 3. 工法の機構・機能

ラッピングシールド工法は以下の機構・機能により構成される。

#### (1) 掘進・巻立て同時施工機構

シールドジャッキにロングロッドジャッキを使用し、セグメント組立後もテールプレート内に防水シートの巻立てスペースを確保することにより、シールド掘進と防水シートの巻立ては同時施工で行なう。

#### (2) 防水シート巻立て機構

シールド機テール部で、掘進中に防水シートの巻立てを行なう機構であり、「旋回リング」「巻立てアーム」「自走式溶着機走行ガイド」等の巻立て装置、「自走式溶着機」「手動式溶着機」等の溶着機器類から構成される。

巻立て方法は、テールプレートとシールドジャッキロッドの間の「巻立てアーム」に防水シートをクリップし、「旋回リング」を回転して巻立てを行い、円周方向は「自走式溶着機」、軸方向は手動式溶着機で溶着する。

#### (3) シートプロテクタ

特に、曲線施工時に、巻立てた防水シートがテールプレートと強く擦れ合って破れることが考えられる。これを防止するため推進時の摩擦抵抗を軽減する緩衝材をテールプレート内面全周に取り付け、防水シートの破損防止を図る。

#### (4) セーフティバリア

約30m毎に、「セーフティバリア」を取り付けることにより、万が一防水シートが破れた時も破損箇所限定と止水材注入による補修を容易にする。

また、河川横断部、高水圧区間、臨海部など部分的に『ラッピングシールド工法』を採用する場合には、その始点・終点の止水処理材としての機構もある。

なお、裏込め注入・テールシール充填材の供給は、セグメントの外側に防水シートが巻立てられているため、シールド機テールプレートに「同時裏込め注入管」、および「テールシール充填材供給管」を設置して行なう。

セグメント外径 (mm)	セグメント幅 (mm)	掘進速度 (mm/min)	巻立て時間 (min)	掘進時間 (min)	余裕時間 (掘進時間-巻立て時間) (min)
3,550	1,000	30	26	33	7
3,800	1,000	30	26	33	7
4,050	1,000	30	27	33	6
4,300	1,000	30	28	33	5
4,550	1,000	30	29	33	4
4,800	1,000	30	29	33	4
5,100	1,200	30	31	40	9
5,400	1,200	30	32	40	8
5,700	1,200	30	33	40	7
6,000	1,200	30	33	40	7
6,600	1,200	25	35	48	13
6,950	1,200	25	36	48	12
7,400	1,200	25	38	48	10
8,050	1,200	25	40	48	8
8,300	1,200	25	40	48	8
9,600	1,200	25	44	48	4
9,800	1,200	25	45	48	3

#### 4. ラッピングシールド工法の施工

##### 4-1 施工サイクル

図-2に示すようにシールド掘進と防水シートの巻立ては同時に施工する。

防水シートの巻立て時間と掘進時間の関係を表-1に示す。なお、シールド掘進の直線区間、および初期・到達区間、曲線区間の日進量は、従来シールド工法の日進量と同等である。

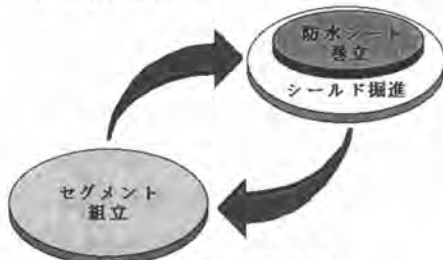


図-2 施工サイクル

##### 4-2 施工手順

施工手順を以下に示す(図-3参照)。

- ①シールド掘進を開始し、ロール受けに取り付けた防水シートの端部を巻立てアームにクリップする。
- ②旋回リングを回転しテールプレートとシールドジャッキの間に防水シートを巻立てる。
- ③自走式溶着機を使用して円周方向を溶着しエアチェックを行う。
- ④手動式溶着機を使用して軸方向を溶着しバキュームチェックを行い、防水シートの巻立てを終了する。
- ⑤掘進終了後セグメントを組み立てる。

表-1 防水シート巻立て時間表

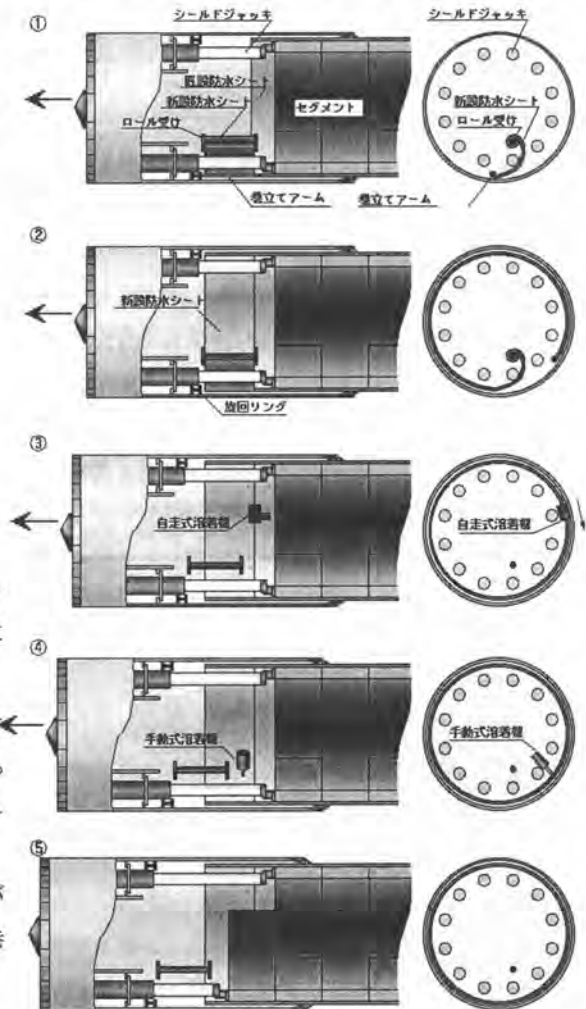


図-3 施工手順

## 5. 総合実証実験

### 5-1 実験概要

本工法は'93年度から'97年度にかけて各々の机上検討、要素実験、実証実験を重ね、既に工法としての確立はなされている。本年度は、 $\phi 3,478\text{mm}$ の実験機を使用して外径 $\phi 3,350$ のセグメントを10リング組立て、施工性・機能・機構について検証・実施実験を行い、実施工に即した工法の確立を行う。

#### ・実施内容

- (1) 総合的な施工性の検証
- (2) 新規問題点の掘り起こしと解決

実験機はソリ付き架台上に設置し、移動用レール上を走行させ、10リングの「掘進・巻立て同時施工」と「セグメント組立」を行った。

なお、移動用レールは直線区間と曲率半径100Rの曲線区間も有しており、曲線の施工方法の検証も併せて行った。

### 5-2 ラッピングシールド実験機

#### 5-2-1 シールドジャッキ

掘進・巻立て同時施工のため、セグメント組立スペースと防水シート巻立てスペースを設ける必要がある。そのためシールドジャッキとしては図-4に示すロッドの長いロングロッドジャッキを用いている。このジャッキは最も縮めてもロッドが突出している（摺動ストロークよりもロッドが長い）ジャッキである。

また、自走式溶着機を走行させるスペースを設けるためシールドジャッキの偏心量を考慮する必要があるが、偏心量を少なくするため自走式溶着機の改造を行い、写真-3に示す小型のものを使用した。

#### 5-3-2 シールドジャッキスプレッド

防水シートは、セグメントの外周にシワが無いよう密着して巻立てる。従ってシールドジャッキスプレッドはセグメント外周からは



写真-2 ラッピングシールド工法実験機

項目		仕様
実験機	外径	$\phi 3,478\text{mm}$
	機長	4,750mm
	シールドジャッキ	ロングロッドジャッキ 10t×1450mm (500mm)×10本 (摺動部) (非摺動部)
	テールシール	2段 旋回リング、巻立てアーム
	巻立て装置	防水シートロール受け 自走式溶着機走行ガイド等
シートプロテクタ	超高分子量ポリエチレン製	
セグメント	形式	スチール製 6分割、軸挿入式
	外径	$\phi 3,350\text{mm}$
	内径	$\phi 3,050\text{mm}$
防水シート	幅	1,000mm
	材質 厚さ	ポリエチレン系 2.0mm

表-2 実験仕様



写真-3 小型自走式溶着機



図-4 ロングロッドシールドジャッキ

み出さないようにする必要がある。テールクリアランスのずれを考慮して、スプレッドの外周=セグメント外周-テールクリアランス- $\alpha$ とした( $\alpha$ は余裕代)。

### 5-2-3 防水シート巻立て機構

写真-4はロール状の防水シートの端部を巻立てアームにクリップし、巡回リングを回転させて防水シートを巻立てている状況である。防水シート巻立て機構により重量 $2\text{kg}/\text{m}^2$ の防水シートは狭隘な空間であっても簡単に巻立てることができる。その後、写真-5に示すように自走式溶着機で円周方向の溶着を行う。

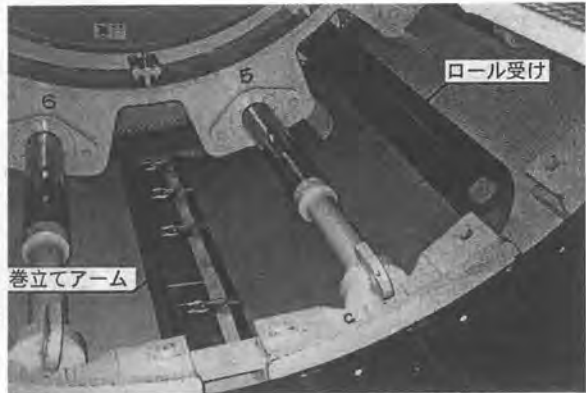


写真-4 防水シート巻立て状況

### 5-2-4 シートプロテクタ

実験機に装備したシートプロテクタを写真-5に示す。2段のテールシール間にも装備し、シールド機テール部で防水シートの破損を防止する構造である。

### 5-2-5 シールド機機長

ラッピングシールド機は通常のシールド機に比べて防水シートの巻立てスペース(=セグメント幅分)だけ機長が長くなる。

### 5-2-6 シールド機外径

ラッピングシールド機では、以下の理由で通常のシールド機よりシールド外径が大きくなる。

- (1) 防水シートの保護のため、テールプレート内面にシートプロテクタを設置している。
- (2) セグメントの外周に防水シートが巻立てられている。

実験機ではシートプロテクタ厚さを $15\text{mm}$ 、防水シートの接合部の厚さを $4\text{mm}$ とし、シールド機外径は $38\text{mm}$ の増加となったが、その後の再検討によりシートプロテクタはテールプレートに溝加工をしてはめ込む形にして取り付けることから、シールド機外径の増加量は



写真-5 円周方向の溶着状況



写真-6 シートプロテクタ

施工条件によって検討を要するが、最小限(20m以内)におさえることができるようになった。

### 5-3 実験結果

この度の実験から、総合的な施工方法の検討はなされたが、種々の問題点を掘り起こし、その解決がなされ、実施工における施工技術の向上という大きな目標が達成できた。

### あとがき

本工法は大成建設株式会社、日立建機株式会社との共同開発である。

'98年5月に臨時大深度地下利用調査会の答申が出され、大深度地下利用は、今後ますます進んでいくと考えられる。そこでシールド技術における大深度化に対する一つの課題として高水圧に対する止水技術があげられるが、本工法はその課題を解決に導く有力な工法であると確信している。

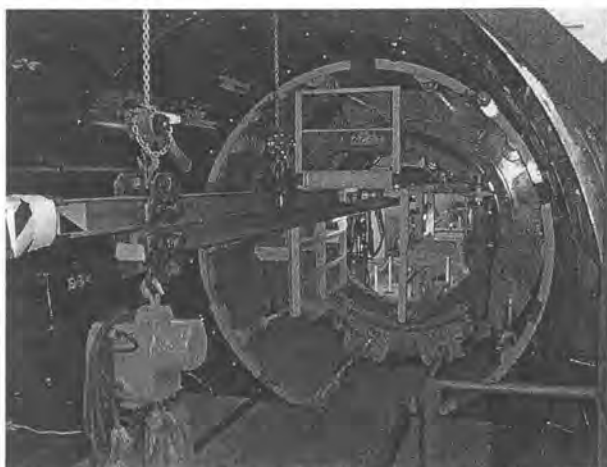


写真-7 防水シート巻立て後の機内状況



写真-8 実験状況

### --- 参考文献 ---

トンネル標準示方書 [シールド工法編]・同解説 土木学会

シート防水工設計施工の手引き(案)都市トンネル編 日本鉄道建設公団監修 トンネル防水工研究委員会  
山岳トンネルにおける防水工指針 日本トンネル技術協会

駅部等地下構造物における防水工設計施工手引(地下構造物防水工技術協会委託)日本トンネル技術協会  
[東京湾横断道路]アクアラインシールドトンネルシート防水工報告書 TTBシート防水工技術協会

## 28. 中継方式による坑内無線通信システム

佐藤工業㈱：\*村上 裕二，高橋 浩，長谷川 健一

### 1. はじめに

近年、トンネル工事における自動化・省力化の進展に伴い、遠隔監視・制御を行うためのデータ通信技術が注目されている。従来、トンネル内での通信は、自動化装置と坑外監視・制御装置とを通信ケーブルで接続する方法や坑内電話など有線のもの为主であり、無線通信の利用は近距離でのリモートコントロールやトランシーバを利用した音声通信等に限定されていた。トンネル内での無線利用においては、電波の反射・干渉・吸収・減衰等の問題があり、長距離区間を通信することは困難であった。

本報ではこれらの問題を解決し、長距離トンネル全線において複数の移動体との双方向通信を可能とした、新しい中継式無線通信システムの概要について報告する。

### 2. 開発の背景

当社において、平成6年に開発し道志導水路（早戸工区）新設工事に導入した、複数の無人運転のバッテリー機関車を使用して長距離トンネルのずり搬出・資機材の搬出入を行う「トンネル自動搬送システム」では、各機関車と坑外監視・制御装置との間の通信に、誘導無線システムを採用した。この方式は、レールに沿って誘導線を連続的に敷設し、各機関車に設置したアンテナとの間で通信を行うシステムである。（写真1、図1参照）



写真1 誘導線敷設状況

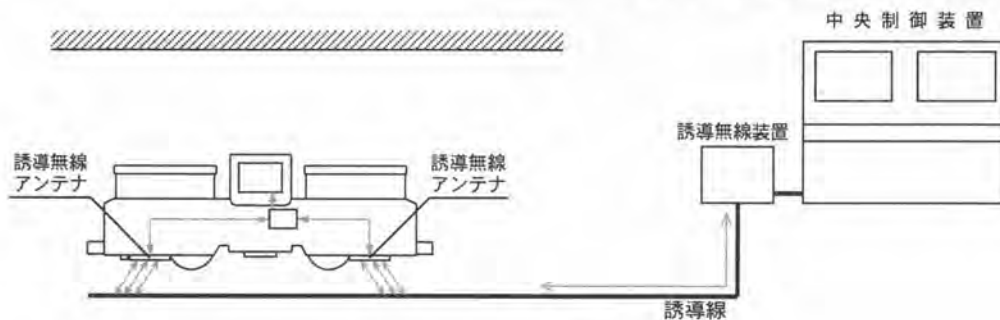


図1 データ通信概念図



誘導無線システムは、安定した通信が行えるため工場・地下鉄等の使用条件の変化しない環境で運用する場合に多く見られる。しかし、建設工事においては、車輛の運行条件が日々変化するため、誘導線の延長・撤去・保守管理などに多大の手間と時間を要し、その対処が課題であった。

そこで当社では、建設工事における誘導無線システムに関する課題を大幅に改善するべく、新通信システムの開発を進め、種々の実験を重ね実用化した。

### 3. システム構成

本システムは、各々に送受信器を内蔵する主局・固定局・移動局から構成され、固定局をトンネル内に適度な間隔(実績では 200~400m)で設置し、これらを通信ケーブルで接続することにより通信範囲を拡大する。主局と固定局は、隣り合う固定局と通信ケーブルを使用した双方向通信を行うと共に、移動局と常時双方向無線通信を行う。また主局は上位の制御装置と、移動局は移動体の制御装置との間でデータの授受を行う。

トンネル延長方向に通信範囲を拡大する手段として、通信経路にアンプを介在させて信号を増幅する方法もあるが、この方法では周辺からのノイズも増幅してしまうことになり、通信範囲に限界が生じる。本システムにおける固定局は増幅器ではなく、隣接する固定局から受信したデータの中継し次の固定局に送る中継器である。このため周辺ノイズを増幅・累積することなくデータのみの中継できるので、固定局を任意に設置することにより長距離トンネル内(理論的には無限)全線で、移動体通信が可能となる。(図-2 参照)

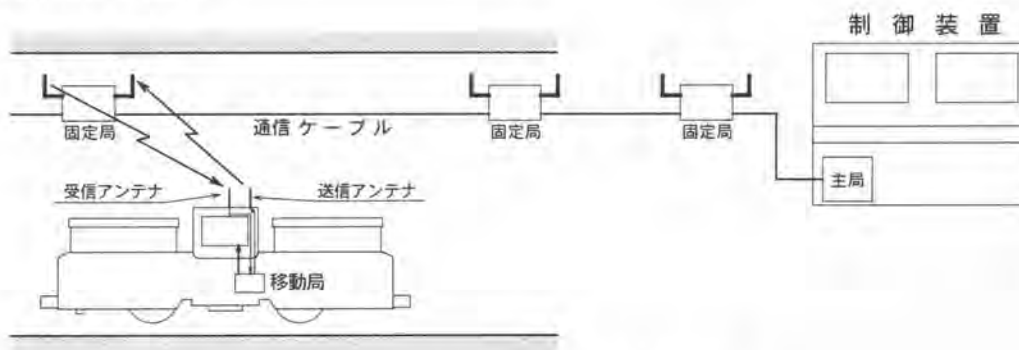


図-2 中継式無線通信システム概念図

### 4. データ通信

トンネルの延長方向に通信経路を構成するために、固定局をトンネル内の壁面などに適度な間隔で直列に設置する。トンネル内を走行する移動体に搭載された移動局は、近くにある固定局と通信し、移動するに従って通信する相手(固定局)を代えていく。上位の制御装置からのデータは、全ての固定局から移動局に対して一斉に送信され、移動局は通信可能範囲にある固定局からデータを受信する。移動局が複数の固定局から受信した場合は、電波の強い方のデータを有効としている。逆に移動体からのデータは移動局から送信され、通信可能範囲にある固定局で受信される。固定局で受信したデータは、ト

ンネル内に設置された固定局を中継しながら主局まで伝送される。複数の固定局が移動局から受信した場合は、主局に近い固定局のデータを有効としている。

## 5. 特徴

本システムは、掘削作業とは完全に独立して通信設備の設置ができるため、掘削作業に影響を与えないで通信設備の保守作業が行える。また、空間波方式であるため、移動体の軌道を限定することがなく、トラック等の無軌道移動体との通信にも利用できるなどの利点がある。以下に本通信システムの特長を示す。

- ①固定局は軽量・小型であるためトンネル壁面等に簡単に設置することができ、増設の手間は極めて軽微である。
- ②固定局の設置数に制限はなく、トンネルの長さに関係なく長距離通信が行える。
- ③固定局の間隔を適宜調整することによって、トンネルの線形や内空断面に関係なく常に良好な通信状態を維持することができる。
- ④固定局に故障が生じた場合でも、その固定局周辺だけが通信不能となるので直ちに故障箇所が判明し、復旧が早い。
- ⑤1系列の通信システムで複数車線・複数台の移動体に対応できるため効率が低い。
- ⑥特定小電力無線を用いているので、従業者資格や許可、申請などの煩雑な手続きが不要である。

## 6. チャンネル設定

本システムでは、掘進に伴い固定局を増設する必要があるため数多くの無線機を使用するため、免許申請の必要のない特定小電力無線を使用している。しかし、現行の電波法に規定されるキャリアセンス機能（送信開始に先立ち送信しようとする周波数をモニタし、他の無線局が使用中ならば送信を中止する）に対応する必要がある。さらに、トンネル内全線を通信可能にするためには、固定局と固定局の間付近でも安定して通信状態を確保する必要がある。しかし、同一チャンネルで固定局が

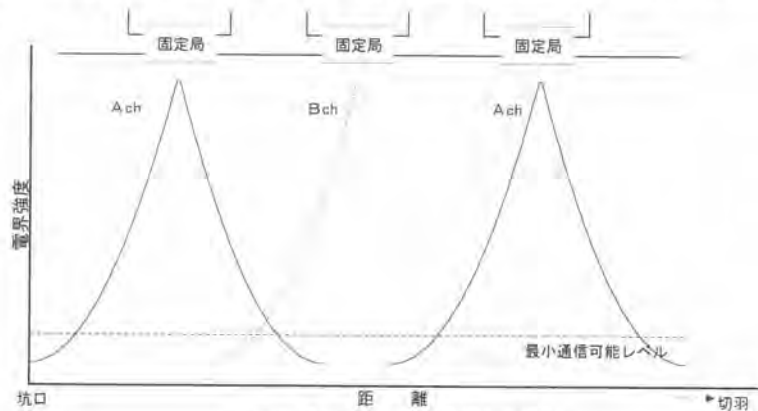


図-3 電界強度特性概念図

ら送信すると、その中間付近で混信する可能性がある。

以上より、キャリアセンスへの対応および混信防止のため、固定局からの送信に2チャンネルを使用し、これらを交互に設置する。(図-3参照)

## 7. 中継方式

今回のシステムでは、固定局間を通信ケーブルで接続しデータ通信を行う有線中継方式を採用したが、通信範囲を拡大する方法として、固定局間のデータ通信も無線で行う無線中継方式がある。図-4に概念図を示す。

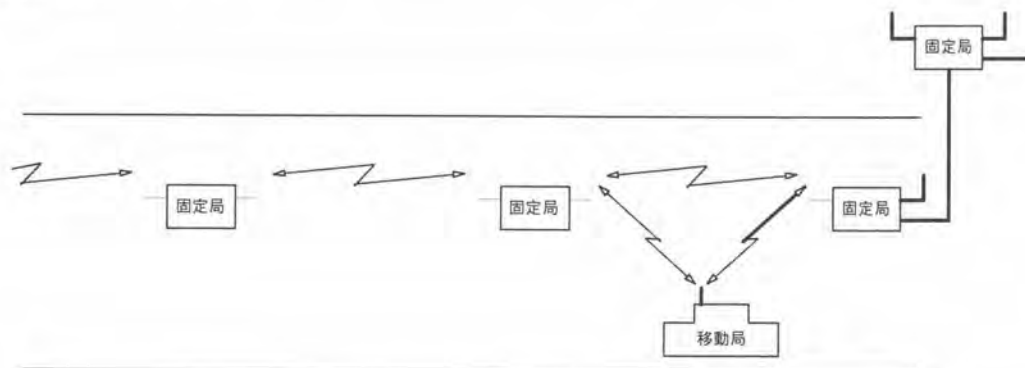


図-4 無線中継方式システム概念図

この方式では、固定局の設置時にその電源を確保するだけで良いため、設置・移設・撤去の手間を軽減できる反面、固定局の構造が有線通信方式に比べ複雑になり、また固定局の設置間隔も短くなる。

以上のように各々の方式には特長が有り、使用環境に応じて選定する。さらにこれらを同一トンネルで混在させることも可能である

## 8. おわりに

有線中継方式の坑内無線システムを採用し、バッテリー機関車を複数使用したトンネル自動搬送システムを2ヶ所（延長約6kmのTBMトンネル、延長約4kmのシールドトンネル）の長距離トンネルに導入し、順調に稼働している。

今後は、これらの工事での使用実績を踏まえ、さらにダンプトラック等の無軌道車両の制御や、移動体との音声・映像通信を含めたマルチメディア化など、本システムの応用範囲の拡大を図っていく所存である。



写真-2 固定局設置状況

また、今回のシステムでは特定小電力無線を使用した。本システムは中継する方式を変更することなく無線方式を容易に変更できるので、経済性・施工性・信頼性を考慮し他の無線方式（SS無線・構内無線他）の採用も検討していきたいと考えている。

## 29. トンネル工事用高速電気機関車

トモエ電機工業(株)：守田 信稔

### 1. はじめに（概要）

従来、トンネル工事用バッテリー式電気機関車は、直流直巻式モータを搭載し、鋳鋼製の車輪を装着していた。本機関車は、従来の直流直巻モータに替り、DCブラシレスサーボモータを搭載し、鋳鋼製車輪の替りに、摩擦係数の大きい高粘着性車輪を装着したもので、負荷に影響されない定速度運行と、レールに対して高い滑り摩擦抵抗特性により、従来の機関車と比べて、著るしい制動距離の短縮がもたらされ、トンネル内の高速走行が可能となったトンネル工事用電気機関車である。

DCブラシレスサーボモータは、指令速度に応じたモータのトルク制御により、上り下りの勾配、牽引荷の大小に拘らず、常に機関車の定速度走行を可能とした。そのため、従来の経験と勘による熟練運転操作とは異なり、速度指令のみの容易な運転操作となった。

高粘着性の車輪は、車輪の外周、踏面部に、セラミック粒子分散強化アルミ基合金によるタイヤリングを装着することにより、レールとの摩擦係数を大きくしたものである。この車輪により、機関車の自重を増すことなくモータの出力アップのみで牽引力の増加が可能となった。また、複数個のDCブラシレスサーボモータの制御との相乗効果により、従来のトンネル内最高速度（8 km/h）に対し、2倍の速度（16 km/h）による高速走行時で、車両が急停車しても、従来の機関車と同じ制動距離（8 m以内）で停止することが出来るようになった。以上のことから、本機関車は、容易な運転操作性、高速走行、及び制動距離の短縮が可能となり、長距離輸送時における高速運搬や、安定した登降坂と牽引力の増加を可能とした。

### 2. 開発の趣旨

シールドトンネル工事において、ズリやセグメントなどの資機材の運搬に工事用電気機関車を使用されているが、近年、長距離化、急勾配区間の増加など、複雑な工事が多く、資機材の運搬も長時間を要するようになってきた。また、機関車の事故防止のため、制動能力の向上が大きな課題となっている。ここで、

- (1) 線路勾配や積載荷重などの負荷変動に対しても、常に一定速度で走行すること。
- (2) 突然の障害物にも即応し、事故を招くことなく停止すること。
- (3) 従来の倍の速度からでも、同じ制動距離内で停止すること。

を、開発のねらいとした。

### 3. 開発目標

8トンサーボロコの定格負荷牽引時（自重9.5 t、牽引荷重12.5 t）

- (1) 直線平坦路において、速度16 km/hで走行した時の通常ブレーキによる制動距離を8 m以下とする。

(2) 50/1000の下り勾配において、速度8 km/hで走行した時の通常ブレーキによる制動距離を4 m以下とする。

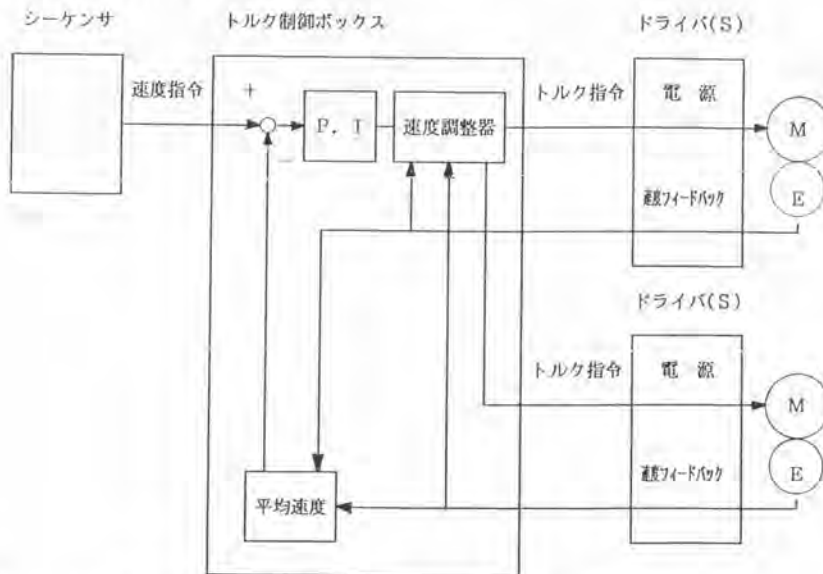
#### 4. DCブラシレスサーボモータとその制御

今回、開発採用したDCブラシレスサーボモータは、従来の整流子、ブラシによる整流機構から、回転子に永久磁石を用い、整流機構を半導体電力スイッチング回路に置き換え、同時に、モータの回転数や出力トルクをフィードバックすることにより、指令値に対して、常に追従するものである。

このDCブラシレスサーボモータを搭載することで図1に示す高速対応性のあるトルク制御が可能となり、前後2台（又は複数台）のモータに対して、常に一定速度走行となるよう演算処理がなされ、補正される。即ち、車輪のトルク変動を制御することで、スリップやロックといった異常現象を防ぎ、最適な駆動力を発揮する。

#### サーボモータのトルク制御 （2個のモータ制御の例）（最大6軸まで制御可能）

##### トルク制御ボックスのブロック図



P, I : 速度補正器 : 指令速度とフィードバック速度を比較補正する。

P : Proportional Gain (比例ゲイン)

I : Integral Gain (積分ゲイン)

速度調整器 : トルク分配器 : 補正量を演算処理して、各モータにトルク分配、指令を行う。

M : DCブラシレスサーボモータ

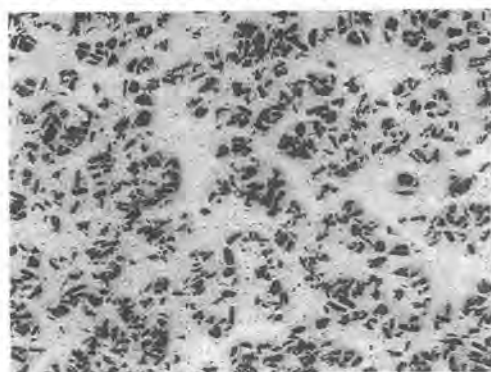
E : 速度検知用エンコーダ

(図1)

## 5. 高粘着性の車輪

車輪とレール間の摩擦係数を高めて、機関車の牽引力を増加させ、制動距離を短くするために高粘着性の新材料を採用した。

この材料はセラミック粒子分散強化アルミ基複合材で、セラミック粒子の1つである酸化アルミニウム ( $Al_2O_3$ ) が、アルミニウム合金のマトリックス素地に含まれた複合材 (コンポジット) (写真1) になるよう、溶湯アルミニウムの中に、適切な技術で混合させて製造した、カナダのアルキャン社の開発商品である。この材料を、ロール製造及び熱処理を加え、性能を強化して、タイヤリングとして、機関車の車輪に装着したものである。(写真2)



100倍

(写真1)



(写真2)

実用走行試験の結果、従来の鋳鋼製車輪と比較して機能的に遜色は見られず、摩擦係数は従来の 0.2程度から 0.4程度まで増加させることが出来た。

この結果、高粘着性車輪を装着することにより、著しい制動距離の短縮もたらされ、従来は、速度 8 km/h で 8 m 以内に停止していたが、10~16 km/h の高速走行時に於いても、従来と同じ制動距離 (8 m 以内) で停止することが、可能となった。一方、機関車の牽引力についても、車輪とレールとの摩擦係数が増加することで、自重を増すことなく、モータの出力アップのみで増加させることが出来た。

## 6. 高粘着性車輪材と従来の車輪材との特性比較

	J I S 記号	組 成	摩擦係数	耐摩耗性	機械的材質
高粘着性車輪材	6061に $Al_2O_3$ 10%	セラミックの コンポジット (セラミック 粒子混合物)	20kgレール材 車輪から抽出し T <sub>2</sub> テストピース 0.45程度	素地がアルミ合金 に硬いアルミ材が 混入している。 鋳鋼に比べてやや 劣るが大きな差は ない。	引張り強さ 340~360N/mm <sup>2</sup> 耐力 0.2% 316~338N/mm <sup>2</sup> 硬度 119~126HB 伸び 約 7% (以下T <sub>6</sub> 熱処理後)
鋳鋼車輪材	SCMn <sub>2</sub> (鋳製加工)	低マンガン鋼 (1.0~1.6%)	同じ条件で 0.2程度	優れている	引張り強さ 590N/mm <sup>2</sup> 降伏点 345N/mm <sup>2</sup> 硬度 163HB



7 本機関車と、従来の機関車の特性比較

	定速度運転	加速減速	自動運転	重連運転	ブレーキ	急勾配運転	保守点検
サーボ機関車	指示通りの定速度走行	(無段階)定低速可	可	可	サーボブレーキによる定速度制御	技能不要	タイヤリングの摩耗
チョップ制御	負荷により変動	無段階切換負荷	難	難	ブレーキシュ	経験と技能	コンピュータカーボンブラシの点検
抵抗制御	負荷により変動	ノッチ切換負荷	難	難	ブレーキシュ	経験と技能	コンピュータカーボンブラシの点検

8 平坦路 走行テスト車

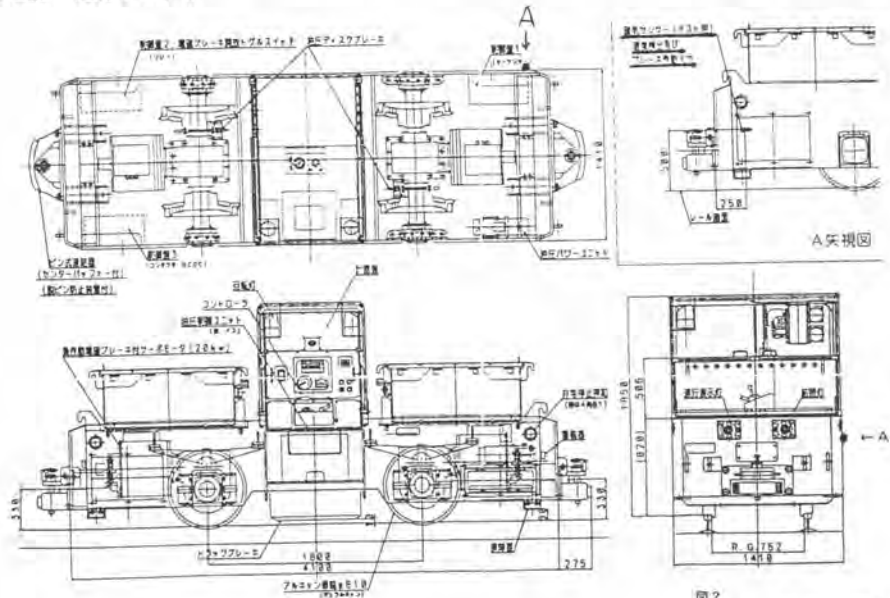


図2 Bionサーボロコ 一般図

9. サーボモータ搭載機関車の主なる仕様

車型	自重表示による車型	8トン			
項目	牽引力表示による車型	1450			
1	全長 (mm)	4355 (枕木間隔)	11	サーボモータ定格出力 (kw)	22
2	全巾 (mm)	1400	12	制御方式	パルス田電調制御方式
3	レールゲージ (mm)	762/914	13	サーボモータ台数 (台)	2
4	全高 (mm) (屋根まで)	1860	14	定格回転数 (r.p.m)	2100
5	定格牽引力 (kgf)	1450	15	バッテリー (Ah/5HR)	210
6	最大牽引力 (kgf) (A=0.4)	3100	16	電圧 (DC.V)	140
7	定格速度 (km/h) (4段切替) ノッチ1 ノッチ2 ノッチ3 ノッチ4	2.4 7.2 12.0 16.0	17	高川制動 (再生制動) 用停止用 小立ノッチ	※ 1レ1
8	自重 (kg) (空車時)	約7200 (空車の)	18	制動	1ノッチ ※ 1レ1
9	車輪径 (mm) (φ 610 (φ 660))		19	制動	2ノッチ サーボブレーキ 継ぎ足ブレーキ
10	ホイールベース (mm)	1750	18	駐車用	継ぎ足ブレーキ 自動ブレーキ
			19	非常停止	サーボブレーキ 継ぎ足ブレーキ 自動ブレーキ

## 10. テストコース

### 10-1 平坦路テスト

性能確認試験の走行コースは、トモエ電機工業(株)小山事業所内に敷設される平坦路コースと50/1000勾配路コースとした。コースの詳細を以下に示す。

#### (1) 平坦路コース

平坦路コースを図3、写真3に示す。

- ① 全長 100m
- ② レールゲージ 762mm
- ③ 速度検知距離 17.78m



写真3 平坦路コース

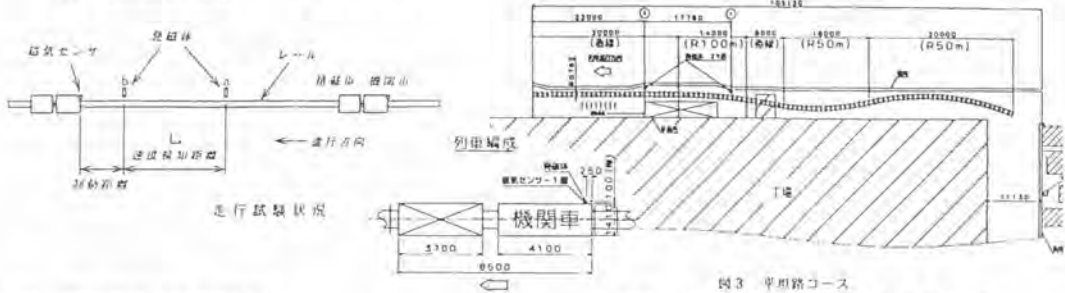


図3 平坦路コース

#### (2) 測定項目及び測定方法

測定項目及び測定方法を以下に示す。

また、図5に走行試験状況を示す。

##### ① 速度 (km/h)

性能確認試験時における走行速度は、レール側方に設置した2点の発磁体(a, b)を機関車に取り付けた磁気センサーで通過受信し、その間の距離(L)と通過時間をシーケンサソフトから求めた。

計算式は以下の通りである。

$$\text{走行速度 (km/h)} = \frac{L}{\text{通過時間 (秒)}} \times \frac{60 \times 60}{1000}$$

L: 速度検知距離 (m)

平坦路 17.78m (許速 16km/h)

勾配路 (50/1000) 8.89m (許速 8km/h)

ここで、速度検知距離は設定された速度に対して4.0秒間で走行する距離として予め、上記の数値にセンサーを設置した。

##### ② 制動距離 (m)

速度測定の発磁体(b)をブレーキセンサーとして使用し、通過信号を検知後直ちにブレーキがかかる制御設定とした。制動距離の測定は、スケールにより読み取った。

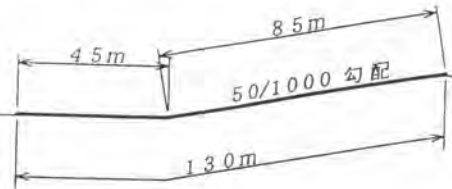


図4

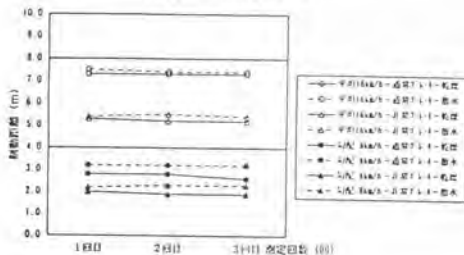
### 10-2 50/1000テストコース 勾配路コース

50/1000勾配路コースを図4、写真4に示す。

- ① 全長 100m
- ② 勾配 50/1000
- ③ レールゲージ 762mm
- ④ 速度検知距離 8.89m



写真4 50/1000勾配路コース



性能確認試験の結果一覧

		定格負荷 (自重9.5t, 牽引重量12.5t)					
走行試験コース		平坦路			50/1000勾配路		
走行速度		16 km/h			8 km/h		
測定項目		通過時間 (秒)	速度 (km/h)	制動距離 (m)	通過時間 (秒)	速度 (km/h)	制動距離 (m)
		通常ブレーキ	レールの状態	① 4.0	16.0	7.3	4.0
	乾 燥	② 4.0	16.0	7.3	4.0	8.0	2.8
	③ 4.0	16.0	7.3	4.0	8.0	2.6	
	レールの状態	① 4.0	16.0	7.3	4.0	8.0	2.2
	散 水	② 4.0	16.0	7.4	4.0	8.0	3.2
	③ 4.0	16.0	7.4	4.0	8.0	3.2	
非常ブレーキ	レールの状態	① 4.0	16.0	5.3	4.0	8.0	2.0
	乾 燥	② 4.0	16.0	5.2	4.0	8.0	1.9
	③ 4.0	16.0	5.2	4.0	8.0	1.9	
	レールの状態	① 4.0	16.0	5.4	4.0	8.0	2.2
	散 水	② 4.0	16.0	5.5	4.0	8.0	2.2
	③ 4.0	16.0	5.4	4.0	8.0	2.2	

## 1.1 性能試験の結果

(1)平坦路(直線)に於いて、定格負荷(自重9.5t、牽引重量12.5t)を牽引して、走行速度16km/hで走行した場合、制動距離は「通常ブレーキの場合」7.3m以下となった。「非常ブレーキの場合」5.3m以下となった。但し、レール面に水を散布した場合の制動距離は、「通常ブレーキの場合」7.5m以下となった。「非常ブレーキの場合」5.5m以下となった。

(2)下り勾配(50/1000)に於いて、定格負荷(自重9.5t、牽引重量12.5t)を牽引して、走行速度8km/hで走行した場合、制動距離は、「通常ブレーキの場合」2.8m以下となった。「非常ブレーキの場合」2.0m以下となった。但し、レール面に水を散布した場合の制動距離は、「通常ブレーキの場合」3.2m以下となった。「非常ブレーキの場合」5.5m以下となった。

以上により、性能確認試験の結果は開発目標を満足していると言える。

## 1.2 まとめ

本機関車は、負荷の変動に拘らず、一定速度で、走行が出来、しかも、トンネル内での、従来の機関車の搬送走行速度の2倍の高速で走っても、ほぼ同じ制動距離で停止出来ることから、トンネル工事における長距離搬送では、輸送効率が著しく向上し、従来、2編成搬送を必要とした場合、1編成搬送が可能となった。

# 30. 大型自由断面掘削機の掘削技術

佐藤工業(株)：\*安藤 章一，今村 仁悟  
 (株)タイクウ：高木 茂雄

## 1. はじめに

トンネル掘削は、その効率の良さ等から爆薬を使用する発破掘削方式が主流であるが、近年、周辺環境に対する騒音・振動問題が大きく取り上げられ、発破掘削方式を採用できない場合が増えてきている。

このため発破掘削方式に代わる機械掘削方式が注目されている。中でも、自由断面掘削機による施工は、周辺環境の良さと、安全性の高さから注目されているトンネル掘削技術の一つである。しかし、これまでの自由断面掘削機では中硬岩以上の掘削地山の場合、十分な掘削能力が得られず、施工性や経済性の点で課題があった。

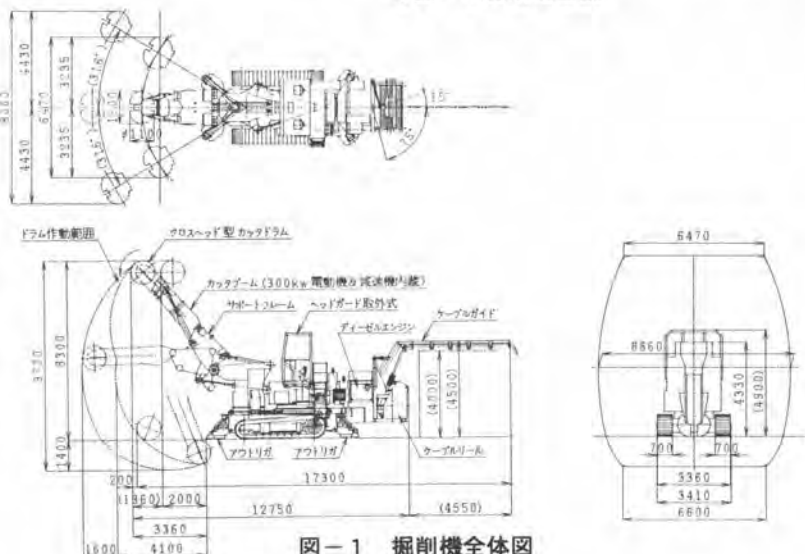
本報で紹介する大型自由断面掘削機「WAV300H型パワーカタ」は、従来の掘削機が抱えていた課題を解決し、日本のトンネル施工条件にあわせ、硬岩・大断面にも対応出来るよう開発した国内最大級の出力を持つ自由断面掘削機である。

今回、建設省関東地方建設局千葉国道工事事務所発注の竹岡第1トンネル工事に本機を導入し、実施工で施工性、安全性等に多大の成果を挙げた。

さらに本機による掘削技術は建設大臣認定機関社団法人日本建設機械化協会が実施する「建設機械化技術・技術審査証明」を受け、建設機械化研究所立ち合いのもと性能確認試験を実施したのでその内容と工事実績について報告する。



写真-1 掘削機全景



## 2. 技術の概要

本技術は、軟岩から硬岩まで幅広い地山において、全断面、補助ベンチ付全断面、上半先進等のトンネル掘削工法に適用できる機械掘削技術である。

掘削は、ヒンジ式ブーム先端のクロスヘッド型（横軸型）カッティングドラムによって行われ、掘削反力は機械の自重とアウトリガによって得る。ヒンジ式ブームは2つのヒンジを持つことにより、柔軟な動きを可能とした。

## 3. 技術の特徴

### (1) 強力な掘削力

掘削技術の中心をなすカッタは、クロスヘッド型（横軸型）で、2つのカッティングドラムを備えており、強力な掘削力と有効な掘削反力機構によって、硬岩の掘削を可能としている。すなわち、インライン型（縦軸型）と異なり、カッタの回転方向が切羽面に対して上から下であるため、機体重量が軽くても下向きに大きな掘削力が得られる。さらに、カッタ出力は200 kW、300 kWの切り替えが可能で、岩種、岩質、硬さの変化に対応した幅広い掘削が可能である。

### (2) 掘削効率の向上

ヒンジ式ブームは支点位置が高いため、補助ベンチ付全断面掘削が容易にでき、掘削範囲は機体定位置で、約80m<sup>2</sup>（2車線の道路トンネル等）の大断面まで掘削できる。又、ヒンジ式ブームとカッティングドラムを活用してベンチ部分に溜まった掘削ズリを容易にかき寄せることができるので、掘削効率が向上する。

### (3) 作業効率・安全性の向上

ケーブルリールとケーブルガイドを装備したことにより、ズリ出し機械が掘削機電源ケーブルの下を通過できるようになり、掘削作業と併行して、ズリ出し作業を行うことができる。又、ケーブルの取り扱いおよび移動が短時間で行えるので、作業効率が向上することは基より、整然とした作業環境下での掘削とズリ出しの施工が可能であり安全性が向上する。

## 4. 性能確認試験

掘削性能確認試験のため、図-2に示すような、一軸圧縮強度（花崗岩A：150 MPa、高強度コンクリートB：100 MPa、C：50 MPa）が明らかな3種類の強度の試験体を作成した。

試験手順は、カッティングドラムを回転させながらヒンジ式ブームを一定の高さに保ったまま右に回転させて供試体の強度別にそれぞれ3回切削し、掘削量、掘削時間、ビット消費量、騒音、地盤振動、粉じん量

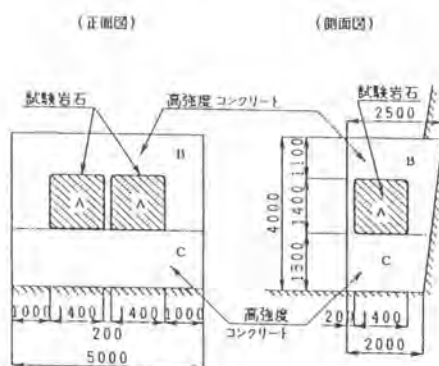
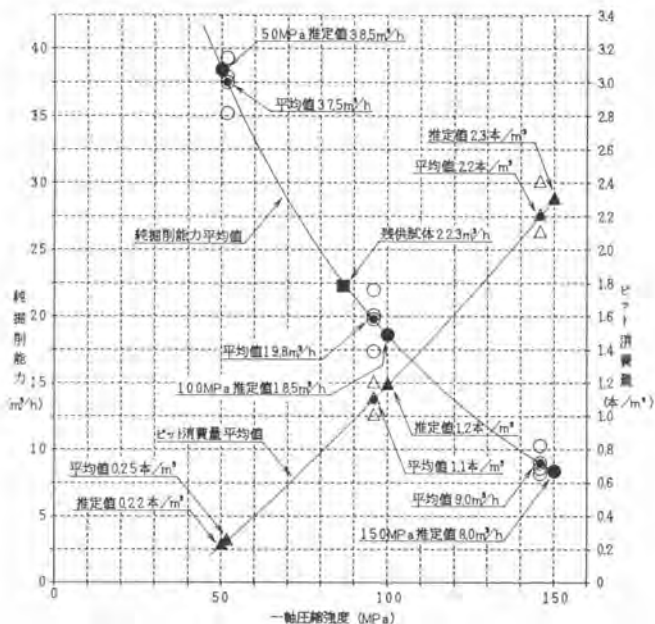


図-2 試験体形状図

の測定・記録を行った。測定データを用いて、本機による純掘削能力とビット消費量、サイクルタイムと日進量、経済性等について評価した結果、技術審査証明書を平成9年11月取得した。

一軸圧縮強度と純掘削能力およびビット消費量について図-3に示す。



このグラフから一軸圧縮強度が50～150 MPaの中硬岩あるいは硬岩の掘削が可能であることが認められる。

- ：純掘削能力 試験No. (①, ②, ③)
- ：純掘削能力平均値
- △：ビット消費量 試験No. (①, ②, ③)
- ▲：ビット消費量平均値

図-3 一軸圧縮強度と純掘削能力およびビット消費量

## 5. 施工実績

発注者) 建設省 関東地方建設局 千葉国道工事事務所

工事名) 竹岡第1トンネル工事 高規格127号 (富津館山道路)

施工場所) 千葉県富津市金谷字堀合2634-1 (図-4参照)

施工法) 補助ベンチ付全断面工法 (NATM工法)

施工内容) トンネル延長 826m

掘削断面積 94～130m<sup>2</sup> (図-5参照)

地質) 泥岩 (三浦層群)

弾性波速度 1.8～2.3 km/sec

一軸圧縮強度 8～15 MPa

### (1) 掘削方法

掘削方法は、上下半全断面を上下、左右と4ブロックにわけて行い、機体をアウトリガで固定したまま、左下半⇒左上半と掘削するとともに、右半断面において、ホイールローダにてズリ出し作業を行った。左半断面掘削完了後、掘削機を右半断面へ移動し、同様に掘削した。



図-4 施工位置図



上下半のベンチ長は、3 m を基本とし、ベンチ上の掘削ズリは、カッタドラムにより掻き寄せホイールローダのズリ出し作業を補助した。

掘削基本動作は、カッタブームを折り曲げた状態で掘削を開始し、切り込み深さ及び、上下移動高さを 300～400 mm 程度にて、ブームを左右に回転すると共にブームを伸ばしながら切り上がっていく方法とした。

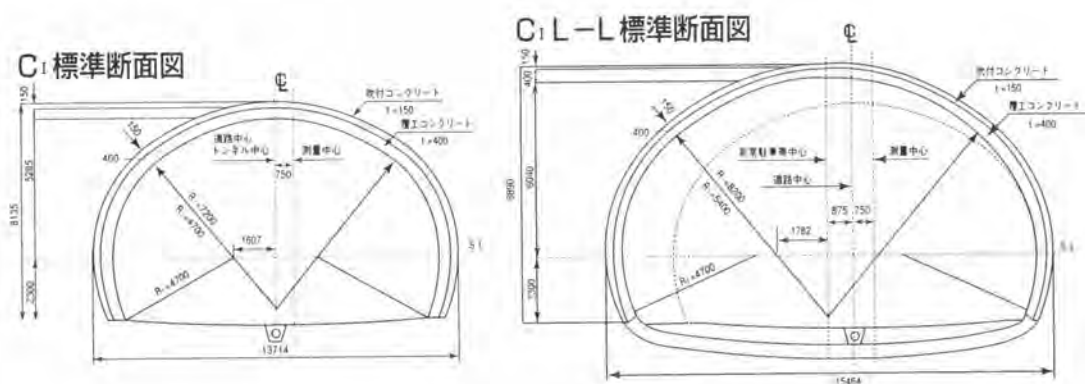


図-5 竹岡トンネル標準断面図

## (2) 掘削実績

掘削は、平成8年5月より本格的に開始し、平成9年2月に無事貫通した。施工実績は、C Iパターン（1進行長 1.5 m）で、最大日進 6.0 m であり当初の計画を上まわった。

掘削実績は、地山条件によって異なるが、実掘削能力（掘削量/カッタ運転時間）で平均  $9.4 \text{ m}^3 / \text{h}$ 、機械移動時間を含めた掘削能力は、その70%程度、ズリ出し時間を含めた能力は、実掘削能力の50%程度であった。

## 6. おわりに

施工実績から軟岩大断面トンネルにおいて、補助ベンチ付全断面掘削工法が安全かつ、効率的に施工できることが確認できた。性能確認試験の結果においても、本自由断面掘削機は、中硬岩はもちろん、硬岩にまで対応できることが実証・確認することができた。今後、都市部周辺で増加すると予想されるトンネル工事において、本機は周辺環境への対応と高い施工性、経済性、安全性を実現させることが可能と考えられる。

# 31. 電気集塵機による坑内集塵システム

ハザマ：\*芳賀 佳之  
青山機工㈱：石賀 裕  
㈱エルデック：鈴木 幸治

## 1. まえがき

建設工事におけるトンネル、立坑、地下空間、深礎などの作業現場では、掘削施工時の発破後ガスや粉じん、吹付コンクリート作業時に発生する粉じん、重機および工事用車両内燃機関の排気ガス等により坑内空気が汚染されている。こうした作業環境を改善するため、

- ① 坑外の新鮮な空気を送気して拡散する送気方式
- ② 坑内有害物質を坑外に排出する排気方式
- ③ フィルター式集塵機の設置
- ④ 送排気併用方式等による有害物質の除去や拡散、希釈のための換気

を行っている。しかし、これらの方式では大風量を必要とするため換気設備が大型化し、送風機や送気ダクトの設備費の増大、維持管理費・電力料金の増大、騒音対策等の諸問題があった。そこで従来のフィルター式集塵機と全く原理、能力、仕様を異にする小型高性能のノイルフト電気集塵機の応用・開発を行い、従来の換気設備の諸問題を解決する坑内用電気集塵装置の開発を行った。

## 2. 電気集塵機の概要

### 2.1 電気集塵機とフィルター式集塵機

従来、坑内で使用されている集塵機は、主としてフィルター式集塵機で、吹付コンクリート施工時にノズルおよび吹付面から発生する粉じん、機械による掘削時にカッタービットと岩盤との間から発生する粉じんの除去を主対象として使用されているが、

- ① 処理風量の不足による集塵効率の低下
- ② フィルター交換、ダスト排出などの消耗品のメンテナンスと維持に手間がかかる
- ③ 高い静圧を必要とするため、大出力の送風機を使用しているため、電気設備および電力量などが大きくなっている

等の問題があった。

一方、電気集塵機は、放電極と集塵極との間に直流高電圧をかけ、電気集塵機内部を通過する処理気体中に含まれる粉じん（粒子）を帯電させ、逆帯電極性となっている集塵極に付着させるという構造であり、フィルター式集塵機に比べて構造がシンプルで、動力も少なくランニングコストを低く抑えることができ、維持管理が容易である等の利点がある反面、装置が大きい不便があった。

### 2.2 ノイルフト電気集塵機の特長

従来の電気集塵機は、集塵極と放電極の位置が処理体流れ方向に対して並行に配置されていたが、ノイルフト電気集塵機は、流れ方向に対して交差するように配置されたクロスフロー構造である。従来

の電気集塵機の構造上の問題として、集塵極と放電極の上下方向にはスパーク発生を防止するための間隙を設ける必要があり、そこを処理気体が吹き抜け集塵性能を阻害している。ノイルフト電気集塵機は、各集塵極の全周に封止枠を設置して、処理気体の電界域以外の通過を完全に止めることができる構造となっている。さらに、電界強度は放電極近傍から集塵極にかけて高まるが、処理気体が集塵極を通過するとき、その全てが最高の電界強度を通過し、粉じんに対して効果的な荷電がなされる。このように極めて強力な均一な電界が形成され、粉じんに対し効果的に荷電するため集塵性能が高い特徴がある。以上のことから、集塵機内を通過する粉じん気体の滞留距離を従来の電気集塵機の4分1程度と短くても同じ能力が得られ、集塵機の本体容積を小型化できる。この結果、設置場所を幅広く選ぶことができ、高い集塵効率と本体の小型化により使用電力量の減少、省力化を可能とした。表-1に集塵機の種類と特徴を示す。また、図-1にノイルフト電気集塵機と従来型電気集塵機の放電極、集塵極、放電状態模式図を示す。

表-1 集塵機の種類と特徴

分類	適用原理	実用上の捕集粒径	圧力損失	利用例
遠心力集塵	気流の旋回運動に伴う粒子の遠心力	数 $\mu\text{m}$ 程度	100mmAq程度以下	サイクロン マルチサイクロン
洗浄集塵	液滴あるいは液膜と衝突または接触させ捕捉する。	0.1 $\mu\text{m}$ 程度	数100mmAqに達することがある	'ベンチュリースクラハ' サイクロンスクラハ'
ろ過集塵	ろ材を通して、ろ過分離する。	1 $\mu\text{m}$ 程度	150mmAq程度	バグフィルタ
電気集塵	粒子を高電圧で荷電させることによる静電沈降	0.01 $\mu\text{m}$ 程度	10~20mmAq	燃焼排ガス捕集 空気洗浄装置

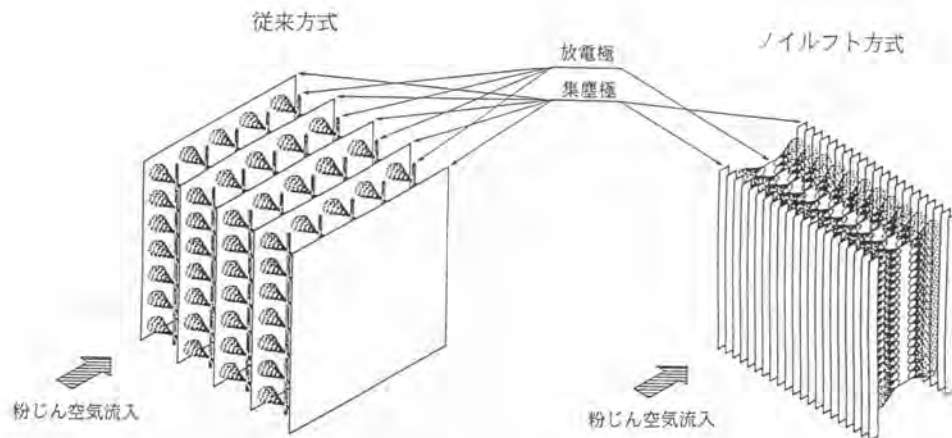


図-1 放電極、集塵極、放電状態模式図

### 3. 集塵装置の開発

#### 3.1 予備試験

##### (1) 目的

電気集塵機のはほとんどは工業用に使用され、トンネル工事等で発生する粉じんを電気集塵機により効果的に集塵し、作業環境を大幅に改善する技術は確立されておらず、小型、高効率、省力化された坑内用電気集塵装置の開発が課題となっている。坑内用電気集塵装置の開発に先だて、坑内で発生する粉じんの物性、特に吹付コンクリート作業時に発生する粉じんの集塵極への付着、剥離性についての把握と、電圧・電流・機内流速等の電気集塵機の基本データ採取を目的に予備試験を行った。試験用電気集塵装置は2tトラックに搭載し、移動を容易にした。図-2に予備試験用電気集塵装置の概要図を示す。

##### (2) 予備試験結果

##### a) 粉じん物性の把握

剥離性：集塵極上に堆積した粉じんは、軽い槌打で剥離が確認された。  
 固化性：集塵極上に堆積した粉じんに水を加えても固化の現象はみられない。

##### b) 集塵率

図-3に機内流速と集塵率を示す。集塵率と集塵機内流速を見ると、  
 流速1.0 m/sec 4ユニット荷電で 85%  
 流速1.0 m/sec 3ユニット荷電で 72%  
 流速1.75m/sec 2ユニット荷電で 75%  
 流速1.75m/sec 1ユニット荷電で 63%  
 となっているが、3ユニットが2ユニットより集塵率が悪いのは、入口濃度が低かった為に相対的に集塵率が低く出たと考えられる。

粉じんの測定はレーザー粉じん計2台を使用して入口、出口ダクトで同時にサンプリングをし、荷電ユニット数、機内流速を変えて測定を行った。

##### c) 粉じんの粒子

集塵極に捕集された粉じんの粒子を電子顕微鏡で5百倍～5千倍に拡大して撮影すると、数μmの粒子も凝集さ

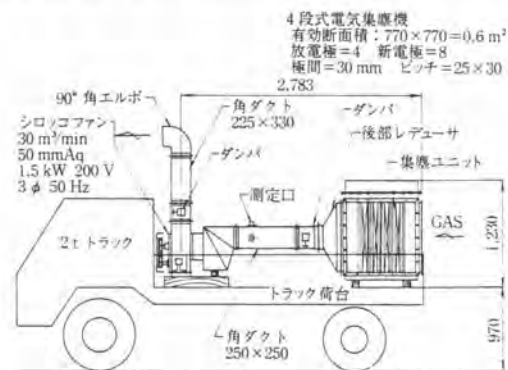


図-2 予備試験用電気集塵装置

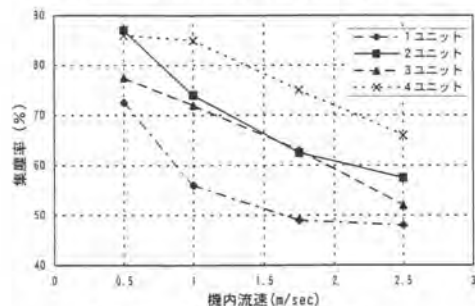


図-3 機内流速と集塵率

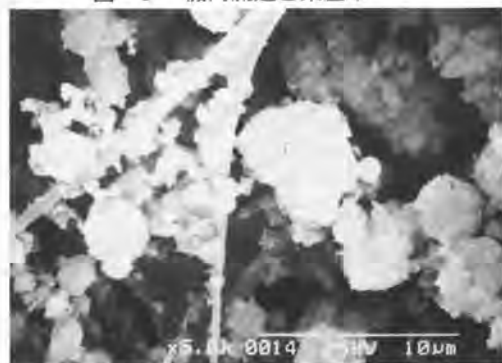


写真-1 電子顕微鏡写真(5000倍)

れていることが観察された。写真-1に電子顕微鏡写真を示す。

#### d) 電気集塵機から発生するオゾンの影響

オゾンは特有の臭いを有する微青色の気体で、酸素の1.5倍の比重をもち、沸点 $-112.3^{\circ}\text{C}$ 、融点は $-251.4^{\circ}\text{C}$ で水にわずかに溶け化学的には酸素に似ているが、酸素よりも強い酸化作用をもち銀、水銀を酸化するが、化学的に不安定で分解しやすく、酸素を放出するが、トンネル内では、 $\text{NO}_x + \text{O}_3 = \text{NO}_2 + \text{O}_2$  となり無害であることが解ってきている。今回の予備試験において出口ダクト内でガス検知管によりオゾンを測定し、次の値が得られた。

4ユニット荷電、機内風量  $18\text{m}^3/\text{min}$  で  $0.8\text{ppm}$

2ユニット荷電、機内風量  $90\text{m}^3/\text{min}$  で  $0.1\text{ppm}$

これが坑内換気量  $1,000\text{m}^3/\text{min}$  の大気に放出された場合

$18\text{m}^3/\text{min} \times 0.8\text{ppm} / 1,000\text{m}^3/\text{min} = 0.014\text{ppm}$

$90\text{m}^3/\text{min} \times 0.1\text{ppm} / 1,000\text{m}^3/\text{min} = 0.009\text{ppm}$

となり、環境基準値  $0.06\text{ppm}$  以下となる。

#### e) 電気集塵機から排出される静電気の影響

静電気は自然界にごく普通に存在しており、極めて多種多様の弊害や事故などの原因となる場合がある。特にトンネル工事における発破作業では電気雷管を使用しており、漏洩電流も含めてその有無を確認する必要がある。又、電気集塵機から排出される静電気を無くするため、静電気の遮へい措置をとっている。これは静電界の閉じ込めであって、接地した金網で覆い遮へい材としている。

電気雷管は、 $0.6\text{mA}$  以上の電流が流れると爆発を起すが、 $0.3\text{mA}$  以下であれば発火しない。 $0.1\text{mA}$  以下は安全といわれている。高電圧を使用する機器では誘導電流の発生が懸念され、各機器の接地を確実に取り、他の配線を近づけないことで、予備試験を実施した。

### 3. 2 実証試験

予備試験の結果をもとに、 $800\text{m}^3/\text{min}$  クラスの実証試験機にて実際の工事への適用性を検討することとした。集塵装置の寸法は、幅  $4.4\text{m}$ 、高さ  $1.85\text{m}$ 、奥行  $1.33\text{m}$ 、重量  $1.68\text{ton}$  とコンパクトであるので、トンネル天端に吊り下げる方式とした。また、粉じん気体のバイパスを防止する遮閉用カーテン（シート）は、トンネル天端から集塵機本体底部までの上部については固定式に、車両通過部の集塵機本体底部から路盤までの下部は開閉式とした。集塵機本体のトンネル天端への吊り下げは、天端の4カ所のアンカーにより支持している。集塵装置取り付け開始から全作業完了まで所要時間は6時間であった。使用機械として4tonクレーン付きトラック、高所作業車を用いた。図-4に実証試験装置配置図を示す。また、図-5に集塵装置の運転による坑内の浮游粉じんの濃度分布状況を示す。その結果、集塵機の下側に取り付けたカーテンを閉めた場合、集塵機の切羽側と坑口側では、坑口側が75%の低下、カーテンを解放した場合には52%の粉じん量の低下が測定され、集塵装置の効果が確認された。またコロナ放電で発生するオゾン ( $\text{O}_3$ ) については、発生量が微量で異臭、刺激もなく、通常の坑内換気の中で十分に拡散されており、排気ガス中の  $\text{NO}_x$  と反応し、酸素 ( $\text{O}_2$ ) に変化するので問題とならない程の微量であった。

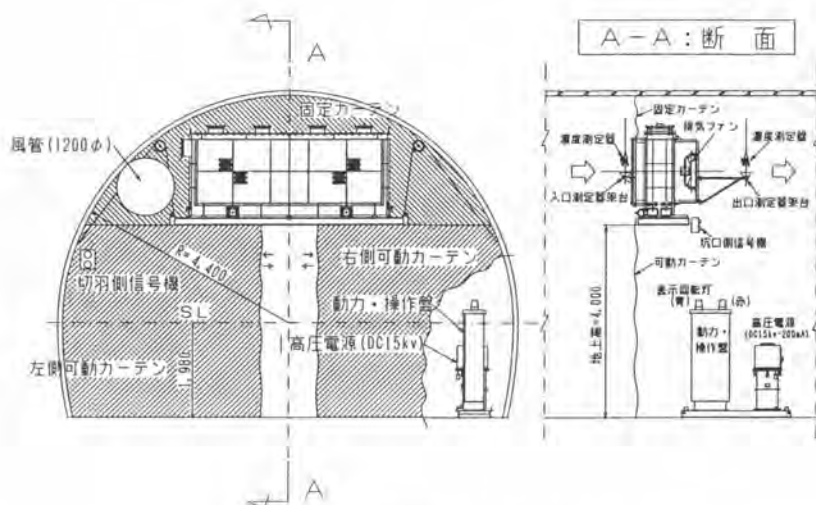


図-4 実証試験装置配置図

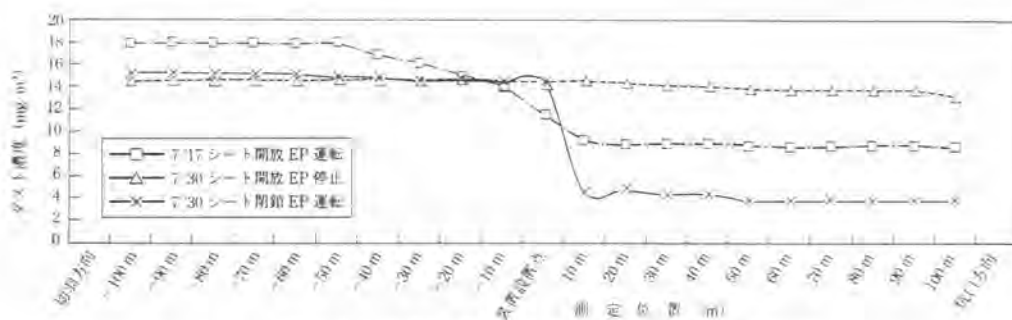


図-5 集塵装置の運転時の浮游粉じんの濃度分布

#### 4. 適用および実用性

今回の実証実験を行った結果、電気集塵装置の設置、移設等について特別な電気配線や電気設備の容量増大は必要なく、設置スペースによる施工性や他作業への支障や障害は特に生じなかったが装置の設置、撤去に5～6時間を要し、トンネルの進行に伴って装置を移設する必要がある。また、坑外から坑内への換気風量と電気集塵機の処理風量に差があり、切羽からのずり運搬時、頻繁なダンプトラックの往来により粉じん空気の流れ防止用に設けたカーテンを閉鎖する事ができず、粉じん空気が坑内全体に拡散する現象が生じた。これを防止するためには、電気集塵機の処理風量を送風機換気風量より多くし、電気集塵装置設置個所付近にエアーカーテンを発生させて、粉じん空気の流れを防止する必要があるが、この風量を電気集塵装置では、従来の送風機より小さい動力で容易に発生させることができる。

予備試験および実証試験の結果を基に、処理風量  $1,500\text{m}^3$  の車載式電気集塵機を製作し現場へ適用することとした。装置の仕様および全体図を図-6に、電気集塵機本体、坑内への据え付け状況を写真-2に示す。



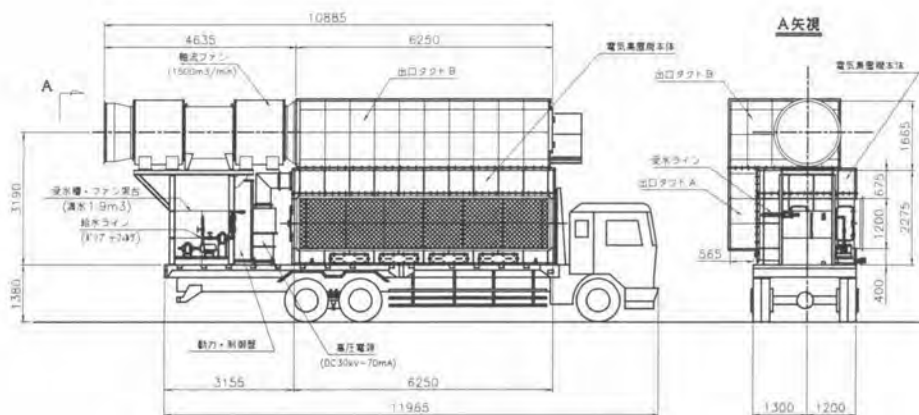


図-6 車載式電気集塵機全体図



写真-2 電気集塵機坑内設置状況

## 5. あとがき

従来、電気集塵機は大型であり主な用途として火力発電所、鉄鋼、ガス、製紙、セメント、焼却炉等大規模工場等における集塵に使用されていたが、小型化することにより、これまで使用されなかった部分に用途が広がっている。トンネル工事等における換気設備は作業環境の改善向上から、ますます大風量、大出力の傾向にあって、省エネ、コストダウンとはかけ離れたものとなっている。

今回、共同開発した車載式集塵装置は8月中旬に1号機を導入したばかりであり、いまだ開発途上の機械である。今後、現場において多くのデータを収集し、より小型で高効率の装置へと改良を重ねていく必要がある。

この電気集塵装置を使用することにより、従来のトンネル換気設備に対する概念が変われば幸いである。現在、建設業界では盛んにISO9000Sを取得しており、既に次の段階であるISO14000Sの導入に向けて進んでおり、環境保全の意味からも、こうした高性能集塵機の開発は意義あるものである。

最後に、この装置の開発にあたり、ご支援、ご指導頂いた多くの方々に厚く御礼申し上げます。

## 32. 同時注入冷却システム

佐藤工業(株)：\*出村 肇, 谷口 和之  
(株)立花マテリアル：石井 三郎

### 1. はじめに

シールド工事では、シールドテール部の地山を早期に安定させるために、同時裏込め注入作業が一般的に行われている。同時裏込め注入は、テール部スキムプレート外側に装備された同時裏込め注入管を用いてシールド掘進と同時に行う場合、掘進終了ごとに注入管内の洗浄排出作業が必要となっている。

同時注入冷却システムは、注入材の温度を低温に保つことにより強度発現速度を低下させかつ注入管への付着力を低下させて、洗浄排出作業を大幅に削減するために開発したシステムである。

本報では、同時注入冷却システムの概要と確認試験および特徴等について報告する。

### 2. システム概要

#### 2. 1 システムの構成

同時注入冷却システムは、同時裏込め注入管と裏込め注入プラントおよび冷却装置から構成される。

図-1に、そのシステムの構成と同時裏込め注入管断面図を示す。

注入材を冷却するブライン（冷媒）は、次に示す経路で循環する。

- ①ブライントタンク→②ブライン循環ポンプ→③冷却ユニット→④配管→⑤同時裏込め注入管→⑥配管→①ブライントタンク

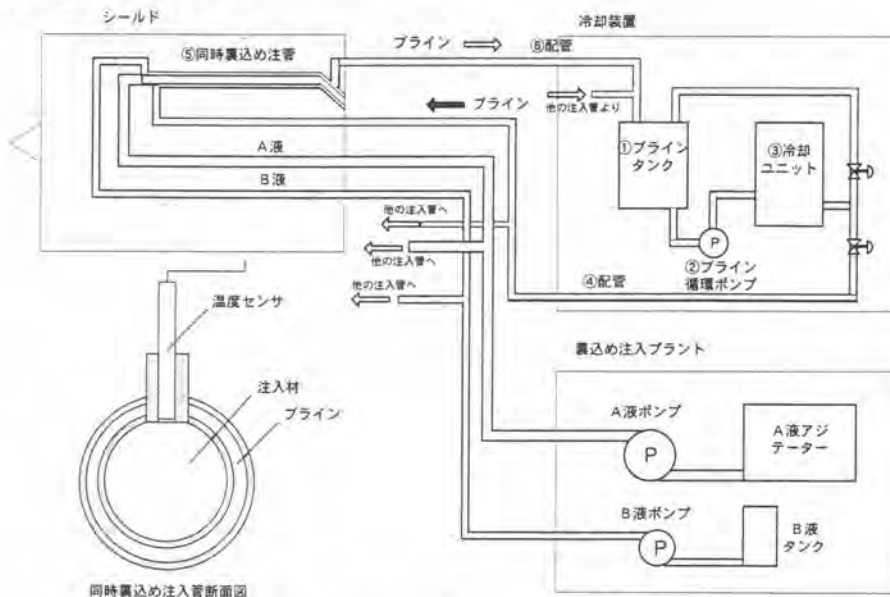


図-1 システムの構成と同時裏込め注入管断面図

また、同時裏込め注入作業を行っている間、バルブの切換えによりブラインは冷却ユニットとブライントタンクを循環して低温に保たれる。

## 2. 2 同時裏込め注入管

同時裏込め注入管は基本的に従来と同様な機能を持つが、注入管を二重管構造とした。注入管は、内管に注入材、内管と外管の間にブラインが通過できる構造で、注入材の温度を測定するセンサを装備している。このセンサにより、同時裏込め注入作業を停止している間、管内の注入材を一定の冷温に保つようにブラインの流れを制御している。同時注入冷却システムに使用する同時裏込め注入管を図-2に示す。

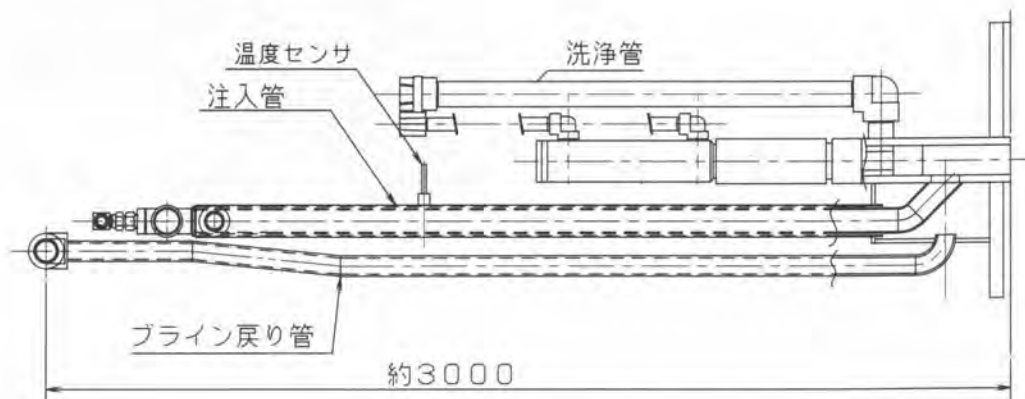


図-2 同時裏込め注入管

## 2. 3 冷却装置

冷却装置は、同時裏込め注入管2本を同時に冷却できる程度の能力を持っており、注入材を冷却するブラインを貯めておくブライントタンクと、ブライン循環ポンプおよびブラインを冷却する冷却ユニットから構成される。表-1に冷却装置の仕様、写真-1に冷却装置を示す。

表-1 冷却装置の仕様

項目	仕様
寸法	W1,000mm×D2,000mm×H1,420mm
温度制御範囲	-10℃～50℃
冷却ユニットの能力	4,800W (5,600kcal/h)
ブライントタンク	100ℓ
ブライン循環ポンプ	100ℓ/min
電動ボールバルブ	32A
温度センサ	シース形熱電対



写真-1 冷却装置

### 3. 確認試験

#### 3. 1 冷却保持後の注入材排出圧力の測定

同時注入管内の注入材は、冷却していても時間経過に伴って一軸圧縮強度や付着強度が増加する。そのため、どの程度の時間排出に支障無く、注入管内で冷却滞留保持が可能か確認するために冷却保持後の注入材排出圧力の測定を行った。図-3に冷却保持後の注入材排出圧力を示す。冷却保持時間が6時間でも排出は可能であり、最大排出圧力は、0.25MPaであった。また注入材排出後には管内に残留物は残らなかった。写真-2に6時間冷却後の注入材の排出状況を示す。

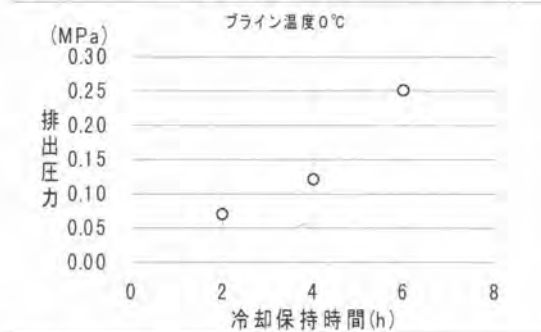


図-3 冷却保持後の注入材排出圧力



写真-2 6時間冷却後の注入材の排出状況

#### 3. 2 冷却注入材養生後の一軸圧縮強度の測定

注入作業が休止している時間、同時注入管内で冷却されていた注入材は、次の注入作業再開にともなってテールボイドに押し出され、地山温度と同温度にまで上昇し、硬化する。地山を早期に安定させるために注入材に求められている特性が冷却により損なわれないことの確認のために、冷却注入材養生後の一軸圧縮強度の測定を行った。

表-2に、試験に使用した注入材の配合を示す。

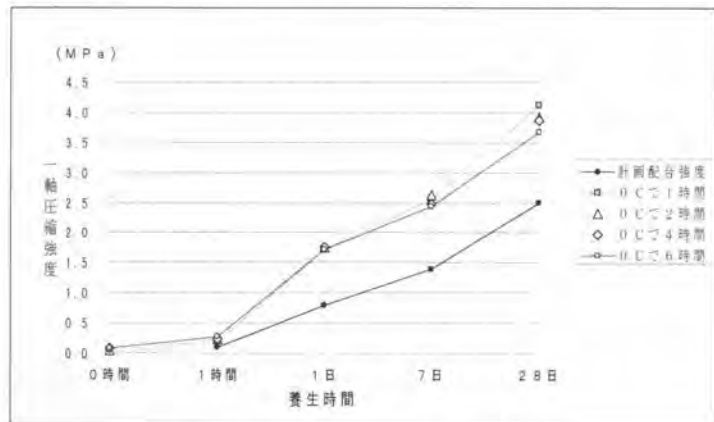


図-4 冷却注入材の一軸圧縮強度

表-2 注入材の配合 (1 m<sup>3</sup>当たり)

A 液				B 液
固化材	助材	安定剤	水	急硬剤
270 kg	140 kg	1.3 kg	766 ℓ	91 ℓ

図-4に、ブライン温度を0℃に設定して注入材を冷却した場合の注入材の一軸圧縮強度を示す。ブライン温度0℃で、注入材を6時間冷却保持した場合でも、一軸圧縮強度は計画配合強度を上回った。

#### 4. 作業手順

本システムを用いる作業手順は次の通りである。

- ①シールド掘進と同時に注入ポンプを作動させて注入材をテールボイドに注入する。  
(従来の方法と同様)
- ②シールド掘進終了時に裏込め注入ポンプを停止させて注入材の注入を終了する。  
この状態で同時裏込め注入管の内部には注入材が充満している。
- ③バルブを切換えてブライントタンクに循環していたブラインを同時注入管に循環させ、注入管内の注入材温度を低下させる。  
この温度は温度センサを用いて常時計測しており、そのデータによりポンプ運転を自動制御し、同時裏込め注入管内に充満している注入材を一定の冷温に保つ。
- ④次のシールド掘進が開始する直前にバルブを切換えて、ブラインをブライントタンクに循環させる。
- ⑤次に①の手順に戻り、シールド掘進と同時に注入ポンプを作動させると冷却されていた注入材は未硬化状態で、そのままシールドのテールボイドの中に押し出される。  
押し出された注入材は、硬化を始める。

#### 5. システムの特徴

同時注入冷却システムの特徴を以下に述べる。

- ①注入材の温度を0℃程度に冷却制御することにより、強度発現速度を低下させ、6～8時間程度同時裏込め注入管の閉塞を防止することができる。
- ②従来行っているリング毎の注入管の洗浄が不要であり、洗浄回数・洗浄水・注入材等が大幅に減少し省力化・コスト低減を図ることができる。
- ③注入管の洗浄排水処理に伴う産業廃棄物が従来のわずか5%と大幅に低減できる。
- ④冷却装置はコンパクトなユニットでシールドに容易に搭載でき、転用が可能である。
- ⑤万一不測の事態により注入管内で注入材が閉塞した場合でも、注入管内の注入材を凍結したのち解凍することにより、回収することができる。

#### 6. おわりに

同時注入冷却システムを用いることにより、注入管内の注入材を冷却し強度発現を数時間効果的に抑制することで閉塞が防止され、裏込め注入作業の省力化とコストの低減を図ることができる。また、洗浄排水がほとんど発生しないため、排水処理に伴う産業廃棄物が従来のわずか5%と大幅に削減でき、環境に与える影響の改善に寄与できる。

今後、実工事に適用し、注入材の温度制御や運転管理方法など、さらに機能を高めていく所存である。

# 33. プレライニングマシンの実施工への適用

榎フジタ：三村 洋一，\*浅沼 廉樹

## 1. はじめに

トンネル工事における NATM 施工は、合理的な設計が可能で経済的に優れていると言われているが、切羽面の自立性が低く、地盤が軟弱であったり、トンネル上部に建物や道路等の構造物がある場合、その施工は大変難しいとされてきた。この問題に対し、地表面沈下を極力減らし、切羽の安定性を向上させる合理的な先受け工法として、切羽前方にコンクリートでアーチシェルをつくる「PASS工法」(Pre-Arch Shell Support Method)を開発し、現場への適用を行った。

本稿では、都市トンネルや山岳トンネルにおけるPASS工法の施工導入結果について報告するものである。

## 2. PASS工法の概要

### 1) 施工手順

- ① 5軸オーガにて切羽に、厚さ17cm、幅81cm、長さ4mのスリット状掘削を行う。
  - ② オーガの引抜きに合わせてモルタルの注入を行い、1ピースのコンクリート柱をつくる。
  - ③ ①と②の作業をトンネル円周に沿って施工し、アーチ状のコンクリート壁(アーチシェル)を形成する。
  - ④ このアーチシェルに囲まれたトンネルの中を掘削し、支保工建込み、吹付けコンクリートを行う。以上の作業を繰り返して、トンネルが構築される。
- PASS工法の概念図を図1に、その施工手順を図2に示す。

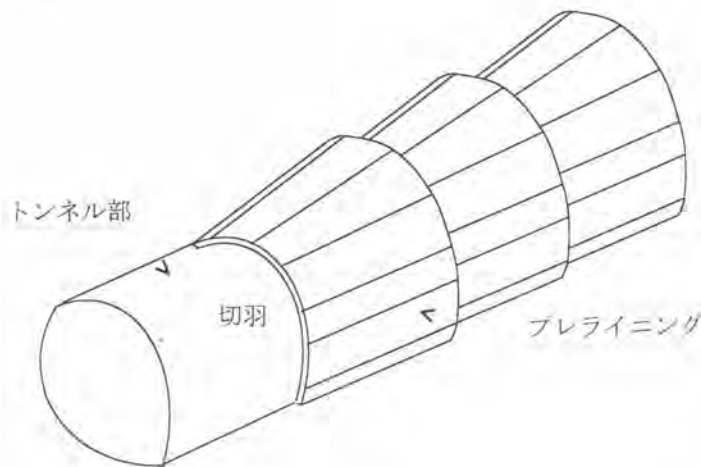


図1 PASS工法概念図



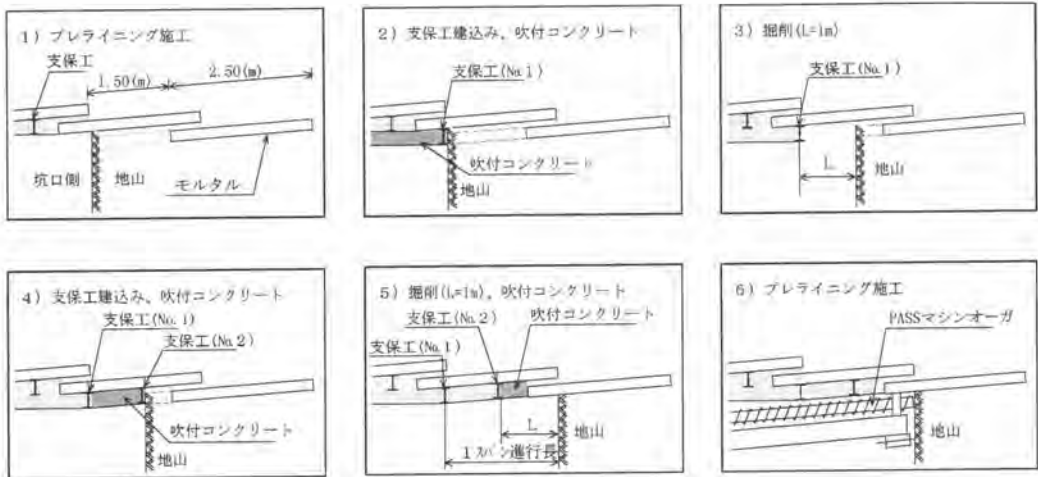


図2 PASS工法施工手順(標準)

2) 特徴

- ① 地山前方の沈下量(先行変位)が小さくなり、地表面沈下を確実に抑えることが出来る。
- ② 切羽の安定性が向上し、大断面一括掘削が可能となる。
- ③ 従来の先受け工法に比べ、施工速度が向上する。
- ④ 切羽での作業は、アーチ状のコンクリートシェルの中で行われる為、安全性が向上する。

3. プレイニングマシン

このPASS工法を施工するプレイニングマシンの概要を、図3、図4及び表1に示す。

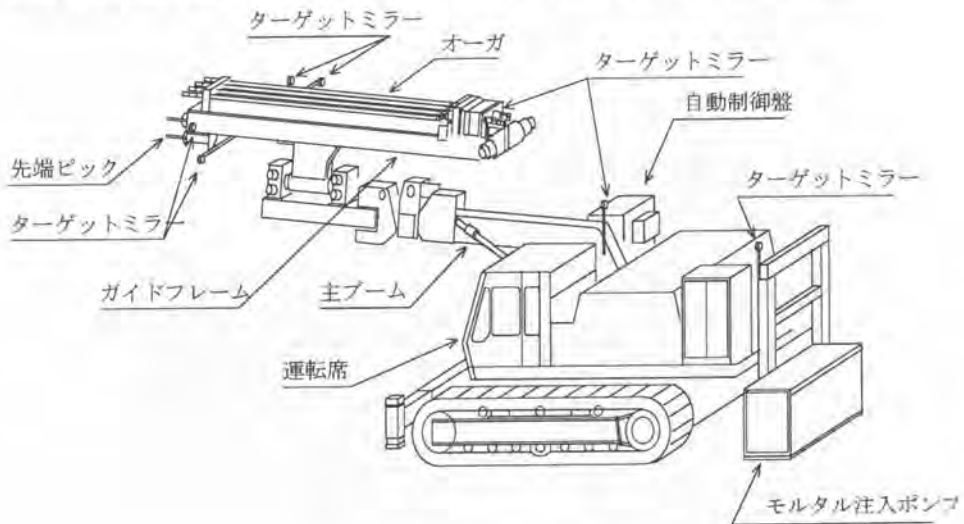


図3 プレイニングマシン概要図

表1 プレイニングマシン仕様

番 割	作 業 内 容	作 業 時 間	所 要 時 間	備 考
1 の 方	準 備	7:15~8:00	15.0	
	マシ ン・移 動 セ ッ ト	8:00~8:30	30.0	
	P A S S 施 工	8:30~15:34	394.0	24.60×16×394
	片 付 け	15:34~16:38	64.0	配 管 清 掃
	マシ ン 退 避	16:38~16:50	12.0	
	清 掃・グ リ ス ア ッ プ	16:50~18:50	120.0	オーガ <sup>1</sup> 清 掃、 <sup>2</sup> リー ヅ ッ プ
2 の 方	掘 削	19:00~1:10	490.0	上 下 半 掘 削
	片 付 け	1:10~5:00	50.0	

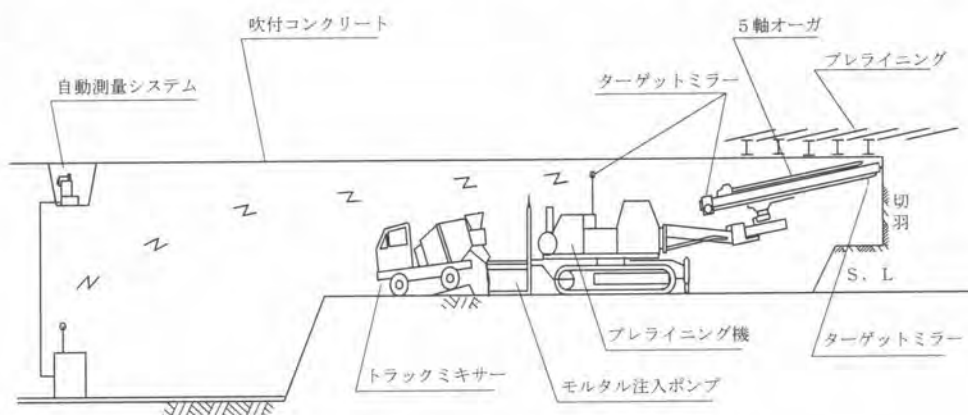


図4 PASS工法施工状況

プレイニングマシンは、アーチシェルを連続的且つ精度良く施工する為に、自動測量システムを有している。この測量システムは、マシン及びオーガのターゲットミラー位置を計測し、無線にてプレイニングマシンに測量データの転送を行う。これにより、オーガを自動的に目標位置に移動・セットし、掘削及びモルタル注入を、自動にて行う。



写真1 プレイニングマシン(坑内搬入前)

#### 4. 施工結果

##### 1) 施工実績

PASS工法は、平成3年より、3つのトンネルにて採用され、施工総延長で347m施工を行っている。表2に施工実績を示す。

表2 施工実績

トンネル名	延長 (m)	施工パターン(m)		モルタル種類	鋼アーチ(m)		吹付け コンクリート厚	平均月進 (m/月)
		削孔	注入		支保工	ピッチ		
勝田代トンネル	110.0	4.0	2.5	普通	H-150	1.0	15cm	27.5
軽井沢トンネル	32.0	4.0	2.5	普通	H-150	1.0	15cm	32.5
高岩トンネル	16.0	4.0	2.5	普通	H-150	1.0	15cm	58.5
	39.0	4.0	3.5	急硬	H-150	1.0	15cm	
	51.0	4.0	3.5	急硬	H-100	1.5	10cm	
	69.0	4.0	3.5	急硬(鋼繊維)	H-100	1.5	5cm	
	30.0	4.0	3.5	急硬(鋼繊維)	無し	無し	化粧吹き	

##### 2) 施工サイクル

一般的な施工サイクルは、昼間にPASS施工を行い、夜間に掘削・支保工建込み・吹付けを行うものである。1日の平均サイクルを、表3に示す。

また、人員配置は、マシンオペレーター1名、オペレータ補助2名、コンクリートポンプ及びプラント要員2名の合計5名で構成される。

表3 1日の平均施工サイクル

番 割	作業内容	作業時間	所要時間	備 考
1の方	準備	7:45~8:00	15.0	
	マシン・移動セット	8:00~8:30	30.0	
	PASS施工	8:30~15:34	394.0	24.60×16≒394
	片付け	15:34~16:38	64.0	配管清掃
	マシンの退避	16:38~16:50	12.0	
	清掃・グリスアップ	16:50~18:50	120.0	ホガ清掃、グリスアップ
2の方	掘削	19:00~4:10	490.0	上下半掘削
	片付け	4:10~5:00	50.0	

### 3) 他工法との比較

PASS工法を施工するに当たり、同一トンネル内に注入式フォアパイリング工法施工区間を設け、トンネル内の内空変位、壁面変位等の各種計測を行い、比較を行った。

計測結果により以下のことが分かった。

- ① 注入式フォアパイリングとPASS施工区間との地表面沈下量は、土被りの違い(PASS側の方が土被りが大きい)は有るが差は見られない。
- ② 天端沈下量及び内空変位量に注入式フォアパイリングとPASS施工区間の差は見られない。

また、PASS施工区間での支保パターンの変更により、以下のことが分かった。

- ① 地表面沈下において、先受け長の違い(1m→0.5mに変更)は見られない。
- ② 支保パターンのグレードダウンによる地表面沈下の違いは見られない。
- ③ 支保サイズダウンによる、壁面変位量に大きな差は見られない。
- ④ コンクリート材料の変更により、早期での切羽面掘削が可能となった。
- ⑤ 支保材や吹付コンクリート材の軽減により、コストダウンが可能となった。

以上の事から、PASS工法は、従来の先受け工法と比べ同等の能力を有している事や、先受けという掘削の補助工法の役割だけでなく、トンネル支保における補助工法としての役割も有ることが分かった。

PASS施工状況及びアーチシェル形成状況を、写真2、3に示す。



写真2 PASS施工状況



写真3 アーチシェル形成状況

## 5. 今後の課題

本マシンは、NATM 施工における新しい先受け工法の施工機として開発された。しかし、近年のトンネル施工法の多様化やニーズの変化により、様々な問題点や改良点が実施工において生じてきた。以下にその問題点と対策、今後の課題について述べる。

### ① 施工スピードのアップ

施工スピードのアップの方法としては、コンクリートの注入長(L=2.5m⇒3.5m)の変更を行う事により、施工ピッチを延長し、施工スピードの向上を計った。

しかし、この方法では、

- ・先受け長が短くなる事による切り羽作業時の安全性が低下する。
- ・現在のオーガでは、削孔長4mが限界の為、これ以上の施工ピッチの延長は難しい。

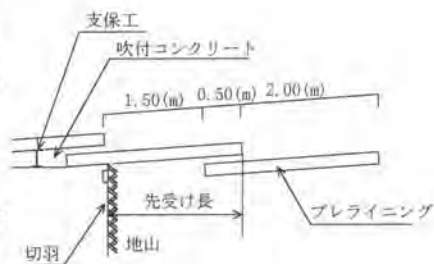


図5 アーチシェル断面図

以上の問題点が考えられる。

従って、PASS 工法の施工スピードのアップを考えた場合、マシン各部の高速化やオーガ部の長尺化等の改造が必要である。

### ② 支保パターンングのグレードダウン

本来、PASS工法は、先受け工法として開発されたものである。しかし、実施工を行っていくうちに、「PASS工法のアーチシェルを、トンネル支保の一部として使用出来ないか？」というニーズを生じてきた。この為、アーチシェル構造体の強化とコンクリート強度の早期発現を目的として、コンクリート材料の変更(普通モルタル⇒急硬モルタル、鋼繊維材混入)を行い、支保パターンングのグレードダウンを計った。

しかし、今後、オーガ長尺化や施工面積の増大(施工スリットの増加)等を考えた場合、現状のマシンのままでは、

- ・削孔長増大によるモルタル柱のラップ長の低下。
- ・サイクルタイム増加による打設管内のモルタルの硬化。

等の問題が考えられる。

この為、より高精度のオーガの位置決めシステムや打設設備の改善が必要である。

## 6. 終わりに

最後になりましたが、本機及び本工法の施工導入に当たり御指導・御協力をいただいた関係各位の皆様へ深く感謝するとともに、今後も本機をより実用性の高い機械にしていくために御助言、御鞭撻をよろしく御願ひ致します。

## 34. ジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターの開発

清水建設㈱：\*小野 啓二，宮沢 和夫，今津 雅紀

### 1. はじめに

最近、山岳トンネルや地下空洞の施工において、4mを超すような長尺の岩盤補強材料を打設する場合、従来使われている異形棒鋼製のロックボルトでは継ぎ足し手間がかかるため、リールから引き出すだけで所定の打設長を確保できるケーブルボルトが採用され始めている。これまでのケーブルボルトの打設作業は、狭い切羽付近で発破作業と交互に行うため、専用打設機と発破孔を削孔するジャンボの位置をその都度入れ替えねばならず、作業の手待ちが発生するのが現状であった。専用打設機とジャンボは、ドリルなどの重複する機能を備えていることから、一体化が求められており、今回の開発につながった。

ジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターの開発は、平成6年度から4年間かけて行った。基本仕様の設定、要素技術の調査および概念設計を経て、自動セッターをガイドシェルに沿わせる形で取り付けたプロトタイプでの実験を行った。その後、ガイドシェルと定着装置を分離し、チャージングケーシングの下に自動セッターを取り付ける形に変更して、機能の確認を行った。最終年度には、機械的な各機能の要素実験および改良を経て、岐阜県の神岡鉱山において総合的な実証実験を行い、実機設計を終えている。

### 2. ジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターの開発目的および基本仕様

ジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターは、掘削工程のうちロックボルト打設機の機械化・自動化を図るもので、以下の項目を開発のねらいとした。

- ①ケーブルボルトを採用し機械化・自動化により、人力施工箇所を少なくすること。
- ②切羽削孔とケーブルボルト打設の並行作業を可能にし、掘削サイクル時間の低減を図ること。
- ③自動化することにより、作業時の肌落ち・切羽崩落等に対する安全性の向上を図ること。

ジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターの仕様を下記に主な装置の能力を表-1に示す。

①ケーブルボルト定着装置；モルタルホース、カッター、セッター部からなり、セッター部は回転式でモルタル充填とケーブルボルト挿入の切替えが容易になっている。モルタルクリップ（落下防止具）装着装置は、単発型の自動取り付けタイプとし、洗浄装置は、先端部に設けモルタルホース引き抜き時に洗浄できるようにした。

②チャージングケーシング；セッターのコントロールを行う場所で、目前での打設が可能でありケーシング付きとし、微妙な位置調整を可能にした。切羽作業時は、セッターを下部に格納して前面を広くフロアとして使用が可能である。



③モルタル関係装置；モルタルホースフイダーは、推力確保のためフッシューブル方式にし、フッシュ側はゴムボール、プル側は鉄製のローラ方式とした。ジャンボ後方にはモルタルポンプを搭載している。

④ケーブル挿入装置；ケーブルフイダーは所定の推力を確保し、高能力の切断カッターを設備し、長さの表示・測定記録装置をつけた。

⑤その他；ケーブルガイドホースはケーブルに引っ掛かりが生じないようにフレキシブルチューブにした。また、ケーブルの格納長さは1,000mにした。

### 3. ジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターの特徴

ボルト打設作業状況を図-1に示すように、ジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターは、ジャンボ前部のチャージングケージ部にケーブルボルトの自動打設装置を、中央部にケーブルボルトとモルタルホースを供給するフイダーを、後部にケーブルボルトとモルタルホースを収納するリール並びにモルタルポンプを搭載した形になっている。

今回、開発したジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターは、ボルト孔の穿孔からボルト打設まで連続して行い、重機械の入れ替え無しで施工でき、施工効率の向上・コストダウンに大いに貢献すると考えられる。ただし、ケーブルボルト打設時の削孔位置とその方向決めは、掘削断面の凹凸を考慮して手動としている。

表-1 主要装置の能力

装置名	能力*
モルタルフイダー	作動油圧 80kgf/cm <sup>2</sup> 送り速度 0~19m/min
ケーブルボルトフイダー	作動油圧 100kgf/cm <sup>2</sup> 送り速度 6~30m/min
モルタルリール	巻取トルク 15kg・m 最大巻取長 20m
ケーブルボルト	カセットラム 1000m 巻取時重量 1,362kg

\*は油圧モータ駆動

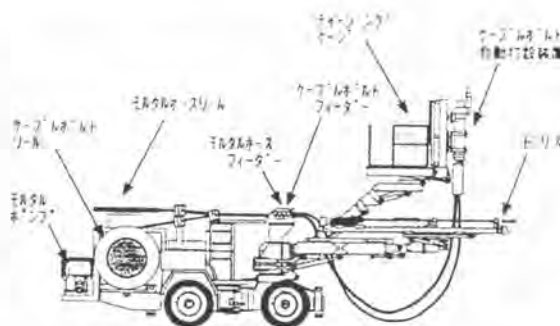


図-1 ジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッター

ジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターの特徴は、

- ①切羽削孔とボルト打設を兼用するので、重機の入替えがなく施工効率が良い。
- ②カセット式ケーブルリール（長さ 1000m）を装備しているため、長尺ケーブルボルトの打設が可能である。
- ③ケーブルボルトが掘削孔のセンターに定着するよう、落下防止具を自動装着できる機構とした。
- ④ケーブルボルトとモルタルホースの挿入長の検尺・記録装置付きとした。
- ⑤施工工程を自動化するので、大幅な省力化や安全性の向上が図れる。
- ⑥ケーブルボルト長さの確認やモルタル充填が確実にできるので、品質の確保が十分にできる。
- ⑦機能は切羽削孔用ジャンボの付加設備とし、比較的簡単に打設装置の取り外しが出来る構造とした。

#### 4. ジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターでの施工手順

施工手順は、最初に、ドリルを操作してケーブルボルトの挿入孔を削孔する。次に、自動打設装置を操作して、モルタルホースを挿入孔の最深部まで挿入、続いてモルタルを充填しながらホースを抜き取り、最後にケーブルボルトを挿入し、切断するものである。ケーブルボルトの打設状況およびケーブルボルト切断時の状況写真を写真-1、写真-2に示す。



写真-1 ケーブルボルト打設状況



写真-2 ケーブルボルト切断・設置状況

また、ケーブルボルト打設作業時以外は、写真-3のようにセッターをチャージングケージの下方に格納させ、その他の作業に支障のないようにそしてフロアを広く使えるように工夫している。



写真-3 ジャンボ通常作業状況

#### 5. ケーブルボルトについて

先にも記述したとおり、ケーブルボルト（PC鋼より線）はフレキシブルで、狭い施工スペースからの施工が可能であることから、大断面トンネルや地下空洞における先行支保・事前補強やロックボルトの代替として期待されている。しかし、ロックボルトと比較してボルト／グラウト間の付着強度が非常に小さいとの課題がある。海外では付着強度を増加させるために多種類のケーブルボルトが提案され、使用されている。しかし、大きな穿孔径が必要であったり、連続リールとして搬入できない、自動打設機の使用が難しい等の短所がある。そのため、付着強度の増加を目的としたPC鋼にインデント（凹）を施したPC鋼より線（STケーブルボルト）を開発し、ジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターとともにさらに、品質・施工効率の向上につとめている。このケーブルボルトの特長は

①従来のPC鋼より線ケーブルボルトに比べ付着強度が4倍と飛躍的に増大させたことにより、岩盤補強に信頼性の向上がはかれる。

- ②コストダウンをはかれる。
  - ③インデント加工で付着力を増加させているので定着長や本数を減らすことが可能である。
- 図-2にインデント付きケーブルボルトの概略図を示す。



図-2 インデント付ケーブルボルト（STケーブルボルト）

## 6. おわりに

大断面トンネルや地下空洞掘削工事など、拡幅掘削を念頭においた事前の地山補強を行う必要性のあるトンネルにおいては、導坑などからトンネル径よりも長い長尺なケーブルボルトを打設する工法の確立が望まれており、今回のジャンボ搭載型ケーブルボルト自動セッターの開発につながった。この機械の開発により、施工効率・安全性の向上はもとより、機械購入費用の削減や長尺ケーブルボルトの自動打設が可能となった。

今後は、今回の機械の開発・実証実験の成果を踏まえて、一日も早い現場への適用を図り、実機製作時にはロッドの自動継ぎ・取り外し機構を搭載したものとした上で、膨張性地山を含めた多種多様な地質の山岳トンネルや法面補強工に対してケーブルボルトの効率的な施工ができるよう普及を図っていきたい。

## 35. 矩形・揺動シールドの開発

鹿島建設㈱：尾上 順吉，\*池添 勝次，福田 昌弘

最近の新しいシールドの形状として、断面の有効性から矩形を始めとする異形断面形状の要求が増えつつある。本工事（きらめき通り地下通路建設工事）においても矩形シールドの提案から本工法が商業地域の集客用地下通路の工法に採用され、1997年8月に着工、1998年5月に掘進を開始し、1998年8月に一次覆工が完了した。本シールドの概要と機械の特徴・施工実績について述べる。

### 1. はじめに

福岡市天神地区は、九州の中心都市に位置し、中でも競争の激しい商業地区である。各施設においては、近接して共用されている地下街と連結する事が購買客を有利に導入する決め手になる。

今回の工事は、地下街を中心に集中する購買客を、地下街の高さでそのまま誘導するための戦略的な地下通路建設工事である。

#### (1) シールド工法が選定された理由

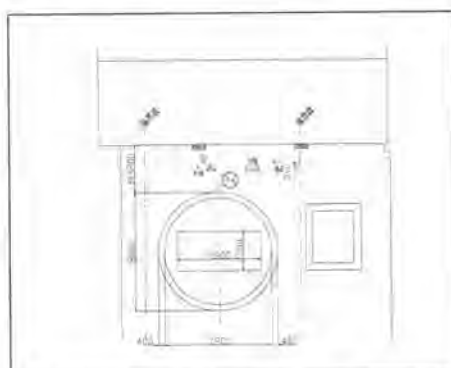
- a 工事区間は、既に整備された地域であり、路面の撤去が許されない。
- b 開削等地上工事が伴う場合は、車輛や歩行者の通行が極めて多い場所での通行寸断のため、大きな混乱を招きイメージダウンとなる。

#### (2) 地下通路を従来の円形シールド工法で施工する時の問題点

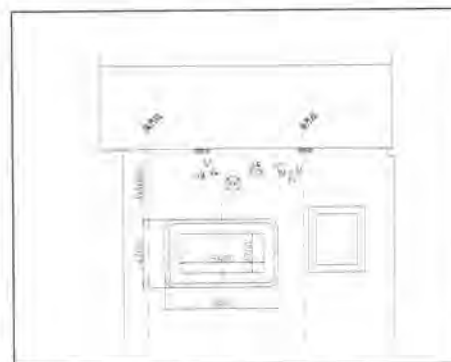
- a 上部に埋設された管路やマンホールとの離隔が得られない。
- b 土被りが殆ど得られない。
- c 有効断面を確保すると、大断面となり割高である。

#### (3) 本矩形シールドにおける施工上の留意点

シールド掘進上部は、歩行者や車両の通行が極めて頻繁な歩車道であることや、マンホール・埋設管路・周辺の構造物と近接しているなどから、沈下防止のための土圧管理・裏込注入管理等、公衆災害の防止が最重要課題であった。



図一1 標準断面 円形



図一2 標準断面 矩形

## 2、Wagging Cutter Shield 工法の特徴

Wagging Cutter Shield 工法の機械的特徴や工法上の特徴は、次のような点にある。

### (1) 揺動機構（カッターヘッド）

従来のシールド機はカッターヘッドを回転させる事で掘削を行ってきたが、WAC工法ではカッターヘッドを一定角度の範囲で往復運動（揺動）させ、掘削する機構を有する。

今回施工の断面である縦横比が1：1.5の面積を従来の回転方式で掘削すると隅角部の切削に極めて大きなストロークの隅角部カッタ装置が必要になり、カッタースポークに収められなくなる等の障害が予測された。

そこで、カッタを左右に分割し、カッタのセンタ位置をシフトすると、隅角カッタ装置の必要なスポークを長くできるため、隅角部カッタ装置の装備が可能になる。

しかし、回転掘削すると左右のスポークが干渉するため、今回は揺動方式（本シールド機の場合は、左右各50度、計100度）を採用し、左右のスポーク干渉に対応した。

また、カッターヘッドの揺動は、油圧ジャッキを伸縮させる事でカッターヘッドをワイパ状に作動させる機構を採用した。

カッタートルクは、同面積の丸型シールド機を基準に $\alpha$ 値を1.55から2.4（揺動時に変化する）に設定した。

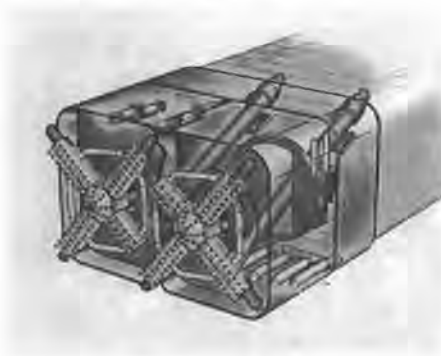


図-3 シールド機概念図

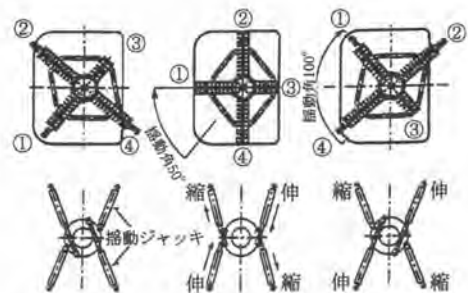


図-4 油圧ジャッキの作動状況

### (2) 隅角部カッタ装置

隅角部カッタ装置は、従来のシールドで採用されていたコピーカッタを大型化させた装置で600mmのストロークを備えている。

これは、本工事の線形が直線であるため、蛇行修正用の余掘量を50mm加味して計画した。

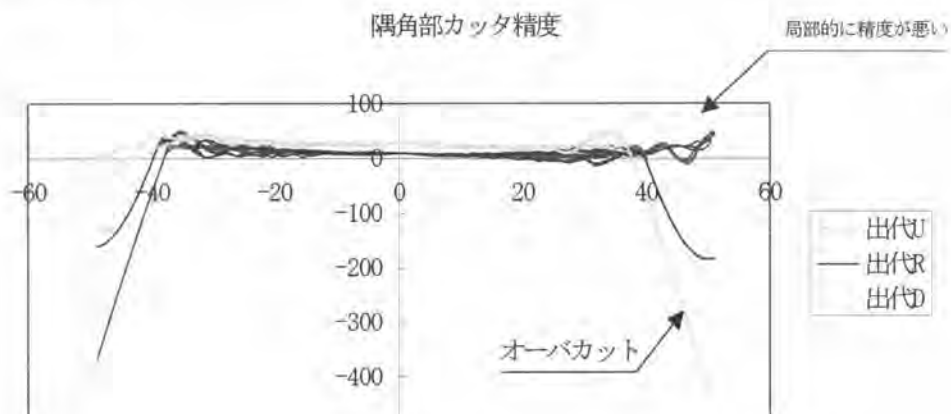
また、揺動周速が13m/minであり、隅角部を通過する時間が4～5秒と短いため伸縮速度は最大250mm/secと極めて高速に設定した。

隅角部カッタ装置は、角度毎に変化ストロークを指示・調整(電気油圧サーボ制御)しながら伸縮する機能を有している。

グラフー1は、掘進中に隅角部カッタ装置の先端部の軌跡を採取したデータをグラフ化したものである。

両端の変化点付近に若干精度の悪い部分が存在するが、今回のマシンでは、精度をこれ以上克服することができなかつた。しかし施工上においては、まったく問題となることはなく、今後、制御技術の向上に伴い更なる性能の向上が期待できると考えている。

さらに、伸びきった状態の隅角部カッタ（一本）に、全トルクが作用しても損傷のない構造としている。



グラフー1 隅角部カッタの軌跡

(3) 隅角部カッタ装置用カッタービット

隅角部カッタ装置に使用するカッタービットは、掘進方向・揺動方向・周方向の3次元掘削を必要とする事から、先端の閉塞や異常摩耗に対応して新規に開発を実施した。

(4) 中折れ装置

本矩形シールド機は、ローリングを修正する目的に前胴を左右2つに分割してあり、各々独立した中折れ装置を装備している。

機械的なピン構造を軸として、上下方向に独立して±1.0度屈曲する構造になっている。

(5) 連結同調ジャッキ

連結同調ジャッキは、本工事に使用した鋼殻の分割が、左右の中央に摩擦接合継手を採用し、すべて同じ高さの接続とした事に対応したものである。

今回の摩擦接合継手部には、推力を受け持つ縦リブが設置できないことや、上下の推力差・鋼殻製作精度などで上下に段差がでることを避けるための手段として連結同調ジャッキを採用した。

### (6) 鋼殻の特徴

当工事における鋼殻は、トンネル施工断面のスリム化を計る目的から本構造物として計画されている。

したがって、外側が鋼殻を主引張材とするSC構造、内側はRC構造である、これをスタラップで合体し、オープンサンドイッチ構造としている。

また鋼殻は、その断面比が1:1.5であることから一次覆工時には中柱を有し、二次覆工完了後に切断し撤去する。

鋼殻のピース間継手のうち、完成時にトンネル外側で常時引張力が作用する継手については、引張強度の高い摩擦接合継手を採用した。

覆工部材のせん断補強部材としてはせん断補強筋を設置している。せん断補強筋は、端部をプレートに溶接しており、高力ボルトによりプレートと主桁を一体化することでせん断補強材として機能する。

鋼殻は、3本主桁構造であり、8分割+中柱の構成で製作した。1リングの重量は、7.3ton、1ピースの最大重量は、約1000kgである。

## 3、施工実績

### (1) 工事の概要

工事名：きらめき通り地下通路建設工事  
発注者：㈱岩田屋・NTT九州不動産㈱  
工事場所：福岡市中央区天神2丁目きらめき通り  
工期：1997年8月1日～1999年4月30日

地下通路工事は、図-5 平面図にあるように右上に建設中の西鉄福岡駅ABビル、右下が西鉄福岡駅ターミナルビルである。上記の中間に地下連絡広場が位置する。今回工事の地下通路は、平面図左方向に掘進し、左下部に位置する岩田屋Zサイドビルに接続する工事である。

表-1 工事内容

シールト機外形	H4980×B7810×L6550
鋼殻外形	H4712×B7612×L1000
仕上がり内形	H3300×B6200
延長	119.86m
曲率・勾配	直線・-5‰
土質	砂質土・礫混り砂
土被り	4.8m

### (2) 発進立坑

発進立坑は、西鉄福岡駅ABビル（建設中）と営業中の西鉄福岡駅ターミナルビルの下に建設中である地下連絡広場を使用した。したがって、上空（3階部分が駅）に構造物があり、高さは5.6mの制限を受け、作業帯は幅6m、長さ35mが最大占用面積であった。

また、地下連絡広場を使用する事から坑内空間に制限があり、高さ10m、



写真-1 発進立坑景観



面積400m<sup>2</sup>と狭隘な空間にシールド機を含む掘進設備、後続機器のすべてを配置した。

残土搬出は、坑内に土砂ホッパ30m<sup>3</sup>を設置し、そこから土砂圧送ポンプにより、箱ダンプに直接積み込みを実施した。

このように狭隘な場所が発進基地になったことから、立坑の構築や材料搬出入・仮設備設置撤去などすべての作業に工程的・経済的な影響を伴った。

### (3) 到達工

到達は、シールド機を地中に残置する計画であり、シールド機内に端部隔壁を設置し、シールド機の後方で既設建物と連携する。

連携部は、クロスジェットグラウト工法で地盤改良を実施後、改良体を切削しながらシールド機を通過させ、接続作業を実施する。

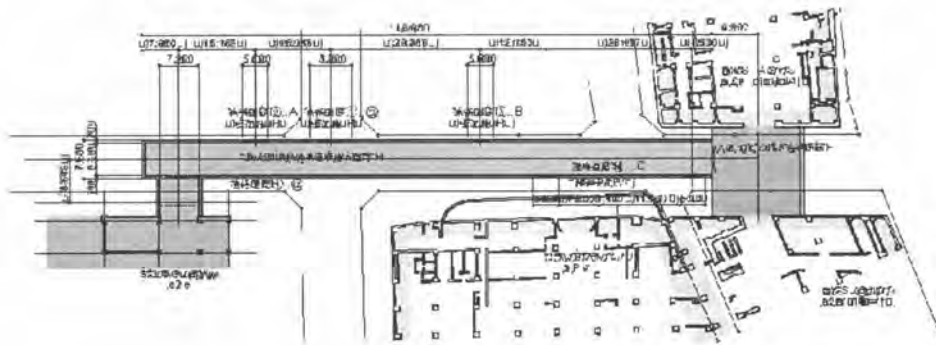


図-5 平面図

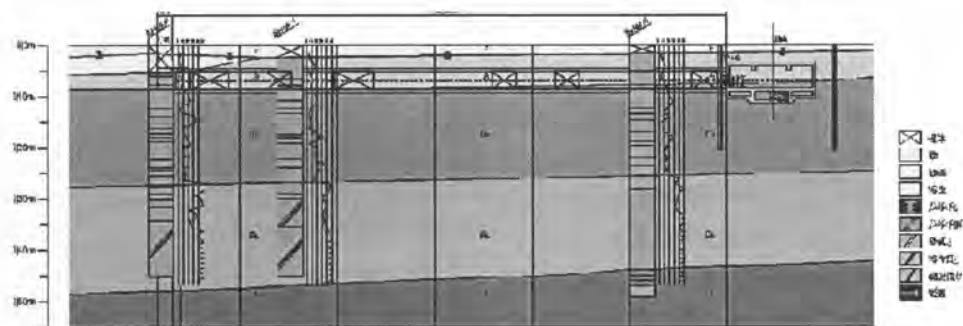


図-6 縦断面図

### (4) 掘進工

土質は、砂が主体であり、崩壊性が高く土被りが少ない、埋設物や構造物が近接している等から路面・構造物の変位や加泥材・裏込注入材の噴出・近接構造物への流入などに細心の注意を払い施工した。

掘進管理は、運転室・事務所に掘進中のデータを伝送し、コンピュータによりリアルタイムで解析を行うことにより実施した。特に隅角部の掘削誤差や切羽圧（加泥圧）・量、裏込注入圧・量、排土量のデータを重要視し、路面変化の状況と対比し最適な状況を模索しながら施工を進めた。

発進坑口は、エントランスを本体形状に合わせて設置し、直線部の締付補助にエアーチューブでバックアップを行い、掘削土砂が漏洩しない構造とした。

工事は、比較的順調に進み、1日平均進行4リングの確保ができた。

地表面の変位は、切羽圧決定に上載の荷重を最低圧として検討し、裏込注入位置を上部2箇所（注入圧を加泥圧と同様圧で管理）から実施することで沈下を殆ど無くすることができた。



写真一2 坑内状況

#### 4、おわりに

今回の施工を通じてWagging Cutter Shield 工法の有用性が確認でき、他の類似工事にも展開が可能と考える。

本工法は、様々な断面の掘削に適するほかコストダウンも可能であり、今後の改良・改善でさらに発展するものと期待している。

# 36. フォームドアスファルト混合物の製造プラント（可搬型常温プラント）

鹿島道路㈱：海老沢 秀治，\*木下 洋一

## 1. はじめに

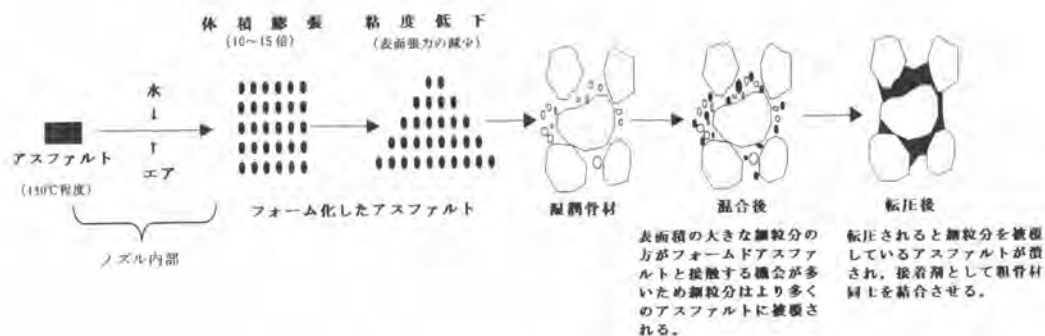
昨今、地球環境問題に国際的な関心が高まり、建設分野においてもさまざまな視点から省エネルギー及び環境対策に関する技術開発が行われている。舗装に関しては、このような技術の1つに常温型混合物があり、従来用いられている加熱アスファルト混合物に比べてエネルギー消費量及びCO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減が可能なものとして注目されている。常温型混合物を製造する方法にはさまざまなものがあるが、中でも「フォームドアスファルト」による常温混合物は、泡状のストレートアスファルトをバインダーとして使用しているため、経済性、施工性、強度発現などに優れている。そこで、このフォームドアスファルトに注目し、新たに可搬型フォームドアスファルト混合物製造プラントをカナダのSOTER社から導入したので、ここに紹介する。

## 2. フォームドアスファルト

フォームドアスファルトとは、アスファルトの混合性を向上させる目的でアスファルトを泡状にしたものである。方法としては、ミキサ内にアスファルトを噴射・混合する際に、高温のアスファルト(150℃程度)に少量の水と空気を専用の装置で接触混合するものである。このアスファルトを泡状にする事をフォーム化と呼び、これによりアスファルトの容積が10～15倍に膨張し、粘度が低下するので常温の湿潤骨材にも均一に混合できるようになる。混合後、アスファルトの気泡は速やかに消滅するが、混合物内部に細粒分を含んだアスファルトモルタル分として混在した状態となる。この混合物を敷き均し、締め固める事によりアスファルトモルタル分が粗骨材どうしを強く結合・固着させ、強固な構造物が得られる。

### フォームドアスファルトの特徴

- ①容積の増大
- ②粘性の低下
- ③付着性の増大



図一 常温フォームド混合物の模式

### 3. 製造装置の概要

フォームドアスファルトによる常温混合物の製造方法にはロードスタビライザによる「路上混合方式」と、専用プラントによる「中央混合方式」がある。路上混合方式は既設舗装材料を使用し、強化路盤をその場で簡易に構築する事が出来る。一方、中央混合方式は目的に合った任意の材料を使用し、高品質な常温混合物を大量に製造する事ができる。本機はこの中央混合方式の可搬型プラントである。

#### 3-1 構成

本機は図-2のように次のユニット装置と付帯設備から成り立っている。

##### a) ホッパーユニット

鋼製2連一体型、脚引込み・作業台折畳み式

ホッパー	7m <sup>3</sup> ×1基、4.5m <sup>3</sup> ×1基	インバータ可変速ベルトフィーダ×2本
セメントチャージビン	1m <sup>3</sup> ×1基	インバータ可変ロータリフィーダ×1基

##### b) ミキサーユニット

2軸連続式ミキサー	55Kw ×1基	材料流量コンベアスケール	×1基
含水比調整加水ポンプ	×1基	フォームド・スプレーシステム	×1基

##### c) 操作室・排出ベルトコンベア

動力・操作盤ハウス	×1基	排出ベルトコンベア	900×1,200 ×1本
-----------	-----	-----------	---------------

##### d) 付帯設備・機器

現場状況により次の設備機器が必要とされる。

アスファルト供給用アスファルトローリ又はアスファルトタンク

加水供給用散水車又は水道設備

材料供給用ショベルローダ1台、製品処理用ショベルローダまたはバックホウ1台

動力供給用発電機195KVA1台、又は商用電力120KW50Hz

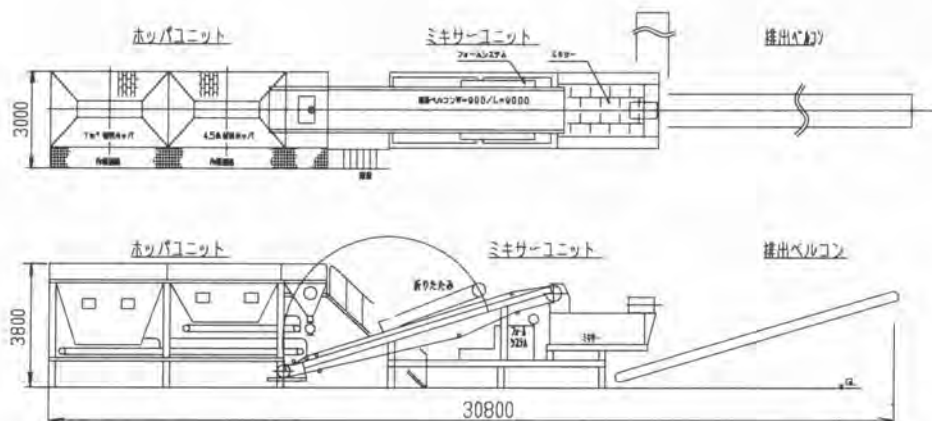


図-2 プラント外観

### 3-2 能力・仕様

表-1に本機の能力と表-2に主要寸法を示す

表-1 能力

形 式	PM-400K
混 合 能 力	200~250 <sup>kg</sup> /h
加 水 量	0~4.8% (250 <sup>kg</sup> /h)
セメント添加量	1.5~ 3% (250 <sup>kg</sup> /h)
アスファルト添加量	2 ~ 3%

表-2 主要寸法

ユニット名称	全長×全幅×全高(運搬時)mm
ホッパーユニット	8,500×2,350×2,500
ミキサーユニット	8,800×2,500×2,300
操作室	3,700×2,200×2,300
排出ベルコン	12,000× 900× 500(半折可)

### 3-3 特 徴

本機の常温合材製造工程フローを図-3に示すとともにその特徴について述べる

#### a) コンベアスケール

本機は2基の材料ホッパーと1基のセメントチャージビンを持った連続ミキシング方式の可搬型プラントである。従来この方式のプラントは混合材料の流量をあらかじめ計測しておき、その流量曲線より材料供給比率を設定していた。本機は材料の可変出し制御機器に加え材料供給経路にコンベアスケールを内蔵し、時間当たりの流量および積算流量(重量)を連続計測できるようになっている。

#### b) 連動型流量制御システム

コンベアスケールから比例制御信号により添加混合するフォームドアスファルト量および含水比調整用加水ポンプの流量(回転数)を比例制御する事が出来る。たとえば稼働中に材料の流量が変化した場合、それに応じてポンプ流量も設定比率を保つように連動するシステムである。添加比率はあらかじめ設定機器に数値(%)で入力するが、生産途中でも任意に変える事が出来る。

#### c) フォームドシステム

本機の最大特徴であるフォームドアスファルトの発生装置は、図-4に示すように個々の噴射ノズル内でアスファルトをフォーム化させる独立方式である。本機では、加熱アスファルトが各ノズル内へ均等に供給され、フォーム化した直後に噴射放出されるため、品質および運転管理が容易で均質なフォームドアスファルトが得られる。作業中断など噴射放出を止めた後は、フォーム化に使われていた圧縮空気が遅れて止まる機構になっていて、ノズル内を常に清掃している(セルフクリーニング効果)。また、常に加熱アスファルトを配管〜タンク間に循環させることで、温度低下と切り替えバルブの固着を防止している。

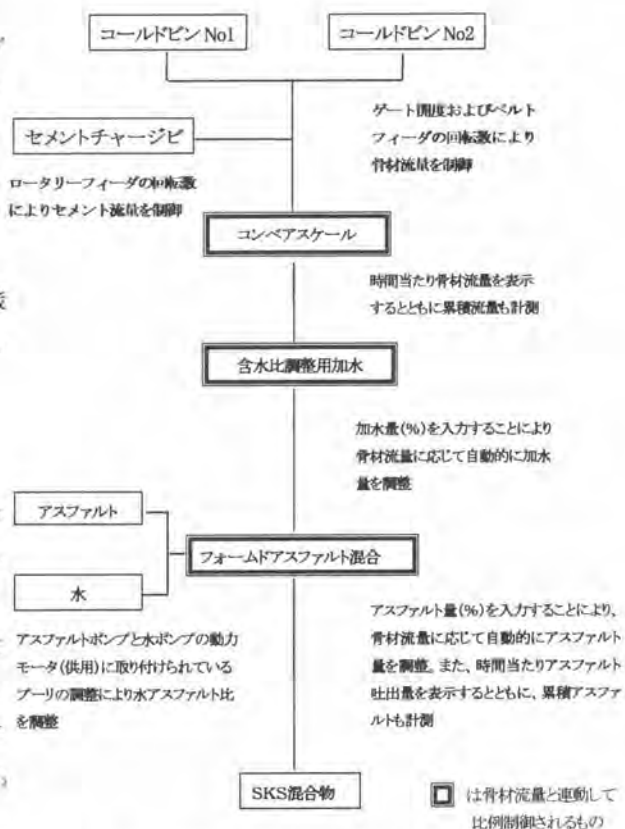


図-3 フォームドアスファルト合材製造工程フロー

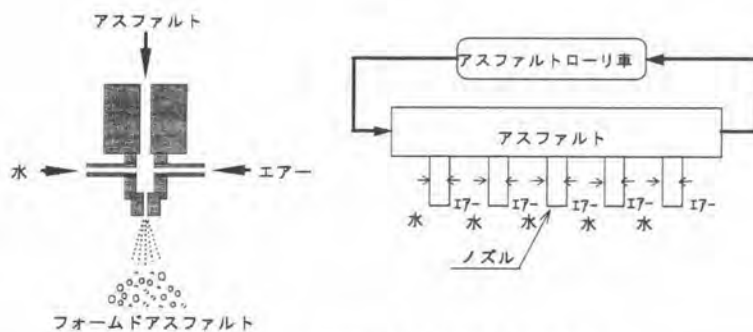


図-4 フォームドアスファルト発生装置概略

#### d) 運搬・設置

本機は従来の定置式プラントの様な強固な基礎等を必要とせず、可搬性に重点を置いて各装置のコンパクト化を図った。各ユニットは10トトラックに収まる様に重量・寸法が設計され、引込み式の脚・折畳み式の歩廊等を備え、運搬時に規定寸法内に収まる様になっている。設置は、平坦な地盤に部分重ねに吊下した後、配線・配管をつなげ脚・折りたたみ部を広げるだけで終了する。また、ベルトコンベアの乗り継ぎ部分で各ユニットは独立しているの、直線配置からLの字型配置までレイアウトの自由度が大きい

### 4. 試験および本施工

#### 4-1 試験練り・施工

構内試験場でグリズリアンダー材(アスファルト廃材)を用いた試験混合および敷き均し試験を行なった。その結果、混合物の性状および締固め後の強度ともに良好な結果が得られ、強化路盤材としては十分な物であった。なお、グリズリアンダー材を使用したのは再生骨材等低品位骨材の有効利用を図る為である



写真-1 本施工状況

#### 4-2 本施工

試験施工の結果を踏まえ、千葉県浦安市において建設機械の屋外駐機場(約600㎡施工厚150mm)で本施工を行なった。当該現場では、表層に加熱アスファルト混合物を舗設していないが、施工5か月後の現在でも良好な状態を保っており、建設機械等の置場としての機能を満足している。

### 5. おわりに

フォームドアスファルト混合物は骨材を加熱する必要が無いため、低公害・省エネルギーであること。また、加熱アスファルト安定処理混合物の代替えとして、舗装発生材などの再利用や加熱混合物に使用できない低品位骨材の利用に有効である事を述べた。このフォームドアスファルト混合物を用いた路盤構築工法を当社では「SKS工法」(Soter Kajima Stabilization 工法)と命名し、今後積極的に活用して各現場ニーズに合わせた運用を進めていきたいと考えている。

## 37. アスファルトプラント“RAV コンビネーションシステム”の開発

日 工(株)：蓬莱 秀人，\*藤原 和也，川村 克裕

### 1. はじめに

道路舗装業界において、平成3年のリサイクル法施行により、アスファルト舗装発生材いわゆる“リサイクル材”を新規骨材に一部混入する再生材舗装が一般的に認知された。その後、アスファルト舗装発生材の再利用率は増加の一途をたどり、今現在では80%以上が再利用されている。それに伴い、アスファルト舗装発生材を乾燥加熱し、新規骨材に適量混入してアスファルト合材を製造するリサイクルプラントが急速に普及していった。しかしながらアスファルト舗装発生材を乾燥加熱するリサイクルドライヤは、その特性上、新規骨材を乾燥加熱するパージドライヤよりも熱効率が劣る事と、リサイクル材の乾燥加熱過程において発生するアスファルトの揮発成分（悪臭成分）が、排ガスと共に排出され、場合によっては悪臭公害へと発展する事が、課題となっていた。

悪臭対策として、本格的な直接燃焼式脱臭炉を設けたリサイクルプラントも増えつつ有るが、設備費が高む事と脱臭のために余分に燃料を消費する事が、脱臭炉普及への障害となっている。

骨材の乾燥加熱に使用される化石燃料の低減並びにCO<sub>2</sub>削減と、悪臭防止等の環境面への配慮を両立させる事こそ、建設廃材のリサイクル化を推進する上で、最も切望される課題と言えるであろう。

道路舗装業界各社、又関係研究機関におかれては、常温、低温合材等の新規開発によりアスファルトプラントでの使用燃料削減の研究が進められているようである。



写真-1 RAV コンビネーションシステム



当社はプラントメーカーの立場から、これらの課題に対して積極的に研究開発を行っており。その結果、直接燃焼式脱臭設備を備えながらも、燃料使用量を従来比 20%削減可能とした複合リサイクルアスファルトプラント“RAV コンビネーションシステム”を開発する事ができた。平成 9 年 1 月より約 1 年間の実験機による基本性能試験を経て、平成 10 年 2 月より実機による実用運転に入り、現在まで順調に稼働を続けているので、ここに紹介する。

## 2. 従来の技術と製造装置

従来の再生アスファルト合材製造用の乾燥加熱装置は、バージンドライヤーとリサイクルドライヤー、並びにそれぞれ専用のバーナーを 1 台ずつ備えている。それぞれのロータリーキルン式ドライヤーで約 160~170℃に加熱されたバージン骨材とリサイクル骨材は、配合設計の割合に計量され、ミキサー内で添加されたアスファルトと共に混練し、再生アスファルト合材として道路工事現場に運ばれ舗装施工される。この工程の中で、リサイクル材がリサイクルドライヤーで加熱される時にドライヤーから排出される排ガス温度は約 180℃となり、バージンドライヤーの約 120℃に比べ温度が高い。これはドライヤーの加熱方式の違いによるものであるが、高温の排ガスを煙突より排出する為、リサイクルの熱効率はバージンより悪く、バーナーの燃料使用量がその分多くなってしまう。

又、0~13mm に破碎されたリサイクル材を、リサイクルドライヤー内で約 600℃の熱風に直接さらして加熱するプロセスである為、特有の悪臭が排ガスに含まれてしまう。バグフィルター等の集塵機で緩和されるが、残存する臭気が煙突から排出され、周辺環境への問題となる事も多い。(図-1 参照)

このような臭気問題の対策としては、リサイクルドライヤーから出た悪臭排ガスを脱臭炉内に導き 700℃以上に昇温する事により、悪臭成分を酸化分解する“直接燃焼式脱臭炉”を設置するプラントも増えつつある。この場合脱臭炉から出た排ガスは熱交換器で熱回収されるものの、約 350℃の排ガスが煙突から無効熱として排出される為、熱効率は脱臭無し方式より更に悪化する。この事が脱臭炉の普及への障害となっていた。(図-2 参照)

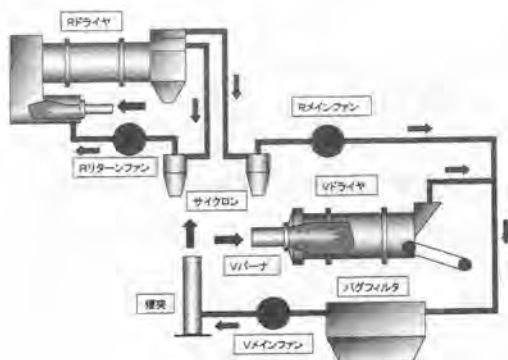


図-1 従来脱臭無し方式フロー図

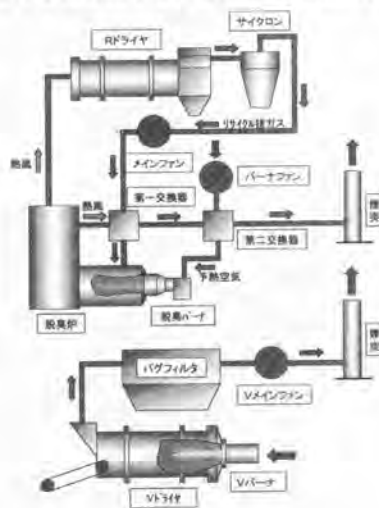


図-2 従来脱臭方式フロー図

### 3. 開発コンセプト

燃費、臭気、省スペース等の問題を解決すべく、開発コンセプトを以下の様に設定した。

- ① 省エネルギー化 — 燃費従来比20%削減
- ② 排出臭気濃度低減 — 臭気濃度1000以下
- ③ 省スペース化 — 階層式レイアウト

この開発目標を同時に達成する為には、従来方式の改良では不可能であるとの考えより、“RAV コンビネーションシステム”の構想を具現化し、開発する以外に方法は無いと判断し、今回の製品化に至った。

### 4. RAVコンビネーションシステムの概要

RAVは Recycle And Virgin の略であり、リサイクルドライヤーとバージンドライヤーの加熱工程を一つの流れとしてコンビネーションさせた工法という意味が含まれている。

従来リサイクルドライヤーとバージンドライヤーそれぞれが別のフローでバーナーによる加熱、排ガス処理というプロセスをおこなっていた為、それぞれの排ガスは廃熱として無駄に捨てられていた。RAVコンビネーションシステムでは、リサイクルドライヤーと脱臭炉の間を循環回路にしている事が大きな特徴である。リサイクルドライヤーの熱源は脱臭炉から供給され、その排ガスは再び脱臭炉に戻っていくのである。この事により、排ガスが系外に出る事が無く、リサイクル排ガスによる熱損失はゼロになる。その上、リサイクル排ガスは脱臭処理される事により、悪臭成分は酸化分解される。この仕組みにより、廃熱を最小限に抑える事と、リサイクルドライヤーからの排ガス脱臭を両立させる事を可能とした。

又、脱臭処理後の熱風は全てバージンドライヤーへ送り込まれ、バージン骨材の乾燥加熱を行なう熱源として二次利用される。バージンドライヤーの熱効率は80%以上有る為に、排ガス温度は約100~120°C程度まで低下する。以上のような工夫により、骨材加熱に関する熱効率は従来のものに比べ格段に向上させる事を実現した。又最終的に煙突から排出される排ガスは、バグフィルターにて集塵処理され清浄化されたものである。(図-3 参照)

プラントの主な装置構成は、バーナー、脱臭炉、バージンドライヤー、リサイクルドライヤー、バグフィルター、ファン、又各装置をつなぐ煙道、煙突からなっている。(写真-2,3,4 参照)

又、バージンドライヤーのみの運転パターンの場合は、リサイクル遮断弁を閉める事によりリサイクルドライヤーへの熱風を遮断するようになっている。

省スペース化の観点から、従来はバージンドライヤーとリサイクルドライヤーがそれぞれ別々に平面的に設置されていたものを、一つの架台内で立体的な階層状のレイアウトに設計する事で、大変コンパクトなプラントに仕上げる事ができた。従来と同型機種と比較して、約16%専有面積が削減されている。

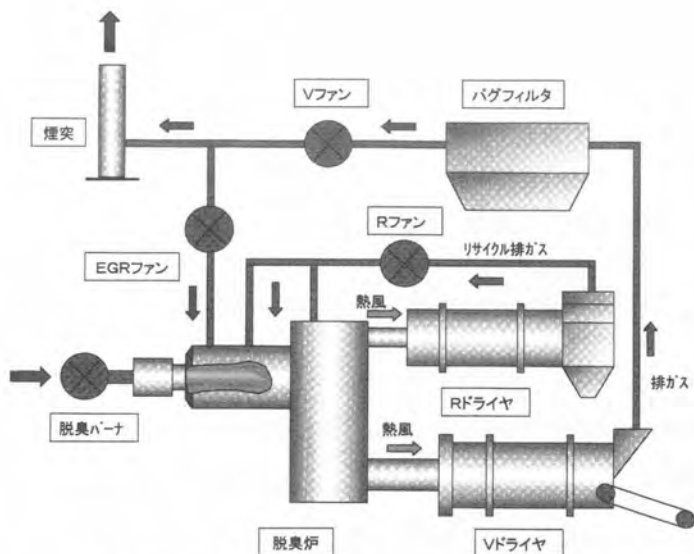


図-3 RAVコンビネーションシステム フロー図



写真-2 RAVコンビネーションシステム全景



写真-3 バーナー及び脱臭炉



写真-4 ドライヤー

## 5. 制御システム

制御システムは、バージン骨材温度、リサイクル骨材温度、炉内圧力、炉内温度その他の制御を 11 台の PID 調節計を用いて、制御を行っている。又従来の骨材温度制御では、骨材供給量の急激な変動等の外乱が有った場合、実際の骨材温度が目標設定温度から外れたのを受けてから、修正をかけるフィードバック制御であった為、一時的に骨材温度が目標設定温度とずれてしまう事があった。これを改善する為、骨材供給量の変動が行われた時点で、即座に予測して制御動作を行う事により、骨材温度が常に一定に保たれるようにする予測制御（フィードフォワード制御）を取り入れた。これにより、骨材温度が常に一定に保たれ、より品質の良いアスファルト合材を製造する事が出来るようになった。（図-4,5 参照）

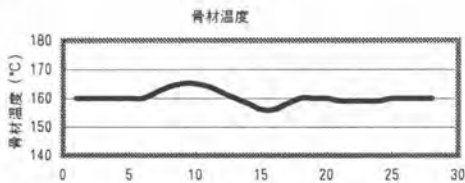


図-4 従来制御

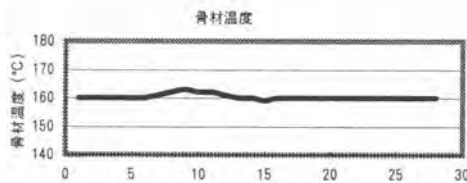


図-5 予測制御

プラントのオペレーションに関して、従来はリサイクル併用運転を行う時は、リサイクルドライヤ側のバーナーをその度に着火し、リサイクルプラントの運転立ち上げ作業を行わなければならなかったが、RAV コンビネーションシステムではボタン一つでリサイクル遮断弁の開閉を行なうだけでバージン単独運転とリサイクル併用運転の切換が即座にできるようになった。プラントオペレーターは、骨材加熱工程に気を取られる事無く、合材の出荷作業に専念する事ができ、プラントオペレーションの負担を大幅に軽減することが出来た。（写真-5,6 参照）



写真-5 集中操作盤



写真-6 操作盤モニター画面

## 6. 運転データ

平成 10 年 2 月より RAV コンビネーションシステムにて実用運転を開始後、100 日以上運転を行った結果、以下のようなデータを得た。

表-1 運転データ

	RAV コンビネーションシステム	従来脱臭方式 (参考データ)	従来脱臭無し方式 (参考データ)
最大能力	(バージン) : 96 t/h (10°C→170°C) (リサイクル) : 45 t/h (10°C→160°C) (トータル) : 141t/h		
排出臭気濃度	1000 以下	1000 以下	5000 以下
燃費 A 重油(L/t)	7.4	9.3	8.7
熱効率(%)	91	72	77
CO <sub>2</sub> 排出量(Kg/t)	20.5	25.8	24.1

(\*燃費は安定運転時のデータで、運転前の予熱等は含んでいません。)

表に示す通り、従来システムに較べ排出臭気濃度、燃費共に大変良好な結果を得る事が出来た。特に燃費、CO<sub>2</sub>排出量に関しては、従来の脱臭方式と比較して約 20%の削減を可能とし、RAV 開発当初の目標をほぼ達成する事が出来た。又、従来の脱臭無し方式と較べても、約 15%の燃費削減となっている。今まで脱臭設備を付ければ燃費が悪化するの仕方がないという常識がくつがえされ、これからは、脱臭装置を付ければ燃費も良くなるという事である。周辺地域との調和を考えれば、脱臭装置付きのリサイクルプラントへの切換を行いたいが、燃費は悪化させたくないと考えられていたユーザーの悩みは一気に解決する事ができるであろう。

## 7. おわりに

現在、RAV コンビネーションシステムに関して、ラインナップ拡充のシリーズ化を進めている。出荷能力別に、今回のトータル 141(t/h)を中心に 90(t/h)、180(t/h)のプラントを揃える事を予定している。

今後、RAV コンビネーションシステムが普及し、多くのアスファルト合材工場でアスファルト廃材の再利用が最小限の燃料と、環境への配慮を両立させながら行われるようになる日を、心から願いたいと思う。

## 38. 大型遠隔操縦除草機械の開発

建設省北陸技術事務所：上杉 修二，\*小泉 倫彦，大崎 智  
(株)クボタ：渡辺 誠

### 1. はじめに

堤防除草作業は、生産性・経済性の向上を目的として機械化施工が進められ、大型法面自走式草刈車、ハンドガイド式草刈機、小型遠隔操縦式草刈機などが導入されている。しかし、法面勾配が急であり機械の転倒の危険がある、石張り等の法覆により機械による作業が行えないなどの問題から、北陸地建管内の施工面積の約45%、堤防除草施工費の約75%は肩掛式による人力施工となっている。

近年、「建設コスト縮減」の施策から除草作業の一層の効率化が望まれているが、現在導入されている機械のうち最も作業能力が大きく、施工費が安価な大型法面自走式草刈車は、搭乗式であり転倒等の危険防止のため、施工範囲が法面勾配1:1.8より緩やかな堤防に限定し使用している。

さらに、現在導入されている大型法面自走式草刈車は、メンテナンス費用が多大にかかることや、騒音・振動・作業姿勢等によるオペレータの苦渋も大きいなどの課題があり、その改善が望まれている。

そのため、大型機械の施工面積を拡大することによる堤防除草施工費の低減、メンテナンス費用の削減、作業員の安全性の向上、苦渋作業の低減を目的として、大型遠隔操縦除草機械（写真-1）の開発を行った。



写真-1 開発機全景

### 2. 開発の概要

開発にあたって、①作業の効率化・②経済性・③安全性・④苦渋性の現状における各々の問題点を抽出し、それに対する具体的な対応策の検討を行い、次に示す開発目標を設定した。

- ① 未改修堤防などの平均勾配である1:1.4程度の勾配で除草作業を可能とする。
- ② 最高作業速度5.0km/h以上を確保し、除草作業の効率化を図る。
- ③ 構造及び部材の検討により、日常点検項目を簡素化し、定期整備時の整備工数の削減を図り、メンテナンス費用を大型法面自走式草刈車の50%に低減する。

また、大型法面自走式草刈車、小型遠隔操縦式草刈機の改良要望、故障状況等現場の現状を調査し、その結果をもとに概略仕様の作成、各制御機構の検討を行い、開発機の詳細設計、製作を行った。開発機の基本仕様を表-1、図-1に示す。



表-1 基本仕様

除 草 幅	1.850mm	草 刈 装 置	ハンマーナイフ式
最大除草法面角度 (等高線作業時)	40度	機 関	水冷ディーゼル機関
最大登坂角度	45度		49.3kW (67PS)
最高走行速度	6.5km/h	草 刈 装 置	ハンマーナイフ式
作 業 速 度	0~5.5km/h	走 行 装 置	ニードレスゴム履帯
全 長	4,850mm		左右独立軸圧駆動
全 幅	2,050mm	遠隔操縦装置	産業用770MHz周波数
全 高	1,280mm	付加制御装置	直進走行制御装置
車両総重量	2,680kg		刈高さ制御装置

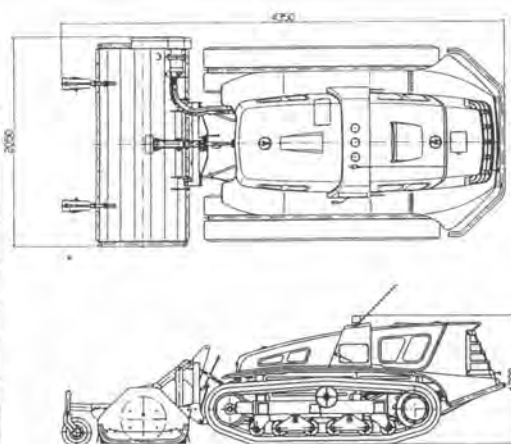


図-1 開発機の形状・寸法

### 3. 開発機の特徴

#### 3.1 無線遠隔操縦機構の採用

従来の搭乗式に代わり無線遠隔操縦機構を採用することにより、オペレータの安全性向上と、苦渋作業の低減を図った。

使用する電波は、産業ラジコン用周波数(73MHz帯)を採用することにより、一般に使用されている「ホビー用電波」との混信による誤動作を解消した。

この無線遠隔操縦機構の採用と、車体幅の拡大、低重心設計、横滑り対策としてクローラの専用パターンの開発により、従来は機械化が行えなかった未改修堤防などの、平均勾配が1:1.4程度の急勾配での作業を可能とした。性能試験結果では、作業速度が低下するものの最大1:1.2の勾配でも作業が行えることが確認できた。

#### 3.2 低重心の設計

車両幅の拡大、低重心設計、横滑り対策としてクローラの専用パターンの開発により、従来は機械施工が行えなかった未改修堤防などの、平均勾配が1:1.4程度の急勾配での作業を可能とした。

#### 3.3 刈り幅を1.85mに拡大

作業能力( $m^2/h$ )を向上させるため、機械の運搬に使用するトラック(4t)の荷台幅で機械を設計し、刈り幅を従来大型法面自走式草刈車の1.6mから1.85mに拡大した。

#### 3.4 直進走行制御機構の開発

法面上で縦断方向に等高線作業を行う場合、機械は自然に法尻の方へ下降するため、刈り残しや、ラップ代が増加するなどの問題がある。そのため、大型法面自走式草刈車では、機械の直進性を確保するため、オペレータは法面の傾斜角に応じ修正操作をする必要があった。

開発機は遠隔操縦機構の採用により、オペレータは機械に搭乗せず遠方から操作するため、オペレータの操作では修正操作が間に合わず、直進性を確保するために作業速度を落として作業を行うことが懸念された。そのため、図-2に示す直進走行制御機構を開発し、オペレータの修正操作を自動化することにより、等高線作業時における直進性を確保し、作業の高速化とオペレータの修正操作回数の低減を図った。



操作回数の低減を図った。

制御機構は、左右のクローラからの実回転数と、傾斜センサによる車体の傾斜角を検出し、傾斜角度に応じて山側の履帯を数%遅く自動制御することにより、傾斜地での直進性を確保する機構とした。

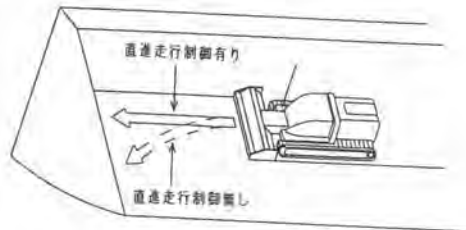
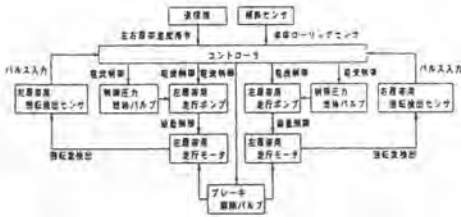


図-2 直進走行制御

### 3.5 刈高さ自動制御機構の開発

草刈機は、車体に作業装置を一定の高さで保持しているため、施工法面に凹凸がある場合や平坦地から傾斜地への移行時には、刈刃が接地して土削りを生じたり、必要以上に地面から離れて刈り高さが不均一になる。そのため、オペレータは土削りを防止し、均一な出来形を確保するため、施工法面の凹凸に対応し、作業装置の昇降操作が必要である。

開発機では無線遠隔操縦機構の採用により、法面の凹凸に対応した操作が難しく、また、法面の凹凸を確認しながら作業を行うと作業効率が低下する。

そのため、図-3に示すように施工法面の凹凸に作業装置を自動的に追従制御する、刈高さ制御機構を開発し、作業速度の高速化を図った。

制御機構は、作業装置の吊り上げシリンダ内の圧力を検出し、その圧力を一定値に保つことで、作業装置を法面等の凹凸に自動的に追従させる機構とした。

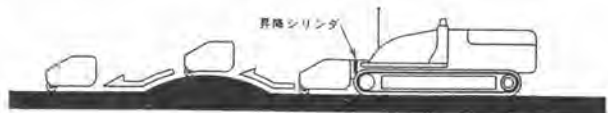
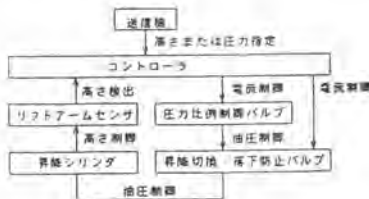


図-3 刈高さ制御

### 3.6 メンテナンス性向上に関する検討

メンテナンスには、現場で実施する日常点検とシーズン終了後に実施する定期整備・修理に大別される。今回の検討では、日常点検の容易化と、定期整備を含むランニングコストの低減について行った。また、不具合発生時の各データを基板に記憶させることにより、サービスマンへの情報量を増やしメンテナンス時間の短縮を図った。

#### ① 日常点検の容易化

日常点検項目は、オイル関係の点検・補充、ベルト等の点検・調整、各部のグリスアップ等が挙げられる。点検をするためには、ボンネットの開閉方向に影響を受けることから、前後のボンネットを開くことにより点検可能な機器レイアウトを設計した。また、メインスイッチや、アクセルレバー等機械を操作するためのスイッチ類を、外部パネルに集中配置し、操作の容易化を図った。

#### ② ランニングコストの低減

大型法面自走式草刈車は、毎年の定期整備・修理費が平均1,300千円/台（クローラの交換費用を除く）の費用が必要であり、開発機では、この費用削減のため、下記の内容を設計開発し、年間の整備・修理費を650千円以下、整備工数を50時間以下とする開発目標を設定した。

#### ③ データ記憶装置

従来、不具合原因を特定するのに発生時の状況が不明確のために多大な時間がかかっていた。そこで、制御装置に不具合時のデータを記憶できる基板を埋め込み、サービスマンへの情報量を増やしメンテナンス時間の短縮を図った。

### 4. 除草性能試験

#### 4.1 除草速度

北陸地建管内の法面勾配1:1.5～1:2.0程度の堤防において、作業能力試験を実施した結果、除草速度の平均は4.5km/hであった。また、1:1.8以上の勾配では、平均5.1km/hであり、開発目標としていた5.0km/h以上は確保できたと考える。また、最高除草速度は6.1km/hであった。

#### 4.2 作業能力

作業能力は、日当たり施工量8,800㎡であり、従来の大型法面自走式草刈車の7,692㎡に対し、15%程度の能力アップとなった。



写真-2 作業状況

### 5. まとめ

開発機は平成9年度に建設省北陸地方建設局信濃川工事事務所に1台、平成10年度には建設省北陸地方建設局管内に4台の導入を行いました。今後は本機が、堤防除草作業の主力機種として大いに普及していくことが期待される。

最後に、開発にあたって、北陸技術事務所との共同開発会社である㈱クボタと、調査等に御協力頂いた多数の関係者に感謝いたします。

# 39. LMP工法～浚渫土固化圧送工法～

東洋建設㈱：鏡田 昌孝，\*佐々木 康裕

## 1. まえがき

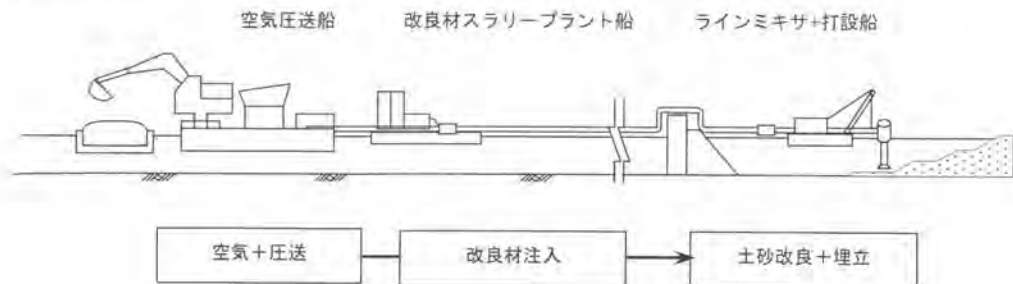
最近の埋立工事では、埋立地の供用開始を促進させる工法として加水を行わず搬送する空気圧送工法の導入や、セメント等による埋立土砂の大量固化処理が増加する傾向にある。またコストの低廉化と埋立地の早期供用化技術が要求されている。浚渫土を利用した埋立工事のうち、空気圧送工法による施工は、浚渫土の物性を変えず搬送することができるため、埋立地の早期供用開始に有効である。またこの工法は、管内に圧縮空気を注入することにより搬送力を得ており、その結果管内を移動する浚渫土砂は、搬送空気に押されプラグ（栓）を形成することが知られている。LMP（ランプ）工法は、そのプラグ流の形成と崩壊を繰り返す管内混合効果に着目し開発された管中混合工法である。

以下に、ランプ工法の特長ならびに性能について報告する。

## 2. LMP 工法の概要

### 2.1 工法の概要

本工法は、空気圧送中の浚渫泥土に対し適正な改良材を注入混合することにより、埋立地の利用に必要な地盤強度を与え、浚渫工程終了とほぼ同時に供用を開始する事を目的とするものである。また強固な地盤から作業性を確保する程度の改良まで、利用目的に応じて改良材の種類と添加量を選択し、改良強度を調整することが出来る。このため埋立後の地盤改良を大幅に削減することが可能となり、従来の事前混合などにみられる、専用混合プラント船などの諸設備を必要とせず、簡易な機構による埋立が可能である。本工法を埋立工事に使用した場合のシステムフロー図を以下に示す。またシステムの基本構成は、空気圧送施設による空気圧送と、改良材のミルクプラント製造および注入設備、搬送管路上の注入管ならびに LMP 型ラインミキサの三部に分けることが出来る。



### ① 空気圧送設備

浚渫土の場合海上を運搬された土砂はバクツ等により揚土され、振動篩スクリーンにおいて異物の除去が行われ、土砂受槽から加圧ポンプを経て管路内に押し出される。そこで注入される圧縮空気によって空気圧送状態となり管内を搬送される。

### ② 固化材スラリープラント

地盤改良工事で汎用的に使用されるスラリープラントである。送泥量と改良材の添加率に見合う製造能力と注入ポンプを装備している。プラント規模としては  $20\text{m}^3/\text{h}$  (スラリー製造能力) を基本にしている。

### ③ 管路上の注入管及び LMP

#### 型ミキサ

管路上に改良材のスラリーを注入する注入管と新規開発した LMP 型ミキサを設置する。LMP 型ミキサ構造については以降に説明する。

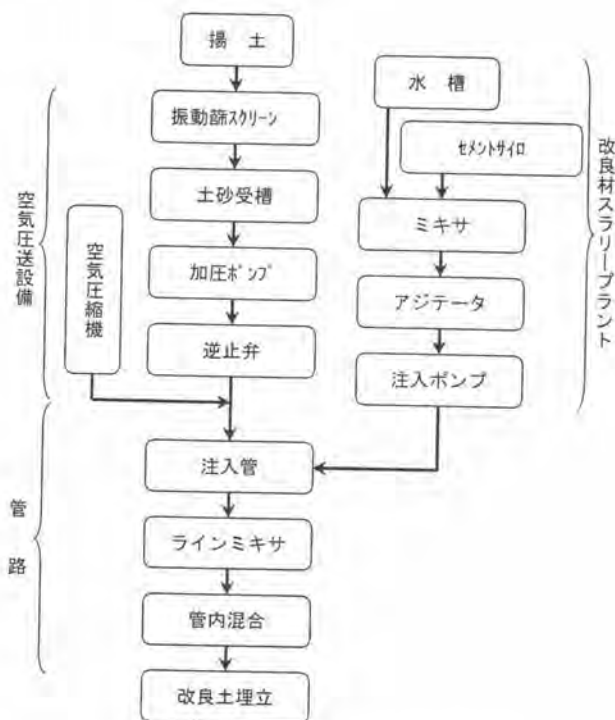


図-2.1 LMP システムフロー

## 2.2 工法の特長

本工法は、管路上で空気圧送中に示す土砂の搬送挙動を利用した土砂改良である。空気圧送工法は、管内に圧縮空気を注入することにより単位当たりの管内土砂重量を軽くし、かつ圧縮空気の膨張エネルギーを搬送力に利用するところに特長がある。このため従来のポンプ搬送では送ることのできない低含水の土砂が搬送可能となる。空気搬送中の土砂は、搬送空気に押されプラグ（栓）を形成し搬送される。搬送土砂は、プラグ流の形成と崩壊を繰り返し進行するため改良材と混合効果を期待することが出来る。以下に本工法の特長を示す。

- ① 管内を移動する流体エネルギーを利用した混合方式のため、特別な混合機構を使用せずに搬送と同時に連続的に改良処理が行われる。
- ② 搬送土砂と改良材との混合に必要な距離を、LMP 型ラインミキサを利用することにより短縮することが可能である。
- ③ 適切な改良埋立地盤が必要とする地盤強度に応じ改良材の種別、添加量を調整し必要強度を確保することが出来る。

- ④ 改良材スラリープラント、注入設備およびラインミキサユニットのみの構成であるため、簡易な設備での施工が可能である。
- ⑤ 改良材の添加方法がスラリー方式のため改良材の供給が安定し施工管理が容易であり、混合効率も良い。

### 2.3 LMP 工法の混合機構

LMP 工法の混合機構は、改良材を注入された土砂が管内を移動するに連れてプラグ流の成形と崩壊により混合される管内混合効果と、ラインミキサ混合効果に分けることができる。LMP 型ラインミキサは必要な管内混合距離を得ることのできない場合や、必要以上に管内への改良材の注入範囲を広げたくない場合などに使用する。

表-2.1 LMP 工法混合効果

混合効果	混合機構
管内混合効果	プラグ流状の成形と崩壊を繰り返すことにより生じる乱流状態の混合効果
LMP 型ラインミキサ効果	ラインミキサにより強制的にプラグ流を崩壊する混合効果

圧送中の浚渫泥土に改良材を混合する場合、十分な管内混合効果を得るためには、ある一定の長い距離が必要である（実験により確認）。しかし管内混合区間が長い場合、管内清掃や施工手順の変更に対し、時間と労力を必要とし輸送能力の低下も懸念される。本工法では、送泥ライン上に、改良材注入後に、新型のラインミキサを配置することにより、管内混合区間の短縮化をはかっている。また注入ノズルをラインミキサの直前に設けることによりプラグ流状が崩壊する箇所への改良材の均等な添加を可能にした。また間欠注入システムを採用することにより、気層部への改良材の注入を防止しさらに混合効率を高めることも可能となる。図- 2.2 に標準 LMP 型ミキサ構造図を示す。

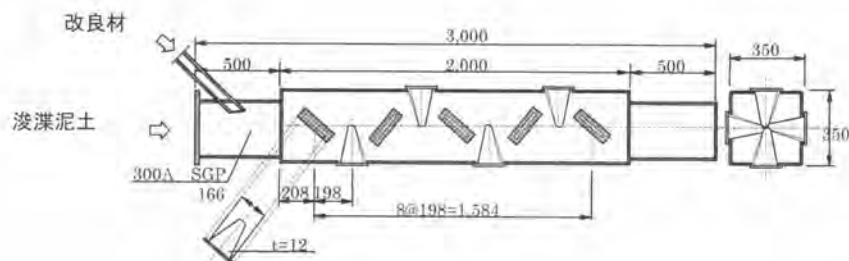


図- 2.2 LMP 型ラインミキサ 250 型構造図

### 3. 工法性能の概要

小規模フィールド実験や室内モデル実験を踏まえて、本工法の特徴を確認するために実施した陸上、海上実験の結果を述べる。陸上実験は、埋立地の余水処理池に堆積した泥土を空気圧送し、天日乾燥を目的とした揚土工事の配管を分岐し固化改良処理を行った。また海上実験では、簡易水中打設船を使用し埋立護岸の内部に埋立土砂の漏出防止を目的とした腹付工を、管中混合改良土により築造した実験である。

#### 3.1 使用土砂性状

陸上実験で用いた泥土は、埋立余水処理場での堆積土砂である。

土質物性は表-3.1に示す通りである。搬送土砂の含水比は施工日や、圧送状態の変動ごとにつれて変動したがおおむね170%~230%であった。海上実験で用いた泥土は、航路浚渫による粘性土である。含水比はおおむね一定しており95%~110%の値であった。

表-3.1 使用土砂物性

試料番号		陸上試験	海上試験
湿潤密度 $\rho_t$	g/cm <sup>3</sup>	1.262	1.460
自然含水比 W <sub>n</sub>	(%)	182.5	99.6
砂礫分	(%)	17	4
細粒分	(%)	83	96
液性限界 WL	(%)	53.3	72.8
塑性限界 W <sub>p</sub>	(%)	28.9	29.6
土のph		8.1	7.2
強熱減量	(%)	—	7.8

#### 3.2 陸上実験概要

管中固化処理した改良土は、陸上部に築造した実験用ポンド（延長約30m, w=10m, h=1m）内に打設した。実験ケースは4つのポンド毎に、LMPミキサの有無、また改良材の注入から吐出口までの距離を変えて行った。表-3.2に実験諸元と設備を示し、実験ケースを表-3.3に示す。圧送装置は、当社保有の技術である負圧式高濃度浚渫機「ケーサーホップ」（円筒型二胴式負圧吸泥型ホップ）を使用した。

表-3.2 陸上実験ケース

実験ケース	改良材添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	LMP型ミキサの有無	改良距離※ (m)
No.1	110	無し	6
No.2	150	あり	6
No.3	130	無し	30
No.4	110	あり	30

※改良材の注入位置から吐出口までの距離

表-3.3 陸上実験諸元

実験設備	規格・性能	数量
全自動ミキサラント	30m <sup>3</sup> /h	1基
ケラトホップ	25m <sup>3</sup> /h	1台
負圧吸泥型ホップ		1式
コンプレッサー	190ps	2台
LMP型マイミキサー	250型	1式
圧送土量		計 600m <sup>3</sup>
送泥量		平均 100 m <sup>3</sup> /h
排送管径		φ 250 mm
配管長		約 120m
使用改良材		高炉セメントB種

### 3.3 海上実験概要

実験の目的を腹付け断面の形成（主に法勾配）と水中での強度確保に置き、本工法での実証を行った。実験諸元を表-3.4に示す。空気圧送設備として宇部式高速スクルー方式の YU-300 型を使用した。処理土の水中への投入は搬送圧縮空気と分離シリンダ管により行った。（水深最大 5.0m）  
腹付け工として法勾配を確保するために、水中打設処理土の初期強度の確保が要求された。

表-3.4 海上実験諸元

実験設備	規格・性能	数量
全自動ミキサプラント	20m <sup>3</sup> /h	1基
ダクトポンプ	20m <sup>3</sup> /h	1台
空気圧送機	200m <sup>3</sup> /h	1式
コンプレッサー	190ps	4台
LMP型ラインミキサ	450型	1式
圧送土量		計 1,000m <sup>3</sup>
送泥量		平均 100 m <sup>3</sup> /h
排送管径		φ410 mm
配管長		約 300m
使用改良材 添加量	高炉セメント B種	100kg/m <sup>3</sup> (30, 50, 70kg/m <sup>3</sup> )

## 4. 改良結果

### 4.1 陸上打設での改良効果

#### ① ポンド内強度

管中混合による処理土を吐出したポンド内の強度分布を図-4.1に示す。室内配合に強度に対しポンド内では大きなばらつきはなく強度比は約 0.6~0.8（平均=0.7）であった。

#### ② ラインミキサ効果

次にラインミキサの設置による混合効果について図-4.2に示す。改良距離（セメントを注入してから吐出されるまでの距離）が 10m 未満の場合強度比は大きく変動するが、30m を超えることにより変動幅は小さくなった。またラインミキサを使用した場合の方が未使用に比べ高い混合効率を有することが分かる。

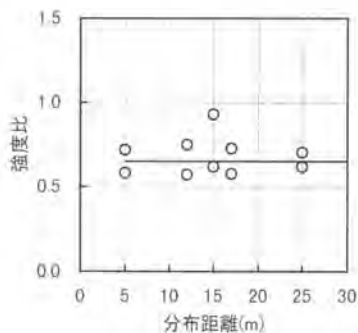


図-4.1 ポンド内における強度分布

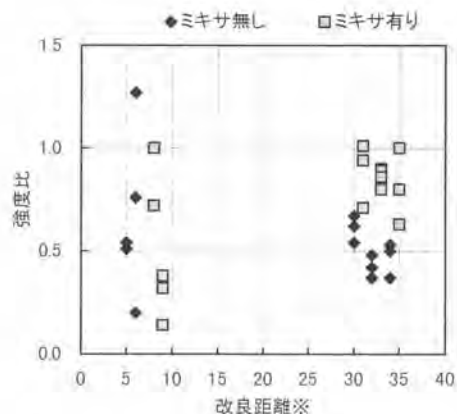


図-4.2 LMP ミキサによる混合効果



#### 4.2 水中打設での改良効果

水中打設実験では法勾配を確保することに重点をおいたため、短期強度を確保する必要から添加量が高くなっている。改良材添加量  $100\text{kg/m}^3$  での強度試験結果を以下に示す。図- 4.3は現地試料採取強度を室内配合強度との比で現したものである。この結果おおむね気中採取強度比は0.6~0.8程度、水中打設強度比は、0.3~0.5程度であった。図- 4.4に、室内配合強度と気中採取強度、水中打設強度結果を示す。

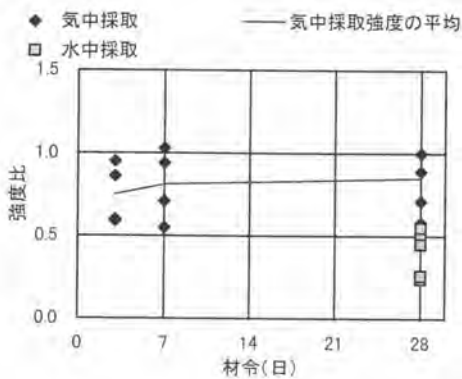


図- 4.3 水中打設強度比

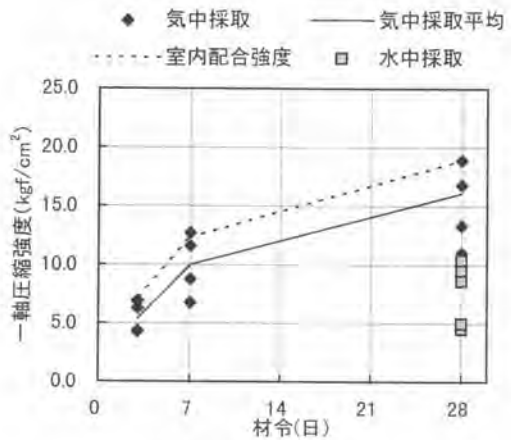


図- 4.4 気中水中強度発現

#### 5. まとめ

本工法の特長を実験結果に基づき整理を行うと、以下の通りである。

- ・混合効率は0.6~0.8 (水中打設はその1/2)
- ・固化材注入位置は吐出口から概ね管径の100倍~200倍が必要と思われる。

性能はプラント混合方式に比べ低いものの、対象工事として想定している埋立地盤築造工事への適用においては十分な性能を有していると考えられる。

# 40. ORタイヤのモデル化に関する一考察

愛媛大学：室 達朗  
明石工業高等専門学校：\*江口 忠臣

## 1. まえがき

各種建設車両の路外通過性と走行性能について走行装置と地盤材料との相互問題を力学的に説明することは、建設現場における土質特性に適合した建設車両の選定と作業能力向上をめざした新しい建設車両の位置決めシステム開発に有益な指針を与えるものである。

建設車両と地盤材料の重要な接触部であるORタイヤは数種の材料で構成されており本来複合材として扱わなければならないが、地盤材料との接触を考察する場合これらすべてを考慮すると多数の因子を導入する必要がある。したがって数値シミュレーションを行う場合に単純化し合理性を得るかということである。先に筆者は実際のタイヤから得られる荷重-たわみチャート（以下たわみチャート）からタイヤの等価弾性係数を逆解析的に推定する方法に等価弾性体間のばね要素を考慮したモデルを示した。<sup>1)</sup> 上記の方法は最終的に順解析後のたわみ-接触長の関係がたわみチャートに追従していることを確認することによってそのモデルの妥当性を検証している。

本報では機械要素としてはばねに分類できるタイヤの変形および地盤との接触状態を考慮し、より柔軟にその状態を表現することが可能であると推察されるRBSM (Rigid-Body Spring Model) をタイヤに適用し変形解析を行った結果を示す。

## 2. モデル作成

### 2. 1 タイヤの構造

タイヤは図-1および表-1に示す構造部位と構成材料から成っており、空気を充填しない状態ではそれ自体荷重を支えることはできない。ORタイヤに要求される機能としては、高荷重下で走行可能であり、走路の凹凸による衝撃緩和、駆動力および制動力を確実に路面に伝達することが挙げられる。

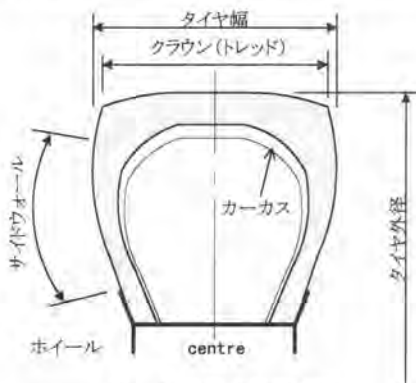


図-1 タイヤの構造

表-1 タイヤの構成材料

構造部位	主な構成材料
カーカス	木綿、ナイロン、レーヨンポリエステル、ゴム
クラウン	ゴム（耐摩耗、耐衝撃、耐熱）
サイドウォール	ゴム（耐屈曲、耐候）
ブレーカ	ナイロンコードスチールコード
ビード	鋼線

## 2. 2 モデル化の仮定

モデル作成にあたっては以下の仮定を設けた。

- (1) タイヤはトレッド部とサイドウォール部に単純に分割できる。
- (2) トレッド部はゴム体、サイドウォール部は内圧をうける薄肉円筒容器として表すことができる。
- (3) モデルの妥当性を検証するため接触路面は剛路面とし、リップ、ラグは変形に影響しない。
- (4) 空気圧は一定とし、ゴムのポアソン比は0.48とする。

## 2. 3 RBSMの適用

今回のモデルは前節の仮定のごとくトレッド部とサイドウォール部に分割それぞれにRBSMを適用する。ただしサイドウォール部は変形による軸方向への膨らみを考慮しないので、サイドウォールそのものの曲げ剛性をふくめた薄肉円筒容器としている。

RBSMでは図-2に示すように隣接する2要素間にばねを設定し、そのばねを通して力が伝わるものと考えている。ばねは垂直方向相対変位( $\delta_n$ )に抵抗するばね( $k_n$ )とせん断方向のすべりに対応する相対変位( $\delta_s$ )に抵抗するばね( $k_s$ )を考える。そして相対変位( $\delta_n, \delta_s$ )と単位面積当たりの表面力( $\sigma_n, \tau$ )との間にはばね系の力学の関係が成立しているものとしてモデルを作成している。

今回作成したモデルは図-3に示すようにタイヤを円筒容器にゴムを巻いた形のものとしている。その特徴は荷重による変形は円筒容器が受け持つということである。

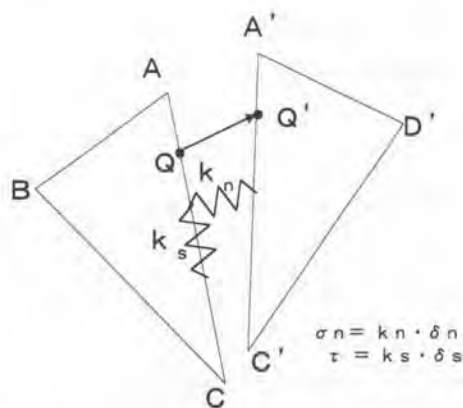


図-2 RBSMにおける2要素間のばね

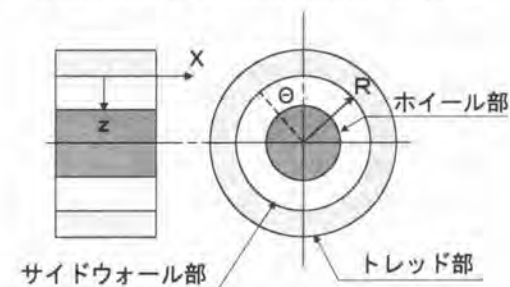


図-3 タイヤモデルと座標系

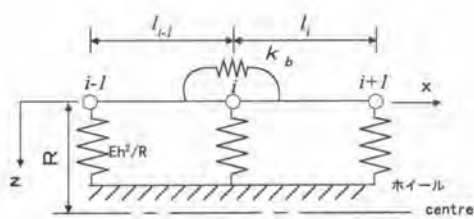


図-4 サイドウォール部のモデル

タイヤの変形はホイールによって支えられているので軸より接地面側の変形を考える。この場合円筒容器の変形は荷重Pを受ける軸対称時の変形とおなじく次の微分方程式により表されるものとする。<sup>(2)</sup>

$$D d^2 z / d x^2 + E h z / R = P$$

$$\text{ここに } D \text{ は、 } D = E h^3 / 1.2 (1 - \nu^2)$$

与えられる曲げ剛性である。E、h、 $\nu$  はそれぞれ円筒容器の弾性率、厚さ、ポアソン比である。

モデルの曲げばね  $k_b$  は  $k_b = 2D / (l_1 + l_2)$  で表される。

都井ら<sup>(3)</sup>が示した円筒モデルをタイヤサイドウォール部空気層に適用したものが図-4である。モデルは円筒を構成するカーカスに相当する部分を2分割し  $l_1$ 、 $l_2$  のはり要素とし、各要素に単位長さ当たり  $Eh^2/R$  の強さをもつばねを付加することにより得られる。付加されたばねは円筒の周方向の膜剛性を表している。ここではサイドウォール部がこの円筒に相当するものとして解析している。またトレッド部、サイドウォール部のゴム体は対象領域について図-2と同様の要素分割を行っている。

### 3. 解析結果の検討

今回計算に使用したタイヤの諸元は呼び9.00-20-14PR、空気圧350kPa、タイヤ外径および幅はそれぞれ1050mm、275mmである。ただしタイヤはリブ・ラグともないものとする。トレッド部の弾性係数  $E_t$  は13MPa、サイドウォール部の空気層の弾性係数は59MPa、サイドウォール部のゴム体の弾性係数  $E_s$  は11MPaを用いた。

これまでも指摘してきた通りタイヤ（ニューマチックタイプ）は空気を充填していない状態では荷重支持できない構造であり、その状態におけるトレッド部の弾性係数  $E_t$  とサイドウォール部の弾性係数  $E_s$  の比  $\alpha$  は  $E_s / E_t = \alpha \leq 1$  となることが望ましい。今回のモデルにおいてサイドウォール部の構造上の機能分担を明確にすることにより、見かけ上の弾性係数比  $\alpha$  も1以下となり問題点が解消されたといえる。

今回作成したモデルの計算結果とたわみチャートとの整合性を検証する。図-5に今回のモデルで計算した接触長-たわみ関係を示す。図中実線はたわみチャートを表し、既報の有限要素解析結果を併記している。計算値とたわみチャートを比較するとたわみ初期を除いてはほぼ良好な関係であると考えられる。これはモデル上荷重はサイドウォール部の円筒容器が受け持つということと一致する。

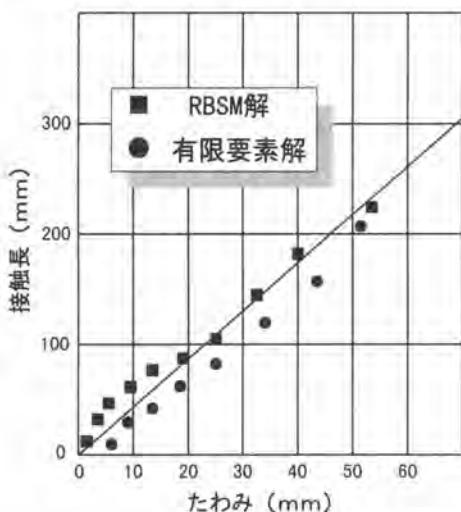


図-5 接触長-たわみ関係

また、常用たわみ域（20mm～40mm）においては今回のモデルについて良好な関係が得られて

たわみ初期における接触長の急激な増加は今回のモデルのトレッド部の剛性がサイドウォール部空気層の約1/5であることから、変形そのものがトレッド部でのみ生じていると考えることができるが、実際の挙動と合致している面がある。たわみが10mm以下においては依然としてたわみチャートとの一致をみていない点については、初期の変形がトレッド部で受け持つという構造上の特徴、すなわち接触路面の形状に追従して駆動力を路面に伝達する役割をゴム自身を持っていることから、今後ゴム単体の負荷試験等によって、たわみチャートとの不一致点を改善する必要があるかどうかを検討していかなければならない。

おり、静的変形状態の再現は十分になされているとみることができる。

このモデルにおける駆動開始時の挙動を第一段階として静的変形状態を再現し、第二段階として駆動トルクを伝達することにより解析した。図-6に変形状態を示す。破線は静的変形時の状態を表し、実線は踏み込み時の変形状態を表している。静的変形時は左右対称の圧縮変形をうけており、たわみ性車輪の特徴である接触面の増加がみられる。

踏み込み時の変形は進行方向側で更なる圧縮変形をうけており、まだ路盤と接触していない部分において法線方向への膨らみが認められる。タイヤの回転によってこの膨らみの部分が順次路盤と接触することになり、路盤側の変形を予測する上で重要な現象である。一方、進行方向反対側では接触部分の圧縮変形が解放される傾向にあり、路盤と接触していない部分においても伸長変形していることがわかる。

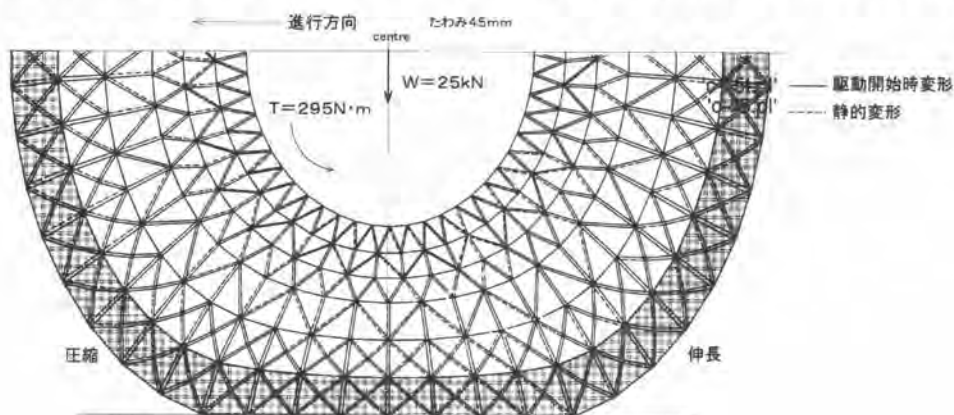


図-6 RB S Mモデルにおける変形状態

#### 4. あとがき

今回のモデルはタイヤ変形とのちに地盤との接触状態をシミュレーションすることを考慮し、本来非線形塑性領域を対象に考案されたRB S Mを静的変形においてはほぼ線形を示すタイヤの弾性変形に適用することを試みている。結果の検討でも記したように静的変形状態においてもこのモデルは十分にタイヤの挙動を再現している。このモデルの特徴はタイヤを荷重を支える薄肉円筒容器とそれを覆うゴム層で構成されている部材と考え、RB S Mを適用することにより多岐にわたる接触問題に対応できるということである。今後は地盤との接触状態の基礎データを収集し、走行性能予測に寄与するモデル構築を目指したい。

#### 参考文献

- (1)江口忠臣, 高橋宏直: ばね要素を考慮した2次元タイヤモデル, 明石高専紀要第38号, pp.35~39, 1995
- (2)都井裕: 鋼構造の離散化極限解析, 培風館, pp.140, 1990
- (3)都井裕, 川井忠彦: 円筒殻の解析のための新しい離散化モデル, 日本造船学会論文集第144号, 1978

# 41. 移動式クレーン転倒事故低減システムの開発

建設省関東技術事務所：小笠原 保，\*廣末 理恵

(株)小松製作所：大草 一昭

## 1. はじめに

我が国における最近の労働災害の状況を見ると、建設業における死亡者数は全産業の約40%を占めている。

特にクレーン等による死亡災害は、表1に示すとおり、業種別では建設業が、機種別では移動式クレーンが全体の4割強を占めている。

中でも、転倒事故については落下に次ぐ発生件数の多さに加えて、クレーンのオペレータだけでなく周囲への影響も甚大であることから、事故を抑止し、機体の安全性を向上させるものとして、「移動式クレーン転倒事故低減システム」の開発を行った。

表-1 クレーン等による業種別・機種別・原因別災害発生状況

業種	機種	固定式クレーン					移動式クレーン					その他・モレバツ等	合	
		塔式クレーン	橋脚クレーン	クレーン	クレーン	クレーン	トラッククレーン	クレーン	クレーン	クレーン	クレーン			
建設業	塔式クレーン	37	5	2	4	48	3	1				5	7	55
	橋脚クレーン													
	クレーン	2	4	3	3	22	10	22	19	19	1	58	8	66
	クレーン	3			2	4		4			1	3		10
	クレーン	1		1		2	1					1		3
その他	その他	6				8	2	2	2	3		9	6	23
	その他													
	その他	20	3	13	2	8	14	21	18	15	1	78	23	101
建設業以外の業種	建設業以外の業種	22	1	4	1	4	22	5	9	9		28	0	61
	建設業以外の業種													
	建設業以外の業種				3	4	2	1	1	1		4		11
	建設業以外の業種	28	1	8	2	1	41	9	8	7	1	23	31	84

現在、装着が義務づけられている安全装置である過負荷防止装置は、アウトリガ張出長さ自動検出、旋回領域制限など、近年、特にその機能が著しく進化した安全装置である。その基本機能である過負荷についての安全の確保は、作業機フットピン回りの力のモーメントのつりあいを基本原理としている。



図-1 過負荷防止装置の基本原理



図—1にあるように、上向きの力のモーメントを実測し、作業機の姿勢検出を行い、自重による力のモーメントを差し引いて、吊り荷重量（モーメント）を算出する。この吊り荷重量とあらかじめ姿勢別に算出してある許容荷重（定格総荷重）との比較により安全／危険を判断している。

この方法によると、設置地盤が水平堅土上の場合においては、装置の故障や誤設定・誤操作、意図的な過負荷作業を行う等の場合を除けば、確実に過負荷による作業機の破損や、転倒事故を予防することが可能である。しかし、地盤の沈下により車体が傾斜したときには、

- ① 作業機の起伏アクチュエータによる上向きの力のモーメント検出に、傾斜に起因する算出誤差が生じる。
- ② 安全／危険を判断する定格総荷重が傾斜状態に対応したものでない。

などの理由により適正な機能が望めなくなる。

したがって、沈下等による車体の傾斜に対応するためには、車体傾斜角度情報を用いて車体傾斜に関する警報を発令する方法、車体傾斜角度を実測し現行の過負荷防止装置を車体傾斜角度で補正する方法、アウトリガの反力情報を用いて警報を発令する方法等の適用が考えられる。

この中で、今回の転倒事故低減システムにアウトリガ反力情報を採用したのは、

- ① アウトリガ反力値が、地盤の沈下現象に直接関与する物理パラメータであること。
- ② 重負荷時に発生するアウトリガの浮きの有無を、その数値により認識できること。
- ③ 総合重心位置の算出により、安全性を転倒限界との位置関係で把握できること。
- ④ 反力センサとアウトリガ張出長さセンサ等シンプルな機器構成で実現できること。

等、安全装置として優れた可能性を有するためである。

なお、アウトリガ反力情報による安全装置は少なくとも昭和50年には考案されていたが、これまでのところ、車両に搭載され、広く普及されるには至っていない技術であった。

## 1. 転倒事故低減システムの概要

本システムは吊上げ荷重25トンクラスX型アウトリガ仕様のクレーン車(車両重量26.9トン)に装着し、各種実験を行った。

今回開発したシステムは、アウトリガの接地反力値を直接検出し、その情報をモニタ画面に表示するとともに、転倒に至る余裕が小さくなった場合には警報を発令し、オペレータに回避処置を促すものである。本システムの機器構成を図2に示す。

アウトリガフロート（接地板）部において反力センサにより直接検出された接地反力値は、アウトリガ張出長さ情報とともに下部コントローラに入力され、デジタル信号に変換された後、上部コントローラに送信される。（電圧信号をデジタル信号に変換するのは、上下間の信号伝達を行う電気スイベル部での信号変化の影響を避けるためである。）上部コントローラでは、信号受信後、CRTモニタに画面表示すると同時に、内部計算により安全／危険を自動判断し、危険と判断した場合には画面上に警報表示およびブザーによりオペレータに警報を発令し、機体を自動停止させることも可能である。



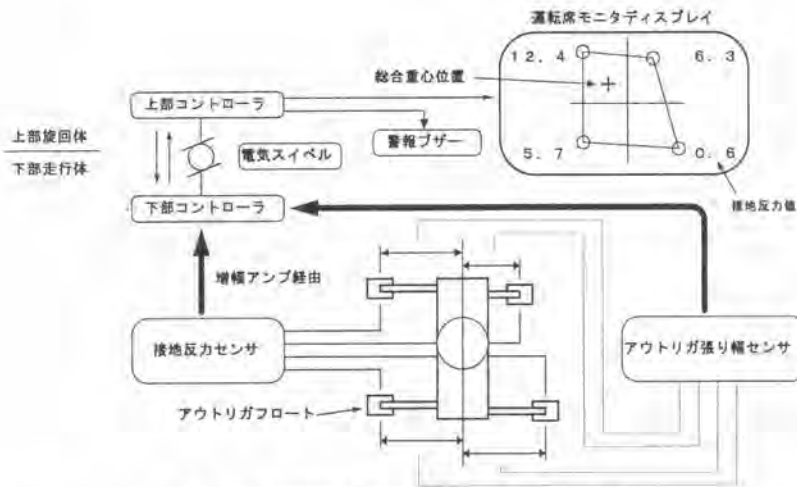


図-2 転倒事故低減システム機器構成図

(1) 反力検出の方法

本システムにおいては、総合重心位置と転倒支点（線）の位置関係で警報を発令しており、そのためには高精度（±1～2%）の反力検出が必要である。反力を検出するには、種々の方法があるが、①計測性能、②コストの将来的な可能性、③重量増加が少ない、④従来構造を大幅に変更することなく装着可能である等の面から、今回はピン型荷重センサを選択している。

ピン型荷重センサの仕様を以下に示す。

計測範囲	0～30トン	許容過負荷	36トン（120%）
外形寸法	Φ50mm×L201mm	単体計測性能	非直線性 1%/FS以内
ヒステリシス	1%/FS以内	供給電源電圧	DC±15V
出力信号形態	DC 0～1.0V（内蔵アンプによる出力）		

ピン型荷重センサは周方向に出力感度が異なるという特性を持ち、供試車両の様にX型アウトリガ方式の場合、アウトリガジャッキ量によりピン型荷重センサに加わる力の角度が変わってくる。従って、常用する角度域を最大感度点近傍に設定している。なお、最大感度点角度から±3度程度のジャッキ量範囲であれば、外力に対して0.14%程度の計測誤差であり、実用上、利用可能なレベルである。

また、最大感度方向近傍を使用するため、センサ支持部に周方向回り止めの構造を設けている。

(2) 反力および総合重心位置による表示

運転席のCRTモニタには、図3に示す以下の内容を表示する。

- ① 各アウトリガ脚の接地反力（単位：トン）を拡大文字で表示。
- ② アウトリガフロート接地座標による転倒限界領域の表示。

アウトリガフロートが地盤と接地する位置座標（ $X_i$ ,  $Y_i$ ）の車体前後方向位置 $X_i$ は車体寸法の定数であり、車体左右方向座標 $Y_i$ は各アウトリガ張出長さにより決まる数値である。（座標原点は旋回中心、添え字 $i$ は前右、後右、後左、前左をそれぞれ表す。）

各アウトリガ張出長さは、過負荷防止装置のアウトリガ張出長さセンサの情報を利用して、4点の接地点により構成される四角形は、アウトリガの異張出（各脚の張出量が異なる組み合わせ）に対応し、その形状が自動的に可変表示される。

### (3) 総合重心位置の表示

車両重量および吊荷重量の総合重心位置座標  $(X_c, Y_c)$  は、以下で算出される(図4参照)。

$$X_c = \Sigma (F_i \times X_i) / \Sigma F_i$$

$$Y_c = \Sigma (F_i \times Y_i) / \Sigma F_i$$

総合重心位置座標は、画面上に「+」印で表示され、作業機の動作および吊荷の動き等によって上記の領域内を移動する。

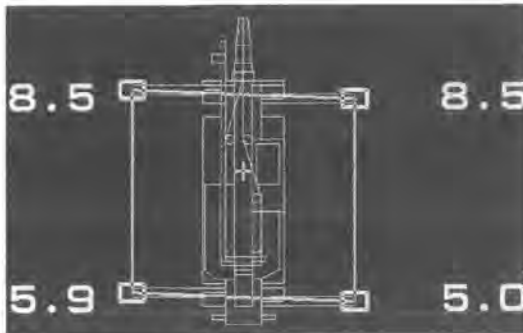


図3 画面表示例

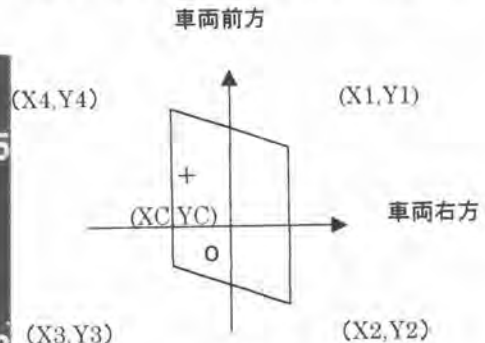


図4 座標系の説明

### (4) 警報発令の方式

#### ① 重心位置による方法

アウトリガフロートの各接地点を両端とする辺が転倒する場合の転倒限界線となるので、検出した総合重心位置からの距離を計算し、その数値が予め設定した警報しきい値を下回る場合に警報を発令し、CRTモニタ上で転倒線および総合重心位置表示色を赤色に表示変更する。

なお、前後左右の4辺までの距離をそれぞれ常時監視することにより、作業中の任意の状況への対応を可能にしている。

#### ② 接地反力による方法

接地反力情報のみの取り扱いにより、隣り合う2脚のアウトリガ反力が計器の誤差や吊荷の揺れがある場合でも安全を確保できる一定の規定値以下になった場合に警報を発令する。

この場合においても、各辺に対応する4通りの組み合わせに関してそれぞれ常時監視することにより、作業中の任意の状況への対応を可能にしている。なお、警報時においては、該当する2脚の反力値の表示色を青色に表示変更する。

## 3. 実車搭載結果

転倒事故低減システムを実車に搭載した場合の性能を定置式の基準センサ出力と同時計測し、基準センサと比較することによって確認した。

### (1) 実験条件

アウトリガ全脚最大張出

作業機長さ 13.7m (2段ブーム長)

吊荷重量 5.0トン 負荷率約60%

計測条件 100msec間隔、300秒間計測

上記の条件により、前方より時計回りに1周(360度旋回)した軌跡を図5に示す。



図5 総合重心位置の旋回時の軌跡

## (2)実験結果

### ① 総合重心位置表示の挙動

算出表示した総合重心位置は、転倒限界線内の領域を旋回等の操作に従い移動表示される事が確認された。

### ② 接地反力値の計測精度

ピン型荷重センサの場合、センサメーカーが実施する較正ベンチでの単体計測性能と車載時の計測性能とは、センサ両端の支持部の剛性等が異なるため、必ずしも同一になるとは限らない。

よって、今回の場合は計測に先立ち、各脚のピン型荷重センサは定置式の基準センサにより車載上での較正を行っている。なお、較正マップは0～30トンまでを複数の直線で近似する方式を取っている。

また、反力センサの出力特性としてヒステリシスが生ずるため、較正值はその平均をとり、任意の操作時においても、その差を小さくしている。

較正後、各脚の反力値は、基準センサの出力に対して±1～2%の範囲内に入っていた。

### ③ 総合重心位置の計測精度

共通のアウトリガ張出長さ情報を与えて定置式の基準センサにより算出した総合重心位置と、ピン型荷重センサにより算出した総合重心位置は、実測で最大約90mmの座標間距離誤差となった。

この結果は、机上計算において、センサ単体で±1%の誤差を有する場合の総合重心位置算出誤差が最大150mmであることと比べ、妥当な計測値である。

## 4. 考察

### (1) システムの特性

本システムは基本的に吊作業時における車両の状態をよりわかりやすくオペレータに情報伝達し、警報を発令するものであるが、確実な安全作業を実現するためには、いくらかの留意事項がある。

#### ① センサの計測誤差の考慮

当然ながら、一般にセンサは検出誤差を伴うものであり、反力センサといえどもその例外ではない。従って、計測値情報により警報を発令する安全装置において警報しきい値を設定する場合には、その計測誤差を考慮したものでなければならない。

#### ② 荷揺れによる総合重心位置の変動の考慮

反力計測による総合重心位置の算出により荷揺れが生じた場合には、総合重心位置が変動する現象が改めて確認された。

通常の吊り作業において特に熟練したオペレータの場合、その操作による吊り荷の揺れはごくわずかに抑えられる。そのため、安全装置の機能として突発の吊荷の揺れに対してどれだけの余裕をとるべきかを規定する必要がある。

### (2)コストについて

#### ①反力センサのコスト

反力センサにおいても、一般の計測器と同様、高精度になるほど高価になる。

また、自動車などの安全装置と異なり、その生産数量が1台あたり4個使用するとしても文字どおり桁違いに少ないため大量生産によるコストダウンが困難である。

加えて、クレーン車のアウトリガの構造や車両の車格サイズにより、反力検出構造や計測範囲（フルスケール）が異なるなど、共通仕様の部品を使用するのが難しい点も問題となる。

#### ②信号の情報伝達装置のコスト

本システムは、現行の過負荷防止装置装着車両に付加的に装着したものであるため、専用のコントローラを上下にそれぞれ装備している。

過負荷防止装置の機器構成においても、アウトリガ張出長さセンサなど下部走行体からの検出器情報を運転席に送信するために上下間の通信を行う多重電送装置を装備しており、信号伝達のコストを考える場合には過負荷防止装置からの安全機能の独立化の一方で、入力・通信機能の統一化も考慮されるべきである。

## 5. あとがき

今回の開発により、アウトリガ反力情報を用いた転倒事故低減システムは、過負荷防止装置を補助する安全装置として車載上で有効に機能するものであることが検証された。

安全装置という機能の性格上、その信頼性や、計測精度の管理および警報しきい値の数値決定等、安全機能の設定に関しては技術的により詳細な検討が必要である。また、今後の普及化のためには、より低廉な価格での供給を可能にする方向の検討も不可欠と考えられる。

今回の開発が、さらなる安全化技術の推進のきっかけとなることを期待するとともに、実際の作業現場の安全管理に有効に機能し、転倒事故の低減に貢献することを切に願うものである。

最後に、開発にあたってご尽力いただいた（社）日本建設機械化協会、製作を担当した（株）小松製作所ならびに関係各位に感謝の意を表するものである。

## 42. SSデジタル無線遠隔操作システムの開発

(株)大本組：安藤 一男，河本 利夫，\*神田 浩志，藤澤 秀行

### 1. はじめに

近年、長崎県の雲仙普賢岳を初めとする自然災害発生後の災害復旧工事等では、建設機械の無線遠隔操作が不可欠な技術として採用され、多くの施工実績がある。

雲仙普賢岳の災害復旧における主な工事内容は、警戒区域（人の出入りが禁止されている区域）に堆積した火砕流・土石流を除去する作業（除石工事）である。この区域での施工は、警戒区域外の安全な場所から油圧ショベル、ブルドーザ、重ダンプトラック等を無線遠隔操作して行われる。

これら建設機械の遠隔操作に使用される無線は、特定小電力無線、簡易無線、微弱無線、小電力データ通信無線など免許の不要な無線が一般的であるが、「伝送できるデータ量の不足」「伝送距離の限界」「電波の混信による重機の誤操作」などの無線性能に関する課題が残されていた。

また、移動体通信を含めた電波の運用・有効利用に関しては、「アナログ方式からデジタル方式への移行と対応」が近年求められており、新たな技術開発と実用化が求められている。

今回、これらの背景を踏まえ、従来より確実な遠隔操作が可能な「SSデジタル無線」を開発し、短時間で市販の油圧ショベルに搭載でき、緊急時の災害復旧工事などに安全かつ迅速に対応できる『SSデジタル無線遠隔操作システム』を実用化したので、ここに紹介する。

### 2. システムの概要

#### 2.1 システムの構成

本システムは、市販の油圧ショベルに新規開発したSS（スペクトル拡散）デジタル無線と監視カメラおよびGPS等を組み込み、移動操作車内に映し出される監視カメラの映像を見ながら遠隔操作するシステムである。写真-1にシステム全景写真、図-1にシステム構成図を示す。



写真-1 全景写真

### (1) 無人油圧ショベル

無人油圧ショベルには、現地調達できる市販の油圧ショベル(0.45~1.80m<sup>3</sup>)のうち、制御系インターフェースが統一されている機種を使用する。このため、システムの組込み時間を従来より大幅に短縮することができる。また、本システムは建機メーカーの純正品である特定小電力無線システムの制御データをSSデジタル無線で送信する方式であるため、SSデジタル無線トラブル時には特定小電力無線システムをバックアップシステムとして利用できる。

無人油圧ショベル本体には、SSデジタル無線、遠隔操作用バルブユニット、監視機器(2台の監視カメラ)および位置計測機器(GPS移動局)等が搭載される。

### (2) 移動操作車

移動操作車内には、SSデジタル無線、遠隔操作用コントローラ、監視機器(2台の監視モニタ)、位置計測機器(GPS固定局)および計測用パソコン等が搭載され、車外には1台の監視カメラ(電動式)が搭載される。

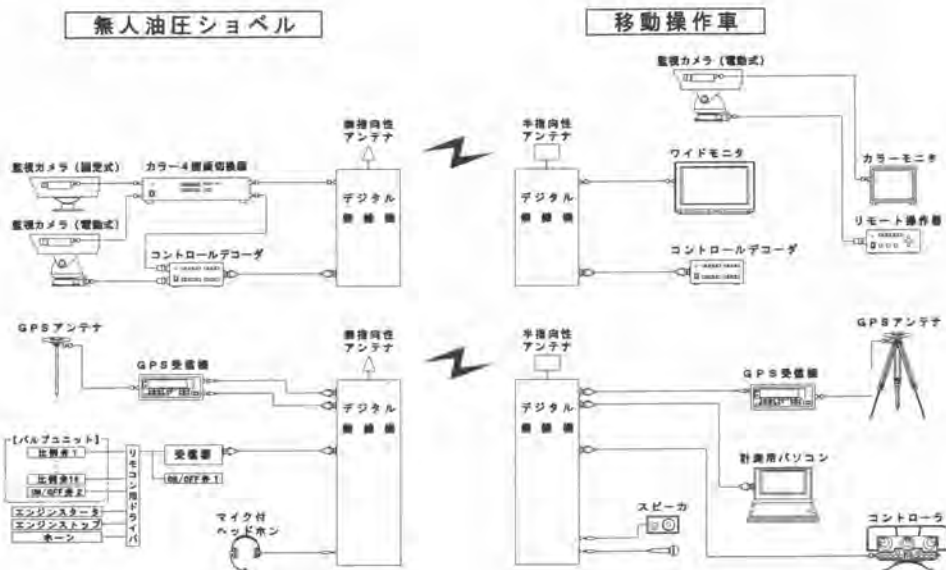


図-1 システム構成図

## 2. 2 機器の仕様

### (1) SSデジタル無線

SSデジタル無線は、情報を伝送するために必要な周波数帯域を数倍に拡散して送信する方式(スペクトル拡散)の無線で、拡散するための符号化により、1組の無線で画像伝送、テレコントロール、データ通信および音声データの同時伝送が可能である。また、データ通信量は、特定小電力無線(2,400bps~4,800bps)の500倍から1,000倍程度の2Mbpsの高速データ(デジタル圧縮された動画像)が伝送できるため、1秒間当たり最大30フレームの動画像が伝送できる。

表-1に、SSデジタル無線の仕様を示す。

表-1 SSデジタル無線の仕様

無線局の区別	小電力データ通信
無線周波数	2.471～2.497GHz
空中線電力	10mW/MHz以下
データ伝送速度	2Mbps
データ伝送距離(*1)	約2km(見通し)
変調方式	スペクトル拡散DS変調
移動範囲	制限なし(全国)

(\*1)伝送距離は使用条件により異なる。

## (2) 監視機器

監視機器としては、無人油圧ショベル本体に電動式カメラ1台と固定式カメラ1台の計2台の監視カメラが搭載され作業状況の監視を行う。また、移動操作車天井部には電動式カメラ1台が搭載され、無人油圧ショベルの周辺の状況の監視を行う。

移動操作車内には、ワイドテレビ(32インチ)1台、カラーモニター(21インチ)1台が据付けられ、無人油圧ショベルに搭載した監視カメラの映像(切換により1画面映像もしくは2画面に合成された映像の出力が可能)と、移動操作車天井部に搭載した監視カメラの映像を映し出す。

無人油圧ショベルと移動操作車天井部に搭載された電動式カメラ(計2台)は、移動操作車内に据付けたリモート操作器により、ズーム、パン、チルト等の操作を行うことができる。

## (3) 位置計測機器(GPS)

GPS固定局は、移動操作車周辺に設けられた基準点に設置され、GPS移動局は、無人油圧ショベルに搭載される。GPS移動局で得られた無人油圧ショベルの位置データ(X,Y,Z座標)は、SSデジタル無線で常時移動操作車内の計測用パソコンまで伝送され、リアルタイムにグラフィック表示される。

## 3. システムの特長

従来の無線では、画像伝送、テレコントロール、データ通信および音声データを伝送するには、それぞれ異なった方式の無線が必要であったが、今回、新規開発したSSデジタル無線では、1組の無線で同時伝送が可能となった。以下に、本システムの特長をまとめる。

### ①豊富なデータ量

従来の無線に比べデータ伝送量が2Mbpsと飛躍的に向上したため、1組の無線で画像伝送、テレコントロール、データ伝送、音声と同時に通信できる。また、フル動画に近い動きの動画をテレビモニターに表示できる。(最大30フレーム/秒)

### ②高い汎用性

本システムは、市販の油圧ショベルをベースマシンとして使用するため、現地での調達が可能である。また、システムの組込所要時間は、約5時間と従来に比べ短時間で完成できる。



### ③ 確実なデータ通信

伝送するデータをデジタル化するとともにID認識を行っているため、アナログ方式の無線と比べ混信や妨害電波に強く、信頼性、秘匿性が高い。また、無人油圧ショベルには、無指向性アンテナを搭載しているため、従来の画像伝送無線（簡易無線）で必要とされていた自動追尾などの特殊装置が不要である。

## 4. 実用化事例

本システムは、雲仙普賢岳の除石工事において実用化されたので以下に説明する。

### 4. 1 工事概要

工事名 : 水無川除石災害関連緊急工事  
工事場所 : 長崎県島原市白谷町地先  
工期 : 平成10年3月14日～平成10年6月30日  
発注者 : 建設省九州地方建設局  
工事内容 : 除石工 113,432m<sup>3</sup>

### 4. 2 施工方法

本工事での除石工は、約200～300m離れた場所からの無線遠隔操作による無人化施工で行われた。写真-2、写真-3に施工状況を示す。

#### (1) 掘削押土

掘削押土には無線遠隔操作の大型ブルドーザを使用し、除石範囲を全体的に掘り下げながら掘削し、積込み作業を行う無人油圧ショベルの周りに集積する。

#### (2) 積込み

集積された土砂は、無人油圧ショベルにより重ダンプトラックに積込まれる。無人油圧ショベルの操作は、本体に搭載したカメラ映像を見ながら行われる。

#### (3) 運搬

無人油圧ショベルで積込まれた土砂は、無線遠隔操作の重ダンプトラックで積替場まで運搬され仮置きされる。

#### (4) 転石小割り

無人油圧ショベルで積込みができない大きさの転石については、本体重量3tのプレーカを装着した1.6m<sup>2</sup>クラスの無人油圧ショベルで小割りされる。この無人油圧ショベルは、約200m離れた場所から本体に搭載されたカメラの映像を見ながら無線遠隔操作される。



写真-2 施工状況1



写真-3 施工状況2

#### 4. 3 機械設備

図-2に無人化施工を行う場合の主要機械および使用される無線を示す。実施工では下図に示す構成の機械設備を右岸側と左岸側にそれぞれ1セットずつ計2セット配置し施工を行った。今回、新規開発したSSデジタル無線は、この構成とは別に配置されたブレーカ仕様の無人油圧ショベルに組み込まれ、転石の小割り作業の実施工に使われた。

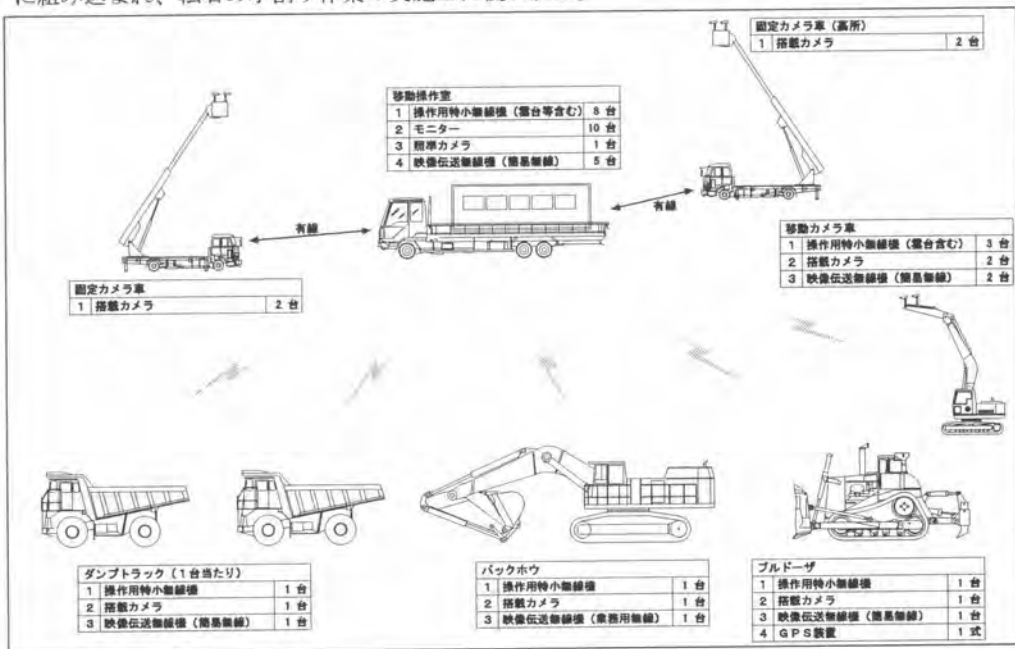


図-2 主要機械および使用される無線

#### 4. 4 転石小割り作業

「SSデジタル無線遠隔操作システム」による施工状況を写真-4、写真-5、写真-6に示す。



写真-4 遠隔操作状況



写真-5 移動操作車



写真-6 転石小割り状況

#### 5. 今後の課題

本システムの稼働は、短期間ではあったが、実施工により画像伝送、テレコントロール、データ伝送ともに使用に耐えることが実証された。これは、デジタル化の大きなメリットが証明されたといえる。しかし、以下の課題が残るので更なる開発および実証が必要である。

- ① 画像伝送におけるタイムラグの発生抑制
- ② 画像品質の向上
- ③ 複数台重機の遠隔操作の実証
- ④ 長距離遠隔操作の実証

ここで、①②の項目については相反する問題であるが、昨今の通信技術の急速な進歩により、ある程度は解決できるものと思われる。また、③④の項目についても近い将来に実証できると考えている。

#### 6. おわりに

本システムは、建設機械の無線化技術におけるデジタル化に向けての開発の第一歩であると考えられる。今回の開発、そして雲仙普賢岳での実施工により、新たな課題も残されてはいるが、従来のアナログ方式による無線化技術が抱える課題を解決する見通しができたと思われる。

今後も本システムに関する新たな技術開発を進めていくとともに、建設業界におけるデジタル無線技術がさらに充実していくことを望む。

最後に、本システムの開発および実施工に当たり、ご指導、ご協力していただいた関係者各位に対して、深く感謝の意を表します。

# 43. 吸水型振動棒締固め工法（SIMAR工法）の開発と実施工事例

前田建設工業(株)：\*石黒 健，清水 英樹，北川 吉信

## 1. はじめに

飽和砂地盤の液状化対策工法のひとつに、振動棒締固め工法（ロッドコンパクション工法）がある。本工法は、大型パイプロを起振源とする振動ロッドを地盤内に貫入し、原地盤を直接振動させて密実化を図るものである。ところが、大型パイプロの加振力は極めて大きく、これを用いて緩い飽和砂地盤を強制的に加振すると、大地震の到来を待つまでもなく、施工中に振動ロッドの先端付近で液状化が発生してしまう。これが振動エネルギーの伝達障害や砂粒子の構造攪乱を、結果として改良効果の低下をもたらす。著者らは、この施工時過剰間隙水圧を除去しながら振動締固めを行う新しい液状化対策工法「吸水型振動棒締固め工法（SIMAR工法\*）」を提案し<sup>1)</sup>、室内および原位置試験による種々の検証を試みてきた<sup>2) 3) 4)</sup>。本報文では、本工法の最新の施工機械、施工法の概要を述べるとともに、港湾地区のケーソン式岸壁背面での実施工事例を報告するものである（\* Soil Improvement Method by Advanced Rod-compaction）。

## 2. 吸水型振動棒締固め工法（SIMAR工法）の概要と施工機械

図-1に吸水型振動棒締固め工法（SIMAR工法）の工法原理を示す。施工時過剰間隙水圧を除去するために、振動ロッド先端部で地下水を吸引しながら振動締固めを実施する。振動ロッド先端での液状化の発生、地盤剛性の消失が生じないために、大型パイプロによる締固め荷重（振動エネルギー）をより確実に、より遠方まで地盤に伝達させることができる。液状化履歴による砂粒子の構造攪乱が生じないことも、改良効果を高める一要因となる<sup>4)</sup>。施工機械の概要を図-2および表-1に、機械全景を写真-1に示す。本工法では当初、真空ポンプを吸引源とする吸水管を振動ロッドと分離し、別途配置した吸水管分離タイプの施工機械が用いられていた（文献<sup>4)</sup>参照）。従来型工法に比べて吸水管貫入と引抜きの工程が余計に付加されるため施工効率が低下すること、吸引部の目詰まりといった施工上の問題から、その後、図-2に示すような新しい施工機への転換が図られた。吸水管が振動

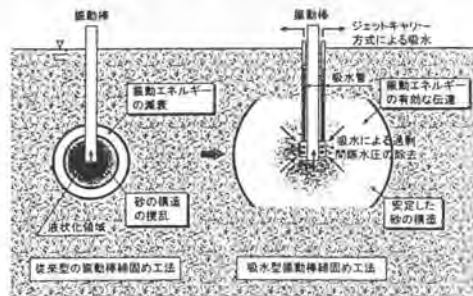


図-1 吸水型振動棒締固め工法の工法原理

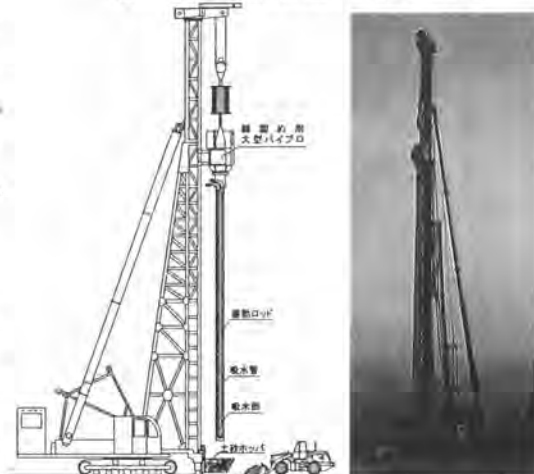


図-2 施工機械の概要 写-1 施工機械の全景

ロッドに一体化され、さらに吸水機構として、真空ポンプではなく高圧の循環ジェット水を利用した吸引方式が採用された。図-3(a)に示すように、高圧ジェット水の循環経路の途中に設けた開口部の直前でジェットノズルにより水流の流速を増大させ、ベルヌーイの原理により負圧を発生させる機構である。本機構には真空ポンプのような揚程の限界がなく、地盤深部での施工にも対応できる。25mm×25mmの比較的大い開口部にはフィルター等は一切設けられておらず、これを通過した土砂は高圧の循環水もろとも地上に掃出される。目詰まりという施工上の難問がこれにより回避される。図-3(b)には、本吸引機構で得られた真空度の測定結果が示されている。ポンプの吐出流量と吐出圧力の積に比例して真空度が高まるため、両者を組み合わせて吸引力を任意に調整することが可能である。施工の手順としては、まず振動ロッドを改良層下端まで初期貫入する。この際、貫入抵抗を減ずるためにロッド先端から高圧ジェット水を噴出させる。これは従来型工法も全く同様である。その後、締固めの工程に移る(ロッドの引き抜き貫入(突固め)を繰り返しながら、徐々にロッドを抜き上げる)。従来型工法では、この際ジェット水を停止して施工するのに対し、吸水型工法では簡単なベルヌーイ操作でこれを吸水管の循環経路へ切り替え、過剰間隙水圧の吸引を併用しながらの締固め施工が行われる。

表-1 施工機械の仕様一覧

機械名	仕様・規格
ベースマシン	クローラー式航行機、4DX系、リーダー長4.5m
起振機	パイロハンマー、120KW
発電機	機械動力用発電、350KVA
振動ロッド	H鋼400×400、フレックセル・取水装置付
取水装置	高圧駆動水を用いたジェットキャリー方式
ウォータージェットポンプ	吐出量100~320l/min、吐出圧力50~150kg/cm <sup>2</sup>
水中ポンプ	25φ50
ホタンク	20m <sup>3</sup>
施工管理装置	深度計、電流計、流量計、過剰間隙水圧測定装置
発電機	管理装置用発電、46KVA
トラクターショベル	ホイール型12m <sup>3</sup>

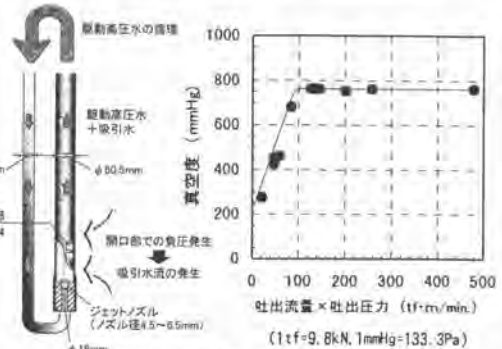


図-3 (a)吸水部の機構 (b)真空度の測定結果

### 3. 吸水型振動棒締固め工法 (SIMAR工法) の実施工事例

#### 3.1 施工概要

図-4に施工位置図を、図-5に施工標準断面図を示す。施工位置は兵庫県尼崎市尼崎港内の埋立地であり、ケーソン式岸壁背面の裏込め土の液状化対策を目的として、吸水型振動棒締固め工法による締固め施工が実施された。施工概要および施工数量は表-2に示す通りで

表-2 施工概要および施工数量一覧

①施工範囲	No. 150~No. 250間(延長100m)
②施工面積	幅20m×100m=2,000m <sup>2</sup>
③施工深度	平均12.2m(図-5(b)参照) 最深20.9m
④施工ピッチ	吸水型試験施工:2.4m, 2.8m, 3.3m 従来型試験施工:1.4m, 1.9m, 2.4m 吸水型本施工:3.3m
⑤施工本数	244本(吸水型196本, 従来型48本)
⑥施工延長	2,972.6m



図-4 施工位置図

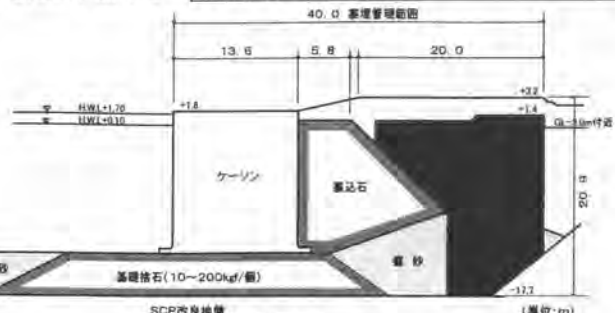


図-5 施工標準断面図

ある。裏込め土砂には、兵庫県南部地震(1995)で液状化被災事例が数多く報告されたまさ土(家島産)が用いられている。海中投入により造成された地盤であるため初期N値も全体に5~9と低く、この部分に液状化対策が施された。

### 3.2 施工結果

#### (1) 施工時の吸水状況

施工時の間隙水圧発生量や吸水量が現地で計測された。図-6は、従来型工法(ロッドコンパクション工法)施工時の過剰間隙水圧データである。振動ロッドによる突固めの過程で過剰間隙水圧の急増が見られており、図-1の左側に模式的に示したような人為的な液状化の発生が、本工事の中でも再確認された。吸水型工法の施工中に流量計によって計測された吸水量のログの一例が図-7である。振動ロッドの突固め過程で吸水量が急増し、引抜き過程で元に戻る動きが繰返されており、突固めの過程で発生しようとする過剰間隙水圧が抑制されている様子がうかがわれる。本施工時の最大吸水量のデータが図-8である。毎分40リットル~毎分60リットルのデータが多く、一部では毎分100リットル以上の水を地中から吸引したケースも見られる。土砂もろとも吸い上げられた水は、サトスクリンによって土砂を分離された後、いったん地上の水槽に貯められる。写真-2は、分離された吸引土砂の状況を示したものである。水槽付近にうずたかく堆積した吸引土砂は、本吸引機構により、目詰まりを生ずることなく多量の地下水が吸引された事実を裏付けるものといえる。ロッドコンパクション工法のような原地盤直接振動型の工法では、大型パイロの荷重をできるだけ地盤に預け、振動エネルギーを周辺地盤へ有効に伝えることが重要となる。パイロからの聞き取り調査によると、従来型工法ではロッド先端で液状化が発生するため、荷重を十分に預けることができなかった(無理に預けると自由落下に近い形で振動ロッドの貫入が生じてしまうため)。一方吸水型工法では、液状化を阻止することでパイロ荷重の大半を地盤に預けることが可能となった。



写真-2 土中の細粒分吸引状況

#### (2) 改良効果の確認結果

本施工に先立ち、吸水型工法の改良効果、従来型工法に対する優位性を検証するための試験施工が実

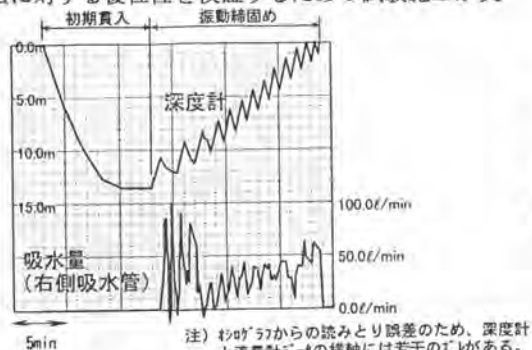


図-7 吸水型工法施工時のオシロ記録例

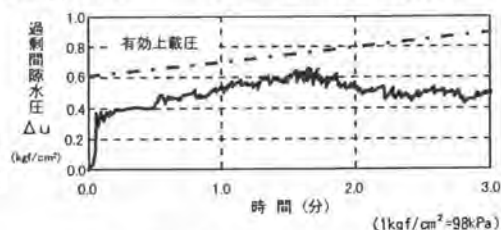


図-6 従来型工法施工時の過剰間隙水圧の測定結果

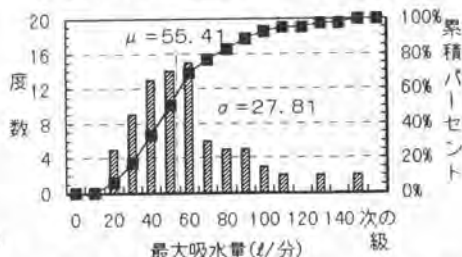


図-8 本施工における吸水型工法の最大吸水量



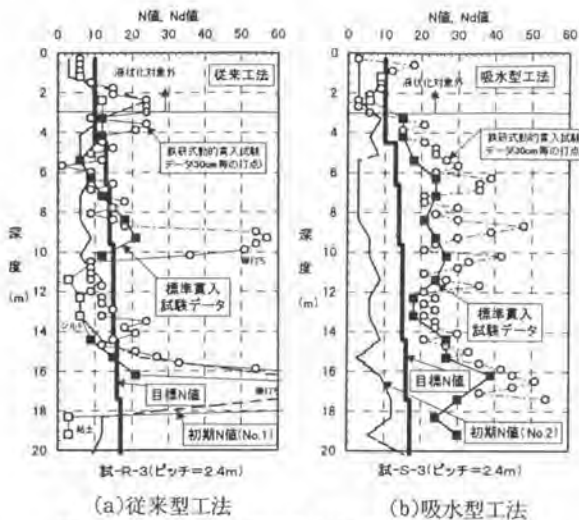


図-9 改良後N値の比較結果(ピッチ2.4m)

施された。改良効果の評価に際しては、一般的な標準貫入試験に加えて、迅速かつ深度方向に多点的な計測が可能な鉄研式動的貫入試験を併用している。試験施工エリアの一部で、従来型工法と吸水型工法を同一ピッチ(2.4m)で打設する施工が行われた。図-9は、両者の改良後杭間N値およびNd値の深度方向分布を

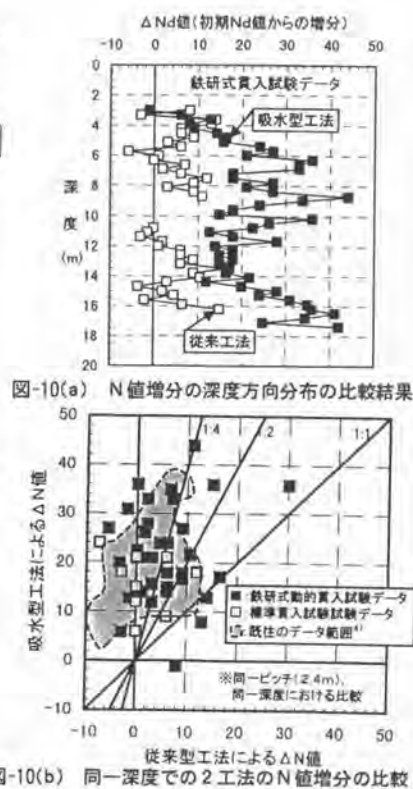


図-10(b) 同一深度での2工法のN値増分の比較

示す。礫当たりの箇所を除くと、従来型工法では改良前後でのN値増分がわずかであるのに対し、吸水型工法では初期N値に対して15~30ものN値増分を記録している。初期状態からのN値増分で整理した図-10(a)を見ると、同一施工ピッチでありながら、施工時の過剰間隙水圧除去によって改良効果が著しく向上していることが明白である。図-10(b)では、同一深度での両工法のN値、Nd値増分量を比較した。このような整理では、吸水型工法のN値増分は従来型工法の場合の2倍~4倍にまで及ぶものが多い。このような改良効果の向上は、地盤特性の異なる複数現場で既に確認済みであるが<sup>4)</sup>、これらと同様の傾向が、今回の実工事の中で再現される結果となった。試験施工では、従来型、吸水型の2工法に対して施工ピッチを変えた打設が行われ、改良効果が実測された。図-11は、これを施工ピッチと改良効果(目標値からのN値増分で整理)の関係としてとりまとめたものである。吸水型工法は、同一目標強度に対して従来型工法よりかなり施工ピッチを広げられることが判る。港湾の技術指針<sup>5)</sup>に従って所要ピッチを検討した結果(離散的かつ点数程度であれば目標値を若干下回ることが許容されている)、従来型工法ではピッチ1.8m~1.9m、吸水型工法では3.3mでも目標値をクリアできるものと判断された。なお本現場では、同一地盤において別途SCP工法の試験施工が実施され、同じ目標N値に対する所要ピッチとして2.1mが得られている<sup>6)</sup>。従って、同一地盤における所要施工ピッチは、図-12に示すように従来型工法<SCP工法<吸水型工法の順に大となる。締固めの施工は四角形配置で実施されている。この場合、施工ピッチが広がると、施工数量はその2乗に比例して低減する。上記のピッチでは吸水型工法の施工数量は従来型工法の3



0%程度に低減し、大幅な工費縮減と工期短縮がもたらされる。SCP工法に対しても、ピッチの拡大と良質購入砂を用いないことから、顕著なコストダウンが可能となることが確認された。ただし、このような施工ピッチの大幅な拡大は、当該地盤が細粒分の極めて少ない、粒度の良好な礫質地盤（直接振動によって最も締固まりやすい地盤）であったことに起因する。均等粒度の砂や粘土、シルト混じりの地盤など、地盤条件が異なれば変動する可能性があることに留意を要する。図-13は、本施工実施中、および終了後に施工エリア内で行ったフェックポ-リングの結果を示す。改良後N値、Nd値の範囲と平均値を記したが、いずれも目標N値を概ねクリアし、平均値は、図-11の試験施工結果と同様、目標値に対してさらに若干の余裕を与える結果となった。本施工実施前後での施工面標高の測量結果、および敷地外から搬入した投入砂（埋立てに用いたのと同じまき土）の土量収支から、地盤改良施工に伴う原地盤の圧縮沈下量が推定された<sup>73</sup>。施工エリア外から平均高さ1.3m相当の土砂を搬入し、施工時の地盤沈下に応じてこれを場内に投入したにもかかわらず、施工後の地盤標高は施工前よりもさらに0.18m低くなり、締固め施工による原地盤の圧縮沈下量は平均1.5m程度と推定された。この沈下量から原地盤の相対密度の変化を推定したところ、初期相対密度 $Dr_0=31\% \sim 50\%$ から事後相対密度 $Dr_1=71\% \sim 88\%$ まで、地盤改良施工によって相対密度が約40%増加したものと試算された<sup>73</sup>。図-13中に併記した「推定改良後N値」は、この改良後相対密度から推定された事後N値に相当する。実測平均N値との整合性は比較的良好であり、本工事で得られた改良効果の妥当性を側面から裏付けるものといえる。

### (3)近接ケーソンへの影響

図-5に示したように、締固め施工はケーソン式岸壁の近傍（最短8.5m離れ）で行われた。このためケーソンへの影響が懸念されたが、図-14に示すように締固め施工による変位はほとんど発生しな

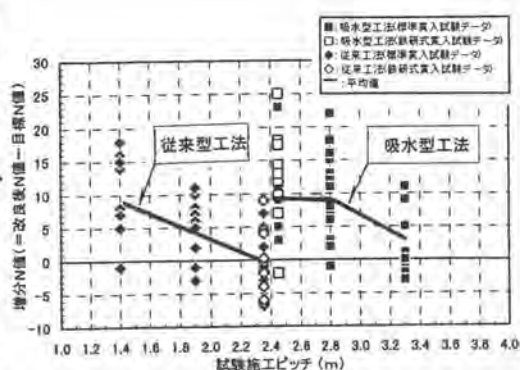


図-11 施工ピッチと改良効果の関係



図-12 所要施工ピッチの比較

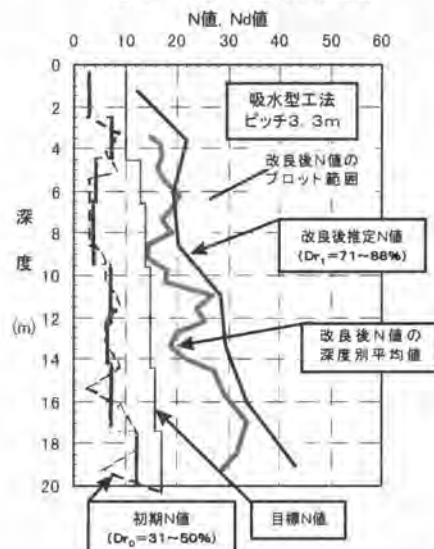


図-13 本施工終了後の改良後N値の確認結果

かった（沈下も生じず）。本工法では、振動締固め施工に伴う原地盤の沈下に応じ、適宜地表より材料（現地土）を投入する。地表面不陸の整形を目的とする材料投入であって、SCP工法のように地盤深部まで砂杭を圧入造成するものではない。図-15は、本工法施工時の地中水平変位を挿入式傾斜計で計測した結果であるが、砂杭を強制圧入していないために、施工中の地中変位はすべて振動ロッドに向けて引き込まれる方向に生じている。近接ケーソンへの影響がほとんど生じなかったのは、このように地盤の押し出し変位の影響がないこと、および過剰間隙水の発生が押さえられたことによるものと考えられる。なお、投入した砂は地表付近のごく浅部（地下水位より上の部分）にのみ充填されていることが、杭芯<sup>®</sup>-リソ<sup>®</sup>により確認されている<sup>7)</sup>。砂杭を造成しないのであれば良質な購入砂を使用する必要はなく、今回の施工のように現地発生土を転用することも可能である。

#### 4. 結論

- (1) ロットコンパクション工法施工時の過剰間隙水圧を除去し、改良効果の向上を図る新しい液状化対策工法を提案し、改良効果の向上を図る新しい液状化対策工法を提案し、高圧水ジェットを用いた吸引機構を有する施工機械を開発した。
- (2) 開発された新しい施工機械を用いて実工事が実施され、顕著な吸水量や改良効果の向上など、本工法の改良メカニズムが再検証された。同時に施工ピッチの拡大による顕著なコストダウンなど本工法の優位性が実工事の中で明らかとなった。
- (3) 近接ケーソンの変位や施工時の地中変位の測定結果から、本工法が近接構造物への影響の少ない工法であることが明らかとなった。また、砂杭の造成を伴わないために良質購入砂が不要であり、現地発生土の転用が可能であることも実証された。

#### <参考文献>

- 1) 石黒健・清水英樹：より良き液状化対策を探る、土木学会誌, Vol. 83, pp. 17~19, 1998.
- 2) 石黒健・飯島健・嶋田三朗：過剰間隙水圧の発生を伴う繰返しせん断履歴を受けた飽和砂の液状化強度特性、土木学会論文集No. 511/Ⅲ-30, pp. 1~11, 1995.
- 3) 石黒健・飯島健・菅井正澄・嶋田三朗：過剰間隙水圧の除去を併用した飽和砂の振動締固めに関する基礎的研究、土木学会論文集No. 505/Ⅲ-29, pp. 79~88, 1994.
- 4) 石黒健・飯島健・清水英樹・嶋田三朗：過剰間隙水圧の除去を併用した飽和砂地盤の振動締固め施工に関する研究、土木学会論文集No. 505/Ⅲ-29, pp. 105~114, 1994.
- 5) (財)沿岸開発技術研究会：埋立地の液状化対策ハンドブック、第4章 土質調査・試験と液状化の予測・判定、1997.
- 6) 伊佐野隆・杵島豊・川瀬洋：吸水・載荷併用型振動締固め工法（テラシステム）による液状化対策工事、第52回土木学会年次学術講演会、第6部門, pp. 428~429, 1997.
- 7) 湯浅楠勝・飯井田茂・川瀬洋・石黒健・清水英樹・北川吉信：確質地盤における吸水型振動締固め工法の改良効果の検証事例、土木学会論文集第三部門投稿中。

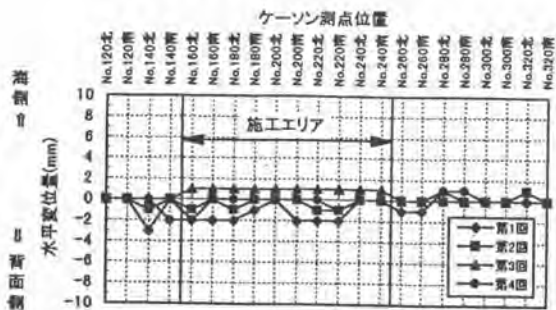


図-14 ケーソン変位の測定結果

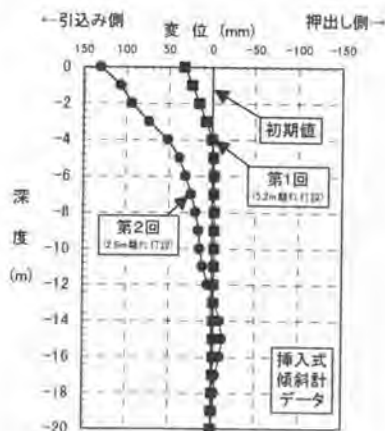


図-15 施工時の地中変位データ

# 44. 建築地下工事などで安全かつ効率的に作業する超低車高油圧ショベルの開発と工法の改善

コマツ：西村 悟

## 1. はじめに

近年、都市の再開発等の社会的ニーズから、地下建築、地下駐車場、地下鉄、地下街、地下貯水場等の地下空間の利用が活発化して来ている。それに伴って、地下の大量の土を掘削し、かつ地上へ揚土する工事において、より安全に、効率的に行う機械への要望は益々高まって来ている。揚土機械については既販売PC200SC-6 スーパーテレスココラムにてその解決が図られ（末尾記載参考文献参照）安全性を向上させつつ、一クラス上の揚土作業能力を実現した。次いでこの度、掘削機として超低車高油圧ショベルPG75を開発し、掘削・掘削土の運搬において、大幅安全性向上を図りつつ一クラス上の作業能力（約1.6倍）を実現し、地下掘削、揚土工事において、システムとして安全性向上、作業効率向上を図る事を可能としたので、紹介する。

## 2. 開発のねらい

図1は建築地下工事の一般的概念図である。建築地下工事では、逆打工法が一般化して来ており、この場合掘削機と揚土機によって地下の大量の土砂は掘削、搬出され、これらは工期決定の重要な要因となっている。しかし、逆打工法であるため低い天井に格子状に梁があり、又、基礎杭が林立している為、大型の機械は投入出来ず、7トンの地下仕様油圧ショベルが主に使用されている、そして、この地下掘削・掘削土の運搬作業ではその作業領域は自分で掘削しつつ、掘削土を運搬して行くものであるため、複数台を掘削当初から投入する事は出来ない、よって作業能率は先頭の掘削機によって限定されて来る場合が多いのである。そこでこの様な低くて狭い現場において安全で、かつ高効率に作業出来る掘削機が待ち望まれていた。

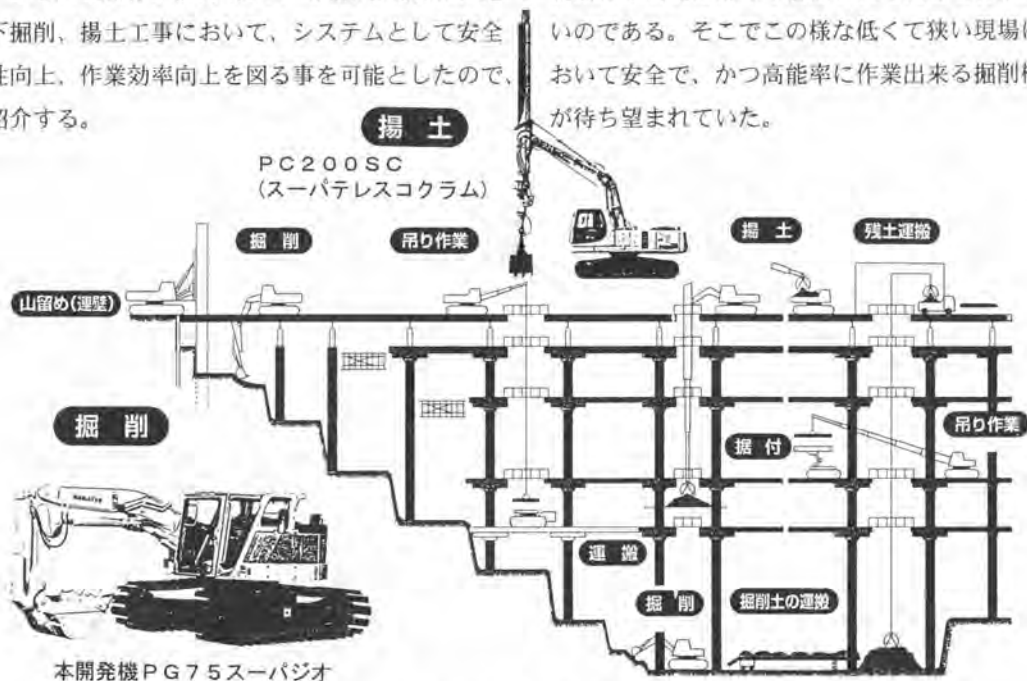


図1. 建築地下工事の概念図

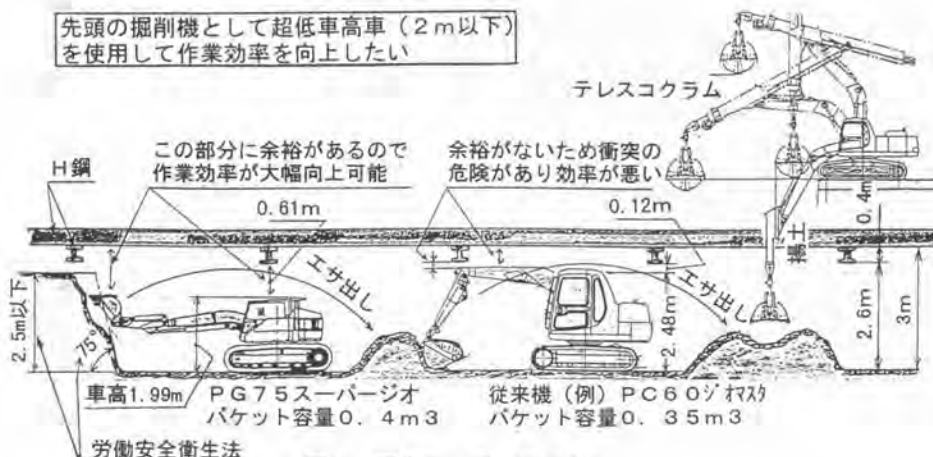


図2. 顧客ニーズ 例(1)

### 3. 従来機の問題点と顧客ニーズ

現在、掘削、餌出しに主に使われている  
地下仕様機は運転整備重量7t、バケット  
容量0.3m³、車体全高2.5mの油圧ショベル  
であり、下記問題点がある。

- (1) 一般的梁高さ2.5~2.6mの所で何とか  
作業が可能であるが、
  - ①梁に衝突する危険があり能率が悪い。
  - ②バケット反転角が小さく天井掘削出  
来ない。
  - ③梁高さが2.5m以下の所で作業出来  
ない為、先頭車両として使えない。
- (2) ①梁高さ2.5m以下の所では、ミニショ  
ベルを使用しているが、能力が小さ  
く、はかどらない。先頭車両として  
低車高、高能率な機械が欲しい。
- ②梁高さ2.2m以下の所では、ミニショ  
ベルでもキャノピをはずして作業せ  
ざるを得ず、危険である。
- (3) 後端旋回半径が大きく、旋回作業時、  
基礎杭によく衝突させ、危険である。

1. 高さ2.5m以下の所で安全かつ高能率に  
作業出来る掘削機が欲しい
2. 高さ2.2mの所でも安全に  
作業出来る掘削機が欲しい

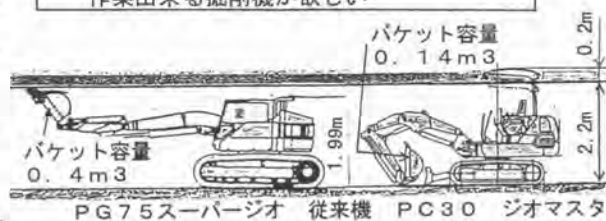


図3. 顧客ニーズ 例(2)

縦梁が約5m間隔にあり従来機の場合、旋回作業時

- (1) 縦梁に衝突する危険があり
- (2) 気を使うため疲れる
- (3) 作業能率が悪い

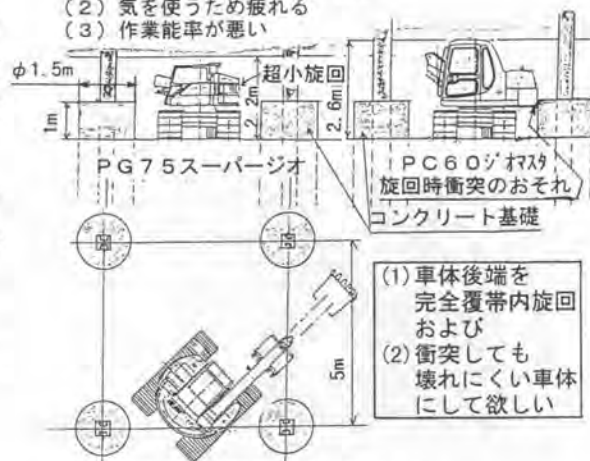


図4. 顧客ニーズ 例(3)

#### 4. PG75超低車高油圧ショベルの特徴

顧客ニーズの徹底調査を基に、建築地下工事等作業スペースに制約のある、狭くて低い現場に於て、お客様の要望にベストマッチする究極のコンパクト油圧ショベル、PG75スーパジオを開発したので、その技術的特徴を解説する。

(☆印は特許出願中を示す。)

##### (1) 超コンパクト車体と掘りごたつ式運転席☆

(図5, 6参照)

- ①驚異的超低車高1.99mを実現
- ②二つの運転姿勢を取る事が出来、長時間運転していても疲れない。

##### (2) 機器の最適配置による完全履帯内旋回☆

後方を気にせず運転出来るため疲れず、基礎杭等への衝突の恐れが無く、狭所作業が容易で安全である。

##### (3) 地下専用作業機により能率向上 (図7参照)

- ①高さ2m以内での天井、側壁掘削の可能化
- ②高さ2m以内での餌出し作業可能化

##### (4) 衝突に対し徹底した防護で安全(図8参照)

- ①キャブ中央配置により衝突しても安全
- ②強固な吊りフレームでオペキャブ防護☆
- ③カウンタウエイトにより駆動ユニットを完全防護
- ④かぶと虫状シェルタイプ強化外装採用☆
- ⑤帯状外装プロテクタ装着
- ⑥強固な新タイプシリンダガード装着☆

##### (5) 湿地シュー標準装備で軟弱地作業も可能。



図5. 掘りごたつ式運転席



図6. 超コンパクト車体と掘りごたつ式運転席

バナナ形状ブーム  
およびバケット反転角拡大により

##### (1) 高さ2m内餌出し作業可能



##### (2) 高さ2m内側壁掘削が可能



図7. 地下専用作業機による能率向上

新タイプシリンダガード

オペキャブ車体中央配置

強固な吊りフレーム

かぶと虫状  
シェルタイプ  
強化外装

外装プロテクタ

湿地シュー

完全  
履帯内  
旋回

鋳物カウンタウエイトにより  
駆動ユニット完全防護



図8. 衝突に対し徹底した防護で安全



## 5. 開発機と現行機の比較

(1) 主要諸元 表1. 主要諸元比較

項目	単位	開発機 PG75 スーパジオ		現行機 PC60 ジオマスタ	
			★		★
運転整備重量	kg	7200		6800	
バケット容量	m <sup>3</sup>	0.4	★	0.35	
エンジン出力	Ps	60	★	55	
輸送寸法	全高	mm	1990	★	2480
	全長	mm	4690	★	5420
	全幅	mm	2450		2400
	加う全長	mm	2130		2130
後端旋回半径	mm	1200	★	1750	
最大掘削力	kg	6200	★	5670	
最大掘削半径	mm	5420		6010	
旋回回転数	rpm	10		12	
走行速度Hi/Ld	Km/h	4.5/3.0		4.3/3.0	

★印は開発機が大幅に優る事を示す

### (2) 作業量

建築地下工事の一般的天井梁高さ2.6mの場合と地下機械室等での天井高さ2.2mの場合を想定した社内テストの結果を図9に示す。

表1の様に、梁高さが2.6mの一般的建築地下工事の掘削餌出し作業に於て、開発機は現行機に対し約1.6倍の作業量を出す事が出来た。これは新リンクモーションで梁高さ2mの所でも天井掘削可能とした事により、梁高さ2.6mでは十分余裕を持って作業出来るが、現行機は2.6m高さの梁にほとんど余裕が無い為、衝突しない様作業せざるを得ず、サイクルタイムが遅くなり作業量が出なかったのである。更に決定的なのは、梁高さ2.2mの所でも開発機は十分作業出来るが現行機は梁高さ2.5m以下で全く出来ない。現在この様な所は、前述の様にミニ油圧ショベルを使用しているが、危険作業を伴い、かつ作業能率が悪い。しかし開発機の場合はこの様な所でも、安全にかつ十分能率的に作業出来るのでこの差は大きいと言える。

### 6. 稼働実績と顧客評価

本開発機はこれまで、4台が先行市場導入されて、何れも顧客より高い評価を頂いている。そこでテスト導入も含めた稼働評価の数例を紹介する。

(表2参照)



写真-1 開発機 PG75 スーパジオ

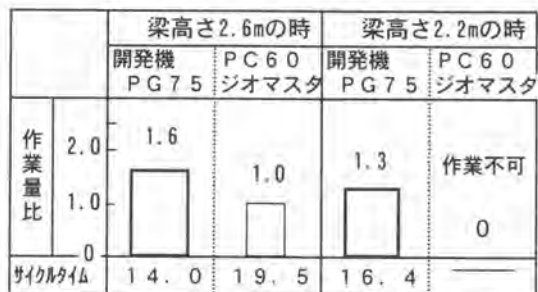


図9. 作業量比較 (90° 旋回餌出し作業)

表2. 稼働実績と顧客評価 (例)

現場、工事内容	評 価
1 千葉県 地下貯水場 地下6階 最下部 梁高さ2.2m	(1)車高が低く、ミニPC30が入れない所でも入れるので非常に良い。 (2)後方超小旋回なので、後方を気にせず安心して作業が出来るので良い (3)切り梁間のミニが不要で経済的。
2 東京都 地下駐車場 約40m*約100m 深さ30m 地下5階部 梁高さ2.5m	(1)従来車の場合梁高さ3mの所でも、気を使うが、その必要が無く良い (2)先頭車両としてPG75を使うと能率が良い。 (3)後方、上方を気にせず、フル運転できるので、OK。
3 名古屋市 地下建築工事 地下2階部	(1)従来車(0.25m <sup>3</sup> )に対し、バケットが大きい(0.4m <sup>3</sup> )ので良い。 (2)低車高、小旋回は地下工事に最適だ。
4 札幌市 地下道路 梁高さ2.6m	(1)良く考えられた車だ。 (2)バケットが大きく、振り回しが容易でオペが楽で、仕事がかどる。 (3)湿地シューなので良かった。
5 東京都 地下鉄12号線 地下30m 24h/日稼働 梁高さ2.6m	(1)低い現場に良くマッチした作業機だ H鋼に接近しないので、楽に作業ができる。 (2)小旋回で後方に気を使わず良い。 (3)バケットが大きく、仕事がかどる。

## 7. 工法の改善

次に工法の改善例を紹介する。

表2.1の地下貯水場工事の最下層部掘削餌出し土量、約9500 $\text{m}^3$ の作業において当初計画では、

- ①従来0.3 $\text{m}^3$ 油圧ショベル — 1台
  - ②コマツPC30 ジオマスタ — 3台
- で9日間での工事予定であったが、PC30、3台の代わりに開発機をテスト導入した所、7日間で工事を完了する事が出来た。

図10.11に当初計画工事概要を示している。当初計画では、従来ショベルの車高は2.5mで、梁高さがX方向2.6m、Y方向2.2mなので、X方向へは進めない為、Y方向作業の後クレーンで吊って2スパン隣へ下ろし、Y方向作業を繰り返す。PC30はキャノビを下げれば車高2.2mなので、なんとか2.2m梁の下をくぐる事が出来るので、各スパン間を掘り進んで行く。

ここでPC30を多数投入すれば全域作業出来るが、能率が悪い。又、従来ショベルで全域を作業させると、クレーンでの吊り作業が2倍となり、安全上及び作業効率上好ましく無いので、このような共同作業を計画していた。しかし従来ショベルは、Y方向に進めば何とか作業出来るが、梁高さが2.6mで、梁に衝突する恐れがある為、フル作業が出来ないという問題が残っていた。

開発機は車高が1.99mであり梁高さ2mでも掘削餌出し作業出来る様に設計されているため、XYいずれ

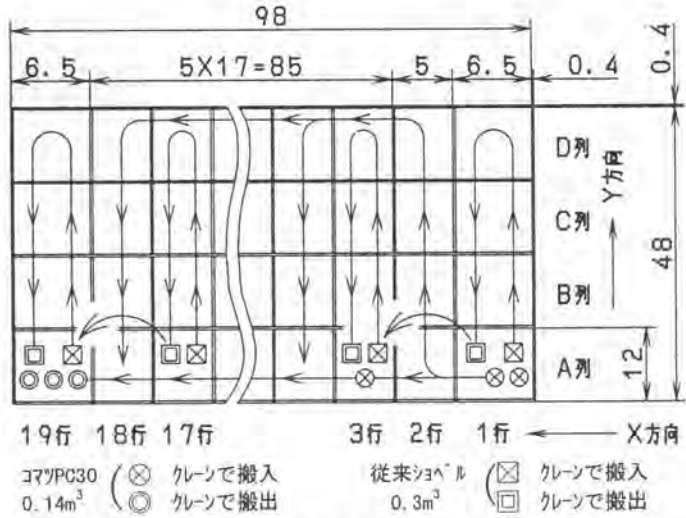


図10. 当初計画工事概要



図11. 当初計画 従来ショベルとコマツPC30の共同作業

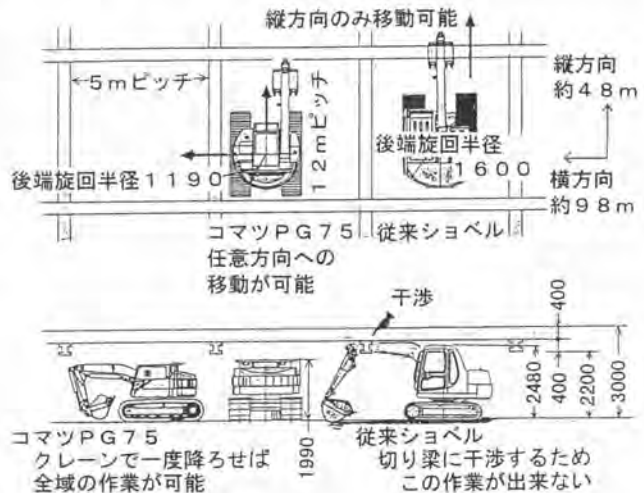


図12. コマツPG75スーパージャズによる作業



の方向にも自由に掘り進む事が出来、2.2m梁の所でも効率良く作業が出来、又、吊り作業等によるロスタイムも無く、更にエンジン出力、バケット容量が大きいので、大幅に作業能率を改善する事が出来た。ここで、改善効果試算結果を表4に示す。機械経費、燃料他雑費、人件費等で地域により実勢価と少し異なるかも知れないが、マクロ的に見た場合、特に問題にならないと思う。

これによると本工事での改善効果は約2倍であったと言える。更に、工法を改善し本開発機のみで全工事を行った場合を推定すると、約2.7倍の改善効果が期待出来る。



写真2. 地下貯水場工事現場とテスト車



写真3. 地下鉄12号線建設現場とPG75



写真4. PC30ジオマスタ

表3. 改善効果試算結果

	単位	当初計画		7社実績		工法改善
		S社 ショベル	PC30 ジオ	S社 ショベル	PG75 テスト車	PG75 販売車
バケット容量	m³	0.3	0.14	0.3	0.35	0.4
エンジン出力	Ps	57	28	57	55	60
全作業量	m³	9500		9500		9500
機械台数	台	1	3	1	1	1
作業量 A	m³/台	70	50	70	85	110
作業日数	日	9	9	7	7	10
クレーン作業	回	10	6	10	2	2
機械経費	円/日	23	54	23	30	35
燃料他	円/日	5	7	5	5	6
人件費	円/日	22	66	22	22	22
ショベル経費	円/日	450	127	350	399	630
クレーン経費	円	100	30	100	20	20
経費計 B	円	550	1170	450	420	650
	円	1750		870		650
A/B	m³/円	5.4		10.9		14.6
改善効果	指数	1.0		2.0		2.7

(注)全作業量、作業量Aはヒアリング結果より推定

### おわりに

本開発機PG75スーパージオは正式量産発売前であるが、先行市場導入車等でお客様に好評を頂いており、先に発売開始したPC200-6 スーパーテレスコラムと併せて、建築地下工事の掘削餌出し、揚土までをシステムとして、作業効率向上を図る事が出来た。今後は開発機をベース車両として、各種仕様車を開発し、地下工事の工法改善による安全と高効率化へ少しでも貢献していきたい。

最後に、本機開発にあたり御指導、テスト機の現場提供等頂いた建設会社、先行販売車を購入し市場実績を築いて頂いた建設会社の関係者の皆様に感謝の意を表します。

### 《参考文献》

- ・及川正純『バケット容量をアップしたテレスコラムの開発』建設の機械化 '98.2



$H_g$ : Center of gravity of vehicle

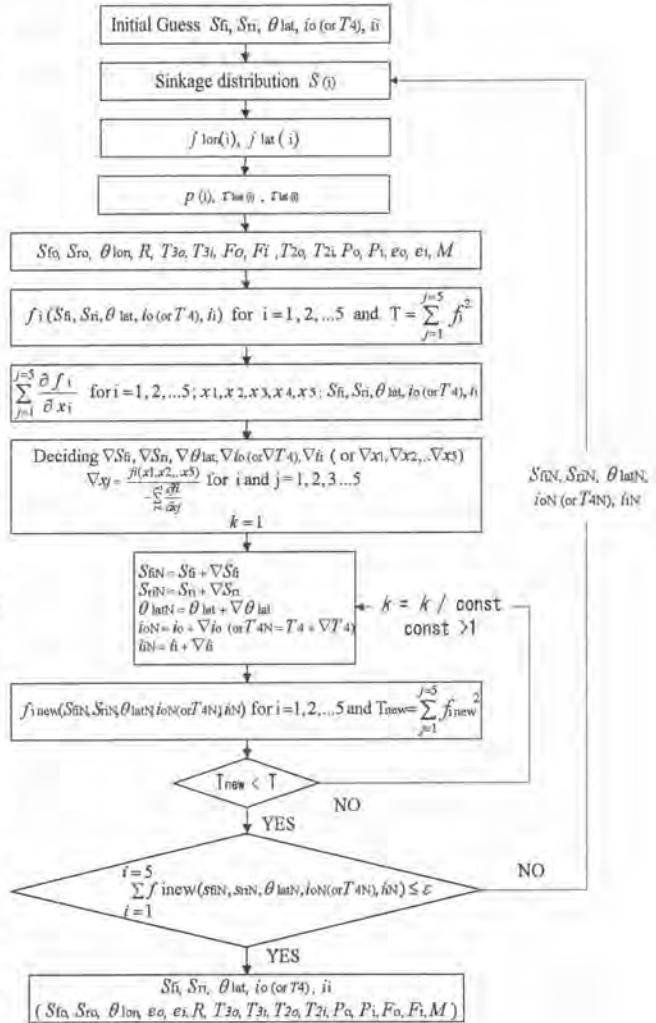
$H_{dp}$ : Height of hitch point

$L_{dp}$ : Distance from hitch point to vehicle center of gravity

$D$ : Contact length of track

$e_o, e_i$ : Eccentricity of ground reaction force of outer and inner track.

**3- Simulation method and flowchart:** For tracked vehicle with rigid suspension system the set of equations describing state of steady turning can be collapsed into the set of 5 equilibrium equations (1)-(5) with 5 independent unknowns. The independent unknowns are sinkage of front idler and rear sprocket of inner track  $S_{fi}, S_{ri}$ , lateral inclination angle  $\theta_{lat}$ , slip ratio of outer  $i_o$  (or effective tractive effort  $T_4$ ) and slip ratio of inner track  $i_i$ . Other characteristics  $M, T_{3o}, T_{3i}, F_o, F_i, T_{2o}, T_{2i}, P_o, P_i, R, S_{fo}, S_{ro}, e_o, e_i, \theta_1$  in the set of equations can be computed from the above 5 independent unknowns. Using this approach, the problem then can be expressed as which combination of the position of the vehicle at steady turning state (specified by sinkage of front idler and rear sprocket of inner track  $S_{fi}, S_{ri}$  and lateral inclination angle  $\theta_{lat}$ ) and operating conditions (specified by slip ratio of outer track  $i_o$  (or effective tractive effort  $T_4$ ) and slip ratio of inner track  $i_i$ ) satisfies equilibrium equations (1)-(5). The answer to this problem is to solve set of 5 equilibrium equations for 5 unknowns  $S_{fi}, S_{ri}, \theta_{lat}, i_o$  (or  $T_4$ ) and  $i_i$ . Newton-Raphson method for a set of nonlinear equations is used as a solving method of this set of nonlinear equations<sup>1)</sup>. Consequently, the flow chart of the simulation is as shown in Fig.2.



**Fig. 2 Flow Chart**

The answer to this problem is to solve set of 5 equilibrium equations for 5 unknowns  $S_{fi}, S_{ri}, \theta_{lat}, i_o$  (or  $T_4$ ) and  $i_i$ . Newton-Raphson method for a set of nonlinear equations is used as a solving method of this set of nonlinear equations<sup>1)</sup>. Consequently, the flow chart of the simulation is as shown in Fig.2.

For a rigid suspension system the track is considered either non-extendable or extendable to a certain degree. For these cases, the sinkage distribution  $S_{(i)}$  is known for the assumed vehicle position. To express sinkage distribution the track is divided into  $n$  finite sections. The sinkage distribution  $S(i)$  is then expressed as sinkages of the beginning points of each sections.

As next step distribution of longitudinal and lateral amount of slippage  $J_{lon}(i)$  and  $J_{lat}(i)$  can be computed for this guessed combination of  $S_{fi}$ ,  $S_{ri}$ ,  $\theta_{lat}$ ,  $i_o$  ( or  $T_4$ ) and  $i_i$  <sup>2)</sup>.

The contact pressure distribution can then be computed by recursive solving of the following equation for each of section  $i$  of the track:

$$S(i) = \left( \frac{P(i)}{k_1} \right)^{\frac{1}{n_1}} + S_{sl}(i-1) + c_0 \left( \frac{P(i) + P(i-1)}{2} \right)^{c_1} [J(i)^{c_2} - J(i-1)^{c_2}] \quad (6)$$

From the computed pressure distribution  $p(i)$  and distribution of longitudinal and lateral amount of slippage  $J_{lon}(i)$  and  $J_{lat}(i)$ , distribution of longitudinal and lateral shear resistance  $\tau_{lon}(i)$  and  $\tau_{lat}(i)$  are computed using Janosi-Hanamo's equation.

Sinkage of front idler and rear sprocket of outer track  $S_{fo}$ ,  $S_{ro}$ , longitudinal inclination angle  $\theta_{lon}$  and turning radius  $R$  can be computed from  $S_{fi}$ ,  $S_{ri}$ ,  $\theta_{lat}$ ,  $i_o$  and  $i_i$  using geometrical equations <sup>2)</sup>. Longitudinal and lateral shear resistance of outer and inner track  $T_{3o}$ ,  $T_{3i}$ ,  $F_o$ ,  $F_i$  can be computed from the above calculated distribution of longitudinal and lateral shear resistance  $\tau_{lon}(i)$  and  $\tau_{lat}(i)$ . Rolling resistance of outer and inner track  $T_{2o}$ ,  $T_{2i}$  are calculated from the sinkage of front idler. Resultant ground reaction force of outer and inner track  $P_o$ ,  $P_i$  and their eccentricity  $e_o$ ,  $e_i$  can be determined from the above calculated contact pressure distribution. Turning moment  $M$  can be determined from distribution of lateral shear resistance <sup>2)</sup> and lateral bulldozing resistance <sup>3)</sup>.

As the next step, the values  $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5$  of the left hand side of the equilibrium equations (1)-(5) are computed using the above calculated characteristics for the assumed values of  $S_{fi}$ ,  $S_{ri}$ ,  $\theta_{lat}$ ,  $i_o$  ( or  $T_4$ ) and  $i_i$ .

With known values of  $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5$ , corrections  $\nabla S_{fi}$ ,  $\nabla S_{ri}$ ,  $\nabla \theta_{lat}$ ,  $\nabla i_o$  ( or  $\nabla T_4$ ) and  $\nabla i_i$  can be computed by solving the set of linear equations derived from the non-linear set of equilibrium by using Taylor series as shown in the flowchart in Fig.2. The corrections are then added to guessed solutions  $S_{fi}$ ,  $S_{ri}$ ,  $\theta_{lat}$ ,  $i_o$  ( or  $T_4$ ) and  $i_i$ . To assure convergence even if the guess values are far from the solutions, the newly corrected guess are checked if it reduces function  $T(S_{fi}, S_{ri}, \theta_{lat}, i_o \text{ (or } T_4), i_i) = \sum f_i^2(S_{fi}, S_{ri}, \theta_{lat}, i_o \text{ (or } T_4), i_i)$ . With these corrected guessed solution the above loop is repeated again and again until the values  $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5$  of left hand side of the equilibrium equations (1)-(5) are zero (with certain

tolerance). Combined with minimum finding techniques for a function  $T(S_{fi}, S_{ri}, \theta_{lat}, i_o \text{ (or } T_4), i_i) = \Sigma f_1^2(S_{fi}, S_{ri}, \theta_{lat}, i_o \text{ (or } T_4), i_i)$  as shown above the method will lead to relatively fast solutions of the equilibrium equations.

**4-Simulation and experimental results:** The simulation analysis and experiment were carried out for a scaled model of a bulldozer. The vehicle is turned on a loose sandy soil in a soil bin with steering ratio of 1.6 and with effective tractive effort of 0, 98.1, 147.15, 196.2 N. The traction angle was zero and the theoretical circumferential speed of the outer track was 3.2 cm/s. Vehicle dimension and terrain-track system constants and other were shown in Table 1.

The measured values are the sinkage of front idler and rear sprocket of the outer and inner track, radius of turning, effective tractive effort, rotary speed of each track, distance covered by both tracks, time during which the distance are covered. From the measured values the slip ratios of the outer and inner track are determined.

Fig 3 shows the comparison between measured and calculated values of sinkage of front idler of both tracks. Fig. 4 shows the same comparison but for the sinkage of rear sprocket. The figures shows good match between measured and calculated values of the sinkages. The sinkage of the inner track is observed to be smaller then that of the outer track.

Vehicle weight $W$ (N)	582				
Height of hitch point $H_{dp}$ (cm)	15				
Dist. from center of grav. to hitch point $L_{dp}$ (cm)	26				
Initial track tension $H_0$ (N)	98.1				
Height of center of gravity $H_g$ (cm)	15				
Contact length $D$ (cm)	33				
Track width $B$ (cm)	10				
Mean contact pressure (kPa)	8.82				
Track gauge $C$ (cm)	23				
Grouser height $H$ (cm)	1.7				
Grouser pitch (cm)	2.55				
Grouser thickness (cm)	0.3				
Maximum track deflection (cm)	1				
Radius of front idler $R_f$ (cm)	5.4				
Radius of rear sprocket $R_r$ (cm)	5.4				
Radius of road rollers $R_m$ (cm)	1.9				
Number of road rollers	3				
Road roller interval (cm)	6				
$k_1$ ( $N/cm^{a_1+a_2}$ )	$n_1$	$k_2$ ( $N/cm^{a_2+a_3}$ )	$n_2$		
0.278	2.66	3.69	0.515		
$m_c$ ( $N/cm^2$ )	$m_r$	$a$ (1/cm)	$c_0$ ( $cm^{1+2a_1}$ $c_2/N^{a_1}$ )	$c_1$	$c_2$
Lon. 0	0.738	0.141	0.386	0.573	0.601
Lat. 0	0.438	0.094	0.149	0.750	0.975

Table 1 Vehicle dimension and terrain-track system constants

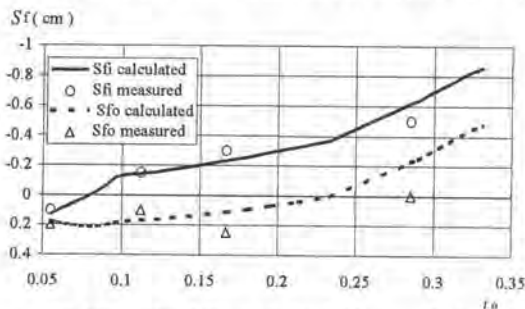


Fig. 3 Comparison between calculated and measured values of sinkage of front idler for different slip ratio of outer track  $i_o$

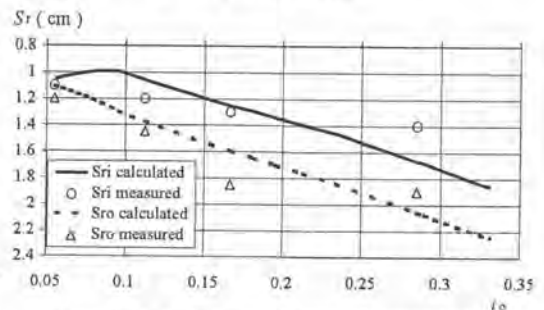


Fig. 4 Comparison between calculated and measured values of sinkage of rear sprocket for different slip ratio of outer track  $i_o$



The comparison between the measured and calculated effective tractive effort is shown in fig. 5 while the comparison of the measured and calculated values of turning radius in fig. 6.

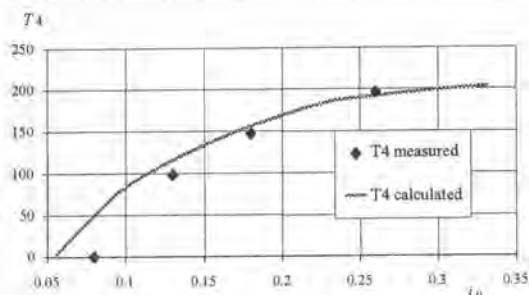


Fig. 5 Comparison between calculated and measured values of effective tractive effort  $T_4$  for different slip ratio of outer track  $i_o$ .

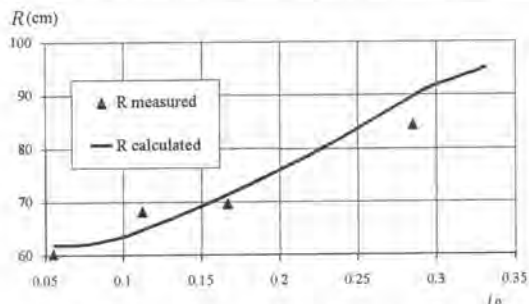


Fig. 6 Comparison between calculated and measured values of turning radius  $R$  for different slip ratio of outer track  $i_o$ .

Fig. 7 to 11 shows the simulation result for 3 cases of steering ratio of 1.6, 2.2 and 3.20. The figures compare the turning characteristics of different steering ratio. Fig. 7 shows that effective tractive effort increases with the increase of slip ratio of outer track to the maximum values. The tractive effort of the smaller steering ratio is bigger than that of the larger steering ratio for the same slip ratio of outer track. Fig. 8 shows that the slip ratio of inner track increases almost linearly with the increase of steering ratio of outer track.

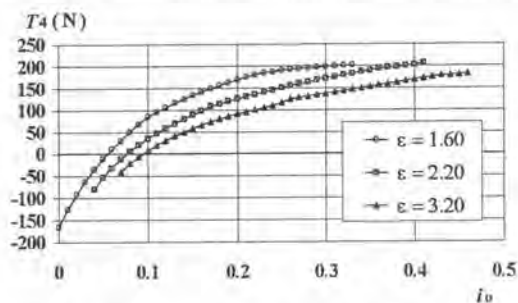


Fig. 7 Relationship between effective tractive effort  $T_4$  and slip ratio of outer track  $i_o$  for different steering ratio

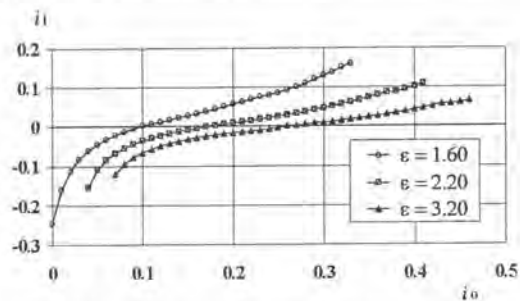


Fig. 8 Relationship between slip ratio of inner track  $i_i$  and slip ratio of outer track  $i_o$  for different steering ratio

From the fig. 9 it can be observed that there exists a minimum turning radius for all the 3 cases of steering ratio. For the same slip ratio of the outer track, the turning radius of the smaller steering ratio is bigger than that of the larger steering ratio as expected. Fig. 10 shows that the bigger the slip ratio of the outer track the smaller the turning moment can be observed. It can be explained by the fact that turning radius is bigger at the bigger slip ratio of outer track as observed in fig. 9. Fig. 11 shows the contract pressure distribution for the case of steering ratio of 1.6 while the vehicle is running with slip ratio of outer track of 0.2. It is natural that the pressure shows maximum values under road rollers.



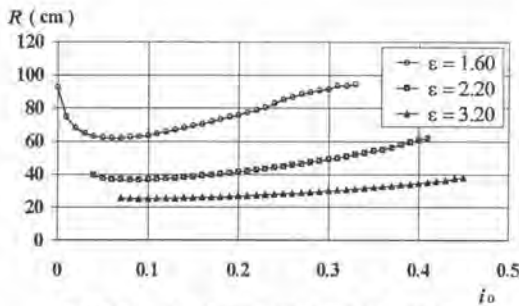


Fig. 9 Relationship between turning radius  $R$  and slip ratio of outer track  $i_o$  for different steering ratio

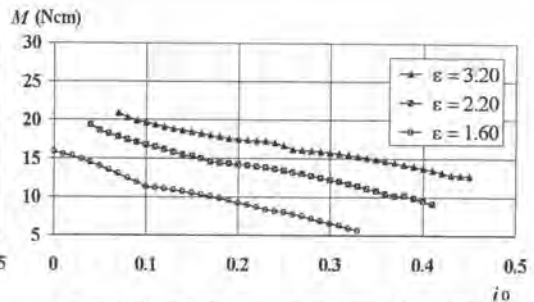


Fig. 10 Relationship between turning moment  $M$  and slip ratio of outer track  $i_o$  for different steering ratio

**5-Conclusion:** The numerical analysis was established to predict turning characteristics of tracked vehicle on steady turning state and the experiment was carried to verify the simulation. From the result of the research the followings can be concluded:

1. For the case of rigid suspension system the set of equations describing steady turning state of tracked vehicle can be collapsed into the set of 5 equilibrium equations with 5 unknowns: sinkage of front idler and rear sprocket of one track, lateral inclination angle and slip ratio of outer track ( or effective tractive effort ) and slip ratio of inner track.
2. The numerical analysis shows that high accuracy could be observed between the calculated and measured values.
3. The sinkage of the inner track is smaller then that of the outer track for all the 3 cases of steering ratio.
4. The effective tractive effort increases with the increase of the slip ratio of outer track and is larger at smaller slip ratio for the same slip ratio of the outer track.
5. There exists the minimum turning radius in the relationship between turning radius and slip ratio of outer track.

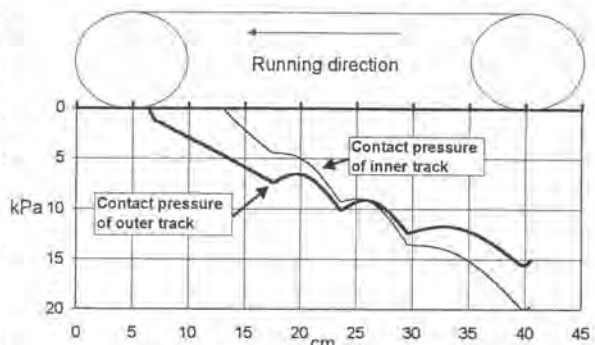


Fig. 11 Contact pressure distribution for steering ratio of 1.6 and slip ratio of outer track 0.2

**Reference:**

1. William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian P. Flannery, *Numerical Recipes in C, the art of scientific computing- second edition*, Cambridge Univeristy Press, 1995, pp. 379-393.
2. Muro. T, Thai T, D, Turning Characteristics of a Bulldozer under Traction on a Weak Sandy Terrain, *Proceedings of 7<sup>th</sup> European ISTVS Conference*, 1997, 102-109.
3. E. Hegedus; A simplified method for the determination of bulldozing resistance, *LLL Report*, 1960, No. 61.

# 46. 地中環境に優しい車輪式車両の開発

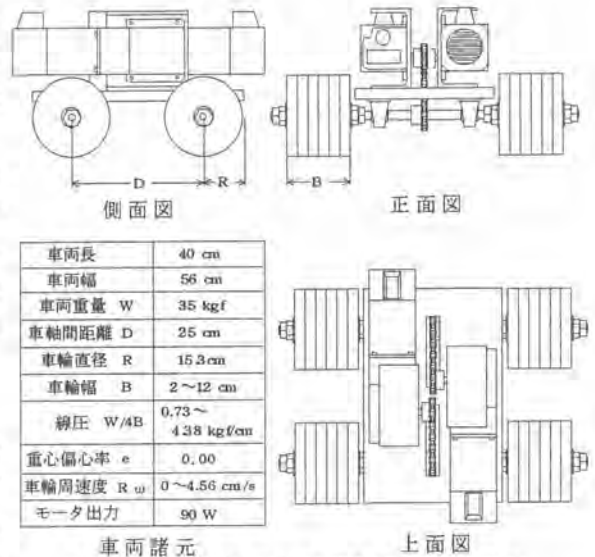
愛媛大学：\*重松 尚久, 室 達朗

## 1. はじめに

建設現場に至るまでの仮設道路等には、重ダンプトラックなどによる車両走行時に発生する轍が多く見られる。このような区域における自然環境への影響を最小限に止めるために、新しい車両の開発<sup>1)</sup>が望まれている。本研究では、特に4WD(Four Wheel Drive System)車両に限定して、ゆるく堆積した砂質地盤上での4WD車両の走行特性を明らかにすることにある。今回は車輪幅変化が車両の走行性能および地盤に与える影響について考察する。

## 2. 実験装置および実験方法

試料砂として愛媛県松山産のまさ土を使用した。気乾燥状態のまさ土の最大粒径4.75mm以下に調整したまさ土の土質特性は土粒子比重2.66、平均粒径0.78mm、均等径数12.0、曲率係数3.0、最適含水比12.8%である。ここでは、含水比10.0±1.22%、乾燥密度1.33±0.88g/cm<sup>3</sup>に調整したまさ土を鋼製のパネル板を組み立てた実験土槽(長さ350cm,幅



車両諸元  
図-1 車輪式車両の三面図及び車両諸元

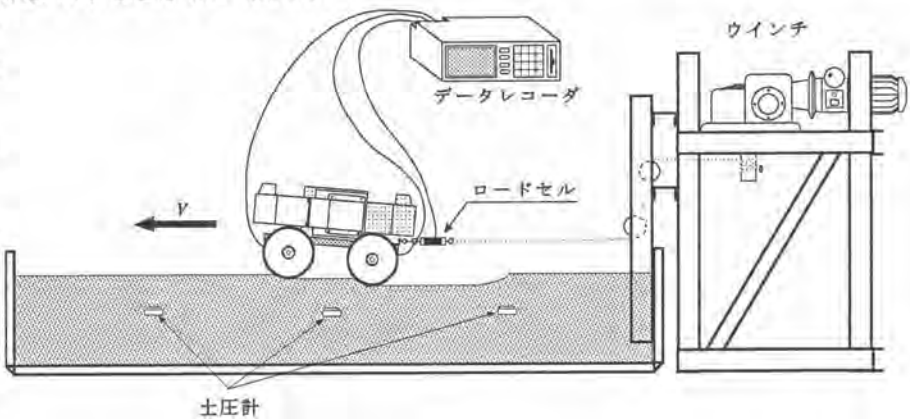


図-2 実験装置概略図

90cm,深さ:30cm)内に5cmずつまきだし、密度分布を一定にするために0.1kgf/cm<sup>2</sup>の圧力で締め固め、五層に分けて25cmの高さの供試体を作成した。4WD車両には直径15.3cmの剛性車輪を使用し、前後輪の回転数は同じとして車両重量W=35kgfおよび走行速度V=0.73cm/sを一定のもとに実験をおこなった。ウインチから出されるワイヤーの速度によって車両速度を変えることによって車両速度を決定し、車輪の回転速度を変化させることにより車両のスリップ率をコントロールした。4WD車両の三面図および車両諸元を図-1に示す。実験の測定項目として、それぞれの車輪幅においてスリップ率を変化させた時の前後輪の駆動力 $Q_{d/R}, Q_{r/R}$ と車両の有効牽引力T、前後輪の沈下量 $s_f, s_r$ および前後輪通過時の鉛直方向の垂直土圧 $\Delta\sigma_z$ を測定した。図-2に上記の土槽と車両の実験装置の概略図を示す。なお、スリップ率は実験車両の速度V(cm/s)を測定し、次式で求めた。

$$i = \frac{R\omega - 1}{R\omega} = 1 - \frac{V}{R\omega} \quad \begin{array}{l} R: \text{車輪半径 (cm)} \\ \omega: \text{車輪の円周方向の角速度 (rad/s)} \end{array}$$

次に、車両の走行が地盤に与える影響を詳しく調べるため、地表から15cmにとこりにSST (Stress State Transducer)<sup>2)</sup>を埋設し、地中における垂直応力 $\sigma_z$ 及びせん断応力 $\tau_{xy}$ を測定した。図-3にSSTのモデルを示す。これは、6つの土圧計を多面体構造の中に埋め込んで作られたものであり、地中の主応力、せん断力と八面体応力が算定できるようになっている。なお、X,Y,Zは直交座標になっている。これを面Zを水平面にとり、XとY軸の二等分線が進行方向となる位置に埋設した。

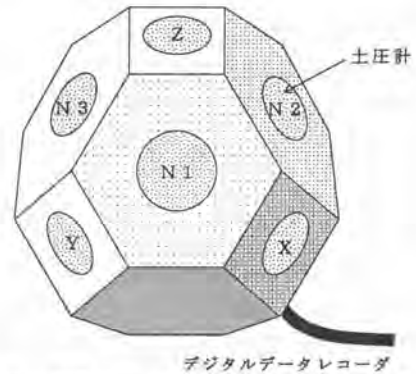


図-3 SST (Stress State Transducer) 概略図

### 3. 実験結果

#### (1) 沈下量

各車輪幅Bに対する前輪のみの沈下量 $s_f$ および後輪のみの沈下量 $s_r$ とスリップ率 $i_d$ との関係を図-4,5に示す。各車輪幅Bにおいて、 $i_d$ の増加に伴い $s_r$ はやや増加するが、 $s_r$ は $s_f$ に比べ大きく増加する傾向にある。この現象は後輪の軸荷重が前輪よりも大きく増加したために、後輪のスリップ沈下が促進されたためだと思われる。また、車輪幅Bの変化による影響は、Bが増加すると車輪の線圧が減少し、各車

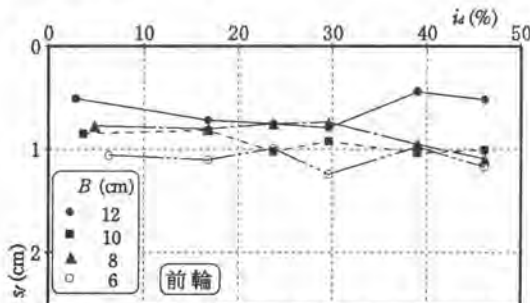


図-4 前輪の沈下量とスリップ率の関係

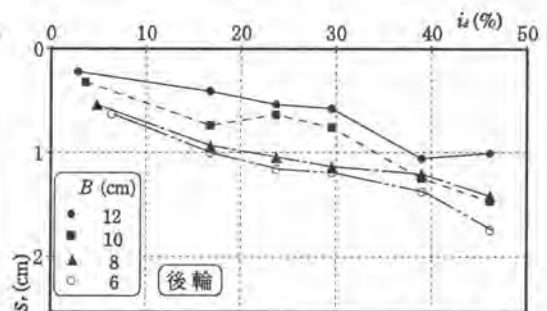


図-5 後輪の沈下量とスリップ率の関係

輪の静的沈下が減少する為に  $s_r$ ,  $s_f$  は減少する傾向にある。

(2) トルク及び有効牽引力 各車輪幅  $B$  に対する両輪の全駆動力  $Q_d/R$  および有効駆動力  $T$  とスリップ率  $i_d$  の関係を図-6 に示す。なお、 $Q_d/R$  は前輪の駆動力  $Q_{d1}/R$  と後輪の駆動力  $Q_{d2}/R$  の和である。各車輪幅  $B$  において、 $i_d$  が増加するにつれて  $Q_d/R$  は単調に増加するのに対して、 $T$  はすべての  $B$  において  $i_d=30\%$  付近で極大値をとりしだいに減少していった。これは、車輪のスリップ沈下による走行抵抗 ( $Q_d/R-T$ ) の増加が大きく影響したためである。車輪幅  $B$  の変化による影響は、 $B$  が増加すると車輪線圧の減少により走行抵抗が減少するために、 $Q_d/R$  はやや減少傾向にあり  $T$  はやや増加傾向にある。

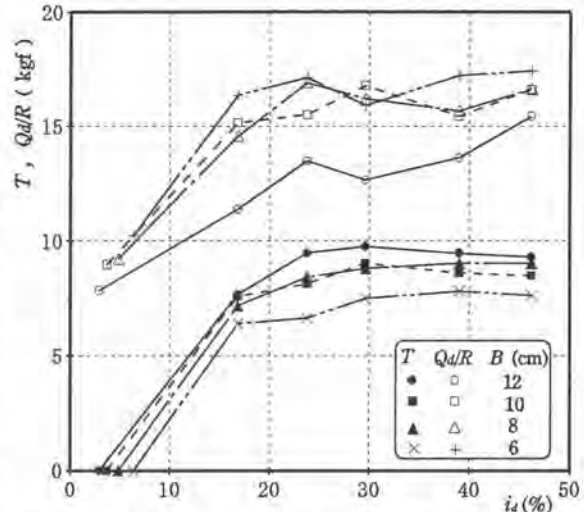


図-6 トルク及び有効牽引力とスリップ率の関係

(3) 垂直応力  $B=12\text{cm}$  時の地表面から  $15\text{cm}$  において増加した鉛直方向の垂直応力分布図を図-7 に示し、各車輪幅  $B$  に対する前後輪通過時の鉛直方向の垂直土圧の最大値  $\Delta\sigma_{\max}$  を図-8 に示す。各車輪幅  $B$  において、 $i_d$  が増加するにつれて前後輪通過による  $\Delta\sigma_{\max}$  はほぼ一定となり、後輪通過時の方が前輪通過時に比べ大きな値を示した。車輪幅  $B$  の変化による  $\Delta\sigma_{\max}$  の影響は、 $B$  が増加すると前輪通過時においてやや減少し、後輪通過時には大きく減少した。これらの事から、後輪の軸荷重が前輪よりも  $i_d$  および  $B$  の影響を大きく受けている事が分かる。

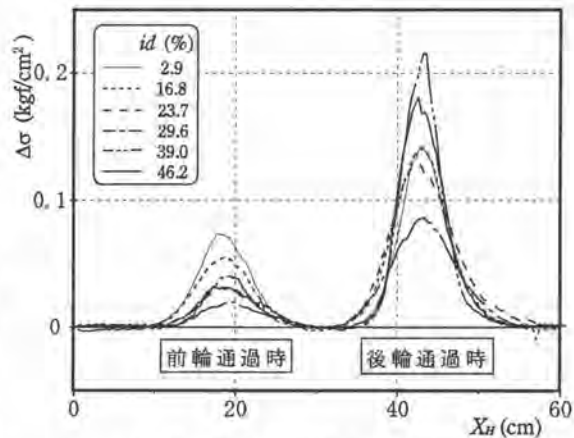


図-7 土中応力分布 ( $B=12\text{cm}$ )

(4) SST SST の実測値 ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\sigma_{x1}$ ,  $\sigma_{x2}$ ,  $\sigma_{x3}$ ) を数学的に解析し地中での全ての応力状態を算定した。図-9 に車輪幅  $B=14\text{cm}$  の自走状態の垂直応力  $\sigma_z$ 、せん断応力  $\tau_{xy}$  と  $X_H$  の関係を示す。なお、 $X_H$  は車両の移動距離であり、車両の中心が SST の上を通過する時を  $X_H=0$  とした。 $\sigma_x$  と  $\tau_{xy}$  は共に前・後輪の直下で極大値をとった。また  $\sigma_x$  と  $\tau_{xy}$  の増減は、同様の変化をした。図-10 は車輪幅  $B=14\text{cm}$  の自走状態での主応力  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  の変化の様子と主応力が進行方向  $X_H$  とのなす方向余弦より主応力方向の変化を示したものである。車両が進行するにつれて主応力の方向がしだいに変化していくことがわかる。

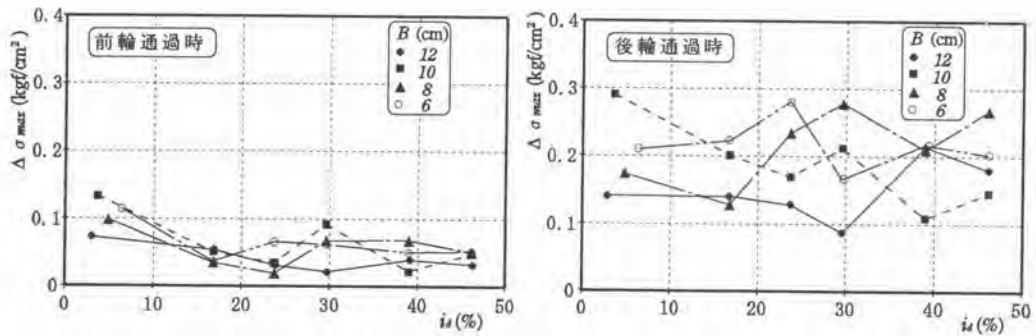


図-8 垂直土圧の最大値とスリップ率の関係

#### 4. まとめ

車輪幅を増加させると、前後輪の沈下量は減少するが有効牽引力は増加し、全駆動力は減少した。車輪幅を増加させると深さ 15cm における前輪通過時の鉛直方向の垂直土圧はわずかに減少するのに対し、後輪通過時には大きく減少した。また、各車輪幅において後輪通過時の方が大きな値を示した。以上の事から、地盤に与える影響を少なくするためには、車輪幅を広くすればするほど効果がでるが、走行性能をある程度保つためには、車輪幅変化による有効牽引力の最大値の影響を認識し、それによって、最大限車輪幅を広くするのが望ましい。地中環境に優しい車両は、地中応力や沈下量を最小限にとどめ植生などを考慮した車両でなければならない。今回は、車両の走行が地中に与える影響を調べたが、今後は、地中環境を考慮したそれらのその基準点を探していくことが命題である。

参考文献 1) T.R. Way, et al. : Soil stress state orientation beneath a tire at various loads and inflation pressures, Proc. of the 5th North America I.S.T.V.S Conf. , pp.33-41, 1995.

2) T.A.Nichols, et al. : A Stress State Transducer for Soil, Trans. of the ASCE, 30(5), pp.1237-1241, 1987.

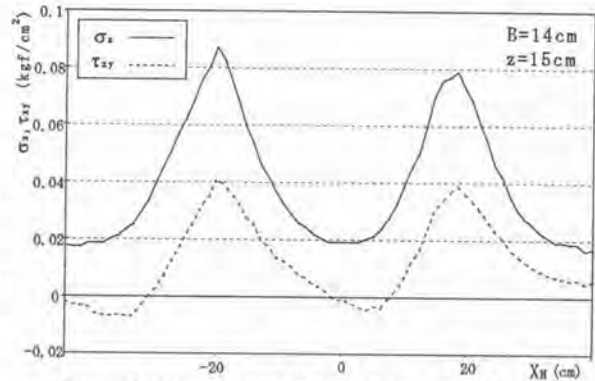


図-9 自走状態での垂直応力とせん断応力の変化

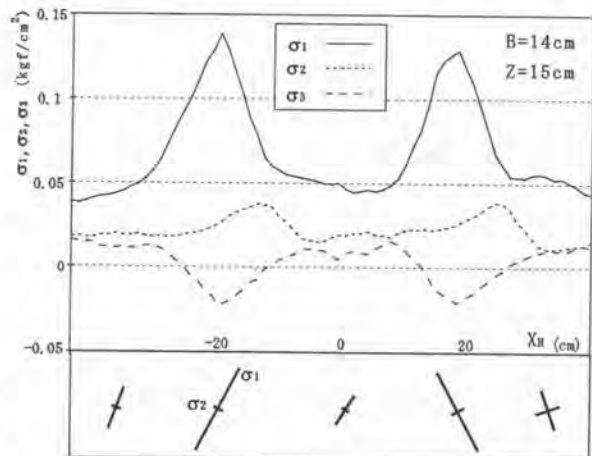


図-10 自走状態での主応力及び主応力方向の変化

# 47. 浅層地盤改良用固化材供給設備 “PJプラント”の開発

日本舗道㈱：山口 栄一，稲葉 七生，\*相田 尚

## 1. はじめに

近年、社会全般で環境保全やコスト縮減が盛んに謳われている。こうしたなかで、道路の築造や土地の造成に際しても、置換用良質土の欠乏、土捨場の不足、材料運搬費の高騰、建設予算の縮減などを背景に、路床安定処理工事や地盤改良工事が増えてきている。

地盤改良工事のうち深さ1～3m程度の浅層地盤改良の領域では、固化材の使用方法として、路床安定処理で普遍的に行われている表面散布方式、あるいは深層地盤改良の施工技術であるスラリー供給方式のどちらかを採用するのが一般的である。しかし、前者の場合は、処理厚さが深くなるにつれ混合の均一性を保つのが難しく、一般的には1.5mまでが許容とされている。また、粉塵が発生することから施工場所が限定されることもある。

後者の場合、土の含水比を高めることから固化材の添加量が大きくなり不経済となる欠点があった。しかし、スラリー状で使用する場合、液体のポンプ輸送が出来ることから、長距離圧送が可能であり、流量の制御も容易であるうえ、粉塵の心配も無いといった利点も多かった。

固化材を粉状のまま圧送できれば、添加量を低減でき経済的であることは明らかであるが、空気圧送による吐出量の管理、制御が難しいこと、また、特に浅層地盤改良では粉塵の発生があることなどの理由でこれまで実用化は難しいとされてきた。

こういったことを背景に、浅層地盤改良における土中粉体噴射工法「PJマッドスタビ工法（Powder Jet Mud-Stabi）」と、専用の固化材供給設備「PJプラント」の開発に取り組んだ。

なお、同様の工法として深層地盤改良の分野では、DJM工法が展開されているが、施工方法や施工機械が異なるため浅層地盤改良では適用できない。

## 2. PJマッドスタビ工法の概要

工法の開発に当たっては、以下のコンセプトを掲げた。

- ① スラリー方式より固化材の添加量が少なくすむ粉状固化材を用いる方式とする。
- ② 粉状固化材であっても、ほぼ無粉塵の状態で行えるシステムとする。
- ③ 固化材の供給作業を軽減するため、空気圧送とし、200m以上の輸送が行えるものとする。
- ④ 混合装置は、これまでの実績にかんがみトレンチャ型とする。
- ⑤ 深さ方向の混合均一性を高めるため、混合装置先端における土中噴射方式とする。
- ⑥ 混合機のベースマシンは、浅層地盤改良に必要な面的な機動性を確保できるものとする。

開発した施工システムを図-1に示す。すなわち、粉状の固化材をPJプラントにより施工箇所まで



連続的に空気圧送し、トレンチャ式ミキシング装置に取り付けたノズルより土中噴射しながら、同装置で土と混合するものである。

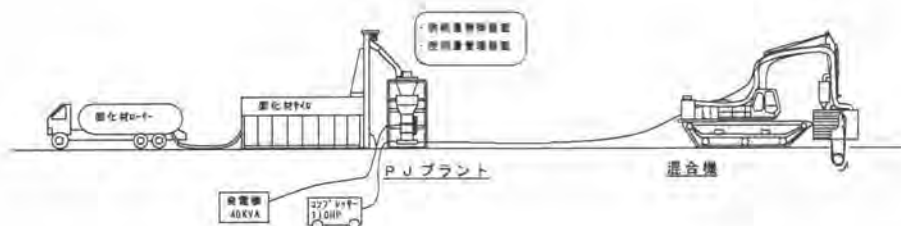


図-1 施工システム図

混合機は、現場条件により図-2のように使い分けることとした。いずれの場合もトレンチャ部分は防塵カバーで覆い、かつ集塵機を搭載しているため発塵の心配はない。

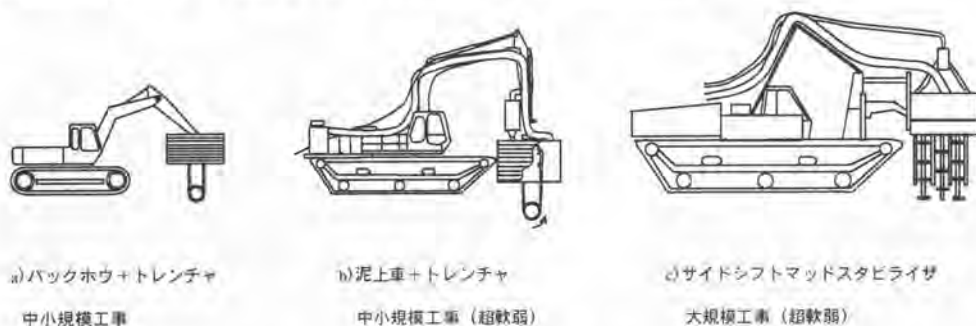


図-2 混合機の種類

### 3. 固化材連続供給機「PJプラント」の開発

固化材供給基地は、一般に現場近傍の地盤のよい箇所に設ける。工事中の移設を極力少なくするために供給機の圧送能力を大きくとりたいが、汎用型エアコンプレッサでまかなえる移送距離の限度は、実験結果から約250m程度であった。また混合機の施工速度と混合能力から、固化材供給能力は50～200 kg/minが必要と判断された。

これらのことから、固化材連続供給機の目標能力を輸送距離200m・輸送量200 kg/minと設定した。しかし、この条件に合った機械は市場には見あたらず、地盤改良機械メーカーである(株)クロサワジオメックと共同で新規開発を行うこととした。開発に際しては、次の項目を要件として取り上げた。

- ① 使用量管理上、固化材の供給量は分単位で把握でき、しかも供給量が安定していること。
- ② 必要最低限の風量で空気圧送でき、輸送途中での詰まりが生じにくいこと。
- ③ 圧力の上昇に対して安全で、しかもメンテナンスの容易な機構であること。
- ④ コンパクトな装置とし、移設・仮設が容易であること。

#### 4. PJプラントの概要

開発した固化材供給機「PJプラント」の主な仕様を表-1に、機構を図-3に示す。

(写真-1)

##### 4-1 供給原理

装置は単胴型とし、図-3に示すように区切られた4室の内の2室(中部ホッパ、下部ホッパ)の圧力を制御しながら固化材を切り出す構造とした。

一般的にダンパ型排出といわれる方式で、供給原理は次の流れによる。

- ① 圧送時のロータリーバルブからのエア一洩れによって下部ホッパ内の圧力が上昇し供給できなくなることから、強制的に下部ホッパ内を加圧する。
- ② 圧力の上昇した下部ホッパには中部ホッパからの材料が落ちないため、さらに中部ホッパを加圧する。
- ③ 排出が終わったらダンパを開め放気し、圧力を0にした後その上の材料が供給される。

以上①~③を1サイクルとし、計量ホッパが少量になった時、サイロから最大500 kg 計することから、500 kg 毎のバッチ計量でありながら、連続的な供給を行うしくみである。

##### 4-2 供給量の制御

固化材の供給量は、固化材の種類、供給距離などによって変化するが、開発装置ではロータリーバルブ回転数と下部ホッパ内の圧力を調整することによってほぼりニアに供給量を制御することが可能となった。

図-4は、加圧制御を行った場合と加圧制御をしない場合の供給量のデータをグラフにしたものである。

表-1 PJプラントの仕様

計量方式	ロードセル(3点式)
圧送量	0~300 kg/min
圧送長	300m (Max)
圧送管内径	3in
空気消費量	4~8 m <sup>3</sup> /min
管理方式	CPU制御方式
本体重量	5,000 kg



写真-1 PJプラント全貌

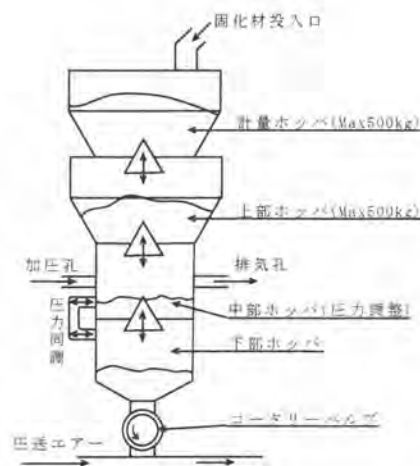


図-3 PJプラントの機構

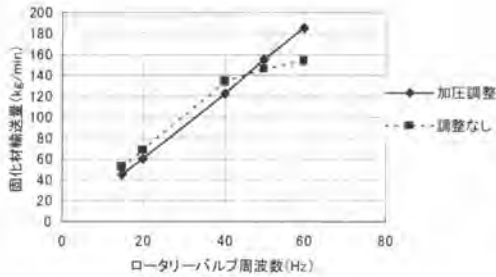


図-4 固化材輸送量の可変制御一例

## 5. 現場供用結果

実工事では、グラウンド整備工事など約 15,000 m<sup>3</sup> と約 12,500 m<sup>3</sup> の 2 件の大規模工事で使用した。大宮市の滝沼川遊水地整備工事での施工 (写真-2) では、供給量 180 kg/min, 圧送距離 200 m 程度の性能を確認できた。200 m 圧送時の実測例を図-5 に示す。

粉体の吐出量は、ロードセルによる重量値の減算から求めた。30秒単位ではバラツキが見られるものの、1分単位ではおおむね目標値の±15%の範囲に入る結果であった。もちろん500kg単位のバッチ計量であるので、2~3分単位ではほぼ目標値に等しい。

また、実施工においては吐出口が地下水位より低くなることも多く、閉塞が心配されたが、圧送した固化材はホース内で停滞することなくスムーズに流れ問題はなかった。

## 6. あとがき

環境保全とコスト削減は、今日の建設業界に課せられた大きなテーマである。安定処理工法や地盤改良工法は、これらの今日的要求に合致しており、さらに普及していくものと思われる。このような観点から、全厚施工の路床安定処理や1~3mの浅層地盤改良に対応できる工法として、PJマッドスタビライザを開発し一定の成果を得た。しかし、空気圧送の場合、実際の吐出状況が見えないことから、操作上気遣う点が多いため、さらなる機能の充実を図る必要性もある。また、今後スタビライザに搭載できるように軽便な装置が開発できれば、さらに適用範囲は広まるものと考えている。

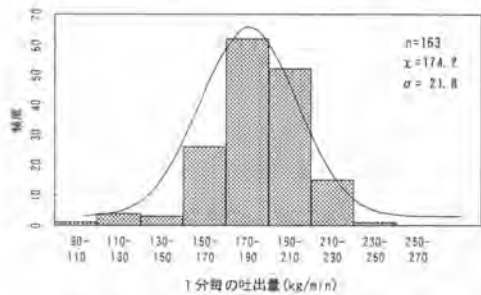
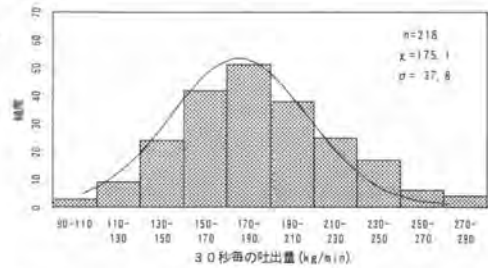


図-5 200m圧送時の実測例



写真-2 施工状況 (サイドシフト型マッドスタビライザ)

## 48. 垂直コンベア掘削揚土システムの開発

(株)間組 町 俊輔

### (概要)

近年、地下構造物の大規模化に伴い大深度、大規模掘削が増えてきました。地下タンク、地下変電所、地下貯留池、立て坑等の大深度、大規模掘削では、従来クラムシェルバケットや移動式テルハを用いた大型バケットによる揚土作業が主流を占めてきました。

しかしながら、これらバケット方式による場合、掘削深度が深くなるにつれて、揚土作業に時間がかかるとともに、常に上下作業の危険が伴います。

今回、このような大深度、大規模な掘削・集土作業から揚土・ダンプトラックへの積込みにいたる一連の作業において、作業の能率が掘削深度に影響されることなく、また、常に安全施工が可能な下降式延伸式垂直コンベアシステムを当社で開発・実施工を致しました。

### (特徴)

- ① 掘削の進行に伴って、下方への延伸が容易に出来る事
  - ・延伸フレーム接続継ぎ足し 3 m 毎
  - ・ベルト接続継ぎ足し 1.3 m 毎
- ② 施工条件によって、掘削・運搬機械の組合せが自由に選択できる。  
今回は、掘削：シャフローダ  
運搬：クローラダンプ
- ③ コンベアはφ1.6 mの鋼製フレームで覆われているので、土石の落下等の危険がなく、常に安全施工が出来る
- ④ ベルトカセット、グラウンドホッパー等の地上設備がコンパクトに収まり、場所をとらない
- ⑤ グラウンドホッパーからダンプトラックへの土砂の積込み量を一定に設定する事が出来る
- ⑥ 垂直コンベアはもちろん、地上設備も低騒音、低振動で周囲への環境に影響が少ない

### (設備仕様)

名 称	仕 様
① 供給ホッパー	3軸スクレーパー式 4.5 m <sup>3</sup>
② 垂直コンベア	ヒレ付ベルト (シールベルト付) ベルト幅：750 mm ベルト速度：50～90 m/min 運搬能力：100～180 m <sup>3</sup> /h (可変式)
③ホッパー振分コンベア	ベルト幅：750 mm ベルト速度：50～90 m/min 機長：2.7 m

④ベルトストレージカセット	ベルト3.6m（機長1.8m分）を収納可能
⑤延伸フレーム	標準L=3m φ1.6m（4分割）
⑥グラントホッパー	2.0m3*2連 2軸ロータによる定量排出方式
⑦運転室	
⑧ベルト洗浄装置	

（掘削工事概要）

工 事 名	関電上本町建物工事
工 事 場 所	大阪市中央区上本町1丁目5-1
企 業 者	関西電力株式会社
変電所平面形状	11.2m*4.0m
掘 削 深 度	3.9m
総 掘 削 土 量	160,000m <sup>3</sup> （コンベア揚土分）
揚 土 能 力（最大）	120m <sup>3</sup> /h・1基当り （ルーズ量）
計画掘削揚土量	80m <sup>3</sup> /h・1基当り
地 質	洪積の砂質土及び 粘性土の互層
掘 削 期 間	平成8年10月1日～ 平成10年7月30日
基本施工方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工区をA,B,Cの3工区に分け連続的な作業を行う</li> <li>・躯体工事と上下作業の錯綜作業としない</li> <li>・低騒音、低振動機械を使用する</li> </ul>

（施工中の問題点とその対策）

（1）土砂以外のガラ等（大半が粒径200mm以上のもの）及び粘性の強い土砂の混入  
今回の施工で、最も大きな問題点であった。

玉石その他の混入により、まずトラブルが発生した個所は、供給ホッパーであった。土砂を想定して設計・製作したものであったので、スクリー羽根が破損し、所要の能力を発揮出来なかった。

また、粘性と強い土砂の混入により、スクリー羽根に付着し、玉石と同様に能力を発揮できなかった。

#### 「1回目の対策」

- ① グリズリバーをホッパーの上部に取り付けた。

垂直コンベアで搬送可能な粒径（200mm）に合せて、グリズリバーの目開きを200mmとして設置し、ガラ等の混入を防止した。

- ② 送り羽根の形状の変更

羽根への付着を出来るだけ少なくするため、スクリー式の羽根をバドル式の羽根に改造・変更した。

#### 「第1回目の対策の効果」

①、②の対策によって羽根等の破損は防止出来たが、グリズリバーの上部にガラ及び粘性土（石状の硬いもの）の塊が堆積し、その除去のための手間を要したため、かえって作業能率が低下した。

#### 「2回目の対策」

- ① グリズリバーに代わる玉石除去用のふるいの設置

掘削土の中に含まれるガラ、及び粘性土の塊を対象に効果のあるふるいはどんな物であろうかと、四苦八苦した結果、回転式の円筒状のふるいを採用した。

#### 「2回目の対策の効果」

回転式ふるいを設置・運転した結果、ガラ、硬い粘性土はほとんどが除去され、コンベア本来の能力を発揮し、作業能率も所定の基準をクリアする事が出来た。全体の掘削工事を通して見て、ガラ、及び硬い粘性土の発生した時期は一時的な期間であった。

今回の工事で、このような回転式ふるいなどの設備について難があるといえれば、地下掘削現場には、多少寸法的に大きな設備といえる事であろう。

- (2) コンベアベルトへの土砂付着によるダストの発生

当初考えていたよりも、土砂の粘性が強かったためベルトへの付着が多々見られた。その付着分が、運転中に乾燥してダストとなり、それが粉塵発生の原因となった。

#### 「対策」

- ① 垂直コンベアの最上部で土砂を排出する部分にダスト受けシュートを設置した。
- ② ベルトカセットフレームの下部に、同じくダスト受けシュートを設置し、地下1階のスラブの上で処理した。

#### 「対策の効果」

シュートを設置した結果、屋外でのダストの風による舞い上がりが減少し、近隣への環境上での影響は最小限にとどめられた。

#### （工事完了後の反省）

当掘削工事は平成10年7月末に関係部署の協力を得て、無事完了した。

今現在、その工事を振り返ってみて反省すべき点を上げてみた

- ①掘削しようとする土砂、及び地質の念入りな調査が必要

現地の各層における地質は、ボーリング柱状図で推測可能であるが、玉石その他の混入率などに付いては、事前の工事（連続壁、構真柱など）である程度、予想出来たかも知れない。そのあたりをもう少し、今後は調査すべき点であると考えている。



今回は、施工中に設備の変更を強いられたが、本来はある程度の予測を持って設計に当たるべきだと考える。(逆に、設計の段階で過大設備にすれば、当然コストアップにつながるので、その方法は取らない方が得策である。)

#### ②設備の構造はなるべく簡素化した方がよい

工事は滞りなく完了したが、今回のような逆打ち工法での掘削・揚土作業では、設備の設置作業はもちろんのこと、コンベアフレーム、及びベルトの延伸作業が各次掘削毎に伴う。

本工事では、各次掘削高さを3m前後と決め、13次掘削までを施工し、延伸作業も12回施工した。

延伸作業そのものは、そう手間のかかる事ではないが、深度にしたがって作業数が増えるため、出来るだけ簡素化した方がよい。そのためにはコンベアの構造そのものを、特に延伸するフレーム部分を軽量化し、延伸作業が簡単に出来るような構造とする事が課題である。

#### (まとめ)

今回の工事が無事成功したのは、企業者、及び関係各署のみなさんのご協力があったこと、そして何よりもまず、当垂直コンベアの導入に尽力を尽くして下さった方々のお陰であると考えます。

何故なら、導入した事により機械としての不具合、及び改良点が明確になり、今後の設計に反映することが出来る。

従来のクラムシェル等の施工法がコスト他の面で優り、まだまだ今現在、建築工事、小規模工事では主流を占めているが、今回の工事での反省を活かし、改良を加え、コストの面でも従来工法を凌ぎ、今後の地下掘削工事等で、施工の合理化、安全性の向上に貢献したいと希望する。

又、当掘削作業で発生した残土は産業廃棄物として遠隔地まで運搬され処分されたが、時代の風潮から建設廃棄物のリサイクル化が各方面から提案され、実施されている昨今である。

当工事に都市中心部である事、仮設のための用地が狭い事などの条件がなければ、現在よく見られる掘削残土の固化剤添加によるリサイクル処分が可能であったかも知れない。もし可能であったなら、その残土は埋め戻し用の土砂として、付加価値が付いて再利用されると考えられる。

建設機械と施工法シンポジウム論文集（平成10年度版）

---

平成10年10月1日 印刷

平成10年10月9日 発行

不許

複製

編集  
発行所 社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011  
東京都港区芝公園3-5-8  
（機械振興会館内）

TEL (03) 3433-1501

FAX (03) 3432-0289

振替口座 00170-5-71122

---

印刷所 昭和情報プロセス㈱  
東京都港区三田5-14-3