

平成元年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成2年1月26～27日

千葉・幕張メッセ

社団法人 日本建設機械化協会

平成元年度

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

「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

【自動制御・施工管理技術】

1. 土砂のための高効率管路圧送法の開発
.....建設省土木研究所：高津知司，*橋本信仁... 2
2. 建設機械の故障診断におけるオイル分析エキスパートシステムの開発
.....山崎建設(株)：*花嶋隆志，奥田澄雄
.....(株)システムズ：上田 隆... 6
3. 昇降クレーンの開発.....東急建設(株)：*西尾 仁，姥名忠親... 10
4. 高橋脚および斜張橋主塔の機械化施工.....住友建設(株)：佐々木和道... 14
5. 建設車両用タイヤの発展と今後の動向
.....機械部会タイヤ技術委員会：助友利隆（(株)小松製作所）... 18
6. レベル自動計測システムの開発
.....鹿島建設(株)：緑本 栄，石川 宏，羽山勢隆，*越智達之... 22
7. 仮設足場材整備の自動化.....(株)竹中工務店：古川政彦... 26
8. タワークレーントラベリング工法の開発と実施
.....(株)竹中工務店：田中貞夫，*古川幸荘... 30
9. 軌道作業パワーショベルによる保線作業の合理化.....(株)小松製作所：山田 透... 34
10. ロードカッター作業の高能率化.....小松造機(株)：品川春樹... 38

【自動化機械・建設ロボット】

11. スリップフォーム工法における自動運転システムの開発
.....飛島建設(株)：忌部惇一，矢作健治，佐藤暁生，*名倉政雄... 42
12. 炭素繊維を用いたRC煙突の耐震補強工法
.....(株)大林組：加藤 実，小島克朗，*小島信男... 46
13. ダム用回転上昇式型枠の実用化
.....清水建設(株)：*小峯富夫，梶岡保夫，松田重好，小田原卓郎... 50
14. 天井ボード貼りロボットの開発
.....清水建設(株)：*阿部愛和，前田純一郎，近藤弘司，稲田勝博... 54

15. セグメント自動搬送システム
 ……清水建設(株)：菊池雄一，鈴木康正，*宮沢和夫，佐藤 等… 58
16. セグメント自動組立システム(SABIS)の開発
 ……(株)間 組：園田徹士，*配野 均
 日本鋼管(株)：松下利幸，村野健一… 62
17. 外装塗膜自動剝離機の開発
 ……(株)竹中工務店：*星野春夫，萩原忠治，佐藤秀雄，大沼 悟，鈴木昭夫… 66
18. 砂漠の緑化と圃場整形ロボットの開発をめざして…(株)銭高組：岡崎 登… 70

【トンネルとその機械】

19. ジャイロコンパスとレベル計を用いたシールドトンネル掘進機の自動測量システム
 ……(株)大林組：土屋幸三郎，阪本公明，*今倉和彦… 74
20. KOMET SYSTEM…
 日本国土開発(株)：宮地明彦，川上 裕，生木泰秀，水野征四郎，菅原隆夫
 市神元英，*藤沢 均 … 78
21. 大深度シールドトンネルの応力についての一実験…(株)熊谷組：藤本 徹… 82
22. シールド機械の自動測量装置の開発…(株)奥村組：*三島亨介，中永清次郎… 86
23. 英仏海峡トンネルシールド機と施工…三菱重工業(株)：三浦正昭… 90
24. TBM の自動位置・姿勢計測システム
 ……佐藤工業(株)：*小林恒雄，板津賢治，大西 豊… 94
25. ECL シールドの構造とその施工実績…鉄建建設(株)：千葉敬介… 98
26. H&V シールド工法の実証実験…(株)間 組：*園田徹士
 清水建設(株)：萩原英樹
 前田建設工業(株)：北川滋樹… 102
27. リフレッシュシールド工法に関する掘削要素実験
 (株)間 組：竹之内康昭，西尾誠高，配野 均，*志野和巳
 三菱重工業(株)：佐々木清美，岡本和巳… 106
28. 馬蹄形トンネル鋼板内巻改修工法
 ……新日本製鐵(株)：*柿崎 稔，木村哲夫，松本博嗣… 110

【コンクリート・建築・維持等とその機械】

29. 新粗石コンクリート工法の機械化施工技術の開発
 ……建設省北陸技術事務所：木下照和，上村 弘，*中川毅志… 114

30. 液体窒素を用いたブレッカーリング工法の開発
 清水建設(株)：根上義明，梶岡保夫，*木村克彦
 東京ガス(株)：峯岸孝二
 東京冷産業(株)：平野 正… 118
31. 降灰対策型（小形）路面清掃車の開発
 ……建設省九州技術事務所：新 英司，宅間義明，*木村直紀… 122
32. 水中堆積土砂（ヘドロ等）処理機械の開発
 ……建設省近畿技術事務所：横江重行，元木真二
 (株)電業社機械製作所：*山田正嗣… 126
33. CAD/CAM による鉄筋プレハブユニット自動配筋装置の開発
 ……東京電力(株)：山岸祐一
 清水建設(株)：高見昌博，山本 勇，*佐藤 等… 130
34. HRC コンベヤによるコンクリート打設…(株)間 組：芳賀佳之… 134
35. 超音波振動を利用するセメント混合物の締め固め…(株)竹中工務店：内崎 巖… 138

【土工・地盤改良とその機械】

36. 新液状化対策“グリッドドレーン工法”の施工管理
 ……五洋建設(株)：飯尾正史，深川 隆，*高橋正志，藤原敏光，阿部俊暢… 142
37. 牽引式マンモスバイプロタンパー工法の開発…(株)間 組：石原公明，麻生公裕
 不動建設(株)：*苗村康浩
 フドウ技研(株)：谷口利久… 146
38. 石炭灰を主材としたプレミックス材料による人工島築造工法とその機械装置
 清水建設(株)：*小田原卓郎，佐野 暁，坂本和義，堀内澄夫，竹束正孝… 150
39. テクソル工法施工システムと専用機開発…(株)熊谷組：滝川 勉，*北原成郎… 154
40. 狭あい部掘削・締め固め機械の開発
 ……建設省近畿技術事務所：横江重行，*元木真二
 日立建機(株)：内野 徹… 158
41. 土の安定処理用防塵固化材と施工機械の開発
 ……日本舗道(株)：佐藤辰郎，*安松 仁… 162
42. ブルドーザのシューズリップコントロールによるリッパ作業の容易化・効率化
 ……(株)小松製作所：中原照雄，*伊戸川 博… 166
43. 盛土締め固め施工管理装置（RI法）の適用性
 ……建設省土木研究所：田中 貢
 建設省東北技術事務所：*木村 信悦… 170
44. ゴム履带式高速トラクタの開発…新キャタピラー三菱(株)：仲田良輔… 174
45. 最近のリッパ工法…新キャタピラー三菱(株)：熊川嗣雄… 178

【基礎・推進とその機械】

46. 鋼杭式地下連続壁工法による地下ダムの施工
……………(株)大林組：串間正敏，*伊藤不二夫，相川 亮… 182
47. ドリル杭（回転貫入鋼管杭）工法の貫入性と支持力
……………川崎製鉄(株)：高橋千代丸，*橋本正治，西沢信二
佐藤清治，豊原陽登志，橋本修身… 186
48. 連続地中壁の高精度位置検出システム
……………大成建設(株)：*荒井政男，大河内政之，近藤高弘… 190
49. 塩ビ管推進工法（エンビライナー）……………三和機材(株)：山田 滋，*秋葉利康… 194
50. 地中遮水膜連続壁工法
……………鹿島建設(株)：一坪 聡，香西茂良，松井信行，*吉川 正，坂田 昇… 198
51. HBートレンチカッター（地下連続壁掘削機械）の概要とその施工例
……………(株)間 組：気仙哲夫，*田中 猛… 202
52. ソイルセメント柱列強度の早期判定装置の開発
……………(株)竹中工務店：*寺村知大，村上信直，松岡信弘，北村敏直… 206

1. 土砂のための高効率管路圧送法の開発

建設省土木研究所：高津 知司・橋本 信仁

1 はじめに

地下掘削では掘削した土砂をいかにスムーズに搬出するかが施工性を向上させる課題となっている。管路輸送方式による土砂の搬出は、限られた狭い空間で連続的に搬出でき、省力化、ロボット化が計り易い反面、水を加えてスラリー化しなければ圧送性は著しく劣る。しかもこの泥水輸送は搬出後に泥水処理作業が必要となり経済的でないとともに処理用地の確保等の問題を抱えている。そこで開発された高効率管路圧送法はH-T管 (High effect-Transport Pipe) を用いて、土砂の管壁面部分のみをスラリー状にすることにより、土砂全体の含水量をほとんど上げずに圧送抵抗を低減させるもので、関東ロームを代表する粘土質の高い土砂においても圧送能力を向上させ、長距離圧送できるのが特長である。今回その有用性を実験で検証したものである。

2 H-T管の特徴と構造

管路を圧送される含水量の少ない土砂は締め固められた柱流の状態で流動する。土砂全体の含水量を上げずに圧送抵抗を低減させる方法として、圧送配管の曲がり部や絞り部にあたる特に圧送抵抗の大きい部分に、摩擦抵抗の少ないセラミックスタイルなどを管内面に付設したり塗装した管材を用いる方法があるが、これらの特殊な管材は、その実用に経済性等の課題の解決を待たなければならない。そこで管路を圧送される半固体流れの土砂を管壁面部分のみをスラリー状にし、すべりを伴うピンガム流れとすることによって、摩擦抵抗を減らし大幅な圧送抵抗の低減につながることに着目した。

今回開発したH-T管は、管路を圧送される土砂の特性を利用したもので、構造が簡単で管路途中に設置するためポンプ形式の制約を受けずに設置できるものである。

図-1にH-T管の構造を示す。両端に接続フランジを有した短尺管の内周面に絞り部を形成するリングが設けられ、矢印Aで示す土砂の圧送方向下流側の短尺管壁に水等の潤滑材供給口を取り付けた構造となっている。

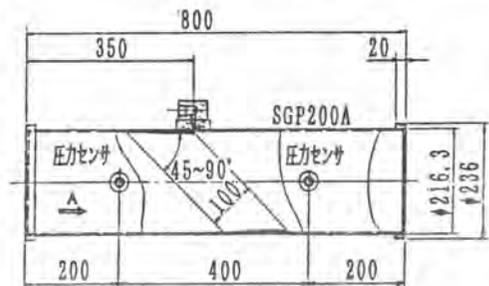


図-1 H-T管の構造

これまで管路圧送方式においては管路の断面形状の変化は圧送抵抗が増加するため極力さける方が良くとされていた。しかし、本H-T管はあえて絞りリングを設けたことを特長としている。

図-2に示すとおり、圧送ポンプより送り出された土砂は、絞りリングによって徐々に絞られ、リングを通過すると短尺管の管壁との間に間隙を生ずる。この間隙に供給口より水を一定の圧力で注入すると、水が土砂の周囲を覆い、管壁との間に潤滑層を形成する。このとき、土砂はすべりのあるピンガム流体に

なっている。土砂は圧送ポンプにより、押し出された時すでに締め固められた状態にあるので、水は土砂に容易に浸透することなく潤滑層を形成し続け、摩擦抵抗が低減され、ポンプ圧送能力が高められる。また絞りリングの内周面に傾斜面が形成されているので、土砂はリングによって徐々に絞られることとなり、リングによる抵抗を最小限に抑えることができる。

3 土砂圧送実験

(1) 実験の概要

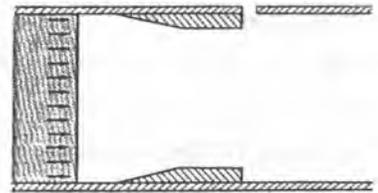
実験は、H-T管の土砂における有用性を検証すべく、絞りリングの傾斜角度(図-1参照)を 90° と 45° の2種類とH-T管を用いない場合について実験を行った。

(2) 実験方法

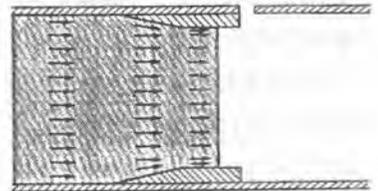
図-3に配管状況及びセンサ位置図を示す。土砂を垂直に圧送するための輸送配管、ポンプ、ホップ、給水装置および計測機器から構成される。輸送管は200A鋼管で全長32m(内水平部約27m、垂直部約5m)である。また管には、5地点8ヶ所に圧力センサを取り付けた。

圧送ポンプはシールド工事などに用いられる油圧式単胴シリンダポンプを用いた。また、潤滑材に水を使用し、高圧洗浄機より給水した。表-1に圧送ポンプの仕様を、表-2に土砂圧送実験条件を示す。供試土は、自然状態のロームと砂を用いて表-2の配合による6条件について実験を行った。

- ① ポンプから押し出された土砂は、すでに締め固められた状態にある。



- ② 土砂は、絞りリングにより徐々に絞られる。



- ③ リングを通過した土砂は、間隙との間に間隙を生ずる。この間隙に潤滑材を注入すると潤滑層を形成し続け、摩擦抵抗を低減させる。

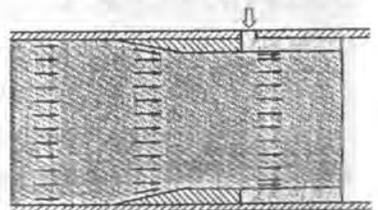


図-2 H-T管の機構

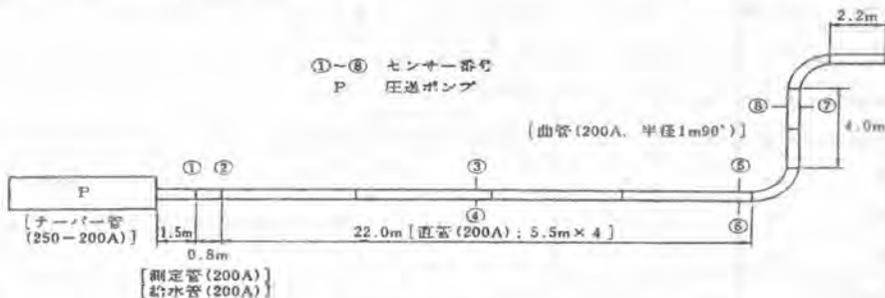


図-3 配管状況およびセンサ位置

測定項目については、原材料である関東ロームおよび砂に関して、比重試験、含水量試験および粒度試験の土質試験を実施した。圧送実験については、管内圧力、圧送距離、ピストン圧力を測定した。

(3) 実験結果

表-3に土質試験結果を、表-4にH-T管と圧送距離の関係を示す。表-4に示すとおりH-T管を

用いたものはすべて土砂は通管している。これに対してH-T管を用いなかった場合は、関東ローム：砂=1：1において圧送距離13.2m (No1センサ40kgf/時) 関東ローム：砂=2：1では圧送距離15.5m (No1センサ40kgf/時)にとどまり、H-T管を用いた場合には圧送能力が飛躍的に改善されていることがわかる。

図-4に管内圧力と圧送距離の関係を示す。リングの傾斜角度が90°と45°では、45°の方が圧力損失が少ない。これは土砂がリングを通過するさい角度90°の場合は同一断面が同時に変形されるのに対して、45°の場合は、徐々に絞られるため絞り込み途中における断面変形面積が小さく、絞りリングによる圧送抵抗が少なかったことと、さらに潤滑材の水が供給口から絞りリングによってできた間隙を通して土砂表面をまんべんなく覆い易かったことが考えられるが定量的に把握することはできなかった。

表-5に給水管の時間当たり給水量を、表-6に圧送実験試料含水比一覧を示す。表-7に示すとおり、圧送前における土砂の含水比と、圧送後の管の中心における含水比はほとんど変わらず、外層においてもスラリー状態は外層から2～3mm程度であり、十分に満足の結果となった。これは、土砂が管路中を柱状で移動し、水が

表-1 ポンプの仕様

項目	仕様
最大吐出量	35 m ³ /h
油圧シリンダ形式	特殊二重シリンダ式
最大吐出力	62 kgf/cm ²
シリンダ内径	228.6 mmφ
ストローク長	800 mm
ストローク容量	0.033 m ³
シリンダ往復数	15～18回
全長×全幅×全高	4,500×750×1,420 mm
全重量	3500 kgf

表-2 土砂圧送実験条件

実験番号	実験条件
No. 1	関東ローム：砂=1：1
No. 2	関東ローム：砂=1：1 リング角度90°
No. 3	関東ローム：砂=1：1 リング角度45°
No. 4	関東ローム：砂=2：1
No. 5	関東ローム：砂=2：1 リング角度90°
No. 6	関東ローム：砂=2：1 リング角度45°

表-3 土質試験結果

土質試験料		関東ローム	砂
粒 度	篩分 (2000μ以上) %	6	20
	篩分 (74~2000μ) %	18	77
	シルト分 (5~74μ) %	45	3
	粘土分 (5μ以下) %	31	-
性 質	最大粒径 mm	9.32	9.52
	均等係数 U _c	-	5.0
	曲率係数 U _s	-	0.9
分 類	日本統一土質分類	F	(SPu)
		細粒度	均等粒度の砂
土粒子の比重 G _s		2.747	2.778
含水比 w _n %		83.0	7.0
水/(砂+土) %		387.5	7.2
水/砂 %		518.1	9.1

表-4 H-T管と圧送距離の関係

実験番号	1	2	3	4	5	6
1番センサの指示圧力が20 kgf/cm ² の時の圧送距離 (m)	6.3	10.7	13.9	10.0	6.4	8.9
1番センサの指示圧力が40 kgf/cm ² の時の圧送距離 (m)	13.2	-	-	15.5	-	-
通管時の1番センサの指示圧力 (kgf/cm ²)	-	9.8	5.0	-	21.1	6.6
最大ピストン圧力 (kgf/cm ²)	180	150	120	110	210	140
リング角度	-	90°	45°	-	90°	45°

表-5 H-T管の時間当たり給水量

注) 無負荷時

リング角度	開度	測定結果 (cc/0.5min)				給水量 (cc/min)
		1回目	2回目	3回目	平均	
90°	1/6	3,545	3,335	3,600	3,493	6,987
	全開	6,780	6,740	6,790	6,770	13,540
45°	1/6	2,940	2,840	2,840	2,873	5,747
	全開	6,840	6,860	6,890	6,863	13,727

表-6 圧送実験試料含水比一覧

実験番号	1	2	3	4	5	6
圧送前	30.98	32.74	44.32	49.42	62.97	52.80
圧送後中心部	30.85	33.01	45.41	46.39	62.25	52.66
圧送後管壁部	-	40.93	49.12	-	66.81	55.69
圧送後の平均	-	40.52	48.93	-	66.58	55.54
圧送前後の差	-	7.78	4.61	-	3.61	2.74
リング角度	-	90°	45°	-	90°	45°

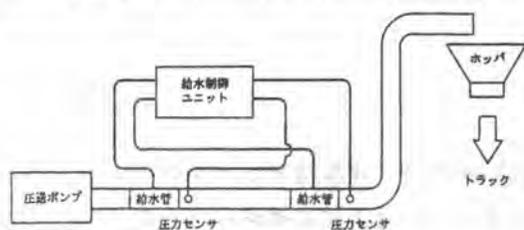
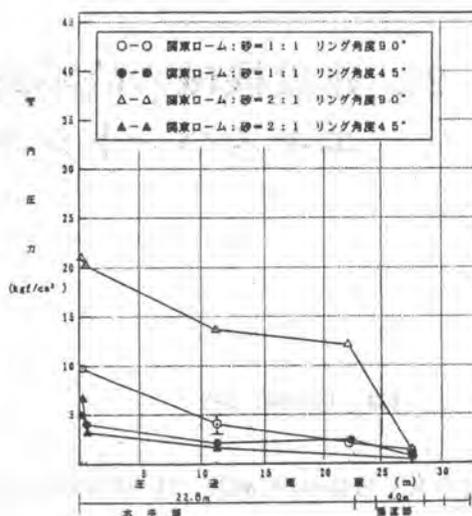


図-5 自動給水システム



注) 両距離のセンサーについては、平均値を使用した。

図-4 管内圧力と圧送距離の関係

潤滑層を形成し続けていることを実証している。また、水の供給を断続的に行ったにもかかわらず、全管路の土砂に潤滑層が形成された。

4 実用化の方法

H-T管の実用化にあたっては、移送物の性状と経済性をかんがみ絞りリングの形状を決定する必要がある。つまり、リングによる圧送抵抗を少なくするにはリングを傾斜させたり、テーパを付けるなどの機械加工が必要となるが、同じ容量のポンプを使用するのであれば、絞りリングの形状は機械加工を必要としないシンプルな物の方が経済的である。

今回の実験から、給水を断続的に行っても、十分に圧送性を向上できることがわかった。そこで、管内圧力をパラメータとして給水量を制御する方法が考えられる。

図-5にそのモデルを示す。H-T管を曲管部などの管内圧力が上昇する箇所に設置し、管内圧力が一定値を越えた場合のみ給水を行うもので経済的であるとともに圧送における信頼性も向上される。



写真-1 土砂搬出状況

5 おわりに

土砂に限らず管路圧送においては、常に閉塞の危険性をはらんでいる。一旦閉塞すると、機能復帰するまでに多大な時間と労力を必要とし、圧送距離が長くなればなるほど負担は大きくなる。今回行ったH-T管を用いる方法は、土砂の圧送性を向上させなおかつ排土処理が容易に出来るなどの効果があり、十分利用できることが確認された。

今後は、土砂の掘削から搬出、排土処理にいたるまでの全体を統合するシステムの構築も可能と考える。本研究の成果が実際の現場で活用され、施工性、経済性、安全性の向上に資することができれば幸いである。

2. 建設機械の故障診断におけるオイル分析 エキスパートシステムの開発

山崎建設(株)：*花嶋 隆志・奥田 澄雄
(株)システムズ：上田 隆

1. はじめに

MORESはMACHINERY OIL RESEARCH EXPERT SYSTEM (建設機械オイル分析エキスパートシステム)の略で、山崎建設株式会社が、従来より自社の建設機械について行なってきた建設機械のオイル分析による診断システムMOR (MACHINERY OIL RESEARCH: 建設機械オイル分析診断システム)を、エキスパートシステム上に構築したものがある。本システムは、約1年間の開発期間を経て、1989年4月より稼働中である。

以下にその概要を紹介する。

2. MORESの概要

2.1 MORの概要

MORESの説明に入る前に、まず、従来から行なわれているMORについて説明する。

MORは、いわば、建設機械における血液検査のようなもので、定期的に各現場で作業している建設機械のオイルを分析することにより、その機械の状況を診断し、その処置法を示すものである。したがって、機械の異常を早期に発見し、重病患者になる前に手当のできる予防診断方法であると言える。

オイルは、作業所名、機械名、稼働時間などの情報を記載したデータ票と共に各現場より、ポリビンに入れられて送られてくる。このオイル中の摩耗金属成分・水・燃料・ホコリ等を分析し、診断を行なう。

オイル分析は建設機械の各装置部位(エンジン、トランスミッション、ファイナルドライブ、ハイドロリック、等)について行なわれる。

分析の項目と、その分析を行なう理由(すなわち、分析結果が何に関連するか)の一例を図表-1に示す。

山崎建設株式会社では、自社の膨大な数の建設機械の10数年の使用実績により、これらの診断方法を整理し、異常項目の判定部を人間の熟練者にたよる以外は、本MORの分析データ処理をほとんど自動化してきた。

図表-1 分析項目とその分析理由

分析項目		分析理由		分析 機器・方法	
記号	元素名	増減原因	金属構成箇所例		
金 属 元 素	Cu	銅	摩耗金属	スラストW・ディスク・プッシング	ICP 高周波 プラズマ 発光分光器
	Fe	鉄	//	ライナ・ギヤ・シャフト・プレート	
	Cr	クロム	//	ピストンリング・ベアリング	
	Al	アルミ	//	ピストン・メタル・トルコン	
	Si	シリコン	混入・摩耗金属	土砂ホコリ・ブレーキライニング	
	Pb	鉛	摩耗金属	メタル	
	Na	ナトリウム	不凍液	クーリック	
	Mo	モリブデン	摩耗金属・添加剤	トップリング・グリース成分	
	Ni	ニッケル	摩耗金属	メタル	
	Sn	錫	//	メタル	
	Ag	銀	//	オイルクーラ蟻付	
	P	リン	添加剤	極圧剤・酸化防止剤	
	Zn	亜鉛	//	酸化防止剤・極圧剤	
	Ca	カルシウム	//	清淨分散剤	
	Ba	バリウム	//	//	
	Mg	マグネシウム	添加剤・摩耗金属	ブレーキライニング・清淨分散剤	
S	イオウ	添加剤・油劣化	極圧剤・燃焼ガスによる劣化		
燃 料		噴射ポンプ・トランスファポンプ・ノズル・高圧ライン		セタブラッシュ	
水		冷却水・雨水・泥水・露滴（水蒸気凝結）		ホットプレート	
(不凍液)		(冷却水)		(化学反応)	

図表-2 MOR実施のメリット

項 目	内 容
故障の早期発見	故障の兆候を早期に発見できるので、故障が大事になる前に修理することができ、修理費の低減化が可能です。
計画的な休車	修理の時期が分かりますから、交換部品やユニック品の手配がタイミングよくとれます。
作業計画の改善	工事計画を立てやすくなりますし、また故障による工期の遅れが発生しません。
機械寿命の延長	故障が大事に至る前に修理しますので、他の部品への影響が少なく建設機械全体の寿命が延びます。
不必要修理の回避	MORの結果がOKなら、オーバーホールする必要がなくなり、安心して稼働させることができます。
安全性の確保	突然の故障による事故・災害を回避できますので、現場の安全性が高められます。
オイル管理の徹底	無駄なオイル交換や汚れたオイルの長期使用が避けられますので、部品の寿命が延びます。
メンテナンスの習慣化	定期的な採油に合わせオイル交換など他のメンテナンス事項も習慣化することができます。

2.2 MORESの概要

MORESはMORの工程のうち、異常項目の状況から、人間の熟練者が、具体的な異常項目とそれに応じた処置項目を判定する部分の知識をエキスパートシステムに置き換えたものである。

従来より、MORの分析データは、パソコンのデータベース上に、整理され、蓄積されている。MORESは、データベース上に整理された分析値のデータを同じくパソコン上に構築されたエキスパートシステムで診断する。その結果を再び、データベースにもどし、別のオイルリサーチ報告書を作成するというものである。(図表-3)

図表-4に、ある機械のエンジンに関するオイルリサーチ報告書の例を示す。

このように、報告書には、その機械の過去の診断の履歴と、今回の分析値、診断結果(原因および取るべき処置)が示される。

なお、異常の診断は、診断部位毎の異常診断のための境界値が、定められており、これらの境界値を越える成分があれば、異常と診断することにより行う。さらに、今回の分析値が正常範囲でも、前回分析値に対し、異常な増加を示した場合も、異常値と判断する。

MORESは、各部位毎に約300のルールが作成され、合計約2700ルールのエキスパートシステムとなった。

本システムは、1日分の分析値(約数百件)を、その日の夕方にMORESでバッチ処理する方式としている。従来、人間の熟練者が、一件につき約100秒で判定していたものを、10秒前後で、判定できるようになった。

3. おわりに

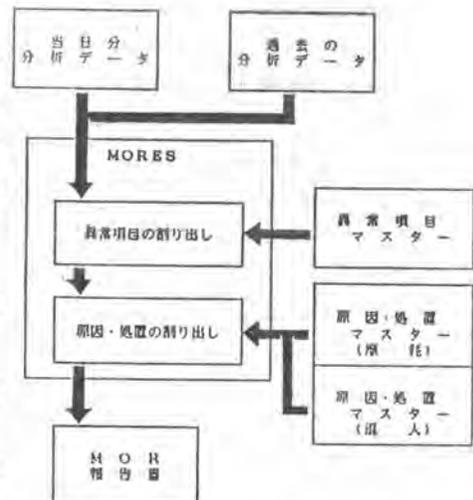
以上、山崎建設株式会社が、自社の膨大なデータによる経験を活かして、作成したMORESにつき紹介した。本エキスパートシステムは、1989年4月に完成し、半年の試用と、それに基づく修正を経て、1989年10月より本格的に実用に供されている。

MORESを完成したことにより、従来より、以下の点につき向上が計られた。

- ①高速化：従来の数倍の量のサンプルの判定が可能
- ②標準化：エキスパートの知識の体系化が可能
- ③高度化：知識体系の積み重ねによる高度化が可能
- ④技術の伝承性の向上
- ⑤機械ユーザへのサービス性の向上

当社では、本エキスパートシステムを用いたオイル分析を、当社以外の建設機械ユーザからも、受託する方針であり、さらに、本エキスパートシステムそのものの外販も検討中である。

図表-3 MORESの位置付け



図表-4 オイルリサーチ報告書(例)

オイルリサーチ報告書

1989年10月14日
YAMAZAKI
M O R

お客様名	ユート	作業所名	ユート
山崎建設㈱	000	1ト-ビ7名取	40857C

機種名	ユート	シリアル	採油箇所	ユート
657E N022	201022	917259	エンジン後	1121

7トNO	採油日	分析日	採油SM	使用時間	補給量	交換	判定	作業所	修理SM	修理内容	メ	モ										
236321	89/03/30	89/04/05	5560	170	0	有	E	1ト-ビ7名取	0													
235467	89/03/18	89/03/24	5390	500	5	有	E	1ト-ビ7名取	0													
232903	89/02/14	89/02/20	5140	250	0	無	D	高館	0													
230109	89/01/06	89/01/18	4890	500	10	有	A	高館	0													
227140	88/11/23	88/12/05	4840	250	10	無	A	高館	0													
223420	88/10/15	88/11/05	4390	500	5	有	A	高館	0													
Cu	Fe	Cr	Al	Si	Pb	Na	Mo	Ni	Sn	Ag	P	Zn	Ca	Ba	Mg	S	水分	不凍	燃	粘度	中和価	固形分
3	79	1	58	134	0	19	3	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0.0	0	0	0.0	0.00	0.00
6	220	2	214	366	3	27	5	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0.0	0	0	0.0	0.00	0.00
3	77	0	78	132	0	11	1	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0.0	0	0	0.0	0.00	0.00
3	15	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0.0	0	0	0.0	0.00	0.00
3	10	0	2	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0.0	0.00	0.00
5	16	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0.0	0.00	0.00

判定 異常です。 異常内容 Fe, Al, Siが多い
 原因1 ライナ,ギヤ,ポンプ,バルブ等摩耗が考えられます
 原因2 エアエレメント,吸気ライン等吸気系統不良ホコリ混入が考えられます
 特記1 至急処置事項を点検して下さい
 特記2 処置1 油圧,油温,異音,エレメント内異物点検して下さい
 処置2 エアエレメント,吸気ライン等吸気系統点検して下さい

元素記号と 元素名	Cu=銅	Fe=鉄	Cr=クロム	Al=アルミニウム	Si=シリコン	Pb=鉛	Na=ナトリウム	Mg=マグネシウム	Mo=モリブデン	Ni=ニッケル
	Sn=錫	Ag=銀	P=リン	Zn=亜鉛	Ca=カルシウム	Ba=バリウム	Mg=マグネシウム	S=硫黄		

3. 昇降クレーンの開発

東急建設(株)：西尾 仁・姥名 忠親

1. はじめに

建設業の機械化・建設ロボットの開発に対するニーズが近年活発化している。特に建設工事においては慢性的な労働者不足と最近の工事量の増加により一層深刻になっている。

当社では、建築施工ロボットの開発の一環として、作業所ニーズや、中小規模工事の汎用性を考慮して垂直運搬装置のシステム化に取り組んできた。

現在、中小規模工事の主力揚重機として、リフトとクレーンがあげられる。建設工事用リフトは、資材の垂直移動を目的としたもので、荷の積み降ろし時の資材水平運搬については、人力に頼っているのが現状である。特に、建物形状によっては、構台、スロープ等を介さねばならず荷の積み降ろし作業に支障をきたしている。建設工事用クレーンは、資材を水平、垂直に自由に移動出来る。しかし、途中階への積み降ろしに関しては、その構造上、工事用リフトと同様な荷取り施設（荷受け構台、荷引き込み装置等）を設置しなければ、その性能を十分に発揮出来ない。そこでリフトとクレーン両者の特長を生かした運搬作業ロボットの開発が必要になって来る。

その一つの答えとして昇降クレーンを試作し、今後の垂直の運搬システム化を担う第一歩として、作業所において試用した。本報では、その試用状況及び今後の展開について述べる。

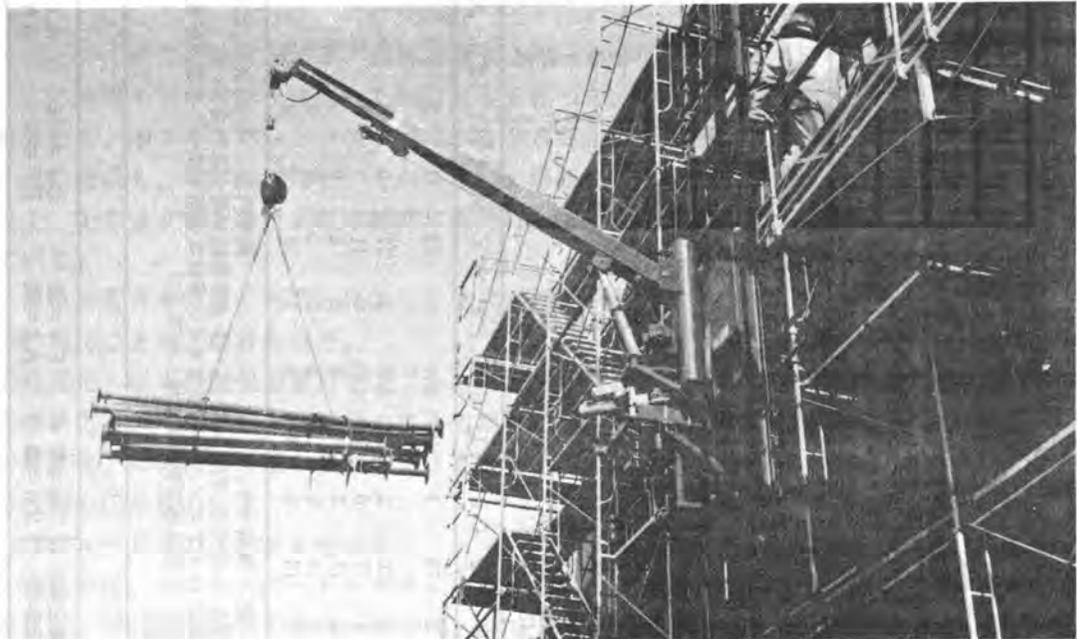


写真-1 昇降クレーン1号機

2. 昇降クレーンの開発目的と経緯

○ 開発目的

昇降クレーンは、リフトとクレーンを組み合わせることにより、互いのもつ欠点を補いそれぞれのもつ特性を最大限に、生かすことを目的とした、資材運搬機械である。

昇降クレーンを使用することにより、

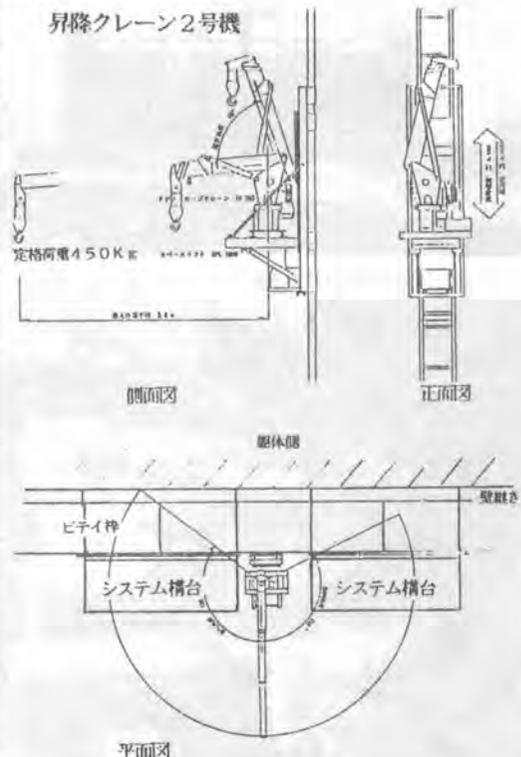
- ①リフトへの荷の積み込み、積み降ろしに要する人工と時間が削減出来る。
 - ②荷の積み降ろし構台を介さなくとも所定の位置に荷下ろし出来る。
 - ③設置面積は従来の小型リフト（1t onクラス）と同等であり組み立て解体も容易である。
 - ④リフトでは、揚重が難しい長尺物でも対応出来る。
 - ⑤躯体工事、仕上げ工事双方に対応出来る。
- 等の利点が考えられる。

○ 開発の経緯

当初は荷台付昇降クレーンを計画していたが、法的解釈によると現行法規では荷台を有したリフトとして解釈される。リフトとして解釈された場合昇降路全面を囲わなければならないクレーンの機能を著しく障害する結果となってしまう。そのため、荷台を取り外してクレーンと見なす事で、その阻害要因を排除し、クレーンとして十分機能するよう配慮した昇降クレーンを試作した。試作機としては、既存のスペースリフト部材を利用した昇降クレーン1号機及び2号機の2機種を試作した。両機共、起伏・旋回・巻き上げ機能を持ったクレーンを搭載しており定格荷重は450Kgと設定した。2号機はブーム3段伸縮式で全油圧方式とした。下表は1号・2号機の性能比較表である。

昇降クレーン試作機性能比較表

	1号機	2号機
定格荷重	450Kg	450Kg
最大作業半径	3.6M	3.8M
ブーム伸縮	不可	3段伸縮
ブーム旋回	正面を0°として 左へ110°	正面を0°として 左へ110° 右へ130°
ブーム起伏	-5°～+75°	-5°～+75°
クレーン部	8M/分	6M/分
フック速度		
(昇降部)	ワイヤー式	ワイヤー式
昇降速度	21M/分(25M/分)	21M/分(25M/分)
ガイドレール及びウインチは1TONリフト部材を転用		
操作方法	地上からの 押しボタン式 リモートコントロール	本体レバー操作 リモートコントロール ラジオコントロールの3方式



3. 現場適用結果 1号機

当社建築工事に平成元年4月から8月まで1号機を試用した。本建物は、前面道路（幅員10M）に面した全戸数10戸の四階建マンションである。材料搬入には建物のピロティ部分を通過しなければならない状況であるため大型の材料（鉄筋・型枠等）は前面道路にトラックを停め外部より材料搬入を行っていた。昇降クレーン設置後（4階建込み中）躯体工事には、単管、サポート、コンパネ等の型枠材を中心にその荷降し作業を行った。荷降し階には、システム構台（昇降クレーンにより簡単に所定の位置に取り付け、取り外しの出来るユニット式構台）を設置し、その構台を介し、地上階に待機しているトラックの荷台上に直接下す作業手順をとった。

仕上げ工事にはモルタル、金属建具、ユニットバス、ポート、造作材等の仕上げ材の荷揚げを行った。特に長尺物の造作材、ボード等をリフトによって運搬するのに比較し、地上階より直接材料を吊り上げ、所定階に設置されたシステム構台に直接荷降し出来る昇降クレーンは、大変能率よく作動した。問題点として、中間階に荷を差し込む際、階高が2.75mと低いと吊りしろが1.8m前後しか確保出来なかった。そのため、材料に応じて長さの異なる台付けワイヤー、およびスリングロープを準備し吊りしろが1.8m未満に納まる様にして作業を行った。特にネコ車を使って運搬するモルタルに関しては特別な吊り治具を使用しないとネコ車一台のみしか荷揚げ出来ずかえって能率を損ねる原因となってしまう。

全 景

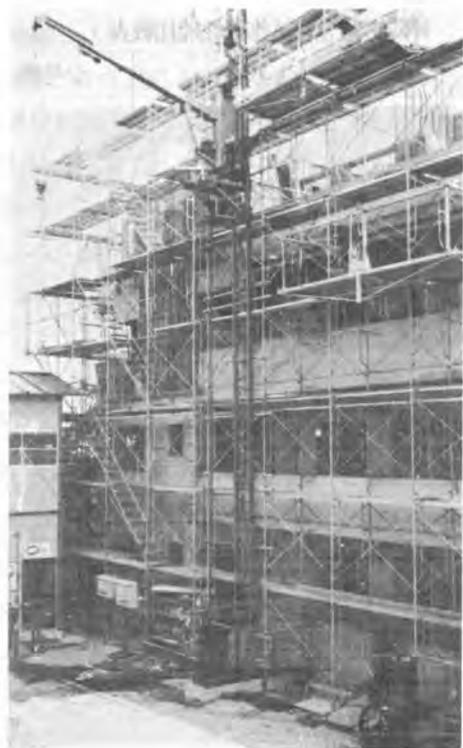


石膏ボード荷揚げ

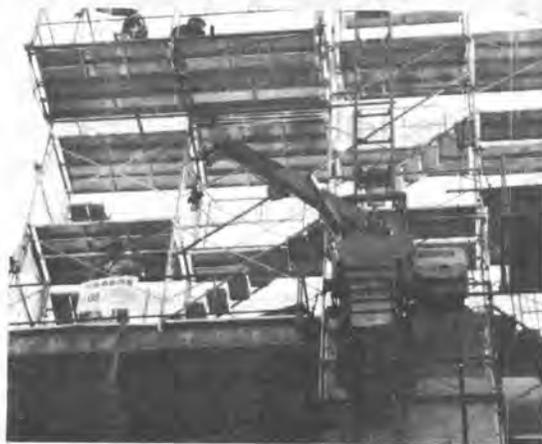


昇降クレーン取り付け状況

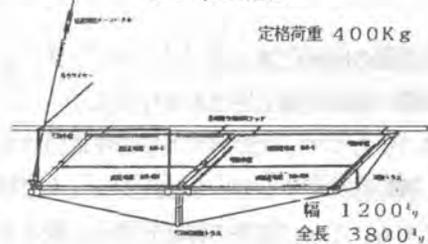
(1号機)



2号機は9月より7月の予定でRC構造8Fのマンション建築工事に試用している。1号機での問題点を解決するために、ブーム旋回角度を倍の240°とし3段伸縮式の全油圧式とした。この結果、中間階のシステム構台を奇数階と偶数階に分けて取り付ける事により荷の吊込空間を十分に確保することが出来た。荷揚げ位置が高くなると地上からの見通しが悪くなりクレーンを荷揚げ位置で操作しなければならず、地上のクレーン昇降運転員に合図をしなければならぬ。1号機では地上部だけに設置してあった操作盤を2号機では昇降クレーン本体にも増設し、また無線操縦装置についてもテストを行っている。



システム構台



4. 昇降クレーンの今後の展望

運搬作業のロボット化の第一段階として、荷積み及び荷降ろし時に発生する労力を減少させることを目標とした昇降クレーンを 実施工の建築工事に設置し試験運転したが予想した効果を発揮することが出来た。昇降クレーンは、運搬作業システム開発の初歩的段階で、今後の開発の基礎となるものである。特に揚重運搬作業の基礎的データがほとんど見当たらない中小規模工事にあつて、その本質を探ることの出来る時期でもあるため慎重に作業を進め今後の開発に有効に生かせる情報を収集、分析する必要がある。次に将来の運搬システム化の第二段階として、荷降ろしされた荷の水平移動をロボット化することが考えられる。ここでは、第一段階で開発された揚重機と連動し、荷を所定の位置に移動出来るシステムの開発を目標とする。このシステムは、軌道を利用したもので揚重機によって荷揚げされた台車付き資材を軌道に乗せ所定の位置まで水平移動させようとするものである。そして、最終段階として、これら総ての装置を一連の運搬作業システムとしてロボット化することである。即ち、中小規模工事において、最小の人力で所定の場所まで、半自動的に運搬することの出来るロボットシステムの開発を目指す。

4. 高橋脚および斜張橋主塔の機械化施工

住友建設(株)：佐々木和道

1. まえがき

近年、高速道路網の山岳地への展開、および高規格道路計画における線形条件の制約から50mを超える高橋脚を有する橋梁の施工実績が増加し、今後さらにその傾向が強まろうとしている。また、着実に施工実績を伸ばしているPC斜張橋において、スパンの長大化に伴い、大規模な主塔が建設されている。

これらの構造物は経済性および美観から高さ方向に部材寸法が変化しているばかりでなく、高橋脚では中空断面を有していることが多い。また、斜張橋の主塔は、各橋梁で形状が異なり、さらに斬新さを追求してその形状は複雑化している。

このような高い構造物を安全で、効率的、高精度な施工を行うための機械化施工法が開発され、数多くの実績をあげている。

ここでは高橋脚の機械化施工法として、ジャンピングフォーム工法を、さらにPC斜張橋主塔の機械化施工法として、主塔躯体製作だけでなくそれに続く斜材の架設、緊張、張力調整作業まですべてに対応できるジャンピングステージ工法について報告する。

2. 高橋脚の機械化施工法 (ジャンピングフォーム工法)

高橋脚の機械化施工法である住友式ジャンピングフォーム工法 (以下ジャンプ工法と略す) は移動型枠工法のひとつで、大型パネル型枠を取付けた足場装置を、既設躯体にアンカーし油圧ジャッキで押上げる工法である。これは従来の枠組足場を必要とせず、大型パネルと足場を一体化した自動上昇装置により、高所作業を安全に効率よく行うことができる機械化施工法である。

ジャンプシステムには図-1に示すように外側用と内側用があり、中空断面の橋脚の施工にはこの両者を用いて行う。施工可能なリフト高は最大5mである。外側ジャンプは1組のフレームで型枠幅6mまで適用でき、橋脚幅により配置する組数を変えて対応する。内側ジャンプは1組で型枠幅10mまで適用可能である。装置の上昇は油圧ジャッキにより、一面のみ単独でもまた4面同時でも可能である。

外側ジャンプの固定アンカーは、既設最上段より1段下のリフトに設置されており、コンクリート強度が

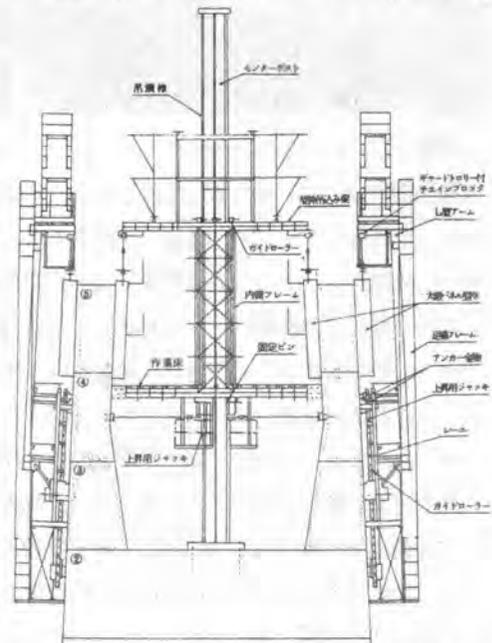


図-1 ジャンピングフォーム構造図

十分発現している部分へのアンカーのため、安全性が高い。また、本システム開発時には、アンカーの引き抜き、せん断力の耐荷試験を行い、その安全性を確認している。内側ジャンプについても、センターポストが中空橋脚の底部または隔壁に支持されており安全な構造となっている。

ジャンプシステムの重量は、橋脚の構造寸法により差があるが外側ジャンプが1フレーム当たり約11t、内側ジャンプが約30tである。

外側ジャンプは、大型パネル型枠と作業台が取り付けられた足場フレームがコンクリート壁面のアンカー金物に、キー状の金具とPC鋼棒により固定された構造である。型枠はギャードトローリ、チェーンブロックにより吊下げられており、これを前後に移動させて組立て脱型を行う。

足場フレーム中央に油圧ジャッキが固定されており、レール上下にはガイドローラーが取り付けられている。装置の上昇は、まずレールを上昇させ固定してから、足場フレームをレールをガイドにして押上げアンカー金物に固定する。図-2に上昇要領を示す。

内側ジャンプは、センターポストに大型パネル型枠と作業床が取り付けられた構造である。センターポスト頂部から吊下げられた油圧ジャッキに連結されているゲビンデスターブ鋼棒に反力を取らせ、装置を上昇させる。

橋脚の断面寸法が高さ方向に変化している場合に対応できるように、外側、内側ジャンプとも4辺の作業台が伸縮可能となっている。

表-1に阿木川大橋の1リフトの標準工程を示す。

ジャンピングフォーム工法の実績は、塩谷橋（建設省）H=68m、阿木川大橋（水資源開発公団）H=65m、八幡川橋（日本道路公団）H=65.8mなどがあり、春田橋（建設省）H=60.5mでも使用が予定されている。写真-1に阿木川大橋のジャンピングフォーム工法による施工状況を示す。

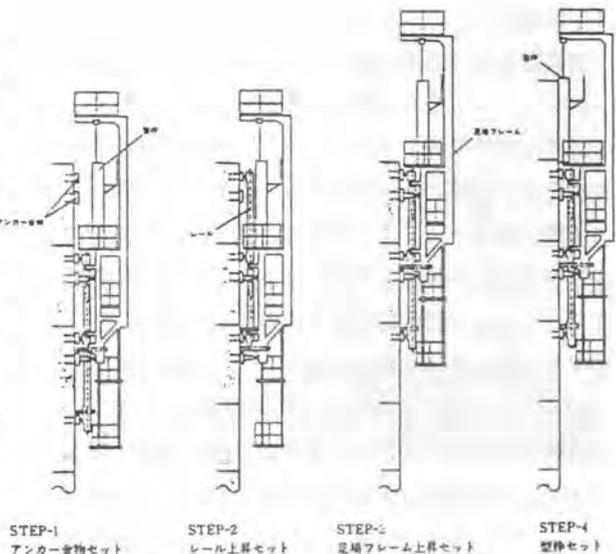


図-2 外側ジャンプ上昇要領図

工種	日数	日数												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
上昇固定														
型枠組立														
コンクリート打														
養生														
鉄筋又は鉄骨組立														
脱型														

表-1 ジャンピングフォーム標準工程



写真-1 阿木川大橋施工状況

3. 斜張橋主塔の機械化施工法（ジャンピングステージ工法）

斜張橋主塔の機械化施工法である住友式ジャンピングステージ工法は主塔躯体断面形状の変化に対応の容易な型枠構造とするために、型枠を自動上昇可能な足場と分離させた装置を用いる工法で、型枠の自由度が高いため、主塔中間部に横梁がある構造や逆Y形主塔も一体施工可能である。また、大規模な主塔になるほど橋方向剛性を確保するためにA形や逆Y形が採用される場合が増えるが、傾斜した塔柱に対して、安全性と斜張ケーブル架設をも考慮した作業性を、同時に満足させる枠組足場が困難であることから、当工法は大きなメリットを持っている。

ジャンプシステムは図-3に示すように、既設の主塔躯体に固定されたレールに、上中下3段の作業台をセットしたメインフレームが車輪を介して取付けられており、下段作業台（斜材作業台）を水平にスライドさせることができる。この機能により斜材架設後においても作業台を自由に上昇、下降させることができる。

レールは、躯体の製作に伴い上方へ継ぎ足しPC鋼棒で固定する。装置の移動は、このレールに設けたピン穴にピンを差し込み、油圧ジャッキを盛り替えることで行う。図-4にジャンプステージによる主塔の施工要領を示す。

ジャンプステージは、常にレールを介して固定されている点が前述のジャンプフォームと異なる。

表-2に志摩丸山橋（主塔高47m）の1リフトの標準工程を示す。

志摩丸山橋（三重県）は当工法をはじめて採用した斜張橋で、支間113.4mの2径間連続PC斜張橋であり、主塔はA形に準じた形状で、斜材はハーブタイプに配置されている。本橋を例にして、主塔の

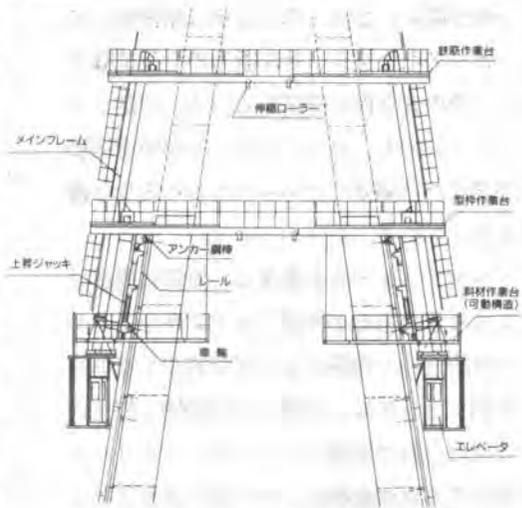


図-3 ジャンピングステージ構造図

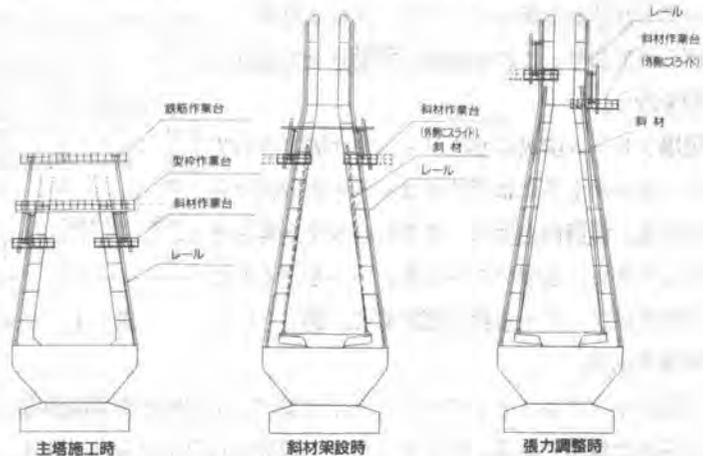


図-4 主塔施工要領図

工種	日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ジャンプ上昇												
鉄骨組立												
定着体据付												
鉄筋組立												
型枠組立												
コンクリート打設												
養生												

表-2 ジャンピングステージ標準工程

施工について述べる。

主塔躯体の製作は高さ47mの主塔を斜材定着体の配置にあわせて、標準リフト高4mの12リフトに分離して施工した。

主塔内に配置される鉄骨は、あらかじめ地上で2リフト分を地組みし、斜材定着体を組み込んで、タワークレーンで建て込んだ。主塔途中にある左右をつなぐ横梁は、主塔躯体と一体施工した。

コンクリート打設はポンプ車を使用し、配管圧送した。圧送管はジャンプステージのレールに組み込んで配置した。

フォルパワーゲンによる主桁の張出し施工と同時に斜張ケーブルの架設は、プレハブケーブルを、主塔側はタワークレーンで吊り上げ、ジャンプステージの斜材作業台でチルホール、レバーブロックで定着体に引き込み、主桁側はタワークレーンで中吊りしてチルホール、ウインチで引きながら、センターホールジャッキで定着体に引き込んだ。

主塔側のケーブル挿入作業はジャンプステージ斜材作業台上で行ったが、張力が導入されるに従い大きく変化するケーブル角度に対して、足場材の制約もなく施工性は良好であった。

ジャンピングステージ工法を初めて採用して施工された志摩丸山橋は平成元年3月完成し、一般供用を開始している(写真-3)。

ジャンピングステージ工法の実績は、志摩丸山橋H=47mと、ミュンヘン大橋(札幌市)H=53.6m、東光大橋(北海道)H=40mがあり、さらに春田橋(建設省)H=52mでも使用を予定している。

4. あとがき

本文では高橋脚および斜張橋主塔の機械化施工法であるジャンプ工法の概要について述べた。

今後、交通ネットワークの整備および構造物におけるデザインの重要性の認識から、より大規模で、高く、さらに複雑な形式を有する構造物が計画されていくことが予想される。これに対して施工面ではより高い品質、安全性、経済性が要求されている。しかし現実には公共投資の増加に伴う工事量の拡大と深刻な労働者不足が建設業界において懸念されており、現在こそ機械化施工適用の拡大が切望されている。橋梁工事についても例外ではなく、特に高い構造物においては機械化施工の効果は大きく、機械化される可能性も高いので、今回紹介した施工法が、今後の機械化施工の発展に何らかの参考になることを期待している。最後に、当工法の開発、採用、実施にあたり、多大なご努力、ご協力を頂いた関係各位に対し厚くお礼申し上げます。



写真-2 志摩丸山橋施工状況



写真-3 志摩丸山橋完成写真

5. 建設車両用タイヤの発展と今後の動向

機械部会タイヤ技術委員会：助友 利隆（㈱小松製作所）

1. まえがき

我国の建設機械は

- ① 1952年(昭和27年)の電源開発促進法の制定を契機にしたダム建設の活発化
- ② 1955年(昭和30年)代に於ける経済の高度成長による各種プロジェクトの活発化
- ③ 建設工事量の増加に伴う、建設労働人口の不足と高齢化および高賃金化

表1 25年間のGNPと建設投資

項目	1964 (昭和39年)	1964 (昭和39年)	倍率
建設機械生産額 (10億円)	127.0	1486.2	11.7
建設投資(兆円)	5.5	67.1	12.2
G N P (兆円)	29.7	366.5	12.3
主な社会事象	・東京オリンピック ・東海運輸幹線開業	・青函トンネル開業 ・神戸大橋開通 ・マム線廃止	

これらを背景にした機械化施工の活発化によりめざましい発展を遂げてきた。

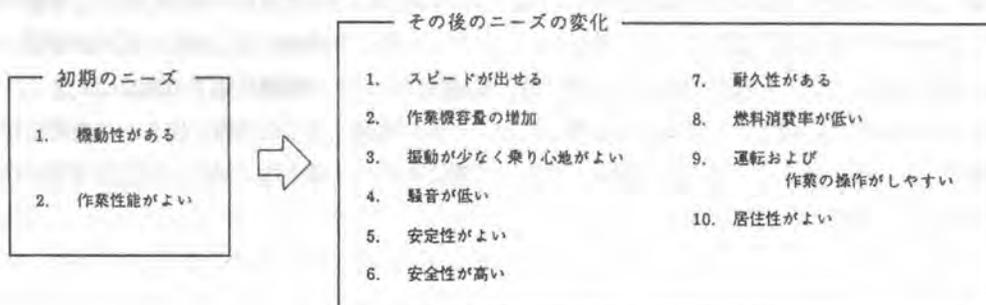
中でも、機動性や乗り心地に優れた、ホイールローダ、ダンプトラック、モータスクレーバ等のタイヤ式建設車両の発展は著しい。その影には、これらの車両を支え、駆動力を伝えるため、大地との唯一の接点であるタイヤの発展が大きく貢献している。

この度、機械部会タイヤ技術委員会では、委員会の活動の一環として、施工技術の変化や建設車両のニーズの変化に対し、建設車両用タイヤがどのように変化し、現在に至ったのかをまとめたので報告する。

2. 建設車両に対するニーズの変化

前述から、より速く、より多くの作業を行なう建設機械へのニーズは、作業性、耐久性等の基本性能に加え、近年では、人間尊重の立場から、居住性、操作性等が重要視され、これらのニーズに最も適したタイヤ式建設車両が著しい発展を遂げた。

表2 タイヤ式建設車両のニーズの変化



3.建設車両用タイヤに対するニーズの変化

建設車両用タイヤも車両側のニーズ変化に伴い、性能面でその要求特性が、より能率的、経済的方向に向かい、この要求を満たすため、多岐にわたり改善がなされた。

表3 建設車両用タイヤの要求品質と技術的対応

主な建設車両 タイヤに 対する車両側 の要求品質	ホイール	ダンプ	モータ	技術的対応	タイヤの構造・材質・形状				
	ローダ	トラック	スクレーバ		パイ アス	ラジ アル	偏 平	バ タ ー ン	ゴ ム 質
耐荷重性が大きい	○		○	構造の改善	○	○			
タイヤカットが少ない (トレッド・サイド)	◎	○	◎	耐カット 耐摩耗用ゴムの開発					○
タイヤの磨耗が少ない	◎	◎	◎	タイヤ剛性の向上 (プライズ)	○	○			
スピードが出せる	○	◎	○	空気圧の増加	○	○			
揺れが少ない	○	○		運動エネルギー消費の 少ないタイヤの開発		○			
乗り心地がよい	◎	○	○	放熱のよいゴムの開発		○			○
燃費が少ない	○	◎	◎	接地圧が低いタイヤの開発			○		
軟弱路面走破ができる	◎		◎	振動が少ない タイヤパターンの開発				○	
制動性能がよい	◎	◎	○	グリップ性能がよい タイヤパターンの開発				○	○
駆動力が出せる	◎	◎	◎						

◎: 最適、○: 適合

建設車両用タイヤもこのような改善を行ってきた結果、タイヤの需要も拡大された。

表4 建設車両用タイヤの生産推移と主な歴史

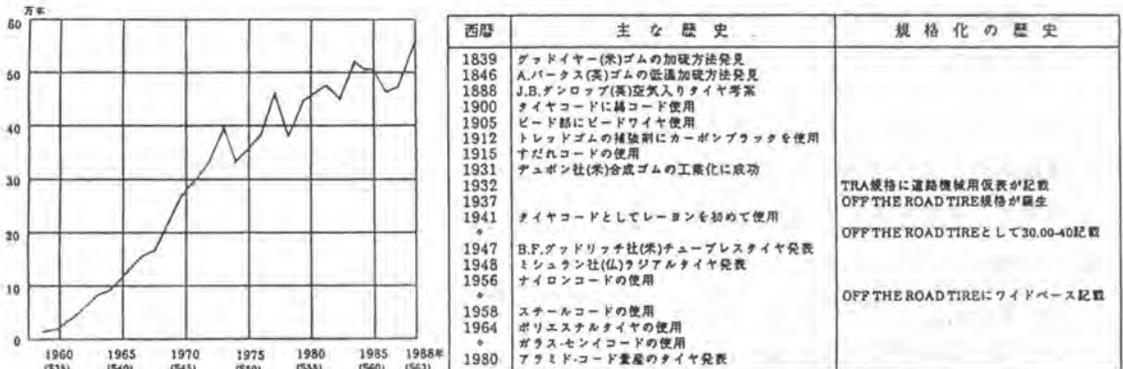


図1 一般的構造と各部の名称

4.建設車両用タイヤの一般的構造

軟弱地、泥ぬい地、岩盤地、碎石地、森林地等、一般道路以外の不整地での作業用として開発された建設車両用タイヤは、ホイールローダ、ダンプトラック、モータグレーダ、モータスクレーバ、タイヤローラ、ホイールクレーン等の建設車両に装着されており、その一般的な構造は、図1のようになっている。



- ①トレッド
- ②ショルダー
- ③サイドウォール
- ④ビード
- ⑤インナーライナ
- ⑥カーカス
- ⑦ブレーカ
スロベルト

5.建設車両用タイヤの技術の変化

建設車両用タイヤの技術の変化には、大きく分けて次の6要素がある。

要素	技術の変化	要素	技術の変化
1 構造	バイアス→ラジアル化	4 ゴム質	最適ゴムの開発・改善
2 形状	標準→ワイド化(偏平化)	5 コード	綿コード→ナイロン→スチールコード化
3 トレッド	トレッドパターンの多様化	6 配合剤	ゴム補強剤の開発・改善

この6要素に加え、製造技術の向上、品質管理体制の充実、アフタケアの進歩等も見逃せない。

次に、この6要素の技術的变化について触れてみる。

(1)構造

建設車両用タイヤが実用化されてからの構造の大きな変化は、カーカス配置方法を、バイアス構造→ラジアル構造に進んだことである。その他、細かな構造変化は、製造技術の進歩等により変化・改良されてきている。ラジアル構造ではタイヤの変形によるカーカス間の変位が少なく、内部発熱を押しえられる。

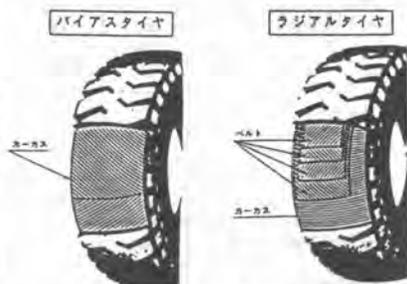


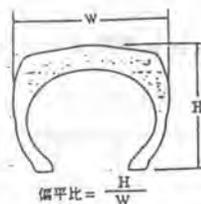
図2 バイアスとラジアルの構造

(2)形状

建設車両の進歩・多様化に伴い、要求も多様となり、条件に合ったタイヤ形状の開発がされてきた。その結果、建設車両用タイヤもワイド化(偏平化)されてきている。偏平にすることによって横揺れが大幅に減る。

表5 タイヤ形状区分

タイヤ形状区分		偏平比
名称		
スタンダードタイヤ		約0.98
ワイドベースタイヤ		約0.82
65シリーズタイヤ		約0.65



(3)トレッドパターン

建設車両および建設現場の路面に合った最適パターンの開発が進み、建設車両用タイヤ寿命の向上、車両の高効率化を可能にしている。

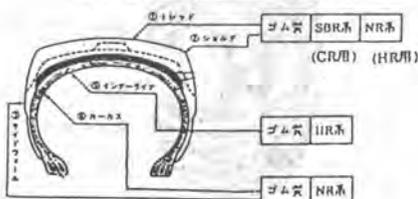
(4)ゴム材料

建設車両用タイヤの肉付けとなるゴムで1931年以降の合成ゴム開発がタイヤ寿命の向上、車両の高効率化を可能にした。主な特性は右表による。

表6 主要原料ゴムの物性

	NR	SBR	BR	IR	EPT	HR
	天然ゴム	スチレン・ブタジエン・ゴム	ブタジエン・ゴム	合成天然ゴム (イソブレン・ゴム)	エチレン・プロピレン・ターポリマー	ブナル・ゴム
組成	イソブレン	スチレン・ブタジエン	スチレン・ブタジエン (ス1,4結合)	イソブレン	エチレン・プロピレン	イソブレン + イソブレン
引張り強さ	kg/cm ² 310	kg/cm ² 240~280	kg/cm ² 190~250	kg/cm ² 300~310	kg/cm ² 250	kg/cm ² 180
伸び	700%	550%	600%	700%	650%	650%
耐摩耗性	良	良上	優	良	不可	不可
耐熱性	可	可上	良	可	優	優
引張戻り率	強	可	可	良	良	優
耐老化性	良	良	良	良	優	優
気体保持性	良	良	良	良	良	優
用途	ゴム製品一般 トレッド用 カーカス用 練生地	トレッド用 カーカス用 練生地	トレッド用 カーカス用 練生地	トレッド用 カーカス用 練生地	チューブ エア・バッグ サイド・ウォール	チューブ エア・バッグ インナ・ライナー

図3 建設車両用タイヤ主要ゴム質



(5) タイヤコード

建設車両用タイヤの骨組となるカーカスコードは、当初、縦・横に糸の入ったキャンバス(織布)を使用していたが、1941年以降、合成繊維の発達と共に、ナイロン、レーヨン、ポリエステル、アラミド(ケブラー)、ガラス繊維、スチールコードが使用され、近年のラジアルタイヤの普及によりスチールコードが著しく増した。

もちろん、合成繊維の発達の他に、コードの織り方の研究から糸の改良等がなされた。合成繊維コードの主な特性は下表の通りである。

表7 各種タイヤコードの特性

	レーヨン	ナイロン		ポリエステル	スチール	アラミド
構造	1650D/2	1260D/2	1890D/2	1500/2	1×3+9+15×0.175+1×0.15	1500/2
コードゲージ(mm)	0.71	0.65	0.80	0.65	1.34	0.66
原糸強度(g/4)	4.5-5.0	10.0-11.0	9.0-9.5	8.0-9.0	3.5-4.5	18
強 力(kg)	15.0-15.5	21.8-22.5	32.0-33.0	21.0-22.5	170-180	55
中間伸度(%)	1.5-2.5	8.5-9.5	8.2-9.2	4.0-5.0	---	---
耐疲労性	可	優	良	可	優	良
耐熱性	良	可	可	良	優	優
耐水性	可	良	良	優	可	良
寸法安定性	優	可	可	良	優	優
接着性	優	優	優	良	優	可

(6) タイヤゴム配合剤

タイヤゴムに薬品を添加することにより、ゴムに耐摩耗性、引張強さ、耐熱性、耐候性、粘度等の諸特性を使用目的に合うよう引き出すことが可能となる。このような薬品を総じて、ゴム配合剤(カーボンブラック、加硫剤等)と呼んでいる。配合剤は、1839年のゴム加硫方法の発見を契機に、1912年には、カーボンブラックが使われ初め、以後、現在に至るまで種々の配合剤が発見され、使用されてきた。

表-8 配合基本構成

配合基本構成	主な配合剤の例
ゴム	天然ゴム、合成ゴム
加硫剤	硫黄、有機加硫剤
加硫促進剤	チアゾール系促進剤
促進助剤	亜鉛華、ステアリン酸
老化防止剤	アミン系老防剤、フェノール系老防剤、ワックス
増強剤	カーボンブラック、ホワイトカーボン
元てん剤	炭酸カルシウム、クレー
軟化剤	石油系プロセス油、バインダー、アロマチック油
増色剤	チタン白、亜鉛華

6. 建設車両用タイヤの今後の動向

建設車両用タイヤが今日に至るまでの発展の経過を説明してきた。建設車両の性能および稼働には、タイヤが大きな役割を果たしている。

近年に於ける建設車両は、より高出力化、高速化、高荷重化に移行しており、これらの傾向は、今後共続くものと考えられる。

このような傾向を、背景に建設車両用タイヤも現在進みつつあるラジアル化、扁平化をベースに新素材の開発、最適形状の開発、最適トレッドパターンの開発等を行い、より経済性を追求したタイヤに向かうであろう。

表9 要求特性に対するタイヤ構造

対応	要求に対処できる タイヤの構造・材質・形状				
	バイ アス	ラ ジ ア ル	偏 平	バ タ ー ン	ゴ ム 質
大型化	○	○	○		
高速化		○			○
経済性		○			
乗心地		○	○	○	
作業性の安定性	○	○	○		

6. レベル自動計測システムの開発

鹿島建設(株)：緑本 栄・石川 宏
羽山 勢隆・*越智 達之

1. まえがき

盛土、舗装、コンクリート打設面などのレベル測量を自動化し、コンピュータにより等高線作図などが行えるシステムの開発を行った。

従来のレベル測量では、レベル測量器と箱尺を用いており、最低2名の人員と、多くの労力を必要としていた。またデータを整理し、図面化するのにも多大の手間がかかるため、等高線表示などは事実上不可能であった。

本システムでは、レーザー灯台により3次元データ(XYZ座標)を自動測量しコンピュータで記録するため、短時間の測量とコンピュータの簡単な操作により等高線図をはじめ鳥瞰図、断面図等を得ることができる。

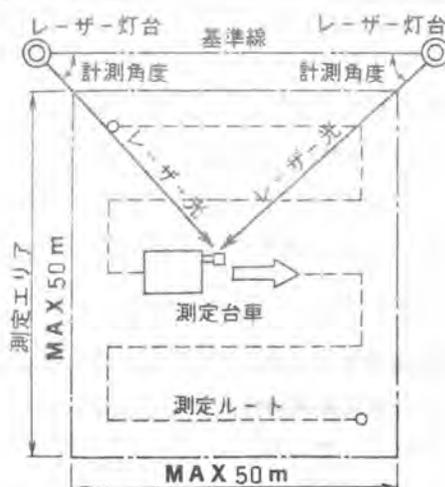
2. 概要

本システムは、比較的平坦で広い場所のレベルの凹凸を面的に計測し、表示するものである。3次元センサを台車に付け、測定面上を動かしながら自動的に位置データをサンプリングし、測定終了後このデータをコンピュータでバッチ処理して自動作図する。

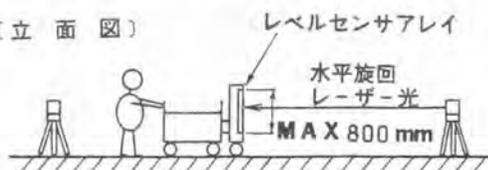
3次元の自動測量装置としては巡回レーザー光を用いたレーザー灯台を用いている。レーザー灯台の計測機能には、平面位置計測機能とレベル計測機能があり、これを合算すれば受光センサ位置の3次元位置をリアルタイムで測定することができる。

平面位置の計測は、2つの基準点上のレーザー灯台からの角度を計測し、既知の基準線距離により三角測量の原理により求めるものである。詳細については昭和62年度の当シンポジウムで報告済み(P98~101)

〔平面図〕



〔立面図〕



〔図1 測定概念図〕

であるので今回は省略する。

レベル計測機能はレーザーレベラーの原理によるものであり、上記のレーザー灯台から出た水平の旋回レーザー光を、測定点にて高下方向に 100個並べたセンサアレイで検知し、検知したセンサ番号からレベルを検知するものである。

3. 装置構成

計測装置は、センサ部とデータ記録用パソコンを乗せた測定台車と、レーザー灯台で構成されており、その他にオフラインのデータ処理パソコンがある。

計測部（写真1に示す）は運搬・計測に便利であるように全てバッテリー動作である。また装置一式が可搬式である。

- ①レーザー灯台（2台） ; レーザー灯台式座標測定装置（測機舎）
; 角度測定精度 3' ; 水平面検出精度 $\pm 10''$
- ②測定部 ; 2段式ハンドトラック（自在車輪）
- ③データサンプル用パソコン ; NEC 98LT（ハンドヘルド、バッテリー動作）
- ④等高線作成パソコン ; NEC 5200（ハンドヘルドタイプ可）



[写真1 計測部一式]



[写真2 レーザー灯台]

4. 測定仕様

1) 測定範囲 ; 50m×50m 以内のエリア

2) レベル測定仕様 ; 次の4通りから選択する。

- ①測定範囲 800mm、分解能 8mm
- ②測定範囲 400mm、分解能 4mm
- ③測定範囲 200mm、分解能 2mm
- ④測定範囲 100mm、分解能 1mm

3) 測定方法

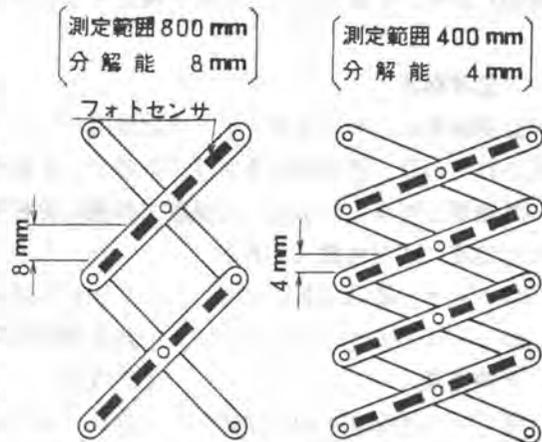
- ①自動サンプリング測定(測定時間間隔は可変)
- ②手動測定(キー入力による測定)

4) 測定点数

; 最大5000点

測定範囲及び分解能は前記のような4種類の中から選択する。

測定対象のレベル測定における必要精度高い程よく、また測定レンジは長い程よいのがあたりまえであるが、一般に必要なとする精度と測定レンジは反比例するものが多いので100個のセンサ素子(フォトダイオード)で対応するため、センサ架台にリンク機構を用いて全長を可変出来る構造とした。(図2 参照)



[図2 センサリンク機構]

5. 測定方法

標準的な測定手順を以下に示す。

①レーザー灯台の設置レーザー灯台の測定有効角度(80°)の範囲に測定エリアが入るように左右に2台の灯台を設置する。(計測概念図参照)

②レベル基準値の設定

測定エリア近辺のレベル基準点上に測定台車を設置して、プリセット値として入力する。

③計測

測定台車を押して測定範囲内をジグザグ走行し、1点/秒の自動サンプリングを行う。通常の歩行速度(4 km/hr)であれば1 m毎に1点のデータがとれる。

④作図

OAコンピュータN5200にて、等高線図、鳥瞰図、断面図を作成し、プロッタにて作図する。

6. おわりに

本システムの試作及び計測実験により、計測から作図までの処理を大幅に削減出来ることが実証された。実測の結果では1000㎡に対し計測時間は約20分、コンピュータでのデータ処理時間約5分であった。これらの自動計測・コンピュータ処理のメリットから次の用途などに使用できると考えられる。

- ①レベル及び平坦さ計測
- ②土工量出来形計測

③敷き均し土量・舗装などの厚さ計測（施工前・後の等高線比較による。）

④平面沈下計測

⑤面積測定（測定区域の境界線またはコーナーポイントを計測）

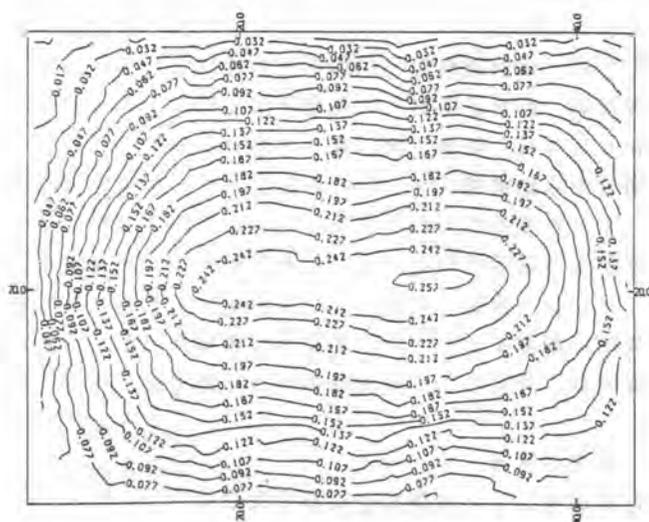
⑥曲線測定

しかしながら本装置の実際の現場への適用については、従来の施工管理に等高線図が要求されていないということもあり、直接の需要が少なく、今後の需要開拓の努力が必要であろう。

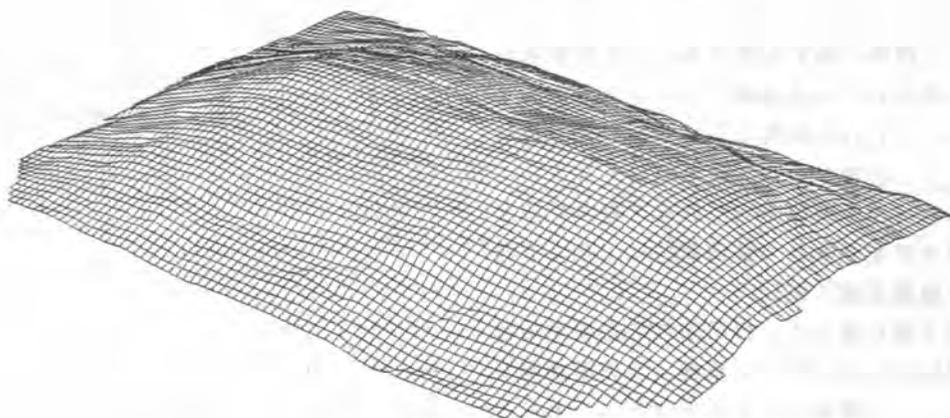
〔計測例〕

アスファルト舗装工事の
仕上げ面の測定結果

測定エリア
27m×36m
約1000㎡



〔図3 等高線図〕



〔図4 鳥瞰図〕（高さ方向は20倍に拡大）

7. 仮設足場材整備の自動化

(株)竹中工務店：古川 政彦

1. まえがき

日本経済は、昭和62年末から拡大局面に移り、今なお、その傾向を維持している。建設業界も内需拡大の柱である住宅・社会資本等の整備の恩恵を受けて最近では、たぐいまれな活況を呈している。

このため、建設資材等の供給不足が慢性化しているが、ゼネコンの一部門として建設機材（建設機械・仮設足場材）の整備を担う我々にとっても、この事態は深刻である。

昭和62年度、将来予測に基づき開発に着手し、翌年一貫したシステムとして完成した仮設足場材の自動整備ラインは、従来の人手による整備体制では不可能であった高能率な整備によって、作業所への仮設足場材の安定供給をタイムリーに実現している。

作業所から返却される汚れた仮設足場材は、自動整備ラインへ投入されることによって、検査・ケレン・塗装・乾燥の各工程を経て再生品として蘇る。このラインに産業用ロボットを効果的に配置することで、高能率な整備が可能となった。

本報では、開発した“仮設足場材の自動整備ライン”の概要と稼働の実績評価について述べる。

2. 従来の整備

当社が保有している鋼製の仮設足場材のうち建地枠（関西地区）の保有枚数は、図-1に示すように、約23万6千枚であり、そのうちVF-121とVF-61の2種類で全体の84%を占めている。

この2種類の鋼製仮設足場材の年間整備枚数は、昭和61年度実績で約35万枚である。

従来、これらの整備は全て外注の協力会社に依存し、必要とする人員は毎日10人～12人であった。整備の方法は各工程共、ほとんどが手作業であり、整備能力は1000枚/日が限度であった。

将来予測に基づく、作業所への必要供給量の増加傾向に対して、①整備人員の増加が見込めない、②整備コストを下げたい、という2点が新しい自動整備ラインを手掛けた主な動機である。

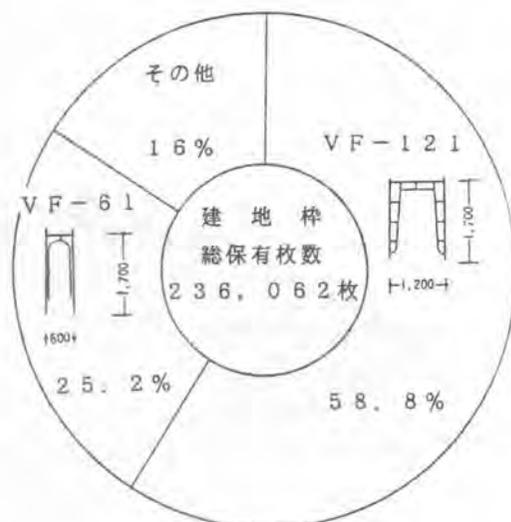


図-1 鋼製仮設材の保有割合
(S62. 1. 1現在)

3. 仮設足場材自動整備ライン

昭和62年1月開発に着手した仮設足場材自動整備ラインは、第1段階として同年5月に主要設備である自動ケレン装置、自動ハンガー掛け装置、自動塗装設備、乾燥設備を完成した。そして、稼働を続けつつ、翌年1月に、より一層の整備効率の向上と省人化を図るために、未整備品投入場と完成品取り出し場に産業用ロボットを各1機ずつ配置した設備を追加して、ラインの充実を図った。

自動整備ラインの構成と全体の概要を図-2に示す。作業所から返却される汚れた足場材は、トラックからフォークリフトで降ろされ、そのままの状態でも未整備品投入場の①ローラコンベアーに乗せられる。ラインを流れる足場材は②検査台で2名の作業員による部品等の検査を受ける。検査により修理が必要と判断された足場材は次工程の③フラットコンベアー上で④ロボットにより搬ねられ、替わりに修理済みの足場材が補充される。

さらにロボットにより“向き”を揃えられた足場材は⑤自動ケレン装置の中で付着物を除去され、⑥自動ハンガー掛け装置により、天井を走るトロリーコンベアーのハンガーに吊り下げられる。

その後、溶接カ所および腐食等の検査を終え、⑦自動塗装設備で塗装され、⑧乾燥設備で強制乾燥された後、完成品取り出し場で⑨ロボットによって、積み上げられる。

自動整備ラインの処理能力は、平常時で1日の実稼働時間を6.0時間（点検・検査員の休憩等を除く）とすれば、約1200枚/日である。

以下、自動整備ラインの構成要素のうち興味あるいくつかを紹介する。

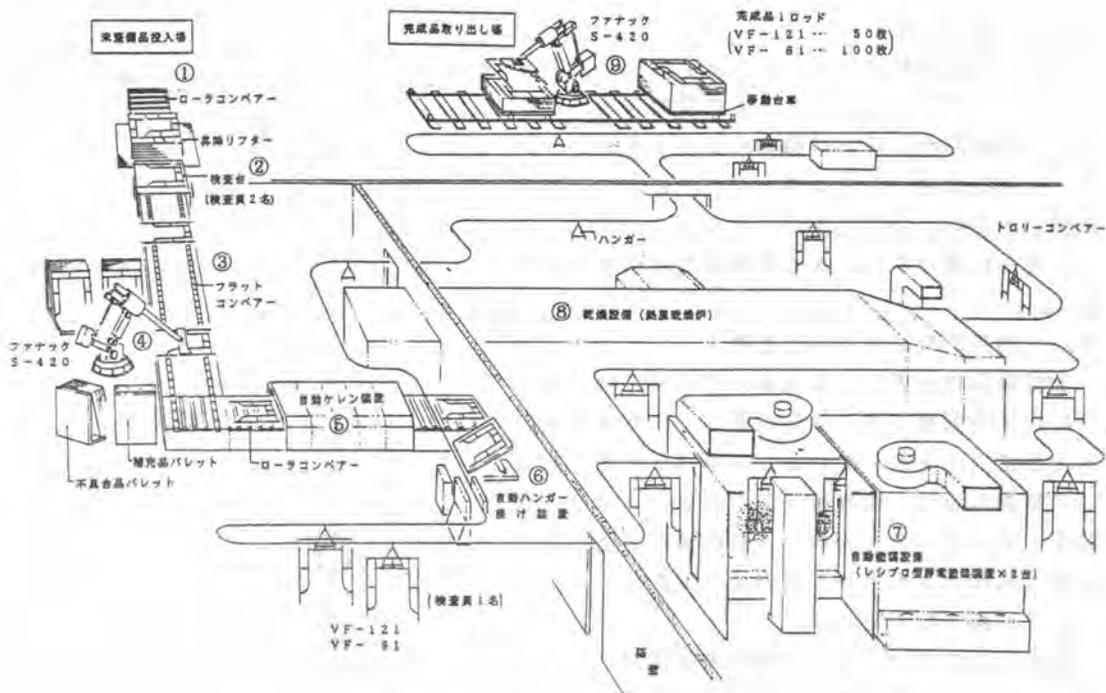


図-2 自動整備ラインの概要

4. 自動ケレン装置

ケレンの方法には、砂を叩きつけるサンドブラスト法やチルド鑄鉄のショットを叩きつけるショットブラスト法もあるが、ここでは、図-3に示すように足場材の連続投入に最適なチェーンドラムによる叩き落とし方式を採用した。

ローラコンベアー上を流れ、回転する上下2本のチェーンドラムの間に送られる足場材はチェーンの叩き落とし作用によって、表面の付着物を除去される。他の方式に比べて難点であったケレン程度は、チェーンドラムの本数を4本とすることで解決し、足場材の再生品としては十分なケレン程度を得ている。

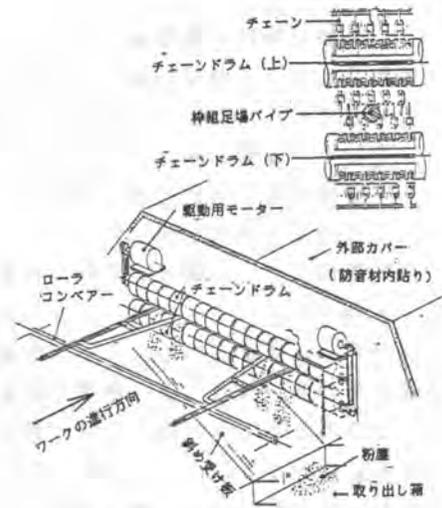


図-3 自動ケレン装置

5. 自動ハンガー掛け装置

自動ハンガー掛け装置の概要を図-4に示す。自動ケレン装置でケレンされた足場材は、乗り移り装置の衝突板に当たり、ロッドレスエアシリンダーで、起立装置の受け台まで押し出され、エアシリンダー(A)の働きで、チェーンコンベアー上に起立する。

起立した足場材は、ガイドパイプに沿ってチェーンコンベアー上をリフターまで移動する。リフターで足場材は、荷上げ機構により上昇し、リフター上部のエアシリンダー(C)により、前面に押し出され、天井を走るトロリーコンベアーのハンガーに掛けられ、次の自動塗装設備まで運ばれる。

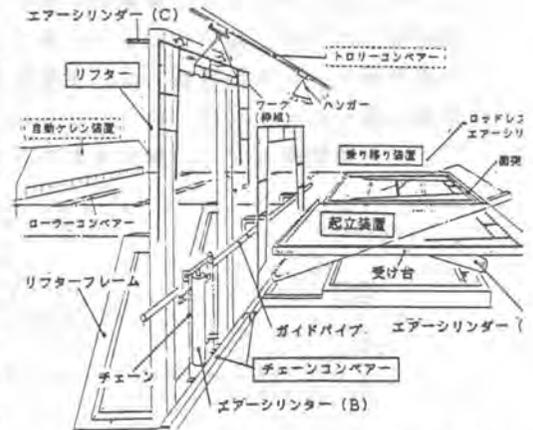


図-4 自動ハンガー掛け装置

6. 効果的なロボットの配置

未整備品投入場と完成品取り出し場には、図-5に示す多関節ロボットを配置して、整備効率の向上と省人化を図っている。ロボットの導入によって整備人員は、検査員3名とフォークリフト運転手1名の計4名と大巾な人員削減が可能となり、従来(昭和61年当時)の方法に比較して60%~65%減となった。

採用したロボットは、6軸の多関節ロボットで教示により、さまざまな動作を設定できる。足場材をハンドリングするための把握装置は、足場材用として新しく開発した。

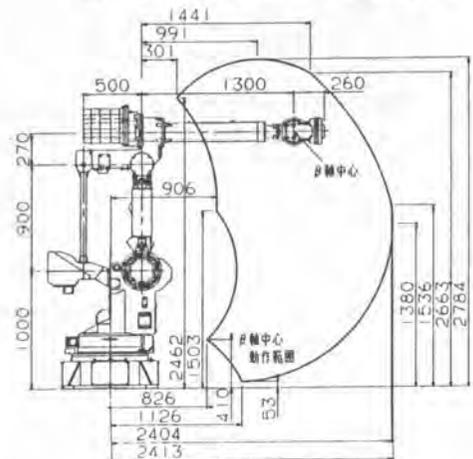


図-5 ロボット

7. 稼働の実績評価

開発した仮設足場材自動整備ラインは、完成直後、初期故障等による稼働能率の低下はあったが、現在は安定した稼働状況である。

最近3カ月間の1日当り（6時間）の整備枚数は、平均値で1135枚（標準偏差69）で安定している。

これは、目標であった1200枚／1日（6時間）にほぼ近い値であり、十分満足できる結果である。

この整備枚数1135枚／日をベースに、人件費の低減を考慮の上、設備投資の回収年度を試算すると図-6に示すように、約2.5年後となり、その後は従来の整備方法に対して費用効果を生み続ける。

整備品質の面では、自動ケレン装置により塗装下の鋼材表面をある程度露出させることができるために、錆などの腐食の発見が容易になったこと、また、自動塗装設備により塗装厚のバラツキが少なくなったこと、乾燥設備により完全乾燥ができるので雨天等の影響を受けないことなどの利点がある。

8. むすび

現在の建設業界は、たぐいまれな活況を呈している。このため、人手不足とともに建設資材等の不足が深刻化している。仮設足場材の需要も、本年度に入って、平年の約1.2倍（当社関西地区）と増加しており、今後もその傾向は続くものと考えられる。

人手不足の折、整備人員の増加が困難である現在、従来の人手による整備方法によっていれば、作業所の需要を満たす供給は不可能であったと言える。

仮設足場材自動整備ラインの最大の成果は、高能率な整備により現在の需要増大に対して、安定的な供給を可能にしたことである。

最後に、この開発に関与し、多大な支援を下さいました関係各社のみなさまに厚く御礼を申し上げます。

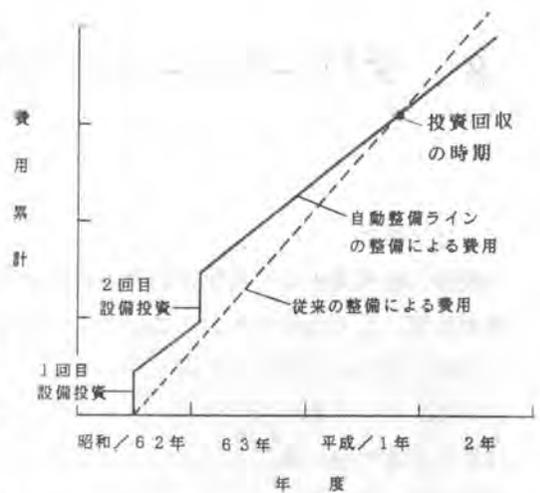


図-6 費用の比較

8. タワークレーントラベリング工法の開発と実施

(株)竹中工務店：田中 貞夫・*古川 幸荘

1. はじめに

我国の経済環境は、民間企業の構造転換のための事業展開、需要創造に向けての積極的な設備投資等により活況をきわめている。建設業界もこのフォローを受け、各方面で鋭意努力されている。まさに夏の時代を迎え、これに応えるべき当方も増大する工事量を、良質で安全に施工するため、各種の技術開発・改良を幅広く展開させている。本件は、施工上種々の制約を受ける市街地の狭小地における、ビル建築用のタワークレーンに関して、開発したものである。建築資材の揚重を効率良く行うには、建物内部にクレーンを設置するが、これでは、クレーンマストによって各階の床に貫通駄目穴が生じる。クレーン解体時には、大型移動式クレーン又は、屋上に小型の傾斜ジブ式クレーンを設置しての作業となり、解体に手間・時間がかかる等多くの不都合を抱えている。これらを解消するために、昨年より機械化施工の拡大方策の一環として、「狭小な建物」から「超高層建物」まで建築規模、形状、立地条件に左右されず任意の位置に設置できる、「新型クレーン」の開発を㈱コシハラの協力を得て推進してきた。この度、中小規模工事用として採用している、油圧クライミング式簡易タワークレーンのクレーン本体とマストを分離し、クレーン本体を横引きさせる、タワークレーントラベリング工法の実用化に成功したので、ここに報告する。



写真-1 トラベリング実施状況

2. 本論

2・1 クレーン設置上の問題点

建築工事においては、建築資材を揚重運搬するクレーンは、重要な建設機械の一つであり、その設置する状況において表-1に示すように、長所・短所がある。

表-1 クレーン設置条件によって長所・短所

	長 所	短 所
外部への設置	1. 内部仕上げ工事に影響がない。 2. クレーンの存置期間が比較的長くとれる。 3. 逆クライミングが可能なので、撤去に大型の解体用クレーンを必要としない。	1. クレーン設置に外部場所を必要とする。 2. クレーンのブームが長くなる。 3. クレーンの作業範囲が有効に使用できない。
内部への設置	1. クレーン設置に外部足場を必要としない。 2. クレーンのブームが短くて済む。 3. クレーンの作業範囲が有効に使用できる。	1. 内部開口部による内部仕上げ工事に駄目部分が生じる。 2. 開口部からの墜落災害が考えられる。 3. クレーンの存置期間が内部仕上げ工事の影響で短くなる。 4. クレーンの撤去に大型の解体用クレーンが必要となる。

2・2 開発の経緯

開発スケジュールの主なステップを、表-2に示す。特に、トラベリング時の安定性及び、トラベリング機構の仕様を求めるため、工場内実験で詳細に実施した、その状況を写-2に示す。

表-2 開発スケジュール

開発工程	1988												1989				
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5				
基本計画の立案	□		◇														
工場実験		□													◇		
実施計画の立案																	
作業所実施																□	

計画「ラフロード」2期



写真-2 工場実験状況

2・3 トラベリング装置の構成と仕様

工場実験（写-3）においては、トラベリング時の安全性、牽引力等について、次の様な設計仕様を求めた。トラベリング時におけるブーム伏仰角度 55° 、牽引力10tの値と、トラベリング駆動装置(写-4)に示す油圧方式を採用することにした。工場実験で求めた設計仕様によって図-1に示すトラベリング装置が構成できた。表-3にその主な仕様を示す。



写真-3 安定性の牽引力実験状況

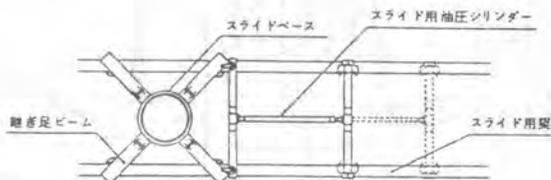
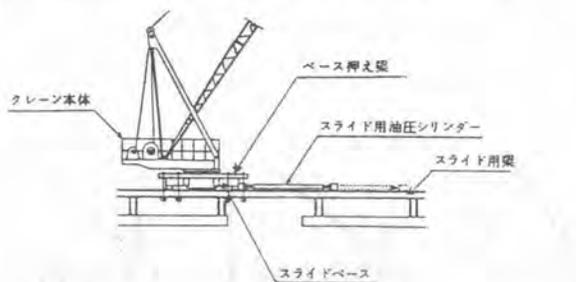


図-1 トラベリング装置の構成



写真-4 トラベリング装置

表-3 仕様

項目	摘要
スライド方式	油圧シリンダ方式
ストローク	$\varnothing = 2,600\text{mm}$
速度(押)	max 1.0m/min
”(縮)	max 1.4m/min
全自重	20.160 t (本体含む)

2・4 タワークレーントラベリング工法の概要

最上階の躯体を構築させてから、クレーン本体を逆クライミングによってマスト頂部より降下させ、最上階に固定させる。その後、クレーンが自力で上部マストを撤去して、クレーン本体部とマスト部を分離させた後、油圧牽引装置でクレーン本体部を所定の位置迄横移動させる。不要になった昇降装置と「中間マスト」・「架台」を自力で解体搬出する。マストを取り去った後の各床に残った駄目穴開口部は早期に閉鎖できる。工法の手順を図-2に示す。トラベリングの前と後のクレーン本体部の位置状況を写-5、写-6に示す。



写真-5 トラベリング前の状況



写真-6 トラベリング後の状況

ステップ	1	2	3	4
手順	鉄骨本体にスライドベースを取付け逆クライミングする	マスト頂部を吊り揚げ、本体とマストを切離す	マスト直上の位置より、所定の位置へ移動	油圧クレーンにて、解体撤去を行う
概要図				

図-2 トラベリング工法の施工手順

3. 今後の展開

今後は、更に適用範囲の拡大を図るために、大型クレーンへの水平展開と安全装置の充実（システム化）を図り、図-3に示す「傾斜地での建物」、「超高層建物」に、本工法を採用し適用範囲の拡大を図りたいと考える。

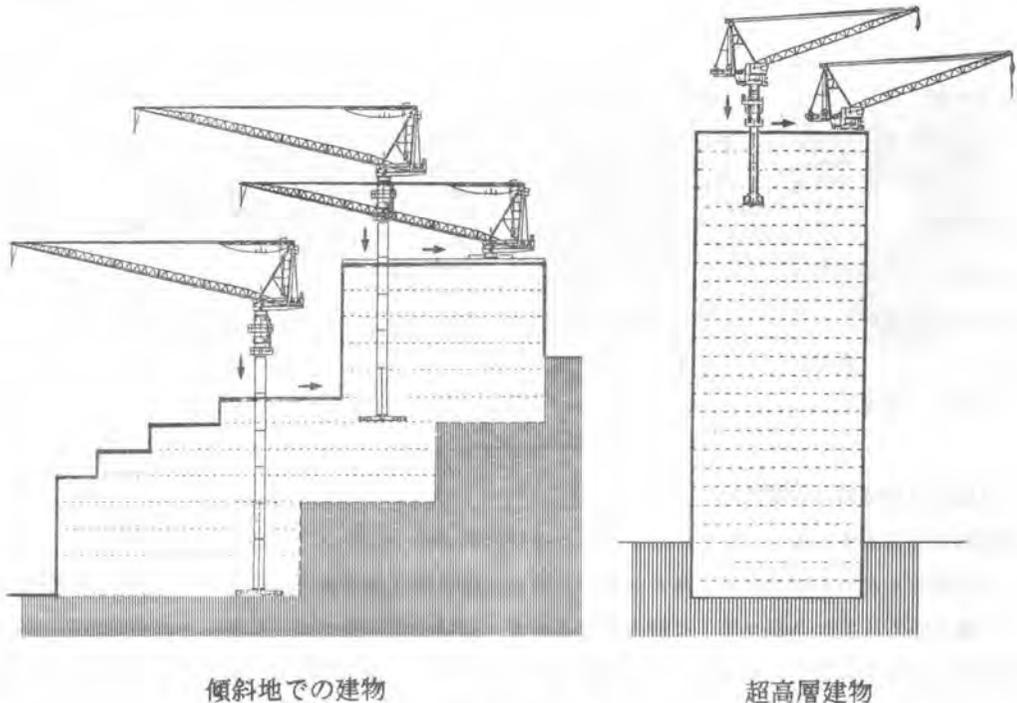


図-3 適用例

4. おわりに

本工法によって、狭小地での建築資材を効率良く安全に揚重でき、クレーンマストによる駄目穴開口を早期に閉鎖することにより、内部仕上工事の着手が早まり、安全に施工することができた。また、クレーン解体作業を中型移動式クレーンで容易に行えることが確認できた。

最後に、本工法の開発に当りご指導、ご協力をいただいた関係者各位の皆様へ深く感謝します。

共同開発者 櫛竹中工務店 家村正人 中島好昭 名須純一 天津三郎
谷口 惺 古田周三 今井崇賀 東藤隆義
宮川治雄 三苫孝文 日元 正 西 紘

9. 軌道作業パワーショベルによる保線作業の合理化

(株)小松製作所：山田 透

1. まえがき

保線作業には、バラストの交換をする道床交換をはじめとして、レール交換、枕木交換等種々の作業がある。これらの作業の対象物は、固結したバラスト、重量物のレール、枕木等であるが、そのハンドリングはほとんど人力で行っているのが実情である。この様な重労働に加え、作業環境が悪い（ほこり、風雨、泥等々）、常に危険と背中合わせ（作業現場のすぐ横を列車が通過する）、といった理由から、作業員が仲々集まらないという現状である。こうした問題を踏まえ、J R、軌道会社を中心となり、平成元年を保線作業の機械化元年と称し、本格的にその研究をスタートした。弊社でも、こうしたニーズに応え、J R、軌道会社、保線業の方々の協力を得て、ミニパワーショベルをベースマシンとした道床交換機を市場導入したが、その概要、工法などを紹介すると共に、今後の動向について述べる。

2. 保線作業用機械の必要機能

線路内で作業をする場合、最も注意すべきことは列車ダイヤの停止、遅延の原因となる事故を絶対に起こしてはならないということである。そのために、高圧線との接触や、信号ケーブル、標識等を損傷しない構造となっている事が第1に要求される。又、踏切鳴動範囲では、左右レールの短絡防止構造が必要である。さらに万が一、エンジン、油圧系統のトラブルにより機械が停止しても、速やかに現場を脱出できる機能を備えていることも要求される。一方、深夜作業が多いため、環境、安全に対する配慮が一段と厳しくなってくる。

このように、保線作業用機械は、限られた空間内での作業性を確保しつつ、操作が簡単で、安全性の高い機械にしていくことが要求される。表1に特に重要と考えられる機能とその達成手段について説明する。

表1 必要機能と達成手段

	必要機能	達成手段
1	線路内作業性 ・車両限界内の大きさ ・レール上を動ける ・左右レール間を短絡しない	◎ミニパワーショベルをベースマシンとする ◎レール走行構造の開発 ◎絶縁構造の開発 ◎専用ゴムシューの開発
2	安全性 ・高圧線との接触防止 ・誘導電流のアース ・現場からの即時脱出 ・周囲作業員への安全確保	◎リンクモーションの改良 ○アース構造の開発 ◎本線脱出機構の開発 ○安全機構の開発
3	社会性無公害 ・環境保全 ・騒音が低い	○低騒音化
4	汎用性省力化 ・補助作業員の仕事をこなす ・各種の保線作業をこなす ・一定の深さを水平に掘削する	◎専用アウトリガの開発 ○各種A T T. の開発 ○自動掘削・水平レベリング機構の開発

3. 達成手段の具体的構造

(1) ベースマシンの選定

人力による道床交換作業の工程を図1に示す。この中で、今回の機械化の対象としたのは、旧バラストの掘削、積込みと新バラストの積込み、運搬、敷き均し工程である。前述の様に限られた空間内（概ね車両限界内）での作業性を重視するため、ベースマシンは、当社ミニパワーショベルのPC40、PC15、PW20、PW30を選んだ。なお、車体の安定性の良さからPC40、PC15のクローラ系は掘削を主体とし、機動性の良さからPW20、PW30のホイール系は運搬主体と位置付けている。

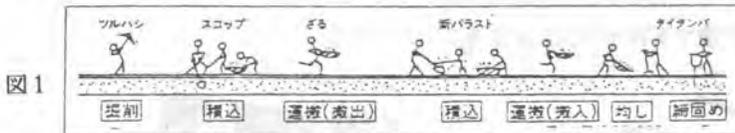


図1

(2) レール走行

クローラ系では、クローラ中心間距離を軌間とほぼ同一にすると共に、踏面がフラットな専用のゴムシューの装着により、通常の走行操作で、レール上を走行できる様にしている。さらに、車体前後にツバ付のガイド輪をもったフレーム（ライナーと呼んでいる）があり、脱線防止、被けん引時の車体支持の役目をしている。ホイール系では、タイヤ内側に装着した小径の鉄輪によりレール走行を可能としている。以上の様な構造から、本機は側道から線路への乗り入れが可能であり、又、作業時レール上にあるため、鉄道設備を損傷する恐れがない。特にライナーの動きについて図2に示す。

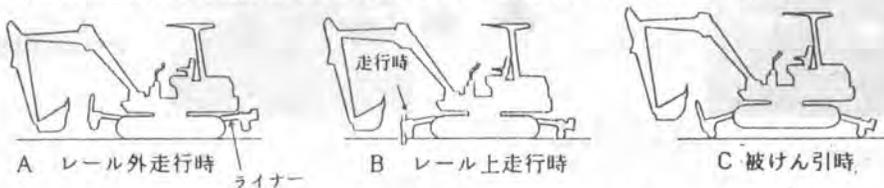


図2 クローラ系の走行（ライナーの状態）

(3) 絶縁構造

クローラ系のゴムシューは保線作業車両用にゴムの配合を施しており、絶縁抵抗値は1000MΩ以上になっている。又、ライナーのボルト結合部、ホイール系の鉄輪取付部、ブレードのボルト結合部は、ガラス繊維強化型エポキシ樹脂と特殊ゴムブッシュにより、高い絶縁性を確保すると共に、水の侵入防止、整備性の向上も企っている。構造を図3に示す。

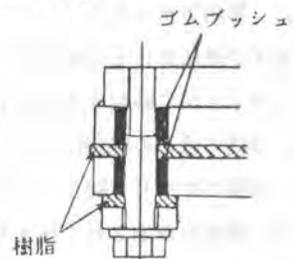


図3

(4) リンクモーションの改良

ブームシリンダ、アームシリンダのストロークを制限することにより、作業機最大高さをレール上面から4m以下にしているため、作業機の誤操作をしても、高圧線との接触がない様にしている。又、隣線の貨車への積込みを可能とするため、積込み高さ2.3m以上は確保している。(表2, 図4参照)

表 2

	作業機最大高さ
PC15T-2	3970mm
PC40T-6	4000mm
PW20T	3800mm
PW30T	3800mm

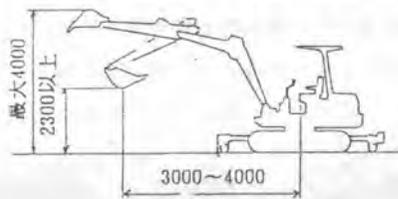


図 4

(5) 本線からの脱出機構

図2に示した様に、前後ライナーは油圧シリンダによりA~Cの姿勢がとれる。又、この油圧シリンダの配管途中には油圧クイックカブラが装着してあり、外部からの手動油圧ポンプを連結することにより、油圧シリンダを作動させることができる。さらにライナーに付いている4個のガイド輪は、たて軸中心に回転可能であり、この手動ポンプによる油圧シリンダの操作とガイド輪の向き変更により、図5に示す手順で機械をその場で本線から脱出させることができる。

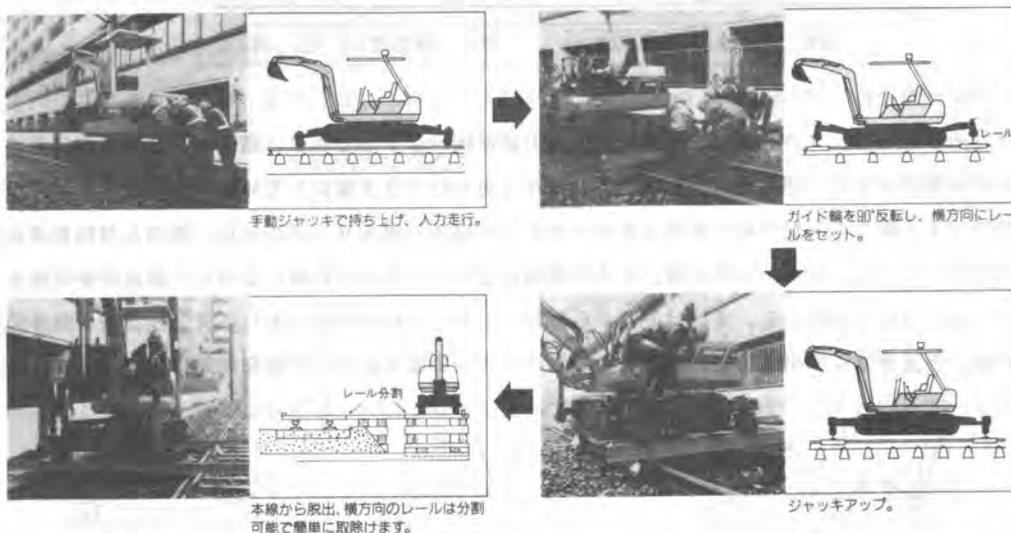


図5

(6) 専用アウトリガ

道床交換における掘削作業は、図6に示す様に、バケットにて砂利を手前に引掛り形態が主である。本機ではこの掘削反力をアウトリガにて支持し、車両のすべりを防止している。さらに、掘削後は、機械を前進させて枕木を前方へ移動し、次の掘削を連続して行うことができる。

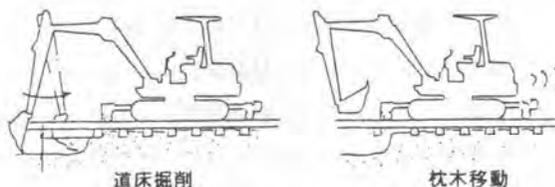


図6 アウトリガの働き

4. 施工システムと施工事例

本機を使用しての道床交換施工システムを図7に示す。これは、ホイール系、クローラ系各々の機械の特色を生かした施工システムであり、側道を利用すれば単線でも可能な工法である。又、現場に応じて、JR保有の機械との組み合わせにより、図8の様な工法も行える。これらの実績を表3に示す。

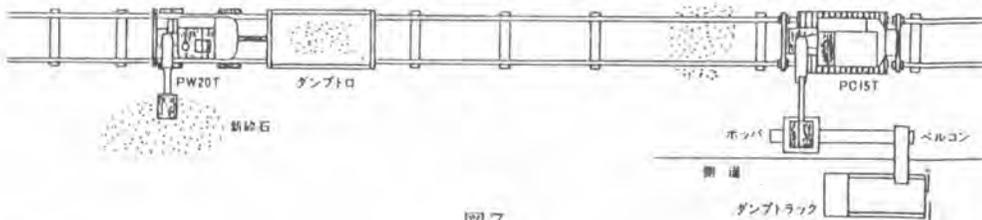


図7

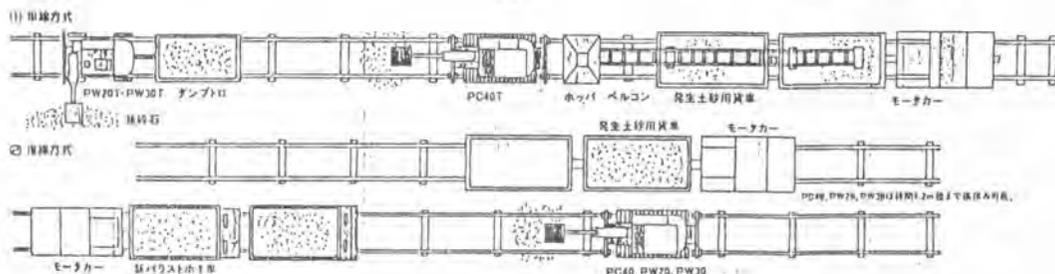


図8

表4 施工事例

	使用機種	結果			省人化
		人員	実働時間	施工距離	
事例1 (図7の実績)	・PC15T ・PW20T ・ダンプトロ ・ダンプ	12名	150分	13m	1/2 ~1/3
事例2 (図8単線方式 の実績)	・PC40T ・ホッパ車 ・発生土砂運搬車 ・モーターカー ・新バラストホキ車 ・ベルコン	12名	185分	22m	1/3 ~ 1/6

5. 保線作業機械化の今後の方向

保線作業の機械化は今始まったばかりである。今回述べた必要機能への要求は一段と高度化し、新たな機能の要求も出てくることが予想される。このため、さらに喜ばれる機械を実現するため、次のような事項の開発に挑戦していきたい。

- ①各種ATTの準備とその操作容易化
- ②低騒音化(本体のみならず、締め固め、突き固め等のATTを含む)
- ③安全装置の充実
- ④埋設物の検出装置、埋設物の自動回避装置
- ⑤自動化掘削

最後に、本機の開発にあたり、ご協力いただいたJR、軌道会社、保線業の方々へ感謝します。

10. ロードカッタ作業の高効率化

小松造機(株)：品川 春樹

1. まえがき

モータリゼーションの伸びに伴って、道路の維持修繕工事量も増加して来ており、又、維持修繕工事の内、切削オーバーレイ工法のウェートが高く、年間1300万M²の工事量を抱え、

更に今後も増加することは、確実である。(図-1) 切削オーバーレイ工法は、既設舗装路の修繕となるため、現場は、もっぱら市街地や人家の近くであり生活道路上であるため、騒音や、交通障害等のいわゆる建設公害が問題となっている。又、切削作業のみで、即生活道路として開放する場合も多く、その仕上り要求精度が高い割には、切削作業の問題点や改良必要点となると、今一つはっきりしない面がある。

そこで、切削作業に関して現場でのヒアリングを実施し、その問題点、改良要望をまとめると共に、これらを取り込んだ高能率路面切削機械を開発したので、ねらいと特徴、構造の概要を報告する。

2. 切削工法の概要

切削工法は、老朽化又は、流動して変形した既設舗装路面を、予め指定された、改良打換え深さまで切削し、これを取り除くと共に切削面を平坦にすることである。この切削深さの精度や、平面度は、その後のアスファルトオーバーレイの出来上り品質を大きく左右するので重要であり、又、一般道の様に切削後、しばらく開放する場合には、走行車両の走行安定性を確保するため重要となる。

通常、切削工に用いる機械は、

路面切削機、積込機、スィーパー、ロードカッタ

これに切削したアスファルト廃材を運び出すダンプトラックである。

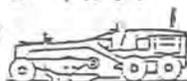
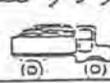


図-2 切削工事機械

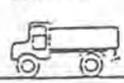
ロードフィーダ



ダンプ



スィーパー



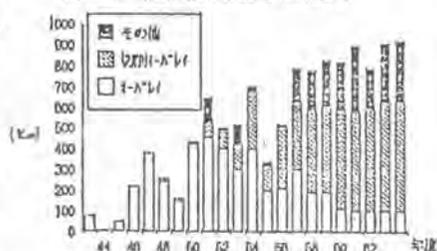
3. 工事環境に対する改善要望

切削工に関係される各方面に対して、ヒアリングを行なった結果は、以下の通りであった。

3-1 交通渋滞の防止

道路修繕工事であれば必ず問題にされるものであるが、切削工についても、同様に強い要望がある。小規模工事では、問題にならないが、切削工の様に直接路面に施工する工事では、特に交通渋滞を避けることは、不可能に近い。従って少しでも、工事の時間を短くし、公道の機能の回復を早める様努力しなければならない。工事の時間を短縮するためには、施工機械の処理能力アップによる速度アップも有効な手段であるが、実際の施工現場を観察すると、必ずしもそれだけが大きな要因ではない。その他の要因の例を

図-1 維持修繕工事総延長



挙げると、

- (1) 施工機械を現場へ搬入、及び現場から搬出する際のトレーラ輸送に伴う時間と駐車空間のロス。

米州や欧州の切削工では、工事終了後、施工機械を路側帯に駐車し、明日以降の工事に備えるのが一般的だが十分な道路幅員を持っていればこそ成せることで我国では、通常施工寸前に搬入、施工後搬出を繰り返しているため、余分な規制時間が必要であり、又、規制距離も延長になってしまう。

- (2) 路上の障害物回避のための時間ロス。

我国の道路上には、マンホール等の障害物が多い。この障害物の回避に費やす時間が以外に多いことに気付く。これは、大型の機械で出来ない障害物周りの切削をハツリ作業に頼るため、せっかくの高効率大型機械を入れても、切削残りが多く、後行程に時間がかかるため、結局規制時間を短縮出来ない

3-2 作業環境の向上

- (1) この中で一番強い要望は一般建機同様、低騒音化である。

特に一般道では、人家の前が施工現場となることがほとんどであり、又、交通規制の都合上深夜作業となることも多い。このことが一層拍車をかけている。

現に開発着手前のヒアリングでは、騒音公害で地域住民より苦情があり作業を中止させられたとの情報もある。

- (2) 周囲に対する環境改善に対して、施工従事者の環境改善要望も強い。特に我国の切削作業は、路上の障害物回避等、ちみつな操作が要求されるため、路上での歩行作業が主となる。従って体力的にもきついが、切削深さや、平坦性の要求精度が高いことによる精神的な負担も多い。この負担軽減要望は強い
- (3) 通常片側開放にて作業が行なわれ、境界側の仕上げをきれいにするためオペレータは、開放車線側で作業することが常である。これは、通過車両に対して無防備であり大変危険である。

3-3 労働力不足への対応

労働力の不足は、他の建設業と同様であり、対応が迫られている。大別すると、ベテランオペレータの減少に対応する省熟練化、絶対数の不足に対応する省人化、となる。

対応手段としては、自動化が最適だが、これには、現場サイドとしての反対意見がある。すなわち

- (1) 自動化による省熟練化は、自動化が使える場合は非常に有益だが、全ての場面で使える訳ではないので、結局熟練は必要となる。
- (2) 又、省人化とは、2人で運転していたものを1人にした場合でも同程度の疲労で済むことが前提条件であり、疲労が倍加する様では『出来る。』であって省人化とは、いわない。この2つを解決しないと、労働力不足は、わかっている現場への導入は困難なことがわかった。

4. 改善要望の展開

前述したヒアリング結果を大項目、小項目、各々を満足するための達成手段まで含めて展開したものを図-3に示す。

5. 達成手段のねらい

ここでは、達成手段のねらいについて説明する。

5-1 大排気量、低騒音エンジンの採用

切削作業は、かなりの負荷変動があるため、小排気量エンジンでは出力表示通りの力が発揮出来ない事

が多い。従って充分な排気量で力に余裕を持たせた小松S6D140エンジンを採用した。

5-2 ニューマチック式(空気入り)タイヤの採用

搬入、搬出のロスを防ぐには、自走可能とするのが最良である。従って、走行系には、ニューマチックタイヤを採用し、車検取得により公道走行を可能とした。

5-3 作業機は、左右450MMの横送りが可能

工事時間に占めるハッキリ作業時間

の割合は、切削機械によってかなりバラツキがある。すなわち障害物(マンホール、橋梁のジョイント、縁石等)の近傍まで切削出来る機械の場合、ハッキリ作業は、短時間で済み、作業全体を効果的に進めることが出来る。このための手段として、切削部を大きくシフト可能とし、障害物の形状に対して容易に対応可能とした。(図-4)

5-4 密閉式エンジンルームと防音構造

低騒音化には、音源に手を打つのが常道である。ここでは低騒音エンジンの採用とあいまって、エンジンルームの密閉化を図った。しかし、音のエネルギーを全て熱に変換することは、不可能なので最も影響の少ない上方へ抜く構造としている。

この結果作業時間周7Mで85dB(A)を達成している。

5-5 ACC(自動レベリング装置)の採用

ここでは、現場の意見を採用し、完全自動化は、避けて、半自動化にとどめている。このシステムのねらいは、従来運転者が作業機に取付けられた、下げ振りを見ながら樹に頼って制御していた切削深さを、デジタル表示でかつMM単位で目で見える様にしたことである。つまり、運転者は、この表示を見ることにより、正確な切削深さを知ることが出来る。すなわち例えば初心者でも目標切削深さと表示値が一致する様に操作すれば良いわけで、機械のインテリジェ

ント化により非熟練者への対応を図っている。

又、この表示値を指示値として、入力すると、機械が自動で指示値と実切削深さを合わせる、自動モードも備えており少しでも運転者の負担を少なくする様にしている。

5-6 運転者の退避空間の確保と、

緊急停止装置の装備

対向開放車線から運転者の身を守るため、

図-3 改善要望の展開

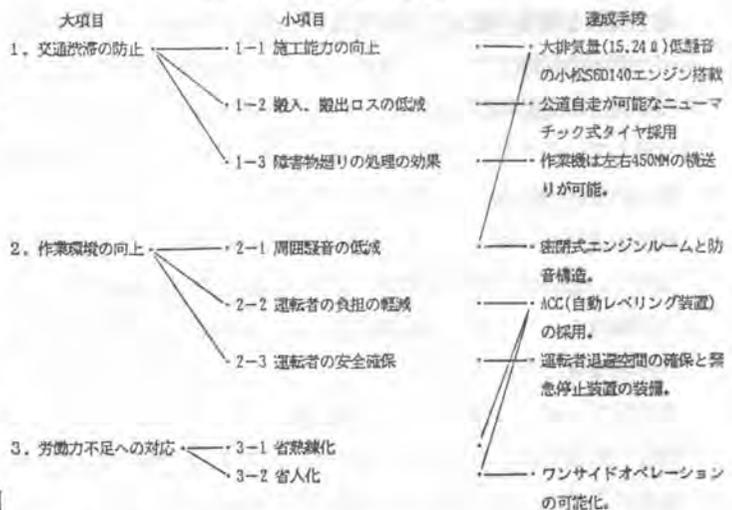


図-4 シフト切削作業

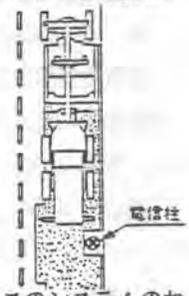
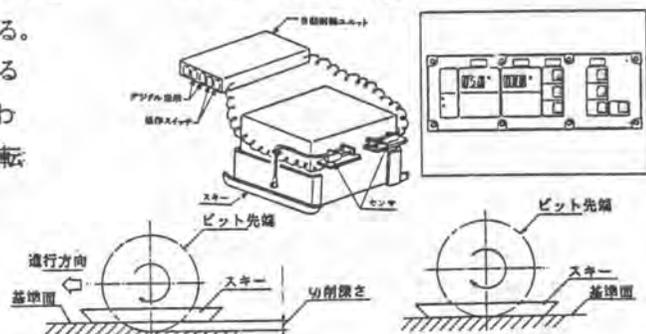


図-5 ACCの概要



運転空間を車体内内に設けた。

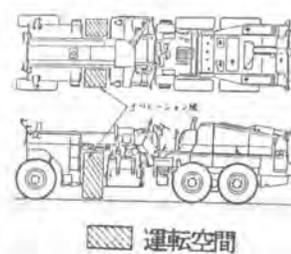
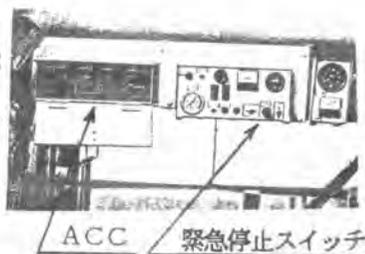
又、この空間に緊急時に全ての機能を停止するスイッチを設けて運転者の安全を図っている。

5-7 ワンサイドオペレーションの可能化

図-6

図-7

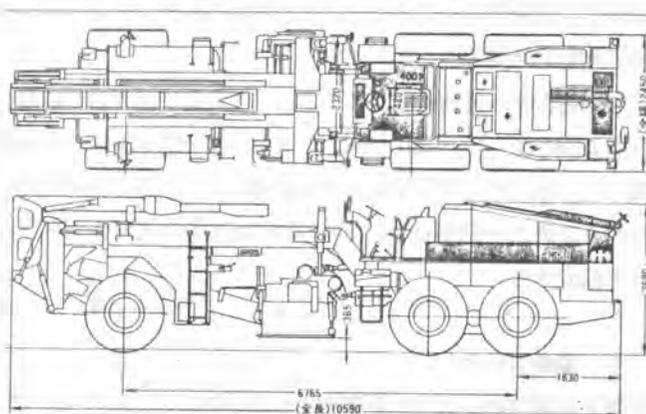
省人化のため、全ての操作の集中化と、確認の容易化を図った。さらにACC(自動レベリング装置)の自動モードによる、運転者の疲労軽減をねらった。



6. 路面切削機械の主要仕様

以上の改善要望を取り込んだGC380Fの主要仕様、外観を示す。

定格出力	380PS/2000rpm
車両総重量	26860kg
前輪荷重/後輪荷重	11820kg/15040kg
切削深さ	150mm
切削幅	2000mm
切削精度	±2mm
ロータワ重(左右共)	450mm
ロータ径	780mm
切削深さ操作	自動(ACC)・手動
切削深さ表示	デジタル式
走行速度	0-26km/h
作業速度	0-20m/min
登坂能力	25度
最小回転半径	11.2m
タイヤサイズ	14.00-24-16PR



7. 稼働事例

いくつかの稼働事例を示す。

取り込んだ内容については一応の評価を得ることが出来た。

特に、ACCによる省熟練化及び低騒音化については、高い評価が得られた。

事例No.	稼働現場	調査年月日	稼働条件及び結果				機種
			施工面積	平均切削深さ	大気温度	切削作業速度	
1	愛知県刈谷市 県道64号線	昭和63年 12月21日 (1日)	2128㎡	60mm	9℃	平均7.8m/min	GC380
2	愛知県刈谷市 県道289号線	平成元年 1月21日 (平日)	550㎡	50mm	11℃	平均6.0m/min	
3	愛知県刈谷市 の県道	平成元年 1月21日 (平日)	570㎡	50mm	13℃	平均7.7m/min	
4	兵庫県加古川市 国道2号線加古川バイパス	平成元年 1月25日 (平日)	1300㎡	50mm	12℃	平均6.7m/min	GC380F
5	埼玉県川越市 県道254号線	平成元年 2月9日 (1日)	2100㎡	50mm	13℃	平均6.2m/min	
6	埼玉県川越市 県道254号線	平成元年 2月10日 (1日)	2730㎡	50mm	10℃	平均6.4m/min	
7	大阪府大阪市 の府道	平成元年 2月18日 (1日)	1500㎡	40mm	15℃	平均7.6m/min	
8	岡山県備前市 国道2号線	平成元年 6月28日 (1日)	900㎡ (但し2層)	50mm	25℃	平均8.0m/min	

8. あとがき

ここに紹介した、路面切削機は、総合的な能率向上を目差し現場での要望を中心に取り込んだ開発機である。道路工事は、多岐に渡るため、詳細な評価は今後を待たなければならないが比較的高い評価が得られたことはヒアリングに快く応じて頂いた関係各位の御協力のたまものと感謝している次第である。

今後ともお客様のご批判を頂きながら改良を加え、より良い機械を供給できますよう努力して行きます。

11. スリップフォーム工法における自動運転システムの開発

飛鳥建設㈱： 忌部 惇一・矢作 健治
佐藤 暁生・*名倉 政雄

1. はじめに

スリップフォーム工法は、油圧ジャッキにより、型枠と足場をコンクリート面に沿って同時に連続的に滑動、上昇させ所定の構造物を構築する工法である。その応用分野は、煙突、サイロ、都市のシンボルタワー、高架水槽など様々な塔状構造物に亘っている。しかし、スリップフォームの運転操作には、特殊な熟練工が必要であり、さらには、昨今のモニュメンタルで複雑な塔状構造物へのニーズの高まりの中で、人材不足に陥りつつ、適応範囲の拡大を図るためには、より操作性の良い、信頼性の高いシステムとしての開発が必要となってきた。

今回報告する自動運転システムは、これまで操作員の経験に委ねられてきた運転操作の簡便化、省力化を意図したもので、油圧ジャッキ等の駆動機器と各種の計測機器をパーソナルコンピューターで集中制御し、一部エキスパートシステムを導入することで操作の自動化を図った。また、この成果として、リブ付き変則六角形断面からなる特殊形状の超高煙突を完成させることができたので、応用例として合わせて紹介する。

2. 開発方針について

スリップフォーム工法を概説すれば次のようである。まず、主要部材としては、中央部に設置されるセンターリング、上部足場を構成する放射トラス、ならびに中、下段足場に設置されるヨークとがある。ヨークは、壁に沿って2m～3m間隔に配置されており、放射ばりに沿ってスライドできる構造である。また、ヨーク下部にはせき板が取り付けられる。次に、駆動器機としては、上昇のためのクライミングジャッキがヨークに、断面径調整のための横引きジャッキがセンターリング、もしくはヨークに設置される。スリップフォームの上昇は、クライミングジャッキが2cm～5cmに設定されたストローク運動を繰り返すことで行われ、この間、横引きジャッキによりクライミングジャッキの上昇量に応じた断面径の調整が行われる。

このほか、スリップフォームにはコンクリート打設用設備、材料吊り上げ用のクレーンなどが設置される。概要を図-1に示した。

今回システム開発の対象としたのは、上記諸設備のうち、スリップフォームの駆動装置部分に関するものである。システム開発に先立ち、自動化を進めるにあたって障

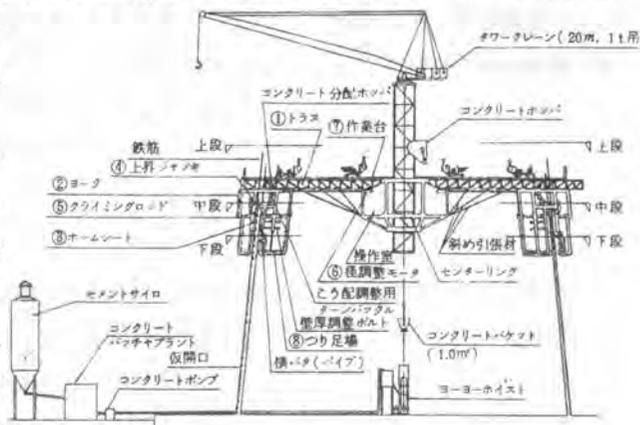


図-1 スリップフォーム工法概要図

害となる従来システムの課題を抽出し、下記の解決策を講ずることとした。

(課題)

(対策)

- ・クライミングジャッキの上昇精度向上
スリップフォームの制御の基本は、型枠全体の水平バランスを保持しながら上昇させる点にある。しかし、従来のジャッキでは、ストローク設定に制約があり、また作動時においてもチャックの滑りが発生し易い。
- ・運転操作の簡略化
形状が複雑になるに従い、各ジャッキに対する作動量の割り当てが複雑となり、操作ミスが発生する。また、上昇速度の設定などの人的判断に負うところでは、操作員によるバラツキが大きい。
- ・トラブルへの早期対応
型枠の偏心、ローリング、ジャッキトラブルなどへの対応が遅れると、現状復起により時間がかかることになる。ことに駆動機器と計測装置が分離制御されている現状システムではこの遅れが発生しやすい。

ネジロッドクライミング式ジャッキの開発

パーソナルコンピュータによる駆動機器と計測装置の一体制御ならびにエキスパートシステムの導入

3、システム概要

3-1システム系統

システム系統は図-2の通りである。本システムでは、従来、分離制御されていた駆動機器と計測装置を、パーソナルコンピュータで集中制御している。

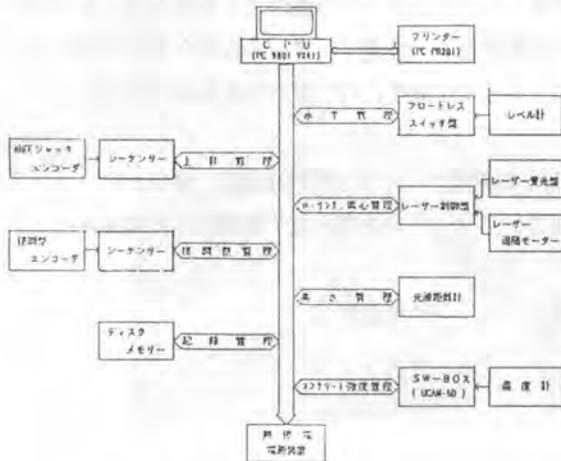


図-2 システム系統図

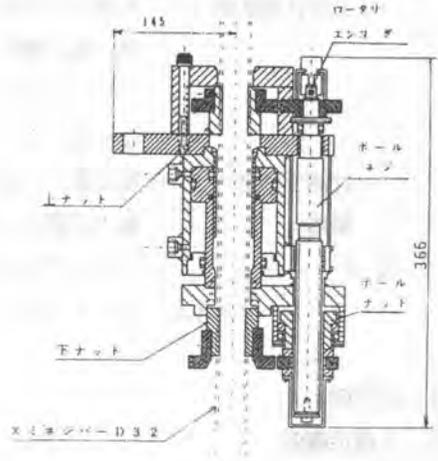


図-3 新型ジャッキ構造図

3-2新型クライミングジャッキ

ネジロッドクライミング式の油圧ジャッキを図-3に示す。本ジャッキの特徴は、これまで使用されてきたクサビ定着方式と異なり、ネジ鉄筋をクライミングロッドとし、ナット定着する方法を採用した

した点である。即ち、油圧シリンダーの推進力を利用して、上昇量に応じてナットを先送りする機構とし、上昇量の設定、確認を、ロータリーエンコーダーがナット先送り用のボールネジの回転数を感知することで行えるようにした。この考案により、従来10mm程度であったストローク精度を、1mm以内で制御できるようになった。

3-3 計測装置

計測機器は、油圧ジャッキなどの機械装置のためのセンサーとして機能できるよう、機器の選定、開発を行った。おもな計測器機は図-2で示した通りである。このうち、スリップフォームの偏心、ローリング測定のためのレーザー計測器は、ヨークに設置したレーザー受光盤（CCDカメラ内蔵）を地上部のレーザーが断面変化に応じて自動追従できる新しい機構のものを開発した。また、若材令コンクリートの強度発現をシュミレーションするため、型枠内に温度計を設置し、このデータを用いてスリップフォームの上昇速度をコントロールした。このほか、トラブル対策として、連通管を利用した水レベル計を各ヨークに配置し、ジャッキの故障、クライミングジャッキの座屈などを検知出来るようにもしている。

3-4 ソフトウェア構成

スリップフォームシステムを運転制御するためのソフトウェアは、下記に示す5つの処理体系から構成した。このうち、上昇計測制御は、本ソフトの中心となるもので、計測と運転制御を一連のフローとして実行させ、計測データに応じて種々の運転メニューを自動、あるいは一部の人的判断を加え選択できるようにした。また、計測データ編集では、計測データを加工処理し、視覚的に状況判断ができるよう工夫した。

初期値設定	——	構造物形状データの設定、システム定数の初期値設定、クライミングジャッキ、径調整ジャッキ、レベル計などの機器類の登録、削除を行う。
上昇計測制御	——	各機器の作動量の計算、シーケンサーとの通信（作動量の設定値、実行値、各計測装置への作動指令）、計測データの収録などを一連のフローとして行う。また、トラブル発生に対して、異常警報を発するようになっている。
計測データ編集	——	現位置での高さ、断面寸法図、一日の上昇実績曲線、偏心、ローリング量の計測図、若材令コンクリートの強度発現予測図などを画面表示、プリントアウトする。
データファイル	——	データコピーなどのファイル管理を行う。

4、応用例

4-1 構造概要

本施工例は、火力発電用集合煙突であり、図-4の通り、景観を配慮した特殊な形状となっている。スリップフォーム工法を適用するにあつたの構造的特徴は次のようであった。

- 1) 高さ194 m、単位高さ当たりのコンクリートボリュームが100 m³を越す超高、大断面構造物である。

- 2) 六角形の閉合断面とスカート部の解放断面とから成り、さらに、これらそれぞれが断面変化、壁厚変化する複雑な形状である。
- 3) 壁体の最大傾斜角が10度と、これまで施工実績のない急勾配である。

4-2 施工実績

スリップフォームの施工状況、構造及び主要機械設備の一覧を、写真-1、写真-2、表-1に示した。構造上では、スカート部のヨークの引き込み方法に新しい構造を採用しており、これにともない、ヨーク下部にも径調整ジャッキを配した特殊な断面調整機構とした。制御システムについては、前述した通りである。

実施に当たっては、運転操作、施工精度等に対する管理基準値を設け、これに沿って運転操作を行わせた。この結果、ほぼ所期の精度管理範囲に納めることができ、施工上昇速度も、平均 2.6m/day、最高 5.6m/day の実績を確保することができた。



写真-1 施工状況



写真-2 スリップフォーム構造概要

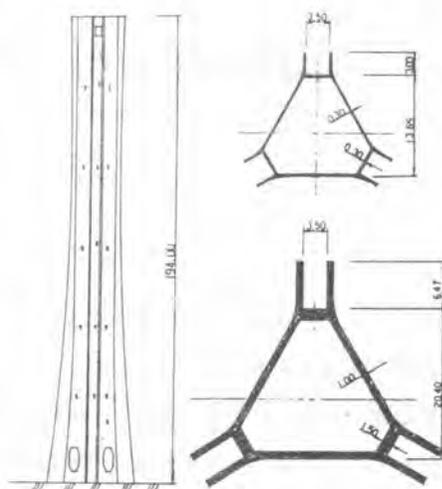


図-4 煙突形状図

表-1 主要機械設備一覧

設備名	機械名	仕様	数量	
スリップフォーム	上昇装置	油圧式(120t)(1台)	10ton × 50	10台
		油圧式(120t)(1台)	5ton × 25	30台
		油圧ポンプユニット	22KW	1台
		油圧ポンプユニット	1.7KW × 2	1台
構架設備	径調整装置	電動式センサー	0.1KW	13台
		電動式タンバックル	φ10 × 452.4	42個
		電動式タンバックル	φ10	27個
コンクリート 打設設備	コンクリート 打設設備	キャバー		51個
		シュート	φ76 × 1.80	51個
		高圧送バイレーター	12,000 rpm	6本
		高圧送バイレーター		2本
構架設備	コンクリート 搬送設備	電動ウォンチ	75 KW	1台
		下部キャバー	1.0 m	1台
		上部キャバー	0.3 m	1台
構架設備	鉄筋、製材 搬送設備	タワークレーン	1.5ton × 20m	1基
		人環搬送設備	1ton × (5人乗り)	1基

5、おわりに

建設労働者の不足は確実に進んでおり、建設作業の自動化、ロボット化の推進は時代の趨勢ともいえる。今回開発したシステムは、スリップフォームの駆動装置部分に限定したもので、内容的にも改良、改善すべき点も多々あると思われるが、今後の同工法の発展に多少なりとも貢献できれば幸いである。

12. 炭素繊維を用いたRC煙突の耐震補強工法

(株)大林組：加藤 実・小島 克朗

*小島 信男

1 ま え が き

1968年の十勝沖地震を契機に建築基準法の耐震規定が強化され、鉄筋コンクリート構造物では従来にも増して高い耐震性が要求されるようになったが、これに呼応するように、旧基準で設計された既存のRC煙突に対してもより効果的な耐震補強が望まれるようになってきた。

従来から行なわれているRC煙突の耐震補強工法としては、①頂部のコンクリートを切断して煙突重量を軽くすることにより地震の入力を低減させる方法、②コンクリートの周囲を鋼板で覆うことにより煙突の曲げ耐力を強化させる方法が提案されている。しかし、①の工法に対しては、頂部コンクリートの切断時に通煙の停止が前提となること、煙突高さを維持するために鋼板やステンレス等で復旧する必要があること、また、②の工法に対しては、コンクリートと鋼板との隙間にグラウト材を充填することによる重量増のため地震入力が増大してしまうこと、使用条件によってはグラウト材が劣化するため補強の信頼性が損なわれること等の問題点が残されていた。

このような従来工法で生じていた問題点を解消するとともに既存RC煙突の耐震補強のニーズに応えるため、炭素繊維を用いた耐震補強工法を三菱化成株と共同で開発し、実用化した。

2 炭素繊維耐震補強工法の概要

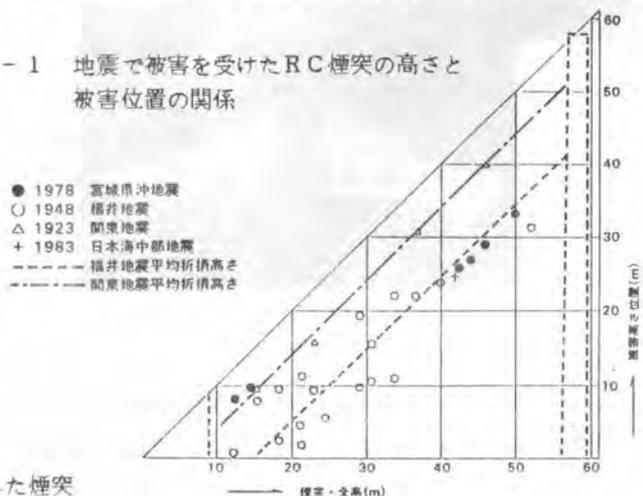
2-1 耐震補強の必要性

写真-1は、昭和58年の日本海中部地震で上から17mの部分骨折れた高さ42mのRC煙突を示したものである。また、図-1は、過去の地震で被害を受けたRC煙突の高さと、その被害位置の関係



写真-1 地震で上部が折損・倒壊した煙突

図-1 地震で被害を受けたRC煙突の高さと被害位置の関係



を示したものである。図-1によれば、地震による煙突の被害は地上から1/3以上の高さで発生しており、この部分での曲げ耐力の不足が指摘されている。

RC煙突の耐震性の判定は、日本建築防災協会の「既存RC煙突の耐久・耐震診断指針(案)」で規定されている地震時入力に対する煙突の必要曲げ耐力(Rs値)と煙突の保有曲げ耐力(Os値)を用いて算定されるが、上述の被害を受けた煙突では、被害部分の保有曲げ耐力が明らかに不足していたものと推察される。このように、RC煙突においては保有曲げ耐力を必要曲げ耐力以上となるように耐震補強することが必要であり、その際には、煙突重量の増加を最少にとどめることが基本となる。

2-2 炭素繊維の適用

炭素繊維は軽く、強く、さびないという優れた特性を持つ材料であり、エポキシ樹脂を用いてコンクリートに接着させ一体化を計ることによって十分な補強効果の得られることが実験により確認された。

RC煙突に適用する炭素繊維として本工法では、UDテープ(繊維を単一方向に配置し、プリプレグのシート状に加工したもの、 $W 33\text{ cm} \times L \text{ MAX. } 100\text{ m}$ 、曲げ補強用として縦方向の全面に重ね代を設けながら貼付ける)とCFストランド(直径10ミクロン前後の繊維を約1万本束ねて糸状にしたもの、せん断補強並びに温度応力によるコンクリートのひびわれ防止用として横方向2.5~5mm間隔で一定張力をかけながら巻付ける)を用いており、いずれもレジン(エポキシ樹脂接着材)を用いて接着させる。UDテープは補強量に応じて1~数層を貼付けるが、必要補強量(層数)は上述のRs値とOs値を用いて地震時入力加速度をパラメーターとして算出する。

表-1及び写真-2~写真-3に、UDテープ及びCFストランドの物性と外観、図-2に、本工法の補強概念、図-3に、中空円形断面の鉄筋コンクリート部材を用いて行なった曲げ試験結果、図-4に、実機煙突における耐震診断結果をそれぞれ示す。



図-2 炭素繊維による補強概念

表-1 UDテープ及びCFストランドの物性

材 料 名 称	引 張 り 強 度	弾 性 係 数	伸 び
U D テ ー プ	約300Kg/mm ²	約24Ton/mm ²	約1.2%
C F ス ト ラ ン ド	約300Kg/mm ²	約24Ton/mm ²	約1.2%



写真-2 UDテープ



写真-3 CFストランド

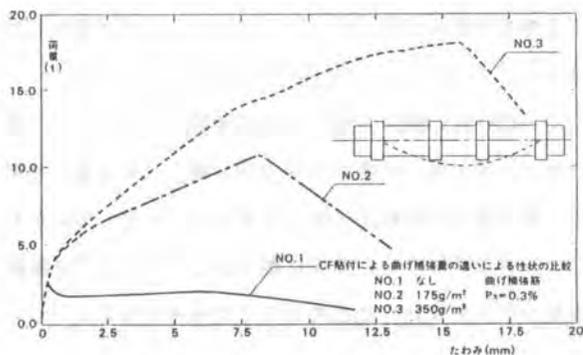


図-3 中空円形断面の曲げ試験結果

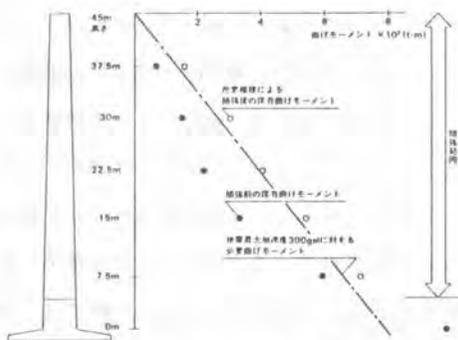


図-4 実機煙突における耐震診断結果

2-3 施工方法

高所での作業のため安全を考慮した施工法並びに合理的な施工法の確立を目標に円形ゴンドラ、UDテープ貼付け装置、CFストランド自動巻付け装置を開発して、可能な限りの機械化及び省力化を試みた。写真-4～写真-5に、円形ゴンドラ及びCFストランド自動巻付け装置の外観を示す。

本工法は、①コンクリート下地調整（コンクリート表面の劣化部分の除去及び凹凸面の不陸調整）、②コンクリート補修（ひびわれや浮きの補修）、③プライマー塗布（補強下地の調整）、④UDテープ貼付け（曲げ補強）、⑤CFストランド巻付け（せん断補強、温度応力の抑制）を施工の基本としており、これに附随して、仮設工事や既存設備の撤去・復旧工事を行なう。

図-5に、本工法の施工要領、図-6に、施工手順のフローを示す。



写真-4 円形ゴンドラ



写真-5 CFストランド自動巻付け装置

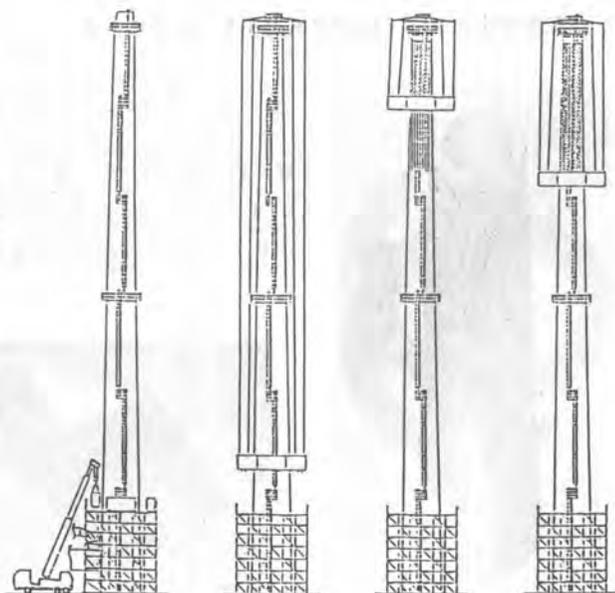


図-5 施工要領

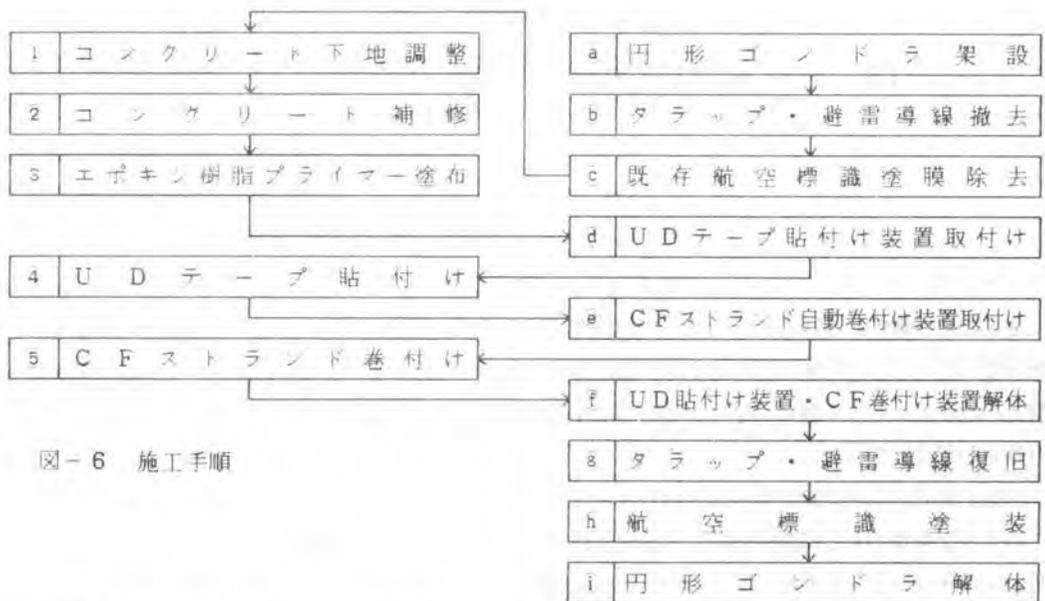


図-6 施工手順

2-4 炭素繊維耐震補強工法の特徴及び施工例

本工法の特徴は以下の通りである。

- ① 煙突重量の増加が従来工法の数十分の1～数百分の1程度とごくわずかなため補強効果大きい
- ② 曲げ補強だけでなくせん断補強や温度応力によるコンクリートのひびわれ防止も可能
- ③ 補強材料が軽量なため大掛りな重機が不要で狭い場所での施工が容易
- ④ 円形ゴンドラの使用により外部足場を全面に設ける必要がない
- ⑤ 煙突通煙中でも補強工事が行なえるため施工時期に制約がない
- ⑥ 補強面がコンクリートの保護層となるため煙突の耐久性向上に大きく寄与する

本工法による補強は、これまでに高さ50m級の煙突に対し5件、高さ100m級の煙突に対し1件の実績がある。写真-6に、円形ゴンドラを用いて行なった100m級煙突の耐震補強工事状況を示す。



写真-6 補強工事状況

3 あとがき

高強度、軽量、優れた耐久性を有する炭素繊維に着目し、一方で、安全並びに合理的な施工を目標に円形ゴンドラ及び自動巻付け装置を開発したことによって本工法の実用化が可能となった。

本工法の適用は、ここに紹介したRC煙突の耐震補強だけでなく、既存建物の柱の補強、土木構造物の橋脚の補強、また、経年劣化した塔状構造物のコンクリートの剥落防止など今後幅広い活用が期待される。

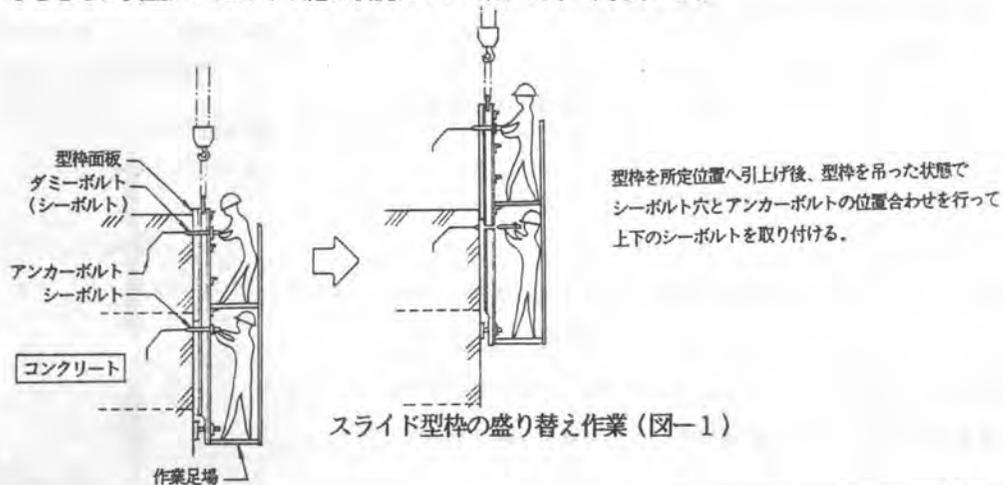
13. ダム用回転上昇式型枠の実用化

清水建設(株)：*小峯 富夫・梶岡 保夫
松田 重好・小田原卓郎

1. まえがき

従来から一般的に使用されているダム用型枠は、スライド型枠と称されるもので型枠と作業足場が一体となっている。この種の型枠の上昇・盛り替えは、図-1の手順で行なわれる。この作業は型枠盛り替えのたびに、地上十数mの足場上での高所作業が避けられず、安全性や作業効率の向上など、作業の自動化が望まれていた。

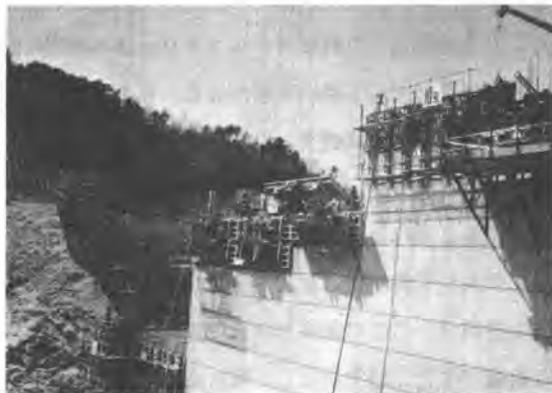
回転上昇式ダム用自動型枠ASFOD (Auto-setting Form for Dam)は、このような背景のもとに開発され、北海道美利河ダムで実施工を伴う性能確認試験を行った後、昨年9月から本年4月まで兵庫県安室ダムの実施工に適用した。本報文ではASFODの構造、機能を紹介するとともに安室ダムにおける施工状況について述べる。(写真-1)



2. 装置の概要

2.1 設計条件

本装置は、作業員が堤体外側に出る作業を無くし、作業の安全を確保することと省人化を基本方針として設計された。

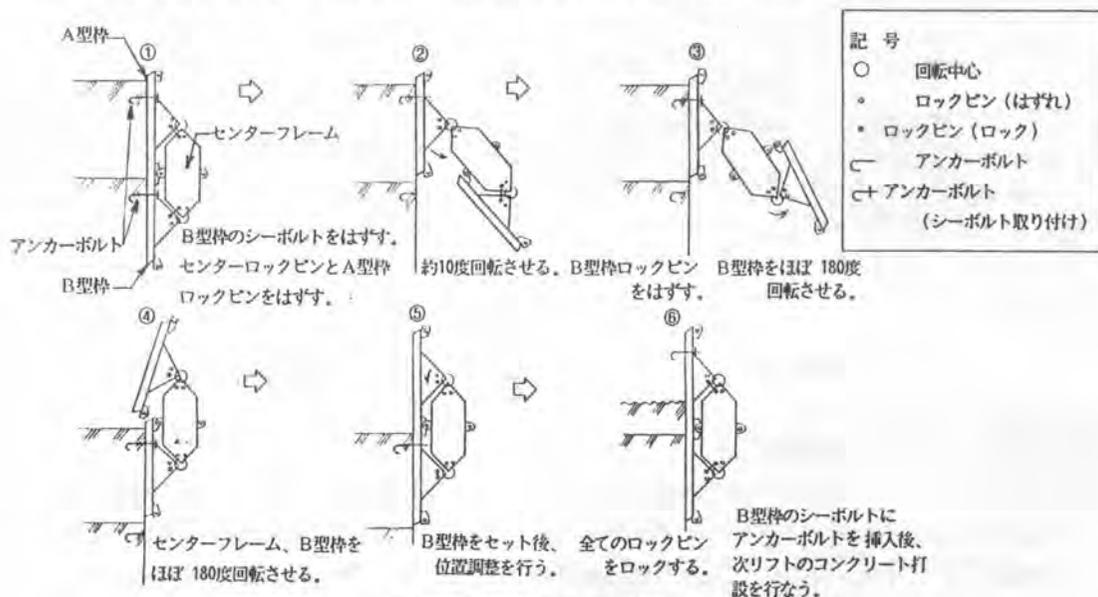


ASFODの回転状況 (左) 従来型枠 (右) (写真-1)

2.2 作動原理

回転式自動型枠の上昇・盛り替えにおける作動原理を図-2に示す。また、この型枠は以下のような長所を有しており、完全自動化に適した機構となっている。

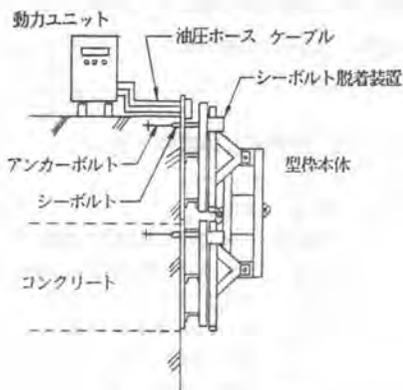
- ① シーボルトは常にはずす方向のみでよい。
- ② 型枠をコンクリート面から引き離すための装置が不要である。
- ③ 型枠のコンクリート面からの引き離しと上昇の二つの動作を連続して行える。



回転式型枠の作動原理 (図-2)

2.3 装置の構成と仕様

本装置は、回転上昇機構と微調整機構を備えた型枠本体および、油圧ユニットと制御盤からなる動力ユニットから構成されている。型枠側とユニット側を油圧ホースおよび電気ケーブルにより接続して型枠の回転上昇を行なう。図-3に装置の構成を、表-1に仕様を示す。



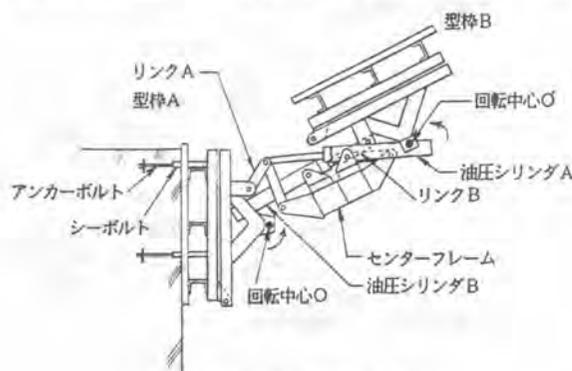
装置の構成 (図-3)

ASFODの仕様 (表-1)

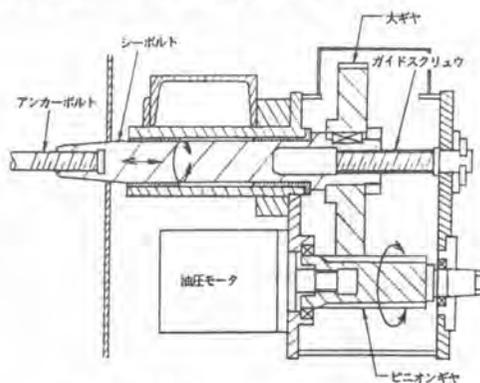
・ 面板	寸法……幅5m×高さ1.5m	2面
・ 装置全体重量	……	5,300 kg
・ アンカーボルト	……φ28	3本/1面
・ シーボルト	……φ60	3本/1面
・ 回転用シリンダ	……φ 125×	4本
・ ロック用シリンダ	……φ 70 × 2φ本	
	φ 63 × 4φ本	
・ シーボルト脱着装置	……	3台/1面
・ 動力ユニット	寸法……幅0.77m × 高さ1.77m × 奥行き1.35m	
	重量……	680kg

2. 4 回転上昇機構

回転機構部分はリンクとシリンダで構成されている。図-4に回転上昇の機構について示す。回転用シリンダAを縮めるとリンク機構によりシリンダの動きを回転力に変え、型枠BとセンターフレームとはO点を中心に回転する。又回転用油圧シリンダBを縮めることにより型枠BはO点を中心に回転する。シリンダA及びシリンダBのロッドが各々ストローク分縮まると型枠Bは回転上昇を終了する。



回転上昇機構 (図-4)



シーボルト自動脱着装置 (図-5)

2. 5 シーボルト自動脱着装置

ダム用型枠は、コンクリート中に埋め込まれたアンカーボルトに型枠側からシーボルトを緊結することにより固定されるため、型枠の上昇・盛り替えにあたって、シーボルトの取り付け・取り外しは不可欠の要素となっている。このシーボルトの脱着を自動化したことで、型枠の全自動化が実現された。

シーボルト自動脱着装置の構成を図-5に示す。この装置には、低速・大トルクの油圧モータを用い、アンカーボルトの角ネジと同ピッチの角ネジを加工したガイドスクリューによりシーボルトを回転後退させ、アンカーボルトからの取り外しを行う。

2. 6 制御装置

制御は油圧と電気のシーケンス制御方式を採用し、誤動作及び誤操作を防止するため、重要工程にはインターロック回路を設けている。運転は、全自動・半自動・手動の3通りのモードで行なうことができる。

3. 施工状況

3. 1 現場概要

安室ダムは、兵庫県西南部に位置し、千種川総合開発事業の一貫として兵庫県が建設中の多目的ダムである。

安室ダムの概要 (表-2)

発注者	: 兵庫県
工事名称	: 千種川開発事業安室ダム建設工事
施工者	: 清水・竹中・神崎特別共同企業体
工期	: 1987.2~1991.3
ダム諸元	: 重力式コンクリートダム
	堤高 50m
	堤頂長 172m
	堤体積 約 9万m ³

3. 2 使用状況

3台の回転上昇式型枠ASFODは、ダムの上流面に据付けられ、昨年9月から7か月間稼働した。この間に各型枠は17回以上の上昇・盛り替え及びコンクリート打設作業を行なった。回転上昇中の状況を写真-2に示す。

3. 3 使用効果

本装置は、据付け後1～2回の技術指導を行った後、型枠大工さんにより操作された。15mのブロック長さ（ASFOD3台）の型枠上昇・盛り替え、調整セットを作業員2名で約1.5時間で行なうことができた。従来型枠の場合は作業員5名で約3時間かかっている。また、作業はすべて堤体内で行なうため極めて安全である。

3. 4 問題点

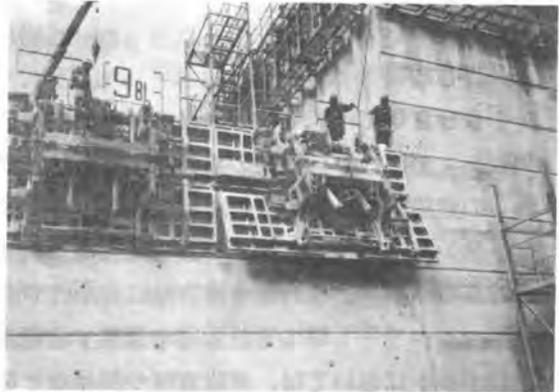
今回の安室ダムでの長期使用から、装置の基本部分には、特に問題は発生しなかった。しかし、周辺部分に関し、使用中既に解決されているものも含め以下のような幾つかの問題点も発生した。

- ① 打ち継ぎ面木と型枠の剥離
- ② リミットスイッチへの浸水と氷結
- ③ セメントペースト等の堆積

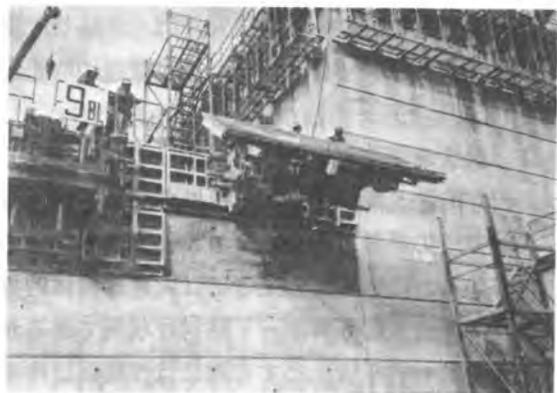
4. あとがき

今回の使用結果から、作業の安全面、省人化面での効果および長期使用時の耐久性を実証することができた。現在、上記問題点の解決及び一部構造部材の見直し等をねらいとした改良実験に取り組みながら、次のダム現場に適用する準備を進めている。

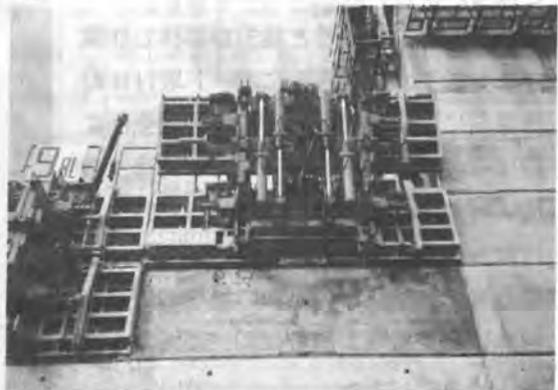
①



②



③



ASFOD回転上昇の状況（写真-2）

14. 天井ボード貼りロボットの開発

清水建設(株)：*阿部 愛和・前田純一郎
近藤 弘司・稲田 勝博

1. はじめに

1982年に世界で初の建設ロボットSSR-1(耐火被覆吹付ロボット)が開発されて以来現在までに30数機種の建設ロボットや自動化システムが提案されてきている。しかし、これらの建設ロボットのほとんどは、1)外壁塗装材や耐火被覆材の吹付けを行なう吹付ロボット、2)床左官仕上、床ケレン等を行なう表面処理ロボット、3)タイル剝離等の検知を行なう検査ロボット、4)鉄骨建方時に安全性や全体の稼働率を上げるための組立補助ロボット、5)コンクリート等の建設資材を運搬する搬送ロボット、のいずれかに分類され、これらの建設ロボットにおいては、建設資材や部品などを移動させ位置決めし組み立てるという一連のシステムの機能を持ったものはほとんどみあたらない。本報告では建築内装工事のなかでも物量・繰り返し数ともに多い天井ボード貼り作業をテーマに従来の建設ロボットにはなかった固形部材のハンドリングという技術課題に取り組んだ開発事例を紹介する。

2. 現状の天井ボード貼り工事

天井内装工事で使用される標準的な下地用石膏ボードの寸法は長さ1820mm、幅910mm、厚さ9mmでその重量は約15Kgあり、作業効率向上のために人間が取り扱える限度近くまで大きくなっている。このため作業には大きな肉体的負担がかかり肩や腰を痛めることになりかねない。写真1は従来の天井ボード貼付け状況であるが一人作業となることも多く、数本のビス打ちによってボードを仮止めする際には作業員は片手と頭でボードを支えもう片方の手でビスを打つという作業姿勢になるため相当な重労働となる。また、連続作業には限界があり長時間作業を続けると疲労が蓄積し作業能率も低下する。さらにボード取付けの作業前には作業用仮設足場を部屋全面に設ける必要があり、時間的にも労務工数的にも大きな負担となっている。我々が行なった在来作業の時間測定によると下地石膏ボード貼りのための足場の組立・解体に要する時間割合は30~35%にも達している。



写真1 従来の作業状況

3. ロボットの作業対象範囲

開発の第一ステップとしてロボットの対象とする作業工程は、鋼製下地（軽量鉄骨）が施工された後の下地石膏ボード貼りとした。前工程である軽量鉄骨はすでに施工されているものとし、作業に使用するボードは現場内の仮設リフト等により揚重され各フロアの所定の場所に仮置きされているものとする。また、自動サイクルによる作業は、照明器具や空調設備の取付けのための切欠きのない標準ボードの貼付けを前提とした。ただし、切欠きのある役物部分については施工サイクルの一部を手動にするかあるいは標準ボードを取付けた後で切欠くことで対応できるものとする。

4. 天井ボード貼りロボットCFR-1の構成

ロボットの概要構成図と主要仕様を、それぞれ図1、表1に示す。天井ボード貼りロボットの基本的構成は、①ボードホルダ・昇降スライダアーム・XYテーブルをもつロボット本体、②駆動機構・操舵機構をもつ走行装置、③ボードを20枚搭載できるボードキャリアと④これらをコントロールする制御装置からなる。

ロボット本体とボードを搭載するキャリアは必要に応じて分離・結合できるようになっており、ボード補給時はキャリアを利用してフロア内の小運搬を行なう。ボードホルダの取付け部にはフローティング機構と称している弾力的なボードの位置決め調整機構が設けてありボードを損傷させることなく位置決めが可能である。また走行機構はリンクで結合された左右の走行輪が前後2組、その操舵機構、および走行駆動機構より成り立っている。操舵機構はいわゆる四輪操舵機構で操舵モードを選択することによって方向を変えずに移動したり旋回半径を小さくしたり自動車方式で運転することができる。

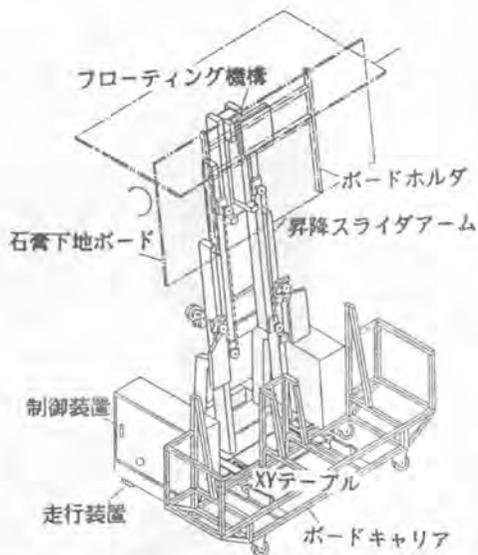


図1 CFR-1概要図

表1 CFR-1仕様表

外 観 寸 法	本 体	L 1600 × W 700 × H 1830
	走行機構	WB 1100 × TD 600
	キャリア	L 1900 × W 500 × H 1130
	作業足場	L 2000 × W 950 × H 785
重 量	本体自重	510 Kg(※-トキャリア共)
	積載重量	300 Kg(※-ト20枚)
性 能	施工高さ	最 低：2500 最 高：3100
	作業時間	取付け：約 40秒 復 帰：約 30秒
	走行速度	低 速：3 m/min 高 速：30 m/min
駆 動 源	AC 100 V(商用電源)	
作業能率	20 ~ 25 枚/時間	

5. CFR-1による施工手順

CFR-1を導入して行なう下地石膏ボード貼り作業の施工手順は概略以下ようになる。

- ① ボードを資材の仮置場からキャリアに積んで運搬する。(手作業)
- ② ロボット本体にキャリアを結合する。(手作業)
- ③ ロボットを初期位置まで移動させる。(マニュアル操作)
- ④ 作業足場の上に載った作業員によってスタート指令が与えられ、ロボットはホルダー部でキャリアよりボードを一枚取り出す。
- ⑤ ボードをほぼ垂直に把持したまま持ち上げる。
- ⑥ 所定の位置まで持ち上げたボードを天井面と水平になるように約90° 旋回させる。
- ⑦ ボードを天井面(軽鉄下地)まで上昇させて停止し高さ方向の位置を決める。
- ⑧ XYテーブルを作動させ天井面で平面的な位置決めを行なう。
- ⑨ 位置決め終了の合図を出し⑧の状態を保持する。
- ⑩ 足場上に載った作業員が数本のビスを打ちボードを仮止めする。(手作業)
- ⑪ 初期位置復帰指令により各駆動装置が原点へ復帰すると同時に1パス走行指令も起動しロボットは低速で走行を開始する。
- ⑫ ロボットの走行と平行して作業員がビス打ちを行なう。(手作業)
- ⑬ ビス打ち作業が終了した時点で1パス走行指令を与えると、装置が次のボード取付け位置まで走行する。

以後④より同じサイクルを繰り返すというのが一般的作業手順である。ロボットと作業者の協調作業ということになるが、これは第一段階として完全無人化ロボットシステムを考えるのは非現実的であることやビス打ち作業は作業者にとってさほど負担は大きくないと考えられること、また熟練作業員と同等以上の速さでビスを自動的に供給する工具が現状では得られないこと、さらに工具先端を軽量鉄骨下地の変化に合わせて自動的に位置決めする機構を設けることはいたずらに装置の重装備化をまねくという考えに基づいている。

6. 現場施工

CFR-1を使用した建築現場での施工状況を写真2に示す。CFR-1は、まだ開発段階であり必ずしも十分な現場施工データは得られていないが、現在確認できている事項について以下に記す。

- ① 本体とキャリアの分離の他に、本体も昇降スライダアーム、作業足場、走行機構ボードホルダなどへ分割が可能であるため分割したモジュールをリフトに搭載して搬入するのに要する時間は二人で約30分程度で済み、組立も約30分で可能である。

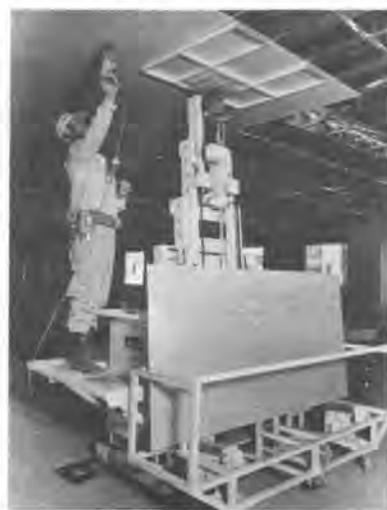


写真2 CFR-1による施工状況

- ② 従来1枚のボード貼りに3～4分を要していたのが、平均2分30秒程度で済み作業効率が向上する。
- ③ 約15kgのボードを長時間繰り返して頭上に支える作業がなくなり、作業者の労働負荷が大幅に低減できる。
- ④ 全面作業足場が不要となるため足場の組立解体に要する手間と時間が削減できる。
- ⑤ フローティング機構によりボードに無理な力を加えたり傷つけたりすることもなく、所定の位置に正確に位置決めできる。熟練工と変らぬ仕上りで施工できる。
- ⑥ 段取替作業として施工地点間の移動、ボードの補充作業がありいずれも作業員一人で10分以内で可能である。また上下階の盛替は作業員二人で1時間程度で可能である。
- ⑦ 現場導入時に最も問題となるのはロボットの走行のためのスペース確保である。現場内の床上にはこれから貼るべきボードや仮設材、他職種の材料・道具などがあり、脚立作業のようにそれらを乗り越えて足場を組むということができない。また床面からの電気設備の配管の立ち上りもロボット導入の際に障害となることがある。

7. 今後の課題

現場への普及をより促進させるために次のような改善・改良を進めている。

- ① 装置を現在より小型・軽量化して本設のエレベータにも乗せられるようにし、現場への搬出入・上下階の移設をより容易にする。
- ② 作業サイクルの手順を変え、仮止め終了後の本締め作業とロボットの走行を平行作業とし、サイクルタイムの向上を図る。
- ③ ボードホルダ部、キャリアなどの改造により化粧石膏ボードの仕上貼りにも使えるようにし装置の稼働率を向上させる。
- ④ ロボットのハンドリング装置や材料供給機構をモジュール化することで壁のボード貼りの可能性を検討する。
- ⑤ 省人化という観点から、自動ビス止め機構やビス供給システムおよびそれらの制御方法を検討し労務の省力化を図る。

8. おわりに

ここに紹介したCFR-1はまだ研究開発の段階であり現状では実用機のレベルには至っていない。しかし、天井ボード貼り作業をロボット化することには十分ニーズがあり、また今回試作のロボットの基本的構成でそれが可能であることが確認できた。今後こまかな改善改良を繰り返しより実用的なものとしていきたい。

15. セグメント自動搬送システム

清水建設㈱：菊池 雄一・鈴木 康正

*宮沢 和夫・佐藤 等

1. まえがき

都市への人口、情報の集中によって都市は拡大の一途を辿っており、それに伴い都市施設の整備が要求されている。さらに、都市はその機能が巨大化するにつれ、その活動範囲が平面から上空または地下へと立体化され、都市空間の有効利用が都市機能の確保と維持のために極めて重要になってきている。

都市におけるトンネル工事は、トンネルの深層化と都市生活に与える工事の影響を最小限にするという社会的な要請からシールド工法が主流になってきており、そして、シールド工法は、ニューフロンティアとしての大深度地下開発の分野で、道路・鉄道・ガス・電力・上下水道などライフラインの地下空間を構築する技術として、ますます重要性を増す傾向にある。

一方、最近の労働環境は、若年層の建設工事ばなれによる労働力不足や熟練労働者の高齢化など深刻な問題を抱えている。このような背景から、シールド工事においても自動化、ロボット化による生産性の向上や、労働環境の改善が求められている。

本開発は、このような背景をもとに、シールド工事におけるセグメントを、地上のストックヤードから立坑および坑内を経由して、シールド機のエレクターに至るまでの一連の搬送作業を自動化、無人化したものである。

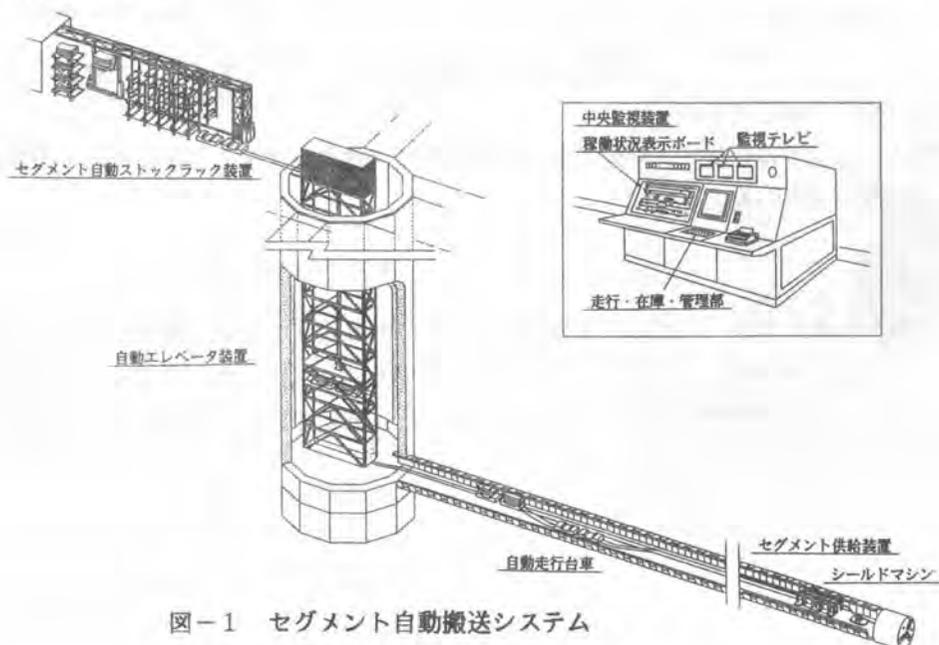


図-1 セグメント自動搬送システム

2. システムの構成

本システムは、地上でセグメントの保管・管理および出庫作業を行う立体形式のセグメント自動ストックラック装置、立坑内の垂直移動を行う自動エレベータ装置、坑内を運ばれてきたセグメントを台車から受けとり1ピースづつエレクターに供給するセグメント供給装置、そして、地上のセグメントを立坑および坑内を通してシールドマシン後方のセグメント供給装置までレール上を走行する2両連結の自動走行台車からなり、さらに、これらの装置全体を監視コントロールする中央監視装置から構成されている。(図-1参照)

以下、各装置について概略を述べる。

2.1 セグメント自動ストックラック装置 (図-2参照)

自動倉庫をベースに考案。2行、10列、4層の80ラック分の収納が可能であり、1ラック内に収納できる重量は3tである。通常は2ラック分でセグメント1リングを構成する。行間中央には、3段突出機構のフォークを有するスタッカークレーンが位置し、中央監視装置からの指令で昇降・走行および特定のセグメントの積み卸しを行う。

自動ストックラック装置へのセグメントの入庫は、地上作業員が入庫台車に積込んで行うが、入庫途中でセグメントの荷姿を自動的にチェックしており、許容寸法外の場合は積込位置に戻される。

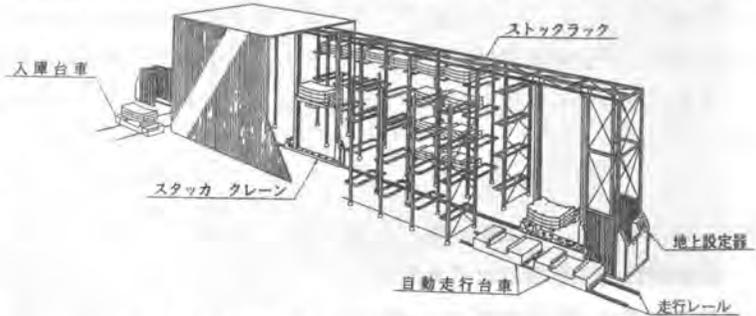


図-2 セグメント自動ストックラック装置

従来の平面的なストック方法と異なり、多層階にストックできるため地上の敷地面積を大巾に縮小できる。

2.2 自動走行台車 (図-3, 写真-1参照)

自動走行台車は、地上および坑内ともレール走行し、立坑部では自動エレベータで垂直搬送される。1リング分のセグメントを同時に運搬するため、2両連結運転となるが、単独運転も可能である。発進・停止、前進・後進、加速・減速の機能を有しており、中央監視装置からの指令によりコントロールされる。走行速度は6km/hr、3.6km/hr、2km/hr、0.6km/hrの高・中・底・微速の4速に切替が可能である。

また、走行台車は全行程無人運転となるため、各種の安全対策上必要な機器・装置を備えている。例えば、自動運転表示灯、発進・走行・異常警報、非常停止

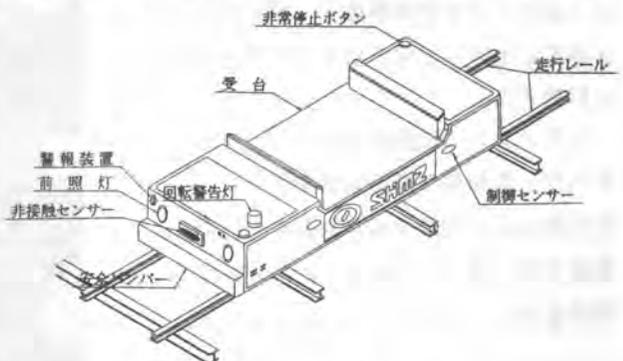


図-3 自動走行台車

ボタン、走行方向障害物検出装置（非接触センサー）、安全バンパー、荷崩れ検知装置などである。

さらに、走行台車はセグメント運搬の他に、配管材・レールなどの資材の運搬も行えるようになっており、動力源として搭載されているバッテリーの走行距離は、1回の充電で片道2kmを4往復以上走行することが可能である。

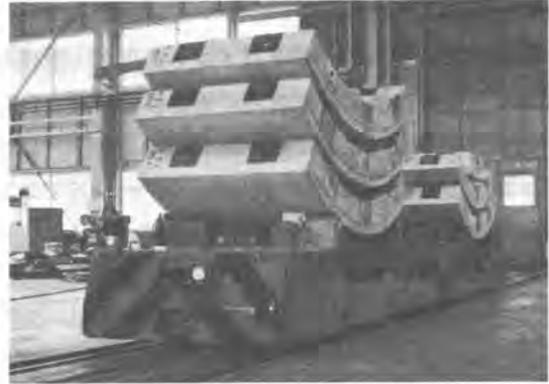


写真-1 自動走行台車

2.3 自動エレベータ装置

扉の開閉、荷台の昇降動作は自動走行台車の現在位置を認識して、中央監視装置からの指令により自動的にコントロールされる。さらに、停止精度を保つための荷台固定装置、落下防止装置、荷台内部の走行台車固定装置、エレベータと躯体の隙間を埋める渡りレール装置などを備えている。

また、エレベータはセグメントだけでなく、自動走行台車に載荷した一般の資材の昇降にも利用する。

2.4 セグメント供給装置

自動走行台車で運ばれてきた1リング分のセグメントをセグメントリフターのフォークを用いて台車から持ち上げ、台車を後退（次のセグメントまたは資材搬入のため）させてからフォーク上に仮置きする。その後、ホイストを用いて1ピースづつシールドマシンのエレクター直下へ運搬する。セグメントはホイストでの移動中、組立方向に向くよう90°回転させてエレクターに供給する。

セグメントの把持はボルトボックスを利用した特殊な把持装置を用い、走行台車からの荷受からエレクターへの供給までリモートコントロール方式を採用する。

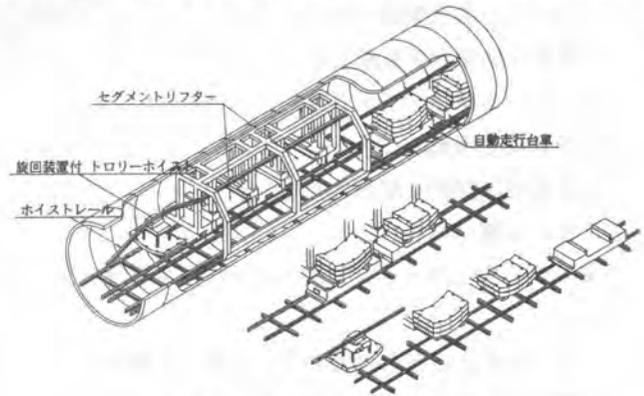


図-4 セグメント供給装置



写真-2 セグメント供給装置

(図-4, 写真-2 参照)

2.5 中央監視装置

中央監視装置は、自動ストックラック装置、自動走行台車、自動エレベータ装置およびレールポイントの制御を行う。そして、監視装置にはシステム全体の運転状況を表示するグラフィックパネルが設けられ、オペレータは走行台車の管理をワンマンで行うことができる。

一方、中央監視装置に設けたパソコンにより、自動ストックラックのセグメントの入出庫管理も自動的に行う。

中央監視装置と自動走行台車間の指令およびデータの受け渡しは、各固定ポイントに設置した光指令装置と台車上の投受光器間を光伝播により行われる。また、各々の光指令装置は中央監視装置と光通信ケーブルによりLAN（ローカルエリアネットワーク）で結ばれている。



図-5 中央監視装置



写真-3 投受光器

3. 本システム採用効果について

地上でのクレーンオペレータ、バッテリー車の運転手、セグメントをエレクターへ供給する作業員などの大巾な省力化が可能であり、さらに従来、作業員が行っていた積み込み、積み替え作業がなくなるので安全性が飛躍的に向上する。

一方、地上のセグメントストックヤードは従来の平面置きからストックラックを利用した多層立体方式になるため、ヤード面積の大巾な節減が可能で市街地での施工にも好都合となる。また、ストックラックの使用により、セグメントの入出庫管理が中央のパソコンで容易に行え、現場の施工管理の省力化に寄与できる。

4. あとがき

本システムの開発は、地上のセグメントストックヤードから立坑を経由して、シールドマシンのエレクター装置までのセグメント運搬を一連の搬送システムとしてとらえ、自動化、無人化したものである。深刻化する労働力不足に対処する一方策として考案開発されたものであるが、今後は、セグメントの自動組立、掘削と泥水管理などシールド工事全体のCIM（Computer Integrated Manufacturing）をはかり、生産性の向上に寄与していく所存である。

16. セグメント自動組立システム(SABIS)の開発

(株)間組：園田 徹士・*配野 均

日本鋼管(株)：松下 利幸・村野 健一

1. まえがき

最近、地下空間の有効活用に関する種々の構想が検討されており、シールドが大断面化する傾向にある。大断面シールドでは一次覆工であるセグメントは大型化・重量化するため、これを安全に効率良く、かつ高精度で組立てる自動化技術が必要になっている。また、間組ではシールド工事の総合的な自動化・合理化を目指し、統合型シールド自動掘進管理システムの開発を進めており、そのサブシステムとしてもセグメント自動組立技術が必要とされている。

このような背景から、間組とNKKとによりセグメント自動組立システムについての共同開発を進め、現在施工用の実機を製作し、工場における組立実験段階におよんでいる。本報告はこの実機システムの概要および実証実験について紹介するものである。

2. 自動組立システムの概要

(1) システム構成

実機システムの全体図を図-1に示す。本システムは、外径7.3mのRCセグメントを台車から把持してエレクタに供給し、エレクタにより所定の位置にセグメントを位置決めした後、ボルト・ナット供給締結を行いセグメントを組立てるものであり、「セグメント搬送供給」、「セグメント位置決め組立」、「ボルト・ナット供給締結」の3つのシステムとこれらを制御する「制御システム」から構成される。

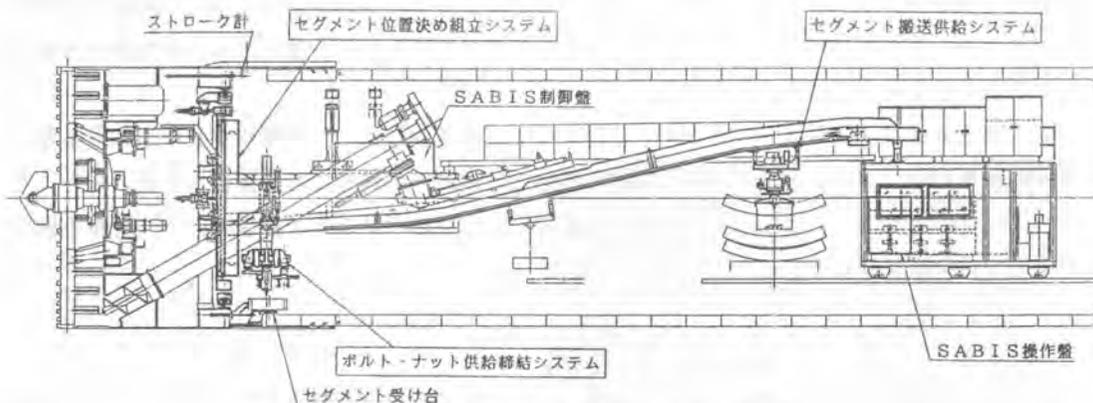


図-1 φ7.3mセグメント自動組立システム全体図

(2) エレクタ構造

図-2に位置決め組立システムである実機のエレクタ構造を示す。既設セグメントとシールド機との位

置関係は各リングごとに異なるため、セグメント組立てには6自由度の制御が必要である。本機のエレクタは、エレクタ旋回面を既設セグメントの接合面と平行にする機構を有しているため、あらかじめ組立セグメントのヨーイング、ピッチングの姿勢制御を行うことができる。また、エレクタはシールド機にスライドピンで支持しているため、シールド本体の変形の影響を受けない構造である。

(3) セグメント把持装置

セグメント把持装置はRCセグメントのグラウトホールのメネジ部を利用して把持できるものであり、把持用のオネジ部は±5mmの穴位置ずれを許容できる揺動構造としている。

(4) ボルト・ナット供給締結装置

締結装置は台数減少とボルト・ナット自動供給を考慮して、エレクタビームに設けたガイドレールに沿って走行する方式とした。切羽側と坑内側に各2台を装備しピース間、リング間の締結を行う。また、ボルト・ナット供給装置はガイドレールの両端部に各締結装置に対応して設置してある。

3. 位置決め制御

(1) 制御システム

制御システムの構成を図-3に示す。マイコンによるシステムの総合監視および指令、3台のプログラマブル・シーケンサによる搬送機制御、エレクタ位置決め制御、ボルト・ナット供給締結制御を行っている。

(2) 自動組立準備

シールド機のローリングを傾斜計で、既設セグメントの接合面までの距離を3台のストローク計により計測し、シールド機に対する既設セグメントの傾斜角度を演算する。これに基づいてエレクタ旋回り

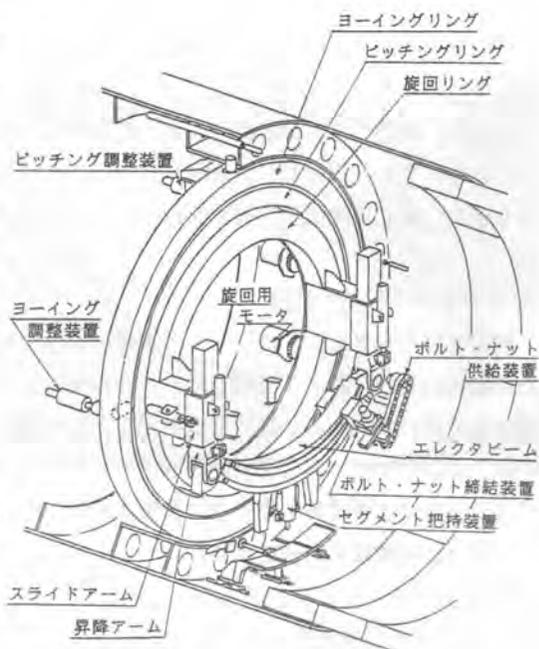


図-2 エレクタ構造図

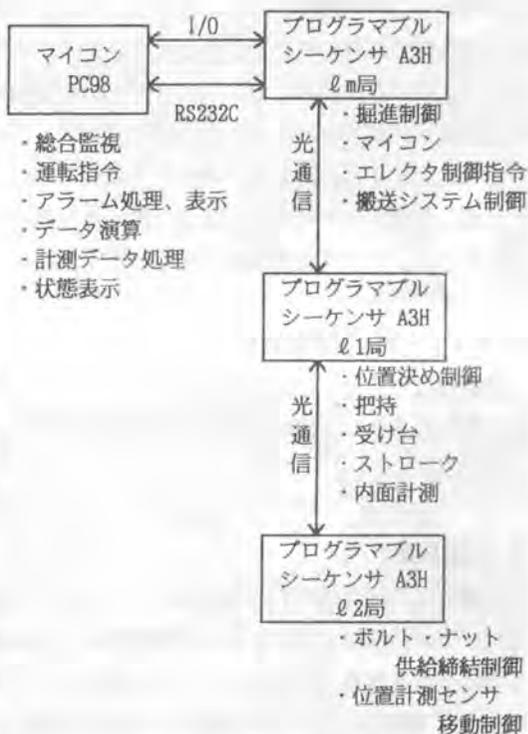


図-3 制御システム構成

ングのヨーイング、ピッチング角度を制御して接合面に平行にする。エレクタに取付けられた距離センサにより、既設セグメントの内面までの距離を計測して、エレクタと既設セグメントリングの中心ずれ量を求め、組立目標位置の補正を行う。

(3) セグメント供給・把持

供給されたセグメントはシールド本体に装備された可動式の受け台により機械的にトンネル軸方向の所定の位置に置かれる。把持装置の周方向の位置決めは、エレクタビームの切羽側に取付けられたレーザ式変位計によりボルトボックス位置を検知して行う。図-4に位置決め方法を示す。

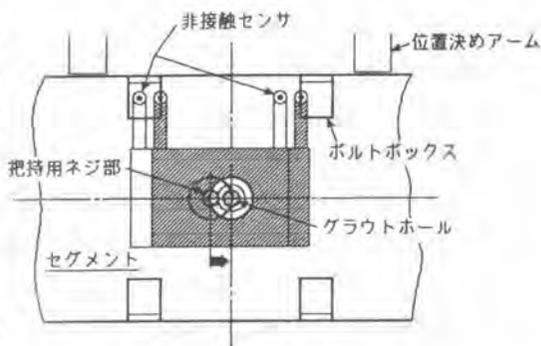


図-4 把持位置決め方法

(4) セグメント位置決め

セグメントの位置決めは、計測誤差あるいは機械的な誤差を考慮して、1次位置決め（粗位置決め）、2次位置決め（精密位置決め）を行う。前者は補正した目標位置に数値制御で位置決めするものであり、後者は1次位置決め後、ボルト・ナット締結装置に取付けたレーザ式変位計により既設セグメントの接合面と内面までの距離およびボルトボックスの位置を計測し位置決めするものである。図-5に位置決め方法を示す。レーザ式変位計を写真-1に示す。

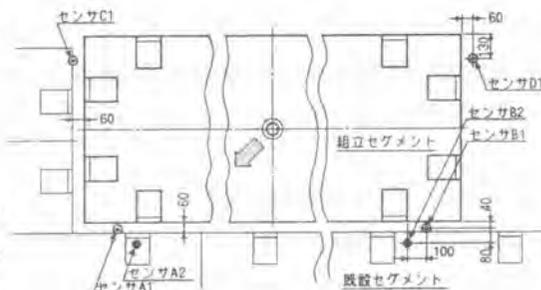


図-5 組立位置決め方法

(5) ボルト・ナット供給締結

締結機はガイドレール両端部のボルト・ナット供給位置を原点とし、締結位置決め動作は数値制御により行う。

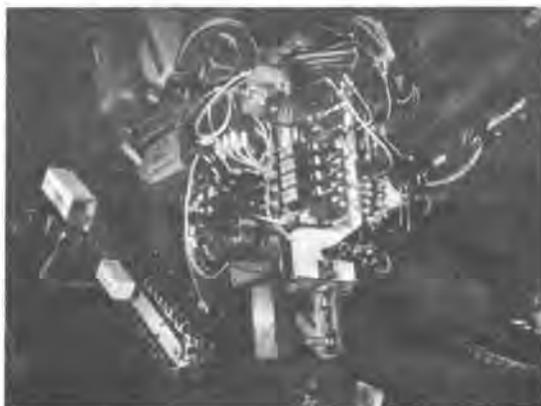


写真-1 締結装置に取付けられたレーザ変位計

4. 実証実験

工場実証実験は外径7.45mの加泥式シールドに搭載する実機自動組立システムの制御機器および制御プログラムの調整、各システムの機能確認、自動組立実証試験を目的に実施しているものである。実験装置の全景を写真-2に示す。シールド機のリングガーダ、テール部を模擬した実験用架台に本装置を設置して、実際のセグメントを使用して組立実験を行っている。セグメント（写真-3に示す。）は位置決め精度を確保するためエレクタに正確に把持できるように、グラウトホールの位置精度を $\pm 0.5\text{mm}$ とし、

把持位置決め用の突起を設けるなどの若干の改造を行った。

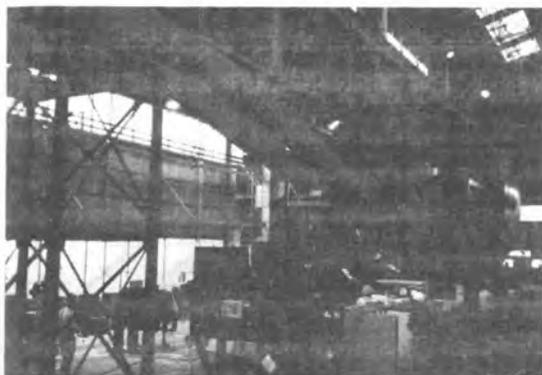


写真-2 実験装置全景

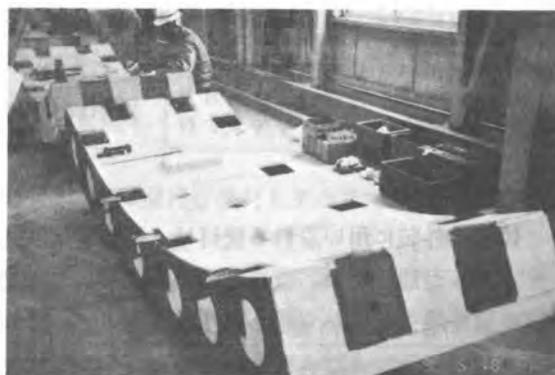


写真-3 セグメントピース

組立状況を写真-4,5,6に示す。1リング組立時間は約60分である。なお、組立時間については組立効率向上のため、今後実験を繰返しさらに短縮していきたいと考えている。

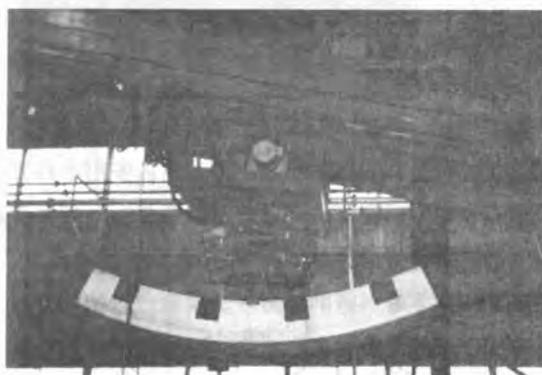


写真-4 セグメント搬送状況



写真-5 セグメント把持状況

5. あとがき

以上述べてきた自動組立システムは $\phi 7.45\text{m}$ のシールド機に搭載して、今春から共同溝の現場にて稼働する予定であり、その結果については次の機会に紹介したいと考えている。

今後は実機の現場実証の結果を踏まえて実用化を進め、さらに機能の高度化、安定化の技術確立を図り、シールド施工の総合的な合理化を推進する一助としたいと考えている。

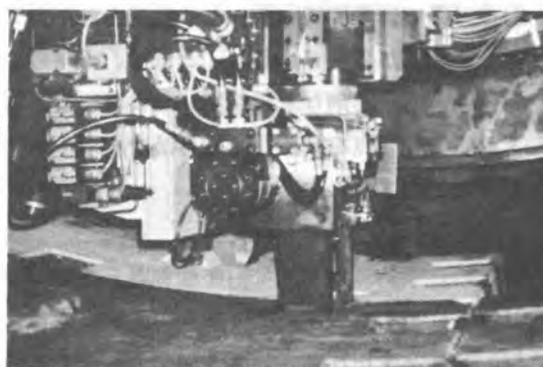


写真-6 ボルト・ナット締結状況

17. 外装塗膜自動剝離機の開発

(株)竹中工務店：*星野 春夫・萩原 忠治
佐藤 秀雄・大沼 悟
鈴木 昭夫

1. はじめに

建物の外装に用いられる塗材は、建物本体に比べてライフサイクルが短いため、改修の頻度が高い。外装塗材の改修は、旧塗膜を除去してから新しい塗膜を施工するのが原則であるが、この旧塗膜の除去作業は労働環境も悪く多くの工数が割かれている。昭和40年代の建築ブームに竣工した建物の改修の需要がピークを迎えているが、昨今の労務事情を考えるとこの作業の省力化は重要な課題となっている。

今回、現状の化学的・物理的な旧塗膜剝離工法の中で省力化の手段として超高压ウォータージェットに着目し、WJを利用した外装塗膜自動剝離機(写真-1)を開発したので以下にその概要について述べる。



写真-1 外装塗膜自動剝離機

2. 開発の背景

外壁仕上げ材の中で、塗材は安価で種類が多く施工性にも優れていることから非常に多用されている。その反面、耐用年数が10~20年と比較的短く改修の頻度が高いことも特徴の一つである。また、昭和40年代の建設ブームに竣工した建物の改修需要がピークを迎えてきている。

外装塗材の改修は、旧塗膜を除去してから新しい塗装を行うのが原則であり、現在一般的な外装塗材の剝離工法は、ディスクサンダーでかきおとす方法、剝離材を塗布して軟化させて剥き取る方法、手持ちのウォータージェットガンにより切り刻んで落とす方法等が用いられている。これらの工法には以下のような共通する問題点がある。

- ①重労働で作業環境も悪いため敬遠されがちであり、技能者が不足している。
- ②作業能率が $2\sim 5\text{ m}^2/\text{h}$ と低く、工事の全体工程に与える影響が大きい。
- ③粉塵、水、薬剤などの飛散、および騒音、振動など工事公害として周辺に与える影響が大きい。

これらの問題点を解決して、外装塗材の剝離作業を効率よく実施するために、機械化、自動化の必要性が認識された。

3. 開発目標

現状の化学的・物理的な旧塗膜剝離工法の中でも優れた特質を有すると思われる超高压ウォータージェット(以下、WJ)を使用し各種条件による剝離実験を行い、その特性を把握するとともに自動剝離機の実用化の可能性を確認した。その検討結果と、過去20年間の自社施工建物の形態および環境条件の調査に基づいて、自動剝離機の開発目標を以下のように設定した。

- (1) 旧塗膜の下地はコンクリートまたはモルタルとする。
- (2) 旧塗材の種類は表-1に示すものとする。
- (3) 施工対象外壁は平滑で大きな凹凸のない垂直面とする。
- (4) 窓は外壁面より30mm以上引込んでいるものとする。
- (5) 窓部の安全性を確保するために窓面上ではWJは噴射しないものとする。
- (6) 剝離面の状況は完全剝離を前提とし、その処理速度は薄付け塗材Eクラスで $35\text{ m}^2/\text{h}$ 、複層塗材REクラスで $15\text{ m}^2/\text{h}$ を目標とする。
- (7) 稼働時オペレーターは1人とする。
- (8) 排水、剝離屑の周辺への飛散を防止する。

4. 外装塗膜自動剝離機の概要

開発目標に基づいて、ノズルおよびバルブに関する1部の装置については確認実験を行い1

表-1 旧塗材の種類

I	薄付け塗材 E (アクリルリシン)
II	複層塗材 E (アクリルタイル)
III	複層塗材 RE (エポキシエマルジョン)
IV	伸張形単層塗材 (アクリルゴム系)
V	伸張形単層塗材 (アクリル樹脂)
VI	マスティック (マスティックA)

表-2 主な仕様

項目	仕様
最大寸法	縦3010mm×横4280mm×奥行900mm
本体重量	1300kg
剝離面積	縦2000mm×横2400mm
ノズル移動速度	0.6~7m/min
剝離能力	(理論最大)約50m ² /h
WJ仕様	圧力1500kgf/cm ² 流量20ℓ/min

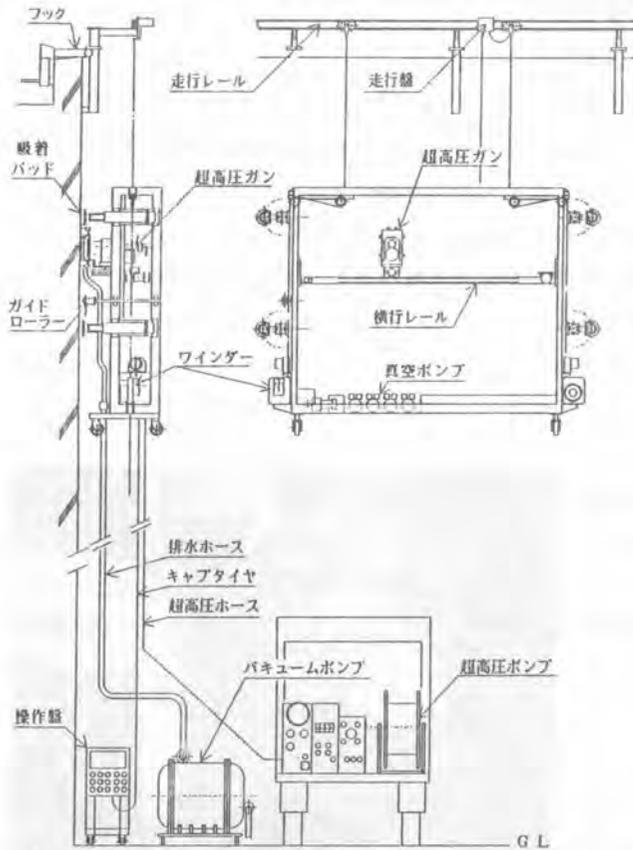


図-1 外装塗膜自動剝離機の全体構成

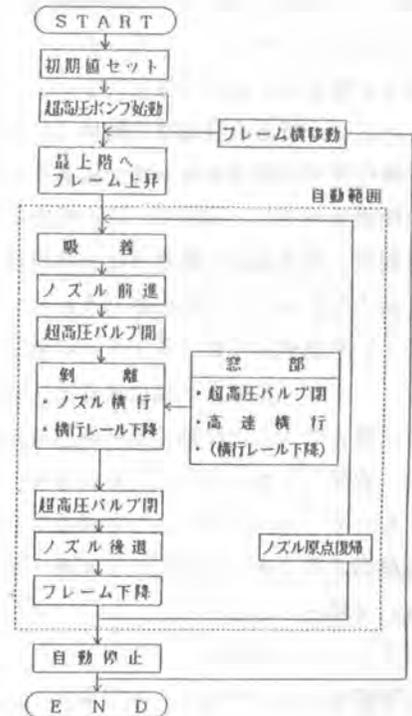


図-2 運転制御フロー

号機を設計製作した。その全体構成を図-1、主な仕様を表-2、運転制御フローを図-2に示す。

必要な初期条件をセットして、手動により最上階の剥離開始位置まで移動させた後自動運転に切り換えることで、その列の終了位置まで自動で剥離する。手動による横移動を含めてこれらの動作を繰り返すことで壁面全体の塗膜を剥離することができる。また、装置本体は分解することなく低床式トラック（4t）で運搬が可能である。

5. 外装塗膜自動剥離機の特徴

本装置の主な特徴を以下に示す。

(1) 装置の移動方式および寸法

WJノズルは、縦横に移動する直交座標形のアームに取り付けられ、装置フレーム内でS字状に壁面を走査する。その走査が終わると、装置本体が走査高さ分下降して、順次剥離を行うというバッチ方式をとっている。1バッチの走査面積は、幅2.4m×高さ2mである。

(2) 壁面への固着機能

下降した装置本体は、架装している吸着盤と真空ポンプにより壁面に吸着し固定される。装置本体が固定された後、高圧水が噴射されノズルが壁面を走査し始める。

(3) 壁面および窓部検出方法

ノズルと壁面の間隔は手動により初期設定され、剥離作業中は超音波センサーによりノズルと壁面の距離を検出し、間隔が一定の範囲に保持される。窓部はノズル周辺に取り付けられた8個のリミットスイッチによって検出される。

(4) 窓部周辺におけるノズルの動き

ノズルは、窓部上下端に来ると、窓を回避する位置まで上下に移動して剥離作業を行う。また、窓部上下端以外では、窓を検出するとWJを止めて窓面上を早送りで通過し、窓終端部を検出するとWJを噴射して剥離作業を再開する。（図-3、図-4）

(5) ノズルの形状

写真-2にノズルヘッド部を示す。横4列、縦12列計48穴のノズルを有する、幅60mm×高さ200mmの長方形ノズルヘッドが剥

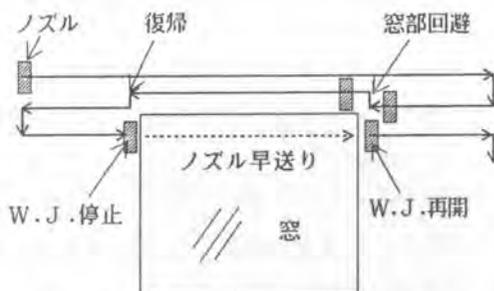


図-3 窓部のノズルヘッドの動き

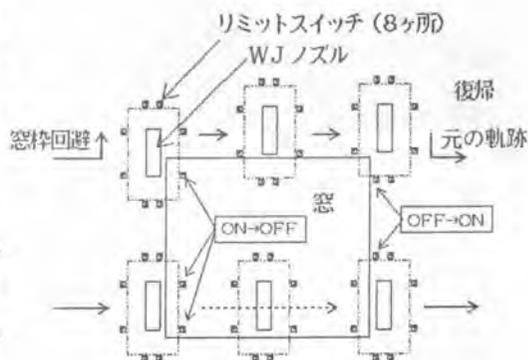


図-4 窓部回避の方法

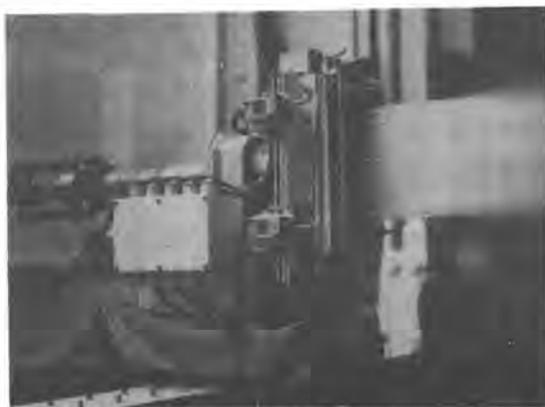


写真-2 ノズルヘッド

離時には直径15mm、回転数2000rpmの揺動回転を行う。

6. 試験施工

表-3 試験施工結果

オフィスビルと集合住宅の実際の剥離工事で試験施工を行ったので、その概要について以下に述べる。試験施工の結果を表-3に示す。下記

試験対象	塗膜種類	下地種類	施工面積	処理速度
オフィスビル	ケミカルステイン	コンクリート	300m ²	38.4m ² /h
集合住宅	アクリリシン2層	モルタル	160m ²	19.2m ² /h

2例の試験条件は水圧力1500kgf/cm²、吐出水量20ℓ/min、ノズルヘッド移動速度5.5m/minおよび1バッチ処理面積2.3m(W)×1.6m(H)=3.7m²とした。処理速度は1バッチ面積と装置本体のバッチ移動時間を含めたサイクルタイムから求めた。

(1) オフィスビル

塗材はコンクリート面に浸透しアルカリ分と反応して発色するタイプで、再塗装の下地を形成するにはコンクリートを1.5mm～2.0mm削り取る必要があった。上記条件での試験の結果、表-6に示す高い処理速度で完全に剥離し、また均一で良好な下地面が得られた。

(2) 集合住宅

塗材はアルカリリシンで、改修塗装の履歴を持つ2層となっていた。付着強さは平均9.5kgf/cm²であり、水圧300kgf/cm²の高圧水ではまったく剥離不能な活膜状態であった。剥離結果は、1パスでの走査では、塗膜が切り刻まれ膨潤した状態となったがモルタル面から剥落するに至らなかったため、2パスで剥離を行った。その結果、塗膜は完全に剥離し、再塗装下地としてきわめて良好な面が得られた。表-6の処理速度は2パスの結果を示す。

なお、騒音の発生状況は剥離対象壁の裏面居室（窓閉）で51db(A)、ノズルヘッド直下3mで72db(A)であった。排水はpH8.2の弱アルカリで、懸濁の沈降は約半日であった。また、それらの飛散はまったく無くわずかに壁を濡らす程度の良い回収状況であった。

7. おわりに

建物外装塗膜剥離に超高压ウォータージェットを応用した自動剥離機を開発して試験施工を行った結果、剥離面状態、低騒音、排水回収などでほぼ開発目標を達成し、予想した以上の成果を得ることができた。本機の特長は次のように要約できる。

- ①重作業、悪環境からの作業員の解放と、高所作業の低減による安全性が向上する。
- ②人間の7～10倍の作業能力があり、省力化、工期短縮化がはかれる。
- ③全ての旧塗材に対応でき、均質な剥離面が確保できる。
- ④建物を使用しながらの施工が可能で、周辺環境、作業環境が保持できる。

今後の課題としては、多様な旧塗膜への対応とデータの蓄積、装置重量の軽減、駄目部分の削減などが残されている。実施工を通じて改善を重ねながら適用範囲の拡大を図ると共に、塗装まで含めた一貫したシステムへと発展させていきたいと考えている。

共同研究者 (株)竹中工務店：山田 弘道、石倉 強、中村 達郎、早川 正
 日本ビソー(株)：山村 洋史、藤田 弘、菊池 幸昌
 (株)JSE : 細谷 福年、中野 雅臣

18. 砂漠の緑化と圃場整形ロボットの開発をめざして

(株) 錢高組：岡崎 登

1. はじめに

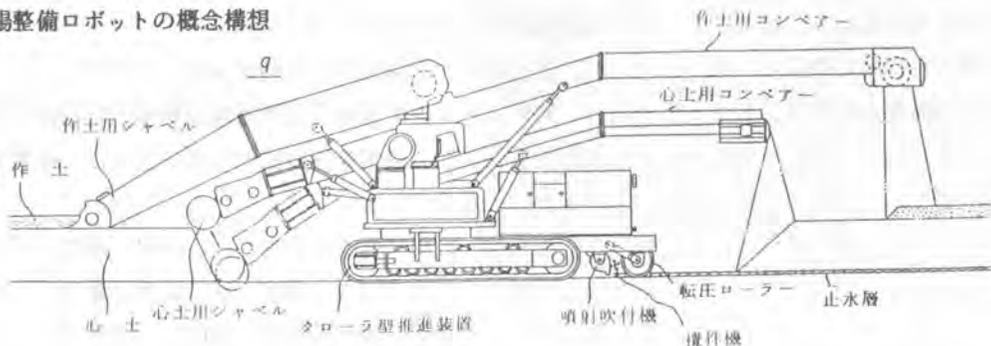
近時、地球環境問題の一つとして、農耕地の荒廃をもたらす砂漠化について、土壌保全の確保等種々研究開発が進められている。

こうした砂漠化しつつある農地、圃場整備を行うにあたって、作土と心土が混合しないように表層の作土と、その下にある心土を上下2段に分離しながら、掘削と同時に最低下部の部分に止水層を転圧しながら、即時に原形土壌を形成するロボットを考案したことに意義がある。筆者は、農業労働者不足に伴う代かき等による苦渋作業を解放するためにも直播方式に切替えた止水層形成ロボットの開発に着目。これを裏付ける研究として止水層形成に際し、石炭灰に混和剤を添加し、透水、締固めによる圧密試験を行い、この結果から止水層形成にかかる施工指針を得たこと。更に本ロボットを製作するうえでの、技術的視点、経済的視点から狭小な国土に合わせるためロボット+止水材供給タンクローリを弱電波コンピュータ・ラジコンを導入夜間作業可能システムとし、本ロボットシステムを作製することによって世界の荒廃砂漠の緑化にも貢献できるものと考えている。

2 圃場止水層形成ロボットの概念

米麦の根は条件によって左右されるが、一般に、地下1mの下層まで伸長するもので、床締めによる漏水防止は、反面土の硬化を招き、根の伸長を阻害するため適切な手法とは言えない。また、漏水田における地下1m位までの根圏域内の土壌水分を精密に制御する水田造成には、約1m位の土を全部はぎ取り、底部と側部にビニールなどの止水物質を敷設し、再び埋戻すという、ビニール水田造成が試みられている。この作業は、作土と心土を選別、分離するための貯留や、埋戻しのために莫大な作業手間、そのための経費がかさむことは周知の事実である。

圃場整備ロボットの概念構想



2-1 開発思想

本ロボットは、作土と心土が混合しないように、表層の作土を厚さ20cm程度と、その下部の心土(地下120cm位)を上下2段に分離して掘削。同時に掘削部の最底部分で止水剤を散布、転圧しながら、作土と心土が互いに混合しないよう即時に後方に送り原型の圃場に復旧する作業ロボットである。

グリーンアッシュ成分の分析結果

区分	珪酸	ソーダ可溶燐素	鉄	石炭	苦土	カリ	燐酸	ホウ素	モリブデン	マンガン	亜鉛
グリーンアッシュ	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm
	58	31.5	8.6	8.3	2.2	2.4	1.2	1200	5	180	300

2-2 形成方法とその特長

圃場止水材としては、石灰類、セメント、グリーンアッシュ、ペンドナイト等の止水性化学物質を用いて必要十分な透水係数 10^{-6} 以下の被覆膜層を形成する手法である。

本ロボットは、前進しながら、作土と心土が混同しないよう上下2段に分離掘削する手段。ならびに掘削した土を作土および、心土別々に後方転送する手段と、転送した土を使用して後方に原形の土層を復旧して埋戻しする段と、前進しながら心土が掘削された掘削部最底部に止水材を散布、攪拌、転圧または吹き付けて所定の透水係数を保つ被膜を形成する手段とを具えたことを特長とする圃場底部の2段式止水層形成ロボットである。

2-3 産業上の利用分野

本ロボットは、農地造成はもとより、砂丘地の緑化等の基盤整備のハイテク化を狙ったもので、特に漏水性の高い土壌において、米麦などの普通作物の根が活動する約1mの深さの有効土層のさらに下の層で漏水を防止し、その上の土壌水分の精密制御を容易ならしめる圃場基盤整備方法とそれに作用される農業用ロボットである。

2-4 適応対象の範囲

国内の水田288万haのうち、漏水性の高いもの、97万ha、極大なもの17万haであるがその他に砂丘地や砂漠地も本ロボットの適応対象である。

3. 圃場整備への石炭灰応用技術

圃場整備への止水材として石灰類、またはセメント、グリーンアッシュ、ペンドナイト等の止水性化学物質などを用いて必要部分は透水係数 10^{-6} 以下被覆膜層を形成するものであり、経済的な素材としてグリーンアッシュを提唱する。これは火力発電所で微粉灰を燃焼する際に生ずる微粉の灰で、煙を煙突に出す前に回収したものである。

性質としては、浸透液のpHはアルカリ性であるが、土壌の酸性を矯正するには至らない。また、含有されている微量元素はそれぞれの作物に利用される。注目に値するのは粒子の大きさが適当であるので、土壌の物理的改良の効果がある。

グリーンアッシュは作物の根張りをよくし、根の活動を増進させる作用があるのと、含まれている成分が緩効性の効果が発揮されるもので、水田・畑のいずれにおいても、

全量を元肥として利用する。水稻に対しては一般にグリーンアッシュと称して農業に利用される。

圃場整備への石炭灰の利用

(1) 畑地への利用

飛散あるいは泥状化を防ぐために適切な含水比に管理した石炭灰を利用すれば、転圧回数、まき出し厚などが変化しても乾燥密度で 1.1 t/m^3 、透水係数で $(15\sim 20) \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 程度が確保されており、大きな問題はない。

(2) 水田への利用

水田に利用する場合は、漏水が激しければ稲の生育に大きな問題がある。なお、水との接触に対し弱い特性があるため、止水性の欠除のないよう均等に敷設、転圧することが重要となる。なお、石炭灰単独では、透水係数は 10^{-5} cm/s 程度に造成するのが限度と考えられる。これを更に不透水性を高め、長期安定性を維持するには。

1. セメント、石膏、鉱さいなどを添加、混合する。
2. ベンドナイトを添加、混合する。
3. 粉末粘土を添加、混合する。

これによると、セメント量 5% 添加で 10^{-6} cm/s 、さらに石膏 5% 添加することによって 10^{-7} cm/s の透水係数が得られる。一軸圧縮強度も $G'_{28} = 25\sim 66 \text{ Kg/cm}^2$ と高い値を示している。水田への利用を考える場合、強度はこれ程大きな値は必要ない。

安価な材料でより不透水を高めるために、これらの既応の研究成果を踏まえて、石炭灰+セメント+(ベンドナイト、あるいは粉末粘土)についても、その施工性、安定性を含めて検討した。

石炭灰+セメント+石膏を混合した結果

含水比 30% の石炭灰硬化体試験結果 (湿空)

No	配 合 (%) F - C - G	目 標 含水比 (%)	7 日 材 令		28 日 材 令	
			一軸圧縮強さ (kgf/cm^2)	透 水 係 数 (cm/S)	一軸圧縮強さ (kgf/cm^2)	透 水 係 数 (cm/S)
1	5 - 5 - 0	30	18.2	2.1×10^{-6}	25.0	1.3×10^{-6}
2	2.5 - 5 - 2.5	30	44.0	1.3×10^{-7}	66.0	1.4×10^{-7}
3	1.5 - 5 - 3.5	30	41.0	1.9×10^{-7}	71.5	1.1×10^{-7}
4	0 - 5 - 5	30	44.0	1.6×10^{-7}	88.9	7.9×10^{-8}
5	7.5 - 5 - 7.5	30	33.5	2.5×10^{-7}	55.0	1.2×10^{-7}
6	0 - 20 - 0	30	58.6	4.7×10^{-8}	135.2	1.9×10^{-9}
7	5 - 20 - 0	30	96.8	7.6×10^{-8}	225.4	1.1×10^{-9}

4. 開発に関する考察

(1) 技術的視点

1. 圃場に進入するために農免道路を使用することが多いが、農免道路の最小幅は 4 m なので、ロボットの最大幅は 2 m、本体重量 10 t 以内とし、普通トラックにより分解しないで搬送が可能なものとする。

2. 一単位の作業班は、ロボット+止水材供給用伴走タンクローリとその交代車、計3台とし、ロボット搬送用トラックは極く一時的なものなので含めない。

3. 圃場の作業開始点への潜入と作業終了時の補修はロボット上の運転手による操縦とする。

圃場の対辺に向かう直線作業は、レーザーと弱電波を用いる。基準点と進行方向が張る角度をロボットに搭載するコンピュータにより決定する方法による全自動直進とし、対辺での180度転回と、圃場からの離脱は伴走タンクローリからのラジコンによるものとする。また、掘削深度は高速回転するレーザーにより作成された平面を基準とする自動制御によるものとする。

4. ジャベルのストローク幅は1.8 m、直線作業時の進行速度は2 m/分とし、100 mの直線作業を50分とし、1 ha (100m×100m) を35往復で完了することを目標とする。

1 haの全作業時間は、直線作業のための59時間に、潜入、回転、離脱などの諸補助作業時間を加え、72時間、計9日と予定する。

5. 上記作業のための要員は、危険監視補助員1名を含めて4名とする。止水材の運搬、タンクローリ要員を除く3名は圃場作業員とする。

(2) 経済的視点

ロボットの年間稼働日数270日、年間作業面積を30 haと仮定して1 ha当たりの経費を概算すると、

1. ロボットの償却費=10万円(約8時間償却)
2. タンクローリ2台分の償却費=10万円()
3. 人件費 1.8万円×4人×9日=65万円
4. 止水機その他消耗品 100万円(単価2000円として500㎡分)
5. 総合計=上記合計185万円×1.2=222万円

毎年、各地で農業基盤整備が実施され、9000億円余の国費が充当されているが、その中で圃場整備のための1 ha当たりの経費は900万円±10%である。

水止層形成作業は当然その中に含まれていることになるので、1~3までの経費85万円はさらに圧縮の見込みがある。

(3) その他の視点

1. 土地の狭い日本の風土に合わせているので、ロボットの大きさも幅2 m、自重が10 tに制限されるが、砂漠地などの水田造成ならば大型高能率機械とすることも可能である。

2. 直進制御法は、レーザー+弱電波+コンピューターを主とするものの他に、弱電波+コンピューターによるものも考えられる。

前者は経済的であるが所要直進精度を何mの範囲で満足しうるかを実験的に確かめる必要がある。

いずれも、夜間作業は可能である。なお、深度制御のためのカジ取りのため、専用新デバイスの開発が必要となるので別途考慮中である。

19. ジャイロコンパスとレベル計を用いた シールドトンネル掘進機の自動測量システム

(株)大林組：土屋幸三郎・阪本 公明

＊今倉 和彦

1. はじめに

最近の社会情勢から建設需要は増大する傾向にあり、特に都心部では地下空間の有効利用を図る目的で、特にシールド工事が注目されている。シールド工事は、その作業の特殊性から非常に高度な施工管理を必要とする。中でも線形管理は非常に重要な管理項目であり、従来方式の人力によるトランシット測量に代わり、リアルタイムの自動測量システムが導入されるようになった。現在使われているリアルタイム自動測量システムは、主にレーザートランシット方式とジャイロコンパス方式の2種類である。最近では、ジャイロコンパス方式が取扱いの容易さから多く採用される傾向にあり、さまざまなジャイロコンパスを用いた自動測量システムが開発され、実用化されている。本報告では、そのジャイロコンパス方式のシステムの概要と運用結果及びその考察を行うものとする。

2. ジャイロコンパス方式のシールド機自動測量システム

(1) システムの概要

このシステムで使われているジャイロコンパスは、従来船舶用であったものを建設機械搭載用に改良したものである。このジャイロコンパスをシールド機に搭載することにより、シールド機の方角を常に計測し、平面線形管理を行うことができる。また、縦断線形管理については、水圧検知式のレベル計をシールド機に装着することにより行っている。シールド機の自動測量システムは、この方角（シールド機の向き）とレベル計で検出した水圧（シールド機の標高）、掘進した距離からシールド機の現在位置を算出し、設計計画線に対する偏位量と偏位角を求めるものである。

このジャイロコンパス方式システムはレーザー方式の自動測量システムと比較すると、

- ① ジャイロコンパスが小型で小口径シールド機にも搭載が容易である。
- ② 掘進によるジャイロコンパスの盛替作業が不要である。
- ③ レベル計の計測原理が簡単であり、高精度の計測が可能であり、またトラブルの発生が少ない。
- ④ 比較的安価である。

以上のような特長がある。

(2) システムの構成と機能

この位置測量システムの構成を図-1に示し、主な機能については以下とおりでである。

- ① ジャイロコンパスの方位角検出値、シールド掘進長、シールド機姿勢データ（ピッチング、ローリング）およびレベルシステムで検出した標高からシールド機の現在位置を算出する。
- ② シールド機現在位置から、設計計画線に対する偏位置と偏位角を算出する。
- ③ 計測結果を、コンピュータの画面表示及びリング報として出力する。

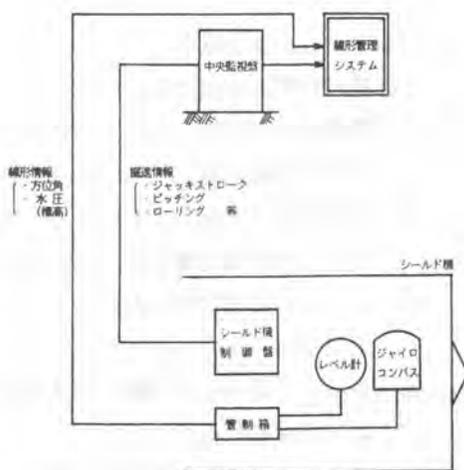


図-1 システム構成

3. システムの施工事例とその運用結果に対する考察

(1) 工事概要

本工事は、桂川の右岸京都市西京区宅地開発に伴う雨水排水整備事業の一環である西羽束師川に排水する雨水排水専用管渠の敷設工事である。この工事の概要を表-1、平面線形図を図-2に示す。この工事で自動測量システムを導入した目的は、計画線形が官民境界に近接しており、さらにR=38mの急曲線施工を含んでいることから、高い精度の線形管理を必要としたことによる。

表-1 工事概要

名称	西羽束師川第一排水区西羽束師川 1-1号幹線
工期	昭和62年 6月～昭和63年11月
内容	気泡式シールド工法 掘進延長 : 777m 掘削外径 : 6,130mm 仕上り内径 : 5,000mm 縦断勾配 : 0.9% 平面線形 : R=38m (CL=76m) 土被り : 12.9~13.9m RC&スチールセグメント使用

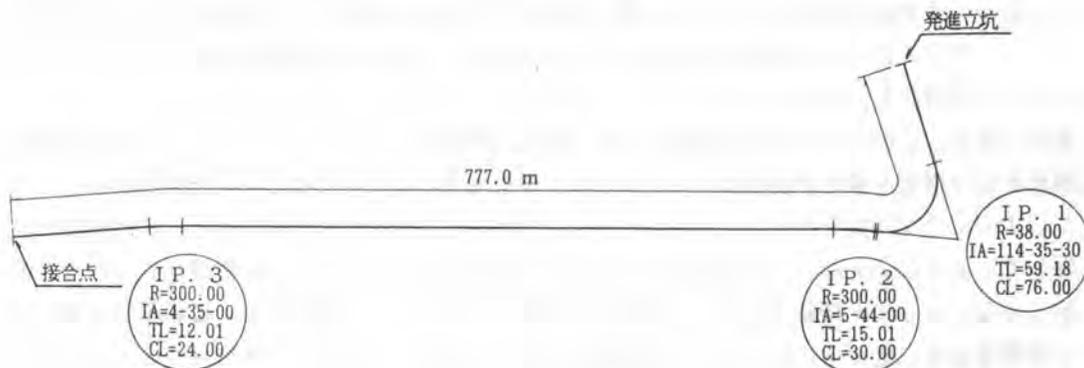


図-2 平面線形図

(2) システムの運用結果

この線形管理の運用結果については、以下のとおりであった。

- ① 直線部におけるシステムの計測精度は、人力によるチェック測量と比較して約6～7mの掘進距離に対して10～15mmの誤差に留まり、非常に良好な結果を示した。
- ② 急曲線部(R=38m)においては、チェック測量を適時行うことにより、設計計画線に対する水平方向偏位量を40～45mm以内に納めることができた。
- ③ レベル計の検出精度が良好であり、設計縦断勾配が0.9%と厳しい条件下を精度良く施工できた。
- ④ シールド坑内という厳しい使用条件下であったが、計測器類に特にトラブルなど無く安定した稼動状況であった。

(3) システム運用の効果及びその考察

システムの計測精度は、前項に示したとおりほぼ満足の行く良好な結果を示した。これにより、現場の施工において以下に示すようなシステムの運用効果があった。

- ① 直線部では、システムの計測精度が安定して高いものであったため、チェック測量の頻度を減少することが可能であった。
- ② 曲線部においては、ジャイロコンパスがリアルタイムで検出する方位角を監視することにより、シールド機の挙動を確実に把握することができた。このことが、高い精度での施工を可能とした。

以上のような結果から、ジャイロコンパス方式の自動測量システムは、シールド工事における線形管理システムとして十分に機能し、活用できるものと確認された。このことは、システムの開発段階において計測精度の高いものを開発目標とし、予想される問題点について事前に抽出し対処したことが効果を発揮したものと思われる。この主な問題点と対処例は、

- ㊤ ジャイロコンパスの方位角検出精度があまり高くないことから、システム内で演算に用いる方位角は、ジャイロコンパスの検出値を高速スキャンして平均処理を行い、その値を用いた。
- ㊦ システムで検出するシールド機の位置が絶対的な位置検出方法でないため、その算出フローについて各種のシミュレーションを行い、もっとも誤差を含みにくいフローを採用した。

などである。このシステムは、将来シールド機の線形制御システムのうち、シールド機の位置検出を行う機能を果たす重要なシステムとして採用されるようになることが予想される。しかし以上のような対処を行ったにもかかわらず、自動線形制御を行うために十分な計測精度を確保しているとはいえない。この原因は、運用結果の解析によりシステムの処理フロー内で考慮していないシールド機やセグメントの微小な挙動によるものと判別された。この挙動を要因別に分類すると、図-3に示すような4種類となる。今後は、この微小な挙動についても定量的に把握して考慮したシステムの処理フローを構築するか、別の計測方法によりその不足する計測データを補完するなどして対処していく必要があるものと思われる。

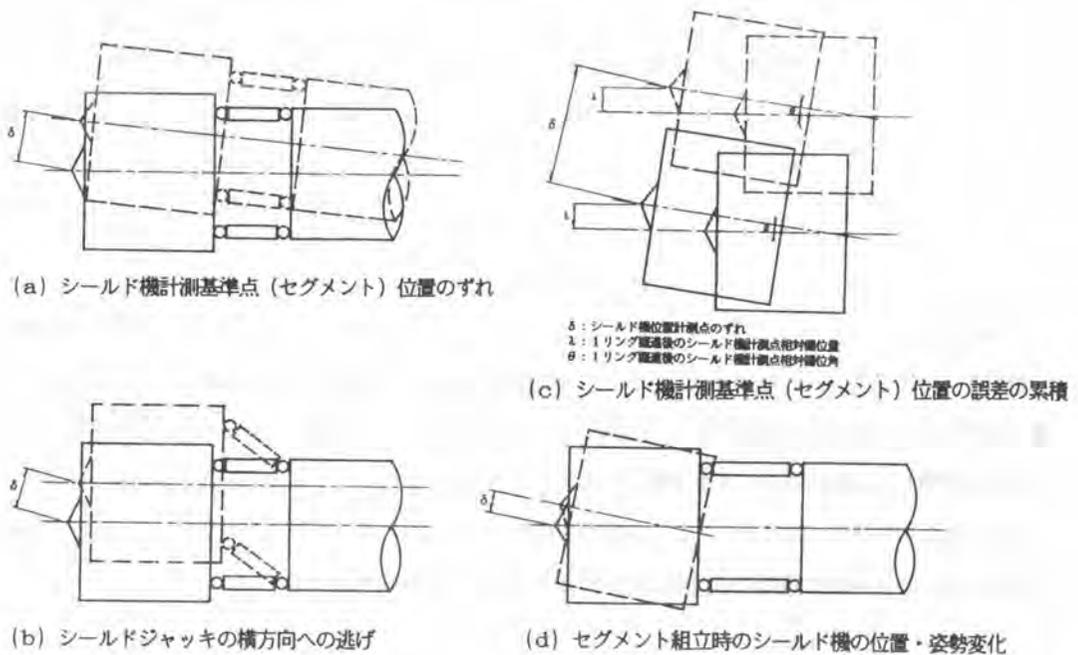


図-3 計測精度の低下をもたらす要因

4. 今後の課題

ジャイロコンパスは、その取扱いの容易さから現在でも多数使用されており、それを用いた自動測量システムの運用効果が認められてきていることから、今後より一層普及するものと思われる。

しかし、将来のシールド工事の「全自動・無人化施工」を目指したシステムを構成するものとしては、様々な対処を施し計測精度の向上を図ったにも係らず、まだ図-3に示すよう要因により不十分であるといえる。これらの要因について、定量的に把握することは非常に困難なであるが、システムが計測を行っていないセグメント組立中のシールド機の微小な回転（方位角の変化）を考慮した計測結果の処理フローを採用すると、システムの計測誤差を約半分にすることができる等が確認されており、不可能なわけではない。

このため、ジャイロコンパス方式の自動測量システムの今後の課題としては、「計測器の検出精度の向上」、「システム内の各種処理フロー構成の見直し」、「システムの使用を考慮したシールド機構造の検討」、「計測精度の向上を図るための補助情報およびその計測方法の検討」などであると思われる。

これらの課題を解決していくためには、そのシステムの特長を十分に把握したうえで、様々なモデルを仮想してシミュレーションなどを行い、最も適切な解決手法を見出していく必要があると思われる。このため、現状において計測精度に関してレーザー方式の自動測量システムと同等の評価を得られるようになるには、もう少しシステムの熟成期間が必要であると思われる。

20. KOMET SYSTEM

日本国土開発(株)：宮地 明彦・川上 裕
生木 泰秀・水野征四郎
菅原 隆夫・市神 元英
*藤沢 均

1 はじめに

民家直下や周辺でのトンネル工事において、発破振動を抑制するために各種の無発破工法や低振動制御発破工法が採用されている。KOMET (Kokudo Mechanical Tunneling) システムは、発破振動を抑制するために開発した大断面トンネル用機械掘削システムである。このシステムは、特殊な穿孔機によるスロット (自由面) の作成と、油圧クサビによる割岩を特徴としており、ロードヘッダーやブレーカによる掘削が困難な硬岩における無発破掘削や機械心抜き制御発破掘削に威力を発揮する。

2 KOMETシステムの概要

(1) 無発破トンネル掘削

当社は、明かり工事における岩盤の機械掘削工法として大型クサビによる無発破岩盤掘削工法 (KNBB工法) を開発しており、トンネル工事にこの技術を応用した。

硬岩を破碎するには、岩の破壊に伴う体積膨張を吸収する空間が必要であり、トンネル切羽における1自由面状態では強力なエネルギーを持つ火薬による発破工法となる。したがって、油圧クサビによる割岩を可能とするために最初にスロット (写真-1) を掘削して2自由面状態とした後、割岩孔を穿孔して油圧クサビにより掘削する。油圧クサビはトンネル用に小型化しているが、人力のみによる作業は困難であり重量物操作アームに懸架して作業するため、外周には約50cmのデッドゾーンができる。この範囲は静的破碎剤を充填してブレーカーやブームヘッダーにより掘削する。作業フローを図-1に示す。



写真-1 スロット

(2) 機械心抜き制御発破

発破振動低減のためには発破振動の大きい心抜きを機械的に行い自由面を多くしてK値を低減させ、さらに1段当たりの火薬量を低減させる方法が有効である。したがって、前述した方法により機械的に心抜きを行い、外周を制御発破することにより発破振動が大幅に低減できる。試験発破では約20%の機械心抜きを行うと通常の制御発破に対してK値が50~60%に低減する結果が得られている。作業フローを図-2に示す。

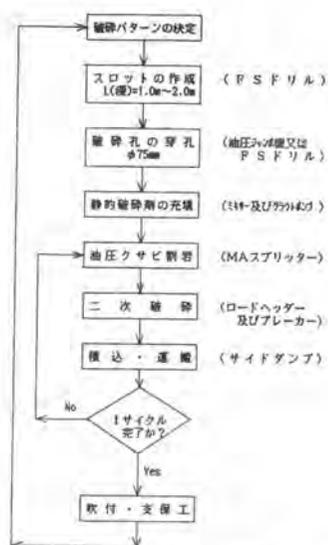


図-1 無発破トンネル掘削作業フロー

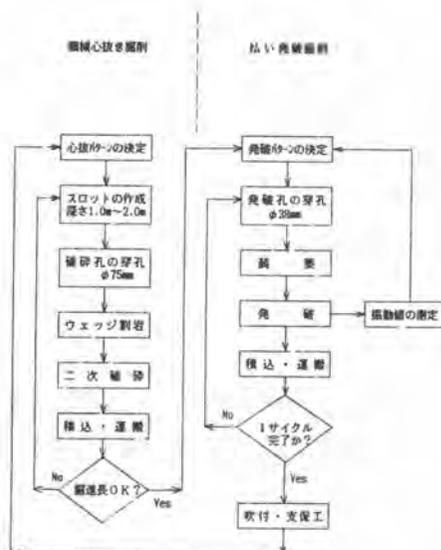


図-2 機械心抜き制御発破作業フロー

(3) スロットの作成方法

スロットは、以下の手順により穿孔穴を連結させて溝状にして作成する(図-3)。完全なスロットの作成には、隣接孔にビットをとられる(穴曲がりする)ことなく正確な間隔で平行にガイド孔を穿孔する必要があり、穿孔機械は特殊仕様となっている。

- ① 最初にφ75mmガイド孔を15cm(2φ)間隔で平行に穿孔する。
- ② 次にビットをφ150mmのリーミングビット(図-4)に交換する。
- ③ 各々のガイド孔をφ150mmに拡孔して連続させる。

《穿孔機械(Free Slideドリル:図-5)の仕様》

- a) ガイドセルを剛性の高いフレームで2点固定し、平行移動させる機構であり、移動量はロータリエンコーダにより自動制御する。ガイドセルの平行移動範囲は2.5mで、1回の機械据付により幅2.5m、深さ1.0m~2.0m、厚さ15cmのスロット穿孔ができる。
- b) テーブルフレームの回転とアームジャッキの伸縮、昇降により高さ6.0mまで、外周から50cmの任意の位置にスロットの穿孔ができる。また、大型油圧ドリフタ(YH-150)を2連装備し、遠隔操作ができる。全長17.66m、総重量45tfである。

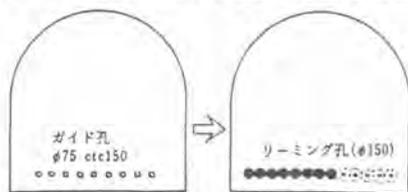


図-3 スロットの作成方法

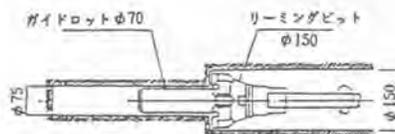


図-4 リーミングビット

(4) 油圧クサビ

油圧クサビは、従来のタイプを小型化（310kgf）、強力化（割岩力670tf）したものであり、穿孔径をφ75mmとしてトンネル油圧ジャンボで穿孔可能な口径とした。自走式のステージ台車（図-6）に2台装備し、重量物操作アーム（油圧ウインチワイヤー装備）で各々懸架して人力により割岩孔に挿入して割岩する。クサビの長さは60cmと80cmの2タイプとした。

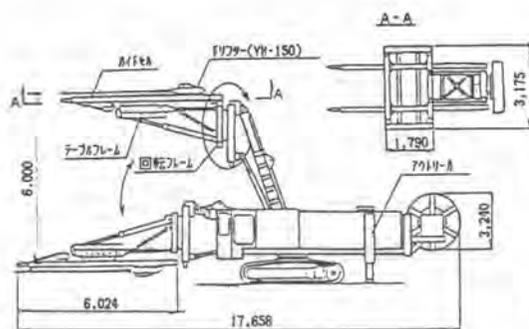


図-5 FSDリル

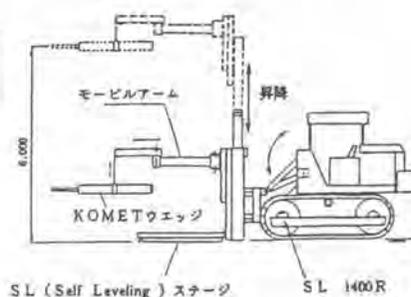


図-6 自走式ステージ台車

3 施工例（山陽自動車道武田山トンネル東工事）

(1) 全面機械掘削

一軸圧縮強度 $q_u=1,500\text{kgf/cm}^2$ 以上の花崗岩における道路トンネル工事において、上半断面 43.9m^2 を図-7に示すパターンで10m区間を試験掘削した。

① スロットと割岩孔の穿孔

FSDリルによるスロットの穿孔と油圧クローラジャンボ（2連）による割岩孔の穿孔を並行して行った。1サイクル長は、スロットの連続性から1.0mとし、スロット深さ1.2m、割岩孔長1.7m（割岩長1.0m＋クサビの貫入長0.6m＋余裕0.1m）、静的破砕剤長1.4mとした。

スロットは $t=150\text{mm}$ 、割岩孔・静的破砕剤孔はφ75mmであり、破砕孔間隔は $400\text{mm}\times 500\text{mm}$ 、静的破砕剤孔間隔は $400\text{mm}\times 400\text{mm}$ である。

② 静的破砕剤孔の充填

口径がφ75とやや大きいため静的破砕剤はブライスター100-Cを使用した。充填は、孔口にスポンジ（10cm角）を施し、注入パイプを孔底まで挿入して充填した。水比は25%である。

③ 割岩および外周の破砕

油圧クサビによりスロット近傍から割岩したが、岩が硬く割岩力不足で1mの掘進に1孔当たり3～4

回の割岩が必要であった。

静的破碎剤を充填した外周の払いは、1,300kg 級トンネルブレイカ及びブームヘッダーを使用して行ったが、相当の労力を要した。したがって、斜め追加穿孔し油圧クサビを使用する（重量が大きい上にシリンダーが外周に当たり掘削能率は悪い）等の対策を取った。

④ 作業編成と日進量

機械編成は表-1に示す編成で行い、労務編成はトンネル世話役1人、坑夫7人、機械工1人の編成とした。日進量は、岩の強度や下半の作業の影響を受け、0.5～1.0m/日であった。

表-1 機械標準編成

工種	機械名	仕様	使用台数	備考
スロット作成	FSドリル	YH-150(75MP) 2速	1台	
穿孔	油圧クローラジャンボ	30MP 2速	1台	
割岩	MAスプリッター	油圧クサビ(F=670t) 2速	1台	#75
破砕剤	モルタルプラント	100Lミキサー、モノポンプ	1式	
2次破砕	1300kg級ブレイカ	トンネル用	1台	
	ブームヘッダー		1台	
既土掘込	サイドダンプ	WA-350級	1台	
	バックホー	0.4m ³ 級	1台	

(2) 機械心抜き制御発破

団地直下80mの掘削に当たって、発破振動を $V=0.1\text{kin}$ 以下に制御するために図-8に示す機械心抜き制御発破工法を採用した。岩質は一軸圧縮強度 $qu=1,200\sim 1,800\text{kgf/cm}^2$ の広島型花崗岩である。

上半断面 $A1=52.4\text{m}^2$ の約15%に当たる 8.1m^2 の機械心抜きを行った後、低爆速火薬（カヤソフト：デカップリング比2.11）を使用して制御発破した。この結果、機械心抜きを行わない場合の発破振動に対して約40%振動値を低下し（試験発破結果）、 $K\leq 500$ 、 $V<0.1\text{kin}$ （団地内観測点）に制御して団地直下を259m施工した。進捗は、平均月進約30mである。

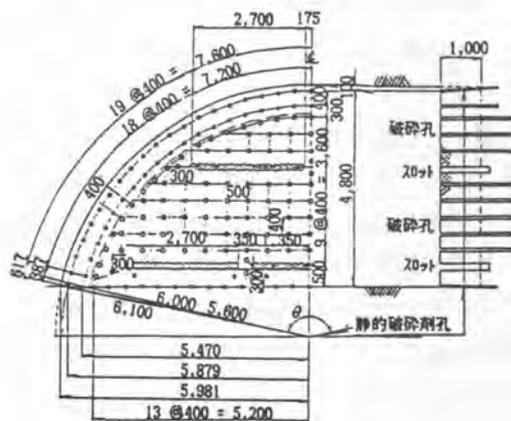


図-7 無発破掘削パターン

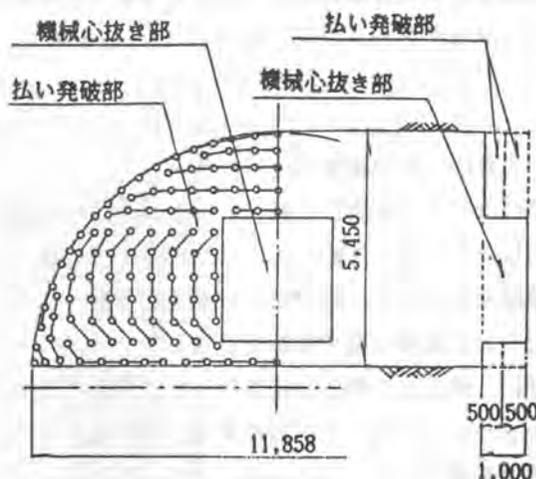


図-8 機械心抜き制御発破パターン

4 おわりに

トンネルの無発破掘削や機械心抜き制御発破における岩盤の機械掘削は、まさに岩盤と機械の力の戦いであり“技も力なり”と言った表現が良く合っていると思われる。トンネル掘削機械には、起動性（足まわり）と耐久性（振動、粉塵）が要求され、今後、さらに改良を加えていく所存である。

21. 大深度シールドトンネルの応力 についての一実験

(株)熊谷組：藤本 徹

大深度シールドトンネルの土圧、応力度は慣用法では現実に即さないと思われ、以下に述べる実験、解析を行い、一つの提案を行った。まず、実験は1000×1000×500の土槽に直径165mm、肉厚1.6mmの鋼管を埋設した。

この土槽にベントナイトを混ぜた $E_{50}=15\text{kg/cm}^2$ 程度の模擬地盤を打設した。この土槽は大深度シールドトンネルの1/100縮尺に相当する。

つぎにこの試料の粘弾性特性を調べるため豊橋技科大の三軸試験機で、クリープ、リラクゼーションの試験を行った。この試料の材令は2日で $\sigma=0.2273\text{kg/cm}^2$ であった。

この結果は図-1,2に示すように、早期では線型粘弾性の様相を示すが、時間が経過すると E_{∞} には収れんせず、大きく変動する。これはモルタルと粘性土の性状の相違かと思われる。写真-1は粘弾性実験の状況を示す。

東京都大深度の地層では粘着力があるため、粘弾性的な性状を示すものと思われるが、土丹でこのような実験が行われた事が報告されている。¹⁾また、粘土ではこのような粘弾性理論が成立される事は既に報告されているが今回は村山教授の理論によった。²⁾これによるとクリープ、リラクゼーションにはtime factorを導入してつぎの形で示される。

$$E_c = E_{\infty} / (a + b \log t) \quad \text{クリープに対して}$$

$$E_c = E_{\infty} \cdot (a - b \log t) \quad \text{リラクゼーションに対して}$$

つぎに、前記鋼管中にパラフィンとヒーターを設置し、模擬地盤打設後48時間後にヒーターでパラフィンを熱して融して、トンネルの変形を許した。計測はトンネルの応力度を歪計で測定し、クラウン外縁、スプリングライン外縁、インバート外縁に28枚の歪計を張り付けた。実験結果を見ると、経時変化は見られなかったが、これは実験精度にもよるものと思われ、今後もっと大規模な模型実験を計画している。つぎはこの模型実験と有限要素法による解析解ならびに、慣用法の解と比較を行った。今回の実験装置の概略の寸法は図-3に示すが、このモデルをメッシュに切つて有限要素法の解析を行った。この場合、地山の E_{50} に上記粘弾性実験による値を適用した。この結果、クリープとリラクゼーションに対して外縁応力度は経時変化を行うが、いずれも時間と共に増加する傾向を示し、経験と一致する。例えば、クリープでクラウンでは0秒、 $\sigma_0 = -21.3\text{kg/cm}^2$ 、20分後では $\sigma_0 = -34.2\text{kg/cm}^2$ 、10時間後では $\sigma_0 = -54.5\text{kg/cm}^2$ である。また10時間後の応力度の測定値と解析値を示すと、クラウンでは $\sigma_1 = 29.4\text{kg/cm}^2$ 、 $\sigma_0 = -34.3\text{kg/cm}^2$ 、測定値、 $\sigma_0 = -40\text{kg/cm}^2$ となり、慣用法では -575kg/cm^2 となる。また、スプリングライン上では $\sigma_1 = -35.1\text{kg/cm}^2$ 、 $\sigma_0 = 24.7\text{kg/cm}^2$ 、測定値、 $\sigma_0 = 45\text{kg/cm}^2$ 、慣用法では $\sigma_0 = 610\text{kg/cm}^2$ となる。このように実験値と有限要素法の解析値はよい対応を示すが、慣

用法の値は大きくなる。

つぎに、この実験方法および解析方法は、シールドにより地山を掘削し、掘削と同時にセグメント覆工を施工したといった、いわば解析方法の基本的な形を想定したものである。しかし、我社では施工方法を加味した有限要素法による解析も行っており、³⁾ 例えば掘削後、裏込注入が直ちに行われず、それまでテールボイドの為、地山が変形し、クラウンとインバートでセグメントリングに接し、スプリングライン上で空隙が残っており、このような状態も想定することができる。また、この場合後方のセグメントリングにもテールボイドの存在が影響するがこのような場合にも解析が可能である。この他、二次覆工の施工による応力変化、MFシールドにおける柱の施工の前後の応力変化の解析も行っている。これらの解析方法に、上記の粘弾性特性を加味すればより一層適確な解析が可能となるであろう。

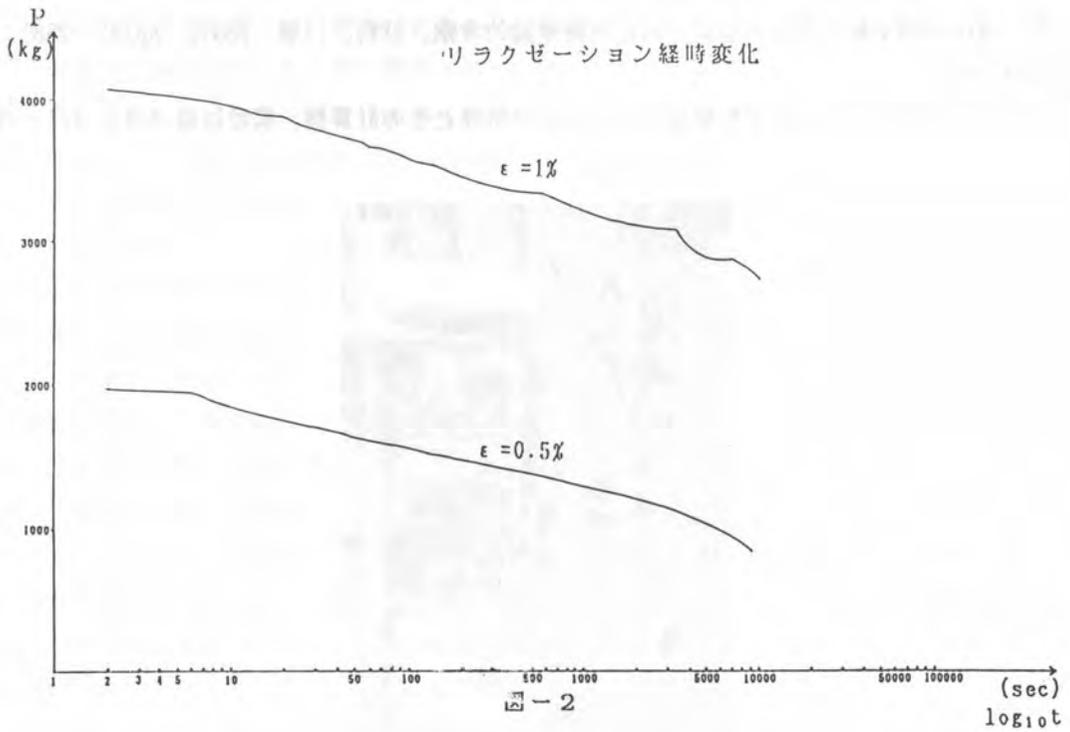
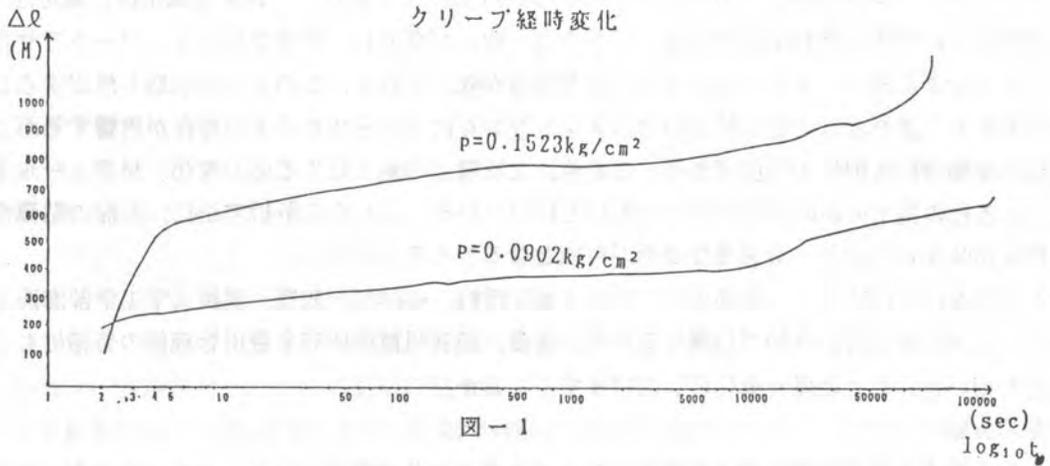
本研究を行うに際して、京都大学工学部土木工学科、小林昭一教授、愛媛大学工学部海洋工学科、八木則男教授に終始ご指導を頂いた。また、熊谷組技術研究所豊川管理部の皆様にもご協力を頂いた。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小島宏；東京港連絡橋と基礎地盤となる土丹の設計定数について、昭和63年度第2回岩盤力学委員会研究報告会 昭和63年11月24日
- 2) 村山朔朗；粘土のレオロジー特性の確率論的考察、材料、14巻、159号、pp282～288、1965-4
- 3) 野口利雄ら；シールド影響解析システムの開発とその計算例、熊谷技報、No40、pp1～12、1987-2



写真 - 1



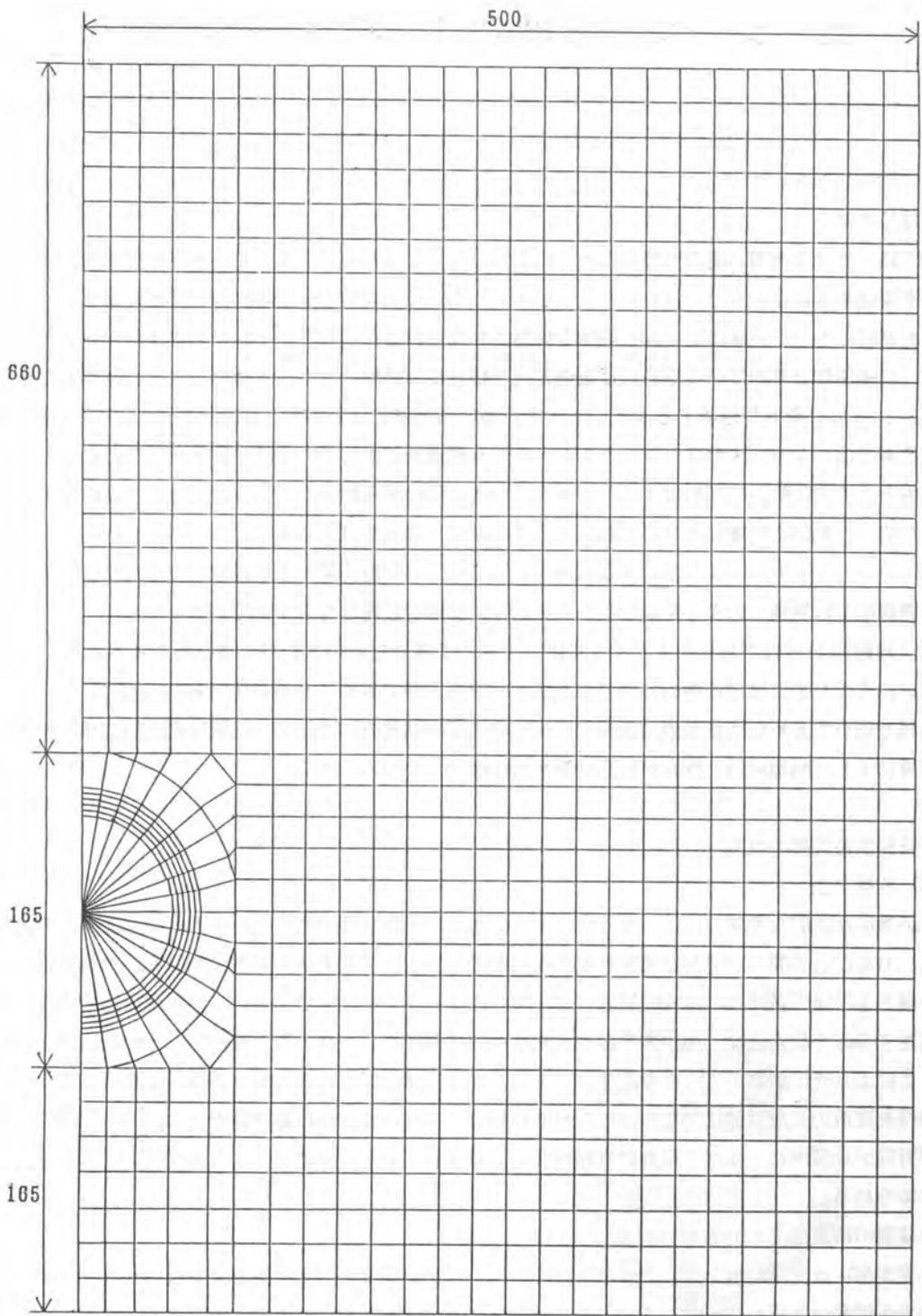


图 - 3

22. シールド機械の自動測量装置の開発

(株)奥村組；*三島 亨介・中永清次郎

1. はじめに

地下鉄、上・下水道、電力や通信など、市街地の地下にはりめぐらされているさまざまな用途のトンネルを築造するには、今日ではシールド工法が多く用いられている。工事においては、あらかじめ定められた路線に沿って正確にシールド機械を掘進させなければならない。そのためにシールド機械を測量して、計画路線とずれている場合には掘進方向を修正して路線に近づける操作をする。基本的な修正方法は、シールド機械を推進する油圧ジャッキを用いる方法によるので、掘進と同時に方向が修正される。従来では、ジャッキがストロークエンドになり掘進を停止している時に測量が行なわれるので、それにもとづく方向修正の判断は1ストロークにつき1回に限られる。この方法には次のような問題点があるため、自動的に測量したり方向修正する方法が研究開発されている。

①トランシットやレベルなどの測量器械を用いる従来の測量作業には煩雑さをともなう。とくに曲線路線部では見通しのきく距離が限られるので、器械を設置しなおす頻度が高くなる。

②計画路線からのずれを小さくするには、ずれのできるだけ小さい内に修正を加えるほうが望ましい。そのためには掘進中のいつでも測量データを入手できることが必要である。

本稿で紹介する自動測量装置は曲線部に適した光学的測量方法として、大阪府立大学・津村教授の技術指導により、(株)奥村組と(株)東京航空計器が共同開発したものである。

2. 自動測量装置の概要

(1) 測量方法

本装置の基本的な測量方法は、トランシットによるシールド機の測点と後方の測量基準点との角度測定値、および各点間の距離測定値から求める従来のトラバース測量と同じ方法である。本装置ではシールド機および後方基準点には光反射器（コーナーキューブ）を設置しておき、測距測角器で角度と距離を測定する。その方法は、測距測角器から光反射器に向けてレーザー光を投射し、その反射光を検出することにより光反射器の方位を測定する。また、光波距離計によりその距離を測定する。このような測定操作を複数の光反射器に対し順次に自動的に行う。この測定値から基準座標上のシールド機の位置および方向が計算され、また、掘進計画路線との位置ずれ（水平、鉛直）および角度ずれ（水平、鉛直）が求められる。

本装置の特長は次のとおりである。

①受光部には光反射器を置くだけでよいので、システム構成が簡素でありとり扱いが容易である。

②光反射器は外径が60mmと小さいので、狭いスペースでもとり付けることができる。

③測距測角器は小型、軽量であるので、とり扱いが容易である。

④シールド機の進行にともなう装置の前方への移設において、他の測量手段の支援を必要としないので、移設作業が容易である。

(2) システム構成

本装置のシステム構成は図-1に示すように測距測角器、駆動装置、データ処理装置、データ伝送装置、光反射器などからなる。測距測角器と光反射器とは互いに見通しのきく場所に設置する。データ処理装置はシールド機の運転管理室に設置し測距測角器とデータ伝送装置で接続する。駆動装置は測距測角器の付属装置であり、駆動装置の作動の指令や、検出データの1部の処理などを行う。

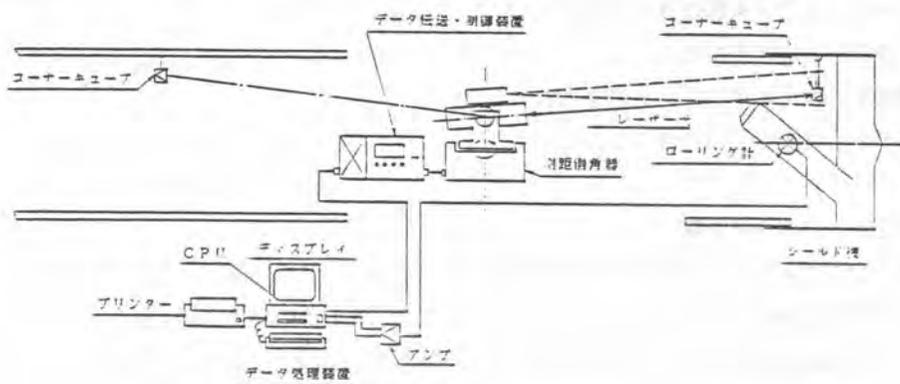


図-1 システム構成

(3) 測距測角器の構造と機能

測距測角器は光反射器の角度、距離を測定するために次のような構造と機能を備えている（図-2、写真-1参照）

- ①光反射器にレーザー光を照射するために、光軸を水平、鉛直の任意の方向に向けることができる。
- ②光反射器からの反射光を受けてその時の光軸の角度を読みとることができる。
- ③距離測定のための光波距離計を搭載している。
- ④設定した範囲内でレーザー光を巡回走査して、光反射器の方向を見つけたし角度測定、距離測定する。この一連の作動は自動的に行われる。

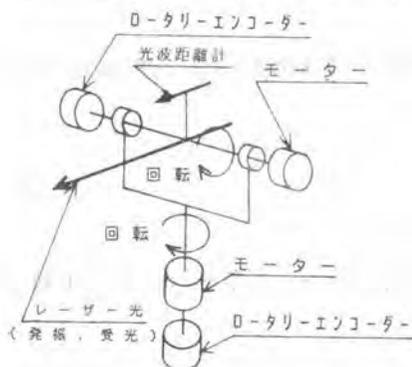


図-2 測距測角器の構造



写真-1 測距測角器

(4) 角度および距離の測定方法

測距測角器および光反射器の配置例を図-3に示す。シールド機には2つの反射器（CCS1、CCS2）をとり付ける。位置のみを検出する場合には反射器は1つでよい。測距測角器の後方基準点には2つの反射器（CC1、CC2）をとり付ける。

測距測角器および反射器は互に見通せる場所に設置する必要があるため、トンネルの上部空間を利用しセグメントの継手ボルトを支点として設置用の枠台にとり付ける。

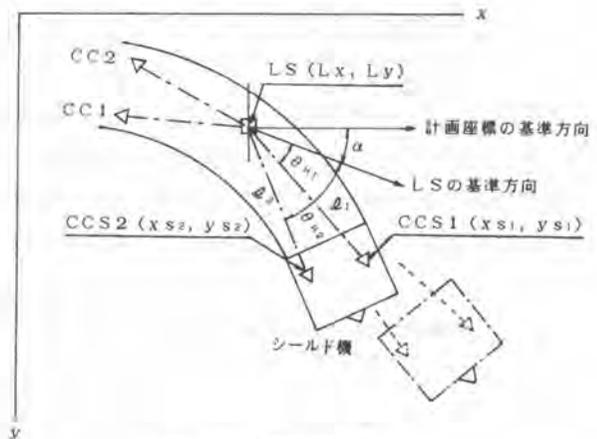


図-3 機器の配置

(5) 測定データの測量計算

角度および距離の測定データからの座標計算においては次の2種類の計算を行うことができる。

- ① 測距測角器の座標上の位置と方向が既知である場合、反射器の座標上の位置を求める
- ② 3つの反射器（CCS1、CC1、CC2）の座標上の位置が既知である場合、これらを測定することにより測距測角器の座標上の位置と方向を求める

初期測量および装置の移設時の測量ではこの2つの機能を組み合わせて座標を求める。初期測量では、測距測角器および反射器を任意の場所にとり付け、従来の測量方法で3つの反射器を測量し、その座標位置をあらかじめ入力しておく。次に測距測角器でこの3つを測定すれば上記②の計算により測距測角器の位置と方向が求められる。

シールド機の進行による前方への装置の移設においては、まず、測距測角器を前方の任意の場所に移設し、上記②の測定により測距測角器の位置を決める。次に後方基準点の2つの反射器を任意の場所に移設し、上記①の測定によりその位置を決める。この操作を繰り返せば他の測量手段の支援なしに移設することができる。

なお、初期測量時および移設時には反射器の位置は未知であるため、測定にあたってレーザー光軸の走査範囲への誘導は手動による必要がある。

掘進計画路線に対するシールド機の位置ずれおよび方向ずれを求めるために必要な次の事項をあらかじめ設定し、入力しておく。

- ① 掘進計画路線の線形
- ② シールド機の2つの反射器のとり付け位置
- ③ シールド機体の測量基準点の位置

なお、シールド機にとり付けたローリング計のデータを用いてローリングによる影響が補正される。

3. 現場測量

(1) 測量条件

本測量装置を東京でのミニ地下鉄工事におけるシールド機の測量に用いた。工事現場においては次のような測量条件であった。

- ①掘削径は5440mmと比較的大きいが、シールド機の後続台車の占める断面スペースが広いいため測量スペースが少ない。
- ②掘進路線長1265mの85%が曲率352mのS字曲線であり、後方からシールド機の見通しのきく範囲が狭い。

(2) 測量方法

測量のために利用する空間はトンネル上側部としたので、測距測角器の設置にはセグメントの継手ボルトを支点とする架台にとり付けた。反射器は測距測角器の見通しのきく場所を選び、シールド機およびセグメントにとり付けた。また、データ処理装置はシールド機後部にある運転管理室内に設置した。

(3) 測量結果

本装置による測量結果と、従来の測量方法による測量結果を比較した1例を図-4に示す。

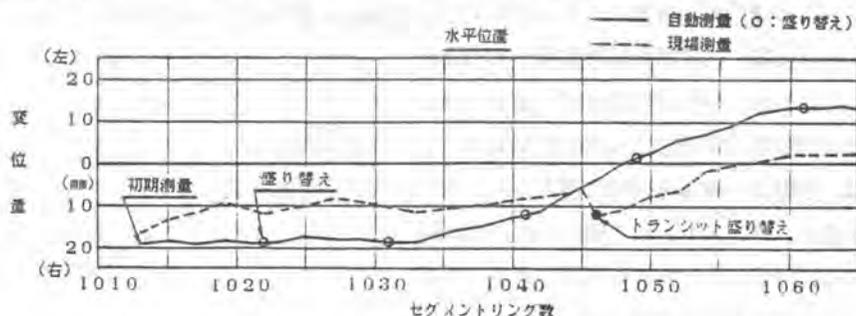


図-4 測量結果

両者の差は水平方向、鉛直方向ともに10mm以下であった。従来の測量方法にも誤差を含むので、この差が本装置の誤差を示すものではないが、目標精度を満たす良好な精度であった。装置の移設において生じる誤差について、5回の移設後の測定値の差は5mm以下であった。本現場での1回移設する距離は約20mであるから、移設にともなう誤差は100mにつき5mmであり移設誤差も小さいことがわかった。

4. あとがき

最近、光学式やジャイロコンパスを用いるさまざまな自動測量方法が開発され、試みられている。光学式はジャイロ式と比べて、トンネル内に測量のための空間を確保しておく必要があること、前方への装置の移設にともなう作業が必要であることなどの欠点がある反面、次の利点がある。

- ①測量精度が高い。
- ②ジャイロコンパスのようにシールド機の掘進方向転換による回転の影響を受けないので、掘進中における測定値でも信頼できる。

シールド機の掘進方向の自動制御においては、入力データが高精度であることや安定性などが必要である。また、掘進中に計測-制御のフィードバックループが形成されていることが望ましい。これらの点で上記の特長を生かすことができると思われる。

23. 英仏海峡トンネルシールド機と施工

三菱重工業(株)：三浦 正昭

1. ま え が き

イギリスとフランスを隔てているドーバー海峡。この約37kmの海峡にトンネルを構築して、両国を結びつける工事がいま最盛期を迎えている。初めてこの構想が現れたのは18世紀のルイ15世の時代にさかのぼる。以来イギリス・フランス両国間で幾多の計画が提案された。その中には気球で橋を吊るして保持するような実現性に乏しい案もあったが主に、両国間の軍事的思惑の不一致、物騰による経済問題等により実現には至らなかった。この構想が本格的に動きだしたのは、1981年サッチャ首相とミッテラン大統領とのトンネル建設再開合意であり、1987年には両国政府建設協定の調印が行なわれた。事業主体であるEuro tunnelは英・仏民間共同企業体で両国政府の資金援助は行なわれていない民営方式で進められている。予定では1993年5月15日に永年の夢が実現する。

完成後には、自動車・乗客を同時に運ぶシャトル列車と新幹線が走り、ロンドン〜パリ間がわずか3時間で結ばれることになる。トンネルは列車が走る上下線2本の本トンネルとその保守点検に用いられるサービストンネル1本の計3本で構成され、両国海岸辺に構築された発進基地よりそれぞれ海側・陸側に向けてシールド工法により施工されている。

このうち、フランスの陸側サービストンネルT4（シールド外径 ϕ 5,590mm、掘進距離3251m）の貫通式が1989年4月27日に盛大に挙行された。予定された工期よりも2ヶ月余り早く、しかも、最大月進836.7mという驚異的な記録も達成された。

ここではこの工事について、おもにシールド機に適用された技術的対応と掘進実績について紹介する。

2. 工 事 概 要

- ①シールド機種：E.P.B.シールド
- ②工事延長：3,251m
- ③土かぶり：最大100m、発進立坑部40m
- ④地下水圧：最大3.5kg/cm²、最大土圧5kg/cm²

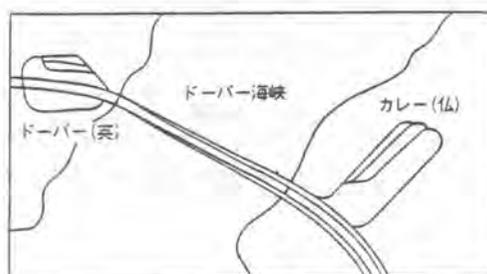


図-1 位置図

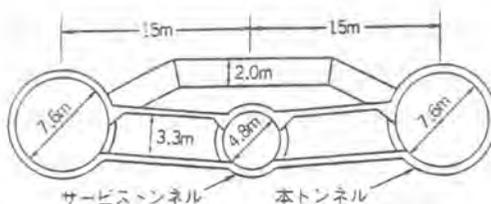


図-2 トンネル配置図

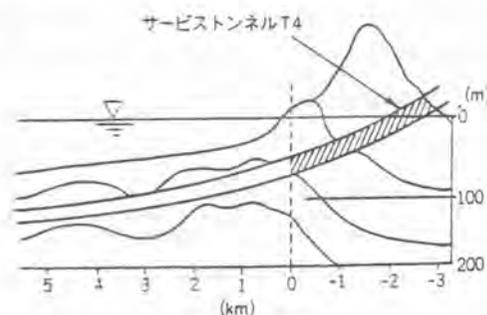


図-3 縦断図

- ⑤曲線半径：R=1,000m×2ヶ所，4,215m×1ヶ所
- ⑥縦断勾配：登り2%
- ⑦立坑：直径φ5.5m，深さ約70m

3. 土質条件

土質はchalk層である。成分の約80%以上が鍾乳石と同じ炭酸カルシウムであり，その生成時期・色相・Flint（chalk層の中にレンズ状に含まれる岩石）の有無により，地質学的に分類され，個々の性状は表-1に示す。

図-4の土質縦断図からもわかるように，Sangatteの立坑より発進し，約200m付近で大断層に出くわす。ここではSt. MARTIN山から流れてくる大量の出水が予想される。その後，個々のchalk層を横切るような形で掘進し，約1,100m付近からはFlintを含んだ層に遭遇することになる。

地下水位は発進立坑で3.5kg/cm²と最も高く，登り勾配のため掘進につれて徐々に低下して行き到達付近では0となる。また，発進部のCENOMANIEN J~H層は一軸圧縮強度100kg/cm²を越えており，非常に硬い。基本的には全区間にわたって地山は自立していると考えられる。

4. セグメント

主要諸元を表-2に示す。このセグメントはヨーロッパで多く使用され，その特長は

- ①円周方向の接合部はナックル構造である。
- ②接合各面は2本のボルトにて結合され，1リング組立に必要なボルト数は22本と少ない。
- ③14mmのテーパセグメントであり，キーセグメントの位置によってテーパ方向を変えることができる。

表-1 Chalkの物性

名称	含水比 wt %	乾密度 g/cm ³	一軸圧縮強度 kg/cm ²	フリント含有量 %	透水係数 m/s
UPPER CHALK	19~32	1.4~1.7	14~64 平均: 28	5~10	1.10-5
				5~10	
MIDDLE CHALK	7~10	2~2.2	37~100 平均: 57	<1	
				0	
JK=WHITE CHALK	13.4	1.93	15~147 平均: 81	0	1.10-5
HI=GREY CHALK	6.9~17.7	1.8~2.2	15~140 平均: 80	0	
CHALK MARL	18.2~5.7	1.8~2.4	50~166 平均: 88	0	5.10-7
ALBIEN (Gault Clay)	13.8~25.4	1.5~1.9	6~29 平均: 18	0	1.10-9

表-2 セグメント主要諸元

名称	T 4	T 5
タイプ	RC (一部ダクタイル)	
セグメント外径	φ5440	φ8400
セグメント内径	φ4800	φ7600
厚さ	320	400
幅	1400 (14mmのテーパ有)	1600 (25mmのテーパ有)
分割数	5+key (keyは差込式)	
最大重量	3.5ton/piece	8.5ton/piece

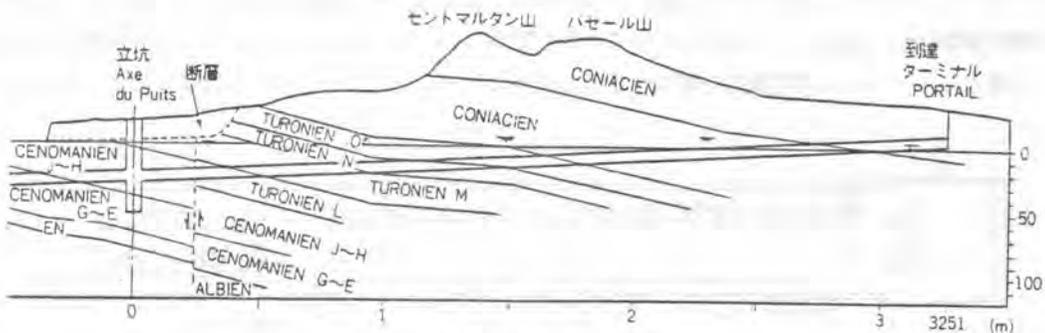


図-4 土質縦断図

5. シールド機

1年以上に及び客先(TML)との打合せが実施された。要求された性能の主なものを記述する。

5-1 特異な性状のchalk への対応

カッタヘッドはスポークタイプを採用し、開口率をできるだけ大きくして付着による閉塞現象を防止した。スクリュコンベアはカッタチャンバ下部に配置し、掘削土が自然に移動して下部の排土口に集まる構造とした。チャンバ内は突起物を最小限にすると同時に、内面には摩擦係数の低い高分子樹脂を取付けた。スポーク上には、ローラカッタを全断面に配置し、バイトカッタより先行させることにより圧縮強度の高い、Grey chalk及びFlintにも適用できるよう考慮した。また、注水口を各スポーク前面、バルクヘッド、スクリュコンベアに配し、Chalkの流動化対策とした。

5-2 高速施工への対応(瞬間掘進スピード8cm/min以上、セグメント組立時間24.2分/R以内)

5-2-1 セグメント搬送装置：ヨーロッパでは一般的である後続台車上部空間を利用した搬送方式を採用した。No.8台車のセグメント積上げ装置からエレクトまで約130mにわたって台車上部にローラコンベアを装備した。常時3リング分以上のセグメントをストックできるだけでなく、レール布設作業やずりトロの走行が阻害されることなく効率的で安全にセグメントを供給することができるものである。

5-2-2 真空吸着装置を用いたセグメント把持方式：セグメントを把持する方法に真空吸着式を採用した。従来のピン挿入による機械的把持方式に比べセグメントの脱着動作を瞬時に行うことができる。

5-2-3 ダブルグリップエレクト：ローラコンベアにより運ばれてきたセグメントはNo.1台車先端に設けられたフィーダによりエレクトに供給される。エレクトには真空吸着グリップを180°相対する位置に2台装備し、旋回所要時間の短縮をはかった。

5-2-4 シールドジャッキのスピードの高速化：セグメント組み立て時には、組もうとしているセグメントの位置に相当するシールドジャッキの伸縮操作がつかまとう。この時間を短縮するため、シールドジャッキ5本操作した場合の伸速度を100cm/min、縮速度を350cm/minと高速化した。

5-3 高水圧への対応

5-3-1 スクリュコンベア：Chalkは自然状態では粘性が高く固結しやすいし、過分の水を含むと非常に流動化して止水ゾーンを形成することがむずかしい。そこで、スクリュコンベアを直列に連結して2段とし、ケーシング内抵抗を増大させると同時にケーシングローテータを装備した。これはケーシ

表-3 シールド機主要諸元

項 目	T 4 諸元	T 5 諸元
シールド外径	φ5590	φ8620
本体長さ	10595mm	12610mm
総装備電動機出力	約2400kw	約4100kw
カッタ電動機	75kw×10台	90kw×16台
カッタ装備トルク	407t・m	1308 t・m
カッタ回転数	1.79/0.9rpm	1.0 /2.0rpm
シールドジャッキ推力	200t×20本	300t×30本
シールドジャッキストローク	3000mm	3500mm
エレクト旋回トルク	30t・m	90t・m
エレクト回転数	0 ~1.2rpm	0 ~1.2rpm
スクリュコンベア内径	φ750mm	φ1200mm
スクリュコンベアトルク	4.5t・m	30 t・m
スクリュコンベア回転数	0 ~20rpm	0 ~15rpm

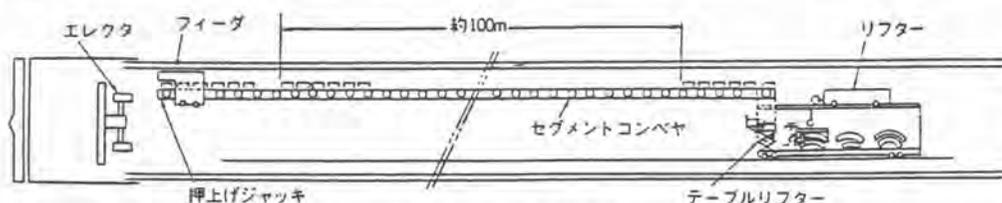


図-5 セグメント搬送システム

24. TBMの自動位置・姿勢計測システム

佐藤工業(株)：*小林 恒雄・板津 賢治
大西 豊

1. はじめに

トンネル施工の合理化・急速施工を目的として、TBMの導入が進められているが、TBMによる施工の場合、掘進速度が早いいため、線形管理測量を迅速かつ高精度で実施する必要があり、この線形管理はトンネルの施工上特に重要である。

このほど、シールド用に開発したジャイロコンパスを用いた自動位置・姿勢計測システムをTBM用に改造して実施工に用いたところ、良好な結果が得られたので以下に報告する。

2. ジャイロコンパスによるTBMの自動位置・姿勢計測システムの概要

TBMに真北からの方位を検出するジャイロコンパスと、水平からの角度を検出する重力加速度計を搭載し、TBMの姿勢（ヨーイング・ピッチング・ローリングの三成分）を計測する。掘削切羽のジャッキストロークからの信号とともに、地下信号処理装置を経て地上のパソコンに伝送され、TBMの位置・姿勢を演算するとともに、計画線との離れおよび計画方向とのずれを算出し、地上・地下のモニター画面にリアルタイムに表示する。さらに、これまでのTBMのセット角と実際の進行方向との関係を演算処理することにより、TBMが計画線上に沿って掘進するための最適セット角が表示されるようになっている。このようなシステムを採用しているため、狭隘な作業空間や曲線施工などの制約を受けることなく、TBMの姿勢を高精度でかつリアルタイムに計測することが可能である。

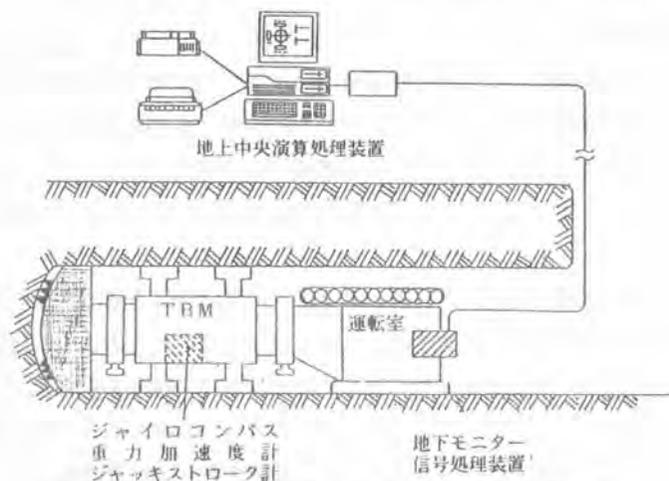


図-1 TBMの自動位置・姿勢計測システム概要図

3. 開発経緯

3-1. 線形管理測量の現状

一般に、トンネルの線形管理測量は、作業の交代時、すなわち2回/日程度行われている。TBMの場合、掘進速度が早いので、この測量と測量の間の線形管理は、むずかしく蛇行発生の大きな要因となっている。このような状況に対応し、測量と測量の間もTBMの位置情報を得る目的で、レーザーが用いられる例がある。しかし、TBMではトンネル断面一杯にTBM駆動装置・トレンローダー等、各種設備が設置されているため、レーザーを通す空間を確保することが困難になる場合がある。とくに、カーブ区間では、レーザーをTBMに照射できる距離が短くなり、レーザー盛り替えの頻度が多くなる。さらに、レーザーでは線形管理を行う上で重要な情報であるTBMの姿勢を高精度で計測できないという問題を有していた。

3-2. TBMの検討

シールド工法への適用を目的に開発した自動位置・姿勢計測システムを山岳トンネルのTBM工法に導入するに当たりTBMとシールドの構造上、掘進管理上の違いを検討した。TBMの推進方法は、トンネル壁面に張ったグリッパーで推進反力を取る方法が一般的である。グリッパーは、1スパン(1m前後)の掘進後盛り変えながら順次掘進していく。

TBMの方向の制御には次のような2つの方法がある。どちらもグリッパーを基準にして方向の設定を行うものであり、1つは、グリッパーを張ったときにマシン方向を設定し、1スパンの掘進中は、マシン方向は固定され変更できないもので、本工事のTBMはこの方式である。もう1つは、掘進中にも自由に方向の変更のできるものがある。前者の方法では、方向制御まで自動化するには、方向設定時にマシンを自動制御する装置を開発すれば可能である。後者の方法では、シールドの方向制御と同様であり、すでに多くの実績のあるシールド自動方向制御システムをほとんどそのまま適用できる。



写真-1 TBM(正面)

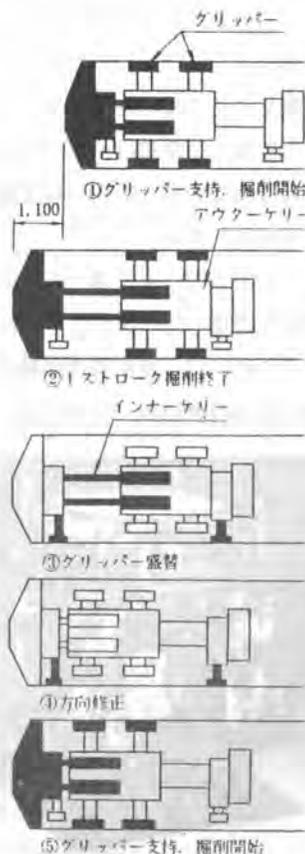


図-2 TBMの掘進手順

これらのことから、TBMの位置・姿勢のリアルタイムの自動計測さえ高精度にできれば、TBMの掘進の自動化の中核をなす自動方向制御システムは開発可能であると判断している。

3-3. 耐環境性の検討

TBMの特殊な高温、多湿な環境に設置されるジャイロコンパス、重力加速度計などのセンサーや地下信号処理装置などの耐環境性について検討した。

まず、TBMに設置するジャイロコンパス、重力加速度計のセンサーは、TBMの振動の影響を受ける。また、TBMの置かれている環境は、切羽に近いこともあり気温の変化が激しく、通常は、高温多湿であり、ずりや吹き付けコンクリートなどの粉塵がある。このためセンサーは、防音、防湿、防塵性のコンテナに密封し、このコンテナを防振構造にした。さらに、信号処理装置や坑内用モニターなどは、空調設備を施した収納ケースに収めた。

4 実施結果

4-1. 工事概要

本工事は、ダム式水路発電所の放水路トンネルを建設するものである。放水路は、内径7.1m、延長3.6kmであり、このうち3.35kmをφ3.3mのTBMでパイロット導坑を掘削し、その後リーミング機によって拡幅するものである。地質は、主に黒色片岩、緑色片岩からなっており、平均一軸圧縮強度は400kgf/cm²程度である。

このように、本工事はTBMによって長大トンネルを急速施工するとともに、リーミング機による拡幅を考慮してパイロット坑掘進時の蛇行を最小限に抑えなければならないという特徴を有している。このためには、線形管理測量を迅速かつ精度良く実施する必要があるため、本自動方向制御システムの一部である自動位置・姿勢計測システムを採用することとした。

表-1 工事概要

工事件名	秋葉第三発電所新設工事
企業者	電源開発株式会社
工事場所	静岡県天竜市横山町
TBM	パイロット、リーミング方式 パイロット外径 3.300mm リーミング外径 7.100mm
TBM掘進延長	3.330m

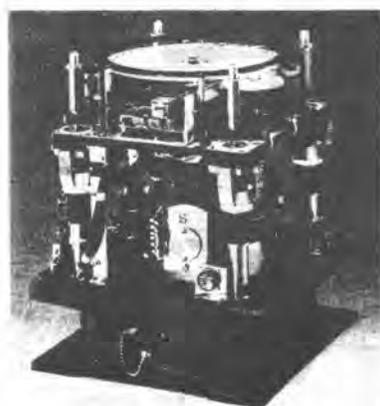


写真-2 ジャイロコンパス

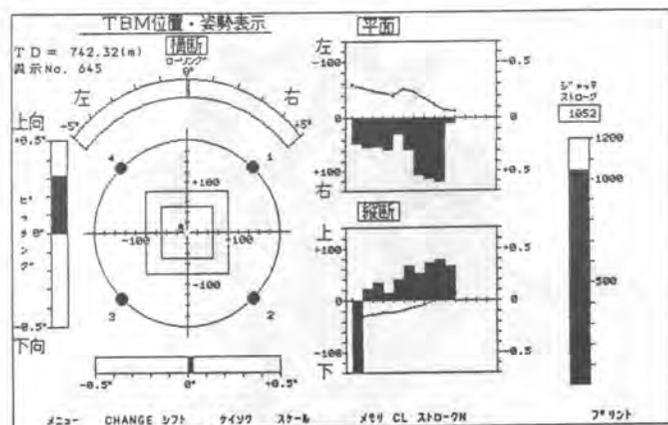


図-3 モニター画面

4-2 施工結果

TBMはトンネル壁面に張ったグリッパーに反力を取り、メインブームの方向を設定した後、1ストローク1.1mを掘進する。1ストロークの掘進中は方向の変更ができないため、線形管理を実施する上では、メインブームの設定が非常に重要となる。これまで、TBMの蛇行はある程度避け難いものとされていた。すなわち、線形管理を入念に行おうとすれば、測量頻度を増やさざるを得ず、TBM本来の施工速度を阻害することになる。

本システムの採用により、TBMの位置・姿勢をリアルタイムに知ることができ、さらに、メインブームの設定方向とTBMの掘進線形との関係の実績データが得られ、線形管理に非常に有効であることが実証された。

本工事における線形管理実績を図-4に示す。今回の実績から、TBMの特徴を生かしながら高精度の線形管理を行うことのできる事が確認できた。

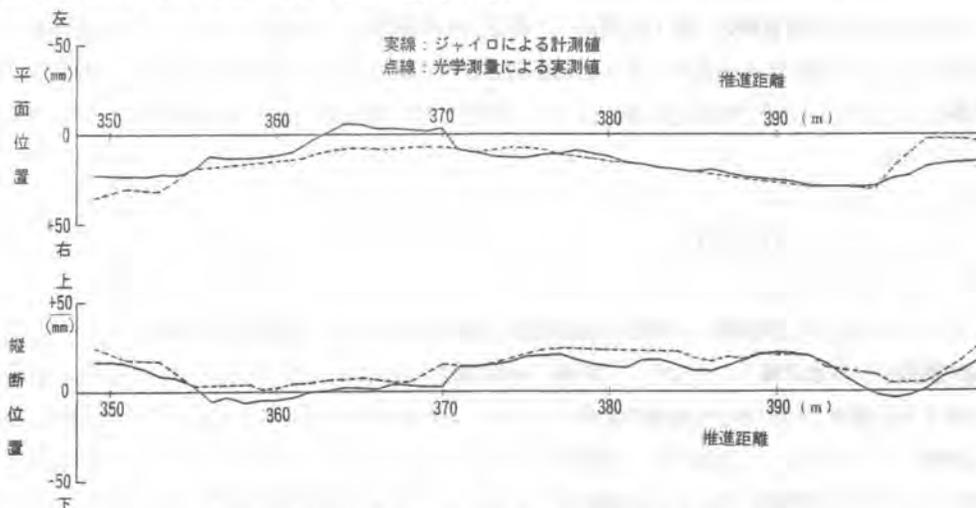


図-4 自動位置・姿勢計測システムによる掘進結果

5 おわりに

これまで線形管理を入念に実施しようとするれば、測量頻度を多くしなければならず、TBM本来の施工速度を阻害することになり、TBMの蛇行はある程度仕方のないものとされていたが、今回の実績から、TBMの特徴を生かしつつ高精度の線形管理を行うことができるという本システムの有効性を十分確認することができた。

今後は、本システムをベースにTBMの自動方向制御システムへ向けて開発を進める計画である。本報告が類似工事の参考になれば幸いである。

<参考文献>

- 田口、東、「隅田川河底を対抗シールドで掘進・京葉線隅田川トンネル」
日本トンネル技術協会誌 トンネルと地下・8 1989.8
- 古川、吉岡、「ジャイロコンパスによるTBMの自動位置・姿勢計測システムについて」
- 桐谷、大西、「ジャイロコンパスによるシールドの自動方向制御システム(2編)」
以上 土木学会第44回年次学術講演会 1989.10

25. ECLシールドの構造とその施工実績

鉄建建設(株)：千葉 敬介

1. はじめに

ECL(直打ちコンクリートライニング・Extruded Concrete Lining)工法は、通常のシールド掘進機構の後方にコンクリート打設機構と型枠機構を装備し、掘進と同時に並行して、シールドのテール部において直接覆工コンクリートを打設する工法である。したがって、この工法に使用されるECLシールドは多くの特徴を持っている。

本工法は東日本旅客鉄道(株)信濃川水力発電再開事業に伴う水路トンネル(第二水路トンネル山本工区、L=3100m)の山岳トンネルにわが国で初めて採用され、平成元年7月9日に無事貫通した。本報告は、ECL工法で使用されるシールドの特徴とその構造及び施工実績の概要についてまとめたものである。

2. ECLシールドの特徴と構造

(1) シールドの特徴

ECLシールドは前胴部・中胴部・後胴部から形成されている。前胴部は従来のシールドと同様に掘削機構及び推進機構とからなり、前胴部・中胴部は中折れジャッキによって連結され、中胴部は方向修正や曲線施工の円滑な作動機能を果たすため、中折れ機構を有している。また、中胴部・後胴部は伸縮ジャッキによって連結され、後胴部は従来のシールドのテール部に相当するが、コンクリートライニングする目的からリング状の妻枠及びコンクリート圧力調整機構を有する妻枠ジャッキを装備している。また、シールドの後方には、型枠の脱型・移動・組立が可能なエレクター装置を装備している。

ECLシールドを写真-1に、シールドのモデル図(全面開放型)を図-1に示す。



写真-1 ECLシールド

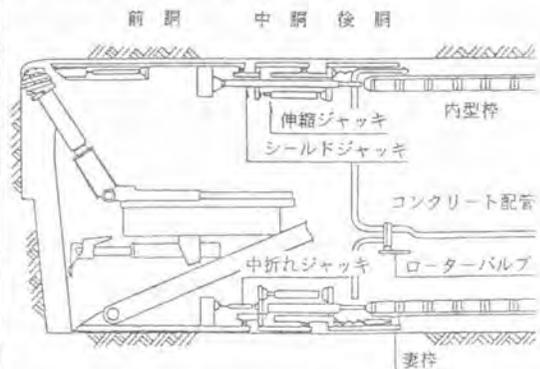
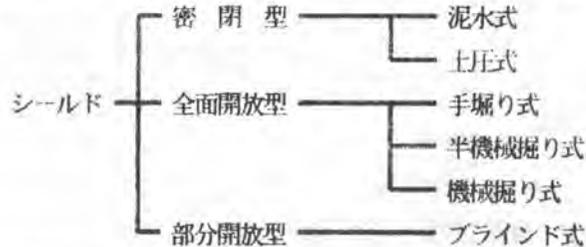


図-1 シールドのモデル図(全面開放型)

(2) . 主要装置の構造

①掘削機構

シールドは次のように分類され、それぞれ切羽安定対策に伴うシールド機種が確立されている。



したがって、ECLシールド前胴部の掘削機構は従来シールドと同様な機構を採用しているため、シールドは地山条件や施工環境及び経済性について検討され、選定される。

②推進機構

シールドの推進機構は、シールド円周上に配置されたシールドジャッキにより行い、その推進力はプレスリング、あるいはスプレッタ等を介して型枠に伝達される。その反力は内型枠とコンクリートの付着力及び摩擦力によって得られる。

通常シールドは、前・中・後胴一体の動きをするが、場合によっては前胴・中胴部と後胴部が別々の動きをすることが可能な構造となっている。

③中折れ装置

シールドの前胴部と後胴部は中折れジャッキによって連結され、方向修正や曲線施工等が円滑に行える構造となっている。また、中折れ装置の油圧回路は、特殊回路となっておりシールドの動きに追従する構造となっている。

④伸縮装置

シールドの中胴部及び後胴部は伸縮ジャッキによって連結され、伸縮機構を有している。伸縮機構は掘削の機構とコンクリート打設機構を分離して、独立した動きができるようにこの間を伸縮可能な構造としている。また、一般に伸縮可能な距離は一型枠長としている。

通常、中胴部・後胴部は伸縮ジャッキによってロックされ、シールドは一体となって推進、同時に覆工コンクリートの施工を行う。しかし、掘削のみもしくは覆工コンクリートのみを施工する場合、あるいはまた掘削機構もしくはコンクリート打設機構の種々のトラブルによって互いに影響を及ぼすことを抑制する場合は、掘削機構、コンクリート打設機構を完全に分離し互いの独立した施工ができる構造となっている。

⑤妻枠装置

妻枠装置は後胴部のテール内に装備され、リング状の妻枠本体、それに付随する外側及び内側の各シールパッキン装置と共に、妻枠本体を支持する妻枠ジャッキとによって構成される。また、妻枠にはシールド径に対応する複数個のコンクリート打設口が装備されている。

妻枠装置には、覆工コンクリート端面の型枠機能、シールパッキンによるシールド方向性に伴うクリアランスの調整そして妻枠ジャッキに内蔵されている妻枠垂直制御回路及びそれに付属して装

備されているアキュムレータ装置によるコンクリートの圧力調整機能を有している。

妻枠の断面を図-2に、コンクリートの圧力調整機構の概念図を図-3に示す。

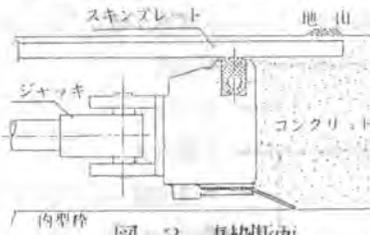


図-2 妻枠断面

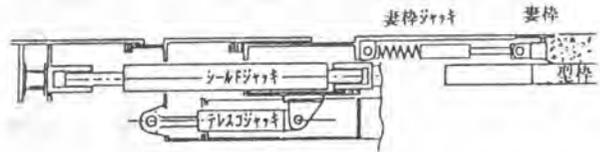


図-3 コンクリートの圧力調整機構の概念図

⑥エレクター装置（脱型・移動・組立装置）

内型枠は脱型・移動・組立を順次繰り返して使用するため、施工効率に大きな影響を与える。したがって、これらの作業を円滑に行うための装置としてエレクター装置があり、この装置は仕上り径によって走行型エレクターと非走行型エレクターとに分けられる。

走行型エレクターは、1リングの型枠全体を一度に脱型・移動・組立が可能な装置である。また非走行型エレクターは従来のセグメント用エレクターと同様な構造で、組立て用及び脱型用エレクターとその間の運搬装置とから構成されている。一般に走行型エレクターは中・大断面用として、非走行型エレクターは小・中断面用として使用される。走行型エレクターを図-4に示す。

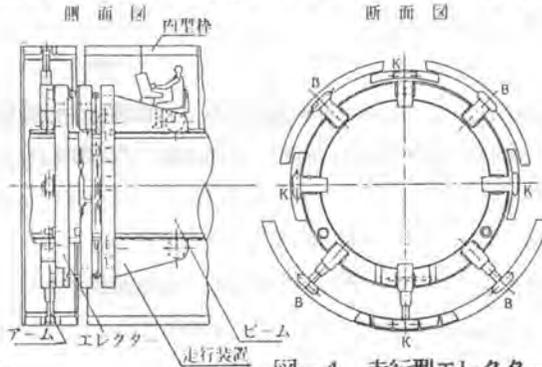


図-4 走行型エレクター

⑦内型枠

内型枠は種々の荷重に対して変形しないような剛性を有すると共に、脱型・移動・組立て等が簡単にできるように、覆工コンクリートの仕上り径に対応して、施工性により数個のピースに分割されている。また型枠の幅は施工性や施工条件により決定される。カーブ施工や蛇行修正に必要なテーパ量は内型枠に装備された調整ボルトによって、内型枠の円周方向のどの位置にもテーパが形成可能な構造となっている。型枠断面を図-5、曲線施工例を図-6に示す。

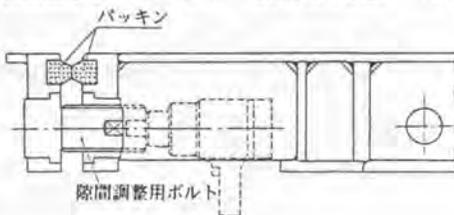


図-5 型枠断面

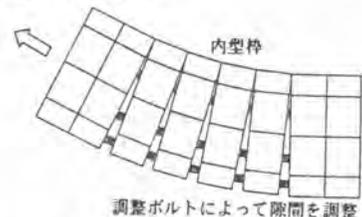


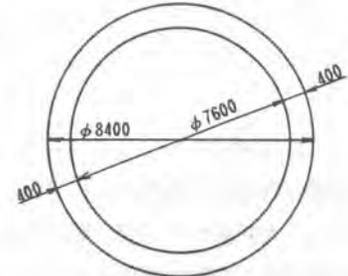
図-6 曲線施工例

3. 施工実施例

信発第二水路トンネル山本工区工事は昭和62年 8月工事着手以来、トンネル延長 $L=3100\text{m}$ をECL工法で昭和63年 2月から初期掘進を開始し、平成元年 7月 9日に施工を無事完了したものである。

(1). 施工条件

- | | |
|--------------|--------------------------------|
| ①. 掘削外径 | $\phi 8400\text{mm}$ |
| ②. 仕上り内径 | $\phi 7600\text{mm}$ |
| ③. 覆工コンクリート厚 | $t=400\text{mm}$ |
| ④. トンネル延長 | $L=3100\text{m}$ |
| ⑤. 掘削断面積 | $A=55.4\text{m}^2$ |
| ⑥. 掘削工法 | 全面開放型半機械掘り |
| ⑦. 覆工方法 | ECL工法 |
| ⑧. 地質状況 | 礫岩、砂岩、シルト岩、シルト質凝灰岩の構成でシルト岩優勢互層 |



水路トンネル断面図

(2). 施工実績

昭和63年2～3月は訓練期間として施工したが、切羽も自立し良好であった。

4月下旬から5月にかけて湧水量が増加し切羽崩落が続き、7月下旬に湧水量が $4,600\text{L}/\text{min}$ となり掘進を中止した。

切羽の薬液注入等で2.5ヶ月間休止し10月中旬から掘進を再開した。その後切羽の自立も好転し、順調に掘進することができ、最大進行 340m 、最大日進 15.6m 、平均月進 180m (工期=17.3ヶ月)を記録し無事完了することができた。進行実績を図-7に、完成覆工状況を写真-2に示す。

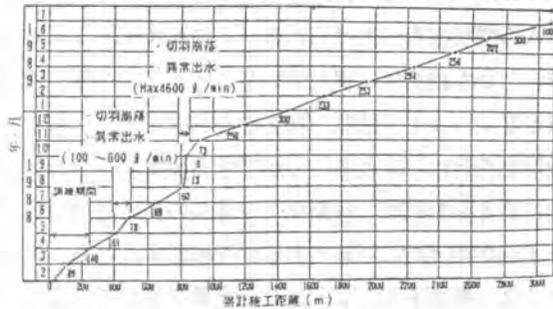


図-7 進行実績

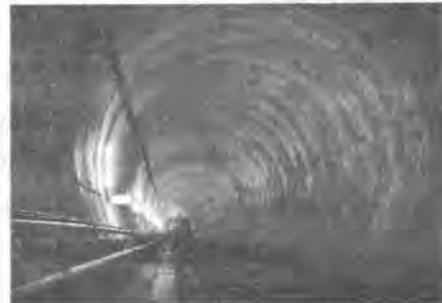


写真-2 完成覆工状況

4. おわりに

ECL工法は、利点ある工法として各方面から注目されている。今後もECLシールドの構造、機能について検討を続け、安全で合理的なシールドになるように研鑽していく所存である。

参考文献

- 1) ECL協会 : ECL工法技術資料(1)
- 2) 山本 稔 : 「ECL工法に期待する」ECL工法研究発表会; 日本トンネル技術協会1987年11月
- 3) 川名英二・吉本 勳 : 「ECLで挑戦! 最大月進 340mを記録」トンネルと地下; 日本トンネル技術協会1989年 8月

26. H&Vシールド工法の実証実験

(顧問 組)：園田 徹士
清水建設(株)：萩原 英樹
前田建設工業(株)：北川 滋樹

1. はじめに

土地の有効利用を求められている都市部において、ジオフロントに関する研究が、大深度地下の利用方法や、大断面地下空洞、変形断面トンネルの構築工法などをテーマとして、盛んに行われている。そのような地下空間の開発において、中心的役割を果たすのはシールド工法と考えられる。

多種多様なニーズに応えるべく、研究が急がれているシールド工法の新技術の1つとして、従来の単円シールドトンネルの付加価値を高めるために、複数のトンネルを有効に組み合わせて利用する複断面トンネルの構築技術があげられる。この複断面トンネルは、トンネル内空断面を効率よく利用することができ、しかも経済性に優れていることから、今後、建設される機会がますます増えてくると思われる。

H&Vシールド工法は、横2連から縦2連に、あるいは縦から横に、その時々計画条件を考慮して断面形態を自由に変えることができる複断面シールド工法である。このように、トンネルの断面形態を自由に変えられれば、複断面トンネルの利用価値はこれまで以上に高くなると予想される。H&Vシールド工法が現実的に可能であるかを確認するため、外径2.12mの2連シールドにより横2連より縦2連へトンネル断面を90°変向させる実験を進めている。

2. 工法の基本概念

2.1 H&Vシールド工法とは

H&Vシールド工法とは、特殊なアーティキュレート機構を持つ複断面シールド機をスパイラル掘進(注1)させることにより、横2連断面から縦2連断面に、あるいは縦2連から横2連に、螺旋状にねじれた複断面トンネルを構築する工法である。図2-1にその概念図を示す。

H&Vシールド工法を用いれば、トンネル断面形状を横2連から縦2連に(縦2連から横2連に)連続的に変向させることが可能である。したがって、近接した構造物からの制約をうけて、普通ではトンネルを構築できないような場合にも、横2連と縦2連の断面形態を使い分けることにより、効率的に複断面トンネルを構築することができる。

(注1) スパイラル掘進とは、螺旋状の軌跡を描くようにシールド機本体を旋回させながら掘進させることである。

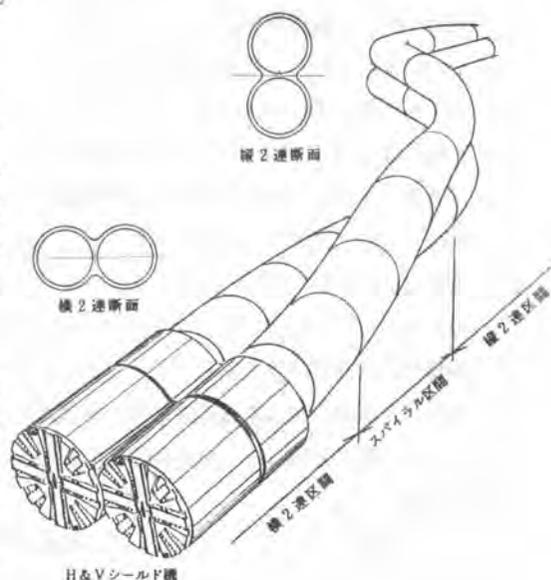


図2-1 H&Vシールド工法の概念図

2.2 H&Vシールド工法の特徴

複断面シールドトンネルは、経済性や工期、施工性、安全性などの多くの点で、単線並列トンネルまたは複線円形トンネルより優れていると考えられる。いま、表2-1に示す複断面シールドの特徴をみると横2連、縦2連の個々のトンネルが全ての項目で優れているわけではない。横2連トンネルは、地下構造物と交差する場合の施工性や、鉄道・道路トンネルの防災に対する安全性では優れ、縦2連トンネルは、急曲線の施工性や地盤沈下に対する安全性では優れている。

しかし、縦2連の劣点では横2連が優れ、横2連の劣点では縦2連が優れている。このことは、横2連と縦2連を合わせた複断面トンネルは、縦・横を施工条件に応じてうまく使い分けることにより、短所を補い、長所を生かした利用が可能と考えられる。

H&Vシールド工法は、横2連から縦2連へ、または縦2連から横2連へと連続してトンネル断面を变向させることが可能なため、複断面トンネルの長所を最大限に引き出すことができる。

表2-1 複断面トンネルの長所・短所

トンネル形式 比較項目		横2連トンネル		縦2連トンネル	
		特 徴	評価	特 徴	評価
経済性		複線円形トンネルと比べて断面が20%低減されることから直接工事費が大幅に低減される。	○	複線円形トンネルと比べて断面が20%低減されることから、直接工事費が大幅に低減される。また、道路占用幅が小さいことから、用地補償費も低減される。	◎
工期		単線並列トンネルの後行トンネルは、先行より約1ヶ月遅れで施工される。2連トンネルではその分工期を短縮できる。工期は複線円形トンネルと同じである。	◎	同 左	◎
施工性	急曲線施工	複線円形トンネルと同等の施工性である	○	複線円形トンネルより施工は容易である。	◎
	近接構造物	水平離間距離は小さくなりがちで、平面線形に制限をうけやすい。	△	近接構造物との水平離間距離を確保しやすい。	◎
	構造物との交差	地中構造物との鉛直離間距離を確保しやすい。	◎	鉛直離間距離が小さくなりがちで縦断線形に制限をうけやすい。	△
安全性	周辺環境に対する	シールド施工時に地盤沈下を生じやすく、施工にあたっては充分な管理が要求される。	△	シールド施工時に地盤沈下を生じにくいトンネル形状である。	◎
	鉄道・道路トンネルの防災に対する	上下線の連絡通路、および退避所を設置しやすい。	◎	上下線の連絡通路および待避所を取り付けにくい	△

3. スパイラルセグメント

H&Vシールド工法により2連のシールドトンネルを横から縦に変向した場合、それぞれのトンネルが描く軌跡は、COS平面曲線とSIN縦断曲線を組合せたスパイラルとなる。そのため一次覆工用セグメントは、スパイラル状に組立てる必要がある。スパイラル覆工を行う方法としては、後述する4案につき検討を行い今回の実験では、その中の2案について実証を行う。

3.1 リング間継手を一定角度ずらしてスパイラルを行う方法

図3-1に示すように8字型セグメントをトンネル軸（Z軸）まわりに一定角度ずつ回転させる。各ピースの形状は一般の標準セグメントと同様であるが、リング間継手のボルト位置を各ピース毎にずらす必要がある。また、リング間にスパイラルを行うための段差が生じる。

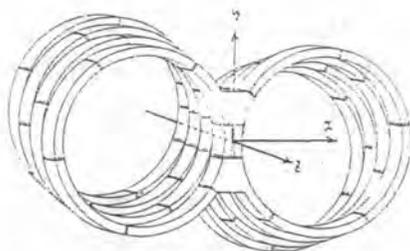


図3-1

3.2 リング間継手面を各トンネル軸に直角とするため2円の接合部を一定角度ねじる方法

図3-2に示すようにリング間継手面は、各トンネル中心軸（ $\overline{a'a'}$ $\overline{b'b'}$ ）に対してそれぞれ直角となりピース間継手は各トンネル中心軸に対してそれぞれ平行である。ただしリング間継手はピースの前後でボルト位置がずれる。各トンネルの接合部（ウイングセグメント）は、2本のトンネルのスパイラルにより一定角度でねじれを生じる。この方法は、ウイングセグメントが特殊な形状となるが、他の部分は一般の標準セグメントと同じ形状とすることができる。

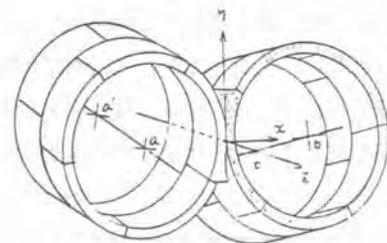


図3-2

3.3 リング間をトンネル中心軸に直角に、ピース間を各トンネル軸に平行に分割する方法

図3-3に示すようにリング間、ピース間ともに継手は良好であるが、セグメント各ピースがスパイラル曲面となるため製作が困難である。

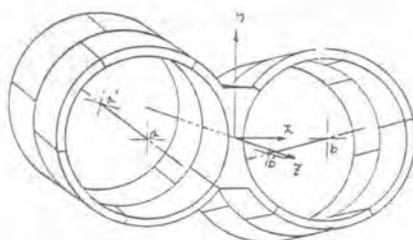


図3-3

3.4 一般の標準セグメントを利用する方法

図3-4に示すように、各トンネル別々に、普通セグメントと、テーパセグメントの組合せにより、2本のスパイラルトンネルを構築する方法である。この方法は、2本の近接トンネルを同時施工することができ、しかもセグメントは従来のセグメントを利用することができる。

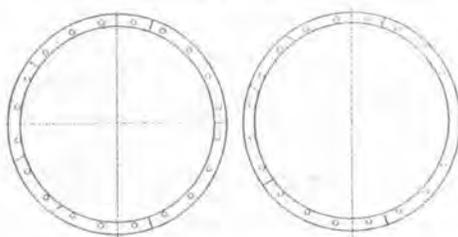


図3-4

今回の実証実験では、3.2と3.4のスパイラルセグメントを用い横2連より斜45°までの区間を3.2の一体型のスパイラルセグメントで、斜45°より縦2連までを3.4の独立型2連セグメントで掘進する。

写真3-1にスパイラルセグメントを示す。



写真3-1

4 H&Vシールド掘進機

H&Vシールド機のスパイラル掘進は、次の3つの機構により行なう。

(1) クロスアーティキュレート機構

クロスアーティキュレート機構とは、図4-1に示すように、複断面シールドの2つの前胴を個々にアーティキュレートさせる機構をいう。例えば、横2連から縦2連にスパイラルさせる場合を考えると、この機構によりシールド機一方の前胴部には上向きのも一方の前胴部には下向きの地盤反力が、それぞれ作用することになる。これらの力がシールド機をスパイラルさせる力となる。

(2) コピーカッター

スパイラル掘進中に、スパイラルを妨げようとする向きの地盤反力を低減するために、シールド機外周部の地山の一部をオーバーカットする機構である(図4-2参照)。

(3) スパイラル・ジャッキ

シールド・ジャッキの推進方向をシールド機中心に対して偏向したジャッキをスパイラル・ジャッキと呼ぶ。スパイラル・ジャッキは、セグメントを反力受けてシールド機をスパイラルさせる力を発生させる(図4-3参照)。

これら3つの機構を併用することにより、その効果は増幅され、シールド機の姿勢制御を行うことができる。なお、これらの機構は横2連シールドのローリング防止、および縦2連シールドの倒れ防止にも有効である。写真4-1に実証機を示す。

5 あとがき

現在、シールド機・セグメントの製作を終え、11月より掘進予定である。尚本実証実験に当たって、セグメントは新日本製鐵株が担当し、シールドおよび実験計測はそれぞれ川崎重工業株：日本シールドエンジニアリング株の協力により進めている。

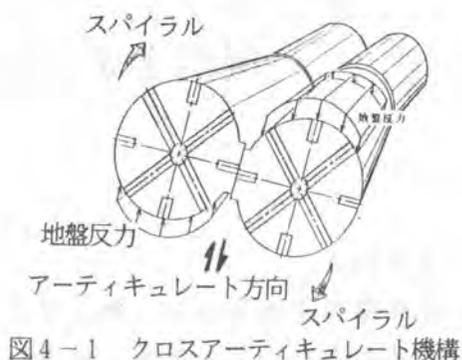


図4-1 クロスアーティキュレート機構

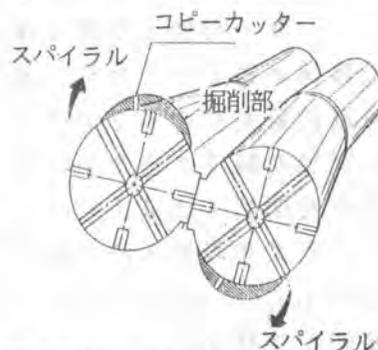


図4-2 コピーカッターの機能

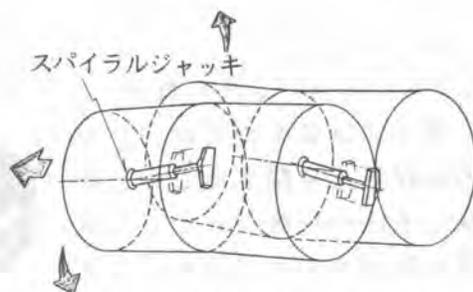


図4-3 スパイラルジャッキの原理

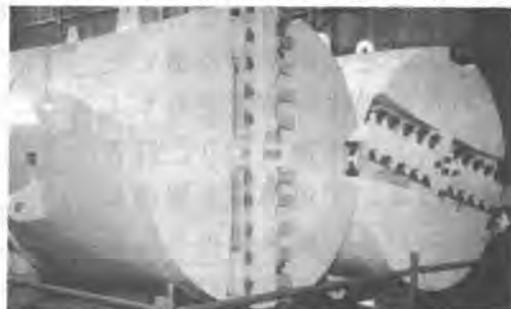


写真4-1 実証機

27. リフレッシュシールド工法に関する掘削要素実験

(機関 組：竹之内康昭・西尾 誠高
配野 均・志野 和巳
三菱重工業(株)：佐々木清美・岡本 和巳

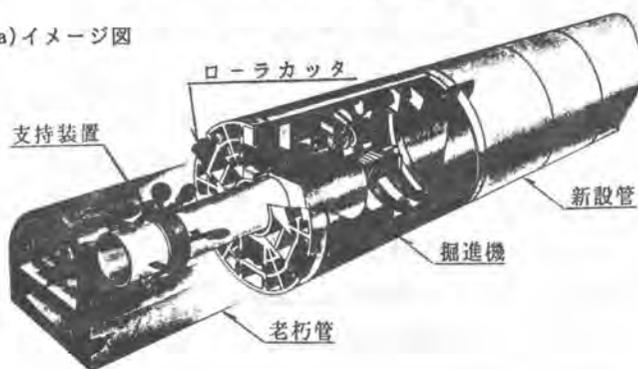
1. まえがき

近年都市下水道では、例えば実流量が計画流量より増大し処理能力の増補が必要とされたり、あるいは老朽化のため既設管渠の更新が要求されている。ところが、都市の地下空間は種々の構造物が錯綜し、新規に管渠を布設する用地の確保が難しいことや、道路交通量や近接埋設物等の保全上、開削工法による既設管渠へのアクセスが困難であるといった問題がある。そこで、これらの問題を解決するため、既設管渠と同じ位置に同径もしくはより大きな径の管渠を開削工法によらず布設する管渠布設替工法の開発を進めており、掘削に関する基礎的な実験を行った。ここではその結果の概要を紹介する。



図-1 リフレッシュシールド工法の位置づけ

(a)イメージ図



2. リフレッシュシールド工法の概要

本工法は管渠の更新のための布設替えに関するものであり、工法の位置づけとしては図-1に示すようになる。工法の概念は、図-2に示すような中央に開口部を設けたカッターヘッドとその中空部を通した方向制御支持装置を有するシールド掘進機により、既設管渠および周辺地盤を掘削撤去しながら、掘進機後方に新設管渠を布設するものである。掘削用のカッターは、コンクリート掘削および鉄筋切断用の

(b)工法原理図

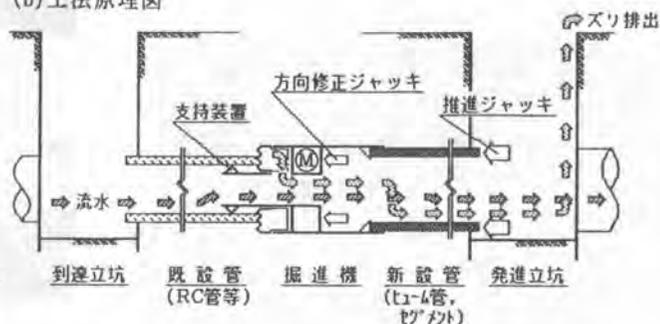


図-2 リフレッシュシールド工法概念図

ローラカッタと、地山掘削用のハイト型ヒットを配置する。

本工法の特徴としては、鉄筋コンクリート管渠を掘削でき、かつ下水を流下させることも可能であり、さらに方向制御支持装置により既設管からそれることなく新設管を布設できることである。

3. 実験目的

掘削要素実験は、本工法の中心となるローラカッタによる鉄筋コンクリートの掘削状況を調べることを目的とした。調査項目は、管の破壊状況、鉄筋切断状況および鉄筋の挙動、掘削反力、掘削ずりの取り込み状況等である。

4. 実験装置および方法

実験用の供試体としては図-3に示す馬蹄形断面コンクリート管モデルを製作した。管上半部には9mmφ鉄筋を配筋し、コンクリート設計強度は200kgf/cm²とした。この供試体を土槽内に設置し、その周囲を地盤を模擬して低強度発泡モルタル（一軸圧縮強度約5~10kgf/cm²）で充填した。

実験装置を図-4に示す。実験装置は、推進ジャッキにより掘進機（外径1000mm）を所定の速度で駆動して、架台上に設置された供試体（管渠モデル）を掘削できるものである。掘削用のカッタは鉄筋切断を考慮し、通常よりも鋭利な刃先角度のローラカッタとした。写真-1にカッタヘッド部を示す。

実験は掘削位置関係（既設管渠の不陸や蛇行を想定）、カッタ回転数、掘進速度を変化させて掘削し、掘削推力、カッタトルク等の特性値を検出し電気信号に変換し記録・解析した。

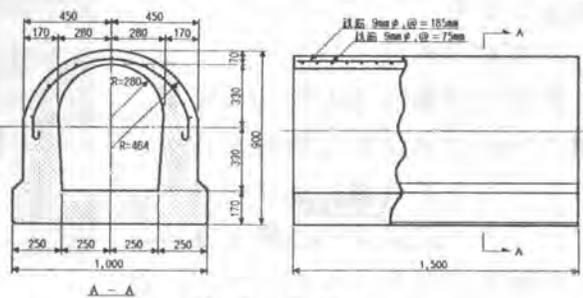


図-3 供試体

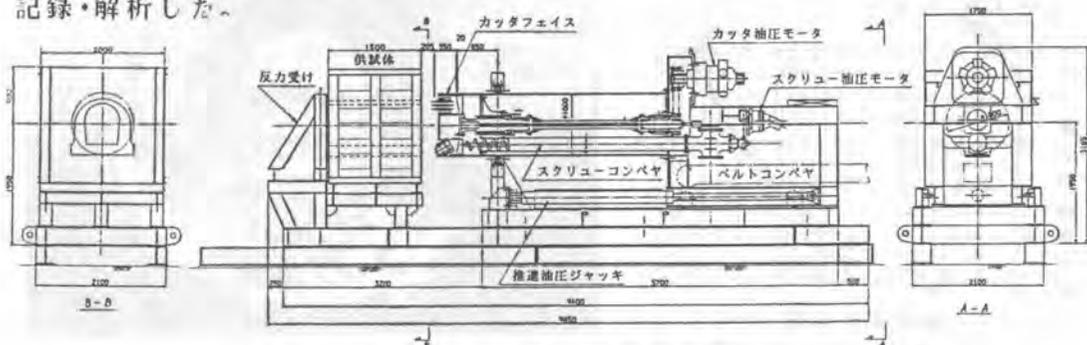


図-4 実験装置全体図

5. 実験結果および考察

5.1 掘削状況について

掘進速度を10~40mm/min(カッタ回転数9rpm)の範囲で変化させ実験したが、掘削状況の観察から、供試体は大きく破壊することなく掘削でき、鉄筋切断も可能であった。掘削中の掘削機は上下左右および掘進方向に振れを生じており、掘削力が均等でない状況がみられた。写真-2に掘削中の状況(供試体のみ掘削実験)、写真-3に掘削後の状況(土槽内に設置した供試体の掘削実験)を示す。

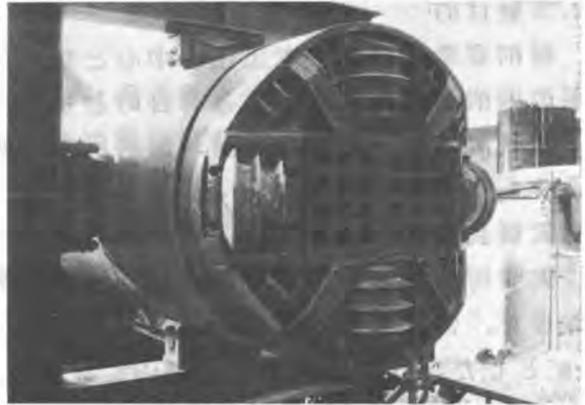


写真-1 実験装置カッタヘッド部

5.2 掘削ずりについて

掘削ずり性状を図-5に示す。掘削ずりはおよそ90%以上が50mm以下の粒径となり処理しやすい状況であった。また、掘削ずりは既設管(供試体)の内空に蓄積されることなく二次破碎されて取り込み搬出できた。



写真-2 掘削中の状況

5.3 鉄筋切断について

鉄筋の切断寸法を図-6に示す。軸方向の鉄筋は管渠周辺が拘束されているため外側に逃げられず、ローラカッタにより寸断できることが確認された。したがって、鉄筋が周辺地山を攪乱することはほとんど見られなかった。しかし、



写真-3 掘削後の状況

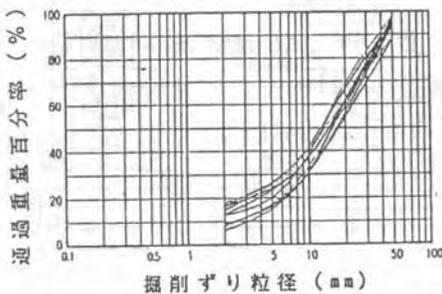


図-5 掘削ずり粒径加積曲線

周方向の鉄筋は切断される前にコンクリートから離脱してしまうために細かく切断されないことも観察された。

5.4 掘削力について

カッタ押付け力（推力）とカッタトルクの平均力の関係を図-7に示す。掘削条件によらず推力とトルクは比例していることがわかる。また、推力およびトルクは供試体が馬蹄形断面であることから図-8に示すように、カッタの回転位置により変化している。図-8からカッタ回転位置に対する推力およびトルクは外周部のカッタがインバート部から側壁部を掘削する時に最大となっていることがわかる。

また、カッタ1回転中にカッタヘッドに生じる曲げモーメントおよびせん断力の一例を図-9に示す。曲げモーメントは推力が最大となる位置で最大となり、カッタヘッドは下方に曲げられていることがわかる。せん断力は曲げモーメントとほぼ直角に作用しており、これは掘削トルクの反力によるものと考えられる。これらの傾向は各実験ケースとも同様にみられ、今回の実験条件範囲においては馬蹄形断面管の掘削ではインバート部から側壁部を掘削するとき負荷が最大になるといえる。これは掘削面積の影響とずりの二次破砕による抵抗力に起因するものと考えられる。

6. あとがき

本実験により鉄筋コンクリート管渠を掘削でき、かつ鉄筋を切断することが可能であることが確認できた。今後はさらに改良を重ね実証に向けて取り組んでいきたいと考えている。

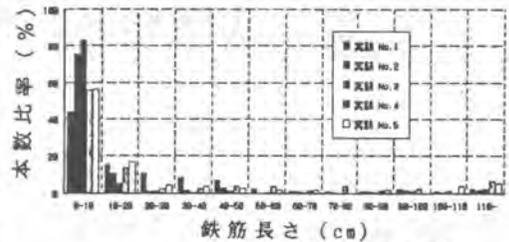


図-6 鉄筋切断寸法の分布

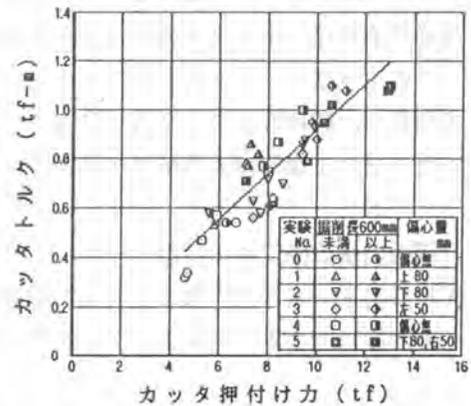


図-7 押付け力とトルクの関係

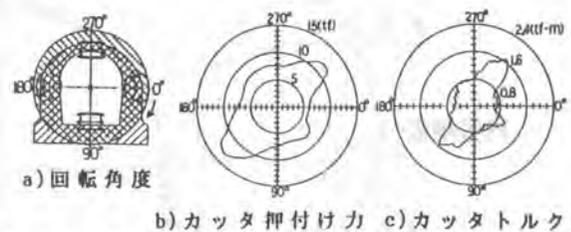


図-8 回転位置と掘削力の関係

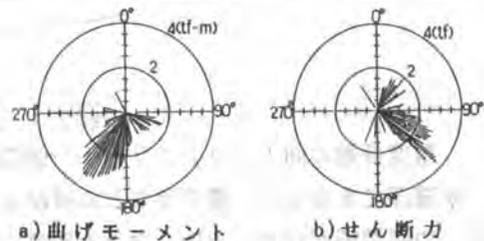


図-9 1回転中の曲げモーメントとせん断力

28. 馬蹄形トンネル鋼板内張改修工法

新日本製鐵(株)：柿崎 稔・木村 哲夫
松本 博嗣

1. はじめに

現在使用されている導水路トンネルは、昭和初期から戦後にかけて建設されたものが多く、施設の老朽化・トンネル寿命などから改修時期を迎えているものが数多くみられます。

このようなトンネルの改修工法として、安全性・工期・経済性に優れた鋼板内張改修工法を開発し、昭和63年12月 信濃川左岸農業用水路トンネル改修工事に採用され実施しましたので、工事实績も含めて工法および専用施工機器について紹介いたします。

2. 鋼板内張改修工法の特徴

- 1) 既設トンネル内へ標準50mmの隙間で同形状の鋼板が内張りされるため、通水断面の減少が極めて小さくできます。

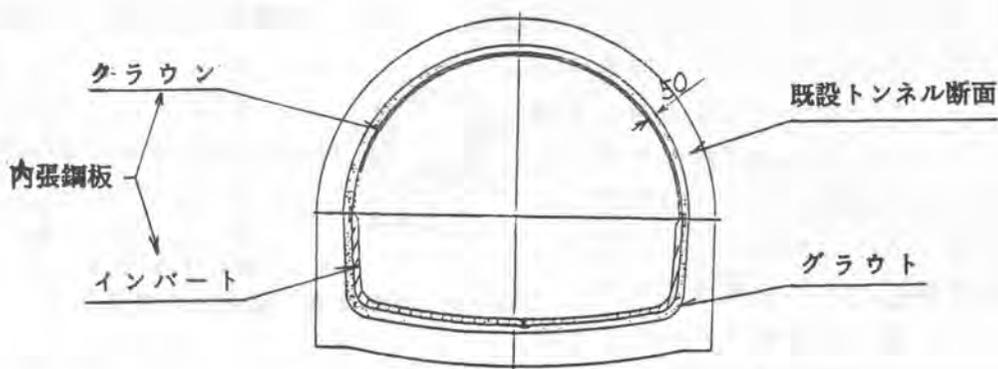


図-1 鋼板内張標準図

粗度係数の向上（コンクリート→塗装鋼板）により、水利上厳しいトンネルでも通水量が確保できるため、盤下げなどの補助工法がほとんど必要ありません。

- 2) 内張鋼板だけで、土圧、地下水圧等の全外圧に耐えうる構造にすることができます。
- 3) 現況のトンネル状態で内張作業ができるため、盤下げ等による地山の応力解放がなく平衡状態にある地山のグラウンドアーチをくずすことなく、安全な施工ができます。
- 4) 大掛りな仮設工事がなく、また鋼板の運搬・据付作業も専用台車により行なわれるので、工期の短縮が図れます。

信濃川左岸トンネル改修工事では、1.58mの2R馬蹄形トンネル430mを約5ヶ月

間で完工しました。(塗装作業 2ヶ月含む)

5) 漏水を完全に止める為、既設覆工の劣化が進行しません。

3. 内張鋼板の計画設計

構造計算

設計対象荷重は、水圧と土圧および水圧による座屈が掲げられ、周辺地盤の状態、既設トンネルの老朽度合などを考慮に入れて設計を行ないます。

主な検討内容は、

- ① 浸透水による鋼板の座屈解析 (図-2)
- ② 土圧、水圧による応力解析 (図-3)
- ③ グラウト応力解析 (グラウト強度決定) であり、

・既設トンネルが土圧および上載荷重を負担できる場合は、水圧鉄管の設計に準じ、周辺を拘束された鋼板の浸透水圧による座屈が破壊状態となるので、座屈解析により鋼板の計算板厚を決定します。

・既設トンネルが土圧および上載荷重を負担できない場合は、座屈解析および土圧・水圧による応力解析を行ない、どちらか厚い方の板厚を鋼板の計算板厚とします。

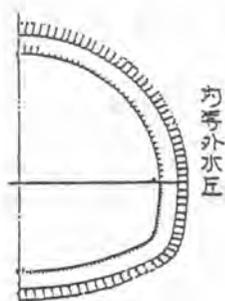


図-2 周辺拘束状態における
浸透水による座屈解析

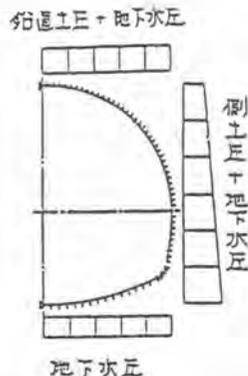


図-3 土圧・水圧による応力解析

4. 施工法

標準施工フローは、右図の通りです。

まず工場にて既設トンネル断面よりわずかに小さい相似形断面の内張鋼板（クラウン材とインバート材の2部材に分割）を製作します。次に現地に搬入されたインバート材を専用台車により既設トンネル内へ運搬据付し、順次溶接接合を行ない、溶接部検査、裏込2次グラウトを注入します。

続いてクラウン材も同様の工程を繰り返し仕上げに内面塗装を行ない完成です。

この施工法の他に、①既設トンネルの条件により、曲線が多い場合、②はつり作業が発生し、安全性を重視する場合等への対応も、①インバート材の分割、②インバート・クラウンの同時据付工法により可能となります。

施工フロー図

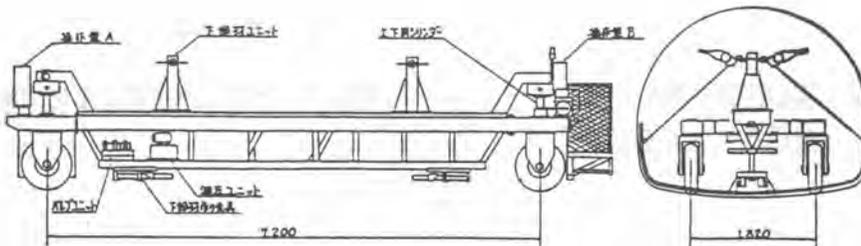
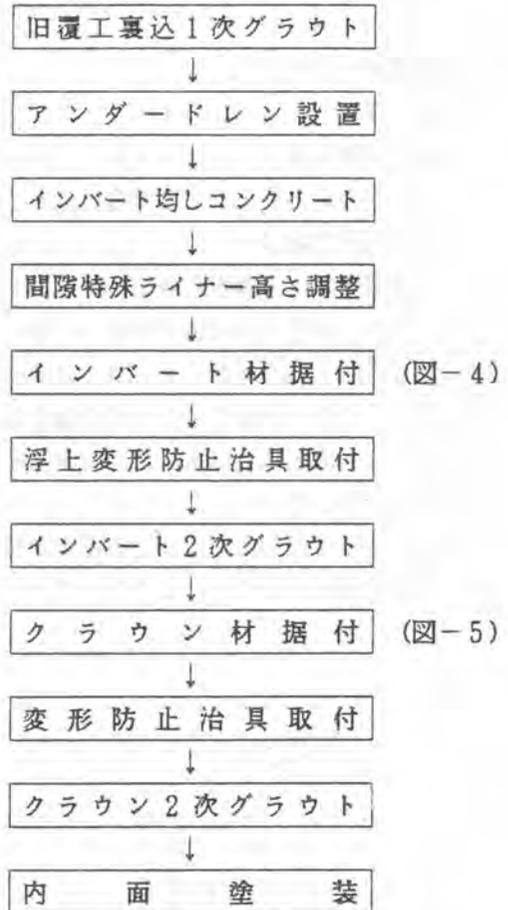


図-4 インバート材据付

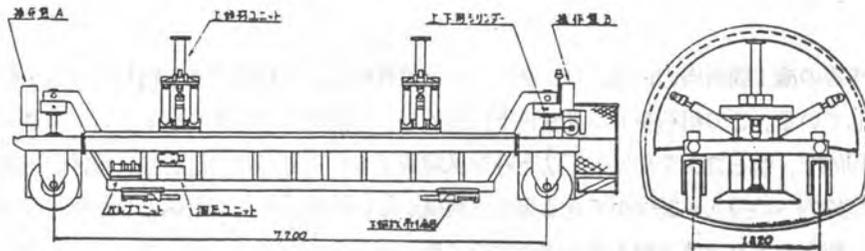


図-5 クラウン材据付

5. おわりに

本工法は、先に述べた通り、施工性・安全性・経済性に優れ、トンネルの全機能を回復させる画期的な改修工法といえますが、今後更なる改良を加え種々の条件にも対応できる工法とし、今後のトンネル改修事業に貢献できるように努力していきたいと思っております。

29. 新粗石コンクリート工法の 機械化施工技術の開発

建設省北陸技術事務所：木下 照和・上村 弘
*中川 毅志

1. まえがき

砂防ダム工事等の施工箇所周辺には、コンクリート用の骨材として利用できる粗石（玉石や転石等）が豊富に堆積している。この粗石をコンクリートに混入し、砂防ダムコンクリートとしての適合性及び合理化を図る目的で、粗石コンクリート工法と呼び試験施工を行っている。しかし、現状の工法では、粗石の採取や型枠内への投入・据付ができる専用の機械がないため、人力を主体とした施工が中心であった。また、粗石を吊り上げて投入する場合はワイヤーモッコやワイヤーロープによる一本吊りといった施工が一般的で、作業の能率及び安全性の悪いものとなっている。

そこで、骨材資源の有効利用と省力化を図るため、砂防ダム工事の粗石コンクリート工法を機械化施工の視点で見直しを行い、新工法として合理的な設計及び施工の手法を確立することと、機械化施工の手段として粗石のつかみ装置の開発を目的として本開発を行った。

2. 試験施工砂防ダムの概要

昭和62年度、北陸地方建設局松本砂防工事事務所姫川出張所管内、北股下流第2号砂防ダム工事（長野県北安曇郡白馬村北股地先）において、試験施工した。ダムの諸元は高さ14m、幅127m、堤体積11,607m³で、副ダム及び水叩のうち587m³（6ブロック）を6月24日～9月18日まで6日間行った。

昭和63年度～平成元年度、同上管内南股第3号砂防ダム工事（同上南股地先）において、試験施工した。ダムの諸元は高さ14m、幅100m、堤体積12,500m³で、本ダム、副ダム及び水叩のうち4,440m³（42ブロック）を昭和63年8月10日～平成元年11月17日まで42日間行った。

3. 試験施工方法及び調査方針

試験施工は今回開発した粗石つかみ試験装置を用い、粗石投入据付の機械化を図るため、①合理的な工法はどれか ②施工の安全性は確保できるか ③開発機械の適応性は ④経済性を発揮できるか ⑤総合的にどの工法が最適であるか等について調査を行った。

4. 現場試験施工

今回の試験施工は粗石の採取から据付、コンクリート打設までの一連の作業について次のように大別して調査を行った。なお、現場での工法の適応性に対して未知の部分が多く、経済性を試算しながら省力化を模索し、総合的に採用できそうな工法を選定しながら作業を行った。作業工程のフローを図-1及び作業状態を写真-1に示す。

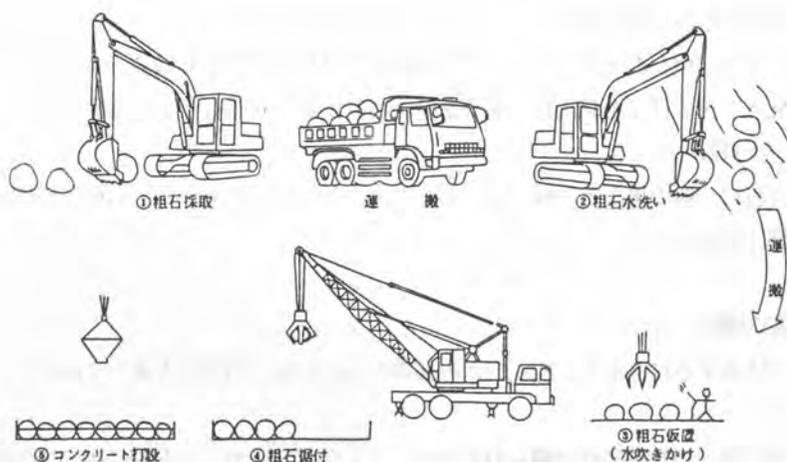


図-1 作業工程フロー



粗石採取

粗石据付

コンクリート打設

写真-1 各作業状態

4.1 粗石採取

粗石の採取は、床堀掘前時の土捨場と河川内からバックホウにより採取し、ダムサイトの仮置き場へダンプトラックで運搬した。粗石の選定にあたっては、直径50～100cm程度の円形で極端に扁平な形状のものは避け、未風化で有害なクラックがないものを使用する。

4.2 粗石仮置

粗石をつかみ装置でつかむための置き方について検討した結果、粗石を敷砂利の上に間隔を開けて集積し、順次つかみ取っていく方法が最も効果的に作業が行えた。

4.3 粗石据付

粗石をクレーンとつかみ装置によってダム型枠内(70～120m)へ投入する作業で種々な作業条件を設定し、調査した結果図-2に示すような据付方法で行った。粗石を

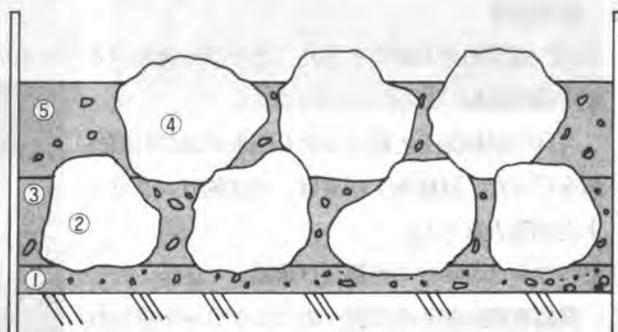


図-2 粗石据付方法

据付する際には粗石を吊った状態でジェットポンプで水を吹きかけコンクリートとの付着を良好にする作業を併せて行った。粗石混入率（ブロック体積に対する粗石の体積）は25%程度が妥当なところで、むやみに混入率を上げて施工性、品質を低下させるため好ましくない結果となった。

4.4 コンクリート打設

コンクリート打設は一般の施工と同様にコンクリートバケット（1m³）に粗石据付時使用したクレーンを用いて施工を行った。

5. 粗石つかみ装置の開発

今回の試験施工を実施するにあたり、粗石つかみ装置を下記に記す事項を考慮して開発を行った。

5.1 ベースマシン

砂防ダムの工事現場での作業条件は限られたスペースしかないため、粗石据付用の専用機械の導入は避け、コンクリート打設に使用するクレーンをベースマシンとして、クレーンのフックに容易に取り付けられるアタッチメント方式とした。（クレーンはトラック・クローラ・ケーブルの何れも可）

5.2 構造

粗石混入率の向上や細かい位置決め必要性、さらに異形な粗石であっても確実なつかみ状態を得るために、装置のつかみ部をアーム部とつめ部の2関節式の構造とした。

5.3 機能及び重量

現場条件で粗石の形状は直径100cm程度が多いため、直径100cmの粗石をつかむことが可能な構造とし、クレーンを一般の施工と同様の規格で使用できるような重量とした。（1m³のコンクリートバケットにコンクリートを詰めた重量より軽い）

5.4 動力源

アタッチメント方式のため、クレーンの規格、構造等に左右されず、かつ機動性、装置の着脱の簡素化を考慮してつかみ装置側で動力（エンジン）を有する油圧式とした。

5.5 運転操作

施工の安全性を考慮し、クレーンのオペレータが無線式でワンマンコントロールできる機構とした。

6. 調査結果

今回の調査結果で解明できたこと及び今後検討すべき事項を下記に記す。

(1) 経済比較

今回の試験施工と純コンクリートダムの経済比較を行った。試験施工結果は、ほぼ純コンクリートと同等となった。

(2) コンクリートの品質及び規格

品質管理は粗石の周囲へのコンクリート充填状態をボーリングを行って調査した。その結果、写真-2に示すように十分にコンクリートを行き渡



写真-2 粗石コンクリートのコア

らせることができた。また、採取したコアの圧縮強度試験を行い純コンクリートと同等の強度を出すことができ良好な品質を確保できた。

(3) 粗石つかみ装置

試験施工に使用したつかみ装置は、稼働中は故障もなく作業状況は概ね良好であった。装置の全体写真を写真-3に、主な仕様諸元を表-1に示す。



写真-3 つかみ装置全体写真

表-1 つかみ装置の主な仕様諸元

型式	全油圧2関節アーム3本式	
性能	つかみ寸法	φ1,000 mm
	最小つかみ寸法	φ300 mm
	つかみ可能重量	2,300 kg
諸元	全高	1,990 mm
	重量	1,200 kg
	エンジン出力	8ps/1,800rpm
操作方式	無線式FM波	8要素

開発した粗石つかみ装置は、下記のような特徴を有するため、粗石コンクリート工法以外の他の工種にも有効に活用できる。その利用方法として、山形県山形建設事務所管内馬見ヶ崎川で粗石護床工に使用した。作業状況及び完成状況を写真-4に示す。

- ① ベースマシンがクレーンのため、リーチがあり石の据付位置の高低に影響されない。
- ② つかみ装置と他のアタッチメント（コンクリートバケット等）との交換が容易にできる。
- ③ 装置が2関節式の構造であるため、確実に石をつかむことが可能である。
- ④ 無線式でクレーンのオペレータがワンマンコントロールでき安全に作業ができる。



写真-4 粗石護床工施工状況（山形県馬見ヶ崎川）

7. まとめ

粗石コンクリート工法の機械化施工は、おおよそ工法を確立することができた。従来は、人力施工が主体であったものを機械化することで施工の安全性及び作業能率を向上できた。経済性ではほぼ純コンクリートと同等程度の結果ではあるが、施工箇所周辺に堆積している粗石を骨材資源として有効に活用できたことは効果を発揮している。

30. 液体窒素を用いたプレクーリング工法の開発

清水建設(株)：根上 義明・梶岡 保夫
 〃木村 克彦
 東京ガス(株)：峯岸 孝二
 東京冷産業(株)：平野 正

1. はじめに

近年、本四連絡橋などの長大橋下部工、LNG地下タンクなどの側壁、底版、原子力発電所のベースマットなどのようにコンクリート構造物の大型化に伴い、セメントの水和熱に起因する温度ひびわれ制御が構造物の耐久性、機能性の点から重要な検討課題であると考えられる。このようなマスコンクリートの温度ひびわれ制御方法としては、コンクリート温度上昇に関する対策が基本的な対策として多くの工事で実施されている。たとえば、温度上昇に関する対策には、低発熱型セメントの使用、練りませ水としての冷水の使用および氷の混入などのプレクーリング方法がある。このような対策の中でプレクーリングは効果的な対策のひとつであるが、1970年代の後半までは冷水、氷および冷風を使用した方法に限定されているために、コンクリート温度低減量が小さく、温度ひびわれ制御にも限界があった。しかし、1970年代にアメリカを中心にして始まった -196°C の液体窒素（以下、 LN_2 ）を使用したプレクーリングの実施により、工法の適用範囲が大幅に広がったと考えられる。

本報告は、プレクーリング方法の一つである LN_2 により冷却した細骨材を用いたプレクーリング工法について冷却砂製造設備、コンクリート温度管理方法、本工法で製造した冷却コンクリートの性質、コンクリートの冷却効率についてとりまとめたものである。

2. 基本原理

本工法の基本的な考え方は、図-1に示すとおりである。まず、コンクリートの主材料の一つである細骨材（または粗骨材）と -196°C の LN_2 とを効率よく練りませることにより砂粒子の温度をマイナス数十度に冷却し、かつ細骨材粒子の表面に付着している水を凍らせ、サラサラの超低温の細骨材（以下、冷却砂）を製造する。この細骨材を用いてコンクリートを練りませることにより冷却砂のもつ冷熱でコンクリートの練上り温度を下げるものである。冷却砂の製造において、細骨材は表面積が大きいため、また LN_2 との熱交換が短時間で可能となるので LN_2 のもつ冷熱をより効率的に砂と交換できる。

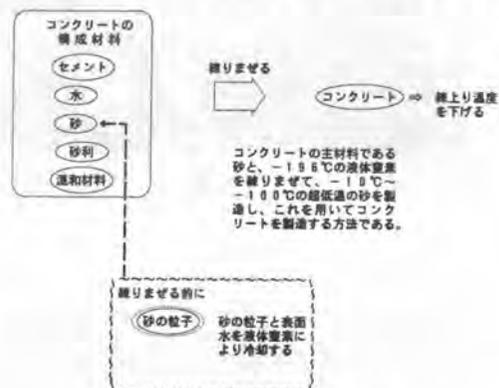


図-1 本工法の基本原理¹⁾

3. 冷却コンクリート製造システムおよび温度管理

(1) システムの概要

LN_2 によるプレクーリングシステムは、冷却砂

製造設備、 $L N_2$ 噴入コントロール設備、材料およびコンクリート温度管理システムからなる。これら設備の既設コンクリートプラント（以下、C/P）への組み込み例は図-2のとおりである。温度管理システムを除き既設のC/P操作盤と他のシステムは連動しており、冷却砂製造は自動化されている。以下に、それぞれの設備の概要および温度管理方法について述べる。

(2) 冷却砂製造設備

本設備の主な構成要素は、冷却砂製造装置（以下、サンドクーラ）本体、砂計量機、窒素ガス（ $G N_2$ ）排気ダクト、冷却砂排出シュートおよび操作盤である。なお、必要に応じて砂回収装置をサンドクーラと排気ダクトの間に設置する。サンドクーラは、外部からの熱の流入を防止するためにその周囲は硬質ウレタンで断熱されている。そのためサンドクーラ外表面は外気温にほぼ等しく、その内側の温度は図-3に示すように外気温に比べて約 $40^{\circ}C$ 低い $-10 \sim -20^{\circ}C$ で、断熱効果が十分であることが分かる。また、サンドクーラ内側温度は、冷却砂温度が $-50^{\circ}C$ 程度であれば約 $30 \sim 40^{\circ}C$ 高いようである。これは、サンドクーラ

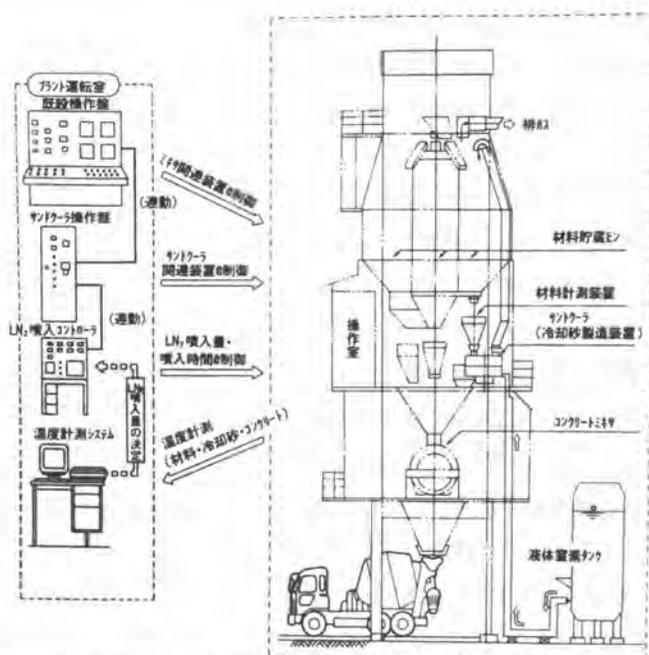


図-2 冷却砂製造システムを既設のコンクリートプラントに組み込んだ例²⁾

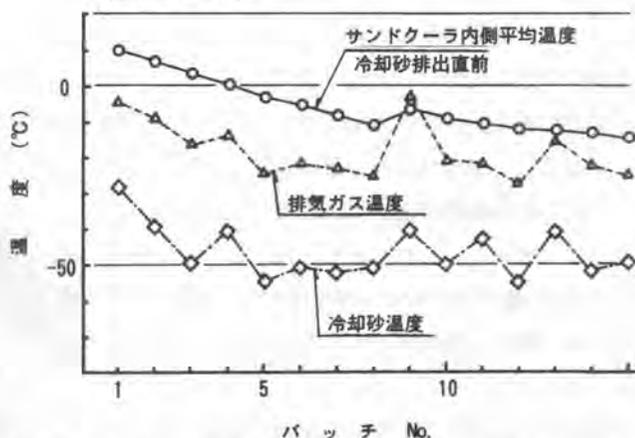


図-3 冷却砂、排気ガスおよびサンドクーラ温度の経時変化

ラ内側に砂があるため、 $L N_2$ が直接接しないためであると考えられる。サンドクーラからの $G N_2$ 排気口位置で測定した $L N_2$ 噴入中の $G N_2$ 温度の平均値は、冷却砂温度より約 $30^{\circ}C$ 高い値を示している。なお $G N_2$ 温度は、噴入開始時には常温砂の温度に、終了時には冷却砂温度にほぼ等しい。

(3) $L N_2$ 噴入コントロール設備

$L N_2$ 噴入コントロールシステムは、図-4に示すとおりであり、主な構成要素は、 $L N_2$ 噴入コントローラ、流量制御用バルブ、噴入ノズル、圧力、温度、流量などの計測機器、 $L N_2$ 供給配管である。 $L N_2$ は、サンドクーラ側部に取り付けられたノズルから $L N_2$ 噴入コントローラにセットされた所定の噴入速度（単位時間当たりの噴入量）で所定量を噴入する。 $L N_2$ の噴入は流量制御バルブの開度で調

整しており、噴入速度の制御は、圧力制御でなく、流量制御により行っている。これを圧力制御した場合には、配管のクールダウン状況などにより同一の噴入圧力でも噴入流量は、大きく変動するために、短時間で多量の LN_2 を滑らかに噴入することは難しい。そこで、バルブの開度調整を流量計の流量により行う流量制御によって行うことによって滑らかな噴入が可能となった。 LN_2 の噴入は、サンドクーラに砂を投入し、投入口位置に設置したスライドゲートが締まってから数秒後に開始し、周辺に GN_2 がもれるのを防いでいる。

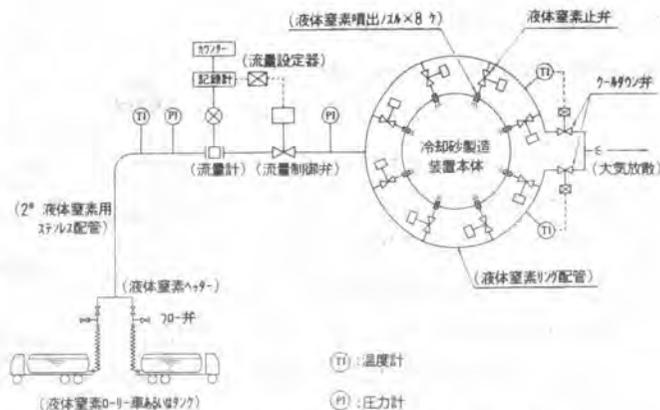


図-4 液体窒素噴入制御システム¹⁾

（4）コンクリート練上り温度管理システム

コンクリート練上り温度管理システム

コンクリート練上り温度管理に用いた計測システムのフローは図-5に示すとおりである。各材料およびコンクリート温度は、T型熱電対で自動測定し、それぞれの温度は運転室に設置したCRTに表示し、これらをもとに次のバッチからの LN_2 噴入量をコントロールすることによってコンクリート温度を管理するシステムである。測定状況を写真-1に示した。本システムを用いて冷却コンクリートの温度管理を行った場合の練上り温度のバラツキの一例は、約 $1^{\circ}C$ であった。⁴⁾

4. 冷却コンクリートの性質

4. 冷却コンクリートの性質

（1）フレッシュコンクリート^{1) 5)}

フレッシュコンクリートの試験結果は次のとおりである。冷却砂を用いて練りませたコンクリート（

以下、冷却コンクリート）における、実機規模の実験では冷却によりスランプは増大する傾向が認められた。空気量は、いずれの場合にも常温および冷却コンクリートとも同一となるように混和剤を添加したために差はなかった。また、常温および冷却コンクリートの凝結速度に差はないが、ブリージングは冷却コンクリートの方が少なくなる傾向を示した。

測定項目	計器名	切換器	測定器	データ収録器
サンドクーラ温度 (冷却砂製造用)	T型熱電対	スキャナー	データロガー	パソコン
	T型熱電対			
	T型熱電対			
常温砂温度	T型熱電対	スキャナー	データロガー	パソコン
冷却砂温度 (サンプラー)	T型熱電対			
材料温度 (砂利、セメント、水)	T型熱電対	スキャナー	データロガー	パソコン
	T型熱電対			
コンクリート温度 (アジテータ内)	T型熱電対			

図-5 温度計測システムフロー³⁾



写真-1 温度計測状況

(2) 硬化コンクリート⁶⁾

圧縮強度と練上り温度との関係では、練上り温度を10℃低減すれば、圧縮強度は約10 kgf/cm²増加する傾向が認められた。また、引張強度および弾性係数は、圧縮強度が同一であれば冷却による影響はないようである。

(3) コンクリート温度低減量⁷⁾

本工法により23～28℃の常温コンクリートを0℃まで冷却しており、その低減量は約25℃である。従来のプレクーリング方法の温度低減量の限度が実用的には15℃程度であるのに比べて、本工法は大幅なプレクーリングが可能であることがわかる。

(4) 冷却効率

本工法によるコンクリートの冷却効率を既往の文献から算定した他のLN₂によるプレクーリング工法の冷却効率とともに図-6に示した。本工法の冷却効率の平均は約70～85%であり、他の工法では約40～55%である。コンクリート温度低減量、配合などが異なるので同一レベルでの比較はできないが本工法は、他の工法に比べて約20～40%高い冷却効率を示している。

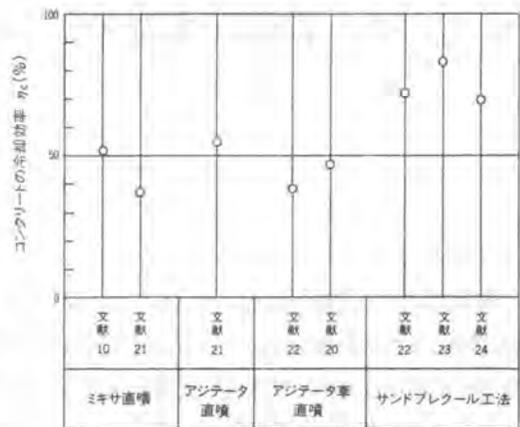


図-6 LN₂を用いたプレクーリング工法の冷却効率の比較⁸⁾

5. まとめ

本研究は、液体窒素で冷却した細骨材を用いたコンクリートのプレクーリング工法において、冷却砂製造設備、コンクリート温度管理方法、冷却コンクリートの性質および冷却効率について検討したものである。本研究の結果、得られた主な成果は次のとおりである。

- (1) 冷却砂温度が-50℃程度であれば、冷却砂製造装置の内側の温度は、冷却砂温度より30～40℃高く、排気ガス温度は約30℃高い。
- (2) 液体窒素は、LN₂噴入コントローラを用いて圧力制御より流量制御の方が滑らかに噴入できる。
- (3) コンクリート練上り温度は、リアルタイムで得られた測定結果を用いて液体窒素の噴入量をコントロールすることで十分に管理できる。
- (4) 本工法による冷却効率は、既往の液体窒素による工法に比べて高く、大幅な冷却が可能である。

参考文献

- 1) 木村克彦他：液体窒素により冷却した細骨材を用いたプレクーリングシステムの開発、土木学会論文集No. 409/VI-11 1989. 9
- 2) 後藤貞雄：サンドプレクール工法の開発、土木学会論文集No. 409/VI-11 1989. 9
- 3) 近藤克巳他：液化窒素を用いたプレクーリング工法による地下式貯槽マスコンクリートの施工、コンクリート工学年次論文報告集 11-1、1989
- 4) 加藤和彦他：液化窒素を用いた沈埋函体側壁コンクリートプレクーリングの施工、コンクリート工学年次論文報告集 11-1、1989
- 5) 栗田守朗他：液体窒素で冷却した砂を用いたコンクリートの性質に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集 10-2、1988
- 6) 根上義昭他：液体窒素で冷却した砂を用いて製造したコンクリートの諸性質に関する研究、土木学会論文集V投稿中
- 7) 木村克彦他：液体窒素で冷却した砂を用いたコンクリートの製造に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集 10-2、1988
- 8) 小野定他：液体窒素で冷却した骨材でコンクリートをプレクーリング、セメント・コンクリート No. 509, 1989. 7

31. 降灰対策型(小形)路面清掃車の開発

建設省九州技術事務所：新 英司・宅間 義明
*木村 直紀

1 はじめに

桜島では火山活動が活発に続いており、噴火による降灰は鹿児島市を中心とする周辺地域の住民の生活環境に多大の影響を与えている。特に道路上に堆積した灰は自然風や通行車両によって巻上げられ、交通や沿道居住者の日常生活に支障をきたしており早期除去が要望されている。

これまで主要道路の降灰除去に関しては62年度に開発した大形の路面清掃車に対応しており、また、人々の生活に密着した狭隘な生活道路及び歩道には小型の路面清掃車を用いて降灰除去を行ってきた。しかし、既存の小形路面清掃車はホッパ効率が著しく悪く、またガッタ部からの粉塵が多い等の問題があった。このため降灰量が多い場合にも清掃速度が低下することなく、清掃能力を向上させるとともに十分な防塵効果を施し、効率の良い清掃作業を行うための小形路面清掃車の開発を行い良好な結果を得た。従って、本稿でその報告をするものである。

2 開発機の概要

小形路面清掃車について実態調査を行い次のように開発機の基本構想をまとめた。

- ① 回収方式：メインブラシに加え、ホッパ入口に撈上げ用の4枚羽根のロータ(スパイラルタイプ)を取り付け、塵埃を遠方に撈ね飛ばす2段撈上げ方式とする。
- ② 防塵対策：サイドブラシやホッパ下部周囲に防塵膜(ゴム製)を取り付け、集塵ファンにより舞い上がった粉塵を吸収し、外部へ出さないようにする。
- ③ 主要寸法：0.4m³クラスと同程度とする。ただし、4トダンプへの直接積込を可能なものとする。

開発機の基本構想に

従い実験機を製作し、九州技術事務所構内においてホッパ効率向上のため、ロータの運転、メインブラシとロータ位置、ガイドプレートの有無によるホッパ内の回収状況の調査ならびにホッパ効率等の性能試験を実施した。その結果、ロータの位置

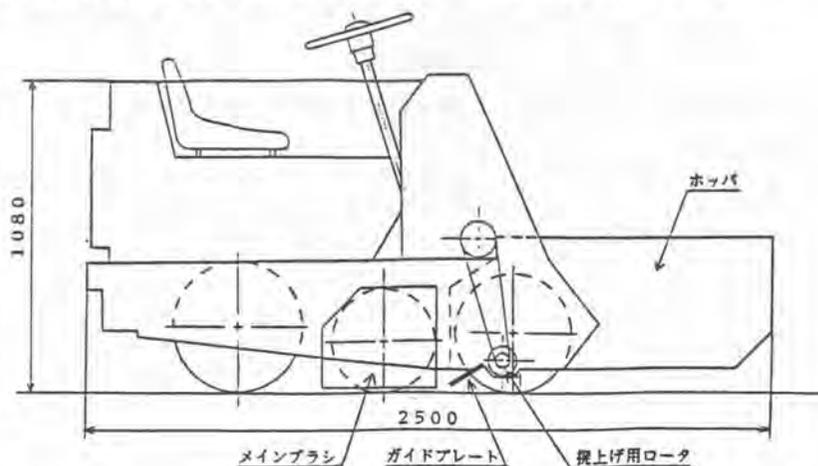


図-1 実験機概略図

表-1 主要諸元

〔性能〕		
清掃速度		0~13 km/h
清掃幅		1,400 mm
ホッパ容量		0.4 m ³
最大ダンピングクリアランス		1,750 mm
〔各部の容目〕		
全 体	全 長	2,570 mm
	全 幅	1,675 mm
	全 高	1,930 mm
	車両総重量	1,770 kg
エンジン	型 式	4サイクル水冷ディーゼル機関
	総排気量	1,395 cc
	定格出力	26 ps/2,600 r.p.m
集塵ファン	型 式	ラジアルプレートファン
	風 量	15 m ³ /min
	圧 力	500 mmAq
ブラシ装置	縦型ブラシ(サイド用)	φ535 mm
	横型ブラシ(挽上げ用)	φ355 mm × 1,065 mm
	材 質	ポリプロピレン
スパイラル ロータ装置	寸 法	φ100 mm × 950 mm
	駆動方式	油圧モータ駆動
	回転速度	1,000 r.p.m
	材 質	SUS403

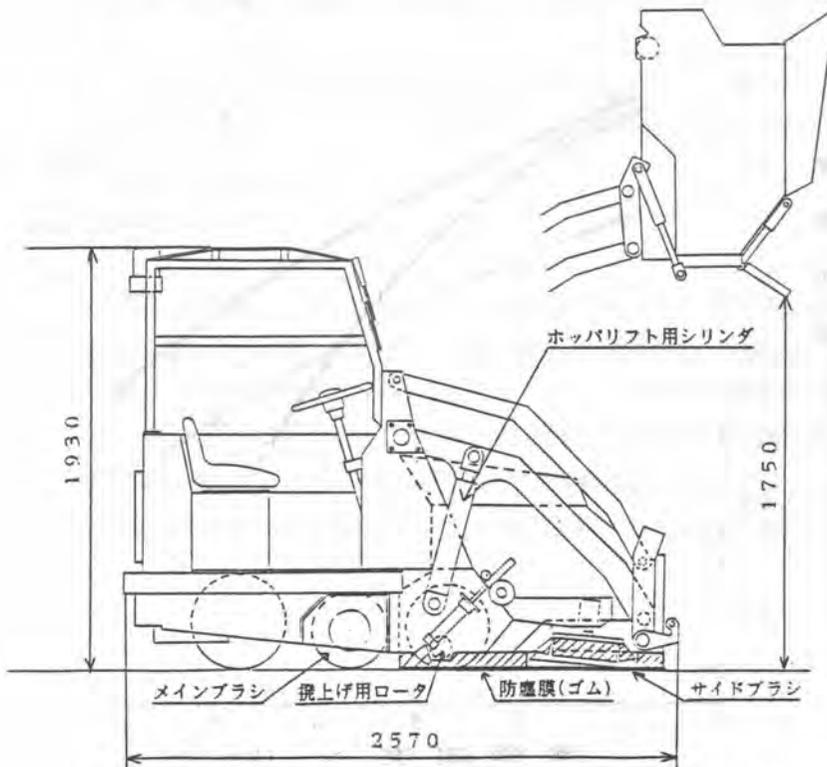


図-2 試作機概略図

をホッパ内にてできる灰の山の箇所に取り付けることにより灰をホッパ奥に飛ばし、ホッパ効率を大幅に向上させることができることがわかった。

また、回収量は乾燥灰において約 0.3m^3 であり、ホッパ効率は75%となっている。湿潤灰においては約 0.36m^3 回収されておりホッパ効率は90%にも達している。

以上の性能試験の結果を基に、防塵装置等を装備した試作機を製作した。その主要諸元と概略図を表-1と図-2に示す。

さらに降灰用として次の対策を施した。

- ① メインブラシはその材質及び構造を化学合成繊維(ポリプロピレン)の密植型とし、掃上げ力を向上させた。
- ② 粉塵の吸込みを防ぐため、エアークリーナーの吸込口を車体上部への立ち上げとした。
- ③ 排出時の最大ダンプ高を $1,750\text{mm}$ とした。

3 試作機による実証試験

降灰地区である鹿児島市黒神町(桜島島内)において、試作機の性能確認のための実証試験を行った。試験は自然堆積している箇所を選定した。

(1) ホッパ効率調査

掃残しが生じたときのホッパ効率を求めたところ、乾燥灰、湿潤灰ともに約60%あり、在来機

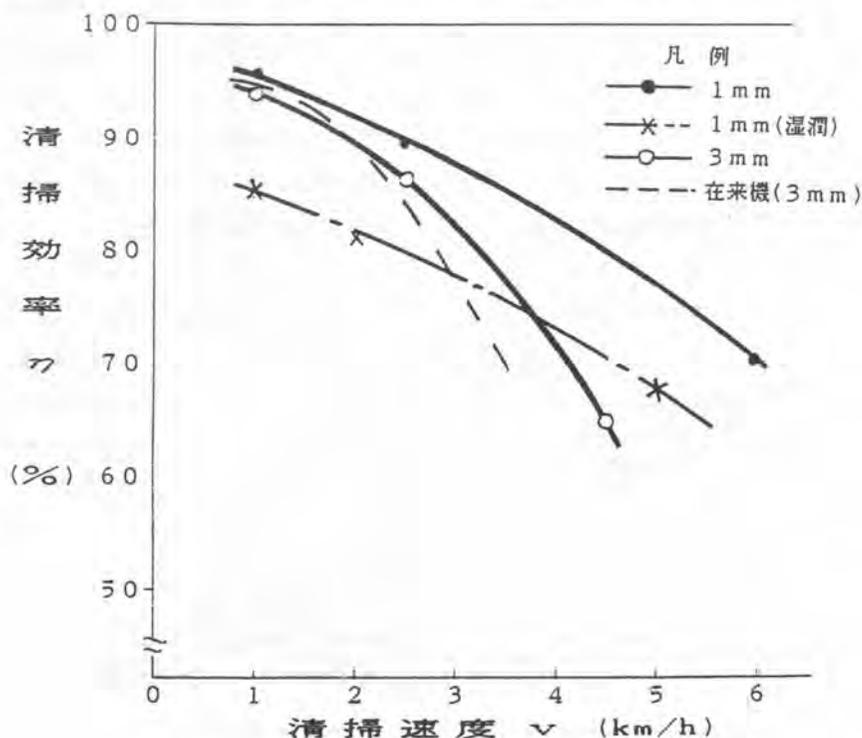


図-3 清掃効率

のホッパ効率（30%程度）の2倍の効率が得られた。

(2) 清掃効率調査

清掃効率は式-1により求めた。

$$\eta = 1 - \frac{\text{掃残量(Kg)}}{\text{堆積量(Kg)}} \times 100 (\%) \quad (\text{式-1})$$

なお、堆積量及び掃残し量は試験区間の5箇所を試験前後に計量した。

図-3に清掃効率調査の結果を示す。乾燥灰では堆積厚3mm以下、清掃速度3km/h以下において清掃効率は80%以上あり、堆積厚1mmの湿潤灰では清掃速度3km/h以下で75%以上の清掃効率が得られた。また、在来機と比較しても十分な性能を有していることがわかる。

(3) 粉塵量調査

粉塵量は清掃作業により舞上がる粉塵の量を携帯用デジタル粉塵計（柴田化学製P-5型）により調査した。

また、目視による確認も併せて行った。清掃作業にともない舞上がる粉塵の量は表-2に示すように清掃速度に比例して大きくなる傾向があるが、防塵装置を施すことによりその発生を押さえることができた。

また、目視においても3km/h以下の低速度では粉塵の発生は殆どないことが確認され、防塵装置はかなりの効果があることがわかった。このため歩行者の多い歩道や商店街でも散水をせずに十分使用可能である。

表-2 粉塵発生量

粉塵発生量 (mg/m ³)		
作業速度(Km/h)	防塵装置無	防塵装置有
1	192	23
3	239	144
5	255	255

4 まとめ

今回開発を行った小型路面清掃車は在来機に比べ、ホッパ効率が2倍になり、また粉塵量も押さえることができるなど良好な結果が得られた。したがって、現地において清掃開始から捨土までのサイクルタイムの長い、効率の良い清掃作業が行えるものと思われる。しかし、小型路面清掃車の清掃対象である歩道や狭隘な道路は一般の車道と異なり車幅よりも狭い箇所や電柱、防護柵、標識等の障害物があり、よりきめの細かい清掃作業が要求されるため、その現場に応じた清掃作業が必要となる。

今後は1m³程度の中型車まで本方式を採用できるので、降灰地域における狭隘な道路での活躍が期待される。

32. 水中堆積土砂(へドロ等)処理機械の開発

建設省近畿技術事務所：横江 重行・元木 真二
(株)電業社機械製作所：*山田 正嗣

1. まえがき

河川構造物（水門、樋門、樋管、揚排水機場）の導水路、沈砂池等に堆積する土砂により、ゲート開閉の障害、流下断面の減少、疎通能力が低下、悪臭の発生等の問題が生じている。

こうした実態を改善するため、この堆積土砂を効率よく取り除く「水中堆積土砂処理機械」を開発したものである。

2. 処理機械の開発目標

2-1 目標値

- ① 処理物性状 微粒子を含んだ泥水
- ② 泥水処理量 30m³/H程度
- ③ 処理含泥率 7～10%程度
- ④ 作業状態 水中、大気中で稼動

2-2 開発処理機械構想

処理機械の構想を図1に示す。

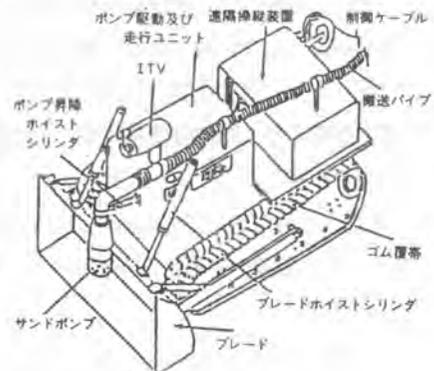


図1 開発構想図

3. 開発経緯

実態調査の結果、(株)電業社機械製作所で開発された「水中排砂ロボットS型」が開発目標と近似していることが判明したが、へドロを対象としていないため、現地適応性試験の必要が生じた。そのため昭和61年度と62年度に現地適応性試験を実施し、その結果、堆積土砂用に改造することにした。

改造に当たっては、「建設省近畿地方建設局近畿技術事務所」と「(株)電業社機械製作所」が共同開発協定を締結して実施し、昭和63年度に再度現地適応性試験を行い開発目標値、内容を満足することが確認されたので、その結果に基づき実用処理機械の設計、仕様を作成した。

4. 水中排砂ロボット（実験用装置）の主要諸元

昭和61年度、62年度の現地適応性試験に用いた水中排砂ロボットの
外観を図2に、主要諸元を表1に示す。



図2 水中排砂ロボット

表1 水中排砂ロボットの主要諸元

形 式	排砂ポンプ搭載・自走式	
重 量	気中1300kg 水中900kg	
排砂ポンプ	吸込口径	φ100mm
	吐出口径	φ75mm
	モータ容量	7.5kW
走行方式・接地圧	ゴムクローラ 0.1kgf/cm ²	
外 形 寸 法	L2150 W1,200 H1,000	

5. 水中排砂ロボットによる現地適応性試験

5-1 試験結果

河川構造物の周辺に堆積したヘドロに対する水中排砂ロボットの適応性試験を昭和61年度に久御山排水機場において実施し、主に水中排砂ロボットの排泥能力や走行能力について調査した。

その結果、排泥能力については地山換算土量で平均6.4m³/H、最大9.4m³/Hが得られた。走行性については、ヘドロの表層部が極めて軟弱であったため、最初にロボット車体回りの軟弱層を排泥してロボットの走行地盤を確保した後、その周囲を掘削していくことにより走行しながら排泥することが可能になった。

続いて昭和62年度に、針ノ木排水機場において再度ヘドロに対する排砂ロボットの適応性試験を行うとともに、閉塞解消装置の効果を調査した。以上の試験結果を表2に示す。

5-2 結果の考察

現地適応性試験の結果、下記事項を検討、改造することにより、処理能力の高い操作性に優れた「処理機械」に近づくことが判明した。

- ① 排泥水の含泥率を高めるため、
効率的な集泥装置の検討
- ② 排泥状況確認方法の検討
- ③ 閉塞解消装置の改良

表2 試験結果

	昭和61年度	昭和62年度
堆積土砂	ヘドロ	ヘドロ
排泥水量	約40m ³ /H	約30m ³ /H
排泥水含泥率	7.1%	3.0%
排泥能力	約6.4m ³ /H	約2.1m ³ /H
試験時間	24H	3H

6. 共同開発協定とその実施

6-1 共同開発協定の締結

昭和63年度に、近畿技術事務所と（株）電業社機械製作所は「河川構造物周辺堆積土砂処理機械」に関する共同開発協定を締結し、水中排砂ロボットに、先に示した検討事項等を含めた改造を加え、開発目標値及び内容の達成を図った。改造内容を表3に示す。

6-2 現地適応性試験

改造前と改造後の両仕様で、完全水没の場合と半水没の場合のそれぞれについて、適応性試験を荒河排水機場において実施し、改造の効果を調べるとともに、開発目標値・内容を満たしているか調査した。

排泥試験結果を表4に示す。改造後は改造前に比べて排泥水の含泥率、排泥能力とも向上し、排泥水量、排泥水の含泥率については

開発目標値を満たすことが確認された。また水中及び大気中での稼動についても表3に示した改造を行うことにより可能であることが確認された。

このほか本試験で以下のことが明かとなった。

- ① 集泥装置は改造後の方が改造前に比べて閉塞頻度が少なく効率的である。
- ② 走行できないような軟弱な堆積層に対しては、堆積泥を掘削排除しながら走行すれば走行抵抗が低減するため走行可能である。また走行性を向上させるためには、集泥装置の幅を車体幅と同程度かそれよりも広くする必要がある。
- ③ 閉塞解消装置の改造効果が確認された。
- ④ 排泥確認装置の有効性が確認された。

表3 改造内容

	従来の仕様	改良した仕様	効果
集泥装置の寸法	250φ×1200L	385φ×1830L	排泥効率の向上
集泥装置のスクリーンとスクリーナーカバーとの隙間	40～58mm	4～5mm	異物による閉塞頻度の減少
稼地圧(水中)	0.14kg/cm ²	0.095kg/cm ²	軟弱地盤上での走行性向上
排砂ポンプ用水中モータの冷却ジャケット及びオイルクーラー	無	有	大気中及び半水中での稼動が可能

表4 排泥試験結果

		排泥水量	排泥水の平均含泥率	排泥能力
完全水没	改造前	66m ³ /H	6.0%	4.8m ³ /H
	改造後	68m ³ /H	10.8%	9.2m ³ /H
半水没	改造前	61m ³ /H	4.9%	3.6m ³ /H
	改造後	60m ³ /H	7.9%	5.8m ³ /H

7. 水中堆積土砂処理機械実用機の設計仕様

昭和63年度の現地試験において、開発目標値・内容を満たすことが確認されたので、これまでに得られた試験データや知見を反映して、水中堆積土砂処理機械実用機の設計を行った。

本機の機器構成を表5に、仕様を表6に、外形図を図3に示す。

表5 機器構成

機器	内 容
本体	集泥装置、排泥ポンプ、油圧発生装置、各機器の制御装置を装備したゴム製クローラによる走行台車
制御盤	水中の本体とケーブルにより接続され、動力の供給と制御信号を送る機器一式を収納し、本体の運動状態の表示と本体各部の動作を監視制御する。
無線操縦器	本体の運転を行うための操作スティックとスイッチを装備し、運転指示信号を制御盤に送信する。

表6 仕様

排泥水量	40~70m ³ /H
走行速度	3~12m/M(可変)
接地圧(水中)	0.095kgf/cm ²
最大登坂角	30度
最大水深	10m
運転モード	自動・手動

8. あとがき

昭和61年度以来行ってきた試験の成果をもとに、水中堆積土砂処理機械の実用機の設計ができた。本機械は数々の改良がなされた結果の有用な機械であるので、ぜひ実用に共し社会的要求に答えたいと考える。

引用文献

建設省技術管理業務連絡会
建設技報-建設技術管理
業務報告-'1989.3創刊号
P20~P23

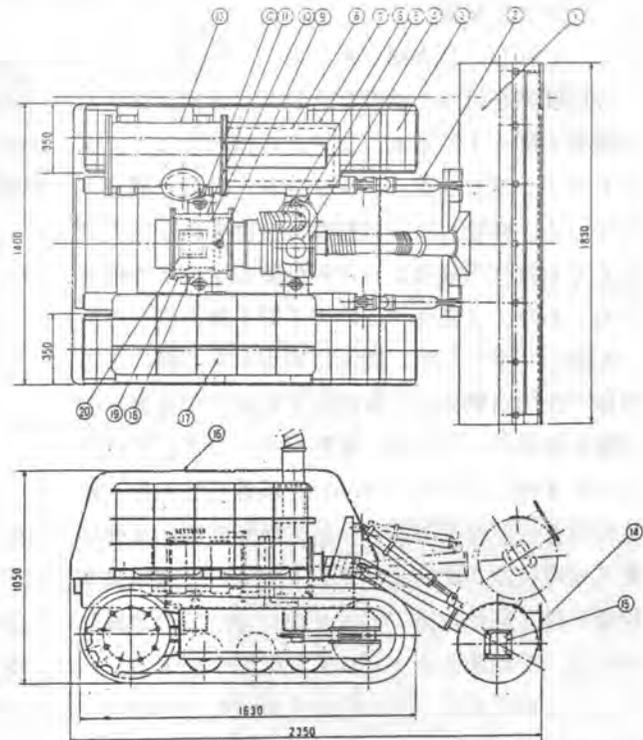


図3 実用機の外形寸法図

33. CAD/CAMによる鉄筋プレハブユニット 自動配筋装置の開発

東京電力(株)：山岸 祐一
清水建設(株)：高見 昌博・山本 勇
*佐藤 等

1. はじめに

原子力発電所等の大型構造物における鉄筋配筋作図作業は、一般建築と異なり全ての部位にわたって作図する必要があり、更に、配筋方法を決定するに当たっても構造標準等により配筋方法が厳しく規定されている。また、実際の配筋作業では太径鉄筋を大量に使用する鉄筋工事の品質、工程、安全を確保する為、鉄筋プレハブ工法を用いるケースが多くなっている。しかし、現状の組立作業は殆どが人手で行われている為、鉄筋のハンドリングはかなりの苦渋作業となっている。

本報告は、これら大型構造物特有の構造基準に適合した鉄筋配筋図が簡単な操作で短時間に出来る鉄筋CADシステムと、同CADで作図された鉄筋ユニットの情報を基に配筋作業を行う鉄筋プレハブユニット自動配筋装置について述べたものである。

2. システム概要

2.1 CAD/CAMシステム

今回開発を行った鉄筋CAD/CAMシステムの概要を図-1に示す。システムはパソコン、タブレット、プロッター、プリンターにより構成されている。鉄筋CADは特殊な技能を持った人でなくても操作可能に対話型のソフトで構成されており、又図面作成時の手間を極力省くため、配筋のパターン化、図面に表現する必要のある各種寸法の自動表示、鉄筋加工形状、重量算定の自動処理を行っている。配筋パターンとしては、右に示す様に4つのパターンを用意しており、例えばパターン2で配筋した場合は配筋開始基準位置、終了基準位置、配筋ピッチを入力すれば開始基準位置と終了基準位置でピッチ余り寸法を均等振り分けし、その間を所定ピッチで配筋が出来る。

又、このCADは単に図面を書くだけではなく、書かれた線を鉄筋として認識し更に各線に属性情報を持たせる事により鉄筋の加工リスト、重量算定等を自動的に処理し出力する事が出来るもので、

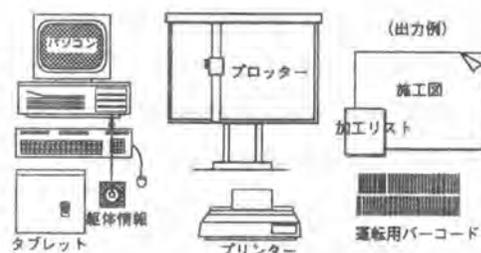


図-1 システムの概要

入力データ	配筋パターン			
	1	2	3	4
配筋開始基準位置	○	○	○	○
配筋終了基準位置	○	○	○	○
最終鉄筋位置	○	○	○	○
第一鉄筋迄の距離	○	×	○	○
最終鉄筋からの距離	×	×	○	×
配筋本数	×	×	○	○
配筋ピッチ	○	○	×	○

○は入力必要データ

主な処理項目を図-2に示す。又、作成された図面はパソコン内のハードディスク内に図-3に示す3種類の形式で保存される。

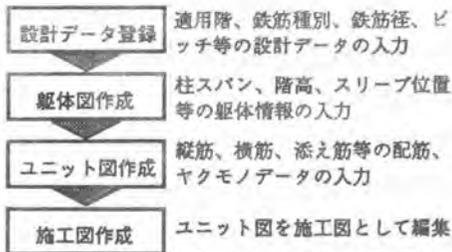


図-2 主な処理項目

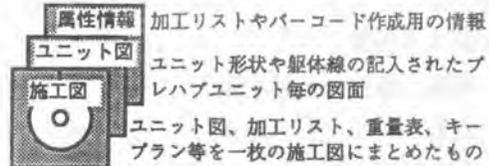
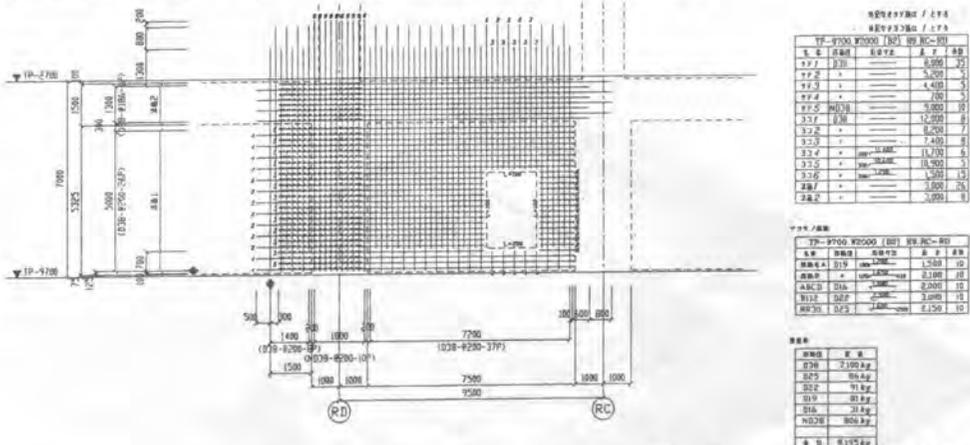


図-3 情報ファイルの種類

図-4に本システムで作成した出力例を示す。図面の出力はプリンター又はプロッターの何れかが選択可能であり、とくにプロッターの場合最大A1サイズの図面が作図可能であり、又鉛筆で作図するため、作図完了後簡単な修正は可能になっている。



TP-9700.W2000 (B2) R9.RC~RD 図-4 CADによる出力図例

CAM部分では、鉄筋CADで書かれたユニット図の属性情報を使用し、鉄筋プレハブユニット自動配筋装置の運転に必要なデータ、即ち、配筋本数、千鳥量、配筋ピッチ、配筋開始位置等のデータを簡単な操作でバーコードに自動的に作成するものである。図-5にバーコードによるデータ設定の概要を示す。

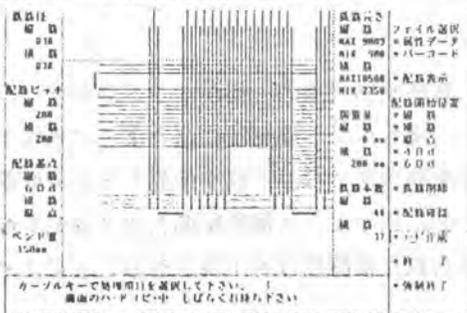


図-5 バーコードによるデータ設定の概要

2.2 鉄筋プレハブユニット自動配筋装置の概要

鉄筋プレハブユニット自動配筋装置は、現状作業で特に問題となっている長尺重量鉄筋のハンドリングに焦点を絞ったもので、鉄筋配筋架台上のX-Y方向にそれぞれ自走可能な鉄筋配筋台車を設け、それぞれの配筋台車上に配筋対象となる鉄筋を搭載し鉄筋を1本ずつ配筋架台上に配筋する装置である。主な仕様としては、以下に示すものである。

- ・ 縦筋、横筋の自動配筋
- ・ 千鳥配筋が可能で鉄筋径に合わせた自動調整出来る。
- ・ 直筋、バンド筋の配筋
- ・ 最大配筋本数は縦筋、横筋とも60本
- ・ 対象鉄筋はD29～D38
- ・ 最大12m×12mのメッシュ状ユニットが組める

図-6に装置全体概要を示す。本装置は、図-6に示す様に縦筋配筋台車、横筋配筋台車、配筋架台の3つで構成されており、まず縦筋配筋台車が所定の位置まで前進し、次に後退しながら配筋架台上に所定の配筋ピッチで鉄筋を1本ずつ配筋する。次に横筋配筋台車が所定の位置まで前進し縦筋配筋台車と同様に鉄筋を1本ずつ配筋架台上に配筋してメッシュユニットを組むものである。

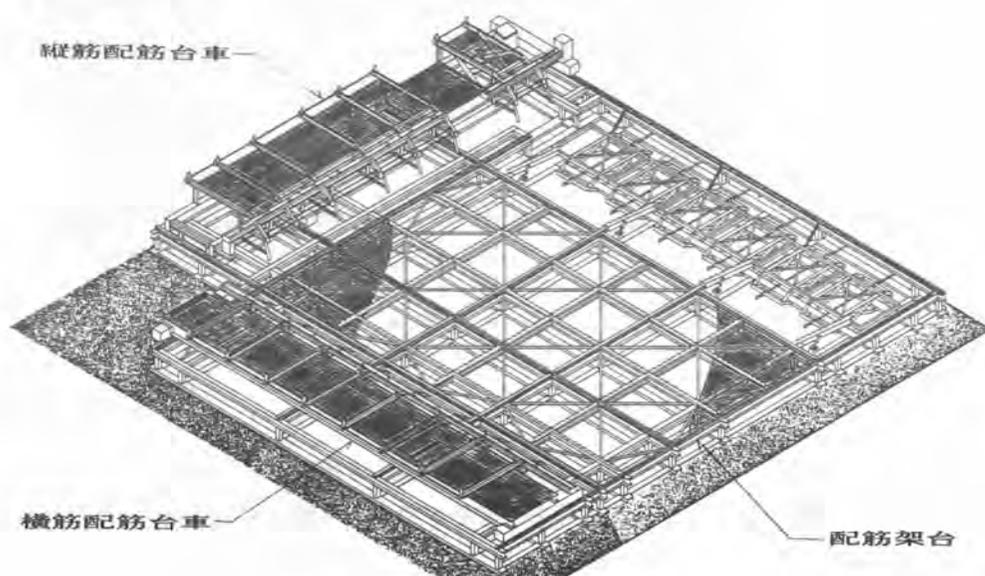
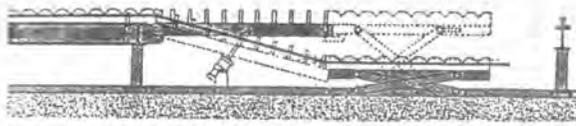


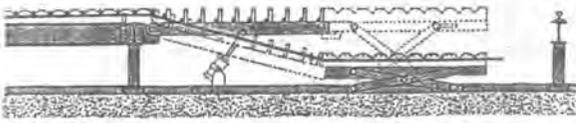
図-6 装置全体

バンド筋を配筋する場合は、図-7に示すように縦筋配筋台車の一部がバンド筋形状に合うように形状を変更することが出来、又、配筋架台の一部もバンド筋形状に合うように形状を変更することが出来る。この状態で①に示す様に縦筋配筋台車でバンド筋を配筋しその後配筋架台に設けられた横筋受けを水平に持ち上げる。次に②に示すように横筋配筋台車で横筋を配筋し、横筋配筋完了後、③に示す様に配筋架台に設けられた横筋受けを下降させることにより配筋が終了する。

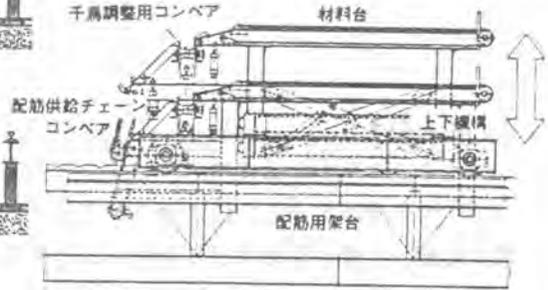
(1) 縦筋配筋台車により縦筋（バンド筋）を配筋



(2) 横筋配筋台車により横筋（直筋）を配筋



(3) 縦筋バンド部の横筋機構を下げて横筋をバンド上に配筋



図一七 縦筋バンド部の横筋配筋機構

3. 効果予測

従来、大型構築物での配筋施工図作成作業は非常に手間のかかる作業であり、又同様のパターンの繰り返しが多く、一例では作図量も3000枚以上と予想される。またこの施工図の中でも壁は鉄筋量の割に作図すべき図面枚数が多いという結果が得られている。この鉄筋施工図作成作業は大きく分けて全体構想、作図、加工帳作成により構成されている。これらの各作業時間としては全体構想1時間、作図8時間、加工帳作成2時間という結果が得られている。

今回開発を行った鉄筋CADの場合、全体構想、作図、加工帳作成の時間が約2時間であることから、従来に比べ約5倍の処理能力が期待出来る。

本装置での適用対象数量の一例を表一に示す。この例では、全体の約30%が自動配筋可能となる。又、配筋に要する作業時間は最大30分程度であり、従来作業に比べ30～60分の短縮が見込まれ、更に、従来は8～10人程度必要であった作業者が最低4人でユニットの組立作業が可能である。更に、鉄筋を所定の配筋ピッチに並べる作業は機械が行うため、配筋作業時の苦渋作業の低減及び安全性の向上が見込まれる。

表一 今後の大型構築物での概算 (%)

建屋全体数量	45,000(100)
プレハブ化対象数量	22,500(50)
自動組立装置対象数量	13,500(30)

4. 今後の課題

本装置は、現場実証実験が完了し本格的な現場稼働が始まった段階であるため、まだ実稼働のデータが不足している。従って、今後実稼働のデータ蓄積及び分析を行い、改良・改善を進めて行く必要がある。又、本装置には搭載していないが、試作機による基本性能の確認が完了している鉄筋自動結束装置を早急に実機として完成させ、配筋から結束までの自動化システムを構築する必要がある。

34. HRCコンベヤによるコンクリート打設

(株)間 組：芳賀 佳之

1. まえがき

ベルトコンベヤ工法はマスコンクリート構造物の合理化施工法のひとつであり、ベルトコンベヤを使用することによりコンクリートを連続して大量急速打設することができ、工期の短縮、工費の節減及び安全性の向上を図る施工システムである。

同工法は国外では多くの実績があるにもかかわらず、国内においては本格的なシステムとして採用された実績は少なく、現在その適用性が検討されている段階である。

当社が開発したHRCコンベヤシステムは、移動車両上に伸縮可能なベルトコンベヤを搭載し、旋回、俯仰機能を持たせ広範囲へのコンクリートの供給を可能にすると共に、時間当たり運搬打設量は70 m³/hという大容量連続打設を確保した。また、モルタルはもとより、低スランプ、骨材サイズ等のコンクリートの配合を選ばないという特徴を持っている。

今回、当システムを愛知県土木部発注の白川砂防ダム建設工事に採用し既に13,000 m³の打設を完了した。当初計画のクレーンによるバケット工法に比較して2倍近い施工スピードで現在も順調に稼働中である。

以上のようにHRCコンベヤシステムはダムコンクリートのみならず、一般のマスコンクリート打設に適用させることにより、工期の短縮、工費の節減に大いなる威力を発揮する。

2. 本機の概要

本機の仕様を表1. に、全体図を図1. に示す。

本機は通常のトラッククレーンの旋回ベース上に伸縮可能なベルトコンベヤを搭載したもので、打設地点へ自走し、伸縮、旋回、俯仰機能により広範囲な場所にコンクリートを供給するものである。操作は遠隔操作ボックスにより打設地点で行えるため、狭所への的確な打設が行え、またバケットの吊り替え、開閉等の作業員が不要であり、作業の省力化が図れる。

表1. HRCコンベヤ主要仕様表

ベ	ス	マ	シ	ン	三菱ふそう K400																						
伸 縮 コ ン ベ ヤ	運	搬	能	力	180t/h																						
	ベ	ル	ト	幅	450mm																						
	ベ	ル	ト	速	度	150m/min																					
	ブ	ーム	傾	斜	角	度	0 ~ 25 °																				
	コ	ン	ベ	ヤ	最	長	リ	ー	チ	30m																	
				コ	ン	ベ	ヤ	最	短	リ	ー	チ	15m														
				ベ	ル	ト	駆	動	電	動	機	15kw, 4p, 200v															
供 給 コ ン ベ ヤ	運	搬	能	力	180t/h																						
	ベ	ル	ト	幅	450mm																						
	ベ	ル	ト	速	度	150m/min																					
	傾	斜	角	度	20°																						
	コ	ン	ベ	ヤ	機	長	14m																				
				ベ	ル	ト	駆	動	電	動	機	7.5kw, 4p, 200v															
駆 動 方 式	ベ	ル	ト	駆	動	外部電力による 電動駆動																					
	旋	回	、	俯	仰	、	伸	縮	ベ	ー	ス	マ	シ	ン	搭	載	エ	ン	ジ	ン	に	よ	る	全	油	圧	駆
操	作	方	法	遠隔操作																							

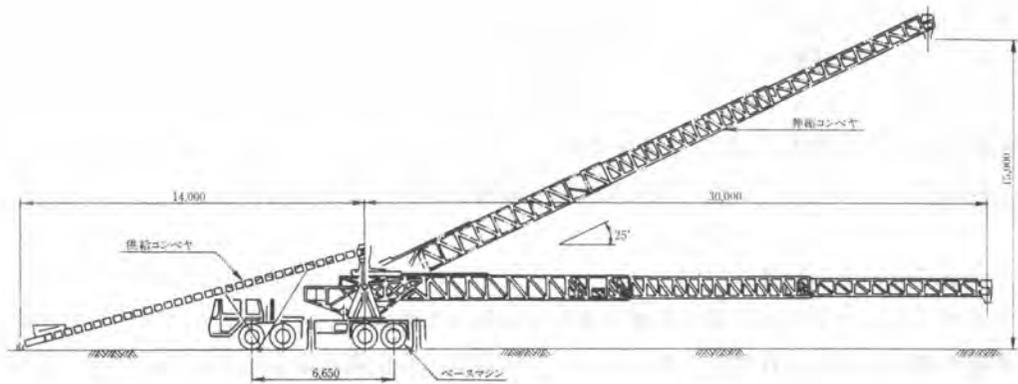


図1. HRCコンベヤ全体図

3. 本工法の利点

従来、コンクリート打設は、主にクレーンによるバケット工法もしくはコンクリートポンプ車によるポンプ工法により行われてきた。しかし、それらの工法には打設設備が大きい割に運搬打設量が得られなかったり、コンクリートの配合に制約を受ける等の問題があった。表2に各工法の比較表を示す。

表2. コンクリートの打設工法の比較表

	ベルトコン工法	バケット工法	ポンプ工法
コンクリート配合	制限なし 但し、最大骨材寸法は一般にベルト幅の1/4以下、ベルト幅450mmの場合、最大骨材寸法は115mm	制限なし	最大骨材寸法 40mm以下 スランプ 10cm以上 単位セメント量 250kg以上
運搬量	ベルト幅 450mm ベルト速度 150m/min で 70 m ³ /h	ケーブルクレーン 30~120 m ³ /h クレーン 20~70 m ³ /h トラッククレーン 20 m ³ /h以下	60 m ³ /h
施工性	・雑運搬設備が別途必要 ・高所への打設は不可能	・玉掛工等所要人員が多い ・雑運搬設備を兼ねられる ・基礎、走行路、ルカ線、打設吊設設備等の準備工が多い	・雑運搬設備が別途必要 ・配管系統等の段取り替えが必要 ・配管内の洗浄に時間を要する
安全性	・ブリー等への巻き込まれ	・重量物の吊り上げ ・放出時のワイヤのゆんばり ・玉掛け	・高所における配管 ・圧力配管の取扱い
機械費	HRCコンベヤ W=450mm L=30m 70,000 千円	ケーブルクレーン軌索式 片側移動 高電ブレーキ 6.0t 180,000千円 クレーン 油圧式 定置型 140,000 千円 クレーン 機械式 50t 62,000 千円	圧送能力60m ³ /h, 170ps 24,000 千円
その他	国内ではあまり実績がない	汎用性、普及性 大	高性能型は、最大骨材寸法80mm以下 スランプ7cm以上、単位セメント220kg以上の コンクリート圧送可能

表2に示すように、ベルトコンベヤ工法は次のような箇所に適用性が大きい。

- ・低スランプ、貧配合コンクリートの運搬打設が要求される箇所
- ・コンクリートボリュームが大きく急速、大量運搬打設が要求される箇所
- ・打設エリアにあまり高低差のない箇所
- ・仮設ヤードが狭くクレーン等の大規模な設備の設置が不可能な箇所

4. コンクリートの品質

今までベルトコンベヤ工法があまり普及しなかった要因のひとつにコンクリートの品質の問題が挙げられる。骨材の分離、スランプの低下、空気量の減少は主にベルトコンベヤの乗り継ぎ部、及び先端の放出部で発生する。

HRCコンベヤは、ベルトコンベヤの乗り継ぎ部にクッション材を設け、さらに先端放出部にはコンクリートの落下速度を抑制する軽量偏平シュートをを用いコンクリートの品質を確保した。

以下コンクリートの品質試験の結果をまとめる。

4-1. コンクリートの品質試験

コンクリートの品質試験は、ミキサー車からベルコンへ荷下ろしする時に採取した試料と、打設後に採取した試料とを比較して行った。試験項目は、スランプ、空気量及び材令28日圧縮強度である。コンクリートの最大骨材寸法は40mm、呼び強度160kg/cm²、スランプ8cmのレディーミクストコンクリートを使用した。打設方法はHRCコンベヤを使用して行い、コンベヤ先端から打設位置までの高さは約6mとした。そのうち5mは軽量偏平シュートをを用いてコンクリートの落下速度を低減し、シュート先端から打設面までの落下高さを1m以内とした。打設前後で比較したスランプ、空気量、圧縮強度の試験結果を図2～4に示す。打設によるスランプ、空気量、圧縮強度の低下は、それぞれ平均値で1cm、0.2%、7kg/cm²程度であった。これらは、例えばポンプ圧送時において生じる圧送前後のコンクリートの品質の変動と大差なく、とくにHRCコンベヤを使用した打設がコンクリートの品質に悪影響を及ぼす度合いが大きいとは考えにくい。圧縮強度の低下はスランプや空気量の低下に伴いワーカビリチーが低下したためと考えられる。一方、スランプのばらつきは、打設前後でほぼ変わらず変動係数が10～11%であった。空気量においてはむしろ打設後の方が変動が小さく4%程度であった。また圧縮強度については打設前では平均強度が218kg/cm²、標準偏差10.9 kg/cm²、変

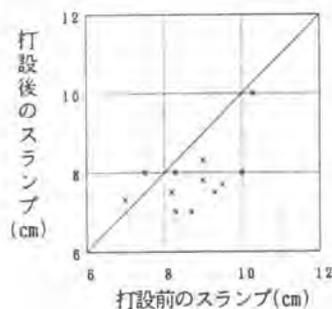


図2. 打設前後のスランプ変化量

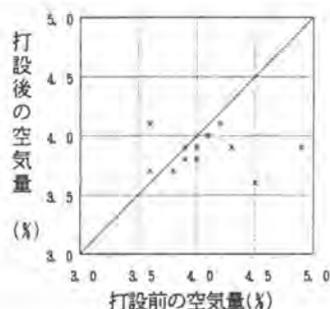


図3. 打設前後の空気量の変化量

動係数5%であるのに対し打設後は平均強度が211kg/cm²、標準偏差9.8kg/cm²、変動係数4.6%と、ほぼ同等の値を示しており、そのばらつきは小さい。したがって打設による強度低下は7kg/cm²程度で、標準偏差と比べても小さいことから、通常の品質管理のばらつきの範囲と捉えることができる。

一方、粗骨材の分離等の打設前後のコンクリートの性状変化は、特に見られず、軽量偏平シュートによるコンクリートの落下スピードの低減が効果的であったと考えられる。しかし、施工条件によりさらに高落差の打設となる場合には、コンクリートの落下スピードが大きくなり、骨材が鉄筋に直接衝突して飛散し、分離することがあるので注意を必要とする。以上、コンクリートの品質に関しては、打設前後の品質変化状況を把握することにより、場合によっては配合の若干の修正により、打設後のコンクリートの品質を十分確保できることを確認した。

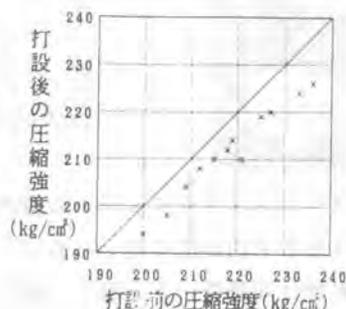


図4. 打設前後の圧縮強度変化量

5. 施工実績

図5. 図6. にそれぞれ白川砂防ダムにおける月別打設量と時間当たり打設量をグラフ化し示す。図6. において時間当たり打設量の平均は31.0m³/hであるが、一つの打設ブロックの大きさが大きくなれば時間当たり打設量も大きくなり、200m³以上のブロックでは時間当たり打設量は41.0m³/hであり、200m³以下のブロックでは時間当たり打設量は20.7m³/hであった。

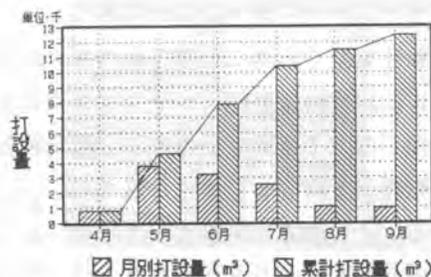


図5. 月別打設量

6. あとがき

ベルトコンベヤ工法は建設省を中心として技術開発が進められ、近年やっとその適用性が確認され施工段階へ移行してきた。しかし、設備費及び転用性等を含め検討すべき問題は残されている。今後は、より多くの現場に当工法が適用され、施工性の向上が図られることを期待する。

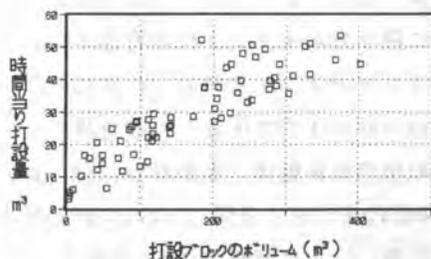


図6. 打設ブロックのボリュームと時間当たり運搬打設量

35. 超音波振動を利用するセメント混合物の締め固め

(株)竹中工務店：内崎 巖

1. はじめに

フレッシュコンクリートの締め固めには振動を利用してコンクリートの流動性を一時的に増大させる方法が広く用いられている。棒状振動機や振動ローラはその例であるが、使用される振動数は可聴音以下と低い。硬化コンクリートのより高い緻密性を狙って、フレッシュコンクリート中の水分を減らそうとしても低い振動数では限界がある。それは、コンクリート中の水分が少なくなるにつれて変形に対する抵抗が増大し、低い振動数では流動化しなくなるからである。そこで、可聴音以上の振動（超音波振動）を利用して水セメント比の低いコンクリートを締め固めて緻密性を高める方法を試みたところ、流動性を全く示さないフレッシュコンクリートが超音波振動を受けると瞬時に流動化して締め固まり、高い緻密性を有するコンクリートが形成されることを見出したので以下に述べる。

2. セメントペーストの締め固め

流動性を全く示さない団粒状のセメントペーストを超音波振動で締め固める方法を試みた。それには超音波振動体（ステンレスやジュラルミン等の金属性弾性体）をセメントペーストに強く押し当てて振動を伝達する。超音波振動を受けたセメントペーストは瞬時に流動化して締め固まり緻密な層を形成する。この現象に関与する主な要因の中から水セメント比を取り上げ、緻密層の形成に及ぼす影響を調べた。

実験方法は、まず型枠（内径50mm）の中に種々の水セメント比の普通ポルトランドセメントを投入し、次に約3 kg/cm²の圧力で圧縮した後直径

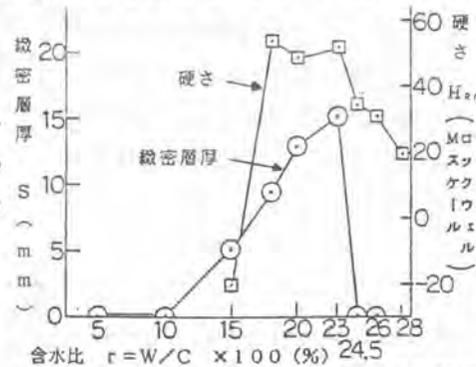


写真 2.1

実験方法

49mmの超音波振動体（振動数28.5KH z、振幅5μm）を2分間 0.64kg/cm²の圧力で押し付けて試験体とした。写真 2.1 に実験方法を、写真 2.2 に試料の団粒状態を示す。硬化後試験体を切断して緻密層の厚さと硬さ（ロックウェルMスケール）を測定した（写真 2.3）。その結果を図 2.1 に示す。緻密層厚は水セメント比5～10%では観察されず15%から生じはじめ23%まで急増した後突然生じなくなっている。水分が少ないと締め固められず、水分が多いと流動化したセメントが型枠と超音波

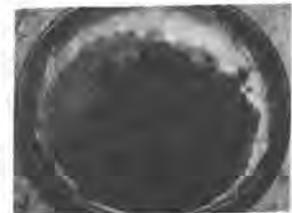


写真 2.2 セメントペーストの団粒状態

振動体との隙間から逃げてしまうからである(写真2.4)。緻密層の質の指標とした硬さは、水セメント比18~23%間ではほぼ一定であり、この範囲では緻密層厚が変化してもその質には大きな変化は起こっていないと理解できる。



写真2.3 試験体断面
上部の黒い部分が緻密層



写真2.4 流出したセメントペースト

以上述べた実験から、①超音波締固めの対象となるコンクリートの水セメント比は比較的狭い範囲に限定されること、②水の量が多すぎると、セメントペーストが流動化して逃げてしまい振動を強く伝えられないこと、などが明らかになった。

3. モルタルの締め固め

前章で述べたセメントペーストの実験では一方で緻密層が成長すると同時に他方超音波振動体と接触するセメントペーストは流動化して型枠と超音波振動体との隙間から流れ出てきた。流出するセメントペースト量は加振圧力の増大につれて著しく増大するという深刻な問題に直面した。そこで、セメント中に細砂を混入して超音波締固めを試みたところ、適切な割合を選べば緻密層は固結化し数気圧の加振圧力を支持できることを探り出したので次に述べる。

3.1 加振圧力が緻密層の形成に及ぼす影響

加振圧力の増大により緻密層をどれだけ厚くできるかを調べた。対象としたモルタルの割合はW:C:S=0.28:1:2、セメントは普通ポルトランドセメント、砂は目の開き0.6mmの篩を通過した砂である。加振方法は前章とほぼ同様であるが超音波振動体は振動数19.5KHz、振幅5μmを用い種々の圧力で15秒間押し付けた。硬化後試験体を切断して緻密層の厚さを測定した(写真3.1)。その結果を図3.1に示す。緻密層厚は加振圧力の低い範囲で急激に増大した後徐々に増加傾向が緩やかになっている。4kg/cm²で約32mmの緻密層が得られており、工場床や道路の耐摩耗性向上を目的とする表層施工には十分な厚さである。次に、加振圧力をパラメータとした加振時間と緻密層厚の関係を図3.2に示す。同図3.2の加振圧力4kg/cm²



写真3.1 加振圧力による緻密層厚の変化

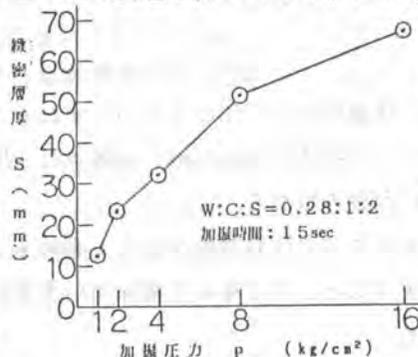


図3.1 加振圧力が緻密層厚に及ぼす影響

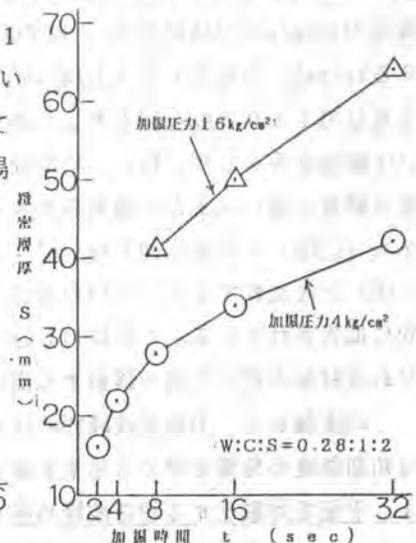


図3.2 加振時間と緻密層厚の関係

cm²の曲線を見ると、加振時間8秒迄の増加傾向は著しく、その後勾配を緩めながら3.2秒迄増加している。同一厚さを得るための所要時間を比較すると、加振圧力4 kg/cm²、加振時間3.2秒で得られる緻密層厚約4.0 mmを加振圧力1.6 kg/cm²で得るには8秒となり、所要時間は1/4に短縮されている。なお、さらに長く加振すると表層部に空隙が発生し始め、数分間におよぶ時は水分が蒸発して乾燥粉体となることが観察された。

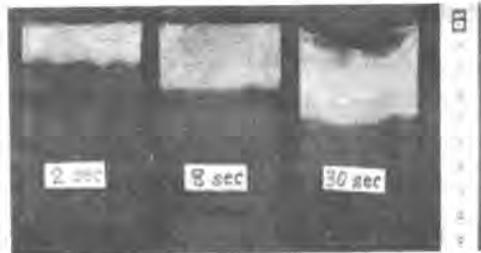


写真3.2 加振時間による緻密層厚の変化

本実験により、加振圧力を高められれば、緻密層の厚増と加振時間の短縮が可能となることが分かった。

3.2 超音波締めによるモルタルの圧縮強度

超音波振動による締めがモルタルの圧縮強度の経時変化に及ぼす影響を調べた。実験方法は、型枠（内径50mm）の中にモルタルを少量投入して前述の超音波振動体押し付けて締め、緻密層を形成する。これを繰り返して高さ約10 cmの積層試験体とした。



写真3.3 圧縮試験後の試験体

これを繰り返して高さ約10 cmの積層試験体とした。20℃の水中で養生し、圧縮強度の経時変化を測定した。圧縮試験後の試験体を写真3.3に示す。加振圧力8 kg/cm²と1 kg/cm²で締め固めた結果を図3.3に示す。同図3.3から分かるように加振圧力8 kg/cm²では材令0.3日で273 kg/cm²、3日で1031 kg/cm²、28日で1302 kg/cm²と著しく高い圧縮強度を示した。特に、初期強度は顕著に高い。また、通常モルタル（□印）と加振圧力1 kg/cm²（△印）とを比較すると、△印の各点の圧縮強度は□印の各点のいずれも3倍以上と大幅に縦方向に拡大されている。これに対し○印（加振圧力8 kg/cm²）の各点は△印に比較して左方向すなわち材令の若い方向へ移動する傾向が読み取れる。

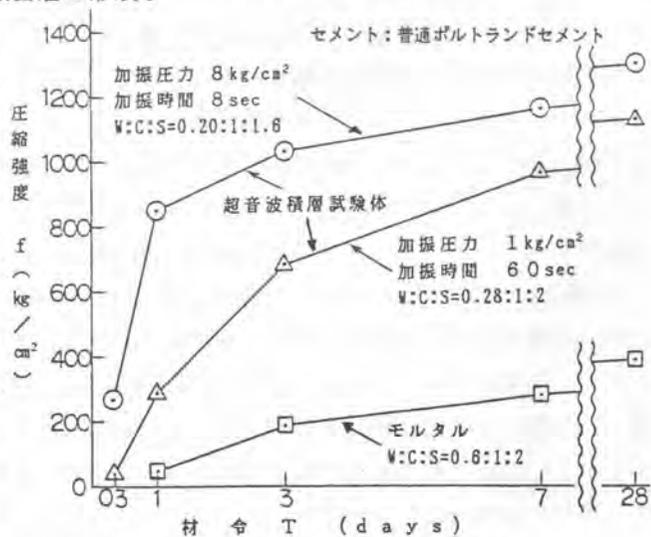


図3.3 圧縮強度の経時変化

この実験から、①超音波締めはモルタルの圧縮強度を著しく高めること、②高い加振圧力は初期強度の発現を早める効果を奏すること、など極めて興味深い事実が明らかになった。

4. 平面を対象とする超音波締め固め

これまでの実験で得られた緻密層の厚さは最大で数cmと薄く、構造体としての用途には適し

ていない。工場や倉庫のコンクリート床用耐摩耗コーティングとしての用途であれば、この厚さは実用上充分と考え、次のような定性的実験を試みて本工法を平面施工へ適用できるかどうかの可能性を模索した。

実験方法は通常の調合のコンクリートを平板型枠に打設し、4～5時間経過してブリージング水が引いたのを見計らって超音波振動（振幅：10 μ m）で締め固めた。この生乾き程度は打設されたコンクリートが§2で述べた水セメント比の範囲内におさまっていることに対応している。締め固めは幅16cm、厚さ4cmの超音波振動体を上記のコンクリートに約0.5kg/cm²の圧力で押し付けながら1.5m/minの速度で移動した。（写真4.1）。この工程ではコンクリート表面は締め固まるとともに一部が流動化して超音波振動体の前方に押し出されてきた。その様子は鉋の切り屑のようであった。この工程を経たコンクリート表面は数mmの小さな凹凸で被われていた。



写真4.1 平面の締め固め



写真4.2 試験体断面

次に振幅を半分に下げ、加振圧力約0.05kg/cm²で前回と同様に締め固めると極めて滑らかな表面が形成された。試験体を切断して断面を観察したところ、表層2～3mmには高い緻密性を有する層が形成されていた（写真4.2）。

以上の実験は極めて大ざっぱなものであるが、上記の結果から本締め固め法の平面施工への適用の可能性は一応見い出せたと考えている。

5. まとめ

超音波振動を利用した締め固め実験を行って、次に挙げる基本事項を明らかにした。

- 1) 超音波締め固めの対象となるセメントの水セメント比は比較的狭い範囲に限定されること。
- 2) セメントペースト中に適切な量の細砂を混ぜれば、固結化した緻密層が形成され数気圧の加振圧力を支持できること。これにより緻密層の極厚化と加振時間の短縮が可能なこと。
- 3) 超音波締め固めはモルタルの圧縮強度を著しく高めるだけでなく高い加振圧力は初期強度の発現を早める効果を奏すること
- 4) コンクリートの生乾き状態のタイミングを上手に捉えれば、平面の連続施工が可能である。

今後は、平面の連続施工が可能な加振方式（たとえば、図5.1に示す装置）を試作し、実施工と同等な条件での実験を試み、実際の工事で役に立つ工法へ発展させたい。

図5.1 超音波締め固め機の構想



36. 新液状化対策“グリッドドレーン工法” の施工管理

五洋建設(株)： 飯尾 正史・深川 隆
*高橋 正志・藤原 敏光
阿部 俊暢

1. はじめに

地震時の砂質地盤における液状化は、種々の構造物に被害を与えている。’87年の千葉県東方沖地震では、特に埋立地の一部で液状化現象の発生が見られた。このことは、近年、臨海部水際を総合的かつ広域的に高度利用する計画が立案されるなか、液状化対策が重要な課題であると再認識させた。

液状化対策としての地盤改良工法には、締固め工法・排水工法・固化工法などがある。これらのうち、既設構造物の液状化対策においては排水工法が構造物への影響が少ないために多く用いられている。当社は、従来のプラスチックボードドレーン材の通水断面を大幅に拡大した大断面ドレーン材（幅155mm、厚さ12.6mm）による新たな排水工法を開発し、陸上工事・海上工事に適用している。

本工法は、打設鋼製枠（マンドレルと称する）を静的に圧入し、ドレーン材のみを所定の深度に残置する工法で、地震によって地盤内に発生する過剰間隙水を瞬時に地表部へ排水でき、液状化の原因となる過剰間隙水圧の上昇を抑制することを可能とした工法である。その施工機械の特徴は以下の通りである。

- ① 障害物除去を目的とした水ジェット発生装置、およびマンドレル引き抜き時のドレーン材の共上りを防止する油圧装置を有する。
- ② 打設深度等の状況を把握するための打設管理装置を有する。
- ③ 海上施工に対しては、光波によるマンドレル位置出しシステムを有する。

また、本施工機械は、ドレーン材打設を圧入方式で行うため、低振動・低騒音施工が可能なこと、打設時に掘削残土が発生しない等の利点を有している。本稿では、海上工事に用いる施工機械および打設管理装置の概要と工事中に得られた各種管理データについて述べる。

2. 施工機械

陸上用打設機にスライド式マンドレルガイド（サブリーダーと称する）と、水中切断機を装備しセップ台船に搭載した。図2.1に施工機械の概要図を示す。

セップ台船(L・B・D): 28.0・14.0・2.0 m

ベースマシン : DHJ-30

打設最大深度 : 11m (水面下)

対象土質 : N値 0~20

打設能力 : 圧入 18/15.5 t × 6/8.7 m/min

: 引抜 12/10.3 t × 9/13 m/min

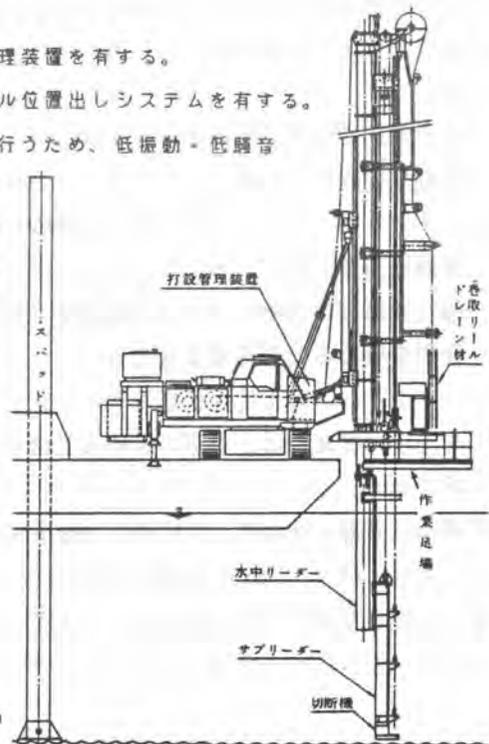


図2.1 施工機械の概要図

2.1 水ジェット発生装置 水ジェット発生装置は、障害物除去あるいは圧入能力（N値20）以上のN値を呈する地盤に到達した場合に作動させ、圧入荷重を軽減し、打設をスムーズにするためのものである。実験を行った結果、明かにその効果が認められ、 60 kg/cm^2 で50%の軽減であった。

図2.2に水ジェット発生装置を示す。

2.2 共上がり防止装置 ドレーン材がマンダレルの引き抜きと共に上がってきて所定の打設深度を確保できないことがある。そのためマンダレル先端の鋼管内部に装備したスプリングバック式単動油圧シリンダーを引き抜き前に使用し、ドレーン材の共上りを防止する。図2.3に装置の作動順序を、写真2.1に作動状況を示す。

- ①全長：1750mm ストローク：300mm
- ②外径：39φ
- ③ロッド径：14φ
- ④最高使用圧： 50 kg/cm^2 押力：350kg/本

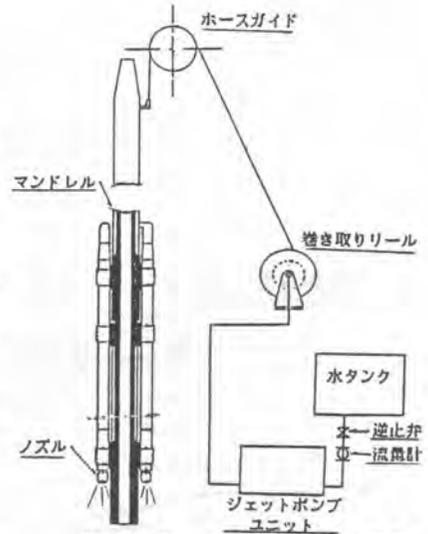


図2.2 水ジェット発生装置

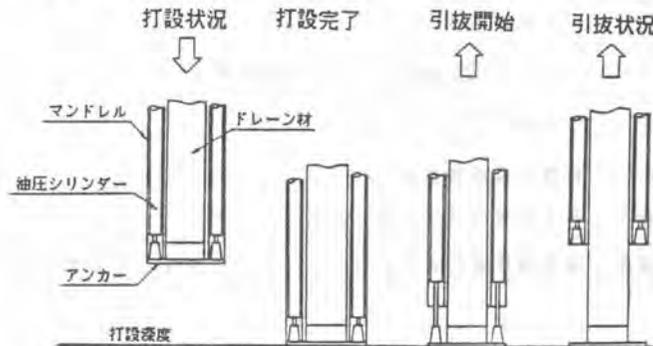


図2.3 作動順序



写真2.1 作動状況

2.3 水中切断機 本ドレーン材は、塩化ビニール樹脂とフィルタでできており、効果的に切断できる円盤カッター式回転切断方式を採用した。ドレーン材の切断は、引き抜き開始後マンダレルがカッター切断位置を通過し、かつ所定の深度であることを近接スイッチにて確認後行う。図2.4に概要図を示す。

- 円盤カッター：180φ
- 油圧モータ：500～800rpm $P=105 \text{ kg/cm}^2$
- 油圧モータ前進シリンダー：50φ×50st $F=100 \text{ kg}$
- 油圧モータ横行シリンダー：40φ×100st $F=100 \text{ kg}$
- ドレーン材押えシリンダー：50φ×150st $F=150 \text{ kg}$

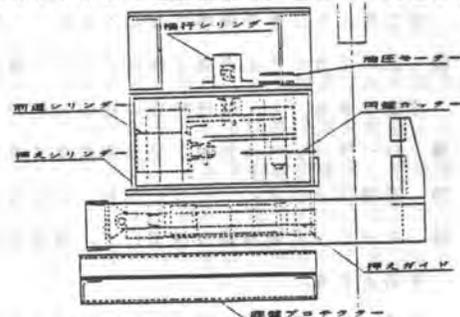


図2.4 水中切断機概要図

3. 打設管理装置

3.1 装置の概要

本装置は、マンドレルとドレーン材の打設深度、圧入荷重および水ジェット使用流量等を測定し、表示、記録するとともに必要なデータを収録するものである。図3.1に装置の構成概念図を示す。

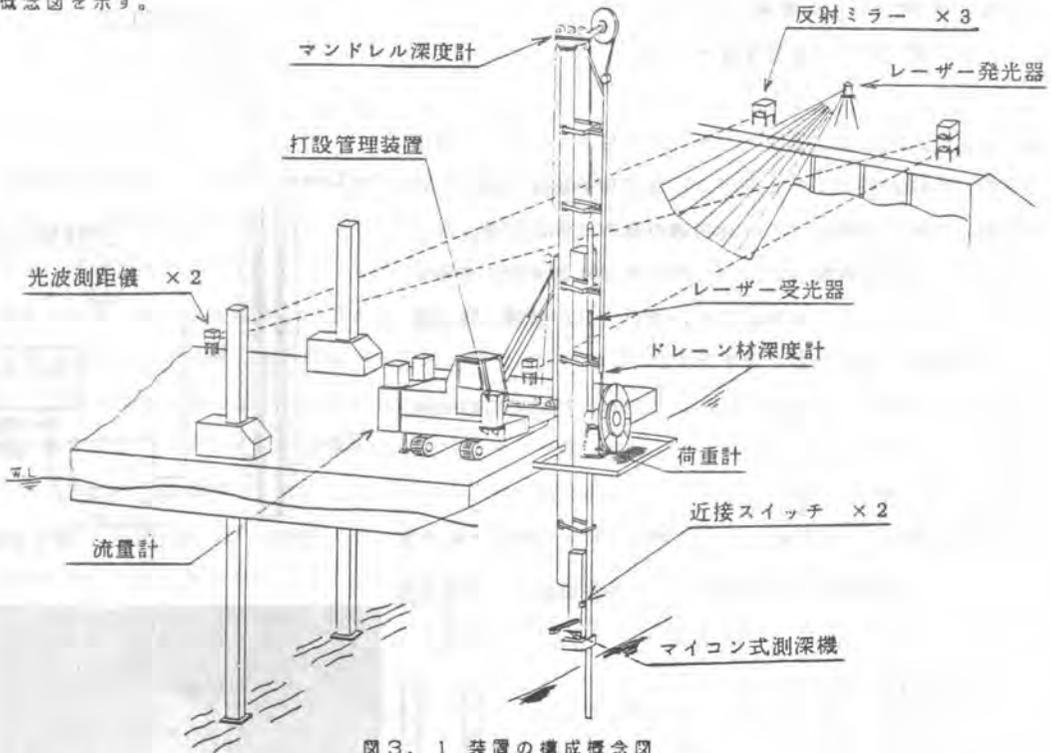


図3.1 装置の構成概念図

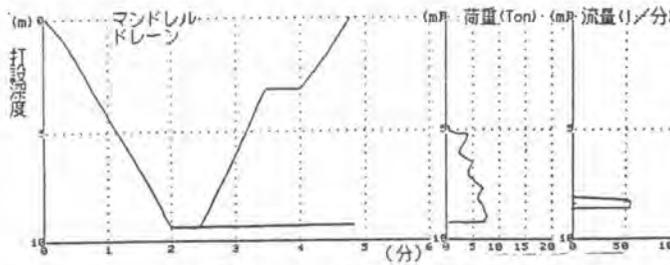
3.2 装置の機能と効果

装置の機能と、その効果は以下の通りである。

- ① マンドレルとドレーン材の打設深度を、運転操作室に表示する。・・共上がり等の異常発生が直ちに判断できる。
- ② 圧入荷重と水ジェット使用流量を、運転操作室に表示する。
- ③ 打設深度・圧入荷重・使用流量等の時系列管理グラフを、ビデオプリンタに記録する。・・打設状況の把握が容易となる。
- ④ 必要なデータをLSIカードに収録する。・・LSIカードは、フロッピーディスクと異なり、ぼこり、キズ等で破損することがなく、取扱が容易となる。
- ⑤ LSIカードに収録されたデータを基に、事務所において打設結果集計表がコンピュータにより作表できる。・・処理時間の短縮と処理内容の正確さが同時に達成できる。
- ⑥ レーザーレベル計と、光波測距儀を使用して、潮位と、打設位置の測定を行う。
- ⑦ 近接スイッチにてドレーン材の切断位置を検出する。
- ⑧ マイコン式測深機を使用して、海底地盤を検出する。・・水中切断機が、海底地盤に接触するのを防止する。

(④、⑦、⑧は陸上工事に用いては不要)

3.3 出力例 打設中、リアルタイムで出力される記録例を図3.2に、事務所等において作表される打設結果集計表を表3.1に示す。

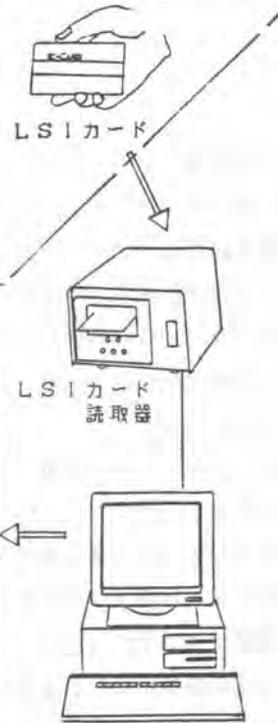


(図3.2 記録例)

【事務所】

(表3.1 打設集計表)

打設番号	設計深度 (m)	打設深度 (m)	天端高 (m)	打設長 (m)	圧入荷重 (ton)	使用流量 (リットル)
1	7.74	8.06	4.81	3.25	8.7	27.6
2	8.27	8.55	4.80	3.75	10.4	16.9
3	8.81	8.96	4.78	4.18	11.4	41.9
4	9.00	9.31	4.79	4.52	12.1	37.9
5	9.00	9.51	4.80	4.71	6.3	32.7
6	9.00	9.49	4.75	4.74	7.1	17.9
7	7.74	8.12	4.80	3.32	18.6	29.9
8	8.27	8.64	4.79	3.85	8.9	33.5
9	8.81	8.86	4.79	4.07	12.0	34.9
10	9.00	9.12	4.81	4.31	13.1	26.0
11	9.00	9.22	4.77	4.45	11.1	25.1
12	9.00	9.25	4.89	4.36	10.4	28.3
*	*	*	*	*	*	*



4. 施工能力

4.1 圧入能力 圧入荷重は実験より、 $P = R_s + T_s = 50 \cdot N \cdot A + \sum H_i \cdot N_i / 5 \cdot L_s$ で推定できる。この式より圧入荷重と、圧入可能なN値の関係を求めると、地表部でN=20、GL-10mでN=17、GL-15mでN=15相当になる。

ここで、 R_s : 先端抵抗 T_s : 周辺抵抗 N : N値 A : マンドレルの先端断面積 H_i : 層厚 L_s : マンドレルの周辺長 である。

4.2 作業時間 設計打設長約4m相当の海上打設の場合、移動、ドレーン材の取替え等を含め1本当りの作業時間(分/本)は、平均8分50秒であり、5.8本/時の打設ができた。

5. おわりに

本グリッドドレーン工法の施工機械および打設管理装置は、当初陸上工事用として開発したものである。その後海上工事に対応するため、新たにサブリーダーと、水中切断機、および最短測定距離10cmが可能なマイコン式測深機の開発を行うとともに、レーザーレベル計、光波測距儀を使用した位置だしシステムを導入した。その結果、開発直後の海上工事にもかかわらず工期内に完工することができた。

今後、液状化対策工事はますます増加すると思われるが、今まで得られた経験が今後の工事に生かされれば幸いである。

最後に、本施工機械の開発に関してご指導、ご協力いただいた関係各位に、深く感謝いたします。

37. 牽引式マンモスバイブロタンパー工法の開発

(株)間組：石原 公明・麻生 公裕
 不動建設(株)：*苗村 康浩
 フドウ技研(株)：谷口 利久

1. 工法概要

牽引式マンモスバイブロタンパー工法（以下牽引式MVT工法と略す）とは、専用牽引機により大型振動機を搭載したプレートタンパーを牽引しながら盛土の締固めを行う工法である。（写真1-1参照）

当工法は、昭和62年より、(株)間組、不動建設(株)、青山機工(株)、フドウ技研(株)の4社でMVT工法研究会を設立し、共同開発してきたものである。

特に、空港高盛土等の大量土工における高度締固め（JIS第2法を基準とする）が可能な締固め機械として開発してきた。

牽引式MVT工法の特徴としては、

- ①締固め部が面状のため、締固め力が深くまでかつ長時間にわたり盛土に作用する。
 - ②大きな起振力、大きな振幅が発生可能な低周波振動機を使用することにより土を衝撃的に締固める。
 - ③適用土質は砂質土から粗粒土まで有効であるが、特に粗粒土に効果的である。
- ④①～③の特徴により、従来の振動ローラでは不可能である厚さ1～1.5mのまき出し厚で盛土を締固めることができる。（図1-1参照）
- ⑤締固め管理システムとして、プレートタンパー部に取付けた加速度計により、連続的かつリアルタイムに管理できる装置を運転席に搭載している。そして、これらのデータはICカードに保存されており、事務所においてパーソナルコンピュータによりデータ処理ができる。



写真1-1 牽引式MVT施工機（LAVIT）

2. 施工機の概要

牽引式MVT施工機（愛称 LAVIT:Large Vibrating Tamper）は、専用牽引機と牽引金具、MVT本体の3つより構成されている。

図2-1及び表2-1に示すように、専用牽引機は21t級ブルドーザーの改造機であり、排土板部にゼネレーターを搭載している。牽引金具は、MVTの大きな振動力を専用牽引機に伝達しない構造であ

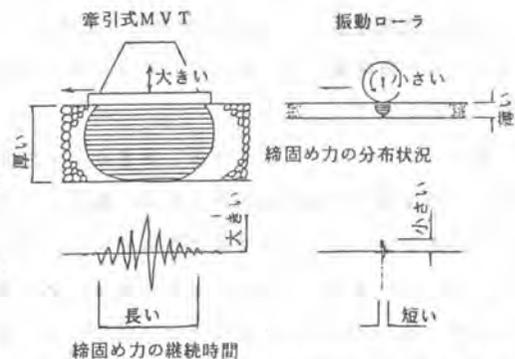


図1-1 牽引式MVT工法の特徴概念図

あり、前進・後進に対応できる機構となっている。

MVT本体は、75KW級低周波電動バイブロを振動源としており、約42tの起振力を有し、振動数約10Hz、片振幅約1cmの振動特性を持つ長さ3.5m、幅2.5mの衝撃型振動締固め機である。

また、移動時の機動性のため、MVT部には移動用車輪が有り、移動時には油圧により車輪が降下固定され、MVT本体が浮き上がった状態となる。(写真2-1参照) 締固め管理システムのための加速度計(20g用)はタンパー部に2ヶ所取付けられており、管理装置は専用牽引機の運転席に搭載されている。

当機の施工標準走行速度は、牽引式MVTの施工機特性より2km/hrと設定している。

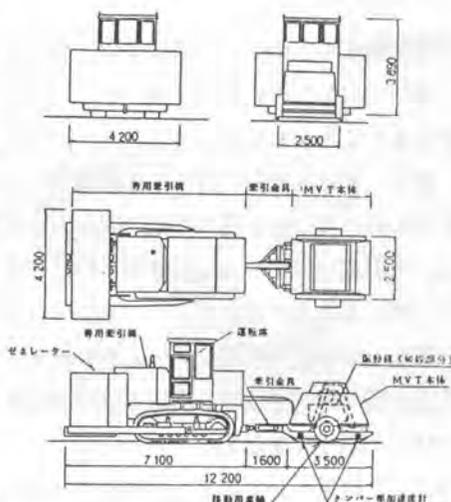


図2-1 施工機一般図

3. 締固め特性

牽引式MVT工法の性能確認実験は、昭和62年度より、図3-1に示すようなまき土、火山砂から岩砕、ロック材にいたる細粒土から粗粒土について表3-1に示す5つの現場実験を行ってきた。

実験は、牽引式MVTと振動ローラの締固め比較実験を行い、かつその締固め性能について各種の計測を実施した。

その結果、牽引式MVTは振動ローラに比較して、まき出し厚さで約3倍、締固め回数で約1/2の回数で同等以上の品質を確保できることが確認された。(表3-1参照)

図3-2は、牽引式MVTと振動ローラとの粗粒土岩砕盛土における締固め性能比較の代表的な結果である。牽引式MVTは少ない締固め回数で深い深度まで締固めることができる。一方、振動ローラは、回数を増加させても所定の品質を得ることができていない。

図3-3、図3-4は、締固め力の土中への伝達状況を調べるため、牽引式MVTと振動ローラについて、土中振動加速度と土中土圧を計

表2-1 施工機概要

施工機概要	D-7クラス専用牽引機により、大型パイロタンバ(75kw)をフレームで牽引しながら締固める。
総重量	牽引機30tf+MVT13tf=43tf
全長	牽引機7.1m+牽引装置1.6m+MVT3.5m=12.2m
全幅	4.2m
全高	3.9m
締固め部設置寸法	長さ3.5m×幅2.5m
起振力	41.8tf
振動数	570rpm
片振幅	1.0cm
走行速度	0.5~3.5km/hr
締固め管理装置	タンパー部加速度計測方式



写真2-1 移動用車輪使用時

測した結果である。

振動加速度の土中での低減は土中土圧より少なく、特に牽引式MVTの振動加速度の土中への伝達状況は顕著であることがわかる。

図3-5は、牽引式MVTと振動ローラとの土中のある1点における土圧の作用時間と大きさを示している。牽引式MVTの方が長時間にわたり大きな力が作用していることがわかる。

図3-6は品質管理システムの原理と考えているタンパー部の最大加速度の増加と乾燥単位体積重量の増加傾向が同一の傾向を示す図である。

締固めた結果としての盛土の乾燥単位体積重量及び締固める側のタンパー部の最大加速度とも、締固め回数の増加とともに双曲線的な増加傾向を示し、ある一定値へと漸近する傾向にある。

この図より、後述する品質管理システムを構築している。

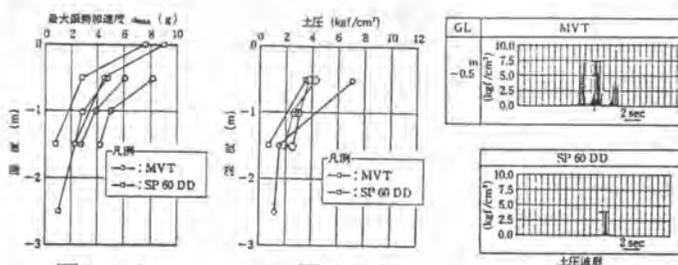


図3-3

図3-4

図3-5

土中部

土中部

土中部

最大振動加速度の深度分布

最大土圧の深度分布

土圧の波形(GL-0.5m)

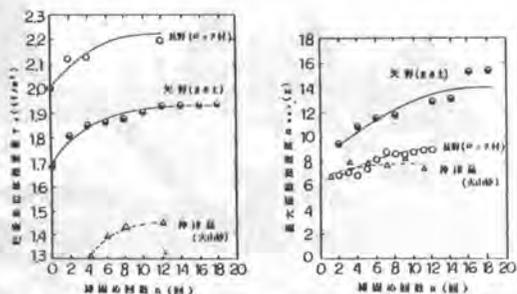


図3-5 締固め指標原理としての乾燥単位体積重量とタンパー部最大加速度の関係

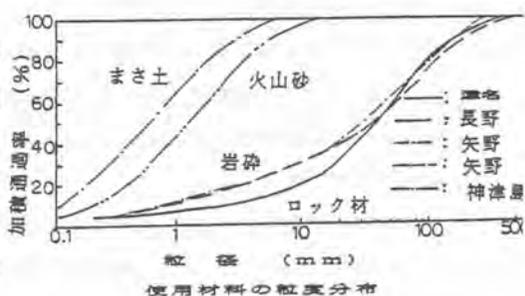


図3-1 粒度分布図

表3-1 現場実験結果一覧表

試験場所	盛土材 (最大粒径)	90%以上を満足する締固めの条件			
		MVT		振動ローラ	
		まき出し厚	締固め回数	まき出し厚	締固め回数
津名川 ダム	ロック材 砕石、粒径層 (500mm)	100cm	8回	30cm	13回
広島県 矢野原地	まさ土 (5mm)	120cm	8回	90cm	12回
神津島 空堀	火山砂 火山砂 (30mm)	50cm (70cm)	8回	30cm	8回
広島県 矢野原地	岩砂 花崗岩 (300mm)	100cm	8回	80cm、12回でも不可	
津名川 ダム	岩砂 花崗岩 (300mm)	100cm	8回	80cm、12回でも不可	

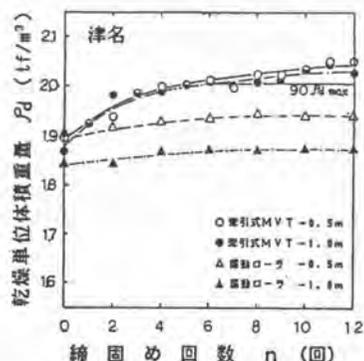


図3-2 締固め性能比較例

4. 品質管理システム

品質管理システムは、試験施工を行うことにより、各種の管理指標の内から最も相関のよいものを選定し、この指標と乾燥単位体積重量との管理基準式をベースとして構成されている。現状においては、この指標は4つの種類を選定できるが、前述したように最大加速度が現状において最も相関がよい結果を得ている。この管理基準式により施工を行うことにより、施工中より締固め度を中間管理しながら、最終管理まで効率よく施工することが出来る。

この管理状況は写真4-1に示す装置により、オペレーターにより逐次、連続的かつリアルタイムにフィードバックされる。

施工終了後は、写真4-1に蓄えられたデータは、ICカードにより事務所に持ち帰り、パーソナルコンピュータにより必要な形式にアウトプットが可能である。

図4-1は、津名における各締固め回数での品質管理装置による管理データと挿入式RIによる実測乾燥単位体積重量との関係を示している。比較的良好な相関を示していることがわかる。



写真4-1 品質管理装置

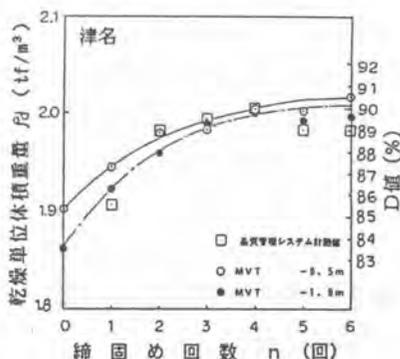


図4-1 品質管理例

5. あとがき

牽引式MVTは新しいタイプの締固め機であるが、十分その性能は確認されてきている。そして、次世代の施工機としての機能である品質管理システムを保有していることは、土工事の改革をもたらすものと思われる。

今後、管理指標の研究を重ねることにより、品質管理システムの精度向上につとめてゆきたい。

(参考文献)

- 1) 牽引式マンモスバイプロタンパー工法の開発 建設の機械化 1988.5
- 2) 牽引式大型バイプロタンパーの締固め特性について(その1)第23回土質工学研究発表会 1988.6
- 3) " (その2, 3)第24回 " 1989.6

38. 石炭灰を主材としたプレミックス材料による人工島築造工法とその機械装置

清水建設(株)：*小田原卓郎・佐野 暁
坂本 和義・堀内 澄夫
竹東 正孝

1. はじめに

北海道室蘭港を横断する白鳥大橋の主塔基礎下部工において、止水山留用の地中連続壁を構築し橋脚基礎を施工するために、水深17mの海上にφ67mの締切りを行い、石炭灰を主材とするプレミックス材料（石炭灰スラリー）の水中打設埋立により人工島を築島した。本報文は、この白鳥大橋の第4橋脚における石炭灰スラリーの施工とその機械装置についての概要を述べたものである。表-1に築島工事の概要を図-1に主塔基礎の構造断面を示す。

2. 石炭灰スラリー築島中詰の狙い

通常の埋立工事では、土砂による埋立が一般的である。今回、築島材料に石炭灰スラリーを用いた狙いは次のとおりである。

①石炭灰は比重が小さく軽いので、海底地盤の支持条件が有利となり、地盤改良を軽減できる。

②石炭灰スラリーは自己硬化性を有し、短時間で固化・自立するので、土砂埋立のような大きな土圧は生じず、締切り鋼管矢板の規模が小さくできる。

③人工島上から施工する地中連続壁の掘削溝壁面が安定し自立するので、築島中詰めの地盤改良を必要としない。

3. 石炭灰スラリーの製造と打設

石炭灰スラリーは締切り横の棧台上に設置した専用の混練プラントで製造し、60m³/hrの圧送能力のスラッジポンプ2台で圧送した。打設は直径67m

の締切り内に17ヶ所の打設位置を設け、1日4ヶ所、1ヶ所1日当たり200m³を毎日移動しながら、全体が均等に打上がっていくよう計画した。スラリーの施工のフローは図-2のとおりである。

表-1 第4橋脚築島工事の概要

発注者：北海道開発局室蘭開発建設部
工事名：一般国道37号室蘭市白鳥大橋第4橋脚築島工事
工期：昭和63年10月5日～平成元年3月15日
施工：清水・鹿島・菱中白鳥大橋建設工事共同企業体
中詰スラリー量：約54,000m ³

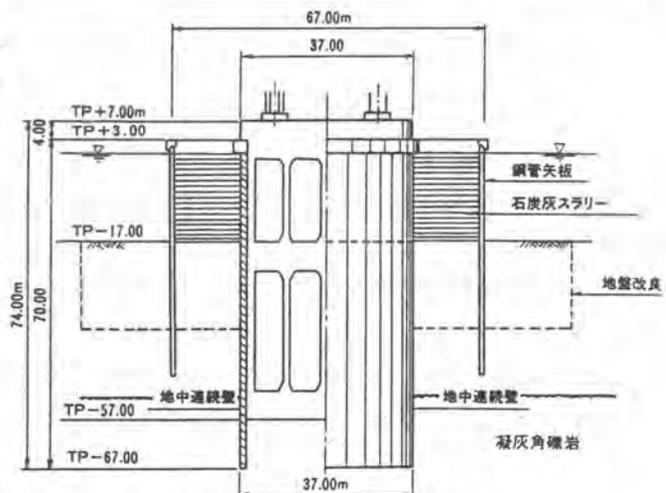


図1 第4橋脚主塔基礎の縦断面図

3.1 石炭灰スラリー

石炭灰スラリーは石炭灰と火山灰および極く少量のセメントに海水を加えて作られた。

石炭灰は石炭火力発電所の燃焼灰を使用した。石炭の種類や燃焼炉によって灰の性質も様々であった。このため、それぞれの灰種に応じたスラリー配合が計画され、配合数は約20種にも及んだ。

火山灰は、比重が軽く比較的ポゾラン活性に富んだ材料

であることから、スラリーの増量材として使用した。石炭灰と火山灰の重量比は7:3である。

セメントは、増量材によるスラリーの強度低下を補い所定強度 ($\sigma = 10 \text{ kg/cm}^2$) を確保するための硬化助材として、30~65 kg/m³添加した。

スラリーの混練水には築島締切り内の海水を使用した。スラリーの配合含水比は灰種により異なるが、おおよそ40~60%である。

3.2 スラリー混練プラント

プラントは能力90 m³/hr で計画し、スラリー混練には2 mの自転・公転ロータ付タービン式強制練りミキサーを用いた。表-2にプラントの概要を、図-3に機台上のプラント配置を示す。

プラント設備の特徴としては、供給ベルトコンベア上に赤外線水分計を設置し、石炭灰と火山灰の含水比を常時オンラインで測定してスラリー配合へ反映したことがあげられる。材料の石炭灰は、発電所で含水比15%程度に散水加湿されており、灰の飛散並びに雨水侵入による含水比変化や品質低下を防ぐために、防水型のフレキシブルコンテナバック詰めにしてトレーラで運搬された。また、火山灰は採取地よりダンプトラックで搬入した。しかし、いずれの材料も含水比の変動が大きいことが判っており、スラリーの適正配合のために含水比を測定し混練水添加量を調整

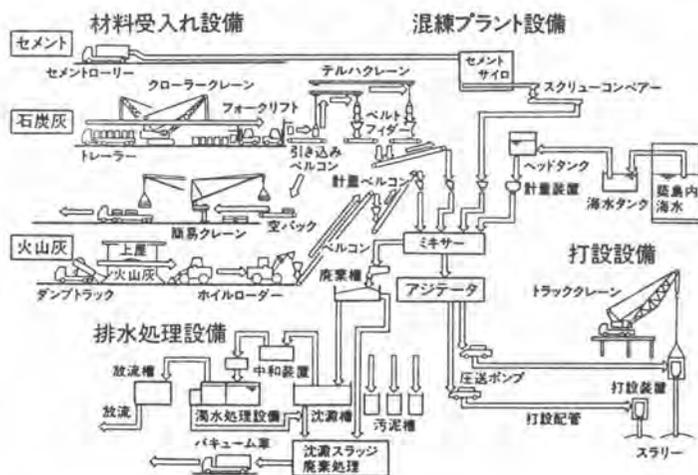


図2 施工のフロー

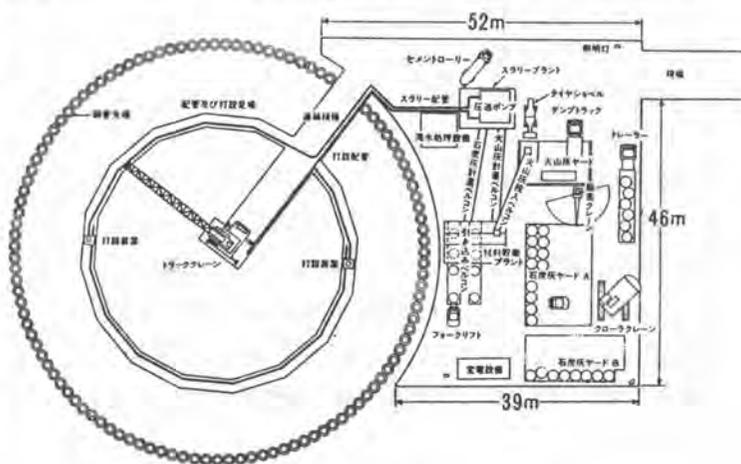


図3 第4橋脚築島中詰工平面図

する必要があった。そこで、赤外線水分計による含水比測定を行い、スラリーの自動配合計算にフィードバックできるシステムとした。表-3に含水比測定の概要を記す。

表-2 スラリープラント概要

能 力	: 90 m ³ / hr
操作方法	: 全自動ワンマンコントロール
計量方法	: 3点ロードセル式電送自動秤
計量設定	: CRT計量コントローラ 10キー設定
電 源	: 3相交流 50 Hz = 200V 単 相 50 Hz = 100V
ミキサ	: 2 m, ボルテックスミキサ

表-3 含水比測定の概要

測定対象	: 石炭灰, 火山灰
測定方法	: 赤外線反射型3波長方式
測定範囲	: 含水比 0 ~ 40%
測定場所	: 供給ベルトコンベアヘッド部
フィードバック	: 自動放出信号にて測定 を行い、その測定値にて次バ ッチ計量に於て水分補正

3.3 スラリー打設装置

図-4に石炭灰スラリーの水中打設装置を示す。この打設装置は、石炭灰以外の材料を用いたスラリー状改良土等の水中打設にも応用できるもので、以下の特徴を持つ。

(1) 打設管先端開閉用バルブ

打設管先端に空気圧による開閉弁が設けられている。開閉弁の役割は次の2つである。

- ㊂ 打設開始時に、打設管内に流入した水とスラリーとが混じって材料分離や強度低下を生じないように、打設管内がスラリーで充填されるまで先端を閉じて管内への水の流入を押さえる。
- ㊃ 打設装置移動時に、先端バルブを閉じることにより、打設管内のスラリー落下による水質汚濁を防ぐ。

(2) 打設管先端部外装

打設管先端部に、打設管内径に対し外径を大きく取るための外装が施してある。これは、打設装置から吐出されたスラリーの海底面(既打設スラリー面)からの反射・吹き上りを押さえると共に、打設量の増加に伴って生じる打設装置に沿ったスラリーの上昇流速度を小さくし、水中へのスラリー噴出による水質汚濁や材料分離を防ぐためのものである。

(3) 打設装置上端エア抜き装置

スラリー中に連行された空気は、圧送中に配管の曲管

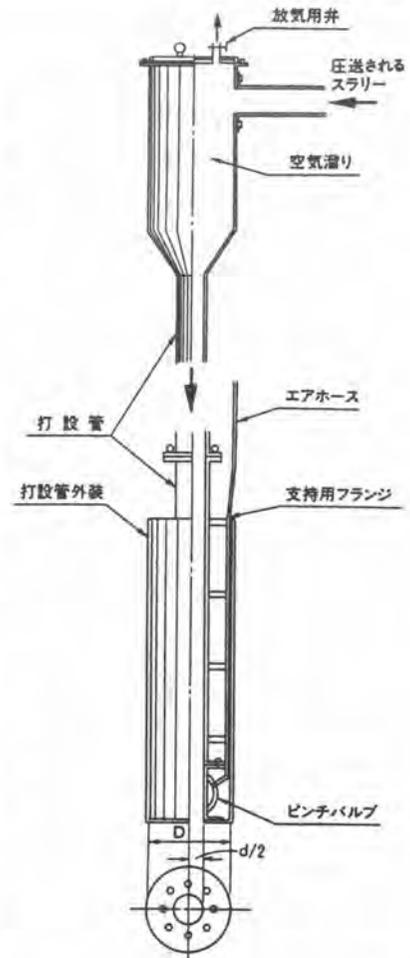


図4 石炭灰スラリー打設装置

部分に除々に溜まり、大量に溜まるとスラリーと共に一気に排出され、打設スラリーを乱して水の汚濁や強度低下を生じる。この曲管部等に濁った空気がスラリーと一緒に送り出されないように、打設装置上端に排気弁を取付けた空気溜りタンクを設け、滞留エアを排出した。

4. 施工結果

4.1 スラリーの品質

石炭灰スラリーの品質管理は、コンクリート用の1/2の高さ15cmのスランブコーンを用いてスランブ値で管理したが、その許容値は $S\ell = 8 \sim 13\text{cm}$ である。

表-4にテストピースによる一軸圧縮強度試験結果の代表値を示す。なお、表中の“コア”とは、締切り内の打設スラリーを後日コア採取したテストピースの強度である。

表-4 スランブおよび強度試験の結果

灰種	スランブ値	$\delta_{7\text{d}}$	$\delta_{28\text{d}}$	$\delta_{90\text{d}}$	コア
J	10.1cm	2.95kg/cm ²	7.95kg/cm ²	11.94kg/cm ²	12.28kg/cm ²
K	10.4cm	5.19kg/cm ²	11.04kg/cm ²	12.01kg/cm ²	12.35kg/cm ²

4.2 施工時の計測

土圧計で測定した鋼管矢板に作用するスラリー圧力の経時変化を図-5に示す。打設から約4時間後までの圧力は $P = \gamma \cdot h$ にほぼ近い値を示すが、時間の経過とともに圧力は消失してゆく。なお、図中の約15時間後の圧力上昇は、締切り内外の水頭差圧力を感知したためである。

図-6には鋼管矢板に発生する曲げモーメントを示した。スラリー打設埋立により発生する曲げモーメントは、土砂埋立について試算したものよりかなり小さな値を示しており、石炭灰スラリー埋立てでは締切り外設壁について経済設計できることを証明している。

5. おわりに

石炭灰スラリーによる築島工事は、当初計画通りに十分にその機能を発揮し、終了した。ウォーターフロント開発が注目される中、今後も同様の築島や埋立てを行う場合にその展開が期待できるものとする。本技術が、今後、益々増加が予想される人工島築島などウォーターフロント開発技術の一助となれば幸いである。

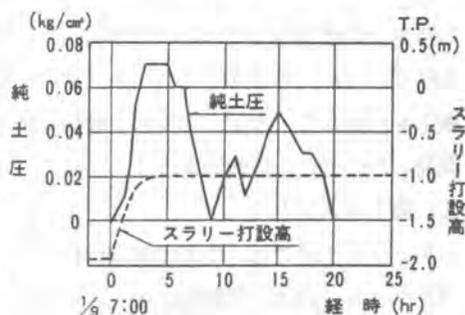


図5 スラリー圧の経時変化

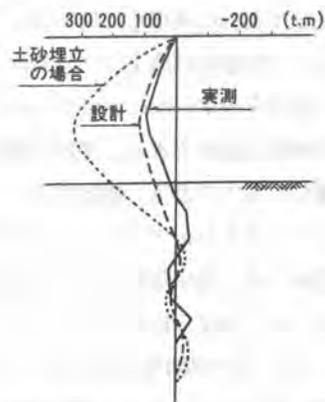


図6 鋼矢板の曲げモーメント

39. テクソル工法施工システムと専用機開発

(株)熊谷組：滝川 勉・*北原 成郎

1. はじめに

ジオテキスタイル技術は、近年その経済性と施工の容易性により目覚ましい発展をとげている。

これらの技術のほとんどは、テキスタイルを平面的に使用する方法であるため、その効果を発揮させるためには、テキスタイルの定着長を長く確保しなければならない。またその施工においては、テキスタイルの性質上、機械施工が困難である。補強の効果の点から見ると、これらは2次元的補強であるため補強方向が限定される。テクソル工法は、連続した長繊維を均一に3次元的に土質材料中に混入したものであり、上記のジオテキスタイル技術の欠点を補うことが出来る特異な性質を持っている。日本国内への導入後3年を経ているが、その間にテクソル工法のより効率的な施工を目指して、大型、小型の2種類の施工専用機を開発したのでここに報告する。



写真-1 砂と繊維の三次元混合物『テクソル』

2. 施工システム

テクソル工法では、従来の建設材料（コンクリート、アスファルト等）とは異なり、その製造された『テクソル』自体に流動性がない。またテクソルは、ブロック状にして輸送することは困難であるので、施工場所において土質材料と繊維を噴射混合しながら直接施工箇所に打設しなければならない。このために施工専用機が必要となっている。

テクソル工法に使用する材料は、主構成材料である粒状土（砂）と補強材料である連続長繊維の2種類である。粒状土は施工システムにより異なり、輸送方式がエヤー搬送方式であればシルト分5%以下の洗い砂等を選定しなければならないが、ベルトコンベヤ方式であれば山砂などのシルト分10%程度を含む材料も選定できる。連続長繊維はポリエステル100%の無燃糸であり、これは経済性と耐久性を考慮したものである。繊維の太さは室内実験結果から選定されており、通常は150デニール（繊維の単位：9000mで150g）を使用する。大型小型機械を問わずシステムの基本的な流れは同じであるため、最も簡単な構造をもつ手動式テクソレットのシステム図により解説する（図-1）。

粒状土吹付系統：粒状土はホッパーから計量器に移され、その湿潤重量が定量計量される。これを吹付機により一定時間内に吐出させ、その定量性を確保する。圧縮空気により運ばれた粒状土はそのまま施工面に吹付けられる。（大型機械ではベルトフィーダーとホッパーゲートにより容積計量され、ジェットコンベヤにより吹付けられる。）

繊維吐出系統：繊維は通常一巻約9kgであり、連続した1本の無撚糸である。

エジェクター先端の繊維吐出ノズルより繊維を吐出させれば、連続して引っ張り出すことが可能である。

ノズルだけでは一定量の繊維しか吐出させることはできないが、機械化されたシステムではキャプスタンのローラの回転数を制御して任意の繊維の吐出速度を保つことができる。

手動式テクソレットでは均一な混合になるように粒状土吐出流にエジェクターを人力により振動させて繊維を混入する。

テクソル工法の施工システムは現在3種類あり、施工状況に応じて選択している(表-1)。

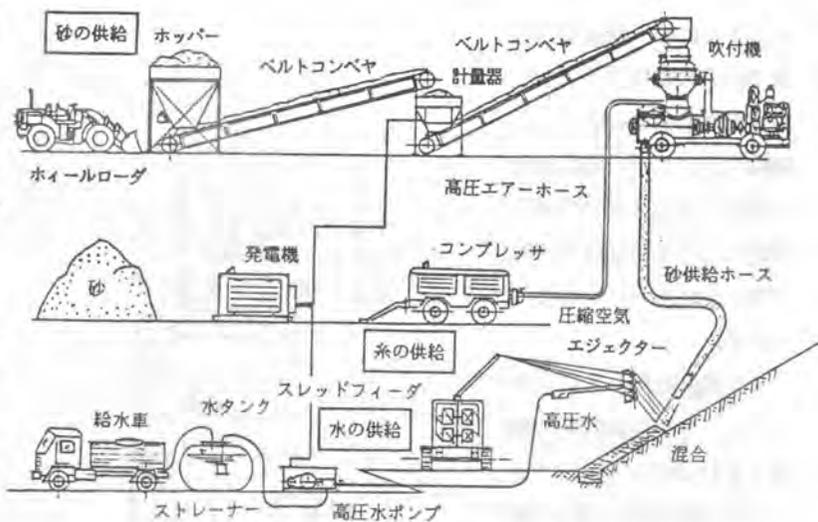


図-1 テクソレットシステム図

表-1 各施工システムの仕様

システム名	テクソルーズ	機械式 テクソレット	手動式 テクソレット
施工能力	25 m ³ /h	5 m ³ /h	3 m ³ /h
走行方式	自走ホイール型	自走クローラ型	人力
搭載ポピン数	48本	16本	16本
繊維ノズル数	12本	8本	4本
スレッドフィーダ	本体搭載	本体搭載	可搬式
粒状土搬送方式	ベルトコンベヤ	エヤー搬送	エヤー搬送
吹付方式	ジェットコンベヤ	吹付	吹付
施工対象	擁壁	擁壁・法面保護 地盤改良	擁壁・法面保護 地盤改良

3. 小型施工専用機

小型機械化施工システムは、機械式テクソレットと呼ばれている。この施工システムは施工専用機と後方の吹付プラントからなっている。施工専用機はバックホウをベースマシンとしたタイプであり、後方の吹付プラントは手動式テクソレットの設備とほぼ同じものである。

このシステムは、手動式テクソレットの施工能力を増大させ、外部環境(風雨等)にもタフな機構を目指したものである。また作業員の負担を軽減し、高所作業での危険性の低下を目的としている。

施工専用機にはヤーンボックスとキャプスタン、ブーム先端部の砂・繊維混合装置があり、ヤーンボックスとキャプスタン間には繊維の防護のためヤーンダクトがブームに沿って設置されている。施工機後部のヤーンボックスには16本のポピンがあり、ここから繊維はヤーンダクト内の8本のパイプを通

り、キャプスタンに送られる。さらに砂・繊維混合装置で後方の吹付プラントから定量供給される砂とともに繊維吐出ノズルの揺動運動と粒状土吐出ノズルの旋回運動により十分な混合状態で施工面に均一に吹き付けられる。

施工範囲は図-2に示すように7分程度の勾配の擁壁であれば高さ4mまで施工可能であるが、勾配の緩い法面保護工の場合には法面の上下両方向から同程度の施工範囲が確保できる。

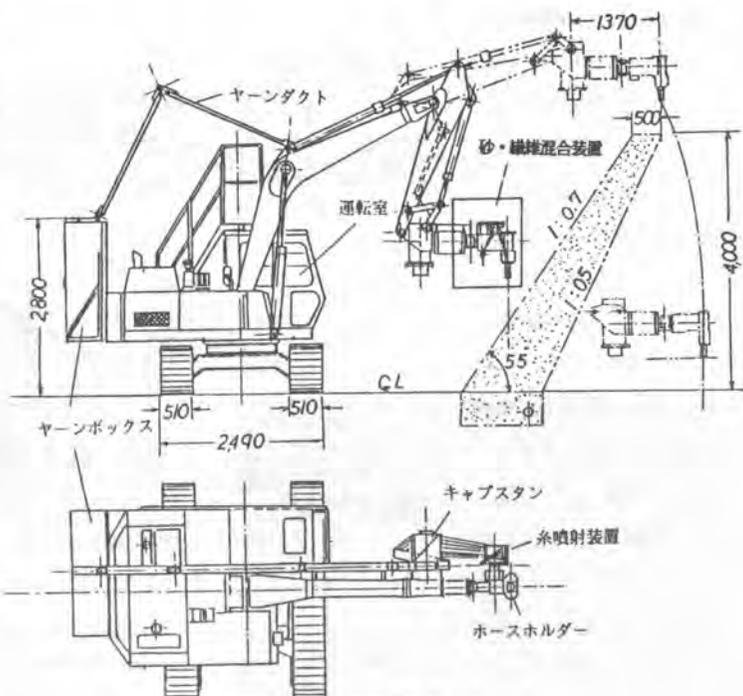


図-2 機械式テクソレット

4. 大型施工専用機 (テクソルーズ)

手動式テクソレットの施工能力は $3 \text{ m}^3/\text{hr}$ 程度であり、導入当初からその能力の拡大は大きな目標であった。フランスでは高速道路の拡幅工事などの擁壁施工で大型機械が威力を発揮しており、国内でも大規模な擁壁工事に備えて大型施工専用機を開発した。

施工機械のベースマシンにはラフテレーンクレーンを選定した。これは現場間的高速移動性と悪路における作業性の良さ、施工専用機への改造が容易な点を考慮し選定している。この専用機の特徴は、2系統のシステムをベースマシン上に搭載していることと、操作はすべて施工地点にいる運転者によるリモートコントロールにより行われることにある。

作業手順は、砂を機械後方のホッパーにホイールローダにより供給し、ベルトフィーダとホッパーにより定量



写真-2 テクソルーズ

計量後、フィックスドコンベヤ、テレスココンベヤを経て、先端の繊維混合装置 (テクソルヘッド) に送られる。一方繊維は、ヤーンボックスよりヤーンダクトを中継して混合装置へと導かれる。テクソルヘッドは連続長繊維と砂とを十分に混合させるための装置で、そこに運ばれてきた砂はジェットコンベヤにより高速度を与えられ、揺動板によりその方向を変化させ施工面に叩きつける。繊維はヤーンダクトを通りキャプスタンで一定速度に制御されて、先端の吐出ノズルよりほぼ垂直に施工面に吐出される。

この時砂と繊維が均一に混合されるようになっている。施工範囲は高さ7mまでの擁壁が施工可能で

40. 狭あい部掘削・締固め機械の開発

建設省近畿技術事務所：横江 重行・*元木 真二

日立建機(株)：内野 徹

1. はじめに

最近、市販のバックホウは小旋回型がブームとなっているが、これは狭あいな現場が増加していることを裏付けるものである。このようにバックホウは、汎用性が高く今後ますます普及していくと思われる代表的な建設機械である。

今回、近畿技術事務所では、キャブシステム施工現場でより一層の機械化を目指して汎用型バックホウのアタッチメントとして使用できる狭あい部分の掘削装置と振動締固め装置を開発して現地で性能確認試験を行った。その結果を紹介するものである。

2. 目的

都市部におけるキャブシステム施工の場合、交通の妨げや近郊住民に与える迷惑を最小限におさえるために、施工機械は、① 狭いスペースで施工できること。② 寸法・重量が小さいこと。③ 付帯設備が少ないこと。④ 汎用性があること。の条件により機械の開発を行うことにした。

3. 狭あい部掘削装置の開発

本装置は、標準のバックホウバケットで掘削できない既設構造物の周辺を掘削するもので今までは、人力施工されていた構造物底面の掘起こしも可能な装置である。

写真-1は、開発した掘削装置で回転バケットと呼んでいる。この回転バケットは、調達しやすい0.2 m³級バックホウをベースにバケット容量0.1 m³の実験装置である。上部が油圧モータ部、下部が回転掘削部でバケットを逆回転させると底蓋が開く構造である。

主要諸元は、表-1のとおりである。

本装置により技術事務所構内で基礎実験を、またその翌年キャブ施工現場で適応性試験をそれぞれ実施し図-1に示す



写真-1 狭あい部掘削装置（回転バケット）

ような掘削性能であることを確認した。オペレータが操作に慣れてきた「区間e」では時間当たり5 m³の掘削が可能であった。

また埋設管回りの掘削方法についても基礎試験を行い管位置が判明するまで土砂を水平・層状に掘削する方法であれば埋設管を損傷させることなく施工できることがわかった。

表-1 回転バケット主要諸元

バックホウ本体	0.2 m ³ 級
バケット容量	0.1 m ³
バケット外径	600 φ mm
バケット回転数	最大 30 r.p.m
バケット掘削トルク	0.4 t-m
バケット重量	500 kg

4. 狭あい部振動締め装置の開発

現在の狭あい部締め方法は、タンバ及びビランマによるものと砂水締め工法が一般的であるが、埋戻しが深いと数回に分けて締めめており非効率である。また床掘り底面の締めめは、機械を底面に降ろさなければならぬ手間がかかっている。

そこで表面は狭あいだが深い所の締めめができる装置、そして床掘り底面を地表から締めめできる装置を開発することにした。

写真-2は、開発した締めめ装置で、上部に20 cmストロークの油圧シリンダ、中央部に起振力

1.5 Tonの起振装置、下部に転圧板が接続されている。

転圧板には、垂直転圧板とタンバのような水平転圧板の2種を準備した。

主要諸元は、表-2に示す。

垂直転圧板による締めめ試験は、地中構造物側面を使用し深さ方向の締めめ度を調査した。

その結果転圧板が挿入されている所も含め転圧板の先端より40 cm深い測定点でも87%以上の締めめ度であり、目標値の「路体の品質管理基準85%」を上回る結果が得られた。

水平転圧板による締めめ試験では、5秒の転圧で締めめ度86.2%が得られた。

また、施工範囲としては、深さ5 mまでの床掘り底面を施工することができる。

キャブ施工現場での締めめ試験は、キャブボックス側面を底まで一回で締めめる方法で行った。その中で効率的な締めめ手順を調査した結果図-2のような千鳥方式が作業性・締めめ度の点で最適な方法であることがわかった。

その他、本装置が都市部の歩道で作業するケースが多いことを考慮して振動の計測を実施した。今回

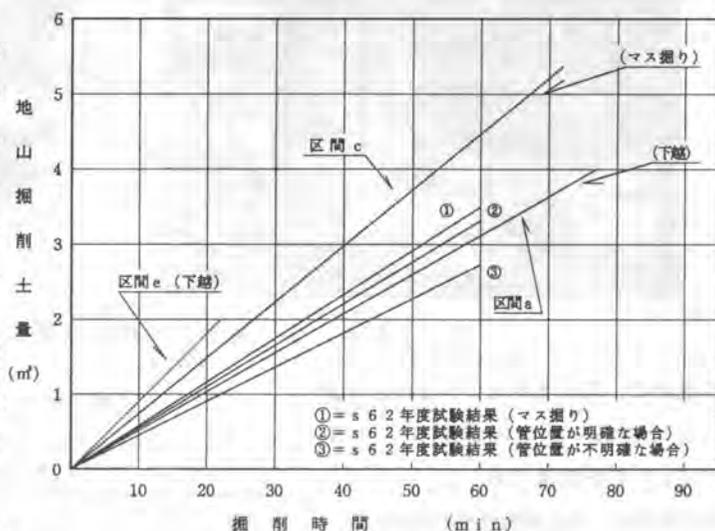


図-1 回転バケット掘削試験結果



写真-2 狭あい部締固め装置（垂直転圧板接続）

の現場は、官民境界までが3mと非常に近くであったため最大87dB（VL）の振動値であった。

転圧作業は、特定建設作業の対象となっていないが現場周辺の住民感情を考えれば、同法の規制値75dB（VL）以下になるよう改善が必要である。

机上の推測では、官民境界まで10m以上あれば規制値以下になるが境界線がそれ以内の場合には、締固め装置の起振力を下げる必要があると考える。

今後、元年度からのテーマである「狭あい部締固め機械の開発」の中で改善を進めていきたい。

表-2 締固め装置主要諸元

駆動方式	油圧モータ
油量	40～60ℓ/min
油圧	70～120kg/cm ²
振動数	1,800～2,600cpm
起振力	0.7～1.5ton
振幅	±2.0mm（空振幅）
旋回角度	360°自由旋回
油圧シリンダ	ストローク200mm
垂直転圧板	450mm×1,000mm
水平転圧板	580mm×500mm
重量	約260kg

5. まとめ

掘削装置は、狭あいな場所や埋設管の下越し作業がスムーズにでき、時間当たり5m³の掘削が可能である。また、バケットの回転数により掘削力を調整することができ万一埋設管に当たってもキズ付ける

ことなく周辺を掘削することができた。

以上により、今まで人力によって掘削していた狭い箇所を機械化することによりスピードアップでき、経済的効果が大きいことを確認した。

また、従来の工法で補装面を掘削する場合、カッター・ブレイカー等が必要であるが本装置は、アスファルト及びコンクリート補装部分も掘削できるので工程の簡略化になることも大きな特徴である。

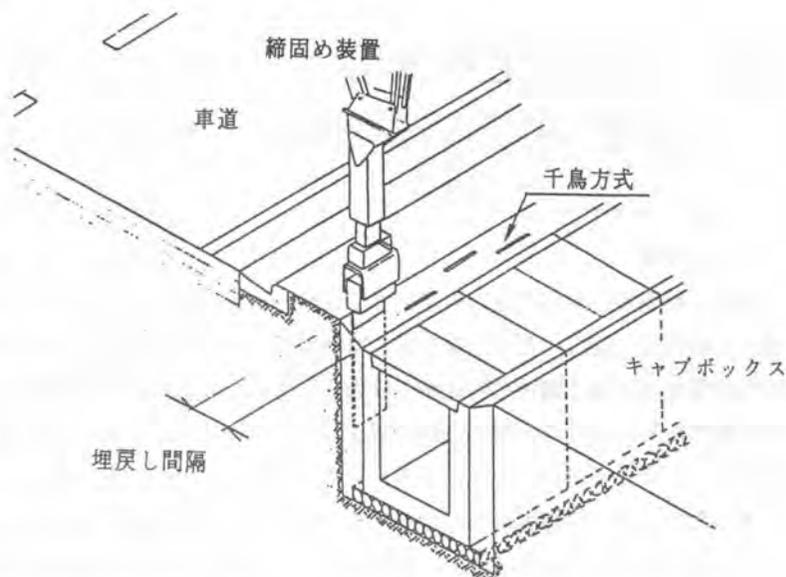


図-2 千鳥方式の締固め

締固め装置は、キャブ側面締固め作業の場合垂直転圧板を「千鳥方式」で初期転圧し、水平転圧板で最終転圧を行うことにより時間当たり16㎡の作業能力であった。(表面積に換算すると11㎡/Hの作業能力)また、締固め作業中の騒音は問題にならなかったが、振動については、80dB(VL)以上の高い値であるため平成元年度の業務の中で改善を図っていく。

6. 今後の計画

今回開発した実験装置は、キャブ施工に適応できるよう検討を行ってきたが今後はこれらの装置を工事に導入する計画も進んでおり積極的に推進していきたい。

また、締固め装置については、引き続き平成元年度も改善を進めていく予定である。

本装置類は、建設省と日立建機㈱の2者で特許及び実用新案を共同で出願中であり、同メーカーによる市販を準備している。

今後、各装置をシリーズ化して多方面に活用できるように市場導入を図っていきたい。

41. 土の安定処理用防塵固化材と施工機械の開発

日本舗道(株)：佐藤 辰郎・*安松 仁

1. まえがき

路床、路盤及び軟弱地盤の安定処理工法は、現地工事に伴い発生する残土の有効利用や処分量の低減、工期短縮、施工の合理化等を図る有利性から、増加の傾向にある。現在施工されている路床の安定処理厚さは、施工機械の性能から最大60cmであるが、上載荷重や交通荷重に対する支持力増強の必要性から、より厚い層の処理が望まれている。アスファルト舗装要綱では、安定処理工法の場合は30～100cmの間で設定するとし、さらに、路床が非常に軟弱な場合は、施工機械が進入不能であったり、十分な締固めが行えないので、安定処理厚は、50cm以上とすることが望ましい、としている。しかし、同工法に用いられる石灰、セメント等の安定材は散布、混合時の発じんが問題とされ、超軟弱地盤の処理において安定材の散布量が増加し更に環境条件を悪くするため、適用箇所の制約を受けることや、現場の作業環境の面から発じん防止に対する改善が必要とされている。

そこで、安定処理工法の施工法の改善及び周辺環境対策のため作業時の発じんを抑制した防じん固化材(石灰系、セメント系)の開発を行うとともに、同安定材を効率よく散布できる散布機及び、厚さ120cmを処理できるスーパーディープスタビライザを開発し、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ものである。

2. 防じん固化材

2-1 製品概要

本製品は、対象とする粉体にテフロン樹脂を添加し、適当な温度条件下で混合処理をしたものである。粉体粒子間に形成されたテフロンの微細繊維がクモの糸のように粉体粒子を捕捉し、発じんを抑制する。(写真-1)

施工状況(写真-2, 3)からも明らかなように、防じん固化材は通常品と比べ散布時に発じんがほとんど見られず、防じん効果が顕著である。これにより、粉じん飛散による周辺環境への影響が解消されるとともに、作業環境も著しく改善できた。¹⁾



写真-1 テフロン繊維による粉体捕捉状況(走査電子顕微鏡写真)

2-2 防じん固化材の安定処理効果

安定処理の効果は、図-1に示す通り、試験施工後平板載荷試験を実施し比較した結果、通常品と同等の値であった。水を添加するスラリーやウエットパウダー方式でみられる安定処理効果の低減がないことは、経済性の面で利点大きい。特に、防じん固化材のうち防じん生石灰(粒径5～0mm)の安定処理効果は回数による差がなく、また塊状の生石灰(粒径30～5mm)を用いる2回

混合方式の安定処理効果と比べても同程度以上の値を示した。したがって、粒径5～0mmの防じん生石灰では、塊状の生石灰を用いた場合に必要とされている2次混合が省略可能となり、施工の省力化、迅速化が図れることも大きな利点となる。



写真-2 防じん固化材（セメント系）



写真-3 通常セメント

3. 石灰・セメント散布機

3-1 開発理由

石灰、セメント等の安定材の散布は、工事規模に対応した適切な散布機が少ないことから、人力散布の占める割合が多いのが現実である。しかし、人力散布は作業環境の悪化などから作業員の確保が困難になりつつある。これらの問題を解消し、かつスーパーディーブスタビライザに対応して作業効率の向上を図るために、散布量自動管理システムを装備した散布機を開発した。（写真-4）機械の主な仕様は表-1に示す通りである。

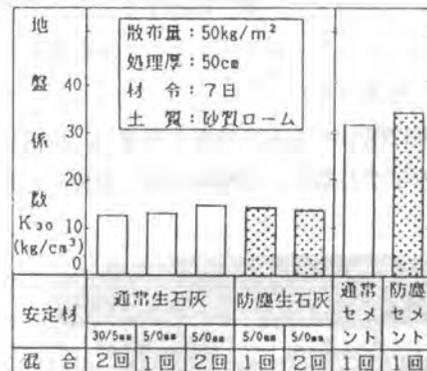


図-1 平板載荷試験結果



写真-4 石灰・セメント散布機

寸法・重量	ホッパー容量	5.0m³
全長 5,300mm	走行速度	0~8km/h
全幅 2,400mm	走行速度	10~80m/min
全高 2,600mm	登坂能力	10/30°
総重量 9,000kg	接地圧	積載時 0.32kg/cm²
性能		空車時 0.21kg/cm²
混合幅 2,400mm	エンジン	
散布量 5~100kg/m²	出力	133ps/2,500rpm

表-1 石灰・セメント散布機の仕様

3-2 散布量自動管理システムの開発

現在の散布機は、所要の散布量を得るため各安定材のフィーダの吐出量曲線に基づき、フィーダ速度及び車速を手動にてコントロールしているが、この自動制御システムは、あらかじめ散布量を設定

することにより、その時の散布機の走行速度に応じてベルトフィーダ速度を自動制御するものである。この方式により、散布量の管理の合理化が図れるばかりでなく、オペレータの省熟練化にもつながる。

システムのフローチャートを図-2に示す。

4. スーパーディープスタビライザ

4-1 開発理由

従来のロードスタビライザは、処理厚が60cmをこえる場合、2層に分けて施工する例が多い。この方法では、安定材の散布回数、上層の被処理土の移動、混合回数の増加等、ロスが多い。そこで、この問題を解決するため、施工性、経済性の改善を目標とし、深さ1.2mまで一層で処理することができる、スーパーディープスタビライザを開発した。(写真-5)

図-2 散布機自動制御フローチャート

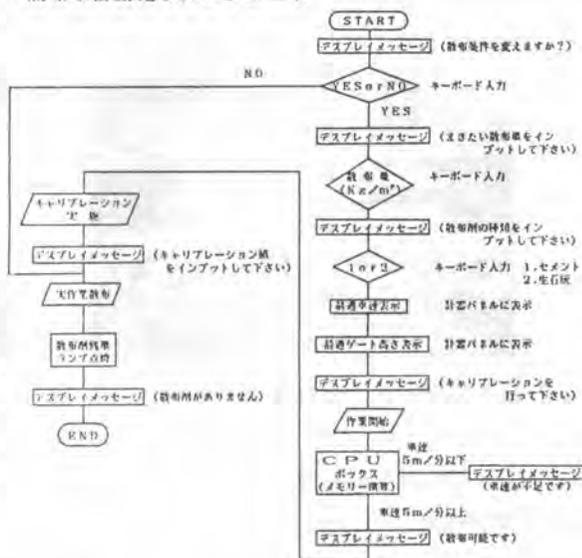


図-2 散布機自動制御フローチャート

開発に際して国内の事情を考慮し、機械は運搬を容易にし現場内の機動性を高めるため、従来のスタビライザと略同一の機体寸法、重量とした。機械の主な仕様は表-2に示す通りである。



寸法・重量	シフト量	620mm (左右)	
全長	9,100mm	混合刃速度	0~2.0 m/s
全幅	3,240mm	走行速度	0~3.2km/h
全高	3,640mm	作業速度	0~6.0m/min
総重量	24,000kg	登坂能力	20°
性能	接地圧	3.36kg/cm	
混合深さ	1,200mm	エンジン	
混合幅	2,000mm	出力	360ps/2,000rpm

写真-5 スーパーディープスタビライザ 表-2 スーパーディープスタビライザの主仕様

作業装置は、従来のロータ方式を採用した場合、検討の結果、ロータの外径が大きくなり大出力のエンジンが必要となることが予想されたので、比較的小さい動力で効率よく混合する手段を開発することとし、無駄な土の攪はんを抑え、土中にある混合機の体積を少なくすることが最良手段であるので、トレンチャー構造の作業装置を採用した。(図-3、図-4参照)

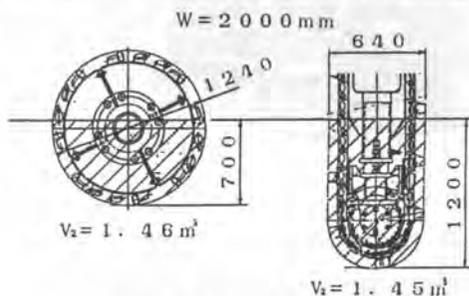


図-3 作業装置の比較

4-2 混合性能試験結果

スーパーディープスタビライザの混合性能は、下記に説明する試験施工により確認した。施工は、2区間に分け、いずれの区間も自然含水比60%の粘性土に70kg/m²のセメントをスーパーディープスタビライザで厚さ1.0mまで混合した。締固めは、区間1は15t大型振動ローラ、区間2は15t級タイヤローラでおこなった。混合性能は7日養生後に測定した図-5に示す一軸圧縮強度で評価した。両区間ともに一軸圧縮強さは表面より90cm下まで多少のバラツキはあるものの、ほぼ同程度の改良強度が得られており、略々均一な混合が行われたものと推定される。

4-4 結論

今回の土質では、フェノールフタレイン試薬によりセメント分散を確認した結果および厚さ方向の改良後の強度の状況等から判断し、ほぼ均一な混合が確認できた。以上より、スーパーディープスタビライザによる、深さ1mの路床改良は十分可能であることが確認できた。

5. おわりに

防じん固化材、散布機、スーパーディープスタビライザはいずれも、安定処理の施工に伴う作業環境の改善、周辺に及ぼす影響の低減、オペレータの省熟練化、施工の省力化等に着眼して開発し、所期の成果を得ることができた。今後は軟弱土の多いわが国では、より厚い層の地盤改良を行うことにより『路床』を効率よく構築することが可能となるので、様々な土質で厚層の安定処理をおこない、施工機械の改良と工法の確立に取り組むこととしたい。

最後に開発に御協力いただいた(株)小松製作所ならびに小松造機㈱に感謝いたします。

<参考文献> 1) 下田ほか：石灰系・セメント系安定処理工法における発塵防止対策、第18回日本道路会議、平成元年。

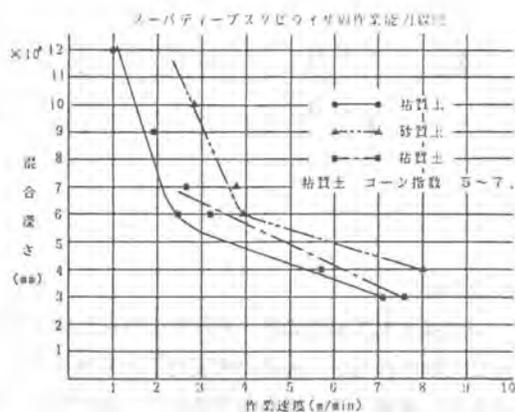


図-4 作業能力図

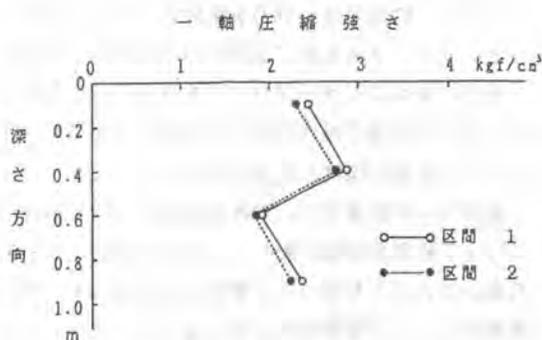


図-5 一軸圧縮試験結果

42. ブルドーザのシュースリップコントロールによるリッパ作業の容易化・効率化

(株)小松製作所：中原 照雄・*伊戸川 博

1. はじめに

大規模土木工事で碎石・石灰岩の採掘作業で行われている岩盤掘削作業は発破工法と機械力による工法に大別されるが、後者の代表的工法であるブルドーザによるリッパ作業は、安全性・無公害性の利点により 発破工法に代わる工法として適用範囲を拡げている。懸案であった硬石での掘削も、重量90トンを超える超大型ブルドーザの出現によって、リッピング能力(リッパビリティ)が大幅に向上し、経済的に施工可能となってきている。

しかし、機械のけん引力を使用するリッパ作業は、オペレータに高い熟練度が要求され、かつ不要なシュースリップのため、足回りの早期摩耗・燃費悪化を招いているのが現状である。

今回、車両のシュースリップを検知し、作業時に最適なパワーをコントロールするシステムを完成させ、リッパ作業の操作性向上と効率向上をはかったので、本システムの概要を報告する。

2. リッパ作業の現状と改良のねらい

通常リッパ作業では、複雑な路面および岩質状況のため車両のスリップ限界の変動が激しく、また作業能力を高めるために、より高いけん引力を使って仕事をせねばならず、オペレータは常に履帯がスリップ限界状況にあるようにコントロールせねばならない。しかしブルドーザのシュースリップ率とけん引力の関係は図1のようになっており、むやみに履帯をスリップさせても燃料の無駄と足回り寿命の低下を招くばかりで作業量は増加しない。

このため、作業機レバーのみの操作ではコントロールが困難なため、デセルベダルによってエンジン出力をコントロールすることが必要である。図2に砂質土ドーピングと軟岩リッピングの作業状況を示すが、砂質土ドーピングではスリップ限界の変動が少なく、車両

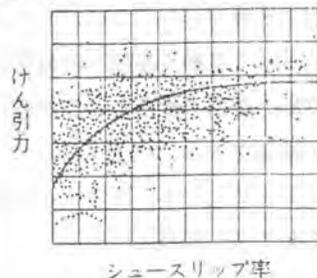


図1 ブルドーザのスリップ特性

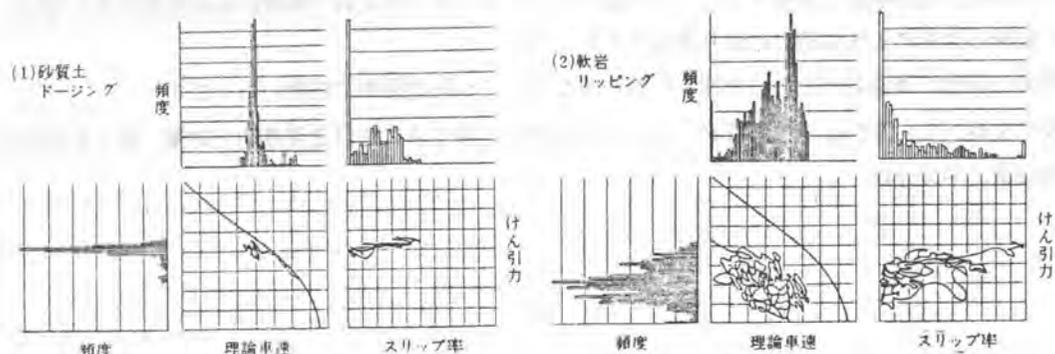


図2 ブルドーザのドーピング作業時およびリッパ作業時のスリップ率比較

はフルパワーのライン上で使用されているが、軟岩リッピングではスリップ限界の変動が大きいいため、オペレータはデセルペダルによって常時エンジン出力をコントロールしていることがわかる。このデセルペダルによるコントロールは高い熟練度を必要とし、かつ集中力を要する長時間の作業は、どうしても不要なシューズリップとオペレータの疲労を招き、作業効率が低下しているのが現状である。

この課題を解決したのがシューズリップコントロールシステムであり、改良のねらいを下記4点においた。

- ① オペレータの操作性向上のため、リッパ作業時デセルペダル操作を不要とする。
- ② 履帯のシューズリップを極力廃除し、足回りの摩耗寿命の向上と燃費の向上をはかる。
- ③ 作業量は、ベテランオペレータのマニュアル作業と同等とする。
- ④ 従来のオペレータの操作感覚をそこなうことなく、コントロール可能とする。

3. シューズリップコントロールの概要

本コントロールは、常時エンジン出力・けん引力・シューズリップ率を検出し、スリップ率がある値を越えた場合、自動的に車両のけん引特性（=エンジン出力）を変化させ、適性なけん引力となるようにコントロールするものである。

今スリップ率がある値を越えた場合、車両のけん引特性を図3の①②のように設定し、エンジンのマッチング点をa→bのように変化させ、必要なけん引力を維持しつつ履帯速度のみを減少させれば、実車速は変わらないで作業量同一のまま不要なスリップを除くことができる。

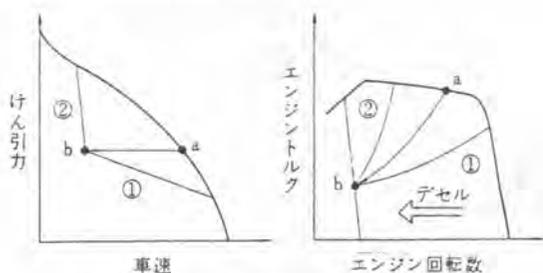


図3 スリップ時のパワーコントロール

図4にシューズリップコントロールのフローチャートを示す。ここで、スリップ率検出のための実車速測定用センサーは本システム用に新規開発したもので、実車速は車両前後方向の加速度を積分することにより検出しており、車体傾斜およびリッピング時の車体振動による誤差は、低周波および高周波成分をカットすることで除去している。

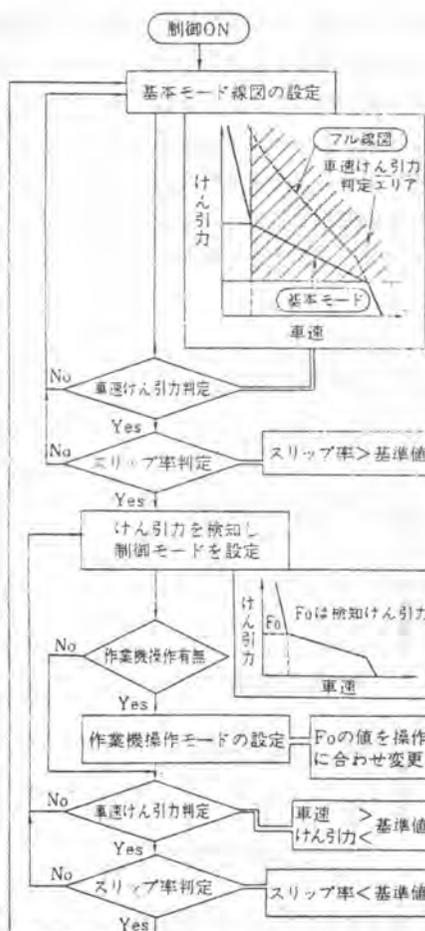


図4 スリップコントロールフローチャート

図5にブロック図を示すが、エンジン出力のコントロールはコントロールからの指令値をガバナモータに伝え、本モータによりエンジンガバナレバーを駆動することでコントロールされる。

4. シュースリップコントロールの効果

シュースリップコントロールを使用したリッパ作業とベテランオペレータによるマニュアル作業を比較したデータを図6に示す。本システムは岩盤硬度により、モード1～5が選択可能となっているが、このテストは、モード3相当の硬さの岩盤地で行ったものである。本テスト中、マニュアル作業時はデセル操作頻度が1回/2秒であったが、シュースリップコントロールでの作業では全くデセル操作を使用せずテストを実施した。シュースリップコントロールの効果として、作業量は同等、シュースリップ率は30%低減しており、特に高けん引力時のシュースリップが大きく低減している。また、燃費も5%低減している。

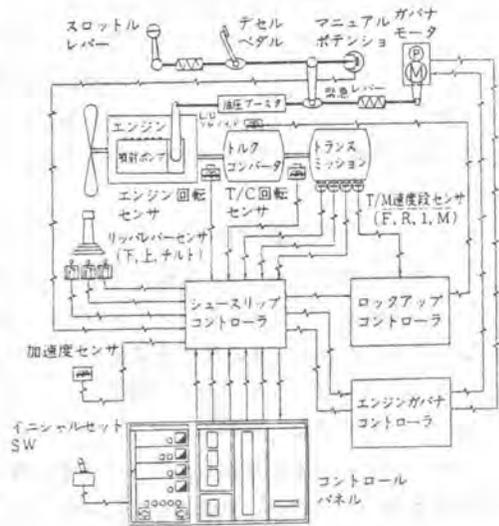


図5 システムブロック図

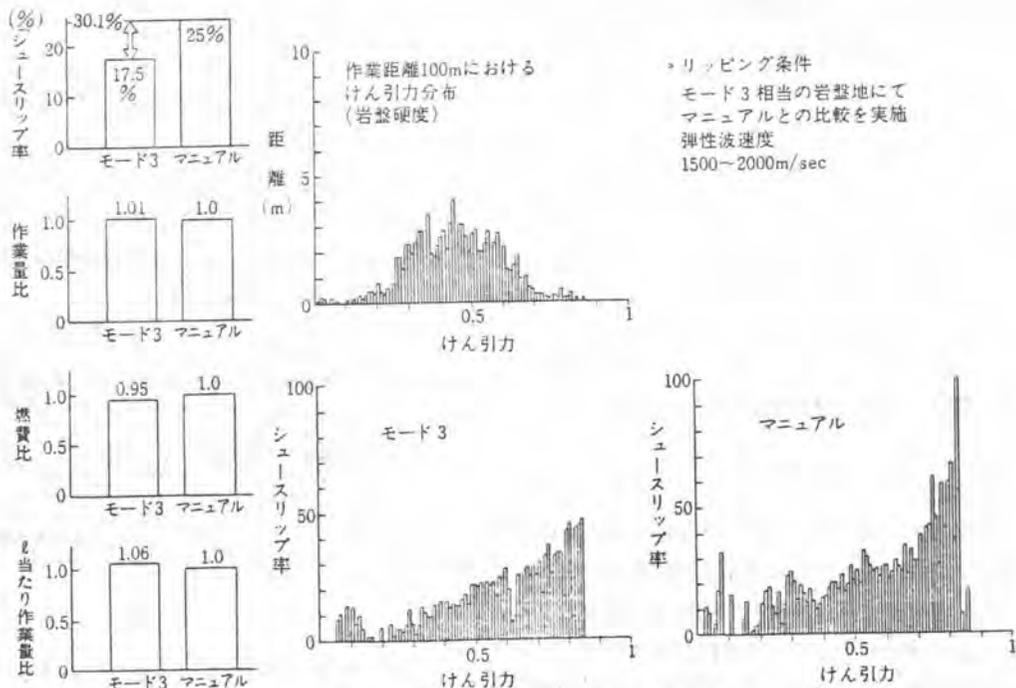


図6 シュースリップコントロール時の性能テスト結果

長時間のユーザテストにおいても本来の作業状況把握・作業を図7に示すように、作業機操作のみにオペレータは専念でき、この操作性向上によつての作業効率向上が高い評価を受けている。具体的なユーザーの声として『岩盤地の過酷なリッパ作業において土質の急変化に対して車が勝手に対応してくれるのでオペレータは気をつかわなくて楽』、『シュースリップが大幅に減つたため車体振動が少なく乗心地がよい』、『シューの摩耗量は20～30%少ない』と予想通りの評価を得ている。

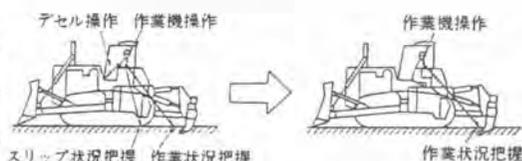


図7 シュースリップコントロールによる操作性の向上

5.D375A-2, D475A-2作業別コントロールシステム

これまで、リッパ作業のシュースリップコントロールの概要を述べたが、D375A-2, D475A-2ではブルドーザが行なう各種の作業に対応した作業別コントロールシステムを搭載している。(図8)本システムはリッパシュースリップコントロールに加え、ドーシング作業にパワーコントロールを適用したエコノミモード、大量運土用のトルコンロックアップモード、不整地走行用に車速を制御する後進スローモードを、組み合わせたものであり、ブルドーザの各種作業はこのシステムによって効率的にコントロールされ、作業の効率向上と足回り寿命向上・燃費低減による経済性向上およびオペレータの居住性向上を実現したものである。

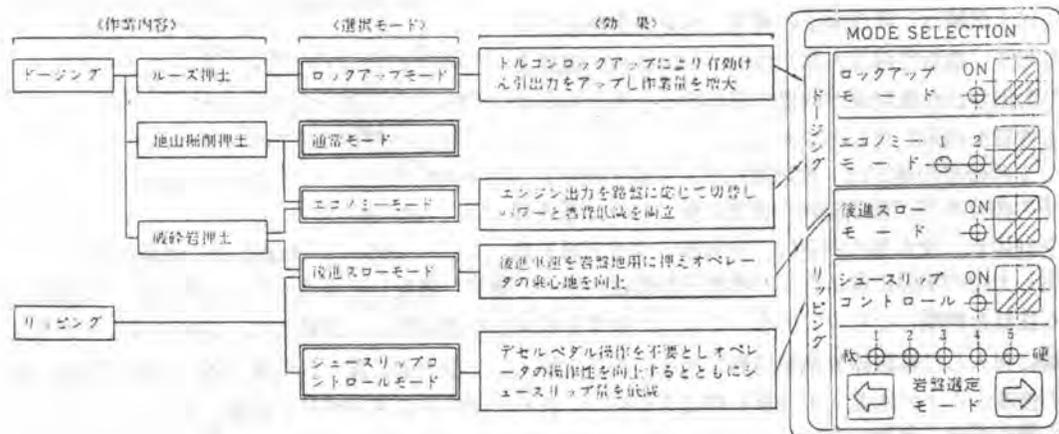


図8 作業別コントロールシステム

6.おわりに

本システム搭載車はD475Aが'89年5月より、D375Aが'89年10月より市場導入されており、数多くのユーザから御好評を頂いている。これまでブルドーザの特にリッパ作業の自動化は遅れており、作業能力のみを重視していたところがあったが、本システムより作業の容易化と効率化は大幅に向上している。しかし、より高い目標に向かい今後ともさらに喜ばれる機械を実現するよう取組みたい。

43. 盛土締固め施工管理装置(RI法) の適用性

建設省土木研究所：田中 貢
建設省東北技術事務所：*木村 信悦

1. はじめに

現在、土工における盛土の締固め管理は、砂置換法が広く用いられており、この方法は測定結果が得られるまで、現場密度の測定に1作業当たり3～4人の人手と20分程度の時間、炉乾燥法による含水比の測定に一昼夜を要するなど、多くの労力と時間を必要としている。そのため測定回数を増やすことができなく点管理となり、面的管理は極めて困難である。また、測定結果の施工への反映や近年の機械化施工に対応した迅速な品質管理も難しい状況である。

以上の背景から、建設省総合技術開発プロジェクト(総プロ)「エレクトロニクスを利用した建設技術高度化システムの開発」の一環として、土木研究所が中心となり官民共同で非破壊、リアルタイムに締固め密度、含水比の測定が可能な機器の開発が行われた。

本論文では、総プロで開発された散乱型RI試験と一部団体で実際の施工管理に使用している透過型RI試験を取上げ、施工管理装置としての適用性について検討した結果を、中間報告するものである。

2. 施工管理試験装置の概要

① 透過型RI試験

RI試験は、地表面下の密度、水分量を測定するもので、放射性同位元素(Radio Isotope)の線源より射出された放射線が地盤の構成原子と相互作用する性質を利用したものである。

土の密度の測定は、放射線にガンマ線を使用し、その相互作用が被測定物の密度に強く依存する性質を利用し、含水量の測定は、放射線に中性子線を使用し土中の水分に含まれる水素原子が高速中性子と衝突、散乱して高速中性子が熱中性子に変化する性質を利用したものである。こうした原理を利用した透過型RI試験とは、放射線同位元素を先端に封入した線源棒を測定地盤に所定の深さで挿入し、地表面に置かれた検出器に入射する放射線の強度から土の密度、水分量を測定するものである。図-1に透過型RI試験の原理を示す。

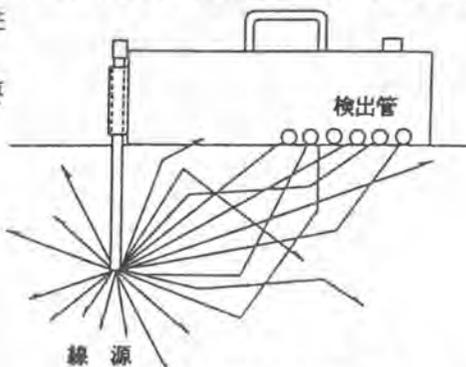


図-1 透過型RI試験の原理

② 散乱型RI試験

散乱型RI試験は、基本的な測定原理は、透過型RI試験と同じである。

透過型は線源より射出された放射線のうち、地盤の構成原子と相互作用しなかった放射線を検出するのに対して、散乱型は地盤の構成原子と相互作用した放射線を検出するものである。

散乱型は、線源棒の挿入孔を必要としないため純然たる非破壊法である。

図-2に散乱型RI試験の原理を示す。

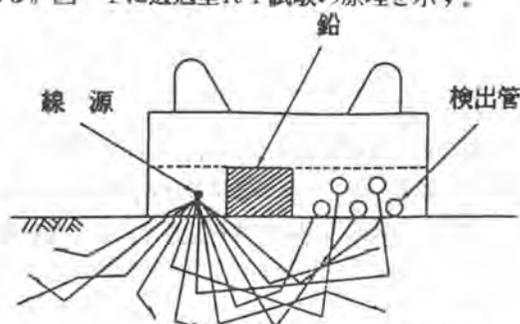


図-2 散乱型RI試験の原理

3. 施工管理試験装置の適用性

施工管理試験装置の適用性は、実験地盤及び施工現場で従来法（砂置換法）の計測データと透過型R I試験、散乱型R I試験の計測データから、試験法の正確度・精密度、従来法との相関について検討した。

3-1 実験地盤での適用性

① 実験地盤の造成

実験地盤の造成は、東北技術事務所の構内を利用して、砂質土、レキ質土、粘性土の3レーンについて、実験ヤード（盛土基礎）、基礎地盤（1層目）、実験地盤（2層目）とし1層当たり30cmの仕上り厚で造成した。図-3に実験地盤の概要を示す。

なお、施工は敷均し締固めともにブルドーザで行い、締固め回数は5回とした。

② 密度管理試験結果

砂質土、レキ質土、粘性土の各レーン（20m×40m）を3、0m×3、8mの大ききで分割したエリアを基本に試験を行った。表-1に試験結果を示す。

③ 正確度・精密度の検討

正確度（各試験法で得られた乾燥密度の平均値と砂置換法による土の乾燥密度の平均値との差の絶対値）により平均値の偏りを評価し、精密度（各試験法で得られた乾燥密度の標準偏差と砂置換法による乾燥密度の標準偏差との比）により、散布度合を確率密度関数等で評価した。

図-4～図-5に従来法（砂置換法）、図-6～図-7に透過型R I試験、図-8～図-9に散乱型R I試験の乾燥密度及び含水比の確率密度関数を示す。

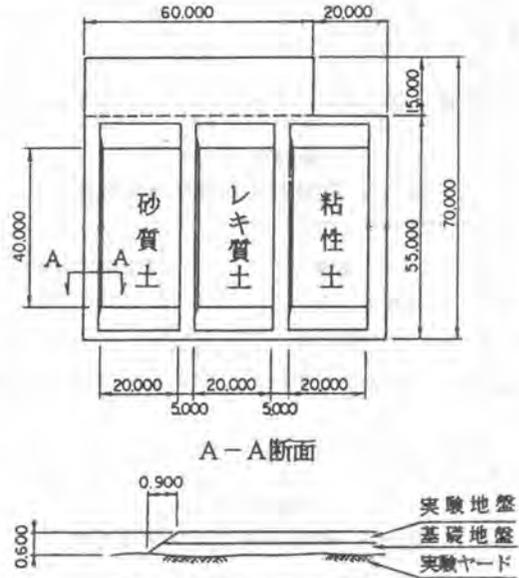


図-3 実験地盤の概要

表-1 試験結果

試験の種類	実験材料	点数	平均値	標準偏差	備考
砂置換法による土の密度試験（密度）	砂質土	30	1.437	0.029	平均値 砂質土>砂質土>粘性土 標準偏差 砂質土>粘性土>砂質土
	レキ質土	30	1.700	0.052	
	粘性土	30	1.298	0.043	
透過型R I試験（密度）	砂質土	60	1.386	0.035	平均値 砂質土>砂質土>粘性土 標準偏差 砂質土>粘性土>砂質土
	レキ質土	60	1.679	0.085	
	粘性土	60	1.204	0.050	
散乱型R I試験（密度）	砂質土	60	1.345	0.038	平均値 砂質土>砂質土>粘性土 標準偏差 砂質土>粘性土>砂質土
	レキ質土	60	1.595	0.072	
	粘性土	60	1.286	0.046	

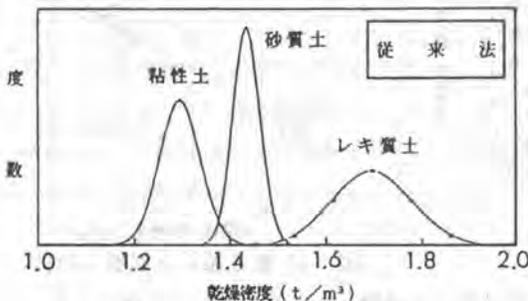


図-4 乾燥密度の確率密度関数

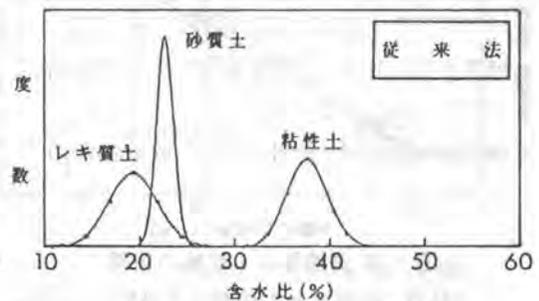


図-5 含水比の確率密度関数

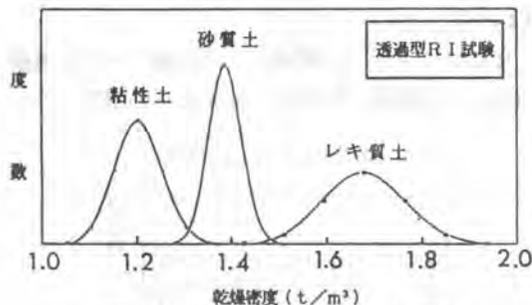


図-6 乾燥密度の確率密度関数

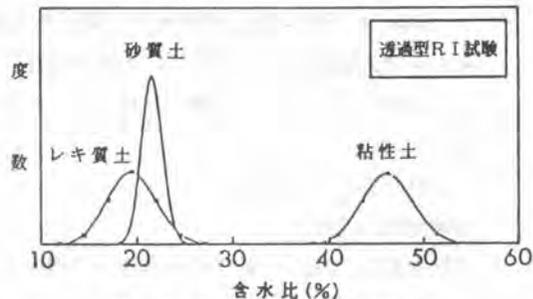


図-7 含水比の確率密度関数

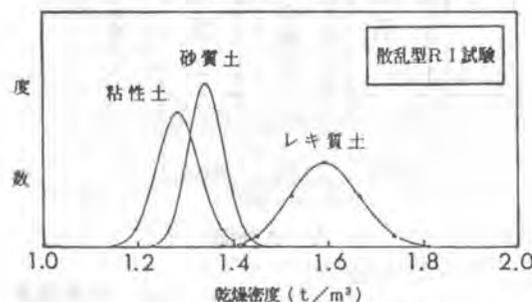


図-8 乾燥密度の確率密度関数

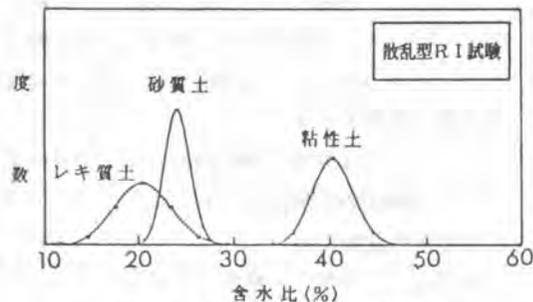


図-9 含水比の確率密度関数

この結果、次のことが確認された。

- * 透過型R I試験は盛土材料、締固め程度にかかわらず乾燥密度、含水比とも高い正確度・精密度が得られた。
- * 散乱型R I試験は正確度において透過型R I試験と同等な結果が得られたが、精密度においては透過型R I試験より劣る結果となった。
- * 実験材料別の平均値は、試験装置が異なると完全には一致せず、その適用にあたっては校正試験を行う必要がある。

4 従来法（砂置換法）との相関

図-10に乾燥密度の従来法（砂置換法）と透過型R I試験の相関を、図-11に散乱型R I試験との相関を示す。

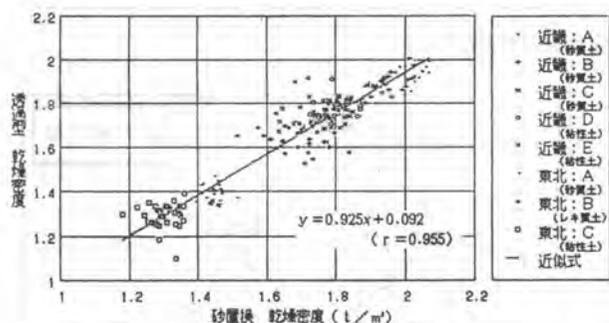


図-10 透過型R I試験の相関

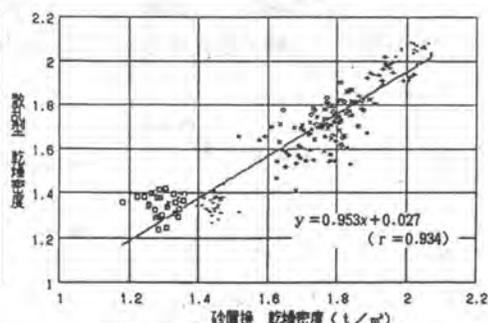


図-11 散乱型R I試験の相関

この結果、従来法との相関は透過型R I試験、散乱型R I試験とも、その差はごく僅かでありこれを表-2から評価すると両試験とも従来法との相関は高いと言える。

⑤ 検討結果

実験地盤での検討結果から次のことが確認された。

*透過型R I試験は、精度的には従来法より劣るものの、その差は僅かであり施工管理装置としての適用は十分に可能である。

*散乱型R I試験は、精度的には透過型R I試験に劣るものの、その差は僅かであり施工管理装置としての適用は十分に可能である。

表-2 相関係数による評価方法

相関係数の範囲	評 価	
0.5未満	相関性が低い	低い
0.5~0.8	相関性がある	中位
0.8以上	相関性が高い	高い

3-2 現場への適用

構内試験の結果、施工管理装置としての適用性が確認されたので、次に工事現場で試験を行った。表-3に現場の概要を示す。

表-3 現場概要

工 種	土 工 量	土 質	転圧機種	転圧回数
道路改良工事	15,000㎡	砂質土	パイロ-716t	4 (一方向)
	113,000㎡	埴質土	パイロ-718t	4 (縦横)

現場試験は、透過型R I試験、散乱型R I試験と並行して、従来法である砂置換法についても同一点で計測を実施し、その相関を求めた。図-12に乾燥密度の従来法と透過型R I試験を、図-13に散乱型R I試験との相関を示す。

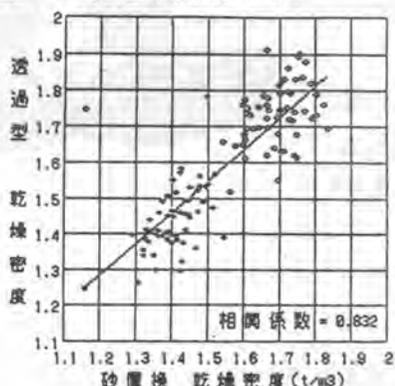


図-12 透過型R I試験の相関

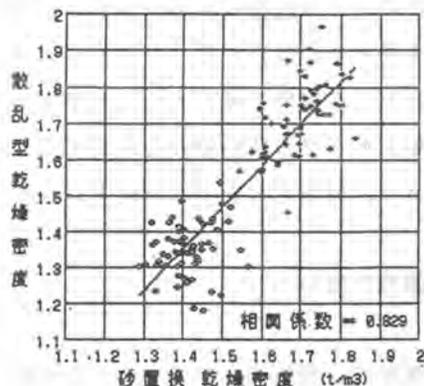


図-13 散乱型R I試験の相関

この結果、乾燥密度の密度範囲が狭いにもかかわらず、両試験とも相関係数が0.83と良好であった。これは構内試験の結果より劣るものの、材料の混在や含水比のばらつき、施工法などを考慮すると高い相関を示していると云える。

4. まとめ

本論文では、土工における施工管理の合理化に寄与するための、新しい施工管理試験法の適用性に述べた。その結果、現時点における計測器の特性、適用性等について知見を得ることができた。

しかし、実際の現場条件は多種多様にわたり、今回の結果をそのまま現場施工を代表するものとは判断できない。

よって、今後は多くの現場において計測を実施し、今回の実験で得られた種々の結果を確認すると同時に、次に示すような観点から検討を行う予定である。

- * 各種の土における新しい測定機器の適用性及び問題点の把握
- * 現場における諸条件（施工機械、土質、施工規模等）が、計測結果に及ぼす影響の把握
- * 新しい施工管理手法のための品質管理基準の検討

44. ゴム履帯式高速トラクタの開発

新キャタピラー三菱㈱；仲田 良輔

1. はじめに

従来より装輪式トラクタの持つ機動性、静粛性と、履帯式トラクタの持つけん引性、低接地圧を兼ね備えたものとして、ゴム履帯を装着した高速トラクタの概念は提唱されていた。

この度キャタピラー社がけん引作業を中心とした農業用にこのゴム履帯式高速トラクタを開発したのでそのアウトラインを紹介する。このトラクタはチャレンジャー65と言う名称で導入され、農業用に限らず、将来の建設用トラクタの技術動向を示唆するものとして注目されており、現在北米を中心に約700台が稼動している。



チャレンジャー65

2. 開発の狙い

履帯式、装輪式トラクタのそれぞれに長所、短所がありその為、使用者側としてはいずれかのタイプを選択した時点でトラクタ性能、機能に対する妥協が強えられる事となる。本トラクタの開発にあたって、両タイプの持つ問題点をクローズアップし、新型トラクタとして解決すべき主な課題を次の様に整理した。

- ① 装輪式並の機動性、乗り心地、騒音レベルを達成すると同時に、公道走行を可能とする事。
- ② 履帯式並のけん引性能、車両安定性、低接地圧を有すること。
- ③ 操作方法は装輪式と同様とすること。
- ④ 現在主流である270-330馬力のクラスとすること。

以上の様な課題を満足させる為、1980年以後6台の試作車を用い延べ1万時間を超える実稼動テストを経てチャレンジャー65の登場を見るに至った。

3. 主な構造と特長

チャレンジャー65は履帯式と装輪式双方の長所を兼ね備える為、数多くの新技術が採用されている。以下に主な構造と特長を延べる。

(1) モービルトラックシステム

高速走行性能、高けん引性能、走行時の低振動、低騒音、高い耐久性を考慮した足回りはモービルトラックシステムと称され、図-1に示すコンポーネントより構成される。

ファイナルドライブからの駆動トルクを面接触でモービルトラックベルトに伝達するドライブホイールは鋼製ドラムの外周にラバーを装着し、十分なフリクションが得られる構造を有している。外周ラバー表面には接触面に入り込んだ土を排除し、フリクションの低下を防止する為に51mm間隔に13mm深さの溝が斜めに配置されている。モービルトラックベルト(図-2)はラバー材の持つ柔軟性に引張り強度と耐切損性を加味する為スチールケーブルが4層に埋込まれている。ベルト表面には36個のグロースラバーが千鳥状に接着され、軟弱地でも十分なトラクションが得られる様デザインされている。このグロースラバーは摩耗時の再生が可能であり、ベルト再使用による足回りコストの低減に寄与する。ベルト裏面に接着されているガイドブロックはベルト回転時にドライブホイール及びアイドラ中央の溝に沿うよう配置されており、斜面走行、不整地走行時に発生するスラスト荷重によるベルトのはづれを防止している。アイドラは3.9kg/cm²の空気圧のタイヤタイプを採用し、不整地でのベルト接地面積を一定に保つ他、走行時の衝撃吸収機能を有している。

左右アイドラのセンターはフロントアクスルで連結されており、アイドラに上下及び前後方向の自由度を与えている。ドライブホイールとベルト間の接触面圧を一定に保つ為、図-3に示すベルトテンショナがメインフレーム前部とフロントアクスル間に装着されている。このベルトテンショナには約4.5tの

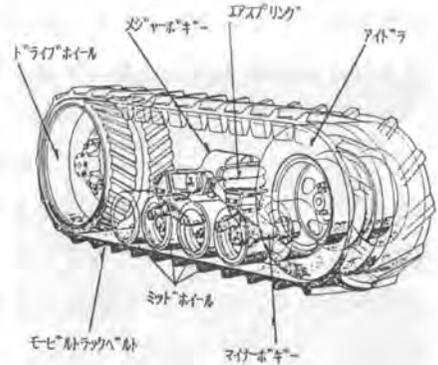


図-1 モービルトラックシステム

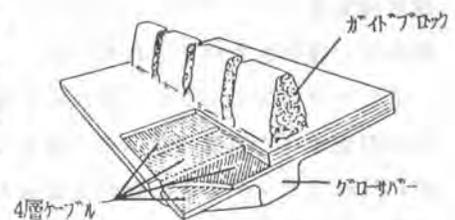


図-2 モービルトラックベルト

引張り力を維持するスプリング内蔵型シリンダが採用され、高けん引力を発揮するに十分な駆動面圧を与えている。走行時にベルトと地面の均一な接触を保ち、更に地表からのショックを柔らげ足回りの耐久性を向上させる為に、ボギー構造を有したミッドホイールが採用されている。片側4個のミッドホイールは各2個ずつがマイナーボギーに連結され、マイナーボギーはメジャーボギーに結合されている。走行時にミッドホイールが受ける地表からの反力はメジャーボギーに装着されているエアスプリングが吸収する為、オペレータ振動の低減、足回り寿命の延長、けん引時のトランクションの増加が図られる。

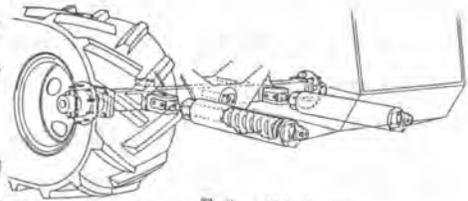


図-3 ベルトランショナー

(2) エンジン及びパワートレイン

エンジンは出力270馬力のCAT3306ターボチャージャー付ディーゼルエンジンが搭載され、けん引性能を重視し、トルクライズは30.4%にセットされている。トランスミッションは農耕作業用の車速-けん引特性が得られる前進10段後進2段のカウンタシャフト式ダイレクトドライブで伝達効率が高く、速度段変更はフルパワーシフトのノークラッチが採用され、操作性も向上されている。

このトランスミッションはけん引負荷の微妙な変化に対応すべく前進2速から6速までの速度段選択が1.3km/hrピッチできめ細かく行なえる一方で最高速度は29.2km/hrと装輪式トラクタに匹敵する機動性を発揮する。

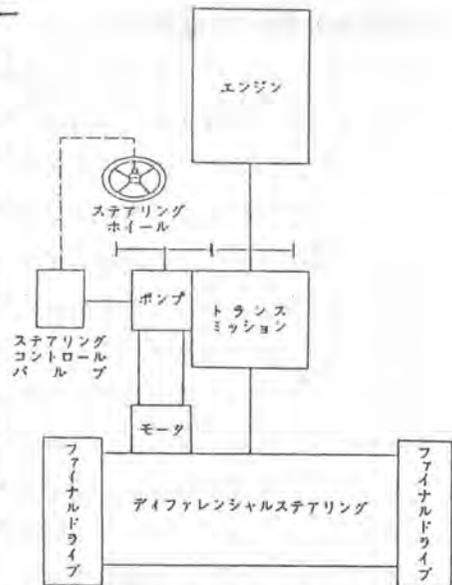


図-4 パワートレイン

ステアリング操作は履帯式にもかかわらずハンドルの回転により行なわれる為、装輪性トラクタ感覚のコントロールが可能であり、又常に左右の履帯に駆動トルクが伝達されるディファレンシャル機構を有しており、従来の履帯式トラクタの様に左右履帯への駆動力のオンオフによる旋回と異なり、旋回時のパワーロスが低減する他、斜面での走行直進性、軟弱地走破性の向上が図られている。

ブレーキは油圧ブースタ付足動式キャリパディスクがドライブホイールに内蔵されている他、トランスミッション出力側には機械式レバー操作のパーキングブレーキが装着されている。

(3) オペレータコンパートメント

オペレータの居住性向上を目的としてプレッシャライザ、エアコン付ROPSキャブを標準装備し、ほこりの侵入を防止し、オペレータ騒音を低下させていると同時に良好な視界と十分な広さを確保している。

座席は前後上下調整、左右各30度回転可能なサスペンションシートであり、極めて良好な居住性を有している。レバー、ペダル、ゲージ、スイッチ類は人間工学に基づいたレイアウトでまとめられており、オペレータ疲労の低減がはかられている他、乗用車感覚での運転が可能なようAM-FMカセットステレオ、ドームライト、ダッシュボックス等も標準装備されている。



オペレータコンパートメント

表-1 に仕様を示す。

表-1 チャレンジャー65主要仕様

4. あとがき

履帯式トラクタの高速化への挑戦は既に多くの試みがなされてきたが、その過程に於いて常に履帯強度、耐久性等の障害により装輪式並の性能の確保には困難をきたしていた。

紹介したゴム履帯式高速トラクタは数多くの新技術の導入でその壁を乗り越えた次世代トラクタであり、農業分野に限らず、更に幅広いアプリケーションへの広がり在今后期待されるものである。

1. 運転重量 トラクタ単体 3点ヒッチ、PTO、ブレード付	13,500Kg 16,800Kg
2. エンジン 型式 定格出力 排気量	CAT 330G ターボチャージャ、アフタークラフ 270HP/2,100rpm 10.5ℓ
3. トランスミッション	前進10段、後進2段ダイレクトパワーシフト
4. ステアリング	ディファレンシャルステアリング
5. 足回り 型式 ベルト幅 接地長 ゲージ 接地圧	ベルトドライブ (モビルトラックシステム) 620mm 2,700mm 2,150mm 0.40Kg/cm ² (トラクタ単体) 0.50Kg/cm ² (3点ヒッチ、PTO、ブレード付)
6. 寸法 (トラクタ単体)	
全高 (マフラー上端)	3,430mm
全長	5,720mm (6,500mm)
全幅	2,865mm (3,550mm)
最低地上高	350mm

() 内はブレード付

45. 最近のリッパ工法

新キャタピラー三菱(株)：熊川 嗣雄

1. はじめに

空港や大型ダム建設、宅地やゴルフ場造成工事等の大規模土木工事及び石灰石・砕石等の採掘作業で行なわれている岩盤掘削工法は、大別すると発破によるものと機械力による工法とに分けられる。そのうち機械力による工法としてごく一般的なのがリッパ工法である。対象となる岩盤が硬く、緻密、亀裂が少ない場合は発破工法が経済性、破碎効率の面で優れている。一方、岩盤が比較的軟らかく、亀裂が発達しており、リッピングによる破碎が十分に可能な場合は、リッパ工法が経済性、安全性、環境対策面等様々な面で優れているといえる。その為、作業範囲を拡大するべく破碎能力の高い大型ブルドーザが従来から市場より望まれている。一方、最近の強い傾向として、都市周辺の再開発、原子力発電所の増設工事、民家に隣接した砕石場等、振動、騒音、粉塵に対する厳しい工事規制を余儀なくされる現場が多くなっている。これらの現場では通常発破工法を用いることが困難な為、少量の薬量を使用する予備発破、スプリック、ロックブレイカ、静的破碎剤等の破碎方法とリッピングを組み合わせた工法、いわゆる環境対策工法が用いられるようになった。しかし、これらの組み合わせ工法は多方面方で研究が進められているが、高い掘削コストと時間当たり作業能力の低さが問題となっている。

インパクトリッパはこのような市場ニーズに応えるべく開発されたもので、作業範囲、生産性、経済性、さらに環境問題に新しい側面を提供するものである。



写真. D11Nインパクトリッパ

2. インパクトリッパの構造と機能

インパクトリッパは、従来のリッパ装置と油圧ブレイカを結合させた画期的なリッパ機構を採用し、これまでのリッパからは考えられない優れたリッピング性能を発揮する。リッパシャックとブレイカが分離し、D9Lインパクトリッパの場合、 21.4kgf/cm^2 の油圧により毎分650回の割合でブレイカがリッパシャックの上端を打撃し、その力がリッパの刃先に集中して岩盤を破碎する。

表1のように従来のリッパ機構では、トラクタのけん引力とリッパの押付力との合成力である貫入力により岩盤を破碎していたが、インパクトリッパでは、トラクタのけん引力にブレイ

カの打撃力が加わり強烈な岩盤破碎力が発揮される。

一方、岩盤に与える力が大きくなる程、岩盤からリップ装置、機械本体への反発力も同時に大きくなり機械の故障、ひいては耐久性にも影響を及ぼすが、これらの点については、長年に亘りテストを積み重ね、十分な対策がなされている。

インパクト作動の基本システムは図3に示す様に電気スイッチでソレノイドバルブを作動させてディレクショナルコントロールバルブを動かし、それによりトラクタのポンプで発生させた圧油をブレード又はリップ用からブレーカシリンダへ流してシャンクの打撃を行なう。作動モードにはマニュアルモードとオートモードがあり、オートモードでは2個の油圧センサが負荷及びリップの作動状況を検知してブレーカの作動をコントロールする。油圧センサの1個はリップのチップシリンダの圧力を感知し、圧が一定値以上になるとブレーカシリンダに圧油を送る。もう1個はリップコントロール用パイロットラインの圧力を感知し、この圧が上がるとブレーカシリンダに圧油を送る働きをする。

その破碎力は標準型リップに比べると圧倒的で、標準型リップでは88 TON級のD10でもリップ刃先貫入力は46100kg、60 TON級のD9Lでは32400kgであるのに対し、同じD9Lに装着したインパクトリップはリップ刃先で136 TONの打撃力を持つ。このはるかに大きい刃先力により標準型リップでは破碎できない岩を砕き、砕いた後に今度はそこから連続的に標準リップとして、ゆるめられた岩の破碎を拡げ起砕を行なっていくと言うプロセスをたどることにより、非常に高い破碎効率を発揮する。又標準型リップと同様、ブルドーザに装着されている為、機動性に優れ、リッピング作業と交

	D10	D9L	D9L インパクトリップ
重量 (kg)	87,550	60,150	66,975
押付力 (kg)	22,300	16,900	136,000 (打撃力)
けん引力(kg)	40,300	27,670	27,670

表1. 破碎力比較

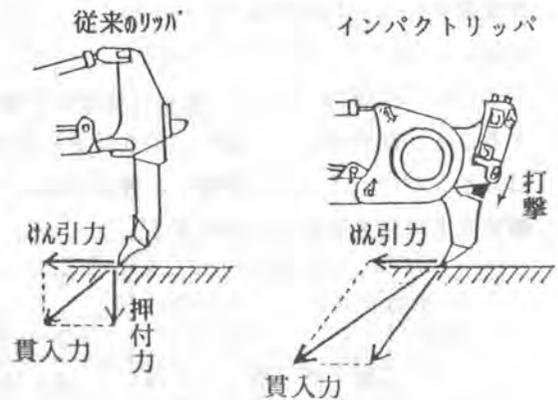


図1. 破碎力比較

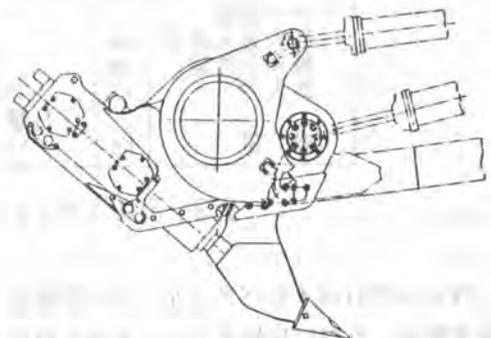


図2. インパクトリップ外観図

互にドーピング作業も行なえるので現場内での転石処理、起砕後の段取り、あるいは浮石の多い現場等での作業効率をも高めている。

3. D11Nインパクトリッパ仕様及び作業性能

これまでのD9Lインパクトリッパについては、いくつかの文献によりその仕様、作業性能結果等が紹介されている。例えば、玄海原子力発電所増設工事においては、90TON級ブルドーザ D10ではリッピング困難で、ハイドロスプリッターを使用していた弾性波速度3500-4000m/sの玄武岩をD9Lインパクトリッパは楽々と破碎し、ハイドロスプリッターの5-7倍の

作業量をこなしたと報告されている。又、山陽自動車道西条工区では、弾性波速度が3000-4000m/sの花こう岩において、ハイドロスプリッターの3-5倍の起砕実績を示している。

このようにD9Lインパクトリッパは弾性波速度3000-4000m/sにおいて非常に高い効率を発揮することが証明されているが、現在は更に高い能力を発揮するべく大型化の要求に応じて、D11Nインパクトリッパが登場し、既に日本にて稼動し実績をあげているので、その仕様及び性能テストの結果を以下に紹介する。

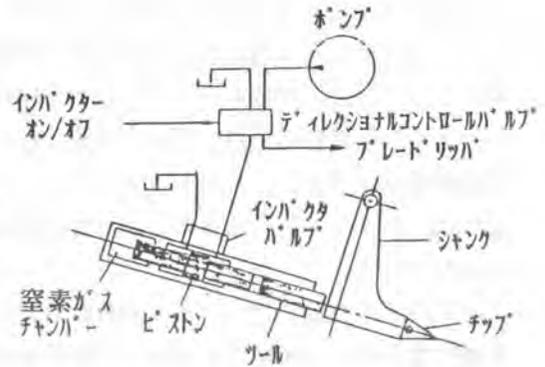


図3. 作動システム

		D11N		D10N標準リッパ
		インパクトリッパ	標準リッパ(マルチ)	(マルチ)
総重量	kg	102,700	95,350	62,800
エンジン出力	ps	781	同左	527
ブレード幅 高さ	mm	5,645	同左	4,865
	mm	2,305	同左	2,055
リッパ装置 最大貫入深さ	mm	953	1,070	940
	mm	860	1,560	1,060
最大上昇量 貫入力	t	332.7	26.7	19.4
		(打撃力付加)		
重量	kg	11,590	9,350	7,260

表2. D11Nインパクトリッパ仕様比較

次に示すD11Nインパクトリッパの性能テストは、D10N標準リッパ可能領域、D11N標準リッパ限界領域、及びD11N標準リッパ不可能領域でのインパクトリッパの作業能力を把握しようとする

るものである。しかしながらこれら作業量計測結果は、約5分から40分間の短時間に実施されたもので、いわば作業効率100%の場合を示すので注意を要する。

a)現場条件

	地域A	地域B	地域C	地域D
地山弾性波速度 (m/s)	1,500-2,000	3,000-3,400	2,400-2,600	3,200-3,800
岩片弾性波速度 (m/s)	3,700-4,800	5,000-5,300	4,900-6,000	
亀裂係数	0.59	0.38	0.58-0.32	
1軸圧縮強度(kg/cm ²)	900-1,000	1,350-1,400	1,400-3,800	

(注) 亀裂係数は、(岩片弾性波速度-地山弾性波速度)÷岩片弾性波速度で示され、値が大きい程亀裂が発達している。

地域A (砂岩) : D10N標準リッパ可能領域

地域B (砂岩) : D10N標準リッパ不可能領域 (D11N標準リッパ限界領域)

地域C (ひん岩・花こう岩) : D11N標準リッパ限界領域

地域D (ひん岩・花こう岩) : D11N標準リッパ不可能領域

b)作業能力 (テスト結果)

	地域A		地域B	地域C	地域D
リッパの種類	D10N標準リッパ可能領域		D11N標準リッパ限界領域		D11N標準リッパ不可能領域
岩質	砂岩		同左	ひん岩・花こう岩	
弾性波速度 (m/s)	1,500-2,000		3,000-3,400	2,400-2,600	3,200-3,800
機種	D10N標準	D11Nインパクト	D11Nインパクト	同左	同左
作業能力 (地山m ³ /h)					
リッピング	652	1,171	183	227	178
ドージング	663	1,373	585	1,010	684
リッピング・ドージング	329	632	139	218	141

以上の結果をまとめると、D10N標準リッパ可能領域では、D11NインパクトリッパはD10N標準リッパ(1本シャンク)に比べて、リッピング能力で約1.8倍、リッピング・ドージング能力で約2倍の結果が得られている。これは、車格の違いに加えて、インパクトリッパは細かく破碎できるので、ドージング作業が容易になるという効果も含まれている。又、D11N標準リッパ限界領域から不可能領域においてもインパクトリッパは可能領域であることを示している。

46. 鋼杭式地下連続壁工法による地下ダムの施工

(株)大林組：串間 正敏・*伊藤不二夫
相川 亮

1. まえがき

わが国の鹿児島県以南の島々には、「琉球石灰岩」と呼ばれるサンゴから成る多孔質で透水性の大きな石灰岩層が広く分布している。この地域の降雨量は、日本の平均的な降雨量に比べると比較的多いほうに属するが、このうち蒸発するものが約50%、地表水となり流出するものが約10%、地下へ浸透するものが約40%の比率といわれている。雨量の大部分は梅雨と台風とによって季節的にもたらされるものであり、しかも、透水性の良い岩盤は地下水を短時間のうちに海へ流出させる。従って、このような条件下にある島々では、昔から慢性的な水不足に悩まされてきた。一方、鹿児島県奄美地域では水不足対策の一環として、地下水の貯留、すなわち地下ダムが計画され、塩水阻止を配慮した試験施工が九州農政局により行なわれた。



写真 鋼杭打設完了状況

本報告は、ジェット水を併用した簡便な設備と長尺鋼杭（35m）により、琉球石灰岩地帯の地下ダム止水壁施工が可能であることを紹介するものである。

2. 工事概要

2.1 計画概要

鹿児島県の喜界島は、全島がサンゴ質の琉球石灰岩と島尻層と呼ばれる不透水性基盤岩からなる島で、その地層構成および止水壁断面は図1、2のとおりである。

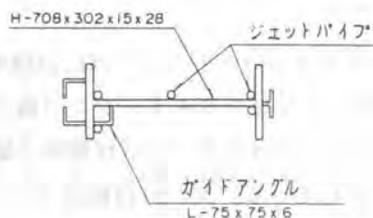


図1 鋼杭断面図

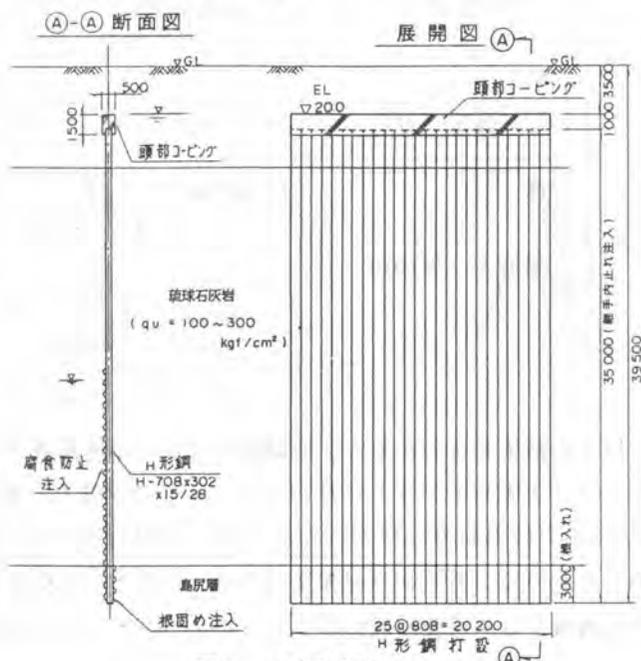
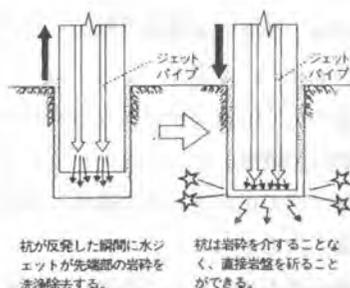


図2 止水壁断面

2.2 工法選定の経緯

地下ダムの止水壁施工技術として、泥水を用いた連続止水壁の施工技術は、その施工性・品質面で優れたものであるが、当地においては逸泥調査の結果、在来の泥水技術では対処できない逸泥量を示すことがわかった。そのため、泥水工法に替わる施工方法として鋼杭式地下連続壁工法（ジェット水を併用した岩盤杭打ち工法）を試験施工した。この工法の原理を図3に示す。



杭が反発した瞬間にジェットが先端部の岩砕を洗浄除去する。 杭は岩砕を介することなく、直接岩盤を折ることができる。

図3 ガンパイル工法の原理

2.3 施工手順・使用機械

ガンパイル工法による岩盤杭打ち工法は、削孔作業を必要としないので、従来のパイプロハンマ工法による杭打ち作業にジェットパイプの取付けが加わる程度である。主な使用機械、施工順序図を表1、図4に示す。

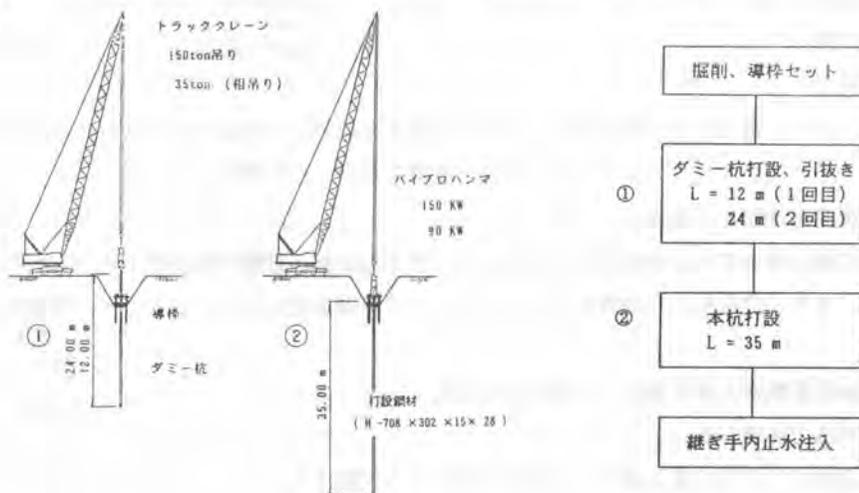


図4 施工順序図

2.4 施工の主な特徴

① 鋼杭

当地は離島であり、島内の道路事情から、鋼杭は長さ11m、12mの2タイプで現地に搬入し現場溶接で35mとした。鋼材は削孔能率に優れたH形鋼とし、市販品をベースに使用した。

② 打設方法

試験打設により、岩盤の固さと深度などとの関係から、2種類のダミー杭（L = 12m, 24m）により順次先行削孔し、その削孔個所に本杭（L = 35m）を再打設する方法をとった。

表1 主な使用機械

名称	型式、諸元	台数
トラッククレーン	P&H 9170 150 ton 吊り	1
	P&H 9035 35 ton 吊り	1
パイプロハンマ	VM4-10000 150 KW	1
	VM2-5000 90 KW	1
ディーゼル発電機	DCA-500 500KVA	1
	DCA-125 125KVA	1

③ バイブロハンマ

90kw、150kw 2種類用意し、打設長、岩の固さなどの条件により使い分けた。

④ ジェットパイプ

短い杭ではチェーン吊り方式が一般的であるが、ここでは溶接による固定方式を採用した。

⑤ 鋼杭の継手

継手内の止水注入の作業性、確実性を考慮し、図1のようなL-T型継手を用いた。

⑥ 継手内の止水

継手内を高圧水にて洗浄したのち、布製袋を挿入しセメントミルクで止水した。

⑦ 鋼杭の打設精度

あらかじめ杭に溶接固定した測定管に、挿入式傾斜計を入れることにより調査した。

表2 標準的な作業時間

作業区分	打設時間(分)
ダミー杭打設 (L = 12 m)	70
ダミー杭打設 (L = 24 m)	140
本杭打設 (L = 35 m)	310
合計	520

3. 試験結果

3.1 鋼杭打設工

(1) 打設時間

杭一本当たりの標準的な作業時間は、表2のとおりである。これによると35mの鋼杭打設に要する時間はおよそ8時間40分であり、休憩時間を考慮すれば10時間程度になる。

(2) 打設速度と地層との関係

同一の地層であっても打設速度に大きなバラツキが見られ、地層の固さが不均一な石灰岩の特徴を示している。また、発電機の周波数を変化させることで打設速度を向上させることが可能であることがわかった。

(3) 不透水性基盤岩(島尻層)への根入れの確認

次の3方法で実施した。

- ① 打設地点での杭の貫入状況、打設音の違いから判断する。
- ② リバウンドの違いから判断する。
- ③ バイブロハンマの負荷電流から判断する。

その結果、①、②が簡易的で有用性の高い方法であった。

(4) 打設精度

使用した鋼材(H形鋼)の剛性の方向性と大きな関連性を持つ結果となった(図5参照)。

ダム軸直角方向(平均精度 1/250)

ダム軸方向(平均精度 1/500)

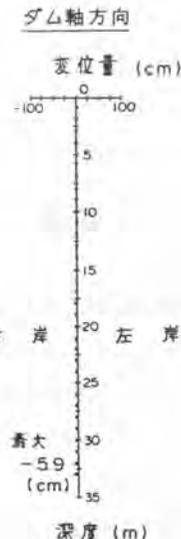


図5 打設精度測定例

3.2 打設材料

(1) ジェットパイプの取付け

① 取付け方法

パイプの転用ができることからチェーン吊り方式が一般的な方法である。ここでは 1) 杭の打設

速度が速いと、杭にジェットパイプがついていけない場合があり、トラブルの原因となりやすい。
2) 根入れがうまくできて打設長が3.5mと長い場合、ジェットパイプの引抜き回収が出来ない。
などの理由から固定方式に変更した。

② 取付け本数

鋼杭の断面の大きさに応じたジェットパイプの取付け本数を打設試験によって確認し、図1のように5本を標準とした。

(2) 鋼材の補強

使用した鋼材（H-708×302×15×28）は、フランジの厚さに比べウェブが薄いため、状況に応じ鋼杭先端のウェブを高強度の添接板で補強した。

5.3 継手内止水注入

効果の確認は、ボーリング（φ46mmダブルチューブ）コアの目視観察と、ボーリング孔を利用した現場透水試験により行なった。データとしてはわずかで全体を判断することは難しいが、試験結果では $K = 10^{-8}$ cm/secより小さいことがわかり、継手部分での試験であることを考慮すれば、止水壁として十分な止水性能を持つことが確認できた。

4. 今後の方向性

今後、改善しなければならない課題の中で特に重要なものは次のとおりである。

(1) 経済性

全体工事費に対する鋼杭材料費の占める割合が大きかった。打設長が小さい場合には、より断面が小さく剛性の小さいH形鋼や鋼矢板など経済的な材料を用いた施工ができると考えられる。

(2) 作業効率の改善

① 専用ダミー杭の必要性

今回の試験施工では、ダミー杭を本杭に転用した。本杭に比べ、剛性、強度の大きい専用ダミー杭を使用することで打設能率を向上させることができる。また、本杭溶接作業を同一な作業とすることができ、作業の短縮につながる。

② ジェットパイプの取付け方法の改善

ジェットパイプの破損に関係したトラブルが多く発生した。破損が少なく、しかも、取付け効率に優れた方法を検討する必要がある。

③ 長時間運転可能なバイプロハンマの開発

今回使用したバイプロハンマは、およそ1時間で過熱するため、運転を一時中止してバイプロを交換する必要があった。このため、冷却装置などを備えた長時間運転可能なもの、しかも、打撃サイクルが調整できるバイプロハンマの開発が必要であり、現在、専用バイプロを開発中である。

5. あとがき

かんがい用水確保のための地下ダム建設は、喜界島をはじめ、その他の奄美諸島、沖縄諸島、宮古・八重山諸島などの広い範囲で計画あるいは実施されている。宮古島皆福地下ダムのようにすでに完成したものもあるが、各地域の特殊性を考えた種々の地下ダム施工方法が試行され、その施工技術の確立が待たれている。

47. ドリル杭(回転貫入鋼管杭)工法の貫入性と支持力

川崎製鉄(株)：高橋千代丸・橋本 正治
西沢 信二・佐藤 清治
豊原陽登志・橋本 修身

1. 概要

市街地で杭打機を使用する作業が、特定建設作業として騒音規制法・振動規制法の対象になって以来、鋼管杭の打撃工法は次第に姿を消しつつある。その後鋼管杭の強度特性を生かすべく現在までに各種の騒音振動対策工法が開発され、施工機械も低公害化が進められている。

本工法は、鋼管杭のもつ薄肉かつ、ねじり剛性が高いという特性を施工に生かして、回転貫入により低騒音、低振動でしかも無排土の低公害型を指向した新しい概念の鋼管杭工法（ドリル杭工法）である。杭体は、開端の先端部内外周面に丸棒のスパイラルリブを取付けた構造としている。施工は、杭外周土の攪乱の少ない回転貫入が可能で、支持層において杭先端を自然閉塞させてそのまま支持杭とし、セメントなどは用いない。本報告は、実杭の貫入中のデータと杭先端N値との相関性を利用して、支持層の確認と支持層への根入長を管理する方法および支持力特性について述べたものである。

2. 貫入試験と施工管理

実験A地区の杭先端地盤は、N値50以上の洪積砂層で地表部から5mはローム層である。実験B地区は、N値50以上の洪積砂レキ層の上層が、軟弱な沖積粘土層と埋め立てにより造成された砂層地盤となっている（土質柱状図は後述の図-2、5参照）。

使用したドリル杭はφ318、φ508 杭長ℓ21m～ℓ27.8mである。

施工機械は図-1に示す通り、通常の三点支持杭打機にアースオーガを装備したものを使用した。

(1)貫入特性

図-2はA地区の貫入試験結果を示す。貫入データは押込荷重および負荷電流を1m毎の平均値としてプロットしたもの、および負荷電流を換算して求めたトルク値 $T(t \cdot m)$ と、1m当りの貫入時間 t (min/m)の積の平方根 $\sqrt{T \cdot t}$ を深度分布として表したものである¹⁾。

本工法の場合、貫入方向の力は外力である押込荷重 $P(t)$ ばかりでなく、回転時に外側スパイラルリブで、杭周辺土を押し上げることによって生ずる貫入推進力 $P_r(t)$ も加わる²⁾。これらの力をデータとして分離することはできないので、負荷電流すなわちトルクに包含された値としている。

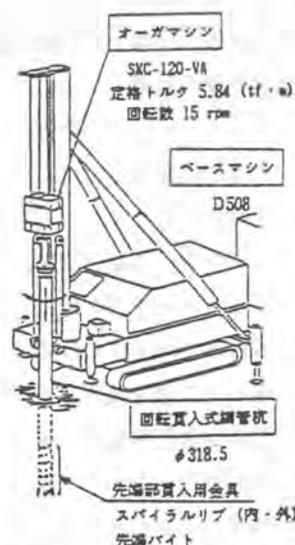


図-1 施工概要図 (A地区の例)

杭の回転時の力の釣合いは、(式1)として表される。

$$T = \tau d \times d / 2 + T_r \text{ (式1)}$$

ここで、 τd ; 動的周面摩擦抵抗力(回転方向) (t)、 d ; 杭径 (m)、 T_r ; 動的杭先端摩擦抵抗力(t·m) また貫入時の力の釣合いは(式2)が成立している。

$$P_r + P > \tau_p + R_p \text{ (式2)}$$

ここで、 τ_p ; 動的周面摩擦抵抗力(貫入方向) (t)、 R_p ; 先端抵抗力(t)

図-2のN値50以上の地層への貫入では、 $\sqrt{T \cdot t}$ はそれより浅の層に比べ非常に大きな値を示している。これは除々に貫入性が悪くなり、いわゆる杭の打止まりに近いことを表している。このような局面で回転しながら引抜き試験をしてみると容易に杭を引抜くことができる。この施工事実より、 $\tau d \times d / 2 \ll T_r$ 、 $\tau_p \ll R_p$ と推察することが可能である。すなわち定性的にみて、トルク値の大小を決める要因は先端地盤強度と杭先端部の管内土の閉塞性であり、杭の貫入時の抵抗は杭先端部の抵抗による割合が大きいと言える。

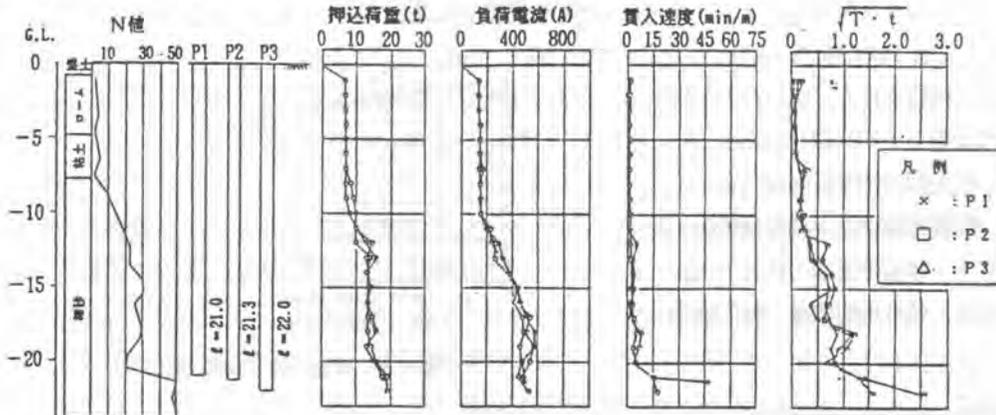


図-2 貫入試験測定値の深度分布 (A地区の例)

(2)施工管理方法³⁾

施工前に入手した土質柱状図のN値と貫入中の $\sqrt{T \cdot t}$ には、図-2に比較されるような深度分布の相関が認められる。これらをN値と $\sqrt{T \cdot t}$ だけの数値の相関関係のみでみると図-3のようになる。この図は $\phi 318$ の杭径で減速 $\sqrt{T \cdot t}$ 機120VAを使用したものについてプロットしたものである。多少のバラツキがあるものの両者の相関関係式として(式3)のように表すことができる。

$$\sqrt{T \cdot t} = a \cdot \phi \cdot N \text{ (式3)}$$

ここで、 $a : 0.069$ 、 ϕ ; 杭径 (m)、 N ; 貫入中の杭先端地盤のN値である。

(式3)は、杭の打撃工法による動的支持力を求める場合のバラツキ、精度の考え方にも類似

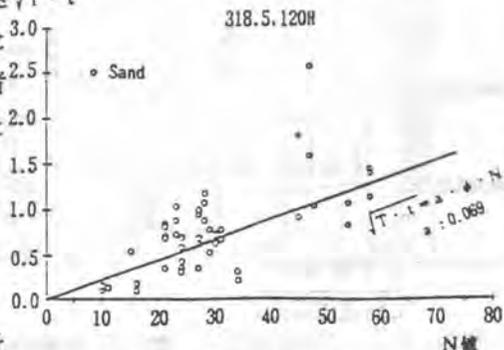


図-3 N値と $\sqrt{T \cdot t}$ の分布 (A地区の例)

するもので、動的支持力が杭の支持力そのものの絶対値を求めるものではないようにこの係数 a は N 値との絶対的相関値を求めるものではない。施工場所における地盤強度分布の中での相対比較値として考えるべきもので、係数 a が施工管理上の確かな目安として利用することが可能なことを示唆するものである。すなわち N 値と $\sqrt{T \cdot t}$ の相関性を利用することによって、所定の地盤に根入れすること、あるいは不均一な地盤でも貫入中に実際の支持層の深度を確実に把握することが可能になると言える。

3. 支持力特性

A、B（後述図-5参照）地区の貫入試験で N 値30~50以上の砂層および砂レキ地盤への貫入が可能であることが把握できた。さらに鉛直支持力を確認するために鉛直載荷試験を実施した。そのB地区の結果を図-4に示す。この図中の破線は平山の提案による推定方法で⁴⁾、実測の P_0 （杭頭荷重）～ S_0 （杭頭沈下量）曲線から、先端支持力と周面摩擦力の各係数を推定し次の支持力算定式を得た。

$$R_u = \alpha N A_p + (N/\beta \times L_1 + q_u/2 \times L_2) \phi \quad \text{----- (式4)}$$

ここで、 $\alpha \geq 30$ 、 $N/\beta \geq N/3$
 R_u ：極限支持力 (tf)、 N ：杭先端地盤の平均 N 値 ($N \leq 60$)、 A_p ：杭先端的閉塞断面積 (m^2)、 N ：砂質地盤中の平均 N 値 ($N \leq 60$)、 L_1 ：砂質地盤中の杭長 (m)、 q_u ：粘性地盤中の一軸圧縮強

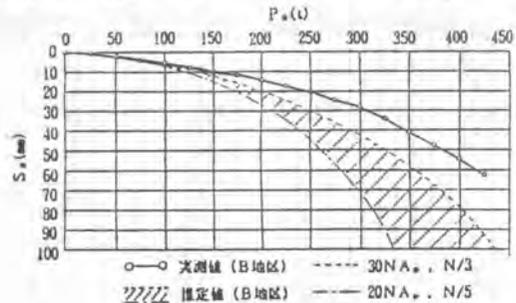


図-4 荷重～沈下曲線（杭頭部）

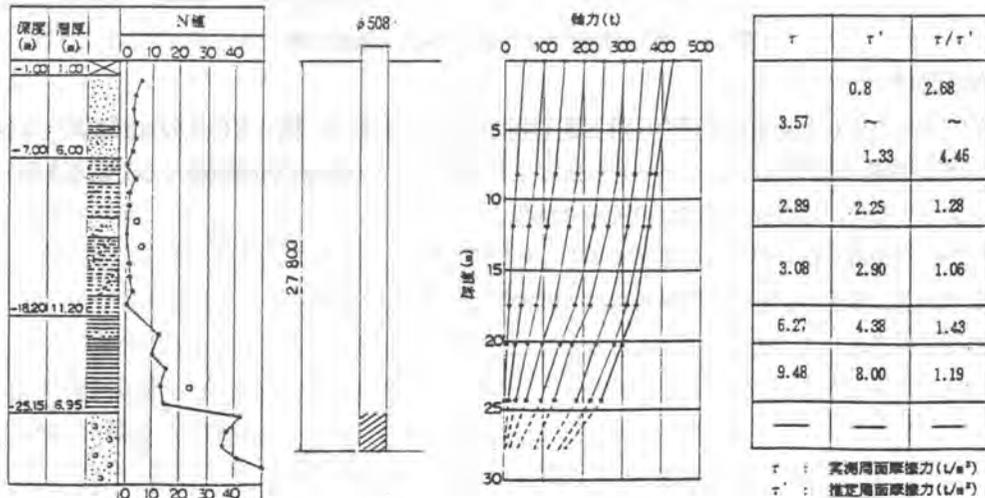


図-5 B地区の軸力分布と周面摩擦力

度 (t/m)、 L : 粘性地盤中の杭長 (m)、 ϕ : 杭周長 (m)、である。

さらに、詳しく支持力を解明するために先端支持力と周面摩擦力を分離して評価する必要があるので、杭体にひずみ計を取り付けて鉛直荷重試験を行った。図-5は、実験B地区の土質柱状図ならびに荷重試験時の杭体ひずみ測定によって得られた杭体軸力分布と周面摩擦力の評価を示す。ただし、杭先端から3mはスパイラルリブのためひずみ計が取付けられず推定値とした。図-4に荷重試験結果の $P_p \sim S_p$ 曲線と(式4)による推定曲線を示したが、ひずみ測定でも(式4)に示した程度の周面摩擦力が確認された。

次に、図-6は杭先端における P_p (杭先端荷重) $\sim S_p$ (杭先端荷重) 曲線を示す。杭先端沈下量は、杭頭沈下量から杭体の弾性圧縮量を差し引いて求めたものである。先端支持力は $20 \sim 30 N A_p$ 程度の値が期待できる。これら荷重試験の荷重 \sim 沈下曲線と杭体ひずみ測定の結果から支持力を評価すると、先端根固めをしないで支持杭にするという本工法の目的は十分満足したものとなっている。

4. 結び

最近の市街地での基礎工法の公害問題として、施工面では騒音・振動、泥水・廃土、作業員・技術者の不足および根入れ長、支持力の不確実性などが言われている。

施工者は工事区域周辺へ及ぼす騒音・振動、泥水・廃土の運搬交通公害、処分地の強引な確保およびその地域への捨土の影響など、建設関係者のエゴで、周辺居住者、通行者の生活環境を犯すことがあってはならない。それと同時に、若い建設従事者の魅力ある建設現場とするために、危険作業のないクリーンな状態での作業が可能な施工環境を提供することが求められる。そして構築された基礎構造物の機能が十分発揮され、しかもそれが最小限の投資で実現できる工法を選択すべきものであることは言うまでもない。

本工法は、本文で述べたように施工環境の改善、施工管理の確実性、容易性、支持力の確保など上記課題の打開のための1つの方向として開発してきたものである。

※) 参考文献

- 1) 回転貫入式鋼管杭 (ドリル杭) の貫入特性: 橋本正治他、日本建築学会大会学術講演梗概集、1989.10
- 2) 回転貫入式鋼管杭 (ドリル杭) の支持力特性に関する模型実験: 橋本修身、日本建築学会大会学術講演梗概集、1989.10
- 3) 埋込み杭工法における支持地盤確認工法の提案: T.S. ロータリー工法協会他、第22回土質工学研究発表会、1987.6
- 4) 双曲線型抵抗を用いたLoad-Transfer法による杭の荷重-沈下曲線算定: 平山、本郷、第23回土質工学研究発表会、1988.6

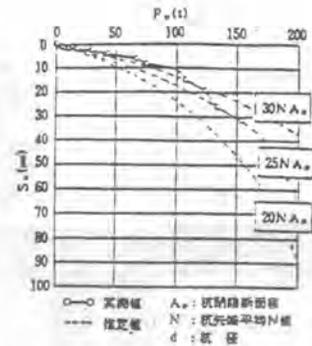


図-6 B地区の荷重 \sim 沈下曲線 (杭先端部)

48. 連続地中壁の高精度位置検出システム

大成建設(株)：*荒井 政男・大河内政之
近藤 高弘

1. はじめに

近年、建設分野の技術革新は目覚ましく、地下空間を大規模に活用するため、あるいは大型化してきた構造物や軟弱地盤上の構造物の基礎として従来のスケールである壁厚1.2m～1.5m・深度100mをはるかに超えた大壁厚・大深度連続地中壁の必要性が高まってきた。

特に、ウォーターフロント開発等で都市の地下空間を多目的に利用するために、この大型連続地中壁を工事の要めとして計画されているプロジェクトもあり、この構築技術も益々高精度化が要求されるようになった。

連続地中壁の構築精度は、掘削時の掘削精度により決まる要素が大きいため、大深度掘削において数十ミリの掘削精度を確実に管理することの出来る「高精度位置管理システム」が要求され、すでにレーザ光線を利用した精度管理システムを開発し、実証実験において精度管理システムとしての優れた性能が確認されていた。

しかし、掘削作業においてレーザ管ジョインの占める割合が多く、作業性の低下が問題となり、さらに実用性の高いシステムの開発に着手し、最大変位量50mm以内という従来は至難であった精度を確保することを可能とした、「高精度位置管理システム」を開発した。

尚、本システムは北海道室蘭市の白鳥大橋で実用に供しており、良好な結果を得て順調に稼働している。



写真-1. 精度管理装置設置状況

2. システム概要 (図-1 参照)

連続地中壁の「高精度位置管理システム」は、掘削機に検出用ワイヤを取付け地上部の精度管理架台のトップシーブを介して掘削機の下降に同調させ、一定張力を保った状態で順次検出ワイヤを送り出し、管理架台に設置したレーザ変位計により掘削機の変位に伴い発生する検出ワイヤの移動量をミクロン単位に検出することにより、掘削機の絶対位置・傾じれ・傾き等を高精度に検出し、そのデータをリアルタイムに運転室のモニター画面に表示する方法です。

モニター画面の高精度位置検出データより掘削機の姿勢を制御することにより掘削深度に関係なく連続地中壁を50mm以内の高精度で管理・構築することが出来る。

3. 測定原理 (図-2 参照)

精度管理架台と掘削機は、図-2に示す関係となっている。

まず、精度管理架台に設置したレーザ変位計により検出ワイヤの変位量を計測し、それと同時に掘削機本体の傾斜角 θ を本体傾斜計により計測し、両者のデータを基に掘削機ドラムカット中心部での実際の掘削位置を3次元で計算処理して求め、リアルタイムにモニター画面に表示する。

また、計測値の信頼性を確保するために、精度管理架台に基準点検出用の装置を別途設置し、基準点の挙動計測を本体掘削機計測に同調させ、この挙動に応じ実計測値の校正を行っている。

測定値の信頼性を高める方法としては

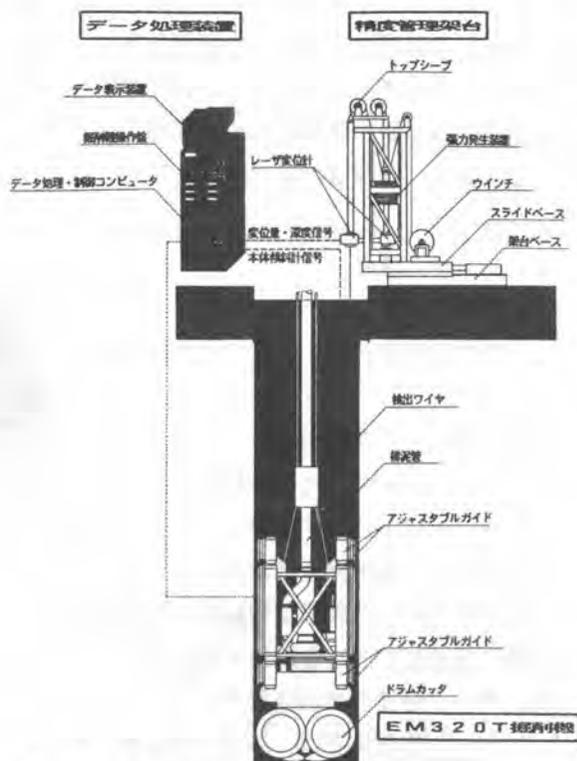


図-1. 高精度管理システム概要

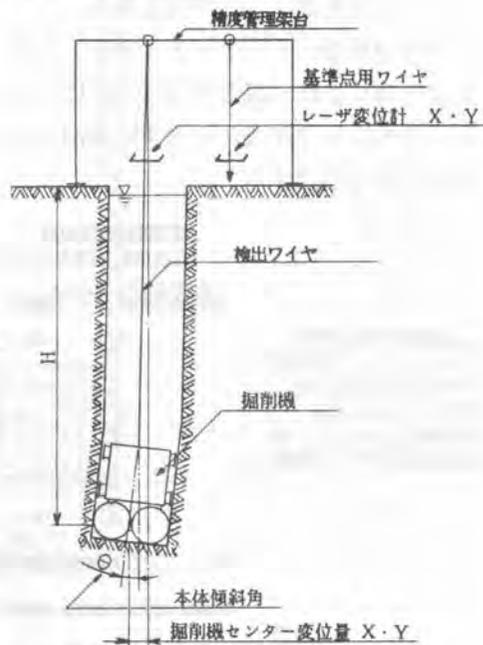


図-2. 測定原理

リアルタイム分散処理計測を採用し、各CPUで計測タイミングの同調を取り、また、毎回の測定値に対し、約5,000～13,000点/回の移動平均値を処理することにより、計測値の高精度化を確保している。

4. システム構成

(1). 精度管理架台

精度管理架台は、写真-2に示す如くレーザ変位計・トップシーブ・一定張力発生装置・基準点用ワイヤ・ウインチ・スライドベース等により構成され、クレーン等によりガイドウォール所定位置に設置し、掘削機上部がガイドウォール天端迄下降した時点で検出ワイヤを掘削機に接続して測定を開始する。



写真-2.
精度管理架台

(2). データ処理・表示装置

データ処理装置は、写真-3に示す如く、データ処理、演算用コンピュータ・データ表示装置・レーザ変位計表示装置・音声発生装置・キーボード・プリンタ等により構成され、通常専用ラックに組込み、オペレータが操作しやすい掘削機運転席近傍に設置する。



写真-3.
データ処理・表示装置

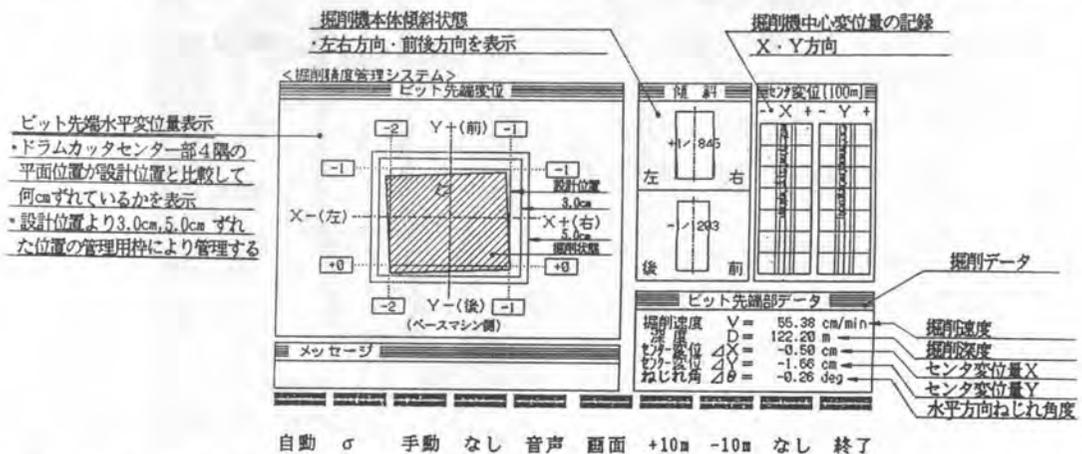


図-3. モニター画面

5. 管理用表示画面

掘削データの表示は、図-3に示す如くメニュー方式を採用し、オペレータは希望する操作メニューの選択と初期値を入力するだけで専門の知識は必要としない。

初期値は、掘削機の寸法・精度管理架台トップシーブの設計位置からのずれ量等の実測値を用い、高精度位置管理システムのリアルタイムモニターは、最初に入力した測定値との比較画面となっているため、オペレータは常に設計基準値とのずれ量を意識しながら掘削機の姿勢制御が行える。

6. 高精度位置管理システムの特徴

- ①. 位置管理を連続して行うことが出来る。
- ②. 掘削途中での精度確認用の超音波溝壁測定を行う必要がない。
- ③. 掘削機の絶対位置をリアルタイムに検出できる。
- ④. オペレータはモニター画面により速やかに掘削機の姿勢制御が行える。
- ⑤. 測定は全自動で行われるため、他の作業の支障とならない。
- ⑥. 掘削深さに関係なく5cm以内で精度管理ができる。
- ⑦. 基準点設定の補正機構を備えているので多少の振動があっても測定の支障とならない。
- ⑧. 掘削深度200m迄測定可能。
- ⑨. 装置は小型・軽量なので運搬・移動が容易である。

7. 高精度位置管理システム実測データ

高精度位置管理システムの掘削中時に於ける実測データと、掘削完了後に実施した超音波溝壁測定器による測定データの比較を、表-1に示す。

表-1により明らかなように、両者は非常に良く整合しており、十分実用に供せることを示している。

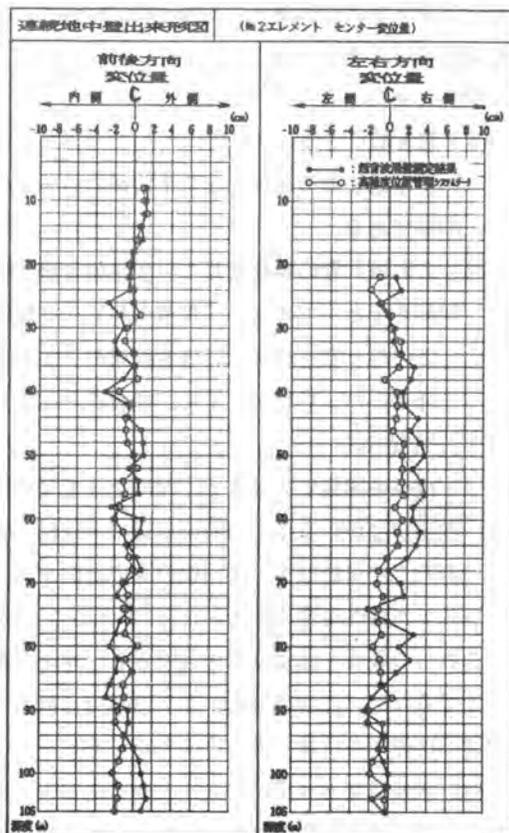


表-1. 実測データ比較表

49. 塩ビ管推進工法(エンビライナー)

三和機材(株)：山田 滋・秋葉 利康

1. はじめに

日本の下水道普及率は、40%台になり、今後工事の重点は、幹線から面整備分野へと、大都市から町村へと全国的に広がりつつある。また下水道において、家庭から処理場までをつなぐ管埋設工事は、開削工法から公害の少ない推進工法が増えてきている。

管材については、小口径下水道管として、その管材特性が評価され、塩ビ管の使用量が圧倒的に増えている。今後地方での下水道普及率向上には、かかせない材料となっている。しかし、塩ビ管は、推進力に対する耐力が低いため、ほとんど開削工法で施工されているのが現状である。

この機械は、推進耐力の弱い管材を公害の少ない推進工法で施工できるようにした機械であり、特長を集約すると①作業者の高齢化時代における安全性②施工の経済性③管渠としての信頼性④工期の短縮をあげる事ができる。

2. 開発にあたって

(1) 塩ビ管

下水道工事の管材として小口径の分野での塩ビ管の使用量は非常に多く、毎年10%以上の増加率である。

これは、管の特長として、①土壌や排水による腐食に対する耐久性が良い。②流量特性が良く勾配を小さくできる。③重量が軽く作業性が良い、等である。

この塩ビ管を外径、管厚を従来そのまま長さ2mにし、接続カラーを推進用の凸の少ない物を開発した。形状は、土質、埋設深さにより3種類標準化されている。

(2) 掘削方式

機械を開発するうえで、次の条件を目標にした。

①管にかかる推進力の低減機構の取付 ②推進距離50m以上 ③方向修正装置により高精度の施工が可能な事 ④地盤の適応範囲が広い事 ⑤管径200～300 ⑥機械を小型、軽量にし、作業性を良くする。

これらの条件を満足させる方式とし、オーガ掘削1工程式とした。この方式では①掘削しながら、排土するため、先端の圧密がなく推進力は低くでき、地盤の適応性が良い。②排土用ケーシングで先導管の推進力を伝達できる等の利点があるが、反面、管径φ200の断面にケーシングスクリュエを入れ、測量空間と油圧ホースを入れるスペース、先導管部分への修正装置の組込、塩ビ管の推進力低減方法等、多くの問題があったが、これらを試作実験を重ね、解決した。

開発にあたっては、施工面から機動建設工業(株)、宮永建設(株)、管材面から積水化学工業(株)、シーアイ化成(株)との共同で実施した。

3. 機械装置の構成

推進機の装置としては、地上の油圧ユニット及び電気制御盤、発進立坑内の推進機本体、地中で掘削排土する先導管、ヘッド、ケーシングスクリーユから構成されている〔図-1〕

(1) 掘進装置

オーガヘッドとスクリーユを電動機遊星減速機で回転させ、また管を押し込む推進ジャッキが組込まれている。電動機はインバータにより回転数が可変式のため地盤の適応範囲が広く、また効率の良い掘削ができる。

(2) ガイドフレーム

推進装置が前後に移動するガイドとなるレールで、2分割式で据付時の作業性向上や、1m管の推進に対応できる。

(3) 油圧ユニット

油圧シリンダー用の油圧源を発生させるポンプ、電動機や流れを制御する電磁弁で構成される。また、この電気機器を制御する電気制御盤が1体化されている。

(4) 操作盤

機械の運転操作を行なうスイッチメータ、ランプ等が組込まれている。操作は電気式のため立坑内外の任意の位置で運転できる。

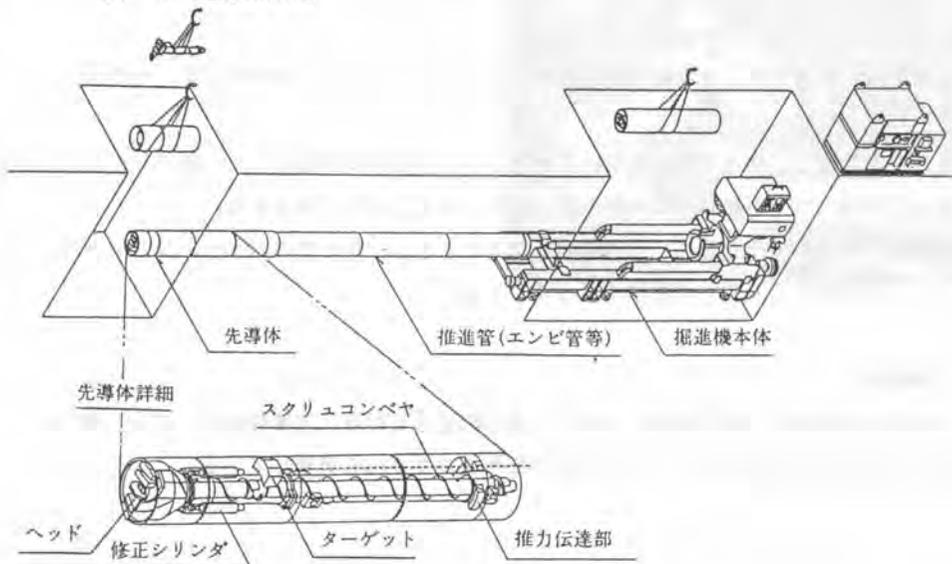
(5) 先導管

地盤を掘削するオーガヘッド、曲がりを検出するターゲット、方向修正をする修正シリンダをもち、埋設管をガイドし、正確に埋設する。

(6) スクリーユ、ケーシング

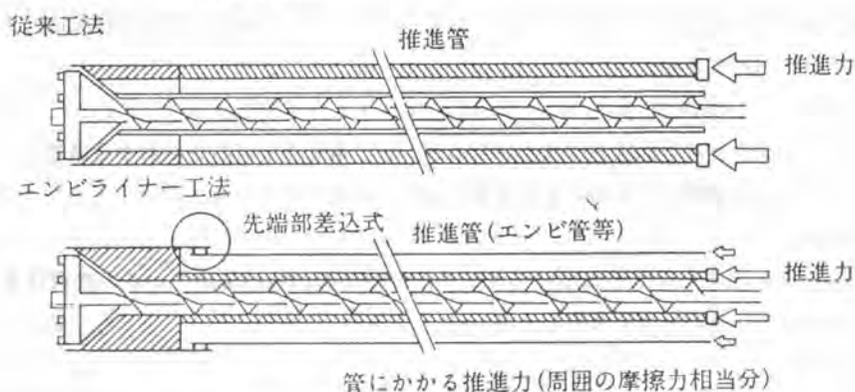
埋設管内に入れて、掘削土砂を排出する機能とケーシングは、先導管部分の推進力を本体の推進装置に伝達する。

図-1 全体構成図



次に推進管（塩ビ管）にかかる力を低減する方法としての推進力伝達方法について（図-2）従来の方式では、先導管部分と、管全体の土圧による抵抗力がすべて埋設管の後方にかかっていた。この装置では、先導管部分の推進力は、排土用ケーシングまで本体の推進装置まで伝達される。先導管と塩化ビニール管の接続部は、差し込み式で、この部分で管の伸縮や管の長さの誤差を吸収し、塩ビ管には管の外周の土圧による抵抗力だけが、かかるようになっている。また、この機械には全体推進力と同時に塩ビ管にかかる推進力の計測器が取付られており、これにより推進途中の異常を未然に防ぐ事ができる。

図-2 推進力伝達機構



4. 施工条件及び施工方法

この機械での施工条件としては、①立坑寸法は発進側 4 m × 2 m、到達側 2 m × 2 m（分割回収ではφ 900 以上） ②推進長は一般的に 60 m 以内 ③適応地盤、普通土 N 値 3 ~ 30 ④埋設管、内径φ 200 ~ 300 - 2 m 塩ビ管、鋼管等。

施工方法は、発進立坑に推進機本体を設置し、管勾配に合わせ、基準を出す。セオドライトをセットする。

先導管を設置し、発進する。推進中はセオドライトで常に測量を行い、曲がりが出たら修正する。

掘削土砂は、ガイドフレーム内側の排土バケットで立坑外に排土する。

先導管の推進が完了したら、推進装置を後方にもどし、塩ビ管内のケーシングスクリューは引きもどして、発進側から回収して推進工事は完了する。

5. 工事結果

開発後 2 年経過し、現在では全国的に工事を実施しており、工事結果としては、発注者の仕様を満たしている。施工延長では、89 年 9 月末で 15000 m を実施している。

各項目における結果については、

①推進力

塩ビ管にかかる推進力は、全体推進力の1/3～2/3というデータになっており、管の許容推進力以内であり、推進力による管割れの事故は、報告されておりません。

②推進長

実績的に40m前後が多くなっているが、長いものでは、60m以上の実績もある。

③土質

最初、湧水のない普通土N値3～30で設計しましたが、オーガヘッドや管材の改良と施工技術の向上で軟弱土や滞水砂層でも施工が可能となった。

④精度

管の埋設精度は、基準に対して上下15mm、左右20mm以内で施工されており、下水道管として十分適応している。

表-1 最近の工事実績

施工時期	施工場所	管種・管径	推進延長 (M) スパン数 (S)	土質名
11.6	北海道 釧路市	φ 200 VP	L = 21 1	砂質土
11.7	千葉県 松戸市	φ 300 VP	L = 136 3	粘土質・細砂
11.7	神奈川県 横浜府	φ 250 VU	L = 292 7	ローム
11.7	奈良県 奈良市	φ 250 VU	L = 290 7	砂質シルト
11.7	広島県 福山市	φ 250 VU	L = 20 1	〃
11.7	埼玉県 久喜市	φ 250 VP	L = 36 1	〃
11.7	北海道新篠津村	φ 200 VU	L = 700 19	有機質シルト
11.7	〃 函館市	φ 200 VU	L = 256 7	砂質シルト
11.7	〃 留萌市	φ 200 VU	L = 28 1	砂質土
11.7	〃 〃	φ 200 VP	L = 22 1	〃 (国道下)
11.8	〃 網走市	φ 200 VU	L = 221 6	有機質土
11.8	〃 岩見沢市	φ 200 VU	L = 241 6	粘性土
11.8	青森県 鶴岡町	φ 200 VP	L = 181 6	砂質シルト
11.8	千葉県 市川市	φ 250 VU	L = 212 5	〃
11.8	山口県 宇部市	φ 200 VU	L = 54 1	シルト
11.9	山口県 宇部市	φ 250 VU	L = 78 2	粘性土
11.9	埼玉県 朝霞市	φ 250 VU	L = 160 4	細砂

機械写真



6. おわりに

塩ビ管推進機は、推進工法では困難とされていた塩ビ管を、推進工法で施工可能とした機械ですが、実用化までには、多くの問題点や改良点があり、これらを解決し、現在の姿にできたのは管材や施工面からの共同開発や、この工法に理解をいただき、積極的に採用していただいた全国の役所の御協力のおかげだと考えております。

今後、改良を加えいっそう使いやすい機械にしていくよう努力を行う所存であります。

50. 地中遮水膜連続壁工法

鹿島建設㈱：一坪 聡・香西 茂良
松井 信行・吉川 正
坂田 昇

1. はじめに

地下ダムは、空隙の多い地層に人工的に遮水壁を構築し、これによって地下水を貯留するものであるが、これまで、遮水壁の構築には薬液注入工法、コンクリート置換工法、現位置攪拌混合工法が用いられてきた。しかし、これらの工法では遮水性能を上げるためには壁厚を厚くする必要があった。それに対して、ゴムアスファルト系の遮水シートを地盤に掘った溝に挿入、モルタル等で充填して遮水壁を構築する「地中遮水膜連続壁工法」を開発、同時に150mmの幅で掘削できるチェーンソータイプの「薄壁掘削機」を開発し、沖縄の石灰岩地盤においての実験工事を経て遮水壁構築工法として確立させた。

さらに、昭和63年末から平成元年初めにかけて鹿児島県奄美群島喜界島の湾頭原において地下ダム遮水壁試験施工を行い、ほぼ当初の目的を達成したので以下に報告する。

2. 工法の特徴

本工法の施工手順を図-1に、遮水壁の構造を図-2に示す。主な特徴は以下のとおりである。

- ①高い遮水性：ゴムアスファルト系シートを使用することにより、高い遮水性を確保できる。
- ②優れた経済性：遮水シートおよび薄壁掘削機の使用により壁厚を薄くでき、コンクリート壁に比べて掘削土量やモルタルの打設量が少なくてすむ。
- ③優れた耐震性：埋戻し材の剛性を周辺地盤と同程度にすることにより遮水性を低下させずに耐震性も向上できる。

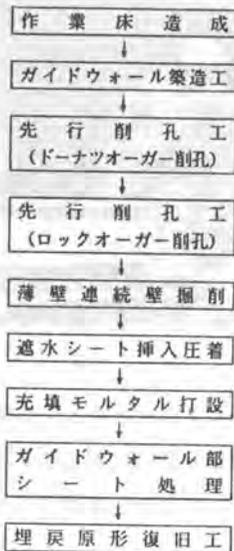


図-1 施工手順

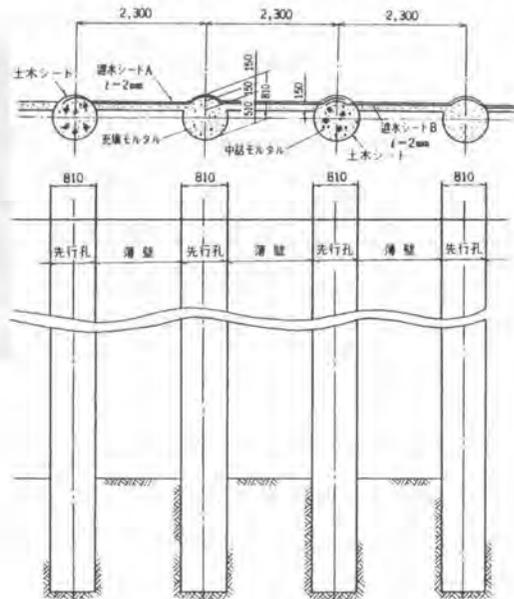


図-2 遮水壁の構造

3. 工法概要および施工結果

施工要領を図-3 に示し、工法概要および施工結果を以下に説明する。

(1) 先行削孔

ドーナツオーガー掘削機で直径81cmの孔を2.3mごとに深度20m まで削孔し、続いて直径81cmのロックオーガー掘削機で深度37m まで削孔する。掘削した琉球石灰岩の圧縮強度は 0~20m が平均 110kgf/cm²、20~37m が平均 250kgf/cm² であり、削孔精度及び能力は以下のとおりである。

表-1 先行削孔の施工結果

	垂直精度	削孔径	平均掘削速度	総作業時間
ドーナツオーガー	1/500~1/2000	810~865mm	0.24m/分	280分
ロックオーガー	1/100~1/200	830~880mm	0.13m/分	433分



写真-1 薄壁掘削機全景

(2) 薄壁連続壁掘削

図-4 に示すように薄壁掘削機の本体を先行孔に挿入し、先行孔間

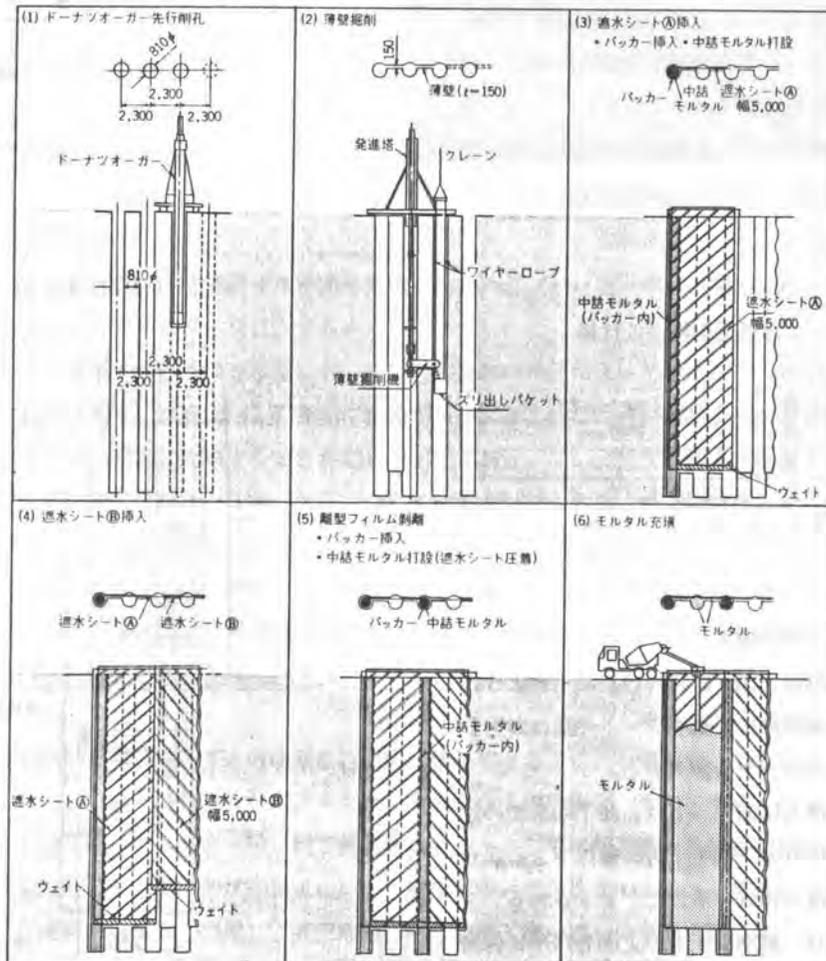


図-3 施工要領 (石灰岩地盤での施工例)

(2.3m)の地盤を幅15cmのチェーンソーで掘削する。掘削機本体を上下部のグripperで固定し50cmのストロークで掘進する。掘削ズリはチェーンソー先端側の先行孔に挿入したズリ出しバケットで受け、一定容量になればクレーンにて引上げ排土する。以上の作業を図-4に示すよう繰り返して所定の深度まで掘削する。なお、チェーンソーの先端位置制御は、掘削機上部にある第3グripperで行う。

薄壁掘削機による掘削は、地盤の圧縮強度が500kgf/cm²程度まで可能である。

前述の琉球石灰岩地盤を深さ35mまで掘削した結果、壁厚については一部肌落ちが生じた隅角部を除いて18cm程度に仕上がった。また、チェーンソー先端位置の変位は、気中部では10cm以下であったが、水中部では一部25cm程度の変位が測定されたヶ所もあり、再掘削を行って修正した。掘削能力は純掘削速度が0.11~0.07m/分で平均0.09m/分、伸縮、降下、固定を含めると掘削速度は平均0.07m/分であった。

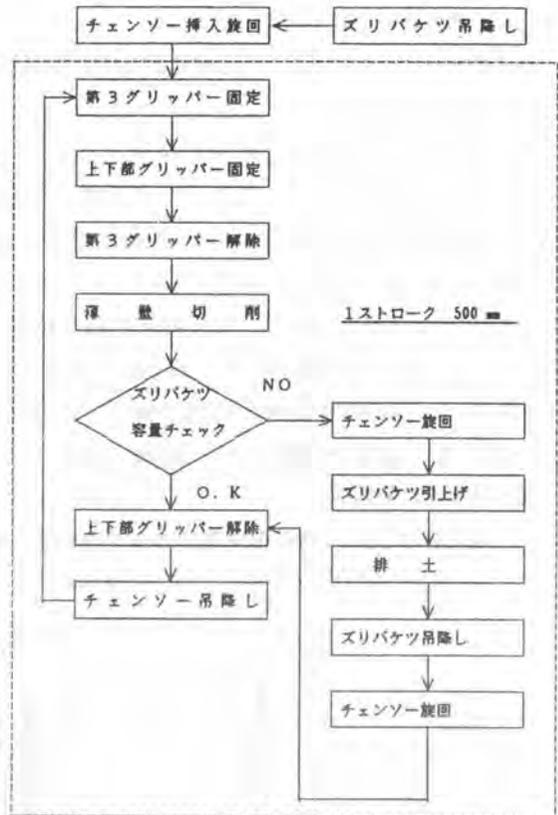


図-4 薄壁掘削標準作業手順

薄壁掘削機主要仕様

本体長	6,342 mm~6,842 mm
本体径	790 mm
自重	5 t
掘削長	2,300mm(有効掘削長1,650 mm)
掘削厚さ	150 mm
ストローク	500 mm

(3) 遮水シートの挿入

薄壁部を掘削後、図-3(3),(4)に示すように先行孔および薄壁部に、遮水シート先端におもりを取付けた遮水シートを挿入する。

遮水シート挿入にあたっては、最下端部での遮水シート同志のラップ幅を十分に確保できるようにシートを鉛直に挿入することが要求される。

そのためには、遮水シートの上面を水平に保持することが重要である。

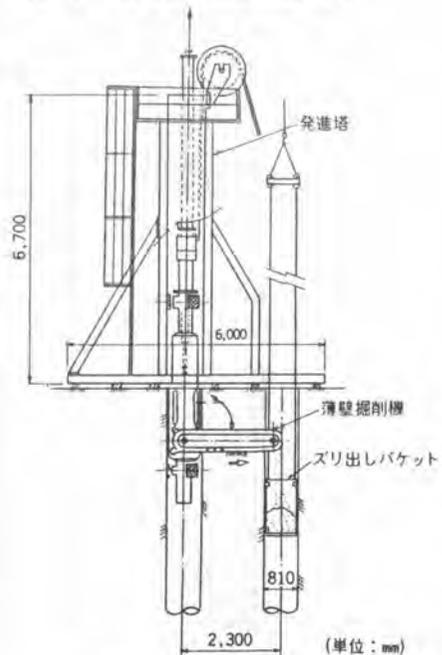


図-5 薄壁掘削機

使用する遮水シートは、図-6 に示すように、ポリエステル不織布にゴムアスファルトを重ね合わせたもので、屋根防水材、地下構造物の防水材として多くの実績があり、遮水性、耐圧性はもちろん耐酸性、耐微生物性等の耐久性に富む材料である。

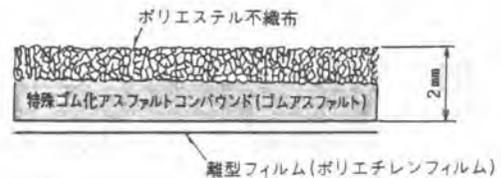


図-6 ゴムアスファルト系遮水シート

(4) 遮水シートの接続

遮水シートの接続は、図-8 (5) に示すように、先行孔において先に挿入した遮水シート（シートA）と後から挿入した遮水シート（シートB）を必要幅ラップさせる。続いて、先行孔にパッカーを挿入後、パッカーの中に中詰めモルタルを充填し、そのモルタル圧によって遮水シートを圧着接続させる。



写真-2 遮水シート挿入状況

なお、遮水シートの接続に当たっては、ラップ部の自着性ゴムアスファルトコンパウンドを露出させ、遮水シート同士を接着一体化するため、高い遮水性を得ることができる。

(5) モルタル充填

図-3 (6) に示すように、中詰めモルタルを充填した先行孔（パッカー部）の間の先行孔にトレミーを設置し、充填材としてモルタルを打設する。

本工法によって構築される地中遮水壁においては、貯水時の水圧によって遮水シートに引張力が作用しないことが重要であり、遮水シートの背面に空隙がないこと。すなわち、遮水シートの背面に打設するモルタルが溝の中に密実に充填することが必要不可欠であり、高い流動性、地下水位以下では分離抵抗性に富んだ性能が要求された。なお、強度については遮水シートの裏込め充填材としての機能を有すれば良く、 50kgf/cm^2 以上であれば十分である。

以上の要求を満足すべく、水セメント比、単位セメント量、スランプフロー等を管理してモルタルを打設した結果、モルタルの打上り面は薄壁部においてもほぼ水平になり、遮水シートと密実な充填材で構成された遮水壁の構築が確認された。

4. おわりに

本工法は、遮水性の高い地下ダム遮水壁を経済的に構築できる工法として開発してきたが、今回の地下ダム実施工において種々の有利性が実証された。今後、さらに効率化、改善を進め、地下ダムの他、廃棄物処理場の遮水壁、ダムの遮水壁、地下構造物のカットオフ等に用途拡大を図る所存である。

最後に、湾頭原地下ダム遮水壁試験施工において御指導戴いた発注者である九州農政局ならびに開発に協力戴いた宇部興産（株）、（株）三井三池製作所、成幸工業（株）に深く感謝します。

51. HB-トレンチカッター(地下連続壁掘削機械)の概要とその施工例

(株)間 組：気仙 哲夫・*田中 猛

1. まえがき

昨今の構造物の大型化・複雑化、あるいはウォーターフロント開発、ジオフロント開発などのニーズに伴って、地下連続壁に求められる技術的課題が高度化（大深度化、大壁厚化、高速施工など）してきている。それらのニーズに対応していくために、当社は最新の地下連続壁施工システムであるHB-トレンチカッター工法を西独パウアー社より導入した。

パウアー社は、200余年の歴史を有するヨーロッパを代表する基礎工事マシンメーカー並びに基礎専門業者であり、日本ではアースアンカーの施工マシンであるUBW、多目的ドリリングマシンであるBGシリーズのメーカーとして知られている。

本文は、当工法で使用する掘削機とその施工例の概要について述べるものである。

2. 当工法で使用する掘削機の概要

2.1 当掘削機の位置付け

主な地下連続壁掘削機をその掘削方式により分類整理したものを表1に示す。また、各種掘削機の一般的な適応地盤を表2に示す。当工法で使用するHB-トレンチカッターは、水平多軸回転式掘削機の種類に分類され、後述する機構の採用により、あらゆる地盤を高能率に掘削することが可能である。

2.2 当掘削機の仕様

HB-トレンチカッターの仕様を表3に、クレーン搭載時の全体外観図を図1に示す。HB-トレンチカッター（型式：BC-30J）は、表3に示すように壁厚は640mm～1,500mmの5種のバリエーションを持ち、最大掘削深度80mと地下連続壁に対するほとんどのニーズに対応できる能力を備えている。なお、ベースマシンには150t吊りクローラクレーンを使用している。

表1 掘削方式と主な掘削機

掘削方式				泥水使用方式		掘削機	掘削機	壁厚 (cm)		掘削深度 (m)
バケット		垂直	回転	貯留	正逆			最小	最大	
A	B	C	D	貯留	正逆					
○						ICDS	36	40	120	40
	○					MHL	48	50	120	55
		○				MBH	52	80	180	120
			○			KELLY 3	55	50	100	40
				○		KELLY	40	40	200	60
					○	RSP 37-	50	45	120	45
					○	ELSB	39	40	110	47
					○	ICDS	34	50	100	57
					○	CIS 5R	41	50	150	54
					○	RW	41	40	150	120
					○	1270/A	61	120	320	100
					○	TWB	43	40	120	51
					○	OCW	43	45	120	55
					○	HYDROPERAISE	53	63	320	150
					○	HB Trencher	59	64	150	80

(注) A: 2軸・垂直・開閉, B: 2軸・垂直・開閉, C: 3軸(Fo-F), D: 横軸回転式
 ○: 貯留, △: 正逆, □: 垂直, ※: 水平多軸

表2 掘削機の一般的な適用地盤

掘削機	地盤	粘土	砂	砂礫・玉石		岩盤	
				150mm	150mm	硬質	硬質
縦バケット式	◎	◎	○	○	○	△	-
横軸式	◎	◎	◎	△	△	△	-
垂直式	-	-	△	△	○	○	△
HB Trencher工法	◎	◎	◎	◎	○	◎	○

◎: 最良, ○: 適応可, △: やや適応

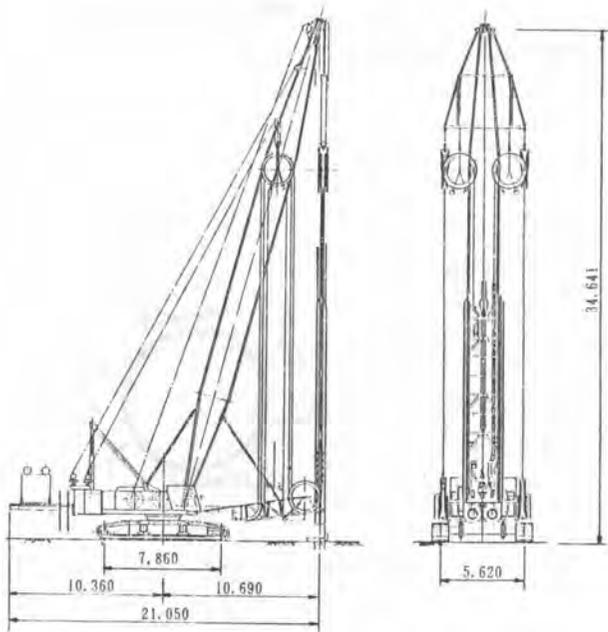


図1 全体外観図

表3 HB-トレンチカッター
主要仕様

項目	仕様	
壁厚	640/800/1000/1200/1500mm	
壁幅	2,790 mm	
本体高さ	15 m	
本体重量	35~39 t	
カッター	トルク	7,140 kg・m
	回転数	0~24 r.p.m.
排泥ポンプ	流量	400 m ³ /h
	揚程	5.5 m
所要動力	430 kw	
掘削深度	8.0 m	
ベースマシン	150t 吊り物-クレーン	

2.3 掘削機の特徴

HB-トレンチカッターの機構上の特徴を以下に記す。

- ①排泥管等の接続を不要にしたオートテンション方式のホース・ケーブルサスペンション (高能率掘削)
- ②横倒れ機構付きティース (掘り残し防止)
- ③大トルクのカッター、礫破碎用リーマー、ショックアブソーバーから成る礫破碎機構 (広範な適用地盤)
- ④高揚程、大容量排泥ポンプ (高速施工)
- ⑤ワンタッチ脱着のカッターティース (整備時間短縮)
- ⑥油圧シリンダ (掘削速度、ビット荷重の制御)
- ⑦油圧ユニット (高信頼性、高耐久性)
- ⑧ユニット構造 (整備時間短縮)

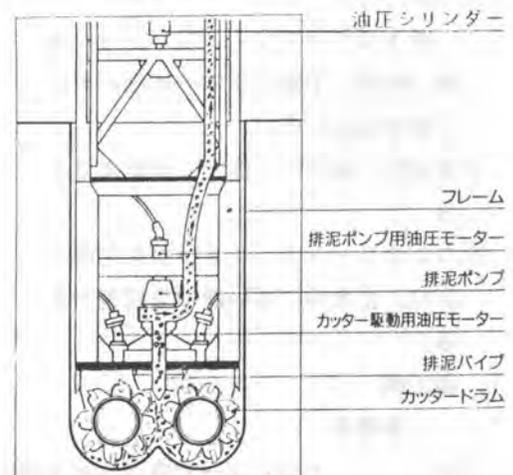


図2 カッター本体概略構造

カッター本体概略構造を図2に、ホース・ケーブルサスペンション機構の概要を図3に、横倒れ機構付きティースの概要を図4に、礫破碎機構の概要を図5に示す。

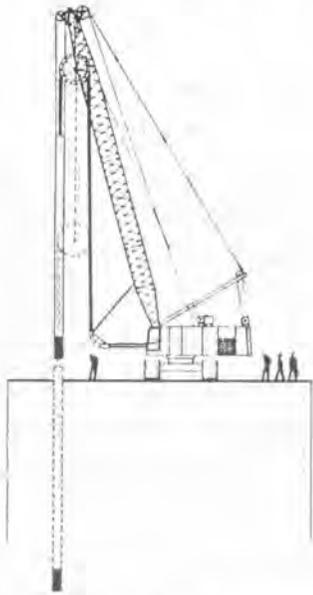


図3 ホース・ケーブルサスペンション

以上のような機構を採用することにより、当工法は以下に記すような利点を有している。

- ①一般土砂だけでなく、玉石混り砂礫層、軟岩、中硬岩までの掘削が可能で適用範囲が広い。
- ②連続的に掘削が可能で、高能率である。
- ③コンクリートカッティングも可能であり、止水性の高い継手を構築できる。

3. 施工例

3.1 工事概要

HB-トレンチカッターで施工した2件の工事（導入に際し行った試験工事、及び浄水場の仮設土留壁工事）の概要を表4にまとめて示す。また、試験工事では以下に記すような項目について掘削性能試験を行った。

- ①深度80mまでの掘削

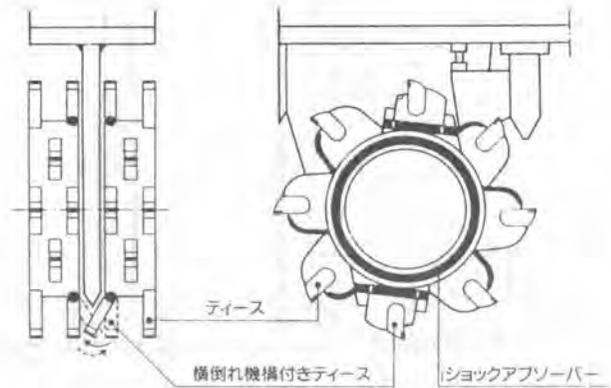


図4 横倒れ機構付きティース

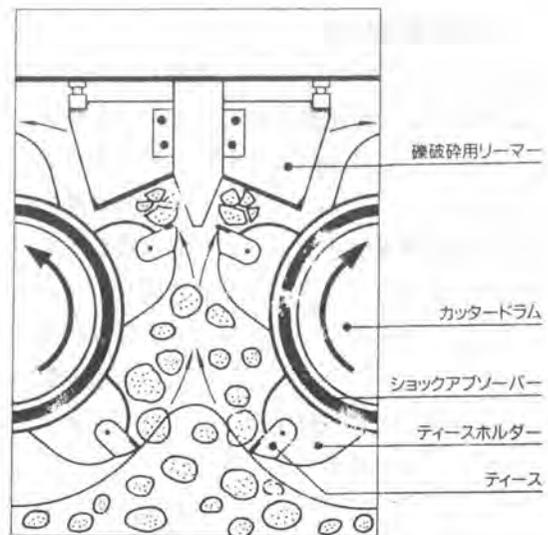


図5 礫破碎機構

②玉石 ($\phi_{max} \approx 500\text{mm}$) 混り砂礫層

の掘削

③模擬岩盤 (圧縮強度 210kgf/cm^2 、及び
 $700 \sim 800 \text{ kgf/cm}^2$ のコンクリート) 掘削

④コンクリートカッティング

3.2 試験工事の実績

掘削性能試験における対象地盤別の純掘削能率を表5に、深度80m掘削時の実績及び土質概要を図6に示す。

表5 対象地盤別の純掘削能率

試験項目	対象地盤	時間当り純掘削能率	
		m/時	m ³ /時
①	砂質土	14.8	26.4
	粘性土	16.3	29.1
	砂礫	13.0	23.2
②	玉石混り砂礫 $\phi_{max} \approx 500\text{mm}$	4.3	7.6
③	模擬岩盤A $\sigma = 210\text{kgf/cm}^2$ $\phi_{max} = 150\text{mm}$ の玉石混り	1.9	3.4
	模擬岩盤B $\sigma = 700 \sim 800 \text{ kgf/cm}^2$	0.8	1.5
④	コンクリートカッティング $\sigma = 500 \sim 600 \text{ kgf/cm}^2$	5.5	9.8

表4 工事概要

工事名称	HB-トレンチカッター 試験工事	浄水場築造 仮設土留壁工事
用途	実験	仮設土留壁
壁厚 (mm)	640	1,200
最大深度 (m)	80	49
施工延長 (m)	13.7	97.9
施工面積 (m ²)	341.0	4,797.1

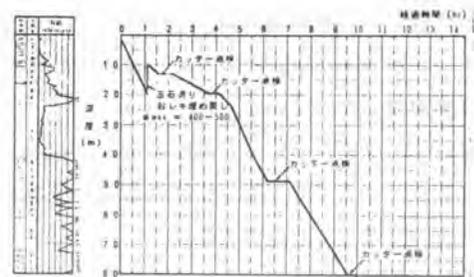


図6 掘削実績、及び土質概要

3.3 浄水場仮設土留壁工事の実績

当工事における純掘削能率を表6に、掘削実績の一例及び土質概要を図7に示す。

当工事で並行して施工を行っていた油圧式バケット掘削機と比較すると、2.5～3倍以上の速度で掘削が行え、担当分の約4,800m³を実稼働37日間という短期間で掘削を完了した。

表6 純掘削能率

作業日当り	掘削速度 (m/日)	44.1
	掘削土量 (m ³ /日)	148.3
表掘削時当り	掘削速度 (m/時)	10.7
	掘削土量 (m ³ /時)	35.9

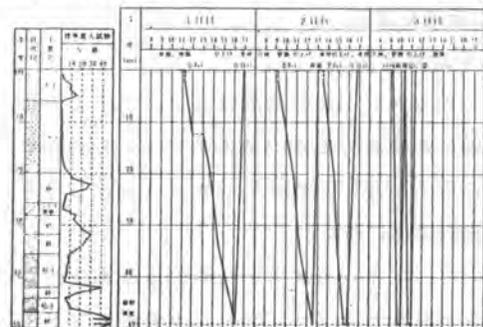


図7 掘削実績の一例 及び土質概要

4. あとがき

当社は、HB-トレンチカッターの高い掘削能力に着目し導入を行った。そして、前述した2件の工事においてその高速施工性を実際に確認する事ができた。

今後は、日本の実情やユーザーの要望に更に沿えるように改造を行っていくと共に、大壁厚な、あるいは都市内での小規模な地下連続壁工事に対応できる機種を開発、導入していきたいと考えている。

52. ソイルセメント柱列強度の早期判定装置の開発

(株)竹中工務店：*寺村 知大・村上 信直
松岡 信弘・北村 敏直

1. はじめに

ソイルセメント柱列工法は、高能率な多軸機の実用化により止水壁・山止め壁に広く適用されている。しかし、ソイルセメント強度は多くの要因に左右されるため、施工中のソイル柱列の強度を判定することは難しい。一般的には、28日材令の強度試験が行われているに過ぎず、その現場の施工管理に生かすことができない。そのため、注入率を高めた過剰な品質による傾向が強く、廃泥処理費、材料費、ハツリ費が高くなっている。

本報告は、ソイルセメント液中のセメント水比を測定してソイルセメント柱列強度を早期に判定することにより、ソイルセメント柱列の品質を現場で管理できるソイルセメント柱列強度の早期判定装置の開発について述べるものである。

2. 開発の概要

2.1 開発のねらい

早期判定装置の開発ねらいを下記に示す。

- ソイルセメント液の強度早期判定結果から、次工程のソイル柱列を最適な配合、施工条件で造成し、所期のソイル品質を確保する。
- セメントミルクの材料費、廃泥処理費、ハツリ費の低減を図る。

2.2 早期判定方法

ソイルセメント液の強度は図-1に示すように多くの要因に影響されるが、過去のデータを調査すると図-2に示すように、土質をパラメータとしセメント比と比例関係にある。

そこで、ソイルセメント柱列の造成直後のソイルセメント液をサンプリングし、そのセメント水比を測定することにより、ソイルセメント柱列の強度を判定する方法を採用した。

2.3 基本構想

早期判定の基本フローを図-3に示す。

まず、ソイルセメント液の含水率、セメント濃度を測定し、セメント水比と強度の関係からソイルセ

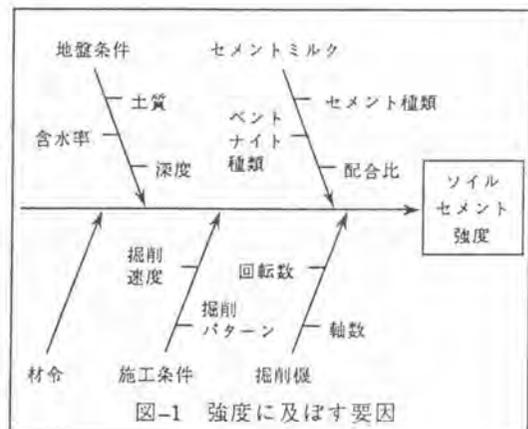


図-1 強度に及ぼす要因

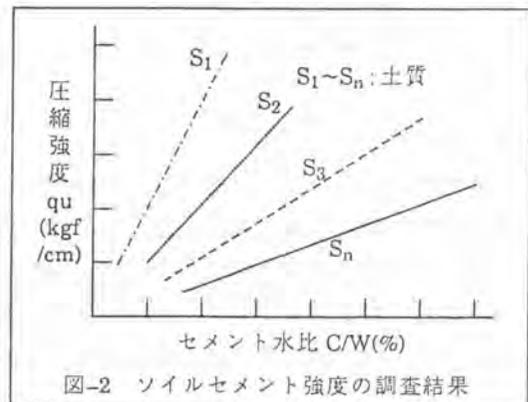


図-2 ソイルセメント強度の調査結果

メント柱列の強度を求めその良否を判定する。その結果、次工程のソイルセメント柱列に対するセメントミルクの配合比、注入量を最適なものとして設定する。早期判定装置は約10分でソイルセメント柱列強度を判定可能なものとし、測定機器とマイコンを組み合わせたものとする。

2.4 要素技術の検討

早期判定装置の要素技術には、含水率測定技術とセメント濃度測定技術があり、これらを精度、能率、経済性およびマイコンとのシステム化の難易から検討した。

1) セメント濃度測定技術の検討

セメント濃度測定方法とは、表-1に示すように化学的方法、物理的方法の各種の方法がある。手法の選定にあたっては、精度、能率、経済性、マイコンとのシステム化の項目について評価した。特に、測定対象物のソイルセメント液中には細粒分の土粒子を含むこと、およびマイコンとのシステム化を考慮すると、早期判定装置に最適なセメント濃度測定法として、逆滴定によるアルカリ濃度測定法が挙げられ、これを採用した。

2) 含水率測定技術の検討

含水率測定方法には、表-2に示すように乾燥法、RI法、電極法がある。手法の選定にあたっては、測定対象物が水分の多いソイルセメント液であること、短時間で測定が可能なおよびマイコンとのシステム化が容易であることを考慮したその結果、早期判定装置に最適な含水率測定法として、乾燥法の加熱ブロック法が挙げられ、これを採用した。

3. 装置の概要

1) 機器構成

早期判定装置は、図-4に示すように含水率測定装置とセメント濃度測定装置およびマイコンから構成される。

写真-1は、早期判定装置の外観を示す。

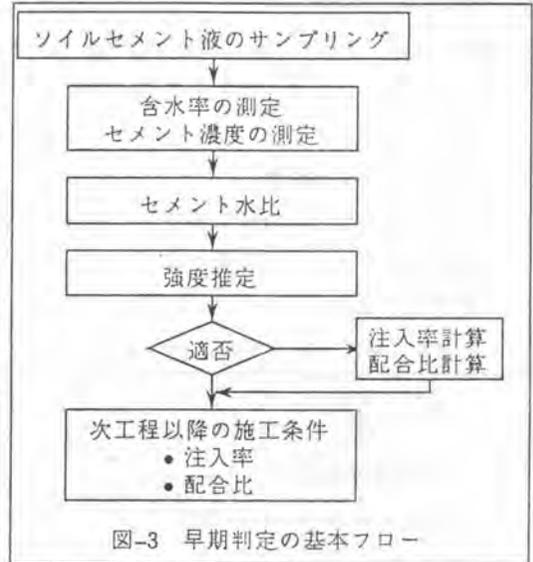


図-3 早期判定の基本フロー

表-1 セメント濃度測定法の検討

測定法	評価項目	精度が高い (不純物あり)	短時間で測定	経済的	システム化が容易
化学的	塩酸溶解熱法	△	○	○	○
	逆滴定法	○	○	△	○
	色差計法	△	○	△	×
物理的	洗い分析法	×	△	○	×
	遠心脱水法	△	○	△	×
	比重計法	×	○	○	△

表-2 含水率測定法の検討

測定法	評価項目	精度が高い (水分が多い)	短時間で測定	経済的	システム化が容易
乾燥法	JIS法	◎	×	○	×
	赤外線法	△	△	○	△
	アルコール燃焼法	×	△	◎	△
	電子レンジ法	○	○	○	△
	加熱ブロック法	◎	◎	△	◎
RI法	×	○	×	○	○
電極法	△	○	○	○	○

2) 機能と操作手順

本操作には、下記の二つの機能を持たせている。

- ① ソイルセメント液のセメント濃度と含水率を測定することにより、ソイルセメント柱列強度を早期に判定する機能
- ② あらかじめ設定した設計強度および施工条件に適合したセメントミルクの配合比および注入速度を求めるシミュレーション機能

上記機能に対する操作手順フローを図-5に示す。

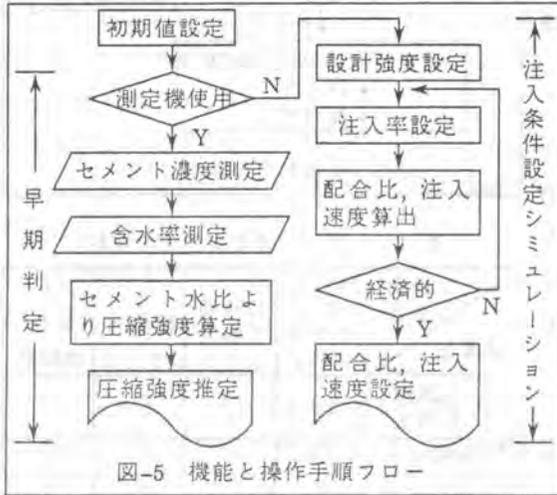


図-5 機能と操作手順フロー

初期値設定項目には、下記のものがある。

- 早期判定の場合：深度と土質、施工速度、注入材料の種類、配合比、注入速度
- シミュレーションの場合：深度と土質、設計強度、施工速度、注入材料の種類

ソイルセメント柱列強度の早期判定は、測定装置によって測定された含水率とセメント濃度の値がマイコンに送られ、セメント水比との関係から算出して行われる。

本装置を用いた注入条件を求めるシミュレーションは、図-6に示すように設計強度に対するセメント水比と注入率は土質および配合比をパラメータとした一定の関係にあることから算出する。マイコン中のセメント水比と圧縮強度の関係は、過去のデータを整理して求めたものである。

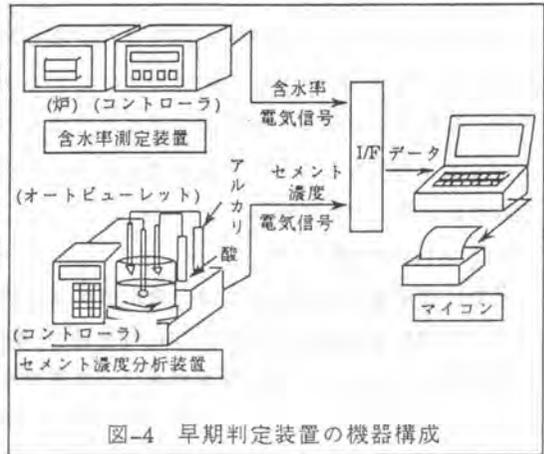


図-4 早期判定装置の機器構成

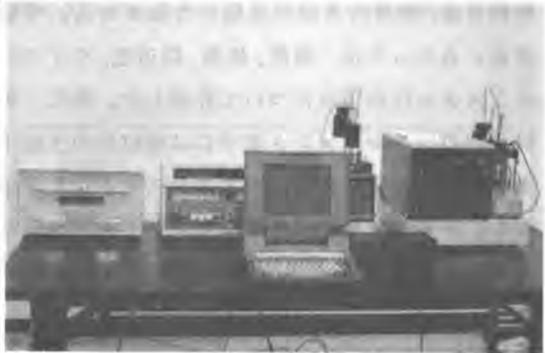


写真-1 早期判定装置試作機の外観

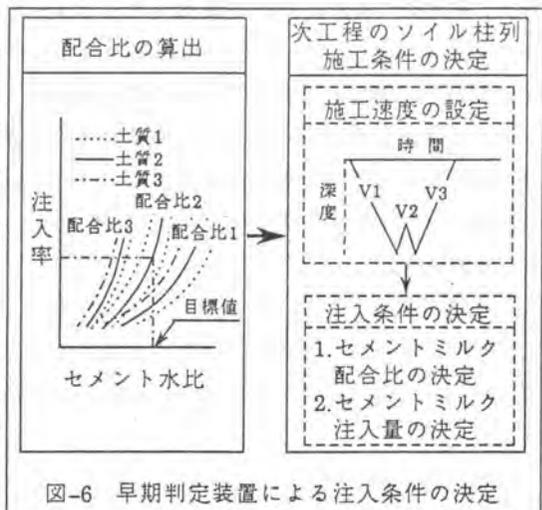


図-6 早期判定装置による注入条件の決定

3.3 測定精度

早期判定装置の含水率測定装置およびセメント濃度測定装置について精度を調査した。

● 含水率測定精度の調査結果

豊浦標準砂を用いて、重量比でセメントとベントナイトとの比を8:1に調整し、含水率を10, 20, 30, 40, 50, 60, 80%に調合した疑似セメントミルクについて、含水率測定装置により含水率を測定しその精度を調査した。測定精度は図-7に示すように4%を確保できるものであり、測定時間は約3分と短いものである。

● セメント濃度測定精度の調査結果

あらかじめ重量測定したセメントを水と混合した懸濁液についてセメント濃度分析装置を用いてその精度を調査した。測定精度は図-8に示すように2%を確保できるものであり、測定時間は5分以内である。

4. 実施工適用結果

図-9は、現在までに10数プロジェクトに適用した結果についてまとめたものである。

実測値は、早期判定時と同じソイルセメント液のサンプルを恒温恒湿室で養生し、28日材令のものについて、圧縮試験した値である。早期判定値と実測値はほぼ近似した値であり、早期判定装置は実用に供することが分った。

5. あとがき

ソイルセメント柱列強度の早期判定装置は、従来困難とされていた現場施工管理機器として適用出来ることが分った。本装置の適用によりソイルセメント柱列の施工の合理化を図っていききたい。

今後、数多くのプロジェクトに適用しながら早期判定値の精度向上を図っていききたい。最後に本装置の開発あたって御協力頂いた関係各位に感謝の意を表します。

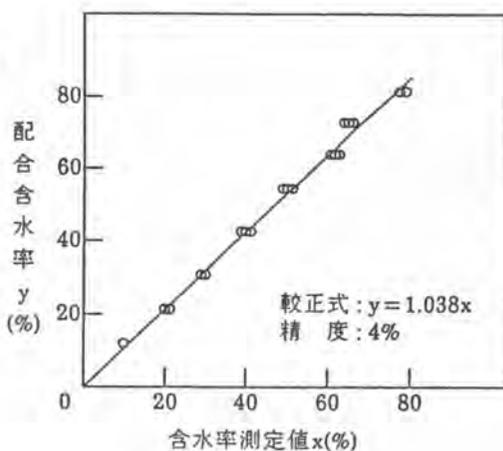


図-7 含水率測定結果

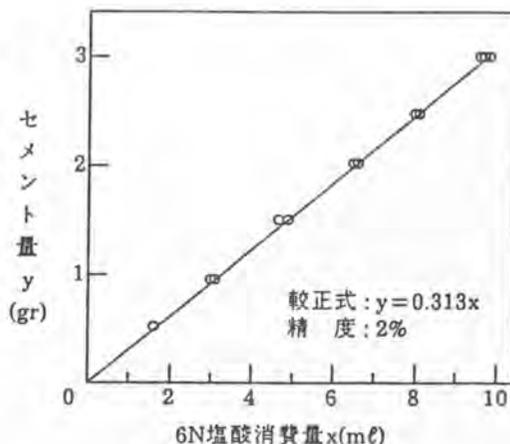


図-8 セメント濃度測定結果

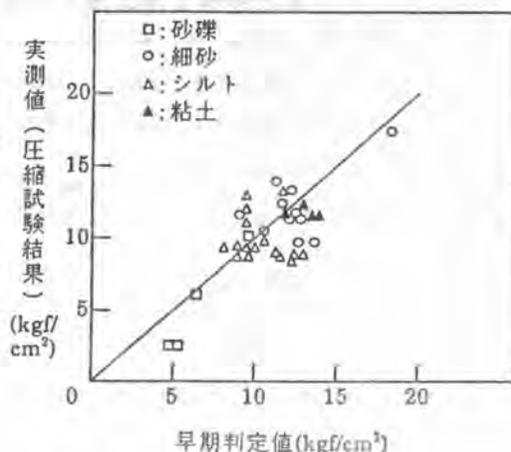


図-9 早期判定装置による測定結果



(作業員数と機械台数の関係)

資料提供元：建設機械化協会



(作業員数と機械台数の関係)

資料提供元：建設機械化協会

建設機械化協会
 建設機械化協会では、建設機械の普及と活用を促進するため、建設機械化協会会報「建設機械化」を毎月発行しています。本会報は、建設機械の最新動向、技術情報、施工事例などを紹介し、建設現場での実践的な知識を提供しています。また、本会報には、建設機械の性能向上や効率化に関する最新の研究成果や技術開発の進展についても詳しく掲載されています。建設現場での作業効率を向上させ、コスト削減を実現するための重要な情報源として、建設関係者にとって不可欠な存在となっています。本会報を通じて、建設現場での作業効率を向上させ、コスト削減を実現するための重要な情報源として、建設関係者にとって不可欠な存在となっています。

建設機械と施工法シンポジウム論文集 (平成元年度版)

平成2年1月20日 印刷

平成2年1月25日 発行

不許
複製

編集
発行所

社団法人 日本建設機械化協会

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

印刷所 株式会社 東神堂

東京都千代田区神田司町2-14