平成９年度

建設機械と施工法シンポジウム

論　文　集

平成９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９年度

建設機械と施工法シンポジウム

論　文　集

平成９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９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】『舗装とその機械』

1．アスファルト表面遮水壁機能回復工法の開発 ……大成ロテック㈱：平野　　晃… 2

2．オフレール式コンクリート薄層フィニッシャの開発と施工
……大成ロテック㈱：*五十嵐謙一，松浦　千秋，藤沢　智徳… 6

3．フォームドアスファルトを使用した現地再生路盤工法の導入
……鹿島道路㈱；海老沢秀治，*鈴木　　泰… 10

4．ゴムロールド舗装における骨材散布機械 ……日本舗道㈱：*青山　俊行，
安藤　襞男，内田　精一… 16

5．アスファルトフィニッシャ用舗装厚自動制御装置“ペーブセット”の開発
……日本舗道㈱：田中　智彦，*山辺　生雅，安松　　仁… 20

6．セーフペーブ工法の開発……日本舗道㈱：*斎藤　　徹，宮崎　一郎… 24

【２】『維持とその機械』

7．じょく（褥）層工法とチップスプレッダ ……東亜道路工業㈱：長谷部勝郎… 28

8．コンクリート面削りの機械化施工……飛島建設㈱：*佐々木　修，貫洞　　悟… 34

【３】『トンネルとその機械』

9．UTC（U型トンネルコンベヤ）工法 ……東洋建設㈱：川西　龍一，森田　研志，
*秋庭　英樹… 40

10．連続ベルトコンベアによるTBM掘削ずり搬出 ……㈱間　組：*斎藤　　篤，
工藤　繁樹，清水　　学… 44

11. 大深度土圧式シールドにおける切羽圧制御装置の開発と実証実験
……大成建設㈱：*栄　毅熾，土橋　功，石川島播磨重工業㈱：北山　仁志… 50
12. 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
……大豊建設㈱：*小林　隆治，富沢　勉，金井　和彦… 54
13. DPLEX（偏心多軸）シールド工法による下水道トンネルの施工
……大豊建設㈱：平林　勉，近藤　紀夫，富沢　勉，*高村勝之進…58
14. パイプラインの高速敷設工法（アップル工法）の開発と適用
……東京ガス㈱：大工原　毅，新日本製鐵㈱：*望月　孝，
柴田　良樹，義若　秀彦… 62
15. 断面拡幅不要の長尺先受け工法の開発……飛島建設㈱：*市川　健作，川端　康夫… 66

【4】『その他の機械』

16. 放電衝撃破砕装置および工法の開発……㈱大林組：風間　慶三
日立造船㈱：*前畑　英彦，荒井　造成，西田　昭二… 72
17. 没水型低水護岸急速省力化工法……建設省荒川下流工事事務所：清水　俊夫，
㈱大本組：宮木　英昭，堀　隆，*後藤　克史… 78
18. 凍土急速解凍工法及びシステム ……鹿島建設㈱：*白井　俊輔，早川　康之，
太田　勝矢，平野　敏則… 84
19. 光波測距儀を用いた空洞調査システム …不動建設㈱：*勝原　法生，大塚　誠，
フドウ技研㈱：松尾伸大郎… 90

【5】『建築とその機械』

20. 逆打工事用フロアークライミング式エレベータの開発…大成建設㈱：駒野　敏郎，
*白土　篤… 94
21. セルフクライミングステージの開発と実施……大成建設㈱：相川　善郎，
*塩沢　茂喜，田窪　岳司…100
22. 外壁カーテンウォールの取付け方法～オーバーハングした建物への適用～
……大成建設㈱：*西村　正宏，森　正人，嶋　規，須藤　卓雄…106

【6】『基礎とその機械』

23. 先進型掘削機ハイドロフレーズHFAシリーズの実用化…㈱大林組：佐治賢一郎，
*中村　俊男…112
24. 水中橋脚補強用仮締切工法の施工 …阪神高速道路公団：有馬　伸広，茂呂　拓実，
㈱鴻池組：*西川　博之，坂東　健司…118
25. 小型機械を用いた重錘落下締固め工法
……三信建設工業㈱：大沢　一実，*新坂　孝志…124
26. 多機能型ニューマチックケーソン掘削機の開発 ……大豊建設：*杉江　哲也，
角田　治郎，宮下　政樹…128
27. 住宅基礎地盤改良機CH40Mホームレベラの開発 …㈱小松エスト：*大津　　隆，
賀川　　進，山崎　栄二，鈴木　孝幸…134
28. 全断面深礎掘削機の開発……㈱サンテック：，波里　正典，
千歳電気工業㈱：草川　延浩，日立電線㈱：平井　幹男，
㈱ヒメノ：相澤　和夫，日立建機㈱：村岡　　正，関　　一秀…138
29. 分解・組立型甲板昇降式作業台船の開発…鹿島建設㈱：芳野　雄一，嶋井　森幸，
カジマメカトロエンジニアニング㈱：吉川　　修，*高瀬　　毅…144
30. 埋設物直下で施工可能な拡翼式連壁工法 ……大成建設㈱：*鈴木　庫雄，
高瀬　義行，荒井　政男…148

【7】『コンクリートとその機械』

31. 骨材プラント自動化システム（CAP） ……㈱間組：*麻生　公裕，玉置　高志，
橋本　和已…152
32. コンクリートダムのグリーンカット＆ズリ回収・運搬機の開発
……㈱間組：*亀井　隆夫，国峯　紀彦，青山機工㈱：久世　文雄…158
33. アーチリブ張出し施工用の移動作業車（トラベラー）の開発
……大成建設㈱：宮内　雅美，*万仲　直也…164
34. フレッシュコンクリート上を走行する履帯式車両の開発
……愛媛大学：室　　達郎，*平川　　学，Tran Dang Thai，田邊　明伸…168
35. PCD工法用コンクリートディストリビュータの開発
……(元)建設省宮ヶ瀬ダム工事事務所：足立　敏之，金丸　孝行，
飛島建設㈱：*堀崎　敏嗣，廣瀬　成道…172

36. ダムコンクリート打継目処理機械の開発 ……飛島建設㈱：*松尾　芳美，
鶴見　哲也，㈱プロジェクト：大家　　修…178
37. 高橋脚用自昇式型足場システム（KCFS）工法 ……鹿島建設㈱：久保　直道…184
38. 温度規制を考慮したコンクリート製造設備の改造……鹿島建設㈱：磯野　康晴，
*藤原　幹夫，佐々木孝治，工藤　幸夫…188
39. ウォータージェット式グリーンカットマシンの開発 ……㈱フジタ：*川上　勝彦，
桑本　　卓，森　　利夫…194

【8】『環境，リサイクルとその機械』

40. 濾過器内蔵型シックナの開発 ……大成建設㈱：*元良勇太郎，
安倍　善悦，松本　俊一…200
41. 建設廃棄物の低公害減容システム …日本国土開発㈱：*水野征四郎，森本　秀敏，
小幡　博志…204

【9】『土工とその機械』

42. 小口径管用開削管渠連続埋設工法（mini OSJI 工法）の開発
……アイサワ工業㈱：*成瀬龍一郎，塩見　真澄…210
43. 外部基準方式領域制限掘削機能を搭載した油圧ショベルの開発
……日立建機㈱：*羽賀　正和，渡邊　　洋，藤島　一雄，冨田　禎久…216
44. 安全を考慮した接近検知型バックホウの開発
……建設省東北技術事務所：菊地　幹雄，関野　広光，後藤　晃一，
*鈴木　邦昭…222
45. モルタルの衝撃切削能力に及ぼすポイントアタックビットの切削ピッチによる影響
……愛媛大学：*延本　基春，室　　達朗，馬越　英貴
奥村組土木興業㈱：竹垣　喜勝…226
46. オートマチック・リタード・スピード・コントロールシステム（CARSC）
……コマツ：*植松　弘治，長谷川信樹…230

【10】『自動化，ロボット化，施工管理』

47. ケーブルクレーン自動運転システムの開発と施工報告
……西松建設㈱：石井　正典*，荏隅幸五千，小西　　保…234
48. 炭素繊維による柱耐震補強用自動巻き付け機械の開発
……㈱大林組：*村橋　久弘，勝俣　英雄，伊藤　正己…240
49. 建設機械の自律走行に関する研究……大成建設㈱：宮崎　裕道，*近藤　高弘…246
50. 画像制御によるノンプリズムレーザー計測システム
……大成建設㈱：神崎　　正，西沢　修一，*松本三千緒…252
51. 吊荷旋回誘導装置の開発 ……東急建設㈱：西尾　　仁…258
52. TBMの自動掘削と合理的な施工管理システム……電源開発㈱：青木　和浩
㈱奥村組：*中山　隆義，鎌野　　等，井上　　哲…262
53. 透光性遮音清掃機械の開発……建設省関東技術事務所：小笠原　保，*岩崎　辰志…268
54. 多自然型護岸施工機械の開発……建設省関東技術事務所：太田　　宏，
*竹内　孝之，㈱神戸製鋼所：芦田　恵樹…274
55. 全天候型自動ビル建設システムの改良と適用例 …前田建設工業㈱：*秋山　直一，
後藤　泰三，仁ノ平　栄，白石　正勇…280
56. シールドトンネル二次覆工用鉄筋組立・結束ロボット……㈱大林組：卯城　哲也，
山本　幸信，*北岡　隆司…286
57. 住宅内装施工作業の自動化 ……㈱竹中工務店：*石川　敦雄，星野　春夫，
室　　栄治…292
58. 異種骨材混入防止システムの開発……水資源開発公団：山崎　　砺，
日工㈱：前岳　安孝，飛島建設㈱：*森脇　　正…298
59. シールド自動掘進管理システムの開発 ……飛島建設㈱：*八巻　秀一，
滝本　幸夫，下境　常男…304
60. GPSを利用した計測，測量技術……鹿島建設㈱：*三浦　　悟，廣瀬　素久，
今井　道男…310
61. 拡張レヤー工法におけるコンクリート運搬の自動化
……水資源開発公団：大塚　明克，松本　之宏，*安部　　聡…316

1．　アスファルト表面遮水壁機能回復工法の開発

大成ロテック㈱：平野　　晃

1．はじめに

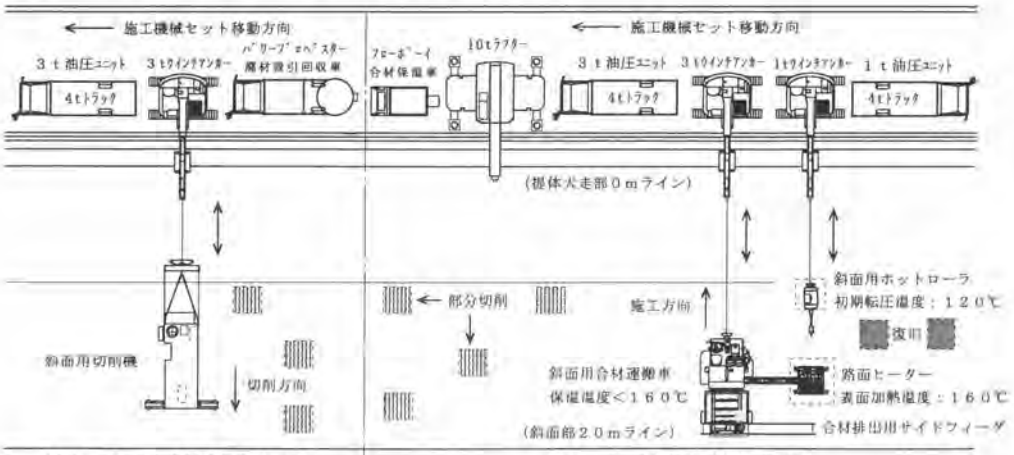
昭和４５年前後にアスファルト表面遮水壁工法により施工されたロックフィルダム・調整池等の水利施設は供用開始から約３０年経過しており、遮水壁表層及び、保護層にブリスタリング（クラック）等に起因していると思われる漏水が見られ、ダム提体の機能低下が懸念されている。本報告は、水利施設の供用年数を延長することを目的に開発した表層の損傷箇所を部分補修する維持工法について、紹介するものである。

なお、本工法は一般道路での切削オーバーレイ工法を応用したものである。

2、補修工法概要

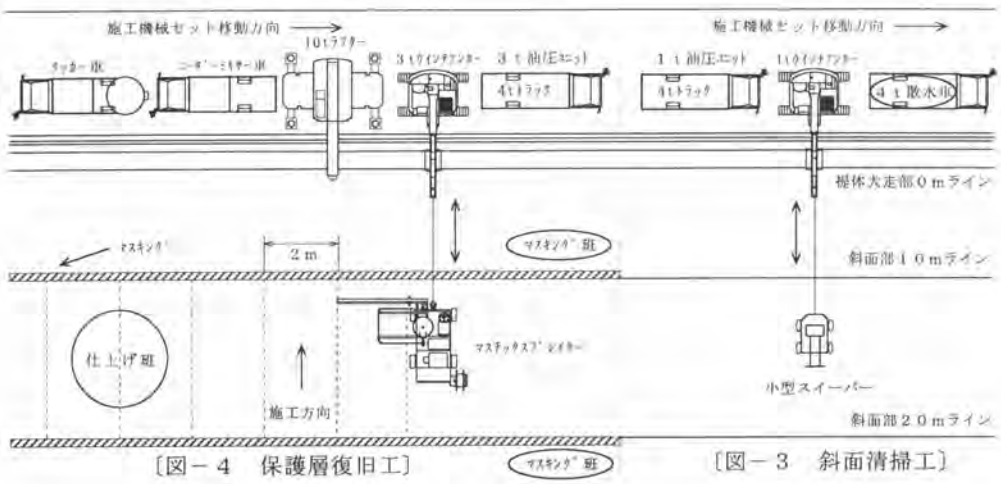
アスファルト表面遮水壁の補修工法は、①既設密粒度アスコン遮水層（上層）及び、表面保護層（マスチック皮膜）の撤去工・②新規舗装復旧工・③斜面清掃工・④表面保護層マスチック復旧工の４工種に大別される。これら補修工法の中で①・②は従来より人力的施工に頼る事が多く、そのため、斜面滑落等の危険がある上、作業効率も悪い。③は表面保護層復旧工の準備工で遮水壁表面の洗浄作業により新規マスチックの剥離防止及び、付着性の促進効果がある。④は遮水壁内部への不透水性確保のため、補修区域全面積について、均一厚さのマスチック皮膜を形成させる必要が有り、高精度の施工性が要求される。これらの工種について、施工精度確保及び、作業効率向上を目的に開発した機械化による補修工法についての施工概要を図－１～４に示す。

（１）既設舗装撤去工及び、新規舗装復旧工の施工概要



〔図－１　既設舗装撤去工〕　　〔図－２　新規舗装復旧工〕

（2）斜面清掃工及び、表面保護層マスチック復旧工の施工概要



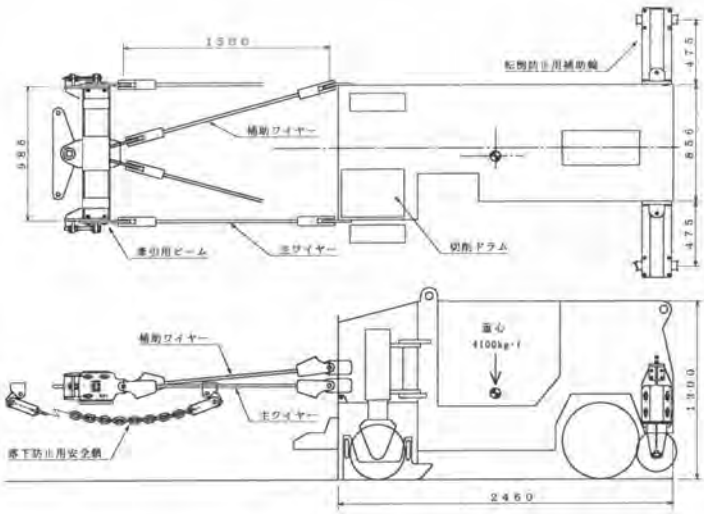
〔図－4　保護層復旧工〕　〔図－3　斜面清掃工〕

2－2　既設舗装撤去工

斜面用に開発した小型切削機により補修箇所を切削するもので、従来の人力によるはつり作業に比べ、施工精度・施工時間短縮に優れる。斜面用切削機の概要を図－5に主要諸元を表－1に示す。

切削は、ブリスタリング発生箇所を一箇所当たり縦横1mの正方形を標準（図－6）とし、切削深さは劣化損傷の進行状況により異なるが、表層6cm程度を切削する事を原則とした。切削時の発生材は、斜面提頂道路に待機する10t真空吸引作業車（水封式真空ポンプ型）で吸引回収し、産廃処分地まで運搬する。

切削方法の選定として、切削時の牽引装置への衝撃荷重緩和を考慮し、斜面下向きのアッパーカット法を採用した。



図－5　斜面用切削機概要

表－1　斜面用切削機主要諸元

車両重量	4400（kg）
作業重量	車両重量×Sinθ　※θ＝斜面傾斜角
切削速度	1～2m／min
切削深さ	0～70mm
切削幅	350mm（切削ドラム幅）
施工斜度	30°／58％（max）　※下り勾配施工時

（1）切削状況

切削面積１m² に対して、切削ドラム幅３５０mm×３回で切削を行った。切削断面図を図－６に示す

切削状況として、切削面には鋸状の切れ込みが残り、表層施工時の接着性を高める事が期待できる。切削状況を写真－１に示す。

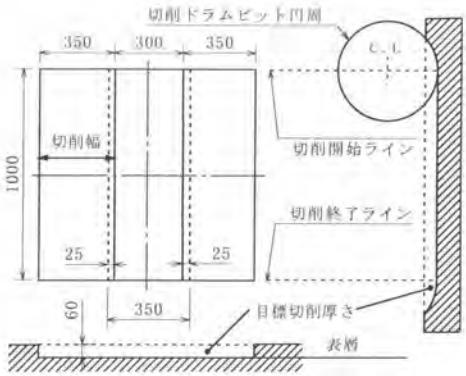
（2）施工精度

目標切削深さ６０mmに対して、６０mm±２mmの施工精度が得られた。なお、精度誤差は切削機を牽引するウインチワイヤーのバウンドで生じるが、切削機の切削深さ調整ゲージの余盛りで解消できた。

（3）作業性及び、施工性

本切削機及び、切削廃材回収車を使用した工法により、従来の人力はつり作業に比べ、直接作業人員で１／２の削減、又、作業時間で１／２～１／３の時間短縮が図れた。

施工性は、切削条件により、異なるが図－６に示す切削条件で６m² ／H、連続切削（切削幅３５０mm・施工速度：１．５m／min）で３１．５m² ／Hの施工能力が得られた。



図－６　斜面切削断面図

写真－１　切削状況

２－２　新規舗装復旧工

舗装復旧工は既設舗装撤去後の切削面と新設合材の付着強度を高めるため、ホットジョイントでの舗装を原則とした。施工留意点として、①合材現着迄の車両運搬時及び、斜面上での合材供給時の温度低下防止・②基準締固め密度を得るための転圧作業への早期移行・③舗装転圧時のローラへの水散布等の使用禁止（残留水分によるブリスタリング発生防止）が要求され、合材保温ダンプトラックの使用、又斜面用合材運搬車及び、斜面転圧用振動式ホットローラを開発し、施工にあたった。

（1）斜面用合材運搬車

斜面舗装用アスファルト合材を斜面上の復旧箇所迄運搬し、合材排出迄の一連の作業を行う装置で、斜面上の移動・走行手段は斜面提頂に配置するウインチアンカー車のサポート（牽引）による。合材供給フローは、合材を自動温調ヒータ付ホッパー内で保温・インバーター制御式バーフィーダで定量排出及び、横スライド式ベルトフィーダを乗り継ぎ、復旧部へ供給する。

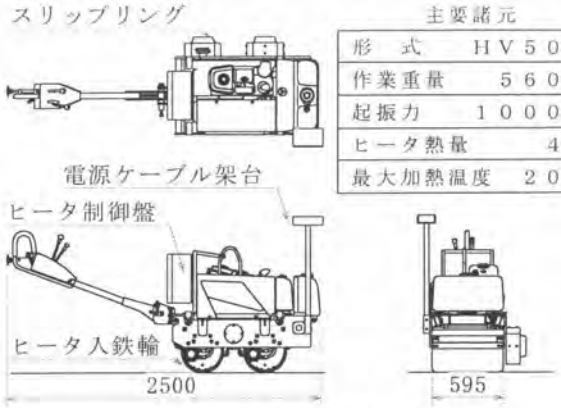
写真－２　斜面用合材運搬車外観

又、遠赤外線プレヒータを装着し、ホットジョイントでの施工を可能とした。特徴として、合材排出後

ベルトフィーダを格納（横スライド）することでローラの復旧箇所への乗り入れを早めた。外観を写真－２に示す。

（２）斜面転圧用振動式ホットローラ

本ローラの特徴は鉄輪内部にスリップリングを使用した自動温調ヒーターを内蔵しており、合材温度≦鉄輪表面温度として、ローラへの合材付着を防止するほか、転圧時の合材温度低下を抑制し、基準締固め密度と舗装表面の平坦性を確保する。図－７に外観及び主要諸元を示す。



主要諸元

形　式	ＨＶ５０ＳＴ
作業重量	５６０ｋｇ
起振力	１０００ｋｇ
ヒータ熱量	４ｋｗ
最大加熱温度	２００℃

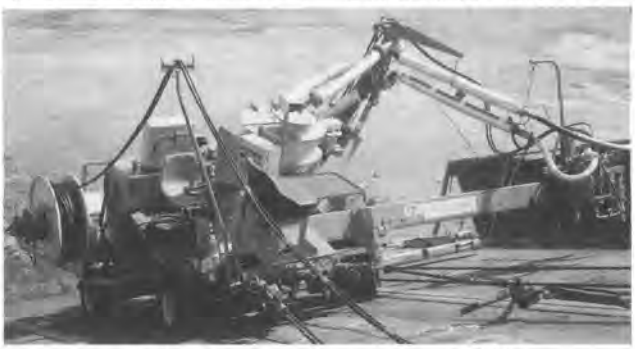
図－７　ホットローラ外観及び、主要諸元

２－３　斜面清掃工及び、表面保護層マスチック復旧工

マスチック剥離防止及び、付着性を高めるため、復旧箇所全面積について、遮水壁の水垢・シルト・塵埃を除去し、付着促進材のカットバックアスファルトを散布した後に保護層復旧工を実施する。保護層復旧工は施工厚さ２ｍｍのマスチックアスファルトを補修区域全面に塗布ムラ・材料ダレが生じない様に均一性を確保するため、定量ノズルスプレー式マスチックスプレヤーを開発し、施工を行った。

（１）マスチックスプレヤー

本装置は自動温調式ミキシングタンクを装備し、材料分離防止及び、一定粘性を保ち、材料の性状的ダメージが少ない油圧式エリクロイドギャポンプで定圧供給を行い、広角フラット撒水型スプレーノズル（材料撒水角度：７０°）により吐出する。又、配管ラインヒータを採用し、供給配管中での温度損失（粘性変化）を軽減した。写真－３～４に外観及び、ノズル部を示す。



写真－３　マスチックスプレヤー外観

表面仕上げ成形装置として、表面に損傷を与えない様に熱風ブローノズルを使用し、非接触により表面仕上げを行った

写真－４　ノズル装置

３．あとがき

本工法は、従来の工法と比較して、施工精度を高めることができ、また、施工時間の短縮もはかれる今後、実施工等をとおして、問題点等を洗い出し、さらにより良い工法への改良を実施していく予定である。

2．　オフレール式コンクリート薄層フィニッシャの開発と施工

大成ロテック㈱：*五十嵐謙一，松浦　千秋
藤沢　智徳

1．はじめに

ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装の修繕工法のうち、ｺﾝｸﾘｰﾄによるｵｰﾊﾞｰﾚｲ工法は、摩耗、ｽｹｰﾘﾝｸﾞ等により供用性の低下したｺﾝｸﾘｰﾄ舗装の修繕で耐久性に優れている。当工法は、既設ｺﾝｸﾘｰﾄ版にｺﾝｸﾘｰﾄを付着させるが、事前にｺﾝｸﾘｰﾄ版の切削、ｼｮｯﾄﾌﾞﾗｽﾄによる研掃の表面処理を必要とする。

当社では１０年程前より東北地区の一般国道や、北陸自動車道のﾄﾝﾈﾙの修繕工法として実績があるが、従来工法は施工現場に木製型枠やﾚｰﾙを設置して、このﾚｰﾙ上をｺﾝｸﾘｰﾄﾌｨﾆｯｼｬの作業装置が走行して施工するｵﾝﾚｰﾙ方式が採用されていた。この方式は平坦性を確保しやすい反面ﾚｰﾙの設置手間がかかるなどのﾃﾞﾒﾘｯﾄを持っていた。

この報告は今回開発したﾚｰﾙを使用しないでｱｽﾌｧﾙﾄﾌｨﾆｯｼｬと同様に薄層ｺﾝｸﾘｰﾄｵｰﾊﾞｰﾚｲを施工するﾌｨﾆｯｼｬの特徴や機構、またﾄﾝﾈﾙ内での施工の結果をここで報告するのものである。

2．ｵﾝﾚｰﾙ式のﾃﾞﾒﾘｯﾄとｵﾌﾚｰﾙ式での対応

従来工法は、ﾚｰﾙ上にｺﾝｸﾘｰﾄｽﾌﾟﾚｯﾀﾞ、ﾌｨﾆｯｼｬ、縦型ﾌﾛｰﾄのｾｯﾄを走らせて施工するか、ｱｽﾌｧﾙﾄﾌｨﾆｯｼｬの本体を使用して後部にﾚｰﾙの上を走る作業装置を牽引する方式などが行われてきた。ﾚｰﾙを基準とし、仕上げ機を用いられるので平坦性は良好であったが、

①ﾚｰﾙの設置、撤去の作業を必要とし、またﾚｰﾙが重いので作業がしにくかったが、その必要がない。

②またﾚｰﾙ設置のために両側に２０cm程度の施工不能ヶ所ができたが、全巾施工可能となる（３m→３．５m）

③ﾚｯｶｰを使用しないと回送車への積込み積卸しが不可能であったが、自走でﾄﾗｯｸに乗り降りできる。

④ﾚｰﾙの近くは機械仕上げが不可能で人手によって仕上げていたが、最終仕上げ装置を工夫して端部まで仕上られる。

⑤生ｺﾝ供給ﾄﾗｯｸがﾚｰﾙのない所から出入りするためﾊﾞｯｸ距離が長かったが、どこからでも出入りできる。

写真１ｵﾝﾚｰﾙ式薄層ﾌｨﾆｯｼｬ

3．開発概要

（１）開発経緯

当社ではｱｽﾌｧﾙﾄﾌｨﾆｯｼｬ(以下ＡＦと呼ぶ)をﾍﾞｰｽとしたｵﾝﾚｰﾙ式の薄層ﾌｨﾆｯｼｬを供用してきた。この構造はＡＦ本体にﾌﾞﾚｰﾄﾞｽﾌﾟﾚｯﾀﾞ、ﾊﾞｲﾌﾞﾚｰﾀ、ﾌｨﾆｯｼﾝｸﾞｽｸﾘｰﾄﾞ付け、本体は施工路面を、作業装置はﾚｰﾙ上を走行する方式であり（写真１）、最終仕上げには縦型ﾌﾛｰﾄを使用できた。その後に山間部の急勾配急曲線部の舗装修繕についてﾚｰﾙが敷設不能でこの方式は使用できず、ＡＦにﾊﾞｲﾌﾞﾚｰﾀ付摺動ｽｸﾘｰﾄﾞをつ

け、ＡＦｽｸﾘｰﾄﾞで敷均す方式を用いた。生ｺﾝはﾌｧｲﾊﾞｰなしで最終仕上げは別途ﾊﾞｲﾌﾞﾚｰﾀｰ付仕上げ機を使用した。更に上記ﾌｨﾆｯｼｬに鋼繊維補強ｺﾝｸﾘｰﾄ(SFRC)での施工を試験的に行ったが、材料の流動化不足や生ｺﾝの入り込みが悪く良好な仕上面は得られなかった。特に振動の強化とﾀﾝﾊﾟｰの上下動の力を強化する必要があったし、SFRC を人力で仕上げることは不可能であった。また、伸縮式ｽｸﾘｰﾄﾞでは、SFRC の流れが悪いのとﾒﾝﾃﾅﾝｽ性に問題があり、単純な一体型ｽｸﾘｰﾄﾞの方がﾍﾞﾀｰであると考えられた。

（２）当機の開発

・以前に開発経験のあるＡＦをﾍﾞｰｽにするのが時間的、経済的、その他において有利であった。

・ﾍﾞｰｽﾏｼﾝとして急勾配、急曲線用に改造したＡＦを使用する（ﾌｪｰｹﾞﾙＳ１５０２）

・ｽｸﾘｰﾄﾞは外しｱｰﾑ形状を変える。

・ｽｸﾘｭｰはﾊﾞｰﾌｨｰﾀﾞ連動をやめ左右単独駆動とする（油圧ﾎﾟﾝﾌﾟをｴﾝｼﾞﾝﾌﾛﾝﾄで駆動し動力をとる）全体を上下調整可能とする。

・ﾀﾞﾌﾞﾙﾀﾝﾊﾟｰ付ﾓｰﾙﾄﾞを仕上げ装置として取り付ける。（幅員変更はＥｘｔ式）

・当初仕上げ装置に縦型ﾌﾛｰﾄをつけた

・４点式ﾚﾍﾞﾘﾝｸﾞ装置はｱｰﾑを基準としてﾈｼﾞｼﾞｬｯｷでﾓｰﾙﾄﾞ枠を上下する。回転をエンコーダでｷｬｯﾁし表示器にﾃﾞｼﾞﾀﾙで示す。

・ﾋｰﾀｰ用発電機は 10KVA3 相発電器に交換、電動油圧ﾕﾆｯﾄや電動ﾊﾞｲﾌﾞﾚｰﾀの電源とする。

・ﾊﾞｰﾌｨｰﾀﾞにｺﾞﾑﾍﾞﾙﾄを張り、生ｺﾝ連続供給とﾁｪｰﾝへの生ｺﾝ入り込みを防ぐ。

・油圧関係（走行、ﾀﾝﾊﾟｰ、ﾊﾞｲﾌﾞﾚｰﾀ、ﾊﾞｰﾌｨｰﾀﾞ、ｼﾘﾝﾀﾞ用）は、そのまま使用する。

・ﾓｰﾙﾄﾞの支持方法（本体から支持、又はﾓｰﾙﾄﾞの高さを路面等を基準とする）は試験施工の後決定。

図１に薄層ﾌｨﾆｯｼｬの全体図を、表１に仕様を示す。

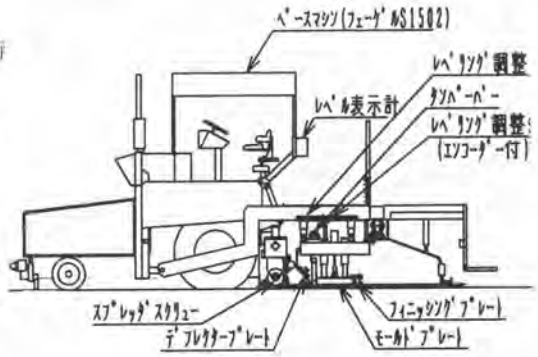


図１．薄層ﾌｨﾆｯｼｬ全体図

表１．薄層ﾌｨﾆｯｼｬの仕様

項目	仕様・諸元	
寸法重量	全長	1,100mm
	全幅	2,600mm
	全高	3,630mm
	重量	約1.1ton
性能	施工幅	2.6～3.6m
	施工幅伸縮	0.25～0.5m(EXT式)
	施工速度	1～3m/min
	回送速度	20KM/H
	施工厚	1～10cm
エンジン	名称	ドイツFIL913
	出力	70ps/2500rpm
作業装置	スクリュー	300Φ×250p
		1～85rpm
	バイブレータ	ストライクオフ振動式
	タンパー	ST=10mm 75rpm
	ﾓｰﾙﾄﾞﾌﾟﾚｰﾄ	長さ800mm
	仕上装置	振動式横フロート
		振動数1,001cpm

（３）試験施工による結果と改良点

実施工と同品質、配合の生ｺﾝに鋼繊維を混入して数回の試験施工を行った結果。

・ﾓｰﾙﾄﾞから出た生ｺﾝの性状はﾓｰﾙﾄﾞ前の生ｺﾝ量やﾊﾞｲﾌﾞﾚｰｼｮﾝの強さによって局部的に膨れ上り横断方向の不平坦が出る。ｽｸﾘｭｰの後にｽﾄﾗｲｸｵﾌﾌﾟﾚｰﾄをつけて生ｺﾝを均し、駆動ﾁｪﾝｹｰｽ部の通過が悪いのでﾊﾞｲﾌﾞﾚｰﾀで流動化させる。更にﾓｰﾙﾄﾞ前のかかえ量の調整の為にのｽﾄﾗｲｸｵﾌ下部を上下できる構造とする。

・ﾓｰﾙﾄﾞ部全体のﾘﾌﾄｼﾘﾝﾀﾞｰは油圧ﾛｯｸ状態にし、ﾌﾛｰﾃｨﾝｸﾞ作用はなくす。本体から支持した場合荷重変動により平坦性に影響するので、厚さの基準は切削面や既設盤とし、ｴﾝﾄﾞﾌﾟﾚｰﾄを油圧で上下し

て厚さの変更をする。ｴﾝｺｰﾀﾞ指示は基準盤面とﾓｰﾙﾄﾞ下部の間の距離とする。

・ﾓｰﾙﾄﾞﾌﾟﾚｰﾄのｱﾀｯｸ角の変更は４点式ﾚﾍﾞﾘﾝｸﾞ装置でやるよりも旧ＡＦﾌﾟｰﾙﾎﾟｲﾝﾄで行う。

・低速走行がﾚﾊﾞｰではｾｯﾄしにくいので、ﾎﾟﾝﾌﾟｺﾝﾄﾛｰﾙﾊﾟｲﾛｯﾄ油圧に直列に減圧弁をつけ一定ｺﾝﾄﾛｰﾙ圧をｾｯﾄできるようにする。各ｼﾘﾝﾀﾞｰはｶｳﾝﾀﾊﾞﾗﾝｽﾊﾞﾙﾌﾞによる落下防止をし、またﾓｰﾙﾄﾞを油圧ｼﾘﾝﾀﾞｰで上下できる構造であるが、下からの浮力を受けて持ち上がる傾向があったり、端部が曲げ作用を受けるのでﾋﾟﾝﾛｯｸ式ﾊﾟｲﾌﾟ支持をつける。

・作業装置近くの空間はﾌｧｲﾊﾞｰ入り生ｺﾝが付いて固まり、材料中に入り込んで仕上げに影響したり、掃除に手間がかかるのでふさぐようにする（例､ﾍﾞﾙﾄﾌｨｰﾀﾞ脇）

・縦型ﾌﾛｰﾄで仕上げようとしたが重量が大きく、むしろ表面を削ってしまうため中止し、次にﾛｰﾗｰ仕上げ機でﾃｽﾄしたが、同様の結果であった。

・そのため仕上げ装置としてﾌﾛｰﾃｨﾝｸﾞ式の横ﾌﾛｰﾄを使う。これはｱﾙﾐ製で水平振動機のついた長さ３．６ｍ、巾１５０ｍｍ、重量１８kgの ⊔ 字型のﾌﾟﾚｰﾄで振動数は４，０００ｒｐｍ程度可変。当初ｴﾝｼﾞﾝﾄﾞﾗｲﾌﾞだったが油圧ﾓｰﾀ（４ｃｃ／ｒｅｖ）駆動に変更。

４．開発機の施工方法

・ﾓｰﾙﾄﾞの厚さの基準は切削面や既設路面とする。切削面の場合、幅員は余裕をみて１０～１５cm狭くｾｯﾄする。厚みはｴﾝﾄﾞﾌﾟﾚｰﾄを上下し調節する。

・ｽﾄﾗｲｸｵﾌを振動させ、生ｺﾝの流動化をする。ﾓｰﾙﾄﾞ前に多くかかえると滞留して入り込みが悪くなり、仕上げ表面が粗くなる。そのため量のｺﾝﾄﾛｰﾙをｽﾄﾗｲｸｵﾌ下部の板を油圧ｼﾘﾝﾀﾞｰで上下して適正な高さを保つ。

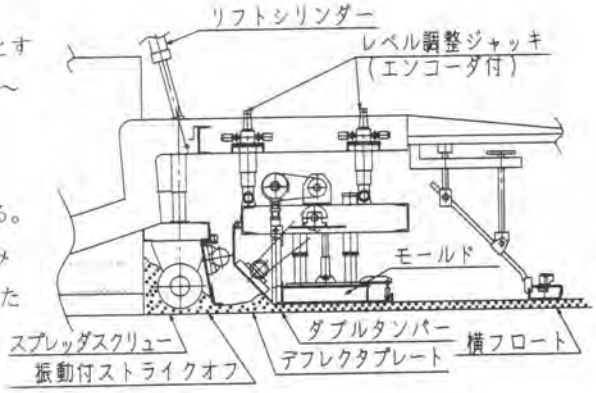


図２．作業装置

・最終仕上げは横ﾌﾛｰﾄで行う。ﾓｰﾙﾄﾞ出口では平坦性、表面性状ともよくない。ﾌﾛｰﾄ前に少し生ｺﾝをおくようにする。これは手仕上げの代わりをすることができる。

・ﾓｰﾙﾄﾞのｱﾀｯｸ角は約１°、ＡＦのﾌﾟｰﾙﾎﾟｲﾝﾄでｾｯﾄする。

・ﾀﾝﾊﾟｰはﾌﾙ回転（７５ｒｐｍ）ﾊﾞｲﾌﾞﾚｰﾀはﾓｰﾙﾄﾞ出口の仕上がりをみながら調整する。

・走行ｽﾋﾟｰﾄﾞは０．６～０．８ｍ／分。調整減圧弁で一定にｾｯﾄする。

・基本幅員は２，６００ｍｍ、幅員変更はｴｷｽﾃﾝｼｮﾝを追加する。（ﾓｰﾙﾄﾞ、ﾃﾞﾌﾚｸﾀ、ﾀﾝﾊﾟｰ、ｽｸﾘｭｰ、横ﾌﾛｰﾄ）。最大幅員は３，６００ｍｍ。

・ﾀﾝﾊﾟｰの隙間からﾓﾙﾀﾙがふき上がるため、施工中たまに掃除をする必要がある。

・１日の作業終了時には機械各部に付着したﾌｧｲﾊﾞｰ入り生ｺﾝを掃除することが重要である。

５．施工事例

（１）工事概要

・期日　平成９年５月～６月

・高速道路ﾄﾝﾈﾙｺﾝｸﾘｰﾄ舗装修繕工事

・幅員３．５８ｍ延長３，１７５ｍ

この工事は高速道路ﾄﾝﾈﾙに於いて、追い越し車線を供用したまま、走行車線を昼夜連続規制して行われた。工事は５㎝切削した後、新旧ｺﾝｸﾘｰﾄの付着性を高めるため１５０ kg/m²の投射密度でｼｮｯﾄﾌﾞﾗｽﾄを行い、SFRC 薄層舗装は５㎝厚さをﾌｨﾆｯｼｬで仕上げる。舗装幅はﾓｰﾙﾄﾞ幅を３．４３ｍにｾｯﾄ、走行蛇行に対する余裕をとる。厚みの基準は切削面とする。最終仕上げはﾌﾛｰﾃｨﾝｸﾞ式の横ﾌﾛｰﾄで行い、表面仕上げと平坦性を出す。

その後粗面仕上げをﾛｰﾗｰ式のｸﾞﾙｰﾋﾞﾝｸﾞ仕上機で深さ３～５㎝の溝をつける。ｸﾞﾙｰﾋﾞﾝｸﾞは表面の水分の消える時期に入れるが早すぎると溝が埋まり、遅すぎると溝が所定の深さまで入らない。図３に施工時のﾄﾝﾈﾙ断面を示し写真２に施工写真を示す。

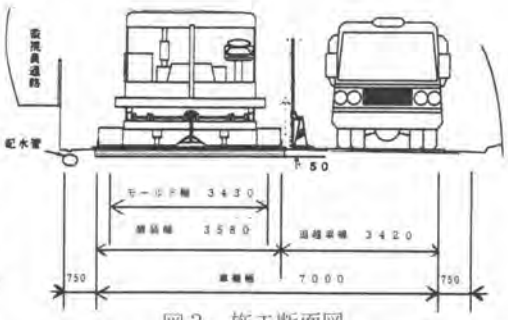


図３．施工断面図

写真２．薄層ｺﾝｸﾘｰﾄの施工

（２）ｺﾝｸﾘｰﾄの配合、品質及び出来形

ｺﾝｸﾘｰﾄの品質基準及び配合を表２、表３に示す。なお SFRC に混入する鋼繊維は、長さ５０ｍｍで、幅０．７ｍｍ、混入量１ｍ³ 当たり６０㎏とし、生ｺﾝﾌﾟﾗﾝﾄでｱｼﾞﾃｰﾀﾄﾗｯｸのﾄﾞﾗﾑに投入混合した。

施工状況として、ｽﾗﾝﾌﾟの品質変動幅は基準値の範囲内であったが、ｽﾗﾝﾌﾟの大きい材料の方が施工し易い状況であった。ｽﾗﾝﾌﾟの小さい材料では、表面に粗い部分が生じやすくｺﾃによる手作業を必要とした。

表２．品質基準

ｺﾝｸﾘｰﾄの種別	曲げ強度（材齢7日）	粗骨材の最大寸法	ｽﾗﾝﾌﾟの範囲(cm)	空気量の範囲(%)
舗装版工	4.5N/mm²	15mm	6±1.5	4.5±1.5

表３．SFRC の配合表

水セメント比	単位量(kg/m³)						細骨材率
	セメント	水	細骨材	粗骨材	鋼繊維	AE減水剤	
50%	359	180	956	753	60	5.385	56.5%

（３）出来形結果

平坦性は２線計測基準値、標準偏差２ｍｍ以下。また、すべり抵抗値はＢＰＮで６０以上、新旧ｺﾝｸﾘｰﾄの付着強度は規格値１Ｎ／ｍｍ² 以上であるが、すべてｸﾘｱｰした。

６．おわりに

ﾄﾝﾈﾙ内の舗装修繕は通行車輌への影響や、交通事故に対する作業員の危険、また作業環境の悪さなどの点から、短期内で完了しよい結果を出す必要がある。今回の施工は出来形、品質、工事期間について、一応の成果を得ることができた。然し、交通開放側の危険を減らすためや、作業環境の改善のため、より人手のかからない機械に改良することが必要である。また機械にｺﾝｸﾘｰﾄが付着しない方法や、より平坦性を向上する工夫などが課題として残されている。今後更に改良、改善し、安全性の高い、高性能な機械としていく所存である。

3．フォームドアスファルトを使用した現地再生路盤工法の導入

鹿島道路㈱：海老沢秀治，*鈴木　泰

1．はじめに

平成5年6月に建設省道路局から発表された道路技術5箇年計画では、7項目の主要技術テーマの一つとして「環境保全・省エネルギー・省資源への新たな挑戦」が取り上げられており、省エネルギー型道路資材の開発・利用技術やアスファルト・コンクリートの再生利用技術等の開発・導入計画が示されている。

今回紹介するフォームドアスファルトによる常温安定処理工法は、カナダ、イギリス、北欧、オーストラリア等の諸外国では低品位骨材や再生骨材を対象とした研究が進められ、省資源、省エネルギーの代表的な工法として注目されている。

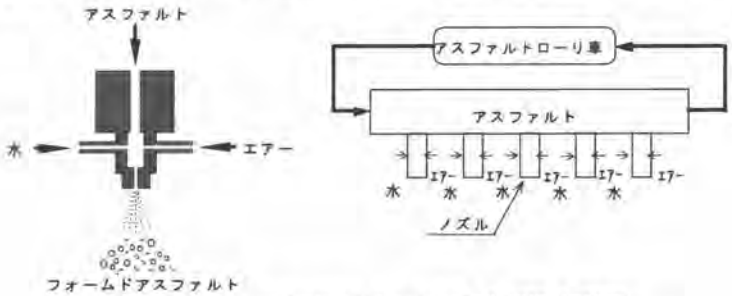
今回、現地再生路盤工法のためフォームドシステムを供えたスタビライザーをカナダより導入したのでここに紹介する。

2．フォームドアスファルトの概要

2－1　フォームドアスファルトとは

フォームドアスファルトは、1957 年アメリカのアイオワ州立大学サニー(Csanyi)教授によって提唱されたもので、高温（液状）のアスファルトに一定の条件下で水蒸気等を添加して微細な泡を生じさせ、アスファルトの容積を膨張(10～15 倍程度)させることによりアスファルトの持つ粘性を減少させ、混合作業を容易にさせるというものである。その後、常温の水を用いてフォームドアスファルトを製造する方法が考案され、路上混合方式にも適用出来るようになり、フォームドアスファルトの用途が広がった。

当社がカナダ・ソーター社から導入したフォームドアスファルト装置も、常温の水を使用したものであるが，図－1に示すように噴霧ノズルとミックスチャンバを一体化し、それぞれ独立した噴霧ノズルの先端でフォームドアスファルトを造る点が他のフォーム ド装置との相違点である。これ



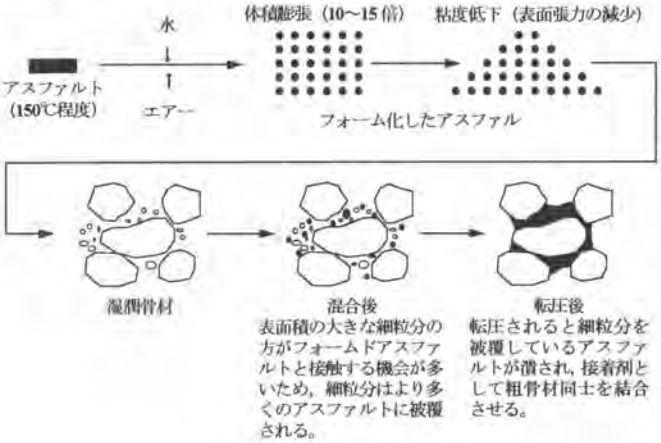
図－1　フォームドアスファルトの製造装置概略図

によって、噴霧ノズルのつまり等を解消するとともに、各噴霧ノズルから吐出するフォームドアスファルトの品質および量を均一に制御している。また、噴霧ノズルの先端でフォームド化が行われるため、使用するアスファルトの熱でノズルが加温でき、特別な保温装置が不要となった

2－2　メカニズム

液体を泡にすると言うことは液体の表面張力を減少させることであり、他のものへの付着性が良好となる（例えば、洗剤は表面活性剤の一種であり、水の表面張力を減少させて繊維に浸透させ汚れを落とす仕組みがこれにあたる）。そのため、アスファルトをフォームド化することにより常温の骨材に付着させることが可能となる。

なお、フォームド化されたアスファルトは粗骨材を被覆することなく細粒分のみを被覆するため、常温混合されたフォームドアスファルト混合物は、締固めによりアスファルトで被覆されていない粗骨材をフィラーピチューメンなどが固着することで強度を発揮する。フォームドアスファルトの機構を模式化したものを図－2に示す。



図－2　常温フォームド混合物の模式図

3、フォームドアスファルトによる常温混合工法の特徴

①常温混合であり、骨材を加熱する必要がないため、無公害、省エネルギーである。

②常温混合式安定処理路盤工法であり、フォームド化装置以外は既存の施工機械が使用でき、粒状路盤工法と同様の施工方法で耐久性に優れた高品位の路盤工となる。

③セメント・アスファルト乳剤を使用した常温混合工法あるいはセメント混合工法に比べ強度発現が早く、施工直後の交通解放が可能である。

④再生路盤としてたわみ性があり、アスファルト混合物層をオーバーレイしてもひび割れが生じにくく、耐久性に優れている。

⑤舗装発生材などの建設副産物の再利用や加熱混合物に利用できない低品位骨材の利用に有効である。また再生材を繰り返し再利用することが可能であり、コストパフォーマンスに優れた工法であ

る。

⑥それぞれのアスファルトスプレーノズル毎に独立したミックスチャンバーと称するフォームド化装置を取り付けているので、ノズルでのアスファルトの詰まりが少なく、フォームド化したアスファルトを路盤材と均一に混合、分散させることが出来る。

⑦混合後の貯蔵安定性に優れており、混合後５日間程度の貯蔵が可能であるため、部分的なマンホール回りとか狭小部など機械混合できない箇所にもフォームド式混合物を使用できる。

4．構造設計上の位置付け

フォームドアスファルトによる常温混合工法の等値換算係数については、開発後間もないこともあり、アスファルト舗装要綱に記載されている既存工法を参考として、表－１に示すように「フォームドアスファルトのみによる混合物」とフォームドアスファルトにセメントを併用した混合物」の２種類を区別して等値換算係数を設定している。

表－１　フォームドアスファルトによる常温混合工法の等値換算係数

使用する位置	工　　法	適　　用	等値換算係数 a_n
上層路盤	フォームドアスファルトのみによる常温混合工法	簡易舗装要綱法によるマーシャル安定度(kgf)：250以上	0.55
	フォームドアスファルトにセメントを併用した常温混合工法	一軸圧縮強さ(kgf/㎠)：15～30 一次変位量(1/100cm)：5～30 残留強度率(%)：65以上	0.65

なお、諸外国の例ではフォームドアスファルトのみによる混合物でも加熱アスファルト混合物の80%程度の評価がなされており、今後耐久性の評価が確立されれば、改めて等値換算係数の設定をする必要があると考えている。

5．フォームドスタビライザの概要

フォームドアスファルトによる路上混合工法の場合、フォームドアスファルト装置を装着したスタビライザを使用して施工するが、その仕様を下記に示す。

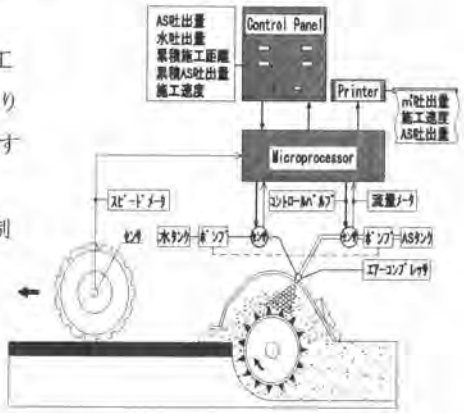
5－1　フォームドアスファルト製造装置

フォームドアスファルトの吐出は、施工速度や施工幅員に応じてコンピューター制御で行い、１㎡当たりのアスファルト吐出量を印字記録計により管理確認することが出来る。

フォームドアスファルト製造装置の仕様ならびに制御フローを表－２，図－３に示す。

表－２　フォームドアスファルト製造装置の主要諸元

噴霧ノズル数	16本
混合幅	1,824～2,438mm
ｱｽﾌｧﾙﾄﾎﾟﾝﾌﾟ容量	MAX 300ℓ



図－３　フォームドアスファルトの制御フロー

5－2　スタビライザ

フォームドアスファルト製造装置を搭載したスタビライザには、既設アスファルト舗装の破砕を考慮して破砕用ローターを装着したCAT製 RR-250を使用しその仕様を下記に示す。

表－3　スタビライザ（CAT RR-250）の主要諸元

エンジン出力	307 PS
走行駆動形式	HST　4輪駆動
操行方式	前後輪独立ｽﾃｱﾘﾝｸﾞ
ﾛｰﾀｰ駆動形式	機械式
切削幅	2,438mm
最大切削深さ	330mm
ビット数	188本

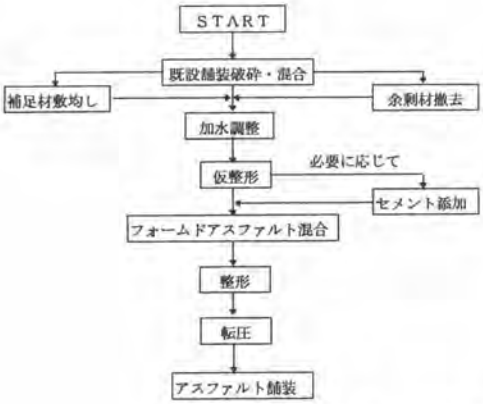
写真－1　スタビライザのローター部

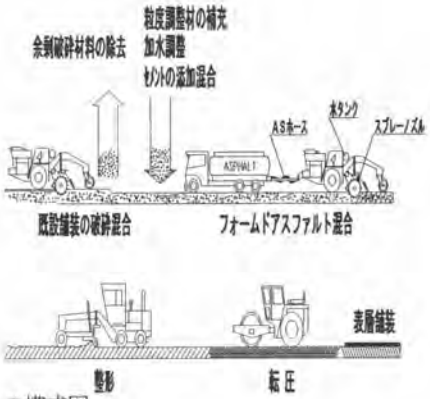
6．施工方法

施工方法及び機械は、路上再生路盤工法と基本的には同じであるが、スタビライザは先に述べたようにフォームド化装置を装備したものを使用する。主要機械並びに施工手順を以下に示す。

表－4　主要機械リスト

機　械　名	仕　　様	用　　途
スタビライザ	フォームド化装置装着	一次破砕・混合
アスファルトローリ	11KL	アスファルト供給
モーターグレーダ	3.1m	不陸整正
タイヤローラ	8.5t	転圧・加水調整
大型振動ローラ	10t	仕上げ転圧
散　水　車	－	加水調整





図－4　施工フローの模式図

6．施工事例

6－1　カナダ　モントリオール市における現況

モントリオール市の全舗装延長は約 2000km で、その内約 1600km がコンクリート舗装を基層としたコンポジット舗装である。市の管理している舗装は、供用後年月を経たものが多く、クラックによる破損が原因で改修の必要に迫られている舗装も少なくない。

そのため、市としては経済的で耐久性の高い補修工法として、フォームドアスファルトによる再生路盤工法を採用している。フォームドアスファルトを使用した再生路盤工法には、移動式プラントを使用した中央混合方式とスタビライザによる路上再生方式の２種類があり、表－５に示した施工断面例のように既設舗装構造や交通量に応じた使い分けがなされている。表－６は、両工法のモントリオール市周辺での施工実績をまとめたものであるが、1990 年に採用されて以来、工事量もほぼ安定しており、フォームドアスファルトによる再生路盤工法が高く評価されていることが窺える。

表－５　フォームドアスファルトによる再生路盤工法の施行断面例

工種	交通量	既設舗装	改修後	使用骨材
中央混合方式	中～大	50 200 加熱ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物 ｺﾝｸﾘｰﾄﾍﾞｰｽ 路　床	75 200 200 加熱ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物 ﾌｫｰﾑﾄﾞ再生路盤 粒状材 ｼﾞｵﾃｷ	As再生骨材 ：新規骨材 =50:50 もしくは ｺﾝｸﾘｰﾄ 再生骨材 =100
路上混合方式	小～中	100～80 200 加熱ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物 粒状材 路　床	75 200 50 加熱ｱｽﾌｧﾙﾄ混合物 ﾌｫｰﾑﾄﾞ再生路盤 粒状材	表層材＋既設路盤材を１次破砕後、余剰分を搬出し、ﾌｫｰﾑﾄﾞ安定処理を実施する

表－６　フォームドアスファルトによる施工実績

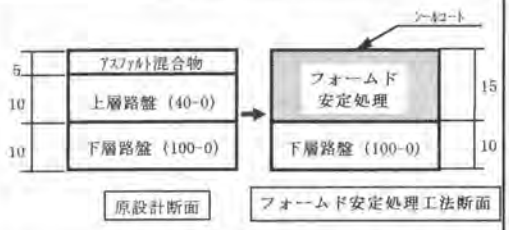
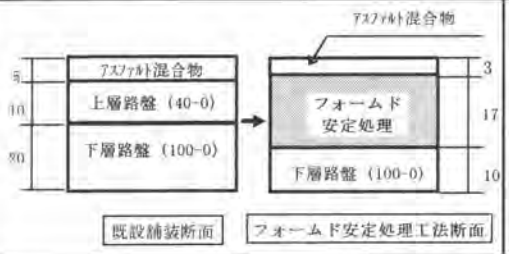
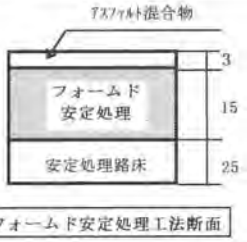
	年度	発注者	出荷量（屯）
中央混合方式	1993	モントリオール市	40,000
	1994	モントリオール市	60,000
	1995	モントリオール市	60,000
		レオナルド市	20,000
		ケベック州交通局	50,000
	合　計		230,000

	年度	発注者	面　積（㎡）
路上再生方式	1990	モントリオール市他４市	271,000
	1991	モントリオール市他６市	327,000
		ケベック州交通局	35,000
	1992	モントリオール市他７市	190,000
		ケベック州交通局	150,000
	1993	モントリオール市他９市	226,000
		ケベック州交通局	45,000
	1994	モントリオール市他５市	165,000
		ケベック州交通局	45,000
	1995	モントリオール市他８市	185,000
		ケベック州交通局	20,000
	合　計		1,659,000

6－2　国内における施工事例

フォームドアスファルトによる常温安定処理工法の国内に於ける代表的な施工事例を表－7に示す。

表－7 フォームドアスファルトによる常温安定処理工法の代表的な施工事例

施工断面　(cm)	施工目的等
	工　種　：路盤の強化工法 施工個所：工事用仮設道路 配　合： 路盤材 / アスファルト / セメント M-30 / 4.0% / - M-30 / 3.0% / 2.0% 現地発生材 / 4.0% / 2.0%
	工　種　：路上再生路盤工法 施工個所：工事用仮設道路 配　合： 路盤材 / アスファルト / セメント 路上再生骨材 / 3.0% / 2.0%
	工　種　：再生骨材を使用した路盤の強化工法 施工個所：大型車両置き場構内道路 配　合： 路盤材 / アスファルト / セメント 再生砕石 / 3.0% / 2.0%

7．おわりに

以上、フォームドアスファルトによる常温安定処理工法について紹介させていただいたが、本工法は省資源、省エネルギーなどの面から、時代のニーズにあった工法といえる。

又、フォームドアスファルトを使用した工法は、地域や材料を選ばない特長を生かし、カナダ、イギリス、南アフリカ、オーストラリア、北欧などで施工されており、今後は世界各地で広く用いられる可能性を有した工法である。

4．ゴムロールド舗装における骨材散布機械

日本舗道㈱：*青山　俊行，安藤　裂男
内田　精一

1．はじめに

平成2年6月に施行された「スパイクタイヤ粉塵の発生の防止に関する法律」に基づき、緊急車輌を除いてタイヤの脱スパイク化が進んでいる。スタッドレスタイヤの制動性能は急速に向上したとはいうものの、滑りやすい氷盤ではその性能はスパイクタイヤには及ばず、積雪寒冷地域においては冬期の道路交通の確保やスリップ事故防止を目的として、数々の路面凍結対策が実施されている。

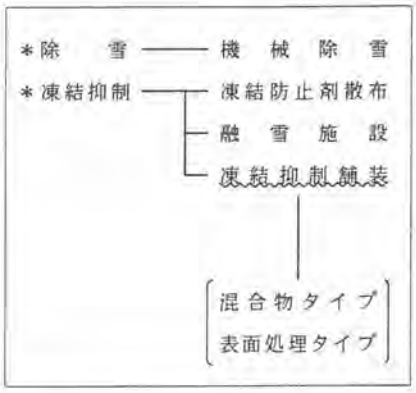
凍結抑制舗装の一つであるゴムロールドは、ロールドアスファルト舗装（積雪寒冷地域や山岳部の道路などに用いられることの多い特殊舗装）でプレコート砕石に替えて特殊な人工ゴム骨材を散布・圧入する工法である。路面に配したゴム骨材のたわみ性と氷盤との非付着性により凍結抑制機能を果たす。

今回ゴムロールドの機能向上のために，ゴム骨材専用の骨材散布機を開発し、実施工において良好な結果が得られたので、本文ではその概要を報告する。

2．ゴムロールドの概要と骨材散布機開発の背景

わが国の冬期路面対策は図－1のように分類することができる。凍結抑制舗装は維持管理が容易であり、除雪作業の効率化・凍結抑制剤の散布量低減が可能となることから省力化・省資源化および環境保全の観点から最近注目されている。

ゴムロールドは表面処理タイプの凍結抑制舗装で、比較的形状の大きな弾力性に富むゴム骨材をアスコン層全層でなく、凍結抑制機能に必要な舗装路面に限定して配置している点に特長がある。図－2にゴムロールドの凍結抑制のメカニズムのイメージ図を示す。

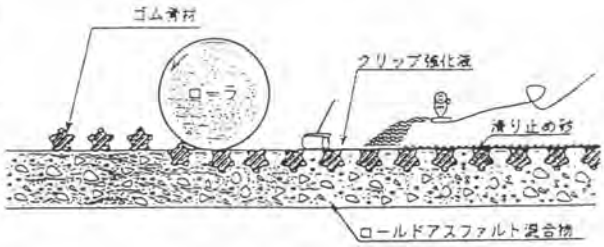


図－1　冬期路面対策

図－2　凍結抑制のメカニズム

走行車輌の荷重によりゴム骨材がたわみ、氷結層にひびわれを生じさせる。車輌のタイヤの回転剥奪作用により、ひびわれた氷結層が飛散する。その後の車輌の繰り返し走行により氷結層の飛散は周囲に拡大し、路面全体の凍結抑制効果を生むものである。従って、凍結抑制機能および持続性の観点からはゴム骨材を平面的に均一に散布・圧入することが、施工上の最要点といえる。（図－3参照）

ゴム骨材の散布については、従来の骨材散布機を改良して使用してきたが、部分的には散布の偏り（ゴム骨材が個別に散布されず、複数個隣接したり重なったりした状態）が生じることは避けられず、この部分のゴム骨材は転圧による圧入が不十分となりやすい。そのため、骨材散布精度の高い専用のゴム骨材散布機械を開発する必要があると考えた。



図－3　施工模式図

3．ゴム骨材散布機の概要

機械の開発にあたっては現場の使用条件を勘案し、開発目標を以下のように設定した。

① ゴム骨材を定量・均一に散布できる。

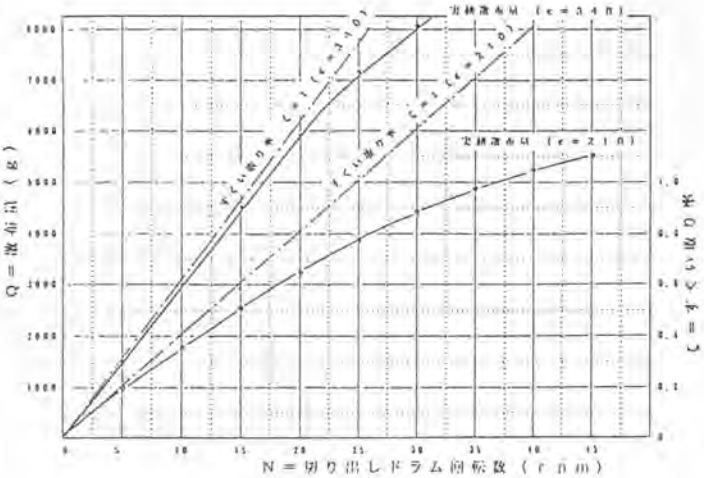
② 散布速度が低速・安定している。

③ 散布幅は作業しながら任意に可変できる。

④ 現場搬出入における機械運搬車への積み卸しにクレーンを必要としない。

装置機構上最大の課題は、図－4に示すように特殊な形状をしているゴム骨材をどのように一個一個確実にすくい取り、路面に配するかということであった。

予備試験により写真－1に示すような、ゴム骨材が入りやすく抜けにくい変形凹穴を考案し、これを切り出しドラムの表面に多列配置するとともに、この変形凹穴にゴム骨材が複数個入り込まないように規制するための回転ブラシを設置することにより、問題



図－5 骨材散布表

を解決した。また、予備試験では以下の事項も確認された。

① 図ー5に示すように、ゴム骨材の散布量と切り出しドラム回転数（周速）はある点まで正比例することが判明。（実際作業適用範囲）またドラム径が大きいほど周速とゴム骨材との接触面積の関係ですくい取り率は向上する。

（装置自体のバランスと骨材落下高さの関係で適正径を決定）

② ゴム骨材の散布の編りは、切り出しドラムの回転数（周速）と散布面までの落下高さに影響を受ける。

③ ゴム骨材の散布量に関しては、1kg／m²～6.5kg／m² の範囲で定量均一散布が可能である。

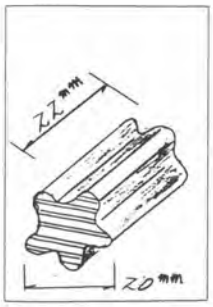


図-4　骨材形状

以上のような試験の結果を踏まえ、開発製作したゴム骨材散布機（写真ー2参照）の主な仕様を表ー1に示す。

写真ー1　切り出しドラム

表ー1　主な仕様

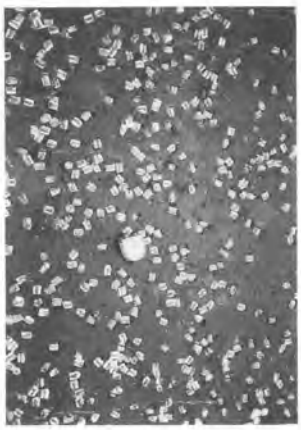
重量	総重量	7.000kg
寸法	全　長 全　幅 全　高	5.265mm 2.430mm 2.400mm
性能	散布幅 作業速度 ホッパ容量	2.2～3.4m ～5.0m／min 3.0m³
機関	出　力	40PS／2.000rpm

4. 実施工への適用結果

新規開発したゴム骨材散布機は、平成9年6月より7月末現在まで4件約6.600m²で使用している。写真ー3に従来機の散布状況、写真ー4に本機の散布状況を示す。従来機と比較して、散布精度は格段に向上し、散布の編りが殆どないことがわかる。そのため人力による手直しが不要になり省力化となるとともに、手直しなくただち

写真ー2　骨材散布機の全体

にローラ転圧が可能なため、早期転圧による十分な圧入が図れることとなった。



写真－3　従来機と散布状況

5.　あとがき

本機使用のゴムロールドの施工箇所は未だ冬期の供用を経ていないが、ゴム骨材の均一散布がなされたことにより、凍結抑制機能およびその持続性は大きく向上するものと予想される。また、ゴム骨材の不十分な圧入が少なくなることから、骨材の飛散防止のためのグリップ強化液（図－3参照）を省き、コストダウンを図れる目途もたった。今後はゴムロールドだけでなく、景観性の観点から骨材散布の均一性が必要と考えられるカラーロールド舗装等についても、本機の適用を実用化していく予定である。

写真－4　開発機の散布状況

5．アスファルトフィニッシャ用舗装厚自動制御装置“ペーブセット”の開発

日本舗道㈱：田中　智彦，*山辺　生雅
安松　　仁

1. まえがき

アスファルト舗装工事において、アスファルトフィニッシャによる混合物の敷き均し作業の良し悪しは、施工の出来映えに最も大きな影響を与える。この敷き均し作業はアスファルトフィニッシャのフローティングスクリードで行われる。フローティングスクリードは、スクリードが混合物を押さえつける力と混合物がスクリードを押し上げる力とがバランスして一定の高さに保たれる。[1] また、舗装厚は、厚さを変えるためにスクリードの作業角を変化させても、ある一定の距離を走行しないと変化しない。この為手動による舗装厚さの調整はかなりの熟練が必要で、従来より自動装置として基準線としてのセンサロープを張り、それを検知するセンサを使用したものが使われていた。しかし、この方法ではセンサロープを設置する為に多くの労力が必要で、使用場所が限られていた。

一方、近年舗装業界では若年労働者や熟練オペレータが慢性的に不足しており、その為アスファルトフィニッシャ用の簡便で汎用性の高い舗装厚自動装置の開発が望まれていた。　本開発は、オーストラリアの International Systems 社が開発した「Pave Set」をベースにして日本向け舗装厚自動制御装置「ペーブセット」を同社と共同開発したので、開発結果と同装置の施工実績について報告する。

2. ペーブセットの概要

2-1システムの構成

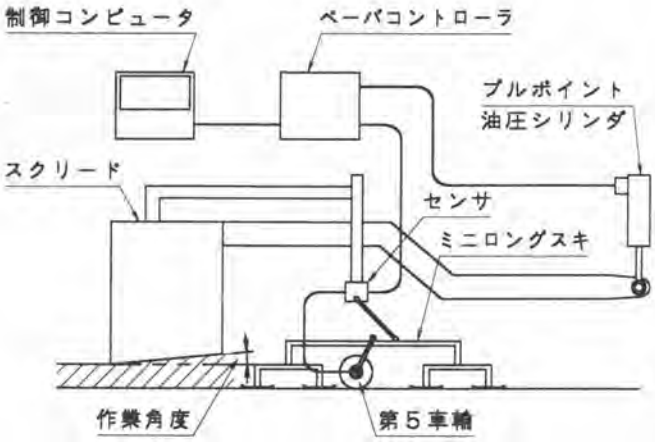
システム概要を図ー1、主要機器の仕様を表ー1に示す。写真ー1は制御コンピュータ本体、写真ー2はペーブセットを使用して施工を行っている状況である。システムの構成は以下のとおり。

①制御コンピュータ（ヒューレットパッカード製ポケットコンピュータ）

②ペーバコントローラ（インターフェース装置）

③高さセンサ

④第5車輪（距離測定用エンコーダ）



図ー1　システム概要

⑤ミニロングスキ

2-2舗装厚制御の原理

アスファルトフィニッシャの舗装厚のコントロールは、アスファルトフィニッシャの敷き均し部であるスクリードの作業角を変えることで行われる。図－1において、プルポイントの高さを変えると、プルポイントからレベリングアームをとおして固定されているスクリードの作業角が変わり、スクリードを押し上げる力が変化して舗装厚が変わる。

表－1　主要機器の仕様

コントローラ	動作電源 動作電流 ペーパ作動方式 制御方式 寸　法	10-36VDC 250mA以下 ＮＰＮ RS232C仕様 2位置制御可 160 × 160 × 90mm
制御CPU	製　造 メモリ 通信ポート データストック 寸　法 重　量	HEWLETT-PACKARD HP1000CX 520kB 1 × RS232C 赤外線フォト絶縁型 1 × PCMCIA 標準ICカードスロット 157 × 87 × 25mm 0.2kg
センサ	動作電源 動作電流 重　量 寸　法 出　力	10-30VDC 50mA以下 1.5kg 80 × 75 × 60mm 直線性補正 0.5%

写真－1

写真－2

ペープセットによる舗装厚制御の原理は、各測点での舗装厚データをコンピュータに入力し、その測点におけるセンサの高さを決めて、センサの位置がその高さとなるようにプルポイントの油圧シリンダを制御する。図－2に舗装厚データの入力の模式図を示す。この例では、測点1240m で舗装厚41mm、1250m で72mm、1260m で56mm を入力している。走行距離は第5車輪で計測し、20cm ピッチでデータを比較する。

2-3制御要素

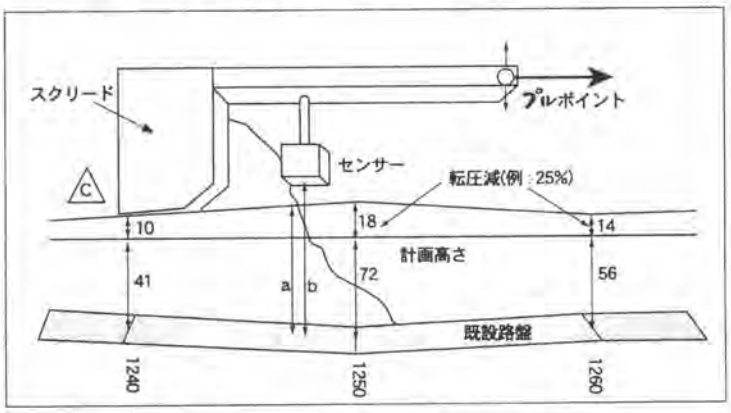
①舗装厚データの入力

舗装厚データの入力は、コンピュータに CSV のファイル形式により入力可能である。従って、一

般の表計算ソフト(ロータス1-2-3、エクセル)が使用でき、測量時のデータはそのまま使用できる。

②転圧減の設定

図－2おいて、転圧減を25%に設定すると、1240mで10mm、1250mで18mm、1260mで14mmが自動的に設定される。



図－2舗装厚ﾃﾞｰﾀの入力模式図

③感度の設定

A. スクリード反応値の設定

アスファルトフィニッシャは各機械によって、それぞれプルポイントを上下させたときに舗装厚が変化するまでの応答速度が異なる。本装置では、フィニッシャ毎に、応答速度に応じたスクリード反応値を設定することができる。

B. パルス長の設定

プルポイント油圧シリンダの速度、同用電磁弁の応答特性に応じた制御パルスの設定が可能である。パルス長が長いと速い動きとなり、長すぎるとオーバーシュートしハンチングする。

④走行距離の調整

走行距離は第5車輪のエンコーダによって計測される。第5車輪は通常スリップあるいは付着により誤差が生じることがある。本装置は2種類の簡便な調整方法により随時に調整可能にすることで精度を大幅に上げた。

2-4ペーブセットの特徴

ペーブセットの特徴は次のとおりである。

①基準線となるセンサロープが不要である

従来の舗装厚自動装置は基準線となるセンサーロープの正確な設置が必要である。設置の為の労力、設置誤差さらには施工時における障害や、安全上の問題ともなった。

②転圧減を%で設定できる

舗装厚が厚いところは、敷き均した後のローラ等による転圧により大きな転圧減を生じる。従来はセンサロープによる基準線のため、一定の転圧減の設定しかできなかった。%による設定のため、転厚減は厚いところは大きく、薄いところは少なく施工ができる。

③曲線部の制御がスムーズである

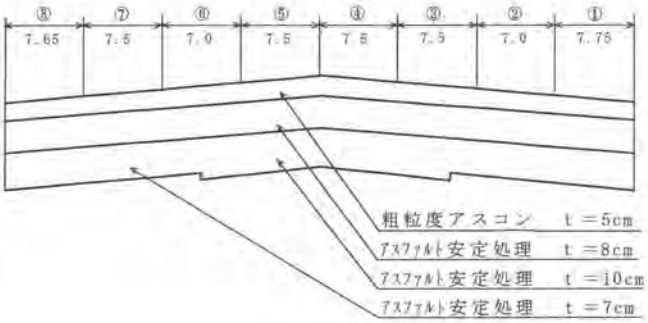
曲線形状の下層部にセンサを走行させるので、上層を施工する毎に計画高に近似する。センサロープでは直線的な制御しかできなかった。

④測量と舗設作業を連携させ省力化ができる

測量データはペーブセットの制御データとしてそのまま使用可能である。

3. 施工結果

ペーブセットを旭川空港滑走路舗装新設工事に使用した例を報告する。図ー3は施工断面図である。ペーブセットを舗装の1層目のアスファルト安定処理舗装から3層目の基層舗装まで使用した。



図ー3　標準断面図

表ー2は基層舗装の3mプロフィロメータにより測定した平坦性の結果である。下層路盤の出来形が±0～3cmの仕上がりであったにもかかわらず、基層では、平坦性で1.0mmを切り、アスファルトフィニッシャが違っても変わらない結果となった。また、計画高と実測値の誤差は数mm以内であった。アスファルトフィニッシャを2台使用した為、センサロープを使った従来型の自動も使用したが、両者の施工結果はほとんど変わらなかった。

センサロープを設置しないペーブセットを使用したことにより、当初の目標である大巾な省力化を図ることができた。その他、施工時の障害が無くなり作業性の向上、ダンプトラックの後進距離が減った事による安全性の向上等にも貢献した。

表ー2　基層舗装の平坦性

測定車線	使用ﾌｨﾆｯｼｬ	範囲の平均値	標準偏差
①車線	ﾌｪｰｹﾞﾙ	2.62	0.85
②車線	ﾃﾞﾏｰｸﾞ	2.30	0.75
③車線	ﾃﾞﾏｰｸﾞ	2.69	0.87
④車線	ﾌｪｰｹﾞﾙ	2.57	0.83
⑤車線	ﾌｪｰｹﾞﾙ	2.83	0.92
⑥車線	ﾃﾞﾏｰｸﾞ	2.90	0.94
⑦車線	ﾃﾞﾏｰｸﾞ	2.70	0.88
平均値	全部		0.86
	ﾃﾞﾏｰｸﾞ		0.86
	ﾌｪｰｹﾞﾙ		0.87

4. あとがき

本開発の結果、舗装作業の合理化のみならず、自動装置としてのシステム、使用方法を簡便化したことにより、自動を使う機会が増え施工の出来映え向上にも寄与する考えられる。しかし、ペーブセットはコンピュータを使用してることもあり、使用にあたっては熟年者の抵抗を受けることも多い。今後の課題として、普及を進めるためには専用操作装置の検討も必要である。また、更に合理化を進める為に測量作業との連携を深め、ポケットコンピュータの測量への積極的利用およびその為のソフトの開発が必要と考える。

1) 高野　漠　著　舗装機械の使い方　第二版

6．　セーフペーブ工法の開発

日本舗道㈱：*斎藤　　徹，宮崎　一郎

1．まえがき

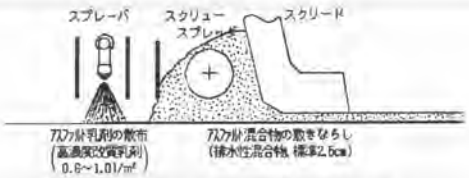
排水性舗装は、雨天時の走行安全性を向上させ、しかも車両の走行騒音を低減できることから全国的に採用され、平成７年度末で 400万m²を越える実績となっている。しかし、一般の舗装と比べてコストが高く、適用拡大のネックとなっている。コストダウンの一方策として薄層化が考えられるが、単に薄く舗設するだけでは下層とのはがれが懸念される。

これを解決する方法として、下層との付着性を高めた工法(高付着型薄層開粒舗装)と、専用の乳剤散布装置付きアスファルトフィニッシャ(Self Priming Asphalt Finisher,以下、ＳＰＡＦ)が新たに開発され、欧米で急速に普及しつつある。

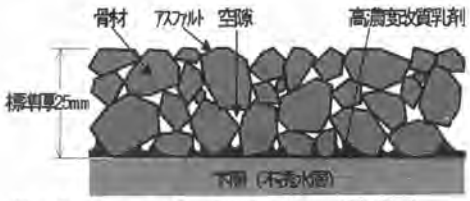
しかし、そのままわが国に適用することは、交通量や気象条件の違いから困難である。そのため、欧州技術を基に、わが国の諸事情に合ったＳＰＡＦとタックコート用乳剤(以下、セーフゾル)を開発し、より付着性を高めた高付着型薄層排水性舗装(以下、セーフペーブ)として実用化した。本報文はセーフペーブ工法とＳＰＡＦの開発について述べる。

2．セーフペーブ工法の概要

本工法の概念を図－１に、断面を図－２に示す。本工法は、ＳＰＡＦでセーフゾルを多量に散布したのち、直ちに開粒度混合物を最大粒径の２倍程度の薄層で敷きならし、ローラで締め固めて仕上げるものである。このため、乳剤を多量に撒いても流れ出しが生ぜず、接地面積の小さな開粒度混合物を下層に強く固定できる。また副次的な効果として、乳剤散布・養生作業の削減、施工時間短縮およびタックコートの保護などが図れる。



図－１．セーフペーブ工法の概念



図－２　セーフペーブ工法の断面（模式図）

3．開発の方針

排水性舗装の特長である、排水性、低騒音性などの機能を維持しつつ、薄層化によってコストダウンを図るため、開発に当たっては以下の方針を定めた。なお当面、混合物には、高粘度改質アスファルトを用いた排水性アスファルト混合物(以下､排水性混合物)を用いることにした。

(1)工法全体

混合物の最大粒径は13mmを標準とし、層厚は 2.5cmを目標とした。混合物供給能力を一定と考えれば、層厚2.5cm の場合４cm厚さに対して 1.6倍まで施工速度を上げられるるので、これを目標とした。コストは層厚4cmの排水性舗装の約70%を目指した。

(2) ＳＰＡＦ

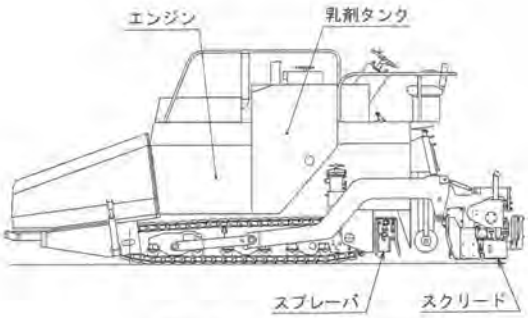
運搬・施工の両面から、高速道路、一般道路のいずれにおいても使い勝手の良い中型クラスとした。アスファルトフィニッシャの運転操作に乳剤散布操作が加わるので、極力自動化を図った。特に、タックコート乳剤の散布は手戻りが利かないので、正確に散布できるものし、バラツキは±0.1 ℓ/m² 以下を目標とした。また、トラブル時には即時対応ができるように考慮した。

(3) セーフゾル

接着性と耐流動性を高めるため、蒸発残留分のタフネス・テナシティが高く、60℃でも軟化しないポリマー改質アスファルト乳剤を新たに開発することとした。目標接着力は、引張り強度で10kgf/cm²以上とした。また、多量に散布するため蒸発残留分が65%以上の高濃度品とした。

4．ＳＰＡＦ２号機の概要

既存のアスファルトフィニッシャを改造してＳＰＡＦ１号機を試作し、その現場供用などの経験を踏まえて、より国内のニーズに合った２号機を製作した。ＳＰＡＦ２号機の外形を図－３、主要諸元を表－１に示す。



図－３．ＳＰＡＦ２号機の外形

(1) 本体レイアウト

走行方式は走行安定性を考慮してクローラ式を採用した。乳剤スプレーバの取り付け位置には、クローラ後方とホッパ前方の２方式がある。乳剤散布幅を敷きならし幅に合わせて調整しやすく風の影響を受けにくいことから前者の位置とした。しかし、この配置ではスクリードが後方に移動することから後方過重となり、回送時の前後方向の重量バランスが悪くなる。そこで、エンジンを乳剤タンクの前方に配置して回送時の重量バランスを改善した。このためバランスウエイトが必要なくなり、総重量は１号機より約2.5ｔ減量することができた。

表１－１．主要諸元

重　量		１６，５００ｋｇ
寸　法	全　長	６，８９０ｍｍ
	全　幅	２，７９０ｍｍ(回送時)
	全　高	２，８００ｍｍ(回送時)
性　能	舗装幅	２．５～４．７５ｍ
	作業速度	最大２０ｍ／分
	回送速度	最大７５ｍ／分
走行装置	形　式	クローラ式
乳剤ﾀﾝｸ	積載量	２，４００ﾘｯﾄﾙ
乳剤散布	散布量制御	自動制御(速度連動式)
ｽｸﾘｰﾄﾞ	締固め方式	タンパ・バイブレータ
エンジン	総出力	１１０ｋｗ

(2) 乳剤タンク

乳剤タンクの容量は、日施工面積を3,000m²として高付着型薄層開粒舗装の標準乳剤散布量0.8 ℓ/m²から、積載量2,400 ℓ とした。また、乳剤タンクには電気ヒータを装備しており、使用する乳剤を設定温度に加温できる。

(3) 乳剤散布装置

乳剤スプレーバは、デュアル方式でスクリードに連動して伸縮するため、散布幅の調整が容易である。乳剤散布操作は全自動であり、施工中の運転操作は一般のアスファルトフィニッシャと変わらない。乳剤散布量は、自動制御により作業速度に連動して設定散布量が維持される。また、乳剤にはこれまで例のない極めて粘着力の強いセーフゾルを用いるが、安定して正確な散布が行える。

さらに、２号機は、低速少量散布を可能とする間欠散布方式を採用している。間欠散布パターン例を図－３に示す。このように、散布面が進行方向にラップするため、間欠式であってもほぼ均一な散布面を得ることができる。１号機の最少散布量は走行速度５m/minで0.6ℓ/㎡であったが、２号機は間欠散布により、速度４m/minで0.3ℓ/㎡の散布ができるようになった。

また、ノズル詰まり対策として、個々のノズルを電気ヒータで加熱し、さらに圧縮空気でノズルを掃除するシステムを採用している。

(4)スクリード

スクリードの締固め装置には、初期密度を高くするためタンパ・バイブレータ併用式を採用した。排水性混合物に使用する高粘度改質アスファルトは温度が下がるとワーカビリティが著しく悪くなる。このため、スクリード加熱装置はＬＰＧ熱風式を採用し、タンパやデフレクタまで強力に加熱できるものとした。この加熱装置により、気温20℃のときに約30分で、タンパは100℃程度まで加熱される。

５．セーフゾルの概要

セーフゾルはポリマー改質アスファルトをベースとするが、高温安定性に優れている。接着力を判断するための引張試験などの力学性状も、目標とした高い値が得られた。引張り試験結果を図－４示す。この結果から、セーフゾルの標準散布量は0.6～1.0ℓ/㎡とした。また、セーフゾルの高温散布により分解は短時間で終了し、高い初期強度が確認された。

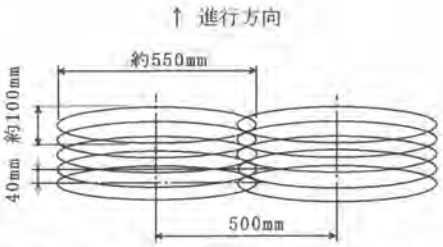
６．各種試験施工の結果

(1)ＳＰＡＦ乳剤散布試験

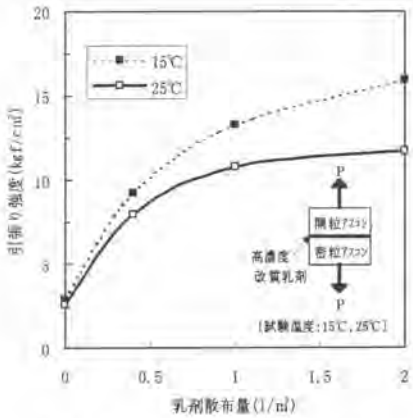
走行速度を変化させてセーフゾルを散布し、乳剤散布量を測定した。試験条件を図－５に、結果を表－２に示す。測定散布量は、速度変化にかかわらず安定しており、目標値を十分満足している。

(2)薄層施工

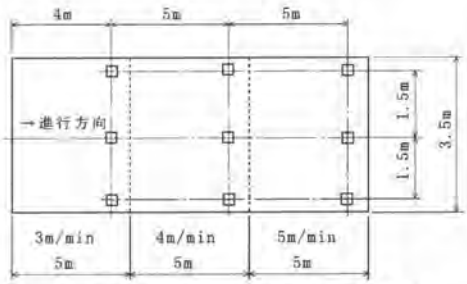
薄層施工における仕上がり面のきめを確認した。最大粒径13mmの排水性混合物を目標仕上がり厚さ 2.5cm



図－３．間欠散布パターン例（速度4m/min）



図－４．乳剤散布量と引張り試験



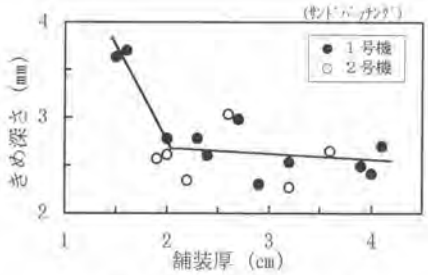
図－５．乳剤散布試験条件(□：測定位置)

表－２．乳剤散布試験結果

設定散布量 (ℓ/㎡)	測定位置	走行速度毎の測定散布量(ℓ/㎡)		
		3m/min	4m/min	5m/min
0.8	左	0.83	0.72	0.86
	中央	0.83	0.78	0.84
	右	0.86	0.81	0.81
	平均	0.84	0.77	0.84

で敷きならしても、ひきずりは発生しなかった。

ローラによる締固め後の舗装厚さと路面のきめ深さの関係を図－６に示す。舗装厚さ２cm～３cmにおいて、きめ深さは２～３mmの範囲にあり、この数値は通常の排水性舗装と同等であり問題がない。



図－６．舗装厚さときめ深さ

(3) 試験施工および耐久性試験

最終的に数度の試験施工と耐久試験施工を実施した。結果の概要を以下に示す。

①施工上、界面における混合物のズレや引きずりは見られず、乳剤の滲み出しもなかった。

②厚さ25mmでも平坦性は悪くなく、下層条件の良い箇所では$\sigma < 1$の結果が得られた。

③大型円形走行試験路で耐久性を確認したが、種々の性状は通常の排水性に劣らない値を示した。

7．工法の特長

本工法の特長を以下に示す。

①排水性舗装の機能を保持しながらも薄層であるので経済的であり、切削材の発生抑制にも役立つ。

②直前散布方式であるため、ダンプトラックやアスファルトフィニッシャによってタックコート面を乱さず、乳剤の持ち出しもないため隣接車線を汚さない。

③デストリビュータによる乳剤散布や散布後の養生が省け、作業時間の短縮と安全の確保にも有効である。

④粘着力の強いセーフゾルを多量に散布するため、接地面積の小さな排水性混合物を下層に確実に固定でき、界面の水密性も高めることができる。

⑤セーフゾルの軟化点(70℃)は高いため、多量に使用しても層間滑動や流動わだち掘れを引き起こさない(界面のせん断強度 10kgf/cm²以上)。

⑥高濃度(65%)のセーフゾルを高温散布(70℃)するため、施工後１時間で最終強度の約70%に達する。

写真－１．施工状況

8．あとがき

本工法は、平成８年８月の民間工場構内舗装を皮切りに、平成９年８月末現在、19件、約70,000m²の工事で採用された(写真－１．施工状況参照)。施工後半年未満の箇所が半数以上を占めるが、これまでのところ供用性などの問題を生じていない。

わが国の交通・気象条件は欧米に比べかなり過酷であり、技術導入にあたっては本稿で述べたとおり、新たな開発が必要であった。これまでのところ、約30%のコストダウンを実現し工法の展開も順調に推移している。今後は、さらに改良改善を進め工法の高度化を図る所存である。

［参考文献］

1) 泉、斉藤、安藤：高付着型薄層開粒舗装，道路建設，1997.6

7．じょく（褥）層工法とチップスプレッダ

東亜道路工業㈱：長谷部勝郎

1．はじめに

現在は、アスファルト舗装の維持修繕工法としてオーバーレイ工法又は切削オーバーレイ工法が広く採用されているが、施工後比較的早い時期に、リフレクティブクラックが発生することが多い。

このようなリフレクティブクラックの発生を抑制する有効な工法のひとつとして「褥（じょく）層工法」がある。

2．じょく層工法の概要

この工法は、ひび割れの生じた既設路面と、新設アスファルト混合物との間に加熱型高ゴム化アスファルトとプレコートチップを使用して「応力緩和層」を設けることにより、リフレクティブクラックの抑制を行うものである。

「効　果」

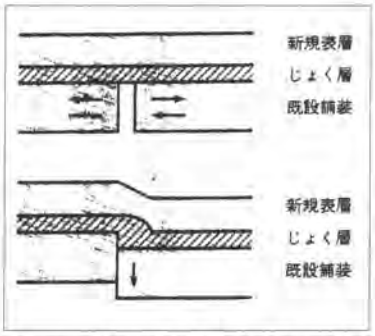
じょく層工法によるリフレクティブクラック抑制効果のメカニズムとしては、次のようなことが想定される。

1）水平変形に対する効果

既設路面が膨張、収縮しても緩和層により応力が緩和されその動きはオーバレイ層に伝わりにくい。　⇒

2）垂直変形に対する効果

交通荷重によるセン断力が緩和層により緩和され、オーバーレイ層ではヒズミが小さくなる。　⇒



図―1　じょく層効果のメカニズム

「特　長」

じょく層工法は、L交通やひびわれの少ない舗装面では、アスファルト乳剤やゴム入りアスファルトを用いた2層式で行う。交通量が増加する場合や、ひびわれが比較的多い場合はカットバックアスファルトや散布用改質アスファルトを用いた仕様、または3層式を状況に応じて選択するが、一般的には次の特長を有する。

1）薄層でリフレクティブクラックの抑制効果が得られる。

2）不透水層を形成する。

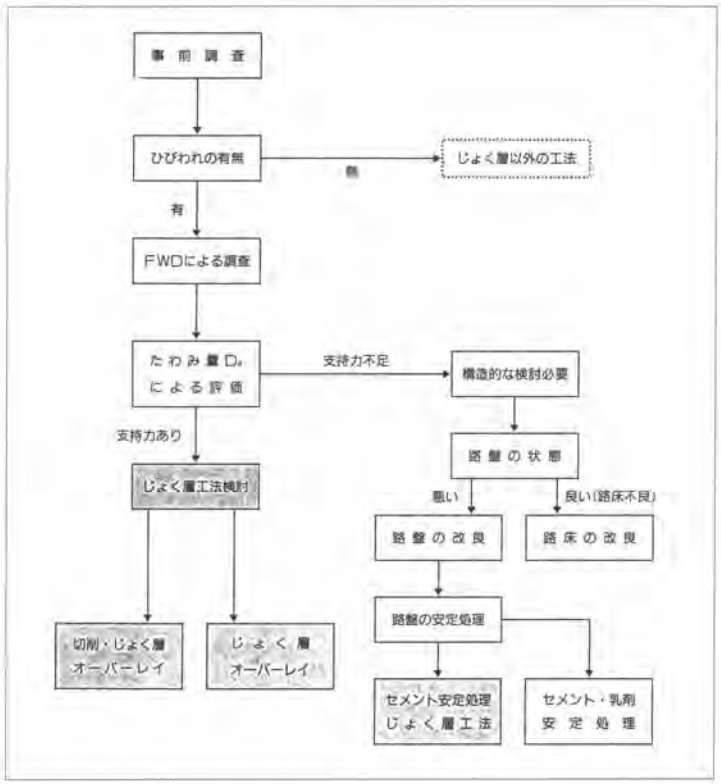
3）施工が比較的簡単で工事費が比較的安価である。

4）オーバーレイ時にじょく層を施すことで、より経済的な効果が得られる。

「適　用」

維持修繕の選定に先立って事前調査を行い、舗装の破損している層の位置と性状を調査し、じょく層工法が適しているかどうかを検討する。

検討に当たっては、図－２のフローに従って行う。



図－２　じょく層工法適用の検討フロー

３．じょく層工法適用の選定目標

舗装のひびわれは，舗装構造の支持力低下によるものや，表．基層の劣化に伴う物など，その原因は様々である。じょく層工法はあらゆる原因のひび割れに対し、全て効果があるものではない。応力緩和層としてその効果を十分に発揮させるには既設舗装の状態を把握し，適切に対応しなければならない。そのためには舗装面のたわみ量を確認することが必要である。

じょく層工法を適用する道路を選定するにあったての目標として、ＦＷＤを用いた既設舗装面のたわみ量を交通量区分ごとに定め　表－１に示した。

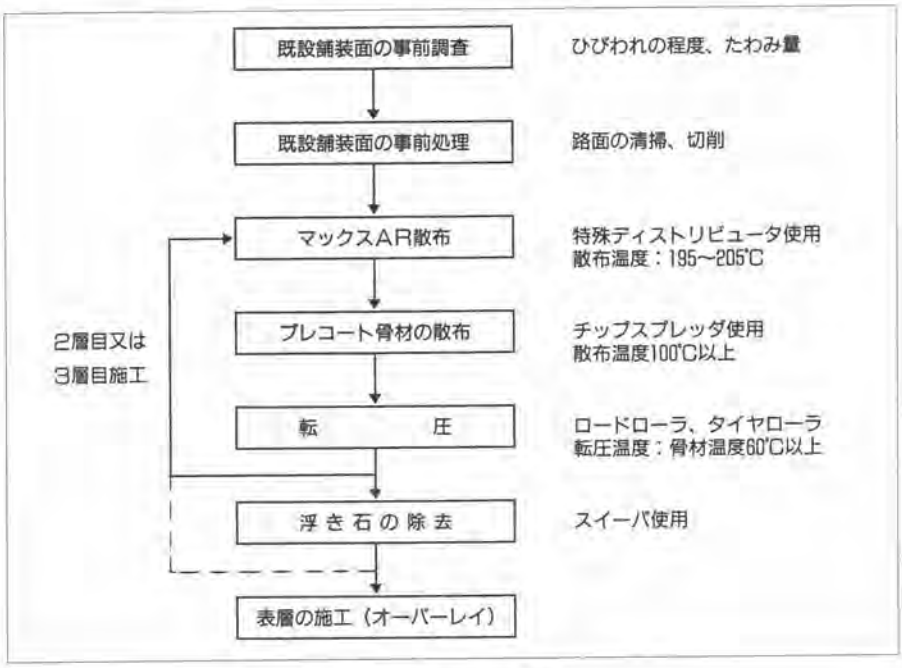
表－１　じょく層工法適用の選定目標

交通量区分	ＦＷＤたわみ量　D_0
Ｌ・Ａ交通	1.2mm以下
Ｂ交通	0.9mm以下
Ｃ交通	0.6mm以下
Ｄ交通	0.4mm以下

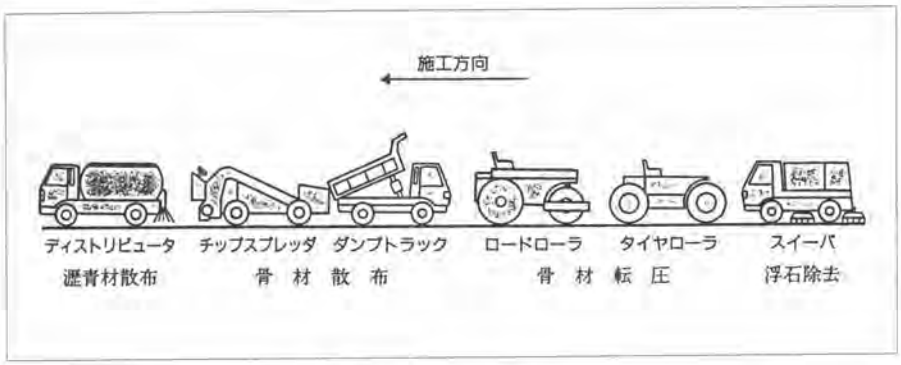
4．じょく層の施工方法

既設舗装面（場合によっては切削した路面）に、まず加熱型高ゴムアスファルトを所定の温度で所定量散布する。次にストレートアスファルトでプレコートした骨材を所定量散布する。その後にマカダムローラ(10ｔ級）で初期転圧を、二次転圧をタイヤローラ(15ｔ級）で行う。転圧を終了したらロードスイーパで浮き石の除去を行う。２層または３層の場合はこれを繰り返す。

標準的施工フローを図－３に、施工手順を図－４にそれぞれ示す。



図－３　標準的施工フロー



図－４　施工手順図

5．チップスプレッダ

じょく層工法では従来からダンプトラックの後部にスプレッドロールのついたテールゲート式チップスプレッダを装着して骨材散布を行ってきたが、手軽、安価で維持修理費が安い等長所があるわりにはいくつか問題点があり、これを解消するために、ヨーロッパで実績のあるチップスプレッダを導入した。

従来のテールゲート式チップスプレッダの問題点

1）現場内でスプレッダユニットの脱着は出来るが、装着したまま、ダンプトラックは公道を走ることができない。従ってプラントと現場間の骨材の運搬には別のダンプトラックが必要で、又、現場内での積み替えも必要となってくる。

2）動力源として小型エンジンを採用しているので、負荷変動によるエンジン回転数の変動が生じ易く、又、ダンプ荷台の骨材の量が減少するに従い、ダンプアップの傾斜角度を大きくするので同じゲート開度でも骨材散布量が変動し易い。

3）ダンプトラックの運転手の他にチップスプレッダのゲート開閉用に作業員をつける必要性があるが、バック走行での作業をするので安全性に欠ける。

4）現場で調達するダンプトラックはメーカや年式により寸法が違うのでチップスプレッダユニッの取り付けに際し手直しが生じる。

5）ゲート式スプレッダは原理的にダンプの荷台幅より大幅に広く散布が出来ないので，４ｔダンプで２ｍ，１０ｔダンプで2.5ｍとなる。従って１レーン当たり２パスする必要がある。

6）ダンプトラックのバックでの作業速度は1.5～2.0km/h程度なので、アイドリング状態で運転する必要がある。そのために非常に不安定な速度になり散布量が変動し易い。

今回、導入した自走式チップスプレッダの特長

1）低速走行（０～10km/h）用の自走式チップスプレッダで安定した施工速度の作業ができる。

2）骨材供給ダンプを牽引しながら施工できるので連続の作業が可能

3）散布幅は2.3mから3.8mまで任意の幅での施工が可能、又、走行中でも変えることが出来る

4）骨材温度が150℃程度の高温に耐えられるエレベータ用コンベヤベルトを採用

写真－１　従来型チップスプレッダ

写真－２　自走式チップスプレッダ

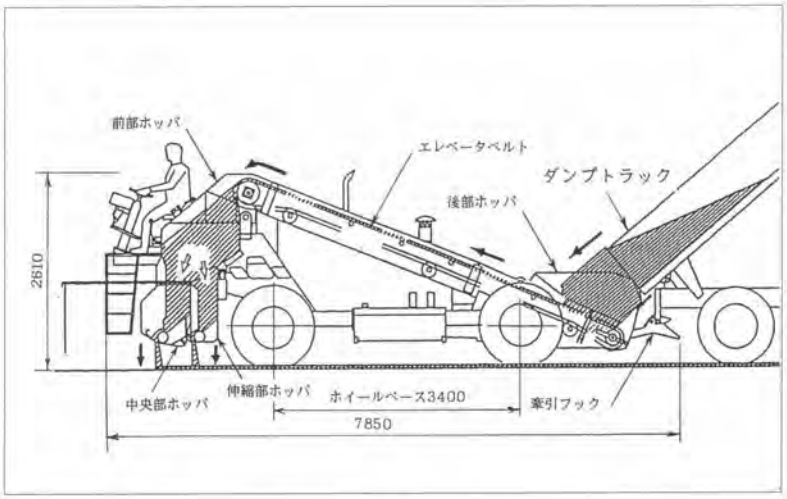
6．自走式チップスプレッダ諸元

全長	：	7，850	mm	骨材散布幅	：2．3～3．8m
全幅	：	2，500	mm	適応骨材ｻｲｽﾞ	：3　～32mm
全高	：	2，700	mm（キャノピ格納時）	散布能力	：4　～20kg/m²
重量	：	7，800	mm	ホッパ容量	：3m³
機関	：	6気筒水冷式ディーゼルエンジン		骨材搬送	：ツインエレベェータ
出力	：	87Kw（116PS）			(425mm幅×2基)自動・手動切換え

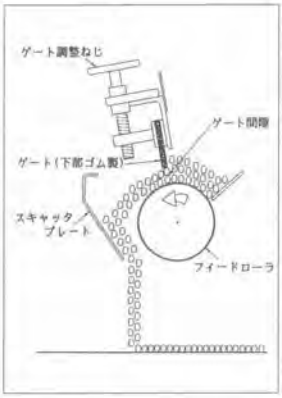
施工速度：　0　～　10km/h

走行速度：　0　～　20km/h　前進8段、後進2段

7．骨材散布システムとフロー



図ー5　骨材散布のフロー



図ー6 骨材散布システム

写真ー3 ツインエレベータ

写真ー4　伸縮部ホッパ

8．自走式チップスプレッダによるプレコート砕石散布試験結果

6号砕石			7号砕石		
	単位体積重量	1.536 t/m³		単位体積重量	1.483 t/m³
	ゲート開度	1.8 cm		ゲート開度	0.8 cm
	散布幅	3.5 m		散布幅	3.5 m
	散布速度	1.9 km/h		散布速度	1.9 km/h
	散布量	1.0 m³/100m²		散布量	0.6 m³/100m²
	骨材温度	178 ℃		骨材温度	167 ℃

	重量(kg)	目標値(kg)	誤差(kg)
①	15.62	15.40	+0.22(+1.4%
②	15.47	15.40	+0.07(+0.4%
③	16.17	15.40	+0.77(+5.0%
平均	15.75	15.40	+0.35(+2.3%

	重量(kg)	目標値(kg)	誤差(kg)
①	9.00	9.00	±0 (0 %
②	9.14	9.00	+0.14(1.6 %
③	9.11	9.00	+0.11(1.2 %
平均	9.08	9.00	+0.08(0.9 %

試験結果によると、平均値で6号砕石では＋2．3％、7号砕石では＋0．9％の誤差を生じたが、ほぼ目標値に近い値が得られた。誤差の最大値では＋5％見込む必要があるようだ。

誤差の要因としては骨材をプレコートしたアスファルトが温度低下によりフィードローラに付着しゲート開度とスベリ抵抗に影響を与えること、試験施工のため必要量の骨材しか供給しなかったのでリアホッパが空になると、前輪と後輪の荷重バランスが変化しわずかながら揺動が生じることなどがあげられる。

9．まとめ

本機は英国で製作されて英国国内はもとよりヨーロッパで施工実績のあるチップスプレッダを日本向け仕様に改造して輸入したものである。

英国では15トン級のダンプトラックで骨材を供給し、施工速度は4km/h前後と速く1日の施工延長は十キロ以上に及ぶこともあるという。したがって日本の比較的低速度での施工と高温の骨材を使用しての施工ではこれから多くのデータを蓄積する必要がある。

原理的には極めて単純構造の機械なので、連続的に施工をすれば非常に安定した散布作業が出来ると思われる。

本機は他の工法に使用することも可能であるが、じょく層工法に限ってみると切削作業を伴う工事においては、ダンプトラックの向きが全体の作業方向と逆向きになるので、考慮する必要がある。

将来的には乳剤もしくは高温のアスファルトの散布装置がついたチップスプレッダが実用化されれば更に施工が簡素化されることになろう。

8．　コンクリート面削りの機械化施工

飛島建設㈱：*佐々木　修，貫洞　　悟

1．はじめに

北海道電力岩松発電所は、十勝川の上流に位置し昭和17年に建設され、道東方面の重要な電源となっており、現在も十勝川水系に８つある発電所の中でも要として中心的な働きをしている（図－１）。

図－１　工事位置図

岩松ダムは、下流に帯広市等の市街地をかかえ年間平均の放流日数が３ケ月以上にもなり、ダムゲートの使用回数が非常に多いダムである。建設から50年が経過し、ゲートの老朽化が進み、建設当時の設計基準と現在の基準とに多少の差異がありダムゲートの更新をすることになった。

本工事は、北海道電力発注の岩松発電所ダムゲート更新準備工事　（北海道上川郡新得町字屈足）である。その主な工事内容は、下記のとおりである。

１）コンクリート面削り工

削り厚さ　150 mm

削り範囲　528 ㎡（水中354+気中174 ）

２）型枠工

範　　囲　　601 ㎡（水中440+気中161 ）

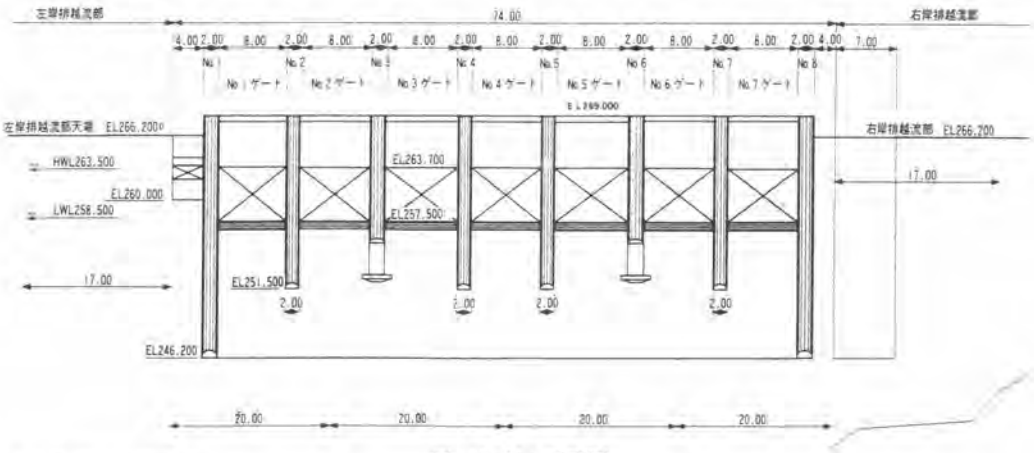
３）コンクリート打設工

打設総量　　254 ㎡（水中200+気中54）

なお、本稿では、前述の一連の工事のうちダムピアーのコンクリート面削りの機械化施工について報告する（写真－１，２、図－２）。

写真－１　ダム上流側全景

写真－２　ダム下流側全景



図−2 ダム正面図

2．施工上の課題

ダムピアーのコンクリート面削りの施工方式に関する課題として，下記の事項があげられた。

①水中部削り作業を人力による潜水作業とすると多大な労力を費やし、危険も伴う。

②ダムピアーが８本あり、前面が円形をしており施工しにくい。

③ダムピアーは高さ12.5m あり、水中部7.0m、気中部5.5mと両者で施工条件が異なる（図−３）。

④大型重機の使用が不可能である。

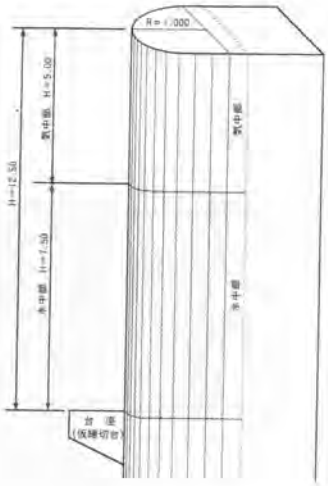
⑤施工時期が洪水期にあり、ダム放流等で施工面で制約を受ける。

⑥ダムゲート更新工事を控え、工期を厳守する必要がある。

⑦降雨時に発生する濁水により水中作業の休止が予想される。

⑧作業効率が良く、安全かつ経済的な工法・設備が要求される。

これらの課題を解決すべく検討を進めた結果、コンクリート面削り作業を人力から機械化し、潜水作業をより軽減し、気象条件にあまり左右されずに安全に作業できる「コンクリート削りの機械化施工」の方式を考案した。



図−3 施工範囲図

3．削り機械の検討

3．1　市販されている削り機械の検討

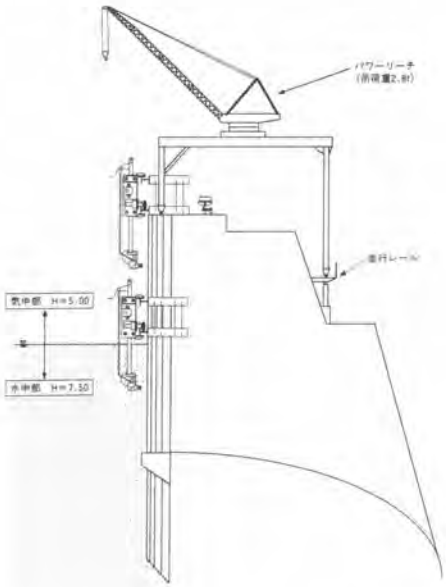
削り機械は現在、各方面で使用されているものの、バックホウ等のアタッチメントとして使用されているものが大半であるため、ベースマシーンとなる削り機械（エアー式）は市販されているものを使用し、他の設備・装置については本施工に適応したものを独自に考案することとした。

3．2　前提条件

設備・装置の考案において、前提条件とした項目を以下に示す。

（1）重量の制限

①工事全般にわたって使用するために設置した自走式パワーリーリで吊り込める重量(2.8t)以下に各機械・設備等の重量を抑える（図－4，写真－3）



図－4 揚重設備概略図

写真－3　揚重設備

（2）基本性能・構造

①円形断面のダムピアーのコンクリート削り作業が可能なこと。

②施工断面に対して削り残しが大きく発生しないこと。

③セッティング・移動が容易なこと。

④仕上がり面の精度が保たれること。

⑤エアーでの打撃振動以外での衝撃にも耐え得る構造であること。

⑥水中施工においても性能が気中部と変わらずトラブルが少ないこと。

⑦施工速度が円形部、平面部と同一なこと。

⑧操作が簡単で少人数で動かせること。

⑨変形した断面にも適応すること。

（3）安全性

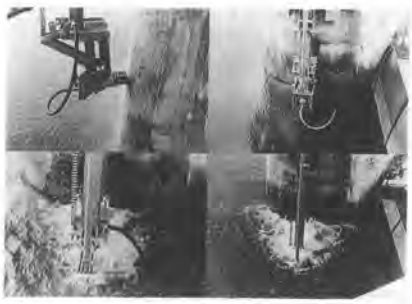
①削り機械本体が脱落しないこと。

②上下・水平方向の過動作がないこと。

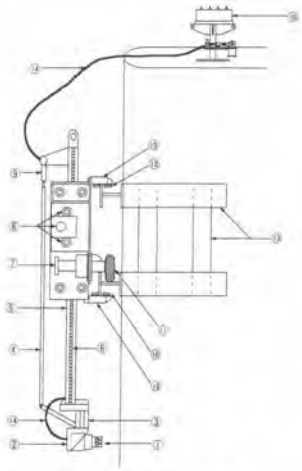
③緊急停止が瞬時に行えること。

3，3　削り方式とその設備

今回考案した削り方式は、削り機械本体、ガイドレール（水平）、マスト（垂直）、走行機、操作盤の主要装置により構成されている。すなわち削り機本体は既設ピアー面にアンカーボルトで、固定されたガイドレール上を走行機（電動駆動）により水平移動し、マストを昇降装置により上下移動する方式とした（写真－4）。また、削り機械の設備概要を図－6，表－1，写真－5に示す



写真－4　施工順序



図－6 削り機械概略図

表－1 削り機械部材名称

No.	部材名称	数量	備考
①	エアーハンマー	1	KA－200 型
②	ハンマープラケット	1	
③	スイングアーム	2	
④	押しロッド	1	
⑤	マスト	1	200×200H
⑥	昇降チエーン	1	
⑦	走行モーター	2	1.5KW×4P×50HZ
⑧	スプロケット	3	
⑨	エアーシリンダー	1	φ125
⑩	カムフロアー	4×2	φ80
⑪	走行タイヤ	2	φ403 ×108
⑫	カムフロアー	2×2	φ80
⑬	ガイドレール	2	200×250H
⑭	エアーホース	2	φ32
⑮	サイドローラー	4	
⑯	操作盤	1	

写真－5　削り状況

なお各設備の仕様を以下に述べる。

（1）削り機械本体

削り機械は、最近コンクリート削り用に市販されているエアーハンマー(KA-200,写真－6)をベースとして、これをマスト（縦柱）にスウイングアーム（図－7，表－1参照）を介して固定し、その動き（エアー）により目的の削り厚さ（t=150mm)に対応できるようにした。

削り機械自体の仕様は、表－2に示すとおりであり、今回は約16回の削り工程で目的の削り厚さを確保するべく、1回当たり約t=10mmの削り厚さとなるように走行機等の速度調整を行った。

写真－6　削り機械本体（ハンマー）

表－2　削り機械の仕様

機種名	スパイキハンマー
型式	KA－200
ハンマー重量（kg）	285
打撃数（bow／min）	1,600
空気消費量（m³／min）	7
チゼル径（φ）×本数	70φ×6
チゼル束径（φmm）	230
使用空気圧力（kg／cm²）	5

（2）ガイドレール・マスト

ガイドレールは、250 ×200mm のH形鋼を曲線(R=1341mm)加工し、２本１組（高さ1500mm）で４本の150mm のH形鋼を溶接し、上下４ケ所をそれぞれ２本のアンカーボルト（Φ16mm）で既設ピアーに固定した。ガイドレールは水中用と気中用を各１組製作し、水中用ピアー側面、気中用はピアー天端に固定した。

なお、ガイドレールのセッティングで仕上がり断面が決定されるため、設計断面と既設ピアーの断面の差異を測定し，調整が可能なようにガイドレールと既設ピアーとの間に余裕をもたせ３種類のシム（スペーサー）で調整して固定できる構造とした。

マストには、200mm のH形鋼を使用し、走行機に装着された昇降装置と電動モーターによりマストを上下させる。マストの上下速度は、毎分3.2mの一定の速度に設定した。

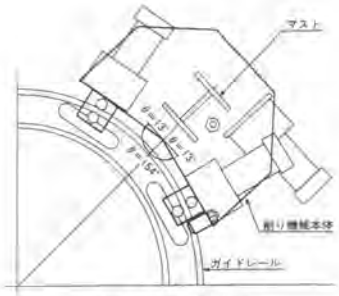
また、マスト先端にはスウイングアームで削り機械本体、エアー配管、昇降チェーンが装着されている。

なお、マストは水深を考慮し、長さを9.4 m とした。計画段階ではマストを長くしたので、遊びが大きくなり、削り厚さ不足を懸念されたが、打撃回数を増やすことで，目的削り厚さがほぼ確保された。

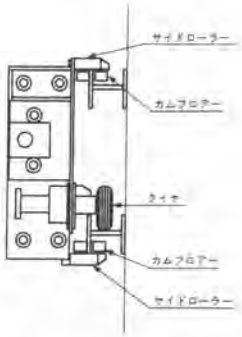
（3）走行機装置

走行装置は、電動モーターにより駆動し、図－７に示すよう円形のガイドレールに添うよう内側に13度曲げて加工した。下段のガイドレール上側には、走行輪としてタイヤ（チューブ式）を使用し、H形鋼下側にカムフロアーとサイドローラーを取付け、上段ガイドレール上側にも同様にカムフロアーとサイドローラーを取付けた（図－８）。

走行輪をタイヤとしたのは打撃時の衝撃とそれ以外の衝撃（既設コンクリート凹凸による振れ等）も吸収させるためであり、一方カムフロアーとサイドローラーの役割は、前者が削り機械を一定軌道で走行させ、仕上がり精度を保ちそのうえ機械の脱落防止を果たし、後者は上下の動きを抑制するためである。



図－7 走行装置詳細図



図－8 走行輪部詳細図

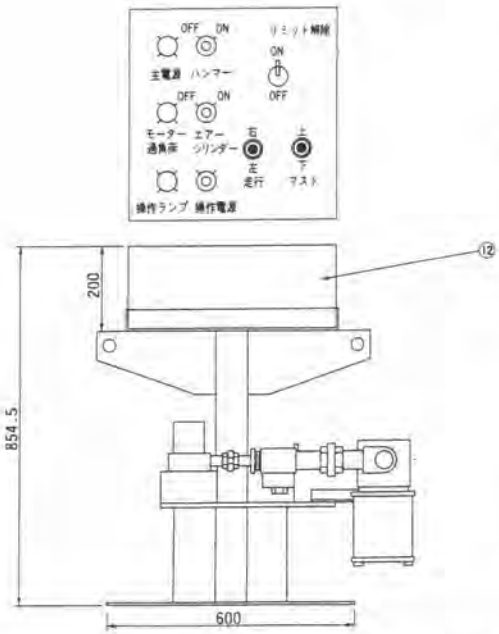
（3）操作盤

操作盤は図－９、表－３で示すように、削り機械本体を動かすコンプレッサーからのエアー配管、走行装置、マストを動かす電気制御を一つの操作盤でコントロールできるようにし、労力の低減を図った。さらに、熟練した作業員でなくても操作が可能なように簡単にした。

また、安全面では走行装置，ガイドレールにリミットスウイッチを取り付けて過動作防止対策もとった。

表－3　操作盤部材名称

No.	規格・仕様	名　　称
①	32×50A	ブッシング
②	32A	Y形ストレーナー
③	OL2－14	オイラー
④	100V, NC形	ソレノイドバルブ
⑤	32A	カプラーオス
⑥	32A	カプラーメス
⑦	32A×15m	エアーホース
⑧	100Vシングル	ソレノイドバルブ
⑨	AR425－04G	減圧弁，圧力計ブラケット
⑩	1/2	カプラーオス，メス
⑪	15A×15m	エアーホース
⑫		電気操作盤
⑬	32A	ストップバルブ
⑭	50A	ストップバルブ
⑮	10A	エアーホース
⑯	10A	ストップバルブ



4．施工結果

コンクリート削り機械の能力に不足はなく，施工中のトラブルもほとんど発生せず，作業性，安全性とも良好であった。特に，水中では人力と比較し10倍以上（本施工中，人力で行った同一作業量の所要時間の比較）の作業効率を発揮し，予想以上の成果を納めた。工期途中，長雨によるダム貯水池の濁水による潜水作業休止時にも，荒削り作業を継続して行ったり，削り作業も夜間にわたって可能となり，順調に工事を完了することができた。

なお，今後の本方式のコンクリート削りの適応にあたっての留意点を以下に述べる。

①ガイドレールのセッティングをより簡単とすること。

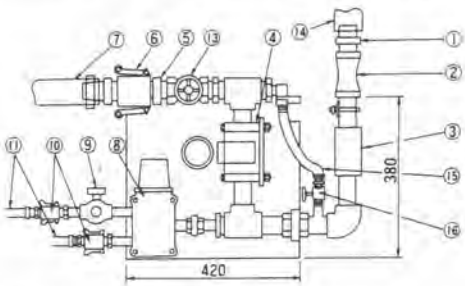
②機械・装置のセッティング，移動の際に使用する揚重設備を考慮した機械方式となること

③大断面施工時のエアーホースの配管システム化を工夫する。

5．おわりに

今回実施したコンクリート削りの機械化は，人力での振動障害の防止や削り断面の精度向上および削り作業工期の確保に有効であることが確認された。特に，水中での削り目視確認の難しい作業には，極めて効果的な方式であった。

今後，本報告が一つの施工実績となり，本施工と同様な工事に役立つことがあれば幸いである。



図－9 操作盤詳細図

9．UTC（U型トンネルコンベヤ）工法

東洋建設㈱：川西　龍一，森田　研志
*秋庭　英樹

1．はじめに

近年のシールド工事では中折れ式シールド機の採用により10R～15Rといった急曲線部を含む線形の工事が増してきている。とくに小断面のシールド工事においては坑内が狭隘なため、作業スペースも十分に取れず、使用する機器もかなりの制限を受ける。このような状況でＵＴＣ（Ｕ型トンネルコンベヤ）工法は小断面シールドの急曲線部においても連続的に土砂をズリ鋼車まで運搬する工法であり、従来工法と比較して作業能率の向上を可能とした。

2．ＵＴＣ概要仕様

ＵＴＣ工法はシールド工事の掘削土砂を坑内のズリ鋼車に積み込むシステムであり、曲線部に対応できるように2.5mのフレームをピンジョイントで連結する構造となっている。この各フレーム接合部の折れ角は坑内でも容易に設定可能なため、直線部 ⇔ 曲線部の段取り替えは不要であり、フレーム数あるいはフレーム長を変えることにより、現場に応じて最適な長さにすることが可能である。

また、ベルトの断面形状をＵ型としたため流動性の高い土砂やレキでも搬送でき、広範囲な土砂に対応可能である。

ここで図.1、図.2 にＵＴＣ坑内平面およびＵＴＣ坑内縦断面を示す。さらに主な仕様および標準断面を表.1、表.2と図.3、図.4に示す。

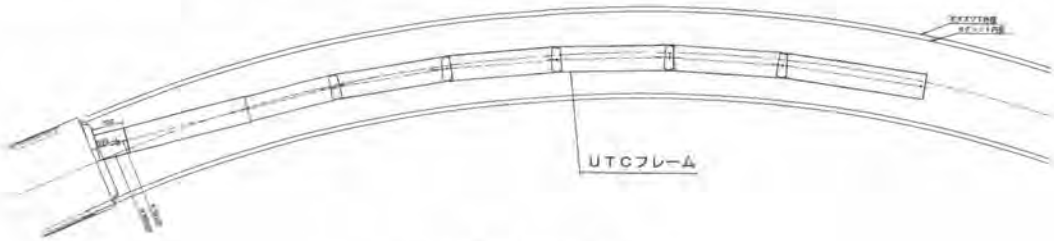


図.1 ＵＴＣ坑内平面図

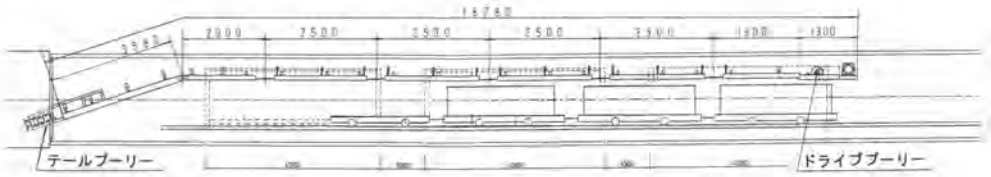


図.2 ＵＴＣ坑内縦断面図

表.1　30 R対応型ＵＴＣ概略仕様

項目	仕様
全長	18.78 m
全幅	550mm
全高	290mm
全重量	1180kg
ベルト幅	400mm
ベルト速度	70 m/min(最大)
搬送土量	50m³/h*

*積載量 50%のとき

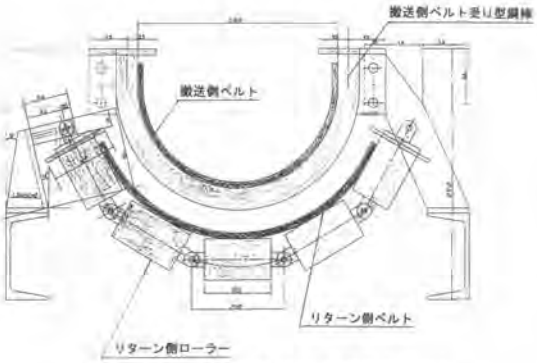


図.3　30 R対応型ＵＴＣ標準断面図

表.2　15 R対応型ＵＴＣ概略仕様

項目	仕様
全長	16.28 m
全幅	550mm
全高	290mm
全重量	1050kg
ベルト幅	400mm
ベルト速度	70 m/min(最大)
搬送土量	50m³/h*

*積載量 50%のとき

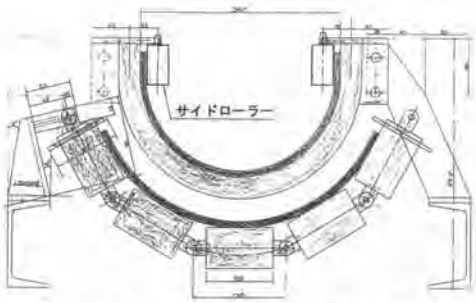


図.4　15 R対応型ＵＴＣ標準断面図

3．ＵＴＣの特長

ＵＴＣ(Ｕ型トンネルコンベヤ)の特長として、次のものが挙げられる。

①シールド急曲線部に追随してカーブするため、乗り継ぎなしで連続的に土砂を搬出できる。

②直線部 ⇔ 曲線部の移行時に段取り替えが不要となり、工期の短縮が可能となる。

③ダブルＵ型断面の採用により、高さを極力おさえたことから、小断面シールド工事(セグメント外径φ 2,000mm)に対応できる。

④Ｕ型断面のため、流動性の高い土砂やレキ(最大φ 240mm)も確実に搬送できる。

⑤荷こぼれがほとんどないため、クリーンな施工が可能となる。

4．実証実験

4.1 実験概要

ＵＴＣの機械能力を実証するため、陸上での実験を行った。坑内での土砂搬送状況を再現するために、

通常の平型ベルコンを用いて土砂を回送し、一定時間継続搬送可能となるような方法を採用した。始めは緩い曲線(70 R)において運転状況を確認し、徐々に曲げ半径Rを小さくして対応可能な最小曲げ半径に達するまで実験を続けた。実験は当初 30 R対応型について行い、その成果を受けて 15 R対応型で実施した。

4.2 実験結果

① 30 R対応型ＵＴＣ

本仕様のＵＴＣでの実験は 30 Rにおける土砂搬送を目的として行った。実証実験の結果 25 Rまでの土砂搬送が可能であることを確認した。これより実工事においては急曲線部 30 Rの対応は十分に可能であると考えられるため、本仕様のＵＴＣを福島県の下水道工事に導入して良好な結果を得た。

② 15 R対応型ＵＴＣ

30 R以下の曲線部に対応するため、U断面内側に押さえローラーを設置したＵＴＣを用いて急曲線部土砂搬送実験を実施した。その結果、最小曲げ半径 13 Rまでの土砂搬送を確認でき、15 Rにおいて十分対応できることを確認した。

写真.1　30 R実証実験状況

写真.2　15 R実証実験状況

5．工法比較

ＵＴＣ工法と従来の土砂搬出設備であるカーブコンベヤおよびチューブ方式との比較を行う。

ここでカーブコンベヤは曲線部対応可能な既存のコンベヤである。カーブコンベヤの最小曲げ半径はフレーム長 1.8m のタイプで 30 Rが限界と言われているのに対し、ＵＴＣの最小曲げ半径は 15 Rであり、

急曲線部への対応としてＵＴＣが優れているといえる。

チューブ方式はシールド機後方のスクリューコンベヤ吐出口に特殊チューブを直結してズリ鋼車まで土砂を搬送する方式である。チューブ方式は最小曲げ半径や断面形状では優れているが、レキなどは搬送不可能で土質に制限があり、またスクリューコンベヤの圧力のみで土砂を搬送するために長距離搬送が不可能である。それに対してＵＴＣは流動性の高い土砂やレキも搬送可能であり、フレーム数を増やすことにより長距離搬送も可能である点で優れている。表.3にそれぞれの比較を示す。

表.3　ＵＴＣと他の土砂搬送設備の比較

	ＵＴＣ	カープコンベヤ	チューブ方式
仕様	全　　長：16.28m フレーム長：2.5m 全　　幅：550m 全　　高：290m 重　　量：64kg/m 能　　力：50m³/h ベルト幅：400mm	全　　長：20m フレーム長：1.8m 全　　幅：590mm 全　　高：305mm 重　　量：80kg/m 能　　力：36m³/h ベルト幅：400mm	全　　長：@5m×本数 ﾎｰｽ内径φ：150mm 重　　量：14kg/m
最小曲げ半径	15 R	30 R	1.5 R
特徴	小断面急曲線部対応 段取り替え不要 断面小型化 流動性土砂、レキ対応	曲線部対応	小断面急曲線部対応 対応土質に制限あり

ＵＴＣの優位性

①カープコンベヤと比較して、より急曲線部に対応可能である。

②カープコンベヤよりも小型(省断面化)・軽量であり、かつ搬送能力は上回っている。

③チューブ方式は搬送する土砂の土質に制限があるのに対し、ＵＴＣは流動性の高い土砂やレキも搬送可能である。

④チューブ方式に比べ、ＵＴＣは長距離搬送が可能である。

6．おわりに

シールド工事においては急曲線部が増加する傾向にあり、このような工事に対応可能な技術の開発が望まれている。ＵＴＣは急曲線部を有する小断面シールド工事に十分対応できる特長を持ち、また実証実験において最小曲げ半径15 Ｒでの搬送を確認した。今後は平成９年10月より30 Ｒを含むシールド工事に導入して、耐久性の確認を行う予定である。

このＵＴＣは省スペース(小断面化)および急曲線部施工が可能であるため、シールド工事に限らず都市部の狭隘な各種の工事現場でも土砂搬送が十分に可能であると考えられる。

10. 連続ベルトコンベアによる TBM 掘削ずり搬出

㈱間　組：*斎藤　　篤，工藤　繁樹
清水　　学

1．はじめに

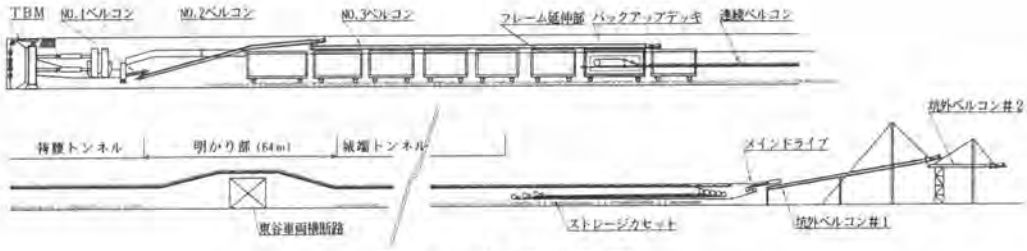
ここ数年，道路トンネルや発電用導水路等の山岳トンネルの施工にＴＢＭ（Tunnel Boring Machine）工法が注目を浴びており，その施工件数は顕著に増加する傾向にある。ＴＢＭの最大の特徴は高速掘進性にあり，その特徴を最大限に発揮させるためには，ＴＢＭの掘削能力に見合ったずり搬出能力が必要である。そこで，ＴＢＭの長距離掘削を考慮して，鋼車によるレール方式と連続ベルトコンベア方式を比較検討した結果，東海北陸自動車道袴腰（はかまごし）・城端（じょうはな）トンネル避難坑工事のずり搬出に連続ベルトコンベア方式を採用した。

ここでは，袴腰・城端トンネル避難坑工事の施工実績に基づく連続ベルトコンベア（以下連続ベルコン）の運用について報告する。

2．工事概要

工事名称：東海北陸自動車道　袴腰・城端トンネル避難坑（その１），（その２）工事
工事場所：自）富山県東砺波郡上平村漆谷
　　至）富山県東砺波郡城端町大字是安
工　　期：平成 6 年 10 月～平成 11 年 11 月
発 注 者：日本道路公団　新潟建設局
施　　工：ハザマ・大日本土木共同企業体
施工延長：城端トンネル　3,242 m（φ 4.5 m，貫通）
　　袴腰トンネル　5,901 m（φ 4.5 m，施工中）

また，図－１にずり搬出経路図を示す。



図－１　ずり搬出経路図

3．連続ベルコン概要

3－1　連続ベルコンの選定理由

ＴＢＭの掘削ずり搬出方法について，ＴＢＭの高速掘進を確保するため，城端トンネル（L

＝ 3.2 km，トンネル最大勾配＝ 3 %）をモデルに鋼車によるレール方式と連続ベルコン方式を比較検討した。鋼車によるレール方式の場合，ずり搬出用鋼車はバッテリカー＋鋼車６m^3 ×２台を１編成として，最大６編成が必要となり，複線軌道，ポイント設置，軌道の保守，資材の搬入などによる掘削サイクルへの影響が心配された。また，トンネル勾配が３%の下り実車となるため，バッテリカーの制動距離の観点から安全管理に問題が発生する懸念があった。

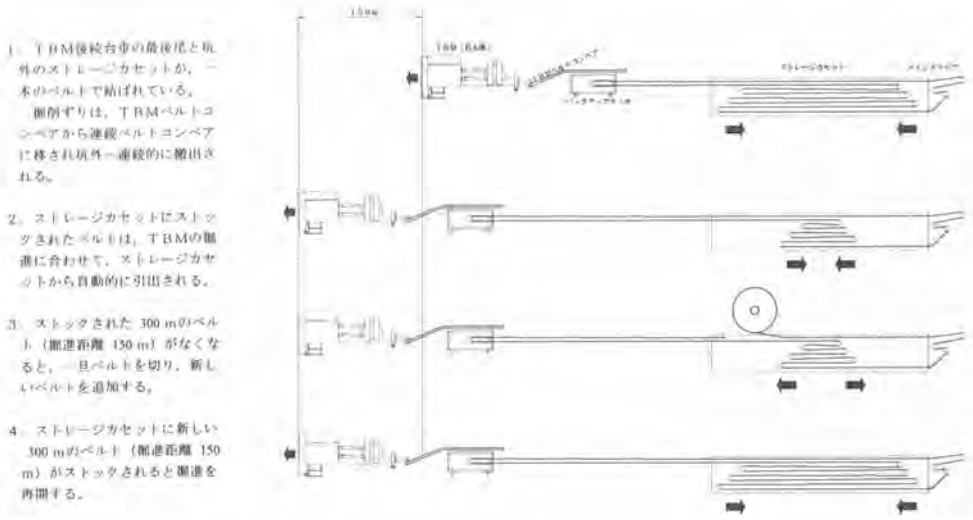
一方，連続ベルコン方式の場合，坑内全線にベルコンを延伸するだけで，連続的に大容量のずり搬出が可能となる。また，ずり搬出をベルコンで行うため，坑内を走行する列車は資材運搬および人員輸送のみの使用に限られることから，単線軌道ですみ，坑内の安全性を確保することができる。

以上のような検討の結果，経済性，安全性などを総合的に判断してずり搬出には連続ベルコンを採用した。

３－２　システム概要

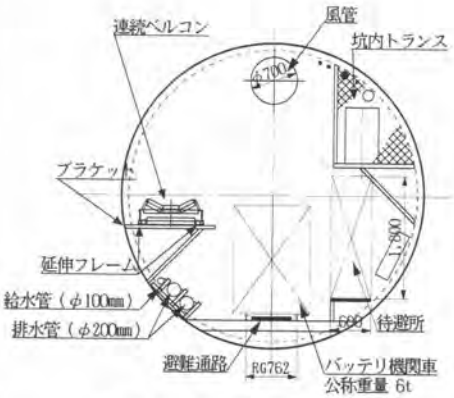
連続ベルコンは，図－２に示すように，ＴＢＭ後続台車にセットされたバックアップデッキとトンネル坑外に設置されたストレージカセットが１本のベルトコンベアで結ばれており，掘削ずりを坑外まで連続的に搬出することが可能である。坑外のストレージカセットには， 300 m（掘進距離＝ 150 m）のベルトがストックでき，ＴＢＭの進行に伴い，ストレージカセット内のベルトは自動的に引き出され，ストック分のベルトがなくなれば，新たにベルトを接続し，ストレージカセット内にストックする。コンベアの駆動は，メインドライブにより行うが，延長が長くなれば，ブースタドライブを追加する必要がある。

坑内ベルコン設置状況を写真－１，坑内標準断面図を図－３に示す。



図－２　連続ベルコン　イメージ図

写真－１　坑内ベルコン設置状況



図－３　坑内標準断面図

３－３　主要諸元

表－１に本システムの主要諸元を示す。

表－１　連続ベルトコンベア主要諸元

NO	項　目	仕　様	備　　考
1-	基本仕様		
1	システム全長	9,207 m	高低差＝ 96 m
2	ベルト幅	610 mm	
3	ベルト速度	168 m／min	
4	運搬能力	336 t／h	
5	ストレージカセット長	56 m	
6	ストレージカセット容量	300 m	
2-	駆動装置仕様		
1	駆動形式	タンデムドライブ	
2	起動方式	ソフトスタータ	
3	メインモータ	150kW	
4	キャリアブースタ NO.1	150kW	設置位置:ﾒｲﾝﾓｰﾀより 3.2 km
5	キャリアブースタ NO.2	150kW	〃　:ﾒｲﾝﾓｰﾀより 6.4 km
6	リターンブースタ NO.1	112kW	〃　:ﾒｲﾝﾓｰﾀより 4.2 km
7	リターンブースタ NO.2	112kW	〃　:ﾒｲﾝﾓｰﾀより 6.7 km
3-	ベルト仕様		
1	引張強さ	630 kg f／cm	
2	サイズ	610 × 3P × 5.0 × 2.0	幅×ﾌﾟﾗｲ×上ｺﾞﾑ×下ｺﾞﾑ
3	厚さ	9.6 mm	
4	芯体材質	ナイロン	
5	カバーゴム材質	普通ゴム	
4-	ローラ仕様		
1	キャリアローラ径	φ 100 mm	
2	キャリアローラ取付ピッチ	1.5 m	
3	トラフ角	27°	
4	リターンローラ径	φ 100 mm	
5	リターンローラ取付ピッチ	3.0 m	

4．現場運用

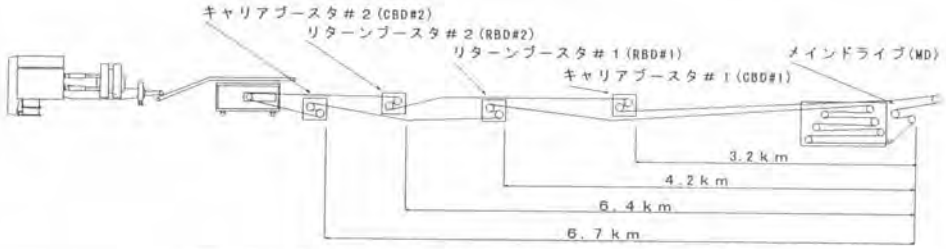
4－1　起動方法

1）制御方式

ベルコン起動時の衝撃負荷を和らげるために”ソフトスタータ”を使用した。ソフトスタータは，低速で起動し，徐々にモータの回転速度を上げていくものであり，ＳＣＲ（サイリスタ）による位相制御を行っている。

2）起動順序

図－４に示す通り，最終的に連続ベルコンの総延長は約９kmとなるため，１台のメインドライブ（以下ＭＤ）の他に２台のキャリアブースタドライブ（以下ＣＢＤ）と２台のリターンブースタドライブ（ＲＢＤ）の設置を予定している。



図－４　メインドライブおよびブースタドライブ配置図

ドライブの起動は，順次起動とし”ＭＤ→ＣＢＤ#1 →ＲＢＤ#1 →ＣＢＤ#2 →ＲＢＤ#2”の順序でモータが始動するようタイマを設ける。

現在は，ＭＤ×１台，ＣＢＤ#1 ×１台で運転を行っており，ＭＤ始動後，５秒後にＣＢＤ#1が始動するように設定している。ＣＢＤ#1 の始動時間については，タイマの設定遅延時間を 0（同時起動）～ 60 秒の範囲で変えて試運転を行い，その結果ＭＤおよびＣＢＤ#1 が最もスムーズに起動した値を採用した。

4－2　ベルコンフレーム延長（写真－２参照）

次の①～④の作業を坑内で繰り返し行うことにより，ベルコンを延長する。

①３m掘進ごとにベルコンフレーム固定用のブラケットを設置。ブラケットは坑壁にアンカで固定。不良地山区間では，支保工に熔接して固定。

②フレーム設置（長さ 3 m）。

③リターンローラ設置（ 3 m間隔）。

④バックアップデッキのテールピース内でキャリアローラ取付（1.5 m間隔）。

写真－２　フレーム延伸部

4－3　ベルトの盛り換え

150 m掘進ごとに以下の①～⑤の手順により，ベルトの盛り換えを行う。図－4に盛り換え作業概要図を示す。

①延伸用のベルトを盛り換え架台上に設置（写真－3）。

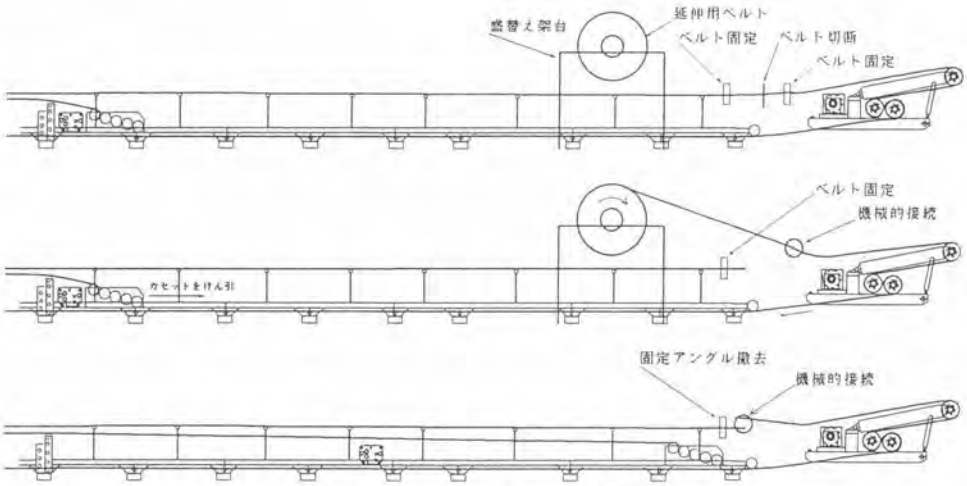
②架台付近でベルトを固定し，ベルトを切断（図－5上）。

③機械的接続（スプライス使用）にて延伸用のベルトと既設のベルトを接続（写真－4）。

④油圧シリンダでキャリアカセットを牽引することにより，ベルトを引き込む（図－5中）。

⑤ 300 m分のベルトを引き込んだら，他端を機械的接続にて固定（図－5下）。

なお，機械的接続は仮接続とし，後日自然加硫にて再接続する。



図－5　ベルト盛り換え概要図

写真－3　ベルト盛り換え架台

写真－4　機械的ベルト接続作業

4－4　安全対策

安全対策として以下のことを実施している。

① 100 m毎に非常停止スイッチを設置し，スイッチ間をロープで結ぶことにより，坑内全線で非常停止可能な機構とした。なお，非常停止機構の延長は，フレーム延長作業と並行して逐次行う。

②ベルコン起動時は，坑内電話にて一斉放送し，さらに，各ドライブにて警報音を鳴らし，ベルコン稼働中は表示灯を点灯する。

③テールピースでは，作業員がキャリアローラを取り付ける際に，ベルコンに巻き込まれるのを防止するために防護板を設け，安全にローラ取り付け作業が行えるようにしている。

4－5　蛇行調整

ベルトの蛇行調整として以下の対策を行った。

①ローラ取付角度の調整

②自動調芯ローラの使用（リターン側）

③ガイドローラの使用

5．連続ベルコンによる成果

施工途中ではあるが，連続ベルコンを採用したことにより，現在までに以下の成果を確認できた。

①ずり搬出のロスタイムがなく，ＴＢＭによる連続的な掘削が可能である。

②資材搬入，来客等による掘削サイクルへの影響がない。

③坑内は単線軌道ですみ，複線軌道敷設時間や軌道の保守点検時間が削減できる。

④ベルト盛り換え作業をＴＢＭのメンテナンス，または他の仮設備の盛り換え作業（換気用連続風管，高圧ケーブル等）と並行して行うことにより，ベルト盛り換え作業自体が掘削サイクル上のクリティカルパスとはならない。

6．おわりに

現在まで，連続ベルコンは順調に稼働している。今後も保守点検作業を充実させ，無事故で貫通を迎えたいと考えている。

最後に，連続ベルコンを導入するにあたり，様々なご指導，ご協力頂いた関係者の方々に深く感謝致します。

11. 大深度土圧式シールドにおける切羽圧制御装置の開発と実証実験

大成建設㈱：*栄　毅熾，土橋　功
石川島播磨重工業㈱：北山　仁志

1．はじめに

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

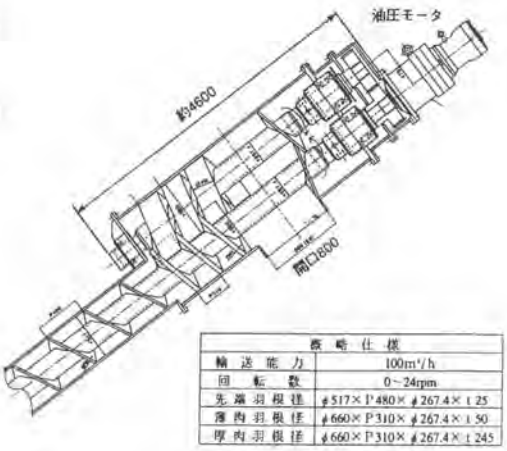
都市部における地下空間の構築は、シールド工法により施工を行うのが主流となっており、工法の種類としては、泥水式シールド工法と土圧式シールド工法に大別される。この２つの工法をコストの面で比較した場合、設備が小規模で、用地が狭くても施工できる土圧式シールド工法が有利である。しかしながら土圧式シールド工法は、地下30mを越える深度ではほとんど実績がない。これは、大深度となると切羽が高水圧となり、その排土機構であるスクリューコンベア内部を掘削土や地下水が押し出されてしまうという噴発現象により、切羽の圧力を安定制御できなくなるためである。この欠点を補うために、スクリューコンベアの長尺化によるサンドプラグゾーンの形成技術や、薬品添加による止水性の向上を図る技術が開発されているが、十分に高水圧に対処し得ないのが現状である。

本文では、経済性の面からも今後ますます増加するであろうと予測される土圧式シールド工法を大深度に適用でき得るように開発した切羽圧制御装置「ツインスクリュー排土装置」（以降ＴＳ排土装置と呼ぶ）の構造概要を述べるとともに、その止水機能及び排土能力の有効性を確認するために行った実証実験の結果について報告する。

2．切羽圧制御装置の構造概要

図－１に、掘削外径φ5.0ｍクラスで、掘削スピード毎分5cmを条件に想定したＴＳ排土装置（排土能力100m³/h）の構造図と概略仕様を示す。

このＴＳ排土装置は、２本の軸付きスクリューコンベアの羽根（１つは従来の薄肉の羽根、もう１つは薄肉の羽根の１ピッチ分の隙間に適当なクリアランスを持って収まるように厚肉化した羽根）を相互に逆方向の螺旋にして、噛み込ませる構造とすることで止水機構を設け、それぞれの羽根を逆回転させることにより土砂の移動を強制しながら連続して排土できるものである。この装置内部には連続した空間がなく，



概略仕様	
輸送能力	100m³/h
回転数	0～24rpm
先端羽根径	φ517×P480×φ267.4×t25
薄肉羽根径	φ660×P310×φ267.4×t50
厚肉羽根径	φ660×P310×φ267.4×t245

図－１　ＴＳ排土装置構造図（想定）

厚肉の羽根によって仕切られた密閉室を移動させながら、機械的に排土するため、高い切羽水圧の条件下においても、脈動のない安定した切羽圧の制御と、スクリューの回転数による効率の良い排土が可能となる。

3．実験概要

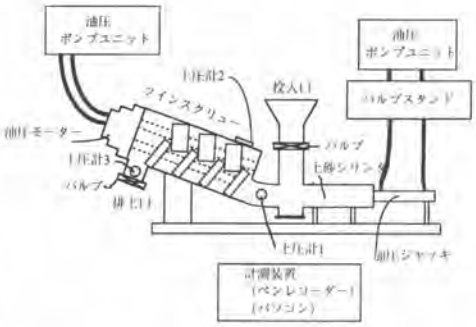
実験の目的は、ＴＳ排土装置が、高水圧切羽に対して安定制御可能であること，掘進スピードに対して定量の排土が可能であることを実証するとともに、各土質試料に対して、羽根の噛み込み等によるスクリューの回転トルクを確認することにある。

3.1　実験装置の構成

実証実験は、先に述べた排土能力 100m³/h のＴＳ排土装置に対して、寸法で約 1/3 に縮小したモデル実験装置（排土能力 1.4 m³/h ）を製作して行った。

実験装置図を図－２に、実験装置の全景写真を写真－１に、実験装置の諸元を表－１に示す。

実験装置は、切羽土圧を発生させるための土砂シリンダと加圧ジャッキ、ツインスクリュー本体、駆動用油圧モーター、油圧ポンプユニット、投入口ゲート、排土口ゲート及び、土圧計・ストローク計などの計測装置から構成される。加圧ジャッキはコントロールバルブの操作により設定土圧を任意に調整でき、排土により移動するストロークに追従できるものとした。また、駆動トルクは幅広い実験パラメータに対応できるように最大トルク 1,248kgfm の大容量とした。



図－２　実験装置図

写真－１　実験装置全景写真

3.2　実験方法

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

実験に用いる泥土は、砂質泥土と砂礫泥土の２種類とし、泥土の配合は「泥土加圧シールド工法協会」の作泥土材の必要・不要の境界線の粒度分布を

表－１　実験装置の諸元

ＴＳ排土装置	
輸送能力	1.4m³/h（12rpm時）
回転数	0～12rpm
薄肉羽根径	φ199×P92×φ85×t16×4P
厚肉羽根径(1)	φ193×P92×φ85×t66×2.5P
厚肉羽根径(2)	φ199×P92×φ85×t70×3.5P
モーター＝トルク	max1,248kgfm　(210kgf/cm²)
加圧装置	
土砂シリンダ	φ200mm×300mm
油圧シリンダ	φ80mm×300st (140kgf/cm²)

表－2　実験泥土の基本配合（スランプ15cm）

泥土種類	基本配合(kg/m³)					最大粒径	含水比	見掛比重
	ﾍﾞﾝﾄﾅｲﾄ	粘土	砂	砕石	水	(mm)	(%)	(t/m³)
砂質泥土	5.8	416.0	1245.4	－	358.8	2.0	28.7	1.93
砂礫泥土	5.8	457.6	639.6	758.7	294.8	20	20.0	2.12

基本に決定した。表－2にスランプ15cm時の基本配合を示す。実験では、水量の加減によりスランプ10cmと20cmに調整して行った。切羽土圧は3、6、10kgf/cm2の3種類、スクリュー回転数は3、6、12rpmの3種類とした。表－3に実験条件一覧表を示す。

表－3　実験条件一覧表

泥土種類	砂質泥土、砂礫泥土
スランプ	20cm、10cm
切羽土圧	3、6、10 kgf/cm²
ｽｸﾘｭｰ回転数	3、6、12 rpm
羽根の隙間	5mm、3mm、1mm以下

また、実験方法は、以下の手順を繰り返して行った。

①土砂シリンダ内に泥土が充満するよう、内部振動機を用いて投入口より泥土を投入。

②投入口のバルブを閉め、排土口バルブ全開、スクリュー回転停止した状態で設定切羽土圧を作用。

③設定土圧を確認。スクリューを所定の回転速度で回転させ排土。

④油圧ジャッキのストロークエンド直前で、スクリュー回転停止。設定土圧維持確認。

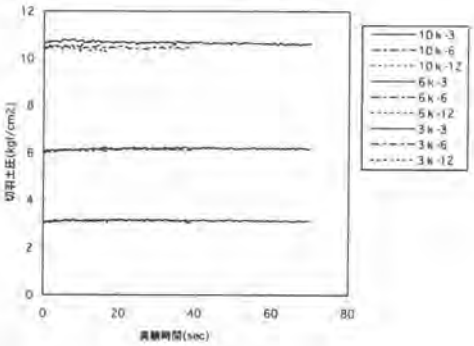
4．実験結果

4.1 高水圧切羽の安定制御について

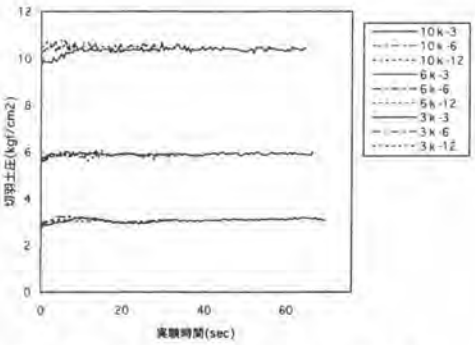
図－3に砂質泥土、スランプ20cm、羽根の隙間1mm以下という条件における切羽土圧の経時変化図を示す。（凡例の10k-3は、切羽土圧10kgf/cm²、スクリュー回転数3rpmの条件を表す。）

開発したＴＳ排土装置は、高水圧（10kgf/cm²）という条件下において、設定した切羽土圧を安定制御しながら排土でき、また、切羽土圧の大きさ、スクリュー回転数の影響をほとんど受けずに、切羽圧を安定制御できる装置であることがわかった。スクリュー回転時の切羽土圧平均値に対して、瞬間的に低下する変動圧力は、各切羽土圧においても0.1～0.3kgf/cm²という結果であった。また、スランプ10cmの砂質泥土については、羽根の隙間3mmという条件においても切羽土圧を同様に安定制御することができた。

図－4に砂礫泥土、スランプ20cm、羽根の隙間3mmという条件における切羽土圧の経時変化図を



図－3　切羽土圧経時変化図（砂質泥土）



図－4　切羽土圧経時変化図（砂礫泥土）

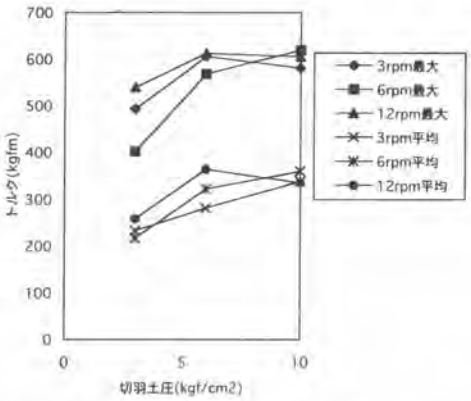
示す。砂礫泥土の場合においても、スクリューの回転と同時に設定した切羽土圧はやや変動するもの、砂質泥土とほぼ同様の結果が得られた。切羽土圧平均値に対して低下する変動圧力は0.2～0.5 kgf/cm^{2}であった。また，砂礫泥土に関しては、羽根の隙間5mmという条件においてもスランプの大きさに影響されず、切羽土圧を同様に安定制御することができた。

4.2　排土状況について

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

4.3　スクリュー回転トルクについて

図－5に砂礫泥土、スランプ20cm、羽根の隙間3mmでの各スクリュー回転数における平均トルク及び最大トルクと切羽土圧の関係を示す。平均トルクは、スクリュー回転数との間には顕著な関係が見られないが、切羽土圧が大きくなると比例して大きな値となる傾向があり、切羽土圧10 kgf/cm^{2}では約320～350kgfmであった。この値は同じ条件の砂質泥土の実験結果の平均トルク150kgfmに比べて約2.3倍大きくなっている。また、最大トルクは平均トルクの約1.6～2倍であった。これらの結果は、羽根の噛み込み構造と泥土の粒度分布が複雑に関係していると考えられるが、実験前と実験後の試料の粒度試験結果から、ＴＳ排土装置は礫を破砕していることを確認した。



図－5　切羽土圧とトルクの関係（砂礫泥土）

また、実験中にはトルクオーバーでスクリュー回転が停止するようなことはなかったが、故意に礫を噛み込ませ、スクリューを停止させた実験においては、逆回転により容易に噛み込みを解除することができた。

5、　おわりに

今回の実験により、ＴＳ排土装置は高水圧という条件においても、切羽土圧を脈動させることなくまた、泥土種類、スクリュー回転数に影響されずに安定制御できる装置であることを実証するとともに、泥土の粒度分布がスクリュー回転トルクに大きく影響すること、羽根の隙間を調節することにより効率的な排土ができる装置であることを確認した。また、これらの結果よりＴＳ排土装置の実用化に目処をつけることができた。今後、この装置が大深度の土圧式シールドに採用され、経済性、安全性の面に寄与することを期待する。

12. 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

大豊建設㈱：*小林　隆治，富沢　　勉
金井　和彦

1．はじめに

近年、都市部の地下は、道路、鉄道、ガス、上下水道、電力・通信施設などの、インフラストラクチャーが過密化し、シールドトンネルの大深度、長距離化が進んでいる。このような地下空間の有効利用を目的として、偏心多軸（ＤＰＬＥＸ）シールドを開発し実用化した。この掘削機構は、従来の単軸シールドとは異なった切削運動を行うため、負のすくい角を持った全方向切削型カッタービット（クロスルーフビット）を採用している。

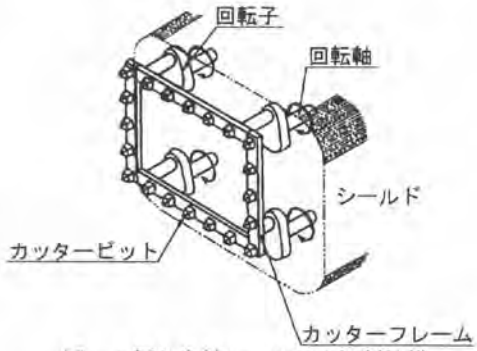
今般、下水道工事において、地中障害物撤去の必要性から偏心多軸円形（ＤＰＬＥＸ）シールド（写真－１）が採用された。この到達部は、シールドで直接切削できる高強度コンクリート（ＮＯＭＳＴ）壁であり、この壁を切削して到達する。

写真－１

従来から負のすくい角を持ったカッタービットは切削性能に課題があると言われている、このビットによるコンクリート壁の切削性能、耐摩耗性の実験を行い実機との検証を行った。

2．偏心多軸シールドの掘削機構

偏心多軸シールドの掘削機構は、図－１のように回転軸中心より偏心させて、カッターフレームを軸支持し、その前面にカッタービットを固定している。



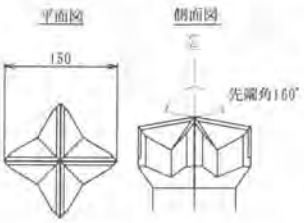
図－１偏心多軸シールドの掘削機構

各回転軸を同一方向に回転させると、カッターフレームが平行リンク運動を行うため、カッタービットにより地山を掘削する。この掘削軌跡はカッターとほぼ相似形の断面を掘削できる。

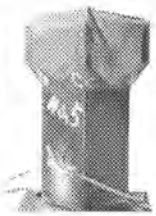
3．カッタービット

実験に使用したビットは、実工事に使用したものと同様で図－２、写真－２に示す。

このクロスルーフビットは、図－２の平面図のとうり頂部に超硬チップを十文字に埋め込んだ形状である。超硬チップはＥ５を使用した。



図－２ビット図

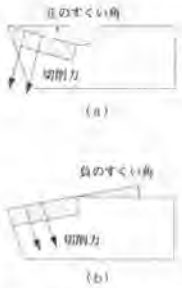


写真－２

ビット幅は１５０mm，ビット先端角１６０度の負のすくい角を持ったカッタービットである。

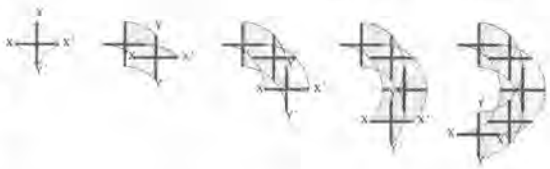
切削に対するすくい角の関係は、図－３すくい角図に示す。（ａ）は正のすくい角を持つティースビットで、すくい面に対して垂直の切削力は外側に向かうため刃先が欠けやすくなるが、（ｂ）の負のすくい角を持つクロスルーフビットでは、切削力が母材側に入るので、機械的強度が増し刃先が欠けにくくなる。

クロスルーフビットの切削軌跡は、図－４に示す。いま（ｉ）の０度から右方向に切削すると、（ii）４５度、（iii）９０度（iv）１３５度（ｖ）１８０度の切削軌跡である。



図－３すくい角図

このように偏心多軸シールドのカッタービット切削軌跡はビットの回転角度に関係なく全ての位置において、ビット頂部に十字に埋め込んだ超硬チップのＸ－Ｘ’軸、Ｙ－Ｙ’軸は、水平、垂直を維持したまま切削する。



図－４切削軌跡図

４．コンクリート供試体

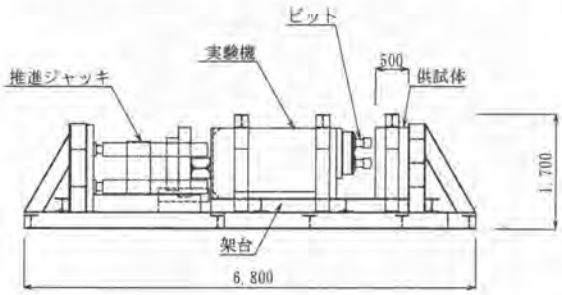
本実験に使用したコンクリート供試体は、設計基準強度９N/mm²（ＣＡＳＥ１）、２４N/mm²（ＣＡＳＥ２）、４０N/mm²（ＣＡＳＥ３）、８０N/mm²（ＣＡＳＥ４）の、各種供試体を製作して使用した。表－１にコンクリート供試体強度結果一覧を示す。

表－１供試体強度結果一覧

供試体種類	設計基準強度 N/mm²	圧縮強度 N/mm²	細骨材	粗骨材	水セメント比 W/C %	セメント量 kg/m³
Case１	９	１１．９	陸砂	天然軽量	６５	２６９
Case２	２４	２８．７	陸砂	普通砕石	５２	３１３
Case３	４０	４４．１	陸砂	石灰砕石	４０	３７８
Case４	８０	８９．２	陸砂	石灰砕石	２５	６４０

５．実験装置

実験装置は図－５に示す。反力架台に、実験機をセットし、後方に推進ジャッキ、前方には供試体をそれぞれ固定して、実験機前面にクロスルーフビットをボルトで固定した。この実験機をジャッキで押し、カッターを回転させて供試体の切削をした。実験機の仕様は、カッタートルク１．３３６ tf·m、ジャキ推力３０ tf、推進速度１～４０ mm/min、回転数４～８ rpm、カッター支持軸は４軸である。



図－５実験装置

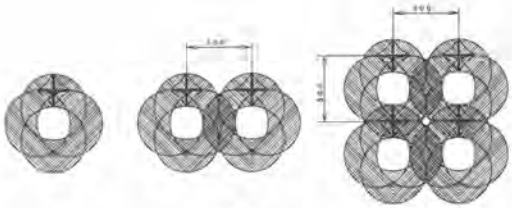
６．実験概要

本実験は、コンクリート供試体としてCase１～４を使用した。供試体の幅は５０ｃｍで、片面２０ｃｍを表裏両面掘削して１回の実験とした。カッターの回転数は４～８ rpm、推進速度を２～４０ mm/min とする事により、カッタービットの切込量を変化させ、その時のカッタートルク・推力および

推進速度を測定した。またビットの摩耗量を４０ｃｍ掘削ごとに計測し、摩耗係数を算出した。

カッタービットは１本、２本、および４本で、複数のビット間隔は３０ｃｍとした。

図－６に軌跡図を示す。（ａ）はビット１本の軌跡図、（ｂ）はビット２本による軌跡図、（ｃ）はビット４本による軌跡図であり、複数ビットにおいては、隣り合ったビットがそれぞれラップするように配置した。



（ａ）　（ｂ）　（ｃ）

図－６軌跡図

７．切削状況

４本ビットにおける切削状況を写真－３に示す。使用したコンクリート供試体はCase４で、推進速度を２ mm/min、カッター回転数６ rpm である。また実際の作業状態に近づけるため供試体には水を掛けて実験を行った。

写真－３切削状況

写真－４、５、６に切りくずと推進速度の関係を示す。コンクリート供試体はCase４、カッター回転数６ rpm で掘削した。それぞれの推進速度は４～１２ mm/min である。

これより推進速度が小さいと、切りくずが小さく砕いたような切削となり、推進速度を大きくすると、厚みと幅が大きく裂断形となるのがわかる。

写真－４

写真－５

写真－６

８．実験結果

コンクリート供試体Case４（ＮＯＭＳＴ壁想定）、使用ビット１本、推進速度４ mm/min に制御して実験を行った。

１）切削性能

図－７はカッタートルクグラフである。この時のカッタートルクは０．４ tf·m で，単位幅切削力は１８ tf/m である。

トルク値の変動は、ビットの側面抵抗、切削ずりによる排土抵抗、および供試体とビット面での接触抵抗と考えられる。

図－８はジャッキ推力グラフである。この時のジャッキ推力は２．２ tf で、単位幅推力は１５ tf /m である。

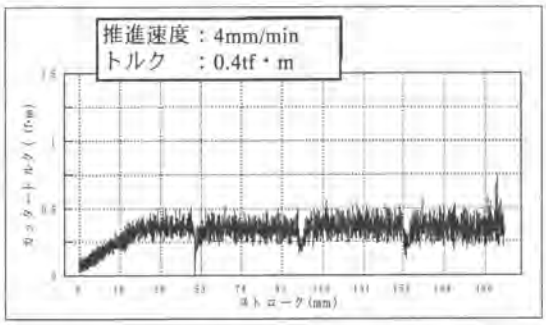
複ビットにおける切削性能は、ビットの本数には比例せず、隣り合ったビットのラップによる影響で低減効果が現れている。

以上の実験結果から実工事に採用されるシールドのＮＯＭＳＴ壁切削性能を検証する。

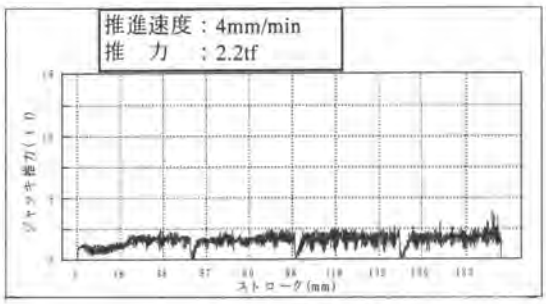
シールド外径φ３．４８m、カッター回転半径０．２５m、推進速度１ mm/min、クロスルーフビット５４本、の条件で算出すると、必要トルク１５tf·m、必要推力７３ｔｆである。

算出値に対して装備トルク２７tf·m、装備推力１２００ｔｆであり十分な切削性能を確認できた。

各種供試体Case１～４の切削性能一覧を表－２に示す。



図－７カッタートルクグラフ



図－８ジャッキ推力グラフ

表－２ 平均切削性能結果一覧

供試体種類	ビット本数	カッタートルク tf·m	ジャッキ推力 tf	推進速度 mm/min	１本当切削力 tf/本	１本当推力 tf/本
Case１	１	０．３	０．９	２１	２．１	０．９
Case２	１	０．２	０．３	８．０	１．３	０．３
Case３	１	０．２	０．５	４．０	１．７	０．５
Case４	１	０．４	２．２	４．８	２．６	２．２
Case４	２	０．５	３．５	２．８	１．８	１．７
Case４	４	０．６	５．３	２．１	１．０	１．３

２）耐摩耗性能

ビット摩耗量は、Case４については初期摩耗量が大きく、摺動距離が１７００mまでは摩耗係数が０．３５ mm/km，その後３０００mでは０．１ mm/km であった。クロスルーフビットによる高強度コンクリート壁切削の摩耗係数は、平均で０．２４ mm/km であり、一般的なティースビットの摩耗係数（０．１～０．３ mm/km）と同等であることが確認できた。

また、普通砕石コンクリート切削時の摩耗係数は、０．４６ mm/km であった。

９．おわりに

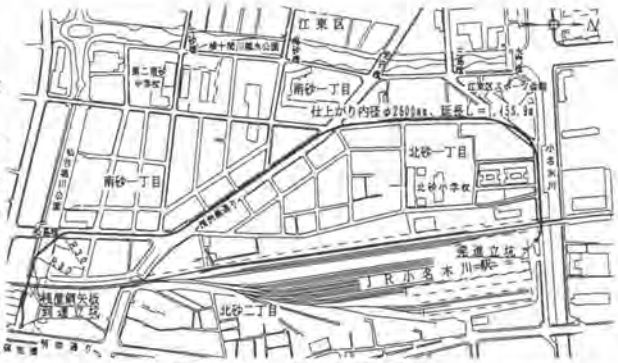
負のすくい角を持つカッタービットでは切削性能に課題があると言われていたが、本実験によって切削抵抗が非常に小さく、長距離・高速掘削のできる切削性能と耐磨耗性能の確認ができた。今後は中硬岩地山の掘削を課題として研究開発を行う所存である。

13. DPLEX（偏心多軸）シールド工法による下水道トンネルの施工

大豊建設㈱：平林　勉，近藤　紀夫
富沢　勉，*高村勝之進

1．はじめに

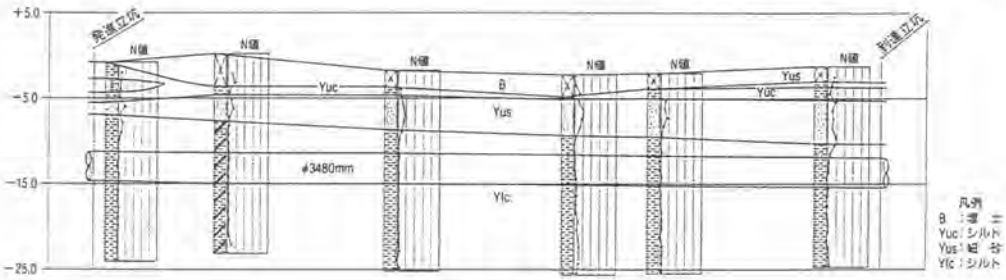
近年、東京都下のシールド工事は益々施工条件が厳しくなっている中、当工事は内径φ2,600mm、路線延長1,455.9mで、路線上にＪＲ小名木川橋梁の橋台、松島橋の橋台橋脚、ＪＲ砂村運河橋梁の橋台橋脚の近接構造物があり、地中障害物として仙台堀川護岸の残置鋼矢板(Ⅲ型Ｌ＝15m)が２カ所ある。この位置は親水公園内であり、地上からの対応が困難なため、シールド機内より地盤改良および鋼矢板を切断・撤去する計画になっている。到達部は立坑の炭素繊維補強コンクリート壁を切削して到達する。（図－１参照）



図－１　計画平面図

地質は、表土・埋土、上部有楽町層、下部有楽町層で、トンネル土被りは8～11.5m、掘進対象地盤は下部有楽町層でありこの層は地下水にメタンガスが微量に溶存している。　（図－２参照）

これらの条件下でＤＰＬＥＸ（偏心多軸）シールド工法によるトンネルの築造について紹介する。

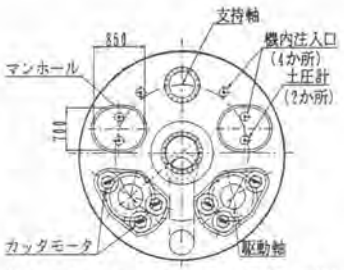


図－２ 地質縦断図

2．円形ＤＰＬＥＸ(偏心多軸)シールド

2－1．掘削機構およびシールドの特徴

円形のカッターフレームは、３基の回転軸の先端に偏心して支持され、回転軸を同一方向に回転させることで、カッターは平行リンク運動を行う。これにより、カッター形状と相似形の円形断面を掘削できる。下部の２軸はカッターモータを備えカッターを駆動し、上部の軸はサポート軸でありカッターモーターを設けな

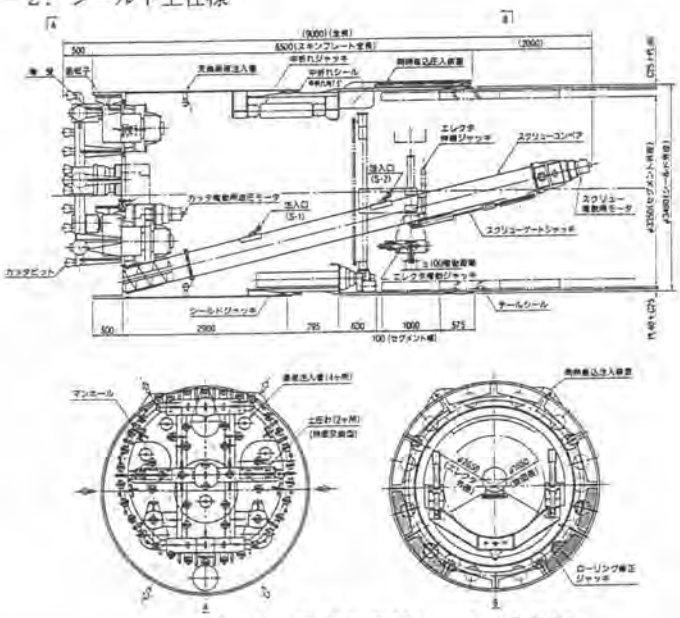


図－３　ｼｰﾙﾄﾞ隔壁部断面図

いため、隔壁の後方に広い作業空間を確保できる。このため、隔壁には注入角度が可変の注入孔を4カ所設けることで全断面機内注入を可能としている。また鋼矢板撤去のために、大きなマンホール(700×850mm)を2カ所設け、作業の安全性を高めている。　(図－3参照)

シールドテールシールおよび中折れシール部からのメタンガス湧出防止のため、グリス自動充填装置を装備している。

2－2．シールド主仕様



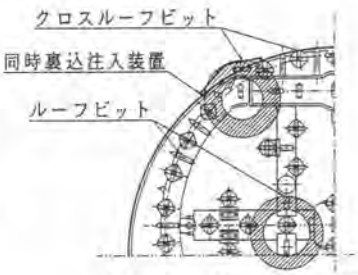
図－4　DPLEXシールド全体図

表－1　シールド主仕様

シールドジャッキ	100t×12本
中折れジャッキ	100t×10本
カッター駆動方式	油圧駆動
カッタートルク	最大27.2tf-m (α=1.34)
カッター回転数	最大3.9rpm
カッター回転半径	R=250mm
スクリューコンベア	φ370mm
オーバーカッタ	2基

2－3．カッタービット

カッタービットは全方向が切削すくい面となるクロスルーフビット(十文字ビット)を主ビットとし、ルーフビット(一文字)を補助ビットとして配置した。カッタービットは、全て直径0.5mの円形の軌跡を描く。また、同時裏込注入管の突起部もカッタービットの配置を考慮することで、切削が可能となっている。　(図－5参照)



図－5　ビット軌跡図

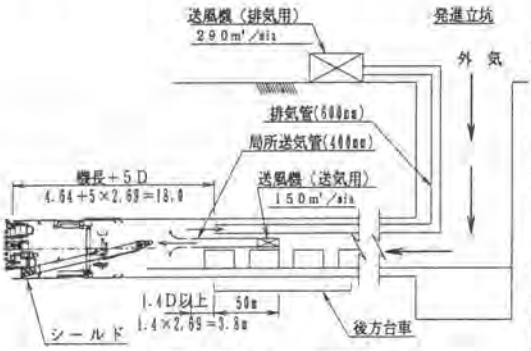
2－4．カッタートルク

カッターは、平行リンク運動により駆動するため、全てのカッタービットは、回転半径25cmで切羽を切削する。このためカッタートルクは、単軸カッタに比べ装備トルクを小さくでき、当機では単軸装備トルク(α=1.2～1.6)の約1/2～1/3としてトルク係数α=0.64とした。

3．裏込め注入

裏込めは同時裏込注入方式を採用した。シールドテール部に同時裏込注入装置を装備し、注入口の近くにテール圧力計を取り付け裏込注入圧力を管理するとともに、注入・充填後、早期に凝結する可塑性固結タイプの裏込材を使用し、軟弱シルト層の地表面沈下を最小限に抑える対策をとっている。

4．メタンガス対策



図－6　換気設備図

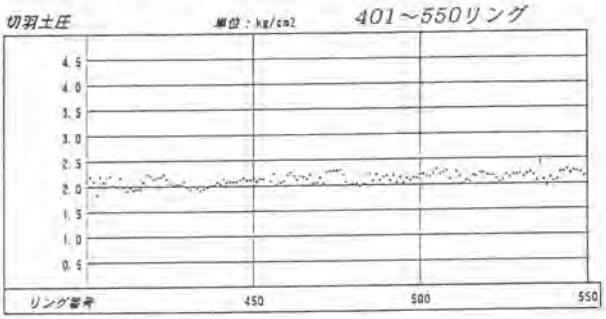
切羽、後続およびシールド坑内100m毎に1カ所ガス検知器を設置し、地上管理室での集中自動管理を行う。換気方法は、地上に排気式ターボブロワ、坑内に送風機を設置して集中排気方式により強制換気を行う。　（図－6参照）

土砂搬出は、スクリューコンベアへ一次圧送ポンプを直結し、二次ポンプのホッパーも密閉式とし土圧計によりホッパー内の土圧管理し、外気に接触することなく地上の土砂ホッパーまで圧送する。

5．施工

5－1．シールドの掘進管理

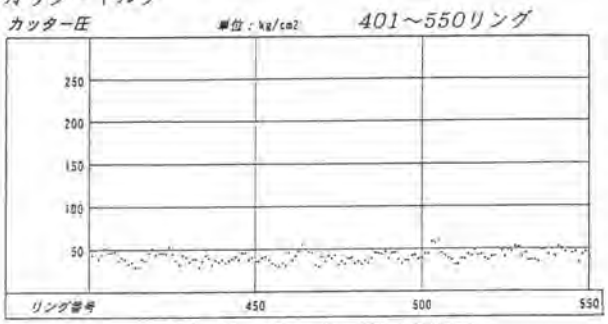
（1）掘進管理土圧および地表面沈下



図－7　掘進土圧変化図

掘進時の泥土圧は、シールドの隔壁に設けた土圧計により管理する。本掘進では、管理土圧を1.8～2.4kgf/cm²とし、地表面沈下は5～7mm程度の範囲となっている。　（図－7参照）

（2）カッタートルク



図－8　カッター油圧変化図

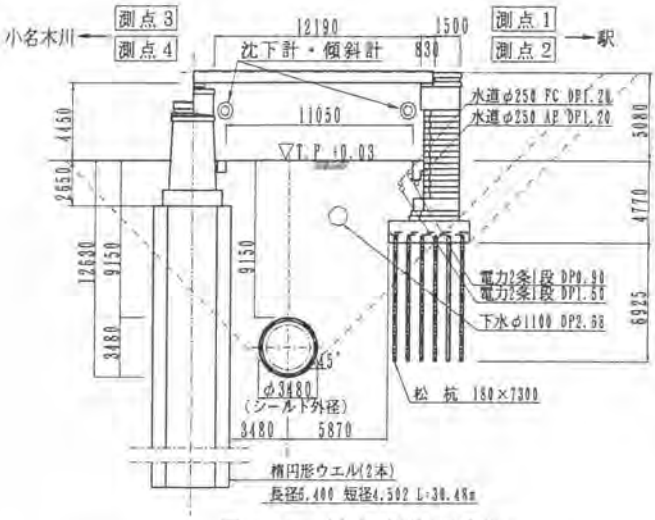
本掘進時のカッタートルクは、カッターモータの油圧で30～60 kgf/cm²であり、装備トルク（α＝0.64）の約1/5程度（α＝0.13）で掘進している。　（図－8参照）

（3）排土量管理

スクリューコンベアに直結した土砂圧送ポンプの排土管に、RI（ラジオアイソトープ）水分密度計を設け、排土の密度、含水比をリアルタイムに測定した。

排土量は、複数の測定装置で測定しており、圧送回数が最も良い精度となっている。

4－2．地盤変状



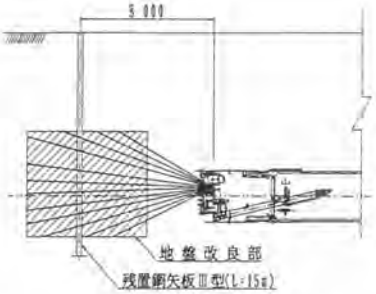
図－9　橋台変位測定図

発進から４０ｍ地点の、ＪＲ貨物小名木川橋の橋台の計測実績では、ウェル基礎の橋台への影響はなく、松杭基礎の橋台で沈下が2mm程度、傾斜が1.5分程度の挙動が見られた。シールドが影響範囲を抜けた後は、変化は見られず安定している。

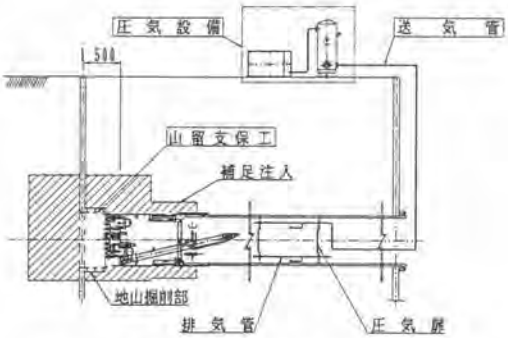
（図－９参照）

4－3．鋼矢板撤去

地盤改良は、鋼矢板手前8mでシールドを停止させ機内より薬液注入を行う。撤去作業は鋼矢板手前1.5mまでシールドを接近させ、機内から人力により切羽を掘削し、支保工を設置した後、鋼矢板を切断撤去する。また切羽を解放するため湧水・メタンガスの湧出防止対策として、坑内に圧気扉を設置し、切羽およびシールド坑内の一部を限定圧気する。　（図－１０，１１参照）



図－１０　地盤改良図



図－１１　鋼矢板切断・撤去図

5．おわりに

本工事は周辺への影響も最小限で、トラブルなく順調に進み、現在鋼矢板撤去のための圧気設備および機内注入の準備を行っている。

本シールドでの機内注入および鋼矢板撤去時の作業性の確認を行い、類似工事の計画に生かしたい。また、カッタービットの磨耗量の計測は、鋼矢板撤去時および到達部立坑の炭素繊維補強コンクリート壁切削後に行い、今後のシールドやビットの設計の参考とする予定である。

14. パイプラインの高速敷設工法（アップル工法）の開発と適用

東京ガス㈱： 大工原　毅
新日本製鐵㈱：*望月　　孝，柴田　良樹
義若　秀彦

1．はじめに

天然ガスパイプライン等のライフライン整備が進められる中，ガス事業者及び施工会社は，合理的，かつ効率良くパイプラインを敷設する方法を模索してきた。特に，開削工事で社会に悪影響を与えている道路占有期間，占有幅等の課題は早急な解決が望まれていた。そこで，東京ガス（株）及び新日鐵（株）は，これらの課題に応えるとともに敷設コストを削減できる新しいパイプライン敷設工法―アップル工法－の共同開発に取り組み，本工法の開発に成功した。

本論文は，アップル工法の概要と平成９年３月に初めて本工法を適用した第２千葉幹線袖ヶ浦公園緑地工区のガス管敷設工事の結果について報告する。

2．アップル工法の概要

アップル工法の施工法とその特徴について述べる（図１参照）。本工法は，まず溝掘削用バックホウで幅 40cm 程度の溝を鞘管の底部の深さ迄，パイプラインの計画ラインに沿って掘削する。その後，0.7m³ クラスのバックホウに横穴掘削機を取り付けて，発進ピットから到達ピットに向けて鞘管径程度の横穴を掘削すると同時に鞘管を引き込む。

横穴掘削機が到達ピットに達した後，溝より流動化埋め戻し材を鞘管周囲の空隙を充填するために流し込み，砂を補充し締め固めを行った後，道路を開放する。最後に，本管を発進ピット内で溶接及び検査を行い鞘管内に引き込む。

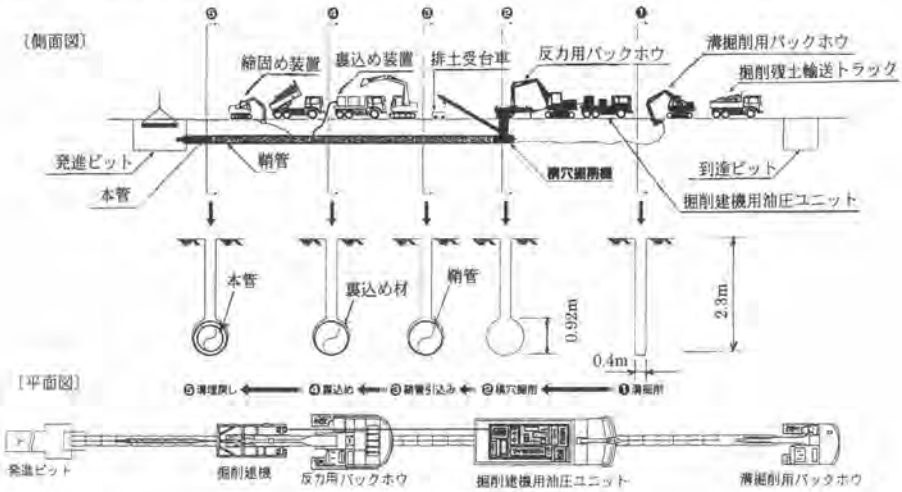


図１　アップル工法の施工概要

なお，掘削軌道は到達ピット側に設置したレーザ発振器より，レーザを掘削設備に取り付けたターゲット盤に当てて，オペレータがその位置を確認しながら所定の掘削軌道を確保する。

本工法の特徴として，掘削断面の削減及び作業効率の向上による土木工事費の大幅な削減と工期の短縮が挙げられる。さらに，使用する重機を縦に一列に並べて施工するため，道路占有幅の縮小が図れる。

3．アップル工法の施工設備

本工法の主要設備は，溝掘削用バックホウと鞘管引き込み力の反力を確保する反力用バックホウ，掘削建機用油圧ユニット及び掘削建機で構成されている。

なお，操作盤はベースに装備してある。

掘削建機の主な仕様を表１に，構成を図２に示す。

鞘管引き込み力は，ベースに装着してある牽引シリンダにより横穴掘削機・鞘管に伝えられる。安定した掘削を維持するために反力用バックホウと横穴掘削機は同時に移動せず，尺とり式で移動する。

表１　掘削建機の主仕様

掘削オーガ	回転数 (rpm)	0～26
	回転トルク (kgf-m)	0～1500
排土オーガ	回転数 (rpm)	0～80
	回転トルク (kgf-m)	380
牽引シリンダ	押　力 (kgf)	0～15000
	速　度 cm/min)	0～100
油圧ユニット	エンジン出力 (HP)	146
	最大圧力 (kgf/cm²)	210
	流量 (L/min)	212
横穴掘削機	寸法（幅×長×高 mm）	919×2635×1115
排土オーガ	寸法（外径×長 mm）	φ 298.5×6695
ベース	寸法（幅×長×高 mm）	max2500×4315×1600
油圧ユニット	寸法（幅×長×高 mm）	2000×4600×2250

排土は，横穴掘削機内の掘削オーガにより排土オーガまで運ばれた後，排土オーガにより地上部まで運搬される。地上部でベルトコンベヤー等により，トラックに直接積み込まれる。

掘削軌道修正は，ターゲット盤のレーザにより掘削軌道ずれ量を確認し，左右方向は左右角修正シリンダで，上下方向はピッチングシリンダ及び反力用バックホウのアームで行う。

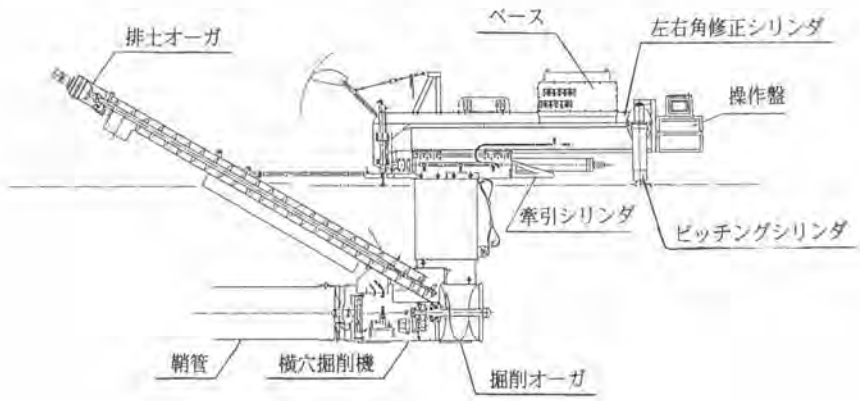


図２　掘削建機の構成

4．工事概要

本工事は，千葉県地区の都市ガス需要増加の対策と安定供給の確保のために建設される第２千葉幹線の袖ヶ浦公園緑地工区で平成９年３月に実施した。

袖ヶ浦公園緑地工区工事概要を以下に示す。

発注者：東京ガス（株）

施工会社：新日鐵（株）

鞘管敷設距離：118.5m（掘削距離 117.4 m）

鞘管：800 A×6.4 t×12m

本管：600 A×15.1 t×12m

（ＡＰＩ規格　５Ｌ　Ｘ－65・設計圧力 70kgf/cm²）

写真１　スイング式ジャッキ

写真２　トレンチ・バッグ

発進ピット・中間ピット・到着ピットの概略を図３に示す。発進ピット及び中間ピットには，鞘管引き込み力低減のためにローラ架台を設置した。また，発進ピット，到達ピット部の矢板の切り梁には，地上から鞘管の吊り降ろし作業を簡便に行えるスイング式ジャッキを（写真１），掘削溝部には容易に土留めができるトレンチ・バッグ（エアバッグ）を使用した（写真２）。

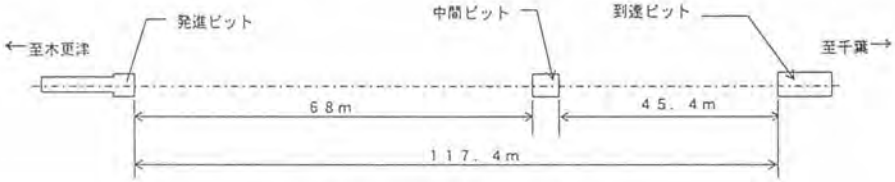


図３　ピット築造位置図

5．工事の結果

工事目的は，本工法を高圧幹線敷設工事の実現場に適用しアップル工法の①掘削速度，②鞘管引き込み力，③鞘管の敷設精度，④最小作業帯幅を確認することである。以下に各課題の確認内容を示す。

①掘削速度

掘削速度は目標 30cm/min に対して 15cm/min から 70cm/min となった。掘削速度が目標値を上回った箇所は，少量の湧水により排土の流動性が増して排土能力が向上した区間である。逆に，掘削速度が低下した箇所は，径 20cm 以上のレキを溝から除去しながら掘削した区間である。地盤状態に応じた掘

削オペレーションにより掘削速度を変化させたが，平均速度は，ほぼ目標値である 35cm/min を確保した。

②鞘管引き込み力

目標引き込み力 10tfに対し最大 7tfで施工できた（図４参照）。引き込み力を抑制できた要因は，発進ピット・中間ピットに設置したローラ架台により，鞘管引き込み力の一部をローラ架台のころがり抵抗に置換できたためである。ローラ架台を効果的に配置すれば，150m 以上の鞘管敷設が可能であることを確認した。

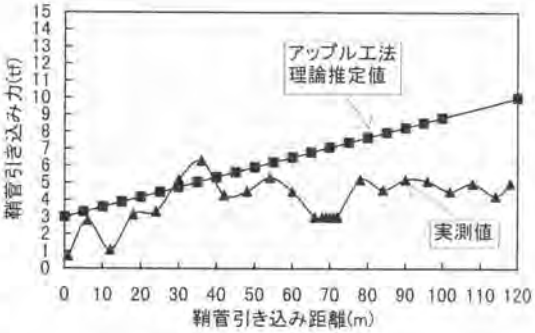


図４　鞘管引込力の理論推定値と実測値の比較

③鞘管の敷設精度

鞘管内に本管を引き込む際に障害を及ぼさない鞘管の敷設精度として，水平鉛直方向の許容誤差範囲を±５ cm に定めていた。本工事における鞘管敷設精度は，軌道修正システムを用いて水平方向に最大で３ cm，鉛直方向に最大で 1.5cm であった。その後の本管引き込み工において，鞘管軌道を主因とする鞘管引き込み力の増大は見られず，所定の引き込み力で本管を引き込めた。以上より，設定した鞘管の目標敷設精度の妥当性と本掘削軌道修正システムの有効性を確認した。

④作業帯幅

本工事の目標作業帯幅 3.5m に対し，土砂ダンプの進入や溝掘削用バックホウ旋回等による一時的な占有幅の部分拡張はあるものの，使用重機の最大幅である 2.8m 程度で問題なく施工できた。本管の敷設位置，作業環境にもよるが，本工法により施工すれば，道路占有幅を１車線におさえられることを確認した。

６．終わりに

本工事は，初めてのアップル工法の実工事への適用にもかかわらず，ほぼ計画通りに無事工事を完工できた。アップル工法に関して，パイプライン敷設の合理性，効率性の点から確認したことを以下に述べる。

① 120m 程度の鞘管であれば２日間で敷設可能であり，かつ土木施工費を 15～20％程度削減できる。そして，ピット間を長距離化すれば，更なる土木工事費の削減が可能である。

②本工法の道路占有幅は，一時的な占有幅の部分拡張はあるが 2.8m 程度である。

今後は，本工法の適用実績を増やし，掘削技術・施工ノウハウの蓄積を図っていく所存である。

最後に，アップル工法の開発及び実施工において多大なご指導並びにご協力を頂いた関係各位の皆様に対して，深く感謝の意を表します。

15. 断面拡幅不要の長尺先受け工法の開発

飛島建設㈱：*市川　健作，川端　康夫

1. はじめに

近年の山岳トンネル工事では、その施工において、対象とする地山に適合する補助工法が各種開発され、合理化施工に寄与している。

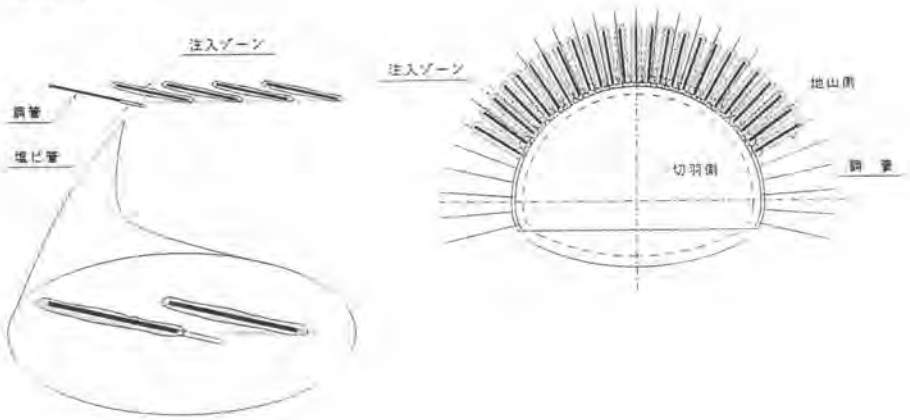
坑口周辺の崖錐部あるいは、地山強度比の低い軟弱地層および破砕された不良地山を掘進する場合、先行緩みを抑制し、切羽の安定を図る手段として、注入式鋼管先受け工法が採用される案件が増加している。

従来の同類工法は、専用機によるいわゆる補助工法「B」と言える施工法が主流であったが、当該工法は、同等程度の品質を確保しながら、山岳トンネルでは一般的に使用されているドリルジャンボで坑内作業員が施工サイクル内で実施できるロスの少ない補助工法「A」の範疇として採用が増加中である大きな要因になっている。

本工法は、それら利点を活かしながら、更に各部要素技術を改良改善し、施工サイクルの短縮、苦渋作業の緩和等トータル的にコストダウンを目標に開発した。

本稿では上記要素技術の概要を主に、構成・構造等を紹介する。

TOM－FORP



本注入式長尺鋼管先受け工法概念図

2．工法の概要

本工法は、従来の注入式鋼管先受け工法の適用地質範囲の拡大と，コスト低減を目的に開発した。通常用いられているドリルジャンボを使用して、トンネル切羽前面から鋼管を放射状に打設し、その周辺を固化材で改良することで、前方の地山を先受けする工法であり、地表面沈下の防止、切羽の安定を目的としている。

対象とする不良地山は、N値３０程度の土砂地山から破砕され変質した岩盤まで、多様な脆弱地山まで対応できる。

3．従来工法の改善点

本工法は、同類工法による坑口部の補強は別として、従来の長尺先受け工法における以下の問題点の解決を図った。

(1) 掘削断面を拡幅しなければならない。

掘削断面を拡幅することで以下の問題および課題が挙げられる。

① 断面を拡幅することで、掘削、防水シート、二次覆工コンクリートの各ボリュームが増加する。

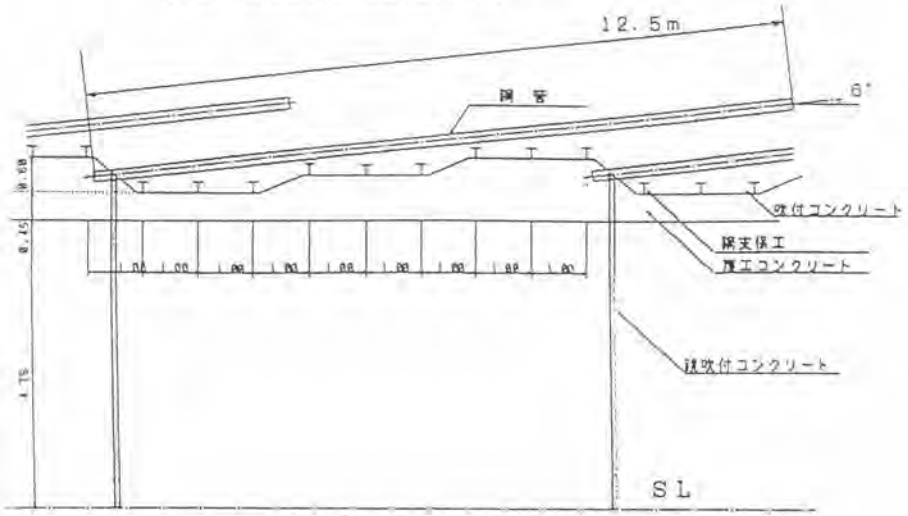
② 鋼製支保工の形状が一定でなく、とくにカーブ区間では、タイロッドの寸法を毎基ごとに変化させる必要がある。またこれによって測量や支保工建て込み作業が煩雑になる。

③ 防水シート施工において、シートがしわになりやすく、接合不良やコンクリート打設時の破損を招きやすい。

④ 二次覆工コンクリートの打設において、コンクリート充填するためにエアー抜き対策や、型枠および妻型枠の補強を検討する必要がある。

⑤ 二次覆工の巻き厚変化が、コンクリートのひび割れ発生に影響する可能性がある

（下図　従来先受け工法縦断図　参照）



従来先受け工法縦断図

(2) 鋼管の接続、さく孔ロッドの着脱に時間が掛かり、作業も煩雑である。
鋼管先受け工法は、一般的には坑口付近の低土被りや脆弱地山に適用され、従来の工法は鋼管をネジ式継ぎ手で実施する。この方式は作業員の苦渋作業に直結し、時間も掛かる。

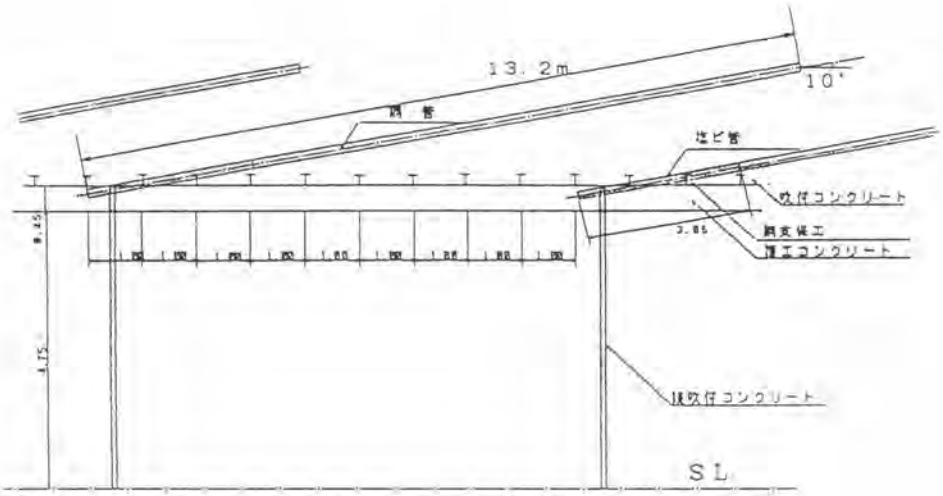
(3) 地質条件に適用するさく孔用ビットの選定範囲が狭い。
軟弱で均一な不良地山での鋼管打設は、比較的円滑に施工できるが、地山中に転石等の固化物が混入している場合は、極端にさく孔速度が低下する。また破砕岩盤中に施工する場合、孔壁崩壊に伴うジャミングが発生し、鋼管打設に苦労する。

3－1 本工法の特長

従来工法の問題点および課題を抽出し、施工の合理化に向けて改善した本工法の特長を以下に記す。

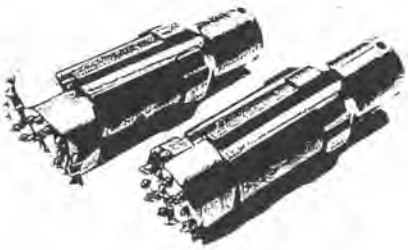
① 掘削断面の拡幅を必要とせず、支保工の内側から施工できる。その際、特殊埋設管で鋼管を鋼製支保工上端部まで打ち込み、特殊埋設管を壊しながら掘進することで、余掘りの低減、掘削時間短縮等経済性の向上をはかった。

（下図　本工法縦断図　参照）



本工法縦断図

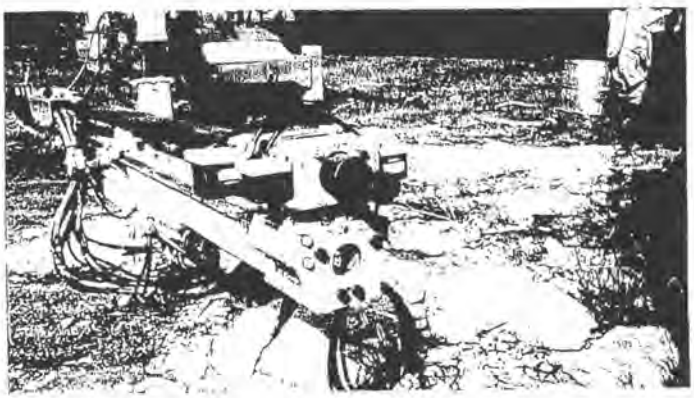
② 鋼管打設は、鋼管端末を打撃押圧する方式を基本にしている。
礫地盤、亀裂性破砕岩盤や孔壁崩壊して、鋼管が拘束されそうな地山では、先端鋼管をビットシステムが牽引する方式や、地山条件に応じたビット種類の中から選定できる。



拡翼式ビット

ロストビット

③ 鋼管接続部分をテーパ式とし、接続部の固定あるいは、さく孔用ロッドの着脱の効率化を図るため、油圧式把持装置を開発した。



4. 施工順序

さく孔から周辺地山の改良までの施工順序を以下に記す。

① さく孔・鋼管挿入

・鋼管をあらかじめ所定のさく孔位置に設置し、ホルダーに嵌合する。

・さく孔と平行して鋼管を地山に挿入する。

② 鋼管・ロッドの着脱・接合

・油圧把持装置で鋼管を固定し、ロッドを引き出し、ロッドを固定、逆回転でロッドを解放する。

・さく岩機をさく孔位置に戻し、鋼管およびロッドを供給する。

③ 特殊埋設管による、鋼管の圧入

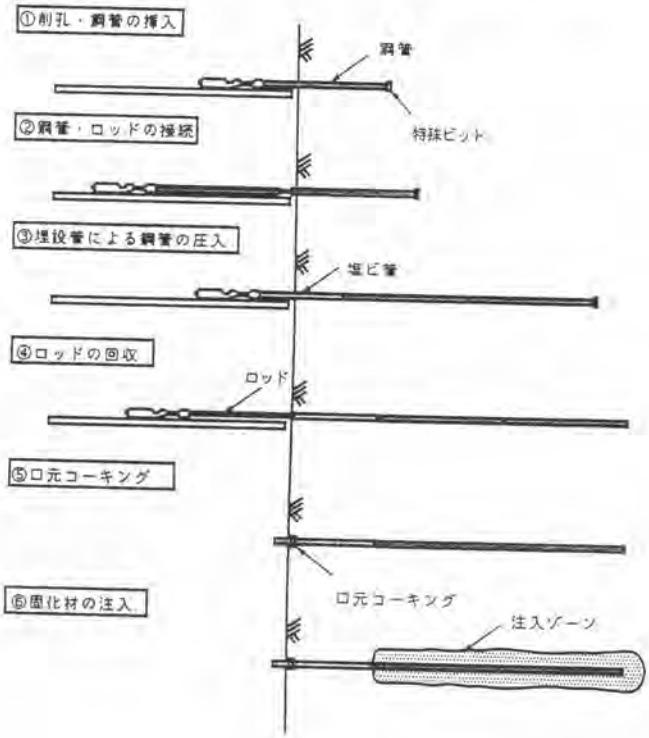
・上記と同様の順序で鋼管を地山中に押し込む。

④ さく孔用ロッドの回収

・油圧把持装置で鋼管を固定しながら、さく岩機を使用しながら順次回収する。

⑤ 地山改良

・脆弱地山の性状に適合する方法を選定して、固化材等を注入・改良する。



施工順序図

5. 今後の課題

本工法は現在までに３０余の工事に適用した。この中で、多様な性状の地質を経験し、一部の工事では当初からの期待された効果が得られない場合もあった。たとえば地山中に巨礫が存在し、マトリックス自体は軟弱で、巨礫自体が硬岩の時には、さく孔に苦労し、施工時間の延長に直結する。等の問題点から以下の改良・改善を実施している。

① 前記のさく孔システムのように、さく孔ビットに硬岩用を追加した。

② 特殊埋設管が破損する場合がまれに発生したので、耐衝撃用の他繊維補強特殊管を追加し、適用地盤の拡大を図った。

③ 不良地盤を改良する注入方式も改善し、地山の性状に合致する方式の選択枝を拡充した。

今後このような先受け工法をさらに拡大するための課題として、次の項目があげられる。

① 鋼管先受けの応用技術として、支保工脚部の補強工およびトンネル底盤の補強工等軟弱地盤中にトンネルを築造する場合の、トンネル全周にわたる補強に展開する。

② 第二東名・名神高速道路等大断面トンネル工事において、さらに急速施工、品質の確保等さらに高効率に向けた施工方法の発展。

③ 建設コストの縮減要求にある中、経済性を追求する一手段として、機械化、自動化による省力化を図り、施工環境の改善・保全を確保する。

④ 脆弱地山の性状に合致する有効な補助工法の設計手法の確立。および幅広い工法の選択枝の中から選定する施工技術の向上。

6. おわりに

本報告では装置の構成および要素技術を主に紹介した。

施工的にはこのほかに、適用する地質の評価、注入方式の検討等事前調査が重要な作業として発生する。また施工後の先受け効果の検証として計測、地山の挙動等を把握しているが、その結果については省略した。

今後 さらにより多くの実績を重ね、システムの充実を図るとともに、先受け工としての作用機構の解明を行い、実務的な設計手法の検討を進めることで本工法が山岳トンネルの標準的補助工法となることを目指す所存である。

最後に、本工法の導入および工事を推進するにあたり、御理解と御協力をを頂いた関係各位に感謝の意を表する次第です。

16. 放電衝撃破砕装置および工法の開発

㈱大林組： 風間 慶三
日立造船㈱：*前畑 英彦，荒井 造成
西田 昭二

1．はじめに

岩石・岩盤の破砕工法として、発破は最も効率的で低コストであり、工法の性能や特質も高度化され、土木・建築工事分野で広く採用されている。しかしながら一方では、大きな低周波振動や騒音および飛石など周辺環境への影響は避けられず、都市部や一般住宅近傍での岩石破砕・岩盤掘削工事への適用は困難な状況にあり、発破を使わない工法あるいは静的破砕工法の開発要請が高まってきている。[1)]

放電衝撃破砕工法は、これに呼応して開発されたもので、破砕効率を確保するとともに周辺環境への影響が小さい非発破工法として期待できる。[2)] ここでは、まず放電衝撃力発生技術と破砕装置について基本的な特質・性能を述べ、次に割岩および岩盤破砕への適用性を評価するために行った現地実証試験結果および放電衝撃破砕工法の基本技術としてまとめた開発成果を報告する。

2．放電衝撃力発生技術[3)]

2.1 基本原理および基本回路

コンデンサなどに蓄積した電気エネルギーを短時間で放出、すなわち放電パルス化すると、大電力を局部に集中することができる。この大電力パルスエネルギーを金属細線に供給すると、細線は溶融・気化現象により瞬時に数万倍の金属蒸気体積に膨張し、その際に衝撃波(正圧空洞)が発生する。この現象が液中の場合、金属細線をとりまく液の蒸気化爆発力も加わり、衝撃力として液中を高速伝播する。この衝撃力は、細線近傍約1cmの位置で数10tonf/cm^2、発生期間数10μsのショックエネルギーとなる。

図1は放電パルス発生の基本回路と岩石などの脆性材を放電衝撃で破砕する原理を説明するものである。コンデンサへの電荷蓄積は、直流高圧電源から充電制御回路により急速充電され、電子スイッチはこの蓄積エネルギーを急峻な大電力パルスとして金属細線に供給し、衝撃力を発生する。金属細線は、水を充填した放電カートリッジの中にあり、この放電カートリッジは被破砕物に穿孔・装填される。なお、破砕の規模に応じて複数個のカートリッジと放電回路による斉発が用いられる。

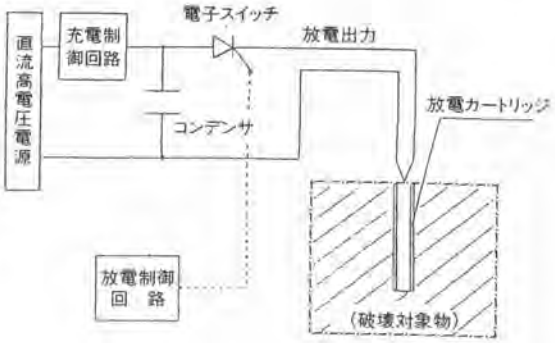


図1 放電衝撃力発生と破砕原理

2.2 発生衝撃力の基本特性

（1）放電および衝撃力波形　図2はVc=6,300V、C=500μFで細線(ϕ0.8mm、長さ4mm)に放電した際の放電波形および衝撃力波形の一例を示したものである。細線両端電圧は、放電電流のピーク値付近

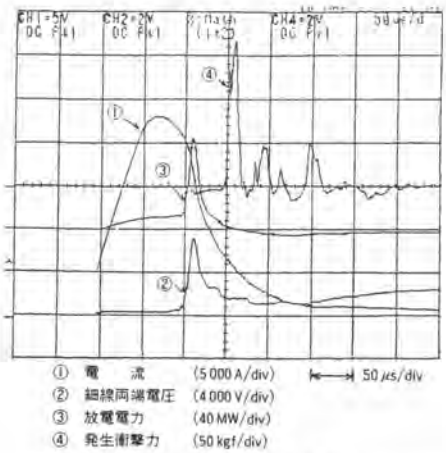


図2　放電および衝撃力波形

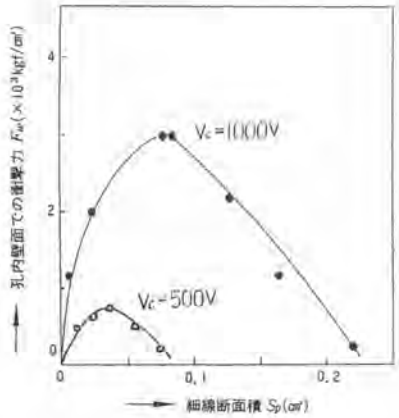


図3　金属細線断面積と衝撃力の関係

から急激な増加が見られるが、これは細線が溶断・気化を示しており、放電電力のピーク値とも一致している。また、衝撃力はこの時点で20μsの急峻パルスとして発生しており、図中の50μsのズレはちょうど圧力センサまでの距離8cmの伝播時間に一致する。なお、実験は大型コンクリート水槽内で行い、圧力はキスラー製水晶圧電式力センサ9213A1型（固有振動数:200kHz）、電圧はパルス電子製高電圧プローブEP-50K（~50MHz）、放電電流はピアソン製CTカレントモニタ101型（~4MHz）を用い測定した。

（2）金属細線条件　　細線条件は供給エネルギーと発生衝撃力の関係に大きく影響する。図3は、細線径(断面積Sw)と発生衝撃力F(細線から1cmの位置)の関係について、ある充電電圧Vc調べた一例である。この関係は細線長についても同様の傾向を示し、各電圧に対応した最適線径および線長を選択する必要がある。

（3）充電電圧Vcとの関係　　図4は、コンデンの静電容量Cを500μFとした場合の充電電圧Vcと衝撃力Fの関係を調べたものである。両者には、

$$F \propto Vc^n \qquad (1)$$

の関係(同図ではn=1.5~2)の関係が見られ、1,000~2,000Vで数tonf/cm²であり、5,000~10,000Vで数10tonf/cm²の衝撃力と推定される。(1)式の関係は、コンデンサの蓄積エネルギーWが

$$W = 1/2\,C\,Vc^2 \quad [J] \qquad (2)$$

の関係式で表されることから説明できる。なお図4をFとWの関係で整理すると、F∝Wの関係になる。一方、Fは放電電力P(放電電圧×放電電流)とも比例関係にあることを確認している。

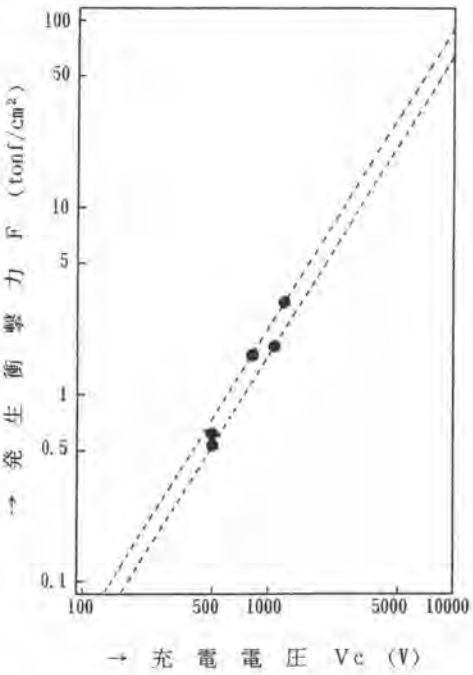


図4　充電電圧と発生衝撃力の関係

3．放電衝撃破砕システム

図5にシステム構成を示し、各部について以下に説明する。

3.1 放電衝撃力発生装置

この装置のKey技術である高電圧大電流パルスの発生は、近年注目されつつあるパワーエレクトロニクス時代の到来に先駆けて開発したものである。すなわち、高速大電力電子スイッチング技術と自己修復型高密度エネルギー蓄積コンデンサの採用である。図6は、10,000V-60,000Aの放電パルスを4出力装備した開発装置の外観写真を示す。装置仕様は以下の通り。

・入力：1φ200Vor100V-2kVA

・蓄積エネルギー：

[Vc=10000V, W=25000J]×4

・充電時間：90sec以下

・4種類の安全機能回路装備

・W1950×D840×H1500mm, 1300kg

写真の左端Boxは電源制御盤、右2つはそれぞれ2出力装備のパワーユニット盤である。この装置は、2kWの発電機と共に車輌(2~3ton)に搭載した状態で現場に入り、そのまま作業できる仕様にしている。

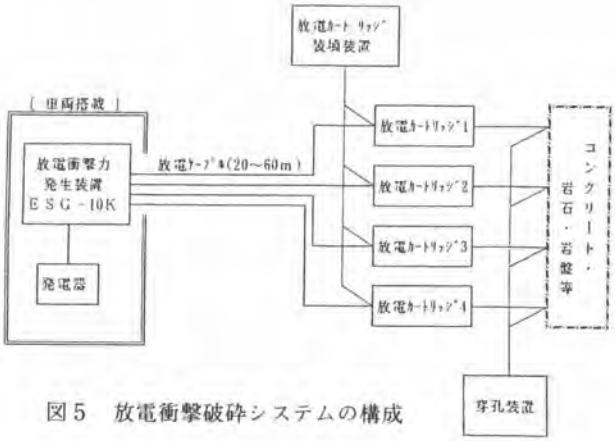


図5　放電衝撃破砕システムの構成

図6　放電衝撃力発生装置（4出力型）

3.2 放電カートリッジおよび放電供給ケーブル

放電カートリッジは、高圧ケーブルにより供給される放電エネルギーを衝撃力に変換する重要な構成要素である。基本構造を図7に示す。プラスチック容器に水などを充填し、この中に2本の導線に接続された金属細線を挿入したものである。どの穿孔方向にも対処できるゼラチンタイプも開発しており、サイズはφ12×100mm、φ18×100mm、φ38×120mmでVc=6,000V、8,000Vおよび9,000V用が基本タイプである。

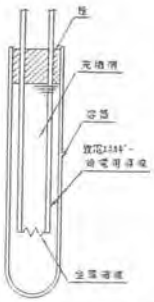


図7　放電カートリッジ

放電供給ケーブルは、各出力の独立性と地絡電流防止から1出力に2本を用いる。また、ケーブルの分布定数は放電エネルギーの損失を決定する要因となり、ケーブル長と敷設方法に配慮する必要がある。この破砕システムでは、衝撃力発生装置から60mまでは発生衝撃力に低下はない。

3.3 破砕作業フローと周辺支援機器

図８に破砕作業の工程フローを示す。まず、放電カートリッジの径よりや大やきい(φ13~20mm)孔をカートリッジ長以上の深さ(150~500mm)に穿孔し、放電カートリッジを装填する。その後、砂などでタンピングし、放電ケーブルをば結線すれば準備は完了する。ここまでの作業時間は、４孔斉発破砕の場合、２人作業で約８minを要し、作業フローの80%になる。穿孔装置やカートリッジ装填・押付装置などの支援機器により機械化すれば半減が期待できる。

図８　放電破砕作業フロー

図９　現地破砕テストの状況

次に、放 電衝撃力発生装置を充電した後、放電・残電荷消去で破砕作業は終了する。図９は、車輌に搭載した放電衝撃力発生装置による現地破砕テストの様子を示す写真である。

4．岩石・岩盤の破砕性

4.1 現地破砕例

（１）岩石破砕　　放電衝撃法による岩石の破砕例を図10に示す。同図(a)は、W50×D70×H50cmの石灰岩(一軸圧縮強度~150MPa)を放電9,000V-1出力で破砕したものである。また(b)は、W50×D100×H70cmの花崗岩(~170MPa)を放電5,000V-4出力で破砕した例を示す。放電衝撃法による岩石の破砕性能は、花崗岩の場合、10,000V-1出力で0.2m³、10,000V-4出力で0.8m³前後の岩塊破砕に適用できそうである。

(a) 石灰岩(W50×D70×H50cm)

(b) 花崗岩(W50×D100×H70cm)

図10　岩石の破砕例

（2）岩盤破砕[4]　ここでは、「心抜き」と「払い出し」破砕テスト結果を紹介する。

心抜き破砕テストは、ハンマー打撃により亀裂のない岩盤(花崗岩:100~170MPa)を選んで行った。図11は穿孔角45°、Vカット高さ30cm、抵抗線21cm、孔間隔45cmの心抜き穿孔条件で破砕した結果である。放電8,000V-4出力斉発により、W45×H30×D25cm(破砕体積0.02m³)のV溝破砕している。実用レベルには50cm(0.1m³)程度の心抜き深さが必要であり、放電衝撃法を適用する場合には、ボアホールなど用いる必要があろう。

図11　岩盤の心抜き破砕例

(a)　破砕前

(b)　破砕後

図12　岩盤の払い出し破砕例

一方、払い出し破砕の結果を図12に示す。これは放電9,000V-3出力により砂岩の岩盤(100~120MPa)をを破砕したもので、穿孔(放電点)を結ぶように直線的に破砕しており、払い出しの体積は0.16m³であった。穿孔深さを30cm一定の条件で、放電8,000Vと9,000Vにより払い出し破砕できる抵抗線Wと孔間隔Dの最大値を調べた結果である。8,000V放電では、W_{max}とD_{max}いずれも30cm程度になり、9,000V放電ではW_{max}は30cmでD_{max}が40cmもしくは両者35cmであった。なお、両者にはテスト全体を通じ、W＜Dの関係がみられた。破砕能力として、100MPa程度の岩盤なら、10,000V-4出力の斉発放電で0.2m³程度の

表1　放電電圧と抵抗線W、孔間隔Dの関係

［単位:cm］

D＼W	5	10	15	20	25	30	35	40
5								
10								
15								
20								
25								
30			8,000V破砕範囲					
35								
40			9,000V破砕破砕					
45						(亀裂)		

払い出し(ベンチカット)が見込める。また、破砕前後のシュミットハンマー値に差異がないことから、仕上げ用の制御破砕としての用途が考えられる。

（3）コンクリート破砕　無筋コンクリートに対しては、放電10,000V-1出力での破砕能力は約0.3m³(70cm立方塊相当)あり、4出力では1m³程度の破砕が見込める。しかし、鉄筋コンクリートについては鉄筋条件に大きく依存し、基本的には鉄筋露出破砕となる。図13、図14にそのサンプル破砕例(100cm角×20cm厚)を示し、φ13mm鉄筋を15×20cmメッシュ2段に配筋したものである。この場合、である。この場合、穿孔に配慮を要することから、穿孔しないで破砕する表面衝撃破砕が望まれる。

図13　鉄筋コンクリートの破砕例Ⅰ

図14　鉄筋コンクリートの破砕例Ⅱ

4.2 発生騒音・振動データ

本破砕法は、金属の細線爆発力によることから500~2,000Hzにピークを持つ瞬時(1sec以下)の高周波音を発する。現地坑内テストで、破砕位置から10m離れた位置での騒音レベルは90~120dBであった。岩盤を破砕した場合は小さく、孔の詰め栓が抜けて未破砕の時は、110dB以上を示した。一方、屋外破砕では90~94dBであった。

また、発生衝撃力が数10tonf/cm²に達するものの数10μsec(高周波成分)の単一パルスのため、地盤振動の減衰は大きい。振動は、いずれもバックグラウンドレベルの範囲を出ていない。さらに、岩盤破砕後の有毒性ガスおよび粉塵の発生は見られなかった。

5．まとめ

以上に、放電衝撃破砕装置および工法の特質・性能の概略を紹介した。放電衝撃破砕法は、発破と類似した破砕形態および作業工程であるが、「非発破工法」として対環境性を考慮して開発されたもるである。以上の紹介内容に補足して、本開発技術の特徴を以下に総括まとめしておく。

① 非発破工法として安全性、作業性に優れ、車輛搭載型の破砕装置のため機動性を有する。

② 6~8minの破砕作業サイクルで、割岩で0.8m³、ベンチカットで0.2m³の破砕性が見込める。

③ 無振動、低発塵で、騒音も90dB程度の瞬時破砕音のため、都市部・住宅圏でも適用できる。

最後に、本開発の推進にあたり多大な貢献をされた(株)大林組 吉岡尚也氏、須山恭三氏および日立造船(株) 塚原正徳氏、井上鉄也氏、玉越大介氏ほか関係諸氏に謝意を表し、お礼申し上げる。

＜参考文献＞

1) 野間、村山他：液圧を用いた岩盤・コンクリートの静的破砕工法の開発、土木学会論文集、第427/Ⅶ-14、1991年P203

2) 前畑、荒井他：放電衝撃破壊法の開発、平成7年電気学会産業応用部門全国大会論文集、1995年、P163

3) 前畑、荒井他：放電衝撃破壊技術の開発-放電衝撃力の基本特性と岩石破砕性-、日立造船技報、56-4、1996年P52

4) 井上、前畑、荒井、風間他：放電衝撃破砕技術の開発(3,4報)、土木学会平成9年度全国大会

17.　没水型低水護岸急速省力化工法

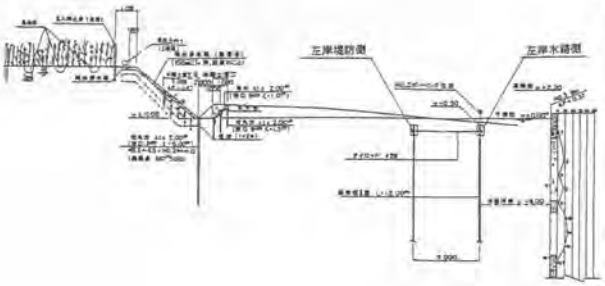
建設省荒川下流工事事務所：清水　俊夫
㈱大本組：宮木　英昭，堀　　隆
*後藤　克史

1．はじめに

従来の低水護岸は低水路の確保，高水敷の侵食防止など治水面における機能性が重視され，施工性を考慮して仮締切を用いずに施工可能な高さを笠コンクリートの天端としている。しかしながら荒川下流域のように河川の河口部において干満の影響を強く受ける箇所では，干潮時に笠コンクリートや鋼矢板の表面が水面から露出し，景観の形成を阻害する結果になっていることも多々ある。

これらの反省点を鑑み，更に「多自然型川づくり」に配慮した荒川将来像計画の一環として河川の自然度・親水性等を向上させるために，現在荒川下流域では笠コンクリート天端高を干潮位以下（L.W.L-0.5m）とした低水護岸（図－１）の整備を進めている。一方，常時水面下となる構造物の施工は従来より仮締切によるドライ施工を基本とし，必然的に工事費も割高になっている。

本報告は，このような「没水型低水護岸」を経済的かつ効率よく施工するために建設省荒川下流工事事務所，㈱大本組およびトーメン建機㈱の３者で共同開発した新工法を紹介するものである。



図－１　標準断面図

写真－１　専用バイブロハンマ

2．工法開発の概要

本工法の開発テーマは仮締切を用いない「没水型低水護岸」の施工法の確立である。その基本的なイメージは，あらかじめ水上作業で構築した完成状態の護岸本体をバイブロハンマにより水中まで直接打設するものである。以下に開発に向けての考え方を列記する。

1）護岸本体は，複数枚の鋼矢板と笠コンクリートが一体化したユニットの連続体と考える。

2）水上作業は途中で打ち止めた本設鋼矢板面に足場を取付けて行うが，作業の効率化を図るために笠コンクリートの外殻を成すプレキャストコンクリートブロック（日本ヒューム管㈱製作：以下ＰＣＢという。）を開発し，型枠の代用とする。

3）笠コンクリートを直接把持する専用バイブロハンマチャック（写真－１）の開発が不可欠である。

上記要領のもとで行った主な検討概要および施工手順について次に説明する。

２．１　鋼矢板と笠コンクリートの動的付着力

鋼矢板と笠コンクリートを一体化して打設する際，両者間の付着力が問題となる。机上の検討においては，類似する既往の事例・経験等から静的付着強度の 1/10 程度として必要な付着面積を確認しているが，コンクリートの動的付着力に関する明確な基準，知見等がないため要素実験（図－２）による検討を行った。

図－２　要素実験要領

着目点はコンクリート塊のすべりおよびひび割れの有無であったが，いずれも全く認められなかった。

２．２　ユニット形状の設定

今回はタイロッド式鋼矢板護岸を対象としており，１ユニット当たり２本のタイロッド（@ 1.6 m）配置を基本的形状とした。また，ユニットとして一体化させる鋼矢板の枚数については，地盤条件，使用するバイブロハンマの能力等を考慮して総合的に判断する。

隣り合うユニットの接続部は，腹起しである上下２本の溝形鋼の切断面が同一断面となり構造上の欠点となることを防ぐためカギ型に成形し，上下の溝形鋼の切断箇所を鋼矢板１枚分ずらしている。また，複数台のバイブロハンマによる施工箇所の分散を想定して上向きに凸の先行型と下向きに凸の後行型の２種類の形状を設定した。

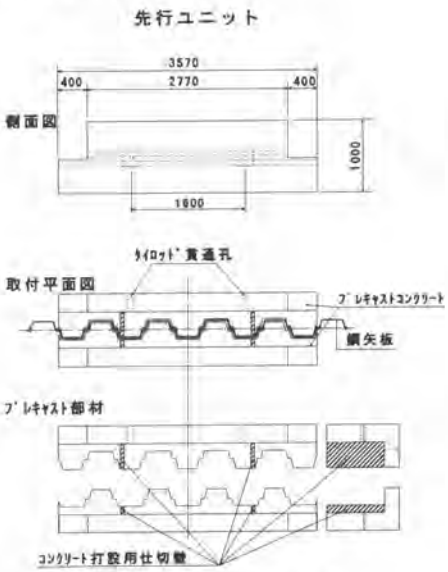


図３－１　先行ユニット形状

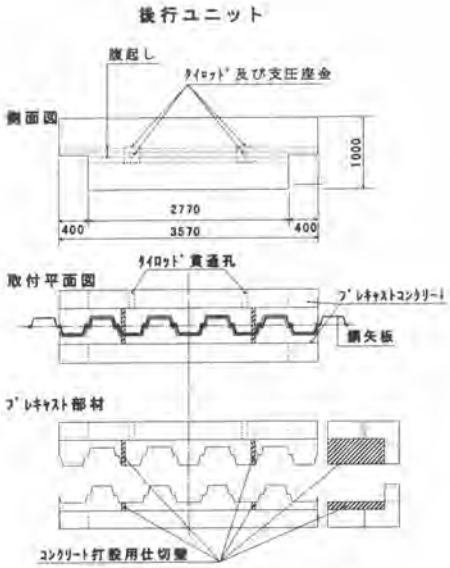


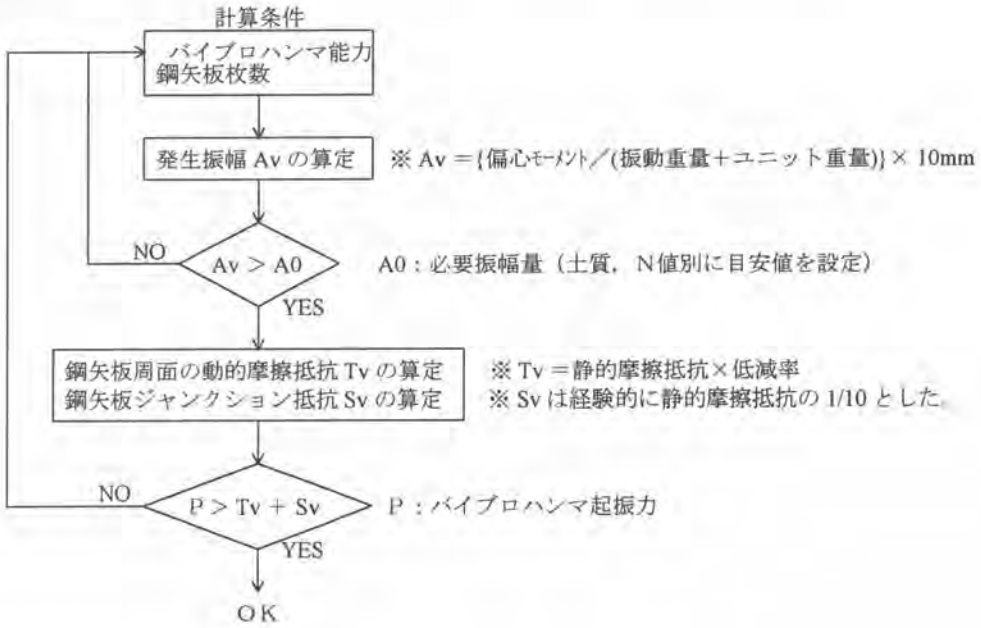
図３－２　後行ユニット形状

図３－１および図３－２に見られるコンクリート打設用仕切壁は，ユニットを水中に打設した後，各ユニットの接続部における連続性を確保するとともに，後背地の土砂流出の原因となる空隙の閉塞を目的とした水中コンクリートを打設するために設けている。尚，ユニット中央部は専用チャックで把持するため，ＰＣＢおよびタイロッドの取付完了後，水上でコンクリートを打設する。

2．3　バイブロハンマの選定

前述のとおり，バイブロハンマの選定は地盤条件およびユニットの鋼矢板枚数によって異なり，一義的に決定されるものではない。基本的にはタイロッド間隔で決まる鋼矢板枚数を最小枚数とし，得られた地盤条件に対するバイブロハンマ能力別の沈下可能枚数を算定後，施工性・経済性を考慮して判定する。尚，鋼矢板の振動沈下計算については「仮設鋼矢板施工ハンドブック」（社）日本建設機械化協会が一般的に認められているが，近年のバイブロハンマ性能の向上に伴ってその適用が困難となってきている。今回はトーメン建機㈱の協力を得て，蓄積された実績にともなう沈下計算を行った。

振動沈下の計算フローを以下に示す。



計算結果を下表に示す。

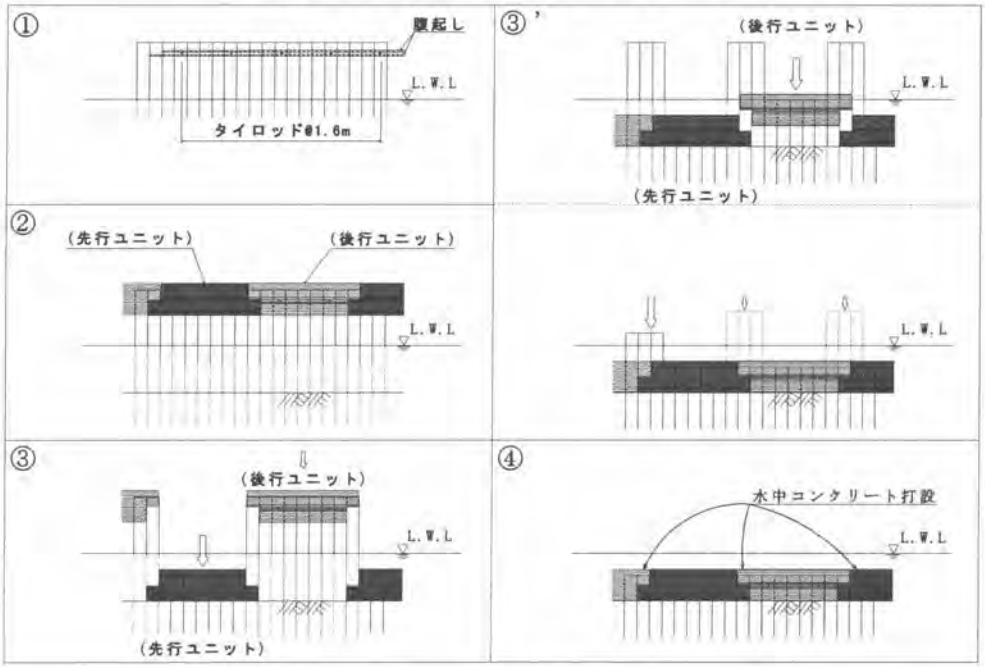
表－1　振動沈下計算結果

機　　種	CM2-120			CM2-160			VM2-25000A	
打ち込み枚数　（n 枚）	5	7	8	5	8	9	12	13
発生振幅　（Amm）	2.9	2.2	2.1	3.8	2.8	2.3	5.9	5.6
必要振幅判定　（A ＞ 3）	△	×	×	○	△	×	○	○
動摩擦累計　（Σ Tv）	20.6	41.0	44.9	19.4	46.0	58.3	84.3	84.3
継手抵抗　（Σ Sv）	23.2	24.3	24.5	23.2	27.0	18.9	22.3	21
起振力　（P0）	67.7	67.7	67.7	76.3	76.3	76.3	107.5	107.5
起振力判定　（P0 ＞(Σ Tv ＋ Σ Sv)）	○	△	×	○	△	×	△	×
総　合　評　価	○	×	×	○	△	×	○	×

2．4　施工順序

本工法の施工順序を以下に示す。

没水型低水護岸急速省力化工法　施工順序図



図－4　施工手順

①　：あらかじめ水中掘削により護岸設置基面を整形し，途中で打ち止めた本設鋼矢板に足場を取付け，腹起しを取付ける。

②　：次に，鋼矢板頭部を挟むかたちで２種類のＰＣＢを交互にボルトで固定する。続いてタイロッドを取り付けた後，専用チャックで把持するＰＣＢ中央部にコンクリートを打設する。ここで，複数枚の鋼矢板と笠コンクリートが一体化となるユニットが構築される。

③　：②の状態で養生期間をおいた後，先行ユニット→後行ユニットの順にバイブロハンマによる水中打設を始める。

③'：先行ユニットおよび後行ユニットの打設完了後，施工条件によりユニット間に鋼矢板が残る場合は，バイブロハンマを交換して打設する。

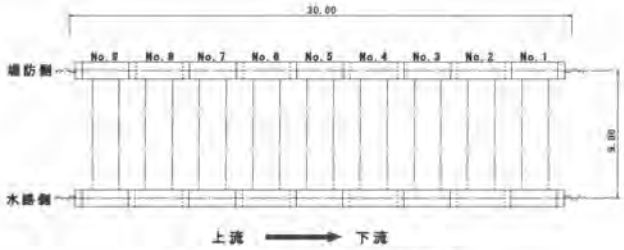
④　：全ての打設作業完了後，ユニット接続部に水中コンクリートを充填して完成となる。

試験工事における施工状況を写真－２に示す。

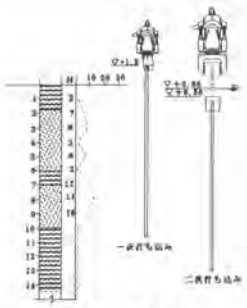
写真－２　施工状況

3．試験工事

従来工法による没水型低水護岸工事の一区間にて，本工法による試験工事を行った。平面配置および地盤条件を下図に示す。



図－5　試験工事平面配置図



図－6　地盤条件

試験工事は，新規開発の専用チャック(１台)を装備した CM2-120(90KW 級)にて行い，併せて打設時のバイブロハンマ出力，発生振動数，振幅等の計測も行った。下表に試験結果を示す。

表－2　ユニット打設時の計測結果

	堤防側							水路側						
根入れ深 m	電源周波数 Hz	振動数 cpm	振動加速度 g'	振幅 mm	電圧 V	電流 A	出力 KW	電源周波数 Hz	振動数 cpm	振動加速度 g'	振幅 mm	電圧 V	電流 A	出力 KW
0.5	57.5	1090	2.16	1.92	420.2	108.7	55.9	60.0	1143	2.87	2.22	420.3	110.9	56.6
1.0	60.0	1143	2.74	1.99	420.1	107.9	56.1	60.0	1143	2.89	1.94	419.9	109.5	56.2
1.5	60.0	1143	2.62	2.0	420.1	109.2	57.0	60.1	1143	2.75	2.12	420.3	99.4	47.8
2.0	60.0	1143	2.62	2.06	420.1	108.7	56.8							
記事	1．データ値については平均値を示す。 2．矢板組み合わせ枚数は堤防側，水路側とも８枚セット。 3．計測は先行ユニット打設時による。													

表－3　ユニット打設時の沈下速度

	堤防側		水路側	
根入れ深 m	沈下時間 min	沈下速度 cm/min	沈下時間 min	沈下速度 cm/min
0.5	2' 04"	24	17' 00"	2.9
1.0	1' 30"	44	5' 10"	9.7
1.5	1' 08"	43	3' 19"	15
2.0	2' 10"	23		

上記結果より，主に鋼矢板８枚組ユニットの打設について以下の見解が得られる。

1）バイブロハンマの能力は定格出力の 70 %程度で推移し，機種選定は適正であった。

2）バイブロハンマの必要加速度は３G 程度と考える。

3）バイブロハンマの振幅は 2.0mm 以上必要である。

4）笠コンクリートの強度に対して，把持装置の支圧力および把持プレート材質（ポリプロピレン）は適正であった。ただし，ユニット数が少なかったため耐久性の検証には至らなかった。

4．まとめ

試験工事における結果をふまえ，本工法が実施工に十分対応できることが実証された。ここで，本工法の開発における成果を以下にまとめる。

1）本工法の実施に必要な検討項目

①適正な使用機械の選定

施工対象地盤を十分調査した上で，効率的な施工を図るためには起振力など能力的に十分余裕をもった施工機械を選定する必要がある。

②適正なユニット延長の設定

ユニットのいたずらな長大化は施工機械の大型化，偏心など不完全な把持状態による施工性の低下および施工精度の低下を招くため，施工条件等に配慮した設定が必要。

③発生振幅の検討

発生振幅を小さくすることで，ユニットの打ち止まり高の管理が容易になる。

2）施工段階で確認された有効性

①ユニット部材形状

鋼矢板の変位によって隣接ユニット間に段差が生じたが，累積・伝播することはなかった。

②プレキャストコンクリートブロックの使用

限られた足場上での作業において，取付の作業性および据付精度の確保が容易であった。また工場製品であるため強度的に安定しており，バイブロハンマの振動による損傷もなかった。

3）今後の課題

①ユニットの水中打ち止め管理

②各ユニット接続部に充填する水中コンクリートの打設管理

③複数台の施工機械による施工の効率化

④専用チャック把持幅の可変式化

⑤ユニット端部形状の改良

⑥把持面板の耐久性

⑦足場取付の作業性向上

以上の成果をふまえ，様々な課題を含むものの根本的に本工法が有する特長は以下のとおり。

①仮締切が不要なので，従来工法に比べて省力化・工期短縮が可能。

②トータル的に大幅なコスト縮減が可能。

5．おわりに

試験工事ではドライ施工であったため，実際の水中施工に対しては細部に不確定要素を残していると思われるが，本工法の特長は今後の河川改修において十分有為である。上記の課題解消とともに実証を重ね，今後も本工法の改良・改善を進めていく予定である。

最後に，本工法の開発にあたりご指導，ご協力いただいた建設省荒川下流工事事務所ならびに協力業者の関係各位に深く感謝の意を表します。

18.　凍土急速解凍工法及びシステム

鹿島建設㈱：*白井　俊輔，早川　康之
太田　勝矢，平野　敏則

1．はじめに

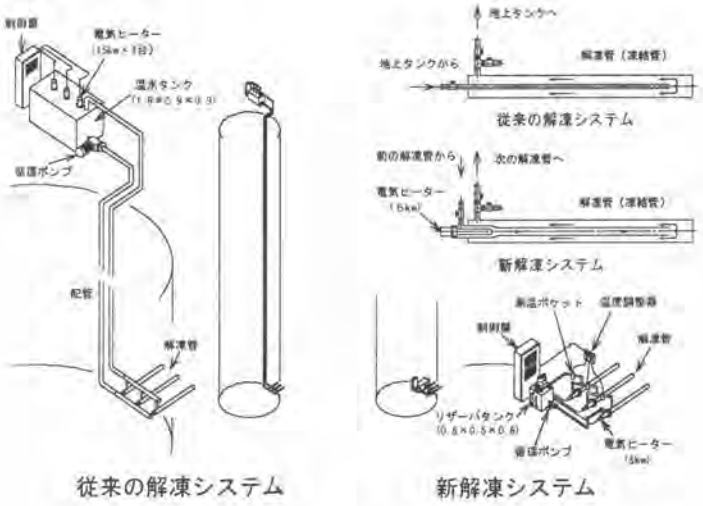
今回開発した凍土解凍システムは、特にシールドトンネルの発進・到達や地中接合の防護工として採用されている凍結工法の凍土を強制解凍するものである。

凍結工法自体は信頼性が高く無公害であるが、凍土解凍時の解凍沈下という不都合な現象が発生することがあり、凍結工法施工後そのまま放置しておくと、長期間にわたる自然解凍により解凍沈下が徐々に進行する。

そのため、従来から温水を循環させて解凍を短時間に行い解凍に伴う体積減少分だけセメントミルクを地盤に注入固結し解凍沈下を防止する方式(図－1左)が一般的に採用されている。

しかし、従来の強制解凍工法では今回実証施工した現場(詳細は後述)の例で強制解凍工に約60日間(因みに自然解凍では200～300日と推定)を要すると推定されるなど一般に解凍工に要する期間が長く、凍土が完全に解凍するまで常時沈下計測監視を続ける必要があるため、長期間の資機材及び人員を配置しなければならない。

ここで、シールドトンネル施工上の特殊性を考えると、一般に作業空間が狭隘であり、また、解凍注入作業を坑内で行うため作業そのものが資材の搬送の障害にもなり易くより一層、解凍工期の短縮が求められる。



従来の解凍システム　　新解凍システム

図－1　解凍システム比較イメージ図

解凍期間を短縮するためには、解凍管と凍土の温度差が大きいほど伝熱量が大きくなることから、解凍管表面の温度を高くすれば良いが、従来の温水循環方式では地上部に温水タンクを設置し長大な配管を敷設するため、坑内の作業員の安全性(高温配管との接触の可能性、配管からの温水の漏洩等)を考慮して地上タンク部で60℃程度に加熱し循環するのが普通で、解凍期間を短縮するために循環水温度を高く設定する事が難しい。

そこで、以下のコンセプトで開発を行う事とした。

- 解凍管内部に直接電気ヒーターを設備し、安全に解凍管表面温度を高く設定する事で解凍期間の短縮(従来の強制解凍工期の半減)を図る。
- 付帯設備を含む設備全体を小型化する事により、狭隘な作業空間においても設置可能で、さらに、設置・撤去の容易なシステムを構築する。

Ⅱ. 予備検討及び実験

まず最初に、解凍システム全体の能力を設計するに先立ち、解凍管表面温度をどの程度の温度に設定したらよいかについて検討した。

これは、解凍管表面温度が高ければ高いほど解凍速度は速くなるが、解凍管近傍の凍土中の氷が融解した水は沸騰すると極端に伝熱特性が悪くなるばかりか予期せぬ個所から蒸気が噴発する危険性もあるため、常に解凍管近傍の凍土中の氷が融解した水の沸点よりわずかに低くかつ安定して制御できる温度に設定する必要が有ると考えられるためである。

ここで、シールド工法における解凍部には一般に数MPaの地下水圧が作用しており、この場合の純水の沸点は圧力が0. 2MPaで120. 2℃、0. 3MPaで133. 5℃、0. 4MPaで143. 6℃、0. 5MPaで151. 8℃、0. 6MPaで158. 8℃などとなる。

現在施工される最も深いシールドトンネルは約70m(解凍施工部)であり、地下水位を考慮して解凍部に作用する水圧が最大0. 6MPa程度作用するものとし、解凍管表面温度を最高で150℃に制御する条件で試算した結果より各解凍管に装備するヒーターの能力を4kWと仮定した。

次に、表－1に示す各種電気ヒーターを選定し、実施工に適用するために各々の伝熱特性と制御性について予備実験を行った。

図－2に示す実験装置を用い、水を満たした水槽中に挿入したヒーターを加熱し、加熱に伴うヒーター温度、解凍管外面の温度と水槽内の水温(解凍管近傍)を計測する方法で予備実験を行った。

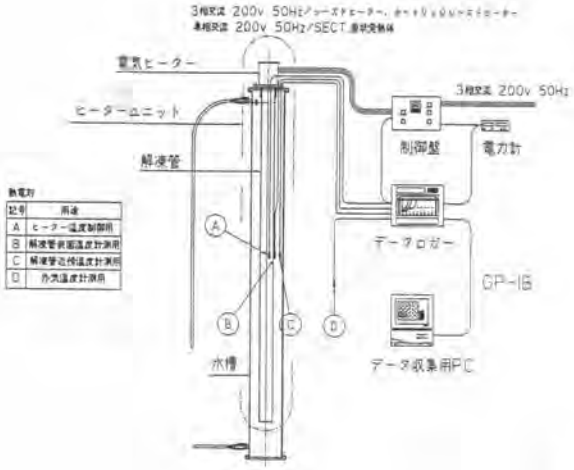
なお、この実験は実大規模で計画し、実験条件に合う圧力容器を用意するのは実際的でないことから、大気圧下で行ったため解凍管表面温度を95℃に保つようにヒーター温度を制御して各部の温度を計測し、その結果を表－2に示す。

ヒーターの伝熱特性及び制御性はヒーター温度(t_1)と解凍管外面温度(t_2)との温度差(Δt)が小さいほうが良いと考えられる。(ヒーターによる発熱量が有効に凍土解凍管外に伝達する事、また実施工においてはヒーター温度により解凍管表面の温度を制御する事から応答性が良い)

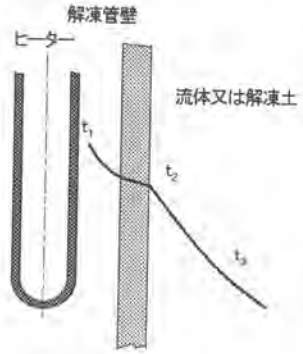
表－2より、強制水循環方式がΔtがもっとも小さく、伝熱特性、制御性共に優れていると考えられるため、これを採用し実用システムを構築する事とした。

表－1　加熱方式比較表

名　称	シーズドヒーター方式（熱伝導性パテ充填）	シーズドヒーター方式（水循環）	カートリッジ・シーズドヒーター方式	面状発熱体方式	SECT方式
概念図	シーズドヒーター 熱伝導性パテ 解凍管	シーズドヒーター 水循環ポンプ 解凍管	カートリッジ・シーズドヒーター 解凍管	面状発熱体 解凍管	内管(炭素鋼・銅) 加熱端子 外管(解凍管)
仕　様	AC200Vx3px4kW	AC200Vx3px4kW	AC200Vx3px4kW	AC200Vx単x2kW	AC5.4Vx単x4kW(2kW)
装置概要	・シーズドヒータと解凍管の間に熱伝導性のよいカーボングラファイトのパテを充填した方式	・解凍管に熱媒としてオイルを満たし，水循環ポンプで強制対流を起す方式	・シーズドヒータを酸化マグネシウム充填した管状鋼管にセットしカートリッジ化し，解凍管への装着を容易にした方式	・炭素系面状発熱体を解凍管内に巻き込み内面に密着させた方式	・交流電流の表皮効果により外管内面及び内管外面自体を発熱させる方式 ・内管が銅の場合は表皮効果が起こらないため発熱しない（この場合2kW）



図－2　実験装置構成図



図－3　熱伝達模式図

表－2　予備実験結果

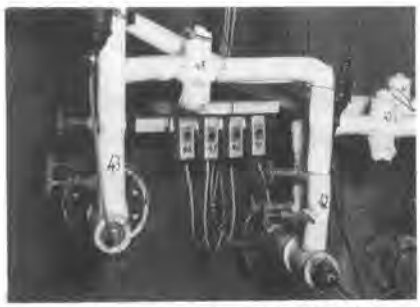
ヒーター名称	熱伝達方式	各部温度(℃)		制御温度
		t_1	t_2	$\Delta t=t_1-t_2$
シーズドヒーター	強制水循環	100	95	5
	高熱伝導性パテ充填	105	95	10
カートリッジ・シーズドヒーター	高熱伝導性パテ充填	186	95	91
面状発熱体	接触熱伝達	153	95	58
SECT	直接加熱(銅内管)	139	95	44
	直接加熱(鉄内管)	225	95	130

Ⅲ. ヒーターシステムの概要

個々の解凍管内に汎用のプラグヒータ(5kW 200V 3φ)を装備した内管を挿入したユニットをシリーズに接続した1つの解凍管列について、汎用の循環ポンプを装備した小型のリザーバタンクを持ち、リザーバタンクから送り出した熱媒流体を順次各解凍管に循環させ、ヒータから発生した熱を効率よく解凍管表面に伝達するための流速を得る構造を有するシステム(図－4下、5)で、1系統に10本程度の解凍管を接続可能。

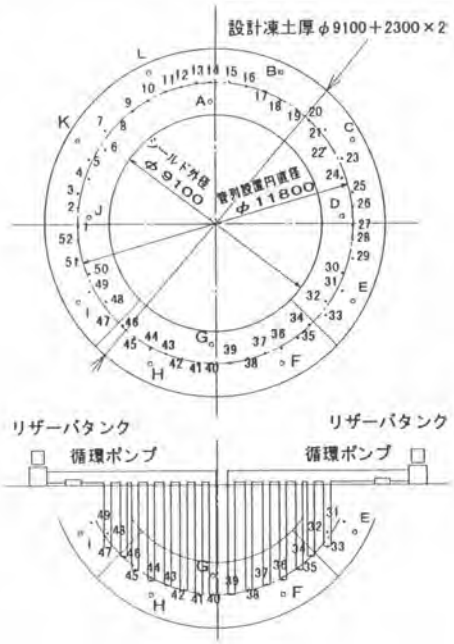
各解凍管にヒータを設置することにより解凍部での温度をきめ細かに設定でき、熱媒としての水の温度を沸騰しない範囲で、できるだけ高く保つ事ができる。

温度制御はサーモスタット式の温度調整器(設定温度でON-OFF)を使い、測温ポケットにて計測した熱媒流体の温度でヒーターの運転を制御する。

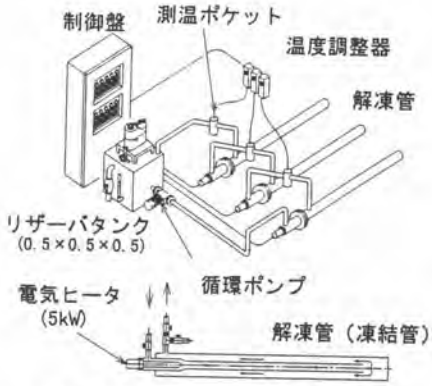


写真－1　ヒーター及び温度調節器

写真－2　循環ポンプ部



図－4　解凍管配置図



図－5　ヒーターシステム構成図

写真－3　リザーバタンク及び制御盤

Ⅳ. 実証施工

今回の強制解凍システムを、東京ガス(株)扇島工場受入配管シールドトンネル工事(海上工区)に適用して良好な成果が得られたので紹介する。

1. 工事概要

解凍工期　　:1996. 2. 12～1996. 4. 22(1996. 3. 8より加熱開始)

施工深さ　　:DL－38. 600m(到達部トンネルCL)＝(海底下23. 2m＋水深15. 4m)

トンネル外径　:φ8900mm(一次覆工)

最大解凍距離 :1. 5m

解凍管　　:13本(各5kWプラグヒータを装備)を坑口よりトンネル下部のみ設置

解凍管設置方向:海上立坑よりトンネル軸線に対し平行に設置

電気ヒーター　:5kW 200V 3φ／1ヵ所

解凍開始時平均凍土部温度:－13. 5℃

解凍開始時凍土部含水率　:約70%

なお、解凍管表面温度を高くするため、熱媒流体に油などを使用する事が考えられるが、今回の施工場所が海底であることから海洋汚染の可能性を考慮し、熱媒流体に水を採用した。

また、凍結管はトンネルの軸方向全周にわたって設置したが、今回の施工位置が海底下かつ大深度であるためトンネル自体の沈下防止のみを考えればよく、トンネル下部90°を強制解凍の範囲とした。

図－4の1～52の凍結管のうち33～47にヒーターシステムを設置し、さらに、33～39、40～47の2系統に分けて施工した。

なお、施工中における各部凍土の温度変化を図－4 A～L の測温管で計測した。

2. 施工結果及び考察

測温管 A～L の内、解凍範囲にある測温管はF, G, Hで、その温度変化を図－6に示す。また、解凍範囲以外での地中の温度変化の例としてKでの温度変化を同様に図－6に示す。

図より、解凍範囲内の測温管設置位置では、ほぼ9～12日間で解凍しているのに対し解凍範囲外のKでは解凍終了時まで凍結したままであった。

また、今回の解凍施工条件で施工期間の予測を数値計算により事前に行った結果を図－7に示す。

図より、今回の解凍条件で(最大解凍距離:1. 5m／平均凍土部温度:－13. 5℃／解凍開始時凍土部含水率:約70%)従来の強制解凍工法(タンク部循環水温60℃の時管路における温度低下により解凍管位置表面55℃と仮定)では約60日、に対し本システム(解凍管温度を90℃)では約30日で解凍すると予測できる。(因みに、自然解凍なら過去の経験から200～300日と予測)

測温管F、G、Hにおける解凍管列からの距離と解凍時間(解凍開始後温度が0℃になった時間)を予測曲線(図－7)上にプロットした。

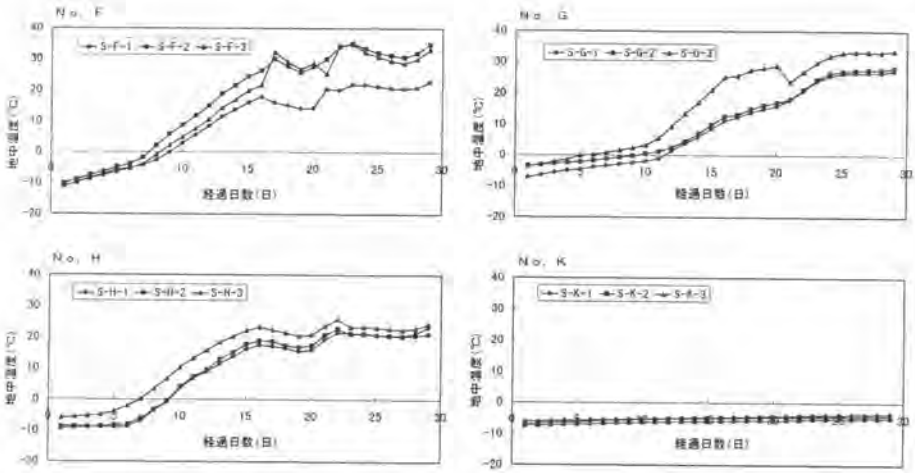
その結果、現地凍土とほぼ等しい含水率70%の曲線付近にあり、解凍時間と距離の関係がほぼ予測曲線(含水率70%)に沿って進むと推定した。

この含水率70%のグラフで、設定した解凍範囲1. 5mの凍土(設計では最大1. 35m)を解凍するのに、約

1ヵ月間かかることから、余裕を見て、加熱開始から40日間加熱を継続することにした。

沈下計測とミルク注入管理から約30日で解凍が終了したものと判断したが、その後の経過を確認する意味で40日間加熱後システムを停止し、施工を終了した。

このことより、『従来の強制解凍工期の半減』及び『付帯設備を含む設備全体を小型化』という目標が達成できた。

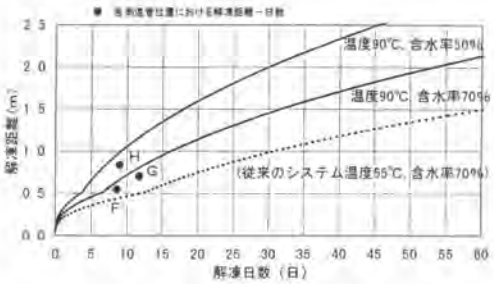


図－6　測温管部温度変化

V.あとがき

本施工において、最大解凍距離1．5mを約1ヵ月 の加熱で解凍を完了したことにより、ヒーターシステムの有効性が実証できた。

本システムは小型簡便であるため、立坑やトンネル内空の狭い他の現場にも容易に設置可能であるとともに、解凍期間が大幅に短縮出来るなどのメリットが有るため、開発者として一般に広く普及する事を願ってやまない。



図－7　解凍距離と日数の関係（予測曲線）

今後は、予備検討の項でも述べたように、本システムでは解凍管表面温度をより高く保つ事で解凍期間がさらに短く出来るため、熱媒流体に大気圧下での沸点が十分高いものを用いてその伝熱特性及び制御性を検証して行きたい。

また、今回施工したものと地盤の状態その他条件の異なるケースでさらに施工を行いデータを収集し、普遍的かつ合理的な工法にする予定である。

19.　光波測距儀を用いた空洞調査システム

不動建設㈱：*勝原　法生，大塚　　誠
フドウ技研㈱：松尾伸大郎

（1）はじめに

本システムは、流動化処理工法の信頼性向上を図るための支援システムとして開発したものである。流動化処理工法とは、建設現場で発生した土に流動性を高めるために調整泥水と固化材を適切な配合で混合し、用途に適した流動状態で、埋め戻し、裏込め等が必要な打設場所に直接投入あるいはポンプ圧送等の方法で流し込み、混合物の固化を待って処理の目的を果たす工法である。これまでの施工実績を踏まえて流動化処理工法に望まれるのは着工に先立ち正確な埋め戻し量が求まること、施工中の出来高管理が確実にできることである。特に大規模工事においては埋め戻される空洞のボリュウムを正確に把握することで工費、工事期間を精度良く見積もることが可能になる。さらに空洞の量のみだけでなく、空洞の形状をビジュアルにすることで工事全容が把握できる効果的な管理システムとなっている。今回のシステムはプロトタイプに続く２台目になるもので実用的なシステムとして完成させるべく取扱いの簡略化を図っているところである。

（2）システム概要

図－１にシステムの概念図を示す。システムは次に示す３つの部分から構成される。

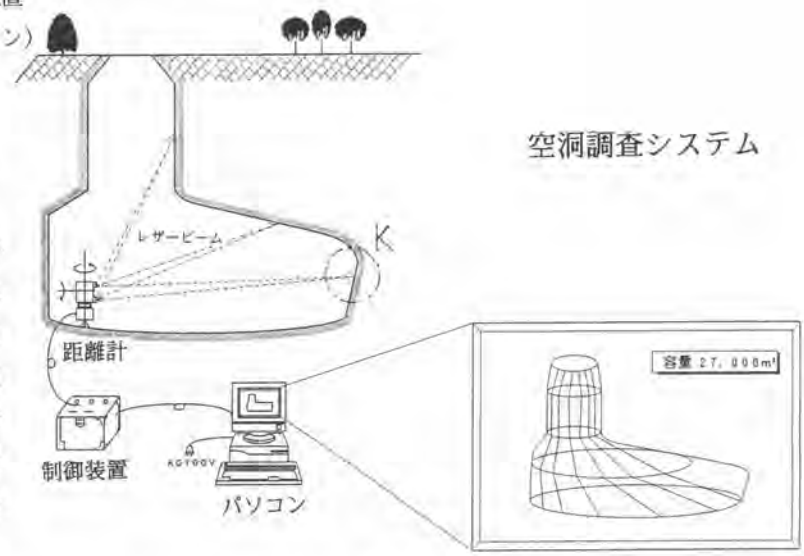
①距離計（反射ミラーを必要としない光波測距儀）

②距離計回転制御装置

③画像処理（パソコン）

計測にあたっては空洞の内部に上記①～③計測装置一式をセットする。

距離計は３６０°水平方向に振れ、９０°上方向に、６０°下方向に自由振れる構造を取る。したがって距離計の下方が平らな場所では一度の計測で空洞全方位の計測（空洞量）が可能である。



図－１　システム概要

写真－１は距離計のヘッド部を示したものである。この部分には光波を発射し反射光を受けるためのレンズが２個見える。計測にあたっては空洞の内部に上記①～③の計測装置一式をセットする方法、あるいは①距離計のみを天井部から空洞内へ挿入する方法等状況に応じて使い分けることになる。

写真－１

（３）計測原理

図－１の計測面K（一点鎖線で囲った部分）を正面から見た部分図が図－２－(a)で、点線に沿ったk1, k2, k3, ･･･は計測の順路、位置を示している。図－２－(b)は距離計からk1, k2, k3･･･ 点までの計測距離 r1, r2, r3 ･･･ を示したものである。 k1, k2, K3 ･･･ は距離計を等角度振って得た点であるからk$_i$ 点の座標（x$_i$, y$_i$, z$_i$）は距離r$_i$ から次式で計算できる。

$$x_i = r_i \times \cos\phi_i \times \cos\theta_i \quad \cdots\cdots ①$$

$$y_i = r_i \times \cos\phi_i \times \sin\theta_i \quad \cdots\cdots ②$$

$$z_i = r_i \times \sin\phi_i \quad \cdots\cdots ③$$

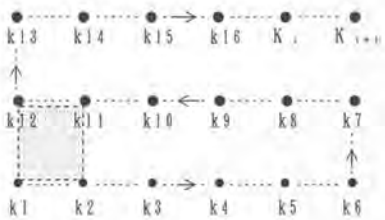
（θ_i, ϕ_i は計測基点からの水平角、仰角（俯角））

１）計測面の表示

計測面の表示は隣合う計測点を頂点とする４角形（図のシャドウ部）で１面を構成し、これを連続処理することで全体の面を表してる。しかし、これだけの処理では空洞は面が重なり合っただけののっぺりした表示となり、立体的な像とはなりえない。これを解決するために影を付ける手法（シェーディング）で処理している。例えば図の左上方に仮想光源をおいて光の当たる部分と当たらない部分に明暗を付けて表示することで立体像をイメージさせ、また、ペイントする色の最適な色調を選ぶことでこの立体像をよりクリアなものとしている。

２）空洞体積の計測、容量表示

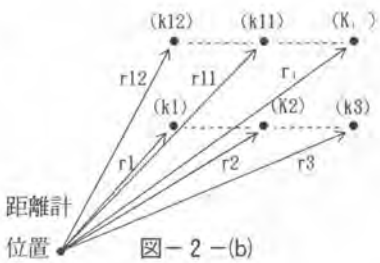
体積の表示は１）で求めた４角形の１面を底面とする四角錐の体積を求め、これを全体積について加算することで対象空洞の容積を求める方法をとっている。



図－２－(a)

（４）計測時間と精度

距離計の制御角度は最小0.１°としているので５０ｍ離れた壁は約９ｃｍのメッシュで計測することになる。計測時間は１点が約１秒掛かるので３６０°全周囲を計測すると１８００時間と膨大な時間が必要である。これは実用的ではない。これまでの計測経験からすると計測角度は３°とするのが精度、時間を考慮するとベターである。このとき計測時間は全周囲が２時間程度で済む。



図－２－(b)

計測範囲を限定して狭い角度内を細かく計測する必要が生じた場合は0.1°計測をする意味がある。

計測精度は測距儀の誤差が0.5%程度なので空洞容量は理論上3%以下の誤差で計測できると試算している。

(5) システム構成と仕様

本システムを構成する機器並びに仕様を表－1に示す。計測に当たっては距離計を空洞の適当な位置に水準器で水平にセットする。計測半径が100m以下であれば一度のセットで済むが、100mを越えるような場所では数度に分けてセットする。また100m以下であってもモヤがかかったり、見通しが悪かったりする場合は計測可能な範囲に分割してセットする。このときセット回数を少なくするような配置を考えると効率よく計測できる。互いに隣接するように測定した各空洞データは後処理で一つの空洞として全容を表示できる。計測器の足元付近も含めて正確に計測する場合は距離計を天地逆にセットして計測し、上下のデータを合わせることで空洞を表示する。

以上、空洞内に人が入って距離計を設置、操作する方法での計測システムについて説明してきたが、本システムは人が入れない場所での計測も意識している。たとえば直径10cmの穴につながる空洞であれば距離計をその穴から空洞部まで挿入することで計測しようとするものである。この穴は50m程度の距離であっても計測できるようにデータ送信の安定性を確保している。

ただし、現状は垂直方向のみが可能で、横方向へ挿入する方法は考慮されていない。

表－1

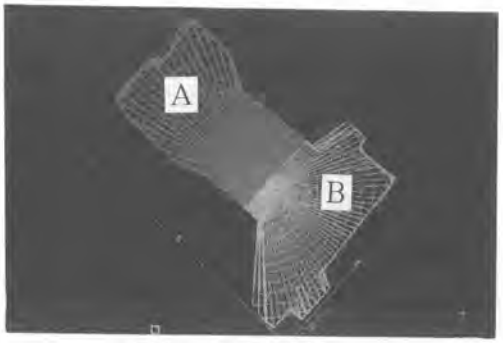
構成機器	仕様
〔距離計〕	
①測定範囲	1～100m
②距離測定精度	±1～±5cm
③測定時間	1秒／Point
④外形寸法	φ 9.5cm
	ℓ 48cm
〔回転制御装置〕	
①水平駆動範囲	360°
②垂直駆動範囲	+90°～−30°
③角度分解能	0.1°
〔画像処理装置〕	
①パソコン本体	PC-9821Na/H3
	75 MHz Pentium
②メモリー	32MB(8+24)
③HDD	350MB
〔処理ソフト〕	
①MS－DOS	Version 6.2
②WINDOWS	Version 3.1
③XCAD	Version 3.0J
④Visual BASIC	Version 2.0

写真－2

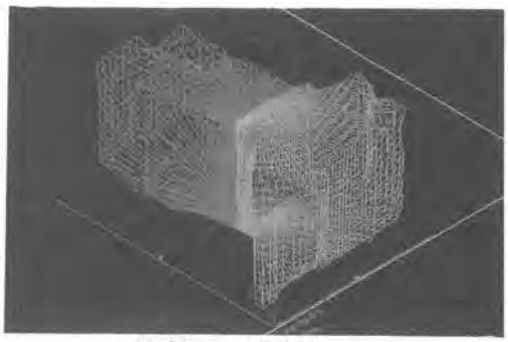
(6) 実測結果

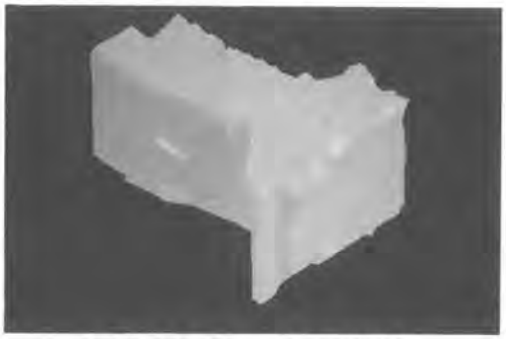
システムの能力チェックを兼ねて大谷地区採石跡地の坑道で実測を行った。写真－2に計測場所を示す。計測地点は高さが15m、奥行きが30m、幅

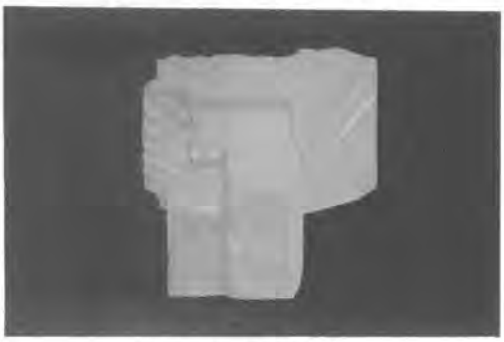
が１２mの場所である。この場所からさらに奥へと坑道は続いている。写真－３は計測結果の平面図である。A部を先に計測し、測距儀のヘッドを１８０°反転させて計測したのがB部である。これは１号機で計測したもので、ヘッドが３６０°回転できるようになっていなかったために２回に分けて計測したものである。写真－４は２地点を合成して立体的に表示したもので空洞の形状がそれなりに理解できる。結果としてこれは別々に計測した隣り合う空洞の合成処理が実際に実施された例として見ることができる。この状態にさらに前述したシェーディング処理を施したものが写真－５で、ここまでくると空洞の形状をキチンと把握できるようになる。写真－５に表示された空洞はパソコン画面上で自由に回転表示させることが可能である。写真－６は１８０°回転させたもので、空洞を真後ろ上方から見た状態を表している。このように角度を変えてあらゆる視点からの調査をすることで対象空洞の形状をビジュアルに認識できる。空洞の容積は計測を終了した後指示により数分で演算処理し、結果をパソコン画面上に表示するようにしている。



写真－３　平面図


写真－４　立体図


写真－５　シェーディング処理


写真－６　回転処理

（７）あとがき

大空洞調査システムはあらゆる空間のビジュアル化、容積を計測する場合に使い方を工夫することによって有意義に活用できるシステムであると考えている。しかしながら実測データは未だ少なく予定した性能が発揮できるかどうか未知の部分があることも事実である。特に地表面から数十m下部の空洞を計測する計画は、最適計測点を検知するシステム、地表面から空洞までの導入穴に存在が想定される地下水処理といった計測をサポートする側面のシステム整備が必要と考えられる。これらの諸問題は引き続き関係各位の適切なアドバイスを戴きながらフィールドでの計測を重ねていくことで解決し、安定した実用化システムとしていく所存である。

20. 逆打工事用フロアークライミング式エレベータの開発

大成建設㈱：駒野　敏郎，*白土　　篤

1．はじめに

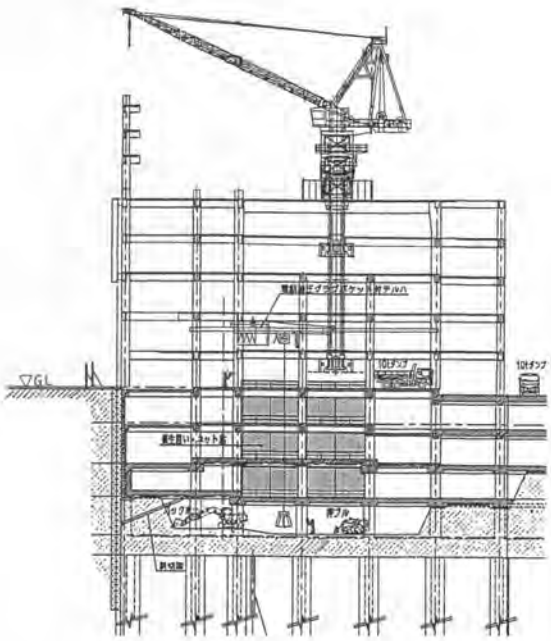
建築工事に於ける地下工事では、従来より逆打工法が用いられているが、近年頓にその採用が多く見られる。その理由として、地下掘削土量の多い大規模工事が増えたこと、また一層の工期の短縮化が推進されていること等が揚げられる。

今回紹介するフロアークライミング式エレベータは、この逆打工法による地下工事に於いて効果を発揮することを目標に開発された工事用人荷エレベータである。

2．逆打工法の利点

逆打工法とは、地下掘削工事に先立って地下躯体の柱（構真柱）を建込み、次に１Ｆ Ｌの床、梁を施工し、これらを山留めの腹起しや切梁の代替として地下掘削工事を行い、順次下階（１階→地下１階→地下２階･･･→基礎部）の躯体を構築する。

これは通常の工法（順打）と比べて、躯体の地下部施工順序が逆である。



図－１　逆打工法概念図

この逆打工法の利点としては、

①１階の床を先行して施工し、それを作業床として利用できる。そのため、桟橋構台が不要となり、仮設の大幅なコストダウンに繋がる。

②地下の各階の床を支保工として利用することができるため、施工面積が広大な現場や敷地境界が複雑に入り組んでいる現場で、切梁･腹起し材の設置作業が極めて困難な場合、また立地条件等により山留め用アースアンカ工法が採用できない現場の山留工法としても効果を発揮する。

③本設の柱（構真柱）を躯体構築に先行して建込むため、地下工事と並行して地上躯体の工事を行うことが可能となり、大幅な工期短縮を図ることができる。

④極度の高所作業が無くなるため、作業の安全性が向上する。

以上の理由から、近年逆打工法が多く採用されており、それに伴い本工法に適合した各種施工機械が順次開発され、使用されている。しかし経済性、操作性、能力の面等で、十分と言えないものもあり、更なる画期的な機種の開発が望まれている。

写真－１　逆打工法地下掘削

写真－２　逆打工法躯体工事

3．本エレベータの開発目的

前述したように、逆打工法自体は多くの利点を有する工法であるが、この工法を採用した工事に於いても、地下部への人員の昇降及び資機材の揚重･搬入に関しては旧態然とした形態を取っている。以下に、多く採用されている事例を示す。

①仮設階段による人の昇降

地下掘削工事過程では、人員の昇降については懸垂型仮設階段（スーパーラダー）を多く使用しており、これは狭隘で揺れが多く使用者の疲労度も少なくない。

②移動式クレーンによる資機材の搬入

資機材の揚重･搬入については、作業床の荷取り開口部から移動式クレーン等により荷卸しを行っているが、数層の床に最小限に開けた開口を利用しているため、常に吊り荷と床端部との接触による荷崩れ･落下事故の危険性を孕んでいる。

また、荷取り開口部周囲はクレーンが稼働するため、このエリアについては、地下躯体と上部躯体同時施工といった逆打工法のメリットを活かすことができない。

③在来型工事用エレベータによる資機材の搬入

在来型工事用エレベータは、ベースの盛替えができないため、逆打工法に於いてこれを設置して地下各階で利用できるのは、最下階の床盤が構築完了しその盤上にエレベータのベースを設置できる時点からである。従って、地下躯体工事の最終段階で設置しても揚重設備としての利用効果は、あまり期待できず補助的あるいは短期間の作業に利用されているのが現状である。

このような背景の下に，逆打工法に適合したエレベータの開発に着手し、条件を下記のように設定した。

①地下１階床構築完了時点から設置できること。

②１階床上で、組立･解体･クライミング作業を行えること。

③在来のラック＆ピニオン方式で長尺型の工事用エレベータを、ベースマシンとすること。

④フロアークライミング作業は自力で行うものとし、揚重機は不要とする。

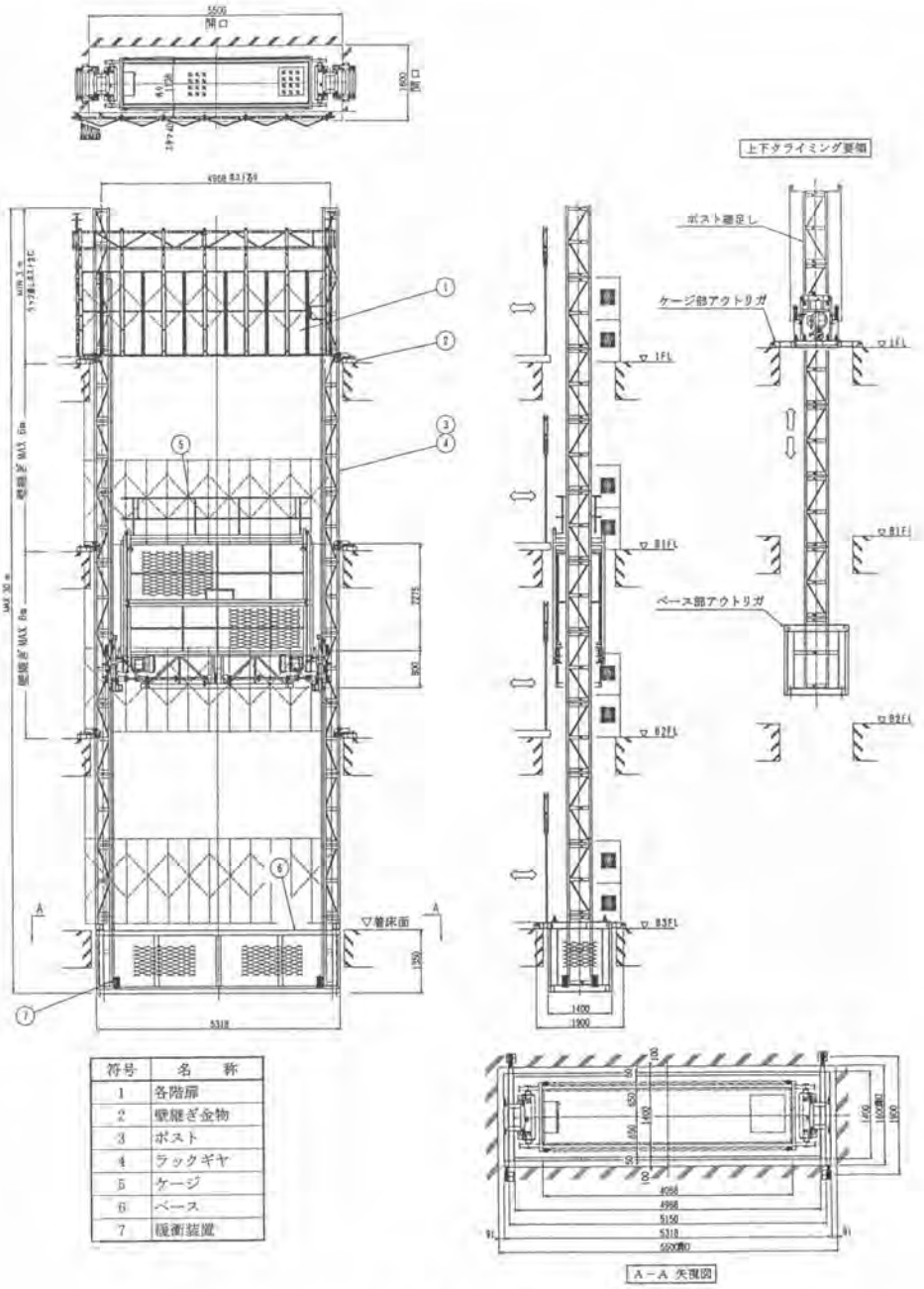
⑤エレベータ本体及び付帯設備全てに於いて、１Ｆ床からの突出高さを極力低く押さえる。

4．フロアークライミング式エレベータの概要

以上の条件を基に、建築工事等の逆打工法に於いて、地下掘削、地下躯体工事の進捗に合わせてポスト及びベース部を下方へ逆クライミング（下降とポスト延長）させて行くことを最大の特徴とする工事用人荷エレベータを開発した。

本エレベータは、ケージ部及びベース部に、伸縮式アウトリガを装着しており、ケージ部アウトリガを収納し、ベース部アウトリガを床上に拡張･固定し、これに装置全体を支持させた状態で通常運転を行う。

ポストの壁継ぎ金物は、ポストに対してローラ支持機構としており、これはポストを建物躯体に支持した状態でも昇降移動はフリーになるものである。



符号	名　称
1	各階扉
2	壁継ぎ金物
3	ポスト
4	ラックギヤ
5	ケージ
6	ベース
7	緩衝装置

図－2　全体図

［仕様］

・積載能力：990kg（定員 15 人）
・昇降速度：24m/min
・使用揚程：最大 30m
・電 動 機：11kW-4P×2 台
・駆動方式：ラック＆ピニオン駆動
・運転操作方式：ケージ内操作レバー方式
・呼出し方式：各階設置のｲﾝﾀｰﾌｫﾝによる
・ケージ内有効寸法：W0.97×L4.06×H2.20
・電　　源：400/440V　50/60Hz×3 相

・安全装置：ガバナ式自動落下防止装置
過荷重検出装置
上下昇降制限装置
上下昇降最終制限装置
非常停止押し釦スイッチ
ケージ傾斜検出装置
各階扉開放ロック装置
ベース部衝突緩衝装置

写真－３　ケージ全景

写真－４　ケージ部アウトリガ

写真－５　ベース部アウトリガ

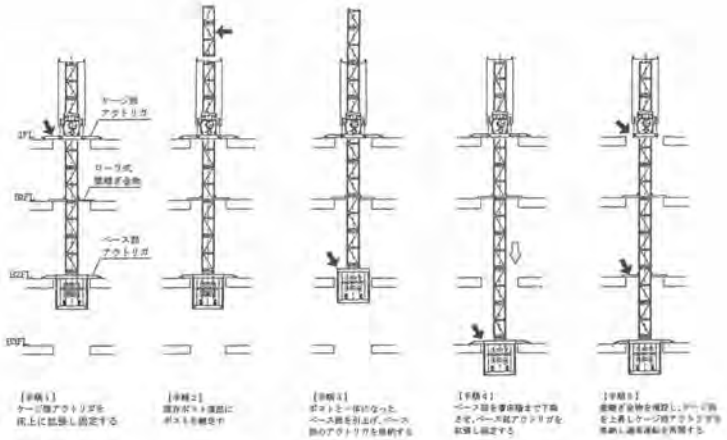
写真－６　ローラ式壁継ぎ金物

５．フロアークライミング方法

本エレベータは、ケージ部アウトリガとベース部アウトリガを交互に地下階床に支持し、ケージに設置された電動機により支持間隔を伸縮させ、装置全体を下方へクライミングさせることが可能である。

この電動機は、通常運転時はケージの昇降動作に使用され、フロアークライミング作業時に於いては、ポスト及びベースの昇降動作に使用される。尚、エレベータの解体･撤去作業時は、逆の手順でポストを上昇させポスト頂部から順次撤去する。

作業の手順を「図－３」に示す。



図－3　フロアクライミング手順

6．利点

フロアークライミング式エレベータの利点をまとめると

①地下工事の工程に合わせて随時逆クライミングが可能であり、長期に渡り利用できる。

②地下、地上同時施工を行う際も、支障無く揚重作業が可能である。

③１階のエリアで組立･解体作業が可能であり、高所作業が発生しない。

④エレベータ使用により、地下工事の作業環境が改善されると共に、工期短縮が可能である。

7．使用実績

このフロアークライミング式エレベータは、１号機を実証実験も兼ねて東京都内の作業所に導入し、約１年間使用した。この間、使用者である現場サイドから、特に問題点となる指摘も無く好評であった。この様な状況の下に、現在、逆打工法を採用する当社の２作業所で、２台のフロアークライミング式エレベータが稼働中である。

・大崎駅東口再開発工事（１号機使用完了）　１階～地下４階

・下川端再開発工事（２号機稼働中）　１階～地下４階→１階～７階

・群馬県行政庁舎建設工事（３号機稼働中）　１階～地下４階

8．おわりに

本エレベータは、当社と工事用エレベータのメーカーとの共同で開発されたものであり、今後更に逆打工法を採用する工事が増加すると考えられる中、設置条件（エレベータ開口寸法､壁継ぎ取付位置､地下最大深さ等）の変化に対応し易いシステムと、積載能力の増大を検討して行く。

尚、現在は当社の工事でのみ使用されているが、今後は社内社外を問わず、広く逆打工法採用現場で使用され、効果を発揮することを希望する。

21. セルフクライミングステージの開発と実施

大成建設㈱：相川　善郎，*塩沢　茂喜
田窪　岳司

最近の高層・超高層建築の施工に関し、工法や、使用される施設等の技術面・安全面・価格面などの進歩・発展にはめざましいものがあり、例えば逆打ち工法や、積層工法等は実施する作業所毎にノウハウが蓄積され、問題点も解決されつつある。今回“Wビル新築工事”でも、地上部の施工に積層工法を採用することとし、なかでも積層工法の集大成とも言える”完全フロア積層工法“の実現に努めた。

”完全フロア積層工法“の実現には、大型揚重機・タワークレーン用の開口と、足場・ステージ等の仮設資機材揚重用の開口をなくすことが重要な課題であり、後者の課題の解決の為、“Wビル新築工事”において新しく自走する足場を開発し実施したことについて報告する。

ここで簡単に、“フロア積層工法”について説明する。一般に積層工法とは鉄骨建方階・外壁取付階・躯体工事、コンクリート打設階・設備先行施工階・耐火処理施工階といった各階を、上階から層を成し順次施工を行っていく工法である。このなかで施工上最も危険で注意を要する作業となるのが、鉄骨建方工事と外壁取付工事であり、従来の積層工法とフロア積層工法で大きく手順が違う点がこの建方工事関係である。例えば、従来の積層工法では、3階分で一節の鉄骨柱の場合、鉄骨建方が行われている節（階）から外壁取付が完了した階まで、外周は養生用垂直ネットを張っているだけの状態であり、建屋内の床に関してもタワークレーン用開口の他、床版の施工がされていない鉄骨建方部と仮設資機材揚重用の仮設開口部分等が、3階分以上の高さで常に存在している。これは未だに墜落落下災害が絶えない現状を考慮すると、安全管理上極めて由々しき問題である。フロア積層工法ではこの仮設開口を無くすべく、鉄骨建方から外壁取付まで全て一階分ずつ完了させて工事が進行していく。つまり、フロア積層工法は従来の積層工法同様一節の鉄骨柱の建方から始まるが、次に一階分の鉄骨梁の取付・本締・溶接を行い床版を敷き、その床版レベルに取付く外壁版の施工を行う。また、続いてすぐ上の階の鉄骨梁の取付・本締・溶接から外壁の取付まで、一節分を階ごとに進行していく。従って、一連の工程のなかで外周の垂直面の養生が必要な部分は最大で一階分の高さになる。床の開口に関しても資機材の運用を検討すれば、最上部の鉄骨建方をおこなっているすぐ下の階まで、完全に床を塞ぐことが可能であり、従来の積層工法より施工上の安全性が高く、作業員にとっての作業環境の向上にもつながるといえる。

“Wビル新築工事”では“完全フロア積層工法”の実現のために仮設開口を無くすことを検討した。建方工事の主役であるタワークレーンに関してだが、従来のタワークレーンを使用する場合には、マストの貫通する階分の床開口が必要である為、当社が開発したマストコラムクレーン、つまり本設の柱をマストと兼用するタワークレーンを採用する事とし、タワークレーン用の仮設開口をなくした。マストコラムクレーンは既に改良も進み、関西・四国方面の作業所での使用実績があるが、関東近県での使用は我々が初めてであった。

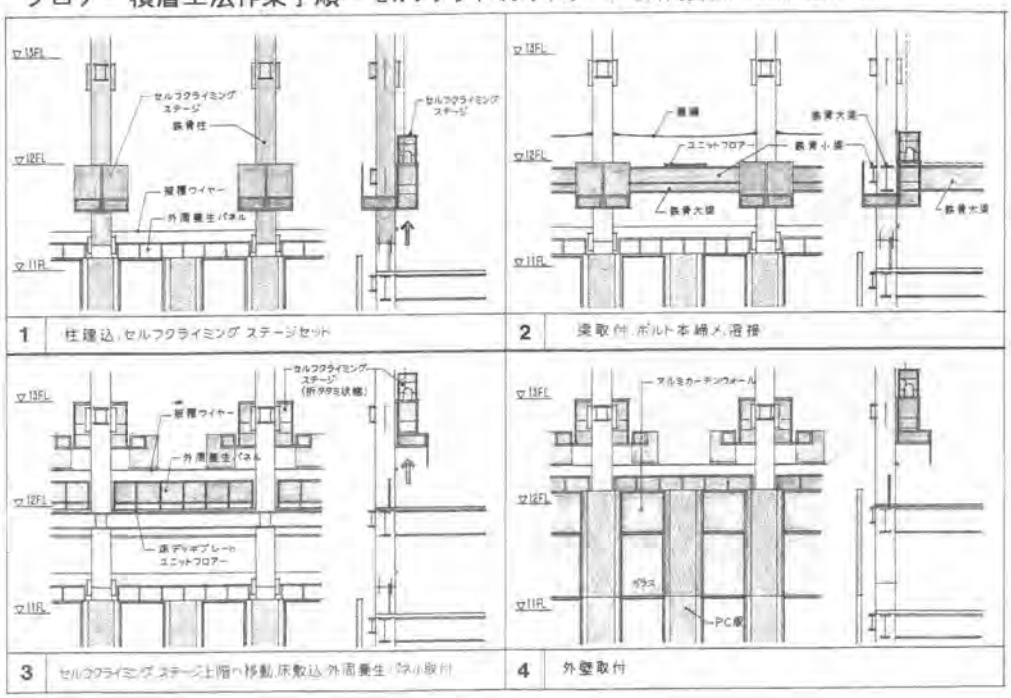
次に足場関係である。

鉄骨建方や外壁版取付等に使用している仮設足場・ステージの類は、多種多様なものがあり、開発・改良点は限界が見え始めている様にも思われている。例えば従来の鉄骨建方時、梁の取付用足場として良く使われているのが、コラムステージである。コラムステージの自重は２０kg強あり、人力で取付・取外が出来るものであるが、作業員の頭上レベルでの取付・取外時には数字以上に重く感じられる。また、外壁の取付の為に、工程上オンタイムで行われる外周部分での解体作業は極めて危険な作業に成る。また、取外した仮設足場を上層階に揚重する為の仮設開口を設ける必要が生じる。

また通常、鉄骨建方で使用する足場と外壁取付に使用する足場は、それぞれ鉄骨・外壁それぞれの構造的な納まり状況・位置・レベル等にもよるが、一般的にはその次の作業へ移行する為には足場の盛替が必要である。特に、鉄骨柱の節ごとに足場を盛替える従来の積層工法と違い、一階ずつ建方工事を納めていく“フロア積層工法”では各階ごとに足場を盛替える必要がある。これは工程上そしてコスト的にも重要な問題になった。

以上の点より、“完全フロア積層工法”を実現する為には、現在の足場やステージだけでは従来の積層工法より、デメリットが大きなものになるか、労力・コストが増えてしまいあまり進歩が見られないものになってしまうといえる。そこで当作業所では、“フロア積層工法”を採用するにあたり、鉄骨建方と外壁取付とが錯綜する外周部分の足場に関して、足場の盛替作業に危険がなく、一階ずつ適時容易に盛替が可能であり、タワークレーンでの揚重が不必要であり、手間がかからないものを開発するという目標を掲げて新しい足場を計画した。この足場を“セルフクライミングステージ（S.C.S.）”と名付けた。

フロア一積層工法作業手順― セルフクライミングステージと外周養生パネル施工手順 ―



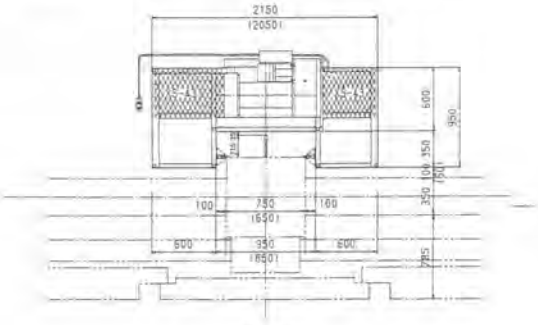
1 柱建込，セルフクライミング ステージセット

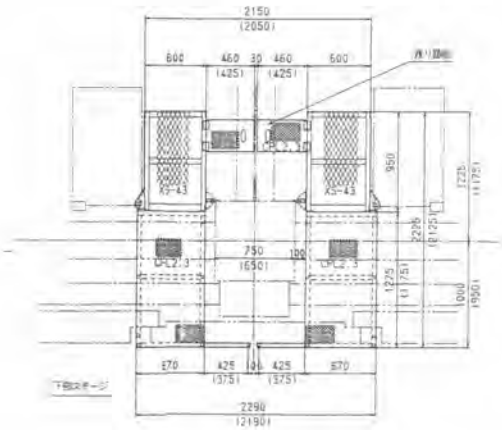
2 梁取付，ボルト本締め，溶接

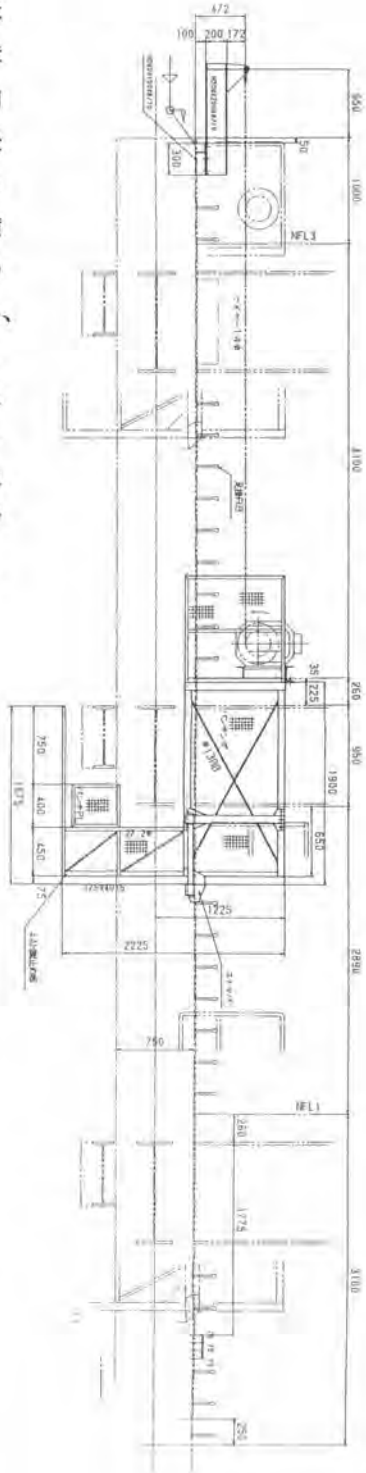
3 セルフクライミング ステージ上階へ移動，床敷込，外周養生パネル取付

4 外壁取付

S.C.S.の概要は、足場の本体にウィンチを固定し、ワイヤーの尻手側を鉄骨柱頭部に取付、ウィンチを使用して足場一個体全体を上昇させ、盛替えられるものである。また、外壁版の取付に障害とならない様、建物内部側に本体を設けている。また外周方向にある大梁や小梁を取り付ける為の踊り場部は、梁の取付完了後にS.C.S.の建物内部側へたためる様に回転軸を設け、盛替えの際に梁に干渉しない様になっている。また前後左右への横揺れ・横ずれの防止、さらに上下動させる時の振れ止めとして、鉄骨柱の建物内側出隅部分に、アングルもしくはフラットバーを先付けし、S.C.S.にこのアングルの刃、もしくはフラットバーを挟むようにガイドシューを取り付けて全体を支持するものとしている。また使用時のS.C.S.本体の落下防止対策として、ガイドシューとアングルの刃に穴を開け、ピンを差し込むこととした。ただし、上昇移動させ足場を盛替える時の位置を正確に出す為、事前にアングルの刃に設ける穴の位置を正確に設定する必要があるといえる。





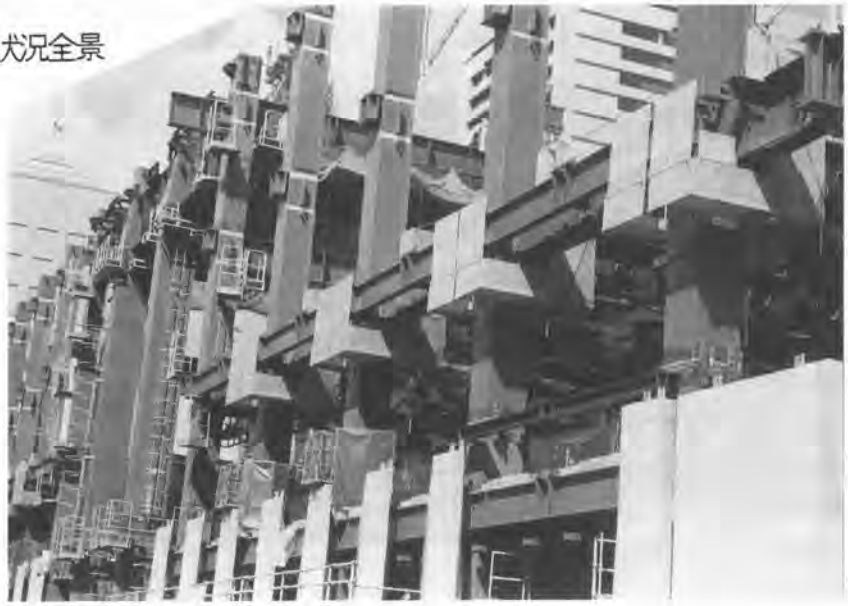


以上の様に概略がまとまり基本設計図を作成するに当たり、事前に所轄の労働基準局である、三田労働基準監督署へ幾度かご相談に伺った。対応して下さった神山安全専門官からは、監督署の見解として「この移動式ステージはリフトやエレベーターには該当しないものであること」またその条件として「当然のことながら人や荷物の上げ降ろしを目的としたものでなく、使用する作業員全員にその旨と使用方法を周知徹底させること」を遵守するようにとご指導いただいた。以上をふまえ S.C.S.の機構としてウィンチとワイヤーで稼働するものゆえ、構造的にリフト・エレベーター構造規格に可能な限り近づけることとし、その安全基準を遵守することとした。例えば S.C.S.の最大巻き上げ時のワイヤーのフリートアングルを2°以内に納めている。

ウィンチに関しては、動力 200V 用ケーブルを配線する作業がなく、作業員の電気関係の取り扱いを容易にし、かつ自重を軽くする目的で電灯 100V で動作するものを使い、クライミング時の作業としては市販の電工ドラム1つで各所順次廻ることを可能にした。また鉄骨柱1節内での S.C.S.のクライミングの操作を行う場所として、次回の鉄骨建方（梁の取付）を行う直下の階としたことで、“完全フロア積層工法”の場合、操作場所は建物内部の床版施工完了部分となる。実際に S.C.S.のクライミングの操作は上昇・下降のボタン操作のみで可能であり、手間も掛からず、常にクライミングの状況は操作する作業員が直接目視により確認しながら行え、作業員が建物外周に身を寄せる危険作業は全くなくなった。工程面からもクレーンによる仮設足場の揚重作業が必要でなくなるため、他の揚重作業と工程の調整の必要がなくなり、独自に作業を進めることが可能である。

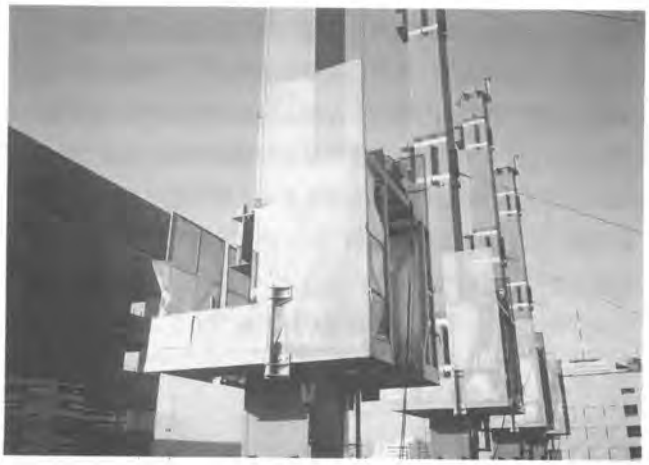
鉄骨柱の節が変わる時点での S.C.S.のクライミングの操作は、ウィンチのワイヤーを鉄骨柱に先付けして建方を行い、そのワイヤーをウィンチへ仕込み替えるだけである。従って、鉄骨柱1節内でのクライミング時同様、クレーン等揚重機械を拘束することや、作業員の人力で上階へ移動することも一切ないといえる。

設置状況全景



S.C.S.の製作開始と平行して、我々は何度か実際に S.C.S.を使用する作業員を集め検討を重ねた。作業所敷地内に試作機を設置して、関係各者だけでなく広く意見を求めることもした。その度毎に何度も検討を重ね、意見を S.C.S.に反映させることで改良をすすめた。

こうして改良を進めた S.C.S.を用いて、いよいよ“完全フロア積層工法”による積層工事が進められた。誰もが初めて使用するため、使用開始当初は賛否両論が続出し、実際に使用してみえる問題点もでて、一ヶ月間は改良しながら使用する状態が続いた。また実際に S.C.S.を使用する作業員から数々の意見がでたが、我々が常に前向きで居られたのは、その全ての意見の根底には“コラムステージを盛替えるより、この新しい足場のほうが安心して作業ができる”との考えがあり、“だからここをこうして欲しい”と、作業員が積極的に S.C.S.の改良点を提案してくれたからである。この時点で安全面に関する我々の目的は、既に達成していたと判断できる。また各フロアでの床仕舞いが早く、鉄骨建方を行っている階の三階下のフロアでは、既に床コンクリートをフロア全面に打設している状態である。天候等の諸事情で足場が放置され、外壁取付施工時に障害となる様なケースもなかった。鉄骨工事後の後工事に対し、影響を及ぼす様なことは全くなく、同時に施工性も向上した。



使用時

積層工事ばかりでなく一般の工事でその作業一つ一つに最も適した足場を計画・検討することは、極めて重要なことである。一つの足場で全作業可能となる工事もあるが、全ての作業が種類の異なる足場が必要となる工事もある。作業員に無理強いして足場・ステージを兼用できたとしても、施工性が下がり、品質の確保が難しく、安全管理上問題があるようでは計画自体に問題がある。今回、我々が試みた“完全フロア積層工法”でも、一階ずつ構造体を構築していく工法であり、仮設足場・ステージ関係の転用が工程・安全面で大きな課題になったが、この“セルフクライミングステージ（S.C.S.）”を使うことで順調に工事を進めることができた。我々が目標とした“完全フロア積層工法”は全て計画に沿って進み、平成９年３月に無事故・無災害で上棟を迎えられた。従来の足場・ステージだけでの積層工事に比べ、“セルフクライミングステージ（S.C.S.）”の使用により、施工性・安全性共に飛躍的に向上したものといえよう。

“Wビル作業所”で、地上Ｓ造部分の建方工事を積層工法で行うことの検討に当たり、種々の作業で使用する足場の盛替えは工程的に重要であり、数量検討はコスト的に重要であった。従来の足場だけを使用していては、“完全フロア積層工法”の実現は極めて難しい。そこで、開発したものが“セルフクライミングステージ（S.C.S.）”である。施工性・安全性共に優れる“完全フロア積層工法”が実現でき、厳しい工程のなか無事上棟を迎える為には、この“セルフクライミングステージ（S.C.S.）”が必要不可欠なものであった。積層建て方工事をフロア積層工法で検討する際、この自走での盛替えが可能である“セルフクライミングステージ（S.C.S.）”の様な作業床を開発することは非常に有効であるといえる。

在来積層工法

フロア一積層工法

22. 外壁カーテンウォールの取付け方法
～オーバーハングした建物への適用～

大成建設㈱：*西村　正宏，森　　正人
嶋　　規，須藤　卓雄

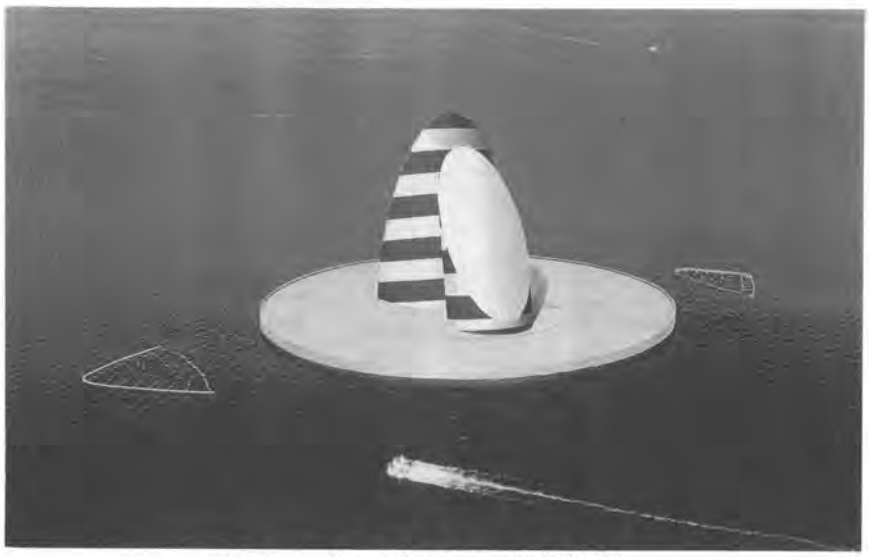
1．はじめに

今世紀最大のビッグプロジェクトの１つである東京湾横断道路の川崎寄りに位置する川崎人工島は工事中はシールドマシン発進立坑として利用されたが、完成後にはトンネルの換気設備（換気塔）となる。

建設される換気塔は、２本の円柱を傾けて建て、各々の円柱を斜めに切断した形状をしており、その施工は非常に難度が高い。特に、円柱の側面を構成する円筒面の傾斜側では、その躯体は地上部で頂部よりも１０ｍ以上も内側へ入り込んでおり、通常のクレーン作業ではその部位の外壁パネルの取付けは不可能であった。この部位の外壁パネル取付けに当たっては、揚重時にパネルを案内するガイドレールをあらかじめ躯体鉄骨に仕込み、上階に設置したウィンチにより、地上から躯体に沿わせて外壁パネルを取付け位置まで揚重する方式を採用した。この取付け方式を実現するため、鉄骨に仕込まれたレールに沿って昇降する枠、ウィンチ、およびワイヤを案内するシーブなどから構成されるパネルの揚重システムを開発し、工事に適用した。

工事場所は海上のため常時強い風が吹いていたが、本方式は風の影響を受けにくく、安全に作業を進めることができた。

本報では、対象作業の概要を説明した後、システムの概要・本システムを構成する技術を紹介し、最後に工事への適用結果を報告する。



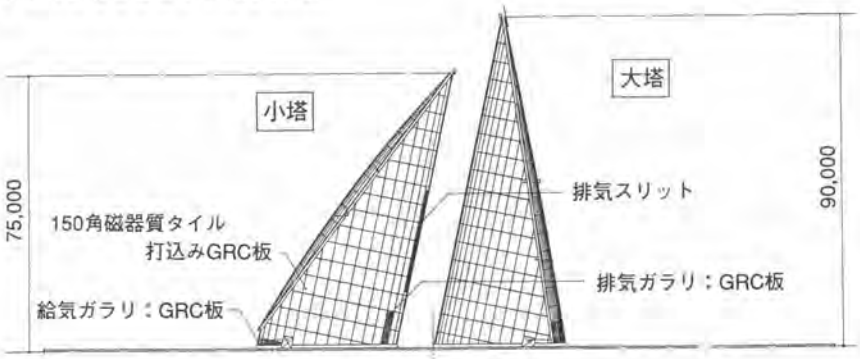
図－１　川崎人工島換気塔　完成予想図

2．対象作業の概要

2．1　建物形状

建設される換気塔は図－2に示すように2棟あり、いずれも円柱を12°傾けて建て、斜めに切断した形状をしている。図において左側の塔を「小塔」、右側のものを「大塔」と呼んでいる。大塔、小塔とも外壁にはＧＲＣ板（Glassfiber Reinforced Concrete Panel）を取り付けた。

この際、問題となるのは小塔の円筒面の内、大塔側の半周の部分であり、最大15mのオーバーハングを生じており、通常のクレーン作業ではその取付けはほとんど不可能に近く、パネルの大きさ（約3.2m×5.0m）と、工事場所の周囲が海上であるという立地条件より、施工時の風による影響は非常に大きなものとなることが予想された。

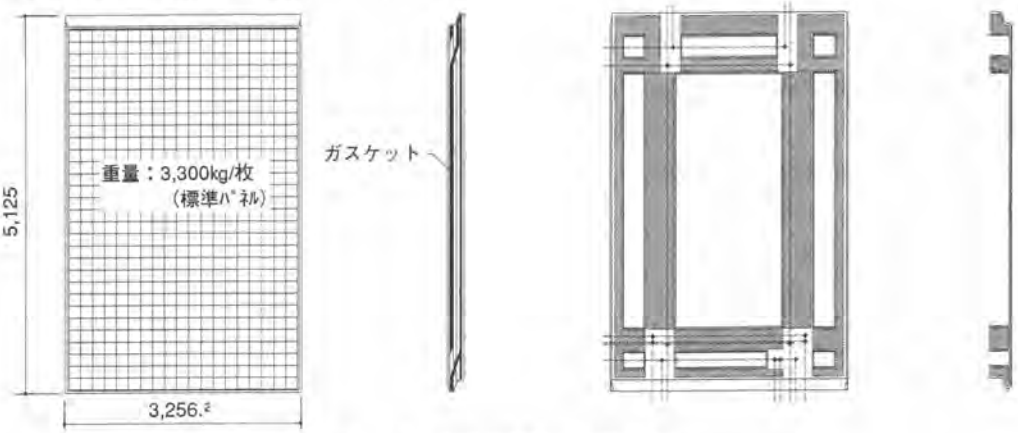


図－2　換気塔（立面図）

2．2　外壁パネルの概要

小塔の円筒面に取り付ける外壁パネルの標準的なものは、図－3に示す形状をしており、□150の磁器質タイル打ち込みのＧＲＣ板となっている。裏面には補強のためのリブが構成されており、複雑な形状をしている。また、一部には排気スリットやガラリの付いたものがあり、多少形状が異なる。

ＧＲＣ板の周囲の小口には、止水のためのガスケットが二重にセットされており、施工時にはこれを痛めないよう留意する必要がある。



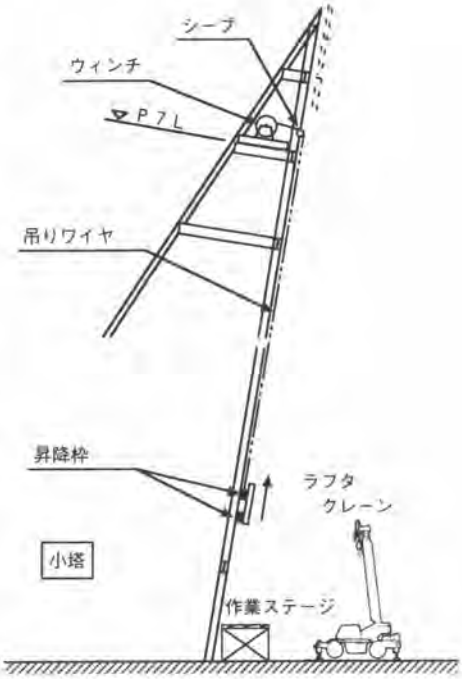
図－3　小塔円筒面　外壁パネル

3．システムの概要

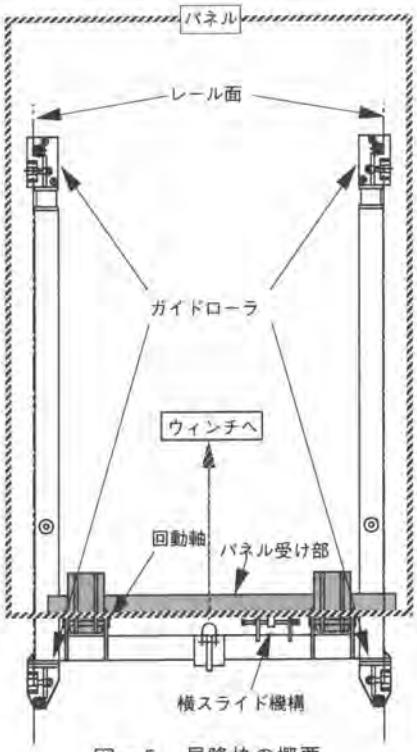
システムの概念図を図－4に示す。システムは鉄骨に取り付けられたレールに沿って昇降する昇降枠、昇降枠を巻上げ・下げするウィンチ、およびワイヤを案内するシーブなどにより構成されている。以下に概要を記す。

- 昇降枠と取り合うレールは、鉄骨ファブにおいて取り付けておく。
- Ｐ７Ｌにウィンチを設置する。各施工列へのワイヤの振り分けは、ウィンチの旋回とシーブの適宜配置により行なう。
- 昇降枠へのパネルの固定は、パネルに打込まれたインサートにボルトを用いて行なう。
- 地上における昇降枠へのパネルの取付けは、昇降枠に組込まれた反転機構を用い、移動式クレーンにより行なう。
- パネルは当該施工列の上方のものから順に取り付ける。
- パネルの揚重は、既設隣接パネルのガスケット保護のため、50㎜横にオフセットした位置で行なう。
- パネルの最終位置決めは、ウィンチによる微速昇降と昇降枠に組込まれたパネルの横スライド機構を用いて行なう。

パネルを揚重する昇降枠は図－5に示すものであり、上下左右4箇所のガイドローラでレールと噛合っている。パネルは揚重時には、8本のボルトにより昇降枠と接合されているが、上部6本のボルトを外すと、（面外方向ファスナーボルトをセットした後）横スライド機構によりパネルを横方向へ移動できる。また、昇降枠下端のパネル受け部は、水平位置から垂直位置まで反転（回動）できる機構となっている。この機構により、地上での昇降枠へのパネルの取付け作業をスムーズに、かつ安全に行なえる。



図－4　システム概念図

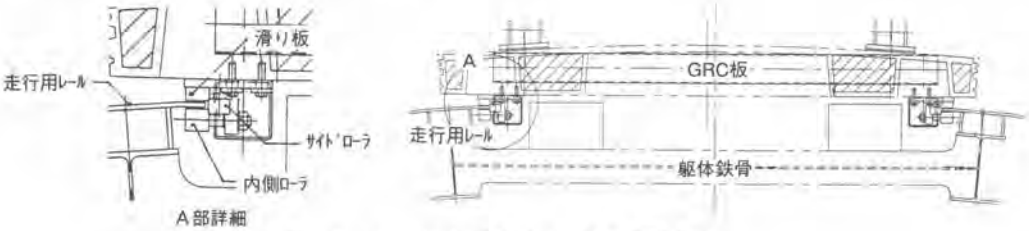


図－5　昇降枠の概要

4．本システムの構成技術

4．1　走行用レール、ガイドローラ

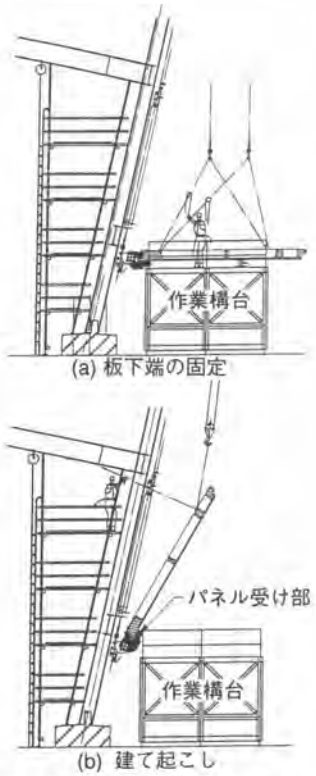
走行用のレールは躯体鉄骨の柱に溶接、およびボルトを用いて、あらかじめ鉄骨ファブにおいて取付けた。躯体鉄骨、走行用レール、昇降枠（ガイドローラ）、ＧＲＣ板の取合い（平面図）を図－６に示す。ガイドローラは、面外方向については、内側のローラと外側の滑り板とでレールをはさむことによりパネルの位置を規制している。面内方向については、両側のレールの内側をサイドローラで押さえることにより位置規制をしている。



図－６　レール・ガイドローラーの取合い

4．2　ＧＲＣ板の昇降枠への取付け

ＧＲＣ板は通常のPCa板などと同様に、施工場所の近傍までは水平の姿勢、つまり平（ひら）の状態でクレーンなどにより運搬されてくる。昇降枠はあらかじめ施工列の走行用レールに組付けられているので、ＧＲＣ板をその角度に合わせて、昇降枠と固定する必要がある。以下、その手順を説明する。移動式クレーンで水平に吊られてきたパネルの下端を、昇降枠下端のパネル受け部に差し込み、ボルトで固定する。（図－７(a)）その後、パネルの下側の玉掛けワイヤを外し、パネル上部をクレーンにより巻き上げる。（図－7(b)）この時、昇降枠下端のパネル受け部は回動自在になっているので、巻上げ量に応じてパネルは建て起こされてくる。クレーンで巻き上げられる限界まできたら、躯体にセットしたチェンブロックをパネル上部に連結し、昇降枠の角度に合うまでさらに引き込む。ＧＲＣ板と昇降枠との角度が一致すると、両者の面内方向の位置も一致しているので、ＧＲＣ板のインサートを利用して、６本のボルトによりに固定する。



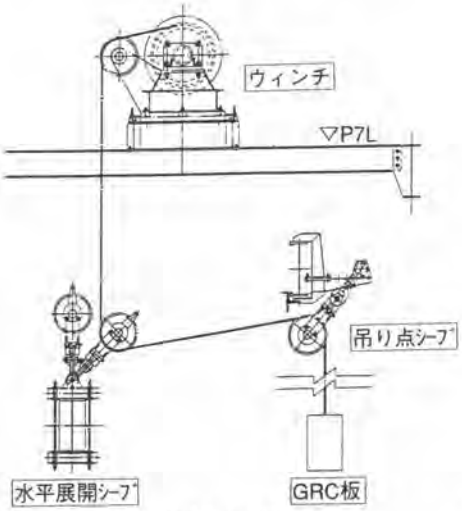
図－７　ＧＲＣ板の建て起こし

4．3　ＧＲＣ板の揚重と取付け

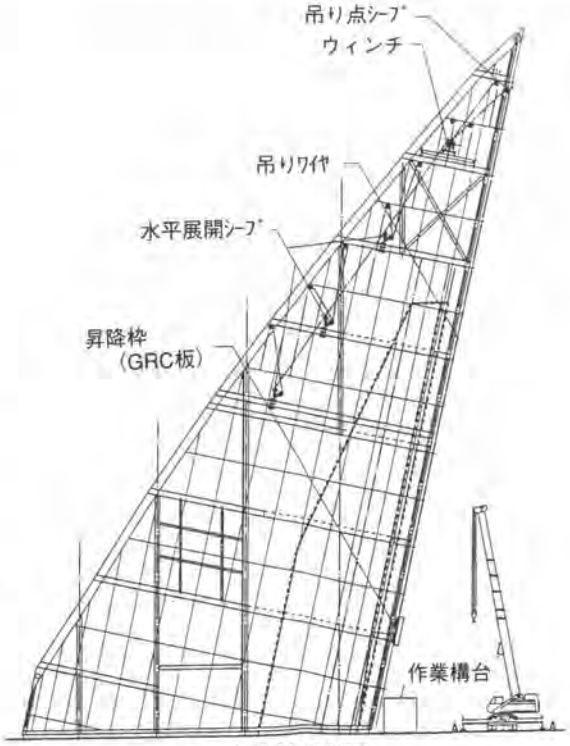
昇降枠にセットされたＧＲＣ板は、Ｐ７Ｌに設置したウィンチにより取付け位置まで揚重される。ウィンチはＰ７Ｌの仮設フロアのほぼ中央に設置されているので、各施工列へのウィンチワイヤの案内はウィンチの旋回と、図－８(a)に示す２種類のシーブを用いて行なう。吊り点シーブは当該施工列の最上部に取り付けられ、この吊り点シーブがＰ７Ｌよりも高い位置の場合にはウィンチから直接ワイヤを導入する。一方、吊り点シーブがＰ７Ｌよりも低い位置に取り付けられる場合には、ウィンチから出たワイヤを一度吊り点シーブよりも低いレベルまで下げ、そこから水平展開シーブにより吊り点シーブへ案内する。（図－８(b)）

ウィンチ仕様

定格荷重	5 t（ﾛｰﾌﾟﾌﾞﾙ：6 t）
巻上げ速度	通常：9 m/min　微速：1 m/min
電動機	11Kw　4 P（ｲﾝﾊﾞｰﾀ制御）
安全装置	速度開閉器、ﾛｰﾄﾞﾘﾐｯﾀ



(a) ｳｨﾝﾁ･ｼｰﾌﾞ構成



(b) 各装置の配置

図－８　揚重装置の構成

取付け位置の近傍まで昇降枠を揚重したら、ウィンチの速度を微速に切り替え、レベルを合わせる。微速は１m/min（1.7cm/sec）と、極めて低い速度に設定してあるので最終位置までの調整が可能である。その後の取付け手順を図－９に示す。レベルファスナーを取付け、パネルの面外方向を拘束するために面外ボルトをセットする。その後、昇降枠にパネルを固定している６本のボルトを外し、枠の横スライド機構を用いてパネルを正規の位置に横移動（約50mm）させる。荷重受けボルトをセットし、微調整ファスナーを固定した後、昇降枠からパネル荷重を解放し、枠を下降させる。

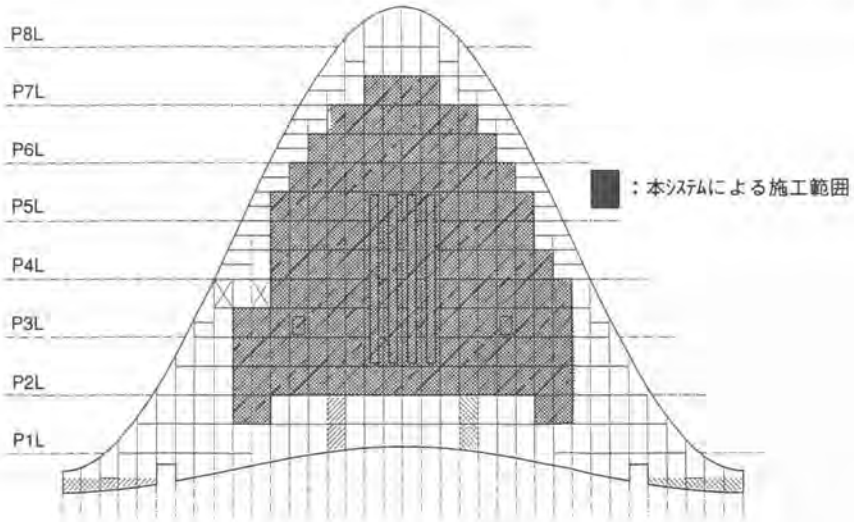
このように、パネルの位置決め・微調整・ファスナー固定までの作業を全て昇降枠上でおこなえるため、パネルの吊替えなどがなく、安全に作業を進めることができる。

5．工事への適用結果

本システムを1997年２月に作業所へ搬入し、数回の取付け実験を行なった後、３月から７月までの約４ヵ月間にわたって「小塔」円筒面のオーバーハング部の施工に適用した。取付け枚数は、一般タイプのパネルが126枚、排気スリット付きのパネルが24枚の合計150枚であった。これは、小塔円筒面の53％に相当する。図－10に小塔円筒面の展開図と、本システムを用いて施工した範囲を示す。

作業に要した時間を見ると、施工開始当初には１枚のパネルを取付けるのに１時間以上掛かっていたが、熟練した後には30分程度のサイクルで取り付けることができた。

図－９　パネル取付け作業フロー



図－10　小塔円筒面展開図

6．おわりに

今回の工事では、総施工枚数が150枚とあまり多くないため、熟練の効果を発揮する機会が少なかったことが残念である。また、一施工列における取付け枚数は最大で11枚であり、ワイヤとシーブの盛替えが頻繁に発生する工事となった。ちなみに、施工列の盛替えには、平均して半日程度を要した。一施工列の取付け枚数がもっと多く、さらに総取付け枚数が多い場合には、より一層の効果が得られると予想される。また、本方式による施工は、風の影響を受けにくく、かつパネルの引き込みなどの危険作業が無いため、今回のような特殊な形状の建物においても、安全に作業を行なうことが可能である。

23.　先進型掘削機ハイドロフレーズ HFAシリーズの実用化

㈱大林組：佐治賢一郎，*中村　俊男

1.はじめに

ハイドロフレーズ掘削機は、わが国において水平多軸式掘削機として初めて地中連続壁の掘削に採用されたものである。当掘削機はＬＮＧ地下タンク、橋脚の基礎、アンカレッジといった大深度、大壁厚の大規模連壁から都市部の狭隘な場所や地下部における連壁まで、様々な施工条件に答えてきた。また、岩盤や転石を含めた、あらゆる地質に適用でき、さらにコンクリートカッティングも可能なため、多くの施工実績を上げてきた。そして、ハイドロフレーズ掘削機の導入以来、要素技術の改善、開発により各種駆動部や掘削精度管理システムなどの品質や信頼性は向上した。しかし、個別機械やサブシステムの完成度は向上したが、掘削機システム全体としては、まだ個別のサブシステム間の整合性の確保や個別機械の性能を十分発揮させるための機能を改善する余地があった。今回、ハイドロフレーズ掘削機のこれまでの実績をふまえて、メジャーチェンジを行い、ＨＦＡ（Ｈｙｄｒｏ　Ｆｒａｉｓｅ　Ａｄｖａ

写真－１　都市型連壁ハイドロフレーズＨＦＡ－４型

写真－２　大規模連壁型ハイドロフレーズＨＦＡ－１２型

写真－3　省空間型ハイドロフレーズＨＦＡ－４ＲＣ

表－１　ＨＦＡ型仕様

機　種	HFA-12	HFA-4	HFA-4RC
最大掘削深さ(m)	170	100	50
掘削壁厚(mm)	1,000～3,200	700～1,500	650～1,200
掘削機高さ(m)	17	12	4. 12
掘削機重量(t)	42	32	15
カッタートルク(tf・m)	8/12	4	4
カッター回転数(rpm)	0～26	0～30	0～22
ベースマシーン	150t吊級	100t吊級	クローラー式専用機
(クローラークレーン)	全高23m	全高21m	全高4.9m
排泥ポンプ 吐出量×揚程(m³・min)	8×47	8×25	3×30
全装備重量(t)	245	200	45

ｎｃｅｄ）シリーズとして、大規模連壁用掘削機ＨＦＡ－１２、都市型連壁用掘削機ＨＦＡ－４そして省空間連壁用掘削機ＨＦＡ－４ＲＣの3機種を開発して実用化に成功した。

2.大規模連壁用掘削機ＨＦＡ－１２

(1) 掘削機の特徴

○従来のハイドロフレーズ掘削機最大機種である、スーパーハイドロフレーズを上回る性能を持つ。

○揚泥ホース、油圧ホース等をベースマシンに搭載したリールにより自動巻取りを行い、ホース類の捌きを簡素化して掘削機の巻き上げ、巻き下げ時間を大幅に短縮した。

○カッターモータの回転数を0～26ｒｐｍと可変高速化して掘削能率を向上させた。

○高性能電動式水中サンドポンプの採用によりブースターポンプ無しで、高含泥率泥水を長距離輸送できるようになり掘削能率が向上した。

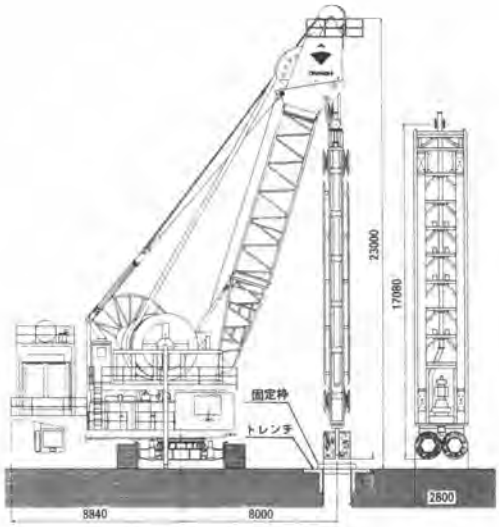
○オペレータは従来、掘削機から一方的に送られてくる掘削管理データを運転室の操作卓のメータ類で確認するだけであった。しかし、ＨＦＡ型では関連機械設備を集約化したために、運転室に送られてくるデータ量が増大した。今回、情報量の増大への対応と外乱および内乱による通信ラインへのノイズの混入による各種機器（特に制御系統）への悪影響を防止するために光通信を採用した。さらに、オペレータから各機器の稼働状況や故障状況（故障診断）等を確認できる双方向通信を可能とした。

○特殊トッププームの採用により、ホース類をすべて掘削機の中央に接続することができ、掘削機の安定した姿勢バランスが確保できた。

(2) 使用実績と効果

ＨＦＡ－１２の使用実績としては、Ｔ工事事務所ＬＮＧ地下タンク（1996.11～1997.1）、Ｔ病

院（1997.6～）がある。前者は壁厚1400ｍｍ、掘削深度ＧＬ－99～100ｍのＬＮＧ地下タンクの連壁掘削に、後者は壁厚2000ｍｍ，掘削深度ＧＬ－40.5ｍの杭の掘削に使用されている。Ｔ工事事務所においては当社のＨＦ－１００００型と比較して掘削能率の改善が確認できた。掘削精度については修正掘削を行う必要がなかったという事実、および超音波孔壁測定結果から深度ＧＬ－100ｍにおいて、変位+3ｃｍ以内の掘削精度が確保できたことから、掘削精度の向上が図れたと言える。



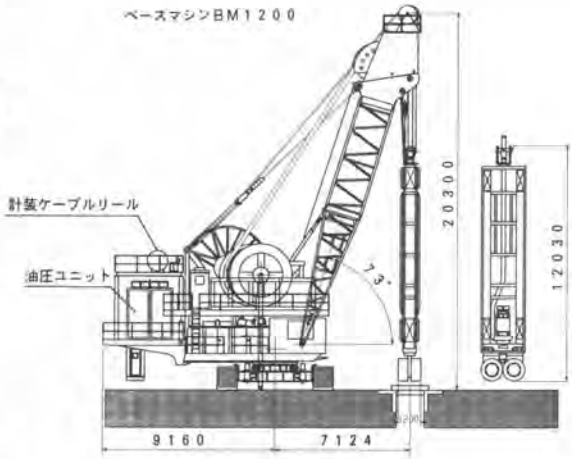
図－１　ＨＦＡ－１２ハイドロフレーズ掘削機外形図

3.都市連壁用掘削機ＨＦＡ－４

(1) 掘削機の特徴

○基本的な特徴は前述したＨＦＡ－１２と同じである。

○ＨＦＡ－１２が大規模連壁掘削用として最大掘削深度170ｍでベースマシンが150ｔクラスあるのに対して、ＨＦＡ－４は都市部の狭隘な場所での掘削作業を行うため、よりコンパクトな設計となっている。最大掘削深度100ｍでベースマシンが100ｔクラスである。

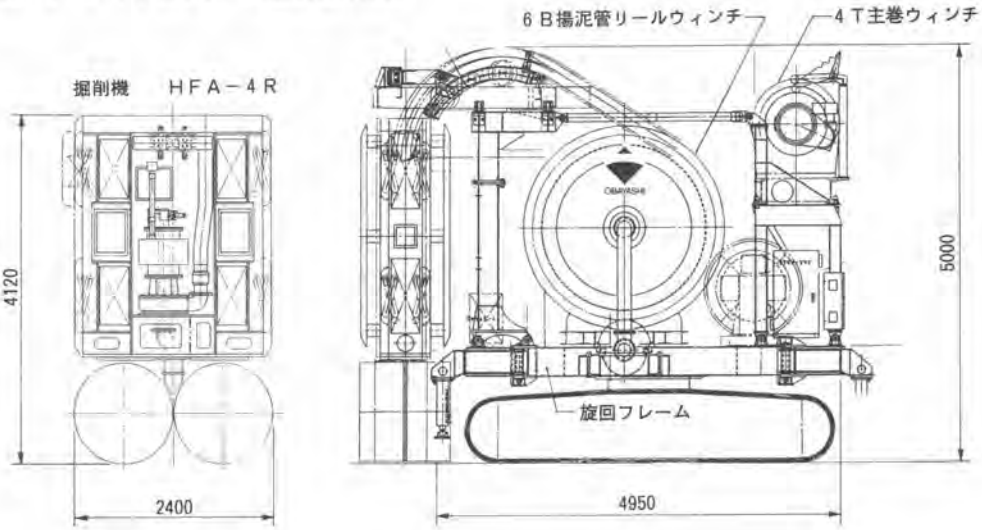


図－２　ハイドロフレーズ掘削機ＨＦＡ－４外形図

(2) ローテーションジョイント

ローテーションジョイントはベースマシンの作業スペースが狭いため、連壁に正対できない場合に、掘削機を吊ったまま回転させることができるように、掘削機の頂部の中央に取り付ける装置である。この装置にはメインワイヤー用のシーブと揚泥ホース、油圧ホース用のスイーベル機構が内蔵されている。本装置の採用により狭隘な作業スペースにおいて連壁に正対できなくても掘削が可能となった。但し、ローテーションジョイントはＨＦＡ－４型特有の装置ではなく、ここで紹介するＨＦＡ型にはすべて装着できる。

図－3　ハイドロフレーズ掘削機外形図



(3) 使用実績と効果

ＨＦＡ－４の使用実績としては、現在工事継続中である、ＳＳ工事事務所（1997.5～）とＨ再開発（1997.7～）がある。前者は壁厚1200ｍｍ，掘削深度ＧＬ－60ｍの高速道路換気設備用連壁工事に、後者は壁厚800ｍｍ、掘削深度ＧＬ－40ｍの高層オフィスビル用連壁工事に使用されている。ＨＦＡ－4はいずれの現場も施工中のためデータは整理されていないが、ＳＳ工事事務所においては当社のＨＦ－４０００型と比較して掘削能率の改善が確認されている。掘削精度においてもＨＦＡ－１２と同様に修正掘削は行っていない。ＨＦＡ型の掘削精度が飛躍的に向上した大きな理由はホース類を掘削機の中央部に接続し、さらに掘削機の重心をできるだけカッター側に寄せたことで、重量バランスが良くなったことである。

4.省空間連壁用掘削機ＨＦＡ－４ＲＣ

(1) 掘削機の特徴

○5m x 5m x 5mの施工空間に収まるコンパクトタイプの掘削機システムである。

○揚泥ホースは専用ベースマシンに搭載されたリールに自動巻き取りされ掘削機本体に内蔵された電動式サンドポンプにホースを接続することにより、揚泥管の切り継ぎ作業が不要となり、連続掘削が可能となったことにより、掘削能率が大幅に向上した。さらに、従来地上に設置していたバキューム付ポンプも不要となった。

○コンパクトであるが、クローラー走行式であり、機動性が向上した。

○ワンマンオペレーションが可能となり、さらに、周辺作業が簡素化されて省力化および安全性の向上が図れた。

○動力源が電動のために路下や閉鎖された場所での使用においても、クリーンな環境での作業が可

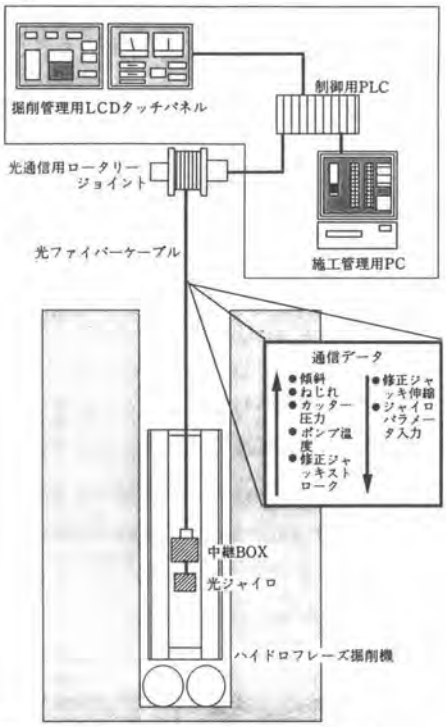
能となり、作業環境の改善に寄与した。

(2) 使用実績と効果

ＨＦＡ－４ＲＣの使用実績としては、地下鉄Ｓ工事事務所（1996.7～1997.1）、壁厚1100ｍｍ、掘削深度ＧＬ－20mの連壁工事に使用して、当初の予想を上回る掘削能率が確保できた。

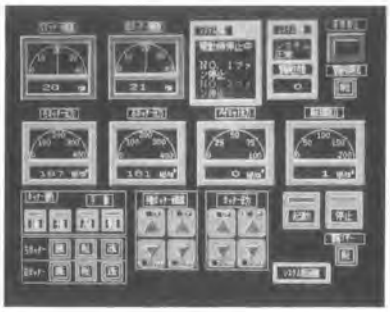
5.掘削管理システム

ハイドロフレーズ掘削機は掘削中は水没しているために、掘削機の状態は直接見ることができない、そこで掘削機に装備されたセンサーや測定機器によって計測された情報やデータを地上のオペレータに伝送することにより掘削管理が行われる。つまり、オペレータや施工管理者は掘削機から逐次、伝送される情報により掘削管理をおこなっている。これは、まさに情報化施工、計測施工の最たるものである。したがって伝送される情報はリアルタイムで高品位のデータでなければならない。



図－４　光通信掘削精度管理システム

写真－４　ＨＦＡ型ＬＣＤタッチパネル操作卓

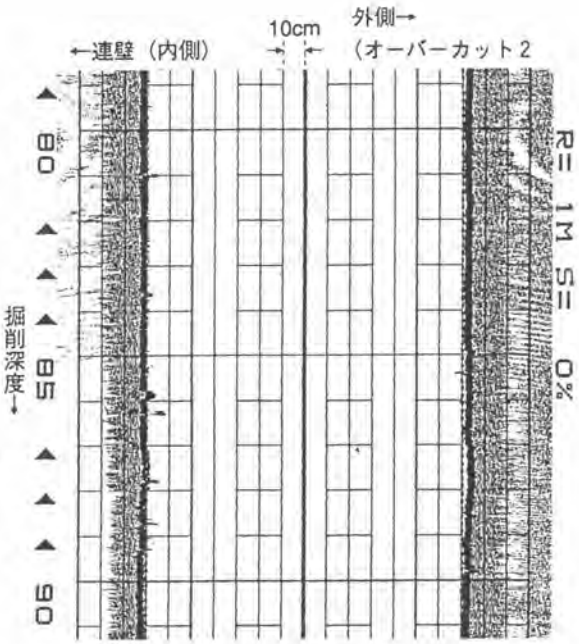


写真－５　液晶タッチパネル（ＧＯＴ－３）

写真－６　液晶タッチパネル（ＧＯＴ－１）

(1) 光通信の採用

前述したとおり、情報化施工においては、掘削機からのデータは高い信頼性がなければならない。連壁掘削の正否は、掘削管理データの精度に左右されると言っても過言でない。管理システムの信頼性は傾斜計や光式ジャイロといったセンサ類の精度だけでなく、データを伝送する通信システムの信頼性に大きく係わる。建設現場においては、クレーンやダンプトラックといった重機のエンジン音、マイクロ波、その他無線といった外部雑音に加えて、ポンプやウインチの速度制御用インバータからの内部雑音などが、通信システムへ大きな影響を及ぼす場合がある。ＨＦＡ型には光通信システムを採用することにより、内外の雑音による影響はすべて遮断できた。



図－５　Ｔ工事事務所超音波孔壁測定結果
（壁厚1400mm　掘削深度100m）

(2) オペレーションの簡素化

ＨＦＡ型のオペレーションはすべてＴＦＴ型液晶タッチパネル上で行われる。このため、オペレーションが標準化されて高度な掘削精度管理が簡単に行えるようになった。

7.おわりに

ＨＦＡ型ハイドロフレーズは従来のＨＦ型ハイドロフレーズと比較して、掘削性能、掘削精度の点において飛躍的に向上した。また、周辺作業の省力化、安全性の向上にも大きく貢献できた。しかし、ＨＦＡ型の性能を十分発揮させるためには、泥水処理プラントの処理能力の増大および機能の向上についても同時に配慮しなければならない。さらに、コンクリート打設、鉄筋建て込みといった掘削作業後の連壁関連作業についても見直す必要がある。ＨＦＡ型ハイドロフレーズは機能の集約化と性能の向上を図ったために、掘削機の上げ下げに要する時間の大幅な短縮と掘削能率の向上が図れた。今後はＨＦＡの稼働実績を積み重ねることにより、問題点を洗い出して完成度をさらに向上させ、当社における次期の主力掘削機として活躍できるように、引き続き努力をする所存である。最後に、Ｔ工事事務所においてＨＦＡ－12によって掘削された連壁（壁厚1400ｍｍ、掘削深度ＧＬ－100ｍ）の超音波孔壁測定結果を紹介しておく。

24. 水中橋脚補強用仮締切工法の施工

阪神高速道路公団： 有馬　伸広，茂呂　拓実
㈱鴻池組：*西川　博之，坂東　健司

1．はじめに

阪神高速道路公団では、兵庫県南部地震で神戸線の一部が大きな被害を受けたことから、他線についても橋脚の耐震補強を進めている。その中で当工区は、阪神高速道路のネットワークのかなめである1号環状線の、堂島川にかかる橋脚を主な対象としており、付近には大阪市役所、中央公会堂、中之島公園などを望む大阪有数の景観を誇る場所にある。

補強対象となる橋脚の大半が堂島川の中にあり、当初は鋼矢板と支保工を締め切り工法とする計画であった。しかし、関係機関との協議の結果、「通年施工による出水期対策として河積阻害率の低減、護岸構造物の撤去などを最小限にすること、工期短縮を図ること」などの条件が提示され、締め切り工法の変更を余儀なくされた。そして検討を重ねた結果、コルゲートパイプ（以下ＣＰ）を使用する締め切り工法を考案し、実施工を行ったのでその概要を紹介する。（写真－１）

写真－１　現場全景

2．工事概要

路　線　名 ： 大阪府道高速大阪池田線（１号環状線）

工 事 場 所 ： 大阪市北区西天満２丁目 ～ 同区北浜１丁目地先

工　　期 ： 平成７年１０月 ～ 平成９年１２月

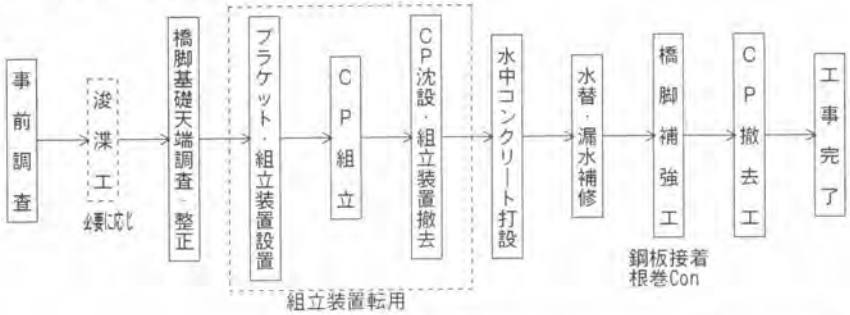
工 事 概 要 ： 橋脚補強工：３６基　　ｺﾙｹﾞｰﾄﾊﾟｲﾌﾟ直径：φ5000mm～φ6500mm

仮締切り工：２８基　　ｺﾙｹﾞｰﾄﾊﾟｲﾌﾟ高さ： 4900mm～5500mm

ｺﾙｹﾞｰﾄﾊﾟｲﾌﾟ重量： Max 15ton

3．施工フロー

水中橋脚補強の標準施工フローを示す。



4．施工上の問題点及び技術的解決策

①仮締切りとしての施工実績がない

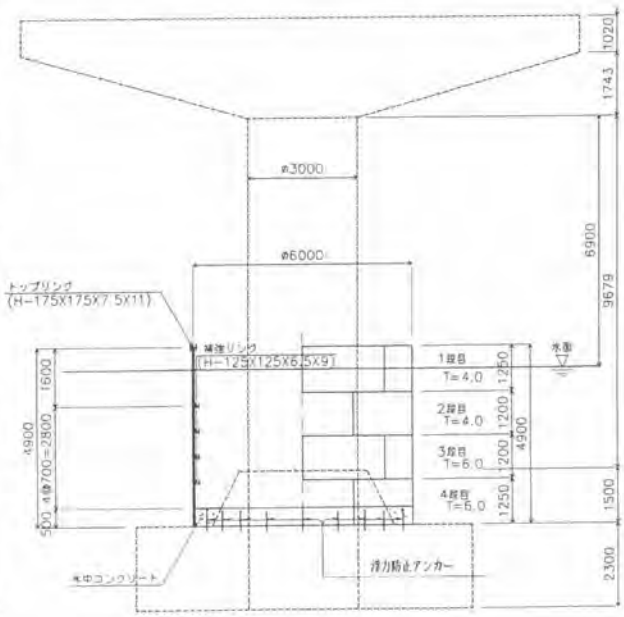
過去にＣＰを使用して締め切り工事を施工した例が神戸で１件あったが、施工条件が異なっていることと、施工したのが１基だけであることなどから本格的な仮締め切り工法として採用できなかった。

そこで、工事に先立ち実証実験を行い、施工性・止水性・安全性の確認を行った。実証実験は川鉄建材千葉工場の敷地内で実施し、ＣＰ基部の止水コンクリートの必要厚さ、ＣＰ接続部のボルト・ジョイント部の止水構造（パッキン形状等）、ＣＰ本体の形状等の項目について確認した。（写真－２）

写真－２　実証実験状況

②ＣＰ本体の構造（図－１）

ＣＰは本来貯水槽として製品化されているので、ある程度の強度は確保されている。しかし、今回の使用目的である仮締め切りに対しては実績がないので、現場施工条件の河川について検討した結果、



図－１　ＣＰ標準構造図

静水圧・水流圧（最大流速 Max = 2.5m/s）・波圧（波高h＝50cm）の3種類それぞれについて、構造計算を実施した。

またCP内部の排水後にCPと水中コンクリートに浮力が発生する事が考えられるので、橋脚基礎部にケミカルアンカーと差し筋（D16～D22，L＝450mm）をCP沈設後に潜水夫にて設置し、その後CP基部に水中コンクリートを打設して差し筋アンカーの付着強度と引張強度で浮力に対抗した。

③CPの組立方法

当初CPの組立方法は橋脚周辺に複数の台船を係留し、大型揚重機（30t級）を使用する計画であった。しかし、関係各所との協議において一般航行船舶の航路確保と護岸・橋梁近接箇所の施工は、複数の台船を係留する事が困難であるため、CP組立に際してコンパクトで移動が容易な施工法が必要とされたため、新たにCP組立装置の開発を行いこれを採用した。

5．CP組立装置の概要

①組立装置開発の経緯

1隻の台船上でCPを組み立てるには、CPを上下方向と円周方向（回転）の動作が必要となる。この様な動作をさせる機械設備としては、通常橋脚上部に円形レール式テルハクレーンを設置するが、施工上、下記の事項が懸念されるので新たな機械装置を開発するに至った。

1） 円形レールを水平に設置するには、橋脚に取付けるレール固定ブラケットの取付け精度が問題となる。しかし橋脚鉄筋を切断しないハンマードリルによるアンカーボルト施工では、高い水平精度を確保することができない。

2） 直径5m程度となる円形レールを橋脚上部に取付ける作業は大掛かりな設備と危険を伴う。

3） CPを安定した状態で懸垂するには複数台（4台程度）の電動チェーンブロック又は電動ホイストが必要となる。この場合円形レール式テルハクレーンで、かつ4ホイスト式のクレーン製造許可証の認可を取得しなければならなく、通常3ヶ月程度の日数を要する。

4） CPの最大重量は約15トンでクレーン設備とした場合、1ヶ月前に設置届を提出し、設置後に落成検査を受けなければならない。

5） CPは28箇所に順次設置するため、落成検査を含めた現場工程管理が非常に複雑化する。これらの問題を解決し、テルハクレーンと同機能を有する装置として「電動チェーンブロックに懸垂された回転可能な吊り治具」を考案した。本装置は、クレーンに該当するか否かを関係機関と協議した結果、「クレーンには該当せず、CPを組み立てる機械装置と解釈できる」との回答を得たので採用に踏み切った。

②組立装置の仕様

表－1にCP組立装置仕様を、

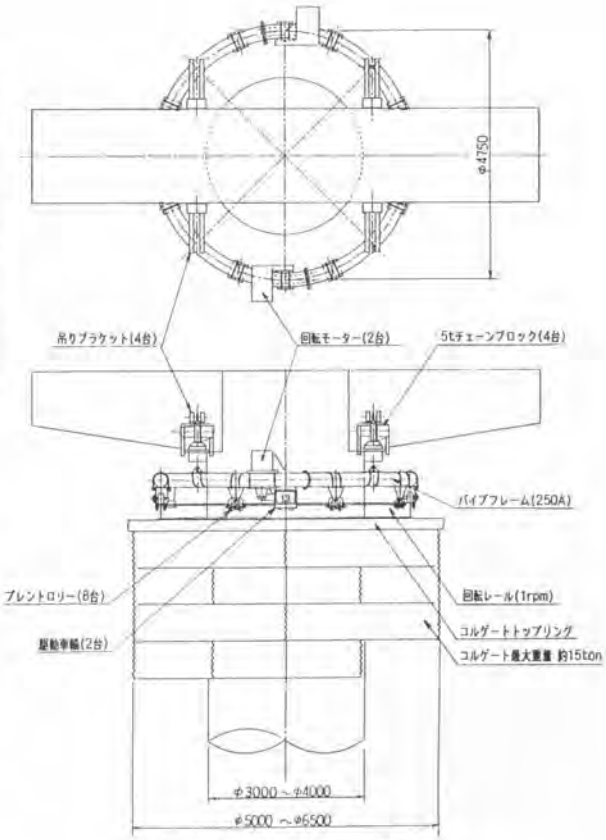
図－2にCP組立装置全体図を示す。

表－1　組立装置仕様

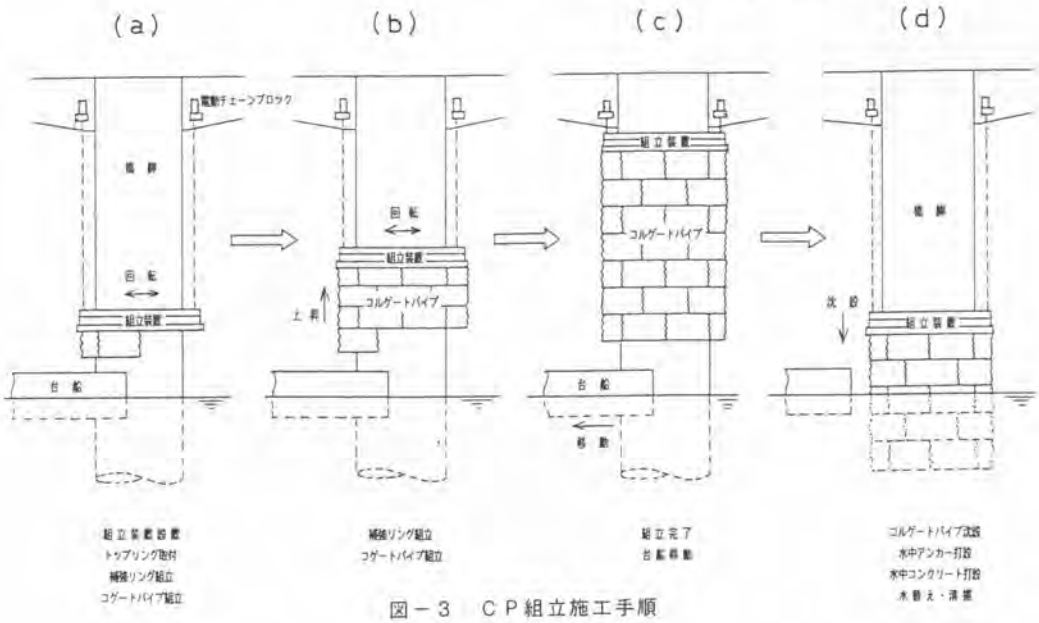
定格荷重		5．0 Ton × 4
揚程		10　m
寸法	外径	約 φ 5．0　m
	高さ	約　1．0　m
自重		約　3．0　Ton
巻上	速度	3．2m／min（5cm/sec）
	電動機	3．0kw × 4
回転	速度	約 1rpm （25cm/sec）
	電動機	2．2kw × 2
安全装置		過巻防止用リミットSW 過負荷防止用リミットSW ブレーキ付き回転モーター
操作		有線床上押しボタンSW 巻上下は単独・連動の切り替え式
その他		耐食性NDチェーン仕様

③組立装置の特徴

1）　この装置は、橋脚梁部に設置した4台の電動チェーンブロックで懸垂され、上下方向及び円周方向にCPを移動させながら1隻の台船上でCPを確実かつ安全に組立と沈設ができる装置である。（図－3、写真－3）



図－2　組立装置全体図



図－3　CP組立施工手順

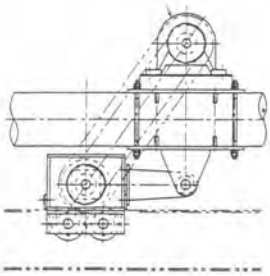
2）　本体は、上段のパイプフレームと下段の円形レールの２段で、プレーントロリーによりレールを吊り下げる構造である。

3）　ＣＰを組立る過程においてパイプフレームにはＣＰの偏荷重が約１トン作用するが、十分な捻れ剛性を有しているため、ＣＰは変形することなく組立てられる。

写真－３　ＣＰ組立状況

4）　円形レールは３６０度回転可能で、回転駆動装置をパイプフレーム上に２台配置し、レールを回転させる。確実な駆動力と制動力を得るため、レールの上フランジをプレーントロリーローラーと、ウレタンゴムを溶着した駆動車輪で挟み込み接触圧を発生させる。

5）　駆動車輪ユニットはパイプフレームにピンで固定され、円形レールの製缶誤差を吸収できる遊動可能な構造とし、スムーズな回転を得ることができる。（図－４）



図－４　駆動装置

6）　装置全体は、円周方向に２分割構造であり、分割した状態でも水平が保たれるバランスを有している。そのため、懸垂した状態での組立、解体作業が容易となり、橋脚間での移動が安全に行える。（写真－４）

7）　運転操作は有線式押し釦スイッチとしている。これは高速道路近辺では強力な有害電波による無線の誤動作が予想されるための対策である。そして、４台の電動チェーンブロックは同調運転と単独運転の選択ができ、ＣＰ組立作業時は通常同調運転で行い、レベル調整が必要な場合単独運転に切り替える。

写真－４　組立装置分割状況

8）　ＣＰの固定は、円形レールに吊り下げた金具でトップリング補強部材を挟む構造とし、ＣＰの直径に関係なく固定が可能である。（写真－５）

9）　安全装置関係は、過巻き・過負荷防止装置を備えると共に、万一の場合の各種インターロックを電気的制御により行っている。

写真－５　組立装置 ＋ ﾄｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ

写真－６　ＣＰ組立完了状況

写真－７　ＣＰ沈設完了状況

６．おわりに

コルゲートパイプを使用した水中仮締め切り工法は、現在では同様の工事を各所で施工しており、それぞれの現場で工夫を凝らした施工方法を行っている。しかし、ここで紹介したＣＰ組立装置は、現場での施工性・安全性の面で高く評価されることがこの工事で確認された。

この水中仮締め切り工法が適用されるか否かは、現場の施工条件を十分に考慮し、いくつかの改良点を加えることが想定されるが、このＣＰ組立装置の開発により多方面への施工が可能になり、同様の橋脚補強工事やその他の締め切り工事等の問題を解決する手段として期待される。

本工法及びＣＰ組立装置の開発に際し、ご指導・ご協力賜りました関係各位に対し、深く感謝致します。

25.　小型機械を用いた重錘落下締固め工法

三信建設工業㈱：大沢　一実，*新坂　孝志

1. まえがき

軟弱地盤の改良には種々の工法がありそれぞれ数多くの実施例がある。その原理は地盤の密度を増大させるもの、地盤を固結してしまうもの等さまざまである。その中で重錘落下締固め工法は密度増大工法に分類され、従来大規模な埋め立て地等の締固めに用いられている。一般的な重錘落下締固め工法は、100～200ｔ吊りの大型クレーンで10～60tf程度の大型重錘を、10～30mの高さから自由落下させ軟弱地盤の締固めを行っている。これに対し、最近小型の重錘を連続的に自由落下させることで、効率的に地盤の締固めを行う工法が英国から導入し、その機動性からこれまで大型機では不可能であった施工環境にも適用されはじめている。今回石油タンク建設に伴う液状化対策として、この小型機械による重錘落下締固め工法「ＢＳＰ動圧密工法」を採用し好結果を得たので紹介する。

写真-1　ＢＳＰコンパクター

2. ＢＳＰ動圧密工法とは

この工法は英国ＢＳＰ社で開発され、日本には1994年に導入された新しい工法である。工法の原理は従来の重錘落下締固め工法と同じだが，自由落下する重錘は7tfと小型で、落下高さも1.2mと小さい。したがって打撃エネルギーは8.4tf･mとなるが、これを毎分40～60回というスピードで連続的に落下させ、能率良く地盤を締め固めることを可能にしている。また、重錘はあらかじめ地面に置かれたフートと呼ばれる直径1.5mの円形接地体の上に落下するので、地面に突出した岩塊等にも対応し、土石塊の飛散も軽減している。特長をまとめると以下のようになる。

①コンパクトなボディーで機動性が高い。

②打撃スピードが速く能率良く締固めが可能。

③フートの採用で地盤とのなじみが良く、土石塊の飛散が少ない。

④１回の打撃エネルギーが小さいので細かいコントロールが可能。

用途としては、タンク基礎、建物基礎、宅地造成、道路・鉄道の基礎地盤の締固め等があり、また廃棄物処理場の廃棄物減容化にも利用されている。

3. 設計の考え方

改良の原理は、重錘落下による衝撃力と振動により地盤が圧縮され密度が増大する、というもので、砂質土に適用した場合に効果が得られることは容易に理解できよう。設計手順のフローを図-1に示す。改良深度は3m～4m程度を限界としている。設計手順は、目的に応じた目標N値を設定し原地盤N値に対する増加N値(ΔN)を求める。さらに、ΔNと打撃エネルギー量の関係を用いて必要な打撃エネルギー量：(Ev)を求めることにより打撃回数を設定する。この際大型の重錘落下締固め工法に比べ力の減衰が大きいことから、円形面等分布荷重による土中応力計算式を応用し衝撃力影響値:Iを考慮している。また一度に圧縮するのではなく、改良範囲全面を打撃した後整地するまでを1シリーズとし、これを何シリーズか繰り返して打撃圧縮する方法を採っている。

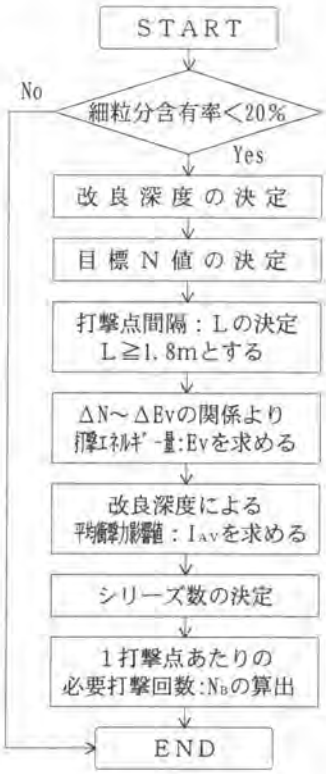


図-1　作業手順のフロー

4. 施工方法

本工法の施工手順を図-2に示す。1シリーズ1打撃点での沈下量は50cmまでとし、所定の締固め度になるまで必要回数、打撃と整地を繰り返す。作業は単純明快である。機械は「ＢＳＰコンパクター」と呼ぶ1.2㎥クラスのバックホウをベースマシンとした専用機で、能率的な打撃スピードに見合った機動性を持っている(写真-1)。使用機械の仕様を表-1に示す。

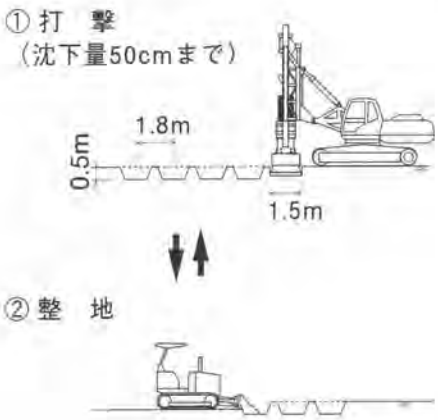


図-2　施工手順

表-1　使用機械

機械名称	仕　　様
ＢＳＰ ｺﾝﾊﾟｸﾀｰ	重錘重量7t、落下高さ1.2m 打撃速度40～60回/分、 フート径1.5m 全長7.8m, 全幅3.2m 最大高さ8.35m, 重量42 t
ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ	11t級、重量 10.7 t
45tｸﾚｰﾝ	組立解体時

5. 施工事例

今回、北海道苫小牧市に新設される石油タンク基礎の液状化対策として施工した施工事例を紹介する(写真-2)。5,000kℓ石油タンク建設に伴い、地表付近に緩い礫混り砂層が存在し地震時における液状化の危険性が指摘された。各種地盤改良工法を比較検討した結果、地表付近を効率的に締固め可能な本工法が採用された。土質は施工基盤から-3m付近までN値10以下の緩い礫混り砂層が分布している。図-3には対象土層の粒度分布を示す。前掲図-1設計手順に従い表-2に示す設計条件を基に設計を行った。

写真-2　石油タンク基礎地盤における施工状況

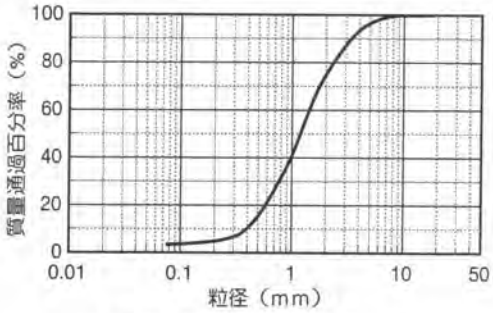


図-3　対象土の粒度分布

表-2　設計条件

項　目	定　数
細粒分含有率	F_c= 4.0%
改良深度	GL-3.0mまで
現地盤N値	N_0= 6
目標N値	N = 20
増加N値	ΔN= 14
打撃点間隔	L =1.8m
打撃ｴﾈﾙｷﾞｰ量	Ev=60tfm/m²(図-4)
平均衝撃力影響値	I_{AV} = 0.27 (図-5)

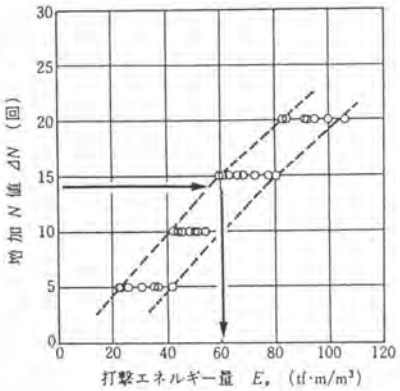


図-4　増加N値ΔNと打撃ｴﾈﾙｷﾞｰ量Ev(砂質地盤)

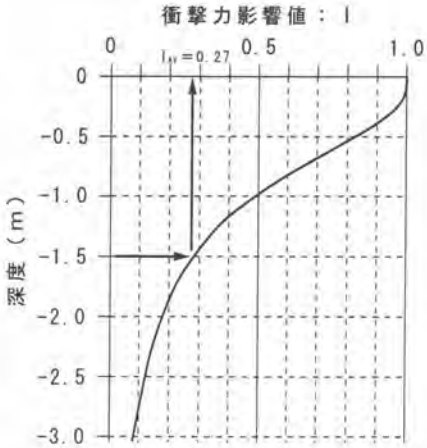


図-5　深度と衝撃力影響値

1シリーズ1打撃点あたりの打撃回数(N_B)は下式にて算出する。

$$N_B = \frac{Ev \cdot D \cdot L^2}{W \cdot H \cdot n \cdot I_{AV}} = \frac{60 \times 3 \times 1.8^2}{7 \times 1.2 \times 5 \times 0.27} \fallingdotseq 50$$

N_B：1打撃点当りの必要打撃回数(回)
W ：重錘重量(tf)
Ev：打撃エネルギー量(tf・m/m³)
H ：落下高さ(m)
D ：改良深さ(m)
n ：シリーズ数(改良過程の段階数)
L ：第1シリーズの打撃点間隔(m)
I_{AV}：平均衝撃力影響係数

ここでシリーズ数nは、1打撃点あたりの許容沈下量も考慮し5回とし、N_B=50回を得た。

図-6に施工図を示す。施工基盤は周辺地盤より6m程度低く、地下水位が地表面付近にあったためウェルポイント工法により地下水位を低下させて施工した。施工面積は約750m²、総打撃回数は50,000回以上に及んだ。改良前後のN値比較を図-7に示す。施工基盤から4m程度の深度までN値が10～30程度上昇し、高い締固め効果が確認された。

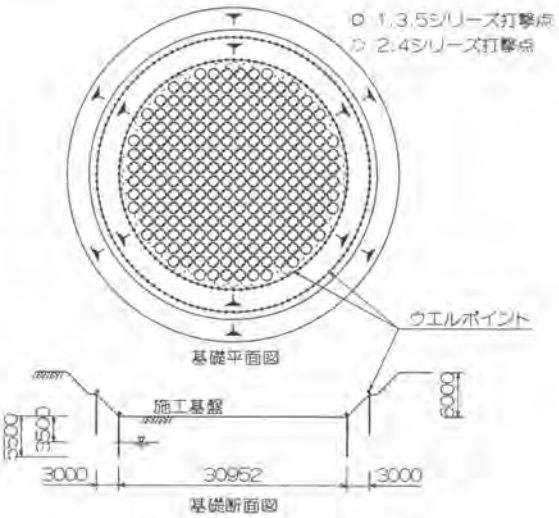


図-6 施工図

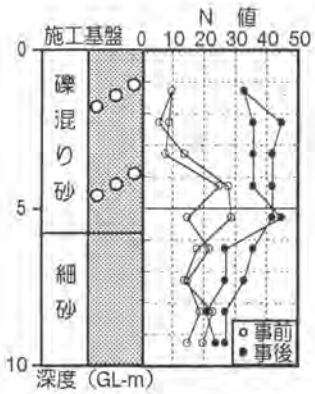


図-7 土質柱状図および施工前後のN値比較

6. まとめ

地震多発帯に位置する我が国で地盤の液状化対策が叫ばれて久しいが、地盤改良に要する費用は必ずしも安いものではなくまだまだ十分な対策が施されているとはいえないのが現状である。BSP動圧密工法は地盤を削孔したり固化材を使用することなく、比較的簡便に地表付近の地盤を締固めることが可能で、条件が合えば有効な液状化対策工法になると考えている。

［参考文献］

1)液状化対策の調査・設計から施工まで／土質工学会
2)土質工学ハンドブック／土質工学会

26. 多機能型ニューマチックケーソン掘削機の開発

大豊建設：*杉江　哲也，角田　治郎
宮下　政樹

1.はじめに

近年、ニューマチックケーソン工法では、作業員が圧気下に入ることなく遠隔操作で掘削作業を行うことが徐々に汎用化されつつある。しかし、各種の地質に対応可能な掘削機械はなく、岩盤、転石等には人力で対応せざるを得なかった。

今回、一般土質から硬岩に至るまで1台の機械で掘削・破砕・削孔等が、地上からの遠隔操作により可能とする機械を開発した。

2.開発の目的

岩盤掘削対応機種として機械堀りが考えられるが一般的にローラビットなどを使用した機械では、トンネル切羽とは異なり、垂直に掘削するために膨大な掘削反力が必要であり、懸垂型の掘削機には不向きである。

今回、開発目標としたのは、岩盤掘削を従来工法でもある発破工法で行える様、削孔作業も可能な掘削機である。削孔が遠隔で正確な管理が可能であればあらゆる岩盤に対応が可能となり、また長時間にわたる圧気下での厳しい環境条件から作業員を解放し、安全衛生上非常に有利である。

以上の目的をふまえて、各種土質に対応する掘削機のアタッチメントとして次のものを採用した。

① 一般土質用掘削　：バケットおよびドラムカッタ

② 岩盤等発破用削孔：削孔機

③ 転石等破砕　　：ブレーカ

これらのアタッチメントは本体からの動力源を共有するため、油圧駆動とすることとなった。

表－1　掘削機　仕様

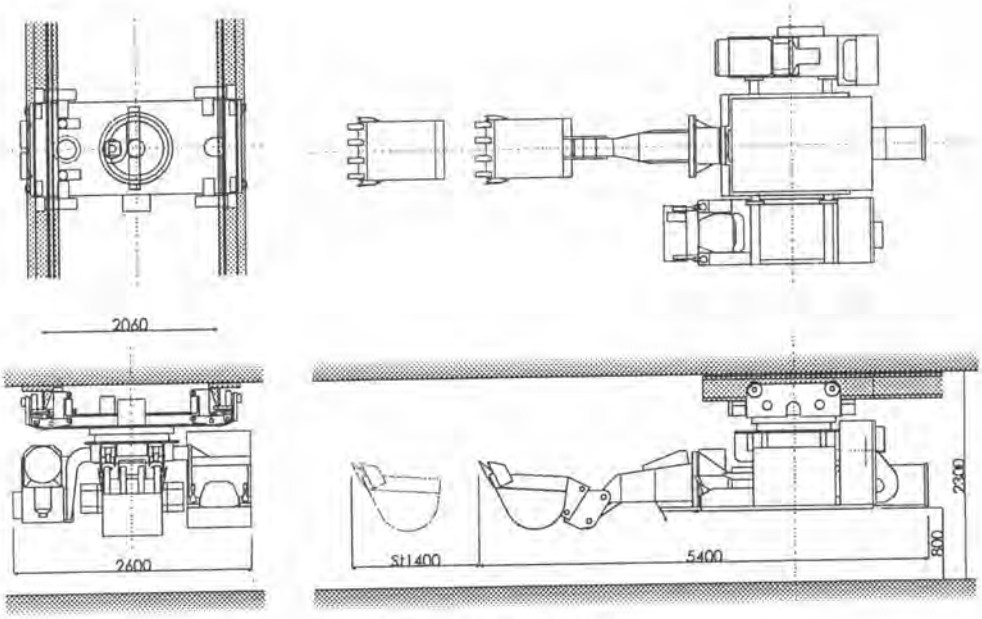
バケット容量	0.2㎥(平積み)
最大掘削力	360N
電動機出力	37kW (AC400V)
最大走行速度	25m/min
最大旋回速度	5rpm
全　長	5400mm
全　幅	2600mm
ﾌﾞｰﾑｽﾄﾛｰｸ	1400mm
最大掘削半径	4610mm

表－2　削孔機　仕様

規　格	油圧式　350kg級
動　力	油圧　210kg/㎠
フィード長	900mm
ロッド径	φ38～52

表－3　ブレーカ　仕様

規　格	油圧式　300kg級
動　力	油圧　140kg/㎠
作動油量	32～68ℓ/min



図－1　掘削機　全体図

また、本掘削機を開発するに当っての基本構想は、次のとおりである。

① 掘削機は、遠隔・搭乗両操作が可能であること。

② 位置制御・姿勢制御が可能であること。

③ 各アタッチメントの駆動源は掘削機本体から供給可能なこと。

④ 各アタッチメントの交換時間は、短時間であること。

⑤ 各分割ブロックは、搬入出・組立解体に対応可能な最適な寸法・重量であること。

3．掘削機本体

3．1 概要

前述した構想により開発された機械は、次のような特徴を持っている。

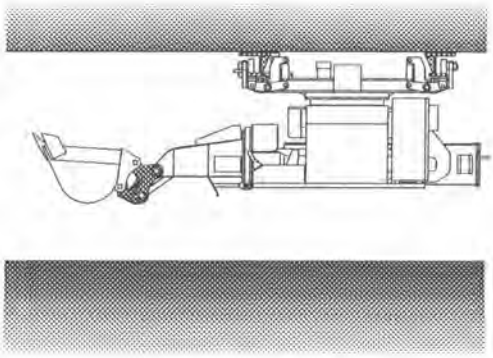
① ケーソン天井スラブに取付けられたレールに掘削機本体が懸垂型として装着され、機械本体の走行、旋回、ブームの伸縮・起伏、アタッチメントの反転ができる構造となっている。

② 各種作業は、監視カメラからの映像を見ながら遠隔操作により行う。

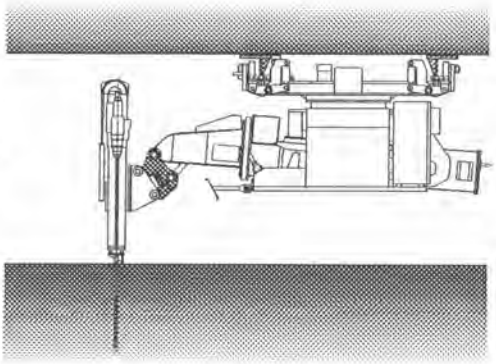
③ アタッチメントの交換は、図－2中に斜線で示したアタッチメント交換カプラの採用により、従来のピンによる交換方式に比べ、容易にしかも短時間で行うことができる。また、油圧ホース類のカプラを採用したので交換作業全体の所要時間は従来に比べかなり短縮されている。アタッチメントの交換時間は、次に示すような試験結果が得られている。

バケット・ブレーカ・ドラムカッタ系－－－－4分

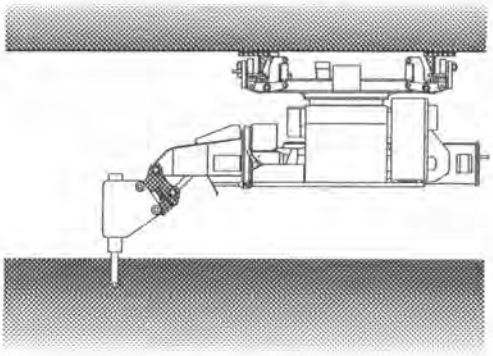
削孔機とその他アタッチメントの交換－－－－7分



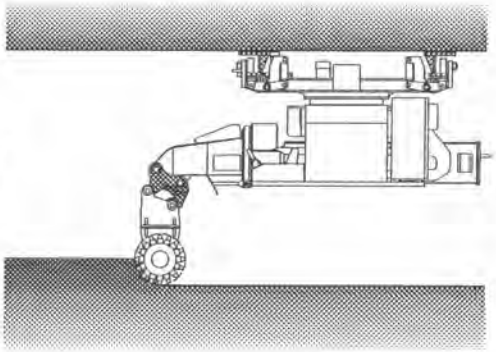
図－2．1　バケット



図－2．2　削孔機



図－2．3 ブレーカ



図－2．4　ドラムカッタ

図－2　アタッチメント装着図

3．2　削孔機（図－2．2参照）

削孔動力源は、排気エアによる視界不良を防ぎ、効率を上げるため油圧型を採用した。掘削機に装着した削孔機の能力試験の結果を表－4に示す。

表－4　削孔機　能力試験結果

ビット	クロスビットφ45mm
有効削孔長	900mm
テスト岩	安山岩
一軸圧縮強度	16MPa
削孔時間	140秒

3．3　ブレーカ（図－2．3参照）

ブレーカの使用は、小割り・はつり目的とし、さらに刃口下の破砕を行えるよう油圧で下向き・上向き・横向きも可能となっている。

3．4　ドラムカッタ（図－2．4参照）

ドラムカッタで十分掘削可能な適正なる地質の場合は、図－2．4のような掘削姿勢で対応可能である。

4．　制御システム構成

制御システムは下記に大別される。

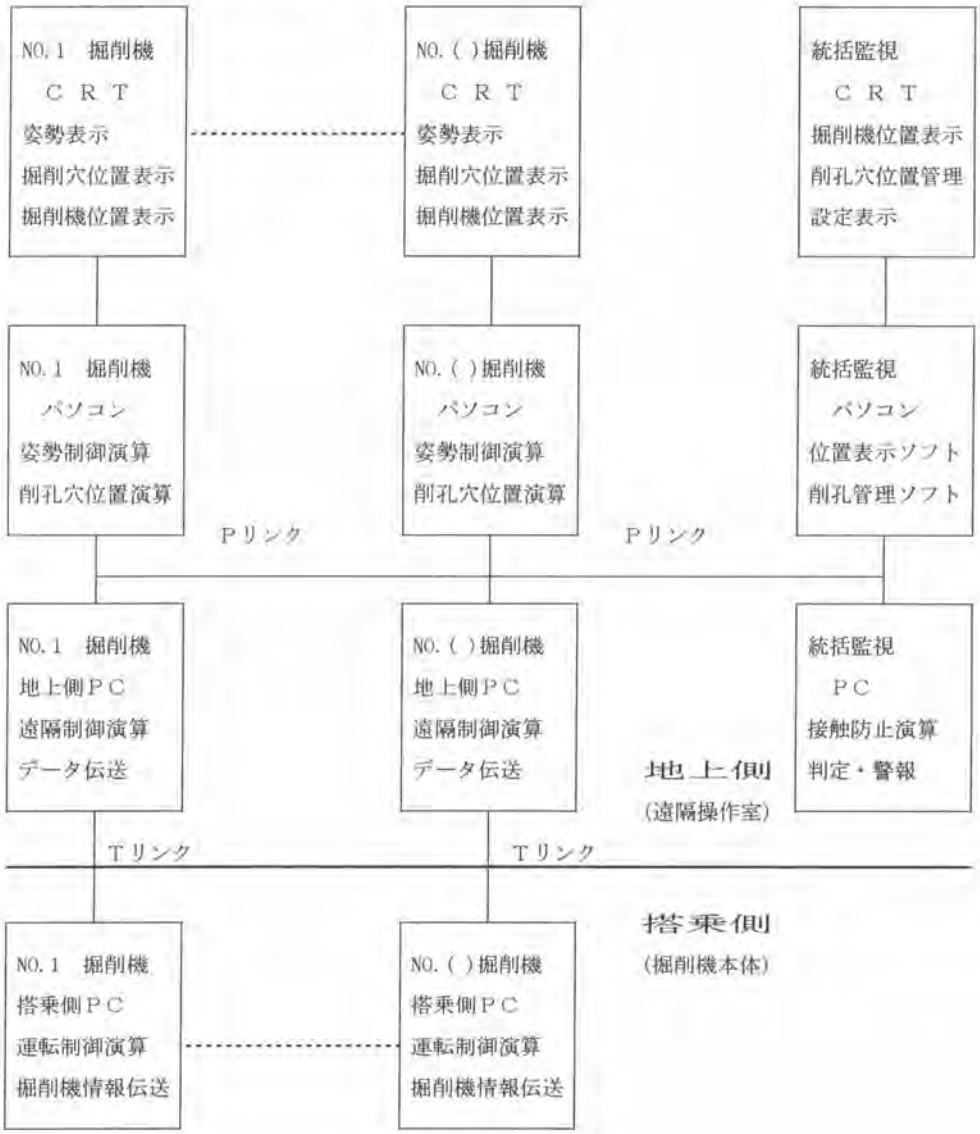
① 運転制御システム

② 姿勢制御システム

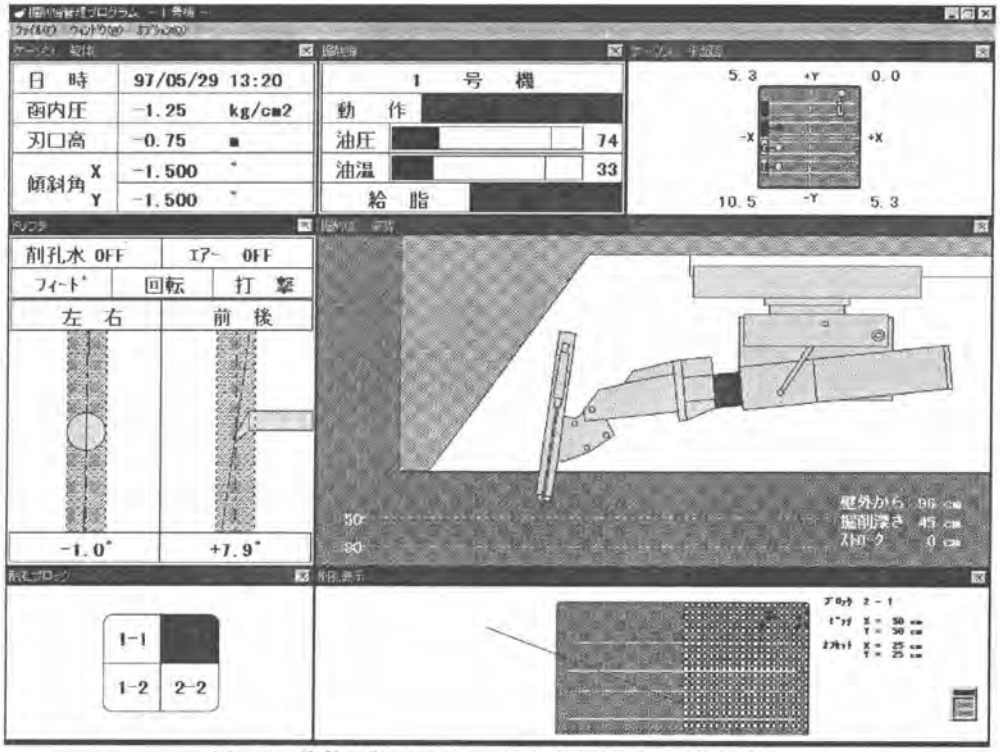
③ 接触防止システム

④ 削孔管理システム

下記に①～④のシステム構成図を示す。



図－3　システム　構成図



図－4　姿勢制御システム　表示画面（ドリフタ使用時）

① 運転制御システム

掘削機本体を搭乗操作と遠隔操作の２ヶ所にて運転を行うシステムである。掘削機本体にPC（プログラムコントローラ）を搭載しておりアナログ・デジタルの入出力処理及び掘削機の姿勢情報のデータ伝送を行っている。掘削機本体と地上遠隔室とはPCによるリンクを組んでデータ伝送を行い、最大伝送距離は1000mが可能である。

② 姿勢制御システム

掘削機の各種センサからのデータをPCを経由してリンクを組んだパソコンにより掘削機を側面から見た状態をリアルタイムで表示している。掘削機のアタッチメントを交換することに伴い、掘削機の動作及び下記関連情報を表示する。

バケットモード	回転方向	側面
	開閉方向	機械的移動範囲
ドリフタモード	回転表示	機体側から見た反転方向と側面
	前後方向	機械的移動範囲
	削孔深さ	最大100ｃｍ
	削孔水・エアーの供給停止	

ブレーカモード　　回転表示　　側面

前後方向　　機械的移動範囲

ブレーカの指令信号（ON－OFF）

上記以外にケーソン躯体の壁表示・バケット爪の刃口からの高さ・壁の外側からの距離・接触防止管理平面図を表示している。

③ 接触防止システム

複数台の掘削機が作業する場合、相互の距離を監視し設定値１以下の距離になった場合、相互の掘削機に減速・警報を出しオペレータに注意を促し、更に接近して設定値２になった場合、掘削機を停止させ接触を回避する。掘削機相互間の位置は、表示画面により監視する。システム構成としては、各掘削機の位置・姿勢データをPC間でリンクを結んで伝送し統括監視PCにて接触防止のための演算・判定・警報等を行う。

④ 削孔管理システム

各掘削機のパソコンでドリフタ先端のビット位置・高さの演算及び削孔済みの判定・削孔穴位置の画面表示を行う。遠隔操作による削孔穴の位置合わせは、表示画面を見ながらリアルタイムで動くビット中心である矢印が削孔予定穴位置中心に重なるようにオペレータが操作する。統括用パソコンでは、削孔管理を行うために削孔ブロック割数・削孔ピッチ・削孔除外領域・基準点削孔オフセット等の設定及び削孔完了穴位置のデータ管理を行う。

5. おわりに

ニューマチックケーソン工法において限りなく無人化に近づけるべく一端として、今回の多機能型ケーソン掘削機を開発したが更に今後の課題として各アタッチメントの遠隔による着脱システム、火薬装填の遠隔化などの課題が残されているが、これらの問題点を解決する事によって更なる無人化を目指しているものである。

27. 住宅基礎地盤改良機 CH40M ホームレベラの開発

㈱小松エスト：*大津　隆，賀川　進
山崎　栄二，鈴木　孝幸

1．はじめに

一昨年初めの阪神淡路大震災以降、基礎地盤を含む住宅の信頼性、耐久性への建築主の要望が高まり、大手ハウスメーカの長期保証化の動きが顕著になってきている。一方、現在の住宅の基礎工事では、作業員による手作業、苦渋作業が多くこれを嫌った若者の建築業離れは深刻である。この様な状況下、戸建て住宅の狭い敷地内で、①地盤条件に応じて ②信頼性が高く ③早く ④安く ⑤楽にできる機械「ＣＨ４０Ｍ－１」ホームレベラを開発したので、ここにその特徴を紹介する。

写真1-1　ＣＨ４０Ｍ－１　ﾎｰﾑﾚﾍﾞﾗ

2．開発の背景

（1）住宅建築基礎

わが国の住宅需要は、バルブがはじけて以降も、新設住宅着工戸数が１５０万戸／年程度で推移し、今後も低水準金利が相まって暫増が予想される。その基礎の約８０%が施工コストの安い布基礎となっている。震災以降、基礎地盤への関心が非常に高くなっており、布基礎についても施工コストが現状以下で信頼性が改善される工法は広く普及していくものと思われる。（図２－１参照）

（2）現在の布基礎地業（一般的な住宅の基礎工事工法の問題点）

ミニ油圧ショベルでの溝掘削後の溝整形、栗石、砕石等のねこ（一輪車）による運搬、栗石立て、目潰し砂利敷きおよび均し、ランマまたはバイブロプレート等による締固め等、手作業、苦渋作業が多く若者に嫌われている。（図２－２参照）

図2-1　Ｈ６年度新設住宅着工戸数割合と一戸建建築基礎割合

大手ハウスメーカ
１０社調査結果より

（1）直接基礎
①布基礎　７８%
②ベタ基礎　４%

（2）地盤改良
①表層地盤改良　８%
②柱状地盤改良　９%
③その他　０%

（3）杭基礎 他　１%
①鋼管杭
②コンクリートパイル
③松　杭
④いかだ基礎
⑤他

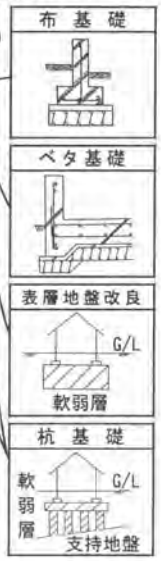


図2-2　布基礎工事(栗石地業)

(3)背景のまとめ

①基礎地盤に起因する障害の増加・顕在化。

②人手不足　特に若者の建築業離れが深刻である。

③現布基礎工事工法では、作業員による手作業が多い。

現在、適当な機械がない ⇒

狭い敷地内で
地盤条件に応じて
　早く・安く・楽で
　信頼性の高い
機械および工法の
　　開発が必要

3、機械の特徴

(1)機械の特徴

①作業機を双腕タイプとし、前方作業機には、底面が平らのバケット(容量0.1㎥)を備え、このバケットリンク部に振動アクチュエータを装着し、通常の掘削はもちろんのこと、振動締固め、振動掘削、杭打ち等の作業を可能とした。(写真3-1参照) 後方作業機には、コマツスタビライザの技術を生かし小型・シンプルながら高性能なスタビライザを装着した。(写真3-2参照)

表3-1　主要スペック

運転整備重量		3.9t
機体重量		2.7t
エンジン出力		28ＰＳ/2500rpm
ﾊﾞｹｯﾄ	容　　量	0.1㎥
	幅(ｻｲﾄﾞｶｯﾀ含む)	700mm
ｽﾀﾋﾞﾗｲｻﾞ	改　良　幅	500mm
	改　良　厚　さ	MAX300mm
締固め力		3.0t

②運転席は、通常前方作業機側を向いているが、後方作業機用に、レバー操作のみで120°回転させる様にし、オペレータの操作性を確保した。

③また、住宅基礎下改良工事を主目的とするので、上部車体の小旋回性をミニショベル並みとし、輸送性も、普通免許で運転できる４トントラックで輸送可とし、車体をシンプルにまとめた。

④よって、・溝掘削・固化剤と土砂の混合攪拌・均し・締固め・レベル出し・埋め戻し・整地・振動掘削・杭打ち・積み込み等の住宅基礎下地盤改良工事が作業機を交換することなく１台で可能である。

写真3-1　振動バケット装置

写真3-2　スタビライザ装置

（2）工法の改善

現状工法は、根切り後栗石（または砕石）を敷設し、転圧、捨てコンクリートを打設する。これに対して、本改良工法は、栗・砕石の代わりに基礎下の現地盤に固化剤を散布し、この固化剤と現地盤をＣＨ４０Ｍホームレベラにより、直接混合攪拌後、振動締固めするものである。

本改良工法により、以下に示す効果を得ることができる。

①地盤条件に応じて固化剤の種類、配合量を変えて施工できる。

②改良地盤により支持力を上げることができ、基礎の信頼性向上が図れる。

③栗・砕石の敷設が不要で、別の転圧機も必要ないので、手作業、苦渋作業の低減になる。

④栗・砕石を敷設する部分まで根切りする必要がないので、地盤強度低下が少なく、かつこの残土処理が不要。このため工期短縮、コスト削減ができる。

本機による改良工法の基本概要を表３－２に示し、施工状況を写真３－３～写真３－６に示す。

表3-2　改良工法の基本概要

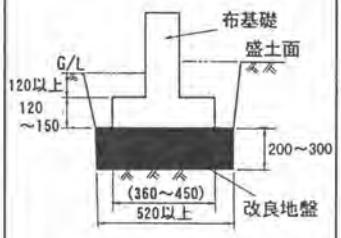
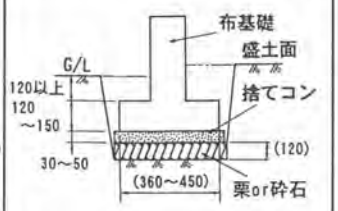
	改良工法	現状工法(栗石地業)
基礎断面概要図		
施工手順	1. 根切り 2. 固化剤の散布 3. 固化剤と現地盤の混合攪拌 4. 締固め	1. 根切り 2. 栗石の敷設 3. 転圧 4. 捨てコンクリートの打設

写真3-3　根切りおよびﾚﾍﾞﾙ出し

写真3-4　固化剤と土砂の混合攪拌

写真3-5　振動締固め

写真3-6　小旋回姿勢

4．今後の課題

ＣＨ４０Ｍホームレベラは、住宅の基礎下工事を改善する機械として開発したものであり、工法も新しい提案であるが故に、ハウスメーカ・工務店等に認知していただく必要があり、この普及には大きな努力と時間がかかるものと思われるが、近い将来、全国の住宅の基礎工事で、本機および本工法を見ることができる様になると考えている。

また、本機は、油圧ショベルの多機能化の１つとして、双腕タイプの新建機とした。そして、主ターゲットを住宅の基礎下地盤改良としたので、振動バケットとスタビライザを装着したが、先端の作業機を交換することにより、管工事・解体工事・道路工事等多種多様の工事への適用が考えられる。そこで、カスタマからのご意見、ご提案により用途に応じた最適な仕様車を準備していきたい。

5．おわりに

最後になりましたが、本機および本工法の開発に当たり、現状の工法について詳細にご指導いただいた皆様、また、仕様その他多方面にわたり、ご指導、ご協力をいただいた関係各位の皆様に深く感謝するとともに、今後も本機を使いやすい機械にしていくためにご助言、ご鞭撻をお願い致します。

28.　全断面深礎掘削機の開発

㈱サンテック：波里　正典
千歳電気工業㈱：草川　延浩
日立電線㈱：平井　幹男
㈱ヒメノ：相澤　和夫
日立建機㈱：村岡　　正，関　　一秀

1．緒　言

近年の架空送電線は、輸送電力の大容量化に伴い大規模化され、社会環境への配慮から、その立地条件は急峻な山岳地が多くなっている。そして、この様な送電用鉄塔においては、深礎基礎が多く採用されている。

しかし、本工事は、重機の搬入及び効率的な稼動が困難な立地条件である為、ほとんどの場合は作業員が深く、狭隘な孔内に入って人力掘削を行っている。

一方、労働力の確保は、労働人口の減少及び３Ｋイメージなどから困難化しており、本工事の省人化、作業環境改善、安全性向上が非常に重要な課題となってきた。

この様な状況の下、鉄塔施工業者の（株）ヒメノ殿、（株）サンテック殿、千歳電気工業（株）殿、日立電線（株）殿と共同で、深礎基礎の孔内無人化掘削を実現し、且つこの様な立地条件でも使用できる、分解型の全断面深礎掘削機ＦＤ３５００（Ｆｏｕｎｄａｔｉｏｎ Ｄｒｉｌｌの略）を開発し、実用化したので以下に報告する。

2．装置の概要

（1）　必要仕様

送電用鉄塔の深礎基礎工事現場に、装置を導入し受け入れていただくには、深礎基礎の掘削が可能である以外に、その工事現場固有に要求される仕様を満たす必要がある。この様な要求仕様と、本装置開発にあたってのそれぞれの対応方針を表１にまとめた。

表1　要求仕様と対応方針

項目	要求仕様	対応方針
基本仕様	・基礎径　　φ3、3．5ｍ	・孔壁保護を考慮し、掘削径3．1～3．8m
	・最大掘削深さ　30ｍ	・同左
搬入組立方法	・索道又はヘリコプタ輸送可能	・2．3tf分解型
	・36tf・mジブクレーンで組立可能	・索道運搬可能な分解サイズ
設置地盤対応	・最小限の切取、盛土で設置可能	・設置スペース5．5m□
	・斜面への設置可能	・最大30°まで
安全性配慮	・掘削時、孔内無人化	・地上からの遠隔操作方式
	・孔壁保護等での作業員の入孔を配慮	・専用の入孔用ゴンドラを装備
掘削土質対応	・N値300程度の中硬岩まで掘削可能	・掘削具に超硬チップを採用
	・含水等の影響のない確実な掘削と排土	・アースドリルバケットに掘削土砂を取り込みこれを孔外に持ち上げて排土する方式
操作性	・ショベル等汎用建設機械並みの操作性	・新工法の採用
経済性	・現状に対する施工積算が同等以下	・全体質量40tf以下 ・施工期間を現状に対し2／3以下に短縮化 ・作業に必要な人員を4人以下に省人化 ・掘削に水を使用せず、付帯設備を低減

（2）掘削工法

本装置は、表1に示した操作性、経済性の要求仕様を満たすために、図1にその概略の施工手順を示す新工法を採用している。

この工法は、

① あらかじめ基礎径よりも小さな径の先進孔を掘削し、この先進孔にガイドロッドを挿入し、

② このガイドロッドに基礎孔掘削機を設置し、

③ ガイドロッドに沿って基礎孔を掘削する

もので、

・ 容易な操作で精度の良い基礎孔鉛直度を確保する（1／300以下、30mで±10cm）

・ 施工速度に大きな影響を与える掘削機の昇降動作を高速化する

等の特徴を持つものである。

また、この工法を採用しているため、本全断面深礎掘削機は、

・ 先進孔を掘削しガイドロッドを挿入する先進孔掘削機

・ ガイドロッドに沿って基礎孔を掘削する基礎孔掘削機

の2種の掘削機から構成されている。

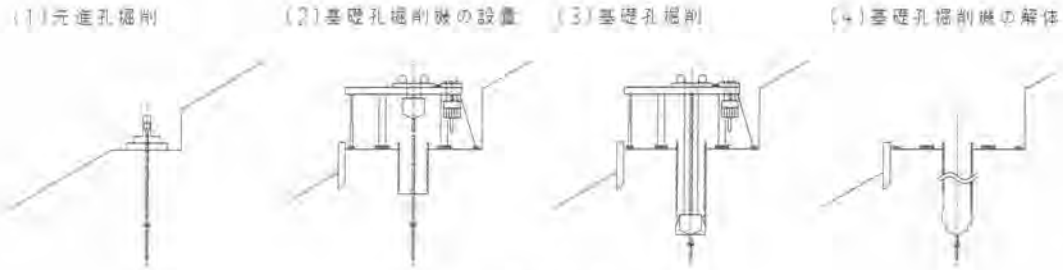


図1　施工手順

（3）先進孔掘削機

先進孔を掘削しガイドロッドを挿入する、先進孔掘削機の概要を図2に、仕様を表2に示す。この装置は、ボーリングマシン、ハンマ、ビット、インナーロッド、ガイドロッド等から構成されており、

・ 掘削に水を使用しない様に、エアーを用いたダウンザホールハンマ方式

・ 施工時間短縮を図るため、先進孔掘削とガイドロッド挿入を同時施工する2重管掘り方式

により掘削を行うものである。

（4）基礎孔掘削機

ガイドロッドに沿って基礎孔を掘削する、基礎孔掘削機の概要を図3に、仕様を表3に示す。この装置は、櫓装置、走行装置、掘削機、ゴンドラから構成され、

・ 全体質量を低減するために、掘削反力は基礎孔壁にグリッパを押し付けてとる

表2　先進孔掘削機仕様

装置	概要	仕様
ボーリングマシン	ダウンザホールハンマ	・電動機容量　15．2 kW ・重量　1．9 tf
ハンマ	エアにより往復運動し、ビットを打撃	・使用エア圧　10．5 kgf／cm^2 ・使用エア量　16．4 m^3／min
ビット	先端の超硬ビットで地盤を掘削 施工時拡径し、終了時回収のため縮径	・掘削径　231 mm ・回収径　176 mm
インナロッド	ロッド内部からハンマにエアを供給	・外径　140 mm ・長さ　3 m ・材質　API 規格
ガイドロッド	掘削と同時に地盤に挿入	・外径　216 mm ・長さ　3 m ・材質　API 規格

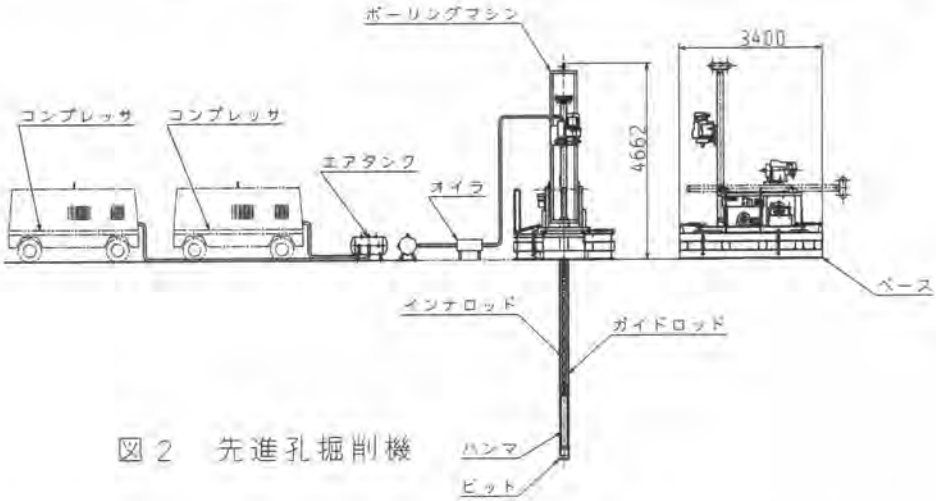


図２　先進孔掘削機

・ グリッパは９０°毎に４本配置し、孔壁の一部が崩壊しても掘削反力がとれる様に、対向する２本のみでも使用できる

・ 基礎孔はライナープレート等の孔壁保護により、掘削機が昇降する際の径が、掘削径に対し小さくなるため、外周カッタは拡径方式

・ 泥土でも確実な排土が可能なアースドリルバケット方式等の特徴をもち、

① 走行装置上に設置されたウィンチにより、ガイドロッドに沿って掘削機を入孔、着底させ、

② グリッパを孔壁に押し付け、拡径カッタを伸ばし、

③ 推力を与えながら、アースドリルバケット、固定カッタ、拡径カッタを回転させることにより、掘削を行い、

④ 掘削終了後、掘削機をウィンチにより孔外に持ち上げ、

⑤ 走行装置により、掘削機を排土位置に移動し、

⑥ アースドリルバケットを開放することにより、排土を行う

といった一連の動作で掘削を行うものである。

表3　基礎孔掘削機仕様

装置	概　要	仕　様	
櫓装置	掘削機を吊り下げた走行装置及びゴンドラ用の設置架台。ガイドロッド保持及びバケット蓋閉じ用の押付装置が付属。	・設置面積 ・質量	約5．5m□ 斜面設置対応可 約15tf
走行装置	掘削機の昇降、排土のための水平移動を行う装置で、上部に油圧ユニット、ウィンチ等を搭載。	・油圧ユニット ・ウィンチ ・質量	135ps 10．7tf × 2台 約8tf
掘削機	孔壁で掘削反力をとり、推力を与えながら回転して掘削する。 φ2．4mまでを、アースドリルバケットにて φ2．9mまでを、固定カッタ(3ヶ所装備)にて それ以上を、拡径カッタ(3ヶ所装備)にて 掘削する。	・グリッパ力 ・推進力 ・推進ストローク ・回転トルク ・回転数 ・バケット容量 ・質量	最大30tf(可変) × 4本 最大7．5tf(可変) × 4本 300 mm 最大20tf・m 最大5rpm 約3m^3 約15tf
ゴンドラ	孔壁保護等で作業員が入孔するための専用ゴンドラ。作業床として労働基準局の認可を取得したもの。	・積載荷重 ・質量	500kgf 約2tf

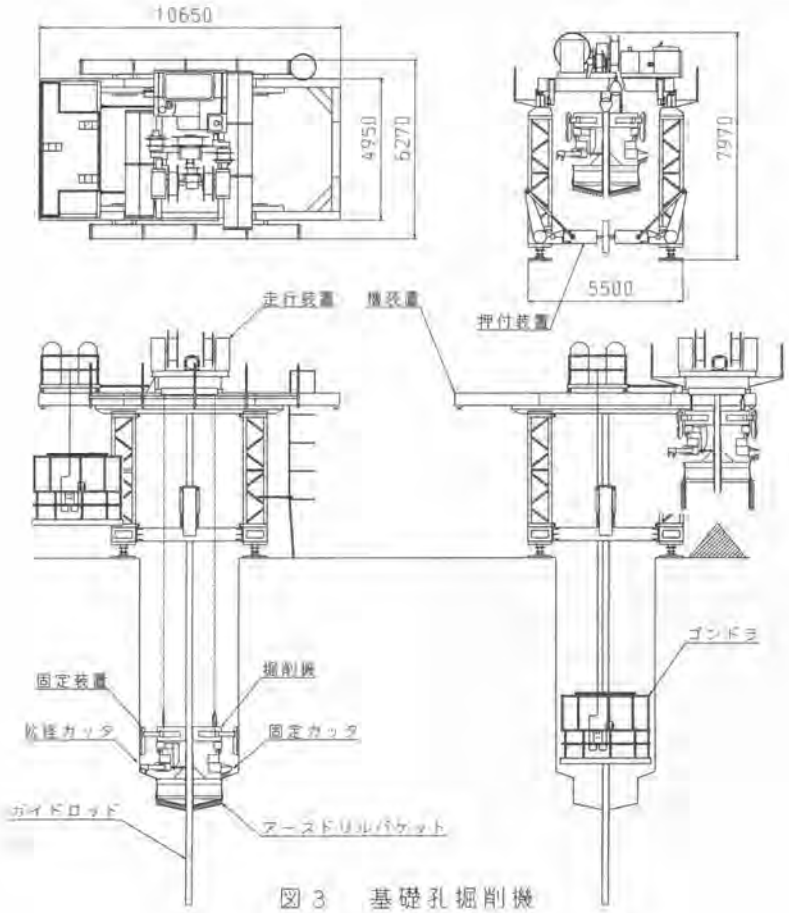


図3　基礎孔掘削機

3．施工結果

これまでに表４に示す様に、試験工事を含め３現場で５本の基礎孔の施工を行なった。この際の施工進捗状況と柱状図の関係（試験施工時）を図４に、その際の基礎孔掘削機の稼動写真を図５に示す。

表4　施工内容

施工名称	施工場所	施工期間	掘削径	基礎径	基礎深さ	孔壁保護
試験工事	茨城県北茨城市	H8／4～ H8／6	φ3．55m φ3．55m	φ3．5m φ3．5m	10m 20m	ﾗｲﾅｰﾌﾟﾚｰﾄ ﾗｲﾅｰﾌﾟﾚｰﾄ
東京電力(株)殿 南いわき幹線5工区	栃木県黒羽町	H8／9～ H8／11	φ3．3m	φ3．0m	20m	ﾗｲﾅｰﾌﾟﾚｰﾄ＋ ｺﾝｸﾘｰﾄ裏込め
東京電力(株)殿 南いわき幹線4工区	福島県棚倉町	H9／1～ H9／5	φ3．65m φ3．65m	φ3．5m φ3．5m	30m 20m	ﾗｲﾅｰﾌﾟﾚｰﾄ＋ ｺﾝｸﾘｰﾄ裏込め

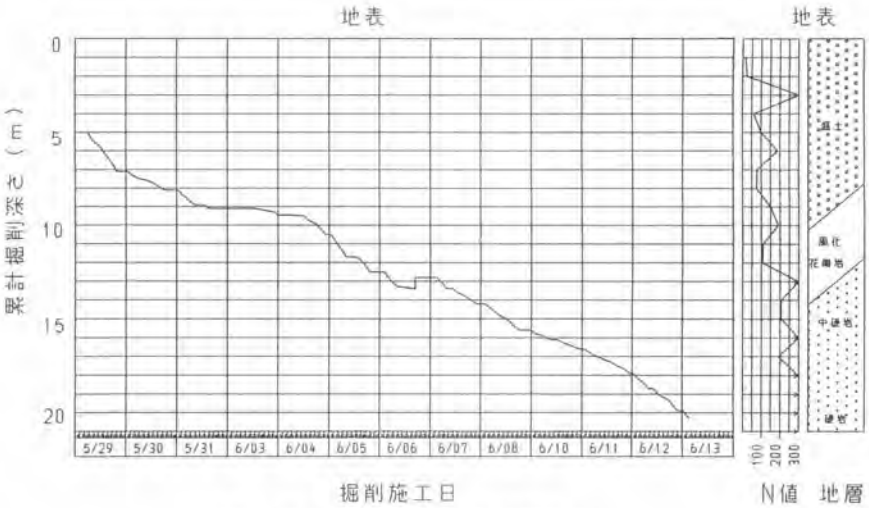


図4　施工進捗状況と柱状図

図５　稼動状況

これらの施工の際に、

① 孔壁保護にコンクリートの裏込めを行う場合、基礎孔掘削機が定置式であるため、コンクリートが硬化するまで装置が稼動出来ず、施工速度が著しく低下する。

② ３６ｔｆジブクレーンで基礎孔掘削機を組み立てる場合、装置自体が大きいため、作業半径が大きくなる部位の組立が困難である。

等の様々な問題点が発生したが、一方では、

③ 施工速度は、図4に見られる様に、地盤の硬さよりも硬い地盤が斜めに出現したなどの地盤の形状への依存性が高いため、ガイドロッドに沿って掘削する本工法の有効性が確認できた。

④ 全ての施工で基礎孔の掘削に成功し、施工期間、必要人員など当初の要求仕様をほぼ達成する、表5に示す様な施工結果を得ることができた。

等の成果が得られた。

表5　施工結果

項目		結果	備考
先進孔掘削	施工時間	平均1．5日	段取りを含む
	鉛直度	1／360～1／600(30mで8～5cm)	
基礎孔掘削	掘削地盤強度	1軸圧縮強度で最大288kgf／cm^2	
	掘削速度	平均1．84m／日	排土を含む
	組立時間	平均4日	作業員4人

4．結果

（1）結論

① 山岳地における送電用鉄塔の深礎基礎工事に適用可能な２．３ｔｆ分解型の全断面深礎掘削機ＦＤ３５００を開発し、実用化した。

② アースドリルバケット方式の採用により、泥土～中硬岩まで幅広い土質の基礎孔が、確実に掘削・排土可能であることが分かった。

③ 新工法の採用により、容易な操作で、品質の良い基礎孔が掘削できることが分かった。

④ 従来比約２倍の掘削速度を実現し、また組立、段取りを含めた施工期間も２／３程度に短縮でき、経済性についても要求仕様を満足しうる目処を得た。

（2）今後の課題

本装置は、山岳地における送電用鉄塔の深礎基礎を対象として開発を行ったものであるが、同様の深礎基礎は、地滑り集水井及び山岳橋梁等の分野においても多数施工されている。現在、これらの分野への本装置の適用を図るため、また、今回実工事に投入した際に発生した問題点、および使用していただいた方々からの御意見をもとにした改良を行うために、以下に示す対応を行っている。

① ２脚掘り及び分解組立を行わない現場移動対応のため、また組立性向上のため、定置式をクローラタイプの自走式に変更。

② 全体質量を４０ｔｆから３５ｔｆ程度に低減。

③ φ２．５ｍ程度の小掘削径対応機、φ４．５～６ｍ程度の大掘削径対応機へのシリーズ化。

④ 掘削速度の高速化（２ｍ以上／日）

5．おわりに

本装置は今後、より多くの実績を重ね、そこで発生した問題点を改良していくことにより、深礎基礎工事全般に導入いただける装置としていきたいと考えている。最後に、本開発に御協力いただいた関係者の方々、実工事投入に御協力いただいた東京電力（株）関係者の方々に厚く御礼を申し上げ、この報文の締めくくりとさせていただく。

29.　分解・組立型甲板昇降式作業台船の開発

鹿島建設㈱：芳野　雄一，　嶋井　森幸
カジマメカトロエンジニアニング㈱：吉川　　修，*高瀬　　毅

1．はじめに

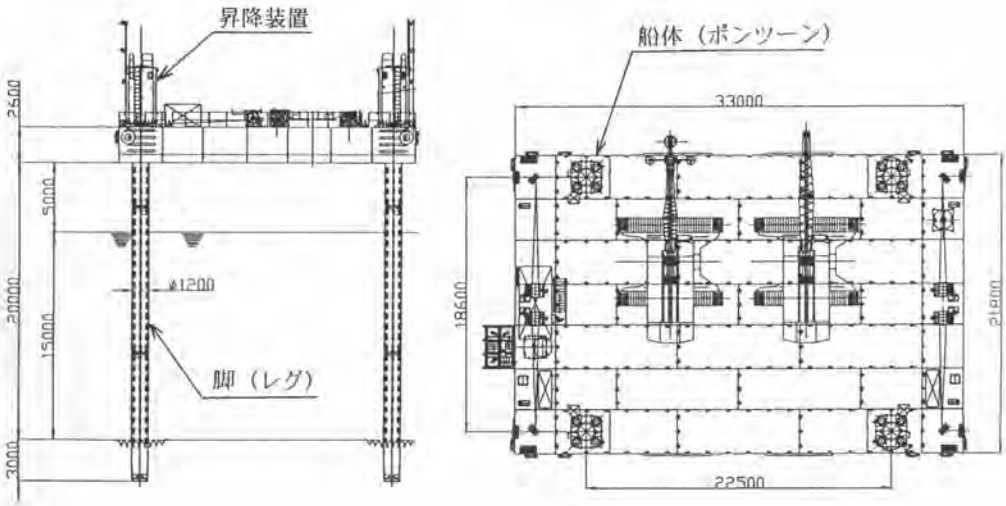
海洋土木工事においては、海面上に安定した作業ヤードを迅速に設置出来ると共に、工事にあった陸上の汎用建設機械を任意に選定し施工を行えることから甲板昇降式作業台船（ＳＥＰ）が使用されるケースが増加してきている。しかし従来のＳＥＰは一体型のため海上運搬費用及び曳航時の安全確保の問題があると共に内陸部では運搬不能なため使用出来なかった。

今回、これらの問題点を解決するためあらゆる場所に運搬可能な分解・組立型甲板昇降式作業台船（スーパーセップ）を開発した。

2．スーパーセップの仕様

この甲板昇降式作業台船は，図－１に示すように次の主要部で構成されている。作業台となる船体（ポンツーン）とその船体を海底面から支持する４本の脚（レグ）、脚を軸に上下する昇降装置からなる。

海上曳航時には４本の脚（レグ）を上昇させ、工事施工現場においては４本の脚（レグ）を下降させ海底面に貫入支持させる。これにより海上作業台となり，作業台上に工事機械・機材を搭載し施工を行う。作業台の仕様は表－１に示す通りである。



図－１スーパーセップの構成

表－1　スーパーセップの仕様

名称		仕様
作業船	型式	甲板昇降式作業台
	主要寸法	基本形（矩形組立状態） 33．0m×21．8m×2．6m
	重量	490ton
	装備品	舷梯　1基
		ボラード　4基
		フェアリーダー　4基
		デッキエンドローラー　4基
		タイヤフェンダー　12基
		曳航ピース　4基
		休憩室　1基
		清水タンク　1基
		燃料タンク　1基
		ウィンチ（5ton）　4基
		発電機（2Kw×24V）　1基

名称		仕様
脚（レグ）	型式	九型鋼管（パッド付）
	主要寸法	φ1．2m×32mm×30m
	数量	4本
船体	型式	分割組立式溶接構造
	寸法・数量	9m×3m×2．6m×12隻
		4．5m×3m×2．6m×12隻
		3．0m×3．0m×2．6m×14隻
昇降装置	型式	リング&パッド方式
	昇降能力	400t／脚×4本＝1600t
	操作方式	中央レベル管制・機側操作
照明設備	作業灯	紅・緑　各4灯
	停泊灯	白　1灯
	マスト灯	白　1灯　紅　2灯
	航灯	2灯
	船尾灯	1灯

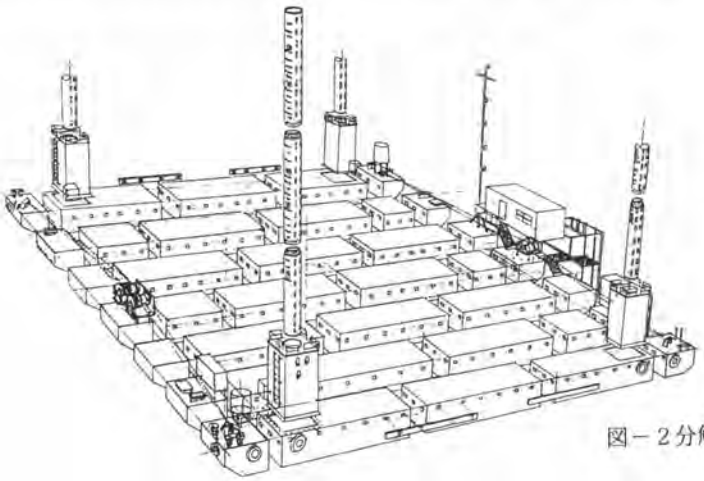
3．スーパーセップの特長

本船の最大の特徴は任意の形状に組立かつ分解が可能であること、従来の一体型と同等の能力を有する事である。

又、組立式で問題となる船体ジョイント部のたわみを独自のジョイント方式の採用により従来の一体型と同等とする事を可能とした。その特長を以下に示す。

1）分解・組立方式

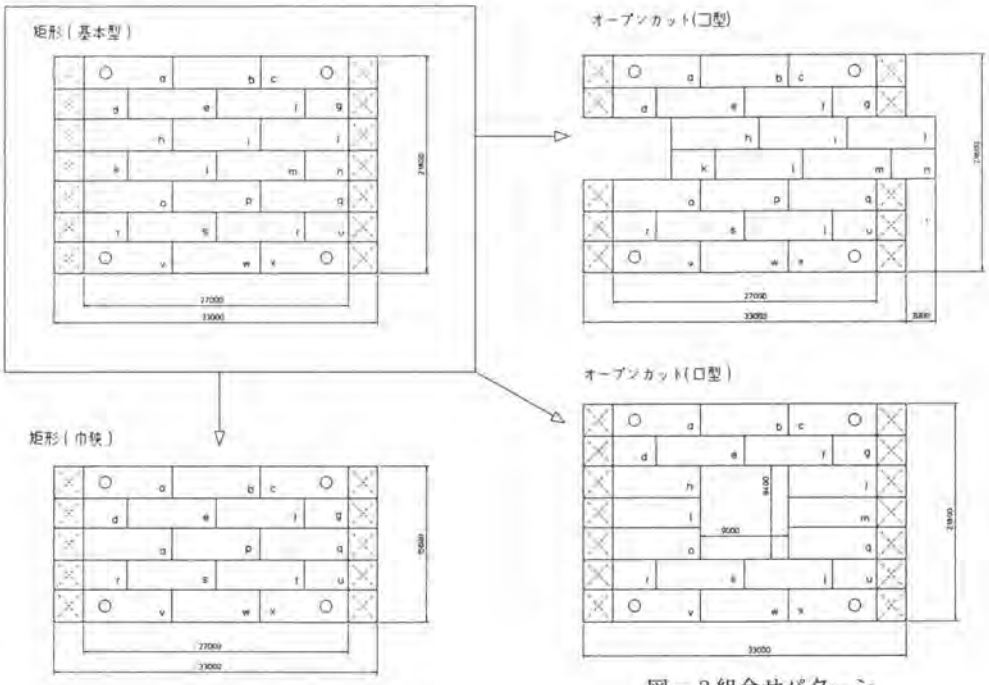
図－2に示す通り船体は標準で38個のブロック（ポンツーン）から構成されその結合はオスジョイントとメスジョイントをテーパー付の金物で固定している。



図－2分解・組立状態

これにより図－3に示すように工事に合わせ任意の形状に組立が可能となる。又、船体を支持する脚（レグ）は1本10m×3本で構成され接続は、はめ合い挿入しジョイントピンで固定する方式を採用している。

以上を分解可能とする事で海域以外においても分解状態での陸送が可能であるため従来のセップでは施工出来なかった内陸における湖・河川・沼等でも使用する事が可能となった。



図－３組合せパターン

２）組立式としては最大規模の能力を装備

従来の一体型セップとの能力を表－２に示す通り作業面積と昇降能力で比較する。これによると一体型セップとしては中型と同等の能力を有すると共に組立式としては最大規模の能力を有する。

表－２　従来の一体型セップの比較

型　式	用　途	デッキ面積（㎡）×昇降能力（ｔ）
ポンツーン一体型	海域	セップ『ＦＵＪＩ』 ４５０（㎡）×１２００（ｔ） セップ『ＡＳＯ』 ６４０（㎡）×１６００（ｔ） セップ『ＯＧＡ』 ８４０（㎡）×２２００（ｔ） その他８隻
ポンツーン分割型	海域・湖・河川・沼	スーパーセップ ７２５（㎡）×１６００（ｔ）

当社の建造実績（抜粋）　計画　鹿島建設　　設計・製作　ｶｼﾞﾏﾒｶﾄﾛｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ

3）一体型セップと同等のたわみ量

従来の組立式セップでは船体にジョイントのガタによるたわみが発生しレール等固定に苦慮していた。今回はこれらの問題を解決するため独自のジョイント方式（ロック部分をテーパーとしジョイント部のガタをなくした）を採用する事により船体のたわみを従来の一体型セップと同等とした。

4）広い作業デッキ

船首サイドと船尾サイドに補助船体（ポンツーン）を設ける事により、ぎ装品・ユニットハウス等をそれらに搭載する事でメイン作業デッキのを有効利用を可能とした。

4．代表的な施工方法

主に本船を利用した施工方法を以下の通り示す。（図－4、図－5）

1）ダイレクトパイル工法

１５０ｔクレーン

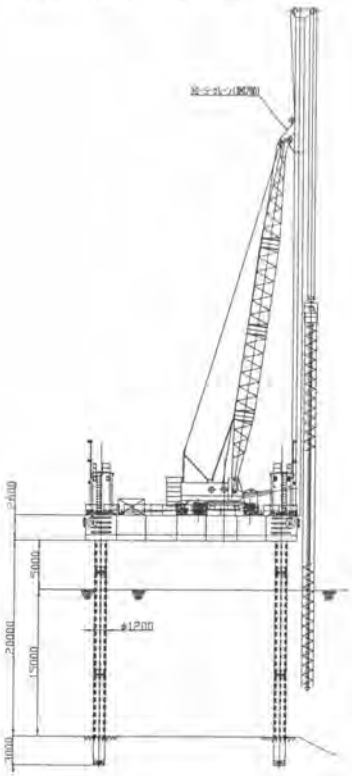
１５０ｔ懸垂リーダー付　クレーン

ダウンザホールハンマー

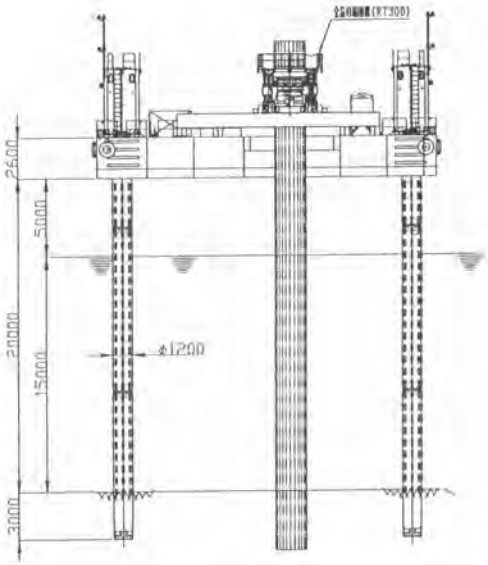
2）φ３０００mmケーシング回転掘削

全旋回掘削機

１５０ｔクレーン



図－４ダイレクトパイル工法



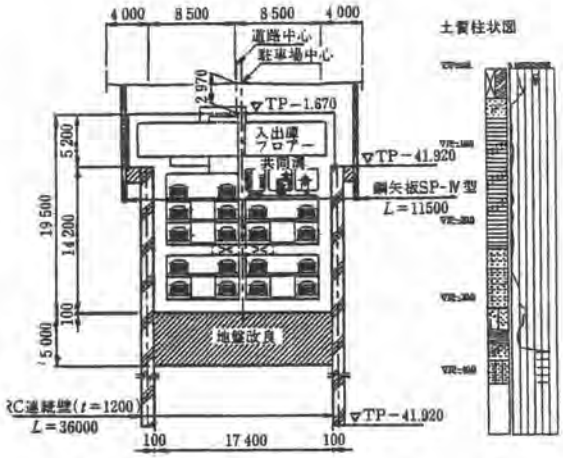
図－５φ３０００mmケーシング回転掘削

30. 埋設物直下で施工可能な拡翼式連壁工法

大成建設(株)：*鈴木　庫雄，高瀬　義行
荒井　政男

1．はじめに

本工事は、平成３年５月の道路法改正を基に、横浜市の都心部における増加する駐車場需要に対応するために、一般国道１６号の地下空間を利用し、共同溝と地下駐車場を一体的に集約した施設として整備するものである。構造図概要を図－１に示す。



2．工事概要

工事名　伊勢佐木町地下駐車場・共同溝工事
発注者　　建設省関東地方建設局
施工者　大成・熊谷特定建設工事共同企業体
工　期　　1994(H6).12.9 ～ 1997(H9).12.6
施工場所　横浜市中区曙１丁目
　　～羽衣町２丁目地内
工事内容　共同溝施工延長　　479.5m
　　地下駐車場　　200 台収容予定
　　２列２段４列平面往復機械式

工事数量

連続地中壁　壁厚 1.2m,深度 43m
　コンクリート打設量 10,000m3
鋼矢板圧入　3,360 枚,
地盤改良　　Swing-Mjet 工法　　212 本
　　RJP 工法　　561 本
土留支保工　2,000t
掘削土量　　79,000m3
路面覆工　　6,700m2

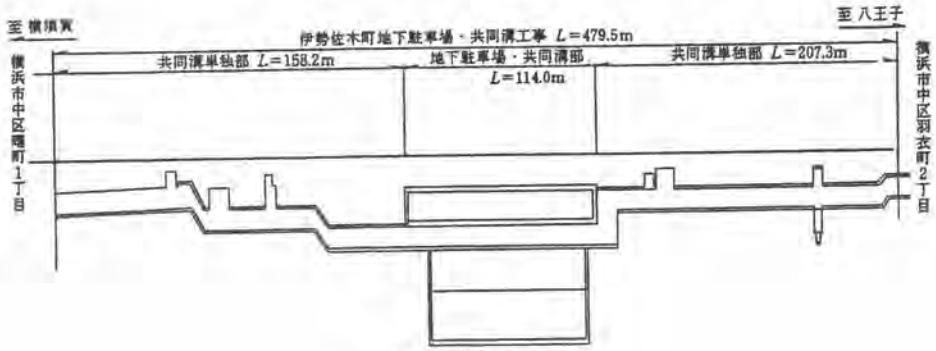


図-１　構造図概要

施工内容

地下駐車場部においては，歩道幅員 4.0m を 1.5m に減少し，昼間作業帯幅約 6.0m、夜間作業帯幅約 12m にて，車道上下線を切替えながら施工する。

土質性状は，路面下より 35m までが軟弱な海成粘土質シルト層、以下 2.0m 層厚の砂礫層と続き、37m 以深が軟岩(土丹)層である。

3．工法の概要

幹線道路下に地下駐車場や駅舎を建設する場合、連続地中壁構築部に電気・ガス・上下水道等のライフラインが貫通していることが多く、その真下にも連続壁を構築する必要がある。従来、ライフライン真下における山留壁は、アンラップと呼ばれ、路上からの連続壁とは分離施工されて、路下柱列式連続壁を多用し、地盤改良・注入工法が併用されてきた。

本工法は、埋設物下をかわした部分から真下をすかし掘りすることにより、以下の特徴及び従来工法(路下工法)の欠点を解消している。(図－２参照)

図-2　工法概念図

【工法の特徴】

a.連続地中壁一般部施工と同時に施工が可能

b.山留,内部掘削工程が途中で支障されない。

路下工法を採用する場合、競合する山留・内部掘削工程を一時中断してアンラップ部の施工を行うため、この部分の施工工程がクリティカルとなり、全体工程が遅延する可能性が高い。

c.地下水の影響が少ない

路下工法においては、特に問題となる施工基面より高い地下水位による溝壁の崩壊等の危険性を回避できる。

d.埋設物の占用幅員が約 6.0m まで対応可能

e.土丹層等の軟岩及び砂礫層の掘削が可能

4．施　　工

4．1施工環境

一般国道１６号は、昼間には４万台が通行する幹線道路であり、その交差点部にて本施工が行われる。このため、夜間のみの施工となり、作業帯の形成、昼間の一般車両通行用の覆工・安全設備復旧に要する時間等を考慮すると、実質作業時間は６時間程度となる。

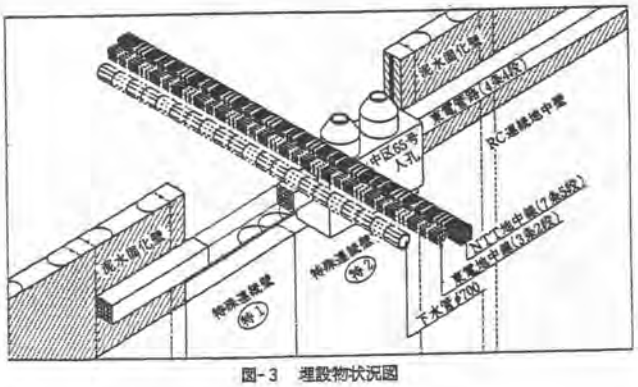


図-3　埋設物状況図

また、交差点部での施工は、一般車両の切り回しのみでなく、横断歩行者の誘導等にも注意を要することであり、第三者への気ずかい等施工管理に加えて安全性・危険回避の重要度を一層考慮しなければならない。

図－3に示すように、ライフラインの埋設状況は占用幅員約 4.0m、深さ 3.0m であり、地下水位は路面下-1.2 ～ 1.4m に位置している。

4．2施工フロー

埋設物の占用幅員が 4.0m と広いため、まず埋設物の片側より掘削し、片側エレメントのコンクリートを打設し、その後もう一方のエレメントを同様にして施工、ライフライン真下にエレメント間接合部を作る方法とした。

以下に片側エレメント施工フローを示す。

（図－4参照）

①ライフラインの吊り防護

②ガイドホール掘削、ガイド材建て込み

③拡翼掘削機により埋設物下まで初期掘削

④所定深度まで掘削

⑤鉄筋かご建て込み、埋設物下へ挿入

⑥コンクリート打設

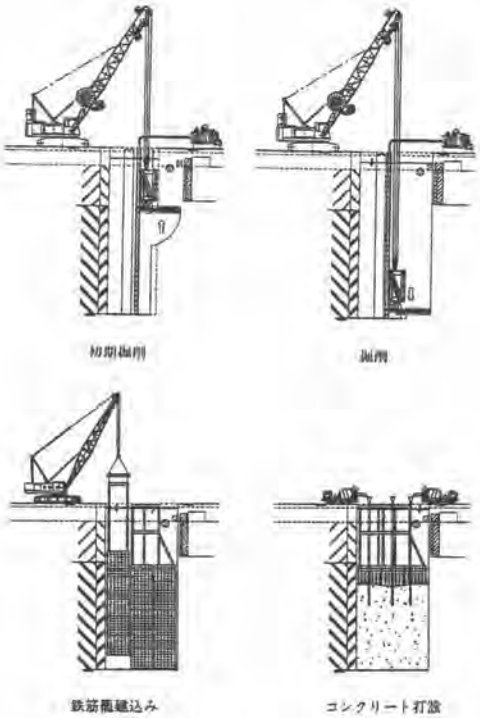
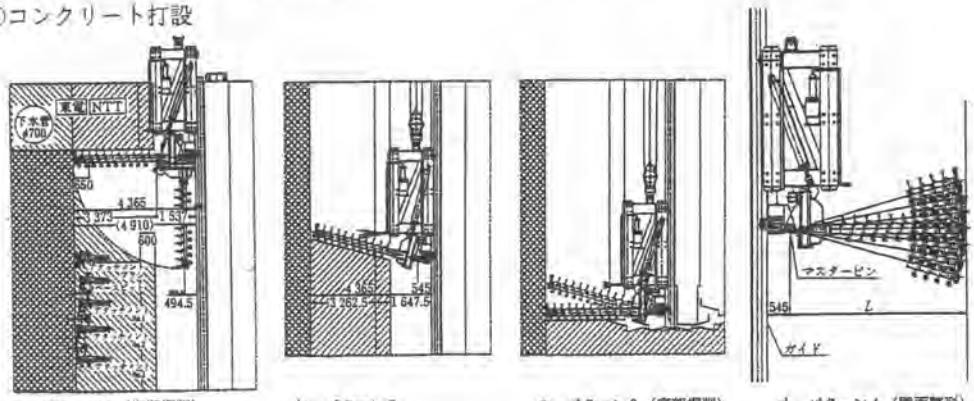


図-4　片側エレメント施工フロー

4．3掘削パターン

掘削地点によりツインカッター拡翼掘削機の掘削パターンは、掘削地点の状況に合わせて図－5のように施工した。



a．パターン1（初期掘削）
埋設物下約5m地点へ角度0°にて鉛直にガイドに沿って挿入し，俯仰角90°まで掘り上げる。
その後，俯仰角90°のまま埋設物直下へゆっくりと深度計を確認しながら掘削。

b．パターン2
深度計を確認しながら，掘削土砂の排土効率・粘着防止等を考慮して，俯仰角105°にてジェットを併用しながら掘削。

c．パターン3（底部掘削）
溝底部において余掘り量を最小にするため，底部付近にて俯仰角90°にて掘削。

d．パターン4（壁面整形）
後続する接合エレメントの掘削形状を容易に掘削するため，または先行したエレメントのコンクリートに付着した土砂をブラッシングするためのパターンであり，アタッチメントピットおよびブラシピットによる整形パターンである。

図-5　掘削パターン

4．4施工結果

厳しい施工環境にもかかわらず予定した工期内で完了することができ、掘削精度も1/500、接合面での両エレメント間接合ずれ量 50mm程度と満足のいく結果であった。

また、従来路下工法との比較においても、山留壁施工に際し約 25%の工費・工期の短縮が図られた。

5．ツインカッター拡翼式掘削機

【仕様】

① 掘削形状

壁厚　；800 ～ 1200mm

拡翼長さ　；3400mm

② 掘削能力　；50T

③ カッター回転数　；11.8 ～ 5.9rpm

④ 旋回シリンダー引き上げ力；40T

【特徴】

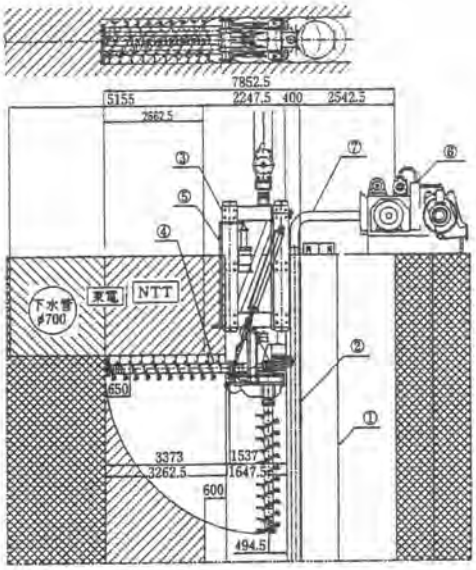
① 2本のカッターを使用しているため、偏芯・ぶれが少なく、負荷のバランスが良好である。

② 駆動動力として、油圧モータを使用しているため、変速が容易であり土質に合わせた切削トルクを選択できる。

③ カッターがラップしていることより、土砂が粘着する可能性が少なく、正逆転させることにより砂礫層での噛み込みによる障害も、容易に解消可能である。

④ 壁厚の変更に際しても、同期用減速機歯車を交換することにより 800 ～ 1200mm まで対応可能。

⑤ 自重が 10t 程度と軽く、MHLバケット式連続壁掘削機のベースマシンにて使用可能であり、搭載用専用機が不要である。



No.	項　目	仕　様	備　考
①	反力パイプ	φ1000	
②	ガイド	H400×2本組	
③	拡翼式掘削機	壁厚800～1200mm	
④	ツインカッター	φ700×2	壁厚1200mm用
⑤	ジェットノズル	φ32	
⑥	サクションポンプ	55kW	
⑦	排土管	8"	

図-6　ツインカッター拡翼式掘削機

6．今後の課題

本工法は、その特徴の一つとして埋設物下にてエレメント接合部を作ることが可能であることが挙げられる。しかし、エレメント接合部での止水性向上及び精度向上のためには、以下の課題を担うと思われる。

① ツインカッター拡翼掘削機によるコンクリート切削のための性能向上

② 埋設物下での掘削幅方向の超音波測定

③ 接合面でのズレ量を制御するための機能

④ ガイド材建て込み精度向上のための手法

都市部での施工に際して有効な工法であり、適用範囲の拡大が一層望まれるとともに、本報文が同種工事の一助になれば幸いである。

また、本工法に御理解をいただいた横浜市下水道局・東京電力・NTT 及び基礎工編集部の関係各位に深く謝意を表します。

31. 骨材プラント自動化システム（CAP）

㈱間組：*麻生　公裕，玉置　高志
橋本　和己

1．はじめに

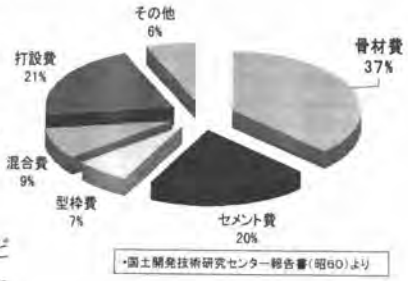
骨材製造は、コンクリートダム工事の重要な部分であり、堤体工事費の３７％をしめている。

そのため、プラント機械においては、各機械の能力や耐久性の向上がすすみ、運転でもシーケンス制御を導入するなど効率化が進められた。

しかし、ダム工事では、岩質や使用量が変動するために機械の調整が頻繁なこと、よりシビアな品質の安定的供給が求められること、故障時の影響が大きいため点検整備に万全を期すべきことなどから、依然人力に頼る運転が多い。

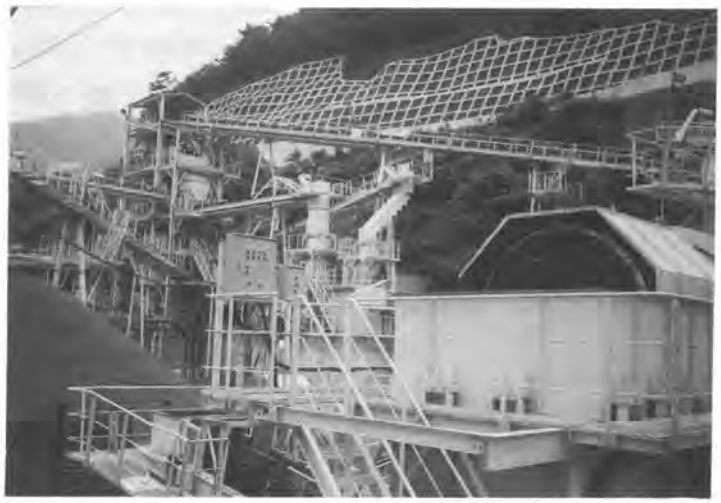
このため、粉塵・騒音・振動のなかでの作業や、重機や回転機械と共存した作業が行われている。

今後は、熟練作業員の不足が進む一方で作業時間短縮などの要請が高まるため、さらなる効率化あるいは新しい運転手法の確立が必要となる。



図－１．堤体工事費にしめる骨材費

そこで、コンピュータ等を利用して人を支援することを目標に，骨材プラント自動化システムを開発し施工に供するに至ったので、滋賀県姉川ダムの例を中心に報告する。

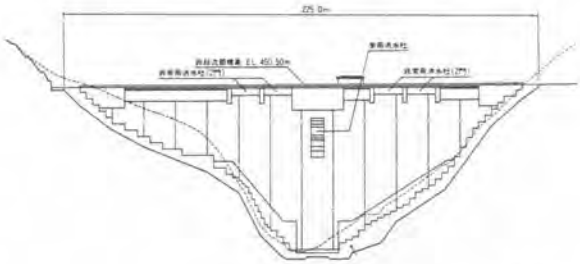


写真－１．姉川ダムの骨材プラント（洗浄設備及び二，三次破砕設備）

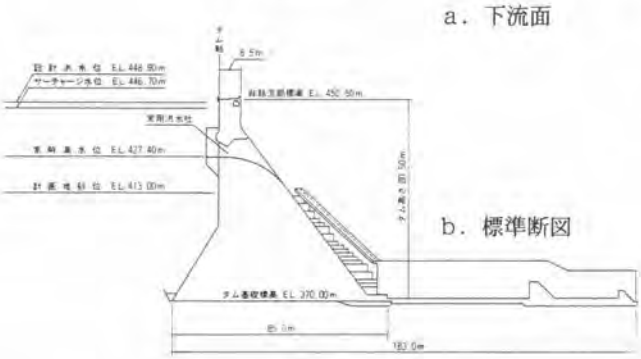
2．工事概要

姉川ダムは堤体積３０万ｍ３の重力式コンクリートダムで、打設はＥＬＣＭ（拡張レアー）工法により行う。

図－２．姉川ダム位置図



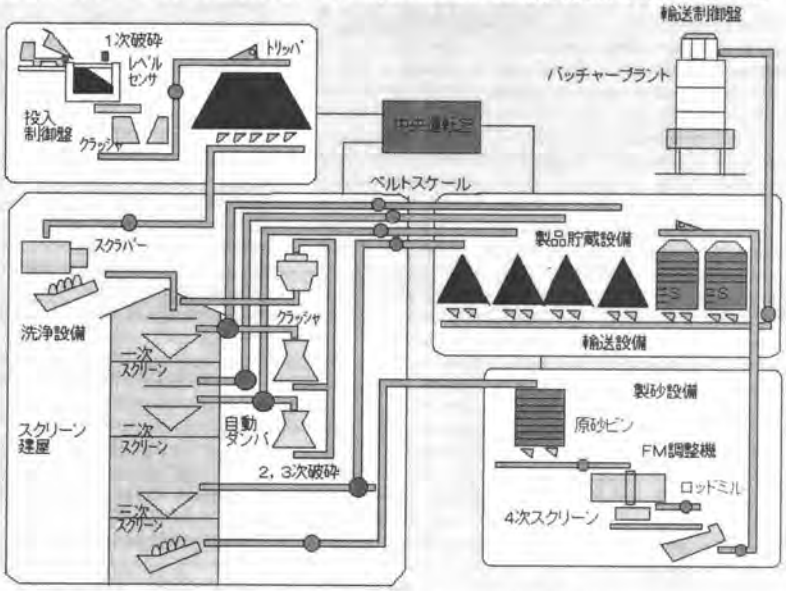
ａ．下流面



ｂ．標準断図

図－３．　ダム図面、

3．骨材プラント自動化システム（ＣＡＰ：Computer-Aided-Aggregate-Plant）の内容



図－４．骨材プラントフローと自動化部分

（1）一次破砕設備

従来、人力作業があったため、原石投入にともなう振動フィーダの損傷、破砕機での詰まりによる運転停止、重機との接触事故などの問題があった。

そこで、以下の自動化を行った。

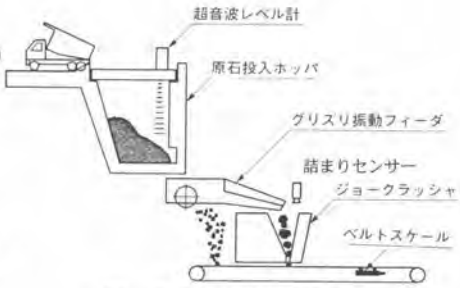
・各機械の負荷電流の監視　　（写真－3）

・原石ビンのレベルを検出し、ダンプの投入誘導、振動フィーダの制御を行う。　（写真－4）

・ベルトスケールによる引出し量測定

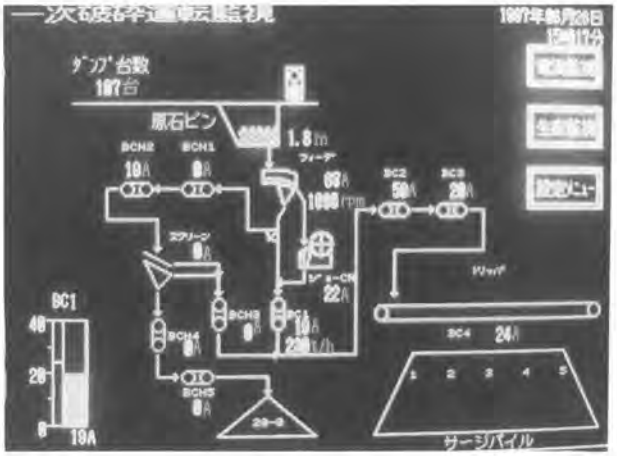
ダンプトラックの検出は、近接センサーで行い、投入回数をカウントする。破砕機での詰まりは、レベルセンサーと負荷電流により監視する。

以上により,中央運転室からの監視で、一次破砕は点検整備要員のみとすることができた。



図－5．一次破砕の自動化

写真－2．グリズリホッパーへの原石投入



写真－3．一次破砕運転監視状況

台　：ダンプ投入台数の表示

m　：貯鉱量のレベル表示

A　：アンペア（各機械の負荷電流）

rpm　：振動フィーダの振動数

t／h　：運搬量

グラフ：ﾍﾞﾙﾄｺﾝﾍﾞｱ no.1 の負荷電流を表示中

写真－4．運転状況の推移表示状況

右：引出し量を入力。ベルトスケールの測定値をもとに振動フィーダを調整し、目標値に近づける。

左：原石ビンのレベル設定。
現在 1.0m 以下で引出し停止
3.2m 以上でダンプ投入停止

（2）二．三次破砕設備

二，三次破砕設備は、一次破砕した原石をさらにコーンクラッシャで破砕し、必要な製品の粒度（G1:150～80,G2:80～40, G3:40～20, G4:20～5,S:5mm 以下）に分別する設備である。

通常、製品割合の設定は、ダンパーとよぶ装置で７枚程度の羽根のを開閉して行う。

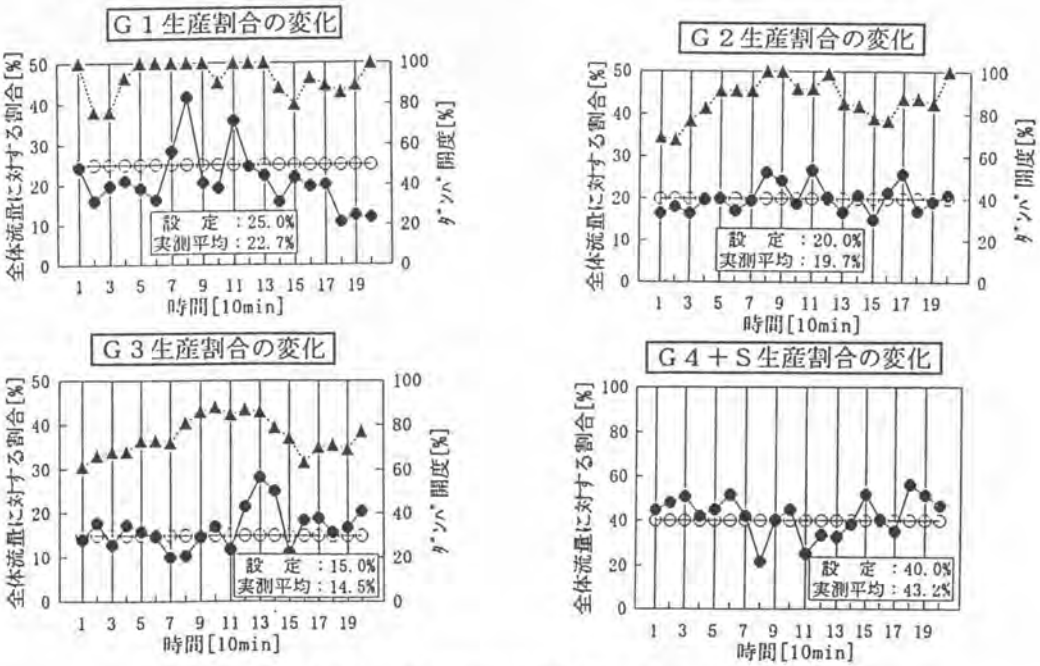
しかし骨材がプラント内を循環するため、所定の割合に落ち着くまで時間遅れがあり、操作には経験が必要である。さらに運転が始まった後は、骨材流のためその変更は困難である。

自動化においては、２枚の横板の組合せとし、コンピュータに連動した電動シリンダーでスライドした（写真－５）。各製品の目標値を設定すると、ベルトスケールによる原石引出量、製品量の測定をもとにコンピュータが開度を変更する機構である。

写真－５．自動ダンパー

自動ダンパーによる生産量の制御状況を図－６に示す。

設定した％（○）に対して、ダンパー開度（▲）が変化し、生産量（●）を調整している。変更後目標値に落ち着くまでの時間遅れはおよそ１０分、一定時間運転後の製品量の設定値と実測値との差は１０％以下であった。



図－６．ダンパーによる生産量の設定と自動運転結果

（3）製砂設備

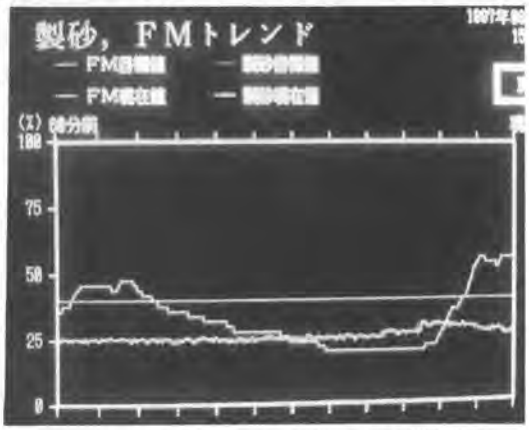
砂の品質はコンクリートの性状に与える影響が大きいため、所定の粒度や粒度分布が規定されている。

これらの測定には、砂をサンプリング後、乾燥・分級・測定が必要で、時間がかかり、1時間で数十トンの生産には、連続的な測定方法が望ましい。そこで図―5のＦＭ測定システムを導入した。ロッドミルからの製砂を4次スクリーンにかけ、2.5mm以上の割合から粒度（ＦＭ値）を算出するものである。

写真－6．ＦＭ測定システムの外観

（4）中央監視設備

従来はグラフィックパネルと制御盤により、1次破砕、二・三次破砕設備、製砂設備ごとに順起動あるいは順停止を行い、異常時には過負荷リレー等で該当設備が全停止していた。姉川ダムでは、コンピュータに骨材運搬量、負荷電流、貯蔵レベル、設定値、運転時間等の数値を伝送し、以上の判断に基づいて警報、停止を出すようにしている。モニターを切替えて必要事項を確認するなど、運転状況の把握が確実になり、故障対応も迅速になった。



写真－7．　製砂のＦＭ制御画面

4．自動化の効果

自動化の効果をまとめると以下のとおりである。

表－1．　自動化の効果

	作業環境	安全性	品質	コスト
1次破砕設備	粉塵振動下の作業がなくなる	重機械との接触がなくなる		運転要員の省力化
2，3次破砕設備		運転中の機械操作がなくなる		生産量の調整が容易 ロス率の把握が正確 生産計画の立案が容易
製砂設備	繰返し作業が軽減される		粒度が安定する	ロス率の把握が正確 運転要員の省力化
中央監視設備	書類作成が自動的に行え、管理業務を省力化できる	点検移動の軽減がはかれる		生産管理が正確になる 早めの故障対応ができる 実績の設計計画へのフィードバックが容易

5．今後への課題

（1）点検整備の省力化

機械の点検・清掃、修理は人力によるので、その作業を軽減する技術、例えば飛石・堆積防止、故障検出センサー開発などが望まれる。

（2）測定技術の導入

原石・粗骨材についての粒度、貯蔵ビンでの含水率などが安定した品質のコンクリート製造に重要であるため、これらをプラント内で連続的に計れる技術が望まれる。

（3）他設備との連携

骨材プラントの運転は、濁水処理設備やバッチャープラント、電力設備などと密に関連しているので、コンクリートダム工事の中で総合的なコストダウンを図るように、連携システムとする必要がある。

写真－8．中央運転室・制御盤

（4）将来設計へのフィードバック

従来は、打設工程から設計を行い、決定した仕様・能力の機械を調達し、運転に当たってはそれぞれの機能を１００％発揮させるのが、骨材製造の眼目であった。

・原石の有効利用（廃棄岩の低減）

・機械の有効活用

・立地の制約

などの課題に対処するには、岩質変動への対応がより柔軟に行える体制、あるいは設計と比べて多少大きめでも手持ちの機械を組合わせて使いこなす技術が期待される。そこで、定量的なデータと運転ノウハウを運転支援のみでなく、合理的な設備設計のための基礎資料として活用する必要がある。

6．おわりに

骨材プラントは、その機械の構成、運転方法からダム工事の中では最も工場生産に近い設備であり、製造業での実績と比較すると、まだ自動化の余地が大きい考えられる。

工事における種々の特性、全般との関わりを考慮しながら、生産性の向上と環境の改善を目標に、骨材プラントの改善・展開に取り組んでゆきたい。

32. コンクリートダムのグリーンカット＆ズリ回収・運搬機の開発

㈱間組：*亀井　隆夫，国峯　紀彦
青山機工㈱：　久世　文雄

1．はじめに

重力式コンクリートダムでは，ＲＣＤ工法や拡張レヤー工法による合理化施工が近年，主流となっている．

合理化施工の技術の進展に伴い，コンクリート打設作業における〔清掃〕－〔打設〕－〔グリーンカット〕－〔養生〕のサイクルの中で，各作業に高い効率性が要求される．特に，１回当たりのコンクリートの打継面処理（グリーンカット）が大きい場合，その処理速度が次リフトへの打設工程に影響を与えることがある．

一方，この作業は，ポリッシャや高圧水を噴射するジェットガンを使用した作業（写真－１），さらには，この集積したずり（レイタンス）をスコップで集め，運搬していく作業であり，以下のような問題があった．

(1)３Ｋ作業（きつい，きたない，危険）である．

①ジェットガンの圧力により手がしびれる．

②レイタンスの汚れが体に付着する．

③他の重機との接触事故の危険がある．

(2)作業能力が小さい．

以上の理由から，グリーンカット作業に対し，機械化による合理化は重要な課題であった．

そこで，グリーンカットの一連の作業を行える機械の開発をコンセプトにし，開発を行うこととした

本論文は，開発の経緯，および開発の成果について述べることとする．

写真－１　人力によるグリーンカット作業

2．開発コンセプト

まず打継面処理の合理化を行う際に，グリーンカット作業の手順を細部工程で検討することとした．細部工程を図－１に示す．

グリーンカット作業の合理化では，この一連の作業をすべて機械化，自動化することが究極の目標である．弊社の実績としても細部工程の中の①グリーンカットの段階の機械はすでに開発済であった．

①グリーンカット：打継面の表面のレイタンスを硬化したコンクリートから取り除く作業
②ずり集積：この打継面から取り除いたずりをかき集める作業
③ずり回収：集積したずりを一次ストック箇所まで搬送する作業
④ずりストック：搬送されたずりを１箇所にストックする作業
⑤ずり運搬：ストックされたずり全体を一次ストック毎，ダムの堤体内で運搬する作業
⑥ずり排出：堤体内で運搬したずりを一次ストック箇所から外部へ排出する作業

図－１　グリーンカットの細部工程

しかし，既開発の弊社の機械の場合，①グリーンカットの工程は機械化によって省人化，効率化が進んだが，それ以降の②ずり集積から⑥ずり排出までの作業が人力作業が主体であり，グリーンカット全体の合理化をなしえない状況であった．

このため，グリーンカットの6工程の細部工程すべてを機械化することが，グリーンカットの一連の作業から作業員を解放し，省人化につながると考え，一連の工程をシステマティックに行う機械の開発に着手することとした．

3．グリーンカット機の開発イメージと問題点

(1)開発イメージ

グリーンカットの細部工程の6工程を1台の機械でまとめることを開発の主眼を置くことにし，機械のシステムをイメージすることとした．グリーンカット機の開発イメージを図－2に示す．

(2)開発上の問題点

図－2の開発イメージのような形で1台の機械でグリーンカット作業を行うと考えると，さまざまな問題が生じることがわかった．以下にこの問題点を示す．

図－2　グリーンカット機の開発イメージ

①グリーンカット：コンクリートの硬化時間によりレイタンスの発生量が異なる．

②ずり集積：ずり（レイタンス）を1箇所に集積するのが困難である．

③ずり回収：ずりはコンクリートの打継面で発生し集積していくが，このずりを一次ストック箇所まで重力に反して上部に持ち上げることが困難である．

④ずりストック：搬送されたずりを一次ストックするが，含水率が高いため，大きなタンクが必要となるか，あるいはずりと水を分離する機構が必要となる．

⑤ずり運搬：ずりを堤体内で自由に運搬する機構が必要である．

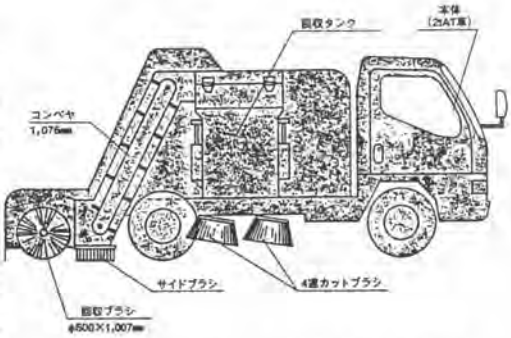
⑥ずり排出：ストック，運搬されたずりをスムーズに排出必要がある．

4．グリーンカット機の概要

グリーンカット機の開発は前述したイメージと問題から出発し，3年間の試行錯誤と実証実験を繰り返すこととなった．この結果，開発されたグリーンカット機の外観図を図－3に示す．

(1)グリーンカット

コンクリートのグリーンカットを行うブラシの材質については，表－1に示すブラシの材質検討を行った．その結果，ブラシの材質を厚さ1.2㎜，幅6㎜，長さ300㎜ の焼き入れ鋼線を使用することとした．



図－3　グリーンカット機の外観図

また，コンクリートの硬化時間によりレイタンスの発生量が異なる点に関しては，ブラシのブーム部

をフレキシブルな構造とし，カットブラシの押しつけ圧力を押圧調整バルブと圧力ゲージにより調整することにより解決した．（写真－２）

写真－２　カットブラシの押圧調整バルブと圧力ゲージ

表－１　グリーンカットブラシの比較検討

ブラシ材料	ナイロンブラシ	シリコンカーバイド	焼き入れ鋼線
ブラシ糸径	1.0 mm	1.0 mm	1.2 mm
柔軟性	大	中	小
耐久性	小	中	大
耐摩耗性	小	中	大
総合評価	×	△	○

さらに，グリーンカットを確実に行うため，装置の進行方向にブラシ回転面を傾けて，焼き入れ鋼線の刃先でカットできる構造にしている．（写真－３）

また，カットブラシを３分割脱着方式とし，カットブラシの脱着と鋼線の植え替えを容易に行えるようにした．

写真－３　カットブラシ

⑵ずり集積

ずり集積は，図－２に示すように４連カットブラシをＶ字型に配置することにより，カットしたずりを中央に集めるよう導流している点に特徴がある．

また，この集めたずりが，外部に飛散しないように本体の両サイドにサイドブラシ（図－３参照）により飛散防止措置を行っている．

⑶ずり回収

本機では，ずり回収をベルトコンベヤによる回収方法を採用している点が大きな特徴である．

ずり回収は，①回収用ブラシと②回収用コンベヤの２装置で構成され，従来のバキュームによる吸引タイプの特徴と大きく異なっている．

回収用ブラシは，装置全体の最後尾に位置し，コンクリート打設面にカットブラシと同様に自動追従する機能を有している．また，ブラシの材質は，表－１の比較表の中で，柔らかい材質でずりを外部へもらさないような効果のあるポリプロピレン製のブラシを用いることとした．

さらに，回収ブラシに連続して，装置後部に回収コンベヤを配置した．この回収コンベヤは回転速度を可変式とし，ベルトコンベヤの上面にナイロンブラシの堰板を配列した構造となっている．このため回収コンベヤのナイロンブラシの先端に，ずりを含んだ水滴群を集積させ，ナイロンブラシの表面張力により重力に逆らって，下から上へとずりを運搬する構造である．

この原理を例えて言えば，掃除機でほこりを除去するより，ほうきを用いてほこりを除去する方がき

れいになるといった感覚と似ている．写真－4にずり回収装置を示す．

(4)ずりストック

ずりのストックについては，本体中央上部の1000リットルの回収タンクにずりを一次ストックする．

このタンクの一次ストック方法は，ずりの自然沈降を利用している点に特徴がある．すなわち，上澄水は自然排水し，重量の重いずり固体のみタンクの下部に沈降する機能を有している．

これにより，この1000リットルのタンクでグリーカットの作業面積で約 800～1000㎡分のずりの一次ストックが可能となる．

(5)ずり運搬

ずり運搬は，本機のベースマシンが2ｔトラックであるため，排出したい箇所までの運搬は通常走行の範囲で容易に行える．また，オートマチック車であるため，グリーンカットが十分行えるような0～10km/h程度の微速走行も可能である．

(6)ずり排出

ずり排出は，回収タンクを進行方向右側，すなわち，運転席側にサイドダンプする方式を採用している．この方式を採用する理由は，運転席側であれば，運転者がサイドダンプする動きを目視することができ作業の安全が確保されるからである．写真－5にサイドダンプによるずり排出状況を示す．

5．本機の性能

(1)概要（従来技術との比較）

本機は，従来の人力作業であるポリッシャ，ウォータージェットによる作業と比較し，作業の効率化が図られている．

表－2に本機の仕様データを，表－3に従来の人力作業との比較を示す・

(2)作業能力

作業能力はウォータージェット2台，ポリッシャ2台の従来の人力作業では 50 ～ 150㎡/hと低かったが，本機による作業は，1台で 400～ 800㎡/hと従来の人力作業の6～8倍と大幅な作業能力のアップが図られている．

さらに，従来の高圧水タイプのグリーンカット機は 150～ 400㎡/h程度であるため，これと比較して

写真－4　ずり回収装置

写真－5　ずり排出状況

表－2　本機の仕様データ

項　目	内　容	規　格
仕　様	作業速度	0～10 km／h
	回送速度	最大　110 km／h
	回収タンク	1,000 リットル サイドダンプ方式
	エンジン	走行用　4D33 130PS／3,200RPM 動力用　C240 42PS／2,400RPM
	登坂能力	0.56 tan
	回転半径	5.2 m
諸　元	全　長	5,050　mm
	全　幅	2,356　mm
	全　高	2,650　mm
	重　量	4,300　kg
作　業 装　置	ｶｯﾄﾌﾞﾗｼ	皿型鋼線ブラシ
	回収ブラシ	円筒型ｶﾞﾘﾌﾞﾛﾋﾞﾚﾝｸﾞﾌﾞﾗｼ
	コンベヤ	ナイロンブラシ製の ひれ付き

も2倍程度の高い施工能力を有している.

この高い施工能力が可能である理由は，①本機では高圧水ではなくブラシタイプを採用しており，オーバーカットをしていないこと，②グリーンカットからずり回収までの作業が一連のシステムとして作業できることによるものである.

(3)省人化

表－3に示すとおり，グリーンカット作業4名，ずり回収作業5名の計9名で作業した従来のグリーンカット作業を本機の導入によりこの本体に付随するい作業員が3名と1／3の省人化となった.

(4)作業環境

人力作業では，写真－6に示すようなずり飛散に対する保護具が必要な苦渋作業であったが，本機による作業では，グリーンカットからずり回収・運搬までの一連の作業がすべて機械作業となるため，いわゆる3K（きつい，きたない，危険）から作業員を解放することができた.

写真－6　保護具を用いての人力作業

(5)施工品質

施工品質で見ると，従来の人力作業では熟練度によりムラのある作業であったが，本機による作業では押付圧力の自動調整によりレイタンスの状況に対応できるので仕上がりムラがなくなった.

また，高圧水タイプと比較してオーバーカットをせず，本来のレイタンスというコンクリートの不純物のみを効率よくカットできるようになった.

写真－7にグリーンカット作業状況を示す.

表－3　従来の人力作業との比較

	従来の人力作業	本機の作業
作業能力	50～150 m2／h 手作業なので時間がかかる	400～800 m2／h 機械による高速なｸﾞﾘｰﾝｶｯﾄ・ずり回収能力
省人化	●ｳｫｰﾀｰｼﾞｪｯﾄ、ﾎﾟﾘｯｼｬによるｸﾞﾘｰﾝｶｯﾄ ・ｳｫｰﾀｰｼﾞｪｯﾄ2台 ・ポリッシャ2台 ・世話役　1名 ・普通作業員4名 ●ﾀﾝﾃﾞﾑによるずり回収 ・ﾀﾝﾃﾞﾑﾎﾟﾝﾌﾟ 1台 ・ペイローダ1台 ・普通作業員3名 ・特殊運転手1名 計　9名	●本機によるｸﾞﾘｰﾝｶｯﾄ・ずり回収 ・本機　1台 ・ﾀﾝﾃﾞﾑﾎﾟﾝﾌﾟ 1台 ・世話役　1名 ・普通作業員 1名 ・普通運転手 1名 計　3名
作業環境	人力作業が主体。ずりの飛散に対する保護具の使用が必要で苦渋作業。	機械作業が主体。一連の作業が同時にでき、苦渋作業から作業員を解放。
施工品質	熟練度によりムラがでる。	圧力調整によりﾚｲﾀﾝｽ状況に対応でき仕上がりムラなし

写真－7　グリーンカット作業状況
（上：人力作業，下：本機による作業）

6．グリーンカットずり回収率試験

(1)試験概要

グリーンカット作業の大きな課題であったずり回収作業においては，以下に示すようなずり回収率の調査を行い，その回収率について確認した．

調査方法は図－4に示すような5×20mの試験ヤードを設定した．

(2)試験方法

試験ヤードAでは，本機（全幅約2.5m）を単独で2回×2列稼動させる．補助員は周囲の安全と走行精度を確認する．

試験ヤードBでは，タンデムポンプによるずり集積の補助員をつけ，本機稼動中に随時，回収ブラシへのずりの流入を図る．カット回数は2回×2列とする．最後に回収ブラシのみ稼動させ残留分を回収する．

残ったずりはタンデムで収集し，人力で土のう袋へ回収し，本機で回収したずりと分別しておく．写真－8に試験状況を示す．

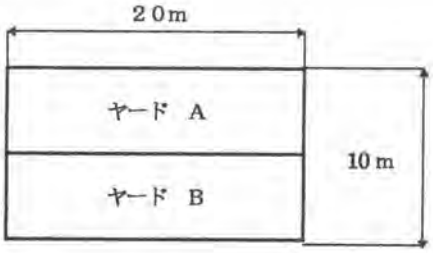
(3)試験結果

回収したずりを粒度別にふるい分け分類して，その乾燥重量を測定し，回収率を算出した．試験結果を表－4に示す．

本機によるグリーンカットで発生したずりのほとんど（80～95%）が0～5mmで発生量は1.9kg/㎡であった．ずり回収率は本機単独では 50 %，タンデムポンプの補助付きで 70 %という結果となった．

(4)試験の評価

試験ヤードAのように本機単独での回収率は低いが通常のタンデムポンプを併用した機械配置で十分なずり回収が可能であることが確認された．



図－4　試験ヤード

写真－8　試験状況

表－4　試験結果

	試験場所	養生時間	積算温度	作業能力	ズリ回収量	回収率
本機単独	A レーン	54時間	1500度	320 m3/h	187 kg	50 %
タンデムポンプ補助	B レーン	64時間	1800度	260 m3/h	193 kg	70 %

施工日時：平成8年9月16日～17日

施工場所：EL 689 右岸ブロック

7．おわりに

本機の今後の課題として，①ずり回収率の向上，②ＥＬＣＭ（有スランプコンクリート）への適用があげられる．ずり回収率の向上に関しては，今後ブラシ周辺部の機構を改造することにより回収率のアップを検討していきたいと考えている．

最後に，今後の本機の一層の改良・普及に向け，関係各位のご指導，ご鞭撻をお願いいたします．

33. アーチリブ張出し施工用の移動作業車（トラベラー）の開発

大成建設㈱：宮内　雅美，*万仲　直也

1．はじめに

コンクリート橋のカンチレバー（片持ち張出し）施工は，一般に移動作業車（トラベラー）といわれる機械装置を使用して架設する。この施工は、張出しブロックのコンクリート荷重を前方支点（メインジャッキ）と後方支点（バックアンカー）の２点で支え、コンクリート硬化後、既設コンクリートとPC鋼材により締め付け、一体化して順次張出していく方法である。

コンクリートアーチ橋のアーチリブのカンチレバー施工も、桁橋に於ける一般的な施工法の延長線上にはあるが、アーチリブのコンクリート面の角度は各ブロック毎に変化するので、この角度変化に対応する機構が必要となる。

今回、カンチレバー施工のアーチ橋を数橋受注したことで、従来の工法に対して幾つかのシステムを見直した工法を採用したのでここに報告する。

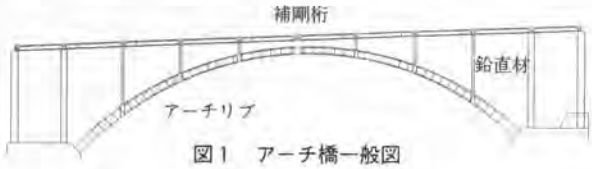


図１　アーチ橋一般図

2．トラベラーの構造

アーチのトラベラーは以下の部材により大別される。（主構の構造モデルを図２に示す）

- 主構（上弦材、圧縮材、主柱、引張材、下弦材、メインジャッキ、バックアンカー）
- 移動用設備（レール、スライドペース、後方車輪）
- 型枠支保工（内型枠、外型枠、底板型枠）
- 上段横梁
- 作業台（下段、後方）
- 鋼製台座
- 屋根材

図２　主構モデル図

3．従来型との違い

図２にトラベラー主構の構造モデルを示したが、従来型トラベラーと今回開発したトラベラーの違いを説明する。

従来型は水平施工用の主構に対しアーチ用の部材を追加し、アーチリブの角度変化に対してはこの追加した部材の長さ（２ヶ所）を調整することにより対応する構造であるが、今回開発型は水平施工用の主構の引張材を長さ可変のものに交換し、この長さ（１ヶ所）を調整することによりアーチリブの角度変化に対応する構造である。この構造にすると、トラベラーの鋼重が１割程度削減できることが確認されている。

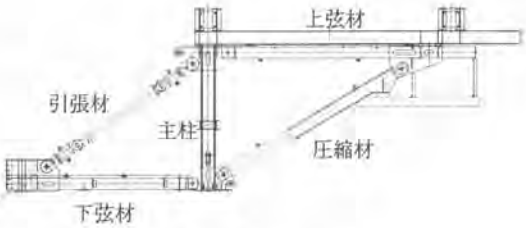


図３　主構一般図

これにより、組立時及び移動時に工程の短縮が可能になるものと思われる。

以下に細部の構造について述べる。

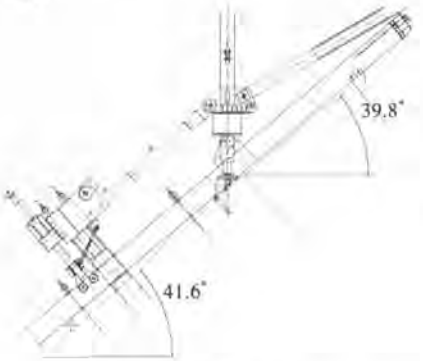
3-1　バックアンカー

トラベラーの重量を支える支点はメインジャッキとバックアンカーであるが、バックアンカーについて従来工法を見直したので紹介する。

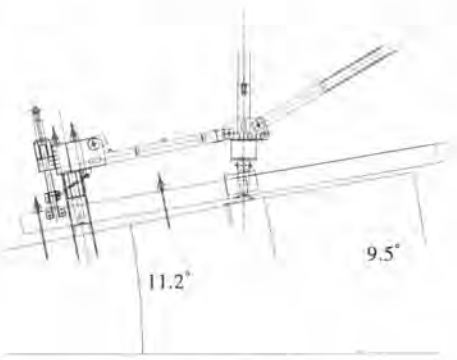
バックアンカーは通常ＰＣ鋼棒（φ３２、Ｔａ＝５３．１ｔｆ）を使用する。コンクリート打設時にアーチリブのウェブ部に支圧板・鋼棒・カップラーを埋め込んでおき、トラベラーの移動セット時に埋め込んであるカップラーにアンカー鋼棒を差し込んで使用する構造になっている。

従来工法では、アンカー鋼棒は全体系に対して鉛直であり、この工法ではウェブの鉄筋とアンカーの方向が異なるために干渉が多く発生し、埋込アンカーの施工時に非常に苦労することが知られている。

ここで今回の工法では、アンカー鋼棒の方向をアーチリブに垂直とし、この施工上の問題点を解消している。



アンカー配置図 (1BL)



アンカー配置図 (24BL)

図４　アンカー配置図

3-2　主構引張材

トラベラーの構造として、打設するコンクリート荷重を支えるために主構後方にバックアンカーと言われるＰＣ鋼棒を使用するが、この材料は曲げ応力及びせん断力に対して弱いため常に直線性を保つ必要がある。

このため主構下弦材をコンクリート床版と平行にしなければならないが、アーチ施工の場合はアーチリブがブロック毎に角度変化する。ここで引張材の長さを変えることによりこの角度変化に対応可能な構造を持たせたのが今回のトラベラーである。

引張材は、油圧引張ジャッキ及び固定用鋼棒取付部により構成される。

この部材には常に引張力が働くが、コンクリート打設時の荷重は固定用鋼棒で受けるものとし、引張材長さ調整時の死荷重はジャッキのみで受け持つものとして設計した。

例として２００ｔ・ｍのアーチトラベラーで引張材の部材力は、コンクリート打設時で約８２ｔｆ、通常時で約４９ｔｆの引張力がかかる。

引張材の長さ調整量は１ブロック移動する毎に３０～５０ｍｍである。

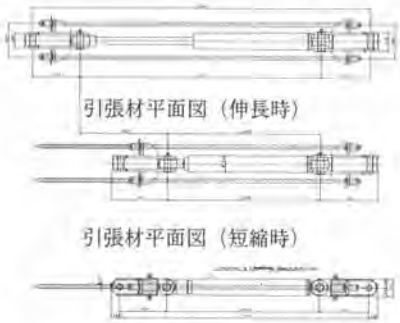


図５　引張材一般図

3-3　鋼製台座

トラベラーのメインジャッキ下部は水平である必要があるが、従来の施工ではメインジャッキ下に上面が水平になるような台座のコンクリートを打設し、施工が完了し不要になった時点で斫り（はつり）壊す必要がある。このコンクリートは多量のせん断鉄筋を必要とし、製作及び撤去は大変煩雑な作業となる。このため、コンクリート台座に変わるものとして、転用が可能で扱いやすい鋼製の台座を開発し、使用することとした。

この台座の構造は、鋼製台座本体・角度調整用テーパーライナー・支持ピンにより構成される。また、メインジャッキもジャッキ下面が６°以内の角度であれば対応可能な構造として、ブロック毎の角度変化に対応している。

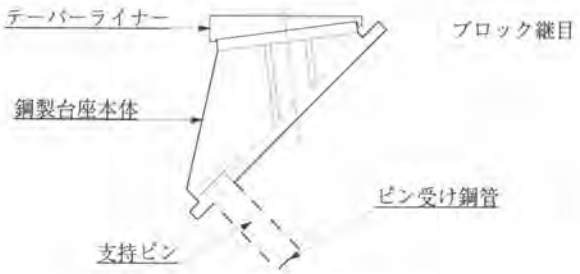


図６　鋼製台座

この鋼製台座については、支持ピン（材質　ＳＣＭ４３５Ｈ）の耐力に拠るところが非常に大きいと考えられるところから、実物大の試験を事前に行っている。

計測項目は以下の通りである。

（１）荷重載荷時の支持ピン及びピン受け管のひずみ・応力

（２）荷重載荷によるピン及び台座の移動・変形等の挙動

（３）全体系に異常が無いか

この試験により（１）についてはピンの変形は弾性範囲内にあり、応力は約 3800kgf/cm2 程度の引張応力に押さえられていることを確認した。（許容引張応力　4700kgf/cm2）

（２）についてはピンの変位はピンとピン受け鋼管の径の差が１０ｍｍのときに最大３．５ｍｍの浮上がりが観測された。この変位はピンの長さに対して（２５０ｍｍ）非常に小さいことから、使用上特に問題がないものと判断した。また台座本体の斜面方向の変位量も７．５ｍｍと微小であることが確認できた。

（３）についても、全体系に特に問題になるような異常は無いことが確認された。

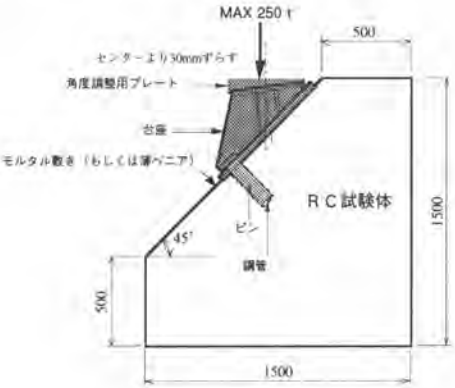


図７　試験一般図

４　まとめ

アーチリブの張出し施工用の機械については、実施例もそれほど多くなく、このように見直すことが出来る部分が、まだ数多く残されている分野であると考える。

今回の構造の見直しについて現在数現場で工程及び歩掛についての効果の確認中であるが、良い結果が得られるものと確信しているが、今後、現場での実績を重ねていく中でより合理的になるような開発を進めていく所存である。

34. フレッシュコンクリート上を走行する履帯式車両の開発

愛媛大学：室　達郎，*平川　学
Tran Dang Thai，田邊　明伸

1. はじめに

今日のコンクリート作業現場ではコンクリートの打ち込み後のならし作業や締固め、仕上げ作業等は現在も人の手によって行われておりその機械化、自動化が急がれている。しかしながらフレッシュコンクリートのような超軟弱な地盤では走行できる車両が存在せずその開発が急がれている。一方、履帯式車両は車輪式車両に比べると、接地面積が広く接地圧が小さいため、より大きい牽引力が発揮でき、軟弱な地盤でも走行が可能である。従って履帯式車両はフレッシュコンクリートのような超軟弱地盤で走行し、作業するには最適な車両とはいえ、その走行性能を明らかにすることは重要である。

そこで本研究では、フレッシュコンクリート上での履帯式車両の走行性能を明らかにするため、接地圧 p を 0.048kgf/cm^2 と小さくした模型履帯式車両を新しく開発し、スランプ 55 ～ 105mm のフレッシュコンクリート上で走行実験を行った。また、テラメカニックス[1]の走行理論からシミュレーション解析を行い、実験結果と比較検討を行った。

2. 模型車両走行実験

(1) 実験装置と実験方法

図-1、表-1 は今回製作した実験車両である。主な諸元としては、車両重量 W は 65kgf、履帯幅 B は 20cm 履帯接地長 D は 33cm で平均接地圧 p は 0.048kgf/cm^2 となっている。車両の動力は２個の電動モータであり、履帯周速度 V'は 1.0cm/s となっている。また供試地盤は、縦 150cm、横 90cm、高さ 30cm の土槽にスランプ 55、80、105mm の３通りに練り混ぜられたフレッシュコンクリートを充填し均して作成した。なお、本研究では、実験中の水和反応による硬化現象を避けるためセメントの代わりに粘土が配合してある。

実験方法は、周速度 V一定の車両をフレッシュコンクリート上で走行させ図-2 に示すように、後方からウインチで牽引を行い車両速度 V を制御させて行った。このときの測定項目

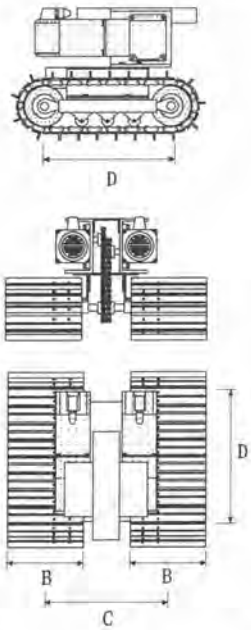


図-1　模型履帯式車両

表-1 車両諸元

車両重量	W	65kgf
履帯幅	B	20cm
履帯接地長	D	33cm
平均接地圧	P_m	0.048kgf/cm^2
履帯間隔	C	33cm
前・後輪半径	R_f、R_r	5.4cm
下転輪半径	R_g	1.9cm
下転輪数		3
履帯周速度	V'	0～3.2cm/s
車両重心偏心率	e	0.008

は、車両速度 V、牽引力 T_4、前・後輪沈下量 S_f、S_r と接地圧分布である。

(2)実験結果

図-3 はスリップ率 i_d と牽引力 T_4 との関係である。牽引力はスリップ率の増加とともに増加しており、スランプが減少すると牽引力は増加している。またスランプ 55mm ではスリップ率が 44%で車両重量 65kgf に対し 43kgf の牽引力が発揮されていることが分かる。

また、スリップ率 i_d と前・後輪部での沈下量 S_f、S_r の関係を図-4、図-5 に示す。前輪部での沈下量はスリップ率の増加とともに減少しており、スリップ率が大きくなると負の値をとっている。このことは車両の前輪部が地盤に対して浮いていることを示している。また、後輪部での沈下量は、スリップ率の増加とともに増加していることが分かる。前輪・後輪部ともスランプが増加すると沈下量も増加している傾向にある。後輪部の沈下量は、後輪半径 R_r が 5.4cm なのに対してスリップ率 40%付近で最大約 5.5cm 程度となっている。

図-6 は自走状態(T_4=0 kgf)における履帯下の接地圧分布である。接地圧は、スランプが小さくなるにつれて後方に分布する傾向にある。

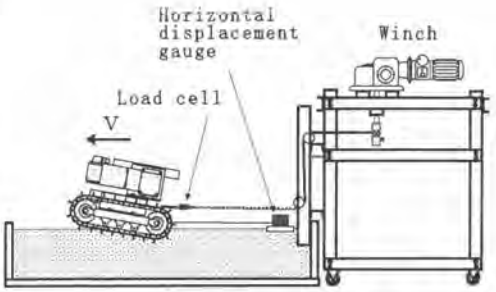


図-2 模型車両走行実験

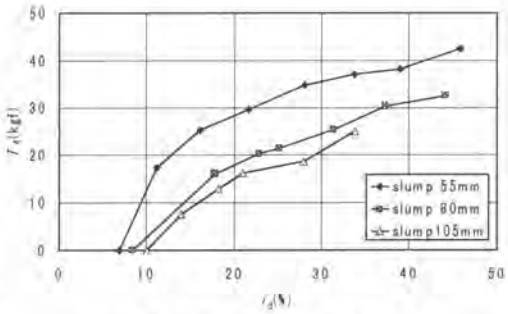


図-3 スリップ率 i_d と牽引力 T_4 の関係

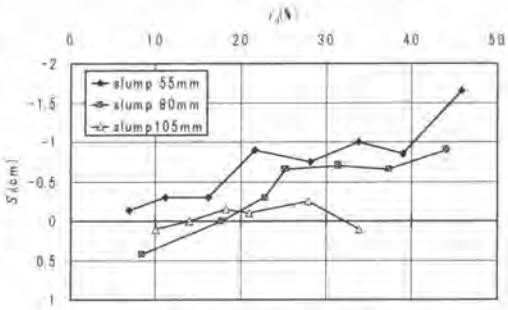


図-4 スリップ率 i_d と前輪沈下量 S_f の関係

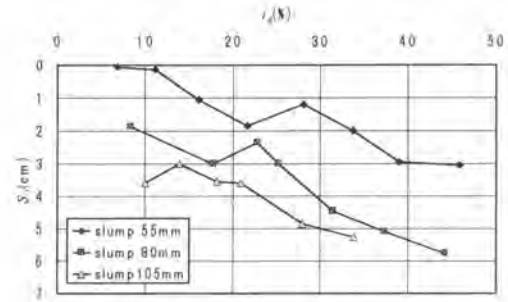


図-5 スリップ率 i_d と後輪沈下量 S_r の関係

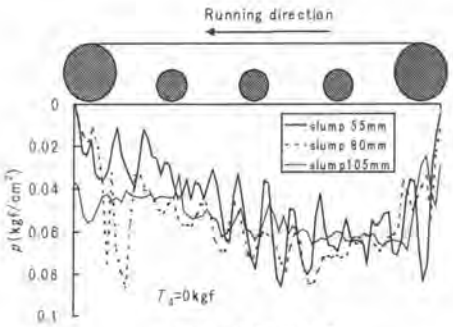


図-6 接地圧分布

3. シミュレーション解析

実験結果を理論的に検証していくために、スランプ 55mm のフレッシュコンクリート上で地盤-履帯系定数を求め、シミュレーション解析を行った。

表-2 履帯-地盤系定数

Slump(mm)	55	
$k_1(kgf/cm^{n1+2})$	0.1228	
n_1	0.9248	r=0.99
$k_2(kgf/cm^{n2+2})$	0.1181	
n_2	0.3186	r=0.84
$m_c(kgf/cm^2)$	0.0174	
m_t	0.2919	r=0.96
a(1/cm)	0.1840	
$c_0(cm^{1+2c1-c2}/kgf^{c1})$	8.0940	
c_1	1.5560	r=0.97
c_2	0.9070	

(1) 地盤-履帯系定数

シミュレーション解析を行う前に表-2 に示すように、履帯と地盤間の動的・静的特性を把握するために履帯-地盤系定数[1]を決定した。静的特性は履帯モデルの載荷・除荷試験を、動的特性は引張り試験を行い次式から算出した。

$$p=k_1\ S_0^{n1}-k_2\ (S_0-S)^{n2}$$

$$\tau=(m_c+m_t\ p)\{1-\exp(-aj)\}$$

$$S_s=c_0\ p^{c1}\ j^{c2}$$

ここで、p：接地圧、S_0,S：静的沈下量、S_s：スリップ沈下量、τ：せん断抵抗、j：スリップ量であり、k_1、n_1、k_2、n_2、m_c、m_t、a、c_0、c_1、c_2 は地盤-履帯系定数である。

(2) 解析方法[2]

図-7 は、地盤上を走行している車両に作用する諸力を示している。T_1：駆動力、T_2：締固め抵抗、T_3：推進力、T_4：有効牽引力、P：地盤反力であり、θ_{ti}'：車両トリム角、β：傾斜角である。

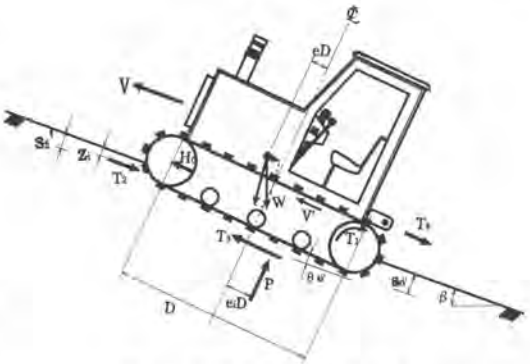


図-7 車両に作用する諸力

力の平衡式から T_1、T_4、P は以下のように算定される。

$$T_1=T_3$$

$$T_4=\frac{W}{\cos\theta_{ti}'}-\frac{W\sin\theta_{ti}'}{\cos\theta_{ti}'}-T_2$$

$$P=\frac{W}{\cos\theta_{ti}'}-T_3\tan\theta_{ti}'$$

ここで、T_2 と T_3 は定数を用いて算定される。以上の式より、各スリップ率ごとに、T_4、S_t、S_s ならびにエネルギー平衡式、接地圧分布を計算した。

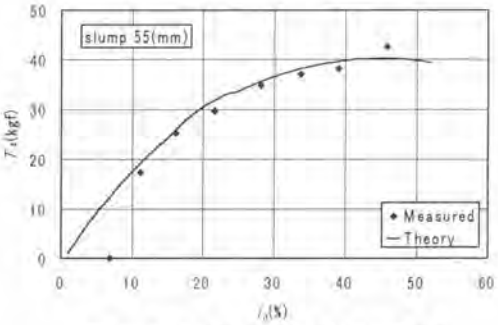


図-8 スリップ率 i_d と有効牽引力 T_4 の関係

(3) 解析結果と考察

図-8 はスリップ率 i_d と有効牽引力 T_4 との関係を示している。有効牽引力はスリップ率が増加すると増加し、スリップ率が 45%の時に最大値 40.5kgf を発揮している。また、シミュレーション結果と実験結果がよく一致している。

また、スリップ率 i_d と前輪部での沈下量 S_f、後輪部での沈下量 S_r の関係を図-9 に示す。スリップ率が増加すると、前輪沈下量は減少し、後輪沈下量は増加している。また前輪部はスリップ率が 10%を越えると負の値をもち、前輪が地盤から浮いていることを示している。

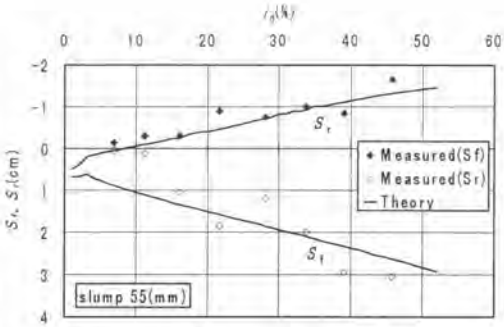


図-9 スリップ率 i_d と前輪沈下量 S_f、後輪沈下量 S_r の関係

続いて、スリップ率 i_d とエネルギー平衡曲線との関係を図-10 に示す。E_1：有効入力エネルギー、E_2：締固めエネルギー、E_3：スリップエネルギー、E_4：有効牽引力エネルギーである。E_1、E_2、E_3 はスリップ率の増加とともに増加しているが、E_4 は i_d=29%でピーク値をもっており、最も効率よく駆動力が発揮されることが分かる。

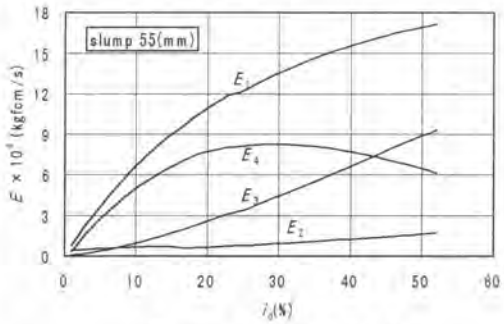


図-10 エネルギー平衡曲線

最後に、自走状態での接地圧分布を図-11 に示す。シミュレーション結果では、前・後輪下ならびに下転輪下で接地圧が大きくなっている。しかしながら、実験結果では転輪下以外の所でも接地圧が大きくなっていることが分かる。このことは、下転輪下での垂直応力が他の履板に応力分散しているためだと考えられる。

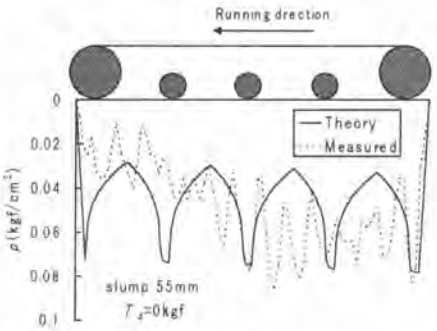


図-11 接地圧分布

解析結果より、履帯式車両はスランプ 55mm のフレッシュコンクリート上を最適スリップ率 i_{dopt}=29%で走行すると最適有効牽引力 T_{4opt}=36.6kgf で最も効率よく走行できることが分かった。

4. まとめ

以上のことより、接地圧 p が 0.048kgf/cm^2 の履帯式車両においては、スランプ 55 ～ 105mm のフレッシュコンクリート上を実験的にも理論的にも効率よく走行が可能であることが分かった。今後は、旋回性能についても実験をしていきたい。

参考文献

1) 室達朗著：テラメカニックス－走行力学－，技報堂出版，pp.133-234，1993.

2) T. Muro : Tractive performance of a bulldozer running on weak ground, Journal of Terramechanics, Vol.26, No.3/4, pp.249-273, 1989.

35. PCD工法用コンクリート ディストリビュータの開発

(元)建設省宮ヶ瀬ダム工事事務所： 足立　敏之，金丸　孝行
飛島建設㈱：*堀崎　敏嗣，廣瀬　成道

1．はじめに

ＰＣＤ(Pumped Concrete for Dams)工法とは、コンクリートポンプによりコンクリートを圧送管にて連続運搬・打設する工法であり、近年、建設省を中心に小規模コンクリートダムの合理化施工法研究の一環として、各種の試験、検討がなされてきた。

ＰＣＤ工法は比較的簡便な施工設備で、効率的かつ、連続的なコンクリートの運搬・打設が可能といった特徴を持っている。また、広範囲な地形条件に適用可能で、打設設備が簡便なため、施工設備基礎の掘削等による環境改変が避けられ、環境保全上も有利である。

今回、ＰＣＤ工法が採用された石小屋ダム（宮ケ瀬副ダム）では小規模ダム合理化施工の先駆けとなる技術を目指し、コンクリート撒き出し設備としてディストリビュータを開発し、コンクリート打設工程における施工の合理化を推進した。

本報告は建設省関東地方建設局宮ケ瀬ダム工事事務所の指導のもと、宮ケ瀬副ダム本体のＰＣＤ工法施工で採用された自走式ディストリビュータの開発、施工についてまとめたものである。

2．開発の概要

今回、石小屋ダムではダム本体打設に外部揺動弁ダブルシリンダー貫入式コンクリートポンプが計画され、粗骨材最大寸法は 80㎜で圧送管はφ250㎜が使用された。圧送時の配管重量はコンクリート重量を含め約160kg／ｍになり、圧送管先端の撒き出し機構の検討が必要となった。

これまで採用されたディストリビュータはベルトコンベア式あるいはクローラクレーンによる大型のもので、石小屋ダム本体コンクリート打設への適用は不向きなものであった。

小規模コンクリートダム施工においてＰＣＤ工法の特徴である連続輸送・直接撒き出しを生かし、ＰＣＤ工法による拡張レヤー工法を合理的に施工するため、コンクリートポンプで圧送されたコンクリートを打設箇所へ適切に撒き出しができるディストリビュータの開発を行うこととした。

3．開発基本案の検討

ポンプから圧送されるコンクリートを受け、撒き出す設備として以下の５方式が考えられた。

①配管架台＋人力配管切り離し

②コンクリートホッパ＋ダンプトラック方式

③ベルトコンベア方式

④人力配管切り離し＋タイヤショベル

⑤自走式ディストリビュータ

3.1　基本計画案比較・評価

上記５方式を比較検討し、各方式ごとに評価を行った。

3.2　基本案の選定

基本計画案比較・評価から小規模コンクリートダム本体に適用し、ＰＣＤ工法の特徴を活かせる自走式ディストリビュータを採用することとした。

4．設計条件の設定

ＰＣＤ工法による施工条件は周辺の自然環境、地形、ダム形式、打設ブロック分割方式、コンクリート配合、コンクリートポンプの設置位置、揚重機等の仮設設備形式などによって大きく変化する。今回、石小屋ダムにおいては以下のように設定した。

4.1　打設方式

・拡張レヤー方式

4.2　ブロック割り

・ブロック幅：15.0m

4.3　リフト厚さ

・リフト厚：1.0m（0.5m×２層）

4.4　コンクリート

・最大骨材寸法：80㎜

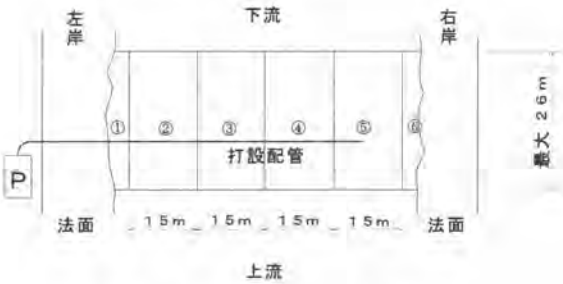
・標準スランプ：5±1.0cm

4.5　コンクリートポンプ・輸送配管

・外部揺動弁ダブルシリンダ貫入式

・配 管 径：250Ａ

・配管径路：ダム天端盤からの下り配管



図－１　標準ブロック割り図

5．ディストリビュータ具体案の検討

以下の主要項目について、設計条件・施工条件を検討し、要求性能を満足する仕様を決定した。

①寸法、重量

・全体重量、分割最大重量：揚重設備容量

②経済性

・イニシャルコスト：本体価格

③施工性

・打　設　能　力：撒出し可能範囲（ブロック幅、撒出し幅、撒出し位置）

・ブロック内打設：ブロック内打設時の移動性、安定性

・ブロック間移動：次回打設ブロックへの移動時機動性

・配管時の作業性：切り離し・接続時の装置の操縦性、安全性等

5.1 ディストリビュータ基本仕様

ディストリビュータ全体写真を写真－１、基本仕様を表－１に示す。

写真－１　ディストリビュータ

表－１　ディストリビュータ基本仕様

項　目	内　　容
形　　式	全油圧自走式
寸　法 長×幅×高	11.6×2.5×3.6m
重　　量	12.0　t
打設幅	19.4m
配管径	φ250
走行方式	ゴムクローラ
登坂能力	30°
接地圧	0.18kgf/cm²
エンジン	154PS/2500rpm

5.2 ディストリビュータの特徴

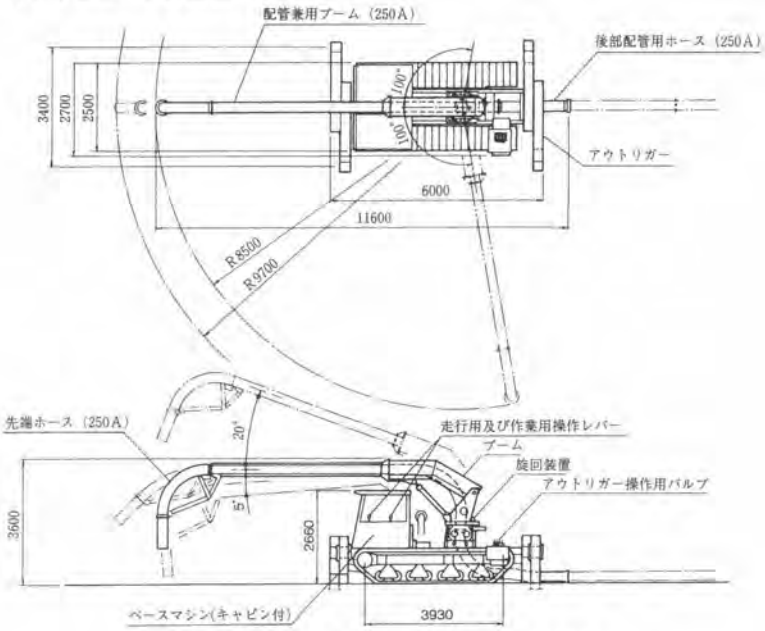
図－２に示すように全油圧式のゴムクローラ走行台車にスイベルジョイントを有した配管機構と旋回・俯仰機構を持つ配管兼用ブームを搭載することにより、以下のような特徴を持つ。

①連続輸送による効率的な打設　　②広範囲かつ、きめ細かな撒き出し

③直接撒き出しによる品質確保　　④撒き出し作業の省力化

⑤高い機動性と安全性

5.3 ディストリビュータ計画図



図－２　ディストリビュータ計画図

6．打設計画

6.1　打設区分

ディストリビュータ使用可能な打設区分はディストリビュータ施工に必要なリフト面の上下流方向幅を施工機械の組み合わせから15mとし、以下のように設定した。図－３にダム本体の打設区分を示す。

図－３　打設区分

①機械打設Ａ

コンクリートはディストリビュータにより打設位置に撒き出し、バイバックにより締め固める。

EL128.5m～ EL141.5mの施工幅15m以上の部分に適用する。

②機械打設Ｂ

ディストリビュータが使用不可能なため、コンクリート圧送管（L=3.0m）の人力切り回しによる撒き出しを行い、バイバックにより締め固める。

EL141.5m～EL150.5mの施工幅７～15mの部分に適用する。

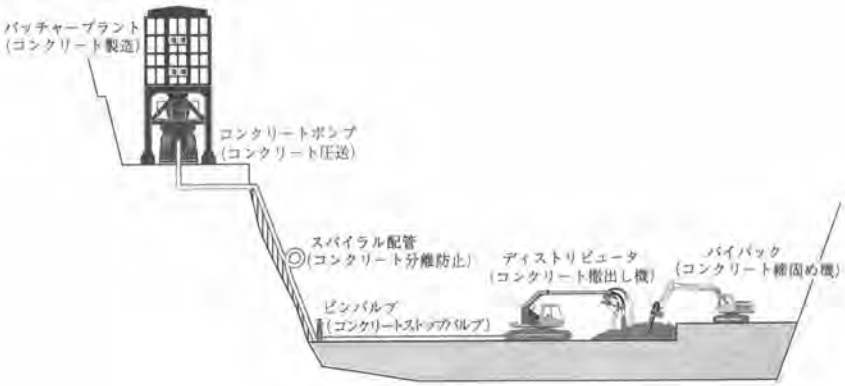
③人力打設

ポンプ圧送したコンクリートは配管の先端に取り付けたフレキシブルホースを人力により操作し打設位置に撒き出す。締固めは手動バイブレータによる。

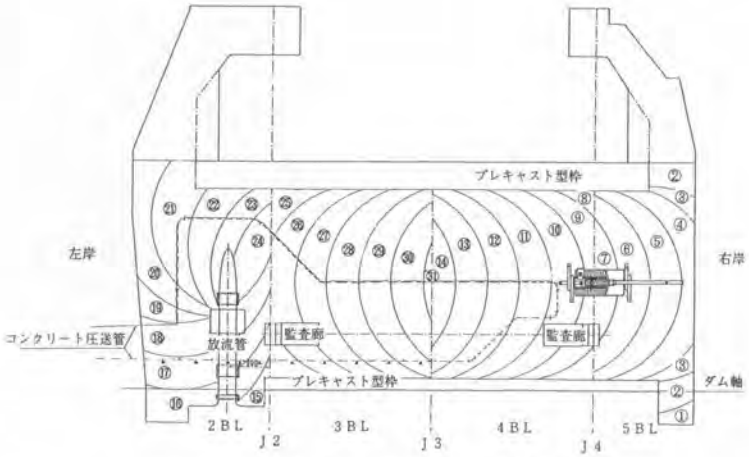
EL150.5m～EL153.0mの機械搬入が困難な施工幅７m以下の部分に適用する。

6.2　ディストリビュータ打設計画

図－４にＰＣＤ工法全体施工システムを、機械打設Ａでのディストリビュータによる標準的な打設計画を図－５に示す。



図－４　ＰＣＤ工法全体施工システム概要図



図－5　ディストリビュータ打設計画図

7．施工実績

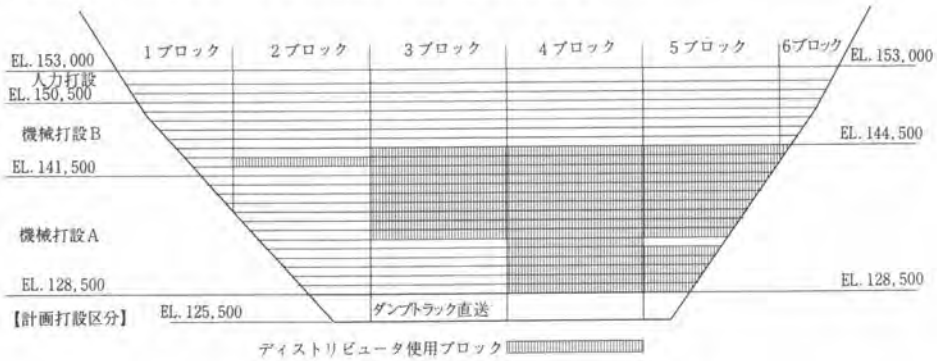
ディストリビュータは平成7年3月より現場供用を開始し、EL 128.5～ EL 144.5m間で機械打設Aによる施工を行った。

写真－2に施工状況を示す。施工位置はEL140m付近で打設ブロックは4ブロックである。リフト厚さは0.5m×2層の1mリフトでバイパックとの並行作業形態を示す。

写真－2　施工状況

7.1　打設ボリューム

図－6にディストリビュータでの打設ブロック位置の実績を示す。



図－6　ディストリビュータ打設ブロック図

ディストリビュータによる打設ボリューム実績は約10,200m³でダム本体ボリュームの約47%、機械打設A区分の約70%であった。

今後、機械幅の減少、撒き出し半径の増加、効果的な切り回し配管方法などディストリビュータによる打設適用エリアの拡大検討が必要である。

7.2 打設能力

各打設区分に於ける打設能力実績を示す。

表－2に示すとおり、ディストリビュータ使用の機械打設Aでは使用しなかった機械打設Bに比べ、7.5m³／hr（34%）の施工能力アップとなった。

これは人力による配管切り回し時間の削減によるものであり、ほぼ想定通りの施工能力向上が実現できた。

また、人力での配管切り回し作業が大幅に減少したため、打設張り付き人員も削減できた。

表－2　打設能力実績

打設区分	打設数量（m³）	実打設実績（m³／hr）
機械打設A 15m≦施工幅	10,177	29.3
機械打設B 7m≦施工幅＜15m	10,194	21.8
人力打設 施工幅＜ 7m	1,085	18.3
合　計	21,456	24.5

7.3 稼働状況

ディストリビュータ稼働時間 347時間の内、機械トラブルは先端ホースの破損による1回のみで、復旧時間も20分間と短く、工程に影響を与える大きなトラブルの発生はなく、順調に稼働した。

7.4 安全性

ディストリビュータ使用の機械打設Aは機械打設B、人力打設に比べ、重量配管の切り回し作業、フレキシブルホースの操作が減少し、人力作業による危険性が低下した。

一方、ディストリビュータの移動及び配管切り離し・接続時の挟まれ等が懸念されたが、ホイルローダ等に比べ移動速度が小さいことと作業指揮者の配置と合図の確認徹底により、無事故で作業を完了させることができた。

8、終わりに

ダム本体コンクリート打設にＰＣＤ工法が採用された石小屋ダムのコンクリート打設工程の合理化に自走式ディストリビュータを開発、採用した。その結果、打設施工能力および安全性の向上が確認され、充分な成果をみることができた。

本稿が今後の類似施工の参考になれば、幸いである。

最後に開発・施工に当たり、貴重なご指導助言をいただいた建設省関東地方建設局宮ケ瀬ダム工事事務所に感謝いたします。

36. ダムコンクリート打継目処理機械の開発

飛島建設㈱：*松尾　芳美，鶴見　哲也
㈱プロジェクト：大家　修

1．概要

ＲＣＤ工法の特徴である広域面状打設は、その面積が広大であっても、良品質の水平打継目を迅速に確保できるグリーンカット処理作業と、これに伴って発生するズリの迅速な回収・撤去が要求される。

今回開発したグリーンカット機は、処理方式を高圧水ジェットとブラッシングを併用しており、高圧水噴射口（ノズル）の運動方法、ブラシへの研磨剤の供給・作動方法等に独特の工夫を配したものであり、コンクリート打設面の凹凸・不陸にも対応出来る構造になっている。

本機を運転する際の処理レーンの変更方法は、従来の車輌のように「前進・後退を伴った切り返し、幅寄せ」による位置合わせをすることなく、スイッチを押す操作だけで車輪（４輪）が９０°にその場旋回するため、横行・カニ走行させて簡単に位置合せが出来る独特の自走式作業車である。

また、バキューム車は広い吸入口を車輌前部に装着し、微速度で自走しながら吸引作業が遂行できる。レシーバータンクは吸引作業中でもズリと共に回収した水だけをタンク外に排出できる構造にしてあるため、ズリの回収・運搬効率が大幅に向上した。

2．開発の経緯

従来工法に比較してＲＣＤ工法に代表される面状打設工法では、一回ごとの、あるいはダム全体としてのグリーンカット（以下カット）とこれに伴って発生するズリの回収・撤去（以下清掃）面積が大幅に増大した。また、コンクリート打継目処理機械の開発が推進されている中にあって、未だ熟練を要する人力作業に頼っている部分も相当残されているのが実情である。

施工能力の向上、作業環境の改善、省力化および安全性の向上を目的として、コンクリート広域面状打設に伴う水平打継目のレイタンス処理を機械化するために、グリーンカット機および清掃機（バキューム車）を開発することになった。

3．従来方法の問題点

水平打継目のレイタンス処理はカットと清掃に大別される。従来のカットと清掃に於ける問題点を以下に列記する。

①当初のカットはブラシ摩擦方式（以下ブラシ）が主流であったが、この方式は表面凸頂部周辺に有効であるが、レイタンスが最も残在する骨材間凹底部周辺には効果が薄かった。

②次いで高圧水ジェット噴射方式（以下ジェット）が採用され始めたが、高圧水の処理効果は凸頂部よりも凹部にあるモルタル部に多く作用し、その結果オーバーカット状態となりやすい。

③清掃方法は低圧水を用いてズリを集めてから、ベッセル等の容器に掬い取り（またはバキューム車で回収）堤体外に搬出するという方式で施工されている。

4．機械装置の考案

従来方法の問題点を改善する対策として、

①品質の良いカット面を迅速に確保する方法

②清掃方法を機械化する方法の２つの方法を検討・実施することとした。

4-1　グリーンカット機

本機は走行台車部と処理部とで構成された自走式のグリーンカット機である。走行台車はタイヤ式四輪車とし、ディーゼルエンジンでの油圧駆動方式を採用している。処理部は走行台車の中央部に位置し、高圧水ジェットシステムとブラッシングシステムとで構成されており、走行台車同様、油圧駆動方式である。なお、高圧水発生装置は別に配置し高圧ホースで連結している。

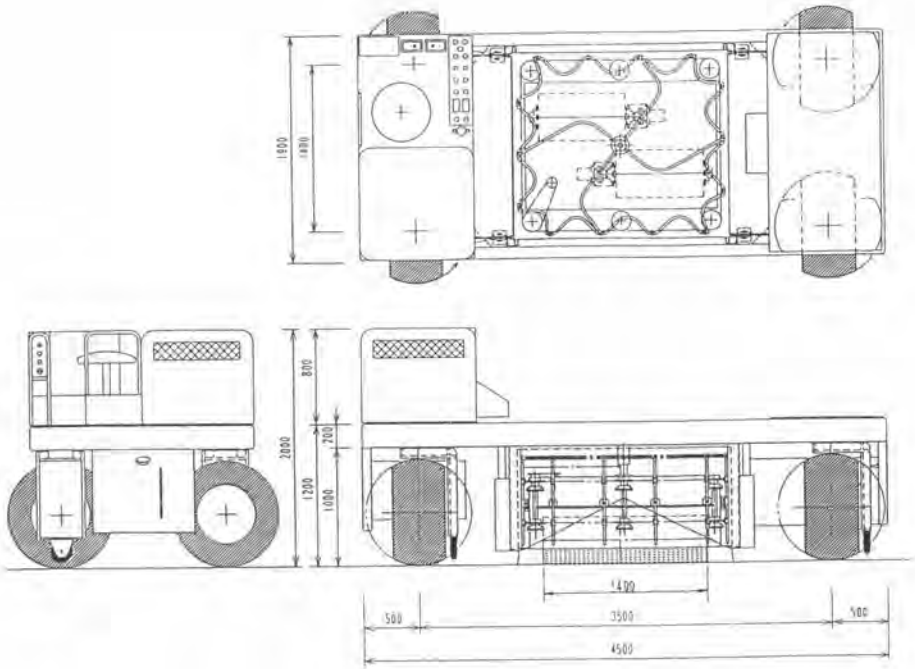
走行方式は進行方向を直角方向に変更できる四輪旋回装置を採用しているため、処理レーンの位置変更操作も簡単に遂行できるようになった。

次に処理部のノズルは外周に１４個、等間隔に配置しグーリンカット方向を遮蔽板で覆い、直角方向を開口にすることで、高圧水がコンクリート表面に対して均等に衝射出来る構造になっている。

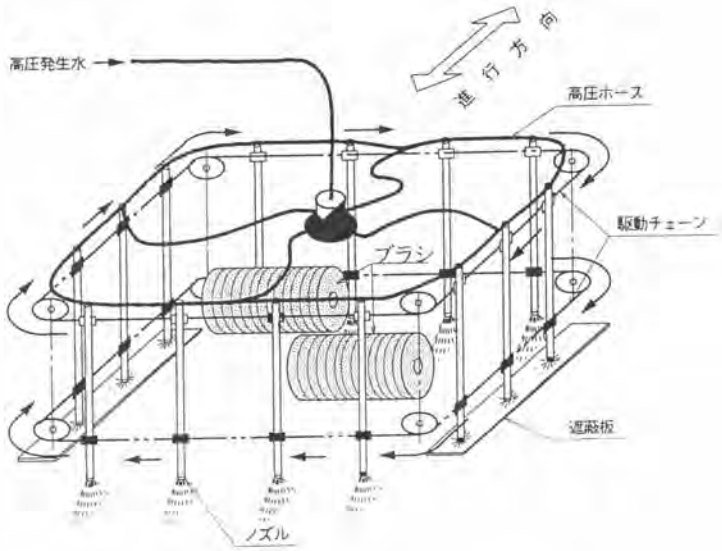
また、ブラシはコンクリート表面の凸凹に応じて上下動しながら回転し、高圧水ジェットでカットしたズリを研磨剤として凸部表面をカットする仕組みになっている。

移動時走行は処理部を上昇させ車幅の狭い方向への前後移動となる。また、安全装置として処理部外周に接触防止用センサーを配置し、外部よりの接触時にはグリーンカット機を停止させる構造になっている。

全長４．５ｍ×全幅１．９ｍ×全高２．０ｍ×　自重５．３ｔｏｎ
駆 動 源：５２ＰＳ／１，８００ｒｐｍディーゼルエンジ
乗車定員：１名（運転者のみ）
作業走行：時速３００～６００ｍ（処理幅：１．４ｍ）
移動走行：ｍａＸ　時速３．０Ｋｍ
吐 出 量：１５０ﾘｯﾄﾙ／ｍｉｎ（全体量）
吐 出 圧：１００～２００Ｋｇ／ｃｍ^2



図—1 グリーンカット機



図—2 グリーンカット構造図

4-2　自走式バキューム車

清掃方式を機械化施工とするための手段として、気液混在流による独特の吸引システムを持ったワイドな吸入口をバキューム車前部に装着した。また、今までのバキューム車では吸引中に走行できなかったため、これを可能にするために後輪付近に別途に油圧駆動式の低速走行装置を設けた。

従来のバキューム車は大気圧と真空ポンプの気圧差による気体流で吸引させていたが、これは比重の小さな物には有効な方法であるが、今回の気液混在流は比重の大きいズリ類に初動エナジーを与えることが出来るため効果的である。

主な特徴について以下に述べる。

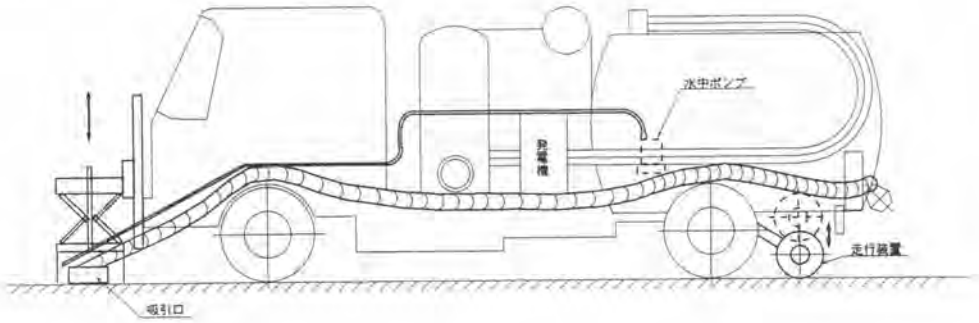
①レシーバータンク内に高揚程の排水ポンプを設け、ズリ回収時にズリと同時に回収された水をタンク外に排出できるようにした。

②進行方向に対して横幅広の吸入口をバキューム車の前方下部に設け、この吸入口内の反吸引側から吸引側に向けて低圧水を噴射する構造とした。また、この低圧水には上記排水を循環再使用できる構造とした。

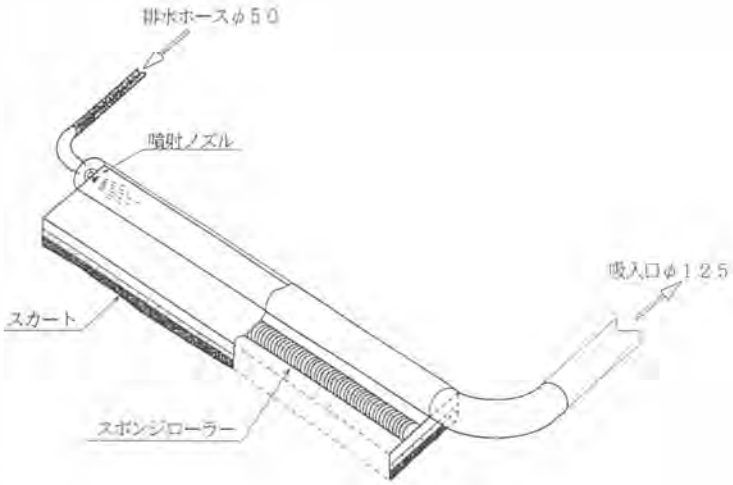
③吸引作業中にそのバキューム車自体が微速度で走行できる構造とした。

④排水ポンプの駆動源となる発電機を設けた。

全長7．6m×全幅2．4m×全高2．6m×自重8．3ton
車　両　型　式：いすゞU－FRR32FB
プ ロ ワ 型 式：SBW－150
風量50m³／min　真空圧－700mmHg
レシーバータンク：3m³
キ ャ ッ チ ャ ー：2次、4次
微 速 度 走 行：時速0．9～1．2km/h



図－3 自走式バキューム車



図－４ 吸入口構造図

５．使用結果（成果）

①処理能力が大幅に向上した。

グリーンカット機　　約４００m²／人・時間

（人　　力　　約　５０m²／人・時間）

自走式バキューム車　約４００m²／時間

（人　　力　　約　４０m²／時間）

②品質の良いカット面の提供が可能となった。

③機械化施工の要素技術として確立できた。

６．今後の課題

６-１　グリーンカット機

①処理幅の左右に位置する各１．５５mのデッドスペース（タイヤ旋回スペース）が大きいため、処理幅に対して全体的に機械が大きく、構造物への接近ができない。

②ﾎｲｰﾙﾍﾞｰｽ(3.5m)が長いためか、ＲＣＤ転圧での振動ﾛｰﾗｰ幅(2.0m)での不陸が大きい場所では、多少の取り残しが発生する。

６-２　自走式バキューム車

①カット機による「ズリ」の発生量は減少したものの、吸引効果としては凸側では効果はあるが凹側になると多少の取り残しが発生する。

②カット面は散水養生しているが凹側での低い場所には湛水状態となっており、主に水を吸いとるためﾊﾞｷｭｰﾑ回収タンク内がすぐに満水状態となる。

写真－1 打継目処理機械

写真－2 グリーンカット機

写真－3 自走式バキューム車

37.　高橋脚用自昇式型足場システム（KCFS）工法

鹿島建設㈱：久保　直道

1．はじめに

東海北陸自動車道は、名神高速道路の一宮ＪＣＴから北陸自動車道の小矢部砺波ＪＣＴまで、南北に貫いて連絡する延長１８５kmの高速道路である。

当工事が位置する岐阜県郡上郡北部は冬の気象が厳しく、12月～３月の冬季には平均積雪量1.2mにも達する深い根雪に覆われ、冬期間の作業は休止を余儀なくされている。

鷲見川橋は、橋長436mで、ＰＣ４径間連続ラーメン箱桁構造で、P1:55m、P2:118m、P3:68m の３基の高橋脚を有する長大橋である。

また、完成すると鷲見川橋のP2橋脚は、与島高架橋（79m）を越えて日本一の高さになる。

この高橋脚を、従来の躯体の周りに足場を築き上げ、型枠を組立てていく工法等で施工した場合、工期内の完成と高所での安全性の確保が困難と予測された。

そこで作業足場と型枠の支持反力を一切躯体側に負荷させず、作業足場と型枠が一体として昇降する「自昇式型枠足場システム（KCFS工法）」を開発したので、その概要を紹介する。

2．工事概要

工 事 名：東海北陸自動車道　鷲見工事

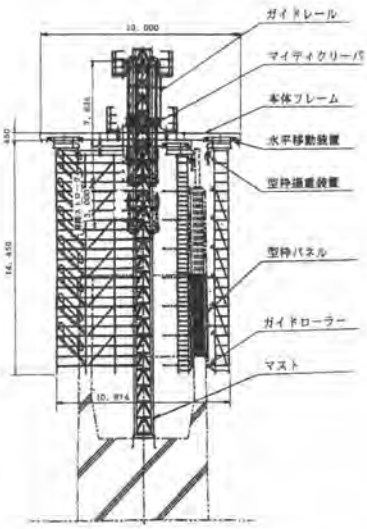
企 業 者：日本道路公団　名古屋建設局
　　白鳥工事事務所

工事場所：岐阜県郡上郡高鷲村大鷲地内

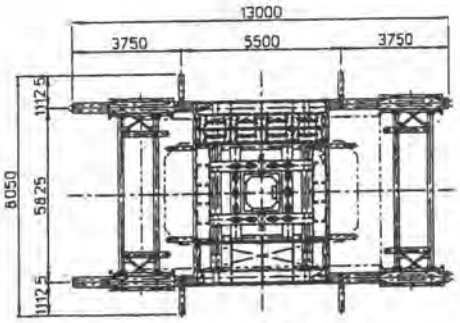
工　　期：1995年6月30日~1998年10月11日

工事内容：（鷲見工事の内鷲見川橋梁の一部）
　　橋長436m、アバット２基、橋脚３基（中空橋脚）
　　橋脚高　P1:55m、P2:118m、P3:68m

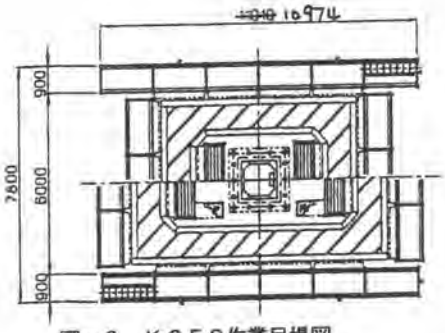
写真－1　KCFS全景



図－1　ＫＣＦＳ全体図



図－2　ＫＣＦＳフレーム図



図－3　ＫＣＦＳ作業足場図

3．機械の概要

本設備は、本体フレームより吊り支保された作業足場を橋脚躯体の内外面に各４面ずつ配置し、足場昇降装置を昇降設備として中空橋脚の中心に設置した支持マストに沿って昇降する構造としている。

支持マストには既製のタワークレーン用マストを使用し、躯体側の施工高さに合わせて、資材揚重用クレーンにて順次マストを延長し、マスト高さ30m 毎に中間支持サポートを設置している。

足場昇降装置には建築工事にて既に開発、使用実績のある軽量小型のラチェット型油圧昇降装置（マイティクリーパ）14基を、マストを取り囲むように配置し、１台の油圧ユニットにて同調作動させている。

昇降は、マスト固定用カンヌキピンにより上下端を支保されたガイドレール上を本体フレームに連結したマイティクリーパが作動することにより、足場全体が躯体に沿って昇降する。

また同様に本体フレームをマストに固定し、ガイドレール側のカンヌキピンを解放することにより、ガイドレールもマストに沿って自昇降する。

これらの動作を交互に行いながら施工位置まで足場を移動させていく。

本設備は、躯体の断面が変化しても足場と躯体との離隔距離を一定に保つよう水平移動装置を装備している。

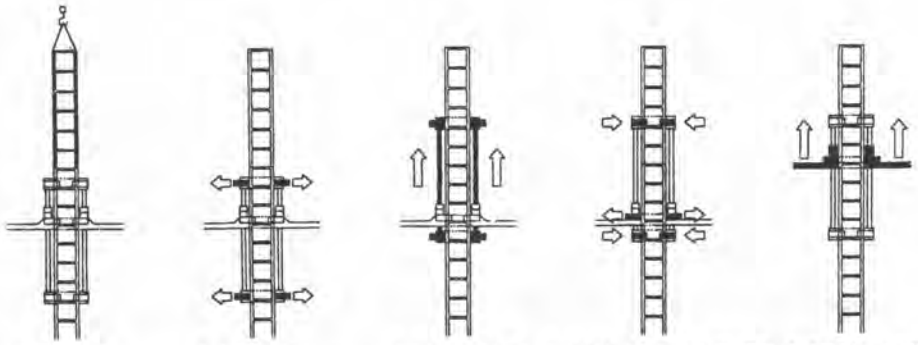
また、本体フレームには橋脚躯体各面の内側と外側に型枠パネル揚重装置として電動チェーンブロック（型枠１面当たり各２台）を、吊り下げ、型枠の移動、設置の作業を足場の移動に関係なく単独に行える様な構造とした。

表－1　ＫＣＦＳ主要諸元

足場昇降装置	昇降装置	マイティクリーパ装置
	設置台数	14基
	昇降能力	5t/基×14台＝70t (ｸﾗｲﾐﾝｸﾞ時負荷55t)
	昇降速度	7cm/min
	ｶﾞｲﾄﾞﾚｰﾙ長	6m
	油圧ﾕﾆｯﾄ	2.2kW×1台
型枠揚重装置	揚重装置	電動チェーンブロック
	設置台数	16台
	吊上能力	2t/台
水平移動装置		手動式ｽｸﾘｭｰｼﾞｬｯｷ方式
マスト		ﾀﾜｰｸﾚｰﾝﾏｽﾄ(OTS-2030)
作業足場		３Ｓシステム足場
資材揚重用ｸﾚｰﾝ		(P2)ＪＣＣ－１２０Ｎ (P3)ＯＴＳ－１００Ｎ

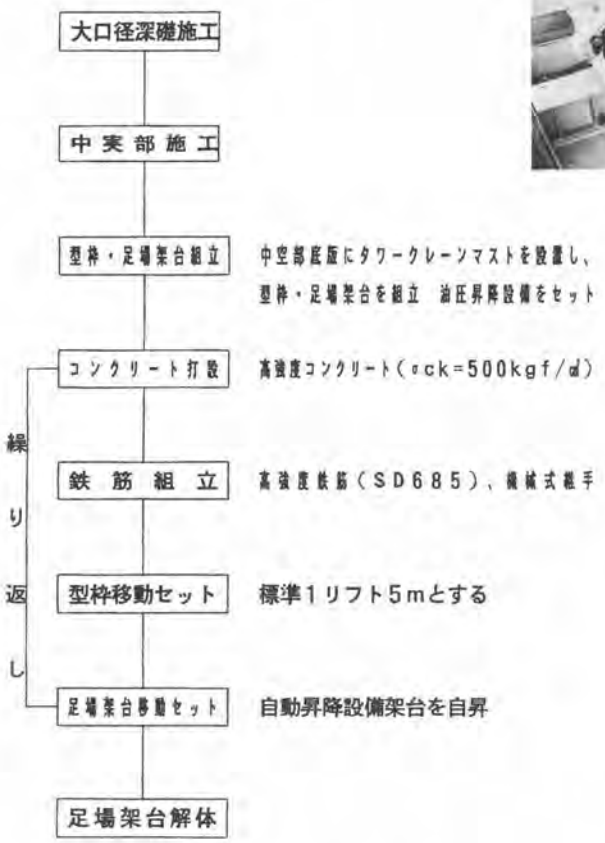
表－2　ﾏｲﾃｨｸﾘｰﾊﾟ主要諸元

昇降方式　ラチェット型油圧順次昇降方式
機器構成　上部下部昇降ブロック　各１本
（１基当り）油圧シリンダー　２本
昇降フレーム　１台
使用数　１４基
昇降能力　ＭＡＸ　５ｔ（１基当り）
（１）昇降レール　断面　角型鋼管 125× 125× 9t
全長　6m
（２）油圧シリンダー　最大使用圧力　210kgf/cm²
シリンダー径　φ50×φ25mm
ストローク　151mm
本数　２本
油圧ユニット
（１）使用最大圧力　210kgf/cm²
（２）使用時設定圧力　伸動作時 210kgf/cm²
縮動作時 180kgf/cm²

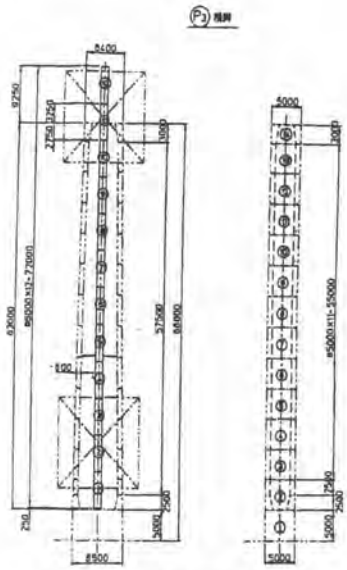


図－4　ＫＣＦＳクライミングフロー図

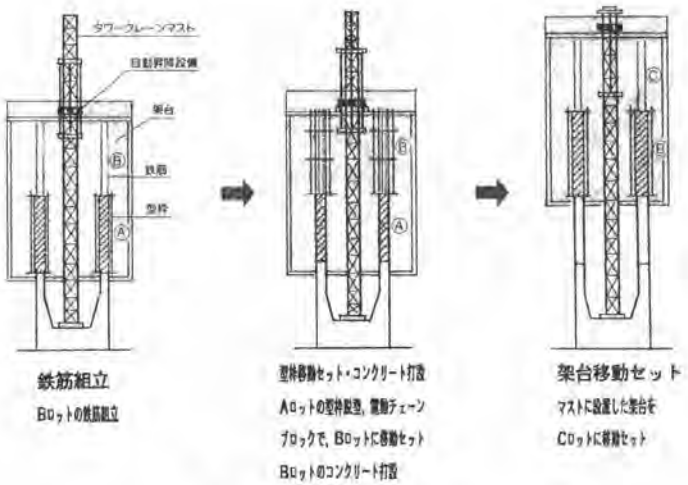
写真－2　マイティークリーパ



図－5　橋脚施工フロー図



図－6　橋脚施工図



図－7　橋脚施工順序図

4．機械の特徴

（1）支持マストを反力台とし、躯体コンクリートの発現強度に関係なく足場のクライミング作業を行えるため、１ブロック施工サイクルの時間短縮が図れる。

（2）全足場を一体化して昇降できるため、足場の移動、設置などの作業の省力化が図れる。

（3）型枠の移動、設置を足場の昇降作業と切り離して行えるため、コンクリートの養生期間中に鉄筋組立作業を先行でき、作業性の向上が図れる。

（4）足場、型枠の移動作業には他の揚重機を使用せず、手摺などを設備した作業床内にて全ての作業を行えるため、高所作業での安全性が確保できる。

（5）既存の足場材の使用、昇降装置の転活用などにより新規製作時に於ける設備費の低減が図れる。

5．あとがき

当工事では97年春より鷲見川橋P2. P3 橋脚において同工法による施工を開始した。

現在計画されている第二東名・名神高速道路を始め、多数の高橋脚の建設が今後も見込まれているため、当工事における施工実績が試金石となることを目指して努力する所存である。

38. 温度規制を考慮したコンクリート製造設備の改造

鹿島建設㈱：磯野　康晴，*藤原　幹夫
佐々木孝治，　工藤　幸夫

1．はじめに

コンクリートダムの暑中コンクリートの打込み温度は、コンクリート標準示方書で25℃以下と規制されている。そこで、このコンクリートの製造に使用する骨材の温度を低くするために特別なクーリング設備を設けないで、骨材への外気温の影響を極力少なくすることを目的に、コンクリート製造設備の軽量化及びコンクリート打設に関する情報の集中管理を含めて、標準型コンクリート製造設備を改造した「遠隔操作式ロープロファイル型バッチャープラント」の開発を行い、工事に使用した。

本稿は、暑中コンクリート打設期間が１ヵ月程度と短い地域のダム建設工事（ＲＣＤ工法採用）において実施した改造の内容と、施工実績について報告するものである。

2．コンクリート製造設備の改造

(1) 開発の経緯

当初、夏期のコンクリートは気温が下がる夜間の打設を計画していたが、同工事地域の他ダム建設工事のコンクリート製造における骨材の貯蔵・製造に関する温度測定記録を参考にし、コンクリートの練り上がり温度を安定させ、かつ夏期や冬期においてもコンクリート標準示方書を満足できる合理的なコンクリート製造設備を計画することにした。

他ダムの実績によると、夏期において骨材温度は製品ストックヤード内では23℃前後のものがコンクリート製造設備（以下バッチャープラントと記す）内の受材槽内では25℃以上に上昇している。これは受材槽に長時間貯留する結果、外気温の影響で上昇していると思われる。

このことから、以下の対策を施した設備を計画した。

a．骨材を製品ストックヤードから直接バッチャーミキサーに投入することにし、バッチャープラント受材槽に骨材を貯留させる時間を少なくする。

b．骨材製品ストックヤード（骨材製造設備）とバッチャープラントを隣接させて設置し、骨材の搬送距離を短くし、搬送中の骨材の温度上昇を抑える。

(2) 開発・改造内容

開発の経緯を踏まえ、標準型バッチャープラントの転用品を整備改造することにした。

a．粗骨材計量器の移設

バッチャー本体計量室にあった粗骨材の計量器を、製品ストックヤード下の暗渠内の引き出しコンベア受入れ口に各分級毎に設置し、計量された１バッチ分の粗骨材をコンベアで搬送し、それをバッチャー本体の受材槽に一旦貯留させ、ミキサーに投入させる。

b．バッチャー粗骨材受材槽の改造

粗骨材受材槽を１バッチ分の容量に減少させ受材室を改造することにより、バッチャー本体の低層化を図る。

c．バッチャー細骨材・セメント受材槽の改造

コンクリート、モルタルの出荷頻度との関係もあり、できるだけ容量を減じた受材槽とする。

d．遠隔操作システム

コンクリートの製造・出荷・運搬状況及び打設状況を集中管理するため、バッチャー操作室をバッチャー本体から約 400m離れたダムサイトの、ケーブルクレーン操作室、コンクリート試験室と同居させた「中央管理棟」に設置し、光ケーブルによる制御配線や監視モニターの設置、通信連絡設備を充実させた「遠隔操作システム」を導入する。

(3) 改造の成果

a．骨材のプラント内受材槽での滞留時間の短縮

粗骨材の滞留時間は、標準型では 1.7時間[104t÷(0.5t/m3×3m3/バッチ)×90秒/バッチ÷3600秒]であるが、改造後は70秒程度となった。また細骨材も標準型の50分[72t÷(0.7t/m3×3m3/バッチ)× 90秒/バッチ÷60秒]から17分[24t÷(0.7t/m3×3m3/バッチ)×90秒/バッチ÷60秒] と約３分の１になった。

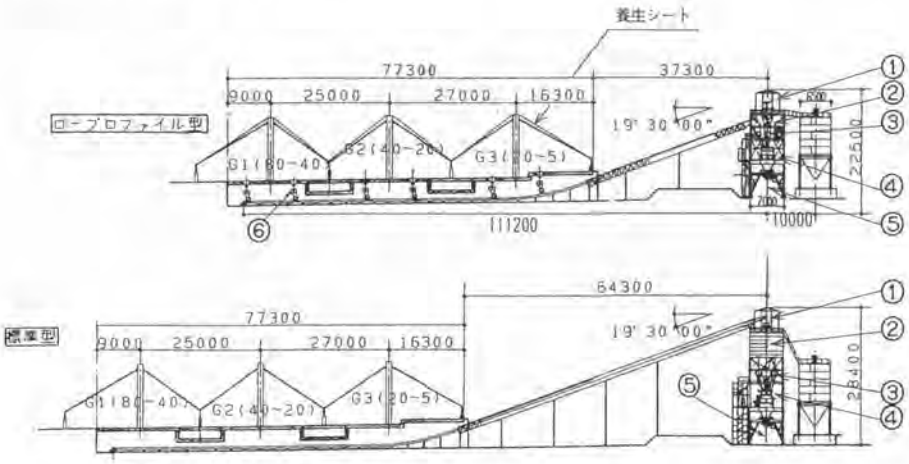
b．プラント全体重量の軽量化ほか

全体重量は、標準型と比べ設備重量で 41.2 t、受材重量で400.4 tの合計441.6 t程度の軽量化が図られ、プラントの重心位置の低下と基礎コンクリート量の削減も図られた。

c．管理棟内での現場一括把握

遠隔操作システムにより、プラントオペレーターは騒音、粉塵から解放されるとともにコンクリート試験室、クレーン操作室との連絡、調整がスムーズに行えた。

バッチャープラントの改造前後の構造比較図及び数値の比較表を図－１及び表－１に、バッチャプラントの全景を写真－１に示す。



図－１　プラント改造前後の構造比較図（単位　mm）

表－1　プラント改造前後の比較表

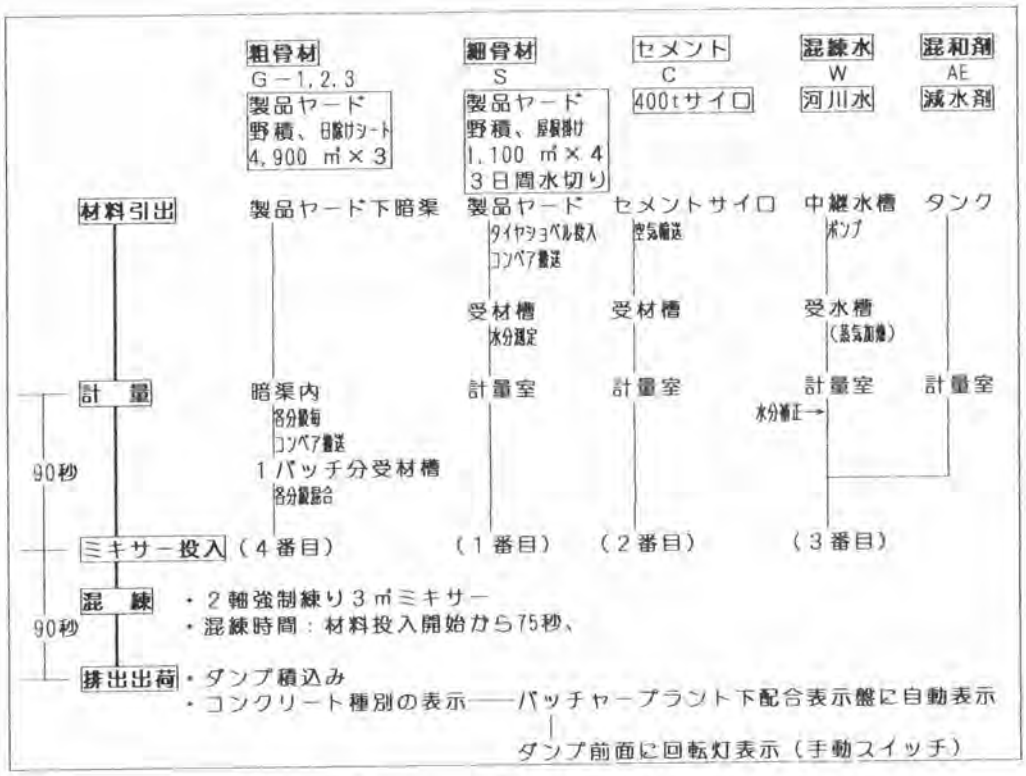
比較項目	記号	名称	標準	ロープロファイル	備考
建屋高さ（m）	①	受材室	5.3	5.3	
	②	受材槽	5.0	2.5	
	③	計量室	5.2	2.5	
	④	混練室	5.2	4.5	
	⑤	出荷部	7.7	7.7	
		（小計）	28.4	22.5	－5.9
設備重量（Ton）		建屋	118.0	81.0	
		内部機器	23.0	19.0	
		電装品	2.0	1.8	
	⑥	地下計量器	－	（14.0）	（＋14.0）
		（小計）	143.0	101.8	－41.2
受材量（Ton）		粗骨材	312.0	5.6	
		細骨材	72.0	24.0	
		セメント	52.0	6.0	
		水	3.0	3.0	
		（小計）	439.0	38.6	－400.4

写真－1　プラント全景

3．製造実績

(1) コンクリート製造フロー

図－2にコンクリートの製造フローを示す。



図－2　コンクリート製造フロー

(2) バッチャープラントの仕様概要

a．型　式	ロープロファイル型（Low Profile）
b．製造能力	3．0㎥・油圧可変式・2軸強制練り、120㎥／h
c．使用骨材	粗骨材（80㎜、40㎜、20㎜）、細骨材（5㎜以下）
d．引出コンベア	粗骨材：運搬能力　450 t/h、ベルト速度　110 m/min
	細骨材：運搬能力　200 t/h、ベルト速度　120 m/min

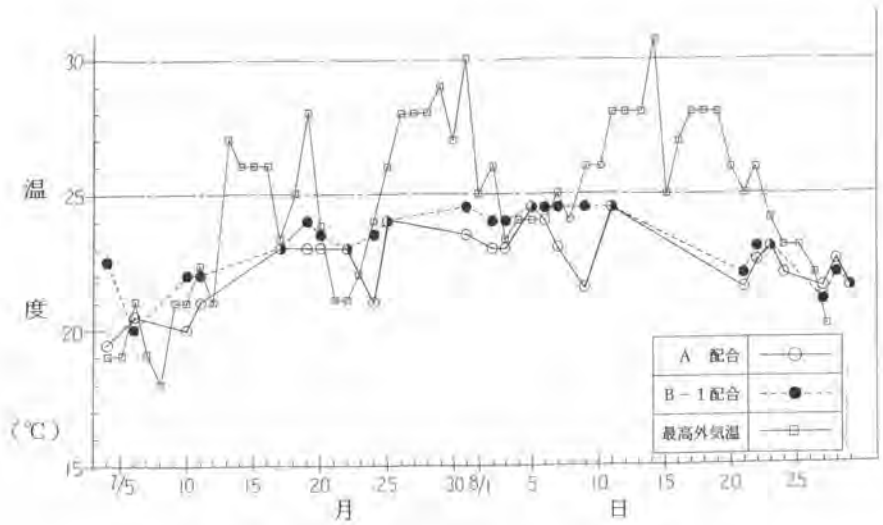
(3) 材料温度及びコンクリート練り上がり温度実績

a. 温度計測システム

ロープロファイル型バッチャープラントのコンクリート練り上がり温度抑制の効果の確認のため、測温抵抗体及び非接触式温度センサーを使用し、外気温、暗渠内温度、各材料及びコンクリート練り上がり温度の測定を行った。

b. 測定結果

夏期のコンクリート練り上がり温度の測定結果を図－3に示す。配合Aは有スランプコンクリート、配合B－1はRCD用コンクリートであり、温度は当日の最高値を示すが、夏期の昼間の打設においても温度規制である25℃以下を満足することができた。



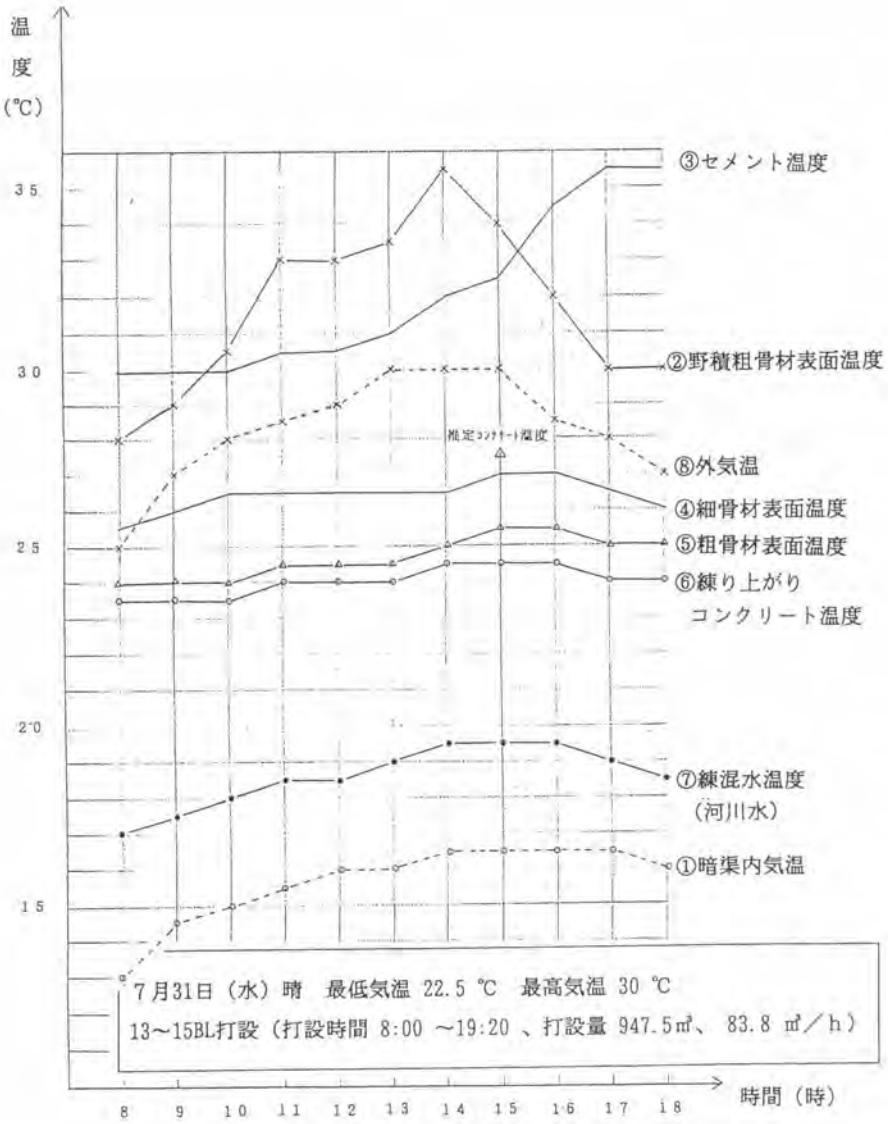
図－3 夏期のコンクリート練り上がり温度

ある1日の打設時の各々の温度測定結果を図－4に示すが、最高気温の30℃を示した15時における各材料の温度は、粗骨材25.5℃、細骨材27℃、セメント32.5℃、混練水19.5℃で、コンクリート練り上がり温度は24.5℃であった。

標準型プラントが現地にないので横並びに比較はできないが、粗骨材温度が受材槽にあって外気温まで上昇したと仮定して、各材料の温度、比熱及び単位量よりコンクリート温度を算出すると、当日15時においては、27.5℃と推定される。

従って、あくまで仮定の話ではあるが、ロープロファイル型バッチャープラントの採用により、コンクリート温度の上昇を3℃程度抑制できたものと考えられる。

なお、粗骨材温度は分級の違いと非接触式温度センサーの性能上3～4℃の範囲でばらついたが、最大値を採用した。



図－4　温度測定結果

4．おわりに

バッチャープラントのローブロファイル化によるコンクリート温度を抑制する目的は達成できたと思われるが、改造と並行して、粗骨材製品ストックヤードに日除け養生シートを設置したがこれもコンクリート温度抑制に効果があったものと考える。

39. ウォータージェット式グリーンカットマシンの開発

㈱フジタ：*川上　勝彦，桑本　　卓
森　　利夫

1．はじめに

近年、建設技術にも一層の高度化・高規格化・高能率化が求められており、建設現場においても、苦渋作業・危険作業から作業員を解放して安全性の向上を図り、建設作業員の高齢化、熟練労働者の減少等に対処する事が緊急の課題となっている。

コンクリートダム工事における打設面処理（グリーンカット）作業は、人力を主体とする従来の作業方法において、以下のような問題点が指摘されている。

① 均質な・良好な品質を得るためには、熟練を要する。

② 発生したズリの集積・回収はスコップ等を使用した重労働であり、堤外への搬出にコンクリート打設設備等を使用する必要がある。

③ コンクリート硬化状況により最適作業時間が限定されるため、コンクリートの材令（強度）に柔軟に対応できない。このため、コンクリートの打ち上がり時刻によっては、夜間・早朝あるいは休日の作業となる場合がある。

④ 低標高河床部・面状工法のように施工面積が広い場合、施工能力が十分でなく、多くの作業員を必要とする。

⑤ 高圧水を使用する場合は、作業員が飛散物・汚水を浴びる場合があり、苦渋・危険作業となる。また、ポリッシャを使用する場合には、ポリッシャの旋回力を抑制するために重労働となる。

本グリーンカットマシンは、これらの問題点を解決するために、高圧水によるレイタンスの切削・吸引集排泥を同時におこない、グリーンカット作業の省力化・効率化・作業環境の改善を図るものである。

2．開発目標

2-1. 操縦者の熟練によらず安全に施工可能であり，出来形に応じて切削能力の調整が容易であること。

詳細：　搭乗式の機械とし、主な操作は運転席にておこなえるようにする。

2-2. レイタンスの切削と集排泥を同時におこなえ、かつ時間100㎡以上の実施工能力を有すること。

詳細：　切削と集排泥の同時作業の必要な理由として、省力化とともに、出来形の随時確認を可能ならしめる事にある。この為には、レイタンス等の回収率として90%以上が必要となる。

実施工能力に関しては、10～20万m²規模の柱状、中小規模の面状工法でのコンクリートダムを対象とした際、100㎡/時以上の施工能力が望ましい。

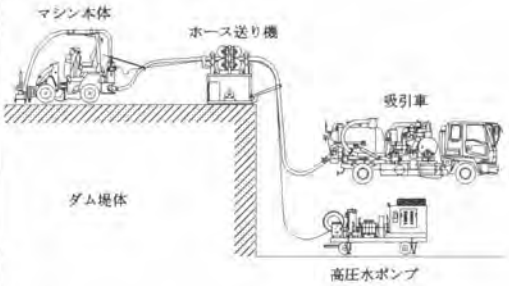
2-3. 夏場で、打設後中２日経た状況で、施工可能であること。

詳細：　夜間・休日作業を無くすためには、上記目標が必要となる。この時点での外部コンクリートの強度を約８N/mm²と想定し、これを切削可能な能力を有することとする。

3．機械概要

本機は、高圧水でレイタンスの切削を、吸引装置で集排泥をおこなう。このため構成としては、施工をおこなうグリーンカットマシン本体と、後方設備として高圧水ポンプ・吸引車からなる。また、広い面積を施工する際は、本体と後方設備をつなぐホースを捌くためにホース送り装置を用いる。

写真－1　マシン本体と高圧水ポンプ



図－1　機械配置例

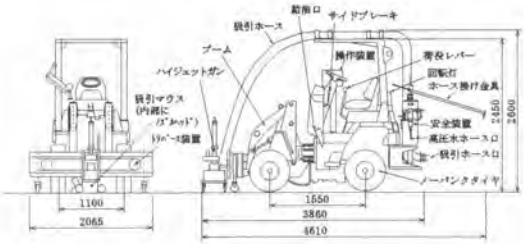
3-1．グリーンカットマシン本体

(1)全体概要

マシン本体に求める性能としては、走行速度、小回り性、登坂能力等の機動性、操作性、メンテナンス性である。そこで条件を満たすものとして、ベースマシンに小型ホイールローダーを採用した。この為、本機が施工し得るブロックの広さは、最小で15×5m、推奨で 15×7mの狭い面積でも施工可能となった。

またこのホイールローダは、走行にＨＳＴモータ＋変速機を使用しており、非常に広い範囲の速度制御が可能となっている。

よって、通常の建設機械では得られない施工中の低速安定走行を達成しながらも、移動距離の長い面状工法でも問題のない移動速度が確保できた。



図－2　　マシン本体

表－1　　仕　　様

	表 示	仕 様
寸法	L×W×H(mm)	3860×2065×2600
重量	(kg)	2650
最高速度	(km/h)	0.03～5.5
最小回転半径	(m)	2.7
登坂能力	(°)	15(μ=0.7)
施工幅	(mm)	1700
動力		ディーゼルエンジン

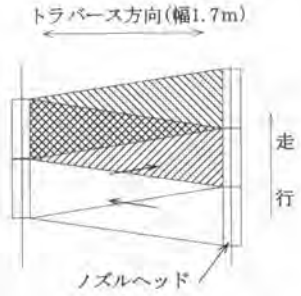
(2) 作業ユニット

グリーンカットマシン前部に装備されたトラバース装置、ハイジェットガン、マウス、ノズルヘッドをまとめて作業ユニットと称する。

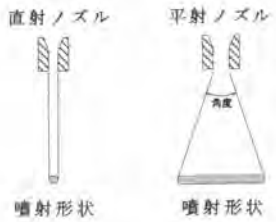
マシン後部より供給された高圧水は、ハイジェットガンの先端に取り付けられたノズルヘッドより吸引マウス内に噴射される。

ノズルガン、ノズルヘッド、吸引マウスは、図－3に示すように、走行方向直角方向へトラバース運動をおこなう。

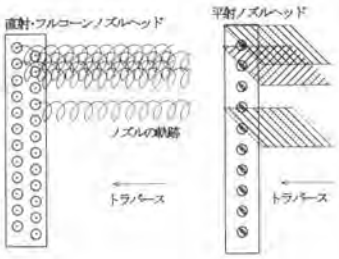
ノズルヘッドに組み込まれたノズルは、コンクリート強度に応じて図－4に示す2種類を使い分ける。直射ノズルは噴射面積が狭いため、ハイジェットガンにより偏心運動し、図－5左に示す様に、面状に処理する。



図－3　グリーンカット要領



図－4　各ノズル噴射形状



図－5　各ノズルの軌跡（ﾉｽﾞﾙﾍｯﾄﾞ下面よりの図）

3-2. その他機械

(1) 高圧水ポンプ

高圧水ポンプの選定において条件となるのは水圧と水量である。

①水圧：実験により直射ノズルを使用した際、夏場中2日を施工する為には水圧40MPa以上が必要となる。また、冬場の翌日施工では平射ノズルで10MPa 程度の圧力が必要となる。よって、10～45MPaの圧力調整が可能であることとした。

表－2　仕　様

	表示	仕様
寸法	L×W×H(mm)	3750×1950×2172
重量	(kg)	3000
水圧	(MPa)	10～45
水量	(1/min)	65
操作方法		作業時遠隔操作
ホース長	(m)	100
動力		ディーゼルエンジン

②水量：10万m^3クラスのダム工事において、循環水を使用する際、給排水設備の能力から無理なくマシンに供給できる水量と施工能力を考え使用水量を約65リットルと定めた

(2)吸引車

吸引車は、グリーンカットにウォータジェットを使用している関係上、吸引ズリ量に対して吸引水量が圧倒的に多い。

この為、吸引タンク容量を有効に活用できるようにタンク内に排水用サンドポンプを設けたタイプを製作し、丸一日タンク清掃をおこなわなくても連続施工可能とした。

表－3　仕　　様

	表 示	仕 様
寸法	L×W×H(mm)	6570×2200×2550
重量	(kg)	7900
風量	(m²/min)	50
静圧	(hPa)	-933
タンク容量	(m²)	2.2
ホースサイズ	インチ	4～5
動力		ディーゼルエンジン

4．施工結果

4-1.施工データ

(1)ノズルデータ

本施工で使用したノズルは、以下の３種類である。

直射ノズル　：ノズル穴径　0.6mm

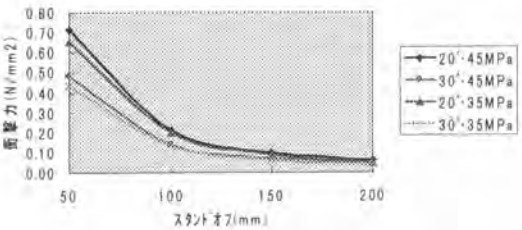
平射ノズル　：ノズル穴径　0.8mm　　噴射角度　20°　および　30°

ノズル1個当たりのスタンドオフとグリーンカット能力の関係の理論式は存在してないため、衝撃力の簡易式で表すものとする。この際、空気抵抗・キャビテーションの影響を受けるが、ノズル穴径の500倍以内のスタンドオフでは影響が少ないと考えられているため、これを無視する。

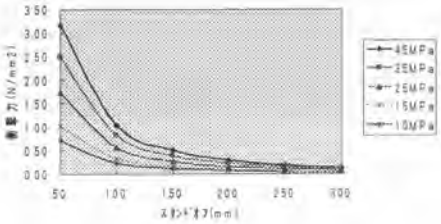
衝撃力の簡易式を、以下に示す。また、式より導き出された性能曲線を図－６，７に示す。

$$F=\frac{\gamma}{g}\times\frac{Q}{60\times1000}\times\sqrt{2gH}=0.0238\times\sqrt{P}\times Q$$

F：衝撃　　P：水圧　　Q：水量



図－６　平射ノズル衝撃力



図－７　直射ノズル衝撃力

(2) コンクリートデータ

表－4　コンクリート配合表

配合	最大粗骨材 寸法 mm	スランプ cm	空気量 %	水セメント比 W/C+SL %	S/a %	単位量(kg/m3) 水 W	セメント C+SL	150～80	80～40	40～20	20～5	細骨材 S	混和剤 %
内部	150	4±1	3±1	68.1	25	109	160	319	309	399	479	517	C×0.25
外部	150	4±1	3±1	51.9	24	109	210	317	396	396	475	486	C×0.25

4-2. 施工強度及び施工速度

表－5、6、7にグリーンカットの実績を示す。施工速度は、噴射形状の違いにより平射が有利であるが、強度に対しては直射が有利である。

また弱材令においては直射だと深堀りになりやすい。平射と直射は、2.5～3Nを境に使い分けると良い事が判明した。

直射においても強度が増すと施工速度が低下し、約6Nを境に100m²/時を下回る結果となった。

表－5

配合	コンクリート強度 (N/mm²)	積算温度 (°ch)	ノズル種	衝撃力 (N/mm²)	施工速度 (m/時)
内部	0.8	484	平射	0.40	130
内部	1.9	854	平射	0.50	120
内部	3.2	1591	平射	0.70	100
内部	3.8	1825	平射	0.70	50

表－6

配合	コンクリート強度 (N/mm²)	積算温度 (°ch)	ノズル種	衝撃力 (N/mm²)	施工速度 (m/時)
内部	2.1	1075	直射	0.15	110
内部	3.2	1591	直射	0.18	120
内部	4.5	2247	直射	0.77	90
内部	5.7	2825	直射	0.80	70

表－7

配合	コンクリート強度 (N/mm²)	積算温度 (°ch)	ノズル種	衝撃力 (N/mm²)	施工速度 (m/時)
外部	3.5	1040	直射	0.13	110
外部	5.3	1580	直射	0.80	120
外部	7.3	2185	直射	0.80	70
外部	8.1	2410	直射	0.90	60

写真－2　グリーンカット状況（直射）

4-3. 吸引回収率計測

計測対象：フルイにて微粒分をのぞいた0.15mm以上の固形物

計測方法：吸引車タンク内および施工面残留物から計測対象物を採取し、絶乾状態での重量を測定する。しかるのち、重量比を算出する。

結果　　：92～96%の回収率を達成した。

4-4. その他

型枠際等の再接近の施工距離は、

マシン正面方向で、22cm

マシン左側で、　30cm

マシン右側で、　50cm

との計測結果を得た。

5．特徴

5-1. 施工能力

一般に同じタイプのノズルを使用した場合、水量が多いほど施工速度が速く、水圧が高いほど高材令のコンクリートのグリーンカットが可能となる。

水量に関しては、本機は、対象ダムを中小規模に絞り込むことにより、目標施工速度を100㎡/時間とし、使用する水量を節約した。

水圧に関しては、人力では取り扱いが難しい高水圧と、グリーンカットに適しにくいが平射に比べ同水量同水圧ではるかに切削能力の勝る直射ノズルを使用することにより、夜間・休日作業を無くし、労務費の削減・安全の確保を可能にした。

5-2. 吸引回収

本機の特徴である90ﾊﾟｰｾﾝﾄ以上の吸引回収の意義は、

①即時出来形の確認により出来形の向上

②清掃人員の削減による省力化

③清掃水の節約

が上げられる。

6．おわりに

本機は、高圧水でグリーンカットする方式を採用しているが、噴射された水の威力、硬化中のマスコンクリート表面、共に理論式を成立させにくい世界である。この為これからも数多い施工経験を積み、実験ﾃﾞｰﾀを蓄積し、ソフト面の充実を図っていきたい。

また、水による施工は、振動・粉塵・騒音などが比較的出にくい施工法であるため、道路表面のはつり・切削、さらには、透水性舗装の清掃等へ展開していきたい。

最後に、本機の開発、実験に当たり、ご指導、ご協力していただいた関係者の方々に深く感謝の意を表します。

40. 濾過器内蔵型シックナの開発

大成建設㈱：*元良勇太郎，安倍　善悦
松本　俊一

1. はじめに

建設工事で発生する汚濁水の大部分は、排水基準に適合していない。このため、多くの現場で濁水処理設備を設置し、放流水の水質を排水基準に適合するよう処理を行い放流している。

近年、都市部の現場では濁水処理設備を設置する仮設ヤードの確保が困難で、据付面積の小さいコンパクトで高性能な処理装置の開発が望まれている。

こうした背景を基に平成5年度より設置面積が従来の約1/2で済む小型・高性能・安価な装置の開発に着手した。開発は基礎実験からスタートし、基本設計用のデータ収集を目的に実証試験機を用いた現場実験を実施した。それらの結果を踏まえ実用機の設計および製作を実施し、写真－1に示す「濾過器内蔵型シックナ」を搭載したパッケージ濁水処理設備を完成させた。以下に今回開発した「濾過器内蔵型シックナ」の概要を示す。

2. 開発の目的

現在使用されている濁水処理設備は、汚濁成分である浮遊物質の分離除去には、機械的な沈降分離装置（シックナ）が多く使用されている。シックナは排水中の浮遊物質を効率良く沈降分離するため、一般的には濁水に凝結材や凝集剤を添加し、濁水に含まれる浮遊物質を大きな塊（フロック）にして、沈降速度を大きくし沈降分離を容易にする。しかし、浮遊物質のすべてが大きなフロックになるとは限らず、排水基準をクリアするには沈降速度の遅い微細なフロックも分離する必要がある。そのためシックナの水面積負荷を低くし、越流速度をフロックの沈降速度以下としなければならない。ついては、水面積も大きく、設置面積も広いシックナが必要とされている。

写真－1　「濾過器内蔵型シックナ」搭載パッケージ濁水処理設備

シックナの水面積を小さくするには、フロックの凝集効率を高め短時間で大きなフロックに成長させ、その沈降速度を高めることが必要である。しかし現実には、効率を高めただけでは未成長の細かなフロックは水面付近に漂い処理水中に流出してしまう。

そこで、従来のシックナと同等な浄化能力を1/2の設置面積で発揮できることを目標とし、凝集効果の高い凝集反応工程（シックナの構造）と、微細フロックの流出を防止する濾過装置について開発を実施した。

3. 開発の内容

本濾過器内蔵型シックナの開発は濾過器および高効率シックナの開発を行い、それらを組合わせた実大規模の実証機による現場実験を実施した。以下にそれらについて実施内容の概要を示す。

3.1 濾過器の開発

開発はまず微小フロックの流出防止用の濾過器から取り組んだ。濾過器は設置スペースを有効に利用するためシックナ上部に装備した。また、濾過器はシックナの水面全体を覆い、図－１に示すようにシックナから越流する全ての放流水を濾過する。放流水と共に流出するような微小フロックは濾材中に押し込まれる形になる。

濾過器に使用する濾材は、良好な水の透過性とフロックの捕集性を求められる。また、濾材の目詰まりは定期的に洗浄する必要があり、洗浄の容易さも求められる。このような条件から濾材の比重＜１の浮上濾材を使用することで検討を進めた。また、浮上濾材を使用することで以下のようなメリットが生じた。

(1)濾過器の構造が簡素化できる。

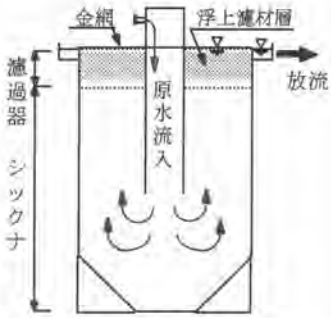
・シックナ水面に濾材流出防止用の金網を設置するだけで、濾過器が形成される。

(2)フロックの捕集能力が高い。

・稼働時は水位が常にシックナ上面より高い（越流する）ので、濾材は金網に自分の浮力で押しつけられ、濾材間の間隙が狭くなる。そのため、細かいフロックまで捕獲できる。

(3)濾材の洗浄が容易

・洗浄時はシックナ内の水位を僅かに低下させることにより、濾材は自由に浮遊する状態となる。そのため、濾材間の間隙が広くなり捕獲したフロックの洗浄が容易となる。



図－１シックナ・一体形濾過器の概念

浮上濾材を用いた濾過器については、簡易モデルを使用した室内実験を実施し以下のことが明らかになった。

(1)濾材としては直径3mm程度のポリプロピレン・ペレットが適する。

(2)濾過速度（越流速度）は一般的なフロックの沈降速度の６倍程度まで早めても処理水質を悪化させない。

(3)濾材の洗浄は濾材を撹拌することで可能

3.2 高効率シックナの開発

浮上濾材による濾過器の特性を踏まえ、写真－２に示すような処理能力30m³/hの実証試験機を製作し現場実験を実施した。

実験は実大規模にスケールアップした場合の濾材の濾過性能・再生機構（洗浄による繰返し使用）の確認および最適な凝集反応機構を検討する目的で以下について実施した。

(1) 凝集反応工程の確認（図－2参照）

・凝集反応工程の違いによる凝集効果の把握

・濁度の変化に対する凝集性能の確認

(2)シックナ一滞留時間の把握

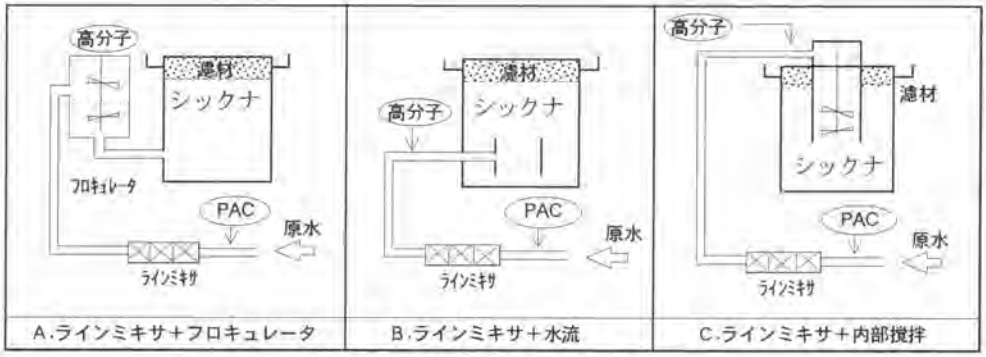
(3) 浮上濾材の濾過性能の確認

・濾過速度

・濾過層の厚さ

(4) 浮上式濾材の洗浄状況の確認

写真－２　「濾過器内蔵型シックナ」実証試験機



図－２凝集反応工程の形式

これらの実験により、以下のことが明らかになった。

(1) 凝集反応工程の差による凝集効果

・濾過速度22.5m/h時の処理工程別の濾過性能（処理水濁度）は表－１に示すように、凝集工程の違いによる凝集効果に大きな差はない。

表－１　濾過速度毎の濾過性能

凝集工程形式	濾過速度(m/h)	原水濁度(ppm)	ｼｯｸﾅ内部濁度(ppm)	処理水濁度(ppm)	濾層厚(cm)
A	22.5	7,000	14	5	30.0
B	22.5	2,000	34	9	30.0
C	22.5	6,000	41	6	30.0
C	22.5	1,000	60	8	30.0
C－1	22.5	2,000	161	4	30.0

・濾過速度の違いによる凝集反応ならびに沈降分離効果として、原水濁度および濾過速度毎の濾過性能（処理水濁度）を表－２に示す。シックナ内部濁度は31～92ppmの範囲で大きな変化はない。また、濾過性能（処理水濁度）は安定している。なお、データは各凝集反応工程形式の平均値である。

表－２　原水濁度および濾過速度毎の濾過性能

原水濁度	濾過速度(m/h)	原水濁度(ppm)	ｼｯｸﾅ内部濁度(ppm)	処理水濁度(ppm)	濾層厚(cm)
高濃度	15.0	8,000	31	11	30.0
高濃度	22.5	7,250	34	9	30.0
高濃度	30.0	5,000	57	8	30.0
低濃度	15.0	1,340	59	8	30.0
低濃度	22.5	2,375	92	9	30.0

(2) シックナの滞留時間

・送水量は一定とし、実証試験機の胴の高さを変化させ滞留時間を調整した。表－1に示すＣタイプを標準としＣ－１タイプは60cm低く（滞留時間で約２分）した。その結果、凝集効果に違いがないことが解った。

(3) 浮上濾材の濾過性能

・濾過層厚30cmで処理性能を維持可能

・濾過速度15.0～30.0m/h、原水濁度1,000～7,000ppmで凝集反応の工程にかかわらず処理水濁度は10ppm以下であり濾過性能を確認した。

(4) 浮上式濾材の洗浄効果

・目詰まりによる抵抗増加は約30分で0.036kg/m²であり、今回の実験では洗浄のサイクルタイムは2時間以上

となった。

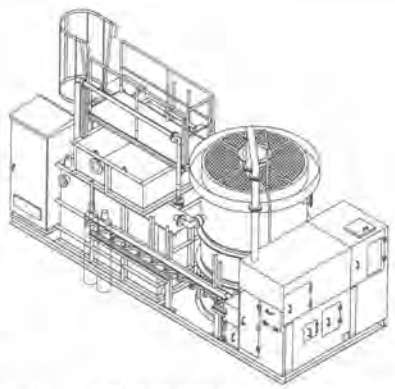
・濾材層を撹拌することで短時間でフロックを除去でき、繰返し使用が可能

4.実用機の基本設計と製作

実証試験機による現場実験結果から凝集反応工程は最もシンプルなCタイプを選択し、実用機としての「濾過器内蔵型シックナ」の仕様を表－3のように設定した。また、本シックナを中心とする濁水処理に必要な設備は全て共通フレーム上にパッケージ化し、現場での搬出入や組立ての省力化を図った。製作した実用機の俯瞰図を図－3に示す。

表－3　実用機の諸元

処理能力	50m³/h（最大）
SS濃度	原水5,000ppm（最大）
	処理水50ppm以下
原水槽	鋼製角形5.0m³
シックナ	1.7mφ×2.35mH、容量5m³
	有効水面積2.0m²
濾過器	材質：ポリプロピレン
	厚さ：300mm
	濾材自動洗浄装置付き
pH調整装置	炭酸ガス式
放流水槽	鋼製角形1.5m³
パッケージ規模	6.2Lm×2.4Wm×3.0Hm



図－3　「濾過器内蔵型シックナ」搭載パッケージ濁水処理設備俯瞰図

5.現場での稼働状況

「濾過器内蔵型シックナ」の実用機は平成8年10月より第2東海自動車道清水第3トンネル工事に設置している。稼働開始より平成9年4月までの約6カ月間の濁水処理状況は良好に放流基準SS≦40ppmをクリアし、累計で約70,000m³の濁水を処理している。

6. まとめ

『濾過機内蔵型シックナ』は、単に凝集効率を向上させたばかりでなく、シックナ越流部に設置した濾過層で沈降速度の遅い微細なフロックも捕集し除去することにより小形化を達成した。

これにより処理設備全体の省スペース化を実現し、仮設ヤードが狭い現場でも本格的な濁水処理設備の設置が可能になった。また、処理設備をパッケージ化することにより現場での設置・組立て作業等の省力化も達成した。以下にその特徴をまとめて示す。

(1)シックナの水面積は同規模・従来形式の約1／7で所要性能を発揮

(2))濾材は洗浄により繰返し使用可能

(3)濾材洗浄を含め全自動運転が可能

(4)10tトラックで運搬の後、短時間で設置し稼働することが可能

41. 建設廃棄物の低公害減容システム

日本国土開発㈱：*水野征四郎，森本　秀敏
小幡　博志

1．はじめに

近年、ゴミ処分場の絶対的不足をはじめ、土壌汚染・大気汚染・悪臭等、ゴミに起因する多くの問題が社会的にクローズアップされている。

このような状況下、建設の分野においても工事に伴って発生する廃棄物の処分に様々な問題を抱えている。特に現場周辺地域への公害防止や処分費用の急騰などに緊急な対応が迫られてきている。

筆者等はこれらに対処する手段の一つとして、廃棄物の容積を減じさせるいわゆる「減容化」を、発生箇所の現場で実施可能とするシステムの開発を行っている。このシステムは特に都市部の建設現場を対象にし、省スペース・無公害・低コストを目標に、現在実大規模の試作機によって性能確認試験を行っている段階である。本報文ではシステムの概要および、試験結果の一部について述べる。

2．建設発生廃棄物の「減容化」について

産業廃棄物の処分は、排出企業の責任が強化されつつあることなどから、適正処理の出来る業者に委託して行われる方向に移行しており、処分費も年々増加する傾向にある。このためゴミの処分量を減らすことが重要な課題となってきている。

「減容化」はこのような背景から生まれた造語であり、圧縮・破砕・焼却・溶解などの方法でゴミの容積を減らすことの総称になっている。

この「減容化」については建設業も例外ではなく、ビル建築において躯体工事以後、完成に至るまでに発生する廃棄物は建築床面積1㎡当たり50kgと言われており、総床面積3000㎡～4000㎡の中規模マンションでは150t～200tの発生量となる。また、作業従事者が100名を越すような大規模工事では、弁当殻などの一般ゴミだけでも膨大な量になり、これらが建設混合廃棄物として委託処分されている。このため「減容化」等による処分費の低減が強く要望されて来ていた。

しかし都市部の建築現場での「減容化」は、スペース上の問題・公害問題・コストなどからこれまで実施は困難とされ、紙屑の焼却程度にとどまっているのが現状である。

「減容化」の対象となる建設廃棄物は概ね以下のようである。

* 梱包材　　ビニール・発泡スチロール・紙・ダンボール等。
* 建設廃材　　コンクリート殻・材木片・樹脂タイル・新建材・プラスチック
* 一般ゴミ　　弁当殻・ペットボトル・飲料パック・紙・ビニール・缶類

3．減容システムの概要

現在開発を行っているシステムは、工事によって発生した廃棄物をその場で減容しようとするもので、焼却による減容率1/200～1/300、破砕による減容率1/20～1/40を目標としている。減容後の焼却灰には、

無害化処理を施し、有価物として埋め立て等に使用可能とする。また、焼却中に発生する煤煙を捕捉し、焼却灰と同様に無害化処理する。

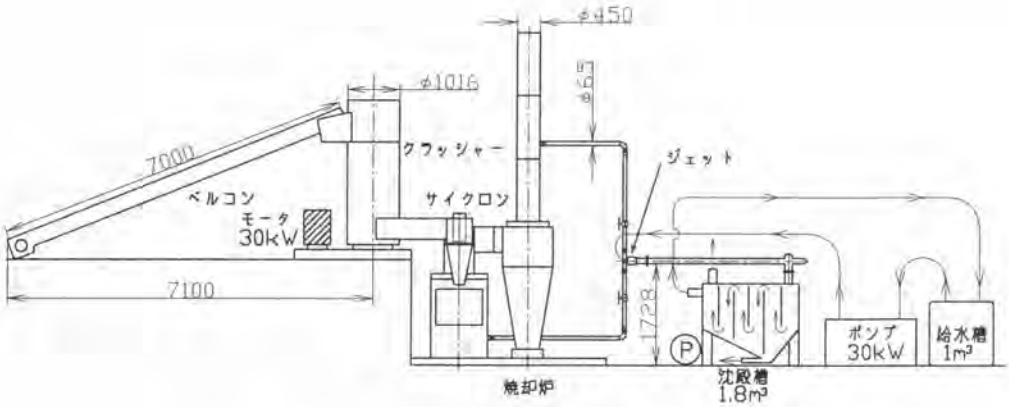
減容システムのフローを以下に示す。

粉砕 → 焼却 → 煤煙除去 → 無害化処理 → 再利用（埋め立て・造成）

減容システムの構成は以下に大別される。

① 破砕装置 ―――― チェン回転式破砕装置
② 焼却炉 ―――― 燃焼室1.5m3級既存焼却炉
③ 煤煙捕捉装置 ―――― ウォータージェット式煤煙除去装置
④ スラッジ（煙成分）沈殿槽 ―― 多段ウォール沈降式沈殿槽
⑤ 有害物質不溶出処理システム ―― ガラス化処理

図－1に減容システムの構成を示す。



図－1　減容システムの構成

3－1．破砕装置　写真－1

破砕機は、多種多様な形状・材質の廃棄物に対して、比較的適応範囲の広いと考えられる衝撃式で、いわゆるインパクトクラッシャーに属する形式の粉砕機である。

粉砕機の構造は、上下に軸受けを持った垂直の回転軸の周囲に、チェンを放射状に数段取り付け、回転軸の回転による遠心力によってチェンを水平に旋回させる。回転軸はプーリー・ベルトを介してモーターで駆動される。この回転するチェンの周囲は鋼製の外筒で囲い破砕室を形成している。この破砕室の底部には回転軸にインペラが組み込まれており、インペラの横位置にあたる筒側面の一部には、開口部が開けられている。

上部から投入された廃棄物は高速回転（1000～1500rpm）するチェンを通過する毎に叩かれて、破砕・破断されながら重力落下し、インペラによって開口部から放出される。

3－2．焼却炉

焼却炉は既存のもので、空気ブロアを備えた燃焼室 1.5m³級の簡易型のもの。

3－3．煤煙捕捉装置

新建材等の燃焼によって発生する煤煙は、ウォータージェットを用いた特殊装置で捕捉し沈殿槽に貯留する。

・煤煙を捕捉する原理

パワーチューブと外筒で構成するジェット噴射装置は一端が高圧水噴射部、他の一端が貯留槽に接続した長尺の円筒状で、その噴射管の横腹部と焼却炉の煙突を煙吸入管で接続する。この構造で水槽に向かって複数のノズルから100～200kgf/m²の高圧水を噴射すると噴射装置内が負圧になり、吸入管を通じて焼却炉の煤煙が吸引される。焼却炉から吸引された煤煙は、噴射管に入って高圧ジェットの水滴で隙なく叩かれる。この掃射によって、通常水をはじく撥水性の強い煤煙中の煤・飛灰のほか煙中の微粒子などが、水に親和・吸着され沈殿槽に落とされ沈降する。この結果、沈殿槽からは白色の蒸気が排出される。

写真－1　破砕装置

写真－2　煤煙捕捉装置と蒸気の排出状況

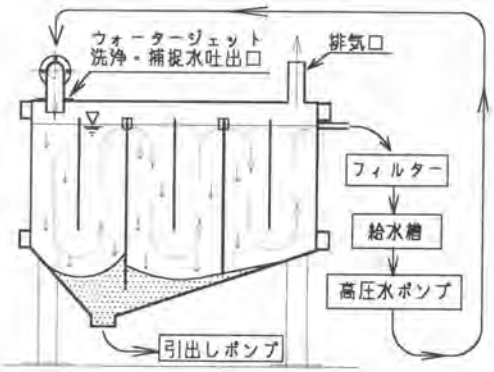
3－4．スラッジ（煙成分）沈殿槽　図－2

沈殿槽は槽内を数段の隔壁で仕切り、遅い流速で降下と上昇を繰り返す流路を形成したもので、これによって粒子の沈降を促進する強制沈降・沈殿槽であり、水底に沈降したスラッジは傾斜式底板の最深

部に集積する。流末から出る余剰処理水はフィルターを通過させた後、ジェットに再利用する。

3－5．有害物質不溶出処理システム

捕捉したスラッジおよび焼却後に残る灰は、そのままでは有害であり、公害防止上無害化する必要がある。このため、これらをセラミックス化して重金属など有害物質の漏出を防止するシステムを開発した。



図－2　沈殿槽

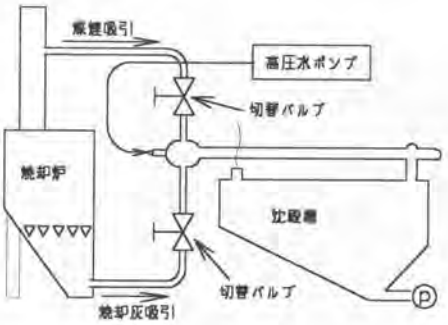
このシステムは、上記スラッジおよび焼却灰に、リキッドセラミックスと称する無機物高分子材料の水溶液を添加して有害成分を吸着させ、その後、900度焼成してセラミツクス化するもので、灰の粒子の周りをほうろう状の皮膜で覆い、フリット状にセラミックス化するので、灰に含まれている重金属などが再溶出することがなくなる。

・リキッドセラミックスの添加方法

リキッドセラミックスの添加には、煤煙捕捉システムの高圧ジェット噴射を利用しており、高圧ジェットに使用する水にリキッドセラミックスを一定の割合で混合することで、高性能に分散・添加され、強い吸着力によって臭気も捕捉される。

・焼却灰の処理　　図－3

炉底のロストルの下に滞積する焼却灰の排出は、煤煙捕捉装置の吸引システムを使って吸引し沈殿槽に投入する。構造は、吸入管の一端が炉底の灰溜まりに接続され、他端が高圧ジェット噴射管に接続されており、バルブの切替で煤煙あるいは焼却灰のいずれかを選択して吸引出来る。通常、焼却開始前に灰を吸引・清掃後バルブを切替え、焼却を始める。焼却灰も煤煙と同様、リキッドセラミックス水溶液のジェット噴射により水に親和・吸着されるので、水槽で容易に沈降する。



図－3　焼却灰の処理

3－6．　加熱炉

加熱炉は、熱源に石油バーナーを用いたロータリーキルン式のものでガラス化に必要な900°が得られる。水槽に沈殿したスラッジおよび灰は、スネークポンプによって吸引した後、水分吸着材および助燃材を添加・混合して加熱炉で焼成し、セラミックス化処理を行う。

4．実験結果

4－1．破砕機

回転数・チェン線径・チェン本数、および破砕物の種類・大きさなど、実験のパラメータが非常に多

いが、現在までに確認された結果は以下のようである。

* 500rpm付近では破砕不良で大径のものが多くなり、回転が高くなるほど細粒化するが、排出に時間が掛かる。効率的には1000rpm付近が良好である。
* コンクリートテストピース・φ40mm玉石等、硬質で靱性のないものは瞬時に破砕され、10mm以下の砂状に粉砕する。 **写真－3**
* 減容率は破砕物によって異なるが、目標の1/20～1/40を達成している。
* 三寸角の木材・硬質塩ビパイプなども細かく破砕される。
* 電話帳は長辺100mm以下の皺の多い大量の紙片に破断されるが、回転数が高いと内部に滞留し排出に時間が掛かる。燃焼は良好で時間も短い。
* ゴムホースなど強靱で長いものは破断出来ず、共回りして排出されない。
* 鉄片など、破砕困難なものが投入された場合にも、チェンが屈曲して衝撃を緩衝するので特別な緩衝装置は必要ない。

4－2．煤煙捕捉システム

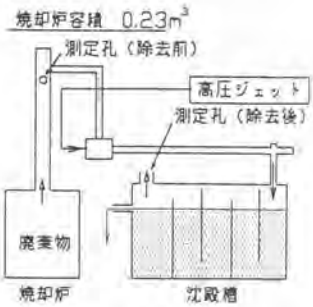
* ジェットの吸引によって焼却炉内にも外気が流入するので、ブロワの効果が得られ良く燃焼する。
* ジェット圧力は200kg/cm^{2}付近が最適であり、それ以上高くすると燃焼中のガスまで吸引してしまうので未燃焼のダストが水に溶けきらず黄味色がかった排気になる。
* 燃焼が悪い場合（詰め込み過ぎなどで酸素不足の場合）にも未燃焼のダストが水に溶けきらず黄味色がかった排気になる。
* リキッドセラミックスを添加しない場合、捕捉したスラッジだけでなく周辺一帯に臭気が広がるが、添加後は排気を直接嗅いでも臭いはない。

写真－3　沈殿槽に捕捉したスラッジ

* 煤煙量の測定結果（環境計量士に委託）を、**表－1**および**図－4**に示す。

表−1　煤煙量等測定結果　　煤煙除去後（除去前）

煤煙発生施設の種類			焼　却　炉	
測定年月日（時刻）			1996.12.25（10:20~12:39）	
測定結果	湿り排ガス流量	m^3N/h	150	（除去前 270　）
	乾き排ガス流量	m^3N/h	140	（除去前 240　）
	排ガス温度	℃	40	（除去前 638　）
	湿排ガス中の水分量	%	7.5	（除去前 10.4　）
	乾排ガス中のO_2濃度	%	5.1	（除去前 9.4　）
	ダスト濃度	g/m^3N	1.4444	（除去前 28.659）
	同上$O_2$12%換算値	g/m^3N	*****	
	ダスト量	g/h	202.2	（除去前 6876.2）
	集塵効率	%	97	
			*****	
			*****	



図−4　測定点

4−3、無害化処理システム

＊ リキッドセラミックス処理した焼却灰の分析結果を以下に示す。

表−2　LC処理溶出試験分析結果　　mg/l

試料名＼成分	鉛 Pd	ヒ素 As	セレン Se	
廃棄物焼却灰				
リキッドセラミックス 10 %	0.016	<0.001	<0.001	
リキッドセラミックス 15 %	0.009	<0.001	<0.001	
リキッドセラミックス 20 %	0.004	<0.001	<0.001	
汚泥焼却灰				
リキッドセラミックス 10 %	0.007	0.007	<0.001	
リキッドセラミックス 15 %	0.002	0.005	<0.001	
リキッドセラミックス 20 %	0.005	0.005	<0.001	
土壌環境基準	0.01mg/l	0.01mg/l	0.01mg/l	

＊ 水溶液に灰を親和・吸着させるためのジェット圧力は、煤煙の捕捉と同様200kg/cm²が最適である。

＊ 乾燥した灰を吸い取る吸入管は3インチ以下では閉塞が多い。

＊ 減容率は、既存の焼却炉でも目標の1/200〜1/300を達成している。

＊ 灰に含まれる金属片は、吸引管・引き出し管等の閉塞防止上、事前に除去する必要がある。

おわりに

この減容システムは既存の焼却炉を使った低温処理設備であるが、煤煙・灰を捕捉・集塵して有害成分を不溶出化出来る見通しを得た。

現在、低温処理にはダイオキシンの発生・重金属の残存の問題があり。それらをクリアする高温処理は設備費が巨額であるうえ、新たに重金属残存飛灰が問題になっている。今後はこれらの問題解消にも貢献していきたいと考えている。

以上

42. 小口径管用開削管渠連続埋設工法（mini OSJI 工法）の開発

アイサワ工業㈱：*成瀬龍一郎，塩見　真澄

1．はじめに

近年、わが国の下水道事業は積極的に整備が推進され、整備の対象が都市部における面整備や、小規模の市町村を中心とした整備へと移行してきており、大中口径管から小口径管を中心とした工事が多く見られるようになってきた。ところで、土被りの少ない小規模な管渠の埋設工事は開削施工で行われることが多いが、比較的掘削深さの浅い現場では危険に対する認識の薄さから土砂崩壊が生じ、人身事故の発生も多く見られる。こうしたことから、開削工事に対する一層の施工の合理化、安全化のニーズが高まっている。さらに、このことはガスや上水道、電力・通信といったライフライン整備も考慮に入れた対応が必要である。

そこで、鋼製フレームとスキンプレート、推進ジャッキで構成するマシンを掘削用バックホーと組合わせて地中を自走させ、掘削から埋戻しまでの一連作業をくり返し連続して行いながら、管渠を一管毎安全に早く埋設する小口径管用開削管渠連続埋設工法（mini ＯＳＪ工法）を開発した。

本稿では、本工法の概要を説明するとともに、本工法の安全性や施工性、周辺環境に及ぼす影響などの効果の確認を行うために実証実験を実施したので、その結果について述べる。

2．工法の概要

2.1　施工手順

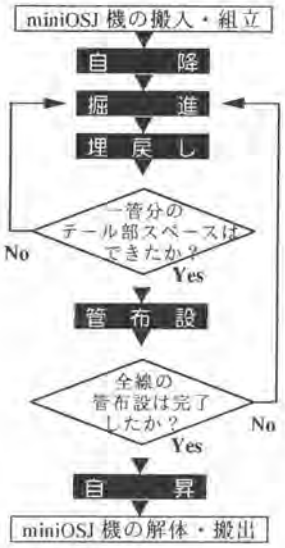
施工手順は次のとおりである。そのフローを図－１に示す。

① mini ＯＳＪ機を搬入し、地上で組立て設置する。

② ４基のシリンダーシステムからなる自降装置を本体の上部に装備して機械内部の掘削を行い、バランスをとりながら mini ＯＳＪ機を発進位置に降下させる。

③ シリンダーシステムを取り外し、最前部にダンプカー、その後方に mini ＯＳＪ機を跨ぐ格好でバックホーを配置する。バックホーによる掘削とともに埋戻しを行いながら、後方の反力板により埋戻し土を締固めると同時に mini ＯＳＪ機を推進させる。良質な掘削土砂の場合には、バックホーを旋回して後方に埋戻す。この作業をくり返して前進し、テール部にスペースが確保されると管渠を布設する。施工概念図を図－２に示す。

④ ③の作業を繰り返し、全工程の管渠の埋設が完了したら自



図－１ 施工フロー

降の際使用したシリンダーシステムを再び本体に装備し、機械内部の埋戻しを行いながら地盤に反力をとり、周面のフリクションを切って miniOSJ 機を上昇させる。

⑤　地上で miniOSJ 機を解体し、搬出する。

2.2　適用性

本工法の適用範囲を表－１に示す。

表－１　miniOSJ工法の適用範囲

掘削深さ	H ≦ 2.5 m
掘 削 幅	B = 1.0 m
曲率半径	R ≧ 60 m
適用管径	H.P φ ≦ 300 ㎜ 、U V管φ ≦ 350 ㎜
適用管長	ℓ ≦ 4.0 m
適用管種	ヒューム 管、塩ビ管、鋼管、陶管等
適用土質	粘性土、砂質土、玉石、礫質土（N値≦ 50）

図－２　施工概念図

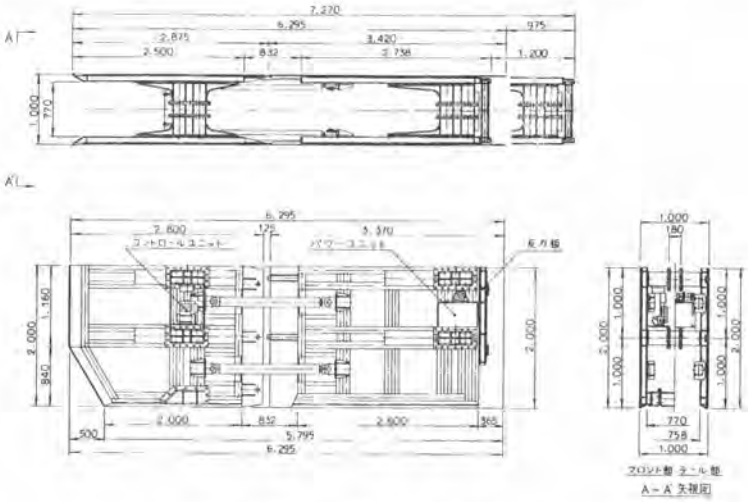
表－２　miniＯＳＪ機仕様

全　　長	6,295+975 ㎜
全　　幅	1,000 ㎜
全　　高	2,000 ㎜、2,500 ㎜
油圧ｼﾘﾝﾀﾞ	φ 120 ｘ 1,200st ｘ 4 本 推力 22.6t ／本（210 kgf/㎠）
全 自 重	8.8t、11.0t

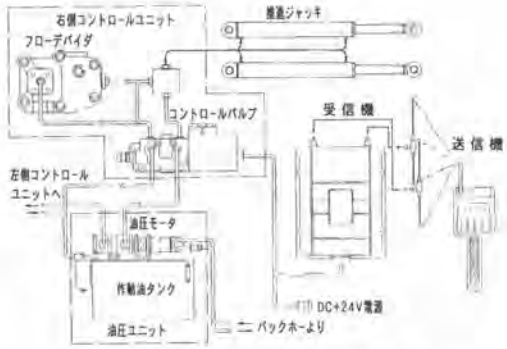
３．miniＯＳＪ機の構造と仕様

図－３に本体の構造図、表－２にその仕様を示す。本体は鋼製フレームの両側面に一体となって作動するスキンプレートを装備したフロント部と、フレームの両側面をスライドするように取付けられたスキンプレートを装備したテール部とで構成され、互いのスキンプレートはピンで連結し、フレームは油圧ジャッキで連結されている。

図－４に推進装置システム図を示すが、本体の推進ジャッキはバックホーからの油圧の供給により、テール部後方に装備された油圧ユニットの油圧モータを駆動させて油圧を供給し、フロント部に装備されたコントロールユニットにより制御が行われて作動する。ところで、推進ジャッキのコントロールは図－４に示すように無線で行う。無線装置の仕様は表－３のとおりである。



図－３　miniＯＳＪ機構造図



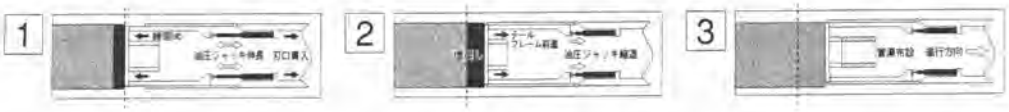
図－4　推進装置システム図

表－3　無線装置仕様

型式	RCS－250（T型）
周波数	250 MHz帯　2波装備
変調方式	FM変調方式
制御方式	フィードバック式デジタル比例制御
使用範囲	約 20m（周辺環境の良好な場所に於いて）

4．miniOSJ機の推進原理

図－5に本機の推進原理を示す。まず、油圧ジャッキを伸ばすとテールフレームが後退して埋戻し土が締固められ、十分な反力が得られる状態になるとフロント部が前進して刃口が切羽に貫入する（1）。次に、切羽の掘削とともに油圧ジャッキを縮めることで、フロント部の自重と周面摩擦力を反力にテールフレームを前進させて、それとともに生じる最後方の空隙部に埋戻し土を投入する（2）。以上の工程をくり返して mini OSJ機を推進させ、テール部に所定の空間ができると管渠を布設する（3）。



図－5　miniOSJ工法の推進原理

5．実証実験

5.1　実験の概要

実験は、表層の埋土（0.7 ～ 0.8 m）の下に非常に軟弱な沖積粘性土の分布する場所において、図－6に示す断面で、延長約 50 mにわたって施工した。

調査項目としては、次のとおりである。

① 周辺地盤に及ぼす影響
- 後方既設構造物への影響
- 側方地盤への影響

② 埋戻し土の締固め特性

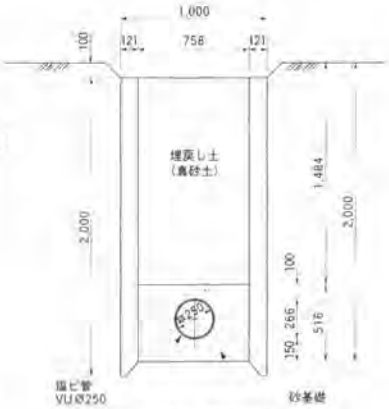
③ mini OSJ機の推進特性

④ mini OSJ機の推進性能
- 姿勢制御
- 推進スピード

⑤ 施工性
- 基礎材敷均し、転圧、管布設
- 架台上での掘削、積込み
- 無線による操作性

⑥ 安全性
- 機内における安全性
- 路上における安全性

⑦ サイクルタイム、歩掛り



図－6　施工断面図

5.2　実験の結果と考察

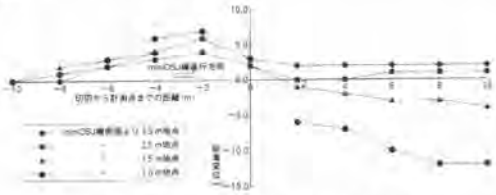
5.2.1　周辺地盤に及ぼす影響

（1）　後方既設構造物への影響

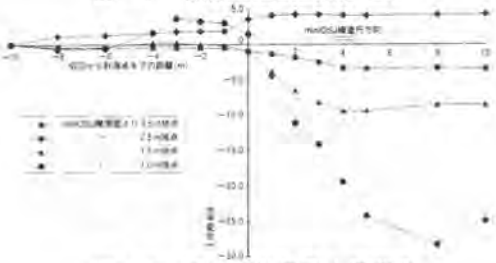
後方既設構造物への影響を調査するため、発進時において mini ＯＳＪ機後方にマンホールを設置し、推進時におけるマンホールの変位、並びに傾斜を測定した。その結果、反力板からマンホールまでの距離が 1.8 mの地点でフロント部推進時に２㎜程度後方に変位したものの、テール部引き寄せ後は元に戻り、最終変位は見られなかった。すなわち、既設マンホールがある場合には２m以上離した地点で発進すれば特に問題はないものと思われる。

（2）　側方地盤への影響

側方地盤への影響を調査するため、施工途中における側方部地表面の鉛直変位及び水平変位を測定した。その結果を図－７，８に示すが、これより、刃口が２～３m手前付近より２～３㎜押され気味となり、刃口通過後より mini ＯＳＪ機側へ引張られる傾向が見られた。変位は反力板通過後４m程度まで見られ、最終的には側方１m地点で２５㎜程度機体側へ水平変位した。鉛直変位も水平変位と同様の傾向が見られ、刃口が４～５m手前付近より最大で７㎜の隆起が見られた。刃口通過後は沈下傾向を示し、最終の沈下量は水平変位量の 1/2 程度となった。周辺地盤への影響範囲としては、掘削深とほぼ同程度と思われる。



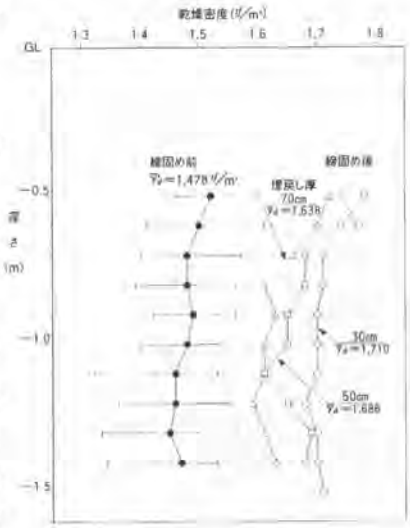
図－７　側方部地表面鉛直変位



図－８　側方部地表面水平変位

5.2.2　埋戻し土の締固め特性

埋戻し土の締固め特性を調査するため、埋戻し土の密度測定を行った。密度測定は、埋戻し厚さを変化させ、挿入型ＲＩ測定器により締固め前と締固め後の測定を行った。その結果を図－９に示す。各埋戻し厚に対しては３カ所の測定を行ったが、締固め前については各深度における全データの範囲とその平均値をプロットした。これより、各深度におけるバラツキは大きいものの、その平均値は深度方向に対してはほぼ均一となっていることがわかる。締固め後については、埋戻し厚毎に３カ所の平均値でプロットしたが、埋戻し厚が小さいほど乾燥密度は大きくなっていることがわかる。また、いずれの埋戻し厚に対しても深さ７０㎝程度までは減少傾向を示し、それ以深はほぼ一定値を示している。それ



図－９　埋戻し土の乾燥密度

は、地表部分をタンパーで締固めており、その影響が上層部に表われているものと思われ、地中内部についてはほぼ均一に締固められているものと言える。

5.2.3　mini ＯＳＪ機の推進性能

（1）　姿勢制御

姿勢制御については、ヨーイング、ローリングは特に問題はなく、ピッチングにおいて軟弱地盤のためテール部が沈下の傾向を示したが、推進に問題になるものではなかった。

（2）　推進スピード

推進スピードについては、バックホーを 0.2 ㎥クラスのものを使用したため、バックホー動作時に若干のジャッキスピードの低下が見られた。従って、バックホーは 0.35 ㎥クラスの使用が望ましいが、0.2 ㎥クラスのものを使用する場合は、推進時間への考慮が必要である。

5.2.4　施工性

（1）　基礎材の敷均し、転圧、管布設

基礎材の敷均し、管布設の施工性は特に問題はないが、基礎材の転圧は狭少な場所となるため、ビブロプレートの使用が妥当と思われる。

（2）　架台上での掘削、積込み

地表面の高さの変化に伴い掘削深さの減少により、mini ＯＳＪ機が地表面より突出することでバックホーの底部に支えることを避けるため、両側に架台を設置してその上でバックホーによる掘削、積込みを行う。その施工性について確認を行ったが、掘削、架台の移動には特に問題はないが、積込み時にダンプカーの移動が必要である。

（3）　無線による操作性

無線による操作は、運転者が切羽や後方反力板の移動状況などの推進施工状況を確認しながら操作できるため、非常に良好な運転ができる。

5.2.5　施工サイクル

架台の移動に伴う掘削時間の増大を考慮した１サイクル（４ｍ当り）の計画時間１７６分に対して、実績１４３分と計画の約８０％で施工できた。日進量に換算すると計画 9.5 ㎥／日に対して 11.7 ㎥／日と約２割ＵＰで実施されたことになる。

写真－１～４に実験時の施工状況を示す。

写真－１　miniＯＳＪ機

写真－２　自降状況

写真－３　掘進状況（架台上掘削）

写真－４　管布設状況

６．おわりに

早期に埋戻しを行うことにより周辺構造物への影響を軽減し、掘削して直ちに埋戻しを行うことで交通障害の減少や生活環境への影響を軽減できる。また、開口部の減少による第三者に対する安全性の向上、剛性の高い鋼製フレーム内での作業による作業者に対する安全性の向上、さらに、広い適用性、大幅な工期の短縮などの特長を有する従来の土留め工法に変わるオープンシールド工法（ＯＳＪ工法）が開発されて久しい。

そうしたおり、小口径管渠へのニーズの高まりの中、ＯＳＪ機の小型化による mini ＯＳＪ工法の開発により、ＯＳＪ工法の特長に加え作業スペースの縮小化によるさらなる安全性の向上、周辺環境への影響の軽減、土工量の減少によるさらなる工期の短縮、コストの削減が図れる。

今回、本工法の安全性や施工性、推進性能、埋戻し土の締固め特性、周辺地盤への影響などについて実証実験によりその効果の確認を行ったわけであるが、特に大きな問題は見られなかったことで本工法の有効性が実証された。

本工法は、バックホーからの油圧の供給によることで電力を不要としたが、さらに今後は、バックホーの運転を含めたワンマンコントロールによる省力化を図っていきたい。また、今回の実証実験では mini ＯＳＪ機のテール部及びフロント部の移動量や推進反力、ジャッキ圧の測定を行ったが、これらのデータに基づく mini ＯＳＪ機の推進特性についての報告は別の機会にゆずるものとし、より多くのこうしたデータの集積及び整理、解析を行い、本工法における埋戻し土の締固めについての施工管理方法の確立を今後の課題としたい。

43. 外部基準方式領域制限掘削機能を搭載した油圧ショベルの開発

日立建機㈱：*羽賀　正和，渡邊　　洋
藤島　一雄，冨田　禎久

1．開発の背景と目的

昨今の厳しい財政状況下で効率的な建設投資を進める方策が進められ現在の建設土木現場では作業効率の向上、コスト低減などが重要な課題となっている。また、建設土木作業に従じる労働者の高齢化、あるいは熟練作業者の減少が進んでいることからも、作業の機械化、自動化による作業の省力化、効率化が求められている。そこで、油圧ショベルの作業の中に必ずと言って良いほど含まれている水平掘削作業の容易化、作業効率向上を目的として外部基準方式領域制限掘削機能を開発した。これを車重１２ｔ、２０ｔクラスの油圧ショベルに搭載し製品化した。本報告では、この外部基準方式領域制限機能を搭載した油圧ショベルの開発について述べる。

2．開発コンセプト

外部基準方式領域制限掘削機能の開発において、以下の開発コンセプトを設けた。

（1）水平掘削作業の効率向上

所望の深さを設定しておけばその設定面より上では従来の操作で掘削でき、バケットが設定深さを越えそうになると掘り過ぎずに設定面に沿った掘削を自動で行う。また、水平掘削作業における掘削と測量作業を一度に行える様にすることを図る。

（2）手動と自動の連携が良く、違和感のない操作系

掘削作業の一連の動作をスムーズに行うため、従来の操作感を損なわず、自動と手動操作の繋がりがスムーズな操作系とする。また、自動による制御精度は荒ら仕上げ程度とし、むしろ、操作の連携、掘削速度を重視する。

（3）シンプルな機器構成

自動制御化の為にシステムを複雑にせず、従来システムを基としてシンプルな機器構成とする。

3．外部基準方式領域制限掘削機能

開発コンセプトに基づいて、以下に述べる制御方法を考案した。

（1）領域を制限した掘削制御

予め所望の深さを設定しておくと、普通に油圧ショベルの操作をしても、バケットがその深さ設定面より下に入らぬ様に自動的にブームをコントロールする機能である。その結果、深さ設定面より上方ではオペレータの操作に従った動作をし、設定面上では設定面に沿った水平均しを自動的に行うことが可能となる。

この制御の原理を図１に示す。制御ユニットは、フロント各部に備えられたセンサの情報から、バケット爪先の設定面に対する位置を計算する。また、バケットがどちらの方向にどの程度の速度で動こうとしているかを演算する。図に示す様に設定面より上方にバケットがある時は手動操作どおり動

くように何も補正は行わない。バケット爪先が設定面に近付いていくと、バケット爪先の軌跡が除々に設定面に沿う様に補正する信号を演算する。その補正演算値から必要とするブームの上げ速度を求め、ブームの上昇を制御する。

このことにより、設定面までは通常の操作が可能であり、設定面ではこれを超えずに自動的に水平均しが可能となる。また、車体には前後方向の傾斜センサを備え、車体が前後に傾いても絶対的な水平面を作ることを可能とする。

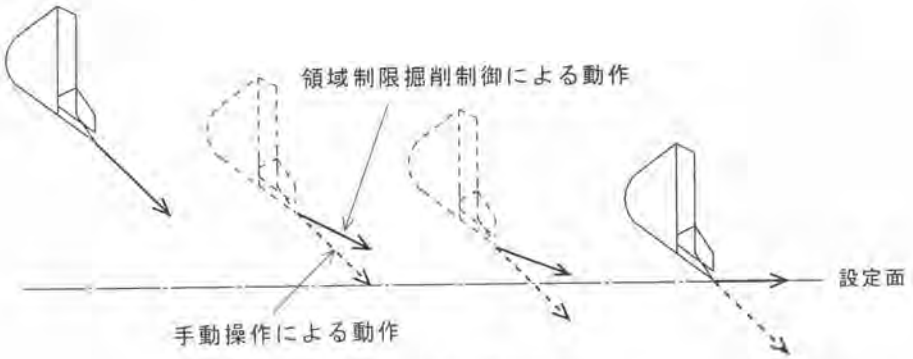
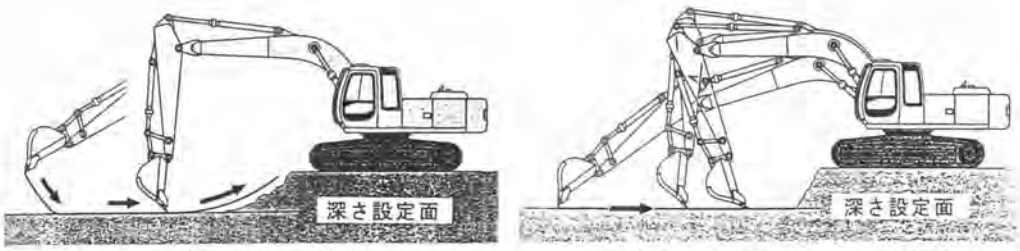


図1　領域制限掘削制御の制御原理

一例として、図2にこの制御によるフロントの動作を示す。図2（a）は設定面付近でアーム引き操作を行った場合を示す。この操作では、設定面より上方はレバー通りにアームが動き、バケットが設定面に近づくと自動的にブームを上昇させ、設定面に沿った水平掘削を行う。この制御は自動的にブームを下げることは行わないので、アーム鉛直姿勢を過ぎるとブームは停止し、アームは設定面から離れる方向にレバー操作通りに動く。

また、図2（b）にアーム引き操作と同時にブーム下げ操作を行った場合を示す。この場合、設定面付近では設定面を超えないようにブーム下げ操作信号を0にして自動的にブーム上げを行う。その結果、設定面に沿った水平掘削の動作となる。アームが鉛直姿勢を超えるとブームの操作信号が有効になりブームが下がる。その時ブームの下げ速度を自動調整することで設定面を超えないよう制御する。この操作により、水平掘削距離をより大きくとることが可能となる。



（a）アーム引き操作　　（b）アーム引き＋ブーム下げ操作

図2　領域制限掘削制御によるフロントの動作

（２）外部基準を用いた掘削深さの設定

連続した溝掘削、圃場整備などの作業では、油圧ショベルを移動しながら同じレベルの水平面を掘削する。掘削前の地面に凹凸があり、機体の移動に伴って機体高さが変化する現場では、機体基準の設定深さでは連続した水平面を形成する事が困難である。

そこで、領域制限掘削の機能をさらに有効なものとするため、深さ設定を車体外部に設けた基準から行うことができる外部基準方式を導入した。外部基準としては、水糸の様に現場に設置する基準や、最近測量などで用いられることが多くなってきたレーザ灯台などを使用する。

その原理を図３に示す。図中（ａ）に示す様に、最初の設定時にフロントに設けた基準設定位置に外部基準を合わせ、制御ユニットに機体基準に対する外部基準の高さｈｆを計算、記憶する。ここで、外部基準からの設定深さｈｒを設定して掘削作業を行う。連続した掘削を行うために機体が移動して図中（ｂ）に示すように機体高さが変化した場合、再度、フロントに設けた基準設定位置に外部基準を合わせ、制御ユニットに機体基準に対する外部基準の高さｈｆ′を再計算、記憶する。そして、機体は新たに計算した外部基準高さｈｆ′を基に外部基準からｈｒの深さの掘削制御を行う。このことを続けることで、機体の移動で高さが変化しても、広い範囲で外部基準から一定の深さｈｒの面を掘削することが可能となる。従来、この様な現場では掘削深さの測量を行いながら作業を行う必要があった。この外部基準方式により一度深さ設定を行い掘削を行うことにより、補助員による深さ計測を省略して作業を進めることができる。

ここで、写真１にレーザ灯台を用いた外部基準の設定状況、写真２にレーザ灯台を示す。外部基準としてレーザ灯台を用いる場合は、フロントの基準設定位置にレーザ受光機を取り付け、これでレーザの受光を確認して外部基準を設定する。レーザ灯台を用いると外部基準を広い範囲に正確に、しかも容易に設定することが可能となる。

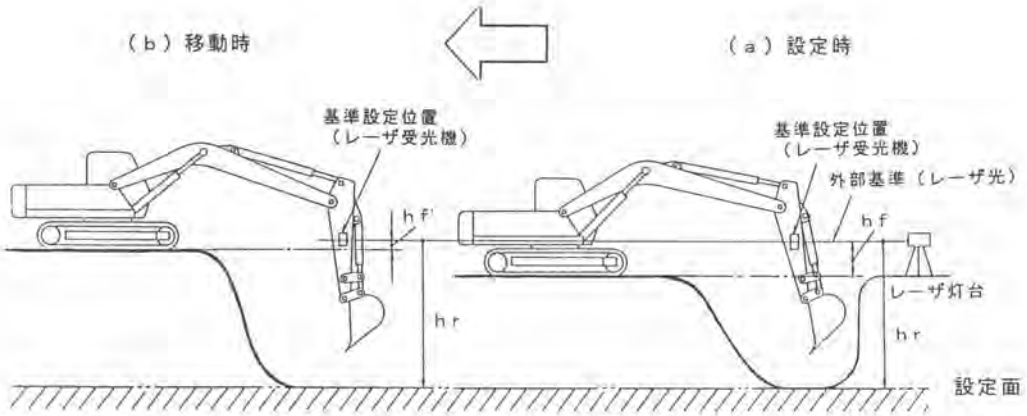


図３ 外部基準を用いた深さ設定方法

写真１　レーザ灯台を用いた外部基準の設定状況

写真２　レーザー灯台写真

４．掘削試験結果と考察

次に１２ｔクラスの油圧ショベルを用い、外部基準にレーザ灯台を用いた溝掘削試験の結果を示す。掘削距離は１６ｍであり、掘削場所を移動する毎に外部基準の更新を行った。試験は外部基準から－２．２ｍと－２．６ｍの深さの設定で行った。

試験結果を図４に示す。結果はレーザ受光機を備えたスタッフを用いて、掘削後の溝底面からレーザ光までの高さを計測したものである。結果は１６ｍの掘削距離に渡り、ほぼ±１０ｃｍの範囲にはいっており、本方式の外部基準による深さ設定を行った領域制限掘削制御の有効性が確認された。

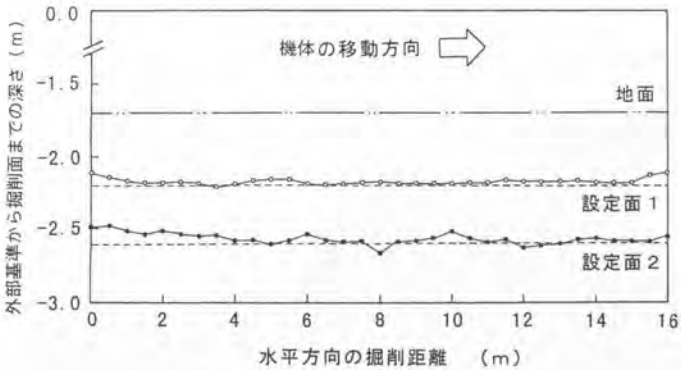


図４　外部基準を用いた掘削実験結果

５．ユーザテスト

外部基準方式領域制限掘削機能を搭載した油圧ショベルは宅地造成、圃場整備、管埋設工事等の溝掘りなどで作業効率を向上する。本機開発中に行ったユーザによる施工テストについて説明する。工事は工業団地内の下水本管埋設工事であった。図５に工事の方法を、写真３、４に現場の状況を示す。

図５に示すように、管埋設工事では緩やかな水勾配をつけた溝掘削をする必要がある。この場合、レーザ灯台はレーザ光に勾配を付けることができるタイプのものを使用して、予め勾配に合わせたレーザ光を設置しておく。ショベルが移動する毎に、先に述べた方法で外部基準を設定して掘削していく。この方法だと、詳しく見れば図に示す様に水平面を段々に繋いで掘削することになるが、水勾配は０．１から１％程度の勾配であり、ほとんど問題にならない程度の段差で施工できる。

本機を用いて施工を行った結果、

（a）土木作業として実用上十分な掘削精度

（b）下限で止まらず設定面に沿って掘削可能なこと

（c）掘り過ぎない安心感による掘削作業の容易化

（d）深さ計測の省略による作業効率向上

（e）違和感の無い操作系

等が評価された。

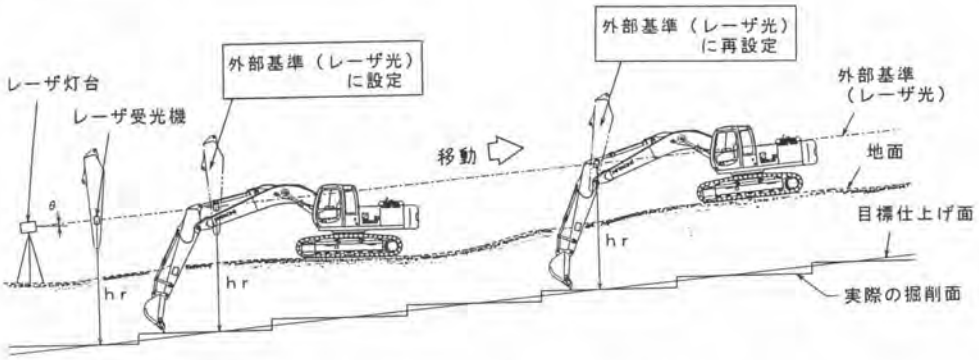


図５　外部基準方式領域制限掘削機能を用いた埋設工事の方法

写真３　領域制限掘削機能を搭載した油圧ショベルによる管埋設工事の施工状況（a）

写真４　領域制限掘削機能を搭載した油圧ショベルによる管埋設工事の施工状況（ｂ）

６．おわりに

水平掘削作業の効率向上を目的として、外部基準方式領域制限掘削機能を搭載した油圧ショベルを開発した。本機能により水平掘削作業の容易化及び掘削時の計測作業の削減が可能となり作業の効率化が図られると考える

本機は、市場に導入したばかりで台数が少ない状態であるが、本機の考え方がユーザに理解されるにつれ徐々に広まって行くと予想している。本機は油圧ショベル自動化の第一歩と考えており、今後ともユーザのご意見、ご要望をいただきながら製品の熟成、新たな課題の解決を図っていきたい。

44. 安全を考慮した接近検知型バックホウの開発

建設省東北技術事務所：菊地　幹雄，　関野　広光
後藤　晃一，*鈴木　邦昭

1．はじめに

建設工事では近年、機械施工の高度化が進み、省力化、建設費用のコスト縮減等の対策が行われている。しかしその反面、建設機械関連での事故災害が増加しており、安全対策をいっそうきめ細かく推進するため、施工の観点から機械のハード面で対策すべく検討を行った。

クレーンと並んで事故発生件数が多かったバックホウについて調査した結果、特に作業員との接触事故が多く発生しており、事故を防止するためにセンサを利用した接近検知型バックホウの開発を行い、現場適応性調査の結果を報告するものである。

2．システムの概要

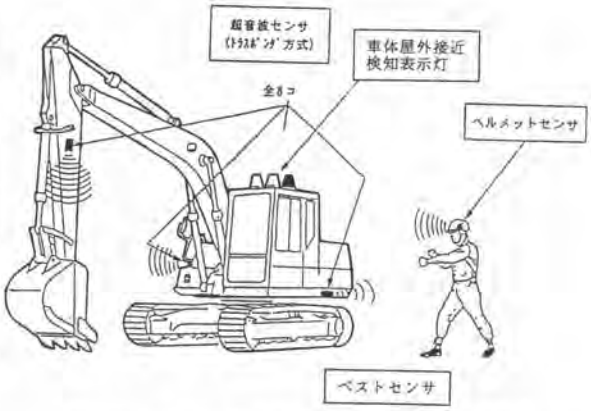
2．1　作業員・バックホウ接近時の自動制御

作業員のヘルメット（ベスト）とバックホウに超音波センサを取り付け、設定した領域において警報、減速、停止等の制御を行うものである。

表－1　バックホウセンサ取付位置

取付場所	取付個数	備　　考
左 側 方	1	旋回用：1
右 側 方	3	旋回用：1，走行用：2
後　　方	2	走行用：2
作業機周り	2	作業機操作及び旋回用：2
計	8	

※作業機周り検知
切り替え式（減速モード：3m/停止モード：3m）
強制選択式（減速モード：3m→停止モード：1m）



図－1　接近検知型バックホウシステムの概要

2．2　作業機（バケット）周りへの作業員立ち入り要求機能

バックホウ施工では作業機（バケット）周りでの作業員の補助的な作業が必要となる場合があることから、接近するためのバックホウオペレータへ知らせる「立ち入り要求機能」を設定した。

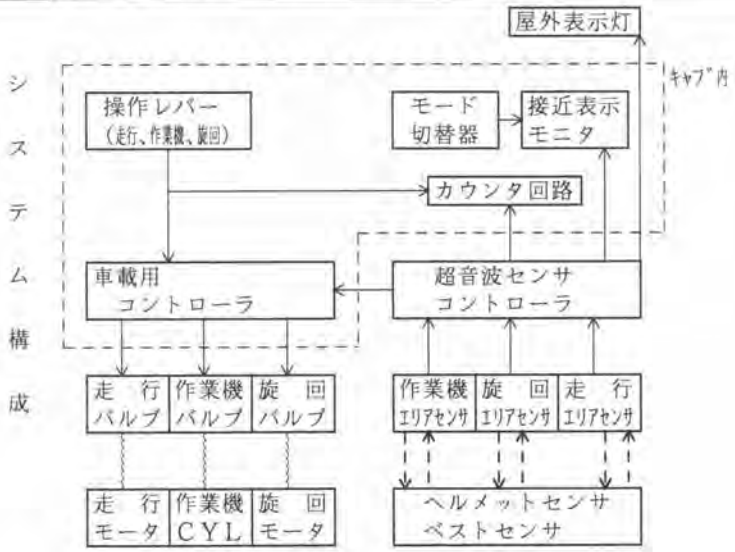
2．3　キャビン内の表示モニタ

バックホウのオペレータが作業員の接近方向を確認できるようにキャビン内に表示モニタを取り付けた。

表－2　接近検知システム

項　目	内　容	備　考
動作方式	超音波トラスポンダ方式	親局から子局までの到達時間と子局から親局までの到達時間から接近距離を演算する
検知距離	１０ｍまで可（６０°）	
検知エリア設定機能	設定は可変(0.5mきざみで設定可) １センサにつき３エリア設定可 警報用　２～６ｍ可 減速用　０．５～６ｍ可 停止用　０．５～６ｍ可	例)警報：4m、減速：2m、停止：1mに設定時 4mに接近した場合警報→2mで自動減速→1mに接近した場合自動停止
エリア設定値（試験時）	旋　回 m：立入要求エリア 10、減速エリア 2．5、停止エリア 1．5 走　行 m：立入要求エリア 10、減速エリア －、停止エリア 2．0 作業機 m：立入要求エリア 3、減速エリア (3．0)、停止エリア (1．0)	作業機エリア 切り替え式(減速モード：3m/停止モード：3m) 強制選択式(減速モード：3m→停止モード：1m)
距離精度	±10%以下または±0.5m以下の小さい方（室温）	
警報	表示モニタ：接近位置図式表示モニタ 自動減速エリア→赤ランプ点滅(ロー) 自動停止エリア→赤ランプ点滅(ロー) 作業機周りモード切替表示 停止モード→緑点灯 減速モード→黄点灯 フリーモード　→赤点灯 屋外表示灯：作業機周りモード切替表示 停止モード→緑点灯 減速モード→黄点灯 フリーモード　→赤点灯+ブザー	
	ヘルメットセンサ：最大72ホン(10cm)　５段調整可	

システム構成



── 回路　〰 油圧回路　-- 超音波

写真－1　ヘルメットセンサ

写真－2　ベストセンサ

写真－3　キャビン内表示モニタ

3．現場適応性調査

工事工種：掘削・積込み作業、排水桝吊り作業、埋戻し作業、コンクリート打設作業等

試験日数：９日間（延べ４８時間）

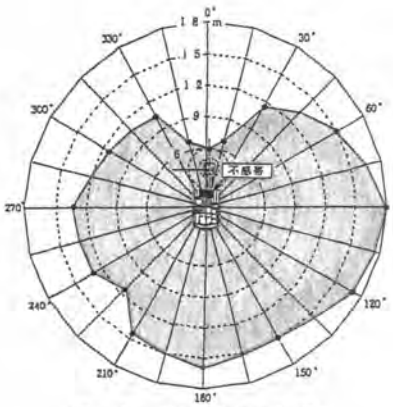
試験内容；システム作業状況確認及び作業員アンケート調査

表－3　現場適応性調査（その1）

項目		調査及びアンケート結果	
自動制御機能	車体本体周り	・システムはあった方がいいという意見であった。 ・停止時に若干のショックはあるものの気にはならないという意見であった。 ・作業再開はスムーズであった。	
	作業機周り	切り替え式（停止／減速） ・システムはあった方がいいという意見であった。 ・減速解除はスムーズであった。 ・モード切替操作はスムーズであった。	強制選択式（減速→停止） ・システムはあった方がいいという意見であった。 ・自動減速を感知できた。 ・減速解除が遅く違和感があった。
立入要求機能		・システムはあった方がいいという意見であった。 ・要求信号は認識できた。 ・誤認識信号（ノイズ）が時々入った。 ・立入要求信号を発信できるエリアを車体中心から１０mと設定したが実際には車体前方については１０mを割った結果となった。（図－２参照）	
車内警報表示機能		・モニタの表示は識別可能で注意喚起が出来た。 ・警報音は丁度良かった。（但し、最大音量では耳障りという意見があった。） ・模擬音声アナウンスは良好であった。 ・車体屋外接近表示灯の視認性が悪かった。	
作業員側警報機能		・ヘルメットセンサの配線等の取扱いがしにくい。 ・ヘルメットセンサの発信音が気になる。 ・ベストセンサの取扱いがしやすかった。 ・ベストセンサは現場で急に装着指示されても違和感がなかった。 ・警報音は丁度良いという意見であった。	

表－3　現場適応性調査（その2）

項　　目	調査及びアンケート結果
作業機の掘削力等	・今回の減速機構ではメインポンプの吐出圧を絞る方式になっており、減速とともに作業機の掘削力、保持力、横当て力が減少した。
自動制御回数	・今回の自動制御回数（検知回数）が多かったのは作業機操作中における作業機エリア内の減速であり、工種では生コンクリート打設時に多かった。



図－2　立入要求エリア

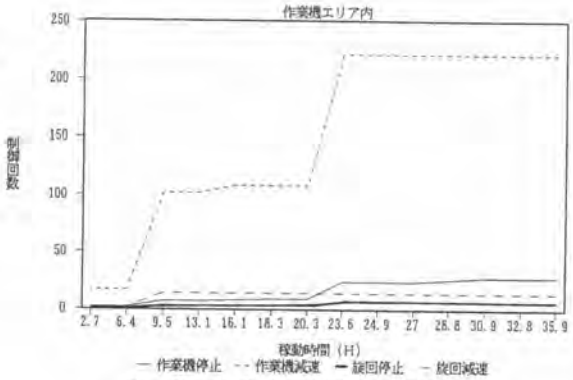
写真－4　現場適応性調査状況

4．今後の課題

・車体屋外接近検知表示灯の視認性の改善

・作業機周りでの自動制御の改善

・作業員側ヘルメット、ベストセンサの改善（小型軽量化、装着性、メンテナンス性の向上）



図－3　作業機エリア内制御回数

5．あとがき

接近検知型バックホウのシステムについて現場適応性調査の結果、実用化できる段階と判断した。

現場適応性調査のアンケート結果から若干の改善すべき要望箇所について対応し、改善後に現場適応性調査を行い、実用化の確立を図るものとする。

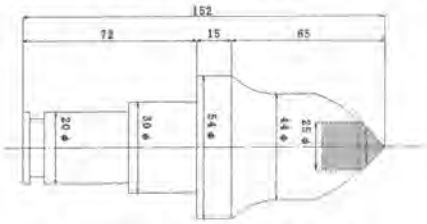
45. モルタルの衝撃切削能力に及ぼすポイントアタックビットの切削ピッチによる影響

愛媛大学：*延本　基春，室　　達朗
馬越　英貴
奥村組土木興業㈱：竹垣　喜勝

1．はじめに

近年、環境に優しくかつ作業効率と精度を高めるべくポイントアタックビットを使用した岩盤切削機が新しく開発された。車両本体は4履帯からなる走行装置によって支持されており、岩盤の表面を走行して切削作業を行うことができる[1]。切削装置として、走行方向に対して逆回転する回転切削ドラムを本体中央下腹部に配置し、図－1に示す160本のポイントアタックビットが螺旋状に取り付けられている。ビット先端にはタングステンカーバイド－コバルト系超硬合金チップが埋め込まれている。

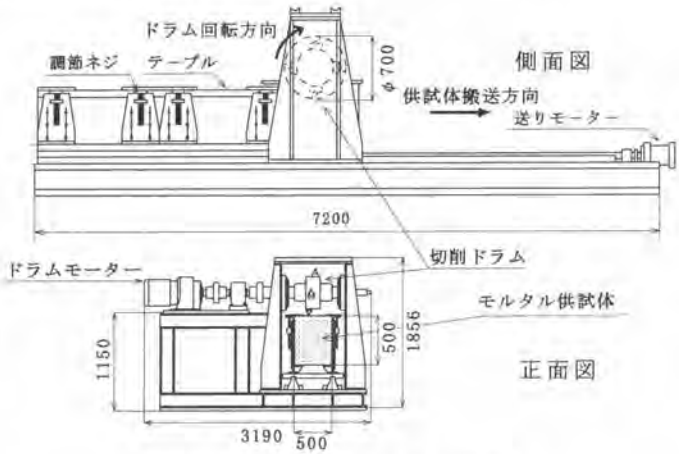
本研究ではこの岩盤切削機を対象として、ポイントアタックビットによるモルタル供試体に対する衝撃切削能力を調査研究するため、回転式衝撃切削試験機を試作した。また、本研究の目的はドラム軸方向のビット間隔である横方向切削ピッチが衝撃切削能力に及ぼす影響について実験を行い、単位仕事量当たりの切削土量が最大となる最適な横方向切削ピッチを見いだすことである。



図－1　ポイントアタックビット

2．試験機および供試体

図－2に本研究で使用した回転式衝撃切削試験機の全体図を示す。試験機は大別して、回転切削ドラム、供試体搬送テーブル、操作盤および集塵機から構成され、回転切削ドラムに実機と同じポイントアタックビットを図－3に示すように4本、角度45°で螺旋状に取り付けられている。また、内側ビットには外向きに7°、外側ビットには外向きに14°の傾きをもたせ、ビット摩耗に対するセルフシャープネス性[2]を確保している。



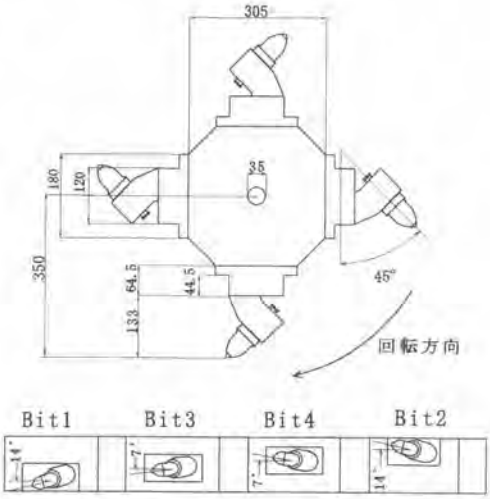
図－2　実験装置側面図・正面図

供試体として寸法100(cm)×50(cm)×50(cm)の型枠に打設し、平均気温18℃の屋外で7日間湿潤

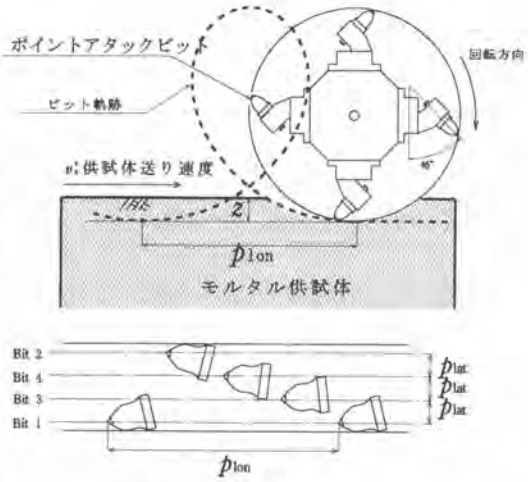
養生したセメントモルタルを使用した。なお、養生後の一軸圧縮強度は 19.6(MPa)、引張強度は 2.3(MPa)、せん断強度は 4.2 (MPa) であった。

3．実験方法

実験には上記の回転式衝撃切削試験機を使用し、横方向切削ピッチ p_{lat}、進行方向切削ピッチ p_{lon}、切削深さ z を様々に変化させて実験を行う。進行方向切削ピッチ p_{lon} とはビットが一回転する間に回転ドラムが供試体表面を進んだ距離のことをいい、モルタル供試体の搬送速度 V (cm/min) とドラム回転数 n (r.p.m.) を用いて $p_{lon}=V/n$ として算定することができる。横方向切削ピッチ p_{lat}=3.0, 5.0, 7.0 (cm)の３通り、進行方向切削ピッチ p_{lon}=0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.5, 3.0, 4.5 (cm)の７通り、切削深さ z=3.0, 4.0, 5.5, 7.0 (cm)の４通りで合計84通りの実験を行った。ドラム回転数 n は n= 96 (r.p.m.)で一定に保ち、ビット先端周速度は 352 (cm/s)とした。また、ビットの軌跡は図－４のようにトロコイド曲線となる。測定項目は切削トルクと切削土量であり、トルクはドラムに貼り付けた４枚のひずみゲージによって測定し、切削土量は型どりゲージを用いて測定した切削断面積に、供試体搬送速度を乗じて算出した。



図－３　切削ドラム詳細図



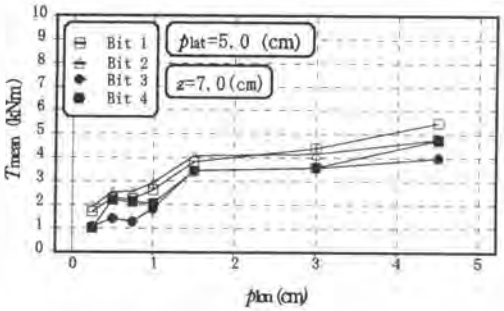
図－４　切削ドラム、切削溝図

4．実験結果

図－５は、平均トルク T_{mean} (kNm) と進行方向切削ピッチ p_{lon} (cm) の関係について、一例として横方向切削ピッチ p_{lat}=5.0 (cm)、切削深さ z=7.0 (cm)に対するものを示したものである。平均トルクとは、各ビットに作用する切削トルクを平均したものである。いずれのビットにおいても、T_{mean} は p_{lon} の増加に伴い増大している。また、外側に位置する「Bit 1」、「Bit 2」の平均トルクは、内側に位置する「Bit 3」、「Bit 4」よりも大きい値を示している。これは、外側のビットが切削溝の両端部を切削するため、外側ビットの負担が大きくなったからであると考えられる。

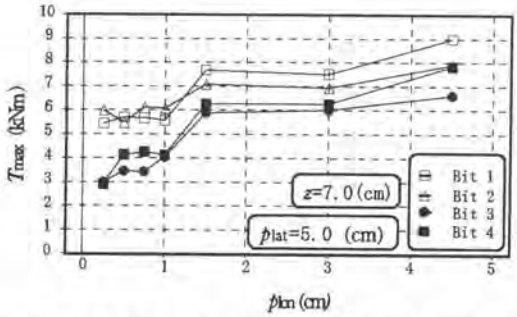
図－6に同様に、最大トルク T_{max} (kNm)と進行方向切削ピッチ p_{lon}(cm)の関係について、一例として横方向切削ピッチ p_{lat}=5.0(cm)、切削深さ z=7.0(cm)に対するものを示す。平均トルクと同様に p_{lon} の増加に伴い、T_{max} も増大している。また、外側ビットの最大トルクは、内側ビットのものよりも大きい値を示している。

これも平均トルクと同様の原因が考えられる。



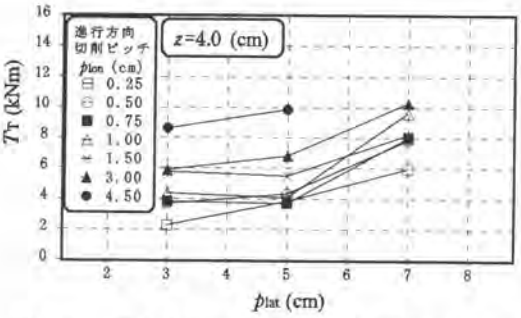
図－5 進行方向切削ピッチp_{lon}と平均トルクT_{mean}の関係

図－7に全トルク T_T(kNm)と横方向切削ピッチ p_{lat} の関係について、一例として切削深さ z=4.0(cm)に対するものを示す。全トルクとは、各ビットに作用する平均トルクの和のことである。いずれの進行方向切削ピッチにおいても p_{lat} の増加に伴い、T_T も増加しているが、p_{lat}=5.0(cm)を越えると急激に増加している。これは横方向切削ピッチの増加により切削部分が増大したためであると考えられる。



図－6 進行方向切削ピッチp_{lon}と平均トルクT_{max}の関係

図－8に単位時間当たりの仕事量 W_T (kNm/min)と横方向切削ピッチ p_{lat}(cm)の関係について、一例として切削深さ z=4.0(cm)に対するものを示す。W_T は各ビットの仕事量の和、即ち一回転当たりの仕事量にドラム回転数 96(r.p.m.)を乗じて算出した。また、各仕事量は各ビットの平均トルクをドラム半径で除して求めた接線方向力にビット先端が供試体を切削した距離を乗じて求めた。いずれの進行方向切削ピッチにおいても、p_{lat} の増加に伴い、W_T も増加しているが、p_{lat}=5.0(cm)以上になると増加傾向は強くなっている。



図－7 横方向ピッチp_{lat}と全トルクT_Tの関係

図－9に切削土量 Q(cm³/min)と横方向切削ピッチ p_{lat}(cm)の関係について、一例として切削深さ z=4.0(cm)に対するものを示す。いずれの進行方向切削ピッチにおいても p_{lat} の増加に伴い、Q はほぼ直線的に増加している。

図－10に単位仕事量当たりの切削土量 Q_w (cm³/kNm) と横方向切削ピッチ p_{lat} (cm) の関係について、一例として切削深さ z=4.0 (cm) に対するものを示す。ここで Q_w は、前述の切削土量 Q (cm³/min) を単位時間当たりの仕事量 W_T (kNm/min) で除したものであり、この値が大きいほど効率よく切削できるということになる。いずれの進行方向切削ピッチにおいても p_{lat}=5.0 (cm) において最大値を示している。これは W_T が p_{lat}=5.0 (cm) を越えると急激に増加するのに対し、切削土量は直線的に増加しているためであると考えられる。

5．まとめ

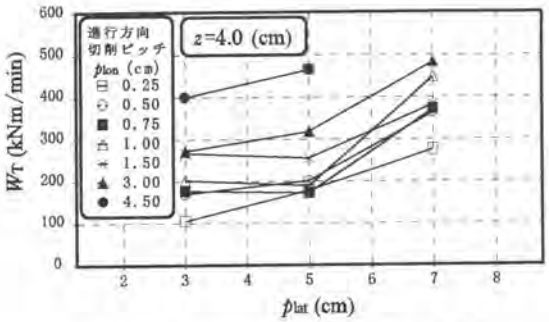
以上の結果より、横方向切削ピッチ p_{lat}=5.0 (cm) において、最も効率よく切削することが可能となり、その増大により全トルク、単位時間当たりの仕事量、切削土量は増加する事がわかった。

今後は横方向切削ピッチ p_{lat}=4.0, 6.0 (cm) においても実験を行い、さらに詳しく検討していく所存である。

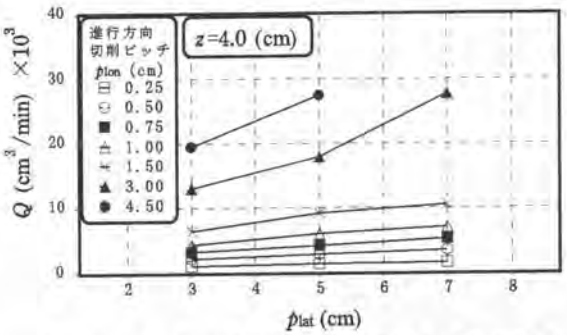
5．参考文献

1) 室達朗、竹垣喜勝、丸山健一、藤本英樹：岩盤切削機の掘削能力とビット摩耗の寿命予測、土木学会論文集、No.492/VI-23, pp.127-136, 1994年6月

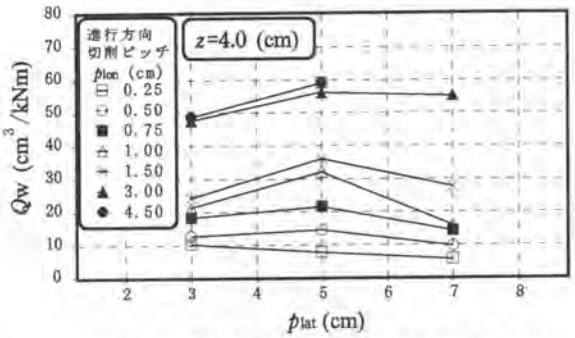
2) 室達朗、深川良一、：岩盤掘削刃の摩耗とハードフェーシング対策、土木学会論文集，第364号/III-4, pp.87-95, 1985年12月



図－8　横方向ピッチp_{lat}と単位時間当たり仕事量W_Tの関係



図－9　横方向ピッチp_{lat}と切削土量Qの関係



図－10　横方向ピッチp_{lat}と単位仕事量当たり切削土量Q_wの関係

46. オートマチック・リタード・スピード・コントロールシステム（CARSC）

コマツ：*植松　弘治，長谷川信樹

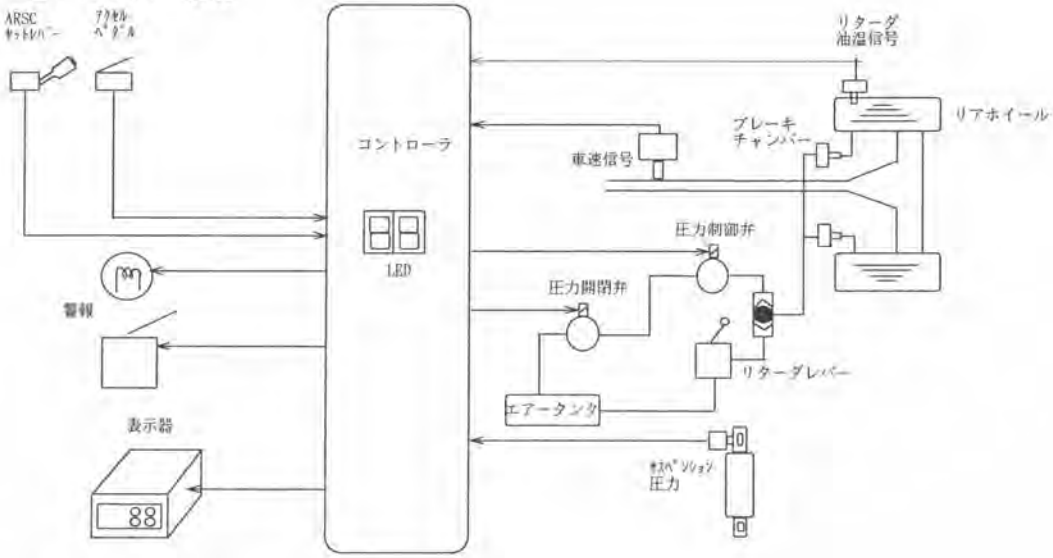
1．まえがき

オフロードダンプは下り坂走行時のスピードを調節するためにリターダを装着している。下り坂走行中、オペレーターは運転席のリターダレバーを操作し、その操作量に応じた制御力を調整してスピードをコントロールしている。路面勾配が頻繁に変わったり、カーブの多い稼働現場ではスピード調整を品頻繁に行う必要がありハンドル操作しながらリターダレバーをこまめに操作する必要がある。

そこで、当社において、下り坂走行中セットされた設定車速を維持するように自動的にリターダが作動するオートマチック・リタード・スピード・コントロールシステム（ＡＲＳＣ）を開発した。ＡＲＳＣによってオペレータはリターダレバーの操作から開放されハンドル操作のみに専念できるようになった。このＡＲＳＣを当社ダンプトラックＨＤ３２５－６・ＨＤ４６５－５に搭載したのでその概要を紹介する。

2．ＡＲＳＣシステムの概要

図１：システム構成



リターダは湿式多板式を使用しており、リターダレバーで調節したエアー圧を油圧に変換して作動する。ＡＲＳＣは従来のエアー回路に、圧力制御弁を加えエアー圧を制御している。ＡＲＳＣコントローラは、トランスミッション出力軸回転から車速を検出し圧力制御弁へ制御信号を出力している。ＡＲＳＣはオペレータがＡＲＳＣセットレバーのセットＳＷを押すとその時の実車速が設定車速となり、セットされた設定車速を表示器に表示するとともに、設定車速を実車速が超えないように、自動的にリターダが作動するシステムである。また、オペレータが設定車速を変更したいときＡＲＳＣセットレバーを操作して、増速／減速／解除することができる。

写真１：ＡＲＳＣセットレバー

３．ＡＲＳＣシステムの特徴

１）設定車速をオペレータが自由に簡単にセットできる

①設定車速のセット

ＡＲＳＣセットレバー（写真１参照）のセットＳＷを押すと押したときの実車速がセットされ表示器（写真２参照）にセットされた設定車速が表示される。

運転中、オペレータが黙視でハンドルを離さずに、指先で操作できるようにハンドル近傍にＡＲＳＣセットレバーを配置しまた前方視界から目を離さずに運転できるように右前方表示器を配置している。

写真２：表示器

②設定車速の変更

増速側に変更するとき

アクセルを踏んで増速し、再度セットＳＷを押す。またはＡＲＳＣセットレバーを前方へ一回押す毎に設定車速が１ km/h 増速される。

減速側に変更するとき

リターダレバーもしくはフットブレーキを操作して減速し再度セットＳＷを押す。または、ＡＲＳＣセットレバーを後方へ一回引く毎に設定車速が１ km/h 減速される。

③設定車速の解除

ＡＲＳＣの作動を中止したいとき、ＡＲＳＣセットレバーを手前に引き上げると設定車速が解除され設定車速がセットされていない状態になりＡＲＳＣの作動を中止します。

④設定車速の記憶

一度セットされた設定車速は解除しない限り記憶されており再度同じ坂を降坂するときセットする必要はない。

写真３：ＣＡＢ内運転席周辺

2）高度な制御方式

①ファジー制御の採用

ＡＲＳＣシステムのスピード制御にファジー制御を採用し、より人間の操作に近いスムーズな制御を実現した。ファジー演算方法はＭＡＸ－ＭＩＮ合成法を使用し、確定演算には重心法を用いた。

②平坦路走行中の誤作動防止

ＡＲＳＣシステムは車速信号を加速度に換算しており、アクセルを踏んでない状態で且つ、加速度が正（加速側）であるとき降坂路と検知している。よって平坦路で走行中、設定車速を超えてアクセルを踏んでない状態でＡＲＳＣは作動しない。

③オーバーヒートプロテクト機能

ＡＲＳＣシステムは降坂中、リターダ油温をモニタしオーバーヒートが予測される場合には、コーション発生するとともに自動的に設定車速を減速させオーバーヒートを防ぐことができる。

3）安全性への配慮

①システム故障時の処置

ＡＲＳＣシステムは従来のフットブレーキ、リターダの回路にアドオン装着しているため、システムの作動有無に関わらずフットブレーキ、リターダは従来通りの操作が可能

②ＡＲＳＣ自己故障診断機能

ＡＲＳＣシステムはシステム全体をコントローラで監視しており、故障発生時オペレータに警報で故障を知らせ、コントローラのＬＥＤ表示部に故障コードを表示させる。

4、ユーザ先稼働実例と評価

社内テスト実施後、国内ユーザ３者にて実稼働テストを実施した。

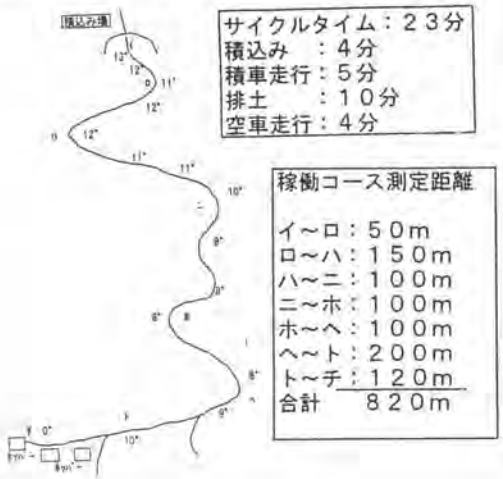
稼働実例【Ａ】

①業種　砕石業

②走行条件　積み下り

③機種　ＨＤ４６５－５

④走路



稼働実例【B】

①業種　砕石業

②走行条件　積み下り

③機種　ＨＤ３２５－６

④走路

サイクルタイム：１５分
　積込み　：５分
　積車走行：５分
　排土　　：０．５分
　空車走行：５分

5．ユーザ先テスト評価結果

各ユーザにて実際にオペレータに操作して頂き、下記の良好な評価を得た。

・車速設定および微調整が容易（１ km/h 単位で制御可能）なため、路面状況に応じた速度を選択し安全に積車降坂できる。
・降坂時のリターダ操作が不要となるため、危険な片手運転をせずにハンドル操作に集中でき運転に余裕が出るようになった。
・リターダの効かせすぎによるタイヤのスリップが減少した。
・リターダの制動感覚が柔らかである。
・エアー消費も少なく安心して降板できる。

6．あとがき

ダンプトラックのリターダ操作の容易化を目的をしてオートマチックリタードスピードコントロールシステムの開発を行った。ユーザ先でのテストを通じユーザの意見・要望を織り込みながら改良を加え良好な評価を得た。今後積み下りの稼働現場では有効なシステムと考えられ、オプションとしての装着を紹介しています。

今後ともユーザの意見・要望を取り入れながら、運転操作の容易化、性能向上、Ｏ＆Ｏコスト低減を図るシステムの開発に取り組みたいと考えます。

最後にテスト車両、稼働現場、オペレータのなど多大な御協力を頂いたユーザの皆々様に感謝の意を表します。

47. ケーブルクレーン自動運転システムの開発と施工報告

西松建設㈱：石井　正典*
荏隅幸五千，小西　　保

1．はじめに

近年、建設業界において、生産性の向上、安全性の向上、技能労働者や熟練労働者の不足等雇用問題の解消を図るため、各分野において種々の研究および開発が行われている。ダム工事においても、合理化施工を目指しＲＣＤ工法や拡張レヤー工法等の面状打設工法は、急速な展開が図られているが、従来の施工法である柱状打設工法は、ＲＣＤ工法等の面状工法に比べ、多少、合理化、省力化が遅れている感がある。

柱状打設工法の代表的な打設設備であるケーブルクレーンは、安定かつ効率的な打設能力の維持が工期、品質面からも重要である。しかし、昨今の熟練オペレータ不足は、この問題に大きな影響を与えている。こうした背景から、熟練オペレータと同等の運転能力の確保、繰り返し単純作業からの開放および安全性の向上を目的にケーブルクレーン自動運転システムを開発した。本システムは、平成８年２月より福岡県発注の鳴淵ダム建設工事に導入し、現在も稼働中であり、コンクリート打設ではほぼ100%の稼働率となっている。

2．制御内容

一般に、ケーブルクレーンの操作項目として、横行移動、上下流移動、巻上下がある。
柱状打設工法のコンクリートダム工事では、1ブロックが左右岸方向15mの幅で、2～3層でコンクリート打設を行う。本システムは、順次移動する打設位置を打設順序設定を行うことにより、横行（横行ウィンチ）・上下流（移動塔走行制御）・巻上下（巻上ウィンチ）の制御を行い目標位置まで、コンクリートバケットを自動で移動させる。さらに、横行方向では、加速・減速時にバケットに揺れが発生するが、この揺れを抑えるために、制振制御を位置決め制御と同時に行う。

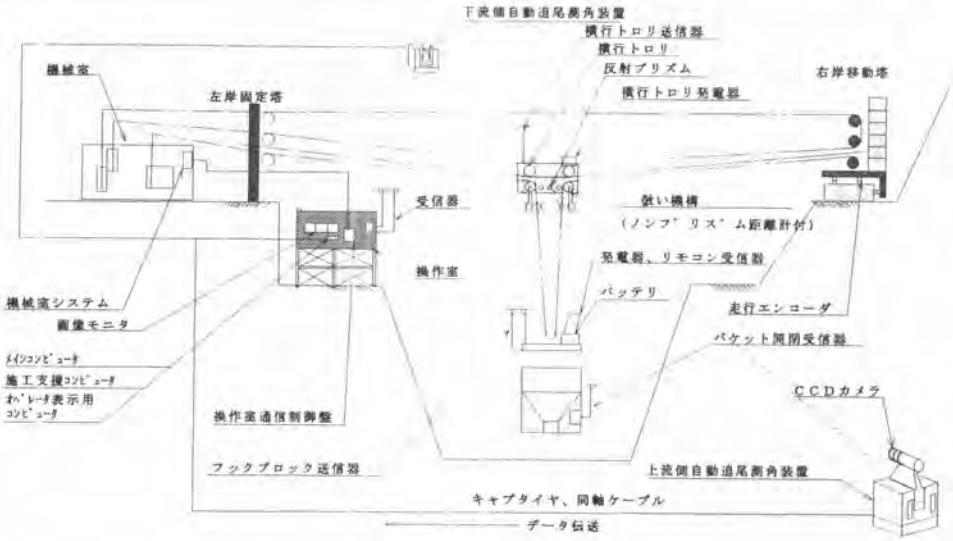
打設場所では、各バッチのコンクリートの状態により、バケット解放後の広がりかたに違いがあるため、設定した目標位置から若干の位置変更が生じる。また、減勢工部では、ピンポイントでの位置決めが必要となる。そこで、打設側の合図者が、リモコンでケーブルクレーンを微速操作して位置決めした後、バケット開閉ができるようにした。その結果、作業

写真－１　鳴淵ダム建設工事全景

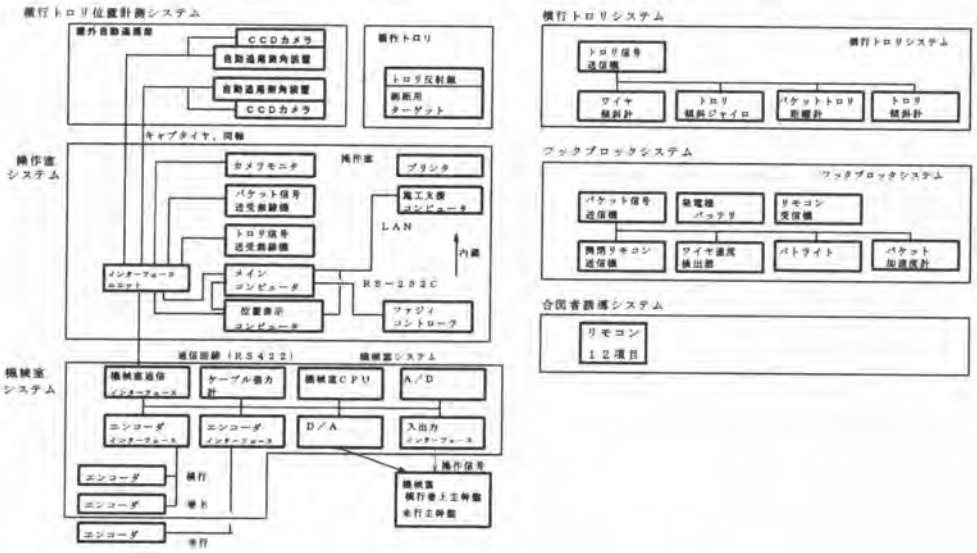
効率と安全性が向上した。

3．システム概要

図－1にケーブルクレーン自動運転システム構成図、図－2にシステムブロック図を示す。



図－1　ケーブルクレーン自動運転システム構成図



図－2　システムブロック図

ケーブルクレーン自動運転システム構成図における各システムの機能を以下に示す。

(1)横行トロリ位置計測システム

横行トロリ位置計測システムは、目標位置に横行トロリおよびバケットを停止させるために、その各々の三次元座標をリアルタイムに計測するシステムである。

横行トロリ、バケット位置は、ウィンチのエンコーダから計測することも可能である。しかし、温度変化や張力変化によるワイヤロープの延びにより真の位置と異なるため、この影響を常時オフセットする必要がある。従って、高精度の位置決めを行うために、トロリ位置の計測は、横行トロリ位置計測システムのＣＣＤカメラ付自動追尾測角儀で測角し、その角度と主索位置の交点から三次元座標を演算で求める。

写真－２　自動追尾式測角装置

バケットの位置は、横行トロリシステムの横行トロリ倣い装置に取り付けたノンプリズム距離計でのバケットまでの距離、横行トロリ傾斜角および倣い装置角度から計算される。また、倣い装置角度は、ファジィ入力変数としても使用している。倣い装置は、横行トロリの巻上シーブと回転中心を同一とし、巻上索(2本)に倣って、各々の横行トロリと巻上索角度をエンコーダを用いて計測する。自動追尾測角装置の仕様を以下に示す。

自動追尾方式：レーザスキャニング式（スキャニング範囲±20分, スキャニング回数200回/秒）

起伏速度：最大16°/sec、　旋回速度：最大20°/sec

(2)操作室システム

操作室システムは、メインコンピュータ、施工支援コンピュータおよび位置表示コンピュータをＬＡＮで接続したコンピュータシステムにより構成される。

メインコンピュータは、バケットの制振・目標位置決め制御に必要なデータを、横行トロリシステム、フックブロックシステムおよび機械室コンピュータとの通信により集積し、そのデータをファジィコントローラに入力することにより、制振・位置決めの異なった２つの状態量を同時制御するための出力量を演算し、操作量データとして機械室システムに送信する。

写真－３　操作室システム

施工支援コンピュータは、打設ブロックの打設順序の入力、打設目標位置の三次元座標計算とメインコンピュータのデータファイルへの出力機能を持っている。また、ファジィコントローラを内蔵し、フ

ァジィコントローラのモニタとしても使用することができる。

位置表示コンピュータは、稼働時のバケット軌跡、次打設の位置表示、バケットスケジュール確認変更画面で構成され、これらの監視画面によりオペレータの支援を行う。また、次打設位置の変更機能も併せ持つ。

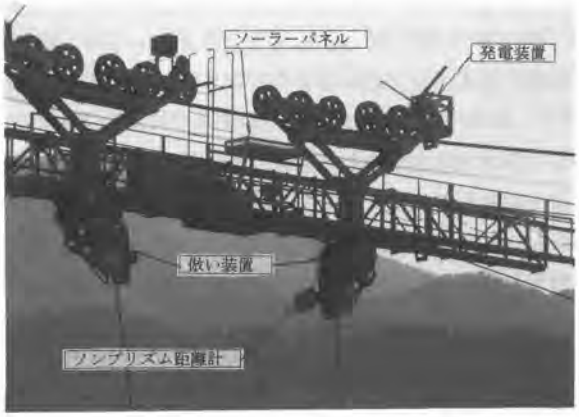
(3)機械室システム

機械室システムは、ケーブルクレーンの機械室制御盤（巻上・横行主幹盤、走行主幹盤）とウィンチエンコーダからの信号を収集・演算し、操作室システムに通信し、操作室システムからの出力信号を受け、機械室制御盤に送信する。また、ウィンチ制御出力値と実際のウィンチの動きを計測するエンコーダとの値を比較し、出力値と異なったウィンチの動作や、操作室のメインコンピュータからの異常信号に対し、ソフト上で安全に停止ができるフェイルセーフ機能を付加している。

(4)横行トロリシステム

横行トロリシステムは、制振制御の制御パラメータである横行トロリとバケット間距離および位相角等のデータを操作室コンピュータに送信する機能を持っている。システムは、横行トロリに取り付けた傾斜計、光ファイバージャイロ、倣い装置のエンコーダの値およびノンプリズム距離計の距離データを受け、特定小電力無線で操作室に送信する。倣い装置には、ノンプリズム距離計が装備されており、バケットと横行トロリ間距離を計測している。

システム電源は、主索シーブの回転を利用した風力用発電機とソーラー発電機を併用して用いている。



写真－4　横行トロリシステム

(5)フックブロックシステム

フックブロックには、加速度計、バケットへの送信機、リモコン受信機、操作室送信機が装備され、バケットの加速度センサデータとともに打設側合図者のリモコン信号を受信し、特定小電力無線でバケットおよび操作室にデータを送信する。

また、移動中はシーブの回転を検出し、ＬＥＤフラッシュライトと音声により警報を促す。

写真－5　フックブロックシステム

(6)合図者誘導システム

合図者誘導システムは、ケーブルクレーンを打設側合図者が放出位置付近に限り、自在に動かすことができるリモコンシステムである。自動運転システムでは、コンクリートバケット運搬目標位置の設定は三次元座標とし、打設ブロックを小ブロックに分割し、打設順序を数字で入力している。しかし、打設場所の状況により微小範囲で打設場所の変更が必要な場合があるため、打設場所での放出場所を容易に変更できるように、クレーンの操作をリモコンとして、合図者に持たせ操作させることにより、打設場所での細かなバケット操作を可能とした。

4．技術審査証明結果

本システムは、平成９年３月２８日にダム技術センターより、技術審査証明を受けた(ダム建設・技術審査証第0801号)。その結果、以下の機能が確認された。

(1)ケーブルクレーンがコンクリートバケットの制振制御を行い、位置決めを自動制御する機能を有し、動作に安定性がある。

(2)ケーブルクレーンによるコンクリートの運搬が予め決められた位置と順序で自動運転されている。また、打設中に運搬位置と順序の変更が容易にできる。

(3)トランスファーカからコンクリートバケットへの積込みが自動化されている。

(4)自動運転のサイクルタイムは、従来の方法と同等である。

(5)システムの操作が簡単である。

(6)緊急時の対応が確実に行え、安全の確保ができる。

5．現場導入結果

(1)導入現場

本システムを導入している現場の諸元を以下に示す。

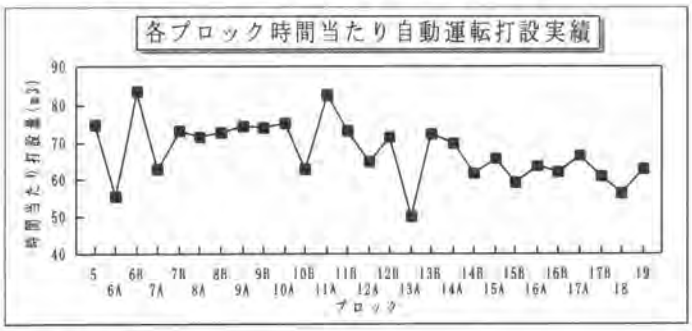
発注者：福岡県 工事名：鳴淵ダム建設工事	
ダ　ム　諸　元	ケーブルクレーン　仕様
形　式：重力式コンクリートダム 堤　高：67.4m 堤頂長：308.0m 堤頂幅：5.0m 堤体積：392,000m³	種　類：弧動式 定格荷重：14.5tf 主索径間：475m 横行速度：340m/min(実、空荷重) 巻上速度：140m/min(実、空荷重) 走行速度：20m/min

※本システムは、固定式、両側走行式、弧動式、軌索式ケーブルクレーンに適応可能

(2)時間当たり打設量実績

以下に、ほぼ同一リフトでの各ブロックの施工実績を示す。その結果、手動運転と同等もしくはそれ以上の時間当たり打設量がある。13Aブロックの時間当たり打設量が少ない原因は、当該ブロックが

構造物（エレベータシャフト、監査廊）を含んでいるためである。また、ブロック番号が大きくなるほど時間当たり打設量が少なくなっているのは、横行距離が長くなっているからである。



(3) 自動運転の長所・短所

a) 長　所

- 自動運転中のオペレータの作業は、計器類・バケット移動の監視が主となるため、精神的・肉体的な疲労が大幅に軽減される。その結果、一人で連続で８時間の打設が行える。また、機器の点検も十分に行う余裕が生まれる。
- 打設側の合図者が不慣れでも、コンクリート放出箇所の指示をするだけで自動運転することから、安全で安定した打設作業ができる。
- オペレータが不慣れでも、テンキー操作とスタートボタンを押すだけで自動運転することから、安全で安定した打設作業ができる。
- 無線連絡等による合図運転を行わないため、合図ミスや聞き取りミスによる誤動作が無く、安全作業ができる。
- 合図しなくても、所定の位置まで自動で移動するため、合図者の作業に余裕ができる。その結果、打設箇所の安全を確認する余裕ができる。
- 型枠等への接触破損が、他の現場と比較して非常に少ない。

b) 短　所

- 打設作業ではほぼ100%の自動運転を行っているため、オペレータの手動運転技術および合図者の合図誘導技術が上達しない。

6．おわりに

ケーブルクレーン自動運転システムのサイクルタイムは当初の目標通り熟練オペレータに比べて、ほぼ同等であり、繰り返し単純作業でのオペレータおよび合図者の負担軽減化、熟練オペレータ等技能労働者不足に対する雇用対策に大きく貢献できたと考える。

現在、発進起動および打設側からの戻り起動に安全上の理由から、人間の判断をいれているが、システム上は全自動・完全無人化のアルゴリズムは確立されている。よって、今後は安全面・施工面の両面から、本システムの全自動・完全無人化にむけて、システムの改良を行っていく予定である。

末筆ではありますが、本システムの開発・導入に際し御尽力戴いた方々に感謝の意を表します。

48. 炭素繊維による柱耐震補強用自動巻き付け機械の開発

㈱大林組：*村橋　久弘，勝俣　英雄
伊藤　正己

1．はじめに

阪神･淡路大震災以降、既存不適格建築物の耐震性の向上は、都市防災上重要な課題のひとつとなっている。1995 年 12 月には「建築物の耐震改修促進法に関する法律」が施行され、旧耐震基準で設計された建物の耐震診断、耐震改修が順次進められている。また、既存不適格建築物の耐震補強については、文教施設、公共施設および民間建物の耐震診断がほぼ完了し、建物のﾘﾆｭｰｱﾙ工事と併せて今後ますます増加することが予想される。

最近、炭素繊維による既存鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ造建築物の柱耐震補強工法が注目され，信頼性，施工性および経済性に優れていることから、その施工実績も増えている。

炭素繊維による柱耐震補強に用いられる材料には、炭素繊維ｽﾄﾗﾝﾄﾞと炭素繊維ｼｰﾄがあり、炭素繊維ｽﾄﾗﾝﾄﾞは、独自に開発した自動巻き付け機械で巻き付け、炭素繊維ｼｰﾄは専門工事業者の技能工のﾊﾝﾄﾞﾚｲｱｯﾌﾟによる。炭素繊維ｽﾄﾗﾝﾄﾞを自動巻き付け機械により施工する工法は、確実な品質管理、生産性の向上、工期短縮およびｺｽﾄ低減などﾊﾝﾄﾞﾚｲｱｯﾌﾟより多くの利点がある。

本報告は、炭素繊維ｽﾄﾗﾝﾄﾞを用いた柱耐震補強用自動巻き付け機械による工法の概要、装置の仕様および施工事例などについてご紹介するものである。

2．工法の概要

(1) 炭素繊維の特長

炭素繊維は、もともと宇宙航空分野で使用されている高級な材料である。炭素繊維は、炭素を主な構成材料とした繊維状の結晶体で、素線の直径は約 7～12ﾐｸﾛﾝという髪の毛の約 10 分の 1 の細さのものである。炭素繊維ｽﾄﾗﾝﾄﾞは、素線を 12,000 本束ねたもので、炭素繊維ｼｰﾄは、素線を一方向にｼｰﾄ状に敷き並べたものである。

炭素繊維の主な特長を表-1 に示す。

表-1 炭素繊維の特長

引張強度	：	約　30tf/cm2	鉄の約 10 倍
弾性率	：	約 2,400tf/cm2	鉄とほぼ同等
伸　び	：	約 1.2%	降伏棚をもたない
比　重	：	約 1.8	鉄の約 4 分の 1
耐久性	：	錆びない	黒鉛と同じ結晶構造を持つ

また、炭素繊維は鉄筋と異なり降伏棚がなく、最大応力時までほぼ直線で近似する完全弾性体である。従って、強度は十分大きいものの弾塑性変形によるｴﾈﾙｷﾞｰ吸収能は期待できない。

炭素繊維の応力度-ひずみ関係を図-1 に示す。

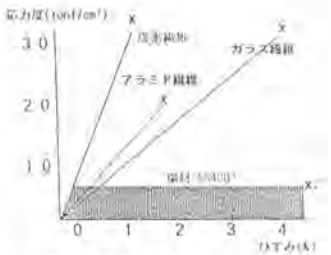


図-1 応力度-ひずみ関係

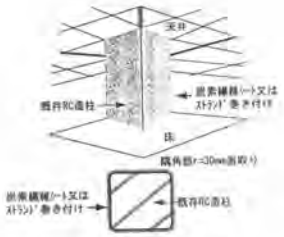


図-2 工法の概念

(2) 工法の概念

炭素繊維による柱耐震補強工法(CRS 工法:Carbon Fiber Retrofitting System と称す)とは、まず、既存柱の仕上げ材を除去し、表面をｺﾝｸﾘｰﾄｶﾞﾝﾅなどで平滑に整え、隅角部を樹脂ﾓﾙﾀﾙで半径 R=30mm 以上面取りした後、炭素繊維にｴﾎﾟｷｼ樹脂を含浸させながらﾌｰﾌﾟ状に巻き付けて、柱の強度、靭性を向上させる工法である。

炭素繊維は、それだけでは十分な強度が得られず、ｴﾎﾟｷｼ樹脂を含浸させて CFRP(炭素繊維強化ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ:Carbon Fiber Reinforced Plastics)としてはじめて高強度、高弾性率を発揮する。

本工法の概念を図-2 に示す。また、材料と工法を図-3 に示す。

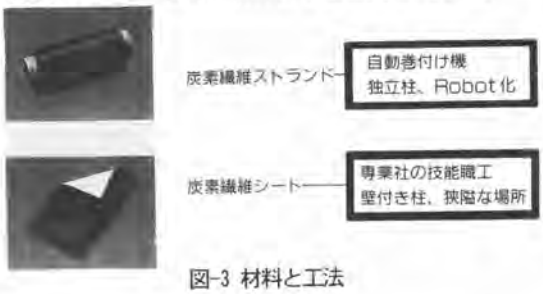


図-3 材料と工法

3. 開発の経緯

炭素繊維の土木、建築分野での用途開発は、1980 年代から始まり当初は鉄筋や PC 鋼棒の代替品として開発が進められ既に実用化されている。1985 年から、既存鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ構造物に従来のﾌｰﾌﾟ(鉄筋)に替わり、炭素繊維を巻き付けて耐震性の向上を図る研究開発が開始された。開発に際し、生産性の向上、省力化を目指して自動化による巻き付け機械の開発に取り組んだ。その際、軽量化、組み立て･解体が簡単、高さの制約を受けない、任意のﾋﾟｯﾁで巻けることそして炭素繊維にｴﾎﾟｷｼ樹脂を適切に含浸させる方法等が開発の大きな鍵であった。そして、1991 年既存鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ造煙突、柱および土木橋脚の耐震補強工法として技術が確立され、まず既存 RC 造煙突の商業化が図られた。既存 RC 造柱と土木橋脚については、なかなか実用化の機会がなかったが、一昨年の阪神･淡路大震災以降、急激に需要が増えてきた。

炭素繊維は、建築基準法で規定する「特殊な材料」に該当することから構造材料として使用する場合は、公的な特認が必要である。そのため、平成３年９月(財)日本建築防災協会の「技術評価」を、平成８年１２月(財)日本建築ｾﾝﾀｰの「一般評定」と平成９年６月「建築基準法第３８条に基づく大臣認定」を取得した。

自動巻き付け機械の開発の変遷を表-2 に示す。

表-2 自動巻き付け機械の開発の変遷

機械の名称	メーカー	最大巻付け寸法	重　量	巻付けピッチ
1号機	(株)北井製作所	900mm 角柱	1、150kgf	2.50mm
2・3号機	(株)北井製作所	900mm 角柱	1,150kgf	2.50mm
4・5号機	三菱重工業(株)	1,000mm 角柱	614kgf	任意

4．装置の概要

自動巻き付け機械の装置は、主に次の５つの機構から構成されている。

表-3 装置の主な機構

装置の名称	装 置 の 機 能
昇降リング	昇降リングは、天井または円形サポートから吊るされた昇降用ローラーチェーンで支持され昇降用モータ-3 台で上昇または下降する。
回転リング	回転リングは、昇降リングの上段に設置され回転用モータ-1 台により柱の回りを回転する。炭素繊維ストランドを巻いたボビンのスタンド、レジンバス(エポキシ樹脂含浸ユニット)および繰り出し装置を搭載する。
昇降用ローラーチェーンおよび円形サポート	昇降リングのスプロケットに接続し、昇降リングを支持する。また、このローラーチェーンを伝わって昇降リングが昇降する。
レジンバス	レジン(エポキシ樹脂系接着剤)を含浸させるユニット
繰り出し装置	炭素繊維ストランドを先端から繰り出す装置で、柱に所定のピッチでスパイラル状に巻き付ける。

昇降リングの昇降運動と回転リングの回転運動の制御は、インバータ制御方式でそれぞれ独立に行えるので炭素繊維ストランドの巻き付けピッチは自由に設定できる。

自動巻き付け機械を写真-1 に示す。また、装置の部分詳細を写真-2 に示す。

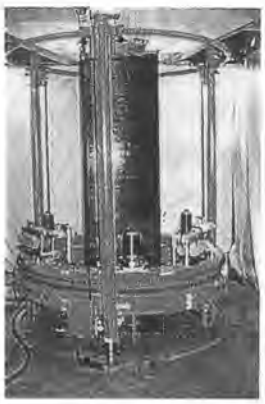
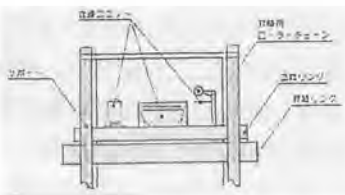
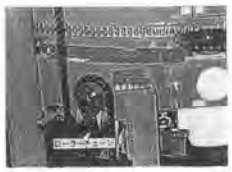


写真-1 自動巻き付け機械



▲含浸ユニット

▲昇降リング(外輪)と回転リング(内輪)



▲昇降用ローラーチェーン

写真-2 装置の部分詳細

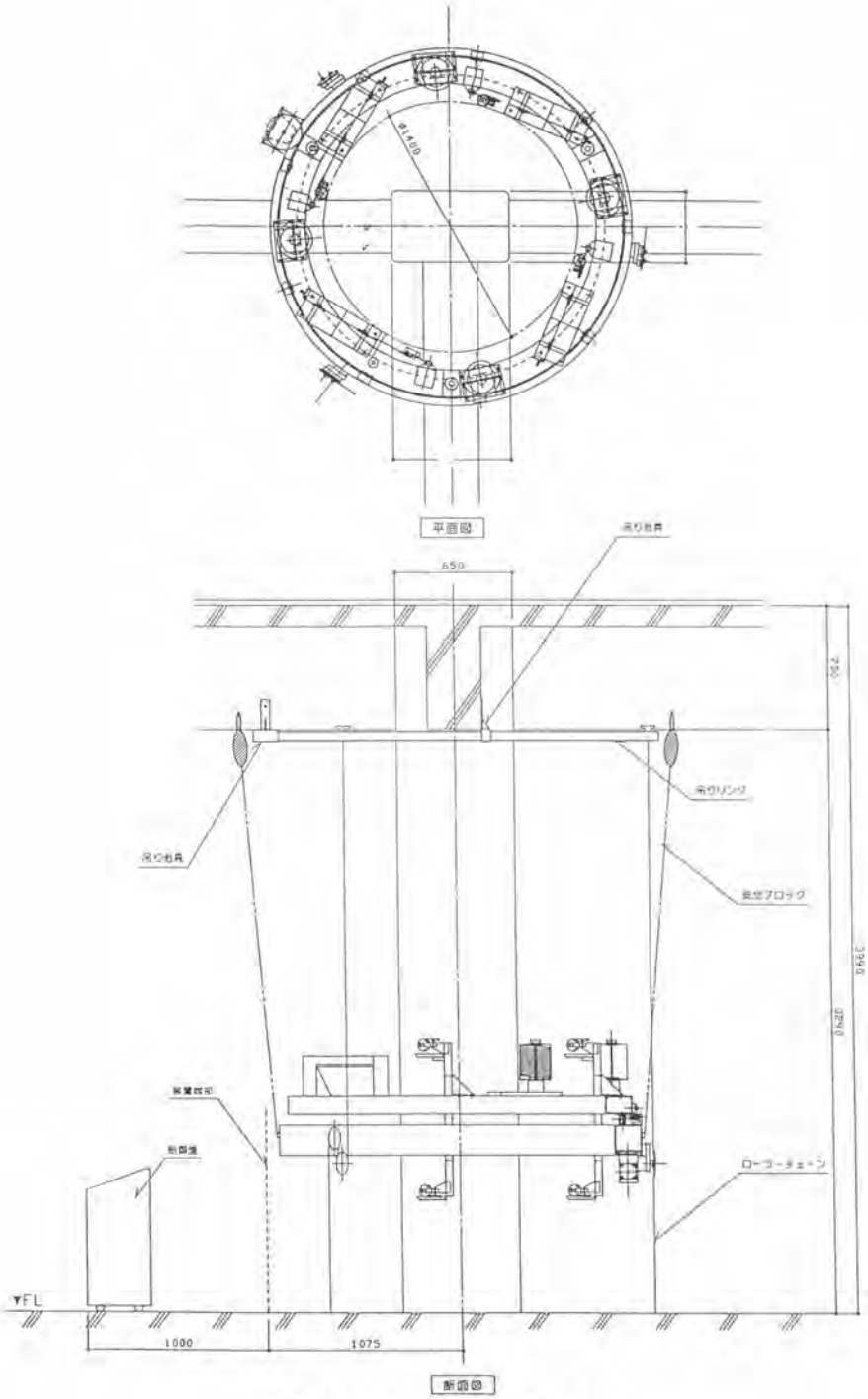


図-4 自動巻き付け機械の概略図

自動巻き付け装置の仕様を表-4 に、自動巻き付け機械の概略図を図-4 に示す。

表-4 装置の仕様

名　称		仕　様
装置の寸法	外　径	約 2,200mm
	高　さ	約　900mm
重 量	総重量	約　615kgf
	可動部	400kgf
	固定部 (吊りﾘﾝｸﾞ等)	71kgf
	その他 (制御盤,台車)	166kgf
6 分割時最大部品重量		75kgf
速 度	昇降速度	25～300mm/min
	回転速度	1.4～15 rpm
電 源		単相　100V
		50Hz/60Hz
ﾓｰﾀｰ	昇降用	60W　3 台
(ｲﾝﾊﾞｰﾀ制御)	回転用	400W　1 台
CF 張力制御		0～5　kgf

自動巻き付け機械の特長は、次のとおりである。

表-5 自動巻き付け機械の特長

軽量, ｺﾝﾊﾟｸﾄ	……	人力で解体、運搬、組立が可能
ｲﾝﾊﾞｰﾀｰ制御方式	……	昇降速度と回転速度を任意に制御可能
昇降用ﾛｰﾗｰﾁｪｰﾝ	……	巻き付け高さ無制限
省ｴﾈﾙｷﾞｰ	……	家庭用電源で使用可能

5. 品質管理

本工法は、炭素繊維やｴﾎﾟｷｼ樹脂といった土木･建築分野と馴染みの薄いｹﾐｶﾙ材料を取り扱うので、正しい品質管理が最も重要である。そこで、施工に際しては、次のような品質管理基準に沿って工事を行っている。

(1) 施工に先立って、炭素繊維ｽﾄﾗﾝﾄﾞの巻き付けﾋﾟｯﾁなどを記述した「炭素繊維割付け図」を作成する。

(2) 使用材料の炭素繊維ｽﾄﾗﾝﾄﾞ、ﾌﾟﾗｲﾏｰおよびｴﾎﾟｷｼ樹脂については、事前にﾒｰｶｰから材料試験成績表を提出してもらい監理者の承認を得る。

(3) 一方、現場で CFRPｽﾄﾗﾝﾄﾞの試験片を作成し、引張強さ、弾性率の試験を行い、管理値を満たすことを確認する。

(4) 施工時は、技能研修、教育を受けた作業員が施工管理ﾁｪｯｸﾘｽﾄに沿って適切に施工する。

6. 施工事例

炭素繊維ｽﾄﾗﾝﾄﾞの自動巻き付け機械による施工事例は、次のとおりである。

表-6 自動巻き付け機械による施工事例

No	工事名称	所在地	工事年月	用途	柱本数	炭素繊維重量
1	学校法人園田学園	兵庫県尼崎市	1995. 3	学校	1	1. 433
2	近鉄桜井駅	奈良県桜井市	1995. 5	鉄道	4	33. 258
3	Mｸﾞﾗﾝﾄﾞﾊｲﾂ	兵庫県神戸市	1995. 6	ﾏﾝｼｮﾝ	5	22. 534
4	丸の内Eﾋﾞﾙ	東京都千代田区	1995. 11	事務所	6	23. 646
5	港区Iﾋﾞﾙ	東京都港区	1995. 12	事務所	6	63. 470
6	第2虎ノ門Dﾋﾞﾙ	東京都港区	1996. 2	事務所	8	20. 339
7	大阪城天守閣	大阪市中央区	1996. 5	博物館	27	357. 459
8	国際Sﾋﾞﾙ	東京都港区	1996. 8	事務所	20	130. 569
9	I産業本社ﾋﾞﾙ	東京都港区	1996. 9	事務所	46	172. 362
10	浜松市砂丘小学校	静岡県浜松市	1996. 11	学校	4	14. 553
11	成田山新勝寺	千葉県成田市	1996. 12	宗教施設	8	95. 150
12	静岡県企業局施設	静岡県庵原郡	1997. 2	事務所	19	97. 348
13	日生博多駅前ﾋﾞﾙ	福岡市博多区	1997. 7	事務所	18	126. 260
				合計	172本	1, 158. 381kgf

7. 今後の課題

炭素繊維による柱耐震補強を行う場合、炭素繊維ｼｰﾄを技能工がﾊﾝﾄﾞﾚｲｱｯﾌﾟで巻き付ける方法もあるが、信頼のおける品質管理、生産性の向上、工期短縮などを考慮すると、自動巻き付け機械による自動化工法のほうが施工上得策である。軽量かつｺﾝﾊﾟｸﾄ化により解体、運搬は簡便になったが、巻き付けられる柱の最大径が 1,000mm 角迄なので、今後は大型構造物にも対応出来るような軽量かつ小型の自動巻き付け機械の開発に取組みたい。

[参考文献]

[1] 法律第 123 号:建築物の耐震改修促進に関する法律、平成 7 年 12 月 25 日施行

[2] 小島:RC 煙突耐震補強工事の機械化施工、建設の機械化、1990

[3] 加藤・小畠・小島:炭素繊維を用いた RC 煙突の耐震補強工法、建設機械と施工法ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ、平成元年度

[4] 小島:CRS 工法、建設機械と施工法ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ、平成 7 年度

[5] 村橋:炭素繊維による既存 RC 造建築物の耐震補強工法の現状、建築の研究、1996

[6] 勝俣・外園:阪神・淡路大震災における被災 RC 造建物の補修例、大林組技術研究所報、1996

[7] 勝俣・荒川・村橋:炭素繊維による耐震補強、建築技術、1996

[8] 大阪城天守閣監修:甦った大阪城、大阪城天守閣「平成の大改修」写真集、1997

[9] 辻・松本・村橋・菊永:炭素繊維による事務所ﾋﾞﾙの耐震改修、建築技術、1997

49. 建設機械の自律走行に関する研究

大成建設㈱：宮崎　裕道，*近藤　高弘

1．はじめに

建設を取り巻く環境は益々厳しく、施工技術の高度化・安全性・品質の向上・生産性に加え環境への対応などが要求されている。その中で施工方法においても従来工法にとって変わる新技術や、新たな施工機械の提案などがなされている。しかし現実には、これらの提案を有効的かつ機能的にまとめ上げられた完全な総合的施工システムは実現していない。この様な総合施工システムを実現するためにはまだまだ多くの問題を解決しなければならない。

これらの取り組みの一部として今回、建設機械の自律走行に関する研究を行った。自動化機械で施工する場合、建設機械のみが自動化されても実現しない。施工条件にあった制御・管理などの条件が複雑にからみ合い総合的に運用管理されてはじめて建設機械の自動化が可能になるものである。

写真１　自律走行実験用クローラショベル

研究の目的は建設機械を無人化するために必要な要素技術の研究を行うことであり、実機の建設機械を自律走行させることを目標とした。

写真１に研究で使用した建設機械を示す。

2．研究目標

実機の建設機械を自律走行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・姿勢を感知する技術の研究

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．上記研究内容をフィールド走行実験で検証する。

建設機械には３ ton 級クローラショベルの実機を使用し、実験フィールドは約５０m四方の平地をＸ、Ｙの直交座標系に設定した。

実験は上記の研究目標を実現するために以下の三段階に設定した。

第一段階．機械の位置・姿勢検知のための研究として慣性航法に関する実験

第二段階．建設機械を制御するための各種搭載装置間の機能確認と無線による操作実験

第三段階．前段階を総合した障害物回避を伴う自律走行アルゴリズムによる走行実験

3．研究概要

建設機械を自律走行させる研究では、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位置・姿勢が把握できる慣性航法を選択した。さらに自律走行機械では各種装置間での情報交換にデータ蓄積型のネットワークシステムを構築し円滑な装置間通信を実現させた。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回避機能を持った自律走行機械の研究を行った。

4．研究内容

4－1．慣性航法

慣性航法の原理は図4－1．1に示すように、いま点0（X、Y）から出発して点2（X 2、Y 2）に至る過程を慣性航法で求める場合、点0から点1へ向かう速度ベクトルUと、この間の移動に要する微少時間との積（距離＝速度＊時間）から点1の座標（X 1、Y 1）を求めることができる。さらに点1から点2へは求めた（X 1、Y 1）を初期値として同様に速度ベクトルVと微少時間の積で座標値（X 2、Y 2）が求まる。

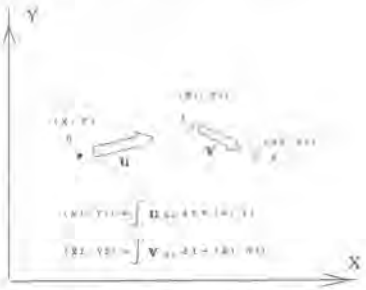


図4－1．1 慣性航法の原理

このように慣性航法における位置・姿勢の検知は外部からの位置情報を受信することなく、自ら位置と姿勢を把握できる特徴をもっている。しかも姿勢の把握ができることで機械が現在どの方向を向いていて、次に左右どちらにどの位い向けば良いかを知る有力な情報としても活用できる。しかし慣性航法には時間とともに位置精度が劣化するという欠点がある。

本研究では数十分間使用して誤差を最小に抑える手段と、簡易な装置でも高精度の装置と同等な性能を引き出す方法を実験データを解析し導き出すこととした。

実験での走行座標の精度を確認する手段として、自動追尾式トータルステーションで建設機械の走行軌跡をリアルタイムに計測して慣性航法データと比較する評価方法をとった。

慣性航法の実験は以下の三段階で行った。

第一段階：三軸光ファイバージャイロを利用した慣性航法の実験
第二段階：三軸リングレーザジャイロを利用した慣性航法の実験
第三段階：実験データをもとに一軸光ファイバージャイロを想定した慣性航法の解析

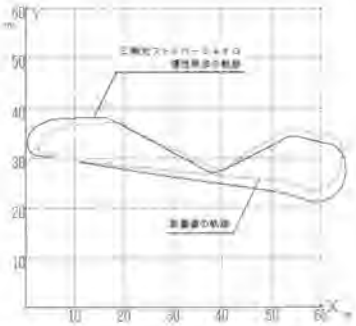


図4－1－1．1 三軸光ファイバージャイロ慣性航法の軌跡

4－1－1．三軸光ファイバージャイロ慣性航法実験

光ファイバージャイロは相対方位角の検出を行うもので、真北方位の検出はできない。そこで地磁気

方位センサーで絶対方位の補正処理を行うことで対応した。また建設機械の傾斜情報にはサーボ加速度計を用い、走行距離情報は建設機械の後部に回転ドラム式走行距離計を設置して距離情報を得た。

実験結果は図４－１－１．１に示すように測量値の軌跡と慣性航法の軌跡を比較するとずれが生じている。これは光ファイバージャイロが絶対角で検出できないため地磁気センサーから補正した時の誤差が影響している。

４－１－２．三軸リングレーザジャイロ慣性航法実験

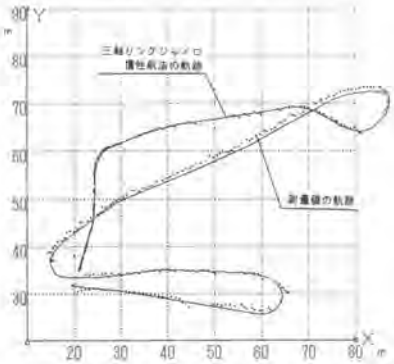


図４－１－２．１　三軸リングレーザジャイロ慣性航法の軌跡

三軸リングレーザジャイロは高精度に絶対方位角を検出する機能を持っている。走行距離の検出は左右のクローラの回転を検出するように改良した。

実験結果は図４－１－２．１に示すように走行距離の検出方法の改良と、走行時の方位角を常に精度の高い絶対方位で検出できるため、きわめて精度の高い慣性航法結果を得ることができた。

４－１－３．一軸光ファイバージャイロを想定した慣性航法のシミュレーション解析

慣性航法で使用するジャイロは三軸のリングレーザジャイロがもっとも理想的であるが、実用性を考慮して安価な一軸光ファイバージャイロを用いることで慣性航法を経済的に実現できるかのシミュレーション解析を行った。精度確保のため絶対方位を検知する手段としての地磁気センサーを全周方位の地磁気の分布などを解析して地磁気精度の向上をはかり対応した。

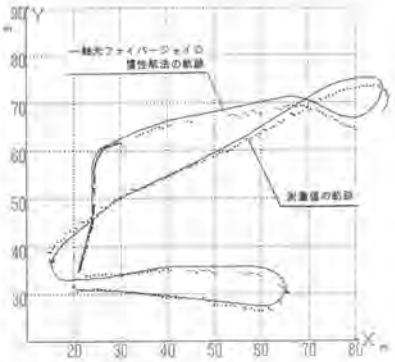


図４－１－３．１　一軸光ファイバージャイロ慣性航法の軌跡

慣性航法のシミュレーション解析の結果を図４－１－３．１に示すように、実用上満足いく結果を得ることができた。自律走行での位置および姿勢の検知にはこの方式の慣性航法を採用して行っている。

４－２．建設機械のサーボ化による無線操作

実機は人間が直接レバーを操作して運転できる機構になっている。目的である自律走行では、この人間が直接行っている操作を電気信号で操作できるように改良する必要がある。それに伴い、建設機械の動作をモニターすることも必要なため、操作系を以下のように改良した。

・操作系の電気信号による制御可能な個所

［キースイッチ、アクセル、シフト（前後）、シフト（速度）、クラッチ、ブレーキ、ステアリング、バケットリフト、バケットダンプ］

・状態をモニターするための計測信号取り込み個所

［エンジン回転数、クローラ回転数、バケット負荷、対地速度、バッテリー電圧、各種油圧シリンダー のストローク長、シリンダー動作圧力の検出］

これらの操作信号および計測信号のモニターとして制御用のＣＰＵを建設機械に設置して無線操縦でその動作を確認した。

４－２－１．建設機械の制御系システムの構成

実機を自律走行させるためには建設機械内部で行う各処理システムを有機的に結合する必要がある。そのため自律走行に必要な機能を各サブシステムに分割して全体をネットワークで結びつける。しかし各サブシステムの形態が異なるものを専用のネットワークで構築しようとすると、ハード・ソフト共に膨大なコストと時間がかかる。従ってサブシステム間の通信にはシリアル通信で結合できるデータ蓄積型のネットワークシステム（ＳＨＵＢ）を開発した。

ＳＨＵＢは、各サブシステムで計測したデータや、別のシステムに必要な情報をこのＳＨＵＢのメモリーに書き込んでおき、その情報を必要とする別のシステムが自由に読み出すことができる通信ネットワークシステムである。

この通信システムを用いて、例えば走行中の建設機械の現在位置を慣性航法で求めた座標値をＳＨＵＢに書き込むとする。建設機械制御用のサブシステムは、あとどれだけどのように操作させたら目標に達するかのデータをＳＨＵＢに書き込まれている慣性座標データを読むことで知ることができる。

図４－２－１．１に示すように建設機械の制御システムは自律走行を前提とした４つのサブシステムをＳＨＵＢに接続して構成されている。

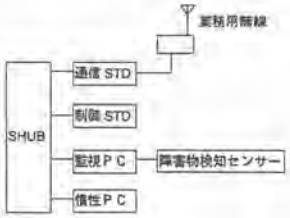


図４－２－１．１ 自律走行のシステム構成

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　：障害物検知と建設機械をどのように操作するかの指示値を制御する。

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。

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。

４－３．自律走行

自律走行とは、無線などで機械を遠隔操作するのとは異なり機械自らの判断で走行するシステムである。そのため遠隔操作に頼らず機能するというメリットがある。このようなシステムに必要な機能を以下に示す。

①. 機械が自ら自分の位置と姿勢を検知する能力。

②. 操作・制御手順を自ら決定する能力。

③. 周囲の状況を判断して、制御手順を変更できる能力。

無線操作などの遠隔操縦の機械では①～③までを人間が行っていた。自律走行式機械ではこの人間が行っていた部分を機械に代行させる必要がある。

４－３－１．走行路の決定方法

計画路線の作成にあたっては、実際の現地座標を何点もおさえ計画走行路を示すのは最良の方法とはいえない。走行点が多くなるに従って入力ミスが増えるからである。

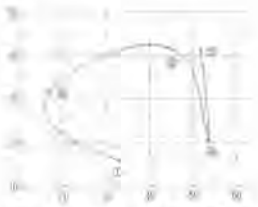


図４－３－１．１ 計画路線曲線

普段、人が自動車を運転しているとき、この点とあの点を通る、というようには運転しない。あの角を曲がって次の交差点を右に行くといったように、大まかなに走行路を決めている。

図４－３－１．１に示すように自律走行における走行路の決定においても同様で、大まかに通過しなければならない点を数点入力することで、あとは全体に連続した滑らかな曲線を描くような走行路を求めるようにしてある。

この走行路曲線を利用すると建設機械は自ら前進するのか後進するのかを判断することができる。

通過点①～④までは滑らかな曲線を描いているが、通過点④～⑤にかけては急に曲線が折り返している。このような折り返し点がある場合、前進から後進へと切り替える判断として利用することができる。

走行時の操作方法の決定には求めたこの滑らかな走行曲線を利用するが、実際のクローラ型建設機械の操作を考えると、このような曲線では利用が難しくなる。したがって図４－３－１．２に示すように走行曲線を分割し、幾つかの直線で構成する線分に変換する。

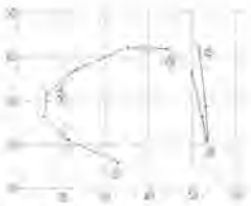


図４－３－１．２ 直線分割した路線

４－３－２．自律走行時の操作方法

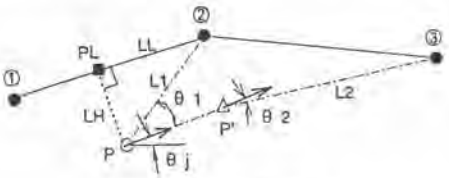


図４－３－２．１ 操作概念

走行時の操作方法は走行路全体をとらえるのではなく、分割した直線で現在走行に利用している線分と次の走行に必要な線分の情報で構成する。

操作概念は図４－３－２．１に示すように、計画走行路線①②③が決定されていると仮定して、今現在の建設機械の位置をＰ、機械の進行方向角をθｊとする。点Ｐを線分①②上に投影した点をＰＬとして建設機械進行角がθｊでそのまま進行した場合、点Ｐの投影点ＰＬが点②を通過するときの点Ｐの予想点をＰ′とする。線分ＬＨは計画線①②からの離れを表す。

線分Ｌ１は建設機械の現在位置から目標点②までの直線距離を表す。点Ｐにいる建設機械は目標点②

に向かうのにはθ１左旋回してＬ１進むことで点②を通過できる。

しかし点②を通過しないで点③に向かうのには現在の状態で進み点ＰＬが点②を通過した時点でθ２だけ右旋回しＬ２だけ進めばよいことになる。

これらのことから建設機械の制御を行う場合、計画走行路線①②線上を走行中の建設機械は線分①②の離れおよび到達目標点②までの距離Ｌ１と旋回角θ１の情報を確保すればよいことになる。

また計画走行路線を変更するには、点Ｐの投影点ＰＬが点②に重なったときに現在走行中の路線①②から路線②③に切り替え、新たな点④を追加して同様の処理を行えばよい。

このような操作方法により、計画走行線分からの許容離れを設定することで走行路線をある設定範囲以内の精度で走行させることが可能となる。

また、走行時前方に障害物を検知した場合、前記の走行操作方法に関係なく独自に障害物を回避するように迂回動作を実行する機能を有し、障害物迂回後はまたもとの計画路線に戻ることができる。

４－３－３．自律走行実験の結果

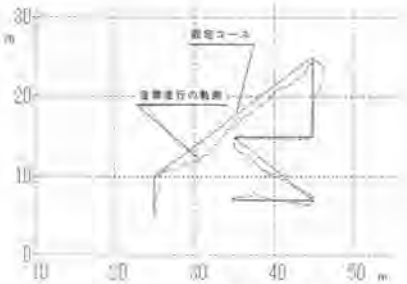


図４－３－３．１ 自律走行軌跡

自律走行軌跡を図４－３－３．１に示す。このような自律式走行車輌の実験を行うと、通常のパターン走行やラジコン操作等に見られない自律走行独自の動きが発見できる。

ある設定したコースを走行させる場合、コースを大きく外れても自分自身で一生懸命もとのコースに戻ろうといろいろ動きまわったりもする。また直線を走行する場合でも、人が車を運転している時と同じように真っ直ぐな道でもたえず微妙なステアリング操作を行って軌道修正している。

このように走行実験から自律走行のアルゴリズムにより行動が大きく変化することが判明した。

５．おわりに

建設機械自動化のための要素技術を究明するため、実機による自律走行式の建設機械をターゲットに研究してきた。この結果実機を利用したことで、地道ではあるが自律走行という先端的な部分以外に複数のシステムをいかにして調和あるものにするかといった実務的な技術や、実験データから得られた結果を効率よくシステムに還元する手法などの技術が研究を行う上で特に重要であった。

自律走行式の機械という考えかたは今後利用され発展していく技術であると確信するが、この技術を確立する上での当面の課題は、安全性、現地形の認識、複数台による協調作業などである。今後多くの方々のアドバイスをお願いしたい。

50. 画像制御によるノンプリズムレーザー計測システム

大成建設㈱： 神崎　正，西沢　修一
*松本三千緒

1. はじめに

土工事では、地形や土量のスピーディな計測処理が必要とされ、これらの早期把握は工事管理上最も重要なポイントの一つとなっている。しかし、従来の測量方法では労力と時間を要するばかりでなく、急斜面や重機が錯綜する中での作業には危険が伴い、また深夜の測量も困難であった。そこで、測定箇所に人が立ち入ることなく、暗闇でも高速に測定できるシステムの開発に着手した。その結果、カラーＴＶカメラ・ノンプリズム型レーザー測距装置・デジタル制御型経緯台・コンピュータなどにより、測定対象エリアを自動的に連続測量できるシステムを開発した。（写真－１）

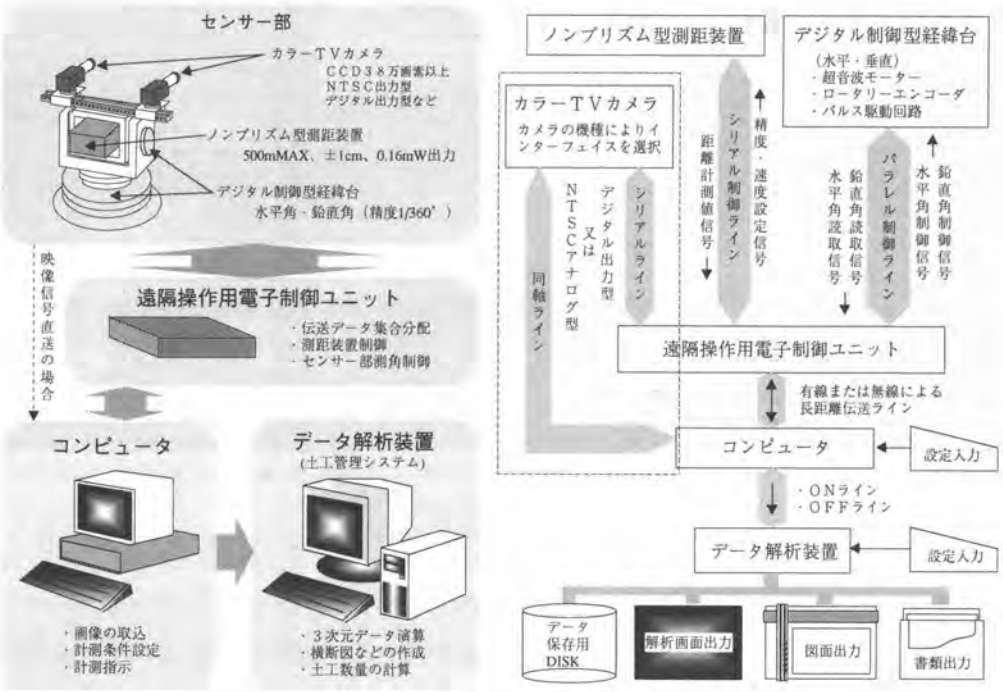
写真－１　システムイメージ

2. システム構成

本システムはカラーＴＶカメラ・ノンプリズム型レーザー測距装置とこれを水平・鉛直方向に回転位置決めするデジタル制御型経緯台、これらを制御し、計測点の３次元座標を演算処理するコンピュータおよびデータ解析装置より成り立つ。システムの構成および制御信号の流れを図－１に示す。

また、写真－２に示すように測距

写真－２　センサー部設置状況

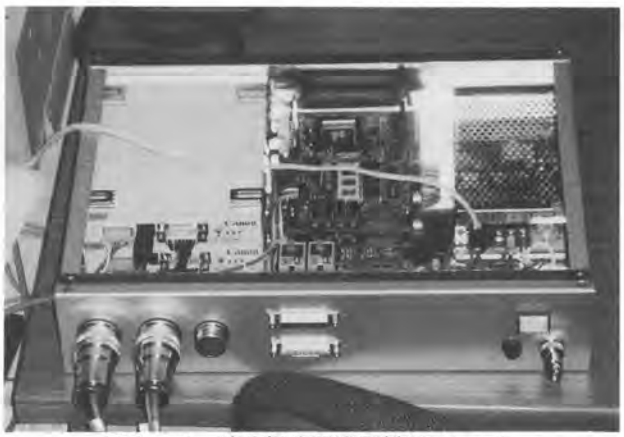


図－１　システム構成

装置・カメラ・経緯台などのセンサー部分は移動・設置・測定が簡単に行なえるよう一体化し、既存の整準台や三脚が利用できる形状とした。

そして、センサー部を遠隔操作用電子制御ユニット（写真－３）で制御する方式とし、設定・指示などを行なうコンピュータとのデータ伝送を１本の伝送ラインに集約することで、遠隔操作を行なう場合に、システム各機器の設置と接続がスムーズにできるよう配慮した。

なお、本システムで使用しているノンプリズム型レーザー測距装置のレーザー出力はクラス１（0.16mW以下）であるため、特別な安全対策や管理を必要としない（写真－４）。



写真－３　遠隔操作用電子制御ユニット

デジタル制御型経緯台は、センサー部を水平・鉛直軸を中心に旋回させ、所定の方向へ位置決めするための制御装置であり、角度の読み取りにはロータリーエンコーダを使用、駆動モーターには小型軽量で回転トルクが大きく、微小の制御がしやすい超音波型モーターを使用している（写真－５）。

システムの設定操作はマウスによる対話形式で、設定終了後は自動的に計測が実行されるため、夜間

写真－4　センサー部の測距装置

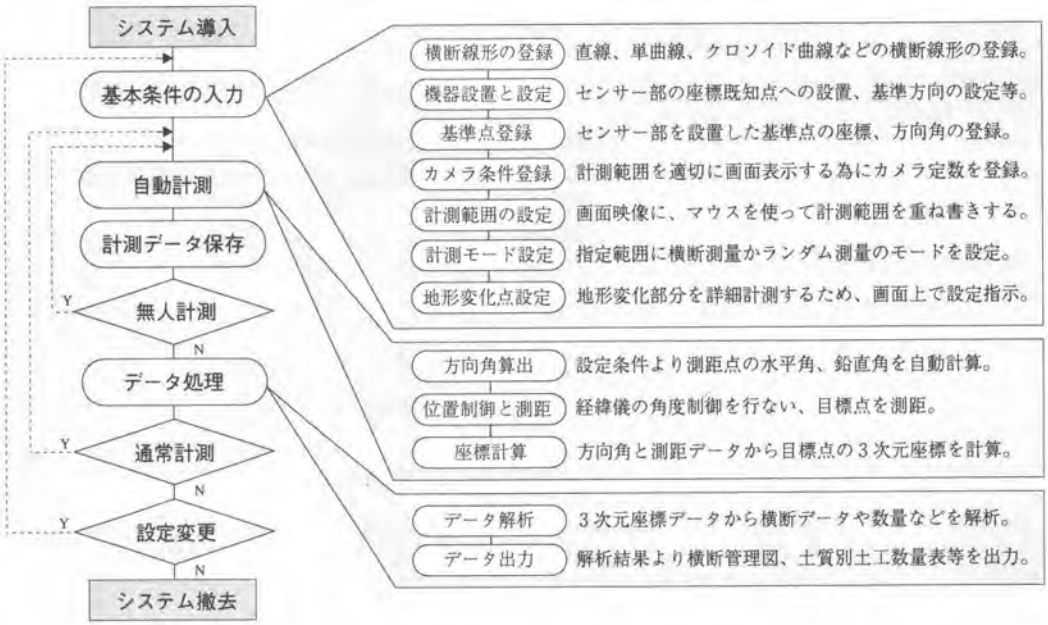
写真－5　経緯台の駆動機構

での無人測量にも対応できる。

なお、このシステムから得た計測データは、データ解析装置（ＬＡＮＤＹ：土工管理システム）にリンクすることで、縦断図や横断図などの形式で出力できる。

3．計測解析ソフト

計測フローは、基本条件の入力、自動計測、データ処理の３段階に大きく分かれる。図－２に示すように、システムの移設や設定の変更がない限り、基本条件の入力は最初の一回だけであり、通常の計測



図－２　計測フロー

は開始の指示を行なうだけとなる。

従って、作業の行なわれない夜間に計測を行なう場合や計測データを繰り返し収集する場合には、完全な無人計測が可能であり、監視ソフトなどに連動することで、斜面崩壊などの無人監視に利用することも可能である。

計測モードは、横断測量モードとランダム測量モードの２種類（写真－６）があり、それぞれ指定したエリア毎に選択する。

写真－６　計測モード

前者では横断線形と地形変化点を入力し、地形変化の激しい場所での計測を詳細に行う。後者では指定したエリア内を一定ピッチで計測するための角度データなどを入力する。

データ解析は、本システムで計測された３次元座標データを土工管理システム（名称：ＬＡＮＤＹ）にリンクすることで行なう。この時、３次元座標データは設定条件および目的とする出力に応じて、取捨選択されながら自動的に取り込まれ、横断データや横断図などの出力形式に沿って、解析計算され出力される。

４．実施例

４.１　阿南変換所敷地造成工事

本システムは、平成８年４月より四国支店阿南変換所（作）での敷地造成工事に採用された。本工事は、有効面積７.３万m2、切土量約８０万m3、盛土量９２万m3の大規模土工事である（写真－７）。

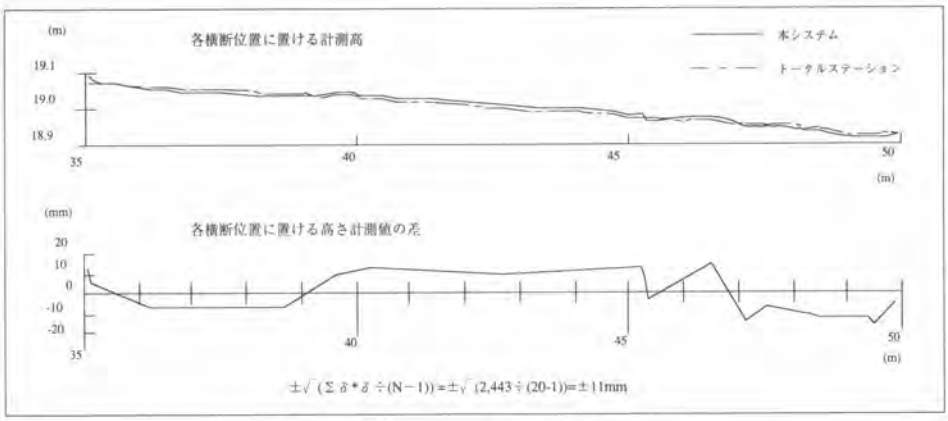
ここでの切・盛土工事では、実際の土量変化率Ｃ（転圧後の盛土量／切土量）が最も重要な情報の一つとされた。土量変化率は、敷地内の試掘やボーリング調査から得られた地質データをもとにあらかじめ設定される。しかし、実際

写真－７　阿南変換所敷地造成工事

の土量変化率が予想値と大幅に異なる場合、施工途中に計画地盤高や各種構造物の設計高を変更する必要が生じる。

そこで、切・盛土量を定期的に精度よく測量し、そのデータから実際の土量変化率を把握することで、早期に計画高の変更の有無を確認することが重要な課題の一つとされた。また、造成後に設置される変換所の機器設備に対し悪影響を与えないために、不等沈下の許容範囲が定められているが、ここでの盛土高さは最大３５ｍに及ぶため、その基礎地盤となる盛土には高度の品質が要求された。さらに、敷地内の標高はEL=15m から120mと105ｍの高低差があり、切・盛土部は狭猥なことから、安全面でも十分な配慮をしながら施工をおこなう必要があった。

このような施工条件下で「省人化」と「高品質な切・盛土の造成・管理」の両立を図るため、本システムを現場へ導入し工事に適用した。その結果、以下の効果を検証することができた。



図－３　精度検証結果

(1)測量精度について

本システムとトータルステーションとで横断測量時の高さ計測値を比較した（図－３）。その結果、測距・測角を含めたトータルな差は平均±１ｃｍ程度で、従来の測量方式と同様な精度が確認出来た。

(2)データ処理について

岩種別地層境線などのデータを、データ解析装置（ＬＡＮＤＹ：土工管理システム）とリンクすることで（写真－８）、成果図面や土工数量表の出力、土量変化率などを短時間で詳細に把握することができた。

(3)省力化について

計測員が必要とされたのは機器の

写真－８　解析システム操作状況

設置、初期設定などの作業時のみのため、夜間での無人測量により休日作業を削減することができた。

なお、面積５０ha、測点数２０００点の出来型測量を試算した結果、トータルステーションより４５％、ＧＰＳより３０％の省力化が可能になるものと見込まれる。また、離れた場所から画面上で、計測エリアの設定や自動計測の指示が行なえ、危険地帯での監視や遠隔管理への有効性も確認できた。

４.２　日光華厳の滝（山腹補強工事）

日光華厳の滝を擁する大谷川（だいやがわ）山腹の崩落を防止する為の補強工事に活用した（写真－９）。ここは、古くから華厳の滝を眺める観光名所となっており、店舗や食堂などが並んでいる山腹部に対し、崩落の危険性が指摘されていた。

補強方法としては竪坑を掘り、そこからアンカーにより山腹張り出し部を補強するものである。しかし、現地は断崖絶壁の上部で対岸からの距離も数百ｍあり、従来の方法では測量が極めて難しく、竪坑を掘る正確な位置を割り出すための地形計測方法が要望されていた。

そこで、本システムを河川対岸に設置し、急峻な山腹張り出し部を仰ぎ見る形で、自動計測をおこなった。その結果、非常に計測の困難な地形であるにも関わらず、短時間に精度良く現地形を計測することができた。

写真－９　日光華厳の滝（大谷川山腹）

５．おわりに

本システムを現場に導入した結果、造成工事に於ける土量変化率の早期把握や計測が困難な地形条件でも本システムが有効に活用出来ることを実証した。また、夜間などでの無人計測の実現により、測量の効率化や作業の省力化に大きな効果を発揮することが確認できた。

今後は、電話回線・ＬＡＮ・衛星通信などを利用した超遠隔地操作や地形認識方法の自動化、重機位置など移動体の追尾計測など、機器システムの高度化やソフトの充実に取り組みたいと考えている。

参考文献

1. 神崎　正、西沢　修一　他：第６回建設ﾛﾎﾞｯﾄｼﾝﾎﾟｼﾞｭｳﾑ論文集、pp41-46、1997
2. 神崎　正　他：14th International Symposium on Automation&Robotics in Construction　pp78-85、1997
3. 江尻正員、大島正毅：画像処理産業応用総覧　上巻、PP66-73、1994.
4. 尾上守夫、藍　光郎　他：検査の自動化ｼｽﾃﾑ化ﾊﾝﾄﾞﾌﾞｯｸ、PP741-744、1990.

51.　吊荷旋回誘導装置の開発

東急建設㈱：西尾　　仁

1．はじめに

現在、建築工事における鉄骨工事の梁鉄骨の取付作業や資材の吊込みは、タワークレーンを中心に行われている。このとき、吊荷移動の慣性力や、風などの外乱により、巻上ロープのフックを中心に吊荷が回転する。この吊荷の回転誘導は通常介錯ロープが使われているが、作業員が足場上の不安定な場所で身を乗り出さなければならず、またクレーンオペレータとの綿密な意志確認が必要であり、危険作業として改善が要望されていた。

そこで、建築工事用クレーンでの吊荷の回転を制御し作業の安全性向上をはかる「吊荷回転誘導装置」を開発した。本装置はクレーンのフックブロックに取り付け、クレーンロープの復元力を利用して回転誘導を行うものである。本装置の全景を写真１に示す

写真１　吊荷回転誘導装置の全景

表１　吊荷回転誘導装置の主な仕様

最大吊上質量	12t
旋回駆動方式	リングギアおよびピニオンギアかみ合い停止
本体寸法	L1235mm× W410mm× H610mm
本体質量	380kg
旋回トルク	2400N･m
旋回速度	11sec./90
駆動方式	DC12V モータ
搭載バッテリー	12V　120Ah
操作方式	遠隔無線操縦（特定小電力無線）

2．装置の概要

2．1．開発の方針

次のような方針で誘導装置の開発を行った。

（1）クレーン運転者が吊荷の旋回制御を行える。

（2）高精度で安定した吊荷の誘導が行える。

（3）小型、軽量な装置とし、脱着が容易に行える。

2．2．回転誘導原理

高層建築用タワークレーンの巻上ロープはSよりとZより（逆によれたロープ）の組み合わせで構成され、ワイヤーロープの自転性を相殺する構造である（図1）。この構造はねじれに対する復元力が大きく、そこで、吊荷の回転誘導反力としての利用が可能ではないかと考えた。その結果、ワイヤーロープ構造によるフックブロックのねじれ復元力について次のことが確認された。

（1）フックブロックのねじれ角度（θ）が90°のとき最大となる。（図2）

（2）ロープ間距離（Lx）および（Ly）の大きさの2乗に比例する。

（3）吊荷の質量（W）に比例する。

（4）トップシーブとフックブロックの距離（H）に反比例する。

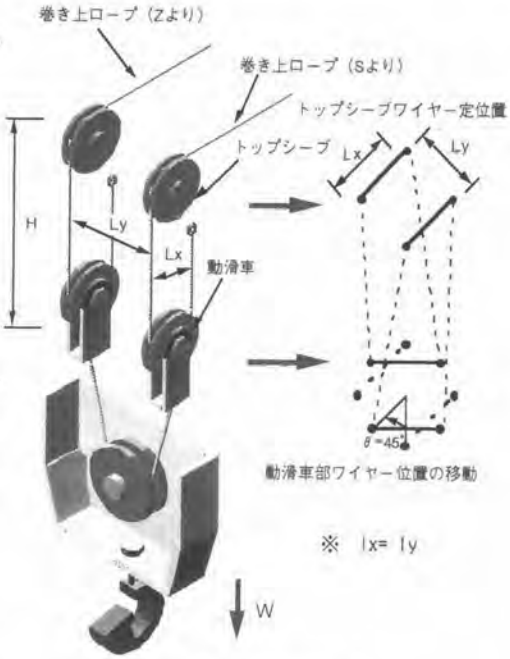


図1　巻上ロープの構成

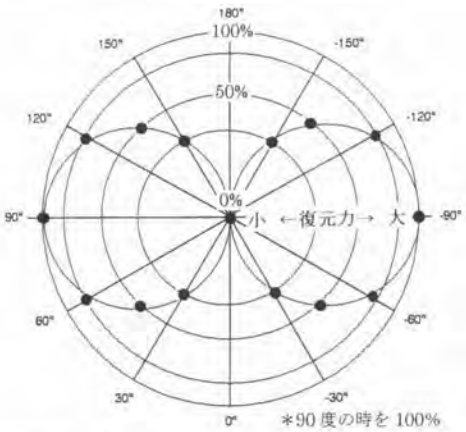


図2　巻上ロープのねじれに伴う復元力

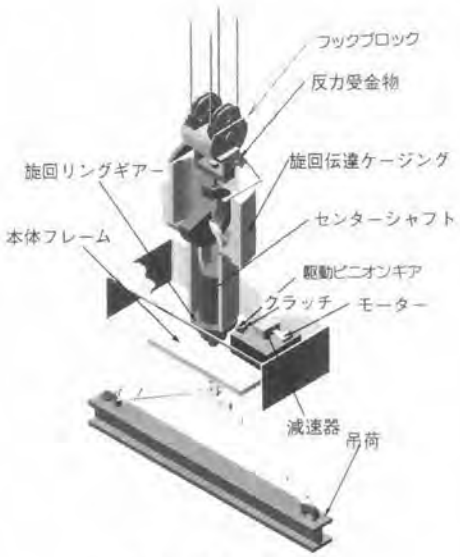


図3　装置の概略

２．３．装置の構造

本装置の概略を図３に、誘導システムの概要を図４に示す。また、主な仕様を表１に示す。本装置の構造は、センターシャフトを中心とする動力･駆動系とリングギアを中心とする反力系から構成され、クレーンオペレータが吊荷の揚重と同時に無線を用いて、運転席から動力回転、回転制御、自由回転の操作を行う。動力回転では電動モーターを作動させ、電磁クラッチを介して駆動ピニオンギアおよびリングギアを回転させて、センターシャフトとともにフックブロックを回転誘導させる。回転固定は、電動モータの静止抵抗を利用するため電磁クラッチをつなぎ、駆動ピニオンギアを停止することで吊荷の回転を止める。自由回転の方法は、駆動ピニオンギアのクラッチを切ることで、モータからの動力を遮断してセンターシャフトを自由にする。平常時はセンターシャフトは自由回転となる。

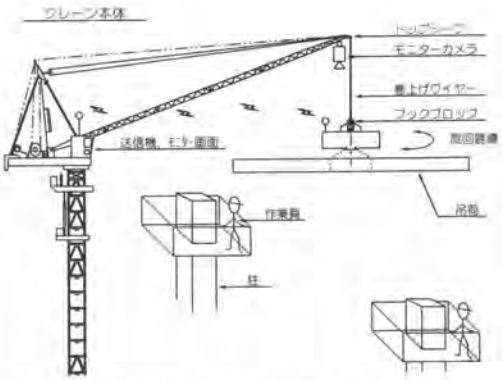


図４　誘導システムの概要

本装置は吊荷の方向や位置決めをクレーンオペレータが無線で操作できるため、クレーン揚重作業工程の流れの一部として安全･確実に吊荷の回転角度を制御できる。

３．現場導入テストと性能評価

本装置は、これまでに社内工事に連続して導入しているが、以下にその一例を紹介する。使用したのは次の作業である。

（１）鉄骨梁取付作業（最大質量 7t、最大長さ 7500mm）（写真２）

（２）壁 PCa 板取付揚重作業（写真３）

（３）ALC 板などの長尺資材の開口部を利用した搬入作業（写真４）

ALC 資材寸法　6800mm×1000mm

開口部寸法　　9000mm×3000mm

通過階 13F～3F　連層開口９フロアを介錯ロープなしで通過

このときの結果を表２に示す。これより，以下の結果が得られた。

（１）鉄骨組立時に、荷受用介錯ロープが不用になり、吊荷の回転停止と位置決め作業を無人化でき、鳶工の人数を６名から５名に削減できた。

（２）従来の吊荷誘導は、地上や作業階とクレーン運転者との間で無線などを使い意志を確認しながら行っていたため、互いの息の合った連携動作が必要であった。しかし、本装置はクレーンオペレータが運転席上でクレーン運転と同時に操作できる。よって，視界の良好な運転席から吊荷の回転誘導を行えるため，クレーン操作の効率化をはかることができた。この結果、鉄骨梁１ピース当たり平均１分短縮でき、１日当たり 50 分のゆとりが生じた。

（３）壁 PCa 板の取付時の揚重も、風速 8m/sec.までは風による回転を抑制でき作業休止日数を減少させることができた。

写真２　鉄骨梁取り付け

写真３　PCa 板取り付け

写真４　ALC 板搬入

表２　作業サイクルの短縮および省力効果

項　　目	在来工法	誘導装置	改善効果（在来工法を 100 とした）
梁鉄骨の旋回時間	40 秒	0 秒	（吊荷巻上時間内に終了）
梁鉄骨の引き寄せ時間	20 秒	10 秒	50　（時間の短縮）
梁鉄骨の取り付け時間	8 分 30 秒	7 分 30 秒	88.2　（時間の短縮）
梁鉄骨取り付けのための人工数	6 人	5 人	83.3　（労務の低減）
壁 PCa 板の旋回時間	30 秒	5 秒	16.6　（時間の短縮）
壁 PCa 板の引き寄せ時間	15 秒	10 秒	66.6　（時間の短縮）
壁 PCa 板取り付けのための人工数	6 人	5 人	83.3　（労務の低減）
開口部からの長尺物搬入時間	15 分	10 分	66.6　（連層開口８フロアー）
開口部からの長尺物搬入人工数	6 人	4 人	66.6　（労務の低減）

（4）開口部からの長尺資材搬入で、連層した開口部の資材通過にも介錯ロープが不用になり、資材搬入のための作業員を６名から４名に削減できた。

４．まとめ

以上から、本装置が鉄骨梁取付、PCa 板取付および長尺資材の開口部搬入等において、安全性、作業性、経済性の点から、現在主流である介錯ロープを用いた吊荷誘導方法に比べ、優れていることが確認された。今後の課題としては、さらなる軽量化、自動化、安全性向上があげられる。また、作業範囲の拡大として小型のタワークレーンや移動式クレーンへの導入も検討している。

52. TBMの自動掘削と合理的な施工管理システム

電源開発㈱： 青木　和浩
㈱奥村組：*中山　隆義，鎌野　　等
井上　　哲

1．はじめに

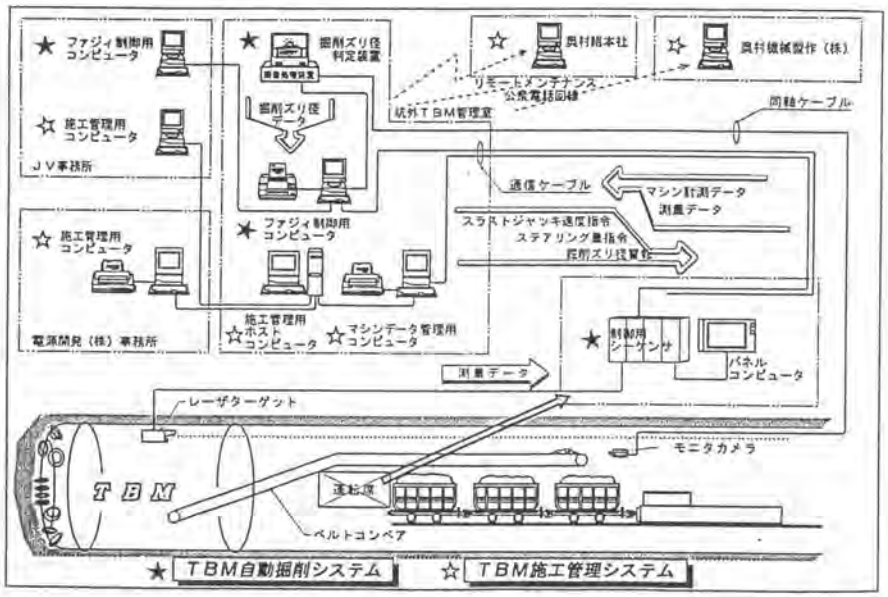
近年ＴＢＭ工法は需要が増加し、その用途も、水力発電用水路、大断面トンネルの導坑、上下水道用トンネル掘削等、多岐に及んでいる。これは，①ＴＢＭが幅広い地質条件に適合するように改良されてきたこと、②支保・ずり搬出や切羽前方探査技術等周辺技術が進歩してきたことに起因すると考えられる。今回、さらなるＴＢＭ工法の効率化を目指して、方向制御の自動化と地山状況に適合する掘進制御の自動化ならびにこれらの施工管理システムの実証施工を徳島県阿南市の地中電線路築造工事で実施した。

ＴＢＭの自動掘削システムは掘削中のマシンの挙動、地山の状態を常に把握しながらファジィ推論を用いて掘削・方向制御作業を自動的に行うが、今回パソコンネットワークを利用した施工管理システムと統合することにより、より合理的な施工が可能になった。

2．システムの概要

2.1 システムの構成

今回実用化したシステムは、ＴＢＭ自動掘削システムとパソコンネットワークを使用した施工管理システムから構成されている。図－１に実用化したシステムの概要を示す。



図－１　システム概要図

2.2　ＴＢＭ自動掘削システム（図－１参照）

ａ．自動方向制御システム

・本システムは、坑内に設置したレーザ発振器及びＴＢＭ本体に取り付けた受光装置より検出されるＴＢＭの位置、方向角をもとにファジィ制御により方向制御を行う。

・カッタヘッドに連結したメインビームを上下、左右に操作する事により、ＴＢＭのカッタヘッド中心を基線に一致するように制御する。

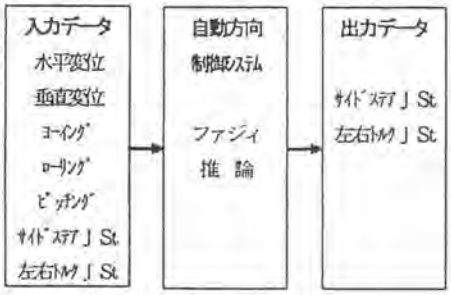
・ＴＢＭのローリングはトルクシリンダ操作により自動修正を行う。

・ＴＢＭの方向制御間隔は任意に設定可能である（今回は掘進ストローク6cmごとに実施）。

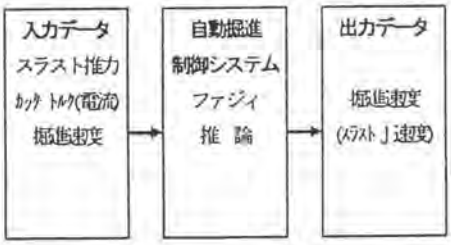
図－２に自動方向制御ファジィ推論の概要を示す。

ｂ．自動掘進制御システム

掘進中のカッタトルク値・スラスト推力を検出して、掘進速度を最適値に制御する。切羽岩盤の状態にあわせて、掘進速度を制御することにより、カッタに加わる荷重を適正に保持しながら掘進する。これにより、効率的な掘削が可能になるとともに、カッタリングの異常摩耗を無くし、カッタライフを長くする。図－３に自動掘進制御ファジィ推論の概要を示す。



図－２　自動方向制御ファジィ推論概要

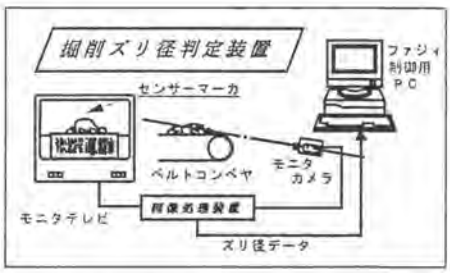


図－３　自動掘進制御ファジィ推論概要

ｃ．掘削ずり径判定システム

ずり搬出用ベルトコンベヤ終端上の掘削ずりを監視カメラで捉え、画像処理する事によって、排出されるずりの大塊の出現個数を定量的な情報として得るシステムである。また掘削ずりの状況を定量的に捉えることができるため、掘削中の切羽地山の変化（亀裂の多少、崩壊性の有無）に迅速な対応が可能となる。

図－４に掘削ずり径判定システムを示す。



図－４　掘削ずり径判定システム

2.3　ＴＢＭ施工管理システム　（図－１参照）

ａ．リアルタイムモニタ機能

ＴＢＭ掘削中のデータ（方向制御、掘進制御、マシンの負荷、ずり径等）を同一画面上に、グラフとして表示する。また、１ストローク掘削完了時に掘削記録を自動作成する。

b．掘削情報ネットワーク機能

ＴＢＭの掘進情報を電話回線を用いて、中央管理室、施工者事務所、発注者事務所等の必要カ所からモニタリングできるシステムを構築し、情報の共有化が可能である。

c．リモートメンテナンス機能

電話回線を使用し、ＴＢＭ制御用コンピュータ（現場設置）と本社及び自動制御システム管理業者のコンピュータを接続する。このことにより、制御システムの作動状況の確認や、制御ルールの入力・変更、トラブル時の原因究明、処置を遠隔地より行える。

３．実証施工

3.1 工事概要

発 注 者：電源開発株式会社 、工事名：阿南紀北直流幹線（地中線）新設工事

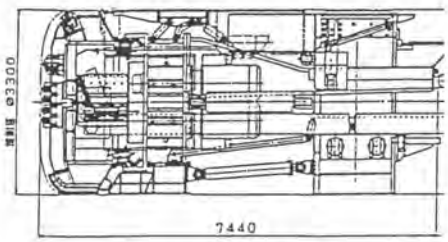
施工場所：徳島県阿南市、　　工　期：平成７年１２月１１日～平成１０ 年３月１５日

工事内容：ＴＢＭ掘削による地中電線路築造工事、掘削径φ3.3m、延長1,716m（ＴＢＭ施工区間）

地質は砂岩と頁岩から形成され、一軸圧縮強度は、平均650kgf/cm^2、最大1,200kgf/cm^{2}程度である。使用するＴＢＭはオープンタイプ（電源開発株式会社所有）で、以前に本四連系線地中線洞道の掘削（2,731m）に使用されたものの転用である。本工事への適用に当たり、カッタヘッド等の主要構造部、駆動・油圧・制御系統等に必要な整備・改造が実施されている。 ＴＢＭの仕様を表－１に示す。

表－１　ＴＢＭ本体仕様

形　　式		小松ＴＧ330－3
カッタヘッド	掘削径	3,300 mm
	回転トルク	55.7 t-m
	回転数	8.3 rpm
	カッタ径×数量	15.5 in × 22
推 進 装 置	掘進ストローク	1,200 mm
	推進力	500 t
本体支持装置	クランピング方式	グリッパ式
	クランピング径	3,300 mm
ズリ搬出装置	形式	ベルトコンベヤ
	搬出能力	140 t/h
	ベルト幅	500 mm



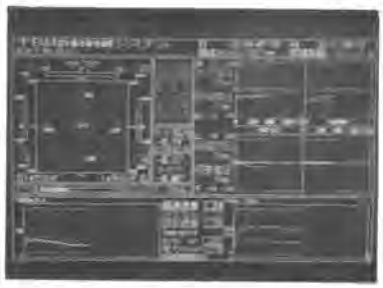
図－５　ＴＢＭ構造図

3.2 適用結果と考察

3.2.1　ＴＢＭ自動掘削システム

システムの稼働状況を写真－１に、表示画面を写真－２に示す。

写真－１ システム稼働状況

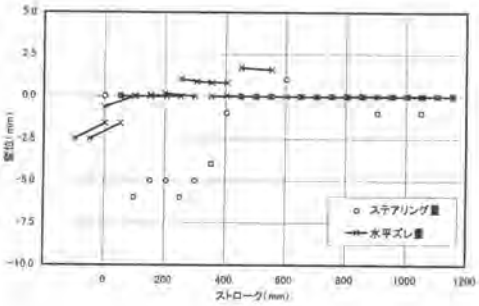


写真－２ システム表示画面

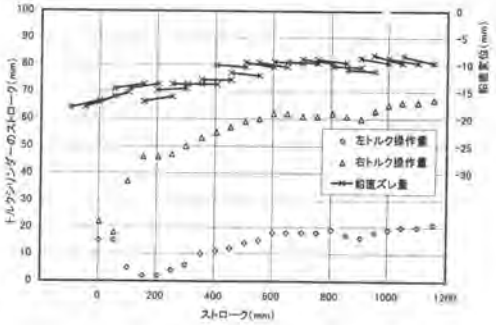
a．自動方向制御システム

①方向制御結果

図－6、図－7に1ストローク掘進する間（1,200mm）の水平及び鉛直方向の代表的な制御パターンを示す。 水平、鉛直方向とも、基線に対するＴＢＭの変位と方向角を常時検知し、ファジィ制御により、ステアリング用シリンダを適正に操作している。



図－6　水平方向制御結果



図－7　鉛直方向制御結果

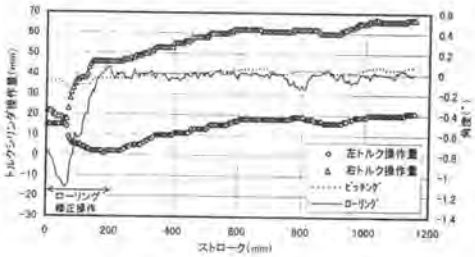
水平方向制御では、掘進開始時は盛替えの関係から、ＴＢＭの位置が右にずれていたが、すぐに修正し、基線に一致するように制御し、後半では、位置、方向ともずれ量ゼロで制御している。

鉛直方向制御では、掘進開始時の－17mm程度のずれ量を左右のトルクシリンダを操作して、徐々に基線に近づけている。 後半では、ずれ量が小さくなった（－10mm）と判断して、無理にゼロに近づけず、マシンの方向を重視して、基線に平行にしようとしている（特に基線付近の姿勢制御は、ＴＢＭの方向角を重視している）。

②自動ローリング修正

図－8に同一ストロークにおける自動ローリング修正結果を示す。

掘進開始時に、盛替え作業で発生したローリング角度を検知し、掘進ストローク200mmまで左右のトルクシリンダを操作して、ローリング角度を－1度から、ほぼ0度に修正している。この時、ＴＢＭのピッチングは、ほとんど変化していない。



図－8　自動ローリング修正結果

b．自動掘進制御システム

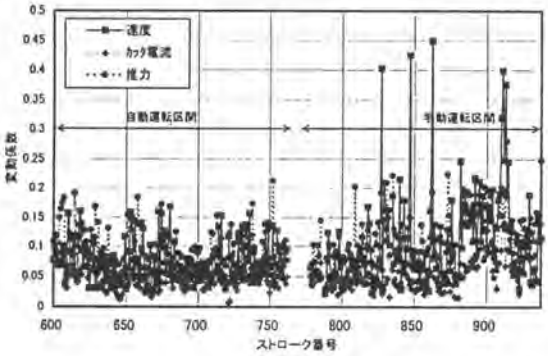
①自動掘進と手動掘進のデータ比較

図－9に自動掘進と手動掘進の各データの変動率を示す。

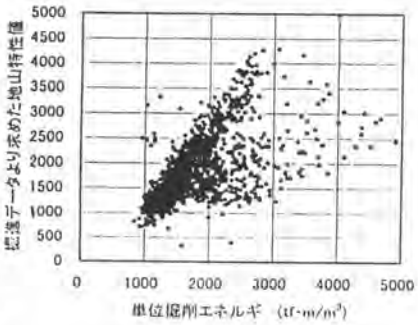
自動掘進においては、ＴＢＭの負荷に応じて掘進速度を制御した結果、手動掘進に比べて、推力、カッタ電流、速度とも変動が少なく、安定した掘削を行っている。

②自動及び手動掘進における掘削エネルギの比較

図－１０、図－１１、図－１２に地山特性に対する、単位掘削エネルギを示す。



図－９ 自動、手動掘進データ変動率

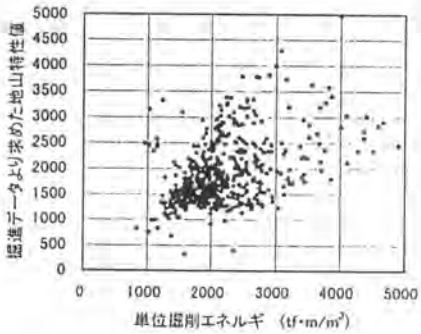


＊地山特性値；岩盤強度、亀裂数等に依存する常数

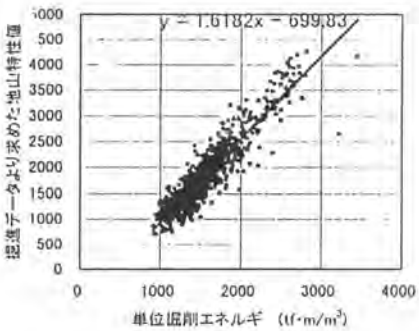
(Sanioの理論式より引用)

＊単位掘削エネルギ；１㎥掘削に要したエネルギ

図－１０ 単位掘削エネルギ（自動、手動混合）



図－１１ 単位掘削エネルギ（手動掘進）



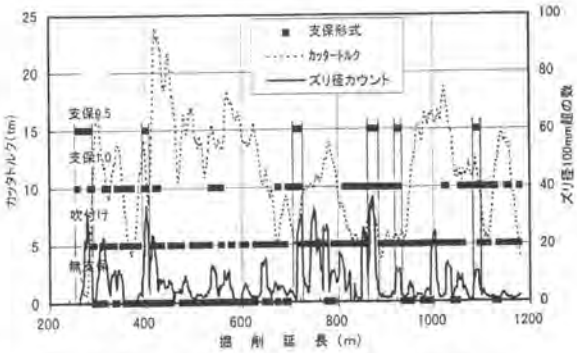
図－１２単位掘削エネルギ（自動掘進）

縦軸に示す地山特性値は地山の状況を反映しており、手動掘進の場合では、同じ地山を掘削するのに要したエネルギが大きくばらついている。 一方、自動掘進の場合に見られる地山特性値と単位掘削エネルギの強い相関（相関係数＝０．９）は、ＴＢＭの負荷（スラスト、カッタトルク値）を地山の状況に対して、適正に保つべく掘進速度を自動制御したことを示している。また、効率的で安定した掘削は、切羽崩壊の防止、負荷の適正化によるカッタライフの延長、消費電力量の低減に寄与しているものと考えられる。

ｃ．掘削ずり径判定システム

写真－３に稼働中のずり径判定システムを、図－１３にずり径と支保パターンの関係を示す。

写真－３　稼働中のずり径判定システム



図－１３　掘削ずり径と支保パターンの関係

図－１３は、100mmをオーバーした大塊の出現個数をグラフ化している。ずり径グラフのピークとリング支保間隔0.5m（地山崩壊多発区間）を施工した位置が概ね一致しており、崩壊性の地山を掘削する場合に、大塊がベルトコンベヤで搬出されたことを示している。また、大塊が多い区間とカッタトルクが小さい区間が一致する区間が多く、地山強度とずり径データの間に何らかの相関関係があることが分かる。このことは、本システムが、掘削と同時に切羽地山の崩壊性や亀裂の情報を定量的に提供できる可能性を示している。

3.2.2　ＴＢＭ施工管理システム

ａ．リアルタイムモニタ機能；掘進データ及びＴＢＭずれ量を常に把握することが可能になり、施工管理の精度向上に寄与できた。

ｂ．掘削情報ネットワーク機能；現場，施工者事務所，発注者事務所間（電源開発株式会社で導入された管理システムとリンク）の掘削情報ネットワーク機能により、リアルタイムな情報の共有化が可能となり、共通した認識に基づいた迅速な指示、対応が可能となった。

ｃ．リモートメンテナンス機能；（株）奥村組本社及び奥村機械製作（株）のコンピュータから、自動掘進状況の確認及び制御ルールの変更等が実施できた。この結果、ＴＢＭの稼働状態に合わせた迅速な対応が可能となり、また、制御回路等のトラブル原因の究明にも大きく寄与した。

４．おわりに

今回の実証施工の結果、ＴＢＭ掘削における本システムの実用性を確認できた。

この成果を広く水平展開し、より厳しいＴＢＭの施工条件（長距離・急速施工用ＴＢＭ、急勾配斜坑施工用ＴＢＭ、複合地盤施工用ＴＢＭ、等）に対して適用していきたいと考えている。

最後に、本システムの開発・実用化に御指導、御協力をいただいた関係各位に感謝の意を表するとともに、本報告が今後のＴＢＭ施工合理化の一助となれば幸いである。

＜参考文献＞１）中山隆義、井上哲、背野康英：ＴＢＭ全自動掘削システム、第１３回国際建設ロボットシンポジウム概要集、　Ｈ８年６月

２）吉村豊、小菅正敏、青木和浩：ネットワークを利用したＴＢＭ施工の合理化、電力土木、　Ｈ９年３月

53.　透光性遮音清掃機械の開発

建設省関東技術事務所：小笠原　保，*岩崎　辰志

1．はじめに

近年、一般国道において隣接地域への日照の確保や走行中の景観を考慮し、透光性遮音壁が設置されてきているが、排気ガスや粉塵の付着によって透光性能が劣化してしまうため、清掃作業を行う必要がある。

建設省関東地方建設局横浜国道工事事務所管内の国道１号線戸塚地区（以下「戸塚地区」という。）においても、鉛直タイプの透光性遮音壁が設置され清掃作業が行われている。この清掃作業は夜間に１車線規制を行い、リフト車等を使用して人力によって実施されている。作業は作業効率が悪い、危険な作業であること及び、交通の流れに与える影響が大きいなどの問題点が存在していた。

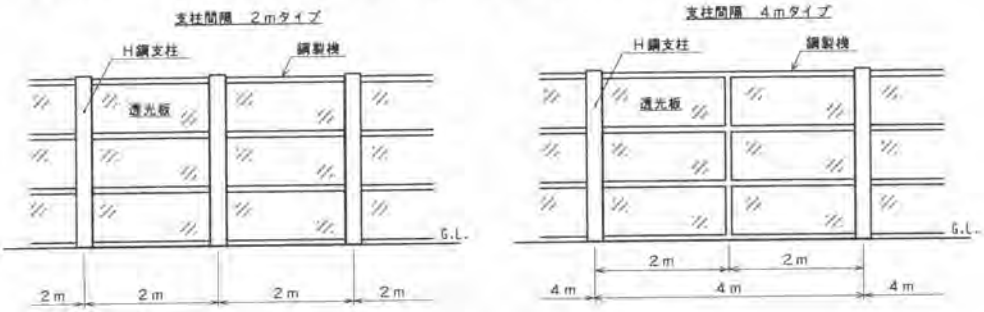
本機は、この戸塚地区に設置されている鉛直タイプの透光性遮音壁を、車線規制せずに両面を安全に同時清掃できる清掃機械であり、作業員の危険・苦渋作業からの解放と作業効率の改善を目標として開発を行ったものである。

2．透光性遮音壁の設置状況

戸塚地区では上り車線側に延長約５１２ｍ、面積１６１２㎡の透光性遮音壁が設置されている。

写真－１　透光性遮音壁設置状況

設置されている遮音壁はH鋼を支柱とした鉛直タイプのものであり、支柱間隔は2mと4mの2タイプとなっている。透光板は縦1m×横2mのものを鋼製の桟で固定しており支柱間隔が4mタイプのものは中間の2m部分に鋼製の桟が存在する。更に、高さが3m、3．5m、4m、4．5m、5mとありその設置パターンは多様である。

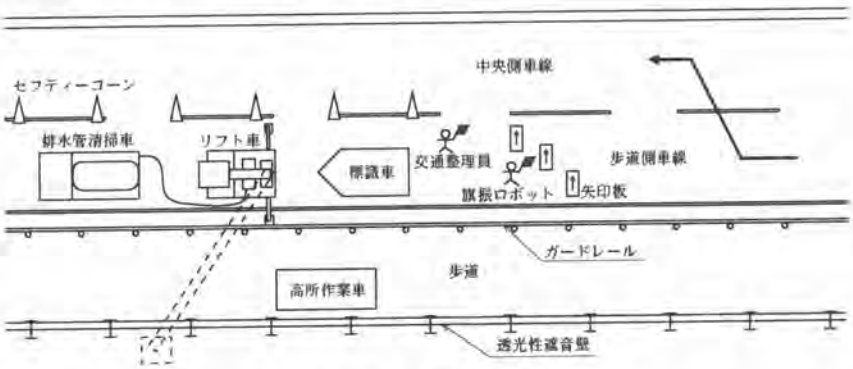


図－1 透光性遮音壁概略図

3．従来の清掃方法と問題点

(1) 清掃方法

夜間に上り車線の歩道側1車線を規制し、排水管清掃車、リフト車、高所作業車などを用い人力作業で遮音壁の両側を清掃している。



図－2 現状の作業方法

(2) 問題点

①清掃は全て人力による作業のため、作業効率が悪い。

②1車線規制が必要であり、交通流への阻害が大である。

③リフト車、高所作業車に搭乗して高所及び裏側を清掃するため危険である。

④リフト車のバケット操作に熟練が必要である。

⑤リフト車のアウトリガーが走行車線近くまで張り出して、危険である。

⑥洗浄は高圧水を使用しているため、歩道や裏側の方面に散水・飛散する。

4．清掃機械の開発コンセプト

遮音壁の設置状況と従来の清掃方法の問題点から開発した清掃機械のコンセプトをまとめると次のようになる。

(1) 走行車線を使用せず、歩道上から作業ができる。

作業時に走行車線を解放し交通流の阻害をなくすとともに、作業及び通行車両の安全性向上を図る。

(2) 作業員の高所作業を必要としない安全な機構である。

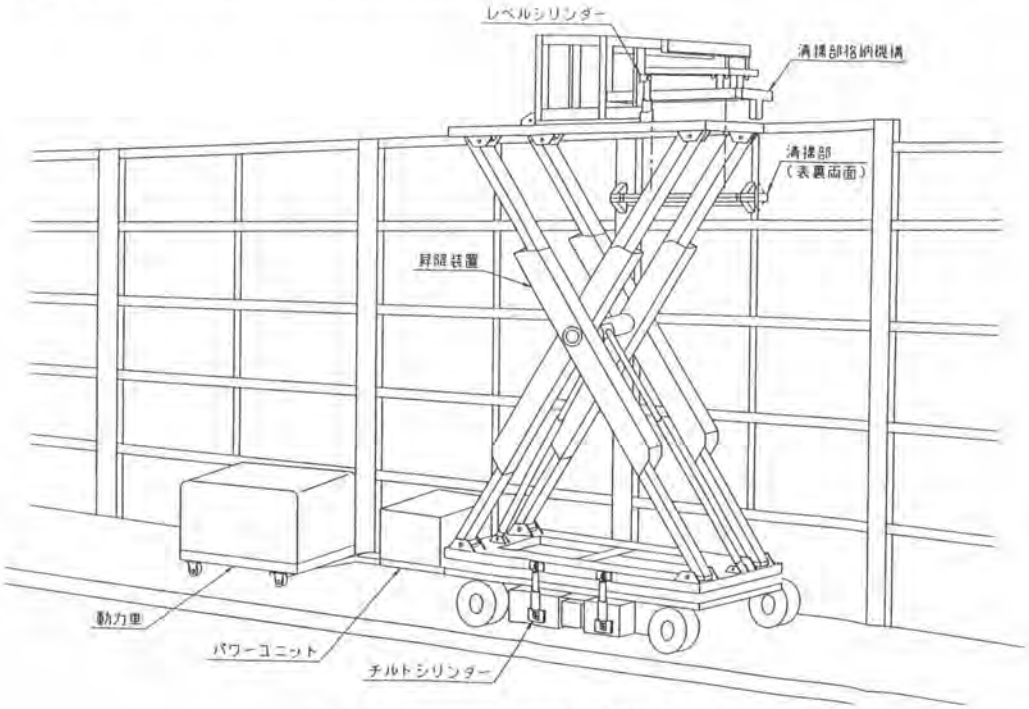
高所作業をなくし、危険・苦渋作業から作業員の解放を成し遂げる。

(3) 両面同時の清掃が可能な作業効率の良い機械。

開発条件の一つとして遮音壁の両面を清掃する必要があり、これを同時に作業することで作業効率の向上を図る。

5．透光性遮音壁清掃機械

開発した透光性遮音壁清掃機械の概略仕様を次に示す。



図－3 透光性遮音壁清掃機械概要図

(1) 性　　能（作業時間6時間／日）

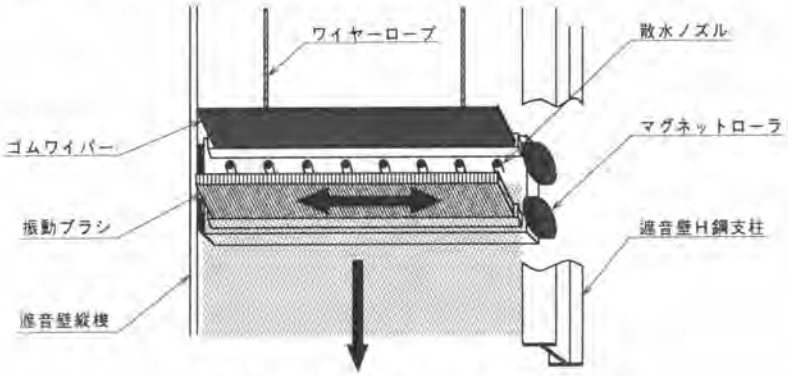
最大清掃面積	670㎡／日－片面：遮音壁高さ5m
	540㎡／日－片面：遮音壁高さ3m
最大清掃高さ	6．7m(歩道上より)
清掃幅	2m
清掃範囲	透光板の両面
清掃方法	両面同時

(2) 主要諸元

全長	8，200mm
全幅	1，700mm
全高	8，350mm：最大
	2，800mm：格納時
総重量	5，300kg

(3) 清掃装置

清掃方式	湿式振動ブラシ（ナイロン）式
水切り方式	ゴムワイパー
ブラシ振動数	4Hz
ブラシ振動幅	45mm
清掃（下降）速度	6．0m/min
散水量	0．2L/㎡



図－4 清掃部概略図

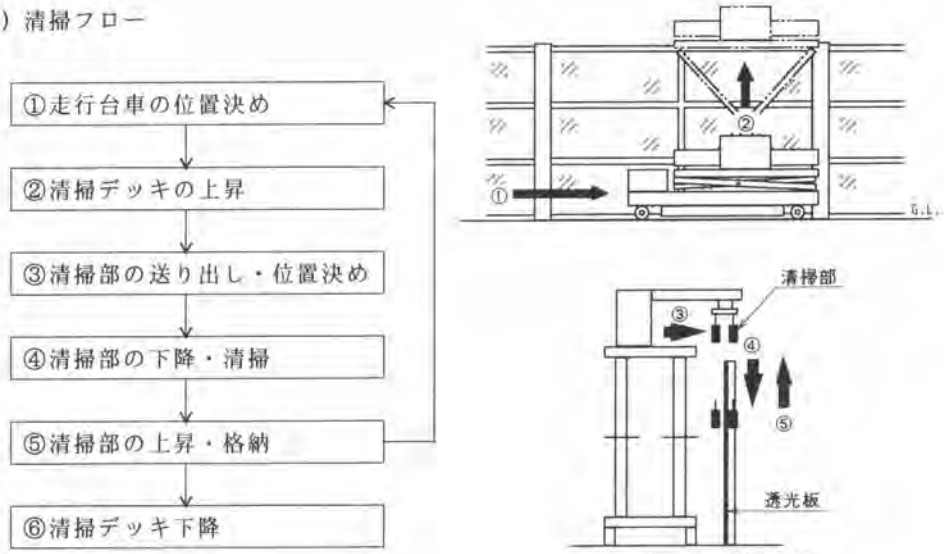
(4) 走行台車

機関	空冷ガソリンエンジン／11PS
動力伝達装置	油圧ポンプ／油圧シリンダ／油圧モータ

(5) 動力台車

発動発電機	ガソリンエンジン発電機／4．3KVA

(6) 清掃フロー



図－5 清掃フロー

(7) 操作制御方法

本機の操作制御は自動・半自動・手動操作の3通りで、任意に切替え可能とし各制御内容は次のとおりである。

自動操作　：オペレータによる操作を必要とせず、すべて、初期設定された項目に従い、センサー類による判別で装置は制御され、順次決められた動作を繰り返し行う。

半自動操作：一連動作の各段階において設定位置まで自動で作動し停止後、微調整等をオペレーターがセンサー、監視カメラ等からの情報を基に操作し、オペレーターの確認指令を受けて次の段階動作を開始する。

手動操作　：目視および監視カメラによりすべてオペレータの操作で装置を動作させる。

表－1　項目別制御区分

装置名	動作項目	自動	半自動	手動
清掃装置	清掃面位置決め		○	○
	清掃 ・ﾌﾞﾗｼ・ﾜｲﾊﾟｰ下降 ・ﾌﾞﾗｼ振動 ・ﾜｲﾊﾟｰ機能 ・ﾌﾞﾗｼ・ﾜｲﾊﾟｰ退避機能	○		○
	清掃装置格納	○		○
走行台車	歩道上移動			○
	歩道位置決め			○
	清掃装置水平調整			○
	清掃装置昇降機能		○	○
動力車	動力供給			○

6．機械化による効果予測

遮音壁の清掃を機械化することによる従来の人力清掃作業からの改善点は表－２に示すとおりである。

表－２　機械化による効果

<table>
<tr><th colspan="3">項　　目</th><th>現　　状</th><th>機　械　化　後</th></tr>
<tr><td rowspan="3">作業方法</td><td rowspan="2">内側</td><td>０ｍ～２ｍ</td><td>３名による歩道からの散水とﾊﾝﾄﾞﾜｲﾊﾟｰでの水切。</td><td rowspan="3">歩道から0.5m以上は機械清掃により省力化。

清掃機械搬出入時以外は車線規制を必要としない。</td></tr>
<tr><td>２ｍ～５ｍ</td><td>３名による高所作業車(歩道上)からの散水とﾊﾝﾄﾞﾜｲﾊﾟｰでの水切。
１車線規制が必要。</td></tr>
<tr><td>外側</td><td>１ｍ～５ｍ</td><td>２名がﾘﾌﾄ車に搭乗し高圧水の放射とｽﾎﾟﾝｼﾞでの拭き取り
１車線規制が必要。</td></tr>
<tr><td colspan="3">作業員数</td><td>８　名</td><td>５　名</td></tr>
<tr><td rowspan="2">能率</td><td colspan="2">高さ５ｍ</td><td>２０ｍ/ｈ（１２０ｍ/日）</td><td>２６ｍ/ｈ（１５６ｍ/日）</td></tr>
<tr><td colspan="2">高さ３ｍ</td><td>２４ｍ/ｈ（１４４ｍ/日）</td><td>３５ｍ/ｈ（２１０ｍ/日）</td></tr>
<tr><td colspan="3">作業コスト</td><td>１．０</td><td>０．６</td></tr>
</table>

7．おわりに

本課題は平成６年～平成８年の３ヶ年で検討を進めてきた結果、清掃機械の仕様書及び詳細図の作成を完了し、平成９年度に清掃機械の製造を行い、平成１０年度に戸塚地区での透光性遮音壁清掃作業に導入する予定である。これにより作業員の危険・苦渋作業からの解放を成し遂げ、作業効率の向上ができるとともに、交通流への影響を少なくできると思われる。

最後に本業務に携わっていただいた関係者各位の方々には多大なるご支援をしていただき、感謝の意をここに記す。

54.　多自然型護岸施工機械の開発

建設省関東技術事務所：太田　　宏，*竹内　孝之
㈱神戸製鋼所：芦田　恵樹

1．はじめに

近年、河川をとりまく社会の状況が大きく変化し、河川は山と海を結ぶ水と緑豊かなネットワークあるいは自然空間として見直されつつあり、護岸も単に浸食から河岸を守るだけでなくより自然に近いものが求められている。これに応えて河川事業においてもコンクリート護岸に替えて、連節ブロック工法・かごマット工法・法覆い工法などの多自然型護岸工法が積極的に採用されてきている。しかし一方で、これらの工法には次のような課題がある。

①施工時に、場合によっては自然の河岸に人工の手を加える。

②施工時の仮締切が必要となり、出水期の施工ができない。

③人手を多く必要とし、工期が長くなる。

これらを踏まえて、自然の河岸に手を加えることなく河岸に沿って地中に連続したソイルセメントの傾斜壁を「控え護岸」として造成する工法を開発した。完成護岸のイメージを図－１に示すが、自然の護岸がそのまま保存されて良好な河川環境の創出が可能である。

本報告は、平成７年度と平成８年度に実施した多自然型護岸施工機械による試験施工の結果についてとりまとめたものである。

2．工法の概要

ソイルセメント地中連続壁工法には、柱列式工法およびチェーンカッタを用いた横方向連続掘削工法（ＴＲＤ工法）があるが、これらの工法の特性を比較し、以下の特長からＴＲＤ工法を応用して、傾斜した地中連続壁の造成が可能なように改造した。

①壁の連続性が高い。

②深さ方向に均質である。

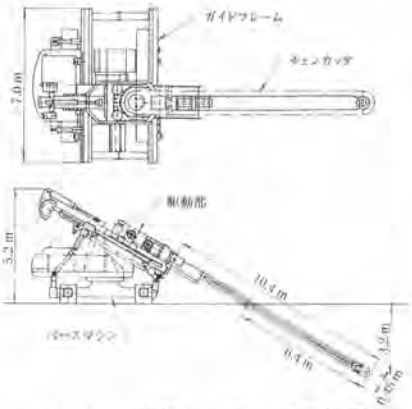
③掘削能力が高い。

④低頭で装置の安定性が高い。

図－１　完成護岸のイメージ

ＴＲＤ工法は、チェンソー型カッタ（掘削・攪拌装置）を必要な深度まで貫入し、そのまま横行させてソイルセメントの連続壁を造成するものである。従来のＴＲＤ工法は鉛直方向に壁を造成するものであったが、この連続壁を控え護岸として機能させるため、壁面前部の土が浸食された場合の前面への倒壊を考慮して、連続壁を傾斜させて造成すること

としたもので、試験施工に使用した装置は図－２に示すものである。ソイルセメント連続壁の造成は、カッタで傾斜溝を掘削しながら同時に固化材を注入・混合し溝壁を保持するものであり、図－３に示すとおり河岸に手を加えることなしに施工が可能である。



図－２ 試験施工用装置の概要

図－３ 施工のイメージ

本工法の特長をまとめると以下となる。

①自然の河岸に手を加えないで、地中に控え護岸が構築できる。

②仮締切が不要であり、通年施工が可能である。これにより建設費の縮減が図れる。

③河岸に手を加えないため河川の汚濁がない。

④労働者の不足、高齢化、未熟練に対応した機械化施工である。

３．試験施工

(1)試験内容

本工法の施工性を確認するため、利根川水系小貝川の河岸にて、これまで２回に分けて試験施工を実施した。施工中の状況を写真－１に示す。

共通試験条件として造成する壁の長さは6.5m、厚さは450ｍｍで施工を行った。

施工現場の土質については、図－４に示すとおり砂層で構成され地下水位が高い。

第一回目の試験施工の目的としては傾斜した地中連続壁の施工が可能か確認することであり、以下の各項目について確認するための試験施工を行った。

(a)傾斜角度　　：傾斜連続壁造成の可否及び角度の違いによる施工性

(b)固化材配合量　：固化材配合量と壁強度

(c)カッタ進行速度：カッタ進行速度と壁強度

第二回目の試験施工は、護岸への適用範囲を検討するために、以下の各項目について確認するための試験施工を行った。このときの施工平面図を図－５に示す。

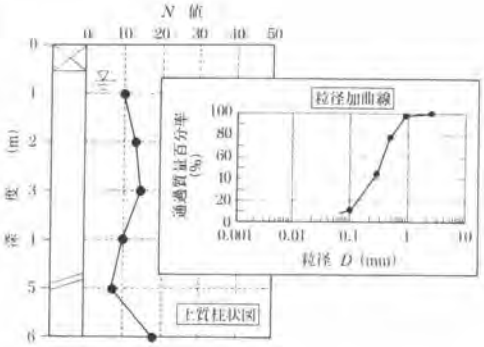
(d)強度向上　　：設計強度としてqu＝100kgf/cm²を目標とした生コン混合

(e)鉄筋等挿入　　：補強材としての鉄筋、金網等の挿入

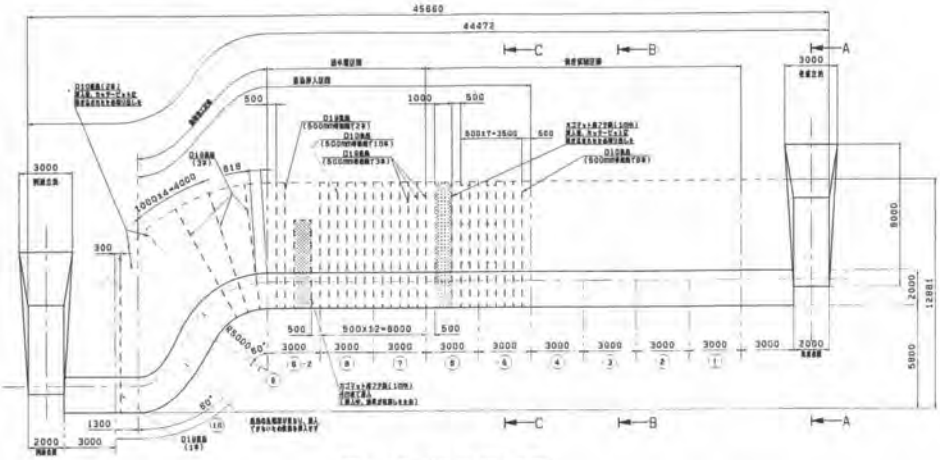
(f)透水性　　：腐食材混入による透水性確保

(g)曲線施工　　：凹凸部の施工性

写真－1 施工の状況



図－4 土質の概要



図－5 施工平面図

2回の試験施工についてそれぞれの試験ケースをまとめたものを表－1と表－2に示す。

表－1 試験条件Ⅰ

	施工条件			固化液条件				
	進行速度 (mm/min)	施工距離 (m)	傾斜角 (°)	固化液比重	水固化材比* (%)	配合量** (kg/m³)	流量 (L/min)	固化液土比*** (%)
試施 No. 1	100	5	30	1.50	100	444	170	59
2	100	5	30	1.56	80	537	174	60
3	100	5	30	1.34	150	416	219	76
4	100	5	30	1.27	200	334	225	77
5	200	5	30	1.47	100	375	287	49
6	50	5	30	1.46	100	685	131	90
7	100	5	30	1.45	100	468	179	62
8	100	5	40	1.51	100	375	168	49
9	100	5	40	1.37	150	394	177	52
10	200	5	40	1.50	100	405	363	53

*水固化材比は，固化液における固化材に対する水の割合（重量化）
**配合量は，原位置土1 m³あたりの固化材混合量
***固化液土比は，原位置土に対する混合固化液の割合（体積比）

表－2 試験条件II

No.	配合条件			実投入量			撹拌条件	備考
	生コン体積%	廃食材体積%	添加材 kg/m³	生コン体積(%)	セメントスラリー体積(%)	セメント(kg/m³)	カッタ進行(mm/min)	
①	70	—	—	75.4	87.7	784.0	100	
②	85	—	—	88.0	56.2	661.1	100	
③	55	—	—	62.8	56.4	561.4	100	
④	70	—	—	75.4	56.2	610.7	200	
⑤	70	—	—	75.4	68.9	680.6	50	
⑥	70	—	—	75.4	62.6	645.9	100	①と同一
⑦	70	10	—	75.4	56.3	611.3	100	多孔質A
⑧	70	—	1.0	75.4	63.0	648.1	100	多孔質B
⑥	70	—	—	75.4	62.8	647.0	100	①と同一
⑨	70	—	—	71.9	50.3	564.3	100	R5凸曲線
⑩	70	—	—	50.4	61.0	537.1	100	R5凹曲線

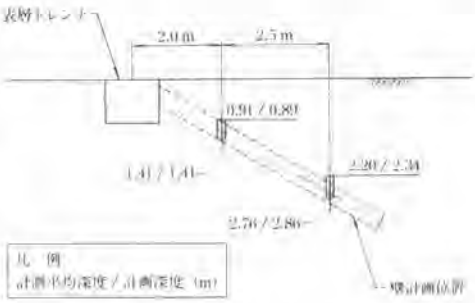
＊配合および投入量は、原位置土に対する比率を示す。
＊区間⑩は、計画曲率での施工が不能であった。
＊セメント配合量は、生コン；400kg/m³、セメントスラリー；550kg/m³

(2)試験結果

(a)傾斜角度

試験施工現場の土質が砂質で地下水位が高いため、施工時の溝壁の崩壊が懸念されたが、連続して固化材を注入しかつ掘削、撹拌土を地中に巻き込む方向でチェーンを回転させることによって、原位置土を排出せず溝内を高比重に保って施工を行った。これにより懸念された溝壁の崩壊はなかった。

図－6は、試験施工で造成した壁の位置を事後のサンプリングにより調査し、計画と対比したものである。図によると、所定の厚さの壁体をほぼ計画位置に造成することが確認できた。壁の位置の精度に関して、また壁の均質性に関しても傾斜角度の違いによる影響はみられず、鉛直から俯角30度までの範囲では、壁の品質に対して傾斜角度の影響はないと思われる。



図－6 壁形状の計測結果

また、施工機械の部材に働く応力は鉛直施工時と変わらないため、本機械では長さ12mまでの施工が可能であることが確認できた。

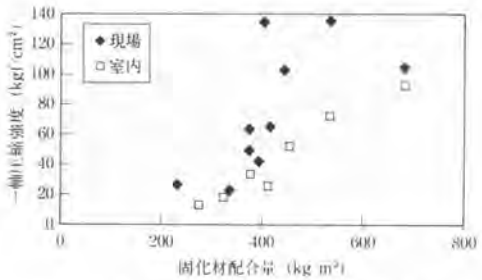
(b)固化材配合量

図－7に固化材配合量と一軸圧縮強度の関係を示す。なお「室内」は試験施工に先立って行われた室内配合試験の、「現場」は試験施工後のサンプリング調査によって得られたデータである。データによると、配合量に対応した強度が得られており、また均質な砂質であったことからソイルセメントとしては大きめの強度となっている。なお、「現場」のほうが「室内」よりも強度が大きくなる理由としては、通常のソイルセメントと同様に次のことがあげられる。

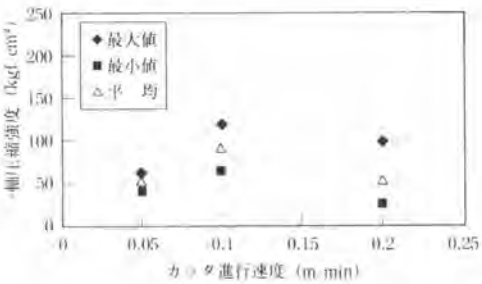
①小型のモールドで作成した供試体は、十分な土粒子の再配列や圧密が起こらないまま凝固する。

②現場では、固化中の周辺地盤からの拘束圧力が大きい。

③固化によって生じる余剰水が、室内試験で考慮するよりも多く周辺地盤に散逸し、水セメント比が改善される。



図－7 固化材配合量と強度の関係



図－8 カッタ進行速度と強度の関係

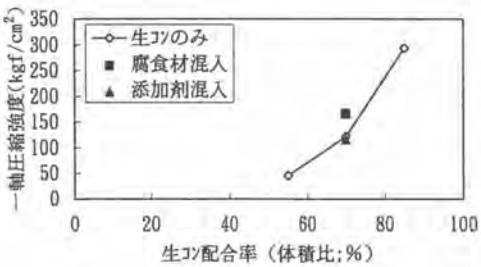
(c)カッタ進行速度

図－8にカッタの進行速度と壁強度の関係を示す。一軸圧縮強度は、配合量を400kg/㎥に換算して比較している。カッタの進行速度は、固化材と原位置土の攪拌混合性に影響し、速度が遅いほど攪拌混合時間が長いことになる。データからは進行速度を上げることによって、各条件内でのばらつきが大きくなる傾向が見られ、攪拌混合時間が壁の均質性に影響することが推察される。

(d)強度向上

設計強度としてqu＝100kgf/c㎡を得るには、通常のセメントミルクだけでは達成が困難であるため、セメントミルクに加えて生コンを投入して施工を行ったものである。

「現場」の強度試験は現時点で行っていないため、室内配合試験結果のみを図－9に示す。生コン配合に対応した強度発現傾向があり、70％程度の配合でqu＝100kgf/c㎡が達成されている。壁体の透水性確保を目的とした腐食材混入時の強度は腐食材（ココピート）が水分を吸収し、水セメント比が改善され強度が大きくなったと思われる。



図－9 室内配合試験結果（28日強度）

写真－2 鉄筋挿入

(e)鉄筋等挿入

D10とD19の鉄筋及び金網を掘削攪拌機（カッタ）を使って挿入することを試みた。施工可否の確認が目的であり、人力で鉄筋のセットを行っているため施工効率は悪いが、鉄筋の挿入は可能であり、金網は不可能であった。実施工に用いるためには施工の効率化が必要である。鉄筋挿入時の写真を写真－2に示す。

(f)透水性

多孔質構造体の造成を目的に腐食材（ココピート）の混入による透水性の違いについて確認試験を行った。「現場」の透水性確認は行っていないが、室内配合試験結果では透水効果は認められなかった。

(g)曲線施工

凹部及び凸部について半径R５ｍの試験施工を行った。凹部施工は不可能であり装置の水平長さ（今回5.5m）以上の半径が必要であると思われる。凸部については可能であったが、方向修正のため装置のもりかえが必要であり、直線部より施工能率は低下している。

(h)多自然型護岸施工機械の施工可能領域

本試験施工により、以下の条件下ではＴＲＤ工法を用いた地中連続壁施工が可能であることが確認できた。

①施工可能壁長さ：約12ｍ

②施工可能壁厚さ：450ｍｍ

③壁傾斜角度：鉛直から水平俯角30度まで

④適用可能土質：粘土～砂

４．今後の課題

本工法を河川護岸として適用していくためには、設計・施工の両面で地中控え護岸の目的・用途などをふまえた最適な手法を確立していく必要がある。現時点では収集したデータも少なく施工面に対しては、以下の検討課題が残されている。

①壁の強度、均質性に対する土質、固化材配合量、カッタ進行速度の影響を調査し、目標強度を得るために最適な施工方法を確立する。

②鉄筋等芯材を効率的に挿入する手法を開発する。

③透水性が求められる場所で透水性を確保する手段を開発する。

④壁体の耐久性・経年変化を確認する。

５．おわりに

試験施工の結果、本工法による地中控え護岸の造成が実現可能であることが確認できた。自然環境を重視する社会状況に合わせて、今後広く展開を図っていきたい。そのためには設計面・施工管理面での理論・手法の確立も必要となってくるが、このためにも試験施工を実施して、データを積み重ねていくことが必要であり、今年度は土質条件の違いによる影響把握、鉄筋挿入手法の確立を重点として開発を進めたいと考えている。

今後共、関係各位のご指導・ご協力をお願いする次第である。

55.　全天候型自動ビル建設システムの改良と適用例

前田建設工業㈱：*秋山　直一，後藤　泰三
仁ノ平　栄，白石　正勇

1．はじめに

近年、日本の建設産業は技能労働者の不足や高齢化、労働生産性の低さや景気の低迷を反映した建設コストの削減など多くの問題を抱えている。このような問題を解決するため、当社ではメカトロニクス技術や情報処理技術などを応用し、施工の機械化・自動化を目指す次世代の建設システムとして全天候型自動ビル建設システム（ＭＣＣＳ）を開発した。本工法は１９９２年に東京都千代田区の世界文化社本社ビル新築工事において第１号の実施工を行い、全天候化や自動化による効果を確認した。その施工結果を踏まえシステムに改良改善を加え、さらに新たな装置を導入、しシステムの完成へ向けて開発を行ってきた。１９９６年に改良改善を加えたシステムを、第２号物件として東京都港区の三田共同ビル新築工事に適用した。

本報では改良改善を加えたシステム、三田共同ビルにおける適用概要について述べる。

2．システム概要

2．1　システム構成要素

ＣＦ（クライミングフロア）は最上階の本体鉄骨を利用した上・下弦材および仮設の斜材で構成されており、それらはマスト（上層部本設柱）で支持されている。ＣＦ下部には資材の垂直・水平搬送を行うアクティブクレーン（旋回ジブ式天井クレーン）２基が設置され、各マストにはＣＦをせり上げるクライミング装置が組み込まれている。また、ＣＦ内には各装置を制御するコントロール室が設けられている。これらのシステム全体をシェルターで覆い、全天候化を図っている。また、仕上げ材、設備資材などの垂直・水平搬送を行う自動移載式リフトを設置している。ＭＣＣＳの主な装置構成を図－１に示す。

図－１　装置構成

2．2　システムの改良・改善、機能追加

第１号実施工適用後の改良・改善点、機能追加を以下に示す。

（1）クライミング装置

a）油圧ユニット

マスト下の柱の建方を行う場合、システムの特性上マストを上昇させ、柱を建込みマストを下降させるという作業があり、マスト上昇・下降時間はマスト下鉄骨建方のクリティカルパスになっている。そこで油圧ユニットのポンプ（電動機7.5kw、吐出量45.6ℓ/min）を増設し、マスト上昇速度を0.7m/minを2.45m/minにし、下降速度を0.7m/minを1.20m/minにして、マスト上昇・下降作業のスピードアップを図った。

b）上部フレーム

鉛直ブレース材の取付け角度の調整ができるようにピン構造とし転用性を図った。また、各部のぜい肉を取り去ったり、ガイドローラの縮小化を行い、全体の軽量化を図った。

c）中間フレーム

構造のシンプル化を行い軽量化を図った。また、ジャッキストロークの変更に対応できるような構造とし軽量化を図った。

d）下部フレーム

上フレームと同様に軽量化を図った。

e）キャットウォーク

装置の組立・解体時に仮設足場の組み払し手間を省くために、上部・下部フレームに折り畳み式のキャットウォークを設置した。

（2）アクティブクレーン

a）衝突防止機能の導入

アクティブクレーンの作業範囲内にはマスト、シェルター、ＣＦへの昇降階段などが設置されており、また、２機のアクティブクレーンの作業範囲が重なっているエリアがある。このため、クレーンとマストやクレーン同士の衝突が発生する危険性がある。そこでこのような危険を防ぐために衝突防止機構を導入した。この衝突防止機構はアクティブクレーンから送られてくる位置情報を元に、コンピュータのモニター上にアクティブクレーンの位置を表示し、その周りに停止エリア、減速エリアを設け、その各エリアが障害物や他方のアクティブクレーンと重なり合った時に警報の発令や自動停止を行い、衝突を防止するものである。

b）操作場所の変更

世界文化社では主となる操作は機側で行っていたが、荷取りの様子を確認できないなどの安全上の問題があった。そこで今回はコントロール室で手動・自動運転をできるようにした。なお、機側の無線機では非常停止をかけることができるようにし、安全性の向上を図った。

c）ランウェイガーダの改造

ランウェイガーダとランウェイガーダブラケットの間に吊りビームを設置し、建物寸法の変更に対応できるようにして転用性を図った。また、ランウェイガーダのレールの一部を走行ガーダ上架・解

体用の取外し可能なレールに改造して作業性の向上を図った。さらに、組立・解体の作業性や安全性を高めるため点検歩道を設置した。

d）走行ガーダの改造

トロリー上架・解体のために取外し可能なレールに改造して作業性の向上を図った。また、点検歩道を設置して安全性を高めた。

（3）組立・解体が容易なシェルターの採用

組立・解体時の安全性の向上と作業性の効率化を図ることを目的に、ワイヤーによる吊り下げタイプの構造に変更した。また、シェルター内部で最上階部の外壁取付けをできるようにし、シェルターの解体時には建物が完成した姿を現すようなシェルター支持部の構造とした。

（4）解体用クレーン（JCC-105）の導入

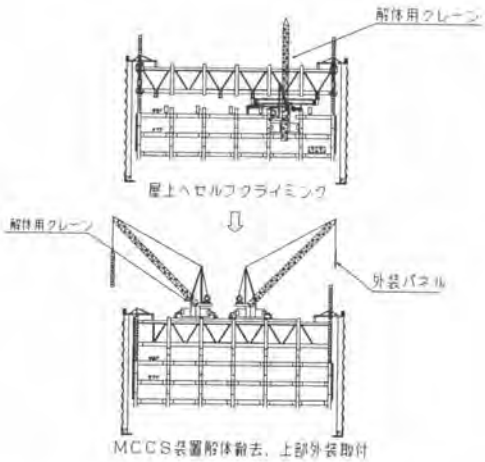
前回の実施工では、システムの解体時に必要なクレーンを地上からトラッククレーンで組立を行ったが、今回はアクティブクレーンを使用して建屋内部で組み立て、ジブをマストとして上昇し、ＣＦの屋上で走行式ジブクレーンとなるクライミング機構を有するクレーンを導入した。その仕様を表－１、組立ステップ図を図－２に示す。

（5）マスト結合装置の採用

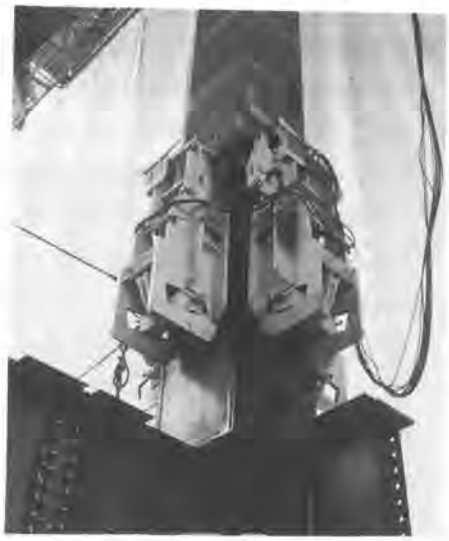
マスト下の柱の建方を行う場合、システムの特性上マストを上昇させ、柱を建込み、マストを下降させ、マストと建込んだ柱を接続させるという作業がある。前回の実施工ではマストとマスト下の柱の接合がエレクションピース方式の高力ボルトによるものとしていたため、接合作業に２０分、払し作業に１５分の時間を要した。さらに一度使用したボルトはスクラップとなっていた。今回は接合作業に５分、払し作業に３分を目標にマスト結合装置を開発し、接合部の機械化と自動化を図った。外観を写真－１に示す。

表－１　解体用クレーンの仕様

定格荷重（t）	8～ 8～ 4
作業半径（m）	5.5～13～20
揚程	最大150 m
巻上速度	60 m/min　2t以下
	20 m/min　8t以下
旋回速度	0.47 rpm
昇降速度	伸　0.9 m/min
	縮　1.4 m/min
走行速度	4.8 m/min



図－２　解体用クレーン組立ステップ図



写真－１マスト結合装置

（6）基準墨墨出しシステムの採用

基準点が常に施工階でレーザースポットによって表示されるように、遠隔レーザーセオドライ、受光装置、レーザー発振器およびトータルステーションで構成した基準墨墨出しシステムを開発し採用した。

3．適用物件

3．1　工事概要

今回のＭＣＣＳを適用した工事概要を表－２、基準階平面図を図－３に示す。

3．2　システムの適用

施工手順ははじめに１階床上でＣＦとなる建物の最上階部を構築し、システムの各装置を取付ける。次にＣＦをクライミング装置により上昇させ，外部養生材であるシェルターを取付ける。次にシェルターによって囲まれた作業空間内で、ＣＦの下部に設置されたアクティブクレーンにより躯体および仕上げ工事を行う。１フロア分の工程終了後、ＣＦを上昇させ次フロアの工程を行う。以降この作業を繰り返す。最後にマストおよびＣＦを本設の構造体として固定し、装置を解体して本システムによる工事を完了する。

（1）クライミングシステム

a）ＣＦ（クライミングフロアー）

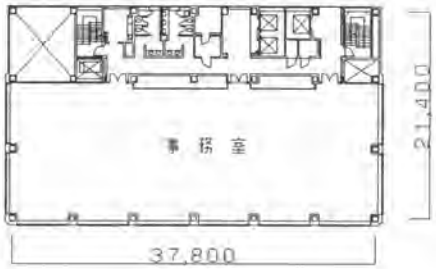
クライミング装置、アクティブクレーン、計測装置およびそれらの制御を行うコントロール室をＣＦに設置している。当工事のＣＦは長辺方向37.8m、短辺方向21.4m、面積808.9㎡であり、鉄骨、装置などの総重量は630ｔであった。

b）クライミング装置

クライミング装置は上部フレーム、油圧ジャッキ、中間フレーム、下部フレームと油圧ユニットからなり、１マストあたり２本の油圧ジャッキを有している。

表－２　工事概要

工事名称	（仮称）三田共同ビル新築工事
建築場所	東京都港区三田２丁目３番地１他
建築主	テプコビルディング株式会社 全国電力関連産業労働組合総連合 毛受　重治
設計者	東電設計株式会社 室町都市設計株式会社
監理者	同上
施工者	前田、戸田、奥村建設共同企業体
工期	平成7年4月10日～平成10年3月31日
用途	地下：変電所、地上：事務所、共同住宅
敷地面積	1,647.76㎡
建築面積	951.887㎡
延床面積	10,807.039㎡
階数	地下４階，地上８階，塔屋１階
最高高さ	ＧＬ＋35.42m
構造	地下躯体：鉄骨鉄筋コンクリート造 地上躯体：鉄骨造



図－３　基準階平面図

表－３　クライミング装置の仕様

ジャッキ推力		100 t
ジャッキストローク		610 mm
ＣＦ上昇速度		0.30 m/min
ＣＦ下降速度		0.20 m/min
マスト速度	上昇	2.45 m/min
	下降	1.20 m/min

当工事では１フロアー分（3.71m）の上昇で約20分、段取りを含めても40分程度でクライミング作業が完了した。クライミング装置の仕様を表－３に示す。

c）マスト

マストはＣＦ全体を支える支持柱であり、ＣＦの上昇・下降はマストをガイドとして行い、マストには一定間隔でロックピン用の孔（φ200）を設けている。孔の間隔は530mmで１フロアの上昇を７ストロークで行うようにした。システム施工終了後本設の柱（当工事では７階、８階、塔屋の本設柱）となる。

写真－２　柱現場溶接ロボット稼働状況

d）シェルター

シェルターはＣＦおよび施工空間の外周養生材であり、各装置を雨風から保護するとともに、天候に左右されない快適な作業空間を創り出す。資材搬入のために電動の開閉式ゲートを２ヶ所設けている。シェルターの面積は側面が約3,200㎡、屋根部が約1,140㎡、ゲートは15.1m×15.3mである。ゲートの開閉はアクティブクレーンからの命令を主としとオペレータの操作でも開閉できるようにした。

（2）搬送システム

a）アクティブクレーン

ランウェイガーダ、走行ガーダ、トロリ、巻上装置とジブからなり、巻上げ・下げ、走行、横行、旋回および首振りの機能を有している。部材を地上から指定された位置まで垂直・水平に自動搬送し、組立作業に必要な全ての範囲をカバーすることができる。また、衝突防止機構を設けている。

b）自動移載式リフト、ローリフト

自動移載式リフトは仕上げ材や設備資材などを指定した階から階へ自動搬送する。また、搬器に組み込まれたスライドテーブルにより資材の積み降ろしを自動で行う。降ろされた資材は、ローリフトで指定された位置に自動水平搬送される。

（3）組立システム

今回の工事では柱現場溶接ロボットを本格的に採用した。以下に本ロボットの特徴を示す。

①ワイヤタッチセンシングにより開先形状を自動計測することができる。

②１本の柱に対して、２台のロボットで対面溶接を行い、溶接ひずみが小さい。

③柱のコーナー部においても連続溶接するため、ムラのない均一な溶接を行うことができ、熟練溶接工と同等以上の品質が得られる。

本工事では600□×19～25の柱を３３本溶接を行った。本ロボットの稼働状況を写真－２に示す。

（4）計測システム

施工中のＣＦの高さ、水平変位、鉛直変位、風向風速および気温をリアルタイムに計測し、コントロール室と事務所のディスプレイに表示し施工管理に活用した。

（5）ＭＣＣＳ生産管理システム

本システムはクライミング装置、アクティブクレーンや計測システムなどとネットワーク（ＬＡＮ）を組み、機械の稼働状況の監視と記録、進捗状況の把握、計測システムの監視と記録を行った。

３．４　システム施工結果

システムの改良・改善、機能追加についての適用結果を以下に述べる。

（1）サイクル工程

ａ）マスト運転のスピードアップ化によりマスト運転時間は上昇・下降で約３０分の短縮効果を得ることができ、またマスト結合装置の採用によりマスト下の柱の接続時間を約３０分短縮することができた。この結果、サイクル工程８日を余裕を持って施工することができた。また、サイクル工程を１日短縮し７日サイクルで施工できることを確認できた。

ｂ）アクティブクレーンの衝突防止機構を導入することにより、オペレータの精神的負担を軽減することができた。

（2）組立・解体工事

ａ）各装置・機器の軽量化を図ったことより、組立・解体時のブロック化を行うことができた。

ｂ）各装置・機器にキャットウォークなどの設備を設けたことによって、作業性が向上し安全に作業を行うことができた。

ｃ）アクティブクレーンのランウェイガーダおよび走行ガーダに上架・解体用の取外しレールを設置したことにより、上架・解体時の複雑な作業手順を容易にすることができた。

ｄ）ワイヤーによる吊り下げタイプのシェルターの採用により、容易にかつ安全に組立・解体作業を行うことができた。

ｅ）解体用クレーン（ＪＣＣ－１０５）の導入により、アクティブクレーンで解体用クレーンを組立てることが可能になり、超高層物件への対応を確認することができた。

５、おわりに

本工事では、第２号適用物件としの目標をほぼ達成できたと考えている。しかし、生産性の向上、作業環境の改善やコスト低減などに向けて、施工の機械化・自動化への取り組むべき課題は非常に多い。今後、各装置の機能拡大や構工法の改良・開発を行い、次世代の建設システムの一つとして確立していきたい。

56. シールドトンネル二次覆工用鉄筋組立・結束ロボット

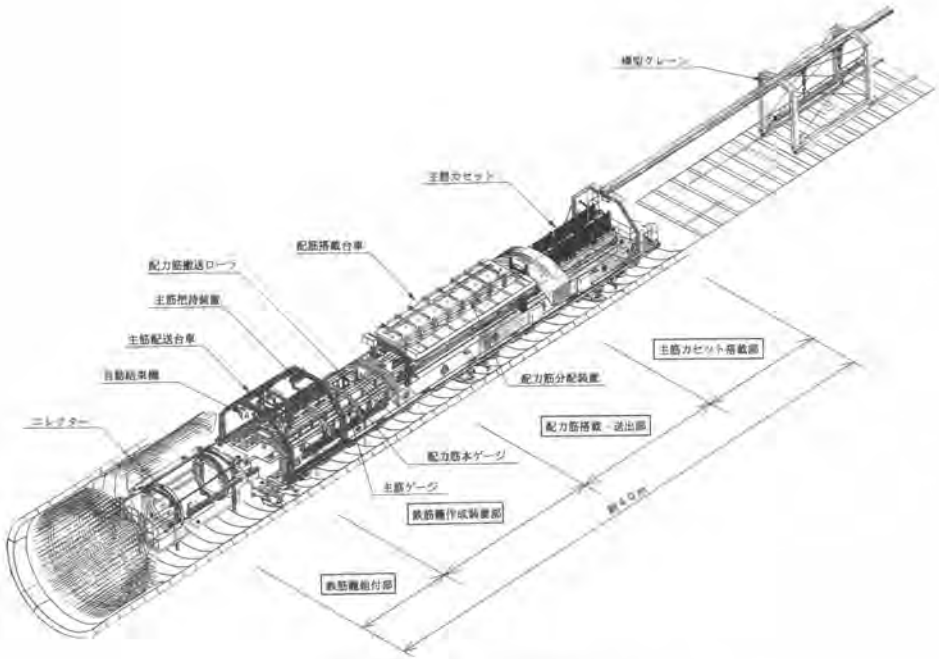
㈱大林組： 卯城　哲也，山本　幸信
*北岡　隆司

1．はじめに

シールドトンネル工事における二次覆工用の鉄筋組立作業は、作業場所の制約などから、苦渋作業のひとつとなっている。従来この作業では、鉄筋組立用の作業台車を設備し、配筋や結束など手作業で行ってきた。このため労働集約型の作業となり、作業能率も悪く多くの熟練工が必要であった。また、鉄筋の取り扱いや足場に起因する災害の危険性などもよく指摘され、今後の労働力の確保からも作業の自動化と作業能率向上が求められている。

そこで、安全性の向上、省力化・施工能率の向上、作業環境の改善をめざして、狭い坑内での鉄筋の「搬入、配筋、結束、取付」作業を、連続的に１台の機械で可能とするロボットの開発を行い、シールド現場への適用を行った。その結果、当初の予定どおり、ロボット化により安全や作業環境の改善と省力化及び施工能率の向上に寄与することが確認された。

本稿ではこの鉄筋組立・結束ロボットについて概要を述べる。



図－１　鉄筋組立・結束ロボット全体図

2．シールドトンネルの鉄筋組立作業

シールドトンネルの覆工には、掘進と共にトンネルを保持し推力を支える、セグメントを使用した一次覆工と、構造物として構造や機能強化を図るために一次覆工完了後に構築される二次覆工とがある。

通常、二次覆工は防水、防食、蛇行修正、および内装等を目的とすることから無筋コンクリートで行われるが、導水路トンネルなど内圧が作用するトンネルでは、さらに構造体の一部として考え、鉄筋コンクリートで覆工が行われる。この鉄筋組立は大部分が熟練鉄筋工による手作業で行われ、作業能率、組立品質、安全性などに問題を抱えていた。そこで、従来作業員が手で行っていた配筋・結束等の作業を自動化し、二次覆工における鉄筋組立作業の作業性、安全性の向上、品質の確保を実現するロボット技術の開発を行うこととした。

3．システムの概要

（1）従来作業

従来の鉄筋組立作業は、主に次のように行われていた。

①鉄筋の加工は鉄筋加工場で行う。②配筋は人力で一本づつ行う。③鉄筋結束は結束線とハッカーを用い人力で行う。

（2）ロボット作業

ロボットでは従来方式をそのままこのまま機械化するのではなく、装置として機能しやすいように作業工程や補助装置を定め、次のように仕様を決定した。

①鉄筋の加工は従来と同一方法で行う。ただし主筋は専用のカセットに搭載する。

②鉄筋の坑内への運搬、ロボットへの搭載は人手で行う。

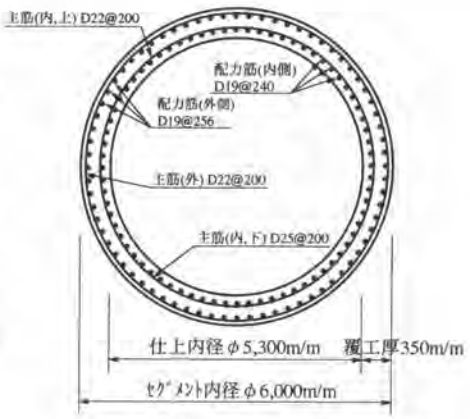
③ロボットは搭載された主筋、配力筋を自動的に搬送・配置・結束を行い、鉄筋籠を製作する。

④鉄筋籠のトンネルへの組付けは、作業員がロボットの旋回装置を用いて行う。

⑤サイクルタイム短縮のため、鉄筋籠製作と籠組付け作業が同時に可能な機構とする。

4．現場適用

本ロボットを平成７年１２月から平成８年８月にかけ、中部電力川越火力発電所放水路トンネル工事で使用した。このトンネルは掘削径6.8m、全長約 2.6kmの放水路トンネル工事で、二次覆工は圧力トンネルのため、図-2の配筋図に示すように、大部分にわたり複鉄筋構造となっており、鉄筋量は１ｍあたり約11ｔと非常に多量であった。そして工程上１日に 15mの進行が必要で、従来の方法では１日に約30人の鉄筋工が必要とされていた。



図－２　配筋図（ＲＣセグメント区間）

5. 鉄筋組立・結束ロボット

5.1 装置概要

鉄筋組立・結束ロボットを図-1に示す。本機はタイヤによる自走式で、主筋カセット搭載部、配力筋搭載・送出し部、鉄筋籠作成装置、鉄筋籠取付け部から構成され、全長は 40mで総重量は約125t、所用動力60KWの一体型装置である。仕様を表-1に示す。

表－1　鉄筋組立・結束ロボット仕様

項　目	諸　元
機　能	鉄筋籠製作(配筋、鉄筋結束)、鉄筋籠搬送、*鉄筋籠組付け
能　力	鉄筋量　16.5ton／15m・日 組立面積　535.4m²／日
移　動	タイヤ走行式
作業者	12人／日
寸　法	5.3m×5.3m×40m
重　量	125ton
動　力	60kw×200V

*印：作業員が介助

5.2 鉄筋組立手順

図-4にロボットの施工フローチャートを示す。

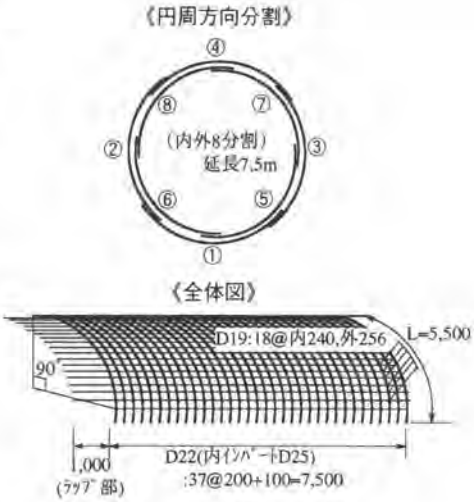
手順は、大別すると　①鉄筋加工・運搬　②鉄筋のロボットへの搭載　③鉄筋籠作成　④鉄筋籠の組付けからなる。

① 鉄筋加工運搬

主筋の形状は、施工現場の条件により図-3に示すように４分割とする。この加工は地上で人力により行い、加工後は専用カセットに装填し、組立機まで坑内運搬する。配力筋は加工の必要がない直線形状のため束の状態で運搬する。

② 鉄筋の組立機への搭載

運搬してきた主筋・配力筋は、橋型クレーンで組立機の主筋カセット搭載部と配力筋搭載・送出し部へストックする。またこのクレーンはこの鉄筋搬送の他に坑内軌道設備の撤去にも用いる。

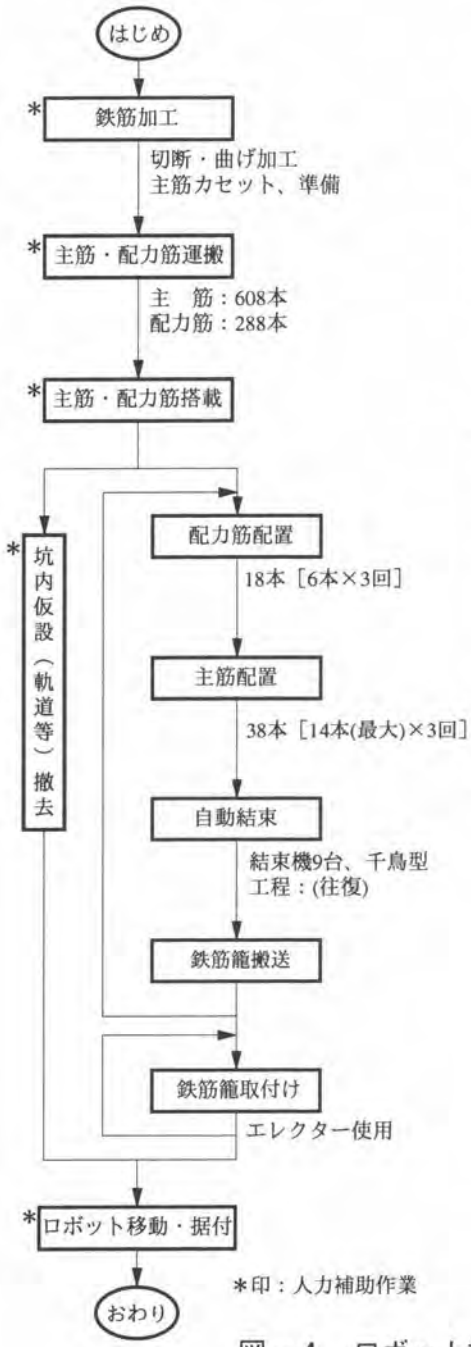


図－3　鉄筋籠概要図

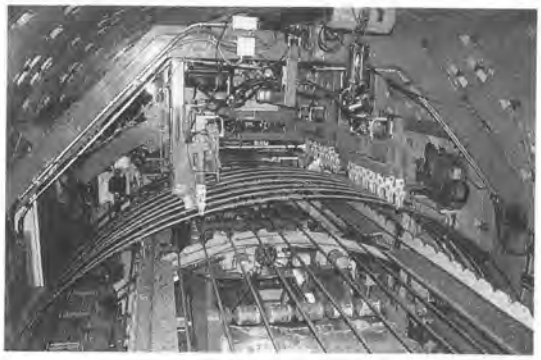
③ 鉄筋籠作成

１回の二次覆工コンクリート打設長さ(15m=1ブロック）の鉄筋を16のパネルに分割し、これをロボットの組付け装置で組立てる方式とする。これは鉄筋籠寸法とトンネル空間の関係および施工性等から１ブロックの鉄筋組立を２回に分けて行うためである。鉄筋籠１パネルの概要図を図-3に示す。

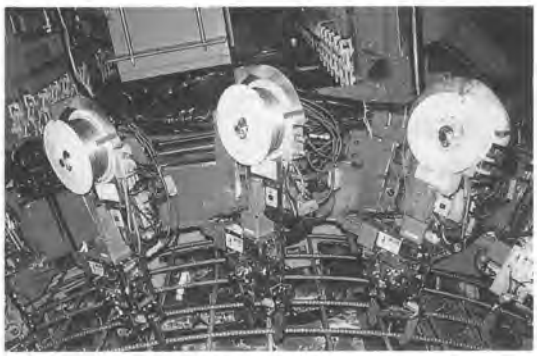
パネルをつくる鉄筋籠作製装置の部分では、所定ピッチの主筋・配力筋ゲージを設け、主筋、配力筋の自動配置を行う。主筋は主筋搭載台車の主筋把持装置（最大14本搬送可能）で、配力筋は送出し装置で所定の本数(今回の場合は6本)配置し、搬送用ローラで配力筋ゲージまで搬送する。



図－4　ロボット施工フローチャート



写真－1　主筋配置



写真－2　自動結束

写真－3　鉄筋籠取付け

鉄筋の結束は、主筋･配力筋ゲージに１パネル分の鉄筋が設置された時点で、主筋搭載台車に装備された自動結束機により、配列された鉄筋の交差部を結束していく。この自動結束機は、従来人力で行われていた鉄筋の結束線による結束作業を完全自動で行うもので、９台装備された自動結束機が鉄筋パネル上を1往復する間に全結束作業が完了するようになっている。自動結束機による結束状況を写真-2に示す。

④　鉄筋籠搬送・組み付け

作成された鉄筋パネルは、前方の鉄筋籠取付け部へ搬送されたのち、エレクターでトンネル内の所定の位置にセットされる。エレクター部はトンネル円周方向だけでなく、トンネル軸方向にも1,000mm移動可能な構造となっている。

さらに鉄筋パネルの把持部分には個別の油圧シリンダーを装備し、鉄筋パネルの挿入角度を自由に調整できるようにし、鉄筋籠取付け部に多くの自由度をもたせ、作業を円滑に行えるようにしている。

⑤　ロボット移動

鉄筋籠取付け完了後、ロボットのアウトリガーを格納しタイヤ走行で次の鉄筋組立位置へ移動する。

6．導入結果

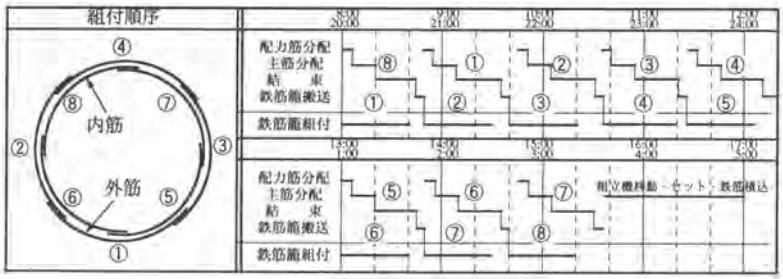
現場適用結果より以下のことが得られた。

（1）施工能力・省力化

ロボットの導入による毎月の作業進捗は300m以上で、１ブロック(15m)あたりの所要人員は調整･試運転期間を除くと平均12人程度であった。これより１人あたりの平均鉄筋組立量を計算すると2.0t/人に達し、従来工法による鉄筋組立量0.3t/人と比較すると大幅に増大している。

鉄筋組立のサイクルタイムを表２に示す。この工程でも時間的な余裕があり、作業効率の向上が図られている。作業効率の向上の要因の一つとして、鉄筋籠作成と鉄筋籠取付け作業を同時に行えた点があげられる。これは鉄筋籠取付け作業が待ち時間無く行えた結果であり、ロボットにおいて鉄筋籠の作成部と取付け部を分離させたことは、作業効率向上に大きく貢献したといえる。

表－２　鉄筋組立サイクルタイム（一方あたりＬ＝7.5m）



（2）作業環境・安全性・品質

作業はロボットが主体に行い、組立作業の中で鉄筋等の重量物を扱う高所作業が無くなるなど、作業環境は大きく改善された。そして鉄筋組立における品質は良質であり、整然とした坑内環境の中、全工程を無事故で終了するのに貢献できたと思われる。

7．今後の課題

今回の現場適応で一応の成果が得られたが、あくまでも１現場での実施であり、今後このロボットシステムをさらに発展させるには、装置の小型化やシステムの簡素化、製作費の低減などをおこない、適用範囲の拡大を図れるようにすることが必要となる。また適応現場の規模や工事量などロボットを導入する現場の施工条件によってもどのような規模や形態のシステムが最適なのか今後も検討して行く必要がある。いずれにせよロボットを導入するときの制約条件の克服は容易でないが、一つずつ克服することにより、汎用性を持たせ、急曲線など複雑な線形などにも対応できるロボットとする事が可能である。シールドトンネルにおける二次覆工の鉄筋組立作業にはロボット化が作業合理化の最も有効な方法であると考えている。

8．おわりに

今回開発した鉄筋組立・結束ロボットの実施工への導入により、省人化、作業能率の向上、安全性の向上等の効果が確認された。今後このロボットシステムの適応性の拡大を図るとともに、得られた要素技術の応用も含め、様々な鉄筋組立作業に活用させていきたいと考えている。

最後に、多大なご協力を戴いた中部電力川越建設所並びに川越ＪＶの関係各位に謝意を表せて戴きます。

参考文献

1　「シールドトンネルにおける二次覆工の鉄筋加工・結束装置」
風間慶三、北岡隆司　Robot No.115.p69～p74（社）日本ロボット工業会

57. 住宅内装施工作業の自動化

㈱竹中工務店：*石川　敦雄，星野　春夫
室　　栄治

1．はじめに

建設業では作業員の高齢化が進んでおり、適正な労働力の確保が困難な状況にある。とりわけ熟練労働者不足は深刻な問題であり、労働生産性を低下させる要因となっている。一方、依然として低迷する経済状況から建設コストの削減に対する要望は強く、さらなる省人化、短工期化が必要である。

悪化する労務環境の中で生産効率を向上させていくため、さまざまな作業の機械化、自動化に関する技術開発が進められている。その中でも内装工事は作業空間に制約が多く、繰り返し作業が少ないことなどを理由に、躯体工事や外装工事に比較して技術開発が遅れている。

そこで作業員の肉体的負担を軽減するとともに、作業の合理化により作業効率を向上させるための内装施工システムの研究開発を実施した。ここでは、内装施工作業の中で全体に占める割合が大きく、重労働でもあるボード取付工事を対象に、住宅工事に適用可能な機械装置およびロボットを開発した。

本論文では、システムの概要、試作機の仕様、および実施工実験への試作機の適用結果を報告する。

本研究開発は、中小企業事業団からの委託を受けた（社）全国建設室内工事業協会、（社）石膏ボード工業会、（株）小松製作所ならびに（株）竹中工務店の４団体企業が共同で実施したものである。

2．内装施工システム

ボード取付工事の主な作業の流れを右図に示す。現状ではこれらの作業は手作業によりおこなわれることが多く、とくに集合住宅や小規模ビルの現場では人力に依存する割合が大きい。右図の作業のうち「水平搬送」、「寸法測定」および「位置決め」では、以下に示す理由から疲労度が大きく、作業の改善が強く望まれている。

・大量のボードを人力で搬送することによる疲労
・高所の寸法を測定するときの昇降動作に伴う疲労
・作業員１名でボードを保持しながら固定することによる疲労と危険

2．1　システムの概要

内装施工システムの開発目標を以下のように設定した。また、システムの構成要素を表１、システム構成の模式図を図１に示す。

・肉体的な負担の軽減
・作業効率の向上

表１　対象作業と開発装置

対象とする作業	開発装置
ボードの水平搬送	搬送装置
加工寸法の測定	寸法測定装置
ボードの位置決め	取付作業補助ロボット

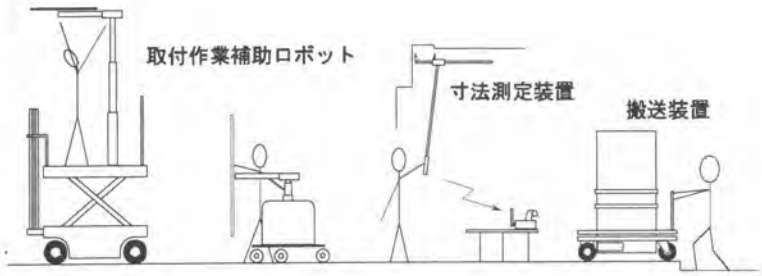


図１　内装施工システム（模式図）

２．２　試作機の概要

内装施工システムの目的である「疲労の低減」、「作業効率の向上」を実現するため、以下に示す開発コンセプトに従い機械装置およびロボットの設計・製作を実施した。

・作業員と機械との協調的な作業の実現

・技術や技能などの人間の特徴を有効に活用

・作業時の安全性の向上

・住宅工事に適用可能なレベルの小型化、軽量化

（１）搬送装置

仮置き場所から施工場所まで積み下ろしのない連続した搬送作業を実現するため、搬送装置の性能を以下のように設定した。

・積載状態で本設EVへの搭載が可能

・住戸入口の段差の乗り越えが可能

上記の設定に基づき、表２および写真１、２に示す２種類の搬送装置を開発した。

表２　搬送装置の仕様

項　　目	手押し式搬送装置	電動式搬送装置
車体重量	54 kg	92 kg
車体寸法（L×W×H）	1000×750×1000 mm	1200×700×1000 mm
動力源	－	バッテリ
駆動方式	－	DC モータ
最大積載重量	200 kg	250 kg

写真１　手押し式搬送装置

写真２　電動式搬送装置

試作した搬送装置によりボード搬送実験をおこない、以下に示すことを確認した。

・200kg のボードを載せて１人の操作により90mm の段差乗り越えが可能

・積載状態で本設ＥＶへの搭載可能

・凹凸のある路面上の走行が容易

ボード搬送実験の状況を写真３に示す。

これより、搬送装置が作業員の疲労を大幅に低減できることが明らかになった。また凹凸面上での安定した走行は安全性、作業性の向上に有効である。

写真３　ボード搬送実験

（２）寸法測定装置

脚立や足場などへ昇降することなく、加工に必要な高所の寸法を測定するため、寸法測定装置の性能を以下のように設定した。

・床上に立った状態で天井面（２７００ｍｍ）の寸法測定が可能

・軽量で、携帯が可能

・誰にでも容易に操作可能

上記の設定に基づき、図２および表３に示す寸法測定装置を開発した。また、寸法測定装置による測定作業の状況を写真４に示す。

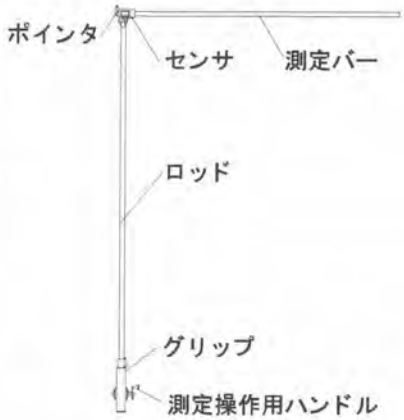


図２　寸法測定装置

表３　寸法測定装置の仕様

項　　目	寸法測定装置
装置重量	480 g
装置寸法	908 × 1367 mm
測長方式	導電プレート方式
測長範囲	0 ～ 807 mm
測定可能高さ	2700 mm 程度
駆動方式	手動リール 摩擦ローラ駆動
データ出力	デジタル表示および 無線データ転送 （プリンタ印字）

写真４　寸法測定装置による測定

寸法測定装置を用いた実験により以下に示すことを確認した。

・床上に立った状態で天井面付近の寸法が測定可能

・従来方法に比較して測定時間が２～４割程度短縮

・十分軽量であり、操作も容易

これより寸法測定装置が、測定作業の疲労低減および効率向上に有効であることが明らかになった。

（３）取付作業補助ロボット

取付作業においてボードのハンドリングと取付位置での保持を作業員との協調により実現するため、取付作業補助ロボットの性能を以下のように設定した。

・小さな操作力で、誰にでも容易に協調動作が可能

・作業員の感覚・技能を活かすための高い操作性と安全性を実現

上記の設定に基づき、狭い室内での作業に適する小型・軽量なパーソナル内装施工ロボットおよび広い施工場所での取付作業を効率的におこなえる自走式内装施工ロボットの２種類の取付作業補助ロボットを開発した。これら２種類の試作機を表４および写真５、６に示す。

表４　取付作業補助ロボットの仕様

項　　目	パーソナル内装施工ロボット	自走式内装施工ロボット
車体重量	115 kg	600 kg
車体寸法（L × W × H）	作業時：1190 × 720 × 1170 mm	作業時：1350 × 1035 × 1650 mm
動力源	AC 100V	AC 100V ＋バッテリ
最大ハンドリング重量	20 kg	35 kg（最大積載重量　120kg）
最高天井施工高さ	3000 mm	3300 mm
マニピュレータ駆動方式	空圧サーボ	－
作業床高さ	－	670 ～ 1330 mm

写真５　パーソナル内装施工ロボット

写真６　自走式内装施工ロボット

3．ボード取付実験

パーソナル内装施工ロボットおよび自走式内装施工ロボットの実用性を確認するため、表5に示すような実際の施工現場におけるボード取付施工実験を実施した。施工実験では、ロボット操作を1時間程度練習した後、作業員1名とロボットによるボード取付作業からボード1枚を取り付けるために必要な時間を計測した。

表5　ボード取付実験の概要

項　　目	内　　容
作業者	ボード工1名
施工場所	壁面および天井面
天井高さ	2400 mm
ボード寸法	910×1820mm 厚さ 9.5 mm
ボード重量	約 12.6 kg

3．1　実験結果と考察

施工実験結果を表6に、その状況を写真7、8に示す。なお、手作業のサイクルタイムはオフィスビルの天井および間仕切り壁の施工時に計測した。この場合、天井面の施工では全面足場を用いており、複数名の作業員による足場設置時間を作業員1名ボード1枚あたりに換算している。また壁面の施工では、高所作業車を用いた1名の作業員による取付作業を計測したデータである。

グラフ1および2には、壁面および天井面それぞれのサイクルタイムの内訳を示す。

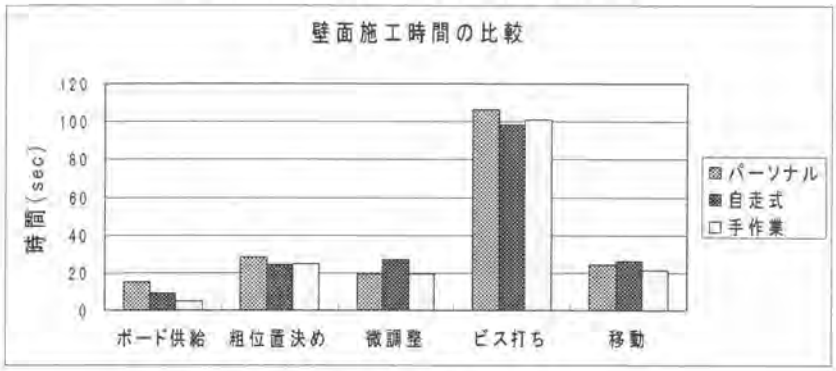
表6　ボード取付実験結果

施工場所	サイクルタイム			A／B
	ロボット（A）		手作業（B）	
壁	パーソナル	192 sec	171 sec	1.12
	自走式	184 sec		1.08
天井	パーソナル	246 sec	302 sec	0.81
	自走式	263 sec		0.87

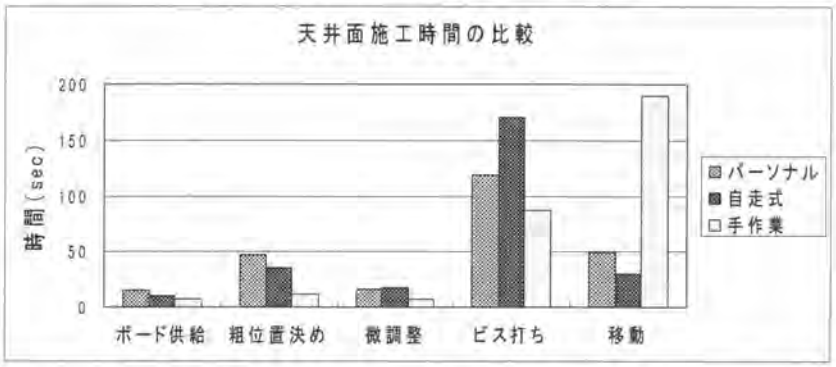
写真7　ボード取付実験（パーソナル）

写真8　ボード取付実験（自走式）

グラフ1　サイクルタイムの内訳（壁面施工）



グラフ2　サイクルタイムの内訳（天井面施工）



２種類のロボットとも、壁面施工では従来作業とほぼ同等の作業時間であり、天井面施工では１～２割程度サイクルタイムを短縮している。天井面施工では、ロボットの適用により足場組立・解体が不要になったことが時間短縮の要因である。２種類のロボットいずれにおいても、粗位置決めやビス打ちなどの項目に関しては、ロボット操作の習熟によりさらに短縮が期待できるものと考える。実施工実験を通じて、以下に示すことを確認した。

・従来問題であったボード取付作業の苦渋性を解消し、作業員の肉体的負担を大幅に低減

・従来作業と比較して同等以上の作業効率を確保

・作業員と機械との協調作業を実現し、技能を活かした細やかな作業を実現

4．おわりに

搬送装置、寸法測定装置および取付作業補助ロボットからなる内装施工システムの開発を実施し、その実用性を実験により確認した。取付作業補助ロボットを用いた実施工実験では、開発装置が肉体的負担の低減と作業効率の向上に非常に有効であることが明らかになった。今後は、実施工などへの適用により研究成果の改良を進めながら、他産業を含めて広範囲に開発技術を普及していきたい。

［共同研究者］（社）全国建設室内工事業協会　袴塚次郎、（社）石膏ボード工業会　飯地　稔
コマツ　鈴木英隆、養安豊彦、吉灘　裕

58.　異種骨材混入防止システムの開発

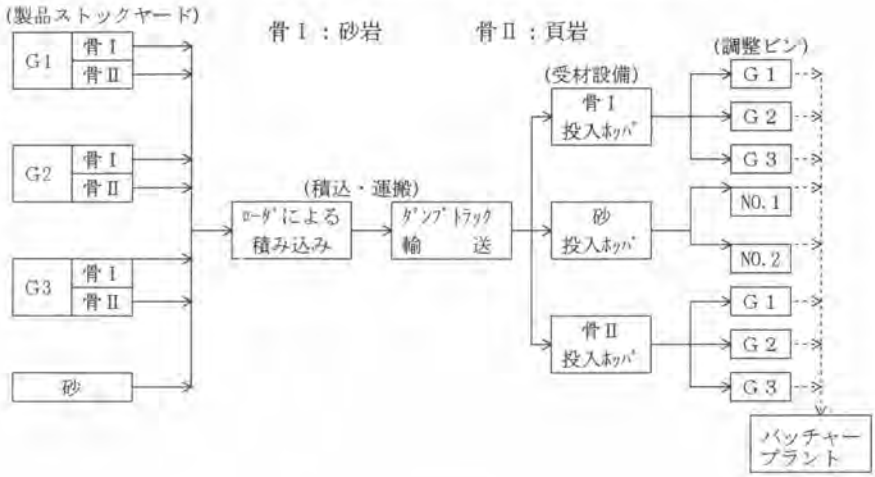
水資源開発公団：山崎　　劭
日工㈱：前岳　安孝
飛島建設㈱：*森脇　　正

概　要

日吉ダムでは、ダム本体建設費の低減化の一環として、原石山の有効利用の観点から、従来は利用されることの少なかった頁岩をＲＣＤ用コンクリートの粗骨材として使用することとなった。
これに伴い、原石採取からコンクリート混練りまでの間での混入を防止する対策が必要となった。
本設備は、ダンプトラックによる骨材の運搬時（積込・投入時）に発生する異種骨材の混入をいかに防止するかを、ダンプトラック運転手・ベルコン操作員・監視員等の立場で検討し、開発した設備である。

図－１　骨材の全体フロー図

・図－２製品ストックヤード・調整ビン間フロー図



システムの考え方

システムを検討するに当り、骨材の混入防止を行うには、まず混入するであろう要素を洗い出し、その原因をなくすシステムを組むこととした。

（1）混入する場所及び原因

① ダンプトラック運転手または、誘導員の勘違いによる投入ホッパー口の選択ミス
（骨Ⅰ，骨Ⅱ，砂の混入）

② 調整ビンシャトルコンベヤ操作員の勘違いによる投入ビンの選択ミス
（Ｇ１，Ｇ２，Ｇ３の混入）

（2）要素の排除

① 考えられる原因は、すべて人間の勘違いである。
よって、この勘違いを修正させるため機械によるチェック及び所定の場所への誘導を行うとともに、設定・判定は機械により自動的に行うことにより混入を防止する。

② 骨材運搬は、汎用の１１ｔダンプトラックを使用し、台数も打設に応じて変更することから、トラックへの装置の取付け取り外しは簡単に行える製品及び、構造とし、装置を取付けないトラックによる骨材運搬ができないようにする。

システムの構成

今回設置したシステムは大きく分けて、「積込骨材指示部」「ダンプトラック輸送投入部」「調整ビン投入部」で構成され、それら全体を「管理システム部」で運用管理している。

各部の構成（名称，設置場所，数量）

（1）積込骨材指示部

名　　称	設　置　場　所	数　　量	
超音波レベル計	各　調　整　ビ　ン	２×７ビン	
積込骨材指示器	製品ストックヤード	７台	

（2）ダンプトラック輸送投入部

名　　称	設　置　場　所	数量	
骨材種別書込装置	製品ストックヤード	７台	
受　発　信　装　置	ダンプトラック	３０台	
トラック積載表示器	〃	３０台	
骨材種別読取装置Ⅰ	投入ホッパ路入口	１面	
投入ホッパ指示器	〃	１面	
骨材種別読取装置Ⅱ	投　入　ホ　ッ　パ　口	３面	

（3）調整ビン投入部

名　　称	設置場所	数量	
調整ビンベルコン操作盤	調整ビン操作室	1面	

（4）管理システム

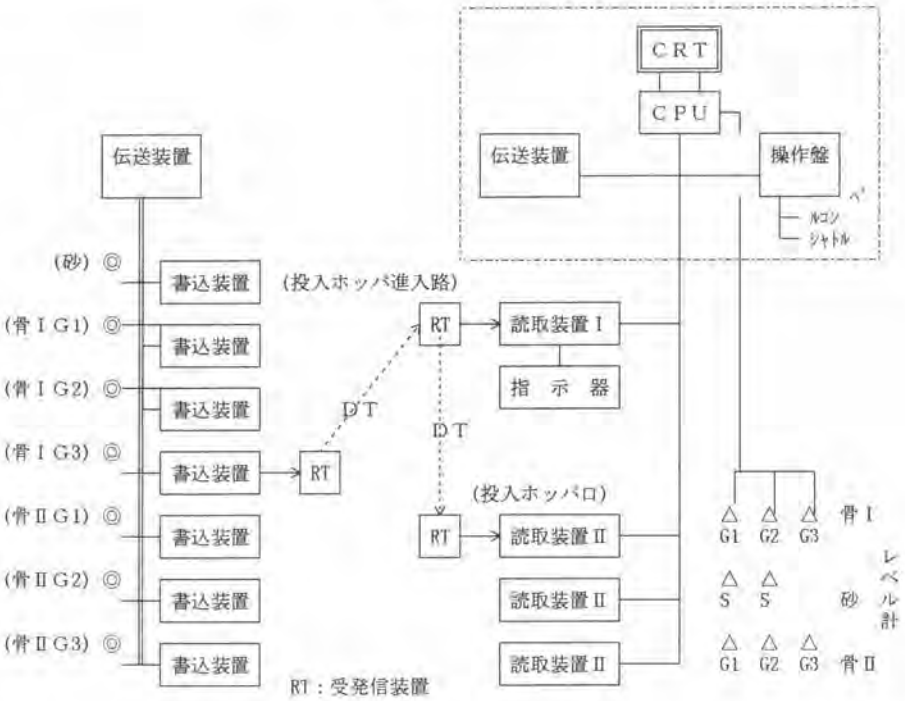
名　　称	設置場所	数量	
処理装置（パソコン）	調整ビン操作室	1式	
データ伝送装置	〃	1式	

（5）各部の接続

製品ストックヤードと調整ビン間は、信号伝送装置による多重伝送を行い、各装置は処理装置によるオンライン管理を行っている。

（6）各装置のシステム構成は、下図のとおりである。

システム構成図



積込骨材指示部

各調整ビンに取付けられた「超音波レベル計」により骨材の貯蔵量を常時検出し、管理システム（パソコン画面）に出力する。

貯蔵ビンの骨材容量が下限値を下回ることにより、自動的に製品ストックヤードの「積込骨材指示が点灯し、積込骨材を指示する。又、空容量よりトラック台数を換算し、台数分の書込時点で指示器は消灯する。

貯蔵ビンの上限値は、当日のコンクリート打設スケジュールにより、必要骨材量を計算し自動的に設定できる方式としている。

ダンプトラック輸送投入部

（1）「積込骨材指示器」で指示された骨材を積込んだダンプトラック（以下トラック）は、各ヤード前に設置された「骨材種別書込装置」で停止し、トラックに取り付けた「受発信装置」にデータが書込まれた事を確認後（回転灯及び音声により書込終了の確認を行う。）出発する。尚、この間は約５秒である。

（2）トラック運転手は、「骨材種別書込装置」に表示された骨材種類を運転席に設けた「表示設定器」で設定しトラック車体上部の「表示器」に積込骨材種別を表示さす。

（これにより運転手自身が積込骨材の認識及び、外部からの確認ができる。）

（3）骨材ストックヤードを出発したトラックは、投入ホッパー進入路に設置された「骨材種別読取装置Ｉ」の前で停止することにより、トラックに取り付けた「受発信装置」が積込骨材データを読取装置へ送信する

データを受けた読取装置は「投入ホッパ指示器」へ投入すべきホッパー口を表示さす。

（4）トラックは、「投入ホッパ指示器」で指示されたホッパー口に移動し、ホッパー口に設置された「骨材種別読取装置Ⅱ」前で停止し再度積込みデータが送信される。

① 積込骨材とホッパー口及びシャトル位置が一致している場合は、「材料を投入して下さい」とアナウンスがありダンプアップし骨材を投入する。

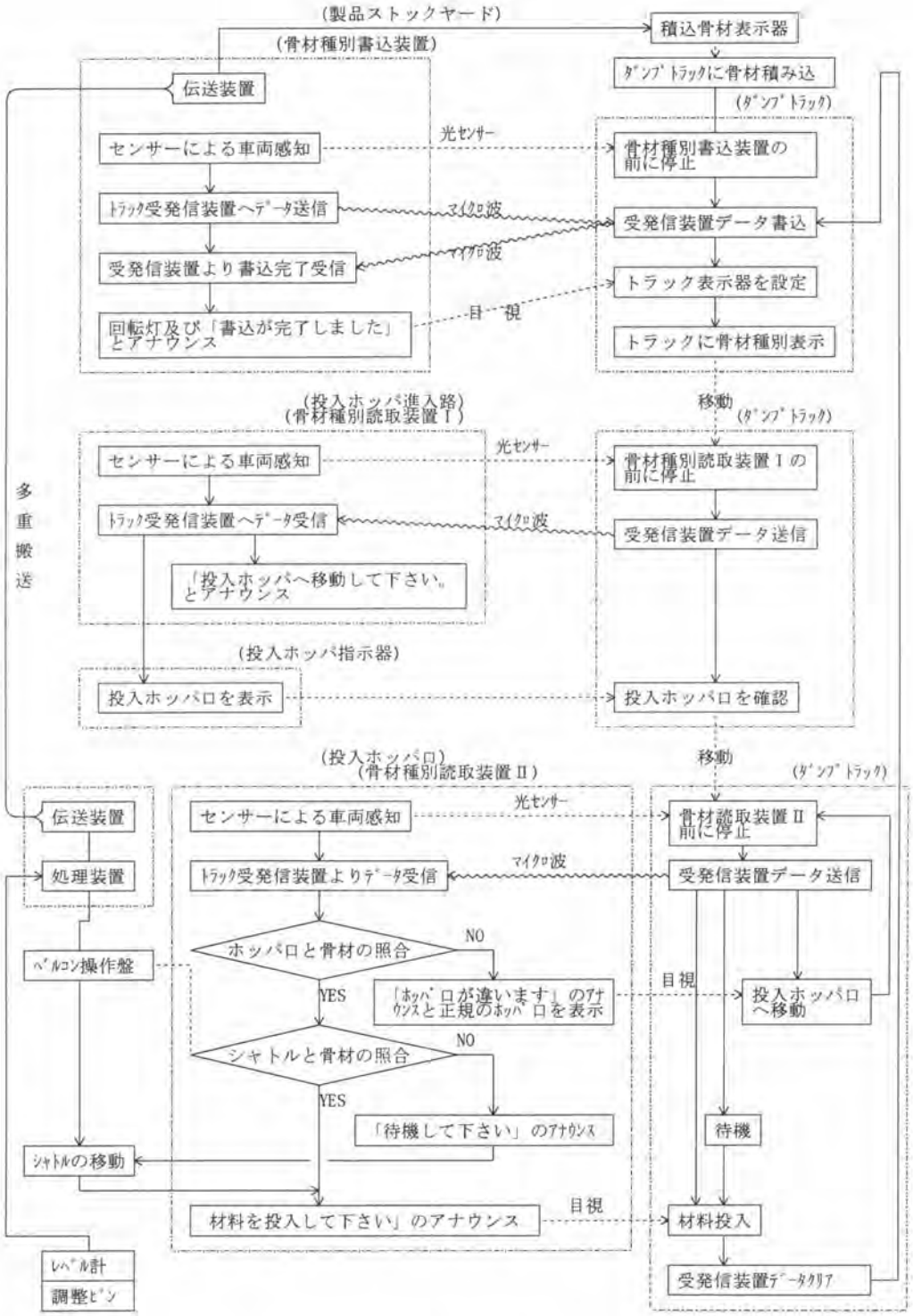
② 積込骨材とホッパー口は一致しているが、シャトル位置が異なる場合は、「待機して下さい」とアナウンスされ、自動的にシャトルが積込骨材と一致するビンへ移動したのち「材料を投入して下さい」とアナウンスがありダンプアップし骨材を投入する。

③ 積込骨材とホッパー口が異なる場合は、「受入ホッパーが違います。」とアナウンスされ、本来行くべきホッパー口を表示する。

調整ビン投入部

「骨材種別読取装置Ⅱ」と「管理パソコン」でダンプ積載骨材とホッパー口、シャトル位置の照合を行い、骨材と合致する位置にシャトルを移動し、合致後はフィーダー及びベルコンの自動運転を行う。

動作フロー図


(製品ストックヤード)
積込骨材表示器
(骨材種別書込装置)
ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸに骨材積み込
伝送装置
(ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ)
光ｾﾝｻｰ
センサーによる車両感知
骨材種別書込装置の前に停止
ﾄﾗｯｸ受発信装置へﾃﾞｰﾀ送信
ﾏｲｸﾛ波
受発信装置データ書込
ﾏｲｸﾛ波
受発信装置より書込完了受信
トラック表示器を設定
目視
回転灯及び「書込が完了しました」とアナウンス
トラックに骨材種別表示
移動
(投入ホッパ進入路)
(骨材種別読取装置Ⅰ)
(ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ)
光ｾﾝｻｰ
センサーによる車両感知
骨材種別読取装置Ⅰの前に停止
多重搬送
ﾄﾗｯｸ受発信装置へﾃﾞｰﾀ受信
ﾏｲｸﾛ波
受発信装置データ送信
「投入ホッパへ移動して下さい。」とアナウンス
(投入ホッパ指示器)
投入ホッパ口を表示
投入ホッパ口を確認
移動
(投入ホッパ口)
(骨材種別読取装置Ⅱ)
(ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ)
光ｾﾝｻｰ
伝送装置
センサーによる車両感知
骨材読取装置Ⅱ前に停止
処理装置
ﾏｲｸﾛ波
ﾄﾗｯｸ受発信装置よりﾃﾞｰﾀ受信
受発信装置データ送信
NO
ホッパ口と骨材の照合
ﾍﾟﾙｺﾝ操作盤
目視
YES
「ﾎｯﾊﾟ口が違います」のｱﾅｳﾝｽと正規のﾎｯﾊﾟ口を表示
投入ホッパ口へ移動
NO
シャトルと骨材の照合
YES
「待機して下さい」のｱﾅｳﾝｽ
待機
ｼｬﾄﾙの移動
目視
材料を投入して下さい」のアナウンス
材料投入
ﾚﾍﾞﾙ計
調整ﾋﾟﾝ
受発信装置ﾃﾞｰﾀｸﾘｱ

管理システム部

各部の装置からのデータを収集し、処理及び指示信号を出力する。

処理項目

（１）貯蔵ビン骨材貯蔵量表示処理
（２）貯蔵量、空容量トラック換算処理
（３）積込骨材指示処理
} 骨材運搬時の混入防止処理

（４）骨材別トラック投入台数及び投入量加算処理
（５）日報処理
（６）月報処理
（７）配合登録処理
} コンクリート打設予定を入力することにより
・ダンプトラックの配車計画作成（前日）
・骨材製造計画の作成（月間等任意）
・原石採取計画の作成（月間等任意）

おわりに

日吉ダムでは、ダム建設の合理化の一環として、２種類の骨材を使用したが、こうした新しい試みは、その目的とする技術だけでなく、目的を達成するための細部技術を必要とする。

骨材混入防止に類似する既存の技術としては、①生コンプラントの誤納防止システム、②ロックフィルダム盛立てに於ける運搬システム等があるが、今回の骨材混入防止設備は、これ等を参考に新たに　開発したもので、平成６年９月より稼働を開始し、平成８年１０月まで運用した。

今後は、実際の運用を通じてひとつの技術として確立できると思われる。

59. シールド自動掘進管理システムの開発

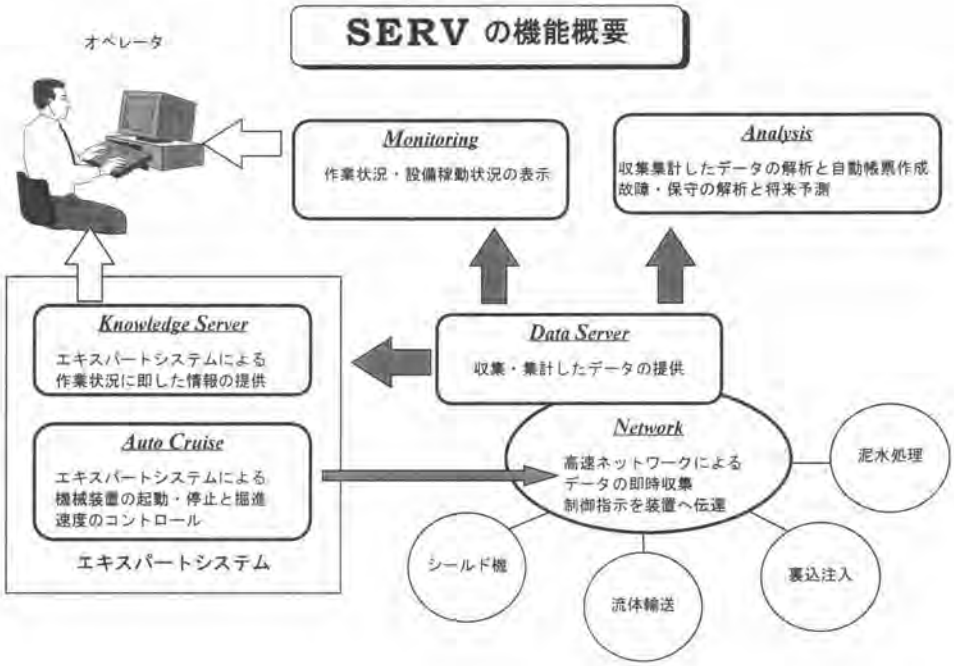
飛島建設㈱：*八巻　秀一、滝本　幸夫
下境　常男

1．はじめに

本報告は、東京湾横断道路川崎トンネル築造に採用された、泥水式シールド工法の施工管理のため開発・導入したシールド総合施工管理システムＳＥＲＶ（Shield Engineering　seRVice system）の機能と工事における検証結果をまとめたものである。

2．システム概要

シールド総合施工管理システムは、ワークステーションとネットワークを利用した、泥水式シールド機によるシールド掘進工全般を管理するもので、既存の類似システムにない以下の特徴を有する（図－1）。



図－1　機能概要

①全ての計測信号を24時間計測・記録可能なデータ収集機能を有する。

②機器類の稼動を示す接点信号（ON/OFF）や警報信号などのデジタル信号を記録・表示することが可能である。

③記録したデータを外部コンピュータで容易に利用可能なデータ構造と通信インターフェイスを有する。

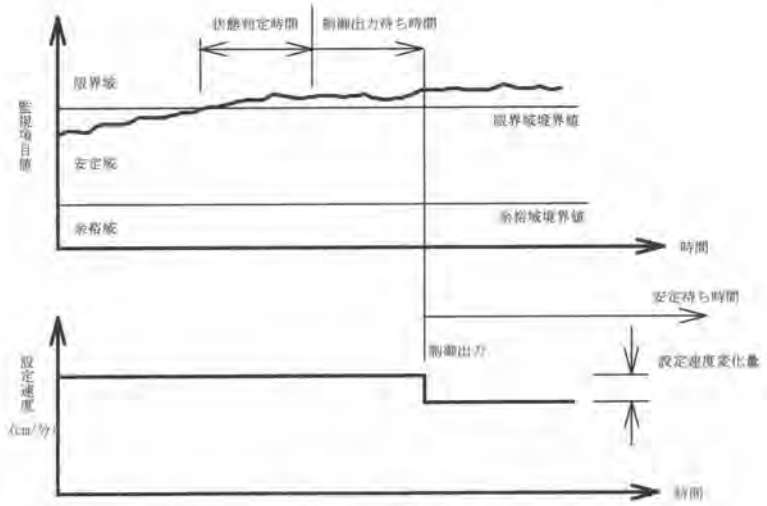
④シールド機と流体輸送設備の自動運転機能を有する。

3．自動運転機能の検証

3．1．機能概要

本システムの自動運転機能は、シールド掘進開始、終了時の作業を自動化するシーケンス制御機能と掘進中の掘進速度制御機能に大別され、どちらもシールド機と流体輸送設備を連動して操作することで機能を実現している。シーケンス制御は、シールド機の稼動状態を停止・セグメント組立・パワーユニット運転・カッタ回転・掘進の５つのモードに分類し、流体輸送設備の稼働状態を停止・バイパス運転・切羽循環の３つのモードに分類する。モード間の移行に伴う機器類の制御は、シールド機、流体輸送設備それぞれの機器を管理しているシーケンサ内部においてプログラミングされており、本システムがモードの判定・目標となるモードの決定・シーケンサへのモード移行指示・モード移行時の安全性判断を、エキスパートシステムを用いて行うことで自動運転を実現している。

掘進速度制御は、設備の負荷を監視し負荷が大きい場合は掘進速度を低下させることで、負荷を軽減する速度制御を自動で行う。設備の負荷と相関のある監視項目が常用限界となる値（限界域境界値）を一定時間超えた場合、一定の時間（制御出力待ち時間）経過後に速度を落とすよう指示を出す（。指示出力後一定時間（安定待ち時間）は、連続して速度低下指示を出さないよう抑制し、その後再び常用限界の監視を行う（図－２）。



図－２　速度制御

３．２現場運用によるシーケンス制御機能の検証

シーケンス制御機能の検証のため、シールド機－停止モード・流体輸送－バイパス運転モードの状態より自動運転を開始し、掘進開始時・終了時に各設備のモードがコンピュータの判断によりどのように移行するかを確認した。

①各設備のモード判定は、問題なく行われた。

②シールド機－パワーユニット運転モード・流体輸送－切羽循環モードになるまでは、相手のモードに関係なく個々に掘進へ向けてモードを移行させていった。

③カッタ回転モードへの移行は切羽循環の安定性の確認が終了した後、掘進モードへの移行はカッタ回転の安定性の確認が終了した後に行われ、当初のシステム設計通りの動きを示した。

④停止への移行は、両設備とも停止へ移行しようとした。しかし、本工事のシールド機の仕様として、掘進完了時にはバックリング防止のためにカッタ回転中に自動で掘進ジャッキを押し当て直す処理が存在し、この処理への対応が本システムに組み込まれていなかったため、この処理の完了前にカッタ回転を停止するのは望ましくないとの判断により自動運転を解除した。

④のような特殊な処理がなければ、自動運転の機能そのものは問題無く動作したと推測される。しかし、実際の運転においては、④以外にもオペレータの操作と自動運転の操作とに若干の差異が見られた。

差異のひとつは、シールド機のパワーユニットを稼動させるタイミングである。自動運転では即座にパワーユニットを稼動させているが、オペレータの操作では消費電力の節減のためカッタ回転直前まで稼動させなかった。

差異のもうひとつは、掘進停止後の切羽循環・バイパス運転の時間である。主に土質条件と配管長に左右されるが、泥水比重の調整とチャンバ内・機内配管での土砂沈降予防のために、それぞれ一定時間バイパス運転を行ってから停止する場合がある。本システムでは、泥水比重の調整は判断基準の一つとしていたが、チャンバ内、機内配管での土砂沈降予防に対する判断を想定していないため、オペレータは自動運転を解除してバイパス運転を継続した。

３．３現場運用による掘進速度制御機能の検証

掘進中の速度制御は、(1)制御の必要性の判断と制御値の決定、(2)制御値のシールド機への送信という２つの段階に別れて動作する。ここでは(1)の判断・決定の結果を検証し、実際の速度制御はオペレータにより行った。

速度制御に関係する監視項目は、排泥流量・排泥密度・ P2 ポンプ電流・ PE ポンプ吸込圧・裏込ポンプ電流・カッタトルク・ジャッキ圧力の計測データおよび混練量不足・カッタスリップ・シールド PU 負荷の警報を採用した。

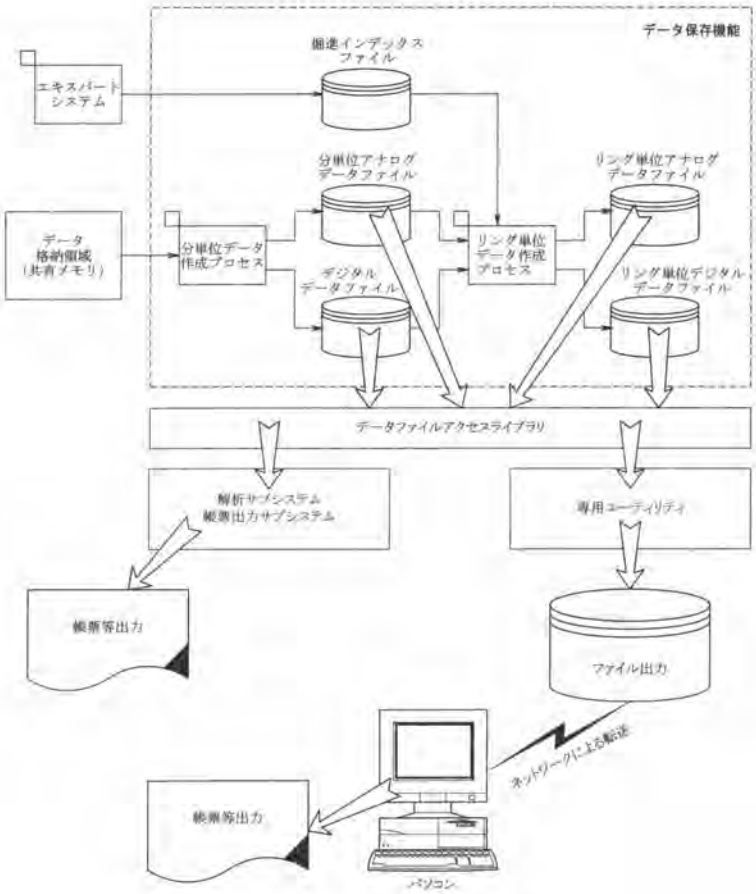
掘進開始当初に凍結区間および改良土区間を掘進したが、凍結区間においてはカッタトルク負荷により、改良土区間においては流体輸送ポンプ負荷により，速度を低下させるよう演算された。また、450

m付近を掘進中に裏込ポンプのポンプチューブ劣化が発生し吐出量低下・ポンプ負荷増大という現象が発生したが、各設備のセンサーからの情報により速度を低下させるよう演算、指示された。いずれも実際にオペレータが掘進速度を低下させることで重故障発生を予防でき、この機能の有用性が確認された。

4．データ収集機能の検証

4．1機能概要

自動運転をはじめ、本システムの様々な機能を実現させるためには、多くの計測データを収集し、必要に応じて各プログラムに提供しなければならない。本システムにおいては、データの分単位での集計、1リング単位での集計を独立したデータ収集機能として構築し、リアルタイムデータと併せて各プログラムからの要求に応じて随時配信する機構とした。なお、分単位データ集計機能は24時間稼働させて、取得データを記憶媒体に記録させた。また、専用のユーティリティの使用により、分単位・リング単位データをネットワーク接続したパーソナル・コンピュータ上の表計算ソフト等で利用できる機構とした。



図－3　データの利用

4．2帳票作成への利用

リング報などの一般的な帳票は、システムの機能として組み込み利用した。また、発注者への提出資料・施工管理上必要となる資料のうち、本システムで取得しているデータを利用可能なものについては、パーソナル・コンピュータの表計算ソフトを利用して作成処理を半自動化した。これらの資料の多くは運用を開始してからニーズとして発生したものであり、あらかじめ作成しておいても体裁やデータの処理方法が目的に合わない可能性が高いものである。本システムでは、必要とされる複数データを容易に抽出することが可能であり、抽出したデータをデータ資料作成のシステム化と修正が簡易なパーソナル・コンピュータの表計算ソフトで処理し、これらのニーズに対応したが非常に有効であった。このことから、帳票作成に関してはニーズとして発生する度に短時間で容易にシステム化ができるような仕組みを持たせておくことが非常に重要であることがわかった。

4．3施工管理へのフィードバック

収集したデータを常時、または必要に応じて帳票化することにより，様々な用途に利用することができる。本工事において、施工管理へ利用した事例を２つ紹介する。

シールド機の方向は圧力制御方式によって制御されるが、その目標となる方位角およびピッチングを決定する際、出来形測量結果（1 日１～２回）、自動測量装置による測量結果、掘進時の水平・鉛直の方向角、テールクリアランス、セグメントの偏心量、ジャッキストローク（以上は毎リング）の推移や相関をもとに分析を行い決定した。これらのデータのうち、測量結果とセグメント偏心量以外のすべてのデータは本システムで収集・蓄積し、日常的に帳票化していたものを利用した。また、セグメント偏心量も元データは本システムに専用プログラムを追加して収集したデータであった。大量のデータを短時間で帳票化することで、その後の再利用を促進した事例である。

本システムでは、警報や装置の稼動も二値の信号（ON/OFF）として２４時間計測・収集・蓄積する。これを利用し、流体輸送ポンプのグリス不足警報の発生間隔を分析し、約３日に１回という結果を得た。これをもとにメンテナンス時期、すなわちグリス交換時期を決定し、施工手順に組み入れた。この作業は、警報のように点数の多い信号を過去にさかのぼって抽出し、かつ他の信号や計測値との相関も調べる必要があるため、同じ期間の他のデータも抽出するという複雑な作業となるが、本システムの場合はこのような要求に対応するべく製作されていたため、同様のニーズにおいて効果を発揮した。突発的なデータ分析の必要に柔軟にかつ迅速に対応できた事例である。

5．考察

5．1自動運転の今後の可能性

自動運転が現在のシステムでも実現可能であることは本システムにより実証されたが、現実の作業進行との不整合を解消し、経済的・合理的な運転を可能にするためには、より複雑な問題解決が可能なエキスパートシステムを構築する必要がある。また、各設備の個々の自動化が未だ無人運転を可能にするほどの信頼性のあるものになっておらず、設備からの情報のチェックや操作指示に複数のオペレータ

が必要となる。このような現状を考えると、現時点では完全な無人運転を目指すよりもより少ないオペレータ数による運転（ワンマン・コントロール）を確立する方が実効性が高いと考えられる。しかし、施工条件の多様化に対応して将来的には無人運転を目指す必要があると思われるが、これは各設備の自動化の信頼性向上に合わせる形で、トータル的な無人運転を目指していくことが望ましいと考える。

５．２収集データの有効利用

本システムのように、多種多量のデータを収集し、要求に従って自由に組み合わせて抽出・分析可能な状態で蓄積しておくことは重要である。しかし、あまりにも膨大なデータを抽出する場合には実用的な応答時間内に解答が得られなかったなど、性能面では改良の余地がある。今後はより速く、より簡単に、より高度な要求に答えることができるデータの収集・蓄積の方法を考案し、多くの工事で利用できる方策を検討する必要がある。

６．終わりに

今回開発・運用した総合施工管理システムは、機械化の進む建設工事の将来における無人化の可能性を強く裏付けるものであると同時に、課題を明示するものでもあった。また、施工の情報化の重要性をあらためて認識する結果となった。

最後に、今回の開発ならびに運用にあたり協力していただきました関係者の方々に厚く御礼を申し上げます。

60. GPSを利用した計測，測量技術

鹿島建設㈱：*三浦　悟，廣瀬　素久
今井　道男

1．はじめに

我が国でGPS（Global Positioning System）の建設分野への導入が検討されてから7～8年が経つ。この間多くのGPSを利用した計測システムが報告されてきたが、特に、2、3年前から登場したGPSリアルタイム測位技術（RTK：Real Time Kinematic－GPS）は、建設分野でのGPSの活用範囲を確実に広げつつある。

本報では、RTK－GPSを用いて開発し、実際の工事現場に適用しているシステムの中から、大規模土工事における測量システム及び危険地域での無人化施工における仮想指標提示システムを紹介する。

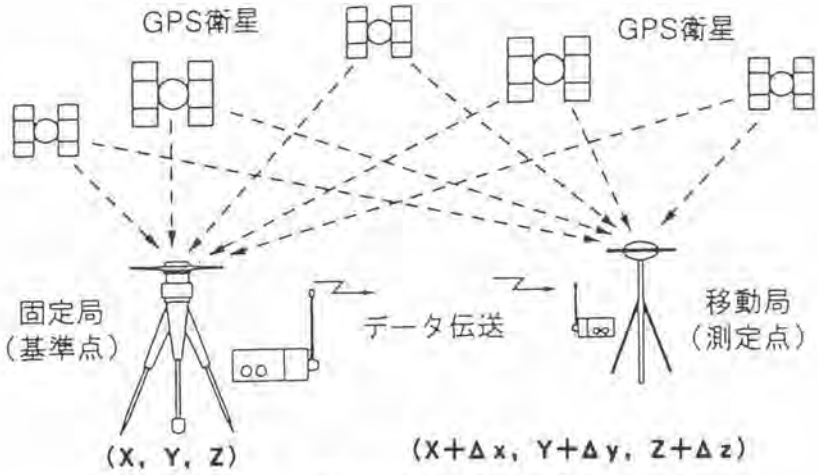
2．建設分野で利用するGPSの利用形態と特徴

GPSには多くの機能があり、それらの詳細な原理や機能の説明は、他の参考書などに譲るとして、ここでは建設分野で使われている利用形態と特徴について概要を記す。

GPSの利用形態は、単独測位法と相対測位法の2つに分けられる。GPSは本来、米国国防総省が人工衛星を使って航空機や船舶の後方支援を行う目的で開発したものなので、一般的には単独測位法が最も普及している。市販のカーナビ等もこの方法で、受信機で同時に4基のGPS衛星の電波を受信し、各衛星までの距離を測定することによって測位を行っている。しかし、単独測位法では数10mから100m程度の精度しかないため、建設分野では、相対測位法が使われている。

相対測位法の代表であるスタティック（静止）測位が、工事現場の基準点の測量に用いられている。これは、たとえば国家基準点と計測したい点にGPS受信機を置き、そのまま60分以上衛星データを取得・記録し、そのデータを持ち帰ってコンピュータ処理して結果を得るもので、精度は基準点からの距離が10㎞程度でも±10㎜程度と非常に優れている。この方法を使えば互いに見通すことのできない地点間、たとえば山岳トンネルの坑口間や、長距離で従来の光学測量では誤差が大きくなってしまう地点間、たとえば渡海測量が簡単に短期間で測定することができ、建設分野でのGPS利用の代表的な方法となっている。スタティック測位の他にも、相対測位法としてキネマティック測位やDGPS測位，RTK－GPS測位といった方法がある。このうちリアルタイムで2～3㎝の精度が得られ、最近の建設分野におけるGPS利用計測技術のほとんどに採用されているRTK－GPSについて説明する。

この方法は、図－1のように1台のGPS受信機を座標の分かった位置に設置し（基準点）、その他の受信機を測定したい地点に配置する。ここで基準点の受信機と同じ人工衛星からの信号を受けると、そのデータの違いによって測定点の基準点からの相対位置が求まるというもので、この計算をリアルタイムに行うために、図のように測定点に基準点のデータを伝送している。このRTK－GPSを利用した各種システムについて次項から述べる。



図－1　RTK－GPS の構成

3．大規模土工事における工事測量システム

(1) 開発の背景、目的

土工事では、日常管理業務として測量が大きなウェイトを占めており、特に大規模土工では、多くの労力、費用を費やしている。従来の光学測量方法での現場測量は、通常 2～3 人 1 組のチームで行われており、広範囲の測量では多数の測量技術者が必要となっていた。また、航空写真による定期的な写真測量も行われているが、撮影してから結果が出力されるまでの時間もかかるため、1 日 3～5 万m³を造成するような工事では、より迅速な結果出力が望まれていた。このため、日常的な出来形測量の効率化・省力化を目的として、一人で簡単に測量が行える可搬式の簡易工事測量システムを開発した。

(2)システムの概要

このシステムは次の機能を持っている。

①中心線、縦断・横断測量

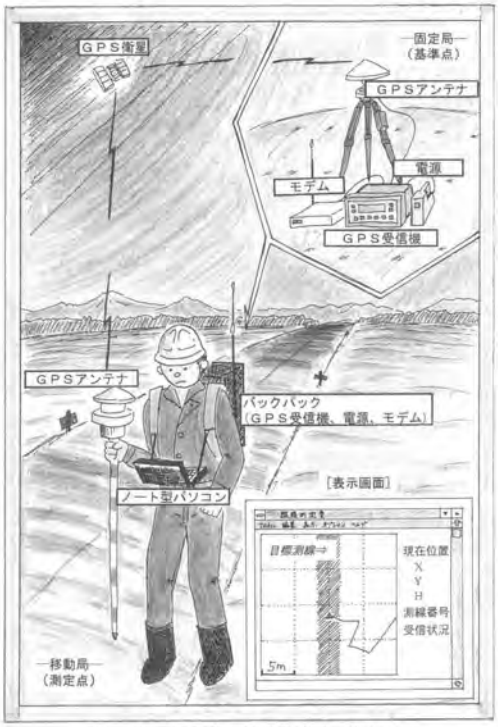
②メッシュ点測量

③丁張等の簡易的な設置

この中から縦断・横断測量の概要を示す。（図－2参照）

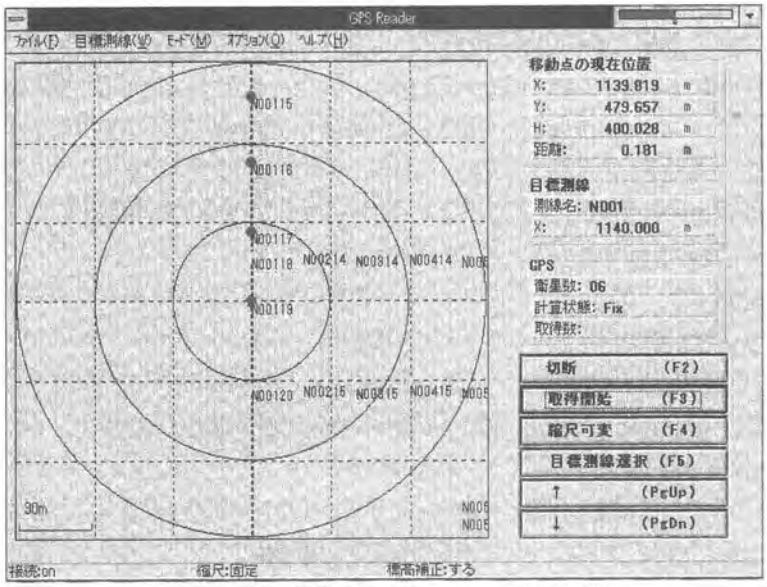
システムの特徴は、誰でも測点、測線に簡単に到達でき測定したい地点に GPS アンテナを立てるだけでその座標が確定できることにある。

図－3に作業員に携帯させる Windows のノートパソコン画面の例を示す。画面の中央に計画測線を示し、自己の位置から測定すべき箇所までの相対位置関係が分かるようになっている。また、計画測点や既に測定した点などを色分けして示しているので測量の知識の無い作業員でも、間違いの無い計測が可能となっている。測定データは CAD にそのまま入力できるので、出来高数量なども迅速に算出することが出来る。実際には GPS での計測が難しい環境の箇所もあり、従来の測量法と併用しているが、従来に比べ 40～50％の省力化が達成されている。



図－2　縦断・横断測量の概要

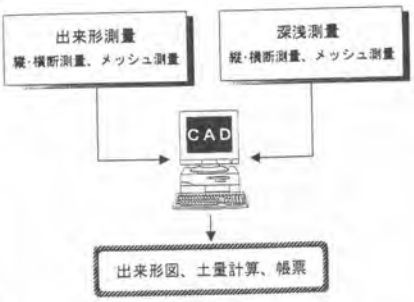
写真－1　使用状況



図－3　携帯用ノートパソコン画面の例

また、このシステムの応用として超音波測深機との組み合わせで、埋め立て工事の出来形測量（深浅測量）を行い、陸上、海上の測量データを CAD で一元的に管理するシステムも稼動している。（写真－2、図－4）

写真－2　深浅測量状況



図－4　データ処理システム

4．危険地域での無人化施工における GPS 利用

雲仙普賢岳の復興工事における除石工事や砂防ダムの建設工事に代表される危険地帯での無人化施工では、1994 年に現地で試験施工が実施されてから、これまでに多くの GPS を利用した遠隔施工システムが開発され、建設分野での GPS 活用の大きな役割を果たしている。

このプロジェクトでは、建設機械を約 2 km の距離から遠隔操縦することで無人化を図る施工法が要求された。当社ではプロジェクト開始当初から GPS 等の技術を適用して、建設機械の誘導・運行管理及び遠隔測量システムなどの施工技術を開発してきた。これらのシステムについては既に幾度か発表しているので、ここでは、現在遠隔施工のための支援技術として開発を進めている GPS と仮想現実感技術を利用した仮想指標提示システムについて紹介する。

写真－3　遠隔施工状況

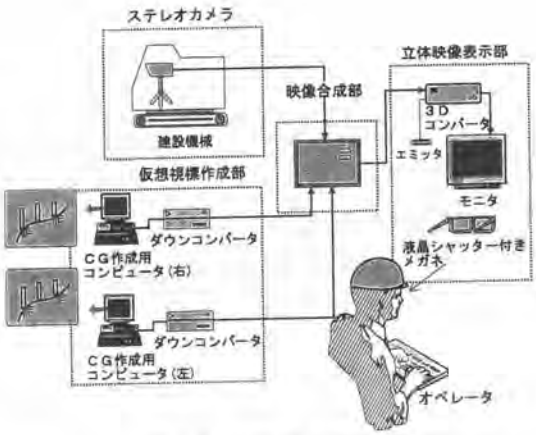
(1) 開発の背景、目的

通常の土工事では、掘削位置、掘削角度、掘削深さ、盛り土高さ等の情報を建設機械の操縦者に知らせるため測量丁張が置かれる。しかし、遠隔施工においては丁張を設置することができないため、法面作業など出来形精度を要求される作業に対して対応する必要があった。このため GPS やジャイロコンパス、仮想現実感技術を利用した仮想指標提示システム（Virtual Survey Marking System：VSMS）を開発した。

(2) システムの構成、特徴

このシステムは、図－5に示すように、建設機械の運転席からの映像を撮像するＣＣＤのステレオカメラと仮想視標作成部及びこれらの画像を合成する画像合成部及び立体映像表示部から構成される。

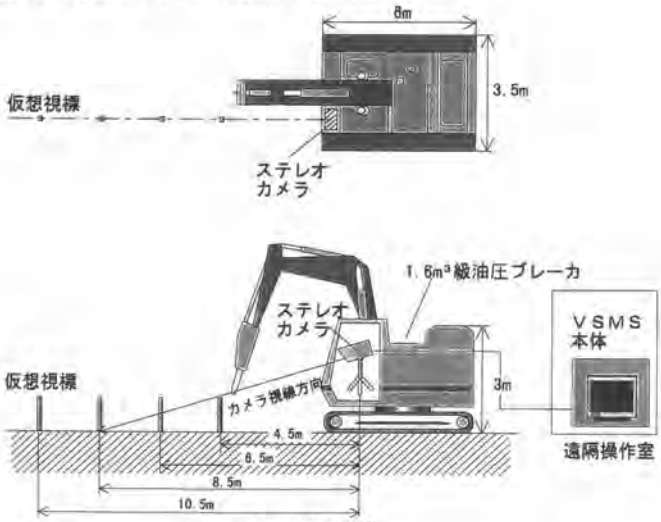
ステレオカメラは建設機械の操作室に固定して搭載し、その他の機器は遠方の遠隔操作室内に設置する。操縦者は、合成した画像を液晶シャッタメガネを介して臨場感ある立体画像として見ることができる。ステレオカメラは、建設機械が移動すると位置や姿勢も変わるためにその撮像範囲が変化する、一方、仮想指標は設計情報を表わすので、ステレオカメラ映像が変化しても常に基準となる位置に提示しなければならない。このためには建設機械の位置、姿勢をリアルタイムで計測し、モニタ上での仮想指標の作成位置を補正する必要がある。この測位装置として、遠隔操作室から長距離でも精度が確保できるＧＰＳを利用している。



図－5　VSMS の構成

(3) 基本性能確認

VSMS の基本性能を把握するために雲仙普賢岳の工事現場において遠隔式油圧ブレーカを用いて、位置決め操作を対象とした実験を行った。図－6に実験方法を示す。杭上の仮想視標はステレオカメラ搭載位置から4．5m～10．5m の範囲に2m 間隔で設けた。 また、実物の測量杭を設置して、運転席上のカメラからの映像をもとに操作する従来の遠隔操作方式での位置決め及び通常の直接操作方式との違いについて実験した。写真－4、5に実験状況を示す。



図－6　実験方法

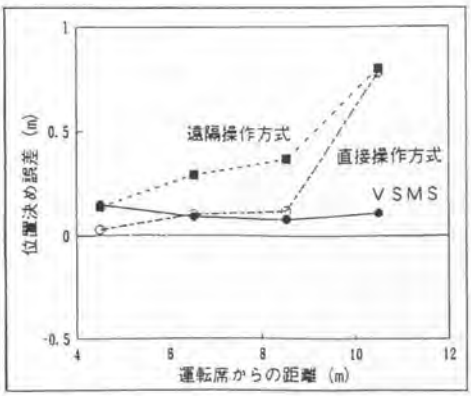
写真－4　実験状況（直接方式）

写真－5　実験状況（VSMS 方式）

図－7に各実験における 10 回の測定結果を示す。

VSMS 方式では距離に関わらず約 0．1m 程度の位置決め誤差であり、VSMS を用いない遠隔操作方式や直接操作方式よりも誤差が小さかった。

これは、測量杭までの距離が大きくなるに従い、色、形状とも不鮮明になったり、遠近感の判断が難しくなるためで、VSMS の仮想視標はどの距離でも鮮明な像を表示できたことによるものと思われる。



図－7 実験結果

5．おわりに

これまで紹介してきたシステムのほかにも多くの GPS 利用例がある。特に１９９５年１月に発生した阪神大震災時には地震によって被害を受けた地域の復旧のために必要な測量に、ズレてしまったそれまでの基準点に代わって威力を発揮したのは記憶に新しい。また、その後の神戸港復旧工事などでも RTK－GPS、DGPS によるシステムが作業船の位置決めに使われ、今では港湾工事で GPS を使うことは一つの常識となっている。

また、現在建設省では全国約９００箇所に GPS 連続観測施設（電子基準点網）を設置して、地震予知のための地殻変動の監視に活用しているが、近い将来には一般に開放し、スタティック測量の基準点或は、RTK－GPS の固定局として活用する試行や検討がなされている。

このように建設分野での GPS 利用環境は整ってきており、ともすれば特殊な工事だけに利用されるものと思われがちであった GPS も今後は多くの場面で使われ、我々にとってより身近な存在となっていくと思われる。

61. 拡張レヤー工法におけるコンクリート運搬の自動化

水資源開発公団： 大塚　明克，松本　之宏
*安部　　聡

1．はじめに

富郷ダムは、水資源開発公団が四国吉野川総合開発の一環として愛媛県吉野川支流銅山川に建設を行っている、堤高 111m、堤頂長 250m、堤体積 60 万㎥、総貯水容量 5,200 万㎥の重力式コンクリートダムで洪水調節、水道用水及び工業用水の供給、発電を目的とした多目的ダムである。

本体コンクリート打設は、合理化施工法としてＲＣＤ工法及び拡張レヤー工法（ＥＬＣＭ）を採用している。特にコンクリート主運搬設備に関しては、走行路をガーダ形状とした 20t 級両端移動式ケーブルクレーンを用いたコンクリート運搬の自動化を取り入れ合理化施工の一環としている。

これまで、ＲＣＤ部ではケーブルクレーンの横行・巻上下の組合わせを用いて、バンカー線と堤体上グランドホッパとのコンクリート往復運搬、すなわち定点としての運搬である定点運搬の自動化を行ってきた。

今回、ＥＬＣＭ部ではコンクリート打設が直打設となるため、横行・巻上下の組合わにダム上下流方向の移動である走行を加え、バンカー線と堤体上任意の打設位置までのコンクリート往復運搬、つまり任意点運搬の自動化を行った。

本論文では、この新たに採用した“拡張レヤー工法におけるコンクリート運搬の自動化”についてシステムの説明、実績及び解析、今後の課題についてとりまとめ報告するものである。

2．システム採用の経緯

富郷ダムでは、地形的に急峻であり堤体への進入路敷設が困難であることからコンクリート主運搬設備としてケーブルクレーンを採用した。形式としては放流設備等の堤内構造物の据付に有利で、施工ヤードが狭い堤頂部打設の効率の向上が望める、上下流方向の移動距離 22 mの両端移動式とした。

打設方法としては、昨今のダム工事現場における労働者の高齢化、熟練労働者の不足、繰り返し作業・重機械との混在作業が多い等の問題を背景に、機械の自動化による合理化、省力化、安全性の向上を目的とし、コンクリート製造から打設位置への運搬まで、一連の動きを自動で行うコンクリート運搬の自動化を取り入れた。

ＲＣＤ部での自動化は過去に例がありその有用性が報告されているが、施工幅が狭く打設が困難な堤頂部では自動化の導入がなされていないのが現状であった。そこで今回、ＥＬＣＭ部における施工効率・安全性の向上、省力化を目的とし、ＲＣＤ部での自動運搬システムに応用を加え、拡張レヤー工法（ＥＬＣＭ）におけるコンクリート運搬の自動化を行った。

3．システムの概要

3．1　コンクリート運搬の流れ

ＲＣＤ部での自動運搬と異なる点は、ＲＣＤ部は定点運搬であったのに対し、ＥＬＣＭ部は任意点運

搬となるため、バケットが打設位置に行く間でのケーブルクレーンの横行・巻上下の動きとそれに走行が加わる点である。その他の動きはＲＣＤ部と同じである。

コンクリートの製造から堤体上への運搬までの一連の流れは以下のようになる。写真－１がコンクリート運搬・打設状況（ＥＬＣＭ）である。（写真中の番号は文中と対応）

① 集中管理棟内のケーブルクレーン運転室の中央制御盤（プログラマブルコントローラ）に運搬時の設定値（スプレッド枠の大きさ、打設ブロックの座標、レーンの打設順序）を打込む。

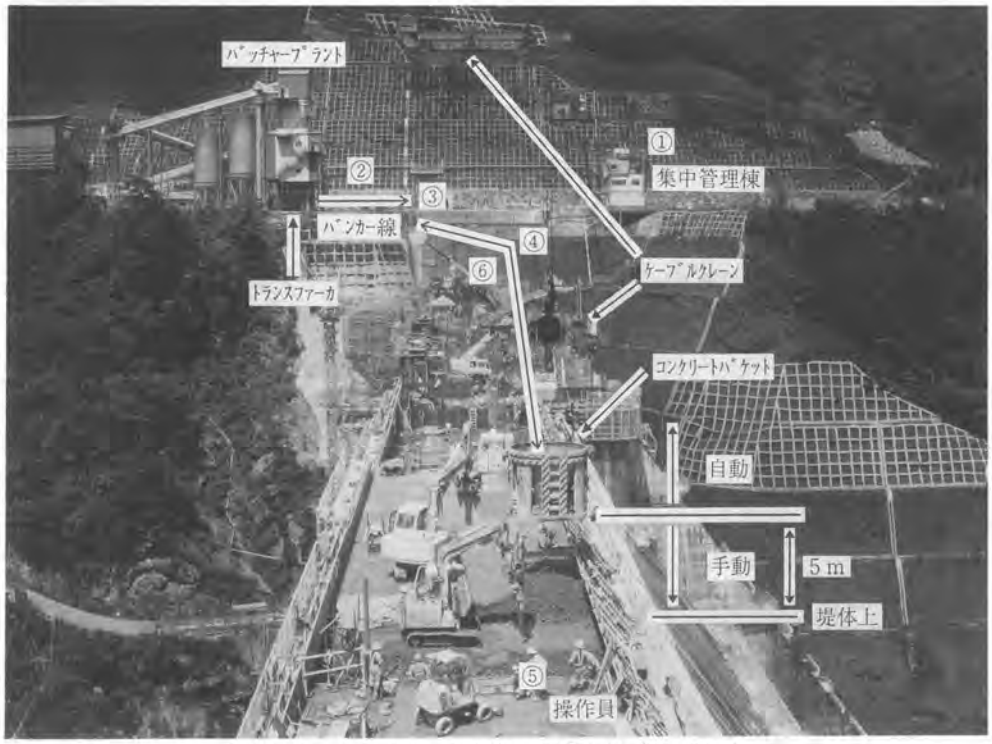
② バッチャープラントで製造されたコンクリートはトランスファーカへ自動積込みされ、バンカー線上をバケット着缶位置へと移動する。

③ トランスファーカが自動的にバケット位置を検知しコンクリートをバケットに放出する。

④ バケットはケーブルクレーンの動作に伴い自動的に離床し、正確な位置決めと制振を行いながら打設位置上へ移動する。（同時にトランスファーカも自動でバッチャープラントまで戻る）

⑤ 打設位置上５ｍの高さで自動から手動に切り替わり、堤体上の操作員（遠隔操作）によりバケットの巻下げ→開閉が行われる。（切り替わりの高さは任意に設定できるが安全上５ｍとした）

⑥ バケットはコンクリートを放出した後、自動的に再起動し制振しながらバンカー線へ着缶する。



写真－１　コンクリート運搬・打設状況（ＥＬＣＭ）

３．２　コンクリート打設方法

ケーブルクレーンは横行、巻上下、走行の３つの動きが同時に行える、つまり３次元の動きが行えるため堤体上の任意の位置への運搬が可能だが、効率的な打設が行えるように８種類の打設パターンを考えた。そこで、代表的な２種類のパターンについて説明する。

3．2．1　左右岸方向打設モード

図－1に打設方法を示す。各レーンに表示されている数値が打設順序となる。

①～③　バンカー線よりコンクリートを受け、Ｚレーン１Ｙ１レーンの第１打設ポイントへ移動、コンクリートを放出後、再びバンカー線へ着缶。

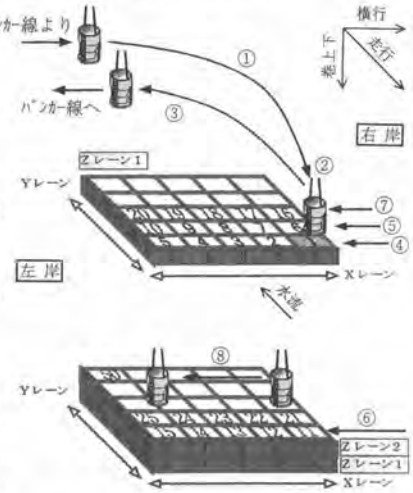
④　続いてＹ１レーンを２→５と運搬する。

⑤　６へ移動しＹ２レーンを６→１０と運搬する。

⑥　Ｚレーン１(１層目)のＹ１・２レーン打設後Ｚレーン２(２層目)のＹ１レーンを１１→１５と運搬する。

⑦　再びＺレーン１に戻りＹ３レーンを１６→２０と運搬する。

⑧　再びＺレーン２に戻りＹ２レーンを２１→２５と運搬する。以降追跡２層打ちを行い５０で打設完了。

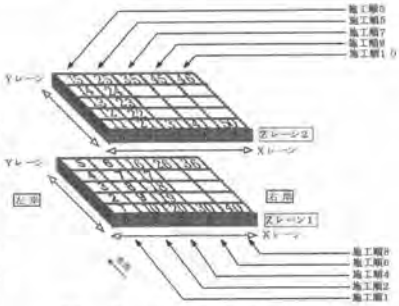


図－１　左右岸方向打設方法

図－１のバケットの動きから分かるように、このモードは任意点運搬のうち横行の位置決めを主に行う打設方法である。横行・巻上下・走行が同時に稼働するのは打設順５→６、１０→１１というように次のレーンに移るときである。横行・巻上下同時稼働時のバケットの振れ止め制御は、定点運搬の自動化で完成されていた。今回、走行の振れ止めについては制御を行わず走行距離を短くし、サイクルタイムに影響を及ぼさない範囲で走行時間を長くすることで振れを押さえた。走行時間は横行時間内に収まるためサイクルタイムには影響しない。写真－２が左右岸方向打設の施工状況である。

3．2．2　上下流方向打設モード

図－２に打設及びレーン施工順を示す。図－２のバケットの動きから分かるように、このモードは任意点運搬のうち走行の位置決めを主に行う打設方法である。横行・巻上下・走行が同時に稼働するのは打設順１→２、２→３…６→７（５→６は除く）というように各打設時で走行回数が多いが、走行の振れ止めについては左右岸方向打設モードと同じ考え方である。写真－３が上下流方向打設の施工状況である。



図－２　上下流方向打設方法

写真－２　左右岸方向打設状況

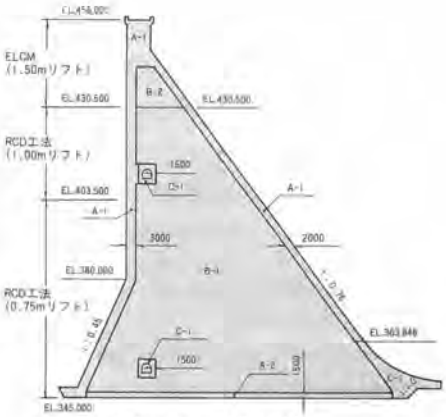
写真－３　上下流方向打設状況

4．打設概要と打設計画

4．1　打設概要

ＥＬＣＭ部は、図－３の打設区分図に示すようにEL.430.5から0.75ｍ２層打ち1.5ｍリフトで打設を行った。総ブロック数は16であり、１ブロックの長さ（左右岸方向）は15ｍ、EL.430.5における幅（上下流方向）は約19ｍであり、丁度ケーブルクレーンの走行範囲（ダム軸より下流側20ｍ）内である。

打設にあたっては、放流設備、堤内構造物据付等によるブロック分断のため最大３ブロック連続の打設を行った。



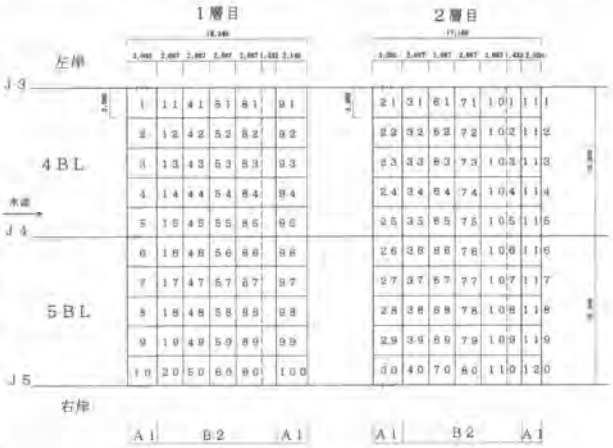
図－３　打設区分図

4．2　打設計画

図－４に4･5BL EL432.0～EL433.5打設時の打設計画図（スプレッドスケジュール）を示す。この時のモードは、左岸上流開始・左岸→右岸打設モードであり、記入されている番号が打設順序である。

マス目の設定方法は以下のようになる。

コンクリートバケットの容量は6㎥であるので、１マス分のコンクリート量ができるだけ6㎥になるようにマスの大きさを決定する。まず、打設面幅17.1ｍ（２層目）のうち外部コンクリート（Ａ１配合）幅５ｍ（上流3ｍ＋下流2ｍ）を確保する。内部コンクリート（Ｂ２配合）については残りの幅12.1ｍ、長さ30（ｍ）のスペースに１マス6㎥となるように幅2.67ｍ、長さ3.0ｍのマス目とした（2.67×3.0×0.75＝6㎥となる）。実際には、設定上厳密に6㎥とならない箇所もあり、順次打設していくうちに、コンクリート量が足りなくなる場合がでてくるため、打設後再び同じ位置へ運搬できるようにリピートボタンを設けている。図－４で1.43ｍの幅はリピートを用いて調整を行う。実際の打設は図－４のスプレッドスケジュールの諸設定値をコンピュータに打込み、トランスファーカからバケットへのコンクリート積込みが完了すれば、以降打設順序に従い自動的に打設が行われる。



図－４　スプレッドスケジュール

4．3　システムの目標

① 施工性･･･手動による打設と同等以上の能力を発揮する。

② 安全性･･･人間による仕事を機械で行うことによって、安全かつ安定した施工を行う。

③ 省力化･･･人間の配置を少なくし操作員、作業員の労力を軽減する。

5．成　果

5．1　施工性

今回導入したシステムでは手動と同等以上の能力を発揮することはできなかったが、

① 手動の70～80%の能力を発揮することができた。

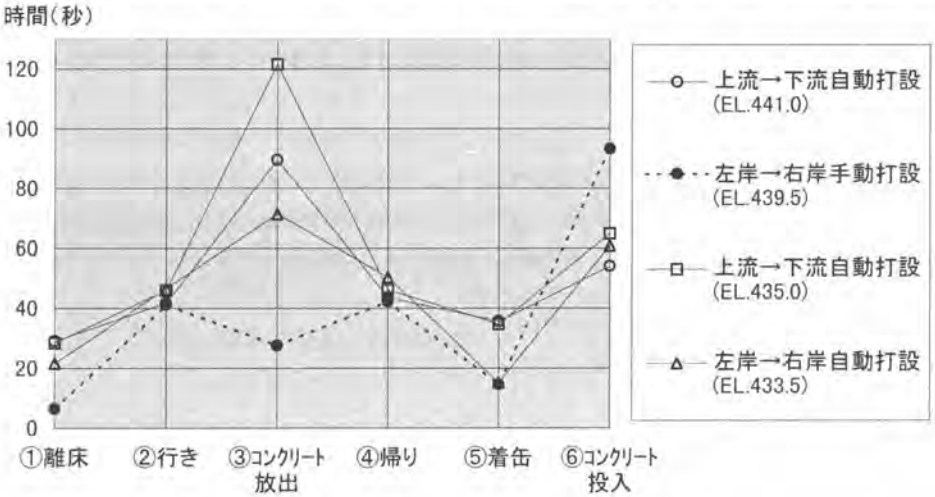
② 長時間の連続打設でも、従来の手動運転で見られるばらつきがなく安定した能力が発揮できた。

手動と自動打設とでの打設能力を比較するために打設サイクルタイムの測定を行った。

図－5に同一ブロックにおける、連続20回分の打設サイクルタイムの平均値の比較を示す。

（単位：秒）

打設方法	①離床	②行き	③コンクリート放出	④帰り	⑤着缶	⑥コンクリート投入	合計
上流→下流自動打設(EL.441.0)	29	42	90	44	36	54	294
左岸→右岸手動打設(EL.439.5)	6	41	28	42	15	93	225
上流→下流自動打設(EL.435.0)	28	46	122	46	35	65	343
左岸→右岸自動打設(EL.433.5)	22	47	71	50	15	88	293



図－5　サイクルタイム比較表

手動と自動とを比較すると、先ず自動打設の①離床、⑤着缶については打設面の上昇に伴いバケット横行時に重機とバケットとの接触の危険性が発生し、EL433.5以上では離床・着缶時の高さを高くしたため、①離床、⑤着缶の時間が長くなってしまった。EL433.5では、①離床は長いものの、⑤着缶は同等である。手動打設では、オペレータが直接堤体上の状況を目視で確認できるため、離床時の高さを高くする必要はなく離床時間は短くなっている。

②行き、④帰りについてはほぼ同等である。ＲＣＤ部では打設面から着缶位置までの高さがあったのでバケットの往復は最短距離、すなわち横行・巻上下の同時稼働による放物線を描いたが、ＥＬＣＭ部では高さがないため安全性を重視して、重機等の障害物と接触しないように横行→巻下げ、巻上げ→横行というように動作を分け直線的な動きとしたため若干遅くなってしまった。

③コンクリート放出、⑥コンクリート投入はケーブルクレーン以外の動作であるため手動、自動で変わる要素ではないが、③コンクリート放出時間で、各打設で差があるのは、当初計画では堤体上の作業

はバケットの巻下げと開閉だけであったが、コンクリートの施工性から堤体上で横行、走行の微調整をできるように遠隔操作用のリモコンを導入したため、その都度打設状況によって時間差が生じてしまった。今後はこの時間を短縮すれば打設のサイクルタイムが縮まると考えられる。

⑥コンクリート投入は、トランスファーカからバケットへコンクリートを積込むまでの時間であり、ＲＣＤ部ほど打設能力が大きくないＥＬＣＭ部ではバッチャープラントの能力に余裕があるため、コンクリート製造が追いつかなくなりケーブルクレーンを待機させるということはないのでほぼ一定の時間で投入できた。手動打設で時間がかかっているのは骨材不足等のトラブル発生のためである。

5．2　安全性

① 従来、操作員に頼っていた重機が混在する危険箇所での作業が機械で行えるようになったため、省人力化が図られ接触事故等の人災もなく安全に施工できた。

② 重機の運転が人間から機械へととって代わり、疲労・集中力の低下による事故発生の危険性がなくなった。

5．3　省力化

① バッチャープラント操作員、ケーブルクレーン操作員、堤体上の操作員の３人でコンクリート運搬が行えた。

② ケーブルクレーン操作員の仕事が運転から監視へと代わり、肉体的、精神的負担が軽減されたため、従来と比べケーブルクレーン操作員の就業人数を半減することができた。

6．今後の課題

① スプレッドスケジュールの打設枠通りにコンクリートを運搬しても、放出時の広がりにより所定のコンクリート高さ、幅が得られず、次のレーンを打設する時にはどうしても微調整がいるため、今後、堤体上での調整時間を短縮するためには打設後次の運搬位置を瞬時に設定できるシステムが必要である。

② 構造物周りではプログラムが組めず、また、上下流型枠部の打設では特に微調整に時間がかってしまったため、今後、堤体上の操作をなくし完全な自動とするには、バケット自体に構造物等を検知し、コンクリートを自動で放出できるようなシステムを考える必要がある。

7．おわりに

今回初めて導入したシステムとして、施工能力的には手動の 70～80％であったが、作業の安定性・安全性・オペレータの労力の軽減化を含めると満足した結果が得られたといえる。また、完成されたシステムには及ばなかったものの今後の土台作りにはなったと考える。今後、更にシステムの改良あるいは、新しい考え方を導入し完全なシステムを目指したい。

今回、“拡張レヤー工法におけるコンクリート運搬の自動化”の報告を行ったが、今後のダム建設事業の参考になれば幸いである。

最後に、システム導入にあたりご協力いただいた大林・森本・住友共同企業体の皆様に深く感謝いたします。

建設機械と施工法シンポジウム論文集（平成９年度版）

平成９年10月１日　印刷
平成９年10月９日　発行

編集
発行所　社団法人　日本建設機械化協会
東京都港区芝公園３－５－８
（機械振興会館内）
ＴＥＬ（03）3433－１５０１
ＦＡＸ（03）3432－０２８９
振替口座　00170－５－71122

不　許
複　製

印刷所　㈱昭和工業写真印刷所
東京都港区三田５－14－３