

平成5年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成5年10月21日～22日

東京・機械振興会館

社団法人 日本建設機械化協会

平成 5 年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

社団法人 日本建設機械化協会

「建設機械と施工法シンポジウム」論文集

目 次

*印 口述発表者

【1】『建築とその機械ほか』

1. 建築工事における地下工事資材の搬送システムの開発……………(株)フジタ：柴山誠一… 2
2. 耐火被覆吹付装置“ウエットボーイ”
……………清水建設(株)：岡野 正，箕輪晴康，*西村 淳
……………ニチアス(株)：吉田武弘，常谷雅彦… 6
3. 高精度構真柱建入れシステム……………清水建設(株)：*在田浩徳，諸井陽児，西田典宏… 10
4. 昇降屋根付全天候型施工法の開発
……………(株)竹中工務店：川村建夫，*上浦直樹，奥田健史… 14
5. 高濃度軟泥圧送船“TOTRA”…東亜建設工業(株)：石田敏明，*泉 信也，原 英幸… 18
6. 三菱重工横浜ビル1期棟新築工事におけるT-U P工法の適用
……………大成建設(株)：古田 新，*多和田哲雄… 24
7. 建設機械の作業時視界の評価方法……………建設機械化研究所：稲葉友喜人… 30

【2】『コンクリート，基礎とその機械』

8. ダム用グリーンカット装置の開発
……………清水建設(株)：*高橋周男，岸野富夫，小田原卓郎… 36
9. 礫地盤完全対応の小口径管推進工法“ガイドボーリング工法”の開発
……………飛島建設(株)：松島 洋，*野瀬達哉，(株)吉田鉄工所：市丸道雄… 42
10. ディープ・バイプロ工法と施工例…ハザマ：*三原正哉，日本海工(株)：鶴岡龍彦
……………青山機工(株)：末広修三… 48
11. 都市型地下連続壁掘削機“ミディアムカッター・MDB C 30”の開発
……………ハザマ：脇山一郎… 54
12. 低重心3軸オーガ機の開発……………大成建設(株)：大河内政之… 60
13. 簡易なコンクリート打設ロボットの開発……………*三和機材(株)：嶋野 亨
……………(株)竹中工務店：川村建夫，青柳隼夫… 64
14. 深礎杭工事における施工改善……………建設省月山ダム工事事務所：榎村康史
建設省東北技術事務所：井上秀秋，鹿島・不動建設共同企業体：*三井進平… 68

【3】『土工、舗装、維持とその機械』

15. 再生アスファルトプラントにおける触媒を用いた排ガス脱臭の基礎研究
.....日 工(株)：蓬萊秀人... 74
16. F式クライミングフォーム工法の適用と改良
.....(株)フジタ：森本正一，松尾宗義，*関原 弦... 80
17. 簡易操作型歩道除雪機械の開発...建設省北陸技術事務所：倉島 冠，*前田孝司
フジイコーポレーション(株)：高山徳七... 86
18. 東京湾横断道路木更津人工島斜路部改良盛土工法
.....(株)大林組：加藤木洋幸，山口重隆，*椎名肖一... 90
19. 前輪油圧駆動システムを備えた4WDダンプトラックの開発...コマツ：井草弘幸... 96
20. クロスリングブーム式超小旋回マイクロショベルの開発
.....コマツゼノア：永塚 功... 102
21. 建設廃材リサイクル車“ガラバゴスBR200”の開発
.....コマツ：西田安孝，*山口昌保... 108
22. 垂直土砂搬送装置の開発.....東急建設(株)：光永純一，三沢輝久，*安藤喜敏... 114
23. ホイール式堤防法面草刈車の開発
.....建設省東北技術事務所：熊本泰俊，*今野順二
及川自動車(株)：及川美喜雄... 118

【4】『自動化、ロボット化、施工管理No.1』

24. 船上杭打ち作業における光学式リバウンド計測方法
.....五洋建設(株)：*田中 潔，齊藤 勉... 124
25. GPS活用土工管理システム.....住友建設(株)：鳥生 晃，*山地 斉，稲嶋 豊... 130
26. 深層混合処理工法におけるスラリ製造・供給の自動化
.....フドウ技研(株)：*山口好一郎
(株)安川電機：田本純一，トーメン建機(株)：植野進一... 136
27. 地中連続壁の壁面計測システム.....鹿 島：*三浦 悟，菊地哲樹... 140
28. 壁面凹凸に対応可能な外壁塗装ロボットの開発
.....鹿 島：寺内 伸，宮嶋俊和，*宮本武三... 144

【5】『トンネルとその機械』

29. セグメント自動組立システムの開発
.....西松建設(株)：*内田克巳，野本 寿，田中 勉... 148
30. 全シールド対応掘進無人化システム“ハイパーシールド”
.....(株)フジタ：*関谷克利，佐藤 清，檜垣和弘... 154

31. シールド機自動運転システム……三井建設(株)：井上一敏， *川原啓一， 升形 剛… 160
32. シールド総合施工管理システム（K S G S）の開発
鹿 島： *柴田 学， 竹村健一， 佐藤竜郎… 164
33. 球体シールド（ビット交換用シールド）の開発……大成建設(株)： *金子研一
石川島播磨重工業(株)：伊藤広幸， 三菱重工業(株)：井上年史… 170
34. シールド工事における掘削排土量管理システム……大成建設(株)：三神克己… 176
35. セグメントボルト増し締めロボットの開発……(株)大林組：風間慶三， *富岡 彰
日立造船(株)：布村 進… 182
36. 推進工法における立坑内作業自動化システムの開発
……(株)奥村組： *畑山栄一， 杉本博史… 186
37. 長尺資材搬送システムおよびセグメントグラブ
……清水建設(株)： *佐藤 等， 渡辺健治， 菊池雄一… 190
38. シールド掘削機の自動掘進システムの開発と実証
……清水建設(株)： *河野重行， 菊池雄一， 宮沢和夫… 196
39. トンネル工事による作業環境の改善と機械の大型化
……清水建設(株)：和田利彦， *小野啓二… 200
40. 新しい山岳トンネルライニングシステムの開発（K-N T L）
……(株)鴻池組： *緑田正美， 西川博之… 206
41. 楕円断面T B Mの開発
……(財)先端建設技術センター：萩原哲雄， ハザマ： *芳賀佳之
佐藤工業(株)：柳瀬良輔… 212

【6】『自動化， ロボット化， 施工管理No.2』

42. S M Wの精度管理システム
……成幸工業(株)：高嶋三郎， *西田智一， 応用計測工業(株)：笹原則宏… 218
43. アスファルトフィニッシャ自動操向装置による施工の合理化
……鹿島道路(株)： *木下洋一， 東洋運搬機(株)：北村幸雄… 224
44. 鉄骨建入レーザー自動計測システム
……大成建設(株)：神崎 正， 中野孝一， *松本三千緒… 228
45. 電子スタッフによる沈下計測システム
……大成建設(株)：台 和彦， 宮崎裕道， *戸田 浩… 234
46. H鋼ハンドリング機の開発
……大成建設(株)：西野誠二， コベルコ建機エンジニアリング(株)： *田原一美… 240
47. 独立型セグメント組立ロボット“O-S E R O”の開発と実用化
……(株)大林組：上田尚輝， *森野弘之… 246

48. A B C S - 全自動ビル建設システム……………(株)大林組：中村俊男… 250
49. 連壁用モデル掘削機の位置制御と地盤特性
……………愛媛大学：*深川良一，室 達朗，(株)鴻池組：松生隆司… 254
50. 知能化油圧ショベルの開発……………コマツ：*川村公一，鎌田誠治，栃沢 守… 260
51. 位置検出シリンダ“Z E X T”の開発……………コマツ：村上 卓，悪七秀樹
……………コマツゼノア：*永橋伸之… 266
52. 動圧密工法群管理システムの開発と実施例
……………日本国土開発(株)：二宮康治，コマツ：*清水憲治… 270
53. 天井工事ロボット・スペースワーカーの開発
……………コマツ：*長濱政之，高砂熱学工業(株)：船津敏夫，鈴木 基… 276
34. ロボットアスファルトフィニッシャの開発
……………建設省東北技術事務所：熊本泰俊，*富手千賀子
……………(財)先端建設技術センター：萩原哲雄… 282

1. 建築工事における地下工事資材の搬送システムの開発

(株)フジタ：柴山 誠一

【はじめに】

建設作業における資材の搬送作業は全作業の約30%程度を占めているとも言われており、作業の改善要求（苦渋作業の改善）や自動化を推進する上でその重要性が認識されて来ている。

以下に具体的改善ツールとしての機械開発動向とユーザでもある、ゼネコンの開発の方向性について紹介をし、本システムの開発が時代の要請でもあることを再認識するものである。

日本建設機械化協会・技術部自動化委員会平成4年度アンケートの結果でも、前回調査に比べ開発件数は110件の増加・機械別の最大件数（74件）が搬送荷役関連機械とのデータが報告されている。また建築学会小委員会（今後の建築生産における自動化技術開発の方向）による、大手ゼネコン8社の（262先端的作業所）アンケート結果、施工自動化の狙いと自動化技術分類の両方でも、躯体工事に伴う資材搬送の省力化のニーズが高いことや要素技術から生産プロセスまで含めた開発が今後必要との報告がされている。

【開発の背景とシステム概念】

近年、市街地の建築工事において地下工事の安全性・工事公害の防止・工期短縮・作業スペースの確保等多くのメリットがある逆打工法による施工が積極的に行われて来ている。

しかし最初にトップスラブを施工することによる、開口部の限定や地上躯体と地下躯体工事を同時に施工することで、様々な制約条件がある。



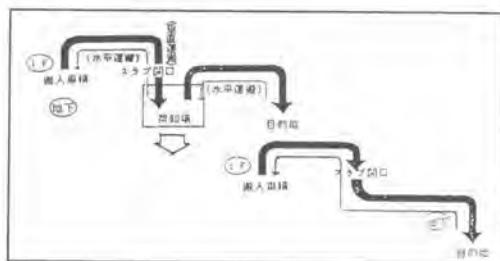
【写真-1 開発機全景】

逆打工法の実施上の制約条件を下記に列挙する。

- ①地上躯体がある状態では、荷下し重機に制約を受ける。
- ②地下部に一旦資材を預ける、荷取り場が必要となる。また工程の進捗に応じて盛り変えも必要。
- ③資材搬入開口が限定されるので、地下部での水平搬送距離が長くなる。

以上の理由から、地下工事資材の搬送については人手に頼るところが大きかった。

そこで、資材搬送に着眼し地上の荷取り場に搬入された資材を、地下の目的場所までダイレクトに搬送するシステムを開発した。

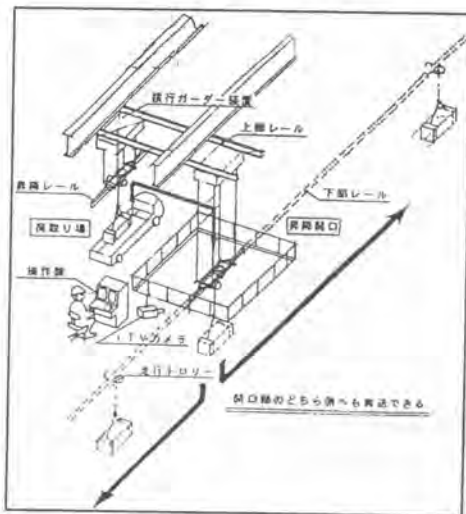


〈図-1 荷の動線〉

【開発コンセプト】

一律でない建築構造物に対し、最大公約数的な標準化を図るべきなのか・どうか、今後も継続的に検討を進める必要があると考える中で、次の4項目を将来の自動化への検討項目と考える。

- イ 作業の安全性向上・・・人との協調
- ロ より高品質な管理・・・ソフトの付加
- ハ 上下並行作業が可能・・・工期短縮
- ニ 仮設工事の削減・・・作業手順



〈図-2 システムイメージ〉

【作業所適用試験の概要】

本システムは、平成3年4月より開発に着手し、平成5年4月までに2作業所での適用実験を経ている。

それぞれの工事と搬送作業実績は、次の通り

作業所A 工事期間'91.9.1~'92.11.3

(使用期間 '92.1~4)

敷地面積 1857.31 m²

構造形式 S造 SRC造

階数 地上10階 地下3階

搬送作業実績 型枠材 11,800m²

鉄筋 540ton

〔表-1 開発システム仕様概要〕

定格荷重： 3ton 未 満

動力： AC200/220 50/60HZ 3相15kVA
(トローリダクト)

横行 0.7⁵kw×1

昇降 3.7 kw×1

走行 0.7⁵kw×1

上下 2.9 kw×1

(速度インバーター制御)

操作・制御：有線・無線、シーケンス制御
マイコンによる遠隔操作
モード 手動・自動

移動： 地上部 懸垂型天井クレーン
(レール I=250×2 本)

地下部 懸垂型テハクレーン
(レール I=250×1 本)

作業所B 工事期間'92.3.25~'94.2.28

(使用期間 '92.12~'93.4)

敷地面積 1732.40 m²

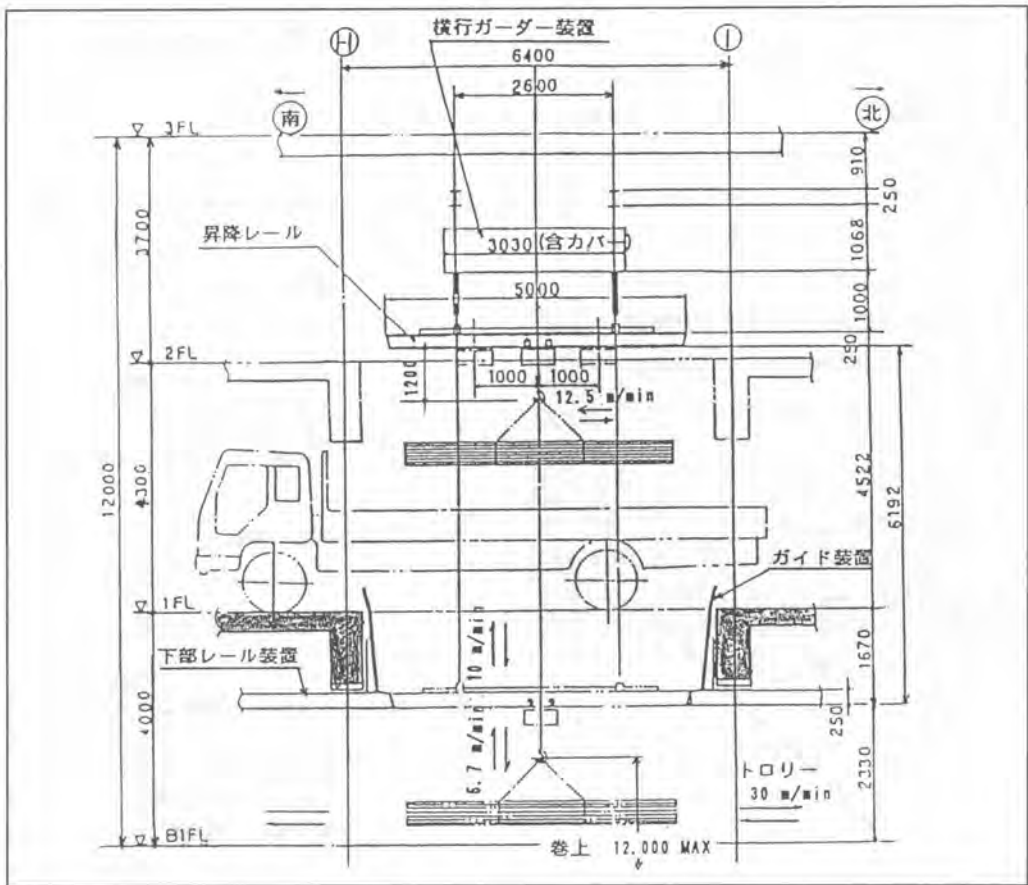
構造形式 SRC造 SRC造

階数 地上10階 地下2階

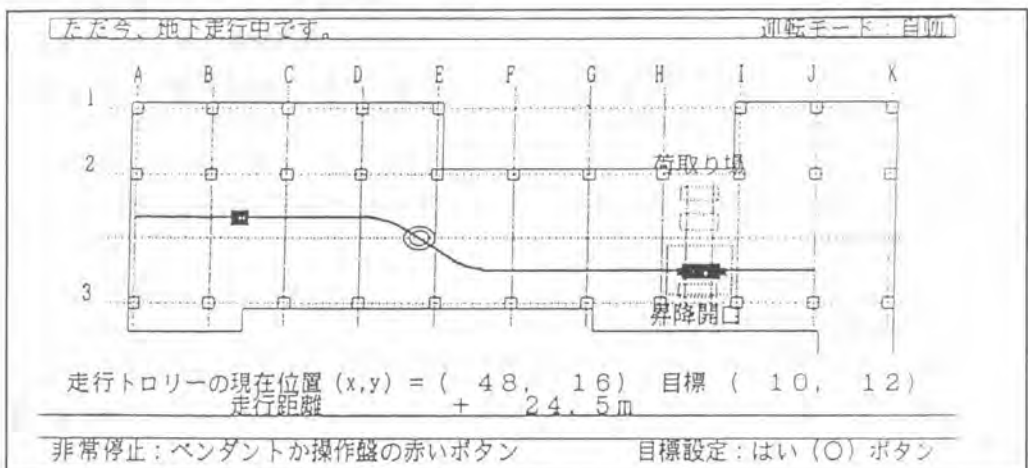
搬送作業実績 型枠材 7816m² →18 m²/人日
0.5分/m²

鉄筋 205ton →0.8 ton/人日
22分/ton

特に作業所Bにおいては、作業員数とシステムの稼働時間のデータを重ねることにより、施工管理情報としても、従来比で約30%程度の省力化効果に寄与していることが分かった。



〈図-3 現場適用試験（作業所B設置状況）〉



〈図-4 運転操作管理モニター画面（工事B設置状況）〉

【作業所適用試験で得た知見】

すでに開発コンセプトでものべた、4項目に添って作業所適用試験で得た知見（メリット）を簡単にまとめる。

イ`作業の安全性向上・・・人との協調

使い勝手の面で操作方法（有線・無線・マイコン）の選択支が、専任操作者の習熟効果によってサイクルタイムの短縮が更に可能と思われる。マンマシンインターフェース機能に、より臨場感を高める工夫（画像・音情報の付加）をすればより安全性の向上が可能である。基本的には、開口部の減少による墜落・転落災害等の防止が確実にできる。

ロ`より高品質な管理・・・ソフトの付加

事前情報の搬送対象資材量・重量・搬送能力・サイクルタイム等の情報が、日常の施工管理情報（資材管理や工程管理など）に活用ができる。

ハ`上下並行作業が可能・・・工期短縮

搬入トラックの荷台上資材を、他の移載装置なしに、一度の玉掛けで地下へダイレクトに搬送できる。そのために地上躯体工事の進捗に影響を与える、ストックヤードをあまり必要としない。

ニ`仮設工事の削減・・・作業手順

掘削工事や鉄骨建て方の工程に合わせた、レベル設置作業を行うことで、足場などを必要とする作業を無くせる。

以上4項目は、それぞれに固有の要素ではあるが、単独に発展や改良をするべきものでなくバランスの取れたシステムとして考えて、洗練化を図っていきたい。

特に関連メカトロ技術（動力供給方法、各構成機器の軽量化、センサー類など）の移植や、ハードの使用に際しての法規制などにも留意したい。

【終わりに】

建築構造物の基本的性能似は、直接に関係のないと思われる、搬送作業の合理化手段の一つとして、非床上搬送の開発事例の報告を終わるに当たり、イタリアの経済学者ビルフレッド・バレートの言葉を紹介する。「成果の80%は、共通する作業の20%を確実に達成することで可能になる」と言われている。

また、いかに優れたシステムでも管理・運用が的確に行われなければ、その性能が発揮されないということも、研究開発に従事する時に気おつけるべきこととしたい。

さらに作業所での適用試験等を重ね、逆打工法による施工の、標準システムとして普及を図れるようにすることやアタッチメントの検討や複合システム化なども含め開発を進めたい。

【参考文献、等】

- ・天井クレーンの計画と設計 坂本種芳著
- ・'75 フジタ技報 搬送計画による合理化工法
- ・'77 フジタ技報 搬送作業の効率化を狙いとして
- ・'92 第2回 SRC
フジタ 建築工事用自動搬送システム
- ・'93 第3回 SRC
フジタ 建築現場における垂直・水平搬送システムの開発

2. 耐火被覆吹付装置“ウェットボーイ”

清水建設(株)：岡野 正・箕輪 晴康

*西村 淳

ニチアス(株)：吉田 武弘・常谷 雅彦

1. はじめに

鉄骨構造のビルは、火災時に1000℃におよぶ高熱にあっても、鋼材が一定時間、一定温度以上に上昇しないように防護処置として耐火被覆を行うことが建築基準法で定められている。この耐火被覆の施工には種々な工法があり、設計および施工条件に合わせて最適工法が選定されるが、一般には施工能率やコストの面から現場での吹付け工法が採用されることが多い。

この吹付け工法にも吹付け材料の種類によって、半湿式と湿式の2種類があり、このうち半湿式が耐火被覆吹付け工事のほぼ80～90%を占めているのが現状である。

しかし、半湿式の吹付け作業は、材料の跳ね返りや粉塵の発生を伴うため作業環境がきわめて悪く、周囲の作業にも影響をおよぼしている。このため作業場所は外部飛散防止用の養生を全面に施し、作業員は防塵用の衣服やマスクなどを着用しなければ、その中で作業できない状態になっている。

湿式の場合は比較的粉塵が少ないため、外周養生は簡易にすることはできるが、材料の跳ね返りや飛散が発生するので作業員には同様な防塵対策が必要である。

また、いずれの場合でも、重い吹付けノズルの先端を持って材料供給ホースを引きずりながら、高い足場の上で不自然な姿勢で作業することが多く、2～3人が一組になって交替で行う疲労の激しい作業である。このため作業員の休息が不可欠のうえ足場の移動時間も加わり、さらに事前準備・事後片付け作業を含めると実質の吹付け作業時間は1日わずか3時間程度になっている。

このように、耐火被覆の吹付け作業は過酷な条件のもとで行われているため、作業環境の改善・苦渋作業からの解放・安全性の向上など3K追放対策としての機械化が望まれ、加えて熟練工の不足と高齢化への対応が求められてきた。

2. 開発概要

耐火被覆吹付け作業用ロボットの開発は比較的古くから行われ、1987年には既に、全自動耐火被覆吹付けロボット「SSR-3」が完成している。また近年においても、汎用型産業用ロボットを活用したシステムが新たに開発されている。

しかし、高級なシステムは現場の作業員だけでは取扱いが難しく、また装置費用が工事費のコストアップにもつながって普及展開が遅れているのが実状である。

本装置は、このようにロボット化の技術ノウハウが進展している中で、直接現場で耐火被覆吹付け作業を手掛けている人たちが直面しているニーズに応えるため実用性を第一に考え、ロボット化時代には逆行しているように思えるが、装置をリモコン式の簡易な装置にし、「誰でも」「どこでも」「すぐに使える」を狙いに開発した。

当面、吹付け材料は、吹付け後の押さえ作業のための高所作業がいらぬ湿式を対象とした。



写真1 「ウェットボーイ」

3. システム概要

3-1 システム構成

この装置は、従来の手作業で使用されている材料プラントとの組み合わせで構成されている。従って、装置の根元で材料供給ホースを切り離し、通常使用しているノズルに付け替えることで、即、在来工法とすることもできる。

このシステムの主な機器構成は、①アーム機構、②昇降装置、③移動台車、④ハンディリモコン、⑤制御装置、⑥材料プラントからなっている。

装置の寸法・重量は、ロングスパン工事用エレベータを利用して所定階へ揚重できることを条件として、搬送時、高さ 2,400mm、幅 870mm、長さ 2,300mm で、重量 900kg に収まっている。

3-2 機器・性能

- ① アーム機構は、吹付けノズルを保持している。ノズルは上下左右どの方向にも 180° 自由に動くことができる。アームは前後 720mm スライドし、左右には 900mm の範囲をスイングする。
- ② 昇降装置は、①アーム機構を上下移動させ、ノズルの位置で 2,300mm から 4,510mm の高さ範囲をカバーすることができる。
- ③ 移動台車は、⑤制御装置を含めた装置全体を搭載し、前後、左右の移動を 10m/min の速度で自由に床上を走行する。
- ④ ハンディリモコンは、オペレータが装置から離れて床上で、ボタンとレバー操作だけで自分が作業を行うのと同じ動きをダイレクトに装置に伝えられる。吹付け状態を直視しながらオペレータが直接操作するため、従来のロボットでは難しかった複雑な部位の吹付けや、先付けの配管などの障害物にも即時対応できる。リモコンボックスには、有線と無線があり、状況に応じてオペレータが選択する。
- ⑤ 制御装置は、ハンディリモコンからのオペレータの操作に基づいた装置の動きを制御するとともに、吹付け面とノズルの距離を一定に保つ自動補正機能や、吹付け幅の両端を入力すると自動で吹付けを行う自動吹付け機能、ノズルの吹付け方向を反転する場合に行う自動反転機能、その他の種々なソフトが内蔵されている。
- ⑥ 材料プラントは、従来の手作業に用いられているプランジャ式のポンプとミキサーを利用しているが、材料の ON-OFF はハンディリモコンからオペレータが制御できる。

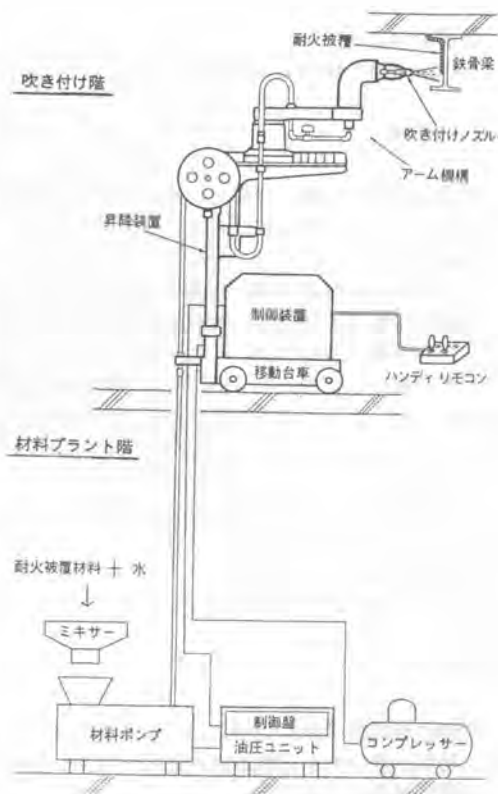


図1 システム図

| | | |
|--------|-------------------------------|---------------|
| 吹き付け範囲 | 上下 | 2,300~4,510mm |
| | 左右 | 0~900mm/ストローク |
| | 前後 | 720mm |
| 駆動源 | AC100V (バッテリー搭載) | |
| 制御方法 | リモートコントロール方式 (自動補正機能付) | |
| 重量 | 900kg | |
| 寸法 | 全長2,300mm, 全幅870mm, 全高2,400mm | |
| 安全装置 | アーム機構衝突防止装置 | |
| | 非常停止鈕 | |
| | 制御異常保護装置 | |
| | 異常降下停止弁 | |

表2 仕様

3-3 吹付け作業

1) 事前準備

装置をリフト、あるいはロングスパン工事用エレベータを利用して所定階に揚重し、材料プラントとのホース類を接続して電源（AC 100V）を接続すれば運転準備完了である。

2) 吹付け作業

装置を吹付け位置に移動し、吹付け範囲を設定したらノズルを水平に振りながら吹付け状況に応じ、下降して行くのが基本動作である。設定範囲内の吹付けが完了するとその分だけ台車を横移動し、つぎの範囲の吹付けを行う。

ノズルの左右移動には、自動・半自動・手動の3つの動作モードがあるが、いずれのモードを選択した場合でも上下移動は、オペレータが吹付け厚さと仕上がり状況に応じて昇降ステップの幅を調整しながら手動で操作する。

自動運転は、自動的にノズルと吹付け面の距離を一定に保ちながら左右の動作を繰り返す自動補正機能を備え、ノズルの左右動作の範囲を指定することにより指定範囲の左右動作を繰り返す。障害物のない単純な平面の吹付け作業等の、広い面積の吹付け作業において能率よく作業を行うことができる。

半自動運転は、自動補正機能を備えているのみで、他の動作は全てオペレータの手動操作により動作する。従って梁のウェブに貫通口がある場合など途中で吹付け範囲が変化する作業に適する。

手動運転は、全ての動作がオペレータの操作によるもので、複雑な形状をした吹付け面や、周辺に配管などの障害物がある場合、及び補修・手直しなどの作業に適する。

3) 後片付け

吹付け作業終了後は通常行っている方法と同様に、材料プラントから水を圧送するだけで、簡単に装置の洗浄ができる。

3. 特徴

①「誰でもすぐ慣れる手作業感覚」

簡単な操作で作業員の動きが忠実に再現されるので、1～2日の練習で取り扱いでき実用性が高い。

②「汚れず、疲れず、一人でもできる」

2～3人が交替で行っていた吹付け作業をリモコン操作により1人ででき、遠隔操作なので粉塵の影響を受けずに作業が行え、苦渋作業から解放される。

③「梁の隅々や障害物にも対応」

オペレータが吹付け状態を直視しながらリモコン動作を行うので、臨機応変な対応をすることができる。

④「足場不要の安全作業、作業効率アップ」

全て床上からの操作なので、高所作業がなくなり安全性が向上するとともに、足場の移動時間が省け作業効率も約20%向上する。

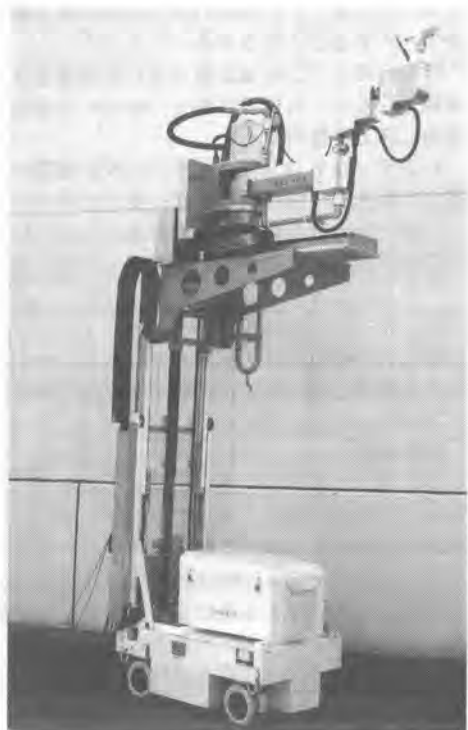


写真2 ウェットボーイ ノズル上昇時

4. 施工状況



写真3 垂れ壁への吹付け状況

今までに「ウェットボーイ」は、清水建設で3現場、他社で3現場に導入し、使用している。

梁ばかりなく、防災垂れ壁への吹付けにも適用できることが確認された(写真3)。また、階高の高い所でもジョイントパイプを設置して、動作・品質とも問題なく適用できることが確認された(写真4)。



写真4 梁下への吹付け状況

5. おわりに

「ウェットボーイ」は、清水建設とニチアスが両社の自動化技術を基に、熟練作業員の意見を十分に取り入れ、実用性を第一に考え開発したものである。

従来、建設ロボットの普及展開は非常に難しいものがあり、その原因として取扱いの難しさやコストアップが挙げられるが、「ウェットボーイ」ではシステムを必要最小限の機能・性能にとどめ、簡易化することで装置価格を極力低くして施工費のアップを抑え、その中で3K追放を達成している。

「ウェットボーイ」は、いわゆるロボットとは異なり、作業員が道具感覚で使える装置である。今後は、施工実績を重ねオペレータがより使いやすいものに改良改善するとともに、半湿式タイプの材料にも簡単に対応できるように改造し、幅広い普及展開を図りたい。

3. 高精度構真柱建入れシステム

清水建設㈱：*在田 浩徳・諸井 陽児
西田 典宏

1. はじめに

地下に構造物のある建物を造る場合、通常、地下部分を掘ってからその上に階を重ねて躯体を構築していくが、最近1階部分の床を施工しそれを基盤に地下と地上の両方から同時に工事を進める“逆打ち工法”を採用する現場が増えている。

逆打ち工法では地下構造物や1階部分の床を支えるための構真柱と呼ばれる鉄骨を地下躯体構築前に場所打ち杭に挿入、設置し、この柱を利用して1階床の本設躯体を先行施工する。この工法の採用により、

- ・従来必要であった乗入れ構台と1段目切梁を本設で兼用できる
- ・地上工事に早く着手でき、全体として工期の短縮が図れる
- ・山留め工事の安全性が高く、地盤の悪いところでの施工に有効

等のメリットが得られるが、従来の逆打ち工法では根切り後に梁の長さ等部材寸法を現物合せで製作しており構真柱の施工品質の確保が難しいという課題があった。

本文では、これらの課題に対し構真柱の施工精度を確保しつつ効率良く施工することを目的とした『高精度構真柱建入れシステム』の現場施工事例を述べる。

2. システムの概要

2-1. システムの構成

本システムは構真柱の建入れ(鉛直度)を高精度に計測する『建入れ計測システム』、構真柱の建入れを油圧ジャッキの連動操作で効率的に修正する『建入れ修正システム』から構成される。

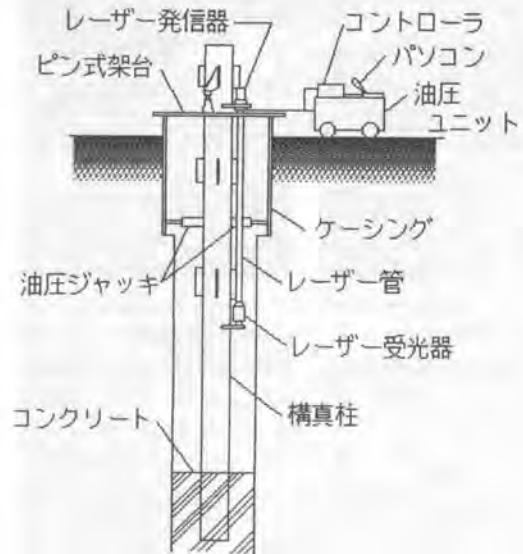
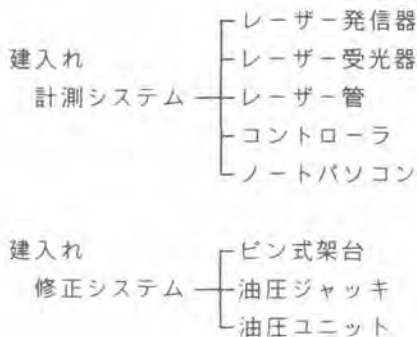


図-1 システム概要図

2-2. 建入れ計測システム

上部にレーザー発信器、下部にレーザー受光器をセットしたレーザー管を構真柱に装着し、レーザー発信器から鉛直下方に射出されたレーザー光を受光器でとらえる。その位置を受光器中心を通る直交座標系(X-Y座標系)上に1/10mm単位で表示して、構真柱の鉛直度をレーザー発信器、受光器セットレベルでの水平方向のズレ量として高精度に計測する。計測結果はノートパソコンに表示し、建入れ修正作業の油圧ジャッキ操作が効率的に行えるよう配慮している。

レーザー管本体は構真柱建入れ終了後回収し、次に建入れる構真柱に装着して使用する。

2-3. 建入れ修正システム

構真柱頭部を位置決めするピン式架台、4個の油圧ジャッキを連動で伸縮させて構真柱の建入れを修正する油圧ジャッキ、及び、油圧ユニットから構成される。

ピン式架台は、柱通り墨に合せて3個のピンをケーシング上端に取付けるだけで容易に構真柱頭部の位置決めができ、かつ、セットしたままで埋戻しができるコンパクトな架台である。

また、従来4個の油圧ジャッキを個々の手動ポンプで操作して建入れ修正を行っていたが、1台の油圧ユニットで建入れ修正を行うジャッキ1個を伸ばし、かつ、他の3個を支持面からの

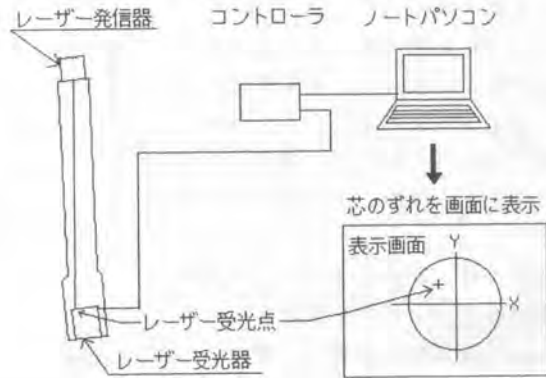


図-2 建入れ計測システム



写真1 ノートパソコン画面

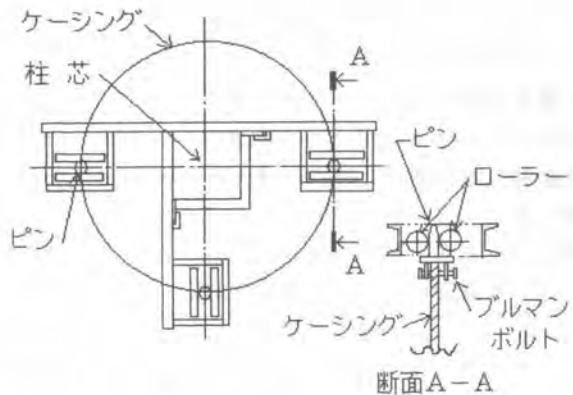


図-3 ピン式架台

反力で縮めつつある一定内部圧で保持する運動方式をとり、建入れ修正作業の効率化を図った。この操作は、パソコン画面の建入れ計測結果を見ながら油圧ユニットの操作スイッチを操作するだけで可能で、構真柱の建入れ修正をムダなく短時間で行うことができる。

構真柱の建入れ終了後は、レーザー管同様油圧ジャッキを回収し、次に建入れる構真柱に装着して使用する。

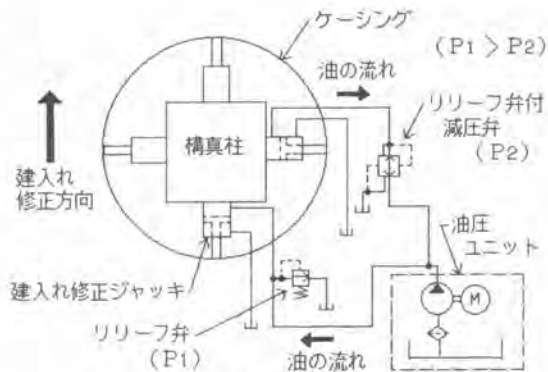


図-4 油圧ジャッキ動作概要

2-4. 施工手順

構真柱を杭孔にセット後、杭コンクリートを打設するコンクリート後打ち方式の施工手順を図-5に示す。

・計測器準備

レーザー管を構真柱側面に装着する。構真柱を鉛直に立てレーザー光を射出してコントローラの表示値を読み取り、その値を補正值としてノートパソコンに入力し座標系を変換してキャリブレーションを行う。

・建入れ

構真柱の倒れにより生じるズレ量及び、受光面上のレーザースポット位置がノートパソコン画面に表示される。オペレータはこの画面より動作させる油圧ジャッキ、及び、その動作量を判断し油圧ジャッキの操作を行う。レーザースポット位置が所定の範囲におさまった時点で建入れ作業を終了する。杭コンクリート打設時にもレーザー計測を継続し、必要に応じて油圧ジャッキを操作する。

・撤去

レーザー管、油圧ジャッキを装着した状態で可能な高さまで埋め戻しを行う。その後、レーザー管、油圧ジャッキを取り外して埋め戻しを行い、埋め戻し完了後ピン式架台を撤去する。取り外したレーザー管、油圧ジャッキは次に建入れる構真柱に装着する。

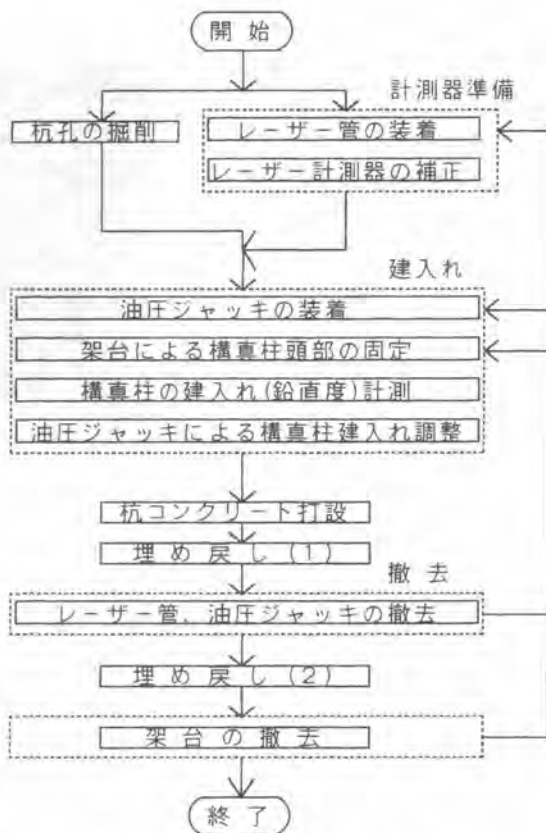


図-5 施工手順（コンクリート打ち方式）

2-5. 導入効果

本システムを導入することにより、以下の効果が得られた。

・ 建入れの高精度計測

従来の傾斜計による柱の局部測定でなく、地上の鉄骨建方と同様な任意の2点を視準した方法で、かつ、計測値をmm単位で表示できるため、数値管理による高精度な計測が実現できた。また、レーザー発信器、受光器間距離は任意に設定可能で、長くとればさらに精度は向上する。

・ 建入れ調整時間の短縮

計測結果がリアルタイムで表示され、かつ、オペレータが水中ジャッキを操作しやすいようにパソコン画面上にレーザースポットが表示されるため、連動油圧ジャッキの併用により操作性の向上とともに建入れ作業の省力化が実現できた。

・ 梁の現物合せが不要

構真柱がほぼ許容範囲内で建入れられているためほとんどの梁が図面通りの寸法で取付け可能となり、従来の梁の現物合せによる加工手間が減り、根切り～梁取付けの作業の流れも円滑に進めることができた。

・ コンクリート先打ち方式にも適用できる

本文ではコンクリート後打ち方式の施工例を示したが、杭コンクリート打設後構真柱をセットするコンクリート先打ち方式にもレーザー管、油圧ジャッキの装着方法を考慮することにより、このシステムを適用することができる。

3. おわりに

高精度構真柱建入れシステムは、逆打ち工法における構真柱施工の高精度化、省力化という現場ニーズにこたえるため開発された。今回の施工結果を反映し、改良を加え、他現場への展開を図っていきたい。



写真2 構真柱の建入れ

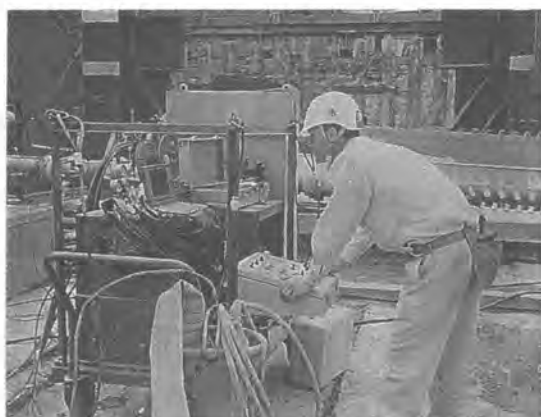


写真3 水中ジャッキの操作

4. 昇降屋根付全天候型施工法の開発

(株)竹中工務店：川村 建夫・*上浦 直樹
奥田 健史

1. はじめに

建設工事は屋外作業であるため、天候によって工程が影響される。現場管理者の重要な役割の一つがこの工程の遅れを修復する事である。しかし、人員の手配がつかず、止むを得ず悪天候の中で作業を行ったり、工期に間に合わせるために、休日作業を行うのは常識とされ、3Kの産業として若者から敬遠されがちである。

全天候型施工法は、天候によって影響される工程の修復に伴う悪条件から開放し、作業環境改善、ゆとりもとれる生産形態をめざした工法の一つとして、各社で積極的に開発が進められている。

今回開発した本工法もその一つであるが、一般に特殊技術的にみられる全天候工法を、簡易で効果のある汎用工法として確立する事をめざした。対象は中層 RC 造の建物の施工であり、根切工事から屋上防水、外装仕上までの期間に適用した。

2. ねらい

- ・屋根の高さが自由に設定でき、根切工事から屋上防水、外装仕上まで適用する。
- ・RC造に適用でき、設計に制限を加えない。
- ・全天候型施工の効果を定量的に把握する。
- ・汎用技術の組合せにより完結する工法装置とする。

3. 工法の概要

- ・仮設屋根を小形タワークレーンのマスト4本で支持し、工事の進捗に合わせて昇降させる。
- ・昇降は小形クレーンの昇降装置を利用し、4台の装置が同時にクライミングできるように、集中制御システムを設けた。
- ・揚重装置として屋根中央にレールを敷設し、ホイストクレーン(500kg)を設置した。
- ・また、建物の外に定置式クレーンを設置し、テント屋根の一部に開閉機構を設け、揚重を行った。
- ・仮設屋根は、アルミフレームの既製のテント屋根材を使用し、シートは、半透光性で日中のテント内の明るさを確保した。
- ・マスト頂部に風向風速計を取付け、風に対する管理を行った。



写真-1 全天候屋根装置全景

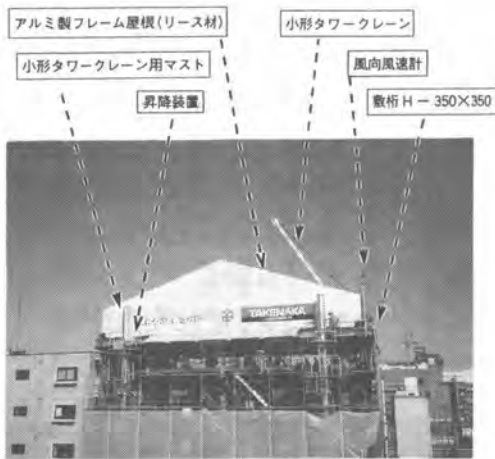


写真-2 外観

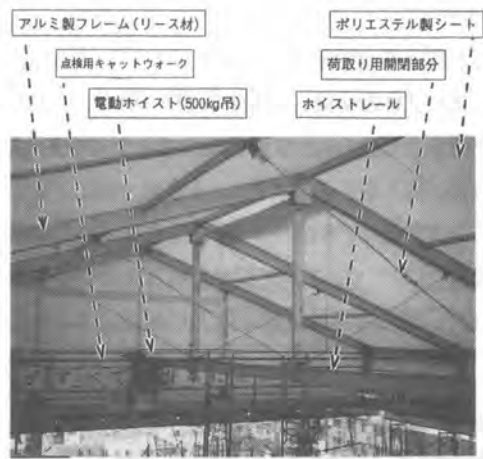


写真-3 内部



写真-4 操作室

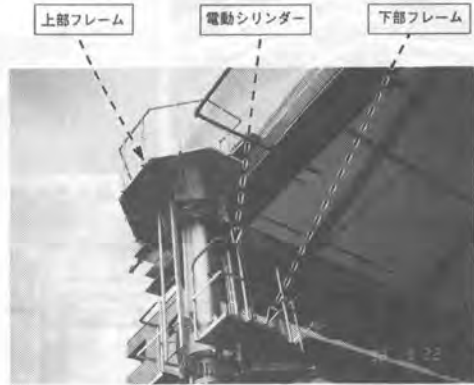


写真-5 昇降装置

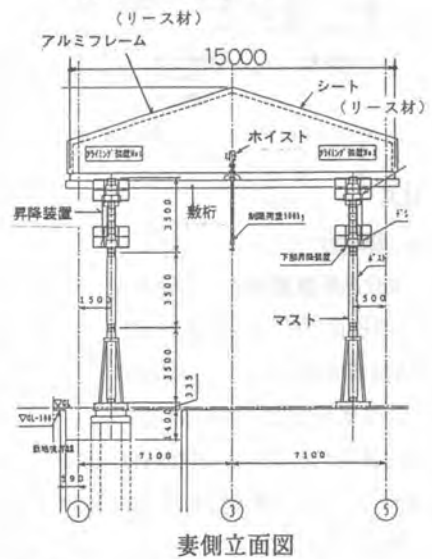
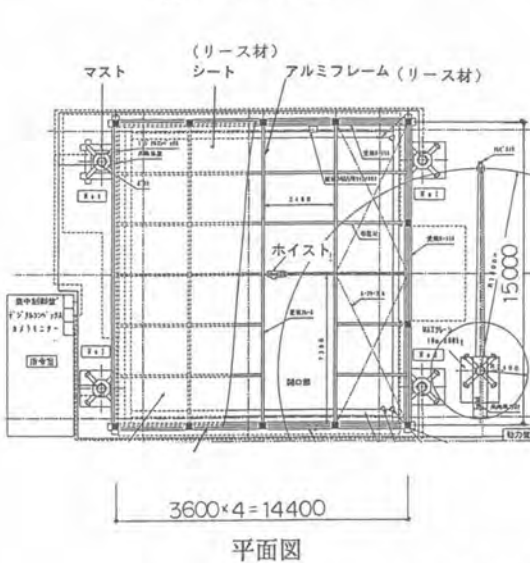


図-1 全天候屋根配置図

4. 実施

対象工事は中層 RC 造の T ビルで、工事概要は表-1 に示す通りである。近隣はマンション、木造住宅、立体駐車場に囲まれ、施工にあたっては、十分な配慮が必要である。工期は 13.5 ヶ月で、屋根を必要としたのは約 7 ヶ月間であった。屋根の組立、架設は、杭工事直後に実施し、6 日間で施工した。クライミング作業は、8 回行った。1 回のクライミング作業時間は、1 時間で、工事工程にはほとんど影響を与えなかった。解体作業は 4 日で完了した。

表-1 T ビル工事概要

| | |
|----------|-----------------------|
| 用途 | 共同住宅 |
| 敷地面積 | 469.40m ² |
| 建築面積 | 196.55m ² |
| 延床面積 | 1475.86m ² |
| 構造 | RC |
| 階数 | 地下 1 階、地上 8 階 |
| 最高高さ | 23.8m |
| 工期 | 1992 年 7 月～1993 年 8 月 |
| 仮設屋根設置期間 | 1992 年 9 月～1993 年 4 月 |



写真-6 組立状況



写真-7 クライミング状況

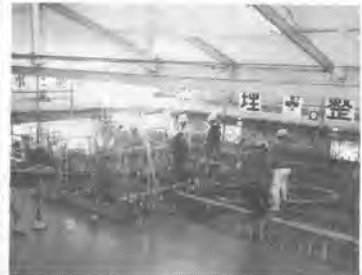


写真-8 施工状況

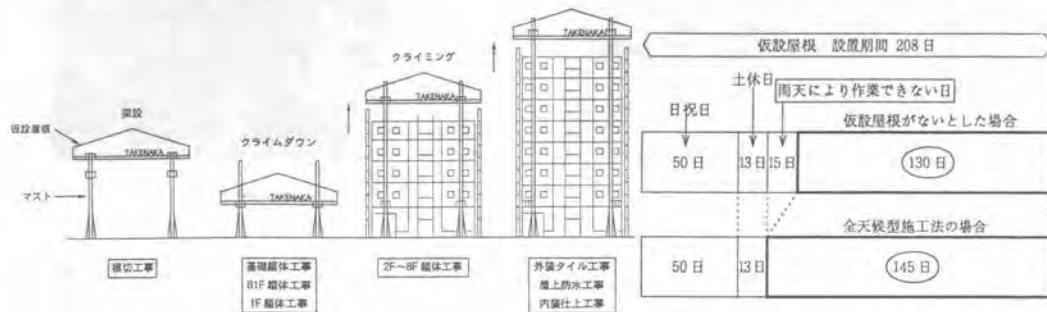


図-2 クライミング図

図-3 稼働日比較

5. 結果

5-1 稼働日

仮設屋根設置期間 208 日のうち、日祝日、休日を除いた稼働日は 145 日であった。この間雨天により作業不可能日は 15 日間で、仮設屋根がある場合の稼働日は 130 日となり、屋根仮設による稼働日の増加は 12% であった。

表-2 T ビル工事工程表



5-2 雨天時の予定作業実施率

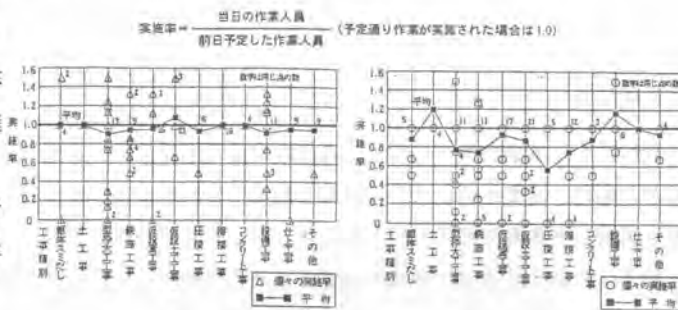
予定作業実施率は、前日予定作業人員と当日の作業人員の比で表し、雨天時(1mm以上の降雨)の実施率を各工事毎に平均値を求めた。また、比較するために、ほぼ同時期に着工し、同規模の工事で、屋根を仮設していない、Hビル工事の実施率を求めた。その結果以下の事が確認できた。

1) 仮設屋根があると実施率が、

1.0に近い。すなわち、雨の影響を受けず、計画通りの作業が安定してできることが確認できた。

2) 仮設屋根のない通常の作業所

では、型枠・鉄筋・圧接・溶接工事において、実施率が0.6~0.8と低い。雨に弱い職種として再確認できた。



Tビル(仮設屋根あり) Hビル作業所(仮設屋根なし)

図-4 工事別実施率

5-3 作業員へのアンケート結果

全天候屋根に関して、全作業員を対象にアンケート調査を実施した。調査内容は仮設屋根の効果と性能評価に関するもので、14項目の設問に回答していただいた。

全体的に、仮設屋根の効果、材質、形状についての評価は良好であった。

施工性においては、外部足場上で作業する大工、筋工、土工の評価は低かった。屋根の結果を受けられない点で、辛い評価になったと思われる。明るさでは、特別な照明をつける必要もなく、明るい作業空間であるという評価を得た。また、屋根に覆われているので、夏、直射日光を受けず、涼しく、冬、保温性が良く暖かい作業場であるといった声も多かった。

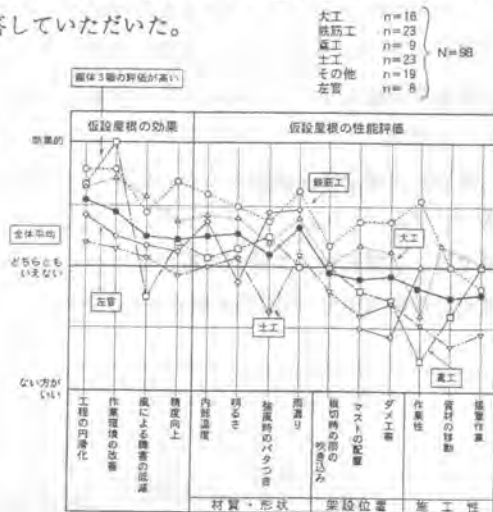


図-5 アンケート調査結果

5-4 コスト

屋根仮設によって以下のコスト低減が図れた。

- ①工期短縮(0.5ヶ月)による経費低減
- ②雨養生、照明盛替え等の仮設費の低減
- ③工程遅延による挽回作業によるコスト増なし

6. まとめ及び今後の課題

- ①汎用化した昇降装置付全天候型施工法確立、実施し、その結果を把握できた。
- ②構造種別、規模、用途が異なった建物に対応した揚重機能の充実と屋根の改善改良を行い、さらなる汎用化を進め、一般工法として確立をめざしたい。

5. 高濃度軟泥圧送船“TOTRA”

東亜建設工業(株)：石田 敏明・*泉 信也
原 英幸

1. はじめに

我国における浚渫埋立工事は、高度経済成長を背景に、大型の船舶が入港できる航路や港湾を開削するとともに、浚渫土砂により大規模な臨海工業用地を急速に造成できる方法として、大型ポンプ式浚渫船を利用して各地で盛んに行われてきたが、現在の浚渫工事は、既存の航路・港湾の水深維持や、産業活動や生活排水により汚染され水底に堆積した軟泥（汚泥、ヘドロ）の除去等に主目的を変えつつある。

この種の工事の特質として、工事現場周辺地域の都市化や宅地化にともない浚渫土砂の埋立処分地が十分に確保できないことや、工事対象となる汚泥等の土砂の性質から、浚渫埋立の過程で発生する濁りや余水が厳しく規制されることなどがあげられる。このような現状から、水底に堆積している土砂を攪乱せずにそのままの状態浚渫でき、余分な水を加えずに高濃度で管路輸送が可能な“環境に優しい”施工システムの需要が急増し、浚渫業界各社はこれに対応する技術の開発を進めている。

東亜建設工業(株)では、軟泥の高濃度浚渫技術、高濃度管路輸送技術の研究開発にいち早く着手し、水中に気中雰囲気を作り出すことにより高濃度の軟泥を濁りを発生させずに浚渫できる「気密式バケツトホイール浚渫システム＝^{アイリス}IRIS 工法」、ならびに圧送助勢装置で高濃度の軟泥を輸送管路に送り出した後、管路に圧縮空気を供給することにより圧力損失を低減させて長距離の管路輸送を可能とする「混気圧送システム＝^{トトラ}TOTRA 工法」を実用化した。

本稿では、混気圧送システムの採用によって、高濃度な軟泥の大量かつ長距離の圧送を可能とした高濃度軟泥圧送船 TOTRA の概要を紹介する。



写真-1 高濃度軟泥圧送船 TOTRA-1

2. TOTRA 工法の概要

「TOTRA」とは、「Toa High Density Sludge Transport System」の略で、「高濃度の浚渫軟泥を管路輸送する混気圧送システム」の意味が込められた名称である。

当社は平成3年に、大型の混気圧送システムを搭載した2隻の高濃度軟泥圧送船 TOTRA-1^{トトラワン}、および TOTRA-2^{トトラフツ} を建造した。両船の公称排送能力は 600m³/h、標準排送距離は 1,000m である。

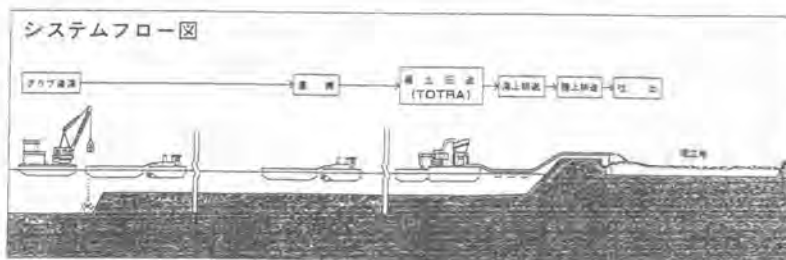


図-1 高濃度軟泥圧送船 TOTRA の標準的施工フロー

2.1 混気圧送システムの原理

高濃度軟泥圧送船 TOTRA の標準的な施工フローを 図-1 に示す。図の通り、圧送船 TOTRA による施工では、グラブ浚渫船で浚渫され、土運船で運搬された土砂を、本船上に搭載したバックホウにより揚土し、混気圧送システムにより埋立地まで管路輸送する。

混気圧送システムは 図-2 のような機器から構成され、以下に記す処理によって高濃度の軟泥を管路輸送可能な状態とする。

バックホウで投入された土砂は、メッシュ・スクリーンや2軸式粘土剪断機を組込んだホッパー装置によって細断するとともに、振動篩分機によって土砂中に含まれる障害物（石や丸太、漁網等）を除去する。振動篩分機の下部に設置したリザーバタンクでは攪拌翼によって土砂を流動化させ、圧送助勢装置（特殊型遠心式渦巻ポンプ）による土砂の吸入、送出を容易にする。

圧送助勢装置から排送管路に送り出された土砂は、圧縮空気を注入することによって管内の見掛けの比重や摩擦抵抗が極めて低減された状態で輸送されるため、低い圧力エネルギーで高濃度かつ長距離の管路輸送が可能となる。

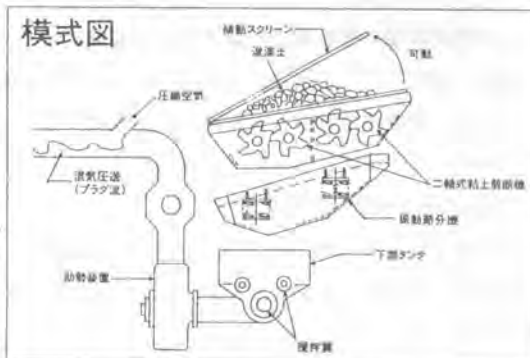


図-2 混気圧送システムの模式図

2.2 混気圧送のメカニズム

混気圧送システムにおいて、圧送助勢装置で送り出された土砂に対して圧縮空気を注入することにより実現される混気圧送では、管内にプラグ流と呼ばれる流れが発生し、波のような形状の軟泥の塊（プラグ）が、圧縮空気の膨張力によって埋立地の方向へ押し動かされる。

当社では、混気圧送による管路輸送技術の開発、実用化に当たり、プラグ流の管内流動様式の可視化実験を実施し、さらにこの実験結果に基づく理論的研究を現在も継続中であるが、これらから明らかとなったプラグ流の流動メカニズムを図-3に示す。

図の通り、圧縮空気層の膨張作用を推進力とするプラグの内部では複雑な混合渦が発生し、プラグ前面では先行の土砂滞留層の取り込みの流れが、またプラグ後方では管壁面との摩擦による土砂の脱落の流れがそれぞれ発生する。脱落した土砂は滞留層として減速してゆき、次に来るプラグに再び取り込まれる。以上のプラグ内における取込みと脱落の収支バランスにより、プラグは管内において発生と成長、消滅を繰り返しながらも、全体としては確実に埋立地まで輸送される。



図-3 混気圧送（プラグ流）のメカニズム

3. TOTRA 工法の開発経緯

当社では、昭和61年より軟泥の高濃度浚渫技術および高濃度管路輸送技術の研究開発に着手し、気密式バケットホイール浚渫・混気圧送システム（IRIS 工法）と混気圧送システム（TOTRA 工法）の開発、実用化を並行して推進してきた。

以下に TOTRA 工法と高濃度軟泥圧送船 TOTRA の開発経緯を記す。

3.1 ニューマチックポンプ式混気圧送システム

高濃度浚渫・管路輸送に関する研究開発によって最初に実用化した工法は、気密式バケットホイールによる高濃度浚渫技術と、圧縮空気駆動するニューマチックポンプによる混気圧送技術を組合わせた IRIS 工法である（図-4）。

当社では、表-1 に示す通り、この高濃度浚渫・混気圧送システムによって土量約 70万 m^3 の施工を行うとともに、ニューマチックポンプによる混気圧送システムを独立させた TOTRA 工法を実用化し、約 12万 m^3 の施工を行っている。

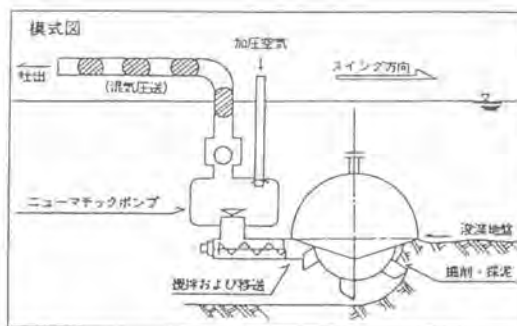


図-4 高濃度浚渫・混気圧送システム
（ニューマチックポンプ方式）

3.2 圧送助勢装置式混気圧送システム

ニューマチックポンプによる混気圧送システムに対し、排送可能な土質範囲の拡大と、障害物への対応を容易にするために、当社では新たに圧送助勢装置（高濃度の吸排泥が可能な特殊型渦巻ポンプ）と

表-1 高濃度混気圧送工法の施工実績（高濃度浚渫工法も含む）

| システム | 高濃度浚渫・混気圧送システム“IRIS” | | 高濃度混気圧送システム“TOTRA” | | 工費合計 (m^3) |
|----------------------|---------------------------------|----------------------------|---|--|--------------------------|
| | 年度 | 施工実績 (m^3) | 年度 | 施工実績 (m^3) | |
| 設備種別 | 気密式バケットホイール ニューマチックポンプ | 気密式バケットホイール 圧送助勢装置+圧縮空気 | (ダンプ浚渫船) | (ダンプ浚渫船) | |
| 圧送機種 | | | ニューマチックポンプ | 圧送助勢装置+圧縮空気 | |
| 昭和62年 | 秋田県船川地区 300,100 | | | | 300,100 |
| 昭和63年 | 熊本市新港地区 5,000 川崎市浮島地区 46,200 | | 千葉県四街道地区 9,200 宮城県志津川地区 26,800 岡山県安島地区 87,800 | | 175,000 |
| 平成1年 | 川崎市浮島地区 349,900 | | | 宮城県志津川地区(可搬式) 94,800 | 444,700 |
| 平成2年 | | | | 山口県平生地区(可搬式) 12,400 | 12,400 |
| 平成3年 | | | | 熊本市新港地区(TOTRA-1) 162,900 北海道留萌地区(TOTRA-2) 17,800 福岡市香椎地区(TOTRA-1) 293,400 | 473,900 |
| 平成4年 | | 滋賀県琵琶湖地区 6,700 | | 熊本市新港地区(TOTRA-1) 134,800 福岡市香椎地区(TOTRA-1) 563,500 東京都羽田地区(TOTRA-2) 800,400 | 1,505,400 |
| 平成5年 | | 茨城県羅ヶ浦地区 85,000 | | 福岡市香椎地区(TOTRA-1) 340,800 東京都羽田地区(TOTRA-2) 180,000 福岡市東区地区(TOTRA-1) 89,700 | 722,200 |
| 土費合計(m^3) | 701,200 | 91,700 | 133,800 | 2,710,300 | 3,627,000 |

圧縮空気の組合わせによる混気圧送システムを開発し、公称能力 100~200 m^3/h の可搬式圧送装置を実用化した。

この混気圧送システムによって、平成1~2年に2件の工事を行っている。

3.3 混気圧送システムの大型化

当社では、圧送助勢装置と圧縮空気を組合わせた混気圧送システム（TOTRA 工法）の研究開発を更に進め、平成2年に、大規模な浚渫埋立工事にも対応可能な大型圧送装置を実用化した（図-5）。

この圧送装置は1基当りの処理能力が 200~300 m^3/h であり、平成2年12月に熊本新港において性能実証実験を実施した。

さらに、この大型圧送装置を複数搭載する圧送船 TOTRA の建造に先立ち、複数の圧送助勢装置吐出管を集合させ、管径 $\phi 610 \sim \phi 760\text{mm}$ の排送管で混気圧送を可能とする複数管集合技術の実験研究にも成功し、これらについて工業所有権を取得している。

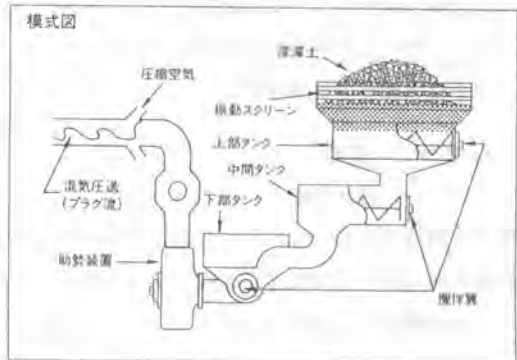


図-5 混気圧送システムの模式図
(圧送船 TOTRA-1,2 建造当初の方式)

3.4 高濃度圧送船 TOTRA の建造

平成3年、当社はそれまでの高濃度混気圧送技術に関する研究開発の成果を集大成させた2隻の大型高濃度軟泥圧送船 TOTRA-1、TOTRA-2 を建造した。

以来、両船は九州、北海道、東京の各地区で工事を重ね、平成5年7月現在までに約280万 m^3 の施工実績をあげている（表-1）。

3.5 高濃度圧送船 TOTRA の改造

図-5 に示した混気圧送システムは、上部、中間、下部の3段階に設置し、それぞれに攪拌翼を装備したリザーバタンクによって土砂の流動化を図り、圧送助勢装置による吸排泥を容易にしたものであったが、各地での施工を重ねるにしたがって、土質適応性の拡大、特に含水比 30~40% の硬質粘土塊を含む土砂の処理能力が必要となった。

このため、高濃度軟泥圧送船 TOTRA-1 では平成4年11月に、図-2 に示したような2軸式粘土剪断機や振動篩分機を新たに装備した。

また、TOTRA-2 では平成5年5月に振動篩分機を装備し、障害物対応力を向上させている。

上記改造後の TOTRA-1、TOTRA-2 両船の主要仕様を表-2 に示す。

表-2 圧送船 TOTRA-1, TOTRA-2 の主要仕様

| 船名 | 高濃度軟泥圧送船 | |
|-------|----------|--------------------------------|
| | TOTRA-1 | TOTRA-2 |
| 公称能力 | 圧送土量 | 600m ³ /h |
| | 排送距離 | 1,000m |
| 船体寸法 | 長さ | 46.0m |
| | 幅 | 25.0m |
| | 深さ | 4.5m |
| | 喫水 | 2.0m |
| 揚土機 | エンジン出力 | 550ps |
| | バケット容積 | 3.8m ³ |
| 機数 | 台数 | 2台 |
| | 形式 | 2軸式粘土剪断機 |
| 異物対応機 | 容積・能力 | (15kW+22kW)*2 |
| | 数量 | 2組 |
| 一 次 | 形式 | 振動篩分機 |
| | 容積・能力 | 2.4m ³ ×3.0m, 30kW |
| 二 次 | 数量 | 2台 |
| | 形式 | リザーバタンク(攪拌翼) |
| 攪拌機 | 容積・能力 | 16m ³ , 22kW*3 |
| | 数量 | 3基 |
| 一 次 | 形式 | 圧送助勢装置 |
| | 容積・能力 | 370kW |
| 二 次 | 形式 | 空気圧縮機 |
| | 容積・能力 | 195ps, 16.5m ³ /min |
| 排送管 | 径 | φ610~780mm |
| | 数量 | 1台, 2台 |
| 主 機 | 容積・馬力 | 1,000kVA, 500kVA |
| | 数量 | 1台, 2台 |
| 補 機 | 容積・馬力 | 30kVA, 150kVA |
| | 数量 | 各1台 |
| 竣工年月 | | 平成3年6月 |
| | | 平成3年7月 |

4. 高濃度圧送船 TOTRA-1 の圧送設備

図-6 に、平成4年11月に改造を実施した高濃度軟泥圧送船 TOTRA-1 の圧送設備を示す。写真-2 は、TOTRA-1 のバックホウによる揚土状況である。

以下に各機器の概要を記す。

4.1 ホッパー装置

ホッパー装置は傾動スクリーンと2軸式粘土剪断機から構成される。このうち2軸式粘土剪断機は、低含水比 (30~40%程度) の硬質粘土を細断するために自社開発した装置である。

この粘土剪断機は、対向する複数の刃が内方向に回転して、高能率で粘土、材木等を細断し、次工程の振動篩分機へ落とし込む。また、石、鉄材等が刃に噛み込まれ駆動モーターの電流値が過負荷となった場合、モーターが瞬時に逆方向に回転し、異物を自動的に排除する。

対向する刃の回転数は、50%近い差を設け、粘土を効率的に剪断するように設計している。

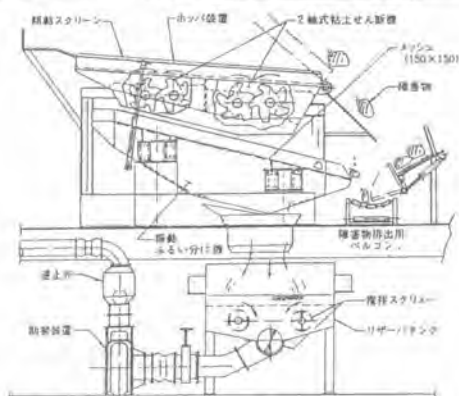


図-6 高濃度圧送船 TOTRA-1 の圧送設備



写真-2 バックホウによる揚土状況

4.2 振動篩分機

TOTRA-1 に装備した振動篩分機は、鉱山の碎石等を篩い分ける大型の装置であり、浚渫土砂に含まれ圧送設備の障害となる異物（圧送助勢装置の通過粒径以上の石等）の篩い分けが可能である。篩い分けられた異物は、振動篩分機の前面に設置した障害物排出用ベルトコンベヤにより速やかに除去される。

4.3 リザーバタンク

リザーバタンクでは、振動篩分機を通過した浚渫土砂を一時的に溜めるとともに、タンク内に装備した3軸の攪拌翼によって土砂を攪拌、流動化させる。

硬質粘土は特に、十分な流動化を施すことが圧送能率の向上に不可欠である。

4.4 圧送助勢装置

圧送助勢装置は、高濃度軟泥専用設計した大型の遠心式渦巻ポンプであり、各部の材質、構造に工夫を加えている。高濃度軟泥で特に問題となる軸受グランド部には細心の注意を払った構造としている。

5. 高濃度圧送船 TOTRA の施工能力

5.1 対象土砂

高濃度軟泥圧送船 TOTRA は、次の土質条件の軟泥を標準土質として設計、建造している。

- ・含水比： 70%以上
- ・粒度分布： 粘土分（ $5\mu\text{m}$ 以下） 30%
シルト分（ $5\sim 75\mu\text{m}$ ） 50%
細砂分（ $75\sim 420\mu\text{m}$ ） 20%

なお、現在までの施工実績等から、作業能力の確保できる土質は 図-7 の三角座標に示す通りである。

5.2 作業能力

高濃度軟泥圧送船 TOTRA の作業能力（ q_0 ）は、通常、図-8 の標準性能特性表によって推定される。

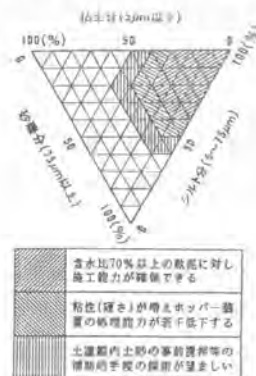


図-7 高濃度圧送船 TOTRA の土質適応性

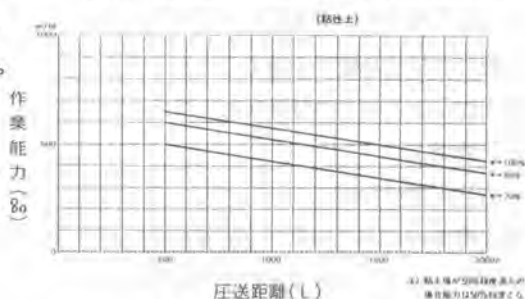


図-8 高濃度圧送船 TOTRA の標準性能特性

6. むすび

高濃度の浚渫土砂を大量かつ長距離排送可能な TOTRA 工法は、現在までに数々の技術的な開発、改良を重ねてきたが、今後解決すべき課題も残されている。例えば、砂や礫を多く含む土砂への対応、あるいは 2,000m 以上の長距離輸送、含水比 50% 以下の超高濃度輸送等である。

2隻の高濃度軟泥圧送船 TOTRA-1、TOTRA-2 を中心とする当社の TOTRA 工法が、全国各地の港湾、湖沼等の水辺の環境改善に寄与できることを祈ってやまない。

6. 三菱重工横浜ビル1期棟新築工事 におけるT-UP工法の適用

大成建設(株)：古田 新・*多和田哲雄

1. はじめに

建設業界ではこれまで他産業に比べ合理化がなかなか進まず、その生産性や安全性の向上が課題とされてきた。その上いわゆる3K（きつい、汚い、危険）という言葉で代表される作業環境のために若年労働者の入職が減り技能労働者の高齢化をまねいている。T-UP工法はビル建設現場をビル生産工場に見立て建築生産のハード、ソフト技術を機械化に向け変革し、生産性の向上や作業環境の改善を図り3Kイメージを打破するものである。

T-UP工法は1988年より基本コンセプトの研究がはじめられ、1992年4月に着工された三菱重工横浜ビル1期棟新築工事に初めて適用された。最上階部の上昇は1992年12月から実施され、1993年7月に建物の最上部の所定の位置へセットされることにより完了した。



写真-1 T-UP工法の施工状況

2. T-UP工法の特徴

T-UP工法は、建築工法、設計、材料に関する最新技術にメカトロニクス技術を加え、地上でビルの最上階を先に構築し、これをクライムアップさせながら全体を完成させるという、ダイナミックな総合機械化高層ビル施工システムである。この工法は工期短縮、品質及び作業環境の向上、そして省力化など、多くの特徴をもっている。写真-1にT-UP工法の施工状況を示す。

1) 特徴

A) 工期の短縮

最上階部の上下で作業が可能となつて、限られた施工空間を最大限に利用することができる。特にプレプロダクト化された大型部材を利用することにより、揚重作業の効率は飛躍的に向上する。またクレーン等の作業空間も最上階部の上下に区切られているので、建方作業時のクレーン同志の干渉も少なく機械の稼働率が上がる。

B) 作業環境の向上

最上階部により雨天による工事への影響を少なくすることができる。さらに機械化及びプレプロダクト化により建設廃材も減少し、クリーンな環境が得られる。

C) 省力化

機械化により従来の苦渋作業が軽減され、これにより延作業時間も短くなり省力化が可能となる。ま

た工区分けが容易なため作業の平準化ができ、一定の作業員で工事が進められる。

D) 品質の向上

外部工場やサイト工場で高度な品質管理体制の元で製造された大型部品を各階で機械により取り付けする。従って全体として高品位で安定した品質を確保できる。

E) 安全性の確保

建物を1階ずつ組み立てていく積層工法が用いられており、従来の工法に比べ高所作業等が減少し安全性も向上する。また最上階部は工期中の地震や風などの外力に対し十分な耐力を持っている。

2) キーテクノロジー

TUP工法は、最上階の本体鉄骨（ハット梁）を”ボディ”とし、その上下面に設置された天井走行クレーンや走行式ジブクレーンを”アーム”として、上昇のためのコアを自らが組み立てるといった特徴を持った超大型ロボットともいえる。写真-2に最上階部の構成を示す。地上で先行構築された建物のハット梁を上昇させていく技術と、天井走行クレーンは大成建設（株）と三菱重工業（株）との共同開発である。本工法は以下に述べる6つのキーテクノロジーにより構成されている。

A) 支持部先行構築と最上階部のクライムアップ

建物の一部を先行構築しこれを支持体として、地上で組み立てられた最上階部を油圧ジャッキを用いて上昇させる。この上昇作業を躯体のサイクル工程に合わせて繰り返す事により工事をリズムカルに進行させる事ができる。

B) 搬送の機械化

最上階部下の空間では役割分担毎に天井走行クレーンが配置され、これらにより柱、梁、床、外壁などの部材が揚重される。また最上階部により雨天等の影響を少なくすることができる。

C) 各階のロボット作業

下層階においては各種ロボットにより仕上工事、設備工事などが効率よく実施される。

D) 地下・地上工事の同時進行

逆打工法、リバース積層工法などにより地下と地上の工事を同時進行させ工期の大幅な短縮を図ることができる。

E) 地下部分の機械化施工

計測管理技術とリンクした各種の建設機械群の利用により施工のスピードアップを図る事ができる。

F) 資材の部品化とプレプロダクト化

資材の製作を外部工場へと上流移管し品質管理を徹底する。現場では材料ではなく部品を持ち込むものとしアセンブルをサイト工場で行なう。



写真-2 最上階部の構成

3. T-UP工法の適用

大成建設及び他14社の共同企業体は「三菱重工横浜ビル1期棟新築工事」を1992年4月に着工した。これは地下2階、地上33階、高さ151メートル、延床面積約11万㎡の事務所ビルであり、竣工は1994年3月である。工事概要を表-1に、工程表を表-2に示す。また、図-1、図-2はそれぞれ断面図、基準階平面図である。

1) T-UP工法の流れ

続いて本工事におけるT-UP工法の流れを以下に述べる。

- ①はじめにコア部の鉄骨を7階まで先行構築する。
- ②コア周辺部8ヶ所に油圧ジャッキ（能力300トン）を内蔵した上昇装置、ガイド柱を設置する。
- ③地上で最上階部の鉄骨（以下ハット梁と称す）の地組が行なわれる。そして走行式ジブクレーン及び全天候ルーフがハット梁にセットされる（写真-3参照）。さらにハット梁を少し上昇させ、その下に天井走行クレーンをセットする。
- ④ここで全システムの試運転を行なう。ハット梁は以後生産プラットフォームとして機能し、地上躯体工事サイクル工程を開始する事ができるようになる。
- ⑤ハット梁の上の2基の走行式ジブクレーンでコア部分の鉄骨建方を、下部の2基の天井走行クレーンで鉄骨建方、外壁PC板、ユニットフロアなどの取付けを1階分3日のサイクルでリズムカルに行なう（写真-4参照）。
- ⑥ハット梁が建物頂部に達すると全天候ルーフ及び揚重用のブラケット鉄骨は解体され、また天井走行クレーンも33階スラブ上で解体される。
- ⑦そしてハット梁を頂部躯体にセットし、周辺部の最終躯体工事を行なう（写真-5参照）。
- ⑧塔屋廻りの工事を完了させ、走行式ジブクレーンを解体することにより躯体工事は完了する。

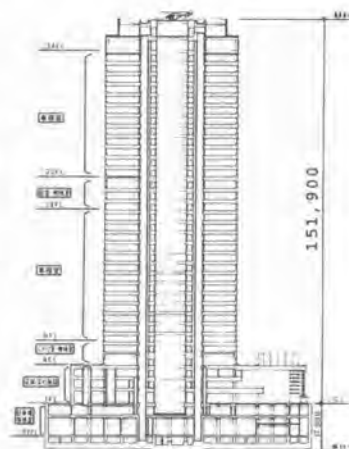


図-1 断面図

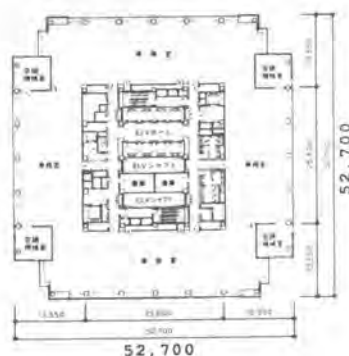


図-2 基準階平面図

表-2 工程表

表-1 工事概要

| | |
|------|----------------------------------|
| 施主 | 三菱重工株式会社 |
| 設計 | 三菱重工株式会社 三菱地所株式会社 大成建設株式会社 |
| 施工 | 大成建設他14社JV |
| 工期 | 1992年4月～1994年3月 |
| 敷地面積 | 20,176㎡ |
| 建築面積 | 6,178㎡ |
| 延床面積 | 110,918㎡ |
| 階数 | 地下2階、地上33階（法定34階） |
| 構造 | 地下SRC造、地上S造 |
| 敷高高さ | 151m |
| 用途 | 事務所、文化施設、店舗 |

| 年月 | 平成4年 | | | | | | | | | | | | 平成5年 | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 |
| 項目 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 | 基礎 |
| 重要項目 | 工 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 地上部 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 地下部 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



写真-3 最上階部の地組状況



写真-4 基準階建方作業



写真-5 最上階部のセット

2) T-UP工法を構成する要素技術

A) ジャッキアップシステム

ジャッキアップシステム（図-3参照）の目的は重量約2000トンのハット梁を水平を保ちつつ上昇させることである。上昇はコア鉄骨に支持されたガイド柱（写真-6参照）に油圧ジャッキを組み込み、ガイド柱に設けた側穴にジャッキ上下に取り付けたピンを出し入れさせ、いわば尺取り虫の様な動きで行なわれる。ハット梁の1階分の上昇はジャッキの伸縮を約5回繰り返して行なわれる。8本のガイド柱はコア部周囲にバランス良く配置され、そのジャッキストロークは中央操作室のコンピュータにより制御される。



写真-6 ガイド柱の構成

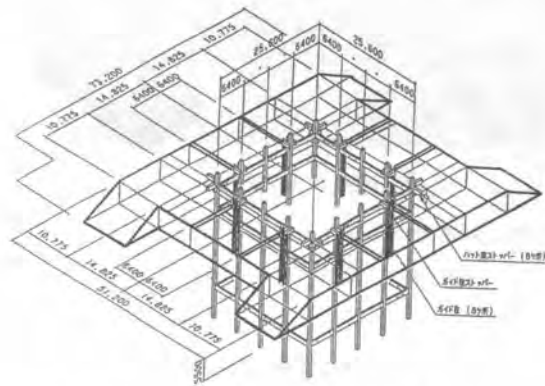


図-3 ジャッキアップシステムの配置

B) クレーン装置

天井走行クレーン（写真-7参照）はハット梁下を自由に移動し、外周部の鉄骨、床、外壁、設備資材等の揚重・組立てを行う。ハット梁下には吊能力10トンの天井走行クレーン2台と大ガーダー、横行ガーダーがそれぞれ2基ずつ設置されている（図-4参照）。また走行式ジブクレーンはハット梁上を移動し、主にコア部鉄骨の揚重・組立てを行う。ジブクレーンの吊り能力は150 t m、すなわち作業半径15mで10トンである。いずれのクレーンもオペレータからの作業の視認性がよく、安全確認が容易である。また建方場所での部材の取り付け時のワイヤー長さが比較的短い事から吊り荷の安定性が得られる。さらに天井走行クレーンでは吊り荷の動きが平面2方向及び鉛直という3方向に単純化されるためオペレータの負担も軽減でき、安全性の向上に寄与している。



写真-7 天井走行クレーンによる建方作業

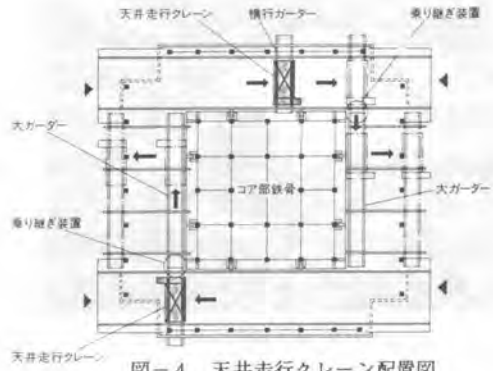


図-4 天井走行クレーン配置図

C) 生産進捗管理システム

T-U P工法においては高層躯体の基準サイクルが3日に1フロアであるため、各種作業の進捗状況を出来るだけ詳細に把握し、各工程の遅れが無いように管理する必要がある。例えば鉄骨の工場製作完了や建方、溶接作業の完了等はきめ細かな工程管理が必要である。生産進捗管理システム（図-5参照）ではスピーディに進む工事の進捗状況を速やかに管理する事が出来る。ハット梁上部と下部に2台ずつ設けられたハンディターミナルにより出来高情報をインプットすると、管理事務所内のモニターにはその出来高が3次元CADにて表示される（写真-8参照）。本工事では施工図のCAD化が実施されており、生産進捗管理システムにおける三次元データもこれを利用したものである。

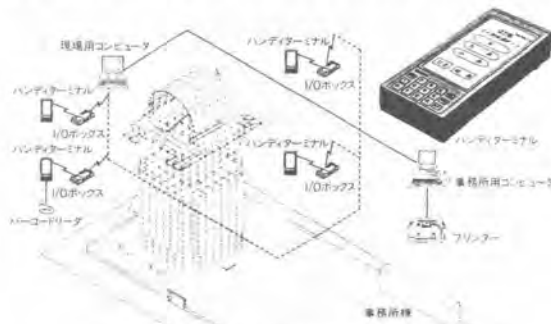


図-5 生産進捗管理システム概念図

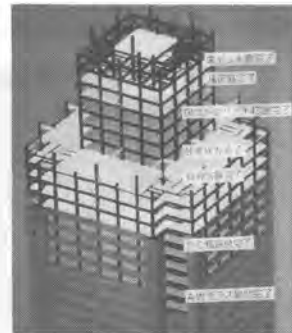


写真-8 出来高表示

D) ハット梁挙動計測システム

ハット梁挙動計測システムでは施工中における環境条件やハット梁の変位、応力状態等の自動計測を行っている。気温や風速等の環境条件（写真-9参照）をモニターすることにより建方作業等の安全管理、溶接作業時の品質管理が容易になる。また各階におけるハット梁の応力状態や鉛直方向変位等はほぼ一定であり、ハット梁が常に安定した状態でクライミング、固定されていることが確認されている。

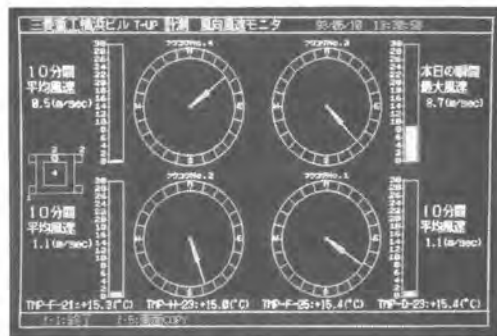


写真-9 風向風速モニター

3) 基準階工程サイクル

T-U P工法の大きな特徴は工期の短縮であるが、本工事では1フロアあたり3日で基準階サイクル工程が組まれている。したがってハット梁のクライミングは3日に1回の割合で実施されている。基準階工程サイクルを表-3に示す。

第1日目にはコア部分では走行式ジブクレーンを使っての鉄骨建方が行なわれる。鉄骨は建物外部から揚重され、クレーンの旋回により建物の内部、即ち全天候ルーフの下へ運搬される。ジブクレーン1基あたりの1日の揚重数量は約52ピースである。一方ハット梁下では外壁PC板の取付け作業が行なわれる。天井走行クレーンはハット梁先端の揚重ブラケット部でPC板を吊上げ、ハット梁内の所定の位置へ運搬する。また、走行レールの直交方向へは天井走行クレーンの乗り移りを行う。乗り移り完了後、天井走行クレーンはPC板を所定の位置へ運搬する。天井走行クレーン1基あたりの1日の揚重数量は約22ピースである。サイクル工程では第1日目にこれら2つの作業が同時に行なわれる。

第2日目にはコア部分では鉄骨の本締め・溶接作業が行なわれ、またハット梁下の建物外周部では鉄骨建方が行なわれる。さらに部分的に大組みされたユニットフロアなどの取り付けが開始される。天井走行クレーン1基あたりの1日の揚重数量は約44ピースである。

第3日目はコア部分では引き続き鉄骨の溶接作業が行なわれ、ハット梁下ではコーナー部分の鉄骨部材などが取り付けられる(1基あたり約26ピース)。コア部分の溶接作業が完了すると、上昇装置であるガイド柱が1階分上昇する。そして次にこのガイド柱に沿ってハット梁のクライムアップが行なわれる。写真-10にこの上昇作業が行われる中央操作室を示す。

4. おわりに

今回の三菱重工横浜ビル1期棟新築工事では従来の工法では30カ月が必要と考えられた全体工期をT-U P工法の適用により24カ月と約20%の大幅な工期短縮を見込んでいる。また現在既に完了した高層部躯体工事はハット梁上部の全天候ルーフにより悪天候の影響をあまりうけずに作業が出来、予定どりの工事進行が可能であった。

今後はさらに躯体建方システムの高度化、全工事における機械化の推進、プレプロダクト化や情報化の推進を行い本工法の高度化をはかる予定である。

表-3 基準階工程サイクル

| 建方部位 | 1日目 | 2日目 | 3日目 |
|-----------------|------------------------------|-------------------------|------------------|
| コア部建方 | 鉄骨建方 (101ピース) 建入直し・本締め | 床・設備資材搬重 | |
| 150TM ジブクレーン | | 溶接 | ガイド柱上昇 ハット梁上昇 |
| 外周部建方 | 外壁PC板建方 (44ピース) | 鉄骨・ユニットフロア建方 (88ピース) | (52ピース) |
| 天井走行 クレーン | 溶接 | 建入直し・本締め | 溶接 |



写真-10 中央操作室

7. 建設機械の作業時視界の評価方法

建設機械化研究所：稲葉友喜人

1. はじめに

建設機械の作業時視界は、建設機械を的確かつ安全に操縦する上で重要な要素であるにもかかわらず、その評価方法は未だ確立していない。建設機械の現状の視界測定方法や視界評価方法は、JISでは各機種の試験方法の中の一項目として測定方法を規定しているのみである。また、ISOでは測定方法、評価方法、基準について極最近規格化したところであるが、この規格は作業時の視界を評価しようとするものではない。

本文は、建設機械の作業時視界の評価方法として、運転者を中心とする仮想球面上に投影される機械による死角を上下・周囲方向に区域分けし、各区域内の死角球面積を対応する各区域の作業時の視界重要度で重み付けて評価する方法を提案するものである。

2. 作業時視界評価方法の概要

仮想球面上への機械による死角の投影（図1参照）は、球の中心から写真撮影（魚眼レンズを使用）することで行われる。写真からは死角を形成する線分の球座標（半径を1とする球）が得られ、各々の区域内の死角球面積は球面上の死角を球面三角形と球面扇形の集合として算出する。（図2参照）

$$S = \sum S_{T_i} + \sum S_{S_i} - (1 - \cos \theta) \cdot \phi_p$$

ただし、 S ：区域内死角球面積

$\sum S_{T_i}$ ：区域内球面三角形面積の合計

$\sum S_{S_i}$ ：区域内球面扇形面積の合計

θ_i ：区域の下限角度（15° 間隔で分割）

ϕ_p ：区域の幅角度（30° 間隔で分割）

各区域の重み係数は、運転者が作業を行う際の視方向別の相対的な視界重要度に基づき設定したものであり、評価値 V は小さい程視界が良いことを示す指標となる。

$$V = S \cdot W \quad W：重み係数$$

（全周視界は、全ての区域の評価値を合計した数値で評価する。）

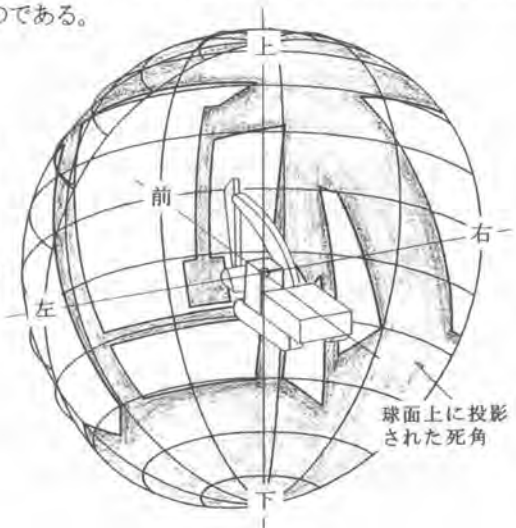


図1 球面上の視界（前半球の例）

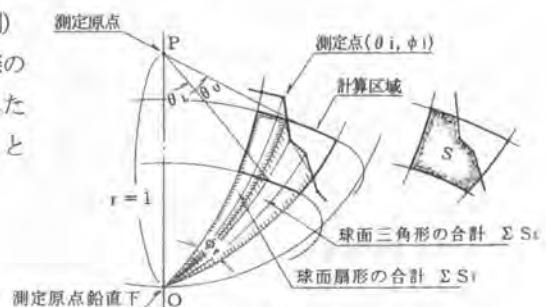


図2 区域内の死角

3. 各区域の視界重要度を求める実験

3.1 実験方法

視方向別の視界重要度を求める実験は、油圧ショベル (3l)、ブルドーザ (3.7l)、ホイールローダ (3.9l) の3機種で行った。図3で示すように運転者の周囲に視界を妨げる複数の板 (本文では、視界を妨げる物あるいは妨げることをマスキングと名づける) を取付け、モデルコースを走行・作業し、マスキング位置毎にマスキングの大きさと運転者が障害と報告する回数との関係を探る。なお、一つのマスキングが分担する範囲 (横型: 15° 、縦型: 30°) を全閉するマスキング幅をマスキング率1と定義し、上下・周囲方向の視界重要度は図4で示すようにマスキング率に対する障害報告回数の関係として、切片を0とする一次回帰式の傾きを障害感度と定義した。

この実験の特徴は、図3で示す実験フローにあり、各位置のマスキングは実験の繰返し数と運転者が障害と報告した回数によりマスキング毎に幅を変えて、全てのマスキングが一律な障害感度となる幅に収束させようとするところにある。

それぞれのマスキング位置の障害感度は、マスキング幅を収束させる実験手法を用いたことにより、人間が感じる視覚障害感として大差がないところで比較した数値になる。

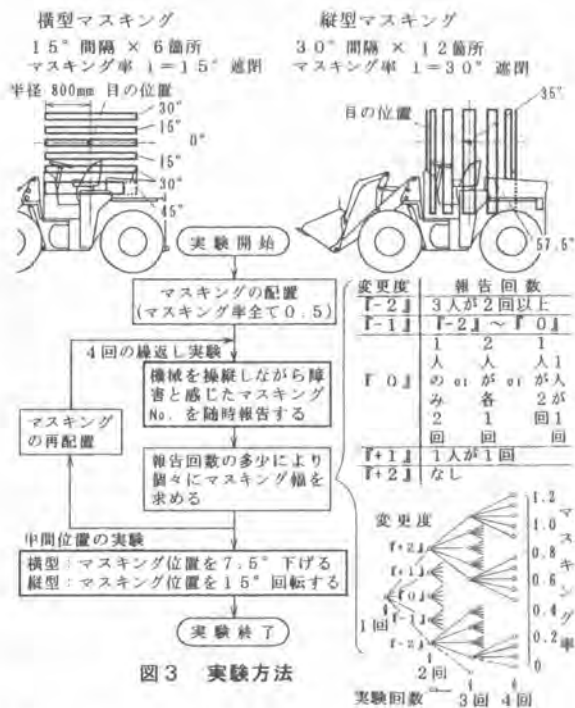


図3 実験方法

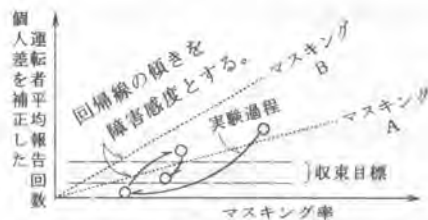


図4 視界重要度としての障害感度

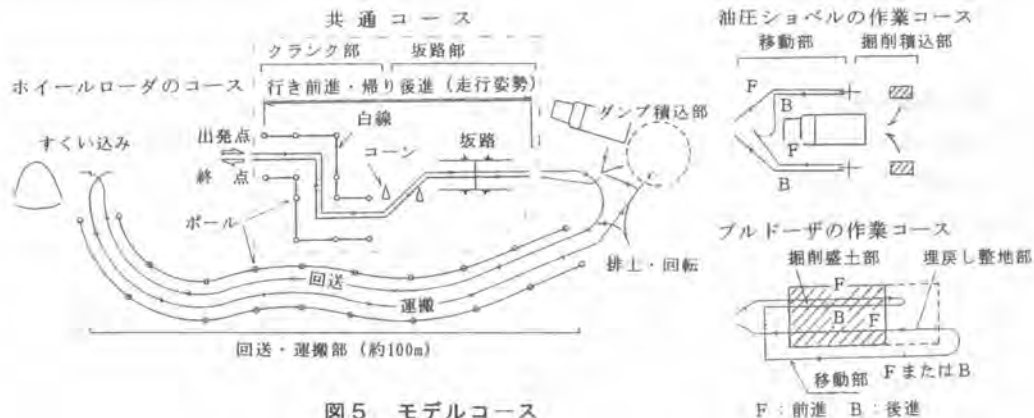


図5 モデルコース

なお、アイカメラを用いて注視挙動測定（油圧ショベル）を行い、マスキングの有無による視挙動の変化がないことを確認するとともに、実験中の運転者の頭部挙動を調べるために頭上前方からビデオ撮影（ホイールローダ）を行った。

3.2 実験結果

実験結果から、次のことがわかった。

《上下方向の視界》

- ① 作業装置が低位置にあるブルドーザについては水平までの評価で良いが、積込作業を行う油圧ショベルとホイールローダは上向き20°までの視界を評価する必要がある。また、この2機種種の水平以上の障害感度は等しい。
- ② 回送・運搬を行うホイールローダは、他の2機種種と異なり下向き7.5°付近に視界を重要とする位置がある。
- ③ 上記①②の特性を除くと3機種とも同様の傾向があり、下向き15°～30°を重要とし下向き50°までの視界評価を必要としている。

《周囲方向の視界》

- ① 前方作業装置付近は、各機種の特徴が現われている。ただし、右あるいは左0°～30°の範囲で平均すると機種による差はない。
- ② 上記の作業装置付近の特性を除くと機種間の差は認められない。
- ③ 坂路部のコース線形を考慮（後進時は右から後を見た方がコースが良く見える線形）すると視界の障害感度特性は基本的に左右対象と考えられる。

《障害と報告し始めるマスキング幅》

上下幅：18mm（下向き15°，30°）…………… 頭部の上下動によるものと考えられる。

左右幅：64mm（前方右30°～左30°）…………… 両目の間隔65mmに等しい。

4. 重み係数の設定

図6の障害感度は、作業内容による特性、コース線形による特性、実験の再現性を考慮して平均化を行い、各区域の重み係数は次式により算出した。

ある区域の重み係数をWとしたとき、

$$W = \frac{1}{16} (H\phi_1 + 2H\phi_2 + H\phi_3) \times (V\theta_1 + 2V\theta_2 + V\theta_3)$$

ただし、後方については注視挙動と頭部挙動の測定結果等から判断して上下方向の障害感度は3機種ともブルドーザの特性を用いた。

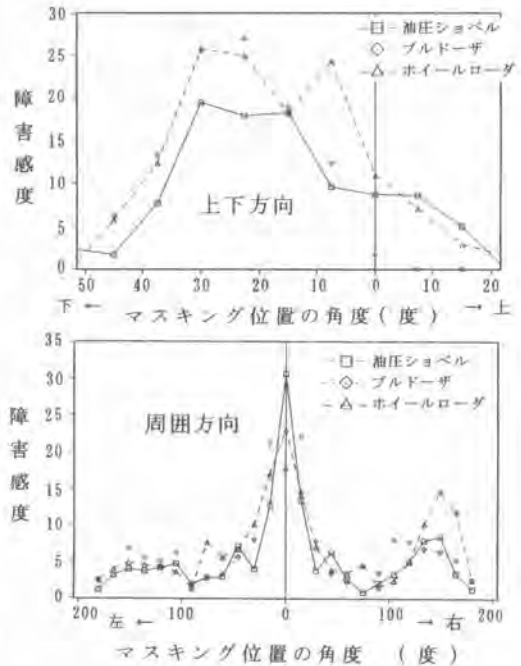
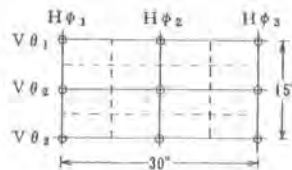


図6 各マスキング位置の障害感度



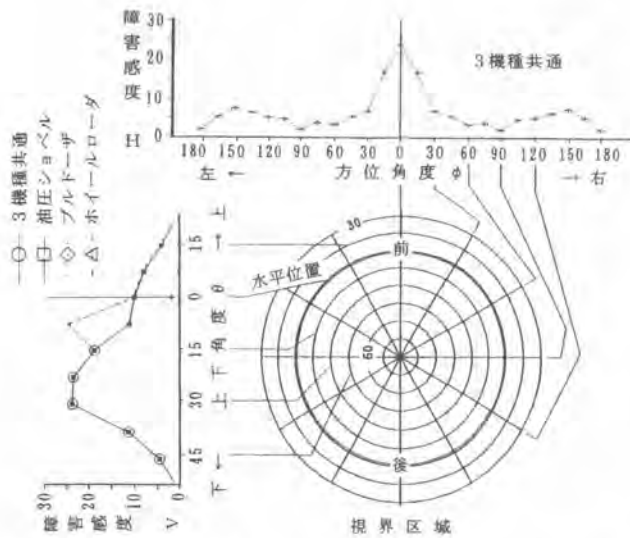


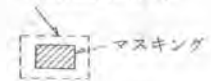
図7 重み係数の設定 (第1段階)

算出した重み係数は、翌年視界重要度を求める実験を再度行い算出方法の妥当性を確認した。

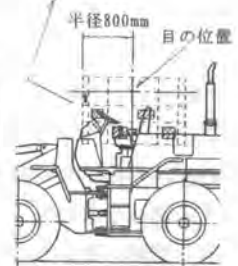
実験機種はホイールローダ (6.5t) とし、特定の区域 (図8で示す区域を代表とした) の視界重要度を直接求めるためにマスキングをブロック形状に変更して行った。

最終的な重み係数は、評価値が扱い易い数値になることを考慮して全体的に数値を小さくし、重み係数そのものを扱い易くするためと詳細な数値で表すほどの精度を有していないことなどを考慮して評価精度が悪化しない範囲 (±5%以内) で簡略化した。ホイールローダについては図8のNo.2 (回送・運搬で重要とする区域) とその左右対象となる区域を確認実験結果で補正した。

1つのマスキングが
分担する範囲
(確認区域に相当)



詳細



水平位置



マスキングNo.

マスキングの配置

図8 確認実験時のマスキング

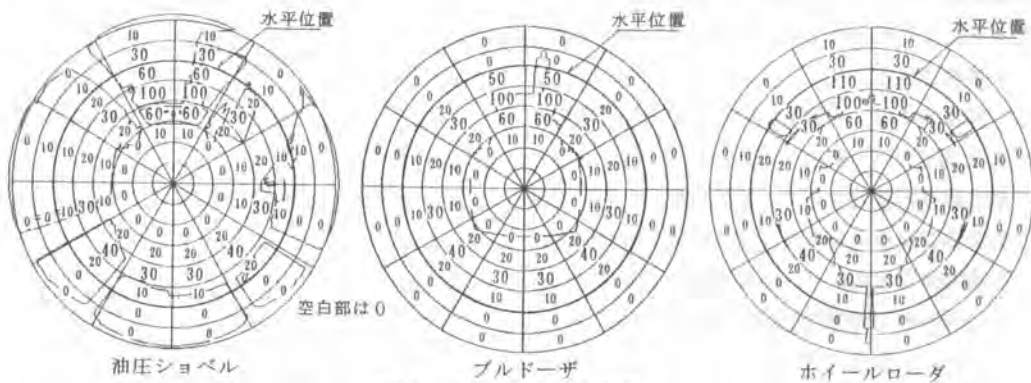


図9 3機種の重み係数

5. 写真撮影による視界測定の方法と精度

光源を用いた視界測定と魚眼レンズを装着したカメラによる視界測定を行い、写真撮影による視界測定が視界を評価するための測定方法として適切か否かを検討した。測定精度の検証は、頭部の上下動と両目の間隔を考慮した光源を用いた測定方法（図10左を参照）を基準にして行った。なお、測定原点（目の位置）は、頭部挙動測定結果により前出のISO規格で定める原点が適切なものであることを確認したので、その規格で定める位置とした。

測定原点は、ISO 5006-1による。

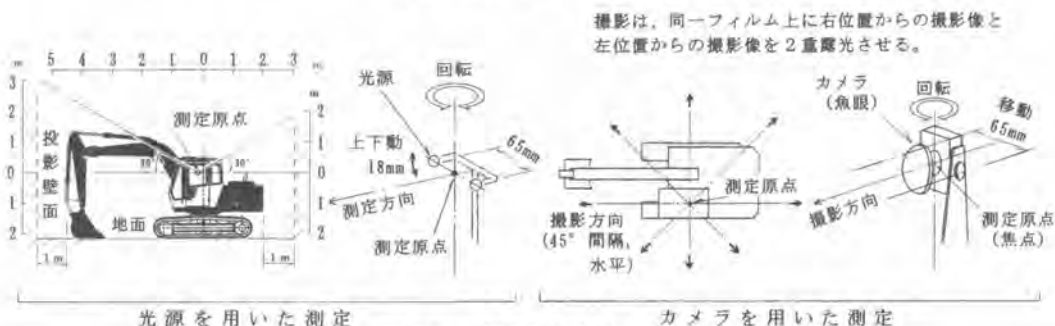


図10 視界測定方法

光源を用いた測定方法では、壁面あるいは地面に投影された死角（全影部分）の直角座標を測定し、それぞれの測定点の直角座標から球座標（半径を1とする球）を求めた。

写真撮影による方法では、1枚の写真をA4版程度に引き伸ばし、デジタイザで死角の球座標を読み取り、撮影方向によって座標軸の異なる8方向の写真データを共通の座標軸とする球座標にした。（図11参照）

2機種を対象に行った、光源を用いた測定結果と写真撮影による測定結果を表1に示す。それぞれの測定方法による死角球面積と視界評価結果から次のことが推察される。

- ① 基本的には、光源を用いた測定と写真撮影による測定の差（表1 C, Dの差）は小さい。測定誤差の要因として、光源を用いた測定では光源のフィラメント長に関する誤差、投影壁面の設置精度などがあり、写真撮影による場合は写真の読み取り誤差などがあげられる。
- ② 目の上下動を考慮しなくても、測定される死角の増加（表1 B/A）は小さい。

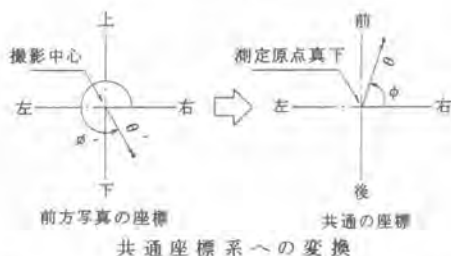
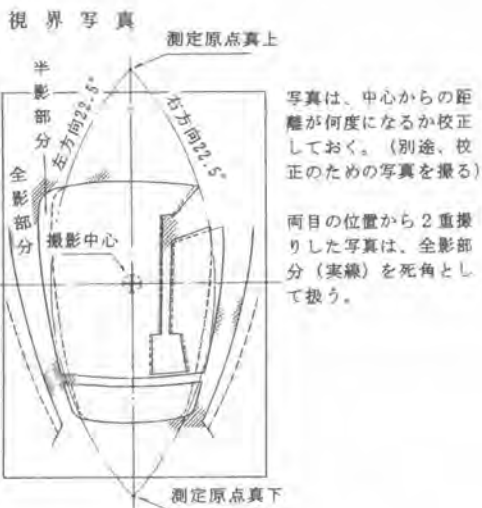


図11 撮影写真の処理方法（前方の例）

- ③ 写真撮影を全周8分割撮影とした場合、読み取る写真の端部（22.5°）で両目の効果が60mm相当となるが、死角が大きくなる（表1 E/B）する可能性は少ない。Bの方が大きいのは死角の投影壁面位置が近いことなどの影響が考えられる。

以上の結果は、写真撮影による視界測定で十分に視界評価できることを示している。

表1 測定方法による視界評価値の差違

| 測定方法 | | | 測定対象 | | 油圧ショベル (10t キャブ付) | | ホイールローダ (6.5t キャブ付) | |
|-------------|----------|-------|------|------|----------------------|------|------------------------|--|
| | | | 面積 | 評価値 | 面積 | 評価値 | | |
| 光 測 定 | 双 眼 | 上下動有り | A | 4.86 | 6.4 | 2.68 | 3.7 | |
| | | 中央固定 | B | 4.93 | 6.6 | 2.71 | 3.8 | |
| | 単眼(測定原点) | C | 5.59 | 7.7 | 2.88 | 4.2 | | |
| 撮 影 | 通常(測定原点) | | D | 5.64 | 7.8 | 2.90 | 4.2 | |
| | 2重撮り | | E | 4.86 | 6.5 | 2.67 | 3.7 | |

面積は、上向き30°までの値を示す。

測定姿勢：バケット底面接地

6. おわりに

本研究で提案した作業時の視界を評価する重み係数は、次の意味を持っている。

- ① 個々の重み係数は、各機種別に代表的な作業として設定したモデルコースを走行・作業した時の視界の重要度を相対的に示す数である。
- ② 求めた視界重要度は、概略的には視方向別に同様の障害と感ずる死角の大きさ（球面積）を相対値で示したものである。
- ③ 機種の相違による上下方向の視界重要度の差違は、主に作業内容に起因したものである。周囲方向の視界重要度は、周囲方向を30°間隔で平均しているため機種間の差がない。したがって、3機種の重み係数の違いは機械形状の違いによるものではなく、作業内容が異なるためであり、適用できる機械の大きさは作業内容を同様とする範囲まで可能と考えられる。
- ④ 重み係数は、運転者の機械操縦時の感覚に基づいている。したがって、運転者の視行動を推察すれば、作業能率に関する視界、安全に作業を行うための視界として評価されるものと考えられる。しかし、一方では、運転者の視行動を伴わない安全性については評価されない面もある。

写真撮影による視界測定は、光源を用いた方法より簡単で、かつ同等の精度が得られる視界測定方法であり、全周の視界測定に最適な方法であると言える。

謝辞： 本研究は、日本小型自動車振興会から機械工業振興資金の補助を受けて、平成元年度～3年度にわたり実施したものであり、研究に際しては“建設機械の視界測定および評価方法に関する委員会”を設置し、その指導を仰いだ。ここに渡辺岑生委員長、長谷川保裕初代委員長ならびに委員諸氏のご指導ご協力に深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) JIS A 8402 ショベル系掘削機性能試験方法 他
- 2) ISO 5006-1 Earth-moving machinery—Operator's field of view—Part 1: Test method
- 3) ISO 5006-2 Earth-moving machinery—Operator's field of view—Part 2: Evaluation method
- 4) ISO 5006-3 Earth-moving machinery—Operator's field of view—Part 3: Criteria
- 5) 建設機械の操作性に関する調査試験報告書（第2報） 建設省 四国技術事務所 1977-5

8. ダム用グリーンカット装置の開発

清水建設(株)：*高橋 周男・岸野 富夫
小田原卓郎

1. はじめに

コンクリートダムの建設は、超硬練のコンクリートを何層にも分けて打設し、打ち継いでいく工法が主流となっている。このような工法では、グリーンカットと称される水平打継面処理作業を行う必要がある。従来、グリーンカットは、ワイヤブラシ付きポリシャーや高圧水を噴射するジェットガンを使用した。人力を主体とした作業であり、労働環境の点から次のような問題点が指摘されてきた。

- ・高圧水を使用する場合、砂や泥水の飛散が大きく、苦渋作業である。
- ・コンクリートの硬化状況に応じて作業を開始するため、夜間作業になる場合がある。
- ・RCD工法のような施工面積が広い場合、施工能力が十分でない。
- ・熟練を要する。

また、労働者不足、熟練労働者の高齢化の問題も顕在化しており、この作業の自動化、機械化が求められている。グリーンカット作業を機械化するに当たっての問題点を次に示す。

- ・対象とするコンクリートは、RCD用と有スランプコンクリート用に大別され、コンクリート硬度、レイトンス量等が異なるなど作業条件は多様である。
- ・ダム堤頂部の施工面積は狭く、大型機械での施工は困難である。
- ・大型ダムでは、大きな処理能力が要求される。

これらの問題を踏まえて、作業環境の改善と省力化をねらいとして、水ジェットとワイヤブラシを使用する、2種類の遠隔操作処理装置を開発した。

2. 装置の概要

2.1 水ジェットタイプ

水ジェットタイプは、最大200kg/cm²、100ℓ/minの高圧水を8個のノズルから回転させながら噴射すると同時に、左右にスライドさせながら前進、または、後進することにより、ムラなくグリーンカット作業が行える。本装置は、カッティングヘッド部、スライド部、走行部、制御部から構成される(図1)。高圧水は、本装置と高圧水ポンプをホースで接続して供給される。

1) カッティングヘッド部

8個のノズルを油圧モータで回転させている。高圧水は、ロータリジョイントを介してノズルに供給される。油圧シリンダで、回転するノズル部を昇降させ、ノズルの処理面からの高さを調整することが可能になっている。

2) スライド部

油圧モータによりチェーンを駆動し、カッティングヘッド部を左右に連続してスライドさせている。

3) 走行部

走行本体は、4輪タイヤ方式であり、4個のタイヤをそれぞれの油圧モータで駆動し、後輪に備え付けられたステアリング用油圧シリンダにより車体を操向させることができる。また、その場で4つの車輪の向きを90度方向転換することができ、直角方向に横行でき、レーンの変更が容易に短時間にできる。

4) 制御部

本装置は、無線機により遠隔操作される。送信機から送られた操作指令は、受信機を介してシーケンサに入力され、各油圧電磁弁の制御が行われる。走行、横行、ノズル回転、スライド等の動作が押しボタンにより、ステアリング及びノズル高さ調整をモノレバースイッチにより操作でき、初心者でも容易に操作することができる。また、走行部の後部にステップが取り付けられており、送信機を本体に載せて搭乗操作も可能である。

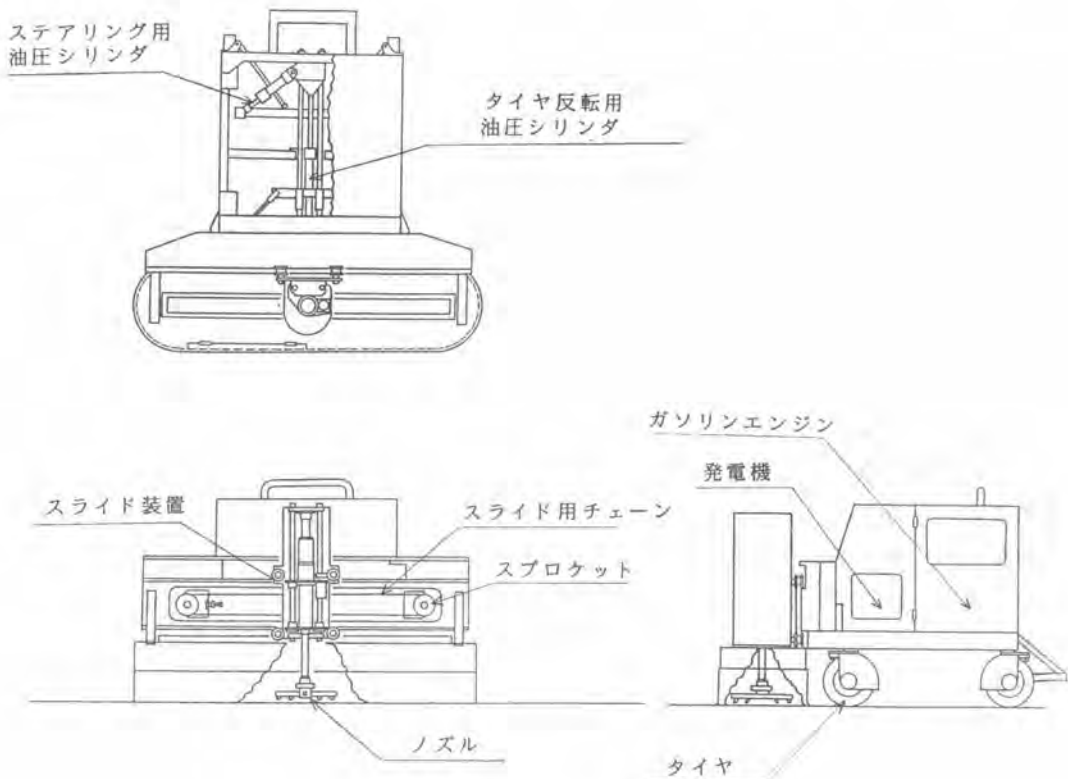


図1 水ジェットタイプの構成

表-1 水ジェットタイプ装置仕様

| | |
|---------|-------------------------------|
| 車両形式 | タイヤ自走式 |
| 機体寸法・重量 | L1700×W2000×H1200mm 1000kg |
| カット幅 | 1700mm |
| 走行速度 | 最高15m/min |
| 使用可能水圧 | 200kg/cm ² |
| 最大流量 | 100ℓ/min |



写真-1 水ジェットタイプ施工状況

2. 2 ブラシタイプ

互いに120度離れて取り付けられた3個のワイヤーブラシを回転（自転）させながら押し付け、この時発生する回転の反力によりブラシは、自転しながら本体中心を軸として公転を始める。この状態で、走行することによりグリーンカットを行う。3個のワイヤーブラシがコンクリート表面の凹凸に沿って一定の押し付け力を加えながら回転するので、レイタンスの削り残しやコンクリートの削りすぎがなくなり、品質の高い接合面を確保できる。また、公転により、満遍なくグリーンカットできる。本装置は、走行部、カッティングヘッド部、制御部から構成される。

1) 走行部

走行部は、4輪タイヤ方式になっており、直流モータ2台と、チェーン、スプロケットにより4輪駆動されている。左右2個ずつの車輪はそれぞれ独立した値直流モータで駆動され、これをそれぞれ正転、逆転させることによりその場で旋回することができる。本体部材の一部を油圧作動油のタンクとして兼用しており、処理機の小型化が図られている。また、走行部が中心に納められており、その外周部がグリーンカットされていくため、デッドスペースが非常に少なく、機動性に優れ、型枠際まで作業できる。

2) カッティングヘッド部

3個のブラシは、油圧モータにより回転する。各ブラシは、油圧シリンダにより押し付けられ、凹凸に対してそれぞれ独立した上下動を行い、コンクリート面に常に一定の力で押し付けられる。ブラシの押し付け力は、圧力調整バルブにより調整可能になっている。又、ブラシは、取り付けピンを外すことにより装置から容易に取り外せ、交換す

ることができる。

3) 制御部

本装置は、無線機により遠隔操作される。送信機から送られた操作指令は、受信機を介してシーケンサに入力され、各油圧電磁弁や、モータコンローラの制御が行われる。走行、ブラシの回転押し付け等の動作が押しボタンにより、その場旋回（ステアリングもこれで行う）はモノレバースイッチで操作でき、初心者でも容易に操作することができる。

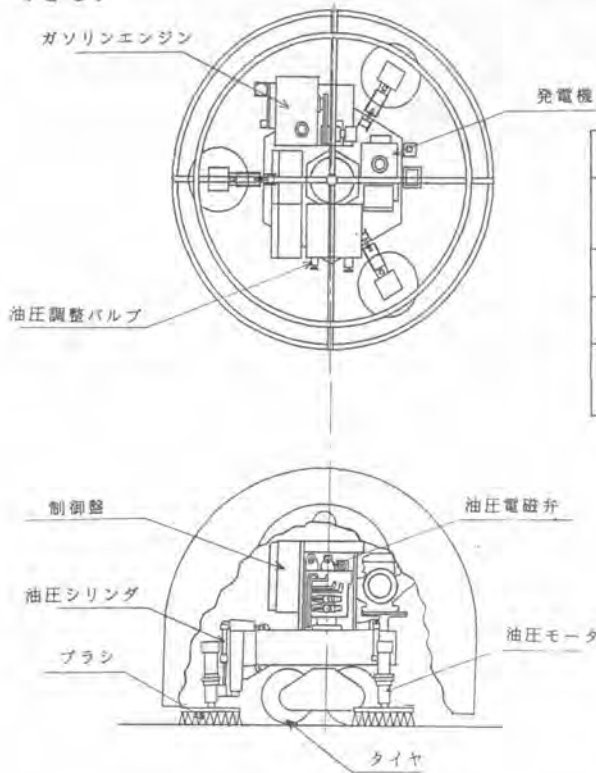


表-2 ブラシタイプ装置仕様

| | |
|---------|------------------------------|
| 車両形式 | タイヤ自走式 |
| 機体寸法・重量 | H1300×φ1800mm 700kg |
| カット幅 | 1600mm |
| 走行速度 | 最高 10m/min |
| 安全装置 | タッチセンサー、ハーフセンサー、 ブザー付き回転灯 |

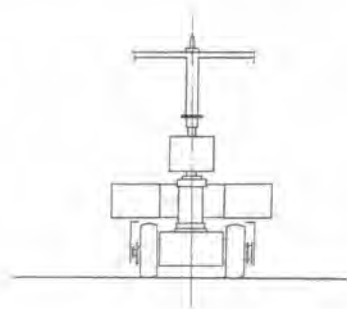


図2- ブラシタイプ装置構成

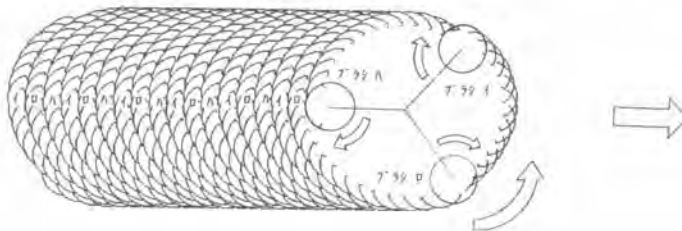


図-3 ブラシの軌跡

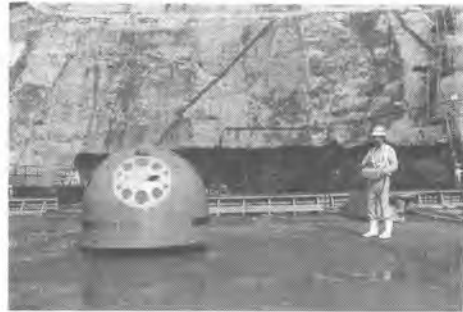
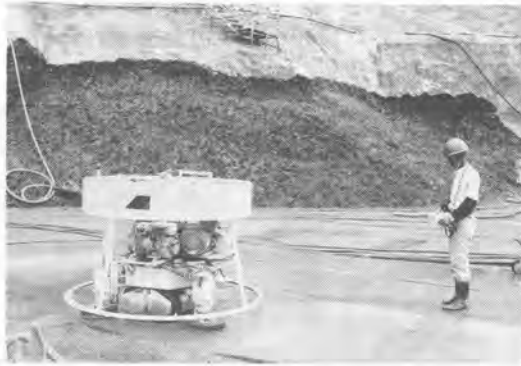


写真-2 ブラシタイプ施工状況

3. 作業手順

水ジェットタイプの作業手順を図4に、ブラシタイプの作業手順を図5に示す。両者ともテストカットを行って装置条件を設定した後、本作業を開始する。水ジェットタイプの場合、ノズルの高さと走行速度により調整を行う。ブラシタイプの場合、ブラシの押し付け力と走行速度により調整を行う。



図-4 水ジェットタイプ施工手順



図-5 ブラシタイプ施工手順

4. 施工能力

打設後の経過時間（材令）にもよるが、両者とも250㎡/h以上の施工能力があることが確認された。水ジェットタイプのほうがより硬い状態まで対応可能である。写真-3は、RCD用コンクリートをブラシタイプでグリーンカットした結果である。写真-4は、有スランプコンクリートを水ジェットタイプでグリーンカットした結果である。



処理前 処理後

写真-3 仕上り状況（RCD）



処理前 処理後

写真-4 仕上り状況（有スランプ）

5. 装置の特徴

本装置の特徴を以下に示す。

- 1) 小型軽量で機動性が優れている。2トトラックでの運搬ができ、前後進2方向の作業ができる。また、小回りがきき、レーン変更が短時間でできる。
- 2) 処理面の凹凸に影響されず一様な打設面処理ができる。
- 3) 処理面の硬さに応じて、適切な打設面処理ができる。
- 4) 異なる種類のコンクリートに対応できる。
- 5) 時間当たりの処理能力が250㎡以上ある。
- 6) 無線遠隔方式による簡便な操作ができる。

6. おわりに

グリーンカットの作業条件や品質基準は、ダム現場毎に微妙な違いが有り、現場の要望に対応できる装置の開発が要求されていた。コンクリートの硬化状態に対して調整可能な、カット方式の異なる2種類のグリーンカット装置を開発したことにより、十分な成果が得られたと考えている。

現在、グリーンカット処理後のズリの回収装置を開発中であり、グリーンカット装置とともに適用することにより打継面処理作業の合理化をいっそう進めて行く予定である。

9. 礫地盤完全対応の小口径管推進工法 “ガイドボーリング工法”の開発

飛鳥建設(株)：松島 洋・野瀬 達哉
 (株)吉田鉄工所：市丸 道雄

1. はじめに

近年、下水道の面整備がすすめられるに伴ない、地方都市における礫・玉石層での小口径管推進工事が多くなっており、工法も多く開発されている。これらの工法の選定・適用は地質調査から得た礫・玉石の礫径、礫率、強度等の情報を手がかりに行なうわけであるが、実施工の場面では、実際の地質が事前調査結果と異なっていたり、適用工法が地質の変化に対応しきれなくなり、難工事を強いられる例が未だに多い。著者らは、礫地盤での完全機械化施工の実現に向けてガイドボーリング工法を開発した。本工法の開発により、礫径、礫率に左右されない掘進を可能にし、また地質の変化や滞水層への対応も可能にした。本稿では、本工法の概要を説明し、人工礫土槽での実証実験について述べる。

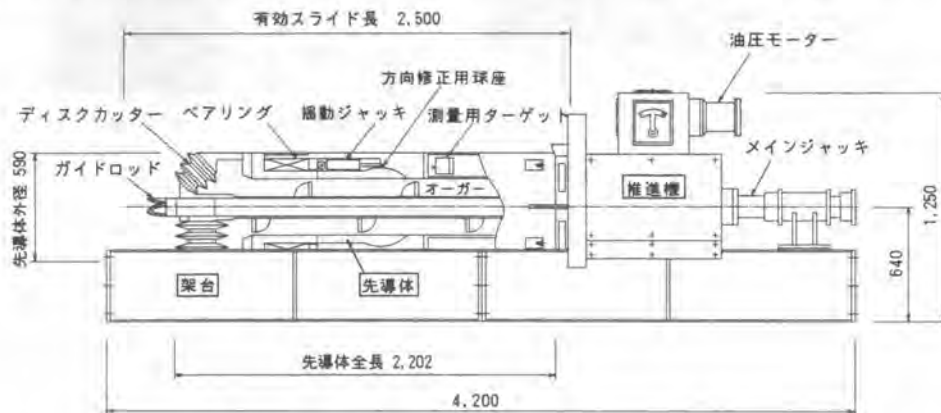


図-1 ガイドボーリング工法 全体システム図

2. システム概要

本工法は、鞘管二工程方式の小口径管推進工法である。排土はオーガーにて行ない、高推力による推進を可能にするため、鞘管推進前に仮管（特殊2重鋼管）を掘進させる。全体システムを図-1に示す。また、施工法の概要を表-1に示す。

2-1 掘削システム

礫径、礫率を問わずに礫地盤を高精度で掘削できる工法とするために、まず第1の方法

表-1 ガイドボーリング工法 施工法概要

| | |
|------|--------------------------------------|
| 施工方法 | 鞘管二工程方式（先導体外径 φ590mm） |
| | 仮管（外径φ558mm 特殊2重鋼管）推進 |
| | 鞘管（外径φ558mm 鋼管）に置換 |
| | 本管（塩ビ管）を鞘管内に挿入 鞘管と本管との間をIEMAN等で充填 |
| 適応管径 | 仕上り径 φ450mm 以下（塩ビ管） |
| 推進長 | 標準 50m |
| 排土方式 | オーガー方式 |

として独自の二重掘削システムを考案した。本システムは、図-2に示すように、「ガイドボーリング」及び「面板掘削」の2種類の掘削方法を繰り返し行う方式を特徴としている。先導体の外観を写真-1に示す。

[ガイドボーリング]・・・先端にトリコンビットを装備したガイドロッドを予め先方地盤に1m程度掘進させ、面板掘削時の方向案内役を担わせる。また、ガイドボーリングは、面板掘削時の心抜き効果も果たす。

[面板掘削]・・・先行させたガイドロッドに沿って、ディスクカッターを装備した面板を掘進させる。

2-2 方向修正システム

方向修正は、先導体内に装備した揺動ジャッキにより先導体を中折れさせることにより行なう。この中折れ機構と二重掘削システムが相まって、より確実な方向修正を行なえる。

2-3 面板洗浄システム

ディスクカッター等の隙対応ビットの場合、粘土・シルト層に遭遇するとビットに粘土分が貼り付き、掘進できなくなる例が多い。本工法では、この問題に対処するため、図-3に示すように、ガイドロッドを面板位置よりも先行させて面板に高圧水を吹き付ける（逆噴射）システムを考案した。これにより、地盤中の粘土分を洗い流すと同時に、面板に付着した粘土分も洗浄する事ができる。

2-4 薬液注入システム

帯水層において被圧力が高い場合や透水係数が大きい場合、薬液注入が必要とされる。この薬液注入は通常地上から行なわれるが、この場合、注入機械の移設が必要になり総掘削長が長くなる。本工法では、図-3に示すように、ガイドロッドを利用して瞬結タイプの水平薬液注入を行なうことができる。これにより、注入機械の移設をする必要がなく、また総掘削長を短くする事ができ、経済的な注入を行える。また、地表面付近の既設埋設物に影響されない注入を行えるため、試掘等の手間を省くことができる。薬液は、瞬結アルカリ溶液型を標準として使用する。

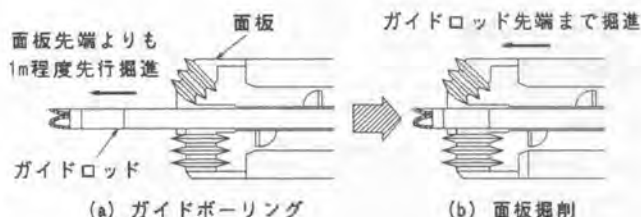


図-2 二重掘削システム



写真-1 先導体外観

ガイドロッドを面板から1m程度先行させた状態で固定し、ガイドロッドと面板を同時掘進

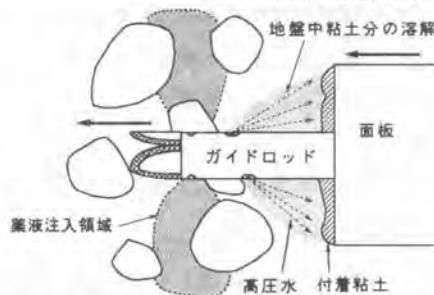


図-3 面板洗浄・薬液注入システム概念図

表-2 実証実験項目

| 実験 NO. | 地盤種別 | 実験項目 |
|--------|-------|----------|
| 実証実験Ⅰ | 人工地盤Ⅰ | 薬液注入実験 |
| 実証実験Ⅱ | 人工地盤Ⅱ | 礫地盤掘進実験 |
| | | 粘土地盤掘進実験 |

3. 実証実験

2. で示したシステムの性能を確認するため、人工的に地盤を造成し、表-3 に示す実証実験を行なった。人工地盤は、図-4 に示すように2種類を造成し、それぞれの仕様を表-4 に示す如くとした。ここで、栗石には、碎石を切り出す玄武岩質の原石山において、深部の無風化部分を発破採取し、それを直接使用した。この栗石の一軸圧縮強度は、最大1,800kgf/cm²である。

3-1 実証実験Ⅰ

人工地盤Ⅰにおいて実証実験Ⅰを行った。人工地盤Ⅰは、図-4 (a) に示すように、細粒礫部分と粗粒礫部分に分けて造成し、それぞれの礫部分は粘土部分で隔壁を設けて相互の干渉がないように配慮した。また、それぞれの礫部分には水を満たし、滞水層に見立てた。薬液は瞬結アルカリ溶液型（ゲルタイム10秒）を使用し、二重管混合1.5ショット方式で注入を行った。

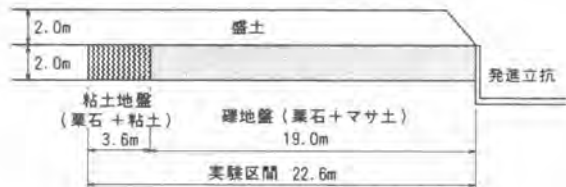
注入の結果、図-5 に示すような断面を持つ改良体が得られ、細粒礫部分ならびに粗粒礫部分において概ねガイドロッドの管軸を中心にして面板の断面以上の注入領域が得られる事がわかった。これより、ガイドロッドを利用した水平薬液注入による滞水層での止水が可能である事が明らかになった。尚、注入ロッド先端部のモニターには閉塞の様子は見られず、懸濁型薬液の注入も十分可能と考え

表-3 人工礫地盤の仕様

| 地盤種別 | 区分 | 構成材料 | 重量混合率 |
|-------|-------|-----------------|-------|
| 人工地盤Ⅰ | 細粒礫部分 | 栗石 (Dmax:300mm) | 50% |
| | | マサ土 | 50% |
| 人工地盤Ⅱ | 礫地盤 | 栗石 (Dmax:500mm) | 40% |
| | | 碎石 (0~40mm) | 30% |
| | 粘土地盤 | マサ土 | 30% |
| | | 栗石 (Dmax:300mm) | 20% |
| | 粘土 | 80% | |



(a) 人工地盤Ⅰ [実証実験Ⅰ用]



(b) 人工地盤Ⅱ [実証実験Ⅱ用]

図-4 実証実験で使用した人工礫地盤

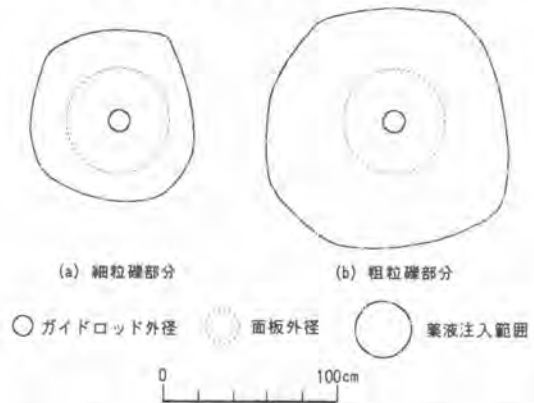


図-5 薬液注入実験における改良体断面

られた。ガイドロッド先端部からの薬液の吐出の状況を写真-2に示す。

3-2 実証実験II

人工地盤IIにおいて実証実験IIを行った。人工地盤IIは、図-4(a)に示すように、礫地盤と粘土地盤に分けて造り、礫地盤掘進実験及び粘土地盤掘進実験を行った。

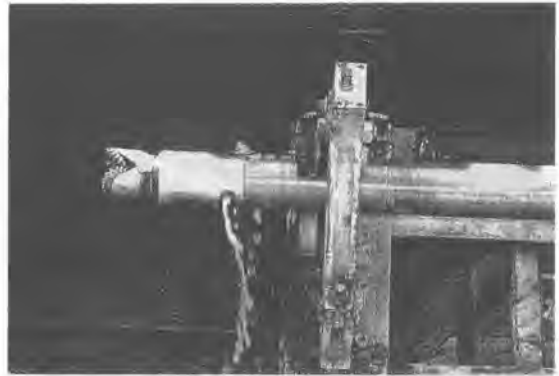


写真-2 薬液吐出状況

①礫地盤掘進実験

ガイドボーリング時及び面板掘削時の回転数をそれぞれ30rpm、13rpmに設定して礫地盤掘進実験を行った。この結果を表-5に示す。

<推力>

ガイドボーリング時の推力はほぼ一定であるのに対して、面板掘削時の推力F(tf)は、図-6に示すように、掘進距離L(m)に応じて変化している。この変化は、概ね、次式で表わされる。

$$F=10+L \quad (\text{先端抵抗: } 10\text{tf}, \text{ 周辺抵抗: } 1\text{tf/m})$$

実験に使用した先導体のオーバカット量は5mm程度であり、これを増やすことにより推力の低減をはかれるものと考えている。

<回転トルク>

ガイドボーリング時の回転トルクはほとんど要しないものの、面板掘削時の回転トルクは最大11tf・mに達している。地盤条件と面板構造によってはさらに高回転トルクを要することもあると思われた。この回転トルクは図-7に示すディスクカッターの突出量Hに大きく左右され、Hが大きいと面板前面の礫をディスクカッターが乗り越えられない確率が高くなる。よって、発生最大回転トルクと掘進効率との兼ね合いを十分吟

表-4 礫地盤掘進実験結果

| 掘削種別 | 掘進精度 (mm) | 実掘進速度 #1 (m/hr) | | 推力 (tf) | 回転トルク (tf・m) |
|------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|--------------|
| | | 巨礫部 #2 | 細礫部 #3 | | |
| ガイドボーリング (30rpm) | X方向 左6~右21 最終:右16 (1/1,000) | 0.5~1.5 (平均1.0) | 1.5~4.5 (平均3.0) | 2~4 | 0.03 ~0.1 |
| 面板掘削 (13rpm) | Y方向 下8~上19 最終:上7 (1/2,300) | 0.5~1.5 (平均1.0) | 1.5~3.5 (平均2.5) | 発進時 3~10 16m地点 19~27 | 0.3 ~1.0 |

#1管接続時間は含まない #2巨礫部: φ300mm以上 #3細礫部: φ300mm以下

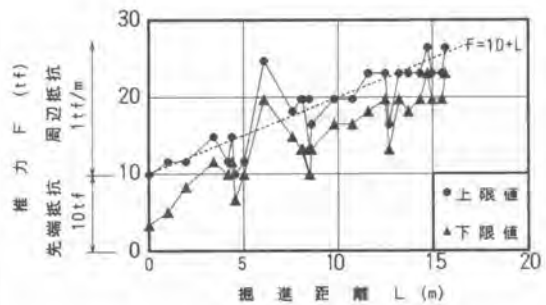


図-6 面板掘削時の推力変化

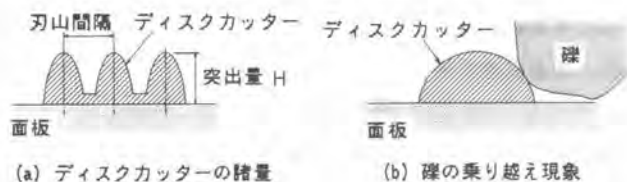


図-7 ディスクカッター説明図

味しながらIIを決定する必要があり、さらにディスクカッターの刃山間隔も重要な因子になると考える。

<掘進精度>

掘進終了時の偏位（計画線からのズレ）を掘進距離で除した値は、水平方向1/1,000、鉛直方向1/2,300となっており、下水道用として十分な値が得られた。掘進距離に応じた偏位の変化を図-8に示す。これによると、先導体の中折れ状態に応じて忠実に偏位が変化していることがわかる。これは、図-9に示すように、ガイドロッドが方向修正に対して有用に機能していることを意味している。

特に、相対密度が小さく礫の噛み合いが弱い礫地盤の場合、全断面の掘削システムに比べて有利になると考える。この場合、面板前面の礫の遊びにより先導体自体も揺動するため方向修正が難しくなりがちだが、本工法では、希望方向に先導体を向かせた後ガイドボーリングを行えば、ガイドロッドに沿って面板を掘進することができる。これにより、面板前面の礫の遊びに左右されず高精度な掘進ができる。

<礫破砕能力>

先に説明した二重掘削システムにより、礫径、礫率に左右されない掘進を可能にした。写真-3に示すように、人工地盤中に介在した巨礫（φ800mm程度）も貫通することができ、礫対応小口径管推進工法の最大の課題であった転石にも十分対応可能であることを確認した。

②粘土地盤掘進実験

ガイドロッドを利用した面板洗浄システムの性能を確認するため、掘進実験を行なった。実験前に考えていた粘土地盤での掘進方法は、面板に粘土が付着したらガイドロッドから高圧水を逆噴射させて面板を洗浄する事をその都度繰り返す方法であった。しかし実際には、ガイドロッドを面板よりも先行させた状態でガイドロッドと面板を一緒に掘進させる

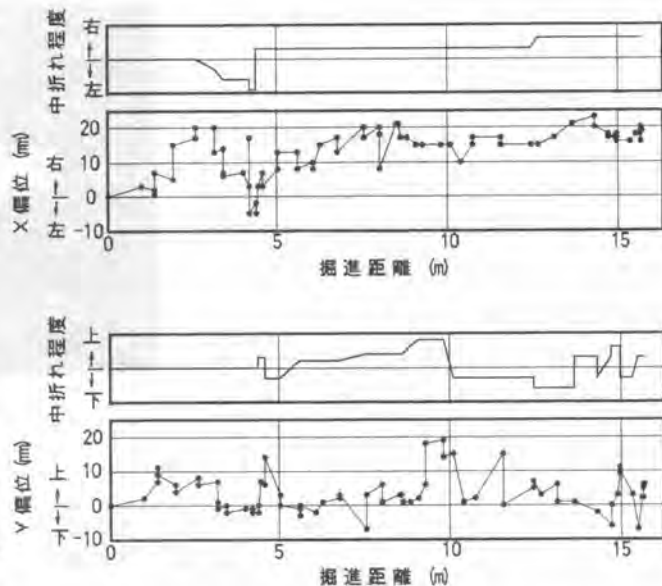


図-8 実証実験II・礫地盤掘進実験 掘進精度

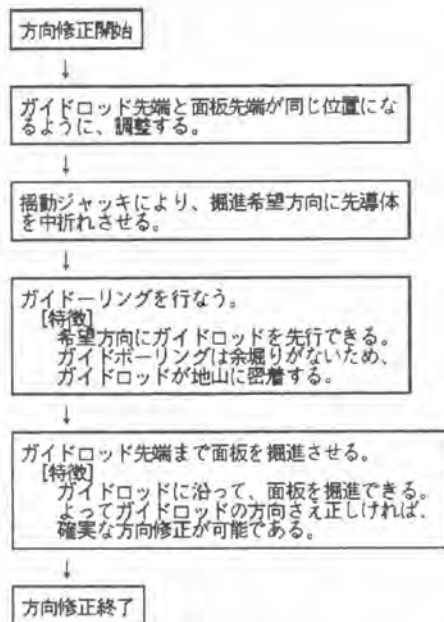


図-9 方向修正方法

方が高効率で施工できることがわかった。これにより、地盤中の粘土分を高圧水で溶解させると同時に面板に付着した粘土分を洗浄することができ、地盤中に粘土が介在していても礫対応ビットを装備したままでの掘進を可能とした。高圧水の仕様は、

{ 圧力：30 kgf/cm²程度
流量：100 l/min程度

で十分であると判断された。写真-4に、ガイドロッドから高圧水噴射状況を示す。



写真-3 巨礫貫通状況

4. まとめ

本工法の最大の特徴は、二重掘削システムにあり、これにより、礫径、礫率に左右されない高精度掘進を可能にし、実証実験でこのことを確認した。

さらに、変化する地盤状況に対応できるように、ガイドロッドを利用した水平薬液注入システム及び面板洗浄システムも開発したが、これらの性能も実証実験において確認できた。



写真-4 面板洗浄システム

5. あとがき

礫・玉石層での推進工事というと、従来、刃口推進工法が多用されてきた。しかし、現在では特殊工も数少なくなり、また安全面及び作業環境の面から考えると、決して万全な工法とは言えないであろう。幸い、礫地盤対応の機械化工法が数多く開発されてきており、安全・確実な機械化施工をすすめる環境は整ってきている。今後、さらに努力し、礫地盤での機械化施工をより一層推進するべきであると考えらる。

尚、本工法は、建設省主管の官民連帯共同研究「小口径管推進工法の高度化に関する研究」の一環として開発された。関係者の方々に紙面を借りて厚く御礼申し上げる次第である。

(参考文献)

- 1) 苗村正三他：礫対応の小口径管推進工法（ガイドボーリング工法）の開発，第2回非開削技術研究発表会論文集，pp.5-8，1991
- 2) 田中貢他：「小口径管推進工法の高度化に関する研究」超小口径管推進工法の開発，月刊推進技術，Vol.6，No.11，pp.59-67，1992

10. ディープ・バイブロ工法と施工例

ハザマ：*三原 正哉

日本海工(株)：鶴岡 龍彦

青山機工(株)：末広 修三

ディープ・バイブロ工法は、振動締固め工法の一つで、ロッド先端に取付けた大容量バイブレーター（バイブロフロット）を用いて、地盤や供給される補給材を水平方向に振動締固めすることにより、軟弱な地盤を改良するものである。本工法は、他の振動締固め工法と比較して低振動・低騒音であること、周辺地盤の変状が小さいこと、施工機械がコンパクトであることなどの特長を有しており、特に都市部や既設構造物近傍での地盤改良に適している。

ディープ・バイブロ方式に関しては、1989年10月に、(株)間組・日本海工(株)・青山機工(株)の3社でディープ・バイブロ工法研究会を設立し、実験工事などを通しての改良開発を行うとともに、実施工への展開を図ってきた。

本文では、ディープ・バイブロ工法（以下、D.V.工法と略す）の概要と、施工例について報告する。

2. ディープ・バイブロ工法の概要

2.1 施工法

本工法は、密度の増大・有効応力の増大を原理とする砂質土の締固め工法の一つであるバイブロフローテーション工法に分類される工法である。改良目的としては緩い砂地盤の地震時の液状化抵抗の増加、沈下量の低減、支持力の増加、などが挙げられる。

バイブロフロットは、本工法の主体をなすものであり、詳細を図-1に示す。起振方法は油圧モータ軸下部に装着された偏心ウェイトの回転によるもので、振動方向は水平方向である。また、バイブロフロットの上部に接続された硬質のゴム筒を取り付けたアイソレータと呼ばれる緩衝装置により、振動は上部ロッドに伝達せず、エネルギーの損失もなく、対象土層を直接かつ

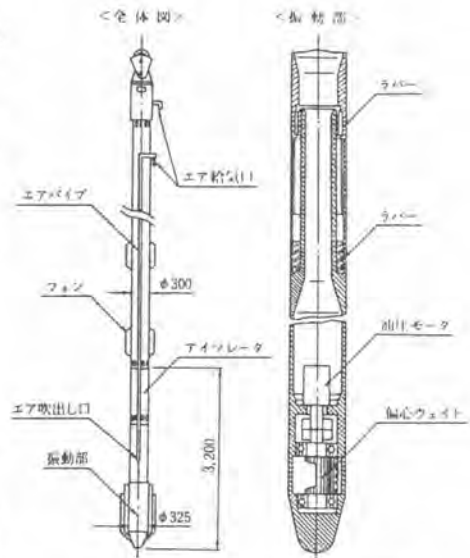


図-1 バイブロフロットの詳細

表-1 バイブロフロットの諸元

| 諸元 | バイブロフローテーション工法（日本国内） | | ディープ・バイブロ工法 |
|--------------|----------------------|--------|------------------------------------|
| | 15HP型 | 30HP型 | 150HP型 |
| モータタイプ | 15HP型 | 30HP型 | 150HP型 |
| 電動機 (kW) | 11 | 22 | 118 (油圧式) |
| 振動数 (rpm) | 1,420 | 1,420 | 1,500~max 3,000 |
| 起振力 (tf) | 2.5 | 5.1 | 約25 |
| 起振点振幅 (mm) | 4~5 | 6~7 | 14 |
| 全重量 (tf) | 1.7 | 4.3 | 振動部+アイソレータ 1.3tf 延長パイプ 0.22tf/m |
| 有効長 (m) | 7 | 15 | 実 積 max 30 |
| ケーシング外径 (mm) | φ 319 | φ 381 | 振動部 φ 325 |
| フィン外径 (mm) | φ 469 | φ 500 | 延長パイプ φ 300 |
| モータ取付け位置 | 本体上部 | 本体内蔵下部 | 本体内蔵下部 |
| 構造 | 一体式 | 継足し式 | 継足し式 |

文献1)を修正、加筆。

効果的に締め固めることが出来る。
表-1は本工法のパイプロットと従来のものの諸元を比較したものであり、出力は5~10倍大きいことがわかる。

施工機械は、振動を発生するパイプロット、これを吊り下げるクローラクレーン、エア設備（コンプレッサ）、パイプロットを起動する油圧パワーバック（

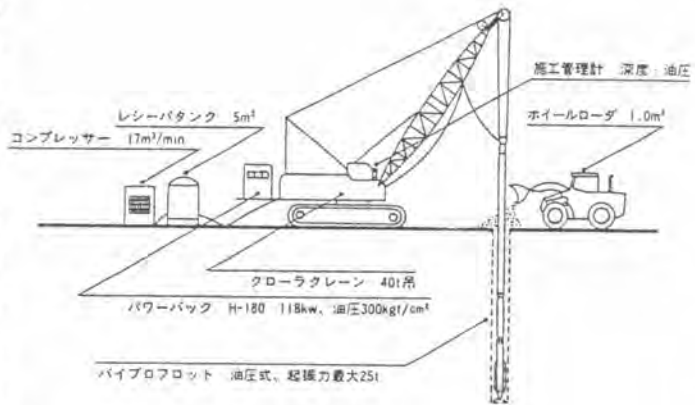


図-2 施工機械の構成

H-180)、補給材を供給するトラックショベル、および深度・油圧を自動記録する施工管理計からなっている。図-2に、空気使用時の施工機械の構成例を示す。

施工法は、クローラクレーンに吊り下げたパイプロットの上下動によって締め固めるものであり、図-3に施工手順を示す。補給材としては、砂、れきあるいはスラグが用いられる。補給材として使用する砂は、細粒分含有率（75 μ m以下の含有率）が5%以下のものとしている。また碎石としては、 ϕ 20~40mm程度のものを使用することが多い。

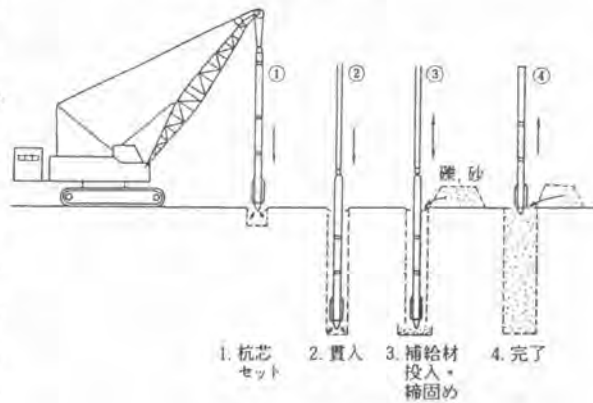


図-3 施工手順

施工管理に関しては、従来のパイプロローテーション工法やロッドコンパクション工法と同様な考え方で行っており、主な管理項目は、深度、補給材量、地表面沈下量であり、施工時には、改良深度~時間、油圧~時間の軌跡が自動記録される。また、改良後の品質管理としては、杭間で標準貫入試験を実施するのが通常である。

2. 2 設計法

既に述べたように、本方式は、密度の増大・有効応力の増大を原理とする締め固め工法の一つである。締め固め工法は液状化対策工法の中でも実地震においてその効果が確認されて

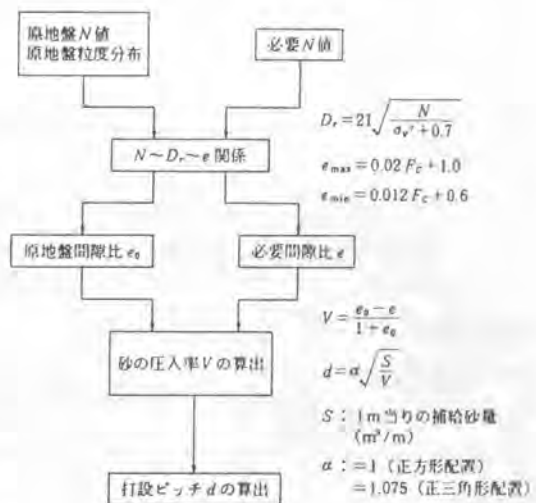


図-4 設計フロー

いる数少ない工法であり、改良効果の確実性という面では信頼性が高い。

締固め工法の設計法は、現状では密度中心に考えられている。本方式も図-4のフローにそって打設ピッチを算定する。

なお、本方式の改良効果は、対象とする地盤条件（原地盤N値、細粒分含有率 F_c 、層厚、粘性土層の有無）などにより左右される度合いが大きい。そこで、改良仕様の決定にあたっては、試験施工を実施し、その結果に基づき決定することが望ましい。

砂の圧入率 V は、分担面積と m 当りの補給砂量の比で表わされるものである。 m 当りの補給砂量 S は、地盤条件などによって異なるが、これまでの実績から、 $0.28\sim 0.38\text{ m}^3/\text{m}$ の値が得られている。

3. 施工例

3.1 施工実績

研究会で実施した2件の実験工事を含めて、導入以来の施工実績は14件であり、タンク基礎地盤の改良、護岸背後の改良、建築構造物基礎地盤の改良等である。これらは全て液状化対策として実施したものであり、振動・騒音や地盤変状の問題から、本工法が採用された。

以下、施工例として、「タンク基礎」の改良工事について概要を示す。

3.2 「タンク基礎工事」²⁾

本工事は、稼働中のタンク群の中に新たに石油タンクを2基（1500 kl 、2000 kl ）増設するにあたり、基礎地盤の液状化対策として実施したものである。

地盤は、砂を主体とした昭和40年代後半の埋立て地盤であり、埋立て時にはサンドドレーン工法、サンドコンパクションパイル工法によって地盤改良がなされた。その後、表層2 m 程度は山土や建設残土により盛土がなされた。タンクを新設するにあたり地盤調査を実施した結果、埋立て砂層部で「危険物の規制に関する規則」で定められている必要N値を満たさない部分があり、地盤改良を行うこととなった。

図-5に改良範囲の平面配置を示す。図に示されるように、改良範囲は直近のタンクとは5 m 程度しか離れていないこと、ポンプヤード（直接基礎で铸铁製配管があり、変形は許されない）が隣接していること、配管（スリパと呼ばれる直接基礎で支持されている）が改良範囲内にあることなど、地盤変形に対し非常に厳しい条件となっている。

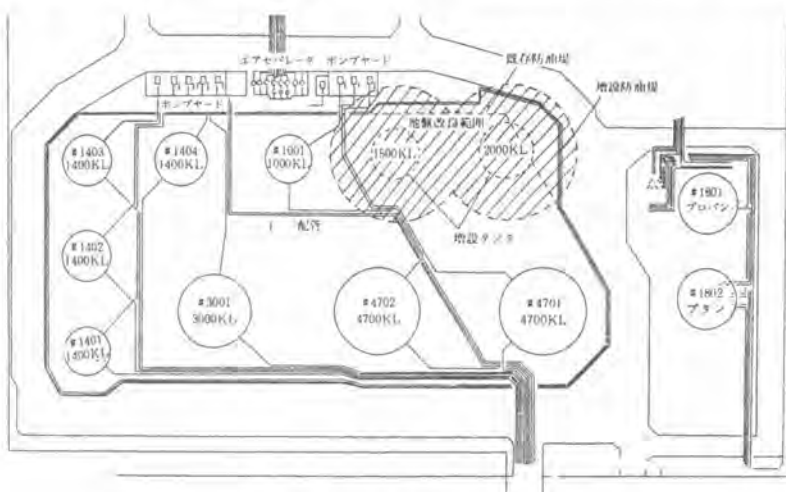


図-5 改良範囲の平面配置

改良工事に先立ち、①改良効果の確認、②周辺地盤変状の調査、③振動・騒音のチェックの目的で試験工事を実施した。

試験工事は、埋立て時にサンドドレーン工法とサンドコンパクションパイル工法が施工された二つのエリアで実施した。改良深度は9m、改良ピッチはともに2.0mの正方形配置、打設本数は1ケース16本であった。改良前後のN値の測定結果の一例を図-6に、規則に定められている目標N値と改良後N値との関係を図-7に示す。

試験工事で改良効果に問題がないこと、また試験工事時の地盤変形の測定結果から地盤変状についても問題がないことが示され、試験工事の結果をもとに、以下の仕様・諸元で改良工事を実施した。

- ・ 施 工 法：ドライ方式（エア使用）
- ・ 打 設 長：平均10m、ただし、深度計・油圧計により粘土層への貫入を確認。
- ・ 補 給 材：海砂、 $0.28\text{m}^3/\text{m}$ 以上
- ・ 打設本数：431本

施工機は1台で、配管の破損などの問題もなく工事を終了した。施工状況を、写真-1に示す。

また、改良後杭間で標準貫入試験を実施し、規則に定められている細粒分含有率に対する目標N値を満足していることを確認した。

4. 周辺への影響

D.V.工法の大きな特長は、従来の振動締め固め工法に比較して、低振動・低騒音、周辺地盤の変状が小さいことである。ここでは、これらに関してこれまでの施工実績から得られたデータを示す。

(1) 振動

D.V.工法における振動の発生源はパイプロット先端の振動体部のみであり、前述したアイソレータの働きにより延長パイプ部に

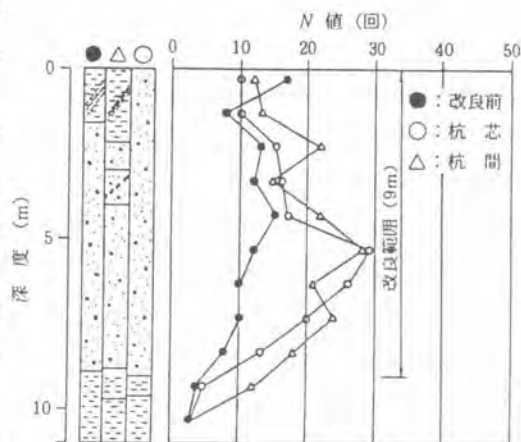


図-6 改良前後のN値の比較

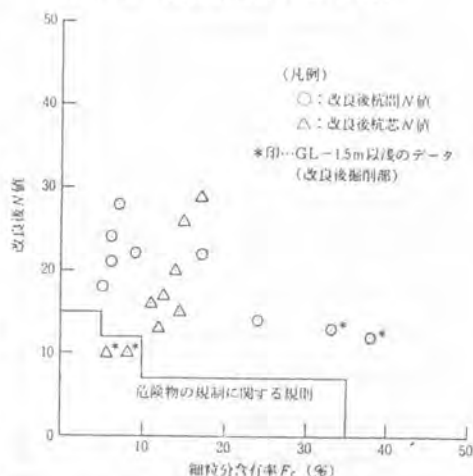


図-7 改良効果の比較



写真-1 施工状況

は振動は伝達しない機構となっている。振動体の振動数は50Hzと在来工法に比較し高周波であり距離減衰が大きいことも特徴である。施工時の測定データを図-8に示す。また、図には比較のためS.C.P工法の例(土質工学会、軟弱地盤対策工法より引用)も示している。

図から判断すると、D.V.工法は、S.C.P工法と比較して10dB以上は低振動な工法と言える。

(2) 騒音

D.V.工法における騒音の発生源は、油圧パワーパック、コンプレッサー、クローラクレーン、およびパイロフロッタ先端からの空気の排気音である。パイロフロッタ先端からの空気の排気音は、フロッタが地中にある時は問題とならない。施工時の測定データを図-9に示す。振動の場合と同様に、S.C.P工法の例も比較のため示している。

図から判断すると、打設点付近では、S.C.P工法と同程度であるが、距離が離れるに従いD.V.工法の方が小さくなっており、打設点から20m地点ではD.V.工法の方が約10dB小さい。

(3) 地盤変状

D.V.工法は、水平振動によって土粒子の配列を密に並び替え、空隙部に投入された補給材を締め固めるものであり、周辺地盤の地盤変状を全く生じさせないことは困難である。図-10に、これまでに測定した地中変位の測定結果を示す。これらのデータは全て、挿入型傾斜計を用いて測定したものである。

この図からみると、改良域から5m地点では地中変位は2cm以下で、10m離れると変位はほとんど生じていないことが分かる。また、データでは示していないが、同一地点でのS.C.P工法による測定データと比較すると、地中変位はD.V.工法の方が小さく、D.V.工法に比べて砂を強制的に押し出すS.C.P工法の5割程度以下となっている。

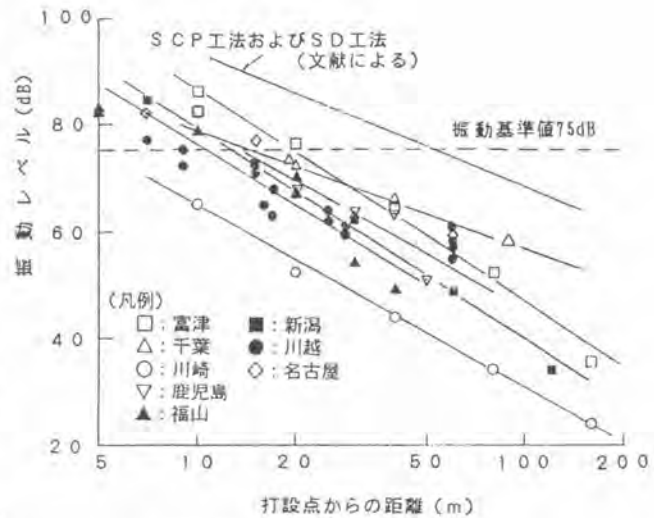


図-8 振動レベルの測定結果

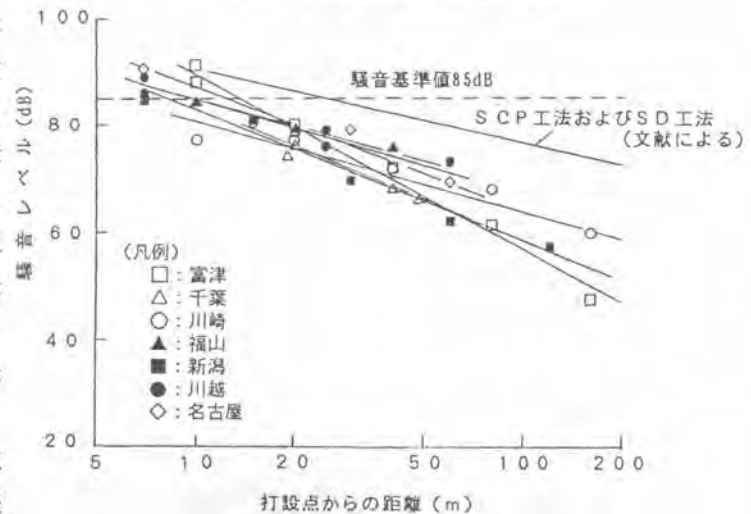


図-9 騒音レベルの測定結果

(4) 近接構造物の変形

D. V. 工法はS. C. P 工法に比較して地盤変状が小さいという特長を有しており、その特長をいかしてこれまで既設構造物近傍での施工を多く実施してきた。図-11は、これまでの施工のなかで測定した近接構造物の変位を示したものである。構造物には種々のものがあるが、水平・鉛直変位とも5mm未満となっている。

5. あとがき

1989年10月に導入して以来、技術開発および現場適用を進めてきたディープ・パイプロ工法について、その概要と施工例を紹介した。

本工法については、低公害型液状化対策工法として運輸省の技術評価を申請し、平成4年9月には評価証の交付を受けたが、今後とも実績と技術開発を積み重ね、より合理的な技術の確立を目指していきたいと考えている。

最後に、開発・施工にあたり、御支援・御協力いただいた関係者の皆様にお礼申し上げます。

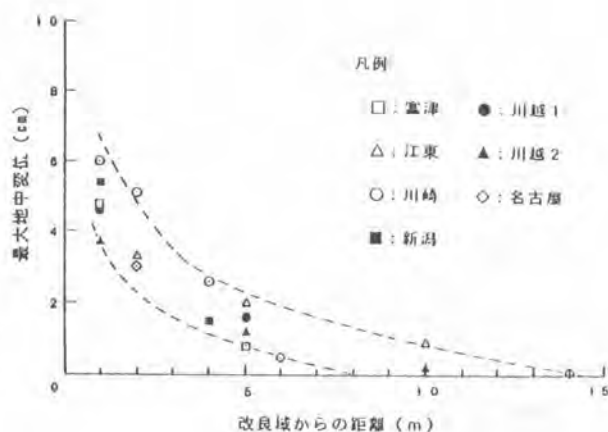


図-10 地中変位の測定結果

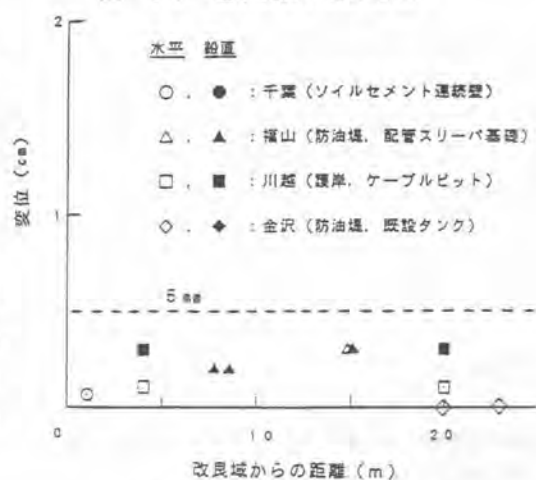


図-11 近接構造物の変位

参考文献

- 1) 田中誠一：3. 地盤改良工法③パイプロフローテーション工法、基礎工、1976.5
- 2) 三原正哉：ディープ・パイプロ工法による地盤改良の設計・施工、軟弱地盤の改良⑨、1992

11. 都市型地下連続壁掘削機“ミディアム カッター・MDBC30”の開発

ハザマ：脇山 一郎

1. はじめに

近年、都市部では、人口や企業本社の集中に加え、地価高騰の影響で狭い敷地での施工が増えるとともに、地下空間の有効利用の観点から構造物の大型化・大深度化が進んできた。一方、建設業界を取り巻く施工条件としては、ますます狭い空間での作業や作業時間帯制限など厳しくなっている。また、対象地質を考えるとシルトから礫層まで変化に富んだ条件下での施工を余儀なくされている。こうした諸条件下で、地下連続壁の施工をスムーズに行うために、掘削機への小型化の要求が高まってきた。

こうした社会的背景のなかで当社は、1988年に導入したトレンチカッター（BC30J）により、ダム遮水壁、土留め壁、道路基礎工事などの施工を行い、複合地盤条件下（一般土砂から礫層、岩盤）で急速施工を可能にするという、大深度地下連続壁のニーズに対応していた。しかしながら、BC30Jは、高さ35m×横幅6m×奥行き17mの作業面積を必要とするため、都市部など作業面積が限定される場合には適用が困難であった。

そこで当社は、BC30Jの掘削性能を維持しながら、機械の占有作業面積1/2としたミディアムカッター・MDBC30を開発した。

本文では、ミディアムカッター・MDBC30の概要と実証試験を紹介する。

2. 開発の目標

MDBC30は、都市部での施工条件下（限定される作業面積、シルトから礫層を含む複合地質、作業時間帯制限）で施工を行うことを目的として、次のような条件を設定し、開発を行った。

- ① 掘削能力はBC30Jと同等
- ② 占有作業寸法：高さ20m×横幅6m×奥行き8m
- ③ 最大掘削深度 60m、最大掘削壁厚 1500mm
- ④ 排泥ホース、油圧ホース、電装ケーブルはドラムに巻く方式のホースドラム方式とし、このホースドラムをベースマシンにブーム上に搭載する
- ⑤ 主要部材のパワーユニット、カッター本体、カッターホイール、ギアボックス、排泥ポンプは従来のBC30Jと同じ
- ⑥ ベースマシンはクローラークレーンタイプとし、パワーユニットを搭載する
- ⑦ 掘削管理システムは、高精度な鉛直精度管理および容易な方向制御が実施できるものを装備する

この開発で一番難しい要素は、BC30Jのケーブルホースサスペンションシステムをドラム方式にすること（ホースドラムシステム）、このドラムおよびパワーユニットを搭載し、掘削機として占有作業面積を従来比の1/2にするベースマシンとすること、および高精度な鉛直精度管理を実現しながら容易な方向制御操作を可能とする掘削管理システムをどうするか、などが予想された。

3. ミディアムカッターの特長

MDBC30は、ほぼ同時期に開発を進めていたミニカッター（MBC30）とBC30Jとの中間的な存在で、MBC30のホースドラムシステムの技術を応用することで実現することができた。



写真1 MDBC 30

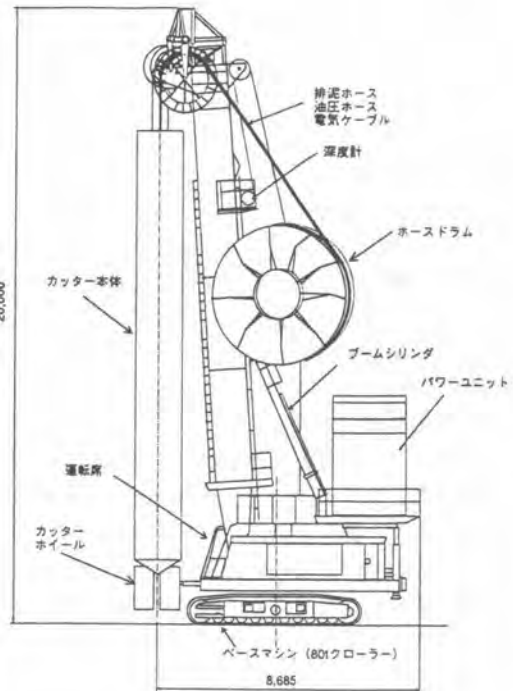


図1 MDBC 30

そして、MDBC 30は次のような特長を持つ。

(1) ホースドラムシステム

排泥ホースと油圧ホース・ケーブルをそれぞれ垂直型ドラム（排泥ホースドラム、油圧ホースドラム）とし、ベースマシンのブーム上に搭載する。特に油圧ホースドラムではドラム回転中心部に新方式のロータリージョイントを採用し、油圧ホース8本と多芯ケーブル1本（以下ホース類9本）を横1列に並べて巻き取るための緊張用ワイヤーを通したスペーサーブロック・ホースクランプ方式とした。これにより、1ドラムでホース類9本を巻き取り、あわせてホース類9本への過大なねじれや引っ張りがかかるのを防止する。

さらに掘削時においては、掘削機本体の上下降の際にホースへの無理な引っ張りがかからないように、自動的に巻き出しと巻き込みを行う制御機能を装備する。

(2) カッター本体

BC 30 Jと同じカッター本体を使用可能とした。これにより、ギアボックス、カッターホイール、排泥ポンプなどの主要部材の互換性が保たれると共に、BC 30 Jの切削能力と排泥能力を生かすこ

表1 MDBC 30の仕様

| | | |
|------------|----------------|------------------------|
| 掘削方式 | 水平多軸回転カッター | |
| 最大掘削深度 | 60m | |
| 掘削壁厚 | 640～1500 mm | |
| 掘削壁幅 | 2790 mm | |
| カッター | 本体質量 | 約26～35ton |
| | 回転速度 | 0～30 rpm |
| | トルク | 0～7140 kg-m |
| | 駆動方式 | 油圧モーターダイレクトドライブ |
| 排泥ポンプ | 口径 | 6インチ |
| | 吐出量 | 400 m ³ /hr |
| | 駆動方式 | 油圧モーターダイレクトドライブ |
| 方向制御ガイド | 12ヶ所 | |
| ベースマシン | 80tクローラー | |
| パワーユニット | エンジン駆動方式 430kw | |
| 掘削機概略寸法(m) | | |
| 高さ×横幅×奥行き | 20×6×8.2 | |

とが可能となった。

(3) ベースマシン

ホースドラムシステムの採用により、ベースマシンの高さをBC30Jの35mから20mとすることが可能となり、ベースマシンをBC30Jの100tクローラークレーンから80tクローラークレーン、ブームをグースネックタイプとした。これらにより、BC30Jに比べて占有作業面積を約1/2を実現した。

(4) アジャストガイド

カッター本体の上部と下部にそれぞれ前後方向4ヶ所、左右方向に2ヶ所の計12ヶ所のガイドを装備する。掘削中において、随時、偏位の修正を可能とする。

(5) パワーユニット

エンジン駆動方式の油圧源で、ホースドラム、カッターホイール、排泥ポンプなどの油圧モーターの駆動に用い、ベースマシンの後部に搭載する。

(6) 掘削管理システム

MDBC30の運転操作、制御、掘削精度管理に用いる。図2に示すように、センサー、制御盤、運転操作盤、カラーモニタ、制御機器などで構成する。掘削データの管理のひとつとして、ICカードを利用した、掘削データの収集、保存、および印刷ができるものを装備する。

また、運転操作のために、図3に示すようなモニタ表示画面とした。この表示は、従来の白黒からカラーへ変更すると共に、1画面で運転状況表示（油圧、回転数など）、姿勢表示（偏位、傾き）、方向制御表示（アジャストガイド動作）を行うことで視認性を増すよう努めている。

4. ミディアムカッターの位置付け

今回の開発により、トレンチカッターは表2に示すように4機種となり、MDBC30の位置付けとしては、標準機BC30Jの適用が難しい工事、主に都市部での路上からの施工および、建築工事などに適用する考えである。また、図4にトレンチカッターの寸法比較図を示す。

5. 実証試験

MDBC30の掘削実験を1993年4月に行い、深度60mまでの掘削機能を確認した。図5に示すような地質において試験を行い、深度0～60mでのホースドラムの巻き上げと巻き下げ能力確認と、ホース類への無理な引っ張りが掛からないこと、掘削管理システムの機能の確認などを行った。

表2 トレンチカッター各機種の概要仕様一覧表

| | BC30J | BC30JL | MDBC30 (ミディアム) | MBC30 (ミニ) |
|-------------------|-------------------------|---------------|-------------------|---------------|
| 分類 | 標準型 | 大深度型 | 都市型 | 路下型 |
| 掘削方式 | 水平多軸回転カッター | | | |
| 最大掘削深度(m) | 60 | 100 | 60 | 53 |
| 掘削壁厚(mm) | 640～1500 | 640～2400 | 640～1500 | 640～1500 |
| 掘削壁幅(mm) | 2800 | | | |
| カッタートルク | 7140 kg-m | | | |
| 排泥流量 | 400 m ³ / hr | | | |
| カッター フレーム高さ(m) | 15.0 | | | 4.4 |
| ベースマシン | 100t クローラー | 150t クローラー | 80t クローラー | レール式 槽台車 |

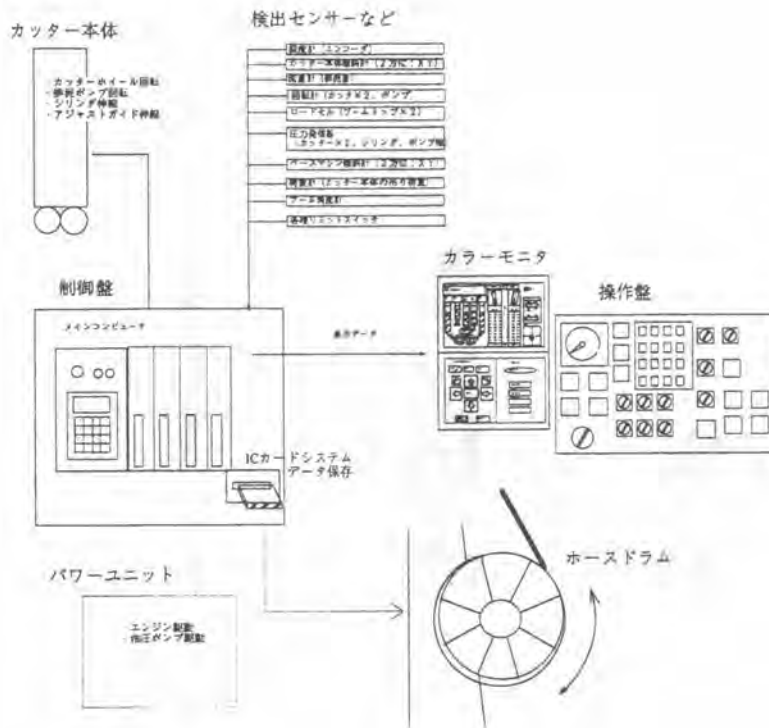


図2 MDBC 30の掘削管理システムの構成

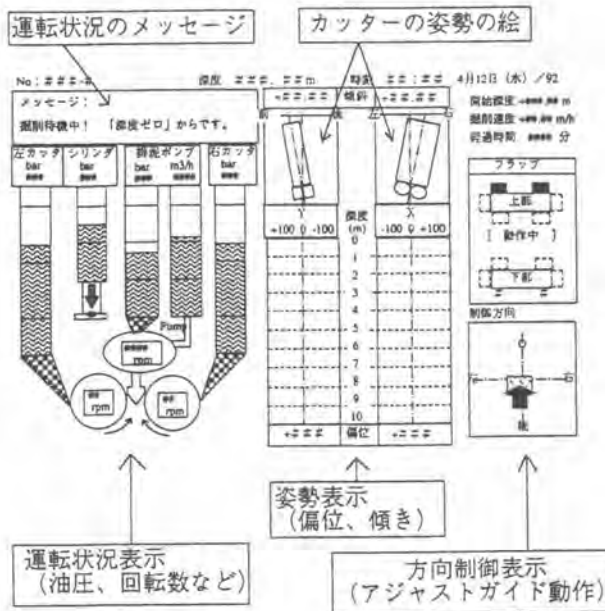


図3 掘削管理システムのモニタ表示

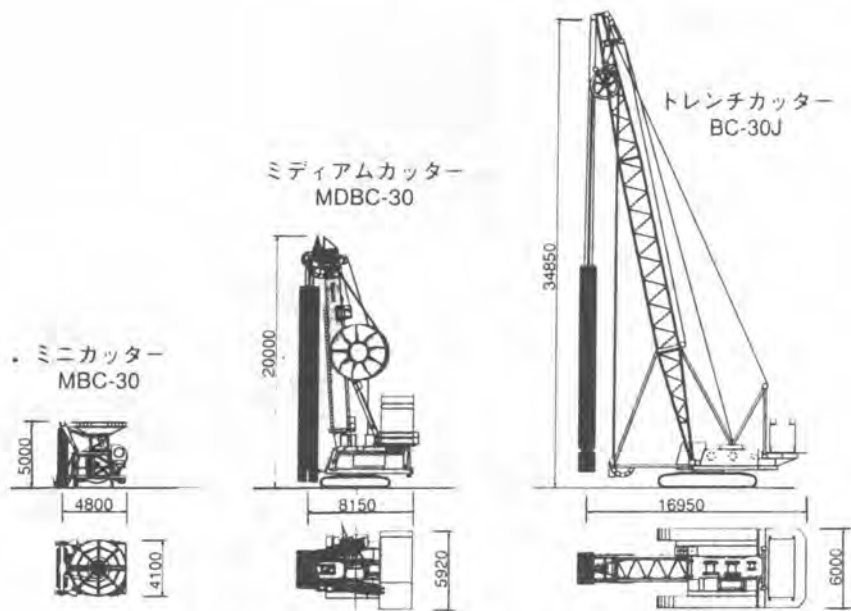


図4 代表的なトレンチカッター3機種の寸法比較図

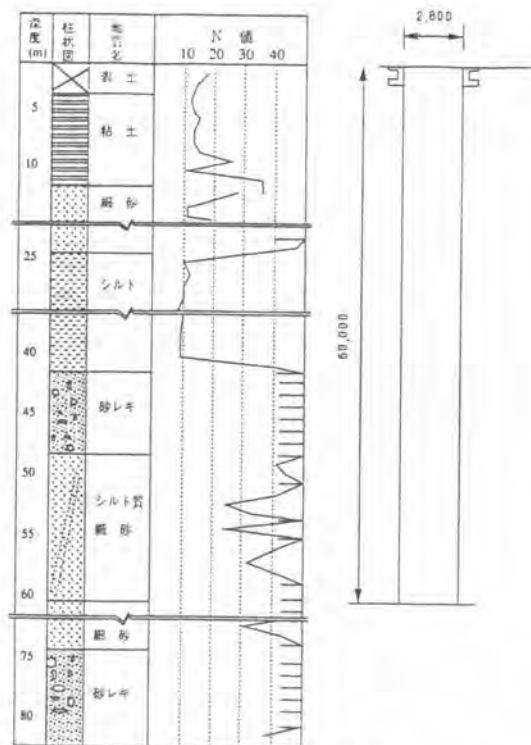


図5 実証試験の地質と掘削位置図

6. おわりに

以上のように、MDBC30の機械の特長を中心に紹介した。今後MDBC30は、1993年10月頃より都内の地下鉄工事に適用され、第1回目の施工を予定している。次回機会を得ることができたならば、MDBC30の適用事例についての紹介を行いたい考えである。

また、実際の施工を重ねながら、施工で得られた貴重なデータをもとに機械の改善・改良を進め、新たなるニーズを満足するよう努力したいと考える。

12. 低重心3軸オーガ機の開発

大成建設(株)；大河内政之

1・はじめに

地下工事の山留め止水壁に使用される柱列式地中連続壁は土地の有効活用から既設構造物との近接作業や大深度化の傾向が益々顕著となり、工期の短縮や経済性を求めるために施工機械は大型化し、リーダ長も33mと長大化しております。

このため施工においては安定性の低い機械での施工となり、常に転倒の危険性が介在する状態での作業が増え、近年都市部で多発し、社会的問題となっている重機転倒事故の要因ともなっております。

また、施工機械に装着しているリーダの高さが高いことも現場周辺の住民に強い威圧感と不安感を与えていると言えます。

このような現状を踏まえ作業環境の改善を図り、安全施工に対する建設業のイメージアップに貢献するためにも、安定性の高い施工機械の開発が必要となり、ここに「低重心3軸オーガ機」が出現しました。

2・従来機の安定性

現在、使用されている3軸オーガ機の安定度は、「リーダ長33mで7.7度」と、かなりトップヘビィであり走行時の慣性力や作業地盤の状況如何では規定値の「5度」に満たない場合も生じ、安定度に余裕があるとは言えません。

このように現場での作業は常に転倒の危険性と戦っているのが現実です。

3・安定性を追求した開発機

開発機はリーダの高さを極端に低くし機体の重心位置を下げ、安定度の増大を図ったものです。

開発に当たった課題は、単にリーダ長を短くするだけでは削孔ロッドの継足し回数が多くなり、削孔能率の大幅な低下を来すことから開発機の機構面で種々の改善を行っております。

これにより削孔深度は従来機と同等で、かつ削孔能率においても自動化機能を付加したことにより削孔深度が深くなる程、機能が発揮できる装置を具備しております。



写真-1 低重心3軸オーガ機

4・特 徴

開発機は安全面・能率面を重視し以下の特徴を備えております。

① 削孔深度

削孔に使用する伸縮スクリュウ・継足ロッドを一体装備しているため、リーダ長15mの標準装置で25.3mの削孔ができます。

また25.3m以上の削孔が必要な場合には、ロッド供給装置に別の継足ロッドを補充することにより削孔できます。

② 高安定度を確保

従来機の安定度7.7度に対して2倍(15.8度)の安定度を確保しております。

このため、傾斜地(4度以内)でも装備を解除せずに登降ができます。

③ ロッド自動連結装置

オーガ本体とスクリュウおよびロッドとの連結を自動化しているため、作業員によるリーダ上部での高所作業が不要となります。

表-1 開発機と従来機の諸元比較表

| 比較項目 | 開発機 | 従来機 |
|----------------|----------------------|-------------------|
| リーダ長 | 15 (m) | 33 (m) |
| 地上高さ | 17.9 (m) | 35.6 (m) |
| 掘削深さ (標準装備) | 25.3 (m) | 直線部 26.4 (m) |
| | | コーナー部 23.8 (m) |
| 重心心 | 旋回中心より前方 0.66 (m) | 0.61 (m) |
| | 地上高さ 4.6 (m) | 9.1 (m) |
| 安定度 | 15.8 (度) | 7.7 (度) |

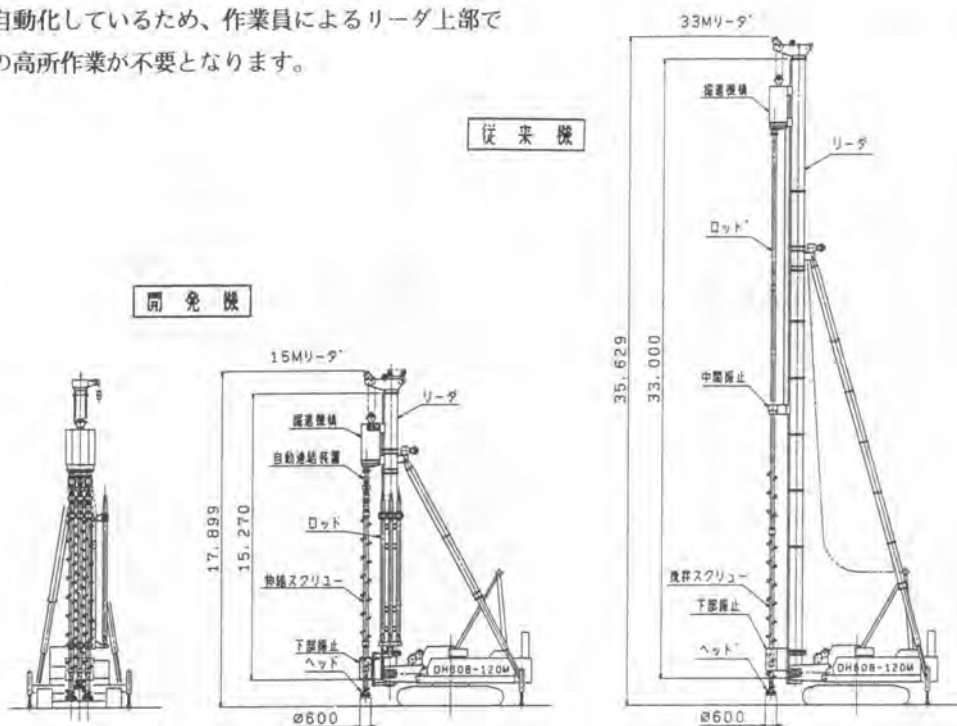


図-1 開発機と従来機の比較図

④ ロッド自動供給装置

削孔に使用する継足ロッドを自動的に供給します
したがって従来行われていた「預け穴方式」よる
ベスマシン走行等の作業が不要となります。
また同装置が 180° 回転できる機構となっている
ためコーナ部の施工にも支障ありません。

⑤ 下部振止め

下部振止めを固定式にしていますが、特殊な機構
を付加したことにより、コーナ部の施工において
も直線部と同等の削孔深さが確保できます。

⑥ 自動制御

ロッドの供給およびロッド連結の運転操作を自動
化しているので、オペレータの誤作動がありがせ
ん。

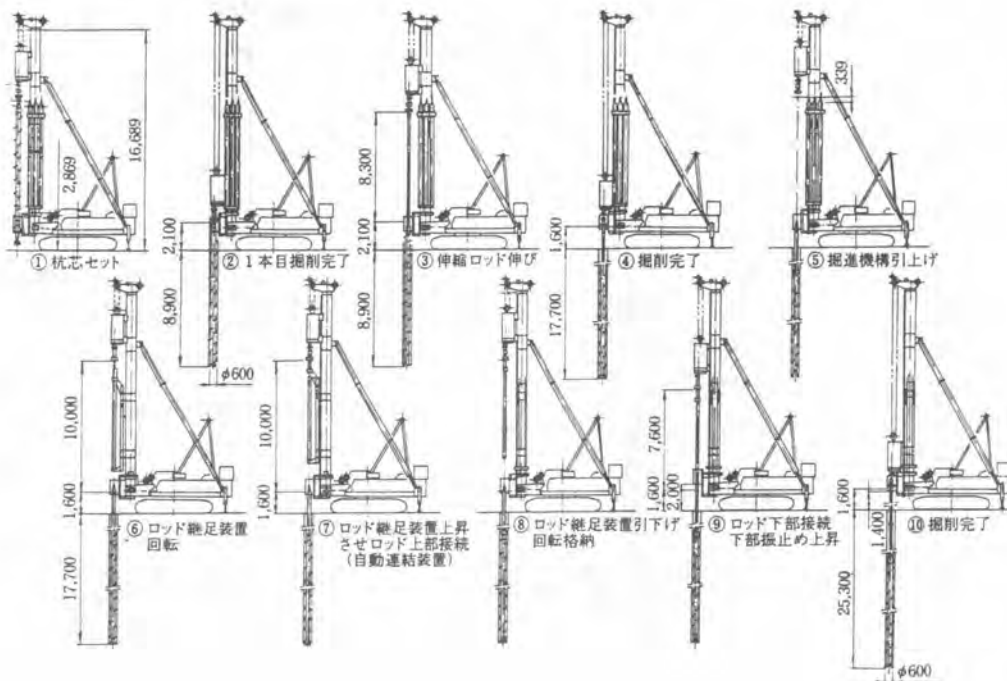
なお、制御はマニュアルでもできます。



5・施工手順

低重心3軸オーガ機の施工手順は以下のとおりです。

写真-2 ロッド自動連結装置



6・仕様

低重心3軸オーガ機の仕様は以下のとおりです。

6-1 一般仕様

(1)機械構成

- | | |
|-----------|-----------------------------|
| ① ベースマシーン | DH608-120 H |
| ② リーダ | M90D (Ⅱ) 特 (ロッド継足装置付) |
| ③ オーガ | MAC-150-3 |
| ④ 総縦量 | 120.4 ton |
| ⑤ 安定度 | 15.8度 |
| ⑥ 使用温度条件 | 外気-10° ~45° (湿度は100 %以下) |

(2) 施工仕様

- | | |
|-----------|----------------------|
| ① 削孔径×削孔長 | φ600 ×25.3m |
| ② 芯材 | H鋼 Max 450 ×200 |
| ③ 対象掘削地盤 | 軟弱および一般地盤 (N値<50) |

(3)掘進機工

- | | |
|------|--|
| ①型式 | MAC-150-3 |
| ②モータ | 55 ^{kW} ×4/8p×2 台 (200/220V) |

③掘削トルク

| | |
|-----------------|------------|
| 50HZ:4P-1.07t-m | 8P-2.15t-m |
| 60HZ:4P-0.89t-m | 8P-1.79t-m |



写真-4 下部振止め



写真-3 ロッド自動供給装置

7・おわりに

現在、地下工事に使用されている山留め止水壁は多種多様であります。工期・工費の面から柱列式地中連続壁工法が多用されていることは言うまでもありません。

今後同工法の施工機械が、さらに大型化することになると益々作業環境・周辺環境に及ぼす影響が大きく、建設業のイメージダウンが一層増すものと考えられ、このような社会環境を改善する必要があります。

同機の開発は、大成建設(株)、三和機材(株)、成和機工(株)、成幸工業(株)の4社で共同開発を行い、最初の工事として名古屋で活躍し、今後の安全施工に寄与できるものと考えております。

なお同開発に御指導、御協力願いました方々に本稿をお借りして御礼申し上げます。

13. 簡易なコンクリート打設ロボットの開発

三和機材(株)：*鳴野 亨

(株)竹中工務店：川村 建夫・青柳 隼夫

1. はじめに

建設工事のなかでも主要工事であるコンクリート打設工事は、コンクリート圧送ポンプの性能向上、生コンクリートの品質向上、ミキサー車の大型化など作業所への供給には多くの改善がなされているが、作業所での打設・締固め作業は締固め機器の改善以外はほとんどなく、依然として熟練者の勘と経験に負うところが大きい。また、作業は多くの作業員の人力に頼り、極めて労働集約的な作業であり、作業そのものも大変な重労働作業であり、かつ汚れ作業である。一方、重いホースの振回しなどで配筋をいためるなどの品質上の問題もあり、その施工管理の良否がコンクリート構造物の品質に直接的な影響を及ぼす懸念がある。

コンクリート打設はポンプ圧送工法が一般的で、筒先のホースの振回しと配管の盛り替え作業がある。

これら各作業の問題点は、①作業環境は重労働で、かつ汚れ作業という好ましくない環境である、②筒先ホースが重く、振回し作業をキメ細かくするほど配筋を乱し、品質に悪影響を及ぼす、③圧送による脈動で配筋が乱れ、品質に悪影響を及ぼす、④煩雑な人力作業のため、コンクリート打設方法の標準化が図り難い等である。

これらの打設作業を改善するために、これまで開発され稼働実績のあるコンクリート打設ロボットには水平型と堅型の2種類がある。しかし水平型は据え置き式であり、堅型はクレーン機能を有する多目的機能を合わせもっているが、これらの打設ロボットは設置のための仮設作業を必要とし、比較的大型の工事に適している。

そこで中小規模の工事でも使用可能で、より汎用的な簡易なコンクリート打設ロボットの開発に着手した。

生コン ⇒ 運搬 ⇒ 打設 ⇒ 均し・レベル出し ⇒ 仕上げ ⇒ 養生

2. 試作機(I)の概要

開発の狙いは、下記の通りである。

- ①人力によるホースの振回しを機械化する。
- ②特別な仮設を必要としない可搬式とする。
- ③配筋上を移動できる。

製作した試作機(I)の主仕様を表-1、概要を写真-1、概要図を図-1に示す。

試作機(I)は水平方向に曲がる関節アームを1つ有した走行台車が、レール上を移動する。移動はレールフレームに装備したウィンチで、躯体に反力をとり牽引する方式とした。移動する打設ロボットとポンプ側の配管とは、フレキシブルホースで連結する。

試作機（Ⅰ）での約40m³の実験を行なった結果、下記の改善項目が判明した。

- ①レールフレーム移動の際、配筋端部を引っ掛けて配筋を乱さないために、別の移動機構が必要である。
 - ②コンクリートをキメ細かく分配するために、筒先の上下機構が必要である。
- そこでこれらの問題点を解決するため1992年には試作機（Ⅱ）の開発を行なった。

表-1 試作機（Ⅰ）の主仕様

| | |
|----------|-------------------------|
| 外形寸法(mm) | 6500×7650×1340 |
| 重量 | 790kg |
| 使用電力 | 3.0KVA (AC200V) |
| 配管径 | 4 ^φ (φ100mm) |
| 筒先振り速度 | 4.6 r.p.m. |
| 走行速度 | 11.7 m/min |



写真-1 試作機（Ⅰ）



図-1 試作機（Ⅰ）の概要図

3. 試作機（Ⅱ）の概要

試作機（Ⅱ）の主仕様を表-2、概要を写真-2、概要図を図-2に示す。

試作機（Ⅱ）は分配部と走行部で構成され、操作盤からの有線遠隔操作方式で運転する。

分配部はコンクリート打設用の配管を装備しており、配管先端部はゴムホース構造でウィンチによりホース筒先を上下する。さらに、配管中央部および筒先部の2ヶ所が水平旋回可能な構造で、広範囲にわたり筒先を移動可能な構成となっている。

走行部は2組の走行レールを有し、走行レール上を走行可能な構造である。また、センタジャッキで走行部をGLよりリフトアップした状態で、分配部に対して走行部を任意の方向にターン可能で、かつ走行レールを送り出し可能な構造としている。

移動は走行レールを接地した状態で走行部に装備した車輪を駆動し、走行レール上を移動する。レール端部に達した場合はセンタジャッキで本体を上昇させ（走行レールをGLより上昇させた状態）、走行レールを送り出した後、センタジャッキを縮めて走行レールを接地させることで、レールを前方（後方）へ盛り換えることができる。走行動作の概要を図-3に示す。

表-2 試作機(Ⅱ)の主仕様

| | |
|----------|-------------------------|
| 名称 | デービーロボ |
| 外形寸法(mm) | 5050×3200×1690 |
| 重量 | 650kg |
| 使用電力 | 4.1KVA(AC200V) |
| 配管径 | 4 ^B (φ100mm) |
| 旋回速度 | 4.4 r.p.m. |
| 筒先振り速度 | 4.4 r.p.m. |
| 筒先上下速度 | 100 mm/s |
| 走行速度 | 16.7 m/min |
| ジャッキ速度 | 20.0 mm/s |
| ターン回転数 | 2.2 r.p.m. |



写真-2 試作機(Ⅱ)

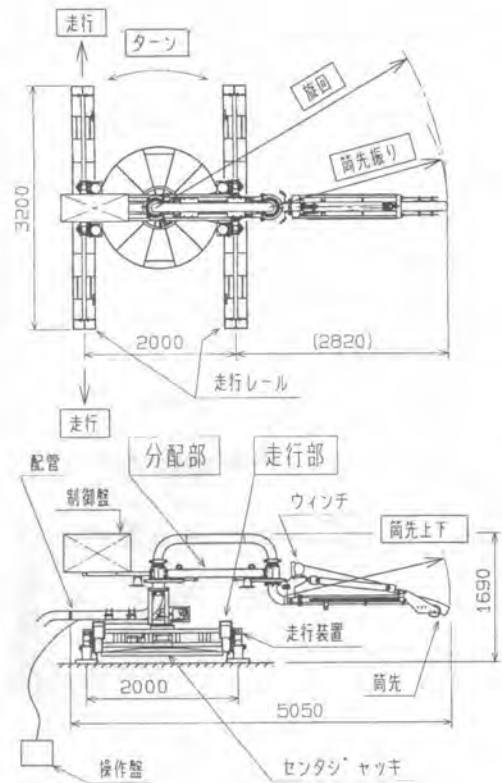


図-2 試作機(Ⅱ)の概要図

(1) 走行前後



(2) レール盛り換え

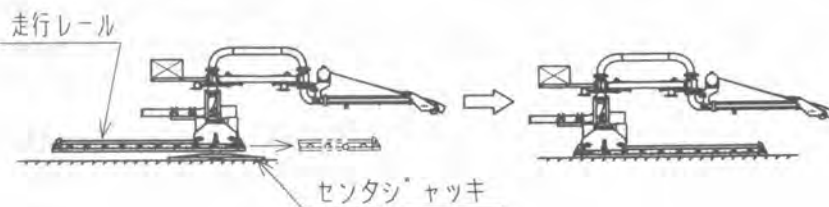


図-3 走行動作の概要

方向転換はセンタジャッキを伸ばし走行部をターンさせ、センタジャッキを縮め走行レールを接地することで行なう。方向転換動作の概要を図-4に示す。

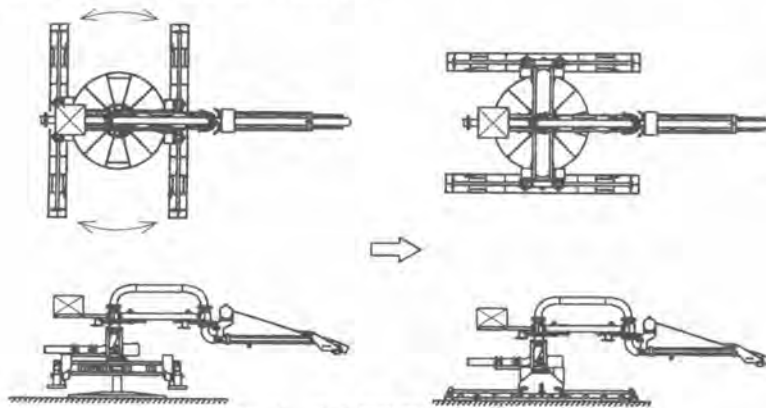


図-4 方向転換動作の概要

4. 施工実験

施工概要を図-5に示す。

現場実験は2社、3作業所で行い、うち2例は事務所ビル躯体、1例は地下躯体で合計約1100m³の打設を実施した。

その結果、移動による配筋の乱れを防ぎ、きめ細かくコンクリートを分配できることを確認した。

打設工の評判および現場管理者の評価は良好であった。

今後の検討課題としては、①多くのレバーを同時に動かす必要があり、操作に熟練を要するためモード運転（部分自動）を取り入れる、②有線操作の煩わしさを解消するため無線の遠隔操作を導入する、③装置の耐久性の検討を行なう、等が挙げられる。

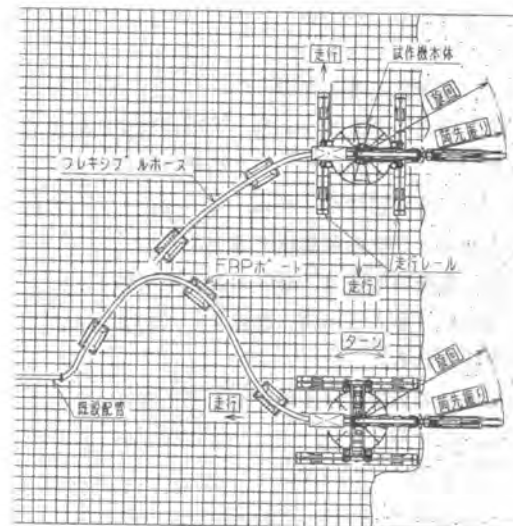


図-5 試作機(Ⅱ)の施工概要

5. おわりに

中小規模の工事において使用可能な簡易なコンクリート打設ロボットの開発により、打込み・均し・仕上げの各作業の組み合わせによる工事レベルのシステム化が可能となった。

今後、現場稼働を通じさらに改良を加え、現業への定着を図り、現場におけるコンクリート作業の改善に貢献したい。

なお、本開発は建設ロボット・コンソーシアムの中で開発されたものであり、構成会社は竹中工務店・浅沼組・新井組・大日本土木・地崎工業・西松建設・長谷工コーポレーション・フジタ・村本建設である。

関係各位の皆様のご協力に感謝の意を表します。

14. 深礎杭工事における施工改善

建設省月山ダム工事事務所： 榎村 康史

建設省東北技術事務所： 井上 秀秋

鹿島・不動建設共同企業体：*三井 進平

1. はじめに

現在主として人力により施工され、土木工事の中で最も作業環境の悪い工事の一つとされて、工事従事者の高齢化と相まって、人手不足などの深刻な問題を抱えている深礎杭工事において、危険・苦渋作業の解消、省人化及び労働災害防止のための施工改善を目的とし、次の4点について試みた。

- ① 削孔工（坑内での岩盤発破用削孔機を開発、製作する）
- ② ズリ搬出工（ズリ搬出に大型機械を適用する）
- ③ 鉄筋工（太径鉄筋D51を使用する）
- ④ 昇降設備（深礎工用ゴンドラを開発、製作する）

本論文は、上記4点について月山ダム建設工事の実施工において、試験工事を行った。その結果について報告するものである。

2. 深礎杭工事の概要

当工事は、ダムコンクリート用骨材製造設備のうちサージパイルにおいて、その基礎地盤が骨材の貯蔵により不安定になるため、その抑止工として行うせん断くさび杭の深礎杭工事である。

施工箇所の地質は、凝灰角礫岩を基盤とし、安山岩の転石（最大5m級）を混入した岩塊玉石混り土で構成される。

深礎杭の規模は以下のとおりである。

- ・設計抑止力(S.F_s =1.10) 232t/m
- ・杭径 4.0m
- ・杭長 34.5~53.0m
- ・ピッチ 9.5m ・本数 12本

試験工事の対象杭はこのうちの3本（深さ52.0~53.0m）である。

深礎工の作業手順を図-1に示す。



図-1 深礎作業手順

3. 改善点

3.1 削孔工

3.1.1 概要

現在小口径深礎の掘削において岩塊、大転石及び岩盤発破用の削孔はジャックハンマーによる人力作業が主体である。これは削孔位置を目視で確認でき、かつ削孔状況を手で把握でき、岩質の変化に対し発破パターンに自由度があり、設備が簡便である。但し狭い孔の中での粉塵、振動、騒音など、深礎工

の作業手順中でも作業環境が最も劣悪であり、また坑内作業時間も長い。これを改善すべく削孔作業の機械化を検討し、平成3～4年度にわたって削孔機械の開発、製作、試験工事を行った。

3.1.2 削孔機の仕様及び構造

- 位置固定装置 ステーキング式、サポートリフト及び開閉ジャッキ4台ずつ
 ブーム ブームリフト、ガイドチルド、ガイドスライド及び旋回式
 削孔装置 D95空圧ドリフタ1台、ロッド 25Hex×2.1m、ビットφ38
 空気消費量 6.4m³/min
 ダストコレクター 吸引、集塵ボックス式、風量5.04m³/min
 操作方法 坑内での遠隔操作（バルブ操作）

図-2に削孔機全体図、写真-1に削孔機全体状況を示す。

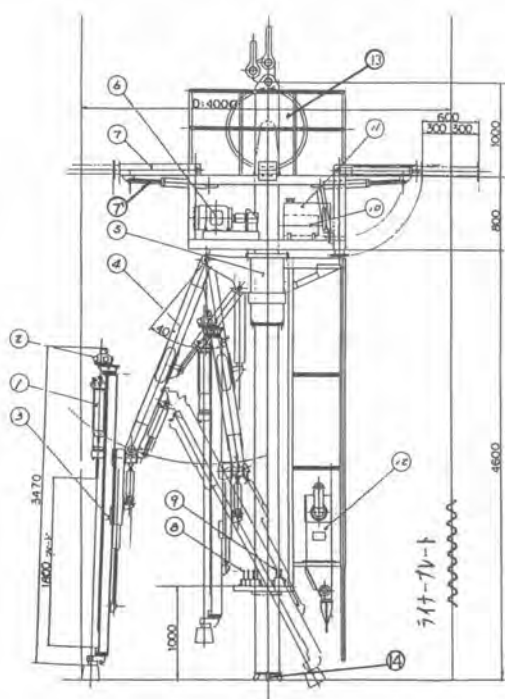


図-2 削孔機全体図

| | | |
|------------------|------------------------|----|
| 14 | 先端リミットスイッチ | 1 |
| 13 | ケーブルリール | 1 |
| 12 | ダストコレクター | 1 |
| 11 | オイルレザーバー | 1 |
| 10 | オイルタンク | 1 |
| 9 | RCV26 ニュアフェックコントロールバルブ | 1 |
| 8 | 油圧コントロールバルブ | 1式 |
| 7.7 ¹ | FDTサボテンガーム 開閉ジャッキ | 4 |
| 6 | 7.5KW 4P 50Hzイクル ユニット | 1 |
| 5 | FDT360° 旋回機構 | 1 |
| 4 | FDTブーム | 1 |
| 3 | GSB-20 ガイドシェール | 1 |
| 2 | MSIフィードモーター | 1 |
| 1 | D95ドリフター | 1 |
| 番号 | 部品名 | 数量 |



写真-1 削孔機全体状況（サポート張出）

3.1.3 施工結果

- ① 今回の削孔機は深礎径はφ3.5～4.5mに適。深度はクレーンで吊下げるため特に制限はない。土質は軟岩（Ⅰ）、軟岩（Ⅱ）に適。
- ② 1ロット（1m）52孔削孔するのに約4.5時間、設置・撤去に1.5時間要した。これは従来のジャックハンマー1台とほぼ同じである。
- ③ 遠隔操作（バルブ操作）によるので振動の障害

は全くない。ダストコレクターで集塵するので、粉塵はほとんどなく、坑内はきれいである（孔底で22CPM）。従来工法では、削孔中は粉塵で坑内は見えない（孔底で131CPM）。

- ④ 先端センサーによるサポート自動セットがうまくいかなかった、1ブームでは削孔能力が不足である、騒音は変わらない等の欠点があり、改善改良の余地がある。

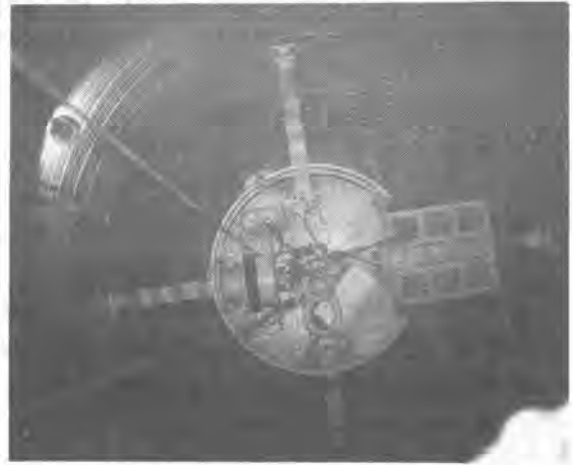


写真-2 ステージング、削孔状況（上側から見る）

3.2 ブリ搬出工

3.2.1 概要

従来工法は（人力積込+バケットブリ搬出）で行われ、安全性、作業環境が劣悪である。土砂バケットの昇降が上下作業となり、ズリの

落下や坑内外の合図の不徹底など掘重機もからんだ災害の危険度が高い。坑内での作業時間が最も長く深度が深くなった場合、作業能力が低下する。

この苦渋作業を改善するため、土砂の掘削と破碎した岩ブリ搬出が可能な機械の検討を行った。当機械は小口径で使用可能であること、深度53mのブリ搬出が可能であることが条件であり、アースドリルパイプラムシェルを主体とし安全性を考え、ブリ搬出時には坑内に作業員が必要ないものを検討したその結果、アースドリルのバケットを改良した既存のハードストレイタムアースドリル工法（HSED工法）が適用可能と判断された。当機械については平成3年度に試験施工を行った。

3.2.2 機械の仕様及び構造

この機械は基礎工事に使用されている油圧閉閉式バケット（シェル開閉式ドリリングバケット）を装着したもので、バケットの回転と開閉を同時に稼働させることができ、玉石、レキ層などの地層の掘削に対応でき、玉石は大割でブリ搬出が可能である。

また、バケットを小さくすることにより最小径1.4mまで可能で掘削深さはケーリーバーを開発することで更に深くできる。図-3に掘削機械全体図、表-1に機械の仕様を示す。

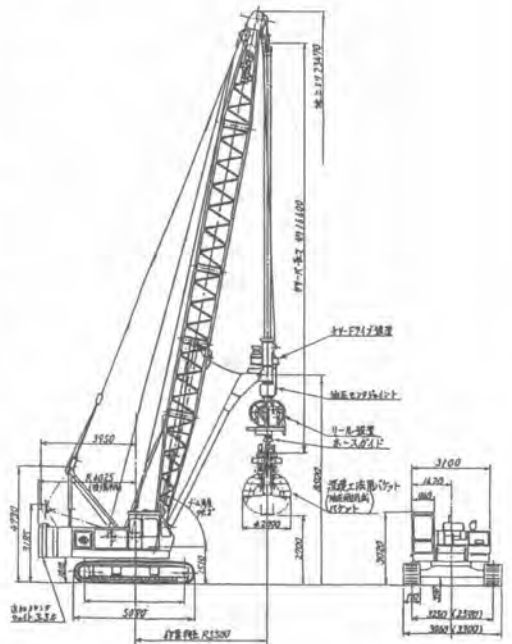


図-3 掘削機械（HSED機）全体図

3.2.3 施工結果

- ① 土砂～礫まで掘削可能である。玉石は500mm以上では小割が必要である。発破を併用すれば全ての土質に可能である。
- ② 掘削速度は従来工法に比べて全掘削サイクルで平均約15%、掘削のみで約20%短縮でき

た。また深くなるほど機械掘削が有利である。

- ③ 危険でかつ苦渋作業である作業員による連の坑内作業時間が、従来工法の平均43%で57%低減できた。
- ④ 延べ作業員数は、従来工法に比べ約9割となり省人化が図られる（機械掘削時は作業員が一部待機する等のため坑内作業時間低減がそのまま延べ作業時間の低減にはならない）。
- ⑤ 掘削グリ搬出時の坑内無人化により安全性が向上する。
- ⑥ 掘削費は従来工法より割高であるが、人手不足、苦渋度の改善効果を考慮するとメリットはあると考えられる。また、同時に掘削する本数を多くすると（今回は2本に適用）、機械、作業員の効率上がり、コスト差は縮小するものと思われる。
- ⑦ 欠点として、ライナープレート周辺部（土平）に取残しが生じる。

3.3 鉄筋工

3.3.1 概要

人力作業が主体であり、悪条件化での作業時間が長い。縦鉄筋搬入時の荷のズリ抜けによる落下の危険がある。さらに配筋が多重巻、重ね継手で、しかもピッチが狭いことからコンクリートの充填に問題がある。

せん断抑止杭は、鉄筋の断面積で抑止力が決まる。作業性を確保するためには配筋層数を減らすことが望ましく、また、杭径を小さくするためにも、鉄筋間隔は一般に最小間隔にしている。しかし、それでも従来一般に使われているD32mm筋で配置すると鉄筋間隔 104mm×100本/層×3層配筋となる。

太径鉄筋は、継手の問題、継手方式によっては高炉製に限られ、市場性、コスト的な問題で特殊な構造物にしか採用されていないのが現状である。ここでは積極的に太径鉄筋を採用し配筋本数を減らすことにより、作業性の改善を図り作業員の苦渋を解消することに努めた。平成3～4年度にわたって検討設計、試験工事を行った。

3.3.2 設計仕様

継手方式は重ね継手、溶接継手、機械継手があるが、各工法の中から、熟練度を必要とせず過密配筋でも施工可能で、クレーン拘束時間も短いねじふし鉄筋機械継手の樹脂固定方式の採用が最適と判断された。また、樹脂固定方式では、作業機械が軽く、火気も使用しないため安全性にも優れている。

表-1 ハド・ストリタム・アースドリル工法機仕様

| 本 体 型 式 | | 油 圧 ア ー ス ド リ ル | |
|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------|
| ブ ー ム 長 さ (m) | | 22 | |
| 最 大 掘 削 深 度 (m) | | 54 | |
| バ ケ ッ ト 回 転 | 正 転 | 4.1 | |
| ト ル ク (t - m) | 逆 転 | 4.1 | |
| バ ケ ッ ト 最 大 巻 上 げ 力 (t) | | 15 | |
| 補 助 づ り 容 量 | | 最 大 4.9 | |
| 作 業 速 度 | バ ケ ッ ト 巻 上 げ (m / m i n) | (高 速) 86 (低 速) 33 | φ-7 径 |
| | バ ケ ッ ト 巻 下 げ (m / m i n) | (高 速) 86 (低 速) 33 | 22mm |
| | 補 助 づ り 巻 上 げ (m / m i n) | (高 速) 70 (低 速) 35 | φ-7 径 |
| | 補 助 づ り 巻 下 げ (m / m i n) | (高 速) 70 (低 速) 35 | 20mm |
| | ブ ー ム 巻 上 げ (m / m i n) | 60 | φ-7 径 |
| | ブ ー ム 巻 下 げ (m / m i n) | 80 | 14mm |
| 旋 回 (r p m) | | 3.7 | |
| 走 行 速 度 (k m / h) | | 1.6 | |
| 原 動 力 | 型 式 | 71-762772 | |
| | 定 格 出 力 | 150/2000 | |
| 全 装 備 重 量 (t) | | (本 体 35 t / 72) 58.6 | |
| 接 触 圧 (k g / c m ²) | | 0.85 | |



写真-3 HSED機による掘削状況

太径鉄筋は継手方式から高炉製のD51mmを使用する。D51mmの使用は1本当りの重量が重いことを除けば鉄筋本数、継手箇所、層数の軽減、鉄筋間隔の拡大により施工性は向上すると考えられる。図-4にD32mm(従来)とD51mmの配筋を示す(深さ53m)。

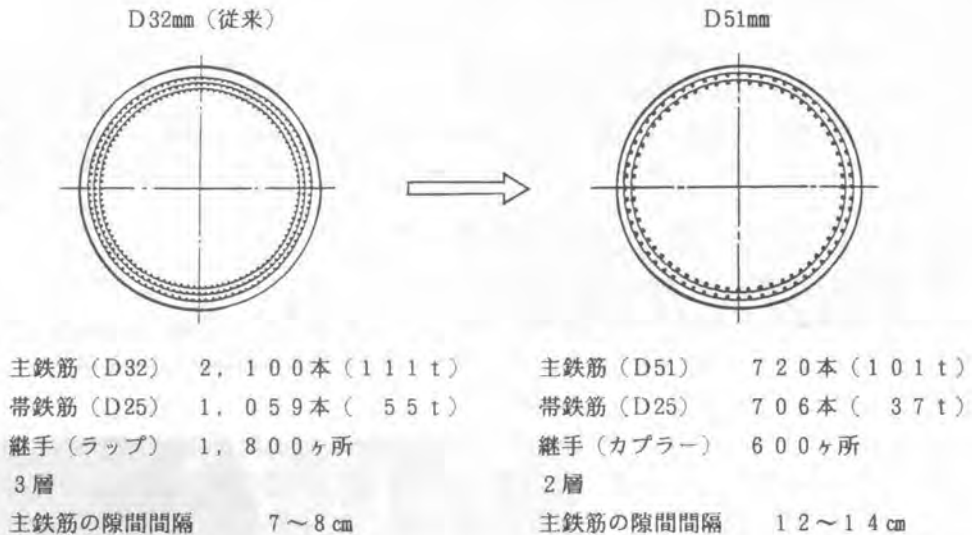


図-4 D32mm(従来)とD51mmの配筋状況(φ4m, 深さ53m)

3.3.3 施工結果

- ① 組立速度は主鉄筋では従来に比べて約3割速い。帯鉄筋は3層から2層になるので、従来に比べて1/3速い。
- ② コンクリートの配合が240 8 40(従来240 18 25)でも鉄筋まわりに充填が可能。
- ③ 本数、継手箇所が大幅に減り、また鉄筋の隙間間隔が12~14cmとなって、鉄筋組立時長靴が鉄筋の間に入るようになり、施工が非常に楽になる。作業員の評判も非常に良い。
- ④ D51mmは高炉品のため材料費は高くなるが、帯鉄筋が一層減り、D51mmの組立歩掛の効率も良いので、労務費が大幅に減り、全体としては従来に比べてわずかに高いがほとんど変わらない。今後電炉品のねじふし鉄筋が生産される計画もあり、そのようになればD51mmの方が安くなると思われる。

3.4 昇降設備

3.4.1 概要

作業員の昇降は主として梯子によるが、深さ20mを



写真-4 D51組立状況

越えると疲労度・危険度は加速度的に増し、作業の効率は著しく低下する。他の昇降設備として工所用エレベータ、クレーンによる搭乗設備が考えられるが、工所用エレベータは杭径 3.5m以上必要となり鉄筋組立時には使用できない欠点がある。クレーンによる搭乗設備は非常に簡便であるが安全面に問題がある。

これらの問題を解消するために、深礎工全工程に使用可能な昇降設備として、平成 4 年度に深礎工用 Gondola を開発、製作しかつ試験工事を行った。

| | |
|-----------------------------------|--|
| 3.4.2 深礎工用 Gondola の仕様及び構造 | |
| 型式 | 電動式・台車型アーム固定型 Gondola (無軌道式・可搬式) |
| 積載荷重 | 240 kg (3人乗) |
| 揚程 | 5.4 m |
| 昇降速度 | 2.1 m/min |
| 操作方法 | Gondola 内押釦方式 Gondola 外よりも操作可 (Gondola 内部切替及び非常時) |
| 搬器 | 巾 800×長さ 900×高さ 2100 |



写真 5 深礎工用 Gondola 全体状況

3.4.3 施工結果

- ① 掘削、鉄筋組立時等で全工程に使用が可能である。
- ② 3人乗りと昇降の速さのメリットで、昇降に要する時間は梯子に比べて約 1/5 程度になる。
- ③ 種々の安全機能を有しており、ほとんど危険性がない。深さによる影響は全くない。作業員の体力を要しない。雨による天候の影響を受けない。
- ④ 昇り降りの苦渋・疲労は 100% 解決され、作業員の評判は非常に良い。
- ⑤ 梯子に比べて当然高価であり、一部の工所用エレベーターよりも多少高い。しかし全工程に使用できるメリットは大きい。



写真 6 深礎工用 Gondola 使用状況

4. あとがき

今回の 4 項目の施工改善は深礎杭工事の危険・苦渋作業の改善、省人化について相当な結果を得ることができた。特に太径鉄筋 D51 及び深礎工用 Gondola の使用は作業員にも評判が良く、危険・苦渋だけでなく、作業効率も著しく改善された。削孔機は削孔作業の機械化の目的が先ず果たされ、粉塵、振動等の問題は改善された。今後は騒音、施工性、作業性について改善していく余地がある。ズリ搬出機は人手不足、掘削ズリ搬出時の坑内無人化による安全性を考えれば十分にメリットがある。今後は土平の取残しに対して改良の余地がある。

15. 再生アスファルトプラントにおける 触媒を用いた排ガス脱臭の基礎研究

日 工(株)：蓬萊 秀人

1. まえがき

都市近郊部の道路工事の内、既設道路の維持修繕工事の占める割合が増加してきており、近い将来道路のメンテナンス時代が訪れる事を予感させられる。この道路舗装の維持修繕工事に伴い、アスファルト舗装発生材（アスファルトコンクリート発生材）が副産物として生じてくるが、従来はこのアスファルト舗装発生材を産業廃棄物として埋立等に用いていた。土地価格の高騰、環境保全、資源の有効利用等とさげられる中、「再生資源の利用の促進に関する法律」いわゆるリサイクル法が制定され、アスファルト舗装発生材を有効資源として見直し、アスファルト舗装発生材を混入した再生加熱アスファルト混合物を、新規の加熱アスファルト混合物と同等と見なす動きがでてきた。これにともない、再生加熱アスファルト混合物、ならびにこれを製造する再生アスファルトプラントの需要増加が見込まれる反面再生アスファルトプラント特有の問題が顕在化してくる。特に再生加熱アスファルト混合物を製造する過程で発生する臭気が、再生アスファルトプラントの立地条件や風向風速の影響で、悪臭公害となる場合もあり、生活環境の保全、豊かさ、アメニティー等と騒がれている昨今、再生アスファルトプラントにおける、経済的な悪臭防止技術の確立が求められている。

2. 研究目的

アスファルト舗装発生材から再生加熱アスファルト混合物を製造する再生アスファルトプラントのドライヤ（以後再生ドライヤと呼ぶ）において、アスファルト舗装発生材を乾燥加熱する過程で、ばい塵と共に紫煙（以後ブルー・スモークと呼ぶ）が発生してくる。このブルー・スモークはアスファルト舗装発生材に含まれているアスファルトが熱分解や酸化分解を受けて揮発し、冷やされ凝縮してきたもので、不特定多数の複雑な炭化水素系臭気成分を含み、しかも200℃前後と高温である。このため、吸着脱臭法や薬液洗浄脱臭法では、臭気の構成成分を分析し、最も効率よく脱臭処理できる吸着剤や吸収液を選定する必要がある。さらには、吸収効率を上げるための冷却装置、あるいは使用済みの吸着剤や吸収液の二次処理装置等が必要となるため、再生アスファルトプラントへの採用は現実的に難しい面を持っている。

一方、燃焼式脱臭法は、排気ガス温度が高く、炭化水素系臭気の組成が不明であっても、効率よく乾式処理する事ができ、しかも二次処理装置が不要である。

以下では、脱臭処理温度が直接燃焼法の半分以下と経済的で、なおかつリーマルNoxの発生がない等の特徴を持つ触媒燃焼式脱臭法を取り上げ、再生ドライヤの排気ガスを触媒で脱臭処理した場合の脱臭性能、耐久性、経済性等について行った調査研究の一部を紹介するものである。

3. 研究方法

3.1 脱臭性能

官能試験法である三点比較式臭袋法による臭気濃度の測定は、東京都等の地方条例で定められているが、これの第3種区域排出口基準値である臭気濃度1,000を、今回の脱臭処理の目標値とし、触媒の脱臭性能に影響を与える処理温度と、SV（空間速度）の関係について、（表-1）に示す要因と水準で調べた。尚、SVは（式-1）で定義する値である。

（表-1）

| 要 因 | 水 準 |
|----------|----------------------|
| 処理温度 | 200℃、250℃、300℃、350℃ |
| SV（空間速度） | 10,000、20,000、30,000 |

$$SV = \frac{\text{処理ガス量 (Nm}^3\text{/h)}}{\text{触媒容量 (Nm}^3\text{)}} \quad (\text{式-1})$$

又、触媒燃焼法との比較のために、直接燃焼法における処理ガス温度と脱臭効率との関係を（表-2）の水準で調べた。

（表-2）

| 処理温度 | 400℃ | 500℃ | 600℃ | 700℃ | 800℃ |
|------|------|------|------|------|------|
|------|------|------|------|------|------|

臭気濃度の測定に関しては、官能試験法である三点比較式臭袋法により行い、脱臭性能の評価は、脱臭装置入口および出口の臭気濃度を（式-2）で定義する脱臭効率により行った。

$$\text{脱臭効率}(\%) = \frac{(\text{入口臭気濃度}) - (\text{出口臭気濃度})}{\text{入口臭気濃度}} \times 100 \quad (\text{式-2})$$

3.2 触媒の耐久性

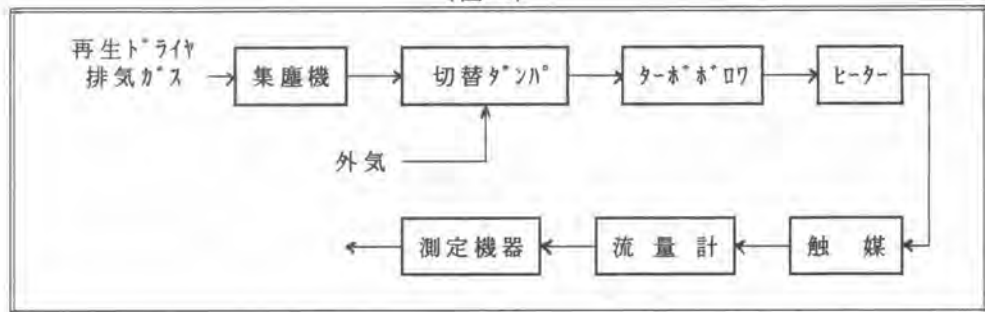
触媒毒等の弊害により、触媒の活性が低下すると一般的にいわれているが、再生ドライヤの排気ガスを実際に脱臭処理した場合、これらが触媒に与える影響および、触媒の耐久性についての調査を行った。具体的には、定期的に（表-1）の要因と水準で脱臭性能の測定を行ない、SV=30,000で処理ガス温度350℃、あるいは、SV=20,000で処理ガス温度300℃の条件で、臭気濃度1,000以下に再生ドライヤの排気ガスを脱臭処理できなくなった時点に触媒の寿命とする。又、耐久テスト終了後、触媒の酸化性能ならびに活性比面積等の分析を行ない、寿命推定のための基礎データとする。

一方、再生ドライヤの排気ガスに含有しているガスやカル分が、触媒表面に付着した場合、触媒を閉塞し活性比面積が減少してしまうので、これらの影響を少なくするために、前処理装置としてバクフィルタを取り付けた。

尚、実験で用いた触媒は、ガス等の影響を受けにくいにカルタの白金系の酸化触媒で、処理ガス中の硫黄分を考慮して耐Soxタイプを選定し、50mm厚さのものを4段重ね

にして使用した。触媒の脱臭性能ならびに耐久テストに用いた実験装置のフローを(図-4)に示す。

(図-4)



4. 研究結果

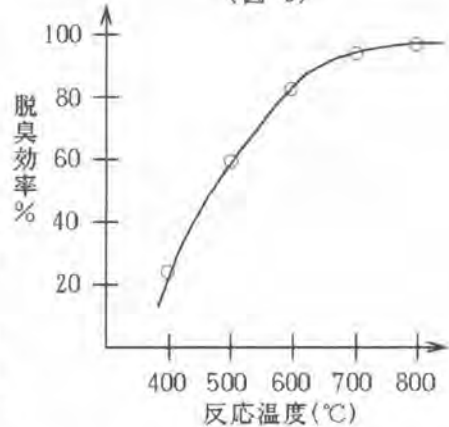
4.1 脱臭性能

(図-5)に直接燃焼式の脱臭装置により、再生ドライヤの排気ガスを脱臭処理した時の反応温度と脱臭効率との関係を示す。再生ドライヤの排気ガスに含まれる臭気成分の変動を考慮すると、800℃以上の温度で処理しなければ、出口臭気濃度1,000をクリアできない事が分かった。

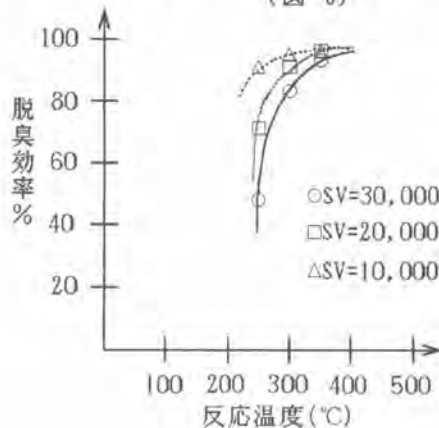
触媒燃焼式脱臭に関して、(図-6)に温度と脱臭効率との関係を、(図-7)にSV値と脱臭効率との関係を示す。酸化触媒を用いて再生ドライヤの排気ガスを、出口臭気濃度1,000

以下に脱臭処理するためには、SV=30,000では350℃以上、SV=20,000では300℃以上の反応温度が必要である事が分かった。これは、直接燃焼法に比べて半分以下の温度で酸化分解を完結させる事ができ、昇温のためのエネルギーを節約する事ができる。

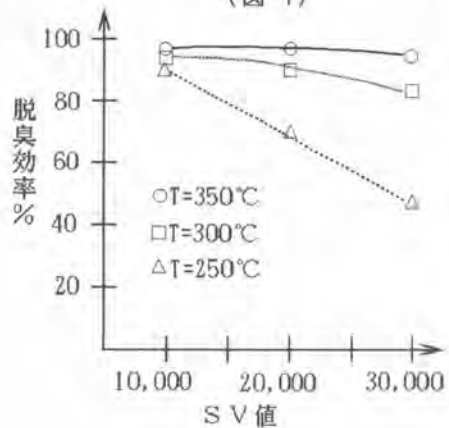
(図-5)



(図-6)



(図-7)



4.2 耐久性

結果的には、実稼働時間450時間、約4ヶ月間の耐久テストとなったが、触媒の脱臭性能に関しては、ほとんど低下が認められなかった。（表-3）に耐久テスト開始後50時間と終了時450時間との脱臭性能の比較データを示す。分析は、触媒反応器入口と出口の炭化水素濃度をガスクロで分析し、（式-3）に定義する非メタン除去率で評価した。

これは、メタンの解離温度が約400℃以上と高温であり、350℃以下の温度ではメタンが残存して除去率が悪くなるので、メタン以外の炭化水素（非メタン）で計算を行った。

尚、メタンは無臭である。

（表-3）

| S V | 10,000 | | 20,000 | | 30,000 | |
|------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | 50hr | 450hr | 50hr | 450hr | 50hr | 450hr |
| 200℃ | 81.4% | 85.0% | 25.0% | 37.6% | <10% | — |
| 250℃ | — | 95.8% | 88.6% | 89.7% | 85.1% | 81.2% |
| 300℃ | — | — | 94.3% | 97.5% | 90.7% | 94.8% |
| 350℃ | — | — | 96.0% | 96.2% | — | — |

$$\text{非メタン除去率(\%)} = \frac{(\text{入口非メタン濃度}) - (\text{出口非メタン濃度})}{\text{入口非メタン濃度}} \times 100 \quad (\text{式-3})$$

一方、耐久テスト終了後、触媒の酸化性能をトルエンの酸化分解除去率で測定したところ触媒反応器入口側触媒の低温度域、約200℃における活性が低下している事が分かった。これは、触媒毒である硫黄の影響であると思われるが、常用温度域である300～350℃においては、酸化性能の低下は認められなかった。（表-4）にトルエンで行った触媒の酸化性能の測定値を示す。

（表-4）

| 分析触媒 | 200℃ | 250℃ | 300℃ | 350℃ |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| 1段目触媒 (入口側) | 7.0% | 98.5% | 99.4% | 99.8% |
| 2段目触媒 | 6.0% | 97.8% | 99.3% | 99.8% |
| 3段目触媒 | 8.0% | 97.6% | 99.3% | 99.8% |
| 4段目触媒 (出口側) | 13.4% | 99.0% | 99.8% | 99.9% |
| 新品触媒 | 97.3% | 99.7% | 99.8% | 99.9% |

5. 考 察

5.1 触媒の脱臭性能

燃焼式脱臭の基本原理は、酸化分解であり、臭い成分を無臭の酸化物に分解する事で脱臭が行われる。たとえば炭化水素系の臭気成分であれば、炭酸ガスと水とに酸化分解される。ただ、この酸化分解を完結させるには800℃前後の高温度域が必要で、中途半端な温度では酸化反応が終了せずに中間物質が生成し、逆に臭気濃度を増加させる場合もある。これに対し、酸化触媒を用いれば、直接燃焼法の半分以下の反応温度で酸化分解を完結する事ができる。触媒とは、化学反応の進行途中にのみ関与して、反応系の活性化エネルギーを小さくする（反応温度を低くする）働きを持ち、化学反応の前後で触媒そのものは消費される事なく半永久的に存続するものをいう。代表的な酸化触媒として白金が良く知られている。

今回使用したハカティ[®]の酸化触媒は、SV=30,000であれば、200～300℃の温度範囲で、一般的な炭化水素系の臭気成分を脱臭処理する事ができるといわれているが、実際の再生ドライヤの排気ガスを処理するのに、350℃の処理温度を必要とした事より、再生ドライヤの排気ガスに含まれる臭気成分は、酸化分解しにくい高沸点成分が多く含まれているものと考えられる。

5.2 触媒の耐久性

白金系の酸化触媒の活性を低下させる触媒毒として、ハロゲン族、燐、硫黄、珪素等が知られている。これらは、白金と直接反応し白金の活性力を失わせるものである。直接には白金の活性を失わせないが、触媒孔を閉塞して、実質的な活性面積を減少させるものに、ダストやタールの付着が考えられる。今回の触媒耐久テストにおいて、この両者が触媒に与える影響を調べたが、触媒毒となる成分は硫黄化合物だけである事が分かった。幸いにして、再生ドライヤの使用燃料は灯油であったので、触媒に影響を与えた硫黄化合物は、ブルースモークや臭気成分に含まれているものと考えられる。これの影響で、200℃前後の低温度域における触媒の酸化性能が低下している事が分析の結果分かったが、脱臭装置として常用する300～350℃の温度範囲においては、耐久テスト開始後、50時間と450時間に測定した脱臭性能にほとんど差が認められなかった事や、耐久テスト終了後に行った、トルエンによる触媒の酸化性能テストで、99%以上の除去率を維持していた事から、まだまだ使用に耐えるものと思われる。

一方、ダストやタール分の影響に関しては、アスファルトプラントで一般的に使用されているバグフィルタを前処理装置として採用したため、これらの影響で触媒の脱臭性能が低下する事はほとんどなく、耐久テスト終了後に行った触媒の分析結果においても、触媒反応器入口側の触媒表面から、極少量のダストの付着が検出されたにすぎない。

以上の調査結果より、今回使用した耐Sox性白金触媒は、年間稼働1,000時間の再生アスファルトプラントで、1年以上の使用に充分耐える事ができるものと期待される。

5.3 経済性

直接燃焼法と触媒燃焼法のランニングコストについて（表-5）に計算例を示す。ここでは、200℃の再生ドライヤの排気ガス100Nm³、それぞれの脱臭装置で出口臭気濃度1,000以下に脱臭処理する場合について比較した。この計算例からも熱交換器等により

廃熱を回収しない場合、触媒燃焼式脱臭は直接燃焼脱臭の1/4の燃料で運用できる事が分かる。実際には、昇温 ΔT の燃焼ガス、放散熱等で値が変わる場合がある。

(表-5)

| 触 媒 燃 焼 式 脱 臭 | 直 接 燃 焼 式 脱 臭 |
|--|---|
| $\Delta T=350-200$ $=150$ (Cp=0.32KCal/Nm ³) $Q=Cp \cdot V \cdot \Delta T$ より $=0.32 \times 100 \times 150$ $=4,800$ KCal 灯油換算=0.6L | $\Delta T=800-200$ $=600$ (Cp=0.32KCal/Nm ³) $Q=Cp \cdot V \cdot \Delta T$ より $=0.32 \times 100 \times 600$ $=19,200$ KCal 灯油換算=2.5L |

ただし、 ΔT :昇温温度 Cp:定圧比熱 Q:必要熱量

6. 今後の課題

(1) 再生ドライヤの排気ガス量の低減

再生ドライヤの排気ガス量を低減する事で、前処理装置および脱臭装置の小型化が可能となり、設備費の低減につながるので、再生ドライヤの高効率化の追求、ならびに余分な侵入IT-を少なくする工夫が必要である。

(2) 経済的な前処理装置の開発

現在、再生ドライヤの集塵機として採用しているバグフィルターは、粘着性のオイルミスト等を考慮したシステムを取り入れているが、これをそのまま触媒の前処理装置および集塵機として採用するには、装置全体の設備費が大きくなる。今後、全体のシステムを考慮した経済的な前処理装置の開発が必要である。

(3) 廃熱の有効利用

直接燃焼脱臭法に比べ廃熱の少ない触媒脱臭法であっても、エネルギーの有効利用の観点から、熱交換器を採用し、燃料の削減と経済性を追求して行く必要がある。

(4) 触媒反応器の経済性の追求

触媒のSV値を上げる。即ち、滞留時間を短くする事で触媒反応装置を小型にでき、設備費を低減する事が可能であるが、その反面処理温度が高くなりランニングコストを引き上げる要因となる。触媒脱臭装置を採用するに当たっては、触媒の最も経済的な脱臭条件を、今後とも調査研究して行く必要がある。

(5) 再生アスファルトプラントの再構築

将来的には、脱臭装置の開発のみならず、臭気の発生が少なくなるように、再生アスファルトプラントのシステム全体を見直し、総合的に悪臭対策に関する調査研究を続けて行く必要がある。

16. F式クライミングフォーム 工法の適用と改良

(株)フジタ：森本 正一・松尾 宗義
*関原 弦

1. はじめに

当社では高橋脚等の高層構造物の施工を対象に①安全性向上、②工期短縮、③コストダウンを目的に昇降ロボットジャッキを中枢とするF式クライミングフォーム工法（FCF工法）を開発し、昭和54年からこれまでに多数の現場へ導入してきた。

今回導入した現場の中から特徴ある施工例を4例取り上げて紹介し、併せてこれらの現場経験を踏まえ、この度改良を加えた結果と今後の展開について報告するものである。

2. FCF工法の概要

2-1. 工法概要

FCF工法は、高橋脚等の塔状あるいは筒状の高層コンクリート構造物の施工のために開発された工法である。当工法は複数台の昇降ロボットジャッキ群を用いてフレーム全体の上昇のみでなく、下降をも出来る事を特徴としている。

図-1にFCF工法の構造概要を示す。橋脚の周囲にはシステムの受台であるメインフレームがその大きさにより通常4～8本の鋼管ロッドを介して躯体に固定されている。ここで、鋼管ロッドは移動時のガイド及び鉛直荷重に対する支え支柱となっている。メインフレーム上には作業用の足場が通常5～7段（約8～12m：鉄筋長さによる）に生まれ、さらに大型型枠（高さ約5m）、上昇・下降を行うための昇降ロボットジャッキ、レベルセンサ、各昇降ロボットジャッキを制御するローカルマイコン及びシステム全体を制御する中央制御盤が組み込まれている。

図-2に制御システム概念図を示す。各々の昇降ロボットジャッキの設置箇所に基づけられているレベルセンサのデータ、及びその他機器の動作情報は、各昇降ロボットジャッキに組み込まれたローカルマイコンから中央制御盤に送られる。中央制御盤では、各レベルセンサに現れる相対的な差異を高低差情報とし

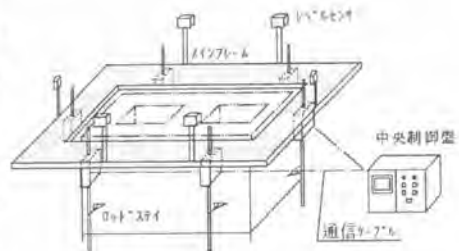
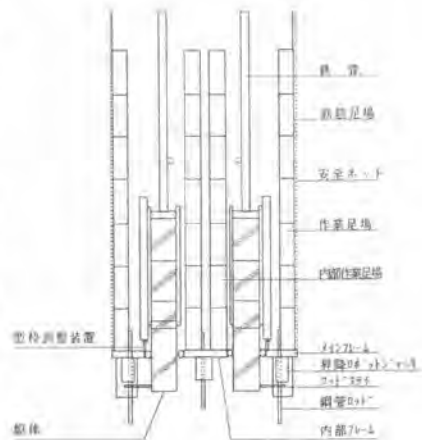


図-1 FCF工法構造図

て処理し、この高低差を許容範囲内に制御するための制御データを、各ローカルマイコンへ送信する。
 ローカルマイコンはそれに基づき油圧ユニット、鋼管を把持するためのチャック等を作動させて上昇または下降を行う。

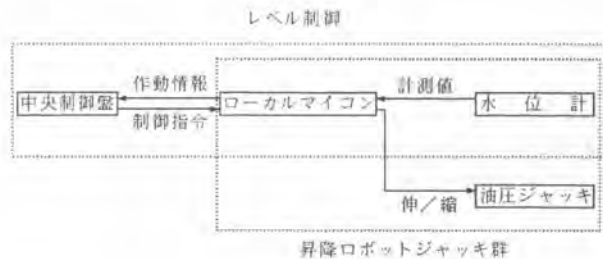


図-2 制御概念図

2-2. FCF工法の移動要領

FCF工法移動要領を図-3に示す。まず、鋼管に取り付けた昇降ロボットジャッキのチャックで鋼管にフレームを固定する。次に油圧ジャッキを作動させフレーム全体を上昇・下降させる。この方法を1ストローク10cmで尺取り虫式に繰り返すことによって、5mあたり約2時間で移動させる。移動にあたっては、各昇降ロボットジャッキのレベルセンサとローカルマイコンにより、レベル差が設定値以内（通常は15mm程度）となるように油圧ジャッキのストロークを調整している。

この工法はメインフレーム上に足場を全て設置してあるために移動に際してそれらの足場、安全ネット等を組み立て、解体する必要はなく、組んだまま移動でき、作業の簡素化が可能となる利点がある。また施工完了後の解体作業をメインフレーム下降後、地表面近くで安全に行うことができる。

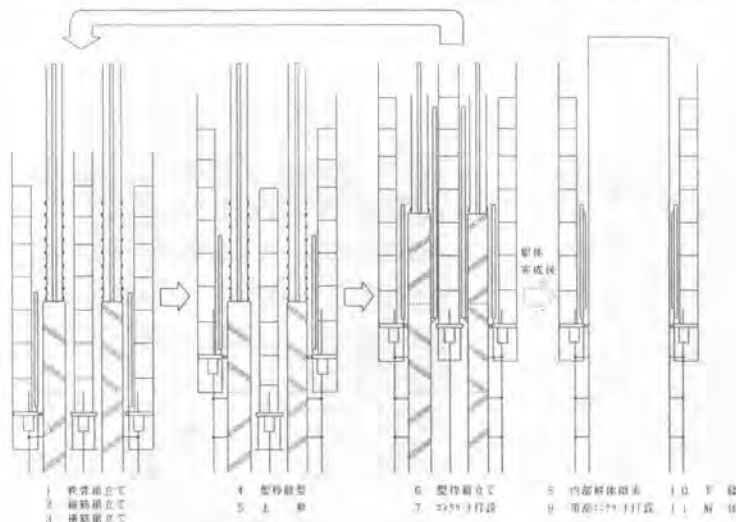


図-3 移動要領

3. 現場適用事例

今回紹介する施工例について内容の一覧を表-1に示す。

| | 施工現場名 | 発注者 | 施工時期 | 構造 | 形状 | 寸法 | 高さ |
|------|---------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|--|----------------------------------|
| 土木分野 | 九州自動車道 日光谷第二橋 その他工事 | 日本道路 公団 | S60.4 / S60.12 | SRC造 | 中空断面 | P1A: 10m×4m P1B: 10m×4m | 63.5m 67.5m |
| | 関越自動車道 川上工事 | 日本道路 公団 | S61.9 / S62.7 | SRC造 | 中空断面 | P7: 8m×4.5m P8: 8m×4.5m P6: 6m×3.5m P7: 6m×3.5m | 40.6m 34.5m 32.8m 36.3m |
| | 城師大橋 下部工事 | 建設省 中国地方 建設局 | S63.4 / S63.8 | RC造 | 中実変形 断面 | 3m×5m(小判) / φ2.5m(真円) | 45m |
| 建築分野 | 住居棟建築 工事 | — | H4.12 / H5.5 | RPC・ WPC造 5階建 | 建物中央部 にアトリウ ム空間付き | 昇降ステージ 15m×6m | 垂直移動 14m |

表-1 紹介する施工例の内容一覧

3-1. 土木分野適用事例の特徴

(1) 高橋脚(約70m)施工(九州自動車道日光谷工事)

- ① 橋脚施工の中でも特に高層施工であり、本システムの特徴である安全性、コストダウンに大きく寄与した。
- ② 各ロッド下端に軸力計を置き荷重バランスを常時管理した。
(総重量 39ton)
- ③ 特に高層であるため、風荷重に対する安全管理を厳しく行った。
 - ・ 風速20m以上は作業中止
 - ・ 風速12m以上は移動中止
- ④ マイコンによるレベル制御を行い移動時のレベル差を1cm以内に管理した。



(2) メインフレーム、内部フレームの同時昇降による橋脚施工 (関越自動車道川上工事)

- ① 鉄骨の組立てを先行し、コンクリート工事前に一括組み立てを行った。
- ② 内部フレームをワイヤロープで吊り、このワイヤロープを鉄骨天端及び地上に設けたシープを経過してメインフレーム下部に連結し、外部フレームと内部フレームを同時に昇降させた。
- ③ 鉄骨天端より鋼管ロッドを必要長さ分一括吊り下げたため、鋼管ロッド延長手間を省いた。
- ④ 吊り下げ方式のため鋼管ロッドに対する圧縮荷重(座屈)を考慮する必要が無く、ロッドステイを不要とし、より安全性を高めた。



- ⑤ 躯体施工時も自由な昇降が可能となり、フレーム上に組む作業用足場の段数が減少した。

(3) 異形断面橋脚の施工 (上師大橋下部工事)

- ① 躯体の水平断面形状が最下部は小判形、頂上部は真円形の先細り形状であった。
- ② メインフレームと躯体とのクリアランスを一定に保つため、メインフレーム内側を水平方向に移動可能な構造とした。



3-2. 建築分野適用事例の特徴

(1) 全天候型の多目的昇降ステージとして建築施工に利用（住居棟建築工事）

- ① 建築工事への適用である。
- ② アトリウム空間内部を昇降する、昇降ステージとして利用した。
- ③ 鋼管ロッド先組み、吊り下げ式とし、ロッドステイを不要とした。
- ④ 本工法により屋根部分の先行施工を行い、全天候作業スペースを確保し、作業環境を向上した。



4. 改良について

4-1. 改良目的

改良目的を以下に示す。

- | | |
|--------------|-------------------------------|
| ①機械能力の向上 | … ジャッキ推力、動作速度のアップ。 |
| ②異常時対策指示機能強化 | … 専門技術者の減員、修復時間短縮、遠隔地診断を可能にする |
| ③設備段取りの簡略化 | … メインフレームのユニット化を図る。 |
| ④日常管理簡素化 | … 日常メンテナンス作業の負担を軽減する。 |
| ⑤操作性の向上 | … 操作方法の簡略化、事故診断機能の充実を図る。 |

4-2. 改良結果

改良後の装置仕様を表-2、装置全体図を図-4に示す。

改良後のジャッキ推力は従来の1台当たり10tonfから15tonfに、伸び速度については約20cm/minから約31cm/minとなった。さらに操作性を増すため、各種設定はタッチパネルによる対話式とし、またチャックの目詰まりや偏りに対してはその構造を改良し、日常管理の行い易い構造とした。

今回特にシステムの異常事態に対処すべくテレメンテナンスシステムの開発を行った。これはシステムの状況のデータ及び映像をISDN等の通信回線を利用してメンテナンス部署へ送信するものである

これによりシステム作動状態のモニタリング及び異常時の故障診断及びその対策指示が、遠隔地から可能となる。

メインフレームについては構成する部材をユニット化する事で、各種現場への転用能力を高めさらに組立・解体作業の軽減を図った。

| 項目 | | 内容 |
|----------|----------|--|
| 装置能力 | 推力 | 15.3tonf/1台(120kgf/cm ²) |
| | 速度 | 31.2cm/min(単体速度) |
| | 寸法 | 1,100×620×450 |
| 油圧ユニット | ポンプ | (50Hz) 3.5ℓ/min 1500rpm (60Hz) 4.8ℓ/min 1800rpm 圧力 MAX140kgf/cm ² |
| | 電動機 | 1.5KW 4P 200V |
| | タンク | 20ℓ |
| 油圧ジャッキ | シリンダ径 | 内径φ90 ノット径φ50 |
| | ストローク長 | 200mm(作業ストローク150mm) |
| | 受圧面積 | 押側63.6cm ² 引側44.0cm ² |
| | 支持方式 | 上部球面軸受可動型 |
| チャックケース部 | チャック寸法 | 全閉φ73.8 全開φ78.9 |
| | 偏り防止措置 | ディスクガイド |
| | チャック開放方式 | クランプレバー方式 ミニシリンダ φ20×10mm使用 |
| | チャックホルダー | ハーフ構造及び開口部の設置 |
| 材質 | SP45A | |

表-2 装置仕様

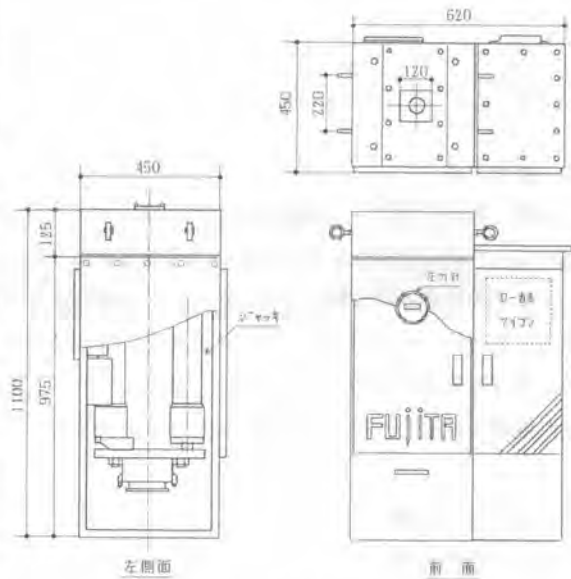


図-4 昇降ロボットジャッキ

5. 今後の展開

これまでの施工実績より高層橋脚施工はもとより、建築分野においてもFCF工法の有効性が実証された。

しかし本工法は在来工法に比べて、メインフレームや昇降設備などのより多くの仮設備工事を必要とするため、構造物の高さが高いほど、施工性・安全性・コストの全てにおいてより有効な工法となり得る。このため比較的低い構造物の場合は在来工法と比較して施工高さにおいて限界点が発生する。この点を解消するために仮設備をより簡略化し、発生するコストを抑え、より多くの施工対象物件への普及を目指す所存である。

また高さのある構造物に対する優位性を最大限に生かし、機械能力のアップ及び周辺設備の充実を図れば、今までの施工実績以上のハイピア施工にも充分に対応可能である。

今後も、より一層の研究開発を重ね多種多様な建設現場への普及を図りたい。

【参考文献】

- 1) 「橋梁」 1985年 12月号 橋梁編集室
- 2) 「(株)フジタ技報第22号」1986年 11月 (株)フジタ

17. 簡易操作型歩道除雪機械の開発

建設省北陸技術事務所：倉島 冠・*前田 孝司
フジコーポレーション(株)：高山 徳七

1. まえがき

近年、歩道除雪は、「冬期歩行者空間確保パイロット事業」が施工されたことに伴い、地域住民と一体となった面的除雪が急務となり、歩道除雪機械台数の増加と作業員の確保が重要となっている。しかし、歩道除雪機械は、数多くのレバーのため操作が複雑化しており運転には熟練した技術が要求される。さらに最近は、作業員不足とともに高齢化の傾向にある。このため、歩道除雪作業の安全性向上と作業員の確保を容易にすることを目的に、操作レバーの本数を削減し操作方法を簡素化するとともに、自動制御機構を採用し、誰でも簡単に操作できる簡易操作型歩道除雪機械の開発を行ったものである。

2. 開発機の仕様

2.1. 操作装置

ハンドガイド式歩道除雪機械の操作機構は、構造が簡単なワイヤ、リンク機構などの伝達方式であるため9本以上の数多くのレバーがある。このため、作業時には複数のレバーを同時に操作したり、大きな操作力を要するなど、操作は大変難しいものとなっている。

そこで、開発機は、表-1に示すように操作レバーを整理統合し、機械動作が各機能ごとに1本のレバーで操作できるように大幅な簡易化を図り、作業中は3本のレバーで全ての操作ができる。

また、油圧及び電動駆動を採用し、レバー操作力の軽減と、写真-1に示すように、オペレータの最も操作し易い位置に操作レバーを配置することができた。

3本の操作レバーは、図-1に示すように、どれも十字方向に操作し、前、後進走行はレバーを前後方向に、進行方向はレバーの左右方向の傾倒で調整する。また、除雪装置やシュート装置の調整、操作もそれぞれ1本のレバーで操作できる。なお、開発機の仕様諸元を表-2に示す。

表-1 操作レバーの整理統合

| | 従 来 機 | 開 発 機 |
|------|-------------|--------------------------------------|
| 走行部 | 主 変 速 レ バ ー | 主 変 速 サ イ ド ク ラ ッ チ レ バ ー |
| | 右サイドクラッチレバー | |
| | 左サイドクラッチレバー | |
| | 走行クラッチレバー | |
| 投雪部 | 投雪方向調節ハンドル | シュート旋回 投 雪 レ バ ー |
| | 投雪距離調節レバー | |
| 除雪部 | 除雪装置調節レバー | 除雪装置調節レバー |
| 作業装置 | 作業クラッチレバー | 作 業 ス イ ッ チ (作業時 ON) (回送時 OFF) |
| | 副 変 速 レ バ ー | |
| 合 計 | 9本 | 合 計3本 (スイッチ1個) |



写真-1 開発機の操作レバー配置

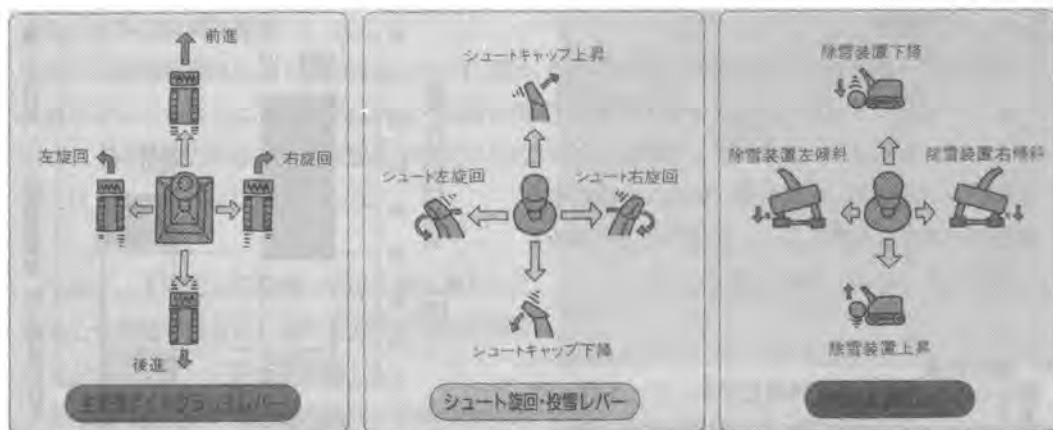


図-1 レバーの操作方法

2.2 自動制御機構

開発機には、除雪精度の向上と、さらに操作を簡易化する目的で、負荷に対して作業速度を自動的に制御する機構及び、除雪装置を常に水平に保つ自動制御機構を組み込んだ。

(1) 負荷自動制御機構

歩道除雪機械は、除雪負荷が大きい場合に車速のコントロールを誤ると、エンストや雪詰まりを起し作業を中断することがある。

これを改善し、作業性を向上させるため、負荷自動制御機構は、図-2に示す制御フローのように、除雪負荷が大きくなりエンジン回転数が2200rpmまで下がると、車速を減速させ負荷を少なくして、一定のエンジン回転数まで回復させる。

また、負荷が小さくなりエンジン回転数が2500rpm以上となった場合は、自動的に車速を増速させてエンジン回転数を保持する。

なお、急激に負荷が加わった場合の雪詰まり対策として、1秒間にエンジン回転数が300rpm以上低下した時には、一旦機体を停止させた後、緩やかに増速する制御も組み込まれている。

(2) 水平自動制御機構

除雪作業中、自重で機体が左右方向に沈み込み、除雪面が凹凸になることを防ぎ、仕上がりを良くするため、除雪装置を常に水平に保つ制御機構を採用した。この機構は、機体に取り付けた振り子式傾斜センサが、左右のどちらに傾いたかを常に検知し、制御装置が油圧シリンダを作動させて機体を水平状態に補正制御するものである。

表-2 仕様諸元

| 種別 | 2ステージ オーガ・ブロウ式 | | 除雪部 | イ形形式 | リボンスクリュー センター付式 |
|------|-------------------|--------------------|------|----------------------|----------------------------|
| | エンジン | 4羽立型直列 3気筒ディーゼル | | 最大出力 22Ps | イ形径 幅 |
| 機体寸法 | 全長 | 2,500mm | 安全装置 | ローリング 角度 | 6度 |
| | 全幅 | 1,100mm | 走行部 | 走行装置 | イ形軸シャフト 方式 |
| | 全高 | 1,900mm | | 履帯種別 | HST無段変速 エンドレス ゴムクローラ |
| 除雪装置 | 除雪幅 | 1,100mm | 履帯幅 | 250mm | |
| | 除雪高さ | 700mm | 自動制御 | 負荷自動制御機構 水平自動制御機構 | |
| 全重量 | 770kg | | | | |

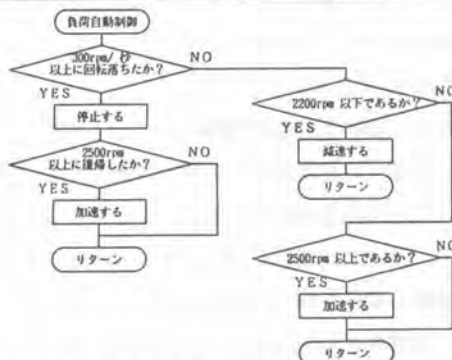


図-2 負荷自動制御機構のフロー

2.3. 安全機構

開発機は、建設省の歩道除雪機安全対策指針（案）で定めた9項目の安全対策機構を満足するとともに、さらに、ロックボタンを解除しなければ走行レバーが前、後進位置へ倒れない機構や、後進時に警告音が鳴るなど、誤操作による事故を未然に防止する安全機構を備えている。

3. 調査結果

3.1. 操作性比較試験

簡易操作レバーの有効性を確認するため、自然積雪のある道路上に、5m間隔で負荷時（積雪50cm）と無負荷時（積雪0cm）に除雪断面を変化させたコースを作り、従来機と開発機の除雪作業におけるレバーの操作回数を比較した。

操作回数は、図-3に示すように従来機の66回に対し開発機は43回と、23回（35%）減少しており簡易化の効果が現れている。

系統別では、走行部で26回と顕著に差が見られた。これは、負荷変化がある場合、開発機は、レバー1本の傾倒角度で無段階に速度調節ができるのに対して、従来機は2本のレバーを操作しなければならないためである。

3.2. 負荷自動制御機構

頻繁な負荷変動がある場合を想定し、試験コースの除雪断面高さを、写真-2に示すように70、50、25cmと段階的に変化させ、エンジン回転数と車速の関係を調べた結果を図-4に示す。

除雪高さが50cmから70cmにおいては、エンジン回転数は安定しており、自動制御機構の制御により車速は、0.2～0.4km/hの範囲で安定している。

また、25cmから50cmへの負荷変化では、機体を一旦停止させ緩やかに増速させる制御が作動し、雪詰まりもなく良好に除雪を行うことができた。

なお、除雪断面高さ25cm以上の負荷変化があった場合でも、制御装置が自動的に車速をコントロールするため、雪詰まりを起こさずに除雪することができた。

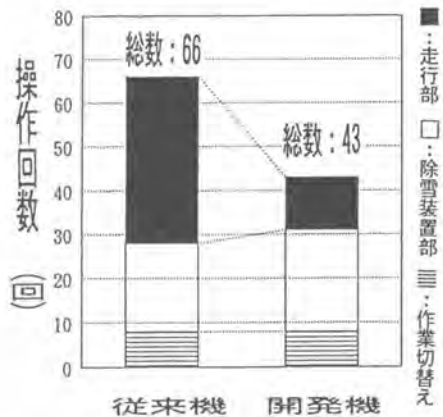


図-3 操作回数の比較



写真-2 試験状況

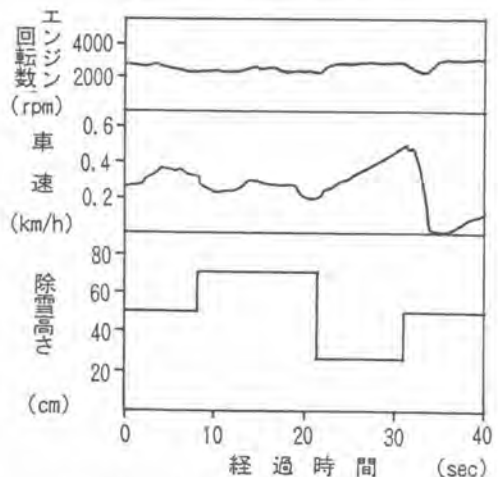


図-4 負荷自動制御試験結果

3.3. 水平自動制御機構

水平自動制御機構による除雪の仕上がり状態は、写真-3に示すように、仕上がり状態、除雪精度ともに、熟練者の手動による状態と同程度の平坦面に仕上がり十分な結果であった。



写真-3 水平自動制御による仕上がり状態

3.4. 現場調査

平成3、4年度に開発機の実用型機を導入した現場の作業員を対象に、操作具合や使用上の問題点などのアンケート調査を実施した。

走行レバー（前後進、左右旋回）の操作性に関しては、中立位置に採用したロック機構の効果で「使い易く操作性が良い」という回答であった。

また、従来のレバー式から改良した作業スイッチについては、大半が「大変使い易く操作性が良い」としていた。

負荷自動制御機構については、雪詰まりを起こさず作業が行え、作業速度の調節操作が不要になったため、「使い易い」という回答であった。



写真-4 開発機の作業状況

次に、安全性に関しては、「安全なため安心して使える」との高い評価を得た。また、簡易操作レバーの扱いには殆どが数時間で慣れるという回答であり、操作を簡易化した効果が現れていた。

4. まとめ

今回開発した簡易操作型歩道除雪機の特徴を以下に示す。

- ①操作類の簡易化で操作性、作業性とも向上し、また初心者でも操作が容易にできる。
- ②負荷自動制御により雪詰まりが防止でき、作業を中断することもなく効率的な除雪が行える。
- ③水平自動制御は、熟練者並みの精度で除雪することができる性能である。
- ④誤操作等における事故を防ぐため、各装置に安全対策を施し、安全性を高めた。

作業環境の厳しい冬季の現場では、簡単に操作ができる機械のニーズが高く、本開発機の効果はより大きなものになると思われる。

5. あとがき

今回の調査で、簡易操作型機の操作性が優れていること、及び開発した自動制御機構を使用することで、初心者でも雪詰まりを起こさず良好に除雪できることが確認できた。また、作業員のアンケート調査結果からも、簡易操作型機は、大変使い易く操作性が良いとの高い評価を得られた。

今後は、さらに装置の改良を重ねると同時に当該機が広く普及することを願うものである。

18. 東京湾横断道路木更津人工島斜路部改良盛土工法

(株)大林組：加藤木洋幸・山口 重隆
*椎名 肖一

1. はじめに

東京湾横断道路建設工事は、神奈川県川崎市と千葉県木更津市を結ぶ延長約15.1Kmの自動車専用道路である。川崎側浮島取付部から約10Kmのシールドトンネルと木更津側から約5Kmの橋梁との接続部に木更津人工島が築造される。

木更津人工島はシールドトンネルが海底部に達するまでの斜路部と橋梁取付部までの平坦部とからなる。斜路部は、先行して施工された立坑ケーソンと斜路部鋼製護岸間に改良盛土を施工するものである。

2. 工事概要

- | | |
|--------------|---|
| (1) 工事名称 | 東京湾横断道路木更津人工島西(その2)工事 |
| (2) 発注者 | 東京湾横断道路株式会社 |
| (3) 施工場所 | 千葉県木更津市中島沖合約5Kmの東京湾湾中央部 |
| (4) 改良盛土施工期間 | 平成4年5月～平成6年6月 |
| (5) 改良盛土数量 | 約993,000m ³ (TP-3.0m以深部、426マウンド) |

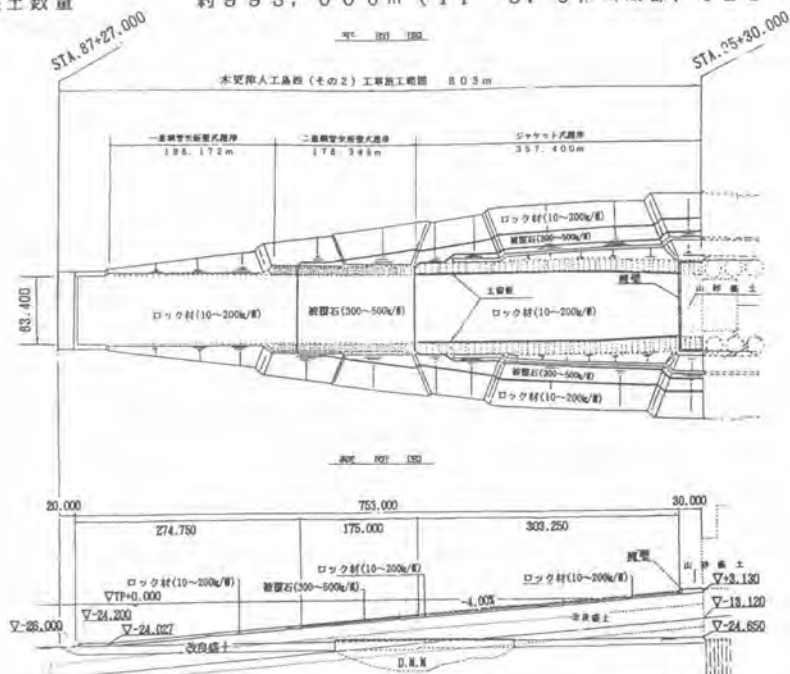


図-1 木更津人工島西(その2)工事平面・断面図

3. 改良盛土の施工

(1) 品質条件

- ① 単位体積重量 1.8 t/m^3 以上
- ② 一軸圧縮強度 $6_{20} = 6 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ (かつ透水性の小さいこと)

(2) 基本配合

(1 m^3 当り kg)

| 山 砂 | 泥 岩 | セメント | 海 水 |
|------|-----|------|-----|
| 1177 | 110 | 80 | 520 |

(3) 施工条件

改良盛土の打設にあたり、将来この盛土中をトンネルが通過する為、シールド掘進時の安定はもとより、完成後もトンネルを安全に保持できる品質が必要である。また水深31mの海底面から約100万 m^3 の改良盛土を短期間で水中施工する必要があり、6000 m^3 /日という大量打設を実施する為、大型プラント船(648 m^2 /H)「柏糠号」及び専用打設台船(トレミー管10連装 \times 2系統)「柏盛号」を新造し、昼夜連続打設を行なう。

また現場周辺海域は東京湾でも有数ののり、あさり漁場でもある事から、海洋汚濁防止に細心の注意を払う必要がある。

以上の点を踏まえ、管理項目として下記の条件を満たす施工が要求される。

① 品質確保上改良盛土材の流動距離をおおむね12m以下とすること。

マウンドの打設により潜堤を築き、次マウンド施工時の流動距離を制御する必要がある。

(打設天端が均等になるように打設速度の制御が必要)

(各マウンドの打設高さの管理記録が必要)

② 品質確保、環境保全のため打設管の先端は常にフレッシュな盛土中にあること。

作業船は浮体であり、波浪による動揺及び潮の干満に応じて約6時間毎に最大2mの上下動がある。(打設管の位置保持

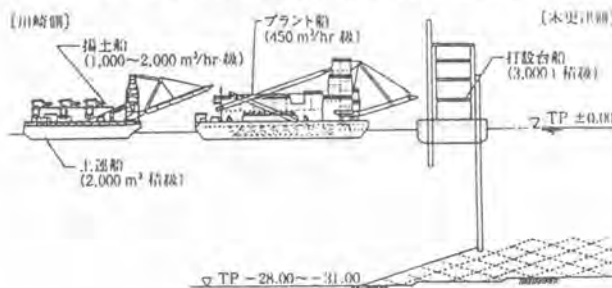


図-2 打設状況図

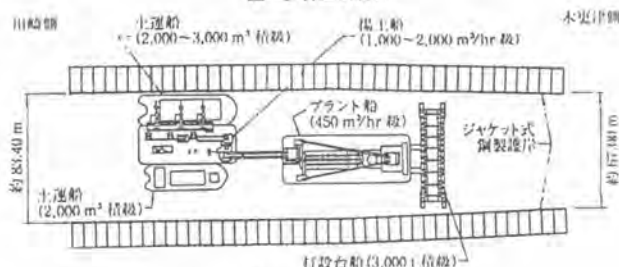


図-3 船団配置図

対策が必要)

③ 1回の打設置をできる限り多くする。

④ 洗浄水等の濁水を船上で処理し再利用する。(海洋汚濁の防止)

4. 打設管理

(1) 打設方法

前述の条件を検討し、護岸間距離、盛土材の流動勾配、流動距離、及び大量打設に対応可能な打設管の配列を検討し、横方向1系統10本(ピッチ8m)の打設管から同時に打設することとした。つまり図-2に示すようにシロバン玉形状を積み重ねて盛土を造成する。打設台船「柏盛号」には14m間隔で2系統の打設管を装備し、狭い護岸間での夜間の作業船のシフトを行なうことなく1昼夜で2マウンド(約6000m³)の打設を行なう。

(2) 柏線号・柏盛号の仕様

① 改良盛土プラント船「柏線号」

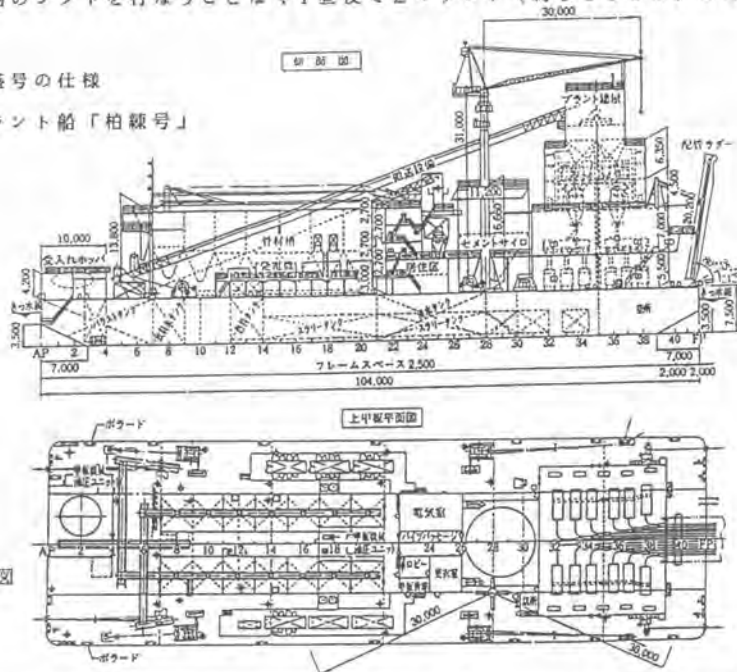


図-4 一般配置図

| 区分 | 主要目 | 区分 | 主要目 |
|------|---|--------------|--|
| 船体 | 全長×巾×深さ 104m×32m×7.5m 吃水5.1m、排水量16,500ton | バッチャ プラント | 混練能力 648m ³ /H×1基 形式 85KBTS-7D-HD4500-MCS(Ⅲ) BD 4基1体型 |
| | | | 計量機 7ダイヤルロードセル式 (横動補正装置付)4式 ミキサ 油圧可変2軸型4.5m ³ ×4基 アジテータ V型 翼軸式25m ³ ×2基 ベルトコンベア 600t/H×2系統 セメント圧送 40T/H×2系統 |
| 係留装置 | 係船ウインチ 65T×12m/min×4台 45T×12m/min×4台 操船ウインチ 15T×12m/min×4台 ストックアンカー 15T×4丁 | コンクリート 輸送 | コンクリートポンプ 1PG110S 圧送吐出量 110m ³ /H×12台 輸送距離 水平695m、垂直115m 圧送管 6インチ、配管ラダーを介して打設台船に圧送する |
| 材料受入 | 山砂 1800T/H×1台(ロータリーフィーダー) 1700T/H×2系統(ベルトコンベア) セメント 120T/H×3系統(空気圧送) | | その他の 設備 |
| 材料貯蔵 | 山砂 250m ³ ×7槽×2組 セメント 1000t×1基 スラリー 400m ³ ×4槽 | | |

(2) 打設台船「柏盛号」

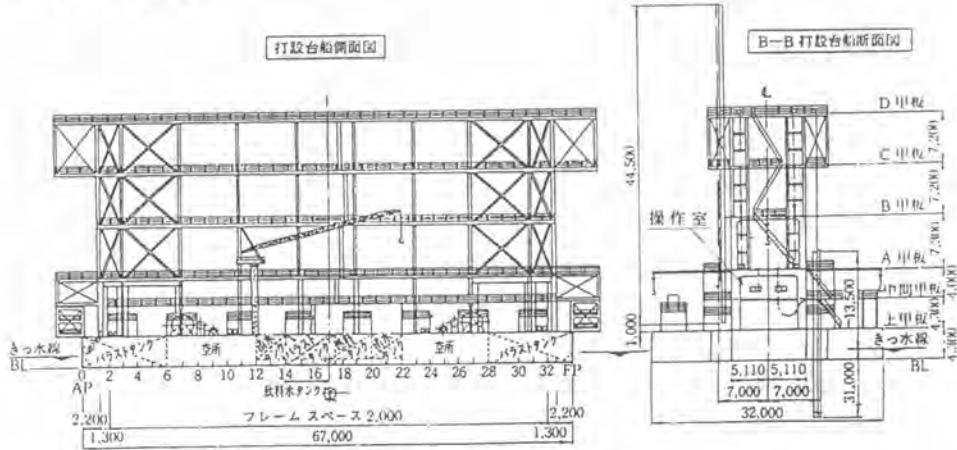


図-5 一般配置図

| 区分 | 主要目 | 区分 | 主要目 |
|------|---|------|--|
| 船体 | 全長×巾×深さ 67m×32m×4.3m 吃水1.5m、排水量3,100ton | 打設装置 | ガイド管 44.5m×φ500×20組 打設管 6インチ×3m 最大深度時 8本群×20組 最小深度時 下部固定管×20組 6インチゴムホース A甲板からトレミー管 10m×20組 積地圧調整装置 ススルコン方式 20組 |
| 機関部 | 主発電機 400KVA×3台 補発電機 60KVA×1台 バラストポンプ 200m³/H×2台 | | その他の設備 |
| 係留装置 | 係留ウインチ 45T×12m/min×8台 ストックアンカー 15T×4丁 | | |
| 構造 | 高さ30m 1組(4層式) | | |

(3) 施工管理システム

改良盛上の施工において、柏盛号の10本の打設管の筒先の被りを管理しながら均等な打設高さを保ち同時に海洋汚濁を防止する。

打設台船の操作室にて、集中制御、監視を行なうシステムを導入した。

この自動打設システムにより、プラント船に配備されたコンクリートポンプの制御、打設台船の打設管の引上げ等の制御監視を行ない、計測管理の省力化と効率向上、データ値の信頼性の向上を図った。

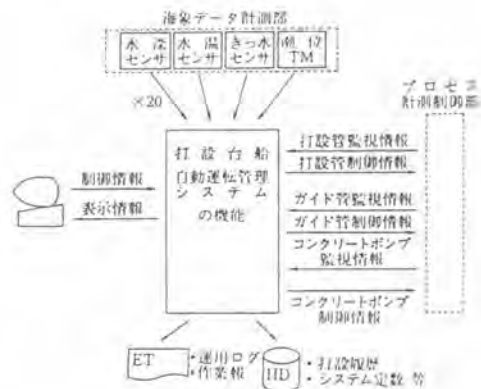


図-6 機能構成図

システムの機能としては次の様なものである。

①ガイド管、打設管の設置監視システム

潮の干満及び波浪による打設台船の動揺を打設管に直接伝えない為、海底に支持したガイド管の頂部から打設管を吊り下げる構造とした。

また着底箇所の盛土強度が材令により、異なることから接地圧を一定に制御する構造とした。

ガイド管はウインチワイヤーによりつり上げられ、打設管はガイド管頂部に取付けられたパワーシリンダによりつり下げられている。

これを海中に降下させて着底する際の自動停止及び降下量の管理を行なう。

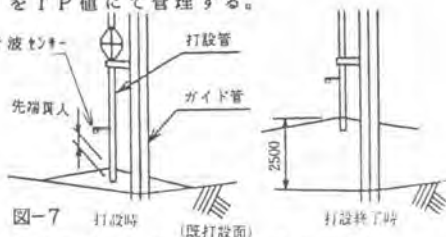
ガイド管の停止は、海底に着地した際の船の揺動吸収装置に働く接地圧（ワイヤー張力）の変化により自動停止させるものである。

又、打設管先に超音波水深計を取付け、海底までの距離を計測し、所定の高さまで上下動した後、自動停止させる。

ガイド管、打設管の移動量はエンコーダにより計測され、潮位、吃水、超音波水深との演算により各管先高さ及び海底面高さ（打設面高さ）をTP値にて管理する。

②打設中の筒先管理システム

打設中は品質の確保と海洋汚濁防止の為打設管先を盛土中に一定量の被り量で保持する事が原則である。各打設管の超音波水深計により打設面のレベルと打設管先端のレベルを監視し、打設管を一定量毎に自動で引上げるシステムである。本工事では被り量を20cm～40cmとし、40cmの被り量になった時に打設管を20cm引上げる管理を行ない、1マウンド約2.5mを打設する。



③コンクリートポンプ自動制御及び監視システム

既打設面から10cm打設管先を浮かせて打ち始めてから筒先が一定量（40cm）被るまでの初期打設から②の筒先管理を行なう定常打設状態への自動切替運転、並びに定常打設中の吐出量、吐出圧等の監視を行なう。

コンクリートポンプの吐出量は、10箇所の打設高さが均等になるように、打上り高さの時間差を計算し、指定した吐出量の範囲内で10台のコンクリートポンプをそれぞれ自動制御するものである。

④配管洗浄水船内回収システム

打設後の配管洗浄水は特殊ブランジャーと高圧洗浄水により配管内盛土を送り出し、打

設管先端部にて特殊ブランジャーの位置を検出して、洗浄ポンプを自動停止するとともに、打設管の筒先バルブ閉じ、洗浄水を海中に排出することなく、船上に回収し、処理を行なう。

⑤ 打設記録の収集・保存

打設管理の各データを整理保存し、三次元の出来形図の出力等、打設記録やプレゼンテーションに活用する。

5. 施工結果

打設管理システムの採用により、以下の目標を達成することができた。

- ① 情報化施工による施工精度、品質管理の信頼性の向上
- ② 管理作業の省力化、作業量の低減
- ③ 大量打設の為の打設作業の効率向上
- ④ 海洋汚濁防止

6. おわりに

本工事においては、厳しい施工条件と労働力不足解消、及びロボット化といった時代のニーズに答えるべく、情報化施工の出来る自動打設システムを導入し、平成4年の5月以来1年2ヶ月を経過し、約85%の進捗をみた。

打設工事には、本システムが十分な効力を発揮しているが、これは安定した材料の補給の上に成り立つもので、海上施工においては、材料運搬船の運航が海象・気象条件に大きく左右され、工期的には満足いく施工ができていないのが現状である。しかしながら、海気象の許す範囲の稼働率向上をはかり、打設完了を目ざして発注者、現場一丸となって取り組んでおります。

19. 前輪油圧駆動システムを備えた 4WDダンプトラックの開発

コマツ：井草 弘幸

1. はじめに

山が多く雨がが多いという特長を持つ日本において、最近の土木・砕石業等における人手不足・労働時間短縮などの社会的環境の変化は、ユーザの中に生産性の向上を求めて単なる機械の大型化だけでなく、山間地・軟弱地での走行性能を向上したダンプトラックを求める声が増して増大してきた。コマツはユーザのこのような要望に応え、大型ダンプトラック「HD325-6」の持つ高い信頼性、高速安定性、乗り心地の良さなどの特長はそのままに、油圧駆動と電子制御によりパートタイム4輪駆動化（4WD化）を実現して、軟弱地走破性や滑りやすい路面での登坂能力を大幅に向上した「HD325-6 4WD」を開発したので報告する。

2. 開発のねらい

本車両の開発にあたり、土木・砕石現場における運搬工法上の問題点を調査した。その結果を表1に示す。

表1 土木・砕石現場における運搬工法の問題点

| 問題点 運搬工法 | 燃費 | 人件費 | 車速 | 耐久性 | 雨による稼働率 | 安定性（転倒） | 長距離運搬 | 記号説明 |
|-------------|----|-----|----|-----|---------|---------|-------|-------------------|
| | | | | | | | | ○：優れている ×：問題あり |
| 問題点 | | | | | | | | |
| ブルキャリ | | | × | ○ | ○ | ○ | × | 車速・長距離運搬が問題 |
| コマーシャルダンプ | × | × | ○ | × | | | ○ | 燃費・人件費・耐久性が問題 |
| アーティキュレート | ○ | ○ | × | × | ○ | × | ○ | 車速・耐久性・安定性が問題 |
| 重ダンプ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ | ○ | 雨による稼働率が問題 |

この結果から重ダンプトラックは「雨による稼働率の低下」がユーザの生産性を低下させる大きな要因となっていることが分かる。

2-1. 開発の目的

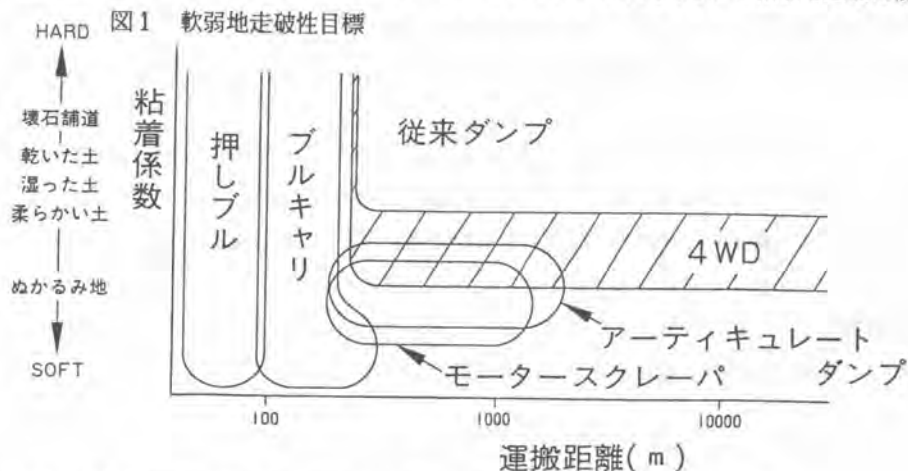
以上の調査結果から、「重ダンプトラックの稼働率を向上させる。」ことを本開発の目的とした。

| | |
|--------|-------|
| 現行稼働率 | 目標稼働率 |
| 72～77% | 90%以上 |

2-2. 開発機のコセプト

上記目標を達成するため、本開発機の基本的なコセプトは下記とした。

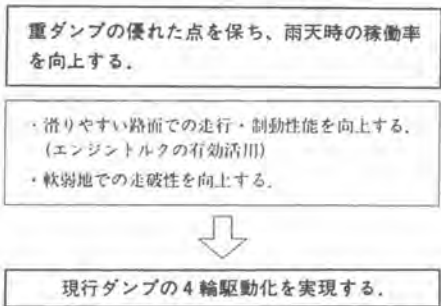
- (1)滑りやすい路面でアーティキュレートダンプトラック並の登坂性能を有する
- (2)アーティキュレートダンプトラックと重ダンプトラックの間くらいに軟弱地走破性能を有する



- (3)乾いた路面での走行性能、及び信頼性・耐久性は重ダンプトラックと同等

2-3. 開発機の設計方針

上記コセプトを達成するため、開発機の設計方針は下記とした。



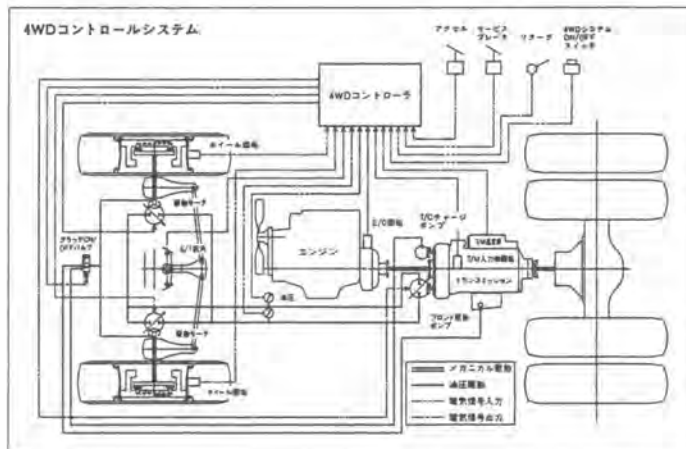
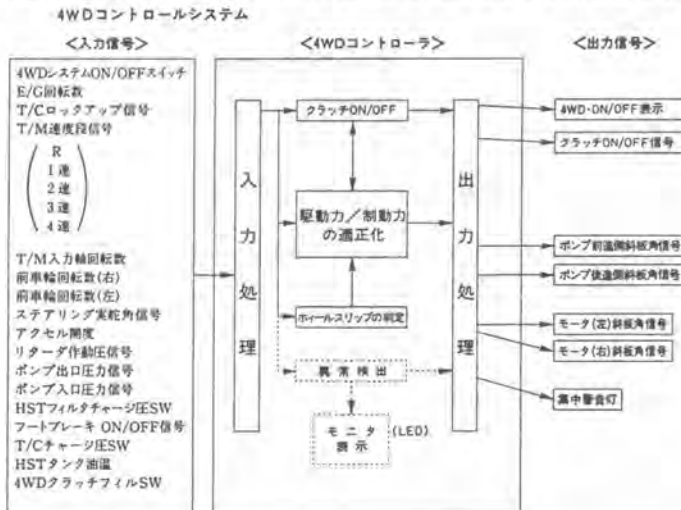
4輪駆動ダンプの要求品質と達成手段

| 区分 | 要求区分 | 達成手段 |
|-----|--|----------------------------|
| 性能 | ・現行ダンプと同等の乗り心地を有する。 ・現在使用している精込機とのマッチングを確保する。 | □ 現行ダンプをベースにフロントアクスルを変更する。 |
| | ・乾いた路面では、現行ダンプと同等の性能を確保する。 ・滑りやすい路面での走行性・制動能力を向上する。 ・現行ダンプ並の燃費を確保する。 | □ パートタイム4WD化 (F1~F3, R) |
| | ・必要な時に必要なパワーを前輪に配分する。 | □ 前輪を油圧駆動し、電子制御。 |
| 耐久性 | ・前輪への過大負荷を防止する。 ・現行ダンプと同等の信頼性・耐久性を確保する。 | □ 現行ダンプをベース。 |
| 補給性 | ・部品の補給は現行サービス体制でカバーできること。 | |

2-4. 開発機の特徴

操作性、安全性、経済性の観点から、本4WD車には下記特徴を持たせた。

- ① 4WD ↔ 2WD 切換はワンタッチ、4WD 切換スイッチを押すだけの簡単な操作で切換られる。
- ② ケタ違いの走破性を実現する駆動力制御、後輪がスリップした時には前輪の駆動力を高め、優れた走破性を発揮。後輪のスリップがなくなると前輪の駆動力を下げ燃費を節約する。
- ③ 燃費を節約する 4WD ↔ 2WD 自動切換、F 4 以上の速度段では自動的に 2WD 走行とし燃費を節約する。
- ④ 直進もコーナリングも滑らかな回転数制御、後輪回転数・ステアリング角度を検知し前輪回転数を最適に制御。直進もコーナリングもスムーズな 4WD 走行が行える。
- ⑤ 安全な降坂が行える前輪ブレーキ機能、降坂時前輪駆動用モータにブレーキの役割を与え、前輪にもエンジンブレーキが働くのと同じ役割を与え、安定した降坂を行える。
- ⑥ システム保護機能、万一異常が発生した場合自動的に 4WD 機能をストップし装置を保護する。
- ⑦ 自己診断機能、不具合箇所が一目でわかる自己診断機能を設け故障診断を容易に行える。



3. 登坂性能・軟弱地走破性能テスト結果

登坂性能・軟弱地走破性能テストを2WD車と比較して実施した結果、目標通りの結果を得ることができた。

図2 登坂性能テスト結果

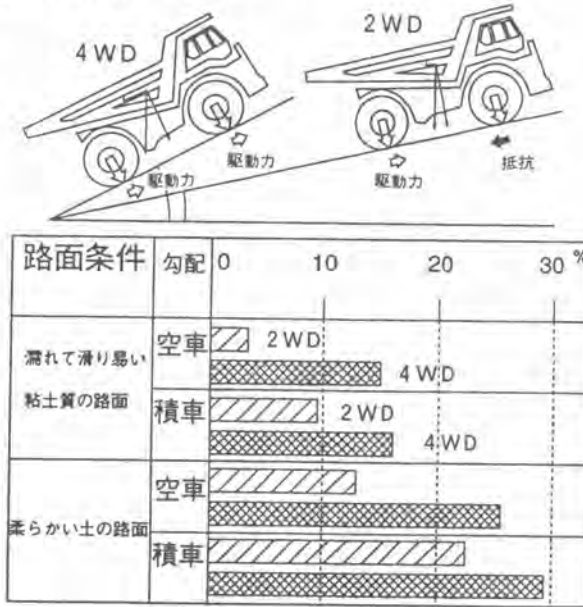
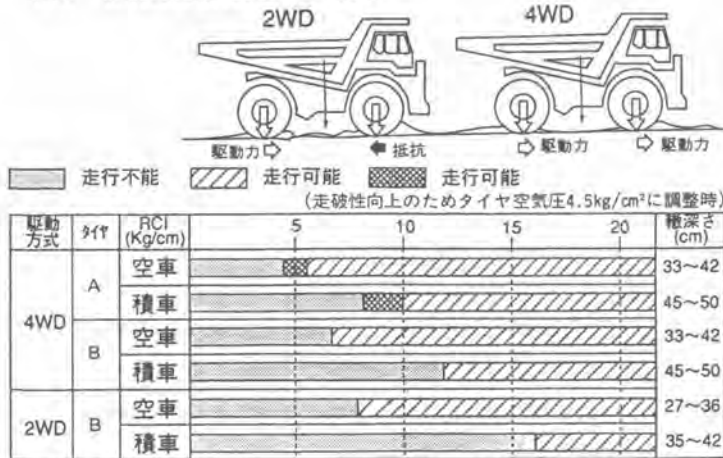


図3 軟弱地走破性能テスト結果



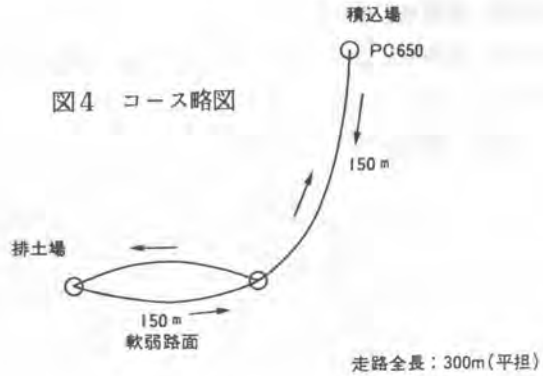
4. デモによる稼働実例と稼働率比較結果

ここで比較する稼働率は開発機が実際に稼働した現場における、2WD車の稼働・休車の実績と降雨量の間係をもとに、4WD車の年間稼働率を推定したものである。

(1)稼働実例【A】

- ①作業内容：宅地造成
- ②土質：砂と粘土の交互層
- ③走路：

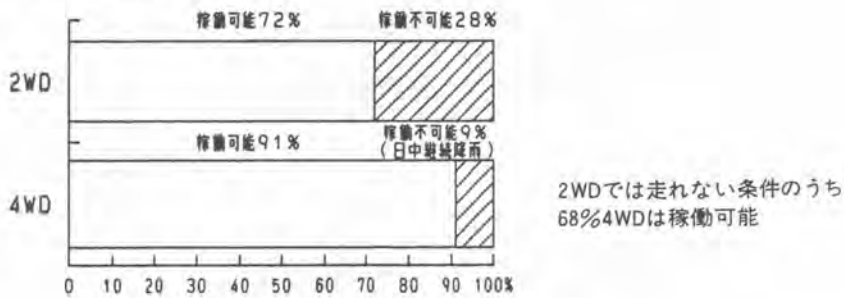
図4 コース略図



④評価結果

- ・ 4WD車は2WD車に対し排土場で10～20m奥へ進入でき、ブルによる押し土作業を低減できる。
- ・ 多少の雨なら稼働でき、稼働率の向上が期待できる。
- ・ 降雨後の路面乾燥待ち時間を短縮できる。

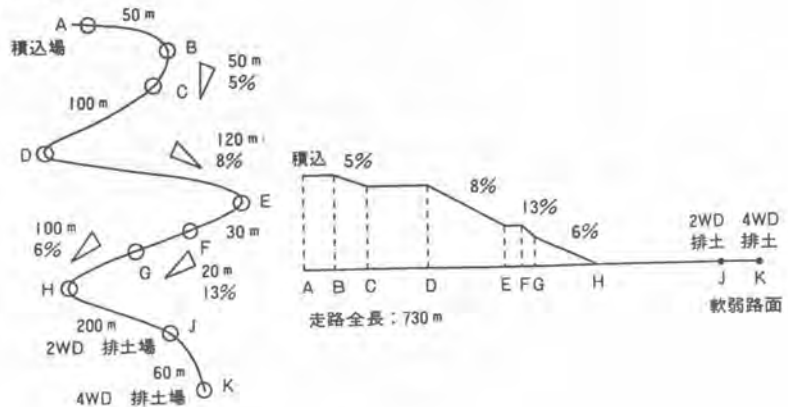
⑤ 4WD車の稼働率推定結果



(2)稼働実例【B】

- ①作業内容：空港建設
- ②土質：砂岩、泥岩
- ③走路：

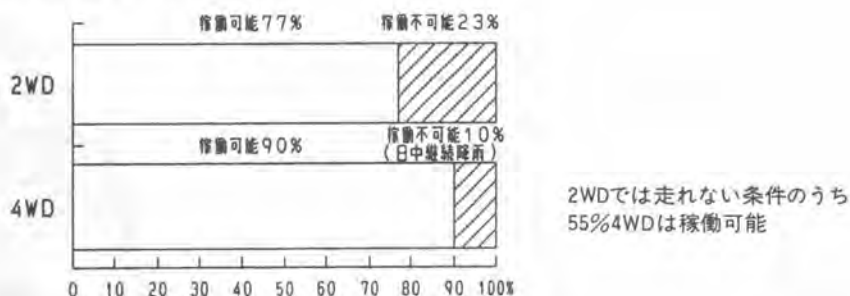
図5 コース略図



④評価結果

- ・4WD車は2WD車に対し排土場で10～30m奥へ進入でき、ブルによる押し土作業を低減できる。
- ・多少の雨なら稼働でき、稼働率の向上が期待できる。
- ・降雨後の路面乾燥待ち時間を短縮できる。

⑤4WD車の稼働率推定結果



5. 開発の効果について

本デモテスト結果より、重ダンプトラックを4WD化することにより稼働率は90%以上となり、ユーザの生産性向上に貢献できるものとする。

6. 開発した技術の発展的応用について

今回開発した4WDコントロールシステムは、前後輪回転数・左右輪回転数を検知して駆動力・回転数を制御する方式であり、本技術を発展的に応用することにより、

- ・急な下り坂でスリップすることなく安全に降坂する
- ・タイヤの摩耗寿命を向上する

等の効果が期待できる。

7. おわりに

本HD325-6 4WD車の開発に従事し、数々のデモ・ 세미나等を通じユーザの意見・要望を直接聞き、改良を織込みながら開発できたことは大変幸せであった。

尚、デモを実施したなかで、「軟弱地の走破性能をアーティキュレートダンプ並にして欲しい。」との要望がユーザからでており、今後の研究課題として開発に取り組みたい。

20. クロスリングブーム式超小旋回 マイクロショベルの開発

コマツゼノア：永塚 功

1. まえがき

下水道工事および都市ガスの普及は、市街地から周辺地域へ環状に拡大し、その工事量は堅調な伸びを示し、既設住宅地域内での工事が増加している。

こうした中で、従来人手に頼っていた宅配管工事に対する機械化のニーズが強まっている。

2. 開発の目的

管工事の基本作業は掘る、積む、運ぶ、埋め戻すといった土木作業と配管敷設の専門工事から構成されているが、この内辛いのが掘る作業といえる。したがって狭所作業性に優れるマイクロショベルの出現と同時に多くのユーザが機械化を図った。

しかしながら、宅配管工事の場合には、家の壁、塀等があり、掘削後の旋回積み込みが出来ないため広い場所まで下がって排土するので非効率であった。

家の壁と塀の間は狭いところでは、1200～1300mmのものが多く、その中で安全で効率的に旋回し積み込み作業するためには、全旋回径を1000mm以下に抑える必要がある。

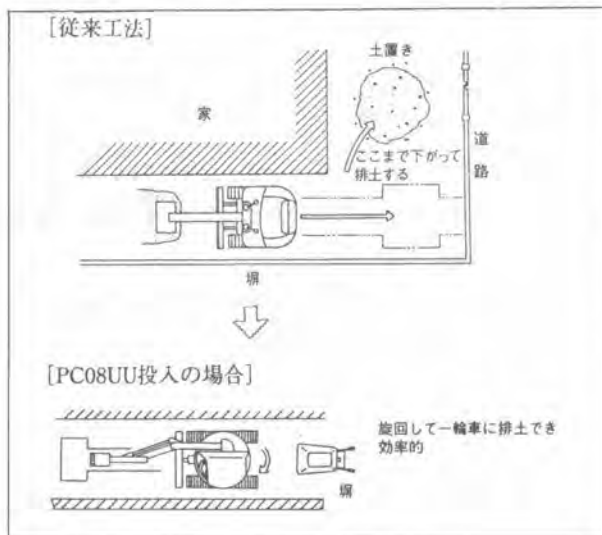


図1 工法比較



PC08UU

| | |
|------------|--------------------|
| 運転整備重量 | 960kg |
| 定格出力 | 8.5PS/2800rpm |
| バケット容量 | 0.02m ³ |
| 輸送時全長 | 2730mm |
| 全幅 | 1000mm |
| 輸送時全高 | 1970mm |
| バケットオフセット量 | 左325mm～右410mm |
| 最大掘削力 | 880kg |
| 最大掘削深さ | 1750mm |
| 最大垂直掘削深さ | 1250mm |
| 最大掘削半径 | 2880mm |
| 最大床面掘削半径 | 2790mm |
| 最大ダンプ高さ | 2740mm |
| 最大掘削高さ | 3550mm |
| 作業機最小旋回半径 | 500mm |

図2 全体写真および主要性能

3, 現状技術の問題点

従来、オペレータが乗って作業する超小旋回ミニパワーショベルは2トンクラスが限界と考えられてきた。この車の全旋回径は1340mmあり、今回開発したPC08UUは、わずか1000mmを目標とした。

オペレータの必要とするスペースは機械が小さくなくても変わらないため、現状のレイアウト、作業機をそのまま踏襲し、スケールダウンしたのでは成り立たない事は明白であった。又、小型化する事により有効に使える空間がなくなり、今までのように、カウンタウエイトの装着が難しく、安定性が悪化する。更に、人と作業機が近づいてくるため、安定性の確保が重大な課題であった。

4, 開発の目標

前述のように、小型化を進めていくと、居住性、安定性、安全性といったものが悪化する事が考えられる。今回の開発にあたっての目標は下記とした。

- (1) 居住性.....上位機種と同等のワークスペース640mmを確保する。
- (2) 安定性.....小型化すると数字以上に悪くなるため、不安なく作業ができる安定度2トンクラスの20%アップを目指した。
- (3) 安全性.....作業機とキャノピとの機械式自動干渉防止機構を装着する。

5, クロスリンクブームの開発

前記の目標を達成するために開発されたのがクロスリンクブームである。クロスリンクブームとは、従来の作業機に新たに関節が追加されたもので、ブームリンクにロッドがクロスしているものです。

(1) 1クラス上の居住性の確保
1000mmの限られた円筒空間の中に、人と作業機を両立させる事は難題で、人の必要とするワークスペースの幅は640mm、バケットの幅は350mm必要で、これだけで1000mmになってしまう。

まず、超小旋回時にバケットを格納する位置は、作業性を考え、人の右肩の部分にオーバーラップさせ(前後方向はずれている)、デッドスペースを有効に使う。

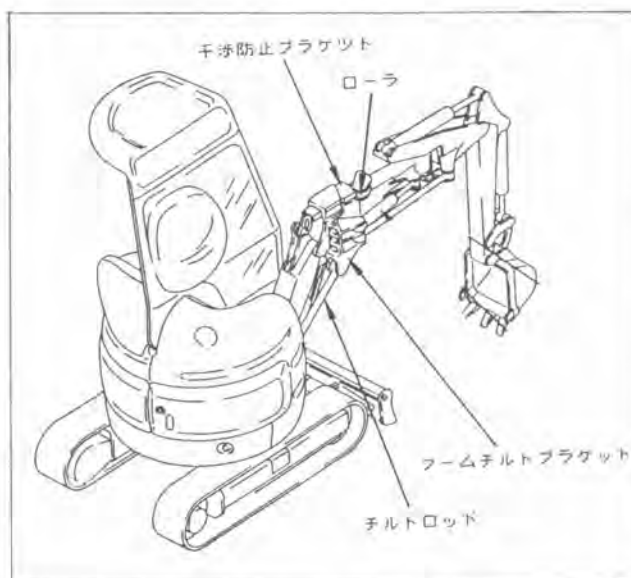


図3 クロスリンクブーム概要図

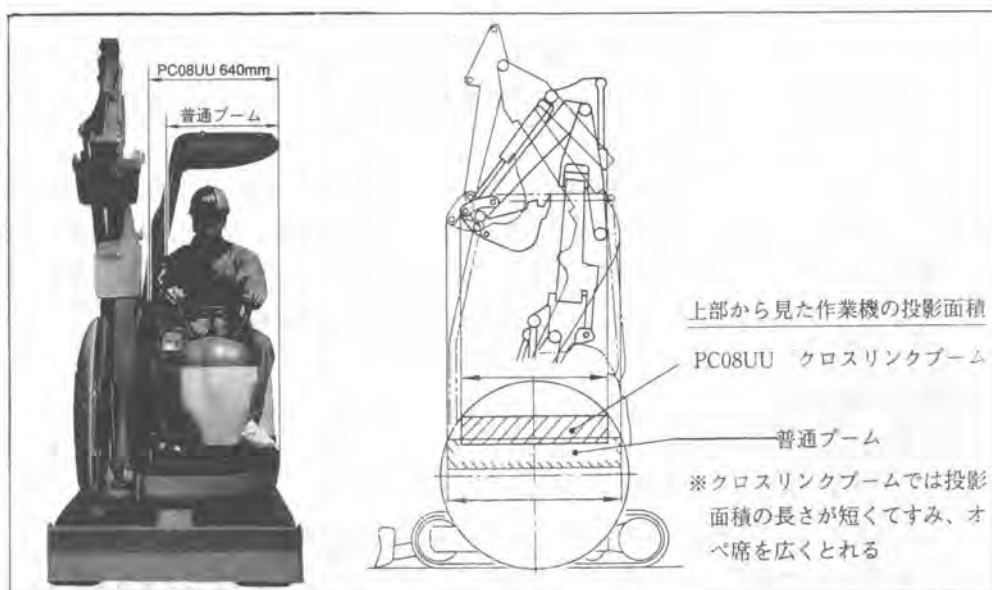


図4 居住性

ワークスペースを確保するためには、作業機が円の中心から外側にあれば、ワークスペースは広がるが作業機は1000mmの円から外へ出てしまう。外側に出すためには、作業機の前後方向の長さを短くしなければならない。

従来の作業機では、地面を掘りやすくするため、ブームがくの字に曲っている。超小旋回姿勢にした場合、この部分が大きく後方に飛び出すので、前後方向の長さが長くなる。曲がりの部分をまっすぐにすれば、前後方向の長さは短くなるが、そのままでは下が掘れなくなる。

そこで第1ブームを2分割すれば角度を変化させる事は可能だが、シリンダ等を使つての制御は難しくコスト的にも不利なため、リンクモーションで成り立たせる必要があった。分割された先端部分のブラケットとフレームの間をロッドでつなぎ、第1ブームとクロスさせて四節リンクを構成する事によりブームを超小旋回位置(最上位置)にするとブームの角度が広がり、ブームを掘削位置にすると角度が小さくなり従来と同様の角度がとれ掘削性能が確保できる。

このクロスリンクブームの開発により、640mmのワークスペースが確保された。

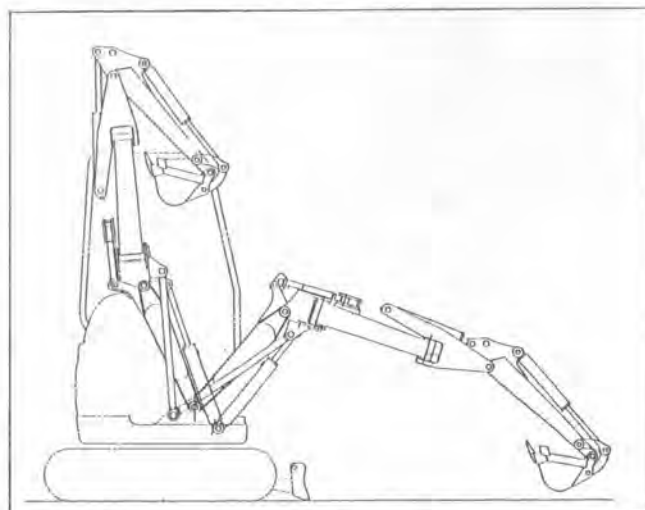


図5 クロスリンクブームの動き

(2) 安定性の確保

① 走行時（超小旋回時）

クロスリンクブームを採用する事により、ブームの角度が大きくなりブームが長くなる。すなわち、バケットの位置は従来と同一の位置に置いてもブームフートピンの位置を下げられる。また、ブームの角度が大きくなると、アームの角度が寝てくるため、作業機の全高が低く抑えられる。

② 作業時（最大リーチ）

従来の作業機でバケットを右肩の部分に持ってくるためには、ブームの長さを必要以上に長くしなければならず、またブームフートピンの位置も上がってくるため掘削性能が満足できない、ここでも長さが必要となってくる。

従って、ブームの重量が重くなり、最大リーチが必要以上に長いため、安定性が悪化する。クロスリンクブームでは、ブームフートピンの位置も低いいため、ブーム長さが短くても掘削深さは確保できる。また、ブームの角度が作業姿勢では自動的に曲って、適切な長さに成るため、最大リーチでも安定性を犠牲にしない。

③ その他安定性向上策

その他の安定性向上策として下記項目を実施した。

☆レボフレームを鋳物とする事により、スペースを有効に使うことができ、カウンタウエイトを最大限にとれた。

☆足まわりを小型化し、重心位置を下げた。

以上より目標とした上位機種種の20%アップの安定性を確保できた。

(3) 安全性の確保

作業機自動干渉防止装置は、ブームの角度変化を利用しブームの動きを機械的に止める。この角度の変化量はブームの高さを代用している。

① ブームの上げ操作を停止する。

ブームを左オフセットした状態で、ある高さ以上ブームが上がると干渉域に入ってくる為、上げ操作を停止させる必要がある。

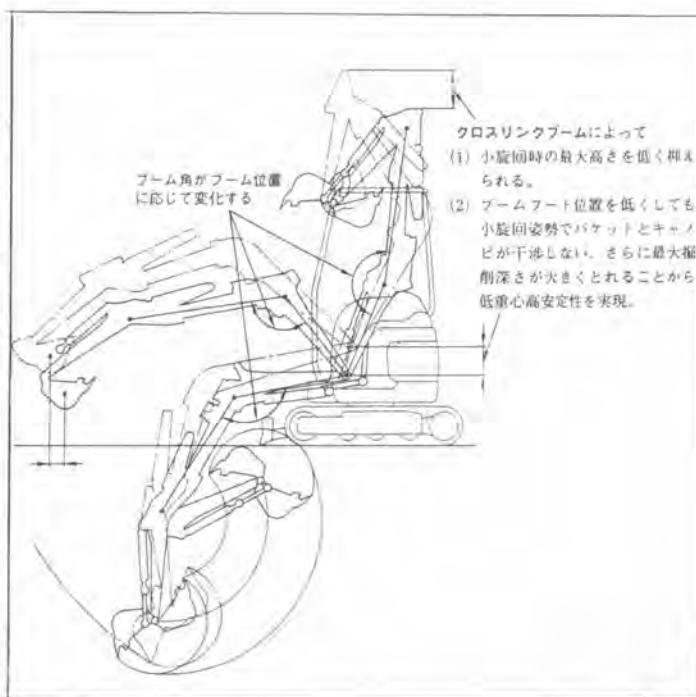
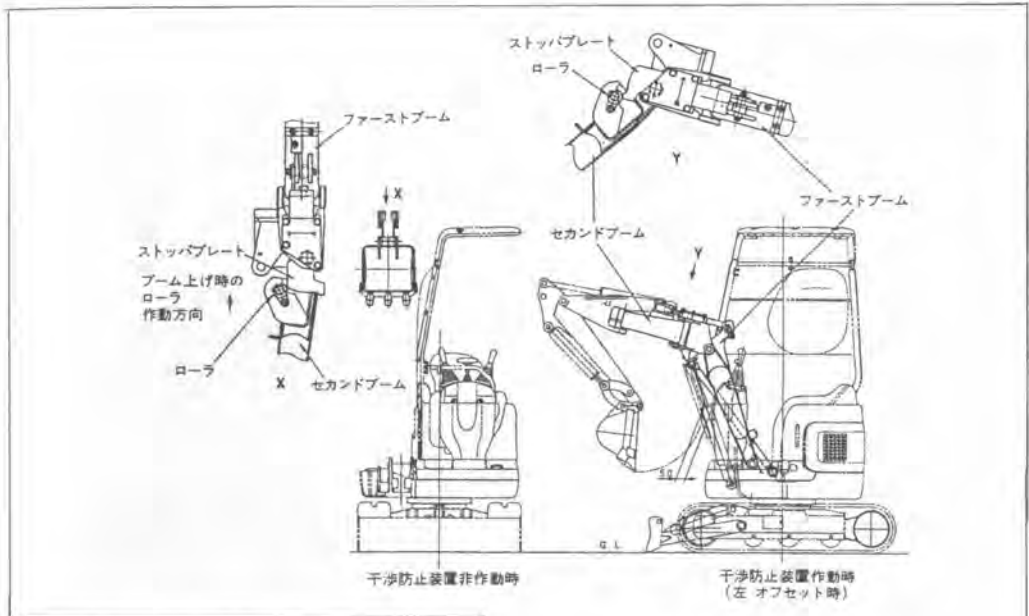


図6 走行、作業時の安定性



角度変化量をストッププレートの移動量に置き換え、ある一定以上移動するとストッププレートは第2ブーム上のローラと干渉しブームが開こうとする動き、すなわち上げ操作を停止する。

ブームが停止した後は、右オフセット操作し、ローラがストッププレートより外れる位置までくると、再度上げ操作は可能となる。

②ブーム左オフセット操作を停止する。

ブーム上げ操作し、干渉防止が効く位置よりさらにブームを上げると、ストッププレートはさらに前方へ移動する。この位置で左オフセット操作すると、第2ブーム上のローラとストッププレートが干渉し、オフセット操作が停止する。これにより作業機とキャノピが干渉する事が避けられる。

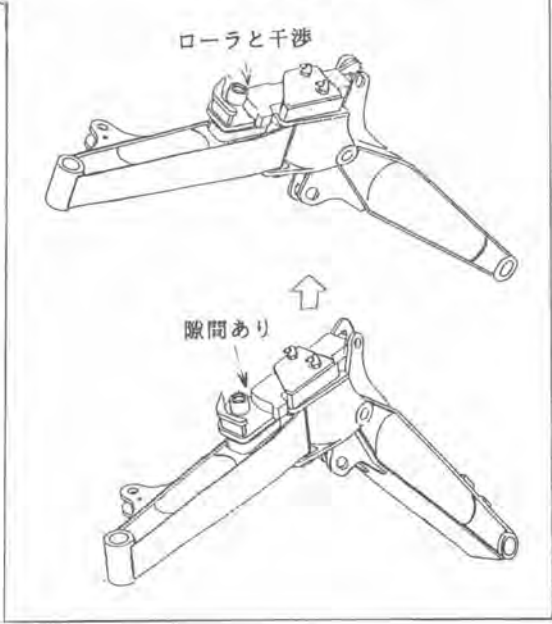


図8 自動干渉防止装置

6. 開発の効果

今まで家と塀の間の狭い場所では、全旋回できず掘削はできても積込み作業ができず効率的でなかったが、PC08UUの投入により狭い場所でも全旋回でき、従来人手に頼っていた宅配管工事も機械化が計れ、省人化、省力化がさらに進むと推測される。

☆クロスリンクブーム採用による効果

(1) 居住性向上

超小旋回車のメリット、車体が入れば周囲を気にせず作業が行え、さらにワークスペースが広いため体がすっきり全旋回径の中に入るので、肩が壁にぶつかる等の危険もない。しかもゆったりと作業ができ疲労を軽減できる。

(2) 安定性向上

安定性が良いため作業機を動かした時、車体が振られる、あるいは坂道走行、回送車への積み込みでバランスが崩れることなく、安心して作業ができる。また吊作業も十分におこなえる

(3) 自動干渉防止装置

自動干渉防止装置を付けることにより、不意の操作によるキャノピの破損といった危険を回避できる。また機械式のため、作業範囲を犠牲にすることなく、安心して作業ができる。

(4) 有効作業範囲の拡大

掘削作業時、最大リーチよりさらにブームを下げていくと、ブームの角度が再び開いていくため、ブーム先端が地面に対しほぼ垂直に動くので

- ① 垂直掘削深さが大きくとれる。
- ② ます掘りがしやすい。
- ③ 最大掘削深さが大きくとれる。

実作業での掘りやすさが格段に向上している。

(5) 全高が低い

全高が低いため、軒、木の枝等を気にせず作業ができる。

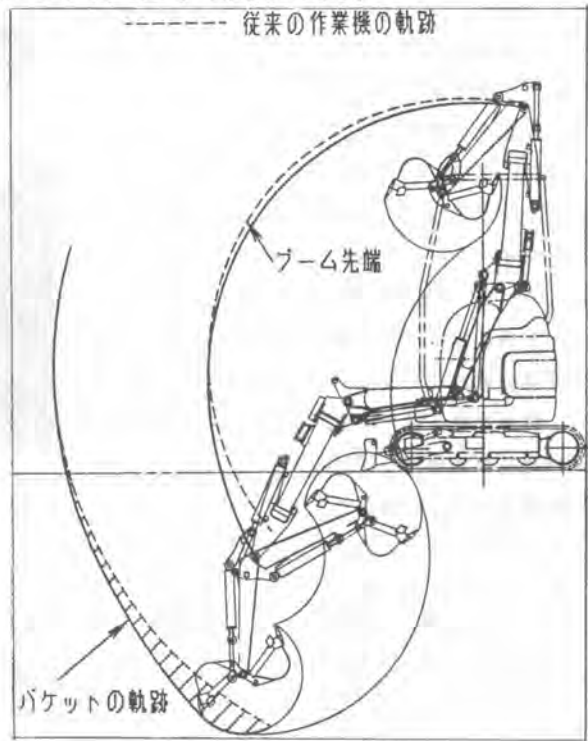


図9 作業範囲の拡大

7. 開発した技術の応用

クロスリンクブームは、基本的に格納時は小さく、作業性能は最大限とする機構であって、超小旋回車は全高が高くなってしまいう欠点があり、この機構を採用すれば全高が低く抑えられるため、上位機種にも採用可能である。

8. あとがき

今回、PC08UUを投入でき、かなりの部分が機械化されたが、都市型土木ではさらに家と家の隙間が小さくなって行くため、人手に頼る部分も大きい、可能なところから機械化を計っていきたい。

21. 建設廃材リサイクル車 “ガラパゴスBR200”の開発

コマツ：西田 安孝・*山口 昌保

1. はじめに

建設工事に伴って発生する建設副産物は、近年、都市開発の活性化や地下利用の増大等により発生量が増大している。一方、中間処理場や最終処分場の確保が非常に困難であることから、

- ① 運搬距離の増大化
- ② 不法投棄

等の問題を引き起こしている。

建設副産物は、平成3年10月より施行されている再生資源の利用促進に関する法律（リサイクル法）で特定副産物に指定されているコンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊、建設汚泥、建設発生木材の4品目で全体の約86%（図-1）を占められており、解体現場、受入地でのこれら4品目の再利用化及び減量化をはかることで、先に述べた問題を多少とも解消できる。

そこで我々は、4品目のなかで特に発生量が多いコンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊を対象に再利用処理及び減量化処理を解体現場、ストックヤード、受入地で行



写真-1 建設廃材リサイクル車(ガラパゴス)



写真-2 現場稼働状況

えるように、自走装置をもつ、建設廃材リサイクル車ガラパゴスBR200（写真-1）を開発した。

現場稼働状況を写真-2に示す。



図-1 建設副産物の排出量と再利用



2. 構造及び特徴

2-1. 全体構造と作動原理

本機は図-2に示すように

- ①クラッシャ
- ②フィーダ、ホッパ・・・クラッシャにコンクリート塊等の解体ガラを供給。
- ③ベルトコンベヤ・・・クラッシャで破碎された破砕物を排出。
- ④履带式走行装置
- ⑤パワーユニット・・・①～④装置を駆動。

で構成されている。

解体現場で発生した解体ガラは図-2に示すような処理経路をたどる。

まず、解体ガラは油圧パワーシャベルでホッパに投入される。ホッパ内のガラは、フィーダによりクラッシャへ定量供給され、クラッシャにて圧縮破碎されて、ベルトコンベヤ上に落ち、排出される。

2-2. 各装置の構造及び特徴

(1) クラッシャ

コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊を破碎するクラッシャとして代表的なものに、インパクトクラッシャ、ジョークラッシャ、コーンクラッシャがあるが、本機では、破碎後粒度が40mm以下となり下層路盤材、裏込材として再利用できるようにジョークラッシャを採用している。

次にジョークラッシャの破碎原理について述べる。ジョークラッシャは図-3に示すような構造でスライドするスウィングジョーと固定ジョーで噛み砕くように破碎する。

本クラッシャで破碎できる被破砕物の種類とその処理能力を表-1に、破碎後粒度を図-4に示す。

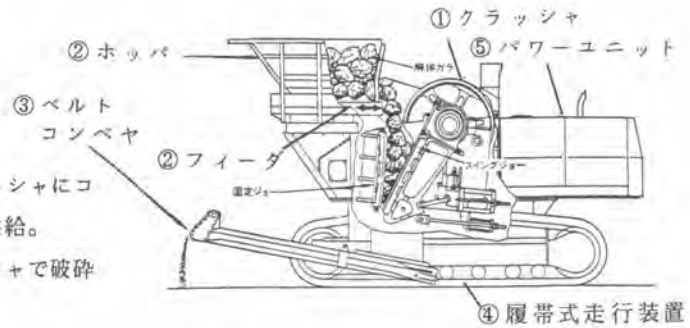


図-2 解体ガラの処理経路

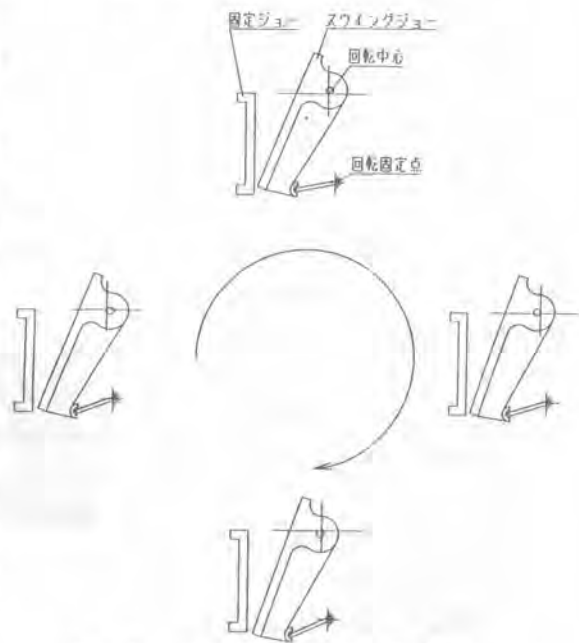


図-3 ジョークラッシャの運動

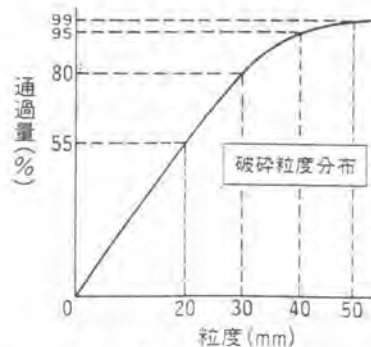


図-4 破碎後粒度

表-1 被破砕物の種類と処理能力

| 解体ガラの種類 | 破砕できる 最大寸法 (mm) | 処理能力 ton/h 出口隙間 (開き側) | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------|----------|----------|
| | | 50 | 60 | 70 | 75 |
| コンクリートガラ | 600×400×300 | 33~40 | 40~48 | 65~56 | 50~60 |
| アスファルト コンクリートガラ | 600×400×300 | 計測 データ なし | 計測 データ なし | 40~50 | |
| 原石 圧縮粒度 1000~1500 1500~2000 | 300×300×300 | 33 30 | 40 36 | 48 44 | 56 50 |

本クラッシュャの特徴は、以下の2点である。

- ①破砕後粒度を調整できる。
(40mm~75mm)
- ②鉄筋(φ19以下)等の異物が含まれていても、クラッシュャの出口隙間から排出できる。

(2) フィーダ、ホッパ

クラッシュャへの解体ガラ供給装置として独自のプレートフィーダを採用している。被破砕物供給の原理を図-5に示す。

本フィーダの特徴は、以下の3点である。

- ①安定した定量供給を可能にするフィーダ自動反転システム(図-6)を採用している。
 - ②塊の大きさ、形状に応じて、クラッシュャへの供給量を調整できるように、フィーダの振動速度を変更できる。
 - ③他構造のフィーダに比べ、低騒音である。
- なお、ホッパには耐摩耗性に優れた高張力鋼板を採用し、容量は約2m³である。

(3) ベルトコンベヤ

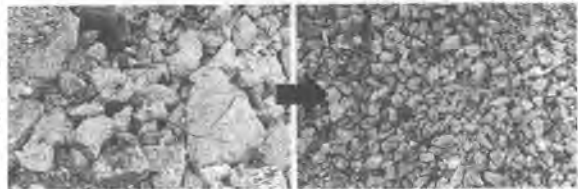
本ベルトコンベヤの特徴は、以下の2点である。

- ①鉄筋等がベルトに突き刺さり難くしている。
- ②ベルトコンベヤ上部に散水コック(オプション)を設置可能で、ほこりを低減できる。

(4) 履带式走行装置及びパワーユニット

走行装置は本機の負荷条件から0.7m³クラス油圧パワーシャベルと同様のものを使用している。但し、車幅は2.5mとなるように縮めてる。

パワーユニットも同様に、クラッシュャの破砕能力に必要な出力を考慮し、0.7m³クラス油圧パワーシャベルのものを使用している。



処理前

処理後

写真-3

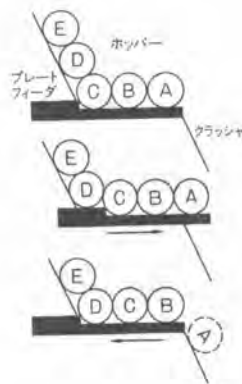


図-5 フィーダによる経路

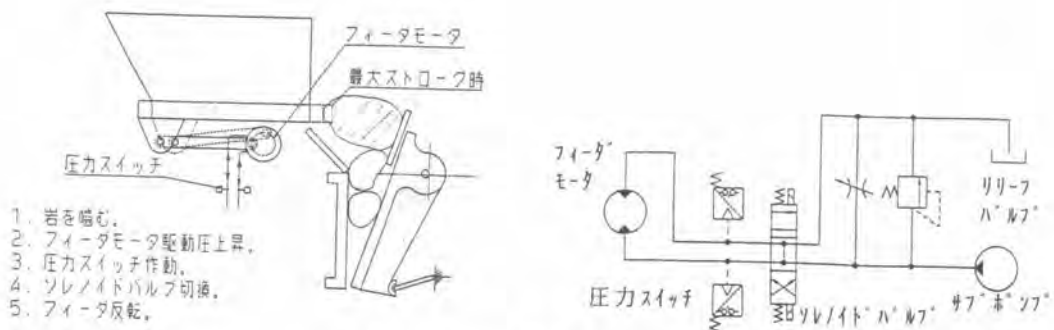
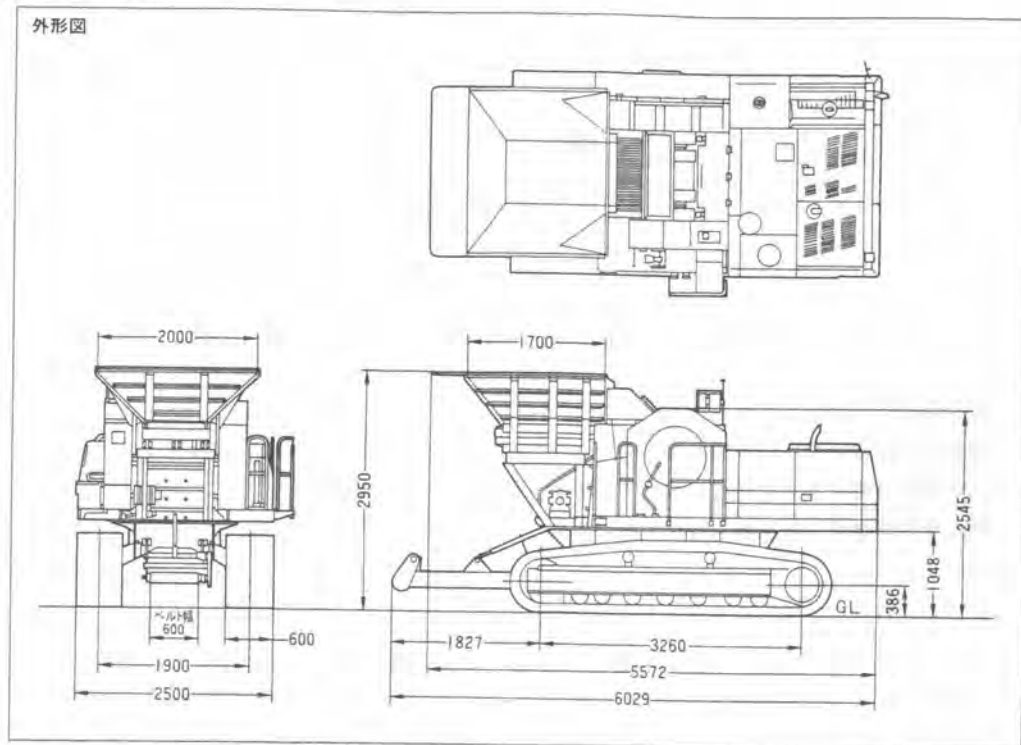


図-6 フィーダ自動反転システム

2-3. 仕様

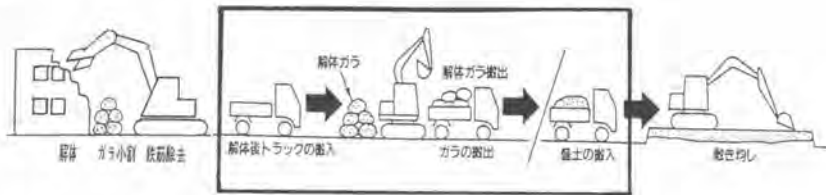


仕様

| | | | |
|-------|--------|----------|--------------|
| 車体総重量 | kg | 19000 | |
| 定格出力 | PS/rpm | 125/2050 | |
| 寸法 | 全長 | mm | 6029(コンベア含む) |
| | 全高 | mm | 2950 |
| | 全幅 | mm | 2500 |
| | シュー幅 | mm | 600 |
| | 履帯中心距離 | mm | 1900 |
| | 接地長 | mm | 3260 |
| | エンジン | 名称 | コマツS6D95L |
| | 形式 | 直噴+過給機 | |

| | | | |
|----|----------|-------|-------------|
| 性能 | 生産能力 | ton/h | 33-40 |
| | 投入最大ガラ寸法 | mm | 600×400×300 |
| | 走行速度 | km/h | 3.0 |
| 駆動 | 登坂能力 | 度 | 35 |
| | 走行駆動方式 | | 油圧式 |
| 容量 | クラッチ駆動方式 | | 油圧式 |
| | 燃料タンク | ℓ | 320 |
| | 作動油タンク | ℓ | 240 |

現状工程



新工程

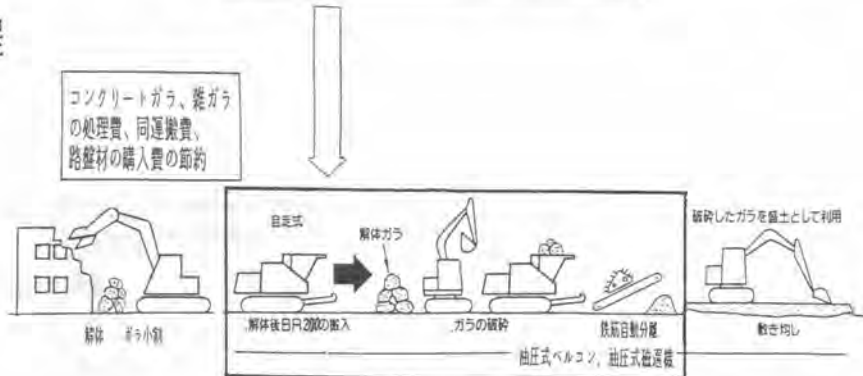


図-7 新工程と現状工程の比較

3. 本機を使用することによる効果

建設物の解体工事に伴って発生するコンクリート塊等の解体ガラの処理について、本機を使用する場合の新工程と現状工程の比較を図-7に示す。

新工程の特徴は、以下の3点である。

- ①解体ガラを破砕することで、下層路盤材、裏込材として有効利用できる。
- ②解体ガラの搬出が不要となり、下層路盤材、裏込材の搬入が不要またはその量を減少させることができる。
- ③最終処分場の確保を不要にする。

4. ユーザー評価

本機は1993年2月に市場導入後、約90台の販売実績があり、十分実用性はあるとユーザーから良い評価を得ている。

しかし、以下の改善要望事項が挙げられおり、今後の課題である。

- ①ホッパーの排出口の近くでガラを投入すると、フィーダによる送りに関係なく直接クラッシャーに瞬間のうちに過剰供給される場合があり、より安定した定量供給可能なフィーダ、ホッパー形状に見直す。
- ②破砕が民家の密集地で行われる場合もあるので、ほこり、土こぼれ、騒音の低減。

5. 今後の展開

今後、解体工事の増加と最終処分場の確保を解決するために、解体現場、受入地での再利用処理、減量化処理を本格的に行える機械を開発していきたい。そのために今後以下のような取り組みを行う必要がある。

- ①解体現場や受入地での本格的な再利用処理、減量化処理をおこなえるように周辺装置（移動可能な選別機、ふるい装置、ベルトコンベヤ等）を揃え、システム化をはかる。
- 移動式ミニプラントの例を図-8に示す。
- ②再利用処理、減量化処理を行う対象品目を広げる。
- ③解体工事の規模に応じた機械を揃える。
- ②③項目の取り組みとして、現在ガラバゴスのシリーズ化をはかっている。その内容を表-4に示す。

6. あとがき

今後、建設副産物問題を解決するために、社会の要求、要望に応えたより良い商品を育てていきたい。

最後に、稼動状況調査へのご協力や、本機により実用的な使用方法についてのご指導を頂いたユーザー各位に深く感謝いたします。

<参考文献>

- 1) 本多淳・山田優 共著
”建設廃棄物の処理と再利用”
(財)省エネルギーセンター発行
- 2) 積算資料”建設副産物(その処理と再利用)”
(財)経済調査会発行

BR200+BR60による破碎事例(移動式ミニプラント)

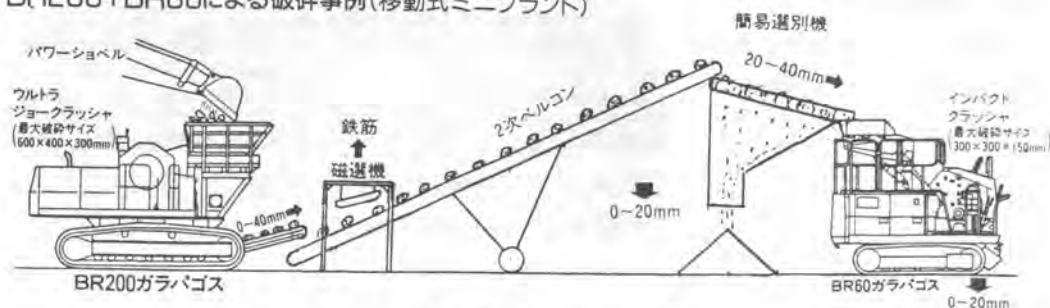


図-8 移動式ミニプラント例

表-4 シリーズ化

| 機種名 | 対象品目 | 搭載クラッシャ | 処理能力 (t/h) |
|-----------------|------------------------|---------|------------|
| BR60 | 雑ガラ、コンクリート塊等 | インパクト | 10~20 |
| BR200 | コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊 | ジョー | 33~40 |
| BR200S | 木材、タイヤ、7ミ缶等 | 2軸せん断 | 対象品目により異なる |
| BR200R (開発中) | コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊 | インパクト | ---- |
| BR300J (開発中) | コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊 | ジョー | ---- |

22. 垂直土砂搬送装置の開発

東急建設(株)：光永 純一・三沢 輝久
*安藤 喜敏

1. はじめに

地下掘削工事に伴う残土搬出は、一般にクラムシェルや垂直コンベアにより行われているが、設置スペースが大きい、土砂のこぼれや落下による危険や周辺の汚れがある、騒音・振動などの公害発生要因となる、など多くの問題点を抱えている。さらに今後地下開発はますます大深度化・大規模化していく傾向にあることから、省スペースで効率良く安全に残土搬出が行える工法・装置が求められている。

このたび、パイプ内を円盤状の搬送プレートを牽引移動させることにより、連続して土砂を搬送する『垂直土砂搬送装置』を開発し、試作機による土砂搬送実験の後、実用機を田園調布駅改良工事に導入したので報告する。

2. 装置の概要

垂直土砂搬送装置はケーシングとなる搬送パイプ、円盤状の搬送プレートを一定ピッチで連続して取付けたショートリンクチェーンおよびチェーンの駆動装置から構成されている。

搬送プレートを連続して取付けたチェーンをパイプ内に挿入し、駆動装置で牽引することにより、パイプ内をチェーンに取付けられたプレートが移動し、パイプ内に投入された土砂を順次プレートで掻揚げ、連続的にパイプ内を搬送し、排出口から排土する。

3. 装置の特徴

- ① 土砂搬送部がパイプ2本だけのため省スペースである。
- ② 土砂はパイプの中を搬送されるため、搬送途中での飛散落下がなく、また覆工板上の開開口部がなくなるため安全性が高い。

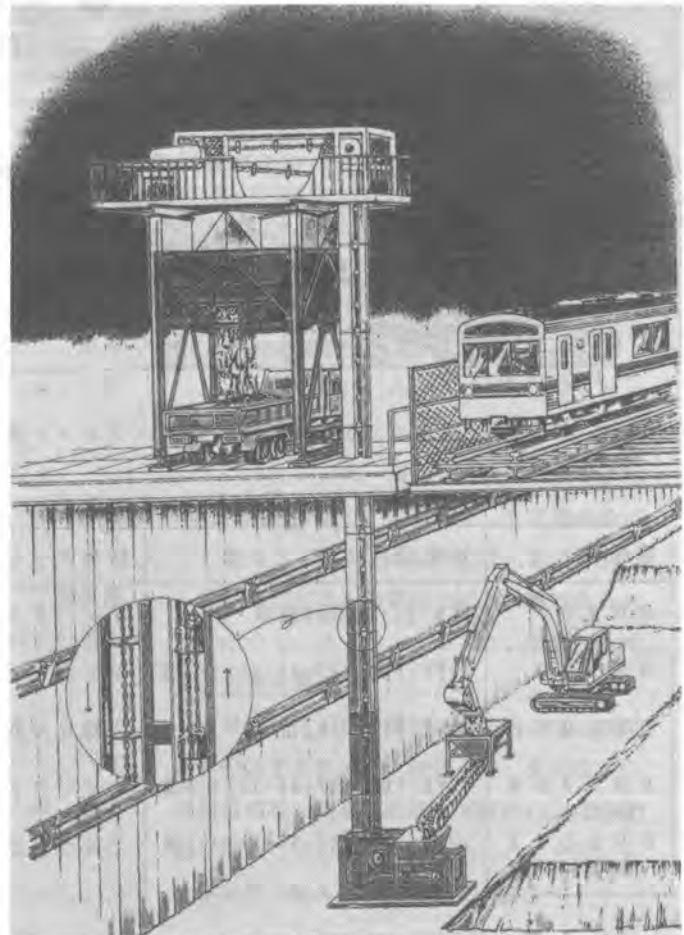


図-1 装置概要図

- ③ 搬送途中での土砂のこぼれがないため周辺を汚すことなく効率良く搬送できる。また、連続搬送のため大深度でも能力が低下せず、効率の良い土砂搬出ができる。
- ④ 構造が単純であるため、取扱い、保守管理とも容易に行える。
- ⑤ 立坑掘削時等、掘削の進行に応じて順次地下へ延伸していくことができる。
- ⑥ 搬送土砂が金属同志の直接接触を防ぐことによって、騒音・振動を比較的強く抑えられる。
- ⑦ 垂直方向に限らず、水平・斜め方向の搬送にも対応できる。



写真-1 プレート・チェーンと駆動装置



写真-2 開口部がなく省スペース

4. 工場実験

垂直土砂搬送装置の ①時間当たり土砂搬送能力、②プレート間の土砂充填率、③土質に対する適応性、④騒音・振動を確認するため、実験装置を試作し土砂搬送実験を行った。

搬送する土砂には ①砂、②粘性土、③砂礫の3種類の現場発生土を用いた。チェーン速度を変化させてプレート1ピッチ当たりの搬送土砂量を測定し、土砂充填率、時間当たり土砂搬送能力を算出した。

表-1 試作機仕様

| | |
|-------|----------------------------|
| 搬送パイプ | SGP 250A |
| プレート | 外径：φ220 mm 取付ピッチ：880 mm |
| チェーン | 呼び寸法：H1655 |
| 駆動装置 | 11 kw 無段変速機 |
| 揚程 | 約 10 m |

表-2 騒音・振動測定結果

| 条件 | 騒音 | 振動 |
|---------|------|-------|
| 無負荷運転 | 59 ㏫ | 39 dB |
| 負荷運転 | 58 ㏫ | 38 dB |
| 暗騒音・暗振動 | 56 ㏫ | 35 dB |

搬送土砂は砂と粘性土の混合土
測定距離：30m

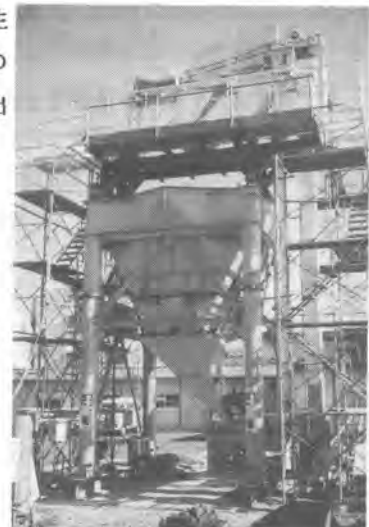


写真-3 実験装置

今回の実験結果を図-2、3および表-2に示す。

この結果から、チェーンの速度としては $v=20\sim30$ m/min、充填率としては $\eta=40\sim60\%$ 程度に設定するのが適当と思われる、また搬送パイプとしてSGP 250 Aを用いた場合、時間当たり搬送能力としては、 $Q=35.0\text{m}^3/\text{h}$ 程度と考えるのが妥当と思われる。土質的には湿った砂質土やシルト質の土砂が最適であり、粘性土は搬送プレートへの付着防止対策、砂礫は充填率を抑える必要がある。また騒音・振動は土砂搬送中の方が低い。

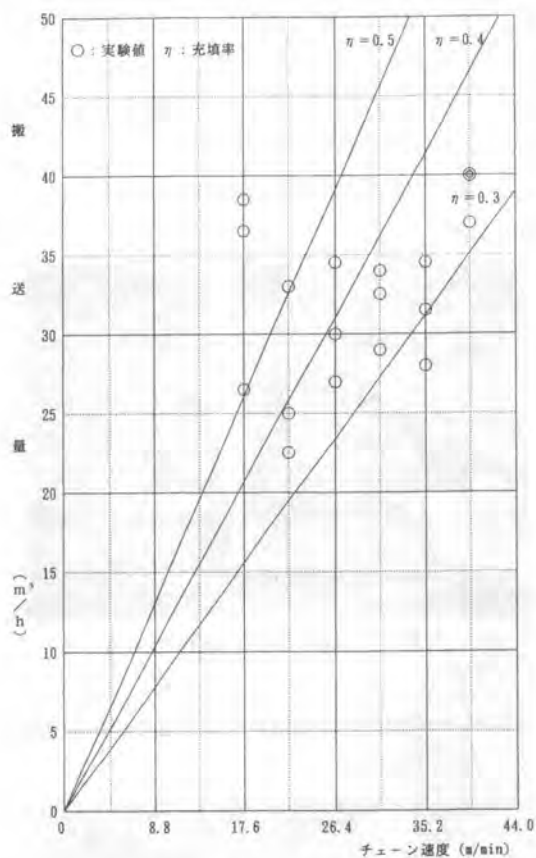


図-2 チェーン速度と土砂搬送量

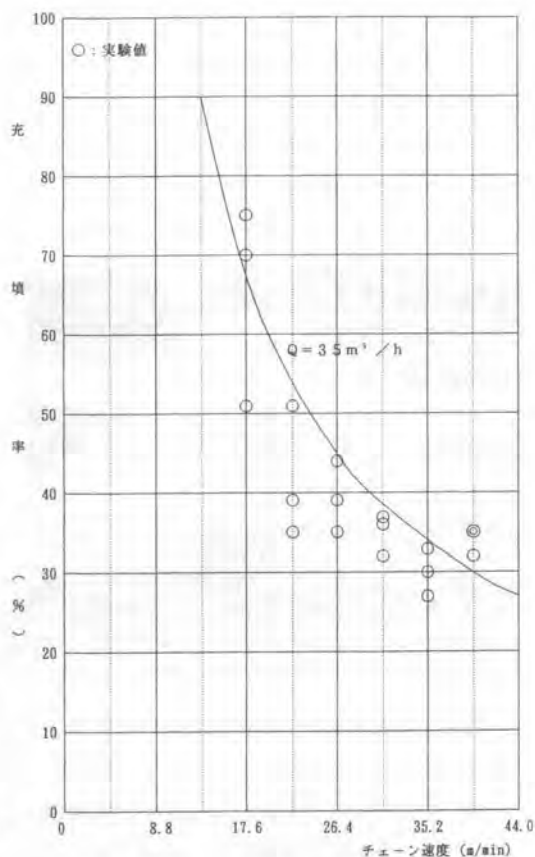


図-3 チェーン速度と土砂充填率



写真-4 土砂排土状況

5. 現場導入

実用機を導入した工事は、東急東横線の抜本的な輸送力増強対策としての東横線複々線化工事に伴う田園調布駅改良工事で、駅部を含んだ460mを地下化するものである。地下掘削に当たっては、従来の路線を軌道仮受桁に切替え、その下部を順次掘削し地下構造物を築造する。

垂直土砂搬送装置により揚土したのは床付面までの最終掘削部分で、土質は凝灰質シルトおよびシルト質粘土の2層からなり、土質試験の結果によれば粘着力 0.7 kg/cm^2 、含水比100~150%以上という取扱いの難しい粘性土が主体となっている。

掘削は、 0.25 m^3 級のショートリーチと 0.12 m^3 級のミニバックホウで行い、投入ホッパで塊を小割りした後、600mm幅ベルトコンベアを用いて横引きし、覆工上に設置した垂直土砂搬送装置により 35 m^3 土砂ホッパへ揚土する。

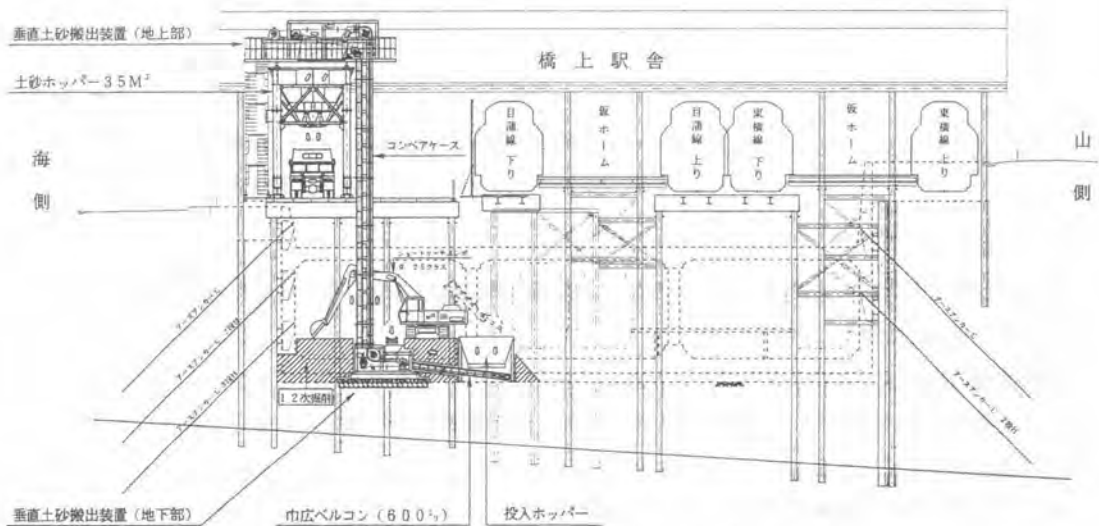


図-4 垂直土砂搬送装置設置部断面図

表-3 実用機仕様

| | |
|--------|---------------------------------------|
| 搬送能力 | 40m ³ / h (充填率 40%) |
| 搬送パイプ | SGP 300A |
| プレート | φ275mm(鉄板) φ285mm(樹脂) 取付ピッチ 880 mm |
| チェーン速度 | 27 m/min |
| 駆動装置 | ギヤードモータ 22 kw× 6 P |
| 揚程 | 20 m |

垂直土砂搬送装置は本年2月現場に設置し、4月までの3か月間稼働した。掘削場所が仮受け杭、中間杭などが輻輳している部分であったため、主としてミニパックホウによる掘削積込みとなり、装置の能力としては十分な余裕があった。この間の稼働日数は40日で1日平均搬出量は75 m³ / 日、最多搬出量は98 m³ / 日であった。問題点としては、掘削からダンプへの積込みまでの一連の残土搬出過程で、掘削土が軟粘土化し付着することで、状況に応じ作業員を配置せざるを得なかった。



写真-5 装置地上部

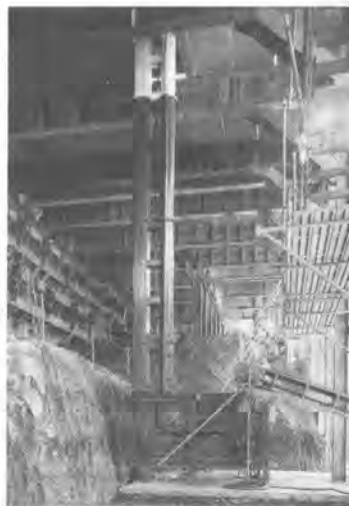


写真-6 装置地下部

6. おわりに

地下空間の開発は今後ますます活発化すると予想され、残土搬出についてもより高度化した装置が求められている。

今回、狭いスペースで安全に効率よく残土を搬出するという当初の基本目標は達成できたと考えているが、未解決の課題も残されており解決に向け検討を進めるとともに、適用分野の拡大を目指し、今後とも改良改善に努めていきたい。

23. ホイール式堤防法面草刈車の開発

建設省東北技術事務所：熊本 泰俊・*今野 順二
及川自動車㈱：及川美喜雄

1. はじめに

河川における堤防は、国民の生命と財産を守る重要な構造物である。その堤防の機能を維持するために、除草は重要な位置をしめている。

堤防法面の除草は、主に「肩掛け式（人力）」および「ハンドガイド式」により施工されている。一部で「大型自走式（履带式）」が使用されているが、方向転換時や作業中に法面を傷めることなどから、普及が進まない現状である。

そこで、既存の草刈機械を見直し、新しい構想のもとに「ホイール式草刈車（8輪駆動+操舵）」を開発し、機械施工を促進させ、除草作業の安全性及び施工性の向上を図るものである。

2. 除草作業の現状と問題点

図-1 に示すとおり、東北地建管内の除草作業工法割合は、9割以上が肩掛け式およびハンドガイド式であり、法面自走式は約7%のみである。ロングリーチ式に至ってはほとんど使用されていない実態である。（H2年度調べ）

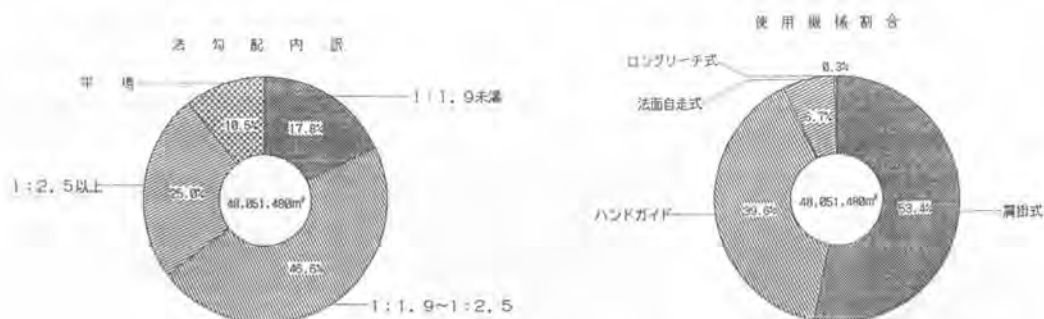


表-1 管内堤防法勾配内訳および除草使用機械（H2年11月調べ）

現在主流の肩掛け式やハンドガイド式は、法面上での苦渋作業であり、危険も伴っている。さらに、これらの工法では多くの作業員（人手）が必要であり施工単価が高く、さらに将来的に人手不足が予想されるなどの諸問題をはらんでいる。

機械施工が遅れている要因を以下のとおりまとめる。

- (1) 堤防法面は急勾配で断面形状の変化（小段など）があり、機械化には技術的問題が多い。また、構造物（樋門、樋管など）や坂路なども機械施工を難しくしている。
- (2) 請負業者が、特殊で高価な草刈機械を保有するのが難しい。
- (3) 草刈機械の主力機種である「履带式草刈車（大型自走式）」には、操向時（軌道修正や方向転換）に堤防表面を傷めやすい欠点がある。

3・走行体に求められる特性

草刈機械の走行体に求められる条件を次のとおりまとめる。

- (1) 堤防を損傷しないこと
- (2) 法面（傾斜地）での走行安定性に優れること
- (3) 不整地での走行安定性に優れること
- (4) 適度な踏固め効果があることが望ましい（イタドリなどの雑草の繁茂を抑え、野芝の育成に有利になる）

以上より、既存の履带式草刈機械の問題点を見直すことにし、諸条件を満たし実用的な走行体を検討した結果、ホイール式（8輪）を選定した。

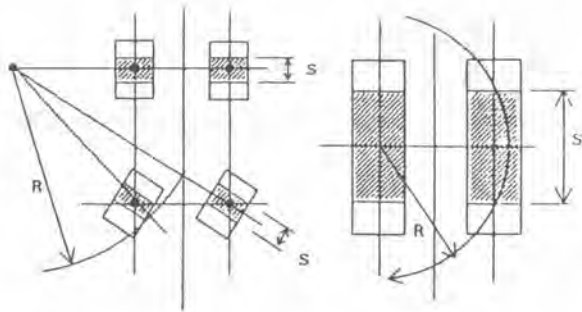
4. ホイール式走行体の特徴（選定理由）

ホイール式走行体の特徴を、現在主に使用されている履带式と比較して表-1に示す。

表-2 走行方式比較表

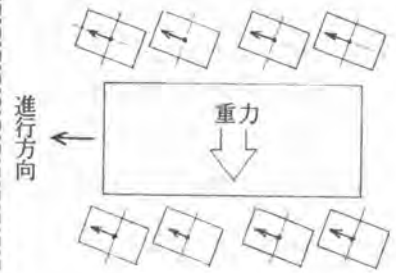
| 項目 | ホイール式 | 履带式 |
|-------|---|---|
| 操向特性 | 図-1に示すとおり、操舵により円滑に旋回できる。さらに差動装置を組み込むことにより、内外輪の速度差を吸収するので、「滑り」がほとんど発生しないため、土壌のかき乱しがない。 ◎ | 図-1に示すよう両側の履帯の速度に差をもたせること（またはお互い反対方向に駆動させる）により進行方向を変える。よって、土壌をかき乱す。 × |
| 接地特性 | タイヤの空気がクッションになり平均的かつ柔軟に荷重を受けとめるため、踏堅め効果が期待できる ○ | 履帯には柔軟性がなく、突起部に荷重が集中する。柔らかい土壌では「下駄歯状」の走行跡ができる △ |
| 法面走行性 | 主に、地面とタイヤの摩擦力で横滑りに耐えるもので、8輪駆動と8輪操舵により適応性が高い（図-2参照） ◎ | 履帯の突起が地面に食込むことによる土壌のせん断抵抗により横滑りに耐える。軽量機種であれば堤防法面の傾斜でも作業が可能 ◎ |
| その他 | 傾斜地では、谷側のタイヤにかかると負担が平坦地より多くなるため必要数を増やして荷重を分散させる必要がある。多輪により全長が長くなる △ | 法面走行性で述べたとおり、土壌のせん断抵抗で履帯の谷側「エッジ」下部に集中する。よって履帯の長さ（図-1の「S」）を大きくすれば横滑り防止の有効量が増える。しかし、操向時のかき乱し量が増えるため、現実的には小型軽量化が不可欠である △ |

◎=たいへん良い ○=良い ×=悪い △=問題がある・検討が必要



ホイール式 履帯式

図-1 操向方法



全輪を山側に操舵することにより滑落をバランス良く抑える

図-2 ホイール式の
法面走行方法

5. ホイール式草刈車（試作機）

開発方針に基づき、ホイール式草刈車の試作機を製作した。表-2 に試作機の主要仕様、図-3 に外形図を示す。

表-2 試作機主要仕様および外形図

| 項目 | 数 | 値 | 等 | 備考 | |
|------------|--|------------------------|----------|---------------|---------|
| 型式 | 8 | 輪駆動・8 | 輪操舵 | | |
| 全長×全幅×全高 | 5,300mm | × | 2,320mm | × | 2,350mm |
| 重量 | 約2,700 | kg | | | |
| 駆動方式 | 油圧モータ | + | タンデムドライブ | 8×8輪駆動 | |
| 作業法勾配（目標値） | 1:1.9 | （約27.8度） | 以上 | 管内の8割以上適応 | |
| 作業速度（目標値） | 4 | km/h | | | |
| タイヤ | 種類 | 芝生・フィールド用タイヤ | | φ742mm×幅310mm | |
| | 空気圧 | 1.2 kg/cm ² | | | |
| 草刈作業装置 | プロペラカッタ2条式（刈幅2,220mm） （ハンマーナイフ式（刈幅1,870mm）） | | | | |

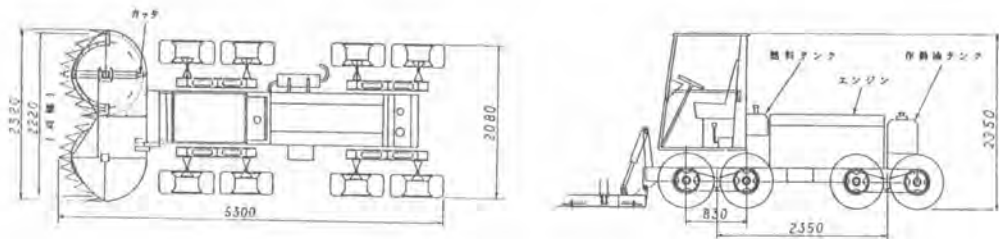


図-3 試作機外形図

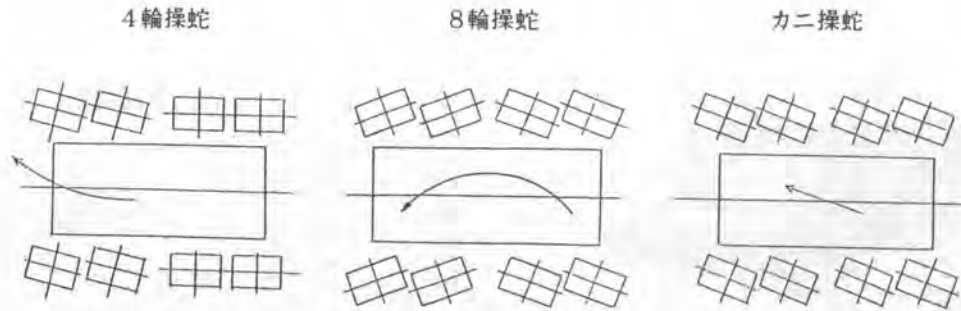


図-4 試作機操舵方式

6-1. 走行特性調査

ホイール式草刈車の堤防法面での特性を確認するため、試作機による特性調査を実施した。表-4に調査結果を示す。なお、法面損傷度は、目視評価によるものである。

表-4 試作機特性

| 項 目 | 結 果 | 備 考 |
|--------|--|--|
| 法面損傷度 | ゴム履带式草刈機（リモコン）も比較の為に試験を行った。その結果、両者ほぼ同程度か、状況によっては試作機の方がやや良いと判断された。（履带式では操向時に一部土壌のかき乱しが認められた） | 比較した履带式はR100式草刈機械で刈幅1.2m総重量1.2tと軽量でかつ前後進刈り機能を持つ旋回の不要な法面損傷に配慮した機種である。 |
| 法面走行性 | 蛇行量=5cm程度（5m間隔）であり十分安定していると言える。 | 法勾配1:1.7（30.5度） 走行速度3.4km/h |
| 最大走行速度 | 16.1km/h | 平坦舗装路 |
| 最小回転半径 | 右/左回転=4.23/4.05m | |
| 静的転倒角度 | 56.5度（1:0.66）以上（右/左共） | 自動車傾斜角度測定装置 |
| その他 | <ul style="list-style-type: none"> ○法面走行において、カニ操舵にした場合に蛇行量が少なく安定走行することが確認できた ○タイヤ溝に泥詰まりが発生し、グリップを失う場合があった ○高出力エンジンを搭載しており、高能力が期待できる | |

ホイール式試作機



履带式（リモコン式）



写真-1 特性調査状況（法勾配1：1.7）

6-2. 法面走行影響調査

調査は、法勾配1：1.7（30.5度）の堤防を試作機および履带式草刈機で等高線方向に走行し、土壌支持力強度およびわだち深さを測定した。土壌支持力強度は山中式土壌硬度計により調査したもので土壌表層部の値である。

また、踏堅め率は支持力強度の $\frac{\text{走行部}}{\text{未走行部}}$ を表している。以下に調査結果をまとめた。

表-5 堤防走行踏堅め・わだち深さ（測定平均値）

| 測定箇所 機種 | | 土壌支持力強度（山中式土壌硬度計） | | | | | わだち 深さ mm | 備考 |
|------------|----|-----------------------------------|---------------------------|----------|---------------------------|----------|-----------------|----------|
| | | 未走行部 支持力 kg/cm ² | 走行部(わだち) | | わだち凸部 | | | |
| | | | 支持力 kg/cm ² | 踏堅率 % | 支持力 kg/cm ² | 踏堅率 % | | |
| 試作機 | 山側 | 1.4 | 2.2 | 157 | - | - | 15 | 車両重量2.7t |
| | 谷川 | 1.9 | 2.8 | 147 | - | - | 17 | |
| 履带式 | 山側 | 1.5 | 2.0 | 133 | 1.4 | 93 | 11 | 車両重量1.2t |
| | 谷川 | 1.9 | 2.3 | 121 | 1.7 | 89 | 14 | |

まとめ

- ①踏固め率・わだち深さとともに試作機の方がやや大きくなる傾向が見られた。これは、試作機の車両重量の影響と考えられが、両者の重量の差を考慮すれば、ホイール式の柔軟に荷重を受けとめる特性の効果が現れていると判断できる。
- ②履带式の場合、わだち（凸部）の支持力強度が未走行部の値より低下する傾向が見られる。
- ③支持力強度に関しては、平均的に踏固められる試作機（ホイール式）の特性は芝の植生面から考えると、有利に働くことが期待できる。（文献によれば、芝草の根の伸長圧10 kg/cm²以下であり、他の植物が入り込めない土壤に育成する）

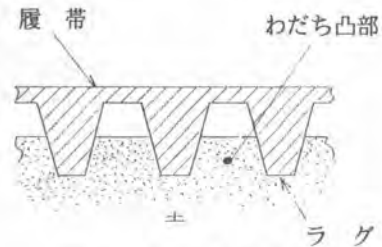


図-5 履带式走行図

6-3. 接地圧調査

調査は、試作機および従来機種の実接地圧を圧力測定フィルム及び圧力変換器（ひずみゲージ式微小型圧力センサー）により測定した。以下に測定結果をまとめた。なお、2種類の測定方法で調査したのは、調査が難しい接地圧の測定値の信頼性を高めるためである。

表-6 接地圧調査

| 測定値 調査機種等 | 圧力測定フィルム | | 圧力変換器 | | 重量 (kg) | 備考 |
|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|--------------------------|
| | 平均 kg/cm ² | 最大 kg/cm ² | 平均 kg/cm ² | 最大 kg/cm ² | | |
| 試作機（ホイール式） | 2.7 | 3.2 | 2.5 | 3.0 | 2,700 | 空気圧1.2kg/cm ² |
| ゴム履帯式 | 1.6～5.5 | | 0.5～5.6 | | 1,250 | 搭乗式小型草刈車 |
| ハンドガイド式 | 6.2 | 6.9 | 5.6 | 6.2 | 335 | 自立状態 |
| 肩掛け式 | 1.4～3.6 | | 0.5～3.5 | | 65 | かかと部が高接地圧 |

- ①ホイール式の接地圧は輪荷重に影響されず、各輪ごと、接地部分ごとのばらつきが少ない。
- ②履帯式は接地圧にばらつきがあり、ローラが押しているラグが高い接地圧を示した。
- ③接地圧の大きさは、ハンドガイド式>ゴムクローラ式>ホイール式≧肩掛け式の傾向を示した。

6. 試作機の改良点・問題点

これまでの試験などの結果以下の改良点・問題点を抽出した。

- (1) 重量が重いため、急勾配や含水率が高い場合など厳しい条件下での作業が難しい。（軽量化が必要）
- (2) 全長およびホイールベースが長いいため小廻り特性が良くない。（しかし8輪操舵により全長の割には良い）
- (3) 重心位置が前に片寄っているため、重量バランスを改良する必要がある。
- (4) 泥詰まりの発生しないタイヤパターンを選定が必要である。
- (5) 操作性の向上のため操作レバー・ペダルの配置や操作方法を改良する必要がある。

7. まとめ

特性調査の結果、試作機では改良点があるものの、法面自走式草刈車の走行体としてホイール式が適していると判断できた。

今後は、試作機の問題点を改良した実用的な草刈車の開発を行い、堤防除草の機械化・効率化を目指すものである。

参考文献：「堤防雑草調査（芝地保全のための考察）」 大類 雄一 1984年11月
（第38回 建設省技術研究会講演概要）

「土質調査法（植生工調査の項）」 土質工学会

24. 船上杭打ち作業における光学式 リバウンド計測方法

五洋建設(株)：*田中 潔・斉藤 勉

1. まえがき

海上や陸上の構造物構築の基礎工事として杭打ち工事がある。杭打ち工事の打ち止め判定は、地質調査をもとに設計深度に杭先端が近づいた時や、杭の貫入速度が著しく低下した時点において、ハンマーの打撃ごとに杭のリバウンド（リバウンド量および貫入量）を測定、その結果を支持力算定の公式に代入し、支持力を求め打ち止めの是非を決定している。

このリバウンド測定方法は、作業員が打撃稼働中のハンマー直下において作業を行うため、次のような問題点がある。

- ①ハンマー直下に入るため、上からの落下物などによる危険を伴う。
- ②打撃騒音・衝撃が身体障害の起因となり易い。
- ③ディーゼルハンマーの場合、油飛散などで汚れる。
- ④十分な足場を確保し難いので墜落事故のもとになる。
- ⑤作業員の個人差や船の動揺などから、測定データの不揃いや誤差を生じ易い。

本装置は、港湾工事で施工される杭打船による杭打ち工事を対象とし、上記の問題点を解消するために開発した、非接触の計測装置である。本稿では、計測装置の概要について紹介する。

2. 装置の概要

2. 1 構成

本装置は、打設杭に反射テープを貼付け杭打船上に設置したCCD（電荷結合素子）カメラで一定時間連続撮像し杭変位を測定し、採取したデータをコントローラを介して計測演算装置に取り込みコンピュータ処理（船体動揺補正）後、手動計測と同様な記録表示でペンレコーダに記録する。なお、ハロゲン光源は、反射テープの反射信号をCCDカメラで捉え易くするためのものである。

本装置の機器の構成を図-1に、機器配置を図-2に、機器の仕様を表-1に示す。



写真-1 現状のリバウンド測定状況

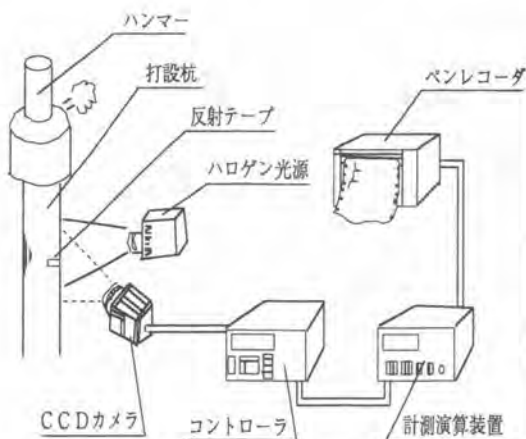


図-1 機器の構成



写真-2 CCDカメラ設置状況

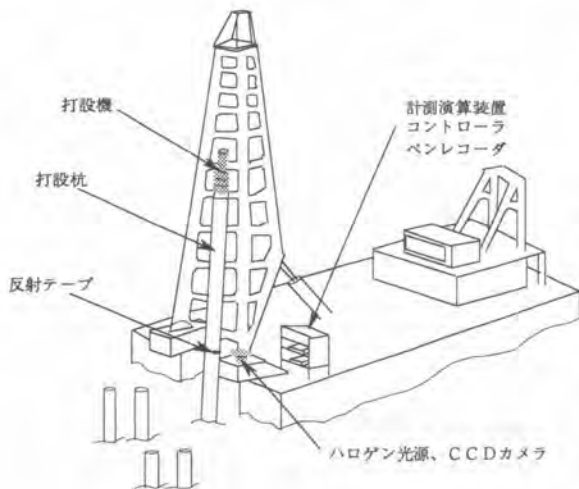


図-2 機器配置図

表-1 機器の仕様

| 品名 | メーカー仕様 | 数量 |
|---------|--|----|
| CCDカメラ | IX-20 2048bit 走査時間1msec<サンクス> | 1 |
| 同上望遠レンズ | 100mm F2.8 <ペンタックス> | 1 |
| ハロゲン光源 | IX-PH100 AC100v 100W <サンクス> | 1 |
| コントローラ | IX-C100-3 入力:2, 出力:2 <サンクス> | 1 |
| 計測演算装置 | パソコン PC-9801vx21 <NEC> 各設定部 BCDデジスイッチ | 1 |
| ペンレコーダ | R301 測定レンジ:0.5~200v<理化電機> 1インチペンスピード:1600mm/sec | 1 |

2.2 原理

2.2.1 杭変位検出

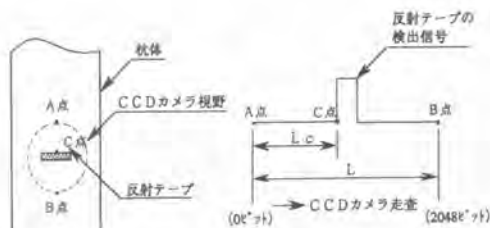
CCDカメラは、結像面の光の強さを電気信号の大きさに変換する素子が等間隔で一直線上に並んでいて光の像を電気信号として捉えるカメラで、本装置はこのCCDカメラを用いて反射テープからの光を受けた素子の配列位置によって杭変位を計測するものである。

図-3にCCDカメラによる反射テープの位置検出を示す。

図のA点からB点まで走査すると(走査時間1msec)反射テープC点に相当する処では強い信号が得られ、図のような出力となる。C点の位置(A点からの長さ)を式のように求めることができる。

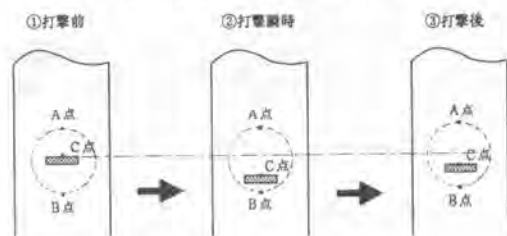
瞬時に発生する杭変位であるリバウンドは、このC点位置に相当する電気信号を一走査、つまり1msecごとにCCDカメラから演算装置に出力し、その時間変化を杭変位として記録表示する。

ハンマー打撃前後の杭変位検出状況を図-4に示す。

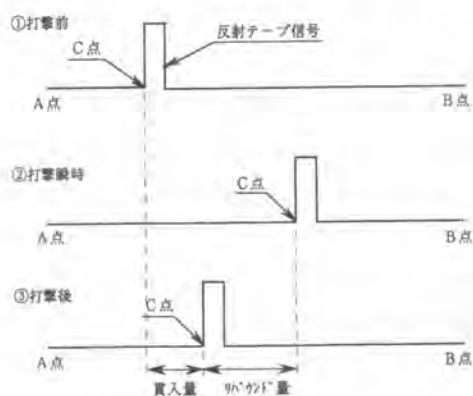


C点の位置 (杭A・C間の長さ) = (杭A・B間の長さ) × (Lc/L)
 (L:全測子長, Lc:検知素子までの配列長)

図-3 CCDカメラによる杭変位検出



C点 (反射テープ位置) の変動



C点変位の検出信号 (CCDカメラ走査)

図-4 ハンマー打撃前後の杭変位検出状況

その基本は、杭変位のデータ [打撃間データ] を挟んだ前後に [打撃直前データ (杭変位がないデータ間)] と [打撃後安定データ (杭変位がないデータ間)] を取り、この2つの安定データから次式の平均手法で、[打撃間データ] 間のカメラ設置点 (破線) を算出し、A点からの差分を補正值としている。

$$\Delta H_n = (\Delta F_n + \Delta R_n) / 2$$

ΔH_n : 打撃間データの時間 (Δt) 間の船体動揺値

ΔF_n : 打撃直前データの時間 (Δt) 間の船体動揺値

ΔR_n : 打撃後安定データの時間 (Δt) 間の船体動揺値

Δt : サンプルングタイム (1 msec)

2.2.2 船体動揺補正

杭打船に設置したCCDカメラの基準点は、船の動揺によって変化するので、CCDカメラで捉えた杭変位は船体動揺を含んだ値となる。従って、杭変位のみを取り出すために、ソフト処理により船体動揺分を補正している。

図-5は、船体動揺時のデータの一例で、データ1は船体上昇時の杭変位、データ2は船体下降時の杭変位を示す。前者では、CCDカメラ位置が上がることで

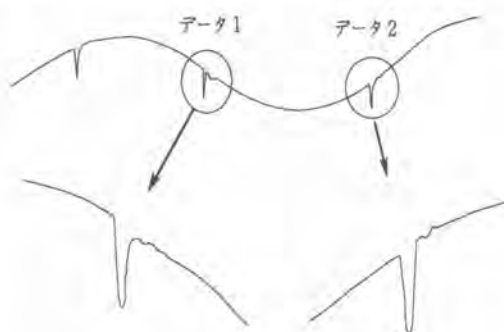


図-5 船体動揺時のデータ例

により測定値は真値より大きく、後者では、小さくなる。

図-6は、船体が上昇しているときの打撃による杭体および船体の変位である。動揺補正は、船体動揺分の破線位置を割りだした後、打撃開始点 (A点) を不動点としてその差分を計測データに加算補正する手法で行う。

その基本は、杭変位のデータ [打撃間データ] を挟んだ前後に [打撃直前データ (杭変位がないデータ間)] と [打撃後安定データ (杭変位がないデータ間)] を取り、この2つの安定データから次式の平均手法で、[打撃間データ] 間のカメラ設置点 (破線) を算出し、A点からの差分を補正值としている。

なお、補正対象時間を450msec（データ数=450個）としているのは、これまでの実験をもとに設定したものである。

船体動揺補正の具体的手法について以下に述べる。

・船体動揺分の算出

船体動揺補正値は、サンプリングタイムの1msec毎に式から算出した $\Delta H_1, \Delta H_2 \dots \Delta H_{n-1}, \Delta H_n$ である。このときカメラ設置点の軌跡は、この値を結んだ破線となる。

・データ補正

補正は、打撃開始点A点を通る基準ラインと破線との差分（補正値 ΔH ）を補正係数として、1msec毎の時間に対応した打撃間の生データに加算して行く。図において、ある瞬時の計測データD点の補正は、船体

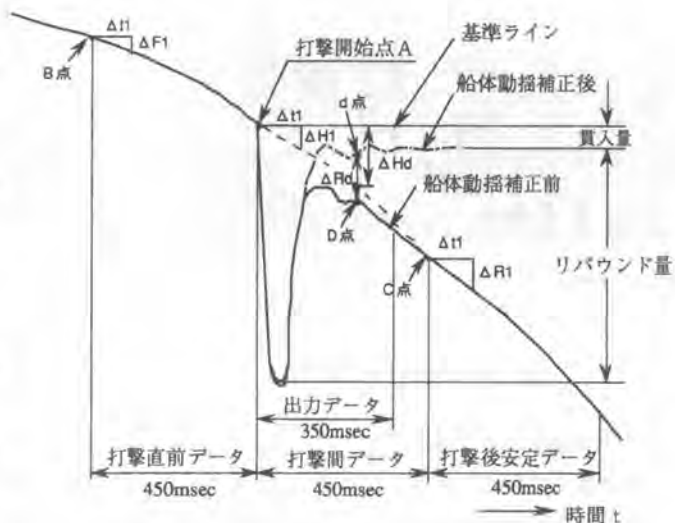


図-6 船体動揺補正図（船体上昇の場合）

動揺分の ΔH_d をその時の計測データに加算して行く。その結果、船体動揺補正後のD点の計測データはd点に補正される。

船体動揺補正後の打撃間データは、1msec毎に補正分 ΔH を算出補正した値をつなぐことにより、図の鎖線ようになる。図は、船体動揺上昇分の補正であるが、下降分の場合も同様の手法で可能である。

2. 2. 3 記録表示

本装置は、杭1本あたりの全データ採取時間が約30秒と短いこともあって全データを一旦収録するが、船体動揺補正後、そのまま出力すると杭打止め判定に必要な「杭変位の記録部」に比べて「杭変位のない部分の記録部」が著しく長いため、コンピュータ処理により変位のない部分をカットし、人為計測の表示に似た形となるようペンレコーダに記録表示させている。

人為計測の記録表示例を図-7に、また、本装置計測の記録表示例を図-8に示す。

3 特徴および技術的ポイント

3. 1 装置の特徴

- 1) 非接触の遠隔式自動計測装置のため、作業員の安全が確保できる。
- 2) 計測個人差や船体動揺の影響がないため、計測データが均一化される。
- 3) 記録表示は、公知である人為計測記録と同様のため扱い易い。
- 4) 計測、記録およびデータ収録が自動であり、操作が簡単である。

3. 2 技術のポイント

- 1) 船上に設置したカメラ固定点を不動点とするための船体動揺補正の採用。
- 2) 計測データ高速処理のためのマシン語の採用。

3) 人為計測記録と同性能で、かつ、データ収録、記録の再現が可能。

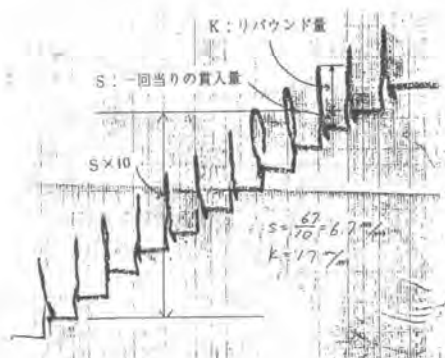


図-7 人為計測記録例



図-8 本装置計測記録例

4. 現場実証および運用について

本装置の開発は87年から手掛け、当社施工の5つの海上杭打ち現場において、従来方法である人為計測と比較する方法で実験を行い、装置の性能を確認した。確認方法は、陸上基準点に据えたレベルによる計測とそれぞれの計測結果の貫入量(s)との比較により行った結果、装置計測の方がレベル計測値に近い値であった。それぞれの計測データを表-2に、杭打ち工事の仕様概要を表-3に、またレベル計測状況を写真-3に示す。

なお、装置導入時には、機装を兼ねて測定の校正を必要とするが、測定においては杭打ち止めに近づいた時点で、杭体に幅2cm、長さ20cm程度の反射テープを1枚貼付け、その後、計測演算装置の計測開始ボタンを押すだけで計測できるので、操作は比較的簡単である。

表-2 計測データ

計測場所：横浜大黒埠頭工事 単位：mm

| 杭番号 | 計測値 | | | | | | 差 | | | | | | | |
|------|---------|-----------|---------|---------|-----------|---------|-------|------|---------|------|--------|---------|--------|-----|
| | 手動計測データ | | | 計測装置データ | | | レベル計測 | | 装置-手動 | | 手動-レベル | | 装置-レベル | |
| | 貫入量(s) | リバウンド量(k) | (s)+(k) | 貫入量(s) | リバウンド量(k) | (s)+(k) | (s) | (k) | (s)+(k) | (s) | (k) | (s)+(k) | (s) | (k) |
| D-45 | 1.0 | 9.7 | 10.7 | 1.8 | 11.0 | 12.8 | 1.0 | 0.8 | 1.3 | 2.1 | 0 | 0.8 | | |
| -46 | 1.1 | 9.6 | 10.7 | 2.6 | 10.9 | 13.5 | 2.0 | 1.5 | 1.3 | 2.8 | -0.9 | 0.6 | | |
| -47 | 5.6 | 9.3 | 14.9 | 3.2 | 10.7 | 13.9 | 3.4 | -2.4 | 1.4 | -1.0 | 2.2 | -0.2 | | |
| -48 | 4.4 | 10.8 | 15.2 | 4.4 | 10.4 | 14.8 | 4.3 | -0.4 | -0.4 | 0.1 | 0.1 | | | |
| -49 | 3.5 | 11.9 | 15.4 | 3.3 | 11.5 | 14.8 | 3.4 | -0.2 | -0.4 | -0.6 | 0.1 | -0.1 | | |
| -51 | 4.8 | 10.7 | 15.5 | 3.2 | 11.0 | 14.2 | 3.1 | -1.6 | 0.3 | -1.3 | 1.7 | 0.1 | | |
| -52 | 4.5 | 11.2 | 15.7 | 5.3 | 10.7 | 16.0 | 5.0 | 0.8 | -0.5 | 0.3 | -0.5 | 0.3 | | |
| A-31 | 6.5 | 8.2 | 14.7 | 7.1 | 7.9 | 15.0 | 8.3 | 0.6 | -0.3 | 0.3 | -1.8 | -1.2 | | |
| 32 | 6.4 | 7.4 | 13.8 | 7.6 | 6.9 | 14.5 | 7.1 | 1.2 | -0.5 | 0.7 | -0.7 | 0.5 | | |
| 33 | 4.9 | 10.4 | 15.3 | 5.8 | 9.9 | 15.7 | 5.3 | 0.9 | -0.5 | 0.4 | -0.4 | 0.5 | | |
| 34 | 4.6 | 9.2 | 13.8 | 5.4 | 8.3 | 13.7 | 5.3 | 0.8 | -0.9 | -0.1 | -0.7 | 0.1 | | |
| 35 | 5.3 | 7.3 | 12.6 | 6.2 | 7.1 | 13.3 | 5.9 | 0.9 | -0.2 | 0.7 | -0.6 | 0.3 | | |
| 36 | 5.0 | 7.2 | 12.2 | 6.0 | 8.4 | 14.4 | 5.9 | 1.0 | 1.2 | 2.2 | -0.9 | 0.1 | | |
| 37 | 5.4 | 11.3 | 16.7 | 7.5 | 8.9 | 16.4 | 7.1 | 2.1 | -2.4 | -0.3 | -1.7 | 0.4 | | |
| 40 | 5.1 | 6.6 | 11.7 | 5.0 | 7.8 | 12.8 | 5.3 | -0.1 | 1.2 | 1.1 | -0.2 | -0.3 | | |
| 41 | 7.3 | 7.9 | 15.2 | 7.5 | 8.4 | 15.9 | 7.7 | 0.2 | 0.5 | 0.7 | -0.4 | -0.2 | | |
| 45 | 5.0 | 8.5 | 13.5 | 6.6 | 8.1 | 14.7 | 6.3 | 1.6 | -0.4 | 1.2 | -1.3 | 0.3 | | |
| 平均値 | 4.7 | 9.2 | 14.0 | 5.2 | 9.3 | 14.5 | 5.1 | 0.5 | 0.0 | 0.5 | -0.4 | 0.1 | | |

表-3 杭打ち工事仕様概要

| 計測場所 | 大分 | 川崎 | 四日市 | 広島 | 横浜 |
|------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 工事名 | LNG棧橋工事 | 岸壁築造工事 | 堤防築造工事 | 岸壁築造工事 | 大黒埠頭工事 |
| 杭打船 | 前神 | 第五芳飛 | 第十御在所号 | — | 第一大都 |
| ハンマー | MRB-1500 | KB80 | MH72 | M-33 | KB80 |
| 型式 | エア式 | ディーゼル式 | 油圧式 | ディーゼル式 | |
| ラム重量 | 15 (ton) | 8 (ton) | 7.2 (ton) | 3.3 (ton) | 8.0 (ton) |
| 杭の長さ | 96m | 45m | 49m | 51m | 43m |
| 杭径 | φ1000mm | φ1000mm | φ900mm | φ500mm | φ1600mm |
| 計測時期 | 88年7月 | 88年8月 | 89年3月 | 92年5月 | 92年9月 |



写真-3 レベル計測状況

5. 今後の展開

陸上における杭打ち工事は、騒音、振動などが周囲環境に影響を与えることから、ディーゼルや油圧のハンマーなどを使った打撃による打設工法はあまり採用されない方向にある。しかし、港湾工事ではまだまだ頻繁に行われている。

杭打ち工事における管理項目を整理すると図-9のように、測量（位置出し）と打止め管理に大別される。当社では、杭打船による杭位置出しシステムを既に開発し、運転支援として大きく貢献している。

今後は、本装置を位置出しシステムに組み込み、全体管理の省力化・自動化を狙いとして展開していきたい。

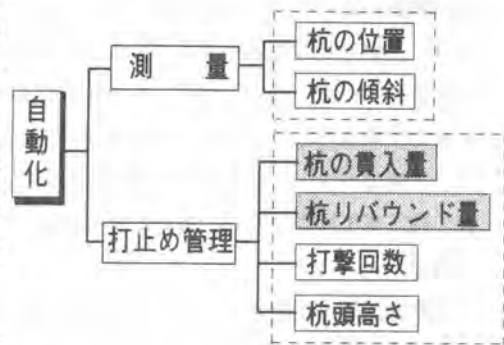


図-9 杭打ち工事管理項目

6. あとがき

本装置は、5現場で実証実験を行い、杭リバウンド計測装置の実用化の展開を図るため、93年4月に建設省の認定機関である（財）国土開発技術研究センターにおいて技術審査証明（技審証第0403号）を取得した。杭打ち工事におけるハンマー直下での危険作業の改善は重要な課題であり、今後はできるだけ多くの杭打ち施工現場に本装置の導入を図る予定である。

最後に、本装置の開発にあたり、各現場をはじめ関係各位の御協力、御支援を賜り、紙上をかりて謝意を表します。

参考文献

- 1) 城原、田中：光学式杭リバウンド量計測装置の開発、（社）日本測量協会応用測量論文集、1990.6、Vol.1、No.1、pp.29～36.
- 2) 高江、田中：杭打ち工事におけるリバウンド計測装置、（社）日本測量協会月刊『測量』、1992.11、No.11、Vol.42、pp.67～72.
- 3) 技術審査証明報告書：船上杭打ち作業における光学式リバウンド計測方法、（財）国土開発技術研究センター。

25. GPS活用土工管理システム

住友建設(株)：鳥生 晃・*山地 斉
稲嶋 豊

1. はじめに

道路やゴルフ場、宅地造成などの大規模土工事での土工管理は、進捗状況を把握し、残工事計画の確認・修正をするためにも重要な施工管理の一つである。これまでの土工管理は、パソコンレベルで行われているのが実状であり、入力・解析・出力等に時間を要し、出力管理図の種類や精度も限定されているうえ、土工管理のポイントとなる設計変更にも迅速な対応が不十分であった。また、出来形地形測量においても、光波測距儀やトータルステーションによるものが主流であり、天候の影響を受け易く、測点間の視通が必要であることや、最低二人の専門技師が不可欠であることなど、多くの制約を受けていた。このように、多大な労力と時間を要していた大規模土工事の土工管理業務の効率化・省力化を目指して、GPS（汎地球測位システム）と造成CADシステムを組み合わせたGPS活用土工管理システムを開発し、実用化した。本システムにより、リアルタイムな工事の進捗状況の把握、残工事工程の見直し、設計変更や新たな設計業務にも迅速かつ柔軟な対応が可能となった。

2. 概要

GPS活用土工管理システムは、新しい測量方法であるGPSと高度な機能を有する造成CADシステムにより構成されており、GPS測量データや原地形・計画データ等を使用して土工管理を行うものである。GPSはGlobal Positioning Systemの略で、米国の人工衛星からの情報を小型のレシーバーで受信して、自分の位置（3次元）を知ることができる測量方法である。本来、船舶や航空機などの航法支援用として米国で開発されたものであるが、高精度の測位が可能であるため、新しい測量方法として確立されている。造成CADシステムは、現況や計画データを数値地形モデルで扱うEWS（エンジニアリング・ワークステーション）対応の造成計画支援システムであり、ゴルフ場、宅地造成や道路等の設計やプレゼンテーションに適したシステムである。

GPS活用土工管理システムは、これら2つのシステムの特長を最大限に生かしつつリンクさせたものであり、土工出来形管理に必要な全ての管理図をリアルタイムに出力することにより、現場管理や設計変更への迅速なフィードバックを可能にするものである。

3. システムの特長

本システムは、以下のような特長がある。

- ① 出来高及び残工事切盛等高線や鳥瞰図など、高精度な各種土工管理図を短時間で出力することが可能であり、工事全体の進捗状況をビジュアルに把握することができる。
- ② 煩雑な解析・計算処理を必要とする土量バランスの調整、工事進捗に伴って変化する土量変化率に応じた計画高の早期予測、等の設計変更や新たな設計業務に迅速に対応できる。
- ③ 天候に左右されず、一人でも測位が可能であり、測量業務の省力化が図れる。

4. システムの構成機器

本システムは、図-1に示すように、解析・計算を行うEWSを中心に、出来形地形測量のためのGPS測量・解析機器、原地形や計画データを入力するためのデジタイザやスキャナーなどの入力機器、及びビジュアルな出力を可能にした多様な出力機器により構成されている。また、以下の流れにより本システムは運用される。

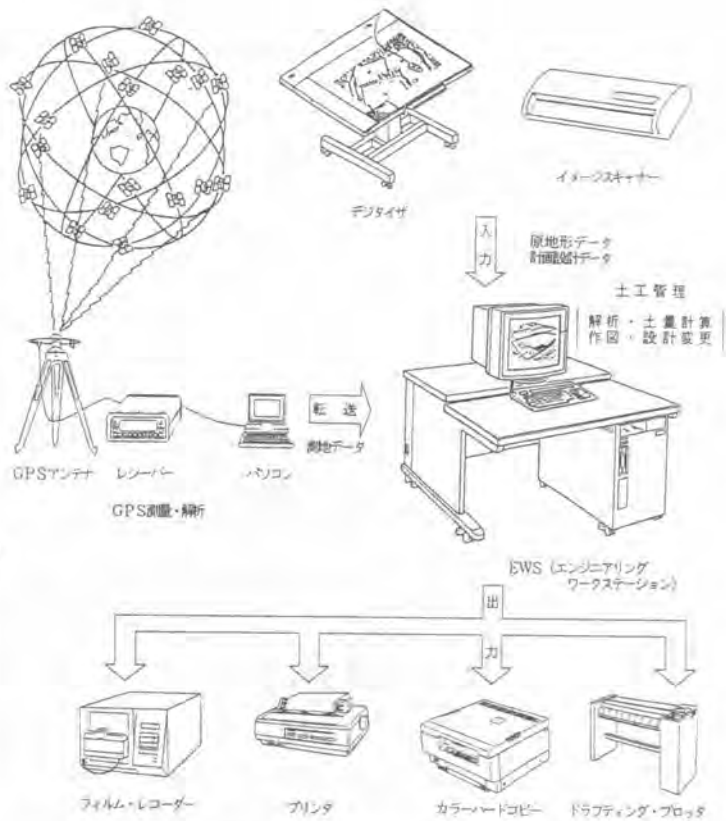


図-1 システムの構成機器

(1) GPSによる出来形測量

GPSにより出来形測量を行い、世界測地系(WGS-84)の3次元データを採取する。それらのデータを日本測地系(ベッセル)、さらに公共座標系(平面直角座標)に変換してEWSに転送する。また、ト

ータルステーションによる補足点等の測量データも取り込むことが可能である。

(2) 原地形及び計画データの採取

原地形等高線や計画データをデジタイザまたはスキャナーにより採取してEWSへ転送する。

(3) 解析・土量計算・作図

転送された原地形や計画・出来形データを使って、地形を数値モデル化して、各種解析および土量計算を行う。

(4) 土工管理

出力された土工管理に不可欠な出来形等高線図、切盛図、残工事切盛図や残工事運土計画図を使って、土工事全体の進捗状況を把握し、必要に応じて管理計画を変更し、最適な残工事管理計画を立案する。

(5) 設計変更

土量調整による設計高の変更等により、最終計画高や形状を確定する。

5. GPS

GPSは、22,000km上空の米国の人工衛星（現在24個の衛星が使用可能）の電波を受信することにより、世界のどこにいても（Global）、自分自身の位置を知る（Positioning）ことができる測位方法である。光波測距儀やトータルステーションを用いる従来の測量方法に対し、測点間の視通が不要で、雨天・夜間でも測量でき、長基線においても高い精度の確保が立証されている。GPS測量には表-1に示す測量方法があり、本システムでは基準点の設置及び既知点の確認のためにスタティック測量、出来形測量（三次元）には短時間で連続的に測量が可能なキネマティック測量を行う。

表-1 GPS測量手法

| 測位方法 | 分類 | 概要 | 期待精度 | 適用範囲 | |
|-------------|--|---|---|--------------------------------|------------|
| 単独測位 | 1点観測法 | 1点で受信し、コード情報の解析によりリアルタイムで測位結果を得る。 | 20~100m | 航法支援等 | |
| 相対測位 | ディファレンシャル法 | 単独測位を2点（以上）で行い、既知点の補正量を未知点の測位計算に適用する。既知点での補正量を未知点へ転送する結果を得る。この補正量がリアルタイムで測位結果を得る。 | 3~5m | 海上での位置決め等 | |
| | 干渉測位 | スタティック測量 | 1点（以上）は未知点。45~90分間で測位計算可能。 | 水平距離 5mm+2ppm 垂直距離 1cm+2ppm | 基準点、制点、動点等 |
| | | キネマティック測量 | 1点（以上）は未知点。各測点でGPS信号を受信し、4個以上の衛星を追跡する。測点間の移動は連続的に追跡する必要がある。 | 水平距離 1~2cm 垂直距離 2~3cm | 土工管理、測量等 |
| 擬似キネマティック測量 | 1点（以上）は未知点。受信機が移動する間、受信機を停止し、受信機を移動させ、再び受信機を停止し、受信機を移動させる。この動作を繰り返す。 | 同 上 | 土工管理、測量等 | | |

6. システムの解析機能

解析機能は以下のようなもので構成されている。

(1) データ採取・編集機能

データ採取・編集機能は、原地形図の等高線や計画設計データ、任意の点および面をデジタイザまたはイメージスキャナーにより読み取る機能である。デジタイザでは会話的に、イメージスキャナーでは自動的に、高精度かつ均質にデータを採取することが可能である。また、開発区域面積が広大な場合、採取範囲を分割してデータ採取することが可能である。

(2) DTM（数値地形モデル）作成機能

採取された原地形等高線、計画設計データ及びGPS測量データを、指定された間隔の格子状の数値地形モデル（DTM）に変換・作成する機能である。

出来形地形モデルは、GPS測量データ（三次元）の隣接する点を結んで、三角形平面をつくることにより定義されるため、隣接する測点間を自動的に結ぶ三角網自動発生機能や、測点の追加・削除、三角網の修正機能がある。さらに、任意の断面図を作成することにより画面上で入力データの確認ができ、それを修正・変更する造成計画設計に必要な機能がある。

なお、本システムは株式会社構造計画研究所の造成支援システム“LAPLAS”との互換性があり、ゴルフ場や道路設計等の膨大なデータの取り込みが可能である。

図-2は、適用事例で後述する工業団地造成工事の出来形測量データを使って、三角網を自動発生させたものである。各々の三角形の頂点がGPS測点であり、出来形地形の変化点を網羅したものである。

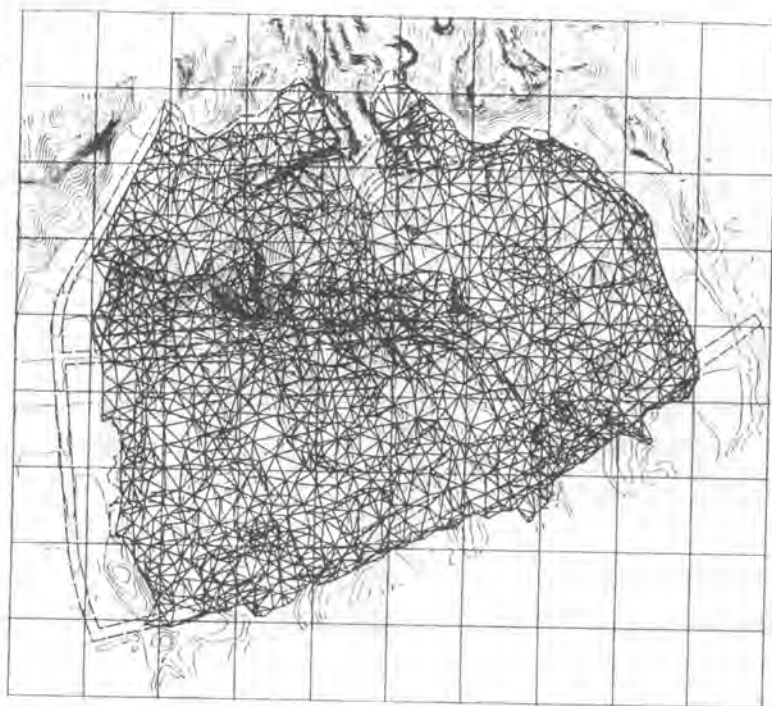


図-2 GPS測地データ三角網平面図

(3) 地層定義機能

地層分布は、掘削・運搬機械の選定などの施工方法の決定や土量バランスの調整をする際の大きな要因であり、地質別の切盛土量を把握しておく必要がある。

地層定義機能は、指定した領域内の地層を5層まで定義する機能であり、土層別の切盛土工量を算出することができる。

(4) 土量計算機能

土量計算機能は、指定された2つのDTM（例えば原地形と出来形DTM）を用いて、地質別に切盛土量の計算を点高法により行う機能である。切盛土量の比より、工事の進捗に伴って変化する包括的な土量変化率（C値）を推定でき、残工事の土量調整や運土計画に反映できる。圧密沈下が予想される場合は、その領域と盛土高に対する予想沈下量を指定することによって、圧密沈下を考慮した土量計算が可能である。

(5) ブロック作成機能

ブロック作成機能は、切土領域・盛土領域の平面分布を色分けして表示すると同時に、それぞれの領域の土量も合わせて集計できる機能である（図-3）。

残工事の切盛分布や、任意の領域での必要切土量、または盛土量を把握することが可能である。

(6) 運土計画機能

運土計画機能は、仕事量が最小になるように最適な運搬経路を通して、必要な運土をメッシュ単位で計画する機能である。また、地形条件や施工条件から重機の通行に支障がある場合、通行不能領域

と迂回点を指定することにより、実状に即した運土計画が行える。計画段階では、土質別にC値を与えることにより、切土または盛土ベースによる最適な運土計画が可能で運土距離別、土質別に運土量を集計できる。さらに、ブロック作成機能と組み合わせることにより、ブロック化された切盛図をベースとした運土計画を行うことができる。ブロック毎の切土重心位置から出る矢線は運搬経路を示し、その上、下部に運土量と運搬距離が図示される(図-4)。

(7) 作図機能

作図機能は、解析結果を製図出力する機能であり、出力図面は以下のとおりである。

- ① 原地形・計画・出来形等高線図
- ② 原地形・計画・出来形断面図
- ③ 測量データ平面図
- ④ 測量データ三角網平面図
- ⑤ 設計・出来形・残工事切盛平面図



図-3 切盛平面図

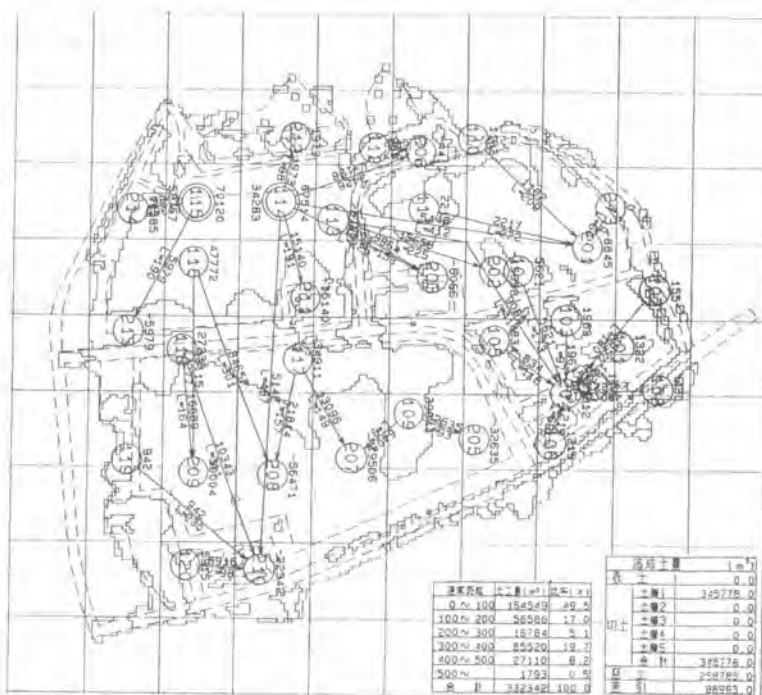


図-4 残工事運土計画

- ⑥ 設計・出来形・残工事切盛等高線図
- ⑦ 原地形・計画・出来形鳥瞰図
- ⑧ 計画・残工事運土計画図

7. 適用事例

大東上土芳工業団地造成事業基盤造成工事

(静岡県企業局発注)は開発面積約40haの大規模造成工事(工期平成4年5月～平成5年7月)であり、数回に亙り土工管理に本システムが採用された。その結果、従来方法では測量作業終了後土工出来高を把握するだけで、3人で5日を要していたものをわずか1人で3時間に短縮できた。しかも工事全体の包括的な土量変化率(C値)が把握でき、的確な残工事を推定することにより、計画高さの変更等に迅速に対処できた。さらに土工管理に不可欠な出来形等高線図、切盛図、残工事切盛図・等高線図や残工事運土計画図等の管理図も同時に出力でき、現場管理に威力を発揮した。

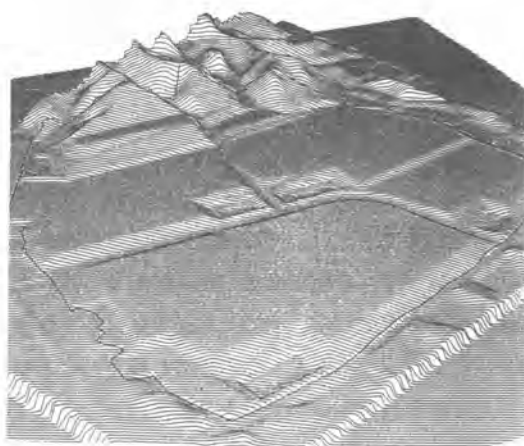


図-5 出来形鳥瞰図

また、日本道路公団北海道横断自動車道羽帯工事(工期平成4年5月～平成6年11月)においても、道路土工管理に適用中である。本工事は、道路延長約4.100 m、道路幅員24.5m、計画土工量が約56万m³の大規模道路土工事であり、平面状に広がる土工事に限らず帯状の土工事への本システムの有効性を確認できた。



写真-1 GPSによる出来形測量状況

8. おわりに

GPS測量業務のより一層の省力化・省人化を目指して、受信機を建設機械に搭載することを計画中であり、傾斜地でもGPS測量を可能にする水平保持装置を開発中である。

さらに、既に実用化している軟弱地盤上の盛土情報化施工システムとリンクさせるとともに、土工機械稼働状況管理システム、品質管理システムなどのサブシステムを構築することにより、総合的な土工事施工支援トータルシステムの確立を推進していく計画である。

なお、このGPS活用土工管理システムは、(株)構造計画研究所との共同開発によるものである。

26. 深層混合処理工法における スラリー製造・供給の自動化

フドウ技研(株)：*山口好一郎

(株)安川電機：田本 純一

トーマン建機(株)：植野 進一

1. はじめに

深層混合処理工法は、一定速度で貫入、引抜きし固化杭を造成するものであり、貫入時に固化材（セメントスラリー）を吐出するのが一般的である。セメントスラリーを貫入吐出する場合、地盤が硬いと貫入速度が不安定になる。そのため過大なスラリーが投入されることになり（以下スラリーロスという）、杭体の品質がばらつくとともに不経済な施工になる事例が増えてきた。

また、近年建設業への労働力不足に対応した施工の省力化および作業環境の改善をめざす要求が高まってきた。

今回これらの問題に対し、一定のスラリー量が供給される自動システムを導入したスラリー製造・供給装置を開発し、工事に適用したのでその概要を以下に述べる。

2. スラリー自動製造・供給システムの概要

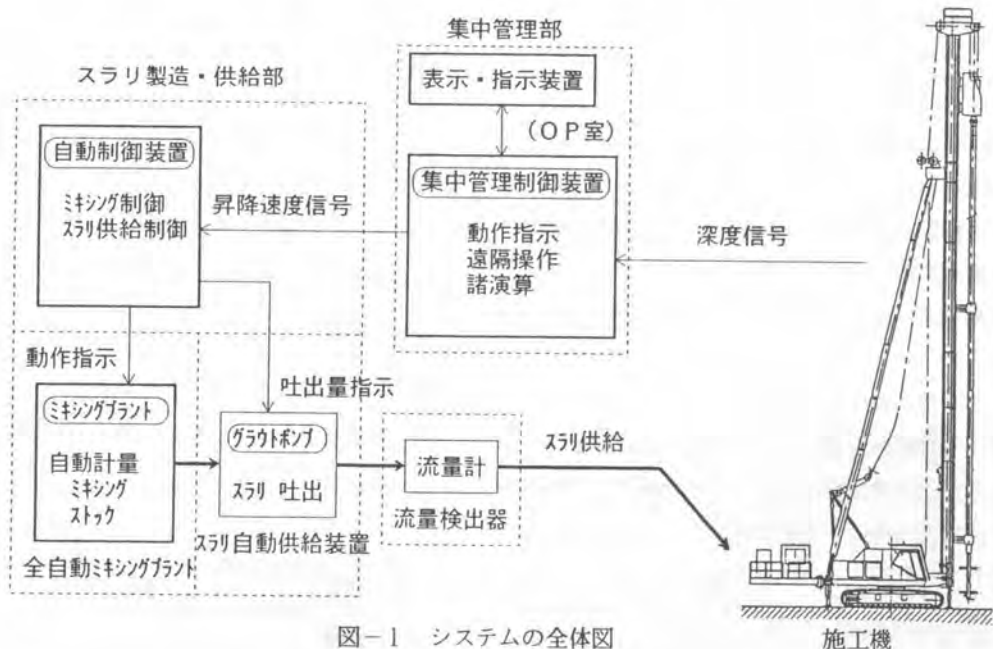
2-1. システム構成

本システムは全自動ミキシングプラント（写真-1に示す）、集中管理制御装置（写真-2に示す）オペレータへの運転状況表示・指示装置（写真-3に示す）、深度計（写真-4に示す）、グラウトポンプ（写真-5に示す）および電磁流量計から構成されている。図-1に本システムの全体を示す。

2-2. 動作手順

動作手順は次に示すとおりである。

- ①1日の打設予定本数を入力し、全自動ミキシングプラントの運転を開始する。
- ②全自動ミキシングプラントは、設定したセメントおよび水を計量しミキシングを自動的に行う。セメントスラリーが一定量ストックされると打設開始の指示が出て施工を開始する。
- ③深度計のエンコーダから入力したパルスにより集中管理部で昇降速度を演算し、信号に変換して自動制御装置に伝送する。
- ④自動制御装置はその信号に見合う量を信号に変換してグラウトポンプに吐出量を指示する。
- ⑤グラウトポンプは指示された量を吐出する。
- ⑥全自動ミキシングプラントのアジテータのストック量が設定値以下に減少すると、自動制御装置から全自動ミキシングプラントにセメントスラリーの製造を指示する。
- ⑦②から⑥の動作を繰り返し行い、製造量を自動チェックする機能により必要量に達したらスラリー製造の全動作を終了する。
- ⑧打設が終了した時点から、ミキサ、アジテータ、圧送ホース、攪拌軸と順に濯ぎ洗浄を行う。



2-3. システムの特徴

システムの特徴は次に示すとおりである。

- (1) 製造時のスラリロスの低減を図るため、1日の打設本数に応じたスラリ必要量と製造量の自動チェック機能の設備。
- (2) 打設時のスラリロスの低減を図るため、昇降速度に比例したスラリ最適供給システムの導入。
- (3) 省力化を達成するため、ミキシングから濯ぎ洗浄までの一連の動作の自動化。
- (4) トラブルの早期復旧と保守管理の支援をするトラブルシューティングの導入。
- (5) オペレータ室からの遠隔操作できる集中管理制御機能の構築。



写真-1 全自動ミキシングプラント

2-4. 全自動ミキシングプラント

水の計量精度の向上を図るためミキシングプラントの上部に水槽を設置した。さらにセメントの供給時間の短縮を図りミキシングサイクルタイムの短縮をねらいとしてストック用ホップを設置した。自動制御装置は集中管理部との遠隔操作が可能な機能を持たせた。全自動ミキシングプラントの仕様を表-1に示す。

2-5. 集中管理制御装置

集中管理制御装置はスラリー製造・供給システムや他の施工要素技術システムを集中管理し、動作指示、情報の伝送・表示等を行い、全制御システムを円滑に制御する装置である。

2-6. 遠隔操作

全自動ミキシングプラントと集中管理制御装置とはケーブルでデータや情報の伝送を行う。さらに集中管理制御装置と運転席に設置した表示・指示装置とは通信回線により動作指示および情報の伝送・表示をさせることで遠隔操作を可能とした

2-7. トラブルシューティングシステム

トラブルシューティングは、各装置にトラブル検知センサを装備せず量的制限、時間的制限あるいは通電等を活用したソフト処理によるシステムとした。トラブルが発生した場合には運転席に設置した表示・指示装置にトラブル箇所を表示する。さらに全自動ミキシングプラントのグラフィックパネルには故障の原因および処置方法を表示し、トラブルの早期復旧と機器の保守管理が容易にできるようにしたものである。

3. 現場での施工結果

今回開発した本システムを工事に適用したのでその概要を述べる。

スラリー製造の自動システムは、2-2項で既述したミキシング動作とセメントサイロからセメントホ

表-1 全自動ミキシングプラント仕様

| 名称 | 仕様 |
|--------------|------------------------------|
| プラント寸法・重量 | 6.5m, 2.0m, 4.5m 6.5t |
| プラント電源・容量 | 200V, 50Hz, 35KW |
| 分電盤容量 | 1.000A |
| 水槽容量 | 3.5ℓ |
| セメントホップ容量 | 1.000kg |
| スラリー製造能力 | 21m ³ /H |
| 最大計量値 | C=750kg, W=750kg |
| ミキシングサイクルタイム | 2.8min/バッチ(1m ³) |
| ミキシング容量 | 1m ³ /バッチ |
| 貯水容量 | 3.0m ³ |



写真-2 集中管理制御装置

ッパへの供給動作および水槽への水供給の動作がシステム通りに正常に作動し、仕様通りの成果を得ることができた。

以上のことから、プラントマンがプラントに常駐しなくてもいい体制ができたことになる。

一方、スラリ供給の自動システムについては、グラウトポンプからの吐出量は貫入速度の変化にシステム通り追従することが確認された。

しかし、貫入速度の変化に従ってグラウトポンプは可変吐出する。その際ポンプのモータの慣性力によってオーバーランを起こし、指示値まで到達し安定する間の量が過多となった。また、グラウトポンプ吐出量性能が直線でなかったため吐出量が確保できる側に設定した。このため、これらの要因によってスラリロス率は4～5%という結果となった。

以上のような問題点があるが本システムが工事に適応できることが実証されたことになる。

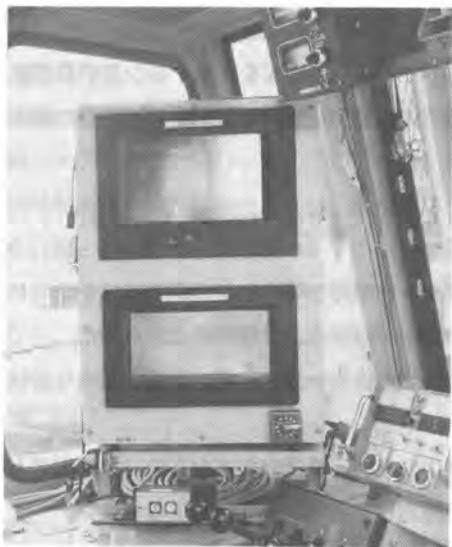


写真-3 表示・指示装置

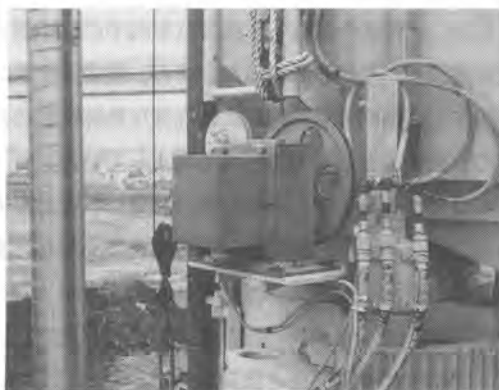


写真-4 深度計

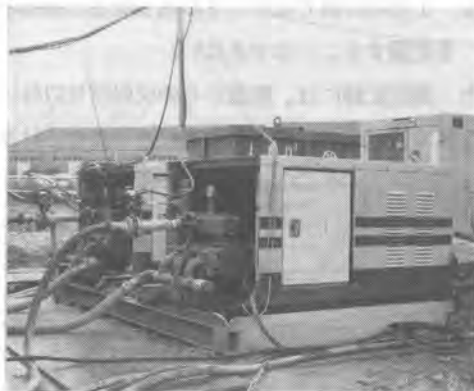


写真-5 グラウトポンプ

4. おわりに

本技術は深層固化系の施工技術の高度化や全自動化（ロボット化）を目指す要素技術の1つとして期待できるものとする。今後はさらに、現場で使い込み、改善、改良を重ねて実用的なシステムの完成をめざす計画である。

27. 地中連続壁の壁面計測システム

鹿島：*三浦 悟・菊地 哲樹

1. はじめに

地中連続壁工事における施工管理技術の一つとして掘削壁面の計測技術がある。この計測は、掘削精度（掘削溝の鉛直性）の確認や掘削壁面の崩落部の検知及び地中連続壁の本体利用という面で重要となる出来形の把握という目的で、掘削途中や掘削終了時に必ず実施されている。

しかし、従来の装置・方法では掘削中には計測できない点や計測作業に多くの労力・時間がかかるなどの問題点があげられていた。また、地中連続壁の掘削作業自体においても、従来から掘削中のデータが少なく、掘削精度の確保には高度な熟練性を必要としていたため、掘削作業の標準化、自動化に向けての管理装置としてのニーズも高まっていた。

このような背景で、当社で既に開発し、稼働実績のある地中での掘削機位置を計測するシステムと組み合わせ、掘削中での掘削精度のリアルタイム計測及び壁面全体の三次元形状の把握を可能とした地中連続壁の壁面形状計測システムを開発した。

2. 従来技術の問題点と開発課題

既存の計測装置は図-1に示すように掘削溝の中へ超音波センサを吊り降ろしながら超音波を発信し、壁面からの反射信号をそのまま記録紙に出力していた。この方法では次のような問題点があった。

- a. 1回の計測ではセンサの吊り降ろし箇所の深さ方向の断面形状しか分からず、壁面の面的な形状を把握することはできない。
- b. 測定記録には、壁面からの反射信号以外に掘削安定液中の土砂・浮遊物などからのノイズ信号も多く表示され、掘削断面を求めるには、計測者が壁面を識別して読み取らなければならない。

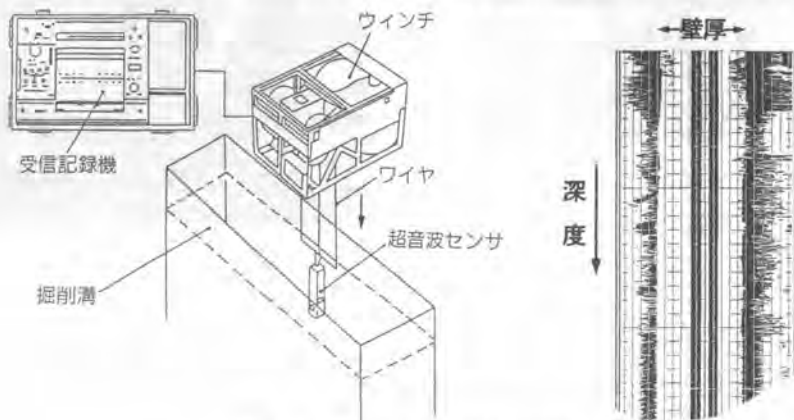


図-1 従来の測定方法と記録例

- c. 安定液の性状や土質条件によっては壁面からの超音波の反射信号が検出できず計測不能になったり、ノイズが多く壁面信号の判別が出来ないことがある。
- d. 掘削構内の安定液の性状が均一でないため、適切な出力・表示を得るためには、測定中センサの吊り降ろしに合わせ、計測者がセンサ感度を常時調整する必要がある。
- e. 掘削中の計測は行えず、20～30m掘削毎に掘削機を地上に引き上げて計測しなければならない。このため、安定液循環用の配管取り外し、取り付け作業が伴い、計測には多くの時間と労力が必要である。

このような現状の問題点を改善し、地中連続壁の掘削管理に有効な計測システムを開発するために挙げた主な課題は次のようになった。

- a. 掘削安定液中の超音波伝搬特性を把握して、これに適した超音波センサを選定する。
- b. 超音波データのデジタル化及び壁面信号の識別を自動で行う。
- c. 掘削中にリアルタイム計測を可能にするためセンサを掘削機に取り付ける。この場合に増加する雑音の影響を低減させる。

3. 開発内容

前述の検討・開発課題に対して、掘削安定液の諸特性などの基本的なデータを把握し、それをもとに計測システムの検討を行った。ここでは、システムの基盤となる超音波信号の処理方法について述べる。

信号処理法の検討にあたっては、掘削中にリアルタイムで表示したり計測結果の出力を自在に行うことを目標としたため、超音波センサの信号から壁面からの反射信号のみを識別することが最も重要となった。しかし、掘削機にセンサを搭載するため安定液と掘削土砂が絶えず攪拌されている状態での計測となり、比重の増加や懸濁した浮遊物からの反射などで掘削壁面からの反射信号を識別するのがより困難になった。このため図-2に示す方法を適用した。以下にその概要を述べる。

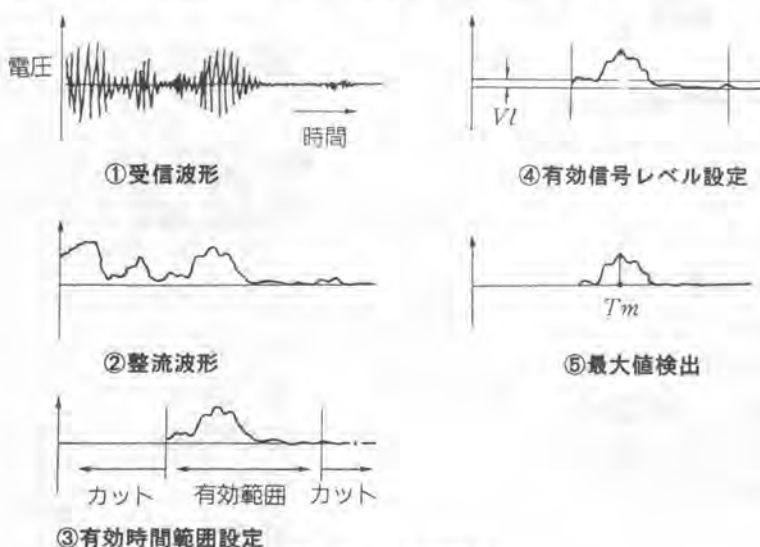


図-2 信号処理方法

- a. SN比を向上させるためにデジタル変換した反射信号の値を数回加算した後その平均を計算する。
- b. 設計掘削幅が分っているので、これをもとに反射信号の出現時間を予測し信号の有効範囲を設定する。
- c. 安定液性状や壁面状態の変化によって反射信号が変動するが、信号の強弱に追従し、確実に壁面の信号を捕えるために設定した有効範囲の中でもっとも強い信号レベル(1m)を抽出する。
- d. cの処理だけでは壁面崩壊などで反射信号が設定範囲内にない場合でも信号を検出するために、設定範囲外の平均ノイズレベル(VI)を計算し、それ以上の信号だけを信号処理対象とする。

4. システム概要

地中連続壁の壁面形状計測システムは、掘削機の地中での位置・姿勢を計測する「掘削機位置計測システム」と組合せることで、掘削中での掘削精度のリアルタイム計測及び壁面全体の三次元形状の把握を可能としている。表-1に2つのシステムの仕様、図-3に両システム全体の装置構成を示す。

(1) 掘削面形状計測システム

(a) 機器構成

掘削面形状計測システムは図-3の□で表わした部分で、掘削機本体に取り付けた超音波センサと安定液中の超音波伝搬速度を計測して距離を演算する場合の補正データを求めるセンサ、超音波センサチャンネル切替器、データ伝送用の中継器、地上の超音波送受信装置、信号処理用コンピュータで構成されている。

(b) 特徴

- a. 超音波センサを掘削機本体に取り付けることを可能としたため、掘削中に計測ができる。
- b. 計測データは人が読み取ることなく自動的に壁面の識別が行えるため安定した計測精度が得られ、またデジタル化された記録媒体に収録できるため断面図、等高線図、鳥瞰図などを自由に出力できるとともに掘削土量などの算出も行える。

表-1 計測システムの概略仕様

| 掘削壁面形状計測 | | 掘削機位置計測 | |
|------------|--------|---------|--------|
| 計測精度 | ±1 cm | 計測精度 | ±1 cm |
| チャンネル数 | 最大20ch | 計測範囲 | ±10cm |
| 計測時間(20ch) | 1秒 | 対象壁厚 | 70cm以上 |
| 深度 | 150 m | 深度 | 150 m |

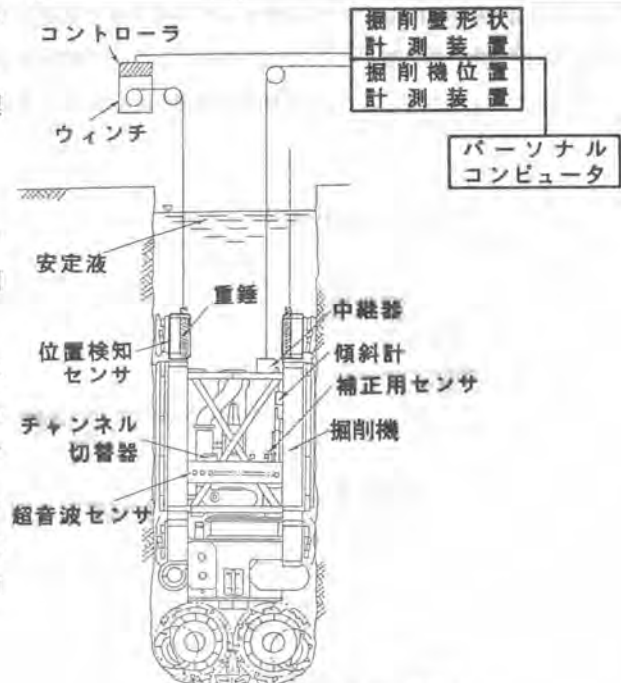


図-3 システム構成

(2)掘削機位置計測システム

(a) 機器構成

掘削機位置計測システムは掘削機本体に取り付けた重錘位置検知センサ、傾斜計、地上から吊り降ろす重錘及びそのウィンチコントローラ、データ入出力・表示ソフトで構成されている（図-3）。

(b) 計測原理

計測原理は掘削機本体の上部両肩に設置した位置計測検知用のセンサ筒内に、基準となる重錘を降ろし、非接触型の渦電流式距離センサでセンサ筒内の重錘位置を計測することによって基準からの掘削機の偏位を求める。直接的には掘削機上部の位置が求まることになるが、このデータと掘削機に設置している傾斜計のデータによって掘削機の姿勢が分かり、掘削機に搭載している超音波センサの位置及び壁面の絶対位置が計算できる。

5. システムの性能確認

本システムは実証実験も兼ねて、これまでに2件の現場適用実績がある。図-4は掘削深度120m、設計壁厚2,800mmの大深度連壁工事における適用例で、掘削中に鉛直断面図（または水平断面図）と掘削位置が運転室でモニタ出来ている。これによって、掘削壁厚と鉛直性がリアルタイムに把握・確認することができた。また、図-5のように超音波センサを複数取り付け、壁面の崩壊などの検知に用いた実績もあり、鳥瞰図や等高線図などの出力によって壁面全体の三次元形状が定量的に把握できた。

6. おわりに

今回開発したシステムを実際の工事に適用したところ、従来の計測方法の問題の解決にきわめて有効であることが分かった。その上、計測データを掘削作業にフィードバックすることで、これまで勘や経験によって行われてきた地中連続壁掘削作業の自動化技術に向けての目的を得ることができた。今後は、このシステムの普及を図り、施工の効率化や情報化に役立たせていきたいと考えている。



図-4 掘削中の表示・出力例

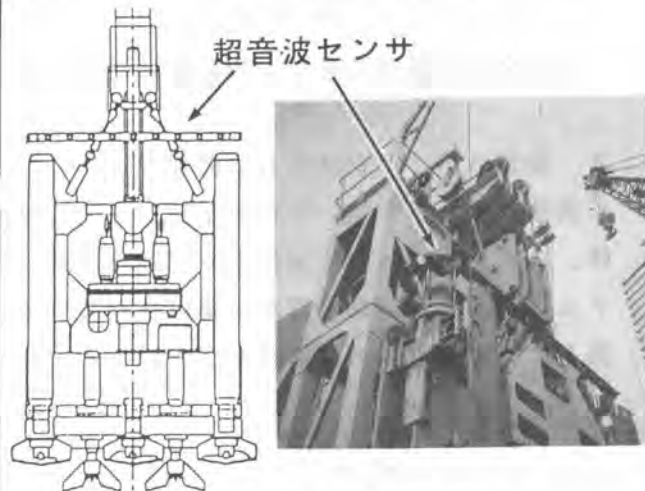


図-5 超音波センサ多点取付け例

28. 壁面凹凸に対応可能な 外壁塗装ロボットの開発

鹿 島：寺内 伸・宮嶋 俊和
*宮本 武三

1. はじめに

近年我が国の建設産業分野においては、作業員の高齢化が進みまた熟練工の慢性的な不足状況にあり、このため作業能率や品質が低下する傾向にある。これらの対応策の一つとして作業の自動化・ロボット化が強く求められており、塗装作業もそのうちの一つである。

このような背景のもとに今般外壁塗装ロボットを開発し、現場施工実験によりロボットの能力が十分あることが確認されたので、ここにその概要について報告する。

2. ロボット開発のコンセプト

ロボット開発は次のようなコンセプトのもとに行った。

- ①熟練工と同等以上の能力（作業能力、塗装品質）があること。
- ②省力化が図れること。
- ③凹凸のある外壁面でも塗装できること。
- ④ロボット本体及び移動装置の操作は、簡単にできること。
- ⑤ロボット本体を所定位置に確実に移動、固定できる移動装置を用いること。
- ⑥安全な作業ができかつ周辺環境に悪影響を及ぼさないこと。

3. 塗装ロボットシステムの概要

塗装ロボットを用いた自動塗装システムは塗料の吹付を行うロボット本体、ロボット本体を所定位置まで運ぶ移動装置、塗料供給装置およびシステムを制御する制御装置から構成されている。自動塗装システム全景を写真1に、塗装システム構成を図1に示す。

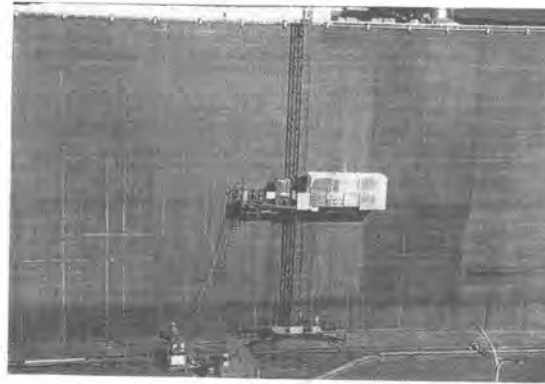


写真1 自動塗装システム全景

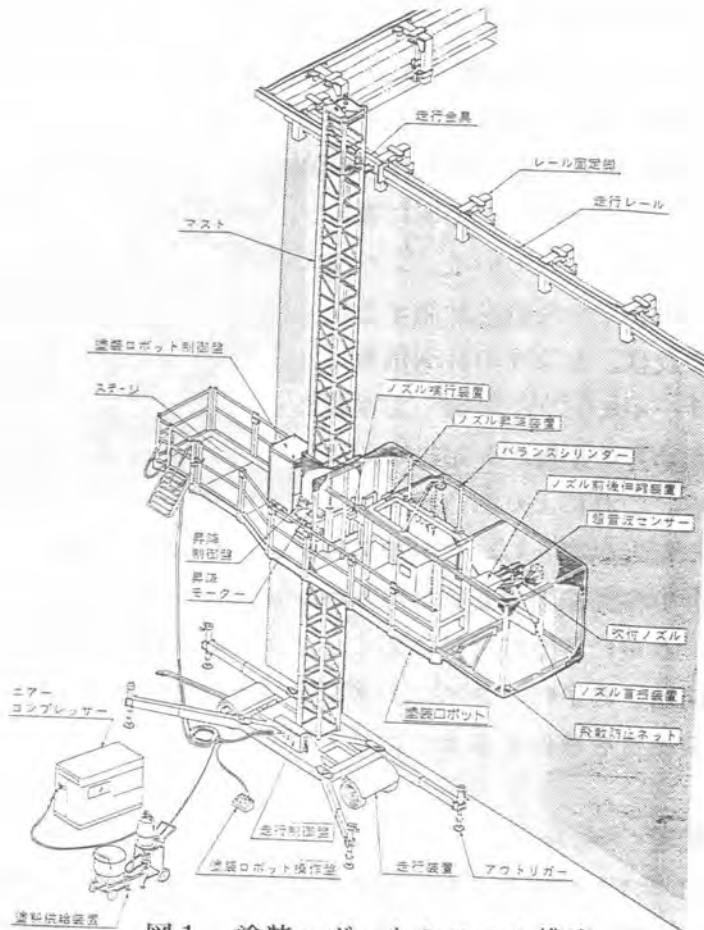


図1 塗装ロボットシステム構成

3. 1 ロボット本体

ロボット本体は全体フレーム、塗装ガン、ガンの駆動装置および制御装置から構成されている。ロボット本体を図2、塗装ガンを写真2に示す。

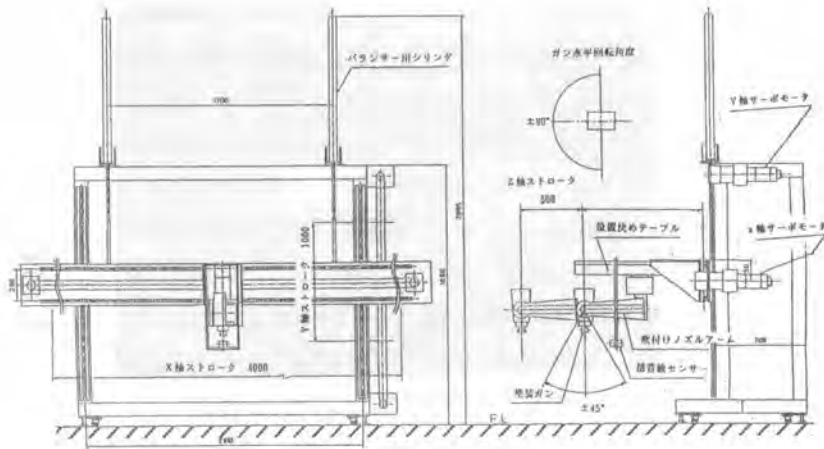


図2 ロボット本体

塗装ガンは左右方向（X方向）上下方向（Y方向）及び前後方向（Z方向）の3方向に駆動し、また左右、上下に首振り回転できるようになっている。また塗装面と塗装ガンまでの距離を計測する超音波センサを設け、センサの計測情報に基づきZ軸サーボモータを制御して塗装ガンの塗装面からの距離が一定になるようにしている。これにより凹凸塗装面でも塗装を行うことができる。なお塗装ガンのスピードや移動範囲の変更はパソコンユニットで自由に出来るようになっている。さらに各塗料材料に応じたノズルのY軸方向移動ピッチや塗料吹付けの開始、終了時のタイミングおよびガンの首振り角度を適切に制御して、塗装品質を確保するようにしている。



写真2 塗装ガン

3. 2 移動装置

移動装置はマストを使用した移動式作業足場を採用した。移動装置は建物の外壁に沿って自走する走行装置、自動昇降しロボット本体を搭載している作業床（ステージ）、作業床昇降のガイドとなるマストで構成されている。なお、マスト頂部は建物頂部に設置された走行レール上を走行する走行金具にサポートを介して取り付けられている。（図1参照）

3. 3塗装ロボット仕様

ロボット本体及び移動装置の仕様を表1に示す。

4. 現場施工実験

福島原子力発電所建屋の外壁補修工事において施工実験を行い、ロボットの適用性を確認した。実験は塗装面1,700 m²を対象に、「複層型アクリルゴム系防水化粧材」の塗装材料を使用して下塗り（1回）、中塗り（2回）、玉吹き（1回）、および上塗り（2回）の6工程全てをロボットで施工した。ロボットによる総塗装面積は約9,000 m²である。実験結果は塗装品質、作業能力ともに十分な能力を持つことが確認できた。

表1 塗装ロボット仕様

| 名称 | 仕様 |
|-------|--|
| 塗装能力 | 下塗・上塗 200 m ² /H 中塗・玉吹 100 m ² /H |
| 移動装置 | 昇降作業床装置 |
| 塗装幅 | 最大4 m |
| 横行速度 | 40 m/min |
| 昇降速度 | 8 m/min |
| 吹付ノズル | 弾性塗料用自動ガン |
| ノズル首振 | 左右±90° 上下±45° |
| 本体寸法 | L5.4m × W1.8m × H2.2m |

5. ロボットの特徴

- ①塗装工の技量に左右されない塗装の品質が確保できる。
- ②従来の高所足場での人手による塗装作業がなくなり、作業能率が高く危険性が少ない。
- ③凸凹のある被塗装面（50 cm程度の凹凸）でも自動で塗装ができる。
- ④塗装材料「複層型アクリルゴム系防水化粧材」の4種類の材料に対応できる。
- ⑤ロボットの操作が塗装工でも簡単に行える。

6. おわりに

現場施工実験により、ロボットの現場への導入の有効性が確認された。今後は実用化のためロボット性能のより一層の向上を図るとともに、ロボットの移動装置として建屋上部からの吊り下げタイプも開発して、現場への導入を積極的に進めていきたいと考えている。

29. セグメント自動組立システムの開発

西松建設(株)：*内田 克巳・野本 寿
田中 勉

1. はじめに

シールド工法に関する技術開発テーマには、大断面化・断面の多様化・長距離化・深層化など様々なテーマがあるが、なかでも施工の自動化は早急に取り組まなければならない技術開発の1つである。

当社でも、シールド工事の全自動化を目指し、1987年より“直ボルト継手短ボルト方式”を対象としたセグメント自動組立システムの開発を行ってきた。このシステムは、作業効率の向上、危険苦渋作業の除去および作業員不足の解消等に有効である。

本報告では、セグメント自動組立システムに関するシステム概要や本実証実験機の各装置の詳細を紹介する。

2. 開発目標

このシステムの開発に当たっては、以下の条件を取り入れることにした。また、図-1にセグメント自動組立システムの概要図を示す。

- (1) 密閉式(土圧式・泥水式)シールドへの適用を基本とし、シールド径を可能な限り小口径とすること。
- (2) セグメントの継手は、最も使用実績の多い“直ボルト継手短ボルト方式”とすること。
- (3) ボルト・ナット供給装置を取り入れること。
- (4) エレクタ装置およびボルト・ナット締結装置を分離すること。
- (5) 位置決めセンサーなどは、極力少なくすること。
- (6) 万一のトラブル発生時においても、容易に従来の手組み作業への変更ができるよう構造の簡素化を図ること。

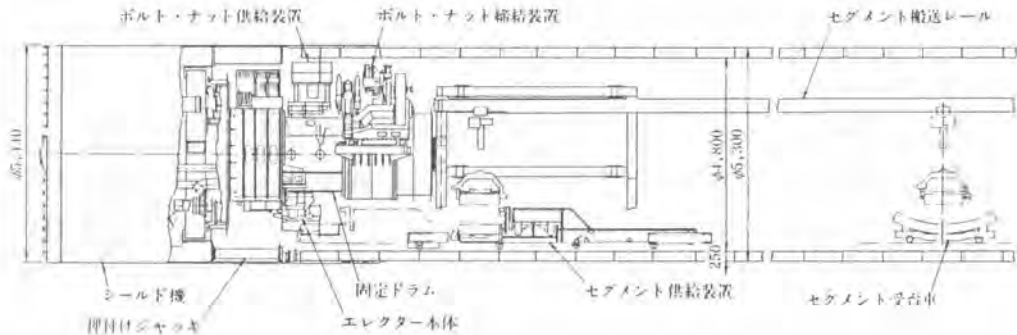


図-1 セグメント自動組立システム概要図

3. 全体システム

図-2にセグメント組立フロー、表-1に組立時間、表-2に実証実験機の仕様を示す。

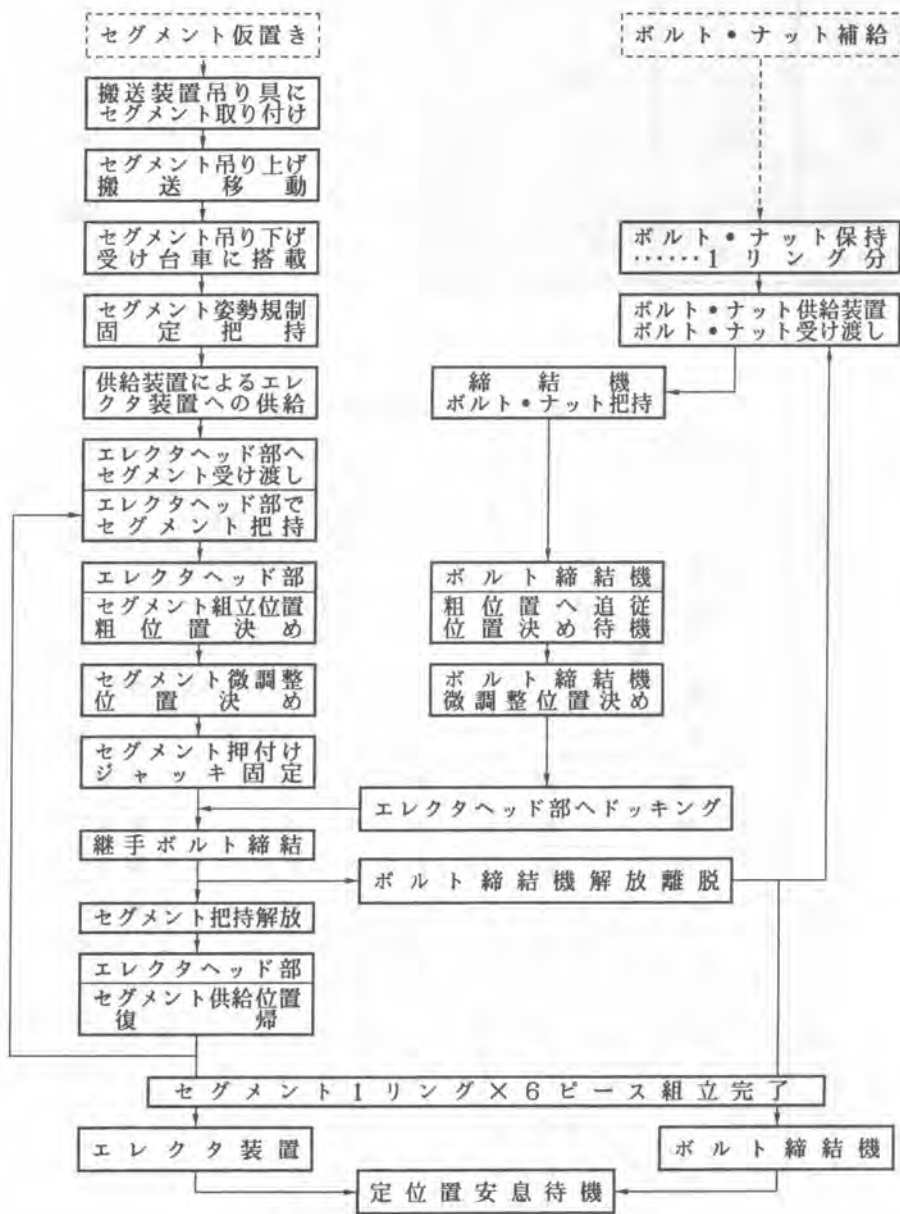


図-2 セグメント組立フロー図

表-1 1リング組立時の平均サイクルタイム

| 項目 セグメント | 把持 ボルト供給 | 粗位置決め 締結機旋回 | 微調整 | 締結機摺動 ボルト締結 | 各装置 原点復帰 | 合計 |
|-------------|-------------|----------------|-------|----------------|-------------|--------|
| A1 | 2'28" | 1'06" | 1'35" | 2'55" | 1'12" | 9'16" |
| A2 | 2'28" | 1'12" | 0'44" | 3'02" | 1'18" | 8'44" |
| A3 | 2'28" | 1'28" | 0'44" | 3'02" | 1'34" | 9'16" |
| B1 | 2'28" | 1'34" | 0'44" | 3'09" | 1'40" | 9'35" |
| B2 | 2'28" | 1'50" | 0'44" | 3'09" | 1'56" | 10'07" |
| K | 2'28" | 1'50" | 0'34" | 5'20" | 1'56" | 12'08" |
| | | | | | | 59'06" |

表-2 実証実験装置の仕様

| 項目 | | 仕様 | |
|-----------------|-----------------|----------------|-------------|
| 使用 セグ メント | 型式 | ボルト継手 RC平板型 | |
| | 外径 | 5,300mm | |
| | 内径 | 4,800mm | |
| | 幅 | 1,000mm | |
| | 重量 | 1ピース 2,000Kg標準 | |
| | ボルト | M22 | |
| 組立 装置 | 姿勢 調整 方式 | 旋回 | 油圧サーボモータ駆動 |
| | | 伸縮 | 油圧サーボジャッキ駆動 |
| | | 摺動 | 油圧サーボジャッキ駆動 |
| | | ローリング | 油圧サーボジャッキ駆動 |
| | | ヨーイング | 油圧サーボジャッキ駆動 |
| | | ピッチング | 油圧サーボジャッキ駆動 |
| | | センシング | レーザ変位計、画像処理 |
| 締結方式 | ACサーボモータ | | |
| ボルト・ナット供給 | ボルト・ナット供給ロボット | | |
| セグメント供給 | セグメント供給装置 | | |
| セグメント把持 | 把持金具使用(グラウトホール) | | |
| 組立目標時間 | 1リング 60分以内 | | |

4. 構造の詳細

今回開発した実験装置は、 $\phi 5300$ R Cセグメントの自動組立を対象としたものであり、そのシステム構成を以下に示す。また、写真-1には、実証実験装置全景を示す。

(1) セグメント供給装置

セグメント供給装置は、後方仮置き場所からチェーンブロックによりセグメントを吊り、供給台車まで搬送を行うセグメント搬送装置と、供給されたセグメントを姿勢制御し、エレクタヘッド部へ自動供給を図るセグメント供給台車よりなる。

(2) エレクタ装置

セグメント自動組立装置を簡素化するための大きな問題点は、セグメント把持部周辺の小型化である。この解決策として、ボルト締結装置分離型エレクタを開発した。すなわち、同一軸心の固定ドラム上に2ドラム方式でエレクタ部とボルト・ナット締結装置を独立分離させた。

また、このエレクタ装置では、3次元空間においてセグメントの位置決めを行うために6自由度を持っている。位置を決めるための旋回、伸縮、摺動と姿勢を決めるためのローリング、ヨーイング、ピッチングである。図-3にエレクタの構成図を示す。

(3) ボルト・ナット締結装置

ボルト・ナット締結装置は、エレクタ旋回軸と同一軸心を持つ固定ドラム上を独自の位置決め装置により、旋回、摺動を行えるようになっている。

なお、セグメントが位置決めを完了すると、同時にボルト・ナット締結装置もエレクタヘッド部へ自動的に微調整を行いながら摺動し、締結作業が行われる。図-4にボルト・ナット締結装置の構成図を示す。



写真-1 実証実験装置全景

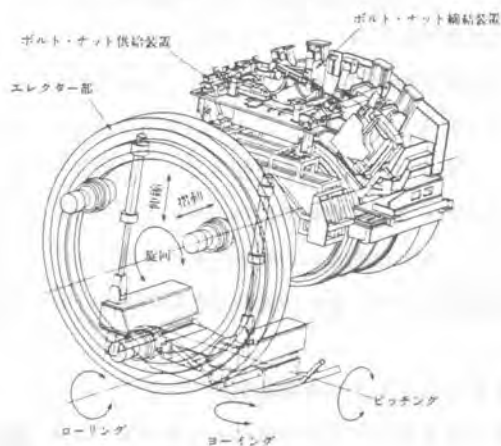


図-3 エレクタ構成図

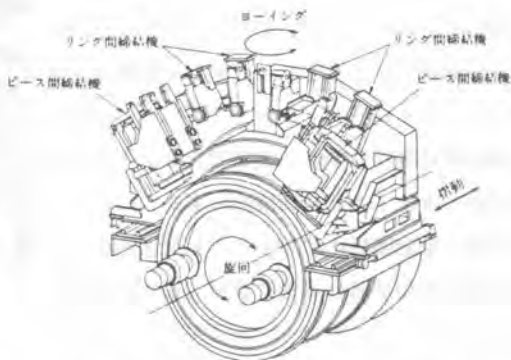


図-4 ボルト・ナット締結装置構成図

①締結装置の位置決め

締結装置の位置決めは旋回、摺動、ヨーイングの3自由度を持ち、8台の締結機を同時に位置決めする。個々の締結機は、挿入と引寄せの2自由度を持つ。併せて5自由度によって、ボルト・ナットをセグメント穴に位置決めしている。

締結装置の位置決めは、エレクタ装置の6自由度に対し、3自由度しか持っていない。このため、残りの3自由度の方向のずれに対しては次のように補正する。伸縮については、個々の締結機の挿入量の調整で対応する。ローリング、ピッチングのずれは、ボルトに対しては、軸方向と軸に直角な内面のずれとなって現れる。しかし軸方向のずれは、軸方向に余裕をとっているので問題とはならない。また内面のずれは、ボルトと穴のずれとなり、そのままではボルトが入らないことがある。その対応として、摺動または旋回と個々の挿入量を調整し組み合わせることで、締結動作が行える。

②締結機

締結機は、セグメントをトンネルの軸方向にボルトで締結する4台、4本分のリング間用締結機と、セグメントを円周方向にボルトで締結する4台、8本分のピース間用締結機とからなる。後者は、1台の締結機で2本のボルトを1度に締結できる。

ボルトの締め付けには、ACサーボモータを使ったナットランナを使用しており、1本のボルトに1台ずつ装備されている。ボルトは油圧チャックで固定されており、ナットランナはチェーンを介してナットを回転させる。またこのナットランナでは、締め付けトルクの管理も行っている。

ボルト・ナット締結機には、挿入と引寄せの2軸がある。挿入軸にはボルトの締め付けに同期したボルト・ナットの軸方向の移動を行う。また、ピース間用ボルト締結機には、Kセグメントのテーバー角に対応するため、2台の締結機に同時にテーバー角を与えるねじり軸がある。

(4) ボルト・ナット供給装置

ボルト・ナット供給装置は、エレクタヘッド把持部と180°反対側に設置されており、ボルト・ナットを締結機のソケット部に自動的に供給装填を行うものである。また当装置は、カートリッジにセグメント1リング組立に必要なボルト・ナットを保有し、1ピース組立毎に自動的に締結機に供給を図ることができる。写真-2にボルト・ナット供給装置を示す。

従来、締結装置へのボルトの自動供給は、その装置を締結装置の近傍に設置し行われてきた。しかし、この方法では、締結装置廻りが大型化し、小口径のシールドへの適応が困難となる。

そこで今回開発したシステムでは、エレクタとボルト・ナット締結装置を分離したメリットを生かし、



写真-2 ボルト・ナット供給装置

エレクタが6時の位置でセグメントの供給を受けている間に、ボルト・ナット締結装置は12時の位置でボルト・ナットの供給を受けることにした。

ボルト・ナット供給装置の役割は、8台の締結機、12台のナットランナに、高速かつ正確にボルトを供給することである。そこで、ピース間用締結機4台、リング間用締結機4台の2台ごとに1台ずつ供給装置を設け、1台の供給装置が2回繰り返すこととした。ピース間用の締結機は、1ボックス2本の締結を行うため、締結機には2本のボルトが同時に供給できるようにした。

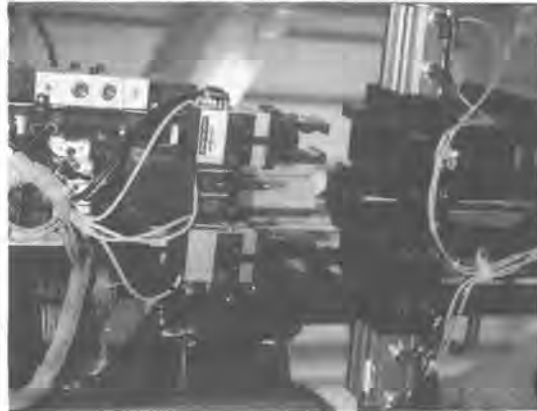


写真-3 ピース間用供給装置

また短ボルト方式では、締結機にボルトとナットを別々に供給する必要があるが、ここでは、ボルトとナットを組み合わせた状態で供給し、締結装置がボルトを受け取った後に、ナットランナを逆回転することでボルトとナットを分離することとした。

ピース間用のボルト・ナット供給装置を写真-3に示す。また、このボルト・ナット供給装置のアクチュエータはすべて空気圧駆動とした。

(5) 制御システム

このシステムの制御はシーケンサによって行われる。エレクタとボルト・ナット締結装置を1台のシーケンサが、ボルト・ナット供給装置をもう1台のシーケンサが制御し、お互い通信を行いつつ自動で作業を進める。

セグメントの位置決めにはレーザー光使用の距離センサーを使用しており、締結機の位置決めには光電方式のボルト穴検出センサーを使用している。ボルト・ナット締結装置とボルト・ナット供給装置の間の位置決めは、供給装置がいつも一定のため、内界センサーのみを使用している。

5. おわりに

今回の実験の目的は、全体システムでのセグメント位置決め、ボルト・ナット供給および締結等の連係動作の完成度を確認することにあった。

実験の進行は、組立フローの各作業を試行錯誤を重ねながら、一步一步完全自動化に近づけていく作業の繰り返しとなった。そのため、当初の予定工程から一年以上の遅延を余儀なくされ、今回の報告では、各装置の問題、改良点等の詳細データをまとめるまで至らなかった。今後とも現場対応を可能にするため、数々の改良を重ねていく必要性を痛感している次第である。

30. 全シールド対応掘進無人化システム “ハイパーシールド”

(株)フジタ：*関谷 克利・佐藤 清
 榎垣 和弘

1. 緒言

近年のシールド工事においては、次の様な問題が生じている。

- (1) 熟練したオペレータと現場作業員の、不足及び高齢化
- (2) 急曲線化による、高度な施工技術の要求

これらの問題を解決するために、株式会社フジタが、シールド工事の掘進の無人化を目指して開発し、この度実用化に至ったシステムが”ハイパーシールド”である。

”ハイパーシールド”には、泥水シールド対応型と、土圧シールド対応型とがあり、これらを総称して全シールド対応と称しているが、今回は、土圧シールド対応型の”ハイパーシールド”に関して報告する。

2. システムの概要

このシステムの概要を図1. に示す。また、このシステムのシステム概略図を図2. に示す。

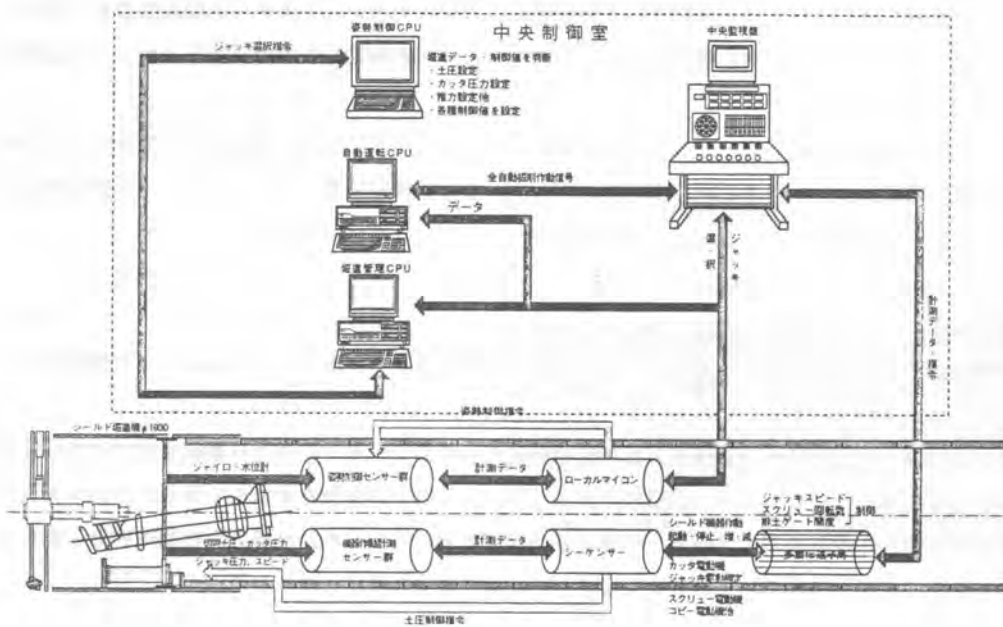


図1. ”ハイパーシールド” システム概要図

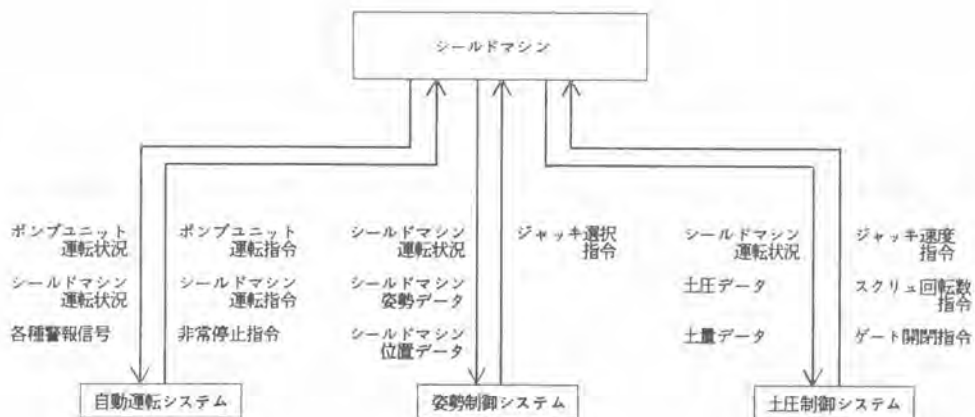


図2. “ハイパーシールド”システム概略図

このシステムは、土圧式シールド掘進機の全自動掘進制御を行ない、人間の手を借りずに、土圧式シールド掘進機による掘進を行なおうとするものである。このシステムを実現するために、ジャッキ選択指令を行なう姿勢制御システム及び土圧の制御を行なう土圧制御システムの2つのシステムに加えて、自動運転を行なうための自動運転システムが追加された。これら3種類のシステムを統合化することによって、初めて、土圧式シールド掘進機の全自動掘進制御が可能になった。

2.1 AIについて

図2.のシステムの概略図の中の、姿勢制御システム及び土圧制御システムには、AIエキスパートシステムが使用されている。

AIとは、人工知能（Artificial Intelligence）のことを言う。これは、人間と同じ様に過去の経験を記憶し、その経験を利用して現在の問題の解決にあたる機能、つまり学習機能を備えた、コンピュータのシステムのことである。AIはその学習機能によって、経験を蓄積すればするほど、正確な判断を下せるようになる。

2.2 自動運転システム

自動運転システムはシールドマシンから送られる次の3種類のデータを常に監視している。

- (1) ポンプユニット運転状況
- (2) シールドマシン運転状況
- (3) 各種警報信号

(1)のポンプユニット運転状況のデータには、どの種類のポンプユニットが起動しているのか、運転状態は良好なのかどうか等を表わす信号が含まれている。

(2)のシールドマシン運転状況のデータには、どの種類の油圧機器が動いているのか、また、それ

らの油圧機器の運転状態は良好なのかどうか等を表わす信号が、含まれている。

(3) の各種警報信号のデータには、マシンが危険な状態になっていないかどうかを、表わす信号が含まれている。

もしも、これらのデータの中に、異常な物があれば、自動運転システムはシールドマシンに対して、非常停止を含む適切な処置を指令する。

反対に、自動運転システムからシールドマシンへ送られる指令は、大きく分けると次の3種類になる。

- (1) ポンプユニット運転指令
- (2) シールドマシン運転指令
- (3) 非常停止指令

(1) のポンプユニット運転指令には、油圧及び泥漿注入ポンプユニットの運転指令が含まれている。

(2) のシールドマシン運転指令には、カッタ及びスクリュの回転指令と、シールドジャッキ推進指令が含まれている

(3) の非常停止指令は、警報信号が出た場合に、すみやかにシールドマシンの掘進を停止する。

2. 3 姿勢制御システム

姿勢制御システムは、次の様な順序で、シールドマシンの姿勢制御を行なう。

- (1) 作業所の職員が、坑内のセンター測量及びレベル測量を行なう。あるいは、光波を使用して、自動的に坑内のセンター測量及びレベル測量が行なわれる。
- (2) 測量結果をコンピュータに入力し、シールドマシンの現在の位置を自動姿勢制御システムに把握させる。
- (3) 自動姿勢制御システムは、以前の測量結果、及びそれまでの掘進の記録を基にして、現時点の位置から、最適なシールドマシンの制御方向を決定する。
- (4) 自動姿勢制御システムは、最適なシールドマシンの制御方向を向かせる為の、シールドジャッキの上下方向のトルクを決定する。
- (5) 決定したシールドジャッキの上下方向のトルクに最も近いジャッキパターンをシールドマシンへ送る。
- (6) シールドマシンへ送ったジャッキパターンによる、シールドマシンの姿勢及び位置の変化を、ジャイロ及びレベルセンサから計測する。
- (7) 新たに計測したシールドマシンの姿勢及び位置の変化を基にして、再度現時点の位置から、最適なシールドマシンの制御方向を決定する。

姿勢制御システムを使用した場合、このシステム自身がAIによる判断機能を有しているので、作業所の職員は、掘進指示書を作成する必要は無い。また、オペレータは、シールドマシンの癖や過去の掘進の結果を考える事無く、シールドマシンの姿勢制御が、自動的に行なわれる。

2. 4 土圧制御システム

土圧制御システムは、次の様な順序で、地山保持を行なう。

- (1) 土圧制御システムが、以前の土圧制御の結果を基にして、掘削土量が理論値に最も近くなる様な設定土圧を設定する。
- (2) 設定された設定土圧を保つ様に、土圧制御システムが掘進を開始する。
- (3) 設定土圧より土圧が高い場合、土圧制御システムは、スクリー回転数を上げ、ジャッキ速度を下げ、ゲート開度を大きくする。
- (4) 逆に設定土圧より土圧が低い場合、土圧制御システムが、スクリー回転数を下げ、ジャッキ速度を上げ、ゲート開度を小さくする。
- (5) 1リングの掘進終了後に、土圧制御システムが、掘削土量を考慮して、再度、掘削土量が理論値に最も近くなる様な設定土圧を設定する。

土圧制御システムを使用した場合、土圧の制御には、PIDA制御が用いられる。更に、このシステム自身がAIによる判断機能を有しているので、オペレータは、地山の特性や、過去の土圧制御の結果を考えなくとも、地山の保持が、自動的に行なわれる。

3. 施工実績と成果

現在までのハイパーシールドの施工実績は、泥水式シールドで5現場、土圧式シールドで3現場である。これらの他に、姿勢制御のみを適用した作業所が7現場ある。以下に記すのは、土圧式ハイパーシールドを初めて導入した天理送水管作業所の施工実績である。

3.1 マシン先端の測量結果

ここでは、マシン先端の測量結果を、曲線部と直線・緩曲線部に分類し、まとめた結果を示す事にする。ここでの曲線部は曲率半径が500mの施工区間を言い、直線・緩曲線部は、それ以外の区間をいう。表-1は、その結果をまとめたものである。

この表から、水平方向の曲線部を除いて、±30mm以内になっていることがわかる。

表-1 測量集計結果

| | リング数 | 水平方向 (単位: mm) | | | 垂直方向 (単位: mm) | | |
|-------------|------|---------------|------|-----|---------------|------|-----|
| | | 平均値 | 標準偏差 | 最大値 | 平均値 | 標準偏差 | 最大値 |
| 曲線部 | 134 | -8.0 | 25.1 | 41 | 4.7 | 14.7 | 16 |
| 直線・ 緩曲線部 | 1695 | 3.1 | 17.3 | 30 | 2.1 | 12.6 | 28 |

3.2 掘削土量計測結果

ここでは、自動制御区間（701～725 R：25データ）と手動制御区間（726～750 R：25データ）区間の掘削データを比較する事にする。表-2はその結果を示した物である。

表-2 自動制御と手動制御の比較

| 項目 | 自動制御 | | 手動制御 | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 平均値 | 標準偏差 | 平均値 | 標準偏差 |
| 切羽土圧(kg/cm ²) | 0.947 | 0.828 | 0.942 | 0.834 |
| 掘削土量(m ³) | 1.805 | 0.376 | 1.709 | 0.581 |
| 掘削土量率(%) | 82.26 | 17.13 | 77.88 | 26.47 |

この表で、掘削土量は、各リングの掘進終了後に計測された、土砂の重量を、地山の比重で除する事によって求めた値である。

この表から、自動制御の切羽土圧の標準偏差は、手動制御のそれよりも大きい事がわかる。また、自動制御での掘削土量率は、100%に近く、標準偏差は、手動制御のそれより小さい事がわかる。このことから、自動制御は手動制御に比べ、細かな切羽土圧制御を行ない、掘削土量から判断して安定した掘削を行なっている事がわかる。

3.3 路面変状計測結果

施工期間中、作業所では施工路線の直上に20mピッチで測点を設け、沈下測量を実施してきた。その結果は、土被りの大小に拠る差異は認められず、土被り15m～16mであった全路線を通じて、0～2mm程度と報告されている。この結果からも、この地山保持システムの有効性が確認されよう。

4. 考察

今回、土圧式ハイパーシールドを、天理送水管作業所に導入し、次の成果を得た。

(1) 高性能な姿勢制御システムによって、高精度の掘削が行なえるので、良好な掘削線形が得られた事。

土圧式ハイパーシールドは、シールドマシンの位置が、水平、垂直方向共に、計画線から外れぬ様に、常に監視しながら掘進を行なっていた。更に、シールドマシンの位置が、計画線から外れた場合におい

ても、シールドマシンを急激な操作で、計画線に戻そうとはせず、なめらかに計画線にすりつけたので、良好な掘削線形が得られた。

(2) 高性能な地山保持システムによって、掘削土量及び土圧を、一定に保つことができ、施工路線の直上の沈下を、最小限度に抑えることができた事。

土圧式ハイパーシールドは、掘削土量を一定に保つための設定土圧を、自動的に決定し、更にその土圧を保つために、細やかなシールドマシンの操作を行っていた。これによって、掘削土量と切羽土圧は偏差の少ない、安定した値を示した。また、こうする事によって、地盤沈下もごく僅かで済んだ。

(3) 自動運転システムによって、シールドマシンの起動から停止までを、自動的に行なうことができ、シールド工事の省力化が図れた事。

中央制御室のボタンを押すだけで、シールドマシンの運転操作の全てを自動的に行なうので、熟練したオペレータの技量に頼る事無く、シールド掘進を行なう事が出来た。掘進開始のスイッチをオンにした後に、オペレータは、泥漿プラント及び濁水処理設備の運転、整備等を行なう事が出来た。このため、従来はオペレータと作業員が二人で行っていた作業を、オペレーター一人で行なうことが出来た。

また、更に改良が必要であろうと思われた点は、次の通りである

(1) 掘進中にクリアランスが小さくなり過ぎる場合は、サブオートモードに切り換え、シールドマシンの方位角とピッチングを一定に保ちながら掘進を行なう必要があった。

この事は、姿勢制御システムの中に、クリアランスを考慮しながら掘進を行なう機構が無いことに原因がある。従って、クリアランスを考慮する機構を、姿勢制御システムの中に組み込む事が必要であった。

(2) 掘進中、土圧が急激に高くなった場合は、しばらくの間、掘進速度が遅くなった。

土圧が急激に高くなり、その後すぐに土圧が低くなる場合があったが、この時に、しばらくの間、掘進速度が遅くなり、その後掘進速度が基の速度に戻った。この事が掘進時間を長くする要因となっていた。土圧が急激に高くなり、その後すぐに土圧が低くなる場合には、掘進速度を遅くしない様な機構を、地山保持システムの中に組み込む事が必要であった。

これらの点は、土圧式ハイパーシールドの新しいバージョンに於いては、既に改良が完了している。

5. おわりに

今回、土圧式ハイパーシールドを作業所に導入する事によって、このシステムによるシールド工事の省力化が可能である事が実証された。今後、熟練したオペレータの不足の問題を解決するためには、このシステムが必要となるであろう。今後は知識ベースの拡充、改良を図り、不測の事態、急激な地山の変化にも対応できる様なシステムの完成を目指したい。

31. シールド機自動運転システム

三井建設(株)：井上 一敏・*川原 啓一
升形 剛

1. はじめに

シールドは大口径化、大深度化、長距離化、高速化する傾向にあり、施工は難しさが増大している。こうした環境に対応していくためには、運転操作の簡素化、無人化が必要となる。従来からシールド掘進機には、切羽安定を目的とした土圧制御システムが準備されているが、特に砂礫層施工においてはその応答性の鈍さから必ずしも良好な制御効果の得られない場合が多く問題の一つとなっていた。このような場合、試行錯誤を繰り返し、オペレータは刻々と変化する諸条件に対し、その都度経験に基づく運転操作を行い難しい施工を成し遂げてきた。運転操作に関する自動化システムが未完成であった理由として、いつ何をよりどころとして操作をおこなっているか、ということに関して余りに多くのケースがあり、制御技術が及ばなかったことがあげられる。今回、進歩の著しいコンピュータ制御技術を利用し、地山条件に対する最適掘進方法を、基本理論と施工実績とを対比し解析することによりプログラム化し、自動運転システムを構築した。

2. シールド自動運転システムの構成

シールドの自動運転のためには、操作の自動化が必要であるが、操作は起動、選択、調整に大別され、この中で調整操作の自動化が従来の制御機器では、応答性、入力数、演算、出力特性等に限りがあり、十分な制御結果を得ることが困難であった。自動運転システムの構成にあたっては、基本方針として、入出力を可能な限り短いループで制御可能なこと。プログラムは制御ロジックを明確にするため、可能な限り簡素化できること。制御が複数同時におこなえることを考慮しプログラマブルコントローラを基本に、複雑な演算の必要な項目および、多数のデータ解析を必要とする項目に関してはパーソナルコンピュータを使用することとした。各コンピュータの機能分担を図1 に示す。

3. システムの機能説明

3. - 1 測量・方向制御

シールド掘進機に設置したジャイロの方位角、シールド傾斜角をリアルタイムに計測し、計画線との偏差を演算、グラフィック表示をおこない、偏差量を補正するジャッキパターンを出力する。

3. - 2 運転制御

運転制御は、シーケンシャルスタートとストップ、自動土圧、自動速度、注入、補助制御機能を有している。

速度制御は、掘進開始時はスロースタートを行い、徐々に速度を上げ定常運転時には、シールドマシンの負荷状態を入力値として、過負荷とならない速度を出力し掘進の停止を可能な限り回避する。

土圧制御は、速度制御出力に比例したスクリウコンベア回転数を基準値として、切羽土圧を保持するために回転数を制御する。制御動作は目標土圧をオーバする場合回転数を増加し、アンダーとなる

場合、回転数を落とす。

補助制御は、ゲートの開度調節、ロータリーフィーダー等その他の補助機能も土圧保持に影響を与える要素であることから制御対象とし、掘進方法の難易度別に制御優先順位をプログラム設定している。

注入制御は、掘進速度に見合った加泥材・裏込め材の注入量を演算制御すると共に注入圧力を監視し、最適圧力で注入制御する。

3. -3 データ解析システム

シールド掘進機の各部の負荷状態、注入量、圧力、排土量等の掘進管理に必要なデータを採録しトレンド表示する。排土量計測は、ロードセルを使用しベルトコンベア・ホッパー・ずり鋼車の重量を連続計量する。

自動運転システムのフローを図2 に示す。

4. 施工実績

当自動運転システムによる施工実績データを図3 ～ 図7 に示す。

4. -1 方向制御

泥土圧シールド掘削外径4180mmφの方位角実績データを図3に、ピッチング実績データを図4に示す。ここでの偏差は掘進方向の指示値に対して、実際にシールドが通過した線形の方位角とピッチング角度の差をいい、セグメント長さ1000mmに対する偏差として表示している。

これを変位置に換算した場合の参考値は、 $\tan(1.0^\circ) \times 1000 = 17.5$ (mm)である。

4. -2 運転制御

図5 ジャッキ速度とスクリウ回転数の関係は、ジャッキ速度にスクリウ回転が比例関係にあり制御動作が理論通りである。

図6 ジャッキ速度と土圧の関係は、ジャッキ速度の全域において土圧を一定値に保持している。

図7 ジャッキ速度とカッタートルクの関係は、カッタートルクを油圧系統の上限値170kg/cm²以下としている。

これらのことから自動運転システムは調整操作を有効に行っていると評価できる。

5. まとめ

コンピュータを利用した制御は、従来の操作方法の解析により、自動化の適用範囲を拡大すると同時に、実績の積み重ねはシステムをより強力なものとする。制御の信頼性が確実なものになれば、その部分はブラックボックス化することが可能となり、一層の自動化、無人化を促進できるものと考えられる。このシステムの効果の一例として、シールドの運転はスタートスイッチを押すだけで掘削ずりが排土されることから、バッテリー機関車の運転手がベルコンの下でずり積み込みOKの確認をおこない、スタートボタンを押せば、シールド掘進作業が開始され、ずりが自動的に排土され、ずりの積み込みが終了した時点で終了ボタンを押すだけの作業となることがあげられる。

操作の簡略化は、操作ミスの低減にもつながるものである。

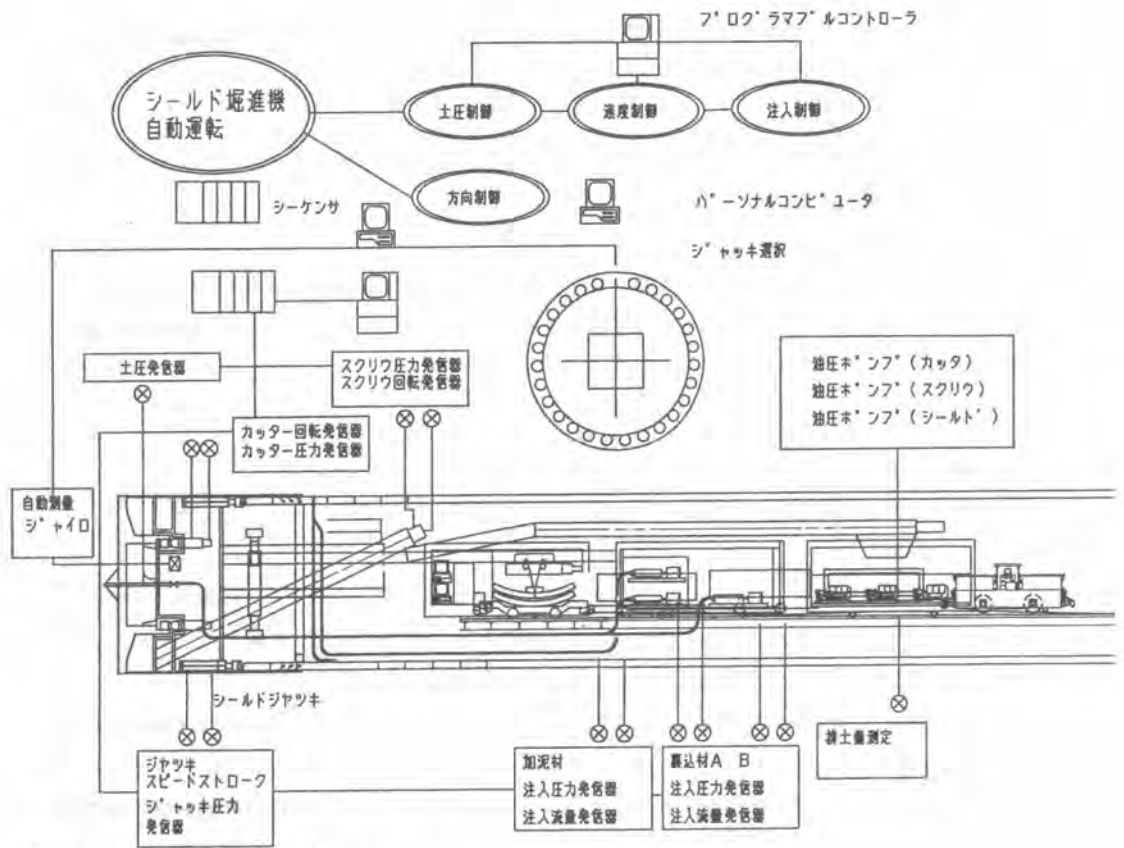


図1 コンピユータ機能分担図

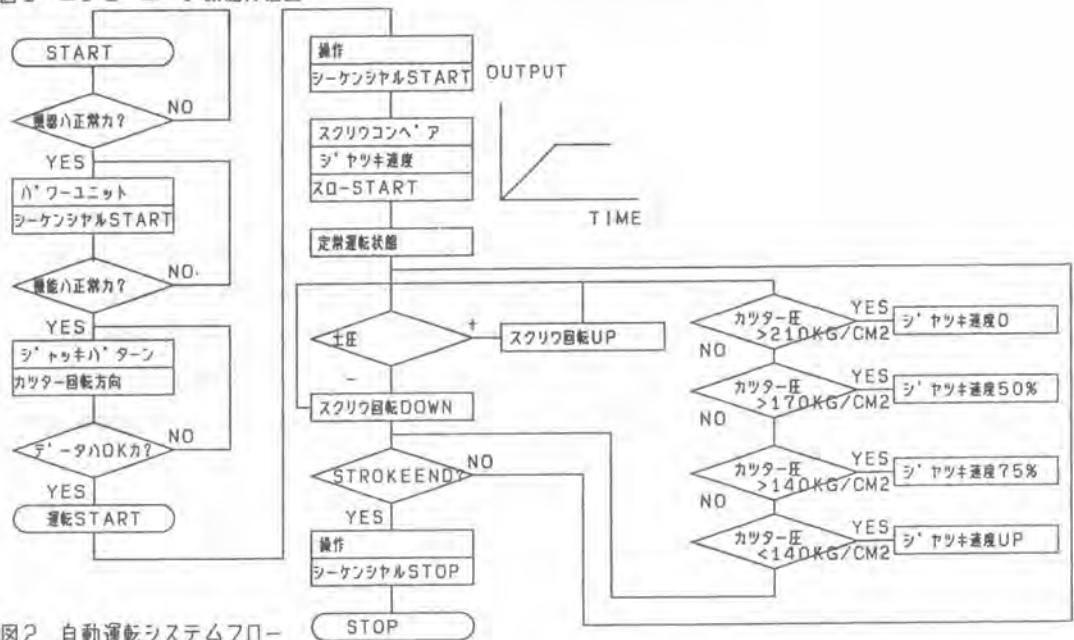


図2 自動運転システムフロー

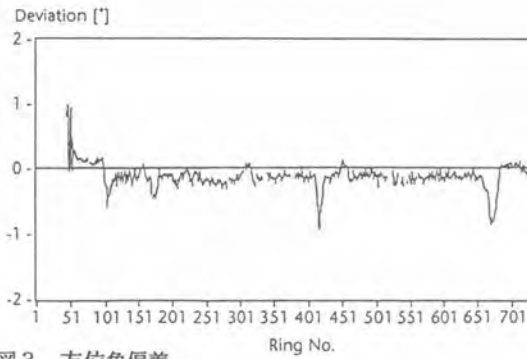


図3 方位角偏差

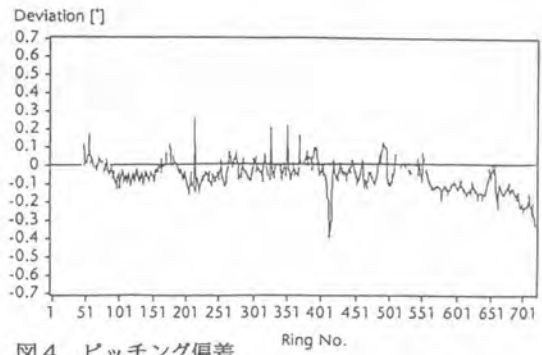


図4 ピッチング偏差

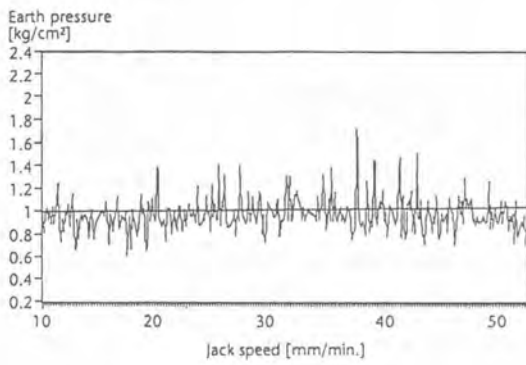


図5 ジャッキ速度とスクリウ回転数

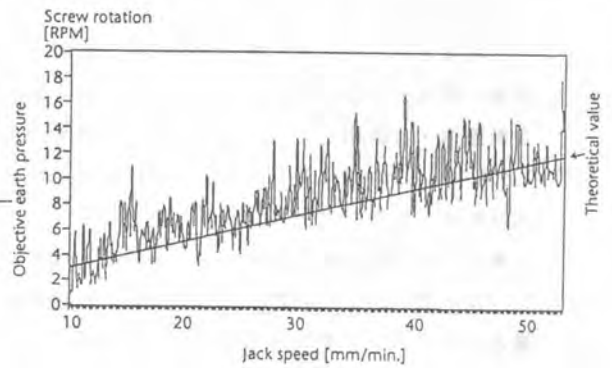


図6 ジャッキ速度と土圧

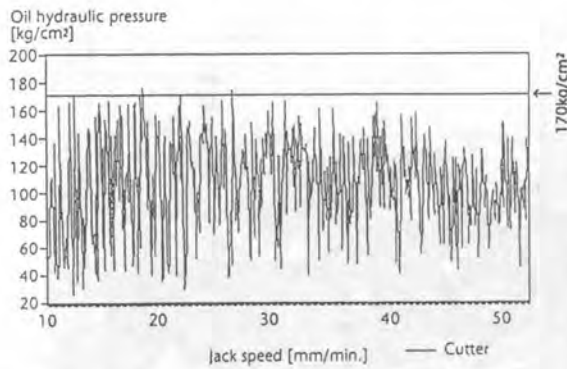


図7 ジャッキ速度とカッター負荷



参考写真 プログラマブルコントローラ
シールド運転操作盤

32. シールド総合施工管理システム (KSGS)の開発

鹿 島：*柴田 学・竹村 健一
佐藤 竜郎

1. はじめに

シールド工事の施工では、安全で品質の良い施工、省力化、苦渋作業解消を課題として、各種の自動化が進められている。

これまでに、シールド機の運転状況を管理する掘進管理システム、シールド機の位置・姿勢を計測・管理する線形管理システム、ファジィ推論を採用した自動方向制御システム、セグメント自動搬送・自動組立てシステムなどを開発実用化し、全自動化にむけ個々のシステムの整備も進んでいる。この様に個々のシステムが出来上がってくると、当然これらの各システムを統合し、より監視・操作が容易なシステムが必要になる。

本シールド総合施工管理システム（KSGS：Kajima Shield General control System）は、シールド機や施工に必要な各種プラント、自動方向制御システム、セグメント自動組立て、自動搬送システムなどを高速ネットワークで統合し、総合施工管理室（中央制御室）において、集中的に操作、制御、管理を行うものであり、より高度な自動化、施工管理に対しても柔軟に対応可能とした。



写真-1 総合施工管理室操作状況

2. システムの概要

総合施工管理室（中央制御室）に、ラインコンピュータ、オペレータコンソールを設置し、運転信号、監視・施工管理データは、通信ケーブル、インターフェイス盤を経て、シールド機やその他の設備に接続し受渡しする。

シールド機やその他の設備の運転は、表示される施工管理データ、監視データにより、施工状況や機械の稼働状況を把握しながら、オペレータコンソールのタッチパネルにより行う。

特徴を以下に記す。

◎KSGSの特徴

- ①操作、監視、施工管理に必要な画面をまとめ、施工、設備状態をリアルタイムに表示するので確実な施工ができる。
- ②画面はタッチパネル式で簡単に操作ができ、切替式なので少ないモニターで運転が可能。
- ③シールド機やその他の設備の運転を自動化し、オペレータの負担を軽減した。
- ④シールド設備の操作・制御・管理ツールを標準化したので、現場間での施工品質のばらつきを小さくでき、またオペレータの早期育成が可能になる。
- ⑤総合施工管理室を一般のF A化した工場・プラントと同等のものとし、3 Kの現場イメージを払拭した。

(1) システム構成

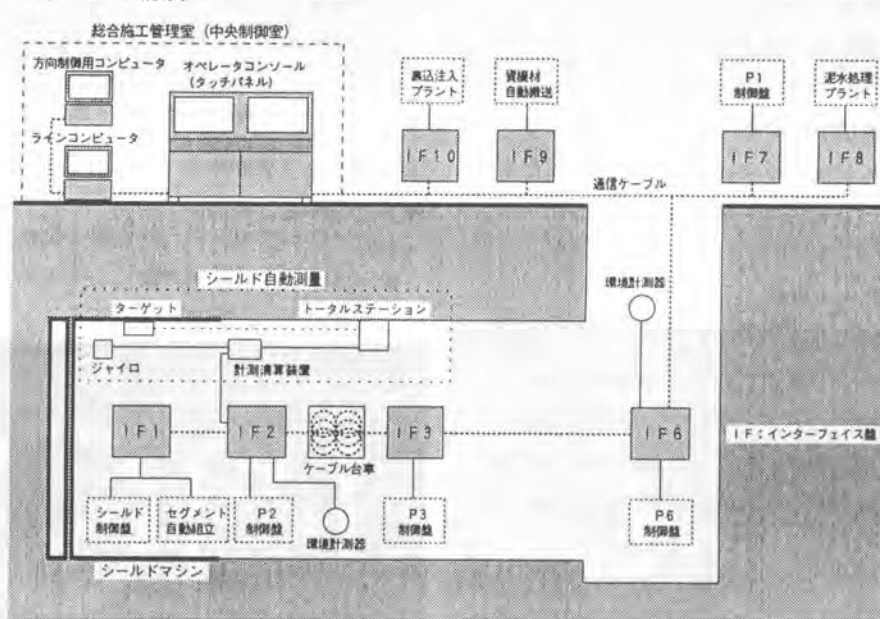


図-1 システム構成図

(2) 構成機器の機能

① ラインコンピュータ（CPU）

KSGSシステムのすべてをコントロールする。1台のコンピュータで、各種演算及び

管理グラフ処理、帳票処理、データ蓄積、ネットワークの通信制御を行う。また、線形管理画面、掘削管理画面を表示する。

② オペレータコンソール

操作用タッチパネル・画面コントロール用のタッチキー等で構成され、シールド機、他の各設備の運転、遠隔制御を画面2面の切替えで行う。

③ インターフェース盤（IF盤）

KSGSシステムとシールド機・送排泥ポンプ・泥水処理プラント・裏込プラント等の各設備の制御盤と結線し、遠隔操作指令及び運転データなどの信号を送受信する。

④ シールド自動測量システム

トータルステーション・ターゲット・ジャイロコンパス等で構成され、シールド機の現在位置及び姿勢（ピッチング・ローリング・ヨーイング）をリアルタイムで自動計測するシステムである。測定結果は、インターフェース盤を通じてラインコンピュータへ送る。

⑤ 自動方向制御用コンピュータ

ラインコンピュータで処理された、シールド機の位置と掘進計画線と差と姿勢により、計画線への摺付け位置を演算し、シールド機の方向修正量に見合ったジャッキパターンを選定する。結果は、ラインコンピュータを通じて、オペレータコンソールに送る。

⑥ 通信ケーブル

KSGSのネットワーク用の通信用ケーブル。総合施工管理室のラインコンピュータ、オペレータコンソールと各インターフェイス盤を接続する。

3. システムの機能

(1) 操作画面（オペレータコンソール画面）

機械や設備のイメージで画面を構成し、画面のタッチパネルにより機械の運転を行う。写真-2 は、シールド機の運転画面例で、パワーユニット起動、推進ジャッキの選択、カッターモータなどの運転を行う。

写真-3 は、泥水輸送設備の運転画面例で、掘削運転、バイパス運転を行う。

泥水の流れているラインの色替により、フローの状況を表現した。

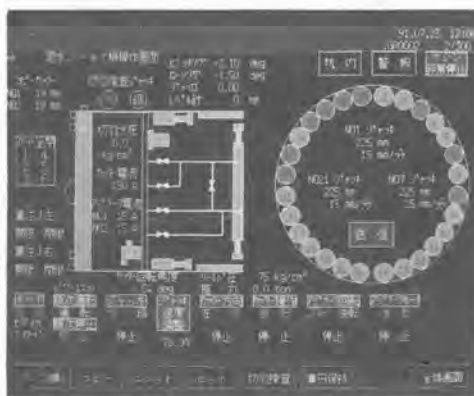


写真-2 操作画面

(2) 監視画面 (オペレータコンソール画面)

操作を含まない計測、監視を行う。

写真-4 は、環境監視画面例で、各場所の酸素濃度、メタンガス濃度、温度、湿度などの環境データを表示する。濁水処理設備の排水 pH、濁度、排水量の監視も可能である。

写真-5 は、異常・故障監視画面例で、各設備や機器の異常・故障・警報を集中表示する。異常、故障、警報表示中は、ブザーを鳴らしオペレータに注意を促す。



写真-3 操作画面



写真-4 環境監視画面



写真-5 故障監視画面

(3) 線形管理画面 (ラインコンピュータ画面)

自動測量装置より、シールドマシン先・後端座標を受け、掘削計画線からの離れ量をリアルタイムに数値及びトレンドグラフに表示する。

自動測量装置を組込まない場合でもジャイロシステムにより姿勢位置計測を行い線形管理が可能である。

写真-6 は、線形管理画面でシールド機の姿勢 (ピッチング、ローリング、ヨーイング)、掘進距離、選択中のジャッキパターン、上下・左右の先・後端の計画線からの離れを表示する。

また、上下・左右の先・後端の計画線からの離れは、トレンドグラフで表示し、掘進履歴の把握を容易にした。

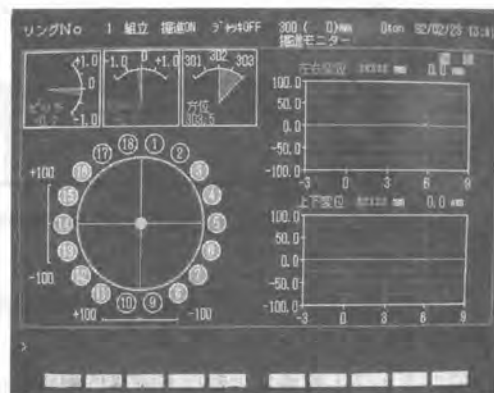


写真-6 線形管理画面

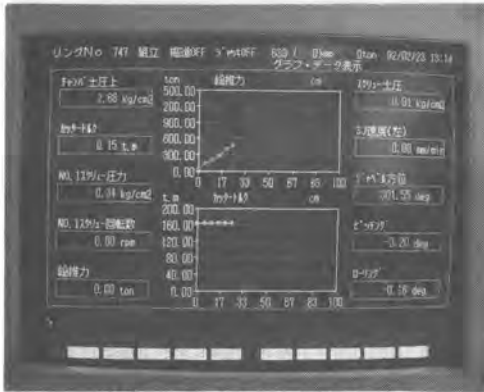
(4) 切羽安定管理画面（ラインコンピュータ画面）

横軸を掘進ジャッキストロークで管理グラフをリアルタイムに表示する。デジタル表示、グラフとも任意に割付けができる。

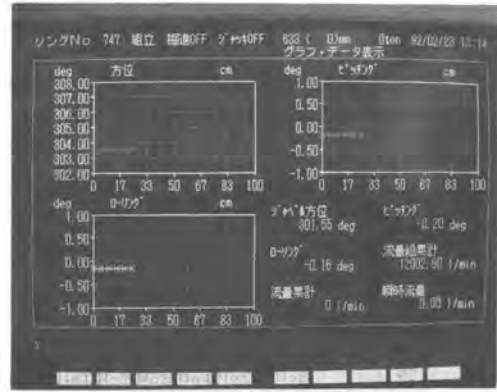
他にも、任意データを散布図、折れ線、棒グラフ、分布図などを使用できる。

写真－7 は、切羽安定管理画面で切羽土圧の表示や、推力等のグラフ表示を行う、また掘削土量のグラフも表示する。

写真－8 は、その他の管理画面で様々はグラフ表示が可能。

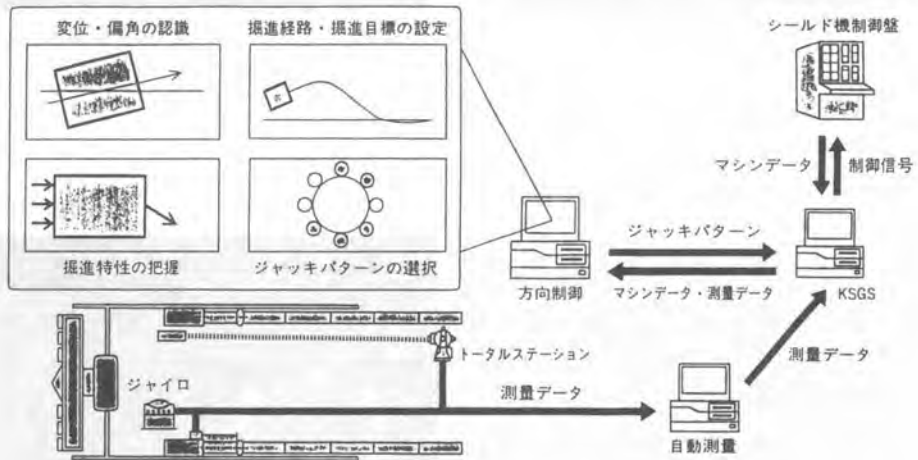


写真－7 切羽安定管理画面



写真－8 管理画面

(5) 自動方向制御機能



図－2 シールド自動方向制御概念図

[動作概要]

① ファジィ推論による計画線への摺付け位置演算

掘削軌跡と現在の計画線に対する変位・偏角から、計画線にシールド機を摺付けるための掘進目標までの距離と目標までの経路を決定する。

② 曲り易さをファジィ推論で把握し、方向修正量を演算。

目標角（シールド機を制御目標に向けるための角度）とシールド機の制御状況からファジィ推論を行い現在のシールド機の曲り易さを角度（特性角）として得る。この目標角及び特性角から修正の角度量（制御角）を求める。

③ ジャッキパターン選択演算

制御角と偏向角度（曲がった角度）の関係式により、シールド機に与える力点位置を求め、最もその力点位置に近いジャッキパターンを選択する。

④ 選択したジャッキパターンはネットワークを通じてシールド機の制御盤に送られ、ジャッキのON/OFFを行う。

(6) 自動運転機能

手動運転ではシールド機や他の各設備を機器ごとに運転を行っていたが、自動運転では、シールド機や他の各設備の機器を連動で起動し、自動で運転する。

図-3 自動運転フロー参照

4. 使用実績

このシステムは、91年から下記の工事のほか10現場で使用し、現場で高度な施工品質の保持、省力化、安全な施工に貢献している。

また、東京湾横断道路工事にも設置を予定している。

[実績]

| | |
|----------|-------------------|
| 近畿地方建設局 | 2号西淀川共同溝工事 |
| 日本鉄道建設公団 | 片福連絡、大川T他工事 |
| 名古屋市交通局 | 高速鉄道6号線野並橋工区新設工事 |
| 大阪市下水道局 | 大阪市平野～住之江幹線管渠築造工事 |

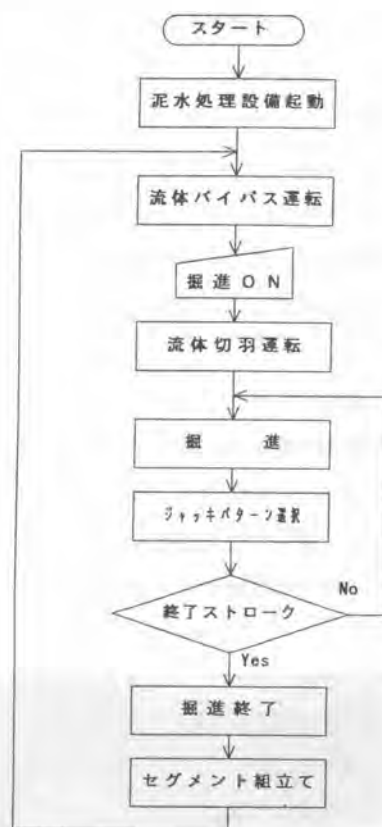


図-3 自動運転フロー

5. 今後の展開

シールドの標準装備として、さらに活用を広めていくながら、サブシステムを充実し、シールド工事の全自動化施工に対応していく予定である。

33. 球体シールド(ビット交換用シールド)の開発

大成建設(株)：*金子 研一

石川島播磨重工業(株)：伊藤 広幸

三菱重工業(株)：井上 年史

1. はじめに

シールド工法における技術開発の方向の一つに、長距離掘進があげられる。大深度、あるいは海底横断といった特殊条件下での工事が数多く計画され、1台のシールドの能力に、従来とは遥かに超えた掘進距離が要求され始めている。長距離掘進に伴い、各種部材の耐久性と迅速な交換方法が求められている。特に摩耗の激しいビットについては緊急の課題である。

このような状況の中で開発した「ビット交換用シールド」(写真-1)は、シールドトンネルの掘進方向に対して、内部に球体を有することで、直角に方向転換可能なシールドとして川崎市で採用された「直角シールド」(写真-2)の応用技術である。球体を、直角よりさらに多く回転することで、カッタ前面をトンネル内部に向け、安全にビット交換が可能になるというものである。

本報告は、すでに実用化された「直角シールド」の実施例と、開発の完了した「ビット交換用シールド」の概要について報告する。

2. 直角シールド

川崎市で採用されたシールドは、 $\phi 5.53\text{m}$ のシールド(以下メインシールドと呼ぶ)で260m掘進後、地下で直角に向きを変え、 $\phi 3.68\text{m}$ のシールド(以下サブシールドと呼ぶ)で65m掘進するものである。図-1に全体組み立て状況を示す。メインシールド内部に球体を内蔵し、その球体内部にサブシールドを収納する。球体は上下方向の軸で支えられる。

サブシールドはテール部を切り放した状態で球体に収め、メインシールド掘削時に、サブシールド

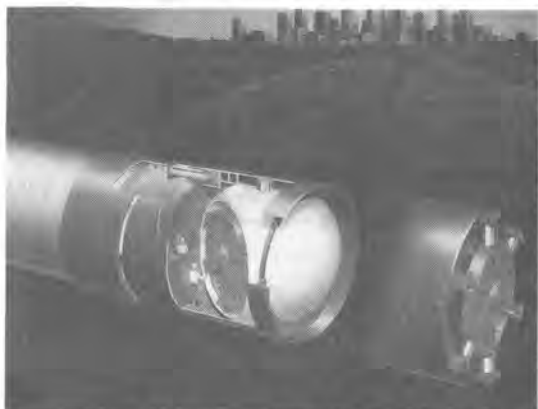


写真-1 ビット交換用シールド



写真-2 直角シールド

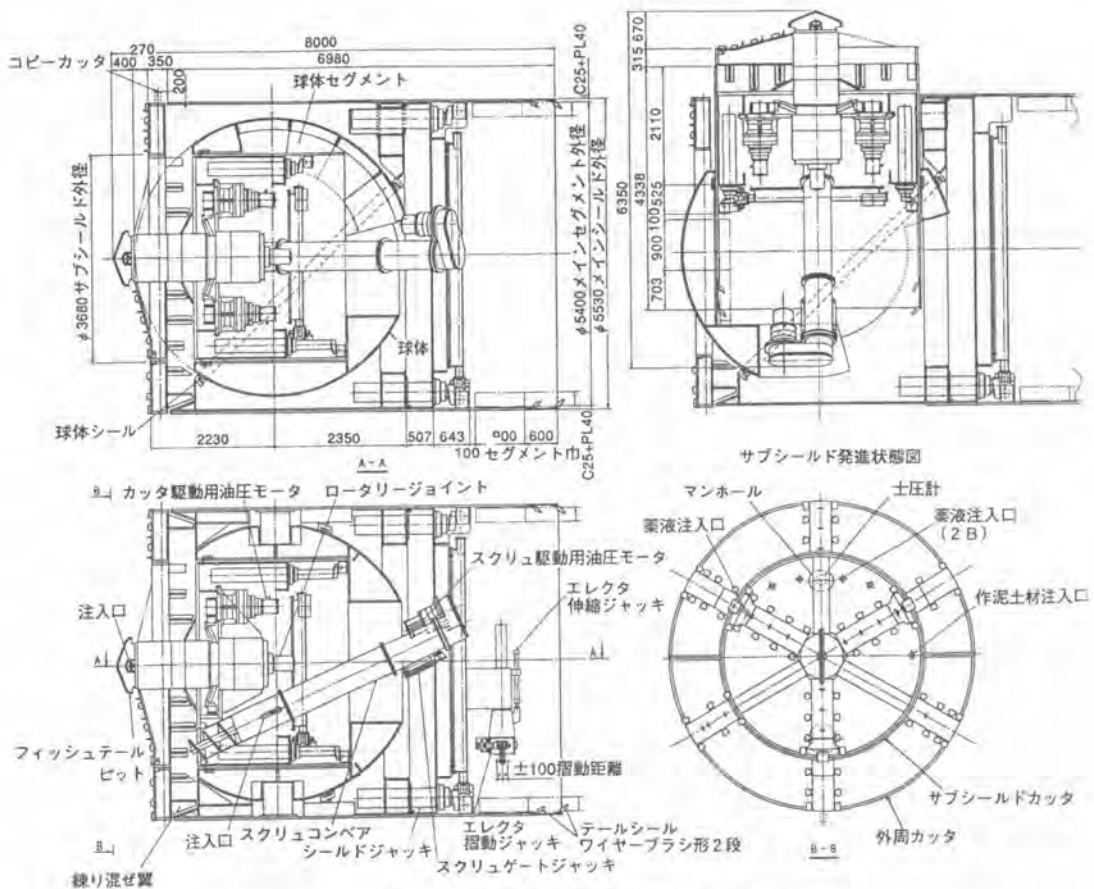


図-1 直角シールド全体組み立て図

のフード部が掘削土の取込みに支障とならないように、メインシールドのチャンバを確保してスキンプレートを組み込んでいる。カッタの駆動はサブシールドで行う。メインシールド外径を掘削するために、サブシールドのカッタの外側に円環状の外周カッタをピンにて脱着可能に設ける。装備カッタトルク185.8t・m、掘削形式としては土圧式である。排土はスクリュコンベアにて行う。スクリュコンベアは、回転時に短縮できるように3分割の構造とした。また、外周カッタの攪拌翼は球体回転時に支障とならないよう配置した。

施工手順は、メインシールドが所定の位置まで掘進後、スクリュコンベアを縮小する。次に外周カッタを切放し、サブシールドを球体の内部に引き込む。この時、体積変化により切羽が崩壊しないように、切羽に削泥材を注入する。続いて球体を90度回転する。球体の回転は油圧ジャッキにて行う。引き続き、サブシールドをテールプレート長さ分掘進し、テールを継ぎ足し整備する。

サブシールドの発進は従来のシールドの立坑からの発進と同様に行われるが、発進坑口部の地盤改良が不要なこと、鏡開け作業が不要であることが特徴である。メインシールド、外周カッタはその場に置き去られる。なお「直角シールド」は、土質条件により泥水式または土圧式が選択可能である。

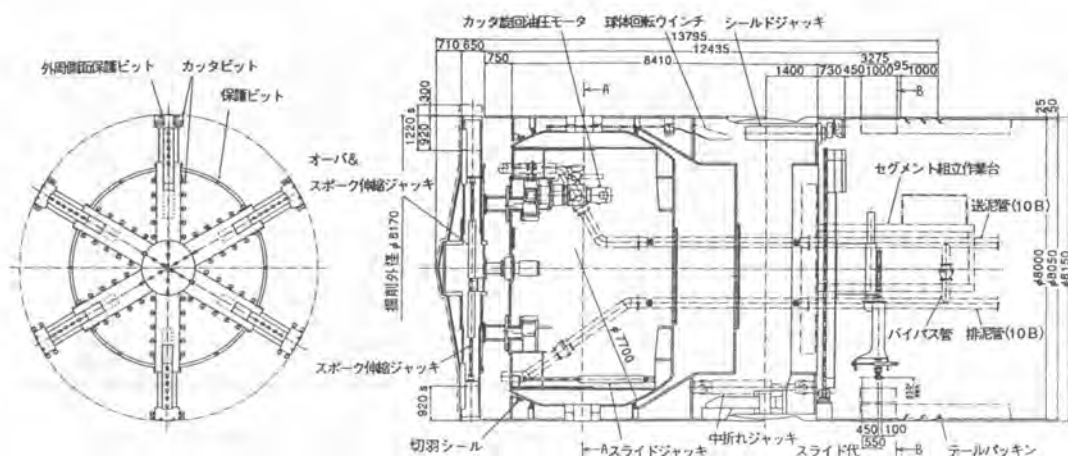


図-2 ビット交換用シールド全体組み立て図

3. ビット交換用シールド

計画的にビット交換のための中間立坑を設けた場合を除くと、従来のビット交換は切羽の地盤改良した地山の中で行うという不安全な作業であった。掘進途中でビット交換の必要性が生じた場合、その時点から地盤改良するには、掘進工程が大幅に送れることは必至である。このような状況の中で遠隔操作によるビット交換技術が提案され始めたが、これらの方法と比較して、本シールドはトンネル内という安全な作業空間内で、直接目で確かめながら、ビット交換を摩耗状況に応じて選択的に行えるという利点を有する。また、母材に対しても硬化肉盛溶接等による修理が可能である。

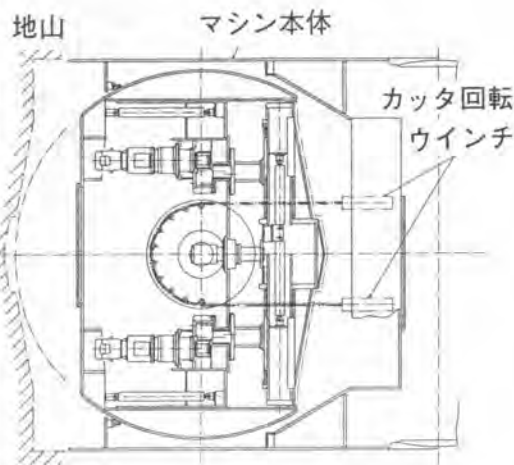


図-3 球体回転機構

3.1 シールド構造

全体組み立て状況を図-2に示す。シールドの内部に球体を有し、上下の軸で支持する。

カッタは伸縮スポーク方式とした。伸縮スポークのピストン部にビットが配置され、シリンダ部には収納のための溝が切られている。カッタ装置として外周カッタ方式が採れない理由は、「直角シールド」の球体回転は1回であり、二度と外周カッタを利用してメインシールドが掘進することなく、縮径したサブシールドだけが掘進するためである。「ビット交換用シールド」は、メインシールドに当たるシールドが球体回転によるビット交換後、もとの径で掘進を続ける必要がある。球体回転も数回の作業となるため、ピニオン・ラック方式またはワイヤによる引張り方式(図-3)にて行う。

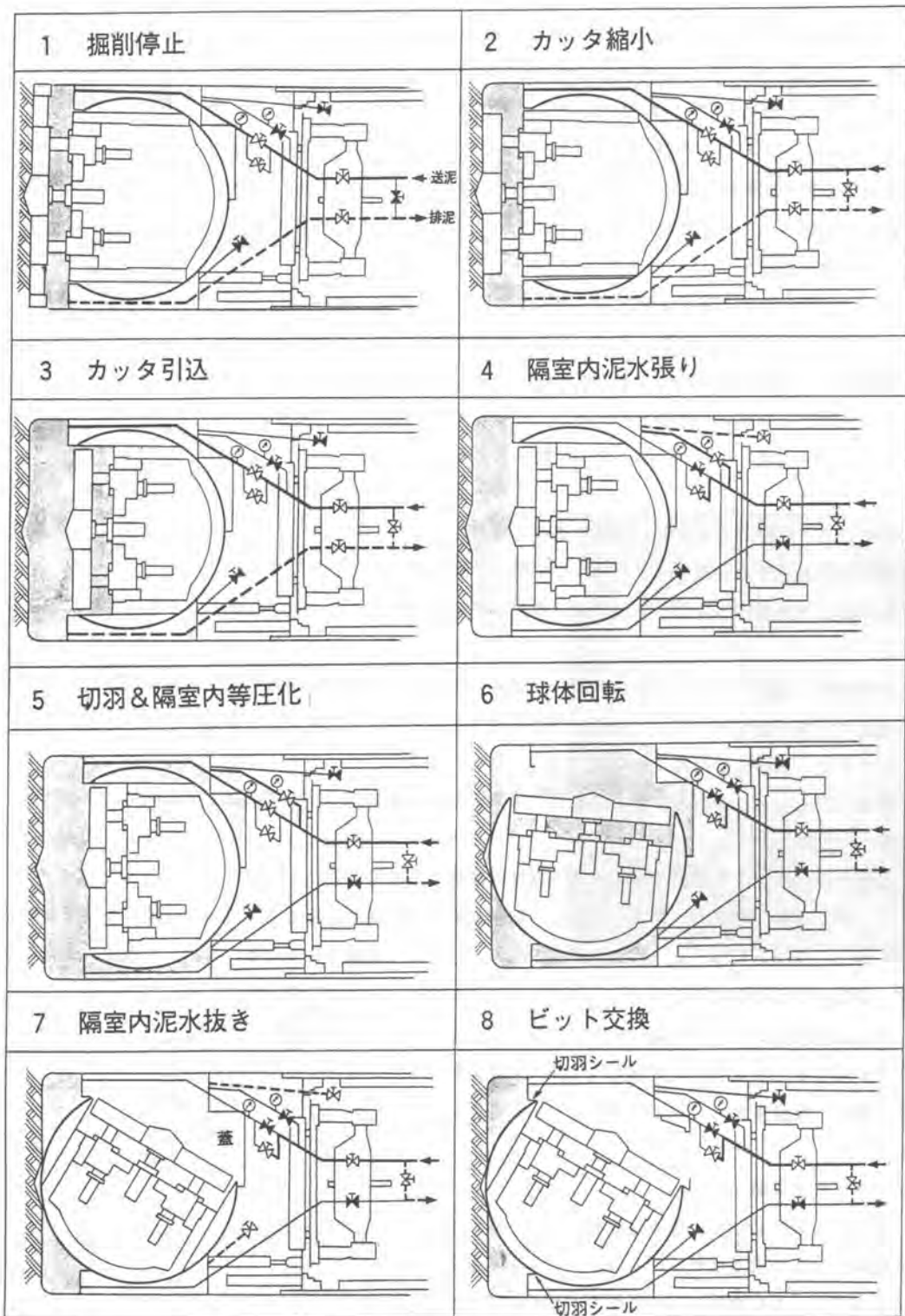


図-4 ビット交換手順図

図-2は球体を180度回転した状態でビット交換するタイプであり、ビット交換を行う作業空間（以下隔室と呼ぶ）を球体後方に有する。隔室とトンネル間および球体と隔室間の壁には蓋を設置する。また、球体とシールド本体とは隔壁部のシールによって止水する。

図-2はシールドの分類では泥水式であるが、土圧式でも可能である。ただし、スクリーコンベアを球体の中に配置するため、外径 ϕ 5m以上のシールドに限られる。これに対して泥水式の場合、土質によるが、カッタの伸縮量から ϕ 3m以上のシールドに適応可能である。

3. 2 施工手順

ビット交換のための施工手順を図-4に示す。図は球体を120度回転することにより交換作業を行うタイプで、上から見た状態を表す。以下、図面の番号に従って説明する。

- ①掘削停止：摩耗等によりビット交換の必要が生じた場合、掘削を停止する。
- ②カッタ縮小：スポーク伸縮ジャッキによりカッタ径を縮める。この時、カッタ体積が減少することにより切羽が崩壊しないように、切羽に泥水を送る。
- ③カッタ収納：カッタスライドジャッキによりカッタ全体を球体の内部に引き込む。②同様、泥水を切羽に送る。配管等はずし、球体に蓋をする。
- ④隔室内泥水張り：排泥ラインのバルブを閉じ、隔室内に泥水を注入する。
- ⑤切羽および隔室内等圧化：送泥ラインのバルブを開けることで、切羽と隔室内を連通させ、等圧にする。
- ⑥球体回転：送泥ラインのバルブを閉じ、球体を回転する。回転開始直後にシールがはずれ、切羽と隔室間の泥水が混じり合う。この時、切羽圧が下がらないように泥水圧を管理する。さらに、球体がシールを塞ぐ状態まで回転を行う。
- ⑦隔室内泥水抜き：各室内の泥水を抜き、マンホールの蓋を開ける。清水にて隔室内の洗浄を行う。
- ⑧ビット交換：

足場を設けビットを交換する。カッタ母材の修理も可能である。

ビット交換後、隔室内に泥水を注入し、切羽と隔室内の泥水を連通させてから、逆の手順で元の状態に戻し、掘進を開始する。作業が容易であり、短時間で交換可能である。また、交換場所を選ばず、深度による影響も少ない。

以上は泥水式シールドの場合の手順であるが、土圧式の場合もチャンバおよび隔室内に注入できる配管を設け、高濃度泥水で泥土を置換して回転作業を行う。

3. 3 止水実験

本シールドにおいて、最も重要なポイントの一つに切羽シールの確実性があげられる。シールド掘進時およびビット交換時に止水性が要求されるばかりでなく、回転時の耐久性も要求される。シール形状

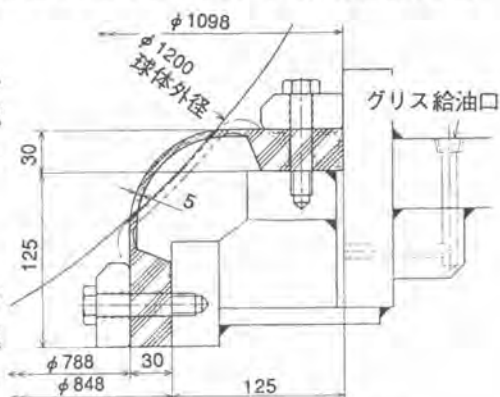


図-5 切羽シール形状

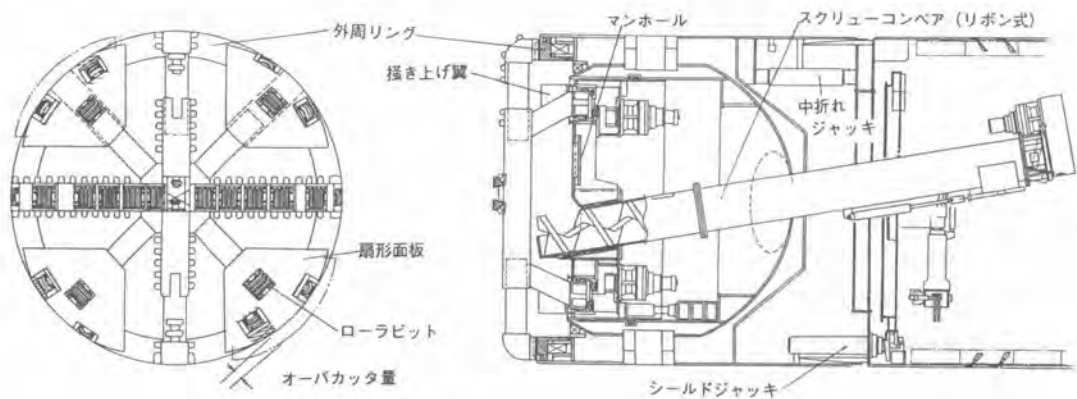


図-6 大礫対応型ビット交換用シールド

としてはインフレートタイプ（図-5），材質としてはウレタンを選定し，写真-3に示す実験装置で，水圧10kg/cm²における止水性と，回転による耐久性を確認した。

3. 4 大礫対応型シールド

ビット交換回数予測は経験に頼らざるを得ない。実験の結果および経験からすると，シルト，砂と比較して礫が混じることによるビットの摩耗および欠落は急激に多くなるといわれている。予想される大礫地盤での対策を図-6に示す。大礫混じりの地盤において，礫を破碎する目的でローラカッタの装備は必要となる。しかし，伸縮型のスポークカッタにはローラカッタを配置することは困難であり，装備できたとしてもスポークタイプのカッタでは構造的に弱い。このため，



写真-3 止水実験装置

スポーク端部に扇型の面板を取り付け，ローラカッタを装備可能な形状にした。また，スポーク端部をリングで結合することで，強固な構造とした。リングはシールド本体側より回転可能に支持され，リングに設けられた溝に伸長したスポーク背面がはまり込む構造である。全体として，ドーム型のカッタ形状を呈する。

4. おわりに

より深く，より長く，より大きくなる傾向にある地下開発の分野において，球体シールドを利用することで，従来にないシールドの可能性が展開することと思われる。すでに実績のあるものもあり，今後のシールド工事の計画に役に立てば幸である。

34. シールド工事における掘削排土量管理システム

大成建設(株)：三神 克己

1. はじめに

近年、地下鉄、上下水道、ガス、通信設備等公共施設工事を交通量の多い都市部で行う場合、施工上の制約に対処するため、従来の開削工法に変わってシールド工法が多く採用されている。シールド工事における掘削排土量の管理は周辺地盤への影響から非常に重要な要素である。

従来、泥土圧式シールド工法において掘削土排出方法にスクリュウコンベアーとズリトロを用いる場合の排土量計測は、

〈体積〉①. スクリューコンベアーの回転数による積算

〈体積〉②. 排土ポンプのストローク数カウント

〈重量〉③. レールスケールなどによるズリトロ計重

〈重量〉④. 1リング分のホッパー計重

等がある。

この中で、①は精度に難点があり、②は充填率等判断が難しい。また③、④は重量管理になるので、地山の実掘削量との対処づけに熟練を要する。そこで超音波を利用して、ズリトロ上の実際の土量を直接計測し、よりの確な掘進管理を実現した。

2. 計測システム概要

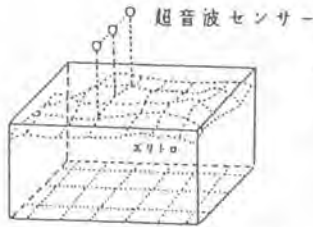
ズリトロ走行路上、横断方向に複数個の超音波センサーを下向きに取付け、ズリトロが切羽に向かって入構する際に空車の底板の高さを測定しておく。次に実車で出構する際の高さを計測し、空車時との差を計算してズリトロ長さ分だけ積分する。(図-1)

3. システム構成

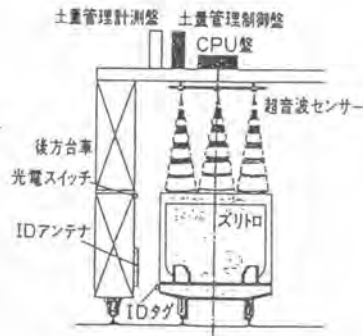
システムは(図-2)に示す様に、ズリトロ高さを計測する超音波センサー、個々のズリトロを識別するIDタグ、タグからの信号を受信するアンテナ、ズリトロの進行方向及び計測時期を特定する光電スイッチ等が後方台車側面に取付けられており、また各センサーからの信号を処理する計測盤、処理した信号を土量に換算するCPU盤、システム全体を制御する制御盤等が後方台車上部に設置されている。

4. 全体システム構成

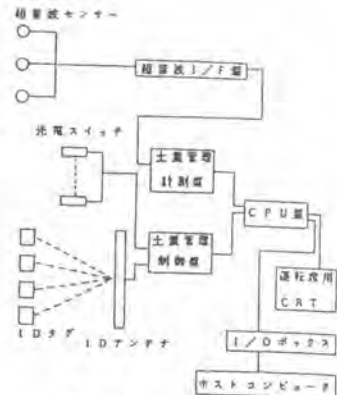
システム全体の構成を(図-3)に示す。計測されたデータは、運転席の液晶CRT、及び別途設置されたホストコンピュータにRS-232C形式で出力される。



(図-1 断面測定模式図)



(図-2 システム配置図)



(図-3 システム構成図)

5. 計測要領

(図-4 計測順序図) にて実際の計測要領を順を追って説明する。

①、ズリトロが切羽に向かって入構。

※ 空車時の体積計測

②、ズリトロが掘削土を積載して出構開始

※ IDタグからの信号によりズリトロの特定を行う

③ズリトロが光電スイッチを1, 2, 3, 4の順に切る。

※ ズリトロの確認

④光電スイッチ1, 2, 3, 4, 5を切る。

※ シーケンサからのCPUへ計測開始の信号をそれがズリトロNo.1である信号とともに送る。同時にシーケンサも光電スイッチが5まで切られたことを記憶する。

⑤光電スイッチ1, 2, 3, 4, 5, 6を切る。

※ シーケンサからCPUに一回目の計測信号が送られ、同時にシーケンサも光電スイッチが6まで切られたことを記憶する。

⑥同様に1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9を切る。

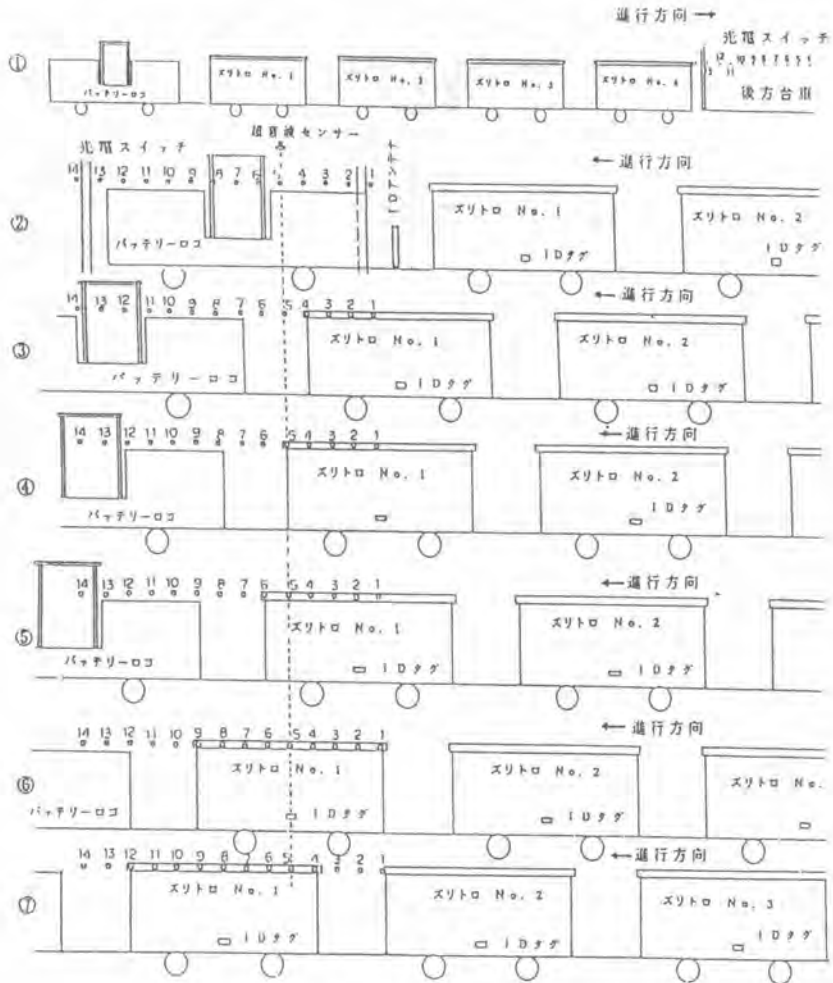
※ シーケンサからCPUに五回目の計測信号が送られ、同時にシーケンサも光電スイッチが9まで切られたことを記憶する。

⑦4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12を切る。

※ シーケンサからCPUに七回目の最後の計測信号が送られ、一両目の計測終了を判断し、土量に換算して運転席のCRTに表示する、と同時にシステムをリセットし、二両目の計測に備える。

以下同様の動作を繰り返し編成分の計測が完了し、ズリトロがシステムを通り抜けた時点で待機状態となる。当システムにおいては光電スイッチのON/OFF状態がシーケンサ内部に記憶されており、計測中のズリトロがセンサー下部で前後動作を繰り返しても二重に計測する事はない。

さらにシステム全体の動作はシールドマシンの動作と連動しており、マシン待機中(セグメント組立中)または、作業終了後に何らかの事情でズリトロが入出構を繰り返しても計測が行われることはない。



(図-4 計測順序図)

* 今回の実用化における計測は、スリット表面を横方向に7つの断面に分けて土量を計算している。つまりスリットが光電スイッチを7回切ることによって一両の計測が完了となる。上図において、実際の計測は光電スイッチ5～1が切られた時に行われる。1, 2, 3, 4はスリットの出構及びスリットを、システムを通過する他の物との識別の目的に、また12, 13, 14はスリットの入構及び計測の終了を判断する目的につかわれている。

6. 土量計算方法

土量の計算は、スリットが等間隔に配置された光電スイッチを切ることによって表面を等間隔に分割し、それぞれの升目の高さを超音波センサーで測定して個々の体積を計算し、それらを合計して求める。ただし、実際の計測に当たっては次の点を考慮している。

† 計測不能領域が存在する：(図-5)のA, B, C, Dは超音波センサーがスリットの縁を検知しないよう

にセンサーの取付位置を内側に寄せているために計測が不能となる部分である。それらの部分については、A, B は横方向の各升目の平均値を、C, D は縦方向の各升目の平均値をそれぞれの高さとしての体積を計算している。このように、計測不能部分が存在するために全体の土量を計算するとき“体積補正率”を乗じて補正が可能となっている。

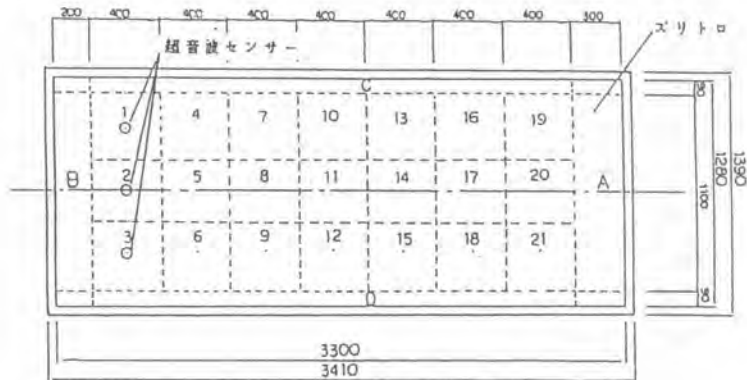


図-5 スリットロ平面図

7. モニター画面表示

計測した土量は(図-6)の形式でマシン運転席の液晶画面に表示される。表示内容は、リング番号、マシンの動作状況に符合したシステムの状況〔待機中〕、〔掘進中〕、〔計測中〕、計測月日、計測時間、各ズリットロごとの搬出量、一編成ごとの合計搬出量、そのリングの合計搬出量、及び、前回との比較のための前3リングの土量等である。また、これらのデータは逐次中央管理室にあるホストコンピュータに送られ、実排土量として表示され(図-7)、マシンから送られてくる理論排土量との比較ができるため、次の掘進の指標とすることができる。

| 掘削土量計測システム 計測リングN0.275〔待機中〕 92/10/06 14:24:29 | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 搬出1回目 | 搬出2回目 | 搬出3回目 |
| N0.1 | 4.115 m ³ | 3.953 m ³ | 4.029 m ³ |
| N0.2 | 4.291 m ³ | 3.946 m ³ | 4.405 m ³ |
| N0.3 | 4.332 m ³ | 4.086 m ³ | 3.284 m ³ |
| N0.4 | 0.000 m ³ | 4.100 m ³ | 0.000 m ³ |
| 搬出合計 | 12.738 m ³ | 16.085 m ³ | 11.718 m ³ |
| 1 リングの総計 | 前 2 リングの総計 | 前 3 リングの総計 | リングの総計 |
| 41.356m ³ | 36.474m ³ | 40.096m ³ | 40.504m ³ |

図-6 モニター画面表示

8. 結果と考察

今回の実用化に当たっては、センサーの精度を確認する目的で様々な形状における試験計測を行い、高精度に計測できることが実証された後に現場に設置した。このシステムで計測した値を実際にスケールを使用して実測した値と比較した結果、ほぼ3%以内の誤差に納まる事が実証できた。

今回実用化したシステムのメリットとしては次のような点が上げられる。

- ・シールドマシン後方台車上に全てのセンサー及び装置がセットされており、盛り替えの必要がない。
- ・全て非接触式のセンサーを使用しているため、掘進作業、セグメント組立作業他あらゆる作業にまったく制約を与えない。
- ・計測結果が運転席ですぐに確認できるので、的確な掘進管理ができる。

等である。

今後、さらに改良を加え精度を上げることによって、このシステムからのデータをシールドマシン本体にフィードバックすることにより、掘進の自動化に寄与できるとともに、シールド工事以外の土量計測にも応用できると考える。

35. セグメントボルト増し締めロボットの開発

(株)大林組：風間 慶三・*富岡 彰
日立造船(株)：布村 進

1. はじめに

近年わが国では、都市部における利用空間が地上から地下へと進み都市トンネルの代表的工法であるシールド工法は、急速に進歩した。さらに、社会環境の変化や経済性等の面から、大口径化、長距離化への要求が高まってきた。

そのため、危険作業の回避、作業環境や労働条件の改善等が強く要求され、作業の効率化、省力化、安全性の向上をはかる為、施工の自動化・高度化が急速に進められている。掘削作業では自動化が定着し、セグメント組立等の覆工作業での自動化の開発も活発に進められているが、これら以外の付帯作業では実用的にまだ未完成の領域のものが多い。これは、作業が煩雑であるため自動化することが困難であることが大きな要因と考えられる。しかし、シールドトンネルの大口径化に伴いこれらの作業は危険性を増すため、その自動化は急務である。

この様な背景において著者らは、これらの付帯作業を自動化するため大型重量物ハンドリングマニピュレータを共通要素として開発し、セグメントボルト増し締め作業の自動化に適用した。

本論文は、外径11.3mのシールド工事のセグメントボルト増し締めロボットの開発を中心に報告を行う。

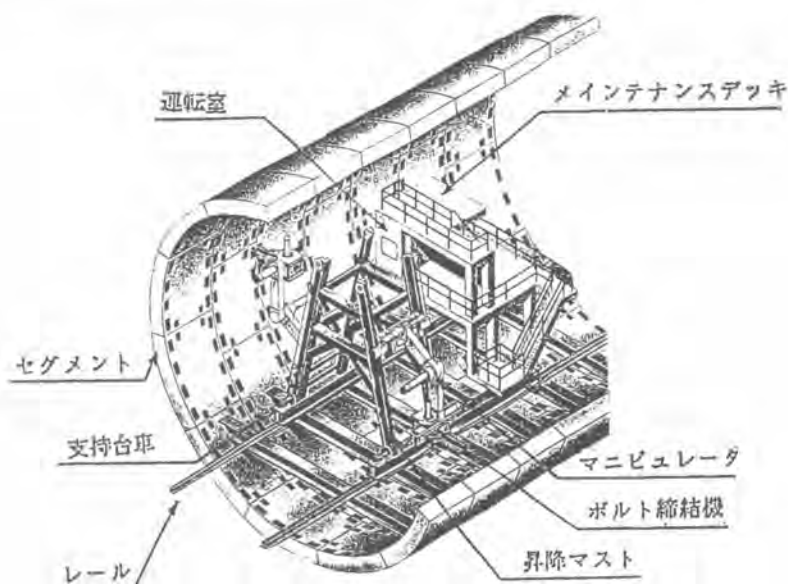


図-1 セグメントボルト増し締めロボット

2、セグメントボルト増し締めロボットの概要

本ロボットの開発にあたっては、締結機の自重および締結反力を支持し高精度に位置決めできるマニピュレータと、ボルトを検出し正確に位置決めするセンシングシステムがポイントであり、様々な要素実験を行い、その結果を実機の製作・設計にフィードバックしている。以下にロボットの構造とシステムについて述べる。

2-1 ロボットの構造

図-1は、セグメントボルト増し締めロボットの全体構造を示したものである。トンネル坑内に敷設されたレール上を移動する、自走式支持台車の両側に、2台の大型マニピュレータを配置している。各マニピュレータの先端には、ボルトナット締結機を装備している。先端に設けたセンサーにより、ボルトを認識し、増し締めを行うロボットである。すなわち、ボルトナットの検出から位置決め、ボルトナットの増し締めまでの工程を自動化したものである。

支持台車はトンネル坑内の軌上を自走でき、本ロボットのベースフレームとなるものである。シールドマシンの後方台車から独立しているため、掘削作業に影響を与えることなく進捗に応じて作業できる。支持台車の両側には、マニピュレータを上下に昇降させる昇降マストを設置している。これにより2台で全てのボルトナットの増し締めが可能であるが、作業性からここでは枕木より上のボルトナットを対象とした。そのほか、運転室とメンテナンスデッキを備えている。

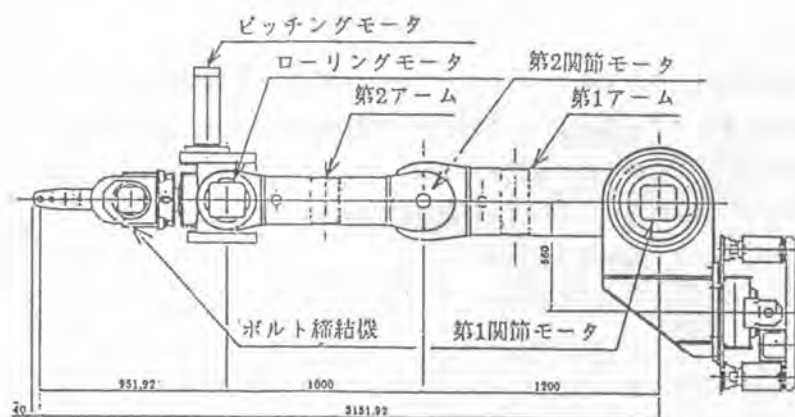


図-2 マニピュレータ

図-2に本ロボットの核をなすマニピュレータを示す。6関節6自由度を有するマニピュレータで、重量物をハンドリング出来るよう各関節には高トルクサーボモータを配置している。特に最もトルクが要求される第1関節の駆動には、2台のサーボモータによる同期運転を採用している。

実機実験では、重量物マニピュレータにもかかわらず、位置決め繰り返し精度が $\pm 0.1\text{mm}$ 以内と高精度な特性を有するとともに、最大許容可搬重量も970kgfと設計仕様を満足することを確認した。また、動特性においても、アームの速度パターンを適正に制御する事により、アーム先端の残留振動を小さく

抑え、重量ハンドリング用として良好な特性を有することも確認できた。

マンピュレータの先端には、ボルトを把持するグリッパとナットを回転するナットランナを一対にしたボルトナット締結機と、ボルトの位置を検出するセンサーを装備している。ナットランナーのソケットには、ボルト・ナットを傷つけない形状の六角ソケットを採用した。

2-2 制御システム

図-3に制御機器構成図を示す。プログラマブルコントローラ（PLC）と、アクチュエータ制御のモーションコントローラ、およびセンサー等を通信回線で結んでいる。

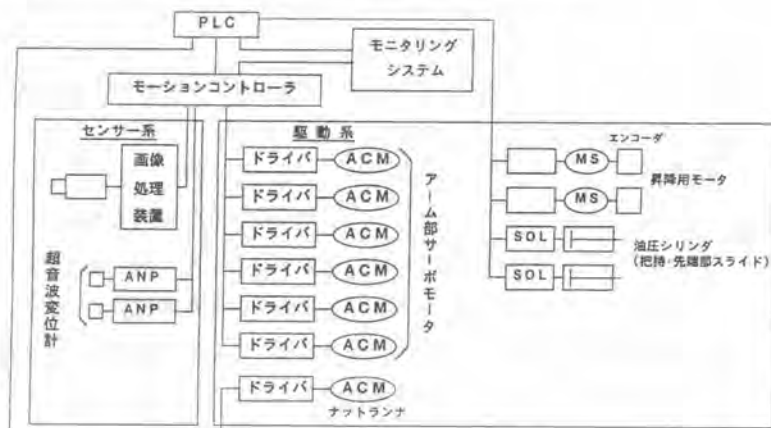


図-3 制御機器構成図

締結機の位置決めは、次の手順で行われる。①数値制御により、締結機先端に取り付けたテレビカメラの画像にボルトボックスが捕らえられる位置まで粗位置決めを行う。②画像処理によりボルトボックス中心位置を演算し、締結機をその位置まで移動しボルトボックスに挿入する。③締結機先端に取り付けた超音波センサーによりボルトボックス内壁までの距離を計測し、ボルト孔のセンターとの相対位置を演算する。そのセンターに対して締結機を精位置決めし、グリッパでボルトを把持する。

なおここで、ボルトとボルト孔のセンターは最大3mm ずれている可能性があるため、ボルト孔のセンターに対して位置決めされた締結機を最終的にボルトセンターに合わせる必要がある。ボルトチャッカは、ボルトセンターが数mmずれていても把持できる機構となっており、把持時にマンピュレータの第2、第3関節の保持トルクを低くすることで、ボルトのセンターに締結機及び

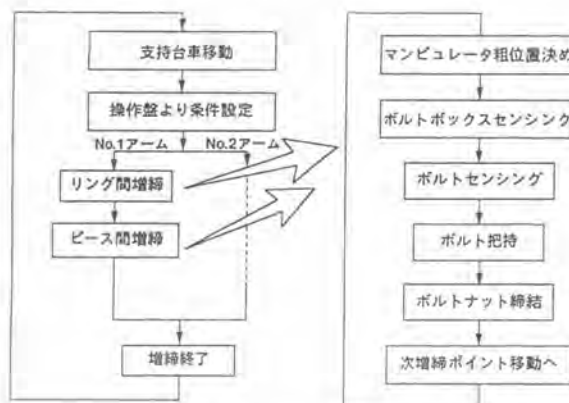


図-4 増し締め運転フロー図

アームを動かせることができる。ナットランナーはボルトチャッカと同軸に位置するので、ナットランナーとボルト位置の芯合わせも同時に行われる。その後、アーム部関節の保持トルクを回復させ増し締め作業を行う。図-4は、セグメントボルト増し締めの運転フローを示したものである。

3、ロボットの实機テスト

実工事に適用する前に、機器の調整やソフトウェアの検証等の目的で、工場にて実際のセグメントを用いて、増し締めテストを行った。写真-1に実機テスト状況を示す。

RCセグメントでは、枕木より上にあるリング間ボルト35本、ピース間ボルト42本の増し締りを、1本あたり約60秒、1リングあたり50分程度で行えることを実証できた。また、ボルトボックス内部の空間が極めて限定されており、締結機の先端が内面に接触しないよう様々な挿入・把持パターンを検討、実施したが、最終的に、所定のトルクで確実に増し締めを行えるシステムを確立することができた。ダクタイルセグメントでも実機テストを行い、良好な成果を得た。本年12月に現地へ搬入し稼働を開始する予定である。

4、おわりに

汎用性のある大型高精度マニピュレータを開発し、セグメントボルト増し締めロボットに適用した例を紹介した。シールド工事のみならず建設現場での自動化、省力化への取り組みは今後とも重要であり、汎用性のあるロボットが有効だと考える。今後我々は各種アタッチメントの開発を進め、枕木やレールの敷設、建築工事の間仕切り壁の立て込みなど、広範な作業への適用を目指していく方針である。

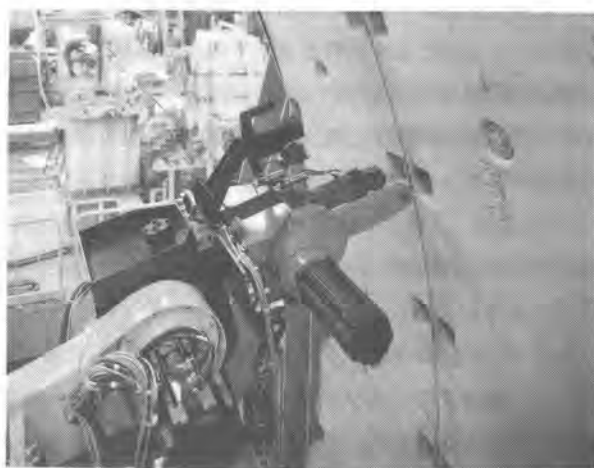


写真-1 実機テスト状況

36. 推進工法における立坑内作業自動化システムの開発

(株)奥村組：*畑山 栄一・杉本 博史

1. はじめに

近年、建設業においては、生産性の向上、作業環境の改善、熟練作業者の高齢化、労働者不足などへの対応から、自動化・ロボット化の技術開発が数多く行われている。都市トンネルの施工法である推進工法では、トンネル坑内の測量、掘進制御、方向制御の自動化はかなり進んでいるが、立坑内の作業については人手に頼っているのが現状である。

今回、この立坑内の作業であるヒューム管の搬入・接続作業を自動化するシステムを開発し、現場に適用した。ここではシステムの概要と現場での適用結果について述べる。

2. 開発目的

推進工法はシールド機で地山を掘削しながら、立坑内に設置した元押し装置でヒューム管を推進する工法である。ヒューム管1本の推進を終了すると、新たに接続するヒューム管を立坑内に搬入し、すでに推進したヒューム管（既設管）と接続する作業が必要になる。現状では、地上に1名、立坑内に2名、元押し装置に1名、計4名の作業者を配置し、互いに連携しながら作業を行っている。地上の作業者がクレーンでヒューム管を立坑下部まで吊り下ろし、立坑内の作業者がヒューム管の振れを止めて既設管との位置合わせを行い、元押し装置で既設管に接続する。立坑内の作業スペースが非常に狭く、安全性や作業能率の向上と省人化が課題になっている。そこで、これらの課題の解決を図ることを目的に自動化システムの開発を行った。

3. システムの概要

(1) 全体システム

システムの概要を図-1に、主な仕様を表-1に示す。立坑内の据付装置でヒューム管の管芯位置を検出し、接続するヒューム管のための位置決めを行った後、搬入装置により地上からヒューム管を据付装置まで搬入し、元押し装置で接続する。地上のヒューム管の玉掛け作業を除いて、一連の作業をオペレータの監視のもとに、すべて自動で行うことができる。

開発にあたっては以下の項目を考慮した。

- ①日本下水道協会の標準寸法の立坑に設置できる
- ②ヒューム管の適用管径は900～1500mmとする
- ③装置の取り扱いが容易で、熟練を要しない
- ④手動運転もできる
- ⑤装置の設置、撤去が簡単である

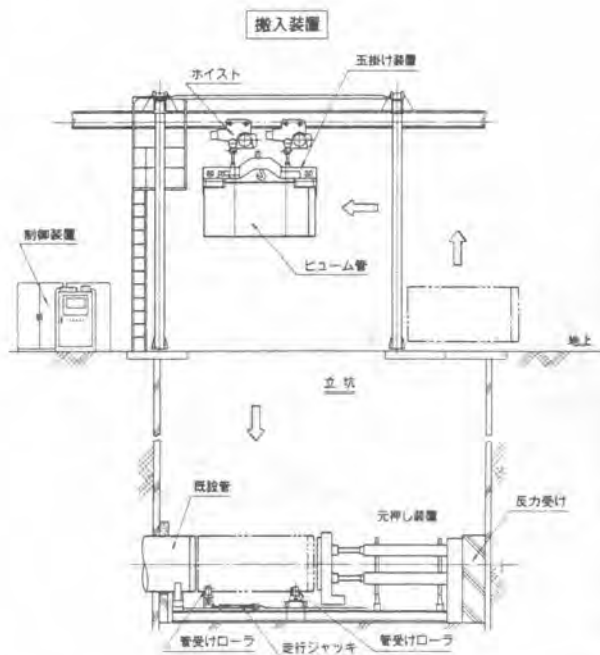


図-1 立坑内作業自動化システム

表-1 仕様

| 項目 | 性能・仕様 | |
|------|--------|------------------|
| 搬入装置 | 形式 | インバータ駆動ホイスト式 |
| | 定格荷重 | 4.35 tf |
| | 走行速度 | 2.5 / 25 m/min |
| | 巻上速度 | 1.7 / 10 m/min |
| | 揚程 | 12 m |
| | 適用管径 | 内径1500mm以下 |
| | 操作方式 | 遠隔操作及び自動運転 |
| | 精度 | ±20mm |
| 据付装置 | 電動機 | 4.9kw×2, 0.6kw×2 |
| | 形式 | 油圧シリンダ式 |
| | 適用管径 | 内径1500mm以下 |
| | 操作方式 | 遠隔操作及び自動運転 |
| | 精度 | ±1.0mm |
| | 油圧ユニット | 2.2 kw |

(2) 搬入装置

a. 機構

搬入装置は、推進方向と同方向に走行する2台のホイストと玉掛け装置で構成される。玉掛け装置にはビューム管を吊る2本の繊維ベルトを取り付けている。取り付けは図-2に示すように繊維ベルト両端の吊り輪にピンを通して行う。一方のピンはネジで固定され、他方のピンは電動シリンダで伸縮する。電動シリンダを操作し、玉掛けに必要な繊維ベルトの取り付け、取り外しができる。電動シリンダは玉掛け装置に設けた押しボタンと無線の両方で操作が可能で、地上でビューム管を吊るときの玉掛け作業はオペレータが押しボタンを操作して行い、立坑内の据付装置上では無線操作で自動的に繊維ベルトを外す。外された繊維ベルトは巻取装置で自動的に巻き取られる。なお、ビューム管搬入中に電動シリンダが誤動作して繊維ベルトが外れるのを防止するため、安全対策として機械的にピンをロックする機構を設けている。ビューム管を吊り上げると、玉掛け装置の吊り金具のシャフトが持ち上がり、これに連動してロックアームがピンを固定する。

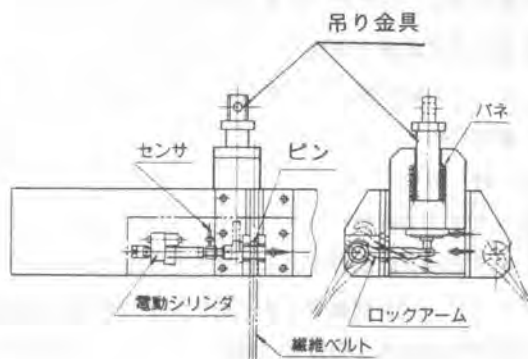


図-2 玉掛け装置詳細

b. 制御方法

立坑内の限られた狭い場所にヒューム管を搬入する必要があるため、自動化を図るには荷振れ防止と高精度の位置決め機能が要求される。

荷振れ防止については、インバータ駆動方式のホイストを2台使い、荷振れが生じないようにホイストの速度制御を行う。位置決めについては、走行位置および巻上げ・巻下げ位置をホイストに内蔵の位置検出センサで検出し、コンピュータにより、立坑の形状に合わせて精度の高い位置決め制御を行う。

(3) 据付装置

a. 機構

据付装置は、既設管側と元押し装置側で、ヒューム管を載せる2組の管受けローラから構成される。管受けローラには図-3、4に示すように管芯を調整する位置決めジャッキを装備している。坑口側の位置決めジャッキには、管受けローラのスライド量を計測するストロークセンサを内蔵している。

b. 制御方法

ヒューム管を接続する場合、推進ごとに既設管の管芯位置が変化するので、既設管の位置を検出し、推進管を既設管の管芯に合うように位置決めする必要がある。本装置では、ヒューム管1本の推進を終えると、坑口側の管受けローラを既設管に押し当て、管芯位置を測定し、記憶する。次に、この管受けローラを既設管を載せる位置まで移動し、位置決めジャッキでローラを調整し、既設管の管芯を再現させる。

元押し装置側では、既設管のように推進ごとに管芯位置が変化しないので、装置を設置するときに元押し装置の管芯位置を測定し、その位置になるようにローラの位置を決める。管芯の位置決めを終えると、ヒューム管を搬入して管受けローラに載せ、元押し装置で既設管のカラーに挿入し、一連の管接続を自動的に行う。

(4) 特徴

本システムの特徴を以下に示す。

- ①インバータ駆動方式のホイストを2台使い、吊り荷を安定した状態で搬入できる
- ②コンピュータ制御で立坑の形状にあわせて正確に搬入できる
- ③既設管の管芯を精度良く検出し、ヒューム管を精度良く据え付けできる
- ④制御装置のモニタ画面で運転状況やトラブルの状況が把握できる
- ⑤モニタ画面との対話方式で、自動運転に必要な初期条件を簡単に入力できる

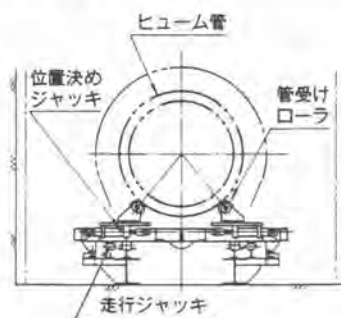


図-3 坑口側管受けローラ

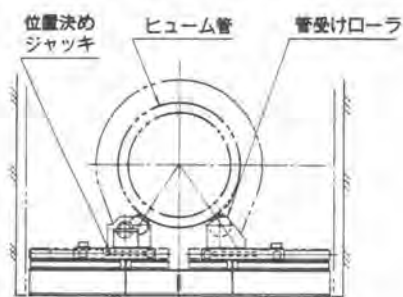


図-4 元押し側管受けローラ

4. 現場への適用

平成5年4月に、茨城県内の泥水推進工法の現場に本システムを適用した（写真-1参照）。その結果、良好な状態でヒューム管の搬入・接続作業ができた。

(1) 工事概要

工事名称：右羽東都市下水道施設整備工事

施工場所：茨城県土浦市大字右羽地内

立坑寸法：長さ6.46m、幅4.46m、深さ6.05m

土被り：2.65m

ヒューム管：内径1200mm

施工延長：71m



写真-1 ヒューム管搬入状況

(2) 性能評価

適用結果からシステムの性能を評価すると以下のようである。

a. 安全性

搬入・接続時の立坑内の人手作業がなくなり、吊り荷との接触や据え付け時の転倒等による作業者の事故を防止することができ、安全性が向上する。

b. 作業能率

現状の方法では、地上でクレーンを操作する作業者と立坑内の作業者が互いに合図しながらヒューム管を正確な位置に導いて据え付ける必要があり、作業能率が低下する恐れがあるが、本システムでは、位置決め機能が高性能で、円滑に搬入・接続ができるため、作業能率の向上が図れる。

c. 省人化

地上の1人のオペレータの監視のもとに、搬入・接続作業をすべて自動で行うことができ、省人化が図れる。

d. 精度と品質

荷振れがほとんどなく、搬入装置の位置決め精度は±20mmである。据付装置の位置決め精度は±1mmで、人手作業でしばしば問題になるヒューム管のバックインのめくれもなく接続でき、施工品質の向上が図れる。

5. あとがき

開発にあたっては、荷振れ防止と据付装置の精度の高い位置決め制御が課題になったが、現場に適用した結果、特に不具合もなく、所期の目標を達成することができた。立坑内の作業をすべて自動化するには、ヒューム管内の配管類やケーブルの接続作業の自動化が必要になり、これらについてもすでに基本計画を終えている。今後は、本システムの現場普及を図り、安全性や作業能率の向上を図って行きたい。最後に、開発に御協力いただいた関係者各位に紙面を借りて厚く謝意を表します。

37. 長尺資材搬送システムおよび セグメントグラブ

清水建設㈱：*佐藤 等・渡辺 健治
菊池 雄一

1. はじめに

従来シールドの現場では、地上から立坑下へのセグメントや資材の搬入作業は玉掛けが用いられていた。しかし、セグメントなどの重量物やパイプ・レールなど長物の搬入作業は非常に危険が多く、作業中は立坑下への注意を要した。また熟練した作業員でなければなかなか困難な作業でもある。従って、安全でかつ簡単な操作でこれらの搬入が可能な装置の開発が望まれていた。

本報告は、長物資材搬送装置（モノローラ）およびセグメントグラブについて述べたものである。

2. モノローラの概要

本装置は、立坑に沿って設けられたガイドレール上を長物資材を搭載した自走式バケット台車が水平・垂直など自在に向きを変えながら速度6m/minで自動走行し、地上から立坑下まで搬送していくシステムである。

本システムは長物資材を搭載する自走バケット台車、自走式バケット台車が走行するガイドレール、段差部分で角度を変える回転レール、自走式バケット台車の暴走や逸走を防止する安全装置、そしてシステム全体をコントロールする操作盤から構成されている。システムの主な仕様を表-1に、モノローラの概要を図-1に示す。モノローラは全自動で運転されるため、安全装置には十分な検討を行った。

モノローラには次に示す様な安全装置がある。

- (1) 安全ピンロック
- (2) 台車落下防止ストッパー1, 2
- (3) 台車逸走防止ストッパー
- (4) 回転灯, 表示灯, リズムホーン

表-1 モノローラの主な仕様

| | |
|--------|--|
| 積載 | (運搬) 荷重 250kg |
| 搬送距離 | 水平58m 垂直29m |
| ガイドレール | 150×75×6 (チャンネル: 18.6kg/m) |
| 寸法 | 7500 L×600W×600 Dmm=2.7m S |
| 自重 | 550kg |
| 走行モータ | (ギヤードモータ) 3.7kw 1/187 |
| 走行速度 | 6 m/min |
| 転倒装置 | 地上, 中間, 下部の3ヶ所 |
| 安全装置 | (地上) ノックピン, 手動ストッパー (中間) ノックピン 台車運転時の警報として 立坑下 (前進時) : 回転灯, 表示灯, リズムホーン (後退時) : 回転灯, 表示灯 ただし, バケット台車 (前進, 後退時) に回転灯, 電子音が動作する。 |

2.1 モノローラ駆動部

モノローラの自走バケット台車は、牽引台車（駆動部）と非牽引台車（バケット部）から構成されており、チャンネル材を対向させたガイドレール上面にチェーン sprocket を用いた動輪が2輪、ガイドレール内側に牽引台車部従輪が4輪、非牽引台車部従輪が4輪それぞれ配置されている。

また、図-1のモノローラの概要図に示す様に、ガイドレールは直線部と曲線部から構成されている。

従って、ガイドレール曲線部でのスムーズな走行を実現するため、牽引台車側の4つの従輪と非牽引台車側の2つの従輪が円弧状の軌跡を描く様な機構を設けてある。図-2に従輪部の詳細を示す。

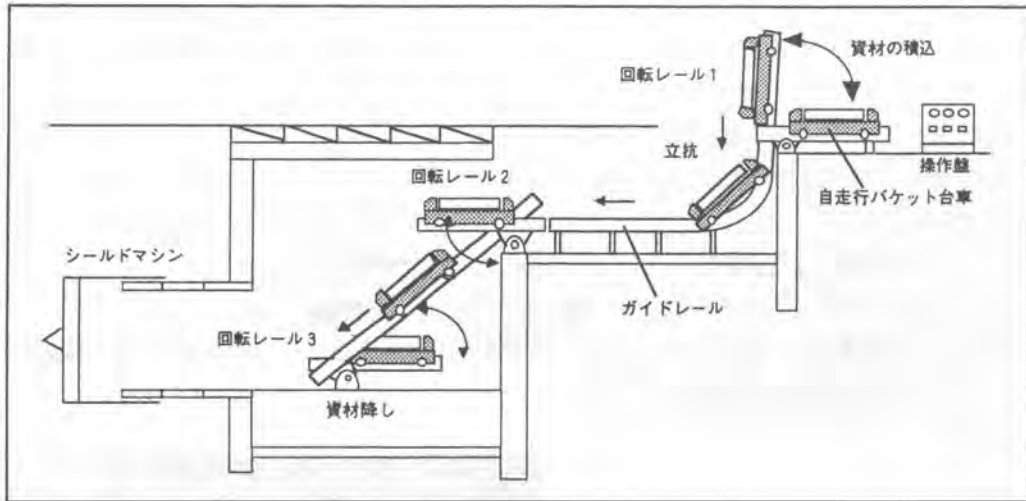


図-1 モノローラの概要図

モノローラ駆動部への給電にはトロリー方式の給電を採用し、更に給電レールもガイドレールと同様の分割を行っている。また、牽引台車に設けた給電部の長さを長くすることにより、回転レール等のレール接続部でもスムーズな給電が可能となっている。

2.2 回転レールの動作

回転レールの駆動には電動チェーンブロックを使用し上昇／下降を行っている。各回転レールの上昇限／下降限にはLSを設置し、更に機械的ストッパーを設けて接続部の段差が発生しない構造としてある。回転レール1は通常立てた状態を保持しているため、回転中心付近に安全ピンを設けてあり、この安全ピンが挿入されていないと自動運転が出来ないシーケンスとなっている。

2.3 モノローラの動作

モノローラが自動モードで動作を行う様子を図-1を用いて順に説明する。

(1) モノローラへの資材積込

モノローラの初期状態は、回転レール1上に自走台車があり、かつ回転レールを立てた状態である

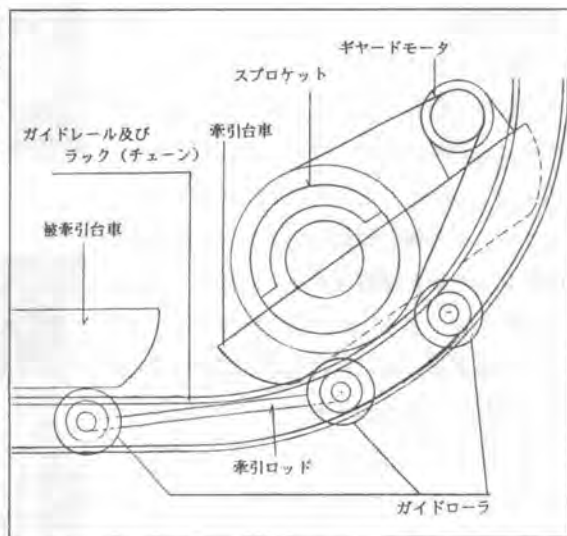


図-2 従輪部詳細図

。まず、操作盤から回転レールの下降スイッチを押し、回転レール1を水平に倒し資材を台車に載せる。資材の積込が終了後、操作盤から回転レール1の上昇スイッチを押し、回転レールを再び上昇させる。これら一連の操作は手動操作のみ可能としている。地上部の状況を写真-1に示す。

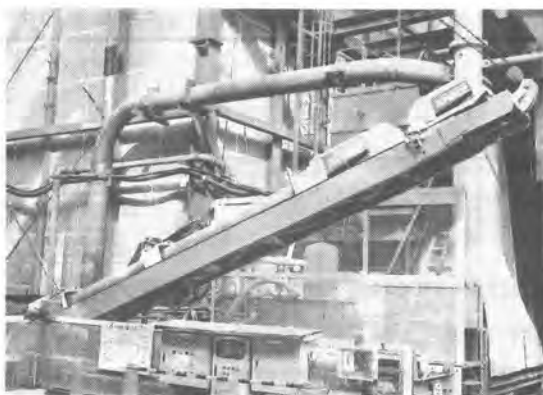


写真-1 地上部の状況

(2) 自走台車の前進（下降）動作

システムが自動運転モードであることを確認したのち、操作盤からリセットスイッチを押し、システム全体を初期状態にする。これは、各回転レールおよび安全装置が自走台車の前進に支障が無いことを確認する為の操作である。次に、台車前進スイッチを押すことにより、台車落下防止ストッパー1が下降し自走台車は立坑下に向かって前進（下降動作）を始める。（以後、回転レール3に到着するまで自動運転となる）



写真-2 回転レール2の下降状況

(3) 回転レール2の動作

自走台車が回転レール2に到着すると、自走台車は一時停止状態となる。そして台車落下防止ストッパー2を上昇させ自走台車をロックする。その後、回転レール2が下降を始め回転レール3と接続される。回転レール同士の間が接続が完了すると台車落下防止ストッパー2を下降させ、再び自走台車は前進を開始する。回転レール2が下降している状況を写真-2に示す。



写真-3 立坑の最下部の状況

(4) 回転レール3の下降と資材降ろし

自走台車が回転レール3に到着すると前進動作を終了して停止する。そして回転レール3は自動的に下降を始め、下降が完了した段階で資材の積み降ろしを行う。立坑最下部の状況を写真-3に示す。

(5) 自走台車の後退（上昇）動作

自走台車からの資材の積み降ろしが完了すると、地上の操作盤から台車後退スイッチを押すことに

より、自走台車は前進の時とは逆の手順で後退（上昇動作）を行い、回転レール1まで戻り、ロック装置により固定される。

2.4 制御装置および安全装置

本システムの制御には手動および自動運転の2つのモードが設けられている。手動運転は回転レール1の操作が主で、その他はメンテナンス用の位置づけとして設けてある。自動運転のモードでは、自走台車の運転/停止、回転レール2および3の制御を行っている。回転レール2および3は、自走台車の運転状況に合わせて上昇/下降を自動的に行うシーケンスとなっている。また、地上に設けられている操作盤には自走台車の運転状況、各回転レールの動作状況がモニターできる表示器が設けられており、全体の制御はPLCで行っている。写真-4に操作盤部を示す。本システムには、前述した各種安全装置が設けられているが、それらの中で重要な役割を果たすのが台車逸走防止ストッパーである。本システムは地上部にはほぼ垂直に立てられた回転レール1から自走台車が発進する。従って、台車の駆動装置関係に何らかの異常が発生し暴走状態になった場合高速で前進（下降動作）する可能性がある。従って、このような状態が発生した場合に確実に自走台車を停止させる目的で台車逸走防止ストッパーを設けている。



写真-4 操作盤部

通常、台車逸走防止ストッパーは出た状態を保持している。ガイドレールに設けられている光電センサー1、2により自走台車の走行速度を検出し、所定速度以内で走行の場合、台車逸走防止ストッパーを下降させ自走台車を通過させる。もし速度異常を検出した場合、ストッパーが出たままの状態となり、ストッパーにより自走台車を停止させる。この動作は自走台車が前進・後退の何れの状態でも作動する方式としている。

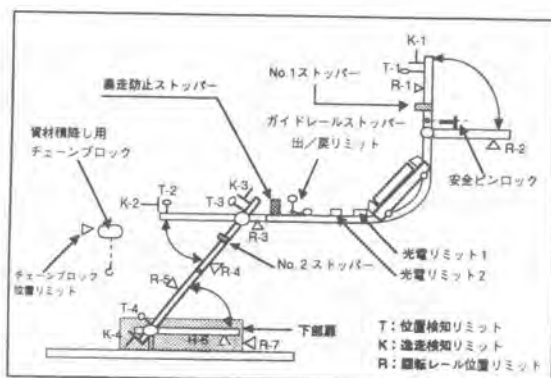


図-3 安全装置配置図

3. セグメントグラブの概要

本装置は、リンク機構により開閉する把持アームによりセグメントを把持し、立坑に設けられた専用ガイドに沿ってクレーンで降ろすことにより所定位置へセグメントの荷降ろしが出来る装置である。本装置によるセグメントの把持から立坑下の入庫台車への搭載作業は、地上にいる作業員1人で行うこと

が可能である。表-2にセグメントグラブの仕様を示す。セグメントグラブの吊り中心には吊りリングを取りつけた所定ストローク上下動するシャフトが設けられており、このシャフト部をクレーンで吊ることによりシャフトが上昇し、リンク機構により把持アームが閉じる動作を行う。把持アームを開く場合、受け足部がセグメントに接地するまでセグメントグラブをクレーンにより下降させ、セグメントグラブの荷重をセグメントに預ける。更にクレーンを下降させると前述のシャフト部が下降すると共に把持アームが開き、同時にロックピンがシャフトに自動的に挿入され把持アームがロックされる。この様に、セグメントグラブは自重を利用し把持アームを開閉させる機構を取り入れているため一切の動力を必要としていない。図-4にセグメントグラブの概要を示す。

| | | | |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| R C セ グ メ ン ト | 外 径 | φ3,800 mm | φ8,900 mm |
| | 厚 さ | 150 mm | 550 mm |
| | 幅 | 1,000 mm | 1,200 mm |
| | 長さ(最大) | 2,150 mm | 3,737 mm |
| | 重量(最大) | 846 kg | 6,250 kg |
| セ グ メ ン ト グ ラ ブ | 全 高 | 2,521 mm | 4,563 mm |
| | 全 幅 | 1,270 mm | 1,959 mm |
| | 全 長 | 2,130 mm | 3,200 mm |
| | 開 口 長 | 2,296 mm | 4,096 mm |
| | 吊 上 げ 容 量 | 2,700 kg | 14,000 kg |
| 作 業 所 | 竹芝ｼｰﾄﾞ | 扇島ｼｰﾄﾞ | |

表-2 セグメントグラブの概要図

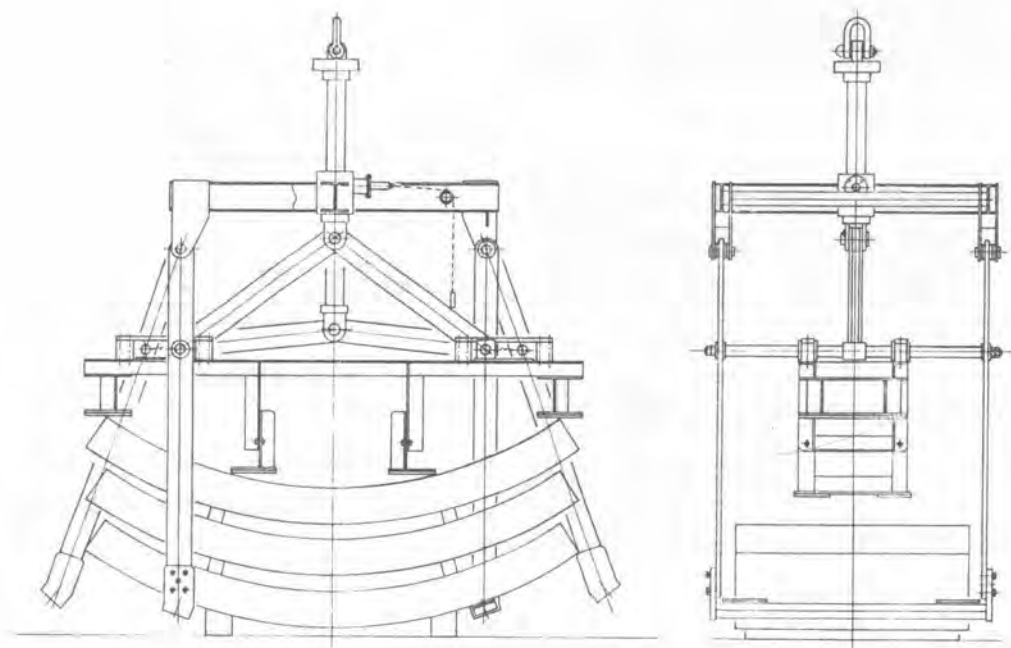


図-4 セグメントグラブ概要

3.1 セグメントグラブの動作

(1) セグメントの把持

セグメントグラブは通常吊りフック付近に設けられているロックピンにより、把持アームが開いた状態で地上に置かれている。この状態でセグメントグラブをクレーンで吊り、セグメントを包み込む様に位置決めする。次にロックピンを外しセグメントグラブを吊り上げるとリンク機構により把持アームが閉じ、セグメントを把持する。

(2) セグメントの搬入

把持完了後、セグメントグラブを立坑へ移動し、立坑に設けられた専用のガイド部にセグメントグラブの案内ローラーを挿入させそのまま下降させる。立坑下に待機している台車へセグメントが搭載完了後、さらにセグメントグラブを下降させると、セグメントグラブの自重で把持アームが開き、更にロックピンが自動挿入され把持アームは開いた状態を保持する。この状態でセグメントグラブを吊り



写真-5 立坑下での搭載状況図

上げるによりセグメントグラブを地上に戻すことができ

る。写真-5に立坑下での台車への搭載状況を示す。

4. 適用の効果

モノローラおよびセグメントグラブは、都内のシールド現場に導入された。本システムを導入した現場は、図-1のモノローラの概要図に示す様に立坑が2段となっており、一般の現場に比べセグメントや資材関係の搬入が煩雑となっている。従って、本システムの導入によりセグメント、資材等の搬入作業が大幅に省力化することが出来た。具体的には、モノローラを採用することにより、従来2～3人の作業で行っていた作業がオペレータ1人で行えるため、省力化が図れた。また、配管、枕木、レール等の構内への搬入が容易かつ安全、確実に出来るようになった。さらに、段差部分での積み替え作業がなくなり作業の効率化も図れるようになった。また、セグメントグラブを採用することにより、従来の様な玉掛け作業がなくなり、更にセグメントの吊り上げから入庫台車への搭載までの作業が地上から1人で行える様になり、省人化が図られると共に作業の安全性が向上した。また、今回の現場では、当社が開発したセグメント自動搬送システムSRも採用しており、入庫台車に搭載されたセグメントは第2立坑内に設けられたセグメントストックラックへ自動的にストックされる。

今回はセグメントと資材関係の搬入作業に的を絞った開発であるが、これらの各要素技術が今後のシールド工事自動化への重要な役割を果たすものと考えている。

38. シールド掘削機の自動掘進システムの開発と実証

清水建設(株)：*河野 重行・菊池 雄一
宮沢 和夫

1. はじめに

昨今の急激な地下開発に対する需要増のなかで、構造物やその施工条件の複雑化が進み、従来以上の施工精度や高品質が求められている。また、若年労働者の建設業離れや熟練工の高齢化による労働力不足が大きな問題となり、高品質施工を可能にする各種の自動化技術が開発、導入されている。なかでもシールド工事は、もっとも自動化が進んでいるもののひとつであり、当社はシールドの自動搬送、組立技術、自動配管接合などと並行し、自動掘進システムを開発・実用化してきた。本論文において、これらの自動化技術のひとつである自動掘進システムについて、その概要を報告するとともに実際への適用状況を報告する。

2. システム概要について

シールド掘削機の姿勢制御は、従来、熟練オペレータがシールド坑内もしくは中央制御室において、目標ストローク差を実現するように、経験と勘によりジャッキパターンを決定していた。しかしながら、前述した熟練オペレータの不足による掘進精度の低下への危惧があり、熟練オペレータと同等以上の精度を持つ自動姿勢制御システムが望まれていた。また、並行して、進められている泥水輸送やセグメント搬送などの自動システムを取り入れ、総合的なシールド工事の自動化システムを構築するためにも、自動掘進システムの実現は非常に重要である。当社は、数年前から、自動掘進システムの開発に従事し、すでに6現場において、本格的に稼働し、高精度施工を実現している。

本システムは、自動測量システムと方向制御システムから構成される。

自動測量システムは、ジャイロコンパスまたは自動追尾式トータルステーション、レベル計、ピッチング計、ローリング計およびストローク計により、計画掘進線および目標掘進線（計画掘進線に戻すためのすりつけ線）に対するシールド掘削機の位置を自動的にリアルタイムに測量し、かつ光学測量により測量値をチェックするシステムである。

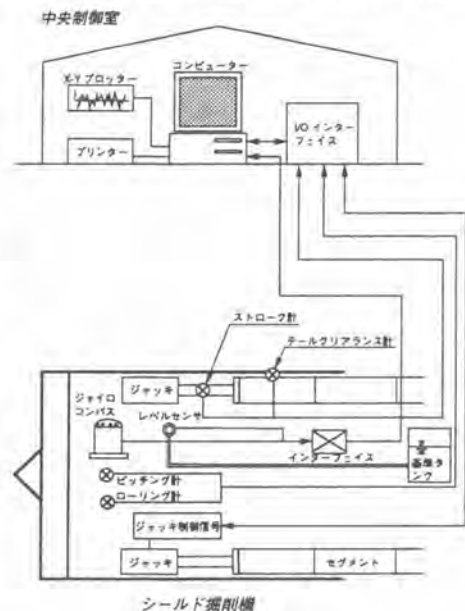


図-1 システム構成図

方向制御システムは、自動測量システムにより測量された目標掘進線に対する位置偏差（水平方向のずれ量、ずれ量の変化量、目標方位の偏差角、偏差角の変化量、鉛直方向のずれ量、ずれ量の変化量、目標方向とのピッチング偏差、ピッチング偏差の変化量）にもとづき、シールド掘削機を目標掘進線にのせるようにジャッキパターンを自動選択、出力するものである。最適ジャッキパターンを選択するためのパラメータとして、総推力の重心の掘削機中心からの位置を示す片押し度を用いた。得られた位置偏差に関する情報からジャッキパターンを選択する過程において、力学的関係に加え、熟練オペレータの経験をもとに両者の因果関係を表すルールを設定し、ファジィ推論〔1〕、〔2〕および〔3〕を用いている。本システムの構成図を図-1に、フローを図-2に示す。

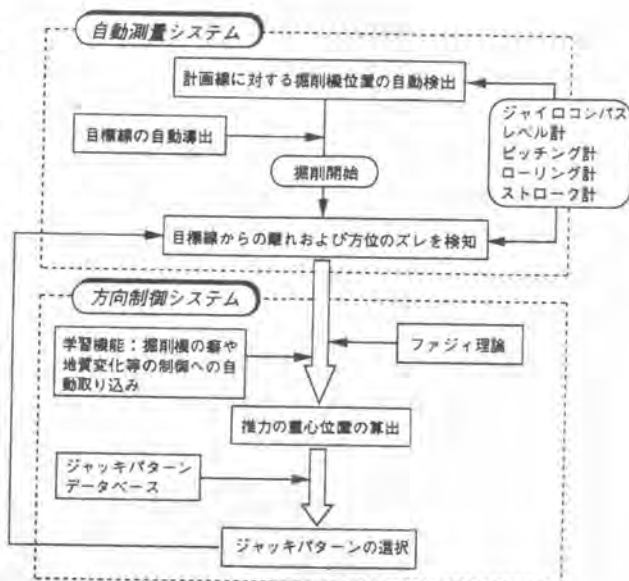


図-2 システムフロー

本システムは以下の機能を備えている。

- (1) 計測誤差自動補正機能：ジャイロコンパスを用いた曲線部掘削中の横すべりに起因する誤差を、自動的に統計補正することにより、位置計測の精度を確保する。
- (2) 学習機能：過去数リング分の掘進状況のデータをもとに、シールド掘削機の癖や土質の変化などによる制御度合いの変化に対し、自動的に制御度合いを調整する。
- (3) テールクリアランス自動取り込み機能：テールクリアランスを掘進中も自動測量し、セグメント設置後にスキンプレートとのせりが生じないように、出力されるジャッキパターンを事前に補正する。
- (4) すりつけ線自動導出機能：掘進開始時毎に、シールド掘削機の現在位置から、計画掘進線にすりつけるための目標掘進線を自動導出する。

3. 適用事例について

現在までに、東京都下水道局の竹芝シールド、東京電力（株）の船橋三咲シールドおよび塩浜シールド、営団7号線弁慶濠地下鉄シールド、京都市下水道局東大路シールド、東京都営12号線地下鉄シールドの6現場において、導入済みまたは稼働中である。

本論文においては、紙面の都合上、詳細は割愛するが、図-3に竹芝シールドにおける自動掘進の精度を示す。500リングから550リングにおいて、坑内測量によるシールド掘削機の先端の計画線からの離れをプロットしたものである。水平、鉛直とも管理値の±50mm以内に充分収まっていることがわかる。

塩浜シールドにおいては、N値が0～2という軟弱なシルト層中における4%の下り勾配では、シールド

掘削機の頭が計画線よりも下がってしまうことが懸念された。自動掘進システムの導入に際し、適切なチューニングを行うことにより、計画勾配より若干上げ気味にした自動運転が実現され、図4に示すように図3同様、掘進精度は管理値の±50mm以内に充分収まっており、高精度な掘進が得られた。

また、船橋三咲シールドにおいては、自動測量機能の高精度により、従来片番に1回の坑内測量を行っていたのが、本システム導入後は平均3日に1回の坑内測量でよく、省人化効果が非常に大きいことが確認されている。また、熟練オペレータが操作する代わりに、制御室において、女性がシステムの監視をしており、現場の雰囲気の改善に役立っている。

図5には、東京都営12号線地下鉄シールドにおける自動測量システムの概要を示したもので、ジャイロコンパスと自動追尾式トータルステーションを併用しており、自動的に互いに計測値を補完し合うことにより、実用性と計測精度を高めている。

なお、参考までに、コンピュータにおけるジャッキパターンの選択状況の表示画面を写真-1に示す。左のジャッキパターンは実際に出力されるもので、右側のジャッキパターンはファジィ理論を用いて計算されたものである。計算は、手動モード・自動モードに関係なく、写真の中央に示されているシールド掘削機の位置情報をもとに常時行われており、自動モードになった時に、計算によるジャッキパターンが実際に出力される。

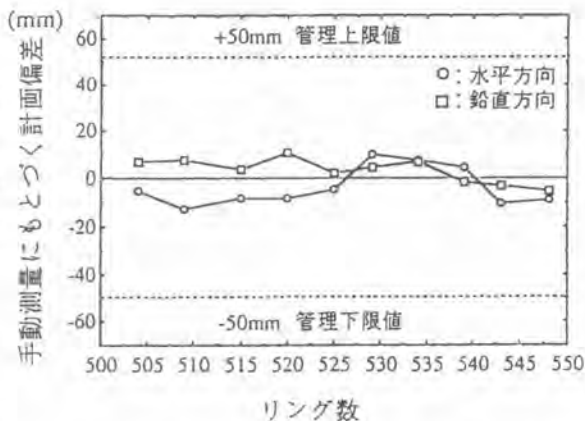


図-3 自動掘進精度 (竹芝シールド)

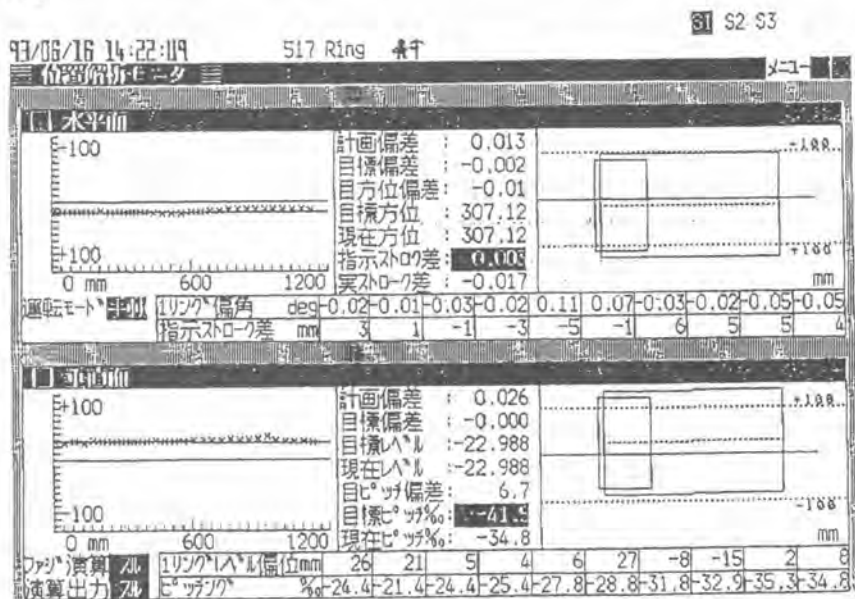


図-4 自動掘進精度 (塩浜シールド)

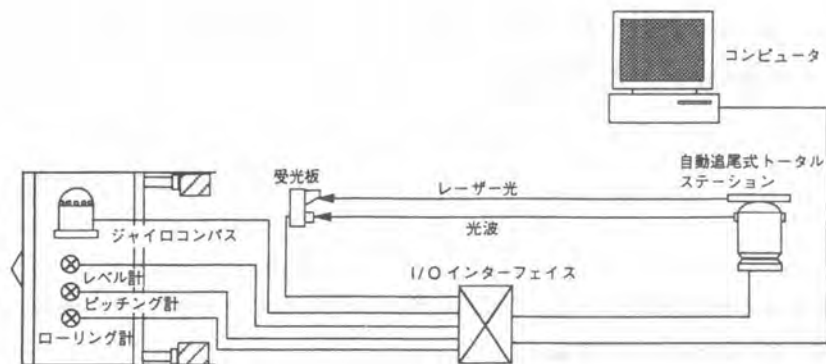


図-5 レーザー併用型自動掘進システム構成図



写真-1 ジャッキパターン表示画面

4. おわりに

熟練工不足が問われている建設業において、自動化は避けては通れない道であり、シールド工事における自動掘進システムの意義は大きい。今後とも、本システムの普及を図るとともに、データを解析することにより、より汎用性のあるシステムを目指すものである。

参考文献

- [1] 廣田薫、わかりやすいファジィシステム、株式会社テクノシステム、1989。
- [2] 三矢直城、田中一男、C言語による実用ファジィブック、ラッセル社、1989。
- [3] 菅野道夫、ファジィ制御、日刊工業新聞社、1988。
- [4] 河野重行他、シールド掘削機の自動掘進システムの開発およびその実証、土木学会第48回年次学術講演会、1993

39. トンネル工事による作業環境の改善と機械の大型化

清水建設㈱：和田 利彦・*小野 啓二

1. はじめに

建設工事における熟練労働者の不足と高齢化が進むなかで、特にトンネル工事は厳しい労働環境における作業のため、いわゆる3K職場（きつい、汚い、危険）の典型とされ、従業員の確保が難しくなっている。この厳しい労働環境にあるトンネル工事を魅力ある工種にするには機械を大型化し作業箇所の集約化、省力化、自動化をすすめなければならない。

その第一歩としてトンネル工事の施工方法の中で掘削効率が良いとされるミニベンチ工法を採用し自由断面掘削機と多機能型作業構台を組み合わせた大型掘削機の開発を行った。（写真-1）

この開発機械を日本鉄道建設公団が施工を進めている北陸新幹線里見トンネル工事に導入した。



写真-1 自由断面掘削機+多機能型作業構台

2. 開発機械概要

2.1自由断面掘削機（ブームヘッダー）

掘削効率の良いミニベンチ工法を採用するにあたり、幅 10.5m、高さ 8.29m、掘削断面積約 80m² の断面を、長さ3mのミニベンチを残しながら上半部と下半部を並行して掘削できる大型掘削機の開発が求められた。

開発にあたっては機械の大型化、軽量化、さらにはベンチの下から上半部を掘削できるリーチの長いブームの開発が焦点となった。大型化と軽量化については、機構を大型化する一方、できるだけ簡素化して軽量化を図り、加えてクローラの幅を拡げて接地圧を下げ、路盤への影響を最小限にとどめた。またブームについては油圧式の伸縮機構を付加して掘削半径を拡大し、機械を掘削位置に配置した後、機械を移動する事なくミニベンチを残しながら掘削できるようにした。

基本的な作業順序は、多機能型作業構台の後方に待機していた自由断面掘削機が自走して前方から見ると門型をした多機能型作業構台の下方をくぐりぬけ、掘削位置まで前進する。上半部を掘削した後、下半部の掘削に移り、それぞれ1mずつ交互に掘進する。掘削完了した後多機能型作業構台の後

方に移動し、待機する。その後、支保工建込み、コンクリート吹き付け、ロックボルト打設、という一連のトンネル作業の繰り返しとなる。

駆動源は電力で、電源は400V、50Hzを供給する。

電源設備は容量300KVAのトランスを多機能型作業構台に搭載しており、ここで3300Vを400Vに変電し、キャプタイヤケーブルを経由して供給する。

機械を大型化したため、機械本体の保護装置（タッチセンサ、近接スイッチ）、第三者に対する安全装置（非常停止装置前後左右4箇所）の充実をはかった。

図-1に自由断面掘削機を示し、表-1に仕様を示す。

表-1 自由断面掘削機の仕様

| | | |
|-------------|--------------------------|-------------------------------|
| 機 体 寸 法 | 高さ 4.5m×全幅 4.8m×長さ約25.0m | |
| 切 削 寸 法 | 高さ 9.0m×幅 10.5m | |
| 機 体 重 量 | 130tonf | |
| 切 削 部 | 電 動 機 | 132KW×4P×400/440V×50/60Hz |
| | 回 転 数 | 50/29rpm(50Hz) 60/36rpm(60Hz) |
| | カッターヘッド径 | φ870mm |
| | カッター掛付力 | 17tonf |
| | カッター旋回速度及び力 | 4m/min×8tonf |
| | ブーム上下速度及び力 | 4m/min×8tonf |
| 走 行 部 | 走 行 速 度 | 12/15 m/min(50/60Hz) |
| | 接 地 圧 | 1.45Kgf/cm ² |
| | 登 板 能 力 | 14度 |

2.2多機能型作業構台（ガントリージャンボ）

通常、トンネル工事でNATM施工を行う場合に必要となる鋼製支保工の建込みや、コンクリートの吹付け、ロックボルトの打込みなどの一連のトンネル作業は作業員が別々の機械を使用し施工している。

トンネルという制約された場所の中で各作業毎に必要な機械を操作運転し、移動、入替えし、随時作業を行っている。これらの作業の中には接触災害、挟まれ災害等の危険が潜んでおり、重大災害、人身事故にまでも波及する恐れがある。これら一連のトンネル作業に必要な機械の機能を集約し、作業を出来る限り機械化して一つの作業構台に搭載した大型機械が、今回開発した多機能型作業構台である。

前方から機械をみると胴体部分が空洞になった門型をしており、作業構台の下を自由断面掘削機が通り抜けできる。機械外形寸法は全長 27m、全幅 9.3m、全高 7mである。

構台には、地山を支える支保工の建込み装置（エレクタ）を持ったマンゲージ、コンクリート吹付け用ロボット、ロックボルト削孔用削岩機、後方には支保工等材料を作業構台上に仮置きするための荷揚げ用クレーンを搭載している。

これらの装置は全て作業位置までレール上をスライドしながら移動し、各作業を行う。

基本的な作業順序は自由断面掘削機が上半部の掘削を終えて下半部の掘削を始めると、まず、多機能型作業構台が自由断面掘削機を覆うように前進する。つぎにマンケージがスライドしてエレクトラ部で鋼製支保工を建込み、続いて吹付けロボットでコンクリートの吹付けを行い、最後にロックボルト削孔用削岩機で削孔し、ロックボルト打設を行う。

これらの作業を行うのに必要な付帯設備である電源設備、給気設備、モルタルポンプ設備も搭載しており、通常はそれぞれの台車に搭載し必要時に移動させ、使用するという手間が省け、作業に対する省力化、安全性も高めている。

図-2に多機能型作業構台を示し、表-2に仕様を示す。

表-2 多機能型作業構台の仕様

| | | |
|---------|------------------------------|---|
| 機 体 寸 法 | 高さ 7.0m×全幅 9.3m×長さ約27.0m | |
| 機 体 重 量 | 機体150tonf+レール17tonf=167tonf | |
| 穿 孔 | ドリフタ | HD75×2台 |
| | ガイドシエル | GH75-30×2台 スライド長3,080mm |
| | ブーム | JE160TR×2台 |
| | ブーム移動台車 | 2台 スライド長8,500mm |
| | 潤滑油コンプレッサー | 1.0m ³ /min |
| | 増圧水ポンプ | 120ℓ/min |
| | 作業油集中給油装置 | 給油タンク 0.5m ³ 給油ポンプ付 |
| 吹 付 | 吹付けロボット | ZC8021×1台 |
| | エアコンプレッサー | 90KW+22KW 14.5+3.7 m ³ /min |
| | 洗浄用水ポンプ | 80ℓ/min 50kgf/cm ² |
| | 水タンク | 500ℓ |
| マンケージ | 最大荷重 350Kgf×2台 スライド長22,550mm | |
| クレーン | 巻上能力 950Kgf スライド長11,000mm | |
| 走 行 | 走行速度 | 11m/min |
| | アンカージャッキ | 37tonf×8台 |
| | スライドレール | 25m×2本 |
| 電 気 | 電源設備 | 3KV/400V 300KVA, 3KV/400V・200V 500KVA 各1台 |
| | ケーブルリール | 高圧用, アース用各1台 |
| モルタルポンプ | ポンプ, ミキサー一体型 | |

3. 工事概要

工事名称 北幹, 里見T他1・2・3 (北陸新幹線 里見トンネル)
工事場所 群馬県群馬郡榛名町中里見1171-1
発注者名 日本鉄道建設公団北陸新幹線建設局
施工者名 清水・日本国土・井上特定建設工事企業体
工 期 平成2年1月4日～平成6年6月30日
トンネル延長 2,483m

現場施工状況を写真-2
に示す。



写真-2 現場施工状況

4. 開発機械の改善効果

- ①各種作業に必要とされる機能を持つ機械を多機能型作業構台に搭載することにより、作業の集約化、省力化がはかれ、作業員を少なくでき、各種機械の入替え手間が省け、安全性を高める事ができる。
- ②多機能型作業構台を配置する事により、限られたトンネル内の空間で無駄なく作業ができる。例えば自由断面掘削機で下半掘削時、上半での支保工建込み、吹付け作業の同時施工が可能である。
- ③自由断面掘削機を配置する事によって下半盤に機械を据えたままで上半部、下半部が掘削できる。
- ④各種作業に必要とされる機能を持つ機械を多機能型作業構台に搭載し切羽に集中させる事で各種機械の頻繁な入替えがなく、その上、多機能型作業構台はレール移動方式なので路盤の泥寧化がある程度防止できる。
- ⑤駆動源は電動式、あるいは油圧式のため坑内の騒音は少なく、粉塵対策にもなる。
- ⑥機械工法なので地山を緩める事も少なく、余掘り量の減少も期待できる。また、施工場所での周囲環境に及ぼす振動・騒音問題なども防止できる。

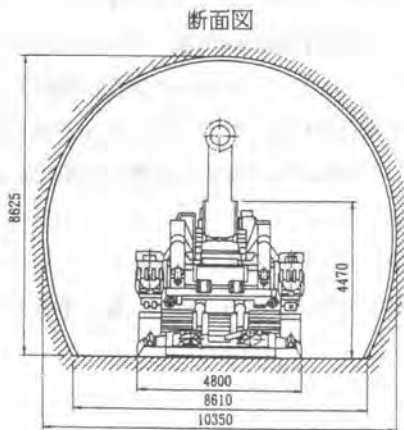
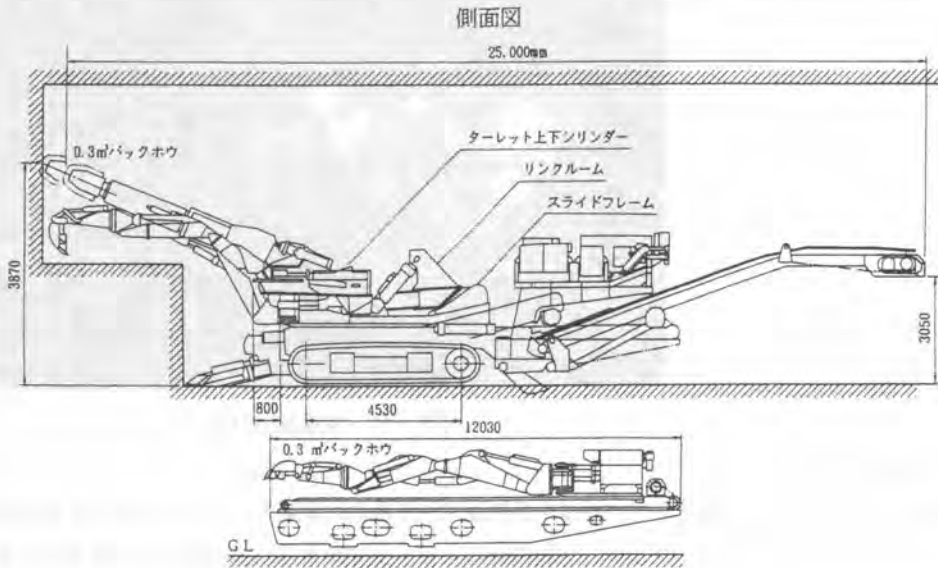
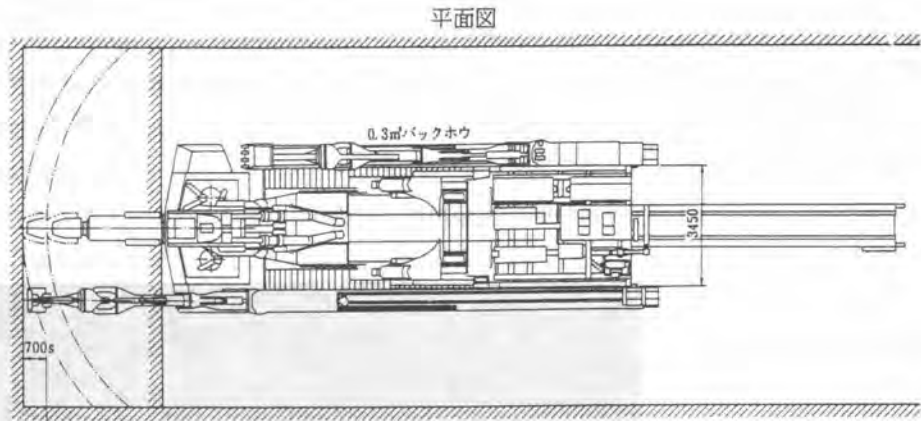
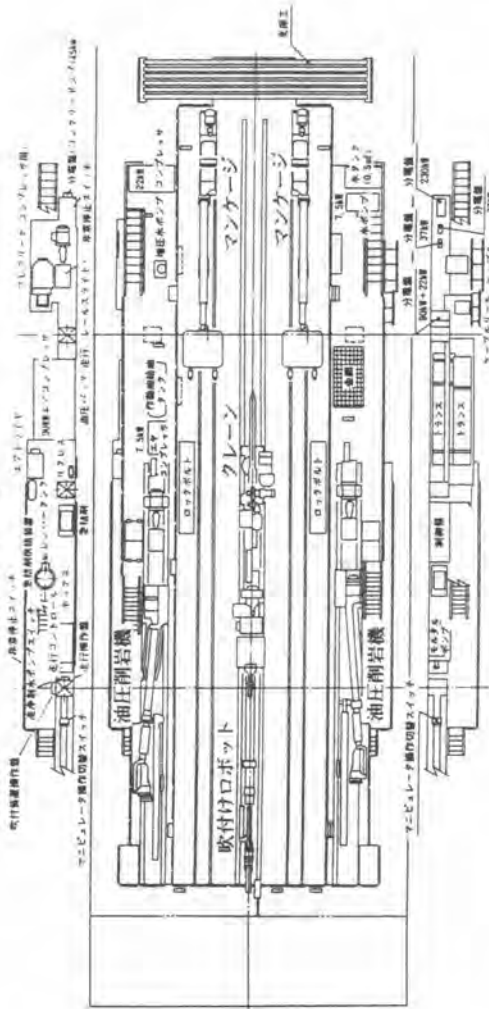
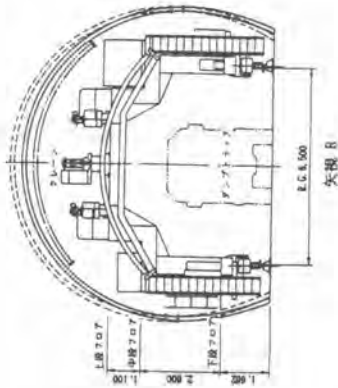


図-1 自由断面掘削機（ブームヘッダー）

平面図



断面図



側面図

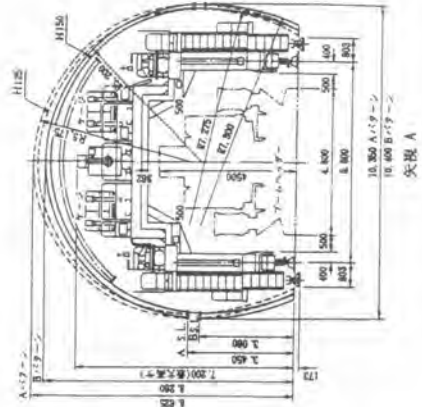
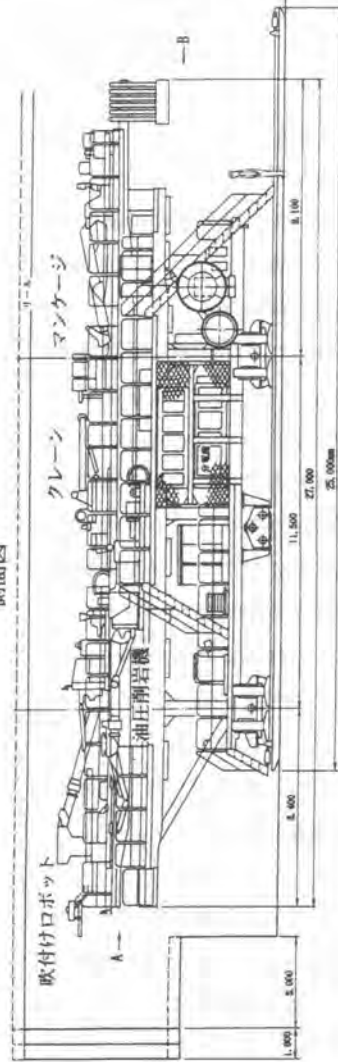


図-2 多機能型作業構台 (ガントリージャンボ)

40. 新しい山岳トンネルライニングシステムの開発(K-NTL)

(株)鴻池組：*緑田 正美・西川 博之

1. はじめに

NATMトンネルの一次覆工における吹付けコンクリート工法は、コンクリート吹付け時の材料の跳ね返りロスやそれとともに発生する多量の粉塵のため、悪環境のもとでの苦渋作業となる。このような従来の吹付けコンクリート工法の問題点を解決し、かつ新しいトンネル覆工の可能性を提案する工法が『K-NTL工法』である。本報においては、K-NTL工法機の機械システムについて述べると共に実トンネルにおける実証実験結果について報告する。

2. 従来工法とNTL工法

1) 従来工法

山岳トンネル施工法の主流となっているNATMは、合理的・経済的な施工ができるという特徴を有する工法であるが、吹付けコンクリートの施工は以下に示す問題点も指摘されている。

- ①粉塵や跳ね返りコンクリート等の発生により作業環境が損なわれる。
- ②跳ね返りロスが多く不経済である。
- ③地山の凹凸に沿った支保形状となる部分では、応力集中が発生する可能性がある。

2) NTL工法(New Tunnel Lining 工法)

これらNATMの抱える問題点を解決するため、吹付けコンクリートに代わる新しい一次覆工工法としてNTL工法が提案されている。これは急結性の吹付けコンクリートに代わり、移動式もしくは固定式の型枠と地山との間に流動性、急硬性を有するコンクリートを打設することにより、一次覆工を行おうとするものである。



図-1 吹付け工法とNTL工法

これにより、表面の平滑な高品質の支保を形成することが可能となる。図-1に吹付け工法とNTL工法の違いを示す。

3. K-NTL工法機の概要と特徴

本工法は、コンクリートを吹付ける代わりに、トンネル断面の1/2をカバーする一対の部分型枠と地山との間に急硬性コンクリートを流し込み、側壁部・天端部と、型枠を走行移動させ2回に分けて覆工を行うものである。

本工法の特徴を列記すると次の通りである。

- ①コンクリート打設に伴う材料の跳ね返りや粉塵がまったく発生しない。
- ②跳ね返りによる材料ロスがない。
- ③地山凹凸に関係無く平滑な表面に仕上がる。
- ④操作が容易で機動性が高く作業時間が短い。(80~100分)
- ⑤大きな地山凹凸にも対応できる。(50~400mm)
- ⑥全ての操作は遠隔式となっており安全に作業ができる。
- ⑦リングカット工法への対応もできる。
- ⑧下半施工、ミニベンチ工法への展開も可能である。

K-NTL工法機の全体外形図を図-2に、また概略仕様を表-1に示す。

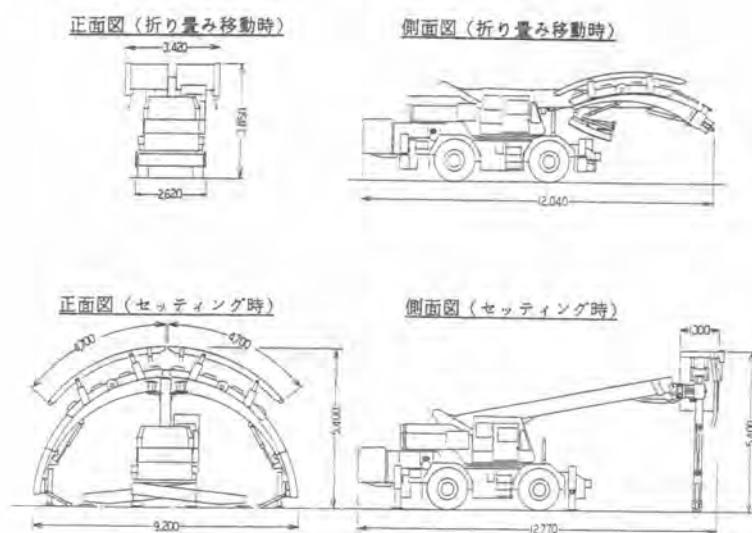


図-2 K-NTL工法機全体外形図

表-1 K-NTL工法機仕様

| 種別 | 項目 | 仕様 | 備考 |
|-----------|-------|-------------|-------------------|
| 全体仕様 | 全幅 | 10800 mm | 折畳み走行時 3420 mm |
| | 全高 | 5400 mm | ” 3850 mm |
| | 全長 | 12770 mm | ” 12040 mm |
| | 総重量 | 約 36 ton | |
| | 総電気容量 | 15 kw | |
| 型枠部 | 型枠方式 | 走行式部分型枠 | 走行式 1/4 型枠 |
| | 型枠幅 | 1300 mm | |
| | 妻型枠 | 地山凹凸追従型 | 50~400mmの地山の凹凸に対応 |
| コンクリート打設部 | 打設方法 | 流し込み | コンクリートポンプにより圧送 |
| | 打設装置 | 先端攪拌装置(連続式) | 左右型枠に各1箇所 |
| 走行部 | 走行方式 | タイヤ式 | 185 PS |
| | 走行速度 | 27 m/min | 前進・後退共 |
| | 登坂能力 | 15° | |

図-3 に型枠構造図を示す。型枠は4本の油圧伸縮ジャッキにて支えられ、ジャッキは4本同調、2本同調、個別作動が可能で、これにより、短時間で型枠がセットできる。妻型枠は二層構造の弾性体と、妻型枠伸縮ジャッキ群、エアバッグ、及び反力フレームにより構成されている。二層構造の弾性体の下層部の弾性体は地山の大きな凹凸に、上層部の弾性体は小さな凹凸に対応する。

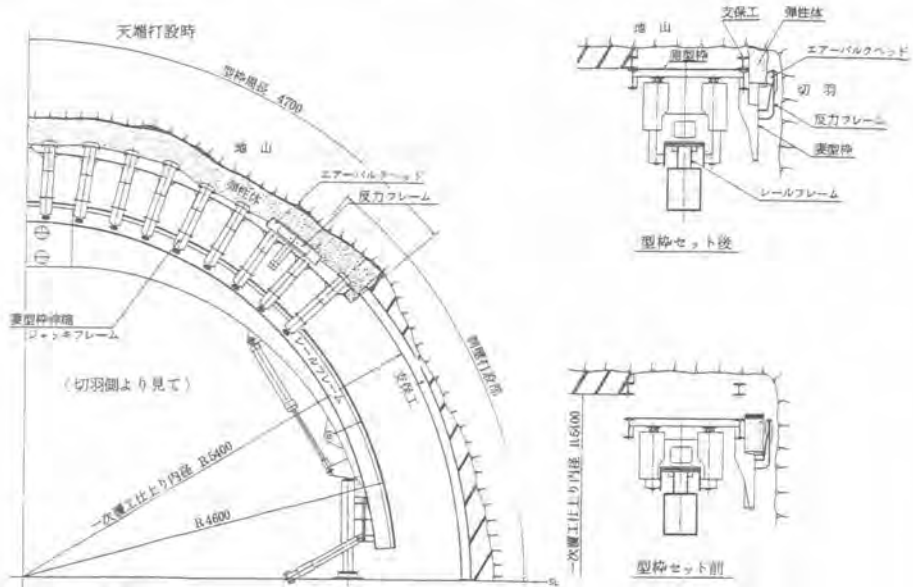


図-3 型枠構造図

レールフレーム・型枠の位置決め操作の容易化を図るために、各種のセンサーシステムを装備しまた、運転室内および遠隔にて操作が可能な操作システムを装備した。図-4 に位置決め用センサーシステムを示す。

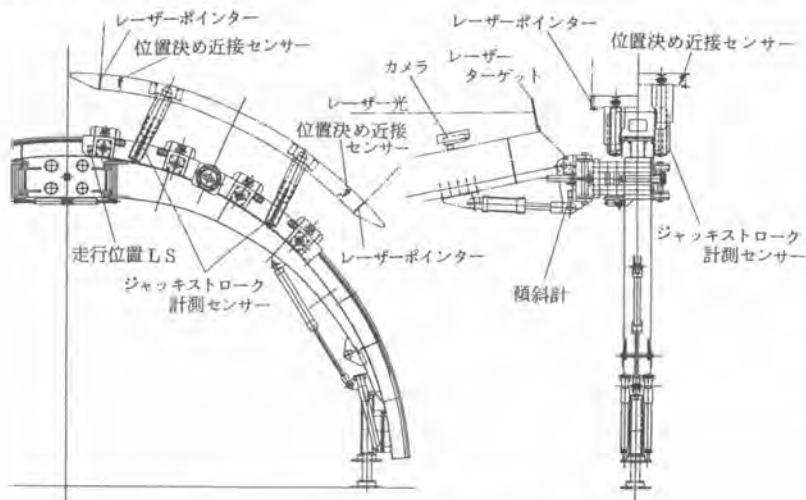


図-4 位置決めセンサーシステム

4. 施工システム

1) 施工順序

図-5にK-N T L工法の施工順序を示す。

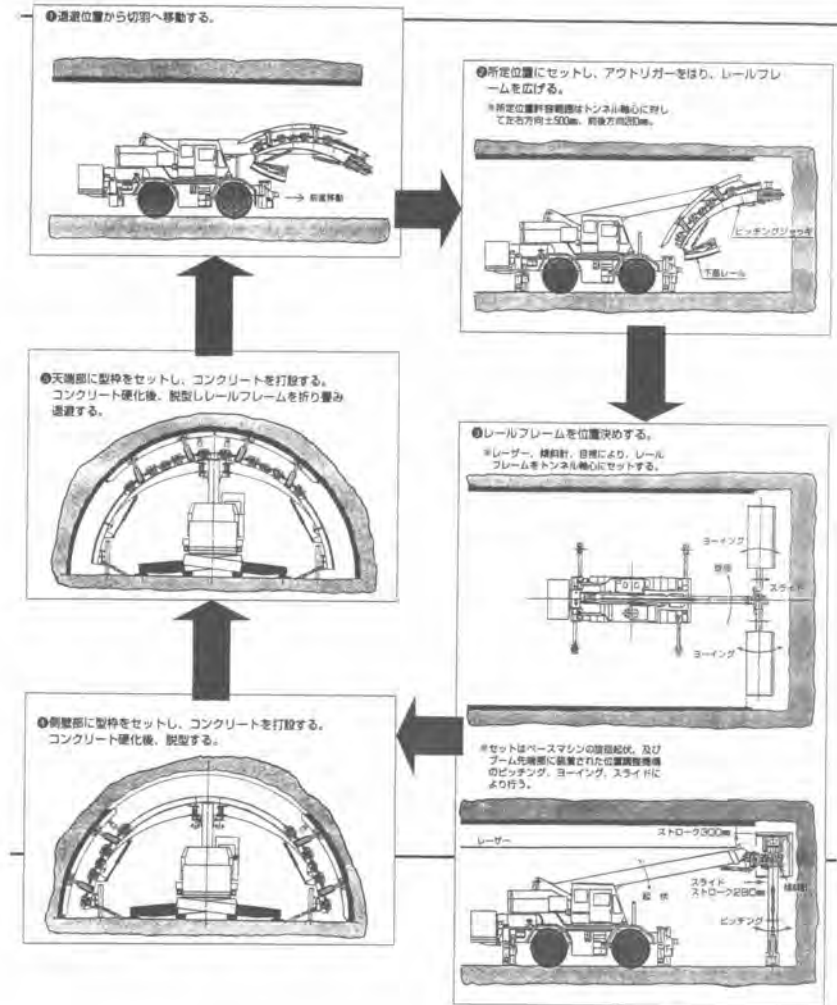


図-5 K-N T L工法施工順序

2) コンクリート打設システム

図-6に本システムにおいて採用した主なセンサー及び急硬材注入システムを示す。先端攪拌装置の手前に取付けたコンクリート検出センサーにコンクリートが圧送到達したことをセンシングすると、予め入力設定された急硬材量が注入開始される。

3) 急硬性コンクリート

本工法では、型枠と掘削地山との間に、流動性と急硬性を備えたコンクリートをポンプにより流し込む。図-7にコンクリート性状図を示す。

急硬性コンクリートの条件

- ・ 可使用時間（コンクリートが流動化状態を保っている時間）…………… 5分
 - ・ 必要脱型強度発現時間（ 5.0kgf/cm^2 ）…………… 可使用時間終了後 5分
- 以上のように急硬材添加後 10 分で必要脱型強度が発現するコンクリートとした。

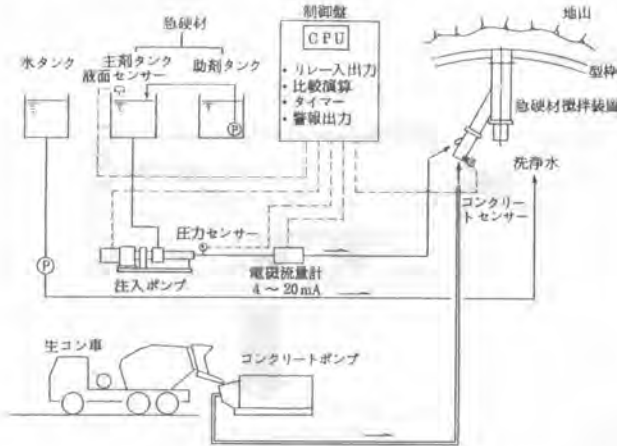


図-6 コンクリート打設システム

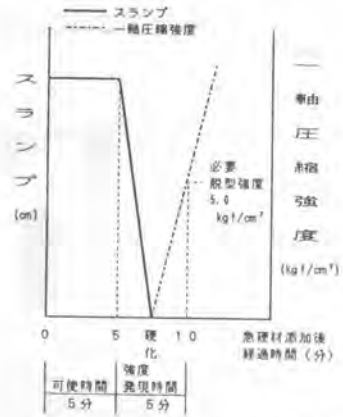


図-7 コンクリート性状図

5. 現場実証実験

1) 期間及び場所

期間は平成 4 年 9 月から 12 月まで松山自動車道の早川トンネル工事（^{はいかわ} 榑鴻池組・東急建設（株）共同企業体）にて行った。

2) 施工方法

実験は早川トンネルの東坑口から約 110m の地点より 15.6m の区間に試験施工区間を設けて実施した。その区間の地山等級は C であった。

3) 急硬性コンクリート

急硬性コンクリートの配合を表-2 に示す。

なお、急硬性コンクリートの性状は、コンクリート温度、外気温により変化するため、ベースコンクリートの性状等により急硬材の添加量を変更した。

表-2 急硬性コンクリートの配合
【ベースコンクリート配合】

| 粗骨材 最大寸法 (mm) | スランプ (cm) | 空気量 (%) | W/C (%) | S/a (%) | 単 位 量 (kg/m ³) | | | | A E 減水剤 C × % |
|---------------------|--------------|------------|------------|------------|----------------------------|--------|----------|----------|---------------------|
| | | | | | セメント C | 水 W | 細骨材 S | 粗骨材 G | |
| 13 | 10 | 4.0 | 58.5 | 53.0 | 364 | 213 | 844 | 772 | 0.25 |

【スラリー急硬材配合】

| | | |
|-----------|-----------------|------------------------------|
| 急硬材（主剤） | セメント量×16% | 364kg × 0.16 = 58.24kg |
| 凝 結 調 整 剤 | （セメント+急硬材）×0.3% | （364+58.24）× 0.003 = 1.267kg |
| 水 | 急硬材量×70% | 58.24kg × 0.7 = 40.768kg |

4) 実験結果

①施工サイクルタイム

表-3 に早川トンネル実証実験のサイクルタイムを示す。

②一次覆工の出来形

K-N T L 工法による一次覆工の仕上り面は全体的に平滑で、非常に良好な仕上り面が得られた。

③圧縮強度及び付着強度

圧縮強度

$$\sigma_{1d} = 58.6 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (平均)}$$

$$\sigma_{7d} = 254.6 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (平均)}$$

$$\sigma_{28d} = 354.0 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (平均)}$$

付着強度

$$\text{材令7日 } 17.0 \text{ kg/cm}^2, \text{ 材令28日 } 26.5 \text{ kg/cm}^2$$

試験結果は上記の如く、共に吹付けコンクリートと同等以上の結果を得た。

写真-1 に K-N T L 工法機の走行姿勢を、写真-2 に施工状況を示す。

表-3 実証実験サイクルタイム

(単位：分)

| 作業内容 | スパン 月 日 作業班 | ① 10. 15 A | ② 10. 23 B | ③ 10. 27 A | ④ 10. 30 A | ⑤ 11. 4 B | ⑥ 11. 11 A | ⑦ 11. 18 B |
|---------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| K-N T L 機 前 進 | | 17 | 10 | 5 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| K-N T L 機 セット | | 163 | 25 | 28 | 21 | 19 | 15 | 18 |
| コンクリート圧送準備 | | 34 | 2 | 8 | 2 | 0 | 5 | 1 |
| 右側壁コンクリート打設 | | 14 | 11 | 10 | 17 | 11 | 9 | 15 |
| 配管ライン切り替え | | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| 左側壁コンクリート打設 | | 14 | 11 | 9 | 23 | 9 | 11 | 9 |
| 養生及び配管洗浄 | | 12 | 7 | 10 | 13 | 9 | 8 | 8 |
| 脱型上部移動セット | | 24 | 49 | 18 | 11 | 11 | 8 | 7 |
| コンクリート圧送準備 | | 1 | 10 | 0 | 1 | 4 | 3 | 1 |
| 天端コンクリート打設 | | 54 | 20 | 18 | 29 | 18 | 16 | 15 |
| 養生及び配管洗浄 | | 15 | 13 | 19 | 10 | 9 | 9 | 8 |
| 脱型及び機械折畳 | | 25 | 25 | 13 | 10 | 12 | 11 | 11 |
| K-N T L 機 後 退 | | 10 | 4 | 5 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 合 計 | | 355 | 190 | 148 | 145 | 109 | 103 | 100 |



写真-1 K-N T L 工法機走行姿勢



写真-2 K-N T L 工法機施工状況

6. おわりに

建設工事における労働者の高齢化や若年層の建設業離れを背景に労働者不足が深刻な問題と成りつつある中、危険作業や苦渋作業はますます敬遠される傾向にある。そのような状況の中において、本工法は良好な作業環境を提供する工法として大きな一石を投じたと確信する。

N T L 工法の開発はその緒についたばかりであるが、今回の実証実験で得られた成果は、K-N T L 工法が吹付け工法に代わり得る可能性を実証したという意味で、大変意義深いものであった。また、本工法が単なる吹付け工法の代替工法と言うのではなく、山岳トンネルにおける新しい覆工工法として位置づけられるよう努力する所存である。

41. 楕円断面TBMの開発

（財）先端建設技術センター： 萩原 哲雄
ハザマ：*芳賀 佳之
佐藤工業(株)： 柳瀬 良輔

1. はじめに

近年、建設労働者の高齢化とこれに伴う熟練工の不足が深刻となりつつある中で、建設工事においては経済性や安定性等を追求してメンテナンスフリー化技術、省エネルギー化技術、無人化・省人化技術の開発が望まれている。一般に、道路・鉄道トンネルをはじめとする山岳トンネルでは、発破による掘削が一般的であり省力化・作業環境の改善の面で遅れている感がある。

山岳トンネルの施工の合理化においては現状の技術レベルではTBMを最大限に活用していくことが解決の近道と考えられるが、現在のTBMの利用は水路や上下水道のような円形断面に限られ、道路や鉄道へのTBMの適用はほとんどなされていない。この理由としては一般に道路・鉄道トンネルでは断面が大きくなることに加え、通常のTBM断面である円形断面で掘削した場合、必要とする形状以上の掘削を生じトンネル形状として経済的でないという点が挙げられる。そこで扁平な形状を必要とするトンネルにおいては、経済的な楕円断面を掘削できるTBMの開発ができれば山岳トンネルの合理化が大きく前進することになる。

本開発は現状のTBM掘削技術の実績に基づき、従来のTBMの構造を大きく変えることなく楕円断面が掘削できる『楕円断面TBM』を開発し、楕円断面掘削機として実用化を図ることを目的としている。この開発は民間の自主共同開発として（財）先端建設技術センターと（株）間組、佐藤工業(株)、前田建設工業(株)、（株）小松製作所の5者により開発を実施しているものである。

2. 工法の概要・特徴

基本的には従来のTBMの機構を変えずに、円形のカットヘッドを傾斜させることにより、楕円断面の掘削を可能にした掘削機械である（図-1、参照）。本工法の特徴を次に述べる。

（1）経済的な必要最小限の断面掘削

楕円断面の掘削を可能とすることで、従来の円形断面TBMに比べ、様々な用途のトンネルで無駄な断面を少なくでき、経済的な掘削が可能である。（図-2、参照）

（2）楕円形状及び傾斜切羽による安定効果

楕円形状の場合、円形と同様に地山内の応力伝達がスムーズとなりトンネルが安定する。また、切羽が傾斜しているため切羽が安定し（核残しと同様の効果）、安全な施工が可能である。また、機械掘削であることから、周辺地山の損傷を小さくでき、高品質のトンネルの構築が可能となる。

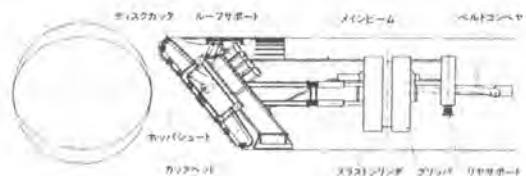


図-1. 楕円断面TBM概念図

(3) ハイスピードのトンネル施工が可能

楕円断面TBMを採用することにより、施工の合理化、機械化、省人化が図れるとともに、従来のTBMと同様の急速施工が可能である。

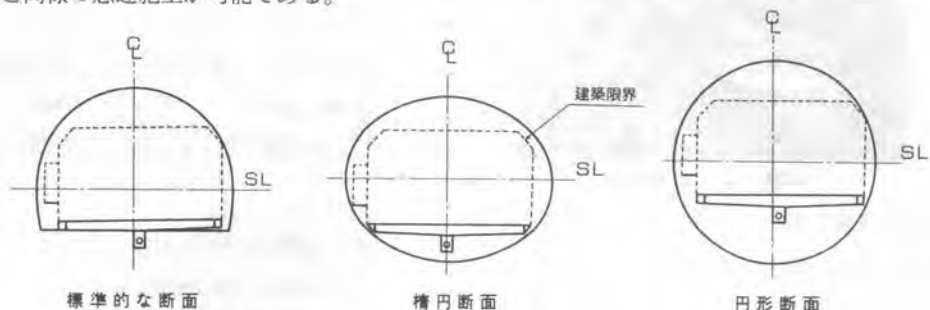


図-2. 2車線道路トンネルにおける内空断面の比較例

3. ミニ楕円断面TBMによる基礎実験

3. 1. 実験の目的

楕円断面TBMの開発に先行して、傾斜カッターヘッドを装着した実験装置を製作し、実験掘削を行うことによって、楕円断面掘削の基本的なデータを収集すると共に、この方式の実用性の見込みについて確認した。

3. 2. 実験の条件

(1) 実験装置(ミニ楕円断面TBM)仕様

- ・カッターヘッド径 2,400mm
- ・掘削径(長径×短径) 2,400mm × 2,150mm(傾斜角30°)
- ・カッターヘッドトルク 12t-m
- ・本体重量 16,000kg(推進ジャッキを除く)

・ディスクカッタ 12" (305mm) × 22個

(2) 供試体(コンクリート模擬岩盤)仕様

- ・粗骨材寸法 最大寸法 40mm
- ・スランプ 12cm~15cm
- ・コンクリート強度 600kg/cm²

3. 3. 計測の内容

(1) 実証項目

- ・掘削性能(推力, トルク, 速度)
- ・操作性, 方向性
- ・岩破碎メカニズム
- ・構造部材の歪, 振動
- ・垂直カッターヘッドとの掘削性能, 操作性などの比較

実験掘削中の状況を写真-2に、掘削中のディスクカッターによる破碎状況を写真-3に、掘削ずりの形状を写真-4に、実験後の掘削坑を写真-5にそれぞれ示す。

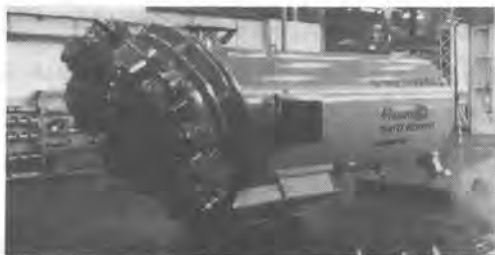


写真-1. 実験機全景

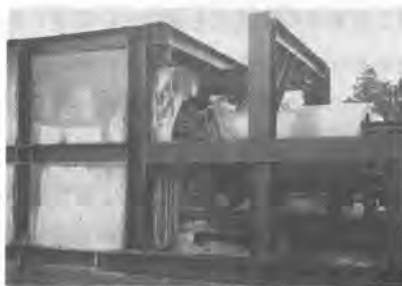


写真-2. 実験装置



写真-3. 破碎状況



写真-4. 掘削ずり

3. 4. 基礎実験結果

楕円断面TBMの掘削に関する基本データをとることを目的として、高強度コンクリート模擬岩盤で実験掘削を行った。また、比較のためにカッタヘッドを付け替え、円形断面も掘削を行った。以下に、この実験で得られた結果を示す。

① 掘削速度とトルクの関係

図-3に掘削速度と掘削トルクとの関係を示した。図中の直線はこれまでの経験式を用いた計算値である。楕円断面掘削の値と円形断面掘削の値には差がみられないが、計算値に対してはやや小さな値になった。

② 掘削速度と推力の関係

掘削速度と掘削推力との関係は、同じ掘削速度に対しては、楕円断面掘削のときの推力のほうが円形断面掘削のときの推力よりも大きくなった。これは掘削推力として推進ジャッキが掘削機を進行方向に押す力とった結果であるが、実際には破碎に寄与している有効推力は、推進ジャッキが掘削機を進行方向に押す力ではなく切羽に垂直方向である。そこで楕円断面掘削の場合には、補正推力として $\cos 30^\circ$ の分力を有効推力として掘削速度と有効掘削推力との関係を図-4. に示した。図中の曲線はこれまでの経験式を用いた計算値である。これより、推力をカッタヘッド回転軸方向にとることによって楕円断面掘削の推力の値と円形断面掘削の推力の値はほぼ一致した。また、実験値と計算値もよく一致した。

なお、ここで用いたデータは、各実験中に記録した全データのうち定常状態で掘削が行えた部分を取り出し、その平均値をとったものである。これは、全実験時間のうちのおよそ70%である。

また、掘削推力ならびに掘削トルクの値については、機械のすべり摩擦力やシールなどの回転抵抗によるロスを差し引いた有効推力および有効トルクの値である。

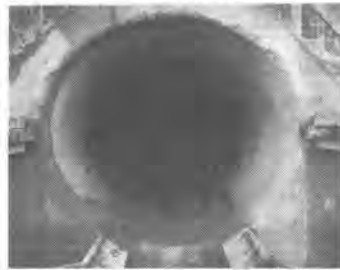


写真-5. 実験掘削坑

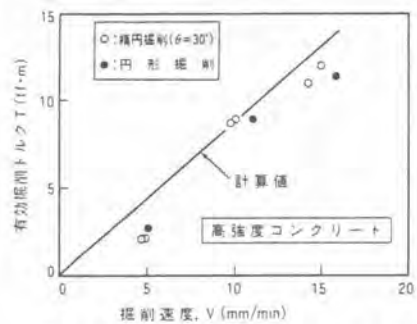


図-3. 掘削速度と掘削トルクの関係

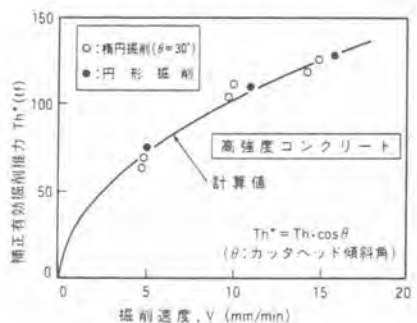


図-4. 掘削速度と掘削推力の関係

③ ルーフサポート力の測定結果

カッターヘッドが傾斜していることによって、楕円断面掘削中のカッターヘッド前面には掘削機を上方にずり上げる方向の力が働く。図-5. は楕円断面掘削中に働く外力を図示したものであり、この外力のつり合い及び外周側カッターによる下向き力を考慮して求めたルーフ力の計算値と測定値を比較したものが図-6. である。測定値は計算値である設計ルーフ力 F_r' に比べるとほぼ同じもしくはやや小さい

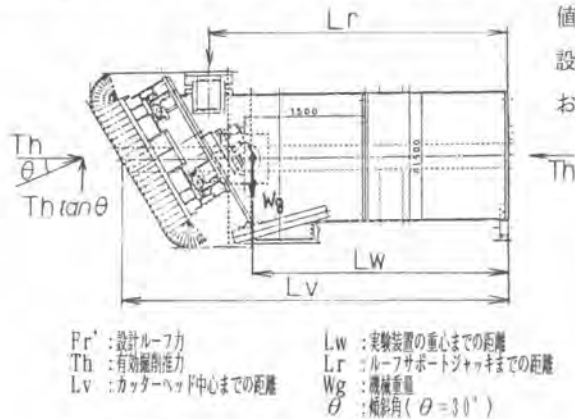


図-5. 楕円断面掘削中に働く外力の関係図

値を示した。この結果からルーフサポート力を設定するにあたっては、計算値を基に設定しておけばよいと判断できる。

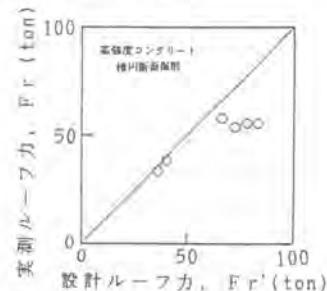


図-6 ルーフサポート力の測定値と計算値の比較

④ 傾斜切羽の岩破碎メカニズムについて

TBMによる岩の破碎は、ディスクカッターリングを切羽に押しつけることによって与えられたエネルギーがリング直下の岩をクラッシングするとともに隣接カッターの軌跡との間の部分がチッピングすることによって起こる。

通常のTBMの場合には、カッター軌跡は前周の軌跡と同一線上を通るが、楕円断面掘削の場合には、カッターヘッド回転軸方向から見て1回転分の推進量だけ平行移動したところを通る。図-7. は切羽のディスクカッターの破碎の模式図であるが、観察の結果では、図のようにクラッシングはカッターリング直下並びにその付近に起きているようである。これより、ディスクカッター軌跡のずれがクラッシングによる破碎に与える影響は余り考える必要はないと考える。

次に、チッピングによる破碎についても、カッターリングの両側で均等に起きているので、カッターヘッドを傾斜してもディスクカッターに働く荷重はディスクカッターに垂直に作用しているといえる。つまり、通常のTBM掘削と同じ破碎メカニズムであると考えられることができる。

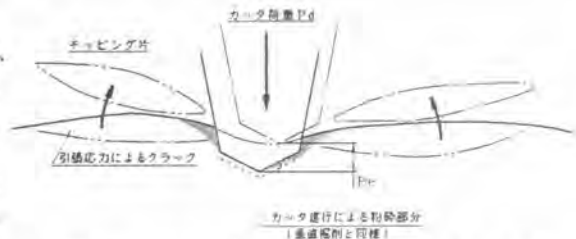


図-7. ディスクカッターによる破碎の模式図

⑤ 結果のまとめ

a. TBMのカッターヘッドを傾斜させることによって、楕円断面の掘削が可能であることが実証された。

また、破碎のメカニズムに関しても通常TBMと同様にカッターの両側でチッピングが起きていたことが観察できた。

- b. 楕円断面の掘削中には、カッタヘッドの傾斜に起因して掘削機に上向きの力が働くが、ルーフサポートジャッキを押しつけることによって掘進線形を水平にコントロールしながら掘削することができた。
- c. カッタヘッドトルクは、楕円断面掘削も円形断面掘削も同等の値であった。
- d. 楕円断面掘削のときの有効掘削推力（坑壁とシューの摩擦力を除いた推力）は、円形断面掘削のときに比べて15%程度のロスが発生する。このロスは、設計時に考えられた推力のカッタヘッド回転軸に垂直方向の分力であることが確認できた。
- e. ルーフサポート力を設定するにあたっては、モーメントの釣り合いによる設計計算式を用いれば安全側に設計できることが立証できた。

4. 楕円断面TBMの適用性

楕円断面TBMの適用性を表-1. に示す。

(1) 2車線, 3車線道路トンネルへの適用

2車線道路トンネル, 3車線道路トンネルにおいて楕円断面TBMを使用して掘削することで、従来の円形断面TBMで掘削する場合に比べ、無駄な断面を小さくすることができ、発生ずりも減少する。

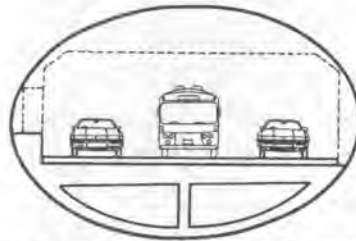


図-8. 3車線道路トンネルへの適用

(図-8. 参照)

表-1. 楕円断面TBMの適用性

| 楕円断面TBMの特徴 | | | 適用できるトンネル |
|--------------|----------------------|-------------------------------|--|
| 楕円形状の 有利性 | 全断面 | 経済的な掘削断面にできる | 横楕円 道路トンネル, 鉄道トンネル, 地下空洞等多数適用可 縦楕円 2階建てトンネル, 鉄道単線ネル等多数適用可 |
| | | 地表の占有面積が減少する(縦楕円) | 都市部やその近郊のトンネル適用 |
| | 導坑 | 導坑掘削時に広範囲の先受け工可能 底盤幅が広くとれる | 大断面トンネル(第2東名, 等)の頂設導坑, 側壁導坑へ適用 |
| 施工面の 有利性 | 切羽が傾斜しているため安定度が増す | 地質が悪い地山のトンネルへ適用 | |
| | カッタヘッドが可変であるため先受け工可能 | 地質が悪い地山のトンネルへ適用 | |

(2) リニア新幹線への適用

リニア新幹線のトンネル形状は、比較的偏平な断面であるため、楕円断面TBMで掘削した場合に必要な断面を経済的に掘削できる。

(図-9. 参照)

(3) その他のトンネルへの適用

- ・縦楕円トンネル
- ・大断面トンネルの先進導坑

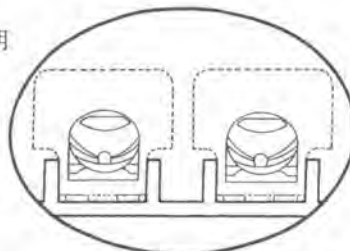


図-9. リニア新幹線への適用

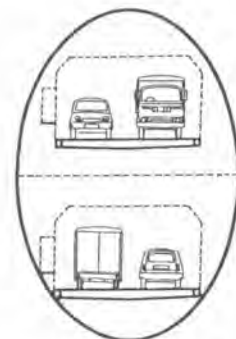


図-10. 縦楕円トンネルへの適用

5. 楕円断面TBMの全体システム

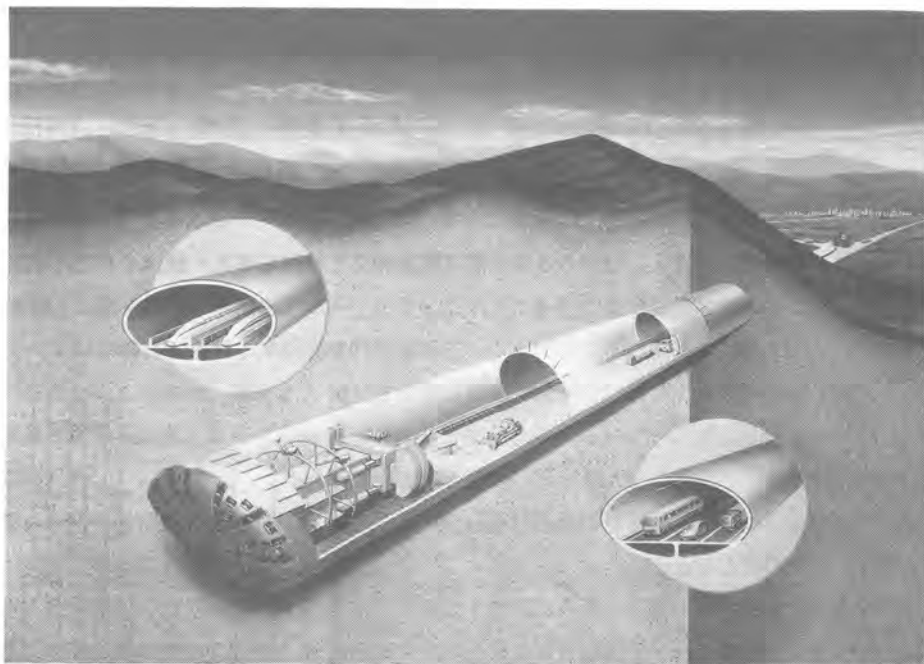


図-11. 楕円断面TBMの全体システム

5. まとめ

日本における最近5年間のTBMの導入件数は、前5年間に比較して1.5倍となっており、施工延長では2倍となっている。このようなことから今後もTBM施工は注目を浴びる工法の思われる。近い将来TBMが国内においても欧米並に道路や鉄道トンネルに全断面掘削として導入されると考えられるが、その導入に際し、経済性、省力化、地質への対応性など多くの問題が指摘される。それらの問題を全て解決できる可能性が高いTBMが楕円断面TBMである。

傾斜角 30° のカッタヘッドを装着したミニ楕円断面TBMにより、コンクリート模擬岩盤を掘削する基礎実験を行った。実験に際し、次の2点が大きい課題となった。

- 1) 傾斜カッタヘッドに水平推力をかけ、通常の掘削効率が得られるか。
- 2) 方向制御に支障きたすような大きな上向き力が発生しないか。

実験結果としては、当初の理論計算で推測した推力損失と上向き力は発生したが、いずれも計算値以下であり、掘削に支障を来すこともなく、通常のTBMと同様の掘削効率を得られることが実証された。また、破碎メカニズムについても通常のTBM掘削と同様の隣接破碎が生ずることを確認できた。

楕円断面TBMの開発はスタートしたばかりであり、本開発の最終目標である $\phi 12\text{m}$ 級の楕円断面TBMの実用化に向けて解決すべき課題は多いと考えられるが、楕円断面TBM開発グループ一丸となってこれを解決していく所存である。

42. SMWの精度管理システム

成幸工業(株)：高嶋 三郎・*西田 智一
 応用計測工業(株)：笹原 則宏

1. 開発の目的

土中にセメント系懸濁液を注入しながら3本の削孔混練軸にて地盤を削孔・攪拌することにより造成されるソイルセメントの地中連続壁は、ソイルミキシングウォール(SMW)と称され、土留めや止水などを目的として広く用いられている。SMWは、その連続性を維持する目的で、各エレメントの両端を完全ラップとするが(図-1参照)、地盤状況等によっては削孔混練軸に捻れが発生し、完全ラップ部にずれを生じる場合がある。そのため、特に地下ダム施工や大深度掘削の施工においては、造成精度を把握すると同時に不具合が生じた場合リアルタイムで対処できることを可能とした。

この造成精度の計測方法としては、削孔混練軸中に挿入式傾斜計を挿入し、各深度の傾斜データを採取して変位を算出する方式が挙げられる。従来この計測は、全て手作業にて実施されていたため、複数の作業員と多数の計測時間を必要としていた。

こうした背景から、SMWの造成精度を計測・把握する手段として、計測作業の大部分を自動化すると同時に2箇所同時の計測を一動作で実施でき、計測後即データ処理が可能なシステムの開発を行うこととなった。

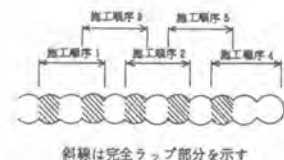
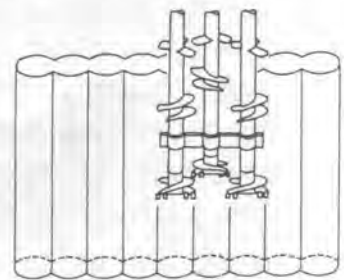


図-1 SMWの造成

2. 従来の計測作業状況

図-2に、従来の手動計測での使用機器と接続状況の概念図を示す。

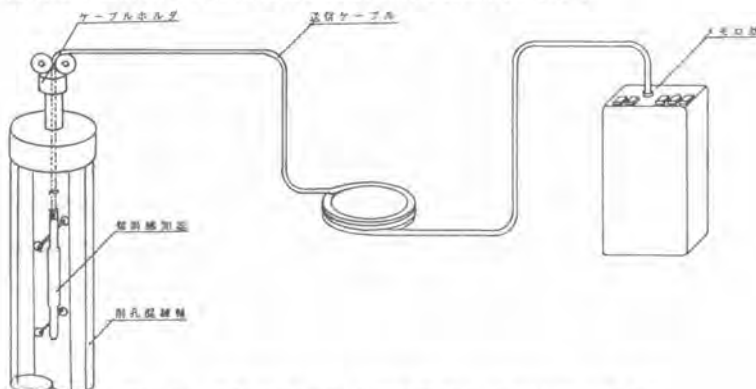


図-2 手動計測による使用機器と接続状況の概念図

また、概略計測方法は以下の通りである。

- ① 傾斜感知器を削孔混練軸内に挿入する。
- ② 傾斜感知器を所定の最大計測深度まで降ろす。
- ③ 傾斜感知器を所定のピッチ（通常2m）にて引き上げながら、各深度の傾斜データを採取する。
- ④ 傾斜感知器の固有誤差を計算上で除去するため、傾斜感知器を180°反転させ①～③の作業を繰り返す。
- ⑤ 計測深度と正反の傾斜データから各区間の変位を算出し、その変位の累積をもって所定深度の孔壁の変位とする。

これらのことからわかるように、手動計測では、傾斜感知器の昇降、データのメモロガへの取込み、送信ケーブルの巻取り、ケーブルホルダの開閉と計測レベルごとの引き上げの停止といった独立した4つの作業が生じるため、常時4人の作業員を要することとなる（写真-1参照）。

また、SMWは相互に連結された3本の削孔混練軸にて造成されるため、各エレメントのねじれを把握するには、両端の軸について計測する必要がある。よって、1度の計測について、先述した計測作業を2回行っていた。



写真-1 手動による計測状況

3. 精度管理システムの概要

(1) 技術の概要

傾斜感知器の昇降および計測データの採取・蓄積を行う計測装置とパソコンをオンラインし、パソコンからの設定データに基づいたシーケンス制御により、傾斜感知器の昇降、各深度での傾斜データの採取が自動化されている。計測装置は、一對のモータ、ドラム、ワイヤレスモデム等にて構成され、2箇所同時の計測が行える。

傾斜感知器の昇降は主モータと送り出しモータの連動にて行い、降下深度はエンコーダにて察知する。引



写真-2 精度管理システムによる計測状況

き上げピッチは、ケーブルの移動に追従するエアクランプのストロークとセンサにて察知される。

また、主操作はリモコンにて行うため、計測状況全体を確認しながら作業に従事できる。

写真-2に本システムによる計測状況を、図-3に計測装置部の外観図を示す。

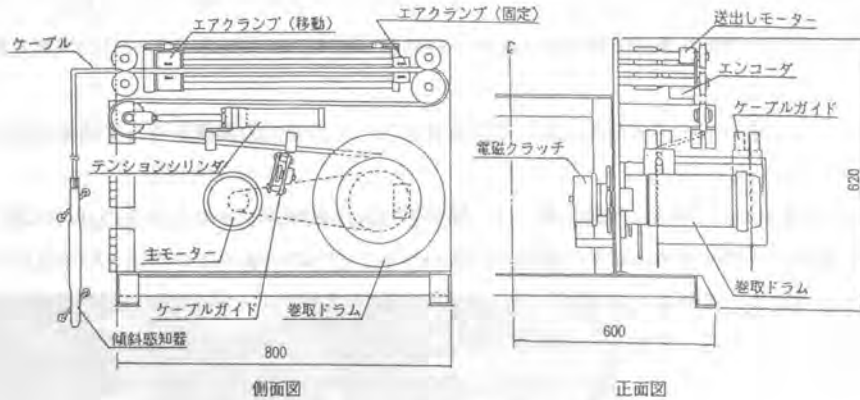


図-3 計測装置部の外観図

(2) 仕様

表-1に、精度管理システムの主要仕様を示す。

表-1 精度管理システムの主要仕様

(3) 特徴

- ① 計測作業の大部分が自動化されたため、作業員1人での計測が可能である。
- ② 2箇所同時に計測ができることに加えて、自動化により作業性が向上するため、計測時間の短縮が図れる。
- ③ 計測装置とパソコンが常時連結されており、計測終了後即データ処理を行うことができるため、削孔混練軸の変位が敏速に把握される。
- ④ システムは車に搭載されているため、広域な現場でも移動・運搬が円滑に行われる。

| 項目 | 仕様 |
|--------|---------------------|
| 電源 | AC100V, 50/60Hz |
| エア源 | 6kg/cm ² |
| 計測速度 | 8m/min |
| 最大計測深度 | 70m |
| 巻上げ荷重 | MAX15kg |
| 装置重量 | 約200kg |

(4) 計測結果の出力例

図-4に、計測結果の出力例を示す。

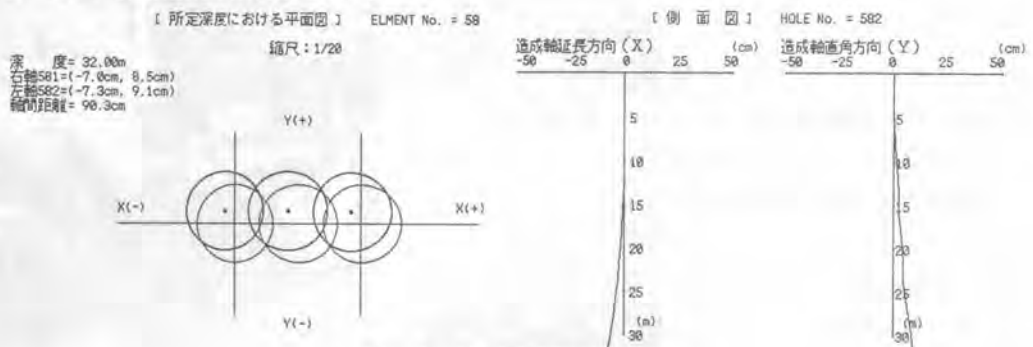


図-4 計測結果の出力例

4. 手動による計測結果と精度管理システムによる計測結果の比較

精度管理システムによる計測の信頼性を確認するため、実現場にて比較実験を行った。本システムによる計測では、計測レベルに±5cm程度の誤差を生じることが判明した。この誤差は各計測レベルでランダムに発生している。

よって、ここでは、手動計測結果と計測レベルの誤差を含む精度管理システムの計測結果とを比較し、計測レベルの誤差が結果に及ぼす影響を調べた。

(1) 採取データの比較

図-5に、6エレメントの両端軸の計測事例全体について、手動による採取データと精度管理システムによる採取データとの単回帰分析結果を示す。図-5より、造成軸延長方向の回帰式の傾きは1.0032、 y 切片は0.000093、相関係数は0.9993であり、造成軸直角方向の回帰式の傾きは1.0026、 y 切片は-0.00026、相関係数は0.9989であった。つまり、両回帰式とも、傾きは「=1」、 y 切片は「=0」で相関係数も「=1」であることから、手動による計測での採取データと精度管理システムによる計測での採取データは整合性があると判断できる。

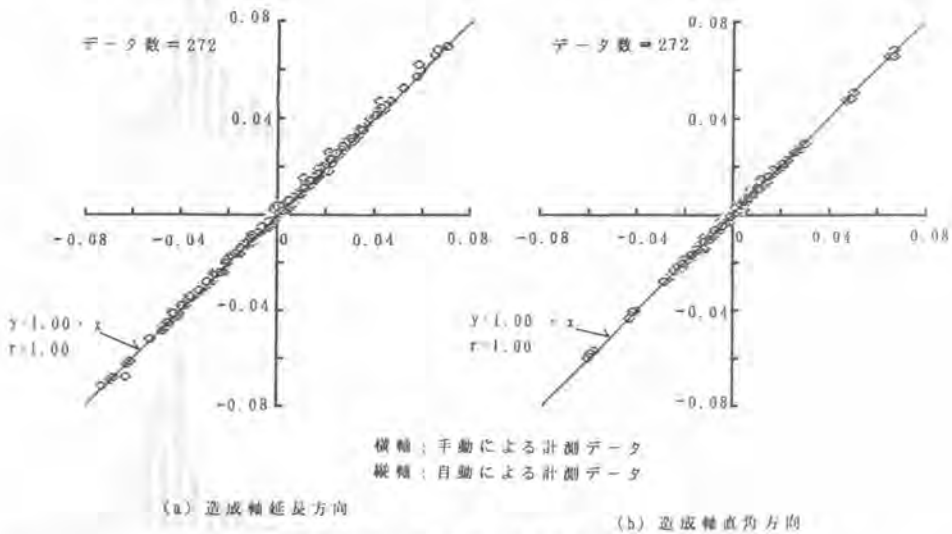
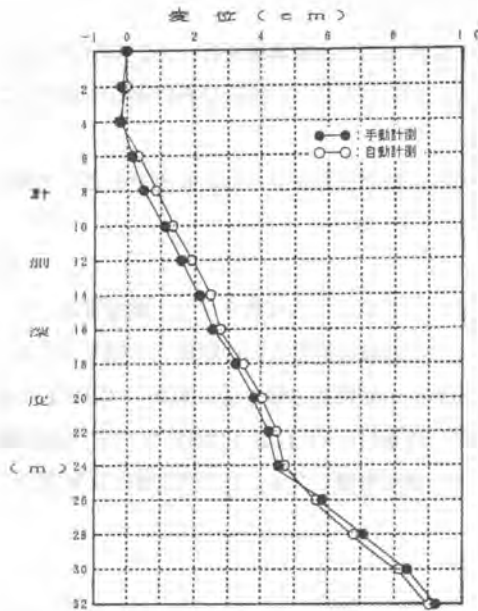


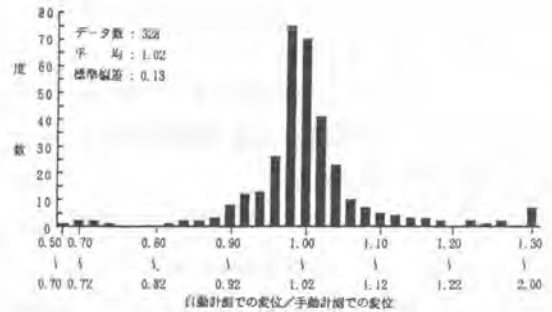
図-5 採取データの比較

(2) 出力変位の検討

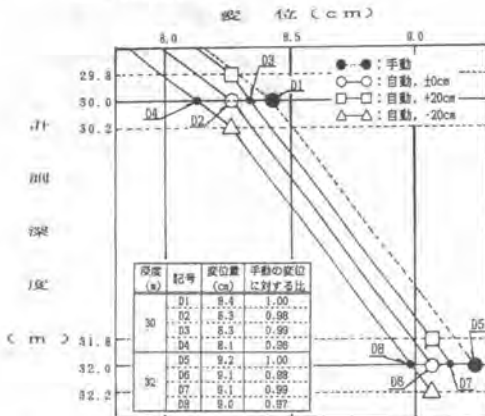
精度管理システムによる計測では、その計測レベルに±5cm程度の誤差が生じる。このことから、計測事例から1例を取り出して計測レベルの誤差による出力変位の検討を詳細に行った。図-6 (a)に、計測レベルの誤差を無視して、手動計測の場合と自動計測の場合の変位を単純に比較した例を示す。また図-6 (b)に、深度30m~32mの間について、計測レベルに最大±20cmの誤差が生じたと仮定し、各々のレベルで算出した変位を比較した例を示す。なお、図中の○印は、誤差を無視して設定レベルにあるものと仮定して出力した変位である。その結果、手動計測による変位に対する精度管理システムでの計測による変位の比は、計測レベルに誤差がないと仮定し算出した場合 0.98、計測レベルに+20cmの誤差が生じると仮定し算出した場合 0.99、計測レベルに-20cmの誤差が生じると仮定し算出した場合0.97であ



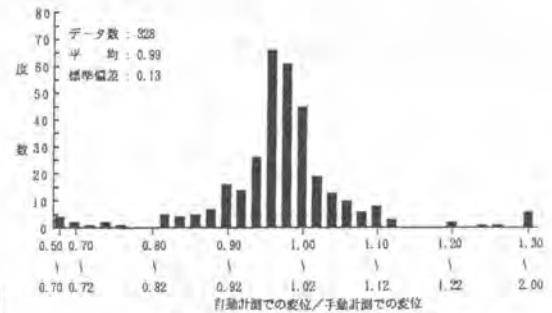
(a) 計測レベルの誤差を無視した場合の変位の比較



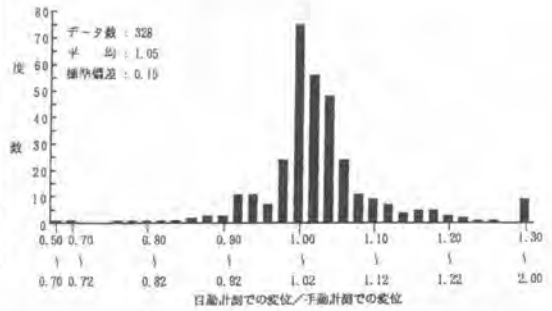
(a) 計測レベルの誤差を無視して仮定した場合



(b) 計測レベルに±20cmの誤差が生じたと仮定した場合の変位の比較(30m~32m)



(b) 各々の計測レベルの誤差を±20cmと仮定した場合



(c) 各々の計測レベルの誤差を±20cmと仮定した場合

図-6 手動計測による変位と自動計測による変位の比較例

図-7 手動計測による変位に対する自動計測による変位の比の度数分布図

った。

図-7に、6エレメントの両端軸の計測事例全体について、計測レベルに誤差が生じないと仮定した場合および±20cmの誤差が生じると仮定した場合についての、手動計測による変位に対する精度管理シ

システムによる変位の比の度数分布を示す。

図-7より、計測レベルに誤差がないと仮定した場合の平均比は1.02,計測レベルに+20cmの誤差が生じると仮定した場合の平均比は 0.99, 計測レベルに-20cmの誤差が生じると仮定した場合の平均比は1.05であった。このことから、計測レベルに±20cmの誤差が仮に生じたとしても、精度管理システムでの計測による変位は手動計測による変位の0.99~1.05の範囲内になると判断できる。

4. まとめ

- (1) 精度管理システムでの計測による採取データと手動計測による採取データとは整合性がある。
- (2) 計測レベルに±20cmの誤差を生じると仮定した場合、手動計測による変位に対する精度管理システムでの計測による変位の比は 0.99~1.05の範囲内となり、今回行った深度32mの計測6事例における各計測レベルでの変位の差は、-10mm~8mmの範囲となった。
- (3) SMWの削孔精度、造成精度を確認する手段として、本精度管理システムは、実用上十分に活用できるものである。

5. おわりに

今回の開発により、SMWの精度計測作業の省力化と効率化という成果を得ることができた。今後、益々のSMWの品質向上を目指して、本システムの拡大を図って行く予定である。

なお、計測レベル精度は、2号機においては±20mmを目標に改良を加え現在稼働中であり、ほぼ目標通りの計測レベルで作業を行っている。今後この種の工事への定着を図って行く所存である。

最後に、本システムの開発にあたり、多くのご指導とご協力を頂いた関係各位に感謝の意を表す次第である。

43. アスファルトフィニッシャ自動操向装置による施工の合理化

鹿島道路㈱：*木下 洋一
東洋運搬機㈱：北村 幸雄

1. はじめに

近年のエレクトロニクス関連技術の進歩は目覚ましく、様々な新技術が産業面に応用され、我々を取り巻く生産環境を変化させている。建設業においてもこの流れは例外でなく、施工の高度化に伴う自動化の波が押し寄せている。このような状況のもと、舗装材料であるアスファルト混合物の敷均しに用いられるアスファルトフィニッシャの自動化は建設機械の中では長く、今日においても各方面で引き続き開発が進められている。しかし、むやみに自動化を押し進めるとかえって複雑な操作や、段取りに手数のかかるものになりかねない、ゆえに、自動化計画においてはその自動化機能の選定が重要である。

一般的には全自動AFとは主に作業装置を自動化したものであるが、敷均しシステムとして考えた場合には根本的に対応する箇所がほかにある、この観点より当社は操向の自動化を1985年より取り上げてきた。ここでは、今回具体化したシステムについてその原理と効果を述べる。

2. 自動操向の必要性（IE分析の結果）

自動化に求められる要求とは省力、品質、精度、安全性、環境改善、などであるが、単なる簡素化や安全で楽に品質の良い物が得られるだけにとどまってはその価値は半減してしまうと思われる。自動化に対する期待効果は、人間でなければ出来ないより高度な操作・管理にオペレータの目を向けられる様にする事である、つまり「人間機能の活用」が重要なポイントになると考えなければならない。

そこでアスファルトフィニッシャの何処をどの様に自動化すれば良いか、その要素選択を行った。我々は今までの舗装施工経験からアスファルトフィニッシャの操作のなかで運転手がハンドルを絶えず細かく動かして目標となる操向基準を追っていることに注目してきた。そこでアスファルトフィニッシャの施工作業装置について、その機能をVE手法を用いて分析した結果 操向、材料の送り、敷均し厚さ、の3点に絞られることが分かった。ここで各機能について既存の自動化の有無を調べると、材料の送り、敷均し厚さ、についてはすでに実施されており、運転手はハンドル操作のためだけに機上に拘束されているのが現状である。

一方最近、IE手法を用いて「アスファルトフィニッシャに関わるオペレータ作業の分析」を行った結果、運転手の作業時間のうち右手の97.5%、左手の26.2%が操向のためのハンドル操作に費やされているとの報告がされた。この事は、アスファルトフィニッシャを操作する上で、操向の自動化を行う事が大きな効果をもたらすことを明かにしている。

3. 自動操向の経緯（実用化例と問題点）

現在までに試みたアスファルトフィニッシャの操向装置の自動化例と問題点についてあげてみる。

a. 光学方式

テレビによる画像やCCDセンサを用いて反射光の濃淡を判断し制御する方式である、施工路面の白線などを追従するようにしたものが多い。非接触であり段取りが比較的楽ではあるが、精度がセンサの分解能力に左右され、また太陽光などの外乱に影響を受けやすいため信頼性に欠ける点があった。

b. レーザー光線誘導方式

操向輪に取り付けたセンサがレーザー光を常に捕捉するように舵角を制御する方式を試みた。機構が簡単で信頼性が高く、ダムフェーシング工事において高い直進性と、オペレータの操向作業からの完全解放を可能とした。(写真-1)

この場合直線誘導であったので容易だったが、レーザの特性上曲線施工においては難しい方法である。

最近レーザー光線自動追尾方式のトータルステーションを用いて曲線部のプログラム操向制御を行った事例報告があるが、限られた範囲ではなく移動施工を行う工法には不向きであると思われる。

また、双方向通信時の妨害(レーザー光を遮る障害物、霧 雨などの自然条件)による信頼性に問題がある。



写真-1 ダムフェーシング工事での施工状況
(レーザー誘導方式自動操向)

c. 電磁誘導方式

産業用搬送機器などで多く用いられている方式で、磁気誘導ワイヤから発する磁場を左右2個のピックアップコイルにより感知し、操向の制御を行うものである。非接触で信頼性が高く、曲線操向の誘導誤差も少ない。

しかし、工場のように固定走路では問題はないが、移動施工を行う現場では誘導ワイヤの設置などの手間が掛かり施工上のネックとなった。



写真-2 電磁誘導方式による自動操向施工状況

4. 超音波による非接触操向制御の開発

超音波を利用した距離測定システムは概に多くの制御機構に用いられている。従来舗装工事現場に於いては構造物、型枠などの施工基準となる段差が存在するが、これを操向基準と兼用させることを目的として超音波を用いた新操向システムを開発した。

4-1 原理

図-1において一对の超音波センサが本体の蛇行により変位した場合、段差によって各々のセンサに距離の差が生じる。

この差をマイクロプロセッサで比較演算し、ステアリング機構を制御する出力信号として得られる。この信号により油圧アクチュエータを作動させ操向車輪の舵角を変えるわけであるが、このとき舵角変化量はセンサにより検知され、制御回路にフィードバックしてより細かな制御を行っている。

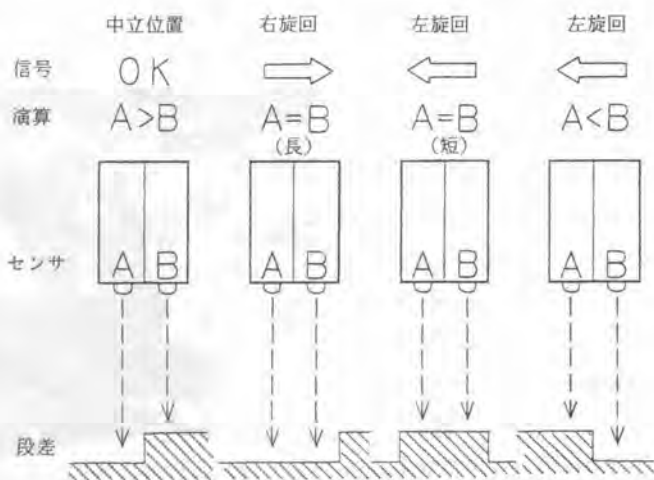


図-1 超音波センサの原理

4-2 システム

システムの概要は図-2において、一对の超音波センサを組み込んだセンサ部、パルス発振制御及び距離演算を行うマイクロプロセッサ部、D/Aコンバータ、油圧サーボ、フィードバックセンサ部から成り立っている。制御部はアスファルトフィニッシャ本体に納められており、作業時に着脱式のセンサをケーブルを介してつなぐ方式を取っている。

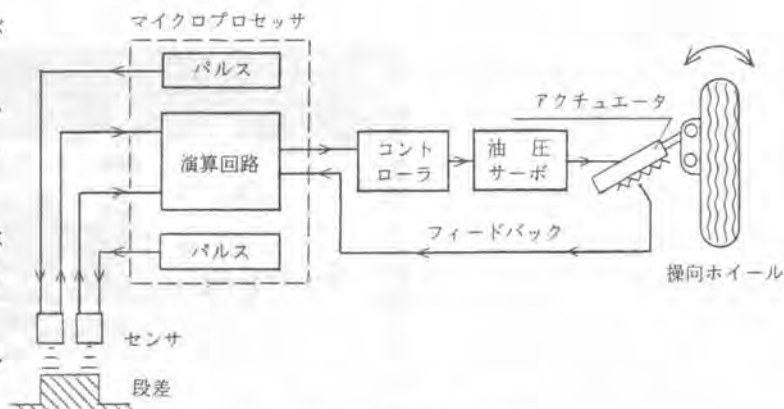


図-2 制御装置システム

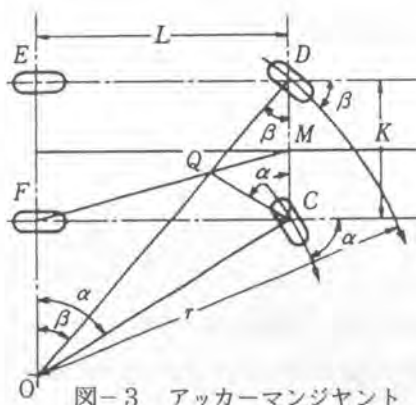
このシステムの利点は、既存の段差を利用して施工の前準備に影響を及ぼさないことと、センサそのものが軽量、小型、非接触で信頼性の高いことである。

5. 結果

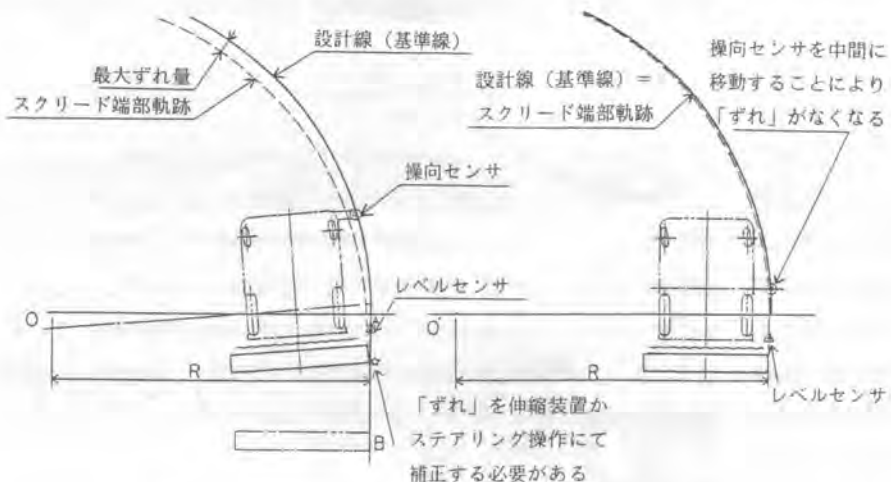
この超音波式操向制御システムをホイール式アスファルトフィニッシャに搭載し評価を行った。その結果半径10mの曲線部において車速1 km/h以下の条件で、その誘導誤差は約±30mmであった。この結果は実施工において十分許容できる値であるので、引き続き施工現場での評価とシステムの改良を行っている。ここでセンサの取り付け位置により操向基準とスクリード端部の軌跡に「ずれ」が生じた。

従来舗装施工時、アスファルトフィニッシャの操向を行うときは本体先端にガイドを設け、操向基準

にこのガイドを合わせるようオペレータがハンドル操作を行っていた。曲線施工時基準線と舗装幅員端（スクリード側端部）の軌跡が一致しない事は経験的に知られているが、このようなときはオペレータがハンドルを故意にアンダーステアにするか、スクリードの幅員を調整することで対応してきた。ホイール式アスファルトフィニッシャのほとんどはステアリングの機構としてアッカーマンジョイントを用いている。



この機構を用いる限り前後輪の「ずれ」すなわち輪差を生じる、またアスファルトフィニッシャは構造上後輪より後ろ側にスクリード装置を備えており、なおかつ施工幅員に合わせて側方へもオーバーハングさせた状態で施工を行う。ここで「ずれ」の要因としては回転半径に応じた輪差とスクリードの合成オーバーハング量、そして実際にはタイヤの滑りなども考えられ、制御の対象としてははなはだ難しいものとなっている。図-4において最大変位量を感じることができる右全部に操向センサを置くと、現状のステアリング機構では「ずれ」が生じることは避けられない。



そこで「ずれ」が最も少なくなる部位を解析し、センサを後ろにずらしてスクリード端部に近付けた。しかし変位量が少なくなるためにセンサのレスポンスが悪くなり、一般的なON-OFF制御機構では蛇行してしまう。そこで小さな変位量を電氣的に増幅して演算し、その変化量に比例した操舵角をフィードバック制御することによって対応することができた。

6. まとめ

以上ホイール式アスファルトフィニッシャにおける操向装置自動化の意義と今までの経緯、及び超音波を用いた新システムを紹介した。今後は厳しい条件への対応を含め、他の自動化へ繋がる総合的なシステムに広げ、施工の合理化を進めていきたいと考えている。

44. 鉄骨建入レーザー自動計測システム

大成建設(株)：神崎 正・中野 孝一

*松本三千緒

1. はじめに

近年、高層ビルの施工では積層工法、ブロック化工法、大型設備ユニット工法、リフトアップ工法などの様々な新工法が採用されはじめている。これらは工期の短縮・省力化などを目指したものであり、今後もこの傾向は進展していくものと予想される。しかし、このような状況の中で施工中の建物や部材の位置を計測する技術には大きな進展が見られず、

依然として人手による計測(測量)に主体がおかれている。本論文で紹介する「鉄骨建て入れレーザー自動計測システム」はこのような要求に応える手段として、鉄骨建て入れ時や歪み直し時の位置計測を人手によらず自動的におこなうシステムとして開発したものであり、従来の人手による計測方法に比べ短時間かつ高精度に測定でき、また省力化・省人化に対して大きな効果を有するものである。

本システムは三菱重工

横浜ビル一期棟新築事業所で採用されたT-U P工法の一環として開発したものであり、現場での実験を通じて精度・測定時間・操作性などの検証をおこない実用化したものである。本文では、その技術概要と実験内容について報告する。

2. 既存の計測方法

従来、ビルを建造していく過程での計測(測量)作業には大きく分けて、鉛直方向への基準墨上げ作業と鉄骨



写真-1 建築中の三菱重工横浜ビル

建て方階でおこなう鉄骨位置決め作業がある。基準墨上げ作業では、専門の測量技師が下げ振り（おもり）や光学鉛直器を使用し、工事の進行に合わせて低層階に設けた基準墨を上層階に移設している。また、鉄骨の建て入れや歪み直し時の位置決め作業では、巻尺やレベルやトランシットを用い、人手による測量をおこなっている（写真-2）。しかし、鉛直方向への基準墨上げ作業では、鉛直距離が長くなるにつれて下げ振りの設備が大がかりになること、光学鉛直器では人が望遠鏡を視準する関係から計測で



写真-2 従来法による鉄骨建て入れ位置決め作業

きる階数は4～5階が限度であり、鉛直器を盛り変える必要性から誤差の累積が生じる等の欠点があった。また鉄骨の位置決め作業では測量作業に人手がかかると同時に鉄骨の上部（柱頭）に測量員が登りスケールをあてたり、測量用の棒尺を出すなどの作業が必要であり安全作業への配慮が必要とされ、かつ歪み直し中の鉄骨以外の鉄骨の動きを同時に見ることができないなどの欠点も多かった。さらに、建設中のビル自体が風などにより揺れや振動をおこすため、これらの点を配慮して測量作業をおこなう必要があった。

3. システムの概要

3-1 システムの構成

本システムは、上層階に対して鉛直方向に基準墨を上げるためのレーザー鉛直装置と建て方中の鉄骨の位置を計測する為のレーザースキャニング装置で構成される（図-1）。レーザー鉛直装置は先行コアと呼ばれる鉄骨の4隅の地上階に配置される。また、当作業所で採用されたT-UP工法では最初に最上階部を構築し、施工段階にあわせてリフトアップしていく方式であるため、最上階部（ハット梁）に仮設置された屋根の下で鉄骨建て入れ作業がおこなわれる。そこで、鉄骨の位置を計測するためのレーザースキャニング装置は、この屋根部中央に取り付けることで建て方中のコア部の鉄骨を上部より測定する方法を採用した。また、これらの装置から得られる情報はリアルタイムに施工に反映させる必要があるため、コンピュータなどの演算・

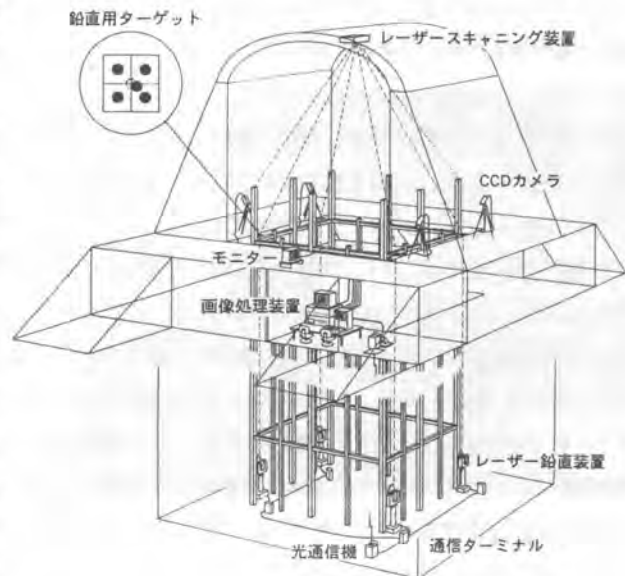


図-1 鉄骨建て入れレーザー自動計測システムの構成

表示装置はハット梁内部の計測室に配置し、さらに鉄骨の建て方をおこなう施工場所には鉄骨位置表示用のモニターテレビを設置した。地上階に設置した4台のレーザー鉛直装置と計測室内部のコンピュータ、ハット梁屋根部のレーザースキヤニング装置はネットワークを通じて連携され、相互にデータ交換をおこなっている。

3-2 システムの動作原理

本システムはレーザー鉛直装置とレーザースキヤニング装置で構成される。レーザー鉛直装置は地上階の基準墨4点を約4秒の鉛直精度で上方に向けてレーザー照射するものであり、ハット梁上4箇所に設置された半透明のターゲット板に赤色のレーザースポットとして投影される。この投影されたレーザースポット4点がレーザースキヤニング装置を動作させる時の基準点となる。レーザースキヤニング装置はこの4点のレーザースポットを利用して、まず自分自身の位置を把握した後に鉄骨柱頭位置の計測をおこなう。以下この過程を順を追って記述する。

① レーザースキヤニング装置位置の算出原理

一般に座標の分かっている点が3点あればその点を利用して座標未知点を求めることができる。図-2でA1、A2、A3が座標の分かっている3点で、A0が求める座標未知の点とすると、A0から他の3点を見たときの各線分S1、S2、S3の挟角 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\alpha 3$ がわかればA0点の座標を求める事ができる。まず、以下の3式を解く事により線分S1、S2、S3を求める。

$$S2^2 + S3^2 + 2 * S2 * S3 * \cos \alpha 1 = l1^2$$

$$S3^2 + S1^2 + 2 * S3 * S1 * \cos \alpha 2 = l2^2$$

$$S1^2 + S2^2 + 2 * S1 * S2 * \cos \alpha 3 = l3^2$$

ここで、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\alpha 3$ 、 $l1$ 、 $l2$ 、 $l3$ は既知の量である。次に、求めたS1、S2、S3と既知点の座標を以下の3式に代入し、

$$(X1 - X0)^2 + (Y1 - Y0)^2 + (Z1 - Z0)^2 = S1^2$$

$$(X2 - X0)^2 + (Y2 - Y0)^2 + (Z2 - Z0)^2 = S2^2$$

$$(X3 - X0)^2 + (Y3 - Y0)^2 + (Z3 - Z0)^2 = S3^2$$

この連立方程式を解くことにより求める未知点A0 (X0, Y0, Z0)の座標が求められる。

レーザースキヤニング装置は内部に画像処理用CCDカメラ・光波測距儀・レーザー発振管を備えており、これらの光軸が同一線上になるようにハーフミラーを使って配置している。そして、この光軸は2つの回転ミラーによって約120度ステラジアン範囲をスキヤニングできる様に調整され、このときの回転ミラーの角度は高分解能のレーザーエンコーダにて4秒の精度で設定できるようになっている。そして、内蔵のCCDカメラと画像処理機で鉛直に上げられたレーザースポットを画像中心に誘導し、このときの2つのミラー角から挟角を算出している。実際には、レーザースポットは4点上がっているため、4点から3点を選ぶ組み合わせは4種類となり、これらの平均をとって装置位置としている。この他、光波測距儀を内蔵しているので直接S1、S2、S3を測定して装置位置を求めることもできる。

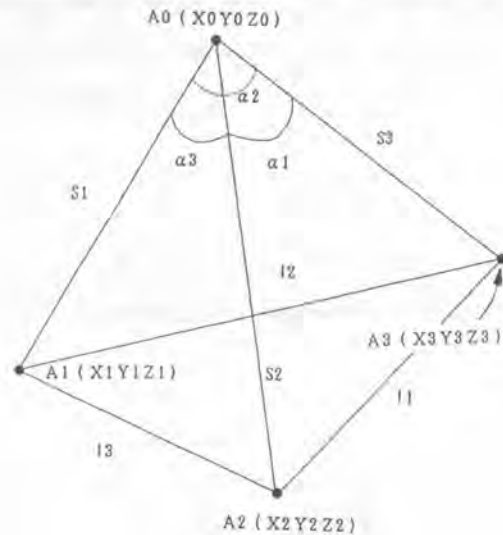


図-2 既知点3点と未知点との関係図

② 鉄骨柱頭位置の算出原理

レーザースキャニング装置より鉄骨の上部中心（柱頭）位置を算出する原理を図-3に示す。A0点の位置は前述の計算から既知である。この点A0から目的とする鉄骨の柱頭までの距離Lとその視線の水平角 α 、鉛直角 β がわかれば鉄骨柱頭の3次元位置を求める事ができる。

ここで、水平角基準方向からの角度 α や鉛直角 β は前述の回転ミラーの測角値から求められるが、スキャニング装置の設置位置は揺れや振動のため必ずしも設計上の設置位置にあるとは限らない。実際には前述の過程で求めた装置位置と既知点A1、A2、A3の関係からその瞬間の装置の設置位置の誤差（傾きやねじれ）を算出し、エンコーダでの測角値を補正して計算をおこなっている。

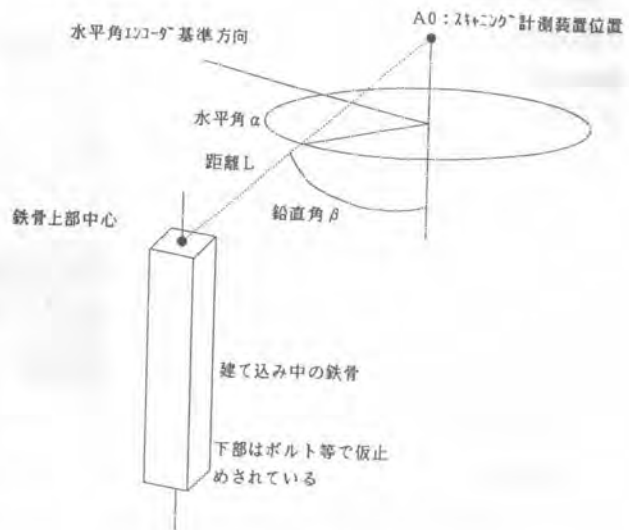


図-3 鉄骨上部中心位置の算出図

4. 実施例

三菱重工横浜ビル1期棟新築工事共同企業体（作）において実施した例を示す（写真-1）。レーザー鉛直装置は隣接する横浜ランドマークタワーにて実証済であるため、ここでは工事の初期より単独で運用を開始した。レーザースキャニング装置については設置・調整・各種試験・性能評価等をおこなった後に実証実験および試験的な運用をおこなった。写真-3はハット梁内に設けられた計測室での測定作業風景である。ここには、レーザースキャニング装置を駆動したりレーザー鉛直装置を駆動するための制御用コンピュータや解析用コンピュータ、画像処理装置、ネットワーク装置等を集中配置している。ここからの操作により、地上階に設置された4箇所のレーザー鉛直装置が遠隔操作されハット梁上に設置されたターゲット板、CCDカメラから必要なデータが収集される。また、ハット梁の屋根部中央のレーザースキャニング装置もここから遠隔操作され画像データ、測角データ等が収集される様になっている。そして、収集したデータは画像処理器、解析用コンピュータなどで演算解析され画面表示されるとともに次の動作指示がネットワークを通じてこれらの機器に伝送される。



写真-3 計測室での作業風景

写真-4は地上にてレーザー反射シートを吊上げ前の鉄骨に取り付けている様子である。この後、鉄骨は施工階に吊上げられて建て込まれる。レーザースキャニング装置からはこの鉄骨に向けてレーザーが照射され、同時に画像処理用CCDカメラにその映像が捉えられ、位置計測がおこなわれる。このビルはコア先行型の工法であるため、レーザースキャニング装置の測定対象はコア部の鉄骨2本であり、外周部の鉄骨の計測は行っていない。スキャニング装置から出されるビーム幅はある程度広げているため、建て込まれた鉄骨が設計位置になくともレーザーは反射シートに照射

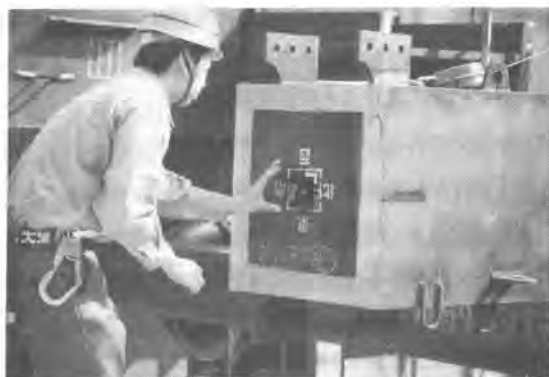


写真-4 鉄骨への反射シート取り付け

されCCDカメラには反射光が捉えられるようになっている。実際のビーム幅は鉄骨付近で約30cm程度になるように調整した。レーザーの照射された反射シートは全面が発光することになるが、画像処理装置でその重心位置を算出するため、画面中心からのずれ量は正確に求められる。

写真-5はテレビ画面に鉄骨の設計位置からのずれ量が表示されている様子を示している。この写真は最上階となる34階でのコア部鉄骨の歪み直し中のものである。建て入れ直後は数十ミリのずれがあるが、歪み直し作業が進むにつれて画面上にはほぼリアルタイムにその変位が映し出される。実際に歪み直し作業をおこなっている施工場所にもモニターテレビが設置されているため、作業員はモニターを見ながら作業を進められる。しかも、歪み直しを行なっている鉄骨以外の移動も同時に分かるため、作業の手戻しなどを極力押えることができる。

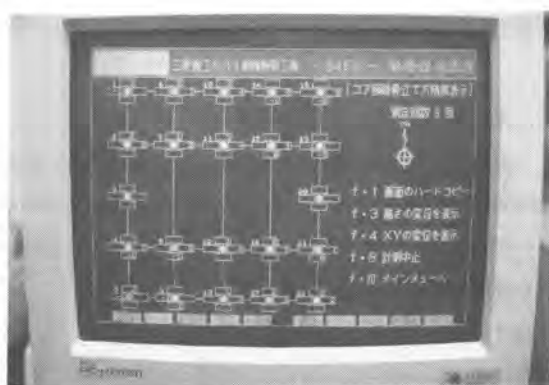


写真-5 画面に表示された鉄骨位置

5. 実験結果について

本システムは揺れなどによる測定誤差を受けないように、基準点から自分自身の位置を割り出しながら目的とする鉄骨の位置を計測する方法をとっている。したがって、短時間で広いエリアを視準する必要があるため、ミラーを回転させてレーザーやCCDカメラの光軸を移動させており、最終的な計測速度は約0.8秒となっている。その結果、揺れ量の大きさには影響されませんが、揺れの速度が早い場合には誤差を生じる恐れがあるため、計測値は移動平均をとって表示するようにした。図-4は歪み直し中の鉄骨位置の画面出力例であり、歪み直し作業はこの数値の変化を見ながら各鉄骨が目標範囲に入るように誘導される。また、本システムの相対的な精度を見るため、鉄骨上の反射シートを鋼尺を用いて100mm～500mmの範囲で段階的に移動させ、表示値と

の誤差をテストしたが、反射シート位置と表示値との差は±1mm以内におさまっていた。図-5は32階のNo13の鉄骨上で反射シートを100mm200mmの2段階で同一方向に移動させた時の本システムの測定結果である。このテストは本システムの機械的な傾向を見るためにおこなったものであり、どの鉄骨においても同様の結果が得られた。したがって、本システムの要所となる2枚の回転ミラーとCCDカメラの光軸との関係から生じる光学的な歪み誤差は、ほぼ無視出来るものと判断される。

6. 今後の課題

今回の開発と現場での試行により鉄骨の建て方作業の効率化と省力化に本シ

テムが極めて有効であることが確認された。今後は、さらに現場での運用を進め、測定データの蓄積と精度の向上をおこなっていく予定である。そこで今後、特に開発を進めなければならない課題として、タワークレーンを用いた既存の工法に適用していく為の改良があげられる。この場合、設置場所が回転などの移動を伴ったり、揺れや振動が激しい場所でも測定できるようにする必要があり、課題としては

- ・システムのスキャニング速度の向上
- ・測定範囲の広角化
- ・エンコーダ等測角機能の精度向上

などがあげられる。また現在、本システムは鉄骨柱頭位置の計測を主体としているが、これを制御装置と連携させた鉄骨の自動位置決めシステムへの発展も考えられる。今後は、このような将来の課題の検討も含めてシステムの開発を進めていく予定である。



図-4 歪み直し中の鉄骨位置の画面出力例

| | |
|---------------------------------------|-------------|
| No13 X=-2 Y=4 Z=3 93-05-20 18:15:03 | Y方向 現位置 |
| No13 X=-2 Y=4 Z=3 93-05-20 18:15:05 | |
| No13 X=-2 Y=4 Z=3 93-05-20 18:15:08 | |
| | |
| No13 X=-2 Y=104 Z=3 93-05-20 18:23:49 | Y方向100mm移動後 |
| No13 X=-2 Y=103 Z=3 93-05-20 18:23:52 | |
| No13 X=-2 Y=104 Z=3 93-05-20 18:23:55 | |
| | |
| No13 X=-2 Y=203 Z=3 93-05-20 18:29:11 | Y方向200mm移動後 |
| No13 X=-2 Y=204 Z=3 93-05-20 18:29:14 | |
| No13 X=-2 Y=204 Z=3 93-05-20 18:29:17 | |

図-5 反射シート移動時の測定データ

45. 電子スタッフによる沈下計測システム

大成建設(株)：台 和彦・宮崎 裕道
*戸田 浩

1. はじめに

近接工事においては、既設構造物への工事による影響を監視するために諸々の計測が行なわれる。中でも、沈下計測は最も多く行なわれる計測項目の一つである。この沈下計測用計器には従来、水盛式沈下計(連通管式ともいう)が主に用いられてきた。

東京都神田川お茶の水分水路工事にあって、近接構造物である営団丸ノ内線御茶ノ水駅構内においては建築限界の関係で水盛式沈下計が設置できないということもあり、測点数100点余の沈下計測をレーザーレベルと電子スタッフ、EPSネットワークシステムの組み合わせで行ない、施工管理に反映した。本稿では上記の沈下計測システムについて報告する。

2. 工事概要

お茶の水分水路は神田川の洪水対策として東京都からの発注で築造する。総延長1300mのうち、760mの区間は外径10、5mの泥水加圧式シールドで施工する。(下図参照)

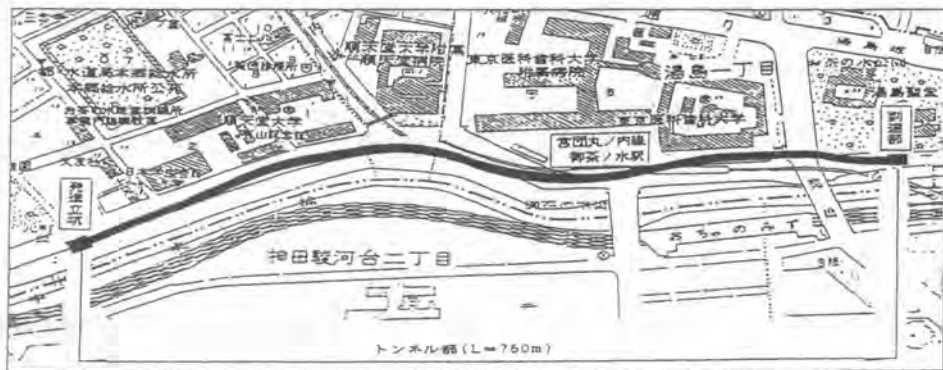


図-1. 全体平面図

このトンネル区間には上・下水道やお茶の水橋、聖橋等様々な重要近接構造物があるが、なかでも営団地下鉄丸ノ内線は隧道部では離隔約2mで230m並走し、御茶ノ水駅舎部では離隔約2.5mで120mにわたり斜めにアンダーパス、という広範囲で近接する。

当然の事ながらシールド掘削に先だって様々の防護工が行なわれたが、営団お茶の水駅付近では図-2に示すように駅舎構内からのCB注入、神田川法面からシールド通過予定断面上半部への水平複合注入が行なわれた。

駅舎については、上記の薬液注入による不等隆起やシールド通過による不等沈下といった、地下鉄線路や駅舎構造物への悪影響が懸念されたため、本稿で紹介する沈下計測システムやその他の計測によっ

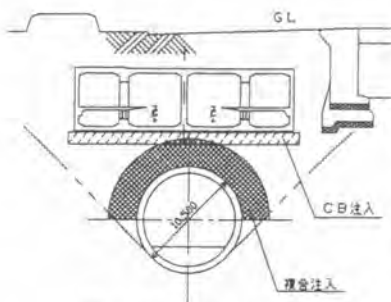


図-2. 薬注断面図

て安全を確認しながら慎重な施工が行なわれた。

ボックスカルバート構造の隧道部では30mピッチに電子スタッフによる沈下と傾斜計による横断方向傾斜を、駅舎部については約5mのメッシュ状になるように壁と柱に電子スタッフを設置して沈下を測定している。図-3に配置図を示す。

駅舎部の1横断測線について5～7測点、1縦断測線については15～16測点になり、各々隣合った測点間の相対変位と絶対変位を厳密に管理することで線路や駅舎構造の安全を計った。

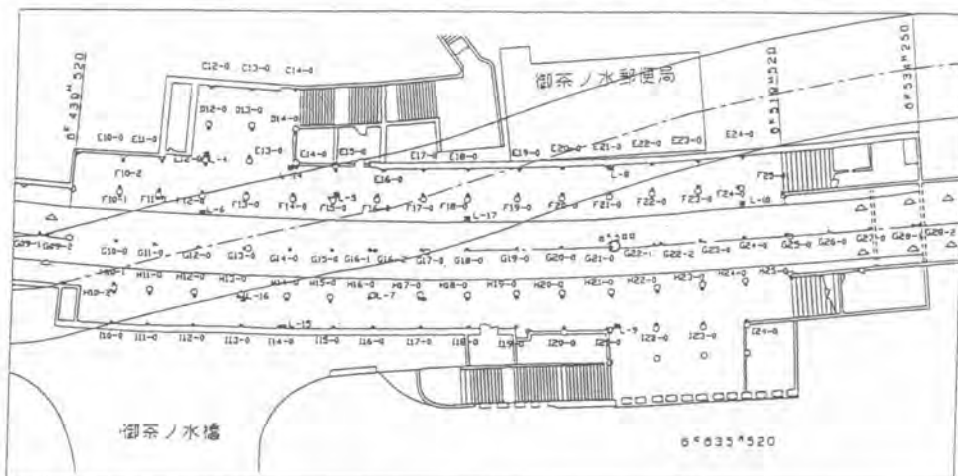


図-3. 測点配置図



写真-1. スタッフ・レベル取付状態

図-4に電子スタッフ原理図を示す。

レーザーレベルから発光されたレーザー光を縦に並べられた光ファイバーを介して受光素子が受光し、内蔵されたCPUがどの高さに受光したかを計算してデジタル信号にしてLCDに表示、同時にRS-232C通信ポートに出力する。

測量機械であるから、水盛式沈下計よりも信頼性が高いであろうという期待で、事前に別の現場で、電子スタッフの性能確認試験を行なった。

この試験では、屋外でレーザーレベルから約60m離して2台の電子スタッフを並べて設置し、分解

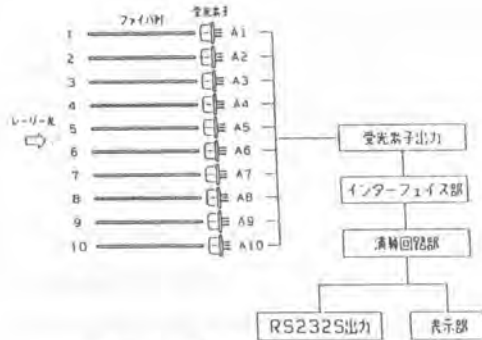


図-4. 電子スタッフ原理図

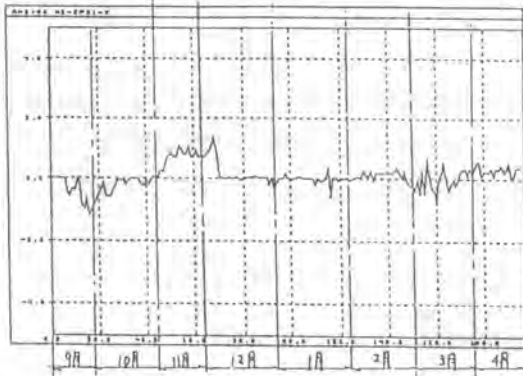


図-5. 安定度試験

るが、1秒おきに出力されるデータをさらに統計処理する事により最終的には ± 0.3 mm以内程度に収まった。

表-1にその時の試験結果の一部を示す。

また安定度については、設置場所が地表面であったため日射・外気温等による実際の沈下隆起も含まれると思われるが、6ヶ月間の標準偏差で0.6mm程度であった。

図-5に安定度試験時の経時変化グラフを示す。

お茶の水分水路工事においては設置後ほぼ丸2年以上連続運転しているが、レーザーレベルの回転用ベルトを交換する以外は特に故障はしていない。このベルトはゴム製であるため、6ヶ月毎の交換は必須である。電子スタッフも駅舎屋内に設置されたこともあって大きな故障はほとんどないが、ごくまれに、受光素子の動作不良と思われる現象が数回発生しただけである。

4. 沈下計測

電子スタッフ・レーザーレベルで沈下計測を行なう場合、広範囲に測点が散在すると一台のレベルからのレーザー光だけでは、遮閉物等により、全ての測点には届かないことが多い。その場合は図-6に示すように同じ場

表-1. 精度試験結果

| 実移動量(mm) | A側読み(mm) ()内は誤差 | B側読み(mm) ()内は誤差 |
|-----------|---------------------|---------------------|
| ± 0.0 | $+0.05$ (+0.05) | $+0.10$ (+0.10) |
| $+15.0$ | $+14.90$ (-0.10) | $+14.95$ (-0.05) |
| $+30.0$ | $+29.90$ (-0.10) | $+30.25$ (+0.25) |
| $+20.0$ | $+19.90$ (-0.10) | $+20.15$ (+0.15) |
| $+2.1$ | $+2.15$ (+0.05) | $+2.10$ (0.00) |
| $+6.6$ | $+6.65$ (+0.05) | $+6.80$ (+0.20) |
| $+9.8$ | $+10.00$ (+0.20) | $+10.00$ (+0.20) |
| $+0.3$ | $+0.25$ (-0.05) | $+0.45$ (+0.15) |
| ± 0.0 | -0.05 (-0.05) | $+0.20$ (+0.20) |
| -2.7 | -2.50 (+0.20) | -2.45 (+0.25) |
| ± 0.0 | $+0.15$ (+0.15) | $+0.15$ (+0.15) |

注) 実移動量はA, B各々別個のパーニャダイアルで設定している。

能・精度試験と6ヶ月間程の安定度試験を行なった。分解能については何種類かの任意の高さに電子スタッフを上下し、出力されるデータと実測移動量を比較した。この試験の結果では、電子スタッフ内部で行なわれる99回迄の移動平均による出力データそのままでも仕様通り ± 1 mm以内に充分収まっている。

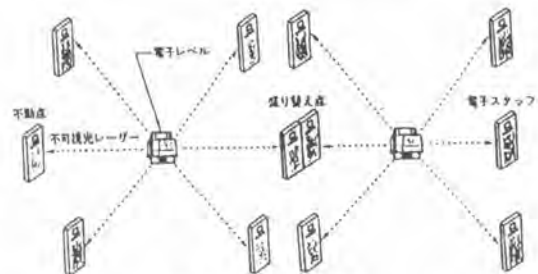


図-6. レベル盛替

所に電子スタッフを背中合わせに二台設置したり、レーザーレベルと電子スタッフを組み合わせ設置して、レベルの盛替を行なう必要がある。レベルから電子スタッフ迄の最高距離はカタログデータで約170mとなっている。

ただし、絶対沈下量については不動点から盛替点を通過する毎に誤差が累積されるということに注意しなければならない。

本工事のように狭い屋内に多数のレベル・スタッフを設置する場合、レーザー光線の乱反射や蛍光灯などの外乱光を防ぐために、遮光フードや余分な受光部への目張りが必要であった。これは、取付後の初期調整時に確実に行なうことが必要である。

また、レーザー光は温度分布等による空気密度差があると屈折して誤差の最大の原因となるので、光路は空気の濁む様な場所は極力避けたほうがよい。

5. データ収集システム

電子スタッフを沈下計として使用するためには、下記の点が問題となる。

[問題点]

- ①. 出力がRS-232Cであり配線を伸ばせない。
- ②. -----〃----- 多点計測が難しい。
- ③. 外付けACアダプターが必要。
- ④. 電子スタッフ内のCPUが暴走したときに遠隔リセットができない。
- ⑤. 精度を上げるための統計処理をホスト側で行なう必要がある。(ホスト負荷大)



写真-2. FNT

以上の問題点を解決するために、EPSネットワークシステムを採用している。このシステムは複数の電子スタッフ用アダプター(以下FNT: Field Network Terminal)と1台の専用ネットワークコントローラ(以下FNC: Field Network Controller)から構成され、各々は4芯電話線で接続される。他にも同様の通信装置が販売されているが、統計処理の機能があるのはこのFNTだけなのである。

電子スタッフ一台にFNT一台が接続され、全ての電子スタッフのデータが1台のFNCに自動的に収集される。

FNTは通信や統計処理を行なうCPUと電子スタッフ用電源を内蔵しており、電子スタッフ用通信ポートとネットワーク用通信端子を持つ。FNCは、1回線当り32台までのFNTが芋づる式に接続できるFNT用通信端子6回線と1回線のホストコンピュータ用通信回線を持つ。つまり、1台のFNCに192点までのFNTが接続できる。



図-7. EPSネットワーク概念図

できるFNT用通信端子6回線と1回線のホストコンピュータ用通信回線を持つ。つまり、1台のFNCに192点までのFNTが接続できる。

FNC, FNT間の接続は4芯の電話線を使用する。

図-7に電子スタッフ用ネットワーク概

念図を示す。

これらの機器を使用することにより、前記の問題点が解決され、高精度な沈下計測データが簡単に収集できる。

6. 全体計測システム

他の計測項目も含めた全体計測システムは図-8の通りである。

通信装置を介して現場から中央監視室に送られてきた各種計測データはデータ集収用パソコンに取り込まれ、定期的に共有ハードディスクに書き込まれる。

データ表示用パソコンはリアルタイムにデータをグラフィック表示する。データ処理用パソコンは過去のデータの経時変化図や分布図等、必要な管理帳票を作成する。

また、駅舎下への薬液注入時の施工管理（注入の続行・中止の判断）のために各薬注プラントにモニター用パソコンを設置している。

このモニター用パソコンは、薬液注入当該ヶ所周辺の何点かのデータの経時変化が表示される。注入管理者はプラント側で隆起の度合を常時確認しながら注入量の管理を行なった。

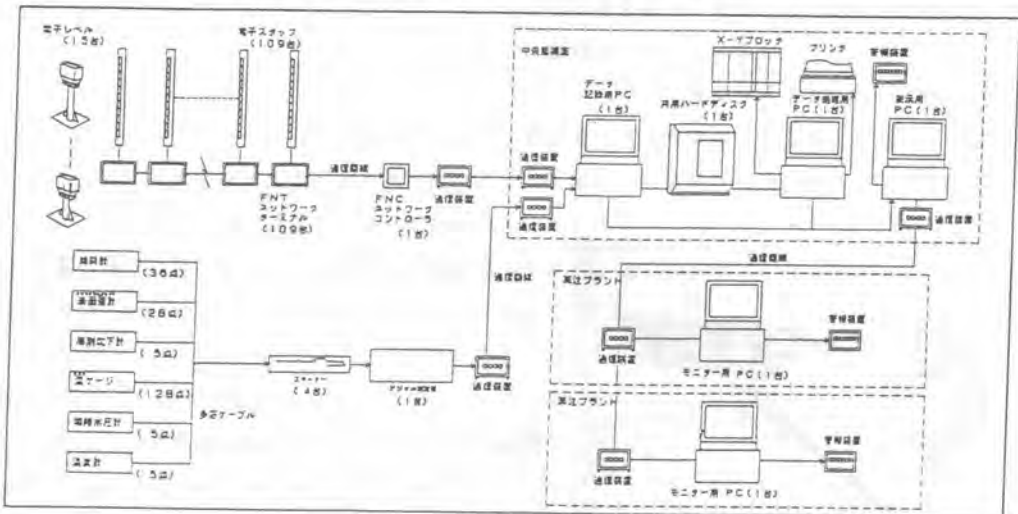


図-8. 全体計測システム図

7. 結果

駅舎床版の全体的な変形がわかるように図-9に薬注終了後シールド通過前と通過後の駅舎床版の沈下・隆起分布を示す。薬注前を初期値としている。

薬注終了後シールド通過前には、シールド断面上半部への薬液注入の影響でシールド通過予定線を中心に馬の背状に隆起傾向を示しているが、端部が隆起している部分では駅舎の横断方向の剛性によって反対側が沈下している所もある。シールド通過後には全体的に薬注によって生じた変形が元の平らな形に戻る方向になっているの

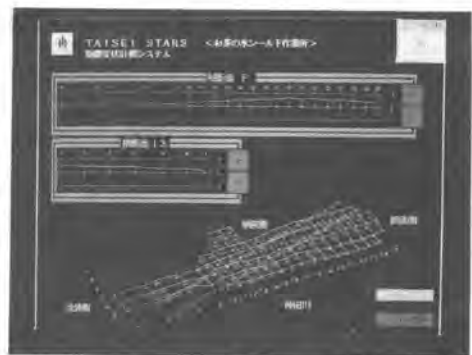


写真-3. モニター画面

がわかる。

また、シールド通過前後でシールド通過線上の一つの測点がどのような挙動を示したかを経時変化図として図-10に示す。

カッターヘッド到達前に切羽泥水圧による先行隆起が見られその後沈下傾向に移行し、マシンテール通過後15日程度ではほぼ安定状態に至っている。このような挙動は、程度の差はあれ、シールド直上のほとんどの測点は同じ傾向を示した。

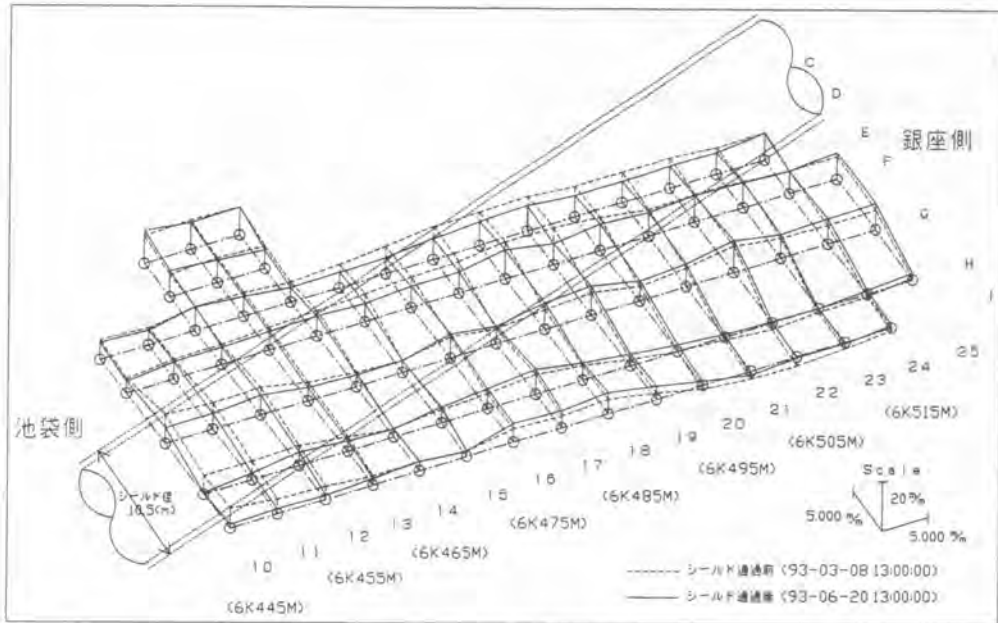


図-9. 沈下・隆起分布

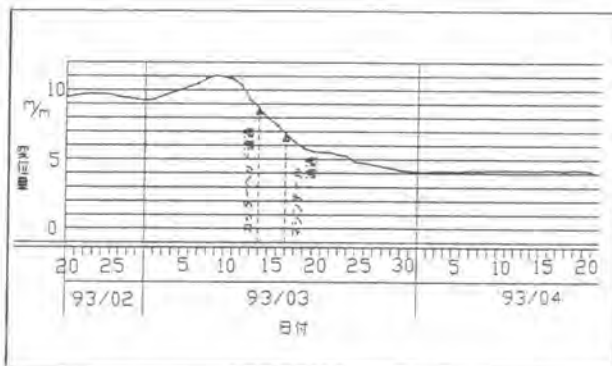


図-10. マシン通過時経時変化

末筆になりますが、電子スタッフの性能試験に御協力いただいた近畿日本鉄道(株)殿ならびに関係各位に厚く御礼申し上げます。

8. おわりに

ここ十数年来、沈下計測といえば水盛式と言われていた。この間にはレーザー式変位計等も出てきたが水盛式にとってかわるにはいたらなかった。

本稿ではお茶の水分水路工事での精度等について、詳細を報告するにはいたらないが、今後の近接工事での沈下計測の分野で精度・安定性から電子スタッフは有望であろうと思われる。

46. H鋼ハンドリング機の開発

大成建設(株)： 西野 誠二

コベルコ建機エンジニアリング(株)：*田原 一美

1. はじめに

最近の土木・建設業界における3K分野の機械化への取組は著しいものがある。その中でも特に都市地下鉄工事やビル建築基礎工事での山留鋼材の運搬・設置・撤去等の作業分野の機械化は油圧ショベルをベースにした小形クレーンの導入やクレーンの対応困難な分野を対称にしたハンドリング機の開発が着実に進められ、大形化小形化の機種拡大のニーズと、より安全により能率よく、より使い易くをテーマに追求され益々用途が拡大発展している。この様な事例の一つとして京都市内の東西線地下鉄工事に新しく開発され採用されたH鋼ハンドリング機を使用した工法とH鋼ハンドリング機を紹介する。

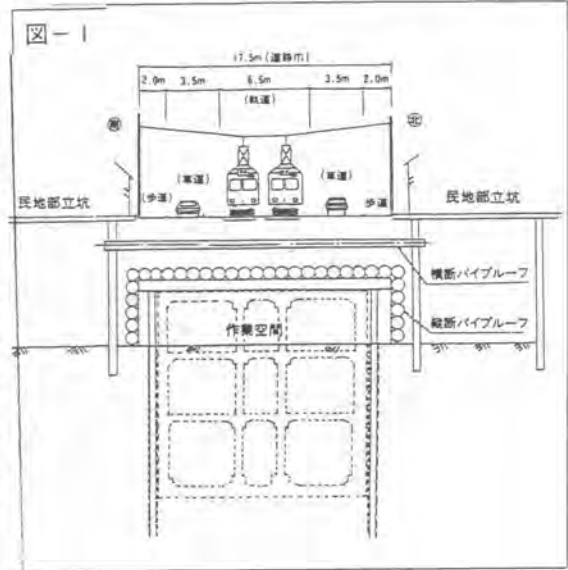


図-2 平面図



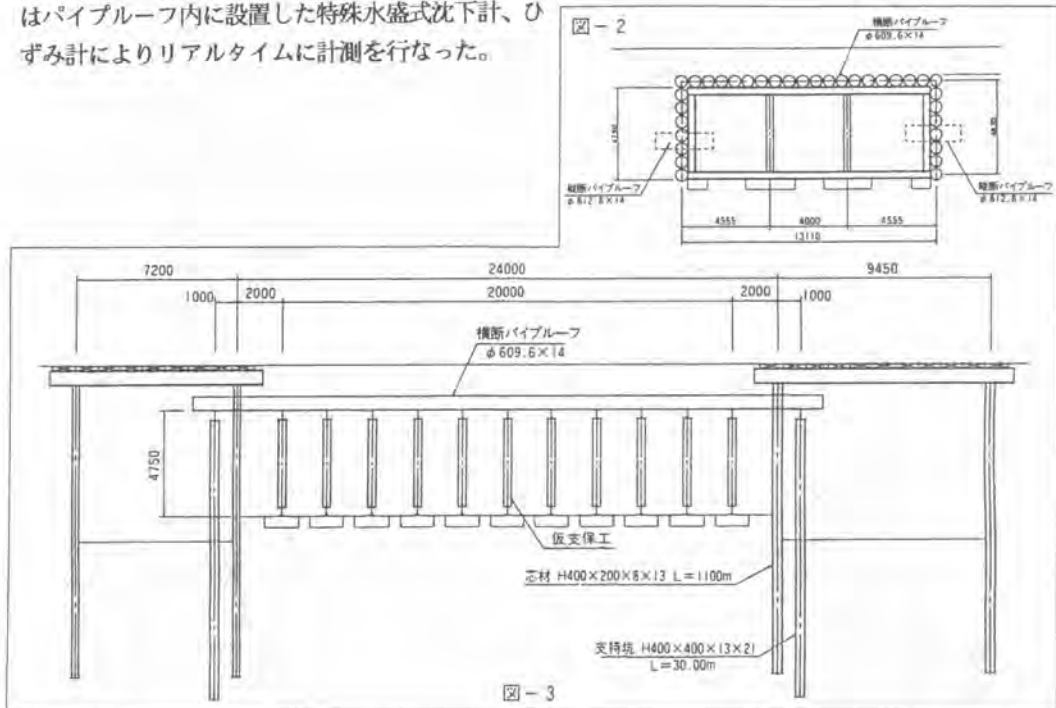
2. 工法とH鋼ハンドリング機開発の背景

地下鉄東西線は、京都市内を東西に結ぶ交通の根幹となるもので醍醐～JR二条間12.7kmを第一事業区間として設定された。当工事は京都高速鉄道㈱の発注によるもので、日ノ岡～御陵駅区間延長293mに駅舎部を築造するものである。今回の着手工事は駅舎部築造に先立ち民地部に（発進立坑①～③）を築造し、立坑内より道路横断方向に横断パイプーフ（ $\phi 600$ 、 $\phi 800$ ）を圧入し、路下に作業空間を設けた後、旧国道及び京阪電鉄京津線を縦断的に受ける為の縦断パイプーフ（ $\phi 800$ ）を圧入するものである。尚、京阪電鉄京津線の影響部分については、京阪電機鉄道㈱より受託工事として発注されている。図-1に概要図を示す。

現在、発進立坑①、②、③では横断パイプーフ下部の横坑掘削が無事完了し、縦断水平パイプーフ（最長128m）をアングルモール工法にて施工中である。

①工法の概要

掘削は作業性・安全性を考慮して全断面掘削工法を採用した。掘削ピッチは仮支保工設置間隔より2.0mとし切羽面はタイロッド（ $\phi 50$ 、 $8 \times 12\text{mm}$ ）にて補強した。仮支保工設置はH鋼ハンドリング機を使用し、設置完了後パイプーフと受桁の間詰を超速硬型のモルタルを充填し、硬化後、油圧ジャッキにてプレロードを行なった。仮支保工図を図-2、図-3に示す。掘削時のパイプーフの挙動はパイプーフ内に設置した特殊水盛式沈下計、ひびみ計によりリアルタイムに計測を行なった。



②新日鋼ハンドリング機開発の背景

前述工法の路下施工（柱列式土留坑、支保工、駆体工）に対応するには天井空間が少なく、クレーンの使用が出来ず、又、従来のハンドリング機では持ち上げ力不足や把持方法の違いにより大形天井梁が取付出来ない、更には重量H鋼は把持輸送が出来ない等の難点があり当工事現場では使用出来る機械がない為、大成建設（株）御陵駅工事作業所とコベルコ建機グループとの共同開発によりH鋼ハンドリング機を誕生させた。

図 4 - 1

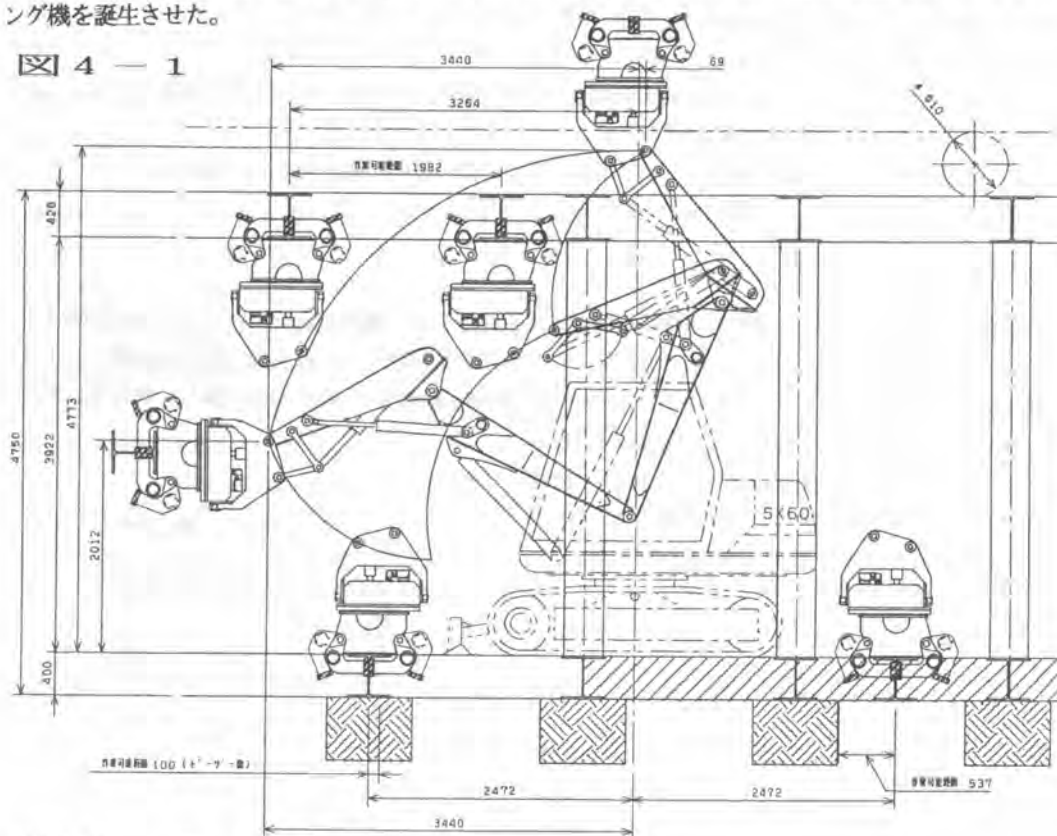
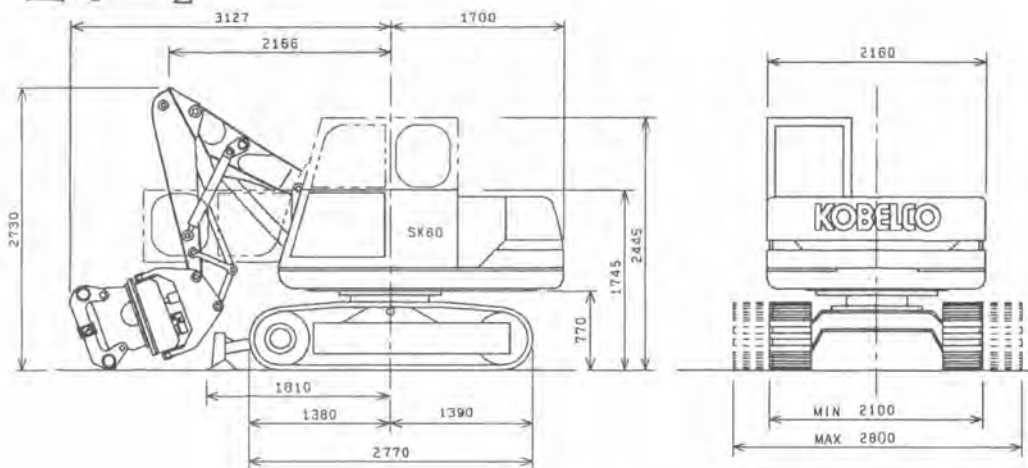


図 4 - 2



3. H鋼ハンドリング機の概要と特長

地下の狭い空間で自在に作業を可能にする為の機械であり、その開発にあたっては次の諸点について重要なテーマとして取り組んだ。

1. 狭い空間での作業の為、小型機で最大2.5 TONのH鋼を自由に振り回す事が出来る。
2. H鋼を如何なる姿勢にしても絶対に荷物が落下しない構造とする。
3. 小型機で安定性を極大化させる。
4. 総重量は地下へ降下クレーンの関係から10 TON程度まで押さえる。(分解して6TON)

開発されたH鋼ハンドリング機の主要諸元表を第1表 第2表に 外観図を 図4-1 図4-2 アタッチメントの外観図を 図4-3 に示す

表-1 主要寸法

| 項目 | 寸法 |
|----------|------------------------|
| ① 全長 | 5,390mm |
| ② 全高 | 2,595mm |
| ③ 全幅 | 2,100mm~2,800mm |
| ④ 運転装備重量 | 10,430kg |
| ⑤ 作業機重量 | 980kg |
| ⑥ 最低地上高 | 290mm |
| ⑦ 履帯幅 | 400mm |
| ⑧ 接地圧 | 0.55kg/cm ² |

表-2 ハンドリング機性能

| 項目 | | 単位 | | |
|-------------------|----------------------------|--------|---------------|-------|
| エンジン定格出力 | | PS/rpm | 57/2200 | |
| 吊 能 力 | クローラー 縮小時 | 前方 | kg | 2,500 |
| | | 側方 | kg | 1,300 |
| | 加-テ- 拡幅時 &アウトリ ガー使用時 | 前方 | kg | 2,500 |
| | | 側方 | kg | 2,000 |
| 走行速度 | | km/H | 3.7 | |
| 旋回速度 | | rpm | 3~6 | |
| ブーム上速度 | | m/s | 0.4 | |
| アーム先端のGL~4mまでの時間 | | sec | 10 | |
| アーム伸し速度7/ストローク 時間 | | m/s | 0.25 | |
| クランプ部左右傾転角度 | | ° | MAX ±34° | |
| クランプ部回転速度 | | rpm | 3 | |
| 掴み部寸法 | | mm | 1120×860×1472 | |
| ハンドリング可能H鋼寸法 | | mm | 200H~500H | |
| 作業可能距離 | 上方 | mm | GLより | 6,149 |
| | 下方後方 | mm | 旋回中心より | 2,472 |
| | 下方前方側 | mm | 旋回中心より | 2,472 |
| | 側方 | mm | 旋回中心より | 4,670 |

② 特 長

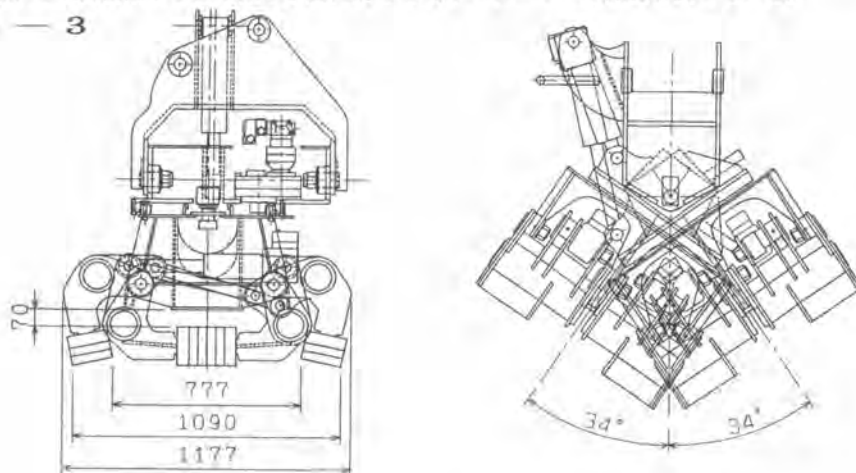
(1)安全性と操作性の確保

- イ. 把持力の保持には、2本シリンダーとし各々が単独で2.5 TONの把持能力を有し、かつ各々シリンダーに緩み防止のパイロットチェック弁が装備され、更に万が一の油洩れの場合にも油圧を補給するアキュムレータもつけて徹底的に安全性を大切にした機構とした。
- ロ. 過負荷時の警報装置、ホース破損時の落下防止弁、右後部死角の干渉防止用としての近接アラーム装置、旋回時のボイスアラームの安全装置が装備されている。
- ハ. H鋼の把持はH鋼の中柱を掴む最も安全な方法を採用し、左右の横滑りには機械的に自ら締まるほぼ完璧なチャッキング機構としている。
- ニ. 天井梁取付時には、切換SW（誤動作防止のSW）と押しボタンで掴み装置がフリーな回転テーブルとなりボルト合わせ等が簡単に行え、又、腹起し梁の際は垂直に立てこのフリー回転機構で同様の作業が施工できる。

(2)機械の性能と構造

- イ. 油圧ショベルでは小形のSK60をベースにして後端半径など外形寸法を変更せず10.4 TONの総重量としている。地下搬入時には一部の分解で6 TON未満にも簡単にできる。
- ロ. 持上能力は2.5 TONと従来形のこのクラスにない最大の持上げ力を持っている。
- ハ. クローラーフレームは通常外巾2100mmのものが最大～2800mmまで油圧シリンダーで拡幅し走行ができる。この為重量H鋼を把持移動が出来ると共に横方向での作業も安定して施工出来る。
- ニ. クローラーフレームの拡幅に応じ縮小・収納・拡幅が出来ると共にアウトリガーを装備している。アウトリガーを設置するとその方向では安定した作業が出来ると共に、反アウトリガー方向での作業ではこのアウトリガーがバランスウエイト効果を果たしている。
- ホ. アームシリンダー、バケットシリンダーは全てブーム、アームの下部に配置され外部との干渉防止と持上げ力の安定を図っている。
- ヘ. 掴み装置は、左右最大34°まで油圧で首振りが出来H鋼の位置合せを容易にしている。
- ト. 上半分が分割可能で低い天井部でも通過でき、かつ頑丈な強化専用キャブが搭載されている。上部からの異物落下など不測の事態に対してもオペレーターの保護を図っている。

図 4 — 3



4. あとがき

当工事業所では本ハンドリング機の開発によって、支保工組立時の安全性はもとより、支保工組立時間の大幅な短縮が可能となり当初工程の約1/2で 発進① 横坑掘削を完了する事が出来た。今後、本機が各地の地下工事で安全施工と工期の短縮に期待を担って活躍してくれるものと確信している。

又、コベルコ建機グループとしてはハンドリング機の活用の機会を拡大する為に同じ6TON級油圧ショベルベースでは本ハンドリング機の他にクレーンブーム式で伸縮ブーム形の図5-1に示す下ご掴み方式のⅡ形グラップルで1.5TON級H鋼～軽量アングルまで把持するもの及び、図5-2は今回使用した本体にホークを上から押さえて掴む方式のⅢ形グラップルまで取揃えすでに現場にて稼働させている。今後の展開としては更に、大形機の12TON級20TON級油圧ショベルをベースにしたものや、ミニショベルをベースにしたものについても客先から御要望があれば製作して建設工事のより一層の安全と省力化作業環境の改善に寄与したいと考えている。

図 5-1

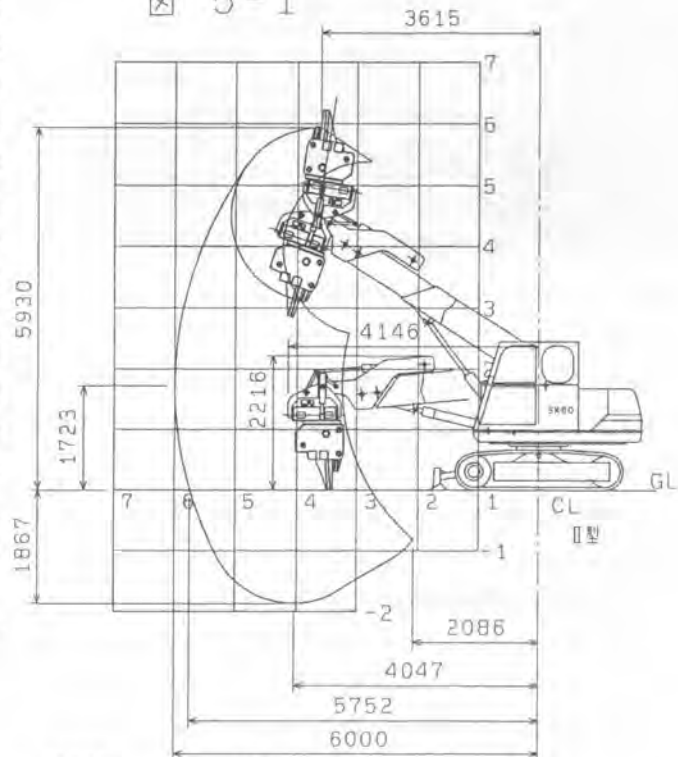
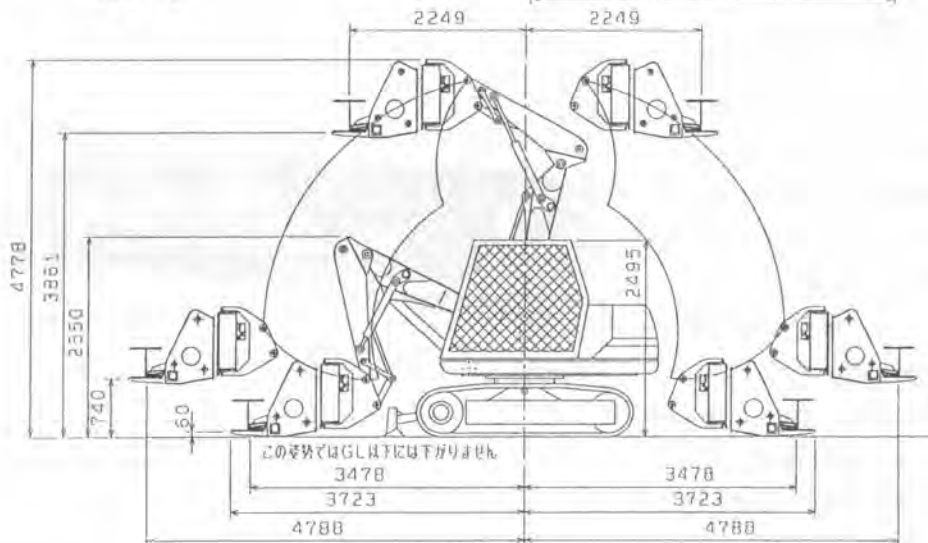


図 5-2



47. 独立型セグメント組立ロボット “O-SERO”の開発と実用化

㈱大林組：上田 尚輝・*森野 弘之

1. はじめに

産業界全体の課題でもある合理化、省力化の追及は建設業においても例外ではなく、多くの機関で施工の無人化やロボット化を目指した研究、開発が進められている。建設工事の工種のなかでもシールド工事は自動化に取り組みやすいため、早くから施工の自動化技術の開発に着手されてきた。

シールド工事の内、セグメント組立作業については依然としてエレクターを用いた熟練作業員による手組み作業で行われてきた。ところが、熟練技能者の不足に伴う作業能率と品質の低下の防止、狭小な空間での高所作業に対する安全性の確保、および近年の大口径化に伴い手組み作業が難しい工事が増えてきたことなど、セグメント組立作業にも自動化技術の導入が図られるようになった。

セグメント組立ロボットは数年前にはじめて開発され、その後いくつかの開発および試験施工例が報告されているが、組立にかなりの時間を要すること、開発費・実機の製作費が非常に高価であることなどから経済ベースでの実用化には多くの問題点が残されていた。そこで、(株)大林組では三菱重工業(株)と共同で、経済的で実際に運用する場合に扱いやすく、かつ信頼性の高いロボットの開発に取り組み、新しいタイプのセグメント組立ロボット「O-SERO」*の開発に成功した。

(*O-SERO ; Obayashi - Segment Erection Robot)

ここでは、「O-SERO」開発の経緯とその性能、および実効性について紹介する。

2. 「O-SERO」の概要と組立フロー

(1) 全体概要

「O-SERO」の概念図を図-1に示すが、最大の特徴は従来開発されてきたセグメント組立ロボットがシールド機内のエレクターを制御するためロボットはシールド機と一体型となっていたのに対して、このロボットはシールド機と完全に切り離された後方独立型となっていることである。この方式を採用した最大の理由としては、開発の基本方針の一つである複数の工事への転用が容易

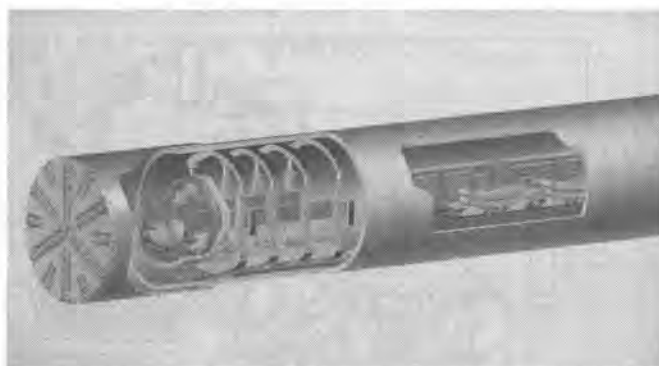


図-1 「O-SERO」の概念図

であることが挙げられる。もう一つの理由としては、セグメントを組み立てる際には推進用シールドジャッキの伸縮によりシールド機と既設のセグメントの相対位置関係が微妙に変化するため、シールド機と一体となったエレクターでは各セグメントピースを組み立てるごとに相対位置が変化し、自動組立を行う場合には組立時間がかかりすぎる恐れがあると判断したためである。

写真-1は今回製作した「O-SERO」実機の正面全景であるが、このロボットの主要な仕様と対象としたセグメントの仕様を表-1に示す。



写真-1 「O-SERO」正面全景

| [O-SERO] | | セグメント | |
|----------|-------------|-------|-------------------|
| 寸法 | H=6m * L=7m | タイプ | RC |
| 重量 | 70 ton | 寸法 | O.D.=6.5m, W=0.9m |
| 昇降 | 23 tonf | 分割数 | 7 (A*4+B*2+K) |
| 締結力 | 30 kgf*m | 最大重量 | 2 ton |
| 締結機 | 13 | ボルト数 | 39 pieces/ring |

表-1 「O-SERO」およびセグメントの仕様

(3) セグメントの組立手順

「O-SERO」によるセグメントの組立フローを図-2に示す。

① プリセンシング

掘削終了時にロボット本体をほぼ所定の位置に据え付け、既設のセグメントとロボットとの相対的な位置関係をロボットに取り付けられたセンサーにより、1リング全周4箇所計測・演算する。この結果に基づき、ピッチングフレーム・ヨーイングフレームに取り付けられた修正ジャッキを制御して、ロボットのエレクター部の旋回面を既設セグメントの端面と平行にする。

② セグメント供給

セグメント供給装置の最後尾に下ろされたセグメントを、ロボットに取り付けられた搬送コンベアに載せてトラベルジャッキにより所定の位置まで搬送する。

③ セグメント把持

セグメント供給装置上でセグメントに埋め込まれた把持金物の位置をセンサーで計測したのち、エレクター部の直下までセグメントを供給する。把持に際しては、ワンタッチで把持でき、高精

度の位置決めを必要としない前述の把持フックを使用して早く確実に把持する。

④セグメント粗位置決め

プリセンシングの結果より、数値制御にて各セグメントピースの組立位置の近くまで、位置決めを行う。

⑤セグメント精位置決め

ロボットに取り付けられたセンサーにより既設セグメントの内周面を計測し、高精度の位置決めを行う。本ロボットでは、直接セグメントのボルト孔を検出せずに、セグメントの内周面を目違いないように合わせることで、間接的にボルト孔合わせを行っている。

さらに、A型およびB型セグメントのピース間継手の両側には、ピース間ガイド機構と呼ばれるピン・ホソ機構が設けられているため、既に組立て済みのセグメントにこれから組み立てるセグメントを旋回方向に押し付け、微制御を行うことで制御を単純化して組立時間の短縮を図っている。

⑥ボルト締結

精位置決め終了後、まずピース間ボルトを挿入して低圧トルクで締結する。次に、昇降方向の微調整を行ってリング間ボルトを挿入し、所定のトルクで締結する。このとき、同時にピース間ボルトも高圧トルクで締結する。

以上の手順を繰り返して1リング分の組立が完了すると、ロボットはシールド機の掘削・推進作業に合わせて4組ある支持装置を順次作動させて走行し、次のリングの組立位置まで移動する。

4. 「O-SERO」の組立性能

(1) 工場内組立実験

「O-SERO」の実用化に際して、その機能および性能が当初計画どおりであることを確認するために工場内で実機を用いてセグメント組立実験を行った。実験装置は本ロボットが独立型で既設セグメントにより支持される構造になっているため、ロボットを設置する模擬トンネル構造とした。トンネルには、シールドジャッキが取り付けられた模擬のスキンプレートが接続されており、セグメントを2リング連続して組み立てることができるようになっている。また、トンネル部にはロボットの走行性能を確認するための十分な移動スペースが確保されている。

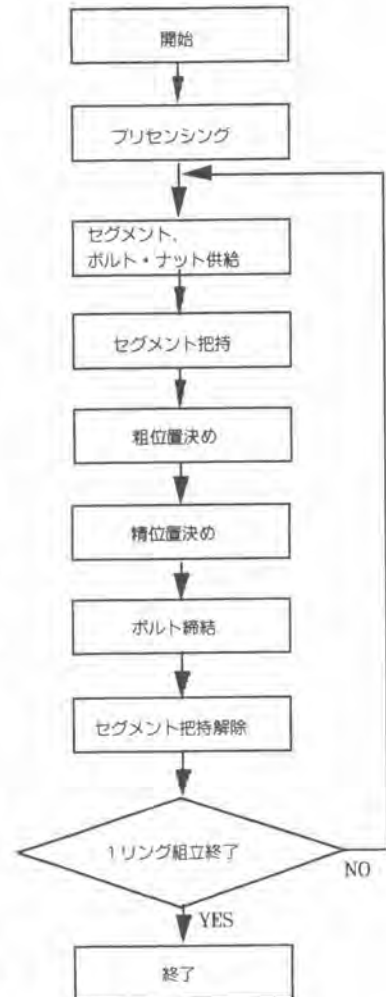


図-2 組立フロー図

当初、ロボットの油圧系および電気系の調整等に時間を費やしたが、約3ヶ月で1リングのセグメントを完全自動で組立可能となった。引き続き、組立時間の短縮、信頼性ならびに組立精度の向上およびAI化システムの検証等を目的として実験やソフトウェアの改良を行った。

表一2に1リング組立時の各工程の平均サイクルタイムを示す。これよりわかるように、組立時間は1ピース平均6～7分で、1リングあたりでは40～50分にまで短縮できた。この時間は、人間が組み立てる場合にほぼ匹敵する値であり、実用に供するにあたり満足のいく結果が得られた。

| セグメント名称 | 把持 | 粗位置決め | 精位置決め | ボルト締結 | 原点復帰 | 合計 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| A1 | 2'10" | 0'40" | 0'55" | 1'10" | 1'10" | 6'05" |
| A2 | 2'10" | 0'45" | 1'25" | 1'10" | 1'05" | 6'35" |
| A3 | 2'05" | 1'00" | 1'20" | 1'10" | 1'05" | 6'40" |
| A4 | 2'10" | 1'00" | 1'40" | 1'20" | 1'00" | 7'10" |
| B1 | 2'10" | 1'00" | 1'25" | 1'35" | 1'00" | 7'10" |
| B2 | 2'10" | 0'55" | 1'30" | 1'15" | 1'00" | 6'50" |
| K | 2'10" | 1'05" | 0'15" | 1'20" | 1'10" | 6'00" |
| | | | | | | 46'30" |

表一2 1リング組立時の平均サイクルタイム

(2) 現場実証実験

工場内組立実験に引き続いて現在、「O-SERO」の実用化を進めるために大阪府下のシールド工事の一部区間において適用し実証実験を実施した。

今回の実証実験は一部区間でのトライアル施工ということで、通常のエレクターにより220m施工した地点から「O-SERO」を採用することにした。平成4年8月末より現地での組立調整工事を行い、10月より「O-SERO」による施工を開始した。

実現場の施工条件は組立実験を行った工場内とは大きく異なり、ロボットの苦手とする湿度の問題や裏込注入の問題、およびノイズの影響など環境面で非常に不利な条件が揃っている。このため、当初は調整に手間取ったが、最終的に1リング（7分割）を約50～60分で組み立てることが可能となった。

5. おわりに

「O-SERO」は従来のロボットとは異なった後方独立型構造であるために様々な特徴を有しているが、そのほか人間の組立手順を解析して要素実験等で自動組立技術に応用できるような機構を開発し、実機に適用している点にも大きな特徴があると考えている。工場内での組立実験により、計画通りの性能を発揮することが確認され、所定の時間内でセグメントが組み立てられることが実証された。さらに、現場実証実験においても工場内実験とほぼ同等の性能が確認されたため、実施工においても省力化、安全性の向上、および品質の向上に関して自動化による効果が得られるメドがついたと考えられる。

最後に、「O-SERO」の開発に際して多大なるご指導、ご協力を賜りました共同開発者の三菱重工業(株)をはじめ関係各位の皆様には厚く御礼申し上げます。

48. ABCS — 全自動ビル建設システム

(株)大林組：中村 俊男

1. 概要

ABCS (Automated Building Construction System) は、これまでの建築工事の概念を一新した建設システムである。これは建設現場にFA(ファクトリーオートメーション)の概念を導入することによって、ビル建設工程の自動化、無人化を図ったもので、将来の建築工事の概念や施工法を変えるものである。さらに、ABCSは単に工事現場におけるロボット化自動化を目指しているにとどまらず、最終的には、企画、設計から施工、アフターケアに至る一連の作業のハード、ソフト技術を統合した”新建設生産システム”の一翼を担うことを考えている。

ABCSは雨、風などの天候も影響を受けずに施工できるよう屋根と壁で覆われているFA化されたビル組み立て建設工場SCF(Super Construction Factory)と垂直搬送機によって構成される。柱、梁、床、内外装材を施工手順に従い垂直搬送機でSCFへ搬送すると、SCFクレーンが垂直搬送機上で部材を受け取り、所定の位置まで運搬して位置決めを行い、溶接ロボットにより柱、梁の各接合部の溶接を行う。また、外装材はSCFクレーンにより運搬されワンタッチファスナーにより簡単に取り付けられる。SCFは1フロアの工程が終了すると、クライミング装置により次の階へ上昇して上記の工程を繰返すことにより、ビル最上階迄建設する。この他にABCSにおける各工程の自動化施工の計画、管理を効率的に行う為の支援コンピュータシステムとして、作業日程を計画してこれに応じて部材の現場搬入や投入のスケジュールリングを行う工事管理システムとSCFの姿勢を自動計測するSCF姿勢計測システムがある。



写真-1 ABCS全景

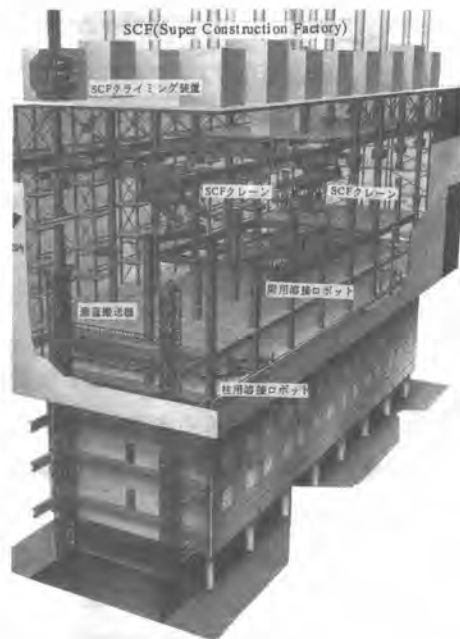


図-1 SCF概要



写真-2 柱用溶接ロボット



写真-3 梁用溶接ロボット

2. 工所用設備

(1) SCFクライミング装置

本装置はSCFを上昇（クライミング）させるための装置である（図-1）。構成はピニオンギア、ピニオンフレーム、インバータ制御の減速機付電動機、上下部ガイドからなる。クライミング作業は中央制御室より遠隔操作により行われる。作業中はITVモニターおよびコンピュータ画面により作業状況監視、クライミングストローク、柱荷重のチェックを行う。

(2) 垂直搬送機

垂直搬送機として自動運転貨物リフトを採用した。本機は積載荷重5 t、搬機長8mと従来のリフトより大型化されている。駆動は左右2台のインバータ制御ウインチを使用した、従来の2台ウインチ式ロングスパンリフトに見られる左右ウインチの回転誤差による搬送機の傾きは傾斜防止装置の採用により、安全で安定した運転が可能となっている。

(3) 溶接ロボット

溶接ロボットは柱用（写真-2）と梁用（写真-3）を使用した。柱用溶接ロボットは5軸円筒座標系NC制御型であり、梁用溶接ロボットはティーチングプレイバック式5軸+スライダ型である。

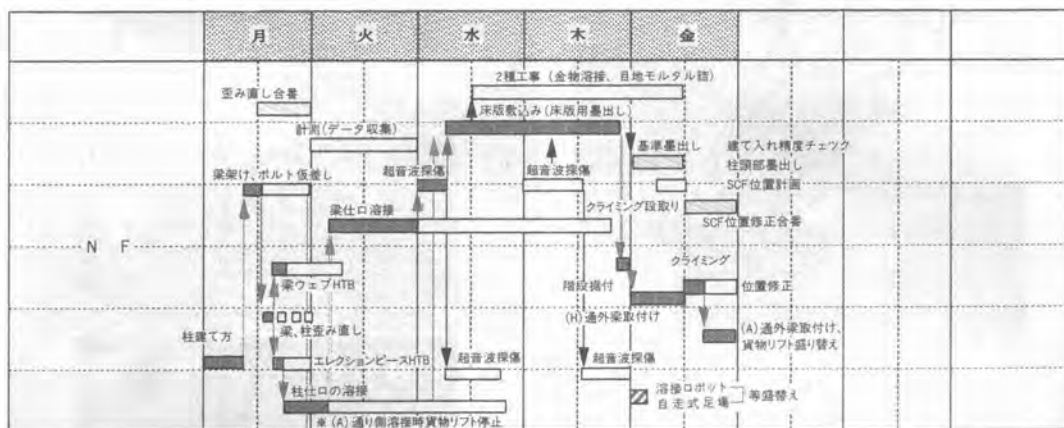


表-1 ABCS標準工程

(3) SCFクレーン

SCFクレーンは柱、梁、床版、内外壁等を専用吊治具（アタッチメント）を取り付けることにより各部材のハンドリング、運搬、据付といった、製造業におけるマテハン作業を行うものである。本機は走行用ガーダ、横行および旋回機能付アームホイスト、制御設備から構成されている。アームホイストは横行、旋回機能の他に巻上げ、巻下げ、把持部材のヨーイング、ローリング、ピッチング機能を有している。本機は部材に貼られたバーコードをスキヤニングすることにより、予めプログラムされた搬送経路に従って部材を所定の位置まで運搬して据付を行う。本機の定格荷重は10tである（写真-4）。写真5-8は本機による各部材の据付状況である。

3.SCF姿勢計測システム

本システムは、構築中の床面や足場の姿勢（傾き、ねじれ、レベル、高さ）を自動計測してコンピュータ画面上へその状況をビジュアルに表示することができる（図-3）。また温度、湿度、風向、風速、振動といった気象および環境データをリアルタイムに姿勢表示画面と同一画面上へ表示する。従って、施工管理上はもとより安全管理上も有効なシステム



写真-4 SCFクレーン

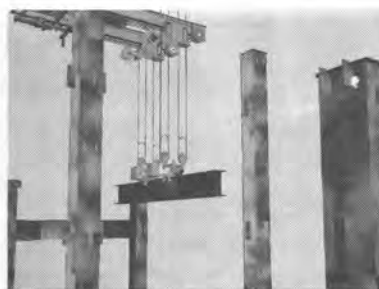


写真-5 梁の取付

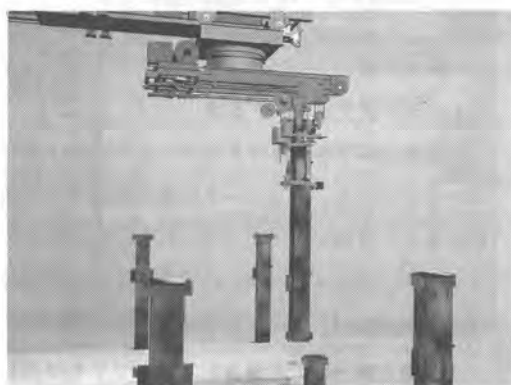


写真-6 柱の取付

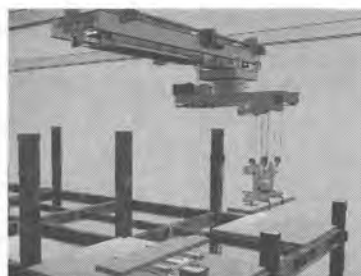


写真-7 床の据付



写真-8 外壁の取付

現場から離れた事務所や管理室へのデータの伝送は多重伝送装置により高品位のデータ伝送が可能となると共に伝送用ケーブルの簡素化が図れる。本システムにおける主な計測機器として、測定対象床面の水平方向変位測定は4セットのレーザー鉛直器とCCDカメラを床面の水平度測定は1台の回転式レーザーブレンと数台の電子スタッフを2セット使用する。(図-2)このような施工管理および機械の遠隔操作は中央制御室のコントロールデスク(写真-9)によって行われ統合的な情報化施工を実現した。

4.まとめ

ABCS採用の主なメリットとしては(1)全天候型SCFの採用により、季節や天候に左右されずに24時間連続作業が可能となり工期の短縮につながる。

(2)自動化施工により、省人化が図れると同時に工期短縮による労務費、建設費が低減できる。(3)部材のプレハブ化、自動化施工により施工精度、品質の向上が図れる。(4)SCF内の作業は周囲を覆われた状態で行うために騒音防止、夜間照明の漏れ防止、美観を損なわない等がある。

今後はABCSに対応できる人材の育成と関連要素技術の見直し、新しい要素技術の開発にあたり、より完成度の高いシステムの確立を目指す。



写真-9 コントロールデスク

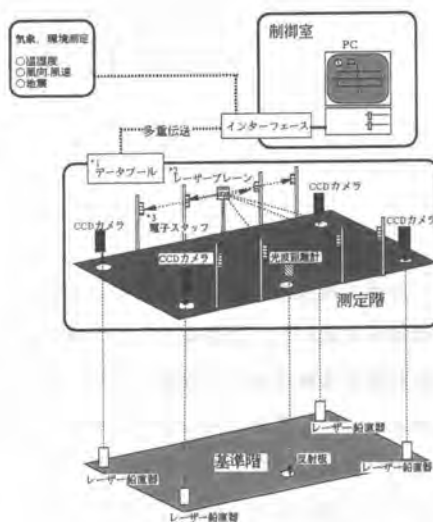
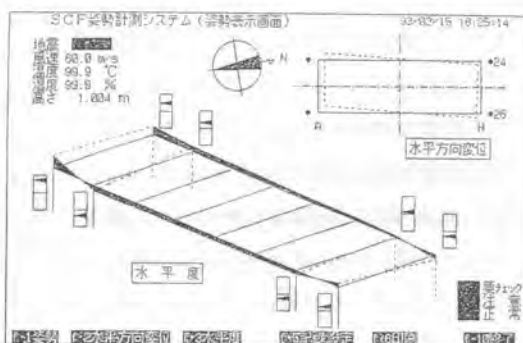


図-2 SCF姿勢計測システム



参考文献

- 1) 堀井、中村：“全自動ビル建設システムの構想”(建設の機械化 1990年1月号)
- 2) ”ABCS” 大林組広報用カタログ

49. 連壁用モデル掘削機の位置制御と地盤特性

愛媛大学：*深川 良一・室 達朗
 (株)鴻池組：松生 隆司

1. はじめに

連壁用掘削機の位置制御結果に影響を及ぼす諸要因について検討するためにモデル掘削機による室内試験を実施した。初期条件として掘削機に基準状態からある偏差を与え、その偏差を解消するように自動制御を実施させた。既報¹⁾では、掘削機が基準状態に復帰してからのやや安定した状態に対する制御結果について考察しているが、本報では基準状態に復帰するまでの復帰過程（と呼ぶ）に対する検討を加えた。地盤中での位置制御動作に対する掘削機本体の変位を簡単な力学モデルによって表現し、制御結果と地盤特性との関係が合理的に説明できることを示した。

2. 実験装置

実験装置の概略を図-1に示す。実際の掘削装置は前後、両側面に各4個、合計16個の位置制御用アジャスタブルガイドを有するが、ここでは単純化のために左右両側面に各1個のみのアジャスタブルガイドを有する実験装置を使用している。掘削装置は、支点回りに左右のみに変位でき、前後への変位はほとんど生じない。油圧シリンダは内径32mm、ストローク長30mm、最高使用圧力35.7kgf/cm²のものを用いた。載荷板寸法は縦100mm、横65mmである。実験装置及びシステムの詳細については文献1)を参照されたい。

プログラムはBASICで作成した。制御動作としては比例制御動作を用いた。プログラムは大きく分けて入力信号処理、計算（比例動作処理）、出力信号処理の3つより構成される。載荷板の変位量は-5V～+5Vの電圧で表され、それがモータ回転数を制御する電圧に比例することから

$$\text{Vol.0} = \text{Gain} \times \text{Vol.1}$$

とすることができる（図-2参照）。ここに、

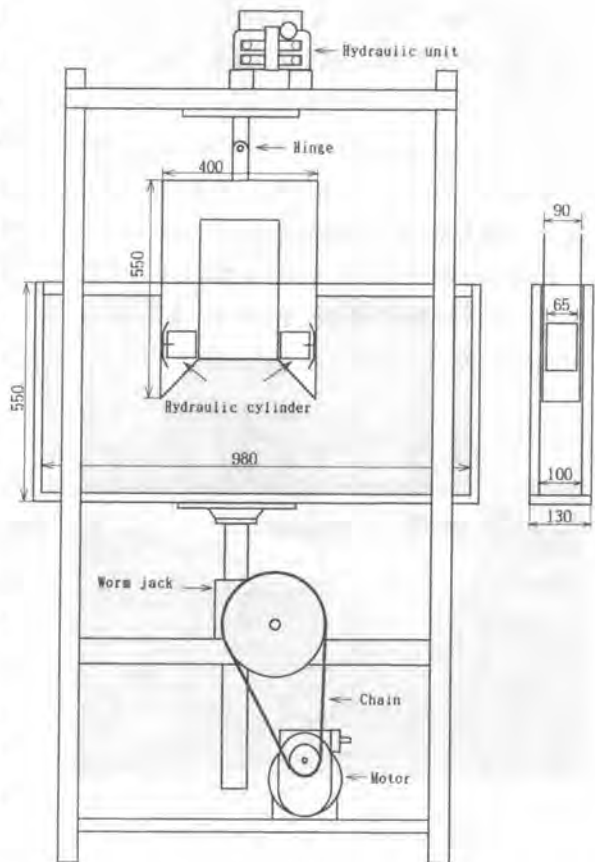


図-1 実験装置

Vol. 0: 出力電圧(V), Gain : 比例感度, Vol. 1: 入力電圧(V)である。

本実験における制御においては、載荷板は次のように作動する。例えば、図-2において、感度(Gain)が5の場合を考えよう。掘削機先端が基準状態から1mm右に変位したとすると、0.5Vが入力信号として入力される。すると、それに対応して2.5Vが出力され、最終的に0.6secだけ載荷板が作動(伸長)することになる。油圧シリンダへのポンプ圧は一定であるから載荷板の作動速度も一定(26.1mm/sec)である。またシリンダの最大作動距離は30mmである。したがって、この場合の0.6secの作動時間は15.7mmの作動距離を意味する。シリンダ(載荷板)は所定の作動時間が経過すると、ほぼ瞬時に収縮を始める。収縮速度も伸長速度にほぼ等しい。もし、掘削機が基準状態から大きくずれており、かつ制御が容易でないならば、位置制御用載荷板はその30mmという最大限の伸長、収縮を繰り返すことになる。

3. モデル地盤

(1) 使用材料

豊浦標準砂、発泡スチロールビーズ、川砂、ポリエチレンビーズの4種類の材料を用いて実験を行った。これらの材料の諸元を表-1に示す。発泡スチロールビーズ及びポリエチレンビーズは、もとより建設材としてさほど現実的な建設材料ではないが、制御命令に対する応答の特徴及び範囲を把握するには適当な材料であると判断できる。

(2) モデル地盤の作成

各材料とも所定の密度が得られるようモデル地盤の作成方法を統一した。最終的に得られたモデル地盤の平均密度、相対密度を表-1に示す。発泡スチロールビーズについては、通常の方法で作成された地盤では掘削機の位置制御を実施するための地盤反力が得られないため、地表面上に段ボール紙100×300mmを置きその上にビニール袋につめた水1100gfを載せて実験を行った。

(3) 地盤力学特性の評価

地盤の力学特性を評価するために水平方向平板載荷試験を実施した。油圧ユニット、油圧シリンダおよび載荷板などは位置制御試験で使用したものと同一のものを使用した。実験装置および実験方法の詳細については文献1)を参照されたい。実験の結果得られた地盤反力係数は、豊浦砂、発泡スチロールビーズ、川砂、ポリエチレンビーズに対して各々0.130、0.0086、0.259、0.0378kgf/cm³となった。

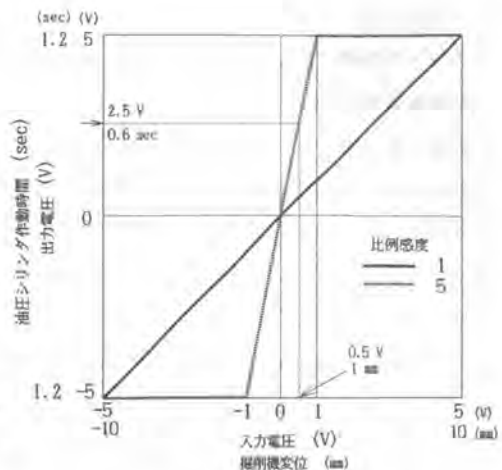


図-2 位置制御における入出力信号

表-1 供試材料の諸元

| | Specific gravity | ρ_{min} (g/cm ³) | ρ_{max} (g/cm ³) | Relative density of tested ground (%) |
|--------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Stylofoam beads | 0.0218 | 0.0108 | 0.0112 | 34 |
| Polyethylene beads | 0.896 | 0.577 | 0.636 | 23 |
| Toyoura Sand | 2.569 | 1.345 | 1.625 | 86 |
| River Sand | 2.635 | 1.423 | 1.728 | 36 |

4. 実験方法

すべての地盤において掘削機の初期条件は同一とした。つまり掘削機を地盤中に230mm埋め込み、さらに掘削機下端を基準状態から時計の逆回転方向に10mm変位させた状態から実験を行った。基準状態とは、掘削機上部中央のヒンジの鉛直下方に自然に吊り下がった状態を指す。制御条件、実験条件としては、比例感度及び掘削機貫入速度を種々変化させた。比例感度については、10, 50, 100の3種類を基本とし、その制御結果の傾向を見て他の感度に対する追加実験を行うこととした。貫入速度は、0.35, 0.6, 1.0 mm/secと3種類変化させた。ちなみに実際の鉛直掘削機の標準貫入速度は2.0m/hour (0.56mm/sec) 前後である。

制御試験は、先に述べたように、基本的に初期に掘削機の先端を基準状態から右側へ10mmふらした状態から開始させた。開始後、掘削機は直ちに制御を始め、ある時間後に基準状態へ復帰する。復帰後は、ケースバイケースではあるが、基準状態回りでのやや安定した制御が実験終了まで続く。この復帰までの過程を復帰過程、やや安定した制御過程を安定過程と呼ぶことにする。本論文では、復帰過程における挙動のみについて記述している。

5. 復帰過程での制御性の検討

(1)位置制御用油圧シリンダの伸張に対する掘削機変位の理論的検討

先に述べたように復帰過程（特にその初期の段階）では制御用油圧シリンダは30mmのフルストロークでの伸長、収縮を繰り返す。この過程での油圧シリンダ（掘削機本体の左側に装着された、図-3参照）の1伸長に対する掘削機本体の戻り量を理論的に表現し、実験値との比較を試みた。

掘削機本体の戻り量算定までの大まかな流れを図-3に示している。基本的には、掘削機の左側に位置する位置制御用油圧シリンダによる左側地盤への作用力とそれに対する掘削機右側側板の右側地盤への作用力のモーメントの釣合に基づいてモデルを構築している。掘削機本体の戻り量を計算するためには、さらに、載荷板あるいは掘削機側板に任意の荷重が作用した場合の荷重～変位関係が予測できなければならない。これらは通常の平板載荷試験結果を説明するために用いられた指数分布曲線式²⁾（図-3中の式(1)）に基づいて算定している。この指数分布曲線式については文献3), 4)に詳しい。図-3の前半はこの指数分布曲線式の推定に関する部分、後半は推定された荷重～変位関係に基づく掘削機本体の変位の計算に関する部分である。この算定法はこれ以外にもいくつかの仮定に基づいている：i)左側載荷板及び掘削機右側側板での土圧分布を図-3のように仮定した、ii)指数分布曲線式を規定する δ_0 は載荷深度の影響を受けず、また p_{max} は載荷深度に比例して増加する、などである。

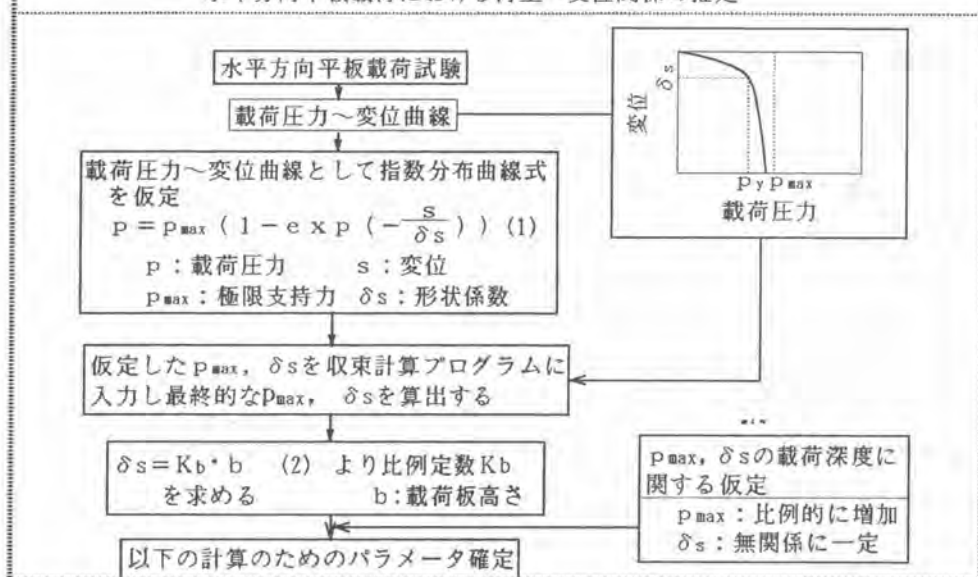
(2)油圧シリンダ1伸長ストロークに対する掘削機変位量の計算

油圧シリンダの1伸長ストロークに対する掘削機変位量の具体的計算手順を以下に示す。

1)位置制御試験における初期の地盤条件と同じ条件のもとで実施された水平方向平板載荷試験より荷重～変位曲線を求める。その曲線から指数分布曲線式を推定するための初期入力パラメータ p_{max} , δ_0 を決定し、収束計算プログラム⁹⁾を用いて最終的に最も良く実測値を説明するパラメータ p_{max} , δ_0 を求める。さらに式(2)より比例定数 K_0 を求めれば、載荷板高さ b が変化しても δ_0 が決定できる^{8) 4)}。

2)以上の手順により式(5)の S_0 を決定する全てのパラメータが求められたので、想定した実験での境界条件に留意しながら式(5)に従って、初期状態および15mm掘削機を貫入させた位置での計算を行い、 S_0 を

水平方向平板載荷における荷重～変位関係の推定



推定された荷重～変位関係に基づく掘削機本体の変位の計算

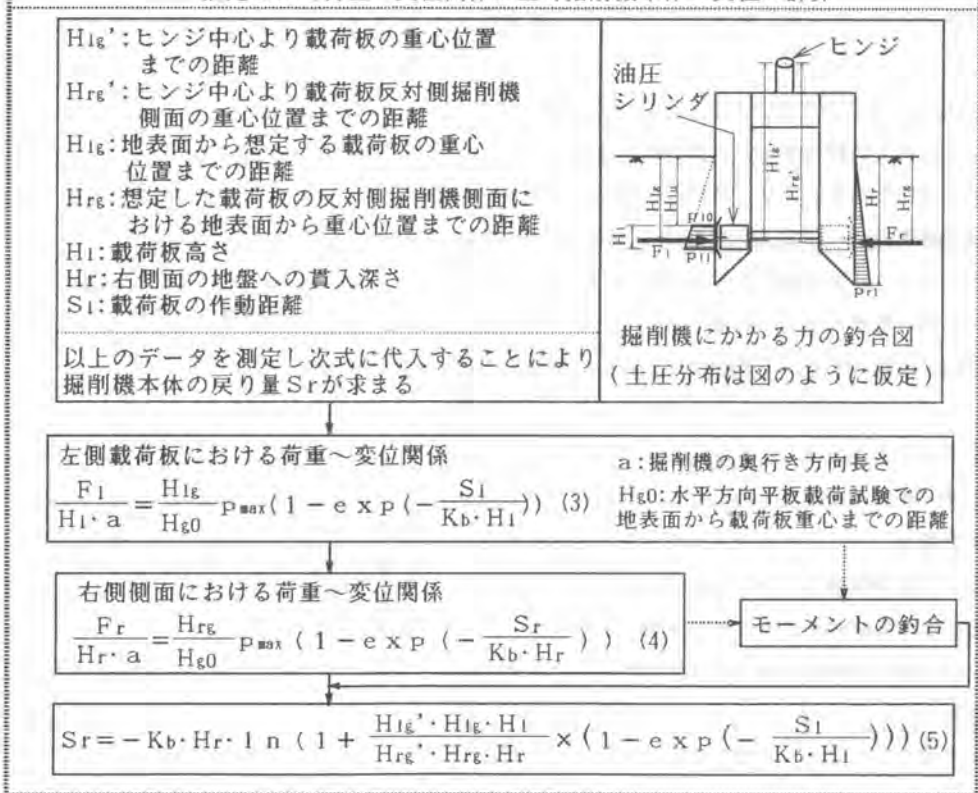


図-3 油圧シリンダ1伸長ストロークに対する掘削機変位量の計算

決定した。これらは、図-4中の $H_{10} = 72, 87\text{mm}$ に対応する。実測値のデータとしては、貫入速度 1.0mm/sec の実験で最適感度の得られた実験に対応する結果を採用した。なお式(5)は左側載荷板における荷重～変位関係(式(3))および右側側面における荷重～変位関係(式(4))を考慮することによって得られる。

理論式による計算結果と実測値を図-4に示す。実測値については、貫入距離 $0 \sim 15\text{mm}$ の間の値の範囲およびその平均値を図に示した。また計算結果としては貫入距離 $0, 15\text{mm}$ の時点での計算値およびそれらの平均値を示している。発泡スチロールの場合のように計算値が実測値の幅の中に入っていない場合もあるが、全体の傾向としては実測値と良好に一致したと判断できる。したがって、載荷板の面積と地盤の状態およびシリンダのストローク量が分かれば、以上の簡単な計算式により掘削機本体の変位量が前もって分かり、位置制御システムの制御性を判断する上で有益な情報が得られることになる。

(3)油圧シリンダ収縮過程における本体戻り量

シリンダを収縮させるとき掘削機本体は多少逆方向に戻る傾向を示す。シリンダが 30mm 収縮した場合の本体戻り量を図-5に示す。これも図-4と同じケースを対象としており、掘削機を $0 \sim 15\text{mm}$ 貫入させた場合に得られた値の範囲とその平均値を示している。柔らかい地盤ほど本体リバウンド量が多いという傾向があるが、シリンダが伸長したときの本体変位量との差を調べることによって復帰性を総合的に判断できる。

1サイクル(1往復)のシリンダ伸縮に対する掘削機変位量は、シリンダが伸長したときの本体変位量からシリンダが収縮したときに生じた本体変位量を引くことによって求められる。それを図-6に示す。ここでは、図-4の平均値から図-5の平均値を引いて求める値を算出している。発泡スチロールは特殊な材料であるので考慮から外すと、地盤が柔らかすぎてもまた硬すぎても復帰性が悪くなることが判る。地盤反力係数が $0.1 \sim 0.2\text{kgf/cm}^2$ ぐらいであれば復帰量は大きいが、

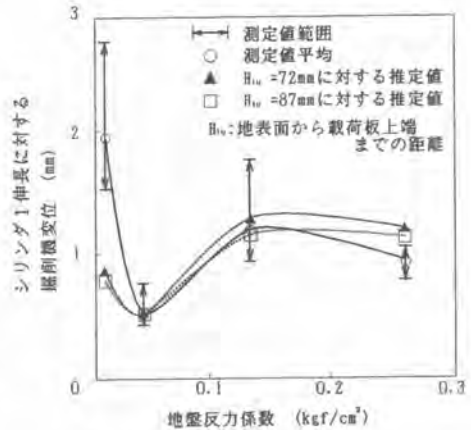


図-4 掘削機変位量の実測値と理論値の比較

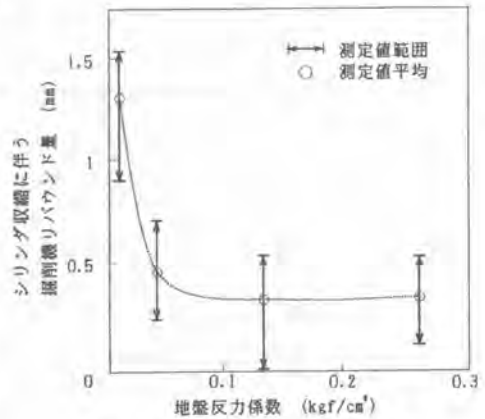


図-5 油圧シリンダ収縮過程での掘削機リバウンド量

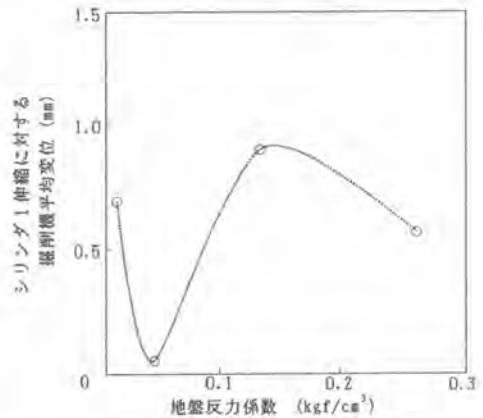


図-6 シリンダ1伸縮サイクルに対する掘削機変位量

それ以下あるいはそれ以上の変形係数であれば、必要なら何らかの復帰量を促進する対策を講じなければならない。

(4) 復帰貫入距離

復帰貫入距離（初期変位10mmから基準値に復帰するまでに要した貫入距離）を貫入速度1.0mm/secの場合に対して図-7に示す。他の貫入速度に対しても同様な整理を試みたが、結果的に貫入速度が変化しても大きくは復帰貫入距離は変わらないことが判った。

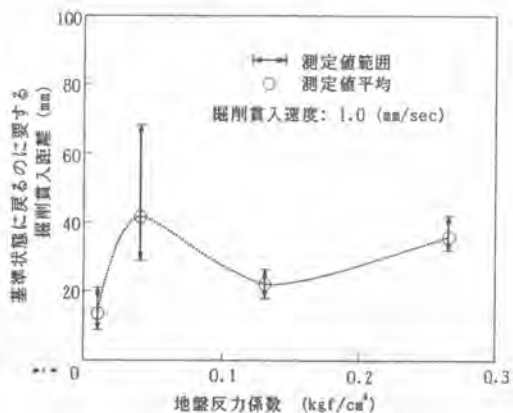


図-7 基準状態への復帰に要した貫入距離

1 サイクルのシリンダ伸縮に対する掘削機変位量を示している図-6と図-7を比較してみると、良好な対応関係を示すことが判る。つまり、1回のシリンダの伸縮で生じる掘削機の本体の変位量が小さければ、その集積結果として生じる復帰貫入距離は長くなるのである。

以上のように、復帰過程における制御結果の検討から、現象間の因果関係のある程度明らかになった。これらの結果は、例えば基準位置に対するある初期変位が与えられたとき、その変位を基準位置に戻すために必要な貫入距離が地盤条件あるいは制御条件を媒介として予測可能であることを表している。

6. まとめ

以上の実験により得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 掘削機本体の戻り量を理論的に表現し、実測値との比較を試みたがほぼ実測値と同じ応答を示した。つまり理論的な予測がかなり期待できることが判った。
- (2) それぞれの地盤条件に対して、制御用油圧シリンダ1伸縮に対する掘削機変位量の傾向が復帰貫入距離の傾向と整合性を示すことが判った。

参考文献

- 1) 深川, 室, 鈴木, 松生, 澤: 地中連続壁掘削機の位置制御に及ぼす地盤特性の影響, 第3回建設ロボットシンポジウム論文集, pp.175-184, 1993.
- 2) Janosi and Hanamoto: The analytical determination of drawbar pull as a function of slip for tracked vehicles in deformable soils, Proc. 1st Int. Conf. of Mech. Soil-Veh., Torino, Italy, pp.707-771, 1961.
- 3) 近藤, 佐藤, 杉山: 平板貫入試験の寸法効果について, テラメカニクス7号, pp.33-39, 1987.
- 4) 深川, 室, 加藤, 森田: 地盤破壊を考慮したクレーン車の転倒条件解析, 土木学会論文集, 投稿中.
- 5) 加藤: 地盤破壊を考慮したクレーン車の転倒条件に関する研究, 愛媛大学卒業論文, 1993.

50. 知能化油圧ショベルの開発

コマツ：*川村 公一・鎌田 誠治
 栃沢 守

1. はじめに

近年、建設施工現場においては、安全性の向上、施工・作業環境の改善、および労働力の確保などが深刻な社会的課題になっている。これらの課題を解決する手段として、建設機械の自動化、ロボット化の研究・開発が盛んに行われているが、当社では、コンピュータ制御によりオペレータサポート機能を大幅に充実装備した油圧ショベルを開発、商品化した。

本報告では、この知能化油圧ショベル Avance HYPER GX の概要とその効果を報告する。



図1 PC200 HYPER GX

| 項 目 | 単 位 | PC120 HYPER GX | PC200 HYPER GX |
|-------------|----------------|----------------|----------------|
| 運転整備重量 | kg | 11,800 | 19,550 |
| 定格出力 | ps/rpm | 85/2,200 | 135/2,200 |
| 標準バケット容量 | m ³ | 0.45 | 0.7 |
| 最大掘削高さ | mm | 8,610 | 9,305 |
| 最大掘削深さ | mm | 5,520 | 6,620 |
| 最大掘削半径 | mm | 8,290 | 9,875 |
| 最大掘削力(バケット) | kg | 7,800 | 11,400 |

表1 主要諸元

2. 開発の目的と達成手段

今回の開発の目的は、油圧ショベルにオペレータをサポートする機能を充実装備して、建設施工現場における社会的課題を解決し、顧客サイドの施工生産性向上を図ることにあった。そのためにもまず、油圧ショベルに付加されるべきと考える特性を設定し、その達成手段として種々の機能を開発した。それらの関係を図2に示す。

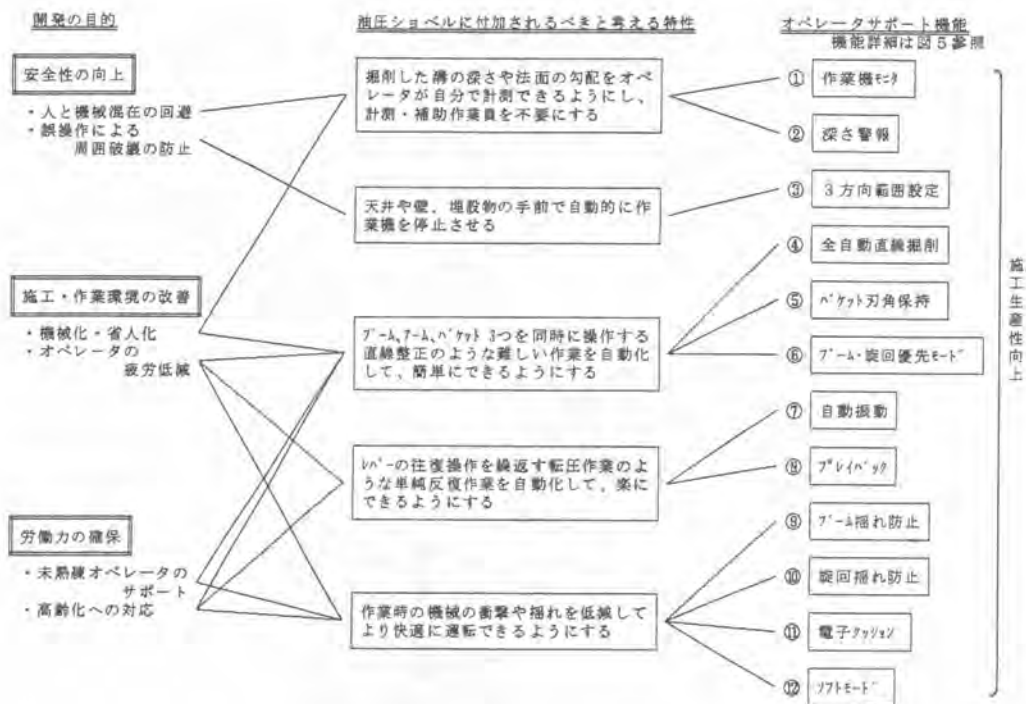


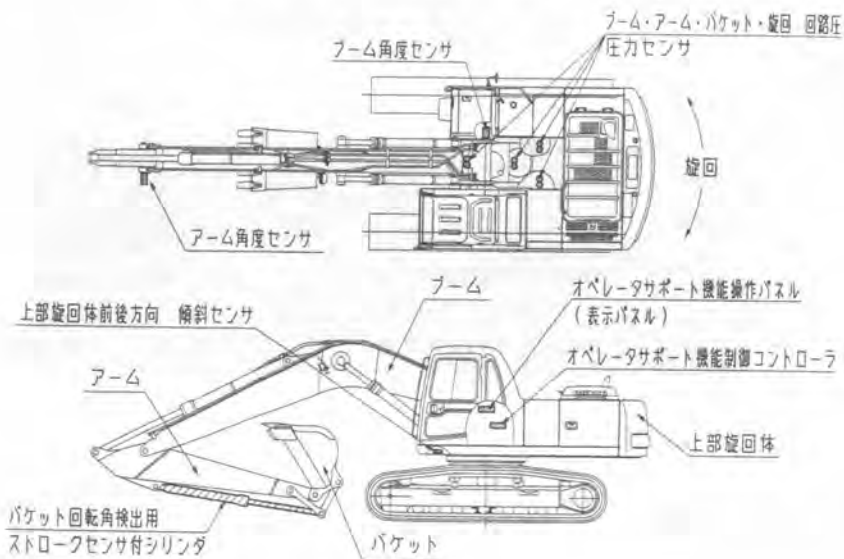
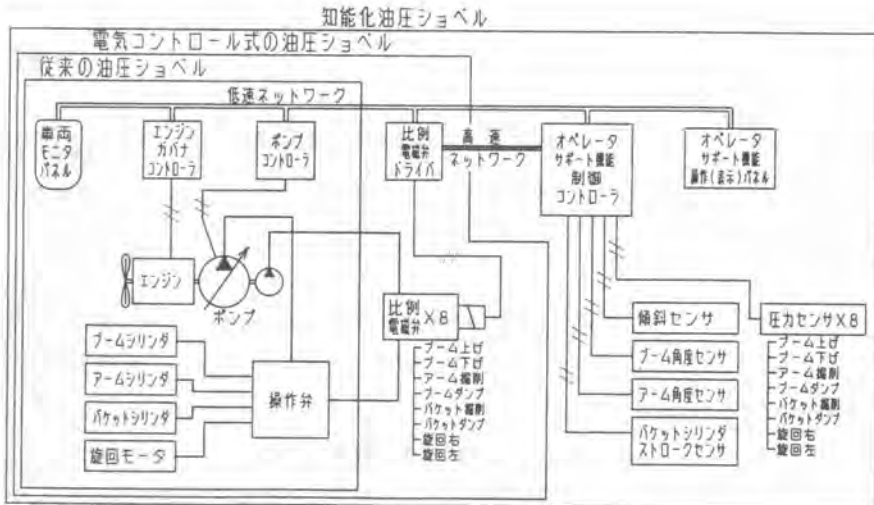
図2 建設施工現場における社会的課題に対応した知能化油圧ショベルの開発

3. 構成 および 機能

3・1 機械構成（ハード面）

本機は、従来の油圧ショベルを電気コントロール式にし、さらに制御コントローラ、操作パネル（表示パネルを含む）、および各種センサを追加した構成になっている。図3にシステム図、図4に装着箇所を示す。

(1) 制御コントローラは、他の車両制御コントローラと LAN (Local Area Network) を形成し、これにより、16ビット高速CPUが互いの情報と各センサからの情報を交換して、表示や制御に必要な演算を行い、その結果を表示パネルや比例電磁弁ドライバに出力する。LANは、制御にリアルタイムに関係するデータをやりとりする高速ネットワークと、車両やコントローラの状態を示すデータをやりとりする低速ネットワークの2回線を備え、通信の効率化を図っている。



(2) 傾斜センサは上部旋回体に取り付けられ、上部旋回体の前後方向の傾斜（ピッチング角）を検出している。

(3) ブームとアームの回転中心には角度センサが取り付けられ、それぞれの回転角を検出している。この角度センサは、高精度のエンコーダと角度絶対値認識のためのポテンショメータを組み合わせしており、この2つのセンサの出力を比較することによりセンサの異常が検出できる構造になっている。

(4) バケットの回転角検出には、作業時の破損防止やバケット交換時の整備性を考慮して、シリンダに内蔵した磁気抵抗式ストロークセンサを採用している。

3・2 オペレータサポート機能（ソフト面）

本機に装備された、12のオペレータサポート機能を図5に示す。

図中の①～⑫は、図2のオペレータサポート機能NO.

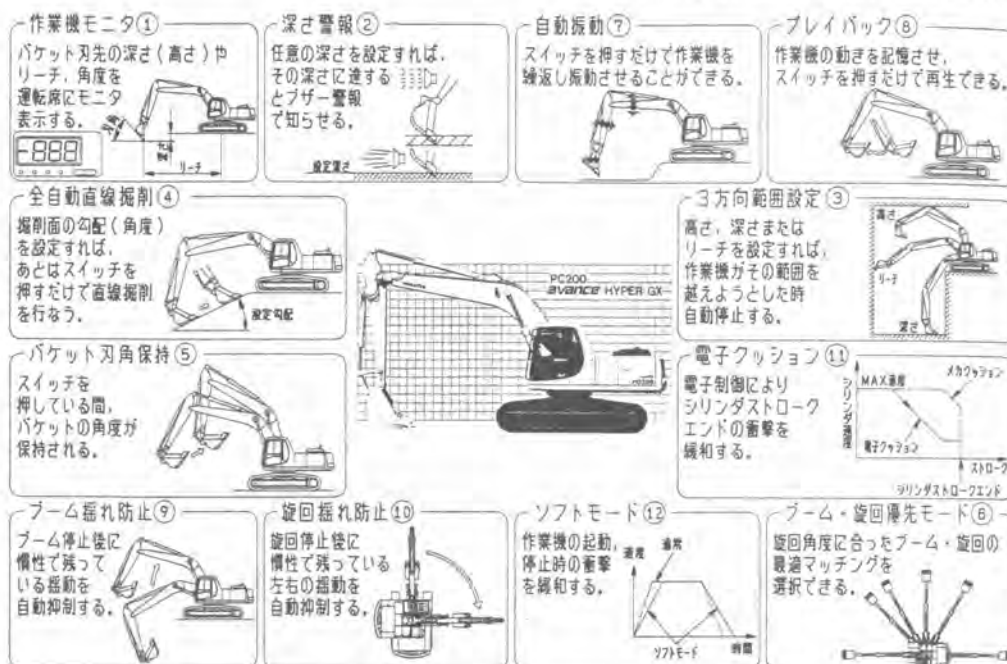


図5 オペレータサポート機能

(1) 作業機モニタ機能は、傾斜センサ、ブーム角度センサ、アーム角度センサ、バケットシリンダのストロークセンサからの情報により、バケット刃先の位置、およびバケットの角度を演算し、これらをリアルタイムで運転席の表示パネルに表示する機能である。これにより、基準位置からの高さ・深さや水平方向の距離の計測が油圧ショベルで行えるようになった。

(2) 全自動直線掘削機能は、掘削したい勾配を予め設定し、作業機操作レバーに取り付けられたノブスイッチを押すと、制御コントローラが、バケット刃先が設定した勾配に沿って直線で動くようにブーム、アーム、バケットの動きを制御する機能である。バケットに加わる負荷が変動しても直線掘削できるようなアルゴリズムの開発により、熟練オペレータ並の、掘削速度 5m/10sec (PC200 HYPER GX)、仕上げ精度 ±20mm を達成している。

(3) 3方向（高さ・深さ・リーチ）範囲設定機能では、制御コントローラがブーム、アーム、バケットの外形を記憶し、この外形と作業機の姿勢から作業機の最外側点を演算して、この点が予め設定された範囲を越えようとするとき作業機を自動的に停止させる。制御コントローラは常に作業機の最外側点と設定範囲との間の距離を監視しており、最外側点が設定範囲に近づくとこの距離に応じて作業機の動きを遅くするので、負荷や速度に関係なく、またショックなく確実に作業機を停止させることができる。

(4) ブーム・旋回揺れ防止機能では、ブーム停止後に発生する不快な車体の前後の揺動や、旋回停止後に発生する上部旋回体の左右の揺動を自動抑制するために、ブームや旋回を停止するときのブームシリンダ両端や旋回モータ前後の圧力変動を検出し、逆位相でバルブを駆動することでアクティブ制振制御を実施している。

4. 開発の効果

社内、およびユーザの施工現場でのテストで確認された、オペレータサポート機能の有効な作業とその効果を表2に示す。

| NO | 開発機能名 | 有効な作業 | 効果 |
|----|--------------|--|---|
| 1 | 作業機モニタ | ・溝寸法、法面勾配などの計測作業一般 | ・掘削しながら計測できるので、計測・補助作業員が多くの場合不要になった。 (機械と人間混在の回避、省人化) ・工事前後の計測作業が油圧ショベルで行えるようになり簡素化できた。(機械化、省人化) |
| 2 | 深さ警報 | ・溝掘り、マス掘りなどの荒掘り ・夜間や水中での掘削 | ・刃先が見えない場所でも音により所定の深さを掘削できるようになった。 (機械と人間混在の回避、省人化) ・掘りすぎが防止できるようになった。 (機械化・省人化) |
| 3 | 3方向範囲設定 | ・狭所や障害物(電線、地下埋設物)近くでの作業一般 | ・障害物のある場所でも安心して作業ができるようになった。(誤操作防止・オペレータの疲労低減) |
| 4 | 全自動直線掘削 | ・平坦地・法面の直線整正 ・溝床面の直線整正 ・マス掘り時の垂直かき上げ掘削 ・アスファルトなどの表上削ぎ | ・未熟練オペレータでも熟練オペレータ並の作業ができるようになった。(未熟練オペレータのサポート) ・熟練オペレータでも操作が「楽」になった。 (オペレータの疲労低減・高齢化への対応) ・熟練オペレータにとっても難しかった作業ができるようになった。(機械化・省人化) |
| 5 | バケット 刃角保持 | ・畦畔のような短い直線整正 ・整正面の荒仕上げ ・コンクリートなどの資材運搬 | ・ブーム、アーム、バケット3つの同時操作がブーム、アーム2つの同時操作でできるようになった。 (未熟練オペレータのサポート) |
| 6 | 優先モード | ・掘削積込み ・深掘り | ・ブーム・旋回を同時に操作したときの細かいレバーコントロールが不要になった。 (未熟練オペレータのサポート) |
| 7 | 自動振動 | ・転圧 ・ふるい落とし ・コンクリート、砂利の整正 | ・単純なレバー往復操作がスイッチを押すだけでできるようになったので、長時間作業しても疲れなくなった。(オペレータの疲労低減・高齢化への対応) |
| 8 | プレイバック | ・軽負荷掘削 ・転圧 ・ふるい落とし | ・同一操作の繰り返し作業が楽にできるようになった。 (オペレータの疲労低減) |
| 9 | ブーム揺れ防止 | | ・作業時の乗心地が良くなったので、疲れなくなった。 (オペレータの疲労低減、高齢化への対応) ・作業機停止時の荷揺れや荷こぼれを防止するための細かいレバーコントロールが不要になった。 (未熟練オペレータのサポート) |
| 10 | 旋回揺れ防止 | | |
| 11 | 電子クッション | ・掘削積込み全般 | |
| 12 | ソフトモード | ・運搬全般 | |

表2 有効な作業と効果

テストの結果特筆すべきことは、

(1) 作業機モニタ機能は、油圧ショベルの従来機能である掘削機能に加えて計測を可能にした。この結果、掘削作業中の計測・補助作業員が多くの場合不要になったので、安全性の向上、省人化が図れた。

(2) 全自動直線掘削機能やバケット刃角保持機能のように、従来、高度の技能を要した作業機の同時操作の自動化は、未熟練オペレータに熟練オペレータ並の作業を可能にただけでなく、熟練オペレータにとっても操作が「楽」になり、作業能率が向上する。ユーザの施工現場でのテストでは、熟練オペレータでも全自動直線掘削機能やバケット刃角保持機能を使った場合、法面整正作業で、手動操作で行った場合に比べて約1.3～1.5倍能率が向上するという評価を得た。

(3) 全自動直線掘削機能のように、複数の操作を同時に必要とした作業の操作を、自動化によりスイッチを押すだけでできるようにした機能は、普通のオペレータではほとんど不可能だった作業を簡単にできるようにした。例えば、ブーム、アーム、バケットを同時に操作して水平に掘削しながら旋回する、いわゆる、斜めすきとり作業は、この機能を使うと、スイッチを押しながら旋回操作するだけで精度良く、簡単にできるようになった。

5. 開発の発展的応用

今回の開発により、安全性の向上、施工・作業環境の改善、労働力の確保に大きな寄与をすることができた。さらに、今回開発の知能化した油圧ショベルに、例えばラジオコントロールシステムを組み合わせればオペレータは容易に遠隔操作が可能になり、より一層の安全性の向上、施工・作業環境の改善が期待できる。また、人工衛星を使った位置検出システムを組み込めば、掘削作業関係の計測要員を不要にできるだけではなく、複数の油圧ショベルの遠隔操作による無人化も可能になる。

6. おわりに

建設施工現場においても、今日プラント工場などで見かけるように、1人のオペレータがモニタ監視するだけで、複数の油圧ショベルを稼働させることも近い将来実現するように思われる。今回の開発は、そのような建設機械の省人化と無人化に向けた、油圧ショベルのさらなる知能化の第1ステップと考えている。

最後に、本機の開発に当り御指導・御協力頂いた皆様に深く感謝致します。

51. 位置検出シリンダ“ZEXT”の開発

コマツ：村上 卓・ 悪七 秀樹
コマツゼノア：*永橋 伸之

1. はじめに

近年、建設土木工事現場においては生産性の向上、安全性の確保、苦渋作業からの解放など、自動化、インテリジェント化への要求が高まって来ている。これらの要望に答えるため、建設機械も自動化に向けて各種の開発が進められている。

建設土木工事現場における自動化を達成するためには、機械の姿勢、位置を知ることは重要な要素であり、その位置制御アクチュエータである油圧シリンダにこうした機能が求められている。現状ではこうした付加機能を持った油圧シリンダが少ないため、多くの場合作業機リンクのピンまわりに回転式ポテンショメータやエンコーダを取り付けたり、リミットスイッチなどを使用しているのが一般的である。この場合、構造の複雑性から問題を生じやすいため、取り付けや交換などのメンテナンスも容易な変位位置を直接検出できる油圧シリンダが望まれている。

建設土木工事現場の環境において油圧シリンダは、 -30°C から 100°C までの幅広い温度範囲、 100G 程度の衝撃負荷、砂利の中での作業など過酷な環境の中で使われる。こうした条件下で高精度で高耐久性のあるセンシングシステムを維持しなければならない。これらの条件はもちろん自走式建設機械に限らず、トンネル掘削機械などの地下建機、高負荷で使用される建設ロボット機械などの分野においても同様に必要なスペックであると考えられる。

ここではこれらの使用条件を満たすべく開発したストロークセンシング機能付きシリンダの概要を報告し、今後の建設土木機械の自動化に寄与したい。

2. 解決すべき課題

過去の事例より、建設土木工事現場で使用できるセンシングシステムを開発するには下記の問題点を解決しなければならなかった。

- (1) -30°C から 100°C の温度範囲で使用できるセンサ素子の開発
- (2) 100G の衝撃に耐えられる構造
- (3) 従来のシリンダの機能と耐久性を損なわず、センサ部を含めて部品交換が容易、整備性がよい。

3. ZEXTシリンダの位置検出の原理の構造

ZEXTシリンダのストロークセンシング部は、ピストンロッドに磁気スケールを加工しシリンダ側に取り付けたセンサアッセンブリでこれをカウントするリニアエシコーダである。

(1) 位置検出の原理

ロッド表面部にごく浅い溝を連続的に形成させ、凹部に非磁性体のクロムメッキを充填した磁気スケ

ールを、強磁性薄膜磁気抵抗素子（MR素子）と永久磁石を組み合わせたセンサでカウントすることによりインクリメンタル信号でシリンダのストローク位置を検出する。

センサ素子は、磁気スケールのピッチ（2mm）に対して1/4ピッチ中心位置をずらした二つのパターンで検出することにより、4 連倍の信号（0.5mmピッチ）を得る事が出来る。

-30℃から100℃の幅広い温度範囲をカバーするため、図1に示すように、FEM解析を用い水平方向の磁束の変化（磁束のゆらぎ）を予測し、最も安定して効率よく検出できる素子パターンを見つけた。

(2) センサ部の構造

センサ部は図2に示すように素子と磁石が樹脂モールドされ、摺動材の樹脂（PES）製ケーシングに納められている。このセンサはスプリングによってロッド表面に押し付けられ衝撃負荷が加わってもジャンピングしないように設計している。

図3に示すようにハウジング内にはセンサ部から出力された微弱なサイン波信号を安定した矩形波信号に変換する信号処理回路が収納されている。内部空間は樹脂モールドされており出力信号用ケーブルの取り出し口もシールリング付き金具を使用しており、衝撃、振動、水分から基盤をガードしている。

(3) シリンダの構造

写真1及び図5にZEXTシリンダの外観を示す。

シリンダの基本構造は従来から生産している構造であり、負荷に合わせた高信頼性なシリンダである。

今までのシリンダと異なる点は、センサ部を取り付けるためのスペースをシリンダヘッドの前方に設けた事と、センシングスケールとなる溝をロッドに加工してある点である。

ロッドは高周波焼入れが実施しており、表面を硬質クロムメッキで被い従来のロッドと同等の品質を確保している。

センサ信号の出力ケーブルは、シリンダチューブの外周に沿った鋼製のプレートで、土砂による傷つき等から守られている。

(4) センサアッセンブリとロッドの組み合わせ

センサと信号処理回路が収納されているセンサアッセンブリは、ボルトによってシリンダヘッド部に固定

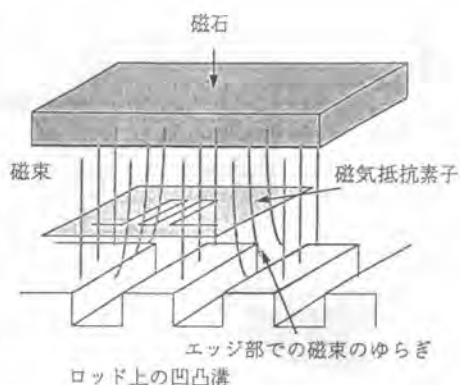


図1 磁束のゆらぎの概念図

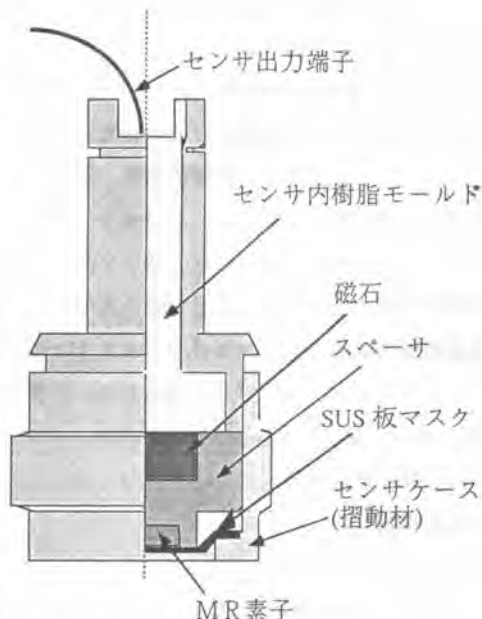


図2 センサ概略図

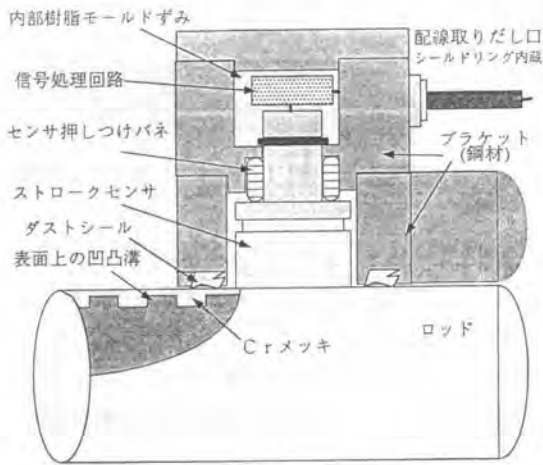


図3 センサアセンブリ概略図

してあり、センサアセンブリが簡単に取り外し出来る。

センサアセンブリは単独で信号処理回路の調整を行ってあり、シリンダに取り付けてからの調整は必要ない。

4. 信頼性確認試験

センサ部、センサアセンブリ、ロッド、シリンダアセンの各段階でテストを重ね、建設土木作業の過酷な条件でも十分使用に耐えることを確認した。

(1) センサ部、センサアセンブリ

- ①物理試験：リード線強度、曲げ強度、引張り強度、自然落下、機械的衝撃、振動
- ②環境試験：温度サイクル、湿温度サイクル、熱衝撃、塩水噴霧、耐塵、減圧、耐水、耐洗浄剤、
- ③寿命試験：高温作動、低温作動、高温放置、低温放置、
- ④摺動耐久試験〔シリンダロッドテストによる、センサケーシング（PES）の評価試験〕

(2) ロッド部

- ①回転曲げ疲労試験
- ②塩水噴霧試験

(2) シリンダアセンブリ

油圧ショベルの作業機（バケット）シリンダ用として実機に搭載し実用試験を行った

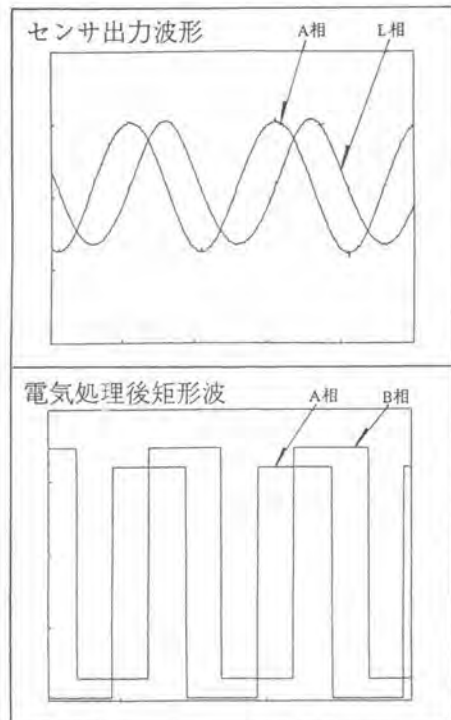


図4 出力波形

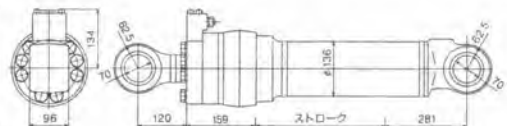


図5 シリンダアセン外観図

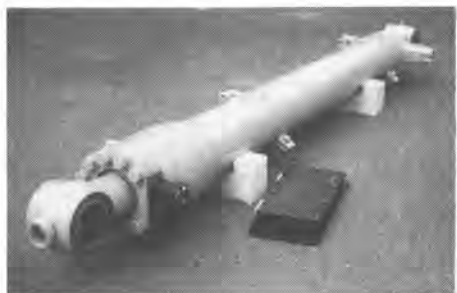


写真1 油圧ショベル用ZEXTシリンダ

5. Z E X Tシリンダの主な仕様

本シリンダの仕様をまとめると右の表のようになる。

建設土木工事現場の過酷な環境においても、安定した0.5mm分解能のデジタル信号を出力し、シリンダアセンブリとして優れた整備性を保ったシリンダであることより、多くの建設土木機械の自動化に対応できると考える。

表1 センサ仕様

| | |
|--------|-------------------------------|
| 電源 | DC12±1V |
| 消費電流 | 30mA |
| 分解能 | 0.5mm |
| 出力形式 | NPNトランジスタ、プルアップ抵抗付き |
| 出力信号 | A相/B相 位相差出力 |
| 最大応答速度 | 10kHz |
| 絶縁抵抗 | DC5V,10MΩ以上(端子←→ケース) |
| 使用温度範囲 | -30~100℃(摺動面) -30~80℃(基板部) |
| 耐振性 | 20G 5~200Hz |
| 耐衝撃性 | 100G |

6. Z E X Tシリンダを使用した建設土木機械の例

(1) 知能化油圧ショベル

- ・掘削機能だけでなく計測機能を備えたため、補助作業員が多くの場合不要になり安全性が向上し省人化が図れた。
- ・未熟練なオペレータが操作しても、熟練オペレータの高度な作業が可能になった。また熟練オペレータにとっても作業効率の向上の手助けとなった。

(2) トンネル掘削機械(ドリルジャンボ)

- ・穿孔ドリル深さを監視することができるようになり作業の標準化可能になり、作業効率が大幅に向上した。

(3) 半自動押土装置(ブルドーザ)

- ・オペレータは前後進の操作をするだけで、負荷に応じて土耕板が上下する事により誰でも簡単なドーピング作業ができるようになった。

(4) 伸縮アーム式油圧ショベル

- ・2mをこえるストロークのアーム伸縮シリンダとバケットシリンダの動きと連動させながら自動的に動かす事により誰でも迅速に山の切り崩し作業ができるようになった。

7. 今後の展開

自動化された建設土木機械が広く一般に使われるようになるのはこれからであり、今後多くの自動化された機械が開発される事になると考えられる。こうした中でシステムの完成度が高まるにつれ、コンポーネントに対する要求も、機能値のアップ、小型化等、より高度にシビアになっていくと考えられる。こうしたニーズに答えるべくZ E X Tシリンダの改良を進めていきたい。

最後に、Z E X Tシリンダの開発に協力して頂いた多くのメーカーやユーザの皆様に、この場をお借りしてお礼を申し上げます。

52. 動圧密工法群管理システムの開発と実施例

日本国土開発(株)：二宮 康治

コマツ：*清水 憲治

1. はじめに

沖積平野や埋立地は、軟弱地盤を形成しているために地震時の液状化防止、あるいは支持地盤増強沈下低減のために地盤改良が必要となる場合が多い。その地盤改良工法には多くの種類があるが、その中で締固め工法に分類される動圧密工法は締固めエネルギーにより、地盤の密度を増大する工法で岩砕・砂質土の地盤改良に有効な方法である。

しかし、動圧密工法は施工機械が広範囲に展開することから集中管理が難しく、また技術管理の大部分が人力で行うため、工事の進捗に合った施工管理が困難であった。そこで、広範囲に展開する動圧密機を集中管理して、各々の動圧密機の施工状況と地盤改良状態(施工情報)をリアルタイムに把握する動圧密工法群管理システムの開発を、コマツと日本国土開発(株)の共同で行い関西国際空港地盤改良工事に適用した。その結果、均質な地盤改良、省力化、作業の安全性に効果があり施工コスト低減が達成されたので、ここに報告する。

2. システムの概要

全体システムは、各々の動圧密機に設置しているオペレーションユニットとランニングユニット、および、コントロールルームに収納するステーションユニットで構成されている。システムの概要を図-1、動圧密機単体を図-2に示す。

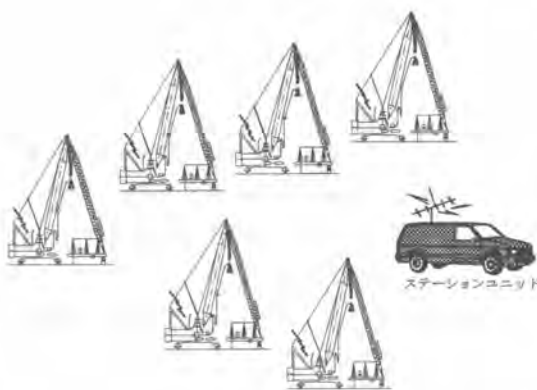


図-1 動圧密工法群管理システム

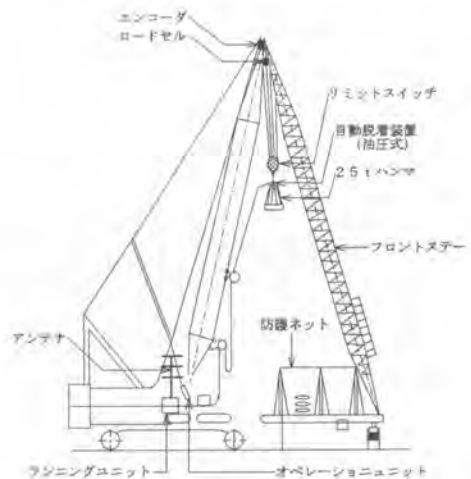


図-2 動圧密機単体

2-1. オペレーションユニット・ランニングユニット

オペレーションユニットは、クレーンオペレータに打撃点・打撃回数・貫入量等の施工状況を提供するとともに、オペレータからも情報を入力出来るようになっている。

一方、ランニングユニットは、ハンマの打撃回数貫入量等をコンピュータで処理し、可搬式のディスクに保管すると共に、無線によりステーションユニットに転送するシステムである。ランニングユニットの構成を図-3、ランニングユニットのシステムブロック図を図-4に示す。

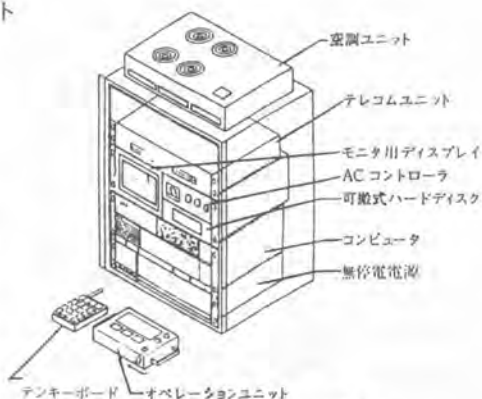


図-3 ランニングユニット外観

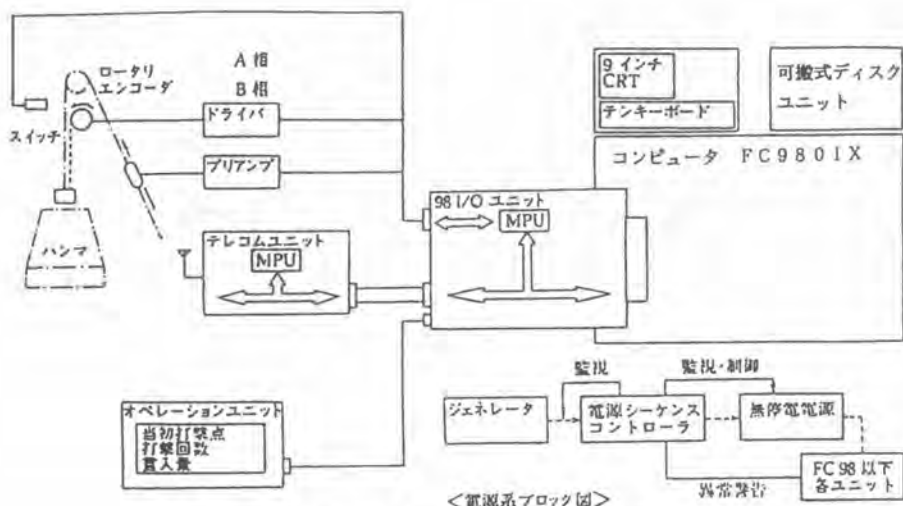


図-4 ランニングユニットシステムブロック図

2-2. ステーションユニット

ステーションユニットは各々の圧密機と離れた位置にあり、移動車両等に搭載されたハウス（コントロールルーム）内に収納されている。そして、動圧密機の情報を受信しそのデー

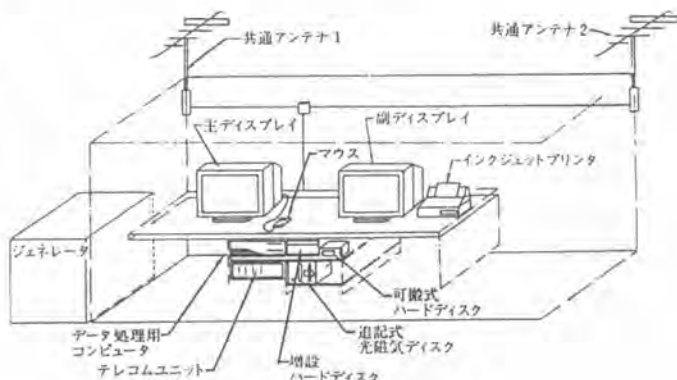


図-5 ステーションユニットの構成

タを現場における動圧密機の位置情報とともにコンピュータで処理して工事全体の進捗状況を工事管理者が見やすいCRT（ブラウン管）上に表示するとともに、プリンタによるデータシートとして提供する機能を有しているシステムである。ユニットの構成を図-5、システムブロック図を図-6に示す。

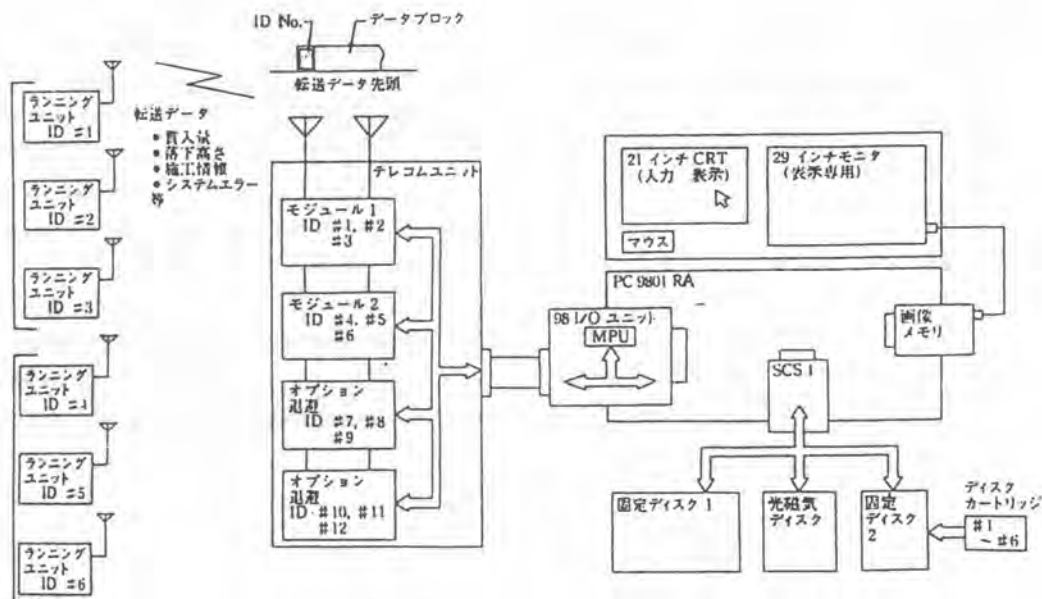


図-6 ステーションユニットシステムブロック図

2-3. システムの仕様・性能

(1) 無線通信

- ・通信方式 : 双方向通信
- ・変調方式 : MSK変調
- ・通信速度 : 2400bps
- ・送信出力 : 10mW (特定小電力)
- ・通信距離 : 見通して約300m
- ・送受信周波数 : 400MHz帯
- ・チャンネル数 : 6チャンネル (群管理台数: 6台)

(2) 耐環境、その他

- ・使用環境温度 : $-5^{\circ}\text{C} \sim +5.5^{\circ}\text{C}$
- ・使用環境湿度 : 80%以内
- ・耐衝撃性 : 10G以内

2-4. システムの機能

本システムの機能として、地盤改良区域をメッシュに区切り、これらの位置情報をベースに、ハンマ貫入量・打撃回数等を動圧密機ごとにデータを収集する。このデータは、ステーションユニットより各動圧密機のランニングユニットにリクエストすると無線送信され収集できる。これを一括集中管理するシステムである。(システムは図-4、6を参照)

本システムで、各動圧密機ごとにリアルタイムに施工管理・技術管理情報を提供する項目は以下のりである。

- ・打撃回数 ・各打撃点の落下高さ ・各打撃毎のハンマ貫入量 ・ハンマ地切り力
- ・日報作成 ・施工進捗図

2-5. システムの特徴

- (1) 広範囲に複数の動圧密機が稼動している場合でも、一箇所で施工管理・技術管理ができる。
- (2) 打撃回数・貫入量・落下高・地切力をリアルタイムに計測・データ処理し、日報作成ができる。
- (3) 打撃回数と貫入量の関係から各打撃点の打撃回数を、変更する事により均一な地盤改良が可能となる。
- (4) 動圧密機に設置したオペレーションユニットにより、クレーンオペレータが打撃回数・落下高・次回打撃点の確認が容易にでき、安全性・施工能率が向上する。
- (5) 動圧密機に設置したランニングユニットのセルフチェック機能により、施工データが確実に収集できる。

3. 実施例

3-1. 関西国際空港地盤改良工事の概要

関西国際空港の建設において、埋立地盤の改良工法としてサンドコンパクションパイル工法、重錘落下締固め(動圧密)工法、マンモスタンプ工法がおこなわれていた。本システムを、動圧密工法の動圧密機の集中管理に適用実施した。

動圧密工法は、主に約深度10mの改良に用いられている。これまでにエネルギーセンター地区・コンクリート地区・海上アクセス地区の鉄道・道路部・排水処理施設・国際貨物地区・国内貨物地区・整備地区滑走路・誘導路で採用され、改良面積は609、980m²ある。施工の最盛期には、フロントステーション方式の動圧密機が5台、その他のタイプの動圧密機が8台稼動している。動圧密工法により改良された箇所を図-7に示す。

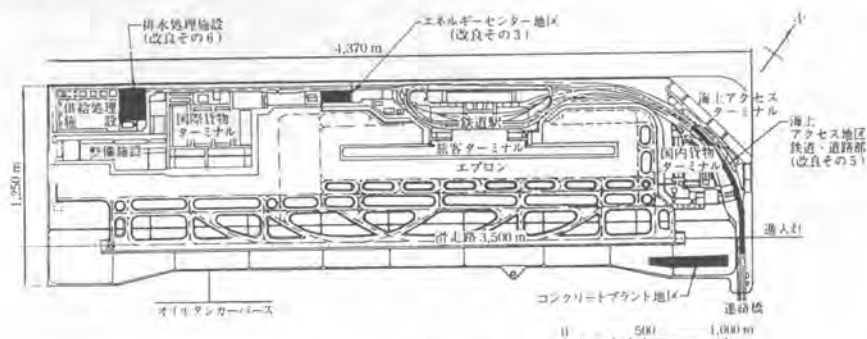


図-7 改良区域位置図

3-2. 施工管理例

実際の施工現場での実施例を示す。複数台の動圧密機の集中管理を行うため施工前に以下の準備を行なう。

(1) マップの作成 (図-8 参照)

地盤改良を行う範囲をステーション側で設定し、改良範囲は簡単な操作で矩形三角形など任意の形状に設定できる。

(2) 各動圧密機の移動登録

(1) で作成したマップをもとに各動圧密機の移動 (施工) 順序を設定する。移動順序は随時変更可能であり、各打撃点の打撃回数も同時に設定する。

なお、登録した内容は、可搬式ディスクを介して各動圧密機のランニングユニットに無線で転送され、同時にオペレータ席に設置したオペレーションユニットに表示される。

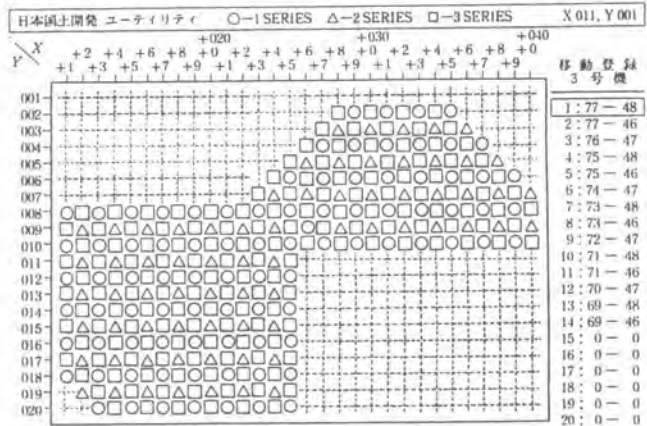


図-8 打撃点 (マップ) の登録

(3) 施工状況

動圧密機による関西国際空港での施工状況を写真-1に示す。各シリーズの施工時には写真のように各打撃点ごとに地盤の圧縮により生じたクレータができる。

(4) 施工管理状況

各シリーズの打撃に伴う各動圧密機ハンマの貫入量打撃回数との関係は、複数台同時にモニタ画面 (図-9 参照) に表示され、また各動圧密機別にシリーズ・パス・ハンマ落下高も表示される。

ハンマ貫入量をこのシステムで測定した値を水準測量による値と比較したものを図-10に示す。これより両者はニアな関係にあることが確認された。



写真-1 関西国際空港施工状況 (滑走路部分)

4. 効果

(1) 従来は、均質な地盤改良をするため技術管理（貫入量・打撃回数）を手作業で行っていたが、本システムにより自動計測できるため、均質な地盤改良が可能となった。

(2) 更には、上記自動計測によりハンマの打撃回数と貫入量をリアルタイムに把握できるため、クレーンオペレータのミスがなくなり、効果的で効率的な動圧密工法が可能となった。

(3) また、手作業による計測がなくなり作業員が打撃中にハンマ近傍に行く必要がなく、安全性が格段に向上した。

当然、作業員2～3名/1台を無人化し省力化が計られた。

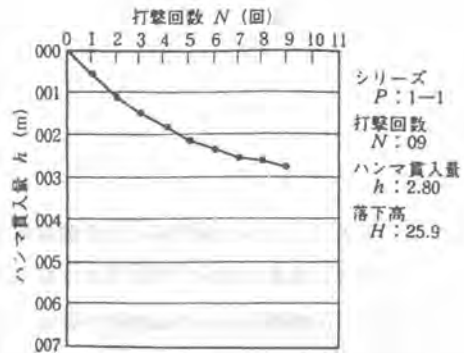


図-9 ハンマ貫入量

5. まとめ

今回開発した群管理システムは、動圧密工法の施工において均一な地盤改良を行うための一手段であり、従来の管理手法の自動化をはかったものである。

今後は、データの蓄積、分析を計り管理手法を確立させるとともに、今回の群管理システムをもとに各動圧密機の位置情報のシステムへの導入、またハンマのリバウンド量などから地盤の固さを判定するシステムへと発展させていきたい。

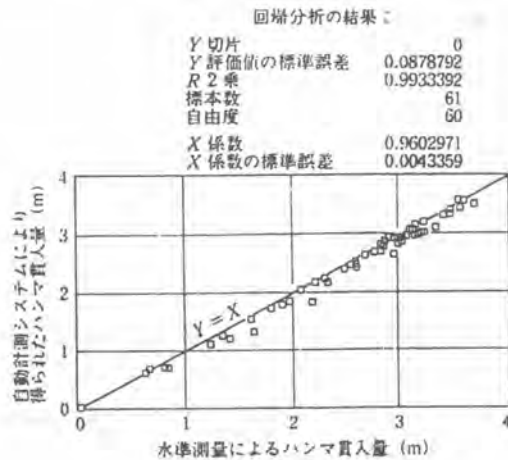


図-10 ハンマ貫入量計測例

53. 天井工事ロボット・ スペースワーカーの開発

コマツ：*長濱 政之

高砂熱学工業(株)：船津 敏夫・鈴木 基

1. はじめに

ビル建築現場での天井工事作業には空調設備工事、配管工事、ボード張り付け工事等がある。これらの工事は作業者が高所で作業をおこなうという面と、重量のあるワークの揚重・取付作業という面があるが、作業者にとっては危険で苦渋な作業となっている。

従来、こういった作業では作業者を高所へ上げる目的で高所作業車や組立足場、またワークを揚重する目的では各種揚重機械がそれぞれ使用されてきた。

そこで本報では既存の高所作業車に揚重機械としての面を積極的に持たせ、さらに高機能化・高付加価値化することで天井工事作業全般の改善を目的として開発した天井工事ロボットについて述べる。

2. 天井工事ロボットの特長

本機の特長を以下に示す。

① 小型、軽量な車体

小規模な現場や仕上工程の現場で搬入・移動ができる様に、本設エレベータに載せられるサイズと重量とした。

② 作業床の一部が収納・拡張可

作業床を収納・拡張できる様にすることで、狭い現場での取りまわしが楽になり、なおかつ走行台車部が小型でありながら広い作業スペースが得られる。

③ 揚重能力の向上

作業者とワークを揚重するだけでなく、作業床上でワークの取付作業が効率良くできる様なアタッチメントの取付を考慮して揚重能力を向上させた。

④ 多様な走行モード

狭い現場での移動や、ワークの取付作業の効率向上を目的として小回りがきき、多様な走行が可能。

⑤ 走行の微操作性が良い

ワークの取付作業時に位置決めが容易となる様に、走行速度がレバーの傾れ角に比例する様にした。

⑥ 2台連結して同期動作が可能

作業時に広い作業スペースが必要な場所や、重量のあるワークや長尺なワークの揚重・取付作業を可能とする為に、2台連結しての同期走行・同期昇降を可能とした。

⑦ 作業性の向上

作業台上でAC100Vの電動工具を使用する場合、外部より電源用の線をひきまわさなくてよい様に車体内部の電源(DC)を利用して電動工具(AC)を動かす事を可能にした。

3. 天井工事ロボットの構成

本機の構成を図1に示す。

大別して本機は走行台車・昇降装置、作業床・操作ボックスから成り、さらに2台連結時には連結フレームが追加される。

以下に本機の各要素ごとの機能について述べる。

① 走行台車

走行は対角2輪駆動、対角2輪操舵をマイコンで制御する事によって前後走行と旋回、横走行と旋回、斜走行、スピントーンの4種の走行モードを可能とした。

また操作ボックスの走行レバーの傾し角に比例した速度制御及び起動停止時のショックレス制御をマイコンでおこなう事によって微操作性を可能とした。

② 昇降装置

ワークを積載し揚重する機械として必要となるフラットな作業スペースを確保する為に、昇降装置はX字状のリンク構成となっている。

またこのX字状のリンク部に作業床の高さ検出用センサーを持つことにより2台連結時の同期昇降制御を可能とした。

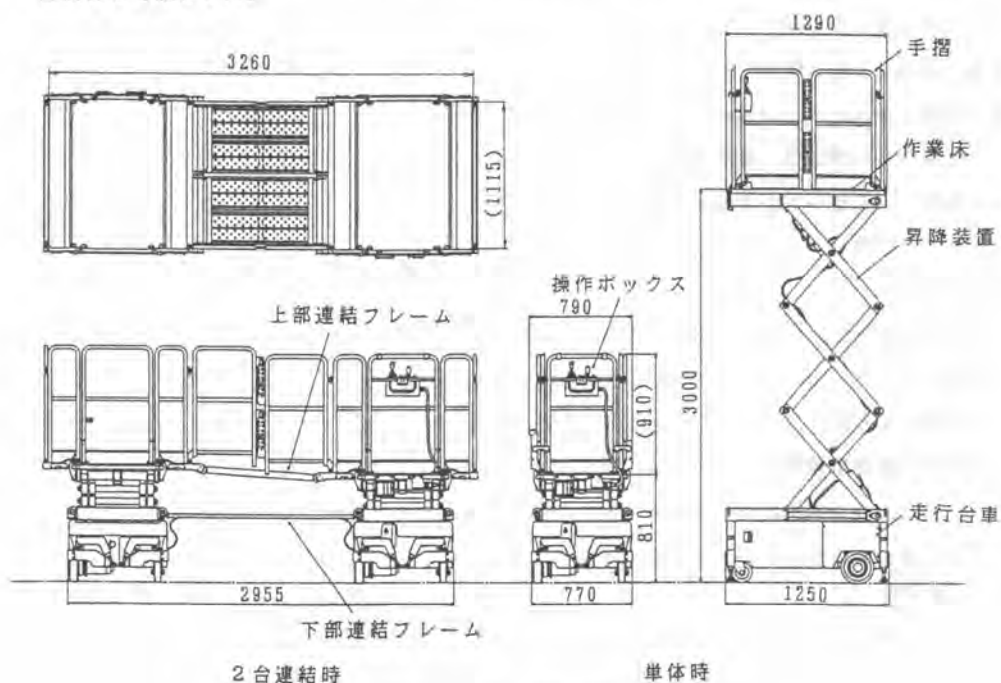


図 1 構成

③ 作業床

作業床は一部が収納・拡張可能であり、手摺は脱着可能とする事によって、それぞれの作業でそれに適した作業スペースを得る事を可能とした。

また走行台車内部の電源（DC 24V）をインバータによって電動工具が使用できる様にAC 100Vに変換して作業台上へ供給している。

④ 操作ボックス

操作ボックスは走行および昇降操作用レバーと、走行モードおよび昇降モード選択用の切換スイッチ等から構成されている。

走行および昇降操作用のレバーは誤操作防止の為、レバー上の押しボタンを押しながらレバーを倒さなければ作動しない構造となっている。

また操作ボックスはコネクタを介し脱着可能で、作業床側あるいは走行台車側に接続できるので車体に乗っても操作できるし車体外からでも操作できる。

⑤ 連結フレーム

2台の作業床間をつないで自らも作業床の一部となる上部連結フレームと、走行台車をつなぐ下部連結フレームから構成され、さらに下部連結フレームには2台間で電気信号のやりとりをおこなうための連結用ケーブルが装着されている。

また2台の作業床間の手摺は単体時の側面の手摺を流用しており、2台連結時の作業床間の高さの差を吸収するために上下にスライド可能な構造としている。

4. 2台連結時の同期動作

本機は単体でも動作可能だが、2台連結させた場合、その連結車両全体を単体と同じ操作パターンで動作可能とするために同期走行、同期昇降システムを有する。

この時操作ボックスは、連結車両のどちらか片方にのみ接続し、操作ボックスが接続された側が親機（主動側）、もう一方が子機（従動側）となる。

以下にこの同期システムについて述べる。

① 同期走行

親機は操作ボックスから入力された走行関係の指令に従って走行するとともに、子機の走行に必要なデータを連結用ケーブルを介して通信で子機へ送る。

子機はその受けとったデータに従って走行する。

走行の制御用通信データを図2に示す。

これにより2台連結時も単体時と同じ4種類の走行モードを持つことが可能となっている。

2台連結時の走行モードについては図3にしめす。

② 同期昇降

親機は操作ボックスから入力された昇降の指令と、自分の作業床高さのデータ及び子機から通信で送られてきた子機の作業床高さのデータとの比較にもとづいて、親機・子機のそれぞれの昇降を決定する。

親機はその決定に従って昇降するとともに決定した子機の昇降指令を連結用ケーブルを介し通信で子機へ送る。

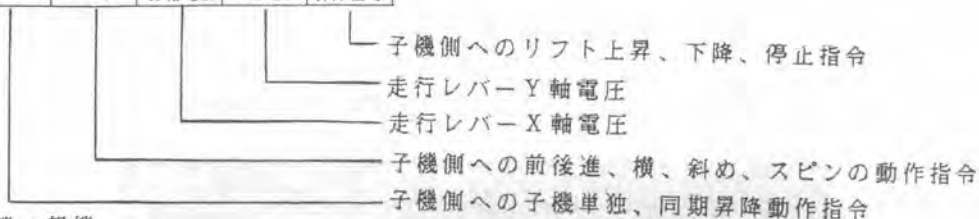
子機はその受けとったデータに従って昇降する他に、常時親機に自分の作業床高さのデータを通信で送っている。

これにより2台連結時に片側の作業床に偏荷重がかかった場合でも、2台それぞれの作業台の高さのバランスをとりながら昇降するので機械に損傷を与えることなく、安全である。

| | | | | | |
|------------|-----------|--------------|--------------|-------------|-----------|
| リフト モード | 走行 モード | 走行レバ X軸電圧 | 走行レバ Y軸電圧 | リフト 昇降信号 | リフト 高さ |
|------------|-----------|--------------|--------------|-------------|-----------|

親機→子機

| | | | | |
|------------|-----------|--------------|--------------|-------------|
| リフト モード | 走行 モード | 走行レバ X軸電圧 | 走行レバ Y軸電圧 | リフト 昇降信号 |
|------------|-----------|--------------|--------------|-------------|



子機→親機

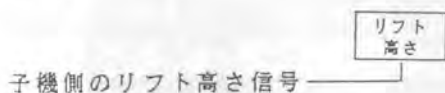


図 一 2 制御用通信データ

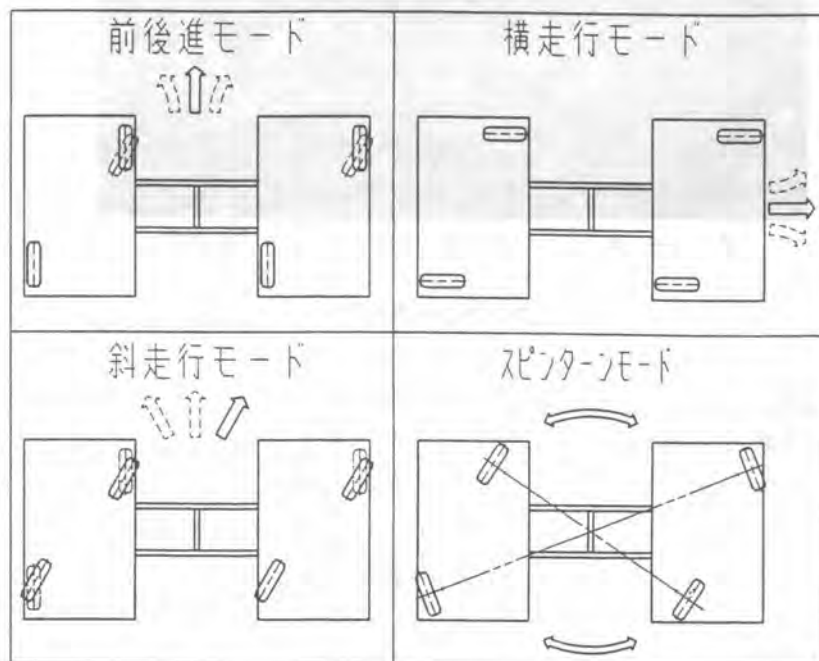


図 一 3 連結時の走行モード

5. 実施例

本機を2台連結して、ビル内装工事の石膏ボード貼り作業を行った事例を写真-1に示す。

今回、石膏ボード貼り作業のうち、空調ダクト等を避けるためのボードの切り欠き加工を必要とする壁上部部分のボード取付作業について、従来工法である脚立・足場を用いた施工と、スペースワーカーを用いた施工を実施し、施工効率の比較をした。結果を表1に示す。

この様な作業の場合、従来は採寸・加工・取付毎に足場を昇り降りしなくてはならなかったが、今回の工法では材料・工具など必要な物全てが作業者の手元にあり動き回る必要がないために施工速度にして90%近いアップがはかれた。

また作業者からは高所において手すりに囲まれて作業をおこなっているのので落下の危険に対して気を遣う必要がないので安心であるとの評価を得た。

写真-1 ボード取付作業



表-1 施工効率の比較

| 工程 | 作業床 | スペースワーカー使用時 | 脚立、足場使用時 —従来工法— | 時間短縮の主要因 |
|-----------|-----|-------------|--------------------|-------------------------|
| | | (SEC/M2) | (SEC/M2) | |
| ボード積み込み | | 15・2 | ----- | |
| 脚立の設置、移動 | | ----- | 88・2 | |
| 昇降、移動 | | 52・5 | 107・3 | 材料、工具を作業床上に置いているため |
| 採寸 | | 71・7 | 214・8 | 採寸した寸法をメモる必要が無いため |
| 加工 | | 349・7 | 723・5 | 加工時に形状の確認が容易 |
| ボンド塗布 | | 44・0 | 46・2 | |
| 取付 | | 111・0 | 214・0 | 作業者の姿勢に無理がないため |
| GLボンド隙間埋め | | 257・3 | 281・0 | |
| 合計 | | 901・4 | 1675・0 | 合計で $1・86 = 1675/901・4$ |

6. 今後の展開

この約10年間、ゼネコン各社建築分野でのロボット化に努力されているが、普及となると、難しいようである。その原因は種々考えられるが、大きな要因としては、

- ① 機能をアップさせすぎた為にコストが高すぎる。
- ② 不特定多数の協力会社の作業員が使うには操作が複雑すぎる。
- ③ 高機能のわりには、ロボットを使用しない方が施工スピードが速い。

が考えられる。

上記のことを念頭におきながら、次の様な展開を予定している。

- ① さまざまな天井工事作業のなかでも特に、本機の特長（任意の空間中で広い作業スペースが得られる・微妙な位置決めが可能な走行系）を活かすことが可能と考えられる空調配管やボード等の取付作業現場に本機を導入して、従来の施工方法に対してより有効な施工方法を確立する。
- ② またワークの取付作業を部分的に自動化させたアタッチメントを開発することによって、従来工法より施工スピードをアップさせる。

7. おわりに

天井工事作業全般に広く適用できる事を目的とした、天井工事ロボットを開発し、その構成と機能について概要を述べた。

搬入・搬出時は単体、作業時は2台連結とすることにより、建築現場での機械の導入の上で障害となっている搬入・搬出及び作業空間の狭さという問題に対して有効であると考えられる。

最後に、テスト施工等で、多大な御協力をいただいた、関係者の方々には、謝意を述べたい。

54. ロボットアスファルトフィニッシャの開発

建設省東北技術事務所：熊本 泰俊・*富手千賀子
(財)先端建設技術センター：萩原 哲雄

1. はじめに

建設工事の機械化・合理化は年々確実に進みつつあるが、未だ人力や熟練工に依存する工種も数多く存在し、アスファルト舗装工もその一つである。こうした状況は、近年の技能労働者不足や若年層の建設業離れも加わって、一層深刻な事態となっている。その一方では、道路整備に対する社会的ニーズの高まりから、舗装延長の増加並びに道路の維持補修の需要も増大化しており、舗装の高品質化、生産性の向上が期待されているところである。

このような背景から、現状のアスファルト舗装工を対象に作業の省人化並びに苦渋性の解消と品質の向上を目的として、各種の操作を自動化した「ロボットアスファルトフィニッシャの開発」を行なったので、ここに、その概要を報告するものである。

2. 開発目標

2-1 現状施工法の分析

開発目標の設定にあたって、現状の施工方法における問題点、特性等を把握するため、表-1に示す調査分析を行った。

表-1 現状施工法の調査分析項目

| 調査項目 | 調査内容 |
|------------------|--|
| 舗設作業の調査分析 | 舗設状況をビデオ撮影し、IE手法を用いてフィニッシャとオペレータ、スクリッドマン、作業員の機能分析を行った。 |
| フィニッシャの性能と出来形の調査 | 舗設作業員をオペレータとスクリッドマンのみで施工し、舗設出来形に対する影響調査を行った。 |
| フィニッシャの操作機能分析 | オペレータに対して施工条件別の操作に関するアンケートを実施し、操作要素の難易度を調査した。 |

定量的分析結果から得られた問題点等は、以下のとおりである。

- (1) オペレータは、手動による合材供給調節とステアリング操作を同時に行っているため、操作が難しく、熟練度を要する。
- (2) スクリッドマンは、舗装厚管理、及びスクリッド伸縮調節を1人でやっているが、出来形に影響するため非常に細やかな操作を行っており、熟練度を要する。また、舗装厚等の確認、調整のための横移動量が多く、肉体的にも負担が大きい。
- (3) 良好な出来形精度を確保するため、フィニッシャでの合材の敷均し後、スコップマン、レーキマン等補助作業に対する依存度が高い。

- (4) フィニッシャがダンプトラックから合材を受け入れる作業が、全体の施工効率を低下している。
また、ダンプトラックの誘導、合材排出等の指示は誘導員により行われるが、誘導員の安全確保に問題がある。

2-2 開発対象項目の選定

現状施工法の分析により明らかになった問題点から、表-2に示す5要素を自動化の開発項目として選定した。

各要素の選定理由は、次のとおりである。

- ①合材の供給の自動化を行うことにより、スクリード前部の前幅にわたる均一な材料供給が可能となり、オペレータの操作の軽減につながる。同時に、舗装端部におけるスコップ、レーキ等の補助作業の負担が軽減される。

また、数均し精度が向上し、次項の舗装厚の調整にも関係する。

- ②舗装厚の管理・調整は、スクリードマンの経験や技能に大きく依存される操作であり、これを自動化することにより、省熟練化が可能となる。

また、舗装厚が安定することにより、数均し精度が向上し、スコップ、レーキ等の補助作業の負担が軽減される。

- ③スクリードの伸縮が自動化されることにより、スクリードマンの削減が可能となる。また、舗装端部におけるスコップ、レーキ等の補助作業の負担が軽減される。

- ④ステアリングの操作の自動化を行うことにより、オペレータの操作が軽減され、ワンマン化を進める上で大きな要因となる。

さらに、ステアリング操作は、スクリードの伸縮調整に大きく関わるとともに、舗装端部におけるスコップ、レーキ等の補助作業の負担が軽減される。

- ⑤ダンプトラックからの合材の受け入れを(半)自動化することにより、スムーズな施工が可能となる。

また、誘導員は不要となり、省人化につながる。

2-3 自動化装置による改善効果の目標

ステアリングの自動操作、合材の自動供給が可能となることにより、オペレータの操作は軽減され、省熟練化が可能となるとともに、舗装厚の自動管理・自動調整、スクリードの自動伸縮が可能となることにより、スクリードマンは削減され、省人化が可能となる。また、均一な数均し精度が確保されることにより、スコップマン、レーキマン等の作業量も減少し、最終的に全体の1/2程度の人力での施工が可能になると考えられる。

図-1は、フィニッシャによる舗設作業において、現状施

表-2 開発項目の5要素

- ①合材の供給の自動化
②舗装厚の管理・調整の自動化
③スクリードの伸縮の自動化
④ステアリングの操作の自動化
⑤合材の受け入れの自動化

RMR値：肉体的負担を評価する値でエネルギー代謝率と呼ばれ、ある作業で消費された代謝量を基礎代謝量の倍率で表したものを

労働強度：RMR値により作業の重し(強度)を格付けしたものを

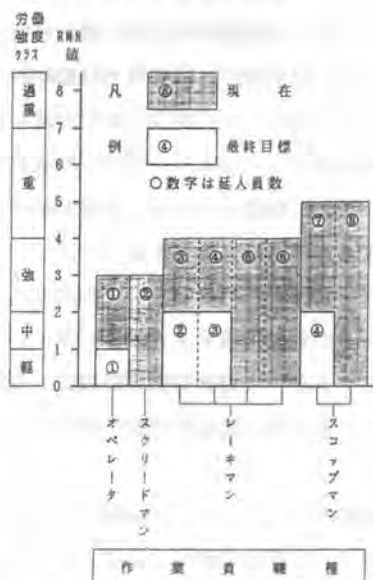


図-1 省力化・苦渋性の改善度

工法に対し、自動化装置を搭載した開発機で施工した場合、どの程度の省力化・苦渋性の改善を目標とできるかを表したものである。

縦軸は、労働強度（労働の厳しさ、苦渋性）を表したもので、山が高い程、きつい作業であることを表している。ここでは、「現在」（網掛け）の棒を「最終目標」（白抜き）の棒まで低減することを表し、横軸は、作業員職種と人数を表したもので、現在の作業編成を最終目標として1/2に省人化することを表している。

3. 開発機の概要

開発目標をもとに、各装置の自動化を検討し、総合システム機の開発を行った。以下に、開発項目の詳細を述べる。

3-1 主要諸元

| | |
|----------|-------------------------|
| 総重量 | : 13,000kg |
| 全長 | : 6,700mm |
| 全幅 | : 2,490mm |
| ホイールベース | : 2,600mm |
| 回送速度 | : 10km/hr |
| 作業速度 | : 1.5~10m/min |
| 駆動方式 | : 油圧駆動、ノースピンデフ、4駆-2駆切換式 |
| ステアリング方式 | : パワーステアリング、前輪ステアリング |
| 機関名称 | : いすゞ 4BD1-T |
| 機関出力 | : 86kW/2000rpm |
| 敷均し材料 | : アスファルト混合物及び路盤材 |
| 敷均し幅 | : 2.5~4.5m (標準) |
| 敷均し厚 | : 10~150mm |
| 最大敷均し能力 | : 180t/hr |



写真-1 ロッドアスファルトフィニッシュ全景

3-2 自動化装置の特徴

(1) 合材の自動供給装置

スクリード中央と両端に設置した超音波センサにより、左右のパーフィード、左右の固定・伸縮スクリーフフィードを各々制御し、最適な供給量を確保するものである。

また、供給量が不足した場合には、警報を出し、走行を停止させる機能も有している。

(2) 舗装厚の自動管理・自動制御

左右のレベリングアームに設置した超音波センサ、傾斜センサと走行距離センサ、スクリード端部の超音波センサにより、敷均し厚さを常時計測し、スクリードを最適な位置に制御するものである。

また、制御モードは、路盤面からの高さを基本とする厚さ優先制御と端部の構造物等の高さを基本とするレベル優先制御を選択できる。

(3) スクリード端部の自動追従（スクリードの自動伸縮・ステアリングの自動化）

スクリード端部の前後に設置した特殊センサにより、舗装基準線を検知し、ステアリングの

操舵角とスクリードの伸縮量を制御し、スクリード端を自動的に追従させるものである。特殊センサは、ロードアイと呼び、レ

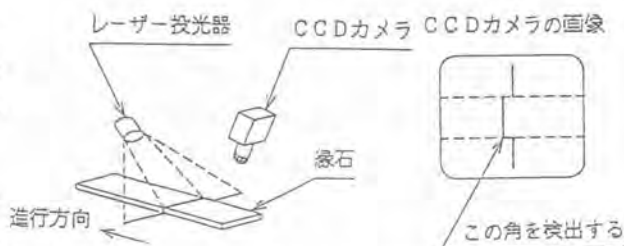


図-2 基準検知システム（ロードアイ）概要図

レーザー投光器とCCDカメラ、画像処理装置により構成され、平面的な白墨線や立体的な型枠構造物等各種の基準線を非接触で検知できるものである。

また、ステアリング制御は、スクリッド制御と密接に係わり、数値的な関数による制御ルールの構築が困難なことから、ファジィ制御を採用した。

(4) 合材の受け入れの半自動化

距離センサによりダンプトラックとの距離及び、ホッパ内の合材量を検知させ、表示板(サインボード)により指示し、ダンプトラックの誘導、合材の排出(ダンピング)を行うものである。また、アスファルトフィニッシャーとダンプトラックをトラックヒッチという連結装置で自動的に連結可能とした。

4. おわりに

本開発は、平成3年度から3ヶ年計画で実施しているものであり、現在までに、各要素技術の開発を終え、全要素技術を搭載した総合システム機の試作・性能試験段階に達したものである。要素技術の開発過程における試験施工の結果では、施工改善効果を有することを確認しており、開発目標に確実に近づきつつあると考えている。

アスファルト舗装工は、mm単位の精度を要求されるために、熟練度を要し、多くの人力による補助作業も不可欠であり、その結果、労働集約型の施工形態となり、かつ、大変な重労働となっているのが現状である。こうした実態を改善するために、IE手法を応用した分析結果を行った結果、フィニッシャーの自動化が最も効果があるとの方向付けを得て、ロボットアスファルトフィニッシャーの開発を進めてきたものである。

今後は、5要素を搭載した総合システム機による実証試験並びに試験施工を行い、施工改善効果を評価し、早期にロボットアスファルトフィニッシャーの実用化を目指すものである。

なお、本開発は、共同開発により実施しているものであるが、(財)先端建設技術センターの他、大林道路(株)、鹿島道路(株)、世紀東急工業(株)、大成道路(株)、日本道路(株)、日本舗道(株)、(株)新潟鐵工所が参画しているものである。

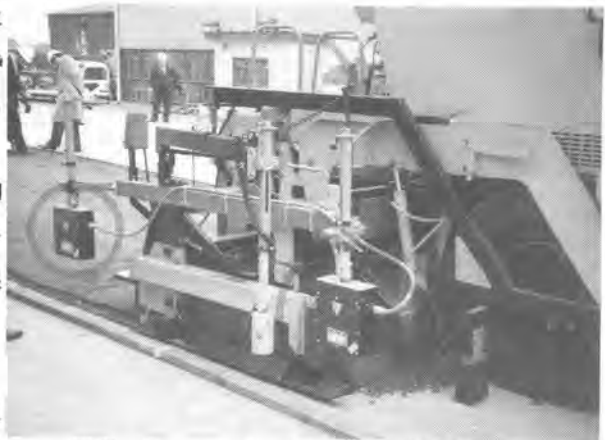


写真-2 スクリッドのセンサ取付け状況

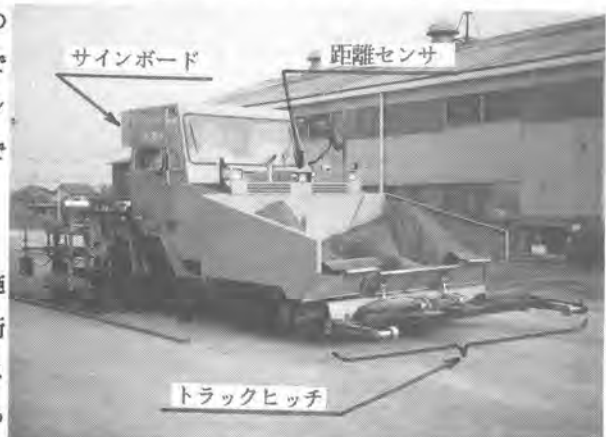


写真-3 合材受け入れ半自動化装置

建設機械と施工法シンポジウム論文集（平成5年度版）

平成5年10月16日 印刷

平成5年10月20日 発行

不許

複製

編集
発行所

社団法人 日本建設機械化協会

東京都港区芝公園3-5-8

（機械振興会館内）

TEL (03) 3433-1501

FAX (03) 3432-0289

振替口座 東京 7-71122番

印刷所 株式会社 東 神 堂
東京都千代田区神田司町2-14