平成２年度

建設機械と施工法シンポジウム

論　文　集

平成２年11月１日～２日

東京・機械振興会館

社団法人　日本建設機械化協会

平成２年度

建設機械と施工法シンポジウム

論　文　集

社団法人　日本建設機械化協会

平成２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

【コンクリート・維持等とその機械】

1．RCCP工法の製造装置及び表面処理機械の開発
……日本鋪道㈱：岡本　優，＊安松　仁…　2

2．グリーンカット機の開発……建設省：＊持丸修一
関谷洋一，須田光俊，小柳真二
本州四国連絡橋公団：唐沢則次…　6

3．着座型タンパ式捨石均し機の開発
……東洋建設㈱：牧野栄一，＊皿澤　薫，久保　滋…　10

4．機械式汚泥脱水工法……東洋建設㈱：＊埜村昌司，後藤聖一…　14

5．25Ton テトラポッド掴み機……五洋建設㈱：石井　博…　18

6．高速圧雪整正機の開発
……建設省東北技術事務所：太田　宏，佐藤文夫，＊松本孝一…　22

7．サンドスタビライザを使用したコンクリートのプレクーリング
……本州四国連絡橋公団：坂本光重
大成・間・佐藤・東洋・日本国土ＪＶ：田中直隆，原崎　真
㈱北川鉄工所：白木　久，＊永久利夫…　26

8．高速自動工事用エレベータの開発
……㈱竹中工務店：＊佐多基之，石井治郎
友松省三，室　英治，森田真弘，星野春夫…　30

【自動制御・施工管理技術】

9．コイル状鉄筋の効用と棒状鉄筋からコイル状鉄筋使用への転換～鉄筋加工の省力化とコストダウンへの提言～……石原機械工業㈱：石原拓一郎…　34

10．画像処理を利用したトンネル断面計測システムの開発
……㈱奥村組：寺田道直，＊市原義久…　38

11. 建設車両自動運転システム（HIVACS）の開発
……㈱間　組：畠山　修，杉浦仁志
＊斉藤宏明，東京航空計器㈱：西出健一，塙　守智… 42
12. インテリジェントスケールの開発
……大成建設㈱：＊内藤正光，大河内政之… 46
13. 多電極式活線接近警報装置の開発……大成建設㈱：＊山岸宏充，戸崎一弥… 50
14. トンネル断面自動測定システム
……㈱熊谷組：＊岡田　喬，所沢　豊，松枝浩太郎
富士物産㈱：木村忠英… 54
15. 降雪量に応じた散水量調整システム
……建設省近畿技術事務所：松本克英，＊堀内厚志
建設省福井工事事務所：山形清三，森　利光… 58
16. タワークレーン運行管理システムの開発……鹿島建設㈱：酒井克巳
＊植木睦央，太田裕士… 62

【トンネルとその機械】

17. ロードヘッダー（S300A)で硬岩地山に挑む
……㈱大林組：登坂知平，＊金田　勉，対馬祥一，森　重圀… 66
18. H&V シールド工法の実証実験
……㈱間　組：＊園田徹士，清水建設㈱：萩原英樹
前田建設工業㈱：北川滋樹… 70
19. シールド掘進機用鋳ぐるみビットの開発
……日立造船㈱：＊桑原　努，浅田健次
㈱栗本鉄工所：藤沢義之… 74
20. New PLS 工法の開発
……建設機械化研究所：亀岡美友，日本国土開発㈱：＊指田健次
㈱三井三池製作所：伊藤啓之… 78
21. 巨礫対応ドーム型シールドのディスクカッタ形状について
……日立建機㈱：石川泰昭，山崎英嗣，＊吉田竹志
日本コムシス㈱：香月春彦，飯田猛雄，若本憲隆… 82
22. 超急曲線を土圧式シールドで掘進……住友建設㈱：＊大谷賢司
佐藤秀之，桑原秀樹… 86
23. 斜坑掘削へのニューアリマッククライマーの採用
……鹿島建設㈱：＊山口善郷，黒岩憲二… 90
24. 岩盤と粘性土の多層地盤対応型シールド機
……鹿島建設㈱：岡田貞夫，＊中田久也，武冨宣夫… 94

【土工・地盤改良・舗装とその機械】

25. 水底砂質土の掘削……京都大学：畠昭治郎… 98
26. ロングスロープ切削機能を備えた路面切削機による施工
……酒井重工業㈱：岸　幸雄… 102
27. ディープ・バイブロ工法の実証実験……㈱間　組：＊三原正哉
日本海工㈱：豊澤良二，青山機工㈱：末広修三… 106
28. 小型プル用ゴム履帯の開発……㈱小松製作所：吉田和宏，＊堀　一俊… 110
29. 稼働範囲が広がってきたアーティキュレイトダンプトラック
……新キャタピラー三菱㈱：吉成龍太郎… 114
30. アスファルトフィニッシャの全油圧化……新キャタピラー三菱㈱：大野俊司… 118
31. アスファルト舗装強制冷却機……東洋運搬機㈱：佐々木真… 122

【自動化機械・建設ロボット】

32. ニューマチックケーソン無人化工法……大豊建設㈱：阿部昭十郎，＊角田治郎… 126
33. タイル貼りロボットの開発……㈱間　組：配野　均，＊増淵和幸
㈳全国タイル業協会：石川誠一郎，㈱小松製作所：大坪和彦
沢野利幸，斉藤伊徳… 130
34. シールド掘進機の自動化～大口径セグメント組立ロボットの開発～
……日立造船㈱：＊布村　進，宮脇国男，松永登志夫… 134
35. 懸垂式自動壁面目荒し機の開発……清水建設㈱：牧野総一，梶岡保夫
小田原卓郎，＊岸野富夫… 138
36. ロータリ除雪車の自動化技術の開発……建設省北陸技術事務所：萩原哲雄
上村　弘，＊中川毅志… 142
37. 自動化ケーソン工法の開発……鹿島建設㈱：中川幹雄，＊河本克正
㈱白石：佐久間敏夫… 146
38. 外装工事用ロボットの開発
……鹿島建設㈱：五十嵐久也，片山公正，＊田中靖彦… 150
39. 水中コンクリート用打継目清掃機の開発……本州四国連絡橋公団：坂本光重… 154

【基礎・推進とその機械】

40. スーパーハイドロフレーズ掘削機による大深度・大壁厚地中連続壁施工実績報告
……㈱大林組：加藤　実，大堀堯義，＊中村俊男… 158
41. コンクリート打設天端自動管理システムの開発……㈱大林組：平井正哉
土屋幸三郎，＊山本幸信… 162

42. 地すべり抑止用二重継手鋼管井筒工法の開発……新日本製鐵㈱：＊龍田昌毅
関田欣治，斉藤拓也，帝石削井工業㈱：大野　然
㈶砂防地すべり技術センター：鈴木　宏，藤田寿雄… 166
43. バケット式連続地中壁工法による地下ダムの試験施工
……大成建設㈱：内藤禎二，＊荒井政男，井関英生… 170
44. 小口径推進工法の運転支援システム……建設省：杉山　篤，高津知司
㈱小松製作所：中島　実，花本忠幸，＊高橋典夫… 174
45. 伸縮リーダー式特殊杭打機の開発と施工実績
……東急建設㈱：光永純一，＊梅津　薫… 178
46. 既設構造物地中連続壁掘削用水平方向掘削機の開発と施工
……鹿島建設㈱：野中進一朗，＊千田哲雄… 182
47. 回転式ケーシングドライバによる地中障害物撤去の施工例
……日立建機㈱：＊久住　宏
東洋基礎工業㈱：山口誠也，新日本国土工業㈱：金岡隆一… 186

１．RCCP工法の製造装置及び表面処理機械の開発

日本鋪道㈱：岡本　優・*安松　仁

１．まえがき

転圧コンクリート舗装（Roller Compacted Concrete Pavement、以下ＲＣＣＰ）は、通常の舗装用コンクリートに比べ単位水量の著しく少ない超硬練りのコンクリートをアスファルトフィニッシャで敷均し、振動ローラ及びタイヤローラ等で十分締固めて仕上げるコンクリート舗装である。

ＲＣＣＰが、わが国で近年注目され関心の高まりを見せており、その施工実績も全国で約１２５件、２７万m²にもおよんでいる。

この背景として、わが国の舗装が施工の容易さや、維持管理の容易さからアスファルト舗装が主流であるが、近年の交通量の増大や車両の重量化に対し、耐流動の点で限界となってきており、より耐久性のある舗装が望まれているいることが考えられる。この観点から、コンクリート舗装が最近見直される傾向にあるものの、従来のコンクリート舗装は施工の煩雑さや維持修繕が容易でないこと、さらに大きな問題は長い養生日数を必要とすることである。ＲＣＣＰは、従来のコンクリート舗装の施工性などの欠点を大幅に改善でき、かつコンクリート舗装の特徴を生かせる工法として期待されている。

しかしながら、ＲＣＣＰの施工は、製造プラントでの品質管理と併せて、締固めまでの時間経過が品質に与える影響が大きく、さらに既設プラントを使用する場合、製造能力に制限を受け、施工能力に見合った製造能力が確保できない場合とか、含水比の管理が難しくコンシステンシーにバラツキを生じていることが上げられている。

また、ＲＣＣＰの表面性状も表面の荒れ、骨材の飛散等の問題も指摘されており、これらの施工法の開発が大きな課題となっている。

このような現況を踏まえて、ＲＣＣ混合物の製造装置及び、ＲＣＣＰの表面性状の改良機械の開発を行い試験施工を経て実用化に成功したのでその概要を報告する。

２．ＲＣＣＰプラント

２－１開発理由

ＲＣＣＰの施工にあたり、製造プラントでの品質管理と併せて、混合物の製造から転圧開始までの時間経過が品質に大きく影響を与えること、また既設の生コンプラントを使用した場合の施工能力に見合った製造能力の確保が難しいこと、あるいは舗設現場近くに生コンプラントが無い場合があること等の問題点を解決するために、舗設現場近くに容易に仮設

写真－１

することが可能なポータブルタイプのＲＣＣＰプラントを開発した。（写真－１，表－１）

開発に際して仮設・解体を容易にするために、仮設用地、搬入路等も十分考慮し、機械をすべて大型トラックで輸送可能なユニット形式とした。

プラントの形式は比較的小規模な設備，動力で大量の混合物を製造できる連続式（コンテニアンス）プラントである。従来の連続式プラント（ソイルプラント等）との相違は骨材（４種類），セメント，を連続的に重量計量水，添加剤を流量計量し、各々配合設定重量に対しコンピュータ制御するものである。ＲＣＣＰプラントのフローシートを図－１に示す。

型式	PMII30001		
能力	80m³/h（ソイルセメント300t/h）		
骨材供給装置	コールドホッパ	m³	8
	ベルトフィーダ	t/h	100
	気送ベルコン	t/h	200
投入ベルコン	ベルトコンベア	t/h	400
混合装置	連続２軸パグミルミキサ	t/h	300
セメント貯蔵	セメントサイロ	m³	30
セメント計量	ロータリーフィーダ	t/h	5～30
	ベルトフィーダ	t/h	5～30
合材ベルコン	ベルトコンベア	t/h	400
水タンク	水タンク	m³	10
	水ポンプ	m³/h	2～30
	水流量計	m³/h	2～30
	添加剤タンク	m³	2
	添加剤ポンプ	l/min	1～5
	添加剤流量計	l/min	1～5
付属品	高感度水分計　重量印字記録計		
所要動力	157.45kw		

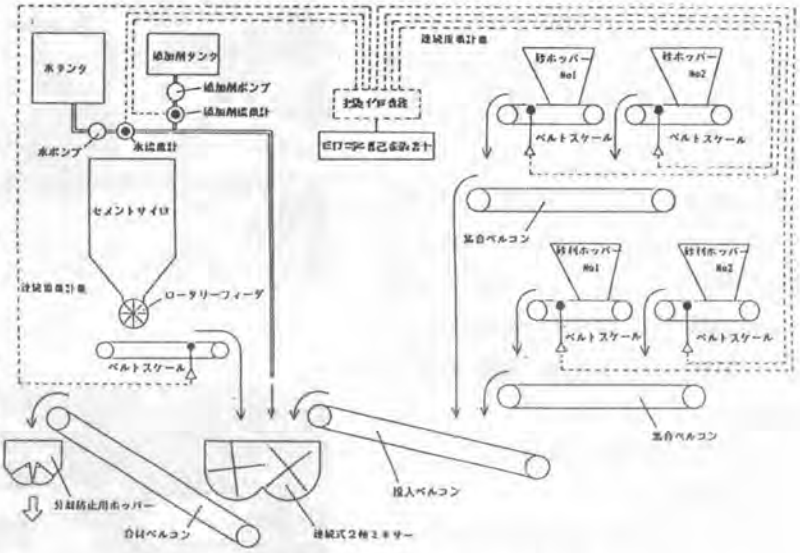
表－１　主要諸元表

２－２機械の主仕様

２－２－１骨材供給装置（粗骨材，細骨材）

骨材供給装置ユニットは２連式のコールドホッパとベルトフィーダ、及び集合用ベルトコンベアで構成されている。コールドホッパの内面は高分子材を取り付けアーチング防止対策を施している。

ベルトフィーダの吐出量調整にはインバータ方式（デジタル方式）を採用し高精度な流量制御を行い、かつフィーダ前部にはロードセル式ベルトスケールを設置し、各骨材の流量を連続的に重量計量し、設定重量に対しコンピュータ制御をおこなっている。また、骨材の表面水の変動に伴うコンシステンシーの変動はコンクリートの舗設及び品質，出来形に大きく影響を与えるため、細骨材用フィーダには高感度な水分計を設置し、リアルタイムで表面水管理を行っている。



図－１　ＲＣＣＰプラントフローシート

２－２－２セメント計量

ＲＣＣ混合物に使用されるセメント量は約３００kg／m³程度であり、従来のソイルプラント等で使用されているスクリューフィーダ方式による流量管理では精度的に対応が困難であることから、今回セメント計量装置としてベルトフィーダ方式を採用した。ベルトフィーダにはベルトスケールを取り付け、

設定されたセメント吐出重量に対しロータリーフィーダ及びベルトフィーダ速度を自動制御している。　（図－２）

２－２－３水・添加剤計量

ＲＣＣ混合物は単位水量が著しく少ないコンクリートのため、骨材の表面水に加え、加水量の精度も品質に与える影響が大きい。現在ソイルプラント等で使用されている浮遊式流量計では精度的に問題があるため、今回、電子流量計（デジタル式）を採用し設定流量に対し自動的に流量制御するものである。

２－２－４混合装置

混合装置は比較的小規模な設備，動力で大量の混合物を製造できる連続式２軸ミキサーを採用した。当ミキサーは、同クラスの連続式２軸ミキサに比べ、機長，パドル周速等を十分考慮し、かつミキサー排出口にはダムゲートを設け混合性能の向上を図っている。（写真－２）

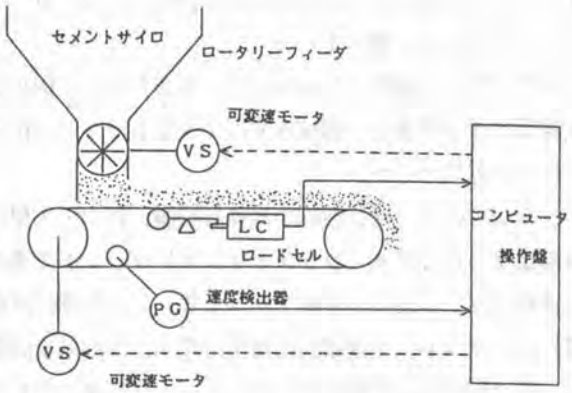
２－２－５管理

製造管理は、あらかじめ設定された配合（Ｔ／Ｈ）に対し、各材料を連続的に重量計量しながら、フィーダあるいはポンプを自動コントロールするものである。また、最終的な品質管理は重量印字記録計にて行う。

３．ＲＣＣＰ表面仕上げ機

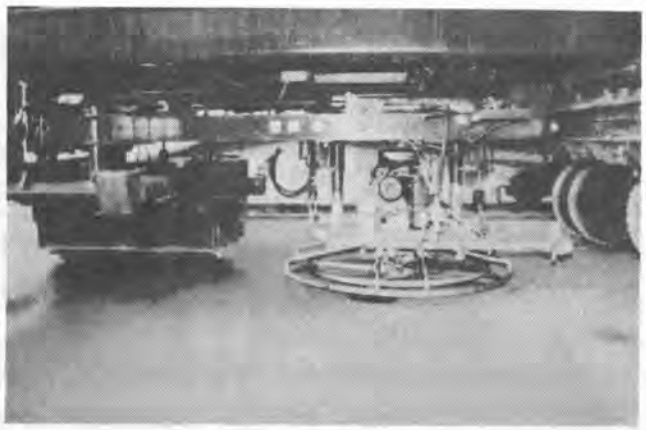
３－１開発目的

ＲＣＣＰ混合物は超硬練りコンクリート（スランプ＝０cm）のため、敷均し・締固め後も通常のコンクリートのようにモルタルが表面に上がらず、骨材が露出している状態である。また、敷均しに、高締固め型アスファルトフィニッシャを使用した場合、表面にティアリングクラックが発生し、ローラ転圧後もクラック



図－２　セメント計量装置フローシート

写真－２



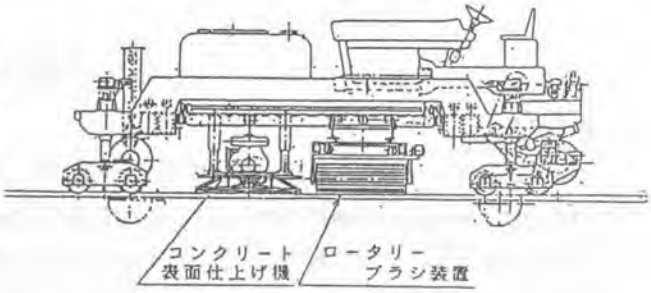
写真－３

が残る場合があり、供用後の骨材飛散が懸念されている。　ＲＣＣＰ舗装を道路表層に適用するにあたり、これらの問題点を解決するとともに、表面性状の向上を目的に開発したものである。（写真－３，図－３）

３－２機械の概要

本機は、ローラ転圧後、舗装表面に浸透性養生剤を噴霧し、湿潤状態になった表面をコンクリート床面仕上げ機で平滑にした後、ロータリーブラシ装置で粗面仕上げを行うものである。

養生剤散布装置，床面仕上げ機及び、ロータリーブラシは自走式ベースマシンに組み込まれ、各作業装置の横行、養生剤の散布は自動制御されている。また、施工幅員は３～５ｍの範囲で任意に設定できるものである。



図－３　ＲＣＣＰ表面仕上げ機

３－３結果

ＲＣＣＰ表面性状は浸透性養生剤を散布することにより舗装表面に強固な層が形成され、骨材の飛散防止につながり、供用性の改善に有効であった。

４．あとがき

今回開発したＲＣＣＰプラントは、従来の連続式プラント（ソイルプラント）と比較して、大幅な品質向上を目的とし、さらに省力化を目的にコンピュータ制御を取り入れたもので、これまでのＲＣＣＰの製造上で問題のあった品質のバラツキ（水量の変化）、及び製造能力の改善等が可能なプラントである。また表面仕上げ機は、ＲＣＣＰの供用後の問題である表面の荒れ（骨剤の飛散等）を改善できる有効な手段となり得ると思われる。

しかしながら、ＲＣＣＰプラントは、その仮設、運搬費にコストがかかること、さらに用地の確保が必要なこと等の問題もあり、すべてのＲＣＣＰ工事に対応できるものではなく、今後工事規模と合わせてその採算性について検討を進めていく必要があると思われる。

2．グリーンカット機の開発

建設省：*持丸　修一・関谷　洋一
須田　光俊・小柳　真二
本州四国連絡橋公団：　唐沢　則次

1．まえがき

近年、コンクリートダム建設においてコストの低減、省力化および工期の短縮を目的としてＲＣＤ（Roller Conpacted Dam-concrete）工法の採用例が増している。

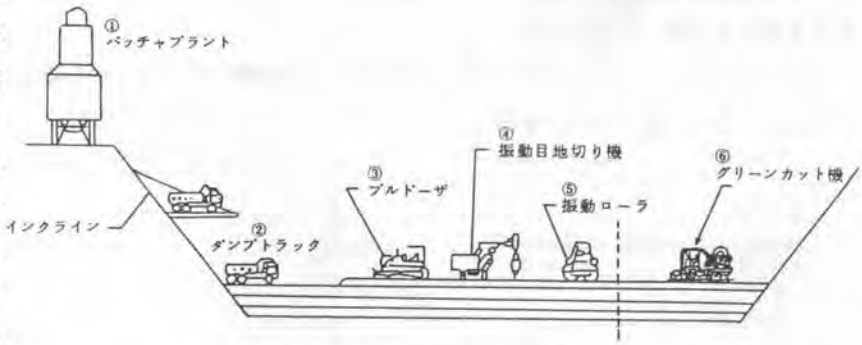
ＲＣＤ工法のダム工事において、コンクリート打設の際打継面に生じるレイタンスを除去すること（グリーンカット）が、コンクリートの一体性を高めるために必要な要因となっている。

現在、この作業は、人手に依存している部分が多く、ポリッシャや圧力水等を用いた研削、集積と吸引車や水中ポンプを用いた回収等により、個別的に行われている。また、作業自体がコンクリート硬化時間や打設工程に制約されることも相まって、多数の作業員を要するものとなっている。

本報文は、このようにＲＣＤ工事の中で特に人力依存度の高いグリーンカット作業を機械化し、工事の省力化を図ることを目的として、昭和62年度から平成元年度にかけて、（株）新潟鉄工所と「共同開発」として実施した内容について報告するものである。

2．開発の概要

本機械の開発は、ＲＣＤ工法によるコンクリートダム堤体のグリーンカット作業を対象として行ったものである。ＲＣＤ工法の施工形態の一例を図－１に示す。グリーンカット作業の作業要素であるところのレイタンスの研削、スライムの集積、回収を１台で行える作業機械の開発を行った。



図－１　ＲＣＤ工法の施工形態

3．開発内容

3．1　施工実態調査

グリーンカット作業の施工実態を調査した結果、次のような機器により行われていた。

(1)　Ａダム現場

モータースイーパー及び電動ポリッシャとジェット水により水洗いし、電動バキュームを使

用し、人手で行っている。

(2) Bダム現場

自走式グリーンカット車と電動ポリッシャ、人力ブラッシング及びウォータージェットを併用して行っている。

(3) Cダム現場

高圧ジェット水、電動ポリッシャ、ロードスイーパー及びテナントスイーパーを用いて行っている。

(4) Dダム現場

高圧ジェット水、電動ポリッシャ、テナントスイーパー及び吸引機を用いて行っている。

(5) Eダム現場

圧力水、グリーンカット機（研削専用）、電動ポリッシャ、レイタンス集積車及び吸引車により行っている。

3．2 基本構想検討

研削、集積、回収の各作業において、省力化が望ましく、各作業間の円滑化と安全性向上を図る目的で、各機能を一体化した機械を開発することとして検討し、下記のとおり主要部基本機構を決定した。

(1) 研削方法

過度の研削防止、工事用水の軽減、作業の確実性等を考慮して、ブラシによる研削法とする。

(2) 集積方法

塵埃の飛散防止、表面洗浄効果を期待し、また、回収、搬送方法との関連より、ノズル噴射水で集積することとする。

(3) 回収方法

レイタンスの組成は、小径粒子が多く、団塊状のものは少ないので、微細粒子まで回収することを図り、吸引方式にすることとする。

(4) 搬送方法

一工程での発生スライム量が数m^3程度と見込まれることにより、別途搬送用機械類を軽減すること、及び集積に使用する水の効率的利用を考慮して、回収したスライム（スライムを含む水）を機械内で簡単な分離処理をして、処理水はホースで連続排水し、残留物はバッチ処理を行う方式とする。（試験結果より、ホース方式からタンク方式へ変更した。）

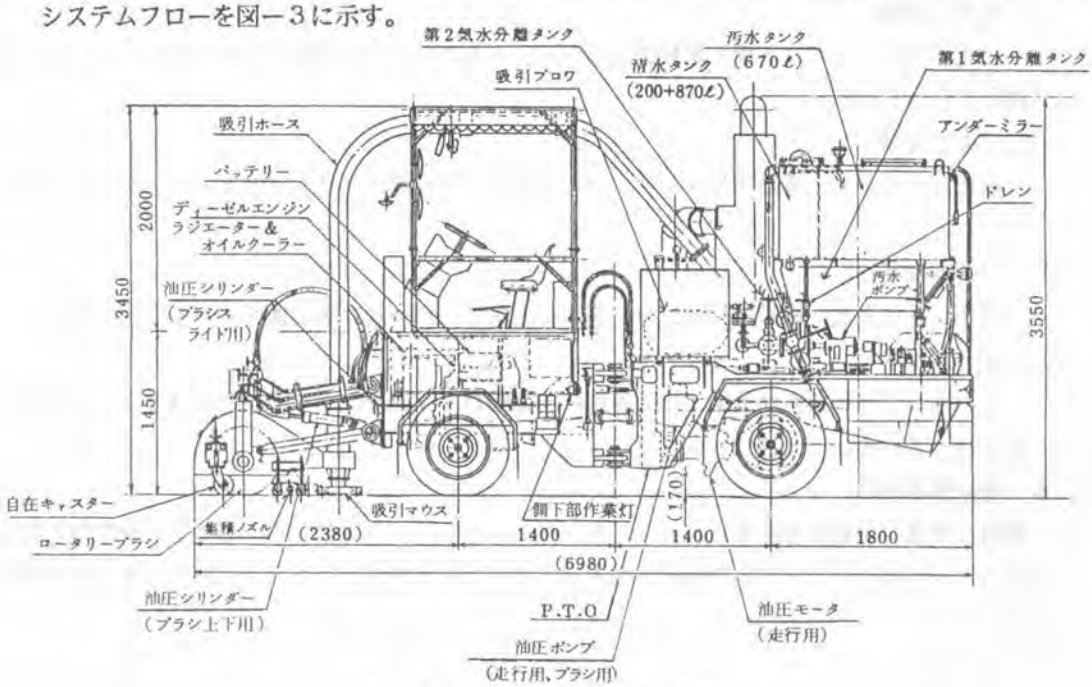
(5) 機械本体構想

本機械は、多機能形となること、及び機動性を必要とすることから自走式とし、動力源をディーゼルエンジンとする。動力伝達は、油圧方式を採用する。

3．3 機械の構成

本機械は、車両本体、研削装置（ロータリーブラシ、スプレーノズル）、集積装置（スプレーノズル）、吸引装置（吸引マウス、吸引ホース、吸引ブロワ）、気水分離装置（第一、第二気水分離タンク）、給排水装置（ポンプ、清・汚水タンク）より構成され、1台でグリーンカット作

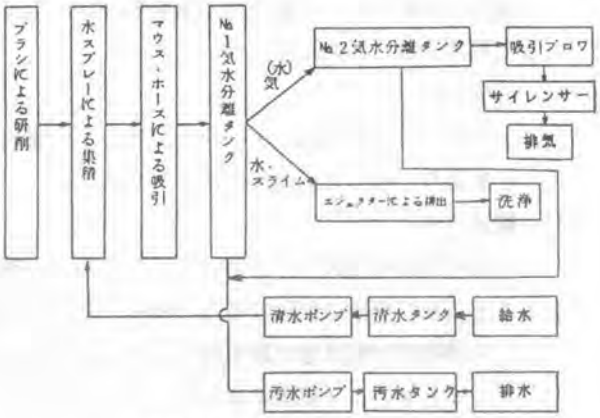
業（研削、集積、回収）を行うことができる。機械の全体図を図－２に、機械の仕様を表－１に、システムフローを図－３に示す。



図－２　グリーンカット機全体図

表－１　グリーンカット機の仕様

形　　式	ブラシ研削自走式
作業能力	500m²/h（最高能力）
作業速度	0～0.32km/h
作　業　幅	1.6m
走行速度	0～10km/h
寸　　法	6.98m×2.87m×3.55m
車両総重量	14.000kg



図－３　システムフロー

３．４　機械の運用試験

運用試験は、機械の機能及び施工性を把握するため構内試験及びダム工事現場における施工試験を行った。

3.4.1　構内試験結果

本機械に適した研削ブラシを把握するため、表－２に示す５種類のブラシを試作し、ＲＣＤコンクリート相当のコンクリート面にて研削試験を行った結果、鋼線Φ0.6mm（Ｏブラシ）

のものとポリプロピレンΦ2mm（Cブラシ）のものが良好であった。

3.4.2 ダム工事現場試験結果

実際のＲＣＤ用コンクリート打継面における施工試験結果を各機能毎に述べる。

表－２ ブラシ素線比較表

区分	材質	断面形状	素線の長さ
O	鋼	Ø0.6㎜	217㎜
A	〃	矩形0.25×1.1㎜	152㎜
B	ポリプロピレン	Ø2㎜	152㎜
C	〃	〃	217㎜
D	〃	△形2㎜	217㎜

※ブラシ全体寸法
素線長217㎜のもの：Ø600×1600
〃 152㎜ 〃 ：Ø520×1600

(1) 研削性

① 施工時期

天候、気温等によりコンクリートの硬化速度が異なるため一概には言えないが、打設日から中１日置いた施工で良い結果が得られた。

② 機械の条件

ここでは、人力によるポリッシャ研削程度を“良”の基準として評価した。コンクリートの硬化状態にも大きく左右されるが、下記条件で研削“良”の状態を作り出せることがわかった。

・ ブラシ回転数 ： 300rpm　　・ 水スプレー量 ： 29L/min
・ ブラシ押付量 ： 10～15mm　　・ 作業速度 ： 0.2～0.3km/h

(2) 不陸の追従性

全施工面において研削ブラシ、集積ノズル、吸引マウス共に十分追従できた。この時の不陸は、縦方向（進行方向）で34～66mm、横方向（進行方向と直角方向）で40～91mmであった。

(3) 集積・回収性

全施工面において、レイタンスの吸い残しは無く良好であった。

(4) 操作性

ハンドル操作、ボタン操作、視界、振動、騒音等の操作性について、オペレータより良好の評価を得た。

4．あとがき

本機械は、小回り、機動性のよい車体屈折式の車両前面に作業装置を取付け、①横軸回転ブラシによるレイタンスの研削、②水スプレーノズルによるスライムの集積、③吸引装置によるスライムの回収、④気水分離槽によるスライムの分離、⑤清・汚水タンクによる給排水を行うものである。

運用試験の結果、レイタンスの研削、スライムの集積・回収の各作業を１台で行うことができたことから、ほぼ所期の目的が達せられたと思われる。しかしながら、現場施工条件及びコンクリートの打設強度の影響等により本機械の能力が変わるため、実施工においては、本機械の最適条件を見い出して施工する必要がある。

最後に本機械の開発にあたり、協力、助言をいただいた宮ケ瀬ダム工事事務所ならびに関係各位に謝意を表してむすびとする。

3．着座型タンパ式捨石均し機の開発

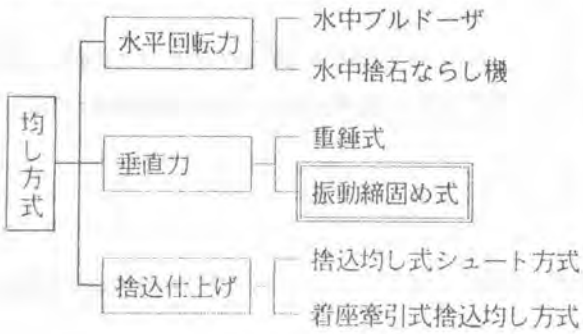
東洋建設㈱：牧野　栄一・*皿澤　　薫
久保　　滋

1　まえがき

捨石均しは、捨石マウンド面を平坦にならす作業であり、防波堤、護岸等の水中基礎工事における代表的な工種である。近年水中基礎工事は大規模、大水深化の傾向にあり、潜水士の高齢化、不足等により潜水士では、対応が困難となってきており、機械化、ロボット化が強く要求されている。機械化、ロボット化の仕様として、①±5cmの施工精度　②水深40mで施工可能　③急速施工　④安価な施工費等があげられる。当社では、この条件の基に1979年に機械式捨石均し機の開発に着手し捨石マウンドに着座して均し作業を行う「着座型タンパ式捨石均し機」を完成し、西宮市鳴尾浜で陸上実験、海上実験を行い良好な結果を得た。写真－1陸上実験状況参照

2．機械式捨石均し装置の現状

機械式捨石均し装置の現状は図－1に示す通りであり本機は振動締固め式にあたる。



図－1　機械式捨石均し装置の現状

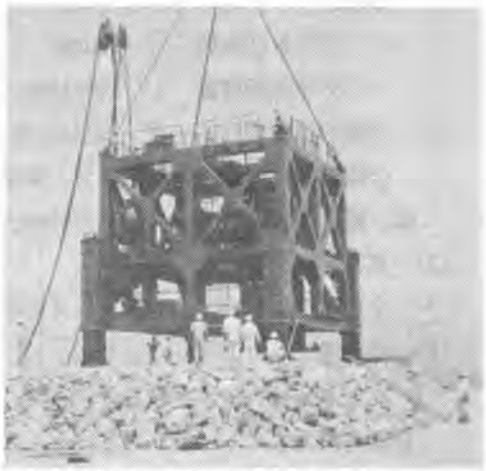


写真1　陸上実験状況

3．装置設計方針

① 今までの機械式捨石均し機の実験結果より装置に加わる水平力を30トンとし、この装置が振動体であることおよ　び人の目に見えない所で使用する為できるだけ強固につくる。。

② 海上より海底の均し機を遠隔操作するため各種センサー類は、フェールセーフを原則とし、異なったセンサにより２重計測し、一つのセンサが故障しても運転可能とする。

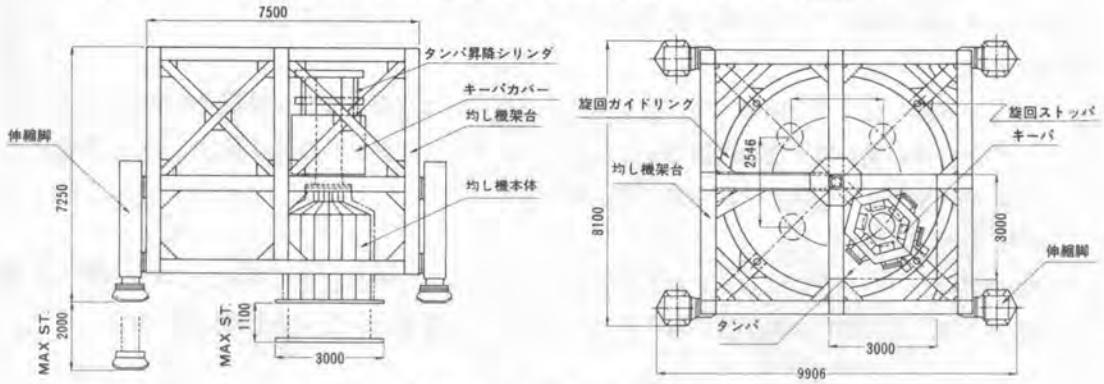
③ オペレータには、操作盤およびディスプレーより必要な情報をあたえ判断させるマンマシンシステムとする。オペレータが間違った操作をした場合、機械はインターロックされコンピュータより音声発生器を通じメッセージがでるようにする。

④ 海上と海底の均し機との通信は、多重電送によりおこなう。ただし応答速度を最優先し海上の操作盤と実際の動作にタイムラグを生じさせない。

4．機械仕様

本機は、捨石マウンドを均すとともに目的によっては捨石層を締固めるものである。構造的には、上下振動を起こす起振機を内蔵した均し機（タンパ）とそれを保持し回転させる架台で構成されおり、架台は姿勢制御用の伸縮可能な４本の脚を有している。（図－２　参照）

最大使用水深	：－４０ｍ	捨石の大きさ	：１０ｋｇ～２００ｋｇ
均し精度	：±５ｃｍ	標準均し面積	：約２００㎡／日
機械重量	：１３８　トン	脚伸縮長	：２．０ｍ
寸法	：全長９．９ｍ×全幅８．１ｍ×高さ７．２５ｍ（脚縮時）		



図－２　着座型タンパ式捨石均し機

5．周辺機器

5．1　母船

母船は、１５０ton～３００tonクラスの起重機船で、施工水深が深くなれば吊り代が大きくなり、それに伴い起重機船は大きくなる。

5．2　発電機

発電機は、５００ＫＶＡ可搬式発電機（起振機１５０ＫＷ人一△起動，油圧ユニット３７ＫＷ直入れ、起動用）である。

5．3　制御装置

制御装置は、起動盤　操作盤　音探制御盤　操作用パソコンおよびディスプレー で構成される。制御装置を 写真－２に示す。

5．4　測量システム

均し機の位置決めは、光波または、レーザを用いた位置出しシステム等を現場条件にあわせて採用する。レベル管理は水中スタッフ及び潮位電送装置と水圧計による。

写真－２　制御装置

6．均し機作業手順

均し機作業手順を図ー３に示す。

①位置決め吊降し

起重機船より所定の位置に正確に吊降ろし捨石マウンド上に載せる。その後起重機船の吊りワイヤを緩め、対角にある２本の脚を延ばしプレロードすることにより捨石面にしっかりと着座させる。

②姿勢水平制御

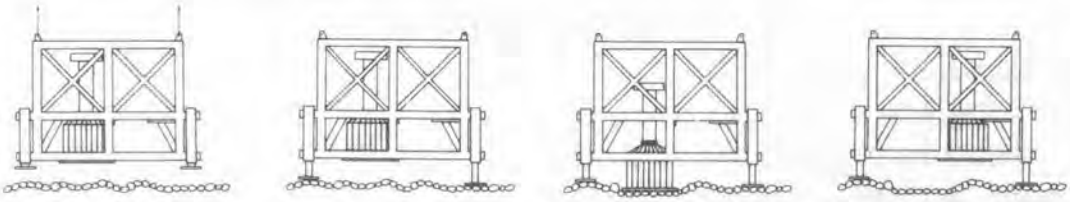
架台傾斜計、水深計を見ながら４本の脚を操作し、均し機架台を水平かつ所定の深度にセットする。その後各脚に加わる荷重が概ね等しくなっていることを確認する。

③均し作業

タンパ昇降シリンダを縮め、均し機本体（タンパ）を捨石面に降ろし起振機を作動させる。均しモード作業の場合は、均し天端でリミットスイッチおよびタンパ深度計測器により自動的にとまる。締固めモードの場合は、手動で停止させる。

④タンパ移動

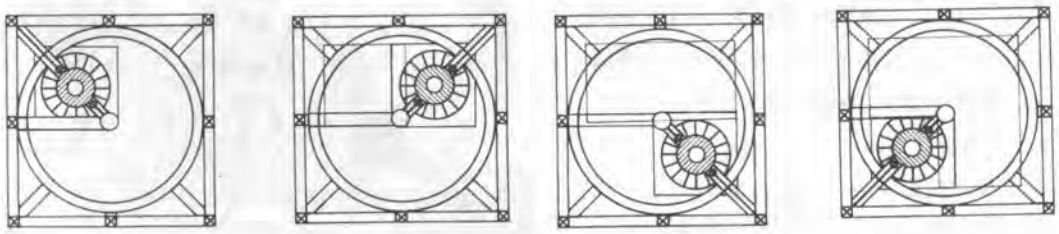
タンパ昇降シリンダを延ばしタンパを持上げ、均し機架台の中心を回転軸としてタンパを９０度回転させる。この際に回転装置に取り付けた多素子型の音響測深器により均し面の計測を行う。



①位置決め吊降し　②姿勢水平制御　③均し作業　④タンパ移動

図ー３　均し機作業手順

均し機作業手順③～④の作業を図ー４の均し機旋回手順にしめす４地点で行いタンパを初期位置に戻し、一着座当りの作業が終了する



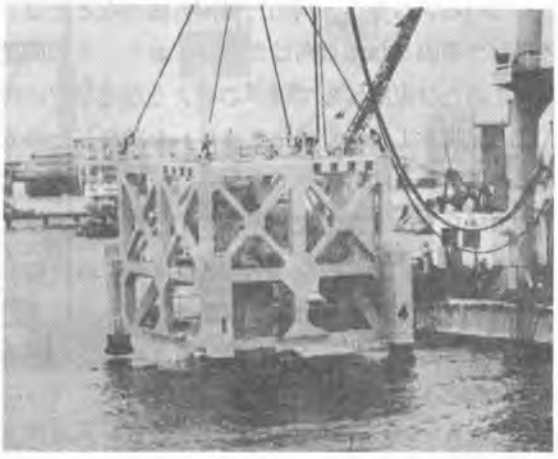
①初期位置（０度）　②９０度旋回　③１８０度旋回　④２７０度旋回

図ー４　均し機旋回手順

7．実験状況

陸上実験では、各機器の調整、性能確認、捨石均し実験を行い、均し精度±５ｃｍを確認できた。また海上実験では、機器の耐水性、制御機器だけによる遠隔操作性および均し精度±５ｃｍを確認できた。写真－３に均し後の状況（陸上実験）、写真－４に海上実験状況を示す。

写真－３　均し後の状況（陸上実験）



写真－４海上実験状況

8．特徴

①振動で捨石均し、締固めするため、平坦で強固な捨石ウンドが形成できる。

②捨石面に着座するため、海象に影響が少なく精度よく施工ができる。

③水深－４０ｍまでのいかなる水深にも適応できる。

④一日当りの標準均し面積は約２００㎡と急速施工が可能。

⑤機械化施工のため、大水深でも安全に施工できる

9．あとがき

今回開発した着座型タンパ式捨石均し機の制御装置は数年前ならば、技術的に不可能なところが多々ある。今後も新技術を取入れて本機をより施工性に優れたものとしたい。また捨石均し機として開発に着手したが、締固め効果もあると考えられ、今後も基礎研究を重ね、基礎地盤の均しだけでなく締固めにも用いるつもりである。

参考文献：（社）土木学会　建設ロボット委員会「建設工事における自動化ロボット化への展望」

4．機械式汚泥脱水工法

東洋建設㈱：*埜村　昌司・後藤　聖一

1．はじめに

ウォーターフロント開発ブームに象徴されるように、現在水際周辺地域の開発が時代のニーズになっている。しかし、河川，湖沼，堀池などでは、水底に堆積した汚泥が、自然の生体系や生活環境を損なう要因として立ちはだかっており、この問題の効率的な処理が大きな課題となっている。

このたび東洋建設では、このような地域での汚泥浚渫を効率的に推進し、環境改善に有効な「機械式汚泥脱水工法（ＴＭＤ工法）」を開発したのでここに紹介する。

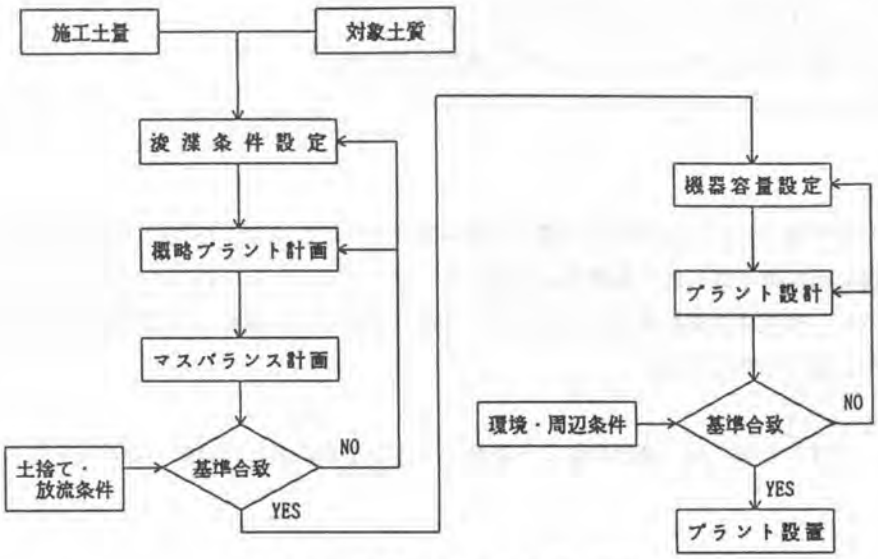
2．ＴＭＤ工法について

ＴＭＤ工法（機械式汚泥脱水工法）はプラントのコンパクト化と連続大量処理を可能にする新しい工法である。すなわち、ポンプ浚渫船で送られてくる浚渫汚泥を遠心脱水機によりコンベヤーやダンプトラックで搬送が可能な固形物（脱水ケーキ）と河川などへそのまま放流が可能な液分とに固液分離するものである。このため、汚泥処分地の省スペース化、捨土の減量化が可能となった。

(1)プラント設計

ＴＭＤプラントは複数の機器の組み合わせにより構成される。従って、実際に使用する工事の条件環境によりその都度構成機器を選定し、最適なプラントを構築することが可能である。過少の能力では実際の工事の遅延を招くこととなり、一方過大設備の選定は運転費を含めたコストの増大と占有面積の拡大につながることとなる。

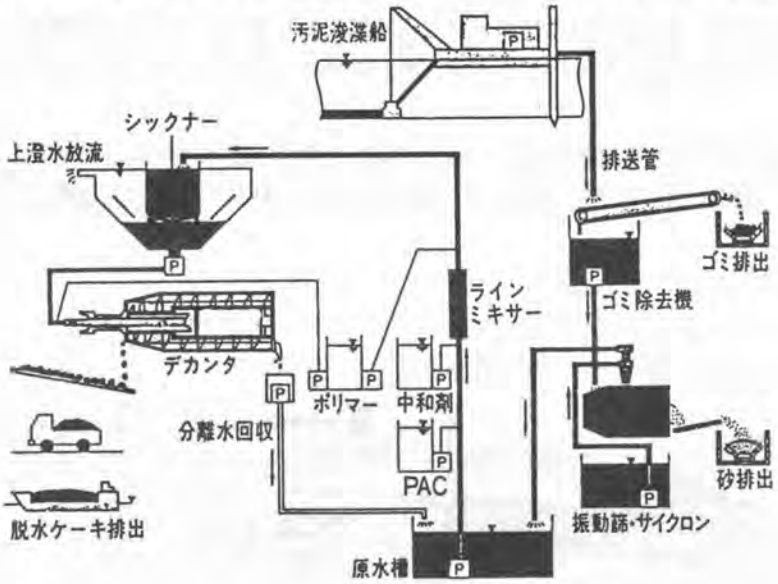
一般には次のフロー（図－１）に従い、いろいろなノウハウを含めて実際のプラントを設計することとなる。



図－１　プラント設計のフローチャート

(2) システム機器

ＴＭＤプラントを構成する主な機器の概要とシステムのフローチャートを図－２に示す。



図－２　処理システムのフローチャート

①ゴミ除去機

ポンプ浚渫船より送られてくる浚渫泥水に含まれる木片，ビニール等を除去する。処理プラント内配管内での閉塞防止用として用いる。

②砂分離装置（振動篩・サイクロン）

７４μ以上の砂を分離してベルトコンベヤーで搬出する。ここでシルト分以下を主体としたスラリーはサイクロンから原水槽へ送られる。

③原水槽

シルト分以下を主体とした浚渫スラリーを貯留し、均一に攪拌する。均一化されたスラリーは底部のポンプにより、凝集沈降槽へ送られる。

④凝集・沈降槽（シックナー）

原水槽より送られてきたスラリーを無機凝集剤及び高分子凝集剤により凝集・沈降させる。高分子凝集剤により巨大化したフロックはシックナー底部にたまり、ポンプによって遠心脱水機に送られるまた、分離した上澄水は放流基準を満足した状態で放流される。

⑤遠心脱水機（デカンタ）

高分子凝集剤により自然沈降したスラッジを高速回転による遠心力で強制沈降脱水し、低含水比の脱水ケーキとして分離排出する。分離水は再びシックナーに回収して放流される。

以上のような主要機器の他に補助機器として注薬ラインを設置してスラリーの流量及び重量濃度に対して適正な注薬を行う。

3．適用事例（大横川浚渫工事）

当社では昭和６２年度に機械式脱水工法の研究に着手して以来３件の実工事において実験を行い、実用化の研究を重ね、遠心脱水機の特徴をフルに発揮できるＴＭＤプラントを構築するに至った。このプラント（ＴＭＤ２号船）を使用した浚渫工事が東京都江東区の大横川に採用された。

①工事概要

本工事は大横川に堆積した汚泥をポンプ船で浚渫し、機械式脱水処理船（ＴＭＤ２号船）において泥分と上澄水に分離したうえで泥分だけを中央防波堤内の土砂処分場へ海上運搬し、投棄処分する工事である。

施工対象土量：約１２０００m^3

施工期間　　：平成元年９月～平成２年３月

（図－３：施工区域図、表－１：計画条件参照）

図－３　施工区域図

表－１　計画条件

原泥土質	地山含水比		265 %
	土粒子真比重		2.500
	粒度	細砂分	20wt%
		シルト分	30wt%
		粘土分	50wt%
施工量	一時間当り地山浚渫スラリー量		200m^3／hr
	一時間当り地山浚渫土量		30m^3／hr
	浚渫スラリー見掛けの含泥率		15v　%

②ＴＭＤ２号船

機械式脱水処理プラントはコンパクトな組立が可能なため、陸上及び海上でも設置できる。今回の工事では、

・住宅地が非常に密集している。

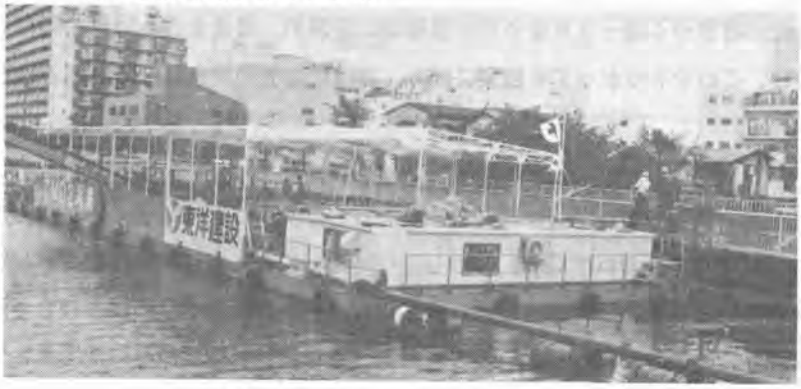
・河川幅が約２０ｍ

・橋下が低くプラント高さの制限を受ける。

等の悪条件を満足するためＴＭＤ２号船の採用となった。ＴＭＤ２号船は８隻の分割式台船を結合する新しい発想の専用船に処理能力２００m^3／ｈ（浚渫スラリー量）プラントを搭載したものである。（写真－１参照）

・台船１台当たり寸法　幅６ｍ×長さ１２ｍ

・結合後寸法　　幅１２ｍ×長さ４８．５ｍ



写真－１　ＴＭＤ２号船全景

③施工結果

今回の工事に先立ちＴＭＤプラントは表－１の条件により設計したが、実際には表－２のように底泥の含水比が予想より低かったため、シックナーや遠心脱水機は予想より過酷な稼働となった。しかし、このような条件においても、従来工法では曳船５～６隻、土運船６～７隻を必要としたものが、今回は曳船１隻、土運船２隻という少数の船舶で工事を完了することができ、ＴＭＤ工法の利点が十分に反映された工事であった。

表－２　底泥状況調査結果

測　点　No.	1	2	3	4	5	6	平　均
含　水　比	312%	169%	159%	244%	221%	98%	201%
シルト以下含有量	94%	77%	77%	99%	91%	60%	83%

４．おわりに

今回の大横川浚渫工事を無事完了したことにより、ＴＭＤ工法は大きな実績を付け加えることが出来た。これからも、都市河川に限らず、湖沼や城堀などの分野においても、また、水上・陸上いずれの条件においても幅広く本工法を展開し、水質の浄化、環境改善に取り組んでいく所存である。

5．25Tonテトラポッド掴み機

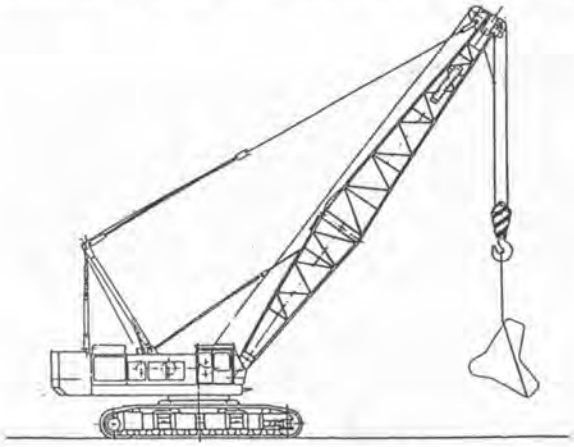
五洋建設㈱：石井　　博

1．まえがき

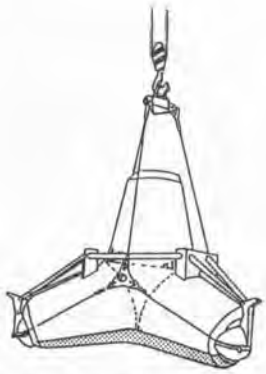
我国は、周囲を海に囲まれ、海岸線が長く、波の侵食作用により様々な地形が形づくられ、景勝地として、親しまれている所も数多くある。しかし、海岸線の利用、国土の保全の為人工的な護岸も多数建設されている。護岸工事の中に、消波ブロックとして、テトラポッドを使用して、海岸を波の被害から護ったり魚や貝の養殖場の保護や、侵食された砂浜を回復する工事等がある。本報告は、このテトラポッドを確実に掴み、据付け撤去が安全に行える掴み機を開発したので概要を述べる。

2．開発の経緯

従来から、テトラポッドの転置時の吊り方は、サスペンダーによるか、ワイヤーを大回しに掛ける方法によって行われている。しかし、ワイヤーによる方法では衝撃力が加わると外れる可能性があり危険である。又、据付けは、通常ワイヤーと自動フックの組合わせで行っている場合が多いが、据付け直しが難しいという欠点があった。同様に仮護岸等に使用されて組合わさっているテトラポッドの撤去ではワイヤーの掛け方は手間のかかる作業であり、特に水中部では、波浪があると濁りの発生や荷の揺れが生じ潜水士にとって過酷で危険を伴う作業となる。この為、ボリップ型バケットを使用した撤去が広く行われているが、テトラポッドの破損が多く発生する欠点がある。このようなテトラポッドの破損の防止と労働者を重労働や危険から開放することを目的として開発したのがこのテトラポッド掴み機である。



図－1　ワイヤー大回しによる吊り方.



図－2　サスペンダーによる吊り方.

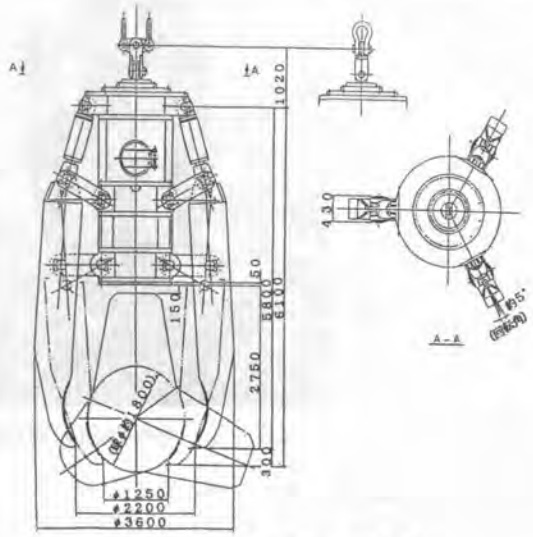
3．構造と仕様

装置は、掴み機本体と油圧ユニットに大別される。装置の構造を図－3，4に、使用を表－1に示す。

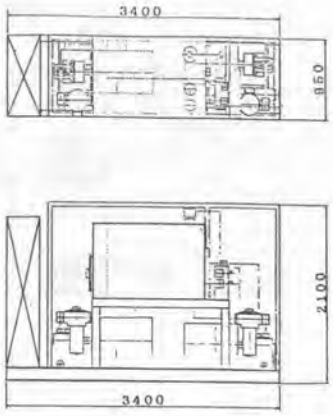
掴み機本体は、テトラポッドを掴む三本の爪と作動用の油圧シリンダー及び油圧切替弁の入った胴体部から構成されている。油圧シリンダーで爪の後端側を押し、二支点を介してテトラポッドを掴む構造となっている。爪の掴み部は円形の面取り加工を行ない、テトラポッドの中央球形部を確実に掴む形状にしてある。油圧ユニットは掴み機作動の油圧を発生させる装置で電動機により油圧ポンプを駆動して圧力油をえている。本体掴み機は、油圧ユニットから2本の油圧ホース及び運転用操作箱から1本の制御ケーブルで結ばれている。

形　　式	油圧テトラポッド掴み機
対 象 物	25TON 型テトラポッド
自　　重	約 25,000 kg
電　　源	動力用電源　AC　200 V,　50 Hz 操作用電源　AC　100 V,　50 Hz
圧　　力	常用圧力　100 kg/cm²,　最高使用圧力　140 kg/cm²
開 閉 時 間	（常用圧力）　開き　9.3秒,　閉じ　13.6秒 （最高圧力）　開き　10.0秒,　閉じ　14.6秒
油圧シリンダー	φ250 × φ140 × 400ST × 3本
油　　槽	約 1,000 ℓ
電 動 機	交流モータ　55 KW × 2 台

表－1　テトラポッド掴み機仕様.



図－3　テトラポッド掴み機本体



図－4　油圧ユニット

4．テトラポッド掴み機の特長

上記の構造にもとづく本掴み機はつぎのような特長を有している。

① 油圧式の為、圧力油の量及び作動圧力を変えることができ、掴み速度、掴み力を任意に変えることができる。

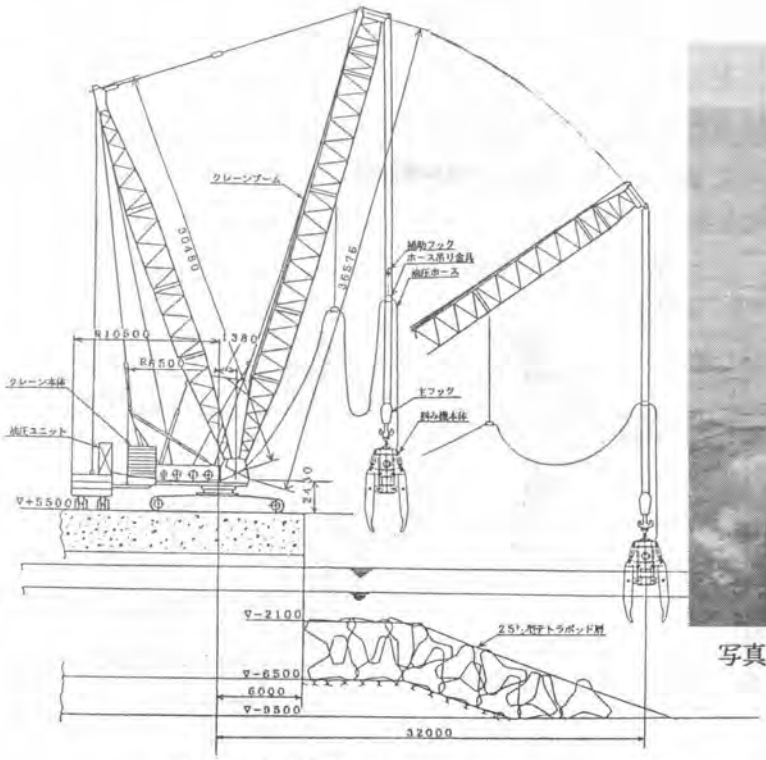
② 各油圧シリンダーは単体及び連動で運転することができ、狭く複雑なブロックの組合せに対応できる。

③ 爪は油圧シリンダーで後端側を押され、途中の２本のリンク機構で拘束され、下がりながらテトラポッド中央球形部を挟んでいくため全体にスリムで、先細形状の爪とあいまって組合わされたテトラポッドの狭い隙間に入り易い。

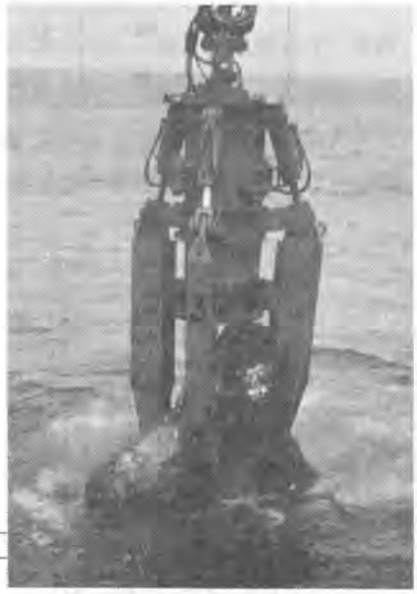
④ 各爪は、それぞれ左右５°回転できる軸受構造になっている為、本体吊り環部のスイベルジョイントとあわせて、３本の爪をテトラポッドの三脚の間に誘導し易くなっている。

5．操作方法

掴み機の運転は、掴み機本体をクレーン等で吊り、クレーンオペレーターが目視確認しながら、クレーン運転席に置いた操作箱のスイッチで行う。水中部にあるテトラポッドは、静かに掴み機を降下させ旋回操作をしながら捜索する。掴み状況はクレーンの荷重計の読みで確認する。水切り前にテトラポッドの掴み具合を目視確認し、中央球形部を確実に掴んでいることを確認して吊り上げる。



図－５　作業状況



写真－１　水切り前の掴み機

6．テトラポッド掴み機稼働実績

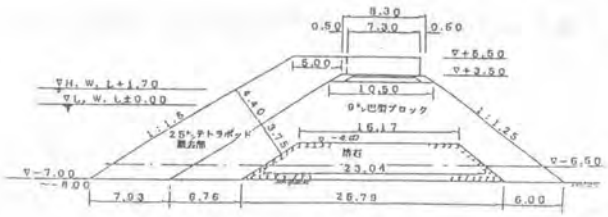
工事概要 ： 港湾改造工事の為、２５TON テトラポッド撤去

工事期間 ： ① 南防波堤工事、 平成元年６月～７月

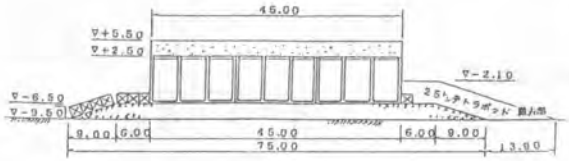
② 北防波堤工事、 平成２年３月～４月

稼働実績

項　　目	南防波堤工事	北防波堤工事
稼　働　対　象　日	４１日	１９日
機械修理による休止日	１４．５日	０日
波浪による休止日	１日	３日
稼　働　日　数	２５．５日	１６日
水　中　部　撤　去　数	３７２ケ	２３４ケ
１日平均テトラポッド撤去数	（３７２÷２５．５） １４．６ケ／日	（２３４÷１６） １４．６ケ／日
撤去時こわれたテトラポッド数	７ケ （１．９％）	６ケ （２．５％）



図－６　北防波堤断面



図－７　南防波堤断面

写真－２　テトラポッド陸揚げ

7．あとがき

テトラポッド掴み機は、現在６００ケ余りの撤去作業を終了している。

この間、海中にあるテトラポッドをオペレーターが目視確認できる装置として、改良型グラフィックソナーを使用した。今後も、使いやすい機械をめざして努力していく次第である。

6．高速圧雪整正機の開発

建設省東北技術事務所：太田　宏・佐藤　文夫
*松本　孝一

1．はじめに

東北地方は、全国の約１８％の面積と約８％の人口を有し、産業・経済とも飛躍的な発展が期待されているが、地域の多くは積雪寒冷地域であり、冬期間における交通手段は道路への依存度が高い。このため、より質の高い道路除雪、効果的な除雪が強く求められており、除雪による冬期道路交通確保は、地域振興、民生安定を図る上で極めて重要な施策となっている。

本論文は、道路除雪の効率化及び質的向上を目指し、開発された「高速圧雪整正機」の開発に関する調査試験並びに平成元年度に導入された１号機の現場試験における評価をとりまとめ報告するものである。

2．在来機の現状分析

除雪機械の現状分析を行うとともに、開発機の基本構想の検討及び詳細設計・仕様決定の基礎とした。

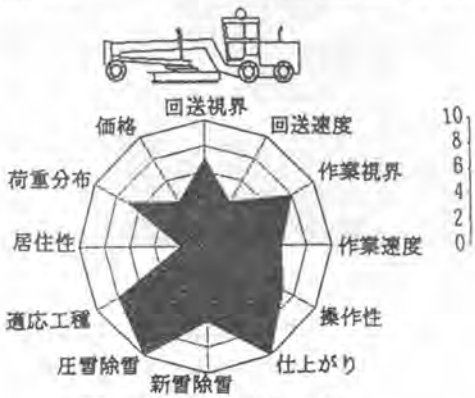
2．1　在来機の機能分析

①除雪グレーダ ②除雪トラック ③トラックグレーダの３機種について機能分析を行った。

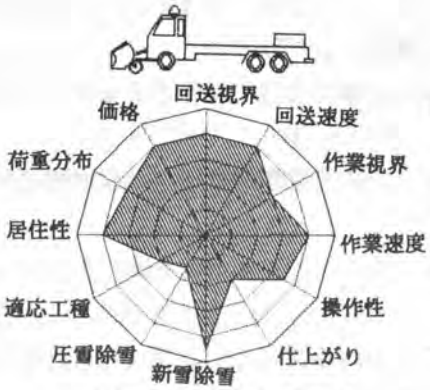
① 除雪グレーダ（図－１）は、オペレータの作業視界も良く圧雪処理には適しているが、回送速度、作業速度、居住性に改良の余地がある。新雪除雪についても作業速度、ブレード形状の点から、他の２機種と比較して劣る。作業速度、回送速度の高速化は、出力のアップにより対応できるが、圧雪整正（ブレードを押し付けた状態）での高速作業時に安全作業を確保するには車体の横すべり対策等、運転操作機能の改善が必要である。

② 除雪トラック（図－２）は、ベースマシンがトラックシャーシであるため居住性、回送速度及び新雪除雪作業では高速化に優れているが、圧雪整正の作業を行うことには機構上問題がある。

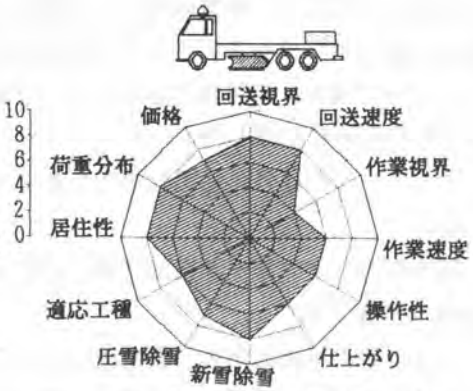
③ トラックグレーダ（図－３）は、除雪トラック同様、ベースマシンがトラックシャーシであるため、居住性、回送速度は優れているが、センターブレードであるため、圧雪整正にブレード線圧を高くした状態で高速作業を行うと、除雪グレーダ以上に車体の安定性を失う可能性がある。



図－１　除雪グレーダ



図－２　除雪トラック



図－３　トラックグレーダ

また、ブレード幅及び高さについても構造上制限され、作業視界についても運転席の後ろにブレードがあるため視認性を確保しにくいという問題が残る。

２．２　除雪機械作業速度調査

現有除雪機械の作業速度は、東北地建管内９事務所４７工区の除雪グレーダ（4.0m級３８台、3.7m級３３台）、除雪トラック（２３台）、トラックグレーダ（１９台）について運行記録チャート紙から読みとり解析を行った。結果は表－１に示すとおり、除雪グレーダは除雪トラックと比較し、昼間、夜間とも約１／２の作業速度であり、交通流を阻害する要因となっている。

２．３　フロントブレード方式試験

フロントブレード方式での圧雪整正作業の可能性を探るため現場試験を行った。試験の結果、現状では車両重量の制限並びに車体長さの制限等構造上の制約から、現在の除雪グレーダなみの圧雪整正能力を確保することは、困難との結論に至った。

表－１　除雪作業速度

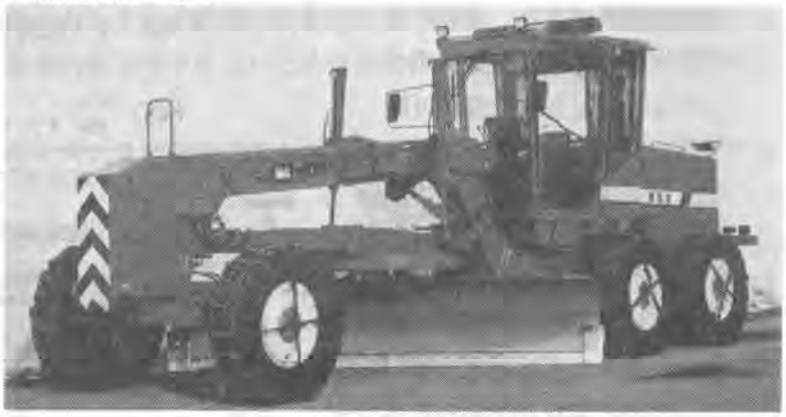
調査・工区	道路現況割合		平均除雪作業速度			
	市街地	郊　外	除雪ｸﾞﾚｰﾀﾞ		除雪ﾄﾗｯｸ	
	(%)	(%)	昼間	夜間	昼間	夜間
９事務所	３２	６８	km/h	km/h	km/h	km/h
４７工区			１５	１６	３１	３３

(昭和６０年度の冬、全期間のデータ)

３．開発機の仕様

写真－１に高速圧雪整正機の外観を示す。また、主な仕様は次のとおりである。

（１）定格出力を価格抑制と現有エンジンの利用及び加速性向上による一般交通流の阻害軽減等を図る目的で320PSとした。



写真－１　高速圧雪整正機外観

（2）高速で圧雪整正、新雪除雪等の作業を可能にするため、車体安定性を保つスリップ制御及びオートマチックデフロック機構を搭載した。

（3）ブレード幅を広幅幅員対応式とし、片側３車線を２台で可能とするため、幅を4.3m、高さを0.92m に拡張した。

（4）オペレータの操作の簡易化等のためブレードの自動制御機構（北陸地建開発）を装着した。

（5）居住性及びオペレータ視認性向上のため、キャブのワイド化を図った。

４．開発機の評価

高速圧雪整正機の評価のため、豪雪地帯として知られる国道１１２号（月山道路）等で次の７項目について現有の除雪グレーダとの比較試験を実施した。

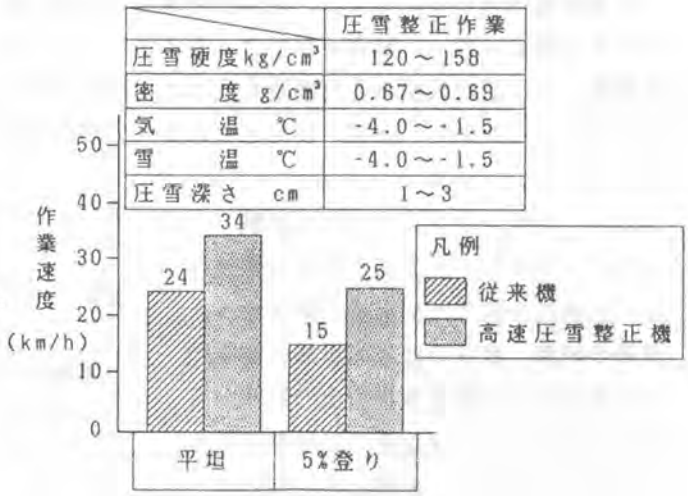
（1）新雪除雪作業

試験では在来機（ブレード幅4m）に対し、高速圧雪整正機（ブレード幅4.3m）での新雪除雪作業時の高速化がどこまで可能かを限界域まで試験を行った。試験の結果は図－４に示すとおり、平坦路、登坂路とも約１０km/hの作業速度向上が図られた。

（2）圧雪整正作業

圧雪整正作業時の高速化のため、ブレード自動制御装置によりブレード押付力を左右2.5トンにセットし作業を行った。

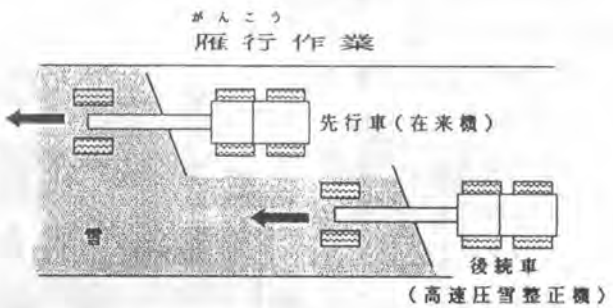
その結果、高速圧雪整正機は１０km/hの速度向上が図られた。また、スリップ制御及びオートマチックデフロック機構の効果により、高速圧雪整正作業時にも危険な横すべりがなく安定した除雪が可能であった。



図－４　圧雪整正最高速度

（3）圧雪整正による雁行作業

図－５のような在来機（先行車）との組み合わせにおいても、除雪負荷の大きくなる後続車を高速圧雪整正機にすることにより、先行車との遅れがなく効率的な雁行作業が可能になった。



図－５　雁行作業参考図

（4）加速性能

加速性について、開発機は200m到達時の速度は４７km/hに対し、現有の除雪グレーダは３５km/hであり、大幅に加速性能が向上した。図－６に加速性能の比較を示す。

（5）除雪量

高速圧雪整正機の除雪量は、新雪除雪、圧雪整正とも在来機と比較しで約１．６倍の除雪量が得られた。

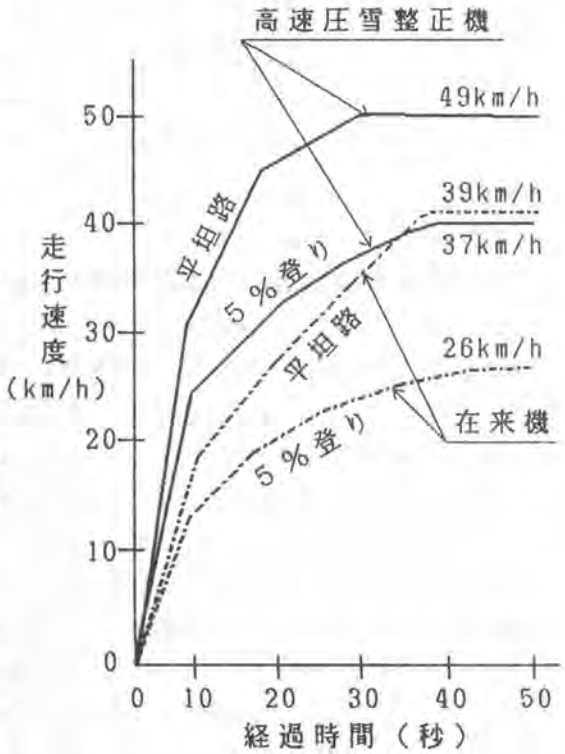
（6）ブレード投雪

新雪除雪作業におけるブレード投雪は、除雪速度４０km/hで約２．５mの投雪高さが確認され、適応領域の拡大ができた。

（7）オペレータの居住性

開発機は運転室を広し、フロントガラス等の面積も拡大するなどオペレータに対する環境改善並びに視認性向上を図った。また、オペレータの耳元騒音では約６dB(A)低減された。

なお、高速化にともなう飛雪のため、ガラス面に雪が付着し室内が冷える等の課題もあった。



図－６　加速性能比較

５．開発機導入の効果

開発した高速圧雪整正機導入の効果は次のとおりである。

（1）新機種開発の効果

漸増している高規格道路において必要配備台数を増やすことなく、従来の配置台数で対応が可能である。また、必要台数を増やさないため付帯設備の拡張を抑えることができる。

（2）速度の向上

作業速度の向上、加速性の向上及び回送速度の向上により、交通流の阻害が低減できる。

（3）操作性、安全性の向上

ブレード操作の自動化によるオペレータの作業の簡易化、騒音の低減及び居住性の向上によってオペレータの負担が軽減でき、安全性を高めることが可能になる。

６．まとめ

除雪専用機として開発された「高速圧雪整正機」が除雪の効率化の発展に大きく寄与し、冬期の快適な交通道路確保のための原動力として普及し、さらには今後の除雪機械開発の基礎となることを期待するものである。

7．サンドスタビライザを使用した コンクリートのプレクーリング

本州四国連絡橋公団：坂本　光重
大成・間・佐藤・東洋・日本国土JV：田中　直隆・原崎　　真
㈱北川鉄工所：白木　　久・*永久　利夫

1．はじめに

コンクリートの温度上昇による温度ひび割れを防止するためのプレクーリング工法として開発された「サンドスタビライザによる砂のクーリングシステム」は、プレクーリング効果だけでなく、強度やスランプの安定した高品質なコンクリートの製造を可能にする工法として、斯界の注目を集めている。

この工法は、プレクーリング工法として一般的に採用されている練り混ぜ水の一部に氷を使用する方法と異なり、細骨材(砂)を冷却し、しかも砂の表面水率を安定させることによってコンクリート品質の向上を図ったものである。

明石海峡大橋の３Ｐ（淡路側）主塔基礎工事において、平成２年１月より特殊水中コンクリートの打設が開始され、６月初旬には本クーリングシステムを使用したコンクリートのプレクーリングが開始された。

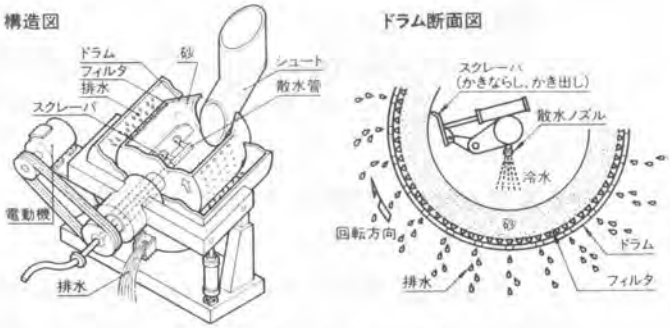
写真－１に、本クーリングシステムを搭載したプラント台船「海神」によるコンクリートの打設風景を示す。

写真－１　「海神」によるコンクリートの打設風景

本報告は、「サンドスタビライザによる砂のクーリングシステム」の概要と、その効果について述べるものである。

2．サンドスタビライザによる砂のクーリングシステムの概要

このシステムは、サンドスタビライザと呼ばれる遠心脱水機の内に砂を入れ、チラー（冷水機）で造られた冷水を散水して砂を冷却しながら、同時に約２００Ｇの遠心力を与えて冷水を振り切り、表面水率の一定した冷砂を造る方式である。図－１にサンドスタビライザの構造と、ドラムの断面図を示す。

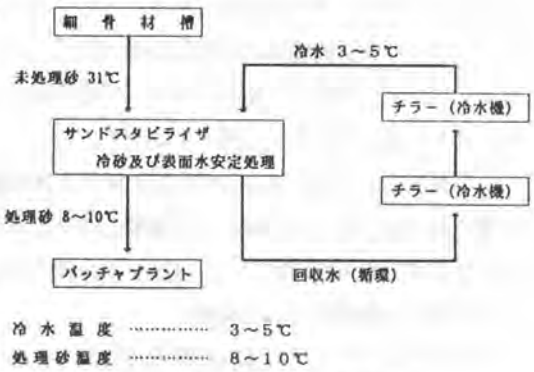


図－１　サンドスタビライザ

参考までにコンクリートのプレクーリング工法として、従来から使用されている方法を以下に示すと、

① 練り混ぜ水に冷水を使用する
② 練り混ぜ水の一部として氷を使用する
③ 粗骨材に冷水を散水して冷却する
④ 骨材に冷風を吹き付けて冷却する
⑤ 骨材に液体窒素を噴入させて冷却する
⑥ 練り混ぜ中のコンクリートに液体窒素を噴入させて冷却する

などである。「砂に冷水を散水して冷却」する方法が今日まであまり採用されなかった理由として、一般に、砂に散水すると表面水率が不均一となり、コンクリート中の単位水量が変動してスランプや強度が変動しやすい。また、散水により砂の微粒分が流出しやすいことから、コンクリートの材料分離やブリージングが増加する。などが言われていた。



図－2 砂のクーリングフロー

「サンドスタビライザによる砂のクーリング」は、これらの問題点を解決した全く新しいプレクーリング法であり、3～5℃の冷水を砂に散水することによって、暑中においても8～10℃の冷砂を製造でき、しかも砂の表面水率が安定しているため品質の安定したコンクリートの練り混ぜが可能となる。図－2にサンドスタビライザによる砂のクーリングフローを示す。

散水用の冷水は、高温度差冷却となるため2段冷却とし、泥水の冷却が可能なプレートチラーにて製造する。サンドスタビライザで遠心分離された排水は再冷却し、繰り返し（循環）使用する。

3．砂のクーリング性能試験結果

研報88－1（昭和63年．建設機械化研究所発行）にて報告された、サンドスタビライザの砂のクーリング性能試験結果を以下記述する。

機種は、SS－08（処理量：0.8m³／Batch，電動機：75KW）型である。

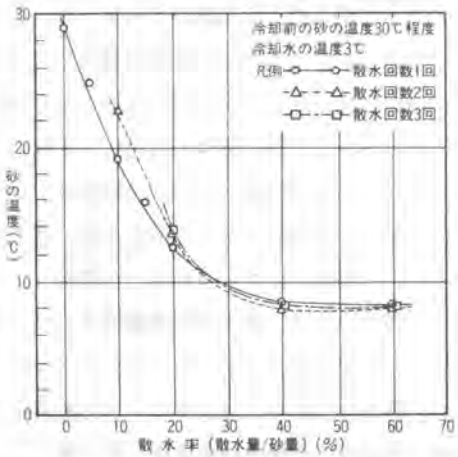
3・1 サンドスビライザの冷却効果

図－3にサンドスタビライザの冷却効果を示す。

この図に示すように、3℃の冷水を砂に散水することによって30℃程度の砂を8℃まで冷却できる。

散水率（散水量／砂量）が高くなるに従い処理後の砂の温度は低下していくが、散水率が40％を上まわるあたりから散水率の増加による砂の冷却効果が薄れる。

図中の「散水回数2回」とは、砂のクーリング処理－工程の間で冷水を2回に分けて散水する方式のことであるが、散水回数の違いによる処理後の砂の温度差はほと



図－3 処理後の砂の温度と散水率の関係

んどなく、砂の冷却効果は散水率によって決定されることが判る。この方式は、砂の透水性が悪い場合に脱水を円滑に行う目的で採用する。

3・2 クーリング処理後の砂温度の経時変化

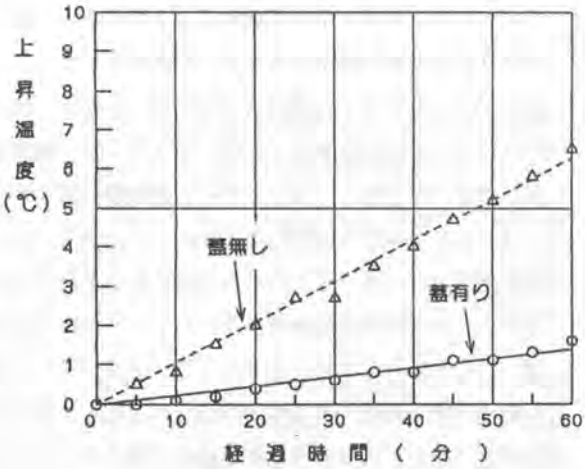
クーリングした砂を、発泡スケロール製容器に入れ上面を開放した状態で放置し、経時変化による温度上昇を調査した結果を、図－4に示す。

この調査は、処理された砂が実際に使用される場合ベルトコンベアなどで搬送され、しかも一時的に貯蔵される間の外気の影響による温度上昇分を予測するために行ったものである。処理後の砂が練り混ぜされるまでの所要時間が15分程度であれば、約2℃の温度上昇となる。

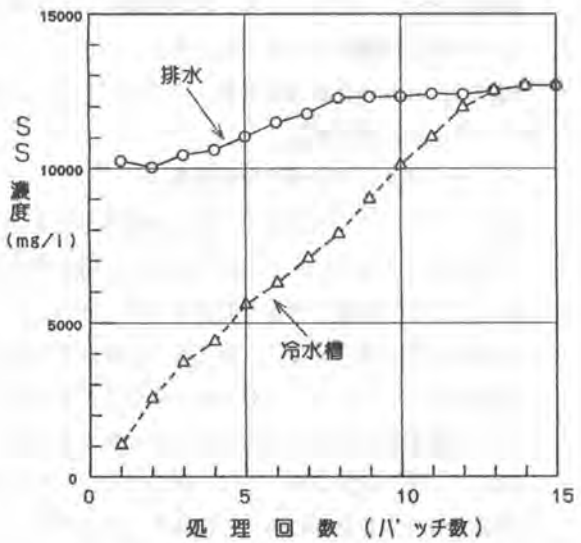
3・3 排水の循環使用の試験結果

サンドスタビライザで遠心分離された排水を再冷却し、循環使用した場合における排水のSS濃度の変化を、図－5に示す。

13バッチ程度のクーリング処理において、冷水槽のSS濃度と処理後の排水のSS濃度がほぼ等しくなり、しかも安定している。また、チラー内部の泥分付着も認められておらず、このことからも排水の循環使用は可能と判断できる。



図－4　処理後の砂温度の経時変化



図－5　冷水槽と排水のSS濃度変化

4．3P主塔基礎特殊水中コンクリートの打設

4・1 コンクリートの打設概要

3P主塔基礎工事におけるコンクリートの練り上り温度は20℃以下と規定され、打設にはサンドスタビライザによる砂のクーリングシステムを搭載した「海神」が使用されている。

3P主塔基礎となる鋼製ケーソンは、直径78m、高さ62mであり、2重壁構造となっている。内側の直径54mの内核部には約10万m³のコンクリートを12層に分けて打設し、1回当たり約9000m³の打設量となる。外核部は16区画に分かれ、1区画約8000m³を一括打設する。

4・2 「海神」のプレクーリング設備

「海神」では、砂の一次貯蔵槽からバッチャプラントに至る積込ライン上にサンドスタビライザが設置されており、コンクリートの製造能力に合致した能力で全量の砂を冷却している。

図－6にプレクリング設備の概要を示す。

「海神」には、砂のクーリング設備の他に、粗骨材および練り混ぜ水の冷却設備が搭載されており、気温や各材料の温度状況に応じて各設備を適宜組合せて運転している。粗骨材は、一次貯蔵槽の天井より8℃の冷水を約20時間散水して冷却する。

実験用貯蔵槽（φ1.2m×6m）では約10℃の冷却が可能であった。散水用冷水は、砂のクーリング同様循環使用する。

砂のクーリング設備	サンドスタビライザ	
	型式×基数	SS−24×2基
	電動機	280KW×2基
	処理量	2.4m³/Batch
	処理能力	120m³/H
	散水用チラー	
	型式	プレートチラー
	能力×基数	255,000Kcal/H×4基
	電動機	75KW×4基
練り混ぜ水冷却設備		300,000Kcal/H×2基 750,000Kcal/H×1基
粗骨材冷却設備		340,000Kcal/H×4基 （砂のクーリング用と兼用） 300,000Kcal/H×2基 （練り混ぜ水用と兼用）

図−6　プレクーリング設備の概要

4・3　コンクリートの現場配合およびプレクーリング効果

図−7に特殊水中コンクリートの現場配合と材料温度の最大予測値を示す。（ ）内は各材料の冷却後の温度を示し、図の右端にはその材料の冷却によってプレクーリングした場合のコンクリートの練り上り温度の低減幅を算出して記載した。なお、砂、粗骨材、練り混ぜ水の3種類をすべて冷却した場合の練り上り温度の計算値は16.7℃である。

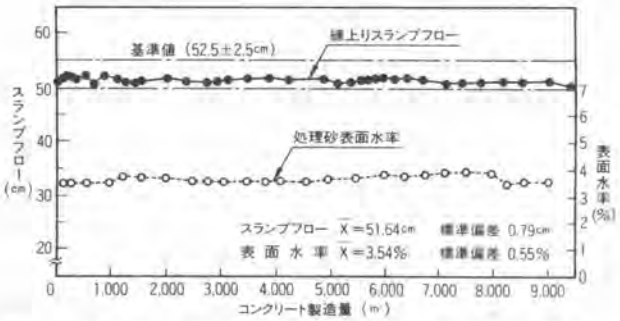
4・4　コンクリートの打設結果と品質状況

図−8に平成2年2月に打設した、第2回打設時のサンドスタビライザによる表面水率安定処理後の砂の表面水率と、その砂を使用したコンクリートの練り上りスランプフローの状況を示す。サンドスタビライザの効果が表われて、処理砂の表面水率およびスランプフローともに良く安定した。

プレクーリング後の練り上り温度は、前述の計算値とほぼ一致した結果を示し、品質の良好なコンクリートが得られた。

	配合(kg/m³)	温度（℃）	比熱	コンクリート温度の低減値（℃）
粗骨材	1,006	31 → (22)	0.2	
細骨材（砂）	648	31 → (10)	0.2	
セメント	320	50	0.2	
特殊混和剤	2.3	31	0.2	
水	213	34 → (5)	1.0	
流動化剤	標準量	27	1.0	
AE減水剤	標準量	27	1.0	
コンクリート	2,189.3	33.8°	0.278	

図−7　特殊水中コンクリートの現場配合と材料温度



図−8　処理砂の表面水率および練り上りスランプフローの状況

5．おわりに

サンドスタビライザを使用したプレクーリング工法は、プレクーリング効果と、さらに、単位水量の変動を抑えたコンクリート品質の安定化という2重の効果をもたらすことが、今回の工事で実証された。

コンクリートの耐久性確保と高品質化が唱えられる中で、今後増大すると予想されるマスコンクリート工事に、本工法が有力な手段として活用されることを期待する。

8．高速自動工事用エレベータの開発

㈱竹中工務店：*佐多　基之・石井　治郎
友松　省三・室　英治
森田　真弘・星野　春夫

1．はじめに

近年、建物の規模は「東京新都庁」「MM21ランドマークタワー」等その高さにおいても広さにおいてもますます大型化する傾向にある。当然そこで建築作業に従事する作業員の数も、使用する建築資材の量も数年前とは比べものにならないほど増大し、これらの輸送をいかに効率良く行なうかが建築生産効率向上の為の一つの重要なポイントとなっている。

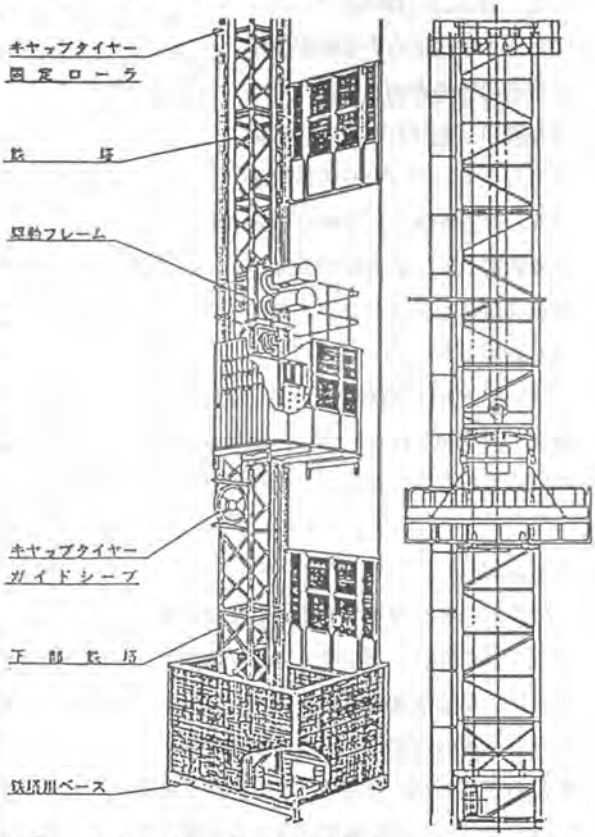
そこで建築資材（内装材）を、必要な時に必要な場所へ人手をかけずに効率良く運ぶシステムとして当社では、'88年に「高速多機能リフト」および、その付属システムとしての荷の積み降しに用いる「移載機」、それらを効率良く運用する為の「運行管理システム」を開発し好評を得た。今回は、その第二段階として、ますます増大する建築作業員と建築資材を一台の機械で高速大量輸送をする事を可能にした「高速自動工事用エレベータ」を開発し、さらにシステムの充実を図ったので以下にその概要について報告するものである。

2．建築工事における作業員と資材輸送の現状

現在、大規模超高層建築作業所における垂直輸送についての課題とされているのは、①大量の建築資材を所定の階にできるだけ効率良く運搬すること、②多い時は数百人にも及ぶ建築作業員を、朝・昼・夕の集中移動時に迅速に運ぶことで

表－1　従来機　主要仕様

項　目	エレベータ	リフト
積載荷重	1t	2t
搭乗定員	15人	－
ｹｰｼﾞ(荷台)寸法	1200×1800×2100	4500×1500
昇降速度	35m/分	50m/分
扉開閉方法	手動	手動



図－1エレベータ（従来型）　図－2リフト

ある。特に朝・昼・夕の作業員の集中移動時に１時間近くにもなるエレベータ待ち時間によりイライラやムダな待ち時間が生じている。従来は、表－１に示すように資材別に輸送手段を分担し作業員を運ぶエレベータ１～２台（図－１参照）と、資材運搬用のリフト１～２台（図２参照）を個別に設置していたが、輸送スピードも遅く、前述の２つの課題に悩まされていた。

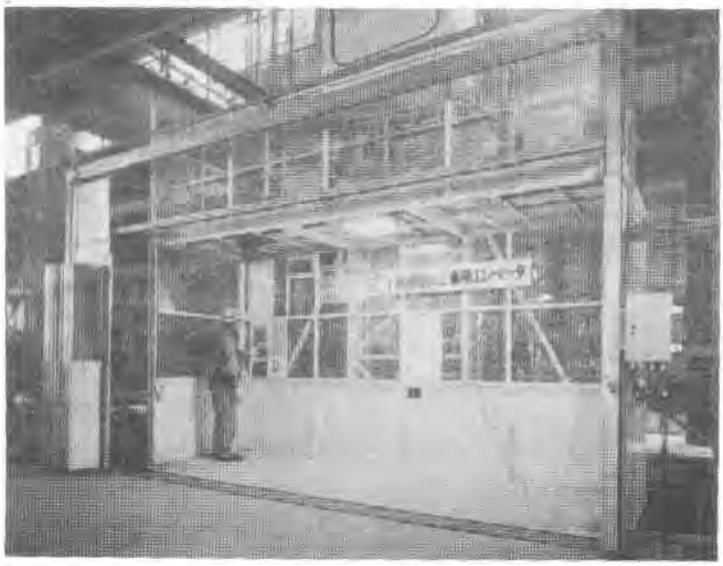
３．高速自動工事用エレベータの特長

今回開発した人とモノを同時に運搬する「高速自動工事用エレベータ」は、輸送スピード及び積載量のアップを図りながら、資材などのモノを運ぶための「リフト」と、作業員を運ぶための「エレベータ」の機能を合体させることによって、前記の２つの課題を同時に解決するものである。

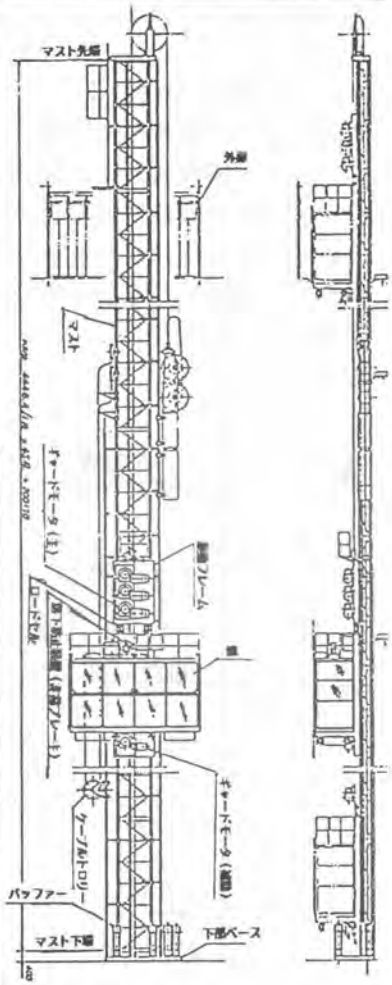
エレベータのケージ部分の全景を写真－１に、全体組立図を図－３に示す。エレベータケージの大きさは、表－２の主要性能表に示すように建物の大型内装材、長尺物等全てを収納できるスペースを確保しており、人であれば定員４６人、資材であれば３トンまでのものを100ｍ／分のスピードで輸送できる性能を有している。ドアの開閉などはすべてコンピュータによる自動管理となっており、塔乗員が行先階のボタンを押すだけで自動的に運行できる等我々が日常的に使用する本設エレベータと操作上・機能上非常に近いものになっている。

表－２　開発機　主要仕様

積載荷重	３t
搭乗定員	46人
ケージ寸法	W4500×L1300×H2250
昇降速度	100m/分
扉開閉方法	



写真－１　高速自動工事用エレベータ（ケージ）



図－３高速自動工事用エレベータ全体組立図

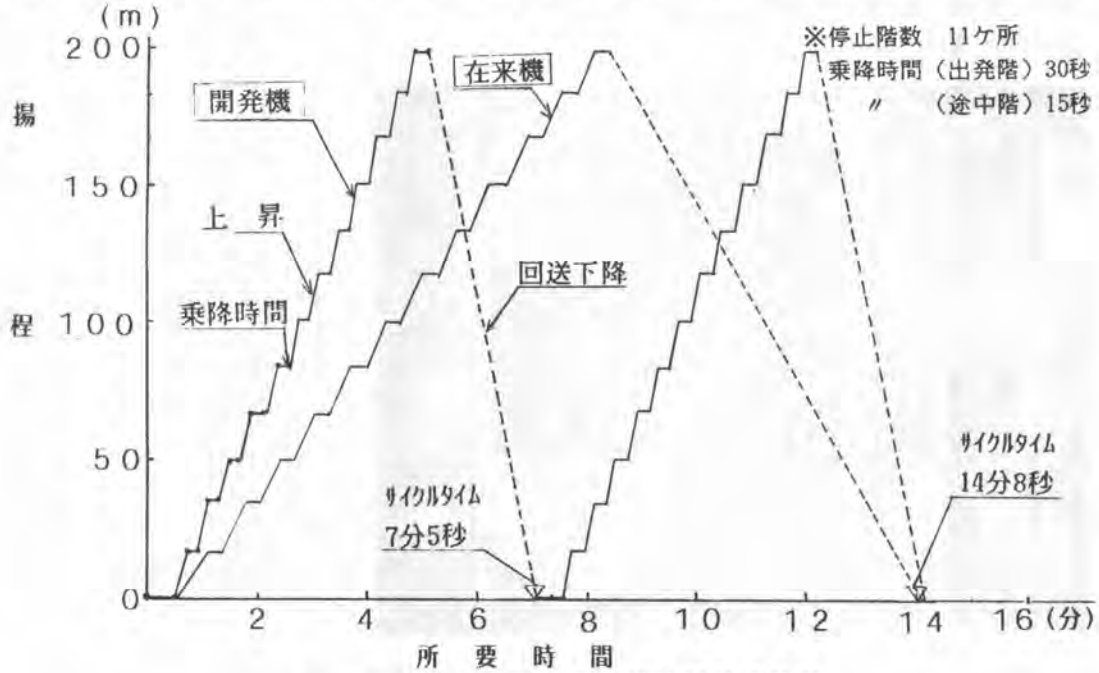
また、資材運搬時にはコンピュータによる自動遠隔操作を確実に行なえるようにするため、光ファイバーケーブルによる信号伝達方式を採用して、工事中に発生する電気的ノイズによる誤動作を排除するようにしている。

また、安全確保のための対策としては「クレーン等安全則」「クレーン等構造規格」で定められている安全装置はもとより、次に示すような二重三重の安全機能をそなえている。①ラック＆ピニオン駆動方式を採用し合計３台のブレーキモーター及び上昇下降両方向のオーバースピード時に作動する「両方向次第効きスピードガバナー」が、異常落下を防ぐ。②ケージ扉二重ロック③制御異常時でも最寄りの階へ低速昇降できる「安全機能」

次に人を快適に輸送すると言う見地より、ケージ内は床はもちろん壁、天井に至るまでフラットな面に設計し、塗装色もできるだけ目にやさしい色彩を採用し、駆動部等はメンテナンスのし易いビニールカバーで覆うことによってケージと一体感をもたせ、空調設備も備える事により「人を優しく安全に運ぶ」事にも留意している。

４．従来機との比較

図－４に当社Ａ作業所における平均速度、乗降人数、乗降時間、停止階等のデータを基にして、揚程200m、停止階数11ヶ所、乗降時間を出発階30秒、途中階15秒に取た場合の輸送効率在来機比較を示す。サイクルタイムが、約半分になりこれに、一往復の輸送人員が約３倍になったことを加えると全体の輸送効率としては６倍アップしたことがわかる。また資材の輸送効率では、在来機と比べ１往復の輸送量は荷台面積の関係でほぼ同等であったため、スピードアップ分だけ約1.7倍上がった。このほか、本機を実稼働さ



図－４　従来機との人員輸送効率比較

せてわかったことを次に示す。

1）大量高速輸送を可能にしたことにより、運搬に関連するさまざまな時間的ロスを軽減した。

（モデル比較）

条件：揚　程　200m、停止階数　11ケ所、全利用者数　100名、行先別人員　各階４名で試算すると在来機では、９往復、最終グループのエレベータ待ち時間112分、開発機の場合は３往復、待ち時間14分になる。

2）コンピュータによる自動遠隔操作も可能にしたことにより、将来の垂直・水平輸送の完全自動化への道を開いた。近い将来夜間の時間帯に資材を無人輸送し、昼間は施工作業に専従する事も可能と思われる。

3）作業員を運ぶ「エレベータ」と、資材を運搬する「リフト」を別個に設置する必要がなくなったため経済的メリットが向上した。前述したＡ作業所の揚重設備として、従来型の「エレベータ」と「リフト」を設置した場合と比較すると約３分の２の費用で済むことが検証された。

4）信号伝達方式に光ファイバーケーブルを採用することにより、電気的ノイズによる誤動作を無くすことができ、コンピュータによる運行制御が可能となった。

5）作業員の移動が朝・昼・夕の集中時でもスムーズに行なうことができ、また中間の時間帯に資材を運ぶ事により建築生産効率のアップにもつながる。

5．おわりに

当社では、建築作業所内での労働環境の向上をはかるために、タワークレーン運転室環境などのグレードアップを始めとして各種の作業所環境の改善活動を推進している。今回の「高速自動工事用エレベータ」の開発によって、労働効率の向上はもちろん、待ち時間の短縮によって作業員の精神的イライラの解消など、作業所環境改善の一助になるものと期待しています。

今後は、当エレベータを全社的に水平展開を図ることで、労働環境の向上にさらに努力していきたいと考えている。

共同開発者　　（株）小川製作所　　（株）オムロン

９．コイル状鉄筋の効用と棒状鉄筋からコイル状鉄筋使用への転換～鉄筋加工の省力化とコストダウンへの提言～

石原機械工業㈱：石原拓一郎

［はじめに］

１９８０年代の建設関連業界は、旺盛な設備投資に支えられて好況裡に推移しているが、反面で他産業を上回る慢性化した労働力・技能者不足の悩みを抱え、抜本的な対応策に迫られている。

なかでも３Ｋの代表格として敬遠されがちな鉄筋加工業は、労働力の絶対量不足に加えて熟練技能者の高齢化が年々進み、きわめて深刻な様相を呈してきている。

【主要職種別技能労働力不足率】　１９８８年度

職　種	不足率	職　種	不足率
配管工・船工	15.5 %	型枠工	9.4 %
構造物鉄工	13.0 %	板金工	8.9 %
造園工・植木職	15.3 %	とび工	7.7 %
鉄筋工	11.7 %	室内装飾工	7.2 %
仕立工	10.2 %	熱絶縁工	7.2 %
製図工・写図工	9.7 %	ｻｯｼ・ｶﾞﾗｽ 施工工	7.2 %

※「日本の建設機械産業９０年版」より

この打開策として、大手建設業者による全自動建設システムなどの施工技術革新や、操作の簡便性・安全性・低公害（騒音・振動の低減、防塵等）を具備した省力化機械、さらに進んで危険作業を回避する無人化機械などの研究開発が進められている外、高強度コンクリート・高強度鉄筋・リブ付鋼管などの新素材も誕生し、これらがさらに新技術・新工法の開発を促すなど、めざましい転換をもたらそうとしている。

しかしながら、下請依存度の高い建設業界特有の重層構造の末端に位置付けされる小規模建設関連業者は、困惑を示しながらも資金力や体質的な面もあって対応が遅れ苦慮している。

ここに対応の一策として、特に近年最も労働力不足の顕著な鉄筋加工業に対して、実現の可能性が高い近代化への方策を提言し、業界発展の一助としたい。

［コイル状鉄筋の効用］

従来、建設用鉄筋は世界各国共「棒状鉄筋」が主流をなしていたが、１９６０年代半ばにイタリアで「コイル状鉄筋」を素材とする加工機が開発されるに伴い、その優れた省力効果が評価されて急速な伸展を示し、現在ヨーロッパでは完全にシェアーが逆転している。最近の情報によれば、細ものについては「コイル状鉄筋」の使用が大半を占め、シェアーも８０％に近いといわれている。

一方わが国では、この時流を追って、やや遅れて加工機が試作され「コイル状鉄筋」が使用され始めたが、コイル状鉄筋メーカーが主として自社または関連会社加工用の供給に主力を置いて製品単価の高値安定化を図ったこともあって市場への出回りは極めて少量に過ぎなかった。

さらに

1）加工機が高額のため、企業規模が中小主体の鉄筋加工業者には負担が大き過ぎた。

2）人手不足も現在ほどは深刻でなかった。

3）材料の供給も少なく、割高のため鉄筋加工業者の対応も消極的であった。

以上を主因として、「コイル状鉄筋」の普及は足踏状態を続け、現在でもシェアーは僅か4～5％程度に止どまり低迷している。

このため、鉄筋加工業者は旧態依然として高い地価のもとで、工場用地の８０％近くを材料置場に割かれ、さらに材料運搬や移動に多少にかかわらず、トレーラーを使用するなど極めて非効率な運営を余儀なくされている。

「コイル状鉄筋」は、自動化率の高い先端加工機の出現と相俟って、次のような優れた効果の活用が期待できる。

1）材料移動の手間が大巾に省ける。

従来の「棒状鉄筋」の場合は、材料置場→切断機→曲機の工程間の移動はすべてクレーンを必要としたが、「コイル状鉄筋」では材料を加工機本体にセットすれば、後は自動送り機構により一切人出が不要になる。

2）自動化率の高い多機能機の使用により、加工人員が3分の１以下に削減できる。

３００種類を超える豊富なベンディングパターンとカッティングが、内蔵するコンピュータコントロールによりボタン一つで全自動加工される。

【1)および2)の省力効果】

建築主体の中規模鉄筋加工業者の場合(細もの月産１００ｔ規模)

「棒状鉄筋」	「コイル状鉄筋」
切　断 …… ４．０人	切　断 …
加　工 …… ３．０人	加　工 …… １．５人
運　搬 …… １．０人	運　搬 …
	機械運転 …… １．０人
合　計　８．０人	合　計　２．５人
差引　５．５人　省力	

3)材料ロス率が4%程度軽減される。

コイル状の素材を連続して、送り→曲げ加工→切断とすべて自動的に処理するため素材のロスは皆無に等しい。

4)材料置場が2分の1以下に縮小できる。

棒状の長尺ものと異なり、ドラム状のため大巾な省スペースが可能となり土地の有効利用や借地料の軽減ができる。

《建築主体の中規模鉄筋加工業者の場合》(細もの月産１００ｔ規模での試算)

	[棒状鉄筋]	[コイル状鉄筋]	[比　較]
加工人員	8.0 人	2.5 人	(-)　5.5 人
1人当加工トン数	12.5 t	40.0 t	(+)　27.5 t
人件費(1日当)	96千円	30千円	(-)　66千円
〃　(月 間)	2,208千円	690千円	(-) 1,518千円
〃　(年 間)	26,496千円	8,280千円	(-)18,216千円[A]

(注) 日給=12,000円　月間稼働日数=23日

材料費(月 間)	104t×64千円=6,656千円	100t×72千円=7,200千円	(+)　544千円
〃　(年 間)	79,872千円	86,400千円	(+) 6,528千円[B]

(注) 棒状鉄筋はロス率4%を見込み材料使用量を104tとした

コストダウン　[A] １８，２１６千円－ [B] ６，５２８千円＝１１，６８８千円

[む す び]

Ⅰ.メリット

ⅰ．加工能率の向上により大巾な人員削減ができる。

ⅱ．波及効果として、人員削減による大巾なコストダウンができる。

この試算では日給を同額で計算したが、全自動鉄筋加工機は操作が簡単で熟練を必要としないので、パートタイマー等でカバーすればさらに人件費は軽減される。

ⅲ．全自動加工機能により

イ．安全性が高まり危険性が回避できる。　ロ．操作の簡便性により作業が楽になる。

ハ．殆どが自動工程になるので汚れも少なくなる。

以上のことから最も敬遠される３Ｋが排除され、求人が有利になる。

Ⅱ．デメリット

ⅰ．現在の加工機では機械能力的に細ものしか加工できない。

現状では全需要の７割前後を占める、細もの１６mmが限度とされているが、将来的には１６mmｋ以上の太もの加工も充分に可能性がある。

ⅱ．需給関係から「コイル状鉄筋」が品不足でコスト高になっている。

将来的には需要が伸び、メーカーの量産態勢が整えば、安定供給と同時に値下りが期待できる。

以上述べてきた諸点から、当面する労働力不足の対応策と、併せてコストダウン追及のため「コイル状鉄筋」への転換を強く提唱したい。

10．画像処理を利用したトンネル断面計測システムの開発

㈱奥村組：寺田　道直・*市原　義久

1．まえがき

近年、山岳トンネル工事は関連技術の進歩にともない、技術的あるいは経済的に厳しい管理が要求される状況にある。工事を進めるうえで、その合理性を追求するためには、余掘り・余巻きの低減は最も大きな課題である。余掘り・余巻きが生じる直接の原因は削孔機械などのハードな技術に大きく依存するが、掘削断面計測などのソフトな技術によってもその低減を図ることができる。すなわち、掘削断面の形状を速やかに計測し、設計断面との相違を定量的に把握して次断面の削孔パターンに反映させることにより、間接的に余掘り・余巻きを低減させることができる。また、このようなフィードバックサイクルをまわすことにより、掘削管理の高度化を図ることができる。

今回、画像処理技術を利用したトンネル断面計測システムを開発した。本稿ではシステムの概要について説明するとともに現場計測への適用について述べる。

2．基本原理

（1）計測原理

トンネル断面に収束性のよい光線を回転照射し、この光の軌跡を含む断面全体の画像を撮像する。この画像中から計測断面の輪郭線を画像処理により抽出するとともにその位置情報を求め、輪郭線と計画断面を比較することにより、掘削管理に必要な諸量（余掘り・余巻きの位置・量など）を計算する。

なお、座標値を計算するためには画像データの縮尺比が必要であり、その準備として、計測断面内に較正ポイントとして２点に対して光線を照射しその画像を撮像するとともに、その２点間の距離を計測する。この２点の対応画素および距離から、個々の画素の較正長を算出する。

（2）画像計測の特長

従来のトンネル断面計測技術はおおむね以下の三つに分類できる。

ⅰ．切羽面に断面定規（設計断面を表示する枠）を設置して任意点の定規からのずれを直接測定する方法

ⅱ．光波や超音波の測距儀により、トンネル壁面上の任意点までの距離を所定角度ごとに計測する方法

ⅲ．前方交会法の原理にもとづいて２台のトランシットやステレオ写真の視差から対応点の位置座標を求める方法

これらの計測方法はいずれも点の計測技術であるので、共通する基本的問題点として、トンネ

ル断面全体の形状を正確に把握するためには多数の測定を行わなければならないので多大な労力と時間が必要なこと、離散的な測定値から連続した形状を推定せざるをえないので本来の高い計測精度が生かされていないことなどがあげられる。

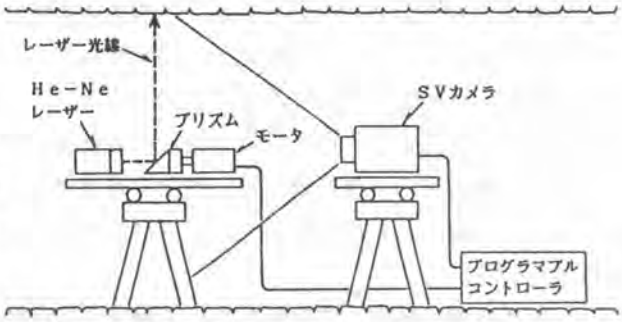
本システムによる計測では連続した線の計測が可能であり、掘削断面全体の幾何学的形状や変形モードなど、より高度な技術情報を効率的に得ることができる。また、掘削断面形状、吹付け厚さ、２次覆工厚さなどの多目的の計測に使用できる以外に、曲線や特殊形状（縦長・偏平など）のトンネル、大断面の地下空洞などにも使用でき応用範囲が広い。

３．システム構成および計測手順

本計測システムは、トンネル工事の日常的な施工サイクルのなかで使用することを目指しているので、坑内で使用する画像計測機器と事務所などの室内で使用する画像処理装置の２つの要素に分離している。坑内の計測で得られる画像データを室内で解析して、その結果を出力する。このようなシステム構成にすることにより、坑内における使用機器を減少させ、坑内作業の簡素化あるいは作業時間の短縮を図っている。

（１）坑内計測

坑内計測システムの機器構成を図－１に示す。光照射手段としては、Ｈｅ－Ｎｅレーザーをステッピングモータに取り付けたプリズムで回転照射する装置を使用する。撮像手段としては、画像データをアナログのフロッピーディスクに収録することができるスチルビデオカメラ（ＳＶカメラ）を使用する。回転レーザーおよびＳＶカメラは測量用の三脚に取り付けるが、両者とも回転台、水平スライド台を組み合わせた取付治具を使用することにより、その操作性の向上を図っている（写真－１参照）。



図－１　坑内計測システムの機器構成

坑内計測の手順を図－２に示す。計測準備として、計測対象断面の中心に回転レーザーを設置し、これより前方または後方のトンネル中心にＳＶカメラを設置する。ＳＶカメラは、レーザー光線をトンネル軸方向に回転させ、それにあわせて設置する。次に、ＳＶカメラにより以下の３種類の画像を撮像する。

ｉ．背景画像；レーザー光線を照射していない状態
ii．較正画像；較正ポイント（２点）および中心点
iii．計測画像；レーザー光線の軌跡（輪郭線）

写真－１　坑内計測システム

計測画像の撮像方法としては、輪郭線を円周方向に対して分割し撮像する。ＳＶカメラはその機能上シャッター開放が不可能であり、露光時間は最長のもので１秒であり、この１秒の間にレーザー光線を全周方向に回転させた場合はそのエネルギーが分散されＳＮ比がかなり低下し、輪郭線を画像処理により抽出するのが困難である。この対策として、レーザー光線を分割して回転させることによりＳＮ比の向上を図っている。したがって、ＳＶカメラのシャッターとレーザー光線の回転を連動させる必要があるが、これらの機器の一連の動作はプログラマブルコントローラに記憶しておき、簡単なボタン操作で制御することとした。

（２）室内解析

室内解析システムの機器構成を図－３に示す。坑内計測で得られる画像データをＳＶ再生器により再生し、画像処理ボードによりＡ／Ｄ変換してパソコンに入力し解析を進める。本計測システムにおいて、１フレームの画像を構成する画素の数は水平方向および鉛直方向ともに 512画素であり、各画素の輝度（明るさの度合い）は 256階調で表現している。本計測システムの基本分解能はこの画素数に依存し、その幾何学的分解能は約 0.2%となる。

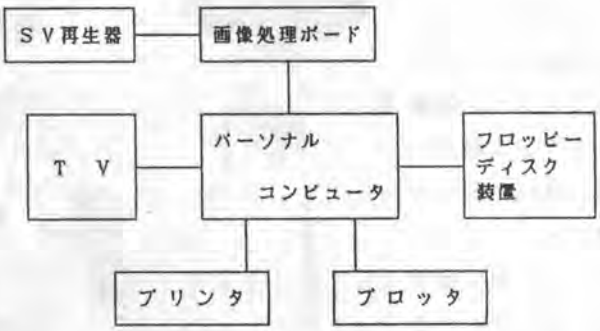
図－２　坑内計測フロー

室内解析の手順を図－４に示す。解析準備として、設計断面あるいは較正ポイント間の距離などの計測条件を入力し、坑内計測で得られる背景、較正、計測画像データをそれぞれ入力する。

図中の⑤輪郭線の画像処理では、画像の雑音消去、輪郭線の抽出、データ圧縮などを行う目的で、以下に示す幾つかの画像処理を行っている。

ｉ．加算処理；分割して撮像した計測画像を論理的ｏｒで累積加算することにより全周方向に連続した輪郭線画像を得る

ii．減算処理；計測画像と背景画像との輝度差を取ることにより背景の雑音を消去してＳＮ比の向上を図る



図－３　室内解析システムの機器構成

図－４　室内解析フロー

iii．２値化処理；適当な輝度をしきい値として明るい部分（輪郭線）と暗いの部分に分ける

iv．膨張処理；掘削面の向きや凹凸により生じる輪郭線の微小な欠けを膨張させることにより連結する

v．縮退処理；輪郭線を図心方向に縮退させることにより細線化する

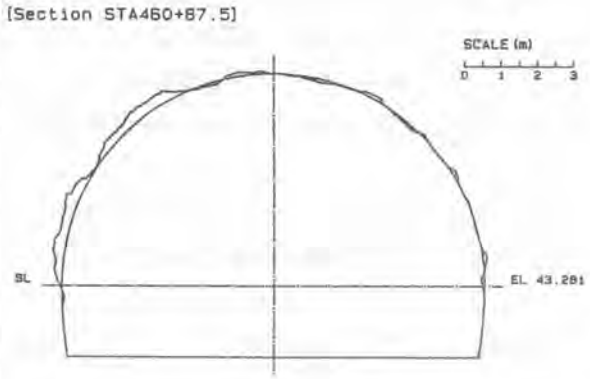
vi．チェイン符号化処理；輪郭線をその出発点の座標とその延長方向を示す符号の組合せで曲線形状を表現することによりデータ量を圧縮する

⑥断面形状の解析では、輪郭線を構成する各画素の設計線との位置ずれ情報（極座標表現）を計算し、余掘り・当り面積などを求める。また、これらの解析結果は、⑦計測結果の出力／保存において、モニター画面、プロッタ、プリンタにより図化または印字出力するとともに、フロッピーディスク内に保存する。

４．現場計測への適用

本システムを高速道路トンネル（掘削幅約12m、高さ約 8m）の上部半断面に適用した事例の計測結果を図－５に示す。この図より、円周方向に連続した線の計測結果が得られていることがわかる。

また、計測誤差としては 0.3%程度であり、実用的には十分な計測精度が得られている。誤差の要因としてはレンズ収差の影響がある。本システムでは広角レンズを使用してできるだけ近距離で撮像するので、レンズ収差の影響が大きくなるが、これについてはコンピュータ上でソフト的に補正処理を行うことにより、ほぼ除去することができる。



図－５　現場計測への適用事例

なお、トンネル坑内における計測所要時間は、一断面当り約15分である。

５．あとがき

レーザー光線とＳＶカメラによる計測に画像処理技術を組み合わせた新しいトンネル断面計測システムを開発した。計測精度は十分に使用に耐えるものと考えられ、取扱いについても現場作業サイクルのなかで対応できると考えられるので、今後は更にトンネル工事現場へ適用することにより、システムの実用性の向上を図りたいと考える。

本計測システムでは連続した線の計測が可能であるので、従来の点の計測技術と比較して、より高度な技術情報を得ることができる。山岳トンネルの情報化施工技術は、力学的情報の計測管理に重点が置かれる傾向があるが、出来型情報を得る本技術が掘削管理の高度化や今後のロボット化を支援する要素技術の一つとして期待できるものと考える。

11. 建設車両自動運転システム (HIVACS)の開発

㈱間　組：畠山　修・杉浦　仁志
*斉藤　宏明
東京航空計器㈱：西出　健一・塙　守智

1.まえがき

建設工事における資材運搬作業は、掘削作業やコンクリート打設作業等とともにあらゆる工種の中で最も根幹的な作業といえる（写真-1）。そこで我々は、このうち特に車両を用いた運搬作業に注目し、これをある条件下で無人化することにより近年建設業で問題となっている人手不足や合理化に対する一つの解決策にしたいと考えている。本報では、この自動運転システムを実現させるための建設車両自動運転システム(HIVACS*)構想を紹介し、さらにその技術開発状況について報告する。

写真-1　ダンプトラックによる運搬状況

2.建設車両自動運転システム（HIVACS）構想

車両を用いた運搬作業を自動化するための技術的課題は、以下の4つに大別できる。

①無人走行あるいは誘導方法　　②障害物認識等の安全対策

③積込み、荷降しの協調作業　　④複数台の車両運行管理システム

これらの課題を総合的に解決するには、段階的なアプローチが重要と考える。そこで提案しているのがHIVACS構想である。この構想は、表-1に示した様な4つの段階的なアプローチから構成しており、第1～第3段階においてはダンプトラックについてＲＣＤ工法によるダム施工を適用対象として取り上げ、この中での各種運搬作業をモデル化して段階的な実用化を行なう計画である。さらに第4段階に至っては、ダンプトラック以外の各種車両系建設機械についても無人運転化を図ることを考えている。

表-1　ＨＩＶＡＣＳ構想（4段階のアプローチ）

開発段階	名　称	内　容	適用対象
第1段階	固定経路無人走行システム	固定経路無人運転ｴﾘｱ（運搬部），有人運転ｴﾘｱ（積込み，荷降し部）で構成。固定経路内で無人走行。	骨材運搬
第2段階	変動経路無人走行システム	第1段階のｼｽﾃﾑに変動経路無人運転ｴﾘｱ（荷降し部）が加わる。固定経路，変動経路内で無人走行。	コンクリート運搬
第3段階	複合経路無人走行システム	第1段階のｼｽﾃﾑに複合経路無人運転ｴﾘｱ（積込み部）が加わる。固定経路，複合経路内で無人走行。	原石運搬
第4段階	各種工事への応用	各種建設用ﾛﾎﾞｯﾄと車両系機械の全自動運転化の組合せによる各種工事の完全自動化。	ﾀﾞﾑ・空港・土地造成・ﾄﾝﾈﾙ工事他

＊HIVACS:HAZAMA-Intelligent-Vehicle-Automatic-Control-Systemの略でﾊｲﾊﾞｯｸｽと読む。

3.第1段階の技術開発

3・1　固定経路無人走行システム

我々は現在、HIVACS構想の第1段階の技術開発を行なっている。

図-1に示す様に、ここではダンプトラックの運転区間を有人運転エリア、固定経路無人運転エリアの2つに区分している。有人運転エリアで行なう積込み、荷降し作業は、従来通り運転者が車に乗り込んで行なう操作あるいはラジコン等による遠隔操作によって行なう。なお、ここでの各車両の流れは、積込み、荷降し作業の順番が変わらない単純な方式を採用することにしている。また、固定経路無人運転エリアでは、レーザー誘導技術によって車両の無人走行を行なう。この固定経路とは、月単位程度の短い期間では走行経路が変化しない経路を想定している。この固定経路無人運転エリア内で我々が設定した条件は、以下の通りである。

図-1　第1段階：固定経路無人走行システム

①無人走行は比較的固定された経路内のみとする。②走行路は起伏が比較的少なく平坦である。
③走行速度は30km/h以下とする。　④専用走行路には人間が進入しない。

これらの条件を考慮し、しかもダンプトラック1台あたりのシステムコストを現状の運転者の人件費程度に抑えることができれば実用化のメリットがあると考えている。

3・2　制御システム

図-2は、第1段階におけるソフトウェアの構成を示したものである。各センサ出力情報の取得や各アクチュエータの制御出力の低レベルなプログラムモジュールは、各々独立した機能とし、これらのモジュールの上位にメインのプログラムモジュールを配置した階層化を行なっている。従って、将来センサおよびアクチュエータ類の変更や拡張にも十分対処できると考えている。さらに無人搬送車の最終的な形としては、図-3に示した様な4つのＣＰＵの搭載を考えている。なお、ＣＰＵの負荷増大の問題に関しては、パラレルＩ／Ｏによる分散処理を行なうことにより対処できると考えている。

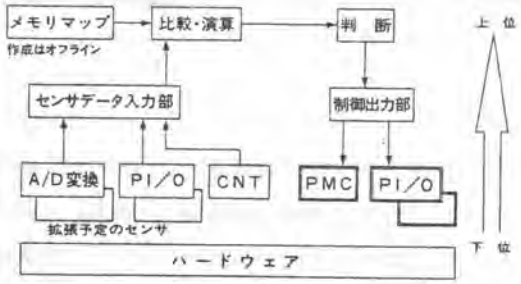


図-2　実験車のソフトウェア

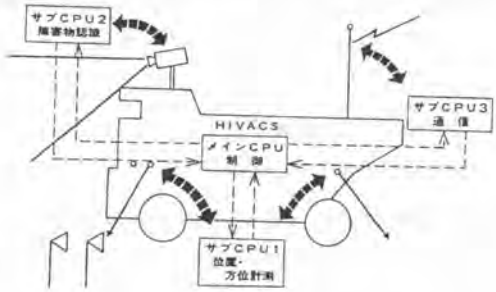


図-3　4つのＣＰＵによる分散処理

実際の走行は、走行前にメインＣＰＵ内に用意したメモリマップ（走行予定経路情報）と各センサからの走行情報とを比較・演算し、コンピュータの判断により必要に応じて命令を各アクチュエータに送り、この繰り返しによって自律的に無人走行を続けるものである。

4.実験状況

4・1　実験車諸元

現在、市販のワゴン車を改造し、テスト走行を行なっている。実験車およびこれに搭載している主な自動化機器の仕様諸元を、表-2に示す（写真-2～3）。

表-2　実験車の仕様諸元

【実験車】	【コンピュータ】
形式　N-CM36V(TOYOTA)*ｵｰﾄﾏﾁｯｸ車	ＣＰＵ　i80286+i80287(10MHz)
重量　2,020kgf	ＯＳ　MS-DOS Ver.3.1
外寸　3,995mm(全長)1,650(全幅)2,100mm(全高)	言語　TurboPASCAL+ASSEMBLER
ﾎｲｰﾙﾍﾞｰｽ　2,100mm	
ﾄﾚｯﾄﾞ　1,405mm(前)1,370mm(後)	【主要なセンサ】
ｴﾝｼﾞﾝ排気量　1,974cc(ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ)	エンコーダ　E6C-CWZ3E(OMRON)
	ﾚｰｻﾞｰﾕﾆｯﾄ　LN-110(東京航空計器)
【隔操作用送受信機】	
8chラジオコントロール装置（双葉電子工業）	【主要なアクチュエータ】
	パルスモータ　UPD599HG2-A2(ｵﾘｴﾝﾀﾙﾓｰﾀ)
	電動シリンダ　LP10H2D1LP(椿本ﾁｪｲﾝ)

写真-2　無人走行実験車の外観

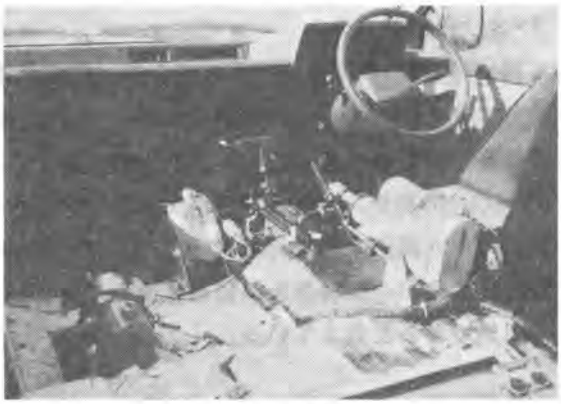


写真-3　無人走行用アクチュエータ

4・2　無人走行誘導方式

最近の屋内無人搬送車で利用されている埋設ケーブル等による誘導技術をそのまま建設現場の様な屋外環境に適用することは困難な点が多い。そこで我々は誘導に必要な固定設備の設置・撤去が容易であり、しかもエネルギー供給が不要でかつ耐久性の高い方法として、走行経路の路肩に一定間隔でコーナーキューブ（反射ミラー）を設置し、これと車両に搭載したレーザー発受信装置との組合せによる誘導方式を採用した（図-4,写真-4）。本システムの原理は、車

輪に取り付けたエンコーダ（回転数計測センサー）からの出力情報と、レーザー発受信装置からの出力情報を組み合わせることにより長距離走行においても計測誤差の蓄積がなく走行中の車両の現在位置と方位を認識し、メインＣＰＵ内に記憶している計画コースとのズレを修正しながら車両を計画コース通りに誘導するものである。

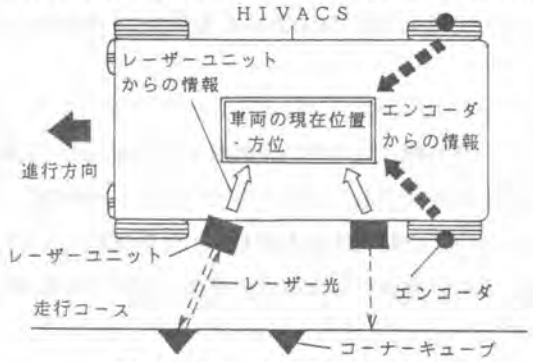


図-4　レーザー誘導方式

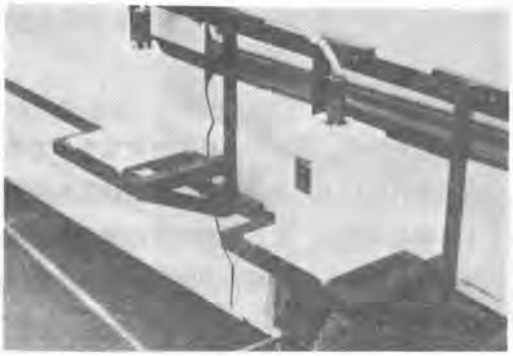


写真-4　レーザー発受信装置

4・3　ＬＮ－１１０性能評価実験

図-5～6に、先に述べたレーザーによる自己位置・方位計測装置（LN-110）の性能評価実験結果の一例を示す。これは、性能評価実験のために有人運転によって約5km/hの等速度で実験車を直線走行させた際の出力データである。エンコーダによりデッドレコニングで計測し、演算された位置・方位情報がコーナーキューブ設置地点でレーザー装置によって修正されながら走行しているのがわかる。

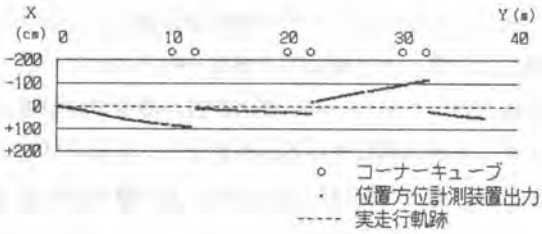


図-5　走行軌跡(X,Y)データ

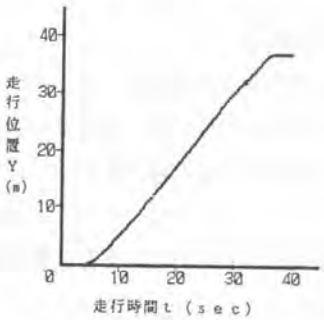


図-6　走行時間(t)と位置データ(Y)の関係

5.あとがき

現在は、レーザーを用いた位置・方位計測装置のカーブ走行や高速走行についての性能評価実験を行なっている。今後は、障害物回避のための外界認識技術を早期にある程度のレベルで開発し、実際の建設現場でのテスト走行を行ないながら第1段階実現のために必要な各要素技術を確立していきたいと考えている。なおＨＩＶＡＣＳ構想については、第1回建設ロボットシンポジウム論文集（'90.6）に具体的に紹介しているので参照されたい。

12．インテリジェントスケールの開発

大成建設㈱：*内藤　正光・大河内政之

1．はじめに

建設業において、測量作業は不可欠なものであり、データ処理、図化等の後処理を含む省力化、自動化が求められている。最近の工事における各種施工管理システムでも、データのリアルタイム処理を必要とする場合が多い。また建設分野の省力化機械、ロボット等を開発する上でも、工場用ロボットとは異なり、移動機構を持つ場合が多く、位置決め技術と、その制御を行うための正確な位置決め測量が必要となる。

測量技術の現状を見ると、距離計測については光波距離計、角度計測についてはデジタルセオドライト、また両者の機能を持つトータルステーションによって電子化が進み、デジタルでデータが得られ、更にコンピュータとの組合せによってデータ処理および図化等を容易に行えるまでに進展し、施工管理にも有効に活用されている。

しかし、レベル測量に関しては旧態依然として、スタッフとレベルによる測量が大勢を占めている。

本開発は、レベル測量の省力化と、デジタル出力によるコンピュータ通信、データのリアルタイム処理ができる装置の実用化を目指して行なわれた。

2．従来技術の説明

レベル測量の省力化技術として、レーザーレベル（水平に回転するレーザー光の発振器とその受光センサーから構成されている）が有り、現場における墨出し作業、水平検出等でかなり利用されている。

しかし、現状のものでは、センサーの受光部が約50㎜と短いためレーザー光の位置を捜す手間が掛かり、また、センサーの上側、中央、下側のどこにレーザー光が入射しているかを測定し、矢印やブザー音で表示する方式であった。また、数値が必要な場合には、標尺の側面に取付けて、その値を読み取ることになる。

そこで、開発する装置に対して、次の要求項目が挙げられた。

(1) 受光位置（高さ）が数値で得られること

(2) センサーの受光部が十分に長いこと

(3) データのリアルタイム処理が可能なこと

3．開発内容

以上の要求を満足すべく、今回開発した装置には以下の特徴がある。

(1) 標尺が細長く、しかも全長に渡り受光機能を備えている。

(2) 受光分解能力が十分に高い。

(3) レーザービームの中心位置の値をデジタル表示する。

(4) データ記憶装置を内蔵し、また、コンピュータと直接リンクできる。

(5) 使用する光センサーの数が少ない。

また、今回の開発は、従来使用されているレーザーレベルの回転発光部をそのまま使用し、受光センサーに上記の特徴を持たせることとした。

従来技術で(1)～(4)の機能を得るためには、多数の光ｾﾝｻｰを並べる方法が考えられるが次の理由で実施が難しい。

例えば１ｍの長さの受光部を１㎜の分解能で構成しようとすると、市販の光ｾﾝｻｰを1000個必要とする。また、その増幅回路、演算処理回路も同数必要になる。しかも、外形寸法が１㎜という大きさの光センサーは一般には市販されていないため千鳥状に配列せざるを得ない。そのため外形寸法が大きくなり、また高価になってしまう。

この問題を解決するために次の方法を考案した。図１に示すように、光ファイバーの端面を高さ方向に一定のピッチで整列させたものを受光面とする。他端は以下の様な規則で群分けして、１個の光ｾﾝｻｰに接続する。

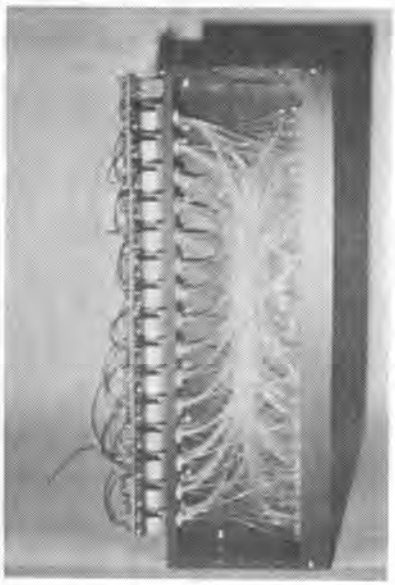


写真１　試作機内部

例えば、16㎜を１㎜ピッチの分解能で得ることを考える。図１に示すように、 1a,2a,3a,4aの出力端を（A）の光ｾﾝｻｰ、1b,5b,9b,13bの出力端を（イ）の光ｾﾝｻｰという様に群分けする。

従来方式では１６個の光ｾﾝｻｰが必要であったが、半分の８個の光ｾﾝｻｰで受光位置を判定できることになる。例えば（C）、（ハ）の光ｾﾝｻｰが受光した場合下から 6㎜の位置にレーザー光が来ていることになる。この方式では長さが長くなった場合、列数を増やすことで光ｾﾝｻｰの数の減少の割合は大きくなる。例えば、１ｍを１㎜の分解能で計る場合、第１列では末尾の同じ数のものを１つの光ｾﾝｻｰ、第２列では10の位が同じ数のものを１つの光ｾﾝｻｰ、第３列では 100の位が同じ数のものを１つの光ｾﾝｻｰに入れるという組合せをすると30個の光ｾﾝｻｰしか必要なくなり、従来方式に較べて 30/1000で済む。

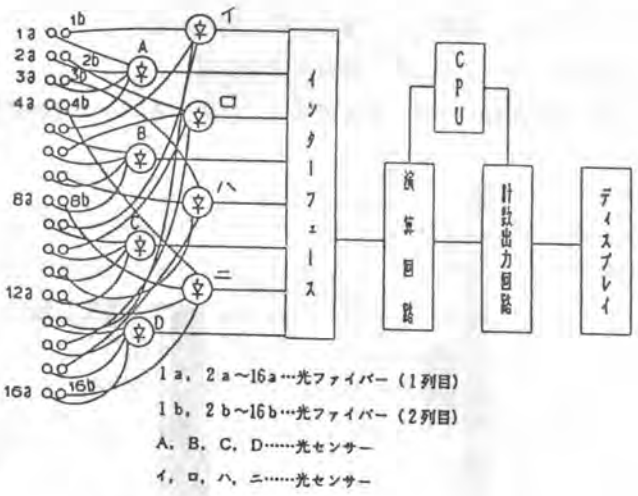


図１　光ﾌｧｲﾊﾞｰの接続例

実際にはレーザー光の直径が大きい（距離によって変化するが１０～２０φ㎜）ためその中心を求

めることができるように最小分解能の列を２４㎜に設定し、受光センサーすべてを走査して、内部処理でその中心値を求めるようにしている。

以上のように、使用する光ｾﾝｻｰが激減するため、後続の増幅回路、演算回路が同様に減少する。また、演算時間も短いため、１回の測定は瞬時に終わる。

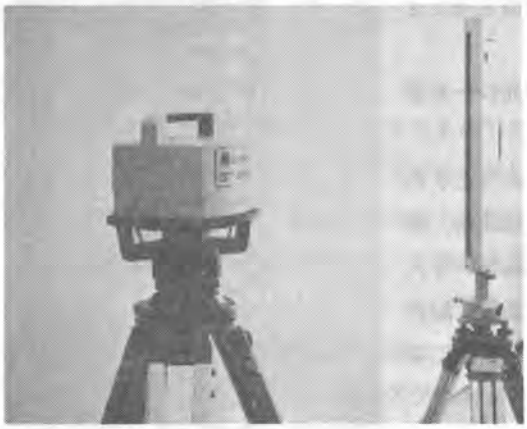


写真２　装置外観

表１　主な仕様

精　　度	±1㎜
測定可能距離	150m以内
受光部長さ	549㎜
最小表示単位	0.1㎜/0.5㎜(切替え)
内部電源	単二形乾電池×6本
使用時間	10時間以上(ﾏﾝｶﾞﾝ乾電池時)
外部ｲﾝﾀｰﾌｪｲｽ	外部ﾊﾞｯﾃﾘ/RS-232C
外形寸法	52.4(W)×167.5(D)×632(H)㎜
重　　量	3.5kg

４．利用技術

以上の方法により、レベルの非接触測量機が完成し、次のような効果が得られた。

(1) 省力化、高精度化、多点同時計測の達成

(2) リアルタイム計測、連続計測を実現

(3) 鉛直回転レーザーを使用することによる、水平方向変位の計測への応用

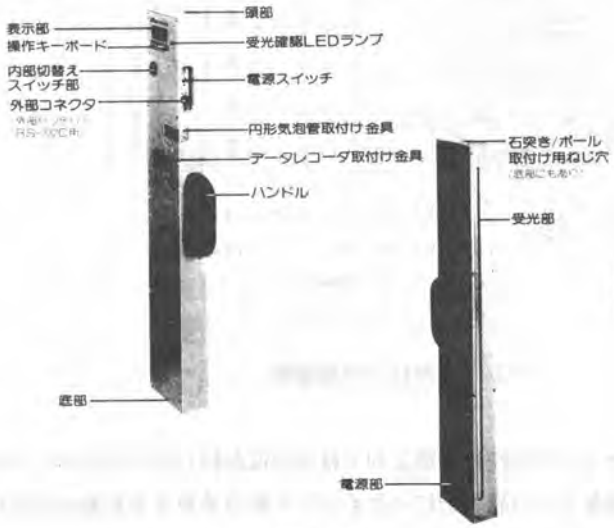


図２　各部の名称

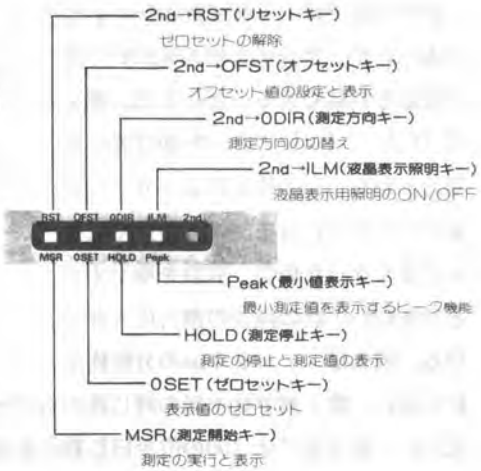


図３　操作キー

従来のレベル測量との大きな違いは、レーザーレベルを一点に据えるだけで直径３００ｍ以内の場所のレベル測量が一人で行えることと、複数のセンサーが同時に使用できることである。また、従来の高精度のレベル測量では読み取り可能な３０～４０ｍおきに視準する必要があったものを倍以上の距離で計測できるようになっている。また、精度の点では、従来は５㎜目盛の標尺を視準者が読み取り、１㎜を経験と勘で決めていたが、誰でも同じ数値を得られるようになり、レーザーレベルの回転で10回／1secのデータが得られるため、その値を平均化することで分解能を 0.1㎜と非常に高いものにできた。以上の点から省力化、高精度化、計測時間の短縮が達成されている。

写真３　斜張橋のレベル管理

写真４　シールドマシン制御

また、従来考えの及ばなかったレベルの自動無人計測が行えるようになった。例えば地盤の沈下、タンクの沈下についても基準点で杭を打つ程度の不動点を設け、そこに回転レーザーを据えて、計測地点にセンサーを据え付け、コンピューターと接続しておくだけで無人で経時変化の計測も可能になった。また、鉄道のレール、道路の勾配、飛行場のような広範囲のレベル測量でも移動しながら連続計測することにより、短時間の測定が可能となる。また、海上の作業船、構造物の様な揺れるものについても、計測時間の瞬時性から十分対応できる。また、床均しロボット、重機、舗装機械等のレベル制御へも応用可能である。

５．あとがき

本開発により、長年停滞していたレベル測量技術の省力化、リアルタイム化、高精度化へ道を開いたものと確信しているとともに、今後の応用技術への発展を目指して更に研究中である。

また、レベルの自動非接触測定が可能になったため、測量機としてではなくセンサーのひとつとして考えると、建設分野に限らず、鉄道、製造業等での新しい応用への発展が望まれる。

13. 多電極式活線接近警報装置の開発

大成建設㈱：*山岸　宏充・戸崎　一弥

1. 研究開発の背景

我国のように狭隘な国土で送配電線が発達した国においては，建設工事現場の近傍に送配電線が張られていることは珍しくなく、このような状況下では、移動式クレーン等を送配電線の近く又は直下で使用しなければならなくなる。

移動式クレーンは、それ自身が自走できるうえ、空中においてブームの伸縮、旋回、起伏を行うため、クレーンブームやワイヤーロープを送配電線に異常接近又は接触させて、玉掛者等の感電災害を引き起したり、又感電災害に至らなくても、送配電線の地絡事故となって、広い地域にわたって電気の供給が止まり、地域社会に大きな影響を与えることになる。

このような事故を防止するために、法規（労働安全衛生規則第349 条）により、防止対策を義務づけける一方、労働基準局長通達（第759 号）で、送配電線へのクレーン等の接近限界距離を定めている。

しかし、毎年事故が絶えないことから、クレーンブーム等の活線接近警報装置の開発が期待されており、今までにも、電線の周囲の電位を検出して接近を警報する装置や、レーザー光線やテレビカメラを利用したクレーン作業範囲規制警報装置が開発さているが、それぞれ問題があり普及していない。

2. 研究開発の内容

本警報装置は、クレーンブーム先端に２つの球電極を縦に配置し、それぞれの電極が得る誘導電位の大小関係、最大誘導電位及び誘導電位差の３つの電位情報により、クレーンブーム先端の活線に対する位置を判断し、その動きを追尾して、危険領域で警報するものである。

第１図に本警報装置の概念図を示す。同図の活線は、警報する対象の一つである水平３相１回線の形態である。本装置は、次の２つのユニットで構成する。

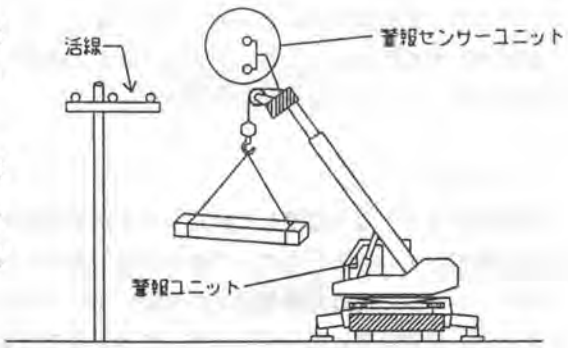
・警報センサーユニット

同ユニットには、２つの球電極を常に垂直を保つように縦に配置し、クレーンブーム先端に取り付ける。

２つの球電極には、それぞれ活線に対する位置に応じた電位が誘導され、電位検出センサーとして機能する。検出された誘導電位情報は、有線又は無線により警報ユニットに送られる。

・警報ユニット

同ユニットは、オペレーターハウスに取り付け



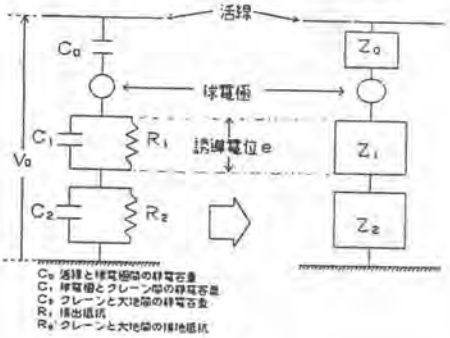
第１図　活線接近警報装置概念図

警報センサーユニットから送られてくる誘導電位情報を基に、クレーンブームの活線に対する位置を判断し、クレーンブームの状態に応じた警告や警報を、警報音，ディスプレイ等により、オペレーター，玉掛者に知らせる。

3．球電極による誘導電位検出原理

第２図に、１つの球電極による誘導電位検出等価回路を示す。同図において、各インピーダンスの関係は、$Z_0 \gg Z_1 \gg Z_2$であるため、球電極に誘導される電位ｅ〔V〕は次式で示される。

$$e = \frac{Z_1}{Z_0+Z_1+Z_2} V_0 = \omega C_0 R_1 V_0 \ (V)$$

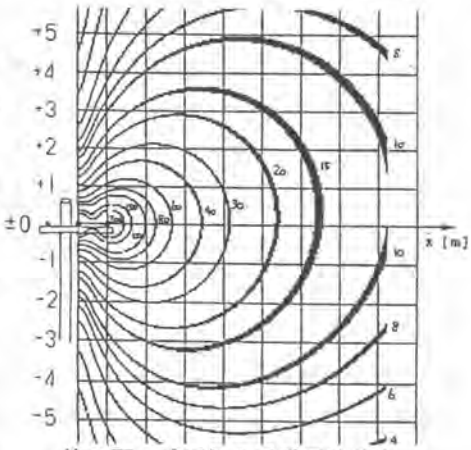


第２図　球電極による誘導電位検出等価回路図

同式から、球電極の誘導電位は、活線と球電極間の静電容量 C_0 で決定されることがわかる。

第３図に、同式で計算した水平３相１回線の活線の誘導電位分布を等電位線で示す。同図の座標系は、活線が対称であるから、３本の電線の中央を境にして片側を示しており、原点は、外側の電線である。そして、誘導電位は、点（１，０）の電位を基準とて規格化している。

同図から、球電極の誘導電位の等電位線は，原点から円形上に広がっていることがわかる。



第３図　球電極の誘導電位分布

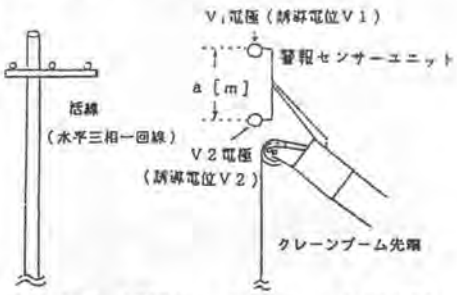
4．位置判断アルゴリズム

第４図に警報センサーユニットの概略図を示す。２つの電極を、それぞれV_1電極，V_2電極とし、誘導電位をV_1，V_2とする。そして、このような構成を持つ警報センサーユニットの球電極の誘導電位から、次の３つの情報を得る。

・V_1とV_2の大小関係

・最大誘導電位$V_{max} = V_1$又はV_2

・誘導電位差　$V_{dif} = |V_1 - V_2|$



第４図　警報センサーユニット概略図

第５図に、２つの球電極（間隔 400mm，直径50mm）の誘導電位の差（$|V_1 - V_2|$）の分布を等電位線で示す。

同図の座標系は、第３図と同様とし、第３図の基準電位を規格化している。同図から２つの球電極の誘導電位差の等電位線は、原点から上下にそれぞれ円形状に広がっており、誘導電位の等電位線とは異なった形状を示している。

第６図に、上記の３つの電位情報を用いた位置判断アルルゴリズムの流れを示す。

①V_1とV_2の大小関係により、クレーンブームの位置範囲を、次の３つの範囲の中から選ぶ。

(a) $V_1 < V_2$のとき

位置範囲は活線より上方（y＞0〔m〕）

(b) $V_1 = V_2$のとき

位置範囲は活線に水平　（y＝0〔m〕）

(c) $V_1 > V_2$のとき

位置範囲は活線より下方（y＜0〔m〕）

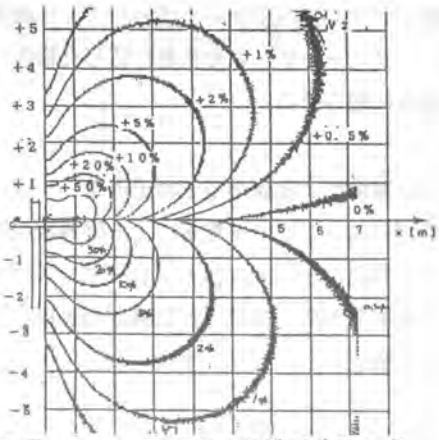
②クレーンブームの位置範囲が決定した後、最大誘導電位Vmax，誘導電位差Vdif を求める。

③最大誘導電位Vmax，誘導電位差Vdif の値から、それぞれの等電位線を定め、両者の交点を求める。両等電位線の交点は、警報センサーユニットの座標であり、クレーンブームの活線に対する位置となり得るため、位置判断を行うことができる。第７図に位置判断アルゴリズムの座標決定の模式図を示す。同図(a)(b)(c)は、V_1とV_2の大小関係により分けられる位置範囲に対応している。各範囲において、最大誘導電位Vmax と誘導電位差Vdif のそれぞれの等電位線の交点が、警報センサーユニットの位置となり、クレーンブームの活線に対する位置となっていることがわかる。

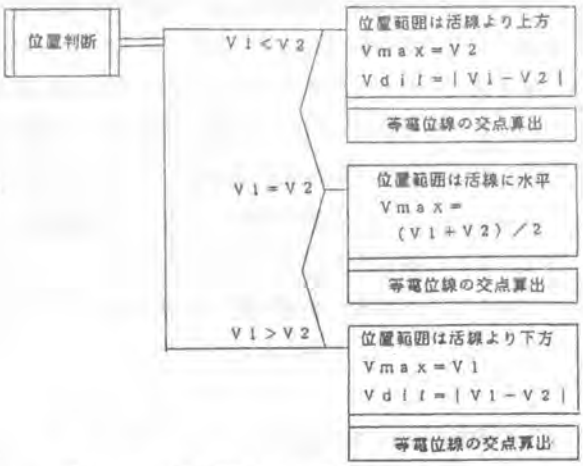
5．活線の誘導電位測定

位置判断アルゴリズムを用いた活線接近警報装置を開発するに当り、実際の活線の誘導電位を測定し、理論計算による等電位線と比較する。測定した活線は、水平３相１回線、線間電圧 6,600〔V〕であり、第３図に示した活線と同様の形態である。

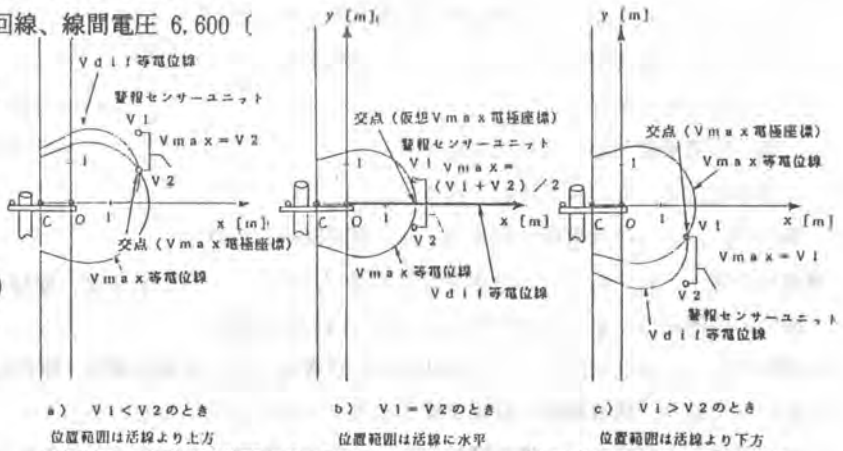
誘導電位を検出する警報センサーユニットとして、２つの球電極間を400〔mm〕、電極の直径を50〔mm〕とした測定用センサーユニットを用いる。又、測定用センサーユニットの測定点へのセット



第５図　２つの球電極の誘導電位差分布



第６図　位置判断アルゴリズムの流れ



第７図　各位置範囲におけるVmax，Vdif 等電位線の交点算出及び交点と警報センサーユニットの位置関係

は、高所作業車を用いる。

第8図に、理論計算によるVmax の分布と、活線の誘導電位測定によって得られた測定値の比較を示す。同図において、理論計算によるVmax の分布を円と直線により忠実に近似した等電位線として実線で表し、測定値はプロット点で表している。

同図において、測定値のプロット点は、理論計算によるVmax 等電位線に沿った形状となっており、その値もほぼ一致している。従って、同図の理論計算によるVmax 等電位線を、位置判断アルゴリズムに適用することができる。

第9図に、理論計算によるVdif の分布と、測定値との比較を示す。同図において、測定値のプロット点は、理論計算によるVdif 等電位線に沿っており、形状は一致しているが、その値は全体的に理論計算値よりも大きくなっており、測定値を補正することが必要である。

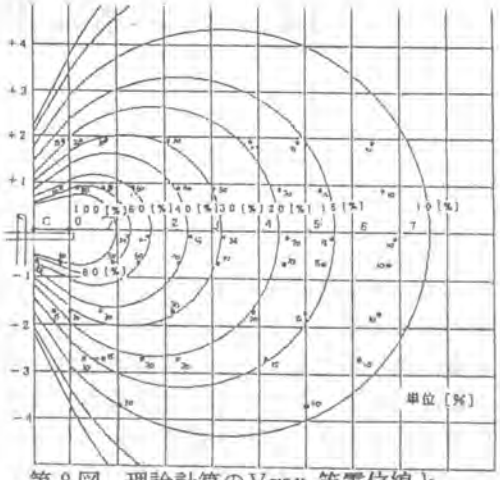
6. 位置判断アルゴリズムの確認

上記において、Vmax , Vdif の理論計算による等電位線の位置判断アルゴリズムへの適用が可能になった。そこで、位置判断アルゴリズムを計算機上で実現し、ディスプレイ上に位置を表示すると共に、測定結果との比較により、その有効性を確認した。

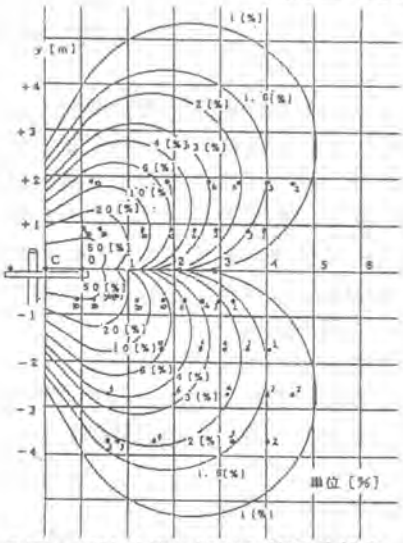
測定値のVdif について全て0.6 を掛け補正した結果、活線より4m以内の範囲について、ほぼ正確にクレーンブームの活線に対する位置を判断でき、位置判断アルゴリズムの有効性を確認できた。

7. まとめ

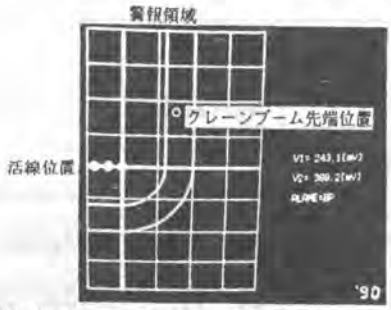
本研究開発において、位置判断アルゴリズムが確立したことにより、今後さまざまな高圧活線の架線形態への対応、さらに6万V級までの特別高圧線への対応を加え、実用的な活線接近警報装置の開発に結び付けていく。



第8図　理論計算のVmax 等電位線と測定値の比較



第9図　理論計算のVdif 等電位線と測定値の比較



第10図　ディスプレイ上にクレーンブーム先端の位置を示した一例

14．トンネル断面自動測定システム

㈱熊谷組：*岡田　喬・所沢　豊
松枝浩太郎
富士物産㈱：木村　忠英

1．はじめに

日本の代表的なトンネル工法となっているＮＡＴＭでは、断面形状の管理がこれまで以上に重要なウェイトを占めています。一方、今後ますます増加が予想される老朽化トンネルの改築立案に当たっても、トンネル断面形状の迅速で正確な測定技術の確立が望まれています。また近年は、石油、ＬＰＧ等の地下備蓄、地下発電所等、大規模地下空間の建設が盛んでこれらの正確な断面形状、容積の測定が新たな課題として上がっている。このような背景のもと、空洞部の形状診断作業は、施工、供用中を問わず、あらゆる状況下でも測定が可能であること、測定したデータの処理は各ケース毎の要求に的確に対応できる幅広い解析、評価メニューが必要であり、かつこれらの作業（測定から評価）が高い省人化で迅速に行えることが要求される。本システムは、このような要求に答えるべく開発された、高性能、多機能なトンネル断面測定システムである。

2．トンネル断面測定装置と開発方針

近年、トンネルの形状を測定する装置はかなり進歩したが測定断面を設計断面と比較するために手間と時間の掛かる測定装置の位置検出作業があり、測定作業全体では相変わらず手間と時間の掛かる結果となった。このため、測定から評価まで全ての作業の合理化レベルの均一化を目指して開発方針を次のように定めた。即ち、

①測定装置設置作業の省力、効率化それぞれの状況にマッチした新しい位置決め、位置検出機能の開発。

②機動力の大きいシステム、ユニット台車システムの開発。

③連続自動測定システムとしてモノレール走行測定ロボットの開発

④汎用性の高い、測定制御および評価プログラムの開発。

が主なテーマである。

3．開発技術と成果

開発方針によって実現化した項目は表－１のようになる。これらの項目は、各々に開発された要素技術の組合せにより成り立っており要素技術の組合せは表－２のようになる。以下個々の開発項目について説明する。

表—1 開発項目と成果

	用途	能力比較	
		開発機	従来機
ユニット台車測定システム	測定区間が長当い場合（数 100～1,000 m）一定ピッチ（2～30 m）で連続測定する	1人で 6～8 分/断面	3～4 人で 20～30 分/断面
切羽における当り余掘り表示システム	作業中の切羽で迅速に測定する	1人で 10 分/断面	2～3 人で 20～30 分/断面
	現地で直接地山に当り・余掘りの表示を行う（マーキング）	測定後直ちにプレイバック，直接作業員に確認させる	従来機には無い
連続自動立体測定システム	短い区間を小さいピッチで迅速に連続に連続自動測定し，立体解析を行う。特に，２次覆工前の巻厚チェックに極めて有効	1人でも可 機械セットを含めて，１区間(10～20m) 20～30 断面の測定を１時間以内	従来機には無い
NATM 計測システム	NATA 計測の一環としての地山挙動把握をトンネル形状で測定し，直接的なトンネル形状変化で解析する	1人で 5分/断面	従来機には無い
水平断面連続測定システム	立杭・サイロ等，鉛直筒状構造物を水平断面で任意の高さを連続的に測定して形状・容積の三次元的チェックする	1人でセット（5分） 1断面　3分	従来機には無い

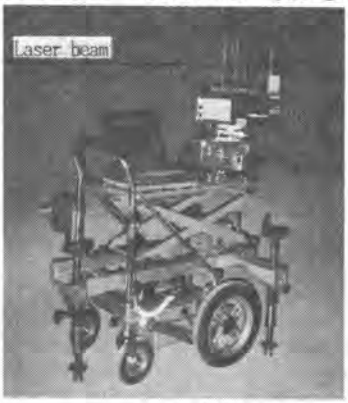
表—2　開発技術と用途の組合一覧表

開発した要素技術＼用途	切羽，当り余掘診断	吹付および覆工厚診断	長区間，多断面連続診断	縦横断面詳細診断	立体断面測定	水平断面連続測定	トンネル変状断面測定
位置決め位置検出 既設レーザ方式① 専用レーザ方式⑪ 専用基準点方式⑬ 専用アンカー方式⑮	①	① ⑪ ⑬	⑪ ⑬				⑮
ユニット台車	○	○	○				
モノレール走行，測定ロボット 水平断面Ⓐ 鉛直断面Ⓑ				Ⓑ	Ⓑ	Ⓐ	
評価メニュー（タイプ） 設計断面との比較① 測定断面同士の比較⑪ 断面連続評価⑬ 立体評価⑮	①	⑪	① ⑪	⑬	⑮	⑬	①
測定制御ソフト（特殊） プレイバック① 測定断面指定⑪	①			⑪	⑪	⑪	

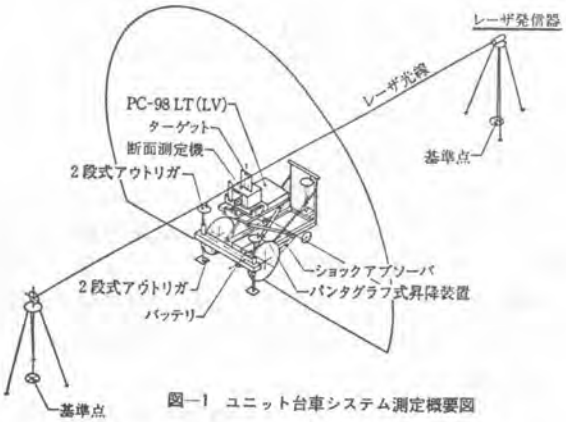
3－1　ユニット台車システム

図－1、写真－1に示すように、走行動力を持つ機動性のある台車に水平およびX，Y，Z方向の位置決め機能を搭載した台車測定システムである。位置決めは、直線区間では、レーザーと二重ターゲットを用い、カーブでは、測点上に鉛直ロッドを使用する。また、切羽で測定する場合は、掘進方向を示す、既設の測量用レーザーから直角反射ミラー付ターゲットを使用して迅速かつ簡便に位置検出を行う。（図－2、写－2）

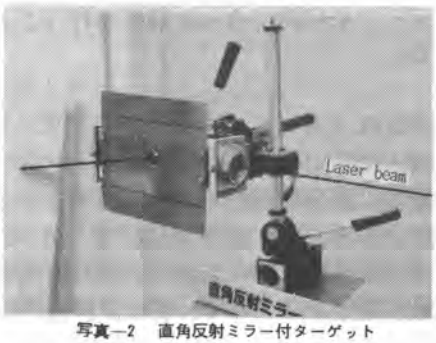
本システムは、一般的には一度に多断面、長距離の測定を行う場合に効果が高い。



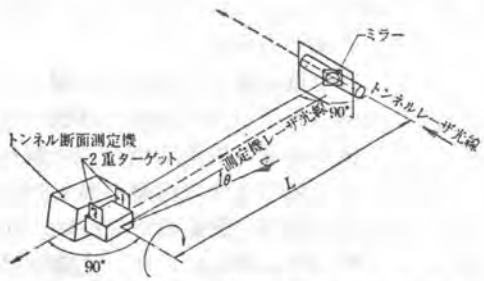
ユニット台車



図—1　ユニット台車システム測定概要図



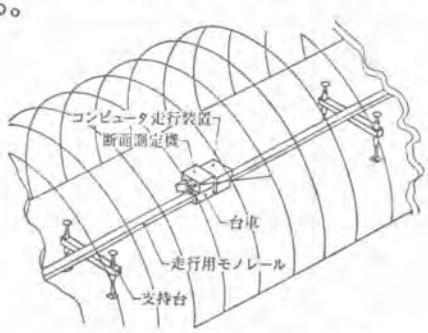
写真—2　直角反射ミラー付ターゲット



図—2　レーザ光線による測定器計量と位置検出原理図

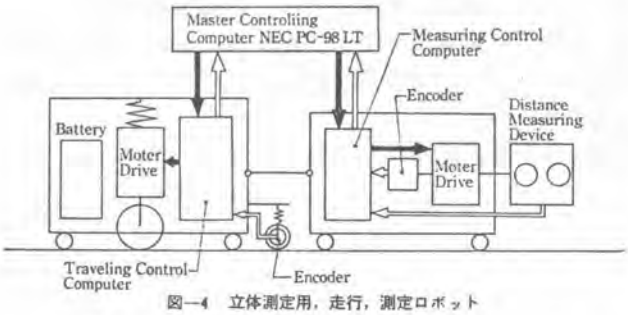
3－2　モノレール式走行測定ロボット

トンネル縦断方向にも細かいピッチで断面を自動的に測定するロボットである（図－3、写－3）。ロボットはモノレール上を走行する走行部と測定部からなりコンピューターを介して各機能が集中コントロールされている（図－4）。モノレールは、測定機のレーザー光と専用のターゲット台車を使用して、簡便かつ迅速に直線状に敷設することができる。各測定位置はモノレールの始点と終点の座標を入力すると、ロボットの走行量に合わせて自動的に補正入力される。



図—3　連続立体自動測定システム概要図

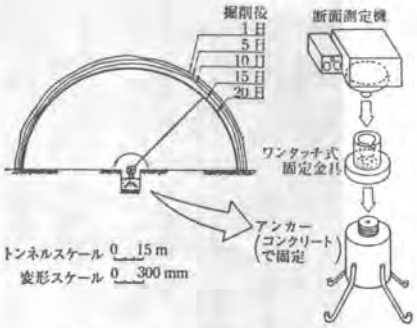
写真—3　立体走行測定ロボット（上）と測定状況（下）



図—4　立体測定用，走行，測定ロボット

3－3　定地点測定システム

同一断面を繰り返し測定するシステムである（図－5）。本システムは、同一地点へ測定装置を正確、簡便にセットできる特殊アンカーとチャッキング金具より構成されている。断面形状の経時的変状を測定できるためＮＡＴＭの断面管理に効果が期待されている。



図—5　トンネル断面変状計測システム

4．評価

3で説明した各システム（機構）によって得られたデータを目的に合った解析を行うことのできる多くの評価メニューのプログラムを開発している。

4－1　当り・余掘りの評価

（1）当り余掘り量の表示および覆工ボリューム計算（図－6）

（2）現地における当り余掘り診断システム（図－7）

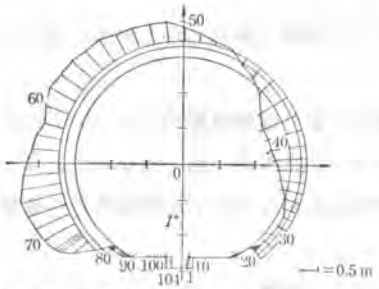
測定直後に現地で当り・余掘り量を評価し、該当地点をマーキングするシステムで掘削管理の指導に最も効果的な手段となる。測定制御コンピューターの画面に作図、数値表示を行い、かつプレイバック機能により当り余掘り箇所を実際の地山面にレーザー光線で自動的に表示するシステムで、現位置評価のため掘削管理の指導に最も効果的手段となる。

4－2　NATM施工時の経時的トンネル断面変状評価

定位置での繰り返し測定によるデータは、重ね合わせることにより、そのトンネル断面の経時的変状を見ることができる。特に、変形量の拡大倍率を変化させることにより変状特性や予測の判断資料として利用できる（図－5）。

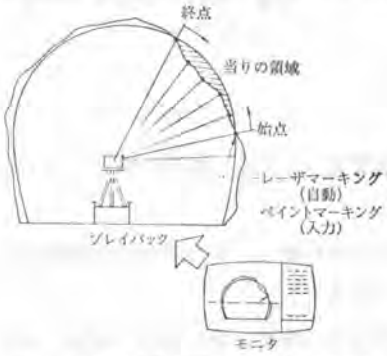
4－3　立体評価

立体測定した断面データを評価するメニューで構造物容積の計算は基よりの立体図から展開図、さらに多断面の統計的処理（作図および数値表示）がある。石油備蓄等の地下空洞のタンクテーブルの作成に威力を発揮する（図－8，9）。

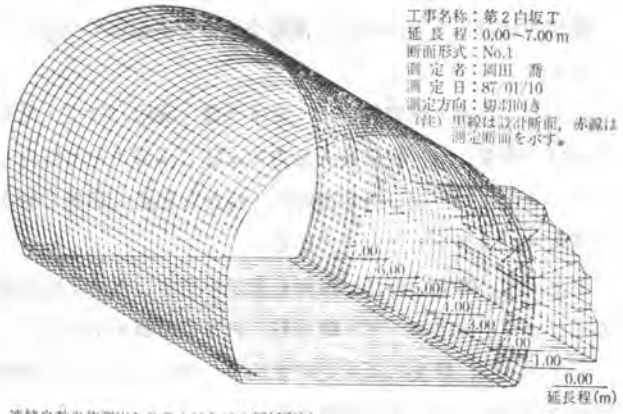


膨張性地山における内空変形測定事例
（鍋立山トンネル）

図－6　ユニット台車システムによる測定結果（例）

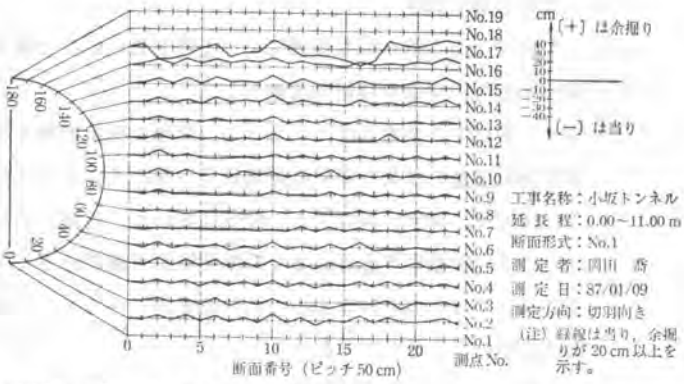


図－7　当り・余掘り現地（切羽）診断システム



連続自動立体測定システムにおける解析事例
（第2白坂トンネル）

図－8　立体測定評価例（パース）



連続自動立体測定システムにおける解析事例(2)
（小坂2号トンネル）

図－9　立体測定評価例（展開図）

5．あとがき

以上説明したように、本システムは現場状況に合わせた多種の機能を持っているため、各現場の状況、目的に合致した最も的確な測定と評価を行うことが出来る。このため、現在までに多くの現場で2，000断面以上の測定実績を持つに到っている。データ採取（測定）が容易でしかも信頼性が高くなれば利用範囲も拡大するわけで、現在トンネル等地下空洞のみならず明かりの法面形状をはじめ、建築構造物（サイロ、溶鉱炉）等の形状診断にも用途を拡げている。今後も、これらの要望（利用範囲）の拡大を目指し、さらに幅広いシステムとして開発を進めていきたい。

15. 降雪量に応じた散水量調整システム

建設省近畿技術事務所： 松本　克英・*堀内　厚志
建設省福井工事事務所： 山形　清三・森　　利光

1．はじめに

融雪設備は、冬季における道路交通の安全確保の手段として、その効果と便利さから急速に増大しつつある。

しかし、従来の融雪設備は、散水融雪・温水パイプ・電熱線融雪・赤外線融雪等があるが、それらの大半は、降雪の時、設備最大能力で運転し降雪がやめば停止するといった単純で画一的な対応となっている。そのため、弱い降雪の時は、過度な熱量を浪費し散水融雪等にみられる地下水の枯渇や消費電力の増大等の弊害をもたらしている。

また、強い降雪の時は、融解熱量が不足するため不完全融雪となり、残雪がシャーベット状の水べた雪となって走行障害・排水障害等の数々の問題を引き起こしている。

したがって、熱量の過不足が生じず、刻々と変化する気象状態に対して迅速で的確な熱収支を考慮した制御を可能とする融雪技術が求められている。

2．散水量調整システムの開発

2．1　開発目標の設定

今回のテーマである散水融雪設備における降雪量に応じた散水量調整システムの開発に際し、以下の条件を満たす装置の考察を技術的課題とした。

（1）刻々と変化する気象条件下にあって、降雪の融解熱量そのものを計測し、その計測した融雪に必要な融解熱量の情報を適格に融雪設備へ与えることが可能であること。

（2）その情報は、融雪設備能力との関係において、設備能力を越えない降雪に対しては、融雪に必要な分だけの熱量を与えるような抑制運転が可能であることと同時に、その設備能力を越える降雪量に対しては、完全融雪するための熱量をデータとして蓄積・管理し、雪が降り止んでも適格な延長運転を行えるものであること。

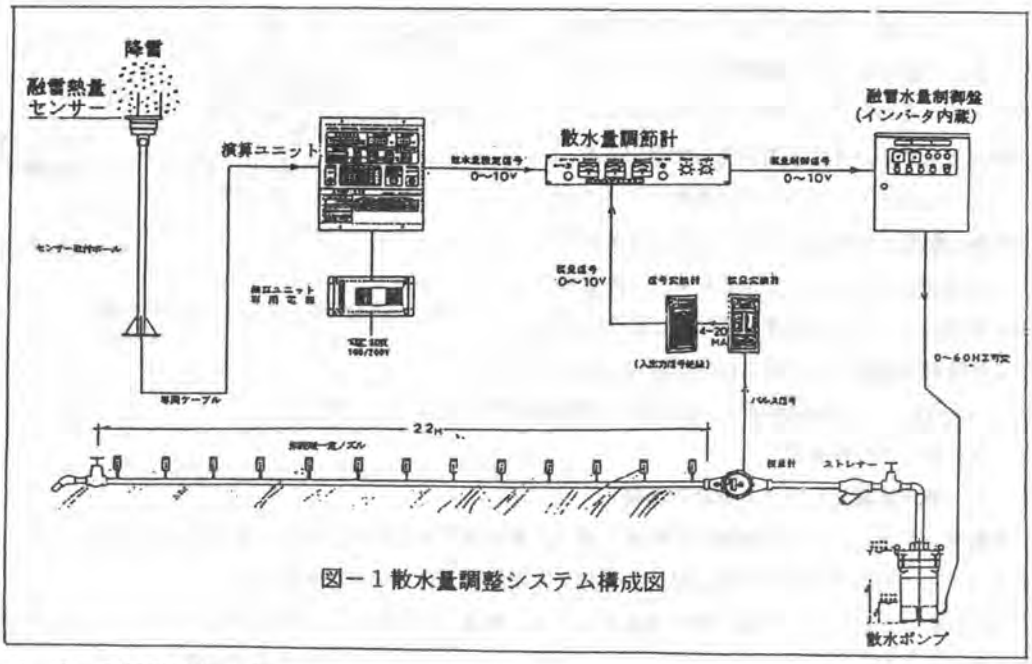
（3）また計測した融解熱量を積算し、データとして保存可能であること。

（4）散水融雪においては、散水量を可変にするために散水ノズル圧力が変化しても飛散距離は一定の距離を確保できるものであること。

2．2　散水量調整システムの構成

今回の開発テーマである降雪量に応じた散水量の調整を実現するシステムの構成を次に提案する。

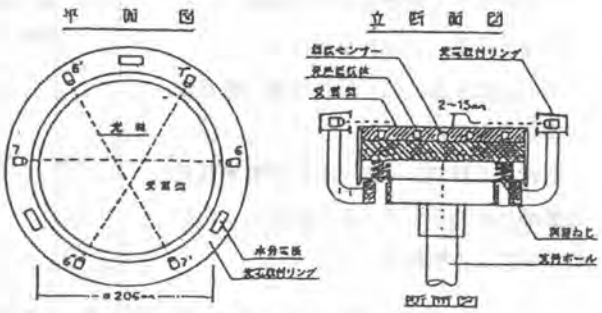
図－1に示すように、融雪熱量センサーと、散水量演算ユニット・散水量調節計・融雪水量制御盤・散水ポンプ・流量計・流量変換器・信号変換器・散水飛距離一定ノズルを取り付けた散水配管等で構成する。



図－1 散水量調整システム構成図

2．2．1　融雪熱量センサー

融雪熱量センサーは、図－2に示すように、受雪盤は発熱抵抗体・温度センサを組み込んだアルミニューム板で、その大きさは、気象観測に用いる雨量計の大きさに近似させ直径206mmとし降雪の熱量換算基準面積(1/30㎡)として位置付けた。



図－2融雪熱量センサー

次にその働きを解説すると、降雪は、受雪盤にのり光電装置の光線を遮断し、水分電極は雪を溶かして水分を検知する。融雪熱量センサーは、降雪の遮断信号と水分信号・受雪盤の温度状態を散水量演算ユニットへ送る。

2．2．2　散水量演算ユニット

散水量演算ユニットは、降雪状態を判断すると同時に受雪盤に電気熱量を供給し、その電気熱量をカロリーに換算する。

2．2．3　散水量調節計

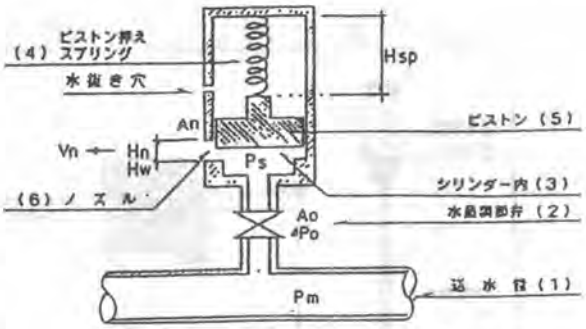
散水調節計は、散水量演算ユニットの設備能力制御値に相当する電圧信号を受信すると共に、流量計から得られた流量信号とを比較して得られる偏差信号を増幅して調節計出力信号を融雪水量制御盤内のインバーターへ送信する。

2．2．4　融雪水量制御盤と散水ポンプ

制御盤内のインバーターによりポンプの回転を制御し、所定の散水量を散水する。

2．2．5　飛距離一定ノズル

本ノズルの動作原理は、図－3に示すとおり送水管から送られてきた融雪水は、シリンダー内に入る。この時シリンダー内の圧力がピストン押さえスプリングの圧力よりも大きいとき、その圧力に応じて、ピストンが移動しノズルが開き始め融雪水が噴射されはじめる。さらにピストン押さえスプリングの働きにより、水量増加に比例してノズルの開度は変化し、このことにより噴射速度は一定に保たれ飛距離は一定化される。



図－3飛距離一定ノズル動作原理図

このようにして、減圧効果とノズル断面積を連続的に変化させる働きをノズルに持たせる事ができる。

3．現地適応性試験結果

3．1　散水量調整システム機能の確認

本開発システムによる現地適応性試験を福井工事事務所管内の１６１号（敦賀市山中地先）において実施した。　本報告では、平成元年度に実施した調査結果について報告する。

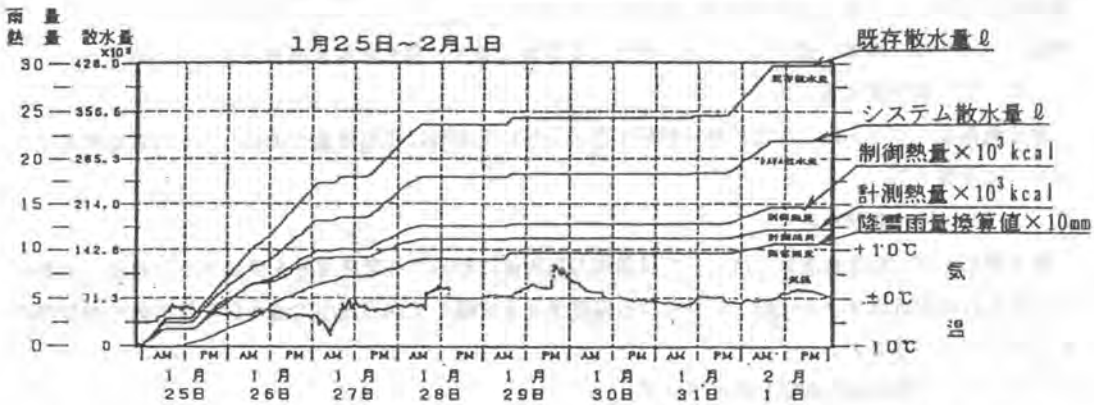
今回解析した計測データ等の集計結果を表－1、気象と計測熱量及び散水調整システムと既存設備の散水量比較を図－4に示す。

この結果から降雪量と融雪熱量が比例して増加することがわかる。また、当システムの散水量に対し既存設備の散水量が多いことがわかる。

これらの計測データーと山中雪寒基地の雪寒日誌のデーターを比較検討した結果、雨による誤動作もなかった。

表－1計測データ集計結果

月日	融雪熱量積算kcal	設備制御熱量kcal	システム散水量ℓ	既存設備散水量ℓ	降雪雨量換算mm	積雪量換算cm	平均気温℃	平均風速m/s	システムと既存の比較
1/25	4,598	4,204	82,514	94,860	16.0	44	-3.2	1.5	86%
1/26	4,022	5,135	94,928	135,560	44.5	32	-3.2	1.7	69%
1/27	1,698	2,234	50,804	69,870	19.5	11	-3.0	0.7	72%
1/28	817	1,074	27,702	38,250	9.5	1	-0.1	1.1	72%
1/29	136	187	4,836	8,670	7.0	0	2.1	1.7	55%
1/30	0	0	0	0	0	0	0.7	2.1	—
1/31	362	672	20,396	30,090	3.5	4	-0.4	1.5	67%
2/1	572	1,083	32,250	45,900	7.0	10	0.5	2.1	70%
計	12,205	14,589	313,430	423,300	107.0	102			



図－4計測データ集計グラフ（気温vs計測熱量、調整システムvs既存設備散水量）

3．2　降雪量と計測熱量

（1）融雪に要した熱量　　降雪102cmの融雪熱量の計測値　　12.205kcal

降雪1cm当りの所用融雪熱量　　119.7kcal/㎡

（2）降雪平均密度　　降雪102cmの平均密度　　0.10

（3）氷の潜熱との比較　　所用熱量119.7cal/降雪1cm×密度0.1×換算10.000÷潜熱80cal=1.496倍

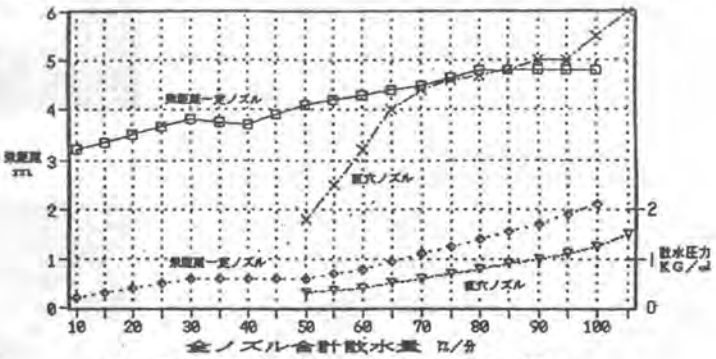
（4）融雪熱量と気象の関係

融雪熱量は気象との密接な関係があるので、低い気温での降雪には、多量の熱を必要とし、高い気温の降雪では比較的少ない熱量で済む。また、風速に対しては強風の時は必要融雪熱量が増え弱風の時は、熱量の増加は軽減する。　今回の気象状況で要した熱量は、氷の潜熱に対し1.496倍の結果が得られたことは、気象と融雪熱熱量の相互関係を表すデータ-として今後の設備を検討するうえで参考となる。

このように、本システムの熱量計測装置の機能を各地で利用しデーターを求めれば、降雪の地域特性が得られ、地域毎の融雪設備設計基準値の作成が可能となる。

（5）飛距離一定ノズルの調査

今回の試験設備で直穴式ノズルと飛距離一定ノズルの飛距離と水量の調査結果を図－５に示す。この結果直穴式ノズルでは、設計散水量の60%以内で散水量の調整が可能であり飛距離一定ノズルでは、35%までの水量調節が可能である。



図－５各ノズルの水量と飛距離・圧力の調査

4．調査のまとめ

以上、今回の現地適応性試験結果から少ないデーターであるものの熱量計測を基に、水量の調整を行う当散水量調整システムは、省水量に貢献することが確認できた。

また、本システムで制御を行えば同じ降雪量であっても気温の低い山間部では散水量が多くなり、気温の高い平野部では、散水量が減少するといえる。

一方、本システムは、降雪融解熱量計測熱収支制御となることから散水融雪の散水量調節への応用はもちろんのこと、融雪の熱源を石油や電力等のエネルギーに頼るケース（歩道・屋根融雪等）では、熱量の的確な有効利用の行える省エネルギー融雪方式として利用できるものである。

5．今後の計画（パイロット事業への適用）

今年度、本システムをパイロット事業として位置付けて福井工事事務所管内の国道８号（福井バイパス下荒井高架橋）の散水融雪設備に導入される予定である。なお、この融雪設備では散水量調整システムと共に、融雪水のリサイクルといった新しい試みも導入されており、今後の融雪設備の新しい方向性を取り入れた設備となっている。今後、冬季における国道の円滑な通行を確保するため、融雪設備は非常に大きな役割をはたしておりますます重要性を増すものと思われる。そのために省資源に貢献する本システムを引き続き調査・試験を実施してよりよい「散水融雪設備」の開発を進めて行きたい。

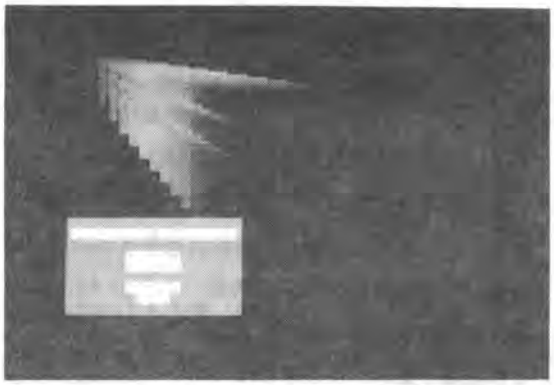
16．タワークレーン運行管理システムの開発

鹿島建設㈱：酒井　克已・*植木　睦央
太田　裕士

1．はじめに

近年の大型建築工事では、作業効率を向上させて工期短縮を図るために、多数の資材揚重用のタワークレーン（以下ＴＣと略す）を、隣接するＴＣ相互の作業半径が重複するよう設置することが多い。この場合、ＴＣ相互およびＴＣと周辺の構造物との接触を、作業能率を低下させないよう合理的に防止する措置が必要となる。この問題に対して、パソコンを用いて各ＴＣの動きをリアルタイムで立体的に監視して、異常接近時に自動制御し、あわせて稼働実績を収集する「ＴＣ総合監視システム」を開発して、実績を挙げてきた。

本システムは、その後のハードウエアの向上に合わせて従来システムの精度・機能を向上させた「総合監視サブシステム」と、自動収集した歩掛りを基に、毎日のＴＣの使用予定を簡単な入力データから自動立案する「スケジュール管理サブシステム」の２つからなり、ＴＣ群を安全面・運用面からトータル管理するシステムである。



写真－１

写真－２

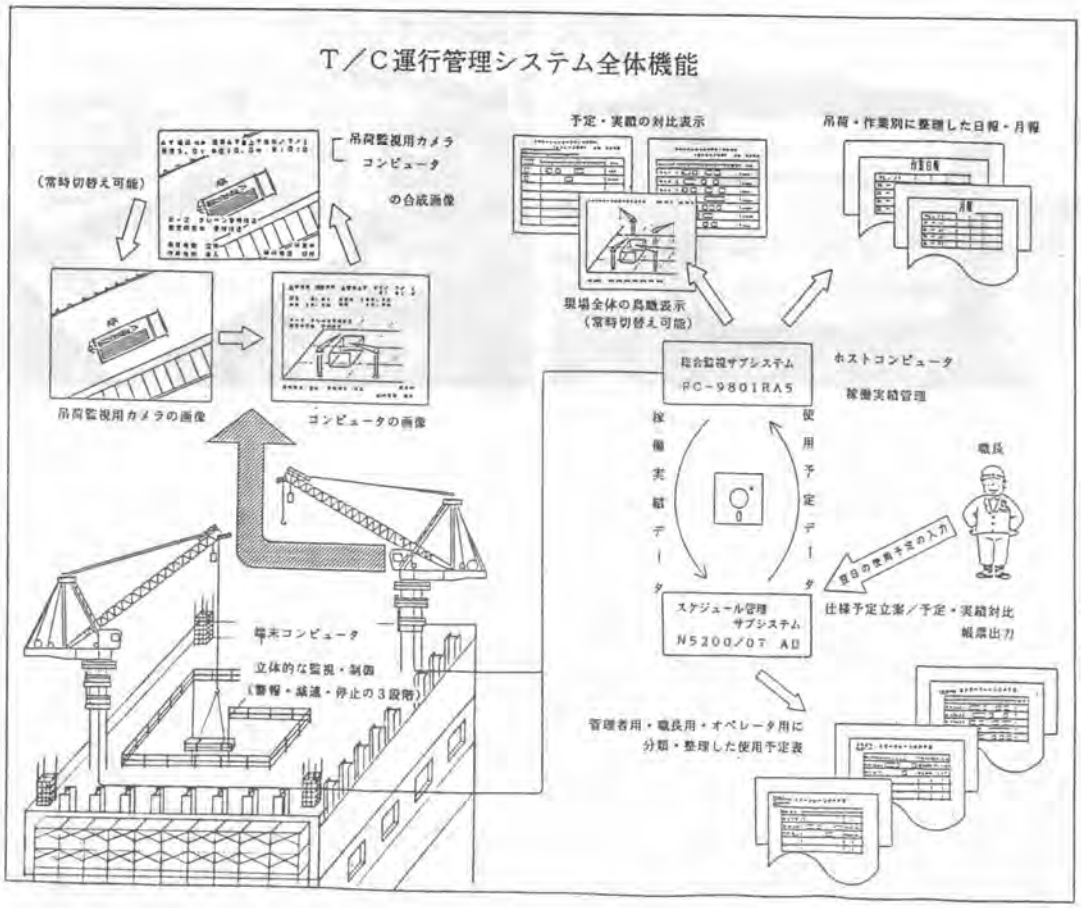
2．システムの機能

「総合監視サブシステム」はオンライン・リアルタイム処理を行い、「スケジュール管理サブシステム」は、オフライン・バッチ処理を行う。対象とするクレーンのタイプは以下の４通りで、任意の組み合わせで合計３２台までを取扱い、周辺構造物は三角柱（四角柱）として最大１６個取り扱う。

タイプ１　定置式ジブ起伏型
タイプ２　定置式水平ジブ型
タイプ３　レール走行式ジブ起伏型
タイプ４　レール走行式水平ジブ型

(1) 総合監視サブシステム

a．立体的な接近チェック



図－１　システムの機能

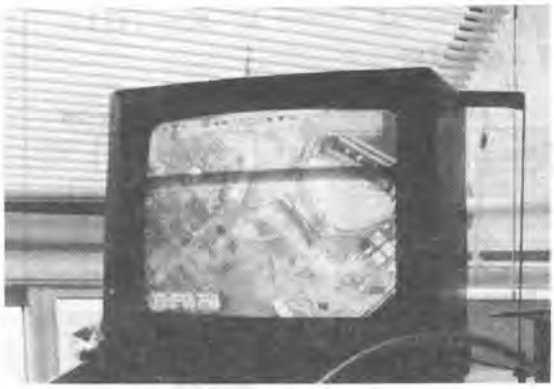
各ＴＣに搭載する端末側機器は、自クレーンの各部材・吊荷の位置を計測し、干渉する他のＴＣや障害物との接近状況を、３次元で常時監視する。お互いの構成部材や吊荷同士の距離が、設定値以上に近づくと、危険な方向の動作のみを３段階に自動制御する。（警報→減速→停止）コンピュータの画像情報は、吊荷監視用のＩＴＶモニタに重ね合わせて出力し、オペレータに位置情報や接近情報を知らせる。（グラフィック画面への切り替えも可能）

ｂ．予定・実績対比

運搬物の内容は、ＴＣ運転室のキーボードより入力（吊荷種別２０件、作業種別１０件）し、事務所のホスト側機器によって、リアルタイムのタイムチャート形式で、稼働実績として表示される。この時、後述の「スケジュール管理サブシステム」を用いて予定を入力しておけば、予定・実績の対比表として表示される。

ｃ．自動データ収集・帳票出力

全クレーンの稼働データは詳細にフロッピーディスクに保存され、毎日の作業終了後に作業日報を自動出力する。月末には月報も自動出力する。



写真－3　端末側システム画面

写真－4　ホスト側機器

作業日報　1990年 6月16日

吊荷種別	平均吊数（1／回） 専有作業	搬入	搬出		平均	平均サイクルタイム（Sec／回） 専有作業	搬入	搬出		平均
鉄筋	0.0	0.6	1.0		0.6	0	704	111		700
鉄筋プレハブ	0.0	0.3	0.0		0.3	0	1,222	0		1,222
鉄筋架台	0.0	0.0	0.0		0.0	0	0	0		0
足場	0.0	0.3	0.5							
型枠	0.0	0.4	0.0							
支保材	0.0	1.3	0.4							
鉄骨	0.0	0.0	0.3							
コンクリート	0.0	0.0	0.0							
埋込金物	0.0	0.2	0.0							
設金物	0.0	0.0	0.0							
雑材料	0.0	0.0	0.0							
IHI材料	0.0	0.0	0.0							
TPK材料	0.0	0.2	0.2							
新日空材料	0.0	0.0	0.0							
竹中材料	0.0	0.0	0.0							
幅5高10	0.0	0.5	0.0							
幅10高10	0.0	0.0	0.0							
幅15高15	0.0	0.0	0.0							
幅25高25	0.0	0.0	0.0							
その他	0.4	0.2	0.2							
平均	0.4	0.5	0.4							

作業日報　＜吊荷別揚正回数（回）＞　1990年 6月16日

クレーン番号	鉄筋	鉄筋プレハブ	鉄筋架台	足場	型枠	支保材	鉄骨	コンクリート	埋込金物	設金物	雑材料	IHI材料	TPK材料	新日空材料	竹中材料	幅5高10	幅10高10	幅15高15	幅25高25	その他	合計
R－1	28	0	0	10	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	2	0	0	0	0	45
R－2	60	1	0	1	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	70
R－3	10	0	0	21	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	41
R－4	50	6	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	10	85
R－5	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
R－6	8	0	0	0	8	11	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	41
8000W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	159	7	0	32	18	11	1	0	18	0	0	0	13	0	0	2	0	0	0	25	286

図－2　作業日報

(2) スケジュール管理サブシステム

a．ＴＣ使用予定の自動立案

各作業担当業者から提出される簡単なＴＣ使用予定申請データをコンピュータに入力して、データの内容に自動収集した歩掛りと工程上の作業の優先順位などを加味して各ＴＣのスケジュールを立案し、業者別・ＴＣ別・全ＴＣ一覧の使用予定表を出力する。作成した使用予定は、毎日の作業打ち合わせの資料として用い、打ち合わせの結果変更が生じた場合は修正入力が可能である。

図－3　ＴＣ使用予定表

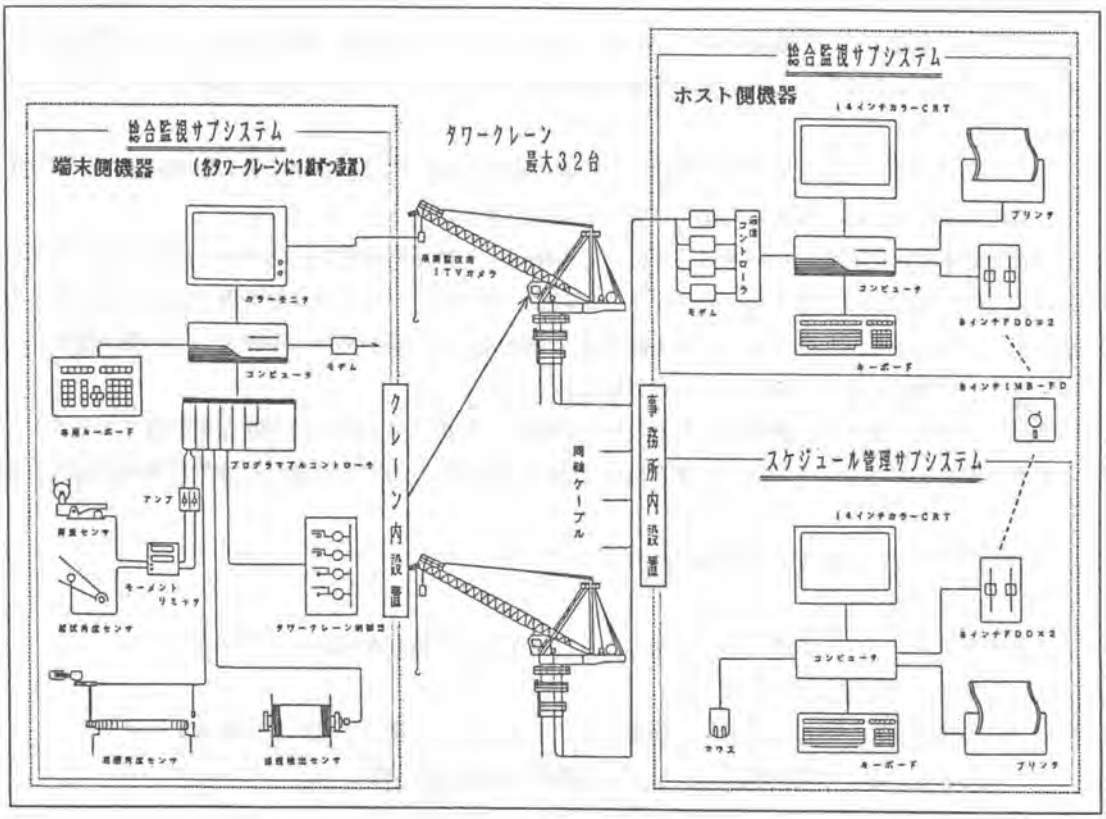
b．予定、実績対比

「総合監視サブシステム」で収集した実績と予定の対比は、過去にさかのぼって随時参照、プ

リンタ出力できる。これにより予定作業の消化度合の管理、スケジュール立案のためのパラメータの適正さのチェックが可能である。

3，システム構成（図－４参照）

各ＴＣには３２ビットパソコンと旋回・揚程・半径・荷重の各センサを中心とした端末側機器を搭載し、事務所には３２ビットパソコンを中心としたホスト側機器を設けて、両者の間を各一本の同軸ケーブルで結ぶ。さらに、事務所には、「スケジュール管理サブシステム」用のコンピュータシステムを設ける。



図－４　システム構成

4，あとがき

本システムは、原子力発電所工事で２件の実績をあげているが、その結果、今後の検討項目としては次のような点があげられる。

ホスト～端末間の通信の高速化および、無線伝送の検討。

実績データを今後の施工計画へフィードバックする方法の標準化。

17．ロードヘッダー(S300A)で硬岩地山に挑む

㈱大林組：登坂　知平・*金田　勉
対馬　祥一・森　重圀

1．はじめに

最近の市街地近傍での大断面トンネルにおいては、ＮＡＴＭ工法が、軟岩はもとより未固結地山にまで適用されるようになり、周辺地山を傷めず余堀りを少なくできる自由断面掘削機が広く使用されるようになってきている。

また、発破の際に発生する振動や騒音公害を避けるために、中硬岩や硬岩をも無発破工法で掘削する必要性が増えており、今後この傾向はますます増加するだろう。

これまで中硬岩に対するロードヘッダによる掘削は、一軸圧縮強度で約 800kg／cm²程度までであり、それ以上の岩盤については、ロードヘッダと割岩機、大型油圧ブレーカ、静的破砕剤等を併用する方法が用いられてきた。しかし、いずれも掘削能力や経済性に問題があり、中硬岩以上の機械掘削については十分に満足できる工法がないのが現状である。

今回大断面で中硬岩から硬岩にいたる岩盤を対象とした世界最大級の自由断面掘削機であるＳ－３００Ａ型ロードヘッダを開発し、硬岩地山で実地に使用したのでその開発経緯及び実績を報告する。

2．ロードヘッダＳ－３００Ａの開発経緯

2．1　開発目的

まえがきで述べたことを踏まえて、次のような諸条件での摘要を目的として開発した。

(1) 中硬岩での発破工法の代替工法
(2) 市街地等発破が困難なトンネルの機械掘削（ある程度の硬岩までの切削能力）
(3) 高品質を必要とする特殊用途トンネルの掘削（将来的な分野）

2．2　目標基本性能

(1) 掘削能力として量的、対岩強度能力的にバランスのとれたものとする。
(2) 経済性掘削の限界を圧縮強度 800kg／cm²程度に置く。
(3) 対硬岩掘削の限界を圧縮強度1300kg／cm²～1500kg／cm²程度に置く。
(4) 掘削範囲は、道路トンネル上半が掘削可能なものとする。
(5) 安全性、操縦性、機動性の良好なものとする。

2．3　特徴

(1)　ドラムの形状を弾丸型とし、ビットの配置を工夫して硬岩掘削能力を高めている。

(2)　将来の自動化に備えてリモートコントロール機能がある。

(3)　長距離の移動時にはディーゼルエンジンを走行動力として移動できる。

(4)　運転席を機体中央に設置し、さらに前後に移動可能として視認性の向上を実現している。

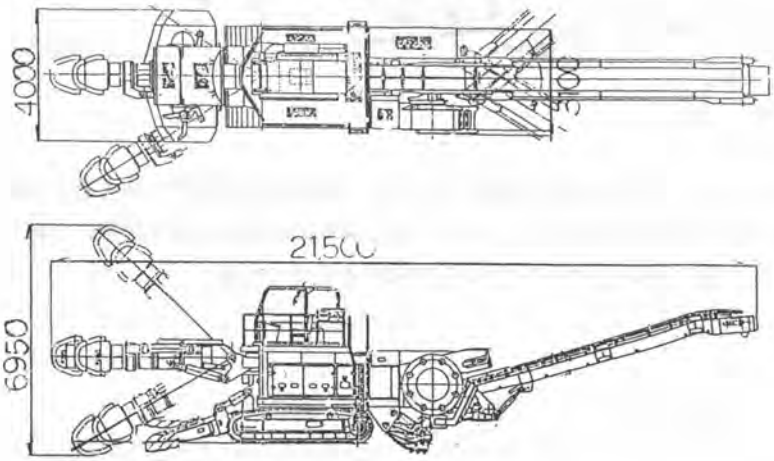
2．4　ロードヘッダＳ－３００Ａの基本仕様

ロードヘッダＳ－３００Ａの基本仕様を表－１に、全体図を図－１に示す。

表－１．ロードヘッダＳ－３００Ａ主要仕様表

項　　目	内　　容	項　　目	内　　容
全長	20.8m	ﾌﾞﾚｰｷ方式	自動ﾒｶﾆｶﾙﾌﾞﾚｰｷ
全高	3.6m	接地圧	1.6kg/cm^2
全幅	4.0m	走行速度	11.4/13.5m/min
全装備重量	90t	走行力	油圧ﾓｰﾀ32kw 2台
切削高	6.5m	登坂角度	±15°
切削幅	7.5m	走行動力	2×32kw
下盤下	0.45m	油圧ﾎﾟﾝﾌﾟ	3連ｷﾞﾔﾎﾟﾝﾌﾟ1台
切削断面（定置）	43m^2	油圧ﾎﾟﾝﾌﾟ	ﾋﾟｽﾄﾝﾎﾟﾝﾌﾟ4台
切削動力（定格）	300/150kw-4/8p	使用圧力	200kg/cm^2
ドラム回転数	36/18,43/22rpm	油圧電動機	90kw
伸縮量	700mm	切削過負荷防止	ﾊﾟﾜｰｺﾝﾄﾛｰﾙ
ﾋﾞｯｸ接線力	14t	ﾄﾞﾗﾑ内散水	50l/min
ｸﾛｰﾗ長	3.53m	供給電圧	1000/1100v-50/60

図－１．ロードヘッダ全体図



3．硬岩地山におけるロードヘッダＳ－３００Ａの試適用

3．1　地質概要

今回試適用したのは、坑口＋９ｍから坑口＋５５ｍまでで、ほとんどが亀裂の極めて少ない流紋岩で、一軸圧縮強度も平均1500kg／cm²程度の硬岩である。坑内でのブロックサンプリングによる岩石室内試験の結果を表－２に示す。

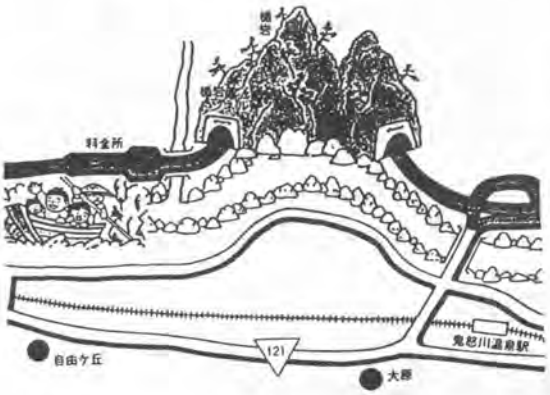
表－２．岩石試験結果（坑内ブロックサンプリングによる）

	1	2	3	平均		1	2	3	平均
一軸圧縮強度(kg/cm²)	1247	1542	1676	1488	超音波速度Vp(km/s)	3.62	3.66	3.71	3.66
圧裂引張強度(kg/cm²)	65.9	60.0	52.2	59.3	超音波速度Vs(km/s)	1.92	1.96	2.00	1.96
密　　度 (kg/cm²)	2.44	2.45	2.44	2.44	ショアー硬度	79.9	75.6	81.9	79.1

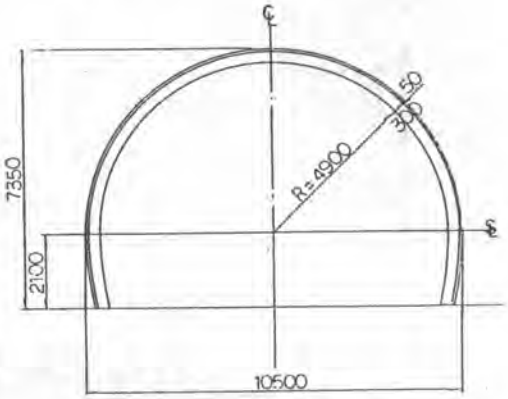
3．2　現場概要

今回試適用した楯岩トンネルは発注者が栃木県道路公社の、一般国道１２１号（栃木県宇都宮市～山形県米沢市）の鬼怒川バイパスの中に計画された延長７８０ｍのトンネルで、交通混雑の緩和に寄与するものと期待されている。トンネル位置及び断面をそれぞれ図－２、図－３に示す。

図－２．トンネル位置図



図－３．トンネル断面図



3．3　試験結果

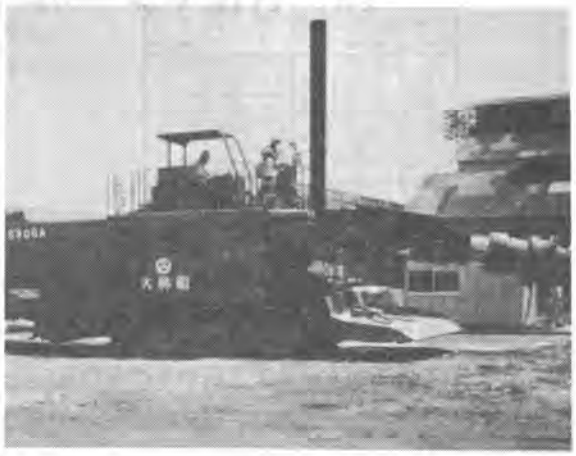
試験結果を表－３に、全体状況を写真－１に示す。結果は岩盤条件から考えると非常に満足のゆくもので、開発当初の目標を十分達成している。尚、今回の試験結果は中間報告であり、同トンネルで再度、異なった岩盤（石英安山岩）において試験する予定である。

表－3．施工実績

項　　目	実　績
上半断面積(m²)	48.3
掘削延長(m)	46.0
掘削量(m³)	2221.8
稼働日数（日）	21
切削時間(hr)	182.3
切削能力(m³/hr)	12.1
平均日進行(m)	2.2
ﾋﾞｯﾄ消費量（本/m³）	0.8～1.6

（注）上の表で切削時間は、実際に切削している時間のことであり、切削のためのいろいろな準備（ビットの交換、修理等）の時間ははいってない。

写真－1．全体状況



4．今後の課題

今回の試験報告は、あくまでも中間報告であり、まだし残した試験やまとめていないデータも数多くあるが、今後の課題として克服していかなければならない点がいくつかあるのでここで述べたい。

①今回の地山は流紋岩であったが、岩質による能力の差は大きいと考えられるため、多くの岩種での実績を重ねる必要がある。

②岩盤について、今回非常に詳しく調査しているので、掘削能率やビットの損耗に与える岩盤物性の評価方法を確立するための第一のステップとする。

③対硬岩掘削をさらにアップさせるための改善を行う。（ドラム形状の変更等）

④ビットの消費量を減らすため、形状、配列、材質等を改良する。

⑤ロードヘッダＳ－３００Ａは、自重が９０ｔもあり、運搬方法等制約を受けることが考えられるので、組立解体のスピードアップのための改良をすることが望ましい。

5．おわりに

今回の試験を実施して、ロードヘッダＳ－３００Ａが機械掘削における対硬岩掘削能力を大幅に引き上げたことは間違いないと考える。今後、発破工法の使用できない現場において高能力の無発破工法として活躍できると期待している。

今後の課題の項で述べたように、いくつかの問題点は残しているものの、それらを克服することは十分可能であり、将来は非常に明るいといえるだろう。

最後に、当ロードヘッダの掘削試験に御協力頂いた栃木県道路公社の皆様に感謝すると共に、試験掘削に協力して頂いた楯岩トンネルJVの関係者の皆様に厚く御礼致します。

18．H&Vシールド工法の実証実験

㈱間　組：*園田　徹士
清水建設㈱：　萩原　英樹
前田建設工業㈱：　北川　滋樹

1．はじめに

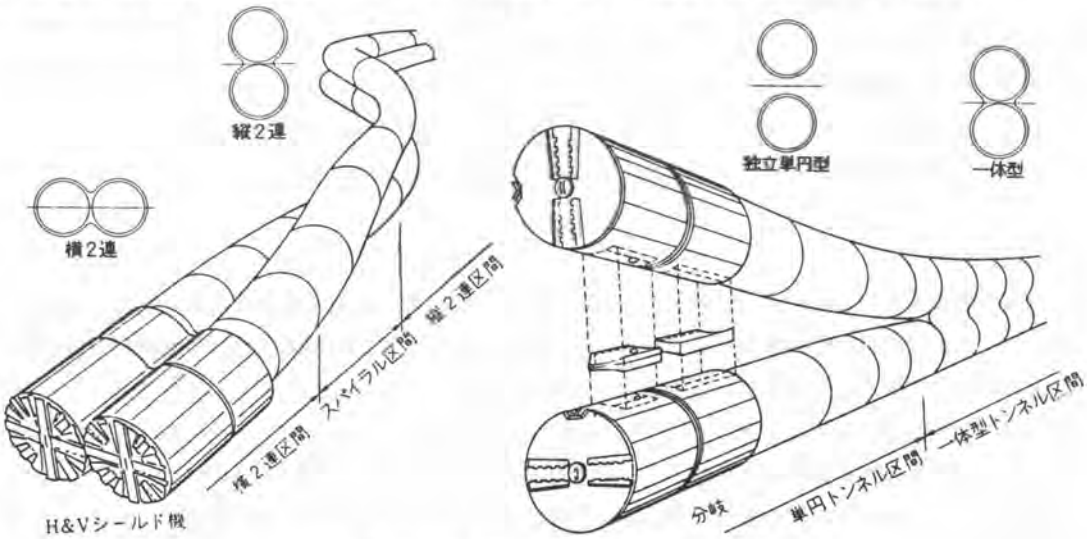
大都市の過密化にともない、『地下空間の有効利用』の要望が高まっている。この地下空間開発の中心的役割を担うシールド工法も、それにともない新しい技術の開発が進められている。この新しい技術の一つとして複断面シールド工法があげられる。

複断面シールドトンネルは、従来の単円シールドトンネルに比べ内空断面の有効利用が可能であり、経済性にすぐれるなどの特徴を有している。

H&V（Horizontal variation & Vertical variation）シールド工法は、円形のトンネルを様々な形に組み合わせ、地下空間の多様なニーズに柔軟に対応できる複断面シールド工法である。本工法は図－1に示すように超近接トンネルの同時施工を行うものであり、横・斜・縦2連トンネル、横から縦（縦から横）にねじった2連トンネル（スパイラルトンネル）の構築、さらに2連トンネルから単独トンネルへの分岐が可能である。またトンネル断面は、一次覆工の方法により2つのトンネルが結合した一体型トンネル、または並列の独立単円型トンネルが選べる。

これらの機能により、地下道路トンネル、地下鉄や地下ライフラインの建設に際し、用地・既設構造物などの地域条件に対して、合理的な対応が可能となると考えられる。

本工法の開発についてはすでに前回のシンポジウムでも発表しており省略し、本報では本工法の実用化の確認および掘進特性の把握のために行った実証実験工事の概要と結果ににについて報告する。



図－1　H&Vシールド工法概念図

2．実証実験概要

本実験は、立坑より発進したＨ＆Ｖシールド機により、横２連～スパイラル～縦２連～分岐トンネルを全長約70ｍにわたり順次構築するものである。

(1) 実験規模

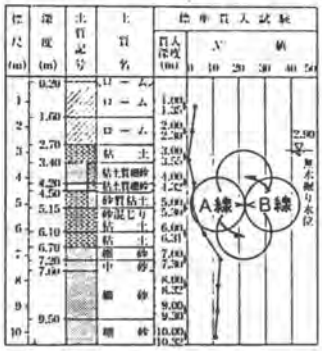
施工場所：つくば市苅間地先

形　　状：トンネル外径 φ２，０００㎜×２連

路線延長：７０．５ｍ

土 被 り：３～４ｍ

(2) 土質概要



図－２ 土質概要

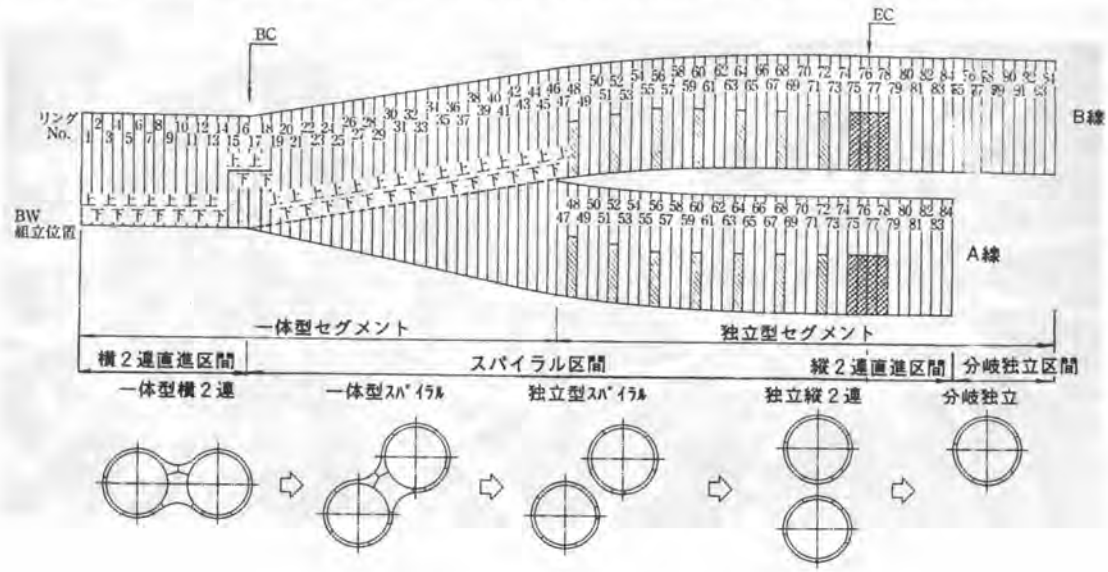
掘進地盤は、発進部（横２連）ではＡ線、Ｂ線ともＮ値１～３の粘土質細砂および砂混りシルトである。その後、スパイラルするに従いＡ線、Ｂ線の掘進地盤は異なり、到達時（縦２連）はＡ線がＮ値１～３の粘土質細砂およびＮ値２～１３の砂混り粘土と細砂、Ｂ線がＮ値１～３の粘土質細砂となる。

掘進位置の土質柱状図を図－２に示す。

(3) 計画路線

本実験では、２つのトンネル軸を中心として反時計回りに横２連から縦２連へ９０度旋回する線形とした。すなわち、図－３に示すとおり、スパイラル区間は４５ｍでありスパイラル量は１ｍ当たり２度である。また、スパイラル区間の前後にそれぞれ１２ｍ，６ｍの横２連および縦２連の直進区間を設けた。さらに、縦２連の掘進後、シールド機を分離しＢ線のみ７．５ｍ掘進した。

また、セグメントは斜め４５°を境に前半は一体型を、後半は独立単円型のスチールセグメントを用いた。両形式とも外径φ２，０００㎜、幅７５０㎜、トンネル中心離間２，１７０㎜とした。



図－３ 計画路線

(4) シールド機

・形式：泥水加圧式

・外径：φ２，１２０㎜×２連×Ｌ３，５００㎜

・ｸﾛｽｱｰﾃｨｷｭﾚｰﾄ量：最大６度（３度×２）

Ｈ＆Ｖシールド機は、カッター面板が同一面上となるように２基の中折れシールド機の後胴部を接合させた形状となっており、２つの前胴は中折れ（クロスアーティキュレート）するためスライド構造、後胴は剛結の一体構造である。また、シールドジャッキのうち４本を、伸縮方向を推進方向に対し円周方向へ偏芯させたスパイラルジャッキとした。

３．掘進管理

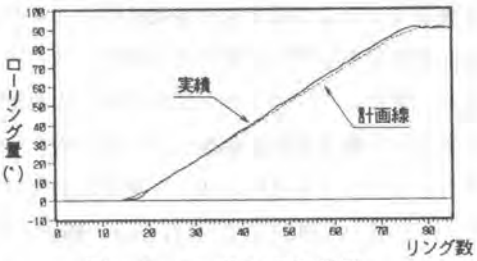
Ｈ＆Ｖシールド工法においては、従来のピッチング、ヨーイング制御のみならず、スパイラル量（ローリング量）の制御が重要となる。このため、シールド機の移動量を事前に演算するとともに立坑下より切羽のターゲットに向けてレーザー光線を飛ばし、ターゲット上のレーザー光の移動量を監視することにより掘進中のスパイラル量を把握できるようにした。

また、スパイラルに従いシールドジャッキの位置は回転していくため、パソコン画面上にローリング量に応じてシールド機の姿勢とジャッキ位置を表示し、ジャッキ選択を的確に行えるようにした。

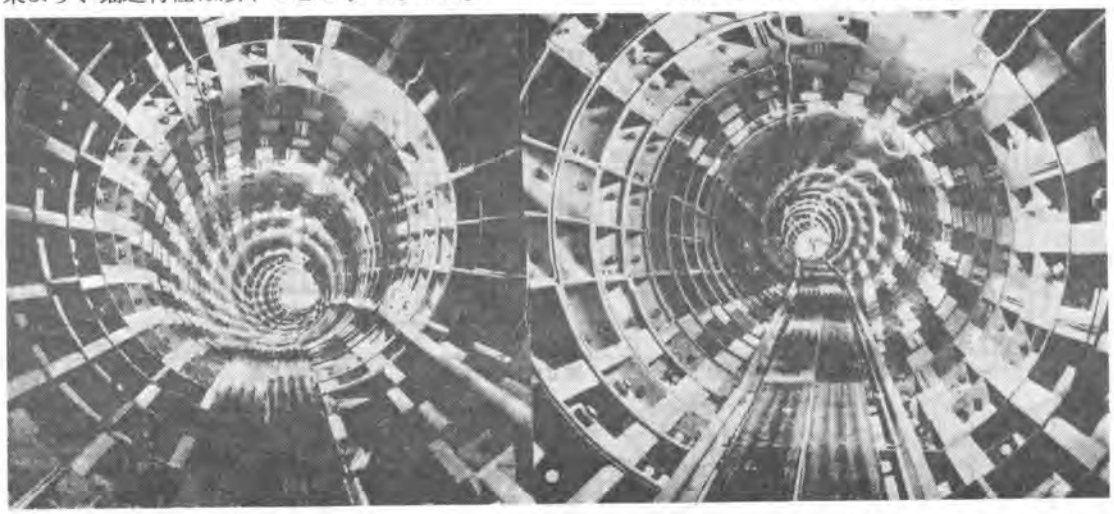
４．実験結果

(1) 掘進特性

シールド機の方向制御は概ね順調であり、計画通りのスパイラルトンネルを構築した（図－４）。また、平面・縦断の計画線に対する蛇行量も図－５に示すとおり、±４０㎜以下と良好であった。実験結果より、掘進特性は以下のとおりであった。



図－４ ローリング変化量



A線トンネル　　B線トンネル

写真－１　坑内写真

①ヨーイングおよびピッチング制御は通常のシールド機と同様、ジャッキパターンの選択のみで可能である。

②スパイラル量とクロスアーティキュレート量には相関が見られ（図－６参照）、スパイラル量の制御はクロスアーティキュレート量の調整により可能である。

③シールド機の分離施工は可能であり、再掘進においても、通常のシールド施工と同様である。

④双方の切羽泥水圧の管理値を、土被りに比例させて変化させたが、相互の切羽泥水圧に関連は見られず、切羽は独立した状態であった。

(2) 地盤変状

スパイラル掘進における周辺の地盤変状について、ＦＥＭ解析による予測解析を行うとともに、地表面沈下および地中変位の計測を行った。以下に、計測結果をまとめる。

①地表面沈下の最大量は６～９㎜であり、横、斜め、縦のトンネル形態の違いによる大きな差異は見られない。

②スパイラルするに従い土被りは小さくなっており、沈下の影響範囲は横から斜め、縦になるにしたがい狭くなる傾向にある。

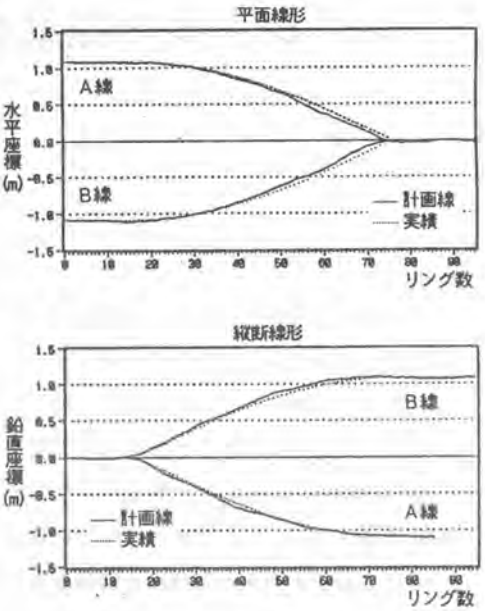
③図－７に斜め２連での地表面沈下の実測とＦＥＭによる予測解析結果を示す。実測値は、ＦＥＭ解析結果と良く一致している。

５．おわりに

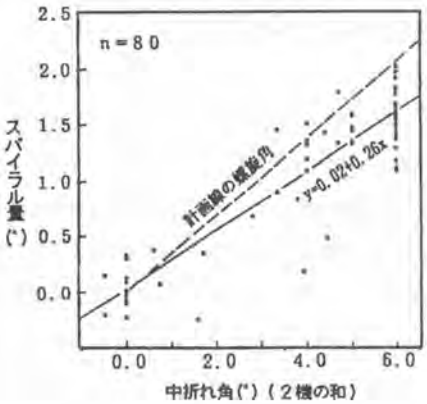
今回の実証実験により、超近接トンネル、スパイラルトンネルおよび分岐トンネルの施工性、地盤変状などに関して、従来の単円シールドとほぼ同等であることが確認された。また、一体型と独立単円型トンネルの施工性に差異が無いことも確認された。

今後は、実験によって得られた各種データの解析を進め、本工法のよりいっそうの合理化を進めるとともに、『地下空間の有効利用法』についてさらに研究を進めていきたいと思う。

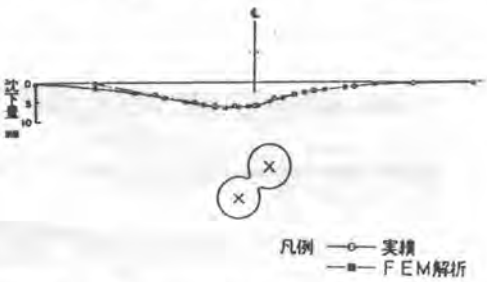
最後に、本工法の開発、実証実験にあたりご指導、ご協力いただいた皆様に深く感謝いたします。



図－５ シールド機前胴の軌跡



図－６ 中折れ角～スパイラル量相関図



図－７ 地表面沈下（実測値と解析値）

19. シールド掘進機用鋳ぐるみビットの開発

日立造船㈱：*桑原　　努・浅田　健次
㈱栗本鉄工所：　藤沢　義之

1. ま え が き

シールド掘進機の需要は年々増加し、その使用条件も厳しくなる傾向にある。通常、シールド掘進機の掘削距離は1km未満で、その間カッタビットは交換なしに使用するものの、土質の状況によっては数回の交換を余儀なくされている。今後、大深度・長距離対応シールドにおいてはビット交換なしで、いかに長距離を掘進できるかが重要な課題である。カッタビットの掘進摺動距離が数百kmにおよぶ状況下で砂や砂礫等の混在した土質を掘進するには、ビット形状もさることながら硬さならびに靭性の高い材料が必要となる。このため、ビット材料は先端のチップに超硬合金が、チップを保持するシャンク（台金）は高硬度を有する各種硬化肉盛を施した材料が使用されている。そこで、土質の状況によりチップ材料の選定を行うとともに硬化肉盛材料を含めたシャンク材料をいかにすべきかがビットの長寿命化の重要な要素となっている。

以上の背景から、従来ビットに比べて数倍の耐久性を有するカッタービットを開発中であり、その結果について報告する。

2. 実 験 方 法

2.1 掘 削 条 件

実機摩耗テストを行った掘進場所の縦断面図（地層区分図）および掘進条件を図1および表1に示す。外径 3,080mmの泥しょうシールドは、発進立坑から図中左側へ 293 m掘進（第1回掘進）後、再び発進立坑から右側へ 526m掘進（第2回掘進）した。土質はシルト～粘土（有機粘土）と砂礫からなり、第1回、第2回共に同様な条件である。シールドの平均掘進速度は42.4mm/minで、カッタ最外周部における第1回および第2回掘進時の摺動距離は70.3kmおよび134.2kmで計204.5kmである。

表1　掘 削 条 件

	第1回掘削	第2回掘削	合計
回転速度, RPM	1.1	1.1	1.1
セグメント数(L=900mm)	325.0	584.0	909.0
掘削距離, m	292.5	525.6	818.1
平均掘削速度, mm/min	43.7	41.2	42.4
掘削時間, h	111.6	212.8	321.4
最外周部摺動距離, Km	70.3	134.2	204.5
最外周摺動速度, m/min	10.5	10.5	10.5

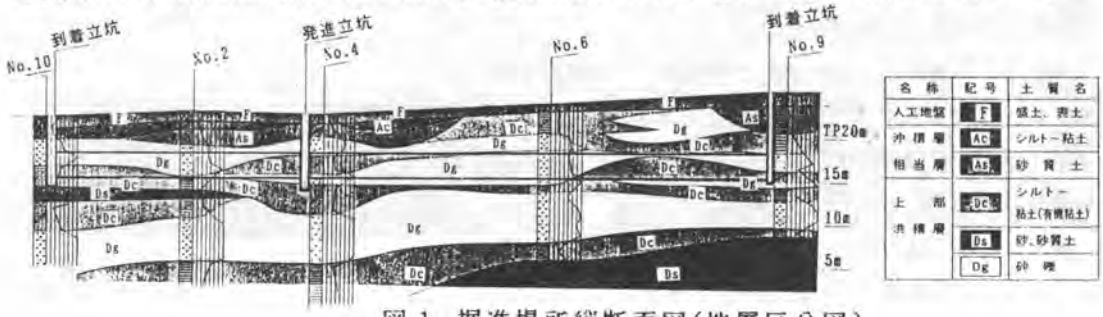


図1　掘進場所縦断面図（地層区分図）

2.2　試験ビットの種類

試験に供したビットの材料構成を表２に、化学組成と硬さを表３に示す。試験ビットはカッタビットとセンタービットの２種類で、前者の形状は先端部の幅８０mm、後端部の幅６５mm、長さ140 mmで先端部の高さは５０mm、後者の形状は°５０×５０ mmである。

表2　試験ビットの材料構成

材料名		記号	シャンク 母材	シャンク 肉盛	チップ	備考
カッタビット	鋳ぐるみビット	UCX0	UCX	－	－	
		UCX1	UCX	－	E-5	
	従来ビット	BR-1W	SCM440	HF-800	E-5x1	1枚歯
		BR-2W	SCM440	HF-800	E-5x2	2枚歯
センタービット		90	SCM440	－	E-5	
		91	シリコロイA	－	E-5	
		92	SCM415	ステライト#6	E-5	
		93	SCM415	EV-2	E-5	
		H-1	HAP40	－	－	
		H-2	SKH51	－	－	

表3　供試材の化学組成と硬さ

材料名	化学組成（%） C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	Co	他	残	熱処理	硬さ Hv	一般硬さ Hv	一般硬さ HRc
E-5	－	－	－	－	－	－	－	12.9	－	WC	－	1179		70
SCM440	0.4	0.3	0.7	－	1	0.25	－	－	－	Fe	QT	295	≧300	29.8
SCM415	0.15	0.3	0.7	－	1	0.25	－	－	－	Fe	QT	150	≧246	21.5
シリコロイA	0.02	4	4	4	12	0.3	－	－	Cu=0.6	Fe	－	435		
ステライト#6	1	1	－	－	28	－	4	－	－	Co	－	460	480	
EV-2	－	－	－	－	15	－	5	5	Ti=2 Al=4	Ni	－			
HAP40	1.3	0.3	－	－	4	5	6	8	V=3	Fe	QT			67
SKH51	0.8	0.3	0.3	－	4	5	6	－	V=2	Fe	QT	870	≧780	≧63
UCX母材	2.58	0.5	0.6	1.21	25.5	0.27	－	－	－	Fe	－	610		
超硬	－	－	－	－	－	－	－	12.9	－	WC	－	1179		70

カッタビットは高Ｃｒ鋳鉄（UCX）を母材とし、耐摩耗性が要求されるビット表面に超硬粒子（Ｅ－５）を鋳ぐるんだ後、超硬チップ（Ｅ－５）をろう付けしたもの（記号：UCX１）および超硬チップのないもの（同：UCX０）の２種類（以降鋳ぐるみビットと呼称す）である。なお鋳ぐるみビットとの比較のため、Ｃｒ－Mo低合金鋼に硬化肉盛（HF－８００）を施し、超硬チップ１個をろう付けした従来ビット（同：BR－1W）と２個付けたもの（同：BR－2W）を供試材とした。

一方、センタービットは材質の検討を行うため母材をＣｒ－Mo低合金鋼（SCM440）としたもの（記号：90）と高Ｓｉ－Cr鋼（シリコロイＡ）としたもの（同：91）、母材をＣｒ－Mo低合金鋼（SCM 415）とし、Co基硬化肉盛材（ステライト＃６）で１０mm肉盛したもの（同：９２）、ステライト＃6を２mmとし、その上に４mmのＮｉ基硬化肉盛材（EV－2）を肉盛したもの（同：９３）、母材を粉末ハイス（同：H－１）および溶製ハイスとしたもの（同：H－２）の計６種類である。なおH－１およびH－2は母材硬さが高いため超硬チップ（Ｅ－５）は取り付けなかった。

2.3　試験ビット取付要領

カッタの概略図ならびに試験ビット取付位置を図２に示す。鋳ぐるみビットは従来ビットの配置の中に中心から930 mmおよび1,160 mmの位置に取り付けた。比較材である従来ビットは鋳ぐるみビットと摩耗状況を合わせるため、鋳ぐるみビットの外周側および内周側の７個とした。一方、６種類のセンタービットはカッタの中心から740～1,340mmの範囲に取り付けた。

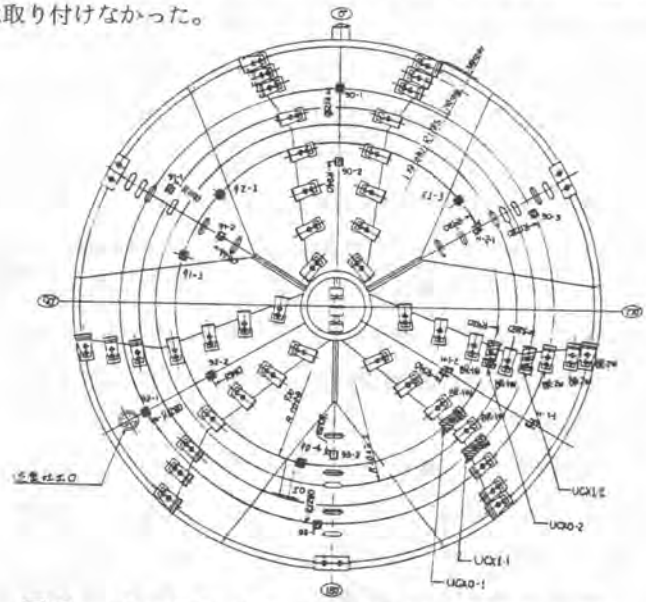


図２　カッタ概略および試験ビット取付位置

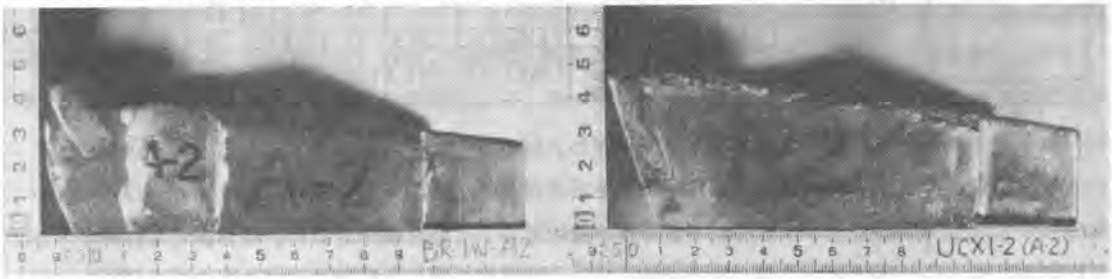
2.4　摩耗量の測定方法

ビット後部の取付け台は摩耗が極めて少ないため、この位置を基準点とした測定ゲージを製作し、このゲージとビット表面の高さの差から第1回および第2回掘削後の摩耗量を算出した。さらに実機テスト後は各試験ビットを取り外し、三次元座標測定機（東京精密製、XYZAX：M－760）でビット表面の形状測定を行い、使用前の形状との差から摩耗量を算出した。

3. 実験結果および検討

3.1 鋳ぐるみビットの耐摩耗性

従来ビットおよび鋳ぐるみビットの実機テスト後の外観状況を図3に、摺動距離と母材の摩耗量との



従来ビット　　鋳ぐるみビット

図3　実機テスト後の外観状況

関係を図4に示す。摺動距離の増加に伴って摩耗量は増加するが、炭化物生成元素が多く高Crによる微細な炭化物を母地とし、極めて硬度の高い超硬粒子を当母地で包含した構造を有する鋳ぐるみビットは従来ビットの4～5倍、超硬チップを付けないビットでも2倍以上の耐摩耗性を有する。

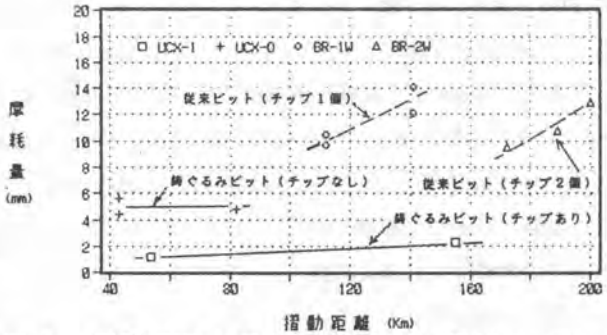


図4　摺動距離と母材摩耗量との関係：ｶｯﾀﾋﾞｯﾄ

3.2 摩耗に及ぼす摺動距離の影響

センタービットについて摺動距離と母材およびチップの摩耗量との関係を図5に示す。チップ健全品、欠損品ともに摺動距離の増加に伴って摩耗量は増加する。土岩による摩耗形態は通常アブレシブ摩耗で[1]、実機テスト後の表面状態から、この分類中のえぐり摩耗（ガウジング摩耗）と低応力摩耗（スクラッチング摩耗）とが単独もしくは複合して起こっているものと考えられる。しかもチップが一部分でも欠損すると母材

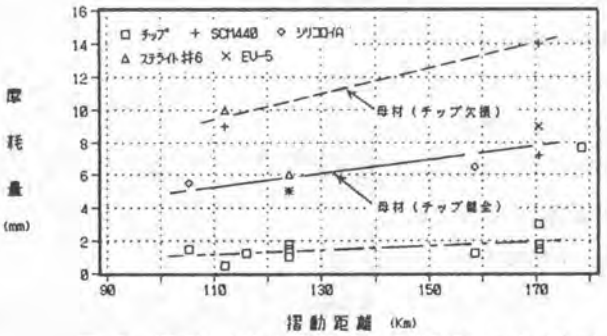


図5　摺動距離と摩耗量の関係：ｾﾝﾀｰﾋﾞｯﾄ

の摩耗は2倍以上の速さで進行し、超硬チップの存在が母材の摩耗を著しく抑制していることが明かである。なおチップは母材の1.4～4倍の硬さを有し摩耗量が極めて少ないが、母材同様摺動距離の増加に伴ってわずかながら増加している。

3.3 摩耗に及ぼす硬さの影響

センタービットの母材硬さと摩耗量の関係を図6に示す。図中Cr−Mo低合金鋼、高Si−Cr鋼、Co基およびNi基硬化肉盛材の順に硬さは高く、この硬さの増加に伴って摩耗量は減少している。通常、硬さと相対耐摩耗度（摩耗量）は比例する[2]が、アブレシブ摩耗の場合、材料の組織特に化合物の析出形態によって摩耗状況が異なる[3]ため、帯状の範囲内での相関性を示している。図中Hv=570の×印は前述したようにCo基硬化肉盛材(2mm)の上にNi基の硬化肉盛（4mm）をしたものである。当材料の硬化肉盛層厚みが6mmであること、およびこれら境界層の強度が不連続であることから、初期状態では極めて高い耐摩耗性を有するものの、摺動距離の増加に伴って摩耗が順次進行したものと考えられ、実機テスト後の表面にも一部母材の露呈が認められる。一方、図中Hv=870の点は粉末および溶製ハイスの摩耗量を示すが、当材料は化合物生成元素が他の材料に比べて少なく熱処理によって母材硬度を高めているため、硬さは高いものの摩耗の進行が速くなっているものと考えられる。

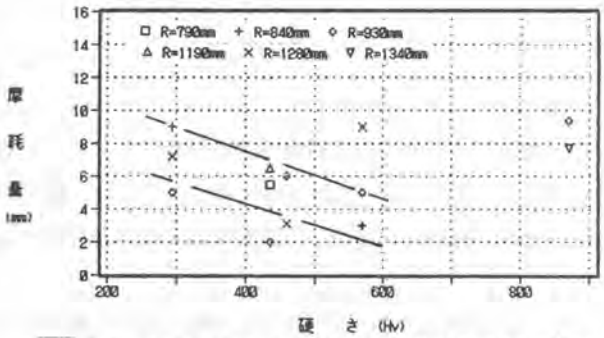


図6 母材硬さと摩耗量の関係：ｾﾝﾀｰﾋﾞｯﾄ

4. まとめ

高硬度合金、硬化肉盛金属、粉末および溶製ハイス等の母材の材質検討のための材料ならびに母材の耐摩耗性向上のため超硬粒子を包含した鋳ぐるみビットを製作し、実機による摩耗テストを行った。その結果を要約すると次の通りである。

(1) 開発した鋳ぐるみビットは従来ビットの4～5倍の耐摩耗性を有する。

(2) ビットの摩耗はアブレシブ摩耗で、時間経過とともにほぼ直線的に進行するが、超硬チップの存在が母材の摩耗を著しく抑制する。

(3) 母材の硬さと耐摩耗性は相関性を有するが、開発した鋳ぐるみビットが最も耐摩耗性に優れ、ついでステライト#6、シリコロイA、EV−2の順に従来材（SCM440）より良好になる。

参考文献

(1) 日本学術振興会：鋳鉄の摩耗と材料特性、（1984）、P. 2

(2) 佐藤健児：金属の魔耗とその対策、養賢堂、（1969）、P. 3

(3) 山本雅彦 他：製鉄用耐摩耗材料の開発、製鉄研究、（1979）、№298、P. 82

20．New PLS工法の開発

建設機械化研究所： 亀岡　美友
日本国土開発㈱：*指田　健次
㈱三井三池製作所： 伊藤　啓之

1．　はじめに

近年、都市部の土地の有効利用を図るため、トンネルや地下空洞の計画や建設が積極的に進められている。特にトンネルのような地下構造物については、従来からシールド工法や開削工法が一般的に採用されてきたが、経済性・途中での断面変更・路面占有などの点で問題の少ないＮＡＴＭの採用が増加している。

しかし、市街地周辺では未固結で自立性の低い地層が多く、また地表には重要構造物が建ち並んでいることからＮＡＴＭで施工する場合には、地表面沈下防止や切羽の安定が重要課題となる。このような課題の対策工としては、トンネル掘削に先立ち、切羽前方の防護を事前に行う先受け工法が最近注目を集めている。

ＰＬＳ（Pre-Lining Support）工法はこのような先受け工法の一種で、チェーンカッタ式切削機を用いて、掘削する前に連続したコンクリートシェルをトンネル外周に沿って構築することを特徴とするものである。昭和56年に成田空港トンネルでＰＬＳ工法を実施した実績を基に、筆者らは平成元年からＰＬＳ工法に大幅な改善を加えたＮｅｗ　ＰＬＳ工法の開発に取り組んでいる。

本稿では、Ｎｅｗ　ＰＬＳ工法開発の概要について述べる。

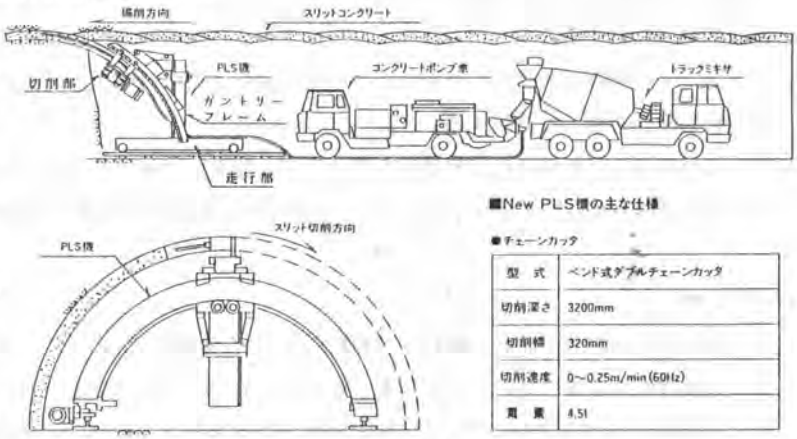
2．　Ｎｅｗ ＰＬＳ工法の概要

2．1　目　　的

Ｎｅｗ　ＰＬＳ工法の目的は、(イ)未固結地盤での切羽の安定、(ロ)土被りの浅いトンネルの地表沈下防止、(ハ)トンネルの大断面化に対する適応である。

2．2　施工システム

本工法の施工システムは、図－１に示すようにチェーンカッタを装備したＰＬＳ機を中心に、コンクリートポンプ車とトラックミキサを組み合わせたものである。この他には、図示していないが、切羽掘削用にブーム式あるいはショベル式掘削機を使用する。



■New PLS機の主な仕様

●チェーンカッタ

型　式	ベンド式ダブルチェーンカッタ
切削深さ	3200mm
切削幅	320mm
切削速度	0～0.25m/min (60Hz)
質　量	4.5t

図－１　シ　ス　テ　ム　図

次に、New PLS工法の施工手順を示す。

① 位置出し→② New PLS機のセット→③ スリット切削およびコンクリート充てん→④ New PLS機の後退→⑤ 切羽掘削→⑥ 支保工設置→⑦ ①へ戻る

このとき、スリット切削・充てんは左脚部から開始して天端を通って右脚部まで連続して行う。

2．3　効果

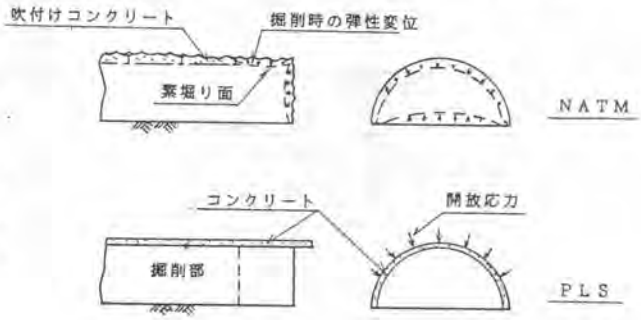
New PLS工法の効果についてNATMとの比較で説明すると以下のようになる。

① 図－2に示すようにトンネル掘削時の解放応力は、あらかじめ施工された剛な支保工で受け持つため、トンネル掘削時の弾性変形が小さくなる。

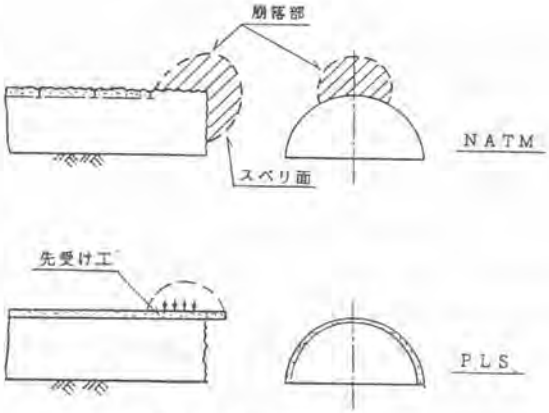
② 強度が小さい土砂地盤での自立が困難な場合においても、天端崩落が防止できる。

③ 切羽の安定を確保するためには、切羽前方のスベリ面を含むような先受け工の長さが必要であるが、NATMに比べて天端の安定が得られるために、切羽の安定が得られやすい（図－3参照）。

④ 地山を常に三次元状態に保つため、緩みの発生が抑制され、掘削時の挙動が弾性的となる。



図－2　効　　果(1)



図－3　効　　果(2)

3．　New PLS機の特徴

3．1　概要

New PLS機は図－1に示すように、切削部とガントリーフレームおよび走行部から構成され、チェーンカッタの伸縮・俯抑・旋回、切削部の横行および全体の走行の機能がある。

チェーンカッタの主な仕様は、型式がベンド式ダブルチェーンカッタ、切削深さ3200mm, 切削幅320mmおよび切削速度0～0.25m/min（60Hz）である。

3．2　特徴

New PLS機の特徴は、従来のPLS機と比較すると次の2点に集約される。

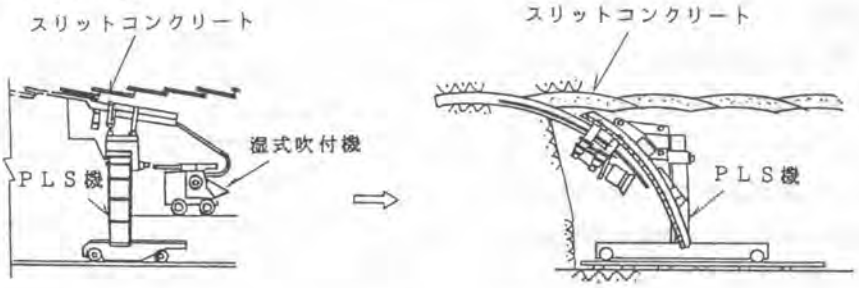
（1）　ベンド型チェーンカッタの採用

一番目の特徴は図－4に示すように、通常の直線状のチェーンカッタを湾曲させてベンド型チェーンカッタとしたことである。従来のPLS工法ではトンネル縦断方向に対して逢地型の不連続ライニングであったものが、この変更により

① 一つ手前のスリットコンクリートの一部を削り取って、次のスリットを切削・充てんするためトンネル縦断方向の連続性が強化される。

② コルゲート状のコンクリートシェルが構築され、平板のシェルより支保効果が大きい。

等のメリットが得られる。



従来ＰＬＳ　　New PLS

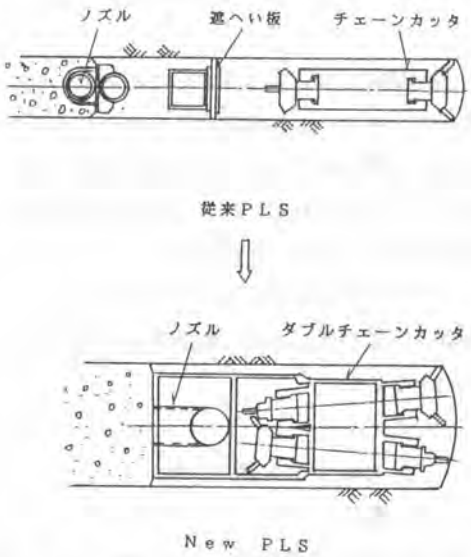
図－4　ベント型チェーンカッタの採用

（2）　ダブルチェーンカッタの採用

二番目の特徴は図－５に示すようにチェーンカッタを２枚重ねてダブルチェーンカッタとしたことである。従来は機構上チェーンカッタとコンクリートノズルが離れており、コンクリートが充てんされるまでスリット空間の自立が必要であったが、ダブルチェーンカッタの採用によりカッタとノズルの一体化が可能となり、次のような利点が得られる。

① 自立性の悪い地山においても切削即時コンクリート充てんが可能となった。

② スリットの開放時間がほとんどなく、地山のゆるみの発生を最小限にできるため、地表面沈下が抑制できる。



図－5　ダブルチェーンカッタの採用

4．　切削・充てん実験

4．1　実験内容

砂とセメントを混合させた模擬地盤を用いて、切削・充てん実験を行いベンドジブカッタの切削性能や注入するコンクリートの即時充てん性、自立性について検討を行った。

4．2　実験機器

（1）　New PLS機

チェーンカッタ　　：図－１参照

ガントリーフレーム：R＝5000mm、レール軌道

（2） コンクリートポンプ車

吐出圧力：45kgf/cm²

吐出量 ：12m³/hr（Max）

（3）急結剤ポンプ

吐出圧力：500kgf/cm²

吐出量 ：5 ℓ/min

4．3 コンクリート配合

実験に用いたコンクリートの配合は、表－1に示すとおりである。

表－1 配 合 表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AE減水剤
20	18±2.5	4±1	53.5	45.8	185	346	784	1094	0.346

4．4 模擬地盤

実験に用いた模擬地盤は、砂とセメントをドライミックスした土砂を締め固めて作成した。

材料：コンクリート用細砂とセメントの混合土砂

強度：一軸圧縮強度qu＝45kgf/cm²

寸法：幅7.2×高3.5×奥行き3.6m

4．5 実験結果

実験結果をまとめると以下のようになる。

① 切削幅および深さは、ほぼ仕様値どおりの値であった。

② 切削速度10～16cm/minにおいて、安定した切削性能を示している。

③ スリットコンクリートの充てん性を確保するためにはスランプ18cm程度のコンクリートが適当である。

④ これに対し、妻側コンクリートの自立性を高めるためには、急結剤を添加、攪拌する方法が実用的である。

5．おわりに

以上、本工法の開発は、模擬地盤を対象にした切削・充てん実験によりＮｅｗ ＰＬＳ機の基本的性能を確認した段階にあるが、今後実用化に向けて

① Ｎｅｗ ＰＬＳ機の姿勢位置管理

② コンクリート充てん圧と切削速度のコントロール

③ 妻側コンクリートの自立とサイクルタイムの短縮を目指した急硬性コンクリートの開発

等の課題に取り組み、さらに研究・開発を進めていくつもりである。

21．巨礫対応ドーム型シールドのディスクカッタ形状について

日立建機㈱：石川　泰昭・山崎　英嗣
*吉田　竹志
日本コムシス㈱：香月　春彦・飯田　猛雄
若本　憲隆

1　はじめに

従来より、巨礫層に適用されるシールドとして、ローラビットを全断面に配置したドーム型カッタヘッドが採用されることが多い。これは、想定礫径が搬出可能礫径を超える場合、カッタ前面での礫破砕が必要となり、ローラビットを最外周まで、全断面配置を可能とするため、ドーム型カッタヘッドを採用することによる。

通常、採用されるローラビットは、刃先断面が対称の楔形状であり、その中心線は回転軸と直交している。カッタヘッド内周部では、カッタヘッド面板がフラットであるから、内周部に取り付けられるローラビットの楔形状刃先の中心線は、シールドの推進方向、すなわちシールドジャッキの推力が作用する方向と、ほぼ一致しており、シールドジャッキの推力が素直にローラビット刃先の貫入力として作用する。一方、外周部に取り付けられるローラビットは、ドーム曲面に沿って取り付けられるため、ローラビットの楔形状刃先の中心線と、シールドジャッキの推力が作用する方向との間に、大きい角度差が生じてしまう。そのため、外周部のローラビットに関して、以下のような問題点が考えられた。

①切羽側の楔面が刃先先端よりも切羽側にとびだすと、切羽側の楔面が常に最初に地山に貫入しようとするため、面での貫入となり、食い込み性が悪く、刃先の寿命にも良くない。

②食い込み性が悪いと、掘進速度が同じ場合、貫入抵抗が増し、刃先先端の曲げ荷重が大きくなる。

③ローラビットには、ラジアル荷重だけでなくスラスト荷重も作用する。

そこで、外周部の刃先形状について、ビットモデルを用いたベンチテストを行い、最適と考えられる刃先形状を決定し、実機への適用をはかった。

2　ベンチテスト

2．1　実験装置

ビット試験機を使用した実験装置概念図を図1に示す。ビット試験機の仕様は、最大荷重５０ｔ、最大トルク１ｔ・ｍである。掘削用試料として、１．２５ｍ角のモルタル中に花崗岩を整形したものを５個円周上に等配置して巨礫混じり層を模擬したものを使用した。花崗岩の強度及びモルタルの強度を表１に示す。図２に掘削試料形

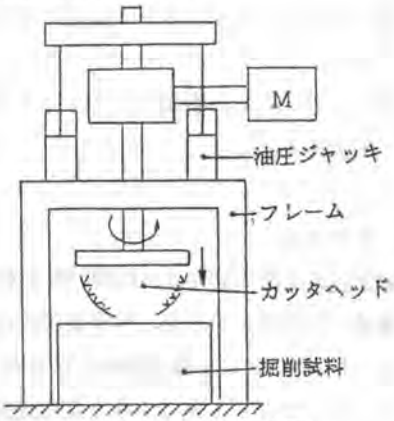


図１　実験装置概念図

状を示す。尚、掘削試料の中心部は、掘削土砂の排出部とするため、予め直径５００ｍｍの芯抜きを行った。

表１　掘削試料の強度

試料名	一軸圧縮強度 (kg/cm²)	硬度 (Hs)
花崗岩	1155 ～ 1575	94 ～ 111
モルタル	237 ～ 294	-

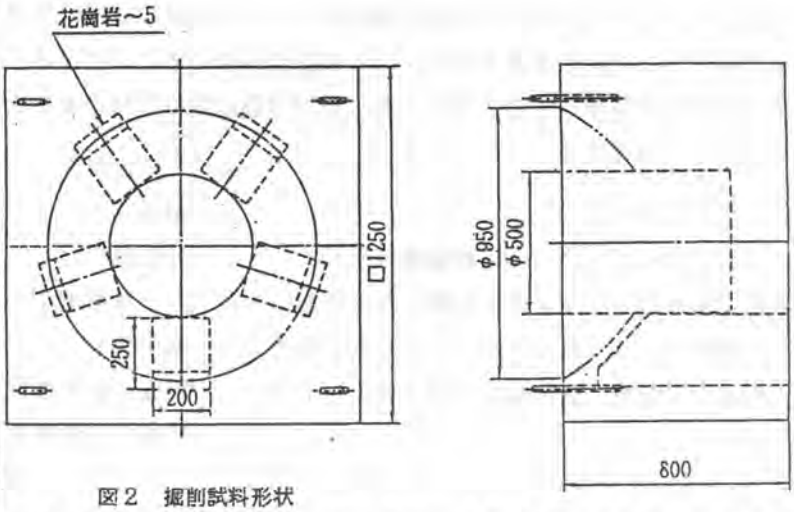
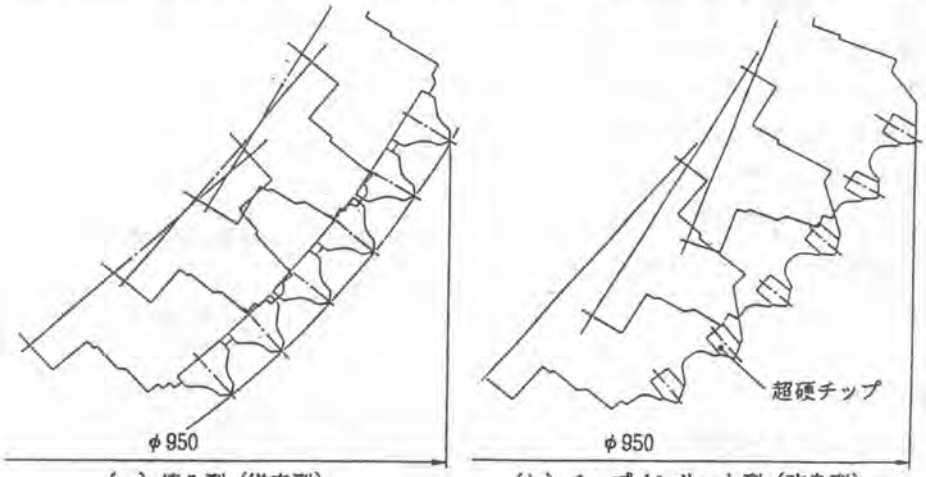


図２　掘削試料形状

ビット試験機には、ドーム掘削面を形成するように、ローラビットを３個配置した。掘削外径はφ９５０ｍｍである。掘進方向は鉛直方向、真上から真下である。実験に使用したローラビットは、従来型ローラビットとして刃先焼入型２連ローラビットと、今回新に考案した非対称チップインサート型切頭円錐型２連ローラビットの２種類である。刃先焼入型ローラビットの形状及びドーム掘削面での配置を図３（ａ）に、チップインサート型ローラビットの形状及びドーム掘削面での配置を図３（ｂ）に示す。本実験に用いたチップインサート型ローラビットは、最外周



（ａ）焼入型（従来型）　（ｂ）チップインサート型（改良型）

図３　実験用ローラビット形状

の刃先形状において、刃先の逃げ面が掘削外周面と同一となり、刃先先端より掘削外径側に出ないようにしている。また、刃先のすくい面は、掘進方向に対して垂直となるようにし、刃先先端よりすくい面が先に地山に接しないようにしている。さらに、チップ形状に関しては、非対称の断面形状を有するチゼル型チップを採用している。これは、対称チップを使用した場合、上記すくい面と逃げ面を設定した時、逃げ面側のチップ保持母材の厚さが薄くなるという不具合が生じ

ることや、逆に保持母材の厚みを確保すると、刃先間の谷部の空間が小さくなり、地山と谷部とが干渉する可能性が大きくなるという不具合が生じることによる。これらの不具合に対応して、非対称チップを使用することにより、逃げ面側の保持母材の厚みを確保できるとともに、刃先間の空間をも確保することができる。

表2　測定項目

NO	項目	
1	回転数	
2	ジャッキ油圧	カッタ推力換算用
3	掘削長	
4	回転用電動機電圧	カッタトルク換算用
5	回転用電動機電流	カッタトルク換算用

2．2　実験方法

表2に示す項目について測定を行った。各測定値はビジグラフにて記録した。実験は、2種類のローラビットについてそれぞれ最大推力、回転数、掘削時間を順次設定して行った。

2．3　実験結果

図4に推力と食い込み速度との関係を示す。横軸にはカッタ推力を、縦軸にはカッタ1回転当りの食い込み量をとった。このグラフより、データにはばらつきはあるものの、推力を上げると、1回転当りの食い込み量は増加する傾向が見られる。また、従来型と今回の改良型を比較すると、同じ推力での食い込み量は改良型の方が大きくなっている。この結果を基に、ゲージ部でのチップ角度から、実機用のローラビットの形状を決定することとした。

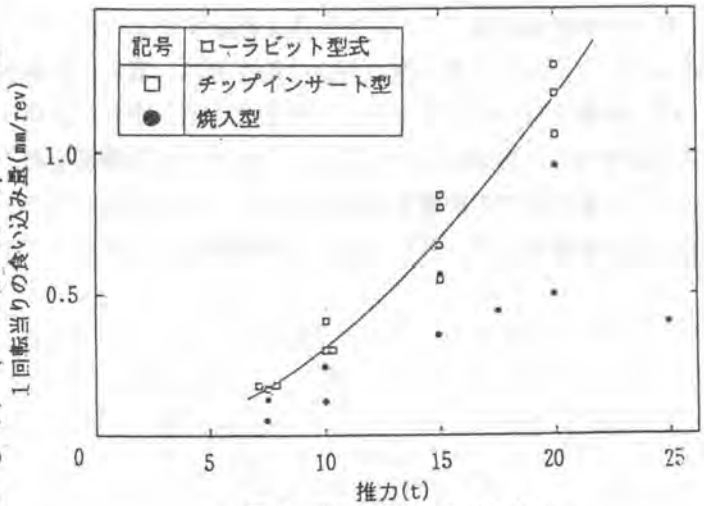


図4　推力と食い込み量の関係

3　実機への適用

3．1　ローラビット形状

図5に実機の外周ドーム部用ローラビットとして採用した非対称チップインサート型切頭円錐型3連ローラビットの形状を示す。

図5　非対称チップインサート型
切頭円錐型3連ローラビット形状

3．2　工事概況

工事の概況を表3に示す。

表3　工事の概況

土質条件			施工条件		
土質		玉石混じり砂礫層	掘進延長	m	1120.3
礫率	%	44～79	（発進～中間）	m	(285.5)
礫径	mm	最大900X600	（中間～転換）	m	(352.9)
土被り	m	5.4～11.5	（転換～到達）	m	(481.9)
N値		40以上	最小曲率半径	m	200
地下水位	m	GL-5.5～11.5			

3．3　シールド仕様

シールドの仕様を表4に示す。シールドのカッタヘッドを図6に示す。カッタヘッドはドーム型を採用し、ローラビットは計１１個装着している。内周部７個については従来型を、外周ドーム部４個については、ローラビットの転動距離が取付半径に比例して大きくなることからも、図5に示した非対称チップインサート型切頭円錐型３連ローラビットを採用した。

表4　シールド仕様

項目	単位	
外径	mm	2880
本体長さ	mm	4280
総推力	t	800
カッタ回転数	rpm	1.95
最大トルク	t·m	75
スクリュコンベア型式		全リボン
スクリュコンベア羽根径	mm	470
ローラビット装備数		11

4　まとめ

平成２年９月、最初の区間である２８５ｍを掘進後、中間立坑に到達した。ビット点検を行い、ローラビットについては摩耗が軽微で刃先の欠損もないため、交換を行わず次区間３５３ｍの掘進に入る予定である。引き続き転換立坑にて、掘進延長６３８ｍ後のローラビットの調査を行い、現場での評価を行う所存である。最後に、ベンチテスト等に協力を頂いた（株）セキサク殿と、本実機を採用頂いたＮＴＴ殿に深甚の謝意を申し上げたい。

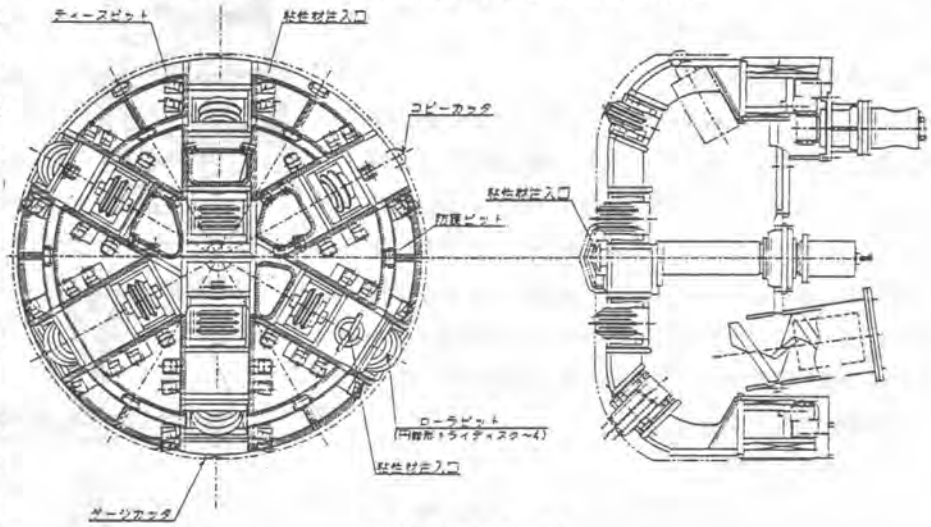


図6　カッタヘッド

22．超急曲線を土圧式シールドで掘進

住友建設㈱：*大谷　賢司・佐藤　英之
桑原　秀樹

1．まえがき

都市部での土地利用高密度化に伴う立坑用地の確保難、地下浅部に輻湊する既設構造物の影響で急曲線シールドの施工が増加している。しかし、急曲線シールドを施工する場合、余掘り部の自立性、方向変換の為の地盤反力と挙動、裏込め注入方法、片押しによるセグメントの破損等に留意する必要がある。今回、シールド外径φ6150mmと比較的大断面を土圧シールド工法で超急曲線施工（R＝20m S字曲進、R＝10m）した結果、良好な成果が得られたので、そのうちのR＝10m 部での施工概要を報告する。

2．地質状況

地質は有楽町層下部の砂質シルトが主体で、一軸圧縮強度は 1kgf/cm² 、粘着力 6tf/m² 前後の地山状況で土被りは15～16m 程度である。

3．予測される技術課題

図－1 にR＝10m 掘進時の状態図を示すが、最大余堀り量は1100mmに達する。従って、技術課題は①余掘りをいかに完全に行い、その余掘り空間をいかに維持するか。②テールボイドを即時に充填し、片押しによる偏荷重に対して、セグメント全体の安定をいかに保持するか。③シールド機の回転力をいかに確保するか。④曲線の線形精度をいかに満足させるか等であった。

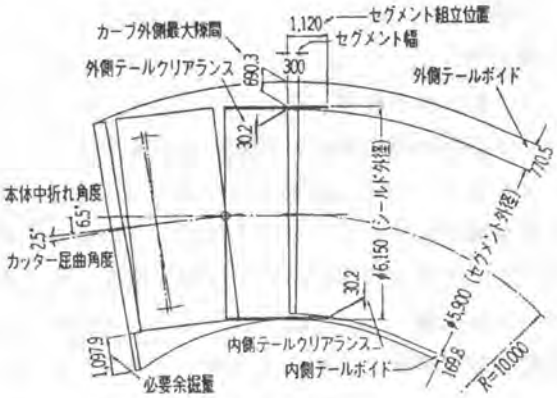
4．技術課題に対する対応策

4－1．シールド機

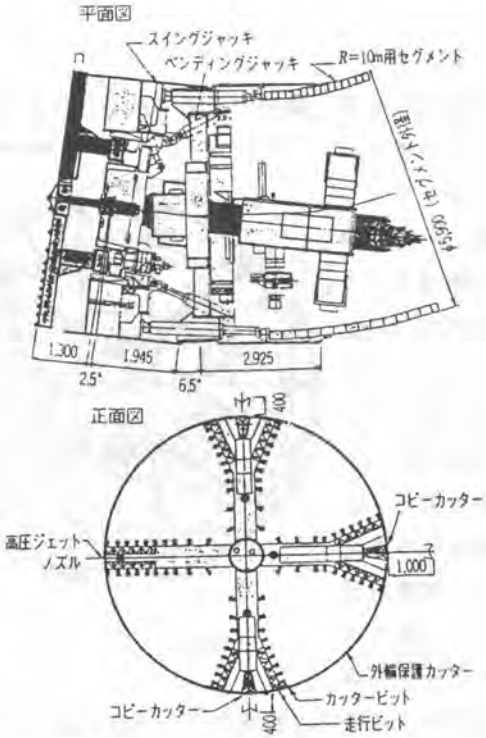
図－2にシールド機構造図を示すが、急曲線施工への対応策として以下の装備を施すこととした。

（1）シールド機

①中折れ角が 6.5度、カッターディスク折れ角が



図－1　R＝10m掘進時の状態図



図－2　シールド機構造図

2.5 度の3折型シールド機を採用する。②コピーカッターは最大ストローク1000mmを1基、400mm ストロークを2基装備する。③余掘りする際の補助として高圧噴射ノズル（噴射圧130kgf/cm²）を1基装備する。④シールドジャッキが内・外側に80mm偏心可能なシールドジャッキ偏心装置を装備する。

（2）土砂取込み時の対応策

①切羽崩壊防止用に溝型鋼をカッタービット内側スポーク面に設置し、チャンバー内に土砂取込み用開口部（50cm×50cm）を 8か所設ける。②バルグヘッドセンター部に約φ1.5m範囲を 3分割で撤去可能とする。③限定圧気用マンロックを装備する。

4－2．セグメント

急曲線施工に対応できるようにR＝10m 部では最大幅300mm 、最小幅154mm のテーパースチールセグメントを使用するが、その他、以下の点に留意した。

①セグメント径は標準部より100mm 低減させテールクリアランスを確保する。②片押しに起因する軸方向応力に対処する為、1本のシールドジャッキを2つの縦リブで受けるように縦リブ数を42か所から48か所に増設する。③前記②に関連して、カーブ内側のリング間接合ボルトを倍数増設し内側セグメントの目開き防止に備える。④その他、現場において目開き防止プレートや、ジャッキ補強用リブを適宜増設する。

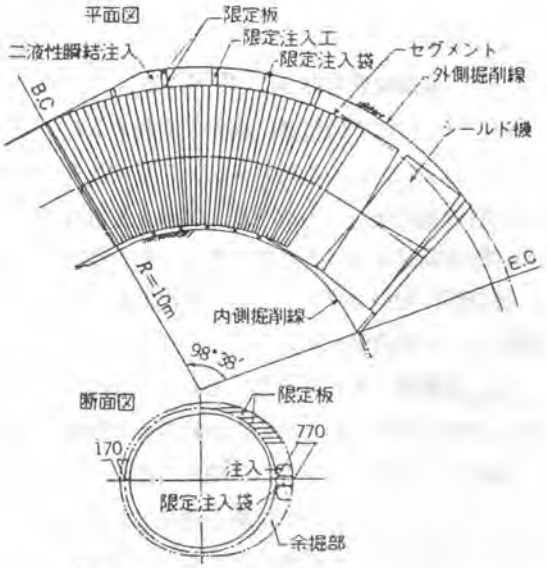
4－3．裏込め注入

裏込め注入はシールド機テール部よりセグメントが送り出された後、ただちに充填する同時注入方式を採用するが、以下の点に留意し計画した。

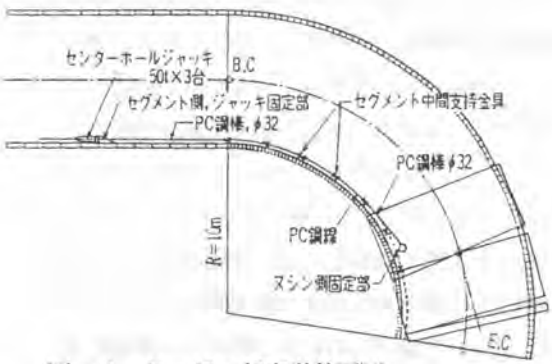
すなわち、R＝10m 部はテールボイドとして最大 770mm発生する為、 2液瞬結タイプの裏込め材を使用しても余掘り部への裏込め材の回り込みは防止できないと考えた。そこで、図－3に示す限定注入工法を開発し施工することとした。本工法は限定注入板、限定注入袋から構成されるがこれを7リング間隔で施工し裏込め材の逆流を防止するとともに、ジャッキ推力、セグメント全体の安定を確保する計画とした。

4－3．補助工法

円滑な曲進施工を行うためには、①余掘り部の自立性の保持。②シールド機の必要回転モーメントを得る為の地盤反力の確保、③周辺地盤の変形と隣接構造物への影響等を考慮する必要がある。

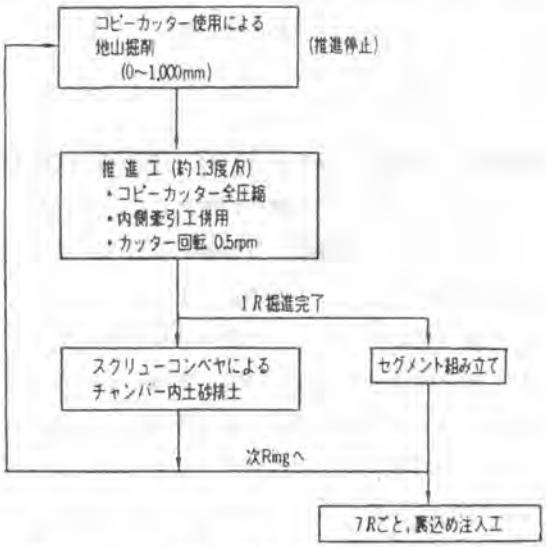


図－3　限定注入概要図



図－4　R＝10m部牽引計画図

そこで、補助工法としてR＝10m 部については、シールド断面外の全周にコラムジェットグラウト杭を断面内には薬液注入（単管ロッド注入）による地盤改良工法が採用された。又、R＝10m 部は1リングセンター推進距離22cm間でストローク差125mm 、3 度の偏角が必要となる。この為には、シールド機前面余掘り側に抵抗が必要となるが、各種検討の結果、この抵抗力をシールド機前面地山に負担させるのでなく、シールド機本体の内カーブ側のセグメントから牽引する方法を採用することとした。図－4にR＝10m 部の牽引計画図を示すが、シールド機のカーブ内側をＰＣ鋼棒・ＰＣ鋼線でセンターホールジャッキ（50t)に接続し、シールド機側のＰＣ鋼棒固定点は後胴リングガーダーのエレクター回転に支障のない位置を選定している。



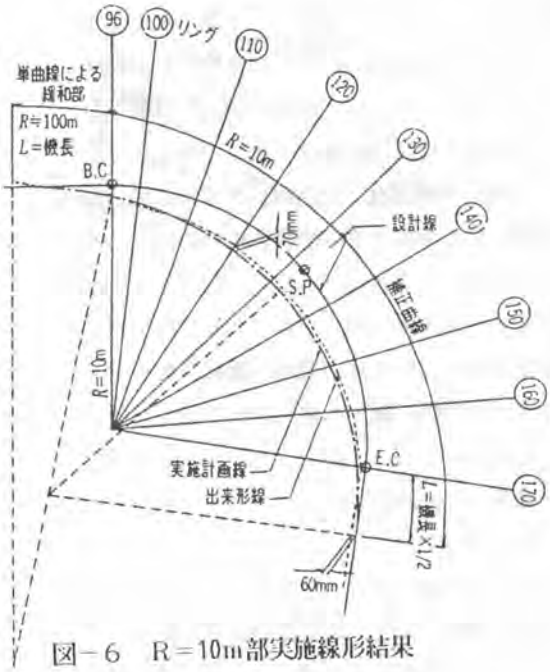
図－5　R＝10m部施工フロー

5．施工状況

5－1．掘進線形管理

一般にＢＣ付近では急激に線形が変化するため、マシンテールによるセグメントジョイント部の剪断破壊防止や、円滑なカーブ進入を行うために緩和曲線を設ける必要がある。本工事では、緩和部に曲率半径R＝100m、曲線長L＝6m（機長分）の単曲線を挿入した。

一方、曲線施工するうえで、スムーズなカーブ進入（曲り切れなかった場合の対処）を図るべく検討した結果、インコース側から進入し、ＳＰ点をセグメント組立て位置が通過した時点より補正曲線を挿入する施工を行った。今回のような超急曲線施工では、できるだけ多いリング間で中折れ操作を多段的に行った方が後胴の追従性が無理なく効果的である。しかし、カーブ入口部ではシールドジャッキが前胴固定タイプだとテール内セグメント組立て幅が中折れをかけることで狭くなり、セグメントを組立てられない場合が生じる。今回は幸いにも、このようなこともなく推移したが、使用セグメント幅を考慮した中折れ角設定の重要性が再確認された。図－5に施工フローを、図－6に実施線形結果を示す。

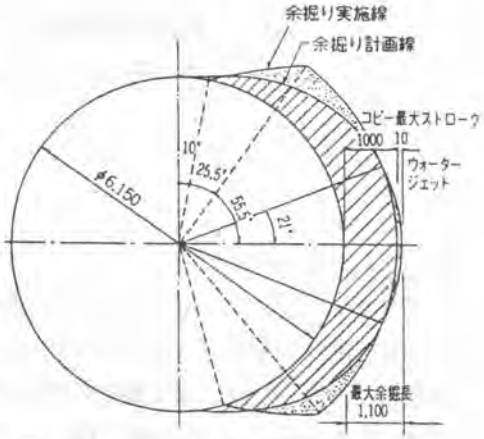


図－6　R＝10m部実施線形結果

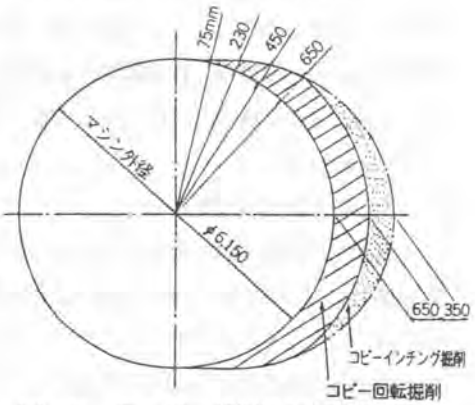
5－2．余掘り状況

R＝10m 部の最大計画余掘り量は約1100mmに達する。そこで、0 ～1000mmまではコピーカッターで、1000mm～1100mmまでは高圧噴射ノズルで行う計画とした。ところで、R＝10m 部掘進時のカッター回転数は0.25ｒｐｍであり、1000mmストロークのコピーカッター作動時間は17秒／伸、17秒／縮である。本来、コピーカッター作動の理想は0 ～90度で「伸」、90～180 度で「縮」であるが、ジャッキの「伸」、「縮」の時間的コントロールが困難なため、図－7に示す計画余掘り線に近似するコピーカッター出入り位置（角度）を考えた。

余掘りは順調に推移したが、掘削中コピーカッターに破損が見られた。破損原因については、改良地山自体の強度増加、コピーカッター自体の作動特性に起因する要因が考えられたため、破損部の構造を再検討したが、工程や施工性の観点より、現装備に近い形で強度増加を図り施工を再開した。再開にあたり、同様なトラブルの発生を防止する目的で、コピーカッターを650mm ストロークまでに伸縮を制限し、残りの350mm はカッターインチング操作で施工を行い、所定の余掘り量を確保した。図－8に実施余掘り断面図を示す。



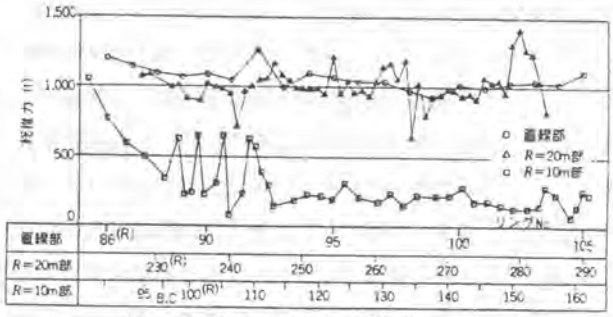
図－7　R＝10m部余掘り計画図



図－8　R＝10m部実施余掘り断面図

5－3．ジャッキ使用実績

図－9に線形条件の違いによる総推力経距変化図を示す。図より、R＝20m 部は直線部に比し特に推力差が認められないが、R＝10m部では比較的少ない推力で推移している。これは、曲線内側余掘り部の残土がR＝20m部では残留圧密されたのに比べ、R＝10m 部では掘進ごとに排出し、余掘り空間が完全に確保された為、少ない回転抵抗モーメントですみ、これが総推力に反映されたと考えている。



図－9　総推力経距変化図

6．あとがき

超急曲線施工における余掘りの難しさ、余掘り残土の取込み・排出方法、補助工法のあり方、およびシールド機中折れ機構の改善と余掘り量の軽減等、検討すべき課題は多い。しかし、比較的大断面で超急曲線施工が機械掘削方式で完工できたことは、今後、増大する超急曲線施工の試金石になりえたと確信している。最後に、施工にあたりご指導をいただいた関係各位の皆様に謝意を表します。

23．斜坑掘削へのニューアリマッククライマーの採用

鹿島建設㈱：*山口　善郷・黒岩　憲二

１．はじめに

アリマッククライマーによる切上り工法は、小口径立坑・斜坑や大口径立坑・斜坑の導坑掘削に用いられ、重力を利用して、ずり出しする点に特徴がある。この工法は、他工法（レーズボーラ，ＴＢＭ他）に比べ、大段取りを必要とせず経済的で実績もあるが、反面、人力に頼った危険な作業で、安全面、作業能力面に改良の余地を残していた。

この度、当関西電力大河内発電所新設工事の水圧管路の導坑掘削に対応するため、新型として開発されたアリマッククライマー（ＲＣＭ－６）を基に、メーカー（アリマック社）と種々検討を重ね、機械使用上の作業環境、作業能力を大巾に改善した。この改良型ニューアリマッククライマー（ＲＣＭ－６Ｓ）２台を導入し、所定の目的を十分に達しながら導坑掘削を完了することができたので、その概要を紹介する。

２．工事概要

大河内水力発電所は、関西電力㈱が、ピーク電力の需要増加に対する供給信頼度の向上と電源構成の最適化をはかるとともに火力発電所や原子力発電所を含めた電力系統総合の経済運用をはかることを目的に、図－１に示すように，姫路の北方約30kmの位置に市川水系犬見川および同小田原川支流太田川に建設中の最大出力128 万kw（32万kw×4 台）の純　揚水式発電所である。本計画は、太田川の上流部太田第一～第五ダムの五つのロックフィルダムを築造して、上部調整池とし、下部調整池のため犬見川中流分にコンクリート重力式の長谷ダムを築造して、上下部調整池間を約1,200mの可逆水路で連絡することによって有効落差395mを得て、最大使用水量382m3/sec 、最大　出力128 万kwの揚水発電所を新築するものである。

図―1 発電所位置図

３．地形地質の概要

水圧管路周辺の岩盤は、ひん岩により形成され、地表踏査や地表弾性波探査によると目だった断層、破砕帯は無いものと推定され、岩級はおおむねＣＨ級で、岩盤の弾性波速度もＰ波で5km/se程度である。

また放水路周辺の岩質は、試掘横坑調査の結果、発電所側がひん岩、下部ダム側が石英閃緑岩とな

っており（図－２参照）、その境界面は火成接触により密着し、堅硬である。なお、幅1m程度の破砕帯が１本確認されている。発電所週辺の地質は、上部ダムと同じくひん岩であるが、岩級はＣＨ級が主体で、その性質は新鮮かつ堅硬であり、破砕帯等、特に注目すべきものは存在しない。

図－2 水路縦断面図

４．水圧管路の概要

水圧管路は２条の主管路と、分岐管によって各々の主管路から分岐する計４条の枝管からなり、これらの枝管は、それぞれポンプ水車に接続される。主管路は上部付近の傾斜角15°の緩斜抗部と、その下部の傾斜角51°の斜抗部とからなり、その延長は、約690mで、内径は5mである。また枝管部は、水平で、延長約40m 、内径3.54～2.5mとなっている。（図－２，参照）

５．水圧管路の施工

一般に，水圧管路の工事は，斜抗の掘削工事に引き続いて鉄管の据付工事が付随して来ることから，発電所全体工事の中でも地下発電所の工事工程と共にクリテカルパスとなることが多く，その工事工程の確保が最重要課題となる。

当大河内発電所水圧管路工事においても，斜抗部の実掘削工程は２２．５月に制約され，これまでの同規模の水圧管路工事に比してもかなり厳しい急速施工が要求されている。

工程の確保に当たっては，工事を取り巻く諸条件を検討した結果，斜抗部の掘削工法の選定および斜抗の中間に取り付ける作業横坑の配置が，最重要項目なった。

当水圧管路斜抗のような長大斜抗（Ｌ＝６２０ｍ）の場合，その中間部に配置する工事用横坑の数，位置が，工程を大きく作用するポイントになるため，工程，経済比較安全性等々を充分に検討した結果，ＥＬ４４０よりの横坑をアプローチトンネルとして斜抗部を上部（Ｌ＝３０５ｍ）と下部（Ｌ＝３２０ｍ）に分けて施工する方法を採用した。

＜掘削工法の選定の経緯＞

従来，長大斜抗の掘削工法については，

①クライマーにて導坑を切り上り，その導坑をずり出し坑として上部より切り拡げを行う方法

②レーズボーラにて，ドリルダウンとリーミングアップによるボーリング坑をグローリホールとして上部より切り拡げを行う方法

③ＴＢＭを使用し，パイロット機にて小口径の導坑を切り上り，その導坑をずり出し坑

として上部よりリーミング機にて切り拡げを行う方法

④全断面で上部より切り下がる方法等が採用されている。

それぞれの工法についての実績と特徴は表－１に示す通りで，これまでの長大斜坑の掘削工法は，ほとんどがアリマッククライマーによる先進導坑切り拡げ工法である。

搬入斜坑－80m，上部斜坑－305m，下部斜坑－230m，の合計６切羽をいかに早く，安全に，また経済的に施工するか，当工事に課せられた制約条件を加味して，それぞれの掘削工法に当てはめて検討したのが表－２である。

よって，当工事の掘削工法は，油圧ドリフターを搭載したアリマッククライマーを使用し，440 横抗から上部斜坑の導坑を掘削後，発電所横抗からの下部斜坑の導坑を掘削する。その後，上部斜坑のトップから切り拡げジャンボにて順次切り下がって来る工法を採用した。

表－１　各工法の実績と特徴

斜抗の掘削工法	実績と特徴
レーズボーラ	1．最長実績　190m　，径1.450mm　第二沼沢立抗 2．100m以上での精度が悪い。 特に斜抗の場合方向精度の維持困難 3．コストに未確定な要素が多い。
T．B．M	1．国内での実績は、下郷地下発１件 海外では３０件程度の実績あり。 下郷地下発……Wirth 社製T.B.M 勾配37°、500m×２条 2．勾配45°以上では、特殊な支持方法の検討要 3．500m程度では、非常に割高となる。
アリマッククライマー	1．最長掘削実績　350m　（本川地下発） 2．国内外で実績多数 （参考：外国で空圧２ブームの実績有り。） 3．当工事には、最も安価、未確定要素が少ない
全断面切下り工法	1．実績　台湾電力　明湖地下発電所 2．当工事では仮設備が大きくなる。 3．工程の確保が困難

表－２　掘削工法の検討

掘削形状		導坑				全断面
工法案 / 検討項目		レーズボーラー パイロット リーミング	クライマー切上り レッグドリル ２台	クライマー切上り 油圧削岩機 １ブーム	TBM パイロット	切下り
システム上の制約		100m以上 精度に難点	振動病 酸欠	実績なし	良好な地質	工程 仮設備大
Q	品質	×	○	○	○	○
C	経済性	△	○	△	×	×
D	工程	△	△	○	△	×
S	安全性	○	×	△	○	△
適用性	延長	×	△	○	○	△
	岩質	×	○	○	△	○
総合評価		×	○	○	×	×

６．ニューアリマッククライマーの採用

従来のアリマッククライマー（STH-5 型）による切り上りは，人力に頼った危険な作業性の悪い工法であると共に，エァドリルを使用するため，さっ孔スピード，さっ孔長が小さいので掘削のスピードアップに限度があるという欠点がある。それらの問題点の改善を含めて，当工事に投入する新しいクライマーは下記に示す形状，性能を具備させるべくスェーデンのアリマック社と協議，製作に取り掛かった。

(1)さく岩機は油圧式で，かつ，ブームに搭載されたもので，さっ孔長は最大2.5m。

(2)さっ孔，コソク作業はケージ内でリモコン操作できる。

(3)ロックボルト，レールアンカー，先行ボーリングの穿孔も同様である。

(4)走行スピードは従来の5割増とする。

(5)換気，照明は従来より大幅アップにする。

(6)作業スペース，ケージ容積，積載重量は大きくする。（アリトロリーを含めて）

7．ニュアリマッククライマーの概要と特徴

当工事にて，採用・使用した本機の概要は下記の通りである。

(1)作業能率の向上

①穿孔作業において空圧のレッグドリルから油圧削岩機に変更したことにより穿孔スピード大幅に向上（0.4m/min→1.2m/min），またブーム，ガイドセルを採用したことにより，穿孔の方向性も向上している。

②ガイドレール延長作業ではガイドレールに装着したブームでレールセットができるように機械化することにより，安全性と作業能率の向上を果たしている。

③伸縮性のガイドセルの採用により，狭い切羽でガイドレールのアンカー，ロックボルトの穿孔が油圧削岩機で行える。

④発破後の換気のスピードアップおよび作業時の換気量のアップを図るため，換気管を太く（32mm→155mm ）するとともに，圧気ブロアーによる強制換気とした。

(2)作業の安全性の向上

①油圧削岩機をブームに搭載して，遠隔操作式とすることにより切羽直下での穿孔，コソク等の危険を無くした。

②後続のアリトロリーの積載量を大幅にアップ(500kg→3900kg）したことで，吹付機，合材，H鋼等の鋼材の運搬が可能となり岩質悪化等に対する対応力が増した。

③油圧削岩機のため，水抜きボーリング・先行ボーリングが容易にでき岩質変化への対応力が増した。

(3)作業環境の改善

①穿孔・コソク作業をブーム・油圧削岩機の遠隔操作式にすることで，作業員を切羽直下より解放し，振動・騒音・冠水・落石等に対し大幅に改善された。

②従来ヘッドランプ等による切羽照明が，ハロゲンランプ（500kw ×2)となり照度が増し作業をしやすくしている。

8．実績

昨年10月末，440 横抗内の基地に搬入，組み立て・試運転後，1 号上部導坑は11月14日 2 号上部導坑は11月21日より掘削を開始した。現在，掘削も完了し，下部斜坑基地にて解体中である。掘進実績は目標を大きく上回り，日進（最大12m ，平均6.6m），週進（最大54m ，平均40m ）になっている。

また，岩質変化に対しても，吹付け・フォアパイリング等の岩盤支保作業および先行・水抜きボーリングの実施が期待通りできた。

24．岩盤と粘性土の多層地盤対応型シールド機

鹿島建設㈱：岡田　貞夫・*中田　久也
武冨　宣夫

1．はじめに

本工事は、奈良県の大和川流域の下水道整備事業の一環として計画された工事である。シールド工事延長約１５００ｍ、仕上がり内径φ１３５０ｍｍの下水道管渠築造工事であるが、延長の約１／３は、一軸圧縮強度１７０～５００kg／㎠の花崗閃緑岩であり、その前後には沖積砂礫層、沖積粘性土層および洪積粘性土層がある。このような多層地質を１台のシールド機で掘削することは、困難が予想されたが、種々の工夫のにより無事工事が完了したのでシールド機を設計する上で留意した点、工事実績を報告する。

2．概要

奈良県王子滝川幹線第１号工事は、奈良県北西部の北葛城群王子町から上牧町に至る約１５００ｍの区間に泥土圧シールド工法によって、下水管渠を築造する工事である。

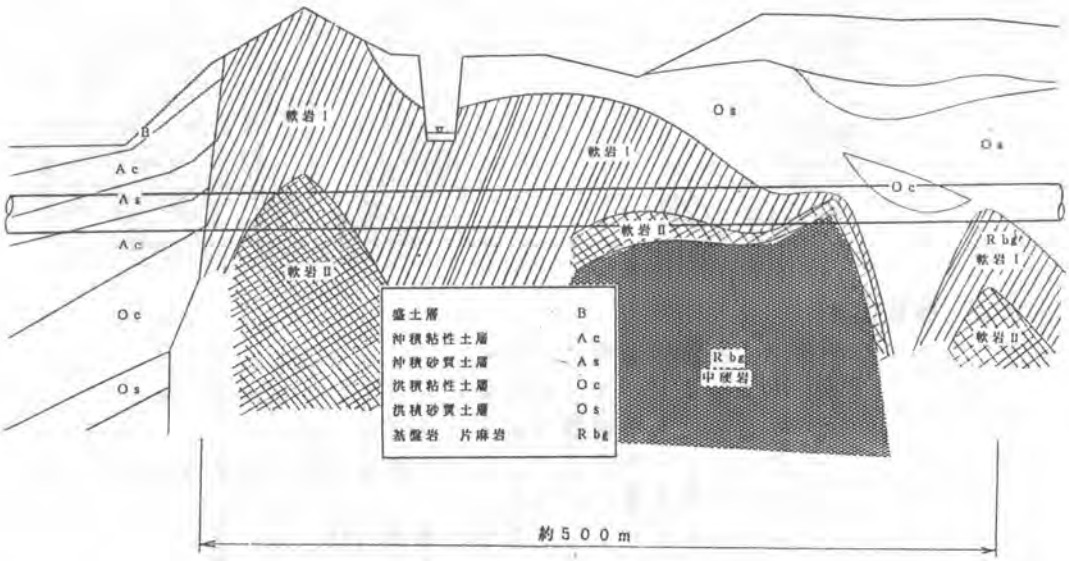
（工事諸元）

シールド外径　：　φ２１４０ｍｍ
セグメント外径　：　φ２０００ｍｍ

仕上がり内径	：	φ１３５０ｍｍ
一次覆工延長	：	１４８３ｍ
土質	：	花崗岩、閃緑岩、片麻岩 （中硬岩～風化岩） 沖積砂礫、洪積粘土
岩の一軸圧縮強度	：	１７２～４９１kg／㎠
N値	：	粘土部　１０～４５ 砂礫部　４５～５０以上
土被り	：	４．５～１５ｍ
地下水位	：	ＧＬ－１．５～４．２５ｍ
勾配	：	２／１０００
曲率半径	：	岩盤部　１００ｍＲ、２６０ｍＲ 土砂部　６０ｍＲ、７０ｍＲ

３．地質概要

図－１　岩盤部地質縦断図



4．基本計画

（1）シールド掘進機型式

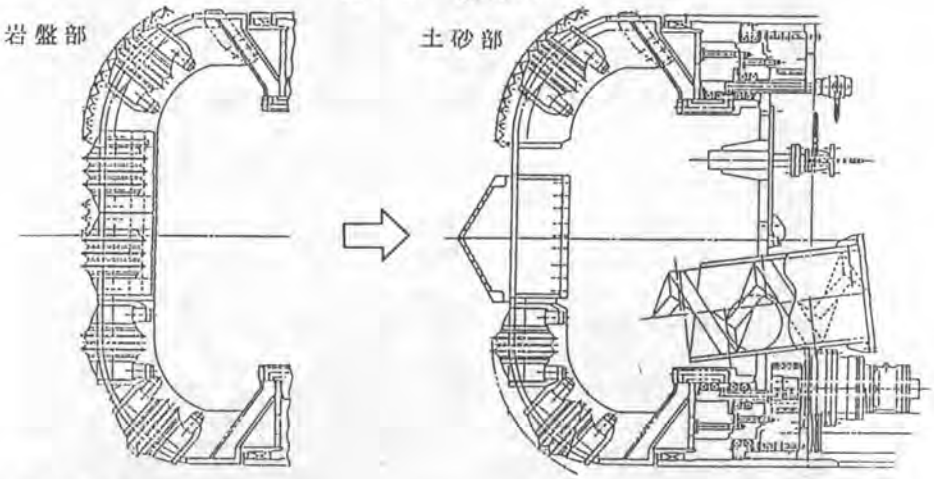
シールド掘進機を設計するにあたって下記の点に留意した。

a．　中硬岩（圧縮強度５００kg／㎠）から強風化帯の岩盤部の掘削ができる様、ドーム型カッタヘッド削土密閉式シールド機とし、削土の取り込みを損なわなない範囲で、可能な限りディスクカッタを取り付けた。

b．　岩盤部での曲線施工においては、コピーカッタやオーバカッタによる余掘りが不可能なため、アーティキュレート装置により余掘り量をディスクカッタのオーバカット量以内にするとともに、Ｌ／Ｄ（マシン長／マシン外径）を小さくし、機械をカーブに沿わせやすくした。

c．　洪積粘性土掘削区間では、カッタヘッド面板部や開口部に粘性土が付着し閉塞状態となる事態が生じるため、センター部をディスクカッタからアローヘッドに換装し、土砂の掘削性、流動性を高めた。（図－２）

図－２　換装工



（2）機械性能

a．所要推力（岩盤掘削時）：Ｔｈ

Ｔｈ＝（Ｎ×Ｐ）＋（Ｗ×μ）　（ｔ）

Ｎ：カッタ装備数（２２リング）

Ｐ：カッタ荷重／リング（実績より１２．８ｔ）

Ｗ：本体重量（４０ｔ）

μ：スキンプレートと岩の摩擦抵抗（０．２）

Ｔｈ＝（２２×１２．８）＋（４０×０．２）＝２９０（ｔ）

したがって装備推力は岩盤部での曲線施工時シールドジャッキの片押しなども考慮して４００～４８０ｔとした。

b．カッタトルク

Ｔｃ＝ｆ×Ｐ×Ｎ×ｒ　　（ｔ－ｍ）

ｆ：ディスクカッタ転動抵抗係数（０．１５）

ｒ：カッタ軌跡の平均半径（０．６４ｍ）

Ｔｃ＝０．１５×１２．８×２２×０．６４＝２７．０３（t-m）

装備トルクは、粘性土部での付着を考慮し３０％程度の余裕を持たせ、３５ｔ－ｍ以上とした。

c．掘進速度

ｖ＝Ｐｅ×Ｎ　　（cm/min）

Ｐｅ：ディスクカッタ切り込み深さ（cm/rev）

ＴＢＭの実績より一軸圧縮強度500kg/㎠の岩盤では

Ｐｅ＝０．３（cm/rev）

Ｎ　：カッタヘッド回転数（３．２rpm）

ｖ＝０．３８×３．２＝１．２２（cm/min）

５．工事実績

（１）シールド掘進工

	土　圧	ｶｯﾀﾄﾙｸ	推　力	備　考
沖積砂礫層	0.7kg/㎠	１７ t-m	90kg/㎠	
岩区間（硬質層）	０	２５	１２０	ｼﾞｬｯｷ速度1cm 以下
岩区間（風化帯）	0.5	２２	１００	湧水多し
洪積粘土層	0.3	２０	５０	

６．あとがき

粘性土と岩盤を比較すると、全く異なった性質を持った地質に一見思えるが、当地質を密閉式シールド機によって掘削を行う場合、切削機構の考え方排土方法やシールド機に必要な能力等共通する部分が多かった。

特に岩盤掘削の際は岩強度によってディスクカッタの切り込み深さが定まってしまうためカッター回転数を上げることが重要である。また、このことが粘性土の掘削時にも有利に働き、当初予想よりも掘進速度を向上させることができた。

25．水底砂質土の掘削

京都大学：畠　昭治郎

1．砂地盤掘削

水底に入る前に，まず地上での砂質土の掘削について述べる。掘削抵抗を土圧論で解くことは困難である。理由は土圧論では刃面上の抵抗分布が三角形分布であるが，実際は刃の下端で応力集中が生じて三角形分布にならない。もう一つの理由は，土の特性値cやφの正確な掘削時の値を測定することができず，計算方式も確立していない。従って，著者は約38年前から，図－１に示すような比掘削抵抗Rsを用い，実抵抗がこれに正比例することを実験的に求め，次のような実験式を導いている。

$$H\alpha = 1.8 \cdot Rs \cdot B \cdot t^2 \cdot 10^{-m\alpha},\quad V\alpha = H\alpha \cdot \tan(\delta - \alpha) \quad \cdots\cdots (1)$$

ここで，$H\alpha$，$V\alpha$はそれぞれ，すくい角αのときの掘削抵抗水平分力および鉛直分力，Bは刃幅，tは掘削深さ，mはαをラジアンで表わしたとき 0.45 の値を取る。δは刃面と土との間の摩擦角である。比掘削抵抗Rs は次のような性質をもっている。

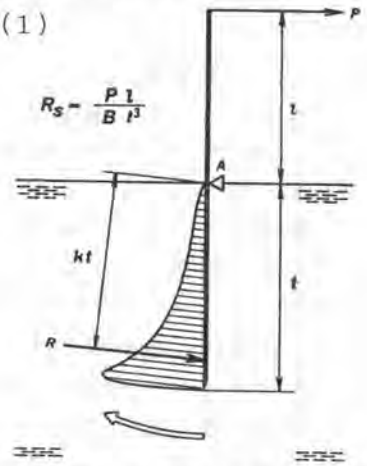
(i)　均質な砂質土では深さに無関係に一定値を取る。

(ii) 相対密度に比例し，粒度分布のよい角ばった砂ほど大きい。

(iii)水中のRs を直接測定することはできないが，１５％粒径 D_{15}，平均粒径 D_{50} および８５％粒径 D_{85} をもとめることによって図－２で推定できる。ただし，

$$\overline{R} = (D_{15}/D_{50})^2 \cdot (D_{50}/D_{85})$$

従って，粒度分析を確実に行うことができれば，水底のRs を推定することができる。



図－１ 比掘削抵抗 Rs の測定方法

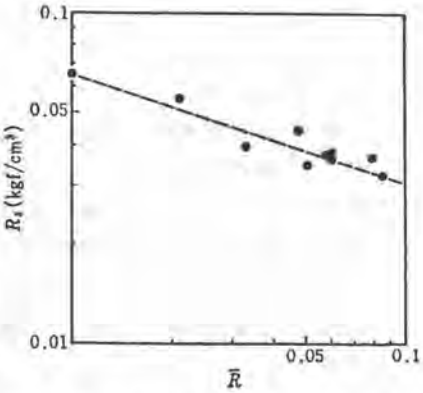
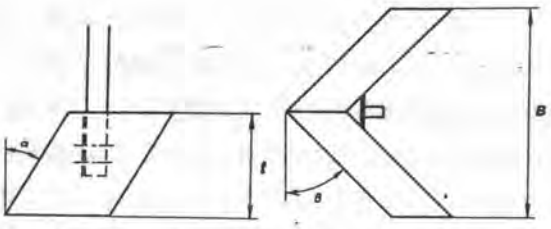


図-２　粒度分布からのRs の推定

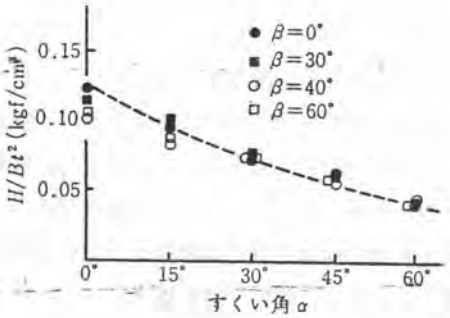
2．水底砂地盤掘削

水底砂質土の掘削において，水深は無関係と考えられるから，深さ１ﾒｰﾄﾙ，長さ５ﾒｰﾄﾙ，幅２ﾒｰﾄﾙの水槽に砂質土と水を入れ，図－３に示すような刃の模型で掘削実験を行った結果を図－４に示す。図中の破線は(1)式によるもので，水中においても水中のRs を用いれば(1)式によって推定できることが証明された。このとき用いた刃の模型は，すくい角αを0°，

30°,40°および60°,横すくい角βを0°,30°,40°および60°,幅を100,150,200,250 および300, 高さを100, 150,および200 の3段階, 総計数百枚を用い, 刃の上端が常に地表面と一致するようにセットしてから3cm/sec くらいの掘削速度で実験を行ったものであり, 図－4はそれらの平均値をプロットしている。



図－3　すくい角α, 横すくい角βの影響をみるために用いた刃の形状



図－4　掘削抵抗に及ぼすα, βの影響

3. 多 段 刃

(1)式にみられるように砂質土の場合, 掘削抵抗は掘削深さの自乗に比例するから, 所用深さを1段刃で掘らず多段刃で掘ることが有効と考えられる。いま, Rs の値は深さに拘らず一定であるから, αを固定すれば, 幅B, 深さtの溝を掘るときの抵抗は

$$H_1 = K \cdot B \cdot t^2 \quad (\text{但し, } K = 1.8 \cdot Rs \cdot 10^{-0.45\alpha})$$

となる。次にn枚の刃でそれぞれt／nずつ掘って行くとき, 最後尾の刃幅をB, その前段の刃幅が等差級数的に増え, 先行刃の堀り取った砂が後続刃に負担をかけないとすれば, 全抵抗Hn は

$$Hn = K\,(t/n)^2 \left\{ nB + \frac{n(n-1)}{2} a \right\}$$

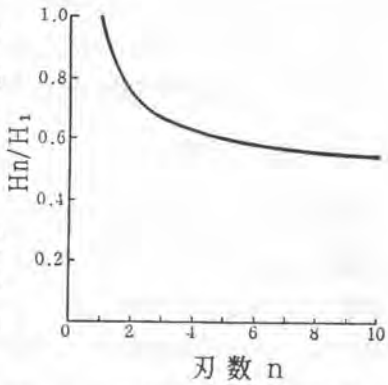
ここで, aは前後の刃幅の差である。

$$\frac{Hn}{H_1} = \frac{1}{n} + \frac{(n-1)}{2n}\frac{a}{B}$$

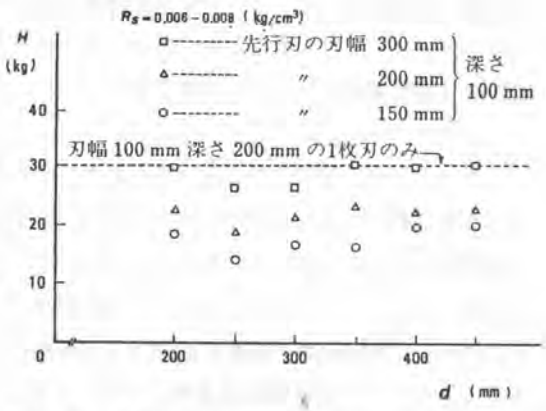
仮にa＝Bとすれば

$$\frac{Hn}{H_1} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2n}$$

となり, 多段刃の方が抵抗が小さくなることがわかる（図－5）。図－6は後段刃としてB=100mm, t＝200mm を前段刃としてt＝100mm 一定, 刃幅B＝150,200,300mm の3種をおき, 両刃の間隔dを変えたとき全抵抗がどうなるかを示したものである。破線は後段刃のみのときの抵抗を示す。



図－5　掘削抵抗と刃数nの関係



図－6　全掘削抵抗Hと2枚刃刃間距離dの関係

この図から，前段の刃幅は150で間隔dは250のとき最小値を示すことがわかる。

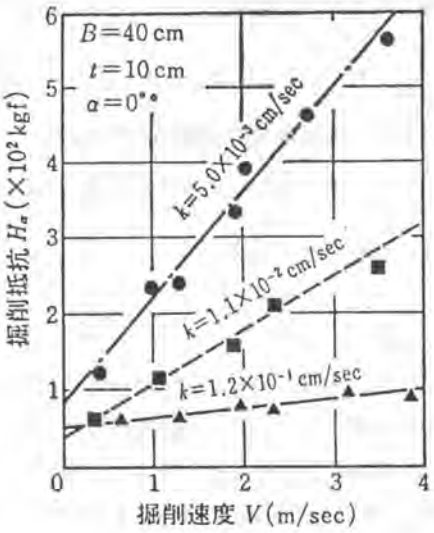
4．水 の 影 響

著者は二十数年前にポンプ船のカッターの掘削を研究したことがあり，その際水の影響が著しいことに驚いた経験をもっている。本来，砂質土が乾燥もしくは湿潤状態にあるとき，1～2m/sec 程度の掘削速度に対しその掘削抵抗はあまり変化しないものである。しかしながら，一旦水底に堆積した状態になると，速度・抵抗特性は急変する。すなわち，掘削抵抗は掘削速度に比例して急増するようになる。この理由については次のように考えた。砂質土がせん断されるとき，もとの密度によって体積が膨張したり，収縮したりする。この現象はダイレイタンシーという名称でよく知られている。また，このとき，せん断変形前後で全く体積変化がないようなもとの密度を，限界密度といっている。水底に堆積した砂質土は一般に，限界密度を越えているから，せん断時に体積膨張をおこす。水中で急激な膨張をおこすとその部分に負の間隙水圧が発生する。つまり，その部分の間隙水圧が，体積変形をおこしていないまわりの部分よりも低くなる。掘削速度が小さいときには，砂の透水係数が大きいため，まわりから直ちに水が流入して，この間隙水圧をもとの値に戻すであろう。しかし，掘削速度が大きくなって，透水係数の 10～100倍に達すると，まわりから水が流入してくるヒマがなくなり，低間隙水圧はそのまま保存される。こうなると砂粒子同志の押し付け力が大きくなり，したがってせん断抵抗，ひいては掘削抵抗も増大する。この推論が正しければ掘削抵抗は掘削速度に比例し，透水係数に逆比例することになる。

5．実 証 実 験

掘削速度を4～5m/sec まで上げると，かなり長い距離を掘削しないと安定した値は得られない。そこで，粘性土地盤上に，長さ30m，幅3m，深さ1m のピットを掘り，その中にある一定の透水係数をもった砂質土を60cm深さに入れて平に均し，さらにその上に水を張ったものを用意した。その上を両側に幅の広いソリを持った掘削装置をのせ，この装置には掘削刃（図－3），抵抗・速度測定装置を積み，全体をジープで曳行することにした。このような装置で砂試料を3種類変えて実験した結果を図－7に示すが前節で述べた推論の正しいことを示している。

ここで，一つの疑問点がある。すなわち，負の間隙水圧というのは最大1気圧（真空）であるから，掘削速度による掘削抵抗の増大も頭打ちになるのではないかということである。しかし，よく考えてみると，掘削抵抗には上述のものの他に，掘削速度の自乗に比例する流体抵抗が作用する筈である。この流体抵抗は速度の小さいときには殆ど現われないが，速度が大きくなるに従ってどんどん増大する



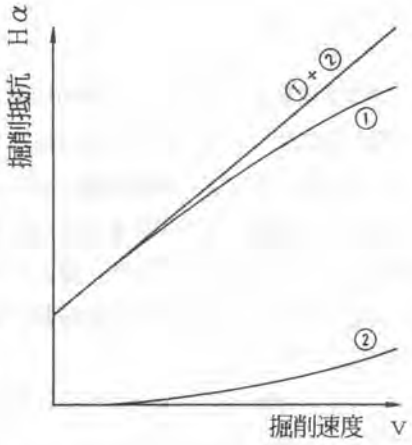
図－7　掘削抵抗と掘削速度との関係

ので，これらの和として考えると，掘削抵抗は土こまでも速度に比例して増大する（図－８）と思われる。つまり，図中の 1 がダイレタンシーによる抵抗増加，2 が流体抵抗によるもので，全体としてその和になるというものである。

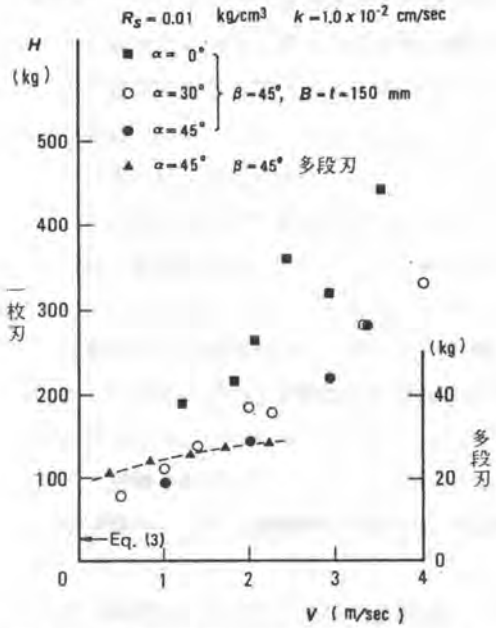
６．掘削速度の影響を低減する方法

３節で多段刃について詳述したが，これを用いて種々の実験を重ねるうちに重大なことに気が付いた。それは他の一段刃と異なり，多段刃の場合は掘削速度の影響をあまり受けないことである。すなわち，図－９のようになることである。この理由について考察した結果，１枚刃のときは自由水面からせん断面までの距離が大きく，従って負の間隙水圧を消すために流入する水の抵抗が大きいが，多段刃のときはそれぞれの刃が負担する掘削深さが小さいため，水の流入抵抗も小さく，従ってそれほど掘削速度に対して敏感ではないのではなかろうか。

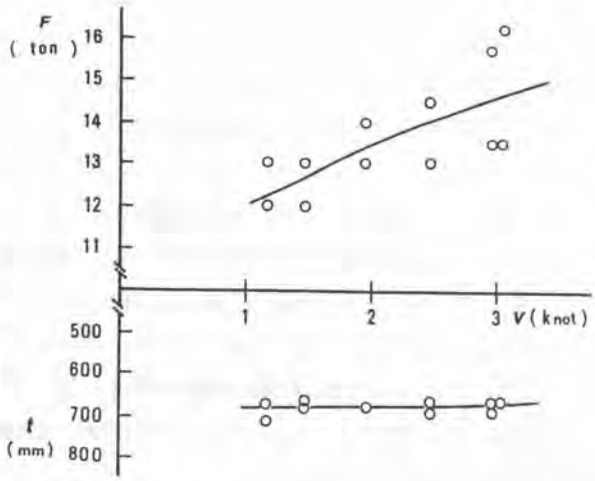
実物大のものを用いた実験は図－１０のようになり，掘削速度が大きくなると抵抗が漸増し，深さが少し浅くなる様子がよくわかる。



図－８　掘削抵抗に及ぼす速度の影響



図－９　水底砂地盤の掘削抵抗Ｈと掘削速度ｖ



図－１０　海浜実験結果（ＫＤＤによる）

参考文献：畠昭治郎著「建設機械学」鹿島出版会発行，1987年

26．ロングスロープ切削機能を備えた路面切削機による施工

酒井重工業㈱：岸　幸雄

1．はじめに

道路交通量の増大に伴い、路面切削工事は年々増加の傾向にある。一方、道路工事に伴う交通渋滞を最小限に留めるべく施工時間の短縮が求められ、より効率の良い施工が望まれている。

この様な状況下で、路面切削の方法は単に一定の深さを削るのみに留まらず道路縦断方向で徐々に切削深さを変化させる事を要求される事も多く、オペレータの負担は増大する一方となっており、自動化による施工の効率化が強く望まれていた。従来、切削深さを一定に保つ為の自動、所謂ならい切削は広く行われて来たが、道路縦断方向で徐々に切削深さを変化させて行くという切削の自動化はなされていなかった。

この度、道路縦断方向で切削深さを徐々に自動的に変化させる事が出来るロングスロープ切削機能を備えた路面切削機が開発されたので、この機能を使った路面切削の施工方法について紹介する。

2．ロングスロープ切削機能

路面切削を行うに当たり、わだち等による道路横断方向の不陸修正に限らず、道路縦断方向、即ち路面切削機の進行方向での路面の起伏を路面切削に合わせて修正する事が良く行われる。この場合、道路縦断方向の20m毎に測点を設け、各測点毎に路面切削機の切削幅の左側と右側の切削深さをそれぞれ指定されるのが一般的である。そして、一つの測点から次の測点までの間は路面切削機の進行に合わせて切削深さを徐々に変えて行く事が要求される。この切削深さのコントロールは、路面切削機の進行に合わせてオペレータが目視により行っている。即ち、二つの測点の中間点においては、二つの測点間をどれだけの距離だけ路面切削機が進んで来たかにより、その時点での所望切削深さを二つの測点で指定された切削深さから割り出し、常に所望の切削深さになる様に、路面切削機の進行に合わせてオペレータは手動操作により切削深さをコントロールしている。

しかし、現実には各測点の指定切削深さは切削幅の左側と右側で異なった値を指定される事も多くオペレータは左側と右側の両方について切削機の進行距離と切削深さの関係を計算しながら、左右それぞれ独立に切削深さをコントロールしなければならない。したがって、オペレータの負担は非常に大きな物となっており施工時間の短縮の弊害となっていた。　このオペレータの負担を軽減し、施工時間の短縮を図る為に、ロングスロープ切削機能（道路縦断方向勾配切削機能）による自動切削が可能な路面切削機が開発された。

このロングスロープ切削機能によれば、オペレータは一つの測点から次の測点までの距離と次の測点での左右の所望切削深さをそれぞれ入力してスタートスイッチを押すだけで、二つの測点の中間地点での切削深さは路面切削機の進行に伴ってコンピュータにより自動的に制御される。

ロングスロープ切削機能の表示部及び操作部を図1及び図2に示す。

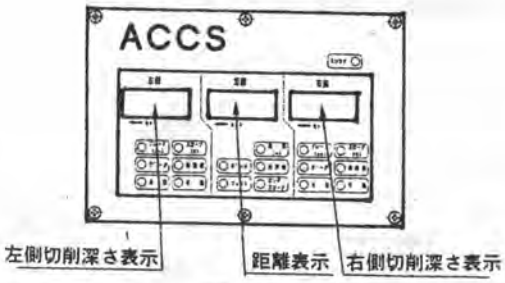


図 1

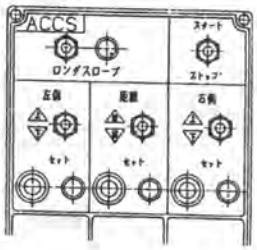


図 2

3．ロングスロープ切削機能による施工方法

ロングスロープ切削機能を使った施工方法を幾つかの施工例を基に説明する。

施工例1．20m毎に測点が設けられて各測点における左右の切削深さが指定される場合。（図3）

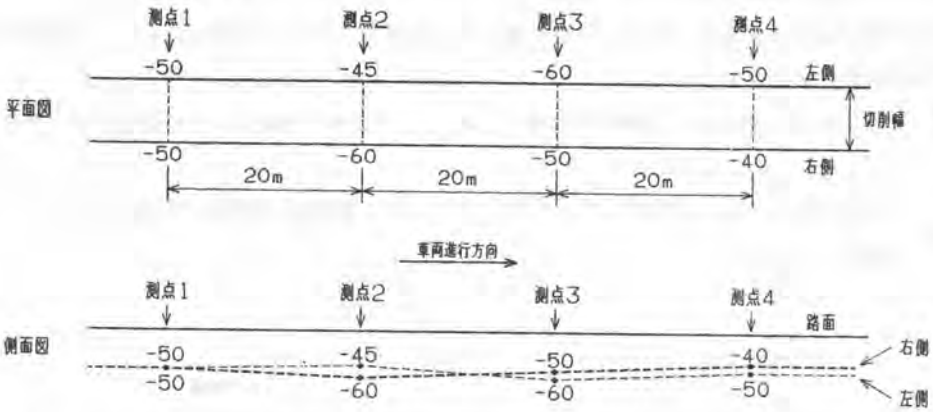


図 3

1．測点1において左右切削深さを手動にて－50mmに合わせ、ロングスロープの距離を20mに、測点2における左側所望切削深さを－45mmに、同じく右側所望切削深さを－60mmにセットし、ロングスロープのスタートスイッチを押す。

2．路面切削機を前進させると、スタートスイッチを押した時の切削深さから予め入力した測点2の左右所望切削深さに向かって、路面切削機の進行に伴って切削深さが自動的に変化する。

3．測点1と測点2の間を自動で切削している間に、次の測点3の所望切削深さ（左側－60mm，右側－50mm）を入力する。この時、距離は前回と同じ20mであるので改めて入力する必要はない。

ちなみに、所望切削深さも、前回と同じである場合はやはり改めて入力する必要は無く、変更の必要がある数値のみを変更すれば良い。変更がなされなかった場合は前回と同じと認識される。

4．測点2に到達した時にスタートスイッチを押す事により、その瞬間の切削深さから測点3の所望切削深さに向かって路面切削機の進行に伴って切削深さが自動的に変化して行く。

5．測点2と測点3の間を自動で切削している間に、次の測点4の所望切削深さを入力し測点3に到達した時にスタートスイッチを押す。

6．以後、同じ手順を繰り返す事により連続的にロングスロープ切削機能を使った切削が行える。

施工例２．切削開始地点においてスリツケを行う場合。（図４）

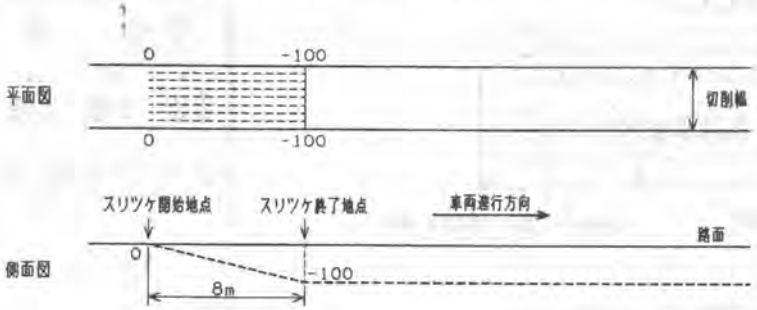


図 4

1．スリツケ開始地点において手動にて左右の切削深さを０㎜に合わせ、距離を８ｍに、左右の目標切削深さを－100㎜ にそれぞれセットしてロングスローブのスタートスイッチを押す。

2．路面切削機を前進させると、スリツケ終了地点の目標深さである－100㎜(左右共) に向かって、切削深さが自動的に変化する。

3．スリツケ終了地点を過ぎると、最終目的深さであった－100㎜ を保つならい切削に移行する。

施工例３．切削開始地点において既にスリツケがなされている切削面に隣接して同様のスリツケを行う場合。（図５）

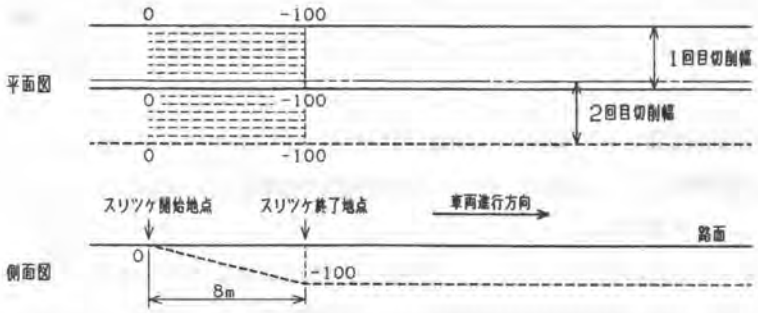


図 5

1．スリツケ開始地点において手動にて左右の切削深さを０㎜に合わせ、距離を８ｍに、左側の目標切削深さを０㎜に（切削深さの基準を既に削られた路面から取る為に左側の目標切削深さは-100㎜では無く０㎜となる)、右側の目標切削深さを-100㎜にセットしてスタートスイッチを押す。

2．路面切削機を前進させると、スリツケ終了地点の目標深さ（左０㎜，右-100㎜）に向かって、路面切削機の進行に伴って切削深さが自動的に変化する。この時、左側については既に削られた面に対して同一レベルを保つべく自動制御が行われる事になる。

3．スリツケ終了地点を過ぎると、左側は既に切削済みの路面に対して切削深さ０㎜を維持し、右側は最終目的深さであった-100㎜を維持するならい切削に自動的に移行する。

施工例４．切削終了地点においてスリツケを行う場合。（図６）

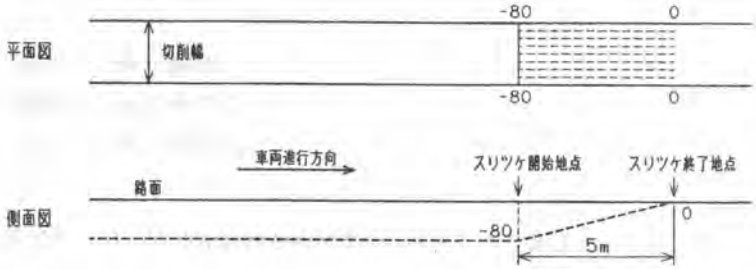


図 6

1．スリツケ開始地点に到達するまでに、ロングスローブの距離を５ｍに、左右の目標切削深さをそれぞれ０㎜にセットする。

2．スリツケ開始地点においてロングスローブのスタートスイッチを押すと、この時点での実際の切削深さから、５ｍ前方での左右０㎜に向かって切削機の進行に伴い切削深さが自動的に変化する。

3．スリツケ終了地点を過ぎると、最終目的深さであった０㎜を保つならい切削に移行する。

施工例５．切削終了地点において既にスリツケがなされている切削面に隣接して同様のスリツケを行う場合。（図７）

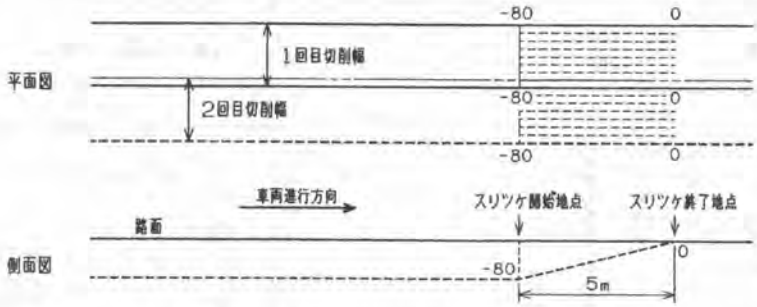


図 7

1．スリツケ開始地点に到達するまでに、ロングスローブの距離を５ｍに、左右の目標切削深さをそれぞれ０㎜にセットする。

2．スリツケ開始地点においてロングスローブのスタートスイッチを押すと、この時点での実際の切削深さから、５ｍ前方での左右０㎜に向かって切削機の進行に伴い切削深さが自動的に変化する。

3．スリツケ終了地点を過ぎると、最終目的深さであった０㎜を保つならい切削に移行する。

５．あとがき

今回のロングスローブ切削機能は、各スパン毎に切削深さを入力してスタートスイッチを押す方式としたが複数のスパンのデータを一度に入力しておく事も技術的には可能である。しかし、合計距離が長くなればそれだけ距離の累積誤差が大きくなり、結果的に目標位置での所望切削深さが得難くなる．したがって、今回は各スパン毎にデータを入力してスタートスイッチを押すという方式を取った。

27．ディープ・バイブロ工法の実証実験

㈱間　組：*三原　正哉
日本海工㈱：　豊澤　良二
青山機工㈱：　末広　修三

1．ま　え　が　き

ここに紹介する「ディープ・バイブロ工法」は、西ドイツで開発されたもので、ロッド先端に取り付けた大容量バイブレータを用いて、地盤や供給される中詰め材を水平方向に振動締固めすることにより、軟弱地盤を改良するものである。

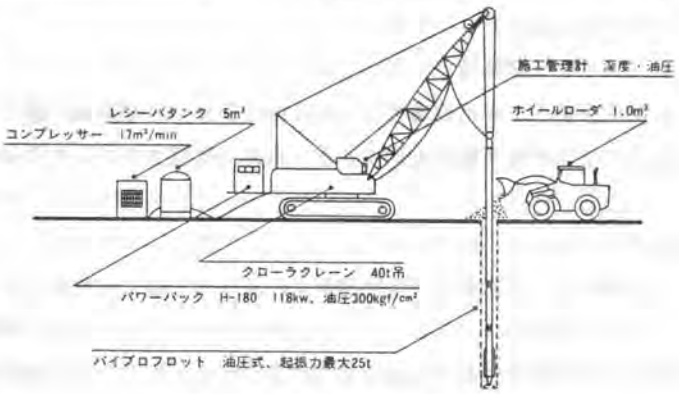
本工法を日本に導入するにあたり、日本での施工条件等を考慮し、特に低公害型工法の観点から、機械および施工法に改良を加え、その適用性を現場実験などを実施し確認したので、その概要を紹介する。

2．開発の背景

本工法と同様な工法としてわが国ではバイブロフローテーション工法があるが、他の振動締固め工法に比較して改良効果が低いこと、貫入・中詰め材供給の補助として多量の水を使用するため（ディープ・バイブロ工法においても海外の施工ではほとんど水を使用している）、排水処理に問題があることや中詰め材として礫材しか使用できないなどの問題があり、近年施工実績が減少している。　表－１は、バイブロフロットの容量を本工法のものと現在日本で使用されているバイブロフローテーション工法のものを比較したものであり、本工法の方が、起振力で４～８倍もある。また、筆者らは、起振力が２５tonf程度あれば、水を使用しなくても圧縮空気を補助として使用することにより、地盤改良が必要な地盤では貫入可能と判断し、施工環境に問題のない水の代わりにエアを使用する施工法の開発を進めることとした。水を使用しないため、中詰め材として砂の使用も可能となり、コストダウンにもつながる。

表－１　バイブロフロットの諸元　（文献１）を修正、加筆）

諸　　元	バイブロフローテーション（日本国内）		ディープ・バイブロ工法
モータータイプ	15HP型	30HP型	150 HP
電動機（KW）	11	22	118（油圧式）
振動機（rpm）	1420	1420	1500～max 3000
起振力（tonf）	2.5	5.1	約 25
起振点振幅（mm）	4～5	6～7	14
全重量（tonf）	1.7	4.3	振動部＋アイソレータ　1.3 tonf 延長パイプ　0.22 tonf/m
有効長（m）	7	15	実績　max　30
ケーシング外径（mm）	φ 319	φ 381	振動部　φ 325
フィン外径（mm）	φ 469	φ 500	延長パイプ　φ 300
モーター取付位置	本体上部	本体内蔵下部	本体内蔵下部
構造	同左	継足式	継足式



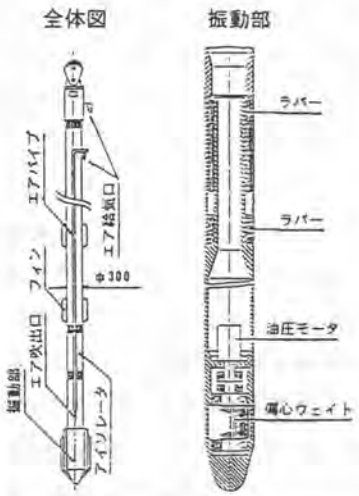
図－１　施工機械の構成

3．ディープ・バイブロ工法の概要

本工法は砂質土の深層締固め工法の一つである振動締固め工法の一つに分類されるものであり、振動方向が水平

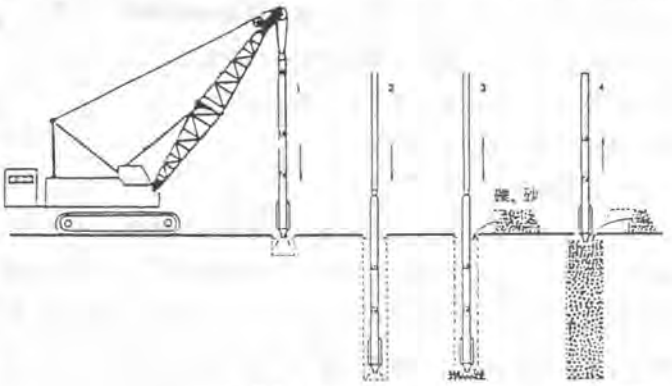
方向であること、中詰め材を地表面から供給する方法であることが特徴である。また、改良目的としては、緩い砂地盤や礫質地盤の地震時の液状化抵抗の増加、沈下量の低減、支持力の増加などがあげられる。施工機械の構成を図－１に示す。

振動締固めの源となるバイブロフロットの形状を図－２に示す。バイブロフロットは、先端部に偏心ウエイトがあり、これをその直上部にある油圧モータで回転させることにより、バイブロフロットを水平方向に振動させる仕組みになっている。また、先端振動部には、幅１５cmのフィンが二枚取り付けられており、偏心ウエイトの回転運動に伴うバイブロフロット自体の回転を防止するだけでなく、地盤への振動伝達を高める働きを持っている。先端部には、中空の延長チューブを通し、エアーが供給され、先端ノズルから噴出される。この振動体の上部には、図－２に示すように、上下に硬質のラバーが取り付けられたアイソレータと呼ばれる振動絶縁装置が接続されており、振動部の振動を上部の延長チューブに伝達しない機構となっている。



図－２　バイブロフロットの形状

さらに、今回のエアを使用した施工法の開発にあたり、延長チューブの外側に２本のエアパイプとフィンを新たに取り付けた（図－２参照）。延長チューブの外側に取り付けたエアパイプは、バイブロフロットの貫入によって生じた孔壁を、パイプ先端から圧縮空気を噴出することにより孔径を大きくする機能を有している。一方、フィンの役割は、孔壁の拡大およびエアの地表への逃げ道の確保である。



1. 杭芯セット　2. 貫入　3. 引上げ、中詰め材投入　4. 中詰材締固め
3.4の作業を繰り返しながら、所定面まで仕上げる。
図－３　施工方法

本工法の施工法を図－３に示すが、先端部で駆動する振動体で、締固めが必要な地盤を、所定の深さで直接締め固めることができ、締固め効率が高い。

施工時の管理は、バイブロフロットの深度および油圧モータの圧力を、施工管理計により自動記録していく。バイブロフロットの締固め時においては、油圧力が２００kg/cm^{2}以上になることを一つの目安としている。中詰め材の投入量は、ホイールローダのバケット回数より算出する。

４．現場実験

（１）実験の概要

改良開発したディープ・バイブロ工法の有効性を調査するため、現場実験を実施した。

実験サイトは千葉県の東京湾岸埋立て地であり、表層１．５ｍはＮ値が１５程度と高いが、その下深度７ｍ程度まではほとんどＮ値１０以下の緩い砂層となっており、一部粘性土層が狭在する。

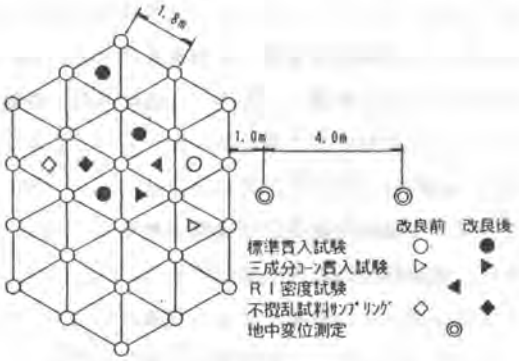
ディープ・バイブロ工法（以下D．V工法と呼ぶ）の施工法は、今回改良開発したエアを用いる方法である。また、他の振動締固め工法との比較を行うため、サンドコンパクションパイル工法（バイブロ容量１５０kwを使用、以下S．C．P工法と呼ぶ）による地盤改良も行った。

実験ケースは、S．C．P工法を含め全部で４ケースであり、D．V工法では、打設ピッチの影響を調査するため打設ピッチを３種類とした。改良深度はG.L－９ｍまでとし、表層２ｍの締固めは行っていない。実験ケースの一覧を表－２に示す。また、中詰材としては、全て砂を使用した。

表－２　実験ケースの一覧

ケース	改良工法	打設配置	打設数	調査項目
ケース１	D.V工法	1.8m正三角形配置	２４本	S.P.T，C.P.T 密度，サンプリング 地中変位，騒音・振動
ケース２	D.V工法	2.3m正三角形配置	２２本	S.P.T，C.P.T 密度，サンプリング
ケース３	D.V工法	2.7m正三角形配置	２２本	S.P.T，C.P.T 密度，サンプリング
ケース４	S.C.P工法	1.8m正三角形配置	２４本	S.P.T，C.P.T 密度，サンプリング 地中変位，騒音・振動

調査項目は、改良前後での標準貫入試験、ＲＩ密度検層などを行っている。また、施工環境や地盤変状を調査するため、振動・騒音測定、地中変位測定なども行っている。図－４に、１例としてケース１の調査位置を示す。



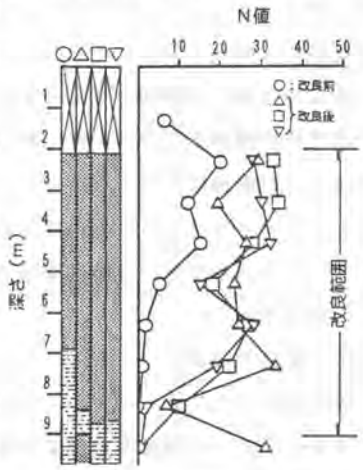
図－４　調査位置（ケース１）

（２）実験結果

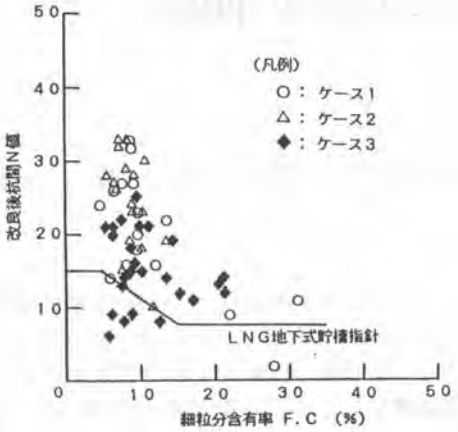
D．V工法により改良した地盤での標準貫入試験結果の１例として、打設ピッチ２．３ｍの場合（ケース２）を図－５に示す。改良後の標準貫入試験は全て杭間で実施したものである。S．C．P工法を含め、改良後のN値は細粒分の多少によって大きく異なってくる。そこで、横軸に細粒分含有率、縦軸に改良後杭間N値をとったグラフによって、改良効果を比較した。図－６は、D．V工法による打設ピッチの影響を見たものである。図には、１つの例ではあるが、ＬＮＧ地下式貯槽指針[2]に示されている「液状化を生じる土の細粒分含有率と限界N値」の関係を表示している。この図から判断すると，今回の地盤では，打設ピッチ２．７ｍはやや広すぎるが，ピッチ２．３ｍまでなら十分改良効果があることがわかる。図－７は同じピッチ（打設ピッチ１．８ｍ）で打設したD．V工法とS．C．P工法の改良後N値を比較したものであり，両者ではほとんど差がないことがわかる。

図－８は，ケース１とケース４の改良後の地中変位を示したものである．土層構成から判断すると，ケース１，４とも粘性土層が存在している深度で最大の変位が生じているが、全体の傾向としては，D．V工法による地中変位はS．C．P工法の約６割である．

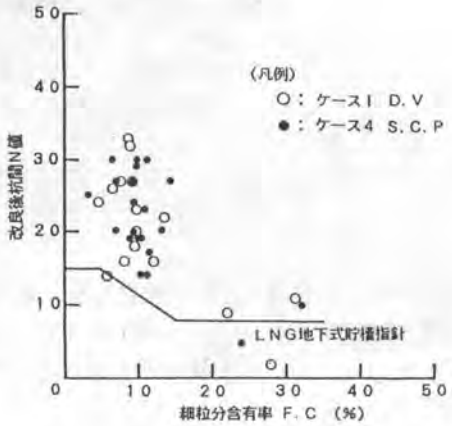
図－９は，D．V工法とS．C．P工法の振動・騒音を比較したものであり，D．V工法の方が１０ｄＢ以上低振動・低騒音であることがわかる．特に、振動に関しては、距離減衰がD．V工法では



図－５　標準貫入試験結果(ｹｰｽ2)



図－6　改良効果（その1）



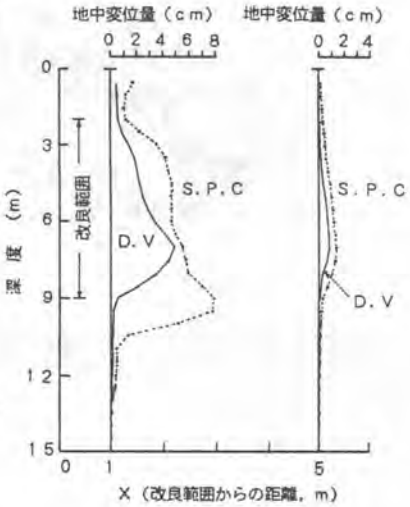
図－7　改良効果（その2）

顕著である。この理由として、D．V工法の振動数は50Hzであり、S．C．P工法の場合よりもかなり高周波であるためと考えられる

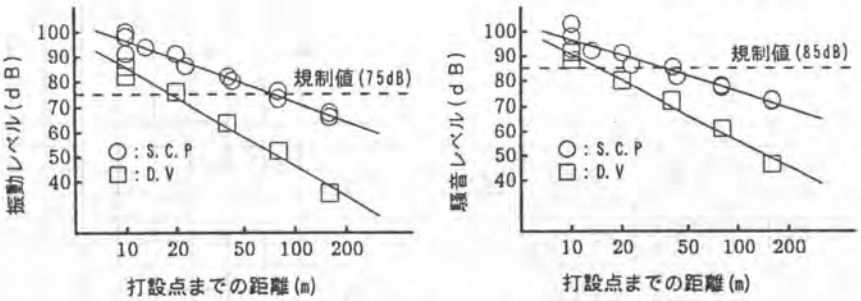
5．あ　と　が　き

ディープ・バイブロ工法を日本へ導入するにあたり、日本での施工条件等を考慮し、低公害型工法の観点から、機械および施工法に改良を加え、その適用性を現場実験などを実施し検討した。その結果、十分な締固め効果を有するとともに、施工環境も良好で低振動・低騒音な工法であることを確認した。

また、本工法で使用する施工機はコンパクトであることから、市街地での、液状化対策に代表されるような砂質系地盤の地盤改良に威力を発揮するものと考えている。



図－8　地中変位の測定結果



図－9　振動・騒音測定結果

《参考文献》

1）田中誠一：3．地盤改良工法　③バイブロフローテーション工法、基礎工、1976．5

2）日本瓦斯協会天然ガス用貯槽保安調査委員会：LNG地下式貯槽指針，1978．

28. 小型ブル用ゴム履帯の開発

㈱小松製作所：吉田　和宏・*堀　　一俊

1. まえがき

近年、都市再開発・住宅環境整備等、都市における土木工事が増加しているが、現在これに適合する建設機械としてゴム履帯装着のミニパワーショベル、小型パワーショベルが好評を得ている。これは、ゴム履帯の「舗装路を傷めない」「低振動・低騒音」等の特長が評価された結果であるが、今回さらに当社では都市土木用建設機械として、小型ブルドーザ(以下 小型ブルと記す)にゴム履帯を装着した車両(4tクラス・7tクラス)を開発したので、紹介する。

この小型ブル用ゴム履帯は、ゴム履帯の持っている従来の特長を生かした上で、さらにブルドーザ(以下 ブルと記す)に適合する様に「高いけん引力」「履帯外れ防止」「外部からの損傷を防ぐ強化構造」の性能を付与したもので、今年販売を開始した。ここでは、このゴム履帯の構造・機能を説明し、さらにゴム履帯の上手な使い方についても説明する。

2. ゴム履帯の特長

ゴム履帯装着車両は表-1に示す様な特長と、多くの適用作業を持っている。

表-1. ゴム履帯の特長

ゴム履帯の特徴				ゴム履帯の利点	適用作業													
低振動	低騒音	汎用性・稼働率向上	路面保護		道路工事（造成整備）	宅地造成	ゴルフ場造成・整備・造園	飛行場内整備	圃場整備	港湾内作業	構内作業	船内荷役	住宅地での作業（管ケーブル工事）	農業トラクタ作業	トンネル内作業（地下鉄・鉱山・鉄道）	保線作業（道床交換工事）	積込作業（代替ホイールローダ）	除雪
		○	○	舗装路で作業が可.	○	○	○	○					○		○		○	○
		○	○	補助員(シート敷き)人員費削減	○	○	○						○					
			○	近距離なら自走移動可(搬送用トレーラ削減).	○	○	○	○	○				○					
		○	○	港、工場等構内荷役が可.				○		○	○	○						
		○	○	舗装路・縁石横断可.					○				○					
		○	○	船底を傷付けない.線路を傷付けない.								○			○	○		
		○	○	材料を傷めない.							○	○	○					
○	○	○		走行騒音、地盤振動が小さく、住民公害減少.	○								○					○
	○	○		走行騒音が小さく、夜間早朝稼働がしやすい.	○								○					○
○	○			オペレータの疲労が少ない.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○		接地圧が低く、けん引力が出る(対ホイール).										○				
		○		根を切断しにくい.										○				
			○	路上のケーブル・ホース等を切断しにくい.							○	○			○			
			○	船内荷役機の輸送コスト低減(船底保護)								○						

3．小型ブル用ゴム履帯の構造と特長

今回開発した小型ブル用ゴム履帯は 4tクラス(D20系)と 7t クラス(D31系)用であり、いずれも既に販売を開始している。写真-1 にD20系のゴム履帯車を示す。

ゴム履帯をブルに適用するにあたっては、種々の問題を解決して製品化できたが、以下にその特長を構造と共に説明する。

3-1．頑丈な構造

図-1 にゴム履帯の構造を示す。ゴム履帯は硬質ゴムを使用した芯金入りの一体成型構造で、ベルト部にメインコードおよびバイアスコードを二層組み込んだ強化型となっている。また駆動方式は芯金がスプロケットと噛み合う方式を採用している。

この構造の中でバイアスコードは、外部からの損傷を防ぐことにより、履帯の耐久性を向上する機能と、従来ゴム履帯の欠点であった剛性の低さを改善し高い履帯剛性(横ずれ、ねじり)を実現することにより、履帯外れを生じにくくする機能をもっている。

またゴムは、耐磨耗・耐カット性の良好なゴム材料を用い、ゴム容量の大きいラグ形状とともに耐久性を一段と向上している。

3-2．履帯が外れにくい構造

従来、ゴム履帯は外れ易いという評価があったが、ブルに適用するに当りこの点を解決するため、ゴム履帯専用の足回りを採用した。まず図-2に示す様に、当社独自の外転輪方式、すなわち転輪のツバを大きくしてツバで転動する方式を採用し、さらにアイドラのツバも高くすることにより履帯との重なり代を十分に取った。また、前述のバイアスコードで履帯剛性を向上したことにより履帯アライメントのずれを小さく押さえた。これらの構造の採用により、本ゴム履帯は鉄履帯と同等の外れ難さを得ることができ、ブルの足として十分適用できるものとなった。

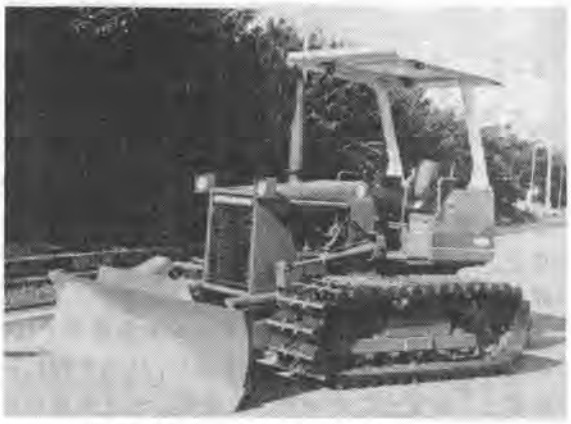


写真-1. D21PGゴム履帯車

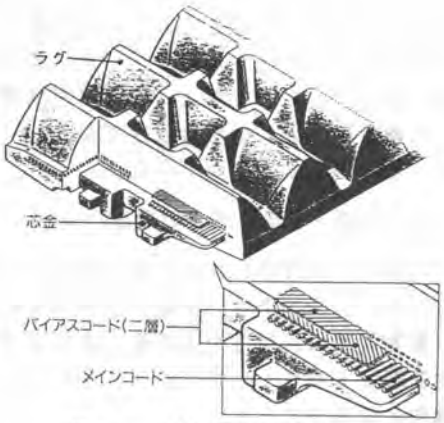


図-1. ゴム履帯の構造

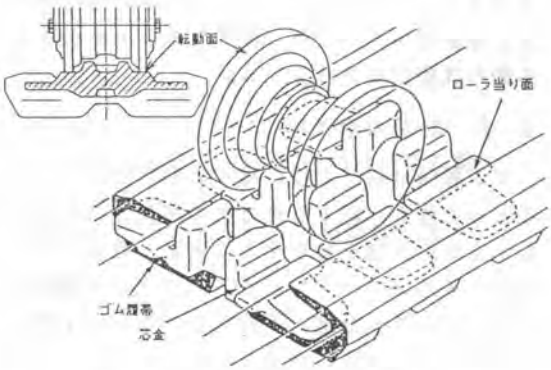


図-2. 独自の外転輪方式

3-3. 大きなけん引力を発生するラグパターン

大きなけん引力を発生させることは、ブルの足として大切なことである。しかしゴム履帯はゴムという材料を用いている以上、どうしても鉄履帯より地面への喰い込みが不足することは避けられない。この問題を解決するために、ラグの形状が非常に重要となってくる。

図-1 に示す様なラグパターンを本履帯では採用した。このラグパターンは図-3 に示す様に、砂質土・粘質土において、鉄履帯にせまる程のけん引力を発生することができ、さらにコンクリート上でもゴムの粘着性を生かせたため、鉄履帯を凌駕するけん引力を発生することができた。またラグ磨耗等の耐久性も良好な、バランスのとれた形状となっている。その上、法面での横滑り防止のため履帯中央部に突起を設けており、ブルの作業に十分適用することができた。

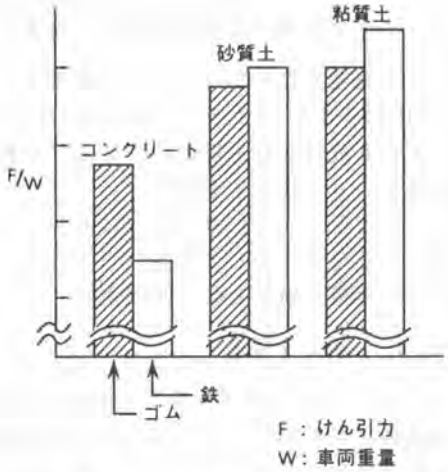


図-3. けん引力の比較

3-4. 振動・騒音の小さい構造

ゴム履帯は鉄履帯に比べ、走行騒音、地盤振動とも小さいので、街中、早朝、夜間作業等に有利で、稼働現場の汎用性が広がる。またオペ席振動・オペ席騒音も小さく、オペレータは疲労が少なくて軽快に作業が行える。

本履帯は上記の特長をさらに生かすため、振動面では、図-2の外転輪方式を採用し、図-4に示す様にローラが芯金間の溝Aを通過するときの落ち込み量を小さくしており、また騒音面では、バイアスコードを組み入れることによる履帯剛性向上(屈曲方向)のため、履帯バタツキを小さくする等の改善がなされている。

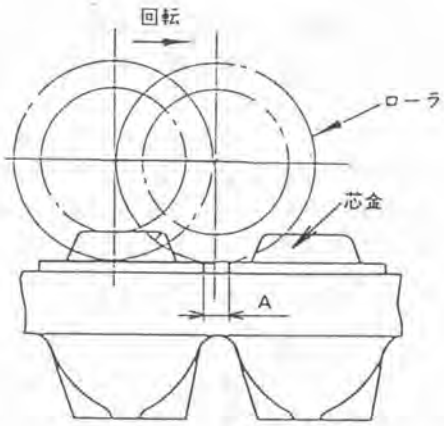


図-4. ローラの落ち込み

3-5. 十分な耐久性

ゴム履帯は前述の様に種々の利点があるが、ユーザーにとって最も心配する点はその耐久性である。今回ブルに適用するに当たり、ブルの作業でも十分な耐久性を持たせることが、最大のポイントとなった。そのためラグ・芯金の形状や材質、メインコードやバイアスコードの選択等、設計には十分な配慮をし、その上で単体ベンチ疲労テストを種々実施した。さらに実車における苛酷な耐久テストを行うことにより、その耐久性を十分に確認した。

4. ゴム履帯の上手な使い方

ゴム履帯はその材料特有の性能から多くのメリットを発揮する反面、強度面の弱点を有している。したがって、メリットを十分に生かし、寿命を延ばすためには、ゴム履帯の特徴を十分に理解し、取扱い上の注意事項を守る必要がある。そこで、ゴム履帯を長持ちさせるためのポイントを以下に示す。

(1) 鉄板、鉄片、鉄筋等、角の立った物を踏まない。

ゴムは角のある物に当たると切れやすい。 特に鉄製の角には弱いためできるだけ避けなければいけない。

(2) 岩盤、岩石地での急旋回・急発進はしない。

砕石場で見られる鋭利な角の立った石・岩等がある場合での使用はゴムに深い傷を付けたり、ゴムが大きく欠けたりするため注意する必要がある。

(3) 河川敷での急旋回・シュースリップ状態で無理な押土はしない。

(4) 油・グリースや化学溶剤の付着をさせない。

ゴムは油類や溶剤に対して抵抗力が小さく、付着すると損傷の原因となる。付着した場合は、布で拭き取る必要がある。

(5) 履帯の張りは適切にする。

履帯がゆるんだ状態でそのまま作業をすると、履帯外れの原因となる。

(6) 大きい段差での急旋回は避ける。

ゴムの欠損や履帯外れの原因となるため、段差を乗り越えてから旋回する必要がある。

(7) 高熱部への踏み込みはしない。

たき火等の高熱部への踏み込みは避ける必要がある。ゴム履帯の使用温度は −25℃ ~ 55℃ 。

(8) 特殊な作業対象物を扱った場合は、使用後水洗いをする。

作業対象物によっては、ゴム自体や芯金接着部が侵されるので使用後は水洗いする必要がある。(塩、硫安、塩化カリ、硫酸カリ、重過燐酸石灰、大豆、トウモロコシ、等)

(9) 保管は大切に。

長期間保管する場合は、直射日光や雨が当たらない場所に保管する。

4. あとがき

本文では、今回開発した小型ブル用ゴム履帯について述べた。小型とは言え、ブルにゴム履帯を適用したことは画期的であり、ゴム履帯の今後の可能性を大きく広げることに寄与したと考える。都市土木において、舗装路を傷めない、低振動低騒音のゴム履帯は非常に魅力的であり、今後もさらに建設機械への適用を広げるべく努力したい。

最後に、本履帯の開発に当たり御指導・御協力を頂いた関係者各位に深く感謝致します。

29．稼働範囲が広がってきた アーティキュレイトダンプトラック

新キャタピラー三菱㈱：吉成龍太郎

1．アーティキュレートダンプトラックの特長

アーティキュレートダンプトラックは次の様な特長をもち、特に軟弱地性能に優れている。

① 油圧式アーティキュレートステアリングにより、狭い現場での作業が容易

② 低く長いヘビーデューティ仕様のベッセルにより、積込が容易で、各種積込機に対応できる

③ 低空気圧のワイドラジアルタイヤにより、高い軟弱地性能をもっている

④ 馬力当りの重量が小さく、急勾配に強い

2．アーティキュレートダンプとダンプトラック、モータスクレーパ工法の比較

アーティキュレートダンプは、当初軟弱地が走行できるダンプとして開発されたが、モデルチェンジのたびにアプリケーションを広げていき、当社製の新しいDシリーズは岩作業にも耐えられる様設計されている。

これら新しいDシリーズが、今までに数多くの実績を上げているCAT769Cダンプ及びCAT631Eモータスクレーパと比較しどれほどの性能を発揮できるか、またどれほどの距離が適応範囲なのか、同じ積載量のD400D、D40Dを代表として対比して見た。

1　主な仕様比較

		769C	631E	D400D	D40D
出　力	(ps)	456	456	390	390
空車重量	(kg)	31,300	44,450	28,500	28,600
積載重量	(kg)	36,200	36,200	36,200	36,200
総 重 量	(kg)	67,500	80,650	64,700	64,800
積載重量/空車重量	(%)	115	81	127	126
総重量/出力	(%)	148	176	165	166
最高速度	(km/hr)	69	48	55	55

① アーティキュレートダンプの空車重量が軽いのは下記理由による。

イ）前後のフレームが自由にオシレーションし、全輪油圧サスペンションが採用されているため、アクスルとフレームが769Cに比べ軽量化できた。

ロ）769Cは爆落石を3万時間以上運び続ける様設計されているが、アーティキュレートダンプはそこまでは要求されていない。

ハ）全輪駆動と軽い重量ですぐれたトラクションと軟弱地性能を生かすため。

② 631Eは総重量/出力比が最も大きく、最高速度が最も小さいがこれは上り勾配の運搬と長距離運搬は考慮されていないことによる。

(1) 軟弱地性能

		769C	631E	D400D	D40D
タイヤサイズ	前	18.00×33	37.25×35	29.5×25	29.5 ×25
	後	〃	〃	〃	33.25×29
空気圧 (kg/cm²)	前	7.1	4.8	3.2	4.0
	後	7.1	4.1	3.2	6.1
タイヤ接地圧 (kg/cm²)	前	4.9	3.9	3.1	3.6
	後	5.0	3.4	3.1	4.9

① アーティキュレートダンプは、全輪駆動による優れたけん引性能と軟弱地性能が設計のポイントとなっている。

特に、ワイドラジアルを採用したことにより路面との回転抵抗が低く、これが低燃費と高い燃料生産性を生んでいる。

② 高速性能を誇る769Cも、軟弱で、滑りやすい路面は不得意である。

③ 631Eは総重量が大きいため、ワイドタイヤを採用しているにもかかわらず、接地圧はアーティキュレートダンプより高くなっている。

(3) 組合せ機械

① アーティキュレートダンプは低く長いベッセルにより積込機械をそれほど選ばないが、最もマッチした機械は

D400D……245B (ME)

D40D……245Bフロントショベル

である。

② 769Cは988Bにより積込作業をするのがベッセル長と、バケット幅の関係、ダンピングリーチ及びクリアランス、バケット容量から見て最もマッチしている。

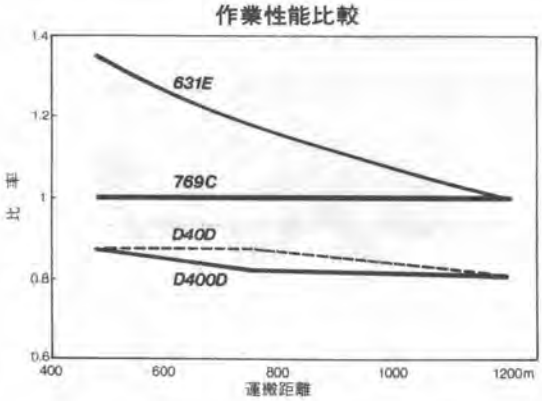
③ 631シリーズの旧モデルは2台のD9又はD9Lがプッシャーとして最適だったが631EはD9Lより1回り大きいD10Nが最もマッチする。

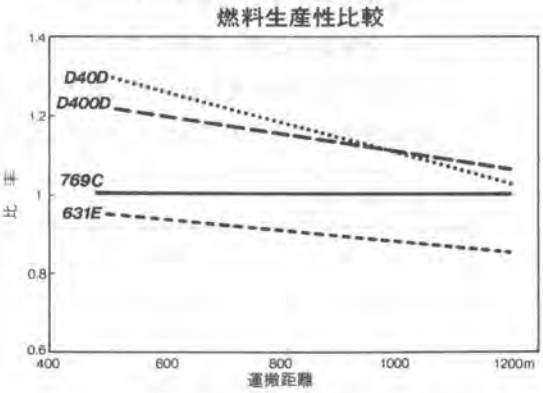
(4) キャタピラー社スペインマラガのデモエリアで実施した4機種の作業量テスト

前記で明らかにした最もマッチした積込機により実作業テストを実施した。

テストにはマラガの土砂を使用した。

① 作業性能





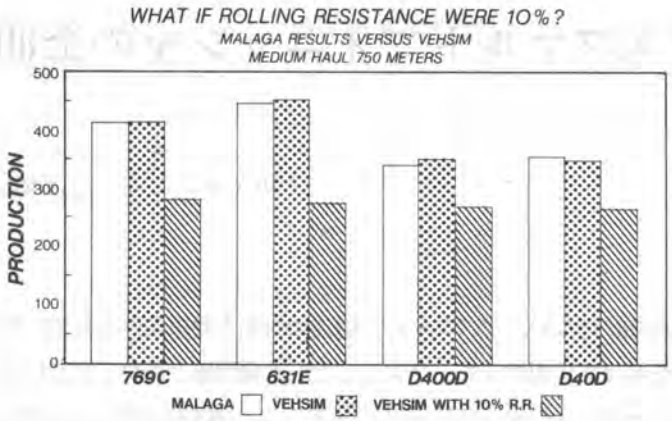
図の様に、769Cの作業量を1.0とすればアーティキュレートダンプはどの距離でもほぼ0.8程度であるのに対し、631Eは距離が伸びるに従い比率が下がり、1200mではほぼ1.0となる。

燃料生産性については、アーティキュレートダンプが全ての距離で良い結果を示しているが、特に短距離に於いて著じるしく優れている。

② 軟弱地作業の推定

テストは、マラガのデモエリアのため路面の良い状態での結果であった。

路面が悪く、回転抵抗が大きい場合の状態を作ることは現実的には大変困難なため、CATピークルシミュレーションにより軟弱路面を想定し、各機種の作業量を計算した。

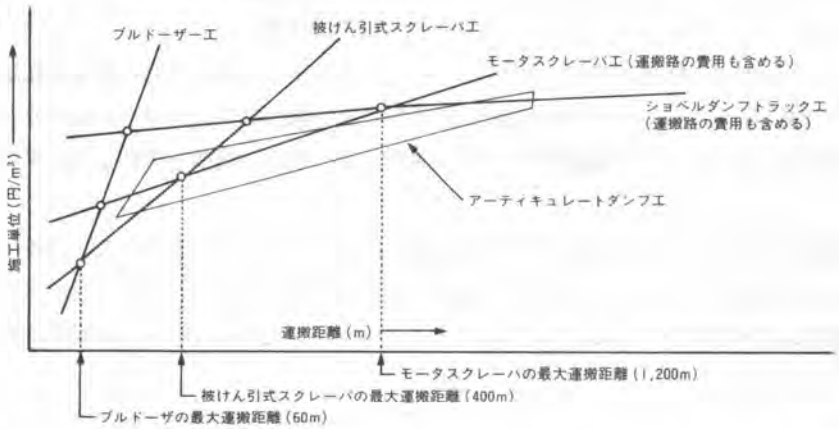


計算結果で解る様に、アーティキュレートダンプは軟弱地になっても、作業量の落ちこみが769C、631Eに比べ少なく、現場の状態を選ばない、汎用性のある運搬機械である。

3. アーティキュレートダンプとキャリオールスクレーパ工法

(1) アーティキュレートダンプは短距離運搬にも適しており、また急勾配、軟弱地にも強いことから、施工に適した範囲はキャリとも重なってくる。

(2) 運搬距離による最適機械



① アーティキュレイトダンプの施工範囲は、キャリの一部～ダンプトラックの一部の間、中距離運搬の広い範囲にわたっている。

② キャリは短距離運搬で力を発揮するが、中距離の範囲であれば油圧ショベル＋アーティキュレートダンプの組合せが最も合理的である。

③ 前表から明らかな様に、造成工事で

段取り工 ＝ キャリ

運 搬 工 ＝ ダンプトラック

の施工法を予定する場合、全てをアーティキュレートダンプで施工する方がコストダウンにつながるケースが多い。

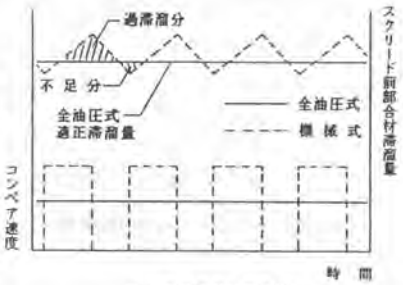
30．アスファルトフィニッシャの全油圧化

新キャタピラー三菱㈱：大野　俊司

1．はじめに

近年の道路交通量の増加に伴ない，アスファルト舗装に対する要求条件として，特に，自動車走行時の乗心地に大きな影響を及ぼす平坦性をキープすることが重要課題とされてきている。ところが，従来，アスファルトフィニッシャで，この平坦性を確保する為には，合材のスクリード部への供給量等の調整を行うオペレータの手腕によるところが大きかった。

そこで，最近は，昨今の熟練技能者不足に対応する為，アスファルトフィニッシャに省熟練化の要素を盛り込み，熟練者でなくとも機械を的確に操作できる様，全油圧駆動方式としたものが増加して来た。これは，平坦性確保の為の条件の１つが，施工中に走行速度とスクリード前部の合材滞溜量を一定に保つことである為，全油圧式の採用により，走行速度とコンベア速度の無段階調整が可能となって，それぞれ，フィニッシャへの合材供給状態と施工条件に合わせた，最適な速度を設定することができ，平坦性確保の為の条件が満足し易くなる為である。この他にも，フィニッシャを全油圧化する事により微妙なコントロールが可能となり，操作の容易化や緩旋回ステアリング，四輪駆動式走行システム等，新しい機構も搭載して，平坦性を改善している。



コンベア送り量の比較

この全油圧化の傾向は，国産機については，数年前より本格化が始まり，現在は各社とも全油圧機のシリーズ化をほぼ完成している。そこで本報では，前述の全油圧化の目的を達成する上で要求される機能と，当社での開発時のその組込状況を，フィニッシャの，他の建設機械とは異なる特異な項目に重点を置いて説明することとする。

2．低速走行安定性

アスファルトフィニッシャの走行速度は，Ｌｏ側で普通Ｍａｘ20m/min程度であるが，アスファルトプラントの容量や合材の種類によっては，平坦性や仕上性を確保する為に，1.0~1.5m/min程度の微速走行を続ける事が必要となる場合がある。

MF５５WH	速　度	速　比(ポンプ斜板角，モータ回転数)
移動速度	15 Km/H	(12.5)
低速最高速度	20 m/min	２０　(1)
通常施工速度	2~4m/min	3
最低安定要求速度	1 m/min	1

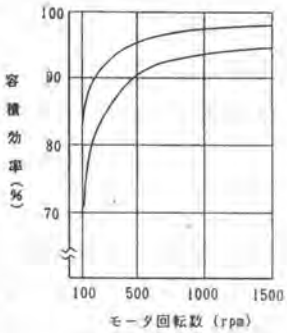
当社では，減速装置のコンパクト化を図る為，モータ以降の減速比をあまり大きくせず，油圧機器の低速性を改善する事により，低速走行安定性を確保することとし，次の各項目を考慮して全油圧機を開発した。

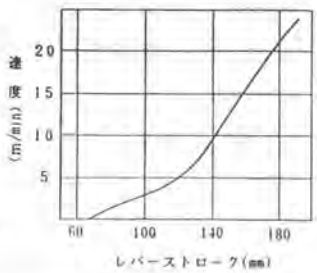
(1)油圧ポンプ低吐出量時の制御精度の確保

走行用の斜板式ピストンポンプでは，Ｌｏ側の最高速度の関係から，1.0~1.5m/minの微速走行時は斜板傾転角が微小の状態で吐出する必要がある。この場合，容積効率が悪化し，旋回等で圧力が増加するとリーク量が増加して，吐出量が不足してくる。そこで，低吐出量時の効率を改善して，負荷が増加しても安定して吐出するポンプを開発し搭載した。

(2)油圧モータ低速性の改善

走行用モータにも，ピストンモータを採用しているが，モータの最低安定回転数は，普通100rpm程度であり，これ以下では，負荷が大きくなると，スティックスリップが発生して，リーク量が急激に増大し，容積効率が低下する。そこで，スティックスリップ防止機能を付加して，低速回転性を向上させると同時に，ポンプ容量とモータ容量の関係を，低速時の速度調整機能確保に重点を置いて決定した。





(3)速度調整機構の改善

レバー式速度調整の機械では，レバーストローク全体の中で，特に低速域のストロークを増加させ1.0~4.0m/min近傍の，使用頻度の高い範囲での速度設定を容易化した。

3．ステアリング操作性（クローラ式）

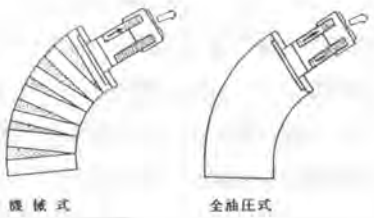
従来の機械式アスファルトフィニッシャでは，ステアリング操作は，クラッチ・ブレーキシステムで実施していた。しかし旋回時には，片側クローラを制動する為に，車体・スクリードが振られて，スムーズなカーブ施工には不向きであった。

そこで全油圧機では，旋回時に左右のクローラに速度差を持たせる事により，旋回半径が自由に選べる緩旋回機構を採用した。これにより，直進時と同様に旋回時も左右両側のクローラが牽引力を発揮するフルタイム２トラック駆動となると同時に，道路のカーブに合ったなめらかな旋回ができる為，安定した舗装面を得ることが可能となった。

当社ＭＦ５５Ｈに於るシステムは次の通りである。

(1)走行・駆動システム

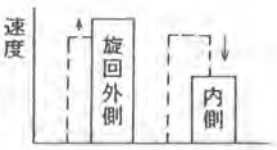
走行用ポンプ・モータは，構造の簡単な２ポンプ・２モータ方式とし，速度及びステアリング調整は，油圧パイロットダイレクト方式を採用して，信頼性の高い応答が得られるシステムとした。また操作は，速度，ステアリング共，それぞれ１本レバー調整式とし，レバーの倒した角度で速度，旋回半径が選べる構造として操作感覚にマッチさせた。

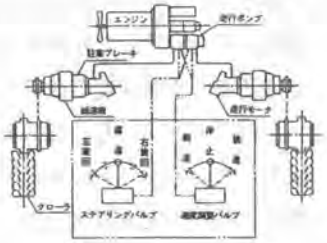


(2)油圧システム

速度制御は，速度調整バルブの操作により，パイロット圧で左右ポンプの斜板傾転角を同時に制御

する方法とした。また，ステアリング制御は，ステアリングバルブを操作して，左右ポンプの速度調整バルブによるパイロット圧に，ステアリングバルブよりのパイロット圧分を追加又は減少させて，左右クローラに速度差を持たせ，車体中心の速度を保ちつつ，緩旋回させる様にしている。更に，ステアリングバルブを片側にフルに倒す事により，片側クローラを停止させるピボットターンも可能として，自由に旋回半径が設定できる様にしている。





(3)直進性の確保

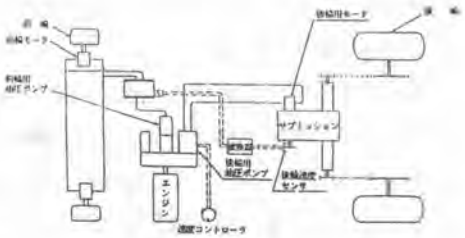
アスファルトフィニッシャでは，施工中（即ち低速走行中）の走行直進性が非常に重視される。当社では，２ポンプ・２モータシステムを採用している為，左右の機差が直進性に直接影響を及ぼすのを避ける必要がある。直進性を確保するのに，モータ回転数差をポンプにフィードバックする方法があるが，ＭＦ５５Ｈでは，機構を単純化して，ポンプでは，左右の容量差を自動的に補う回路を設け，モータでは，差を最少限に規制して，機械式に遜色の無い直進性を確保すると共に，電気油圧制御に起因する誤差と故障の確率を排除した。

4．４WD機の前後輪同期同調

アスファルトフィニッシャの全油圧化により，前輪内部にモータを設置した四輪駆動（４WD）が可能になった。ところが，フィニッシャでは走行安定性を重視する為，車輪がスリップしたり，路面を掘起した場合，速度や車体地上高が変動し，舗装仕上性に大きな影響を及ぼすこととなる。

そこで４WDアスファルトフィニッシャでも，前後輪のスリップは絶対に避けなければならないが，フィニッシャの構造的に，前輪の直径が後輪の直径より著しく小さいので，スリップ防止の為に前後輪の速度を一致させようとすると，後輪より前輪をかなり速く回転させる必要がある。従って，４WD走行時に，前後輪の回転数を常時バランスさせる為，双方共同時に速度設定する事は，ポンプ・モータの容量差や油温の影響等を考慮した場合，制御精度の面から，容易では無くなる。

そこで，当社の４WD機ＭＦ５５WHでは，次の様な機構で前後輪の速度制御を行っている。



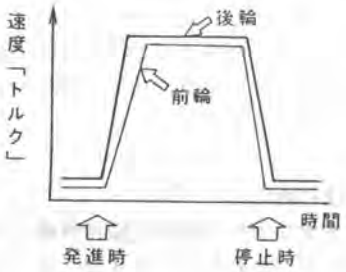
(1)速度コントロール方式

前後輪の駆動には，それぞれ専用のポンプを搭載し，最初に後輪用ポンプを制御をして，後輪速度を所要の走行速度に設定する，後輪優先方式を採用している。

前輪の速度は，後輪の実際の速度を検出し，これに合わせて前輪用ポンプの制御を行う様にしているので，実速度に基づいた前輪速度が得られる為前後輪が同調し，スリップや路面掘起しが防止できる。

(2)前後輪同期方式

4WDでは，走行駆動力が2WDをかなり上回る為，発進時に前後輪とも同時に駆動を開始すると　大きなショックが発生し，停止時も駆動力の解放によるショックが発生する。これらは，舗装の仕上面に大きな影響を及ぼす為，そのショックの大きさを最小限に押さえる必要がある。そこで，発進時の前輪駆動力を，後輪より微小時間遅れて除々に発揮する様に設定すると共に，停止時も後輪が停止する直前に前輪駆動力を解放することにより，発進・停止時のショックを防止する事が可能となる。



5．安全性の確保

アスファルトフィニッシャの全油圧化により，機械の操作性は改善されたが，操作スイッチ等の個数が増加し，場所も集中した為，誤操作等の可能性が考えられる。そこで全油圧機には，安全上特に配慮を加える必要があり，当社でも，下記の様に安全性向上を計っている。

(1)誤操作（操作忘れ）防止：

a. 人間工学に基づく操作方式の採用 ……（例）前後進切換と速度調整を1本のレバーで全て行う

b. 操作の容易化・単純化 ……（例）1つのスイッチの操作で，発進停止，締固め起動停止，スクリードロック・解除，エンジン回転数の調整が全て同時に自動的に行われる。

c. 自動的に作動させる ……（例）走行の停止と同時に自動的に駐車ブレーキが作動する。

d. 注意を喚起する ……（例）スイッチ類の識別を分り易く表示する。

(2)操作手順の厳守：

a. 走行・コンベアインターロックシステム … 走行・コンベアのメインスイッチをOFFとした時のみエンジンが始動出来る為，始動時の不意の作動が防止できる。

b. コンベア運転席優先操作システム … スクリード上では，運転席の了解ある場合のみコンベア操作が可能で，また，運転席ではいつでもスクリード上の操作のキャンセル・リセットが可能。

(3)メインテナンス容易化：フルオープンサイドカバーやサービスモニタの採用

(4)緊急操作の容易化：電磁弁，ポンプ等の手動操作による緊急回避を可能とする。

6．あとがき

以上，アスファルトフィニッシャの全油圧化に際して，当社で考慮した特長的な項目について説明した。この，フィニッシャの全油圧化は，時代の趨勢であり，その構造・操作性は，昨今の油圧機器の性能向上もあって，機械式主流の時代に比較し，格段に進歩している。当社としても，今後更に機械の性能向上を推進し，操作性，施工性の良い機械をお客様に提供してゆく所存である。

31．アスファルト舗装強制冷却機

東洋運搬機㈱：佐々木　真

1．はじめに

アスファルト舗装の維持修繕工事で、最も一般的な工法として、切削オーバーレイやオーバーレイ工法が行われておりますが、本工法の大きな問題点の１つに、工事による交通渋滞があげられます。

アスファルト舗装はコンクリート舗装と比べ養生期間がほとんど必要ないためもあって、わが国の舗装の90％以上を占めるようになっています。しかしこのアスファルト舗装も、施工後の交通解放時期を誤ると初期わだちが発生して供用性に大きく影響します。このような初期わだち掘れを防止するためには、舗装体が一定温度（約50°Ｃ程度）以下になるまで養生（冷却）する必要があります。従来この養生は、施工後一定時間放置することのよって自然に冷却する方法がとられていましたが、比較的寒い時期でも１時間程度必要とし、夏場などでは、３時間以上放置しても所定の温度まで下がらないのが実状でした。こういったことから交通渋滞に拍車をかけることにもなり、利用者の不満を増大させるばかりでなく、社会の経済活動にもマイナス要因となっております。

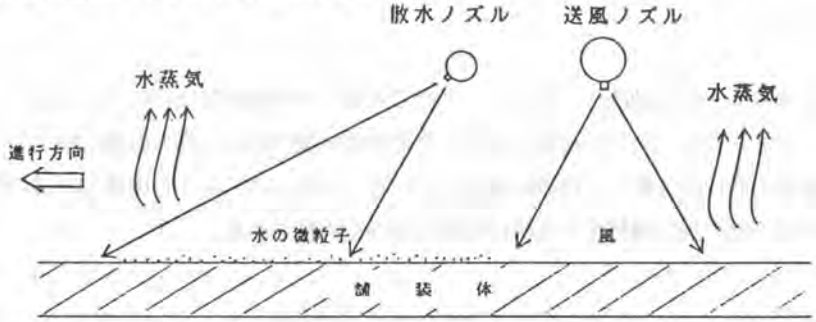
工事による渋滞を少しでも早く解消するためや、自然冷却では十分な冷却が期待できない時期の工事では、所定の温度まで温度が低下するのを待たずに、やむを得ず交通解放を行っている場合が少なくありません。このような場合、初期わだち掘れの発生を防ぐ事は難しく、大なり小なり、初期わだち掘れが発生しているのが現状です。

この初期わだち掘れは、供用後のわだち掘れを増大させる一因ともなり、舗装の供用期間を短くする傾向があります。こういった工事渋滞の緩和と初期わだち掘れの減少を目的とし、アスファルト舗装の強制冷却機「パワークーラ」を開発しました。

2．冷却方法の選定

これまでのアスファルト舗装工事では、舗装体の温度を速く冷やすために、一般に散水する方法が用いられていましたが、これは水の比熱が大きい事、安価な事、入手しやすい（現場にタイヤローラ等がある）事などによります。しかし舗装表面に滞水した水が温水になると、そのままの状態が長く継続しますので、冷却効果が少なくなってしまいます。

そこで、水の気化熱（540cal/g）を有効に利用する事が重要です。すなわち水1gが蒸発する際には、540calもの熱を吸収しますので、風などによって水の蒸発を促進させればさらに冷却効果が大きくなるはずで、まず室内実験でこのことを調べ、効果を確認し、冷却方法は霧と風による冷却としました。冷却方法は、図１のようになります。



図－１　冷却方法

3．強制冷却専用機「パワークーラ」の開発

これまでの実験機による現場施工経験等をもとに、アスファルト舗装冷却のための専用機「パワークーラ」を開発、製作しました。

製作に際して主眼とした点は、冷却効果を最大限にするよう配慮することはもちろんですが、タイヤの接地圧を極力小さくする事や、舗装幅員に応じて１回の冷却作業幅を自由に変えることが出来るようにする事などでした。

完成したパワークーラの特徴を列記すると次のとおりです。

1)車体は繊維強化プラスチック（ＦＲＰ）を用いて軽量化をはかり、また後輪をダブルタイヤとして、水 1tの満水時でも接地圧が 3.2kg/cm^2 （一般にタイヤローラの接地圧は約5～6kg/cm^2）程度になるようにした。

2)散水と送風パイプをそれぞれ２列にし、油圧によって独立に伸縮できるようにした。作業幅は、2～4mまで自由に換えられるので、舗装幅にあわせた作業幅の調整が即時に可能である。

3)冷却水の積み込み量は1tであるが、前後進の散水ノズルの自動切り替え機構と停車時の止水機構により、最大散水量（7ℓ/min）でも3時間の連続強制冷却作業ができる。

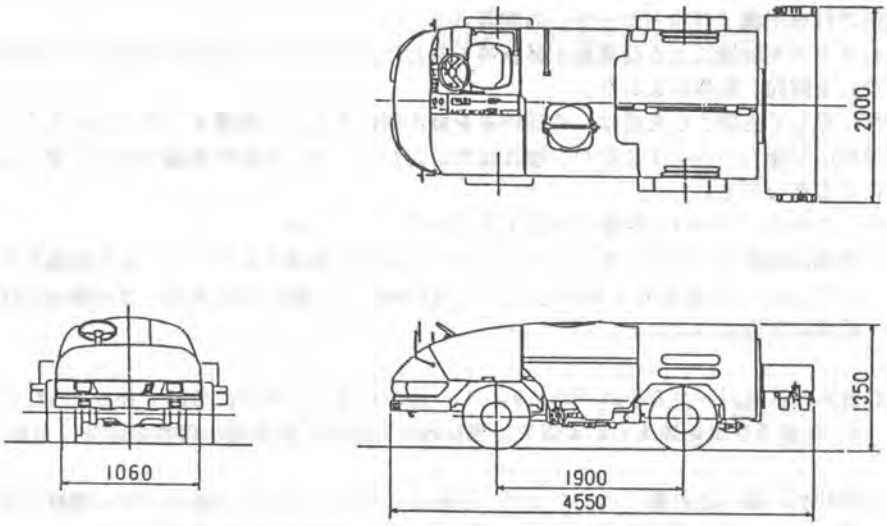
4)機械操作の簡略化をはかり、未熟練者でも操作ができるようにした。

この他、下層のアスファルト舗装に続いて上層を舗設する場合の事を考慮して、下層の冷却に用いた残留水をすばやく乾燥させる事ができるよう、強力なエアブロア（エア吐出部での風速70m/sec）を設計した。

パワークーラの仕様は次の通りです。（表－１，図－２）

表－１　パワークーラの仕様

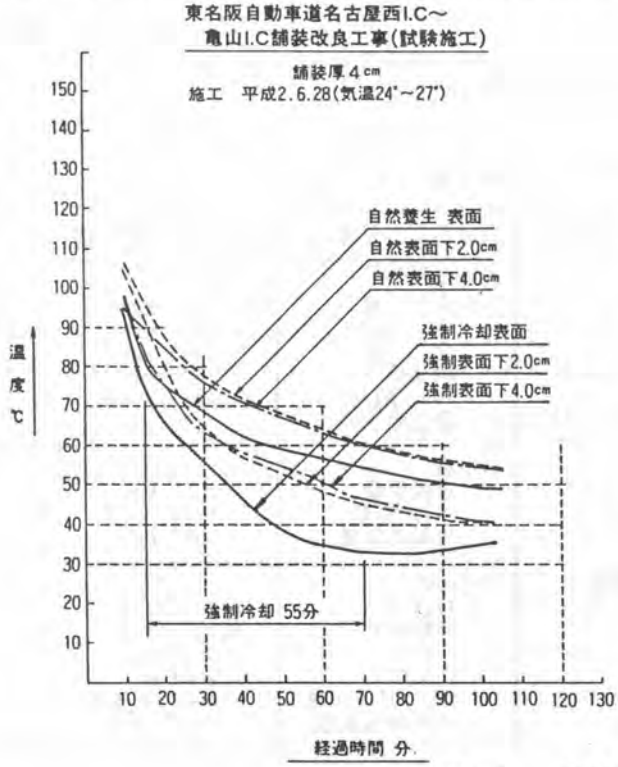
名　称	基準仕様	名　称	基準仕様
◎性能 車両速度　高速 　　低速 最小旋回半径	 0～15 km/h 0～ 5 km/h 5000 mm	◎寸法 全　長 全　幅 全　高 ﾎｲｰﾙﾍﾞｰｽ ﾄﾚｯﾄﾞ前/後 最低地上高	 4550 mm 2000 mm 1350 mm 1900 mm 1060/1190 mm 175 mm
◎エンジン 名　称 形　式 総排気量 最高出力 最高トルク	 いすゞ自動車（株）　4JB1 水冷4ｻｲｸﾙ直噴式 2771c.c. 67PS/3000rpm 17.5kg-m/2000rpm	◎重量 車両重量 水ﾀﾝｸ容量 車両総重量	 2350 kg 1000 ℓ 3350 kg
◎変速機 副変速式	 高・低速2段常時噛合式	◎その他 ｽﾃｱﾘﾝｸﾞ 燃料ﾀﾝｸ ﾊﾞｯﾃﾘｰ 作業幅 水ﾎﾟﾝﾌﾟ吐出量 送風機吐出量	 ﾊﾟﾜｰｽﾃｱﾘﾝｸﾞ付 軽油　40 ℓ 12V-95D31R 2～4 m 4～7 ℓ/min 10 m^3/min
◎駆動方式	HST駆動方式		
◎タイヤ 前　輪 後　輪	 2-9.5/65-15 6PR 4-9.5/65-15 6PR		



図－2　　パワークーラ外観図

4．強制冷却機施工実績

下表の通り、一般道，高速道路，また切削オーバレイ，リペーブ，リミックス等、各種の試験施工を行って効果を確認しました。その実作業の結果を図－3，表－2に示します。



強制冷却作業条件

① 施工速度：　1.2～1.5km/h

② 散水量　：　4.5ℓ／min

③ 風速　　：　20m/sec

注：強制冷却作業は、
仕上げ転圧終了後に行う。

図－3　　自然養生と強制冷却の温度降下

表－2　強制冷却機施工実績表

施工場所	面積(m²)	発注者	施工業者	施工地区	施工時期	備考
主要地方道環状6号線（山手通り）	6,850 ×2	東京都 第七建設事務所	世紀東急工業(株)	東京都渋谷区初台 2丁目～1丁目区内	平成 2. 2.	切削ｵｰﾊﾞｰﾚｲ 5cm,5cm 2層
国道42号線	12,670	建設省中部地方建設局	世紀東急工業(株)	三重県海山町	2. 3.	切削ｵｰﾊﾞｰﾚｲ 3cm
国道153号線	19,100	建設省中部地方建設局	(株)ヒメノ	愛知県愛知郡東郷町	2. 6.	切削ｵｰﾊﾞｰﾚｲ 5cm
国道25号線	1,400	建設省	世紀東急工業(株)	奈良県	2. 6.	切削ｵｰﾊﾞｰﾚｲ 10cm
国道169号線	2,500	奈良県	（株）寺田組	奈良県橿原市	2. 6.	切削ｵｰﾊﾞｰﾚｲ 5cm
奈良県道	5,000	奈良県	（株）寺田組	奈良県田原本町富本	2. 6.	ｵｰﾊﾞｰﾚｲ 4cm
米軍横田基地	5,000	米軍	大成道路㈱	基地内通路	2. 6.	ﾘﾍﾞｰﾌﾞ
国道19号線	7,000	建設省中部地方建設局	中央舗道(株)	中津川市落合地区	2. 6. 7.	切削ｵｰﾊﾞｰﾚｲ 5cm
国道116号線	12,940	建設省新潟国道工事事務所	世紀東急工業(株)	新潟県西蒲原郡分水町吉田地区	2. 7.	ｵｰﾊﾞｰﾚｲ(細粒GAs13F) 平均厚 4.4cm 切削ｵｰﾊﾞｰﾚｲ(細粒GAs20F) 5.0cm
東名阪自動車道 名古屋西IC～亀山IC	5,300	日本道路公団	日新舗道建設(株)	名古屋市中川区～三重県亀山市	2. 7.	切削ｵｰﾊﾞｰﾚｲ 4cm,6cm 2層
市道高速2号線	1,500	名古屋 高速道路公社	三井建設(株)	北区黒川	2. 7.	ｵｰﾊﾞｰﾚｲ
北陸自動車道	8,000	日本道路公団	日本道路㈱	中之島見附ＩＣ付近	2. 7.	ﾚﾍﾞｰﾌﾞ ﾘﾐｯｸｽ
国道153号線	11,070	建設省中部地方建設局	大啓建設(株)	東加茂郡足助町地内	2. 8.	切削ｵｰﾊﾞｰﾚｲ 5cm
国道180号線	10,700	建設省	世紀東急工業(株)	岡山県岡山市吉備津	2. 8.	切削ｵｰﾊﾞｰﾚｲ 5cm (10,000m²) 5cm,5cm 2層 (700) 打換 (700)

5．おわりに

試験施工の結果は良好で、水圧，霧の大きさ，風量，風速、また風の向きなどを路面の温度状況，天候，気温にマッチしたものとすることが効率的に冷却を行う上で重要ですが、数多くの試験結果から、ほぼ目途がついたものと考えています。今後はこれらのデータを活用して、本機の利用をより簡単に、また効果的に利用いただくためのエキスパートシステムの開発を行っていく事としています。

最後に、本機の開発に多大な援助，助言をいただいた各道路舗装会社の皆様方に心からお礼を申し上げます。

32．ニューマチックケーソン無人化工法

大豊建設㈱：阿部昭十郎・*角田　治郎

1．まえがき

ニューマチックケーソン工法は、地下構造物として品質の信頼性と、多くの地質に対応出来る確実な工法としてそのシェアーは再び広がりつつある。しかし、施工に関しては、潜函工の不足、高齢化、あるいは大深度化に伴う労働条件の悪化と、作業時間の減少による効率低下等、工法として不利な条件がある。

こうした情勢のなか、１９７７年より開発に取り組んでいたニューマチックケーソンの「遠隔操作による無人化掘削工法」が完成し、１９８９年1月～3月まで、日本道路公団発注の阿賀野川橋梁で試験施工を行い、所定の成果を確認、今回ＮＴＴ発注の日本通信建設㈱の現場で実用化に成功した。本報では、この工法の開発の経緯と結果について述べる。

2．開発の基本構想と経緯

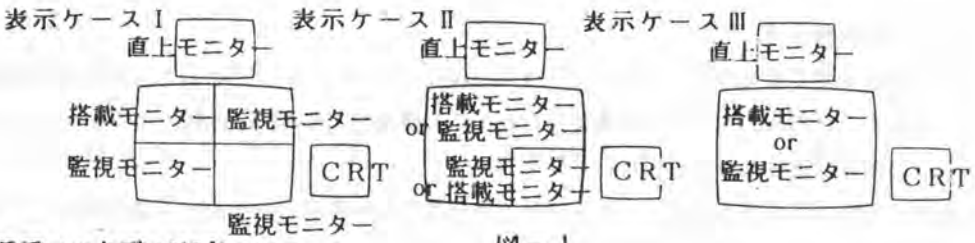
地上のオペレーターは、函内の掘削機を遠隔操作するに当り、まず函内の状況を適確に把握しなければならない。従って函内の状態をあらゆる方向から見れる映像が必要である。またオペレーターは搭乗運転をしている感覚と同じ操作感覚で遠隔操作が出来る事が重要である。更に掘削機の位置、ブームの向き、機械の状況等の情報をオペレーターに見やすく提供することを開発の基本とした。

2－1　映像

遠隔操作における映像情報は、操作判断に対し最も重要な要素である。この映像について種々の基礎実験を行ない、以下述べる様な結果が得られた。

立体表示方式について、現在市販されている偏光式、時分割式はいずれも眼鏡式で、立体感は認識されるものの画像が鮮明でない。またメガネの長時間使用は前頭部に痛みを伴う圧迫感と疲労感を伴うなど好ましい結果は得られなかった。平面画像は、カメラの選定，作業室内の照度を１６０Ｌｘ以上にするなどの処置によりその画像はシャープにする事が可能であった。この画像によって掘削操作を行った結果、オペレーターは、掘削時の距離感を判断する事が可能であった。以上平面、立体映像の両方式について基礎実験を行ったが、作業半径内程度であれば平面画像で充分であると判断した。

テレビ画像は、掘削機に搭載されたカメラ１、バケット穴直上のカメラ１、監視カメラ３の計５画面を必要に応じて引出せる４分割のマルチウインドモニター方式を取入れた。（第１図）この採用により一台のモニターで視線を移す事もなく複数の映像情報を得る事が出来る。この方法は、オペレーターの疲労を軽減する事が可能であると考える。なおバケツト穴直上よりの映像は積込作業に三次元の情報を提供するものであり、非常に効果的な映像であった。



図－1

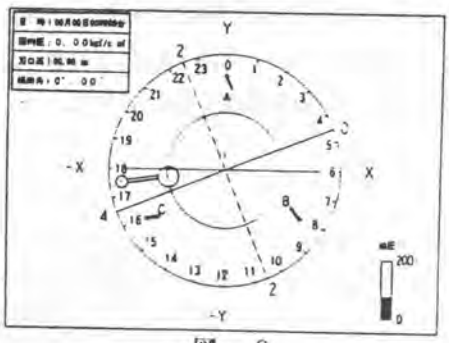
2－2　グラフィックディスプレイ

掘削作業の補助的な情勢として、グラフィックディスプレイを設け、掘削機，及びケーソンからの信号をコンピューターより出力して掘削に必要な最少限の情報を表示した。（第２図）

2－3　操作系

遠隔操作を行うスティックは、手にグリップしやすい形状とし、且つ若干の抵抗を持つ物が操作性に優れている。制御は、一般的な比例制御方式であるが、掘削作業時と走行移動時の２パターンを考えてスティック配置を設定した。この配置により掘削中は、スティックを離す事なくスムーズな操作が可能となった。（第３図）

なお、走行に関しては、走行限界警報及び自動停止機能を備えている。



図－2

図－3

2－4　伝送方式

伝送は、大別して地上より操作制御信号、掘削機からは、映像及び制御信号がそれぞれ送られる。一般的な伝送方法としては、無線、同軸ケーブル、光ケーブル等があり、無線はタイムラグが大きく、処理量、ノイズ、長距離に於ける認可等問題点が多かった。同軸ケーブルは、映像、制御の各信号が同時に送れない。またスリップリングより発生する信号破断等予測されたので使用に到らなかった。

今回の伝送媒体として、光ケーブルを採用した理由について

（１）映像信号の特性に合っている。

（２）誘導雑音が全くないので通信品質を高くする事が出来る。

（３）伝送容量が大きい。

（４）同時相互送信が可能なため、１本の光ケーブルで処理出来る。

など多くの利点がある反面、ケーソン現場のような過酷な場所で使用するについて、その可能性を、確認するため、強度に関する実験を行い、端末等処置を施す事により、充分耐える事が確認出来た。

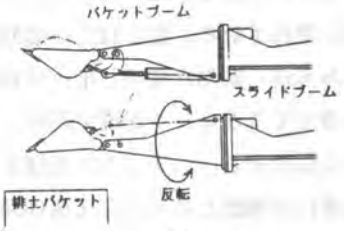
2－5　掘削機本体

走行特性を良くするため、レールにラックを設け、ギヤードライブとした。車輪は、部品数を少なくするため、２方向の力を受ける構造とした。この構造により直線、曲線ともスムーズ、且つスリップのない確実な走行を可能にした。（第４図）

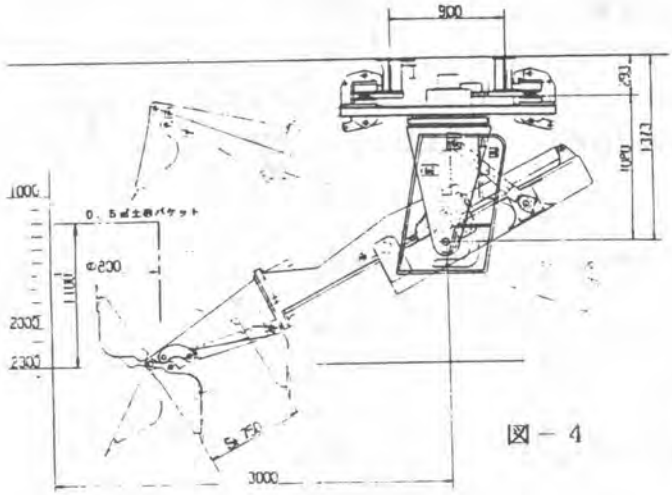
掘削時の反力を受ける方法は、油圧シリンダー付ブレーキアームをレール上下面よりグリップする方法である。又このブレーキアームは、走行時、シーケンス回路により自動解除する。これによりオペレーターの運転操作の大幅な軽減が出来た。

掘削機構においては、土質の変化、掘削ヶ所の違いにより、ホー、ショベルの使い分けが出来る様に反転機能を設けた。この反転機構は映像による積込みを容易にするとともに、粘性土の付着防止に対しても効果がある事が確認された。（第５図）

さらにメンテンスによる入函を極力省くための機構として自動給脂装置を設けてある。

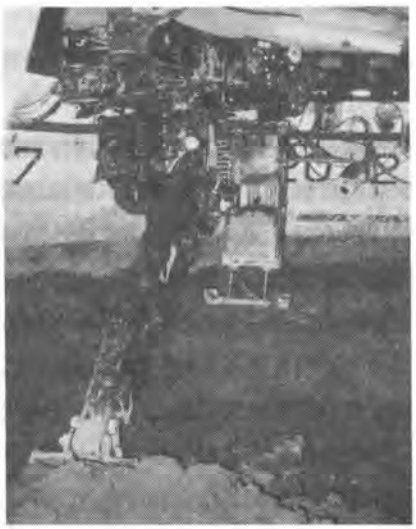


図－５



図－４

写真－１ 遠隔操作室



写真－２ 掘削機

3．実績

3－1　施工結果

発注者　：ＮＴＴ

工事件名：ケーソン立坑工事

施工期間：平成元年８月～平成２年２月末

土質　　：東京礫層、江戸川層　Ｎ値５０以上

間隙水圧：4.3kg/cm²

本システムの遠隔操作による施工は、作業圧気圧2.0kg/cm² より最終圧気圧4.3kg/cm² までの施工である。全１２ロットの掘削方法、土質、気圧、作業時間等は次の通りである。（表－１）

ロット別	掘削方法	土　質	掘削長（m）	作業気圧 kg／cm²	実掘削時間（h）	掘削量 m³	摘　　要
1 2 3	人力及び地上走行式バックホー使用	細砂 粘土質シルト	9.94	0　～0.9	67.0 ～ 100.0	877.2	過沈下防止のサンドル３箇所あり
4	無人化掘削機	粘土質シルト	3.04	0.9 ～1.2	80.2	268.3	
5		砂質シルト	3.00	1.2 ～1.55	73.4	264.8	
6	（搭乗運転）	砂	2.97	1.55～1.85	60.7	262.1	
7		砂質シルト	3.03	1.85～2.1	92.3	267.4	減圧時間遠隔運転
8	無人化掘削機	砂礫	3.03	2.1 ～2.9	127.3	267.4	被圧帯水層に入る
9		細砂	3.10	2.9 ～3.2	118.7	273.6	
10		細砂	3.17	3.2 ～3.5	146.9	279.7	
11		細砂	3.45	3.5 ～3.8	138.5	304.5	
12	（遠隔運転）	細砂	3.06	3.8 ～4.24	122.1	270.0	
	計		37.79			3,335.0	
無人化掘削機	搭乗運転		12.04	0.9 ～2.1	280.9	1,032.5	
	遠隔運転		15.81	2.1 ～4.24	679.2	1,425.3	

表　1

3－2　故障等

施工期間中の故障については、バケットピンの破損による１日作業中止の外、ボルトの緩み、脱落等があった。電気的トラブルでは、湿気による制御盤の一部機能不良と、オイル漏れによる信号のみだれがあった。これらの修理時間は、ほとんど１時間以内であり、昼休み、交替間に復旧でき工程に影響を与えなかった。

3－3　あとがき

今回の遠隔操作による施工実績はほぼ計画の通りとなった。今後もオペレーターの疲労防止対策、映像による点検方法の改善、完了後の回収方法等、一層の研究開発に努める方針である。

最後に、本システムによる施工に当り、関係各位の協力、ご指導に感謝の意を表しこの報告を終る。

33．タイル貼りロボットの開発

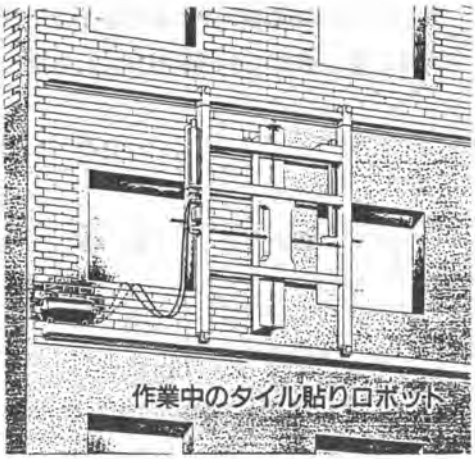
㈱間　組：配野　　均・*増淵　和幸
㈳全国タイル業協会：石川誠一郎
㈱小松製作所：大坪　和彦・沢野　利幸
斉藤　伊徳

1．まえがき

近年、建設業における労働者の高齢化や技能工の不足は、建築工事量の増加や若年者の不足により深刻な問題となっている。これらの諸問題の解消や生産性の向上を目指して各種の建設ロボットが開発されている。

ビル外壁のタイル施工についても年々工事量が増加する傾向にあり、タイル業界や左官業界においても同様の問題を抱え、工事量の増加に対応することが困難な状況になっている。

このような状況を打開し、需要に応え、品質の安定化を図るために、㈱間組、(社)全国タイル業協会、㈱小松製作所の三者共同でタイル貼りロボットの開発に着手した。本報では、現在までにまとめた基本構想および要素実験結果、そして試作したロボットについて紹介する。



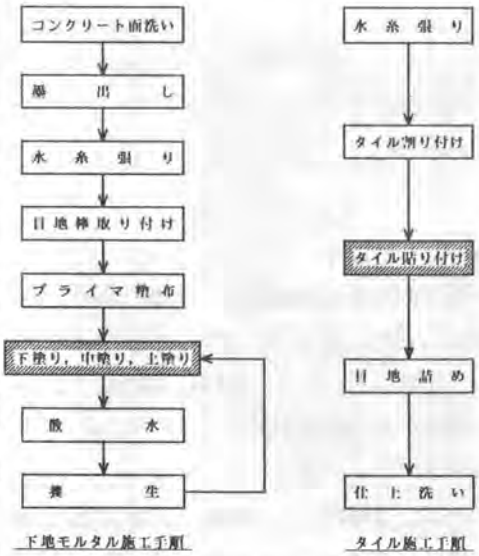
図－1　タイル貼りロボット構想図
（作業中）

2．タイル貼りロボット基本構想

2．1　全体構想

間組では、共同開発を始める約 1年前からタイル貼りロボットについての検討を進めてきた。その過程で建設会社だけの考えに偏らないようタイル施工業者や左官業者にヒアリングを行い、以下に示す基本構想（図－1参照）をまとめた。また、外装タイル貼り施工は、下地モルタル施工とタイル貼り施工とに大別され、準備から仕上げまでは図－2に示すような作業に分けられる。本開発では、人間が行う作業とロボットが行う作業とを区分し、主要な作業となる下地モルタル塗り付け、タイル貼り付け（ 図中の斜線部 ）をロボット化することにした。基本構想の主要な内容を以下に示す。

①下地モルタル塗り付けとタイル貼り付けの各作業は 1台のロボットで兼用できる。



図－2　外装タイル施工手順

②作業員 1名とロボット 1台がペアになって作業を行う

③施工対象は、比較的大面積部分の役物等を含まない平面部とする。

④足場の盛り替え、撤去等は従来通りで、現場の変更を不要とし、ロボットは躯体と足場間に設置される。

⑤躯体にアンカーを設置し、これにガイドレールを水平に取り付け、ロボットはこのガイドレールにより横移動するものとする。

2．2 基本仕様

先に述べた全体構想に基づいてロボットの仕様を検討し、表－1に示す基本仕様を設定した。

表－1 ロボット基本仕様

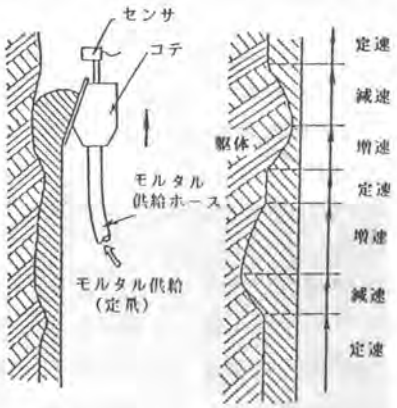
	モルタル塗り	タイル貼り
標準施工面積	5．6㎡	5．3㎡
施工能率	30㎡／H	20㎡／H
施工精度	凹凸±2㎜（2m区間内）	
接着強度	6kgf/cm² 以上	6kgf/cm² 以上
タイルの種類	――	小口平、二丁掛
移動方式	水平方向：ガイドレール方式 上下間：吊り下げ方式	
寸法	3.5(H)×2.0(B)×0.28(D)m	
重量	約250kg	
電源	AC100V，約3kW	

3． 要素実験

3．1 下地モルタル塗り付け実験

下地モルタルをロボットにより塗り付けることができるか、また、塗り付けられたモルタルの接着状態が左官工によるものと差異があるかについて、産業用水平多関節ロボットを使用して要素実験を行った。その結果、ロボットによる塗り付け方法としては、ロボットハンド先端部に取り付けたコテに圧送ポンプによりモルタルを連続的に送り、躯体に塗り付けることが可能であることが確認された。また、同一のモルタル材料により、このロボットによる左官作業と左官一級技能士によるものとの接着強度比較を行った。その結果、双方とも材令28日で平均 8kgf/cm² の接着強度が得られ、目標値である 6kgf/cm² 以上を満足した。

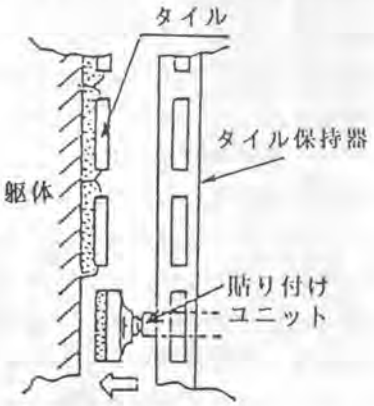
また、下地モルタルは躯体の凹凸を平滑に仕上げる必要があるため、図－3に示すように、コテ上部に取り付けたセンサにより躯体の凹凸検出を行い、コテ移動速度にフィードバックし、下地モルタル吐出量を一定として躯体壁面の凹凸に対してコテ速度を可変速させ、下地モルタルを平面に仕上げる方法を確認した。



図－3 躯体凹凸への対応方法

3．2 タイル貼り付け実験

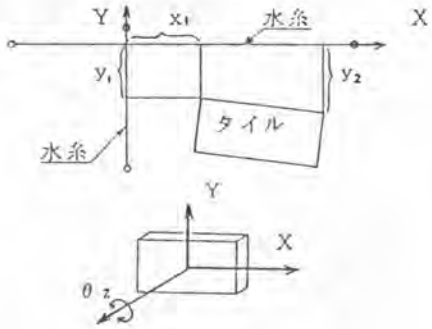
タイルの接着強度と貼り付け後の位置ズレ(ダレ)の程度を確認する目的で、タイル貼り付け実験機を製作し要素実験を行った。ロボットによるタイル施工方法を図－4に示す。この場合、オープンタイム（貼り付けモルタルを壁に塗り付けてからタイルを貼り付けるまでの時間）

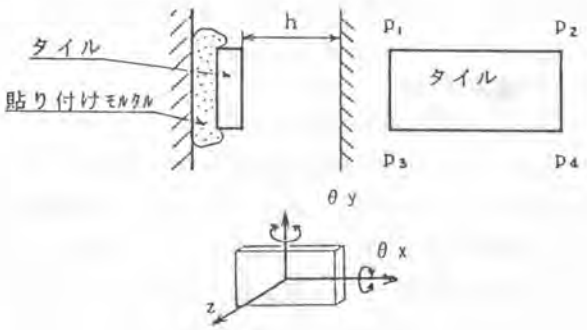


図－4 タイル貼り施工方法

や貼り付けモルタルの不均一等の問題を解消する方法として、タイル貼り付け直前にタイル裏側にモルタルを均一な厚さに塗り付けて、これをビブラート（タイル貼り用衝撃工具）で押付けて躯体に接着する方法（仮称「R貼り」）を採用した。その様子を図－4に示す。

タイルの接着強度は、目標値が材令28日で6kgf/cm^{2}であるのに対し、13kgf/cm^2 の結果が得られ、目標値を満足していることが確認できた。また、貼り付け後の位置ズレについては、タイルを壁面に押付けたときの位置と吸着を解除したときのタイルの位置ズレ量を図－5、6に示すように、平面的および立体的な方向から測定した。平面的なズレは、X、Y方向のズレ量がいずれも 0.5mm以内であり、y_1とy_2のズレ量はほぼ同等で 0.3mm以内であった。また、立体的なズレは、タイルの 4頂点(p_1～p_4)の hを測定したところいずれも 0.5mm以内であり、奥行き方法の不均一な沈み込みや浮き上がりは発生しなかった。





図－5　タイルの位置ズレ測定方向(平面的)　図－6　タイルの位置ズレ測定方向(立体的)

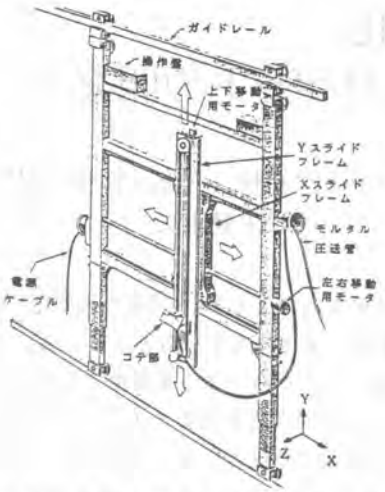
4．試作ロボット

4．1　下地モルタル塗りロボット

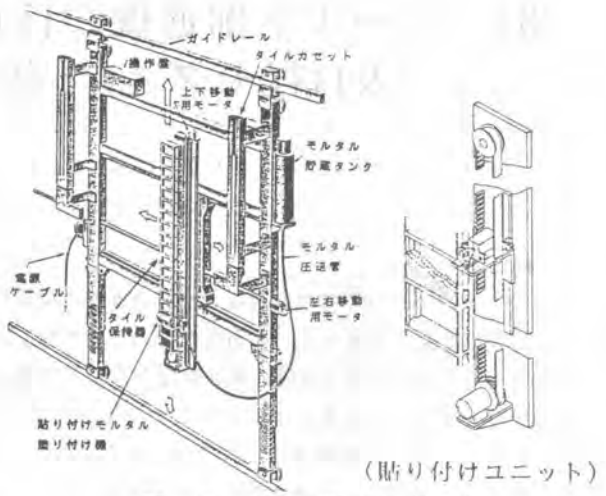
試作したロボットは、ロボット本体、モルタル圧送ポンプ、モルタル供給ホース、給電ケーブルから構成される。モルタル圧送ポンプは建物内部に設置し、ロボット本体の設置場所に近い窓等の開口部からモルタル供給ホースと給電ケーブルを引き出してロボット本体に接続する。ロボット本体は図－7に示すように、本体フレームの中央部にX（方向）スライドフレームがあり、Xスライドフレーム上にY方向に約±1mスライドできるYスライドフレームを搭載している。このYスライドフレーム上に、上下に移動できる下地モルタル塗り付け用コテ部を設置している。

4．2　タイル貼りロボット

タイル貼り用としては、ロボット本体、タイルを吸引し押付けるためのエアーコンプレッサ、エアーホース、給電ケーブル、タイルカセット 2本、モルタル貯蔵タンク 1本から構成される。図－8に示すように、Yスライドフレーム上に27枚のタイルを同時に格納可能なタイル保持器を取り付けており、このタイル保持器の両側の開口部を通してタイル供給器からタイルを供給する。タイル保持器にタイルを供給した後、貼り付けモルタルを塗り付け、Yスライドフレーム上を上下スライドできる貼り付けユニットで順次タイルを吸引し壁面に押付けてビブラートをかけて貼り付ける。



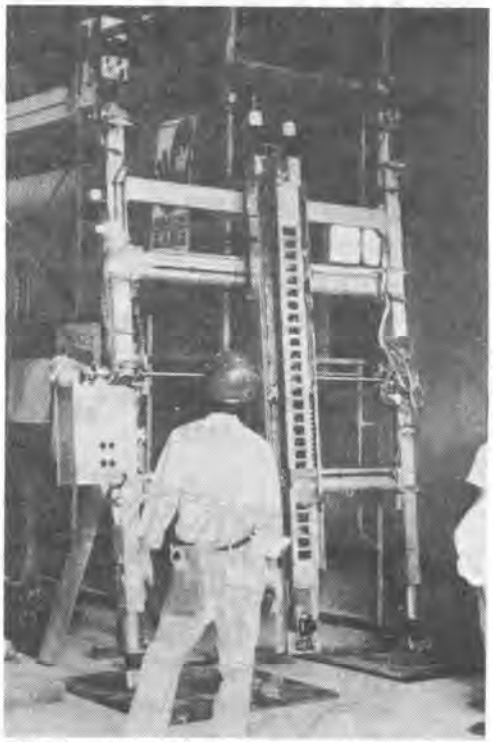
図－7　下地モルタル塗りロボット
（躯体側より見た図）



図－8　タイル貼りロボット
（躯体側より見た図）

5．今後の展開

現在、屋内に建物の外壁を模擬した壁（高さ4.5m×幅7.8m）を設置し、基本構想でまとめた試作ロボット（写真－1）により、下地モルタル塗り付けおよびタイル貼り付け実験を行っている。また、同時にロボットに適したモルタル材料の開発や材料試験、および試作機の改良、実機レベルでの作業方法や施工手順等を検討している。今後は、この室内実験において施工品質の確認および操作方法や作業手順等を確立し、実施工に適合するように改良を続け、現場実験に結び付けたいと考えている。



写真－1　試作したタイル貼りロボット

6．あとがき

建築工事量の増加と、若年労働者の業界離れからくる労働者の不足や高齢化の問題を抱える建設業においては、本ロボットのように、窓周りや目地棒際、役物等は従来通りの人手に頼り、人間が共存する形で対処していくことが考えられる。さらに、将来的には建設ロボットをより高度化する研究を進め、他の作業を行う建設ロボット群との協調作業行うシステム化を追求し、生産性の向上を図っていきたい。

最後に、本共同開発は、財団法人建設業振興基金の昭和63年度および平成元年度建設業振興策に基づく構造改善事業の助成対象の適用を受け、開発事業費用の一部を御援助いただいて実施していることを付記しておく。

34．シールド掘進機の自動化
～大口径セグメント組立ロボットの開発～

日立造船㈱：*布村　　進・宮脇　国男
松永登志夫

1. 緒　言

シールド工法は、地下空間利用などで社会基盤の開発に不可欠なものとなり、工事の大型化が進むにつれ安全性確保、品質向上、省力化などの目的で施工の自動化、高度化要求が高まっている。中でもセグメントの組立作業は足場の悪い狭隘な空間での高所作業にもかかわらず、重量物であるセグメントの把持、ボルト穴位置合せ、ボルトナット締結に至る複雑な作業工程を必要とするため自動化が遅れている。この程、高精度組立、安全、高速施工を目指した新型式の組立システムを開発した。このシステムは、セグメント搬送供給、把持位置決め、ボルトナット供給締結などの一連の工程を完全自動化したもので、さらに、組立ロボットをシールド機から分離し、セグメント組立後のトンネル側に独立した組立ロボットとして装備した後方支持方式で、今後進む工事の高度化に対応し易い発展性の備えたシステムである。

2. セグメント自動組立システムの構成と特徴

後方支持式自動組立システムを第1図に示す。本システムは、組立ロボット、支持装置、搬送供給装置から構成されている。　また組立ボットは、位置決め姿勢制御装置、把持装置、ボルトナット供給締結装置よりなっている。

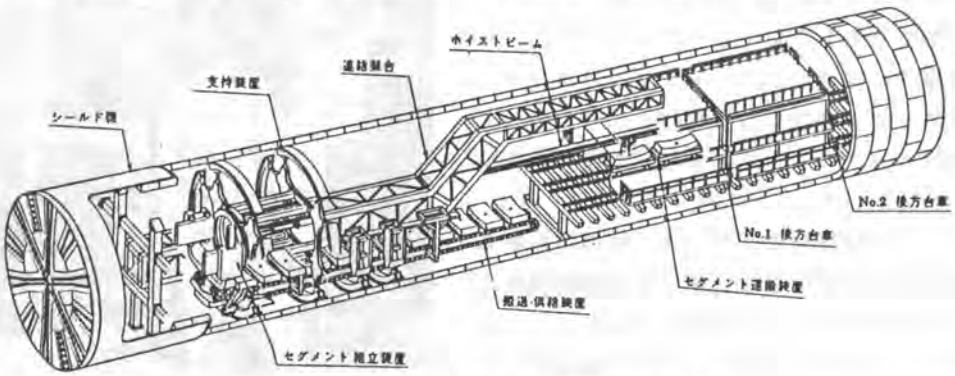
従来のエレクタはシールド機後部に後ろ向きに装備されているが、後方支持方式自動組立システムでは、シールド機から分離し、組立面である既設セグメント側に装備しセグメントと１体化しているため次の特長がある。

(1)シールド掘進中に次セグメント組立のセンシングが行なえ、掘進作業に阻害されることなく組立面の正確な位置を把握できる。

(2)セグメント組立ロボットと既設セグメントとの相対位置が変わらないため、組立精度が向上する。

(3)セグメント搬送供給装置、真円保持装置との１体化が図れる。

(4)シールド掘進とセグメント組立作業を同時に行う高速施工への対応が可能である。



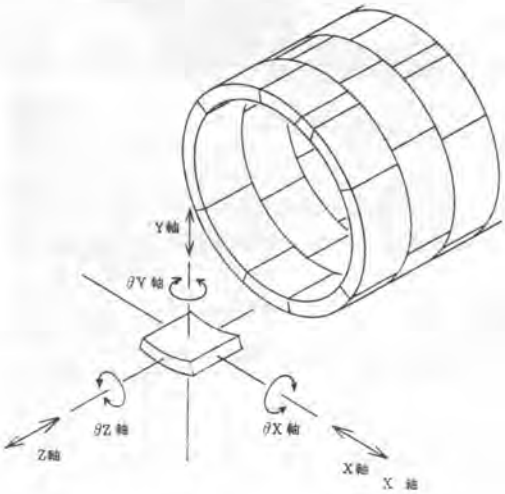
第1図 後方支持式セグメント自動組立システム

3. 位置決め制御方式

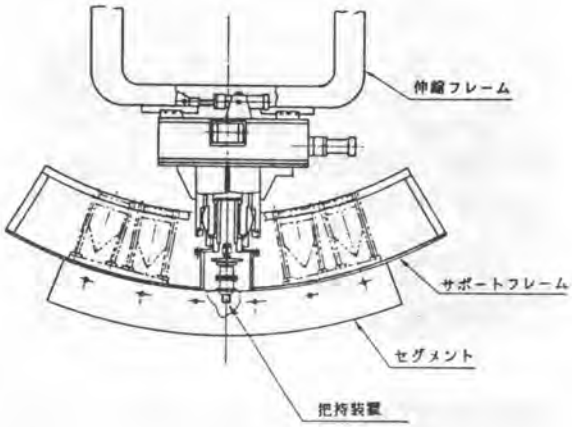
3.1 セグメントの自由度と制御軸

従来のエレクタは、旋回、半径方向の伸縮及び軸方向のスライドの3軸を操作することによって位置決めを行なっていて、多少のねじれはセグメントとエレクタのガタによって吸収していた。自動化をするためには、これらのねじれ要素も独立軸として制御する必要がある。第2図はセグメントの自由度を表したものである。今回開発した装置は、従来の3軸(旋回方向:X、トンネル半径方向:Y、トンネル軸方向:Z)に加えて、ピッチング方向:θX軸 ヨーイング方向:θY軸、ローリング方向:θZ軸及び旋回方向の微調整用軸:Xo軸によって位置出しを行なっている。第3図に姿勢制御装置を示す。

位置決めの順序としては、既設のリング位置の計測データを基にX,Y,Zの3軸を使用して、粗位置へと移動させる。次に、サポートフレームに取り付けたセンサ(超音波距離計)で既設セグメント(把持時は把持セグメント)の計測を行ない微小位置決めを行なう。



第2図 セグメントの自由度



第3図 姿勢制御装置

3.2 制御装置

制御装置は、演算制御部、サーボ制御部、締結機制御部の3つの独立した制御系より構成している。演算制御部では位置決めのための演算及びマンマシン部の制御を行なう。サーボ制御部では油圧サーボ7軸のコントロールを行なう。締結機制御部ではボルトナット締結制御及び位置決めに必要なセグメント姿勢計測データの収集を行なっている。

3.3 センシング

セグメント位置決め時の各制御軸とセンシングとの関係は次の通りである。

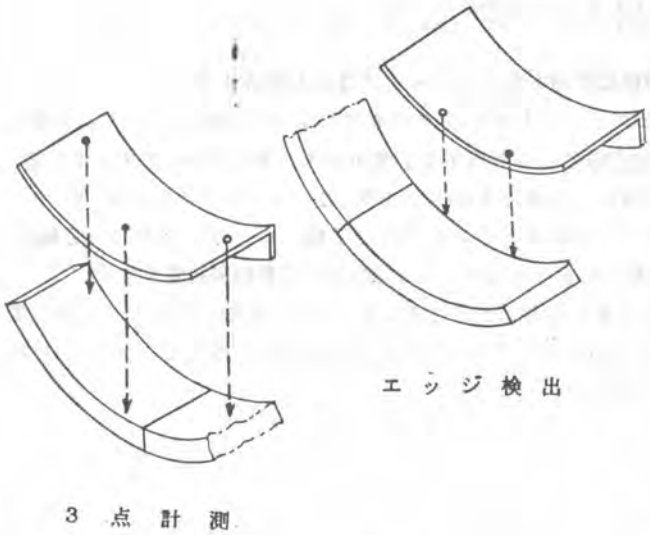
X方向——既設セグメントのボルトボックス穴のエッジを検知することにより測定。

Y方向——センサで直接、既設セグメントまでの距離を計測して調整する。

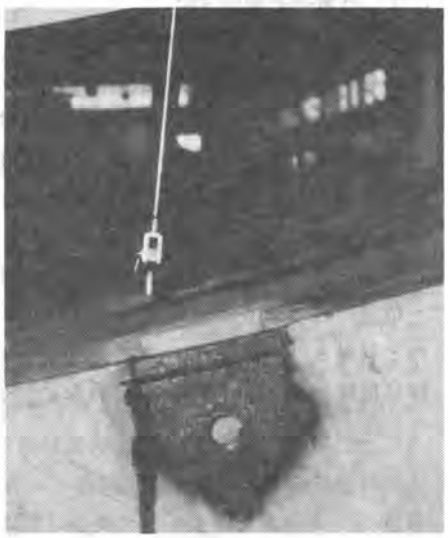
Z方向——既設セグメントのエッジを検知することにより測定。

θX(ピッチング)、θZ(ローリング)方向——第4図のように3点計測から各調整値を求める。

θY方向——Z方向の左右エッジを検知する事により調整を行なう。



第4図 センシング方法

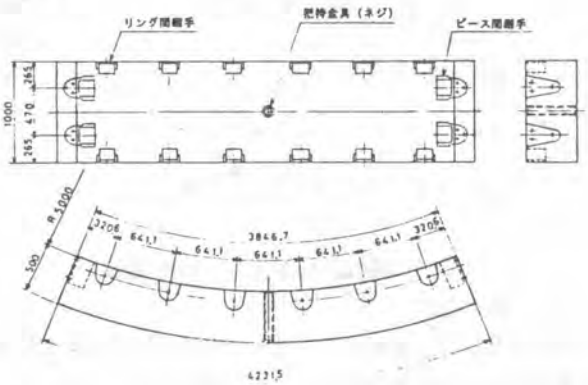


第5図 センサー

4. 試作ロボットによる組立試験

組立試験は、実際のセグメントを用いて、Kセグメント付近の組立を行なえるもので実施した。セグメントは大阪市平野川調節池用トンネルに使用された我が国最大クラスのものと同じである。

形　　式 ; RC平板セグメント
継手形式 ; ボルトナット(M30)
外　　径 ; 11,000mm
内　　径 ; 10,000mm
厚　　さ ; 500mm
重　　量 ; 5,500kg

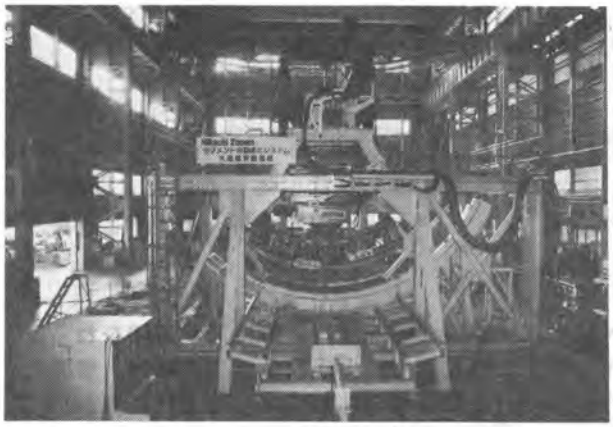


第6図 セグメント

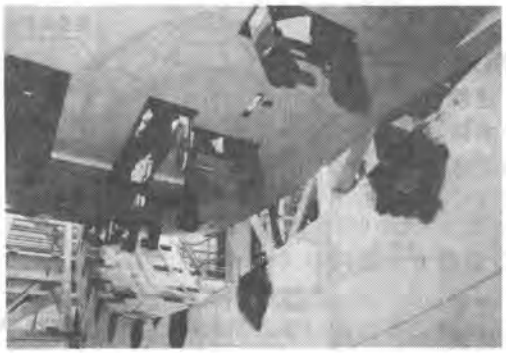
4.1 試験項目

本試験において、セグメントの組立て実証は目的の1つであるが、実機製作への注意点等を考えて下記項目の検証を行なった。

(1)負荷の違いによる位置決め精度への影響。
(2)悪環境下でのセンサーの信頼性の確認。
(3)重量物ハンドリングに於ける問題点の抽出と対策。
(4)ボルトナット締結機の信頼性の確認。
(5)制御方式の妥当性。
(6)各工程組立時間の測定と全組立時間の短縮化。



項目			仕様
使用セグメント	形式		ボルト継手 RC平板型
	外径		11,000mm
	内径		10,000mm
	幅		1,000mm
	重量		1ピース約5,500kg
組立装置	旋回	トルク	100tf-m
		速度	0~0.5rpm
		駆動方式	油圧式
	姿勢制御部	形式	球面軸支持方式 (6軸自動制御)
		駆動方式	油圧サーボ式
	センシング		非接触式
	把持部		グラウトホールネジ込式
	ボルト、ナット締結機		油圧駆動



第7図 試作ロボット

4.2. 組立て試験結果

本試験では、前項で述べた試験項目の他下記項目が確認できた。

(1)把持および把持解除の問題点と対策。

(2)マンマシン制御の信頼性向上対策。

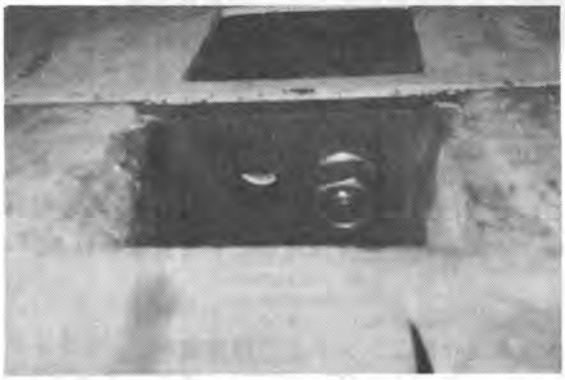
(3)制御軸位置決め精度の向上方法。

(4) K セグメントの取扱い。

(5)セグメントシールの取扱い。

(6)制御軸位置決め精度　　：　±0.5mm

(7)セグメント位置決め精度　：　±1.0mm.



第8図 ボルト締結状態

5. 結　言

新方式の後方支持セグメント自動組立システムを開発し、ボルト締結式大型汎用セグメントでの組立試験による性能確認を行った結果、当初の機能、性能を満足できた。現在は把持工程での位置決めセンシングが必要なため1ピース約7分の組立時間を要しているが、一括センシングなどの手法を加え組立時間の短縮を図ると同時に、実際の工事条件に応じた試験を重ね、実用化を進めている。

35．懸垂式自動壁面目荒し機の開発

清水建設㈱：牧野　総一・梶岡　保夫
小田原卓郎・*岸野　富夫

1．まえがき

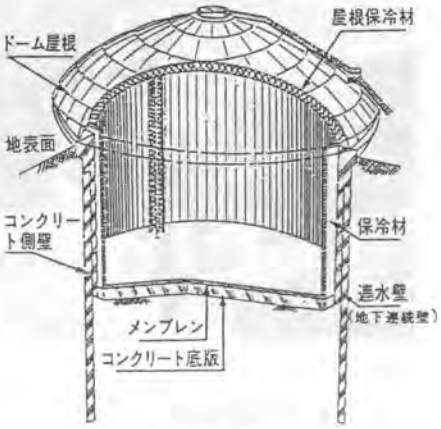
このたび，東京瓦斯㈱袖ケ浦工場のＬＮＧ地下式貯槽（図－１）工事に工期短縮をねらいとした合理化施工システムを開発，導入した。この工事では大規模なコンクリート壁面の目荒し作業を必要とする工法が採用されており，工期短縮のためには，施工性に優れた高能率の目荒し機がどうしても必要となる。本報では，今回の合理化施工システムにおける目荒し機の開発概要及び装置の構造・機能について述べる。

2．本体組込み地下連続壁工法による地下式貯槽工事

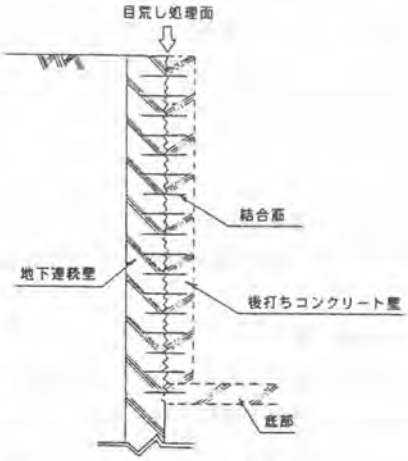
本体組込み地下連続壁工法は，従来の仮設地下連続壁とは異なり，地下連続壁を仮設壁でなく貯槽の本体構造物として利用するものであり，次の順序で施工される。（図－２）

① 結合筋を埋め込んだ地下連続壁を施工する。
② 貯槽内部を掘削する。
③ 地下連続壁と後打ちコンクリート壁の一体化をはかるために，地下連続壁面を目荒し機にて目荒し処理する。
④ 所定の深さまで②～③を繰り返す。
⑤ 底部コンクリートを施工する。
⑥ 後打ちコンクリート部の結合筋を連続壁面部の結合筋につないでいく。
⑦ 後打ちコンクリートを施工する。
⑧ 所定の高さまで⑥～⑦を繰り返す。

このようにして，地下連続壁と後打ちコンクリート壁が一体化され，本体構造物として完成される。



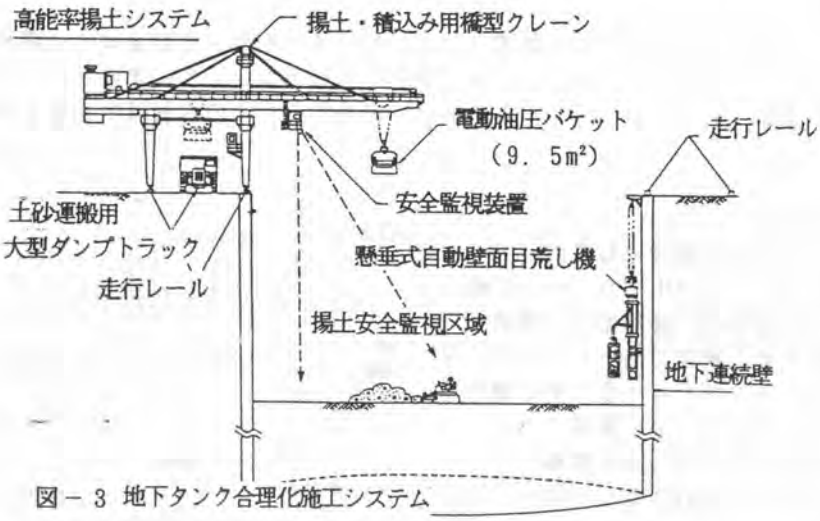
図－１　地下式貯槽全体図



図－２　本体組込み地下式連続壁工法概略図

3．合理化施工システムの開発概要

このシステム（図－３）は，地下式貯槽工事の工期短縮をねらいとし，①高能率揚土システム及び②懸垂式自動壁面目荒しシステムから構成されており，掘削工程と目荒し工程における各々の作業を掘削底面で重複することなく，効率的に行うことができる。



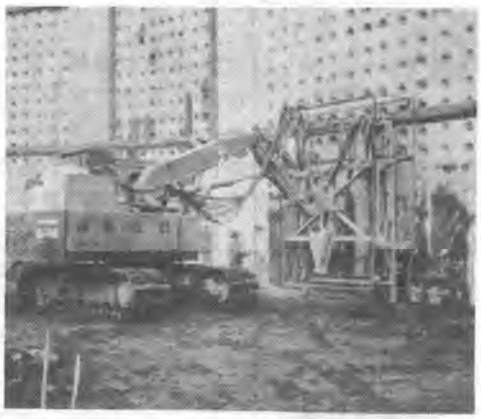
図－3 地下タンク合理化施工システム

4．懸垂式自動壁面目荒し機の開発

4.1 旧タイプ自動壁面目荒し機の問題点

当社では昭和59年に油圧ショベルに搭載した自動壁面目荒し機を開発しているが，今回の合理化システムを検討する上で，旧タイプの自動壁面目荒し機（写真－1）の問題点を整理した結果，以下の項目が上げられた。

①掘削底面を利用しているため，掘削工程に影響を与える。
②装置の盛替えに時間がかかる。
③はつりスピードが不十分
④粉塵の発生



写真－1 旧タイプ自動壁面目荒し機

4.2 開発目標の設定

旧タイプ目荒し機の問題点解決と，高能率揚土システムとの適合性を考慮に入れて開発目標を設定した。（表－1）

施工能力	・高強度コンクリートに対し，所定規準の目荒しが可能 ・施工スピード 60m²/日以上（平面はつり－8時間） ・結合筋部のはつり出しが可能 ・地下連続壁に損傷を与えない
施工条件	・地下50mでも所定の押え力が発生可能 ・掘削底面を利用しない ・地下連続壁の曲率に対応可能 ・はつり工程～フレーム盛替えを自動化 ・遠隔操作 ・集塵機の装備
コスト	・人力によるはつり単価以下
開発期間	6ケ月

表－1 開発目標

4.3 装置の設計

掘削工程に影響を及ぼさない方式とすることを重点に検討した結果，上部に仮設レールを設置し，そのレールに鋼製フレームを吊り下げ，このフレーム内をハンマが上下左右に動きながら目荒らしを行う懸垂式案をとりまとめた。

(1)懸垂装置

鋼製フレームを吊り下げるための装置として，レール上を走行するトロリー部及びフレームを上下させる巻上部（ワインダ）は，既在の仮設用ゴンドラに使用されているものを適用した。又，吊り下げたフレームを水平に維持するための水平維持装置も装備している。

(2)フレームの設計

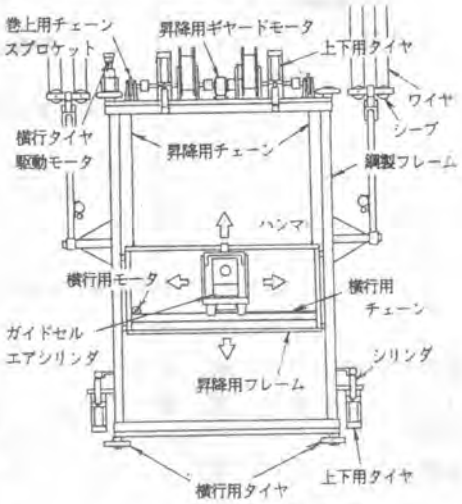
フレームの主な検討項目としては

①限られたスペースの中をハンマがX軸，Y軸方向に効率的に移動できる構造

②懸垂式のため，壁面に沿っての上下，左右移動がスムーズに行えるための横行用タイヤ，上下用タイヤの装備

③ハンマを押し出す押し出し機構

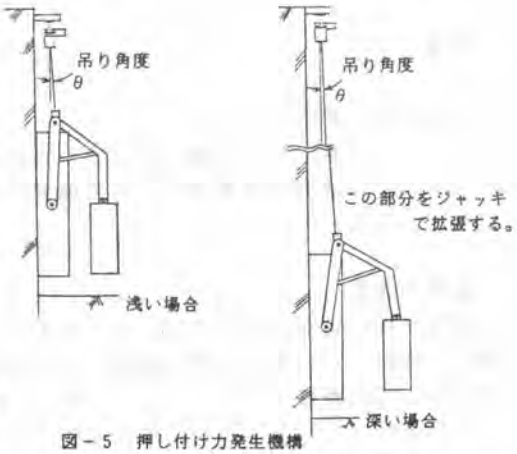
であり，これらの検討に基づき図－4に示す鋼製フレームを製作した。



図－4　フレーム及び駆動装置

(3)フレーム押し付け力の発生機構

この装置は50mの深さまで吊り下げられた状態で作業を行うため，この深さおいてもハンマ打撃反力と対抗してフレームを壁面に押し付ける必要がある。そこで，カウンターウェイト部を後ろに開き，重心位置を変えることにより，ワイヤの吊り角度を一定に維持し、所定の押し付け力を確保できる機構を採用した。（図－5）



図－5　押し付け力発生機構

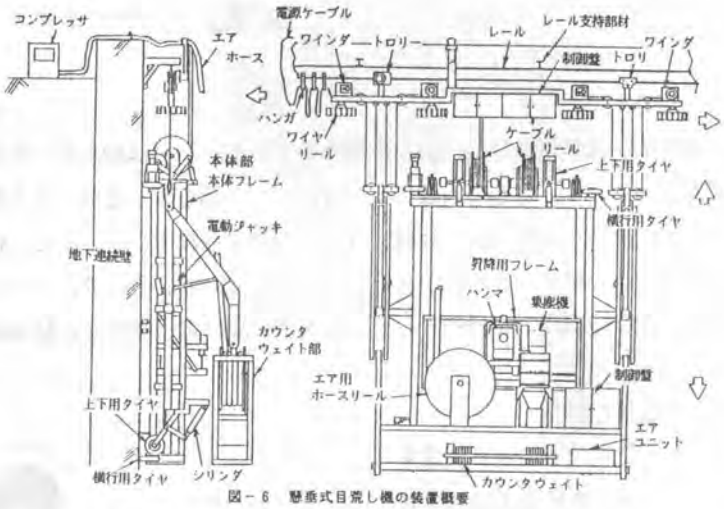
(4)制御及び操作

本装置の制御は，プログラマブルコントローラを採用しており，ハンマの所定作動パターンでのはつり作業から隣接する次の作業区画へのフレームの移動までの全工程を自動運転することができる。手動操作の必要な場合には有線遠隔操作で行い，フレームの移動は無線遠隔操作でも可能となっている。

4.4 装置の概要

本装置は図－6に示すように，トロリー・ワインダ部，本体部，カウンターウェイト部から構成される。トロリー・ワインダ部はレール上を横行するトロリー，フレーム巻き上げ用のワインダ及び制御盤を搭載し，本体部はエアハンマと各駆動装置，横行用タイヤ，及び上下用タイヤ等が搭載されている。カウ

ンターウェイト部には，エアホースリール，集塵機，制御盤，エアユニット，カウンターウェイトが搭載されている。圧縮空気は地上に設置されたエアコプレッサからエアホースにより，装置本体に取付けられたホースリールを経由してエアユニットに送られ，制御信号により電磁弁を開くことによりハンマに供給され，これを駆動する。又，目荒し時に発生する粉塵は集塵機により処理される。



図－6　懸垂式目荒し機の装置概要

5．施工

本装置は本年6月末から東京瓦斯㈱袖ケ浦工場C－6地下式貯槽工事に適用された。2台の装置により，約9,800 m²の目荒しと結合筋部のはつり出しを行った。（写真－2）

5.1 施工能率

掘削工程に影響を及ぼすことなく，高能率で目荒し作業を進めることができた。人力と比較すると15～20倍の施工スピードとなっており，装置の移設，待機時間等を考慮すると，旧タイプの目荒し機の2倍以上の性能を有することが判った。

5.2 施工品質

目荒し品質は所定の検査基準により検査され、結果は全て基準をクリアしている。

6．あとがき

懸垂式自動壁面目荒し機は，このたびの地下式貯槽工事の施工合理化システムの一部分として開発され，大幅な工期短縮の一翼を担うことができた。本機は，目荒し作業が高能率で行えるという評価を得たが，騒音発生の問題等，一二の改良すべき課題も残されている。今後実績を積み重ねながら逐次改良を加え，解決していきたいと考えている。

写真－2　稼動中の懸垂式自動壁面目荒し機

36．ロータリ除雪車の自動化技術の開発

建設省北陸技術事務所：萩原　哲雄・上村　　弘
*中川　毅志

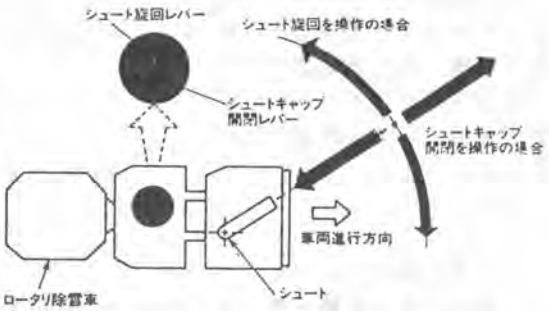
1. はじめに

近年の交通量増大等に伴い、除雪作業のオペレータは絶えず一般車両や周囲の状況に注意しながら作業を行っている。なかでも数多くの操作レバー類を有するロータリ除雪車の運転操作には、安全作業に対し特に高度な運転技術と経験、注意力が要求されている。また、住民やドライバー側からの除雪作業に対する高い精度（きめ細かさ）も要求されている。そこで、ロータリ除雪車の操作性、除雪能力及び精度、安全性の向上を目的として、投雪機構及び走行機構に自動制御機構を取り入れた除雪装置の開発を行った。

2. 投雪の自動化

2.1　現状のロータリ除雪車

ロータリ除雪車の投雪位置は、シュートの方向及びシュートキャップ開閉等の除雪装置の形状を変えることによってほぼ決まる。しかし、シュート旋回、シュートキャップ開閉等の個々のレバー操作では、図－1に示すようにシュート旋回の場合はシュートを中心とした回転の円移動、シュートキャップ開閉の場合はシュート先端からの放射線方向の直線移動である。そのため操作が複雑でオペレータの操作感覚とマッチせずまた、雪が放物線を描いて飛ぶため目標投雪位置に投雪するには高度な技術と熟練を必要とする。



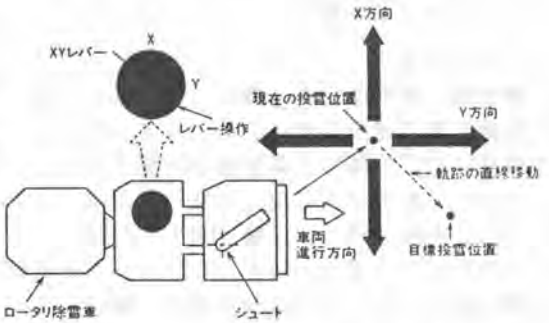
図－1　ロータリ除雪車の投雪操作概要図

そこで、現状のロータリ除雪車の問題点を踏まえ、投雪位置の簡易化、安全性の向上を図るため、以下による自動制御を取り入れた機構を開発した。

2.2　投雪のＸＹ制御機構

投雪位置をオペレータの人体感覚に合わせ、図－2に示すように車両の前後方向（Ｙ方向）と左右方向（Ｘ方向）及びその組み合わせ方向の任意の目標位置に向かって現在の投雪位置から直線的に動かす機構である。

入力操作は、運転室に設けた以下に記す２つのいずれかの装置で操作する。（写真－1）



図－2　投雪のＸＹ制御機構概要図

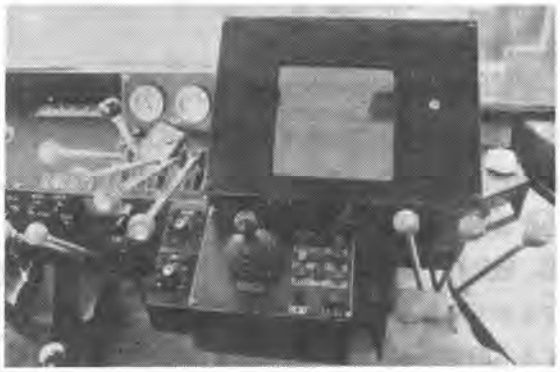
2.2.1　ＸＹコントロールレバー

１本のＸＹレバー（ジョイスティック式）

によって、投雪位置がレバー操作とそのまま対応する機構で、現在の投雪位置から動かしたい方向へレバーを傾けることで投雪位置が目標点へ移動する装置である。

2.2.2　ワンタッチ入力ボード

タッチパネル及び投雪位置表示ボードで構成され、パネル表面に指で触れることによって投雪位置を動かしたい場所へ直接入力できる装置である。

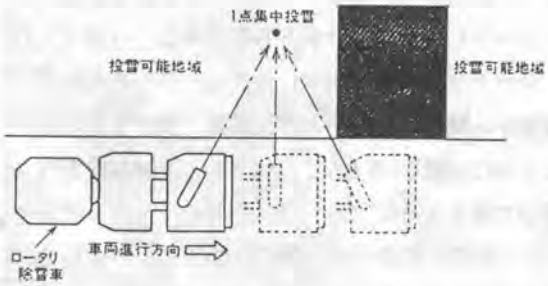


写真－1　自動制御装置操作部

2.3　投雪の一点集中制御機構

投雪作業中において、車両が図－3に示すように家屋、交差点などの投雪禁止地域に近づき自由に投雪ができない場合、投雪可能地域へ集中的に投雪する必要があり、その操作を簡略化する機構である。

入力操作はオペレータが制御スイッチを押すことにより指示した時点の投雪位置を記憶して車両の移動及びステアリング操作に係わらず投雪位置を1点に集中させるものである。

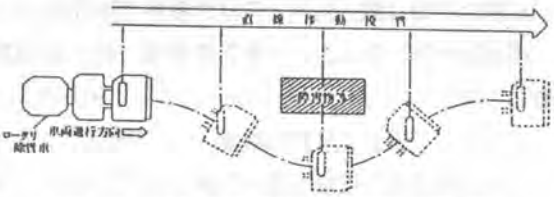


図－3　投雪の一点集中制御機構概要

2.4　投雪の直線移動制御機構

制御開始時点の投雪落下点からその時の車両の進行方向と投雪落下点の目標移動線を設定し、除雪等の作業中に車両停車帯の除雪や障害物の回避等で、車両が操向動作を行っても、投雪落下位置を目標移動線に沿って直線的に移動させる制御である。

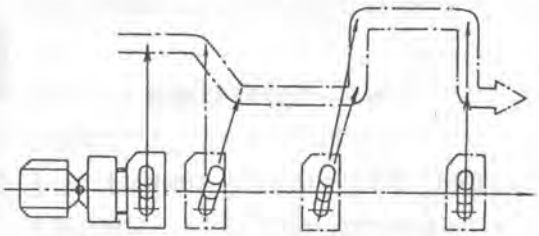
入力操作は、オペレータが制御スイッチを押すことにより指示した投雪落下線を記憶して車両の移動及びステアリング操作に係わらず投雪を直線的に動かすことができる。（図－4）



図－4　投雪の直線移動制御機構概要図

2.5　投雪のパターン制御機構

一定の除雪区間の投雪作業における投雪位置の変更をパターン化し、その区間の一連の変更投雪位置データを走行距離データと関連させて事前にコンピュータに記憶させておき、除雪作業での走行に従って自動的に投雪位置を変更する制御である。（図－5）



図－5　投雪のパターン制御機構概要図

3. 走行の自動化機構

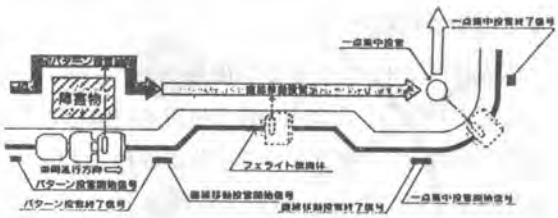
本機構は、フェライト誘導方式により自動操向操作制御を行う。フェライト誘導方式は、産業廃棄物である複製フェライト（鉄の酸化物を主成分とする強磁性体で、永久磁石、高周波トランス鉄芯、磁気テープ等に多く使用されている）をアスファルトに混入し、フェライト標識体として使用するものである。

このフェライト標識体を除雪道路に沿って一定の幅と厚さで敷設し、フェライトセンサの働きによって除雪車は、フェライト標識体上を自動的にトレースしながら走行するものである。（図－6）

図－6　走行の自動化機構

ロータリ除雪車のオペレータは、ステアリング操作から開放され周囲の作業環境と投雪する場所に十分な注意を向けることができ、正確な投雪作業ができるようになる。

この制御と前述した投雪の自動化を組み合わせることにより、所定の区間で自動運転が可能となり、より効率的な除雪作業が可能となる。（図－7）



図－7　投雪の自動化との組み合わせ

4. 試験結果

4.1　投雪の自動化

試験は平坦な舗装路面上の自然積雪で除雪を行いながら各試験条件に設定された目標投雪落下位置（模擬指令値）を入力し、その指令値における目標投雪落下軌跡と実際の投雪落下軌跡との違いを調査した。

4.1.1　投雪のＸＹ制御機構

投雪軌跡の目標投雪落下軌跡に対するずれ量は、１m程度と良好な結果であった。しかし、投雪距離の大きいものはやや精度が劣る場合がある。

4.1.2　投雪の一点集中制御機構

ステアリング時にタイヤスリップが発生し、制御誤差を生じて精度が劣る場合があったものの比較的精度が良好に行えた。試験結果を写真－２に示す。

写真－２　投雪の一点集中制御機構試験結果

4.1.3　投雪の直線移動制御機構

実際の車両旋回軌跡を理論旋回軌跡とほぼ一致させることができ、キャップ開閉位置、シュート旋回角度及び投雪位置が試験開始時と終了時で一致した。

4.1.4　投雪のパターン制御機構

シュート動作終了時の投雪位置の車両進行方向に対するずれ量は、投雪位置の車両直角方向への移動距離９ｍの移動量では１．５ｍ程あるものの、５ｍではほとんど見られなかった。

4.2　走行の自動化

4.2.1　走行試験

試験は、平坦な舗装路面上にフェライト標識体を並べて、試験条件に設定した種々の目標とする走行軌跡を設置した。最少回転半径７ｍ、最大屈折角度２５度まで可能であった。センサの標識体との高さは、９０㎜～１９０㎜まで可能であった。

また、フェライト標識体を一般国道４９号新潟国道工事事務所　水原維持出張所管内津川町福取地先の現場に１００ｍ施工するとともに、現道上において実負荷試験を行った。

積雪のある所を走行するため、タイヤスリップを生じ、安定性は悪くなったが、精度が比較的良好であった。（写真－３）

写真－３　現場試験状況

4.2.2　耐磨耗・流動性試験

５種類の標識体（プランク、ライナ、タイル、ペイント、アスリュウ）について、道路上に埋設することを想定し、耐磨耗・流動性試験（スパイクラベリング試験、ホイールトラッキング試験）を実施した。

磨耗性では、タイルが一番良く、流動性では、タイル、プランクが良かった。しかし、道路上に敷設することを考慮するとアスファルト舗装（細粒ギャップ２０Ｆ）と同等の磨耗性・流動性を有するペイント、アスリュウを使用する方が良いという結果になった。

そこで、現場にはアスリュウを敷設した。

5. おわりに

一般車両が通行している状態で施工する除雪作業のうち、とりわけ運転操作の複雑なロータリ除雪車に多機能の自動制御装置を開発し、取り付けた。

投雪の自動化機構は、管内の現場に２台導入されている。今後も使用実績を積むことにより機械の改良を続け、なおいっそう使いやすい機械にしていきたい。

走行の自動化については、投雪の自動化を組み入れることによりロボット化への実現性へと発展させたい。

今回開発した自動制御装置により、ロータリ除雪車が現場でより性能を発揮し、運転操作の負担が少しでも軽減されることを期待する。

37．自動化ケーソン工法の開発

鹿島建設㈱：中川　幹雄・*河本　克正
㈱白　石：佐久間敏夫

1．はじめに

ニューマチックケーソン工法は、作業室内に圧縮空気を満たし地下水を排除して作業を行うため、施工上次の様な問題を持っている。

・安全衛生規則等の規定から、作業気圧が高くなるほど作業時間が少なくなる。

・作業環境が悪い（高気圧、高湿度）。

一方この工法は、連壁工法、オープンケーソン工法等には無い多くの利点を持っているため、これまでにも数多くの重要構造物の基礎や地下構造物の建設に利用されてきた。

近年は特に、ジオフロント（地下空間）の開発が脚光を浴びはじめ、地下構造物はますます大型化・大深度化する傾向にある。こういったニーズに答え、ニューマチックケーソンの適用分野をさらに拡大してゆくためには、この工法がかかえる問題を解決する必要がある。

そこで前記の問題を解決するために、圧縮空気が満たされた作業室内での人間の作業を無くし、ニューマチックケーソン工事を地上からコントロールできる本工法を開発した。

2．自動化ケーソン工法開発の経緯

本工法の概念図を図－１に、圧気作業室内の機械設備の配置図を図－２に示す。この工法の基本コンセプトは 『地上に管理制御室を設置し、ここにケーソンの掘削・沈設作業に必要な情報を集中し、オペレーターはこれらのデータをリアルタイムに施工にフィードバックしながら、作業室監視用モニターテレビ等を利用して、掘削機等を地上から遠隔操作する』 ということである。

しかし、モニターテレビの画像だけで掘削機を遠隔操作しようとすると、視界が狭く、得られる情報に限界があることから、操作性、施工性が低下すると考えて次のシステムを付加した。

(1) 自動積込装置の採用

(2) 掘削機の自動運転

(3) 掘削機の位置・姿勢のモニター

(4) ケーソン刃口付近の地盤の計測・表示

(5) その他の情報（沈設管理システム）

3．各システムの概要

(1) 自動積込装置の採用

自動積込装置は、ベルト式フィーダの上に掘削した土砂を一時仮置し、排土バケットが戻ってきた時点で一気に積込む装置で、ベルト式フィーダを昇降・走行させる構造である。

(2) 掘削機の自動運転

掘削作業は地盤の硬軟、土質等の変化に対応する必要があるため手動で遠隔操作するが、土砂積込動作はオペレーターの判断が不要な単純繰返し動作であるため、自動運転することとした。自動運転の制御はシーケンス制御で行い、ボタン1つでスタートする（図－3）。

(3) 掘削機の位置・姿勢をモニター

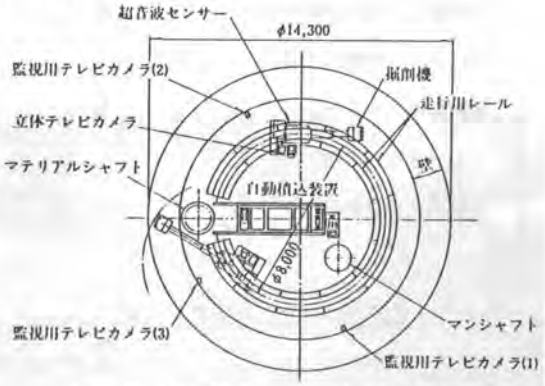
テレビカメラからの情報だけでは、掘削場所、掘削機の位置・姿勢の判断がむつかしく、掘削効率が低下し、また他の機器との衝突の危険性が増大すると考えて、ケーソン躯体と掘削機の関係を側面図と平面図で3次元的に、しかもリアルタイムに表示した（図－4）。

(4) ケーソン刃口付近の地盤の計測・表示

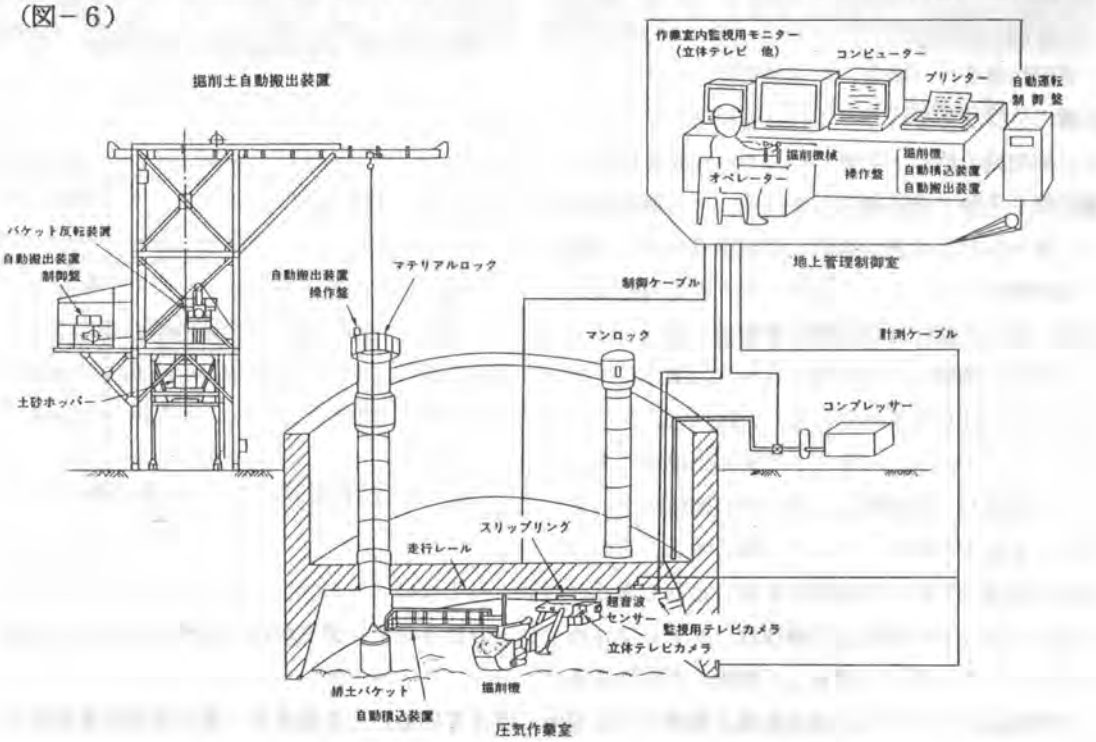
ケーソンは刃口付近を均一に掘削することが姿勢制御の基本となるため、その掘削状況を把握することが施工管理上重要である。そこで、ケーソン刃口部の地盤の状態を計測・表示した。（図－5）

(5) 沈設管理システム

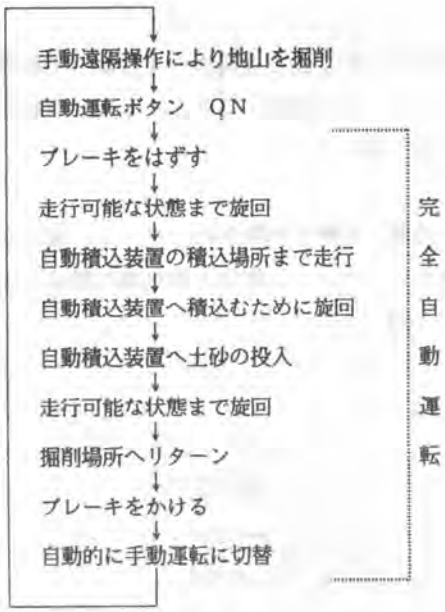
ケーソンの傾き、沈下量、作業室の気圧、刃口反力および周辺環境へ与える影響等をリアルタイムに計測し管理制御室に表示した。（図－6）



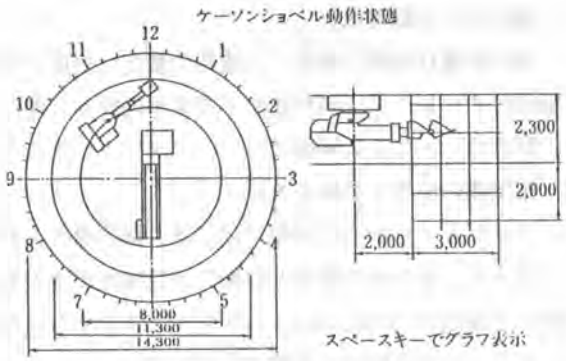
図－2　圧気作業室内　機械設備配置図



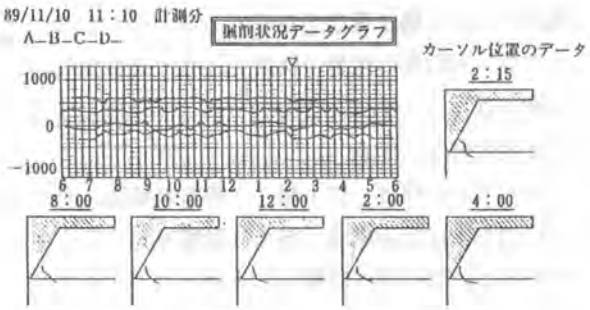
図－1　自動化ケーソン工法　概念図



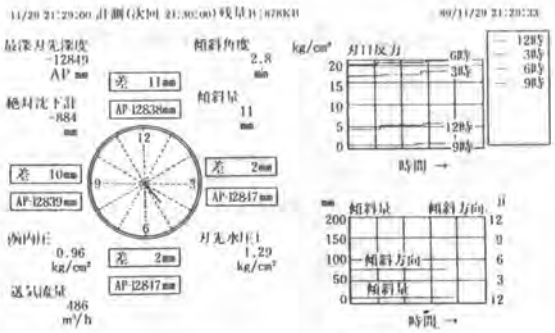
図－３　掘削機　自動運転フロー図



図－４　掘削機の位置・姿勢　モニター画面



図－５　刃口部掘削状況　表示画面



図－６　沈設管理システム　表示画面

４．掘削・沈設作業

掘削作業を行う場合、まず掘削場所を決め、掘削機の位置決めを行う。これは監視用テレビカメラと掘削機の位置・姿勢のモニター画面を利用し、掘削機を手動で遠隔操作して行う。次に掘削作業は立体テレビカメラで地盤の状況を見ながら手動で遠隔操作する。そして掘削した土砂を自動積込装置に積込む操作は自動運転を使用する。

自動積込装置は、掘削機で４～５回積込むとほぼ１㎥の土砂をストックしたことになる。そこで、オペレーターは排土バケットが所定の場所にあることを確認し、自動積込装置の自動運転ボタンを押して掘削土を排土バケットへ投入する。この自動積込装置は手動で遠隔操作することもできる。

排土バケットの巻き上げ操作は、マテリアルロック上のロックテンダーが行うため、オペレーターはこのロックテンダーへ巻き上げ開始の合図を送る。

その後、オペレーターは自動積込装置が元の場所に戻っていることを確認し、再び掘削作業を行う。

この作業を繰り返すことで作業室内の地盤を掘削し、ケーソンを沈下させていく。

5．本工法の施工実績と評価

本工法は既にシールド発進用立坑２基に適用され良好な成果をあげて施工を完了している。写真－１は地上管理制御室での操作状況、写真－２は圧気作業室内の機械設備である。

実工事での適用結果から本工法の評価は次の様にまとめられる。

①地上の大気圧下での作業であるため、掘削深度に関係なく一定の掘削効率を確保できる。

②圧気作業室内での作業が大幅に削減されるため、作業環境が改善され、安全性が向上する。

③自動運転の採用でオペレーターの負担が軽減され、複雑な操作も安全・確実に行える。

④計測情報をリアルタイムに施工にフィードバックできるため、精度良く安全な施工が可能になる。

写真－１　地上管理制御室内　操作状況

写真－２　圧気作業室内　機械設備

6．むすび

今回開発したシステムは、掘削機１台で施工可能な規模のケーソンを対象にしたものである。この規模のケーソンでは、監視用ＴＶの高品質化と、計測管理システムを利用した情報化施工により、地上からの遠隔操作技術はさらに向上すると考えられる。

しかし、掘削機が複数台必要な中～大規模ケーソンの施工では、作業室内の監視方法をさらに検討し、掘削機相互の衝突、掘削場所の判断方法等の問題を解決してゆく必要がある。

ニューマチックケーソン工法の特徴を最大限に生かしつつ、この工法の適用分野をさらに拡大するために、引続き完全自動化・ロボット化をめざして研究開発に取り組む予定である。

＜参考文献＞

1) 佐久間敏夫、河本克正：自動化ケーソン工法、基礎工、Vol. 18, No. 2, 1990

2) 原田光男、河本克正、佐久間敏夫：Ground-Level Remote Control System for Pneumatic Caisson, 7th I. S. A. R. C. 論文集、1990. 6

3) 浦沢義彦、中川幹雄、河本克正、佐久間敏夫：ニューマチックケーソン工法における地上遠隔操作システムについて、第１回建設ロボットシンポジウム論文集、1990. 6

38．外塗工事用ロボットの開発

鹿島建設㈱：五十嵐久也・片山　公正
*田中　靖彦

1．はじめに

超高層ビルの地上階工事においては、従来から繰り返し作業の特質を活かしてプレハブ化指向で合理化を図って来た。建設システムの一層の合理化を追求する上においては、仕上工事のユニット化、ユニット材取付の機械化が重要課題である。外装工事では、版状カーテンウォールの普及で合理化はすすんできたが、メタルカーテンウォールを用いた場合は、現地組立が宿命のため生産性が低くなってしまう。

今回、そのメタルカーテンウォールを採用するにあたり、ユニット化を推進するため、その工法に必要となった外装工事用ロボットを開発した。本文はこのロボットを使用して好結果を得たので報告するものである。

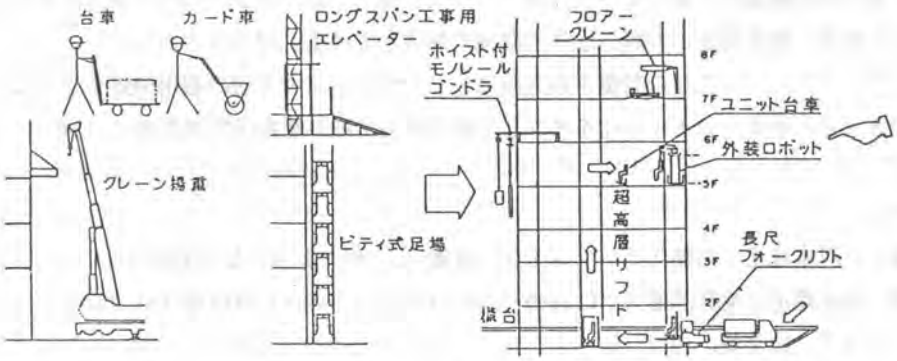
2．開発のねらい

大阪市内のＯＢＰ（大阪ビジネスパーク）地区内で施工中の超高層ＴＭビルにおいては、４本組柱（マストカラム）によるスーパーフレーム架構が採用されており、構造部材のシンプル化、意匠面のパネル化等、ユニット化、シンプル化を追求した設計になっている。この為これら外装材についてもユニット化され大型化が図られている。この外装材の取付については、既存の機械を使用しては施工不可能であり、次の条件を満足する機械の開発が必要となった。

(1) ユニット化した部位を室内から取付けることができる。

(2) 微調整ができる安全作業台を備えている。

(3) セルフクライミングができる。

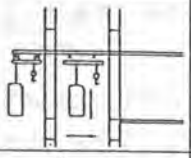
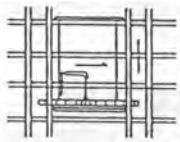
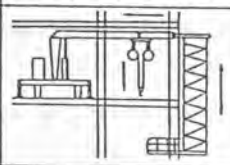


図－1　イメージ図

3．施工用機械の検討

図－1のイメージ図のとおり従来の施工法を根本より見直し、揚重から据付までシステム化を図るべく機械の開発を開始した。この中で従来の機械では施工が不可能であり、あらゆる施工用機械を抽出して、施工部位、安全性、施工性、そして外的条件を考慮に入れ表－1のとおり検討を行い機械を決定した。（移動ステージタイプ→外装工事用ロボットの原案）

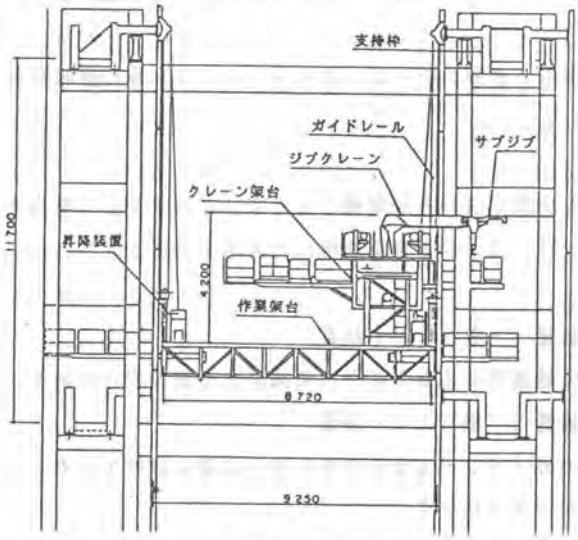
表－1　検討結果表

項目＼タイプ		工事用ゴンドラタイプ	移動ステージ　タイプ	橋架点検車タイプ
略図				
施工部位	性	△	○	○
	架	△	○	△
安全性		・ゴンドラ乗りうつりが危険 ・突風時危険（本体のゆれが大きい）。	・操作が簡単 ・ステージに乗りうつりやすい。 作業時は本体を安全固定ができる。	・操作が簡単 ・確実にアウトリガを出さねばならうない。
施工性		・荷のゆれがあり取りつけにくい。 ・荷が構造物に当るおそれがある。 ・盛替にはタワークレーンが必要。 ・PCプレス部の取付がしにくい。	・自力クライミングが可能。	・駆動力がある。 ・盛替用の開口部が必要。 ・盛替にはタワークレーンが必要。 ・工事用ゴンドラとの組合せが必要。
外的条件				・スラブ反力がとれない。(150kg/㎡以下)
総合評価		△	◎	×

4．外装工事用ロボット

(1) 形　状

構造は大きく分けて作業架台、ガイドレール、支持枠、クレーン架台及び昇降装置からなる。



図－2　外装工事用ロボット

(2) 機　　能

a. 機械が上下する。

機械（作業架台）に設置のワイヤ巻取機により、ガイドレールのトップシーブを介し、ガイドレールに添い機械が昇降する。

b. 横行する。

作業架台上を吊込用クレーン（クレーン架台）が横行する。

c. 荷吊りができる。

吊込用クレーンを設置しているので、室内からの荷（外装材）を直接吊り込める。

d. 作業スペースが拡大する。

主作業架台の他に架台に内蔵した作業スペースを出すことにより作業スペースが拡大する。また、作業架台に添って折りたたみ式足場（サイドステージ）も設けているので作業スペースが拡大し、安全作業を確保することができる。

e. 現地組立方式となっている。

機械が一体物でないため、現場搬入後組立する。

(3) 機械的特徴

a. 特　徴

(a) 安全作業が図れる。

作業員の足場が確保され、安全作業ができる。

(b) 機械の操作の単純化と省力化が図れる。

機械の操作は簡単に、また遠隔操作方式を採用して、1名の運転員で対応できる。

(c) 工程どおりの施工が図れる。

従来の超高層ビルの外装面積に対し、このビルは同じ高さでも2倍の外装面積を有しているが、従来のビルの外装取付工程と同様の工程が図れる。

b. 荷　重

各部（作業架台、作業ステージ、サイドステージ）等の積載荷重について、各々に許容荷重を決めている。

c. 法的規制

法律（労働安全衛生法）上の規制としては「ゴンドラ」に該当することから「ゴンドラ安全規則」および「ゴンドラ構造規格」の適用を受ける。

d. 安全装置

(a) 巻過防止装置（上限リミット装置）

作業架台の巻過ぎによるワイヤー切損防止の為に設けている。

(b) 下過防止装置（下限リミット装置）

作業架台のガイドレールからの外れ防止の為に設けている。

(c) クレーンインターロック

ワイヤ巻取機使用時にはクレーンの使用が不可、クレーン使用時には巻取機の使用が不

可となるよう電気的にインターロックしている。

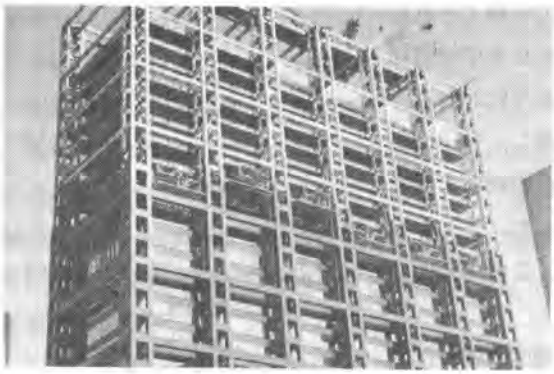
(d) クレーン架台走行時警報装置

クレーン架台の走行時に警報を発する。

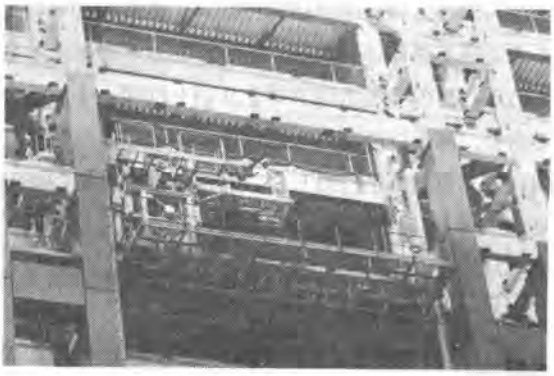
(e) 非常停止装置

緊急時の非常停止押ボタンをクレーン架台の上、下部に設置している。

5．工事中写真



写真－1　機械全景



写真－2　機械外観

6．まとめ

拡大する建設需要、大型化、多様化する建物内容、その反面、逼迫する作業員不足、労働時間の短縮の機運を考えた時、施工法の見直し、改善にとどまらず、施工システムの構築が必要である。かかる展望にあって当工事が導入したマシン化施工はその実績と効果を見ても明らかなように、今後施工業者が取り組むべき技術課題の一例であった。

一般製造業の機械化・自動化は顕著であるが建設業のそれは遅々として進まないといっても過言ではない。その背景には職人による工事が建築工事であるとの過言なまで常識があるからである。しかし、職人減少の大勢は何よりも明らかな展望である以上、機械化施工は従来の建設機械を脱皮した生産機械を主体としたものへと革新しなければならない。作業を機械化させる思想のロボットが遅々として進まないのは、職人不足の対応と言った消極的な発想にあるからとも思われる。

必要なのは機械で建物の生産を行うとの思い切った着眼ではないかとも思われる。こうした着眼点に立った時、工場での機械化部位生産、またプレハブ化、ユニット化施工といった所謂現場の施工の合理化が押し進められると考える。

施工の技術革新は、一現場、一業者での取組みより業界全体としての取組みを行うことがより重要と思われる。

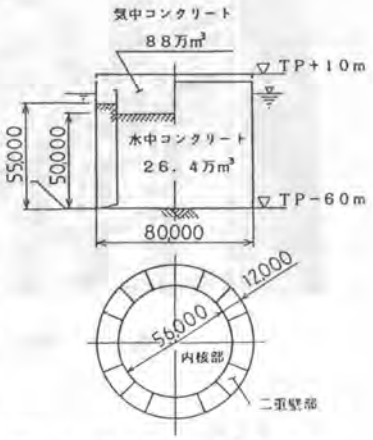
39．水中コンクリート用打継目清掃機の開発

本州四国連絡橋公団：坂本　光重

1. は じ め に

明石海峡大橋は中央径間1990ｍ，橋長3910ｍの長大吊橋であり，この主塔基礎はコンクリート量が35万㎥を越える巨大な水中構造物である。このうち水中コンクリートは図－１に示すように26.4万㎥であり，温度ひび割れの防止のため先に内核部を打設し，完了後引続いて二重壁部を打設した。内核部は全面積(2462㎡)同時に１回当り3.5ｍリフトで打設し，これを14回くり返して完了した。また二重壁部は TP－60ｍから TP－5ｍ まで連続して打設し，これを16回くり返して完了した。

内核部は3.5ｍリフトの層状打設であり，打継面の強度の確保が問題となった。すなわち，打設完了後のコンクリート表面には，打設中にコンクリートから遊離した微粒分や，マリンスノー等が堆積するためこれを除去し清浄なコンクリート面を露出させる表面清掃が必要となった。この表面清掃作業は小規模な基礎であれば人力（ダイバー）で十分可能であるが，今回は清掃面積が広くかつ水深も50ｍを越えるためダイバーによる施工は工程上及び安全上困難であり，専用の水中清掃機を開発した。以下この水中清掃機の開発経緯と稼働実績について述べる。



図－1　主塔基礎一般図（２P）

表－1　打継目処理実験結果

処理方法		無処理	水で洗う	ブラシで洗う
引張り強度 (kg/cm²)	1	採取不能	13．1	14．5
	2	採取不能	11．2	12．4
	平均	－	12．2	13．5

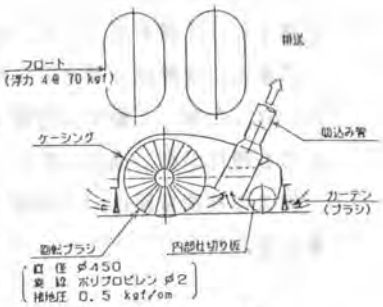
※材令２８日強度

2. 水中清掃機の開発

2－1　清掃装置

今回打設したコンクリートは水中不分離性コンクリートであり，コンクリートの分離量もブリージング水量も極めて少ないため，ダムコンクリートのグリーンカットのような表面コンクリートの除去は不用であり，コンクリート表面の堆積物を除去すれば良い。

設計に先立って実施した表面の処理程度とコンクリートの付着強度の試験では表－１に示すようにブラシ洗いで十分な付着強度が得られた。したがって清掃機構としては図－２に示すように，ナイロンブラシを回転させて沈澱物を浮遊させ，これを水中ポンプでケーソン上の濁水処理装置へ揚水する機構とした。ブラシは摩耗を考慮



図－2　清掃装置の構造

してポリプロピレン製を採用するとともに上部にフロートを設けブラシの設地圧を調節した。またブラシはカバー内に収納し沈澱物の拡散を防止した。

2−2　走行方式

打設完了後のコンクリート表面の高さの差は15cm程度であり全体としてはほぼ平滑であるが，各打設管(24本)から打設されたコンクリートの合流位置には10～15cmのV・U字形の溝が生ずるためこれを乗り越えなければならない。走行機構としては表−2に示すように車輪方式と履帯方式の二種類考えられるが，ここでは方向制御性や機構の簡略化を重視して車輪方式を採用した。

駆動は四輪駆動にするとともに，鋼製車輪の外周にゴム履帯をはめ込み粘着力の向上を図り駆動力を確保した。また作業車本体と車軸の間に図−3に示す平行アングリング機構を設け，走行面の傾斜にかかわらず常時全車輪が接地する機構とした。なお水中作業車を写真−1に示す。

2−3　位置の計測

清掃作業にあたって最も重要なことは，広い面積全体をくまなく清掃し沈澱物の取り残しを無くすることであり，作業車の正確な位置の制御が必要となる。陸上であれば一見して把握できるが，水中では不可能であり，水中における位置の計測には一般的に超音波が使用される。しかし今回は鋼ケーソン内の作業であり，鋼の超音波伝達速度が水に較べて速い(約3倍)ため使用できない。

一方水中の作業車に対し動力の供給や制御信号の伝達を行なう電力・信号ケーブルは不可欠であるとともに，今回の作業範囲は直径56mに限定される。このため図−4に示すように，このケーブルの長さと張出方向により作業車の位置を計測する方法を採用した。

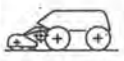
ケーブルの長さは次項で述べるケーソン上のケーブル巻取ウインチドラムの回転角度で計測するとともに，角度は水中旋回シーブに設けたパルスカウンターにより計数し，これらを電算機にとり込み常時座標計算を行ないCRT画面上に表示した。

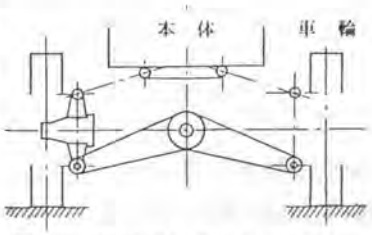
なおこのケーブルは18mmの導体3本と光ケーブル4本を収容した耐張力3000kgの中性浮力ケーブル（比重1.0）とし，たれ下り等による位置計測の精度低下を防いだ。

2−4　走行制御

作業車の走行は作業範囲が円形であることに着目しケーソン中心を中心とする旋回走行を基本とした。しかし清掃作業は長時間に及

表−2　走行方式の比較

	車輪方式	履帯方式
一般図		
200mm段差の走破性	1）4輪駆動 2）前後輪重荷合 2/1 3）粘着係数0.5なら車輪径 1m以上	粘着係数が0.25でも走破可能な構造が得られる
方向制御への影響度	前輪舵角制御方式 （アルゴリズムが比較的明白）	左右の動輪回転数制御 （アルゴリズムが不明確 横スリップの発生）
構造への影響度	大きな減速比が必要	可動部が多いことから構造が複雑となる
適合性	高い	低い



図−3　平行アングリング機構

写真 1. 水中作業車外観

図−4　位置の計測

ぶため常時作業車の位置を監視しながら作業車を操作することは困難であり，ここではケーブル張力とケーブル繰出長による自動制御機構を取入れた。以下この原理について述べる。

走行中の作業車の位置・ケーブル長・ケーブル張力の関係は図－5に示すとおりであり，基準張力Toと基準舵角Θoの関係は概略下式で表わすことができる。

$$\Theta o = \mathrm{SIN}^{-1}\left(\frac{L}{R}\right) - \alpha$$

ここでL/R　張力を0とする舵角

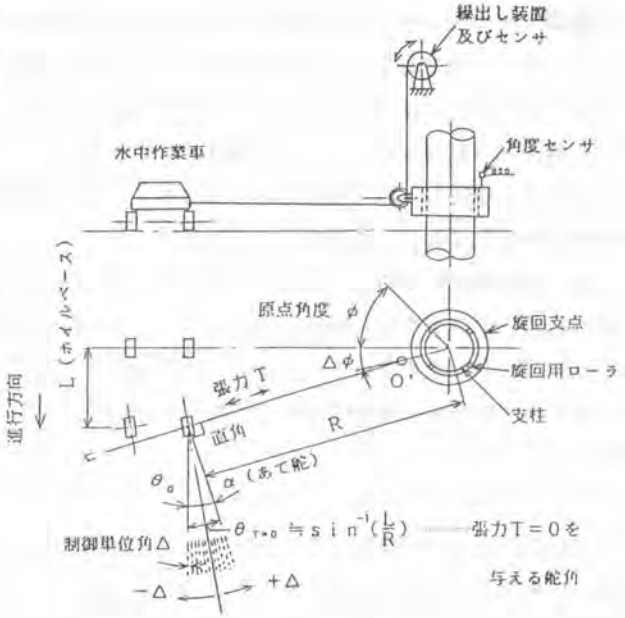
α　基準張力を与えるための増減分舵角

したがって次に示すようにケーブル張力(T)を検出しこの張力が下限(T_L)と上限(T_U)の間に収まるよう舵角Θを管理すればRに応じた円形走行することになる。

① $T_L < T < T_U$ の場合舵角Θに保つ

② $T < T_L$ の場合外側に繰舵する。

③ $T > T_U$ の場合内側に繰舵する。



図－5　走行制御原理図

なお舵角の制御は油圧シリンダで舵角テコを動かし，附属のストロークセンサで実ストロークをフィードバックするものとした。

実作業における水中作業車の走行パターンは図－6に示すように一定半径上の走行・外方旋回・内方旋回の3種類となる。したがって操作員は1回転当りの繰出量を設定するのみとし，他は次に示すように自動的に制御した。すなわち図－6に示す角度センサでϕを検出しこれに応じてケーブル巻取ウインチでケーブルを繰出す機構とした。ここで1回転当りの繰出量をPとすれば△PはP/2πである。したがって1周をn等分し角度が2π/n変化するごとに一定量△Pを繰出せば良いことになる。

図－6　半径方向の位置制御

2－5　全体構成

以上が水中作業車の概要であるが，これを円滑に移動させるためにはこの他に，電源・制御・操作等の支援装置が必要となる。これらは図7に示すようにケーソンの中心に設けた，作業車と同調して回転する旋回架台上に搭載した。なお水中作業車の主要仕様は表－3に示すとおり，海水中での使用を考慮して全油圧駆動を採用した。

3. 稼 働 実 績

本装置は平成元年10月（２Ｐ），平成２年２月（３Ｐ）より運転を開始し，全体で668時間稼動した。

全体の処理回数は23回であり，１回当りの清掃回数は工程の許す限り行なうものとし平均で４回となった。

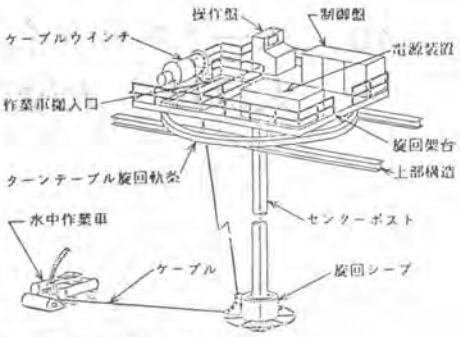
したがって１回当りの清掃時間は7.3時間でありこれはケーソンの広さと表－３に示す走行速度から求まる設計計画時間とほぼ一致した。

一例として２Ｐにおける清掃回数と揚水中に含まれるスライム量(沈澱物量)，並びに揚水水質(濁度)の関係を図－８，図－９にそれぞれ示すが，清掃回数を重ねる毎にスライム量は減少するとともに濁度は低下しており確実に清掃効果が向上している。なおスライム量１㎥は清掃面積上の堆積高さに換算すると0.4㎜に相当し微少な量である。処理完了後，東西－南北の二方向について幅１ｍ×長さ56ｍの範囲を水中テレビカメラで観察したが，いずれの清掃後も高さ５㎜程度のコンクリートの流動模様が観察でき非常に清浄なコンクリート面が得られた。

4. あ と が き

本装置は昭和62年10月に開発に着手して以来実験機の設計・試作・実験を経て平成元年10月に実用に供した。

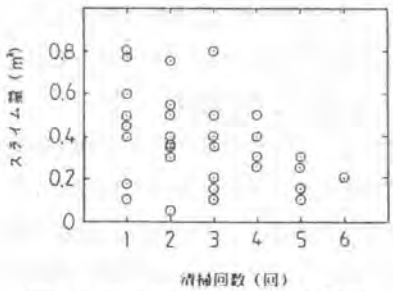
開発期間も短かく作業開始当初は初期故障等トラブルの多発が懸念されたが，トラブルは全期間を通じて走行車輪の損傷の１回のみであった。また清掃効果も前項で述べたように良好な結果が得られた。これも設計製作を担当された㈱新潟鉄工所及び運用を担当された２Ｐ・３Ｐ下部工ＪＶ各位の御努力によるものであり誌上を借りてお礼を申し上げる。



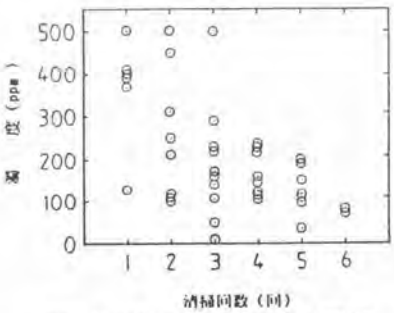
図－7 全体構成

表－3 水中作業車主要仕様

主 要 目	仕 様
形 式	全 油 圧 式
走 行 速 度	4ｍ／分
耐 水 圧	100ｍ
清 掃 幅	1．8ｍ
重量（気中／水中）	3.5ton／2.5ton



図－8 清掃回数とスライム量の関係（２Ｐ）



図－9 清掃回数と濁度の関係（２Ｐ）

40．スーパーハイドロフレーズ掘削機による大深度・大壁厚地中連続壁施工実績報告

㈱大林組：加藤　実・大堀　堯義
*中村　俊男

1．まえがき

近年，大深度，大壁厚の大規模地中連続壁のニーズが増加している。大林組ではスーパーハイドロフレーズ掘削機を昭和62年に開発し浦安土木においての実験工事を経て実用化に成功した。その後多少の改造を行ない平成２年３月～８月に某現場の大規模地中連続壁工事に使用された。

2．スーパーハイドロフレーズ概要

スーパーハイドロフレーズの主な特徴は次の通りである。

1.掘削深度 170mまでの大深度掘削が可能である。

2.掘削精度は1000分の１以上が確保できる。

3.壁厚 1.5～ 3.2mの大壁厚掘削が可能である。

4.適応地質は岩盤，転石を含むすべての地質である。

5.先行パネルコンクリートの壁面を直接カッティングでき，後行パネルとの接合面の止水効果を高めることができる。

6.コンピュータを利用した施工管理システムの採用により高度な掘削管理ができる。

スーパーハイドロフレーズは写－１に示すように専用櫓を使用する場合とクローラークレーンを使用する場合がある。ここでは櫓仕様を採用した実績例を報告する。図－１，図－２に櫓仕様の概略図と仕様を示す。

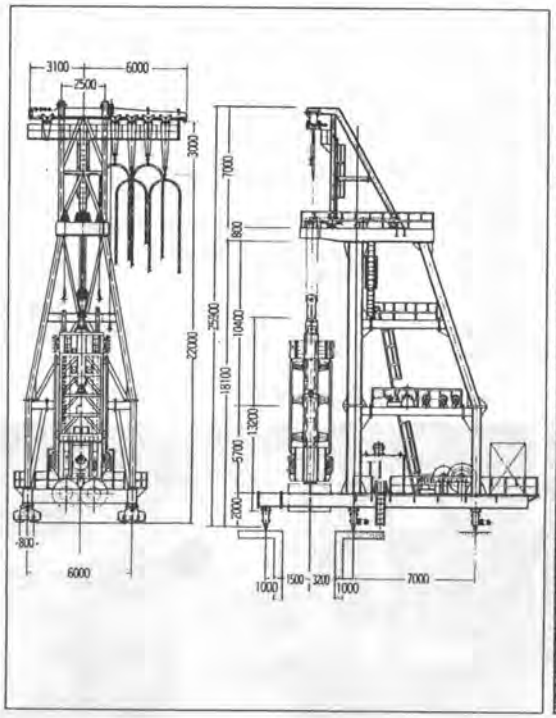
3．某現場における施工概要

某現場において築造された地中連続壁は壁厚 2.2m，深度76m，直径85mの円型土留，止水壁である，ここではスーパーハイドロフレーズが２台使用され連続壁全体の３分の２を施工し残りの３分の１を他機種によって施工した。現場の地質は次の通りであった。

ＧＬ～－ＧＬ－７ｍ	埋立土（砂）
ＧＬ－７ｍ－55m	粘土質砂レキ（平均径10mm）
ＧＬ－55m以深	泥岩または砂岩（軟岩）

地中連続壁の施工手順は ①ソイルモルタルによる地盤改良工──→②作業床ガイドウオール工──→③先行パネル（３ガット）掘削工──→④スライム処理工──→⑤鉄筋籠建込み──→⑥コンクリート打設工──→⑦後行パネル掘削工（コンクリートカッティング）──→⑧スライム処理工──→

写－１スーパーハイドロフレーズ



図－1 スーパーハイドロフレーズ概略図

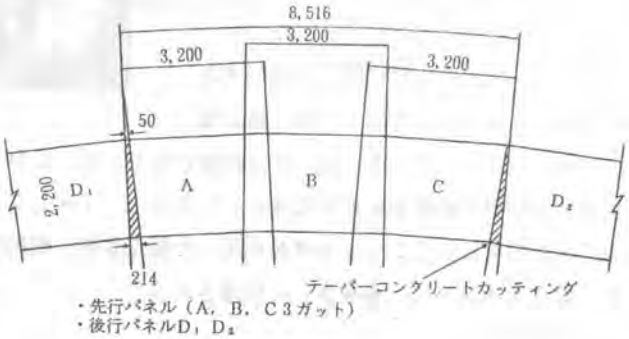
掘削機	ハイドロフレーズ本体		10000型
		寸法	巾(1,500－3,200)×長3,200×高13,200mm
		重量	48t
	カッターモータ	駆動方式	油圧モータ　2台
		トルク	10,000kg·m
		回転数	16.5・11.0 r.p.m(2速)
		ドラム径	1,600mm
	揚泥ポンプ	駆動方式	油圧モータ　1台
		口径	200mm
		揚程	45m
		揚水量	10m³/min
	油圧ユニット	エンジン掛	750PS(300kg/cm²×840ℓ/min)　1台
		寸法	巾2,000×長5,000×高2,850mm
		重量	13 t
専用櫓	専用櫓本体	寸法	巾10,000×長18,600×高25,900mm
		重量	122t(ウインチ等を含む)
	掘削機吊上ウインチ		22t×36m/min　1台
		動力	160KW×10P　400V　50HZ
		ブレーキ	直流電磁ブレーキ，押上機ブレーキ
	リバース管吊ウインチ		9t×12m/min　1台
		動力	22KW×6P 電磁ブレーキ付 400V 50HZ
	油圧ホース吊ウインチ		9t×12m/min　1台
		動力	22KW×6P 電磁ブレーキ付 400V 50HZ
	油圧ホース中間吊ウインチ		1t×24m/min(PWS-10BT型)　4台
		動力	6KW×4P 400V 50HZ(ブレーキ付)
	油圧ホースさばき吊ウインチ		2.5t×12m/min(PWS-21AT型)　1台
		動力	6KW×4P 400V 50HZ(ブレーキ付)
	走行装置	駆動方式	油圧モータ　4台
		走行速度	1.0・2.0・3.0m/min(3速)
		油圧ユニット	22KW×4P(210kg/cm²×50ℓ/min)

図－2 スーパーハイドロフレーズおよび専用櫓仕様

⑨鉄筋籠建込み工──⑩コンクリート打設工である。連続壁は先行23パネル，後行23パネルで構成される，それぞれのパネルの平面図を図－3に示す。先行パネルの掘削順序はAガット→Cガット→Bガットである。AとD₁，CとD₂間はテーパーコンクリートカッティング（内側 214mm，外側50mm）を行ない平行カッティングによる連壁より真円度を大きくすることができた。

4．施工管理および掘削精度管理

掘削精度の管理は掘削設計軸芯からの偏位量を±5cm以内に確保しなければならず非常に厳しいものであった。スーパーハイドロフレーズの掘削管理システムは図－4に示すようにコンピュータを利用して各種センサによって検知されたデータを迅速かつ正確に処理しオペレーションディスクおよびCRT上へディスプレイされ，オペレータは掘削状況を正確に把握することができる。掘削機本体の姿勢は本体に内蔵された傾斜計によって検知され本体に装備された修正装置を作動させることにより掘削機を適正な姿勢に確保する。掘削機か



図－3 先行パネルおよび後行パネル平面図

ら運転室までの信号は多重伝送システムにより高品位の信号が瞬時に伝送される。また傾斜計によって検知されない掘削機のねじれ、平行移動といった偏位量は中心位置検出器によって検知，算出され孔の余掘りを防止することができる。（写－３）

掘削管理データはＣＲＴ上へディスプレイされる。（図－５，図－６）図－５に示されたデータは掘削深度，掘削速度Ｘ方向（パネルのジョイント方向）Ｙ方向（壁の内外方向）の各偏位等である。このデータからわかることはＧＬ－50m付近までの砂レキ層の掘削は比較的振れが無くスムーズに行なわれたが，それ以深の掘削（大粒径レキ層，泥岩，砂岩層）には時間を費していることがわかる。しかしいずれの深度においても掘削機の中心位置は管理限界値±５cm以内に収まっていることがわかる。図－６に示されたデータは揚泥量（㎥／分），左右カッターモータ圧力（kgｆ／㎠），掘削速度（cm／分）が掘削深度に対して連続的に把握できる。揚泥量と掘削速度のバランスを取ることにより適正な掘削管理が行なえる。また左右のカッター圧力を知ることにより地質の変化がわかる。この図に示されるようにＧＬ－55m以深においてカッター圧力が上昇し同時に掘削速度が下降しており砂レキ層から泥，砂岩層へ突入したことがわかる。図－７に運転日報を示す。これもＣＲＴ上へ表示される。このデータにより正確な掘削機の稼働率が把握できる。ＣＲＴ上へディスプレイされるデータは任意にプリントアウトすることができる。コンピュータを利用した施工管理，掘削管理は連壁工事に限らず施工の高度化，情報化に対応するために，今後さらに推進されよう。

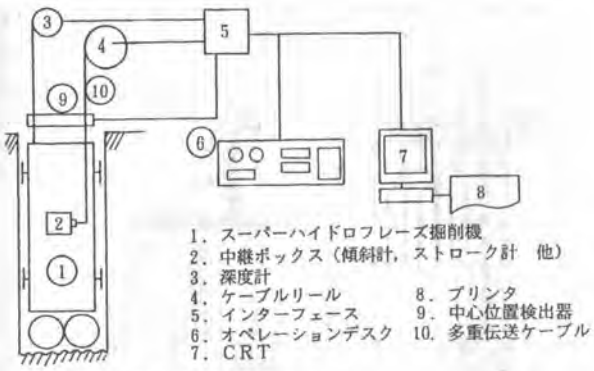
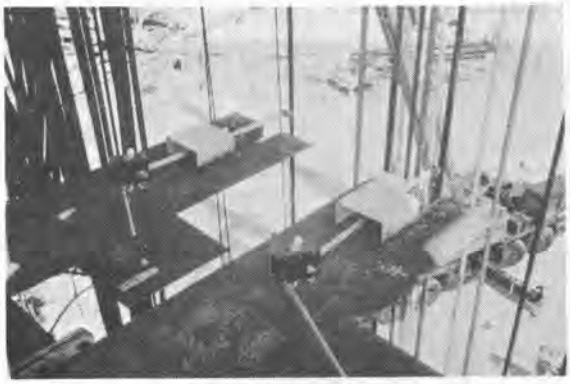


図４　掘削管理システム

写－２　運　転　室



写－３　中心位置検出装置

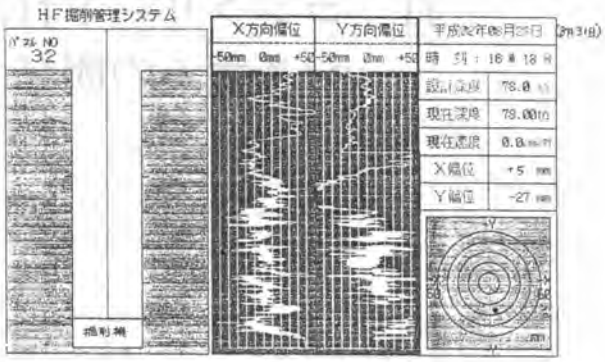
５．まとめ

当初目標とした延掘削能率は先行パネルで3.0㎥／Ｈ，後行パネル1.8㎥／Ｈであったが実際にはこ

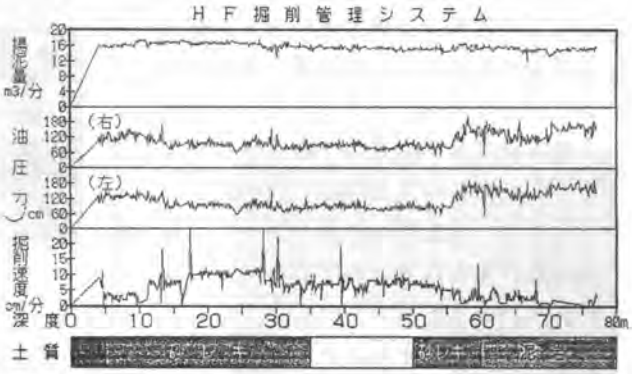
れ以上の良好な結果を得ることができた。特に後行パネル（コンクリートカッティング）掘削においては，設計強度 370kgf／㎠の高強度コンクリート（実際の91日強度は 600kgf／㎠～ 700kgf／㎝であった。）にもかかわらず当初の予定より高い能率が確保できた。しかしＧＬ－55m以深の泥岩，砂岩層におけるカッターティースの損耗は非常にはげしく当初の予想をはるかに上回った。この原因としては，泥，砂岩層において砥石効果，つまり砂岩が砥石となりカッターティースの損耗を早めたものと考えられる。ティースの先端のチップの硬度，形状について十数種類のものを使用したが地山の変化，コンクリートカッティングすべてに対応できるカッターティースを見い出すことは難しく今後さらに検討を加えなければならない。掘削能率に大きく係る要素として安定液の性状がある。ここでは微粒子分が溶けこむために粘土の上昇があり，

これが原因の一つと思われる泥土のカッタードラムへの付着が発生し著しく掘削能率が落ちることがあった。今後は微粒粘土分の除去を効果的に行なえる土砂分離システムの検討が必要である。

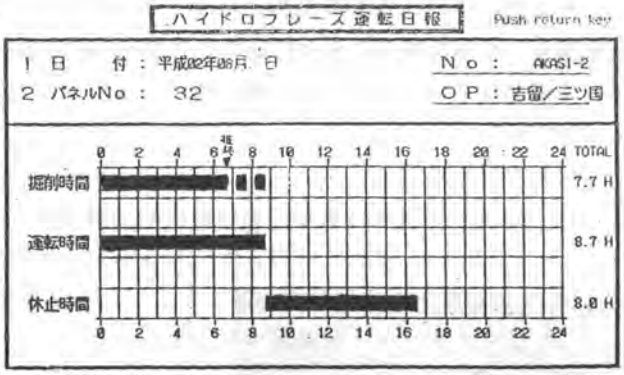
写－２にスーパーハイドロフレーズの運転室を示すが，これまでの建設機械のイメージと違い製造業のＦＡラインの制御室に近いものとなっている。今後こういったコンピュータを利用した掘削管理システム導入にあたっては，施工管理技術のみならずメカトロニクス，コンピュータの知識を有する人材の確保および教育が必要となってくるであろう。本工事において得られたデータおよび知識は今後の地中連続壁施工の高度化へ寄与できるように十分活用していく所存である。



図－５　掘削管理データ（１）



図－６　掘削管理データ（２）



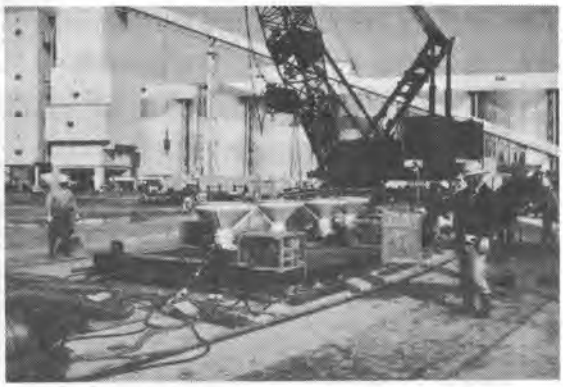
図－７　掘削管理データ（３）

41. コンクリート打設天端自動管理システムの開発

㈱大林組： 平井　正哉・土屋幸三郎
*山本　幸信

1．はじめに

地中連続壁工事におけるコンクリート打設作業では、打設したコンクリートの位置を知ることは重要なことの一つである。
通常この作業は「検尺テープ」と呼ばれる下げ振り式の簡易な測定機を使用してコンクリートの天端の高さを測定している。
この方法では熟練者が「感」に頼って測定を行うため、個人差があらわれ易い。　また大深度・大壁厚の打設パネルでは長時間の連続作業となり、測定者にとっては辛い作業のひとつとなっている。　さらにこの作業の管理は「打設管理図」と呼ばれる管理図表に測定値を記入することで、確認しながら行っているが、現場での手作業のため、時間がかかり、判断が遅れ気味になる。



写真－1　現場据付状況

そこで、この作業を専用測定装置とコンピュータを連動させることにより省力化・自動化を図り、作業環境の改善と打設コンクリートの品質向上を目指してシステムの開発を行った。
本稿ではこのシステムを現場に適用し、得られた成果の概要について紹介する。

2．開発内容

開発内容を以下に示す。

① 従来より開発を進めてきた天端測定機を使用して連壁コンクリート打設作業の合理化・省力化と、安全性の向上をはかりより生産性の高いシステムを開発する。

② コンクリートの品質を左右する、トレミー管の貫入長さの管理をコンピュータで行い、打設コンクリートの品質の向上を図る。

3．システム概要

(1) 構成

システムは、コンクリートの天端位置を検出する天端測定装置と得られたデータを集中管理するコンピュータより構成される。　設置場所は天端測定装置のうち、検知装置はコンクリートを打設するパネルの測定位置に据え付け、他の機器はすべて打設管理室の中に設置する。

(2) 使用機器

本システムに使用する主な機器を表－1に示す。

表－1　自動管理システム主要使用機械

名　称	仕　様	数　量
測定装置	コンクリート打設天端自動測定装置 L=700 W=774 H=530mm 53Kg （検知装置及び制御装置）	5台
コンピュータ	PC9800シリーズ	2台
プロッタ	FP5301R	1台
マルチプレクサ	5回線用	1台

(3) 仕様

システムの仕様は次の通りである。

① 測定可能深さ　：100m

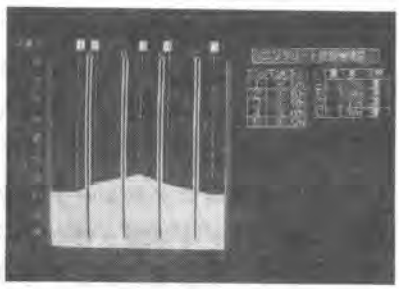
② 天端測定装置使用可能台数：5台

(4) 機能

以下にシステムの主な機能を示す。

① 測定作業　：・5台までの天端測定装置を稼働させながらデータ採取可能である。
・測定精度と測定作業の維持確保のためコンクリートやスライム層の性状に合わせ、センサーの検知荷重や巻き上げ距離などを変える事が可能である。

② データ処理　：・測定データは、コンピュータのフロッピーに保存可能である。また、処理したデータをモニターにグラフィック表示を行う。
・自己診断を行い、得たデータが不合理な場合はこのデータを取り入れない。



写真－2　モニター画面

③ トラブル対策：・トラブルが発生した場合はモニターに表示すると共に、自動的にデータをシステムより切り離し、トラブル解消後は自動的にシステムに組み込む。

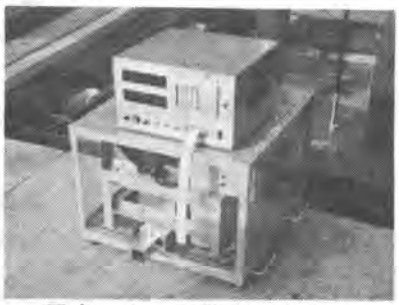
④ 業務処理　：・打設作業と管理業務を同時にリアルタイムで処理を行う。
トレミー管の適正な貫入長さを設定することにより、管の引き抜き・切り離しの信号を画面に出力する。

(5) 天端測定原理

コンクリート打設天端自動測定装置の天端測定の原理について以下に示す。

① おもりをワイヤーで吊り下げ、おもりの重量をワイアー張力として検知する。

② コンクリートの打設天端面におもりが当り、ワイヤーの張力が小さくなることを検知することによりこの位置をコンクリート打設天端面とする。



写真－3　天端測定装置

③　コンクリート打設面検知後、おもりの巻上げと巻下げの動作を繰り返し、連続的に測定を行う。

(6) 動作

システムの動作は以下の通りである。

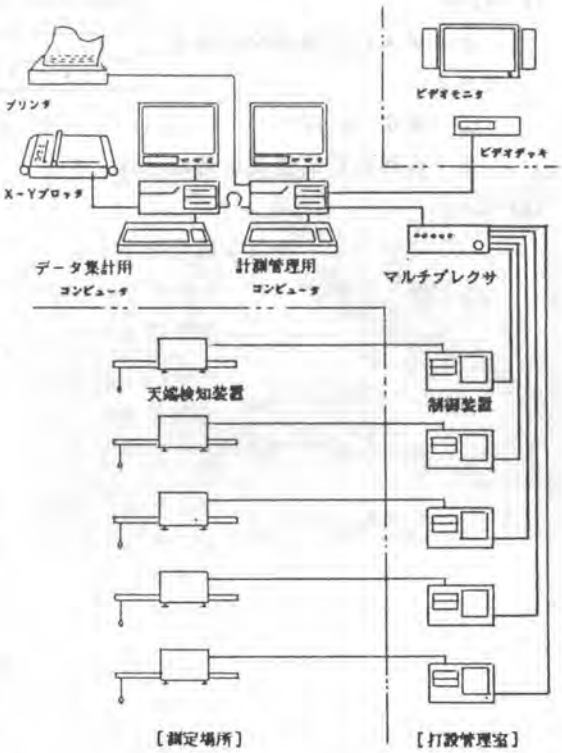
①　天端測定装置はコンクリート打設天端高さを常時計測する。

②　得られたデータは天端測定装置より通信回線を通じ、マルチプレクサを経由して測定用コンピュータに送信される。

③　測定用コンピュータはデータをモニタにグラフィック表示すると共に、測定値や天端測定装置に誤りがないか確認を行う。もし誤りがあればその内容を表示する。

④　また測定用コンピュータはキーボードよりインプットされたデータを処理する。

⑤　集計用コンピュータは測定用コンピュータで処理されたデータを管理しモニタに管理グラフを表示する。またプロッターに打設管理図を作成する。



図－1　システム構成

4．現場実績概要

本システムを使用した現場実績について紹介する。

(1) 工事内容

①　施工期間　　：　自　平成２年３月
　　至　平成２年９月

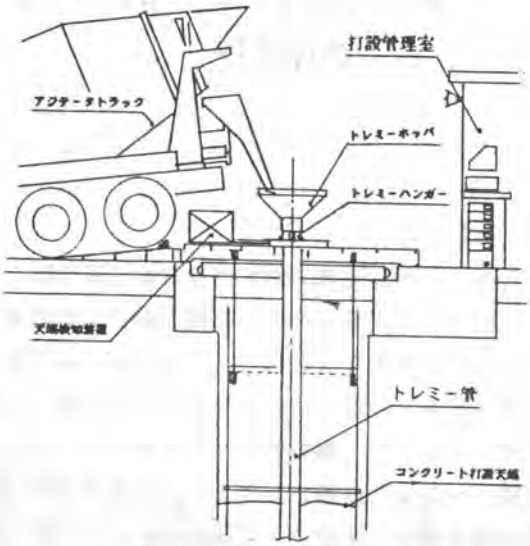
②　コンクリート工事：　先行エレメント　２３
　　幅 2.2×長さ 8.5×深さ 76.0m
　　後行エレメント　２３
　　幅 2.2×長さ 3.2×深さ 76.0m

③　コンクリート　　：　高強度流動化コンクリート

④　使用トレミー管　：　250mm×3m ,1.5m ,1m　　29本／１列

(2) 使用状況

コンクリート打設工は図－2に示すように計画し、トレミー管は先行パネルでは4列、後行パネルでは2列で使用した。 天端測定装置はトレミー管を挟むように5台あるいは3台使用した。また打設パネルの近くには打設管理室を設置し、システムの運用を行うと共に作業管理を行った。 コンクリート打設作業は、アジテータトラックによるトレミーホッパへの直接投入方式で行った。 本システムはこの作業の作業指示及び打設管理に適用した。適用は46全パネルに対して行なった。



図－2 機械据付図

(3) 結果

施工の結果、従来の方式と比較して以下の事が確認できた。

① 施工の合理化が行えた。

天端測定作業者を必要としなくなったため、省力化施工となり、また作業場所に常駐する人数が減ったため、狭い錯綜した作業場所の環境の改善に役立った。

② 施工管理業務の改善に役立った。

打設状況がリアルタイムでＣＲＴに表示されるため、誰にでも解かりやすく、打設管理状況の把握及び指示が容易となった。 また打設管理図などの管理資料がリアルタイムで作成されるため作業全体の管理がより正確となった。

③ システムの運用がほぼ現場だけで行えた。

定期的なメンテナンスを月に1，2度行うことにより、日常の保守は全て現場にて対処できた。

④ コンクリートの天端測定が、測定機により、一定の条件のもと高精度で行えた。

従来の方式と比較した場合、２０ｃｍ以内の差で行えた。

5．おわりに

今回、開発したシステムを本格的な実現場に適用し、ほぼ計画どうりの成果を得ることができた。 システムを導入した事による工事上のトラブルは全く無く、しかも真夏での屋外長時間労働の改善に役立てることができた。 また実施にあたり現場の担当者から得た貴重な意見を参考として今後さらに改良を加え、より耐久性のある使いやすいものにして行きたいと考えている。

42．地すべり抑止用二重継手鋼管井筒工法の開発

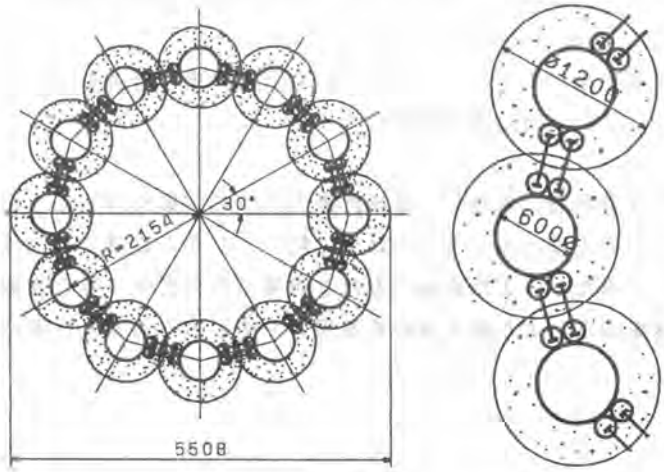
新日本製鐵㈱：*龍田　昌毅・関田　欣治
斉藤　拓也
帝石削井工業㈱：大野　　然
㈶砂防地すべり技術センター：鈴木　　宏・藤田　寿雄

1．はじめに

近年、中山間地域の地すべり対策工事では、深い地すべり面に対し、広範囲な地すべり運動に抵抗できる大きな抑止力を持つ抑止工が必要とされるようになってきている。地すべり対策工事では工事条件（スペース、搬入路、斜度等）が制約され、また、泥水の使用も制限されるため、現在、深礎工法が大径の抑止杭の施工方法として広く用いられている。深礎工法とはライナープレート、鋼製セグメント等により孔壁を保護しながら、人力で掘削を行い、その中に直径３～５ｍの鉄筋コンクリート杭を築造する工法である。しかし、深礎工には①孔内で人間が作業を行うため安全上問題がある、②大量の湧水に対処できない、③鉄筋工、掘削工等の熟練労働者の確保が困難である、等の問題点がある。そこで、これらを解決する工法として、大口径の岩盤掘削に実績を挙げている全旋回式ケーシングドリル工法と水平力の大きい大規模な橋梁基礎として実績のある鋼管矢板井筒工法を組み合わせた新工法（スーパーシャフト工法）の開発を行っている。本論文ではその工法の概要を述べるとともに、その実用化に向けて行った継手部に関する実験について報告する。

2．スーパーシャフト工法（二重継手鋼管井筒工法）の概要

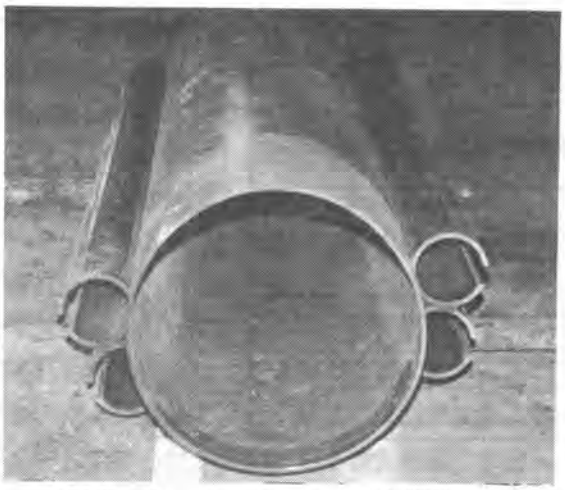
スーパーシャフト工法は、図－１に示すように二重継手を持った鋼管（スーパーシャフト鋼管）をＩ形鋼により連結した井筒状の構造となっている。コンクリートにより周囲を拘束することにより鋼管とＩ形鋼が一体となり、大径の抑止杭として地すべり力に抵抗する。

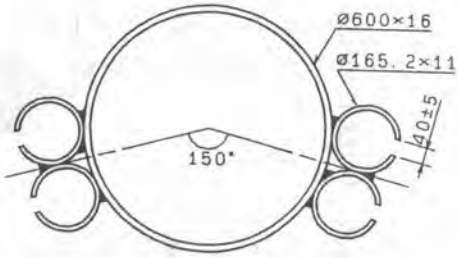


図－１　スーパーシャフト工法

スーパーシャフト鋼管は写真－１および図－２に示すように、従来の鋼管矢板とは異なり二重の継手を有している。したがって、継手管の径を変えずに継手強度を高くすることができ、従来の鋼管矢板井筒に比べてより強固な断面剛性および高い曲げ剛性を得ることができる。

施工は、すべて地上からの作業で行う、泥水を使わない、転石・岩盤の掘削への対応が可能である、工事占有面積をできる





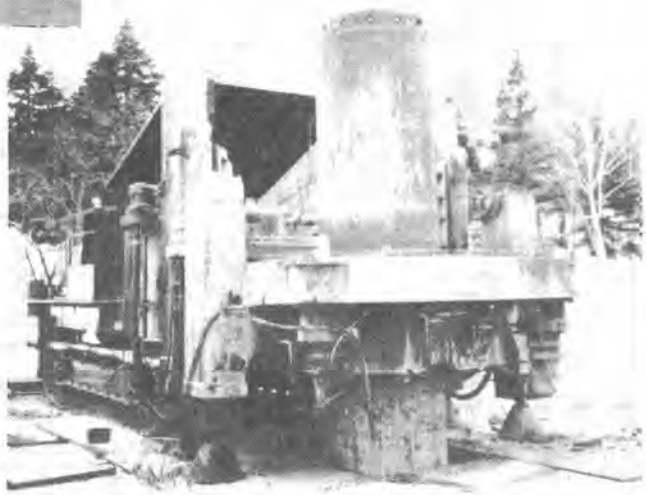
図－2　スーパーシャフト鋼管

写真－1　スーパーシャフト鋼管

だけ小さくするという点を考慮し、全旋回式ケーシングドリル工法による掘削（写真－2参照）を中心に、継手部分の掘削にはエアハンマー工法を用いた機械施工とした。

ここで、スーパーシャフト工法の施工手順を図－3に従い述べる。

(1)ＣＤ掘削機によりφ1200の孔を掘削し、ケーシングチューブを所定の深さまでセットする。



写真－2　全旋回式ケーシングドリル掘削機

(2)ケーシングチューブの中に、スーパーシャフト鋼管を接続しながら、建て込んでいく。

(3)スーパーシャフト鋼管と孔壁間にコンクリートを打設しながらケーシングチューブを引き抜いていく。次に、その隣にコンクリートの部分がオーバーラップするようにＣＤ掘削機により、φ1200の孔を掘削する。(1)～(3)の作業を繰り返し、スーパーシャフト鋼管を建て込んでいく。

(4)スーパーシャフト鋼管の継手管の中をエアハンマーにより掘削する。

(5)継手管と継手管の間のコンクリートをエアハンマーにより掘削する。

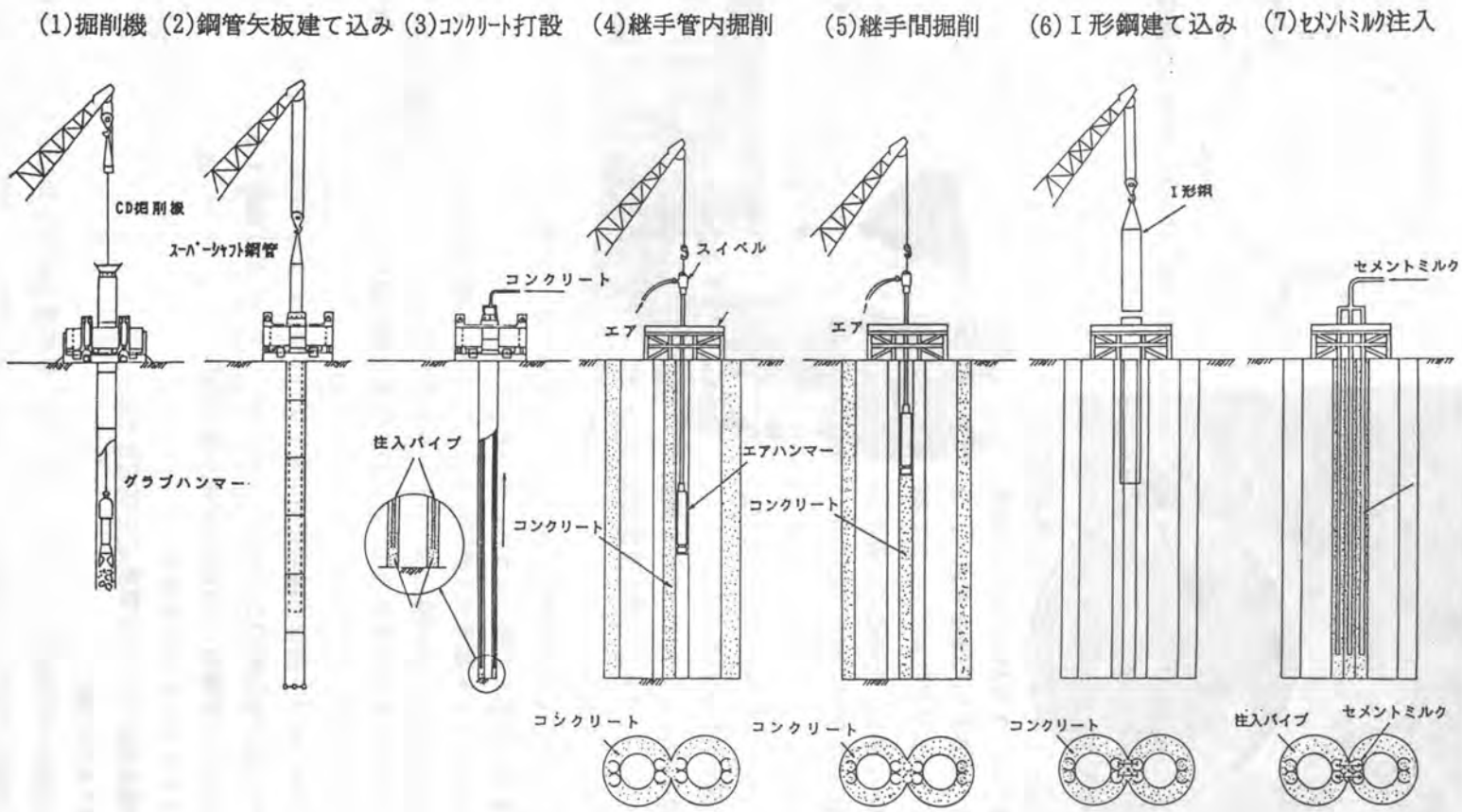
(6)エアハンマーで掘削した孔にＩ形鋼を建て込む。

(7)セメントミルクを注入する。

以上の作業を繰り返し、井筒構造を完成させる。

３．深礎工との比較

比較の対象とする深礎工はφ5700、深さ60m、鉄筋量はD51が5000cm²入っている構造であり、設計抑止力としては4500tfである。これとほぼ外径が等しく、同等の抑止力を持つように、従

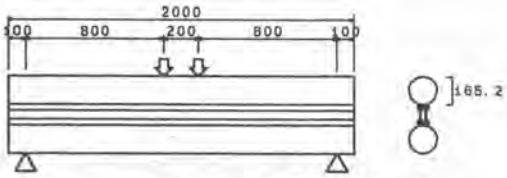


図－3　スーパーシャフト工法施工手順

来の鋼管矢板基礎工法の設計基準に準じてスーパーシャフト工の曲げ剛性を求め、地すべり抑止杭として設計を行う。その結果、図－1に示した構造となる。鋼管矢板はφ600、t18、I形鋼は394×60×11×18を用いる。抑止力は4900tfとなり、深礎工と同等以上の抑止力を持つ構造をスーパーシャフト工法により施工することができる。

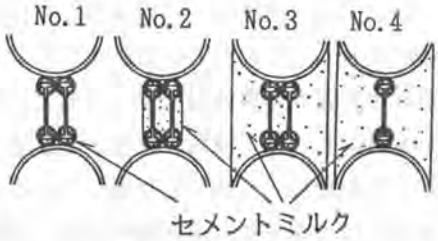
4．継手部に関する実験

本工法のように鋼管を連結して井筒を構成した場合、継手部の特性が井筒としての挙動、強度を決定する。したがって、継手部の特性を正しく評価し、それを設計に取り入れていく必要がある。そこで、継手部の引張試験、せん断試験、曲げ試験、曲げせん断試験等を行った。ここでは、紙面の都合上「曲げせん断試験」の結果についてのみ報告する。



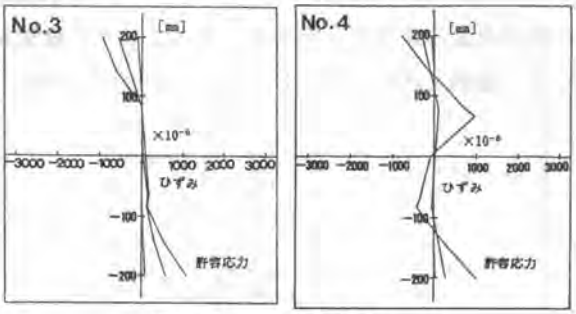
図－4　曲げせん断試験

本実験は、図－4に示すように、継手管内およびその周りにセメントミルクを充填し、結合した2本の鋼管を重ね梁として曲げ試験を行い、その挙動により継手による合成効果を求めるものである。継手の形状は図－5に示すように4種類に変化させた。



図－5　継手形状

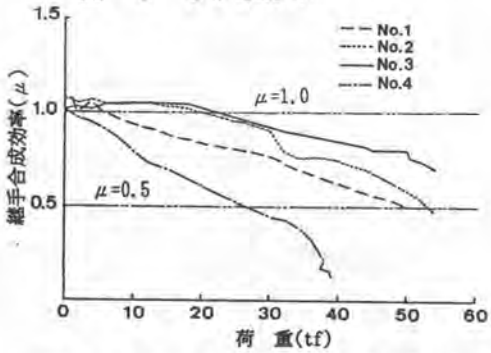
図－6はNo.3、No.4の実験におけるひずみ分布である。この図より、端部のひずみが1000μに達した時点でも、No.3では継手が合成効果を失わず一体として挙動しているが、No.4では合成効果がかなり低くなっていることがわかる。



図－6　ひずみ分布

図－7に荷重と継手合成効率の関係を示す。合成効率（μ）とは、継手の合成効果により井筒の曲げ剛性を評価するパラメータである。1.0は井筒が完全に一体となり挙動していることを表す。

この結果、二重継手は一重継手に比べて、合成効率がかなり大きいこと、また、同じ二重継手でもセメントの拘束により合成効率が増加することが認められた。



図－7　継手合成効率と荷重の関係

5．おわりに

本工法により、全ての作業が地上から行え、かつ、従来の深礎工と同等の抑止力を持つ地すべり抑止工の施工が可能となった。今後、更に、合理的な設計方法の確立、経済的な施工法の開発を目指していきたいと考えている。

43．バケット式連続地中壁工法による地下ダムの試験施工

大成建設㈱：内藤　禎二・*荒井　政男
井関　英生

1．はじめに

わが国の南西諸島に点在する島々は、非常に多孔質の地層で透水性の大きな、琉球石灰岩と呼ばれる地層が広く分布している。雨水のうち約50パーセントが地下に浸透するといわれるが、これらの地下水は石灰岩中に留まることは少なくすぐに海に流出してしまい、地下水としての利用価値が大きく損なわれているのが現状である。

農林水産省九州農政局では、このような石灰岩の特性を活かして地下水を貯留するための地下ダムを計画し、施工技術の開発と確立を目的として、鹿児島県喜界島の湾頭原地区において、地下ダムの試験施工を幾つか実施してきた。図－１に喜界島の位置、図－２に試験施工場所を示す

本報告は、地下ダム開発調査計画に基づき、幾つか施工された工法のうち、連続地中壁（延長10.8m、幅0.8m、深さ36.5m）をバケット式掘削機を用いて掘削し、モルタルを充填して地下ダムの築造を試みようとしたものである。以下に試験施工の結果、並びに琉球石灰岩層におけるバケット式掘削工法を可能とした施工方法を紹介するものである。

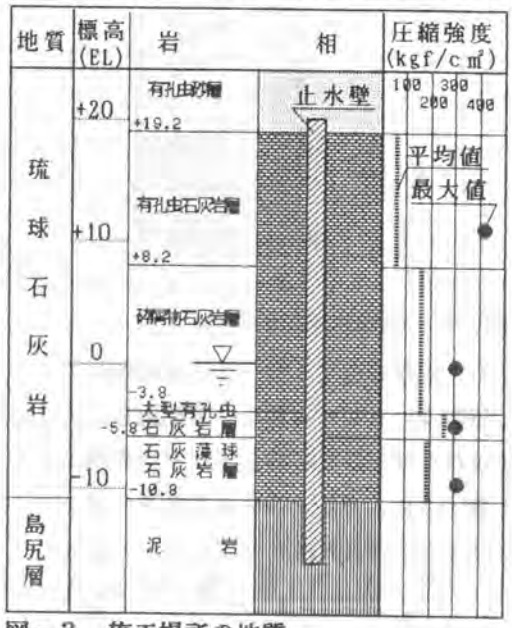
図－１　喜界島の位置

図－２　試験施工場所

2．工事概要

(1) 施工場所の地質状態

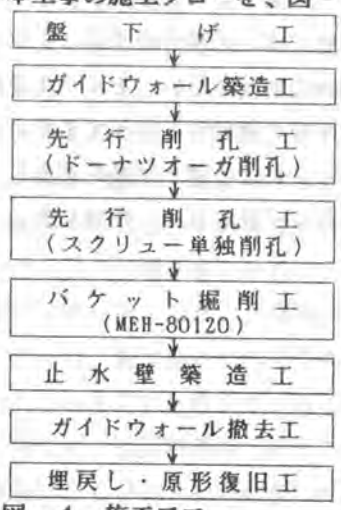
喜界島の施工場所の地質は図－3に示す如く表面は砂丘で、EL+23.2m～EL-10.8m間が非常に多孔質で透水性の大きな琉球石灰岩、EL-10.8m以深が不透水性の島尻泥岩層となっておりEL+20.0m～EL-16.3m間に地下ダムの止水壁を築造した



図－3　施工場所の地質

(2) 施工フロー

本工事の施工フローを、図－4に示す。



図－4　施工フロー

(3) 使用機械

本工事は、地下ダムの止水壁を連続地中壁により築造することであり、その工法としては琉球石灰岩の透水性が大きく、泥水工法が使用出来ないため先行削孔方式によるバケット掘削工法を採用した。

表－1、表－2に使用機械の仕様を示す。

表－1　先行削孔機械仕様

杭打機仕様	形式		DH508-105M
	定格出力		155PS/2,000rpm
	幅	拡張時	4,380mm
		縮小時	3,300mm
	全装備重量		105,000kg
アースオーガ仕様	形式		SKC-1500VW
	削孔口径		φ810
	最大トルク		9,400/21,000kgf/m
	定格出力		55KWx 2

表－2　バケット掘削機仕様

形式	MEH-80120
容量	0.9 m³
全体重量	21.6 t
メインモータ	4P-22kw ×2
閉時シェル幅	2,600mm
開時シェル幅	3,340mm
シェル厚	790mm
ガイド幅	760mm
閉時全高	8,450mm
開時全高	7,700mm
ベースマシン	KH－180

3．施工手順

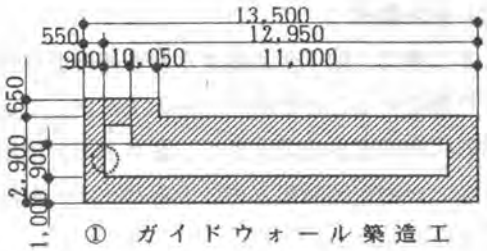
施工手順を図－5に示す。

(1) 盤下げ工

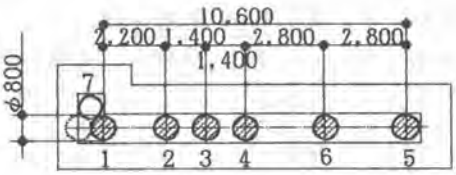
止水壁天端高をEL+20mに仕上げるために、原地盤表土及び深土を掘削し、約4.5mの盤下げを行った。

(2) ガイドウォール築造工（図－5－①参照）

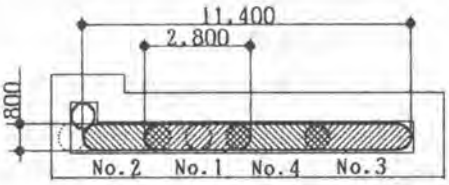
ガイドウォールは連壁の掘削精度確保に重要であり、先行削孔及びバケット掘削時に変位を起こさないように琉球石灰岩に10cm以上根入れした。



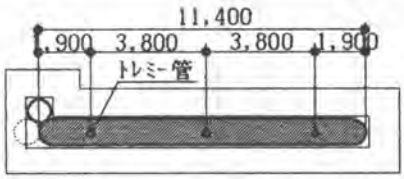
① ガイドウォール築造工



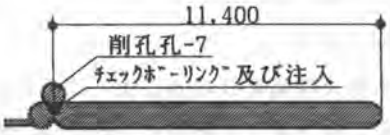
② 先行削孔工



③ バケット掘削工



④ 止水壁築造工



⑤ 止水壁完成・ガイドウォール撤去

図－5 施工手順

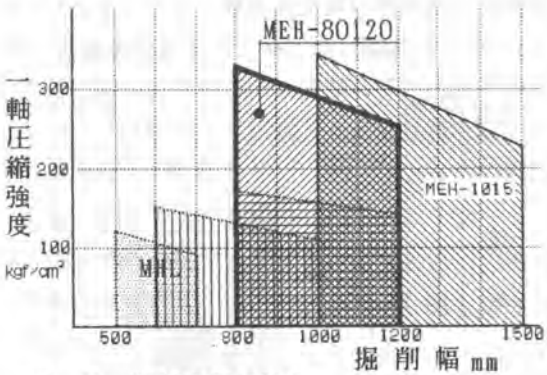
(3) 先行削孔工（図－5－②参照）

先行削孔は、ガイドウォールより-20m迄をドーナツオーガで削孔し、これ以深をスクリュー単独で削孔した。

(4) バケット掘削工（図－5－③参照）

先行削孔終了後、バケット掘削機により中抜き掘削を行った。

図－6に、バケット掘削機の機種別掘削能力を示す。



図－6 機種別掘削能力

(5) 止水壁築造工（図－5－④参照）

掘削溝にトレミー管を3本配置し、生コン車によりモルタルを打設して止水壁を築造した。

表－3に、モルタルの配合表を示す。

表－3 モルタル配合

単位体積重量 kgf/m³		
水	セメント	砂
357	440	1,266

(6) 既設部接合工（図－5－⑤参照）

既設部と今回施工部との接合箇所は、止水を目的とし φ800mmの削孔を行い、モルタルを打設した。また止水壁の連続性を確保するためにチェックボーリングによる透水試験を実施し、その後このボーリング孔を注入し閉塞した。

4．試験施工結果

今回の施工は一軸圧縮強度が50～420kgf/cm²程度ある琉球石灰岩に、バケット掘削工法の連続地中壁により地下ダムの止水壁を築造する事が目的であり、以下にその結果を示す。

(1) 琉球石灰岩の強度

掘削ズリとして上がってきた琉球石灰岩の強度を調査した結果、115～416kgf/cm² であり、既往試験データとほぼ同程度であった。

(2) 掘削能率

①．先行削孔工

先行削孔に要した時間は、1孔当たり平均で約 11.8 時間（ドーナツオーガ：4.2h、スクリュー単独：7.6h）であった。

削孔速度は作業時間当たり3m/h であった。

②．バケット掘削工

バケット掘削に要した時間は、1エレメント当たり平均で約87時間であった。

掘削時間は作業　時間当たり 0.4m/h(1.12m²/h)であった。

また、バケツト掘削方式が琉球石灰岩に適用出来ることが確認できた。

(3) 掘削精度

①．先行削孔工

ドーナツオーガ削孔の鉛直精度は、1/200 以上であった。

②．バケット掘削工

先行削孔孔がバケット掘削のガイドとなることから、溝壁の精度は先行削孔の精度とほぼ同一の傾向となった。

(4) 止水壁の築造性（モルタルの食い込み率）

モルタルの打設量は、設計断面に対し約 1.5倍の量が必要であった。

(5) 止水壁の性能

止水壁としての強度・止水機能共十分確保する事ができた。

5．おわりに

今回の試験施工により、琉球石灰岩においてバケット式掘削工法の連続地中壁により地下ダムを築造することが十分可能であることを実証できた。

本工法の特徴をまとめれば、作業が極めて単純で施工性が容易である利点があるが、硬岩部で掘削速度が落ちるという課題が残った。

今後は、施工能率や経済性等をより向上させ、地下ダム工事の一工法として採用されるよう努力していきたいと考えている。

最後に、奄美群島地区地下ダム試験施工業務において御指導いただきました、農林水産省構造改善局ならびに九州農政局に深く感謝致します。

44．小口径推進工法の運転支援システム

建設省：杉山　篤・高津　知司
㈱小松製作所：中島　実・花本　忠幸
*高橋　典夫

1．はじめに

都市部における上下水道や電力等のライフライン施設は、今後ますます整備されてゆくが、従来の開削工法では、工事中の騒音、振動など地域住民への影響や、交通障害等の問題が懸念されている。そこで最近では技術の開発が著しい非開削の推進工法において、中でも下水道整備が急速に進められていることと相まって小口径推進工法の採用が急速に伸びてきている。そして、わが国の土質の複雑さのため、それらに対応するために多種多様の工法が開発された。

今後小口径推進工法がさらに発展し、普及して行くためには、工事の効率化、省力化、施工精度の向上を図る必要がある。現在、小口径推進工法の実施工において、その操作判断は熟練オペレータによる経験的技術に頼っている現状であり、工事需要に対応できないことが予想される。その解決のため熟練を要しなくても高精度推進の行える操作制御システムの開発が要求されている。本共同研究では、建設省；「官民連帯技術開発プロジェクト／小口径管渠掘進制御システムの開発」の一環としてＡＩ等自動化技術を利用した高精度掘進工法の開発を行う。

2．装置の構成

（1）圧入式（圧密式）２工程方式の概要

圧入式２工程方式は１工程目に圧密によりパイロット管推進を行い、２工程目に拡孔掘削しながらヒューム管推進を行う。掘削式ヒューム管推進はスラリー排土方式とスクリュー排土方式の２つの選択ができる。（図１参照）

本方式において、高精度なパイロット管推進が重要である。パイロットヘッドには、２次元揺動式パイロットジャッキによる方向修正機構と、複板式レーザターゲット・傾斜計等の高精度な位置・姿勢センサが装備されている。

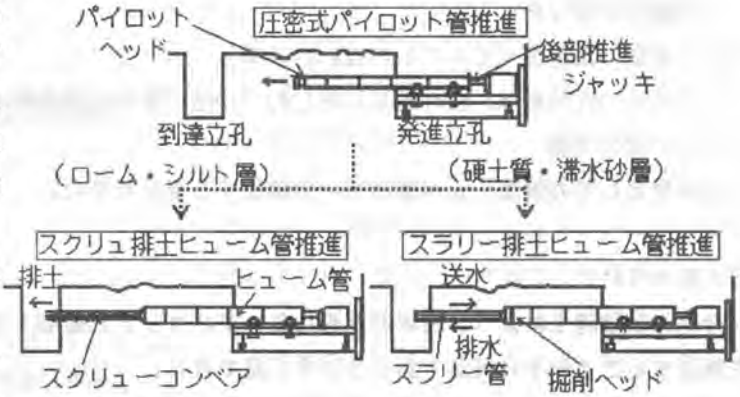


図１　圧入式二工程方式の概要

（2）運転支援システムの構成

本システムはパイロット管推進時の方向修正アドバイスを中心機能とした運転支援エキスパートシステムである。システムの構成は、図2に示すとおり①センサ群（レーザターゲット、傾斜計等）、②入力装置（キーボード）、③コントローラ、④表示装置（CRT）からなっている。ソフトウエアの構成は、①エキスパートシステム部、②自動計測部、③ファジィ推論部からなっている。

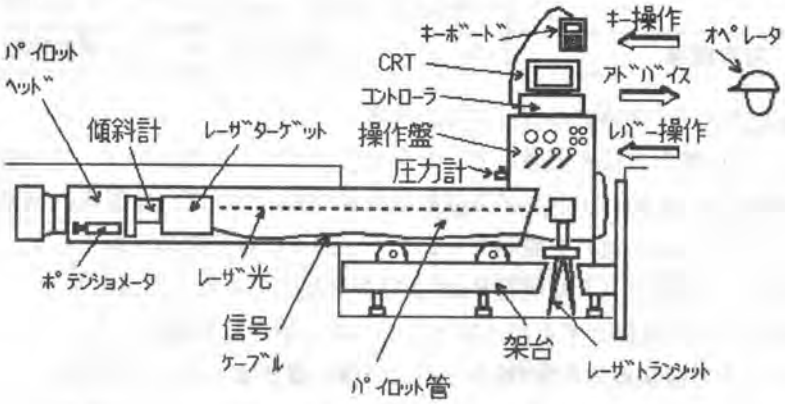


図2　運転支援システムの構成

本システムの主要機能は、①パイロット管推進中の自動計測値とファジィ推論による方向修正アドバイス機能、②施工上の不具合警告、対応策のアドバイス機能、③施工データの履歴の表示機能の3つである。図3に示すアドバイス画面が本システムの主画面であり、メニュー選択により随時他画面への切り換えを行える。また、本システムの仕様を表1に示す。

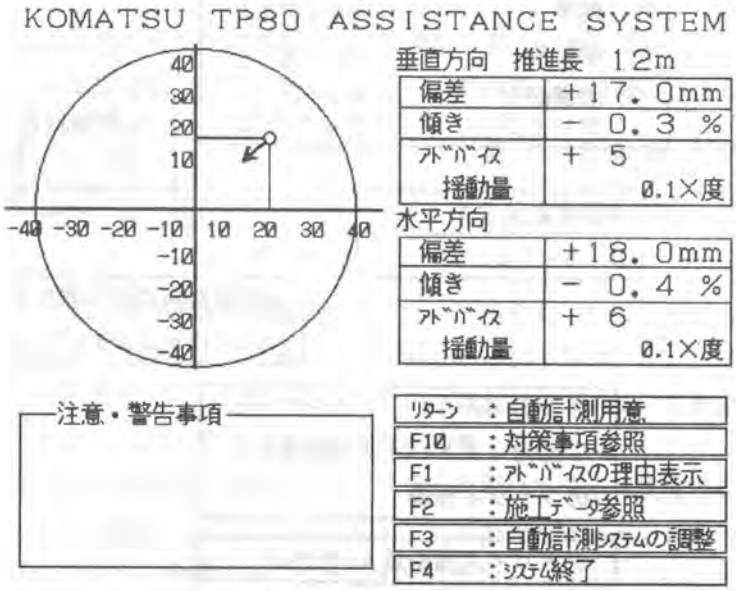


図3　システム画面例（アドバイス画面）

表3　運転支援システムの仕様

項　目	仕　様
方向修正操作量のアドバイス	ファジイ推論方式（２１ルール）
不具合警告・対策案のアドバイス	警告内容１８件、対策内容８件
システム構成	センサ群、キーボード、コントローラ、ＣＲＴ等
自動計測項目	ジャッキ圧（パイロット・後部推進）、 方向修正操作量、パイロットヘッド部の偏差・姿勢角
対象機種	圧入式２工程方式　＋　レーザ姿勢検出装置

３．　方向修正アドバイスのアルゴリズムの構築

熟練オペレータの操作方法を模倣して、方向修正アドバイスのアルゴリズムを構築した。垂直方向の方向修正のためのアドバイス揺動量決定のアルゴリズムを図４に示す。下記（１）～（４）でアルゴリズムの流れを説明する。また、図５に各変数の定義を示す。

（１）設計勾配Ｓと偏差Ｈｎと傾斜角θnおよび曲進傾向のｋを入力値とする。

（２）目標傾斜角θＭ（目標とするパイロットヘッドの傾き）を設定する。

（３）傾斜角θnと目標傾斜角θＭの差Δθ Ｍと Δθ Ｍの積分値ΣΔθ Ｍの設定する。

（４）（３）の２値を入力値とするファジィ推論を行い、アドバイス揺動量Anを求める。
（但し、メンバーシップ関数・制御則はオペレータのヒアリング結果と過去の施工データをもとに調整を行った。）

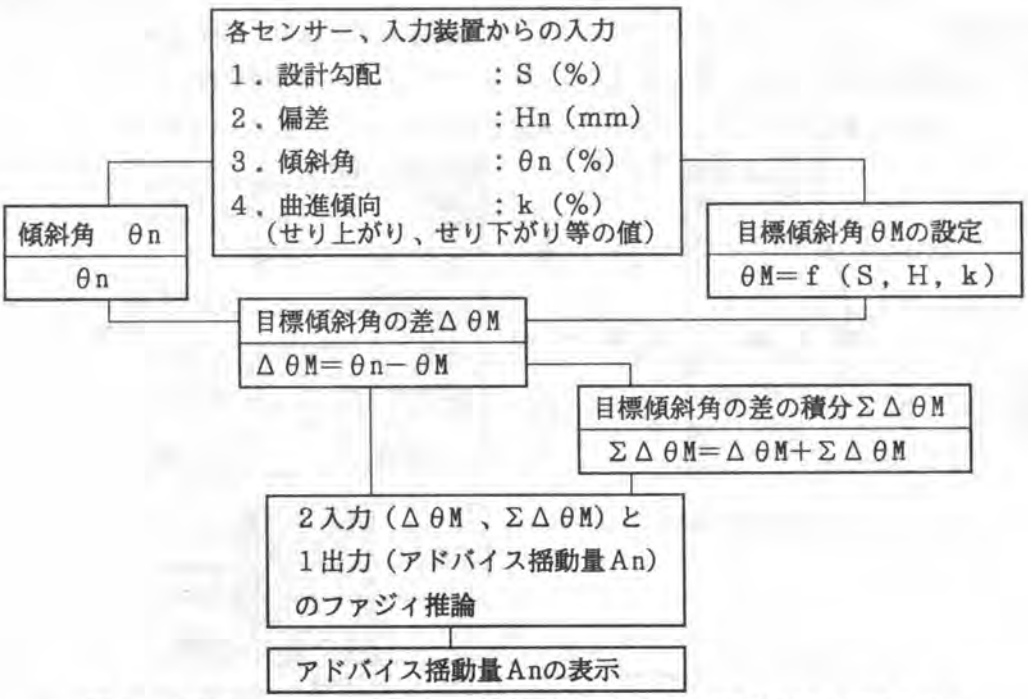


図４　垂直方向の方向修正のためのアドバイス揺動量決定のアルゴリズム

4．方向修正アドバイスのアルゴリズムの検証

まず、精度良く敷設できた過去の施工データ４例を使って評価した。図４のアルゴリズムに基づき偏差や姿勢角のデータからアドバイス揺動量を計算し、それを施工データに書かれた熟練オペレータの揺動量と比較した。評価は、統計的な相関度と１人の熟練オペレータのアンケートによる官能評価によった。表４に示すとおり良好な結果を得た。

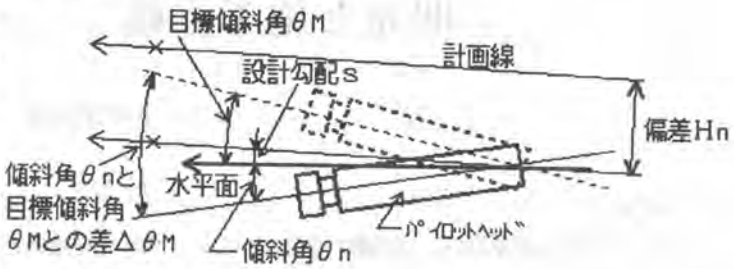


図５　パイロットヘッドの目標傾斜角、傾斜角と偏差

表４ 熟練オペレータの揺動量との比較による計算結果(アドバイス揺動量)の評価

データ		A	B	C	D
施工条件	土質	砂	腐食土	シルト	シルト
	N値	２０	３	２～５	２～５
	ﾊﾟｲﾛｯﾄﾍｯﾄﾞｱﾀﾞﾌﾟﾀ	５０mm	３００mm	１００mm	２００mm
	施工難度	難	難	普通	普通
評価	標準誤差	０．４９	０．５８	０．６９	０．５９
	相関係数	０．７４	０．７８	０．７９	０．７８
	熟練ｵﾍﾟによる評価	○	○	○	○

次に本システムを現場（茨城県相馬郡のガス管埋設工事）に持ち込み、アドバイスどおりの実施工を行った。施工精度は下記のとおりであり、目標精度をほぼ達成できた。

①施工条件…土質:砂、N値:2～7、土被り:約3m、わき水多量、推進長:約58m、設計勾配:0ﾊﾟｰﾐﾘ

②施工精度…（対計画線）垂直方向：＋10～－22mm、水平方向：＋11～－16.5mm
（目標値…計画線に対して、垂直方向：±30mm以内、水平方向：±50mm以内）

5．まとめ

（１）熟練オペレータの操作論理の解明と、ファジィ推論の利用により熟練オペレータの操作方法を模倣したパイロット管推進時の方向修正アドバイスのアルゴリズムを構築できた。

（２）過去の施工データを使い、熟練オペレータの揺動量とアドバイス揺動量の計算結果とを比較してアルゴリズムの検討を行い、良好な結果を得た。

（３）運転支援システムを試作し、試作したシステムを用いて58mの実施工を行ない、計測誤差を考慮しても目標値（垂直方向±30mm、水平方向±50mm）を達成できた。

今後は、試作したシステムの各機能のグレードアップを行い、実施工テストをとおして高精度掘進を支援する運転支援エキスパートシステムの完成をめざす。

45．伸縮リーダー式特殊杭打機の開発と施工実績

東急建設㈱：光永　純一・*梅津　　薫

1．はじめに

近年、都市の再開発及び、交通網の整備に伴ない、立体化を始めとする鉄道営業線の改良工事が多く施工される様になってきた。現在、鉄道営業線の改良工事に於いては、仮設工事の占める割合が費用・工期共多く、中でも、杭打設工事に掛かるウェートが大きいのが現状である。

杭打設工事は、鉄道営業線近接という特殊性ゆえに、架線による高さ制限、作業スペース及び、作業時間等の制約が有り、工事のスピード化を妨げる大きな要因となっていた。

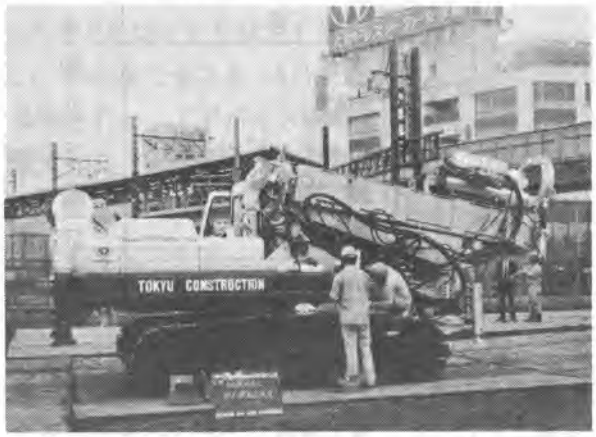
これら諸問題に対応し、工期の短縮及び、労力の削減を目的として開発したのが、東急式「架線下用伸縮リーダ式特殊杭打機」である。

2．現状の作業

現在、鉄道営業線の架線下あるいは、近接で杭打設工事を行う場合、1本4～30m程度の長さのH鋼を軌道際に沿って1．5～9m程度のピッチで打設している。

一般の杭打機に於いては、架線下での移動通過時にリーダ部が接触する為、クローラクレーンやボーリングマシン等のリーダ部を架線高（4．3～5．4m）以下に改造して使用しているのが現状である。その為、オーガスクリュ自体の長さは2mしかとれず、それを何本も継ぎ足しながら削孔するという方法が採られている。しかし、この方法では、例えば20mの杭を1本打設するのにオーガスクリュを10本も継ぎ足さなければならず、取り外しも含め、多大な時間と労力が費やされている。

又、こうした作業は、終電から始発までの夜間作業が殆であり、限られた時間内（2～3時間）で定められた施工精度と共に、厳しい安全性が要求されている。



写真－1　　搬入時

写真－2　　移動時

3．特　長

1）リーダが、4．3～7．0mの範囲で伸縮が可能であり、2～4mのオーガスクリュの選定が可能である。この事により、オーガスクリュの脱着回数の削減による削孔時間の短縮及び、労力の削減が図れる。

2）全装備重量が22．8tで、全長が7．2mとコンパクトになっている為、25tトレーラ1台にて運搬が可能である。

3）油圧折りたたみ式リーダの採用により、搬入後、トップシーブを引き出し、固定するだけで作業ができる。（所要時間は約1時間）

4）リーダが、フロントジャッキと独立しており、油圧ジャッキにより前後左右に移動可能である為、杭芯セッティング時にフロントジャッキを先行して張る事ができ、リーダの建ち狂いによる据え直し等の手間がいらない。

5）運転席に装備されているX－Y傾斜計により、オペレータ1人でリーダの建ち合わせ及び、調整を行う事ができる。

6）機体にはリアジャッキも装備されているので、削孔時の振動による杭芯のずれがない。

7）油圧開閉式オーガスクリュガイドが、オーガ下部に装備されているので、オーガスクリュのぶれを最小限に抑える事ができる。

8）オーガ用油圧モータの最大トルクは、2．7t・mとなっており又、15tの昇降力を持つテレスコ式ジャッキを使用しているので、機体は小型軽量だが、余裕有る削孔・引き抜きを可能としている。

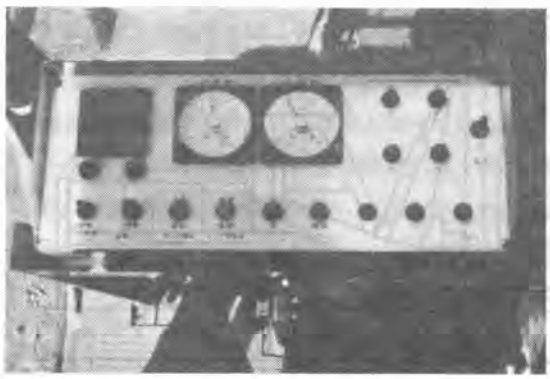
9）トップシーブが油圧ジャッキにより左右45度に首振りが可能となっているので、低い位置、限られたスペースでの、杭材・オーガスクリュの吊り込み作業能率の向上が図れる。

10）オーガの回転速度が、2速切換え式となっているので、地盤に合った最適回転数トルクでの削孔が可能である。

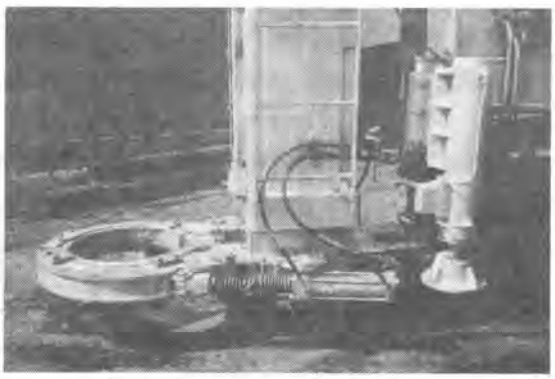
11）架線への接触、切断事故を未然に防ぐ、設定可変式のリーダ伸縮自動停止装置を装備している。

12）アタッチメントを取り付ける事により、杭の圧入・引き抜きも可能である。

13）エンジンによる全油圧駆動であるので、付帯的な電力設備を必要としない。



写真－3　集中操作パネル

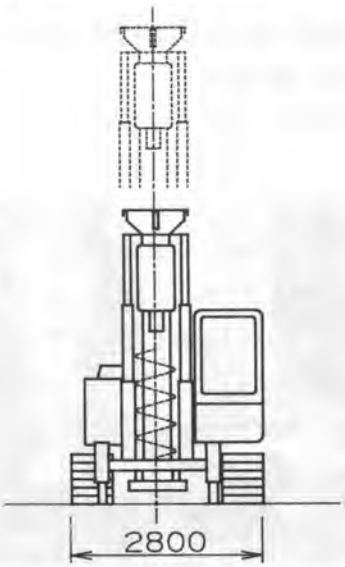


写真－4　リーダ下部

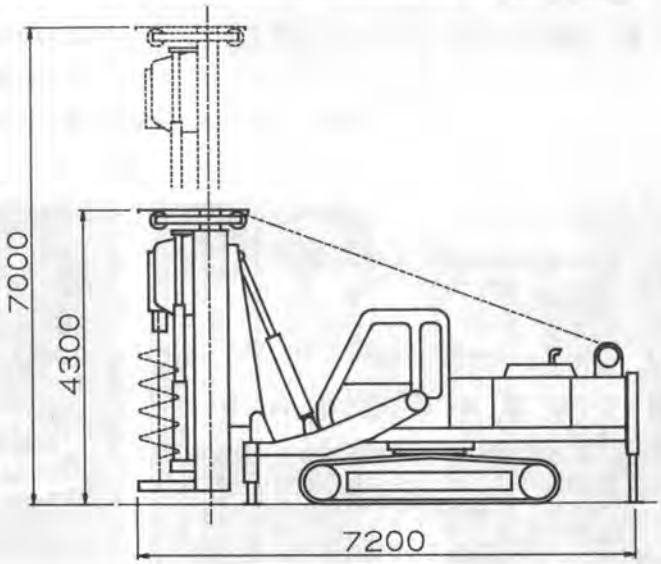
4. 仕 様

本体形式		TBX200
全装備重量		22,000 kg
平均接地圧		0.54 kg／cm
エンジン名称		いすず 6BD1T
エンジン出力		125 ps／ 2,000 rpm
油圧ポンプ型式		可変容量型ﾋﾟｽﾄﾝ×2 歯車式×2
走行速度		4.8／3.9 km／h
旋回速度		13.7 rpm
シュー		ﾌﾗｯﾄｼｭｰ
油圧オーガ	ｽｸﾘｭｰ径×長さ	φ600×2～4m
	最大トルク	2,700 kg･m
	最大回転数	53 rpm
	最高使用圧力	250 kg／cm
	耐引抜突上荷重	15 ton
	自重	1,550 kg
昇降装置	型式	ﾃﾚｽｺｼﾞｬｯｷ直動式
	型式	油圧ｼﾘﾝﾀﾞｰ 2本
	昇降力	15 ton
	昇降ストローク	2,035 mm

リーダ	型式	箱型伸縮式 油圧ｼﾘﾝﾀﾞｰ 1本
	伸縮力	15 ton
	伸縮範囲	GL4.3～GL7.0m
トップシーブ	型式	先端首振り式 ﾀﾞﾌﾞﾙ案内ｼｰﾌﾞ付
	首振角度	左右 45 度
	適用ワイヤ	φ16 mm
	耐力	3 ton
補巻ウインチ	型式	油圧ﾓｰﾀ ﾒｶﾆｶﾙﾌﾞﾚｰｷ式
	ドラム数	ｼﾝｸﾞﾙﾄﾞﾗﾑ
	ローププル	3 ton
安全装置	過巻き防止装置	
	伸縮リーダ高さ制限自動停止装置	
	伸縮リーダ伸長時過巻連動停止装置	
	リーダ危険位置表示灯	
	リーダ傾斜角度計	
	リミット入切表示灯	
	重機非常脱出装置用油圧ポート	



図－1　正面図



図－2　側面図

5．施工現況・実績

現在、「伸縮リーダ式特殊杭打機」は、実際の現場に於いて施工中であるが、導入後、間もなく（8月搬入）施工実績も少ない為、今後のデータ収集により作業時間の多少の変化は考えられるが、現在の実績（杭長１９．５m、打設本数２０本に要した時間の平均値）による比較を以下にまとめる。

作業内容	作業時間(min)		差(min)
	従来機	特殊杭打機	
移動・杭芯ｾｯﾄ	30	20	10
削孔・ｽｸﾘｭ装着	65	55	10
ﾓﾙﾀﾙ注入・ｽｸﾘｭ引抜	40	35	5
杭建込み・添接	25	25	0
合　計	160	135	25

表－１　比較表

写真－５　　リーダ伸長時

尚、上表で従来機はリーダ長４．５m、スクリュ長２mで特殊杭打機はリーダ長４．３～７．０m、スクリュ長４mにて施工した。又、作業人員及び、付帯設備は同じである。

現在迄の所、以上の様な結果が得られているが、この結果から見ると全体的な施工時間は短縮されており、作業能率及び、余裕ある作業時間が得られる為、安全性の面でも充分な成果を上げていると思われる。又、表には表れていないが、施工精度も、削孔能力の増加及び、油圧オーガスクリュガイド等の装備により、確実に向上している。しかしながら、長期に亘り施工を続けて行く事により、問題の発生も考えられる為、引き続き研究・改良を加えて行く予定である。

6．おわりに

鉄道営業線の改良工事に伴ない今後も、様々な重機が開発されていくものと思われるが、こうした機械の殆は、油圧駆動である為、取り扱いは簡便だがエンジンや油圧ポンプ等にトラブルが生じると作動不能に陥る危険性を持っている。こうした不慮の事態にも対処できる様に「伸縮リーダ式特殊杭打機」には、当社開発の「重機非常脱出装置」に対応する油圧ポートを装備しており、緊急時には、短時間で軌道内から退避させる事が可能となっている。

今後、この「伸縮リーダ式特殊杭打機」は、鉄道営業線での改良工事のみならず、道路の立体化工事や、空頭制限及び、施工スペースの限定された場所での杭打設作業にも応用すべく、研究・改良を行っていく予定であり、広い範囲での用途の拡大と普及を目指して行きたい。

46．既設構造物地中連続壁掘削用水平方向掘削機の開発と施工

鹿島建設㈱：野中進一朗・*千田　哲雄

1．はじめに

近年市街地での地上，地中既設構造物が多い場所で連続地中壁を施工することが多くなってきており，このような場合には

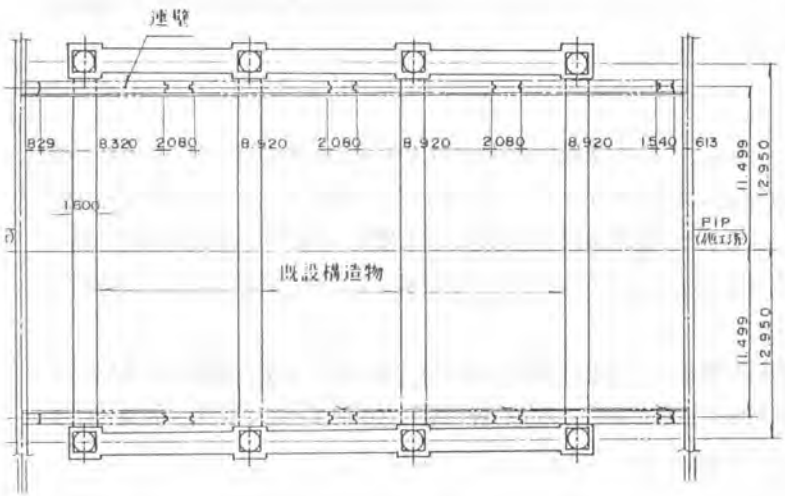
①当該構造物を移設，撤去した後に連壁工を施工する。

②当該構造物下の壁体を後日開削後築造し連壁と一体化する。

等の工法を採用してきた。このような背景において既設構造物を撤去することなく構造物下に連壁を構築する工法の開発が望まれている。既設構造物としては建築物，水路，軌道，埋設管（上下水道，電気ガス等），函渠，シールドトンネル，地中梁等があり形状，大きさ，材質は多種，多様である。

従来連壁の掘削機械は鉛直方向に掘削するものが主体で，構造物下を掘削することが出来なかった。そこで今回地山を水平方向に掘削可能な機械を開発し，第二阪奈道路工事第二工区において実際に使用し好結果を得たのでその成果について以下に報告する。

2．水平方向掘削機を用いた連壁構築



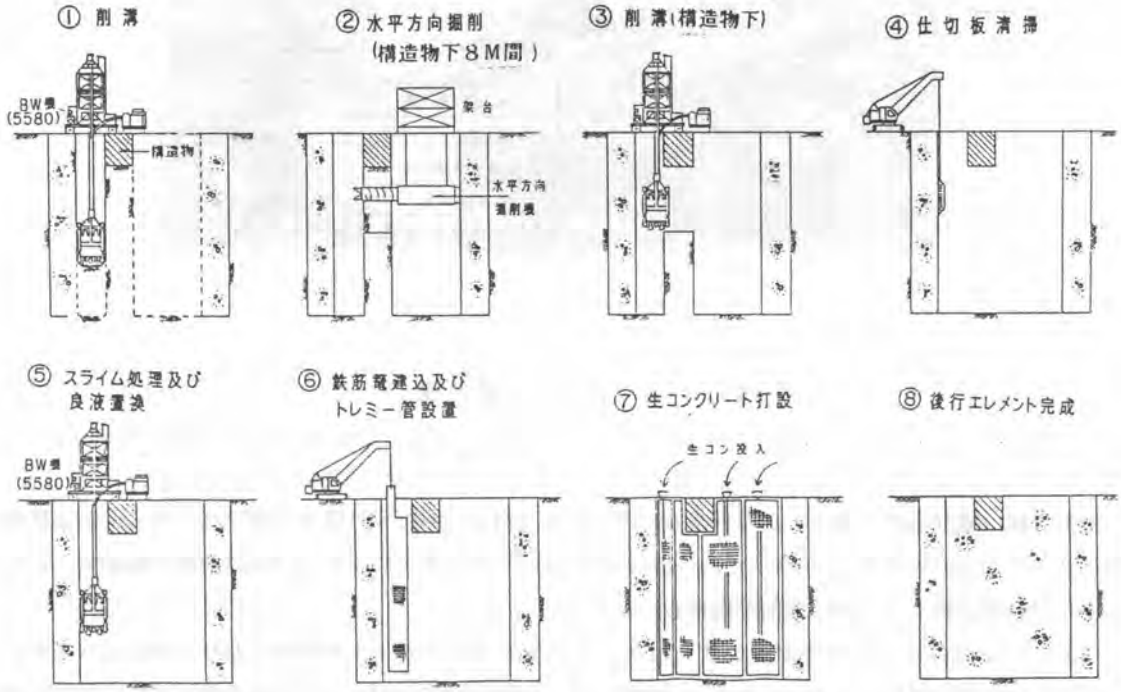
図－1　既設構造物平面図

図－2　断面図

第二阪奈道路工事第二工区は近鉄東大阪線新石切駅下部 250mを連壁を本体壁として利用して2ボックスラーメンの4車線高速道路を構築するものであるが，東端部約50mの区間では駅の地中梁が連壁と直交する形で存在しているために通常の掘削機械では地中梁直下に連壁を施工することが出来なかった。（図－1，2参照）

そこで地中梁直下を掘削出来る水平方向掘削機を開発した。

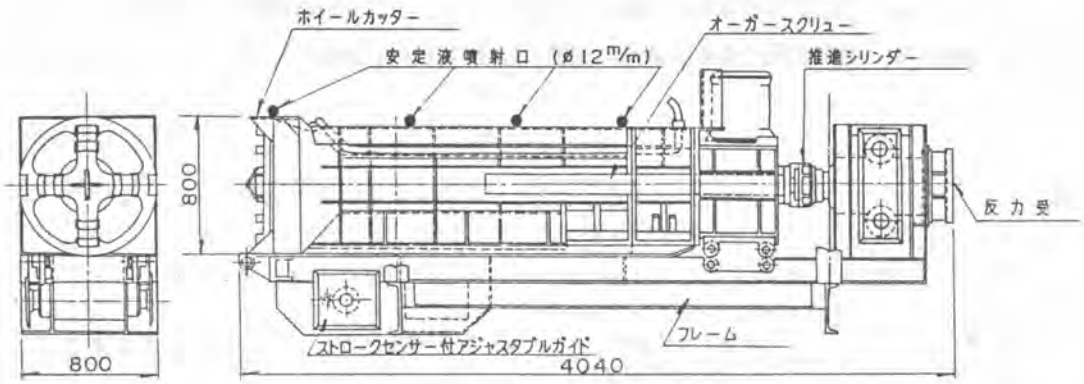
図－2に示すとおり幅1.6 mの既設地中梁に直交してその下に壁厚80cmの連壁を構築する。そのために図－3に示すとおり地中梁の両側をBW機により掘削し次に水平方向掘削機により地中梁下を70cmごとに水平に掘削する。掘削が完了すると通常の連壁と同様に鉄筋篭を建込み，コンクリート打設を行なう。



図－3　既設構造物下構築順序

3．水平方向掘削機による連壁水平掘削実験

水平方向掘削機を図－4，写真－1に示す。



本体重量	5TON
推進シリンダ	30tX1500stX2本
三段伸ビ推進シリンダ	60tX1000stX1本
スクリュコンベア	φ350,7r.p.m
安定液噴射装置	MG25ポンプ,100ℓ/分

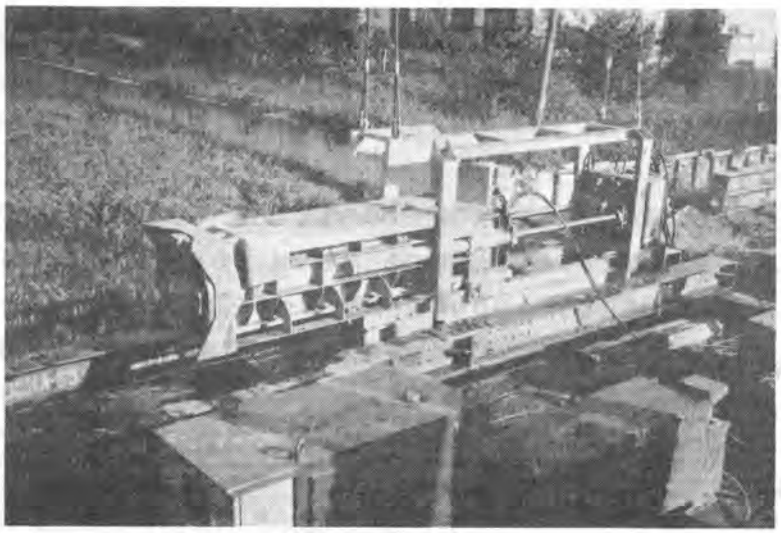
図－4　水平方向掘削機

掘削は縦，横80cmの大きさのホイールカッターにより行ない掘削ずりはオーガースクリューにより後部に送られ下部に排土する。また 1.5mと 1mの2本のシリンダーにより 2.5mの前進が可能で，これにより既設構造物下 2.5mの掘削が出来る。

フレーム先端にはストロークセンサー付きのアジャスタブルガイドが付いておりこれによって左右10cmの方向制御が可能である。（ストロークセンサーは安定液内のジャッキの動きを地上にて検出可能な装置である。）

ホイールカッター部及びオーガースクリュー部には4ヶ所の安定液噴出口が付いており，これによりシルト質のずりの付着を防止できる。1回当りの掘削深さは原則的には70cmとしたが，抵抗が大きい場合には70cm以下で掘削した。全部で96回の地中梁下掘削（1回当り高70cm× 2m）の結果平均推進速度は毎分 4cmであった。また既設構造物下溝壁測定装置による溝壁測定の結果，溝壁の最大ずれ量は 5cmで特に問題になる値ではなかった。

1回目の掘削においては，カッター，オーガースクリュー部にシルトが付着し，掘削時間，清掃時間が大きかったが，2回目に安定液噴射装置の取付け，及びホイールカッター形状を十文字から一文字に改良することによりサイクルタイムの大幅な短縮（約50%）を図ることが出来た。



写真－1　　水平方向掘削機

4．あとがき

今回と同様に既設構造物下に連壁を構築する必要性は今後都市土木工事においてはますます増大することと思われる。8回の水平掘削を無事に終えて今後の同種工事に対する提言は次のことがあげられる。

① 砂地盤では掘削ずりのオーガーへの付着は無いが，粘土地盤ではオーガーへの付着が激しく，このために掘削が困難になる。粘土地盤用のずり付着防止設備は非常に重要なものである。

② 掘削機の方向制御用のアジャスタブルガイドは掘削精度の確保上非常に重要なものであるが，フレーム部だけでなく，推進するカッター部にも取付ける方がより一層精度が向上すると思われる。

なお，本掘削機は近畿日本鉄道㈱と共同開発したものである。

47．回転式ケーシングドライバによる地中障害物撤去の施工例

日立建機㈱：*久住　宏
東洋基礎工業㈱：山口　誠也
新日本国土工業㈱：金岡　隆一

1．はじめに

日立ＣＤ１５００回転式ケーシングドライバを１９８５年に開発して以来，従来の揺動式オールケーシング工法機の枠を越えた様々な用途に数多くの施工実績を積み重ねてきた。１９８９年にＣＤ２０００を加えたこともあり(主な仕様を表－１に示す)，１９８９．４～１９９０．３までの１年間の施工件数は１０８件，杭本数は３５６９本に達した。

特に最近の工事例として顕著な点は地中障害物撤去工事の増加である。ＣＤ機による全工事件数に対し占める割合が，１９８７年度までは１１～１２％程度であったものが，１９８８年度及び１９８９年度はそれぞれ１３．７％，１８．５％に増加し，１９９０年度も同様のレベルを維持している。

また，表－２にＣＤ機による全工事件数に対する地中障害物撤去工事件数の地区別割合を示す。これによれば大都市圏に集中していることがわかる。

本報では日立ＣＤ機による地中障害物撤去のいくつかの施工例について紹介する。

表－１　日立ＣＤ機 主仕様

型　式	CD1500	CD2000
適用ケーシング径	φ1．0 ～ φ1．5m	φ1．0 ～ φ2．0m
回　転　力	130t－m	166t－m
回　転　数	0 ～ 1．2rpm	0 ～ 1．9rpm
押　込　力（シリンダ力）	97t	114t
引　抜　力	166t	217t

表－２　ＣＤ機による全工事件数に対する地中障害物撤去工事件数の地区別割合

	東　京	関　東（東京を除く）	大　阪	その他の地　区
割　合（%）	65．2%	30．0%	100%	5%

2．施工例

１９９０．６までにＣＤ機による地中障害物撤去工事は全部で３８件を数えるが，そのうちの主要な施工実績を表－３に示す。またさらにこのうちのいくつかについて記述する。

（１）表－３　№１の工事

これは既存のビルを取り壊し，新たにビルを建てる工事であり，地下スラブや梁などを掘り抜いた。梁や底盤にはφ２９mm鉄筋が縦横に配置されていたが，先端にカッタのついたケーシングを全周回転させることで難なく掘り抜くことができた。

（２）表－３　№２の工事

これは丸亀市の都市再開発にからむ鉄道高架橋建設工事である。地表から５．５ｍまでの深さまで石垣作りの旧岸壁や矢板があるところに，杭を構築しようというものである。さらにこの現場は旧国鉄本線に沿った線路際であり，埋設障害物除去による地盤沈下，杭施工時の振動，飛泥などの営業線に対する２次災害を誘発することなく，現況のまま直接施工できることが施工上考慮すべき条件であり，旧国鉄内で種々の工法や機種が検討された結果，ＣＤ１５００が選定された。

特に丸亀駅のプラットホームの線路際での杭工事においては，杭木からＣＤ１５００の端面とは僅か100mmしか離れていなかったが，線路下の地盤に全く損傷を与えることがなかった。またこのホームには１日２本の電車が入ることから，その時には施工途中であっても速やかにケーシングドライバ本体をケーシングか

表－3　ＣＤ機による主な障害物撤去工事例

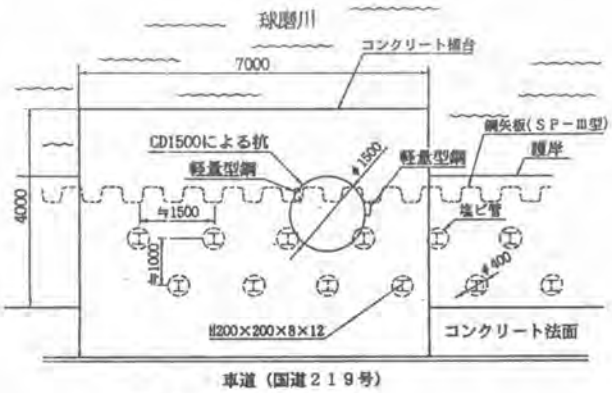
NO	工事名称 （施工の種類）	施工場所	杭の仕様 径	長さ	本数	備考（地盤等）	着工年月
1	温劇ビル新築工事 （都市再開発，建築基礎）	大阪市 天王寺区	φ1，500	5m	17本	既存建築物地中障害物（φ30mm鉄筋入りスラブ） 掘抜き	1986.01
2	国鉄丸亀駅高架橋 ＢＬ1～3工事（鉄道橋基礎）	香川県 丸亀市	φ1，000 φ1，200	17～18.5m	50本	上層既存基礎障害物および隣接（在来線）障害 下層砂礫	1986.02 1986.10 1987.03
3	首都高速12号線 （仮設置換）	東京都 港区	φ1，300	16m	27本	上層　砂（埋土），既設ケーソン打抜 下層　安山岩（φ0．3m捨石）	1987.11
4	国道219号線道路災害関連事業（道路橋基礎）	熊本県 球磨郡	φ1，500	6～14m	15本	上層　礫質土，コンクリート架台，地中障害物， 軟岩，中硬岩，チャート硬岩層	1988.02
5	千葉球場新設工事 （仮設置換）	千葉県 千葉市	φ1，500	7.8～10m	28本	旧護岸撤去 石積　H＝5～6m　，　松杭　ℓ＝3～4m	1988.03
6	川崎市渡田雨水滞水池 建設工事（仮設置換）	神奈川県 川崎市	φ1，500	21m	4本	シルト層・砂層 GL－6mより松杭 （φ350～φ400，ℓ＝15m位）	1988.05
7	富士倉庫運輸新築工事 （建築基礎）	東京都 江東区	φ1，500	5m	60本	シルト，障害物：地中梁スラブ等	1988.06
8	川崎卸センター新築工事 （仮設置換）	神奈川県 川崎市	φ1，000	10m	51本	上層～下層　シルト 地中障害物：RCカルバート，シートパイル等	1988.09
9	フジライトカーペットビル 新築工事（建築基礎）	東京都 中央区	φ1，500	37m	3本	シルト GL～35mまでφ600のクロスパイル	1988.11
10	国際平和会議場，ホテル 新築工事（仮設置換）	横浜市 西区	φ1，500	18m	102本	上層～下層　シルト，砂， 中間障害物：旧護岸（土丹捨石，コンクリートガラ）	1989.01
11	東電浦和営業所新築工事 （仮設置換）	埼玉県 浦和市	φ1，500	10m	3本	既存耐圧盤撤去	1989.05
12	目黒駅西口ステーション サイドビル（仮設置換）	東京都 中央区	φ800 φ900 φ1，000 φ1，200	26m	5本	地下鉄工事に伴う既存場所打杭撤去	1989.06
13	小伝馬町ビル新築工事 （建築基礎）	東京都 中央区	φ1，200	24．8m	8本	既存建築物，地中障害物 （PSパイル，シートパイル）	1989.07
14	トーヨーサッシ本社ビル （2期工事）　（仮設置換）	東京都 江東区	φ1，500	10m	91本	既存の基礎，三角フシ杭撤去，埋戻し	1989.09
15	ダイアパレス高田新築工事 （建築基礎）	新潟県 上越高田市	φ1，800 φ2，000	36m	7本	既存建築物，地中障害物 （RC　φ300　19m）	1989.11
16	東電日野鉄塔下部工事 （鉄塔基礎）	東京都 日野市	φ1，200	15．5m	8本	既存鉄塔基礎撤去	1989.12
17	北千住緑第3期鉄塔工事 （仮設置換）	東京都 足立区	φ1，000 φ1，500	42m	8本	地中埋設物撤去，置換	1990.01
18	浦和東武ホテル新築工事 （建築基礎）	埼玉県 浦和市	φ1，800	41m	8本	PC杭撤去	1990.03
19	草加駅東口再開発事業 （連壁整形）	埼玉県 草加市	φ2，000	12～20m	3本	地中連続壁凸部切削	1990.03
20	日本橋コアビル （仮設置換）	東京都 中央区	φ1，200 ～ φ2，000	25m	39本	地中障害物撤去，置換	1990.04
21	テレコムプラザ松江 （仮設置換）	島根県 松江市	φ1，500	6m	37本	地中障害物（コンクリート）撤去，置換	1990.06

ら抜いて退避させる必要があった。しかし、本体をクレーンで簡単に持ち上げられるという本機の特徴から、この点についても全く問題なく施工できた。

（３）表－３　№４の工事

これは大規模な地すべり災害の発生による国道２１９号線の崩落に伴う災害復旧工事である。ここで国道２１９号線沿いには瀬戸石ダムの貯水池があるため、埋立による道路の拡幅を行うことができないことから、道路橋の形をとることになった。

全杭本数１５本のうち、地中障害物に行き当ったものは１２本であった。これらの多くは鋼矢板、軽量形鋼、それに大口径ボーリングマシンによる場所打ち杭であった。このうち場所打ち杭は記録に記されたものがなく、計画時点では全くわからなかった。これはφ４００㎜の塩ビ管の中にモルタルとともにＨ鋼（３．５ｍ～８．５ｍ）が建込まれていたものである。おそらく今回ほどの規模でないとしても、以前にも地すべりが発生し、その時の対策杭であったものと思われる。図－１に２号橋 P_4杭および地中障害物の配置について示した。このうち場所打ち杭の位置については推定が含まれている。



図－１　２号橋（P_4）杭施工図

掘削速度としては、地中障害物の出ないコンクリートで平均０．５ｍ／hr，Ｈ鋼や鋼矢板で０．２～０．５ｍ／hrであった。

（４）表－３　№５の工事

この現場は、京葉線、海浜幕張駅の南南西約１㎞に位置し、海岸に接している。以前堤防として建設された石積みの仮護岸があったが、その後埋立てが行われて今回野球場が建設された。スタンドの新設杭が拡底場所打ち杭で設計されており、その一部がこの護岸に当り障害となった。

積石などのように硬く逃げやすいものが斜面状に積上げられている場合には、ロックオーガなどよりも精度が良く、容易に切削できるＣＤ工法が最適とされ採用となった。

障害物は、重量５００～７００kgの砂岩、栗石、直径約２００㎜・長さ２．５～３ｍの松杭であった。

松杭は１箇所当り最大４本あったが難なく撤去することができた。軸部径φ１８００㎜の新設杭施工箇所には、φ１５００㎜×４本の障害撤去孔をあけた。全部で２８本の障害撤去孔をあけたが、工期は実稼働６日間であった。

（５）表－３　№６の工事

この現場はアースドリルよる拡底杭を１９０本施工するように設計されいてた。このうち４本の杭に位置する松杭をＣＤ１５００で引抜いた。松杭の直径はφ３５０～φ４００㎜で長さが１５ｍであった。

このためφ１５００㎜のケーシングを２１ｍまで先行させた。そして松杭の杭頭を露出させ、さらに松杭間をφ１００００㎜のハンマグラブで杭頭より約６～７ｍまで掘削し、ハンマグラブで杭頭をつかみ引抜いた。松杭は垂直に打設されてなく、すべて斜めに入っていたため、長さ１０ｍ付近でケーシングにより切断されていた。引抜いた松杭は全部で４８本であった。

（6）表－3　№7の工事

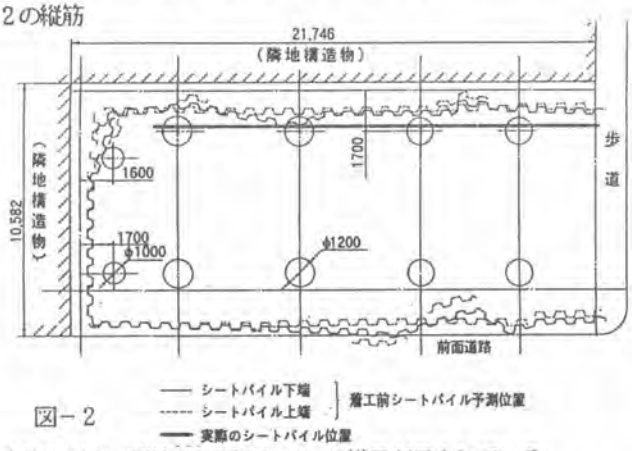
ここは清掃工場の跡地であり、4階建の建物と高さ40mの脚部径φ4．5mの煙突が立っていた。上部構造は解体されたが，地中に残った鉄筋コンクリートの煙突基礎および煙道が新設杭施工のための障害物となった。

障害物は鉄筋コンクリート構造物と松杭であった。鉄筋コンクリート構造物はGL－1．4m～5．5の間にあり，鉄筋は平面的にはD22～D29が縦横150mm間隔で配筋され、上下方向にはD22の縦筋が300mm間隔で配筋されていた。

松杭はGL－5．5～9mにあり，直径φ170mm・長さℓ＝3．5mのもので、φ1500mmの撤去孔1本について4～5本あった。

撤去孔は新設杭（φ1800mm以下）1本につき、φ1500の孔を4本ラップさせてGL－8mまで掘削し、障害撤去を行った。工期は実稼働33日間であった。

写真－1　引抜いた縦筋を含む地下構造物



図－2

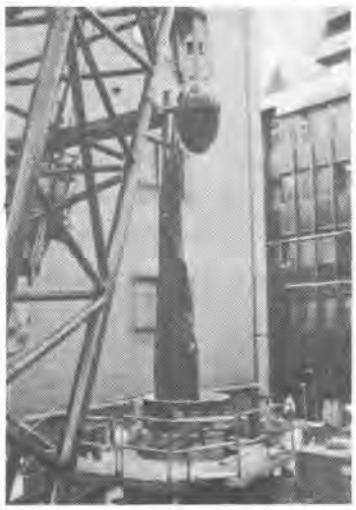
写真－1に撤去された鉄筋コンクリート障害物を示す。縦筋が切断されている様子が示されている。

（7）表－3　№13の工事

本工事は既存建造物を取り壊す、都市再開発工事である。

当該基礎工事はアースドリルによる場所打ち杭の設計であったが，既存建造物建築時のシートパイルと基礎杭が残留しており，これを撤去してから杭を築造する必要が生じた。このようなことから、CD1500で施工することになった。

図－2で示すように、施工前はシートパイルがあたる杭は1箇所だけの予定であったが，実際には隣接した建物側の4本の杭総べてがシートパイルにあたった。特に歩道より3番目の杭はコンクリートで固定してあったためコンクリートも一緒に切断し、シートパイルと一体で引抜かざるを得なかった。写真－2にその時の状況を示す。



写真－2　シートパイルの引抜き

3．おわりに

以上障害物撤去の施工例について紹介したが、いずれの場合にも厳しい施工条件の中で創意工夫をしながら完了したものである。今後場所打ち杭の引抜き工事も増加していくと思われるが、まだまだ解決しなければならない点も多い。今後一層施工機の改良と施工技術の向上に努めていきたい。

建設機械と施工法シンポジウム論文集（平成２年度版）

平成２年10月25日　印刷
平成２年10月29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）
電　話（03）433－１５０１
ＦＡＸ（03）432－０２８９
振替口座　東京　７－71122番

不　許
複　製

印刷所　株式会社　東　神　堂
東京都千代田区神田司町２－14