

昭和59年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

昭和59年10月18～19日

大阪・南港カーシティー

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

【シールド・トンネル機械と施工法】

1. 泥水シールド工事におけるトータル施工管理システム
 …… ㈱大林組：宮本芳孝，古川齊治，*土屋幸三郎… 1
2. 礫地盤における泥水シールド工法の自動化 …… ㈱奥村組：茶谷恭男… 5
3. 小口径泥水推進による玉石混り滞水砂礫層の掘進
 玉石破碎小口径泥水推進 国土BS350 …… 日本国土開発㈱：和田航一… 9
4. スクリュー排土方式1.2mφ削土加圧式推進機の開発
 …… 関東電気工事㈱：亀田靖人，日立建機㈱：*細谷好繁… 13
5. 小口径泥水推進工法の開発 …… ㈱奥村組：増田正和，*園部富士雄… 17
6. 切羽における原石一次破碎とベルコン輸送 …… ㈱栗本鉄工所：藤原文夫… 21

【軟弱地盤処理機・基礎工事用機械と施工法】

7. 拡幅式地盤改良工法（SWING工法）の開発
 …… 大成建設㈱：小寺秀則，川崎宏二，*矢倉哲夫，切田重實… 25
8. M.V.C.P.工法の施工機械と施工例… ㈱大林組：*河村邦夫，松本 伸，日平産業㈱：石田芳男… 29
9. 動圧密工法における情報化施工システム… 日本国土開発㈱：森 国夫，薄木 彰，*渡辺 篤… 33
10. ベーバードレーン工法の新しい施工管理システム 鹿島建設㈱：高野耕輔，*三浦正之，
 …… 不動建設㈱：秋元 明，日進地下開発工業㈱：広島利夫… 37
11. 補強材による斜面安定工法（SW工法）の施工法例… 住友建設㈱：則武邦具，*印南修三… 41
12. 中掘機械・工法の改良について… ㈱小松製作所：大柿光司，*玉置博昭，中村城治，小島康男… 45
13. 石炭灰を使用した表層固化盤形成工法 …… 住友建設㈱：則武邦具，*鳥生 晃… 49
14. 硬質岩盤用地下連続壁掘削機の開発 …… 鹿島建設㈱：藤井俊輔… 53
15. 砕石ドレーン工法による砂地盤の液状化防止対策について
 …… ㈱鴻池組：伊藤克彦，*中島 豊… 57
16. 低騒音型油圧パイルハンマの技術評価
 ー建設省の技術評価制度によるー …… 建設省建設経済局：吉岡敏郎… 61

【土工機械と施工法】

17. 大型ホイールローダ及び大型油圧ショベルのオペラビリティ
 …… 建設機械化研究所：藤本義二，*本郷慎一… 67
18. 肉盛・溶射金属の砂岩に対する摩耗特性
 …… 愛媛大学：*室 達朗，前田建設工業㈱：井尻博之，佐伯建設工業㈱：平川広海… 71

19. 新しい無発破岩盤掘削工法の開発 …………… 日本国土開発㈱：*宮地明彦，川上 裕… 75
20. 重量鉄筋用配筋ロボットの開発
…………… 東京電力㈱；松井志郎，鹿島建設㈱：*毛利行男，日立建機㈱；吉田邦彦… 79
21. 油圧ショベルの動力系の電子制御 …………… 日立建機㈱；和泉鋭機，*田中康雄，青柳幸雄… 83
22. 搭乗式建設機械の振動対策 …………… 建設省土木研究所：多田和弘，*豊田 実… 87

【トンネル工専用機械と施工法】

23. トンネル断面測定装置の開発 …………… 清水建設㈱；久保裕之，梶岡保夫，*山室保夫… 91
24. トンネル掘削用ドリルジャンボのロボット化 …………… 古河鉱業㈱；中村吉男… 95
25. 安房トンネル吹付粉じん対策調査実験報告
…………… 建設省中部技術事務所；稲垣 学，建設機械化研究所：*橋元和男，谷口弘文… 99
26. TBM一次覆工用としてのファイコン工法の適用 …………… ㈱間組；松垣光威，*島山修… 103
27. プレイバック形コンクリート吹付ロボット
…………… ㈱大林組；加藤 実，登坂知平，㈱神戸製鋼所：*長谷川 清，小幡光義… 107
28. 小断面トンネル用伸縮型ジャンボの開発 …………… 飛鳥建設㈱：*鈴木好晴，渡辺光生… 111
29. 小断面トンネル用新湿式吹付コンクリートシステム
"K-Shot System"の開発 …………… ㈱熊谷組：*岡田 喬，垣内幸雄… 115

【架設用その他機械と施工法】

30. 押出し工法における反力自動測定システム… 住友建設㈱；本間秀世，*森田雄三，大塚博孝… 119
31. 高橋脚施工用ジャンピングフォームシステム …………… 住友建設㈱ *石川 隆，則久芳行… 123
32. バンタドームシステムのプッシュアップ工法による体育館建設工事施工
…………… ㈱竹中工務店：*菊池公男，山崎義広，丸山清司… 127
33. ダム用コンクリートバケットの無線開閉装置について… ㈱大林組：*中川武志，古川博司… 131
34. コンクリートポンプ工法（PCD工法）による長与ダムの施工について
…………… 長崎県：鶴殿成毅 ㈱竹中土木；鈴木志朗，松浦経三，*丹原利夫… 135
35. 特殊オープンシュートを利用した長距離・急傾斜地のコンクリート輸送システム
…………… ㈱熊谷組：*松下祐輔，田中健治郎… 139
36. 土のう造成機の開発 …………… 建設省関東技術事務所；山岸 勝… 143
37. ブレーカーによる水中岩盤掘削工法について
…………… 建設省近畿技術事務所：*石橋良哉，滝谷一英… 147
38. バージアンローダー工法と新型バージアンローダー「住吉丸」について
…………… りんかい建設㈱；三牧健一… 151
39. タワークレーン用衝突防止装置の開発 …… ㈱竹中工務店：*大滝昭治，山田弘道，谷口四郎… 155
40. π形ブロックによる積張工の省力化施工
…………… 建設省北陸地方建設局；丸山幹雄，*稲垣 稔，宮塚吉信… 159
41. フォームドスタビライザによる路上安定処理工法について …………… 日本道路㈱；小原富雄… 163
42. サイロ貯炭システムの開発 …………… 住友建設㈱；則武邦具，鳥生 晃，*水谷 淳… 167

1. 泥水シールド工事におけるトータル施工管理システム

(株)大林組 宮本 芳孝・古川 斉治・*土屋 幸三郎

1. まえがき

泥水加圧式シールド工法は、広範囲にわたる地盤条件下の工事に採用されており、もっとも汎用性に富む優れた工法といえる。しかし、同工法における施工管理は、現状では技術者やシールドマシンのオペレータの経験や勘によるところが多く、データに基づいた技術的判断をもって管理を行なっているとは言い難く、しかも詳細なデータが保存されている例も少ない。

近年、シールド工事はより厳しい社会的制約条件および劣悪な地盤条件下での工事が増加してきており、このような工事では従来のような施工管理手法で対応していくのは難しくなってきた。

そこで、パーソナルコンピュータを導入して精度の高い、しかも即応性のある泥水シールド工事におけるトータル施工管理システムを開発した。

本稿は、このトータル施工管理システムの概要を述べるとともに、大径レキ地盤における泥水シールド工事に本システムを導入した結果などについて述べたものである。

2. トータル施工管理システムの概要

トータル施工管理システムは、次に示す6つの管理システムで構成されており、このうち①～④はシールドの掘進という作業に関するもの、⑤および⑥はシールド掘進によって生ずる現象に関するものである。

- ① 掘進管理システム（切羽の安定確保、適切な掘進・泥水輸送状態の維持）
- ② 泥水品質管理システム（泥水品質の調整）
- ③ 裏込注入管理システム（確実な裏込注入）
- ④ トンネル線形管理システム（計画線形の確保）
- ⑤ 地盤変状管理システム（地盤の変状把握）
- ⑥ 重要構造物変状管理システム

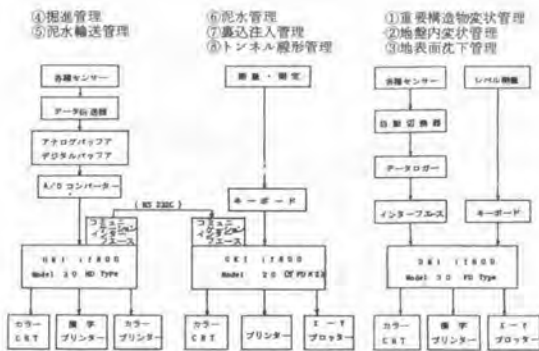


図-1 システムハードウェア構成

| 管理項目 | CPUへの入力 | 数量 | 計測項目 |
|-------------------|---------|---------------|---|
| 掘進管理 | オンライン | 31ヶ | ・送泥水圧 ・切羽水圧 ・ジャッキストローク ・ジャッキ圧 ・タラシジョー圧 ・カッター圧 ・カッター回転数 ・使用ジャッキ(12ヶ)のE ₁ -E ₂ 電流 ・リング漏れ ・日付、時分 ・送泥流量 ・排泥流量 ・送泥密度 ・排泥密度 ・カッター回転数 ・E ₁ -E ₂ 回転数 |
| 泥水品質管理 | オフライン | 21ヶ | ・リング漏れ ・日付 ・降伏値 ・ファンネル粘性 ・濃縮性 ・水分率 ・泥水使用量 ・掘進時間 ・切羽水圧 ・送泥流量 ・排泥流量 ・E ₁ 日 ・ファンネル粘性 ・濃縮性 ・水分率 ・泥水使用量 ・掘進時間 ・切羽水圧 ・送泥流量 ・排泥流量 ・E ₁ 日 |
| 裏込注入管理 | オフライン | 7ヶ | ・リング漏れ ・日付、時分 ・注入量 ・注入圧 ・注入孔数 ・地表面以下量 |
| トンネル線形管理 | オフライン | 7.1ヶ | ・リング漏れ ・ベンチマーク高 ・セグメント平面傾斜(25) ・マンシット平面傾斜 ・ストローク(4) ・セグメント傾斜(2) ・マンシット傾斜(2) ・セグメント ・日付、時分 ・ベンチマーク高 ・マンシット平面傾斜(25) ・マンシット平面傾斜 ・マンシット傾斜(2) ・セグメント傾斜(2) ・セグメント傾斜(2) ・マンシット傾斜(2) ・セグメント |
| 地盤変状管理 | オフライン | 7.6ヶ | ・新設漏 ・日付 ・水厚度(15×4=60) ・日付、時分 ・空坑実位(47) ・地中実位(66) ・地下水位(6) ・高架橋下(14) ・高架橋傾斜(28) ・掘進 |
| 重要構造物(新幹線高架橋)変状管理 | オンライン | 1回当り 19.3ヶ | ・新設漏 ・日付 ・水厚度(15×4=60) ・日付、時分 ・空坑実位(47) ・地中実位(66) ・地下水位(6) ・高架橋下(14) ・高架橋傾斜(28) ・掘進 |

表-1 各管理システムの計測項目

トータル施工管理とは、①～⑥の管理を総合的および有機的に行うことであり、具体的には多種・多量の情報を迅速に処理し、データの統計的判断、それぞれの情報の相関などから施工管理を行うことである。トータル施工管理システムのハードウェアは、図-1に示すように3台のパーソナルコンピュータで構成されており、各管理システムにおける計測項目は表-1に示すとおりである。表-2は、各管理システムにおける作業内容を示したものであり、図-2～図-5は、モニターの一例として掘進管理におけるモニターを示したものである。

表-2に示したように、当システムでは多種・多様のアウトプット様式が準備されており、実際の管理はこれらのアウトプットを判断資料とした施工管理のフローチャートを各管理項目ごとにあらかじめ作成しておき、そのフローに従って行なう。図-6は、管理フローの代表的な例として掘進管理におけるフローチャートを示したものである。また、表-3は掘進管理において予想される異常事態と計測値の変動状況を事前に想定したものであり、異常事態の早期発見や対策工の選定を

| システム | 管理するタイミング | 作業内容 |
|------------|-----------|--|
| ①掘進管理 | 掘進中 | <ul style="list-style-type: none"> 掘進状況モニター 泥水輸送状況モニター 土砂取込状況モニター-I 土砂取込状況モニター-II 全計画データのモニタリング |
| | 掘進後 | <ul style="list-style-type: none"> 掘削終了リングの日報作成 乾砂重量ヒストグラム 乾砂重量管理モニター 乾砂重量の管理限界の計算 |
| | 掘進期間中 | <ul style="list-style-type: none"> 地山変化管理モニター 全計画データの経時変化モニター 過去リングの掘進状況の再現 |
| ②泥水品質管理 | 掘進期間中 | <ul style="list-style-type: none"> 泥水品質管理モニター 測定データの日報作成 |
| ③裏込注入管理 | ※ | <ul style="list-style-type: none"> 裏込注入管理モニター 測定データの日報作成 |
| ④トンネル線形管理 | ※ | <ul style="list-style-type: none"> 線形管理図の作成(平面・縦断) 線形出来形図の作成 |
| ⑤地盤変状管理 | ※ | <ul style="list-style-type: none"> 地盤変状管理モニター(横断・縦断) 沈下量分布の3次元表示 測定データの日報作成 |
| ⑥重要構造物変状管理 | ※ | <ul style="list-style-type: none"> 新幹線高架橋変状管理モニター(5断面) 計画データの経時変化図の作成 計測データの日報作成 |

表-2 各システムの作業内容

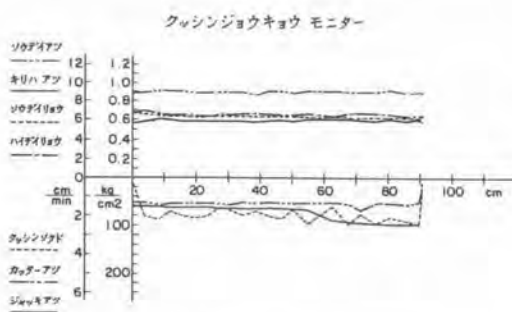


図-2 掘進状況モニター

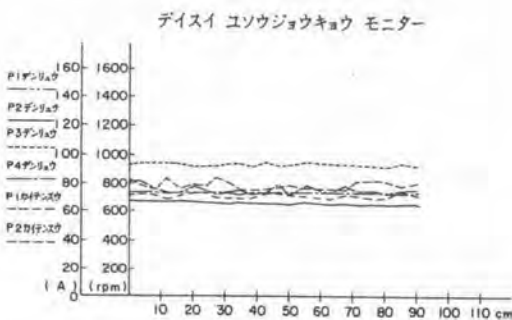


図-3 泥水輸送状況モニター

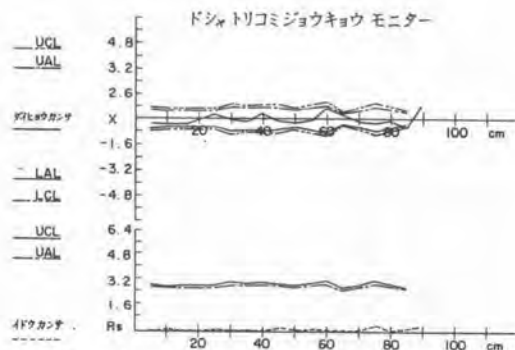


図-4 土砂取込状況モニター (I)

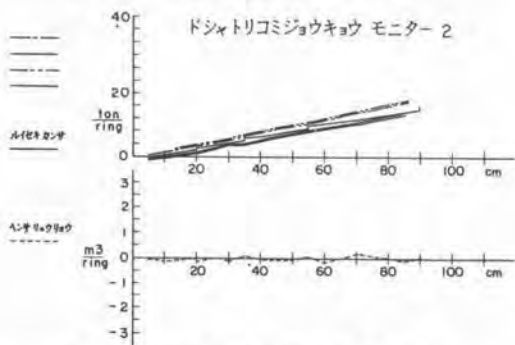


図-5 土砂取込状況モニター (II)

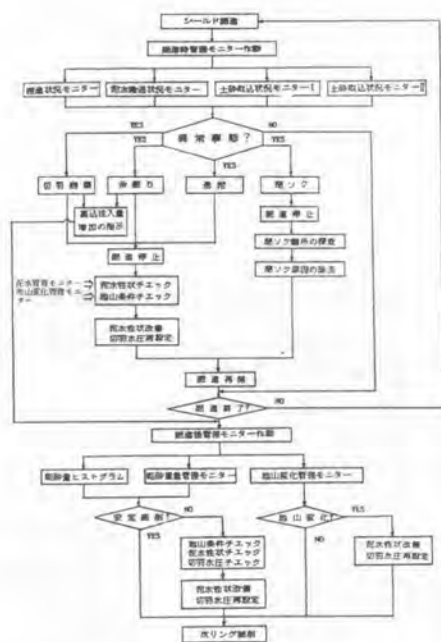


図-6 掘進管理フローチャート

| 考えられる異常事態 | 予想される計測値の状況 | 管理の手法 | 現象の要因 | 対策 |
|-------------|---|---|---|---|
| 池 泥 | <ul style="list-style-type: none"> 切羽水圧 低下 送泥ポンプ回転数 大 電流 大 送泥流量 増加 乾砂量 減少 (見かけ上) 偏差流量 $\Delta Q < 0$ 累計乾砂量 減少 (見かけ上) | <ul style="list-style-type: none"> 掘進状況モニター 泥水輸送モニター 土砂取込状況モニター-I 土砂取込状況モニター-II | <ul style="list-style-type: none"> 泥水降伏値が小さい 地山の変化及び評価ミス (透水係数・間隙水圧・密度……) | <ul style="list-style-type: none"> 泥水性状の改善 切羽水圧の調整 |
| 余 掘り (切羽崩壊) | <ul style="list-style-type: none"> 排泥ポンプ回転数 大 電流 大 排泥流量 増加 排泥密度 大 乾砂量 増加 偏差流量 $\Delta Q > 0$ 累計乾砂量 大 | <ul style="list-style-type: none"> 泥水輸送状況モニター 掘進状況モニター 土砂取込状況モニター 土砂取込状況モニター-II | <ul style="list-style-type: none"> 切羽水圧不足 泥水降伏値が小さい 地山の変化及び評価ミス 衝撃等で地山を乱した 送排泥流量のパラメータの不ぞれ | <ul style="list-style-type: none"> 掘削機停止 (切羽部注入) 泥水性状の改善及び流量調整 切羽水圧の調整 |
| クラッシャーの閉塞 | <ul style="list-style-type: none"> クラッシャー圧 大 排泥流量 減少 排泥密度 小 乾砂量 減少 (見かけ上) | <ul style="list-style-type: none"> 掘進状況モニター 土砂取込状況モニター-I | <ul style="list-style-type: none"> クラッシャー能力不足 地山評価のミス | <ul style="list-style-type: none"> クラッシャー部解体 クラッシャー手動切換 |
| 排泥管の閉塞 | <ul style="list-style-type: none"> 送泥水圧 大 切羽水圧 大 送泥流量 減少 排泥流量 減少 送泥ポンプ回転数 小 電流 小 乾砂量 減少 (見かけ上) 偏差流量 $\Delta Q < 0$ 累計乾砂量 減少 (見かけ上) | <ul style="list-style-type: none"> 掘進状況モニター 泥水輸送状況モニター 土砂取込状況モニター-I 土砂取込状況モニター-II | <ul style="list-style-type: none"> クラッシャー能力不足 地山評価のミス | <ul style="list-style-type: none"> 排泥管解体 送排泥逆噴射 |

表-3 考えられる異常事態と計測値の変動状況

どに役立てるものである。

3. システム導入工事の概要

本工事は、兵庫県武庫川流域下水道整備事業の一環として尼崎市内に泥水加圧式シールド工法により円形管渠を築造するものである。施工地域は、輻輳する路上交通、地下埋設物、近接する新幹線高架橋等の重要構造物などの各種制約条件に加え、施工対象地盤が帯水礫地盤であり、地下水位が高く、しかも土被りが非常に浅いという悪条件が重なっていた。したがって、施工に際しては高度の技術が要求されるとともに、精度の高いしかも即応性のある施工管理が必要不可欠であり、前述したトータル施工管理システムを導入した。

工事の概要は以下に示すとおりであり、工事位置を図-7に、代表的な横断面図を図-8、図-9に示す。

工事名称：武庫川流域下水道左岸第二幹線管渠築造工事（時友工区）

発注者：兵庫県

工事場所：兵庫県尼崎市時友地区

工 期：昭和57年6月～昭和59年3月

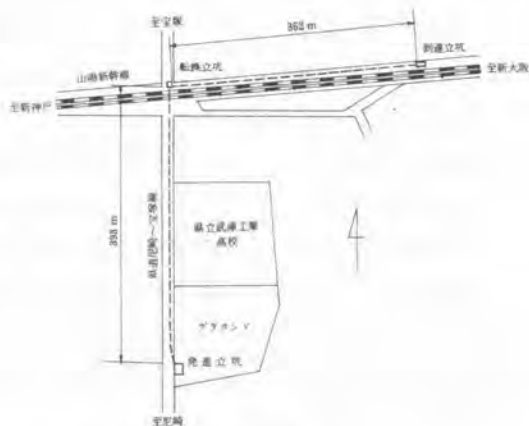


図-7 工事位置図

土 質：伊丹段丘礫層（帯水礫層）

確認最大礫径 600 mm

透水係数 $2 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$

地下水位 GL-1.5 m ~ -2.0 m

土 被り：3.0 m ~ 6.0 m

シールド機：外径φ3480 mm（ジョークラッシャー
内蔵型礫泥水加圧式シールド機）

セグメント：外径3350 mm（STEEL, RC）

仕上り内径：φ2600 mm

施工延長：755 m

4. システム導入の結果および効果

当システムを導入して得られた結果およびその効果のうち、主なものを以下に列挙する。なお、表-4は本工事の施工に際して提示された管理基準値と施工実績を比較したものである。

- ① 土砂取込状況モニター(I)(II)から余掘量を推定し、その結果を裏込注入工の管理に応用した。すなわち、従来は主に注入圧のみで管理していたものを注入量、注入位置、および注入時期など総合的な管理を行なうことにより、地表面沈下を微量に押えることができた。
- ② 掘進状況モニターから、地山の条件やマシンの能力に対応した適切な掘進速度を見つけることができた。すなわち、連続的な掘進が可能となり、結果的には切羽の安定を保ちながら確実にしかも速い施工となった。
- ③ 泥水輸送状況モニターおよび各ポンプの負荷の経リング変化から、ポンプの異常の早期発見や増設時期および位置などを容易に決定できるようになり、トラブル処理の時間短縮およびトラブル件数の減少などに役立った。
- ④ 泥水品質管理モニターから泥水の品質および処理方法が瞬時に指示されるので泥水の品質を常に管理基準内に保つことができ、逸泥・崩壊を起さず確実に、しかも連続的な施工が行なえた。
- ⑤ トンネル線形管理では、計画線形に対するマシンおよびセグメントの位置・姿勢が即時に図表化されるため、マシンの制御・修正が迅速かつ正確に行なわれ、施工精度の向上に役立った。

最後に、本工事にトータル施工管理システムを導入するにあたり深い御理解と御協力をいただいた兵庫県阪神都市整備局の皆様、計器の設置およびシステム作成などに御協力いただいた株式会社サンコーに感謝の意を表します。

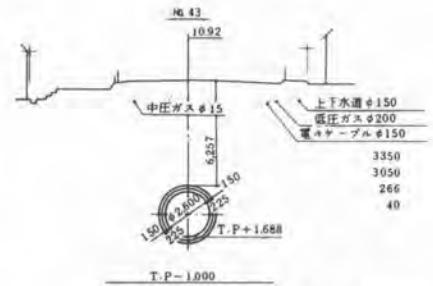


図-8 泉道尼崎宝塚線部横断面図

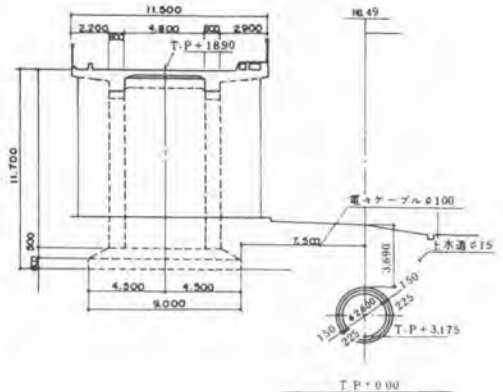


図-9 山陽新幹線側道部横断面図

| 工 種 | 管 理 基 準 | 施 工 実 績 |
|----------|------------------------------------|------------------------------|
| 一次掘削 | 基準点 ±100 mm 偏心及び蛇行 ±150 mm (水平) | ±30 ~ ±40 mm ±20 ~ ±30 mm |
| 地表面最終沈下量 | | -1% ~ -10% |
| 新幹線高架橋 | 沈下 3% 傾斜 3% | -1 ~ 2% 0 ~ 1.5% |

表-4 管理基準値と施工実績

2. 礫地盤における泥水シールド工法の自動化

(株)奥村組 茶 谷 恭 男

1. まえがき

泥水シールド工法は、切羽の安定性・施工性・安全性等に優れ、周辺地域に対する環境破壊や交通支障の発生が少ない事から、広く都市トンネルの構築に用いられてきた。泥水シールド工法は多種の機械の組合せから構成された施工システムであり、施工能率、施工精度などは機械の運転管理技術に負うところが大きい。当社では、この運転管理技術の向上を目的として、コンピューター・システムの導入による自動化の研究を進め、昭和57年にはヒューム管タイプの泥水シールド工法の全自動化を行い実用化し（OAMS/A工法）、昭和58年にはセグメントタイプにおいても自動化を導入した（OAMS/B工法）。本稿ではこのセグメントタイプにおける自動化について述べる。

2. 自動制御

(1) 制御内容

泥水シールド機の掘削においては、図-1に示すように機器の稼働、負荷の状態を地上の集中管理室で監視し、系統全体が適正な状態を維持するように機器を制御する。

掘削にあたって重要なことは、切羽の安定であり、そのために切羽水圧やシールド機の Cutter・ヘッドの押付け力などの管理を適確に行う必要がある。本工法ではコンピューターによりシールド機の姿勢制御、速度制御を行い、掘進管理に自動化を導入した。

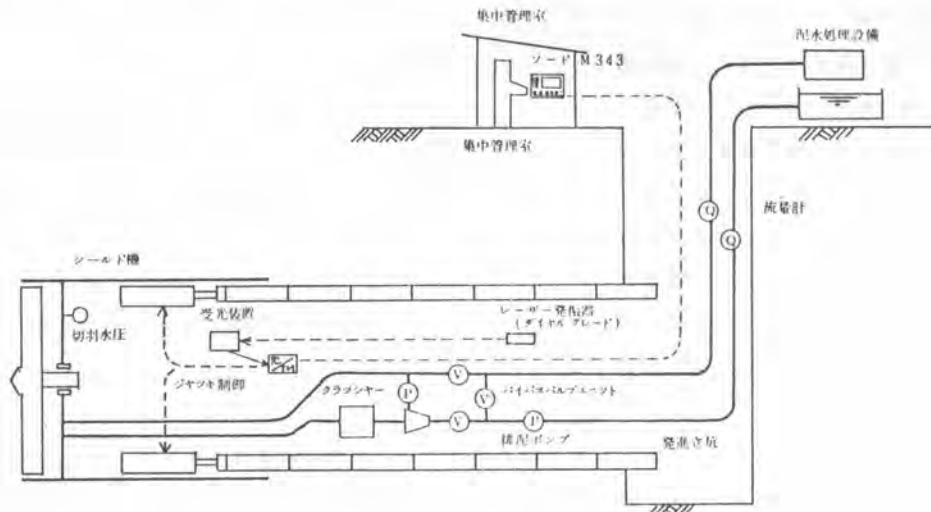


図-1 泥水シールド工法の系統

(2) 制御方法

a. 姿勢制御

シールド機の姿勢制御は、機内に取付けた自動測量装置（写真-1参照）による位置検出結果にもとづいて行う。姿勢制御は数本あるシールド・ジャッキのうちどのジャッキを加圧状態にするかによって行う。

測量は、シールド機の後方より基準線としてレーザー光を発振し、これをシールド機内に取付けた測量装置により受光しX-Y座標の変位を電圧として検出することにより行う。この出力電圧をコンピューターに送り、演算してシールド機の変位を算出する。

シールド機の変位に対して管理範囲を設定し、変位が管理範囲内の時を標準パターン、管理範囲外の時を制御パターンとする。標準パターンではシールド機の姿勢を保持し、制御パターンではシールド機の方向修正を行う（図-2参照）。

b. 速度制御

シールド機の掘進速度は、その掘削能力内で施工能率の高いことが要求される。シールド機の掘進速度が高すぎる場合、掘削負荷が過大となりカッター・ヘッドのトルクと圧力が必要以上に大きくなってしまふ。逆に掘進速度が低すぎる場合、切羽土圧が低くなり地盤崩壊につながる。また施工能率が低くなってしまふ。

本工法では、カッター・ヘッドのトルクと圧力からシールド機の掘進速度を決定する。しかし速度を急激に変化させた場合、シールド機の掘削能力および環流排土能力が不足となってくる可能性がある。したがって、速度を変更する場合は段階的に行う。



写真-1 自動測量装置

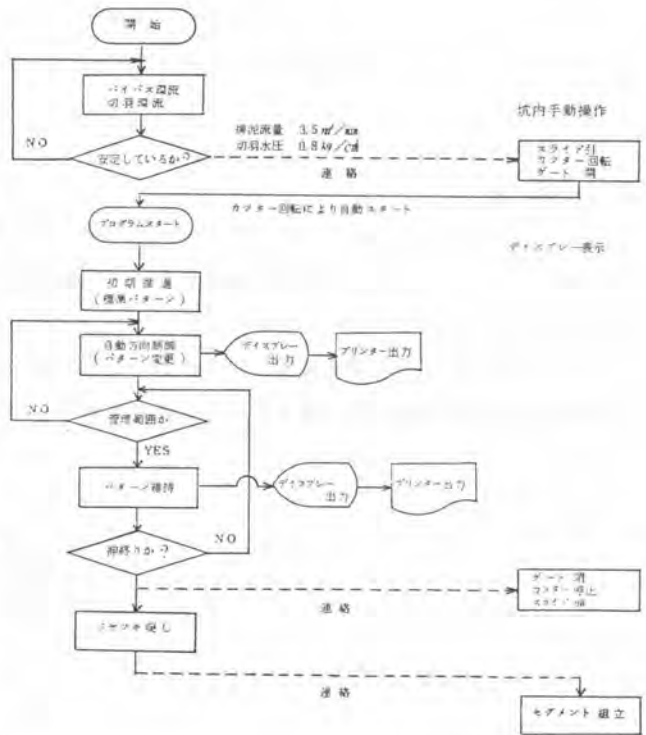


図-2 制御フロー

3. 制御装置

本工法における制御装置は図-3に示すように検出部、演算部、制御部、表示・操作部、記録部から構成されている。検出部と制御部はシールド機本体および泥水環流設備に取付けられており、演算部、表示・操作部、記録部については、地上の集中管理室に設置したコンピューター・システム（写真-2参照）がこれらの機能をもつ、以下各部について述べる。

(1) 検出部

本装置で検出する情報は、シールド機掘進を集中管理するために必要な項目が選ばれており、表-1に検出項目を示す。

電磁弁のon-offなどのデジタル式制御信号については、制御部の動作を演算部がフィードバック検知するので検出器を用いていない。

(2) 演算部

演算部は本制御装置の中核であり、検出部、操作部からの入力データの演算を行い、制御部に制御動作の指令を送る。また、表示部、記録部へも演算部から信号が送られる。

(3) 制御部

演算部からの制御信号により各制御機器が作動するが、この信号は電氣的に微弱なため、制御機器が直接作動する信号に変換する。

(4) 表示・操作部

シールド機掘進中の各種入出力データは、カラー・グラフィック・ディスプレイによってモニター表示される。

シールド機の操作はキーボード入力により行うが、シールド・ジャッキ関係の操作についてはライトペンを使用により画面から入力する。

(5) 記録部

記録はプリンターおよびフロッピー・ディスク装置により行う。記録項目には制御状態を知る目的で特に必要なデータを選んだ。

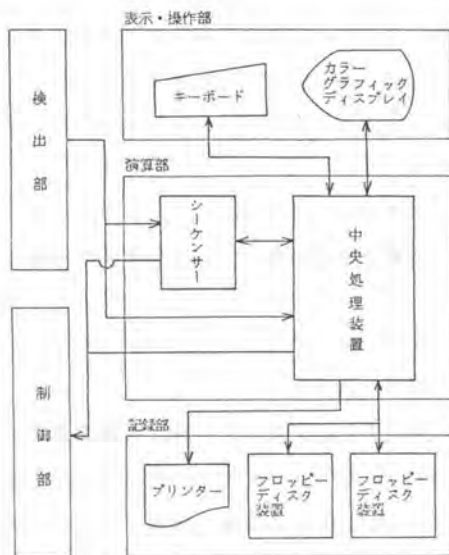


図-3 制御装置の構成



写真-2 コンピューター・システム

| 装置 | 検出項目 | アナログ式 | デジタル式 | |
|--------|-----------------|------------------------|-----------------------|------------------|
| シールド機 | カッター・ヘッド | トルク 圧力 回転 | ○ ○ ○ | ○ |
| | シールド・ジャッキ圧 | | ○ | |
| | 油圧ポンプ回転数 | | ○ | |
| | シールド・ジャッキ・ストローク | 1 2 | ○ ○ | |
| 泥水環流設備 | 自動測量装置 | 水平方向変位 鉛直 光量信号 | ○ ○ ○ ○ ○ | |
| | 切り排P1P2送排バイパス | 端泥ポンプ 水波回転 バルブ動作 | ○ ○ | ○ ○ ○ ○ |

表-1 検出項目

4. 現場施工結果

昭和58年8月～12月に京都府の下水道工事を本工法により施工した。当現場で使用したシールド機を写真-3に示す。工事内容は次のとおりである。

工事規模 仕上り径1800mm、長さ902.8 m
土質 沖積砂礫、玉石混じり洪積砂礫
N値 20～40
土被り 8.5 m
地下水位 GL-2.5 m



写真-3 シールド機

当現場における実験施工では、各制御機器の室内チェックを行っていないため、現場で作動

チェックを行った。この際、制御プログラムおよび各制御機器に改良すべき点が出てきたが、これらは制御理論上のものではなく、制御機器の性能上の問題であった。

(1) 姿勢制御

シールド機の位置検出については、ポンプなどから発する熱による大気の流れのためレーザー光にゆれが生じ、またレーザー発振器と測量装置が離れるにしたがいレーザー・スポットが拡大するため、誤差が生じた。当現場では5mm以内の誤差でシールド機の位置検出が可能であったため、精度的には制御上問題がなかった。

姿勢制御については管理範囲を25mmに設定したので、シールド機の変位が25mmを越えた場合ただちに方向修正を行った。シールド機の姿勢制御は、掘進中常に行っているため、手動操作と比較して施工精度は向上した。

(2) 速度制御

当施工地盤は沖積砂礫、玉石混じり洪積砂礫であり、ディスク・カッターで玉石を一次破碎する構造であった。したがって玉石の破碎時にはカッター・ヘッドのトルクおよび圧力が上昇することがあったが、本制御装置がこれを異常値として検出し、掘進速度を減少させた。カッター・ヘッドのトルクおよび圧力が安定した段階で、再び速度を上昇させた。このように本制御ではカッター・ヘッドに対する負荷の異常検出とその回復を行っており、施工の安全性を高め、機械の保護という面で有効であった。

5. あとがき

建設業においても、随所にコンピューターが導入され情報化施工が開発されようとしている。泥水シールド工法は高度に機械化されており、各機器間のバランスをコントロールするためには、熟練した技術者を必要としてきた。今後さらに多様化してくると思われる施工条件に対応し、施工の標準化、省力化を行うためには、機械施工の自動化を推し進めていく必要があると思われる。

3. 小口径泥水推進による玉石混り 滞水砂礫層の掘進

—玉石破碎小口径泥水推進“国土BS350”—

日本国土開発(株) 和田航一

1. まえがき

玉石混り滞水砂礫層における小口径推進工事の施工では、切羽の掘削、土砂の搬送に困難な真が多い。シールドの回転するカッタは、地山をゆるめずに玉石を含む土砂を取り込み、シールドを前進させる必要がある。小口径の泥水推進工法では内径100mmの排泥管内を泥水搬送するために、礫は、30mm以下に破碎する必要がある。

ここで紹介する国土小口径BS350では、カッタ前面のローラビットで玉石を破碎し、次にカッタドラムに内蔵されたロータリビットクラッシュャで礫を30mm以下に二次破碎し搬送する。

現在、最大礫径500mmの玉石混り礫層で、ヒューム管内径1100mm以上の推進工事が施工可能である。

2. 工法概要

泥水推進機のカッタの正面に配置された直径300mmのローラビットは地山をゆるめずに切羽の玉石を1次破碎する。ここで重要なことは、切羽崩れへの始点となりやすいカッタ外周部にローラビットの機能を有効に活用することである。従来のテイスカッタはローラビットに比べて破碎力が低く、地山をゆるめやすい。刃先の欠け、磨耗が早く、破碎力はますます低下する。

シールドの運転不能の中で致命的なカッタ回転不能は、多くの場合、切羽のゆるみ範囲が広がって、過大な土圧でカッタ面にマサツブレーキがかかることによるもので、地山の玉石をかみ込んで起ることは少ない。

ローラビットは切羽全面に60mmピッチの同心円軌跡で運動し、玉石を1次破碎する。カッタスリット中は150~200mmで、破碎された大割の礫を速かにカッタ内に取込む。スリットの配置は運動量の少ないカッタ中心部分にも配置し、切羽正面での無駄な抵抗をかき乱れを少なくする。

ローラビットはギヤー形より円盤形の方が、又直径は大きい方が破碎力、耐久性とも優れている。2次破碎のクラッシュャは、カッタドラム内に内蔵されていることが必要である。2次クラッシュャの破碎礫は、小口径の排泥管内で閉塞を起さないためにも30mm以下で、偏平度の少ないことが必要である。



カッタフェイス



国土小口径BS-350ロータリビット

ある。BSシリーズのクラッシュャは、ロータリビットの回転で破碎するため、礫は偏平度の少ない立方体に近い粒形であり、粘性土が少量に混入

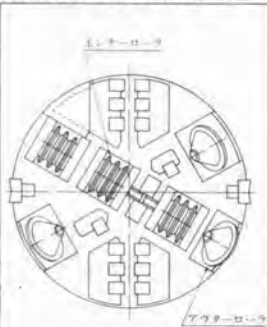
しても、クラッシュヤ内で閉塞することは無い。

排泥回路での閉塞は、切羽水圧の急変動を発生させ、又閉塞解除のための循環水の停止も切羽の水圧バランスに変化を与え、切羽崩れやカッタ回転不能を誘起する。カッタ回転不能を経験するたびに、カッタトルクの増大を要求することが続き、最近ではトルク係数が2.0を超える振動機が多い。至石を含む地山でも、切羽の切削(テス、ローラビット等の)に必要なトルクは意外に小さいものであり、必要トルクの大部分は地山との反撥力であり、ゆよみはんいが大きくなると莫大な大きめのブレーキ力となり、カッタの回転を止めてしまう。このことから、いたずらにカッタトルクの増大を計ることなく、地山をゆよめにくいかッタの形状を選ぶべきである。カッタトルクの計算書で必要トルクと装備トルク差(余裕)が大きく示されていることで安心してはならない。カッタの無負荷時、機内で消費される支持部、各シール部、動力伝達部で消費されるトルクは意外に大きく、これを見落している計算書が多い。工場試運転時の無負荷時の油圧圧力、電流値と計算書と照合して見ればこの誤りがわかる。又、カッタの反撥を抑えられるあまり、いたずらに抵抗の大きい仕様



き補助ピットや、ゲージカッタ、表面硬化肉盛をしてトルクの無駄使いと切羽の崩れを防止を行うことは良くない。

機構図(推進管内径φ1,200mm)



3. BS350の持長
至石混り滞水砂碇りにおいて必要な性能を具現化したのが右に示す国土小口径BS350及びその他のBSシリーズの掘削機である。

昭和54年にBS500を完成し、仕上内径1650mmのシールドを施工し、次に小口径用として-

シールド(推進用)

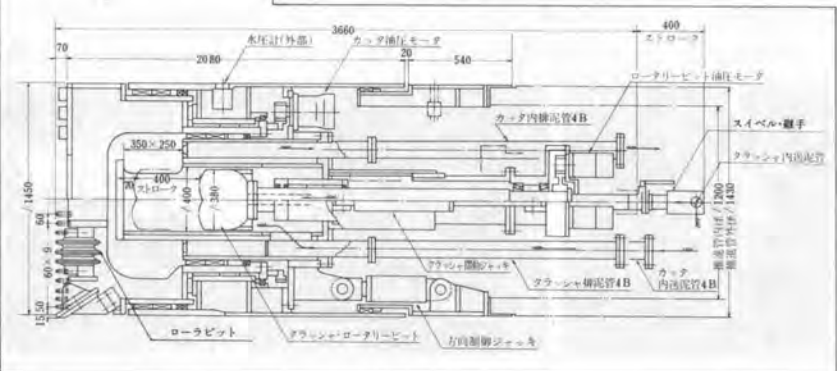
| 名称 | 数量 | 単位 | 価格 |
|----------|-------------------------------|----|----|
| シールド本体 | φ1,450mm×2,080mm 全長4,060mm | | |
| 適用推進管 | 内径1,200mm外径1,430mm | | |
| 方向制御ジャッキ | 45t×100mm×st×4本 | | |
| パワーユニット | 2.2kW・400V×1台 | | |

カッタ

| 名称 | 数量 | 単位 | 価格 |
|---------|--|----|----|
| カッタヘッド | トルク 7.5t-m(最大) トルク係数 α=2.46 回転数 0~2.1rpm | | |
| ローラビット | インナーローラ 3コ アウターローラ 3コ | | |
| パワーユニット | 15.0kW・400V×1台 | | |

クラッシュヤ(機内)

| 名称 | 数量 | 単位 | 価格 |
|----------|---|----|----|
| クラッシュヤ本体 | 形 式 国土小口径BS-350ロータリービットクラッシュヤ 破 砕 室 内径400mm×470mm, 0.059m ³ | | |
| ロータリービット | 形 式 3カッタビット 1434° トルク 1.5t-m 回転数 0~50rpm 推進力×ストローク 23t×400mm 推進速度 178min/min(max) | | |
| パワーユニット | ビット回転系 22kW・400V×3台 ビット推進系 3.7kW・400V×1台 | | |



開発した。

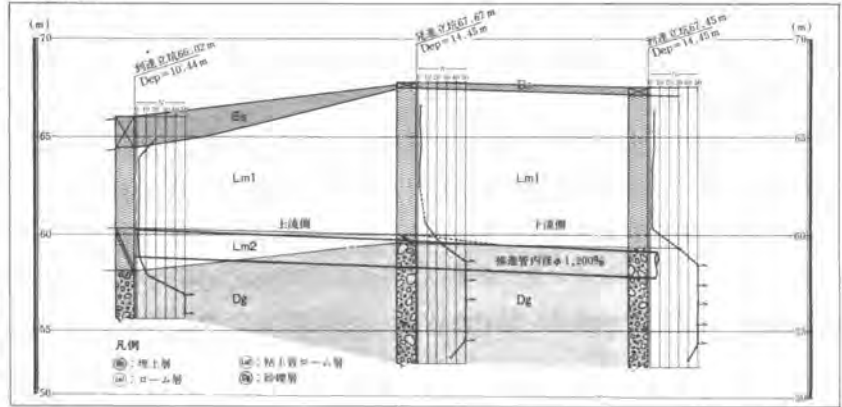
シールドカッター正面には最外周から中央部まで、60mmピッチで2列の外径300mmロービットが配置され、スリットは最大中200mmとし中央部にも可能な限り設けた。掘削、破碎の主役は、ロービットであり、テーヌは、すりの取込を助けるために、ロービットより30mm後退させた位置にある。

2次破碎の機内クラッシュャは、口径の小さなカッター支持部内を最大に利用するために、円筒形のクラッシュャシリンダを持つ。クラッシュャシリンダの前部に350×250mmの開口部があり、カッター内羽根でかき上げられた大割された玉石(カッタースリット200mmを通過)が投入される。

シリンダ内では大型のトリコンビットが回転しながら往復運動を行い、シリンダボトムとの間の隙を破碎する。このロータリービットの歯のすま間は30mmに作られているため、30mm以下に破碎された砾はバシリンダ後部から排泥回路に排出される。

過剰な細粒に破碎されるのを防ぐためと処理能力を向上させるため、排泥水回路から特殊分流水で除塵された泥水がスィベルジョイントを通過してシリンダ内に噴出する。カッタードラム内に入って来た30mm以下のすりは丸れのスクリーンを通過して排泥回路に合流する。

地質断面図



破碎後(左)と破碎前(右)の礫

4. 施工実績

BS350を組み込んだBS350-1200(ヒューム管径200mm用)は右の図の条件の工事に使用された。

砂礫層には、1^m中に30cm級の大きな玉石が平均2ヶほど存在し、粘着崩壊しやすい粘性土部分があった。

工事概要

工事名/小平市花小金井西幹線管渠築造工事
場所/東京都小平市花小金井
発注者/東京都新都市建設公社
工期/昭和58年5月～昭和59年1月
工事内容/推進管径φ1,200mm
推進延長 267.3m
上流側 136.9m
下流側 130.4m
土盛り 6～8m
発進立坑 1基(両発進)
到達立坑 1基

地質/武蔵野礫層

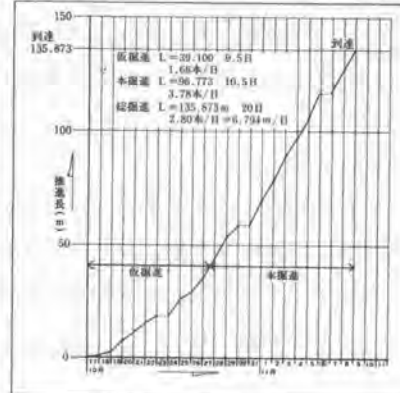
最大礫径 300mm
N値 30～50
透水係数 $K = 1 \times 10^{-2}$ cm/sec
礫分 56.5% 砂分 22.5%
シルト分 11% 粘土分 10%
因東ローム層
N値 2～3
一軸圧縮強度 $q_u = 1.4$ kg/cm²
粘着力 $C = 0.7$ kg/cm²
含水比 $W = 110\%$
砂分 6% シルト分 28.5%
粘土分 65.5%

施工進捗実績は右の図に示す通り、安定した推進能力を示し、本推進平均3.78本/日の実績を示した。この間、問題となるカット回転不能、排泥管路閉塞は無かった。管の敷設精度は上下、左右の蛇行とも30mm以内で、方向制御も容易であった。シールドの推進速度は20~30mm/分と安定していた。

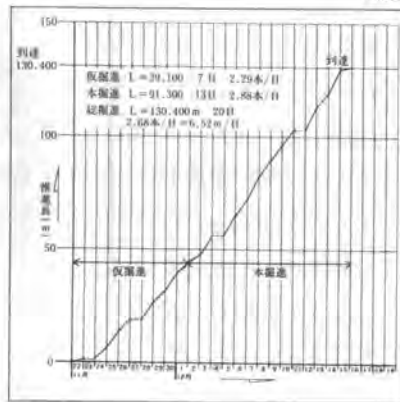
泥水推進工法では、他工法に比べて泥水処理装置のための広い用地が必要とされてきたが、今回BS350掘削と同時に汎用機器を使用しながら、振動脱水ふるい、サイロン7イルタープレスまで含む装置を立体的に配置して10m×30m、300m²にす技術を開発した。

施工実績

上流側



下流側



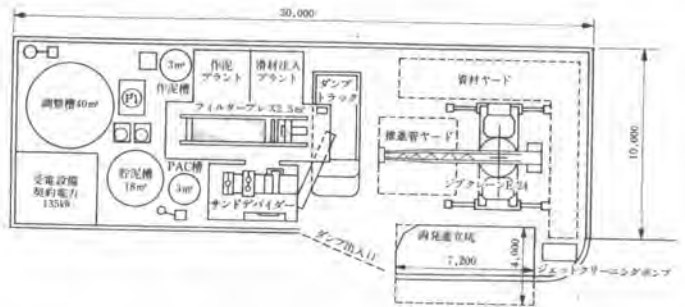
5. 今後の課題

小口径ながら、大きな玉石礫層を計画通り、安定した推進ができたことで、十分な実用性が実証されたが、今後、より使いやすく、施工コストを下げるために、後継ユニットのコンパクト化、レーザー自動測量、自動方向制御システム、坑内無人化運転等の改良を続けたい。

6. あとがき

最近の土木技術の中で、シールド(含推進)工法ほど、実施工の中で失敗と改良、試行錯誤を繰り返して来た工法は少ないのではあるまいか。特に玉石混り砂礫層では発注側、施工側で払った努力は大きい。本工法の成功に協力、評価下さった各方面の方々に厚く感謝する次第である。

両発進立坑基地平面図



国土BSシリーズ・ロータリークラッシャ

| 仕様 | 形式 | BS-500 | BS-250 |
|--------------|------|----------------------------------|----------------------------------|
| 破砕室 | | 0.19m ² ・φ630mm×620mm | 0.06m ² ・φ400mm×470mm |
| 破砕込口 | | 500mm×500mm | 350mm×250mm |
| ロータリービット | | φ610mm (24) | φ380mm (14 ^{3/4}) |
| トルク・回転数 | | 2.0t・m・0~36rpm | 1.5t・m・0~50rpm |
| 押付力・ストローク | | 53.2t・600mms | 23t・400mms |
| パワーユニット | | 55kW×2・5.5kW・11kW | 22kW×3・3.7kW |
| 仕上内径 (最小) | シールド | φ1500・標準下水道 | φ1350・標準下水道 |
| | 推進 | φ1650・下水道規格 | φ1100・下水道規格 |

4. スクリュー排土方式1.2mφ削土加圧式 推進機の開発

関東電気工事(株) 亀田 靖 人
日立建機(株) *細 谷 好 繁

1. まえがき

最近のシールド工事、推進工事では従来以上に小口径化の動きが顕著である。

小口径シールド、小口径推進機の配慮すべき点として ①、掘削手段および切羽の安定をどの様な方法で行うか ②、掘削土砂をどの様な方法で推進立坑まで搬送するか ③、坑内無人化を図るため機械の姿勢制御、測量をどの様な方法で行うか 等をあげる事ができる。

今回、関東電気工事(株)殿と共同開発を行った1.2mφ削土加圧式推進機は密閉式推進機のチャンパー内土砂により切羽の安定を図り、チャンパー壁面土圧計により土圧を検出し、元押速度の増減一次スクリーコンバヤ回転数増減で土圧管理を行いながら推進し、二次スクリーコンバヤにより立坑までの排土を行うものである。

また推進機にはテレビカメラを設け立坑からの基準点となるレーザービームを受光し、操作盤面に表示すると共に、全遠隔操作方式とし坑内無人化を図ったものである。

二次スクリーコンバヤについては砂層での予備実験を行い、続いてシステム全体としての実証テストを行ったが良好な結果を得る事ができたので報告する。

図-1に1.2mφ削土加圧式推進機のシステム全体図を示す。

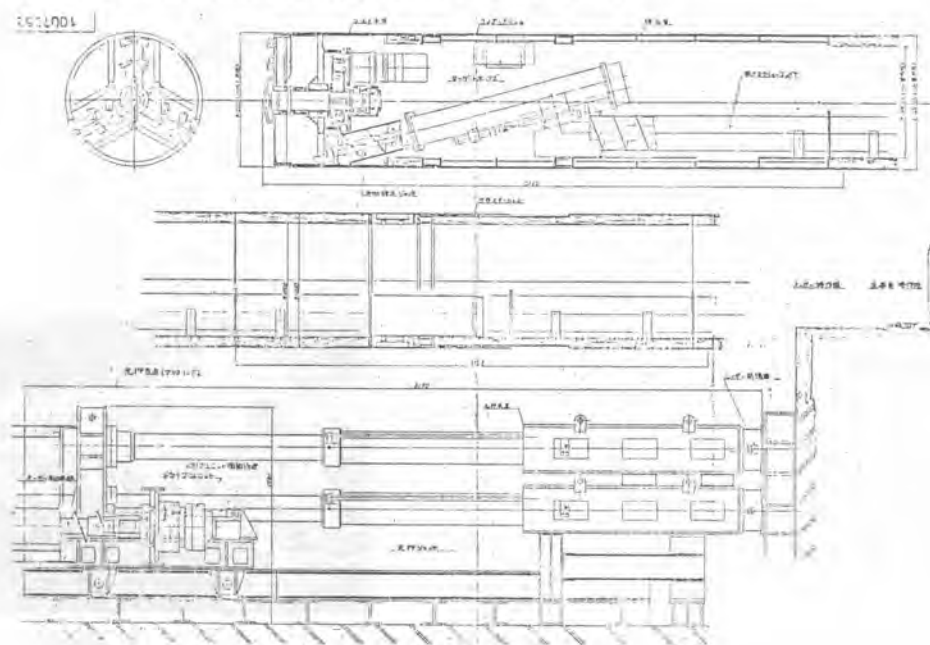


図-1. 1.2mφ削土加圧式推進機システム図

2. 予備実験

実機設計、製作の前に二次スクリーコンバヤについてのみ予備実験を行った。

100mの水平搬送について砂層で確認を行ったものである。実験結果を図-2、図-3に示す。

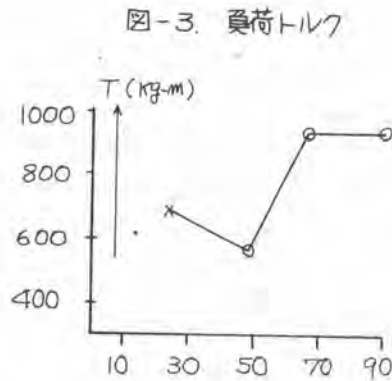
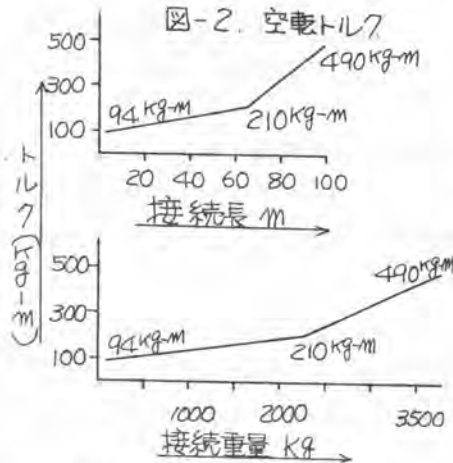


図-2は逐次スクリー軸を接続延長していき、各長さ毎に空転時のトルクを計測したものであり、図-3はケーシングの4点に観測孔を設け、排土先頭部が測点を通じた時のトルクを測定したものである。2種のスクリー軸を使ったため自重相異なるトルク屈折点が見られるが当然ながら接続長さの伸長に伴い、ほぼリニアである。図-3については中央部分に排土が進みスクリー軸を浮かせる結果となりケーシング、スクリー軸間の抵抗が軽減されたものと判断する。

3. 掘進機

密閉式とし、掘削土質により減摩材供給可能、面板着脱方式、後続管設置、電気品ターゲット、方向修正ジャッキ用パワーユニット、ジャッキ、ゲートのストロークセンサー等を内蔵。

4. 元押し装置

ストラットの盛り替え等、段取りに要する時間を縮減するため150t×3250St×4本の2ストローク元押しジャッキを採用した。又、プレスリング上にはスクリー軸駆動のドライブユニットを揺動自在に取付け、軸接続の時間短縮を図った。図-4に元押し装置を示す。

5. 二次スクリーコンバヤ

予備実験の結果を踏まえ、土圧制御を行う一次スクリーコンバヤの2倍の排土能力とし、基本長2.43mのものを逐次接続していくものとして設計を行った。

主仕様は下記の通りである。

刃径：φ280 回転数：0~23 R.P.M.
 電動機：55KW トルク：最大 2500kg-m

油圧ポンプ：134/209 l/min at 210/140 kg/cm² 図-4. 元押し装置

軸接続 六角アダプタージョイント方式

ケーシング接続 相フランジボルト接続方式



ケーシング支持：下半120°湾曲をり3点支持。
 外部配管：減摩材用2本，ケーブル2本。
 図-5に ヒューム管内ケーシング，スクリー
 ュー軸の設置方法を示す。



図-5 スクリュー設置方法

6. 制御

ヒューム管内径1000mmの内部にφ318.5
 のケーシングがあり狭隘なため推進機は全速隔
 操作とした。

土圧表示，方向修正ジャッキのストローク表示，

スクリーューゲート開度表示，ピッチングローリング表示，

レーザ光受信モニター表示，その他を立坑下設置の操作盤に集約し，ワンマンコントロールを可
 能とした。

図-6に操作盤を示す。



図-6 操作盤

7. 実験施工

関東ローム層，N値2~3，土被り2.3m

掘進距離 98.34m（途中，一部区間は模擬
 地盤として滞水砂層を形成）

地下水位 管底以下。

上記条件で実験施工を行った。

実験データを図7-1，図7-2に示す。

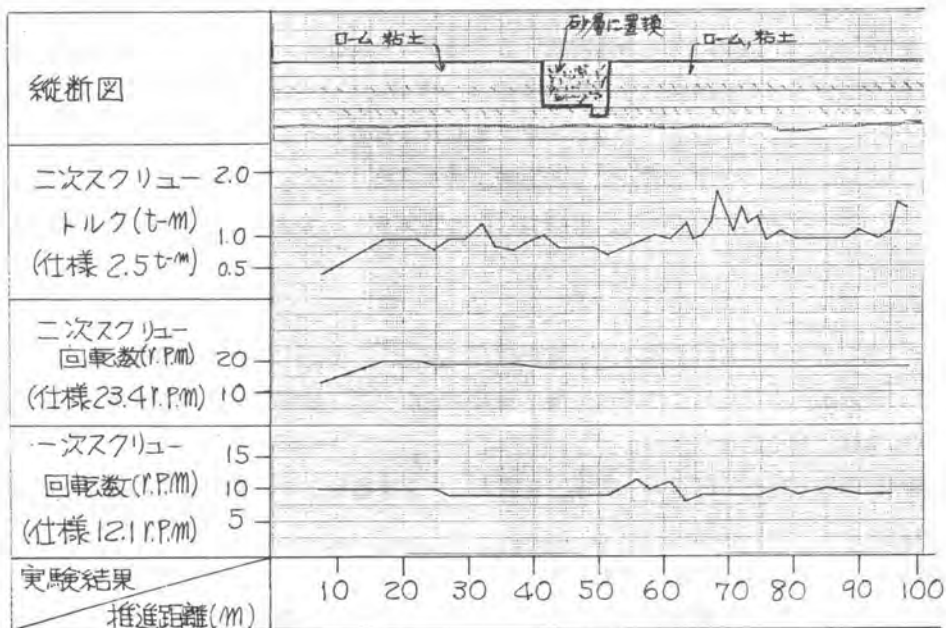
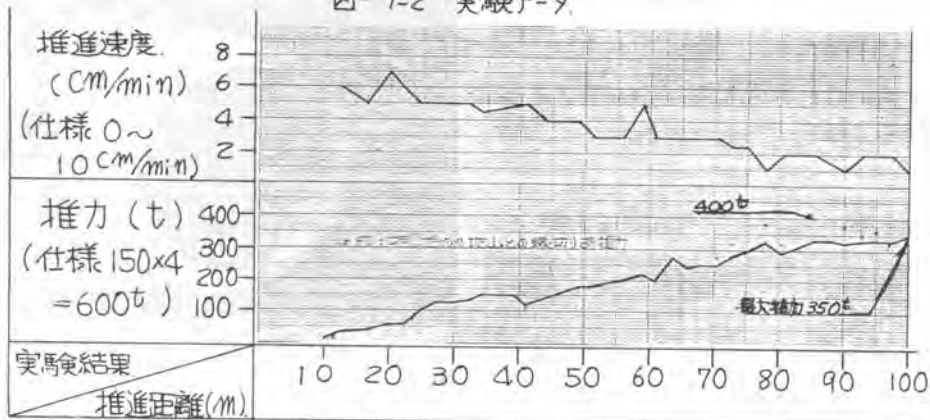


図-7-1 実験データ

図-7-2 実験データ



8. 実験結果のまとめと考察

- (1) 二次スクリーコンバヤの仕様は予備実験における空転時のトルク、土砂搬送時のトルクと排土量、搬送効考スクリー軸とケーシング間の摩擦係数などを基に設計を行い、トルクは最大2.5 t-M, 回転数 0~23.4 R.P.M の仕様値としたがトルクのピーク値は 1.7 t-M であり今回同様土砂搬送の場合、トルク余裕分で推進距離の伸長を図る事ができる。
- (2) 又、推進速度から求められる掘削土量と、二次スクリー回転数の度係から排土効率(充填率)を求めた結果二次スクリーコンバヤの回転数も十分な能力がある事が判った。
- (3) スクリー軸、ケーシングの接続については工事初期に多少時間を要した。段取り時間の縮減を図り全体としてのスピードアップを行う
- (4) 推進能力 算定推力 500t に対し稼切り推力は 360~400t に達した。
ヒューム管周辺への減塵材注入の遠隔操作を今後考えていきたい。
中押し装置は装備したが使用せず、動作確認のみ行った。
- (5) 方向制御性、モニター表示によるレーザー基準点の位置および移動表示、方向修正ジャッキストローク表示によるマニュアル操作とした。推進機の姿勢はこれらの表示とピッチングローリング計の併用により把握可能であった。今後はGPU使用とし、システムアップを図り精度の向上、省力化を図っていく。

9. あとがき

スクリーコンバヤによる排土搬送、全遠隔操作制御という課題にひとつの解答、方向づけが得られたものと考え。本年6月には滞水砂層(最大径 50mm の礫混り)の施工を完了し、各機能を実証する事ができた。

開発機種という事で終始 御指導と御協力を賜わった関東電気工事の関係各位に深く御礼を申し上げます。

尚、より詳細については下記文献を参考にされたい。

日本プロジェクトリサーチ講演会テキスト(84.7) P40, 亀田。

5. 小口径泥水推進工法の開発

(株)奥村組 増田 正和・*園部 富士雄

1. まえがき

近年、大都市周辺や地方都市の下水道網充実の動きにともない急速に増えつつある小口径管推進工事に対して各種の施工法が開発されている。その多くは圧入方式やオーガー方式である。しかし、これらの工法は流砂現象を起し易い滞水砂層で施工する際、切羽から地下水と一緒に土砂が流入し、地表面の沈下や陥没を起し、施工不可能になることがある。一方、このような問題が起きにくい泥水推進工法はシールド機の内寸寸法上の制約やトラブル発生時の対処が困難なためにヒューム管内径600mm以下は実用化されていなかった。

本報告は当社開発の小口径管泥水推進工法（OCAMS/PS工法）をより小口径化して、ヒューム管内径250mm、施工延長100m程度まで施工可能にした超小口径泥水推進工法（OCAMS/SM工法）に関するものである。なお、本工法で使用するOCAMS/SM機は使用ヒューム管径により3タイプに分類している。タイプⅠ（φ250～300）ではヒューム管耐力、管内スペースの関係から仮管方式を採用し、タイプⅡ（φ300～400）、タイプⅢ（φ450～500）ではヒューム管直押し方式を採用している。ここではタイプⅠの仮管方式を主に報告する。

2. 工法の概要

地上の泥水タンクから送泥管により泥水を切羽に送り、切羽地盤の安定を図りシールド機で掘削しながら発進立坑に設置した圧入装置によりシールド機と仮管とを推進させる。掘削土砂は排泥管を通じて泥水と一緒に地上へスラリー輸送する。仮管を接続しながら推進作業を到達立坑まで行い、推進が完了すれば、次に仮管の後部にヒューム管を接続し、圧入装置でヒューム管を前方へ押し仮管とヒューム管とを置換える。図-1に工法概要を示す。泥水処理設備は小口径のため掘削土量が少ないので、コンパクトなものを使用している。

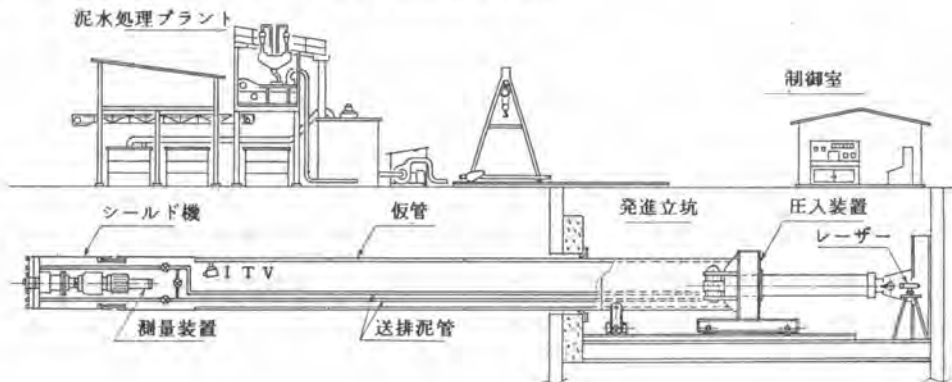


図-1 工法概要

また、本工法では地上の制御室にコンピュータを設置し、シールド機の運転に必要な情報はすべてカラーグラフィックディスプレイに表示し、シールドの運転操作はすべて遠隔操作している。操作項目のうち、方向制御、環流制御の2項目は自動化しており、運転者の負担の軽減、および施工精度の向上を図っている。

3. OCAMS/SM機の仕様

本機の開発に際し、機械構造の簡素化と小型化を考慮し、その上で小口径管の長距離、高精度推進という条件を満足するように設計した。表-1に機械仕様、図-1にシールド機の構造を示す。

表-1 OCAMS/SM機仕様

| 項目 | I | | II | | III | | |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| | 250型 | 300型 | 350型 | 400型 | 450型 | 500型 | |
| ヒューム管内径 mm | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | |
| ヒューム管外径 mm | 360 | 414 | 470 | 526 | 584 | 640 | |
| シールド機外径 mm | 390 | 440 | 490 | 550 | 610 | 660 | |
| シールド機機長 mm | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | |
| 方向修正ジャッキ | 5t×10st×300kg/cm ² ×3本 | 5t×10st×300kg/cm ² ×3本 | 8t×10st×300kg/cm ² ×3本 | 8t×10st×300kg/cm ² ×3本 | 12t×10st×300kg/cm ² ×3本 | 12t×10st×300kg/cm ² ×3本 | |
| カッター | トルク t・m | 0.146/0.123 | 0.146/0.123 | 0.268/0.223 | 0.268/0.223 | 0.554/0.462 | 0.554/0.462 |
| | 回転数 rpm | 10/12 | 10/12 | 8.0/9.8 | 8.0/9.8 | 8.5/7.8 | 8.5/7.8 |
| | 電動機 kW | 1.5 ^{kW} ×4P×1台 | 1.5 ^{kW} ×4P×1台 | 2.2 ^{kW} ×4P×1台 | 2.2 ^{kW} ×4P×1台 | 3.7 ^{kW} ×4P×1台 | 3.7 ^{kW} ×4P×1台 |
| 油圧ユニット kW | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.64 | 0.64 | |
| 送泥管 mm | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | |
| 排泥管 mm | 65 | 65 | 75 | 75 | 75 | 75 | |
| 電 源 | AC 50/60Hz・3φ・200/220V | | | | | | |

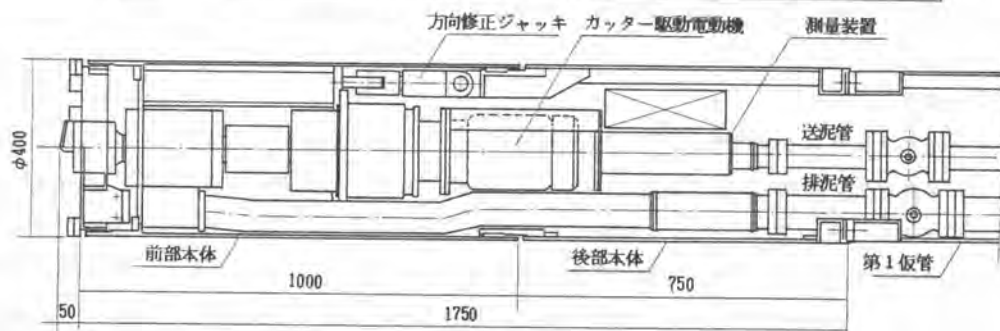


図-2 OCAMS/SM機構造 (φ 250型)

(1) カッターヘッド

種々の土質に対応できるようにカッターヘッドは密閉型構造にして、掘削土砂を取込むためのスリットを設けた。また、スリットには推進停止時に土砂の流入を防ぐ装置を取付けた。

(2) カッターヘッド駆動

カッターヘッドの駆動はシャフトを直接駆動するセンターシャフト支持方式である。

駆動には新たに開発した小型で高トルク、高減速比の減速機付電動機を採用した。この方式にすることで油圧駆動方式のような後方設備が不用になるとともに、起動トルクおよび瞬時に大きなトルクが得られるので、高い掘削力が確保できる。

(3) 方向修正装置

シールド機カッターモーター後部に取付けた測量装置内のターゲットには光点位置検出用セン

サーを使用している。方向修正ジャッキは120度ピッチで3本取付けている。また、その各々のジャッキにはストロークセンサーを内蔵させている。

(4) 送排泥装置

推進管径が小さくても対象地盤の条件は変わらないので、極力大きな碟を取込めるように送泥には呼び径50mm、排泥には呼び径85mmの管を使用している。配管ラインには仮管接続時や掘進停止時の切羽水圧保持のために遠隔操作が可能なバルブをシールド機内の送泥管、排泥管、バイパス管に設けている。

送排泥ポンプの回転数制御にはインバータ方式を採用し、従来の電磁カップリングによる方式よりも騒音を小さくし、小型で汎用性のあるポンプの使用を可能にしている。

(5) 圧入装置

超小口径管推進専用の2回押し圧入装置を開発した。この装置は両側2本の圧入ジャッキ(80t×1350mm)の間に仮管またはヒューム管を抱込み圧入する。

本装置を使用することにより、立坑長さを4.8mに縮小でき、圧入ジャッキのピンを1回差替えるだけで仮管、またはヒューム管1本分の圧入ができる。

(6) 仮管

本工法のうちタイプI(φ250～300)で使用する仮管は、両端フランジの外周部に段差を設け、はめ込み式にし、4本のボルトで、仮管相互を連結する構造にした。また、電線やエアースホースなどの収納スペースとして、外部から挿入可能なダクトを設けて、仮管接続時のジョイント作業を不用にしている。

4. 計測制御システム

計測制御システムで用いる装置は図-3に示すように検出部、演算部、操作・表示部、制御部で構成している。このうち、検出部と制御部はシールド機内および発進立坑周辺に設置し、演算、操作・表示部、記録部は地上の制御室内に設置している。

(1) 検出部

検出部は各種センサーで構成しておりそれらセンサーを各機器に取付けて、シールド運転に必要な情報(約40項目)を連続的に検出して演算部へ出力している。

(2) 演算部

演算部は2台のマイクロコンピュータで構成している。1台はプログラマブルコントローラであり、他の1台は18ビットのプロセッサと128kBの記憶容量を持つパーソナルコンピュータである。前者はデータの入力、論理判断、出力などの処理を行う。後者は数値計算を要する演算と表示、記録のためのデータ処理を行う。

(3) 操作・表示部

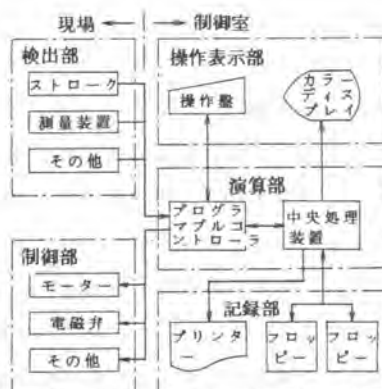


図-3 計測制御システム

掘進や機械稼働状況はすべて操作盤とカラーグラフィックディスプレイ（14インチ、840×400ドット）に表示している。バルブの開閉のようにon-off動作する機器は操作盤のランプに、切羽水圧などの連続的な物理量はカラーグラフィックディスプレイにグラフ表示あるいはデジタル表示している。

（4）記録部

演算部への入出力データはすべてフロッピーディスクに記録している。データの中で特に重要なものはプリンターで印字させる。記録間隔は任意の掘進距離を指定することができる。

（5）制御部

制御部は人間の手足の代りとなるもので、各機器を駆動する機能を持ち、プログラマブルコントローラからの信号により各機器の制御を行っている。

5. 自動制御

シールド機を最適稼働させ、より良い品質のものを能率的に施工するには多数の機器の操作時期や操作量の判断を的確にすることが要求される。多数の操作項目があるなかで特に操作頻度が高い方向修正と環流の2項目について自動化を行い、シールド運転者の負担を軽減している。

（1）方向制御

方向修正は施工計画線を中心とするある幅の領域を設定し、この領域を修正の基準にしている。すなわち、シールド機の変位が領域内にあるときには変位に感応せず、領域からはずれているときにはコンピュータが必要ジャッキの選択、およびそのストロークのチェックを行い、ジャッキ制御信号をプログラマブルコントローラに転送する。信号を受取ったプログラマブルコントローラは、必要ジャッキの電磁弁を動作させるとともに電磁弁からのアンサーバック信号を受取り、コンピュータに信号を転送する。コンピュータはその信号をもとにカラーグラフィックディスプレイの書換えを行う。

（2）環流制御

切羽水圧、排泥流量の目標値を設定すると、現在のポンプ回転数、切羽水圧、排泥流量をデータとして演算を行い、切羽水圧、排泥流量が目標値になるように送泥、および排泥ポンプの所要回転数を信号にして出力する。

また、何らかの原因で切羽水圧、排泥流量が目標値から大幅にずれた場合、ただちに推進停止信号をプログラマブルコントローラに出力し、圧入を停止させるとともに、環流状態を切羽環流からバイパス環流に切替えるための信号を出力する。

6. あとがき

OCAMS/SM工法は従来の泥水シールド工法の利点を生かし、より小口径化した工法である。本工法の開発により従来の圧入工法やオーガー工法では施工困難な地盤もより安全に施工が可能になるだけでなく、より長距離推進が可能になった。今後、より広範な地盤に適用でき、より安価な施工法にするための研究、改良を進めたいと考えている。

6. 切羽における原石一次破碎とベルコン輸送

㈱栗本鉄工所 藤原文夫

1. まえがき

各種鉱山および砕石業界においては、その生産性向上について研究開発が重ねられ、特に建設機械については多様な機種が使用されており、各々の特徴を生かした工法が実施されている。

原石輸送について見れば、一部の石灰鉱山等において切羽での原石一次破碎～立坑・ベルコン輸送を行っている例があるが、一般的にはショベルローダ等による原石の積み込み～ダンプ輸送が大半である。原石処理のコンベア輸送化は古くより、操業面・コスト面でその優位性が挙げられており、各種の試みが為されているが、実施にあたっては、切羽の地形的条件・移動式破碎機の機能等の合理的組合せが必要であり広く採用されるに致っていないと云えるであろう。

従来より使用されている移動式破碎機の例としては、主に石灰鉱山等向けの大容量一次破碎ユニットとしての「モービルクラッシャ」、一般切羽設置用の「スキッド型一次破碎設備」等があるがいずれも移動に際しては相当の日数と費用を必要とし、ロードアンドキャリー工法の利点をフルに発揮するには致っていない。

本報告で述べる「ウォークジョー」一次破碎ユニットはこれらの点を解決すると共に輸送コストの面から見た原石処理方法に対して新工法を提言するものである。



概略仕様

設備型式：W J II S
破碎能力：Nor. 3 0 0 T/H
破碎機：4 8 4 2 ST
 ジョークラッシャ
供給機：1 4 0 0 巾
 特重エブロン
 フィーダ
総モータ容量：約 1 8 0 KW
標準ショベル：約 3.5 m²級

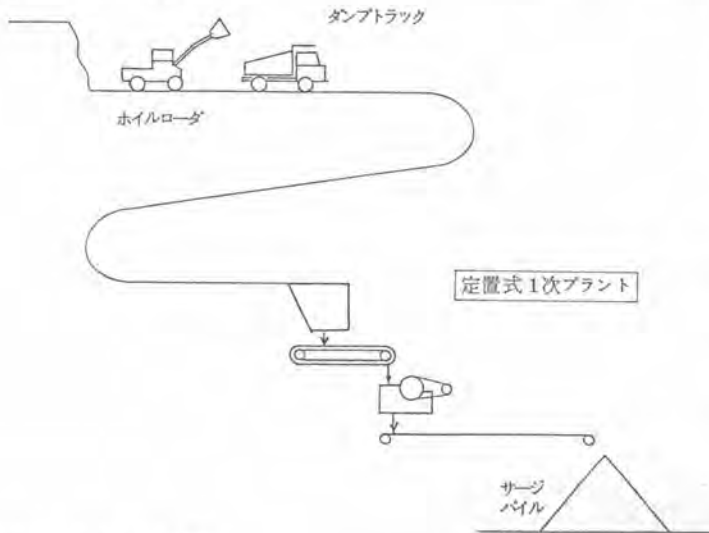
写真 1. 稼働中の「ウォークジョー」1次破碎ユニット(WJII S型)

2. 工法および設備の概要

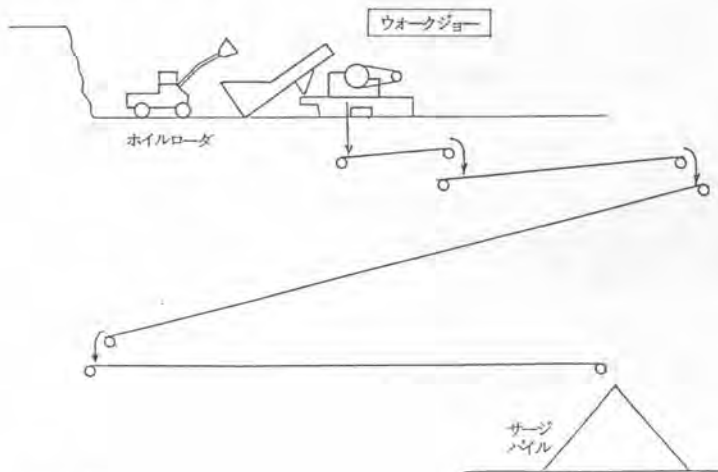
<工法の概要>

従来のダンプ工法との比較は下の図・1に示すとおりであるが、「ウォークジョー工法」ではダンプトラックによる原石の輸送を廃し、原石をベルトコンベア輸送に適するサイズになる様、切羽にて直接一次破碎する事をその最大の特徴とするものである。切羽にて一次破碎を行うに際しての課題は、積込機として使用するホイールローダのR&Cの効率をいかに高く保持するかと云う事であろう。本機では以下に述べる如く、設置・移動が極く短時間に行え、切羽の進展に伴う破碎機の設置場所を常に1台のホイールローダでの積込に最適の距離（一般的には30～

〔従来のダンプ工法〕



〔ウォークジョー工法〕



図・1

50mと考えられる)に保持が可能である。この場合切羽近辺における破碎ユニットと輸送用メインコンベアとの連絡は数本のジョイントコンベアを設置する事により容易に解決できるものである。

<本工法による利点>

- 1) 切羽の進展に伴い随時破碎機を移動でき、積込機の機能をフルに発揮できる。
- 2) 破碎機設置用のコンクリート基礎が不要である。
- 3) エプロンフィーダの使用によりクラッシャの稼働効率が高い。
- 4) ダンプレス工法の為天候条件等による影響を受けず連続運転ができる。
- 5) コンベア輸送により、原石輸送コストが大巾に低減され、ダンプ輸送に比較して1/2~1/5となる。(コスト比較は以下に評述)

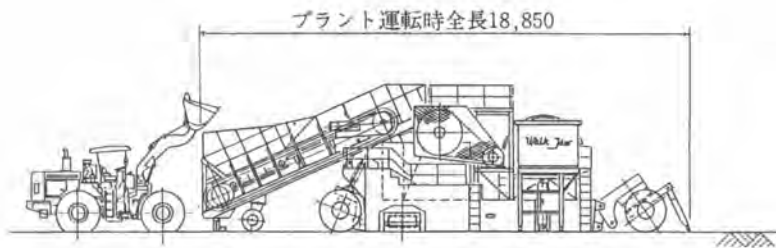


図 - 2 運転中の「ワークジョー」(WJIS型)

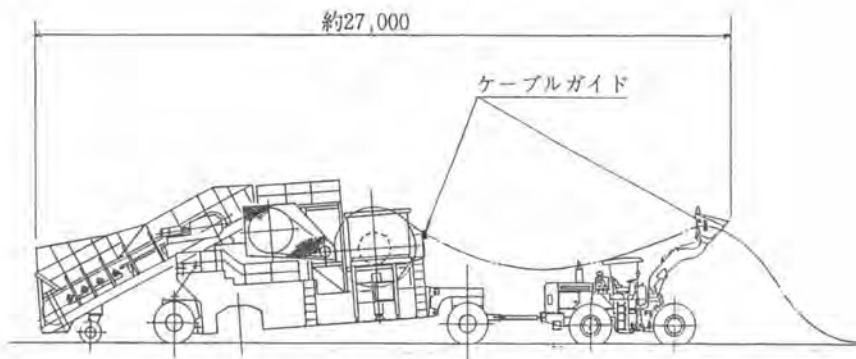


図 - 3 移動中の「ワークジョー」(WJIS型)

<設備の概要>

本機は直接切羽に設置・運転され、採掘計画に沿って任意に移動可能であると云う点を基本方針として設計されたものである。破碎機は一般的な一次破碎機であるジョークラッシャとし、供給機としてはエプロンフィーダが組み合わされおり、クラッシャを搭載するスキッドフレームには移動用車輪・油圧ユニット・油圧ジャッキ・運転制御盤・排出用ベルトコンベア等がコンパクトに配置されている。(図・2参照)

破碎機の運転時にはスキッドフレーム下面が直接路盤に接地し、運転時の動荷重は一切車輪には働かず、特殊設計によりフレーム本体の振動は極小に軽減される。

移動に際しては油圧ジャッキによりスキッドフレームを押し上げ、前・後部の車輪にて全荷重を支持する態勢が取られる。(図・3参照) 移動は積込機自体を利用しての牽引により行われ、特殊な重機類を必要としないものである。

更に、ベンチ間移動については、車輪に装備されたブレーキ装置によりスムーズに行う事ができ、概略1/10程度の勾配にて登坂又は降坂が可能である。(この場合重機は傾斜推力に見合った重量のものが必要である)

3. 原石輸送コスト比較

標準的な例として、月産5万トンおよび8万トン級の砕石場をモデルとして、切羽から原石ホッパー迄の距離を仮定しコストを試算するものとする。

〔設定条件〕

1) ダンプトラック

5万トン級：20トン

8万トン級：32トン

2) ダンプ走路巾

約10m

3) 走路平均勾配

約10%

4) 年間稼働時間

1920Hr

5) 走路維持

モータグレード及び

散水車使用

6) 動力費

年間平均 16円/kWh

7) ダンプトラック経費

耐用年数：6年

残存価格：15%

人件費：4百万円/年・1名

機械管理費率：年間6.5%

燃料費：80円/ℓ

オイル費：300円/ℓ

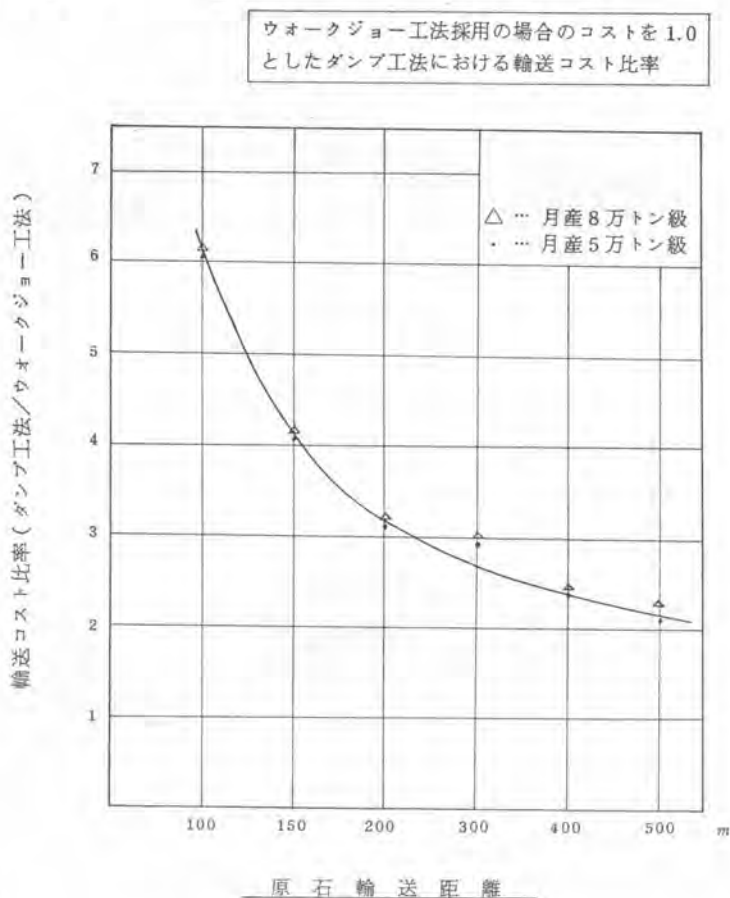
計算結果は図-4のグラフに示すとうりであるが、プラント規模によらず概ね1/2~1/5の比率となる事がわかる。

4. おわりに

原石輸送コストの低減を目標に開発された新工法であるが、現在破砕ユニットとしては、WJIS~WJIN(200~700T/H)までをシリーズ化しており、今後一層の活用と採石技術の革新を期待する次第である。

図-4

原石輸送コスト比較



7. 拡幅式地盤改良工法(SWING工法)の開発

大成建設(株) 小寺 秀 則・川崎 宏 二・*矢倉 哲 夫
切田 重 實

1. まえがき

最近我が国の都市土木工事では、立地難のため対象とする地盤がますます悪くなり、埋立地やビート地盤等の軟弱地盤上に大規模な構造物が建設されたり、既設埋設物が入り組んだ地盤で施工したりすることが多くなっている。このような背景のもとで、地盤改良工法に期待される効果は次第に大きくなりつつあり、新しい有用な工法を開発普及することが望まれている。

SWING工法はその試みの一つとして、深層地盤の改良を目的に開発されたもので、従来の工法の長所を取り入れた適用範囲の広い工法を目指している。

2. 本工法の位置づけ

深層地盤改良工法には改良原理で分類すると、1. 機械的な方法、2. 圧密による工法、3. 締め固めによる工法、4. 化学的改良工法、5. その他の物理的工法、の各工法があるが、環境保全の面で公害を出さず信頼性の高い工法として、近年では化学的改良工法が広く用いられつつある。

化学的改良工法を分類すると、主なものとして深層混合処理工法、高圧噴射攪拌工法、薬液注人工法等がある。

深層混合処理工法は、石灰やセメントなどの粉末状や懸濁液状の化学的固化材を改良しようとする土に添加し、現位置で混合して改良土を深層地盤中につくる工法で、固化材、その供給方法、混合方法によりいくつかの工法が開発されている。

高圧噴射攪拌工法は、ボーリングマシンにより所定の深度まで削孔した後、ロッドの先端から固化材を超高圧で噴射し、地盤を切削しながら土粒子とグラウト材料とを混合攪拌したり、置換により地盤の強度を増やしたり止水性を高めたりする工法である。

薬液注人工法は、最初に地盤への浸透性がよく、一定の時間後に固結する材料を細い管を通じて地盤中の所定の位置に圧入し、地盤の一部の強度増加や止水を図る工法で、広範囲で使用されている。

これらの工法を比較すると、表-1のようになる。これによると、高圧噴射攪拌工法と薬液注人工法とは多くの点で類似した特徴を持っており、深層混合処理工法と対比することができる。

深層混合処理工法は、大むね広いスペースを持った現場に適しており、コストも安く一般的であるが、大型機械を使用しているため小回りが難しく、また最近多い、既設埋設物のある地盤などには不向きである。

一方、高圧噴射攪拌工法や薬液注人工法は、施工機械も小型で小回りがきき、既設埋設物の周辺の施工も十分に可能であるが、高圧で地山を掘削するために、近隣の構造物に影響を与えたり、地下水によって思わぬ所で固化材が流入したりするケースもあり、周辺状況をよく把握する必要がある。

そこでこれらの長所を合わせ持つ工法が開発されれば画期的な工法として広く受け入れられるもの

と考え、開発したのが拡幅式地盤改良工法—SWING—である。

表-1 各工法の比較

| 項目 \ 工法 | 深層混合処理工法 | 高圧噴射置はん工法 | 漿液注入工法 | SWING工法 |
|---------------|-----------------------------------|--|--|--|
| 改良ゾーンの範囲 | 地表面から大口径の改良範囲となり、不必要な所まで地盤をゆるめる。△ | 地表面からは小口径で、所定の深さで大口径に施工し、不必要な所はゆるめない。○ | ロッドによる注入であるため、不必要な所はゆるめない。○ | 地表面からは小口径で、所定の深さで大口径に施工し、不必要な所はゆるめない。○ |
| 改良ゾーンの 確實性 | 改良ゾーンが確實で、固化材も有効に使用できる。○ | 改良ゾーンが充分はっさりしているとは言えない。固化材の投入量が多く、覆はんが悪い。△ | 注入ゾーンがはっきりしないため、その効果はいま一つである。注入材が走って2次公害の恐れもある。△ | 改良ゾーンが確實で、固化材も有効に使用できる。○ |
| 改良強度 | 改良強度に幅をもたせることが可能。○ | 高強度になってしまい、強度調整ができず、将来掘削する場合に問題が生じることがある。△ | 改良強度に幅がない。△ | 改良強度に幅をもたせることが可能。○ |
| 適用範囲 | 取説構造物がある時、施工が無理の場合もある。△ | 取説構造物があっても充分施工が可能。○ | 注入工法のため、左配と同様施工が可能。○ | 取説構造物があっても充分施工が可能。○ |
| バースマシン | 大型 △ | 中型 ○ | 小型 ○ | 中型または小型 ○ |

3. 本工法の概要

本工法で使用する機械は、図-1に示すように、拡幅装置を備えた本体、固化材プラント、圧送プラントおよび施工管理用流量計から成る。

拡幅装置は写真-1、2に示すように、一枚羽根の攪拌翼が拡幅装置内に収納されており、必要時に油圧ジャッキにより90°回転させて拡げ、拡幅施工する。

施工方法は、図-2に示すように、まず攪拌翼を収納した状態で削孔し、所定の深度に達したところで攪拌翼を拡げ、改良範囲を拡幅削孔しながら固化材を注入し、施工するものである。

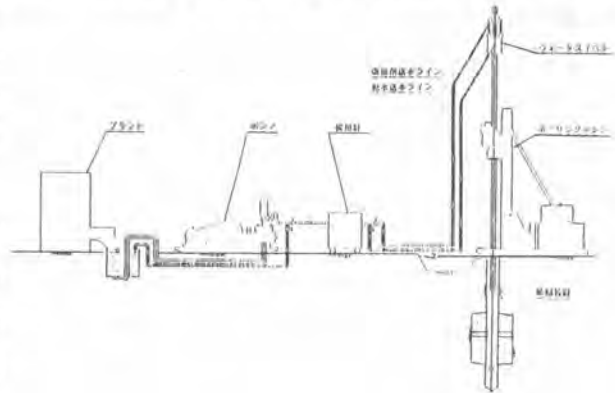


図-1 装置配置図

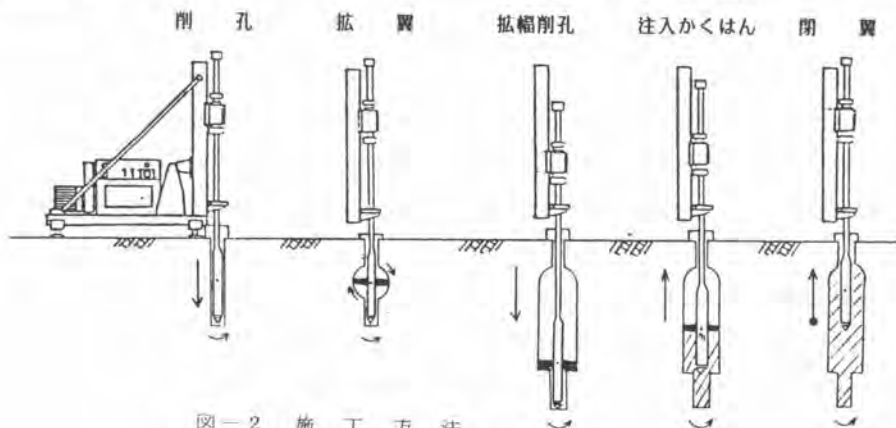


図-2 施工方法



写真-1 拡幅装置(φ1000)



写真-2 拡幅装置(φ2000)

4. 本工法の特徴

以上のような施工法により、本工法は次のような特徴をもっている。

- 1) 比較的小型のベースマシンにより、改良範囲も融通がきく。
- 2) 小口径のロッドを用い、しかも改良ゾーンは大口径である。(現在φ1000とφ2000の2種類のものがある。)
- 3) 改良ゾーンが確実に形成され、改良強度に信頼があり、止水性も確保できる。
- 4) 地中に既設埋設物があっても、その部分が施工の障害にならず、またその近辺も施工が可能である。さらに埋設物と連続して施工ができる。
- 5) 改良の不必要な地盤を素通りして施工の対象から外すことができる。
- 6) 地盤中の任意の位置で改良地盤を形成でき、強度と止水性が保たれる。
- 7) 対象地盤として、粘性土でN値4以下、砂地盤でN値10以下の軟弱地盤が施工できる。

5. 現場実験

神奈川県大和市において、本工法の現場実験を行なったので、その結果について述べる。

1) 土質条件

実験の対象地盤は、神奈川県大和市のN値4～6、GL-1^m～-5^mの関東ロームで、含水比13.4%、湿潤密度1.26のほぼ均一な地層である。

2) 実験方法

実験に使用した拡幅装置は2種類で、攪拌翼を収納した状態でφ300、φ500、拡幅後の直径がそれぞれφ1000、φ2000のもので、吐出口位置、攪拌昇降速度、回転数、攪拌回数、注入量等を変化させて、改良実験を行なった。

3) 配合

注入固化材として、 $\phi 1000$ の場合普通ポルトランドセメント、減水早強型混和材をセメント重量の1%添加し、水セメント比を6.0とした。 $\phi 2000$ の場合、特殊セメントを使用して実験を行なった。

現場実験後材齢8週でコアサンプリングにより一軸圧縮強度試験を行ない、現場強度Fとした。これと併行して室内で小型ミキサーにより充分攪拌した配合試験を行ない、室内強度Rを求め、攪拌効率入に F/R を算出した。実験結果を表-2に示す。

表-2 実験結果

| ケース | 拡幅径 (ϕ (mm)) | 投入 セメント量 (kg/m ²) | 施工 パターン | セメント 吐出口 | 回転数 (r.p.m) | 昇降 速度 (cm/分) | T 混合時間 (分/m) | R 室内強度 (kg/cm ²) | F 現場強度 | $\lambda = \frac{F}{R}$ |
|------|-----------------------|-------------------------------------|---|-------------|----------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|-----------|-------------------------|
| NO.1 | 1000 | 260 |  | 翼裏 | 30 | 45.0 | 6.67 | 6.73 | 7.22 | 1.07 |
| 2 | 1000 | 280 |  | ッ | 15 | 20.7 | 4.83 | 9.20 | 5.72 | 0.62 |
| 3 | 1000 | 300 |  | ロッド 先端 | 30 | 23.4 | 12.82 | 9.74 | 11.99 | 1.23 |
| 4 | 1000 | 320 |  | 翼裏 | 15 | 21.8 | 13.76 | 12.73 | 14.85 | 1.17 |
| 5 | 1000 | 340 |  | ッ | 30 | 29.0 | 3.45 | 13.72 | 12.20 | 0.89 |
| 6 | 2000 | 400 |  | ッ | 30 | 20.1 | 14.93 | 19.35 | 20.66 | 1.07 |

パターン説明

 削孔・拡幅

 注入・攪拌

6. 実験の考察

1) 攪拌回数の影響：攪拌効率入を比較すると、1回の場合には入 < 1.0 、3回の場合では入 > 1.0 となっており、攪拌回数の効果が認められた。

2) 吐出口位置の影響
 $\phi 1000$ の場合、ロッドの先端の場合も入は翼裏からの場合と同様であり相違はないが、圧縮強度はロッドの先端の場合供試体の上下方向、中心からの位置方向にかたよりが見られた。(図-3, 4)



写真-3 改良後の地盤
($\phi 1000$)

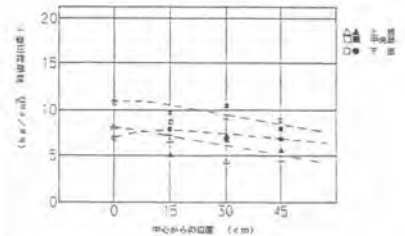


図-3 一軸圧縮強度の分布 ケースNo.1

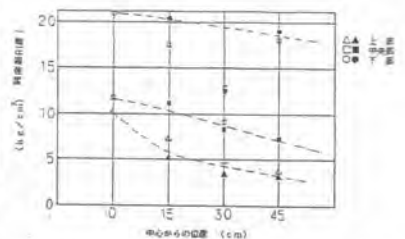


図-4 一軸圧縮強度の分布 ケースNo.3

7. 参考文献

- 小寺・川崎「深層混合処理工法における攪拌効率について」 第18回土質工学研究発表会講演集
 小寺・川崎・矢倉「拡幅式深層混合処理工法による地盤改良実験」 第19回

8. M.V.C.P.工法の施工機械と施工例

(株)大林組 *河村 邦夫・松本 伸
日平産業(株) 石田 芳男

1. まえがき

我が国の海岸地域に広く分布する堆積層や埋立て層の飽和した砂質地盤には近年、種々の重要構造物が建設されている。このような地盤に対する液状化対策工法としては、従来からサンドコンパクションパイル工法が多く用いられてきている。この工法が鉛直振動のみによって地盤に砂杭を造成して砂層を締固めるのに対して、M.V.C.P.工法(マルチバイプロ・コンパクションパイル工法)は、特殊な起振機(マルチ・バイプロ・ハンマ)を使用して鉛直振動に加えてネジリ振動、および両振動を合成した複合振動の組合わせによって、砂杭を締固めながら造成し、かつ砂を強制的に側方へ押し拡げることにより、砂杭と砂杭との杭間を効果的に締固めて均質な地盤改良を意図した新しい工法である。

特殊起振機は、この目的に沿って考案、開発された起振機で、偏心マスの回転機構に特別の工夫を加えて、鉛直振動のほかに、鉛直軸まわりのネジリ振動を発振できる。さらにこれら二つの振動の比率を随意に切換えた複合振動の選択も可能な大きな特徴を有している。

この報告では、工法の特徴と機械装置、および、これまでの施工例から、主に改良効果について従来工法と比較しながら検討した結果について、その概要を紹介する。

2. 工法の概要と特徴

図-1に示すようにM.V.C.P.工法は、特殊な起振機により発生する鉛直振動、ネジリ振動および、これらを合成した複合振動をケーシングに付したウイングを通じて地盤に伝える。工法の特徴を列挙すれば、次のようになる。

(1) 従来工法によれば、砂杭自体は十分に締固まるが杭間では所定の締固め度が不十分となり、これが問題点として指摘されることがあった。しかし、M.V.C.P.工法によれば、上記振動方式の組合せにより砂杭のみを過度に締固めることよりも、砂杭と砂杭との杭間の砂層を効果的に締固め、地盤全体を均質に改良することができる。

(2) 地震時のせん断波に近い水平振動履歴を地盤に与えておくことにより、液状化強度の増大をはじめとして耐震性のある地盤に改良することができる。

(3) ウイングを利用した鉛直、複合およびネジリ振動の締固め機構により、砂圧入率の増大が容易である。

(4) 複合振動によるウイング部のせん断貫入(ネジリ込み)、締固めによって施工速度の向上が可能である。

3. 開発の経緯

本工法の開発にあたっては、鉛直・ネジリ・複合振動を任意に、かつ瞬時に切り換えて加振できる

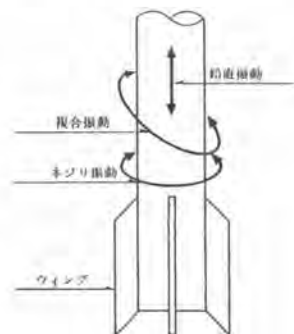


図-1. ケーシング先端部の振動方式

特殊起振機の開発が前提となった。そこで種々の設計、検討を重ねた結果、昭和55年にモータ出力60kwの中間的能力を有する試作機の開発に成功し、その後横浜市埋立て地盤における試験工事、姫路市沖積砂地盤における実際工事に本工法の適用を試みた。これらの工事結果について、地盤改良効果、施工機械の安定性、施工性などの総合的な見地から検討を重ね、従来工法に比べて数多くの利点を確認するとともに、更に、種々の改良を図ってきた経過がある。

その結果、現在の試作機的能力が前述のように中間的能力を有するものであるため、比較的浅層改良(G.L.-10m以浅)に限定されていることを考慮し、今後の大型工事に伴うG.L.-20m以深の深層改良にも対応し、しかも、施工速度の一層の向上を図るため、モータ出力120kwの高性能な大型機の開発検討を重ねてきたが、昭和59年6月、製作完成に至った。本大型機については、現場で機能確認実験を実施し、所定の機能を十分に満足することを確認している。

4. 砂杭打設装置の概要

4.1 杭打ちやぐら、および周辺機械設備

クローラ本体にラチス構造の角型リーダを取付けた杭打ちやぐら、発電機、エアコンプレッサ、昇降ホップ、ドーザショベル等から成るが、これらは従来のサンドコンパクションバイブル工法に使用されているものと同じである。

4.2 摺動装置(ガイドギブ)

振動体は、図-2のように、ダンパー、マルチパイプロハンマ、ガイドギブ、鋼製ケーシングからなる。

振動体とリーダとの取合い部分を摺動装置と称し、振動体はガイドギブ部を介してリーダに沿って上下し、ネジリ方向には自在に回転支承できる構造となっている。そのため砂杭打設中、振動体が旋回していく現象が起こるので、自動調芯によって復元させる1対のエアシリンダが装備されている。

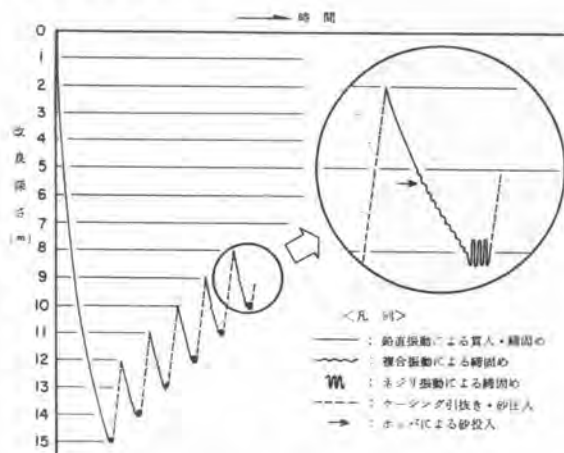


図-3 施工パターンの一例

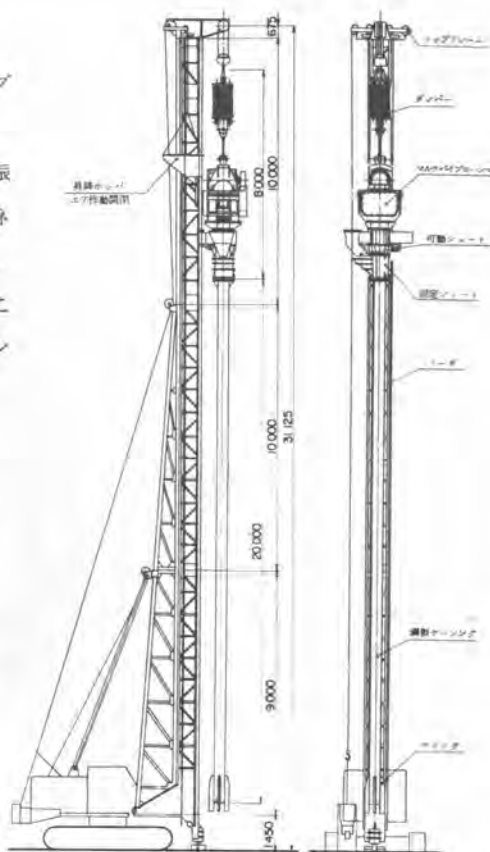


図-2 砂杭打設装置全体図

5. マルチバイブロハンマ(大型機)について

5.1 内部構造

起振力を発生する4個の偏心マスは、各2個ずつ、フロントケースとリヤケースに平面的に配置された簡潔な構造である。電動モータから偏心マスへの主伝動の伝達は、特殊高強度チェーンと平歯車を主とする伝動方式となっている。

5.2 発振原理と位相変換機構

鉛直振動、ネジリ振動または複合振動の各振動方式の発振は、図-4で模式的に示すように、起振機軸芯に対して対角線上に位置した1対の主偏心マス(①, ①')の相対的な静止のなかで、他の対角線上の従偏心マス(②, ②')の回転角の進みあるいは遅れ(これを位相差という)によって行なわれる。即ち、位相差が0°のときは鉛直振動のみ、180°のときはネジリ振動だけが発振される。鉛直振動とネジリ振動の間には、位相差±45°、±90°、±135°のような中間的発振状態が存在し、鉛直とネジリが合成された振動を発生する。これが複合振動である。図-6に各振動方式のときの鉛直とネジリの振動出力の割合と変動状態を示す。

振動方式の変換は、ブレーキ付油圧モータで遊星歯車装置を回転させ得られる。差動機構によって従偏心マスを主偏心マスに対して増速あるいは減速させて任意に指定した位相差が得られる。駆動系に設置されたセンサーで、所定の状態が検出されると油圧モータは停止するように自動制御される。

5.3 加振モードの選択制御

振動方式の変換操作は、起振機の運転を停止させることなく、約3秒の短時間で随時に行えるが、基本的には、図-3の施工パターン例のように、あらかじめ定めた計画に基づいて、ケーシング貫入深度指示値に連動して行う。



図-4 マルチバイブロハンマ振動発生原理

表-1 大型機の主要性能仕様

| | | |
|-----|----------|----------------------|
| 起振機 | 種類 | 複合振動発振形 2軸1段 |
| | 動力伝達方式 | ギヤ・チェーン(起振機内部) |
| 電動機 | 潤滑方式 | オイルバスと強制給油方式併用 |
| | 起振方式 | (動力伝達部、偏心軸部軸受) |
| 電動機 | 起振方式 | 油圧モータ駆動、ウォーム伝達式 |
| | 形式種類 | 機型全閉型外用特殊カプセル3相誘導電動機 |
| 出力 | 出力 | 120 kw — 6P |
| | 周波数・電圧 | 50 Hz : 400 V |
| 出力 | 起振方式 | スターデルタ起動 |
| | 偏心モータメント | 17000 kg・cm |
| 出力 | 偏心マス回転数 | 560 cpm |
| | 起振力 | 59.6 ton (mas) |
| 出力 | 理論衝巾 | 21.5 mm |
| | 理論加速度 | 7.6 G |
| 出力 | 回転トルク | 24600 kg・m (mas) |
| | 理論衝巾 | 1.57 mm (φ406パイ裏面) |
| 出力 | 理論加速度 | 5.5 G (同上) |

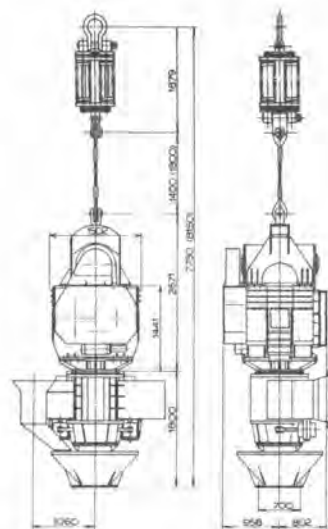


図-5 マルチバイブロハンマ大型機

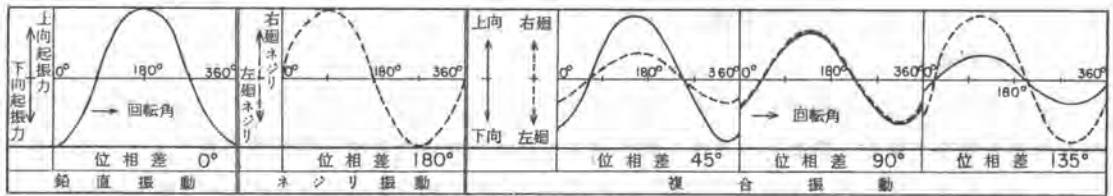


図-6 振動出力の変動 ———：鉛直振動 ……：ねじり振動

6. 施工例と改良効果

6.1 横浜市金沢区における埋立て地盤での施工例

地盤改良区域を従来工法（S.C.P.工法）ヤードと開発工法（M.V.C.P.工法）ヤードに2分し、砂杭を同じ打設条件で施工した。

その結果、N値について、従来工法と開発工法を比較したのが図-7である。図から明らかなように、開発工法は従来工法に比べて杭芯ではやや小さな値を示すが、杭間では大きな値を示す。前述のように開発工法については杭芯で過大なN値を得ることよりも杭間のN値を効果的に増大させることを意識的に期待するものであり、杭芯と杭間の改良効果の均質化の傾向が認められる。

6.2 姫路市大津区における沖積地盤での施工例

図-8に従来工法との比較結果を示す。N値については前例と同様な傾向を示している。また、杭芯および杭間を改良面積あるいは体積を考慮した換算N値で比べると、杭間N値が大きく影響して開発工法の方が大きな値を示す結果となっている。

次に耐震性についても、改良前後の弾性波速度計測によるせん断弾性係数が、いずれも開発工法の方に良好な結果が得られており、耐震性の大幅な改善がうかがわれている。

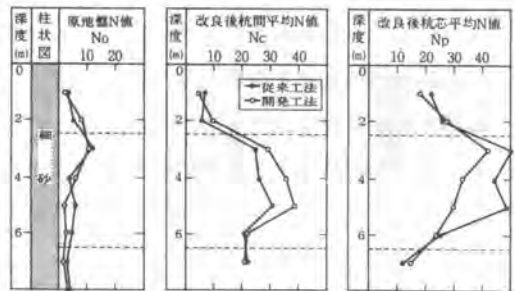


図-7 N値による改良効果の比較（横浜市）
打設ピッチ；正方形1.7m 仕上り杭径；700mm
改良深度；GL-7.0m 圧入率Fv；0.133

7. おわりに

新しく開発した液状化対策工法であるM.V.C.P.工法について、その考え方、特徴および施工例から本工法の有用性を示してきた。特に、改良効果については、当初から意図していた通り杭間でかなり満足のいく結果が得られたと解釈している。また、大型機の完成によって、さらに

強力な改良効果が期待できるため、今後種々の地盤条件に対して実績を積み重ねていく方針である。

本工法の開発にあたっては、榑大林組および日平産業榑の多数の人々の尽力を得てきている。未筆ながら深甚なる謝意を表する次第である。

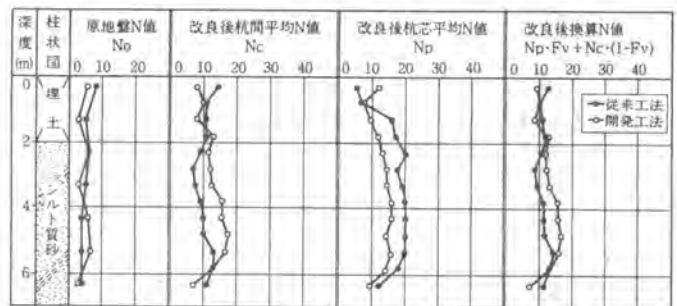


図-8 N値による改良効果の比較（姫路市）
打設ピッチ；正方形1.8m 仕上り杭径；700mm
改良深度；GL-6.5m 圧入率Fv；0.119

9. 動圧密工法における情報化施工システム

日本国土開発(株) 森 国夫・薄木 彰・渡辺 篤

1 システム開発の動機

現在、動圧密工法は図-1に示すフローチャートにしたがって施工されている。本施工におけるフィードバックは、中間調査時に行われるサンディングの結果をもとに実施されており、リアルタイムでのフィードバックは行われていない。そこでリアルタイムのフィードバックが可能な計測システムを開発する必要がある。

動圧密工法は、重錘を落下させて地盤を締め固める工法であるから、一種の貫入試験を行っていることと同じである。したがって打撃毎の重錘貫入量を計測することは、意義がある。

各種の土質に対する打撃回数と沈下土量の関係はおよそ図-2のようになる。一打撃点当りの打撃回数を多くするとクレーンの移動時間が短かくなり、サイクルタイムの面からは有利であるが、沈下土量は打撃回数に比例して増えることばかりでなく、漸減していく。つまり各種の土質において効率の良い打撃回数が存在するはずであり、むやみに同一箇所を打撃することは意味がない。ところでこの沈下土量を算出するには、打撃孔土量から浮き上がり土量を差し引かねばならない。沈下土量を管理することは、地盤の圧縮率を管理することにつながり、重要なことである。しかし、打撃孔径や浮き上がり量を計測しなければ求められず、実施工における施工管理には適さない。そこで重錘沈下量と打撃回数を計測し、これを管理することにした。

開発する計測システムの目標を次に掲げる。

- (1) 安全であること
- (2) 測定精度±3cm
- (3) オペレータ操作を増やさず

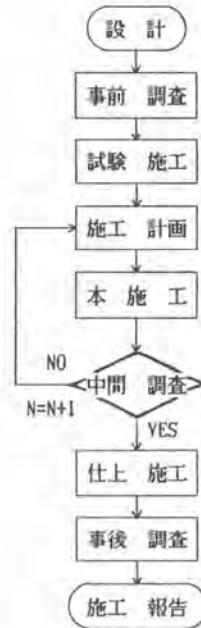


図-1 動圧密工法施工フローチャート

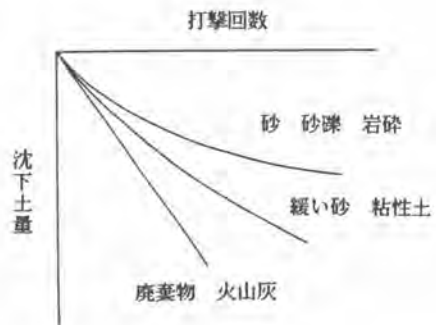


図-2 各種土質に対する打撃回数と沈下量

- (4) 取り扱いが容易であること
- (5) 汎用性があること
- (6) 日常維持管理が容易であること

2 計測システム

図-3に本計測システムのブロック図を、図-4に計測のフローチャートを示す。本システムに用いられているセンサーは、光電スイッチとひずみゲージである。光電スイッチはウィンチドラムの回転数を検出し、ひずみゲージはデータを取り込むタイミングを決める。

ウィンチドラムに反射率の異なるマークを貼り付け、光電スイッチにより、ウィンチドラムの回転数・回転方向を検出し、コンピュータに入力する。ウィンチドラムに貼り付けられたマークと繰り出されるワイヤ長さとの対応は、コンピュータ内の演算機能により補正され、ワイヤ長さカウンタの表示値は1対1で対応している。重錘沈下量は、最初の地切り時のカウンタの値と次の地切り時のカウンタの値との差分として求められ、逐次バーメータに表示されるので、施工へのフィードバックがリアルタイムで可能である。

本システムの特徴として次の4点があげられる。

(1) 規定打撃回数が可変である

規定打撃回数をあらかじめ入力しておくことにより、その回数に達するとブザー、ランプの両方でオペレータに知らせる。このことにより打撃回数のミスがなくなり、従来オペレータが手動カウンタで教えていた労力を軽減させることができる。

(2) 規定落下高が可変である

規定落下高をあらかじめ入力しておくことにより、オペレータに重錘落下時期を自動的に知らせることができ、今までの旗手による落下高の管理より優れている。

(3) 重錘沈下量が打撃毎に表示される。

沈下量の把握が逐次行え、余分の打撃を防げる。ま

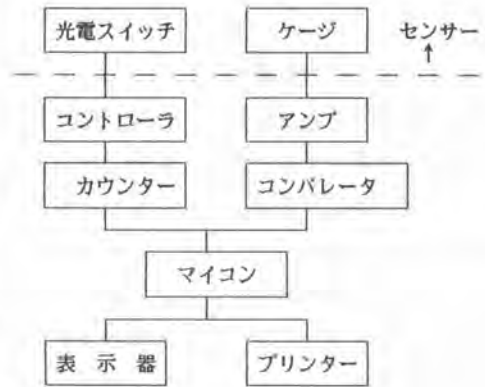


図-3 計測システムのブロック図

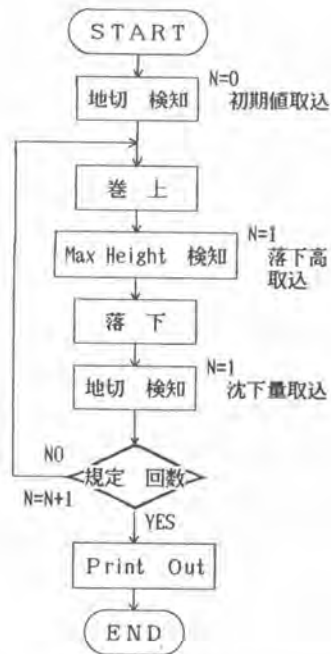


図-4 計測フローチャート

た過大沈下による地切り不能を未然に防げる。

(4) 重錘沈下量の測定誤差が小さい
 従来、沈下量の測定は重錘にワイヤが引っかいたまま行われがちが多く、重錘中央で測れなかった。そこで重錘が傾いた場合には、数点測定する必要があったが、本システムでは常に重錘中央で測っている。したがって重錘の傾きによる測定誤差が小さい。

3 計測システムによる実験

BC-740 クレーンを用い、図-5 に示すような小規模の動圧密実験を行った。実験諸元は次のとおりである。

- クレーン吊上能力：16 tf
- ワイヤ掛け数：3本掛け
- 重錘重量：2.5 tf
- マークの数：113 P/R
- ワイヤ周長： $\pi \times 47$ cm
- 規定落下高：140 cm
- 規定打撃回数：5回

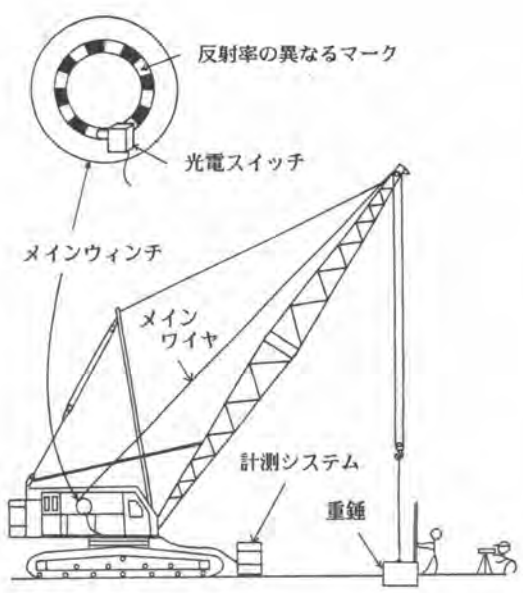


図-5 実験模型図

4 実験結果と考察

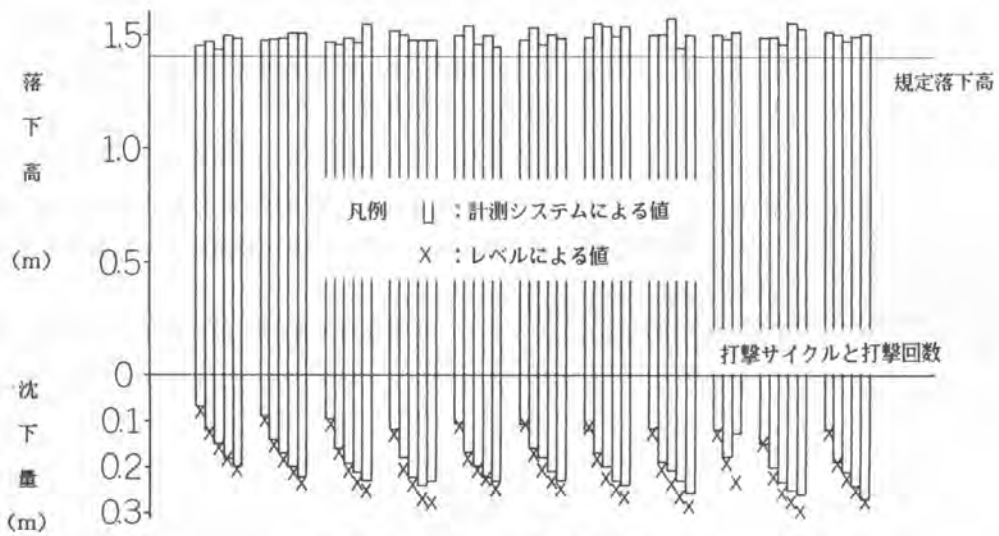


図-6 打撃毎の重錘落下高と沈下量

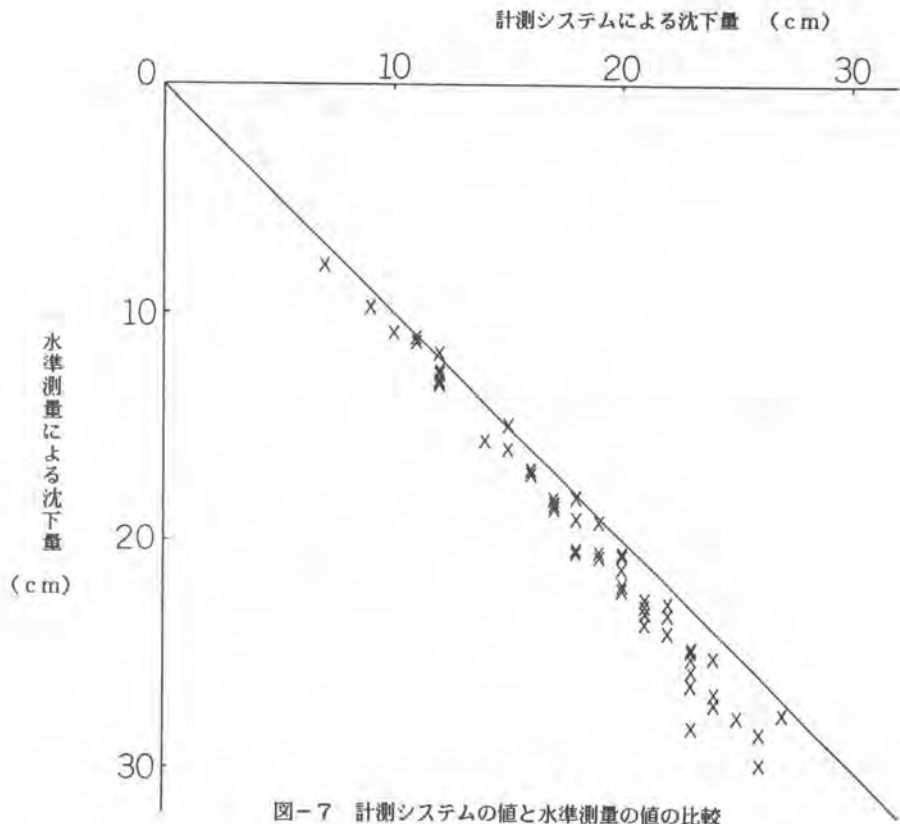


図-7 計測システムの値と水準測量の値の比較

打撃毎の重錘落下高と沈下量を図-5に示した。水準測量による沈下量より計測システムによる沈下量の方が小さい傾向にある。このことをもっと明瞭にするため、図-6のようにプロットした。ほとんどが先に述べた傾向にあることを示している。この原因は、データ取り込みのタイミングにあると考えられる。水準測量が正しいものとして、計測システムによる測定誤差は0~5cmである。

オペレータが本システムのランプ表示にしたがって重錘を落下させた。これにより、落下高がすべて規定落下高以上となった。また規定落下高に満たないで落下させた場合は、一打撃としてカウントされず、施工管理として適切であった。

本システム開発時の各目標は、ほぼ満足している。今後実規模実験を繰り返し、耐久性・耐震動性の優れたシステムとして完成させる予定である。また、この計測システムは、他の分野にも応用できる見通しである。

参考文献

- 1) 鳴海直信・野村敦雄・大倉卓美：動圧密工法による情報化施工例，土と基礎，Vol. 30, No. 7, pp. 45-53, 1982.

10. ペーパードレーン工法の新しい 施工管理システム

鹿島建設(株) 高野 耕 輔・*三浦 正 之・不動建設(株) 秋 元 明
日進地下開発工業(株) 広 島 利 夫

1. まえがき

ペーパードレーン工法は、軟弱地盤改良工事の増加に伴いその適用性および経済性が注目され、現在最も利用されている地盤改良工法の一つである。しかし、工法上の問題点として打設管に連行されてドレーン材の一部あるいはその全長が地表に向かって上昇する現象、いわゆる「共上り」の発生がよく知られており、打設したドレーン材が所定深度に残置しているかを確認する方法が実用化されていないため、従来から管理技術面の不備が指摘されていた。

そこで、ドレーン材の地中残置状況を正確に検知でき、施工に伴う共上りなどの異常をモニタリングしながら施工できる新しい施工管理システムを開発したので、その概要について紹介する。

2. ペーパードレーン工法の現状

(1) 工法の特徴

ペーパードレーン工法は、プラスチックボードドレーン工法、ボード系ドレーン工法、あるいは人工材ドレーン工法などとも呼ばれ、パーティカルドレーン系に分類される地盤改良工法の一つである。

工法の原理は、合成樹脂あるいは不織布などからなるドレーン材（通気孔を持った透水性脱水用ボード）をまず打設し、その後、盛土などの荷重によって軟弱地盤を圧密し排水させて地盤の強度増加を図るものである。特に粘性土への効果的な工法として、施工性、経済性の面からも多用されている。

現在、一般的に採用されている施工法とドレーン材の特徴を表-1に示す。

(2) 従来の施工管理方法

従来の施工管理方法は、ドレーン材の打設本数と打込み深度との記録を主体とするもので、図-1に示すようにドレーン材の繰出し量を検知する方法、あるいは打設管（ケーシング）の打込み深度を検知する方法が用いられてきた。いずれの方法もドレーン材の残置深度、破断および共上りの状況を定量的に把握することは困難であり、打設管の引抜き時に発生するドレーン材のたるみで破断や共上



写真-1 施工機械

りの発生を知る程度であった。

3. 施工管理システムの狙いと特徴

ペーパードレーン工法の施工にあたり一般に要求されている品質は、確実な施工、迅速な施工、静かな施工であり、これらを機能展開し早急に開発すべき項目を次のように決めた。

- ① ドレーン材の破断や共上りがわかること。
- ② 打設時間、残置深度、打設数量がわかること。
- ③ 共上りの修正ができること。

以上の項目に共通して要求されることは、ドレーン材の地中での残置深度を正確に検知することである。本システムは、打設管先端部からのドレーン材繰出し量を新たに開発した磁気近接式感知器で計測する方式を採用したもので、次のような特徴がある。

- ① 打設管先端部に感知装置が付いているので、地中におけるドレーン材の残置深度の把握および共上りの検知が可能である。
- ② ドレーン材の破断や共上りした場合、警報信号が出るので修正施工が可能である。
- ③ 自動記録装置によりドレーン材の地中残置深度、打設数量および打設時間が記録でき、質の高い施工管理が可能である。

4. 施工管理システムの構成・機能

(1) 全体構成

本システムは図-2に示すように

- ① 被感知材つきドレーン材
- ② 打設管先端部の感知器および打設管の深度検出器から成る検知装置
- ③ 施工機械の運転室に設置する操作・記録装置

から構成され、オペレータが施工機械を運転しながらすべての操作および監視を行うことができる。

表-2にシステムの仕様を示す。

表-1 各種ドレーン工法一覧

| ドレーン材名 | 形状 | 材質 | 打設方法 | 打設機 | |
|--------------|----|-------------------------------------|--------------|------------------------|----------------------|
| タブネルドレーン | | ○ポリプロピレン連続長繊維 ○全体が不織布 | ○ケーシング打設 | ○パイプロ ○圧入 ○スプレット | 2連打ち 1連打ち 1連打ち |
| キャプセルボードドレーン | | ○表面:特殊合成繊維 ○ポリオレフィン樹脂 | ○ケーシングおよび機打ち | ○機 ○圧入 | 1本打ち 1連打ち |
| P C Vドレーン | | ○全体:塩化ビニール多孔質樹脂 | ○ケーシング打設 | ○パイプロ | 2連打ち |
| ゲミカルボードドレーン | | ○表面:アクリル系合成繊維 ○塩化ビニール樹脂 | ○ケーシングおよび機打ち | ○圧入 ○機 | 1連打ち 1本打ち |
| ジョドドレーン | | ○表面:セルロース、ポリエステル系合成樹脂 ○ポリオレフィン樹脂 | ○ケーシング打設 | ○圧入 | 1連打ち |
| O Vドレーン | | ○テトロン短繊維不織布 ○ラセンパイプ | ○ケーシング打設 | ○圧入 | 2連打ち |

(1) 繰出し量検知方式 (2) 打設深度検知方式 (3) 共上りの確認

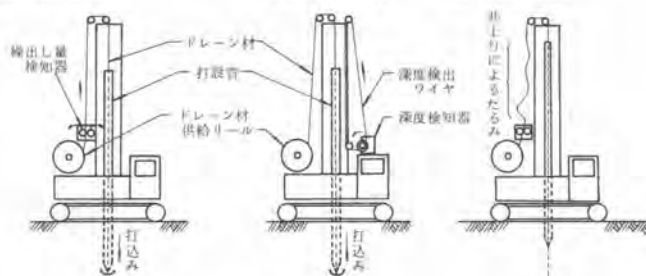


図-1 従来の施工管理方法

② 被感知材つきドレーン材

被感知材には感知器が感知しやすい材質、寸法であること、ドレーン材に取り付ける際の加工性が良いこと、さらに透水性への悪影響がないことなどが要求される。このためプラスチック系ドレーン材には直径40mm、厚さ0.1mmの特殊金属

板を、また不織布系ドレーン材には35mm角、厚さ0.1mmの特殊金属箔を採用した。被感知材の取付間隔は密であるほど検知感度をあげることができるが、経済性から1m間隔を標準とした。

ドレーン材の構造と仕様は図-3に示すとおりであり、被感知材をつけてもドレーン材の特性に影響は出ない。

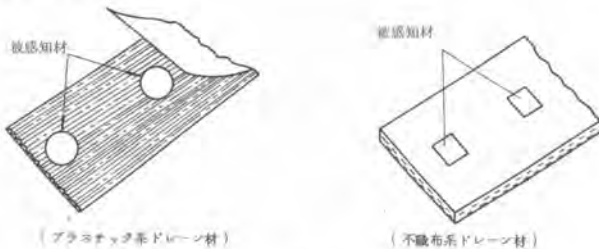


図-3 被感知材つきドレーン材

③ 検知装置

打設管先端部の感知器は、ドレーン材に取付けた金属板を検知しドレーン材の繰出し量をパルス数として出力する方式のもので、地中への打込みなどの厳しい使用条件を考慮して、前述のとおり「磁気近接式」を採用した。感知器に要求される性能としては、検出可能距離が安定していること、速度応答性が良いこと、打設管など被感知材以外の周囲金属による影響がないなどがあげられ、感知性能試験のデータをもとに動作距離を0~30mmに設定し使用した。

打設管の深度検出器は、打設管の打込み、引抜きの上下動をワイヤを介して回転機構に伝え、角度センサの一種のシンクロ電機を回転させている。シンクロ電機の採用によって地表面での零点補正を容易に行うことができる。

④ 操作・記録装置

操作・記録装置は、検知装置からの信号を受けて記録計に出力する装置で、次の機能を備えている。

① 感知器の信号の波形を整形し、残置パルス信号として記録する。

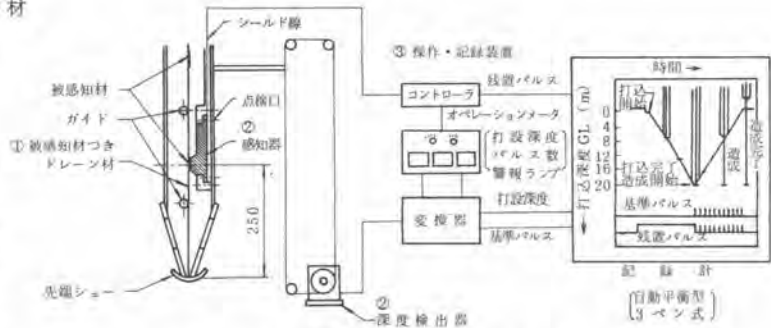


図-2 施工管理システムの全体構成

表-2 システムの仕様

| 項目 | 規格・性能 |
|--------------|---|
| ドレーン材繰出し量感知器 | 検知方式 高周波発振型磁気近接方式 被感知材 40φ, 0.1mm厚, 35mm角, 0.1mm厚 始動動作距離 30mm 耐衝撃性 2.5G 耐水圧 3kg/cm ² |
| 深度検出器 | 検知方式 シンクロ電機/ポテンシオメータ 出力 100Ω/m |
| 記録計 | 記録方式 自動平衡型, 3ペン |
| その他 | 検知精度 ±40mm以内 電圧 AC100±20%以内 周囲温度 -15~40℃ |

| 項目 | 材料名 | 被感知材 | | 方法 |
|---------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------------------|
| | | 無 | 有 | |
| 透水係数 (cm/sec) | キャッスルボード | 3.6×10 ⁻⁴ | 3.5×10 ⁻⁴ | JIS A 1218 |
| | タフネルドレーン | 6.1×10 ⁻⁴ | 5.9×10 ⁻⁴ | |
| 引張強度 (kg/巾) | キャッスルボード | 260 | 260 | JIS K 8745 J JIS L 1068 |
| | タフネルドレーン | 120 | 120 | |

② 深度検出器のアナログ信号を打設深度として記録するとともに、引抜き時1 mごとに標準パルス信号を作り記録する。

③ 共上りの発生を残置パルス信号と標準パルス信号との位相差によって検知し、警報を発する。

④ 打設状況を数字表示でオペレーションメータに示す。

以上の機能をコンパクトにし、一体化して運転室の前面あるいは側面に設置している。

(5) 共上り検知機能

本システムの最大の特徴である共上り検知機能は、その発生深度と発生量とを図-4に示す方法で容易に把握できる。図のように引抜きの最初で共上りが発生した場合に、被感知材の取付間隔が1 mであっても記録紙上の読取り誤差(約10 cm)程度で共上り量を知ることができる。

5. 施工実績

昭和58年11月から5現場で本システムを適用し、打設延長約11万 mの工事を終了した。適用の結果、開発の狙いの3項目について十分な機能を果していることを確認した。さらに、施工データを分析することによって共上りの発生パターンとその原因を把握でき、対象地盤に応じて先端シューを変えるなど施工にフィードバックすることができた。

共上りの発生は、0.5 m以上の共上りの発生件数が総打設本数に占める割合を共上り発生率として集計した結果、約5%程度であった。

6. あとがき

本システムは施工実績から十分な性能と信頼性を持つことが確認できた。現在、検知感度向上とデータ集計の簡易化を目指した改良を進めている。今後は、本システムを適用した施工実績の蓄積によって共上りのメカニズムを解明し、施工管理の領域から一步踏み出して共上りのない施工法を実現することが大きな課題であろう。

(参考文献)

1. 第19回土質工学研究発表会 昭和59年6月 ベーパードレーン打設時の共上りについて(その1) 共上り検知装置の開発
2. 第19回土質工学研究発表会 昭和59年6月 ベーパードレーン打設時の共上りについて(その2) 現場における共上り状況の調査
3. 建設の機械化 昭和59年6月 ベーパードレーン工法の新しい施工管理システム



写真-2 操作・記録装置

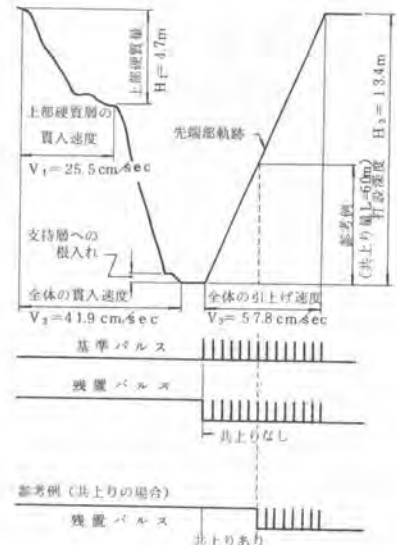


図-4 施工記録例

11. 補強材による斜面安定工法 (SW工法)の施工法例

住友建設(株) 則 武 邦 具・*印 南 修 三

1. まえがき

本工法(筆者らは *Soil Wall* 工法と略して *SWI* 法と呼んでいる)は、掘削壁面に長さ2~7m (一般的には3m前後)の伸張材を打設することと壁面保護工のみによって壁面を安定保持させる補強土工法である。この工法の適用範囲は急勾配で切土される斜面とか、自立しない根切り掘削面などで掘削によって生じるすべての掘削面である。また斜面上の基礎の支持力強化にも適用できる。

補強土工法は盛土を対象にした補強土と、自然地山を対象とした補強土に大別される。前者は盛土途中において順次補強材を埋め込み施工するのに対し、後者は地山を穿孔し補強材挿入そしてグラウトの順序で補強材を建て込み施工する。したがって後者の方は補強材打設においてそれなりの建設機械が必要となってくる。特に近年、道路や鉄道の建設工事が山岳地帯に計画される場合が多く、大型重機の搬入が難しく、十分な足場の確保が困難となる場合が多い。したがってできるかぎり使用機械、使用材料が小型であり、人刀処理が可能で能率のよいことが要求される。

以下に本工法の施工法と2つの施工例を述べる。

2. 施工方法

施工手順を図-1に示したが施工方法は次のとおりである。

- 1) 自立する高さか、補強材の打設が容易である高さまで掘削し法面整形を行う。この時土質、地層を詳細に観察する必要がある。この観察により増しボルトが必要か、あるいは次の段階の掘削高さをいくりにするかを検討する。この掘削高さを低くすれば垂直な補強土壁面を築造することができる。
- 2) 法面保護工として法面の肌落ち、小さな崩壊を防ぐために吹付けコンクリートを施す。斜面の安定自体は補強材のみで十分であるから土質によっては吹付けコンクリートでなく他の防護工でもよい。
- 3) 補強材を打設しグラウトを注入する。打設方法はプレホーリングによるものと、直接打撃によるものがあるが土質によってどちらかを選定する。ただし肌落ちの少ない地盤等であれば施工性を著

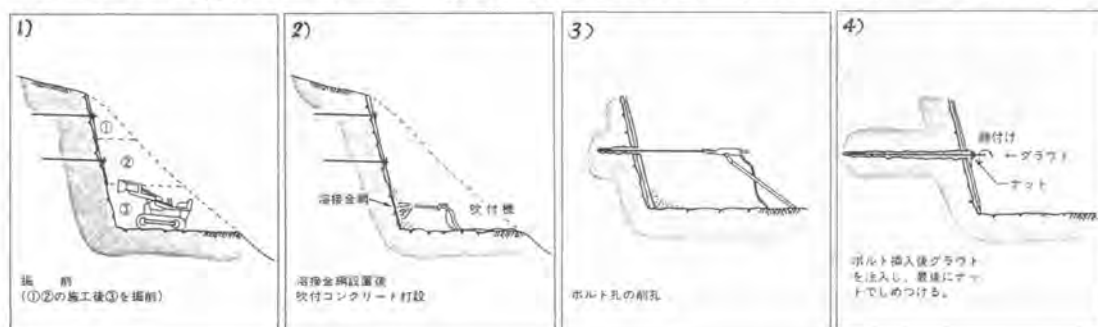


図1. 施工順序



写真-1 吹付けコンクリート施工



写真-2 レッグハンマーによる穿孔

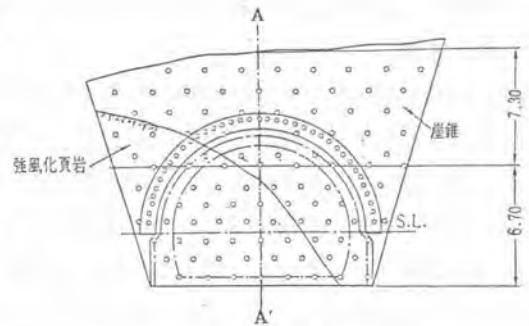
慮し2). 3). を前後してよい。

4) ホルト頭部にプレートをあてナットで締める。これはプレストレスを与えるためでないのでプレートが法面に密着する程度でよい。

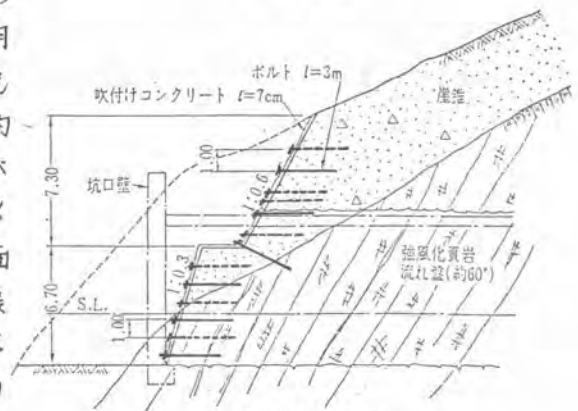
これらを1サイクルの作業とし、順次作業を繰り返して行い、補強土斜面を築造する。なお写真1は吹付けコンクリート施工、そして写真2はレッグハンマーによる穿孔状況を示したものである。

3. 施工例

現在までに本工法による施工例は15件である。適用範囲はトンネル坑口部の切土斜面、構造物構築のための根切り掘削面、すでに切土すべり補強の必要な斜面などであるが、特に大型重機等の搬入が不可能であり従来の工法を用いるためには立地条件の悪くなる場所、あるいは道路や線路に隣接しており掘削作業により有害な変形をうけやすい場所に非常に有効であった。適用土質は崖錐層、風化岩、ゆるい砂質土層、粘性土層など多種にわたる。図-2はトンネル坑口部の切土斜面に適用した例を示したものである。また写真3は施工完了時のものである。地質断面は図に示すように約60°の流水盤である強風化頁岩層の上に崖錐層が厚く堆積した状態である。この層を1:0.3と1:0.6の2段の法切りで計画したが、この時無補強斜面だと安全率が $F_s = 0.85$ であった。この法面に長さ3.0mの補強材を崖錐部1.5m²:1本、頁岩部には2.0m²:1本の割合で打設することにより安定を維持することができた。全法高は13.0mであり施工面積は350m²である。



(a) 正面図



(b) 断面図 (A-A')

図-2 トンネル坑口斜面補強計画図

当現場の崖錐層は穿孔が難しく穿孔時あるいは穿孔後孔壁が乱れる等の問題があり、フルボーリング型式だと非常に能率が悪かった。したがってブリーダーを用いて補強材を直接打ち込む方法とした。この時用いた補強材は中空型ボルトであり、打設後、中空孔からグラウト注入を行った。この方法によってもボルトの引抜き耐力は設計値を十分満足している。

トンネル坑口部はこのように補強した法面をトンネル掘進に伴って半円状にくりぬくこととなるわけであるが法面の变形計測結果、ボルトの応力測定結果から次のようなことがわかった。

- 1). 補強ゾーンを掘削している時(坑口から奥3.0m)においてはほとんど变形が発生せずトンネル支保工にも荷重が作用していない。
- 2). 補強ゾーンを通過した時(補強ゾーンは一体化した形で補強ゾーンより背面側に倒れ込むように变形している。

このことから補強ゾーンより奥でゆるみが発生し、ゾーン自体は一体化してゆるんだ部分へ倒れる形態が推定できる。このような傾向、特性は、室内実験でも確認されている。

図-3は橋脚施工に伴う根切り掘削面の安定に適用したものである。地層は風化花崗岩であり、表土の下には真砂土化した層が厚く分布している。その下には風化花崗岩層があり、粘土化した層が脈状に走った状態であった。掘削時にはこの粘土層を境に土塊がくずれ落ちる所もあった。当現場は東北本線に非常に隣接した場所であり、大型重機を用いた従来の止留工法では万全をませない条件下であった。

この根切り掘削においては1:0.5の2段法切りで計画したが、無補強斜面だと安全率が $F_s=1.0$ であった。この法面に2~7mの鉄筋D25を約 $1/m^2$ に1本の割合で打設することにより安全率 $F_s=1.2$ を確保するものとした。

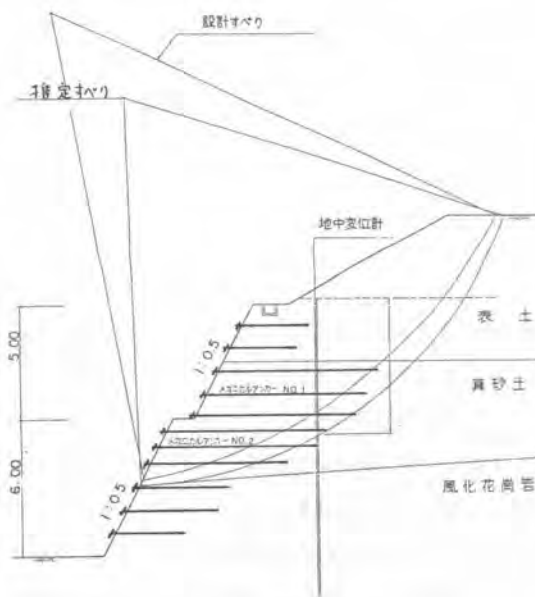


図3. 根切り掘削斜面補強計画図



写真3. トンネル坑口斜面施工状況



写真4. 根切り掘削施工状況

法高は10~12mであり、全法面積は450m²である。

鉄筋の打設は、ロックハンマーでφ45mm径のアレボーリングを行い、その孔内に鉄筋を挿入し、グラウト注入する方式とした。このような風化花崗岩層(真砂土を含む)では穿孔時に適量の水を使用することにより穿孔をスムーズに行うことができた。また孔壁も安定させることができた。

ここでは鉄筋張力と地中変位および地表沈下を測定したが、測定結果より図3に示した無補強時の設計すべり線付近からすべり線が推定すべり線方向へ移行する傾向にあった。なおここでいうすべり線とは地中内での変形の小さい所と大きい所の境目という意味合いのものであり、すべりが生じるとすればこの線であろうと推定されるものである。したがって實際上、補強したことによりすべりを押えることができたとは断言することは無理であるが、補強することによりすべろうとする線を奥へおいやる傾向を示したことは結果から言うことができる。

4. あとがき

以上述べたとおり本工法は、従来の工法では施工が困難であり不経済となる切土斜面、あるいは崖削壁の安定対策工としてその威力を発揮する。それは従来工法が土本来の有している性質を無視し、強制力をもって地盤を安定させるのを基本としているのに対し、本工法が土の自然な変形を許し、その変形によって補強材に張力を発生させ、その張力を安定の中にくみいれることを基本としている点による。したがって安定させるのに必要な材料は最小限のものでよいことになり使用材料、使用機械はごく軽量のものでよいこととなる。しかし軽量でよいという特徴が人力に頼りすぎる傾向をもたらししているとも思われ、現在、本工法をさらに効率化するためにこれらの特徴を生かすことを前提として機械化の研究にとりくんでいる。また設計法の標準化を推進するとともに永く構造物としての適用性の研究も進めている。

最後に本工法の実施にあたりご指導いただいた静岡県土木事務所、国鉄福島工事事務所の方々にこの紙面を借りて感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 奥園寺島、則武、舟川：鉄筋による斜面補強の模型実験と施工例、土と基礎、Vol. 31, No. 9, 55~62 (1983)
- 2) 山本、佐味、佐藤：木川による斜面安定工法(SWI法)について、土木学会第87回年次学術会議、1982、255~256
- 3) 三木、龍岡、松尾、見玉：鉄筋補強土の模型支持力実験、第11回土質工学研究発表会、1981、1865~1868
- 4) 則武、印南、佐味、松井：補強材による斜面安定工法に関する実験、第18回土質工学研究発表会、1983、1261~1262
- 5) 奥園、長尾、則武、印南、山内：鉄筋による補強斜面の載荷実験、第19回土質工学研究発表会、1984、1163~1166
- 6) 則武、小決、佐味：補強材による斜面安定工法-SWI法-の施工(第1)、第18回土質工学研究発表会、1983、1265~1266
- 7) 須田、則武、瀬川、佐味：補強材による斜面安定工法-SWI法-の施工(第2)、第19回土質工学研究発表会、1984、1319~1320
- 8) 龍岡、三木、松尾、見玉：鉄筋による補強土の砂地盤の支持力特性Ⅰ~Ⅳ、生産研究、1981、10、33巻、10号

12. 中掘機械・工法の改良について

(株)小松製作所 大 柿 光 司・*玉 置 博 昭
中 村 城 治・小 島 康 男

1. まえがき

この研究は基礎工事に使われる中掘機械及び工法の改良に関するものである。従来、中掘工法と言えば、杭内部に先端にカッタのついたスクリュを入れ先端で掘削した土砂をエアの助けをかりスクリュで排土しながら杭を圧入するのが一般的であるが

- (1) $\phi 350, 400$ mm程度のいわゆる小径杭の施工ができないか又は大変困難である。
- (2) 中間礫層があった場合、礫が上からずスクリュの回転が困難になったり、強い粘性地盤ではスクリュに土が巻付くことで排土困難となって杭の圧入速度が著しく落ち、時には杭の破損につながる。
- (3) 杭の圧入スピードは必ずしも速くない。

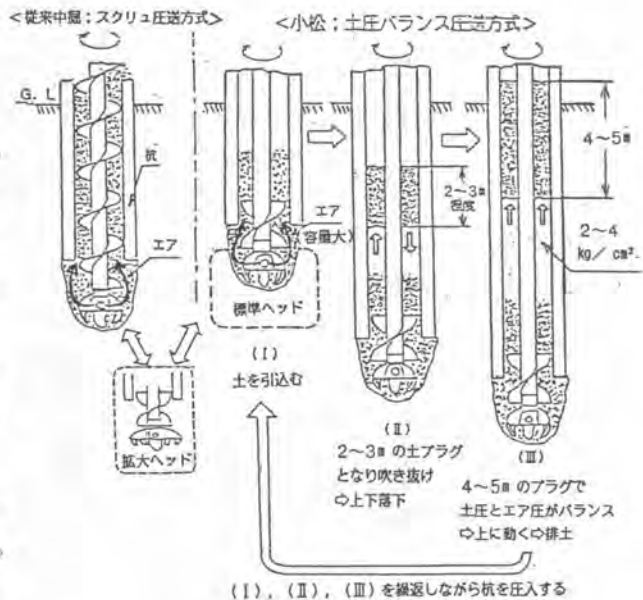
などの改良すべき点があった。そこで、スクリュの羽根の部分を取りロッド方式にしエアで圧送排土する方式を採用することにより、これらの点が改良できたのでその概要について報告し、今後の参考に供したい。

2. 施工の原理

従来の中掘工法は衆知の如く先端で掘削された土砂をスクリュで引上げることを原理としており、その補助としてエア(約 $17\sim 18$ Nm^2/cm^2)を使用している。従ってスクリュの羽根の直径 D とピッチ H の比(H/D)は土の垂直輸送をし易くするために土質力学的観点から H/D は1近辺で設計されている。

これに対し小松の方式は先端部にのみスクリュがついているが H/D の比は4~5に設計されており土砂の輸送が目的でなく掘削ヘッドの直進性を保たせるためのガイドとしてつけられている。

図-1によりロッド式中掘の土砂輸送方法につき順次説明する。



(図-1) スクリュとロッド式中掘の土砂輸送比較

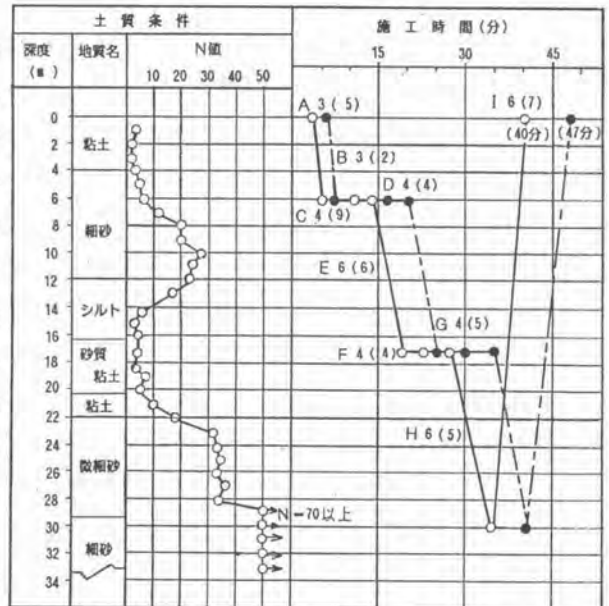
- (1) 掘削ヘッドによりほぐされた土砂がエアの助けをかり杭内部に溜り始める。このときエアの大部分は杭内部に吹き抜けている状態である。(図-1のI)

- (2) 杭内に引き込まれた土砂の高さが2~3 m程度になると、この土砂は土圧と下から作用するエア圧とがバランスし始めルーズなプラグ状となって上方に上がろうとする。しかし、プラグは必ずしも安定した自立状態ではなく崩壊することもある。(図-1のⅡ)
- (3) この杭内のプラグ高さが4~5 m程度になると、土砂は下からエアで押されるエレベータの如く杭内を上昇し排土される。この土砂プラグは土質によらず意外と崩壊しにくいものである。又、土砂の杭内圧送圧は通常2~4 $\frac{Kg}{cm^2}$ でありエア圧で杭が破損することはない。(図-1のⅢ)

2. 工法の特長

(1) 小径杭の施工について

スタリユ式の中掘工法が小径杭で施工困難となるのは、小径杭では内径の制約からスタリユの羽根の高さが小さくなりすぎ土の輸送能力が極端に落ちるためである。羽根があればエアをかけても圧密の進みが速く杭割れにつながる。これをロッド方式にしエア輸送に切換えれば排土と杭の圧入は極めてスムーズになる。図-2は $\phi 350mm \times 30m$ の杭をロッド方式で施工した例である。地盤的にはN30程度の砂層の下に粘土地盤があり、その下の支持地盤はN70の砂層である。従来、この様な小径で長い杭を中掘工法では施工ができないと言うのが一般的な考えであったが、施工が可能となっている。また、30m圧入するのに要する杭の純圧入所要時間は15分程度であり施工効率も良い。



各工程の内容: A: 1本目杭セット F: 3本目杭セット
 () 内時間(分) B: 1本目杭貫入 G: 密接
 C: 2本目杭セット H: 3本目杭貫入
 D: 密接 I: ロッド引板
 E: 2本目杭貫入

(図-2) $\phi 350mm \times 30m$ 杭での施工の例

(2) 土質適応性について

中掘工法の場合、中間礫層のある地盤でどう対応するかも一つの問題点であった。礫層はおおむね砂混りであり滞水層でもある。この様な地層でスタリユで輸送しようとするれば砂と礫が分離してしまい礫は排出できず杭内下部に溜った状態となりオーガの回転がとまったり極端な場合は杭を内部から破壊することがある。また、なんとか施工できても杭の圧入スピードはかな



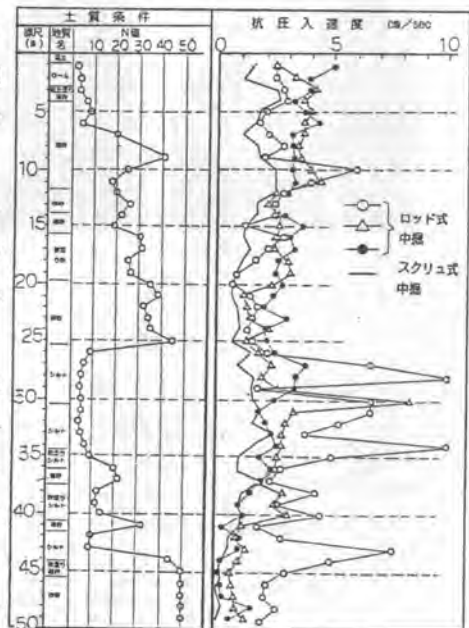
(写真-1) 排出された中間礫層の礫

り落ちるのが実状であった。ところがこの様な地層でもロッド方式にしエアによる圧送排土を試みれば極めてスムーズに礫も排出できる。礫ならばエアが吹抜けるのではないかと一見思われるが、各礫の間には砂とかシルトが目詰り材の役割を果たし楽に排出できるものである。写真-1はφ500mmの杭を施工したとき排出された中間礫層の礫である。径は100mm程度であり長手方向には130mm位のもある。通常の地盤からでて来る礫はまず球状と言うのは考えられず扁平の多いがこの扁平な礫の小さい方の径が杭内径マイナスロッド径の半分程度までの礫なら排出できると考えてよく、施工スピードも落ちない。

一方従来中掘工法で困っていたのは強い粘性地盤で施工効率が落ちることであった。土の粘性が増すとスクリュの排土理論から言っても排土は困難で、付着によるつれ回りが生じることになる。粘性の強い地層の下に砂層がある場合も粘性土に比べ砂が速く上りすぎこの粘性土と砂の境界近辺で土圧が上がり排土が遅くなることがあった。時には粘性土圧とエア圧で杭の破損につながることもあった。これらの点もロッド方式に変更すると大幅に改良できる。但し、ロッド方式で強い粘性地盤を掘削排土する時は水道水1本(約30ℓ/min)程度の少量の水をエアに混入して掘削をする方が効果的である。これはエアによるなめらかな圧送排土をするためであり施工スピードの上昇にもつながる。また、排土される土質については水道水1本(約30ℓ/min)程度の水の混入ではどろどろになることもなく、ほぼ固まった状態であるのでその処理にも問題は生じない。

(3) 杭の圧入速度について

図-3はφ600mmの杭を用いスクリュ式の中掘工法とロッド式の中掘工法による杭の圧入速度を同一地盤同一モータで比較したものである。これによりロッド方式の方が約2倍の杭圧入速度を保持することがわかる。圧入速度を速くできる理由としては、排土の方法がスクリュの場合は長い螺旋径路をまわって上って来るの比ベロッド方式の場合は大量の土砂をエレベータ状に短時間で押し上げ排土することができるためである。また、ロッド方式の場合はスクリュ方式と異なり杭長が長くなっていても杭内部での周辺消費トルクが一定で増えずその分先端での掘削トルクに使え、カッタの1回当たりの切込み量を多くとれることも理由の一つである。以上の通り中掘工法でスクリュ方式からロッド方式に変更することでかなり工法的にも興味のある現象が生じることがわかる。ただし、ロッド方式にも



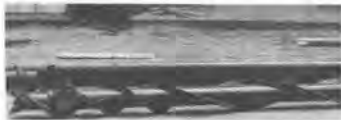
(図-3) 杭の圧入速度比較

欠点はある。それは杭径が大きくなっていった場合従来の中掘工法のフリートに比べ追加コンプレッサが1台必要になることである。杭内にロッドを入れれば空間はドーナツ状の断面積となるが土砂を効率的にエレベータ輸送するにはこの断面積での風速が5m/sec以上であることが望ましいためである。ただし、追加のコンプレッサ代は高速に施工することで十分に経済的である。

3. 機械とその特長



(写真-2) 小松中掘機



(写真-3) 掘削ロッド



(写真-4) 隣接工事の例

| | | | |
|------|-----------------|----------|----------------|
| 主要諸元 | 本体重量 (フロント) | ton | 11.0 |
| | 本体寸法 (L×W×H) | mm | 1585×1866×6773 |
| 駆動部 | モータ出力 | KW | 55 4/ 6P |
| | ロッド回転数 | 4P ton | 32/1.7(50HZ) |
| | トルク (定格) | ton-m | 39/1.4(60HZ) |
| | | 6P | 22/2.5() |
| | 減速比 | | 26/2.1() |
| 減速比 | | 1/44 | |
| 杭圧入部 | チェック弁 (セメントミルク) | | 有 |
| | 駆動部重量 | ton | 3.5 |
| | 油圧シリンダ圧入力 | ton | 5.6 |
| | ストローク | mm | 2000 |
| | モンケン重量 | ton | 不要 |
| 掘削部 | ロッド径 | mm | 152 |
| | ロッド長 | m | 3,4,5 |
| | カップリング形式 | | スプライン |
| | カッタ | | STDヘッド |
| | その他 | エアコントロール | |
| | リダ取付寸法 | mm | φ70×330 |

(表-1) 主要スペック



(写真-5) 足場の例

機械の概観及び掘削ロッドは写真の2,3に、また主要スペックは表-1に示す通りである。特長は

- (1) φ350mm から φ600mm までの各杭を2種類の掘削ロッドで施工できる。すなわち φ600, 500, 450mm 杭; φ400, 350mm 杭の掘削ロッドがそれぞれ共通で使用できるので、汎用性に富み、輸送、保管にも便利である。
- (2) 排土を一時ストックできる飛散防止タイプの排土口を装着しているので隣接構造物にも安心して施工ができる。(写真-4)
- (3) ロッド掘削なので粘性土でもスクリーン使用時のように土が巻付かないので、土落しの作業がなく楽である。
- (4) 上記の(2)(3)により作業足場もきれいに保て、下まわりの人たちの作業及び溶接作業も楽に安全にできる。(写真-5)の通りである。

4. 施工実績

このロッド式中掘を各種土質、各種杭径の実際の施工に供した。その内容を下表に示す。各現場ではいずれも良好な施工ができ、所期の性能も満足しており、総施工延長は約15,000mになっている。

| | 第1回 | 第2回 | 第3回 | 第4回 | 第5回 | 第6回 | 第7回 |
|---------|--------------------------------------|---|--|---|---|--|---|
| 1. 工事場所 | 千葉県 | 埼玉県 | 千葉県 | 千葉県 | 神奈川県 | 東京都 | 千葉県 |
| 2. 工事内容 | ビル基礎 | ← | ← | ← | ← | ← | ← |
| 3. 杭 | φ600mm × 43m ヤットコ 2m + 特殊根固め工法 | φ500mm × 41m ヤットコ 1m + 特殊根固め工法 | φ350mm × 30m & 28m +先端閉塞工法 | φ400mm × 21m ヤットコ 1.8m + 先端閉塞工法 | φ450 (一部φ500) × 20m ヤットコ 0.5m + 特殊根固め工法 | φ450mm × 34m +特殊根固め工法 | φ600mm × 52m ヤットコ 1m +特殊根固め工法 |
| 4. 施工段 | 10 | 86 | 162 | 54 | 90 | 42 | 53 |
| 5. 土質条件 | 上層: 軟弱地盤 支持層: N=100の 砂礫地盤 | 上層: 軟弱地盤 中層: 5mの中層硬層 (隙φ: 100~110mm) 支持層: N=150の 砂礫地盤 | 上層: max N=30程度の 細砂、砂礫地盤 支持層: N=50~70 の砂地盤 | 上層: 関東ローム 中層: N=10~40の 砂地盤 支持層: N=30~110 の砂地盤 | 上層: max N=30程度の 細砂、砂礫地盤 (隙φ: 30~50mm) 支持層: N=60~130の 砂礫地盤 (隙φ: 90~100mm) | 上層: N=3~20 のシルト、細砂 中層: 軟弱地盤 シルト (粘土質シルト) 支持層: N=60~ 75の砂地盤 | 上層: N=20程度の シルト 中層: 軟弱地盤 (シルト、粘性土) 支持層: N=50~ 60の砂地盤 |

5. あとがき

全土質、全杭径に適用できる高速中掘機械・工法の研究開発を試みてきたが、今後はユーザの皆様にも御使用いただき、アドバイスを受けながら更によいものとしていきたいと考えている。

13. 石炭灰を使用した表層固化盤形成工法

住友建設(株) 則 武 邦 具・*鳥 生 晃

1. まえがき

この研究は石炭灰を主成分とする固化盤の形成工法(SAM工法と略称)の開発に関するものである。石油情勢の悪化から、石炭エネルギーの利用がクローズアップされているが、それに伴って石炭使用量の10~30%の割合で排出される石炭灰の処理・処分対策が社会的課題となっている。このように大量に排出される石炭灰の土木分野への有効利用を図る一つの工法として当社と北電興業(株)が共同で研究開発したのが本工法である。

この工法は、繊維類やプラスチック類の補強材を配置した石炭灰に少量の添加剤を混合して締め固めることにより、軽量でかつ一定の強度と支持性を有し、地盤の不等沈下の影響を緩和できる固化盤を形成するものである。

ここでは、工法の概要、室内実験および現地実験の成果を報告する。

2. 工法の概要

石炭灰は、シリカ(SiO_2)とアルミナ(Al_2O_3)を主たる化学成分とし、粒子はガラス質の球形粒子が大部分であり粒径は均一で性質分類的にはシルト質砂~シルトに属する。

このため、締め固め効果が少なく、吸水膨張により泥濘化したり崩れが飛散するという問題がある。

また、その溶出液は高いアルカリ性(pH10~12.5)を示すというような問題もある。

さらに、石炭灰の発生場所、貯蔵期間、炭種や混炭の状態、燃焼方式などによって、石炭灰の性質が変化する。

こうした問題点を解消して大量の石炭灰を土木分野に利用するために、本工法では少量の添加剤(セメント、石こう)を使用する。この添加剤を石炭灰に混合し適度に加熱した後締め固めることにより、早期に強度を発現でき次のような効果を上げることができる。

- すなわち、① 高い強度の固化盤を形成できる。
- ② 締め固め効果が高くなり施工性が向上する。
- ③ 石炭灰の飛散や泥濘化を防止できる。
- ④ アルカリ分の溶出を低減できる。
- ⑤ 耐凍結融解性が向上する。

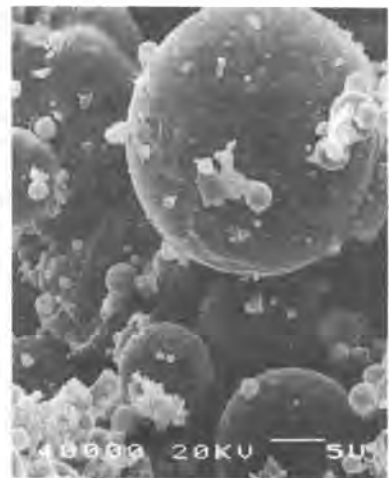


写真-1 石炭灰の顕微鏡写真

このように、少量の添加剤の効果により石炭灰を安定した土木材料として使用できるが、添加剤の効果は石炭灰の種類により異なるので使用する石炭灰により添加剤の配合を調整する必要がある。

この固化盤を軟弱地盤や埋め立て地などの不等沈下を生じるような地盤上に形成し、不等沈下の影響を緩和するために、本工法では繊維類あるいはプラスチック類を主体とする補強材を固化盤の中や下面に配置した。

本工法はこのように、少量の添加剤により大量の石炭灰を安定した土木材料に変えるとともに、補強材を配置して不等沈下を生じる地盤上に固化盤を形成することを可能にしたものである。

本工法の用途としては、工場や貯炭場、資材置場の造成、駐車場や宅地の造成、道路造成や築堤工などが考えられる。

以下に本工法の開発に当って実施された室内実験および現地実験の結果を報告する。なお、実験に当っては石炭灰は苫東厚真火力発電所産の新生灰、セメントは普通ポルトランドセメント、石こうは同じく苫東厚真火力産の排炭ニ水石こうを使用した。また、補強材としてはポリエチレン製ネットとポリエスチル製シートを使用した。

3. 室内実験

締め固め試験結果によると、最大乾燥密度は 1.12 t/m^3 、最適含水比は 32.2% となっている。最適含水比より大きい含水比では乾燥密度が急激に低下しており、泥酔化の可能性がある。施工に当って適当な含水比は、最適含水比の 5% 程度乾燥側であり、この水分の調整が締めの施工時の重要なポイントである。(図-1)

また、石炭灰固化盤の締め固め密度と一軸圧縮強度の間には比例関係がある。これは、密度が大きいかほど石炭灰粒子の間隙がせまくなり、セメントの水和反応や石炭灰のポゾラン反応による生成物が有効に働くためと思われる。施工に当っては、充分な締め固めをし、密度を高める必要がある。(図-2)

石炭灰を強化する添加剤としては、セメント、石炭、スラグ、石こうなどがある。このうち、少量で石炭灰の強度を早期に発現でき、化学的にも安定し、さらに石炭火力発電所で石炭灰とともに生産される添加剤として、セメント、石こうを使用する。セメント、石こうの添加量と固化盤の強度の関係は、図-3、図-4 に示すとおりである。

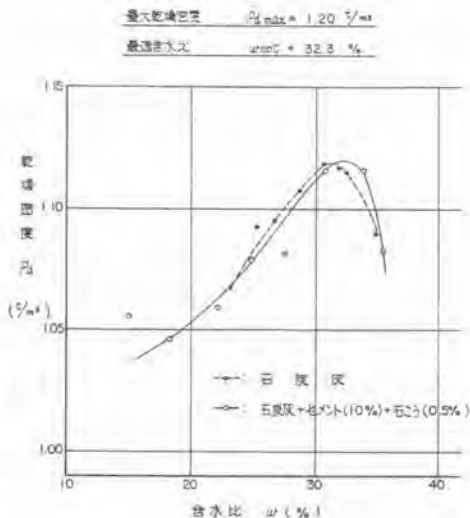


図-1 締め固め試験結果

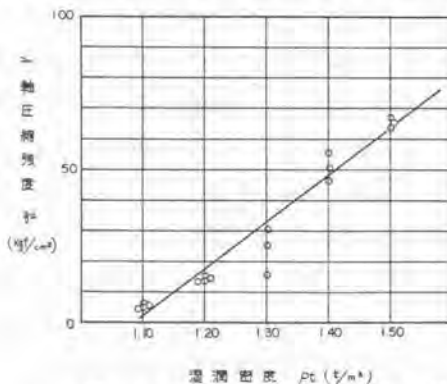


図-2 締め固め密度と強度の関係

セメント添加量と強度はほぼ比例関係にある。一方、石こう添加量と強度の間にはそのような関係はなく、石炭灰の種類、セメント添加量などによって強度が最大になる添加量が存在する。図-4に示すのはセメント添加量が10%の場合であり強度が最大になるのはセメントに対する石こうの添加量が約60%（石炭灰に対しては6%）のときである。また、この図によるとセメントだけを添加した場合28日強度が約40 kg/cm²であるのにくらべて、セメント・石こうを添加するとその強度は約100 kg/cm²と約2.5倍になっていることがわかる。

施工に当っては、目的に合った強度、剛性を得るように配合を決定しなければならない。

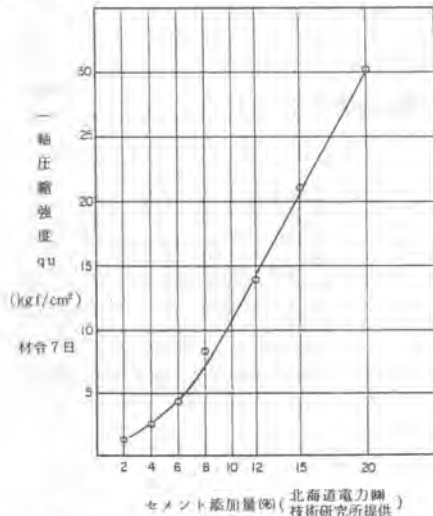


図-3 セメント添加量と R_{28} の関係

補強材の効果を確認するために、補強材を配置した固化盤供試体の曲げ試験を行なった。

配合 セメント 10%
石こう 0.5%

供試体寸法 15cm x 15cm x 53cm

補強材の配置 補強材なし

シートまたはネットを供試体の中央または底部に配置。(合計5種類)

材料を一定の密度に締固め、10日間養生した供試体の曲げ試験の結果を表-1に示す。

シートを底部に配置した場合に効果が高いことがわかる。ネットは固化盤と一体化して

固化盤のクラック付近のネットが局部的に伸び破断してしまい曲げの影響を固化盤の広い範囲に分散する能力には劣る。

凍結融解試験の結果を図-5に示す。セメント6%、石こう0.3%を添加した石炭灰を成形し、

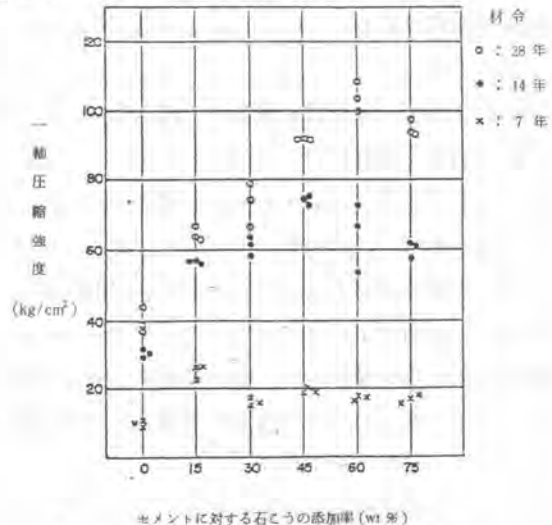


図-4 石こう添加量と R_{28} の関係

| 種類 | クラック発生荷重 (kgf) | 曲げ強度 (kg/cm ²) | | 最大荷重 (kgf) | |
|------------|----------------|----------------------------|------|------------|-----|
| | | 平均 | 平均 | 平均 | 平均 |
| 無補強 | 1 | 383 | 5.11 | 383 | 370 |
| | 2 | 367 | 4.89 | 367 | |
| ネット 中央部 | 1 | 405 | 5.40 | 465 | 469 |
| | 2 | 390 | 5.20 | 472 | |
| シート 中央部 | 1 | 355 | 4.73 | 393 | 409 |
| | 2 | 380 | 5.07 | 425 | |
| ネット 底部 | 1 | 446 | 5.95 | 515 | 506 |
| | 2 | 350 | 4.67 | 496 | |
| シート 底部 | 1 | 533 | 7.11 | 748 | 699 |
| | 2 | 600 | 8.00 | 650 | |

注) 最大荷重は、ネットについては破断時、シートについては降伏時の荷重である。

表-1. 曲げ試験結果

7日間の養生の後、 -10°C の室内で24時間凍結させ、その後 1°C の水槽中で24時間融解させる凍結融解の1工程を1サイクルとし、14サイクルまでの圧縮強度と損失量の変化を求めたものである。

14サイクルまでは、圧縮強度・損失量とも大きな低下はなく、本工法による固化盤の耐凍結融解性が高いことを示している。

4. 現地実験

昨年12月苫小牧東部工業基地の埋め立て地内で現地実験を行なった。

製作した固化盤； $5\text{m} \times 2.5\text{m} \times$ 厚さ 40cm

石炭灰を加湿して添加剤（セメント、石こう）をハーローで現場混合したのち、ショベルで撒き出し小型ブルで仮転圧し、タイヤローラ（12.5t）が本転圧し固化盤を製作した。製作後材令14日間は平均 16°C で養生し、その後屋外放置した。（外気温は $0 \sim -10^{\circ}\text{C}$ であった。）

図-6は現場締固め試験の結果である。タイヤローラによって充分締固めが可能であることがわかる。

固化盤の強度は材令14日で約 15kg/cm^2 となり室内試験値の $1/2 \sim 1/3$ の値であり現場混合としては一般的な値である。なお、今年4月に行なった第2次現地実験ではプラント混合方式を採用したため、強度は室内試験値に近い値になった。

また、材令14日の時点でガンブトラック（総重量約30t）を時速 5km/h ・100回固化盤表面を走行させたが固化盤には変化が認められず充分な支持性が確認された。

5. あとがき

以上のように、①少量の添加剤を加え適度の含水比で締固めることにより一定の強度と安定性を有し、②補強材の併用により地盤の不均沈下に追随しその影響を緩和できる石炭灰固化盤を形成することが可能になった。

最後に、本実験にあたっては横浜国立大学の三木五三郎教授の御指導、北海道電力（株）技術研究所の御協力を得ましたことに好し感謝いたします。

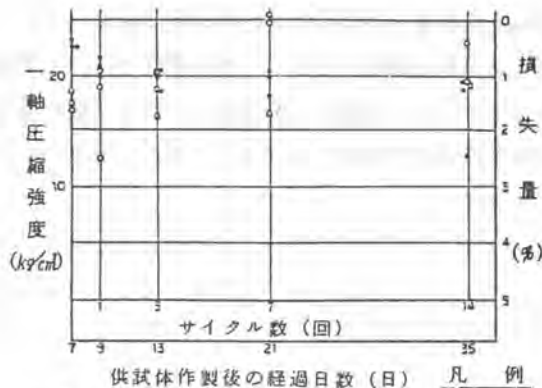


図-5 凍結融解試験結果

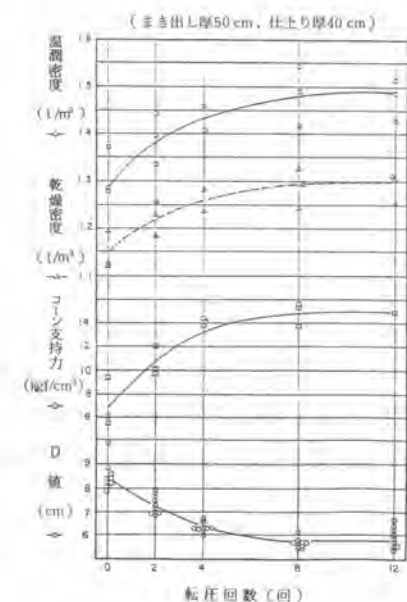


図-6 現場締固め試験結果

14. 硬質岩盤用地下連続壁掘削機の開発

鹿島建設(株) 藤 井 俊 輔

1. はじめに



地下連続壁工法が、我が国に導入されてから30年以上経過し、その間施工機械、壁体の設計、構造および施工法等に研究、開発が行なわれ、数多くの実績をあげており、いまや元祖のヨーロッパの技術を凌駕するまでにいたった。

地下連続壁は、従来主として仮設構造物として工留、遮水壁に利用される実施例が多い。したがって対象土質は、砂、砂礫、シルト等であり、硬質地盤、岩盤での実施例は少なかつた。

最近原子力発電所、地下タンク、ダム等で岩盤まで根入させた遮水壁、土留とともに本体構造壁を兼ねた施工のニーズが多くなりつつある。これらのニーズに対応すべく、硬質岩盤を能率よく、パネル壁面で掘削し得る地下連続壁用掘削機を開発し、その成果をあげたのでその概要について報告する。

2. 硬質岩盤用地下連続壁掘削機の開発経緯

従来硬質岩盤に対し遮水壁を施工する場合、パークッション工法、ロータリビット工法等による杭と杭を連続させるいわゆる柱列式遮水壁工法を採用してきた。しづしづながらこれらの工法は、杭の精度、施工能率、壁の断面が均一でない等で設計、施工上種々の問題点があった。

掘削方式は、岩質、亀裂、風化の程度等によって、掘削性と対応するメカニズムが異なるが一般的に一軸圧縮強度(σ_c) $> 1,000 \text{ kg/cm}^2$ の岩に対しては、パークッション方式がよいが、掘削量としては、 $\sigma_c > 1,000 \text{ kg/cm}^2$ の岩は、それ以下の強度土質に比して非常に少ない。したがってドリリング方式の対象になり得る $\sigma_c < 1,000 \text{ kg/cm}^2$ の岩に対して、効果的なドラグツースの切削原理とツースチップの配列、スラスト荷重、掘削トルク等について検討、実験を重ね、 $\sigma_c = 800 \text{ kg/cm}^2$ のマンメイドロックを高能率で掘削することができた。開発のためのフローチャートを表-1に示す。

3. 開発の目標

$\sigma_c < 1,000 \text{ kg/cm}^2$ の岩に対しパネル状にかつ平面に掘削でき、また掘進能率は、従来の大口径掘削機で同じ断面で同対象岩で倍以上とする。

4. 掘削機の概要

1) 掘削機の構造を図-1に、主な仕様を表-2に示す。掘削機構は、4本の回転軸の先端に公転するギアケースとそのギアケースに自転する12ヶのトロコイドビットと、中央には、掘削ズリを連続的に搬出する2重管式リバースビットを設け、これらの先端ビットで掘り残した部分を切削する平面壁形成用ドラムカッターで構成されている。これらのビットは、先端ビット用水中モータ、ドラムカッター用水中モータで駆動される。このほか掘進方向を定める固定ガイド、方向修正のためのアジャ

表-1 開発フローチャート

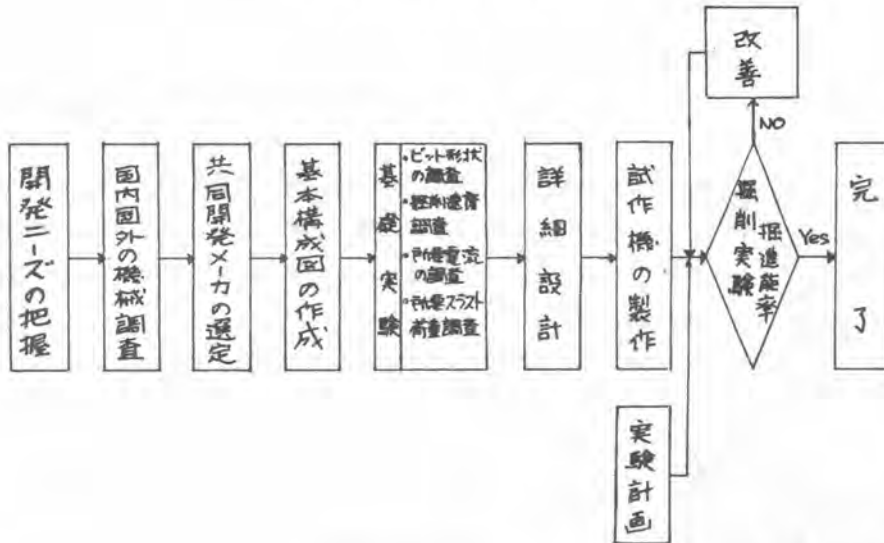
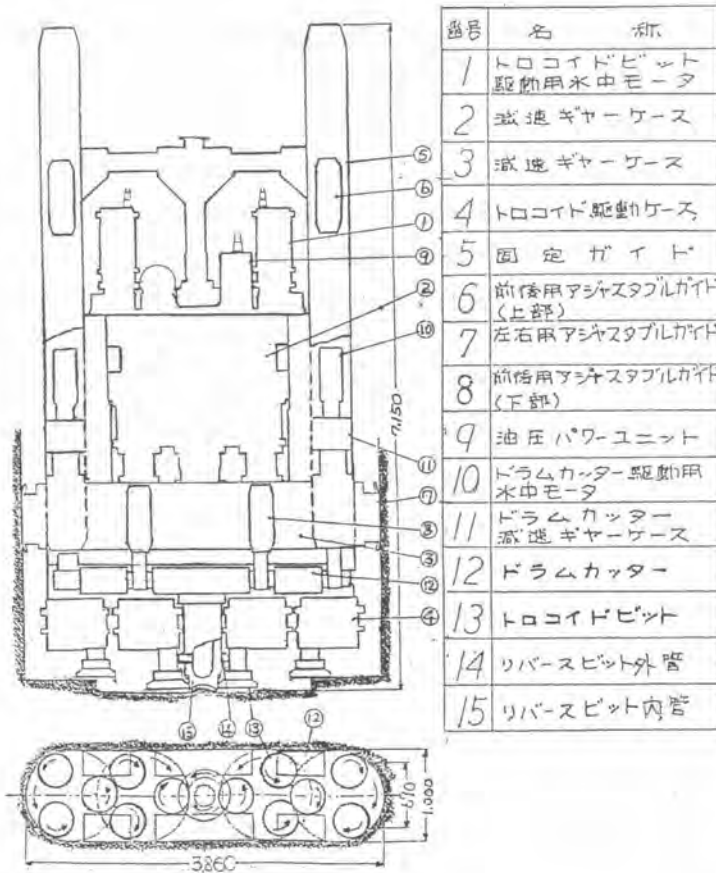


表-2 掘削機仕様



| 番号 | 名称 |
|----|----------------------|
| 1 | トロコイドビット 駆動用水中モータ |
| 2 | 減速ギヤケース |
| 3 | 減速ギヤケース |
| 4 | トロコイド駆動ケース |
| 5 | 固定ガイド |
| 6 | 前後用アシスタブルガイド (上部) |
| 7 | 左右用アシスタブルガイド |
| 8 | 前後用アシスタブルガイド (下部) |
| 9 | 油圧パワーユニット |
| 10 | ドラムカッター駆動用 水中モータ |
| 11 | ドラムカッター 減速ギヤケース |
| 12 | ドラムカッター |
| 13 | トロコイドビット |
| 14 | リバースビット外管 |
| 15 | リバースビット内管 |

| | | |
|-----|--------------|--|
| 1 | 水中モータ | |
| 1.1 | トロコイドビット用 | 55 ^{kw} × 2 ^φ (400V) |
| 1.2 | ドラムカッター用 | 18 ^{kw} × 2 ^φ (400V) |
| 2 | ビット回転数 | |
| 2.1 | トロコイドビット(公転) | 25.5 R.P.M |
| 2.2 | トロコイド(自転) | 7.7 R.P.M |
| 2.3 | リバースビット内管 | 16 ^φ R.P.M |
| | 外管 | 12.6 R.P.M |
| 2.4 | ドラムカッタービット | 35.2 R.P.M |
| 3 | トルク | |
| 3.1 | トロコイドビット | 30-cm |
| 3.2 | ドラムカッタービット | 0.42 c-m |
| 4 | ビット径 | |
| 4.1 | トロコイドビット | φ440 mm |
| 4.2 | リバースビット内管 | φ390 mm |
| | 外管 | φ550 mm |
| 4.3 | ドラムカッタービット | φ290 mm |
| 5 | 吸込み径 | φ200 mm |
| 6 | 総重量(約) | 142 t |

図-1 掘削機構造図

スタブルガイドが設置されている。

隣り合うギアケースおよびリバースピットの内外管の回転は逆方向とし、掘削反力を相殺するように考慮している。

2) 掘削機の特徴

a 岩盤に対して、長スパンの壁を一季に掘ることができる。

b 掘削壁面を平面で切削することができる。

c 先端ビットは、自転、公転する軌跡いわゆるトロコイド曲線を描きながら掘進するので従来の大口径岩盤掘削機における同一軌跡圧壊掘削に比して低荷重、低トルクで掘削できる。1回の先端ビットの回転が1回転した時の軌跡を図-2に示す。これが掘削地盤に網目状に溝をつけ、残った部分を後続のビットの回転でハッキリ取る機構なので、全断面を削り切る必要がないため掘進能率がよい。

d 掘削ズリの処理設備は、従来同種工法機械と同種同規模でよい。

e ビットを交換することにより、一般土質にも対応できる。

f 精度を確認しながら掘削できるので、品質のよい壁を作ることができる。

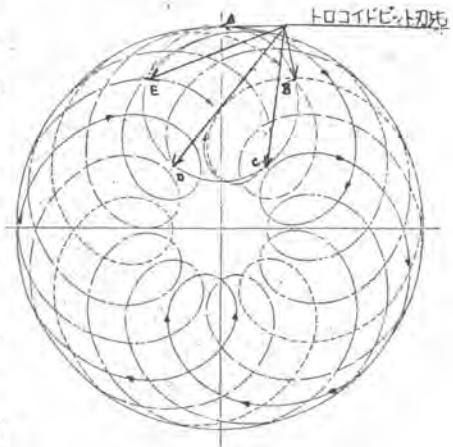


図-2 ビット回転の軌跡

5 掘削実験概要

試作機の性能を確認するため、次の実証実験を行なった。

1) 実験規模

図-3に示す通り、地下約9mに1m³の安山岩 ($\rho_r = 800 \text{ kg/cm}^3$) を10個上、下二列に並べ強度 500 kg/cm^2 のコンクリートで固めたマンメイドロックを構築し掘削実験を行なった。

実験概要を図-4に示す。

2) 実験結果

当該試作機で安山岩を削り出した結果の孔壁状況、掘削底面状況及び掘削ズリ形状をそれぞれ写真-1、2、3に示した。

写真-1は、壁面切削仕上がり状況を示すが先端ビットの掘り残し部分の削り落としは、通常の引き切削でよいが、ツースの配列が、硬質岩の場合トルク、能率にかなり影響をおよぼす。

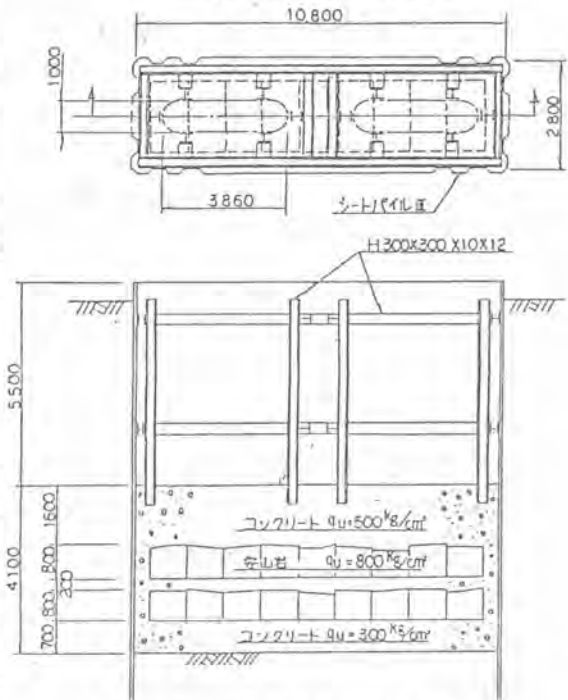


図-3 マンメイドロック構成図

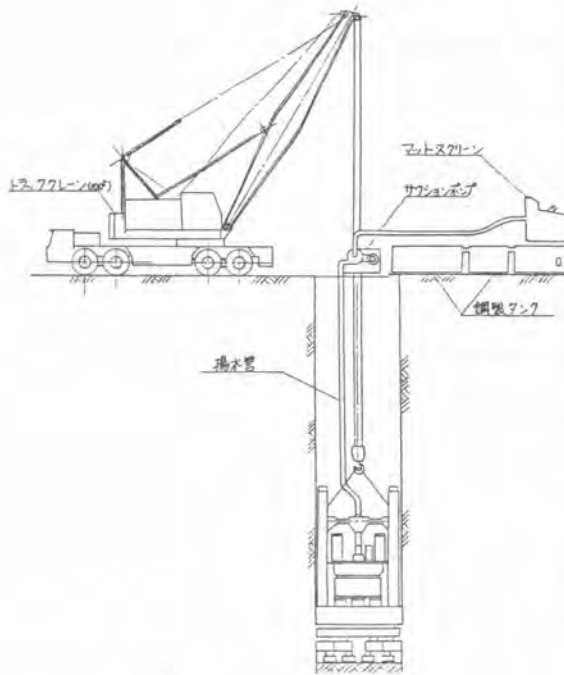


図-4 掘削概要図

写真-2の掘削底面の切羽状況から先端ビットのトロキッド曲線の軌跡が図-2に示した1回転の軌跡に比べはるかに複雑に錯綜しており、掘削原理が単に引かき切削でなく、ローラクターによるインテックス破壊(圧壊、引かき、ひねり起し)に類似した切削特性を示していることがわかる。

従って、掘削トルク、スラスト荷重は同規模の掘削仕杵に比して低くてよいと言える。

写真-3の掘削ズリは、25×15^{mm}程度の岩片で、連続的に排出され掘削原理が有効に作用していることがわかる。

6 おわりに

地下連続壁のニーズは近年急激に多様化し100m内外の大深度掘削、垂直精度1/1000以上、運転の自動化、転石層の破碎機械の開発、スライム除去、鉄筋ジョイント、パネル間ジョイント部の清掃安定液の処理方法等について設計、施工法の改善がなされ、本体構造壁、剛体基礎の確立が図られている。今回硬質岩盤のパネル掘削が可能となったことから、地下連続壁の応用範囲が又一步拡大されたといえる。

しかしながら土質条件、立地条件、環境条件はますますきびしくなり、技術開発の要素は今後まだ多くの課題があり、不断の取組みが必要となろう。



写真-1 孔壁状況

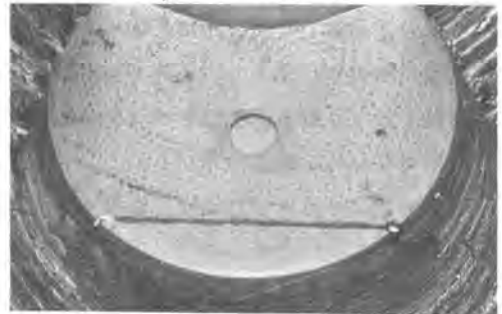


写真-2 掘削底面状況

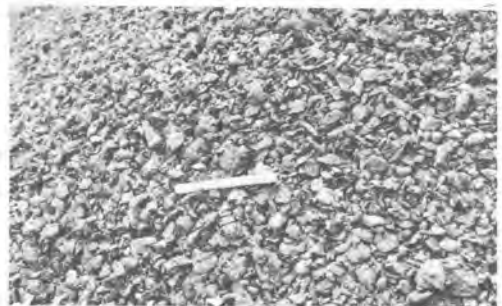


写真-3 掘削ズリ粒状況

15. 碎石ドレーン工法による砂地盤の液状化防止対策について

(株)鴻池組 伊藤克彦・*中島 豊

1. まえがき

大規模な地震の際、緩い砂地盤の液状化が各種構造物に壊滅的な被害を与えることは、新潟地震以来広く認識されてきた。昨年の日本海中部地震においても構造物の被災原因のほとんどが砂地盤の液状化であるといわれ、液状化対策の重要性がさらに強調されることとなった。構造物に対する液状化対策は多岐にわたるが、現在のところサンドコンパクション工法に代表される締固めによる地盤改良工法が主流となっている。しかしながら、締固め工法は大きな振動・騒音および周辺地盤の変状を伴うため、市街地や既設構造物近傍での施工は困難である。このような場所での液状化防止対策として近年碎石ドレーン工法が注目され、その施工例も増加してきている。

碎石ドレーン工法は Seed らによって考案され、我国では日本鋼管㈱京浜製鉄所扇島の既設護岸背面の液状化防止に適用されたのが最初の事例である。本稿は碎石ドレーン施工機の開発経緯とその施工について述べる。

2. 碎石ドレーン工法の原理

碎石ドレーン工法は透水性の大きい碎石を砂地盤中に柱状に打設し、その排水効果によって地震時に発生する過剰間隙水圧を抑制するとともに消散を促進し地盤の液状化を防止する工法である。図-1に碎石ドレーンの配置と液状化防止機構を示す。

地震時、地下水位下の緩い砂地盤に繰返しせん断力が作用すると、地盤中に徐々に間隙水圧が蓄積され、上昇していく。それに伴って砂粒子間の接触力が減少、ついには砂粒子が間隙水中で浮遊し、あたかも比重の大きな液体状を示すこととなる。この現象が砂地盤の液状化であるが、碎石ドレーンを図-1のように打設した場合、ドレーン周辺の地盤内に発生した間隙水圧により地下水はドレーン中心に向う放射状の流れとなり、この流れによる排水に伴い間隙水圧の上昇の抑制、消散が発生することとなる。

砂地盤の液状化現象には上記のほか、二次液状化といわれる。下層地盤の上昇浸透流により上層地盤が液状化する現象もある。

碎石ドレーン工法は、下層の間隙水圧を直接地表に逃がし、二次液状化を防止する効果も期待できる。

3. 施工機械

碎石ドレーンの施工には当初中掘りを主体とするベント方式が使用されてきたが、施工性が悪いため、近年ではケーシングにスクリーを取付け回転・貫入させるケーシングオーガー方式の使用が一

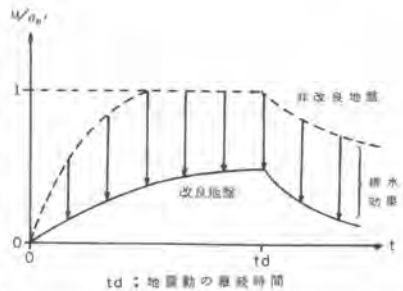
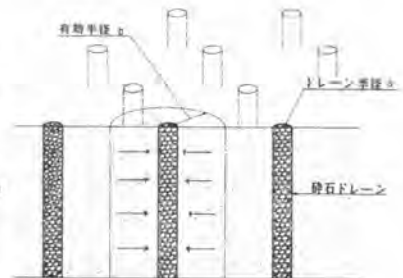


図-1 碎石ドレーンの配置と液状化防止機構

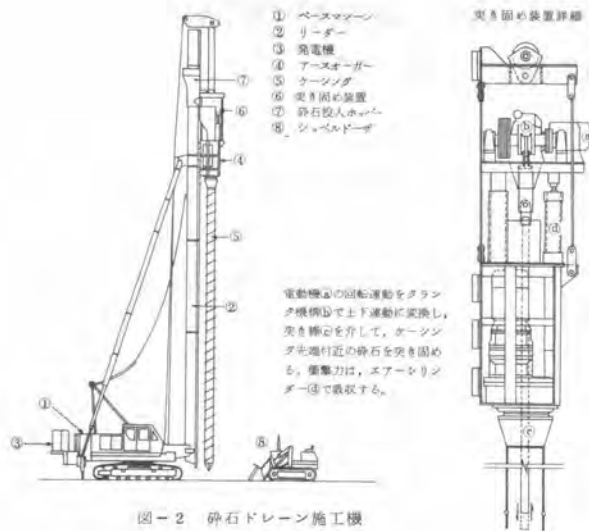


図-2 砕石ドレーン施工機



写真-1 砕石ドレーン施工機の全景

一般的となってきた。ケーシングオーガー方式は軟弱粘性土地盤を対象とする生石灰杭工法の施工方法として開発された方式でケーシング引抜き時の生石灰の地中への排出には圧縮空気を用いる。

砕石ドレーン施工機の開発に先だち、従来のケーシングオーガー方式で砕石ドレーンの施工性実験を行った。実験時、周辺地盤にエアブローが発生し、特に既設の砕石ドレーンおよびその周辺では水を伴ってエアが激しく噴出する現象が観測され、大きな地盤沈下、変状が発生した。その原因としては、①ケーシング内へのボイリング防止と砕石の地中への排出を目的とした圧縮空気の使用、②スクリーによるケーシング周辺の地盤の乱れ等が考えられた。

実験結果をもととして開発した砕石ドレーン施工機は、ケーシングオーガー方式をベースとし、三点式クローラー杭打機、砕石突き固め装置、アースオーガー、スクリー付ケーシング、および砕石投入装置より構成され、圧縮空気は使用していない。図-2にその構成を示し、写真-1に秋田港で施工中の施工機械の全景を示す。砕石の突き固め装置はアースオーガー上の突き棒駆動装置と、ケーシング中央を

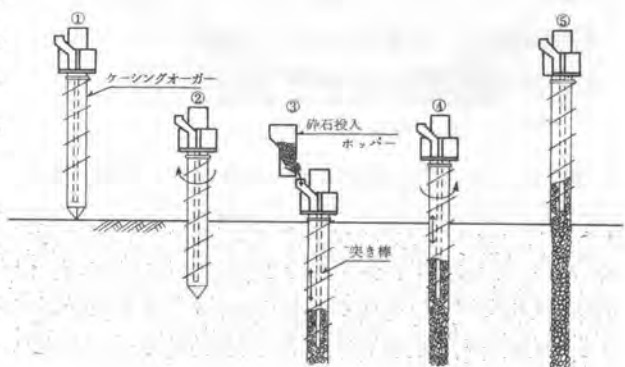


図-3 砕石ドレーン施工手順

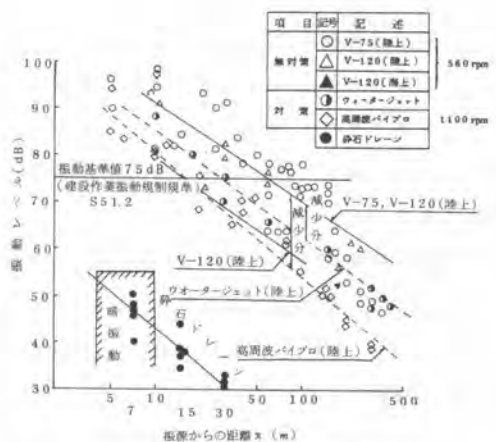


図-4 距離による振動減衰の比較

貫通する突き棒によって構成され、電動機の回転運動をクランク機構によって往復運動に変換し、ケーシング先端付近の碎石を突き棒先端で突固める機構としている。突固め装置で碎石を地中へ機械的に強制排出させることによって、碎石はスクリューによって乱されたケーシング外周部に押し拡げられ、乱れが修復されるとともに、碎石ドレーンの連続性を確実にする効果も期待できる。なおボイリング防止はケーシング内に注水し地下水位との平衡を保つことによって行う。

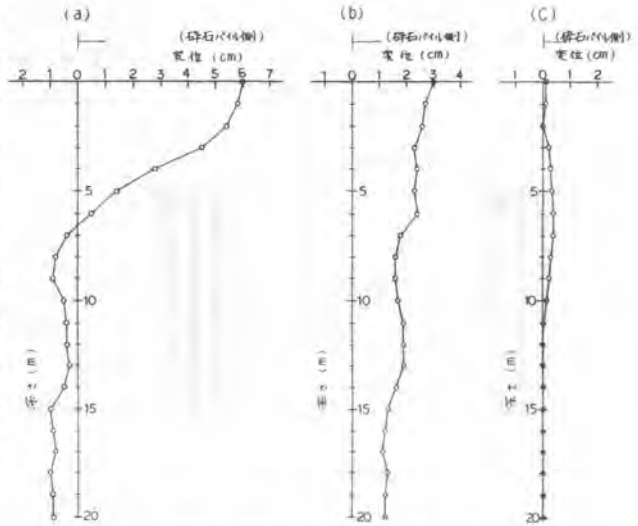


図-5 地中変位測定結果

施工は以下に示す手順で行う。

- ① 所定の位置に施工機を設置する。
- ② ケーシングを回転させながら所定の深度まで貫入する。
- ③ 回転を停止し上部より碎石を投入した後先端蓋を碎石および突き棒で開放する。
- ④ 突き棒で碎石を突固めながらケーシングを逆回転で引き上げる。
- ⑤ ケーシングを引き抜き碎石ドレーン打設を完了。

施工管理はケーシングオーガーの深度、碎石天端位置、碎石投入量を計測し、オペレーター横の指示盤に表示することによって行う。

図-4 に工事中行った振動測定結果をサンドコンパクションパイルの測定例と比較するが、碎石ドレーンの場合、暗振動程度で市街地での施工に対し全く問題とならないレベルであった。騒音測定結果に関しても暗騒音程度であった。

図-5 は、N値7～12の中砂地盤を対象とした(a)ベノト方式、(b)生石杭方式、(c)砕石ドレーン施

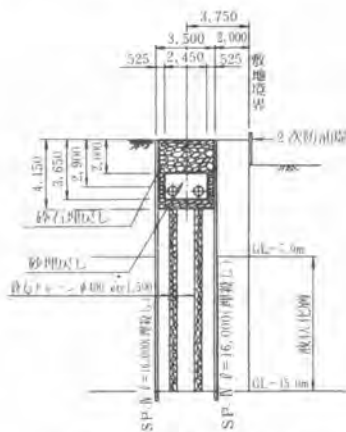


図-6 埋設管への適用例

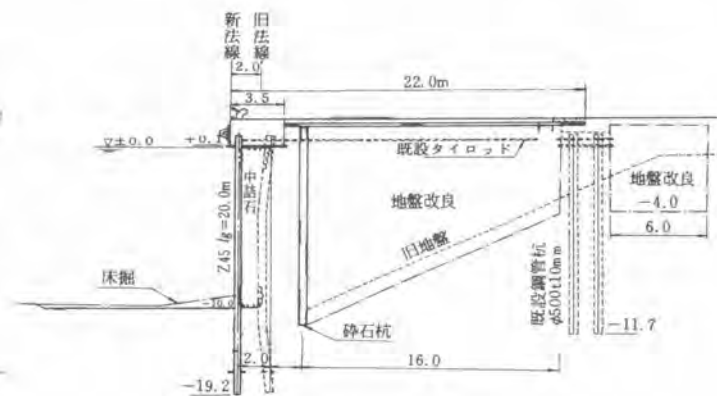


図-7 砕石への適用例

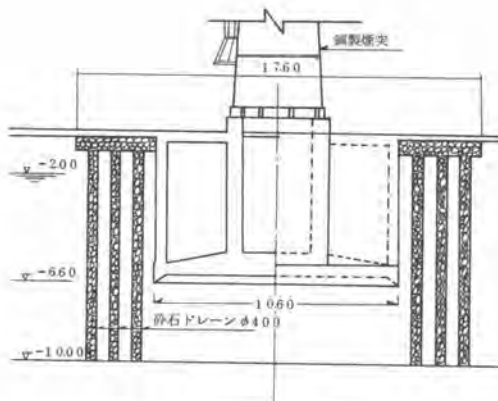


図-8 既設構造物への適用例

工機によって碎石ドレーンを施工した際の地中変位の測定結果で碎石ドレーン施工機による地中最大水平変位は4mm以下で無視できる程度小さく、突き棒の地盤変状防止効果が大きいことを示している。

4. 施 工

碎石ドレーンは主として岸壁背面補強、基礎杭の横抵抗保持を目的として施工されてきたが、現在ではパイプライン、共同溝等の液状化防止対策としての施工例も増加している。以下、碎石ドレーン施工機による施工例の概略を紹介する。

図-6は日本鋼管徳島島内に敷設された東京電力LNGガス導管の浮上り防止を目的とした碎石ドレーンの実施例の一つである。この場所は既設石油タンクの防油堤に

隣接しており、改良範囲が用地の制約上限定されているため、両側の埋殺し鋼矢板によって周辺地盤の液状化による影響を遮断している。なお、使用した碎石は、排水によって目詰りが発生しないように、かつ地山の透水係数に対し十分大きな値を有するという条件を満たす、5、6号の混合碎石（粒径20～5mm）である。

図-7は、日本海中部地震によって大きな被害を受けた秋田港向浜地区の復旧断面で、護岸背面の液状化防止を碎石ドレーン工法と締固め工法の併用で計ったものである。

図-8は、昭和30年代に建てられた日本鋼管徳島製鉄所内の煙突基礎の補強断面で、稼働中の高さ50mの鋼製煙突周辺で施工したものである。煙突周辺にはケーブルラック、電気室、工場建屋等が近接し、厳しい施工環境下での工事であった。

ここに紹介した施工例はいずれも既設構造物近傍での碎石ドレーン工事であるため、工事中、周辺地盤の変状を主体として測定管理を行ったが、地盤の変状はほとんど観測されず構造物に悪影響を与えることはなかった。

4. あとがき

明治以降の震災記録に限定しても、液状化現象が記録された地震は40数例を数え、液状化地点は、日本全国の人口および工場の密集する沖積地盤に分布している。近い将来に予想される東海大地震等の大規模地震に対して、このような場所で液状化の発生する可能性は極めて高く、液状化防止対策の実施が急務となっている。今後とも本工法の特長をいかし、さらに有力な液状化防止対策となるよう研究開発を続けていきたいものとする。おわりにあたって本工法の共同開発者である日本鋼管(株)および研究開発、実施にあたって御指導、御協力をいただいた関係各意に感謝の意を表すものである。

16. 低騒音型油圧パイルハンマの技術評価

—建設省の技術評価制度による—

建設省建設経済局 吉岡敏郎

1. はじめに

民間における建設技術に関する研究開発成果に対し、その適用性、安全性等について評価を行い、その結果を公表することにより新技術の積極的な活用および民間における研究開発の一層の促進を図ることを目的として、昭和53年度に建設技術評価制度が創設された。本報告では、この制度によって昭和58年度に評価を実施した「低騒音型油圧パイルハンマ」について、評価の概要を紹介する。

2. 開発の背景

基礎杭の打撃に伴って発生する騒音、振動、ディーゼルハンマ使用時に発生する油煙の飛散などにより、都市部やその近郊では打撃による杭の設置がほとんど許されない状況であり、場所打コンクリート杭等によって基礎杭が設置されているが、施工の経済性、支持力の確実性、荷重の増大に対する杭の沈下量の増加割合等で解決が待たれる課題が残されている。このような理由から、低騒音型で必要な打撃性能を備えた打込杭工法の開発が望まれていることから、建設省では建設技術評価規程にもとづく技術評価課題のひとつとして「低騒音型油圧パイルハンマの開発」をとり上げ、研究開発を一般から広く募集した。

3. 研究開発の目標

昭和58年1月13日付の官報で告示した「低騒音型油圧パイルハンマの開発目標」は次に示す4項目である。

(1) 低騒音型の杭打ち機であること

騒音規制法（昭和43年）で杭打作業は特定建設作業に指定され、その規制値は作業場所の敷地境界線から30m離れた地点で騒音値85ホンとなっている。この規制値は施工する立場からは厳しいものであるが、住民の立場からは耐えがたいものである。このため油圧パイルハンマでは杭打設時に発生する騒音の目標値を杭打機から30m離れた地点で騒音値80ホン以下とした。この数値は従来のディーゼルハンマに比較すれば15～20ホン程度小さな値である。

振動については、施工個所の地質や地形などにより著しく異なり、客観的な評価を行うことが困難であるので、開発目標にとり上げないこととした。

(2) ラムの落下高さが任意に設定でき、打撃性能が優れていること

油圧パイルハンマの特徴として、地盤条件や杭種、杭径に応じて打撃力を任意に変えて打込むことが機構上可能である。この長所を活かすためにラムの落下高さが10cm程度のピッチで任意に設定可能であることが要求される。また、打撃性能はディーゼルハンマとほぼ同等の性能を有するものであることとした。

(3) 施工管理基準が確立していること

油圧パイルハンマはディーゼルハンマとその機構が異なるので、杭の貫入特性がディーゼルハンマ

のそれとは異なることも予想される。したがって、杭の打ち止め管理を正確に行うために油圧パイルハンマを使用したときの杭の動的支持力の算定方法を確立しておく必要がある。動的支持力算定として建築では建築基準法施行令第93条（地盤及び基礎ぐい）に基づく建設省告示による算定式（告示式）が使用され、土木では道路橋示方書・同解説に示された式（宇都式）などが用いられているが、油圧ハンマの場合について、これらの式の適用性を明確にするとともに、点検、初期打設の方法等を含んだ施工管理基準が整備されていることを開発目標の一項目とした。

(4) 施工性にすぐれ、経済的であること

ディーゼルハンマと比較し、施工能率を大幅に低下させることがなく、かつ他の低騒音工法等と比較して経済的であることを一般への普及を考慮して開発目標の一項目とした。

4. 開発された技術の概要

建設技術評価規程第3条に基づき、昭和58年1月13日付官報で研究開発を募集したところ、神戸製鋼所、三和機材、新栄鉄工所、武江建設興業・セボル、日本コンクリート工業・日立建機、日本車輛製造、間組技術研究所・トキワ建機、前田製管の8グループから応募が寄せられた。これらのグループによって開発された低騒音型油圧パイルハンマの基本的な作動原理は図-1に示すように、油圧ユニットから油圧シリンダ下部に供給される圧力油によってピストンロッドに連結したラムを所定の高さまで上昇させ、ラムが所定の高さまで達すると、油圧シリンダ内の急速油圧開放バルブが作動し、シリンダ内部の油を低圧側に戻すことによりラムを自由落下する。これを繰返すことによりラムは連続的に杭を打撃するものである。また、ラムの落下時にも油圧シリンダ上部室に圧力油を送り込むことにより落下時にはラム重量だけでなく、下向きの加速力が働くようにしたものもある。ラム落下高の調整は、ラム上昇時の時間をタイマーで設定する無段階調整方式と、ハンマケース側面に設置された近接スイッチにより10cmごとで落下高を調整する方式がある。

ラムの杭打撃時の力を杭に均等に伝え、杭頭を保護するためのアンピルのクッション材にはディーゼルハンマと同様に樫などを用いるものが多いが、機種によっては図-2に示すような油圧クッションや水を利用しているものもある。

5. 技術評価の範囲

技術評価にあたり、その前提として既製杭の打設は本技術開発の成果の一部である施工管理基準を的確に運用すること、および油圧パイルハンマを構成しているハンマ本体、油圧ユニット、操作制御盤および付属装置は適正な品質管理のもとに製造されたものであることを条件とし、開発目標に達しているかどうかを評価した。

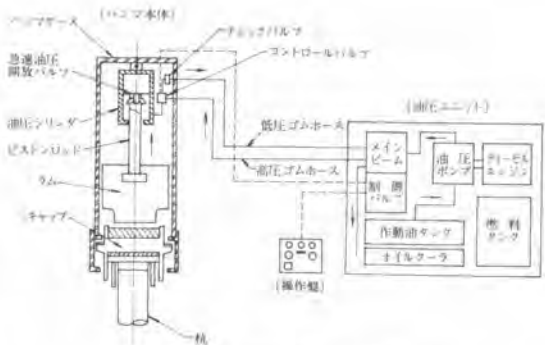


図-1 油圧ハンマの作動原理

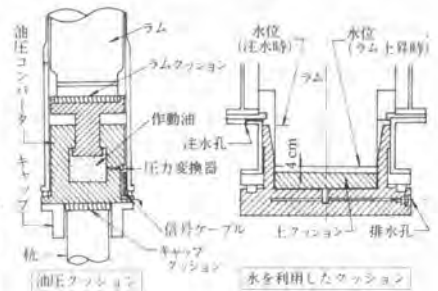


図-2 クッション機構

6. 評価の内容

評価は応募 8 グループから評価申請のあった 12 機種について、各機種の最大能力に対応するコンクリート杭および鋼管杭の打設試験を行い油圧バイルハンマの性能を確認することにより実施した。評価にあたり、評価項目は開発目標を考慮して、①建設工事環境の改善（低騒音化）、②施工性、③施工管理手法の確立、④機械の性能、⑤開発の経緯、⑥経済性の 6 項目とした。

(1) 性能確認試験

油圧バイルハンマの性能を客観的に評価するために同一の施工条件のもとで杭の打込試験を実施するとともに、当該機種に相当する能力を持つディーゼルハンマによる杭の打込試験を行い、性能の比較検討をした。また、一部の杭については鉛直載荷試験を実施し、支持力特性についても調査した。

(a) 実験場所は、建設省土木研究所構内で土質柱状図および根入れ図を図-3に示す。

(b) 試験杭の仕様

表-1 試験杭の仕様

| | コンクリート杭 (PACA 種) (適用規格 JIS A 5337) | | | 鋼管杭 (適用規格 JIS A 5525) | |
|-----|---------------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------|
| | φ400 | φ500 | φ600 | φ500 | φ600 |
| 外径 | φ400 | φ500 | φ600 | φ500 | φ600 |
| 肉厚 | 65mm | 80mm | 90mm | 9mm | 12mm |
| 長さ | 15m (7+8m) | 15m (7+8m) | 15m (7+8m) | 16m (8+8m) | 16m (8+8m) |
| 断面積 | 684cm ² | 1,056cm ² | 1,442cm ² | 139cm ² | 222cm ² |
| 重量 | 2,670kgf | 4,110kgf | 5,620kgf | 1,700kgf | 2,900kgf |



(c) 比較用ディーゼルハンマは 25 型、35 型、45 型を使用。

(2) 試験方法

(a) 打込試験

(i) 打込方法は、杭全長を打撃により打込み、支持層に杭径の 2 倍以上打込んだ。尚油圧バイルハンマの操作は評価申請者が派遣した操作員が行った。

① コンクリート杭 (PHC 杭)

地表面から 13.5 m までは施工性を考慮してラム落下高さを任意に調整して打込んだ (自然打込み)。13.5 m からラム落下高さ H を、 H_{max} (最大ラム落下高) $\rightarrow 1/4 H_{max} \rightarrow 2/4 H_{max} \rightarrow 3/4 H_{max} \rightarrow H_{max}$ の順に 5 条件を設定し、一連の計測を行った (条件打込み)。打止め深さは 14.5 m とした。

② 鋼管杭

地表面から 14.5 m まで自然打込みを行い、14.5 m から 15.5 m までの間で条件打込みを行った。

(ii) ディーゼルバイルハンマによる打込みは、打始めから打止めまで燃料噴射量の調整は行わず連続して打込み、油圧バイルハンマのような条件打込みは行わなかった。

(b) 測定項目および測定方法

(i) 騒音レベルの測定は、杭が自沈した区間を除き、打込深度 1 m ごとに一連の 5 打撃についてピーク値レベルを読みとり平均値を求めた。

(ii) 打込所要時間および打撃回数はストップウォッチとマニュアルカウンタを利用して測定した。

(iii) 貫入量およびリバウンド量は杭の貫入状況が安定する深度 10 m 付近から貫入 1 m ごとに通常

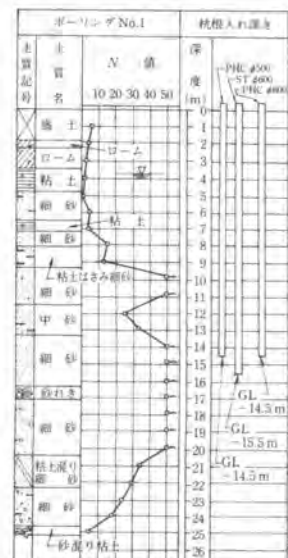


図-3 土質柱状図および杭根入れ深さ

の貫入試験紙により測定した。

(v) 杭頭打撃力および杭頭打撃ひずみ波形は杭頭にひずみゲージを貼付し、打撃時に測定した。

(v) ラムの衝突速度は16mm高速度カメラを使用し、 $H_{max} \sim 1/4 H_{max}$ の各条件につきラム落下開始から衝突までを連続して計測した。

(vi) 作動油の温度、圧力、流量等は油圧ユニットに装備されたメータを直読して行った。

(e) 載荷試験

杭の打込後1カ月間養生させ、土質工学会制定の「クイの鉛直載荷試験基準」に基づき実施した。

(3) 試験結果

(a) 建設工事環境の改善（低騒音化）

杭打機より30m地点において条件打込時の4方向の平均値と自然条件打込時における総打撃に対する平均値（4方向）に母標準偏差の推定値を加えた値を求めた。

(b) 施工性

(i) ラムの落下高さ設定機能については、設定方法、調整範囲、1分間の落下高さ別打撃回数、安全性について調査した。

(ii) 1打撃の貫入量については、騒音レベルを満足し、かつ打止め時のラム最大落下高さにおける1打撃貫入量が相等の能力を持つディーゼルハンマによる1打撃貫入量以上となることを確認した。

(iii) 実打撃速度については、建設省土木工事標準歩掛より求めたディーゼルハンマの値の1/2以上であることを確認した。尚施工能率の向上については、今後よりいっそうの研究開発が望まれる。

(c) 施工管理手法の確立

各種杭、杭径、地盤に対して合理的な施工管理手法が確立しているかを評価した。一部の機種については各種の杭、杭径に対し施工管理手法が十分でないものが見られたが、性能確認試験を実施した杭についてはおおむね妥当な施工管理手法が確立していた。

(d) 機械の性能

(i) ラムの衝突速度については、おおむね自由落下に近い速度であった。

(ii) 油圧系統の性能安定性については、油圧ユニットに装備された計器により作動油の温度および圧力を測定し、油圧系統の性能安定性を確認した。

(e) 開発の経緯

油圧バイルハンマの耐久性評価に代えて開発時期、販売実績、施工実績などを調査した。

(f) 経 済 性

杭1本当たりの施工費について全体カバーの防音カバー付きディーゼルハンマによる施工費と比較した。建設省土木工事標準歩掛を準用し、運賃等の間接的経費、両工法で共通の費用は除いている。

7. あとがき

評価の内容について概要を説明したが、詳細については評価申請者別に建設省から評価書が公表されるのでそれを参考にさせていただきたい。評価された低騒音型油圧バイルハンマが適切に利用され、建設工事環境の改善に役立てば幸いである。

表-2

| 杭 種 | ランタリート杭 φ500 | コンタリート杭 φ600 | 鋼管杭 φ600 |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 杭打込長さ | 13.5m | 13.5m | 14.5m |
| 使 用 バイルハンマ | JASPP付 ディーゼル バイルハンマ 35 型 | JASPP付 ディーゼル バイルハンマ 45 型 | JASPP付 ディーゼル バイルハンマ 35 型 |
| 施 工 費 | 34,500円 | 36,600円 | 27,900円 |

低騒音型油圧バイルハンマ評価結果一覧表

※ 但し、試験結果はラム重6.5～7.2tの申請8社のデータを示す。

| 開 発 目 標 | 評 価 基 準 | 評 果 結 果 | | | | |
|----------------------------------|--|--|--|--|---|--|
| | | 評 価 内 容 | 性能確認試験結果他 | | 算 出 値 | |
| | | | 油圧バイルハンマ | ディーゼルバイルハンマ | | |
| (1) 低騒音型の杭打ち機であること。 | 騒音レベルは、杭打ち機から3.0m地点において80デシベル以下であること。 | 杭打ち機から3.0m地点において条件打ち込み時の騒音レベルが4方向の平均値で80デシベル以下であること。また自然打ち込み時の騒音レベルは総打撃に対する平均値(4方向平均)に標準偏差の推定値を加えた値が85デシベル(法規制値)以下であること。 | 評価基準を満足している。但し、評価基準を越えた1機種については「現状では低騒音型と認め難いが、将来、防音構造を強化することにより低騒音化が図れる。」と評価した。 (注) 右記*印の試験結果はジャバラ型防音カバーの使用により、評価基準を満足した。また範囲については7社のデータ | 〔条件打ち込み時〕 ○コンクリート杭 72.6～79.8dB(A) ○鋼管杭 72.3～79.5dB(A) 〔自然打ち込み時〕 ○コンクリート杭 74.9～81.7dB(A) ○鋼管杭 76.2～89.0dB(A) | 〔自然打ち込み時〕 ○コンクリート杭 93.3dB(A) ○鋼管杭 83.4dB(A) | |
| (2) ラム落下高さが任意に設定でき、打撃性能が優れていること。 | 地盤条件や杭径に応じて、ラムの落下高さが10cm程度のピッチで任意に設定できること。 | ラムの落下高さが最低10cmピッチで任意に設定できる機能を有すること。 | 時間設定による無段階調整方式と位置設定による段階調整方式があり、いずれも評価基準を満足している。 | 10cm以下のピッチで任意に設定可能 | 杭体及び地盤に応じて変化する。 | |
| | 打撃性能は、ディーゼルバイルハンマとは同等の性能を有するものであること。 | 騒音レベルを満足し、かつ打止め時の1打撃買入量が、相当するディーゼルバイルハンマとは同等の打撃性能を有していること。 | 打止め時のラム落下高さにおける1打撃買入量は相当するディーゼルバイルハンマと同等の打撃性能を有しており、かつ、騒音レベルも満足している。 | ○コンクリート杭 2.3～10.6mm 〔平均5.2mm〕 ○鋼管杭 1.16～23.0mm 〔平均14.6mm〕 | ○コンクリート杭 2.0mm ○鋼管杭 9.0mm | |
| | 自然打ち込み時の杭一本当たりの打撃速度は、建設省土木工事機構基準より算出したディーゼルバイルハンマの杭以上であること。 | 評価基準を満足し、実用性があると認められる。 | ○コンクリート杭 0.31～1.08m/min ○鋼管杭 0.77～2.57m/min | ○コンクリート杭 0.57m/min ○鋼管杭 0.64m/min | | |
| (3) 施工管理基準が確立していること。 | 油圧バイルハンマの買入特性は、ディーゼルバイルハンマのそれとは異なることが予期される。したがって、油圧バイルハンマのための動的支持力公式を確立しておく必要がある。 | 施工方法、初期打設の方法、打止め管理式等の施工管理基準が確立していること。 | 一般的な施工管理基準が確立していると認められる機種と、性能確認試験を行った機種、杭径に関する施工管理基準が確立していると認められる機種があった。 | | 従来より施工管理基準は確立している。 | |
| (4) 施工性に優れ、経済的であること。 | 油圧ユニットや油圧ホースのハンドリングの煩雑さ等により、ディーゼルバイルハンマと比較し、施工効率を大幅に低下させることがないこと。また、他の騒音対策工法と比較して経済的であること。 | 全体カバー方式の防音カバー付ディーゼルバイルハンマと比較して、杭一本当たりの施工費が低廉であること。 | 性能確認試験における施工条件で、全体カバー方式の防音カバー付ディーゼルバイルハンマによる杭1本当たりの施工費を比較した結果経済的であった。なお、試算は建設省土木工事標準歩掛等に準じ、運賃等の間接経費及び、両工法で同様の費用となるものは省略した。 | ○コンクリート杭 19,700～32,900 ○鋼管杭 11,100～24,000 | ○コンクリート杭 34,500 ○鋼管杭 27,900 | |
| | 機種の性能 | 最大落下高さにおけるラムの衝突速度は、自由落下の理論速度の90%以上であること。 | 評価基準を満足し、機械効率が良いと認められる。 | 94.0～100% (平均96.9%) | | |
| | | 作動油の温度、圧力が安定していること。 | いずれも安定していることが認められる。 | | | |

17. 大型ホイールローダ及び大型油圧ショベルの アベイラビリティ

建設機械化研究所 藤本 義二・*本郷 慎一

1. まえがき

建設機械化研究所では、機械工業振興資金の補助を受けて、昭和56年度より3年間にわたり“建設機械の実用性試験方法に関する調査研究”を実施して来た。この研究の目的は、建設機械のアベイラビリティを評価する方法に関し、その可能性と問題点を明らかにすることである。

この報文は、建設機械のアベイラビリティに関する種々の問題点を明らかにするために行った、建設機械の現場稼働実態調査の結果から、大型ホイールローダ及び大型油圧ショベルのアベイラビリティの実態について述べたものである。

2. 信頼性とアベイラビリティ

信頼性工学は、主として電子工学の分野を中心として発展して来たが、建設機械の分野においても信頼性という言葉は、かなり以前から使われていた。しかし、当時は、現在の信頼性工学で使われる明確な定義に基づくものではなく、漠然とした抽象的な観念であったと思われる。

信頼性とは、JIS Z 8115 (信頼性用語)によれば、「アイテムが与えられた条件で規定の期間中、要求された機能を果たすことができる性質」と定義づけている。一般的には信頼性は、耐久性、保全性、設計信頼性の三要素から成り立つものとされており、アベイラビリティは、この中の前二者と関連して、信頼性を数量的に表現又は評価するための尺度とみることができる。

またアベイラビリティとは、同じくJIS Z 8115によれば、「修理系が規定の時点で機能を維持している確率、又はある期間中に機能を維持する時間の割合」と規定されている。即ち、アベイラビリティAは、稼働可能時間を U_i 、稼働不能時間を D_i とすると、次式で示される。

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{\sum_{i=1}^n U_i + \sum_{i=1}^n D_i} \quad (1)$$

この式を見ると、アベイラビリティとは、建設機械の使用計画をたてる際に用いられて来た稼働率であることがわかる。次に、 $\sum_{i=1}^n U_i \rightarrow \text{MTBF}$ (平均故障間隔)、 $\sum_{i=1}^n D_i \rightarrow \underbrace{\text{MTTR}}$ (平均修復時間)であることから、(1)式は以下のように書き換えることができる。

$$A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (2)$$

JIS Z 8115では、(1)式を運用アベイラビリティと呼び、装置やシステムの実際運用を考慮した指標であるとし、(2)式は固有アベイラビリティと呼ばれ、装置又はシステムの信頼度と保全度の部分を抽出して表現した、設計固有の指標であるとしている。

3. 調査方法

調査対象機械は、(社)日本機械士工協会の協力を得て、14箇所の現場で稼働中の大型ホイールローダ8台(5.4 m³級5台、10.3 m³級3台)、及び大型油圧ショベル7台(1.4 m³級1台、3.0

級3台)を選定した。これらの機械に対し日報形式の調査表を配付し、毎日の稼働及び修理整備状況の克明な記録を依頼し、調査期間終了後調査表を回収して、資料の分析及びとりまとめを行った。なお、調査期間中の平均稼働時間は、ホイールローダ、油圧ショベル共に約900hであった。

4. 調査結果

4.1 表-1は、故障の発生数及びその修理時間を故障発生箇所別に示したものである(ブルドーザは、前年度の調査結果を示す)。この表を見ると、故障発生数は、ブルドーザ及びホイールローダに対しては作業装置において最も多いが、油

表-1 機械装置別の故障発生頻度と修理時間

圧ショベルでは油圧装置における故障が圧倒的に多い。

しかし、これらの装置における故障の修理時間は比較的短かいので、MTBFの低下要因になってはいるが、MTTRの増大に寄与する割合は小さい。

| 装置名 | ブルドーザ | | | | 油圧ショベル | | | | ホイールローダ | | | |
|--------|----------|--------------|------|-------|----------|-------------|-----|------|----------|-------------|------|------|
| | 故障件数 | 修理時間 | | | 故障件数 | 修理時間 | | | 故障件数 | 修理時間 | | |
| | | 累計 | 平均 | 最大 | | 累計 | 平均 | 最大 | | 累計 | 平均 | 最大 |
| エンジン | 9(10.4) | 147.75(35.3) | 16.2 | 114.0 | 8(10.2) | 27.00(13.5) | 4.5 | 8.0 | 6(9.7) | 63.50(19.5) | 10.6 | 23.0 |
| 動力伝達系統 | 2(2.3) | 10.50(2.6) | 5.3 | 7.5 | — | — | — | — | 6(9.7) | 51.00(15.7) | 8.5 | 24.0 |
| 足廻り装置 | 13(15.1) | 55.00(13.3) | 4.3 | 23.0 | 4(6.8) | 28.75(14.4) | 7.2 | 14.0 | 2(3.2) | 20.00(6.1) | 10.0 | 16.0 |
| 作業装置 | 22(25.6) | 37.50(9.1) | 1.7 | 4.0 | 12(20.3) | 54.75(27.3) | 4.6 | 9.0 | 16(29.0) | 80.75(24.6) | 4.9 | 12.0 |
| ブレーキ装置 | 4(4.7) | 29.00(7.0) | 7.3 | 11.0 | — | — | — | — | 3(4.8) | 22.50(6.9) | 7.5 | 18.0 |
| 機内装置 | 2(2.3) | 25.00(6.0) | 12.5 | 24.0 | 1(1.7) | 8.00(4.0) | 8.0 | 8.0 | 1(1.6) | 1.00(0.3) | 1.0 | 1.0 |
| 懸架装置 | 2(2.3) | 25.00(6.0) | 12.5 | 22.0 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| フレーム | 2(2.3) | 5.50(1.3) | 2.8 | 4.0 | 1(1.7) | — | — | — | — | — | — | — |
| 外装 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 修繕装置 | — | — | — | — | 1(1.7) | 2.00(1.0) | 2.0 | 2.0 | — | — | — | — |
| 油圧装置 | 11(12.8) | 27.75(6.7) | 2.5 | 4.0 | 26(44.0) | 62.25(21.1) | 2.4 | 7.0 | 11(17.8) | 51.50(15.8) | 4.7 | 16.0 |
| 電気系統 | 11(12.8) | 23.50(5.7) | 2.1 | 5.5 | 5(8.5) | 8.00(4.0) | 1.6 | 4.0 | 11(17.8) | 19.50(6.0) | 1.8 | 4.0 |
| 燃料配管 | 4(4.7) | 23.50(5.7) | 5.9 | 18.0 | 2(3.4) | 9.00(4.5) | 4.5 | 9.0 | 1(1.6) | 4.00(1.2) | 4.0 | 4.0 |
| その他 | 4(4.7) | 5.50(1.3) | 1.4 | 2.5 | 1(1.7) | 0.50(0.2) | 0.5 | 0.5 | 2(4.8) | 12.00(3.7) | 4.0 | 8.0 |

()内は全体に対するパーセンテージ

4.2 稼働不能時間の構成と範囲

稼働不能時間(ダウンタイム)とは、整備、故障修理又は修理待ちなどのために、アイテムが規定の機能を果たすことができない状態にある時間である。これらのダウンタイムを構成する時間は、作業予定時間外にわたることが多いので、ダウンタイムの範囲をどこまで考慮するかにより、アベイラビリティは大きく影響される。

例えば、アイテムが稼働を要求されない時間(稼働不要時間)内の修理又は修理待時間を、ダウンタイムに加算するか否かにより二つの考え方がある。また、日常点検等の整備時間は、作業予定時間外(即ち、稼働不要時間)に行われるので、ダウンタイムとするか否かについて二つの考え方が生ずる。ここでは、ダウンタイムの範囲を、以下の4通りに分類して解析を進める。

- 作業予定時間内の、修理時間のみをダウンタイムとする。
- 作業予定時間の如何に拘わらず、全修理時間をダウンタイムとする。
- 作業予定時間内の、修理時間と修理待時間の合計をダウンタイムとする。
- 全修理時間、全修理待時間、全日常及び定期整備時間の総計をダウンタイムとする。

以上のような分類を行うに当たっては、厳密には修理、日常整備等の定義を行わなければならない。ここでは、オイル、エレメント等の消耗品の交換は、日常点検整備に分類した。なお、JIS Z 8115では保全という用語に統一し、“アイテムを使用及び運用可能状態に維持し、又は故障、欠

点などを回復するためのすべての処置及び活動”と定義している。

カッティングエッジ、バケットツースなどの作業装置の消耗部品の損耗は、作業内容や作業条件の影響を受け易いと考えられる。そこで、これらの交換作業を修理とした場合、及び整備としてダウンタイムから除外した場合(例えば、C'とする)についても分類した。

4.3 MTBFとMTTR

作業装置関係の消耗品の交換を除外した故障について、累積稼働時間2000h毎の発生件数及び修理時間を計上し、MTBF及びMTTRを求めた。図-1及び図-2に、その結果を示す。ただしここに示す値は、調査対象機種別の平均値である。

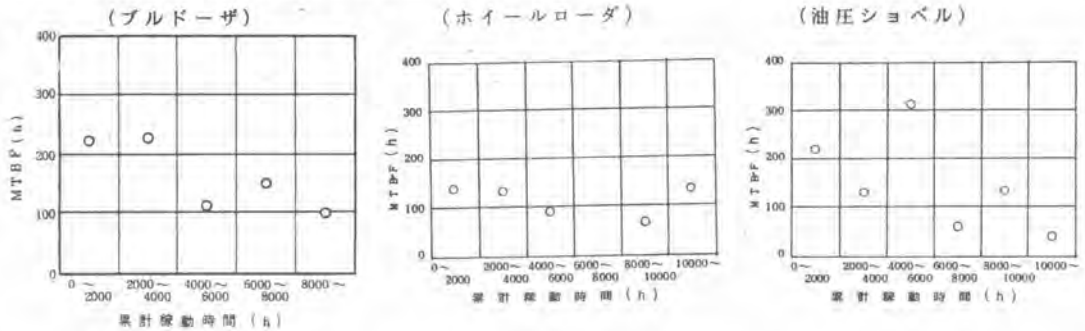


図-1 累計稼働時間に対するMTBF

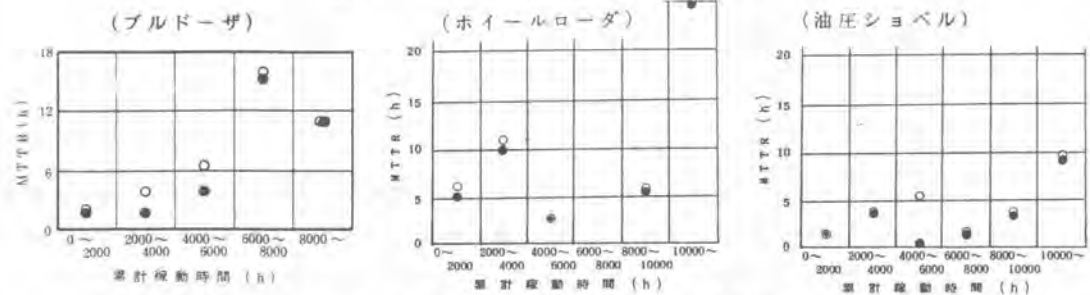


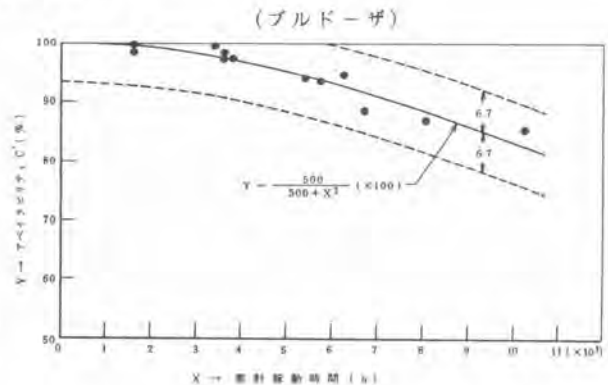
図-2 累計稼働時間に対するMTTR

これらの図から、大型建設機械は何れの機種も、累計稼働時間が大きくなるに従がいMTBFが小さくなり、一方MTTRは大きくなるのがわかる。

4.4 アベイラビリティの試算

図-3は、4.2項の条件C'について、

(1)式により算出した各調査対象機械のアベイラビリティを、調査終了時のアウメータの読みに対して示したものである。アウメータの読みは、ほぼ累計稼働時間に相当すると見て良い。この図では、メーカー及び規格等の異なる機械を同一に取扱っているためか、ばらつきが多い。



しかし、何れの機種の場合も累計稼働時間が4000h程度までは、アベイラビリティはかなり高い値を示し、それ以降は時間の経過と共に漸減する傾向を見せている。なお、ここでは条件C'についてのみ示したが、この定性的傾向については何れの条件においても同様である。

以上のような傾向が生ずることは、4.3項において機械が古くなるにつれ故障頻度が高くなり、故障1件当り修理時間が増大する傾向のあることから、予測できたことでもある。

次に、図-1においてMTBFは時間の逆数で近似できることから、MTBFは下式で示される。

$$MTBF = a / t \dots\dots\dots (3)$$

ただし、a：定数，t：時間

また、図-2よりMTTRは時間に比例していることから、下式で近似できる。ただしbは定数。

$$MTTR = b t \dots\dots\dots (4)$$

(3)式、(4)式を、アベイラビリティの定義を示す(2)式に代入すると、以下ようになる。

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{a / t}{a / t + b t} = \frac{a}{a + b t^2} \dots\dots\dots (5)$$

このa、bの値を、調査の結果得られたアベイラビリティの値とできるだけ一致するように回帰曲線の式を求めると、図-3中に示すように3種の建設機械について、それぞれの式が得られる。以上は、条件C'についてのみ試算したが、アベイラビリティYが累計稼働時間Xに関し、

$Y = k / (k + X^2)$ で表されるとして、kの値を他の条件について求めた結果を、表-2に示す。

この表を見ると、算出条件によりアベイラビリティは大きく変わることがわかる。

5. あとがき

アベイラビリティは、他の分野における例をひくまでもなく、メーカー、ユーザの双方にとり利用価値の高いものである。建設機械の分野において、その活用が普及されない理由は種種あるが、建設機械に適用する場合の用語の定義が確立されていないこと、及びデータの蓄積が極めて少ないことが大きな理由として挙げられる。

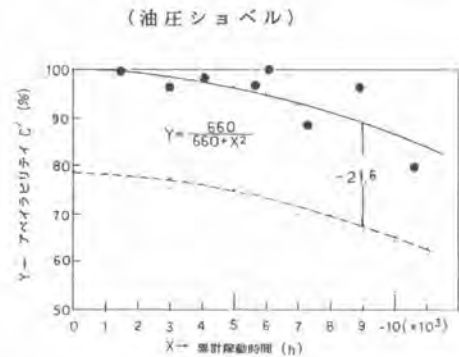
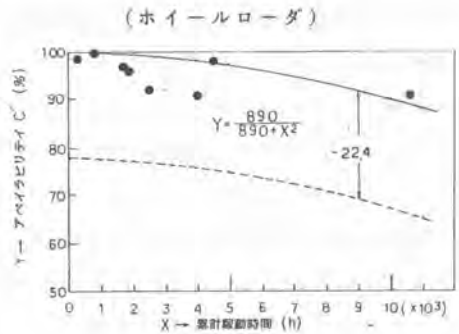


図-3 累計稼働時間とアベイラビリティ

表-2 算出条件と定数kの値

| 条件 | ブルドーザ | ホイールローダ | 油圧ショベル | |
|----|-------|---------|--------|------|
| A | A | 970 | 1630 | 1430 |
| | A' | 780 | 1960 | 1560 |
| B | B | 950 | 1490 | 1250 |
| | B' | 970 | 1760 | 1370 |
| C | C | 520 | 800 | 630 |
| | C' | 520 | 890 | 660 |
| D | D | 230 | 390 | 360 |
| | D' | 230 | 410 | 350 |

18. 肉盛・溶射金属の砂岩に対する摩耗特性

愛媛大学 *室 達 朗・前田建設工業(株) 井 尻 博 之
佐伯建設工業(株) 平 川 広 海

1. 去えかき 現在、土木工事において、リッパ工法による岩盤掘削が増加してきた。大型ブルドーザの出現により硬岩掘削が可能となってきた反面、リッパチップの摩耗が問題になってきた。そこで、摩耗を少しでも軽減するために、ここでは肉盛、溶射金属で表面処理したリッパチップを対象とし、金属供試体として表面硬度の高い肉盛金属と溶射金属、岩石供試体として砂岩を用いて400 kgf/cm²に至る高面圧下において摩耗試験を行った。なお、乾燥状態においては、金属供試体の岩石供試体との接触部分が高温になるので、噴流水による冷却効果を確認するために水浸状態についても実験した。そして種々の接触面圧において摩擦係数、金属の摩耗量、表面硬さ、岩石の溝深さを測定し、肉盛、溶射金属の砂岩に対する摩耗特性について考察した。

2. 金属供試体 表1に使用した6種類の金属供試体(直径7mm、長さ30mm)の特性を示す。金属供試体A、Bは肉盛金属で、被覆アーク溶接法によって肉盛されたもので、金属Aは複合カーバイド系金属で高温での耐摩耗性が良好である。金属Bはクロムカーバイド系金属で表面硬化肉盛に使用されている。金属供試体C~Fは溶射金属でNiCr自溶合金粉末をガススプレイシステムで溶射され、溶射層を再溶融させて素地と強い金属的結合を形成している。

3. 室内摩耗試験 図1¹⁾は前報に詳細な説明がなされた室内摩耗試験機であり、今回もこの装置を使用した。まず回転テーブル上に岩石供試体を設置し、アームに固定した金属供試体を岩石上で半径12.8cmの円周上を摺動させる。乾燥・水浸状態の2つの状態を設定し、水浸状態として金属供試体と岩石供試体との接触部分に先端の口径1.6mmのノズルで水道水を約30 cm³/secの流量で噴射させて行った。また実際のリッピング作業を考慮して、摺動速度を約5 km/h接触面圧を400 kgf/cm²として、各段階における摩擦係数と金属の摩耗重量、表面硬さ、岩石の

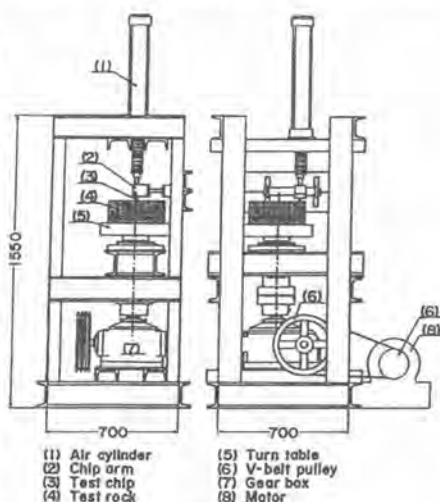


図1 室内摩耗試験機

表1 肉盛、溶射金属の材料特性

| No. | Hs | Hv | HrC | Chemical Composition (%) | | | | | | | | | | | | | R* |
|-----|------|-----|------|--------------------------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|------|
| | | | | Cr | Si | Fe | C | Ni | B | V | W | Nb | Mo | Cu | WC-BN | | |
| A | 93.6 | 880 | 66.4 | 22.0 | 0 | 47.5 | 5.5 | 0 | 0 | 1.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 0 | 0 | 8.1 | Weld |
| B | 84.9 | 737 | 61.7 | 3.3 | 0 | 62 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.1 | | |
| C | 78.8 | 657 | 58.6 | 17.0 | 4.0 | 4.0 | 1.0 | 7.05 | 3.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.4 | Spray | |
| D | 77.6 | 645 | 57.7 | 14.0 | 4.5 | 4.5 | 0.6 | 7.34 | 3.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0 | | |
| E | 78.9 | 663 | 58.6 | 16.0 | 4.0 | 4.0 | 0.5 | 6.43 | 4.0 | 0 | 2.4 | 0 | 2.4 | 0 | 2.6 | | |
| F | 79.0 | 667 | 59.2 | 11.0 | 2.5 | 2.5 | 0.5 | 4.60 | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35.0 | 1.4 | | |

* 硬度は軟化抵抗

溝深さを測定した。岩石として砂岩を用いた。その物性は見かけ比重 2.71 ± 0.01 、単軸圧縮強度 $2010 \pm 100 \text{ kgf/cm}^2$ 、超音波伝播速度 $1837 \pm 211 \text{ m/sec}$ 、鉱物組成は石英28%、斜長石42%、石基18%である。

4. 肉盛金属の摩耗特性 図2は金属A, Bについて砂岩の乾燥・水浸状態における摩耗量と接触面圧について表したものである。乾燥状態の場合金属A, Bともに面圧約 110 kgf/cm^2 付近から金属供試体の岩石供試体との接触部分か赤熱し始めた。一方水浸状態でも面圧が約 110 kgf/cm^2 付近から赤熱し始めた。次に図3は金属A, Bについて乾燥・水浸状態における摩擦係数と接触面圧について表したものである。図からもわかるように低面圧下では不安定であるが高面圧下ではある一定の値に落ちつく。また乾燥状態と水浸状態を比べると水浸状態の方が摩擦係数が若干大きい。図4は金属A, Bについて乾燥・水浸状態における実験前後の硬度について表したものである。金属Aは乾燥・水浸状態とも低面圧下では硬化, 軟化を繰り返しながら全体的に硬化し, 高面圧下ではほぼ一定の値になる。金属Bは乾燥・水浸状態とも低面圧下でやや軟化を示し, それから安定した値をとるようになる。

5. 溶射金属の摩耗特性 図5は金属C~Fについて砂岩の乾燥・水浸状態における摩耗量と接触面圧について表したものである。図からもわかるように金属CとDの摩耗量はあまり差がない。これは二つの金属の化学成分がよく似ているためと考えられる。また, 金属Eは低面圧下では摩耗量がやや多いが金属Fの摩耗量は少ない。一方, 金属Fは高面圧下では特に乾燥状態は水浸状態に比べて摩耗量が急増している。図6は金属C, Dについて乾燥・水浸状態における摩擦係数と接触面圧について表したものであり, 図7は金属E, Fについてそれを表したものである。これからもわかるように, 肉盛金属の場合と同様な変化を示している。そして, やはり水浸状態の方が値が大きくなっている。図8は金属C~Fについて実験前後の硬度変化について表したものである。これからもわかるように金属Bのような顕著な軟化傾向はみられず, それほど大きな変化は見られなかった。図9は金属E, Fについて乾燥・水浸状態における砂

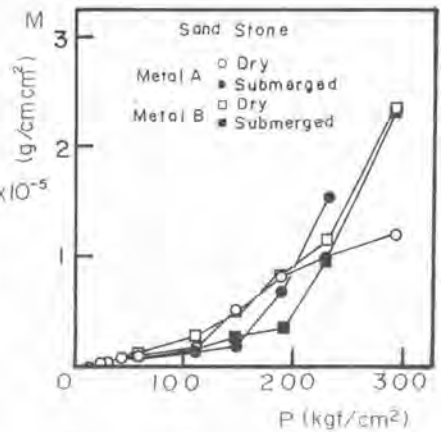


図2 肉盛金属A, Bの摩耗量Mと接触面圧Pとの関係

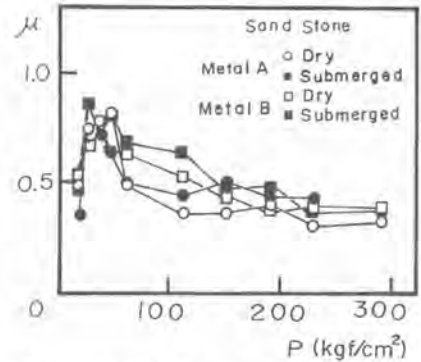


図3 肉盛金属A, Bの摩擦係数μと接触面圧Pとの関係

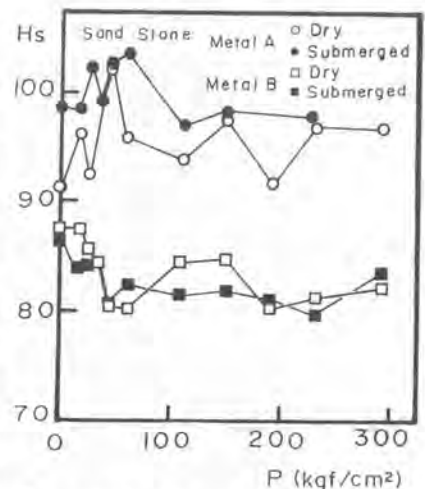


図4 肉盛金属A, Bのショア硬度Hsの接触面圧Pによる変化

岩の溝深さと接触面圧について表したものである。これからわかるように、水浸状態の方がよく削られている。そして金属別では金属Fの場合においてよく削られている。

6. 肉盛と溶射金属の比較 肉盛金属と溶射金属を比べると摩耗量については、肉盛金属の方がやや耐摩耗性に優れている。しかし摩擦係数については肉盛と溶射では、それほど大きな差はなかった。硬度変化についても金属Bを除いては顕著な軟化も見られなかった。これは金属Bを除く他の金属ではV, W, Mo, Nb, Si, Bなどの元素が焼き戻しによる軟化を遅滞させる働きがあるからと思われる。また、肉盛と溶射金属厚を比べると肉盛金属の方が表面処理によって層を厚くすることができこの点でも優れている。

7. 考察 まず接触面圧Pと摩耗量Mの関係を表わすと次のような実験式が得られた。これらの中には非常に高い相関が得られた。

金属供試体 A

乾燥状態 $0 \leq P$ $M = 3.98 \times 10^{-10} P^{1.85}$ (1)

水浸状態 $0 \leq P$ $M = 1.29 \times 10^{-9} P^{1.60}$ (2)

金属供試体 B

乾燥状態 $0 \leq P < 142.6 \text{ kgf/cm}^2$ $M = 6.61 \times 10^{-9} P^{1.30}$
 $142.6 \text{ kgf/cm}^2 \leq P$ $M = 4.82 \times 10^{-11} P^{2.30}$ (3)

水浸状態 $0 \leq P < 180.4 \text{ kgf/cm}^2$ $M = 4.51 \times 10^{-9} P^{1.34}$
 $180.4 \text{ kgf/cm}^2 \leq P$ $M = 1.21 \times 10^{-3} P^{3.36}$ (4)

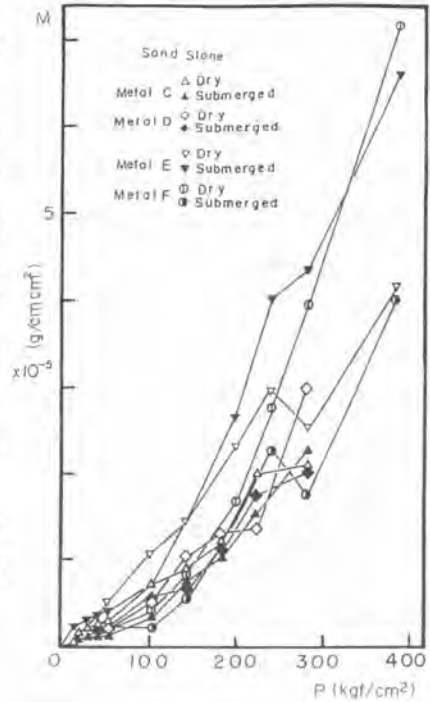


図5 溶射金属C, D, E, Fの摩耗量Mと接触面圧Pとの関係

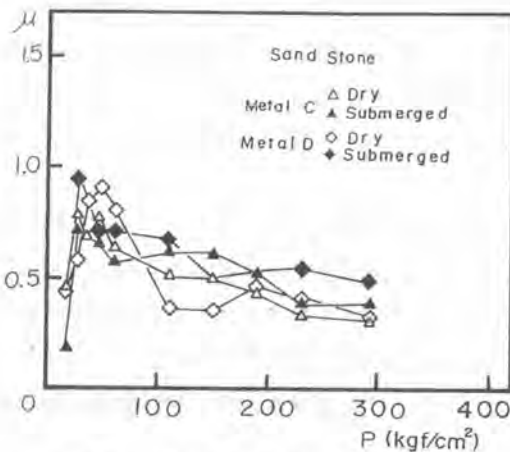


図6 溶射金属C, Dの摩擦係数μと接触面圧Pとの関係

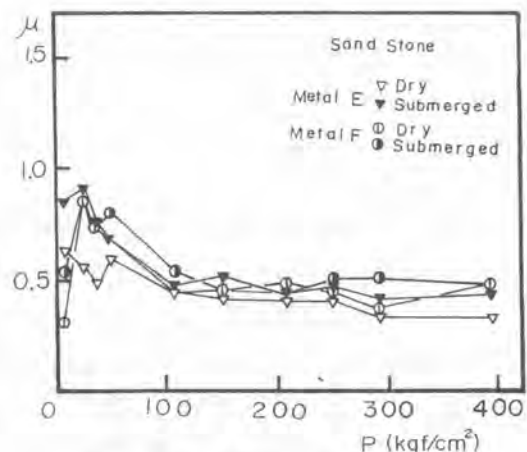


図7 溶射金属E, Fの摩擦係数μと接触面圧Pとの関係

金属供試体 C

乾燥状態 $0 \leq P$ $M = 7.55 \times 10^{-9} P^{1.43}$ (5)

水浸状態 $0 \leq P$ $M = 2.31 \times 10^{-9} P^{1.60}$ (6)

金属供試体 D

乾燥状態 $0 \leq P$ $M = 3.50 \times 10^{-9} P^{1.55}$ (7)

水浸状態 $0 \leq P$ $M = 2.56 \times 10^{-9} P^{1.60}$ (8)

金属供試体 E

乾燥状態 $0 \leq P$ $M = 9.21 \times 10^{-8} P^{1.04}$ (9)

水浸状態

$0 \leq P < 66.0 \text{ kgf/cm}^2$ $M = 7.23 \times 10^{-7} P^{0.35}$

$66.0 \text{ kgf/cm}^2 \leq P$ $M = 1.52 \times 10^{-9} P^{1.81}$ (10)

金属供試体 F

乾燥状態 $0 \leq P < 117.8 \text{ kgf/cm}^2$ $M = 2.98 \times 10^{-8} P^{1.02}$ (11)

$117.8 \text{ kgf/cm}^2 \leq P$ $M = 2.02 \times 10^{-11} P^{2.55}$ (11)

水浸状態 $0 \leq P < 102.4 \text{ kgf/cm}^2$ $M = 1.23 \times 10^{-7} P^{0.56}$ (12)

$102.4 \text{ kgf/cm}^2 \leq P$ $M = 3.21 \times 10^{-12} P^{2.84}$ (12)

以上のようになった。また、摩擦係数の場合水浸状態の方が大きい値を示す。これは乾燥状態の場合金属や岩石の摩耗粉が両供試体の間にはいりこみそれらが転がることによって小さくし、水浸状態の場合噴流水によって摩耗粉が洗い流され、金属が常に新しい岩石面と接するためであると考えられる。また金属Fの乾燥状態で特に高面圧下で摩耗量が多いのは、金属Fに含まれているモース硬度 ρ 、融点が2870℃という非常に硬いタンゲステンカーバイド粒子が融解せず摩耗粉として残り、これが砂岩の空隙に目づまりして逆に金属を摩耗させたものと考えられる。溝深さに関しては、金属EとFを比べた場合、金属Fの方がよく削られているが、これもこのタンゲステンカーバイド粒子の影響を受けていると考えられる。

8. 結論 今回用いた金属で、一番耐摩耗性があったのは肉盛金属Aであった。これは初期表面硬度が他の金属より高いためと焼き戻し軟化抵抗Rが最も高く、高面圧下でも軟化しなかったためと考えられる。また溶射金属Fのように、硬いタンゲステンカーバイド粒子を含むために低面圧下では良好な耐摩耗性を示したが、高面圧下の乾燥状態においては逆に摩耗量は増加した。

参考文献 1) 室達朗, 榎明潔: 岩盤掘削におけるリップチップの耐摩耗評価, 建設機械と施工法シンポジウム論文集(1981) pp. 9-12.
2) 室達朗: リッパーチップの金属材料と摩耗寿命, 愛媛大学紀要第3部工学, 9-4(1981) pp. 339-410.

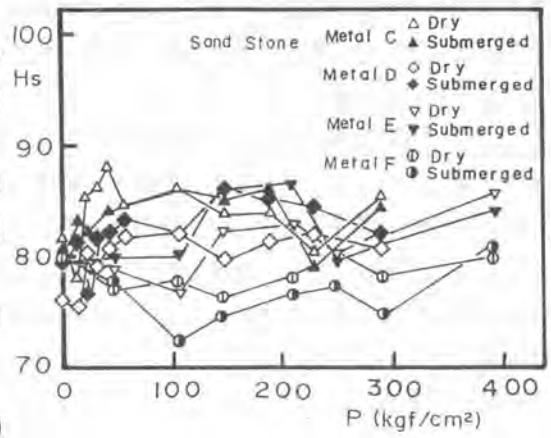


図8 ショア硬さHsの接触面圧Pによる変化

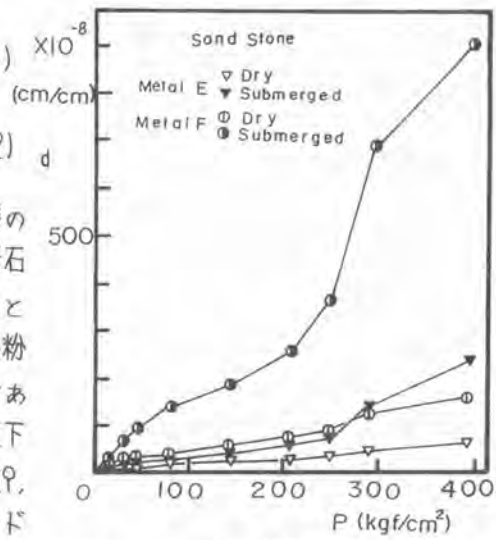


図9 溝深さdと接触面圧Pとの関係

19. 新しい無発破岩盤掘削工法の開発

日本国土開発(株) *宮 地 明 彦・川 上 裕

1. まえがき

近年、建設工事における安全性や無公害性の問題は、我々建設業に身をおくものにとつて非常に重大な関心事となつている。特に、岩盤掘削工事においては、発破という経済的には他工法と比べてはるかに有利であるが、安全性あるいは無公害性という面ではかなり課題をもつ工法が現在でも主役であるため、ここ数年とりわけ無発破による岩盤掘削という課題がクローズアップされてきた。本報告は、筆者らが開発した新しい無発破岩盤掘削工法（以下、KNBB工法；Kokudo Non Blasting Bench-out と記す）について、その施工法と施工例について報告するものである。

2. 施工法

現在でも、日本の石工たちが石材を切出すときはセリ矢というくさびを用いている。このセリ矢破碎法は、次のような優れた特長をもっている。① パーカッションによりウエッジを貫入するので破碎力が大きい。② 岩を引張り力で破碎する。③ 一打一打の打撃エネルギーをウエッジの貫入量として蓄積するので、鉄が破損しない限り、どんな硬い岩でも破碎できる。④ 数個のセリ矢を順次打ち込んで、その合力で岩を破碎することができる。⑤ 破碎範囲外への影響は少ない。

KNBB工法は、このようなセリ矢破碎法の長所をすべて生かし、かつ経済的で大規模な掘削ができるよう機械化に成功したものである。図-1に

施工フロー図を、図-2に破碎機構図を、図-3に標準的な施工状況を示す。又、本稿では、機械化されたセリ矢をパワーウエッジ（PWと記す）と呼び、その打撃機をKNBB

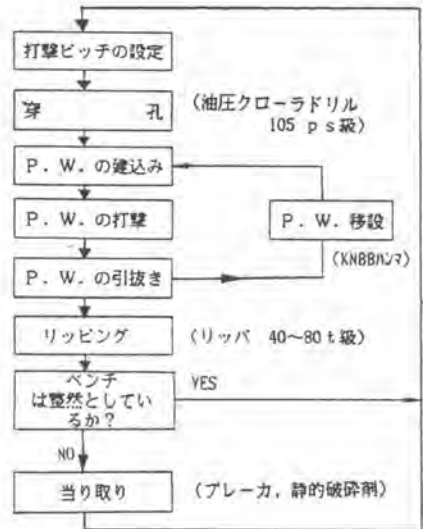


図-1 施工フロー

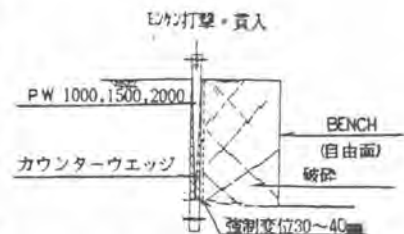


図-2 破碎機構図

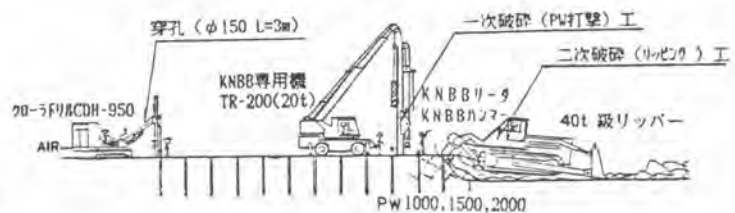


図-3 標準的な施工状況

Bハンマと呼ぶ。次に施工法について簡単に説明する。

2. 1 ベンチ高、打撃ピッチ

図-3に示すごとく、KNBB工法では、リツパはベンチ下段で作業するため、ベンチ高さはリツパの掘削可能な高さで制限される。

又、岩質によつてもベンチ高を変化させるが通常は1.5~2.0mの範囲で行う。岩質と標準打撃ピッチを表-1に示す。

表-1 標準打撃ピッチ (ベンチ高さ 2.0 m の場合)

| 岩の分類 | 標準打撃ピッチ | | 1孔当たりの 破砕面積 (m ²) (s) | 1孔当たりの 破砕量 (m ³) (v) |
|--------|------------------|------------------|---|--|
| | 抵抗線方向 (m) (a) | 自由面方向 (m) (b) | | |
| 軟岩 (2) | 2.00 | 2.00 | 4.00 | 8.00 |
| 中硬岩 | 1.50 | 2.00 | 3.00 | 6.00 |
| 硬岩 (1) | 1.25 | 2.00 | 2.50 | 5.00 |
| 硬岩 (2) | 1.00 | 1.50 | 1.50 | 3.00 |

(注) 岩の分類は建設省土木工事積算基準参照

2. 2 せん孔

図-1に示すごとく、最初の作業はPWを建込む孔のせん孔である。せん孔径は150mm、せん孔長は2.5~3.0m (ベンチ高+1.0m) である。孔はPWの建込みを円滑に行うため、鉛直性、直線性に高い精度が要求される。そのため、本工法では特殊な大口径ビットを開発している。

2. 3 PWの打込み、引抜き

数本のPWを自由面に近い方から順次2tのドロップハンマで打撃する。打撃した瞬間には、PWには5000~8000kg/cm²の応力が生じるため、PWの材質は高強度でかつじん性に富むものでなければならない。又、ウエッジとカウンターウエッジの摩擦面は、高圧下でこすり合わされるため高熱を発生する。したがって材質の劣化、あるいは焼付きの防止のため、特殊な減摩剤を使用している。

所定のストローク (1.0 m) だけ打ち込まれたPWは岩盤に幅40mmのクラックを与える。このクラックは岩質にもよるが、時として強い力で元に戻ろうとするため、PWの引抜きには大きな力を要する。KNBBハンマは、PWの打込み、引抜き、移設に要するハンマ、リムーバ、フックをすべて1本のリーダーに装備している。ベースマシンはホイールクレーン (20t) である。

2. 4 リツピング

本工法は、リツピング不能な硬岩をリツピング可能な領域までクラツキーな状態にすることが目的である。したがって、使用するリツパの機種により目標とする破砕度合も異なるが、本工法では40~80t級のリツパが適している。リツピング後、ベンチの足元に未掘削部分 (当り) が残ることもあるが、ブレーカで容易に処理できる。

2. 5 打撃ピッチの管理

表-1に示す打撃ピッチは、標準的な岩質に対するものであり、実際の施工ではいくつかの施工情報を検討しながら最適な打撃ピッチとPWのタイプを選ぶ。施工情報としては、リツピングの難易度、PWの打込エネルギー、PWの貫入量、PWの引抜き抵抗などがあり、現在これらの諸量を総合的に考慮して最適な打撃ピッチを設定する情報化施工システムを開発中である。

3. 工事振動及び騒音

いくつかの発破工事における振動レベルの測定例と、本工法におけるPW打撃時の振動レベルの比較を図-4に示す。この図より、約8m離れた地点で振動規制法における制限値75dBをクリアしていることがわかる。一方、騒音については、クラッタドリルのせん孔音とPWの打撃音が問題となり、硬質ゴム、防音シート等を用いて実用上問題のない程度まで騒音レベルを低下させている。(50m離れた地点で75dB)

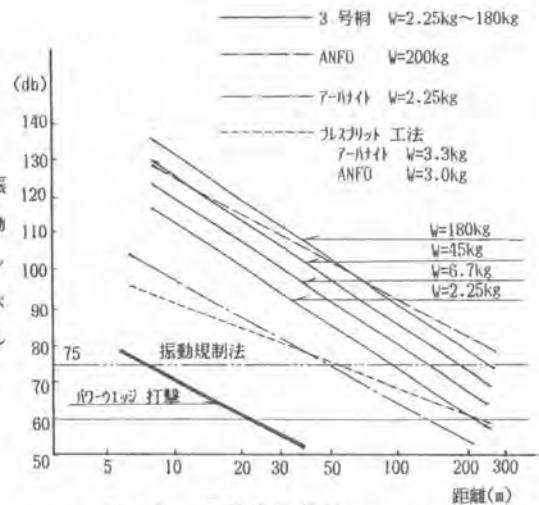


図-4 振動値の比較

4. 施工例

4.1 長崎市葉山団地造成工事(昭和58年7月~59年6月)

本工事は長崎市郊外の宅地造成工事で周辺はすべて宅地として開発されている。無発破による岩盤掘削量は約13万 m^3 、岩質は安山岩で、 $\sigma_c=1500\sim2700\text{kg/cm}^2$ を持つ第1級の硬岩である。掘削当初は、大型ロックブレイカ(BSP-1100型)とKNBB工法との並行作業を行ない、その施工能力を比較した。表-3に実

表-3 KNBB工法とロックブレイカ工法の能力比較 ($\sigma_c=1500\sim1800\text{kg/cm}^2$)

| 名称 | KNBB工法 | 数量 | BSPロックブレイカ工法 | 数量 |
|------|-------------|-----------|--------------|----------|
| 機械編成 | 油圧クラッタ | 103ps 級 | 1 台 | 1 台 |
| | 17-3ブレード | 7m3 級 | 1 台 | 1 台 |
| | 17-3ブレード | 20t 級 | 1 台 | 2 台 |
| | KNBB | | 1 台 | 1 台 |
| | PW | | 10 台 | 1 台 |
| | 7打撃 | 80t 級 | 0.5 台 | 0.5 台 |
| | ブレイカ | 1t 級 | 0.5 台 | |
| 労務費 | 削岩工 | 2 人 | 特殊運転手 | 1 人 |
| | 特殊運転手 | 2 人 | 機械工 | 1 人 |
| | 世話 | 1 人 | 世話 | 1 人 |
| | 普通作業員 | 1 人 | 普通作業員 | 1 人 |
| | | 2 人 | | |
| 消耗材料 | 軽油 | 940 l | 軽油 | 650 l |
| | ビット(70-100) | 1 式 | ビット(100-150) | 1 式 |
| | ビット(150) | 1 式 | | |
| 掘削量 | 1日当たり | 100 m^3 | 1日当たり | 80 m^3 |

績比較を示す、BSPロックブレイカは、運転時間当りの掘削能力は15 m^3 程度のものを持つているが、オイルポイントの交換時間や機械の整備時間が長く、1日当りに換算すると80 m^3 程度となる。又、 σ_c が1800 kg/cm^2 を超えると極端に破砕能力が低下し、岩盤にスリ鉢状の穴ができるのみでリッピングのための有効な破砕効果は得られない。一方、

KNBB工法では岩の強度が増加しても、ある一定の施工能力は確保できた。これは前述した、どんな硬い岩でもPWが破損しない限り岩が破砕するという施工原理の実施工における証明である。以上の結果、BSPロックブレイカは、リッパのかかるか、かからないかの限界附近の比較的軟質な岩盤において、リッパの作業能力を大巾に向上させるために利用することがもつとも効果的であるとの結論を得た。又、KNBB工法の岩質による1日の掘削量を図-5に示す。

4.2 本四連絡橋岩黒島高架橋下部工工事(昭和58年11月~昭和59年2月)

本四連絡橋、尾島~坂出ルートのうち、岩黒島の陸上部硬岩掘削工事を本工法で施工した。無発破硬岩掘削量は約3万 m^3 、岩質は傾家花崗岩で $\sigma_c=1200\sim1600\text{kg/cm}^2$ である。本工事は片切り

オープンカット工事であり、前述の葉山団地造成工事と比して作業エリアが狭い点が難点であった。本工法では、1日当り2000m³の掘削を行うものとする、ベンチ高2mの場合、1000m³の掘削を行う必要があり、そのため1つの切羽の長さは最低30～50m連続することが望ましい。かつ、せん孔及びPW打撃の二つの作業を並行して行うため、このような切羽が2ヶ所以上必要である。岩黒島工事では、1つの切羽長が約20mで常時2ヶ所以上の切羽を確保できなかったため、機械の平均稼働率は50～60%に低下した。しかし、岩盤の中になかなか風化した目も発達しており、そのためPWによる破碎効果が良好であったため、当初の計画どおり1日当りの掘削量は、2000m³を確保できた。

4. 3 岡山商科大学グラウンド造成工事（昭和59年4月～昭和59年6月）

本工事は岡山市内の市街地におけるグラウンド造成工事である。図-5 1日当り掘削量、 $\rho_c = 1000 \sim 1500 \text{ kg/cm}^3$ の広島花崗岩を約15000m³掘削した。本工事では、パワーショベルのアタッチメントとしてせん孔機と油圧くさびを装えた油圧式の静的岩盤破碎機と並行作業を行った。実績については現在整理中であるが、現場の担当者からは、岩盤を大塊に破碎する作業はKNBB工法が有効で、油圧式破碎機は、小割あるいは当り取りにのみ使用したとの報告を得ている。

5 まとめ

本工法は開発に着手して以来3年を経て、その間、現場実証実験を含めて約18万m³の施工実績を重ねてきた。開発の過程で、①強靱なPWの材質 ②PW摩擦面の減摩剤 ③大口徑、高精度なせん孔ビット ④KNBBハンマの機構 ⑤打撃ピッチに関する情報化施工システム 等についてのノウハウを研究し、実用の域まで達したが、これらの諸点については、今後もまだまだ研究の余地があると考えている。しかし、現在までの実績から、KNBB工法は

- ① いかなる硬岩でも破碎できる。
- ② 他の無発破工法に比して経済的である。
- ③ 大規模な硬岩掘削が容易である。
- ④ 汎用機械で施工するため工程管理が容易である。

等のすぐれた特長を持っていることを確信した。今後さらに工法の研究、改良に努め、安全で無公害な岩盤掘削システムとしてさらに高度な機械化を目指したいと考えている。

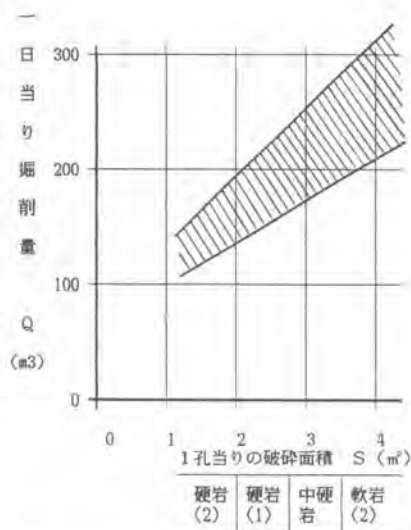


図-5 1日当り掘削量

20. 重量鉄筋用配筋ロボットの開発

東京電力(株) 松井志郎
 鹿島建設(株) *毛利行男
 日立建機(株) 吉田邦彦

1. まえがき

原子力発電所の建設工事は、規模、物量共に一般建築と比較して膨大であり、特定地域に大量の作業員を投入する必要があるが、このうちでも、特に作業員の上で大きな比率を占める鉄筋工事は、重作業のため、若年作業員からは敬遠されがちであり、鉄筋工の高齢化が進むと同時に作業員の不足率も増加の傾向にある。

このような背景から、鉄筋工事の省力化を目的とした機械の開発を図ることが緊急の課題となり、東京電力と鹿島建設の共同研究に日立建機の協力で、重量鉄筋用配筋ロボットの開発研究を進めて来た。その成果として、このたび、マイコン制御により、自動的に鉄筋を搬送・配置する重量鉄筋(太径)用の配筋ロボットを開発した。



写真-1 重量鉄筋用配筋ロボット外観

この配筋ロボットは、原子力発電所などの大型構築物基礎に用いられる太径かつ長尺の重量鉄筋を一定間隔で配置するもので、小型・軽量であるので簡単な架台や鉄筋の上を走行でき、操作も一人で行える。

またマイコン制御により自動的に1本づつ一定間隔で配置でき、しかも効率良く、安全に現場の配筋作業をおこなうことができる。

| | | | |
|-----------|------------|---------------|------------|
| 総重量 | 約5,500kg | フィーダ装置(兼脱可) | |
| 本体 | | 最大積荷重 | 2,150kg |
| 原動機 | ディーゼルエンジン | 寸法 | 全長 1,400mm |
| 原動機定格出力 | 26PS | | 全幅 7,000mm |
| 寸法 | 全長 4,000mm | 配筋装置 | |
| | 全幅 2,200mm | 最大作業半径 | 4,300mm |
| | 全高 2,600mm | (旋回中心から) | |
| タンブラ中心距離 | 2,200mm | 鉄筋水平送り出し | 左右 1,200mm |
| グーシ幅 | 1,800mm | 鉄筋つかみ幅 | 5,000mm |
| 旋回幅 | 400mm | つかみ部水平送角度 | 左右 30度 |
| 上部旋回体戻り速度 | 360度 | 自動配筋時の配筋速度 | 分/本 |
| アームスイング角度 | 左右 50度 | (つかみ~配筋1サイクル) | |
| | | 自動配筋時の配筋精度 | 前後方向±60mm |
| | | | 左右方向±85mm |
| | | 対象鉄筋 | D-38mm×12本 |

表-1 重量鉄筋用配筋ロボット諸元

2. ロボットの概要

このロボットは、マットスラブの配筋を主な目的とした移動型で、ディーゼルエンジンを搭載しており、クローラで走行する本体部分と、鉄筋を送り出すフィーダ装置および鉄筋の配置をおこなうフロント部と、つかみ横送り部より成る配筋装置で構成されている。さらに壁筋などの垂直配筋もおこなえるクレーンアタッチメントも用意されている。

本体は、簡単な架台や鉄筋上を走行できるように機体重量を5.5トンと軽量化し、配筋を乱さないようにフラッシュを採用している。

操作方式は搭乗運転および有線リモートコントロールの2方式があり、さらにリモートコントロール操作は、自動運転と手動運転がある。本ロボットは一定間隔配筋、および千鳥配筋作業ができ、配筋間隔については1cmから99cmまで任意に設定できる。なお配筋作業中に任意の所で1~2

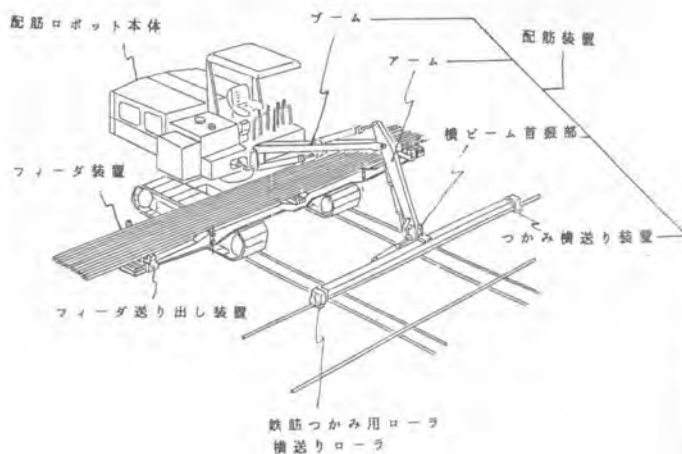


図-1 重量鉄筋用配筋ロボットの構成装置

本抜きジャンピングもできる。

フィーダの積載量は2.2ton(例: D38×12m 20本)で、フィーダ送り出し装置により、1本づつ前へ送り出され、配筋装置に受け渡される。配筋装置はブーム、アーム、横ビームから成り、横ビームの両端に各1対の鉄筋つかみ用ローラがあり、このローラの開閉で鉄筋のつかみ取りをおこなうとともに、ローラの回転により鉄筋の横送りをおこなう。

3. コントロールシステム

第2図は本ロボットのコントロールシステムを示すもので、ブーム、アーム、横ビーム首振部および横送りローラに設けられた角度検出器からの信号をマイコンで受け、マイコンは常時鉄筋つかみ部の位置を監視する一方プログラムに従って制御信号をドライバーに送り、ドライバーで増幅された電



写真-2 クレーンアタッチメント交換による垂直配筋作業状況

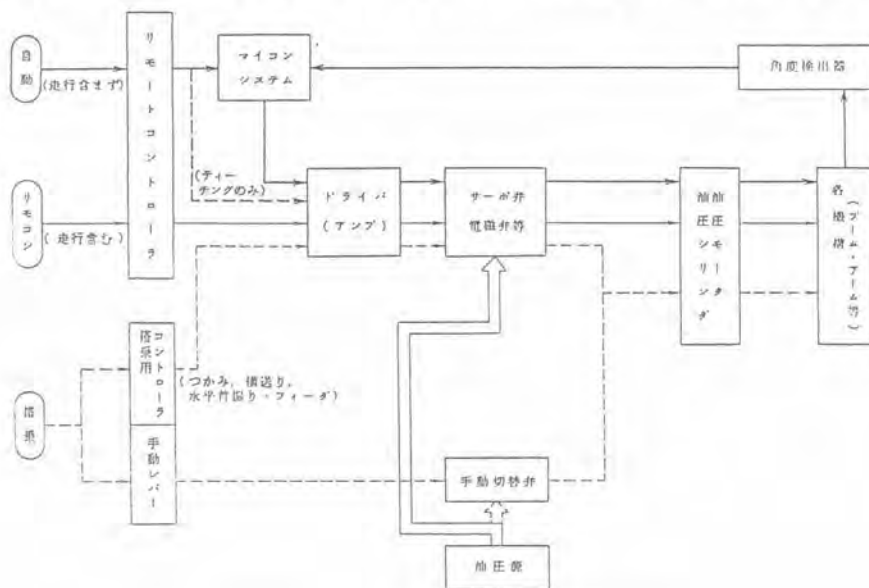


図-2 制御系統図

気信号はサーボ弁や電磁弁などの油圧制御弁に送られ、油圧シリンダーや油圧モータが駆動される。

自動運転の場合は、本体位置決めした後、オペレータが最初の鉄筋を手動操作で所定位置におき、これを基準にして、次から自動運転で残りの鉄筋を設定した間隔に配筋する。千鳥配筋の横送りも最初に置かれた鉄筋を基準にして、左右交互に所定のかさね継手量が得られるように横送りして配筋する。

本ロボットは各種安全警報装置を備えている。(表-2) 例えば自動運転時については、誤動作による危険を防止するためのチェック機能を持ったソフトや、オペレータの監視による非常停止装置を備えている。また周辺作業員の安全を配慮した各種警報装置なども備えている。

| | 項目 | | 内容 | |
|------------|--------------------------------------|----------------------------|--|-----------------------------|
| | 部位 | 項目 | 検出器 | 警報表示 |
| 安全装置 | 走行時 周辺への警報 | | 走行表示灯(回転灯) 走行表示ブザー | |
| | つかみ部からの 鉄筋の落下防止 | | スプリングによるネガティブ式つかみ機構 (万一、油圧力が低下してもスプリングによりつかみを 保持する。) | |
| | 鉄筋横送り警報 | | 鉄筋横送りブザー (横送り動作と連動) | |
| | 受筋時の本体ガード | | タワークレーンからの受筋時に鉄筋と本体との当たりを 防護するためのガード | |
| | 非常停止 | | 運転席およびリモートコントローラに設けた押釦スイッ チによるエンジン停止 | |
| 異常警報装置 | 対象 | | 検出器 | 警報表示 |
| | 部位 | | | |
| | エンジン系 | オーバーヒート | 温度センサ | 表示灯+ブザー |
| | | オイル潤滑不良 | 圧力スイッチ | 表示灯+ブザー |
| | | 燃料残量警報 | レベルスイッチ | 表示灯 |
| | 本体電源系 | 電源異常 | 電圧検出回路 | 表示灯+ブザー |
| | 油圧系 | 作動油温 高温 | 温度センサー | 表示灯+ブザー |
| | | 作動油温 低温 | 温度センサー | 表示灯 |
| | マイコン系 | 電源異常 | 電圧検出回路 | 表示灯+ブザー |
| | | 角度検出器の故障 同信号伝送 回路の断線 | マイコンソフト | 表示灯+ブザー 動作(自動運転の み)停止 |
| リモートコントローラ | 操作レバーの 角度検出器の故障 同信号伝送 回路の断線 | 異常検出回路 | 表示灯+ブザー 動作停止 | |

表-2 安全警報装置

4. 特徴

- (1) 操作方式は、搭乗、リモートコントロール、(自動、手動)方式があり、任意に選択できる。搭乗操作はメカニカルコントロールのため、電気系統が故障しても関係なく動かすことができる。
- (2) 自動運転は最初の1本を手動で任意の位置に置いた時点から始まり、手前の方へ所定の間隔

で順次配筋する。なお配筋途中で1～2本のジャンピングをすることや、途中で終了することもできる。

(3) 自動運転時の配筋間隔は、ダイヤルにより任意に設定することができる。

(4) 電気制御系の電源は車体用電気系から独立した電源を持ち、マイコンをはじめとする電気油圧制御弁などを駆動している。

(5) フィーダ装置は2.2 t o nまでの鉄筋を搭載でき、自動配筋動作と連動して鉄筋の払い出しを自動でおこなう。またフィーダ操作は、手動操作でもおこなえる。

(6) 配筋装置は横ビームを30度まで水平首振りができるので、放射状配筋のような複雑な配筋もおこなえる。

(7) 配筋装置はブームフットピンと油圧ホース及び電線を外すだけでクレーンアタッチメントと交換できる。クレーン能力は、総定格荷重350 kg (作業半径5 m) で、差筋や壁筋の吊り込み作業のほか雑作業にも使用できる。

5. 作業量と配筋精度

D38×12 m鉄筋を使用し、配筋間隔200 mm、左右1.2 mの千鳥配筋作業のサイクルタイムは、人力配筋の連続平均とほぼ同等であるが、さらに経済効果を狙う上でサイクルタイムの短縮を進めている。

次に省力化の面では、現在1グループ5～7人でおこなっている作業員数が本ロボットを使用すると3～4人となり40～50%の省力化がはかれる。

自動配筋による配筋精度は、鉄筋を置く前の機械精度で±10 mmであるが、鉄筋を置く時のころがりにより、バラツキが出るが、配筋精度は±60 mm以内におさまり、これは結束時に若干人力で修正を加える程度で実用上さしつかえない。

千鳥配筋の横送り精度は、鉄筋のころがりの影響をうけないため鉄筋を置いた時の精度が±30 mm以内で実用上問題ない。

6. 展望

本配筋ロボットは、重量鉄筋の配筋作業の省力化を目指して開発したものであり、今後建設される原子力発電所の建屋工事に使用を予定している。今後さらに改善改良を重ね当技術を原子力関連施設以外の建設工事へ活用し、建設工事の生産性向上と施工環境の改善に寄与するロボットに仕上げていく予定である。



写真-3 配筋テスト状況

(左側は一定間隔配筋、右側は千鳥配筋)



写真-4 配筋装置ビームの水平首振り状況

21. 油圧ショベルの動力系の電子制御

日立建機(株) 和泉 鋭 機 *田 中 康 雄・青 柳 幸 雄

1. まえがき

建設機械は非常に厳しい環境の中で使用されるため、電子技術の応用が遅れている。しかし徐々に過酷な条件に耐える半導体、センサ等が開発されてきて、マイクロコンピュータに代表されるメカトロニクス化が始まってきた。当社では、大型油圧ショベルUH16標準機(表1)をベースに、省エネルギーと作業性向上を図ったUH16マイコンショベル(図1)を開発した。本機は、主動力源であるエンジン・油圧ポンプ系を電子化したもので、エンジンの燃料噴射量を電子ガバナを用いて制御し、更に油圧ポンプも電気油圧制御して、双方を総合的に制御したのは世界でも初めてのことである。

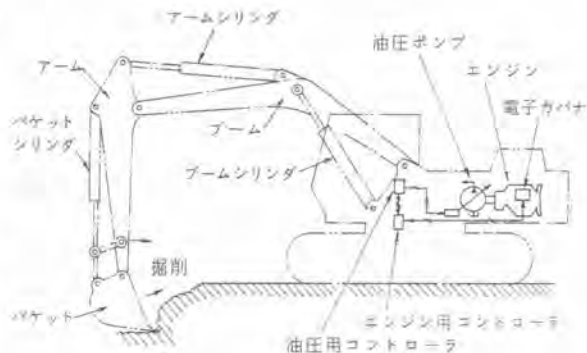


図1 マイコンショベル概念図

表1 UH16の主仕様

| 項目 | |
|----------|--------------------|
| 標準バケット容量 | 1.6 m ³ |
| 全装備重量 | 41.0 t |
| エンジン定格出力 | 250 PS |
| 最大掘削深さ | 7.73 m |

2. エンジン・油圧ポンプ系の制御

図2に主動力系の構成を示す。

まず、油圧動力源のポンプとしては、旋回専用の閉回路駆動用ポンプと、フロント・走行のアクチュエータ駆動用の2個の主ポンプを用いている。主ポンプの傾転量を制御するレギュレータには、電磁比例弁を用いており、マイコンで直接制御できるようになっている。

電子回路としては、エンジン用と油圧用の2台のコントローラを使用しており、相互にデータのやりとりをしている。いずれのコントローラにも8ビットのCPUを使用している。両コントローラの演算処理の1部を図3に示す。

エンジン用コントローラは、スロットルセンサで設定した目標回転数 N_{r1} と、油圧用コントローラからの目標回転数 N_{r2} との最小値を目標回転数 N_r として、これと実際の出力回転数 N_e との偏差量(以下では、回転数偏差 ΔN と称す)を演算し、これによって出力すべき燃料噴射量を、ついでラック位置を演算して、噴射ポンプのラック位置を最適に制御する。従って、エンジンの出力は図3のAの様になる。ここで、回転数偏差を同図に示すように、最大燃料噴射量となる状態を $\Delta N=0$ とすると、エンジンの制御は次のように表現できる。即ち、エンジンにかかる負荷が小さい時には $\Delta N>0$ であり(図

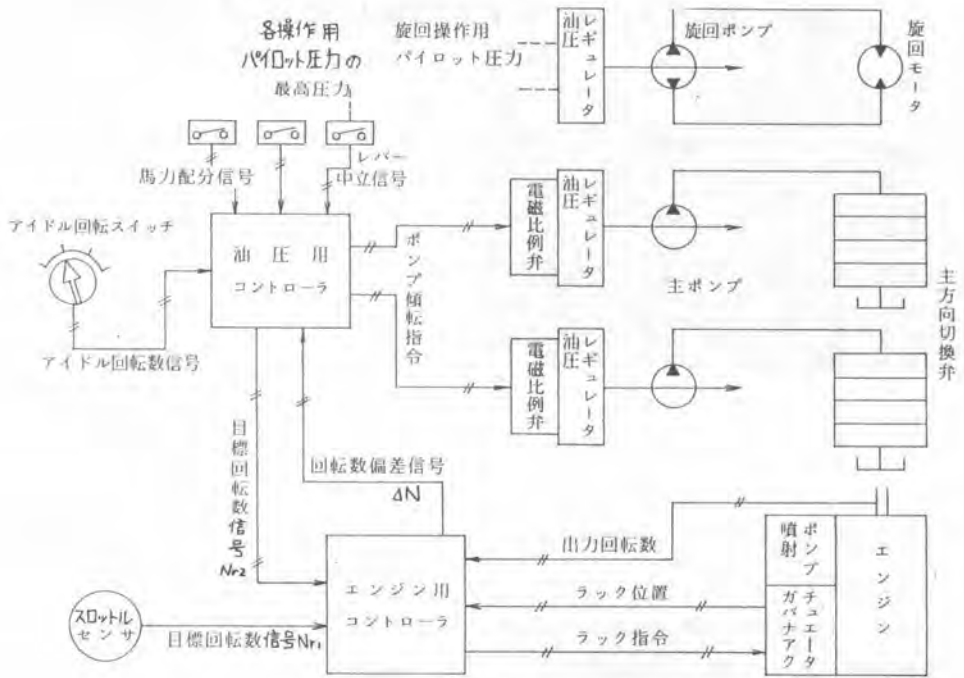


図2 エンジン・油圧ポンプ系の構成

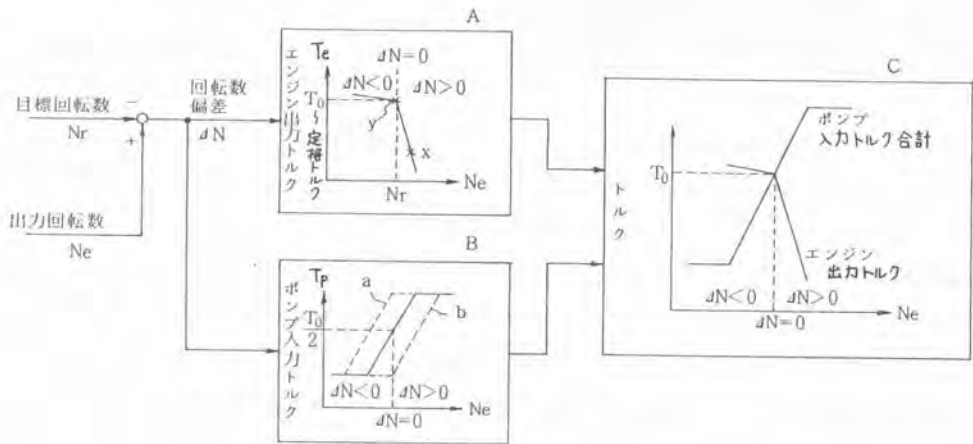


図3 制御ブロック図

中 x)、この状態から主ポンプの負荷を上げていくと、負荷の増大とともにエンジン回転数が低下し、回転数偏差 ΔN が減少する。そこで、燃料噴射量を増加し、エンジン出力を増加させるが、最大噴射量に達した (y 点; $\Delta N=0$) 後は、エンジン出力を増加させることはできないので、更に大きい負荷がかかるとエンジンは停止に至る。従って、回転数偏差 ΔN は、エンジンの負荷状態を示す量であること、また $\Delta N=0$ の状態は、エンジンの出力できる限界であることが判る。そこで、油圧用コントロ

ーは、この回転数偏差を入力信号としてポンプの傾転量を最適に制御することができる。以上の電子制御により、下記の機能追加、性能向上がなされた。

2.1 回転数偏差検出方式全馬力制御

油圧用コントローラでは、前述の回転数偏差 ΔN を演算処理し、電磁比例弁を制御して図3のBに示したように、油圧ポンプの出力を制御する。従って、エンジンと油圧ポンプの出力特性は同図Cのようになる。即ち、エンジン出力に余裕のある場合 ($\Delta N > 0$) には油圧ポンプの入力を上げるように、エンジンが過負荷状態にあるときは ($\Delta N < 0$) 油圧ポンプの入力を下げるように制御するので、重負荷時にはエンジン出力の最大限まで有効利用できることになる。この様に、エンジンと油圧ポンプとを同一の負荷信号で関連させて制御するので、機器のばらつきに関係なく正確な馬力制御ができる。

また、図2に示したように、旋回系に閉回路を採用しているので、旋回制動時には油圧ポンプによってエンジンが駆動されることになり動力回収が可能である。応答波形例を図4に示す。これは、旋回制動時にアームを操作した例であるが、点線で示した通常の場合と比較してポンプ吐出圧力やアクチュエータの動きは全く同じであるが、燃料噴射量が減少している。これは、

回転数偏差検出方式全馬力制御によって、旋回制動時のエネルギーがアーム等の他のアクチュエータに利用できることを示している。

2.2 馬力配分制御

従来の馬力制御では2台の主ポンプの出力馬力は等配分であったが、電子制御により各アクチュエータに最適な割合で馬力配分することが可能となった。例えば図1に示すようにアームとバケットを同時に操作して掘削動作をする場合には、アームとバケットのアクチュエータ容量の差のために、馬力を等配分したのではバケットが早く回転してしまう。そこでレバー操作信号から馬力配分信号を得て、この信号によって図3のBに示すようにアーム側にはa、バケット側にはbの特性で油圧ポンプ出力を制御することにより最適な掘削動作をすることができる。

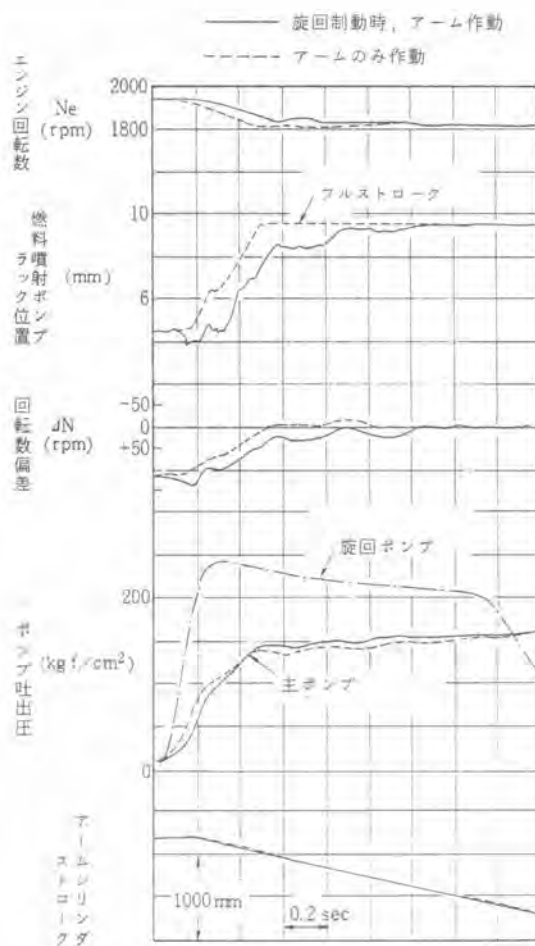


図4 動力回収の応答波形例

2.3 電子アイドル制御

操作レバーが中立の時、即ち油圧ショベルが作動していない場合、エンジン出力は小さくてよい。このため、レバーの中立を検出し自動的にエンジン回転数を低速にする電子アイドル制御を採用し、省エネルギーを図っている。作動を説明する。油圧用コントローラにレバー中立信号が入ると、所定の時間を経過した後、目標回転数 N_{r2} を、目標回転数 N_{r1} からアイドル回転数まで徐々に下げて、エンジン用コントローラに出力する。従ってエンジンは低速で駆動される。この状態でレバーを操作すると、目標回転数 N_{r2} は、ただちに目標回転数 N_{r1} (高速)に復帰する。この時回転数偏差検出方式全馬力制御を行なっているため、油圧ポンプの出力を適度に下げておいてエンジンを加速するため、エンジンの回転数上昇が早く、また黒煙を排気したりすることもない。図5に示すようにアイドル回転数から、0.3 ~ 0.7 secで定格回転数まで上昇しており、遅れを感じることはない。一方、本方式の全馬力制御を行なわないでアイドル制御を行なうと、油圧ポンプに大きい負荷がかかった状態でエンジンを加速するので3~5 secの遅れを生じて操作感覚が悪くなり、作業性も低下する。

2.4 エンジンの保護

エンジンの電子制御により、冷却水温 + エンジン油温 + ブースト圧が異常の場合には自動的に低速回転数に落とし、エンジンを保護するシステムが組み込まれている。

2.5 故障診断機能

万一、故障が生じた場合には、故障箇所をモニタランプの点滅間隔と回数による信号で明らかにし、ダウンタイムを少なくして、稼働率を向上するシステムが組み込まれている。

以上述べた諸制御により、作業量が増え、燃料消費量を節約できる。ユーザテストの結果では、ロングランでの燃料消費量が標準機に比べて約15%節減でき、ユーザに高く評価されている。

3. おわりに

当社で開発した動力系の電子制御について報告したが、建設機械のメカトロニクス化は未だ緒に終わったばかりであり、今後様々な方面へ多様化して発展していくと考えられる。何よりもユーザニーズにあった開発が肝要であり、なお一層ユーザの御指導をお願いするものである。

- 1) 参考文献 M. Wakabayashi 他2名, SAE paper, No.340510, (1984)

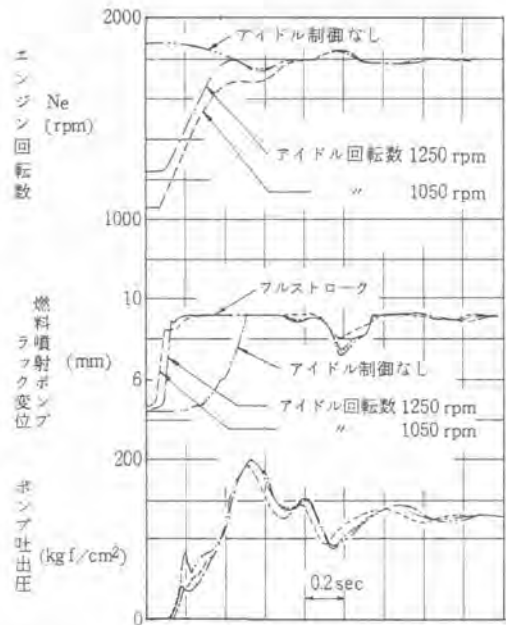


図5 電子アイドル制御の応答波形例

22. 搭乗式建設機械の振動対策

建設省土木研究所 多田和弘・*豊田 実

1. きえがき

一般に、ブルドーザ・車輪式トラクタショベル等の搭乗式建設機械の運転員は、機械の構造及び作業の性質上、比較的大きな振動にさらされていることが予想される。また、近年ISO（国際標準化機構）においても、人体に暴露される種々の振動の測定・評価に関する規格が審議、制定されつつある。

本報告は、このような背景のもとに搭乗式建設機械の運転員へ伝達される振動の低減対策を目的に、特にブルドーザ並びに車輪式トラクタショベルを対象として、振動実態調査・車体振動の発生機構を調査し、簡易な振動対策を実施した場合の振動低減効果の把握を行った結果を報告するものである。

2. ブルドーザの振動発生機構調査と振動対策

調査は、16ton級ブルドーザを対象として、まず走行時の振動発生要因の机上検討を行い、それをもとに実機を用いて、走行時の振動加速度（周波数範囲は1~20Hz、これより高い周波数は振動レベルへの影響が小さいため）を座席取付部（X, Y, Z）、スプロケット（X, Z）、フロントアイドラ（X, Z）、土工板（Z）、トラックローラ（Z）3箇所、キャリアローラ（Z）の8箇所（2方向）で測定し、パワースペクトル密度関数を求め各部の振動の性状を明らかにするとともに、偏関連度関数による方法で、座席取付部に対する各振動発生源の振動寄与率を計算した。

まず、各部の振動加速度のパワースペクトル密度関数（図-1に一例を示す）の卓越周波数を各条件（車速）ごとに整理すると図-2の様になった。

図より、次のことが明かされた。

(1) いずれの条件においても、ほとんどの測点でリンクピッチ（0.203m）による周波数が明瞭なピークとなつて表われている。

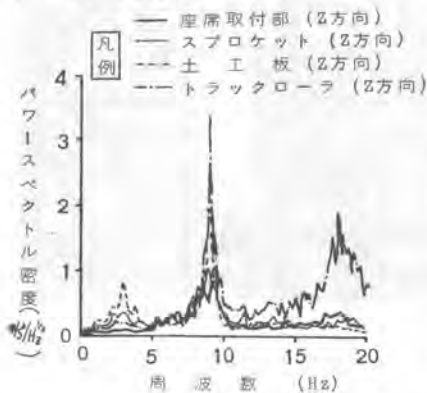


図-1 各点のパワースペクトル密度

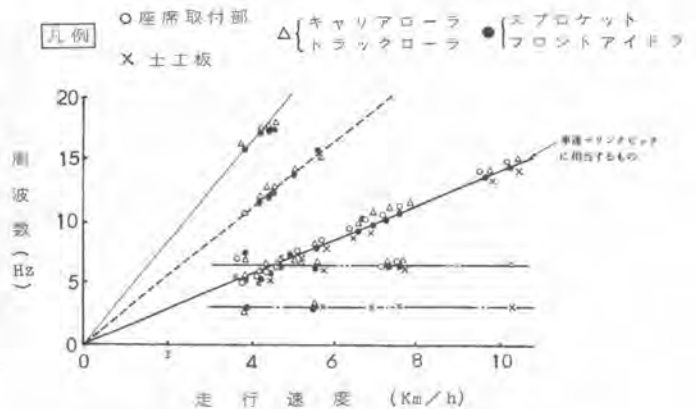


図-2 車速と卓越周波数の関係（Z方向）

(2) 2.4 ～ 3.2 Hz付近に一つのピークが認められるが、これは車体のピッチングによる回転の固有振動数であると考えられる。

次に、座席取付部に対する各発生源別の寄与率の計算は次式に示した。

$$Y_i^2 = \frac{\sum C_i(\omega)}{\sum G_{gg}(\omega)}$$

- ただし、 Y_i^2 : 振動のオーバーオールでの寄与率
- $C_i(\omega)$: 個々の振動要因の寄与量
- $G_{gg}(\omega)$: 出力のパワースペクトル密度関数

各計算結果を表-1に示す。

この結果によれば、振動寄与率順位において、前進時はトラックローラ（最前部）、スプロケットZ方向の順であるのに対し、後進時はトラックローラ（最後部）、スプロケットZ方向の順とな、ている。これは車体の進行方向に対して最も前に位置するトラックローラ振動が最も大きく寄与していることを表わしている。

表-1 前後進別の平均寄与率と寄与率順位

| 振動発生条件 座席取付部 | スプロケット X方向 | スプロケット Z方向 | キャリアローラ Z方向 | アイランド | | 上工敷 Z方向 | トラックローラ (前から6番目) Z方向 | | トラックローラ (前から4番目) Z方向 | | トラックローラ (前から1番目) Z方向 | |
|-----------------|---------------|---------------|----------------|-------|------|------------|-------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------|---|
| | | | | X方向 | Z方向 | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 平均寄与率 (%) | X方向 | 8.1 | 13.3 | 16.1 | 7.2 | 9.2 | 4.8 | 12.1 | 9.6 | 19.6 | | |
| | Y方向 | 9.6 | 14.3 | 10.7 | 8.5 | 12.0 | 9.9 | 8.2 | 8.8 | 18.0 | | |
| | Z方向 | 12.9 | 14.8 | 11.3 | 8.8 | 8.3 | 8.3 | 10.9 | 9.5 | 15.2 | | |
| 後進 | X方向 | 3.7 | 16.8 | 8.9 | 9.8 | 10.1 | 5.9 | 18.7 | 12.4 | 13.7 | | |
| | Y方向 | 4.0 | 15.3 | 7.9 | 11.7 | 11.4 | 7.8 | 17.1 | 10.7 | 14.1 | | |
| | Z方向 | 6.2 | 13.8 | 8.8 | 9.3 | 12.7 | 7.7 | 15.5 | 12.5 | 13.5 | | |
| 寄与率順位 | X方向 | 7 | 3 | 2 | 8 | 6 | 9 | 4 | 5 | 1 | | |
| | Y方向 | 6 | 2 | 4 | 8 | 3 | 5 | 9 | 7 | 1 | | |
| | Z方向 | 3 | 2 | 4 | 7 | 8 | 8 | 5 | 6 | 1 | | |
| | X方向 | 9 | 2 | 7 | 6 | 5 | 8 | 1 | 4 | 3 | | |
| | Y方向 | 9 | 2 | 7 | 4 | 5 | 8 | 1 | 6 | 3 | | |
| | Z方向 | 9 | 2 | 7 | 6 | 4 | 8 | 1 | 5 | 3 | | |

以上のように振動寄与率は、トラックローラ、スプロケットが大きな比重を占めているが、今回はあくまで7箇所9方向に占める割合であり、他に測定しなかった所及び別の発生要因等も考えられる。しかし、今回の傾向は一般的に寄与率順位を表わしていると考えられる。

そこで、ブルドーザの振動対策としてトラックローラの振動の発生源であると考えられるトラックリンクの屈曲の低減を目的に、安定して自立できる新型履板の種類(図-3参照)を、また、キャリアアローラとトラックリンクの打撃による振動の低減を目的として、キャリアアローラのカわりにキャリアレール(写真-1参照)の製作を行い、実機のブルドーザ(4tonクラス)に装着し、座席取付部の振動を測定し振動低減効果を把握することとした。

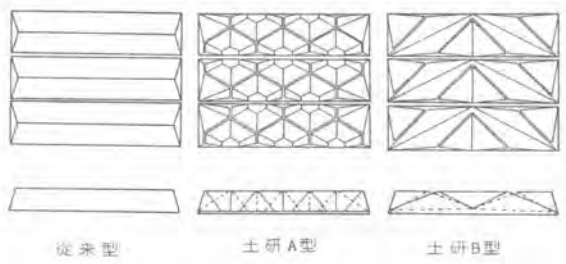


図-3 新型履板の外形図



写真-1 キャリアレール

本機による各条件における座席取付部の振動レベル結果を表-2に示す。このうち上下方向振動について、新型履板の振動低減効果を検証する目的で2項分布による検定を

実施した。即ち、表中の上下方向振動の個々の測定データについて新旧比較し、低減効果があったデータとなかったデータの数を調べた。その結果、土研A型については特に効果があったとは認められなかったが、土研B型については低減効果があるという結論を得た。

同様にキャリアレールの振動低減効果については、従来型・土研A型履板に装着した場合に限って効果ありと判断された。

さらに振動低減効果の大きさについては、七分布による推定を行い信頼率95%で土研B型履板のみで 2.7 ± 1.2 dB、キャリアレールのみで 2.5 ± 1.0 dBの範囲にあるという結果となった。

表-2 座席取付部の振動レベル結果

dBVLeq

| No. | 座席の種別 | キャリアローラの別 | 履板の別 | 測定条件 | 走行速度 | 振動方向 | | 上下方向 | | | | 平均 |
|-----|-------|-----------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| | | | | | | 4回の平均 | 4回の平均 | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | |
| 1 | 従来型 | キャリアローラ | 土研 | 走行 | 前進2 | 9.5 | 8.6 | 10.3 | 10.2 | 10.2 | 10.0 | 10.2 |
| 2 | * | * | * | * | 前進2 | 9.2 | 9.2 | 10.6 | 10.3 | 10.4 | 10.7 | 10.5 |
| 3 | * | * | * | * | 牽引前進2 | 9.3 | 8.8 | 9.9 | 9.8 | 9.9 | 9.7 | 9.8 |
| 4 | * | * | * | * | C0走行 | 9.9 | 9.4 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.7 |
| 5 | * | * | * | * | 後進2 | 9.8 | 9.6 | 11.0 | 10.9 | 10.9 | 10.8 | 10.9 |
| 6 | * | キャリアレール | 土研 | * | 前進2 | 9.7 | 9.1 | 10.2 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 10.0 |
| 7 | * | * | * | * | 後進2 | 9.3 | 8.5 | 10.8 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.5 |
| 8 | 土研A型 | キャリアローラ | * | * | 前進2 | 9.2 | 8.6 | 10.2 | 10.3 | 10.2 | 10.2 | 10.2 |
| 9 | * | * | * | * | 後進2 | 9.2 | 8.9 | 10.6 | 10.6 | 10.6 | 10.6 | 10.6 |
| 10 | * | * | * | * | 牽引前進2 | 9.4 | 8.9 | 9.9 | 9.7 | 9.7 | 9.8 | 9.8 |
| 11 | * | * | * | * | C0走行 | 9.6 | 9.2 | 10.4 | 10.4 | 10.2 | 10.1 | 10.3 |
| 12 | * | * | * | * | 後進2 | 9.6 | 9.4 | 10.8 | 10.8 | 10.6 | 10.8 | 10.6 |
| 13 | * | キャリアレール | 土研 | * | 前進2 | 9.4 | 8.7 | 9.9 | 10.0 | 9.7 | 9.7 | 9.8 |
| 14 | * | * | * | * | 後進2 | 9.1 | 9.2 | 10.4 | 10.1 | 10.2 | 10.2 | 10.2 |
| 15 | 土研B型 | キャリアローラ | * | * | 前進2 | 8.4 | 8.8 | 9.8 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
| 16 | * | * | * | * | 後進2 | 9.1 | 9.1 | 10.3 | 10.3 | 10.8 | 10.3 | 10.3 |
| 17 | * | * | * | * | 牽引前進2 | 9.1 | 8.9 | 9.8 | 9.7 | 9.7 | 9.7 | 9.7 |
| 18 | * | * | * | * | C0走行 | 9.4 | 9.1 | 10.2 | 10.2 | 10.0 | 10.1 | 10.1 |
| 19 | * | * | * | * | 後進2 | 9.7 | 9.3 | 10.7 | 10.7 | 10.6 | 10.8 | 10.7 |
| 20 | * | キャリアレール | 土研 | * | 前進2 | 9.7 | 8.7 | 10.3 | 10.2 | 10.1 | 10.1 | 10.2 |
| 21 | * | * | * | * | 後進2 | 8.2 | 9.0 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.4 |

*C0:コンクリート道

3 車輪式トラクタショベルの振動発生機構調査と振動対策

車輪式トラクタショベルに関して、タイヤ-車体からなるバネ-質量系の振動モデル(図-4参照)を考え、運動方程式を立て、機械の種々の走行条件を仮定し、振動伝達関数を用いた統計的シミュレーションを行うと共に、実機に加速度計、パーティカルジャイロを装着し、実測により得られたバウンスング(加速度)、ローリング(角度)、ピッチング(角度)のパワースペクトル密度関数(1~20Hz)との比較を行った。

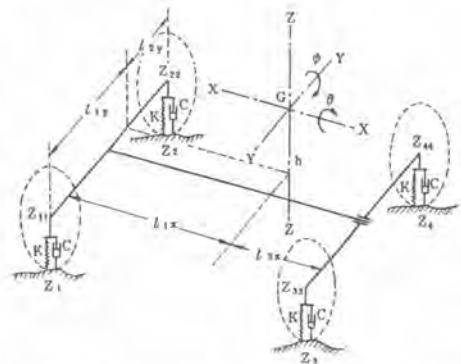


図-4 車輪式トラクタショベルの振動モデル

ここで、理論解析に基づく振動シミュレーション結果と実測により求めた値を比較した一例を図-5に示す。

以上、バウンスングとピッチング運動に関しては計算結果と実機による測定結果とが概ね一致しており、この2つの振動モードに関する当初の振動モデルの正当性を示しているといえる。

また、今回の測定で得られた一連のパワースペクトル密度関数より、車輪式トラクタショベルの車体振動に関して次のことが明らかにされた。

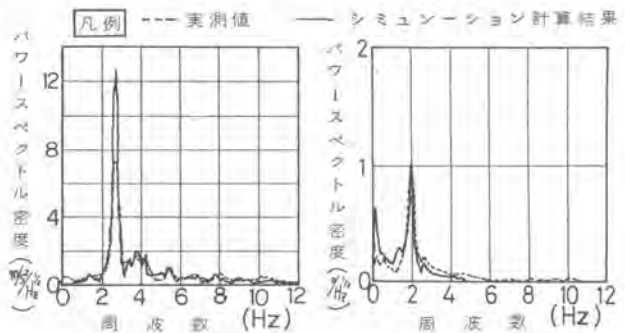


図-5 車体振動(左:バウンスング/右:ピッチング)

- (1) 車体振動は、人体に対する悪影響が大きいとされている低周波域の狭帯振動である。
- (2) 路面凹凸に起因する直接的振動波形よりも、これにより励起される機械自体のバネ-質量系による

固有振動モードの割合が著しく大きなウェイトを占める。従って速度が上昇した場合、振動加速度のピークを与える周波数成分には変動はなく振動の大きさが速度と共に上昇するのである。

以上のことから車輪式トラクタショベルの振動対策として、上下方向の2.5 Hzの固有振動数を吸収する動吸振器内蔵型サスペンションシートモデルの設計・製作を行うこととした。製作した動吸振器内蔵型サスペンションシートを写真-2に示す。



写真-2 動吸振器内蔵型サスペンションシート

製作した動吸振器内蔵型サスペンションシートと普通サスペンションシートについて、1~10 Hzの正弦波振動をばね振動伝達率を求める(図-6参照)と共に実際の車輪式トラクタショベルの振動と油圧振動台により負荷し、座席各部の振動レベルを計測した。(表-3参照)

振動伝達率については、2.5 Hzにおいて普通サスペンションシートは最も大きな伝達率を示したのに対して、動吸振器内蔵型サスペンションシートでは伝達率が0.9に下がった。また、振動レベルでも4 dB低減した。なお、実測値と理論値の伝達率(図-6参照)もよく似た傾向を示している。

実機振動を負荷した場合の座席フレーム上における振動レベルを比較すると動吸振器内蔵型サスペンションシートの方が2~2.7 dB低減している。また、2速走行時、V作業時においても同じ傾向にあると言える。

以上の結果より今回製作した動吸振器内蔵型サスペンションシートは、2.5 Hz前後の振動を吸収していることがわかり、車輪式トラクタショベルの振動低減対策としては大きな効果があると言える。また、今回は上下方向振動のみを対象としたが、前後方向振動を対策することによりさらに大きな効果が期待できると判断される。

4. あとがき

ブルドーザ及び車輪式トラクタショベルについて、振動発生機構調査、振動低減対策の検討を行い、車体振動の特性及び簡易な対策による振動低減効果が把握された。これらの検討結果が建設機械設計者の機械居住性検討の際の一助となれば幸いである。

なお、実験、解析については、(株)日本建設機械化協会建設機械化研究所 藤本義二氏の多大な協力を得て実施した。末尾ながら感謝の意を表す。

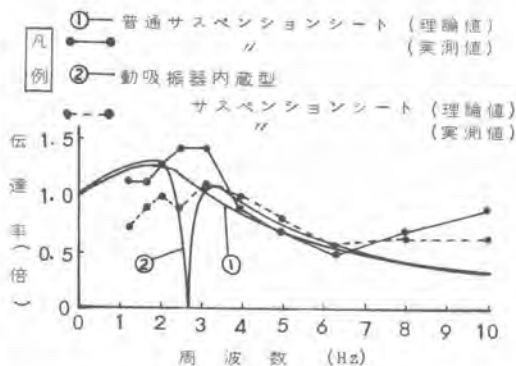


図-6 正弦波振動による伝達率

表-3 実機振動による結果

| 乗 員 | 運 転 員 | dBVL _{eq} | | | | | |
|------------|-------|--------------------|------|---------|-------------------|------|---------|
| | | 普通サスペンションシート | | | 動吸振器内蔵型サスペンションシート | | |
| | | 振動台 | 座席上 | 座席フレーム上 | 振動台 | 座席上 | 座席フレーム上 |
| 2速走行時(土道) | A | 90.5 | 92.8 | 91.5 | 90.0 | 90.5 | 88.8 |
| | B | 90.3 | 92.6 | 91.1 | 90.3 | 91.1 | 89.1 |
| V作業時(4号砕石) | A | 89.5 | 91.6 | 90.3 | 89.4 | 90.0 | 88.3 |
| | B | 89.5 | 91.4 | 89.9 | 88.9 | 89.6 | 87.8 |

23. トンネル断面測定装置の開発

清水建設(株) 久保裕之・梶岡保夫・山室保夫

1. まえがき

トンネルや地下構造物の建設工事は地質条件などに大きな影響をうけ、一品生産的な要素が強い。したがって施工の各段階においては、現状をすみやかに把握し、問題点を解明して適切な対策を構ずるといふ、一貫した管理システムが必要となる。

本装置の開発はこのような背景から、施工管理の一端を担うべく着手されたもので、具体的にはトンネルの掘削断面形状を迅速かつ正確に把握し、削孔状況を発破パターンにフィードバックすることによりトンネルの余廻りの減少をはかることを目的としている。

また、本装置は小型コンピュータ(シャープ・PC-1500・ポケットコンピュータ)利用による自動化・省力化をねらいとした開発の一例であり、NATMやシールド等の工事においても地山の変動やセグメントの変形を把握する必要から、精度のよい断面測定装置の要求があり、その応用範囲は広い。以下に開発の概要を報告し、今後の参考に供したい。

2. 現状のトンネル断面測定法

従来からよく知られている内空断面の測定法を分類すると表・1のようになる。当社で開発したトンネル断面測定装置はこのうちの光学法で、現在市販されているものがあるが、手動式のものであったり、また全自動ではあるが、かなり大規模であり高価であるという欠点を持っている。



3. トンネル断面測定装置の開発

①装置の検討

装置の基本的考え方として、大がかりな装置でなく、運搬・据付けに手間どらない簡便なものということで種々検討した結果、当社の開発技術の一つであるビデオポジションスケール (Video Position Scale, 画像式計測装置の一種で以下VPSと略記する。)の原理を応用したトンネル断面測定装置のアイデアが生まれ、開発に着手した。

②VPSの原理

図・1において、交点から発せられる光の一部はレンズを介して内部のCCDイメージセンサという撮像素子の上に到達し、光点の像を結ぶ。CCDイメージセンサは一種の半導体部品で、一辺が10ミクロン程度の大きさのフォトエレメントが規則正しくマトリックス状に並んだ構造をしている。個々のエレメントはおのおの独立に光に反応し、その光量に比例した電荷を蓄積する。

表・1 内空断面測定法の分類

したがってその背景に比べて光点が充分明ければ、どのフォトエレメントに光点の像が写っているかを電気的に判断することができる。

③VPSを応用したトンネル断面測定装置の原理

基準筒部の一端にCCDイメージセンサ内蔵の撮像カメラを設け、他端にレーザービーム発射装置（レーザービームは基準筒に設けられたレーザー発信器から発射され、全反射ミラーにより基準と直交する方向に屈折投射される機構となっている。）を備えた装置で、基準筒は所定ピッチ（5°以上任意選択）で自転する。

図・2に、本装置をトンネル坑軸方向に平行に据付け、あるピッチで基準筒が自転し、壁面にレーザービームを照射している状況を示す。この場合の測定距離は図・3において

y：基準筒の基線（回転中心軸）からレーザー照射壁面までの距離

y₀：レーザースポットPがレンズ光軸中心線上にある場合の、基準筒基線からP（=P₀）までの距離

α：壁面に投射されたレーザースポットPとレンズ中心を結ぶ線と、レンズ光軸中心とのなす角

D：基準筒長（一定）

E：基線に対するレンズ中心（O点）のズレ（一定）

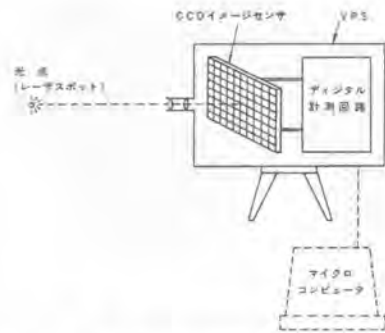
B：撮像カメラのレンズバック（一定）

とすると、CCDイメージセンサのイメージエリア上に投影された光点（レーザースポットP）の像の位置Hにより

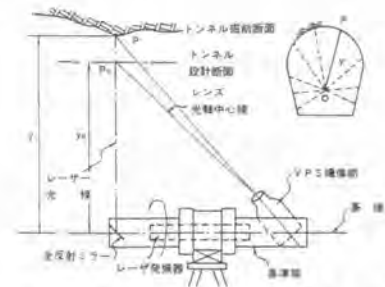
$$y = D \times \tan(\theta \pm \alpha) + E$$

で与えられる。

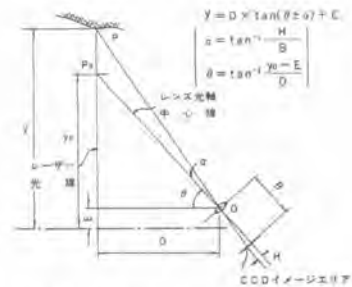
このようにしてトンネル断面方向に基準筒を自転させながら、壁面に投射されたレーザースポットPと装置基線との距離yを逐次求めることにより、トンネル断面の形状を知ることができる。



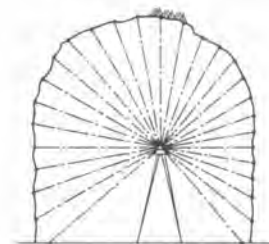
図・1 VPSの原理



図・2 トンネル断面測定装置の測定原理



図・3 測定原理



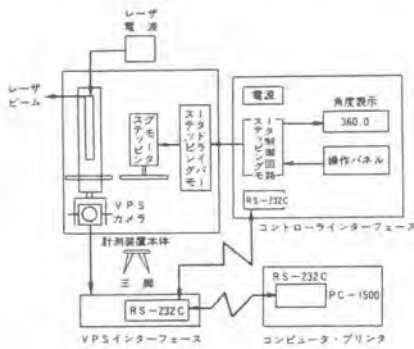
図・4 測定状況

4. 装置の完成

装置全体の写真、構成ブロック図を図・5、図・6に示す。また装置の主要仕様を表・2に示す。



図・5 装置全体の写真



図・6 構成ブロック図

| | | |
|-----|------------------|-----------------------------------|
| 1仕様 | 1)トンネル断面計測方式 | 基準固定レーザー光点移動鏡計測方式 |
| | 2)計測範囲 | 計測長さ 1.8m~3.2m |
| | 3)計測ピッチ角 | 最小ピッチ 5° |
| | 4)精 度 | 距離精度 ±10mm 角度精度 ±1' |
| | 5)電 源 | A.C. 100V |
| 2構成 | 計6ブロックで構成される。 | |
| | 1)計測装置本体 | 収納ケース入 |
| | ・寸法 長さ×巾×高さ | 620×200×305mm |
| | ・重 量 | 22.4kg (本体 18.2kg, ケース 3.6kg) |
| | ・回転駆動機構 | オリエンタルPH564A(5相) |
| | ・ステッピングモータ | 出力2mW 型式1303 |
| | ・レーザー発振器 | Uniphase(U.S.A)He-Ne ガスレーザー発振器 |
| | ・VPSカメラ | |
| | ・寸法 | 80×70×70mm(アルミ製) |
| | ・レンズ | NIKKOR 50mm 1:1.8 |
| | ・センサ(CCDイメージセンサ) | 松下電子製MEL-1254A |
| | 2)VPSインターフェース | CCDイメージセンサ上の光点の位置検出をコントロールする |
| | ・寸法 長さ×巾×高さ | 370×140×350mm |
| | ・重 量 | 7.4kg |
| | 3)コントローラインターフェース | アルミトランク入VPSとステッピングモータとの相互制御機能を有する |
| | ・寸法 長さ×巾×高さ | 385×210×285mm |
| | ・重 量 | 7.1kg |
| | 4)コンピュータ、プリンター | シャープレ製(収納ケース入) |
| | ・寸法 長さ×巾×高さ | 460×370×95mm |
| | ・重 量 | 7.2kg |
| | ・コンピュータ | PC-1500 |
| | ・プリンタ | 同上用CE-150 |
| | ・文信インターフェース | 同上用CE-158 |
| | 5)三 脚 | レベル用金属製三脚 |
| | 6)レーザー電源 | Uniphase(U.S.A) |
| | ・形 式 | 1201-1 |
| | ・重 量 | 1.5kg |

表・2 主要仕様

5. 完成テストと試用

①完成テスト

装置を完成し精度確認実験を行なった結果を表・3に示す。精度は当初設定した±10mm以下という目標を達成している。

②測定手順

・断面測定装置を三脚上に取付け、トンネル中

| スケールの読み R (mm) | 測定装置の読み | | | | | | | | | | ΔR | σ |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|------|
| | 1 回目 | | 2 回目 | | 3 回目 | | 4 回目 | | 5 回目 | | | |
| | RV (mm) | ΔR (mm) | RV (mm) | ΔR (mm) | RV (mm) | ΔR (mm) | RV (mm) | ΔR (mm) | RV (mm) | ΔR (mm) | | |
| 1,700 | 1,701.1 | 1.1 | 1,701.2 | 1.2 | 1,701.1 | 1.1 | 1,701.1 | 1.1 | 1,701.0 | 1.0 | 1.1 | 0.05 |
| 1,800 | 1,801.1 | 1.1 | 1,801.1 | 1.1 | 1,801.0 | 1.0 | 1,801.2 | 1.2 | 1,801.2 | 1.2 | 1.12 | 0.07 |
| 2,000 | 2,001.3 | 1.3 | 2,001.4 | 1.4 | 2,001.3 | 1.3 | 2,001.4 | 1.4 | 2,001.4 | 1.4 | 1.36 | 0.05 |
| 2,200 | 2,201.3 | 1.3 | 2,201.0 | 1.0 | 2,201.3 | 1.3 | 2,201.3 | 1.3 | 2,201.3 | 1.3 | 1.24 | 0.12 |
| 2,400 | 2,401.8 | 1.8 | 2,401.6 | 1.6 | 2,401.8 | 1.8 | 2,401.6 | 1.6 | 2,401.6 | 1.6 | 1.68 | 0.10 |
| 2,600 | 2,601.0 | 1.0 | 2,601.2 | 1.2 | 2,601.2 | 1.2 | 2,601.3 | 1.3 | 2,601.3 | 1.3 | 1.2 | 0.11 |
| 2,800 | 2,800.4 | 0.4 | 2,800.4 | 0.4 | 2,800.2 | 0.2 | 2,800.2 | 0.2 | 2,800.4 | 0.4 | 0.32 | 0.10 |
| 3,000 | 3,001.2 | 1.2 | 3,001.1 | 1.1 | 3,001.1 | 1.1 | 3,001.1 | 1.1 | 3,001.2 | 1.2 | 1.14 | 0.05 |
| 3,200 | 3,198.5 | -1.5 | 3,198.5 | -1.5 | 3,198.7 | -1.3 | 3,198.5 | -1.5 | 3,198.4 | -1.6 | -1.48 | 0.10 |
| 3,300 | 3,299.8 | -0.2 | 3,300 | 0 | 3,299.8 | -0.2 | 3,299.8 | -0.2 | 3,299.7 | -0.3 | -0.18 | 0.10 |

表・3 トンネル断面測定装置テスト結果

心線とほぼ平行に向け、円形気泡管により水平を出す。

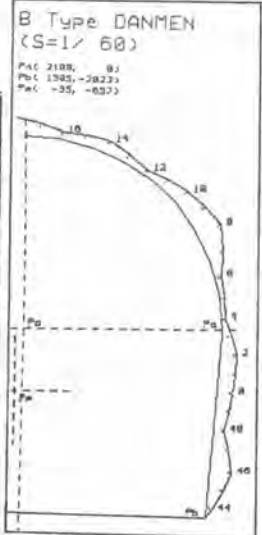
- 装置電源、レーザー電源をONにする。
- 基準筒を回転させてレーザービームを鉛直下に向ける。レーザービームスライドツマミによりレーザービームをトンネル後方にスライドしてゆき、坑内基準ダボとのズレを測る。これにより装置をトンネル中心線と平行に据付けるとともに、据付位置を求める。
- 基準筒を回転させレーザービームを水平にセットする。レーザースライドツマミによりレーザービームをスライドさせ、トンネル側壁に設けた基準線により上下方向の据付位置を求める。
- 以上により測定準備は終了。レーザービームを水平方向にセットしておき、ポケットコンピュータの操作により自動的に計測を開始し、360度計測終了後据付位置を入力すれば、トンネル中心点からの距離、面積等を演算しアウトプットする。

| Ca (Inn Po) (-25, -632) | No. (No.) | Lea2 | Lea3 | Lea4 |
|-------------------------|-----------|------|------|------|
| 0 | 0 | 2221 | | |
| 1 | 5 | 2250 | | |
| 2 | 10 | 2255 | | |
| 3 | 15 | 2280 | | |
| 4 | 20 | 2265 | | |
| 5 | 25 | 2410 | | |
| 6 | 30 | 2514 | | |

| Ca (Inn Po) (0) | No. (No.) | Lea2 | Lea3 | Lea4 |
|-----------------|-----------|------|------|-----------|
| 0 | 0 | 2102 | 2232 | 178 (162) |
| 1 | 5 | 2123 | 2206 | 182 (175) |
| 2 | 10 | 2181 | 2201 | 175 (172) |
| 3 | 15 | 2057 | 2265 | 190 (183) |
| 4 | 20 | 2100 | 2138 | 38 (0) |
| 5 | 25 | 2100 | 2142 | 42 (0) |
| 6 | 30 | 2100 | 2156 | 56 (0) |

| Ca (Inn Po) (0) | No. (No.) | Lea2 | d5a | d5b |
|-----------------|-----------|------|------|------|
| 0 | 0 | 0.20 | 0.22 | 0.03 |
| 1 | 5 | 0.20 | 0.22 | 0.03 |
| 2 | 10 | 0.15 | 0.21 | 0.02 |
| 3 | 15 | 0.15 | 0.20 | 0.01 |
| 4 | 20 | 0.22 | 0.23 | 0.08 |
| 5 | 25 | 0.23 | 0.24 | 0.01 |
| 6 | 30 | 0.25 | 0.20 | 0.02 |

TOTAL
(area) (m2)
Ss = 15.19
Sc = 16.73
Sy = 1.54
Sy(+)= 1.54
Sy(-)= 0.00



図・7 計測結果の一例

6. 計測結果の一例

図・7は、本装置開発の契機となった作業所の計測結果である。内側の設計掘削線に対し、実際の掘削は外側の線で示されており、約1.54 mの余掘となっている。このアウトプットを見て、次の発破パターンにフィードバックした。その結果余掘は大幅に減少した。

またこの例以外にもNATM工法による断面形状の変位、二次巻コンクリートの巻圧管理等の例があるが、紙面にかぎりがあり割愛させていただく。

7. あとがき

本装置の開発により所期の目的は一応達せられた。しかしながらユニット数が多く重量が測量機としては重い。また計測の準備（据付・位置出し）に時間がかかる等の意見があがってきている。このような問題点を真摯にうけとめ、現在不具合点を解明して改良に結びつけ、実用機を製作すべく取組んでいる。

24. トンネル掘削用ドリルジャンボのロボット化

古河鉦業(株) 中村吉男

1. 概要

建設業界では、トンネル工事において工事条件の多様化、作業環境の問題などから、技能作業員が不足していることに加え、バーンホール工法の普及と工事費低減のためにトンネルの余掘の減少の必要性から、さく孔精度の向上が要求されている。今回、当社が実用化したロボット化されたドリルジャンボはこうした、建設業界のニーズに対応したものであり、主な特徴としては以下のことがあげられる。

- (1) ドリルジャンボ本体の姿勢制御機能を持つ。
- (2) 定められたさく孔パターンにたいして $\pm 50\text{mm}$ 以内でさく孔出来る。
- (3) 岩質の変化に応じて、打撃数、回転トルク、回転数とさく孔速度を連続的に制御出来る。
- (4) さく孔の孔尻位置を自動的に検出することで、すべての孔尻を一面に揃えることが出来る。

以上の特徴をそなえることで、従来のトンネル掘削用ドリルジャンボに比べて余掘の減少、安全性の向上、人件費の大幅節約などが可能となる。

搭載した数値制御コンピュータには、岩質の状況に応じてインプットしたさく孔パターンが組込んでおり、仮にさく孔不能と検知されると制御機能が自動的に作動して、何回かさく孔しても不能と判断されると、自動的に次の孔に移動する。

2. ロボット化のシステム

コンピュータを搭載するロボット化されたドリルジャンボの実施例を図1に示す。

コンピュータおよび電気制御盤は本体の後方に設けられており、集中管理される。油圧さく岩機はHD100Aを使用し、ブームおよびガイドシエルはロボット用として特に開発されたものである。ガイドシエルは回転しても断面係数がほぼ均一な構造となっている。ブームに関しては関節部におけるピンのがたおよび自動によるたわみは最小にしているが、さけられない数値はブームの位置計算の時に補正を行い、孔位置の精度を出す方法を取っている。

ロボット化されたドリルジャンボの構造を分類すると、ブームの位置決めに関する静的な部分と、さく岩機が岩盤に穴を明けるといった動的な部分の二種類に分類される。ブームの位置決めというのは、いわゆるロボットと称される自動化機械と同じように、目標とする位置に関接部やスライド部に取付られる検出機構によりブームを正確に位置設定することである。またさく岩機が岩盤に穴を明けるといったことは、ブームが位置決めされ後に、さく岩機に連結されたロッドとビットが岩盤にさく岩機の打撃、回転および推力により穴を明ける工程を言うのである。

さく岩機によるさく孔を行うためにはロッド、ビットを目的とする位置までに正確に移動しなければならない。このために、さく岩機を搭載するガイドシエルを保持するブームを油圧シリンダにより

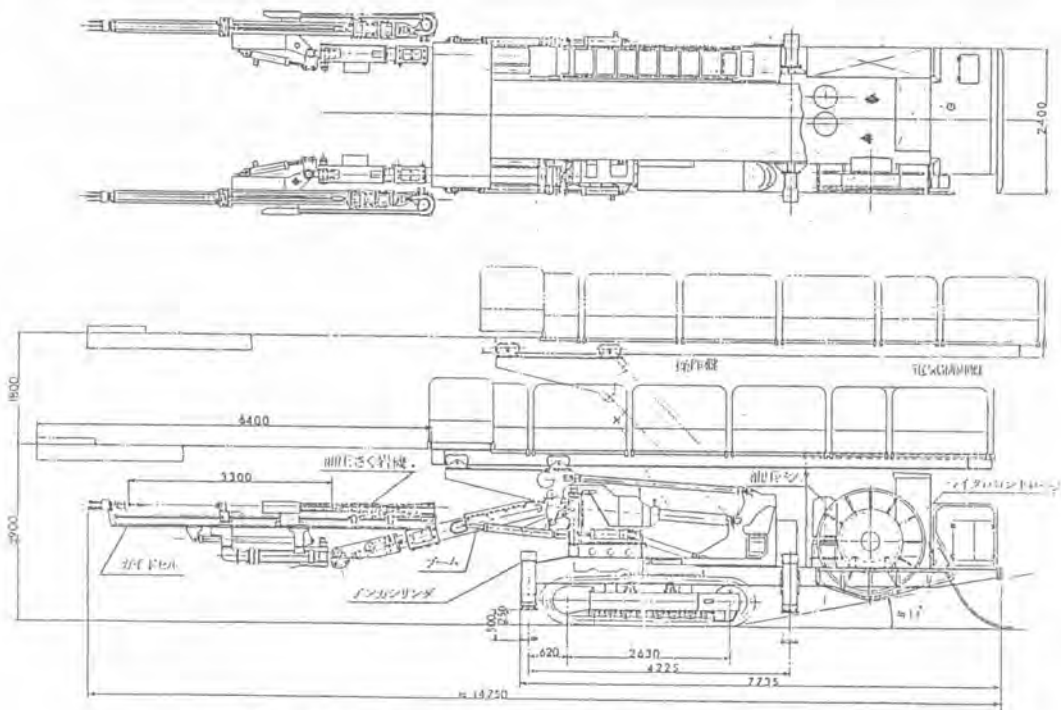


図1. 2ブームロボットジャンボドリル全体図

位置決めしなければならない。ブームを移動する角度を決める要素としては

(1)ブームスイング(2)ブームリフト(3)ガイドスイング(4)ガイドチルト(5)ガイドロータリ、等があり、ピンで接合される関節部で連結されている。又スライドする長手方向の要素としては(6)ブームスライド(7)ガイドスライド(8)さく岩機のフィード、等がある。ロボット化されたドリルジャンボを駆動するためには、これらの8ヶの移動量を常にコンピュータのマイクロプロセッサにより把握し制御を行う。これらの要素の操作量を決定するための手段としては別のコンピュータによる計算システムが必要となる。

ロボット化されるドリルジャンボが駆動されるシステムの方案を図2に示す。さく孔パターン図を作成してパーソナルコンピュータにより軌跡の計算を行わせる。これらの数値はカセットローダによりカセットテープに転送される。カセットテープはドリルジャンボの本体に搭載されるコンピュータの中央処理ユニットに送られ、ここから制御され演算され出力される信号はインターフェース(R.I.O)、パワーリレー、と電磁弁を介してブームの各シリンダが駆動される。各々の駆動量は、検知器であるロータリエンコーダにより中央処理ユニットにフィードバックされ、比較・演算され位置決めがなされる。

ブームが正確に移動し、位置決めされると、次にさく岩機によるさく孔作業に入ることになる。従来の油圧さく岩機を搭載したドリルジャンボでもある程度のさく孔に関する自動制御装置は具備しているのではあるが、さく孔自体が手動で行うことを前提としているため、広く普及していなかった。

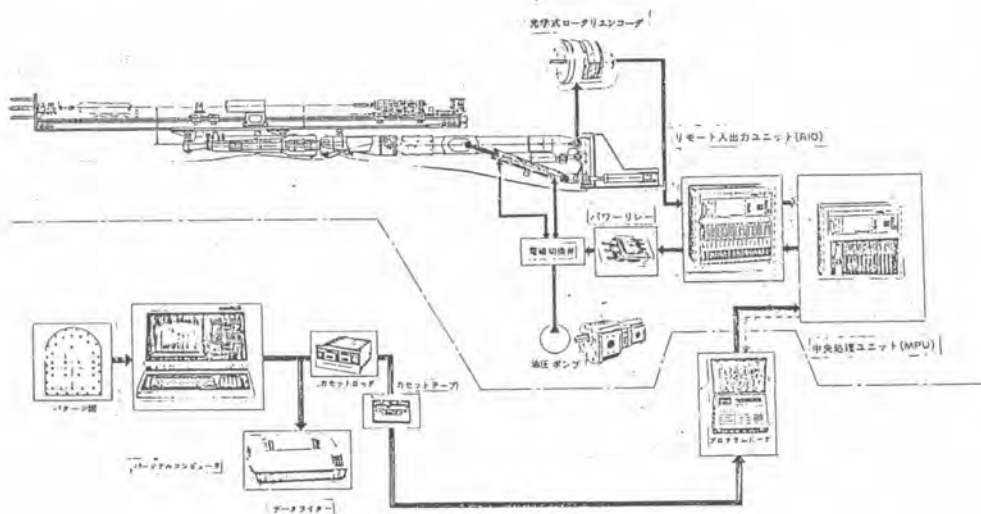


図 2 システム 方案 図

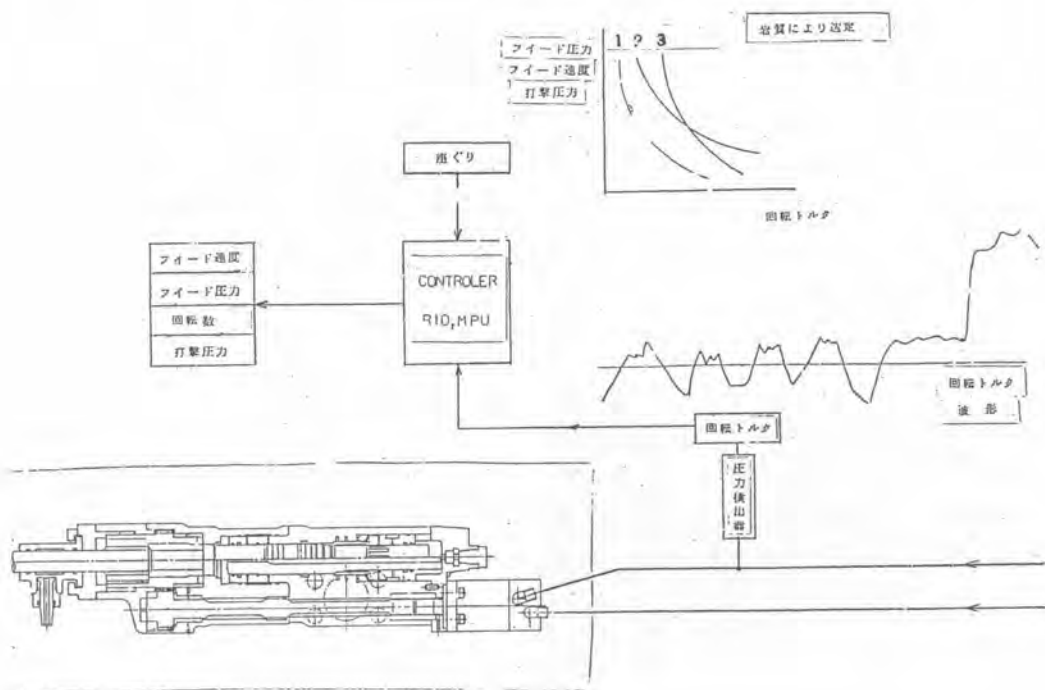


図 3 さく孔 方案 図

従来の自動制御装置はリミットスイッチによる圧力スイッチとタイマとの組合せにより行っていたもので、連続的な圧力の変化を検知することが出来ず、又作動時間の応答遅れにより完全な自動さく孔が出来なかった。ロボット化されたドリルジャンボのさく孔システムには半導体による圧力検知器とコンピュータによる制御の組合せにより完璧なさく孔の自動制御を行っているのである。このさく孔の自動制御が行なわれない限り位置決めステップへ進むことが出来ない。

3. 今後の課題

トンネル掘削用ドリルジャンボをロボット化することにより次のメリットがあげられる。

- (1) 省力化される
- (2) 熟練オペレータが必要でない
- (3) 余掘りが減少する
- (4) 発破効果が向上する
- (5) 火薬使用量が減少する
- (6) 発破工程を管理出来る
- (7) 安全性が向上する

しかし、なんといっても機械が高級化されるために初期コストの上昇とメンテナンスの問題があげられる。この機械を稼働させるためには、コンピュータを使用出来る職員を育成しなければならない。従来形の油圧式3ブームのドリルジャンボの電気系統の端子の点数は約900点位であるが、これがロボット化されたドリルジャンボでは端子の数が、おおよそ1万点以上となる。このことからしてロボット化されるドリルジャンボの複雑さが読み取れると思われる。

コンピュータの制御部はカードボードの差込み方式になっており、故障が生じた場合には、カードボードの交換により対処する方式になっている。本体に関する故障についても搭載されるコンピュータを利用することにより、故障の場所をランプ表示等により、出来るだけ早く的確に判断し対処するようにしなければならない。

トンネルを掘削するシステムとしてのドリルジャンボの位置を考えると、ドリルジャンボはトンネルを掘削するシステムのほんの一部分にすぎない。トンネルを無人で掘削するためにはドリルジャンボの自動化の他に装薬の自動化、ずり運搬の自動化、支保坑の構築の自動化、コンクリート巻立ての自動化など数多くの問題が提起されている。ドリルジャンボの自動化はこれらの中の一部であり、トンネル掘削の最前線で活躍するドリルジャンボによるさく孔作業がロボット化されることにより、トンネルを掘削するシステムが逐次無人化への道を進み、将来は完全無人化への道が開かれると思われる。

25. 安房トンネル吹付粉じん対策調査実験報告

建設省中部技術事務所 稲垣 学

建設機械化研究所 *橋元和男・谷口弘文

1. ま え が き

安房トンネルは、建設省高山国道工事事務所管内の一般国道158号線の長野、岐阜県境に計画されている全長4.3kmのトンネルである。このトンネルの一部は、高熱地盤となっており、その建設工事においては、強制送風による現場の冷却が必要なこと、および、NATM工法を採用することで吹付時の粉じん発生量が多大となること等を考え合わせると、切羽箇所でのコンクリート吹付作業員の作業環境は著しく悪化することが予想される。

一般に、NATM工法により発生する粉じんの除去対策としては、吹付方式の改善、粉じん低減剤の使用等の発生源対策から、集じん機を利用した切羽以降での捕捉除去、あるいは、集じんマスクの改善、吹付ロボットの採用等が考えられる。

本稿では、吹付作業員の暴露防止及び後方への拡散防止を目的として、ウォーターカーテン(ノズル噴射)を用いた場合の効果を調査するため、実験室内に設けた小規模風洞装置で実施した実験結果を報告するものである。

2. 実 験 内 容

(1) 実 験 概 要

安房トンネルでのコンクリート吹付工事を想定して、1m×1m×6mの小規模風洞を製作し、供試粉じん量、風速、水量等を本トンネル工事での想定条件に合わせて表-1のとおり変化させ、ウォーターカーテンの粉じん除去率、通気性、透視性等について調査を行ったものである。実験は、風洞の上流側から、供試粉じんを一定量供給して、途中に設置してある5枚の有孔板を通過させることによって強制攪拌後、ノズル噴射によるウォーターカーテンに衝突させて粉じんの挙動を調査した。

粉じん除去率の測定には、ウォーターカーテン前後に、それぞれ定点を決めてデジタル粉じん計を設置して、同時測定を行いカウント量の相対値より算出する方法を取った。

(2) 実 験 条 件

・ノズル; 写真-3, 4, 5にみられるように3種類を選定した。(ミスト状D₁, D₂, 水膜D₃)

| 基本条件項目 単位 | トンネルの断面 | トンネルの平均風速 | 吹付粉じんの量 | 使用水量 | 粉じんの成分 |
|--------------|----------------|--|------------------------------|----------------------|------------------|
| | A | v | M | Q | |
| 本工事業と実験の分類 | m ² | m ³ /s (m ³ /min) | mg/m ³ (g/min) | ml/min (l/h) | — |
| 本工事業の想定条件 | 5.2 | 3 (7.200) | 高70 | 1~3 (60~180) | セメント 雑砂 水分 |
| 風洞実験の条件 | 1 | 1~3 (60~120) | 100 | 0.1~0.3 | セメント |
| | | | ※調査機データ | 実験ではトンネル直径の比で考 える | 実験では含水率 =0 |

表-1 基本条件



写真-1 風洞全景

・使用水量；本トンネルの想定条件1～3 (m^3/min)を参考に設定した。

D_1 : 0.05～0.10, D_2 : 0.04～0.13, D_3 : 0.08～0.19 (m^3/min)

・供試粉じん；高炉セメントを乾燥させたもの。供給量は $7 \mu m$ 以下の粒子が $1 m^3$ の空気の中に約 $100 mg$ の割合で混合するようにした。

・風速；1, 1.5, 2 (m/s)とし、3 (m/s)は参考値とした。

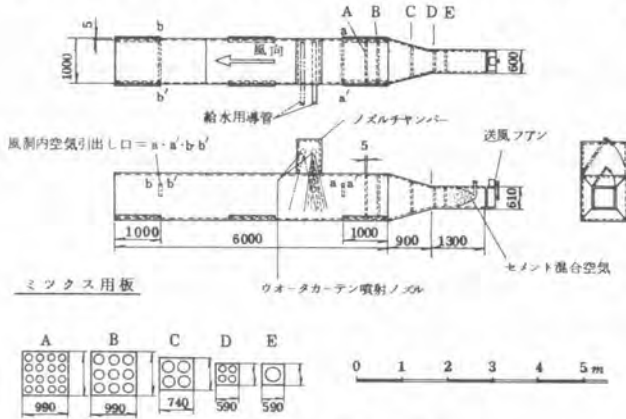


図-2 実験風洞

3. 実験結果

(1) 粉じん除去率

1) ノズルの種類による変化 (D_1 , D_2 , D_3 , 図-3)

図-3は、風速を $2 (m/s)$ とした場合の3種類のノズル(単列)の比較をしたものである。ノズルの違いによって流出抵抗が違うために、各ノズルの流量範囲が少々違っている。

この結果より、ノズルとしては、 D_1 が一番良く最大除去率としては、 45% となった。 D_3 は、水の表面張力と速度水頭によりウォーターカーテンの形状として、下にいくほどカーテン面が狭くなり、この面から粉じんが流出して除

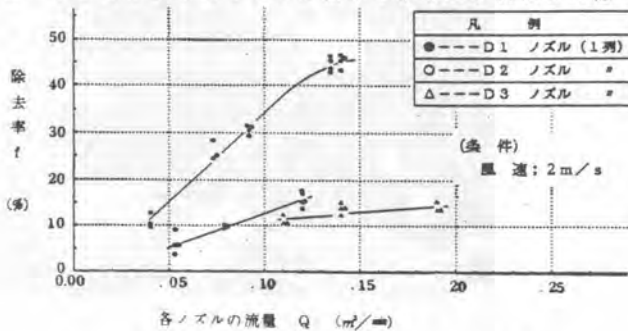


図-3 各ノズルの流量と除去率の関係



写真-2 ノズル D_1 , D_2 , D_3



写真-3 D_1 ノズルの噴射状況



写真-4 D_2 ノズルの噴射状況



写真-5 D_3 ノズルの噴射状況

去率が低くなったものと思われる。また、流量との関係は、本実験の範囲内では、直線傾向を示し流量の増大と共に除去率は向上している。ただし、その程度は、 D_1 、 D_2 、 D_3 の順に低下しており、 D_1 では流量の影響が顕著であるのに対し、 D_3 では、あまり大きな効果がみられない。

2) ノズルの重複配置による比較(D_1 の場合)

D_1 ノズルでの単列と複列の除去率の比較を図-4に示す。一般的には、接触面積が2倍になるので複列の方が除去率は、良い結果がでると思われたが、実際には、逆の結果となった。これは、ノズル間の間隔が近すぎて前後のノズルの水滴が相殺した結果により効果が減少したためと思われる。ノズル間の間隔を広げてやれば、重複効果は期待できると思われる。

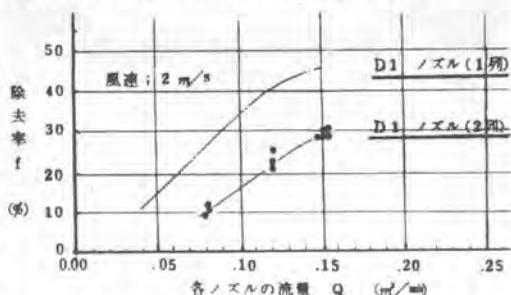


図-4 ノズルの重複配置による比較

3) ネット、泡等による効果(風速 1 m/s 以上)

水以外に、ネットと泡との併用等、補助操作についても写真-6に示すような実験を行った。その結果、写真のような泡層も瞬間的にはカーテンを形成しているが、すぐに破られ除じん効果は認められなかった。連続的に泡を供給した場合も同様であった。



写真-6 ネット、泡等による効果

4) 風速と除去率の関係

これまでの経過より一番良い結果がでている D_1 ノズルの単列という条件で、風速と除去率の関係を比較したのが図-5である。この結果より、風速が 1 m/s になると除去率は最大の 55% となり、これより風速が増加するに従って粉じん除去率は低減する傾向にある。又、風速が 3 m/s となると極端に低下する。これは、ノズルで噴射した水滴が風で飛ばされ正常なウォータカーテンを形成出来なかったためと思われる。

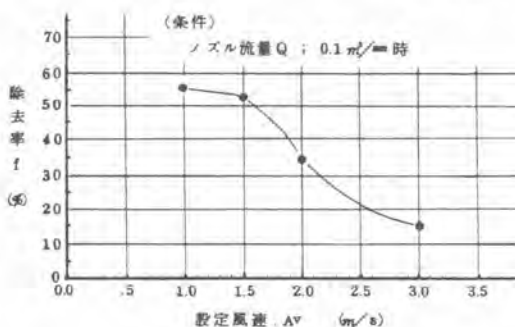


図-5 風速と除去率の関係

(2) 通気性

ウォータカーテンを形成させることによって、通風時に抵抗となり一種の遮断効果の役目も果たす意味もあると考え、カーテン設置後の風速を測定し、その差を通気率として観察した。その結果は、使用水量が増加するに従ってやや減少する傾向にあるものの顕著な結果はみられなかった。

(3) 透視性

透視性については、写真-7(D_1)、写真-8(D_2)、写真-9(D_3)に示す。これから判断すると全てのノズルに関して、ウォータカーテンの先にある物を見ながらの作業は不可能と思われる。 D_1 、 D_2 ノズルはスモッグ状となり、 D_3 ノズルは歪のある透明ガラス状となっている。

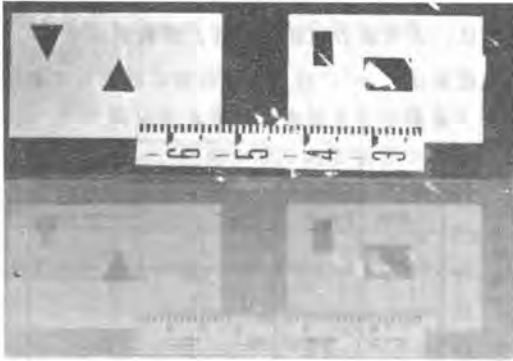


写真-7 D₁ ノズルの透視性

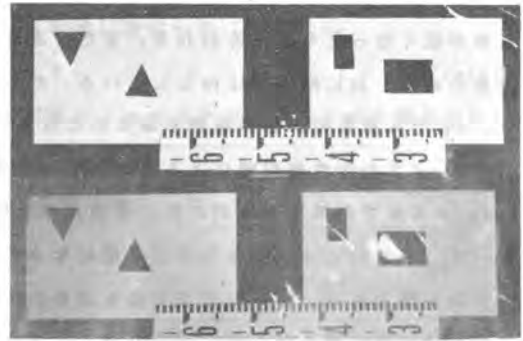


写真-8 D₂ ノズルの透視性

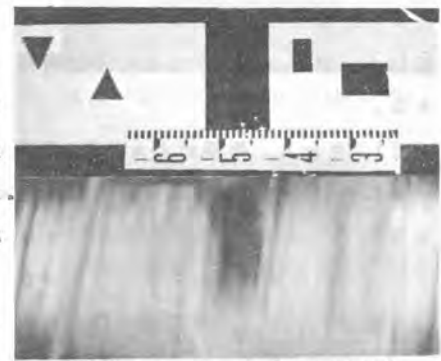


写真-9 D₃ ノズルの透視性

4. ま と め

(1) 粉じん除去率が最も良いのは、D₁ ノズルであり、水滴径はD₁とD₂では小さい方が良い。D₁ ノズルで風速2 (m/s)の条件では、ノズル流量が増加するほど除去率が良くなるが、実験では $Q = 0.15$ (m³/min)で45%を示した。

(2) ノズルD₁で使用水量が増加すると通気性が若干低下する。

(3) 風速を1~1.5 (m/s)以上にすると除去率は急速に減少する。

(4) ウォータカーテンによる気温冷却効果については、今回は実験中の水温と気温の差が小さかったため確認出来なかった。

(5) ウォータカーテンによる透視性は、かなり悪い。従って、切羽環境改善のために本方法を用いるとすると、吹付作業の自動化等が必要になると思われる。

5. あ と が き

今回の調査は、小規模な風洞装置を用いて実験したものであるが、当初期待していたほどウォータカーテンの粉じん除去効果がみられなかったのは残念である。しかしながら風速を1 (m/s)に設定した時、粉じん除去率は最大55%が得られた。今後、除去率向上のためにノズルの種類、噴射方向および配置等を検討することによって、さらに除去率を向上させることは可能と考えられる。

これからの技術開発として切羽での吹付作業の自動化、吹付ノズルの改善等、粉じん発生源での除去対策、粉じん抑制工法等期待するところが大きいが、本調査がその一助となれば幸いである。

最後に、この調査を実施するにあたり御指導、御助言を頂いた関係各位に謝意を表する次第である。

参考文献

- ・トンネル粉じん処理実験(第1報) 高野, “奥村組”
- ・ “ ” (第2報) “ ”, “ ”
- ・安房トンネル調査坑粉じん測定結果報告書 58-8 鹿島技研

26. TBM一次覆工用としてのファイコン工法の適用

(株)間組 松 垣 光 威・* 畠 山 修

1. まえがき

最近の中硬岩盤を対象とする山岳トンネルの工事においては、機械化による施工の省力化、工期の短縮、工費の低減を目的にトンネルボーリングマシン（以下、TBMと称す）による施工が見直されてきている。しかし、わが国のように地質の変化が激しい地盤をTBMで掘削するには、掘削直後の坑壁を早急に安定させる必要があるために、その成否はNATMの適用が大きなカギになると考えられる。ところが、TBMでの吹付け施工は、図-1に示すように作業空間の大部分を機械本体が占めることから、従来の吹付けコン

クリート工法では、最適な吹付け距離および角度がとれないために、粉じんやはね返りが大量に発生し、施工が困難であるばかりでなく、はね返った材料が機械本体に堆積するので、その後始末の必要から、掘削の進行を著しく遅らす原因となる。また、湧水箇所での施工が困難であるなどの理由から、決め手になる新しい工法の開発が必要とされた。筆者らは、これら従来

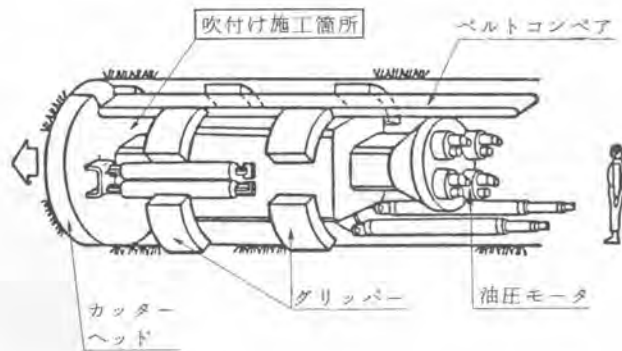


図-1 TBMでの吹付け施工

の吹付けコンクリート工法の欠点を解決するべく特殊な吹付け工法（以下、ファイコン工法と称す）を開発し実用化に成功したので、その概要と実績をここに報告する。

2. ファイコン工法の概要

本工法は、セメント系吹付け工法の一つで、普通ポルトランドセメントを主材とし、これとカルシウムサルフォアルミネート系の特殊な粉末急結剤を別々に水で溶解したペースト状の材料を、それぞれポンプで吹付けガンまで圧送し、ノズル先端部で瞬間的に混合しながら、さらに耐アルカリ性ガラスの短繊維を加えて、塗装の要領で吹付けるものである。図-2にそのシステムを示す。吹付けガンは小型軽量で片手で操作することができる。また吹付け距離を10cmから最大3m程度まで変化させても、あるいは吹付け角度を壁面に対し、最大45°程度まで傾けても、はね返りはほとんど発生しない。さらに、吹付け材料が瞬結性に優れているため、湧水箇所での施工にも強い。一方、完全な湿式工法であるため、品質のパラツキが少なく、粉じんの発生も少ないなどの特長を有している。したがって本工法はTBMの一次覆工用として最適な吹付け工法といえる。写真-1に、関西電力株式会社

御発注の新愛本水力発電所導水路工事におけるTBM切羽付近での本工法による吹付け施工の様子を示す。

なお本工法は、かつて電源開発株式会社御発注の下郷水力発電所導水路工事におけるTBM施工に際して、昭和54年に当社が開発、実用化した石膏系吹付け工法であるショットレジン工法を改良し、新たに開発したものである。本工法とショットレジン工法および従来の吹付けコンクリート工法について比較したものを、表-1に示す。

3. ファイコン工法の試験結果

3.1 硬化時間

セメントペーストに対し急結剤の添加量を変化させた場合の凝結時間は、図-3に示すように、急結剤添加量がセメント重量の10%のとき、始発

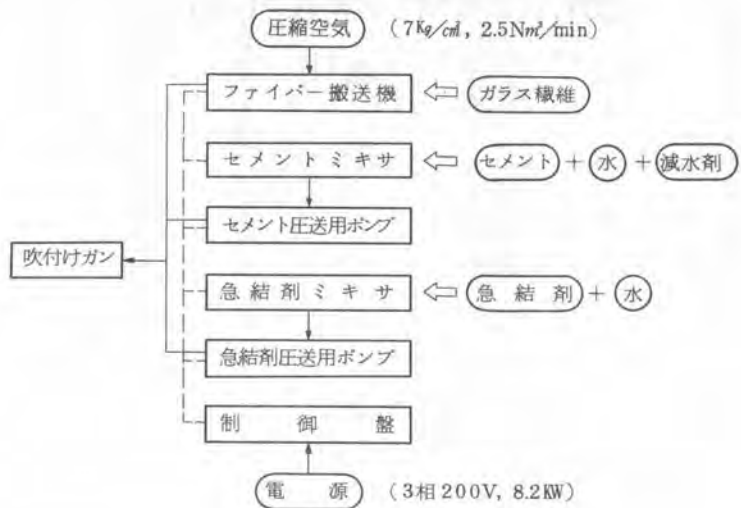


図-2 吹付けシステム



写真-1 カッターヘッド直後の吹付け作業

表-1 従来工法との比較

| 項目 | ファイコン工法 | ショットレジン工法 | 吹付けコンクリート工法 |
|------------|------------------|------------|--------------------------|
| 凝結時間(始発時間) | 15~45秒 | 40分 | 1~3分 |
| 粉じん・はね返り | ほとんどなし | ほとんどなし | 多い |
| 標準吹付け厚さ* | 2~4cm | 0.3~0.5cm | 5~25cm |
| 吐出量 | 1.2~2.4m³/h | 0.3m³/h | 4m³/h以上 |
| 湧水の影響 | 10ℓ/min・m²程度まで可能 | 滴水程度まで一部可能 | 18ℓ/min・m²程度まで可能 |
| 吹付け機械の重量 | 300kg | 60kg | 1,000kg |
| 吹付け距離 | 0.1~3m | 0.5~1.5m | 1m前後 |
| 操作性 | 容易(塗装の要領) | 容易(塗装の要領) | 難(熟練を要し操作時はノズルをしっかり固定する) |

*標準吹付け厚さは同一条件での比較ではない。

時間は45~60秒を示し、終結時間は90±3秒であった。また急結剤添加量をセメント重量の15%にすると始発時間は15~30秒を示し、終結時間は60±3秒となった。以後、急結剤添加量を25%まで増加しても同様な傾向を示した。

3.2 圧縮強度

圧縮強度は巾30×長さ30×深さ30cmのコア箱に直接吹付けを行って材令1日直前にコア抜きを行い、JIS A1108に準じて求めた。材令と圧縮強度の関係は、図-4に示すように、材令28日で450~500kg/cm²となった。一般の吹付けコンクリートの同一材令での圧縮強度が300kg/cm²前後であるのに比較し、高い強度が得られている。

3.3 施工性

直径3.2mの円形模擬トンネルを用いて施工状況を調査した。その結果、吹付け距離を10cm程度から最大3m程度まで変化させても、また吹付け角度を壁面に対して直角から斜め45°程度まで変化させても、さらに上向きの吹付け姿勢においても粉じんやはね返りの発生は極めて少なかった。

一方、湧水箇所での施工性を確認する目的で、当社で施工中のA現場において試験施工を行った。写真-2は、従来の一般的なセミ湿式による施工例である。m²当り毎分5ℓ程度の湧水量があり、湧水部分を中心に吹付けコンクリートのハク落が各所に見られ岩盤の露出が認められる。これに対し、同一箇所を本工法で再施工した状況を写真-3に示す。岩盤の露出はなくなっており、ほぼ完全な仕上り面が得られた。但し、湧水の浸出部分は、最大5cm程度の水孔が形成された。

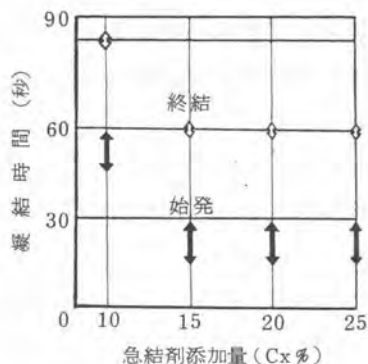


図-3 急結剤添加量と凝結時間

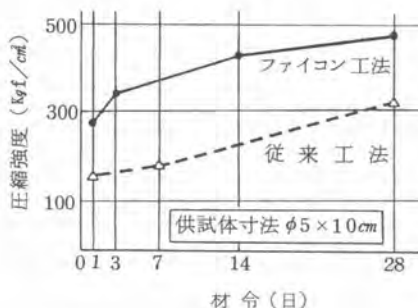


図-4 材令と圧縮強度



写真-2 湧水箇所での施工(従来工法)



写真-3 湧水箇所での施工(ファイコン工法)

4. ファイコン工法の施工結果

本工法を、新愛本水力発電所導水路工事でのTBM施工において御採用頂いた。本地域の地質は、飛騨変成帯に属し、古生代石灰岩層にアグマタイト質閃緑岩などの火成岩類が貫入し圧力変成したものと考えられる。本工区では音谷、弥太蔵の2つの谷をはさんで粘土を介在する幅1～5m程度の大小の破碎帯を含む7本の主な断層からなる地質であり、石灰岩部に広く湧水を伴うことが予想された。これに対処するために、掘削直後の地山を急速に安定化処理すべく本工法による施工を行った。その結果、従来の吹付けコンクリート工法では、はね返り率が8割程度にも達したのに比べて、本工法では、わずか1割程度に納まった。また、粉じん濃度も極めて少ない好結果が得られた。本工事では、TBMによる掘削直後の地山に厚さ2～5cmの薄肉吹付けを行い、 m^2 当り毎分15ℓ程度の湧水を伴う幾多の断層破碎帯を無事突破することができた。本工事パイロット坑掘削における施工実績は、延長約3.4Kmのうちの約8割、施工数量にして約2万 m^2 余りを施工した。なお、引続きリーミング坑掘削においても施工中である。写真-4に、本工法による仕上り面の状況を示す。



写真-4 仕上面の状況

5. まとめ

以上の結果から本工法をまとめると、以下のようなことがいえると考えられる。

- ① カルシウムサルフォアルミネート系の急結剤は瞬結性に優れ、吹付け工法の急結剤として効果がある。
- ② 主材および急結剤を湿式にすれば、両者の混合は比較的容易になり、品質管理や環境保全に効果がある。
- ③ 吹付けノズル部において、最適なスプレー状態が得られるように圧縮空気の圧力および流量を制御すれば、吹付け面と吹付けノズルとの距離や角度がかなり変化しても、はね返りや粉じんの発生量を少なくできる効果がある。
- ④ 湧水箇所での吹付けには、急結剤の効果だけでなくガラス繊維の混入が付着に寄与している。

6. あとがき

今回TBM一次覆工用として適用した本工法は、吹付け材料および機械の両面から抜本的な研究を進めることにより開発したものである。本工法は、従来の吹付け工法の欠点を、ある程度解決できたものと考えられるが、反面施工費用がかなり高くなるという欠点を有しており、今後の課題といえる。

最後に、本工法の開発成果が現在実施されている他の吹付け工法の改善や改良に多少なりとも参考になり、トンネル工事の合理化に貢献できれば望外の喜びである。

27. プレイバック形コンクリート吹付ロボット

(株)大林組 加藤 実・登坂 知平

(株)神戸製鋼所 *長谷川 清・小幡 光義

1. まえがき

日本の道路は縦貫5道がほぼ完成し、横断道に重点が移ってきている。そのためトンネル掘削技術が重要視され、日本道路公団では経済的、技術的に優位性の大きい NATM 工法を全面的に採用すると発表されている。NATM 工法では吹付コンクリートが支保の重要なメンバーの一つとなっており、この吹付け技術の習得を容易にするために、産業界で実績のあるプレイバック形ロボット技術を活用した自動吹付を試みた。吹付ロボット開発に際しては、人手吹き作業での下記の問題を解決することを目標とした。

- 1) 作業環境の改善
- 2) 安全の確保
- 3) 吹付操作の容易性
- 4) 吹付コンクリートの品質向上
- 5) 吹付作業の能率向上

今迄にも機械化された吹付機はあるが、プレイバック形の吹付ロボットは初めてであり、電子装置の繊細さが土木機械の環境に合うかが心配であったが、反面、電子技術の発展を見るとき、建設業界にもその技術が全面的に取り入れられる時代も近いと予想し、プレイバック制御機能をもった吹付ロボットを選定した。

2 吹付ロボットの特徴

本ロボットを開発するに際し目標とした問題点の解決方法として次の諸施策をたてた結果、それ等の機能が本吹付ロボットの特徴として、操作性、生産性、信頼性、安全性の向上に寄与し得ている。

1) 簡便な操作

プレイバック形ロボットの難点は教示方法にあるが、本ロボットでは円弧上の3点と必要な場合、奥行方向の1点にアームの位置をリモート操作で合せるだけで教示が終了し、あとは計算で、台車の傾きを補正した上で、トンネル中心を求め



写真-1 ティーチング中のコンクリート吹付けロボット

アーム位置・ノズル向きを指令を出す。作業者はモードの選択を行なうだけでよい。

2) コンクリート打設効率と品質の向上

吹付面迄の距離を一定にし、ノズルを直角にすることによって、はね返りが減り打設効率を向上することができる。そのために教示によって求められたトンネル中心を基準にして、アームの位置、ノズルの向きを常時、計算してサーボシステムに指令を与えている。また、吹付面の形状によって吹付厚さを均一にするための割込操作と、コンクリート供給量の変化に対応した吹付速度の選択が可能で、コンクリート厚さの均一化が容易に実現できる。

3) 作業能率の向上

準備作業としての教示は前述の様にアームを回転させてノズルと吹付面との距離を合わせるだけでよく、吹付作業時には、円弧・奥行・支保工の各モードの切替に加えて、割り込み操作によって作業範囲を変更でき、また吹付部の状況に応じてノズルの振巾傾きが任意に変更できる。さらに動作領域を8段階に変更して各種の大きさのトンネルに適用できる。

4) 信頼性の確保

トンネル内作業であることから、高温度、高粉塵に耐え、また、コンクリート吹付中はロボット停止はできないことを前提に、その対策を講じた。すなわち制御系統は防水・耐振構造とし、計算機のメモリは可動部のないIOメモリを用いて信頼性を上げるとともに、誤操作にはそれぞれ表示を出し、操作ミスによるロボットの停止がないように配慮している。また、万一計算機がダウンした時には直接、サーボ弁を操作して作業を続けることができる。

3 ロボットの概要

本吹付ロボットは、図1に示すように、走行台車部、ロボット本体部、制御装置部で構成されている。

3-1 走行台車部

吹付ロボットをトンネル内で移動させる役目と、吹付中に安定した位置を確保する役目をもっている。

標準としてクローラ形台車を用意し、ロボットの安定と狭いトンネル内での他の機械との干渉を少なくするよう配慮している。

3-2 ロボット本体部

吹付ノズルを保持し、トンネル内面に直角になるよう、前後方向と左右方向に移動させるノズル駆動部に2つのサーボ機構を設け、さらにノズルを所定の半径方向および奥行方向に移動させるアーム部分に、旋回、前後、上下アームに3つのサーボ機構を設けている。駆動方法として、小形で大きな力

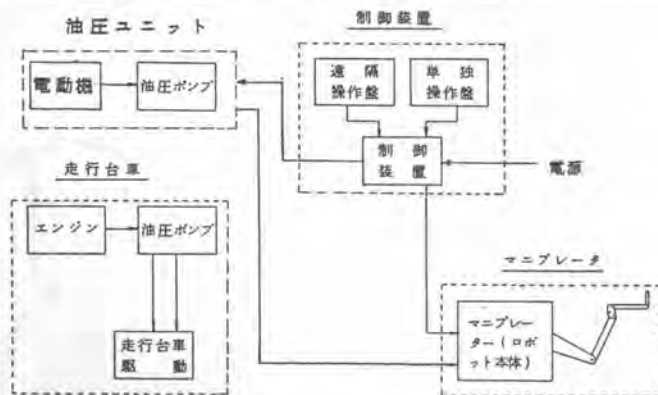


図-1 主要ユニット構成概念図

を出せる油圧方式を用い、制御性を良くするためサーボ制御方式をとっている。

油圧源は、台車のエンジンによる場合もあるが、ロボット操作中の騒音や排気ガスを考え別電源で電動機を介して油圧ポンプを駆動するのを標準仕様としている。

3-3 制御装置部

吹付ロボットの頭脳に相当する部分で、教示点を記憶し、ロボットの位置に無関係にトンネル中心に対応したアーム位置とノズルの向きを計算で求める機能をもつ、CPU部と、万一CPU部がダウンした時にも作業が続けられるように有接点回路のリレー部と、それ等に電源を供給している電源部とで構成し、悪環境中でも誤動作しない耐振・防水構造としている。

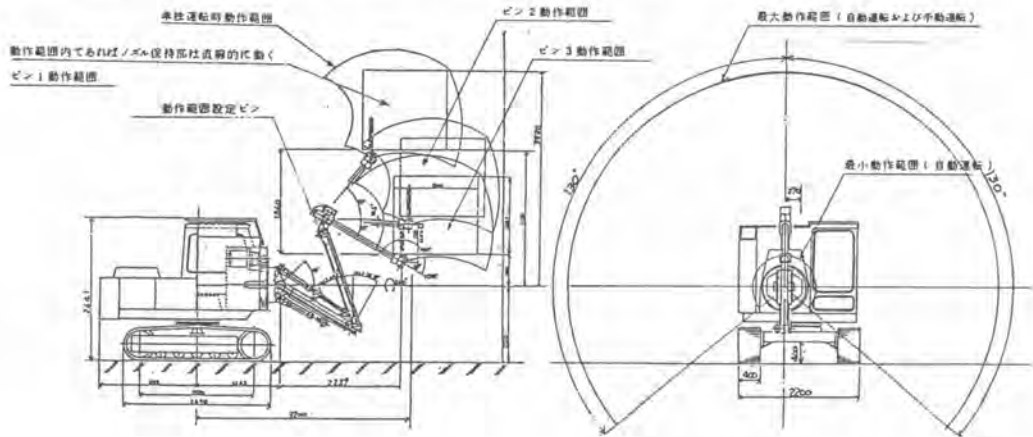
教示および吹付動作の選定を行う操作盤は、任意の位置で行えるよう可搬式とし、制御盤との信号の伝送はシリアル方式を採用しケーブル本数を少なくした。別にCPUダウン時の操作用として単独操作盤を設けている。

3-4 動作範囲

第2アームと第3アームの角度を変えることによって、図-2のように3つの動作範囲を選定できる。円弧で囲まれた部分はそれぞれロボットの最大動作範囲を示し、矩形で示したものは各モードで動作可能な範囲を示し、計算機でこの範囲を判定出来るようにしている。

表-1 標準仕様

| | | |
|--------|--------------|--------------------|
| ロボット本体 | 自由度 | 5 |
| | ①アーム回転 | 260° |
| | ②アーム前後 | 1,500 mm |
| | ③アーム伸縮 | 1,400 mm |
| | ④ノズル左右 | 90° |
| | ⑤ノズル前後 | 180° |
| | 許容負荷重量 | 60 kg |
| 制御装置 | 繰返し精度 | ± 50 mm |
| | 動作領域変更 | 1,800mm(3段切換合計) |
| | ノズルの揺動 | 前後・左右・円錐の繰り返し |
| | 制御方式 | 電気-油圧サーボ |
| 制御装置 | 教示方式 | PTP(円弧上3点・奥行1点) |
| | 計算機 | 8ビットCPUに高速演算チップの併用 |
| | メモリ | ICメモリ |
| 電源 | AC 3相 17 KVA | |
| 走行速度 | 3 km/h | |
| 回転速度 | 3 rpm | |
| 登坂能力度 | 57.7%(30°) | |
| 最小旋回半径 | 4 m | |
| 総重量 | 8 t | |



(備考) 動作範囲はノズル保持部であり、吹付範囲はノズル長さ、吹付距離で変化する。

図-2 動作範囲図

これ等は全てノズルの保持部の位置で示し、実際の吹付けにはノズルの長さも、吹付面迄の距離を加算して、対象トンネルを選定する必要がある。吹付面迄が1.7 mとすると最大11 m、最小4.5 m迄可能である。

3-5 操作の概要

走行台車でトンネル中心附近にロボットを据え、遠隔操作盤でアームを動かし、内面迄の距離を一定にして円弧上に3点教示する。奥行方向に制限がある場合は奥行方向にアームを移動させて4点目を教示する。

吹付けは円弧方向を主に所定ピッチ毎に奥行に移行する円弧モード(図-2)、奥行を主に所定ピッチ毎に円弧方向に移行する奥行モード(図-3)の何れかを選択し、自動作業に入る。

ノズルの向きは常に内面に直角になるよう計算されているが、吹付けを分散させ平均化するよう所定の振巾でのジグザグ動作がかけられる。自動運転中に特定の場所に集中して吹付けを必要とする場合は、図-5の様に割込みをかけることができる。自動動作のピッチは10~40 cm、速度は5~30 cm/秒のステップで変更が可能である。

4 吹付けテスト結果

| | |
|-------|--|
| 場 所 | 大林組 東京工場 モデルトンネル |
| 実験条件 | 生コンクリート、吹付量 2 m^3 、リードガン吹付機、マテリアルホース、ゴムノズル |
| 実験データ | 吹付能力 $3.4\sim 5.5\text{ m}^3/\text{h}$ 、ノズルスピード 10~20 cm/秒 吹付厚サ 7~17 cm、リバウンド量 20~25% |

5 あとがき

現在、直径7.8 mの水絡トンネルで実験中で、モデルトンネルよりも操作になれ、効率良く作業中である。今後はコンクリートおよび供給装置とのシステム化、さらにトンネル内清掃作業、塗装作業へも本ロボットが適用出来るように試みたい。

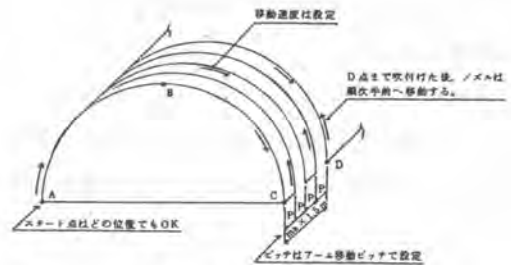


図-3 全自動運転内張モード

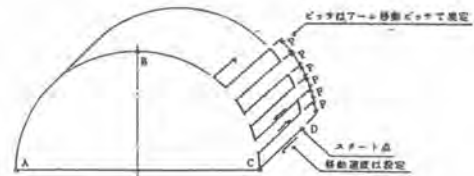


図-4 全自動運転奥行モード

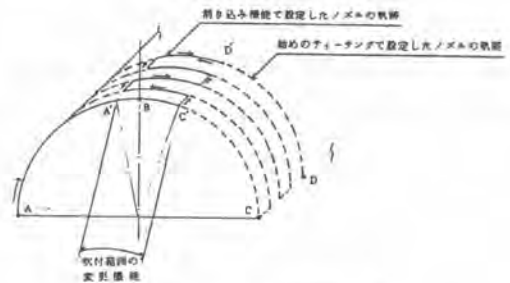


図-5 全自動運転時の割込み機能の一例

28. 小断面トンネル用伸縮型ジャンボの開発

飛鳥建設(株) *鈴木好晴・渡辺光生

1. まえがき

近年、山岳トンネル工法技術、あるいはこれらに用いられる施工機械の発展にはめざましいものがある。山岳トンネルの急速施工の要素としては、穿孔、発破、ずり処理、支保工等一連システムの合理化が必要である。本機はこれら一連システム中のずり処理の急速化を目的として、設計、開発したガントリージャンボであり、関西電力(株)、伊奈川第二水力発電所新設工事の導水路トンネルで稼動中である。

本報告は、ずり処理の急速化に貢献した小断面トンネル用伸縮型ジャンボについて述べるものである。

2. 工事概要

本工事は木曾川水系伊奈川の上流域の伊奈川国有林内において、5ヶ所の溪流から最大、毎秒6.5 m^3 を取水し、延長約6700mの導水路トンネル、支水路トンネル、及び800mの水圧管路によって地下発電所に導入し、有効落差約400mを得て最大出力21,600KWの発電所を新設するものである。

(第一工区工事内容)

| | |
|------------|-----------------|
| 第1号導水路トンネル | $l \div 1,247m$ |
| 第2号導水路トンネル | $l \div 762m$ |
| 第3号導水路トンネル | $l \div 1,138m$ |
| 掘削断面積 | 4.25~5.5 m^2 |

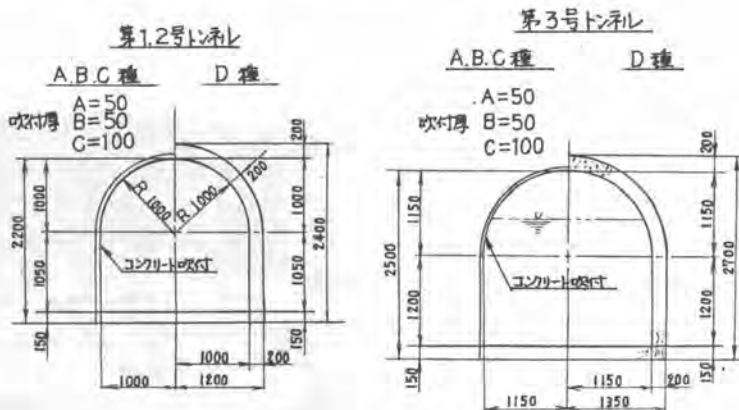
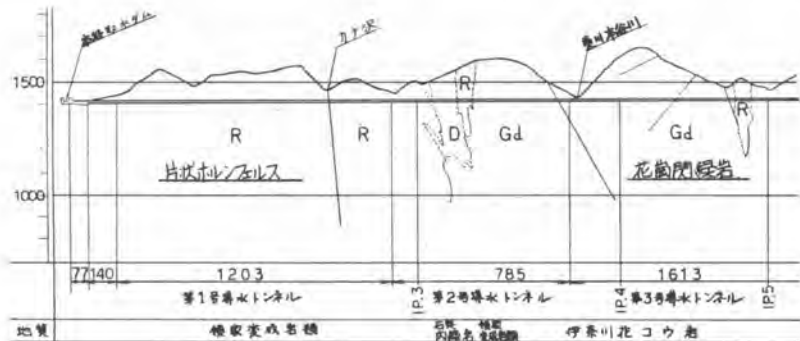


図-1 トンネル断面図

3. 地 質

本工事地域は地質的に西南日本内帯の領家帯に属し、領家変成岩類及びそれらを貫く新規花崗岩類が分布している。領家変成岩類は片状ホルンフェルスと呼ばれる中硬岩（一軸圧縮強度300～800 kg/cm²）である。また新期花崗岩類は花崗閃緑岩と花崗岩に分けられる。

花崗閃緑岩は中粒～粗粒の硬岩で、片状ホルンフェルス中に分布し、花崗岩は粗粒の硬岩（一軸圧縮800～1,000 kg/cm²以上）である。



図－2 地質縦断面

4. 小断面トンネル用伸縮型ジャンボ

先に、小断面トンネル急速施工機械として、「小断面用油圧ガントリージャンボ」を開発し、実施工に供し期待通りの成果をあげることができた。しかし7 m²以下の小断面トンネルで油圧式ガントリージャンボを使用することは難しく、空気式ジャンボを使用しなければならないことがある。

この空気式の場合、小断面トンネルの穿孔機としてはレグドドリルが主であり、空気式ドリフターを搭載した台車式では穿孔時とずり出し時において、ジャンボとロッカーショベルとの入替が不可能であり、たとえ待避所堀削をしても、入替のロスを生じる等の問題点がある。

このような理由により、空気式ドリフターを使用して小断面トンネルを穿孔する場合には、坑内において他機械との入替可能なガントリー型が採用されている。しかし、このガントリー型で内空断面を積込機が通過可能とするには、小さな積込機を選定しなければならないという制約がある。本機はこの点を解消すべく縦横方向への伸縮を可能とし、より大きな能力のある積込機をガントリー内通過可能とした。

このことにより、積込時間の短縮を可能とし、従来はトンネル断面を余分に堀削する必要が少なからずあったが、この余堀りを最少限に食い止めることができるようになった。



写真1 ジャンボ本体

5. 主要構造

構造は大別して、① さく岩機、ブーム部、② ガントリー本体、③ 走行部にて構成されている。削岩機は古河鉱業のD95エアードリフターを搭載しており、ブームはJCMブームを改造したものである。

走行は他車輛による牽引式で走行車輪は、通過物を通すため格納式になっている。

従って走行する時には格納している車輪を出してレール上に設置する。通過物がある場合には、ガントリー上梁についている油圧シリンダーと車輪を取りつけてあるビームの油圧シリンダーを伸ばすことにより拡幅し、ガントリー脚についているアウトリガーを張り出し通過させるものである。尚、油圧の発生源はエアモーターによりギャーポンプを回転させている。



写真2 ロッカーショベル通過時

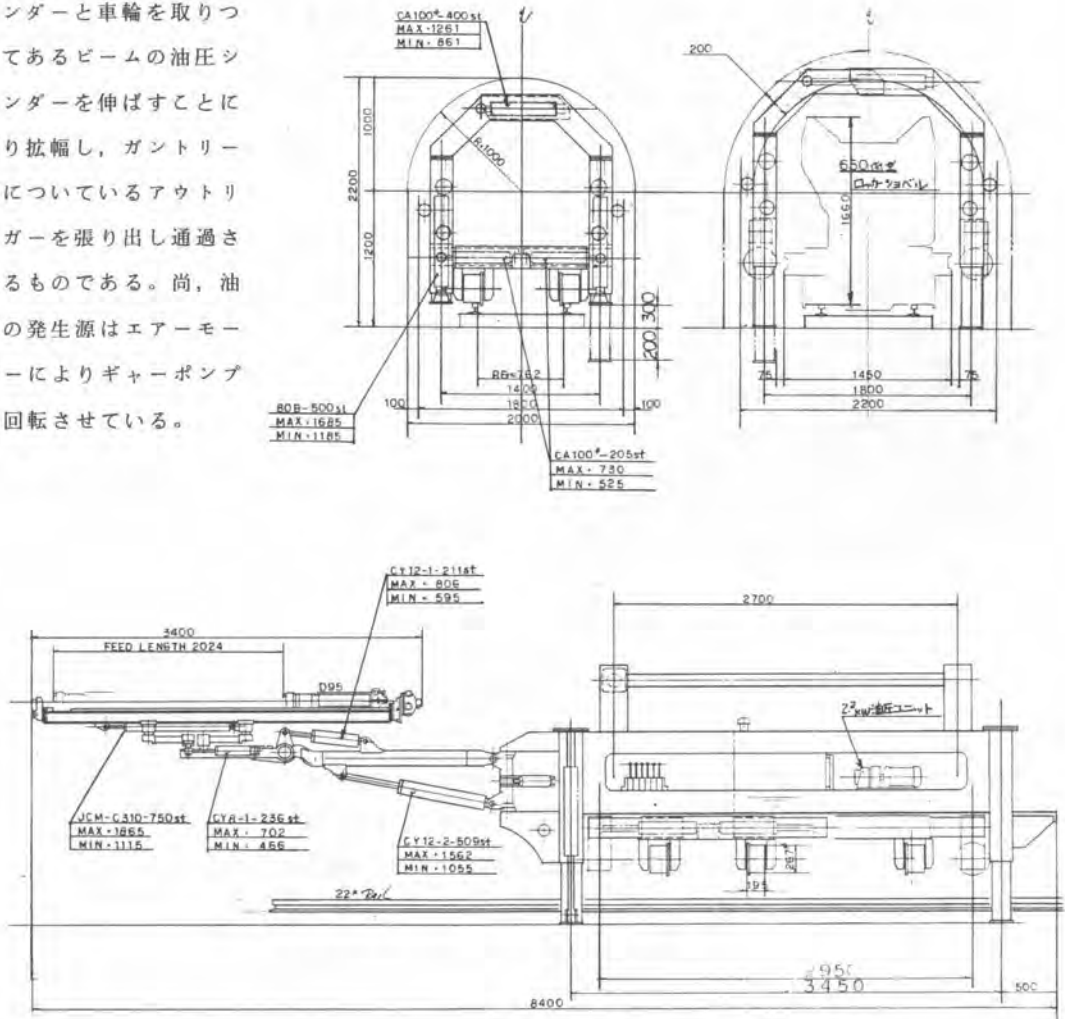


図-3 伸縮式ジャンボ全体図

6. 組み合わせ機械について

従来5m³程度の堀削断面のトンネルでは、レッグドリル、ロッカーショベルRS18、鋼車1.5m³という組み合わせが普通であったが、当トンネル工事ではトンネル断面を有効に利用するために、伸縮型ジャンボを開発し、RS18より大きなロッカーショベル650改造型、また3m³鋼車改造型を使用可能とした。それらの主なる改良点は次の通りである。

① ロッカーショベルのコンベヤを水平に延長することによりコンベヤ高さの増加を避け、長さは機械のバランス限度内でコンベヤからのずり落ち口が鋼車全長の中心より後方とし、このことにより鋼車の積載容量満杯とした。

② ジャンボ通過時と積込作業時では、ロッカーショベルのコンベヤ高さを変更する必要がある為油圧シリンダーを取り付けて伸縮を可能とした。

③ オペレーターの空間を従来のもより広く確保し、操作のしやすいバルブを取り付けた。

④ 鋼車は現有の3.7m³を大巾に改造し、適合し得る最大容量の3m³鋼車とした。

7. 従来のG/Jと伸縮型G/Jとのずり出し時間の比較

従来のG/J, RS18, 1.5m³鋼車—— 1案の組合せ

伸縮型G/J, 650改造型, 3m³鋼車—— 2案の組合せ

ずり発生量, 18m³ (断面4.25m², 1発破2m)

表-1

| | 1案 | 2案 |
|-------------|------|-----|
| 鋼車1台当りの積込時間 | 5.5分 | 4分 |
| 鋼車台数 | 12台 | 6台 |
| チェリーピッカ入替時間 | 6分 | 6分 |
| ずり出し時間 | 140分 | 70分 |

8. あとがき

トンネル堀削の1サイクルを短縮するには、1作業の時間を短縮することが先決である。特に小断面トンネル堀削はいかに作業効率の良い機械を選定するかにかかっている。

堀削断面に対して余りに大きい機械を選定すると、坑内作業空間が少なくなり、その機械のもっている能力を充分発揮できないと共に、安全性をも圧縮する結果となりがちである。

あくまでも、トンネル形状に対し穿孔機械、積込機械、ずり出し機械の一連組み合わせのバランス、マッチング等の検討が必要である。

尚、今回報告した小断面トンネル用伸縮型ジャンボは現在特許申請中である。

29. 小断面トンネル用新湿式吹付

コンクリートシステム“K-Shot System”の開発

(株)熊谷組 *岡田 喬・垣内 幸雄

1. 開発背景

近年、省資源、省エネの立場より、特に電力、水力発電において、既設のダムに上流の中小河川より水を流入させ、発電能力の向上を目的とした、小断面導水路トンネルが多く計画されている。トンネル施工法も従来の支保工、天板、覆工コンクリートに代って、ロックボルトと吹付コンクリートと保ちによるNATMが基本施工法として確立されつつあります。特に吹付コンクリートは従来の一次覆工(仮巻)の考え方から一歩進んで二次(永久、本巻)覆工としての材質(品質)が要求されてきております。小断面NATM施工に於る吹付コンクリートはこのような品質の条件に加え、施工性、作業環境等の問題を従来以上に厳しく迫られてくる。以上の背景のもとで、小断面トンネルの施工法の確立の一環として吹付コンクリート分野において、工事に諸問題を対処すべく、小断面トンネル新湿式吹付コンクリートシステム“K-Shot System”を開発した。

2. 開発目標と計画

吹付コンクリートの施工の対象が小断面トンネルであることから、開発の重点項目としては

- ①粉じん発生を少く吹付方式であること
- ②一度に吹付けられる厚が少なからぬ厚吹付が可能であること
- ③吹付けの取り、後始末が容易なこと
- ④持ち時間等による時間的制約に対処できること
- ⑤長距離圧送が可能なこと
- ⑥吹付時にノズル付近と吹付機との相互操作、連絡が可能なこと。



写真-1. K-Shot System 2号機(免状T.)

- ⑦吹付装置がコンパクトであること
 - ⑧永久覆工材として吹付けられたコンクリートの品質が良く、安定していること。
- 等があるため、その具体的な開発項目を大別するとつぎのようになる。

- ①吹付方式
- ②材料供給、運搬方式
- ③吹付機械

2.1 吹付方式

吹付方式としては粉じん発生を抑制するための条件とし、湿式を採用し、しかし、従来の湿式吹付には、特に小断面の条件を考慮するとつぎのような欠点がある。

- ①長距離圧送が不向きである。
- ②コンクリートの $\frac{w}{c}$ が大きくなると早期強度の発現が遅い。

- ③急結剤の効きが悪い。
- ④②③により厚吹きが難しい。
- ⑤時間的制約が厳しい。

このため、本開発においては、吹付方式を湿式とし、吹付材の配合を W/C の小さい(50%以下)の低スランパコンクリートとして、従来の湿式の欠点を補い、吹付システムとしている。

2.2 材料運搬システム

湿式吹付コンクリートの材料輸送は、従来のより低スランパコンクリートの状態で行うことができた。しかし、本吹付方式の主体である低スランパコンクリートに対しては、時間的制約がさらに厳しくなる。この点の考えられる運搬方式について比較する(表-1)のようである。この結果から、小断面トンネル吹付コンクリートの材料輸送方式は、骨材運搬車による「ドウイミキストコンクリート-現地加水再練り」方式が最も良い結果となり、本システムに採用した。この方式によると、練り終了直後のコンクリートで吹付を行うため、急結剤の効きも良く、 W/C の小さいことと合わせて、付着の良し、強度の発現の高し、厚吹きが良し結果をもたす。

2.3 吹付機械

上述した条件のコンクリートによる吹付ができる機械が必要で、具体的には

- ①低スランパ、硬練コンクリートの圧送
- ②—————の急結剤の完全混入

③指定した急結剤の供給の条件を満足させる必要がある。特に急結剤の混入に対しては硬練コンクリートであるため従来のように難しく、その基本的対策としては、低スランパコンクリートを完全にほぐした状態に混入性の良い球形の急結剤を混入する方式とし、吹付機としては、チャンバー(コンクリートをほぐ

| 要件 選別方式 | 練り後の 時間的 制約 | 運搬中の 振動 | コンクリート 品質の 劣化 | 吹付時の 設備 トラブル | 低スランパ コンクリートの 圧送 | 急結剤の 管理(混入 率の調整) | 急結剤の 不均一な 分布 | 急結剤の 付着 の確保 | 総合 合 |
|------------------------|-------------------|------------|---------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|---------|
| シーブリア (低コンクリート) | × | × | × | × | × | ○ | ○ | ○ | |
| シーブリア (低コンクリート) | × | × | △ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | |
| シーブリア (低コンクリート) | × | △ | △ | △ | △ | × | × | ○ | |
| 骨材運搬車 (低スランパコンクリート) | ○ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 移動用チャンバー (吹付) | ○ | △ | △ | △ | △ | ○ | ○ | × | |

表-1. 低スランパコンクリート運搬システムの比較表

小断面トンネル湿式吹付コンクリートシステムフロー

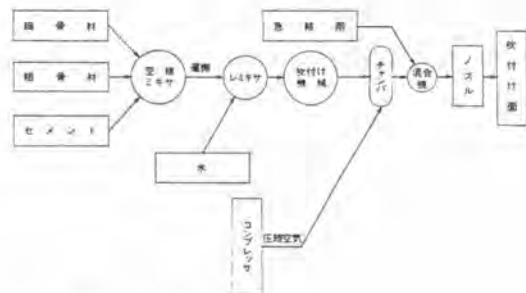


図-1 システムA-1

小断面トンネル湿式吹付コンクリートシステム

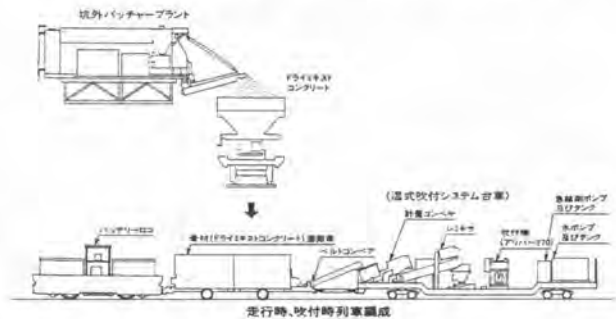


図-2 システムB

す)の装置を持つ、アリバー-270と液体急結剤(掘込用)の組合せをシステム内に改造し、さらに、当システム用に開発したレミキシング装置(自動連続計量、混練水自動計量供給装置、連続ミキシング装置)と組合せ車に搭載したシステムとなす。こゝろ、小断面トンネル用としての諸設備として、

- ・狭い坑内に於ける相互連絡設備、
 - ・ノズルマン(4羽)による吹付けエア-圧強弱調整システム
 - ・急結剤遠隔操作システム
- が装備されている。(図-1,2)



写真-2 K-shot Systemと模擬トンネル

3. 吹付けコンクリート実験

当システムによる吹付け工法の確立と、開発目標の施工に於ける成果の裏付けを図るため、模擬トンネル(写真-2, A=14mm, l=25m)に於て、吹付け実験を行つた。

3. 1. 実験結果

(1) 配合

実験に用いた配合は通常用いられている標準的な配合とした(表-2)

基本配合 (kg/m³) 表-2
 $\frac{3}{a}=65\%$ (4+15mm-急結剤) A-配合

| c | w | s | g | ain | 急結剤 |
|-----|-----|------|-----|-----|---------|
| 180 | 190 | 1124 | 604 | 41% | 23 (5%) |

$\frac{3}{a}=60\%$ (4+10mm-急結剤) B-配合

| c | w | s | g | ain | 急結剤 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 180 | 190 | 991 | 671 | 41% | 23 |

(2) K-shot Systemの機械特性

○ 圧送距離

ポンプ圧送50m, チャンバー-送工ロー圧送30m, 計80mで行つた。この長さの小断面トンネル施工、吹付け時に於ける吹付け機とノズルとの離れ(ロッカー・ショベル, ジャッキ, トレーシロープ等)50~60mを想定した分定用圧のある距離である。もちろん攪拌コンクリートの圧送である。

○ 吹付け能力

実験では最高8~9m³/hで吹付けを行つた。小断面の場合、ノズルマンによる吹付けの基本となるので、4~6m³/hの量もよい結果を示した。

○ ノズル圧と圧送状況

$\frac{w}{c}=48\sim50\%$ でノズル圧が5±2cm程度で最も振動が少なく、かつ行きの良いコンクリートである。

(3) 施工性

○ はね返り

攪拌コンクリートの圧の付着性は良く、実験模擬トンネルの吹付け面が矢張り、キーストンプレートでフラットに近い反面、



写真-3 模擬トンネル内吹付け状況

圧送圧力 表-3

| ノズル | 圧力 (kg) | 流量 (kg) | 圧力 (kg) | 流量 (kg) | 備考 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 24 B | 1.2 | 2.7 | 0.25 | 1.6 | |
| 25 B | 1.2 | 2.7 | 0.30 | 1.8 | |
| 26 B | 2.4 | 5.4 | 0.55 | 1.7 | 有る距離 |
| 27 B | 2.4 | 5.4 | 0.50 | 1.6 | 同様 |
| 28 B | 2.0 | 4.5 | 0.30 | 1.4 | 吹付けが |
| 27 B | 1.2 | 2.7 | 0.2 | 1.5 | --- |
| 27 A | 2.4 | 5.4 | 0.25 | 2.2 | 同様、吹付けが |
| 8 A | 2.4 | 5.4 | 0.55 | 2.0 | --- |
| 10 A | 2.4 | 5.4 | 0.4 | 1.5 | 吹付けが |
| 14 A | 1.4 | 3.2 | 0.4 | 2.1 | 同様、吹付けが |
| 16 A | 2.4 | 5.4 | 0.75 | 2.2 | --- |



写真-4 攪拌コンクリートのポンプへの投入

及格も大きい。このため、表-3 に示すように
 はね返り率は 15~25% の値となる。この値は従
 来のはね返り率の範囲 30~40% の 70% 以下とな
 る。

○コンクリートの品質

★早期強度：湿式比の初期の強度の立上
 りが良く、 σ_7 は 80kg/cm²、 σ_{28} は 150kg/cm² で乾式の
 抗圧と近、これは、 $\frac{w}{c}$ が極小となり、かつ
 急結割の混りと乾式を良くし、結果の裏付けと
 なっている。(図-3) の事実は、実測の吹
 付施工で厚吹に非常に効果的で、実験と同一
 とも 5~6cm 厚が可能である。(写真-5, 6)

★長期強度： $\frac{w}{c}$ が小さく、かつその管理が十分に行
 われれば、強度のバラツキも少なく σ_{28} は 300kg/cm²
 を越えている。本実験結果と従来の乾式(乾式)と
 とを比べると(図-3) のように、強度は均して下
 非常に乾式に近い特性を示している。

○粉じん

粉じんは、トンネル断面、掘削等による。その

空気中の含有量は異なるが、 $A=14m^2$ 、 $l=25m$ のトンネルで掘削量 2~30 m³/分の状態は 10mg/m³ 前後の結果
 を得ている。この結果は、従来のトンネルに当てはめると十分小さい値で、従来の湿式吹
 付時のレベルは十分差している。

○その他

吹付の待ち時間は、ドライミキストコンクリートの砂
 の含水比に左右されるが、一般に乾式と同程度の許
 容性はある。このように乾式、湿式の吹付コンク
 リートの特徴を比較し K-shot system と合わせて行
 うと、乾、湿両方式の特徴とを明示したシステムとなる。

4. 施工実績

○1号機：日本道路公団
 四国横断自動車道明神ト
 ンネル掘削工事、その1
 工事 ($A=10m^2$
 $l=1081m$) を竣工統
 いてその2工事施工



写真-7. 明神トンネル1号機(竣工)

○2号機：1号機を改良し

て、中部電力鳥川第三水力発電所用トンネル ($A=6m^2$ 、 $l=1400m$) 工事の施工に用いられている。



写真-5. スリット吹付機



写真-6. 厚吹吹付機

図-3 圧縮強度-割合

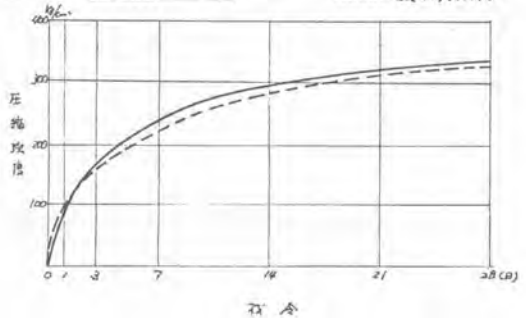


表-4 乾式と湿式の比較

| | 乾式 | 湿式 |
|-----------|--|--|
| コンクリートの品質 | ノズルにおいて、水と乾燥材料とを混合するので、品質は作業性の熟練度、能力によって左右される。 | 水を予め材料をあらかじめ正確に計量し、かつ十分に混合するので品質の管理が容易である。 |
| 作業の質 | 乾燥材料を供給すればよいので、供給作業の邪魔は少ない(凍結が少) | 材料の供給に制限を受ける。 |
| 比 込 率 | 比較的供給量の不足が可能である。 | 供給量に不足は不適である。 |
| 粉 塵 | 少 | 少ない |
| は ね 返 り | 比較的多い | 少ない |

■: K-Shot System



写真-8. 2号機トンネル掘削中の様子

30. 押し出し工法における反力自動測定システム

住友建設(株) 本間 秀 世・*森 田 雄 三・大 塚 博 孝

1. まえかき

一般に、PC桁の押し出し工法とは橋台背後の取付道路上部に設置した橋桁製作台上で10m前後の橋桁ユニットを製作し、コンクリートの硬化後このユニットを前方に押し出し、空いた桁製作台上で前方に押し出したユニットにコンクリートを打らねぎ、PC鋼材で結合しながら順次橋桁を前方に押し出して橋梁を建設する工法である。(写真-1)

押し出し工法において、押し出し中の施工管理の重要な点として各支点の反力が設計値の状態によるかどうかを挙げられる。本システムはこの反力を測定するために開発されたものであり、押し出し工法において任意の時点での支点反力が測定可能なこと、測定結果を瞬時に設計値反力との照査が可能であることが特徴である。本システムはSSY式押し出し工法(図-1)(橋台および各橋脚上の押し出し装置によって桁を送り出す反力分散方式)に採用されているものであり、これにより押し出し工法における施工管理をより良好にするとともに、施工精度・安全施工をより高めることを目的とした。(図-2)

2. システム構成とテスト

本システムの機械設備はSSY式押し出し工法の特徴である各支点上に設置された鉛直ジャッキ。それに取り付けられたプレッシャーゲージ、プレッシャーゲージからの信号をデジタル変換する自動デジタル読み取り測定装置、測定値を比較・検討するパーソナルコンピューター(以下パソコン)からなっている。(写真-2.3、図-3)。本システムを稼動するに当たり各機器のテスト、ノイズ対策、鉛直



写真-1. 押し出し施工全景

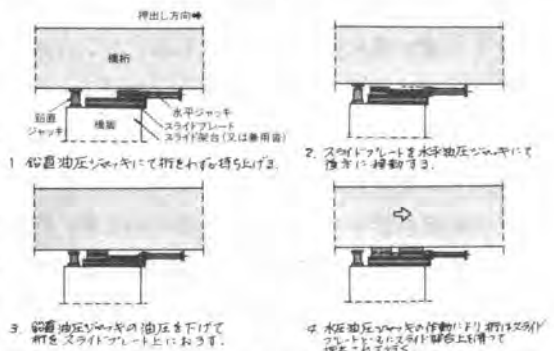


図-1. SSY式押し出し工法

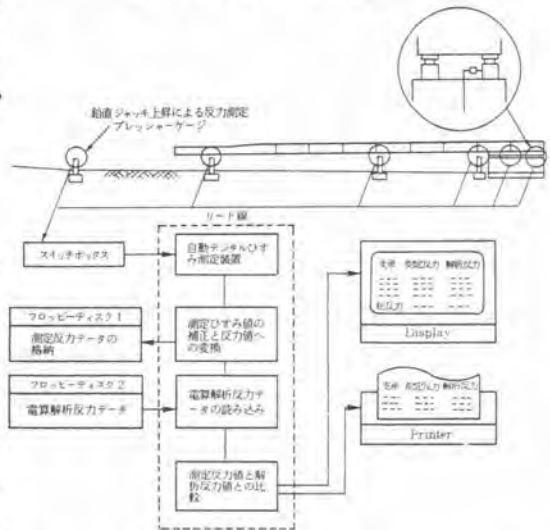


図-2. 押し出し工法施工管理システム概略図



写真-2 プレッシャーゲージ



写真-3. パソコン、スイッチボックス、制御盤

ジャッキからの入力タイミングテストを必要とした。鉛直ジャッキ、プレッシャーゲージは必ずテストするにたも、試験結果表のあるものを、リード線は長短により抵抗値が変化するため長さによる補正値が用いられるものを用いた。また、プレッシャーゲージの取り付けには油漏れがなないように金属パッキングを用い、機器相互の接続には十分な注意を払って接続した。さらに、自動デジタル測定装置とパソコンは入出力が正常に動作するか常にチェックを行った。誘導対策は特に電氣的なものに対して必要であり、測定機器に影響を及ぼす可能性のあるものは配線等に十分なノイズ対策が必要である。間の坂B.V(東北新幹線)のように在来線と平行して施工されるようなところではノイズの影響が考えられるが、その他の実施現場も含めて、その影響はみられなかった。

測定に際して、特に注意を必要としたのは、鉛直ジャッキの上昇中の圧力が(図-4)のように変化し、本車ライン上で測定しなくてはならないため鉛直ジャッキ上昇後何秒の時点で測定するかであった。また、各支保に作用する反力はそれぞれ異なるため、(図-4)のラインをそれぞれ違、最適な測定時期を決めるためのテストを反力が大きく変化するごとに行った。

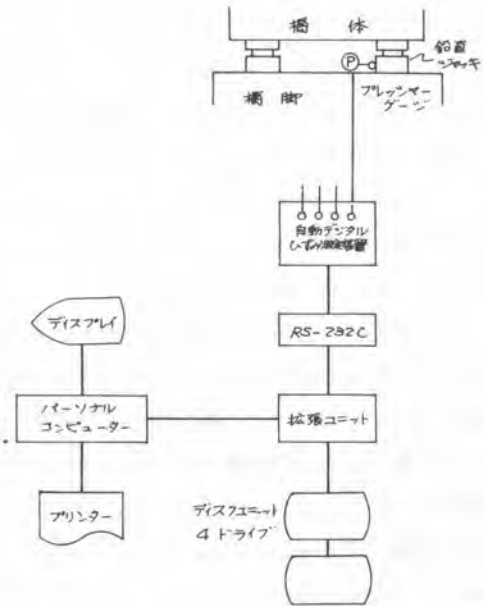


図-3 機器構成図

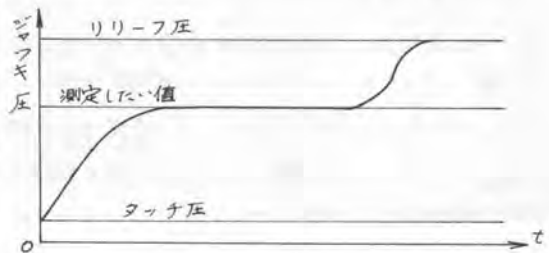


図-4 鉛直ジャッキ圧力の経時変化

3. ソフト

本システムのプログラムは(図-5)のフローチャートのように基本的に設計計算値入力用("KEISAN"), 自動デジタル測定装置からのデータ読み取り用("INPUT"), 比較・検討用("COMPE")の3本のプログラムからなっている。これらのメインプログラムはオペレーションシステムとともに1つのディスクドライブに格納されている。

データファイルは設計計算値のデータ、測定結果より得られた原データ、測定結果の原データを補正し設計計算値と比較できるようにしたデータの3つより構成されており、それぞれが1つづつのディスクドライブが割り当てられている。

プログラム用ディスクドライブと合せて計4つのディスクドライブを使用している。

本システムの稼働はすべてパソコンのキーボード上で行い、任意の施工段階で鉛直ジャッキを作動させることにより施工時反力を測定でき、また同一段階で繰返し反力値を測定できる。

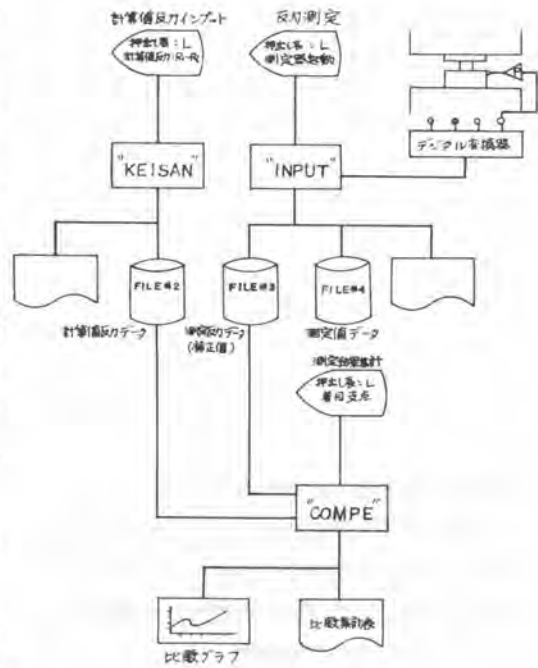


図-5. システムフローチャート

4. 実施

本システムはこれまでに駅館川橋りょう(日豊本線)、間の坂BB(東北新幹線)、皆生大橋(鳥取県、国道431号)のSSY式押し出し工法による施工に採用された。各現場とも、本システムの設置に際しては、パソコンを除いて同一の機器を用いているが、パソコンはPC 8000, PC 8000, PC 9800とそれぞれ変わっており、そのパソコンの特徴に合わせて、プログラムを変更している。本システムの設置は各機器の接続に注意を要する他は、パソコンなど簡単なのであり、特別の人員を要せず。

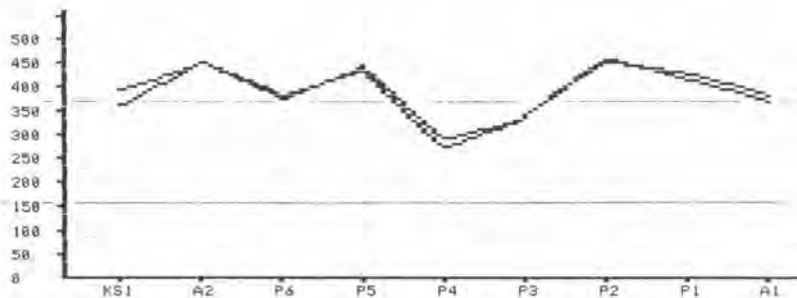


図-6. パソコンによる各支承ごとの反力値の比較

*** YAKKAN GAWA BR. *** (L= 13.00)

| | KS1 | A2 | P6 | P5 | P4 | P3 | P2 | P1 | A1 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 71カント 1 (L= 12.0) | 350.0 | 420.0 | 370.0 | 450.0 | 230.0 | 350.0 | 445.0 | 420.0 | 365.0 |
| 71カント 2 (L= 14.0) | 390.0 | 480.0 | 400.0 | 430.0 | 320.0 | 330.0 | 475.0 | 415.0 | 360.0 |
| 71カント 00 (L= 12.0) | 365.0 | 450.0 | 385.0 | 440.0 | 275.0 | 341.5 | 440.0 | 417.5 | 372.5 |
| 71カント (L= 13.0) | 395.0 | 450.0 | 370.0 | 445.0 | 295.0 | 341.0 | 452.0 | 425.0 | 362.0 |
| ハンゴウ (L= 0.0) | 30.0 | 0.0 | -7.0 | 5.0 | 20.0 | -0.5 | -6.0 | 7.5 | 9.5 |

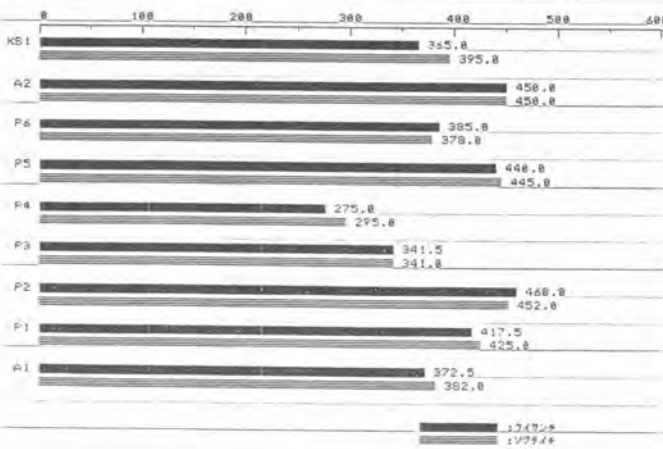


図-7 パソコンによる各支保ごとの反力比較

*** YAKKAN GAWA BR. ***

PIER NO. = P6

OSHDASHI KAISHI L= 87.98
OSHDASHI SHURYO L= 99.98

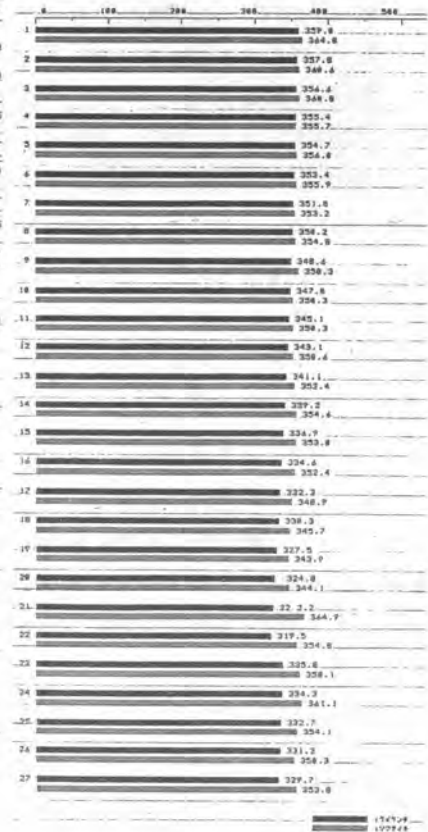


図-8 17の支保の押し出し中の反力の推移

稼働させることができた。(図-6, 7, 8)は駅館川橋りょうで実際に測定された値である。

図-6はブラウン管に表示されるものであり、カラー表示にて計算値と測定値の違いを表わしている。

3. おわりに

本システムはこのようにパソコンにより現場の状況を逐次判別できることにより、押し出し工法に代わる施工管理をより良好にするために、施工精度・安全施工をより高めることが可能となった。今後は押し出し装置の中央制御盤と連動することにより高度の機械化施工が可能となるであろう。

最後に、このシステムを開発するに当りご援助、ご協力いただきました関係各位に深く感謝いたします。

31. 高橋脚施工用ジャンピングフォームシステム

住友建設(株) *石川 隆・則久 芳行

1. まえがき

近年、我国に於ても50Mを超す高橋脚がかなり建設されるようになり、特に山岳道路、海峡横断道路などでは、今後ますます高橋脚の数も増加し、かつ橋脚高もさらに高くなっていくものと思われる。

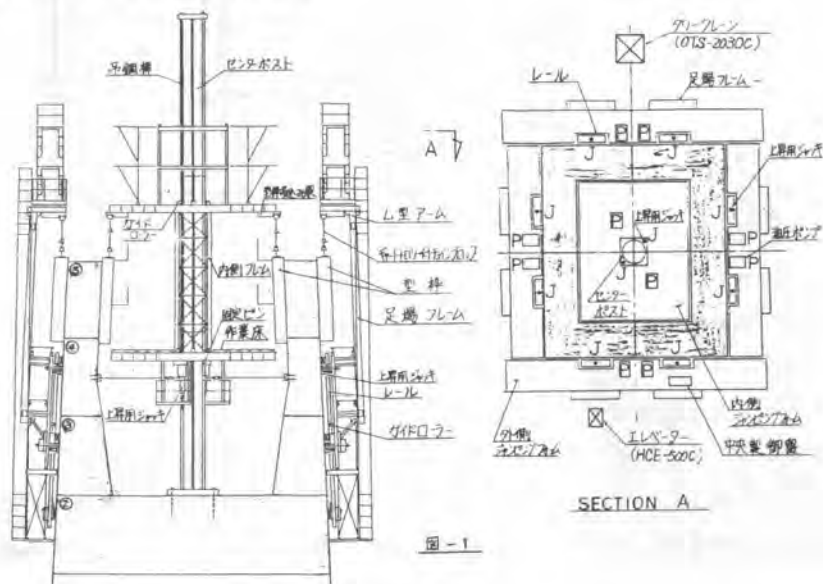
従来はこのような高橋脚の施工においては主に総足場型式の大型パネル工法が採用されてきたが、50Mを超えるような規模の高橋脚となると安全性、施工性、工期等の問題からジャンピングフォームと称する新しい施工法が行われるようになってきている。

本報告書では高橋脚施工用のジャンピングフォームとして住友建設で開発したS J F工法(住友式ジャンピングフォーム工法)の概要を説明し、この工法で施工された橋脚工事の例をとりあげ報告する。

2. S J F工法の概要

本装置はコンクリート高層構造物、特に高橋脚の施工に際し、作業の安全性を確保し、省力化、集中管理化を目的として開発された型枠及び作業足場自動上昇装置である。(図-1)

S J Fシステムには外側用と内側用の2タイプのジャンピングフォームがある。コンクリートの打設高さは1ロット3.5~5mであり、外側用は1組のフレームが型枠幅6mまで、また、内側用は1辺10mまでの型枠に適用することができる。本装置の上昇は油圧ジャッキで行い、4面に配したフレームを全部同時に上昇させるものである。

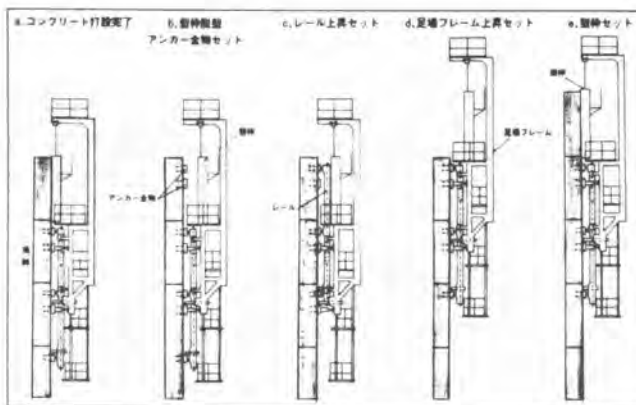


3. S J F システムの標準仕様 (外側 S J F は 6 フレームの場合とする)

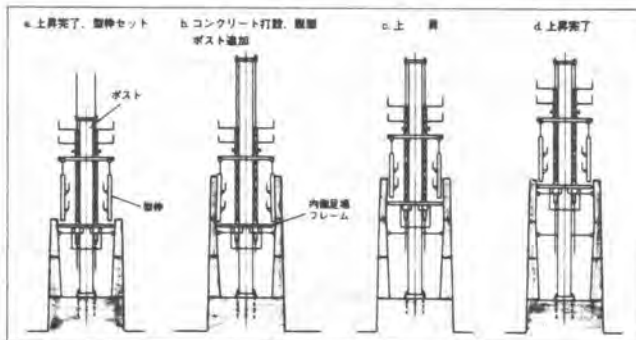
| 項目 | 外側 S J F | 内側 S J F | 備考 |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| コンクリート打設ロッド高 | 3.5 m (5.0 m) | 3.5 m (5.0 m) | |
| 1 フレーム 当り 型枠幅 | 最大 6.0 m 最小 2.5 m | 最大 1.0 m 最小 2.5 m | |
| 本 体 重 量 | 約 70 t (80 t) | 約 30 t (35 t) | 外 S J F は 6 フレーム 配置 |
| 油 圧 ジ ャ ッ キ | 20 t × 520 s t 6 台 | 20 t × 520 s t 2 台 | |
| 油 圧 ポ ン プ | 1.5 KW 6 台 | 1.5 KW 2 台 | |
| 型 枠 吊 り チ ェ ン ブ ロ ッ ク | 2 t × 4 台 3 t × 4 台 | 2 t × 8 台 | ギャードトロリー式 |
| 足場フレーム及びレール上昇時間 | 約 40 分 (55 分) / 60 HZ | 約 40 分 (55 分) / 60 HZ | 上昇時間のみ |

4. S J F システムの上昇順序

外側 S J F の上昇順序



内側 S J F の上昇順序



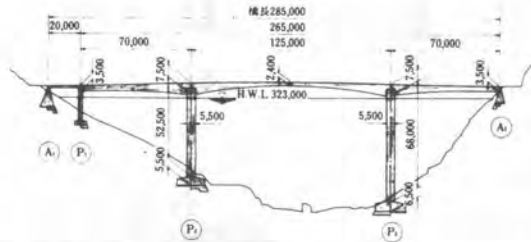
5. S J F 工法の特長

- 装置の自重、積載荷重等の垂直荷重は外側 S J F では打設高 1 ロット分より下の固定アンカーでまた内側 S J F ではセンターポストを介して下部コンクリート床板で支持されており、コンクリートの若材令によるアンカー脱落の危険性がなく安全である。
- 型枠の脱着はギャードトロリー付チェンブロックで行うので、脱型、取付、セットが簡単である。
- 外側はシートで覆われるため、保温性、耐候性に富み、高品質の施工を確保できる。
- 上昇移動は 4 面に配置したフレームを同時に上昇させるので上昇時間が短く容易である。
- 作業足場は駆体の変化に容易に対応でき、取付段数も多く作業性に優れる。

6. S J F 工法による施工例

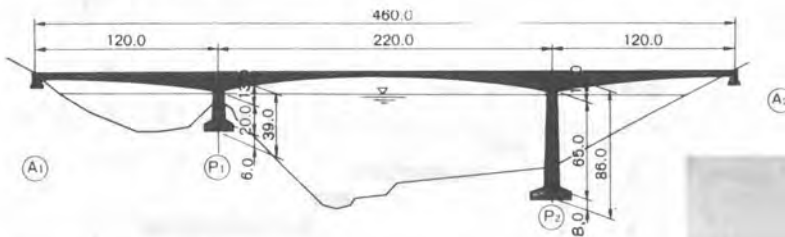
S J F 工法は昭和 57 年に開発され、以後下記の 3 工事を施工している。橋脚としてはいずれも 50 m を超える日本では有数の高橋脚であり、S J F 工法の採用により高品質な施工と高い安全性が認められ、施主側の信頼と期待に十分応えることができるものであったことが報告されている。施工実施例は次の通りである。

(1) 塩谷橋



工事場所 奈良県吉野郡川上村
 発注者 建設省近畿地方建設局
 橋脚工事期間 57年7月～58年8月
 橋脚幅：9 m × 5.5 m，2面傾斜，充実断面
 1 ロット打設高さ：3.5 m
 S J F システム使用数（1橋脚当り）：6 フレーム

(2) 阿木川ダム 2号橋



工事場所 岐阜県恵那市長島町
 発注者 岐阜県，水資源開発公団
 橋脚工事期間 58年9月～59年4月
 橋脚幅：12.5 m × 10 m，4面傾斜，中空断面
 1 ロット打設高さ：3.5 m
 S J F システム使用数（1橋脚当り）：外側 8 フレーム
 内側 1 フレーム

(3) 八幡川橋



工事場所 広島県佐伯郡五日市町
 発注者 日本道路公団広島建設局
 橋脚施工期間 58年5月～
 橋脚幅 9 M × 5.5 m 2面傾斜 中空断面
 1ロット高さ 5 m
 S J Fシステム使用数(1橋脚当り)
 外：6フレーム，内：1フレーム
 (注) 現在施工中



7. S J F工法標準サイクル工程

ここでは中空断面橋脚施工時の標準サイクル工程を示す。

標準サイクル(外側、内側ジャンピングフォーム使用)

| 工種 | 日数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 上昇固定 | | ■ | | | | | | | | | | | |
| 型枠組立 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| コンクリート打 | | | | | | ■ | | | | | | | |
| 養生 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 型枠撤去 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 脱型 | | | | | | | | | | | | | ■ |

8. あとがき

以上、塩谷橋、阿木川ダム2号橋の高橋脚施工をS J F工法で施工終了し、現在は八幡川橋の高橋脚施工を行っているが、当初考えていたよりもはるかに安全性、品質管理に優れていた。今後はさらに安全性、品質管理、経済性を向上させるべく機械及び施工法に工夫改良を加えていくべく考えている。

最後にこのS J F工法の採用をいただくと共に施工に当って多大な御指導、御援助をいただいた建設省、岐阜県、水資源開発公団、日本道路公団の方々へ誌上をお借りして改めて御礼申し上げますと共に今後共御指導よろしくお願い申し上げます。

32. パンタドームシステムのプッシュアップ 工法による体育館建設工事施工

(株)竹中工務店 * 菊池 公 男・山崎 義 広・丸山 清 司

1. まえがき

ワールド記念ホールは、国際文化・スポーツ都市を目指す神戸市がポートアイランドの心臓部、インターナショナルスクエアに、国際会議場・展示場、ポートアイランドスポーツセンター屋内プール・ホテルとつながるコンベンションシティの核施設として、建設を進めている多目的ホールである。

このホールは、総重量1500t のパンタドームシステムで設計されており、その施工にあたっては当社で開発した移動架構工法の1つであるプッシュアップ工法が採用された。パンタドームシステムの施工は、世界でも初めての試みであり、施工の安全性、精度の確保は重要課題であった。

この課題に対処するため、架構安定手法、プッシュアップ機構、計測管理システム等を開発した。

本報告は、昭和58年12月に実施したプッシュアップ工事結果についてまとめたものである。

2. プッシュアップ工法の概要

2-1 工事概要

表-2-1に工事概要を示す。

2-2 パンタドームシステム

パンタドームシステムとは、図-2-1に示すように、大屋根を地上で折りたたんだ状態で組み立て、内装、屋根外装等の仕上げ後、一斉に押し上げて大ドームを建設するシステムである。

2-3 プッシュアップ工法

プッシュアップ工法とは、地上で組み立てた長さ108.8m、幅 68 mの鉄骨トラスに、屋根パネル、トップライト、内部設備等を取り付けた約1500 tの大屋根を、油圧ジャッキを利用した18箇所のプッシュアップ装置を用いて、中央管理システムにより建物の水平を制御しながら、全揚程20.2m まで押し上げる工法である。

プッシュアップ完了後は、各ヒンジ部の定着材の取り付けを行い、プッシュアップ装置を撤去して工事を完了する。

表-2.1 工事概要

| | |
|------|---|
| 工事名称 | ワールド記念ホール |
| 建築主 | 神戸市 |
| 設計監理 | 神戸市住宅局営繕部 株式会社 昭和設計 |
| 施工 | 建築工事：株式会社 竹中工務店 電気設備工事：明和・三星・朝日・早水J.V. 空調設備工事：株式会社 大気社 給配水衛生設備工事：株式会社 長村商会 |
| 建設場所 | 神戸市中央区港島中町6丁目 |
| 工期 | 昭和57年12月22日～昭和59年7月31日 |
| 用途 | 体育館及び多目的ホール |
| 敷地面積 | 10,365,400㎡ (3,135,519坪) |
| 建築面積 | 7,739,477㎡ (2,341,181坪) |
| 延床面積 | 13,287,348㎡ (4,019,405坪) |
| 階数 | 地下1階、地上3階建 |
| 建物高さ | GL+38.57m |
| 構造 | 鉄骨造及び鉄筋コンクリート造 鋼管柱 650mmφ (先端部 812.8mmφ) t=45mm 大屋根：球継手立体トラス (パンタドームシステム) |
| 外装 | 耐焼性高強度鋼板ア3.2mmパネル 一部珞器質タイル張り |

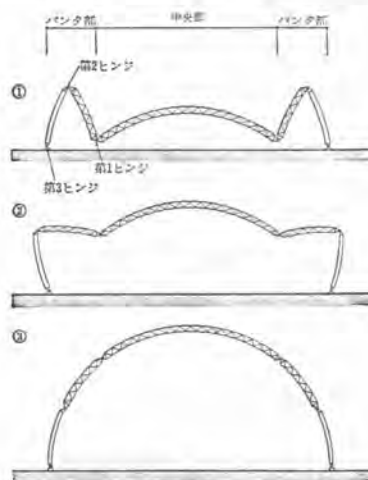


図-2.1 パンタドームシステム

表-2.2 プッシュアップ工事規模

| | |
|-----------|---------------------------|
| プッシュアップ重量 | 約1,500t (建物1,300t+支柱200t) |
| プッシュアップ支柱 | 18か所 |
| 油圧ジャッキ数 | 36台 |
| 総ジャッキ能力 | 1,800t |
| プッシュアップ量 | 20,227m |
| プッシュアップ方式 | ステップロッド方式(川鉄機材工業KK) |
| ステップロッド | ロッド径 70mmφ I 150mm |

表-2.2はプッシュアップ工事規模を示す。

図-2.2はプッシュアップ装置および手順を示したものである。反力構台の上部より2本のステップロッドをつり下げ、このステップロッドをよじ登る2台の油圧式センターホールジャッキによって、下部構台をつり上げるシステムである。この下部構台が立体トラス2個の下弦球をささえているプッシュアップ支柱を押し上げ、3.6m (1回目は2.1m)上昇することにより支柱を継ぎ足す。さらに下部躯体へ荷重を移管したあとに、油圧ジャッキと下部構台を盛り替えて次の上昇を行うものである。

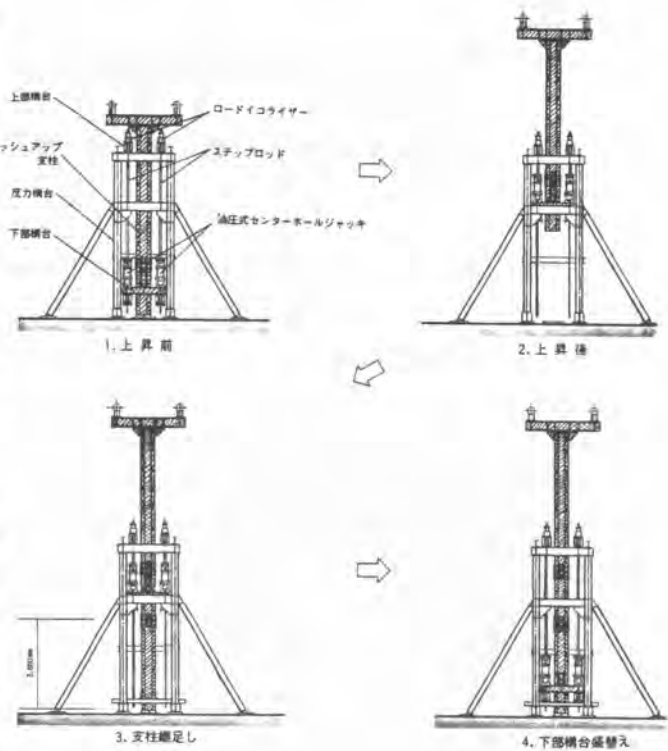


図-2.2 プッシュアップ装置および手順

2.4 計測管理システム

図-2.3は、今回のプッシュアップ工事に採用した計測管理システムの概要を示したものである。

施工へ迅速に対応するために、プッシュアップ中は揚程、荷重および各部材の応力、タイバー張力等を計算機によってリアルタイム処理する。また、屋根の水平移動量、たわみはプッシュアップ完了後、測定データを計算機にインプットし、施工へフィードバックする。

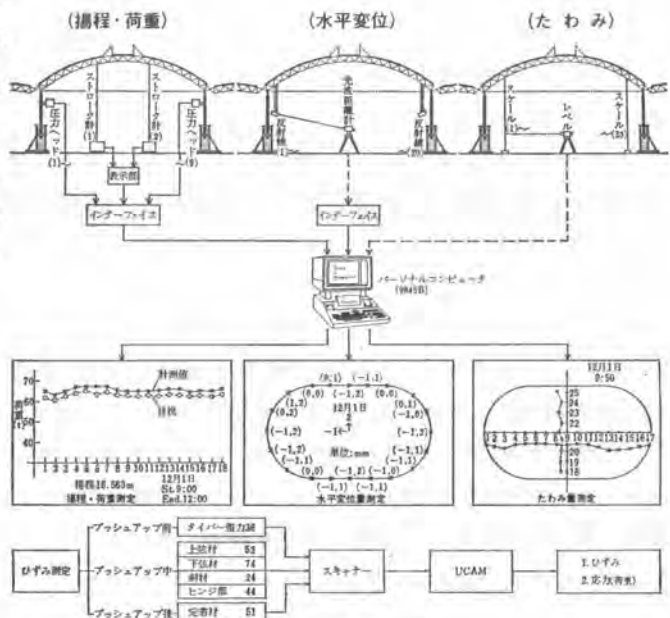


図-2.3 計測管理システム

表-2.3 計測管理項目と点数

| 計測管理項目 | 点数 | 機器 |
|-----------|----|--------------|
| 水平変化 | 20 | 光波距離計 |
| 上下ストローク量 | 2 | ストローク計 |
| プッシュアップ荷重 | 9 | 圧力ヘッド |
| 油圧ユニット圧力 | 2 | # |
| 部材応力 | | |
| 上弦材 | 52 | ひずみゲージ |
| 下弦材 | 74 | " |
| 斜材 | 24 | " |
| ヒンジ | 44 | " |
| 定着材 | 51 | " |
| タイバー張力 | 36 | # |
| たわみ | 33 | レベル |
| 押えワイヤ張力 | 10 | スケール (ワイヤ張き) |

プッシュアップ中は、揚程は、左右のストローク差が10 mm 以内になるようにジャッキ速度を管理する。また、部材応力については、中短期許容応力度を限界値として設定し、それを超える部材には補強する。水平移動量については、地震時および強風時に、短手方向へ最大90mm移動することが計算されており、これを限界値とする。

表-2.3には、測定項目、点数およびそれらの検出器を示す。光波距離計は、斜距離、垂直角度、水平角度が同時に測定できるものでそれぞれ $\pm 1\text{mm}$ 、 $\pm 0.6''$ の精度を持っている。

3. 施工結果

プッシュアップは12月1日～14日までの期間中、6回に別けて実施し、1ヶ月後には定着作業も無事完了した。

図-3.1はプッシュアップ工事の施工フローを示したものである。また、写真-3.1、3.2はそれぞれ、プッシュアップ工事前、後の状況である。プッシュアップ時には、屋根パネル、トップライト、キャットウォーク、内部設備等の各仕上げ工事をほとんど完了した状態にまで施工した。また、タイバーによってプッシュアップ時のパンタ部の広がり防止し、内部仕上げ材の品質を確保した。

図-3.2は、プッシュアップ中の揚程および荷重を測定、表示したものである。本建物は楕円形の対称構造体であるため、18本の支柱のうち10本の支柱荷重を実測し、残りの8本は実測値より推定した値を表示した。施工中は、この図を監視し、左右の揚程差、プッシュアップ荷重に大きな変化のないことを確認しながら実施した。揚程は、計画どおり左右差を10mm以内に保つことができ、また、荷重差についても変化の起こる前に対応できたため、トラス部材、仕上げ材への影響を防止することができ、ひいては施工能率へとつながった。

図-3.3は、タイバー張力の表示例を示したものであるが、プッシュアップ完了まで同図の状態を保持することができた。

図-3.4は、プッシュアップ開始時(12月1日)から定着完了(1月14日)までの上弦材の経時変化を示した例であるが、すべての部材について中短期許容応力度の70%以内に押えることができた。定着時には支柱で支えていた荷重が定着材に移管するため、力に大きな流れが生じた

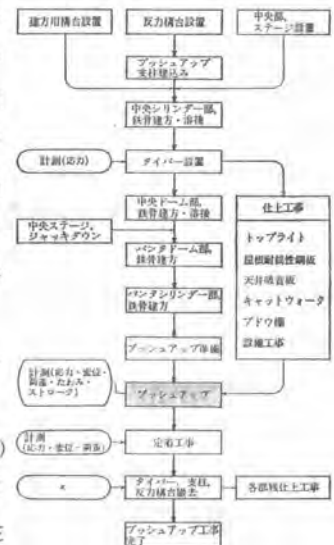


図-3.1 施工フローチャート



写真-3.1 プッシュアップ前の現場状況

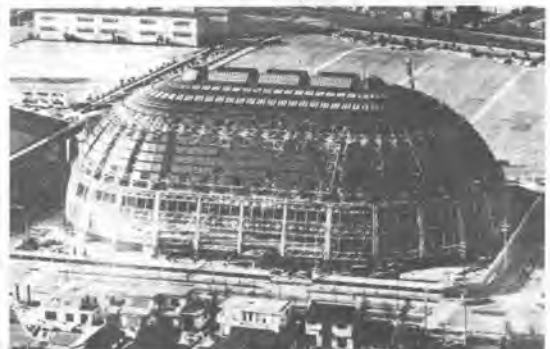


写真-3.2 プッシュアップ後の現場状況

が、これもすべて80%以内の応力度であった。

図-3.5は、大屋根の水平移動量を測定した結果である。大屋根は3つのヒンジ部より構成されており、短手方向への移動がしやすくかつ施工中は同方向からの風が強かったため、水平移動が懸念された。同図をみてわかるように、中央部では風の影響をうけ30mm前後の水平移動がみられた。また、パンタ部では外側へ広がる傾向を示し、最長手位置(No.1, No.11)では50mm以上の広がりがあった。

施工能率的には、3.6m(1回目は2.1m)のプッシュアップに要した速度の平均値は、1.63m/hであった。また、1ストローク150mmのジャッキスピードは1.8mm/secであった。

4. まとめ

今回のパンタドームシステムのプッシュアップ工法による施工は世界でも初めての試みであるにもかかわらず、事前の解析、検討を十分に行った結果、次に示す効果を上げることができた。

- 1) 計測の迅速化、グラフィックス化が計れたため、プッシュアップ中のジャッキ動作をリアルタイムに把握できた。その結果、問題の生じる前に対策を構ることができ、安全性、施工能率の向上へとつながった。
- 2) 1500tもの大屋根を水平にプッシュアップできたため、トラス部材、仕上げ材等の品質を確保することができた。
- 3) トラス部材の応力は、事前の解析結果と測定結果がほぼ同様の値を示した。
- 4) 地上付近での作業となったため、安全性、工期にメリットがあった。

最後に、本工法の施工に当たり技術指導、御協力頂いた関係者各位に対し厚く御礼申し上げます。

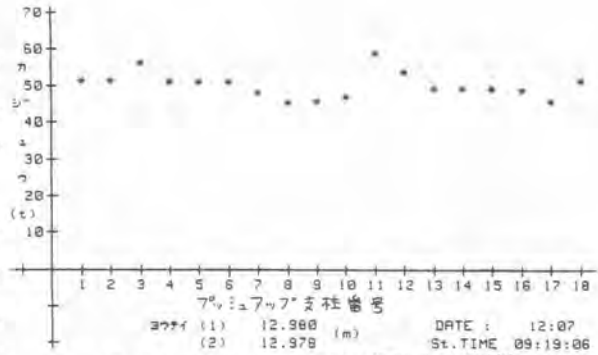


図-3.2 プッシュアップ中の揚程・荷重表示例

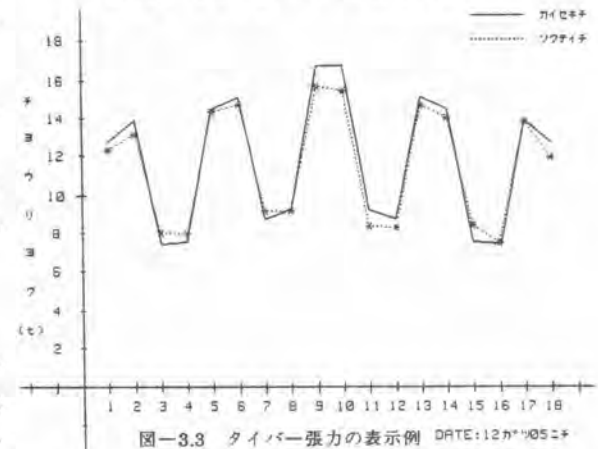


図-3.3 タイバー張力の表示例 DATE:12/05/83

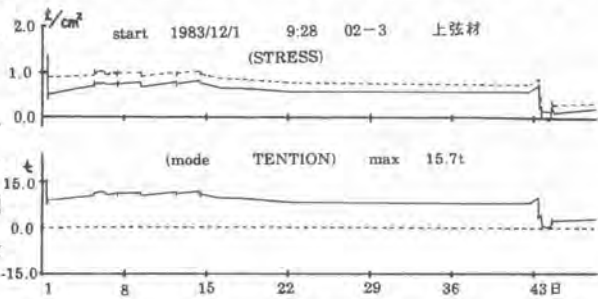


図-3.4 上弦材の経時変化



図-3.5 大屋根の水平移動量

33. ダム用コンクリートバケットの無線開閉装置について

(株)大林組 *中川武志・古川博司

1. まえがき

コンクリートダムを施工するための設備は、骨材生産設備、コンクリート製造設備およびコンクリート運搬設備に大別され、これらの各設備は独立したものではなく、相互に関連しそれぞれの能力のバランスが保たれていることが不可欠である。これらの機械設備が能力的にも安全性においてもバランスがとれていないと、全体システムとしての効率化が期待できず、ダムコンクリート工事に要求される『順調かつ経済的な施工』の条件を満たすことはできない。

昨今の機械電気技術の進歩によって、各種プラント、クレーン設備等はその性能においても、運転特性においても、また安全性においても進歩発展を遂げてきており、工事を取りまく諸条件を十分に把握し、これを反映させた仮設備計画を立て、保守管理を十分に行えばほとんど問題はないと思われる。しかし、最終段階のコンクリートバケットの操作については、ほとんど改良も加えられず問題点もかなりかかえた状況にあった。

最近、コンクリートダムの合理化施工が注目を集め、コンクリートポンプやベルトコンベヤによる打設の研究や、RCD (Roller Compacted Dam) 工法による施工も実施される一方、従来の打設方法において省力化を図る試みがなされ、バンカー線におけるコンクリート運搬の自動化の事例が報告されている。今回の報告は、後者の部類に属し、コンクリートバケットの開閉を引紐方法から無線操縦装置を採用し、安全性、作業能率の向上、工事費の低減を図ったものであり、その開発の概要を報告するものである。

2. 開発の経緯

従来、ダムコンクリート打設では、ケーブルクレーンまたはジブクレーンにて打設場所まで運搬したコンクリートバケットを、作業員がバケットの開閉機構であるエアシリンダー操作バルブの引紐を手動操作することで、コンクリートの放出を実施している。この方法は、コンクリート打設時に作業員がバケットの下に近づくため作業安全上の問題が提起されていた。従来方式での問題点をまとめると、下記の通りである。

- ① バケットの開閉が作業員による直接操作であり、その安全確保のため、バケットの位置決めや振れ止めにくレーン制御の慎重さと精度が要求され時間を要す。
- ② バケット開閉操作時に飛散するコンクリートによる作



写真-1 コンクリート打設状況

業員への危険度が高い。

- ③ コンクリート放出と同時に荷が軽くなるためバケットがジャンピングし、作業員への危険性が高い（ケーブルクレーンでは、この現象が特に顕著である）。
- ④ コンクリート放出時のジョギングモーションは作業員に対して危険であり、またコンクリート放出量の調節が困難で狭い部や特定場所へのコンクリート打設に問題がある。

今回の開発の目的は以上の問題点を考慮し、最も広く採用されているクレーンとコンクリートバケットの組合せの内、特にコンクリートバケットに注目して、その安全性の向上を主眼に施工性の向上をも図ろうとしたものである。

3. コンクリートバケット無線開閉制御装置の概要

本装置は、2で挙げた従来の問題点に関して、

- ① コンクリートバケットに遠方からの無線制御による開閉装置を取り付けることで作業員の安全を高める。
- ② バケット開閉のエアシリンダーを空気および電気回路によって制御し、作業の安全および、コンクリート放出量の調節を可能な機構とする。

とし、具体的には、コンクリートバケットを開閉する一対のエアシリンダーの空気制御回路と、無線制御のための電気回路とに大別される。

表-1は、今回追加装備した機器一覧表を、図-1は、開閉装置全体図を示したものでバケット本体下方の移動蓋を自在に開閉する。

空気制御回路については、図-2に示す。同図において、それぞれのエアシリンダーは絞り弁を介してマスターバルブに接続される。このマスターバルブは電磁弁（無線制御によって駆動）によりチェック弁を介して矢印方向に駆動する。また、三方切替弁を手動側に切り換えた場合は従来通り手動弁を作動させることで手動で開閉することも可能である。

つぎに、無線制御による電磁弁の作動についてその電気回路図を図-3に示す。

同図(a)は、コンクリートバケット部に装備した電気回路であり、送信機Cからの電波を受け

表-1 装備品内訳（バケット1台につき）

| 品名 | 形状 | 数量 | 使用場所 |
|----------|--------------|----|-------------|
| 無線受信機 | 朝日音響RC-413 | 1式 | バケット収納BOX内 |
| 無線発信機 | 〃 | 1〃 | 作業員携帯、アンテナ付 |
| リレーBOX | Ry4.5.6 T1 | 1〃 | バケット収納BOX内 |
| バッテリー | GS PE15.12 | 1ヶ | 〃 |
| 電磁弁 | CKD3/8"DC12V | 1〃 | バケット |
| 三方切替弁 | 3/8" | 1〃 | 〃 |
| ダブルチェック弁 | 〃 | 1〃 | 〃 |
| 充電器 | DC12V用 | 1式 | 事務所 |

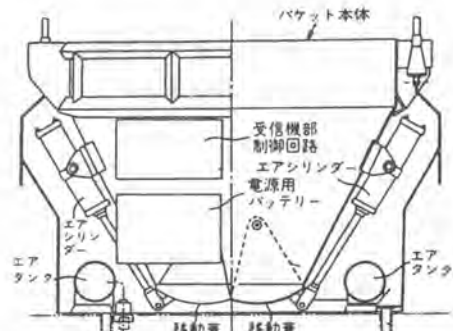


図-1 コンクリートバケットの全体図

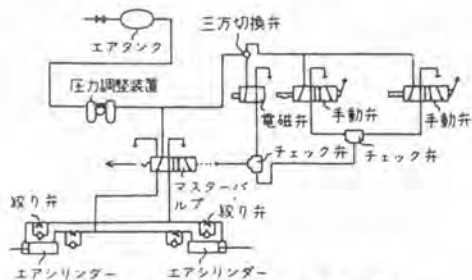


図-2 エアシリンダーの空気制御回路

る受信機部と制御回路部とに分類できる。受信機部（A）の各スイッチ（SW1～SW3）は、同図（b）に示す送信機C側のON・OFF・開の押し鉤スイッチに対応して作動する。なお、送信機Cは発信回路が内蔵されており、コンクリート打設時は作業者が携帯する。

制御回路Bの作動順序はおおむね次のようになる。

- ① 送信機CのONスイッチが押されると制御回路のランプが点灯し、作業者にコンクリートの排出がこれからなされることを警告する。
- ② 送信機の開スイッチが押されると、電磁弁が駆動してコンクリートが排出される。（コンクリートの排出は、送信機のONおよび開スイッチが同時に押された場合のみ作動する）。
- ③ 送信機のOFFスイッチを押すと、バケットが閉止される。
- ④ 送信機のOFFスイッチのほかタイマーTが装備され、所定時間（10秒）が経過するとこのタイマーが作動して、コンクリート排出中においてもバケットは閉止される。

また、コンクリート排出中、送信機の開スイッチを開放すると、バケットを閉じて排出を中断できるので、コンクリート排出量の調整が可能となる。この場合先のタイマーは、排出・中断を何度繰り返しても始動から設定時間経過後に確実に作動させることが可能である。

無線操縦装置に使用する電波は、三つの電波が一つに変調された多重変調波で、一般に使用されている電波・船舶無線・あるいは自然界に発生する雷等の電波との混信による誤動作を防止するものとした。

第1波 基本搬送周波数 70～92 MHz

第2波 副搬送周波数 55～97.5 KHz

第3波 トーン周波数 850～1200 Hz

電波の流れは、下記概略図に示すように、アンテナによって受信された電波が、受信機チューナーおよび2重のフィルターを通過することにより適正な電波のみ解説され各動作素子を作動させることになる。

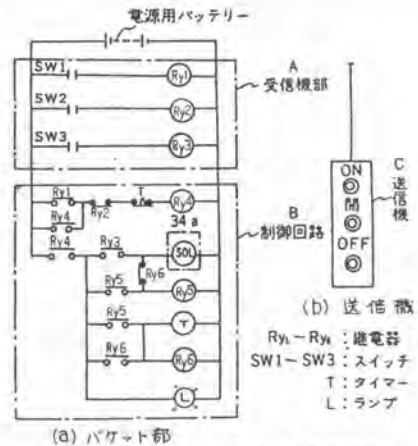


図-3 電磁弁の制御をする電気回路



図-4 使用電波の流れ

4. 現場への適用

本装置の現場への適用として、温海川ダムと沼尾川ダムについてその概要を述べる。

(1) 温海川ダム

温海川ダムは、堤高60m、堤長167m、提体積135000m³の重力式コンクリートダムで、コンクリート打設は走行ジブクレーン(9.5t×45m)、リフトダンプ式トランスファーカ(3m³)エア式コンクリートバケット(3m³)を使用している。コンクリート運搬から打設に至る一連の作業の安全および省力化を図ったものであり、この打設システムの特長は次の通りである。

- ① コンクリートプラントから台車上のバケットまではリフトダンプ式トランスファーカで運搬される。(写真-2参照)
- ② バケット受台車はジブクレーンと連結棒で固定され走行ジブクレーンの移動と連動する。
- ③ バケット開閉用の空気はコンクリートバケットが受台車に納まった時点で自動供給される。
- ④ 打設箇所でのバケット開閉は、先に述べた無線制御にて行う。



写真-2 コンクリート受入状況

この結果、バケット受台車とジブクレーンが一定間隔を保持するため、バケットの台車上への設置が簡単で、かつブーム角度を一定にして打設できるためサイクルタイムの短縮が図れたこと、またバンカー線上での玉掛やエア供給等の作業を省力化することができた。

(2) 沼尾川ダム

沼尾川ダムは、堤高28m、堤長92m、提体積37000m³の砂防堰堤で、複線式ケーブルクレーン(4.5t)とエア式コンクリートバケット(1.5m³)にて打設を行なっている。複線式ケーブルクレーンのため、打設箇所が上流側・下流側に片寄った場合など、巻き上げワイヤー張力の不均衡によってコンクリート放出後のバケットの振れ(上下および上下流方向)が大で、主に作業の安全性向上の目的でバケットの無線開閉制御装置を採用した。本装置の採用によって、上流型枠際の打設や間詰等の狭あい部の打設における作業員の安全が改善され、また作業員のコンクリートバケットへの接近・待避等の時間短縮、打設量の調節が可能であり特に型枠際などの打設が容易になったことなどによって作業効率も改善でき、打設時間を約15%程度短縮することとなった。

なお、温海川ダム、沼尾川ダムとも現在施工中で、前者ではその提体積の90%、後者ではダム本体の約70%が完了しているが、現在までバケット開閉の誤操作は全く発生していない。

5. あとがき

以上、無線制御開閉制御によるコンクリートバケットの開発について述べたが、ダム工事における安全性の向上、省力化を進めていく上で、全体打設システムの自動化等の開発に今後とも取り組んでいきたい。

34. コンクリートポンプ工法(PCD工法)による 長与ダムの施工について

長崎県 鷗 殿 成 毅

(株)竹中土木 鈴木 志 朗・松 浦 経 三・*丹 原 利 夫

1 まえがき

社会基盤の充實を目的として、ダムの建設が各地で活発に行なわれているが、近年建設適地の不足等から中小規模ダムが増加する傾向にある。特に長崎県では地形的な条件からこの傾向を端的に示しており、20ヶ所のダム地点のうち7割までが堤体積10万 m^3 以下のコンクリート重力式ダムとなっている。この様な状況から中小規模コンクリートダムの施工の合理化に対する必要性が強く認識され、建設省、学識経験者を中心に研究が進められてきた。このなかから



写真-1 完成した長与ダム

らコンクリートポンプ工法(Pumped Concrete for Dams工法、以下PCD工法という)が有力な施工法として取り上げられ、長与ダムの本体施工に我が国で初めて適用された。

2 PCD工法の特徴

長与ダムは、長崎県西彼杵郡長与町のはぼ中央部を貫流して大村湾に注ぐ二級河川、長与川の治水を目的として同川上流に計画された重力式コンクリートダムである。当ダムは堤体積約6万 m^3 のゲートレスダムで、堤高に比して堤頂長の長いことがその特徴としてあげられる。図-1に下流面図を示す。

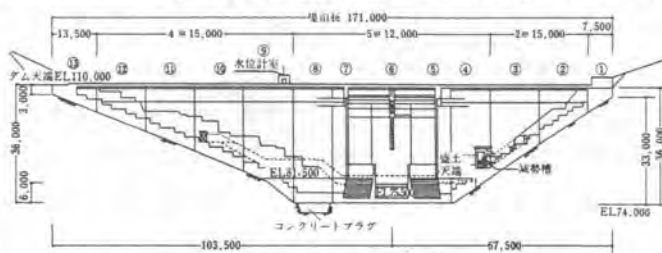


図-1 長与ダム下流面図

この様な中小規模ダムの施工においては、大規模ダムで活用されている特殊専用機械をスケールダウンして使用されることが多いが、なおダム

規模に対して設備費が極めて大きく、経済性は良くないものと考えられる。

長与ダムの堤体施工法は、ダムコンクリートをコンクリートポンプを用いて圧送・打設するPCD工法と、その補助工法として、コンクリートをダンプトラックにより堤体内まで運搬し打設するダンプ工法から成っている。図-2に施工要領図を示す。パッチャープラントはダム全高の中間に設置され、下半分18m(約37,000 m^3)はスランブ4cmの通常のダムコンクリートを用いたダンプ工法が、また、パッチャープラントより上部の約23,000 m^3 についてはPCD工法が採用された。

PCD工法は、我が国で初めて本体施工に採用された合理化施工法で、従来のダム工事にはコンクリート打設用の仮設備として必ず使用されていたケーブルクレーン、あるいはタワークレーンを一切使

用せず、汎用機械であるコンクリートポンプを用いることに特徴があると言える。

P C D工法のメリットとしては、

- ① 仮設備設置による環境破壊を起こさない。
- ② 仮設備用地が殆ど不用で、ダム建設用地内のみで施工ができる。
- ③ 工事費のコストダウンが図れる。

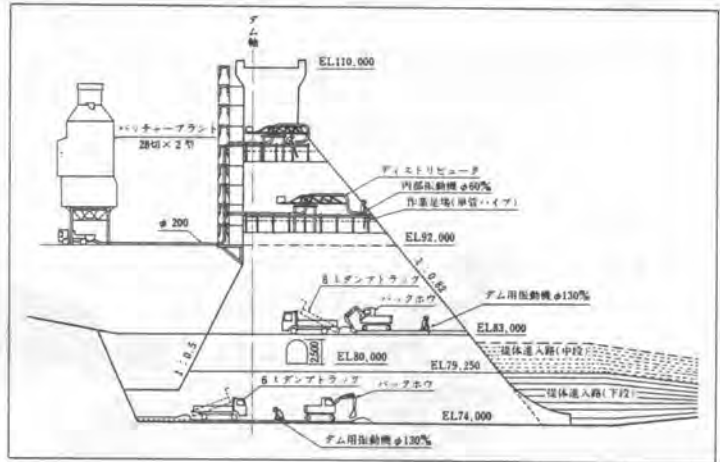


図-2 施工要領図

④ ダム専用の仮設備、即ちケー

ブルクレーン、パンカー線等を必要とせず、汎用機械であるコンクリートポンプにより施工ができる。

⑤ ケーブルクレーン、バケット等の施工面上方では稼働するものがなく、安全で静かな施工ができる。などがあげられる。

この様に、P C D工法は在来工法とは全く異なったコンクリート運搬、打設方法を含む新しいダム施工システムで、堤高が50m程度以下の中小規模ダムで、堤頂長の比較的長いダムに対して、在来工法よりも有利になると考えられる。

3 施工上の問題点の解決

ダム本体に用いられるコンクリートは大粒径、貧配合、低スランプであり、このようなコンクリートのポンプ圧送の可否については殆ど資料がなく、ダムコンクリートとしての要求品質を満たし、かつポンプ圧送性の良い配合の選定、あるいは圧送後のコンクリートの施工性等の検討を目的として、本体施工前に上流仮締切堤において大規模な圧送実験を実施した。この結果、単位セメント量の低減と圧送性の向上を図るために流動化コンクリートが採用され、表-1に示す3種類の本体配合が決定された。また、コンクリートポンプ

表-1 標準示方配合

| 配合 | Gmax (mm) | S.L (mm) | | 空気量 (%) | W/C+P (%) | S/a (%) | 単位量 (kg/m³) | | | | | | |
|----|-----------|----------|------|---------|-----------|---------|-------------|----|-----|-----|-------|-------|------|
| | | ベース | 流動化後 | | | | C | F | W | S | G | A D | S P |
| A | 80 | 8 | 12 | 4.0 | 88.0 | 37.5 | 174 | 43 | 148 | 712 | 1,215 | 0.543 | 0.98 |
| B | 90 | 8 | 12 | 4.0 | 85.0 | 37.0 | 182 | 48 | 148 | 699 | 1,219 | 0.570 | 1.03 |
| C | 60 | 8 | 12 | 4.0 | 82.0 | 36.5 | 191 | 48 | 148 | 886 | 1,222 | 0.598 | 1.08 |

※セメントはB種高炉セメント、F C+P=20%
 骨材は山砂、粗骨材は砂石(5式型)
 減水剤はエゾリスNo.8、流動化剤はVイーブレード(竹本油研)

は、図-3に示す機種が国産最大能力をもつものとして採用されたが、圧送実験時にはポンプ車Y字管部における閉塞が多発した。このため、実施工においては、シリ

ンダー径の拡大、弁板刃先の改良、ホッパー攪拌翼の強化等の改善を施し、さらに、バッチャープラントからのコンクリート投入時に生ずる分離防止対策として、三角形断面のラバーシートを採用し対応したが、基本的に全く新しい、貧配合コンクリートの圧送に適したポンプ機構の開発が望まれた。また、圧送後のコンクリートに対する施工性についても種々の検討が行なわれた。即ち、当初計画では圧送後のコンクリートは打設ブロック内で湿地式ブルドーザによる撒き出しを予定していたが、表

ー1に示す配合により圧送されたコンクリートのスランプは12cm程度と比較的軟らかいために、湿地ブルでもキャタピラの半分近くまでコンクリート中に埋まってしまう、前進・後進すら困難であることが判明した。PCD工法に用いる輸送管径は8インチ(20cm)で、堤体ブロック15m×15mのコンクリート打設に対して、直接配管ではコンクリートの撒き出し範囲が

狭く、施工は不可能となる。また、1リフト1mを2層打設するため配管替えをすれば時間を費し、管内で閉塞を起こす危険性が高くなる。従って、PCD工法による施工において、多量のコンクリートを連続圧送して打設するためには、圧送されたコンクリートの有効な撒き出し方法の採用が要となる。このため種々調査の結果、一部のマスコンクリート工事の施工に用いられている小型のディストリビュータを改良することによって長与ダムに適用が可能との結論が得られ、各種の検討と実験の末ダムコンクリートを対象としたアンカー固定式のディストリビュータを開発し、使用した。

4 ディストリビュータの概要と施工性

長与ダムで採用したディストリビュータは主軸部とパイプ先端の縦ジョイント部において回転する二軸回転機能を有し、架台と旋回部が4本のピンにより連結されており、容易に組立、分解ができる構造とした。本体の重量は1,600kg、バランス調整ウエイトが800kg、コンクリート圧送時には更に800kgが付加され、総重量が3,200kg程度となる。打設位置への吐出口の移動は人力にて行ない、直径16mの範囲内であれば任意の地点への打設が可能である。本機の据付は、ブロック毎およびリフト毎に、予め計画した位置にアンカーをセットしておき、打設前日に埋殺し用架台(H=1.0m~1.5m)と本機をトラッククレーンにて吊り込み、ボルトで固定するものとした。その概要を写真-2、3および図-4に示す。ディストリビュータは2台製作し、本体下部の面積が大きなブロックには2台据え付けて打設を行ない、上部の小ブロックでは1日2ブロック打設で施工した。ディストリビュータは、小型化を図

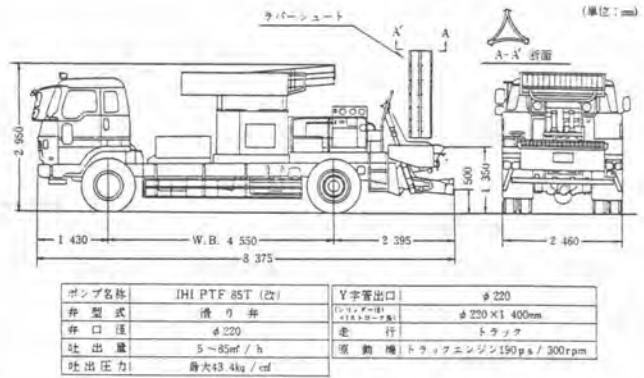


図-3 コンクリートポンプ車



写真-2 打設用足場とディストリビュータ設置状況



写真-3 ディストリビュータによる打設

るために曲り管4ヶ所の曲率半径を小さくしてあり($R = 60\text{ cm}$)、このために閉塞の多発が懸念された。しかし、ディストリビュータを使用した $21,000\text{ m}^3$ 、162回に亘るコンクリート打設に対して、施工初期に6回閉塞が発生しただけであり、その原因も打設作業あるいはポンプ操作の不慣れが主であり、ディストリビュータの形状や操作性に起因するものではなかった。

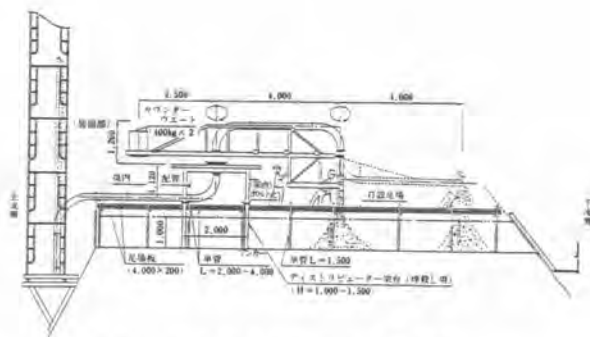


図-4 ディストリビュータ概念図

ディストリビュータによる施工の概要をまとめると以下ようになる。

- (1) ディストリビュータは圧送管と同じ8インチであり、曲率半径が小さいにもかかわらず、ディストリビュータ全体の圧力損失は一般部と殆ど同等である。
- (2) 2軸回転式であり、作業員2～4名によりディストリビュータを回転し、直径16m以内全部の地点にコンクリートを撒き出すことができる。
- (3) バイブレータの効果は一層50mm程度であり、本機を使用すればバケット方式と同様に層状打設が可能となる。
- (4) コンクリート打設作業員の足場として、簡易足場を設置する。コンクリートの締め固めは、簡易足場の上からφ60mmフレキシブルバイブレータで行ない、コンクリートの打設に従って足場を解体する。
- (5) ディストリビュータの洗浄は、コンクリート打設の最後に水押しすることにより、同時に洗浄することができ、一般配管と同等の扱いが可能である。
- (6) 架台を継ぎ足すことにより高所の擁壁等のコンクリート打設が可能となり、鉄筋組立箇所でのコンクリート打設も容易に施工できる。長与ダム減勢工の高さ10mの擁壁(約1,700 m^2)もディストリビュータを用いてコンクリート打設を行なった。

5 おわりに

長与ダムにおけるPCD工法の適用の結果、比較的簡便な施工段取りで効率的なコンクリート運搬打設が連続的に施工できることが立証できた。今後、この工法の適用範囲を広げていくために検討すべき課題として次の様な諸点があげられる。

- (1) 単位セメント量をより低減し、しかも圧送性の良いコンクリート配合の設定
- (2) 圧送性の事前判定方法の確立と諸データの蓄積
- (3) 貧配合・低スランブコンクリートの圧送に適したポンプ機構の開発
- (4) 圧送負荷の低減、閉塞対策等の施工性の改良

最後に、長与ダムPCD工法の施工に当り、御指導をいただいた建設省ならびに、飯西座長、山住委員、坪委員ほか長与ダム合理化施工検討委員会の各委員の方々に感謝の意を表する。

35. 特殊オープンシュートを利用した 長距離・急傾斜地のコンクリート輸送システム

(株)熊谷組 *松 下 祐 輔・田 中 健 治 郎

1. まえがき

傾斜地でのコンクリート輸送法には、ポンプ圧送、大口径鋼管、オープンシュートなど各種あるが、本システムの開発のねらいは、オープンシュート輸送法で以前からの大きな問題とされている輸送（流下）中のコンクリートの材料分離をいかに抑制し、かつ経済的にコンクリートを輸送するかにいう点に主眼を置いて開発したもので、傾斜角度48°、全長300mの斜坑でのコンクリート輸送に採用し、好結果を得たのでここに報告する。

2. コンクリート輸送システム概要

施工現場は、今治水力発電所導水路斜坑内で全長600mのうち上段部300mについて全打設量6000m³のコンクリート輸送を行うもので、図-1に本システムの概要を示す。

本システムは、ミキサー車から生コンが投入される斜坑上方水平部に定量供給装置を付けたベルトコンベヤーを配置（水平輸送距離≒25m、写真1参照）し、ホッパーを通してコンクリートをシュートに輸送している。

シュートは、上部傾斜角30°（ $L_1 \approx 7$ m、制御板取付角25°）の部分と、傾斜角48°（ $L_2 \approx 300$ m、制御板取付角40°）部分の全長307m、落差223mである。（写真2参照）シュート下端には、コンクリート打面用フレキシブルホース（φ=8inch、写真3参照）に接続する受ホッパー

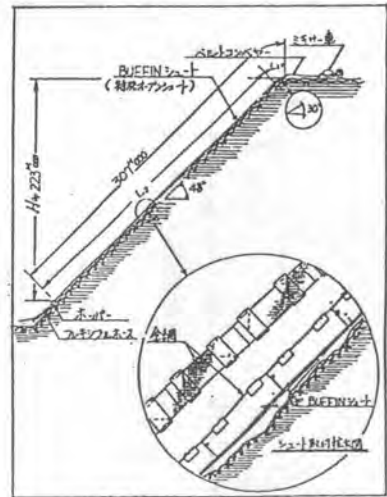


図-1. BUFFIN-シュート布設図



写真1 ベルトコンベヤーによる
コンクリート輸送状況



写真2 BUFFIN-シュート



写真3 フレキシブルホースによる
コンクリート打設状況

を設置し斜坑へのコンクリート打設をスムーズに行うシステムとした。

3 BUFFIN-シュートについて

本工事で使用したBUFFIN-シュートについて（BF-シュート）、形状・仕様を図-2に示す。BF-シュートの幅は、コンクリートの粗骨材最大寸法（本工事、40cm）と単位時間当りの流量から決定した。即ち、図-4の断面図に示すように、コンクリート流下仮想円断面の直径を粗骨材最大寸法の3倍以上あれば安定した流れになるとして、BF-シュートの仕様を決定した。

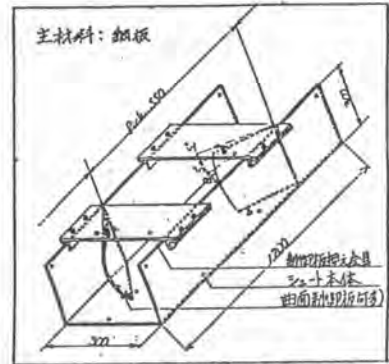


図-2 BUFFIN-シュート概要図

一般にシュート内を流下するコンクリートの材料分離は、流速が著しく速くなるが、コンクリート流の層厚が小さ

くなった時に生じ易くなる。前者の要因については、シュート内に定間隔で制御板を取付けることで解決できるが、層厚安定について本シュートでは独特な曲面制御板を使用することで解決した。

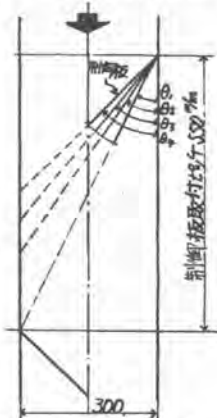


図-3 シュートの制御板取付角度

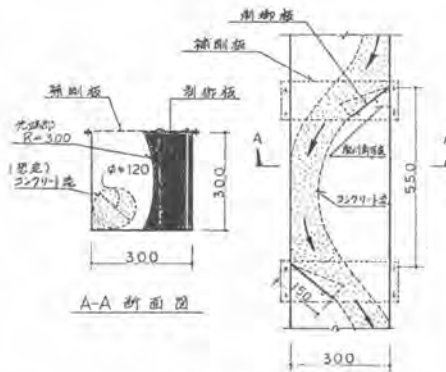


図-4 BFシュート断面図



図-5 定常流状態の速度分布

3-1. BF-シュートの特長

(1) 取付角が自由に調整できる制御板；シュートへの取付角度は、最適コンクリート流下速度が得られるように図-3に示すように、 $\theta = 30^\circ \sim 45^\circ$ の範囲で調整できる。本装置は、シュートが設置される斜面の傾斜角度に応じて θ を調整し、図-4、5に示したようなコンクリートの定常流状態を作り出すことを目的としたものである。

また、シュート内を流れるコンクリートの流速は、コンクリートのスランプや単位時間当りの流量によっても著しく影響される。これは、工事以前に行った実験結果からも確認されている。実験で得られた、コンクリートの流速についてコンクリートの流量とスランプがどのように関係あるかについて、図-6、7に示す。実験からコンクリートの最適流速を $1 \sim 12 \text{ m/sec}$ とし、制御板の取付角について傾斜度 30° では $\theta = 25^\circ$ 、傾斜度 48° では $\theta = 40^\circ$ とした。この時のコンクリート流量は $0.01 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度（ $\approx 40 \text{ m}^3/\text{hr}$ ）。スランプは 10 cm 程度が最適であることが判った。

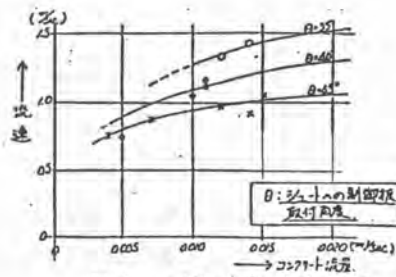


図-6 コンクリートの流量と流速の関係

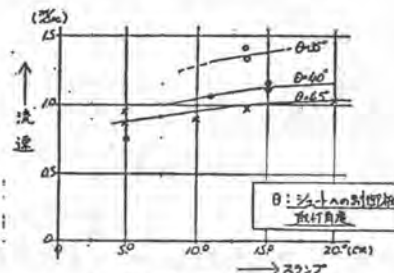


図-7 スランプと流速の関係

(2) 曲面板で構成された制御板;

図-8に示すように、流下コンクリートの層厚安定対策として制御板に曲面板を採用した。この作用は、流下するコンクリートをシュートに左右交互に取付けた制御板で繰り返し反転繰り返しを行い、コンクリートの骨料分離を抑制しているものである。(4章 実験用コンクリートでコンクリート投入時と打設時で、その品質に変化がほとんどなかったことを実証している。)

なお本制御板は図-8の矢印のごとく、コンクリートと常にシュート内側にコントロールし、シュート外への骨材の飛散およびオーバーフローの防止効果をも併せ持つことが確認できた。しかし、当現場では高低差が200m以上と著大であったことから、シュート上面に全面金網を張って飛散防止の安全対策をとった。(写真4)

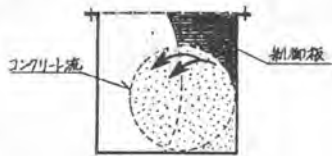


図-8 曲面制御板によるオーバーフローの抑制

3-2. BF-シュートの適用範囲

本BF-シュート 体の利点と適用範囲について表-1, 2に示す。

表-1 利 点

- ・ 軽量 (18 kg/m)
- ・ 組立て、解体、メンテナンスが容易。
- ・ 輸送動力が不要。
- ・ 輸送による品質変化がない。
- ・ 閉塞がない。
- ・ 安全性が高い。

表-2 適用範囲

| | |
|---------------|--------------|
| コンクリートの最大骨材粒径 | 60 mm |
| ・ 最少セメント量 | 200 kg/m³ |
| ・ スランプの範囲 | 5 cm ~ 18 cm |
| シュート取付傾斜角度 | 30° ~ 55° |
| コンクリート輸送能率 | 45 m³/h |



写真4. BF-シュート飛散防止用金網

4 実験用コンクリート

実験用コンクリートの配合条件、配合を表-3, 4に示す。本工事で使用するコンクリートは、表-3に示されるように極めて低強度であるため、水セメント比は表-4のように過大となり、従って一般建築用のコンクリートに比べればかなり骨料分離し易いと判断されたが、

表-3 配合条件

| | |
|--------|-----------------------------|
| 設計基準強度 | $F_c = 120 \text{ kg/cm}^2$ |
| 最大骨材寸法 | 40 mm |
| 空 気 量 | 4 ± 1 % |
| 使用セメント | O社製普通ポルトランドC |
| 骨 材 | 川砂・川砂利 |

本実験では、生コン工場の実績に基づいた基準配合に対して、300mの輸送によるシュート内壁面へのモルタルの付着を考慮して α に1%の割増しを行った以外には特別の調整を行っていない。

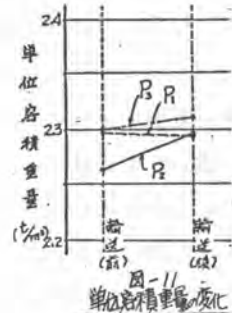
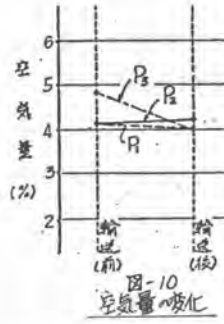
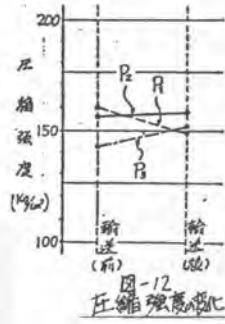
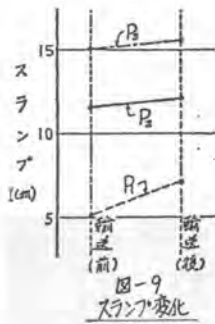
4-1 輸送によるコンクリートの品質変化

図-9~12に、本輸送システムによって輸送されたコンクリートの輸送前後の品質変化状況を示す。いずれの品質も管理目標許容値内にあり、曲面制御板によるコンクリート流の制御が期待通りに行われ材料分離が抑制できたことを確認した。なお本実験時、坑内では地下水の天井面からの垂れ落ちがあり、その一部がシュート内に流れ込んでいたため、低スランプのコンクリートほどその影響を強く受けた可能性はある。

表-4 配合表

| 配合 | スランプ (cm) | W/C (%) | S/A (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | Ad* |
|----------------|-----------|---------|---------|--------------------------|-----|-----|------|------|-----|
| | | | | C | W | S | G | | |
| P ₁ | 5 | 75 | 46 | 193 | 145 | 904 | 1070 | 0.48 | |
| P ₂ | 10 | 75 | 44 | 201 | 151 | 855 | 1096 | 0.50 | |
| P ₃ | 15 | 75 | 42 | 209 | 157 | 807 | 1123 | 0.52 | |

* Poz.Na5L, c.a.0.25%



本工事においては、最初にモルタルを流しBF-シュート内面を湿らせた後コンクリート打設を行い好結果を得ている。

36. 土のう造成機の開発

建設省関東技術事務所 山 岸 勝

1. まえがき

水防等災害復旧作業の1つとして、土のうを使用する応急復旧作業がある。これまでは土のうを人力作業により袋詰していたが、これらの復旧作業は短時間に大量の土のうを必要とするため、その際の作業員の重労働からの解放、作業の迅速化、コンパクトで運搬が容易なものおよび安定した土のうの供給を図ることを目的として、効率の良い土のう造成機を昭和58年度開発した。特に留意したのは土のう袋の口締めを行う装置をどうするか苦慮したが、既存の産業用結束機などを参考に適用可能なものがあるかまた、最適な口締め方式はどれか等の基礎調査試験を行い、本体の設計製作を行った。

2. 実用機的设计

実用機的设计にあたり、本機の性能は人力作業の3~4倍を目標に400袋/Hに計画決定し、調査結果等から次の点を考慮した。

(1) 土のう袋の決定

基礎調査の結果では、機械化するにあたり袋の口締めはミシン縫がよく、これに使用する袋は表面コーティングしたものである。しかし、次の不具合が生じることが関係者の意見で明らかになった。

- ミシン縫では袋がコーティングしてあるため、積みかさねた際にすべりやすい。
- ミシン縫では出来た土のうが長方形となり、人力で作った土のうの三角形と調和しない。

従って、形状の調和を図り、すべることをなくすためには、結果的に現在人力で使用している袋を使用し、出来上り形状も三角形とすることが条件となった。

(2) ホッパ

土砂のアーチ現象防止のためホッパ側壁は揺動式とし、ホッパ内に羽根式の土砂攪拌装置を設ける。また、ホッパ内面は土砂のすべり抵抗を少なくするため超高分子量ポリエチレンを内張りする。ホッパ高さ、及び寸法は土砂投入機械を考慮する。投入機械はトラクタシヨベル0.8m³程度、バックホウ0.3~0.4m³をモデルとした。ホッパの揺動は自動で制御され、土のう2個分の土砂を押し出すと作動するもので手動操作も可能であるものとした。

(3) 土砂供給装置

定量ピストン押し出し式で、押し出し容量は土質に対する適応性を考慮して可変できるものとして、0.014~0.020 m³/回程度とする。

(4) 回転台装置及びサイクルタイム

回転台は袋取付け、土砂供給、結束、搬出の4工程とし、その1工程所要時間は8.3秒を標準とする。

(5) 袋保持及び袋絞り機構

袋保持機構は、既存の土のう袋以外でも使用できるようにするために袋の紐は利用しない方式とし、結束を土のう袋に対して適度な位置にするため口径可変形とする。袋保持機構はスプリング及びカムによる機械的に行うもので、制御機器がいらず装置を簡単にして誤動作をおこさないものにする。また、土のう袋を結束する前に結束し易くするために、袋絞り機構を設ける。

(6) 結束装置

口締めは人力で紐によって縛った形状と同一のもので強固なものであることとして、アルミクリップ結束とする。(写真-1参照)

(7) 搬出ベルトコンベヤ

完成された土のうは、ベルトコンベヤにより搬出する。

(8) 各機器動力源

動力は電力とし発動発電機を利用する。各機器の駆動は現場での悪条件にも十分対応できる油圧方式とした。

3. 作動原理 (図-1参照)

回転台は4つの袋保持機構を有し、次の4工程の作業箇所へ順次間欠回転する。自動運転ではこの袋取付けを除く3工程が同時に各箇所で作動する。

(1) 袋取付け

回転台についている袋保持機構に、人力で袋を取付ける。スタートボタンを押すと次の工程まで1/4回転する。

(2) 土砂供給

袋の取付いているのを感じた後、ゲートが開いて押し出しシリンダにより一定量の土砂が投入される。この間にホッパ内の攪拌軸が回転し、土砂の流れを容易にする。さらにホッパの対面する1組の側壁が、油圧シリンダにより揺動される。

(3) 結束

土砂の入った袋が付いているのを感じた後、結束機が袋の口まで移動して絞り込み、U字形のアルミクリップにて結束する。

(4) 搬出

袋保持機構の解除後、デフレクターによりベルトコンベア上に落して機外に搬出する。

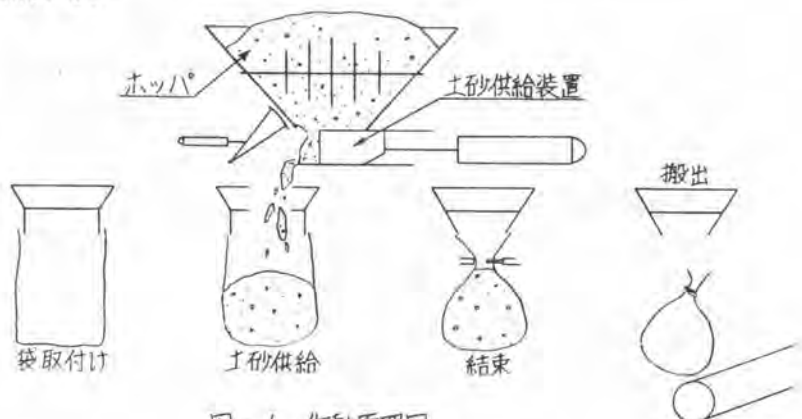


図-1 作動原理図

4. 主要諸元

| | | |
|-------|------------------------|---|
| 形 式 | 可搬式連続結束形 | |
| 性 能 | 400袋/時(公称), 20kg詰 | |
| 寸 法 | 作業時 全長×全幅×全高 | 3,900mm×2,250mm×2,800mm |
| | 運搬時 | 3,500mm×2,250mm×2,250mm |
| ホッパ容量 | 1.7m ³ (平積) | |
| 重 量 | 約2,950kg | |
| 組合せ機械 | 土砂投入機械 | バックホウ0.3~0.4m ³ 又は、トラクタショベル0.8m ³ |
| | 電 源 | 発動発電機15KVA, 200V, 50Hz |

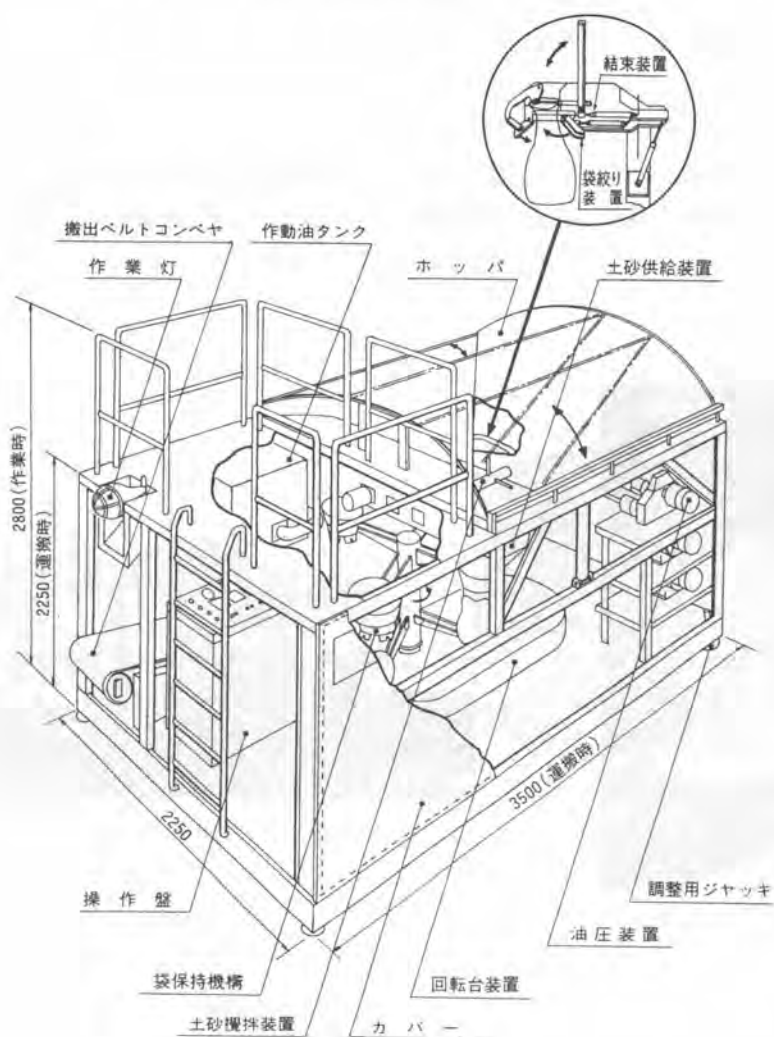


図-2 土のう造成機姿図

5. 性能試験

昭和59年度、関東技術事務所工作課構内において性能試験を行った。作業人員は、土のう造成機の操作員2人、トラクタショベルの運転1人、土のうの運搬整理1人、計4人の作業で行った。試験項目は、造成能力、土のうの重量及び容量のバラツキ、不具合の発生量で、その試験結果はそれぞれ300~350袋/H、17~19kg (0.012~0.014 m³)、1~4%であった。

6. あとがき

現在、本機に類似した機械として、食品、肥料、セメント類の袋詰めが工場内において自動化されている。本機は屋外での風雨等にさらされ、投入物が土質、含水率の異った土砂を扱う難しさがあり、また、既存の土のう袋を使用するなどの困難な制約があったが、関係者の努力により初期の目的を達成することができた。開発後の性能試験の結果から

- ・袋の取付け時間を短縮して、より造成能力を上げるために、袋の取付けが一段と容易に行える袋保持機構への改良

- ・水防現場への搬入の適応性についての検討

などの改良点はあるが、一応人力に変わって機械が土のうを造る第一段階に入ったといえる。本機は現在建設省利根川下流工事事務所に配置され実稼動しているが、その使用過程での意見を参考に改良すべきところは改良して、2、3号機と検討していきたいと思う。



写真-1 クリップ結束機



写真-2 土のう造成機

37. ブレーカーによる水中岩盤掘削工法について

近畿技術事務所 *石橋良哉・滝谷一英

1. はじめ

近年の海洋土木工事や港湾、河道整備に於ける水中岩盤掘削には、水中発破、重錘式砕岩船、ロックブレイカ等が使われている。しかし、都市内河川の浚渫では振動、騒音、水質汚濁、魚貝類の保護と公害防止及び環境保全の面から、水中発破の使用制限あるいは禁止を受け、また、砕岩船等の大型機械の搬入の困難と、施工の難しさをきたしているのが現状である。

瀬田川では、琵琶湖総合開発事業の一環として実施する約91万 m^3 の浚渫工量のうち、3万6千 m^3 の河床岩盤浚渫を予定している。これら水中岩盤掘削に対して、施工難の解消と目的とした掘削工法に関する調査試験を行ってきたが、今回、その施工法の一つである「大型ブレイカ工法」について、水中施工試験を行い、岩盤性状と砕岩能力、工法上の技術的問題点について調査したので報告する。

2. 試験概要

2-1 試験場所

滋賀県大津市田上恩津町地先（瀬田川浚渫上流約500m地先）



図-1 位置図



写真-1 作業全景

2-2 掘削断面および地質

試験掘削は水深約5mの河床岩盤を1m程度掘削しようとするもので、掘削標準断面は図-2に示す通りである。掘削箇所は瀬田川花崗閃緑岩であり、岩盤部全体を対象としたボーリング調査によると、一軸圧縮強度は

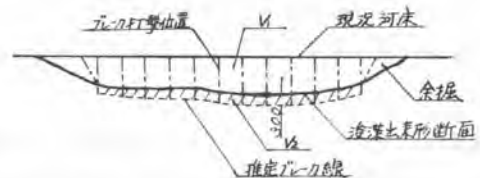


図-2 掘削標準断面図

349~1009 kg/cm²、弾性波速度は0.7~5.2 km/sで、電研式分類に従った岩盤区分によると、CL~CHに分類された。

2-3 使用機械

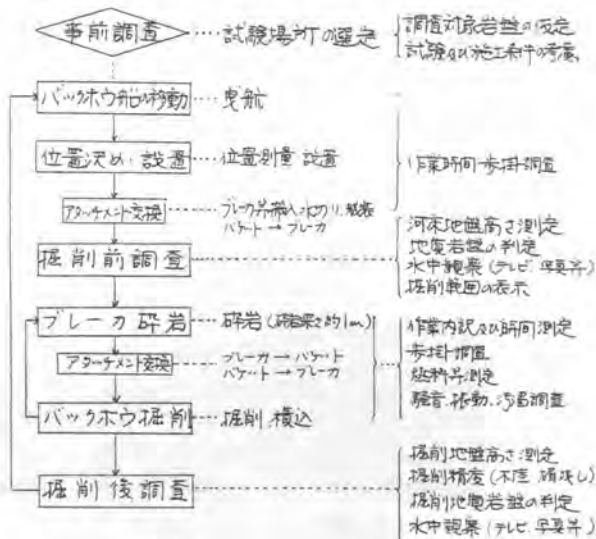
試験に使用した主要機械は、表-1に示すとおりである。

表-1 試験用主要機械仕様一覧表

| 機械名 | 規格 | 用途 | 台数 | 仕様 |
|---------|--|-------|----|----------------------------|
| バックホウ船 | 3.0 m ³ | 浚渫・砕岩 | 1 | 排水量150 T UH-30 搭載 |
| T型ブレード | エア式 TB-30 | 砕岩 | 1 | 打撃エネルギー1900 kg-m 重量7400 kg |
| コンプレッサー | 7 kg/cm ² 17 m ³ /min | “ | 2 | |

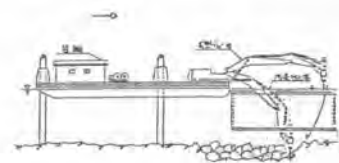
2-4 作業フローおよび作業要領

試験作業フロー

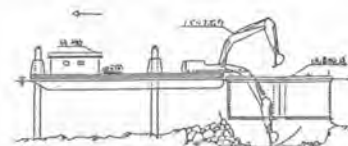


試験作業要領

(1) 砕岩



(2) 掘削



3. 試験結果

3-1 地質および岩石試験

試験地の岩盤は、キレツの間隔が比較的狭く、キレツの傾斜が鉛直に近い70~80°とついていた。岩石試験の結果は表-2のとおりであった。

3-2 ブレードの砕岩能力

砕岩はベツチカッタ方式によって実施し、最適なブレード打撃ピッチと見い出すために数種打撃ピッチについて試験を行った。

表-2 岩石試験結果

| | |
|------------------------------|-----------|
| 単軸圧縮強度 (kg/cm ²) | 529~1,174 |
| 圧裂引張強度 (kg/cm ²) | 24.9~81.9 |
| 反発度 (R) 平均値 | 35.4~50.3 |

ブレーカによる砕岩量の測定は、砕岩前と砕岩終了後の地盤高さを計測する平均断面法で砕岩量を求め、残り量は潜水調査によって推測した。砕岩能力はブレーカの位置決め、打撃、引抜きに要した時間に打てる砕岩量と純砕岩能力とし、掘削面の平坦性の確認と小割に業ねたりッパ樹および作業台船の移動に要した時間を加えたときの実砕岩能力について調査した。

それぞれの作業能力は、表-3に示す。なお、試験結果の要約および考察は次のとおりである。

表-3 砕岩能力調査総括表

| 区分 | 打撃ピッケル (掘削方向) | 時間(時-分) | | 砕岩量 m ³ | 純砕岩 能力 m ³ /h | 実砕岩 能力 m ³ /h | 1打撃当り | | 備考 |
|----------------|------------------|---------|-------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|------|----|
| | | 純砕岩 | 実砕岩 | | | | 打撃時間 引抜き | 砕岩量 | |
| 初期 砕岩 砕岩 | | 4-12 | 4-38 | 14.3 | 3.4 | 3.1 | | | |
| 〃 | 0.875 x 0.6 | 3-28 | 3-56 | 29.1 | 8.4 | 7.4 | 4'05" | 0.57 | |
| 〃 | 1.00 x 0.8 | 7-02 | 8-06 | 87.4 | 12.4 | 10.8 | 4'11" | 0.87 | |
| 〃 | 1.33 x 0.6 | 4-32 | 5-19 | 52.1 | 11.5 | 9.8 | 3'29" | 0.67 | |
| 〃 | 合計 | 15-06 | 17-06 | 168.6 | 10.6 | 9.9 | | | |

- 1) 初期砕岩(ベンチカットのための溝掘り)の能力は1/3程度であり、いかに自由面を有効に利用できるかということから、破砕力の小さい無差破工法では重要な問題である。
- 2) 打撃ピッケルは施工コストに直接関わるので、経済的に打撃ピッケルは現場の状況に応じて、仕上げ面の精度をも勘案して決めなければならぬ。
- 3) ピックステールの打込み深さは、岩質、風化の程度、キレツの数と方向等によって左右されるものであるが、実験の結果では図-4に示すごとく、1m程度が適当であった。

3-3 騒音、振動等

- 1) 騒音測定結果は、図-5、表-4に示す。ブレーカの定常打撃時の騒音は、79dB(A)/30mであり、気中特に比べ約15dBの減少とされた。
- 2) ブレーカ打撃時の振動レベルは、50m付近(左岸堤防)で37dB(L)を記録し、卓越周波は40Hzであった。
- 3) ブレーカ作業時の上流側と下流側の角度には顕著な差は見られなかった。

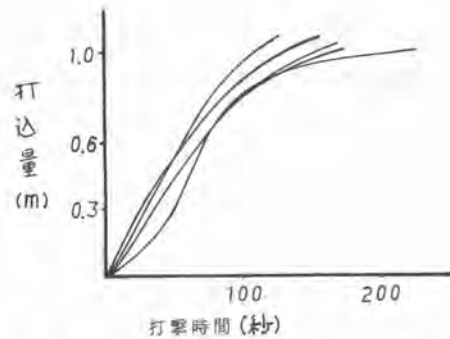


図-4 ピックステール打込量と打撃時間

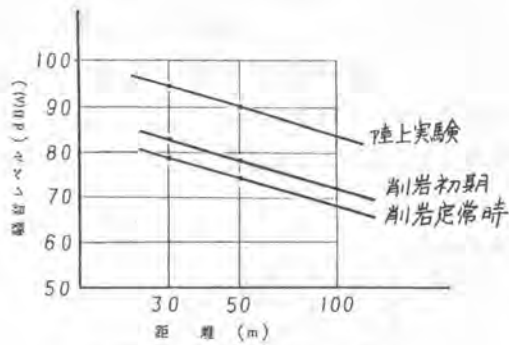


図-5 騒音レベル減衰

表-4 騒音レベル

| 作業種別 | 測定値 | 30m | 50m |
|-------|-----|---------|---------|
| エンジン音 | | 69 | 64 |
| 削岩初期 | | 79~83 | 74~78 |
| 削岩定常時 | | 74~79 | 69~74 |
| 水中空打 | | 83 | 78 |
| 空中空打 | | 93 | 88 |
| 浚渫機バタ | | 65(L50) | 60(L50) |
| 土砂落し | | 73~78 | 68~73 |

4. 検討課題

現地試験における水中施工によって、大型ブレーカ工法の砕岩能力をはじめとする施工性について把握することができず、今後の本格的な工事に備えて、施工能率や施工能力、精度の向上を図るための検討をはじめ、現地に適応させるための環境対策についての検討が必要である。

想定される検討事項とすると次のものがある。

1) 施工に関するもの

- ① ブレーカ砕岩作業、バックホウ浚渫作業等の効率的な作業要領についての検討
- ② 使用台船および機械台数と工期、工費の検討

2) 施工環境に関するもの

- ① 水中におけるブレーカの砕岩姿勢の確認と最適打撃姿勢の保持機能
- ② 砕岩地形や状況および根岩と砕岩塊の区別ができる水中観視の方法
- ③ バックホウによるスリ掘削時のバケット内のすくい量の確認方法

3) 騒音対策に関するもの

- ① 水中空打の不要なピッキング形状の検討
- ② バックホウについては、ブレーカの取付方法、ブームの構造および台船へのマウント方法に拘る防音対策の検討
- ③ 作業船周辺への防音壁の設置についての検討

5. あとがき

この調査は、瀬田川において土砂浚渫を打撃として導入されたバックホウ船を利用して、発破を使用しないで公害防止面から許容される工法として、大型ブレーカを用いた現地試験を実施してまとめた。試験の結果は、所期の目的は達成され一定の成果を得られた。しかし、一方で水中施工の難しさを伺い知ることが判明した。

今後水中における施工性の向上のための問題点の解決と、施工場所の環境に適合させるため、施工機械類の音源対策と遮音対策について、最も効果的な解決方法を見出しに行きたい。

38. バージアンローダー工法と新型 バージアンローダー「住吉丸」について

りんかい建設㈱ 三 牧 健 一

1. ま え が き

バージアンローダー工法は、浚渫船、土砂運搬船等と、バージアンローダーを組み合わせ使用する工法で、防波堤・護岸・岸壁・埋立地などの基礎敷砂・置換砂等の工事に従事するほか、近年は、埋立・養浜などの海浜の造成、さらに、汚泥や産業廃棄物処理など、海域環境浄化工事などにも利用されている工法である。

本文は、バージアンローダー工法システムと特長および、今般新たに建造された新型バージアンローダー「住吉丸」の、設備概要について紹介するものである。

2. 工 法 シ ス テ ム と 特 長

2-1. 工法システム

本工法は、各種浚渫船あるいは陸上積出施設より、土運船にて運搬されてきた土砂を、バージアンローダーにより海底に散布するか、埋立地内に排送することを目的とした工法である。

工法システムの概要は、図-1のとおりである。

2-2. 特長

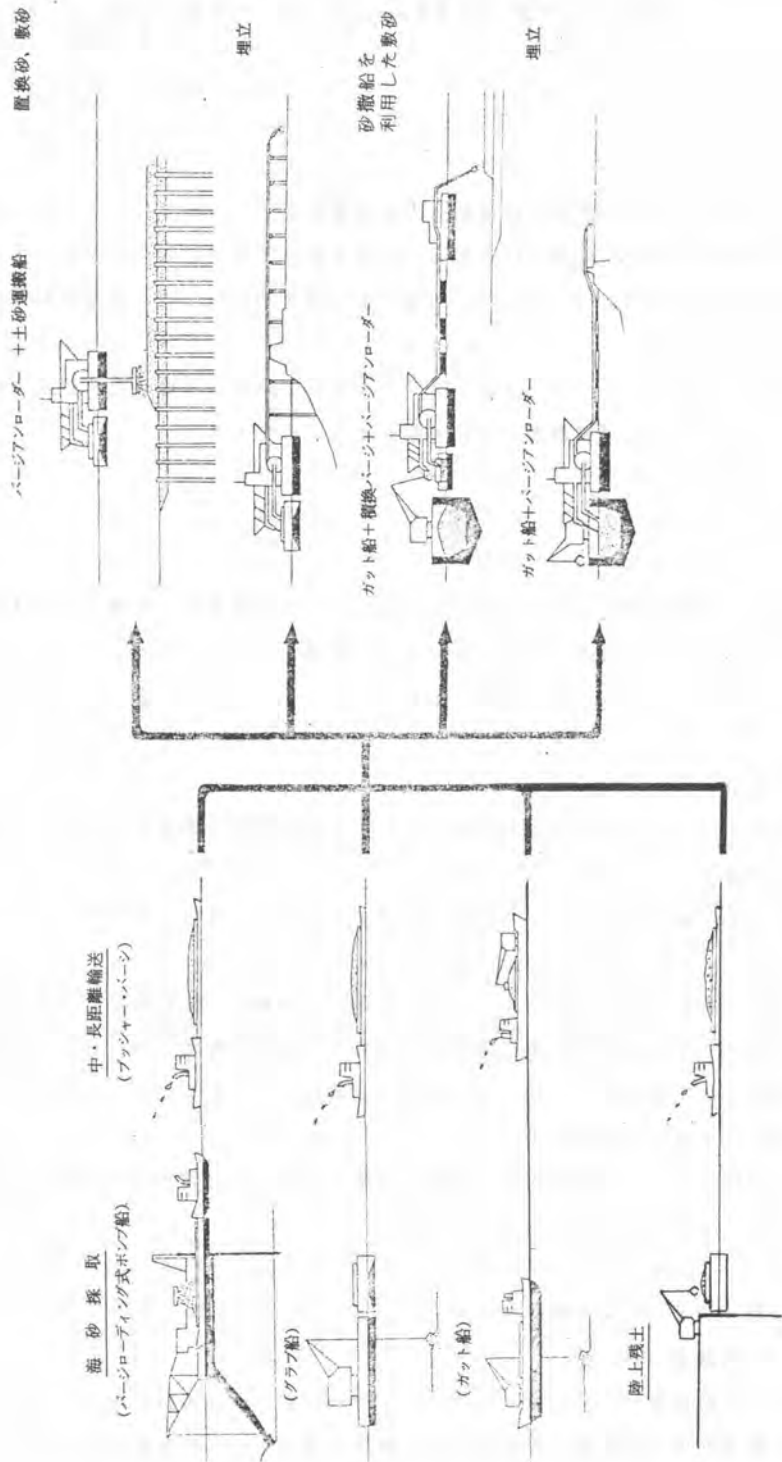
- (1) 軟泥から、レキ混り土砂まで幅広い土質に対応でき、敷砂工事・埋立工事等工事目的に自在に対応できる。
- (2) 土運船積載土砂に、ジェットポンプにより加水し、適度の混合比とすることにより、排送距離の長短に対応し、能率的に土砂輸送ができる。
- (3) 敷砂工事に使用する場合、水と砂の混合比を調整し、原地盤に砂を幅広く均等に散布することができるので、軟弱地盤等に散布する場合も、地盤を破壊することなく散布できる。
- (4) 良質土による安定した埋立地の造成、良質砂による軟弱地盤の改良、良質砂による人工海浜の造成等に最適の工法である。
- (5) 公害防止のため、都市河川、港湾の浚渫土砂あるいは建設残土等を、護岸等で閉囲された箇所に収容する場合、能率的に施工できる。

3. 新 型 バ ー ジ ア ン ロ ー ダ ー 「 住 吉 丸 」

3-1. 計画概要

本船は、非航鋼製バージアンローダー（土運船積載土砂陸揚排送船）で、様々な異物が混入している港湾・都市河川・運河等の浚渫土砂および建設残土等を、能率的に処理できるよう特別に設計建造されたものである。

図 一 一 パーミアンローダー工法システム



3-2 設備概要

本船は、昭和59年4月に建造され現在、大阪地区で稼働中であるが、本船の設備概要を、

表-1. 主要諸元表

図-2. 住吉丸一般配置図

に示す。

3-3. 本船の特長

- (1) 本船は、普通砂から異物を多量に含む都市河川浚渫土砂に至るまで、広範囲の土砂を大小さまざまな土運船から吸上げ、海上管、陸上管を通じて、埋立地ならびに処分地まで、長距離圧送することができる。
- (2) 浚渫土砂中に含まれる異物は、吸入管入口のスクレーパーおよび吸入管途中に設けられた、「ダストエリミネータ」により、ポンプの運転をとめることなく除去することができる。
- (3) 吸入管装置は、両舷に設け、バージの離接船に要する損失時間の低減をはかるほか、バージの大きさに合わせて、アウトリーチの調整ができるようになっている。
- (4) 土砂の吸込効率を改善するため、全油圧操作の注水装置を設けるとともに、吸入管にはエゼクター装置を設けている。
- (5) バージ内に残置された異物の排出装置として、移動式攪み機を設けている。
- (6) 吸入管装置、注水装置、バージ操船ウインチ等の操作は、運転室より遠隔操作されるほか、「ダスト・エリミネータ」の操作は自動化され、省力化されている。

4. あとがき

バージアンローダー工法は、昭和36年よりわが国で本格的に利用されるようになり、昭和44年には6000^m級大型バージ用のアンローダーの建造も行なわれ、水搬送による土砂陸揚工法として、今日まで各地で利用されてきた工法である。

新型アンローダー「住吉丸」は、これらの施工実績をもとに、新たな工事要請すなわち

- ① 土砂中に混在する様々の異物を、土砂処分場に入れないこと。(分別処理)
- ② 処分場の大型化に伴い、遠距離排送も可能であること。

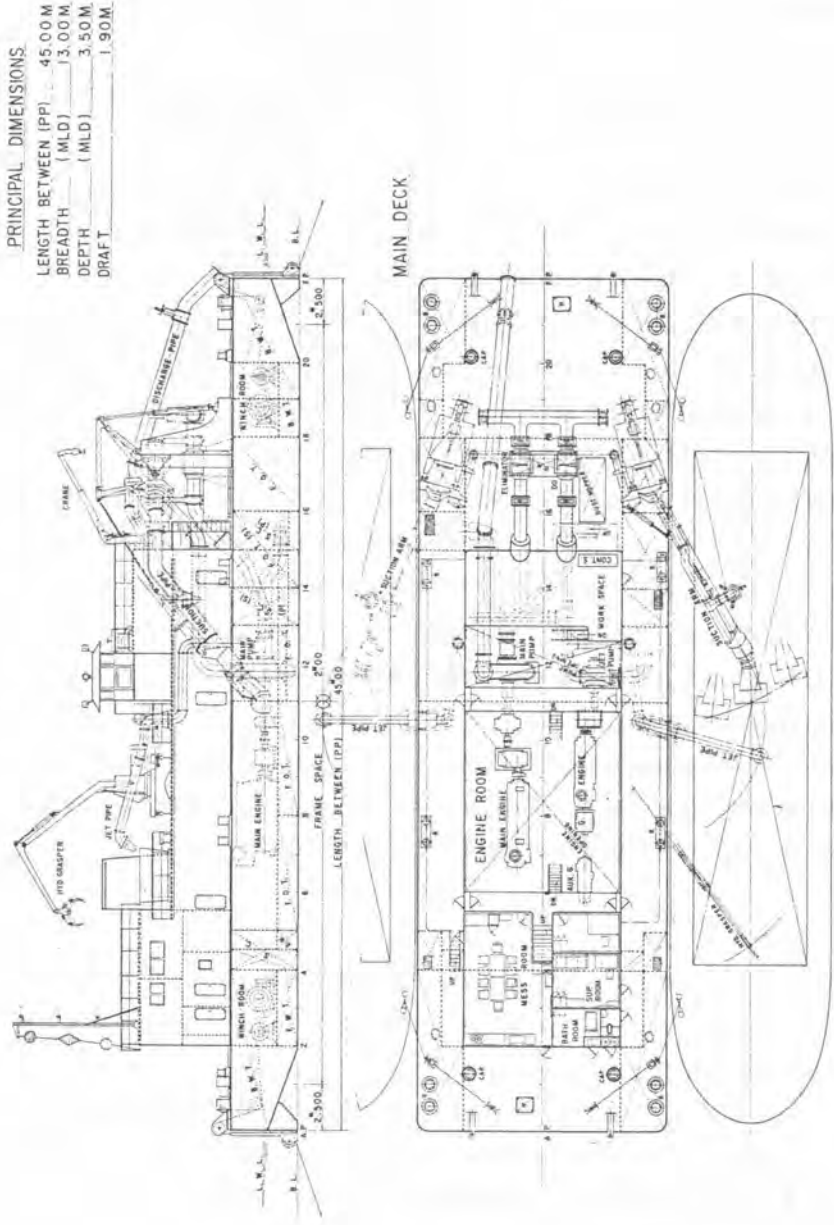
等に対応するため、建造されたものであるが、これまでの施工実績からみれば、装置に改良すべき点が残されておるものの、分別装置等においては所期の成果を挙げることができている。

今後は、異物除去処理装置の開発等新たな創意工夫を加え、様々な異物が混入した土砂に対して、巾広い対応ができるよう、本工法を確立していく所存である。

表-1 主要諸元表

| | | | |
|-------|---|--------------------------------------|---------------------|
| 船体寸法 | 長さ45.00m×幅13.00m×深さ3.50m×吃水約1.90m | | |
| 揚土量 | 約600 ^m /h (含泥率13%として) | | |
| 対象土運船 | 100 ^m 積~1,000 ^m 積 | | |
| 排送距離 | 1,500m (最大約2,000m) | | |
| 実揚程 | 6m | | |
| 主ポンプ | 片側吸込1段渦巻ポンプ | 1台 | |
| | 揚水量 | 4,500 ^m /h | |
| | 総揚程 | 55m | |
| | 吸入・吐出管径 | 660 ^{mm} ~630 ^{mm} | |
| 注水ポンプ | 両吸込渦巻ポンプ | 1台 | |
| | 揚水量 | 4,500 ^m /h | |
| 機関 | 主機関 | 新潟PA5 | 2,160ps×1,000rpm 1基 |
| | 注水ポンプ用機関 | 新潟PA5 | 1,440ps×900rpm 1基 |
| | 補助発電機関 | ヤンマー | 150ps×1,200rpm 1基 |

图 - 2 住吉丸一般配置图



39. タワークレーン用衝突防止装置の開発

(株)竹中工務店 *大 滝 昭 治・山 田 弘 道・谷 口 四 郎

1. まえがき

タワークレーンが日本国内で使用されて以来、4半世紀を経過し、その間、建設工事の大型化に伴ない、タワークレーンも、技術の進歩により性能の向上と共に大型化してきている。また、安全性の面でも当時と比べ著しく進歩をとげている。しかし、個々のタワークレーンの安全性が高まっても、原子力発電所、超高層ビルなどの建設工事のようにクレーンを同時に複数台設置する作業所では、クレーン相互間の安全を確保する装置が必要である。従来、このように、複数台のクレーンを設置している作業所では、作業範囲規制装置などにより対処していたが、種々の問題点があった。

今回、当社が開発したクレーン衝突防止装置は、各クレーンのブーム位置を時々刻々検出し、そのデータをクレーン相互間で交換することによりブーム同士および吊荷などの衝突を自動的に防止するものである。以下、その概要について述べる。

2. 従来技術の問題点

予想されるクレーンの衝突状況としては、①クレーンのブームとブームによる ②ブームと巻上ロープ(荷)による ③ブームとカウンタージアによる ④建築物等の固定障害物などが考えられる。また、タワークレーン相互間の衝突を防止する技術として従来使用された方法は、①音波または電波による位置の検知 ②作業範囲規制装置を取付ける ③無線および有線によるオペレーター同士の通話などがある。この中では、比較的信頼性の高い作業範囲規制装置が使用されていたが、クレーンの作業可能範囲が大きく制限され、いかに高性能を有するクレーンでも、その能力が半減されてしまい、作業性の向上および揚重の合理化が計れなかった。他の方法に対する問題点をもままとめると表-1になる。

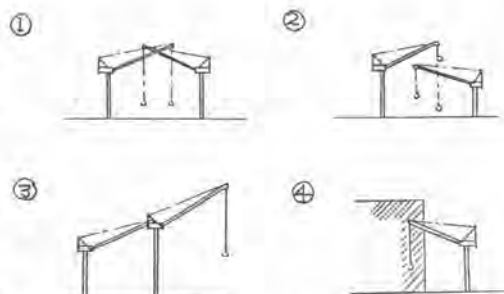


図-1 予想される衝突状況

表-1 従来装置の問題点

| 安全装置 | 問題点 |
|------------|---|
| 音波・電波による検知 | ・発振装置の周回のみを検知であるため、ブームがある範囲で重複していても検知できない。また自分の巻上ロープの動きでも検知してしまう。 |
| 旋回半径規制装置 | ・主に隣接建築物などの固定物に対する規制であるため、ブーム同士の衝突防止装置としては困難である。 |
| 無線および有線通話 | ・耳による正確さのため、ミスが発生の可能性のあるカウンタージアと相対ブームの衝突の場合、確認が難しい。 |

3. 基本計画と原理

本装置の開発に当たり、関連部署員のブレインストーミングを実施し、マイコン使用による制御方式を採用することにした。その後、検出方式、表示方式、プログラム、信号の伝送方式などについて検討し基本計画を立案した。そのままとめを表-2に示す。

次に本装置の原理を図-2.3より説明する。作業所内の空間をX, Y, Z軸で定義し、タワークレーンの設置位置の座標点を(X, Y)とする。

また、ブーム上に任意に設置した点のX-Y平面上への投影点を $P_1 \sim P_n$ とすると各点の座標は、

$$P_1 = \{ (X + L \cdot \cos\theta \cdot \cos\varphi), (Y + L \cdot \cos\theta \cdot \sin\varphi) \}$$

$$P_2 = \{ (X + (L-m) \cdot \cos\theta \cdot \cos\varphi), (Y + (L-m) \cdot \cos\theta \cdot \sin\varphi) \}$$

⋮

$$P_n = \{ (X + (L-(n-1)m) \cdot \cos\theta \cdot \cos\varphi), (Y + (L-(n-1)m) \cdot \cos\theta \cdot \sin\varphi) \}$$

となる。ここで、

L: クレーンブーム長さ θ : ブーム起伏角度

φ : ブーム旋回角度 m: クレーン旋回体の体積間距離

同様に、隣接クレーン上の任意点の座標を求め、それぞれの点間距離 l を算出する。また、各投影点 $P_1 \sim P_n$ は、停止域 S と警戒域 R をあらかじめ設定しておき、各点間距離がその値より小さくなった時に、各々の信号を出すことができる。

4. 装置の概要

今回開発した、タワークレーン衝突防止装置は、隣接して設置したクレーン相互間の接触、隣接建物などの接触、を未然に、自動的に防止するシステムで、各々のクレーンに搭載された演算部(検出部)(C.P.U)で、ブーム位置を算出し、他のクレーンとデータを送受し合ひ、互いのブーム位置を監視する。

本装置では、各々のクレーンにC.P.Uを搭載しているため、最大6機種のクレーン相互監視ができる。また、1機のみでも、旋回規制または、作業範囲規制装置として使用が可能となっている。本システムは、図-4のごとく検出部、演算部、表示部のサブシステムに分けられ、それぞれは、次の機器類によって構成されている。(表-3)

表-2. 基本計画のまとめ

| | |
|---|---|
| 1 | タワークレーン個々の検出器、マイコンをセパレート集約および個別制御方式とする。 |
| 2 | それぞれ検出されたデータは、マイコン(CPU)により演算する |
| 3 | タワークレーン本体位置の設定は、X, Y座標の平面より算出する |
| 4 | ブーム角度・荷重の検出は、タワークレーン本体のモーメントリミッターを利用する |
| 5 | 旋回位置は旋回角度センサーにて検出する |
| 6 | 作業用テレビカメラを取り付けるため、危険区域のため、装置と連動するシステムとする。 |
| 7 | このため、テレビ用モニターとして、ディスプレイを使用する。 |

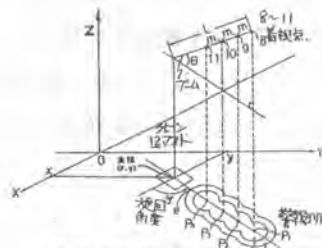


図-2 基本原理(1)

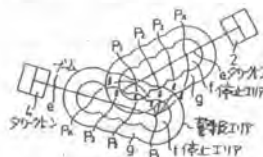


図-3 基本原理(2)

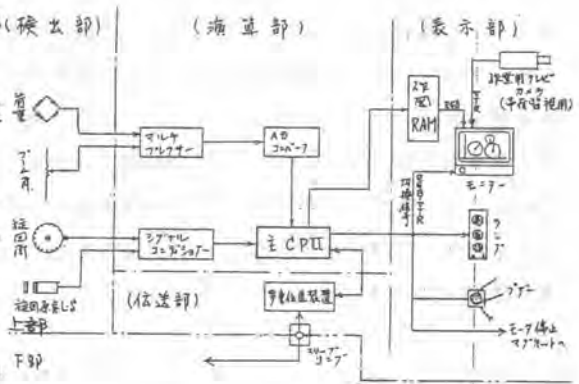


図-4 システムブロック図

表-3 装置の構成

| | | |
|------------|---|---|
| <p>検出部</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・フーム角度検出 ・荷重検出 ・旋回角度 ・旋回原点 | <ul style="list-style-type: none"> ・クレーンモメント検出器より取出す。 ・新規に旋回リンク廻りに取付けた近接スイッチよりアウトプットする。 |
| <p>演算部</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・バリアブルデータ設定器 ・A/Dコンバーター ・シグナルジェネレータ ・主C.P.U ・多重伝送装置 | <ul style="list-style-type: none"> ・フーム自身の固定位置および固定障害物の座標を入力させるデジタルスイッチ ・モメント検出器のアナログデータをデジタルに変換する。 ・旋回角度検出のON/OFF信号を数値化する。 ・フーム位置の算出、警報、停止域との比較を行うと共に、自己データを常時伝送部へ出力する。また、警報、停止時には表示部へ各種信号を出力する。 ・自己データを他クレーンに送出し、他クレーンからのデータを受取る。データは、電源に同期した信号に変換され電源線と信号線を通じて伝送する。 |
| <p>表示部</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・監視ランプ ・警報ブザー ・グラフィックRAM ・モニターテレビ ・クレーン動作の停止 | <ul style="list-style-type: none"> ・正常時は、緑色ランプ点灯、警報域では、黄色ランプ点灯、停止域では、赤色ランプ点灯する。 ・警報域に入った時の低音波のアザ音、停止域に入った時は、高音波のアザ音が鳴る。 ・主C.P.Uからのデータより、全クレーンのフーム方向および作業半径モニターに表示させるための作図用=ジ(図-6) ・警報域に入った時点で作業用テレビ(併有監視用)のモニター映像が自動的に衝突防止装置の画面(画面用CPUによる作図エムエム)に切替る。 ・停止域にフームが入った時点で、クレーンの旋回モータ等を停止させる。なお、クレーン同士の接近の場合は、モメントの大きさを先に停止し、監視解除スイッチを押した逆旋回することによって停止域より離隔させる。 |

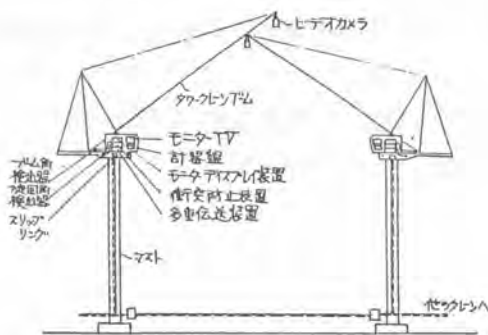


図-5 衝突防止装置状況

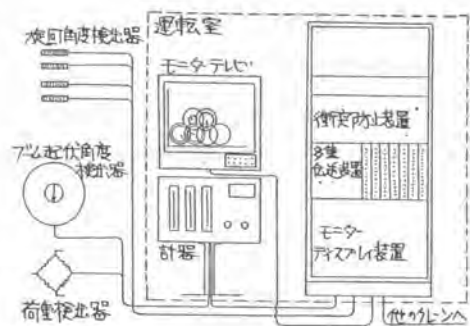


図-6 衝突防止装置配置図

5. 実工事への適用

本装置は、昭和58年5月の完成させ、中部電力茨田3期工事のクレーン（当社分5基とS社1基）6基に設置した。この工事におけるクレーン配置を図-7とクレーン稼働状況を写真-1に示す。

今回開発した装置の据付は、タワークレーンが稼働中であつた為、①本体位置、ブーム位置確認 ②演算装置稼働確認 ③旋回位置の検出確認 ④警報、停止領域の設定と確認 ⑤ディスプレイの作業時の映像と警報域との変換状況および稼働確認などを1基毎あるいは隣接するタワークレーン同士毎にその都度実施し、対策および調整を行なつた。

その後、現在まで6基共順調に稼働しているが、その成果として、①各装置とも順調に機能し、揚重作業の安全性の向上に寄与している。②建築主より、技術力、安全に対する姿勢などについて、高い評価を受けている。③クレーン同士の衝突の危険が少なくなり、オペレーターの疲労感も少なくなった。などがあげられる。



図-7. タワークレーン配置図(立面)

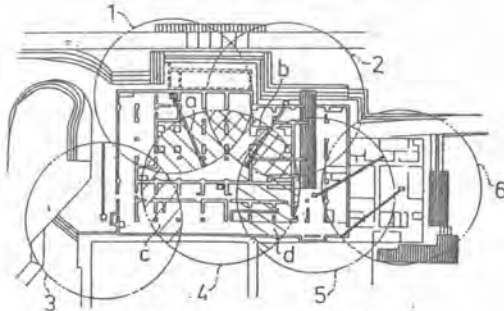


図-8. タワークレーン配置図(平面)



写真-1. タワークレーン稼働状況

6. おさげ

以上、今回開発したクレーン衝突防止装置について述べた。本装置は、個々のクレーンにC.P.V.を搭載し、クレーン相互の衝突を事前に、自動的に防止すると共に、作業用テレビモニターを連動し、オペレーターに確認するシステムである。その成果は、建築主自ら新聞発表を行うなど高い評価と共に、大いに期待されている。

今後は、本システムを発展させ、オペレーターの省力化、省人化、揚重作業の合理化に寄与したいと考えている。更に、他の建設機械への応用をも指向していくつもりである。

40. π形ブロックによる積張工の省力化施工

建設省北陸地方建設局 丸山 幹雄・*稲垣 稔・宮塚 吉信

1. まえがき

河川工事の護岸や道路工事における土留擁壁などに、一般に使用されているコンクリートブロックは、そのほとんどが施工1㎡当りの使用個数が6～10個程度の小型ブロックであり、1個当りの重量は35～40kgとなっている。従って、施工の大部分が人力に頼る工法のため多数の労務者を要し、作業は重労働となっている。

近年、建設労務者の不足や高齢化が進む傾向にあり、これに対処するため社団法人日本建設機械化協会北陸支部において「建設工事省力化委員会」を設けて、コンクリートブロック積張工の省力化について検討を重ねその結果、機械化施工に適する形状としたπ型ブロックを開発した。あわせて、π型ブロックの吊り込み、据付け作業に適する専用吊り金具を開発し、作業の迅速化、簡易化により施工性、安全性を向上させるとともに大幅な省力化を図ったので紹介する。

2. π型ブロックの概要

π型ブロックは、コンクリートブロック積張工を省力化するため、ブロックを大型化し機械化施工に適する形状にしたものであり、その構造を図-1に示す。

π型ブロックの施工には次の特徴があげられる。

① π型ブロックの大きさは高さ80cm、幅125cm、面積1㎡、控長さ35cm、重量400kgである。

高さと幅の寸法比は、法勾配5分の場合でも重心線が外にでないよう高さを押えてあるので自立し、安定感がある。このため据付けが容易である。

② 従来のブロックは、個々には自立しないため、ブロックの据付けから裏込め工まで同時施工であったが、π型ブロックは自立タイプであり、ブロックの据付け・コンクリート打設・裏込め材投入の順に分割施工が可能となった。

③ π型ブロックの背面形状を単純化したことにより、コンクリートの投入が容易となり、一時に大量

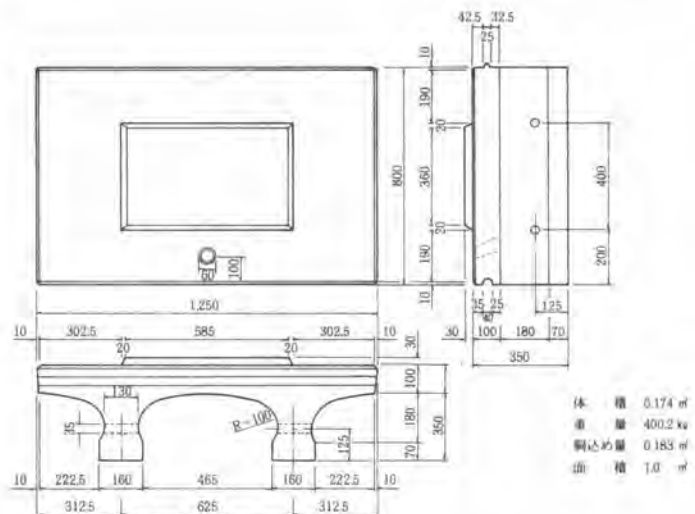


図-1 π型ブロック構造図

打設できるので擁壁の一体化をはかることができる。

- ④ π型ブロックの吊り込み・据付けにトラッククレーン等を使用するためにクレーンの吊具に専用の吊り金具を開発した。これにより作業は簡単、安全にでき施工性が向上できる。
- ⑤ π型ブロックの製造型枠は一種類とし、ブロック製造の量産化を促し、製造コストの低減をはかることとしている。
- ⑥ π型ブロックは、機械化施工を考えた工法で、施工性の改善、スピード化、安全性の向上、施工費の低減がはかられる。

3. 吊り金具の構造

π型ブロックの吊り込み・据付けに使用する専用吊り金具の構造を図-2に示す。π型ブロックは布積みで施工されるので、据付には各段に半ブロックが使用され、吊り金具は普通ブロック用、半ブロック用の2種類となった。普通ブロック用吊り金具の特徴は次のとおりである。

- ① あらかじめ施工する法勾配に吊り金具のアームを調整すれば、ブロックは施工勾配と同じ傾きで吊り上げられる。
- ② 吊り金具のブロック側のセットは、ブロック控内側に金具の支持脚を入れ吊り上げワイヤを引上げると、これに連結した支持脚が拡がり控脚の内側面を押し抜けてブロックを吊り上げる。また落下防止に安全ピンが働いている。
- ③ ブロックより吊り金具を取り外す場合は、吊り上げ主ローブを緩め、金具吊り上げ用鎖を引上げると吊り金具のみが引き上げられる。

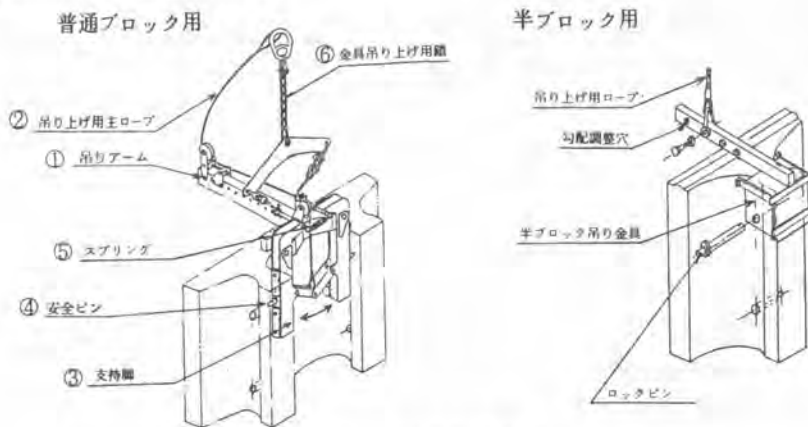


図-2 吊り金具構造図

4. π型ブロックによる施工法

π型ブロックによる積張工は、適用条件さえ得られれば施工性、経済性に優れているので非常に有利であり、採用にあたっては次の点に留意する。

- ① 背面の土圧が安定している場合は有利であるが、大きな土圧が働く場合や湧水その他の原因で土圧が大きくなる場合は採用できない。

② 壁体の自重及び土圧の合力が狭い底面に集中するので、地盤反力が大きくなる。地盤支持力に十分留意しなければならない。

③ ブロック積み擁壁においては、直高は原則として5m以下とする。

④ π 型ブロックは、直線的で高さや平面形状の変化の少ない場合は施工能率が良い。曲線部での施工可能な程度は、壁高3mで曲線半径は70m以上、また、壁高5mでは曲線半径130m以上である。



⑤ π 型ブロックは機械化施工を前提にしているため、写真-1 π 型ブロックで施工された擁壁現場搬入路、施工ヤード、クレーン足場などのスペースが必要である。

⑥ ブロックの積み方には谷積、布積、亀甲積などがあるが、 π 型ブロックを用いる場合は布積で施工する。

4. 施工順序

π 型ブロックによる施工順序を図-3に示す。

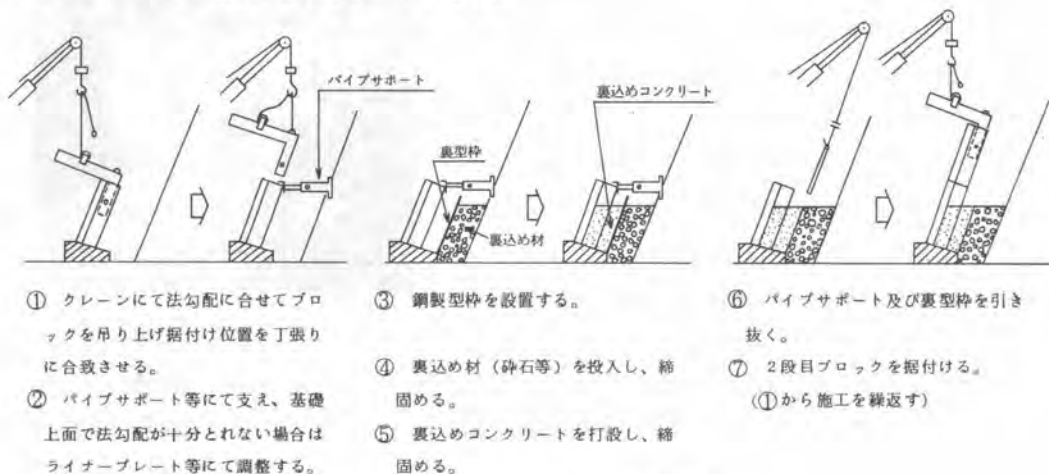


図-3 π 型ブロックによる施工順序

5. 施工結果

π 型ブロックにてブロック積工を施工した工事の概要を表-1に示す。

表-1 π 型ブロック積み工事箇所

| 工 事 名 | 地 名 | 施工面積 (㎡) | 施工延長 (m) | 法 勾 配 | 積み段数 | 摘 要 |
|--------------|------------|----------|----------|---------|------|-----|
| 浦ノ入パーキング擁壁工事 | 新潟県豊栄市 | 40 | 10 | 1 : 0.5 | 4 | 擁 壁 |
| 鳥井防雪その1工事 | 新潟県南蒲原郡津川町 | 790 | 140 | 1 : 0.5 | 7 | 〃 |
| 興野道路その1工事 | 〃 〃 安田町 | 296 | 296 | 1 : 0.5 | 2~3 | 水 路 |
| 興野道路その2工事 | 〃 〃 〃 | 1,916 | 795 | 1 : 0.5 | 2~3 | 〃 |

π型ブロックによる施工を通じての留意点を以下に列挙する。

- ① 基礎を現場打ちコンクリートによる場合、基礎上面の仕上りには平坦性が要求される。据付けにはブロック底面にクサビを入れ安定させなければならない。また、基礎上面の傾斜に対してブロック据付け時、背面えの滑り防止として、コンクリート打設時にブロック控尻の位置に差し筋を入れる。



写真-2 π型ブロックの据付状況



写真-3 据付られたπ型ブロック

- ② π型ブロックの据付けには、ブロックの転倒防止および据付位置の微調整としてブロックの上部を単管ベースジャッキを用いて背面地山を反力として固定する。2段目以上のブロックの据付けに、専用の固定金具を開発し、これの使用により作業が迅速にできる。

- ③ 裏込めコンクリートの裏型枠には、鋼製引抜き型枠（125cm×75cm×45mm）を使用した。型枠下端を基礎コンクリートに置き上端に間隔板を取付けて、規定の裏込めコンクリート厚を確保した。裏型枠の設置作業やコンクリート打設、締固め作業が容易となる。



写真-4 固定金具の取付状況

- ④ π型ブロックは1回1段積みで行い、胴込め・裏込めコンクリート打設後次段の据付を行う。コンクリートの打継目は、ブロック高さの $\frac{2}{3}$ となるよう施工し、コンクリートの打継目とブロック目地が同一にならぬようにする。

6. あとがき

施工実績によってπ型ブロックによる施工は、機械化により大幅な省力化となることが確認された。クレーンによる据付けは1日当り30～80㎡の施工ができ、施工費は10%程度低減できる。また、施工量の大きい場合は工期を大幅に短縮することができ、大型ブロックの効果が十分検証できた。今後、各地で施工実績を重ね普及に努めたい。

最後に、本工法の開発、試験施工の実施にあたって多大の御協力をいただいた関係各位に深く感謝申し上げる次第である。

41. フォームドスタビライザによる 路上安定処理工法について

日本道路㈱ 小原 富雄

1. まえがき

従来の路床もしくはローカルな材料を路上で安定処理する工法は、添加剤として、セメント及び石灰系のもが多く用いられている。しかしながらこれらの安定処理は硬化作用により安定化させる方法でその効果を期待しているために、形成された路床及び路盤は剛性のものである。最近路上安定処理する工法で路床、路盤をたわみ性にする工法がとり入れられ、これによって舗装全層にわたってたわみ性を持った路床、路盤を構築する事が可能となった。これらの工法は主として乳剤を用いて行われているが、当社では、加熱したストレートアスファルトを直接路上で安定処理する工法としてストレートアスファルトをフォームド化して用いる事を検討し、それに対応するフォームドスタビライザを開発した。

2. フォームドアスファルト

通常のストレートアスファルトは加熱しても、常温の材料との混合時に温度が低下し、粘度が高く混合しにくく、又、処理材に対する添加量が少ないため均一な混合も難しいためストレートアスファルトをそのまま路上混合に用いることはできない。フォームドアスファルトは加熱した160℃前後のストレートアスファルトに少量の水を加え混合し、アスファルトの熱で水を気化させることによりアスファルトは発泡状態となり体積は1.5~20倍に膨張する。これによって粘性が下り、この増量効果と粘性低下を利用することでストレートアスファルトの路上混合が可能となる。

3. 機械に要求される機能

ストレートアスファルトをフォームド化して処理材に添加するのであるが、セメントや石灰系と異なり、予め処理面に計量散布してから混合することはできず、混合時に連続してフォームドアスファルトを計量・製造・散布・混合する必要があるため、路上安定処理を実施するについて次の点に対応できる機能が要求される。

- 1) 加熱した160℃前後のストレートアスファルトをフォームド化して使用するため、ストレートアスファルトは常に加熱保温して温度コントロールする必要がある。
- 2) 計画された安定処理に混入する量を正しく管理するには、処理量(施工中員、混合深さ、施工速度)と散布量を常に一定の比率で管理する必要がある。
- 3) ストレートアスファルトをフォームド化して散布するためには、フォームドアスファルトの品質及び性状がチェックできる装置にする必要がある。
- 4) オペレータの負担を軽くし、正しい管理をするため、操作及びコントロールは極力自動化する必要がある。
- 5) この工法はローカルな砂利道や簡易舗装をした従来の舗装にも用いられるため、機動性を有する必要がある。

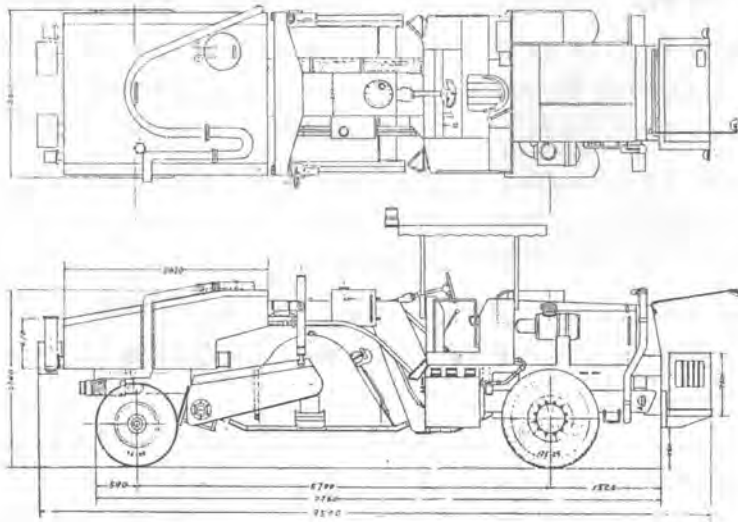
4. 構造とその仕様

この工法に適応できるような機械を製作するために、当社ではセメントの路上安定処理に使用しているスタビライザを用いて、種々の実験と試験をくり返した結果、当社で使用している再生スタビライザをベースとして機械を製作した。その概要は次の通りであり、ほぼ前記の条件を満たすことができた。

機械諸元表

| 項目 | 諸元 | 項目 | 諸元 |
|--------|------------------|--------------|------------|
| 重量 | 18,360 kg | 混合深さ | 400 mm |
| 全長 | 9,500 mm | 混合機シフト量 | 左右共 550 mm |
| 全巾 | 2,370 mm | ロータ回転数 | 0~120 rpm |
| 全高 | 3,700 mm | ロータ回転方向 | アップカット |
| 作業速度 | 0~1.5 m/分 | ロータ径 | 1,200 mm |
| エンジン出力 | 209 PS/2,000 rpm | アスファルトポンプ吐出量 | 最大 200 ㎥/分 |
| 混合巾 | 1,700 mm | アスファルトタンク容量 | 実用 3,000 ㎥ |

形式図 四-1



4-1 ストレートアスファルトの加熱と保温

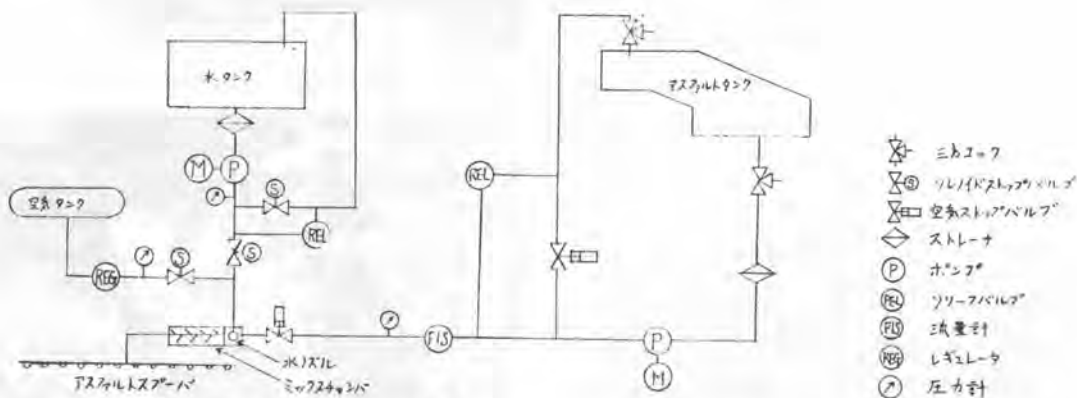
機械本体の前部に4.2㎥の変形のアスファルトタンクを設け、5cmの厚さの保温材で全体を覆い、タンクの底部に2つの灯油バーナを取り付け加熱保温を行う。又、変形したタンク内のアスファルトの温度を均一に保つため、ポンプによってアスファルトを常に循環する事ができる。

4-2 フォームド装置とそのコントロール

四-2にフォームド発生装置のフローシートを示す。温度管理されたアスファルトは、可変ポンプにより適当量を流量計を通過してミックスチャンバに送られる。水も、アスファルトの2%前後にコン

トロールされた量がミックスタンバに送られる。このミックスタンバでアスファルトに水が分散混合され、水はアスファルトの熱を得て気化しノズルより混合ロータフード内にフォームドアスファルトが噴射される。この時、アスファルトは $0.7 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ の圧かに調整され、水もアスファルトの圧力よりも常に 1 kg/cm^2 以上高い圧かに調整された状態でお互いにミックスタンバに送り込む必要がある。

発泡フローシート 図-2



4-3 散布量と走行速度の自動制御装置

アスファルトの添加量を一定に保つには、施工速度の変化に対してアスファルトの噴射量を一定の比率で変化させてやる必要がある。運転席のダイヤルで一旦、任意の速度に対して正しい噴射量が得られるようにアスファルトポンプ回転をセットすると、速度検知器の信号によりポンプ回転を自動的にコントロールし、速度が変化するとそれにつれてポンプ回転数が一定の比率で変化し、常に一定量の添加量を得ることができる。

4-4 アスファルト噴射の自動停止装置

処理材の中には転石の混入、又、路上再生スタビに於いては、部分的に舗装の厚い部分がある事があり、このような現場では、混合ロータに過負荷がかかりロータがたびたび止まる。このような時にも均一な混合を得るためアスファルトの噴射を瞬時に止める必要があり、ロータの回転の信号により回転数が一定回転以下になった場合はアスファルトの噴射が自動的に停止される。

5. 施工状況

・現場にローリ車によって搬入されるアスファルトの温度が十分に高い時には問題はないが、現場の場所その他の条件により高い温度のアスファルトの入手が困難な場合がある。スタビライザに装備されたバーナで加熱してから作業する事もできるが、温度低下が著しい時は、スタビライザで加熱してから作業すると、加熱する間は混合作業ができず作業時間のロスになるので、そのような現場では、スタビライザの外に加熱装置の付いたアスファルトタンク車を別に用意して、ローリ車のアスファルトを一旦タンク車に移し、加熱して常に使用できる状態にしておき作業効率を高める必要がある。

・フォームドアスファルトの品質を一定に保つため、アスファルトの温度、吐出量、吐出圧力、水の吐出量、吐出圧力を常に管理する必要がある。そのため計器類は運転席に集中して、混合作業中でも管理調整ができフォームドアスファルトの性状は正常なものが得られる。ただし、混合フードの中に噴射ノズルが位置するため、処理材によってノズルが目詰まりを起すこともあるため施工中はノズルからの噴射状況を随時観察する必要がある。



施工状況

・作業速度と散布量との自動制御による連動はスムーズであり、キャリブレーションをした数値との誤差は僅少であった。ただし、アスファルトの添加量が少なく、作業速度が非常に遅い場合は、単位時間当りのアスファルトの噴射量が非常に少なくなり、この自動制御装置の特性から誤差が大きくなる傾向があった。この場合は、速度と散布量との連動を切り離し、手動設定で作業する必要がある。又、発進時の作業速度と噴射には0.5~1.0秒程度の遅れが生じたが作業精度には影響がなかった。



フォームド発生装置

・自動化されている機構は、速度とアスファルトの噴射量の関係、混合ロータ回転とアスファルトの噴射停止の関係、そして、アスファルトと水の噴射タイミングの関係等であるが、いずれも有効に働き、想像していた程のオペレータへの負担もなく、混合作業中は、通常のスタビライザと大差は無かった。

・曲線部の拡中部及び路肩いっぱいまでの施工については、混合機のシフト量が左右550mmであり車体より200mm外まで混合できるが、それ以上の場合は施工残りが生じ、これについては今後の課題である。しかし、通常の曲線部や路肩の弱い所でもシフトすることで容易に施工可能であった。

6. あとがき

フォームドスタビは加熱したストレートを用いているので施工後も直ちに交通開放することが可能であり締め固め後に降雨があっても瀝青分の流出の心配もない理想的なたわみ性の路盤安定処理工法と言う事ができる。しかしながら、本機もまだいくつかの問題を残しており、故障した時のメンテナンスに対する配慮など検討を加える必要がある。更に、これらの点について経験を重ね改良改善して行く所存である。

42. サイロ貯炭システムの開発

住友建設(株) 則 武 邦 具・鳥 生 晃 *水 谷 淳

1. まえがき

この研究は、住友建設(株)、住友石炭鉱業(株)、住友重機械工業(株) 3社が共同して開発したサイロ貯炭システムに関するものである。石油情勢の悪化からエネルギーの多様化、特に石炭の利用がクローズアップされている。しかし、石炭はその性質が石油に比べて複雑であるため、輸送・貯蔵・ハンドリングなどの面で問題点が多い。今回開発したサイロ貯炭システムは、これらの問題点を解決し、安全で最適なサイロ貯炭を可能とした。

本システムは図-1に示すような構成となっている。システムの開発に際しては、石炭物性の室内実験、各種サイズのモデルによる流下実験を初めとし、容量800m³を擁する実証サイロ(写真-1)における払出し機の性能実験、払出し実験、長期静置実験などの各種の実験を行うことにより、内容物に応じた払出し機の開発や、防災及び設計に関する技術を確立した。



写真-1 実証プラント全景

更に、電子計算機を用いた流下解析により、従来、不可能であったサイロ内での流下状態の把握を可能とし、サイロ内石炭の流下挙動に関するノウハウを蓄積した。

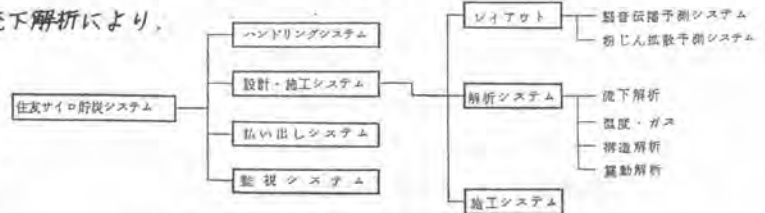


図-1 システムの構成

2. サイロ貯炭の問題点とその対策

サイロ方式による貯炭は多くの点で他の貯蔵方式よりも優れている。しかしその反面、サイロ式貯炭には多くの問題点を抱えており、これらの問題点を解決して初めてその有利性がいえる。サイロ貯炭に関する主な問題点としては次のようなものがある。

- ① 均一払出し ----- 流下パターン(マスフローとファネルフロー)
- ② 閉塞現象 ----- ラットホール、付着、ブリッジング
- ③ 長期貯炭 ----- 温度上昇、ガス爆発、炭じん爆発

サイロ式貯蔵の持つ利点に“先入れ先出し”がある。均一な払出しが阻害されたり、付着現象が生じたりすると、サイロとしての機能を失う。均一払出し及び閉塞現象の問題はサイロ貯蔵特有のものであり、本システムでは設計・施工システム内の解析システム(流下解析)によって解析的に問題の解決を計ると同時に、安定した払出しを行うための新しい払出し機構の開発を行った。このような問題点を一つ一つ解決してゆくことによりサイロ貯炭システムを確立した。

3. サイロ内での石炭の流下状態の把握

サイロ内での流下現象には多くの要因が関係しており複雑である。サイロ内での粉粒体の基本的な流動型はマスフローとファネルフローの2つに分けられる。写真-2は石炭を用いた流下実験における2つの流動型を写したものである。ファネルフローの場合には付着現象が生じやすく、サイロの機能を阻害する恐れがある。



マスフロー

ファネルフロー

写真-2 流下実験における2つの流動型

石炭サイロの設計において問題となるのは、サイロ構造に関する力学的な問題の他に、安全で経済的な石炭の払出しが期待できるサイロ形状を決定することである。サイロ形状を決定するためには、流下現象を把握する必要があるが、従来、流下現象を把握できないままに経験的な判断に依り、サイロの形状を決定していた。今回、このような問題を解決するために流下解析システムを開発し、サイロ内での流下現象のシミュレーションを行った。

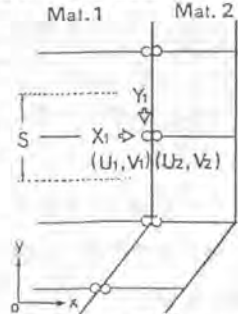


図-2 壁面での力等モデル

解析にはFEMによる数値解析的手法を用いた。FEMのような連続体としての解析法においては、サイロ壁面における貯蔵物のすべりをどのように評価するかが問題となる。ここでは図-2に示すように、壁面で同一の座標位置を持つ二つの節点を考え、相方の節点間での力の伝達のみによってすべりを表現する方法を用いた。図-3は壁面でのすべりを判定する手順を示したもので、 ϕ は壁面摩擦角、 C_0 は壁面での粘着力を表わす。

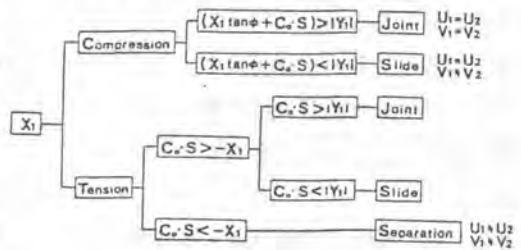


図-3 壁面でのすべり判定手順

図-4は、内径1.8m積付け高3.0mの三次元モデルを用いた石炭の流下状態観測結果で、ホッ

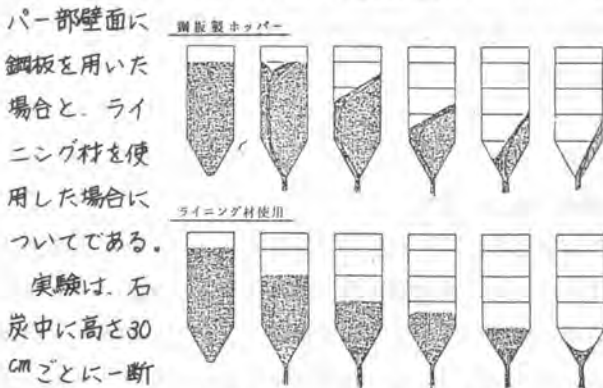


図-4 三次元流下実験

パー部壁面に鋼板を用いた場合と、ライニング材を使用した場合についてである。実験は、石炭中に高さ30cmごとに一断面9箇の、色

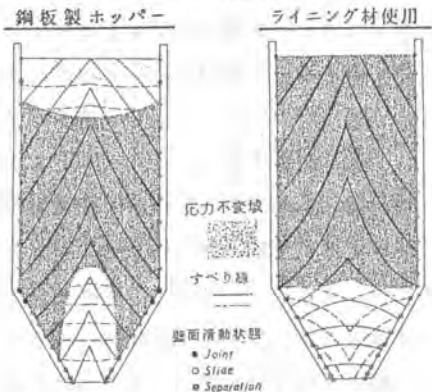


図-5 流下シミュレーション結果

別し番号を付けた小木片を配し、木片の排出を追いかけることにより、流下状況を観察した。ホッパー部に鋼板を用いた場合はファンネルフロー、ライニング材を用いた場合はマスフロー状態での流下が観察された。

図-5は、三次元流下実験と同じ条件で流下解析システムを用いて解析した流下シミュレーション結果である。流下状況は壁面での滑動状態、すべり線の発生具合、粉体の応力不変域の三つのファクターより総合的に判定する。実験結果と解析結果とはよく一致しており、流下解析はサイロ内の粉粒体の挙動を正しくシミュレートすることができる。

流下解析は、どのような形状のサイロへも適用することができる。図-6は、その一例を示したものである。

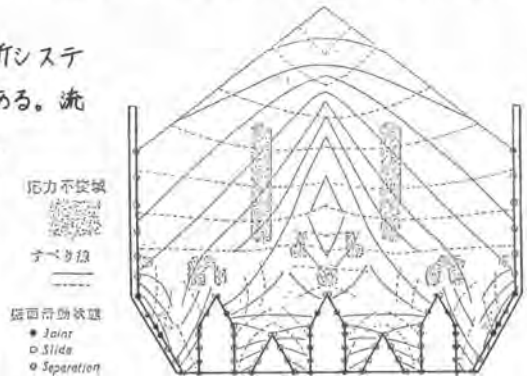


図-6 流下解析例

4. 実証サイロにおける各種実証実験

(1) 長期静置実験

長期間にわたって、石炭をサイロ内に貯蔵する場合、石炭温度の上昇、発生ガス濃度の管理が問題となる。これらの問題に対処するために実証サイロにおいて、特に気温の高い6月~8月の3ヶ月間にわたって静置実験を行った。測定項目は次のようである。

〔温度〕----石炭温度、サイロ壁温度、サイロ上部空間温度

〔発生ガス〕---供試炭内ガス(CO)、サイロ上部空間ガス(CO、CH₄、H₂、O₂、N₂、CO₂)

図-7は計測に用いたセンサーの配置状況を示したものである。石炭温度は熱電対をケーブルで所定の位置に吊り下げて計測した。発生ガスは主にガスクロマトグラフィー分析によって計測した。

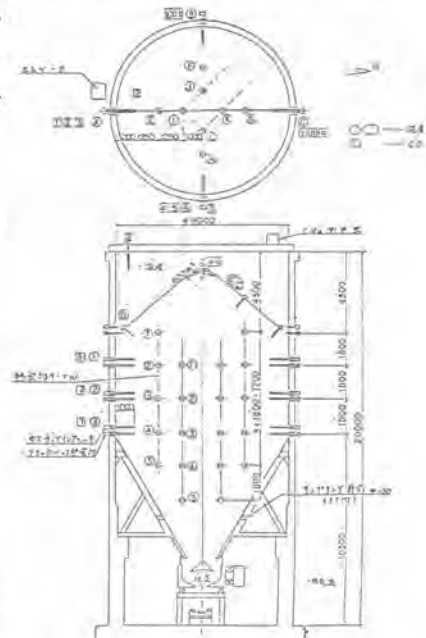


図-7 センサー配置図

サイロ内の石炭は自然通気により除々に酸化され温度が上昇する。周囲から酸化熱は放散されるが中央部では酸化熱はそのまま蓄熱される。この傾向は、温度が上昇するほど酸化速度が増すので放置期間が長くなるほど周囲との温度差は大きくなる。

図-8は静置実験での温度分布の一例を示したものである。

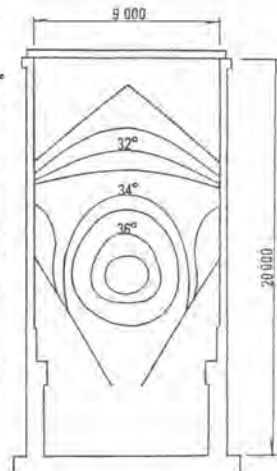


図-8 石炭温度分布

(2) サイロ内の内圧測定

サイロ構造物を設計する場合、サイロ壁体に作用する内圧をどう設定するかが問題となる。サイロ壁に作用する内圧に関する各国の設計基準値は国によりまちまちであり、どのような内圧値が妥当であるが不明確である。そこで、実証サイロで色々な状態での内圧値を測定した。図-9は、実証サイロでの実測内圧とFEM解析値及び各国設計基準値とを比較したものである。実測値と解析値とはほぼ一致している。

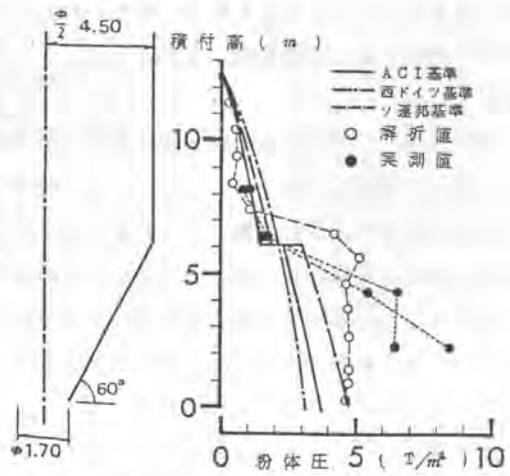


図-9 実測内圧と各国基準、解析値との比較

実証サイロにおいて、払出し実験、内圧測定、静置実験など、数多くの実験や測定を通じてサイロ貯炭に関する貴重なデータが得られた。

5. 新しい払出し機構の開発

サイロ貯炭システムにおいては均一な流下と同時に、偏りのない安定した払出し機能が要求される。本システムでは、図-10に示すようなサイロ底部形状に応じた3種類の払出し機構を開発した。コンカル式サイロにはアンコーラを用いる。この払出し機は払出し口にある石炭に振動を与えて払出し、払出し量の調整は振動の振幅を変えることにより連続的に行うことができる。フラット式サイロに対してはロープハローを用いる。これは、サイロ底部円周上に設けられたリングによりロープを低速で移動させ、ロープを用い鉛直圧により締め固ま、た石炭をほぐし、底部にあるフィーダ上に払出す方式である。スリット式サイロに対しては、ロータリープロフィーダを用いる。これは底部スリット上に安息角により静止している石炭をロータリープロフィーダで切出し、フィーダ下部に設けたコンベア上に払い出す方式である。これらの払出し機構は、サイロの構造形や内容物の性状に応じて選択されるものである。

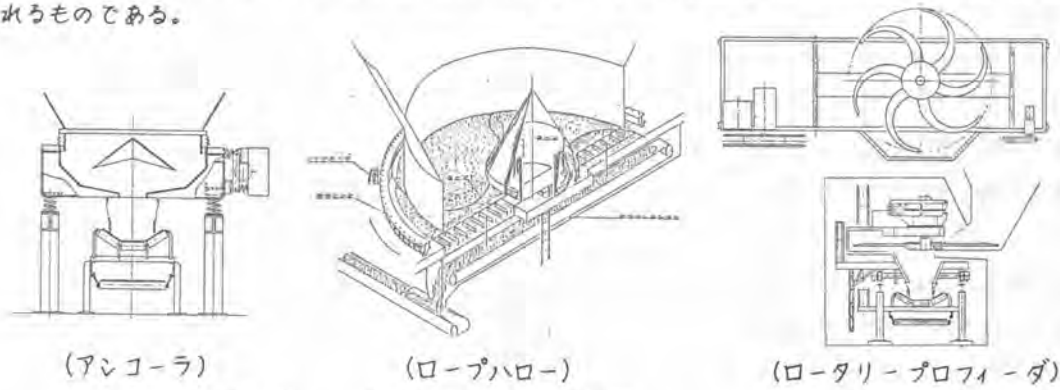


図-10 各種払出し機構の構造図

ら、おわりに 本システムは、サイロ貯炭に関する問題点を克服し、解析的な裏付けに基づいた、最適な材料の選択、最適なサイロ形状の決定を行うことができ、安全で経済的なサイロの設計を可能とした。本システムは、石炭以外の他の貯蔵物へも適用することができる。

建設機械と施工法シンポジウム論文集（昭和59年度版）

昭和59年9月29日 印刷
昭和59年10月4日 発行

定 価 2,850円
（送料 350円を含む）
（2冊以上は送料実費）

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
振替口座 東京 7-7112番

印刷所 株式会社 東 神 堂
東京都千代田区神田司町2-14