

平成14年度

建設機械と施工法シンポジウム

論 文 集

平成14年10月24日～25日

東京・機械振興会館

社団法人 日本建設機械化協会

平成14年度

「建設機械と施工法シンポジウム」論文集

目 次

*印 口述発表者

1. 【土工とその機械】

1. 垂直リボンスクリューコンベヤの実用化

……………日立造船(株)：岡田 利幸、吉川 忠男
……………ジオテックマシナリー(株)：花岡 泰治… 2

2. おむすびローラ（クローラ式振動締め機）の開発

……………コマツ：*菊池 幸雄、珍田 彰、
……………鹿島道路(株)：渡辺 渉… 8

2. 【舗装とその機械】

3. 2層同時舗設式舗装と施工機械の開発

……………日本舗道(株)：斎藤 徹、山口 由喜、
……………*丑久保吾郎… 14

4. レジンモルタル充填機の開発

……………日本舗道(株)：*勝 敏行、宮崎 一郎、
……………村上 浩… 18

3. 【建築とその機械】

5. 全自動ビル建設システムによる超高層ホテルの施工

……………(株)大林組：*池田 雄一、田中 俊次、川上 宏伸… 22

4. 【その他の機械】

6. 基礎処理工事の合理化を目指した高所ボーリングマシンの開発

……………ハザマ：*秋田 真良、森 秀文、
青山機工㈱：隈本 開男… 28

5. 【環境・リサイクルとその機械】

7. 脱水ケーキの植生土壌化

……………電源開発㈱：殿村 敦典、
佐藤工業㈱：*山田 賢一、山田 僚一… 32

8. ダム工事における植生土壌化システムの開発

……………佐藤工業㈱：*植木 研三 永松 敏弘、
矢郷 隆浩… 38

6. 【トンネルとその機械】

9. 拡大・縮小シールド工法の開発

……………清水建設㈱：*阿曾 利光、
細井 元規… 44

10. 上向きシールド工法の開発と実証施工

……………大成建設㈱：*伊東 憲、栄 毅熾、
五洋建設㈱：原 修一… 48

11. 機械式T字接合シールド工法（T-BOSS工法）のシールド機

……………東急建設㈱：*平間 利昭、平井 幸雄、
高松 伸行… 54

12. 山岳トンネル工事における爆薬の遠隔装填システムの導入

……………㈱熊谷組：*岡田 喬、広瀬 俊文、
岡本 哲也… 58

13. 三次元TSPシステムの現場への適用

……………佐藤工業㈱：山本 松生、瀬谷 正巳、
*吉野 隆之… 64

14. New PLS工法の施工への適用
 ……………日本道路公団：及川 淳、
 ハザマ：芳賀 佳之、*宮崎 航… 70
15. 移動式プロテクタを用いた発破によるトンネル活線拡幅工法（エルトン）の施工
 ……………佐藤工業㈱：*山本 徹、今岡 彦三、
 稲童丸 征巳… 76
16. プロテクターを用いたトンネルの活線拡幅施工
 ……………福岡北九州高速道路公社：赤沢 英明、
 ハザマ：*多宝 徹、関 俊一郎… 82

7. 【維持とその機械】

17. 鉄道営業線における軌道走行式トンネル補強システム
 ……………東急建設㈱：*寺山 拓也、豊田 旬、
 梅津 薫… 88
18. トンネル覆工連続打音点検システムの開発
 ……………国土交通省 関東地方整備局：田中 義光、持丸 修一、
 *二瓶 正康… 92
19. 歩道下空洞探査車の開発
 ……………国土交通省 関東地方整備局：田中 義光、持丸 修一、
 *小澤 直樹… 96

8. 【コンクリートとその機械】

20. ダム用コンクリート運搬設備「ライジングタワー」の開発
 ……………清水・熊谷佐賀特定共同企業体：森 敏昭、
 清水建設㈱：佐藤 良一、*米田 吉男… 102

9. 【自動化・ロボット化・施工管理】

21. 建築仕上・設備資材の自動化搬送システムの開発
..... (株)大林組：*堂山 敦弘、汐川 孝、
浜田 耕史… 106
22. フラッシュ接合システムの開発とアンダーピニング工事への展開
.....(株)竹中工務店：*梅國 章、日本鋼管工事(株)：藤井 充、
(財)溶接研究所：加藤 勉… 112
23. トンネル覆工コンクリート打音診断機の開発
～トンネルドクター‘ソニック・マイスター’の開発～
.....大成建設(株)：*須田 健、平野 逸雄、
鈴木 隆次… 118
24. 軌索式ケーブルクレーンによるダム用コンクリート自動搬送システムの開発
.....(株)大林組：三好 哲也、*蔵元 一成… 124
25. 工事前接近警戒自動認識システム
.....大成建設(株)：松本 三千緒… 130
26. 透光性遮音壁清掃機械の開発
.....国土交通省 近畿技術事務所：中田 育伺… 136
27. 無人測量システムの開発
..... (株)フジタ：*浅沼 廉樹、三村 洋一… 142
28. 無人化施工によるリサイクル緑化工法の実施
..... 長崎県 島原振興局：古藤 秀明、
(株)熊谷組：*北原 成郎、岡田 喬… 148
29. 土の締固め遠隔管理システム.....大成建設(株)：西澤 修一… 154
30. 深層混合処理機の施工精度管理システムの開発
.....(株)竹中土木：*太田 恵智、森田 英仁、
(株)竹中工務店：山本 光起… 160
31. ジオファイバー工法（連続繊維複合補強土工法）の機械化施工
.....日特建設(株)：堀江 直樹… 166
32. 三次元レーザースキャナーを用いたプラント配管現状図作成技術
.....三井建設(株)：*大津 慎一、寒川 慎也、
佐田 達典… 172

1. 垂直リボンスクリューコンベヤの実用化

日立造船㈱：岡田 利幸、吉川 忠男

ジオテックマシナリー㈱：花岡 泰治

1. 緒言

大深度化の進む地下トンネル工事では、掘削残土の揚土方法が問題の一つとして挙げられている。効率的で、環境および安全性が確保され、さらに小面積配置が可能で経済性も満足する揚土装置が求められている。当社では、これら要求に応えるため、高揚程の垂直リボンスクリューコンベヤ（H iースクリーンコンベヤ）の開発を進めている（図1）。

スクリーンコンベヤは、連続、密閉搬送ができ、コンパクトであるという特徴を持つ。従来の垂直スクリーンコンベヤは、軸付のスクリーンを高速回転させることで遠心力を発生させ、流動性のあるかさ密度の小さい粉粒体を揚送するもので、港湾での穀物や鉱石などの粉粒体の荷役を行う連続式アンローダに利用されている。この種の垂直スクリーンコンベヤは、土砂のようにかさ密度が大きく性状の一定しない運搬物の揚送には適さない。これまで、土木施工現場等で発生する土砂を、垂直スクリーンコンベヤでコンパクトに揚土する試みは、何回となく行われてきたが、閉塞や強度不足などが原因で実用化に至っていないのが実状である。また、スクリーンコンベヤにおける垂直揚土の理論的検討は皆無に近く、実験の報告も少ない。

筆者らは、垂直スクリーンコンベヤに、かさ密度の大きな粉粒体を充填させて、スクリーンを低速回転で揚送する理論式を導いた上で、効率がよく、強度のあるリボンスクリュー式の垂直揚土装置を設計した。実証機による現場発生土砂を用いた実験では、ほぼ理論値通りの揚送性能を確認することができた。また、含水比が大きく塑性流動化した土砂の揚土実験もあわせて実施した。

以下に、理論解析、実験結果を中心に、開発した垂直リボンスクリューコンベヤを紹介する。

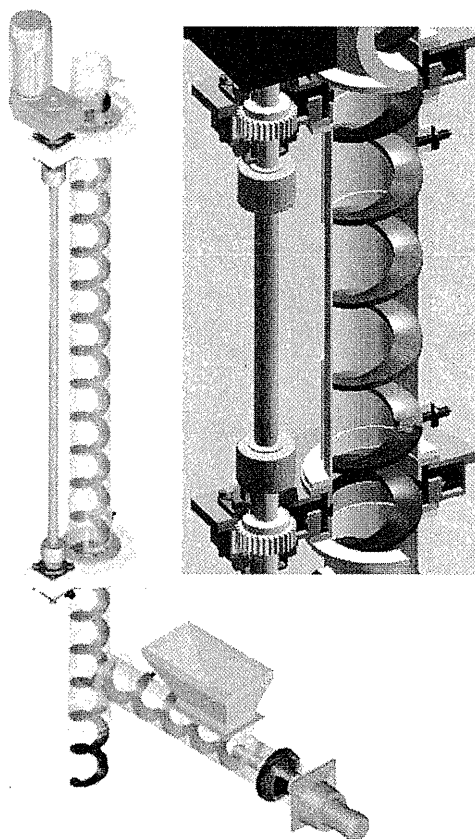


図1 垂直リボンスクリューコンベヤ
(H iースクリーンコンベヤ)

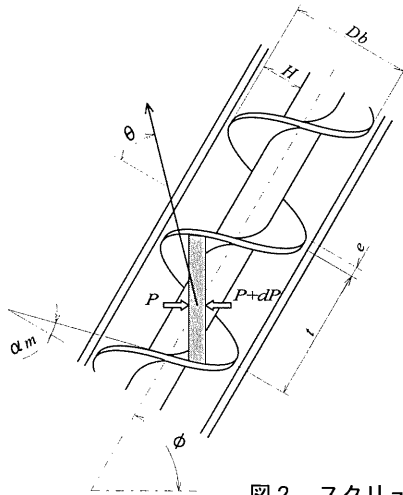
2. スクリューコンベヤの粉粒体運搬理論⁽²⁾

塑性流動化土砂をスクリューコンベヤに充満させて、圧力を保持することおよび加圧し運搬する理論式は既報である⁽¹⁾。その場合、塑性流動化土砂とスクリュー面間に作用するせん断力が大きく影響する。

一方、乾燥土砂、例えば砂、表土、改良土砂等、表面に水分が浮かない程度の土砂の場合は、摩擦力を考慮する必要がある。

図2にスクリューコンベヤの理論式で使用する記号を説明する。また、理論の展開については、次の仮定を設ける。

- (1) スクリュー溝部に充満した粉粒体はすべての面に接触している。
- (2) 加圧力はスクリュー溝長さの関数である。
- (3) 粉粒体とコンベヤとの摩擦係数は、圧力に無関係で、コンベヤ全長にわたって一定とする。
- (4) スクリューとケーシングの隙間は無視する。
- (5) 粉粒体はスクリュー溝内をプラグ流として移動する。



D_b : スクリュー外径
 H : スクリュー羽根高さ
 L : コンベヤ長さ
 e : スクリュー羽根厚
 t : スクリューピッチ
 C (定数) $= (D_b \cdot 2H) / D_b$
 E (定数) $= (D_b \cdot H) / D_b$
 K (側圧係数) $= (1 \cdot \sin^2 \phi) / (1 + \sin^2 \phi)$
 k (係数) $= E \tan(\alpha_m + \rho)$
 P_L : スクリューコンベヤの長さ L の圧力
 P_0 : 初期圧力
 μ_b : 運搬物とケーシング内面との摩擦係数
 μ_s : 運搬物とスクリューとの摩擦係数
 α_b : スクリュー外径のねじれ角
 α_m : スクリュー平均径のねじれ角
 α_r : スクリュー軸(穴)部のねじれ角
 ρ : 摩擦角 $= \tan^{-1} \mu$
 θ : 排出角 ($0 \leq \theta \leq 90^\circ$)
 ϕ : スクリュー傾斜角
 γ : 運搬物のかさ密度

図2 スクリューコンベヤの理論式で使用する記号の説明

このとき、運搬・加圧の一般式は、式(1)で表される。

$$P_L = \exp\left(\frac{KLM}{N}\right) \cdot (P_0 - A) \cdot A \quad \dots (1)$$

ここで、 A 、 N は、それぞれ次式で表される。

$$A = \frac{HE\gamma \cos \alpha_m (k \sin \phi - \mu_b \cos \phi)}{KM} \quad \dots (2)$$

$$N = H \sin \alpha_b \cos \alpha_m (k \sin \alpha_m + E \cos \alpha_m) \quad \dots (3)$$

M は、スクリュー形状によって変わる。図3に、従来方式の(a)軸付きスクリュー、今回開発・実用化した(b)リボンスクリューおよび(c)固定軸装入りボンスクリューの模式図を示す。リボンスクリューの場合の M の計算式を、式(4)に整理する。

$$M_1 = \mu_b (\cos \alpha_b \cos \theta - k \cos \alpha_b \sin \theta) \mu_s \cdot \frac{2HE}{(t-e)} \cdot (k \sin \alpha_m + E \cos \alpha_m) \dots (4)$$

式(1)の R_L は、垂直スクリーコンベヤの任意の高さ L 点における圧力を表している。揚送するには $0 \leq R_L$ となる必要があり、少なくとも $0 = R_L$ となる初期圧力 P_0 (必要加圧力とよぶ) を与える必要がある。H i -スクリーコンベヤでは、必要加圧力を水平リボンスクリーコンベヤで発生させる。

排出効率 η を式(5)のように表す⁽¹⁾。排出効率 η は、任意の排出角における排出量と、排出角を 90° としたときの理論最大排出量との比を表している。

$$\eta = \frac{\tan \theta}{\tan \theta + \tan \alpha_b} \dots (5)$$

3. 粉粒体の垂直揚送条件

垂直コンベヤの必要加圧力 P_0 と水平コンベヤの発生圧力 R_L の関係例を、表1のスクリー形状・寸法と表2の運搬物の性状から求めて図4に示す。図4から(a)軸付きの垂直スクリーコンベヤは、必要加圧力が大きく、排出角は小さくなり効率が悪いことがわかる。土砂等の揚送には不適であるといえる。

一方、(b)垂直リボンスクリーコンベヤおよび(c)固定軸装入の垂直リボンスクリーコンベヤではわずかの加圧力ですみ、排出角も大きく効率がよい。固定軸を装入すると排出効率 η が大きくなり、その傾向は排出効率 η の小さい範囲ほど顕著である。高揚程で、土砂のように、性状、粒径が不均一で、礫が混ざるような場合は、単に垂直リボンスクリーコンベヤの方が閉塞が少なく都合がよい。

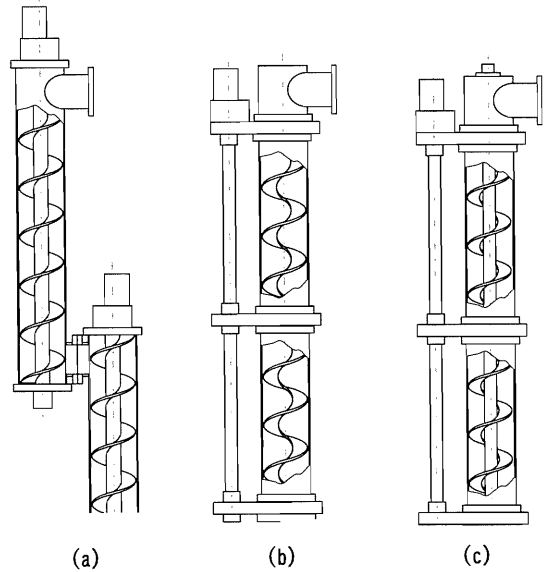


図3 スクリューコンベヤの形式

表1 垂直スクリーコンベヤの主な寸法

| 項目 | 水平 | 垂直 |
|---------|----------------|----------------------------------|
| スクリーの形状 | リボン | リボン 固定軸装入りボン 軸付スクリー (計算のみ) |
| コンベヤ長 | $2.5D_b$ | $17.5D_b$ |
| スクリー外径 | D_b | |
| 穴・軸径 | $D_r = 0.4D_b$ | |
| ピッチ | $t = D_b$ | |
| 羽根厚さ | $e = 0.07D_b$ | |

表2 想定した運搬物(土砂)の性状

| 土砂 | 粘性土砂(含水比10%) |
|------------|---------------------|
| みかけの比重 | 1.4 |
| コンベヤとの摩擦係数 | $\mu = 0.7$ |
| 内部摩擦角 | $\phi_i = 45^\circ$ |

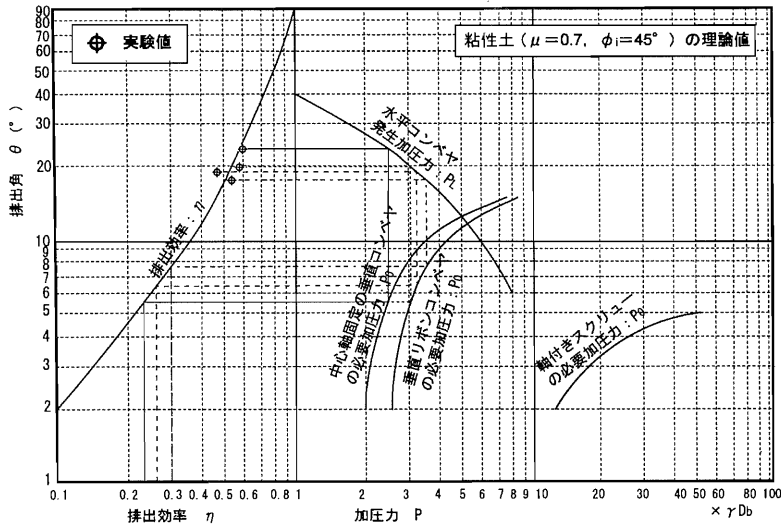


図4 垂直コンベヤの必要加圧力と水平コンベヤの発生圧力の関係

4. Hi-スクリーンコンベヤの構造⁽³⁾と特徴

従来の一箇所で支持と回転力の伝達を行うリボンスクリューでは、スクリーンの強度とコンベヤの継足しに問題があったので、新構造を開発し解決した(図1、図3参照)。Hi-スクリーンコンベヤの特徴は次の通りである。

- (1) リボンスクリューの採用により、運搬物と共回りする軸部分がなく、高効率を達成できる。
- (2) スクリュー外周の一部に回転環を設け支持と駆動を行う構造で、高強度、高揚程を達成。
- (3) 直列継足し構造で、運搬物の乗り移りがなく揚送が円滑で、長尺コンベヤが構成できる。
- (4) 低速回転のため騒音・振動、摩耗が少なく、密閉搬送で粉塵もなく、作業環境にやさしい。
- (5) リボンスクリューを基本形式として、中心に固定軸を装入すると、さらに効率が向上する。

5. 実証実験

5.1 実証装置と試料

図5に実証装置の写真と土砂排出の様子を示す。実証装置の寸法は、スクリーン外径φ300、揚程5.25mとした。

運搬物には、現場発生土砂を使用した。図6にその粒度分布を示す。その分類は礫混じりの砂質土であるが、水分を加えることで付着力が増し粘土状になる。土砂の搬送実験では、現場発生土砂に、若干の水分(自然含水比9.9%)を加え使用した。塑性流動化土砂の搬送実験では、さらに水を加え混練し、スランプが出る状態にして使用した。

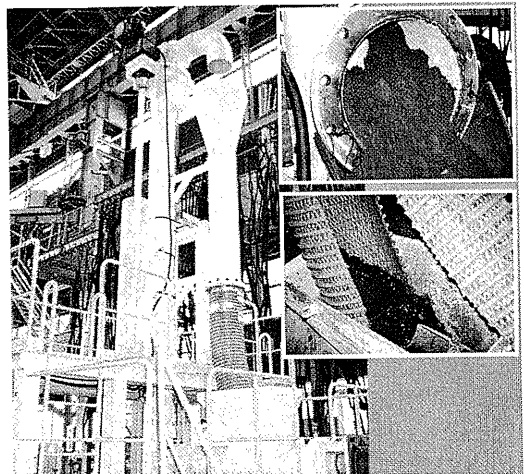


図5 実証装置

5.2 土砂の搬送

図7に、垂直スクリーウの回転数を一定としたときの、水平スクリーウの回転数と搬送量の関係を示す。リボンスクリーウおよび固定軸装入りボンスクリーウの結果ともにほぼ比例関係にある。このときの排出効率 η は、搬送量から計算して垂直スクリーウで約0.3、水平スクリーウで約0.5となる。図4を用いて、計測結果から得られた排出効率をもとに、垂直スクリーウの必要加圧力、水平スクリーウの発生加圧力を求めると概ね一致することがわかり、理論計算および摩擦係数など実証機設計に用いた数値が妥当であることが確認できた。

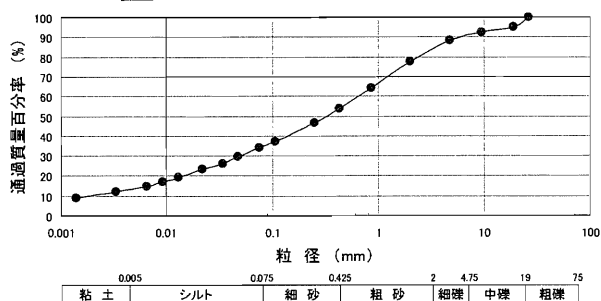


図6 土砂の粒度分布

5.3 塑性流動化土砂の搬送

図8に、塑性流動化した土砂のスランプと搬送量の関係を示す。各スクリーウの回転数は一定とし、垂直スクリーウは45rpm、水平スクリーウは16rpmであった。土砂のスランプが大きくなる（より水分が多く柔らかい）ほど、反比例的に搬送量は少なくなる。リボンスクリーウのみに比べ、固定軸装入りボンスクリーウの方が搬送量が多く、搬送可能なスランプの限界も大きいことが確認できた。本実験ではスランプ20cm程度までの揚送を確認した。

6. 寸法・容量と用途例

表3に、H iースクリーウコンベヤの寸法と容量を示す。

H iースクリーウコンベヤの用途例は表4に示すものが挙げられる。適用例の一部として、図9にスクリーウ形連続式アンローダを、図10に大深度揚土用垂直スクリーウコンベヤを示す。

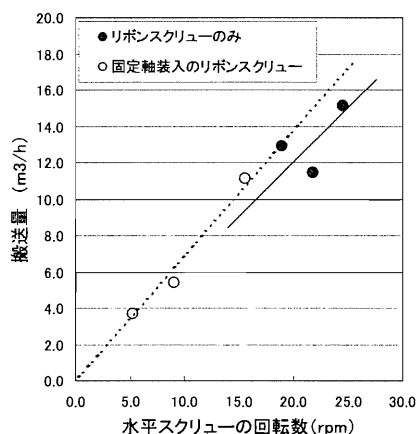


図7 水平スクリーウの回転数と搬送量の関係

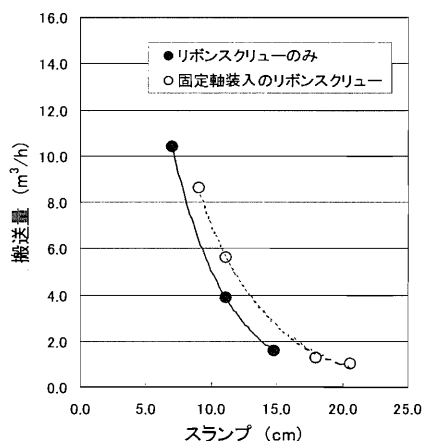


図8 塑性流動化した土砂のスランプと搬送量の関係

表3 Hi-スクリーコンベヤの寸法と容量

| 寸法・仕様 | 型番 | | | |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | HS-300 | HS-400 | HS-600 | HS-800 |
| ケーシング外径 (mm) | 318.5 | 406.4 | 609.6 | 812.8 |
| スクリー外径 D_0 (mm) | 300 | 385 | 580 | 782 |
| スクリー回転数 (min ⁻¹) | ~69 | ~60 | ~50 | ~43 |
| 運搬量 (m ³ /h) | ~27 | ~49 | ~141 | ~297 |
| 動力(kW) {L=20D ₀ } | 15 | 30 | 75 | 150 |

- * 水平コンベヤと組み合わせて使用
- * 所用動力は、土砂の揚送で、コンベヤ長さをスクリー外径の17.5倍としたときの値
- * コンベヤの揚程は、直列継ぎ足しにより任意に設定可

7. 結言

垂直リボンスクリューコンベヤの実用化において、次のことが明らかになった。

- (1) コンベヤに粉粒体を充満し、低速回転で運転するスクリーコンベヤの運搬理論式を導き、現場発生土を用いた実用化実験で実験値が理論値にほぼ一致することを確認した。
- (2) 実証実験で、垂直リボンスクリューコンベヤの高強度、高揚程を達成する構造を確認し、実用化に問題のないことがわかった。
- (3) スランプ 20cm 程度までの塑性流動化した土砂の揚送を確認した。

以上のように、密閉型で、高強度、高揚程、高効率の垂直リボンスクリューコンベヤが実用化されたことにより、新しい運搬設備として広い用途が期待される。

<参考文献>

1. 吉川忠男：土木機械用スクリーコンベヤの諸特性、日立造船技報、62巻、Vol.1(2001)
2. 吉川忠男：特願 2001-241474
3. 吉川忠男：特願 2000-191956

表4 垂直リボンスクリューコンベヤの用途例

| =対象運搬物= | | |
|------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|
| 粉粒体：乾燥土砂、鉱石、穀物、廃棄物、ばら物 | | |
| 塑性体：湿潤土砂、廃棄物、汚泥 | | |
| 運搬揚送 | 急傾斜（垂直）スクリーコンベヤ | ・掘削残土の揚送 ・原材料の運搬 ・汚泥・ゴミの運搬 ・ダム堆砂・汚染土壌の揚送 ・深礎基礎掘削・揚土 |
| | スクリュー形連続式アンローダ | ・鉱石・穀物の荷役 |
| 圧力 | ケーソン用スクリー式連続排土 | ・ケーソンの残土排出 |
| 保持 | 土圧式シールドの排土装置 | ・スクリーコンベヤ |

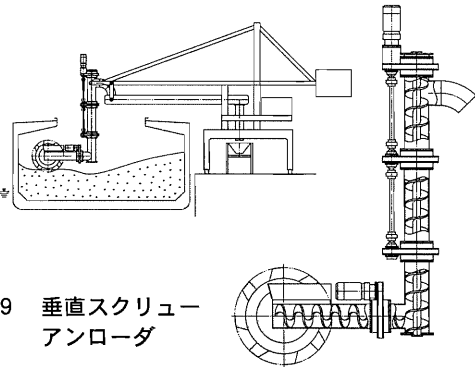


図9 垂直スクリーアンローダ

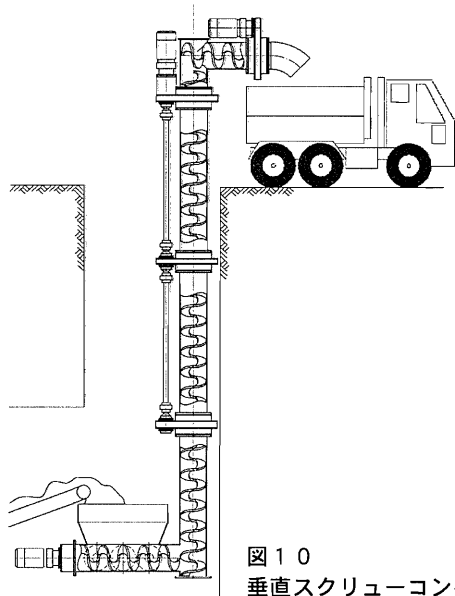


図10 垂直スクリーコンベヤ

2. おむすびローラ（クローラ式振動締固め機）の開発

コマツ：*菊池 幸雄、珍田 彰、
鹿島道路㈱：渡辺 渉

1. はじめに

近年、造成工事などでは「工期の短縮、施工コストの低減」が要求され、施工の効率化を図る必要があり、盛土転圧工程における層厚規模の増大が一つの課題となっている。

一方、これまで従来型振動ローラを用いた厚層転圧に関して多くの技術開発が試みられ、車両の重量や起振力を増大させることにより締固め性能を向上させてきたが、これらの方策は車両の大型化を伴うため、輸送性や経済性といった面で問題も多く、現在も未だ普及するに至っていない。

したがって、厚層転圧を達成するためには締固め方式の発想転換が必要であった。

愛媛大学の室教授らの研究¹⁾によると、深層部の締固めにはクローラ式車両による転圧が有効であることが確認されていたが、これは締固め部が面状であり接地面積が広いため、深層部への影響が大きいことに起因すると考えられる。

コマツでは、この理論をもとに写真-1に示すようなクローラ式振動締固め機（以下「おむすびローラ」という）を開発し、社内試験や実工事における試験施工を行ない、概ね当初の狙い通りの転圧性能が得られることを確認した。

本稿では、おむすびローラの開発概要、性能および実証工事の結果について報告するものである。

2. 試作車による先行研究

2-1. 試作車の概要

おむすびローラの締固め性能を確認するため、試作車を製作し実工事へ投入して性能試験を行なった。試作車の主な仕様を後述の表-5に示す。

2-2. 実工事における締固め試験（その1）

(1) 概要

島根県の国道バイパス道路新設工事における、路床材の転圧作業を実施し、締固め性能を確認・評価した。

本工事区間はほぼ全線にわたり、大山・火山灰地帯特有の軟弱土で形成され、路床材の改良が必要であった。このため、路床90cm深さを対象にスタビライザで安定処理材（セメント）を混合し改良した後、おむすびローラで転圧することとした。試作車の稼働状況を写真-1に、



写真-1 試作車の稼働状況

表-1 工事概要

| | |
|------|-------------------------------|
| 工事名 | 松江道路 出雲郷西舗装工事 |
| 工事場所 | 島根県八束郡東出雲町出雲郷～松江市竹矢可 |
| 工事期間 | 平成12年10月～平成13年3月 |
| 発注者 | 国土交通省 松江国道工事事務所 |
| 施工面積 | 路床安定処置工 15,000 m ² |

工事概要を表-1に示す。

なお、この試験は「従来型振動ローラ（最大転圧力 320kN 級）とタイヤローラ」の組合せと比較しながら実施した。

(2) 試験結果

深さ方向における締固め度の比較を図-1に、現場密度試験結果を図-2に示す。これより、表層部における締固め効果に大差は見られないが、深さ 50cm 以下の下層部ではおむすびローラの方が締固め効果の高いことがわかる。

また、従来の振動ローラでは下層部の締固めを充分に行うのが困難であったため、下層部の強度を得るために安定処理剤の添加量が多く必要であった。本工事では、このおむすびローラの締固め効果により、必要な安定処理材の添加量を低減することが可能になった。

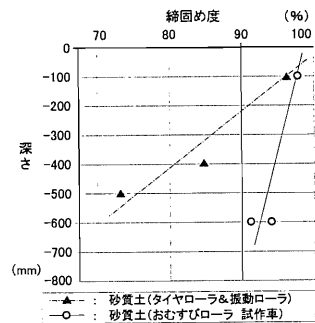


図-1 締固め度の比較

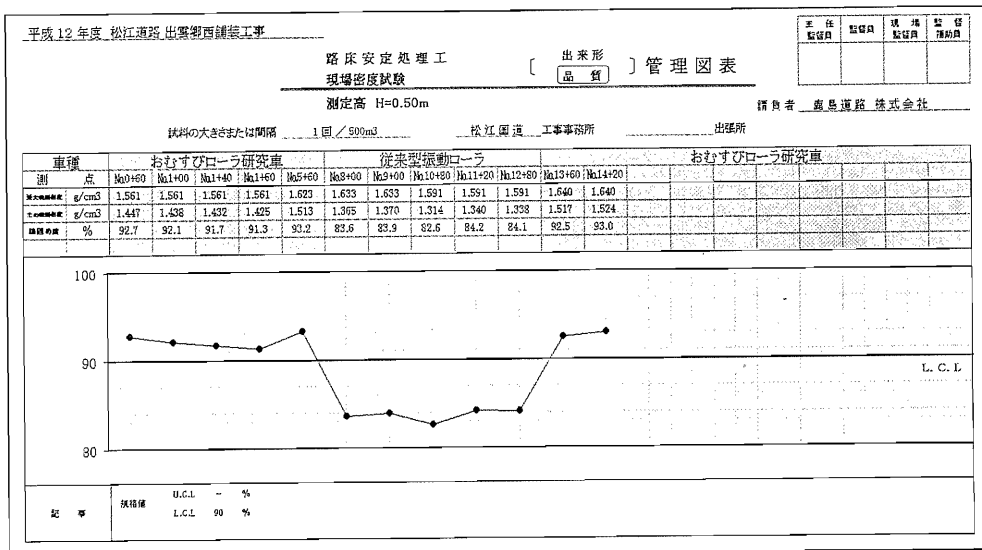


図-2 現場密度試験結果

2-3. 実工事での締固め試験 (その2)

(1) 概要

石川県内の表-2に示す造成工事へ投入し、締固め試験を実施した。

(2) 試験方法

転圧回数、深さに対する締固め性能の関係を把握するため、転圧回数 3、5 回、深さ方向 60、

表-2 工事概要

| | |
|--------|-----------------------------|
| 工事名 | 七尾LPガス国家備蓄基地造成工事 |
| 発注者 | 石川県土地開発公社 |
| 施工期間 | 平成13年5月~7月 |
| 施工面積 | 135 m ² (試験施工区間) |
| 試験材料 | シルト質粘性土 |
| 最大乾燥密度 | 1.149 g/cm ³ |

90cmにおける密度測定（透過型RIによる密度の測定）を実施した。密度測定手順としては、地表面から所定の深さ（60、90cm）まで掘削した面にRI計器を設置し、湿潤密度および含水比を測定した。

また、起振力の大きさは「強」と「中」の2水準（振動数もこれに合わせて変更）を設け、転圧回数の2水準とあわせ、試験ヤードを4ブロックに分割して行なった。

試験ヤードの区割りを図-3に、密度測定方法を図-4に、起振力の設定水準を表-3に示す。

(3) 試験結果

表-4および図-5の試験結果より、いずれの水準においても所定の締固め度を満足しており、転圧回数3回で十分な締固め効果が得られたことがわかる。起振力：強および中の締固め度を比べると、深さ60cmにおいては起振力：中の方が高く、深さ90cmでは途中で逆転する傾向にある。この原因として、起振力：強の工区の方が若干含水比が高いことと、対象土が粘性土であるため“オーバーコンパクション”（振動が強すぎると水分が分離し材料が流動化する。その結果、密度が低くなる現象）を起したことが考えられる。

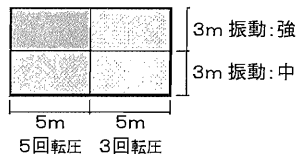


図-3 試験ヤード平面図

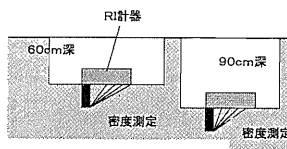


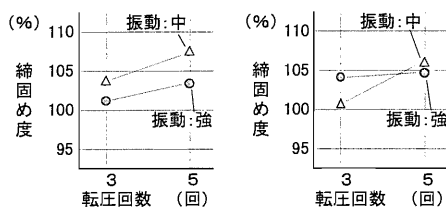
図-4 密度測定方法（断面）

表-3 起振力の設定水準

| 水準 | 強 | 中 |
|-----------------------|------|-----|
| 起振力 kN | 371 | 250 |
| 振動数 min ⁻¹ | 1230 | 830 |

表-4 締固め試験結果

| 転圧回数 | 起振力の水準 | 深さ (cm) | 乾燥密度 ρ_d (g/cm ³) | 含水比 ω (%) | 締固め度 (%) |
|------|--------|---------|------------------------------------|------------------|----------|
| 3回 | 中 | 60 | 1.192 | 38.6 | 103.7 |
| | | 90 | 1.153 | 39.9 | 100.4 |
| | 強 | 60 | 1.166 | 38.4 | 101.5 |
| | | 90 | 1.198 | 36.6 | 104.2 |
| 5回 | 中 | 60 | 1.236 | 35.4 | 107.6 |
| | | 90 | 1.218 | 35.4 | 106.0 |
| | 強 | 60 | 1.184 | 37.4 | 103.1 |
| | | 90 | 1.206 | 37.7 | 104.9 |



(a) 深さ 60cm

(b) 深さ 90cm

図-5 転圧回数と締固め度の関係

3. 量産車の開発

3-1. 量産車（改良型）の概要

試作車での品質確認結果を受け、大巾な改良をおり込んだ量産型の「おむすびローラ JT150WA-1」を開発した。おむすびローラの量産車 JT150WA-1 の外観を写真-2に、主な仕様（試作車との比較）を表-5に示す。

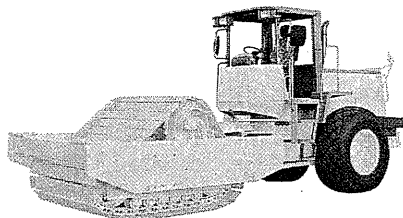


写真-2 おむすびローラ JT150WA-1

3-2. 量産車による転圧試験

地盤内に伝達される転圧力は、振動ローラの仕様のみで定まるものではなく、振動ローラと地盤との相互作用にも大きく影響される。そこで、転圧方式の異なるおむすびローラと従来型振動ローラによる、転圧力の伝播特性を調査するため、以下に示す転圧試験を行った。

(1) 試験条件

試験には図-6に示す土槽式の試験ヤードを使用し、土槽底部に設置した土圧計により、地表面からの深さGL-60cmにおける転圧力を計測することとした。締固めの対象となる試験材料には、表-6に示す単粒径の砂質土を選定した。締固め機はおむすびローラと、従来型振動ローラ（最大転圧力320kN級）を用い、転圧条件は表-7とした。

転圧試験は、始めに両槽ともおむすびローラにより無振動で2回仮転圧し、従来型振動ローラが土槽へ走行可能な状態とした。本転圧の転圧回数は、実証施工結果を勘案して4回に設定し、走行転圧中の土中に伝播する転圧力を経時的に計測した。

(2) 試験結果

最大転圧力と転圧回数を図-7に、4回転圧時の転圧力経時変化を図-8に、試験状況を写真-3に示す。

図-8より、4回転圧時のGL-60cmにおける最大転圧力は、おむすびローラが249kN/m²、従来型振動ローラが102kN/m²であり、前者の方が2.5倍の伝播特性があること



写真-3 試験状況

表-5 おむすびローラの主要仕様

| 項目 | 機種 | 量産車 | 試作車 |
|--------------------|-------------------|-----------|---------|
| | | JT150WA-1 | |
| 運転質量 | kg | 16,200 | 14,500 |
| 振動部荷重 | kN | 83.4 | 94 |
| 最大転圧力 | kN | 273.4 | 465 |
| 起振力 | kN | 190 | 371 |
| 振動数 | min ⁻¹ | 850 | 1230 |
| 締固め幅 | mm | 1,800 | 1,600 |
| 走行速度 ^{*1} | km/h | 2.0/4.0 | 2.0/4.0 |
| 登坂能力 ^{*2} | 度 | 18 | — |

*1 1速/2速、*2 転圧走行時

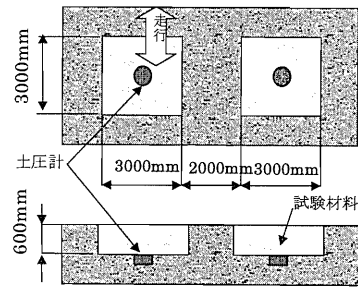


図-6 試験ヤード（土槽式）

表-6 試験材料の性状

| | | |
|--------|------------------|-------|
| 最適含水比 | % | 17.0 |
| 最大乾燥密度 | t/m ³ | 1.501 |
| 最大粒径 | mm | 0.84 |
| 均等係数 | | 3.78 |
| 60%粒径 | mm | 0.45 |
| 粒径分布 % | 礫分(2000μ以上) | 0 |
| | 砂分(75μ~2000μ) | 98.2 |
| | シルト分(5~75μ) | 1.8 |
| | 粘土分(5μ以下) | |

表-7 転圧条件

| | おむすびローラ | 従来型振動ローラ |
|-------|-------------------|----------|
| 走行速度 | km/h | 2 |
| 振動数 | min ⁻¹ | 2400 |
| 起振力 | kN | 275 |
| 最大転圧力 | kN | 335 |

が確認された。これは、本機と同タイプで面状の転圧面を有するMVT（マンモスパイプロタンパー）³⁾と照合すると、同様の傾向にあることが窺える。また、おむすびローラでは少回数の転圧で転圧力が収束しているが、これは単粒径の土質特有の傾向が現れていると考えられる。

以上より、おむすびローラの転圧力が地盤に及ぼす影響を確認できたが、今後は転圧力と土の締固めの相関関係についても、検証する予定である。

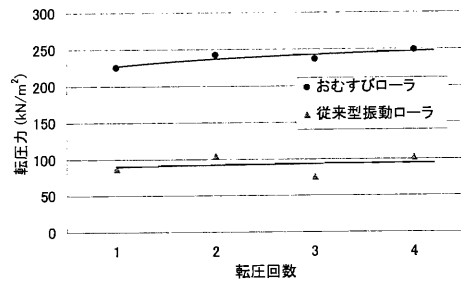
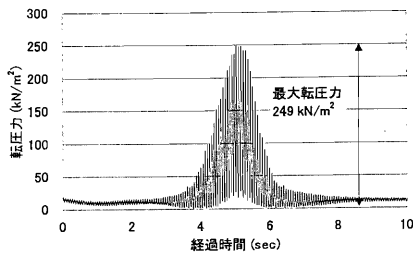
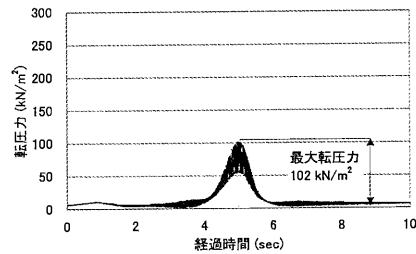


図-7 最大転圧力と転圧回数の関係 (GL-60cm)



(a) おむすびローラ





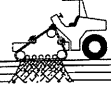
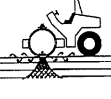
(b) 従来型振動ローラ



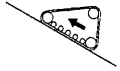

図-8 4回転圧時の転圧力経時変化 (GL-60cm)

4. おむすびローラの特長

従来型振動ローラに対するおむすびローラの特長、原理および効果を表-8に示す。

表-8 おむすびローラの特長と効果

| 特長 | 原理 | | 効果 |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| | おむすびローラ | 従来型振動ローラ | |
| ①厚層の締固が可能 |  転圧部が面状のため土を広範囲に拘束し、深層部まで転圧力が浸透する |  転圧部が線状のため、上層部が圧密されやすく、転圧力が深層部まで伝達しにくい | 1層あたりの厚層化と転圧回数の低減により、作業量が大幅に向上 |
| ②転圧面を傷めない |  接地面積が広く、集中的に荷重がかかからず、転圧面を乱しにくい |  接地面積が小さく転圧力が集中するため、上層部に反射層を形成し表面材料を破砕しやすい | 修繕作業の負担が軽減できる |

| 特 長 | 原 理 | | 効 果 |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| | おむすびローラ | 従来型振動ローラ | |
| ③転圧面が平滑 |  <p>面状転圧のため転圧面の平滑度が高い</p> |  <p>大きな凸凹の修正が困難になる</p> | 整形作業などの後工程が軽減できる。また、不整地へも直接進入できる |
| ④法面転圧が可能 |  <p>走行部がクローラ式のため、登坂性と走行安定性に優れる</p> |  <p>走行部がタイヤ式のため、登坂性と走行安定性に乏しい</p> | |

5. おわりに

本機は平成14年度初頭に1号機が完成後、商品化への第一歩を踏み出したところである。今後は、多様な土質に対する締固性能、作業性、安全性などのデータを集積し、工場内の締固め試験結果と比較解析を行うことにより、新しい振動ローラとしての位置付けを確立していく所存である。

参考文献

- 1) Tatsuro Muro, Tingji He, Munehito Miyoshi : Effects of a roller and a tracked vehicle on the compaction of a high lifted decomposed granite sandy soil : Journal of Terramechanics Volume 35, 1998
- 2) 井上、賀川、大橋 : 厚層転圧用のクローラ式振動締固機 : KOMATSU TECHNICAL REPORT 1998 VOL. 44
- 3) 石原他 : 牽引式マンモスバイプロタンパー工法の開発 : 建設の機械化 1988, 5

3. 2層同時舗設式舗装と施工機械の開発

日本舗道㈱：斎藤 徹、山口 由喜、
*丑久保吾郎

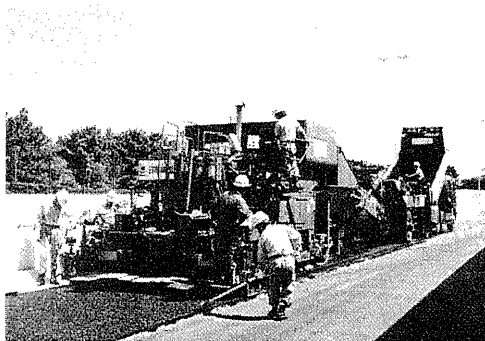
1. まえがき

近年、道路利用者や沿道住民のニーズの多様化や建設コスト縮減、環境保全等の社会的な要請に対応した道路舗装の技術開発が求められている。

当社は、これらの課題に対応するため、2種類のアスファルト混合物を同時に敷きならすことのできるアスファルトフィニッシャ「DLペーバ」と、これを用いた2層同時舗設式舗装「DLペープ（ダブル・レイヤー・ペープメント）」を開発、実用化した（写真－1参照）。

DLペープは、上層と下層の混合物の組み合わせにより多様な用途に適用でき、低騒音舗装、薄層カラー舗装、厚層排水性舗装、耐流動性舗装、耐摩耗性舗装、長寿命舗装などへの展開が可能である。

ここでは、DLペープとDLペーバの概要、および施工結果について述べる。



写真－1 DLペープ施工状況

2. 工法の概要

2-1 DLペープとは

DLペープは、2種類の異なるアスファルト混合物を上下層に分けて同時に敷きならし、ローラで上下層を同時に締め固めて仕上げる工法である。DLペープのおもな特長を以下に示す。

(1) 工期短縮

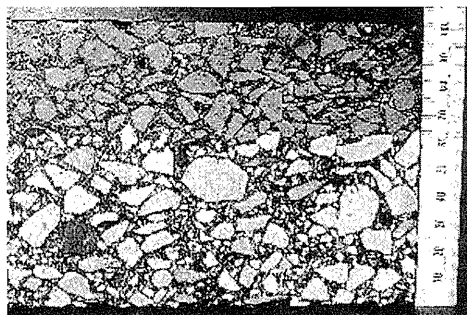
基層と表層を同時に舗設することで、工期を短縮できる。これにより、工事渋滞による道路利用者や沿道住民の負担を軽減することが可能である。

(2) 構造強化

上層と下層を同時に締め固めることにより、層間に境目のない一体構造となり（写真－2参照）、耐久性の高い舗装体を構築することができる。

(3) コスト縮減

締め固める前の下層の上に上層を敷きならすので、通常の施工法より上層の薄層化が容易である。これにより、カラー舗装用等の特殊混合物等の使用量を減らして、コスト縮減を図ることができる。



写真－2 DLペープの断面

2-2 DLペープの特性

DLペープの舗装体としてのおもな特性を以下に示す。

(1) 上下層一体化による耐久性の向上

2層を同時に締め固めた場合(DLペープ)と、1層毎に締め固めた場合(個別舗設)による舗装体の耐流動性の比較を図-1に示す。DLペープは、個別舗設と比べて動的安定度が同等以上の値を示しており、耐流動性が優れている。

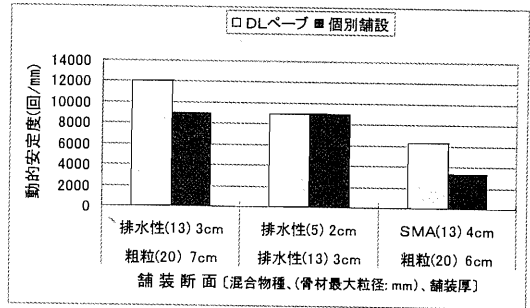


図-1 耐流動性の比較

次に、DLペープと個別舗設との上下層間の付着性の比較を図-2に示す。DLペープは、個別舗設に比べて引張り強度が大きく、層間の付着性が高いといえる。

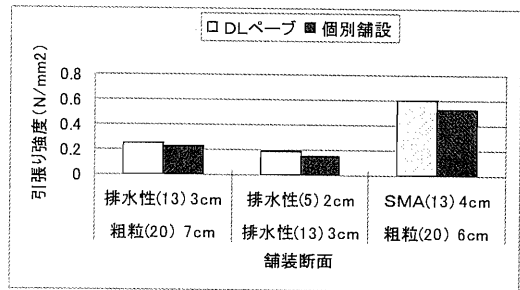


図-2 層間接着性の比較

(2) 2層式排水性舗装による低騒音化

2層式排水性舗装は、通常の排水性混合物の上に小粒径の排水性混合物を重ねて2層構造とした低騒音舗装である。

排水性舗装の骨材粒径範囲と騒音レベルとの関係を図-3に示す。骨材の小粒径化により、タイヤ路面騒音レベルが低下するので、舗装の低騒音性を向上させることができる。

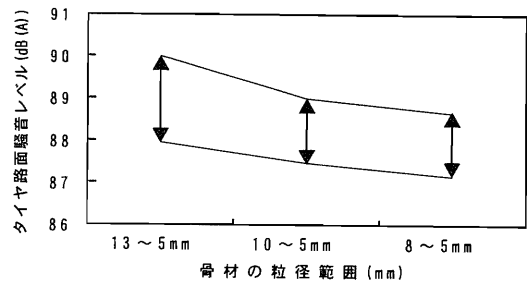


図-3 骨材粒径範囲によるタイヤ路面騒音

3. 施工機械の概要

3-1 施工機械編成

DLペープの標準的な施工機械編成を図-4に示す。

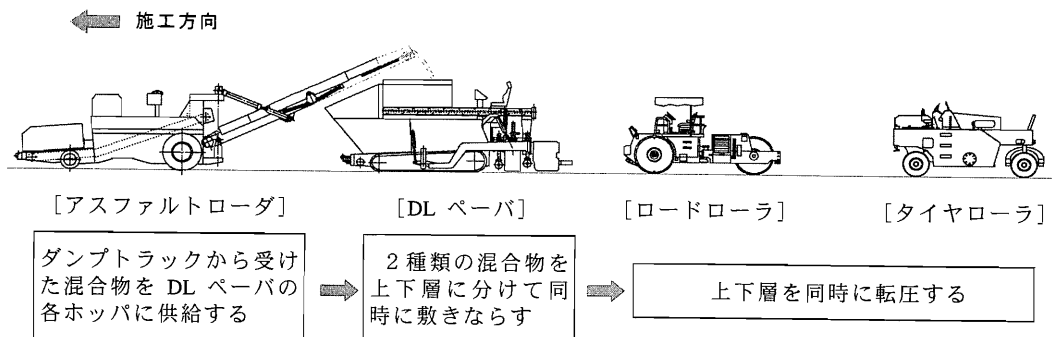


図-4 施工機械編成

3-2 開発機の概要

DLペーバの外形図を図-5に、アスファルトローダの外形図を図-6に、主要諸元を表-1に示す。

(1) DLペーバの概要

DLペーバは、大型アスファルトフィニッシャをベースマシンとし、下層ホッパ、上層ホッパ・上層スクリュウコンベヤユニット、下層スクリード・上下層スクリュウユニット、上層スクリード等の2層同時舗設装置を装備している。

下層ホッパは、排水性混合物を10t以上積み込みできる容量がある。上層ホッパは、排水性混合物を約7t積み込み可能である。

下層スクリードおよび上層スクリードは、締固め方式がタンバ・パイププレート併用式であり、上下層とも高締固めが可能である。下層スクリードは、フローティング式ではなく吊下げ式とし、油圧ジャッキで上下させる方式を採用している。

また、DLペーバの回送時および施工時の質量バランスは、2層同時舗設装置取付け後でも適正なものになっている。

(2) アスファルトローダの概要

アスファルトローダは、供給装置がベルトコンベヤであり、ホッパ内の残留材料が少なく、上下層材料の切換え時に安全かつ短時間にホッパ内の掃除が行える。また、第2ベルトコンベヤを折り畳んだ状態でトレーラ輸送ができ、いろいろな用途に使用できる機械である。

3-3 特長

(1) 施工システムの特長

本施工システムは材料供給機と敷きならし機が別々であることが特徴であり、その長所は以下のとおりである。

- ① ダンプトラックとDLペーバが接触しないため、ダンプトラック入替え時にDLペーバを停止させることなく連続施工が可能であり、良好な平坦性が確保できる。
- ② 供給能力の大きなアスファルトローダと組み合わせることにより、施工能力を高めることができる。
- ③ DLペーバの各ホッパとアスファルトローダのホッパにより、ダンプトラック1台分の混合物を受け入れることができるため、ダンプトラックの切り替えをスムーズに行うことができる。

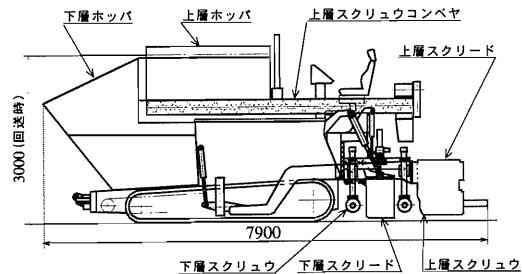


図-5 DLペーバ外形図

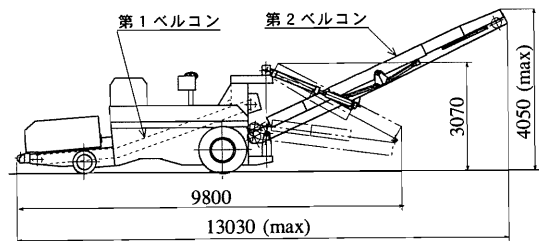


図-6 アスファルトローダ外形図

表-1 主要諸元

| | DLペーバ | アスファルトローダ |
|---------|---------------------------------------------|----------------------------|
| 全装備質量 | 27,500 kg | 23,000 kg |
| 全長(回送時) | 7,900 mm | 9,800 mm |
| 全幅(回送時) | 3,000 mm | 3,000 mm |
| 全高(回送時) | 3,000 mm | 3,070 mm |
| 舗設幅 | 2.5~4.75 m | — |
| ホッパ容量 | (上) 5.8 m ³ (下)8.5m ³ | 4.0 m ³ |
| 作業速度 | 0~5 m/min | (max) 3.7 km/h |
| 出力 | 160kW/2200min ⁻¹ | 61kW/1800min ⁻¹ |

(2) DLペーパーの特長

- ① 2層同時舗設用の装置はすべて着脱式であり、オリジナルのホッパとスクリードに取り替えることにより(図-7参照)、通常のアスファルトフィニッシャーとして一般工事に使用でき、機械の稼働率を高めることが可能である。
- ② 上層スクリードから下層スクリードに対して高さセンサを配置し、上層敷きならし厚さが設定厚さになるような自動制御を採用している。

4. 施工実績と結果

平成14年7月までの施工実績を表-2に示す。これまでのDLペーパーの施工実績は、工事件数4件、総施工面積約2万6千㎡である。

平成13年9月施工の福岡都市高速道の工事では、施工延長250mの区間において途中一度も停止せずに敷きならしを終了でき、本施工システムの連続施工性が確認され、平坦性も0.61～0.84mmという極めて良好な結果を得た。

また、平成14年5月施工の船橋市の工事では、幅員が約6mという狭い道路で、無事に施工を終了することができ、市街地道路での施工機械の適用性が確認された。

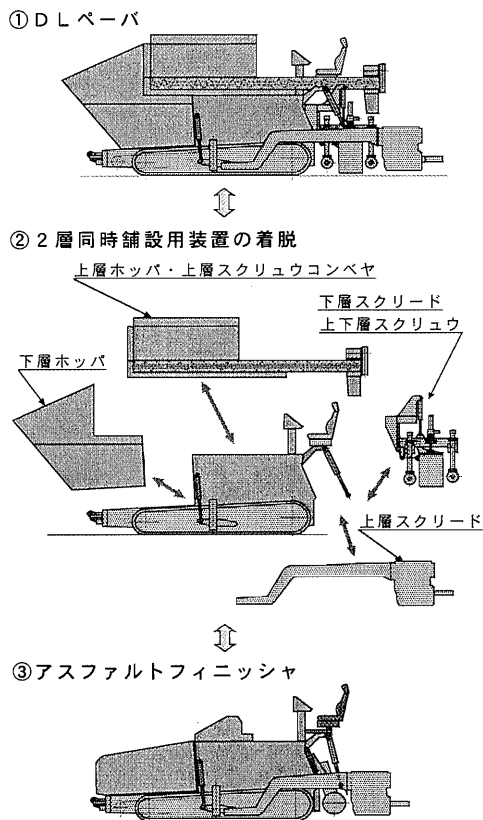


図-7 DLペーパー組替え図

表-2 施工実績表

| 年月 | 工事名 | 場所 | 面積 (㎡) | 上層 (厚さ) | 下層 (厚さ) |
|-------|-----------------|--------|--------|----------------|----------------|
| H13.7 | 国道2号厚狭修繕工事 | 山口県山陽町 | 5420 | 5mm 排水性 (3cm) | 13mm 排水性 (4cm) |
| H13.9 | 第108工区高架橋舗装新設工事 | 福岡県福岡市 | 5140 | 8mm 排水性 (2cm) | 13mm 排水性 (3cm) |
| H14.5 | 舗装修繕工事 | 千葉県船橋市 | 1190 | 13mm 排水性 (3cm) | 13mm 密粒 (5cm) |
| H14.7 | 末木舗装修繕工事 | 山梨県一宮町 | 14730 | 8mm 排水性 (2cm) | 13mm 排水性 (3cm) |

5. あとがき

前述のとおり、DLペーパーは、上層と下層の混合物の組み合わせにより多様な用途への適用が可能であり、道路舗装に対する様々なニーズに対応できると考えている。今後も、施工機械や施工方法の改良改善を進め、本格化する性能規定発注工事へ同工法を積極的に展開していく所存である。以上

4. レジンモルタル充填機の開発

日本舗道㈱：*勝 敏行、宮崎 一郎、
村上 浩

1. はじめに

排水性舗装は、雨天時の走行安定性を向上させ、車両のタイヤ騒音を低減できることから近年急速に普及した。しかし、多孔質であるため骨材飛散や空隙づまりが生じやすく、早期に機能が低下することが課題とされている。その解決法の1つとして、パームス(P RMS[®])工法がある(図-1、写真-1参照)。

パームス工法は、排水性舗装の表面空隙にセラミック系人工骨材と特殊エポキシ樹脂を混合した透水性レジンモルタルを充填した舗装体である。この工法により、排水性舗装の骨材飛散や空隙づまりを抑制し、その機能を長期間にわたって維持することが可能である。

本報告は、パームス工法およびレジンモルタルを効率的かつ均一に表面空隙に充填することを目的に開発したパームスパーバ(レジンモルタル充填機)について述べるものである。

※注) : Permeable Resin Mortar System

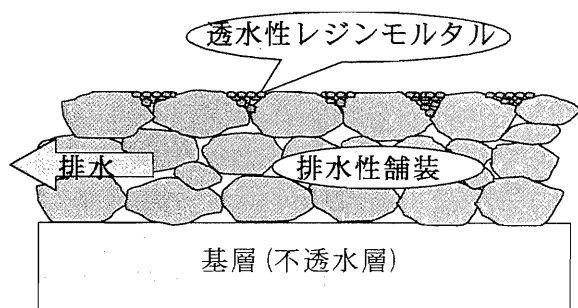


図-1 パームスの断面

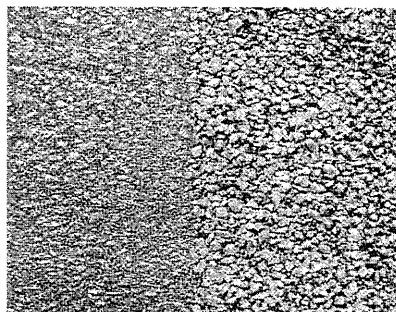


写真-1 パームスの表面
(左側：パームス、右側：未処理路面)

2. パームス工法の特長

パームス工法には、主として以下のような特長がある。

- ①骨材の飛散防止⇒表面空隙に充填した透水性レジンモルタルが骨材の飛散を防止する。
- ②空隙づまりの防止⇒透水性レジンモルタルがフィルタの役割を果たし、土砂の侵入を防止する。
- ③透水性の確保⇒透水性レジンモルタルの空隙率は15%~20%であるため、透水性が確保される。
- ④すべり抵抗の向上⇒細かなセラミック系の人工骨材が、すべり抵抗を向上させる。
- ⑤低騒音性の向上⇒透水性レジンモルタルの細かなキメがタイヤの路面騒音を低減する。
- ⑥カラー化が可能⇒骨材の色は、黒の他に白、黄、茶、緑、青があり路面のカラー化が可能である。

3. 代表的な特性

代表的なパーマスの特性について試験を行い、その効果を確認した。

(1) タイヤのすえぎりに対する抵抗性（骨材の飛散防止効果）

交差点部や駐車場では、タイヤのすえぎりに対する抵抗性が必要となる。すえぎり試験の結果を図-2に示す。これより、パーマスは通常の排水性アスコンに比べ、タイヤのすえぎりに対する抵抗性に優れていることがわかる。

※注）：車両が停止している状態でハンドルをきること。

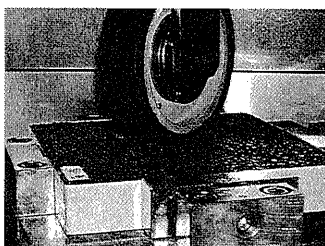


写真-2 すえぎり試験状況

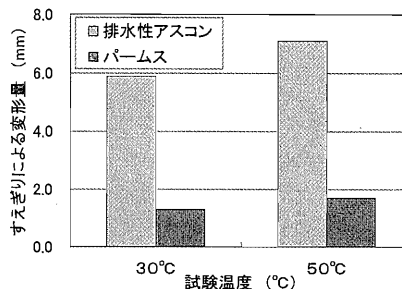


図-2 すえぎり試験結果

(2) 空隙づまり防止効果

パーマスと通常の排水性アスコンの供試体に強制的に空隙づまりを起こさせ、その排水機能の持続性を検証した結果を図-3に示す。

これよりパーマスは、充填した透水性レジンモルタルがフィルター層として働き、空隙づまりを起こさせる土砂等の侵入を防ぐため、通常の排水性アスコンに比べ排水機能が持続することがわかる。

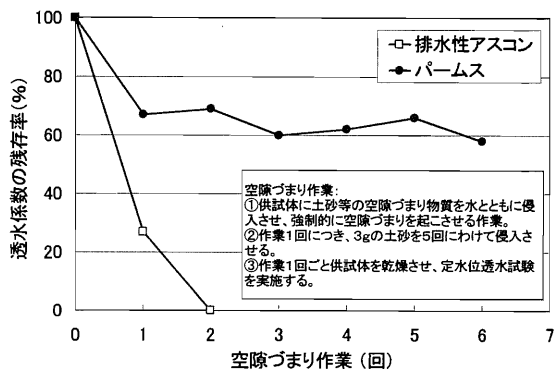


図-3 排水機能の持続性

(3) 低騒音性の向上

タイヤ近接音測定試験（乗用車のタイヤ付近に設置したマイクロホンでの騒音測定）の結果を図-4に示す。

これよりパーマスは、表面のキメが通常の排水性舗装の表面より平滑で細かいため、通常の排水性アスコン比べ、タイヤ近接音が低くことがわかる。

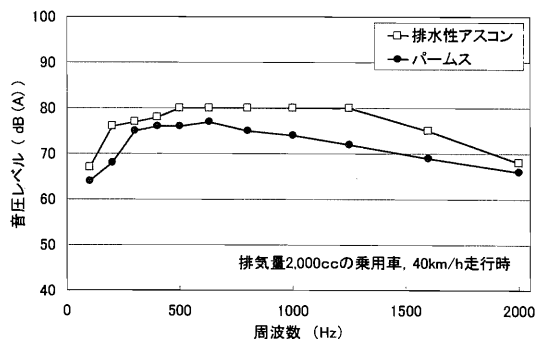


図-4 タイヤ近接音測定

4. パームスペーバの開発経緯

パームス工法は、従来、写真-3のようにレジンモルタルの充填作業は人力にて行われていた。しかし、レジンモルタルは粘度が高く、排水性舗装の小さな表面空隙へ入りにくいいため、以下のような問題点があった。

- ① 充填作業に多くの労力を要する。
- ② 充填作業に多くの時間を要するため施工速度が遅い。
- ③ 表面空隙に十分レジンモルタルを充填できないため、路面のキメが均一にならない。



写真-3 人力による充填作業

以上のような理由から、大規模施工にも対応できるパームス工法専用のレジンモルタル充填機の開発が求められた。

5. パームスペーバの機械構成

パームスペーバの仕様を表-1に示す。また、主要構成部分(写真-4参照)について以下に説明を加える。

- ① 摺動スクリード: 摺動しながらレジンモルタルを所定の厚さに均一に敷きならす。端部の調整ネジにより厚さの調整が、また仕切り板により施工幅の調整が可能である。
- ② 振動スクリード: 振動と摺動によりレジンモルタルを排水性舗装の表面空隙に確実に充填する。
- ③ スクレーパ : 充填後、路面上に残ったレジンモルタルをゴム板で掻き取り、路肩側に集める。
- ④ 操作盤 : 機械後方左右にあり、どちら側からも機械操作が可能である。

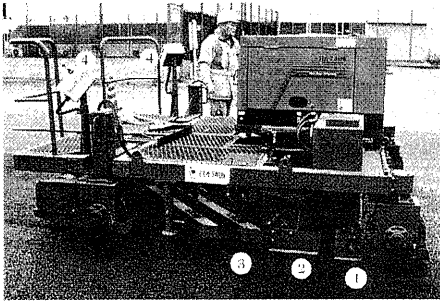


写真-4 パームスペーバの主要部分

表-1 パームスペーバの仕様

| 項目 | 数 値 |
|-----------|--------------|
| 全 長 | 3,300mm |
| 全 幅 | 2,460mm |
| 全 高 | 1,400mm |
| 最大施工幅員 | 2,000mm |
| 機械重量 | 1,750kg |
| 施工速度 | 2.0~3.0m/min |
| 機関出力 | 7.5kw |
| スクリード 摺動数 | 164/min |
| スクリード 摺動幅 | 50mm |
| スクリード 振動数 | 57.5Hz |

6. パームスペーバの特長

- ① 摺動スクリードにより、レジンモルタルが均等に敷きならされるため、均一なキメができる。
- ② 振動スクリードにより、レジンモルタルを表面空隙内に確実に充填できる。
- ③ 敷きならし、充填、余剰モルタルの掻き取り作業を1台で行うことにより省力化ができる。
- ④ 人力施工に比べ施工速度が大きく向上し、交通規制時間を短縮できる。
- ⑤ 摺動スクリードで敷きならし幅を変更できるため、施工幅員の変化にも対応できる。
- ⑥ 小型・軽量(1.75t)のため4tユニックにて運搬でき、機械輸送費を低減できる。

7. パームスの施工方法

透水性レジンモルタルの製造には、トラックに搭載したモルタルミキサを使用する。排水性舗装の表面空隙への充填にはパームスパーバを使用する。充填完了後、タイヤローラで転圧し、仕上げを行う。

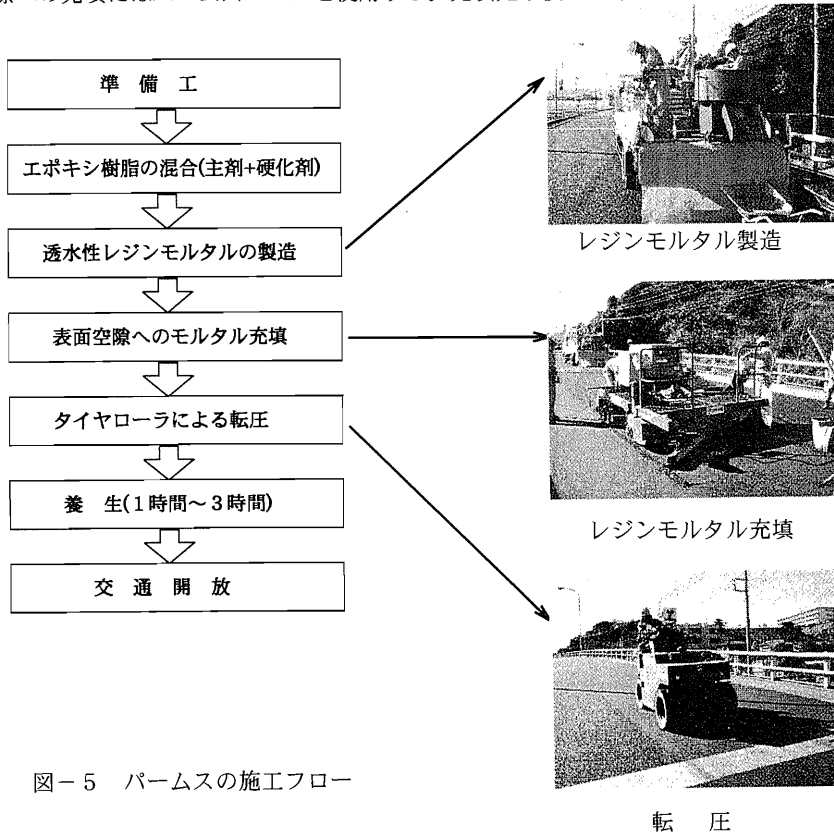


図-5 パームスの施工フロー

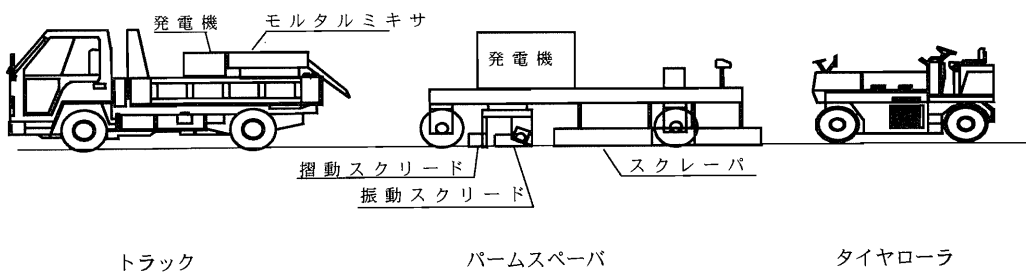


図-6 パームスの施工体制

8. おわりに

排水性舗装が広く普及した現在、骨材飛散および空隙づまり等の問題は今後益々クローズアップされることが予想される。パームス工法はその解決法の1つであるが、人力による充填作業では多くの手間を要していた。したがって、今回開発したパームスパーバは、施工の省力化、路面のキメの均一化を実現できることから、パームス工法の普及に大きく貢献できるものと思慮する。

5. 全自動ビル建設システムによる 超高層ホテルの施工

（株）大林組：*池田 雄一、田中 俊次、川上 宏伸

1. はじめに

全自動ビル建設システム「ABC S」は、建設現場に製造業におけるF Aの概念を導入することによって建設工事の自動化・ロボット化を図り、情報化の導入を積極的に行った鉄骨造を対象とした建設システムである。作業空間を全天候型のビル建設工場「S C F (Super Construction Factory)」で覆うことにより天候に左右されない工事を実現できる。1993、1998年に実施された過去2回の適用工事では、生産性の向上や作業環境の改善を実現し、労務の削減、施工品質の向上などの成果を得た。

2001年、第3回目となる地上33階建超高層ホテルの施工へABC Sを適用するにあたり、S C Fの組立・解体工事期間を含んだ適用工事全体の工期短縮および労務削減を高い次元で達成するため、前回までの工事実績を踏まえシステムを一部改良した。本報では、工事計画・システム改良および工事実績・システム改良効果について報告する。

2. 工事概要

適用工事現場の周辺の様子を写真1に示す。現場は昨年大阪市にオープンした世界的テーマパークの最寄駅街区の一部であり、直下に鉄道営業線やテーマパーク来場者用商業施設が隣接している。適用工事（以下、J工事）の概要を表1に示す。建物は、地上33階建の高層客室棟と5階建の低層部ホテル施設に大きく分けられる。高層棟は約16m（2スパン）×70m（7スパン）の形状で両サイドにセットバックしたコアを配置し、その間は客室空間となっている。地下階はなく、全体工期20ヶ月の短工期である。

J工事計画上のポイントは、1）高層部施工の早期完了と低層部仕上工事期間の十分な確保、2）飛来落下災害の防止と周辺環境との調和である。1）を満足するため、ABC Sの要素技術である並列搬送システムの適正配置を行い、低層部に資材搬入用の後施工部を残さず、かつ高層部の上棟を待たずに低層部の仕上工事に着手できる計画とした。2）を満足するため、S C Fで作業空間を覆い高層部と低層部の工事を分離し、飛来落下災害の防止や周辺環境との調和などのメリットを見出せる計画とした。これらの計画経緯から、工法としてABC Sを採用することになった。

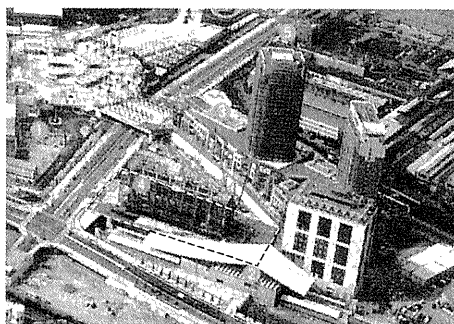


写真1 現場周辺状況

表1 工事概要

| | |
|-------|------------------------------------------------|
| 所在地 | 大阪市此花区 |
| 建物用途 | ホテル |
| 階数 | 地上33階、塔屋1階 |
| 構造 | S造 |
| 敷地面積 | 6,975.82m ² |
| 建築面積 | 5,573.07m ² |
| 延床面積 | 47,538.62m ² |
| 最高高さ | 約137.75m |
| 工期 | 2000.8.01～2002.3.31（20ヶ月） |
| 適用床面積 | 約1,100m ² ×26F=28,600m ² |

3. システム適用計画

3. 1 システム概要

ABCsは、SCFや機械設備などのハード技術と施工支援システムを始めとするソフト技術を組み合わせることで成立している。ハード技術は主としてSCFと並列搬送システムとに、ソフト技術は計測システムとABCs総合管理システムとに分類される。システムを構成する要素技術について表2に、システム断面図を図1に、システム平面図を図2にそれぞれ示す。

3. 2 システム適用計画

前回工事（以下、N工事）から建物用途および形状・寸法の変化に起因した項目およびN工事の実績を分析して改良の必要性が特に高い項目についてシステムの改良を実施して、J工事に適用する計画とした。

(1) SCF

SCFは最上階の本設鉄骨を骨組として利用した屋根架構および作業空間の外周を覆い足場を兼ねた外周架構によって構成される。工事計画時にSCFクライミングの各ステップごとに構造解析を行い、必要に応じてSCFに補強を施す。1フロアの施工が完了する度に、建方の完了した本設柱に反力を取り、SCFを1フロア分上昇させる。クライミング装置は屋根架構の柱を貫通するクライミング支柱上部に設置する。J工事では、建物は塔屋部分で桁方向が全体的にセットバックするため、その下階すなわち基準階の上階となる31、32階部分をSCFとした。SCFは、補強や設置される機械などの重量を含めて約1,600tとなった。クライミング装置は外周の柱に設置し（写真2）、こ

表2 システム構成

| | |
|-------------------|------------------------------------|
| SCF | 18m×175m×121m、重量：約1,600t |
| クライミング装置 | 油圧式、1,960kN/基×16基 |
| SCFクレーン | 旋回式×2基、定格荷重：10t、揚程：15m |
| 貨物リフト | 1基、定格荷重：11t、定格速度：70m/min |
| ジブクレーン | JC-150H走行式×1基 (解体時JC-120N×1基増設) |
| 鉄骨計測 | トータルステーション+専用システム |
| SCF位置計測 | |
| 生産管理/ 機械制御システム | ABCs総合管理システム |

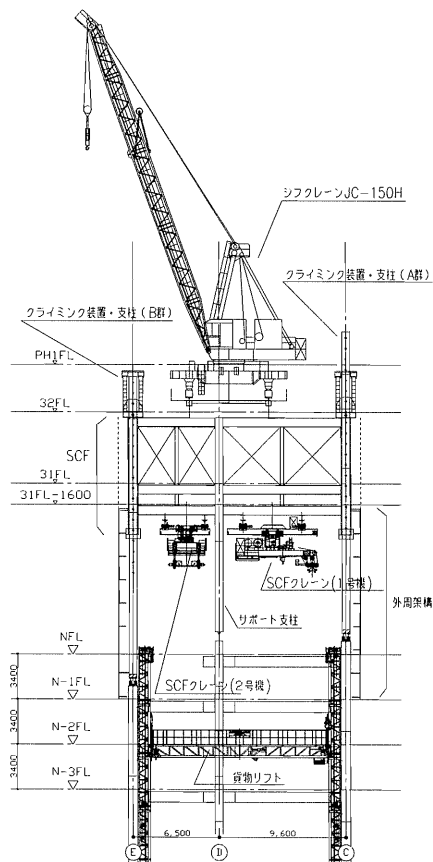


図1 システム断面図

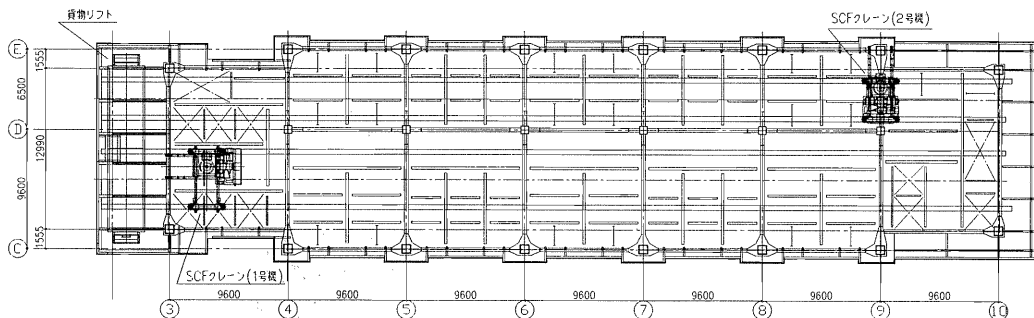


図2 システム平面図

の部分の柱を外ダイヤフラム形式とした。内部の柱には、サポート支柱と呼ぶ仮設の柱を取付けた。SCF屋上にはジブクレーンを1基設置し、SCF組立・解体工事、外装工事に使用した。

(2) 外周架構

外周架構には外部作業のための外周足場とSCFを覆う養生壁の2つの機能がある。N工事では外装工事に外部足場を必要としたため、外周架構はN-3階まで覆うものとなり、規模が大きく組立・解体に予想以上の労務と工期を費やした。ただし、N-1階を鉄骨工事の作業床とする。J工事の外装工事は外部足場を特に必要としない収まりであること、SCF組立・解体工事の工期短縮を図ることを理由に外周架構の機能を見直した。外周架構を簡略化し、組込む足場を鉄骨工事に限定するとともに外装工事を基準階サイクル工程から外した。鉄骨フレームのユニット足場を柱周りのみ取付け、ユニット間を上弦材と下弦材で接続し、ワイヤー巻取り方式の養生シートを設置した。ユニット足場はN階の本締め用足場とN-1階の溶接用足場である。

(3) 並列搬送システム

ABC Sでは、在来工法におけるタワークレーンによる連続した揚重・取付作業とは異なり、揚重および水平搬送・取付を別々の機械で同時並行して行う。タワークレーンによる揚重と比較して搬送効率が向上し、単位時間あたりの部材供給量が大幅に増加するため、生産性の向上が図れる。主として揚重を貨物リフト、SCF内部の水平搬送をSCFクレーンにて行う。

長期間に渡って敷地奥への搬入動線を確保できないことと低層部の後施工範囲を縮小するため、資材揚重用の貨物リフトを道路側の建物妻側外部に1基設置した。水平搬送を行うSCFクレーンは建物短辺スパンに1基ずつ計2基設置した。建物平面プランの形状に合わせて、主桁・レールスパンなどを改造した(写真3)。N工事と異なり、現場敷地内に鉄骨やPCa部材のストックヤードを十分に確保できなかったため、梁パレットへのパッキングを鉄骨ファブの工場にて実施し、その荷姿で現場へ搬入した(写真4)。

3. 3 システム改良点のまとめ

システムの改良点を要素技術ごとにまとめる。各項目末尾の丸数字は改良の目的を分類したもので、①物理的制約の回避、②工期短縮、③労務削減・作業効率向上、をそれぞれ表す。

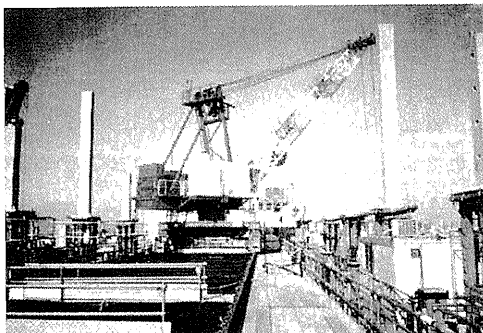


写真2 クライミング装置

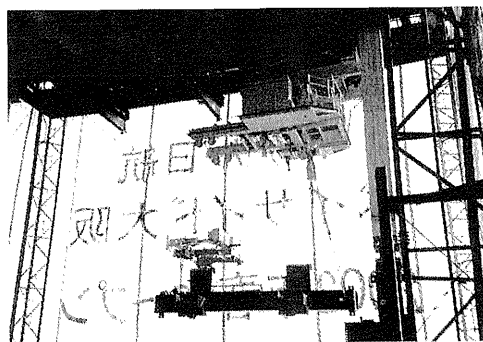


写真3 SCFクレーン

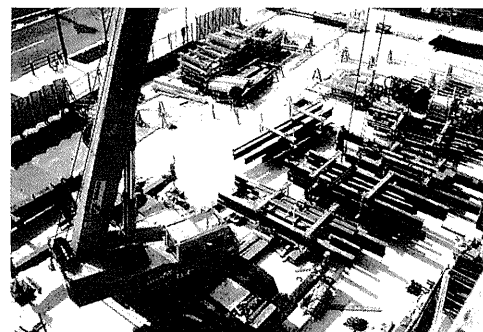


写真4 スtockヤード

<クライミング装置>

- ・荷重検出精度の向上……………③
- ・ジャッキ固定方法の見直しと耐久性向上……………③
- ・上下クライミング支柱の分割組立……………①③

<貨物リフト>

- ・内部仕上工事を考慮して建物外部に設置…②③
- ・クライミング作業を2階に1回の実施…②③
- ・長尺梁揚重のため搬器の大きさ拡大……………①
- ・鉄骨ファブで梁のパッキングを実施……………①③

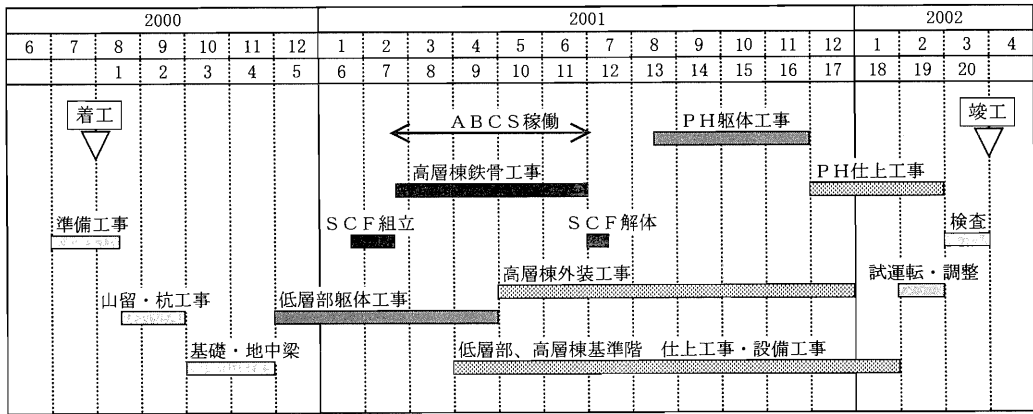
<外周架構>

- ・外周足場を鉄骨工事用に限定、ユニット化…②③
- ・ユニット足場間は巻取り式シート養生化……………②③
- ・基準階工事から外装工事を外す……………②

<SCFクレーン>

- ・建物形状に合わせ主桁長・アーム長の改造…①
- ・鉄骨柱建て起こし機能の追加……………①

表3 全体工程



4. 適用結果

4.1 工程

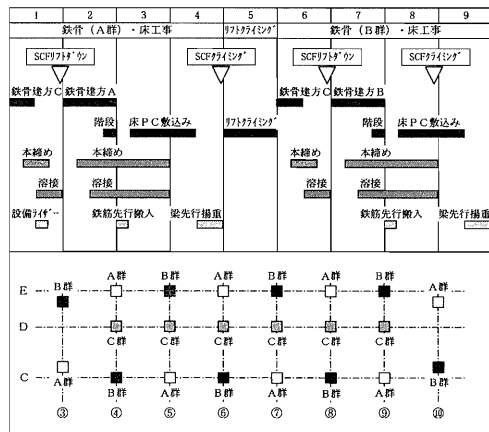
(1) 全体工程

J工事の全体工程を表3に示す。全体工程上の必要条件は、(A)搬入動線確保と高層部施工開始のため3階人工地盤の早期構築、(B)高層部と低層部施工の分離および低層部仕上工事期間の十分な確保、の2点である。ABC Sの適用によって、高層部の上棟を待たずに低層部仕上工事の着手が可能になり、(B)を満足することができた。計画工程通り順調に工程を進捗させ、2002年3月末に竣工を迎えた。

(2) ABC S工事期間

工事規模の違いはあるが、SCF組立・解体工事をN工事の半分に短縮するという目標を挙げた。外周架構の簡略化をはじめシステムの改良を行い、組立・解体工事における作業量を大幅に削減したことによって目標通り組立工事を1ヶ月、解体工事を0.5ヶ月で完了させることができた。ABC Sを適用した基準階工事は26階分の施工を約4.3ヶ月で終えた。

表4 基準階サイクル工程



(3) 基準階サイクル工程

工期短縮効果を得るため、目標として在来工事の1節15日サイクルを上回るサイクル工程を計画した。鉄骨・床工事を1フロア4日で計画し、N工事で毎フロア実施していた貨物リフトのクライミングを2階に1回の実施としたので、2フロア9日サイクルの計画となった。計画したサイクル工程を表4に示す。鉄骨・床工事は大きく前半(1日)と後半(3日)に分かれる。前半にC群の柱とそれにジョイント可能な大梁の建方、ボルト本締め・柱溶接後、SCFをリフトダウンさせ、C群の柱にSCFの荷重をあずける。後半にA群またはB群の柱と残りの鉄骨工事をを行い、床PCの敷込みを行う。A群(1~4日目)とB群(6~9日目)の間の日(5日目)に貨物リフトのクライミングを実施した。

5階から19階の低・中層部の工事では、計画通り2フロア9日の工程で実施した。作業の習熟とともに工数は徐々に減少し、習熟率は約90%を示した。その結果、20階工事から2フロア8日、さらに26階工事から2フロア7日へとサイクル工程を短縮できた。

4. 2 労務実績

(1) SCF組立・解体工事

SCF組立・解体工事に要した労務をN工事と比較するため、要した工数を基準階面積で除した単位面積あたりの労務を指標として用いた。SCF組立・解体工事に従事した全職種について職種別の集計を図3に示す。同図ではN工事における労務の合計を100%とした。全体では鳶工の労務が大きく削減したことによって、N工事に対し全体労務を約2割削減した。鳶工労務を作業内容別に分析すると、外周架構に関する労務がN工事と比較して8割以上削減し、鳶工の労務削減分の大半を占めている。この結果、鳶工全体で約4割の労務を削減できた。その他、貨物リフト、SCFクレーンなどの機械に関する作業の削減率が大きく、双方とも3割以上の減少となった。

(2) 基準階工事

基準階工事に要した労務をN工事と比較するため、要した工数を適用基準階延床面積で除した単位面積あたりの労務を指標として用いた。基準階工事に従事した全職種について作業内容別の集計を図4に示す。同図では、N工事の労務の合計を100%とした。作業内容別には、床工事とA

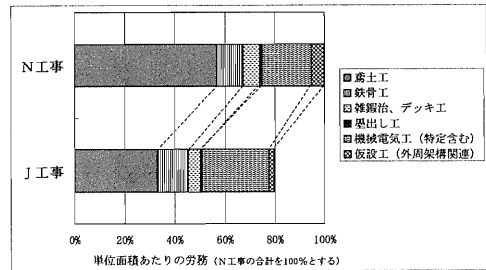


図3 SCF組立・解体工事労務実績

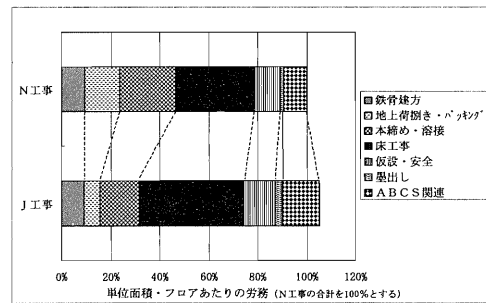


図4 基準階工事労務実績

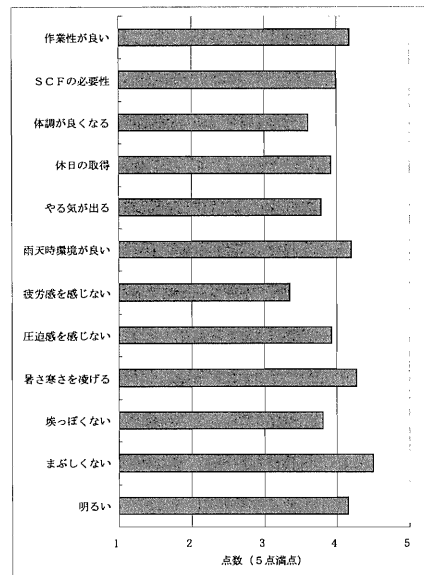


図5 作業アンケート結果

BCS関連工事が増加し、地上荷捌き・パッキング、本締め・溶接作業が減少した。合計では、N工事とほぼ同等の結果を得た。

4. 3 環境保全

(1) 作業環境

ABC S稼働期間中に基準階工事に従事した職種を対象に作業環境アンケートを実施した。アンケートはSCF内での作業環境に関連する項目について、5点満点(在来工事での評価を3点)で評価する方式である。点数が大きいほど評価は高い。アンケートの分析結果を図5に示す。同図から、「まぶしくない」、「暑さ寒さを凌げる」、「雨天時の環境が良い」などの項目で高い評価を得ており、SCF内での作業環境が優れていることが読み取れる。作業環境が向上した結果、「SCFの必要性」、「作業性が良い」といった項目も2次的に高い評価を得ており、ABC Sの基本コンセプトである良質な作業環境の提供が実現できたと言える(写真5)。

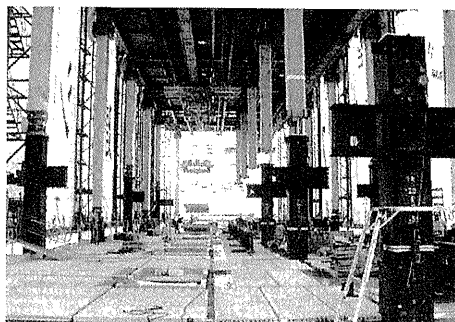


写真5 SCF内部環境

(2) 周辺環境

ABC S稼働時の様子を写真6に示す。テーマパークの隣接地区での施工であったが、来場者に対して未来の建設現場を強く感じさせ、テーマパーク周辺とも調和した環境を創出できた。また、隣接直下の鉄道営業線に対しても、外周架構の養生シートによって飛来・落下災害を完全に防止することができた。



写真6 稼働時の外観

5. おわりに

ABC Sのコンセプトを発表して以来10年以上が経過した現在、建設業を取巻く状況は大きく変化した。昨今の厳しい受注環境においては、開発のベクトルはコストダウン・工期短縮をシビアに追求する方向へ向かわざるを得ない。J工事適用にあたっては自動化をはじめ性能向上に関係する項目の適用は最小限に留め、工期短縮・労務削減に向けたシステム改良を行った。その結果、厳しい要求をほぼ満足することができた。ABC Sの継続的な工事適用と普及を図るには、システムの汎用性を拡大し、工事の標準化を推進する必要がある。今後も研究開発を継続的に実施し、ABC Sを発展させていきたい。

<参考文献>

1. 森他：「全自動ビル建設システムの適用実績」, 第8回建築施工ロボットシンポジウム論文集
2. 池田他：「全自動ビル建設システムによる高層ビルの施工」, 平成12年度建設機械と施工法シンポジウム論文集

6. 基礎処理工事の合理化を目指した 高所ボーリングマシンの開発

ハザマ：*秋田 真良、森 秀文、

青山機工(株)：隈本 開男

1. はじめに

ダム基礎処理工事のうちコンソリデーショングラウチングは、施工対象が各々のダムサイト特有の基礎岩盤であるため、一律に効果的な施工方法を定めることは難しい。そこで今回施工対象とした現場の特徴である堅硬な岩盤、急峻な堤敷面および打設工法として面状工法の採用を考慮して、法面に足場を組み立てることなく中央内挿法による施工を維持できる、自走式高所ボーリングマシンを開発し、現場適用を図った。

2. 従来の施工方法

コンソリデーショングラウチングはコンクリート打設前施工あるいは打設後施工のいずれかで施工方法が異なる。工法別の概要を表-1 に示す。施工方法の選定には岩盤の強度、割れ目の発達程度、リーク、打設設備、工程などを考慮して決定する。また、この選定は打設工程に影響を与える。柱状工法の場合、打設後施工であっても打設ブロック数が多いため全体工程に与える影響を小さくできる。そこで足場の組立・解体を必要としない打設後施工を選定する事例が多い。一方、面状工法の場合、直上リフトまでの打設間隔が短いために打設後施工では打設工程に与える影響が大きい。そこで打設工程に余裕のない現場では、打設前施工を採用している事例¹⁾もある。

表-1 施工方法別の概要

| | 打設後施工 | 打設前施工 |
|-------|--------------------|----------------------|
| 概念図 | | |
| 施工方法 | 2~3リフト打設後、打設面より施工 | 打設前に堤敷面に組立てた足場の上から施工 |
| 削孔機械 | 岩盤性状に応じた削孔機械の選択が可能 | 軽量のロータリーボーリングマシンが中心 |
| 注入効率 | リークが少ない | 亀裂性岩盤の場合、リークが多い |
| デメリット | コンクリートを削孔する必要がある | 堤敷面に総足場を組立てる必要がある |

3. 自走式高所ボーリングマシンの開発

(1) 開発の経緯

適用したダム現場の主な特徴を表-2 に、コンソリデーショングラウチングの孔配置図を図-1 に示す。1次孔の孔間隔が10m 格子であることから、中央内挿法で施工するためには10mの高低差を同時に施

工する必要があった。また、基礎岩盤の特徴として、岩質が堅硬、堤敷法面勾配が平均 45° と急峻であった。コンソリデーショングラウチングは打設工程に与える影響を小さくするために打設前施工を採用する必要があった。しかし、堤敷全面にわたってパーカッション方式による削孔でも、孔壁が自立するほど堅硬な基礎岩盤に、従来の打設前施工方法である、総足場によるロータリー削孔方式を適用することは、コスト面での負担が大きい。そこで、基礎処理工のうち削孔方式について次の点で合理化を図ることを検討した。

- ① 削孔速度の速い、パーカッション方式による削孔
- ② 足場の組立・解体をなくし、10m の高低差を打設面から施工

①については、パーカッション方式での課題とされている岩粉による孔壁の目詰まりを解消する必要があった。そこで、試験グラウトを行い、適用岩盤の場合、水および圧縮空気による孔内洗浄を行うことが有効であることを確認した。

②については、高所を掘削するパワーショベルを開発機械のイメージとし、汎用性、重量、躯体のバランス、狭隘部での施工性を考慮した。

以上より、ロングブームを取り付けた 0.65m³ 級バックホウのアタッチメントにパーカッション式削孔機を組み合わせた、自走式高所ボーリングマシンを開発した。

表-2 適用現場の主な特徴

| | | |
|---------------------------------|------------------|---------------------|
| ダム形状 の概要 | 型式 | 重力式コンクリートダム |
| | 堤高 | 120m |
| | 堤頂長 | 350m |
| | 堤体積 | 72 万 m ³ |
| 打設工法 | RCD 工法・拡張レーヤ工法 | |
| 主な地質 | チャートおよび泥質岩基質の混在岩 | |
| コンソリデー ショングラウ チング 施工仕様 | 孔配置 | 5m×5m 正方形格子 |
| | 改良深度 | 5m |
| | 削孔長 | 5.5m |

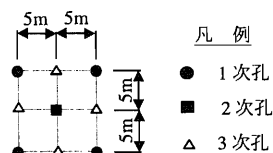


図-1 孔配置図

(2) 開発機械の仕様と特徴

開発機械の外観図を図-2 に、仕様を表-3 に示す。

開発機械は次のような特徴を有する。

- ① 最大削孔高さが10mであるため一次孔の10m格子であっても中央内挿法による施工が可能であり、注入用の足場として高所作業車を併用することで足場の組立・解体が必要ない。
- ② 20t 級クレーンを有するダムであれば、そのままの状態、13.5t 級クレーンであればカウンターウエイト及びガイドシェルを外した状態で堤体への搬出入が可能である。
- ③ 削孔時、水および圧縮空気による孔内洗浄が可能である。
- ④ ロッドの継ぎ足しを自動で行い、最大 7.5m まで削孔可能である。
- ⑤ 位置決め時の補助機械としてガイドシェルの先端付近に監視カメラを設置しており目視確認できる。
- ⑥ 削孔機の操作盤は軽量であるため携帯して遠隔操作が可能である。したがって、法面からの落石に対しても安全である。

表-3 主な仕様

| | | |
|----------|-------------------------------------|-----------------|
| ベースマシン | バックホウ 0.65m ³ 級(ロングブーム付) | |
| 運転質量 | 19.45t | |
| 最大削孔深さ | 7.5m | |
| 最大削孔高さ | 10.0m | |
| 使用ロッド | 径 | 38mm |
| | 長さ | 4,310mm+3,660mm |
| ドリフタ | 質量 | 165kg |
| | 打撃数 | 2,300~2,800bpm |
| | 回転数 | 0~250rpm |
| ガイドシエル全長 | 6.95m | |
| 全長×全幅×全高 | 10,510mm×2,490mm×3,540mm | |
| 登坂能力 | 35° | |

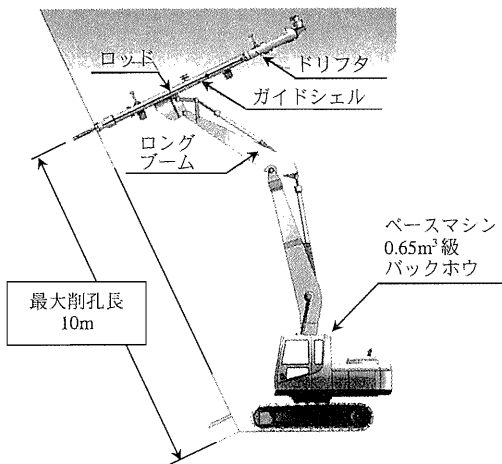


図-2 外観図

4. 施工実績

これまでの施工実績を以下に整理する。なお、1本当たりの削孔長は5.5mである。施工状況を写真-1に示す。施工サイクルと削孔、準備時間の区分を図-2に示す。ここで、仮設準備とは堤体上での給水、給気ホースの移動および部分的な法面の通路撤去などである。削孔・準備時間の分布を図-3に示す。また、日当たりの削孔本数と準備時間の関係を図-4に示す。



写真-1 施工状況

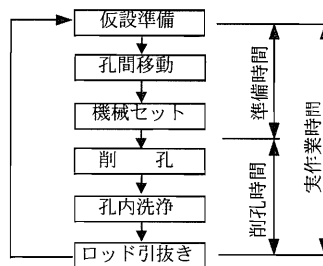


図-2 施工サイクル

①削孔・準備時間について

図-3より削孔時間は概ね15~40分/本に分布しており、全データの平均は30.4分/本、標準偏差は20.7分/本であった。準備時間は概ね10~35分/本に分布しており、データの平均は21.8分/本、標準偏差は8.9分/本であった。従って、実作業は52分/本、1m当たりの実作業時間は9.5分であった。ダム工事の積算資料²⁾によれば、硬岩を対象としたクローラドリルによるパーカッション削孔の場合、1m当たり実作業時間は10.9分である。開発機械による実績にはばらつきがあるものの、ほぼ同等の結果が得られた。

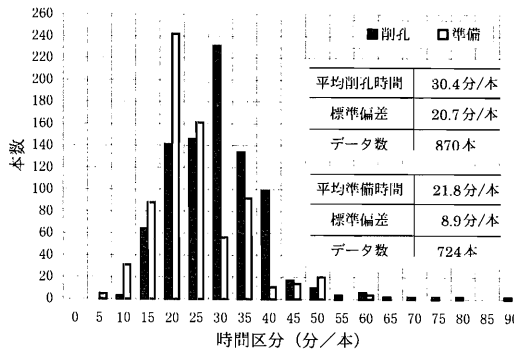


図-3 削孔・準備時間の分布

②日削孔本数と準備時間の関係について

図4より削孔本数が10本/日以下の場合、平均準備時間は4～56分/本に分布しており、平均値は23.3分/本であった。10本/日より多い場合、準備時間は7～22分/本、平均値は16.2分/本であり10本以下の場合より短くなった。この理由としては、10本以下の場合、型枠作業との調整あるいは堤敷法面に設置している仮設通路の部分的な撤去作業などが含まれていたためである。また、削孔本数が10本より多く確保出来た場合は、連続的に削孔作業を行っており、他作業による拘束がなかったためである。したがって、他の作業による拘束を受けない場合の準備時間は16分/本程度と考えられる。

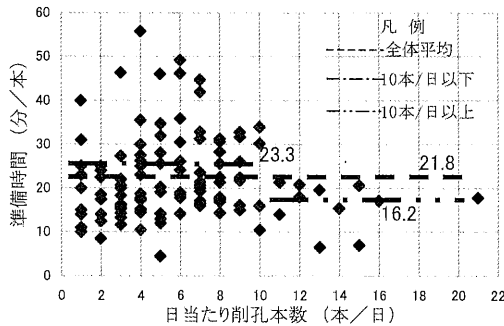


図-4 削孔本数と準備時間の関係

5. おわりに

今回は現場条件から施工足場、削孔方法に着目して合理化を図り、削孔延長 10,000m を大きなトラブルもなく進捗することができた。またコンクリート打設工程に影響を与えることなく完了できた。

今後は、適用岩盤の拡大、削孔の自動化などに取り組むことで他ダムにおいても本開発機械を導入し、合理化に寄与していきたい。

[参考文献]

- 1) (財)日本ダム協会 RCD 工法施工研究会：改訂版 RCD 工法施工の手引き， pp.262， 1994.
- 2) (財)ダム技術センター：ダム工事積算の解説平成 13 年度版， pp.279-282， 2001.

7. 脱水ケーキの植生土壌化

電源開発㈱：殿村 敦典、

佐藤工業㈱：*山田 賢一、山田 僚一

1. はじめに

奥只見・大鳥発電所増設工事現場では、濁水処理工程から発生する脱水ケーキを植物が生育しうる土壌（植生土壌）に改良している。当現場ではトンネル掘削ズリのうち、良質な岩石を現場プラントにて粒度調整し、コンクリート用骨材として利用する。骨材製造の過程で発生する濁水は凝集剤を用いて凝集沈殿させ、それをフィルタープレスによって脱水しケーキ状にする。従来であれば、この脱水ケーキは産業廃棄物として管理型処分場へ運ばれた。しかし、資源循環型社会が形成された現在において、廃棄物を再利用するための取組みは基本的な考えであり、脱水ケーキ（汚泥）の再利用についてもさまざまな利用法が考案されている。

有機性廃棄物の堆肥化施設に主要装置をスクープ式とした堆肥化システム切返し機（以下、「自走切返し機」）を用いた実績が以前からあり、現在においても高品質の堆肥を生産し続けている。

一方、宇奈月ダム建設工事において、無機質な脱水ケーキを植物の生育しうる植生土壌に改良する試験施工を行ない、その有効性を確認している。この両者のノウハウを組合せ、短期間のうちに脱水ケーキを植物の生育しうる植生土壌に改良することを可能にした。ここでは、その施工事例をもとに報告する。

2. 脱水ケーキの植生土壌化の概要

脱水ケーキは、元来、自然由来の無機粒子であるため、有機物を混合して物性改善を施せば、植物の生育し得る土壌緑化基盤材として再利用が可能である。

脱水ケーキの植生土壌化は、図-1 に示す処理フローにしたがって行なわれる。脱水ケーキにバーク堆肥、発酵鶏糞堆肥が添加され、それぞれの有機資材ホップより脱水ケーキ：バーク堆肥：発酵鶏糞堆肥=100:10:10（容積比）の割合となるように供給される。

これらの資材は高速回転する解砕機に送られ、均一に混合される。この混合土（脱水ケーキと有機資材を混合したものを称し、養生を終了した混合土を改良土と称することにする）は養生槽に投入され、約14日間の養生が行なわれる。養生中の混合土はエアレーションを受けながら自走切返し機によって1~2回/日の頻度で攪拌・混合を受け、養生槽の出口へと移動する。

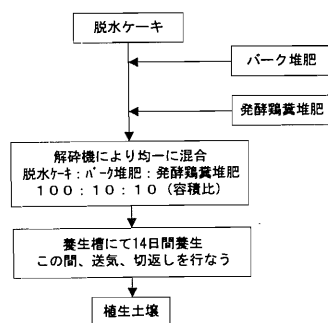


図-1 脱水ケーキの植生土壌化フロー

3. システムの特徴

このシステムは脱水ケーキホップ、有機資材ホップ、ケーキ解砕機、養生槽から構成され、これらを総称して「植生土壌化プラント」と呼んでいる。「植生土壌化プラント」の全景を写真-1に示す。

各機器類はベルトコンベアによって連結され、各ホップより供給された資材（脱水ケーキ、パーク堆肥および発酵鶏糞堆肥）が養生槽に搬送される。養生槽内には、自走切返し機（写真-2）が設置され、混合土の攪拌・混合を行なう。また、送風機が養生槽ごとに設置され、養生槽底面に設置されたエア配管よりエアレーションが常時行なわれる。個々の機械性能を表-1に、全体のプロセスフローを図-2に示す。



写真-1 「植生土壌化プラント」全景

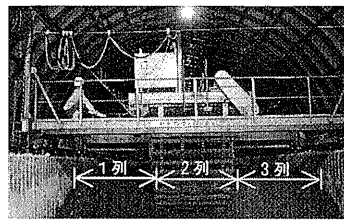


写真-2 「自走切返し機」正面

表-1 機械性能表

| 機 械 名 | 規格・仕様 | 最 大 | 最 小 | 備 考 |
|------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|
| 脱水ケーキ受入ホップ | 有効容量 10m ³ 切出し機付き | 切出し最大速度 9m ³ /h | 同、常用速度 7.5m ³ /h | 脱水ケーキの単位体積重量 1.95t/m ³ 含水比 30%程度 |
| 有機資材受入ホップ | パーク 有効容量 3.5m ³ 3軸スクリューホッパー | 切出し最大速度 1.1m ³ /h | 同最小速度 0.55m ³ /h | パーク堆肥の単位体積重量 0.62t/m ³ |
| | 鶏糞 有効容量 3.5m ³ 2軸スクリューホッパー | 切出し最大速度 1.1m ³ /h | 同最小速度 0.55m ³ /h | 発酵鶏糞の単位体積重量 0.55t/m ³ |
| ケーキ解砕機 | CB10型ミキサー | 10m ³ /h | — | — |
| 養生槽 | 有効容量 475m ³ (W7.15m×L44.0m×H1.5m (maxH2.0m)) | — | — | 2槽設置 壁：鋼製 床：コンクリート構造 |
| 自走切返し機 | 攪拌能力 120m ³ /h 切返し幅 2.3m | 前進：0.5m/min 戻り：3.0m/min | 前進：0.3m/min 戻り：2.5m/min | インバータ制御 |
| 送風機 | VB-080Eボルトレスプロ | 6.5m ³ /min | — | 3台/槽 |

このシステムの特徴は、自走切返し機により大量の混合土を均一に切りほぐしながら運搬し、混合土内部に空隙をつくり、エアレーションを加えることで好気性条件を作り出すことである。

この切返し機は、攪拌機・走行機・横行機の3つのパーツで構成されている。発酵槽に設置した攪拌機を3列分横移動しながら攪拌できるため、用途に応じた多量の原料を処理することが可能である。

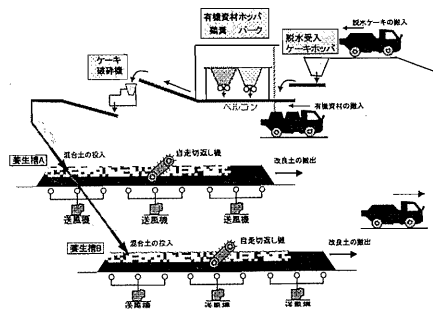


図-2 植生土壌化プロセスフロー

4. 各設備の紹介

1) 脱水ケーキ受入ホップ

脱水ケーキは 10t ダンプにより運搬し、受入ホップにダンプアップする。受入ホップ底部には、移送装置が設置されている。切出し量の定量性確保のため移送装置のフライトは、2列構造とし、取付間隔を半ピッチずらし、左右同時排出を避ける構造としている。(写真-3)

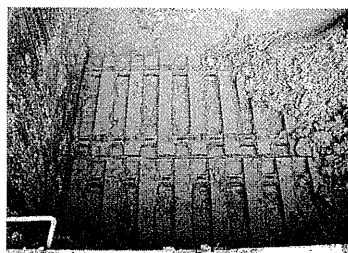


写真-3 脱水ケーキホップの底部構造

2) バーク堆肥受入ホップ

バーク堆肥はフレコンパックにて搬入され、ホップへの投入は天井クレーンにて行なう。底版部には、3軸のスクリーフィーダが設置され定量分が排出される構造となっている。(写真 4, 5)

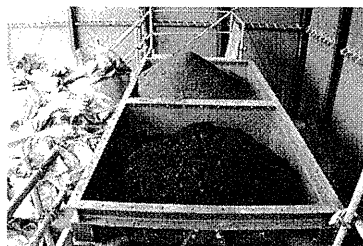


写真-4 有機資材受入ホップ
(手前：バーク堆肥用、奥：発酵鶏糞用)

3) 発酵鶏糞堆肥受入ホップ

発酵鶏糞堆肥もバーク堆肥と同様に、フレコンパックにて搬入される。定量フィーダは 2 軸のスクリーフィーダとなっている。発酵鶏糞堆肥はバーク堆肥に比べ乾燥した状態であるため比較的スムーズに搬出される。(写真-4)

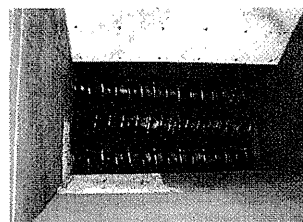


写真-5 バーク堆肥受入ホップ底版部
(3軸スクリーフィーダ)

4) 解砕機

バーク堆肥および発酵鶏糞堆肥の添加された脱水ケーキの解砕、混合を行なう。土壤微生物の好気性分解を促進するためには、十分な酸素供給が必要とされる。その前処理として、固結した脱水ケーキを解砕し表面積を増やす作業を行なう。解砕機は大別して、上部の押込装置と下部の解砕装置で構成されている。(写真-6)

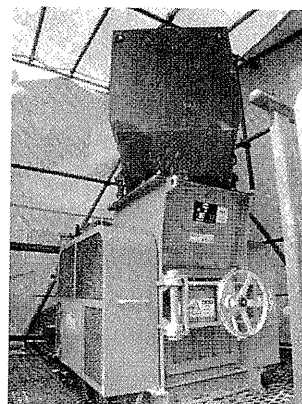


写真-6 解砕機全景

5) 自走切返し機

自走切返し機は、養生槽に投入された混合土を耕す大型耕運機の役割を果たす。切返し機の走行速度は、攪拌（前進）時、最大で0.5m/minである。戻り（後進）時は、最大3.0m/minである。横行（列移動）は最大1.3m/minであるが、後進と同時に行なえるためサイクルタイムには影響しない。発酵槽の1列の切返しサイクルタイムは、最速で84分となる。この作業を1日1列に対して1~2回を基準に行なう。従って2回/日/列の稼働時間は84分×3列×2回=8.4時間+ α となる。混合土の送り量は1.9m/回程度であるから、脱水ケーキ30m³/日/槽の処理が可能である。（図-3）

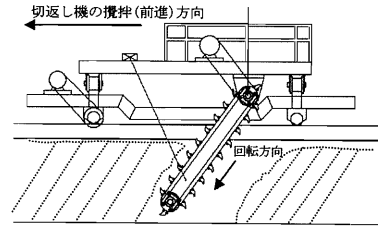


図-3 自走切返し機

6) 送風機

1槽につき3台のターボブローが設置され、3系統の供給管（塩ビ管φ50）が養生底板部に設置されている。配管周りは混合土による目詰まり防止のため、籾殻を敷いている。（写真-7）

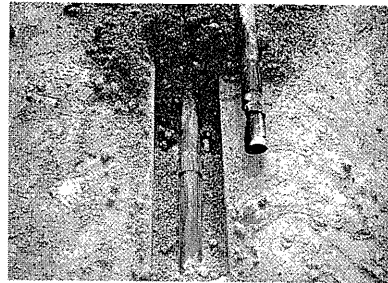
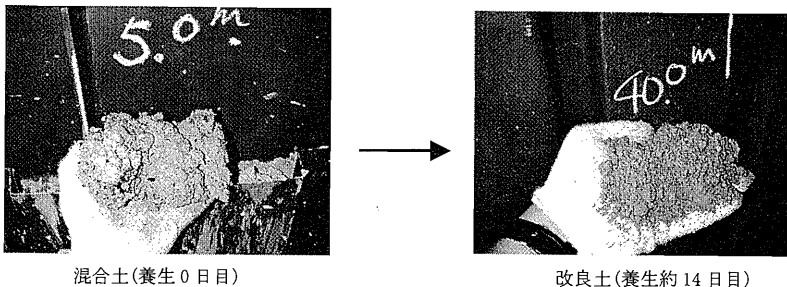


図-7 養生槽底板のエア配管

5. 養生槽内における混合土の物性変化の状況と考察

養生期間中における混合土の物性の経時変化を把握するため、混合土の温度、含水率、二酸化炭素（CO₂）発生量の測定を行なった。混合土と改良土の状況を写真-8、H13年10月に測定した混合土の物性の経時変化を図-4に示す。



混合土(養生0日目)

改良土(養生約14日目)

写真-8 混合土と改良土の状況

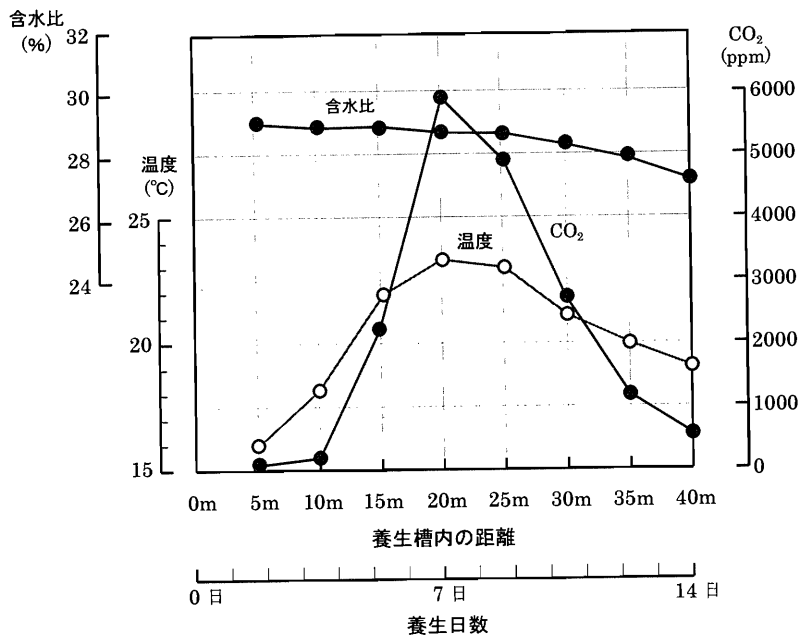


図-4 養生槽内における混合土の物性変化

1) 温度（養生槽内の物温）

混合土の温度は、微生物が有機物を分解するときの代謝熱によって養生期間中、上昇する。この温度上昇は微生物活性の指標となる。

図-4 に示した通り、混合土の温度は、養生を開始した直後から上昇し始め、20～25m 地点（養生約 7～9 日目）で最高に達し、23℃を示した。その後は徐々に低下し、養生終了時の 40m 地点（養生 14 日目）では 19℃となった。投入時点の混合土の温度よりピーク時で 7℃の温度上昇があり、土壌微生物類の活動による代謝熱によるものと考えられる。

2) 二酸化炭素

二酸化炭素の発生量は温度と同様に微生物の代謝活動によるものであり、有機物の分解に伴って発生したものと考えられる。二酸化炭素量の増加は、いずれも 15m 地点（養生約 5 日目）から急速に始まり、20m 地点（養生約 7 日目）で最大値を示している。このことから土壌微生物類が活動は盛んであったことがわかる。

3) 含水比

含水比は経時的に低下傾向を示した。この含水比の低下は、エアレーション、切返しによる空気との接触による蒸発によるものと考えられる。

6. 奥只見・大鳥発電所増設工事における植生土壌化の実績と計画

奥只見・大鳥発電所増設工事の工期は、平成11年から平成15年の5年間であり、この工事期間のうち、脱水ケーキの発生量は21,500m³が見込まれている。このうち、約半分の12,200m³の再利用を計画している。表-2に平成11年度から平成15年度までにおける脱水ケーキの植生土壌化による再利用の計画数量と実績を示す。

表-2 脱水ケーキの植生土壌化の実績値及び計画数量*

| 年 度 | 汚泥発生量 (脱水ケーキ) | 同左累計 (1) | 土壌化に用いた汚泥量 | 同左累計 (2) | 土壌化率 (2)/(1) |
|-----------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------|
| 平成11年度 実績 | 2,000m ³ | 2,000m ³ | 0m ³ | 0m ³ | 0% |
| 平成12年度 実績 | 5,200m ³ | 7,200m ³ | 2,800m ³ | 2,800m ³ | 39% |
| 平成13年度 実績 | 10,800m ³ | 18,000m ³ | 3,900m ³ | 6,700m ³ | 37% |
| 平成14年度 計画 | 3,500m ³ | 21,500m ³ | 3,900m ³ | 10,600m ³ | 49% |
| 平成15年度 計画 | 0m ³ | 21,500m ³ | 1,600m ³ | 12,200m ³ | 57% |

(*電源開発(株) 奥只見・大鳥増設建設所HPから)

7. 改良土による植生調査

脱水ケーキの植生土壌化土(300m³)を土壌基盤として用いた造成地(工事現場内)には、地元の在来種と考えられる各種の植物が繁茂し、アメリカセンダングサ、エノコログサ、ヨモギ等の植物の繁茂が観察された。また、写真-9に示すように、改良土表面は地衣類で覆われており、雨水の浸食による改良土の周辺への流亡を防ぐ効果を期待できる。

さらに、改良土中には、大型のミミズ(体長15~20cm, 太さ5~6mm程度)が多数生息しているのも確認された(写真-10)。ミミズの糞土は極めて良好な団粒を形成し、土壌の肥沃度の向上に大きく寄与することはよく知られている。改良土を土壌緑化基盤として施した造成地にも、ミミズの棲息が多数確認されたことは、改良土の物性改善がさらに今後も進むことを示しており、非常に望ましい傾向であるといえる。



写真-9 改良土の表面状況



写真-10 ミミズの生息確認

8. まとめ

自走切返し機を核としたシステムにより、脱水ケーキを短期間のうちに植物の生育可能な植生土壌として物性改善することができた。これは、ただ単に脱水ケーキと有機物を混ぜただけのものではなく、微生物活動の無機-有機結合に伴う団粒化が促進されたことによるものである。

脱水ケーキの植生土壌化は単なる建設副産物の再生・再利用だけではなく、自然景観再生、地域活性化にもつながる可能性を秘めた技術として期待できる。

8. ダム工事における植生土壌化システムの開発

佐藤工業(株)：*植木 研三 永松 敏弘、
矢郷 隆浩

1. はじめに

「循環型社会形成推進基本法」が制定され、建設リサイクル法が施行段階に入り、建設副産物の再利用を要求する気運が高まってきている。

ダム建設工事においては、その工事の特性により、大量の廃棄物（建設副産物）が発生する。一つには、掘削工事により発生する伐採材（木、木根、草、竹類）であり、二つめには工事汚濁水の処理過程で副産物として発生する建設汚泥（脱水ケーキ）である。

苫田ダムにおいては、前者が 15,000m³、後者が 4,000m³程度発生すると想定されており、これらを既存処分場で埋立て処分することは、社会通念上好ましいとはいえないことから、これらの再利用のため、既存の技術を組み合わせることにより新しい植生土壌化システムを開発し、実践している。

本稿ではそのシステム及び概要について報告するものである。

図-1に「苫田ダムリサイクルフロー」を示す。

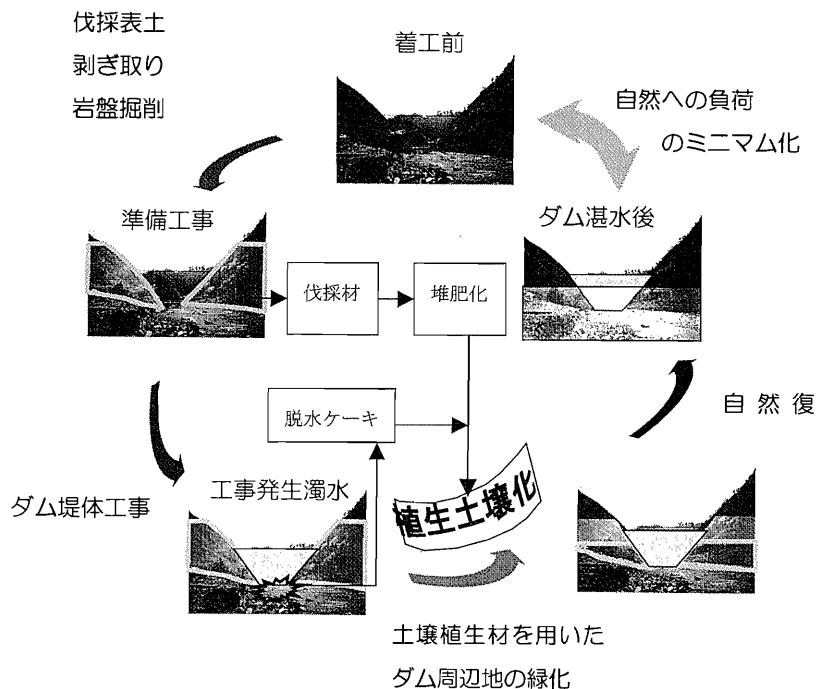


図-1 苫田ダムリサイクルフロー

2. 苫田ダム植生土壌化システム概要

苫田ダム植生土壌化システムの特徴は、既存の技術である「脱水ケーキ植生土壌化システム」と「伐採材の堆肥化システム」の二つの建設副産物を同時に再利用できることにある。このシステムは、一般的に行われている脱水ケーキに「購入堆肥」及び／または「購入畜糞」を混入し植生土壌化するシステムに対し、伐採材の堆肥化システムを利用して「堆肥」を製造し混入するものである。

苫田ダム植生土壌は、伐採材の堆肥と脱水ケーキ、有機肥料を混合したものである。無機質な土壌である脱水ケーキに堆肥を混合することにより通気性、保水性、保肥性の土壌物理特性の改善が行われる。さらに、有機肥料の混合により土壌化学特性の改善が行われる。堆肥内の微生物が活動する結果、その代謝産物で脱水ケーキの細粒分の団粒化を促進して、ほくほくとした“土”となる。

また、本システムは、熟練技術者及び特殊な機械を必要としないことも特徴として挙げられる。

次ページに、苫田ダム植生土壌化システムフローを示す。

3. 伐採材の堆肥化

伐採材の処分は焼却処分する計画であったが、ダイオキシン排出による公害問題が発生し、ダイオキシン排出規制により伐採材の焼却処分ができなくなった。

このため、苫田ダムではダム本体、仮設備、周辺湖岸道路から発生した伐採・伐根材の約15,000m³を粉砕して堆肥にすることを計画した。

3-1. チップ化

伐採材を効率よくチップに粉砕するために、大きさ、固さにより草木竹、根株に仕分け、それぞれに適した仕様の粉砕機で処理することにした。

根株に関しては均一な形態をしていないため、粉砕機に投入する前には前処理作業としてカッタ(0.7m³バックホウ)で切断し、大きさを整える必要があった。

草木竹の粉砕にはカッタ方式のシュレッダを使用し、巨根の根株にはハンマ方式のタブグラインダを使用した。

目標のチップ材の大きさは、将来的な堆肥化に適した分解し易い25mm程度とした。チップ化に際しては、シュレッダ、タブグラインダともにスクリーンサイズを変更しながら、一次破碎、二次破碎と行なった。

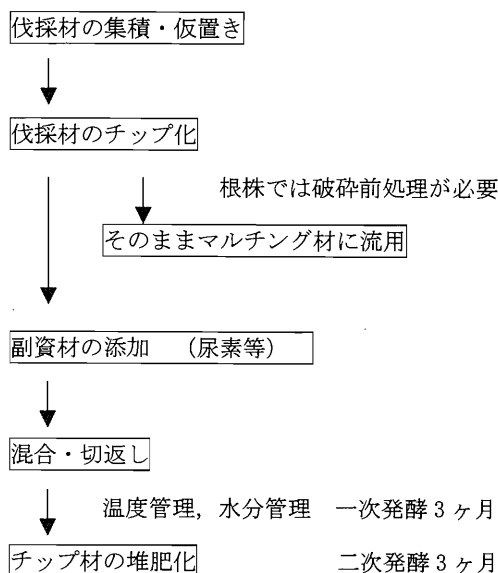
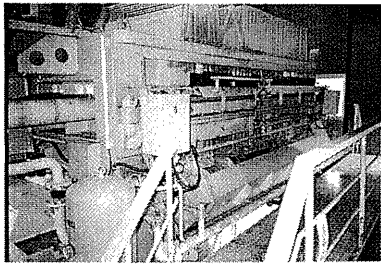


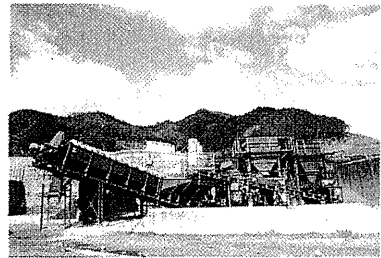
図-2 伐採材の再利用に関するフロー



ダム濁水処理設備フィルタープレス



①脱水ケーキ



混合・解砕



切返し・散水, 日常管理



②伐開物



②-1チップ化



②-2堆肥化

③購入鶏糞



養生



完成

図-3 苫田ダム植生土壌化システムフロー

3-2. 堆肥化

植物が自然界で発酵して堆肥になるには年単位の時間を要する。しかし、苫田ダム事業（平成 16 年度完成予定）の中で再利用するためには、堆肥化を強制的に促進させることが必要となる。

堆肥化とは微生物が炭素を分解して発熱し発酵することであり、炭素の割合が大きいと堆肥化するのに長時間かかる。苫田ダムにおけるチップ材の持つ炭素、窒素のバランスは、C/N=220 程度であり、表—1 に示す堆肥の品質基準より、炭素割合を C/N=30 程度にして堆肥化の促進を図る必要があった。C/N=30 にするには、窒素成分の多く持つ副資材（油粕、尿素、鶏糞など）をチップに混合させる方法が考えられた。

堆肥化における発酵は嫌気性発酵と好気性発酵に分類され、水分が過剰に存在したり、通気性が無い場合には嫌気性発酵となり、臭いの原因となるアンモニア、メタンガス、硫化水素等を発散させ、ハエやウジが発生する。また、水分が不足すると発酵が遅れる原因となる。

そこで、適度な水分（含水率 50~65%）を保つための散水と通気性の良い条件（切り返し作業）の下で好気性発酵を行うこととした。

また、発酵熱が 60~70℃に上昇すると雑草の種子や有害生物等が死滅する。さらに 80℃以上になると窒素成分などの栄養分が揮散したり有益な微生物が死滅するので熱放散のための「切り返し」が必要となる。

3-3. チップの堆肥化

① 試験施工の目的と確認結果

試験施工では、チップ材の成分を調べ(C/N=220)、表—1 に示す堆肥の品質基準を満足する添加物としての副資材を選択するため、表—2 に示す 4 ケースについて比較した。

表—1 堆肥の品質基準（全国バーク堆肥協会）

| C/N 比 | 全炭素 (%) | 全窒素 (%) | 全リン酸 (%) | 全カリ (%) |
|-------|---------|---------|----------|---------|
| 35 以下 | 40~50 | 1.2 以上 | 0.5 以上 | 0.3 以上 |

表—2 試験施工配合表

| 項 目 | | ① | ② | ③ | ④ |
|---------------|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| チップ原料 成分比率 | 試験量 | 30m ³ | 30m ³ | 30m ³ | 30m ³ |
| | 全炭素 (%) | 41.8 | | | |
| | 全窒素 (%) | 0.19 | | | |
| | 全リン酸 (%) | 0.01 | | | |
| | 全カリ (%) | 0.00 | | | |
| | C/N 比 | 220 | | | |
| 副資材名 | | 油粕 | 尿素 | 鶏糞 | 油粕 + 尿素 |
| 添加量(kg) | | 1,505kg | 173kg | 4,302kg | 752 + 86.7kg |
| 添加物 成分比率 | 全窒素 (%) | 5.3 | 46.0 | 2.56 | 9.51 |
| | 全リン酸 (%) | 2.3 | - | 7.10 | 2.3 |
| | 全カリ (%) | 1.0 | - | 3.26 | 1.0 |
| 二次発酵 成分比率 | 全炭素 (%) | 41.7 | 41.7 | 55.6 | 41.7 |
| | 全窒素 (%) | 1.4 | 1.4 | 1.9 | 1.4 |
| | 全リン酸 (%) | 0.6 | 0.1 | 4.7 | 0.3 |
| | 全カリ (%) | 0.2 | 0.0 | 2.1 | 0.1 |
| | C/N 比 | 30.1 | 29.8 | 29.9 | 29.8 |

添加物の種類としては、「鶏糞」が最も良好であるが、C/N比改善のため多量の鶏糞を必要とすることから、堆肥化段階では、C/N比改善に主眼をおき添加量の少ない尿素を選定した。堆肥の品質基準に不足する全リン酸および全カリを補うため、土壌化段階で「鶏糞」を添加することとした。

②発酵終了（一次発酵）時の評価

表一 3 醗酵時の評価 *イオン交換容量の単位：cmol/Kgf

| 項 目 | 評価基準 | 定量的評価方法 | 確 認 結 果 | |
|-----|-------|------------|--------------------|------------------|
| 1 | 発酵温度 | 堆肥化° 体温度低下 | 内部温度がピーク時の10°C以下程度 | 最高70°C→3ヶ月55°C |
| 2 | 成分管理 | 保肥性向上 | イオン交換容量の数値増加 | 初期24.6→3ヶ月26.5 |
| 3 | | 炭素量減少 | C/N比の数値減少 | 初期31.0%→3ヶ月19.2% |
| 4 | | 植生障害の要因排除 | 粗脂肪率減少 | 初期値0.4%→3ヶ月0.1% |
| 5 | 幼植物試験 | 植生異常無し | 未発芽現象及び根曲り現象がない | 試験野菜（マツナ）異常なし |

イオン交換容量：土壌が+イオン（マグネシウム等）を吸着できる量

粗 脂 肪 率：植生異常の指標であり、分解（堆肥化）が進むにつれて減少する。

4. 植生土壌化混合設備

4-1. 設備概要

本設備は、前項で堆肥化されたチップ材と脱水ケーキ及び土壌化副資材（鶏糞）を所定の比率に混合することを目的とする。本設備の要求される以下の機能・特徴を満足できる設備を設置した。

- ①品質（混合比率）の確保 → 定量切り出しと確実な混合（混合時間が長い）
- ②解砕機能 → 固結された脱水ケーキを砕く（混合のための表面積増）
- ③汎用性が高い → 熟練技能者を必要としない

4-2. 設備規模

| | |
|------------------------|--------------------|
| 日混合量 | 100 m ³ |
| 混合比率（脱水ケーキ：堆肥化チップ材：鶏糞） | 10：5：1 |
| 混合設備の所要能力 | 19.0 t/h |

4-3. 設備内容と留意点

①受入ホッパー

脱水ケーキ槽（6.7m³）、堆肥化チップ槽（8.0m³）、鶏糞槽（0.9m³）の鋼製貯留槽を設置する。貯留後、材料を下部から切り出すことから、自由落下を促すため、ホッパーの内部勾配は、可能な限り急勾配とすることとし、特に、堆肥化チップは、「繊維織物状」に絡みやすいので、75°以上とする。

②引き出し設備

引き出し設備は、材料の粘性特性を考慮し、脱水ケーキは「ベルトフィーダ」、堆肥化チップは「振動フィーダ」、鶏糞は「スクリュウコンベヤ」とした。混合比率の変更に対応できるように、インバータ制御により、引き出し量を変更可能なシステムとした。

③混合・解砕設備

混合設備に要求される点は、確実な混合のため機械自体に材料が回転状態で長期間滞留すること及び所定の処理能力を発揮することにある。

また、汎用性のある設備とするため、砕石プラントで一般的に使用されている分級機（スクリュウクラッシュファイヤ）の回転翼（リボンスクリュウ）に「押し板」を取り付け解砕機能を増大させて設置することとした。

④運搬設備

各ホップから混合設備まで、混合設備から一次貯留場までの材料移送は、全て汎用性のあるポータブルベルトコンベヤ（W=350）を設置した。

⑤養生棟

混合された材料は、微細な脱水ケーキの団粒化促進のため、養生棟へ運搬される。ここでは、さらなる好気性発酵の進行のためバックホウによる「切り返し作業」を約1ヶ月間行い、植生土壌材の完成となる。

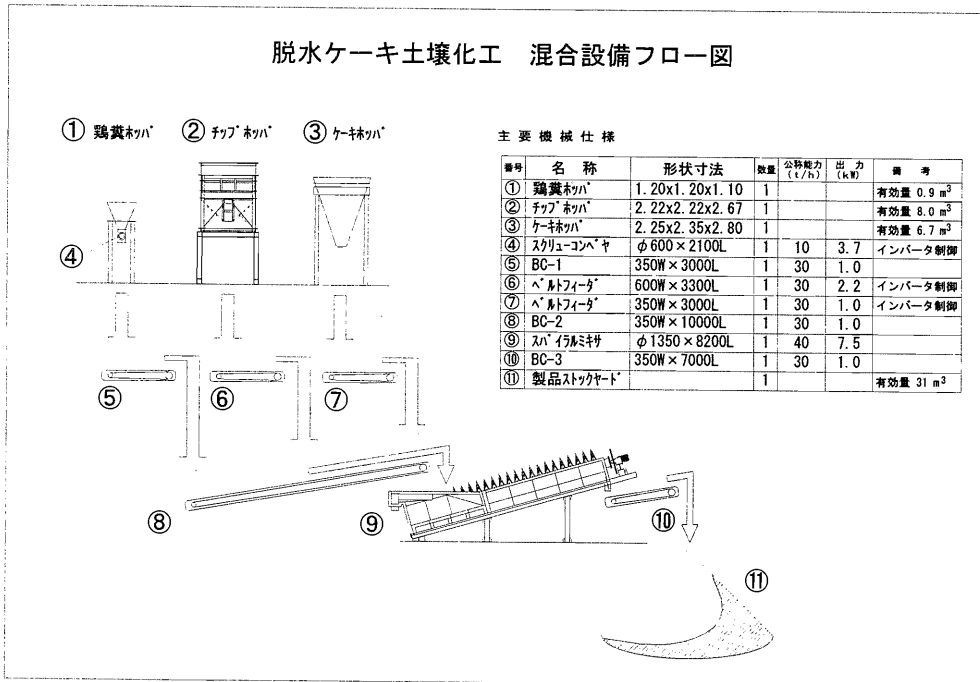


図-4 土壌化混合設備フロー

5. おわりに

本方式による植生土壌化システムは、画期的とはいえないが、いわゆる「工場生産」イメージとは異なり、ある程度のヤードが確保できれば、簡単に移動・架設が可能であり、極めて汎用性が高いのが特徴である。

また、伐採材をチップ化する機械（シュレッダー等）、堆肥化に使用する機械（バックホウ）、植生土壌化を行う混合プラントは、一般的な機械の組合せであり、熟練した技能は特に必要としない。

品質管理面においても、初期の段階では、各種分析試験等が必要であるが、日常管理は、温度、水分管理のみでよく専門技術者の常駐あるいは、分析試験の日常化といった高度な知識は必要としない。

今後は、ダム工事のみではなく、盛土に適さない軟質土が発生する場合、伐採材の処分（チップ化しても）に窮する場合等に水平展開可能と考える。

9. 拡大・縮小シールド工法の開発

清水建設㈱：*阿曾 利光、

細井 元規

1. はじめに

大深度地下の公共的使用に関する特別措置法が昨年より施行された。この法案により今後、大深度地下でのライフライン整備の増加が見込まれるが、大深度・長距離シールドトンネルにおいては分岐部や接続部およびメンテナンスのためのスペースを確保するために、部分的にシールドの口径を拡大して構築することがある。また、小口径長距離シールドトンネルは施工上資材搬出入や換気設備設置などのために一定間隔で拡大断面を必要とする。現状のシールド工事でシールドトンネルを部分的に拡大する場合、通常、当該位置に立坑を構築して拡大掘削するか薬液注入や凍結工法等の補助工法を用いて拡大する方法を採用している。しかし近年、立坑用地の確保は困難となり、また大深度地下の場合、立坑の建設や補助工法に多大な費用と工期を要する。また場合によっては、全線拡大径でシールドトンネルを掘ることがあるが、無駄な掘削部分が多く工事費が増加する。経済的なトンネル築造にはトンネル掘進中の任意の位置で拡大断面を築造する技術が望まれており本工法を開発した。本稿では拡大・縮小シールド工法（名称 ES-Tube 工法、Expandable and Shrinkable shield method の略）の開発の概要について報告する。

2. 工法の概要

本工法の特徴は掘削しながら任意の位置で何回でもシールドトンネル断面を拡大・縮小できることである。工法の拡大縮小の手順を記す。拡大位置に通常掘進のシールド機が到達後、拡大準備として伸縮カッタを伸張し拡大断面に合わせた先行掘削を行なう。先行掘削の空洞部には地山の崩落防止を目的として開発した充填材（以下、地山保持材と言う）をシールド機内から注入し、シールド機側部の外側全体が地山保持材で充填されるまで掘進を行なう。拡大準備掘進後、地山保持材を機内に取り込みながらシールド機胴体の両側部を張出す。拡大部掘進は拡大セグメント1リング分の掘進と拡大セグメント組立を繰り返す。所定長さの拡大掘進終了後、シールド機胴体の拡大部を元の位置に戻し、再び通常掘進を行なう。工法の手順概要図を図-1に示す。

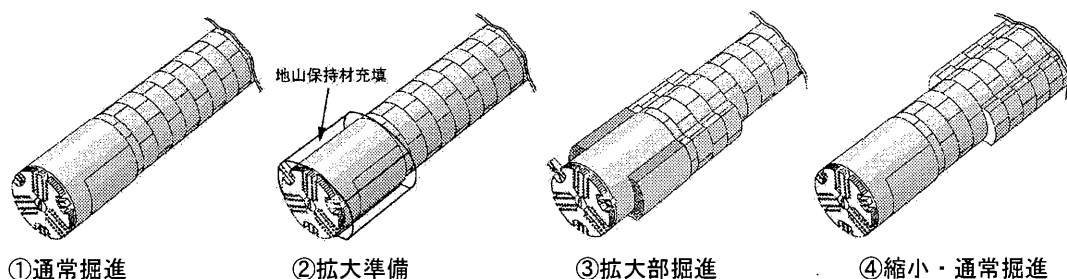


図-1 手順概要図

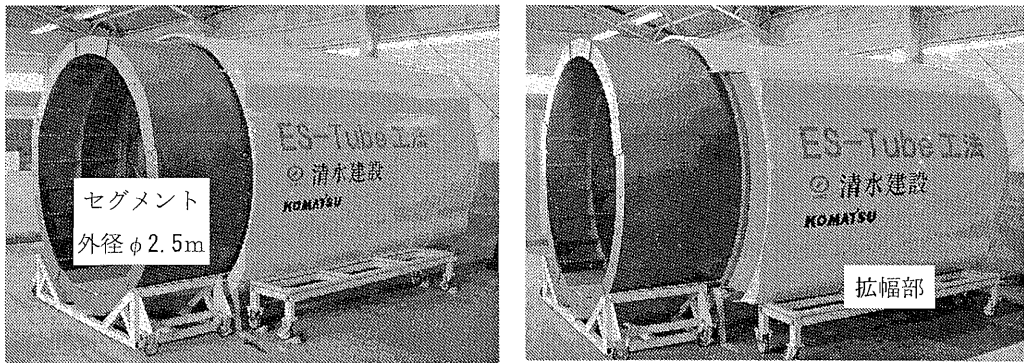
従来工法との工事費の比較を示す。深度 50m の大深度に施工延長 10km の長距離小口径シールドを築造する場合、2km 毎にトンネル断面を拡幅する本工法は 2km 毎に立坑を構築する、または全線拡大断面で掘削する従来工法に比べて工事費を 20% 以上削減できる。

3. 工法の実証および実験

当工法の実用化にむけ、実物大の木製模型の製作、シールド機拡幅部シール機構の止水性能実験、地山保持材の開発および当材料の性能実験など、次に示すような一連の実験・実証を行って、施工の信頼性を実証した。

3.1 実物大木製模型

実物大の木製模型を製作して、止水ラインの確認、拡大用部材の組立および拡縮作業を行ない工法の妥当性を確認した。写真-1 に実物大木製模型を示す。



拡大前

拡大後

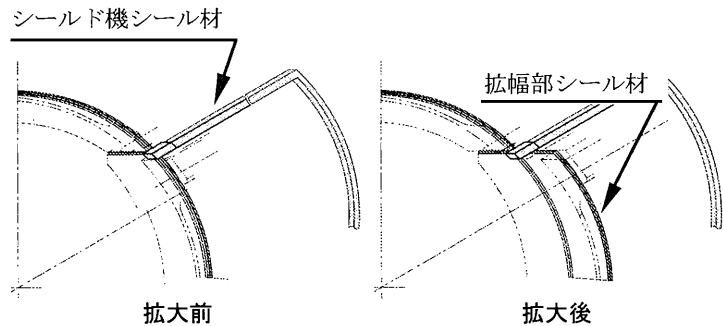
写真-1 実物大木製模型

3.2 拡幅部の止水機構実験

本工法はシールド機拡幅部の止水機構が開発の大きなポイントであった。拡幅部の止水機構は従来機にない機構のため、大深度を想定したシールド機拡幅部のスケールモデルの止水実験装置を製作し、水圧 0.6MPa (水深 60m の水圧) に耐える止水機構を開発し、その止水性能を確認した。止水シール配置の概要図を図-2 に示す。

(1) 実験概要

止水実験装置は摺動可能な拡幅部と拡幅部全体を覆う水タンクからなる。タンク内は大深度を想定して最大 0.6MPa まで加圧することができる。写真-2 に止水実験装置を示す。実験は水を入れたタンク内に 0.6MPa まで加



拡大前

拡大後

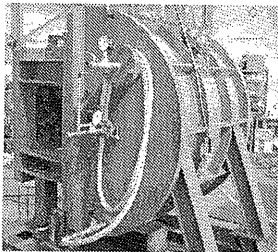
図-2 止水シール配置の概要図

圧し、静止時および拡幅部摺動時の漏水の有無を目視で確認する。摺動回数は 50 回とした。また水タ

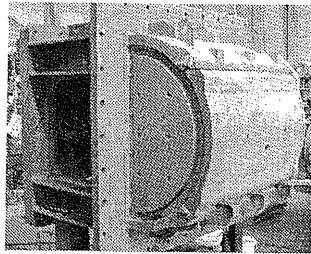
ンク内に砂を入れ縮小時の砂噛み込み試験も行った。

(2) 実験結果

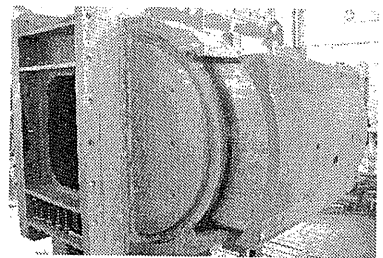
静止状態および拡縮動作中ともに 0.6MPa まで加圧したが漏水は確認されなかった。本工法の止水機構は大深度においても対応できることが確認できた。



外観



拡幅部拡大前
写真-2 止水実験装置



拡幅部拡大後

3.3 地山保持材の実験

本工法は、伸縮カッターで先行掘削した一時的な空洞部に掘進と同時に地山保持材を充填する。

開発した地山保持材の比重は 1.12、性状はゲル状で感触はプリンに似ている。この地山保持材に要求される性能を以下に示す。

- ① 地山の崩落を防止し、切羽部に廻りにくい自立性を有する。
- ② 空洞への充填性がよく、ポンプ圧送・機内取込みが容易にできる流動性を有する。
- ③ 裏込め材との置換性が良い
- ④ 長期的に安定した性状を保つ経時保持性を有する。

上記の性状を確認するため、球体沈降試験、裏込め材との置換試験、ポンプ長距離圧送試験などを行った。

3.3.1 球体沈降試験

空洞部に充填する地山保持材の地山崩落防止性能を確認する。

(1) 試験概要

球径が $\phi 50\text{mm}$ で比重 (ρ) が 2.4 と 3.6 のボールを地山保持材の表面に置き、沈降量を測定する。土粒子の比重は 2.7 であるの

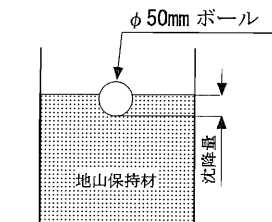


図-3 球体沈降試験図

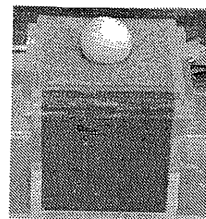


写真-3 試験状況

で、球体を保持できれば余掘り部の崩落の誘因となる地山の緩みを防止できると判断できる。図-3 に球体沈降試験図、写真-3 に試験状況を示す。

(2) 試験結果

混練後直後から 1 ヶ月まで地山保持材を放置した試験結果を示す。いずれも球体は保持した。

| 材 齢 | 0 日 | | 7 日 | | 28 日 | |
|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| 球体沈降試験 | $\rho = 2.4$ | 1/4 沈降 | $\rho = 2.4$ | 1/3 沈降 | $\rho = 2.4$ | 1/4 沈降 |
| | $\rho = 3.6$ | 1/4 沈降 | $\rho = 3.6$ | 1/2 沈降 | $\rho = 3.6$ | 1/3 沈降 |

3.3.2 裏込め材との置換実験

拡大掘削時のテールボイドに残る地山保持材や縮小時にシールド機側部に注入する地山保持材は、シールド機通過後にセグメント安定のため裏込め材をセグメントから注入し置換する。裏込め注入時の地山保持材と裏込め材との置換状況を確認する。

(1) 実験方法

実験装置としてトンネル形状を模したドーナツ状円筒容器内にあらかじめ地山保持材を充填する。容器内に裏込めを注入しながら地山保持材を排出する。図-4に実験装置寸法図、写真-4に実験装置外観、写真-5に置換状況を示す。

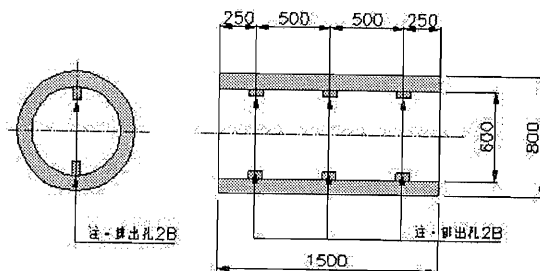


図-4 実験装置寸法図

(2) 実験結果

地山保持材を注入する注入孔と、注入孔と反対側の遠くに排出孔を設けた場合、置換率は80%前後であった。長期間のセグメントの安定に必要とする地山と同等の強度は一般的に 0.5N/mm^2 程度である。使用した裏込めの長期強度は 2.45N/mm^2 であり、注入後のばらつきを考慮しても70%程度置換できればセグメント全体として安定すると言える。

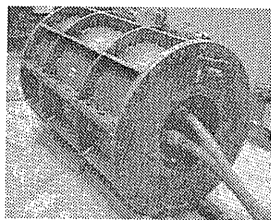


写真-4 実験装置外観

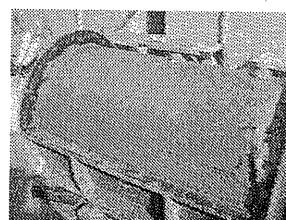


写真-5 置換状況

3.3.3 長距離圧送実験

実工事での施工性を考慮し注入ポンプ1台で地山保持材を圧送できる距離を確認する。

(1) 実験方法

$\phi 50\text{mm}$ の鋼管を1km敷設し、注入ポンプ(スクイズポンプ)で配

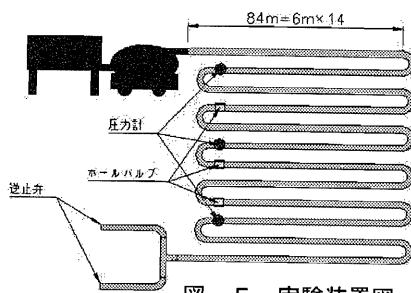


図-5 実験装置図

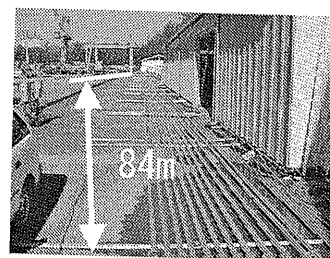


写真-6 配管状況

管内に地山保持材を圧送する。圧送状況により中継ポンプを配管途中に増設する。圧送中、吐出口や中継ポンプの位置で地山保持材の性状を確認する。図-5に実験装置図、写真-6に配管状況を示す。

(2) 実験結果

スクイズポンプ1台の圧送距離は $\phi 50\text{mm}$ の鋼管で150mであった。

4. 終わりに

一連の実験や実証により施工の信頼性を向上した。今後、機会があれば実工事に適用し、工法の普及を計りたいと考えている。

10. 上向きシールド工法の開発と実証施工

大成建設(株)：*伊東 憲、栄 毅熾、

五洋建設(株)：原 修一

1. はじめに

近年のシールド技術開発は、大断面、大深度、長距離、急曲線、異形断面などを対象に新技術の開発がなされてきた。

一方、都市部で施工する現場では、騒音、振動といった近隣住民に与える影響が多く、住民対策として地上での工事期間を短縮させる技術の開発が望まれていた。そこで、下水道の流入人孔工事を目標として、これらの課題を解決する「上向きシールド工法」を開発した。

今回の実証施工は、本工法の特徴が認められ大阪市の下水道工事に採用されたものである。

2. 開発の概要

(1) 上向きシールド工法の特徴

上向きシールド工法は、既設シールドトンネル内から泥土圧式シールド機にて地下から地上に向けて立坑を築造することから以下の特徴をもつ。

①地上での工事期間が短い

- ・地上では、シールド機受入れピットの築造と立坑口の仕上げ作業なので、道路占有等の期間が短くなる。

②狭い場所での立坑施工が可能

- ・掘進設備がトンネル内に有り、トンネル内から発進するため、狭い路地、構造物の下などでも施工が可能である。

③高い接合性

- ・接合部側からシールドで発進するため、地上から本管に到達させる方法よりも接合性にすぐれている。

④汎用性のあるシールド機の再利用でコストダウン

- ・シールド機の分割、組立てが容易で汎用性のある設計がされており、地上で容易に回収でき、再利用が可能である。
- ・基本ユニットにアタッチメントを組みあわせる方法により、径の異なる掘削にも対応可能である。

(2) 用途と適用範囲

用途として上下水道（管路、取水・管理立坑）、共同溝（ガス・ケーブル等分岐立坑）、鉄道（換気・管理・避難立坑、駅部エレベータシャフト）道路（換気立坑、避難通路）、地下構造物（新物流シャフト）等があげられる。

適用範囲として、土質条件は、砂質土、砂礫土、粘性土、軟岩等である。立坑掘削径はφ2～4m、深

さ 50m 程度である。

施工上の留意点として、既設シールドトンネル内からシールド機が発進することから、既設発進側のセグメントは、シールド機で切削可能なものをあらかじめ使用する必要がある。

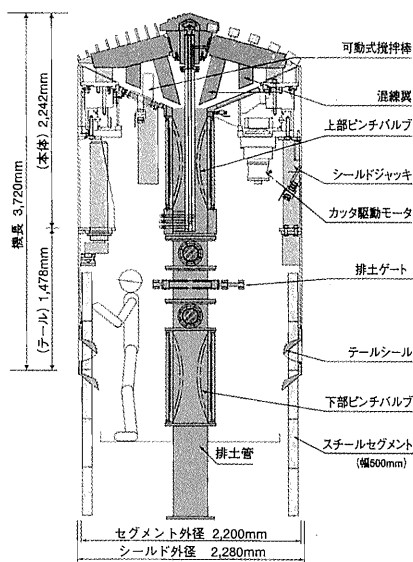
また、シールド機の搬入や坑内に設置する後続設備の坑内スペース、掘削土を搬出する立坑が必要となる。

(3) 上向きシールド機の開発

上向きシールド機を図一1に示す。シールド機の種類は、泥土圧式である。排土機構は、スクリーコンベアを採用し実験を行った。しかし、排土口側での噴発が発生し、切羽土圧を安定に制御できなかつたため、ピンチバルブに変更し圧力制御を可能にした。

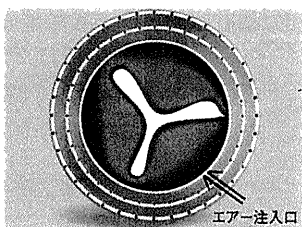
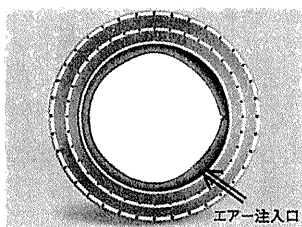
このピンチバルブは排土管内面にゴムスリーブを内蔵し、このゴムを空気圧で膨らませて排土管断面を調節する構造になっており、切羽土圧の制御及び土量管理に重要な役割を果たしている。

図一2にピンチバルブの構造図を示す。



図一1 上向きシールド機

(大阪市の事例)

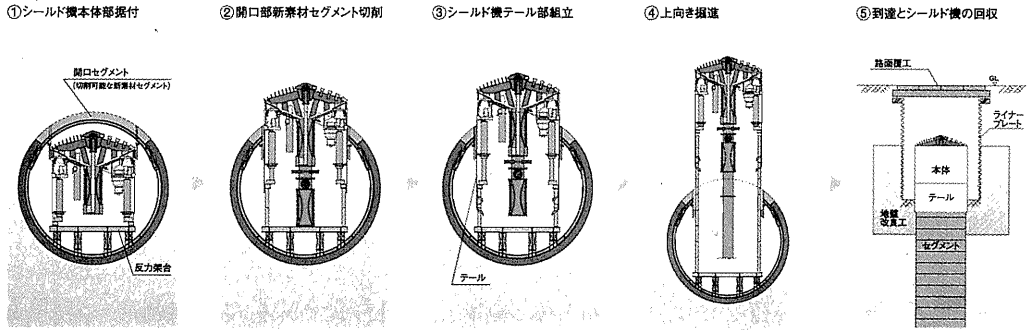


図一2 ピンチバルブの構造図

(4) 施工手順

施工方法は下記に示す順序にて行う。施工順序図を図一3に示す。

- ①シールド機本体据え付け
- ②開口部新素材セグメント切削
- ③シールド機テール部組立て
- ④上向き掘進
- ⑤到達とシールド機の回収



図一3 発進施工順序図（大阪市の例）

3. 実証施工

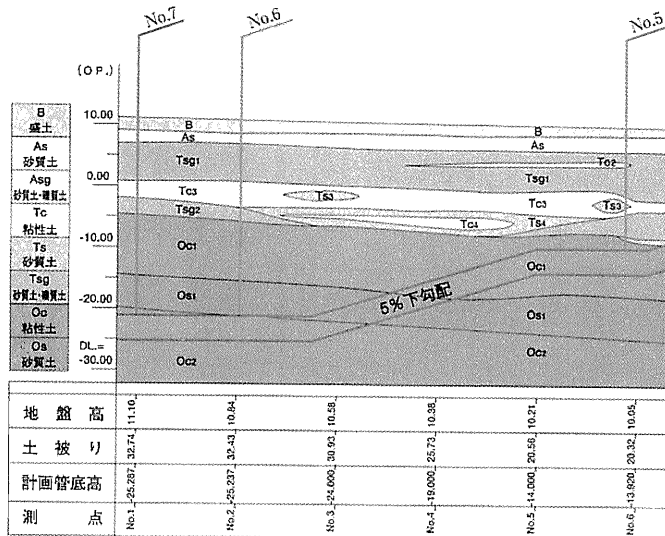
(1) 工事概要

- ・ 工事件名：万代～阪南幹線下水管渠築造工事（その3）
- ・ 工事場所：大阪市阿部野区阪南町2・3丁目
- ・ 工事期間：平成12年9月～平成13年9月
- ・ 発注者：大阪市都市環境局
- ・ 施工者：大成・銭高・久本特定建設工事共同企業体
- ・ 主要工種：流入立坑 3箇所（深さ20.3m～32.8m）

(2) 土質

地質は主に砂質、礫質土（N=30～50）と粘性土（N=10前後）である。

また、地下水位はGL-2.0mと高く、掘削当初は高水圧下での施工となった。地質図を図一4に示す。

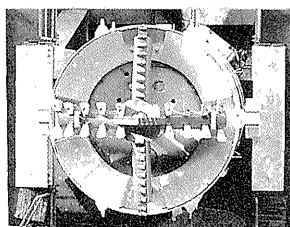


図一4 地質図

(3) 使用したシールド機

掘進方法は泥土圧式で、採用したシールド機の写真を写真—1にその諸元を表—1に示す。

既設トンネル内の開口部セグメント発進の際、シールドカッターがセグメント中心部から切削できるように曲率を描いた配置になっている。またチャンバー内の掘削土を排土口に取り込みやすくするために、バルクヘッドはじょうご状になっている。取り込まれた掘削土は、2本のピンチバルブとその間に設置された排土ゲートを通して。エレクトアーは、立坑径が比較的小さいことと、セグメント分割による重量（約40kg/ピース）の関係から設置していない。



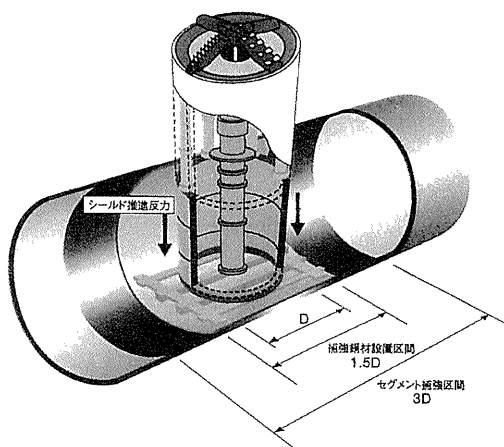
写真—1 上向きシールド機

表—1 シールド機の諸元

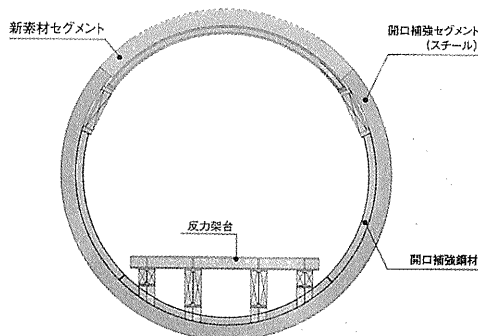
| | |
|--------------|-------------|
| 外 径 | φ2280mm |
| 機 長 | 3720mm |
| 総推進力(ジャッキ本数) | 3922kN (8本) |
| 最大掘進能力 | 20mm/min |
| カッタートルク | 353kN-m |
| カッター回転数 | 3.13rpm |
| 重 量 | 約25t |

(5) 開口部セグメントおよび補強工

シールドトンネル施工時に立坑接続位置に事前に組立てた開口部セグメントは、シールド機で切削する部分に NOMST を使用した。また補強は図—5のように補強タイプのセグメント（幅 750 mm）を開口部 (D) に対して 3D 区間、さらに図—6のようにセグメント内側に鋼材で 1.5D 区間補強を行った。



図—5 補強区間図



図—6 補強断面図

(6) 施工結果

①開口部セグメント切削

開口部セグメント切削時のシールド機のローリングを想定して、シールド機外周に鋼材を設置し防止策（写真—2参照）をとった。

開口部セグメントが小さく破断させ、排土機構の閉塞を防止するために、掘進速度を1mm/分で施工を行った。

②掘進管理

加泥材として高分子ポリマーを主に使用し掘削土の塑性流動化を図るとともに、切羽土圧と排土管理に留意して施工を行った。この結果、ピンチバルブを使用していないNOMST区間を除き、管理土圧内で切羽土圧制御ができた。

③到達およびシールド機回収

今回工事では、将来地上から約7mが人孔となることから、地盤改良後ライナープレートの立坑を設置し、そのなかでシールド機を到達させた。その状況を写真—3に示す。

シールド機は、地上に近づくほど切羽にかかる土水圧が減少するため、この立坑内に水を張り、掘進に必要な切羽土圧を確保し、低速で掘進を行った。

到達後シールド機のテール部を残し本体部をクレーン（100t移動式）にて回収し、次の立坑施工に使用した。

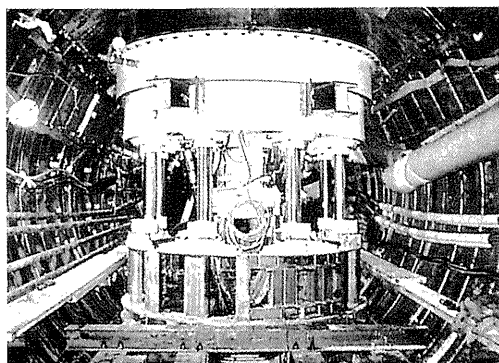
④地盤変状計測

立坑中心から2.5mと5.0mの位置に層別沈下計を設置した。計測した結果、測定値は両計器とも0.4mm以下の値になっており、殆ど変位はなかった。その結果を図—7に示す。

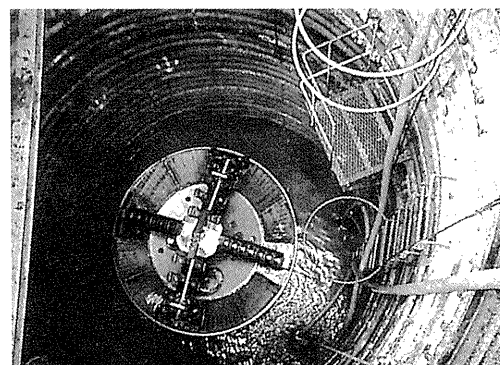
⑤工程

本工事の実施工程を表—2に示す。1箇所の立坑施工工期は、到達立坑の薬液注入工や立坑工に約1か月、地下からの上向きシールドによる施工は約1か月、よって計2か月であった。

これを従来工法（PCウェル工法や深礎工法）では、1箇所につき6か月程度の工程が必要であり、今回の施工では、地上での工事期間の短縮のほか、全体工期の短縮まで可能となった。



写真—2 初期掘進状況



写真—3 到達状況

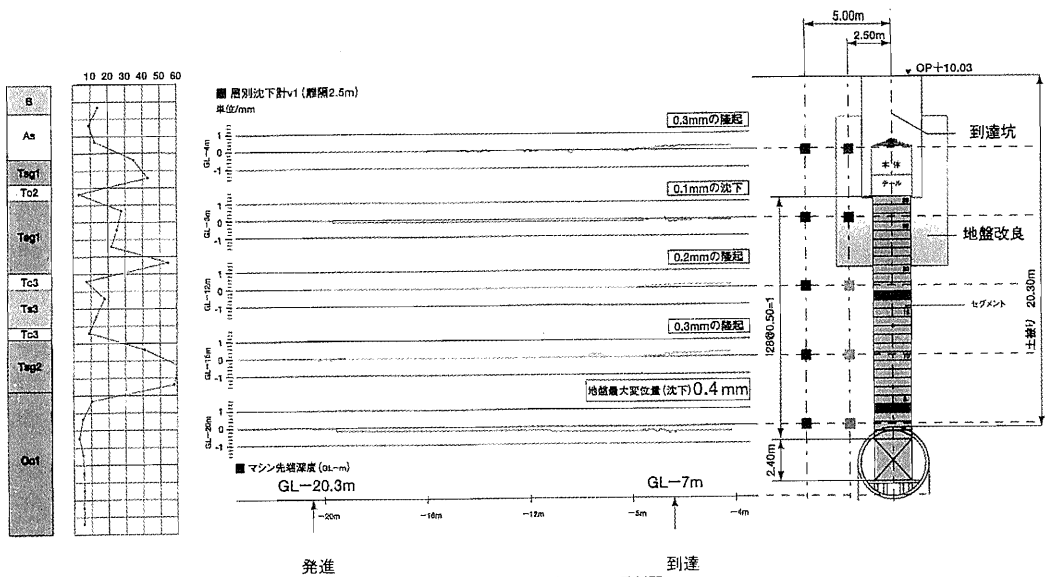


図-7 周辺地盤への影響

表-2 実施工程表

| 年度 | 平成12年度 | | | | 平成13年度 | | | | | | | | |
|------------|-----------------------|-------|---|---|--------|----|----|----|----|--|--|--|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | | |
| 工種 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | | | | |
| シールド機設計・製作 | [Bar] | | | | | | | | | | | | |
| 地上工事 | 薬液注入工 | [Bar] | | | | | | | | | | | |
| | 路面覆工・立坑工 (ライフプレート) | [Bar] | | | | | | | | | | | |
| 坑内工事 | 開口補強鋼材設置工 | [Bar] | | | | | | | | | | | |
| | 反力架台設置工 | [Bar] | | | | | | | | | | | |
| | 仮設備工 | [Bar] | | | | | | | | | | | |
| 本工事 | シールド機組立工 | [Bar] | | | | | | | | | | | |
| | 上向きシールド掘削工 | [Bar] | | | | | | | | | | | |
| | 立坑セグメント接続工 (止水、固定) | [Bar] | | | | | | | | | | | |
| | シールド機解体・運搬工 (設備含む) | [Bar] | | | | | | | | | | | |
| 計測工 | [Bar] | | | | | | | | | | | | |

NO. 5
 NO. 7
 NO. 6
 共通

5. おわりに

本工法は、従来工法である深礎工法や PC ウェル工法と比較し、地上での工事期間を大幅に短縮できた他、層別沈下計のデータから殆ど周辺地盤に影響を与えず、都市機能や生活環境への悪影響を最小限に抑えた優れた工法であるといえる。今後は、実績を増やして工事費のコストダウンを図りたい。

最後に、本工法の実証として、採用して頂いた大阪市、工事を行った大成・銭高・久本 JV の関係各位に感謝し、紙面を借りお礼を申し上げます。

11. 機械式T字接合シールド工法 (T-BOSS工法) のシールド機

東急建設(株)：*平間 利昭、平井 幸雄、
高松 伸行

1. はじめに

近年、都市部におけるシールドトンネルは大深度化、幅員化していく傾向にある。シールドトンネル同士の接合は、接合箇所¹⁾に立坑を設置して行うのが一般的であるが、大深度の立坑を構築するためには費用がかかり過ぎることや、交通量の多い道路上では設置そのものが困難な場合が多く、立坑を必要としない管渠同士の地中接合方法が要求されている。

T字接合研究会¹⁾は、シールド機に格納装備された切削補強リングにより既設トンネルを直接切削・貫入し、新設トンネルをT字形に機械接合する『機械式T字接合シールド工法(T-BOSS工法)』を開発し、東京都下水道局発注のシールド工事にて世界初の実証施工を行うことになった。

本稿では、機械式T字接合シールド工法の概要および実証施工に向けて製作したシールド機について説明する。

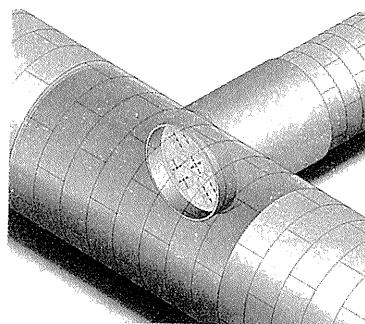


図-1 T-BOSS工法のイメージ図

2. 機械式T字接合シールド工法(T-BOSS工法)の概要

2-1. 工法概要

T-BOSS(T-type basement Branch off Shield System)工法は、シールドに格納装置された切削ビット付きの鋼製リング(切削リング)をカッターヘッドの回転トルクを利用して回転させ、既設管を直接切削・貫入し、新設トンネルをT字形に機械接合する新しいシールド地中接合工法である。(図-1参照)

本工法には以下の2種類の接合方法があり、既設管内作業の制約等の条件により、適切な接合方法が選択可能である。

- ①T-BOSS/S方式・・・切削リングが一重構造で、既設管内に防護コンクリートを設置することにより止水性を確保して貫通する方法。
- ②T-BOSS/W方式・・・切削リングを二重構造とし、外周リングと充填材により止水性を確保した後、内周リングのみ回転しながら押し出し、切削・貫通する方法。

2-2. 工法の特長

以下に本工法の特長を示す。

①接合時の制約条件が少ない

新設トンネル側の作業が主体であるため、既設管が供用中であっても接合可能である。切削ビットは鋼製

¹⁾ 東京都下水道サービス(株)、(株)熊谷組、五洋建設(株)、清水建設(株)、東急建設(株)、西松建設(株)、(株)間組、ジオスター(株)、日立造船(株)、三菱重工業(株)

およびRCセグメントともに切削可能であり、既設管の開口補強など事前準備なしでの接合が行える。

②地盤改良が大幅に低減

切削リングが接合時の山留めと止水の機能を有するため、地盤改良を大幅に低減することができる。

③工期短縮が可能

切削リングによる機械的な接合法のため、安全かつ効率的な接合ができ工期短縮を実現できる。また、地盤改良の低減により、なお一層の工期短縮も可能となる。

3. 実施工への適用

3-1. 工事概要

工事件名: 港区赤坂一丁目、六本木二丁目付近再構築工事

工事場所: 港区赤坂1,2丁目、六本木1,2丁目 (図-2)

発注者: 東京都下水道局 南部建設事務所

施工者: 東急・竹中土木・熊谷建設共同企業体

シールド機製作者: 三菱重工業株式会社

工期: 平成13年5月～平成15年3月

工事内容: 泥水加圧式シールド工法一次覆工

仕上り内径φ2,400mm、施工延長 877.80m

地質: 江戸川層/砂質土層・粘性土層 (図-3参照)

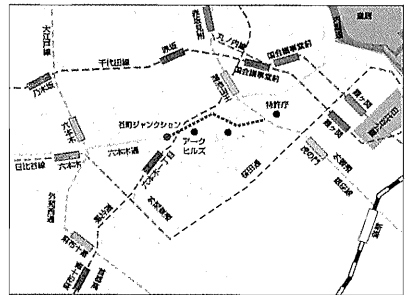


図-2 施工位置図

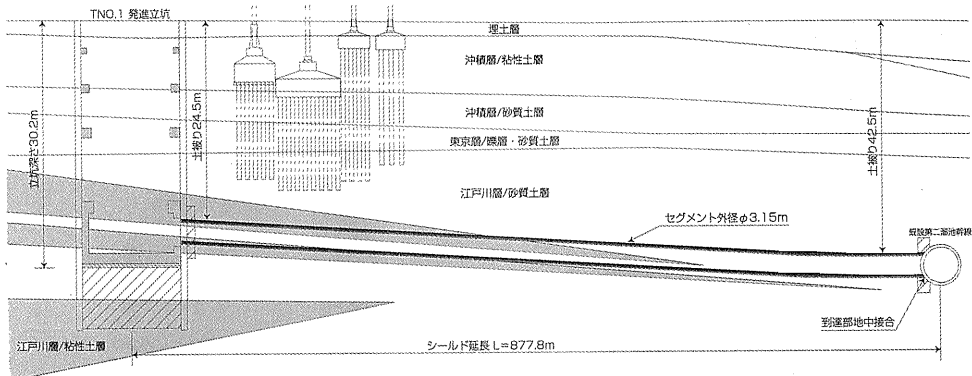


図-3 地質想定縦断面図

3-2. T-BOSS/W 方式の採用経緯

地中接合地点は外堀通りの交差点で交通量も多く、(写真-1) 接合点直上の地下には営団地下鉄銀座線、電力洞道、電力マンホールなどが輻輳しており地上から開削できない状況にある。

また、地下水圧は0.43MPaの高水圧であり、このような厳しい条件のなかで、

- ① 止水対策が確実な工法であること
- ② 既設管渠内の作業が不要であること

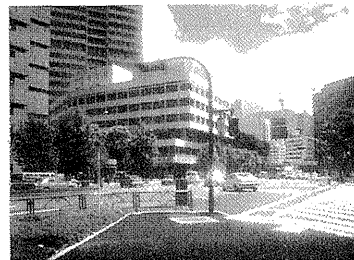


写真-1 到達(地中接合)部

③ 機構的に地山のゆるみが発生しにくいこと

などの理由からT-BOSS/W 工法が最も安全で合理的と判断されて、本工事への採用が決定した。

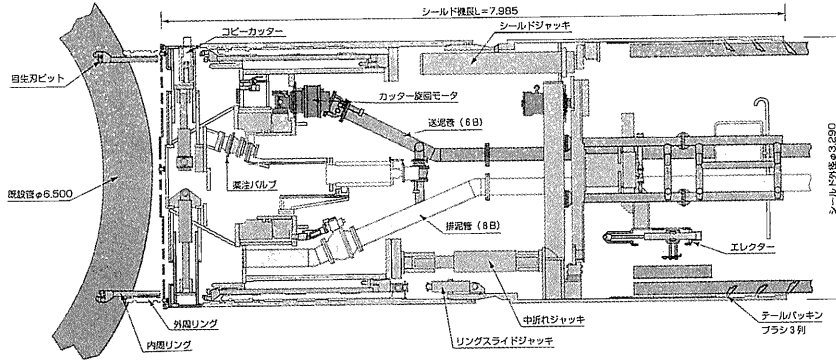
なお、接合先である第二溜池幹線は、仕上り内径 $\phi 6,500\text{mm}$ 、セグメント外径 $\phi 7,750\text{mm}$ で深さ(管芯までの距離)44.1mである。

3-3. シールド機の概要

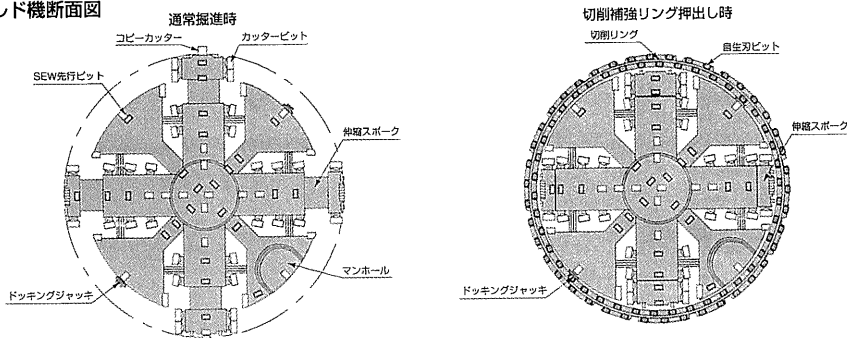
シールド機の全体構造を図-4に示す。シールド外径は $\phi 3,290\text{ mm}$ で機長は前胴内側に切削リング(内周リング・外周リング)が格納装備されていることから、7,985 mmと長いことが特長である。(写真-2参照)

既設管切削時は4本の伸縮スポークを縮め、切削リングをリングスライドジャッキにて前方へ押し出し、ドッキングジャッキをはめ込むことでカッタの回転力を切削リングに伝達させ切削を行う。(写真-3参照)

シールド機側面図



シールド機断面図



シールド諸元

| シールド関係 | | |
|--------------|------------------------|---|
| 名称 | 仕様 | 機 |
| シールドジャッキ | 1200kNx1450x35MPax10No | |
| 切羽単位面積当り推力 | 1412 kN/m ² | |
| シールドジャッキ伸縮速度 | 5.0 cm/min (全数作動時) | |

| カッタ関係 | | |
|-------|--------------------------------------------------|---|
| 名称 | 仕様 | 機 |
| 回転数 | 1.51rpm(常用), 4.6rpm(最大) | |
| 掘削トルク | 442kN・m($\rho=12.4$) 573kN・m($\rho=16.1$) | |

| ドッキング関係 | | |
|---------------|---------------------|---|
| 名称 | 仕様 | 機 |
| カッタスポーク伸縮ジャッキ | 400kNx260x35MPax4No | |
| ドッキングジャッキ | 70kNx75x21MPax2No | |

| 中折 ジャッキ 関係 | | |
|------------|----------------------|---|
| 名称 | 仕様 | 機 |
| 中折 ジャッキ | 1200kNx400x35MPax8No | |
| 中折 角度 | 左 7.5° 右 6.0° 上 1.0° | |

| エレクタ 関係 | | |
|---------|----------|---|
| 名称 | 仕様 | 機 |
| 形式 | リングギヤ門形式 | |
| 回転数 | 2.0 rpm | |
| 回転取扱重量 | 約 210 kg | |

| 切削リングスライド装置関係 | | |
|---------------|---------------------|---|
| 名称 | 仕様 | 機 |
| リングスライドジャッキ | 200kNx250x25MPax8No | |

図-4 機械式 T 字接合シールド機全体構造図

3-4. 切削装置の仕様

本シールド機の接合装置関係の仕様および選定理由について以下に示す。

(1) 切削ビット

- ・切削ビットは棒状の超硬チップを母材に埋め込んだ構造の自生刃ビットを採用した。
- ・切削ズリの排出性を考慮し、所要切削幅 157 mm に対しビットを内・外周に分け、外周側ビットを 40 mm 切羽側に突出させた。
- ・ビット1個の切削幅は 41 mm とし 84 個を装備した。
- ・内周リングのビット間に注水用の切り欠きを設け、注水による切削ズリの排出性向上を可能とした。

(2) 切削リングの構造

- ・噛み込み等の不測事態に備えて後退可能な構造とした。
- ・内周リング溝とカッタ部のドッキングジャッキが正確に収まる様、シールド本体に位置決めピンを設置した。
- ・内周リングのみでの掘削に対応するため、内・外周リング固定用ピン穴を利用し、外周リングとシールド本体を別途ピン接合が可能な構造とした。

- ・土砂侵入を防止するため、内周リング内側に注水装置を装備した。(注水量 10L/min 注水圧 0.5MPa)

(3) 切削リングの回転速度とトルク

- ・五洋建設㈱「鋼製セグメント切削実験結果報告書」平成 11 年 3 月より、安定切削に必要な回転周速は 40m/min 以上とあり、回転数は前述の値を確保できるように 4.6rpm とした。
- ・装備トルクは所要トルクに対する安全率を3に設定し 573KN・m とした。(掘進速度を 1 mm/min に設定し算出)

4. おわりに

今回計画・製作したシールド機は、平成 14 年 3 月に現地に搬入され、7 月末現在で約 200m 地点まで順調に掘進を行っている。

今後、ますます大深度化されていく地下構造物に対応すべく地中接合方式は、さまざまな検討がなされており、本工法もその一役を担う方式として、当現場にてその成果が確認されることを期待される。

最後に本シールド機の採用・計画にあたり、ご指導、ご協力いただいた関係各位に対し、感謝いたします。

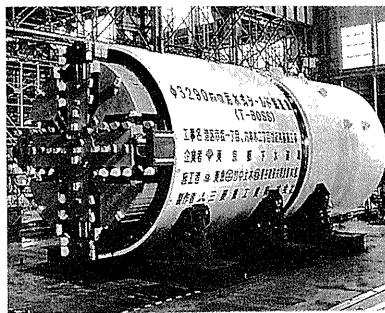


写真-2 シールド機 (通常掘進時)



写真-3 シールド機 (切削リング押し出し時)



写真-4 現地設置状況

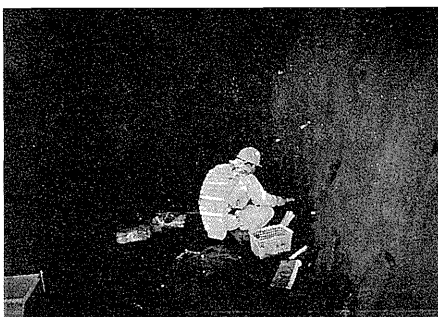
参考文献：1) 松浦将行・小川勝：「切削補強リング付きシールドで地中側面接合 東京都下水道港区赤坂、六本木再構築工事」トンネルと地下 2002.2

12. 山岳トンネル工事における爆薬の遠隔装填システムの導入

(株)熊谷組：*岡田 喬、広瀬 俊文、
岡本 哲也

1. はじめに

現在、山岳トンネル工事においても飛躍的な機械化が進んでおり、現場作業の省力化と安全性の一層の向上が求められている。しかし、山岳トンネル工事で切羽付近における事故発生の可能性は依然として高く、重大災害につながることが多いのが現状である。特に、山岳トンネル工事の掘削で最も代表的な発破掘削方式における爆薬の装填作業は、依然として機械化・自動化が進まず、人力作業が中心となっている。装薬時の切羽は削孔の影響により緩んでいることが多く、肌落ち・崩落の危険性が高い。従って装薬作業は、作業前に切羽のこそくを行って切羽の安定性を十分確保し、プロテクターを着用して配置した看視人共々安全を確認しながらの作業となっている。言い換えると、肌落ちや崩壊発生の可能性のある切羽に密着しなければならない危険作業となっている（写真－1）。



写真－1 切羽に近づいての
人力による装填作業

このような危険性の回避には、装填作業をできるだけ切羽から離れて行うことが、現実的に最も良い手法である（写真－2）。このため、トンネル掘削における爆薬の遠隔装填は、従来から事例は少ないが開発・試作された実績はあったが、すべて実用化に至らなかった。そこで、実用化を念頭におき、これまでの事例での実用化に至る阻害要因を考慮し、爆薬遠隔装填技術の開発を行った。



写真－2 実現した遠隔装填作業

本報文は、火薬類取締法を遵守した爆薬遠隔装填システムの開発と、実用化レベルでの施工技術改善による、実作業における安全性の向上と効率化について報告を行う。

2. 爆薬遠隔装填システムの開発

(1) 開発条件

これまでの事例での実用化に至る阻害要因としては、火薬類の取扱いが人力を基本に制定されている法令のもとで機械化する際の制約・解釈の厳しさ、爆薬・その他装填材料の特注品化の困難さと、装薬の事前準備作業の手間、装置の耐久性を含めた信頼性、さらに機械化の人力に対する煩わしさ等が挙げられる。また、装薬作業は、その取扱いに際して高い安全性と管理を要求される爆薬・雷管の他に、形状の不安定な込め物（タンピング材）という特殊な物を扱わなければならない。

しかしながら、爆薬や起爆法という材料面から新たに開発することは、現実的に多くの障害が予想される。このためできるだけ、現在使用している爆薬・雷管をそのまま使用し、法的にも既に解決されている技術を利用することを原則とし、さらにこれらの開発技術を実用化レベルまで高めることを条件とした。

以上のような点や安全性・効率性を含め、システムの具体的条件は次のようになる。

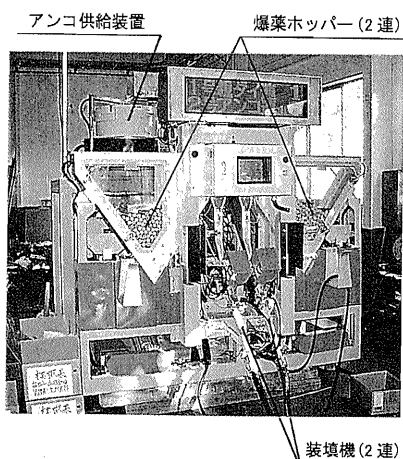
- ① 切羽に密着せず作業ができること
- ② 現在使用している爆薬・雷管を対象にすること
- ③ 法的に解決しなければならない点がないこと
- ④ 爆薬と雷管の取扱いに関しては制御も含め電気を使用しないこと
- ⑤ 雷管には衝撃を与えないこと
- ⑥ 静電気の発生を防止すること
- ⑦ 装薬者が作業の切替え、増しダイの本数指定を手元で簡単にできること
- ⑧ 増しダイ及び込め物を供給装置等に入れる場合、事前の特別な作業を必要としないこと
- ⑨ 爆薬の数量管理が確実にできること
- ⑩ 装薬孔の清掃も切羽に密着せず、確実にできること

これらを踏まえて、本システムは現有材料の使用、余分な準備作業の撤廃、人力作業に劣らない作業性を織り込み、火薬類取締法を遵守した内容で開発した。

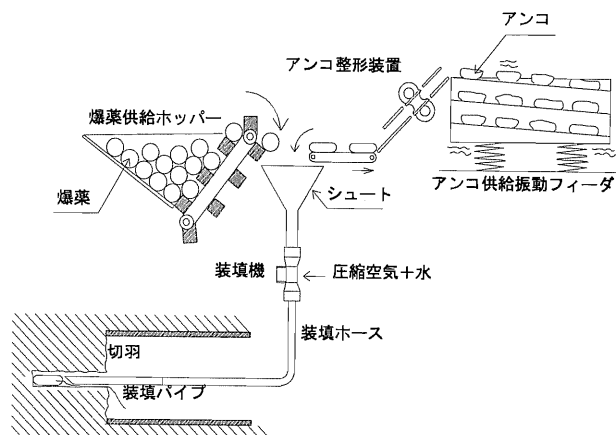
(2) システムの構成

爆薬遠隔装填装置は、爆薬供給・タンピング材供給・装填機の各装置を組み込んだシステム本体（写真－3）と、装填ホース・装填パイプ、手元スイッチから成っている。図－1に装置の構成模式図を示す。なお、爆薬を送る動力は圧縮空気、制御信号は光信号（光ファイバー）として、取り扱いの安全性に万全を期している。また本装置は、これらのシステムを2set 一体としたシステムで構成されている。

装填孔は通常の削岩機で削孔された孔を使用する。遠隔装填では、離れたところから装填孔にパイプ



写真－3 遠隔装填装置本体



図－1 遠隔装填システム構成図

を挿入するため、従来に増して孔内を良好に保つ必要があり、孔内に残った粉や岩片を処理して、障害物のない孔内にする必要がある。従来は、キューレンと呼ばれる耳搔き棒を用いたり、エアブローにより孔清掃作業を行っている。この方法の場合、孔荒れがさらに進行したり、途中で岩片が残ったりすることも多く、確実な方法とは言い難い面がある。これを解決するため、孔壁を乱さずに遠隔で孔清掃ができ、さらに孔内の状態を確認できる機能を有する、バキュームとブローを組み合わせた新方式の遠隔孔清掃装置（ハイブリッドスウィーパー）を同時に開発した。孔清掃装置を写真－4に示す。

以下に各装置の、機能を示す。

(a) 爆薬供給装置

爆薬の形状と性状（紙パイプ内に充填された膠質状のもので、やや不定形でフレキシブル）を考慮して、溝付きフィーダーを壁面に配置した特殊ホッパーと、ファイバー式光電センサーのチェック機構の連動で、確実に指定数量の爆薬をしかも1本ずつ確認しながら装填機に供給する機能を有している。爆薬の通過するこれらの部分は、その他の部分と完全に絶縁しており、爆薬への安全性を確保している。

また、爆薬の供給は、通常の梱包仕様のものを開封しそのまま並べて入れるだけのため、準備作業は全く必要としない。

(b) タンピング材供給装置

粘土性のタンピング材を、フィーダーに投入し、ホッパーの振動フィーダにより自動整列させ、指定本数を計量して装填機に連続供給する機能を有している。また、タンピング材は運搬中に変形することが多いため、所定の形状に整形してカートリッジへの最終の送り込みを行う機能も付加した。

爆薬と同様に、通常の梱包仕様のものを開封・投入するだけでよく、事前の準備作業を全く必要としない。

(c) 装填機

各供給装置より供給された爆薬・タンピング材を装填ホース及びパイプを通して、装薬孔に送り出す装置である。

装填機の主機能は、ファイバー式光電センサーにより、爆薬またはタンピング材の通過を確認し、バルブを閉じ、そこに低圧（0.3MPa以下）のエアを噴射させ、材料をここから送り出して、ホース内をエア搬送させる。また、エアに少量の水を強制的に混入させて、搬送時の静電気の発生と閉塞を防止している。

(d) 装填ホース及び挿入パイプ

装薬ホースは、高い断面保持能力と一定のフレキシブル性を有し、ハンドリングも良く、しかも帯電を防止できる導電性ホースを使用している。さらにホースの内壁にらせん状の溝があり、そこに水を溜めることにより、より静電気発生防止に努めている。また、ホース先端には、絶縁性および剛性が高い



写真－4 孔清掃装置
（ハイブリッドスウィーパー）

軽量のCFRP製のパイプを接続しており、離れた位置から容易に装薬孔に挿入することができるようにしている。

親ダイの装填は、作業者が装填パイプ先端に親ダイを装着し、パイプを装薬孔奥まで挿入し、エアにより孔内に送り出す方式のため、雷管には衝撃が加わらない。雷管の脚線は、パイプの外側を通してあるため、増しダイやタンピング材（アンコ）の搬送・装填時に傷つける危険性はない。なおCFRPパイプの先端は、親ダイをセットしやすくするため、内径をいくらか大きくし、また孔内で圧送エアにより爆薬が隔ったりしないように、エア抜きを工夫している。

(e) 制御及び手元スイッチ

装填操作のための制御信号は、爆薬・雷管への安全性から、電気信号が使用できないため、応答性と安全性を重視し、光ファイバー信号を採用している（写真-5）。

作業者は手元の、光ファイバー式リモコンスイッチにより、親ダイ・増しダイ・タンピング材の順序で、各作業を確認しながら操作信号を出すことができ、その時の作業内容は、リアルタイムに装填機本体の表示器にも表示されている。また、増しダイ及びアンコの本数も手元のスイッチで設定することができる。

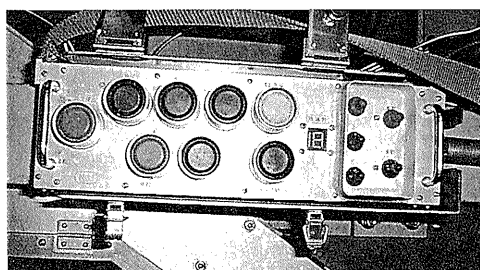


写真-5 手元操作スイッチボックス
(光SW)

制御にはシーケンサーを採用し、ハード及びインターロック回路により、装填ホースの内圧及び静電気防止装置の監視、数量管理、操作ミスによる誤動作防止等の安全対策を施している。

(f) 孔清掃装置

パイプを装薬孔に挿入し、その先端でバキュームと少量のブローをかけ、くり粉や小さなズリをほぐしながら吸い込む。従って、孔壁に必要以上の衝撃を加えないため、孔荒れを最小限に抑えることができる。また、吸い込みが困難な大きな岩片は、バキュームを停止またはそれに近い状態で、ブローを主体に岩片を浮かせ隔らせながらパイプを孔奥へ移動させ、最終的に孔尻に押しやり、岩片を吸い取るのではなく孔奥に置いて来る方式とした。その後、ブローおよびバキュームを切ってパイプを引き抜けば、孔内の障害物を確実に除去できる。なおバキュームのON-OFFは、手元のパイプの握り部で、握り加減で調整できるようにして、操作の簡素化に努めている。孔清掃の手順を図-2に示す。なおバキュームは、圧縮空気を利用している。

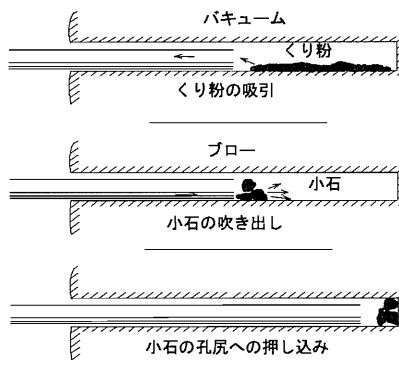


図-2 ハイドロスウィーパー
による孔清掃手順

本装置により、遠隔からのパイプの挿入が確実に行うことができ、孔清掃についても、装薬作業と同様、切羽に密着せずに安全に作業ができ、しかもバキュームパイプを孔尻まで押し込む過程で、そこまでの孔内の清掃状況を確認できる。

(3) 施工法

本システムによる爆薬の装填作業は、図-3のような手順で行う。最終的な結線は、脚線を長めにしておき寄り寄せるようにすれば、切羽から距離を確保することができ、本システムを採用することにより、削孔からすべてを切羽から離れた作業が可能となった。

清掃は、孔内清掃を行いながらスウィーパーのノズルを孔奥まで挿入することで、爆薬を装填可能な状態にあるかどうかを確認する。親ダイ装填は、装填パイプの先端に親ダイを取付け、装填パイプを孔内に収めると同時に孔尻へ親ダイを移送し、親ダイ圧送エアで孔尻へセットする（親ダイ発射）。その後増ダイは、手元の操作ボタンで所定の数量を決定し、パイプを引抜きながら発射指令ボタンにより連続的に孔内を圧送、装填される（増ダイ発射）。すべての増ダイの装填が確認されると、次にタンピング材装填指令で、所定の数のアンコが同じ装填装置を通して圧送される。これらの作業は前述したように、切羽から数m離れた状態で行うことができる。なお、高所はバスケット上から、下部は直接地盤上から行う。これらの作業を孔毎に順次行い、最終的に結線を行う。

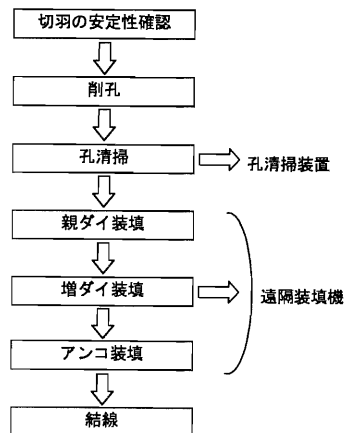


図-3 爆薬装填作業フロー

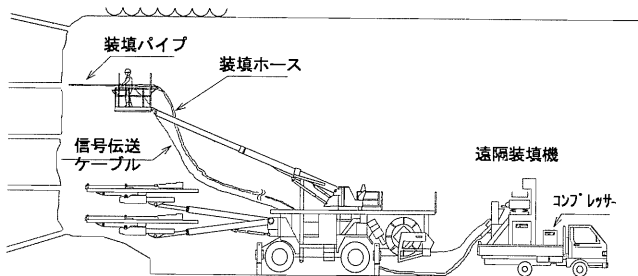


図-4 本システムの全体概念図

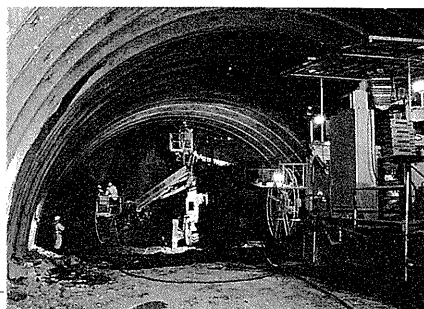


写真-6 遠隔装填作業全景

3. 爆薬装填システムによる効率化

爆薬装填システムは、切羽作業の安全性向上のため、爆薬装填の遠隔操作で爆薬を機械的に取り扱う場合の安全性を実現した。また、本システムによる遠隔装填では、安全性向上の他に、以下の効果も得られた。

(1) 装填率の向上

爆薬装填システムによる装填率は、手動に比べ良好でかつ安定している。爆薬及びタンピング材の両者における模擬孔での実験では、人力に比べ同一材料で充填長が20～30%程度短くなり、孔奥に集中した密装填となる。(写真-7)この結果、爆力が強大かつ安定するため、破碎威力が向上する。



写真-7 模擬孔による本システムでの装填状況(親ダイを除いて増ダイ、アンコすべて個々に装填されている)

これは、従来の詰め棒で充填している方法に対し、本方式では個々の爆薬自身がある一定のスピードで孔内に送り込まれ、その速度の衝撃で個々に押しつぶされるため、個々の爆薬が均質かつ良好に充填できるためである。手動では、爆薬をある本数毎同時挿入してから詰め棒で押しつけて充填させる場合が多く、この方法で、詰め棒に当たった爆薬のみが押しつぶされるため、均一な充填がされにくい。(図-5)

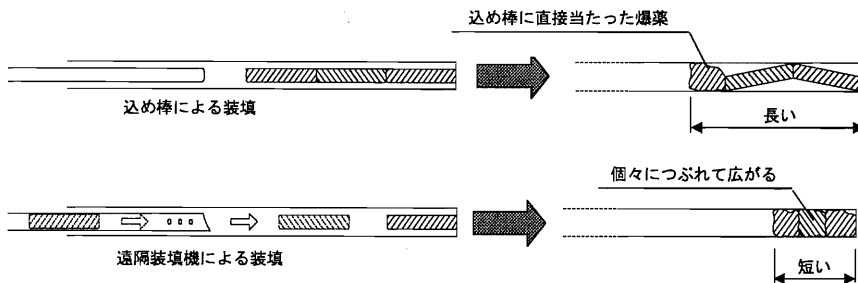


図-5 孔内での充填状況模式図

(2) 人力の装薬作業の改善

人力による装薬作業では各孔に対し、爆薬・タンピング材の挿入から、詰め棒で突いて充填する作業の繰り返しとなる。詰め棒での突き込みは、かなりハードな作業であり、作業環境・姿勢も時には無理な場合もあり、全体として単純繰り返し作業も考えると、かなり苦渋性の高い作業となっている。今回の本システムの採用で作業員からは、苦渋性解消のメリットの評価も高く、彼らの積極的な使用気運が永続的な完全稼働の大きな要因になっている。

以上のように、現在の山岳トンネル工事における切羽での作業環境と作業内容は、安全性の向上の他に、従来から当たり前だと考えられてきた人力中心のトンネル施工における作業性の改善に大きく貢献している。当初の安全性の向上という主目的の他に、品質や機械化による作業性の向上等で大いに効果を上げている。

4. まとめ

爆薬遠隔装填機の開発・実用化により、山岳トンネル発破掘削における爆薬装填作業の安全性が現実的に向上したことはもちろん、切羽近接作業に対する安全意識の高揚にもつながったと言える。安全性の向上のほかに、均質で良好な密装填により、発破効果の向上にもつながり、また従来から当たり前だと考えられてきた人力装薬作業の苦渋性の改善に大きく貢献し、作業の効率化にも寄与していると言える。

今後、爆薬遠隔装填機の使用機会増加により装填機本体の開発製造コスト低減を図り、作業の安全性や苦渋性にコスト評価がさらに高まれば、十分な経済効果につながると考えられる。これにより、山岳トンネル発破掘削方式の標準施工機械として活用していきたい所存である。

13. 三次元TSPシステムの現場への適用

佐藤工業(株)：山本 松生、瀬谷 正巳、
*吉野 隆之

1. はじめに

山岳トンネルにおいて掘削時に切羽前方の地質状況を把握することは、地山に適合する施工法や支保の選定、懸念される事象の対策など事前に準備することが可能となり、工事の安全性および経済性を高める重要な役割を果たすものである。

トンネル工事の設計段階おいての事前調査だけでは、経済的な制約などから施工上必要十分な地質状況が掴み切れていないのが現状であり、事前予測された地質の変化が、切羽面において、いつどのように現われてくるのかどうかは、施工において重要な情報である。したがって最近では、切羽の進行に伴い、または地山性状変化が予測される個所において、切羽前方の地山予測が行われるようになってきている。そして、それらの予測作業は常に、簡易性、明瞭性および経済性が求められるようになってきた。3次元 TSP (TSP : Tunnel Seismic Prediction)システムは、これらのニーズに答えることができるものと考えられる。

本稿は、3次元 TSP システムの概要を紹介するとともに、現場適用事例の予測結果と実際の地山状況との対比、現時点での予測精度や今後の課題等について報告する。

2. 3次元 TSP システムの概要

3次元 TSP システムは、従来の2次元 TSP システムを発展させたもので、山岳トンネルの坑内に1.5m 程度の間隔でトンネルの片側側壁に設けた20 数孔の発振孔から順次小発破を行い、地山の不連続面からの反射波をとらえ、切羽前方に存在する不連続面の位置を推定するシステムである(図-1)。従来のシステムでは、トンネルの軸方向と鉛直方向の2成分の反射波データだけを用いて解析を行うため、地質不連続面(地層境界、断層破碎帯等)の走向・傾斜を推定することが不可能であった。一方、3次元 TSP システムは、トンネル軸方向、鉛直方向および直交方向の3成分の反射波を使うことにより切羽前方の地山変化を3次元的に予測することが可能となった。

予測区間が切羽前方120~150mと長い上、作業および解析に要する時間が短いため先進ボーリングや、他の物理探査より効率的で経済的で

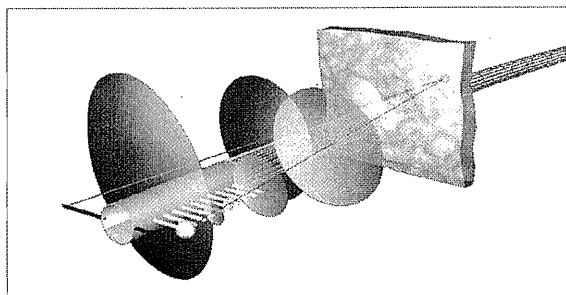


図-1 TSP 概念図

あり、予測結果を2次元および3次的に表すことが出来る。また、切羽前方の弾性波速度や密度、ポアソン比等の地山物性値を推定することが出来ることも大きな特徴となっている。従来のシステムが定性的であったのに対し、3次元 TSP システムは定量的な判断が出来ることから、これからの活用が大いに期待される。

2. 3次元 TSP システム適用実績

3次元 TSP システムの現場適用実績は、現在までに6例である(表-1)。

これらの適用事例のうち、H東トンネルとIトンネルについて予測結果と実際の地山変化の対比を行う。

表-1 3次元 TSP システムの適用事例

| No | 名称 | 発注者 | 掘削方式 | 地質 |
|----|-------|--------|------|------------|
| 1 | Hトンネル | 日本道路公団 | 発破工法 | 斑レイ岩、輝緑凝灰岩 |
| 2 | Tトンネル | 地方自治体 | 発破工法 | 安山岩 |
| 3 | Aトンネル | 北海道開発局 | 発破工法 | 粘板岩、硬砂岩 |
| 4 | Aトンネル | 北海道開発局 | 発破工法 | 粘板岩、硬砂岩 |
| 5 | Hトンネル | 日本道路公団 | 発破工法 | 片麻岩、流紋岩 |
| 6 | Iトンネル | 日本道路公団 | 発破工法 | 片麻岩、流紋岩 |

3. Hトンネル適用例

3-1. 地質概要

予測範囲周辺の地質は、図-2に示すように切羽では変斑レイ岩が分布しており、以後、輝緑凝灰岩、粘板岩が切羽に現われることになっている。

変斑レイ岩は、暗灰色を呈し硬質かつ緻密な岩盤であるが、開口亀裂が発達しているところがある。輝緑凝灰岩は部分的に暗紫色をおび、しばしば粘板岩層を狭在し泥質となる。

粘板岩は、片状構造を有し片理に沿った亀裂が発達している。

TSP 試験は、地層境界の位置、施工上問題となるような風化帯や脆弱帯等の有無、それらの幅および性状を調べるために行った。

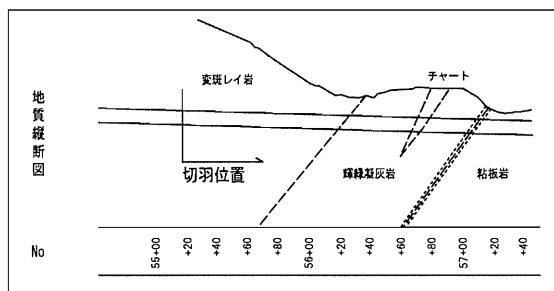


図-2 Hトンネル地質縦断面図

3-2. 予測結果

予測結果と実際の地山変化を縦断面比較図(図-3)と、各反射面間の地山物性値(表-2)

から以下のように予測した。 1) 事前調査で切羽より 100m 前方に予測されている変斑レイ岩と輝緑凝灰岩の境界は、算出された S 波速度および密度の変化から④の反射面位置であり、切羽前方約 70m に存在する。 2) ①～③の反射面は変斑レイ岩の風化帯である。 3) ⑥の反射面は、物性値の変化が非常に小さいことから、地質縦断面図に示されているチャート層ではなく、輝緑凝灰岩の亀裂部である。 4) ⑦の反射面は密度が大きくなるなど物性値は良好な地山の値を示すものの、硬から軟への変化を示す反射面であることから、地層境界を捕らえたものであるが、その地山は風化もしくは亀裂が発達している。

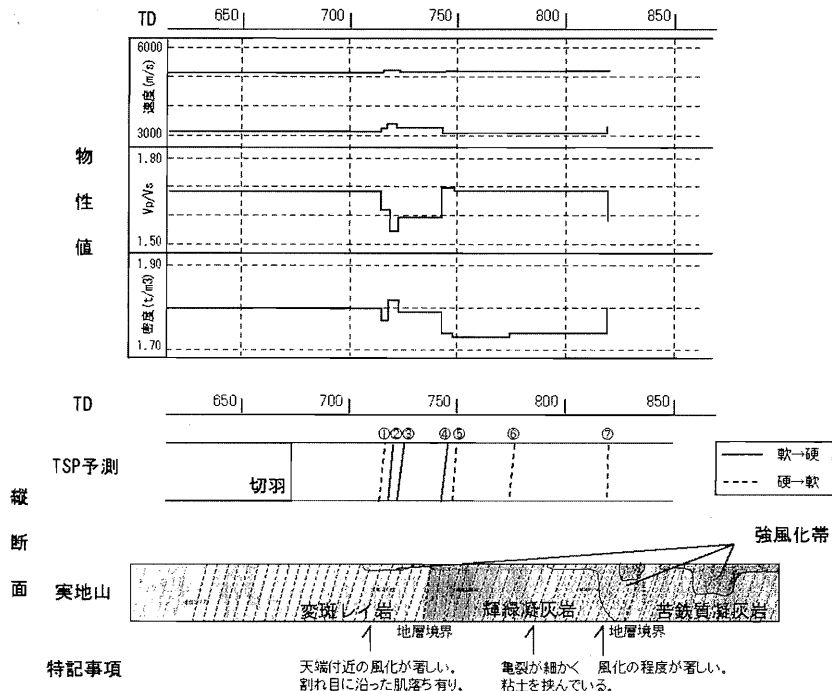


図-3 Hトンネル予測結果および縦断面

表-2 反射面間地山物性値

| No | TD (m) | 切羽から(m) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | Vp/Vs | 密度 (t/m ³) |
|----|--------|---------|----------|----------|-------|------------------------|
| ① | 715 | 41 | 5118 | 3159 | 1.62 | 2.77 |
| ② | 718 | 44 | 5132 | 3311 | 1.55 | 2.82 |
| ③ | 723 | 49 | 5119 | 3219 | 1.59 | 2.79 |
| ④ | 743 | 69 | 5119 | 3029 | 1.69 | 2.74 |
| ⑤ | 748 | 74 | 5126 | 3033 | 1.69 | 2.73 |
| ⑥ | 774 | 100 | 5131 | 3036 | 1.69 | 2.74 |
| ⑦ | 819 | 145 | 5125 | 3244 | 1.58 | 2.80 |

*No に示した物性値は、次の反射面までの物性値を示している。

3-3. 地山対比

予測結果と実際の切羽観察記録との比較を表-3に示す。予測では、④反射面位置 (TD743m) で変斑レイ岩と輝緑凝灰岩の地層境界が現われると予測したが、実際は、TD737m で現れ、予測結果に6mのずれが見られた。①～④の反射面間で予測した変斑レイ岩の風化帯についても、幅はほぼ正確に予測されているが、地層境界同様7mのずれがあった。⑦反射面で予測した輝緑凝灰岩と苦鉄質凝灰岩の地層境界については、実際より20mほど手前に予測されたが、予測位置からの輝緑凝灰岩は、強風化を受けており亀裂が非常に発達していたためウレタン注入を施しながらブレーカ掘削を行った。予測では、⑦反射面以降亀裂が発達した強風化帯を予測していたことから、予測精度は良好であったといえる。

表-3 予測結果と地山変化の対比表

| TD | TSP予測結果 | 地質区分 | 切羽観察記録 |
|-----|------------------------------|--------|---------------------------------------------|
| 650 | 674 予測時切羽 | | 674 予測時切羽 |
| 700 | 715 ①反射面 強風化帯 743 ④反射面 | 変斑レイ岩 | 708 風化変質が激しく強度低下。茶褐色に変色し肌落ちが見られる。 737 |
| 750 | 774 ⑥反射面 亀裂部 | 輝緑凝灰岩 | 783 天端部は亀裂が発達。間隔は10cm程度。亀裂に粘土を挟む。 |
| 800 | 819 ⑦反射面 | | 820 天端部は風化が激しく亀裂が発達。間隔は10cm程度。亀裂に粘土を挟む。 |
| 850 | 強風化帯 | 苦鉄質凝灰岩 | 837 強風化帯でブレーカ掘削を行い、亀裂が発達しウレタン注入を行った。 |

4. Iトンネル適用例

4-1. 地質概要

この地域は、古生代の飛騨変成岩類を基盤とし、その上部に中生代後期～古第三紀の濃飛流紋岩類が分布している。また、岩脈として新第三紀の貫入岩類が、飛騨変成岩類および濃飛流紋岩類を貫いている。

トンネル施工区間においては、濃飛流紋岩が分布している。濃飛流紋岩類は主に流紋岩、凝灰角礫岩、溶結凝灰岩からなる。流紋岩溶岩は、堅硬緻密であるが節理を伴っている。凝灰角礫岩は塊状で風化するると軟質化しやすく、溶結凝灰岩は、風化すると亀裂が発達する。

試験当日の切羽は、湧水もなく全体に

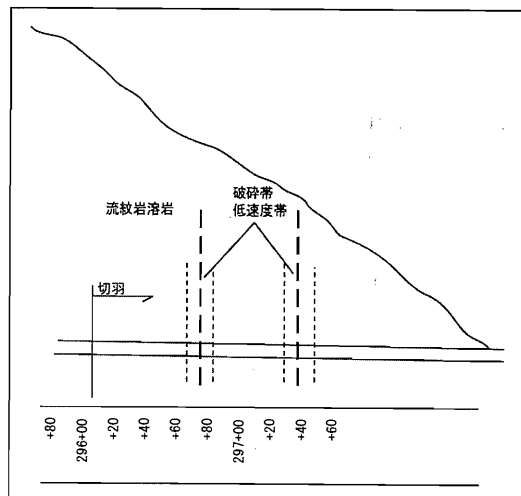


図-4 Iトンネル地質縦断面図

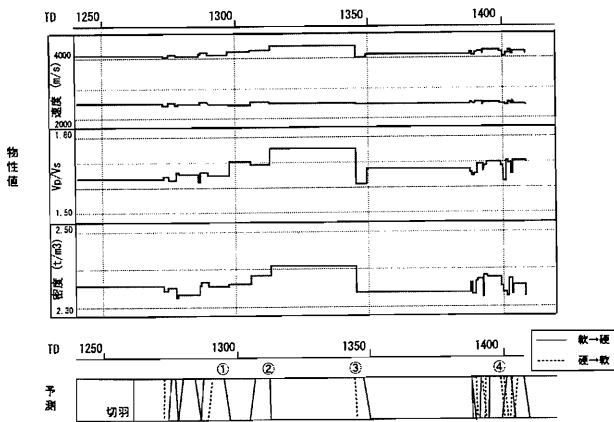
流紋岩溶岩が現われていた。流紋岩溶岩は堅硬であるが節理をともっており、その間隔は、70cm 程度から一部数 cm であった。節理の方向は、おおむねトンネル軸に対し、鋭角に交差し急角度の差し目を呈していた。

事前調査では、今後 2 つの弾性波速度低速度帯の通過が予測される（図-4）。そこで三次元 TSP システムを使用して、その低速度帯の位置・幅および性状を確認することを目的として行った。また、切羽手前の複数の水抜き孔からは 10% 程度程度の湧水が見られることから地下水に対する予測も期待された。

4-2. 予測結果

予測結果の 2 次元縦断面図と、弾性波速度、 V_p/V_s および密度のグラフを図-5 に示す。

1) 切羽より②の反射面までは、切羽同様に流紋岩溶岩が、節理や亀裂などを伴いながら硬軟を繰り返す。 2) ②～③の区間は、P 波速度や密度が高くなっていることから、節理・亀裂の少ない流紋岩が現われる。



を繰り返す。 2) ②～③の区間は、P 波速度や密度が高くなっていることから、節理・亀裂の少ない流紋岩が現われる。

3) ③の反射面は、前後の物性値の変化が大きく、地山の強度が下がる値を示すことから、地質状況が大きく変化し、③～④の区間は、強風化を受けて脆弱な地山となる。 4) ④の反射面密集帯は、弾性波速度および密度の変化が著しいことから、流紋岩破碎帯である。 5) 予

図-5 I トンネル予測結果

測目的であった 2 つの低速度帯は、③～④までの風化脆弱帯と、④付近の破碎帯として切羽に現われる。

4-3. 地山対比

I トンネルの予測対比を図-6 に示した。

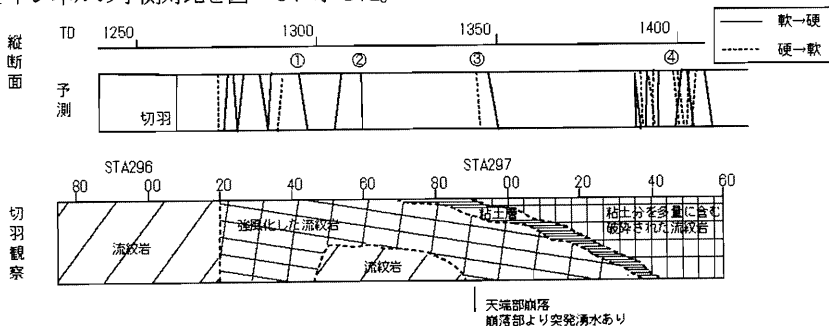


図-6 I トンネル縦断面比較図

予測結果では②の反射面まで、試験時切羽と同等の流紋岩溶岩が、硬軟を繰り返すと予測したが、実際は一番手前の反射面の位置から②の反射面の位置まで、流紋岩溶岩の風化の程度が著しく、②までの反射面は、強風化帯であった。

②～③の反射面間に現われると予測した節理・亀裂の少ない緻密な流紋岩溶岩は、実際も現われ、その範囲と位置および幅は正確に予測された。しかし、緻密な流紋岩溶岩の上部には強風化した流紋岩が続いていた。

予測した③反射面以降の脆弱帯は、実際に厚さ 2 m 程度の粘土層が予測位置から切羽にみられるようになり、その後も粘土分を多量に含む破碎された流紋岩が続き、予測結果と良い一致を示した。しかし、出現した粘土層の傾斜は緩やかであった。また施工時、③反射面付近では、天端に現われた粘土層が崩落し突発湧水が発生した。

このように、トンネルに対し緩やかな傾斜を持つ地層境界や、貫入岩帯・不整合などの地層境界の予測は TSP の基本原理から予測困難な場合が多く、十分な注意が必要であることを示している。

5. 今後の課題

前述のように、3次元 TSP システムは、反射面の情報以外に反射面間の地山物性値を得ることが出来るため、その反射面が地層境界なのか亀裂帯なのか風化帯なのかといった、地山の性状を踏まえた予測が可能である。そして、その精度も数 m の範囲であり、施工時の切羽前方探査において、有効な手段であるといえる。

I トンネルの場合のように、トンネルに対し緩やかな傾斜を有する不連続面、または、貫入岩帯や不整合などが予想される状況では、事前調査を元にした地質学的判断が重要となってくる。

今後の大きな課題の一つとして、地質状況の予測の他に施工の安全性および経済性に大きく影響する地下水の予測があげられる。前述の I トンネルでは、③反射面付近にて切羽崩落に伴う突発湧水が発生したが、現段階では適用事例が少なく、反射面や物性値から地下水の存在を判断するには至っていない。

これらを解決していくためには、積極的に現場での適用を行いデータの蓄積を行うことが必要である。そして、最終的には、支保パターンの選定や補助工法の必要性の判断まで行えるようなシステムとしての精度向上を図る必要がある。

14. New PLS工法の施工への適用

日本道路公団：及川 淳、

ハザマ：芳賀 佳之、*宮崎 航

1. はじめに

New PLS(Pre-Lining Support)工法は、軟質な地山や土被りの薄いトンネルにおいて山岳工法で施工する場合に適用される工法で、プレライニング工法のひとつである。トンネル掘削に先立ち、切羽のトンネル外周部を、チェーンカッタを保有した機械により切削しながらコンクリートを即時充填、奥行き3.0m、厚さ40cmのアーチシェル状のプレライニングを構築し、その後、トンネル内部を掘削する。プレライニングは剛性が高く、掘削後の支保の役割も果たすため、安全に掘削でき、地表沈下の低減等、周辺地山への影響を抑制できる。

本工法の施工実績は3件あるが、最新事例では先受け長を従来の2.0mから3.0mに変更し良好な結果を得た。本文では、New PLS工法の概要、機械の概要、施工実績について報告する。

2. 工事概要

横浜横須賀道路は一般国道16号のバイパスとして計画され、横浜市保土ヶ谷区狩場町から横須賀市佐原一丁目までの区間(L=28.5km)は既に供用しており、三浦半島の基幹道路としての役割を果たしている。当道路は東京湾岸に位置する横須賀市馬堀海岸までの延長4.3km区間が延伸され、馬堀海岸で国道16号と結ばれる。

吉井トンネルは本延伸事業の一部で、横須賀市吉井町に位置する延長346.5mのトンネルである。(図-1参照)。

本トンネルは数年前に施工された盛土がトンネル延長の約半分に分布している。盛土は非常にルーズな上に、土被りが7~11mと薄く、地表にはインフラが埋設されている市道が横断するなど非常に厳しい条件であるため、New PLS工法を用いて施工を行った。

工事名称：横浜横須賀道路吉井工事

道路名：横浜横須賀道路

路線名：一般国道16号線

車線の幅員：3.5m×2車線(暫定2車線)

施工場所：神奈川県横須賀市吉井～浦賀2丁目

工期：平成10年6月26日～平成13年8月28日

トンネル延長：346.5m

掘削工法：New PLS工法(全断面掘削工法)

掘削方式：機械掘削方式(ツインヘッド)

ずり出し方式：タイヤ方式

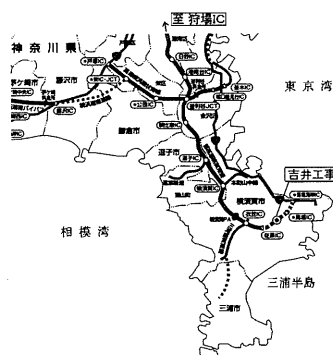


図-1 工事位置図

3. 地形・地質概要

トンネルは、急峻な丘陵地を宅地造成のために平坦に切土・盛土した箇所位置する。

付近の基岩は三浦層群逗子泥岩層である。泥岩層の一軸圧縮強度は1.7~10.8MPaであり、新鮮部で平均7.3MPa、風化部で平均2.5MPa程度である。盛土部は切土発生材を使用して数年前に盛土されたもので、非常にルーズである(平均N値13)。この盛土が切羽に出現する区間の延長はトンネル全線の約半分(約150m)を占めていた。

4. New PLS工法

(1) New PLS工法の概要

New PLS工法は北陸自動車道名立トンネルにおける試験施工及び、横浜新道(拡幅)保土ヶ谷トンネルにおける拡幅施工に続き3例目である。

本工法はプレライニング工法の1つであり、トンネル掘削に先立って切羽前方のトンネル外周に縦断長さ3m、厚さ40cmのスリットコンクリート(プレライニング)を構築し、その後にトンネル掘削(1進行長3m)を行う工法である。スリットコンクリートの構築は切羽前方のトンネル外周をチェーンカッターで切削し、コンクリートを即時充填するため、地山の緩みをほとんど発生させることなく施工できる。図-2にNew PLS工法の施工概念図を示す。また、写真-1に構築したスリットコンクリートを示す。

(2) 支保パターン

New PLS工法においては、スリットコンクリート(プレライニング)が先受け及び支保の役割を果たす。このため、吹付けコンクリートやロックボルトは不要である。吉井トンネルで使用した支保パターンの一覧表を表-1に示す。

盛土部においては、地耐力確保の目的で脚部改良工(地表より高圧噴射攪拌工法により施工)を施工した。

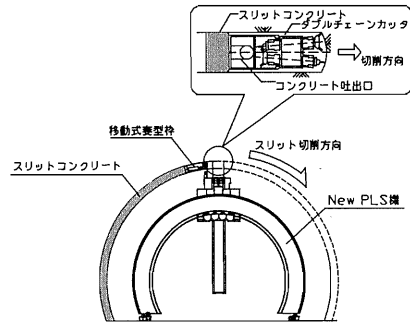


図-2 New PLS工法施工概念図

表-1 吉井トンネル支保パターン一覧表

| パターン | プレライニング | 鏡補強 | 地耐力不足対策 |
|--------------|----------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|
| DⅢa-1 | スリットコンクリート t=40cm | なし | なし |
| DⅢa-2 | スリットコンクリート t=40cm | 鏡吹付けt=5cm | なし |
| DⅢa-3 (a) | スリットコンクリート t=40cm | 鏡吹付けt=5cm 長尺鏡ボルト L=12m(縦断間隔 6m毎に打設) | なし |
| DⅢa-3 (b) | スリットコンクリート t=40cm | 鏡吹付けt=5cm 長尺鏡ボルト L=15m(縦断間隔 9m毎に打設) | 脚部補強工 仮インハート吹付け (t=25cm) |

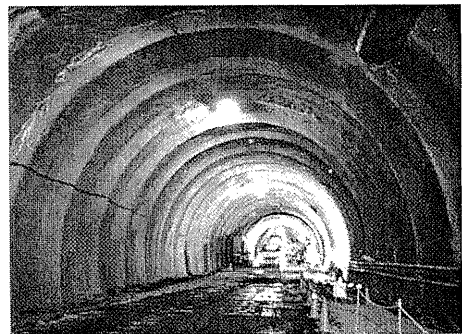


写真-1 構築したスリットコンクリート

(3) 施工順序

吉井トンネルにおける施工順序図を図-3に示す。吉井トンネルでは1進行長を3mとした。特に泥岩部での施工はスリットコンクリートの構築と掘削のみであり、非常にシンプルなサイクルとなることが特徴である。

(4) New PLS 機

本トンネルでは、保土ヶ谷トンネルに比べスリットコンクリート長さ(以下スリット長)を長くし、対象地山として一軸圧縮強度10MPa程度の泥岩も切削することから、機械の切削能力を向上させた。

表-2に本トンネルと保土ヶ谷トンネルのNew PLS機の

主な仕様を、表-3に機械の仕様を示し、図-4に本トンネルのNew PLS機構造図を、写真-2に機械全景、写真-3にチェーンカッタを示す。

(5) スリットコンクリート

New PLS 工法においては、スリットコンクリートが先受け及び支保の役割を果たす。スリットコンクリートが先受け及び支保の品質を確保するためには、確実な充填性(スランプの確保及び保持時間の調整が必要)、妻型枠通過後のコンクリート端部の自立性(急結剤

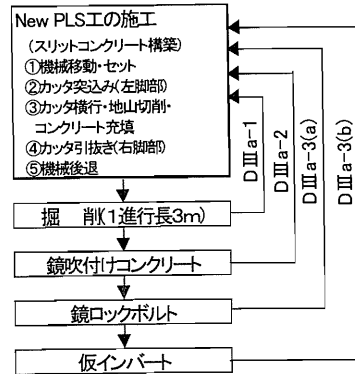


図-3 施工順序図

表-2 New PLS 機の主な仕様

| トンネル名 | 吉井トンネル | 保土ヶ谷トンネル |
|--------|-----------------|----------------|
| 断面 | 2車線 | 3車線幅 |
| スリット長 | 3.0m | 2.0m |
| スリット厚 | 40cm | 40cm |
| 油圧ユニット | 132kW*400V*50Hz | 90kW*400V*50Hz |
| 切削横行速度 | Ave. 10cm/min | Ave. 15cm/min |
| 総質量 | 125t(レール含む) | 105t(レール含む) |

表-3 機械主要仕様(吉井トンネル)

① New PLS 機

| 品目(項目) | 仕様 | 数量 |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 油圧ユニット [1] | 電動機 132kW×400V×50Hz 可変ポンプ (Max. 40cc/rev) | 1式 |
| 油圧ユニット [2] | 電動機 11kW×400V×50Hz ギヤポンプ 15.6cc/rev×2 | 1式 |
| カッタ | 走行速度 Max. 44m/min 掘削力 Max. 18.5 t (スラット接続力) 駆動装置 100kw相当減速機付油圧ユニット | 2式 |
| 横行装置 | 横行速度 Max. 200mm/min 横行力 Max. 35 t 駆動装置 6.6kw相当減速機付油圧ユニット | 4台 |
| 本体走行装置 | 走行速度 0~5.6m/min 走行移動力 Max. 9.5 t 駆動装置 6kw相当遊星減速機付油圧ユニット | 2台 |
| アトミック | ストローク 550mm 支持力 Max. 100 t | 4台 |

② ポンプ関係

| 品目(項目) | 仕様 | 数量 |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|----|
| コンクリート圧送ポンプ | 駆動装置 シンテック MKW-25SNT 駆動方式 25kW×400V×50Hz三相誘導電動機 インバート制御、遠隔操作方式 | 1式 |
| 急結剤ポンプ | 駆動装置 ベジメ-ノポンプ 駆動方式 0.4kW×200V×50Hz三相誘導電動機 インバート制御、遠隔操作方式 | 1式 |

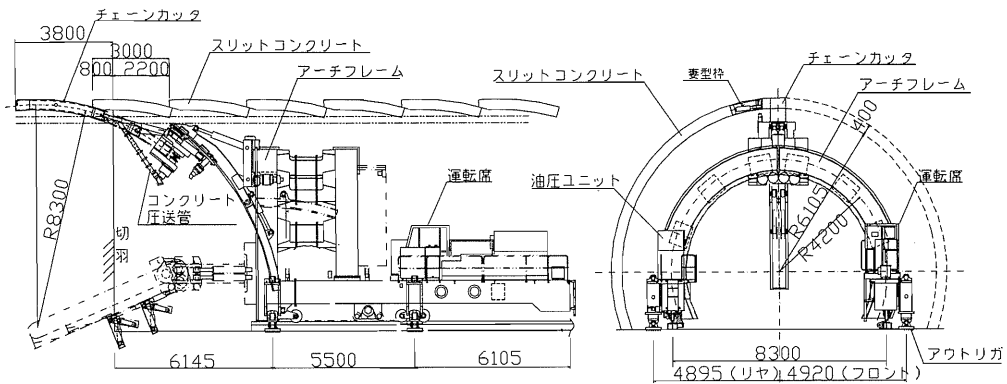


図-4 New PLS 機構造図

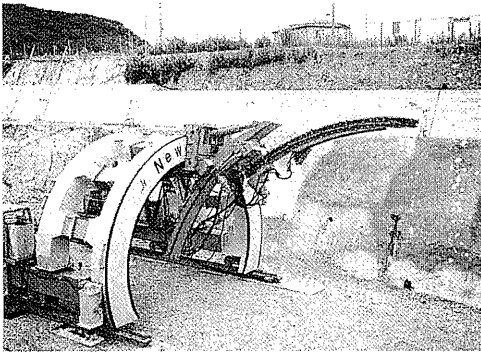


写真-2 New PLS 機全景

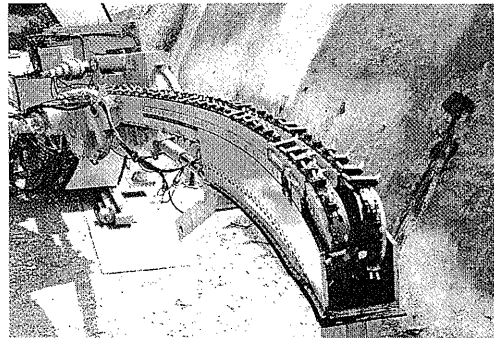


写真-3 チェーンカッタ

添加後に自立する事が必要)及びトンネル掘削時に必要な初期強度発現が必要である。表-4にスリットコンクリートの要求品質を示す。

表-4に示したようにスリットコンクリートは流動性の確保と初期の強度(自立性含む)という相反する性能が要求されるコンクリートである。

5. 施工状況

(1) New PLS 施工状況

スリット長3mの施工は本トンネルで初めて採用することから、施工当初は機械に関するトラブルが発生した。しかし機械の改良を行ったことにより、概ねスムーズな施工が出来た。特に保土ヶ谷トンネルで多発した妻型枠通過後のコンクリートの漏れはほとんど発生しなかった。これは、New PLS 機の切削横行速度の変更によりスリットコンクリート自立時間が12分(保土

表-4 スリットコンクリートの要求品質の比較

| トンネル | 吉井 | 保土ヶ谷 | 目的 |
|----------|--------------------------|--------------------------|------------------|
| スランプ | 20±2.5cm | 20±2.5cm | スリット内で確実に充填可能である |
| スランプ保持時間 | 90分 | 120分 | |
| 自立時間 | 打設12分後で自立 | 打設8分後で自立 | 妻型枠撤去時に自立する |
| 初期強度 | $\sigma_{R1} = 3N/mm^2$ | $\sigma_{R1} = 3N/mm^2$ | 掘削時の支保効果発揮 |
| 設計標準強度 | $\sigma_{R1} = 18N/mm^2$ | $\sigma_{R1} = 18N/mm^2$ | 吹付コンクリートと同様 |

ヶ谷8分)となったことが大きく影響していると考えられる。

掘削の進行はDⅢa-1 区間で約 60m/月、DⅢa-3(b)区間(鏡吹付け、鏡ボルト、仮インバート)で約 40m/月程度であった。

(2) サイクルタイム

吉井トンネルにおけるNew PLS工のサイクルタイム実績を表-5、図-5に示す。

表-5 New PLS工サイクルタイム実績(平均)

(単位:分)

| 路盤整備・準備 | New PLS機セッ | 左脚部 | 横行 | 右脚部 | 片付 | 合計 |
|---------|------------|-----|-----|-----|----|-----|
| 64 | 82 | 158 | 279 | 118 | 45 | 746 |

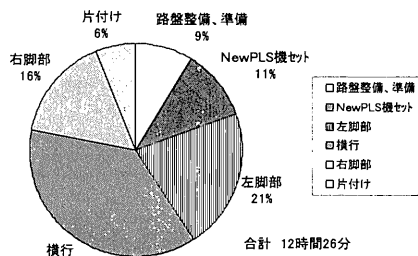


図-5 New PLS工サイクルタイム(平均)

(3) 運転管理

運転管理は、基本としてスリットコンクリートの品質確保を目的とし、以下の管理を行った。

① スリットコンクリート充填率の確保 (100%以上)

カッタの横行速度とコンクリート圧送量のバランスを確認しながら、お互いの速度調整を行う。また、実際のコンクリートの充填を管理する目安として、充填したコンクリートと接するカッタフレームにある圧力計(以下跡圧)により、横行角度に対する跡圧を管理する。

② スリットコンクリートの連続性の確保

スリットコンクリートは無筋コンクリートであるため、連続施工を保たなければならない。したがって、カッタチェーン圧力(以下チェーン圧力)を管理することで、如何にカッタ横行を止めないで施工することが重要となる。チェーン圧力は同じ横行速度でも地山の状況・横行

の角度によって変化するため、その都度の状況により横行速度・コンクリート圧送量等を調整する。

表-6に運転管理基準を、図-6に横行角度と跡圧の関係を示す。

表-6 運転管理基準

| 項目 | 管理基準 |
|-----------|-----------------------------|
| 横行速度 | チェーン圧の回転可能圧力以下で横行可能速度を判断する。 |
| チェーン圧 | 回転可能圧力以下で管理する。 |
| コンクリート圧送量 | 横行速度と跡圧のバランスで管理する。 |
| 跡圧 | 横行速度とコンクリート圧送量のバランスで管理する。 |

(4) 維持管理

New PLS機による施工は、5日/週(20日/月)稼働、1日/週の機械整備とした。また、New PLS機の消耗部品実績は、カッタ用ピック、カッタライナ、カッタチェーンが主なものとなった。

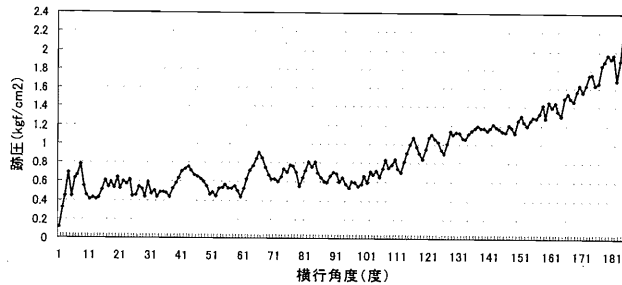


図-6 横行速度と跡圧の関係(施工例)

(5) 計測結果

施工後の内空変位は3mm以下であり、微少な値であった。また、地表沈下量は最大で20mm程度以下であった。

特に盛土区間に位置する道路部の地表面沈下量は、許容沈下量20mmに対し15mmで収束した。

また、鉄塔基礎の相対沈下量は1.3mm程度であり、許容値内で収束した。

6. おわりに

New PLS 工法の施工を行い、以下の事項が確認出来た。

- ① New PLS 機のスリット長を3mとし、切削能力を向上させたが、施工については問題はない。
- ② 吉井トンネルにおいては湧水によるコンクリートの流出については施工上問題とならなかった。吹付けが施工可能な湧水程度であれば、施工可能と考えられる。
- ③ New PLS 工法は地表沈下抑制効果が高い。
- ④ 同規模の補助工法を用いたNATM(例えば AGF 等)に比べ、工期短縮・工費節減が可能であった。ただし、補助工法なしのNATMと比べると、工期・工費とも増えるため、トンネル全線を通して検討が必要である。
- ⑤ プレライニング工法の施工にあたり、トンネルの安定性確保及び地表などの周辺地山の挙動抑制には、トンネル脚部の安定確保が非常に重要であることを再確認した。
- ⑥ スリットコンクリートは無筋構造物であり、許容変位量はNATMに比べ小さい。このため、脚部地山の支持力の確認(設計時は原位置試験等、施工時は地山観察等)を充実させるとともに、支持力が不足する場合は脚部補強工(仮インバート、フットパイル、地山改良等)で対応する必要がある。
- ⑦ New PLS 工法施工時の発生粉じん量は非常に少なかった。

New PLS 工法は今後増加する都市部での山岳工法の施工において、非常に有効な工法であると考えられ、今後同種の工事をする際の参考となれば幸いである。

15. 移動式プロテクタを用いた発破による トンネル活線拡幅工法(エルトン)の施工

佐藤工業(株)：*山本 徹、今岡 彦三、
稲童丸 征巳

1. はじめに

エルトン (Enlargement of Live Line Tunnel Method) は、プロテクタを移動式とし、発破工法が可能なトンネル活線拡幅工法であり、移動式プロテクタの構造は、作業時には一車線の交互交通を確保し、休工時に脚壁が上げられ車線を増やすことが可能な構造である。活線拡幅工事は、道路構造令の一部改正によるトンネル部の幅員縮小規定の廃止や交通量の急激な増加、老朽化したトンネルのリニューアルなどに対応するものであり、本工法は、一般的に行われているプロテクタをトンネル全線にわたって設置して機械掘削工法のみによる施工等による工事中的交通への支障、施工費、工期等を大幅に改善するものである。

平成13年度に「トンネル活線拡幅工法の移動架台(プロテクタ)の開発」で、開発した移動架台(プロテクタ)を採用した場合のトンネル活線拡幅工事について、その概要と有効性について報告した。

本報では、エルトンを初めて導入した一般国道229号岩内町敷島内トンネル工事における施工を、移動式プロテクタ仕様と発破による安全管理を中心に報告するものである。

2. 工事概要

国道229号線の岩内町から寿都町方面の約10kmの区間は、この地方の基幹を成す道路である。しかし、昭和37年に竣工し近年老朽化が目立ち、またトンネル部は幅員縮小規定が適用されて狭小であることから、国土交通省北海道開発局小樽開発建設部により長大トンネルの新設および既設トンネルの拡幅工事を含む岩内道路改良事業が進められている。

敷島内トンネルは、岩内町市街から約5km地点で海岸沿いに位置し、幅員6.0mで大型車の交差が困難であり、新設トンネルによる迂回ルート設定が困難であるため、本トンネルの拡幅を行うことが計画された。しかし、敷島内トンネルは1日の交通量が比較的少ないものの近くに迂回路がなく、流通や生活の基幹を成す本路線を工事の全期間中に全面通行止めとすることはできなかった。

よって、一般の通行を確保したままの活線による拡幅工事が計画された。本工事の施工は、地山が安山岩主体の硬岩地山であり、効率的な施工を行ううえでも発破掘削の採用が不可欠であった。

工事の主要諸元を表-1に、標準断面図を図-1に示す

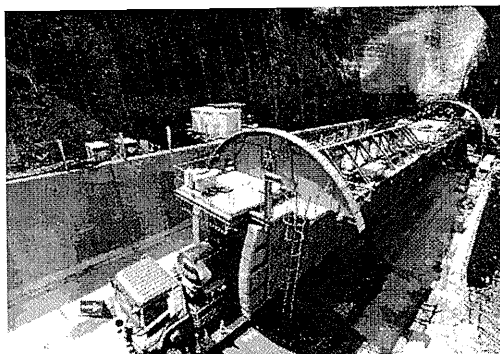


写真-1 移動式プロテクタ設置状況

表-1 主要諸元

| | |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工事名称 | 平成12年度施行 一般国道229号岩内町敷島内トンネル工事 |
| 発注者 | 国土交通省北海道開発局小樽開発建設部 |
| 工事場所 | 北海道岩内郡岩内町字敷島内 |
| 延長 | 98.5m (巻きだし含まず) |
| 内空 断面積 | 既設トンネル 31.0㎡(幅員 6.0m) → 拡幅トンネル 62.9㎡(幅員 9.75m) |
| 地質及び 強度 | 安山岩、一軸圧縮強度が平均 150N/mm ² 、最大 260N/mm ² の塊状部と平均 13N/mm ² の自破砕部・微風化部が混在した状態 |
| 掘削工法 | 発破工法 |

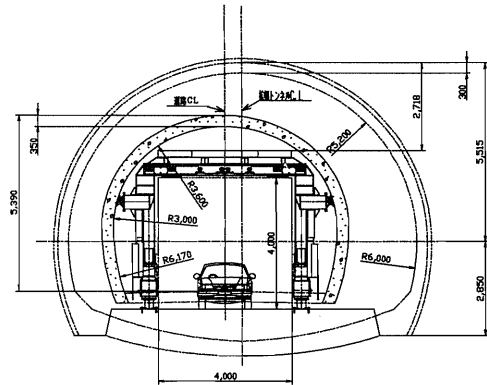


図-1 移動式プロテクタを用いた施工概要図

3. 移動式プロテクタの仕様と構造

(1) 移動式プロテクタの仕様

移動式プロテクタの主要仕様を表-2に、構造図を図-2に示す。

表-2 移動式プロテクタの主要仕様

| 項目 | 名称 | 規格 | 備考 |
|-------|---------|------------------|-------------------|
| 全長 | | 46.5m | 標準 56.5m |
| (内訳) | 前方架台 | 10.0m | |
| | 中間架台 | 20.0m (10m×2) | 標準 30m (10m×3) |
| | 後方架台 | 16.5m | |
| 有効内空幅 | 幅縮小時 | 4.0m | |
| | 幅拡大時 | 7.0m | |
| 有効内空高 | | 4.0m | |
| 架台外形幅 | 幅縮小時標準部 | 5.202m | |
| 架台外形高 | 標準部 | 4.644m | |
| 総重量 | | 約 350t | 標準 430t |

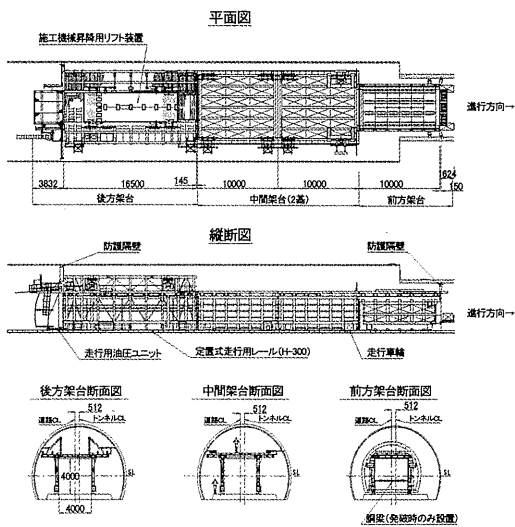


図-2 移動式プロテクタの構造図

*参考：平成13年度報告

(1) 移動式プロテクタの構造機構とその特徴

移動式プロテクタは、作業床と、この作業床の下側に設けられた脚壁とからなる。脚壁には走行装置が設けられており、レールを定置することで、トンネル縦断方向に沿ってプロテクタ全体が自由に移動可能な構造となっている。これにより、プロテクタの長さが必要最小限で済み、従来工法のように、トンネルの全線にわたって設置する必要がなくなった。さらに、発破をかける箇所が特定できるために、発破が影響する前方架台のみ強化するだけで発破工法の採用が可能となった。

移動式プロテクタは、大きく分けて前方架台・中間架台・後方架台の3つの部分より構成されており、架台の左右の脚壁は、休工事に2車線の解放が可能となるように、左右に開く構造となっている。これらの架台は互いに連結されており、標準仕様の架台数で全長55m程度、総重量が430t程度となる。

(2) エルトンの概要

エルトンの特徴を①～⑦に、適用範囲を図-3に、従来工法との比較を表-3に示す。

- ① 全長45～55m程度の短いプロテクタを移動式としたため、トンネル全長にプロテクタを設置する必要がなく長いトンネルの活線拡幅工事も効率よく施工できる。
- ② 機械掘削は勿論のこと発破掘削が可能のため、軟岩から硬岩までのあらゆる地山に対応できる。
- ③ 発破影響箇所が特定できるため一部分(前方架台のみ)を強化するだけでよく、防護プロテクタのコスト低減が図れる。
- ④ 拡幅工事は、特殊機械を必要とせず標準機械で施工できる。
- ⑤ 移動式プロテクタの脚壁が広げられるため、休工時に車線を増やす(1車線→2車線)ことが可能である。
- ⑥ 工事が一般交通へ影響しないようにするため、移動式プロテクタの最先端部と最後方部に防護隔壁を設け、作業エリアと通行エリアを完全に分離した。
- ⑦ 発破や吹き付け作業で発生する後ガスや粉塵等は、周辺環境に影響を与えないようにするため、隔離された作業エリア内に効果的に配置する集塵装置等の換気設備により除去できる。

既設・拡幅トンネルの適用範囲

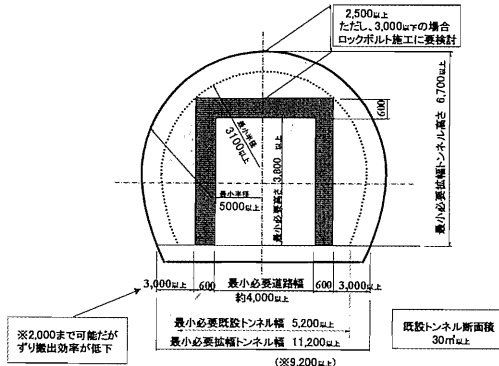


図-3 エルトンの適用範囲

4. 使用機械

各掘削サイクルにおいて使用した主要機械を施工位置別に表-4に示す。今回の拡幅では、道路中心と拡幅トンネルの中心が、海側に512mmシフトしているため、プロテクタを設置した場合、プロテクタ側壁外側部の下半海側の方が下半山側よりも施工スペースが広がる。よって、下半海側は下半山側に比べ大型の施工機械が採用できた。

表-3 従来工法との比較

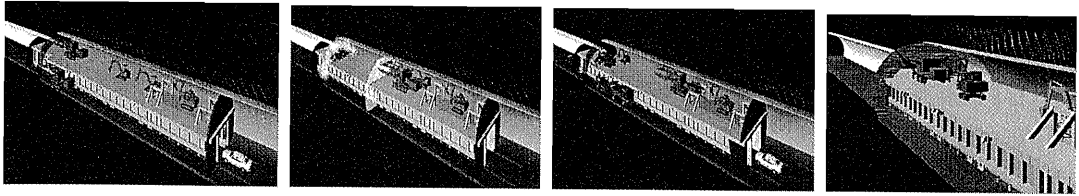
| 項目 | 従来工法 | エルトン |
|-------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 施工延長 | 施工延長が短い(100m以下が多い) | 中長大トンネル改築が可能 |
| 掘削方式 | ほとんど機械掘削で施工されている | 発破工法と機械掘削の両候補が可能な |
| 施工性 | 施工空間が制約されるため、機械の選定に制約を受ける。さらに、機械入れ替え等の施工性が悪い | 施工空間に制約を受けないため、トンネル汎用機械が使用でき、機械の離合等、施工性がよい |
| 覆工方式 | 掘削全線完了後プロテクタ撤去後の施工となる | 掘削と覆工同時併進が可能(プレキャストコンクリート可) |
| 効率性 | 加背分割施工(上半施工完了後下半施工)により効率性が悪い | 全断面掘削・覆工併進が可能で、効率的特である |
| プロテクタ | 固定式で全延長設置する。発破工法の場合は全線強化形にする必要がある | 移動式のため全線設置する必要がない 発破工法の場合は限定強化でよい |
| 交通規制 | 設置・撤去時は長期の交通止めが必要 撤去しない限り一車線規制となる | 全線設置しないため交通止め期間は短い 脚壁拡張のため休止時は2車線開放が可能 |
| 坑内環境 | 施工箇所移動毎に隔壁・集じん装置を移動するため非効率で、一定の環境を保つのは難しい | 隔壁・集じん装置とも移動式プロテクタに設置されているため、効率的で良好な環境を保てる |
| 工費 | — | 従来工法に比べ約20%程度安価である |
| 工期 | 非常に長い | 新設トンネルとほぼ同等である |

表-4 施工作业・施工位置別の主要機械一覧

| 施工位置 | 下半海側 | | | プロテクタ上部 | | | 下半山側 | | |
|--------|-------------|---------------------|-----------------|-------------|--------------|---------|-------------|----------------|----|
| | 機械名 | 規格 | 台数 | 機械名 | 規格 | 台数 | 機械名 | 規格 | 台数 |
| 掘削 | ホールドドリルジャンボ | 1ブーム 1バケット | 1 | クローラドリルジャンボ | 2ブーム | 1 | ホールドドリルジャンボ | 1ブーム | 1 |
| 装薬 | ホールドドリルジャンボ | 1ブーム 1バケット | 1 | 高所作業車 | クローラ 9.7m | 1 | 高所作業車 | クローラ 9.7m | 1 |
| ずり出し | かき込みローダ | シャフローダ KL-20 | 1 | ブレーカ | 300kg級 | 1 | かき込みローダ | シャフローダ KL-7 | 1 |
| | ダンブトラック | 4t積 | 2 | | | | ダンブ不整地車 | クローラ 2t級 | 1 |
| 鋼製支保工 | ブレーカ | 300kg級 | 1 | | | | タイヤシャベル | 0.4m³級 | 1 |
| | クレーン付トラック | 4t積 | 1 | | | | | | |
| | 吹付けコンクリート | 吹付け機(湿式) 急結剤供給装置 | 吐出量 2~2m³/hr | 1 | 吹付ロボット | 0.25m³級 | 1 | | |
| ロックボルト | トラック | 4t積 | 1 | | | | | | |
| | トラックミキサ | 5.5m³ | 2 | | | | | | |
| | ホールドドリルジャンボ | 1ブーム 1バケット | 1 | クローラドリルジャンボ | 2ブーム | 1 | ホールドドリルジャンボ | 1ブーム | 1 |
| | モルタルポンプ | | 1 | | | | | | |
| | トラック | 2t積 | 1 | | | | | | |

5. 拡幅掘削工事の施工手順

エルトンによる敷島内トンネルの拡幅掘削における主要作業の概要を図-4に示す。作業手順は、NATMによるトンネル掘削方法を基本としている。



(穿孔・装葉)

(発破)

(ずり出し)

(支保工)

図-4 主要作業の概要

① 削孔・装葉

削孔は、2ブームクローラドリル1台をプロテクタ上に、1ブームホイールドリル2台を山側下半、海側下半にそれぞれ配置して行った。補助ベンチ付き全断面工法により1～2m程度のミニベンチを設けながら上下半を同時に施工した。装葉は高所作業車をプロテクタ上と山側下半に配置し、海側下半は1ブームクローラドリルのバケットを使用した。

② 発破

発破時の飛び石防御のため、後退待機させた施工機械の前方には発破防護シートを設置し養生した。発破による通行規制の全面通行止めは20分間とした。第三者の有無を確認した後、胴梁台車のセット、電気雷管への結線、導通確認を行い作業員退避など周囲安全確認を行って点火した。発破後、後ガスを排除した後で、作業員退避を解除し、胴梁台車を撤去、安全を確認して一般車両の通行止めを解除した。

③ ずり出し

プロテクタ上の掘削ずりは、ブレーカで左右に振り分けた。振り分けた後、両サイドにそれぞれ配置したシャフローダとダンプトラックにより搬出した。ずり出しと同時に、油圧ブレーカで浮石の除去を行った。

④ 支保工

浮石の除去が終了した後、地山と密着するように速やかに一次吹付けコンクリートを施工した。吹付け作業は、上半部分はプロテクタ上に吹付けロボットを配置して行い、下半部分は人力による手吹きで行った。つづいて、鋼製支保工の建て込み、溶接金網取り付け、および、二次吹付けを行った。次にロックボルトの施工を行ったが、ロックボルトは必要なスペースが十分に確保できないためスリーブでジョイントする形式のツイストボルトを採用した。

⑤ 移動式架台プロテクタの移動

これら一連の作業が終了したのち、移動式プロテクタを移動して、次の掘削サイクルを行なった。移動式プロテクタの移動は、備え付けの油圧ユニットにより自走式で行えるようにした。

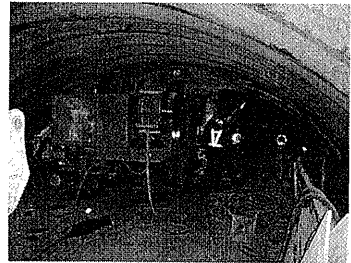


写真-2 上半削孔施工状況

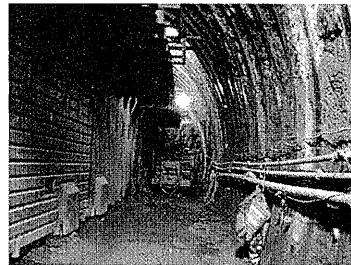


写真-3 下半(海側)削孔施工状況

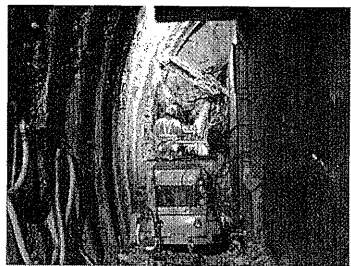


写真-4 下半(山側)削孔施工状況

6. 発破に対する安全管理

(1) 発破システム

写真-5に発破直後の切羽状況を示す。発破システムは以下の理由より、非電気式起爆システム（ノネル）による制御発破を採用した。

① 一般車両を通行させながらの装薬作業を考慮すると、漏洩電流、静電気、雷に対し不感であるノネルは安全である。

② 約450m離れたの民家と既設覆工コンクリートへの発破振動の影響を考慮して、一段あたりの斎発爆薬量を3kg以下に抑える。

③ 発破時の岩塊がプロテクタに衝突する瞬間に発生する応力は、既往の換算式りに基づくと極めて大きくなり、プロテクタ自体が非常に強固で巨大なものとなる。そこで、岩塊を小さくし（直径40cm程度）、かつ、時間的に分散して衝突するようにして、プロテクタへの負担を可能な限り小さくするため、削孔数を3.4～3.8孔/m²程度と多くし段数も0～60段までに増やす。

(2) 発破振動が既設覆工に与える影響

発破時は全面交通止めを行い、第三者への安全は確実に確保して行われるものの、発破振動が、既設の覆工コンクリートに影響し、切羽前方の未拡幅部分の既設覆工が崩落することなどが懸念された。そこで、発破掘削の初期段階で、測定結果を表-5に示す振動速度測定を行った。

一段あたりの最大薬量は0.6～2.2kgの範囲にあり、一段あたりの計画斎発爆薬量である3.0kgとした結果ではないが、振動速度は、切羽から7.5m～12.5mとした測点Aで最大3.55cm/sec(3.55kine:以降kine表示とする。)程度であり、そこから5mおよび10m離れた測点B、測点Cでは、すべての方向で1kine以下と小さい値であった。

測定結果をもとに、前方架台の既設トンネルへの挿入長さである切羽から5m地点での発破振動の既設覆工への影響を振動速度により評価することにし、一段あたりの爆薬量を3kgとしたときの振動速度を、式1²⁾に示した振動速度予測式に基づいた伝播係数K値の最大値を用いて算出(表-6)した。



写真-5 発破直後の切羽状況

表-5 発破振動速度測定結果

| 回数 | 薬量(kg) | 項目 | 測点A | | | 測点B | | | 測点C | | |
|----|--------|------|---------|---|---|---------|---|---|---------|---|---|
| | | | V | L | T | V | L | T | V | L | T |
| 1 | 0.6 | 切羽距離 | 10.5(m) | | | 15.5(m) | | | 20.5(m) | | |
| | | 方向* | V | L | T | V | L | T | V | L | T |
| 2 | 1.0 | 切羽距離 | 7.5(m) | | | 12.5(m) | | | 17.5(m) | | |
| | | 方向* | V | L | T | V | L | T | V | L | T |
| 3 | 2.0 | 切羽距離 | 10.5(m) | | | 15.5(m) | | | 20.5(m) | | |
| | | 方向* | V | L | T | V | L | T | V | L | T |
| 4 | 2.2 | 切羽距離 | 12.5(m) | | | 17.5(m) | | | 22.5(m) | | |
| | | 方向* | V | L | T | V | L | T | V | L | T |

*V:上下方向 L:掘削点と受爆点とを結ぶ方向 T:掘削点と受爆点とを結ぶ方向と直角方向

$$v = K \cdot \frac{W^n}{r^m} \quad (1)$$

ここで、

v:振動加速度値 (cm/sec)

W:装薬量 (kg)

r:距離 (m)

K:伝播係数

m, n:係数、m=2/3、n=2とした

表-6 K値と爆薬量3.0kg切羽から5m地点の換算振動速度算出結果

| 回数 | 項目 | 測点A | | | 測点B | | | 測点C | | |
|----|----------------|------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|---|
| | | V | L | T | V | L | T | V | L | T |
| 1 | 方向 | V | L | T | V | L | T | V | L | T |
| | K値 | 46 | 15 | 31 | 54 | 41 | 101 | 41 | 59 | - |
| 2 | 振動速度 cm/sec | 3.9 | 1.3 | 2.6 | 4.5 | 3.4 | 8.4 | 3.4 | 4.9 | - |
| | 方向 | V | L | T | V | L | T | V | L | T |
| 3 | K値 | 200 | 80 | 39 | - | - | - | 40 | 55 | - |
| | 振動速度 cm/sec | 16.6 | 6.7 | 3.3 | - | - | - | 3.3 | 4.6 | - |
| 4 | 方向 | V | L | T | V | L | T | V | L | T |
| | K値 | 70 | 54 | 162 | 98 | 98 | 65 | 93 | 53 | - |
| 4 | 振動速度 cm/sec | 6.5 | 4.5 | 13.5 | 8.2 | 4.8 | 7.1 | 7.7 | 4.4 | - |
| | 方向 | V | L | T | V | L | T | V | L | T |
| 4 | K値 | 104 | 81 | 201 | 81 | 72 | 136 | 75 | 39 | - |
| | 振動速度 cm/sec | 8.7 | 6.8 | 16.8 | 6.8 | 6.0 | 11.3 | 6.2 | 3.2 | - |

伝播係数K値は、201～31(平均71)であり、これまでの実績³⁾による坑道掘進のK値の範囲200～700程度と比較してかなり小さい方の値であった。これは、今回、既設のトンネルを拡幅するための発破であるため、発破振動に影響を与える芯抜き発破がなく、払い発破中心の発破パターンであったことが理由と考えられる。

K値の最大値はK=201で、爆薬量3.0kg、切羽から5m地点の振動速度は最大16.8kineとなった。これは、山陽新幹線建設時に導坑仮巻きコンクリートで行った実験での、ヘアクラックの入り始める振動値が33.8kineであったことと比較しても1/2程度と小さい値であった。

さらに、掘削に先だって背面注入工および補強ロックボルト工により既設覆工の事前補強を行っている。

以上のことから、切羽から5m以降では、発破振動により有害なクラックが発生して崩落にいたる可能性はほとんどないと考えられた。

(3) 簡易プロテクタの設置

既設の覆工コンクリート補強対策工および振動計測結果から、切羽5m以降の範囲においても大規模な崩落は想定しにくいと判断したが潜在ひび割れ等による小規模な剥離が懸念されたため、今回、特に安全を重視した対策として、移動式プロテクタ前方架台の進行方向側の全区間にコンクリート塊の大きさが10cm～20cm程度の小規模な崩落にも耐え得る程度の簡易プロテクタを配置した。

「覆工に落下の可能性のあるクラックがある場合や止水用の薄いモルタル等がある場合」の近接施工における振動の規制値として、既設トンネル近接施工対策マニュアル⁴⁾では2kineとしていることから、それ以下となる範囲においては安全であるといえる。

安全を考慮して、振動の規制値を1kineと前記マニュアルより小さくしたとしても、今回の測定実績では、爆薬量を最大3.0kgとした場合に振動速度が1kineとなるのは切羽より20m地点であり、敷島内トンネルの場合、コンクリートの剥離等の小規模な落下まで含めた発破振動に対する対策は、切羽より20m以内の範囲で十分安全であったと思われる。

7. 工事実績

本工事の場所が観光地でもあり、昼間は発破作業を行わず、夜間通行量が減少した中で1日当たり1回のみ発破作業を行なった。1日当りの進行は1.0～1.2mで、約5ヶ月間で掘削を終了した。100回近い発破に対しても移動式プロテクタ(ステージ)に損傷は見あたらず、発破振動による有害な崩落も生じなかった。なお、プロテクタ脚壁を上げての2車線開放は行わなかった。

8. おわりに

交通を確保しながら発破工法によるトンネル拡幅工事を行うことのできるこのエルトン、安全でかつ経済的な工法であり、今後も数多くのトンネルで広く採用されることを期待している。

また、最近、古いトンネルの覆工の一部が剥落する事故が続発しているが、その対応策の1つとして部分的な縫い返し工事にも適用できると考えている。

<参考文献>

- 1) (社)日本道路協会：落石対策便覧，2000.6，p20-24
- 2) スティング・オロフソン：最新発破技術ハンドブック，1992.10，p195
- 3) (社)日本トンネル技術協会：トンネル爆破技術指針，1982.2，p142
- 4) (財)鉄道総合技術研究所：既設トンネル近接施工マニュアル，1996.9，p22

16. プロテクターを用いたトンネルの 活線拡幅施工

福岡北九州高速道路公社：赤沢 英明、

ハザマ：*多宝 徹、関 俊一郎

1. はじめに

近年、通行車両の大型化への対応や老朽化したトンネルのリニューアル等を目的として、トンネルの改築・拡幅工法が注目されてきている。こうした工事においては、改築・拡幅前に利用しているトンネルが重要な路線であることが多く、工事期間中も道路を供用したいというニーズが強い。

現在、北九州高速4号線の大蔵トンネル拡幅工事では、2車線の重交通を供用しながら、トンネルを2車線から3車線への拡幅する工事を行っている。トンネル掘削は、車両防護のためプロテクターを設置して行った。

本報文では、本工事において計画から施工を通じて得られた知見について、プロテクター工、トンネル掘削工に関する事項を中心に記述する。

2. 拡幅工事の特徴

本工事は、現在、一旦停止となっているトンネル直近のインターチェンジから高速本線への合流を、加速合流に変更するために、トンネル全長975mのうち坑口から170m間を2車線から3車線に拡幅し、加速車線を設けるものである。

トンネル拡幅掘削は、既設トンネル内にプロテクターを設置し、その上方および側方の空間に掘削機械を投入して行った。

トンネル内にプロテクターを設置し、活線拡幅した事例はいくつかあるが、本工事の様に都市高速という重交通下で2車線を供用しながら3車線に拡幅する工事は、日本でも初めてのものである。

本工事の特徴を以下にまとめる。

- ① 2車線を供用しながら、トンネルを3車線に拡幅する。
- ② 都市高速という重交通(日交通量約30,000台)を供用しての工事である。
- ③ 掘削断面積(既設トンネル断面含む)が約150㎡の超大断面トンネルとなる。
- ④ 地質状況が劣悪である。

トンネル掘削の施工概念図を図-1に、工事の施工次第図を図-2に示す。

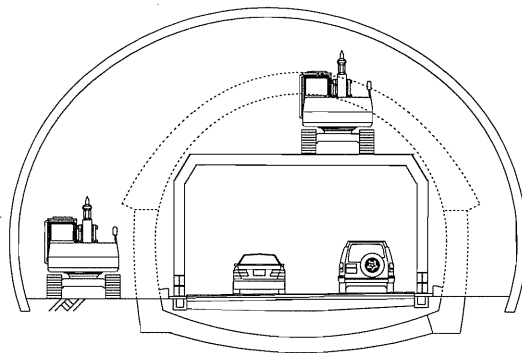


図-1 トンネル掘削概念図

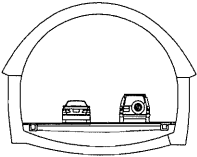
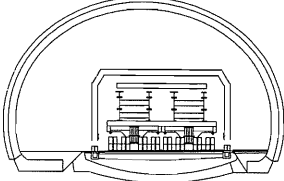
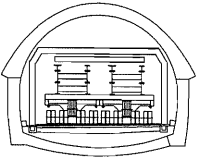
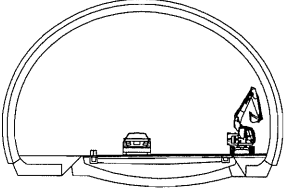
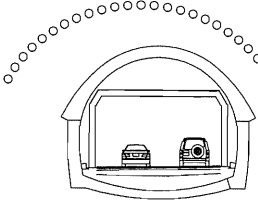
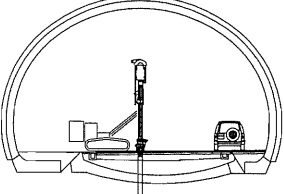
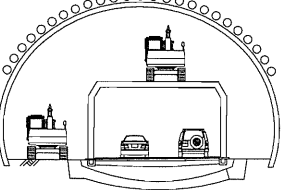
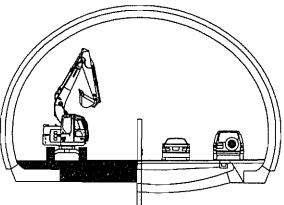
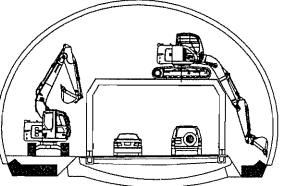
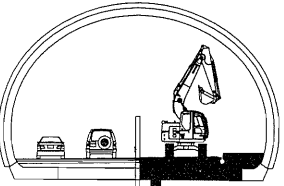
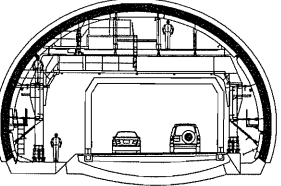
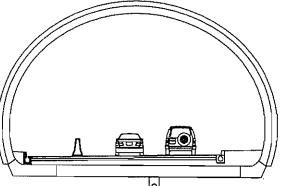
| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>①現況</p> <p>現況</p>  | <p>⑦プロテクター撤去工</p> <p>プロテクターを撤去する。撤去は、夜間全面通行止めにての作業となる。 プロテクター撤去 : 夜間作業 プロテクター解体・搬出 : 昼間作業</p>  |
| <p>②プロテクター設置</p> <p>プロテクターを設置する。設置は夜間全面通行止めにての作業となる。基礎は夜間片側規制にて、先行して構築しておく。 プロテクター組立 : 昼間作業 プロテクター搬入・設置 : 夜間作業</p>  | <p>⑧仮舗装工</p> <p>車線切替部を仮舗装する。夜間追越車線規制にて行う。 夜間作業。</p>  |
| <p>③パイプルーフ</p> <p>地山状況の特に悪い区間に、パイプルーフを施工する。 昼夜作業。</p>  | <p>⑨土留め工</p> <p>インバート施工のための土留めを施工する。夜間走行車線規制にて行う。 昼間は2車線供用する。夜間作業。</p>  |
| <p>④トンネル掘削</p> <p>トンネル掘削を行う。掘削は、プロテクター天板から1m下がり进行をカットジョイントとする上半先進工法とする。 昼夜作業。</p>  | <p>⑩インバート工(走行側)</p> <p>インバート工、舗装工(走行側)を行う。 昼夜作業。</p>  |
| <p>⑤インバート工(端部)</p> <p>二次覆工に先行して、覆工の基礎部となるインバート端部を施工する。 昼夜作業。</p>  | <p>⑪インバート工(追越側)</p> <p>インバート工、舗装工、排水工(追越側)を行う。 昼夜作業。</p>  |
| <p>⑥二次覆工</p> <p>二次覆工を施工する。 昼間作業。</p>  | <p>⑫排水工(走行側)</p> <p>排水工(走行側)を行う。 昼間作業。</p>  |

図-2 トンネル施工次第図

3. プロテクター工

(1) プロテクター内空断面の設定

過去に1車線のプロテクターを設置してトンネル拡幅を実施した例はいくつかあるが、2車線のプロテクターを設置してトンネル拡幅を実施した事例はほとんどない。そのため、プロテクターの構造、設置方法等については、様々な検討を加える必要があった。

本トンネルは、もともと監査歩廊のない自動車専用道の2車線トンネルであるため、内空断面が建築限界に対してあまり余裕がない。そこで、できる限り大きく内空断面を確保するために、構造を薄肉化するとともに、既設トンネルとプロテクターのクリアランスを50mm(肩部)と設定した。

最終的に、プロテクターの内空は、高さ3.8m以上の特殊車両を排除することで、高さを4.15m、車線幅を3.25mとするものとした。

図-3にプロテクターの断面図を示す。

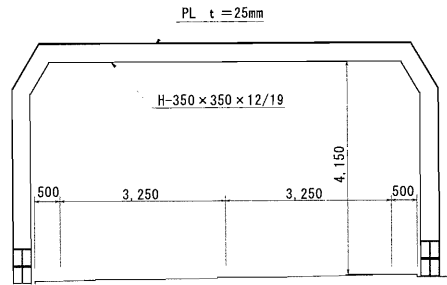


図-3 プロテクター断面図

(2) プロテクター構造

本トンネルでは、プロテクター上に本格的に大型重機を投入し、3車線の超大断面トンネルを掘削する。そのため、プロテクターは、上部に、大型の重機が載って作業可能で、掘削ずりの落下等による衝撃に耐える構造とした。

(3) プロテクター組立

プロテクターの設置には、全面通行止めが必要であり、交通量の少ない夜間の短日数、短時間で施工を行うことが求められた。そのため昼間の仮設ヤードでのプロテクターの組立も短時間で行う必要があり、工場でプレキャスト化(図-4参照)したものを現場の組立ヤードに搬入することとした。プロテクターのブロック長は組立ヤードの広さから12mと設定した。この

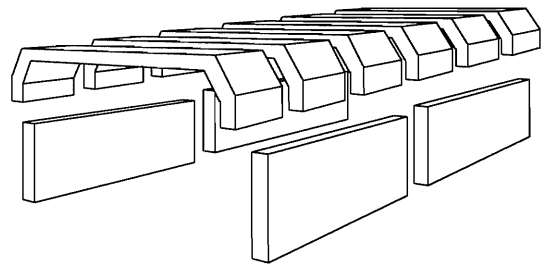


図-4 プロテクター組立図

12mのブロックを昼間に仮設ヤードにて組立て、夜間に坑内へ搬入・設置するサイクルとした。

(4) プロテクター搬入・設置

プロテクターの坑内への搬入・設置作業については、以下の厳しい条件での施工が求められた。

- ①既設トンネルとプロテクター肩部とのクリアランスが50mm程度と非常に小さい。
- ②プロテクターの重量が1ブロック当たり60tと重い。
- ③夜間の全面通行止めにおける作業時間が22:00～5:00までに限られる。

この厳しい条件でのプロテクターの搬入・設置工を可能にするために、特殊大型台車(ユニットドーリ)を採用した。ユニットドーリは、もともと、プラント、長大橋梁などの超重量物の輸送・据付等に用いられているもので、プロテクター設置工では初めての適用となる。

台車は、1台の大きさが約3m×10mの動力付きであり、1台当たり100t程度の重量物を運搬可能である。この台車を前後、左右につなぎ合わせることで、最大数千tもの重量物の運搬を可能とする。荷の積み卸し(据付)は、油圧サスペンションにより、本体(プラットフォーム)を上下することで、自力にて行い、走行は、通常走行以外に、360°の旋回、斜行、横走行が可能である。精度面では、走行・据付とも、前後、左右に5mm以内を確保可能である。今回は、プロテクター運搬時の荷の安定を確保するために、台車を2台左右につなぎ合わせて用いた。

プロテクターの設置は、全線205m、17ブロックを、17日の夜間通行止めで実施した。

プロテクターの搬入・設置状況を写真-1、2に示す。

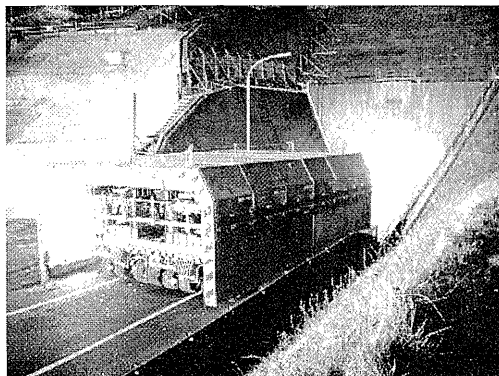


写真-1 プロテクター搬入状況(1)

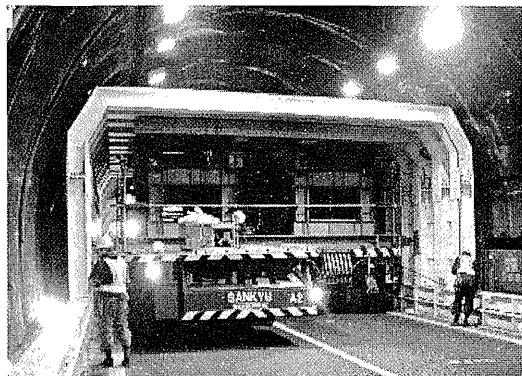


写真-2 プロテクター搬入状況(2)

5. トンネル掘削工

(1) トンネル断面の設定

一般のトンネルの場合、トンネル断面は、建築限界等を満足する最小限の断面を設定することが多い。しかし、本トンネルの場合には、プロテクターの外に掘削作業スペースが必要であり、建築限界に対して余裕のあるトンネル断面を設定した。作業スペースは、大きくするほど作業性が向上するが、大きくしすぎると経済性が失われる。本トンネルの上半断面については、3車線の超大断面トンネルでの支保設置、補助工法、硬岩掘削の施工性を考慮して、比較的大型の汎用重機(0.45m³級バックホウ)が使用できる断面を設定した。一方、右側(追越車線側)下半については、小断面トンネル等の施工を参考にし、0.2m³級のバックホウが使用できる幅(2.5m)を確保するものとした(図-5、図-6参照)。

その結果、掘削断面は、通常の3車線断面では、

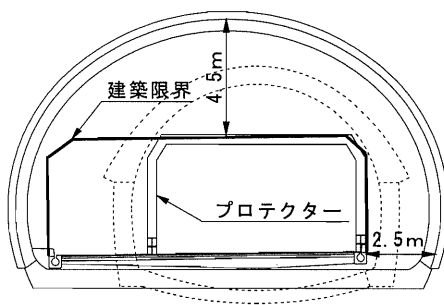


図-5 トンネル断面の設定

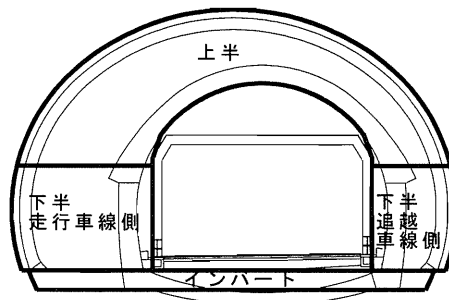


図-6 加背割り

あまり施工例のない大断面(掘削断面積約155㎡)となったが、現在工事の進められている第二東名・名神高速のトンネル断面(掘削断面積約180㎡)より若干小さく、トンネルの安定性、経済性を確保した上で十分に施工できるものと判断した。

(2) 掘削機械の選定

トンネル掘削は、プロテクターにより防護しているものの供用線の直近での施工となるため、発破による掘削はできず、機械掘削によらざるを得なかった。

機械重機については、坑内の作業スペース、掘削によるプロテクターへの影響等を考慮し、大型ブレーカ(800kg級)とバックホウ(0.45m³級)を選定した。

また、坑口から120m付近以奥に、硬質な粗粒凝灰岩(一軸圧縮強度100～300MPa程度)が出現することが確認されていたために、油圧割岩機による割岩工法を併用する計画としたが、岩の一軸圧縮強度は大きいものの、クラッキーな岩盤であったため、割岩工法を使用するには至らなかった。

(3) トンネル掘削状況

① 上半掘削

プロテクター上と、走行側のカットジョイント上に1台ずつの大型ブレーカ(800kg級、ベースマシン0.45m³級バックホウ)を配置して掘削を行った(図-7、写真-3参照)。

ロックボルトの施工は、プロテクター上に2ブームのドリルジャンボと走行側のカットジョイント上に1ブームのドリルジャンボを配置して、2mの継ぎロッドで施工した。

本トンネルは、地質状況が悪かったため、全線170mのうち約80%でAGF等の補助工法を用いた。先受け工法においては、比較的大型の汎用ジャンボ(2ブーム135kg級)が使用出来たため、通常のトンネルに較べて施工性が大きく劣ることはなかった。また、既設トンネル断面が核残しの役割を果たしたため、切羽天端に較べ、切羽面の安定は通常のトンネルに較べ得やすかったといえる。

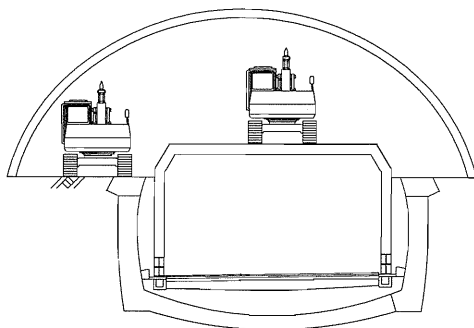


図-7 上半掘削概念図

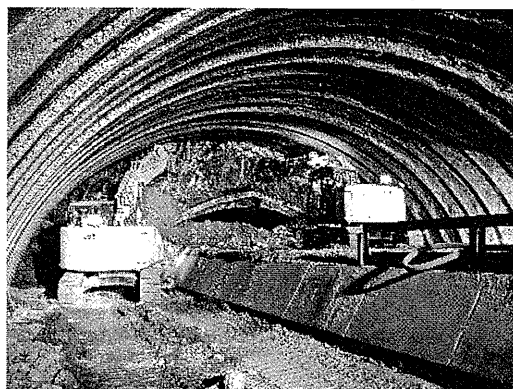
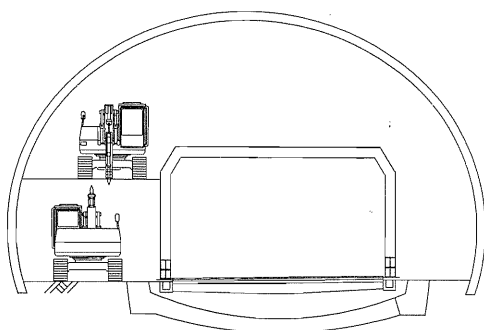


写真-3 上半掘削状況

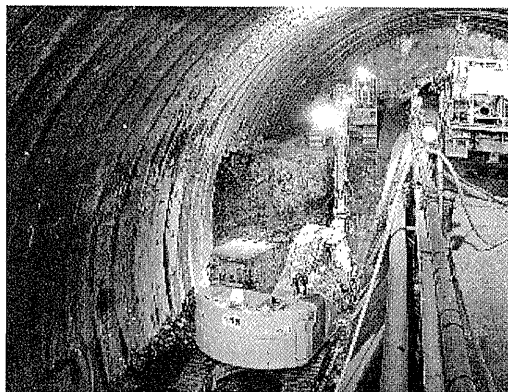
② 下半走行車線側掘削

大型ブレーカ(800kg級、ベースマシン0.45m³級バックホウ)を、下半盤と上半のカットジョイント上に1台ずつ配置して掘削を行った。バックホウが旋回できる幅が確保できており、比較的施工性は

良好であった（図－８、写真－４参照）。



図－８ 下半（走行車線側）掘削概念図

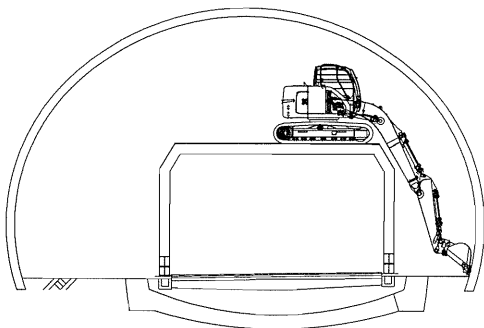


写真－４ 下半（走行車線側）掘削状況

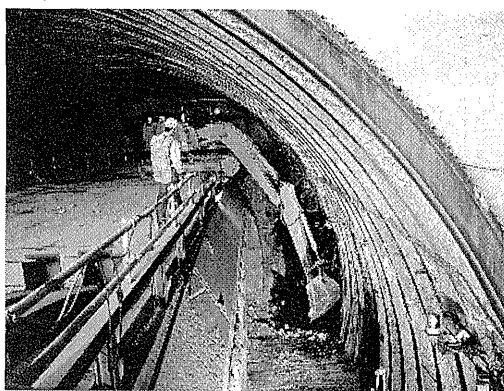
③下半追越車線側掘削

追越車線側の下半には、 0.45m^3 級のバックホウを投入できないため、プロテクター上に配置した大型ブレイカ（ 800kg 級、ベースマシン 0.45m^3 級バックホウ）で掘削を行い、下半盤に 0.2m^3 級のバックホウを補助的に投入した（図－９、写真－５参照）。

ロックボルトは、 1m のものを 6 本つないで施工した。



図－９ 下半（追越車線側）掘削概念図



写真－５ 下半（追越車線側）掘削状況

6. おわりに

プロテクターの設置については、厳しい条件下の施工であったが、品質面を初め、工費、工期面でも満足出来る結果であった。今後、低クリアランスでプロテクターを設置する場合、有力な工法となると考える。

通常の山岳工法トンネルの掘削については、穿孔、掘削、吹付け機等、それぞれの用途に応じ、標準的な機械が確立されてきている。今回の拡幅掘削においては、それを応用した形ではあるが、一つのモデルケースを提示することができたと思う。

今後、同様な活線拡幅の計画、施工の参考になれば幸いである。

17. 鉄道営業線における軌道走行式 トンネル補強システム

東急建設㈱：*寺山 拓也、豊田 旬、

梅津 薫

1. はじめに

近年社会的要請により、既設構造物に近接して施工する技術や、既設構造物を解体することなく維持・補修するリニューアル技術の研究開発が進められている。

このことは、例えば用地・施工条件に関して制限の多い鉄道工事においてはより顕著であり、営業線に支障することなく施工する技術が開発されている。

また、建設業における熟練作業員においては高年齢化と共に就業人口の減少も顕著であることから、労働集約型の在来施工方法に代って、機械化施工方法の開発が求められている。

この様な社会情勢の中、従来から機械化施工が困難であった鉄道単線トンネルの補強工事においてき電停止時間内に軌道上を走行しながらトンネルを補強する機械システムを開発した。

本システムは各種補強方法に合わせた最適な車両編成ができ、鋼支保工建込工、コンクリート吹付工、ロックボルト打設工等の補強工種の施工が可能である。また作業時間が線路閉鎖後の作業となるため、夜間の短時間内の施工が可能となるように省力化を図った。本システムをトンネル補強工事に導入することにより、従来の施工方法と比べて施工の効率化、安全性及び、品質の向上を実現した。

本論文では、トンネル補強機械システムの概要、従来の施工方法との比較、施工実績について報告する。

2. 開発の経緯

今回のトンネル補強工事では、鉄道営業線のトンネルという事から施工条件は非常に厳しく制限されていた。主な施工条件として以下の4項目が挙げられた。

- ① 作業時間は、線路閉鎖作業・き電停止作業となる為、深夜間の3時間35分の短時間である
- ② 小断面トンネル(1号トンネル)の本線上での作業の為、大型機械の搬入が不可能である
- ③ 地形的要因により、トンネル坑口付近への進入路と施工バックヤードの確保が困難である
- ④ 緊急な補強工事である為、効率良く確実に施工する必要がある

これらの条件下で補強工事を施工するには、従来の施工方法では効率的な作業、安全作業、品質の確保に関して満足な結果が得られないと判断し、新しい機械化施工システムを開発することになった。

特に、作業可能な時間が夜間き電停止時間内の3時間35分と非常に短い時間での作業となることから、鋼アーチ支保工の建込・ロックボルトの打設・繊維補強吹付コンクリートの施工に関しては、更なる施工の効率化が必須条件であったので、各補強の工法に対応した適切な施工機械システムに重点を置いた開発をすることとした。

3. 補強工法の概略

本工事では、トンネル構造物にじん性(粘り)を持たせることを目的に、変状程度に対応した鋼製支保+吹付コンクリートを主体とする基本補強パターンを設定し施工することとした。

トンネル補強工事の主な基本補強パターンを図-1に示す。

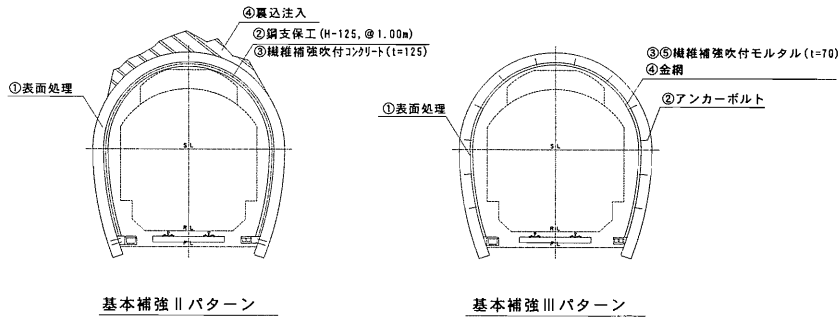


図-1 基本補強パターン図

4. システムの概要

トンネル補強システムは以下の項目を開発の基本コンセプトとした上で詳細な検討を実施した。

- ① 短時間内での作業性を考慮し、省力化を重点に付加価値の高い装置を装備する
- ② 工事用進入路の確保が困難であり、鉄道営業本線を利用した軌道走行による施工機械編成にて施工することとし、施工機械を台車に積載する(工事用モーターカーによる牽引式施工機械編成)
- ③ 夜間での軌道内作業・単線トンネル内・軌道モーターカーによる施工機械編成であり、狭隘部からの高所作業等に対して安全性を重点に置いた機械とする
- ④ トンネル施工機械の内、後工程に影響を及ぼす作業とならない様に、施工機械を製作・改造する検討の結果、既存のトンネル施工機械システムの中から、各工種に適合した単品機械の組合せにより新しい機械施工システムを構築することとした。

表-1に主な補強工種に対応した開発・導入機械の一覧表を示す。

表-1 開発・導入機械一覧表

| 工 種 | 開発・導入機械 |
|---------------|-----------------------------|
| 鋼支保工建込工 | 支保工エレクタ (2ブーム1バスケット) |
| 繊維補強吹付コンクリート工 | 吹付マニピュレータ (1ブーム1バスケット) |
| | コンクリートモービル(吹付機搭載) 骨材供給台車 |
| ロックボルト工 | ドリルジャンボ (1ブーム1バスケット) |

各開発・導入機械の共通の仕様としては、以下の特徴を有している。

- ① 作業範囲全域で、作業可能な高所作業用バスケットを装備し迅速かつ安全な作業が可能であること (支保工エレクタ ・ 吹付マニピュレータ ・ ドリルジャンボ)
- ② 鉄道営業本線上を走行する為、走行時車輛限界に全ての装置が格納でき、かつ作業時には所定の位置に移動可能な装置と非常時の脱線復旧ジャッキを装備していること

各開発・導入機械の特徴を表-2に示す。

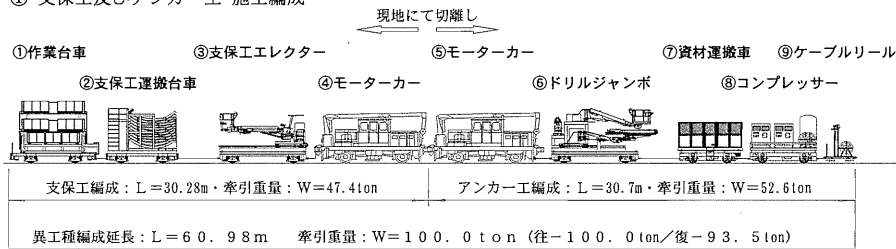
表-2 開発・導入機械の特徴一覧表

| | |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① 支保工エレクタ | ・鋼支保工を所定の位置及び形状に建込む装置であり、左右2基の油圧式アームを備へ伸縮・起伏の作動とアーム先端の把持部の旋回により、容易に鋼支保工の建込を遠隔操作で行い省力化を図っている ・鋼支保工運搬台車からの荷取り～建込位置への移動～建込作業迄一連の動作で可能 |
| ② 吹付マニピュレータ | ・吹付コンクリートの吹付作業をノズルマンに代わって施工を行う装置であり、ノズルマンの安全衛生の改善に有効であること、吹付作業範囲全域で大量の吹付を行うことで施工性の向上を図っている |
| ③ ドリルジャンボ | ・ロックボルトの穿孔用に高速穿孔能力に優れた油圧式ドリフタを移動式台車に搭載し、その作動と移動を遠隔操作で行い省力化を図っていること、長尺ロックボルト打設時の継ぎノミ作業用に油圧把持装置を装備して、安全性と施工性の向上も図っている |
| ④ コンクリートモービル | ・コンクリートを連続的に製造可能な設備で、骨材・水・セメント等の貯蔵ホッパーを内蔵していること、繊維補強用材料の供給・練り混ぜ装置を搭載していることに加え、コンクリート吹付速度に合わせて製造量の調整が可能であり施工性の向上を図っている |
| ⑤ 骨材供給台車 | ・連続的に骨材をコンクリートモービルに自動供給する為、砂ホッパー2基(12㎡+8㎡)・砕石ホッパー1基(12㎡)・骨材供給用ベルトコンベア2基をそれぞれ台車に搭載した車輛編成とした(最大製造量:コンクリート26㎡ モルタル20㎡) ・コンクリートの製造能力に合わせて骨材供給量を自動調整可能な装置としたことにより、省力化と施工性の向上を図っている |

5. 機械編成

機械編成に関しては、工事用モーターカーの牽引重量・各機械の配置・重量バランス・編成延長に種々の規制・規則があり、その中で各補強工種の施工組合せを検討し最も施工効率の高い機械編成とした。また、補強工種の変更に伴う機械編成の入替に関して、編成替えによる作業損失日数の縮減を考えた。主な補強工種施工時の機械編成を図-2に示す。

① 支保工及びアンカー工 施工編成



② 吹付コンクリート工及びモルタル工 施工編成

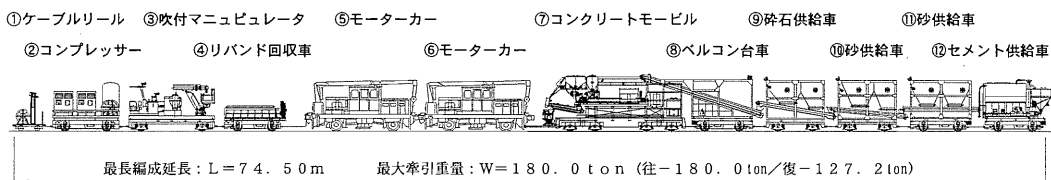


図-2 トンネル補強システム機械編成図

6. 在来工法との比較と施工実績

在来工法との比較検討表を表-3に示す。

表-3 在来施工法との比較表

| 比較項目 | 単位 | ドリルジャンボ | 判断 | 削孔機 | 判断 | 備考 |
|-----------------|-----|---------------|----|----------------|----|----------------|
| 日常の施工数量 | 本/日 | 10.0 | ◎ | 4.0 | × | 削孔機は3台、作業時間10h |
| 地山変化に伴う対応 | | 可能 | ◎ | ほぼ不可能 | × | 圧縮強度の高い岩の場合 |
| 長大トンネル(6.0km)施工 | | 可能 | ◎ | 不可能 | × | |
| 作業人員 | 人/日 | 2.0 | ◎ | 4.0 | △ | 人力は削孔機2台 |
| 作業の連続性 | | 連続削孔が可能 | ◎ | 途中休憩が必要 | △ | |
| 高所作業は否 | | 有り | △ | 有り | △ | |
| 墜落の危険性 | | 遠隔操作の為、安全 | ◎ | 身を乗り出す、不安全 | × | |
| 作業の難易度 | | 比較的簡単 | ◎ | 熟練を要する | △ | |
| 施工精度 | | 良好 | ◎ | 作業員の技量による | △ | |
| 削孔設備の整備性 | | 良好 | ◎ | 良好 | ◎ | |
| 傍路の作業員への影響 | | 遠隔操作の為、人員より良い | ◎ | 削孔機に近い為、あり良くない | △ | |
| トンネルの振動の影響 | | 遠隔操作の為、振動は無い | ◎ | 負担が作業員に直接伝わる | × | |
| 総合判定 | | | ◎ | | × | |



写真-1 ロックボルト打設状況(1)

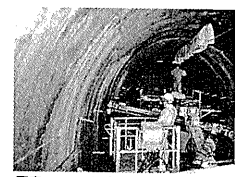


写真-2 ロックボルト打設状況(2)

| 比較項目 | 単位 | 吹付マニピュレータ | 判断 | 人力施工 | 判断 | 備考 |
|------------|-------------------|---------------|----|-------------|----|------------|
| 日常吹付能力 | m ³ /日 | 18.0 | ◎ | 10.0 | △ | 吹付け時間3h |
| 作業人員 | 人/日 | 2 | ◎ | 3 | ○ | 人力は2名+手荒2人 |
| 高所作業は否 | | マニピュレータ有り | ◎ | 有り | ○ | |
| 墜落の危険性 | | 無し | ◎ | 多い | × | |
| 作業の難易度 | | 比較的容易 | ◎ | 熟練を要する | △ | |
| 施工精度 | | 良好 | ◎ | 作業員の技量による | △ | |
| 吹付け設備の整備性 | | マニピュレータ有る | ◎ | 比較的簡易 | △ | |
| 傍路の作業員への影響 | | 遠隔操作の為、人員より良い | ◎ | 吹付け設備で作業で発生 | × | |
| トンネルの振動の影響 | | 遠隔操作の為、安全 | ◎ | 作業員に直接伝わる | × | |
| 総合判定 | | | ◎ | | × | |

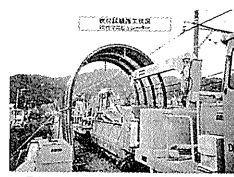


写真-3 吹付試験施工状況

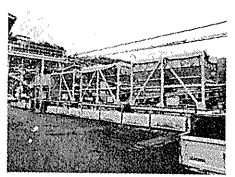


写真-4 骨材供給台車

| 比較項目 | 単位 | 支保工レクタ | 判断 | クレーン機工 | 判断 | 備考 |
|---------------|-----|-----------------|----|--------------|----|-------------|
| 日常の施工数量 | 本/日 | 8.0 | ◎ | 2.0 | × | 作業時間2h |
| 作業効率 | | 支保工を積み重ねて建設して行く | ◎ | 支保工の取付と撤去が必要 | × | ※マニピュレータは必要 |
| 高所作業は否 | | マニピュレータ有る | ◎ | 高所作業台車が必要 | × | |
| 墜落・落下の危険性 | | 遠隔操作の為、安全 | ◎ | 高所で置かれた後、不安全 | × | |
| 作業の難易度 | | 比較的容易 | ◎ | 熟練を要する | △ | |
| 施工精度 | | 良 | ◎ | 作業員の技量による | △ | |
| 支保工建て込み設備の整備性 | | 油圧式等がある | ◎ | 比較的容易 | ◎ | |
| 総合判定 | | | ◎ | | × | |



写真-5 エレクタ台車

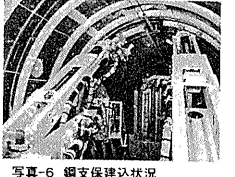


写真-6 鋼支保建込状況

骨材供給設備の検討

今回の補強工事では、吹付コンクリートの作業量の確保が重要な課題である。吹付コンクリート施工にあたっては、一日当たり約23mのコンクリート管を現場で連続的に製造する事が条件である。現場で連続的に供給するため、コンクリートプラント(コンクリートメーカーCM250)を管内に持ち込む事とする。更に、一日の製造量23mを確保するためには、骨材の連続的な供給も必要である。コンクリートプラント(CM250)自体のホッパー容量での製造量は約3.8mしか無く、残りの約20m分の材料を管内に持ち込み連続的にコンクリートプラント(CM250)に供給可能な設備が必要である。また、今回コンクリート管内にモルタルの製造も要求されているので、各配合に対しての取次必要・供給容量・ホッパー容量を考慮した骨材供給設備を選定した。

| 名称 | 仕様 | 数量 | 備考 |
|----------|------------------|----|----|
| 砂供給ホッパー | 12m ³ | 1基 | |
| 砂供給ホッパー | 8m ³ | 1基 | |
| 砕石供給ホッパー | 12m ³ | 1基 | |
| 骨材供給エレクタ | 15m/分 | 1基 | |



写真-7 鋼支保建込完了



写真-8 鋼支保建込完了+吹付完了

施工実績としては、ほぼ目標どおりの施工実績を達成できた。しかし実施工においては計画時点では予想出来なかった問題点が発生し、個々に対策を講じることで対応した。またこれらの対策を機械システムと協調、させることにより更なる効率化への可能性があることを確信した。

6. おわりに

軌道走行式トンネル補強システムの開発、実用化によって鉄道単線トンネル補強工事における労働集約型の在来施工法に代わって、施工の効率化・省力化・安全性と品質の向上に寄与することができた。しかしながら鉄道単線トンネル補強工事においては、一層厳しい条件下での施工ニーズが高まっていることを考慮すると、施工実績を重ねながらシステムの高度化を図ることが急務であると考えます。今後社会資本整備に占める維持・修繕投資の比率が高まる中、新しい建設機械技術の導入も含め施工効率の最大化を実現するには、建設産業の技術に拘らずに他業種からの技術導入を含めて検討することも必要不可欠であると考えます。

最後に本システムの開発・実用化にあたり、ご指導、ご協力いただいた関係各位に対し、深く感謝いたします。

18. トンネル覆工連続打音点検システムの開発

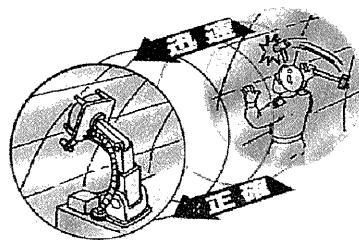
国土交通省 関東地方整備局：田中 義光、持丸 修一、

*二瓶 正康

1. はじめに

近年、トンネル覆工の巻き立てコンクリート等での剥離落下がたびたび報告されており、異状部の効率的な点検手法及び対策手法の開発が求められている。

現在の点検方法で主流となっている、人力による叩きで行うコンクリート覆工点検に代り、剥離や内部空洞を検知し、かつ剥離部の除去を効率的に行う打音点検システムの開発を行った。本報告では開発した打音発生装置及び打音解析装置と基礎実験、現地試験を行った結果について述べる。



2. 開発したシステムの概要

コンクリートの非破壊検査技術としてはこれまでも、打撃、電気、磁気、音波、電磁波等を使用したものが研究されているが、点検の迅速性やコストなどの面から人力点検に置き換わるには至っていない。

本開発は、実績のある点検手法である人力での点検ハンマーによる打音点検と劣化部分の叩き落とし作業を機械化したものであり、装置は連続的に打音を発生させる打音発生装置と移動しながら調査を行うための懸架装置及びベースマシン、発生音をリアルタイムで解析する装置、粉塵回収用の周辺機器類で構成される(図-1)。

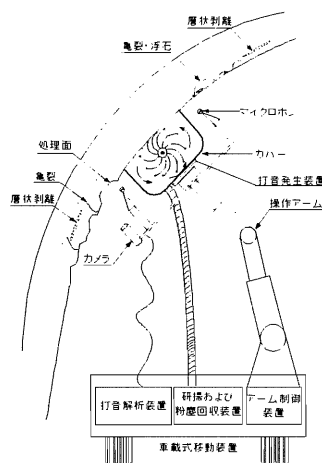


図-1 システムイメージ

(1) 打音発生装置

打音発生装置は、迅速な点検を目的として連続的に打音を発生させる装置でありチェーンに繋がれた鋼球を回転軸に複数取り付け、これを回転させながら適正な打撃力を構造物に加える機構とし、内部異状の検知と同時に表層の剥離部を叩き落とし、これを吸引して回収する機能も有する(写真-1)。

(2) フローティング装置

フローティング装置(図-2)は、打音発生装置を覆工面に適切な力で押しつけると共に、緩衝機構により路面、覆工面の不陸に対応するものである。

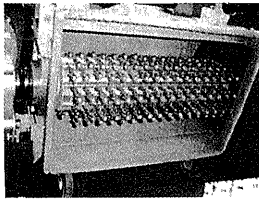


写真-1 打音発生装置

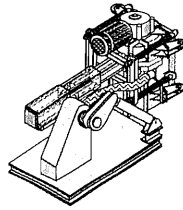


図-2 フローティング装置

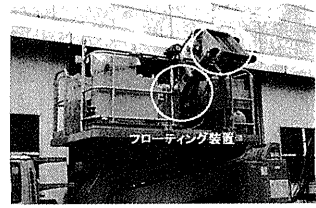


写真-2 搭載状況

(3) 搭載ベース車両

下記の理由から、既存のトンネル点検車に搭載する方式とした。

- ① 短期間での開発が可能。
- ② 開発コストが比較的安価。
- ③ 壁面に人間が接近できる。

実証機の構成を図-3に示す。

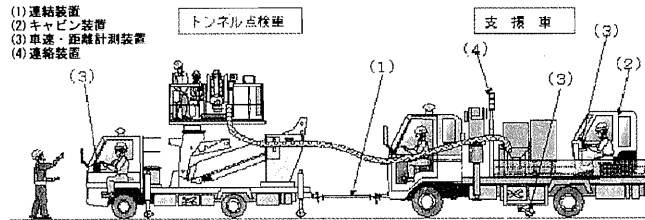
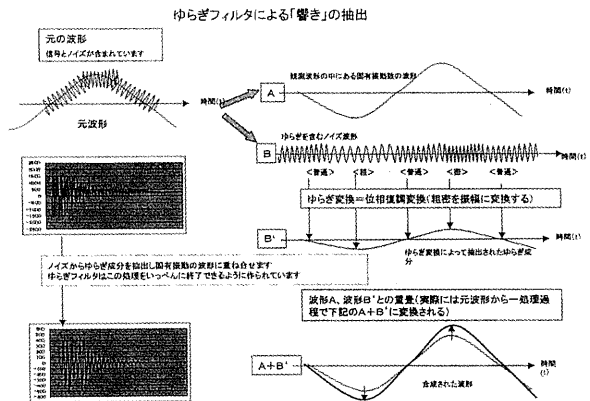


図-3 実証試験機構成

(4) 打音解析装置

打音解析装置は、コンクリート表面を連続的に打撃して発生する連続打音の変化を、マイクで捉えて音響解析技術により分析し、コンクリート内部の欠陥を検出するものである。

単打音に対して連続打音では多くの打音がノイズとなる。連続打音の解析に近年の音響解析技術である、「ゆらぎフィルタ(ゆらぎ変換)」を導入した。これによりノイズの多い環境下でも、特殊な防音設備を必要とせず



に異常を検出できる。これにあわせ、音圧波形から欠陥部を視覚的に判別するソフトを開発した。

3. 実験装置による基礎実験

コンクリート覆工の内部欠陥を模擬した供試体により基礎実験を行った。

- (1) 欠陥部分判別性能検証
- (2) 探査速度検証
- (3) 研掃性能検証

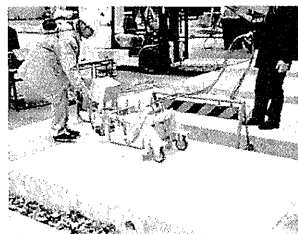


写真-3 試験状況

健全度判定マップは、健全部に対して変状部の可能性がある箇所を黄色、変状部を赤で示している。

変状調査書に記載されている浮き、剥離および目地部の浮き等の位置でマップ上に黄色、赤色が検出され、本システムによって検出された異常箇所が変状調査書に記載された欠陥部とほぼ一致していることが確認できた。また、施工能力は最大約1000m²/hが実証でき、本システムは従来の他の点検方法と比べると飛躍的に施工能力が向上したものと見える。

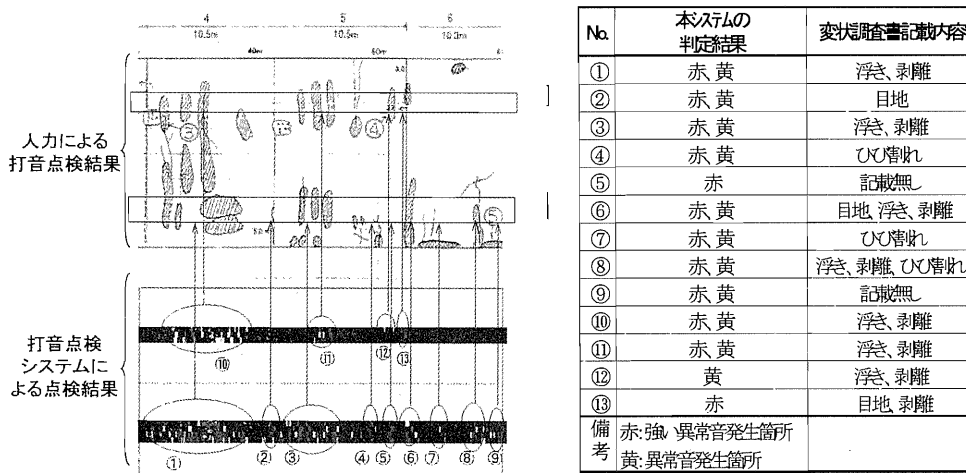


図-8 既存トンネル変状展開図と本システムによる健全度判定マップの比較例
(小山野トンネル)

5. 技術的課題の抽出と改善策の検討

実証機による実トンネルでの適用性試験結果から、本点検システムの作業・操作性をさらに向上させるためには、図-9に示すように各装置の小型・軽量化を図り、全ての装置を専用車一台に搭載することが必要である。

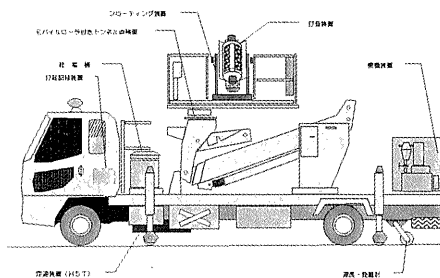


図-9 実用機イメージ図

6. おわりに

本システムは、トンネル点検において、欠陥部の検出がこれまでの人力打音検査と同等かつ施工能力では飛躍的に向上することが明確となった。

これにより、危険と苦渋を伴う人力での高所作業を削減させ、また点検員の技量に因らない定量的かつ客観的な評価ができる。

また、トンネル点検記録のデータベース化を進めることで欠陥箇所の経年変化が把握できる。

今後は、本調査結果を取り入れたトンネル点検車の実用機を導入し、効率的なトンネル点検に資する予定である。

19. 歩道下空洞探査車の開発

国土交通省 関東地方整備局：田中 義光、持丸 修一、

*小澤 直樹

1. はじめに

社会資本整備の一環として、電気、ガス、上下水道などのライフラインの地下埋設が積極的に進められている結果、埋設物の施工不良、地盤沈下、老朽化などが原因と思われる空洞が生じ路面陥没が多発している。このため、国土交通省関東地方整備局関東技術事務所では、道路調査車（路面下空洞探査車）を開発し、平成2年度より路面の空洞調査を実施し、路面陥没の防止に大きく貢献している。

一方、歩道部においても、過去に路面陥没が発生していたが、通行に支障のない程度のものであったことから、本格的な空洞調査は実施されていなかった。しかし、平成11年7月に都内の国道において歩道部に大規模な陥没（深さ約0.8m、幅1.2m、長さ2.4m）が発生し、歩道の安全かつ円滑な通行確保が求められるようになった。

本報告は、歩道部の空洞探査を効率的に行うため、路面下空洞探査技術（地中レーダー技術）を活用した歩道用の空洞探査車の開発内容について述べる。

2. 地中レーダーの原理

アンテナより放射された電磁波は、伝解する媒質中の電気的性質の違いによってその速度が異なるため電気的性質の異なる境界において反射波に時間的な遅れ（差）が生じる。

一般に物質中での電磁波速度は、空気中の秒速約30万kmに対し、1/3程度であることから物質中での電磁波速度を用いて時間を距離に変換すれば、実際の層状態が把握できる。

電磁波の反射強度は反射境界を形成する2つの層の比誘電率のコントラストの差異に依存するため全物質中最小の値をも

つ空洞（空气中）が地中にある場合、反射強度は非常に強くなる。また、電磁波は比誘電率の小さな物質から大きな物質に入射すると反射波の極性は反転（負の極性）する一方、逆に大きな物質から小さな物質に入射するときは極性は反転しない。このような電磁波の性質（強度と極性の特徴）を利用して

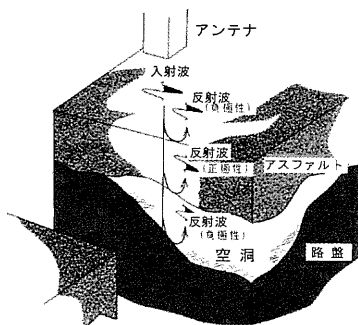


図-1 反射波の発生原理図

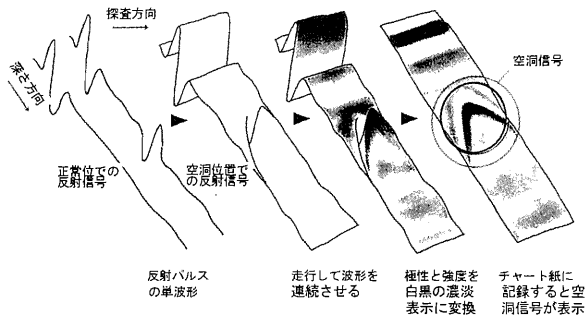


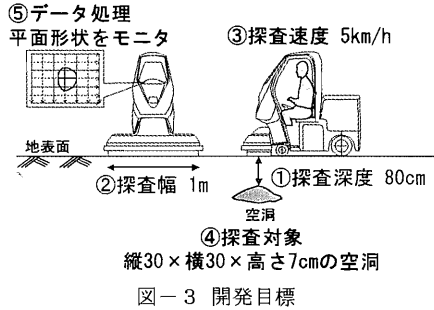
図-2 反射波記録表示

地中内部の判読を行う。図-1に反射波の発生原理図を、図-2に反射波の記録表示を示す。

3. 開発内容

3.1 開発目標

開発目標は、都内で発生した空洞を原因とする陥没事例より、歩道部において陥落の可能性がある空洞を発見できるように①探査深度：80cm、②探査幅：1.0m、③探査速度：5km/h、④探査対象：30×30×7cm以上の空洞、⑤データ処理：空洞の平面形状をモニターできることとした(図-3参照)。



3.2 要素試験

3.2.1 探査能力試験

探査能力試験は、定量的な探査が行くとともに、地中レーダーの基本スペックを決定するために関東技術事務所構内において歩道下に設けられた疑似空洞及び埋設配管を利用し実施した(写真-1、図-4参照)。レーダーは、一般的に発信周波数が高いと解像度が増すが、深さ方向の探査能力が下がることから2種類の中心周波数帯(500MHz, 800MHz)及びエアギャップ(路面とアンテナ



写真-1 疑似空洞・配管埋設状況

の間隔4cm, 8cm)を変化させ、探査能力の違いを確認した。周波数とエアギャップの組合せによる試験結果を表-1に、各周波数のチャート出力結果を図-5に、試験装置を写真-2に示す。試験結果より、周波数は500MHz、エアギャップは探査車の段差乗り越え等を考慮して8cmの組合せが最も良好な結果となった。

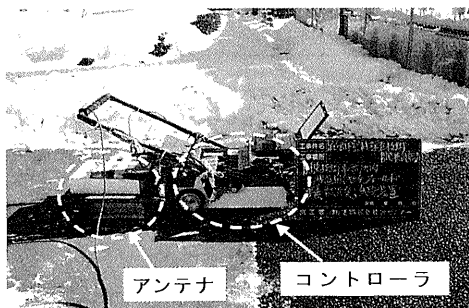


写真-2 試験装置

表-1 周波数、エアギャップ組合せ試験結果

| アンテナ | エアギャップ | 埋設物 | | | | | | | |
|---------------|--------|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | V1 | V2 | V3 | V4 | P1 | P2 | P3 | P4 |
| ANT 500MHz | 4cm | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 8cm | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ANT 800MHz | 4cm | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 8cm | ○ | △ | ○ | △ | △ | △ | △ | △ |

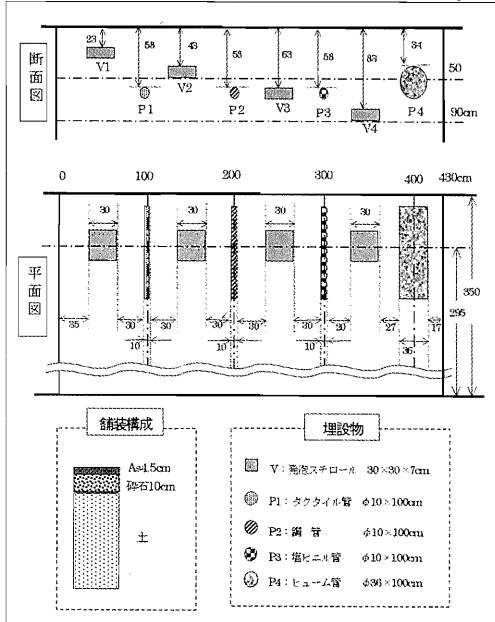


図-4 疑似空洞・配管レイアウト

○: 明確に検知可 △: 検知可

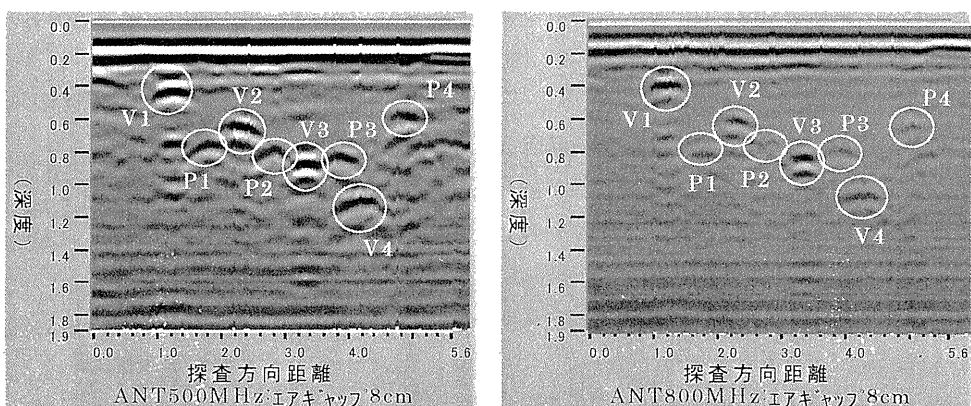


図-5 エアギャップ8cmにおけるチャート出力

3. 2. 2 3 測線同時測定基礎試験

開発目標である縦30cm、横30cmの空洞を高精度にモニターするために、最適なアンテナ間隔（以後「測線間隔」という）を決定するための試験を行った。

①測線間隔試験

測線間隔試験は、縦30cm×横30cmの空洞を2つのアンテナを使って検知する試験で、2つの測線間隔Xは、30cm、40cm、50cmとした（図-6参照）。表-2に測線間隔試験の結果を示す。反射部分比率(R)は、2つのアンテナがダイレクトにどの程度空洞を補足できたかを数値化したものである。試験結果より、アンテナの設置間隔は40cm以内が適当であることが明らかとなった。

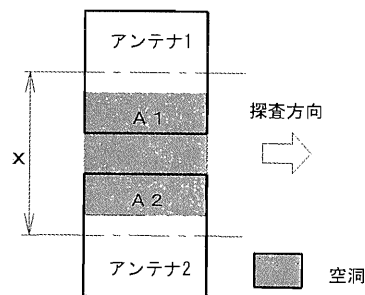


図-6 測線間隔試験平面概略図

表-2 測線間隔試験結果

| 測線間隔 | アンテナ台数 | 反射部分比率 | ANT500MHz | ANT800MHz |
|------|-----------|----------------|-----------|-----------|
| 30cm | 2台 (ANT2) | R= 100% r= 50% | ○ | ○ |
| 40cm | 2台 (ANT2) | R= 67% r= 34% | ○ | △ |
| 50cm | 2台 (ANT2) | R= 34% r= 17% | × | × |

R：アンテナ2台による反射部分比率 r：アンテナ1台分の反射部分比率

○：明確に検知可 △：検知可 ×：検知不可

②平面処理試験

従来の路面下空洞探査ではチャート出力による断面的な状況把握が一次探査結果とされていたが、本開発では3つのアンテナにより得られる3データを合成し、計測距離、深度、探査幅の要素で3次元データを形成し、任意の深度における対象物の平面形状を把握することを可能とした2次元表示処理ソフトウェアを開発した。ここで3つのアンテナを使って得られる3データを合成し、平面形状を把握するとともに測線間隔と空洞に対するアンテナの通過位置の違いによる処理能力を判定する試験を行った。

図-7、図-8に、500MHzによる疑似空洞V1の2次元処理結果を示す。縦断方向のデータ処理単位は、高精度な処理を行うため4cm間隔とし、図中における色分けは反射電波の強いもの（空

洞信号中心) から赤、黄、白、グレー、黒と5段階で、25%づつ反射強度が弱くなることを示す。

試験結果としては、図-8に示すように2つのアンテナの間に空洞がある場合、横断方向は70cm以上となり実空洞(30cm)に対して大きめに表示されたが、開発目標となる30cmの空洞は間違いなく捉えることができ、十分実用に対応できるといえる。

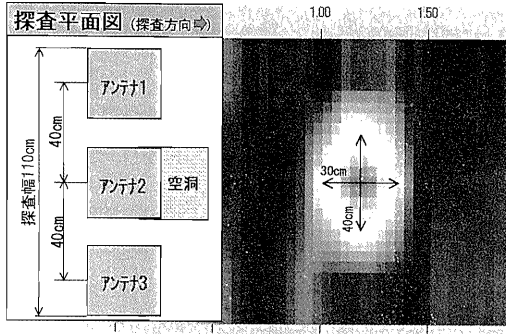


図-7 2次元処理データ(アンテナ直下に空洞)

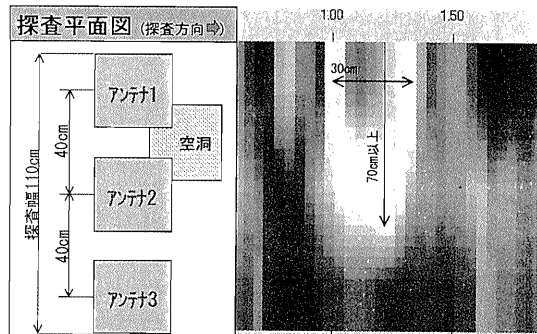


図-8 2次元処理データ(アンテナ2台中間下に空洞)

3. 3 歩道下空洞探査車(実機)の製作

要素試験の結果を踏襲し、歩道下空洞探

査車を製作した。

写真-3に今回製作した歩道下空洞探査車を、表-3に基本仕様を示す。



写真-3 歩道下空洞探査車

表-3 基本仕様

| | |
|-----------|------------------------------------------------------|
| ①車面形式 | 搭乗式電動四輪車 |
| ②探査方式 | 電磁波地中レーダ方式 |
| ③地中レーダ | 3台一体型と2台一体型(中心周波数500MHz) |
| ④信号処理機器 | 地中レーダで収集したデータを収録・表示する機器 |
| ⑤探査幅 | 1.0m(3台一体型の場合) |
| ⑥探査速度 | 5km/h(自走式) |
| ⑦最大探査深度 | 0.8m以上 |
| ⑧探査能力 | 30cm(縦)×30cm(横)×7cm(厚さ)以上の空洞 |
| ⑨駆動電源 | シール鉛蓄電池(車両駆動部)、発電発電機(探査装置部) |
| ⑩連続走行距離 | 25km以上(速度5km/h、平坦路) |
| ⑪連続走行駆動時間 | 7時間以上 |
| ⑫登坂能力 | 8%以上 |
| ⑬溝乗り越え幅 | 100mm |
| ⑭最小回半径 | 2.1m以下 |
| ⑮車両総重量 | 350kg未満 |
| ⑯車両寸法 | 全長1950mm、全幅1180mm、全高1000mm |
| ⑰安全装置 | 歩行者等に注意を促すための警告音と回転灯。 |
| ⑱アンテナ懸架装置 | ベース車両と地中レーダの3台一体型と2台一体型が 取付・取外可能とし、路面の不陸に対する回避装置。 |
| ⑲探査仕様方法 | 3測線又は2測線同時測定。 |
| ⑳マーキング装置 | 風化型チョークを用いた自動マーキング機構を備えた装置。 |

3. 4 構内試験

関東技術事務所構内において歩道下空洞探査車(実機)で実施した各試験結果を以下に示す。

3. 4. 1 実機による探査能力試験

本試験では、実機により要素試験結果を再確認するために実施した。

アンテナ3台を装着した歩道下空洞探査車を使い空洞試験フィールドにおいて試験した結果、アンテナ3台による相互干渉なく全ての擬似空洞および埋設管を明確に確認できた。図-9に試験結果データ(チャート出力)を示す。また、深度10cm毎に2次元処理の結果を図-10に示す。擬似空洞V1、V2、V3、V4、埋設管P1、P2、P4は明確に表示されたが、P3(塩化ビニル管)は明確には表示されなかった。これは、P3が擬似空洞や金属など他の埋設物と比べ反射信号が弱いためと考えられる。しかし、P3のように反射が弱いものに対しては、単独に抽出し表示濃度を上げることにより十分に確認ができると考えられる。

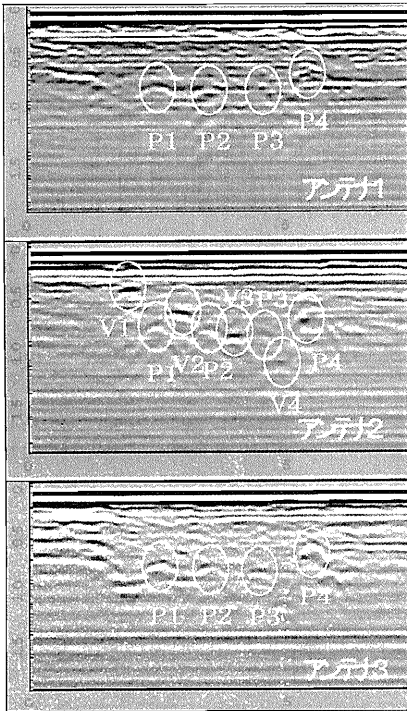


図-9 試験結果データ (チャート出力)

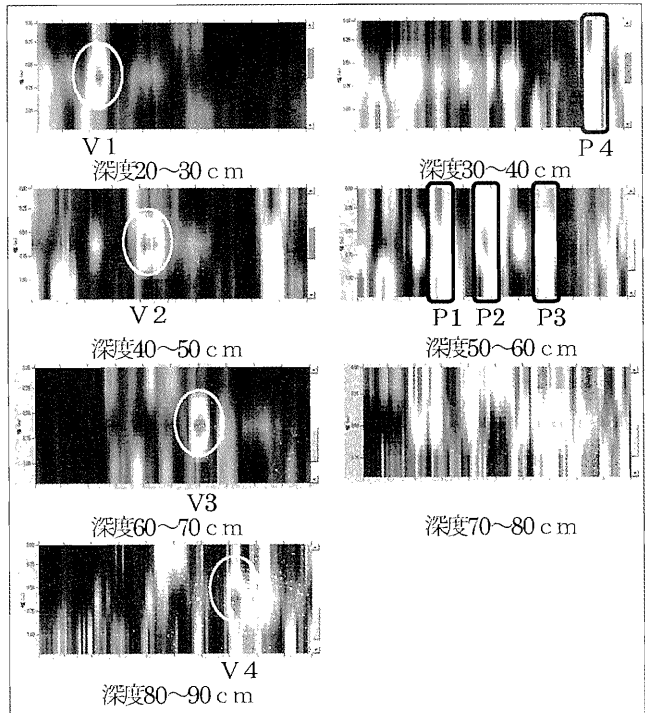


図-10 2次元処理結果

3. 4. 2 走行性能試験

本試験は、実際の歩道上における探査車の機動・操作性を確認するために実施した。

歩道の傾斜面走行試験では、勾配10%においても走行が可能であり段差の乗り越えでは84mm以下の段差であれば、アンテナが接触せずに乗り越えが可能であった。

実際の歩道上には、二輪車、植樹帯、支柱等の障害物が多く、探査できる範囲を確認するため、障害物回避試験を行った。植樹帯を擬した試験フィールドにおいて4条件による試験を実施した結果、表-4の調査可能比率から分かるようにアンテナ3台一体型の方が、探査可能面積が大きい。

図-11に障害物回避試験フィールド、表-4に障害物回避試験結果を示す。

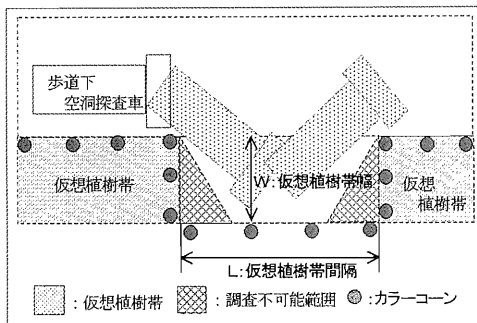


図-11 障害物回避試験フィールド

表-4 障害物回避試験結果

| フィールド 条件 | 仮想植樹帯 | | | 調査可能面積 (㎡) / 調査可能比率 (%) | |
|-------------|--------------|-------------|-----------------|----------------------------|-----------|
| | 間隔: L (m) | 幅: W (m) | 調査面積 : S (㎡) | 2台一体型 | 3台一体型 |
| A | 3.0 | 1.0 | 3.0 | 1.05 / 36 | 1.45 / 48 |
| B | 3.0 | 1.5 | 4.5 | 1.10 / 26 | 1.50 / 33 |
| C | 5.0 | 1.0 | 5.0 | 3.10 / 64 | 3.40 / 68 |
| D | 5.0 | 1.5 | 7.5 | 4.60 / 62 | 4.95 / 65 |

3. 5 現場試験

3. 5. 1 空洞判定能力試験

東京国道工事事務所管内で発見された3箇所の空洞を対象に、事前に行われたハンディ型レーダー及び開削による調査結果と歩道下空洞探査車による調査結果との比較を行った(写真-4参照)。

調査箇所No. 3における2次元処理の結果、図-13に示すように空洞は縦横ともに0.7mの広がりをもつ形状であると推測され、平面的な空洞寸法はハンディ型レーダー及び開削による調査結果と比較すると若干大きめではあるが近い値が確認された。ただし、深度については他の2箇所同様20cm程度の差があり、舗装の誘電率が要因とされる誤差と考えられ今後の検討課題ともされる。

以上の比較結果より、歩道下における空洞等の寸法、形状など概略的な把握は歩道下空洞探査車による調査で十分対応できるものと考えられる。No. 3におけるハンディ型レーダーによる調査結果を図-12に、歩道下空洞探査車による2次元処理結果を図-13に、各調査データの比較結果を表-5に示す。

表-5 各調査データ比較結果 (m)

| 調査箇所 | データ種別 | 縦方向 | 横方向 | 厚さ | 深度 |
|-------|-----------|----------------|--------|------|------|
| No. 1 | ハンディ型レーダー | 0.41 | 0.47 | — | — |
| | 歩道下空洞探査車 | 0.20 | 0.30 | — | 0.20 |
| | 開削 | 0.41 | 0.47 | 0.11 | 0.17 |
| No. 2 | ハンディ型レーダー | 0.90 | 0.50 | — | — |
| | 歩道下空洞探査車 | 0.70 | 1.00以上 | — | 0.60 |
| | 開削 | 開削調査時崩落により調査不可 | | | |
| No. 3 | ハンディ型レーダー | 0.60 | 0.52 | — | — |
| | 歩道下空洞探査車 | 0.70 | 0.70 | — | 0.40 |
| | 開削 | 0.60 | 0.52 | 0.18 | 0.19 |



写真-4 現場試験状況

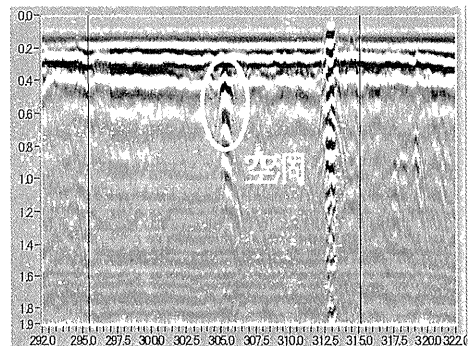


図-12 ハンディ型レーダー結果

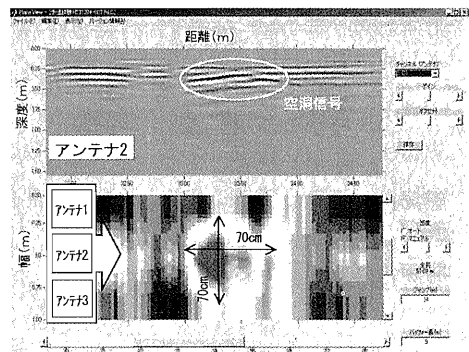


図-13 2次元処理結果

4. おわりに

歩道を対象とした歩道下空洞探査車を開発し、実機による実現場での試験を終了し、探査精度、操作性などその有効性を確認した。今後は、実現場での調査を実施し、多様な現場条件への適用性を実証する。また、調査結果については、既存の路面下空洞データベースへの統合を図るため、データベースソフトの改良を加え、スタンドアロン型を基本としたデータベースの構築を行い、同探査車の普及に努めるものである。

20. ダム用コンクリート運搬設備 「ライジングタワー」の開発

清水・熊谷佐賀特定共同企業体：森 敏昭、

清水建設㈱：佐藤 良一、*米田 吉男

1. はじめに

昨今、ダム建設事業を取巻く状況は非常に厳しくなっており、とくに環境保全については従来に増して一層の配慮を求められている。コンクリートダムの運搬設備の変遷は、打設方法に大きく影響されており、従来工法である柱状ブロック工法においては、堤体内の任意の個所にコンクリートを供給しなければならないため、コンクリート運搬設備としてはカバーエリアの大きいケーブルクレーンによる方法が最適であった。しかし、ケーブルクレーンを設置することは、堤体の両岸の地山を切取ることとなり、環境保全面では必ずしも最適工法であるとは言えなかった。

このような状況を踏まえて、コンクリート運搬設備の設置に付随して発生する大規模な地山の切取りを避けるため、ダム堤体上流にコンクリート運搬設備を配置することを基本として、新しいダム用コンクリート運搬設備を開発した。本文は、開発を続けてきたコンクリート運搬設備が、このたび実ダムで適用されたので報告するものである。

2. 鷹生ダムの工事概要

鷹生ダムは、岩手県五葉山の南麓にある鷹生川に建設される岩手県発注の多目的ダムであり、総貯水容量 968 万 m^3 、堤高 77m、堤頂長 309m、堤体積 319,000 m^3 の重力式コンクリートダムである。施工法は拡張レーヤ方式で、工期は平成 10 年 7 月～平成 19 年 3 月を予定している。

鷹生ダムは、ヒノキ、アスナロの針葉樹林、ケヤキ、ブナを中心とする広葉樹林など美しい植物環境に恵まれた五葉山県立自然公園に隣接する位置にあり、「自然との共生」が当ダム建設のテーマのひとつになっている。ダムは県立自然公園の区域外にあるものの景観上は自然公園と一体である。このため、コンクリート運搬設備としてケーブルクレーンに代えて、工事による周辺環境への影響を軽減できる利点を持つ本設備が採用された。

3. 新しいコンクリート運搬設備の概要

本設備は、ダムの上流側に設けたバッチャープラントで製造されたコンクリートを、できるだけシンプルかつ短距離で堤体上に運び上げる開発構想を、図-1のように具体化したものである。

本設備は、RCD工法などの面状工法において、バンカー線と打設面の固定点の間を単純に上下往復させることにより、コンクリート運搬の単純化を達成した運搬設備である。

本設備の主要な構成機器は、堤体に沿って鉛直に設置されるタワーマストとコンクリートを運搬するコンクリートバケット、バケットを昇降させる巻上装置、バケットを横行させる横行装置、および横行装置のガイドとなるジブ、タワーとジブをつなぐガイドマスト、それにセルフクライミン

グ装置である。タワーの限界自立高さは30mではあるが、タワーを堤体とステーでつなぐことにより、限界自立高さを越えて上方に伸ばす場合にも安定性を確保することができる。本設備による施工状況を写真-1、2、3に示す。また、構造図を図-2に示す。

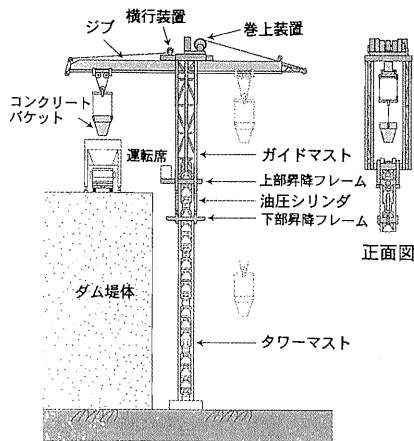


図-1 ライジングタワーの構成

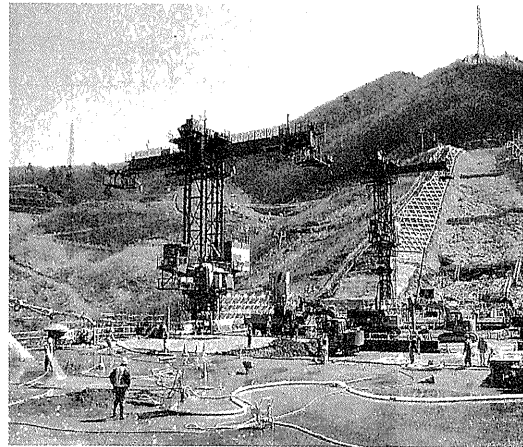


写真-1 コンクリート打設状況

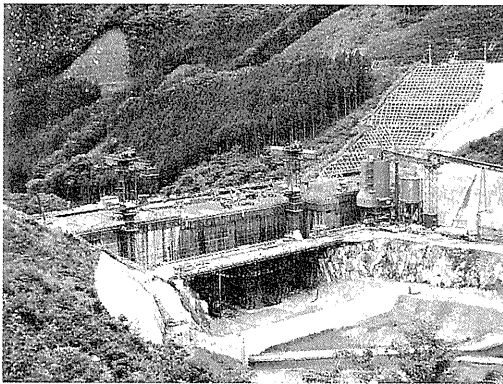


写真-2 上流からの施工状況

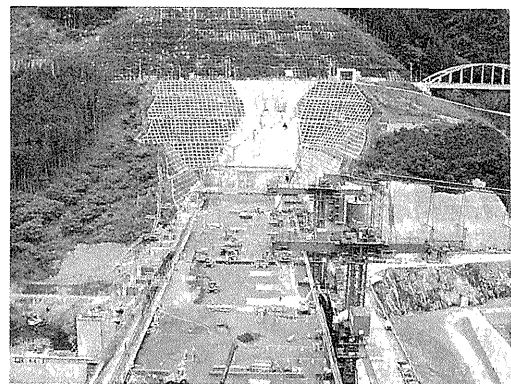


写真-3 左岸からの施工状況

(1) コンクリートの運搬経路

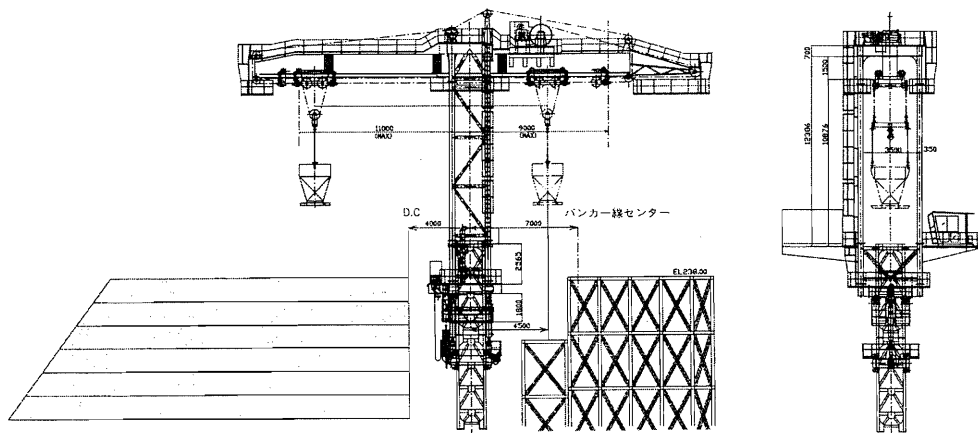
コンクリートは次の順序で、堤外から堤体上まで運搬される。(図-1 参照)

- ① まず、トランスファーカにより、ライジングタワー下までコンクリートが運ばれる。
- ② そこで、バケットにコンクリートが積み替えられる。
- ③ バケットはジブまで巻上げられる。
- ④ ジブに沿ってガイドマストの中空部を通過しながら、ダム堤体の上空まで横行する。
- ⑤ 堤体上で、コンクリートホッパーへ放出される。
- ⑥ コンクリートは、その後ダンプトラックで堤体上の打設場所まで搬送される。

(2) 巻き上げ装置

この設備の最大吊り能力は15.5tであり4.5m³のコンクリートバケットを吊ることができる。

250kwの電動機を用い、減速機で同期運転される2台の巻き上げドラムに、それぞれ別系統のワイヤーを巻き取り、あるいは巻き戻して吊り荷を昇降させている。速度制御をインバータによる5段階で行い、実負荷時の最大巻上速度は75m/minである。



図一 2 ライジングタワーの構造

(3) ジブおよび横行装置

ジブは全長 28,100mm、旋回機能をもたない固定式で、ジブの外側に横行トロリー用のレールが装着されている。横行装置は吊り荷をジブに沿って水平移動させる装置であり、吊り荷を懸垂している横行トロリーを前後からワイヤーで牽引して水平位置を決定している。前後で牽引したワイヤーをそれぞれ同一ドラムで巻き取っている。巻き上げ装置と同じく、速度制御にインバータを用い5段変速が可能である。7.5kwの電動機を用いており、最大横行速度は40m/minである。

(4) セルフクライミング装置

本設備でダム堤体上までコンクリートを運ぶためには、堤体の立ち上がりに追従して設備を延長していく必要がある。そのため、タワークレーンのセルフクライミング機構を改造したものをガイドマストの最下部に装備することで、自力による延伸を実現している。タワーマストは建築工事に使われるタワークレーン用の汎用性のあるもので、断面が1,900×1,900mm、長さ6mである。延伸する際は本設備でマストを吊り上げ、ガイドマストの中空部を利用して下部マストに継ぎ足す。

(5) 雑運搬

ガイドマスト中空部の寸法は幅3,500×高さ10,650mmである。コンクリートバケットを吊り具に交換することによって、ダンプトラックなどの施工機械や型枠材料などの資機材を、ガイドマスト中空部を通過させてダム堤体内へ搬入することができる。

4. 本設備の特長

本設備の特長は、次のとおりである。

- ①本設備や骨材製造設備・コンクリート製造設備などを堤体の貯水池側に集約できるため、左右岸の地形改変がなくなり、自然環境への負荷を最小限にすることができる。本ダムにおいては、

ケーブルクレーンを設置する場合と比較して、左右岸合計約 23,000m³の地山掘削とこれに伴う大面積の森林伐採を削減することができた。

- ②堤体上空にケーブルがないことにより、イヌワシやクマタカなどの猛禽類の飛翔を妨げない。
- ③コンクリートバケットが堤体の上空を往来しないので、飛来落下の心配が少なく安全である。
- ④コンクリートバケットの搬送経路がシンプルであり、機械操作も容易であることから、安定した作業を効率的に行なうことができる。
- ⑤タワーの構成部材にタワークレーンのマストを使用しているため、材料の調達が容易である。

表-1 に鷹生ダムに適用したライジングタワーの仕様、図-3 に基礎面からの高さとの運搬能力の関係を示す。

表-1 ライジングタワーの主な仕様

| | |
|--------------|-------------------|
| 定格荷重 | 15.5 t |
| コンクリートバケット容量 | 4.5m ³ |
| 揚程 | 80m |
| 巻上機出力 | 250 k w |
| 巻上速度制御 | インバータ制御 |
| 横行装置出力 | 7.5 k w |
| 巻上速度制御 | インバータ制御 |
| 電源 | 400 V |
| マスト寸法 (1 柱) | 1900×1900×6000mm |
| 自重 | 167 t |

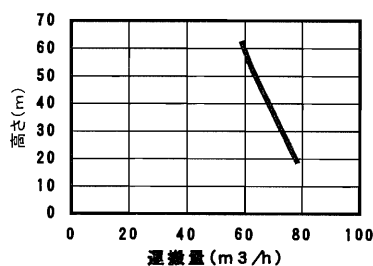


図-3 ライジングタワー運搬能力

ダムコンクリート運搬に多くの使用例のあるケーブルクレーンとの比較を、表-2 に示す。

表-2 運搬機械の比較

| 項目 | 従来機械 (ケーブルクレーン) | 開発機械 (ライジングタワー) |
|------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 自然環境の保全性 | 仮設備工事のため、ダム天端以上の左右岸の切取りが発生する。 | 仮設備工事のための、ダム天端以上の左右岸の切取りが発生しない。 |
| 作業性 | 熟練オペレータの技量を必要とする。 | 運転席が作業位置に近く操作が容易である。 |
| | オペレータの長時間運転による疲労のため、能率が低下する場合がある。 | 長時間運転でも作業が安定している。 |
| 設備構成 | 至近距離に並列で設置しづらい。 | 至近距離でも並列に設置できる。 |
| 構成部材 | 基本的に専用部材で構成されている。 | 汎用性のあるマストを活用している。 |
| 安全性 | 荷吊り作業場所が堤体全面にわたるため、万一の事故を回避しにくい。 | 荷吊り作業場所が限定されるため、万一の事故があっても人員をまきこみにくい。 |
| 堤体形状 (堤頂長) | 堤頂長が一定以上になると、設置できない。 | 堤頂長の長さによらずに設置できる。 |

5. おわりに

本設備は平成 13 年 7 月から本格稼働し、現在まで約 144,000m³ (6 月 30 日現在) のコンクリート打設が完了している。今回の取組みはダムによる自然改変から見れば小さなものかもしれない。しかし、このような小さな行動を積重ねていくことが重要なことではなかろうか。今後は、環境に優しいこの設備を機会あるごとに適用すべく努力していく。最後に、本設備の採用にあたりご指導・ご助言をいただいた関係各位の皆様には紙面を借りて、深く感謝の意を表す。

21. 建築仕上・設備資材の自動化 搬送システムの開発

榎大林組：*堂山 敦弘、汐川 孝、

浜田 耕史

1. はじめに

仕上・設備材を仮設リフトやエレベータ（以下、E V）で搬送する揚重作業は、特に超高層建物の施工において隘路となる場合が多く、効率化が求められる。また、資機材の搬送作業そのものは付加価値が低く、機械化・自動化を進展させたい要素でもある。

こうした背景から、1995年に56階建ての超高層建物を対象に、1) 建物の1階部分にストックヤードを設置、2) 自動化搬送設備の開発、3) コンピュータによる揚重管理システムの開発と揚重専従班による運用、を特長とする自動化搬送システムを開発・導入し、当初の目標を上回る成果を得た¹⁾。この適用実績から、1) 狭いスペースでの適用、2) よりフレキシブルな搬送、3) 夜間自動揚重の実現、4) 揚重予約データのパソコンへの入力手間の軽減、といった課題が残された。そこで、これらの課題を解決し揚重効率を高めることにより、揚重関連費用を削減することを目的として、自動化搬送システムを開発した。本論文では、開発システムの概要と実工事への適用と結果について述べる。

2. 自動化搬送システムの概要

自動化搬送システムの概要図を図1に示す。図のように、自動フォークリフト（AGF: Automatic Guided Fork-lift）と建設資機材に対応した立体ラック棚・自動移載装置等の自動化搬送設備とインターネット利用によるWeb揚重管理システムによって構成される。

自動化搬送設備は物流業等で用いられる立体自動倉庫を建築工事現場内に導入した概念である。搬入トラックと揚重機の間にはストックヤードとなる立体自動倉庫を設けることで、搬入に影響されていた従来の揚重作業の効率が著しく改善されることが事前評価²⁾により明らかとなった。さらに、夜間に資機材を搬入することなく夜間無人揚重作業を可能とするバッファの役目も担う。

Web揚重管理システムはE Vの予約と運用の管理をインターネットを通じて行うものである。E Vの予約や実績の情報は、Webを通じて協力会社間で共有されるため、E Vを効率よく管理できる。また、従来は、各協力会社からのFaxや電話連絡による揚重申込みデータを工事事務所の職員が入力していたが、Webを利用することによって協力会社の事務所からの入力が可能となり、職員の省力化が見込まれる。本システムは、大阪市内の新築工事に適用された。表1に工事の概要を示す。

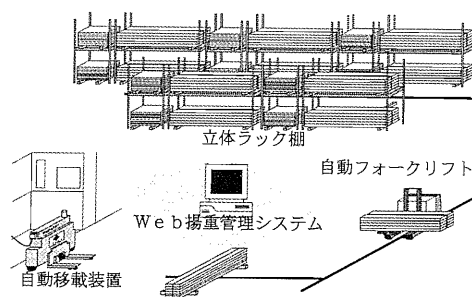


図1 自動化搬送システムの概要図

表1 自動化搬送システム適用工事概要

| 建物用途 | 事務所 |
|------|-------------------------|
| 施工場所 | 大阪市福島区 |
| 工期 | H10年3月17日～H13年10月末 |
| 階数 | 地上24階・塔屋2階・地下3階 |
| 構造 | S造+SRC造（地下部分） |
| 敷地面積 | 11,140.20m ² |
| 建築面積 | 2,233.32m ² |
| 延床面積 | 62,581.60m ² |
| 最高高さ | 120.00m |

3. 自動化搬送設備

自動化搬送システムの適用工事では、システム導入による揚重効率の向上により当初の揚重機設置台数を削減した。このため、仕上工事の最盛期には最大で1日に4時間程度の残業を見込んだ。自動化搬送設備は、残業時間帯の揚重作業を中心に、仕上・設備工事で多用されるボード類・軽鉄材・電気盤等の定型化された資材を主な対象として使用した。

仮設の立体自動倉庫となる1階部分のレイアウトを図2に示す。資材を積載したトラックは3通りと4通りの間から建物内に入り、仮置きヤードに荷降しされる。AGFは資材の入庫、出庫、および人荷EV（図中のHCE2800）前までの無人搬送を行う。人荷EV内の自動移載装置が資材を自動で受け取り所定階において自動で荷降しする。

3.1 AGFと立体ラック棚

写真1にAGFの外観と寸法・形状を示す。AGFの可搬重量は1,500kgfであり、走行の際の誘導に、電磁誘導方式を採用している。これは、床下面に埋設された誘導線内の電流を認識しながら、動作するもので、誤動作やトラブルは光反射方式と比べ少ない。開発に際しては、一般製造業等で多用されるAGFの標準機種をベースに、建築工事で必要となるセンサー・無線装置や特有の制御ロジックを組み込むことでコストを抑えた。揚重機前の荷取場において、自動移載装置との干渉防止のために、インターロック信号の授受により装置間の同期をとった。AGFへの指令は、各ラックに付けられた番地を入力することによって行う。全てのラックの資材を続けて搬送することが可能である。また、AGFはスピターン機能を有するため、狭い場所でも安全かつ効率的に資材を搬送する事ができる。

狭所に対応した多段式ラックを採用することで、フレキシブルな入出庫が可能となった。ラック棚は、対象資材の形状に合せた2m幅と4m幅の2種類を用意した。ラック棚で事前に梱包材を除去したり、

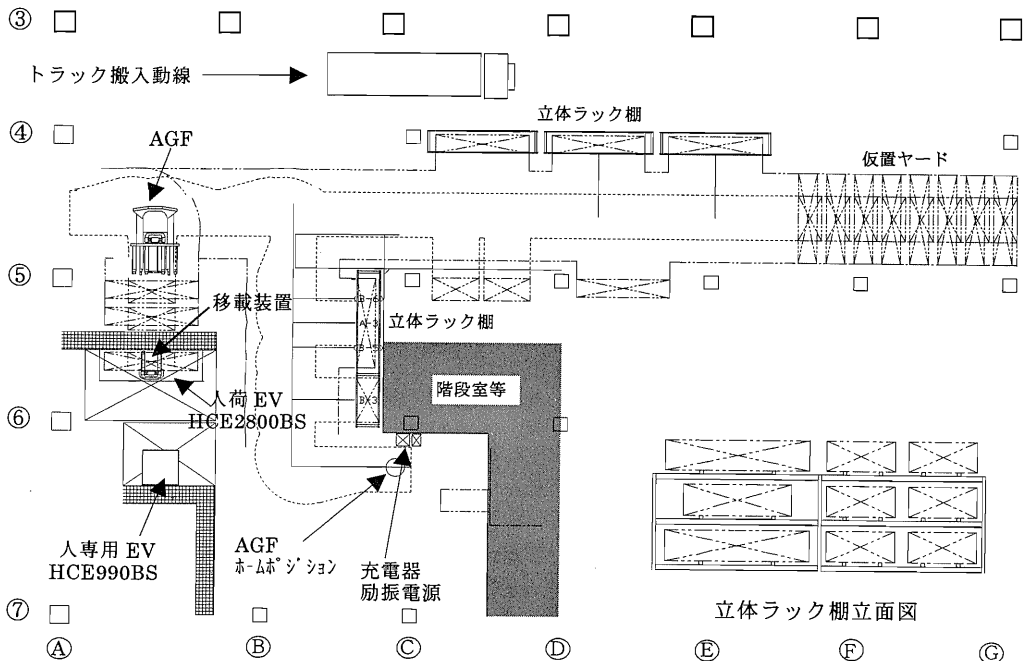


図2 自動化搬送システム1階配置図

各階に少量ずつ揚重する資材を他と混載することで、揚重作業の効率化を図った。

3.2 自動移載装置

自動移載装置は、人荷E V内に取付けられオペレータのボタン操作によって、荷積み・荷降しを自動的に行う。自動移載装置の外観を写真2に示す。移載作業の自動化により、揚重時間の短縮と荷積み・荷降し作業員の省力化を可能にした。装置の可搬重量は2,000kgfで、E Vから直接電源を供給されて動作するため、バッテリーを搭載する必要がなく、自重は800kgfと軽量である。E Vから容易に取り外すことができるため、作業員の移送時には障害とはならない、また、軽量の資機材や網台車の揚重時等には、人荷E Vの搬器を最大限に利用することができる。

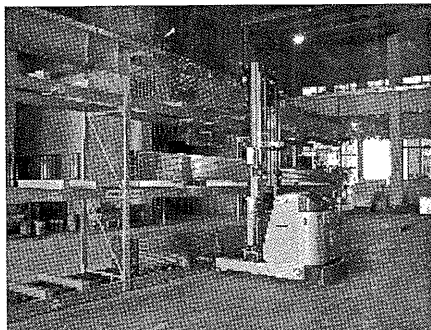


写真1 無人フォークリフトの外観

4. Web揚重管理システム

4.1 システムの構成

Web揚重管理システムの機能構成を図3に示す。各協力業者の事務所に設置された端末（揚重申込み端末）からインターネットに接続し、揚重申込み状況の確認・新規申込み・揚重申込みの削除や修正・調整後の揚重予定や揚重実績を確認する。揚重申込み時には、資材・揚重機・揚重階・揚重回数を入力すると、揚重作業の制約条件から申込みの可否が判定される。揚重可能であれば、推定所要時間が提示され、予約申込みが実行される。揚重申込み端末は、協力会社の事務所や工事事務所に設置された、インター

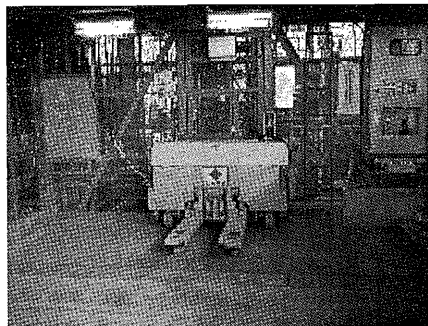


写真2 移載装置の外観

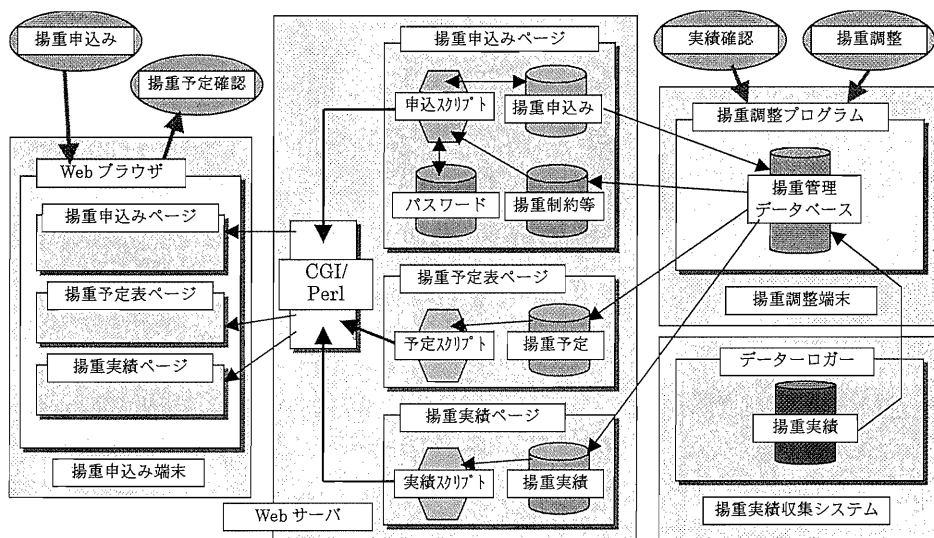


図3 Web揚重システムの構成

ネットを利用できるパソコンである。利用者はWebページを通して、揚重の申込みを行う。

Webサーバは、揚重申込み端末での操作に応じてスクリプトを実行する。スクリプトにはCGI/Perlを利用するため、一般のインターネットサービスプロバイダーが提供するホスティングサービスの利用が可能である。

揚重調整端末は揚重調整を行うプログラム用のパソコンで、工事事務所に設置する。揚重調整端末では、Webサーバから一定期間分の揚重申込みデータを取込み、一定の手法に基づく自動調整と簡単なマウス操作による手動調整で揚重予定を作成し、サーバに確定情報として転送する。また、事前に揚重機のクライミングや工事現場の休日等の制約条件を作成し、サーバーに転送することによって、揚重機の予約を制限することができる。さらに、実績収集システムより得られた揚重実績データを受取り、揚重予定と比較して表示できる。また、Web揚重管理システムは携帯電話から操作することが可能である。協会会社の担当者は外出中でも揚重予約状況の確認や予約の申し込みを行うことができる。

図4は申込み状況を示したカレンダー表示である。揚重機を使用したい日を選択することで図5に示すバーチャートによる詳細な申込み状況を確認できる。

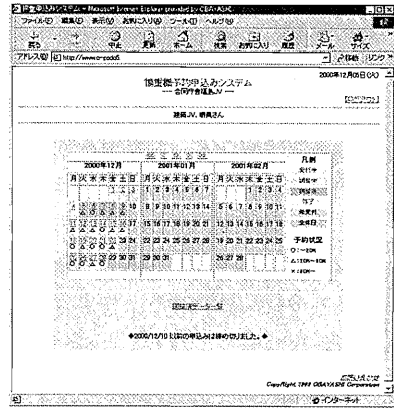


図4 予約状況のカレンダー表示

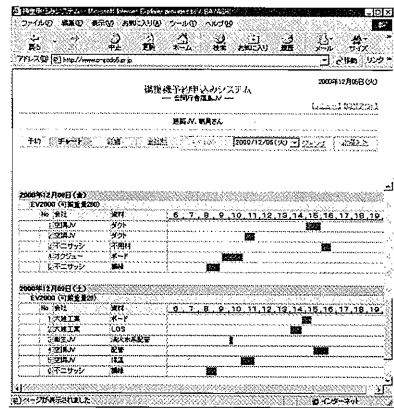


図5 予約状況のバーチャート表示

5. 適用結果

5.1 自動フォークリフトの稼働調査

AGFの制御信号は内部のマイクロコンピュータに自動的に記録され、この記録を分析することにより、AGFの稼働状況を知ることができる。図6はシステム稼働期間中における、AGFの搬送時間と搬送回数の推移を示したものである。AGFが稼働した日数は105日となり、仮設揚重機の設置期間である168日の約2/3となった。搬送時間を搬送回数で除した

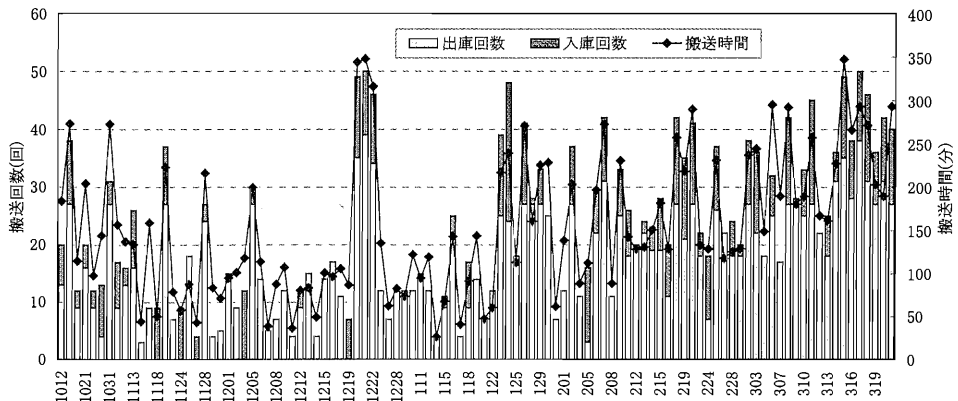


図6 AGFの搬送時間と搬送回数の推移

平均搬送時間は約7分/回となった。これらの値はシステム稼動前に算出した値と合致しており、作業が計画通り行われたことがわかる。また、AGFによって搬送した資材の回数を算出したところ、内装資材の約8割（全体の20%、建築仕上げ材の43%）の資材をAGFによって搬送したことが確認された。これらの作業は残業時間に少ない作業員で行うことができたため、揚重機の効率向上（設置台数の削減）と労務の削減に貢献したと考える。

5.2 EVの稼働率と揚重効率

揚重作業の効率を評価する指標として、揚重機の稼働率を分析した。ここでの稼働率の定義は、1日当りの揚重時間を、1日の作業終了時刻から作業開始時刻を減じた作業時間から、昼休み時間などの休憩時間を除いた正味作業時間で除した値とした。図7に稼働率の日ごとの推移を、在来の揚重方式による同規模の物件での実績と比較して示す。自動化搬送システムを用いた揚重機の稼働率は85.4%、在来方式は77.1%となった。揚重実績に関する各種の指標を、在来方式を100とした場合の割合で示したものが図8である。在来方式と比べ平均揚重重量は同等であったものの、他の揚重実績の値は在来方式を上回っていることが分る。特に、揚重関連労務の45%が省力化されているのが顕著である。これらの数値を基に、単位時間あたりの揚重量を算出すると、自動化搬送システムは、在来方式の約1.44倍となることが分かった。自動化搬送システムが在来方式より効率的であった理由として、以下の要因が考えられる。

1) 揚重専従班の導入により、EVの空き時間にラック棚にある資材を揚重することができた

2) 立体ラック棚の設置によって、トラックの遅れ等による現場外の事象に影響される事なく、揚重作業を行う事ができた。

3) 自動化搬送設備の導入により、作業の効率化と作業員の省力化が可能となった

5.3 Web揚重管理システム

Web揚重管理システム稼動期間（2000年8月～2001年3月）にサーバー内に蓄積されたログデータの分析を行った。この間

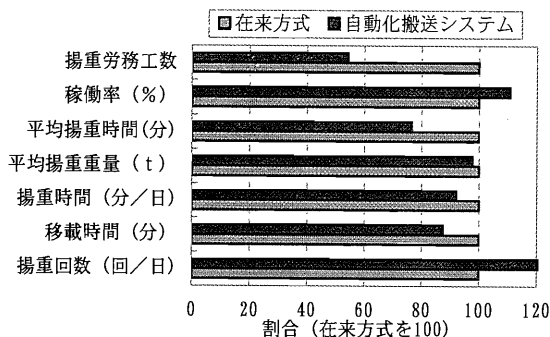


図8 揚重効率の比較

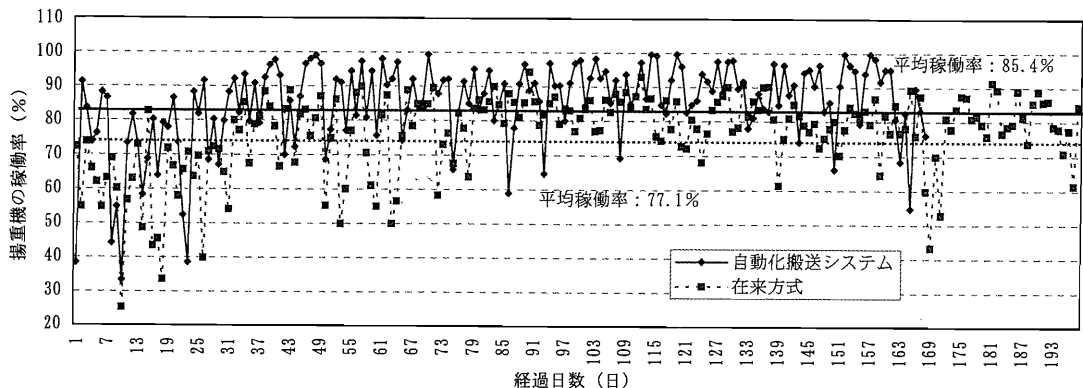


図7 揚重機稼働率の推移

の総ログイン件数は約2,700件、1週間当たり平均ログイン件数は約84回となり、1日あたり最大で45件のログインがあった。システム利用者の業種別割合は、設備関連業者が55.4%、建築仕上業者が26.4%であることがわかった。図9はシステムへログインした端末機の場所を分析した結果である。工事事務所内のPCからのログインが7%となり、大半が協力業者のバックオフィス等からのログインだった。また、揚重管理者による予約データの入力や揚重調整作業時間が従来の約20%となり、業務が大幅に軽減された。

図10に時間帯別のログイン状況を示す。工事現場の定時作業時間帯（午前8時から午後5時）でのログインは全体の58%、深夜や早朝といった時間外が40%、工事事務所の休業日は2%の予約受付が行われていた。以上のように、「いつでも」「どこからでも」揚重予約が可能となり、インターネットを利用した効果が活かされていた。

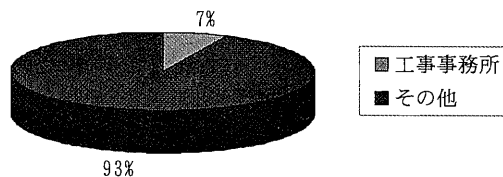


図9 システムへのログイン場所の比率

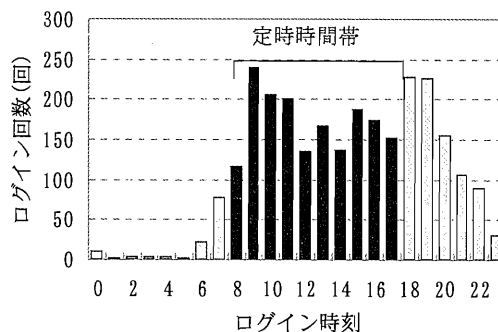


図10 システム利用者の割合

6. おわりに

仕上・設備材の搬送作業の効率化を目指して、自動化搬送システムの開発を進めてきた。新規開発の自動化設備によって狭所のスペースにおいても夜間の自動揚重作業も含めたフレキシブルな搬送を実現し、インターネットによる情報共有によって揚重管理業務を軽減した。今回の自動化搬送システム適用工事では、新規導入したAGF等の搬送設備の開発費用を1工事でまかなったが、揚重機の設置台数の削減や揚重関連労務の省力化効果によって、在来方式による当初計画揚重費用とほぼ同等に抑えられた。今後、今回の適用から得られた様々なノウハウを基に、自動化搬送システムの適用対象範囲を拡大するように改善し、人専用の揚重機も削減することで、さらなる揚重関連費用の削減が期待できると考える。さらに、ストックヤードでの資材管理方法の改良やWeb揚重管理システムの機能拡大を行うことにより、本システムは建築工事における中型揚重から物流全般へ対象範囲を拡大することが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 浜田ほか：超高層建物における仕上資材自動搬送システムの開発、大林組技術研究所報、No.52、(1996.2)
- 2) 浜田ほか：建築工事における搬送作業の自動化に関する研究、(その1)搬送作業の実態把握と評価の方法、第15回建築生産シンポジウム論文集、(1999.7)

22. フラッシュ接合システムの開発と アンダーピニング工事への展開

(株)竹中工務店：*梅國 章、日本鋼管工事(株)：藤井 充、

(財)溶接研究所：加藤 勉

1. はじめに

建築分野では、溶接作業の効率化と溶接技能者の高齢化や熟練技能者不足の問題に対応して、溶接ロボットの開発と導入が盛んに行われてきた。特に、鉄骨製作工場内における溶接ロボットは、切断を含めた自動化の一連として製作ラインの中に位置付けられ、最も効率的な部位に適用され、大きな効果を上げている。建築現場においても、溶接ロボットの開発が盛んに行われ、大型の工事を中心に適用されている。しかしながら、建築現場における建築鉄骨用の溶接ロボットは、労務の軽減に起因したアークタイムの向上には有効であるが、溶接技能者が用いるのと同じ、ガスシールド半自動アーク溶接を用いているため、施工効率の改善は十分とはいえない。近年、投資効率を重視する考えから、建設の開始から施設の稼働までの期間の短縮が、従来にも増して求められている。そのため、建築分野においても、自動車産業におけるスポット溶接のような自動化に適した革新的な高施工効率の接合法の開発が不可欠である。

一方、循環型・低環境負荷型社会の確立に対応して、建物の長寿命化のために行われるアンダーピニング：基礎・杭の補強工事が増加している。その中で、構造物の直下に鋼管杭を増設するアンダーピニングの場合、作業空間の高さが確保出来ないため、杭の施工が制約を受け、短く分割された鋼管杭を継ぎ足しながら圧入作業を何回も繰り返す必要がある。狭い空間での鋼管杭の溶接と圧入作業は作業環境が悪く、溶接の高速化と高品質化および圧入作業の自動化が求められている。

本開発では、建築工程のクリティカルパスとなる溶接工程を大幅に短縮する技術の開発を行い、最終的に、その技術がキーとなり、その他の施工法にも大きな影響を与えることによる、大幅な短工期化の実現を目指した。その結果、フラッシュ溶接をベースとした革新的なH形鋼接合技術を確立し、さらにアンダーピニングに対応した鋼管杭接合・圧入システムに発展させ、実工事に適用し、効果を確認したので報告を行う。

2. フラッシュ接合システム

(1) 接合法の絞り込み

本開発では、従来の接合法にとられることなく、①工期(ワンオーダーの相違)②脱技能(自動焦点カメラ並の操作性)③耐候性(風速 15m/sec 以下、降雨時作業可)の目標を達成可能な接合法の検討を行った。表1に示すH300x300のH形鋼を接合した場合の比較検討結果から、最も可能性のあるフラッシュ溶接に接合法を絞り込んだ。フラッシュ溶接は図1に示すように、接合する部材をクランプ(把持)し、部材間に大電流(数万アンペア)を流すことにより発生する火花(フラッ

シュ)により接合端面を加熱溶融させた後に、クランプにより把持された部材同士の加圧(アプセット)により、酸化物や不純物を接合部材断面より外側に押し出して余盛りを成形し、溶接する方法である。この溶接法は、機械部品や新幹線のレールの溶接に用いられており、①開先不要 ②完全自動 ③品質安定 の利点を有する一方、問題点として ①大電気容量給電設備が必要 ②装置寸法、重量及び初期導入コストが大 等の問題から建築部材への適用は不可能と考えられていた。

(2) 電気容量の低減

建築鉄骨への適用性を、写真1の工場設置型の大型(重量50トン)のフラッシュ溶接装置を用いた鋼管の溶接により検討した。実験パラメーターは電流とフラッシュ時間とし、低電流化とフラッシュ時間を長時間化した場合における、良好な接合部品質を確保可能な溶接条件の範囲を明らかにした。試験体は図2に示す試験体を用い、鋼種をSS400とし、直径200mm、断面積は100cm²と200cm²とした。また、フラッシュ時間は200-300secとした。写真2には断面積100cm²試験体の各溶接条件での接合部外観を示す。55KVA以上の電力で良好な接合部が得られた。図3には電力と接合可能断面積の関係を既往のデータとの比較として示す。既往のデータは主として1-2秒程度に1カ所の接合を行うための工場設置型装置のデータであり、この溶接条件を建築構造物に使われる比較的大断面の断面積1000cm²の部材に適用するとして外挿すると、約20000KVAといった非常に大きな電力が必要になる。これに対し、本実験で得られたデータでは、既往のデータ

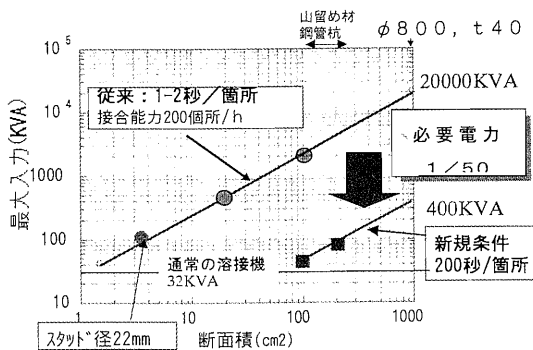


図3 必要電力と接合可能断面積

表1 接合法の比較(H300x300)

| 溶接法 | 施工場所 | | 溶接時間 (min) | 溶接品質 | 耐候性 | 設備費 | 脱技能 |
|---------|------|----|------------|------|-----|-----|-----|
| | 工場 | 現場 | | | | | |
| フラッシュ溶接 | ○ | ○ | 5 | ○ | ○ | × | ○ |
| ガス圧接 | ○ | ○ | 20 | ○ | ○ | △ | △ |
| アーク溶接 | — | ○ | 60 | ○ | × | △ | × |
| テルミット溶接 | — | ○ | 40 | △ | ○ | ○ | △ |
| 拡散接合 | ○ | ○ | (10) | △ | × | × | △ |

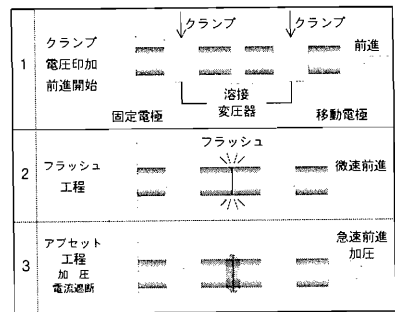


図1 フラッシュ溶接の原理

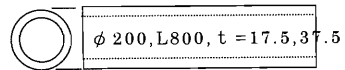


図2 試験体形状

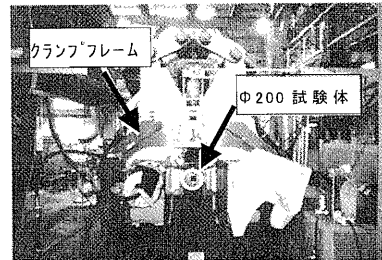


写真1 工場設置型フラッシュ溶接装置

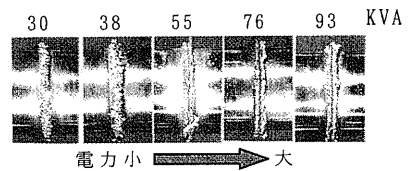


写真2 フラッシュ溶接部外観

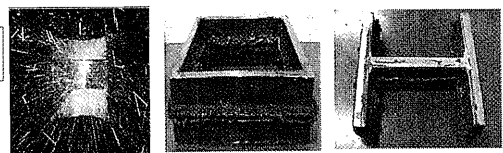


写真3 各種断面のフラッシュ溶接試験

に対し、1/50程度の電力で接合が可能となり、1000cm²の断面積の部材でも約400KVAの電力で接合可能であると推測され、必要電力は実現可能な数値となった。また、写真3に示すようにボックス、H形等各種断面の鉄骨に適用可能であることを確認した。

2.1 H形鋼システムの開発

(1) 軽量化・低コスト化

前述のように、断面積が200cm²を越えるような部材の接合に用いるフラッシュ溶接装置は50トン以上の重量であった。建築鉄骨の現場溶接に適用するには、革新的な機構による装置の軽量化が必要であり、クランプ方式と加圧方式を抜本的に見直し、総重量2トンを目標とした装置の検討を実施した。図4に示す種々の応力解析を行うことにより、装置形状とクランプ位置の最適化を行うことにより軽量化を図った。製作されたH形鋼用の装置を図5に示す。装置は油圧アクチュエータの両端にフランジを把持するクランプが、また接合部近傍にトランスとフランジへ通電する電極が配置されており、従来不可欠であった巨大なクランプフレーム(写真1)を省略した。その結果、装置重量は1.8トンと目標の2トンを下回り、非常に軽量化でコンパクトな構造となった。上・下フランジに装置が対称にセットされるよう、水平移動用の台車に懸架されている。その他、フラッシュ溶接時間を入力情報に従って自動的に調節するコントローラ及び発電機などの電源ユニットで構成されている。H700x300の溶接時間は従来の半自動アーク溶接が60分に対し、フラッシュ接合システムでは5分と、1/10の時間で接合が完了することが確認された。

(2) 性能確認試験

写真4にH形鋼用フラッシュ接合システムによる施工試験状況(フラッシュ過程)を示す。H588x300に対する施工試験により作製した接合部の引張試験では、全て母材破断となり、接合部の十分な強度が確認された。溶接部の断面マクロに示すように、接合部は圧接コブに似た断面となるため、形状に起因する応力集中が懸念された。このため、実大の曲げ試験や繰返し載荷試験により、断面形状の影響を検

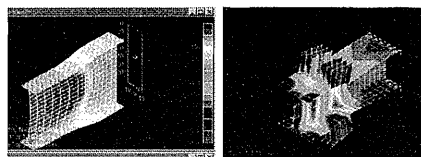


図4 応力解析結果

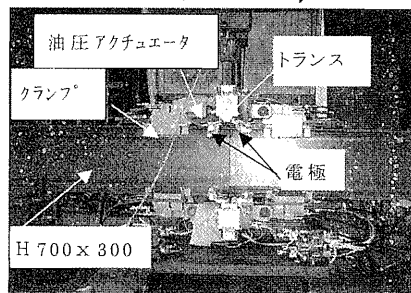
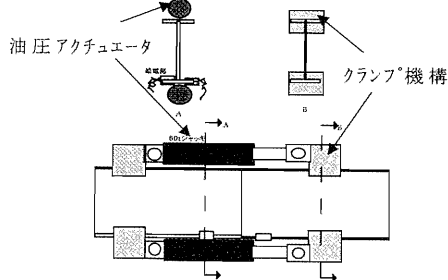


図5 H形鋼フラッシュ溶接装置

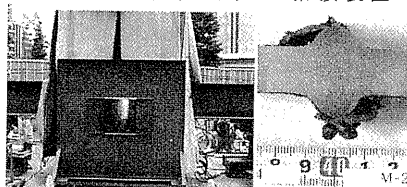
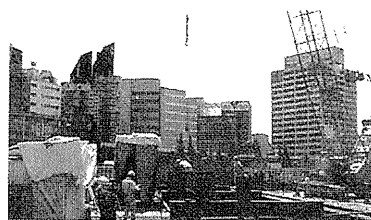


写真4 施工試験状況



ヤード' 全景



写真5 A作業所適用状況

討したが、接合部は通常の裏当金付きの溶接部よりも応力集中が小さいことが明らかとなり、良好な性能が確認された。

(3) プロジェクト適用

施工性の評価と実施工時の問題点を抽出するために、山留芯材のH形鋼の接合に適用した。写真5には都内A作業所での施工状況を示す。必要な装置は、フラッシュ溶接装置とそのコントローラ、電源には400KVAの発電機を使用し、ロールH形鋼H588x300の接合に適用した。溶接性や接合部品質は良好であった。抽出された問題点としては ①山留芯材の精度の問題によりセッティング時間が長い ②単ラインであるため装置の非稼働時間が長いことであった。

そのため、H形鋼の位置決めジグを作製すると共に、図6に示すような複ライン化により対策を講じた。複ライン化においては、溶接ラインとセッティングラインの間に装置を配置し、回転テーブルにより装置の向きを変えられるようにした。この改良の効果を横浜市内B作業所の山留工事にシステムを適用することにより検証した。写真6に適用状況(装置回転)を示す。改良により施工効率は向上し、12箇所/日の施工が可能となり、高力ボルト接合に対し、開先加工や裏当金が不要であることなどから、大幅なコスト低減が可能となった。

2.2 鋼管杭接合・圧入システム：フラッシュパイリングシステムへの展開

(1) アンダーピング工事

既存建物の基礎部分の補強を行うアンダーピング工事では、施工空間に制約があり、作業環境が悪い状態での溶接が不可避であったその一例である免震化工事では、図7に示すような杭頭を連結する新設耐圧盤を支持するための鋼管杭の増設が必要である。また、仮設的に上部構造の荷重を支持する場合にも、鋼管杭の増設が必要になる。掘削深度を低減するためにも、掘削深度は低く抑えられ、作業空間の高さHはフォークリフトなどの重機が作業可能な2.5m前後となること

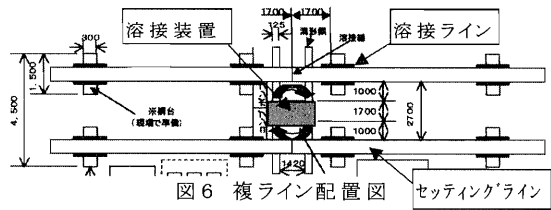


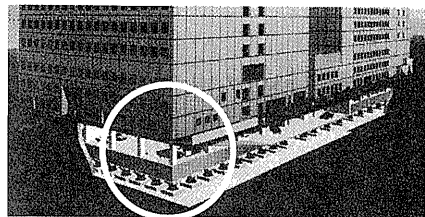
図6 複ライン配置図



写真6 B作業所適用状況(複ライン)

表2 装置仕様(H鋼)

| | |
|-------------|--------------------|
| 適用H形鋼サイズ | H400x200-H700x300 |
| 最大断面積 | 250cm ² |
| アクチュエータ(引側) | 60トンx2台 |
| トランス | 45KVAX4台 |
| 装置重量 | 1.8トン |
| 移動 | 台車にて人力移動・回転 |
| 発電機 | 200-400KVA |



杭頭免震改修における適用例

特徴：施工空間に制限有り
ジョイント箇所多数

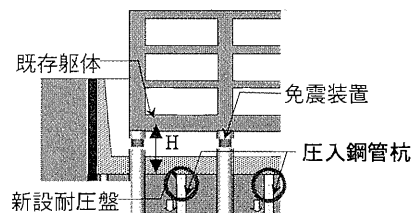


図7 免震工事の特徴

が多い。この空間において、杭長 20m 程度の鋼管杭を施工するには、鋼管杭のピースを 1-1.5m に短尺化する必要があり、接合部が膨大となる問題点があった。そのため、H 形鋼接合システムの開発で得たノウハウを用い、鋼管杭の接合及・圧入システム(フラッシュパイリングシステム)の開発を行った。

(2) システム原理

フラッシュ溶接には図 1 に示すように、クランプ機構と部材同士を加圧する機構が不可欠である。また、フラッシュ溶接の間、サーボバルブにより部材を微

振動させることで良好なフラッシュの発生のための変位制御が行われている。そのクランプ機構、加圧機構、及び制御機構を鋼管杭の圧入工事にも利用することとした。具体的には、H 形鋼用システムでは部材を横にして接合していたが、これを立てた状態にし、まず鋼管杭の接合はフラッシュ溶接で行い、溶接に必要なクランプ機構で鋼管杭を把持し、加圧機構で圧入することとした。フラッシュ溶接のアブセット時にはアクチュエータを縮め引張り方向に用い、圧入時には伸び側の圧縮方向に用いる。その作業フローは図 8 に示すように、①クランプはリング状とし、開状態で鋼管を横から挿入②クランプを閉じ、上下のクランプ機構により鋼管を把持しながら通電、その後、油圧アクチュエータを縮め、鋼管同士を加圧することにより溶接③上下クランプ機構の解除④反力ブロックを既存躯体に接触させ、下クランプのみで鋼管把持 ⑤下クランプで鋼管を把持したまま、油圧アクチュエータを伸ばし、既存躯体を反力に鋼管を地盤に圧入する。図 9 に本システムと在来工法と比較を示す。①ピース長が長く、溶接箇所数

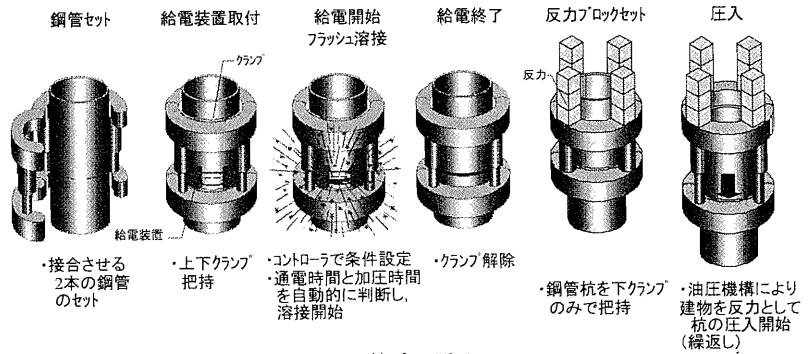


図 8 フラッシュ接合・圧入フロー

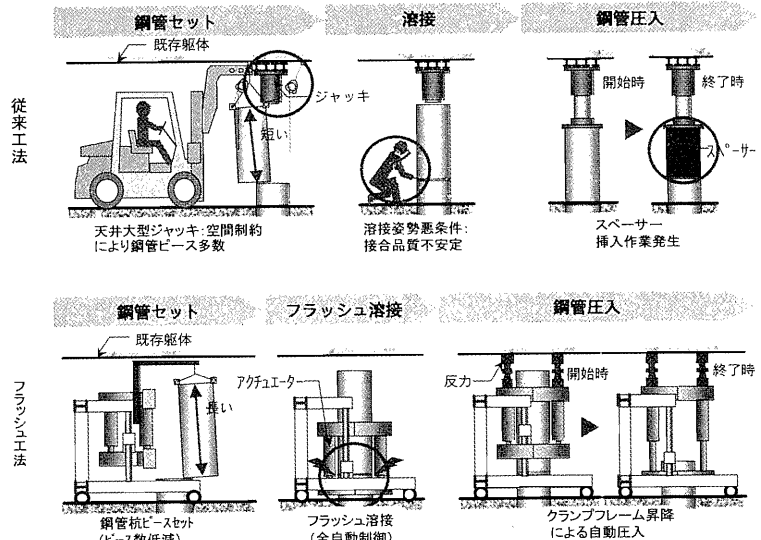


図 9 在来工法との比較

表 3 装置仕様 (鋼管)

| | |
|----------------|--------------------|
| 適用鋼管サイズ | φ400-500 |
| 最大断面積 | 150cm ² |
| アクチュエータ(引側:溶接) | 25トン×4台 |
| アクチュエータ(押側:圧入) | 50トン×4台 |
| トランス | 35KVA×4台 |
| 装置重量 | 3.8トン |
| 移動 | キャスタにて人力 |
| 発電機 | 300KVA |

低減可②全自動溶接による溶接品質の安定③スペーサー不要による高効率
が本システムの特長である。表3に装置の
主な仕様を示す。

(3) 鋼管杭施工法の検証

フラッシュ溶接部の余盛りが圧入荷重
と支持能力に与える影響を把握すると
共に、圧入杭の打ち止め管理手法など

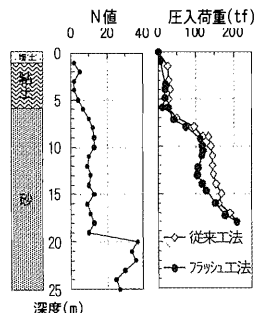


図10 圧入荷重の変化

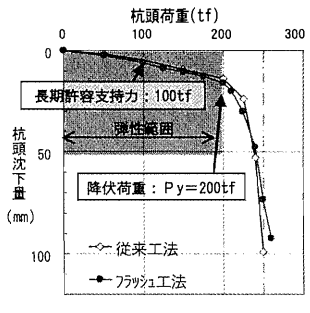


図11 鉛直載荷試験結果

施工管理手法の確立を目的として、在来工法との比較による施工実験を実施した。結果を図10と図11に示す。圧入荷重及び支持荷重ともフラッシュ溶接と在来工法の差異は認められず、本システムによる杭は十分な支持力を有した。また、実プロジェクト適用時には漏洩電流がテナントのコンピュータに与える影響が考えられたため、事前の計測により問題がないことを確認した。

(4) プロジェクトへの適用

免震改修への適用状況を写真7,8に示す。その結果、溶接技能者1名と圧入作業員3名で施工を行う在来工法

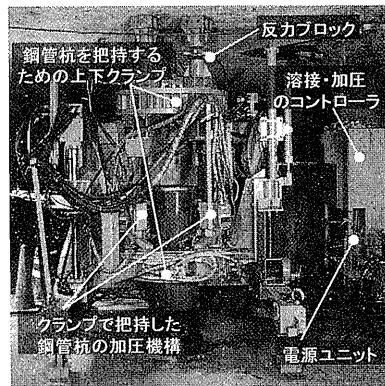


写真7 装置全景

に対し、オペレータを含み2名での施工が可能となり、50%の省人化と高品質の接合部が実現されることが確認された。一方、装置の移動は今後の更なる検討が必要であることが明らかとなった。

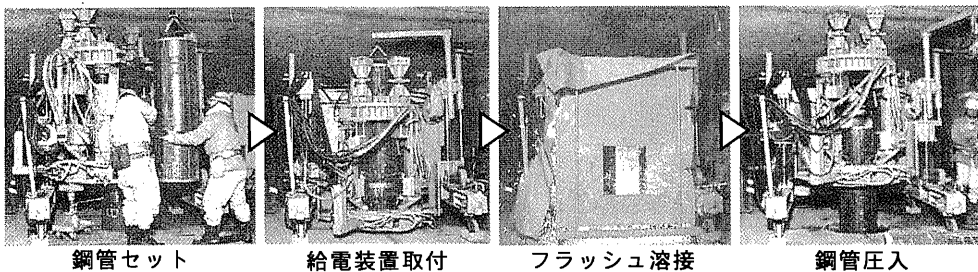


写真8 免震改修工事における施工状況

3. まとめと今後の展開

本開発のまとめを以下に示す。

- ① 従来の溶接に比べ、約1/10の接合時間・低コストのH鋼接合システム確立した。
- ② 免震改修工事に対応した鋼管杭の接合・圧入システム(フラッシュパイリングシステム)を構築し、実工事に適用し、その有効性を確認した。

今後、建築鉄骨に要求される諸性能に対する接合部性能の評価とシステムの改良により、地上の本設鉄骨への適用を検討してゆく予定である。

なお、本開発の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構の研究助成により行われた。

23. トンネル覆工コンクリート打音診断機の開発 ～トンネルドクター‘ソニック マイスター’の開発～

大成建設㈱：*須田 健、平野 逸雄、
鈴木 隆次

1. はじめに

トンネル覆工コンクリート健全性の診断は、点検ハンマーによる打音の他、レーザーや写真撮影によるクラック分布の調査、超音波によるクラックや覆工厚調査および電磁波等による覆工厚や背面空洞調査等の非破壊検査技術を用いて行われている。

これらの診断技術のうち、点検ハンマーによる打音診断は、コンクリートの剥落につながるような欠陥部を検出できる方法であり、多くの機関で定期点検時にこの方法を用いることが推奨されている。しかし、点検ハンマーによる打音診断は人力による作業であり、個人差が生じ定量的な判断が困難で、記録にも残らないという欠点がある。また、作業環境の悪いトンネル内で、長時間の作業を余儀なくされるなど問題点が多く、打音診断を客観的かつ迅速に行う技術の開発が求められていた。

筆者等は、車に搭載したロボットの先端に、5個の打撃装置と打音収録装置を取り付けた打音診断機を開発した。本装置は、油圧駆動の打撃ハンマーで打音を発生し、トンネル覆工コンクリートから発生する反射音を、人間の聴覚アルゴリズムを利用した手法により解析し、コンクリートの健全性を「早く・確実に」診断するものである。

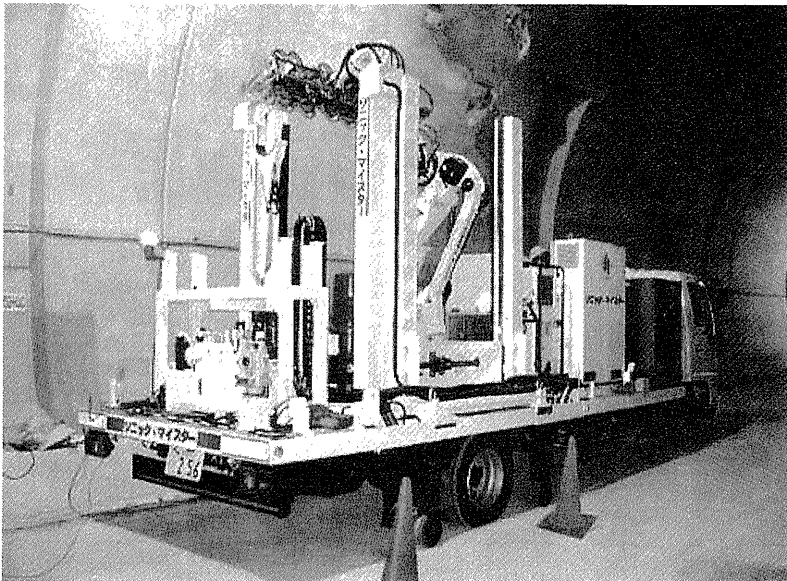


写真-1 打音診断機『ソニック・マイスター』

2. システムの構成

打音診断機は、図-1 に示すように、ベースマシンとなる 8 tトラック、打音位置を測定する障害物位置確認装置と自動距離測定装置、打音を発生させる打音装置、打音ユニットを診断位置へ移動させるアーム式ロボット、トンネル断面に応じてアーム式ロボットを上下に移動させる昇降装置、これらを制御するコンピュータユニットから構成されている。

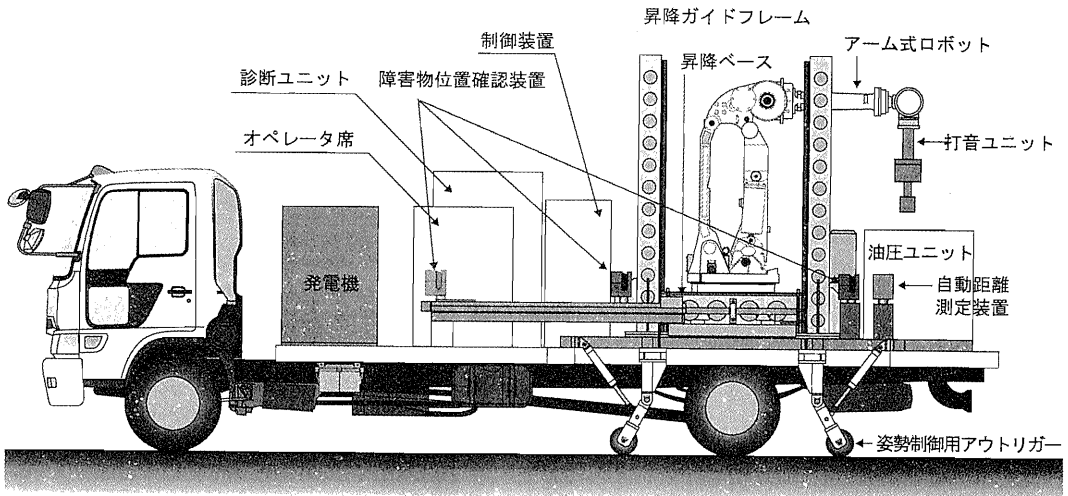


図-1 システム構成図

2.1 ベースマシン

ベースマシンは、測定場所へ自走可能で、移動しながらの診断作業を行なうため、8 tトラックに特殊儀装した。最終車両寸法は、幅 2.43m×長さ 8.48m×高さ 3.65m で一般公道を規制なく運行できる寸法である。

2.2 打音位置測定装置

打音位置は、レーザー光により横断方向を測定する内空断面計測装置と、縦断方向を測定する自動追尾型測距装置を組合せ、三次元位置データとして検出する。

断面測定器は、打音ユニットを装備したアーム式ロボットの前後に設置し、打音診断作業中のセンサー空き時間を利用し、次の打音範囲の詳細測定を行う。この測定により、断面形状や障害物を事前に検知し、ロボットの動作計画を短時間でこなせるようにしている。位置測定結果は、オペレーター席のパソコン上に表示される。図-2、図-3 に位置測定概要を示す。

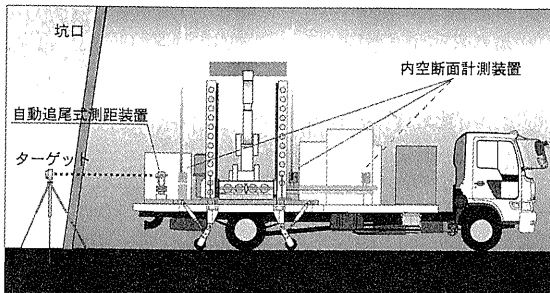


図-2 トンネル縦断方向位置測定の概要

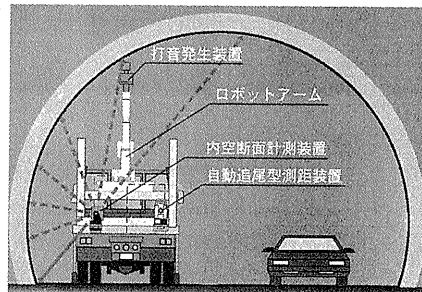


図-3 トンネル横断方向位置測定概要

2.3 アーム式ロボット

打音ユニット移動は、診断、障害物回避等の動作速度等を考慮し、汎用の大型アーム式ロボットを採用した。また、昇降装置の装備により、アーム伸縮で対応できない高さ方向エリアの診断可能にした。これにより、道路トンネル技術基準（2級～4級）の断面診断が対応できるようになった。更に、システムの姿勢安定を確保するため、油圧従輪式アウトリガーを装備した。

3. 打音診断の方法

3.1 打音装置

打音装置は、写真-2に示すようにフード内に打撃装置とマイクロフォンが一体に装備されている。打撃ハンマーは、音源ノイズが極力発生しないように、油圧で作動する方式となっている。音の収録装置であるマイクロフォンを打撃装置と分離して、なるべく覆工コンクリートからの音のみを収録する方式も考えられる。しかし、人間による打音診断では、ハンマーからの音も同時に聞いて判断しているので、本装置では打撃装置とマイクロフォンを一体化してコンパクト化を目指した。

この打音装置は、写真-3に示すように30cm間隔に5個装備しており、0.2秒間隔で順次打撃し、打撃音を収録するようになっている。

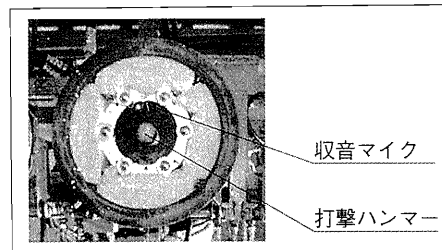


写真-2 打音装置

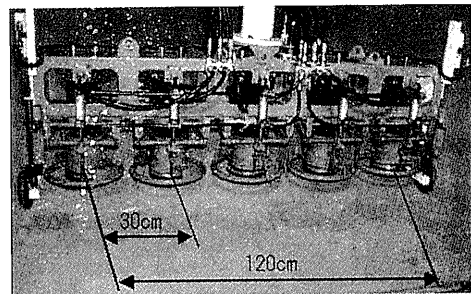


写真-3 打音ユニット

3.2 打音の収録方法

打音装置は、図-3に示すように、制御装置、打音ユニット、診断ユニットおよびメモリから構成されている。まず制御装置から打撃ユニットおよび診断ユニットに制御信号を送る。その信号により打撃ユニットでは油圧電磁弁を開きシリンダーに油圧を作用させて打撃を行う。また、診断ユニットでは同時に打音の収録を開始する。メモリはマイクロフォン出力がトリガーしきい値を超えた時刻から5msecさかのぼって100 msec間の打撃波形を記録する。

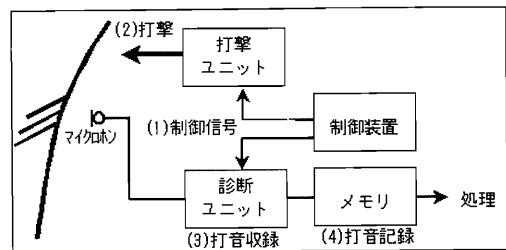


図-3 打音装置原理

3.3 打音診断の解析方法

図-4は、厚さ40cmのコンクリートとその内部に空洞を設けた剥離モデルを打撃したときの打音の例である。図から分かるように、コンクリートの不健全部は、健全部よりも音圧レベルが高く、減衰が遅い特徴がある。また、周波数では、400～5kHzにおいて健全部と不健全部に差異がみられた。この傾向は、複数の補修トンネルにおける現場実験においても同様な結果を得

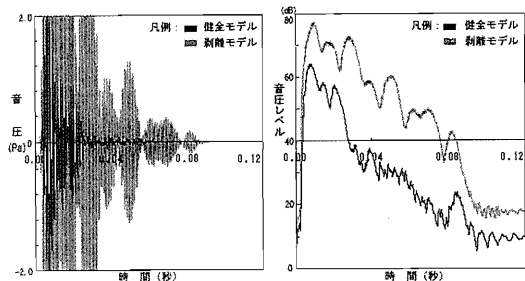


図-4 健全部、不健全部打音波形の差異

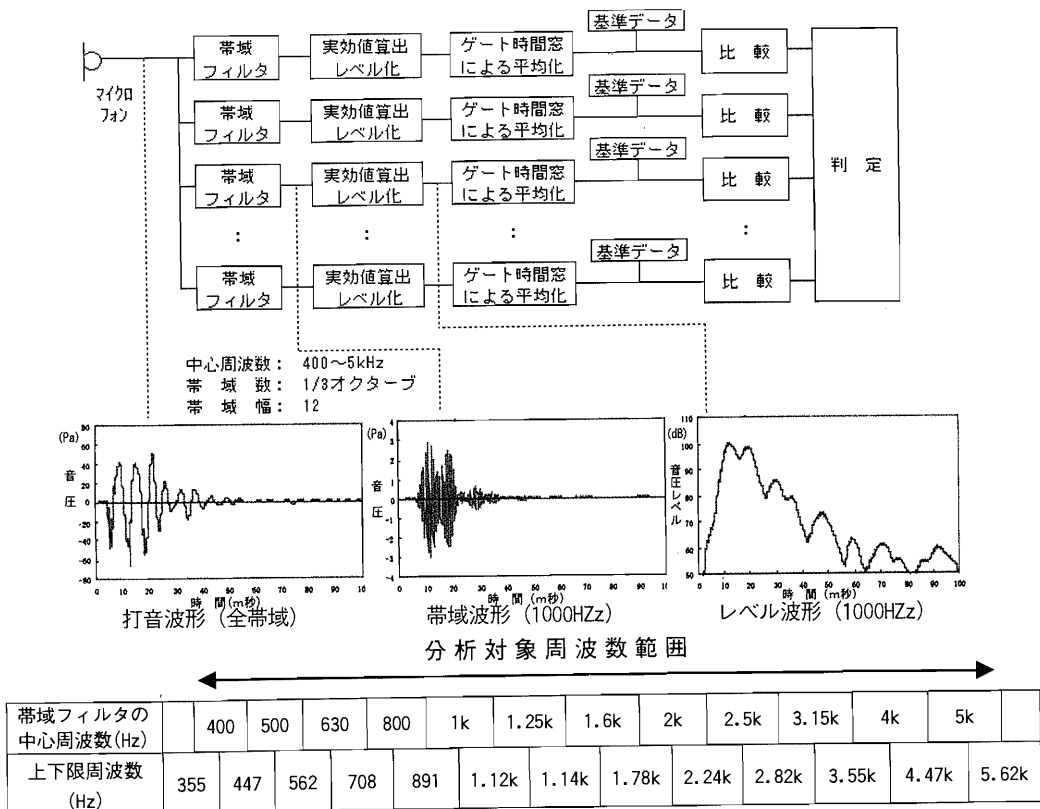
ている。これらの知見および以前に開発を行った「タイル剥離診断システム」^{1),2)}での診断方法を参考にし応用した、「時定数関数を用いたバンド別評価法」により空洞・剥離を評価する方法を採用した。

その方法は以下のとおりである。

収録した打撃音は、1/3 オクターブバンドの帯域フィルター処理を行い、各帯域での実効値レベル化を行う。そして、ゲート時間窓により実効値レベルの平均化を行う。そして、平均化した実効値レベルの最大値を健全域の基準データと比較して、「健全域」、「中間域」および「不健全域」の判定結果を出力する。

打音判定の基本的な考え方としては、健全部の打音結果と異なる結果が得られた箇所が不健全部と判定する。しかしながら、トンネル覆工コンクリートには、健全部と不健全部が明確に分離されているとはいえない。人間による打音判定では、経験的に分類しているのが現状である。本システムでは、明らかに健全もしくは不健全と判定できる領域の他に、健全とも不健全とも判定できない領域として中間域を設定している。

打音診断は一次診断であり、より詳細な二次調査が必要な箇所の抽出するための診断であるため、不良箇所を見逃さないためにも「中間域」を設けている。



図ー5 打音診断における打音波形処理方法と打音波形の例

4. システム出力

出力は、「作業用表示（オペレーター確認画面表示）」と診断作業後の「診断判定結果出力」の2種類がある。診断中のデータは、オペレーター席に配置した診断結果表示用のコンピュータで、診断値や診断結果マップを写真-4のように随時スクロール表示できる。診断結果の出力には、以下の4種類がある。

- ① 打設スパン別診断結果展開図（図-6 参照）
- ② トンネル全体診断展開図
- ③ 診断結果数値一覧表
- ④ 健全部基準データ測定結果

データは全て電子データで保管し、必要に応じて出力形式の変更も可能である。また、データの詳細分析を実施する目的で、測点における「収録音データ」も電子データ化して保存する機能を備えた。

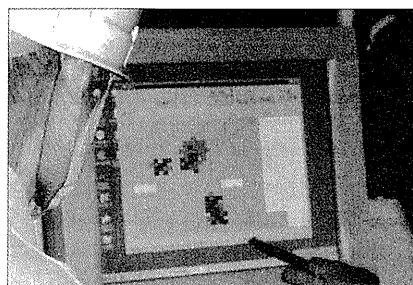


写真-4 診断中画面出力

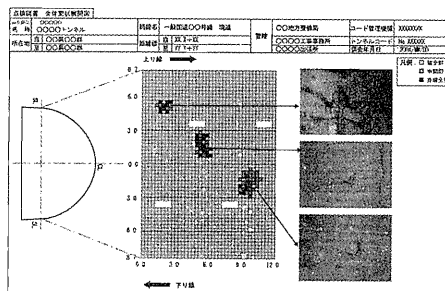


図-6 スパン別診断結果出力例

5. 作業手順

基本的に診断作業は、作業指揮者（コンクリート診断士程度の能力を有する経験者）、オペレーター、運転手の3名で行う。診断システムの操作は、オペレーター席操作盤に設置された、メインコンピュータのタッチパネル画面で行う。

診断作業の手順を以下に示す。

5.1 調査トンネルへ移動

- ・ 車両の姿勢安定用アウトリガー従輪を引き上げ、測定場所へ移動する。

5.2 準備作業

- ・ 人力打音検査により基準とする健全箇所を選定する。
- ・ トラックエンジンによる一般走行モードから、診断用電動モータ走行に切り替える。
- ・ 距離測定および、断面測定装置をセットする。
- ・ 人力打音検査で選定した健全箇所へ車両を移動する。
- ・ 健全箇所をシステムで診断・解析し、基準データとして記憶する。（確率統計処理手法による）
- ・ 位置情報、基準データおよびトンネル情報（延長、幅員等）を入力する。

5.3 診断開始

- ・ トンネル診断開始位置へ移動する。
- ・ 断面測定装置へ、測定範囲を教示する。
- ・ 自動運転による打音診断・リアルタイムの結果表示。
- ・ 1スパン診断後、電動モータにて車両を1.5m自動前進させる。

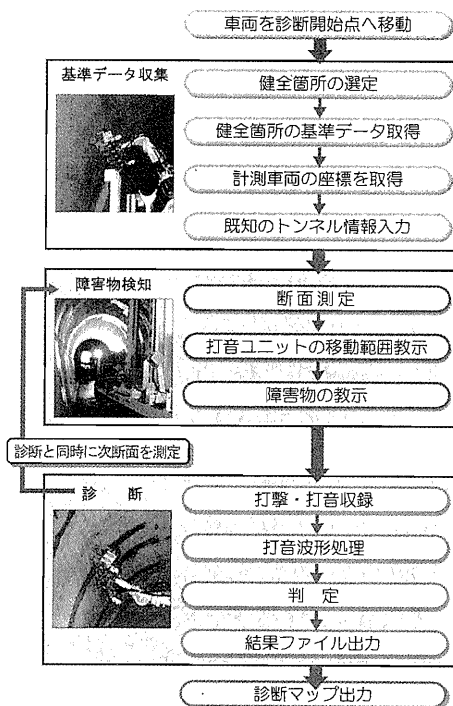


図-7 現地における診断フロー

※) 上記作業の繰り返し

5.4 診断終了

- ・診断マップ、診断結果リストを出力する。

6. 検証実験

本システムの動作確認と打音結果の評価について、実トンネルにおいて検証実験を行った。打音評価については、人力による打音検査結果と、本システムの評価結果は比較的良く一致しており、本評価方法の有効性が認められた。なお、評価結果をより確実なものにするために、多くのトンネルでのデータ蓄積を行って行く予定である。

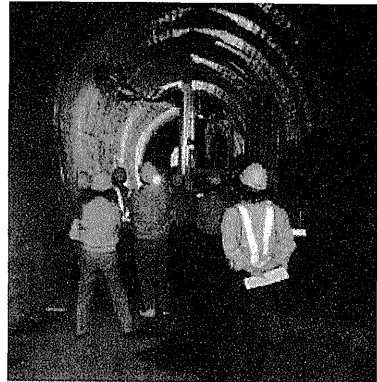


写真-5 実証試験状況

本システムの動作については、

- ① 障害物の検出機能は有効に作動しており、確実に障害物を回避できることが確認できた。
- ② 本装置の適用範囲は、道路トンネル技術基準の2～4級のトンネルは確実に調査でき、トンネルの最大高さ7.4mまで調査できることが確認できた。
- ③ 診断速度は、1横断19回(30cmピッチ)×0.45㎡であるトンネル断面を4横断診断したところ、301秒(平均75秒/1横断)で診断が完了し、本システムの最高診断スピード400㎡/hを満たすことが確認できた。このスピードは人力作業による診断の3～5倍の早さである。

7. まとめ

本システムの特徴は以下の通りである。

- ① 収録音を周波数毎の音圧レベルから解析する。
- ② 5個の打音装置による複数箇所の連続診断で、最大400㎡/hの作業が可能である。
- ③ 油圧ハンマーの採用により、一定エネルギーでの打撃が可能である。
- ④ 診断と同時に判定結果が表示できる。
- ⑤ 障害物の自動回避機能があるので、診断作業を効率よく行うことができる。
- ⑥ 打撃音の生データの保存が可能である。

本システムは、最終調整を行い、本年度中には本格稼働する予定である。

今後、診断データの蓄積、診断結果を他の診断手法と照合・検証することで、システムの信頼向上に努め、既設トンネルの点検業務・新設トンネルの品質確認に活用する予定である。

また、コンクリート表面画像の同時取り込みシステム、剥離箇所の自動マーキングシステム等の機能を増やすことで、より高度な打音診断システムを目標に、開発を継続していく予定である。

参考文献

- 1) 海老原正明：打音による壁面診断技術の開発、第2回建築施工ロボットシンポジウム、1988
- 2) 海老原正明他：打音解析による剥離診断装置、日本建築学会学術講演会(近畿)、1987

24. 軌索式ケーブルクレーンによるダム用 コンクリート自動搬送システムの開発

㈱大林組：三好 哲也、*蔵元 一成

1. まえがき

コンクリートダムの建設工事は、その大部分がコンクリート打設である。そのため、コンクリート打設の効率化と安全性向上が工事全体のなかで重要なポイントとなる。特にケーブルクレーンの運転は高度な熟練技術が必要であるため、コンクリート打設の効率化はオペレータの技量により左右される。そこで、当社は、熟練オペレータ不足や、典型的な繰り返しである苦渋作業からの開放をターゲットに全自動コンクリート運搬システムの開発に着手し、固定式ケーブルクレーンでの実用化を千屋ダムにおいて1992年に成功した。その後この技術を応用し、富郷ダムで両端移動式ケーブルクレーンを実用化した。

一方、近年、ダムコンクリートの建設工事は、ダムの規模が中・小規模が中心となる中、周辺環境への配慮から多量の走行路掘削を必要としない、軌索式ケーブルクレーンによるコンクリート運搬方式の採用が増えており、今後もこの傾向が続くものと考えられる。

そこで今回は、従来開発したダム用コンクリート自動運搬システムを基本に、軌索式ケーブルクレーンによる打設箇所への直接運搬を完全自動化したシステムを開発し、世増ダムで平成12年の4月の打設開始より実用化した。(写真-1)

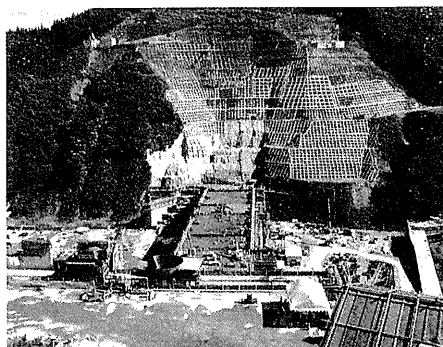


写真-1 世増ダムにおけるコンクリート打設状況

2. 工事概要

世増(よまさり)ダム建設地は、北上山系の最北端に位置する洪積台地で、青森県八戸市、階上町、南郷村及び岩手県軽米町に跨る標高20～310mの比較的起伏の少ない丘陵地帯の中に位置する。

世増ダムは、重力式コンクリートダムで、施工性及び経済性を考慮した拡張リア工法が採用されていた。

工事名称：八戸平原開拓建設事業 世増ダム建設工事

所在地：青森県三戸郡南郷村大字島守地内

発注者：東北農政局

施工者：大林・住友・鉄建特定建設工事共同企業体

工期：平成10年9月25日～平成14年2月28日

規模等 : 重力式コンクリートダム

堤高 52.0 m

堤頂長 247.0 m

堤体積 220 千 m³

3. ダム用コンクリート自動運搬システムの概要

(1) 機器構成

ここでは、世増ダムで使用した軌索式ケーブルクレーンダム用コンクリート運搬システムに係る機器の概要を図-1に、運搬機械の仕様を表-1に示す。

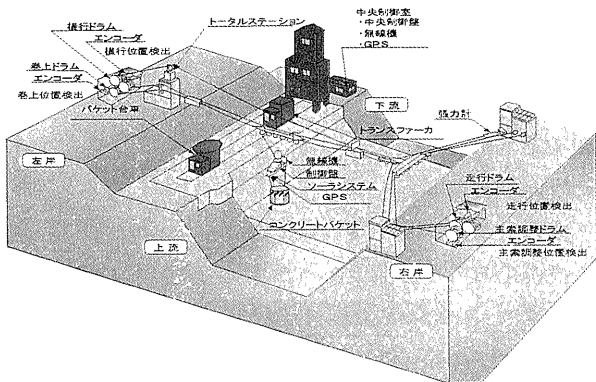


図-1 軌索式ケーブルクレーンコンクリート自動運搬システム構成図

表-1 運搬機械の仕様

| 装置名 | 仕様 |
|-------------|--------------------------------------------------------------|
| バッチャープラント | 2.25 m ³ × 2基 |
| トランスファーカ | ダンプアップ式、積載容量 4.5 m ³ |
| 軌索式ケーブルクレーン | 定格荷重 15 t 制御方式：サイリスタレオナード |
| | 径間：406.749 m 揚程：100 m 軌索径間：191.383 m 走行範囲：144.383 m |
| | 巻上 全負荷：100 m/min 空バケット：176 m/min |
| | 巻下 全負荷：140 m/min 空バケット：140 m/min |
| | 横行：300 m/min 走行速度：15 m/min 主索調整：3 m/min |
| | 巻上、下：350 KW 横行：250 KW 走行：160 KW 主索調整：90 KW |
| | コンクリートバケット |

(2) ダム用コンクリート自動運搬システムの概要

ダム用コンクリート自動運搬システムは、コンピュータからの指令により最適な振れ止めを行ないながら打設位置へ正確に移動し、打設面での安全を確認してコンクリート放出する。放出完了後空バケットは、パンカー線まで移動し、GPSによって振れを検知して、振れ止めを行ないバケット台車に着床する。

コンクリート打設開始前に、打設開始場所、幅、長さ等簡単なパラメータを入力することにより、決められたスケジュールに従い放出場所を順次移動しながら、コンクリート打設作業を自動的に行なう。

打設面での安全確保は、コンクリートバケット下部と、周辺機械や作業員のヘルメットに取り付けた感应機が信号をやりとりすることで行なわれている。感应機が反応すると、運転は中止される。

4. システム開発における問題点

(1) 軌索式ケーブルクレーンの特有の振れ

自動化システムは、今回の軌索式ケーブルクレーンに関しては、使用実績がなく、3次元的なバケットの振れを制御する技術の開発が必要であった。

軌索式ケーブルクレーンの特徴は、片岸の2点間にケーブルを張り（軌索ケーブル）、軌索ケーブルに設けられた走行トロリーに、対岸の1点からケーブル（主索ケーブル）を張ったもので、主索ケーブルに取り付けられた横行トロリーに吊り下げられたバケットによりコンクリートを運搬するものである。その特徴として主索ケーブルは、一方が固定、もう一方が固定されていない軌索ケーブルに支持されている点が挙げられる。そのため、軌索式ケーブルでは、空荷時と全荷重時における主索サグ量の変化も加わって、他のケーブルクレーンでは見られない特有の振れが発生する。このことにより、軌索式ケーブルクレーンの運転は、特に高度な運転技術を必要とする。

図-2に固定式のケーブルクレーンにおけるコンクリート放出時の振れを、図-3に軌索式ケーブルクレーンにおけるコンクリート放出時の振れを示す。

軌索式以外のケーブルクレーンにおける振れは、垂直方向に2m程度であるに対し、軌索式ケーブルクレーンの振れは垂直方向に4m程度、水平方向に1m程度になる。（これは、設置条件や、ケーブルクレーンのフックの位置がどこにあるかによって異なる。）

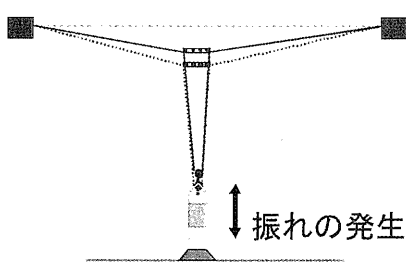


図-2 固定式ケーブルクレーンの振れ

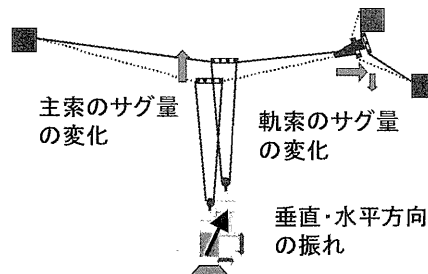


図-3 軌索式ケーブルクレーン特有の振れ

(2) 打設方法

これまでの自動化は、グラウンドホッパ（定点）への運搬を主目的としていたが、今回はE L C M工法（拡張レア工法）による打設が採用されているため、コンクリートを直接打設する位置までピンポイントで運搬し、打設ポイントごとに条件を変える必要があった。

(3) 安全対策

コンクリートの打設場所は作業員と機械が近接しており、打設場所まで直接バケットを運搬する際に接触の危険性が高い。

5. 問題点に対する解決策

(1) 振れ止めシステムの開発

軌索式ケーブルクレーンの特有の振れを抑えるため、4つの振れ止めシステムを組み合わせることによって解決した。

①フィードフォワード制御

振れ止め制御は、バケットの振れを予測し制御するフィードフォワード（F・F）制御により行なう。即ち、横行トロリの加減速により生ずるバケットの振れは、横行トロリの加速と等速および減速と等速を順次繰り返し制御することにより止まる。

本システムでは、目標座標に向けて運転される横行速度等運転パターンに応じた振れ止め制御パターンをいくつかコンピュータにファイルしておき、目標座標に最適なパターンを採用している。

②放出時の振れ止め

軌索式ケーブルクレーンの特徴として、コンクリート放出時に特有の振れが発生する。そこで、コンクリート放出時の振れを抑えるため、コンクリート放出時に巻下げを行ない、振れ制御を行ない振れを抑える。巻下げ制御はコンクリートが放出する前から動作させ、コンクリート放出時間が配合により違うため、コンクリートバケットのゲートの開き具合を調整できるようにし、一定の巻下げスピードにて行なう。

③学習機能

運転計画時間と実際の動作時間との差が大きいほど振れ止め精度が悪いことが分かった。これは場所により、運転時間と実際の動作時間との差が違うために発生しており、上り勾配と、下り勾配の時のモータの回転数が違うことと、スピードが遅い時と、早い時のブレーキのききかたが違うためであった。

これらより、運転計画時間と実際の運転時間を計測させ、この差を計画通りになるよう各モータの電圧と回転数の関係に補正係数を掛けることで、次の運転サイクルではこの補正されたデータで運転させるようにする。

④GPSを使った振れ止めシステム

現場のGPS固定局を運転室屋上に、GPS移動局を吊りハンガー部に取付けGPS移動局のローカル座標（クレーン自動運転に対応した座標）、X、Y、Zをホストコンピュータにリアルタイムに入力する。ホストコンピュータは受信したデータ（X、Y、Z）にて残留振れを計

測し、次に残留振れを取るために必要な横行インチング距離を計算することで、横行インチング動作させ振れを止める。このシステムは、コンクリートを放出後バンカー線上空にて動作し、どのような振れが発生していてもバケット台車にスムーズに着缶できる。この時のGPSの測位方式は精度20mm程度のRTK（リアルキネマティックといいGPSによる測量方式の一つ）方式を採用した。このシステムは、バンカー線上において振れが±0.5m以上あるときのみ作動する。

(2) ピンポイント運搬システムの開発

① 直接打設モード

打設開始前に簡単なパラメータを入力することで打設位置を順次変えながら打設を行っていく。運転目標位置は毎サイクル異なり目標位置にてコンクリートを自動放出する。

下記に直打設の打設例と、図-4に直打設概念図を示す。

- バケット台車からコンクリートを受け、第1打設ポイントへ移動
- 第1打設ポイントにてコンクリートを自動放出
- バンカーへ自動着缶
- 上記①～③の動作を繰り返し、設定データを基に打設ポイントを順次打設する。

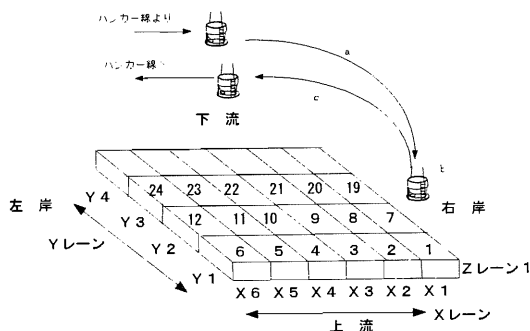


図-4 直打設概念図

②位置補正

毎回異なる打設位置に精度よくコンクリートを放出するため、各ウィンチにエンコーダを取付けワイヤの送り出し量を計測し計算により座標管理を行なっている。また、ワイヤの伸びや滑り等により生じる誤差は、トータルステーションにより原点位置にて補正し精度を確保する。

(3) 安全対策

①コンクリートバケット下部安全確認システム

コンクリートをコンクリートバケットから打設場所に直接打設するため、安全上、コンクリート放出前にバケット下部に人や作業機械がないことを確認する必要がある。ダム用コンクリート運搬システムを完全自動化するため確実に検知できるシステムを設置し、人や作業機械を検知した場合は自動運転を一時停止させる機能をもたせた。

システムは、コンクリートバケット下部に超音波センサーを、人に、機械に感応器をそれぞれ取り付ける。感応器がセンサーと反応するとケーブルクレーンの自動運転は一時停止し、コンクリートバケット下部における人と機械の安全が確保できる。センサーは、コンクリート放出

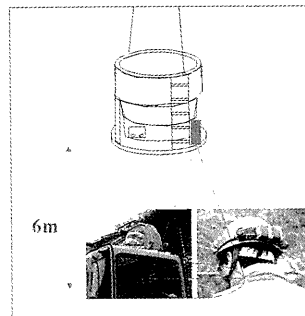


図-5 システム概念図

場所 直上 6 m からコンクリート放出まで感知している。また、センサーの感知範囲は、コンクリートバケット外周から 2 m 程度である。コンクリートバケット放出下部安全確認システムの概念図を図-5 に示す。

6. 現場実証により確認された効果

(1) 振れ止めシステム

- a) 当初、振れ止めは、基本となるフィードフォワード制御とコンクリート放出時の振れ止めを組み合わせることで行なった。コンクリート放出時間と巻下げのタイミングが合う時は振れを抑えることができた。逆にタイミングが合わない時は、バンカー線上においてバケット台車に着缶できない現象が起きた。着缶できない比率は、約 30% 程度であった。これは、同じ配合においてもスランプが若干変化すると、コンクリートの放出時間が変化するため発生していると考えられた。このことから、コンクリート放出時の巻下げ制御だけでは、バケット台車に全て着缶させることは不可能と判断し、GPS を使った振れ止めシステムの採用により、上記問題を解決した。
- b) 完全自動によるコンクリート放出において、コンクリートバケットの振れが 0.5 ~ 2.0 m 発生しており振れが大きいとコンクリートの放出される場所が変わってしまった。そこで、運転計画時間と実際の動作時間の差を補正する学習機能を採用したところ、コンクリートの振れを、 ± 0.5 m 以内に抑えることで問題を解決した。

(2) ピンポイント運搬システム

このシステムの採用によって、確実な位置補正が可能となり、正確なポイントへの打設が可能であり、 ± 0.3 m 以内という精度を確保できた。

(3) 安全対策

コンクリート下部確認システムの採用によって、打設現場におけるコンクリートバケットの下部の安全を確保できたため、接触事故を防止することができた。

7. まとめ

軌索式ケーブルクレーンによるダム用コンクリート自動運転システムは、高度な振れ止め技術や安全装置によって、様々な問題点を克服した結果、世増ダムで実用化に成功した。

本システムを採用することにより、熟練オペレータを必要とせず、疲労による作業効率の低下もなく安定したコンクリートの供給が可能となり、その結果、作業の高効率化の促進、作業者の苦渋作業の軽減、安全性の向上等に大きく寄与するものとなった。

今後、同様ダムへの適用を図るとともに、本システム開発により得られた高度な制振システム技術、自動化制御技術を重機械の無人化運転技術や IT 施工管理技術に適応させていきたい。

25. 工事用接近警戒自動認識システム

大成建設(株)：松本 三千緒

1. はじめに

近年、CGや画像認識など様々な分野で画像関連技術の応用が進んでいる。特に、画像認識においてはコンピュータ処理の高速化・記憶メディアの大容量化・低コスト化などに伴い、以前では実現が難しいとされていた様々な発想を低コストで短期間に実現できる見通しがついできた。

また、コンピュータ技術の進歩とともに、ネットワークなどデータ伝送技術にも大きな進歩が見られ、ISDN・ADSLをはじめ、無線LANやBluetoothなどユビキタ的な利用形態を目指して応用が進められている。

本システムは、このような画像認識技術・ネットワーク技術を利用することで、建設現場での自動監視および施工データの収集を省設備・低コストで実現したものである。以下、システム概要および橋梁工事での実施例について報告する。

2. システムの全体構成

本システムは、警戒エリアへの異常接近を画像認識し、警報処理をおこなう自動監視システムと警報データおよび現場に設置されたセンサーなどの計測データを伝送するPHSネットワーク(内線・公衆)を中心に構成されている。(図-1)

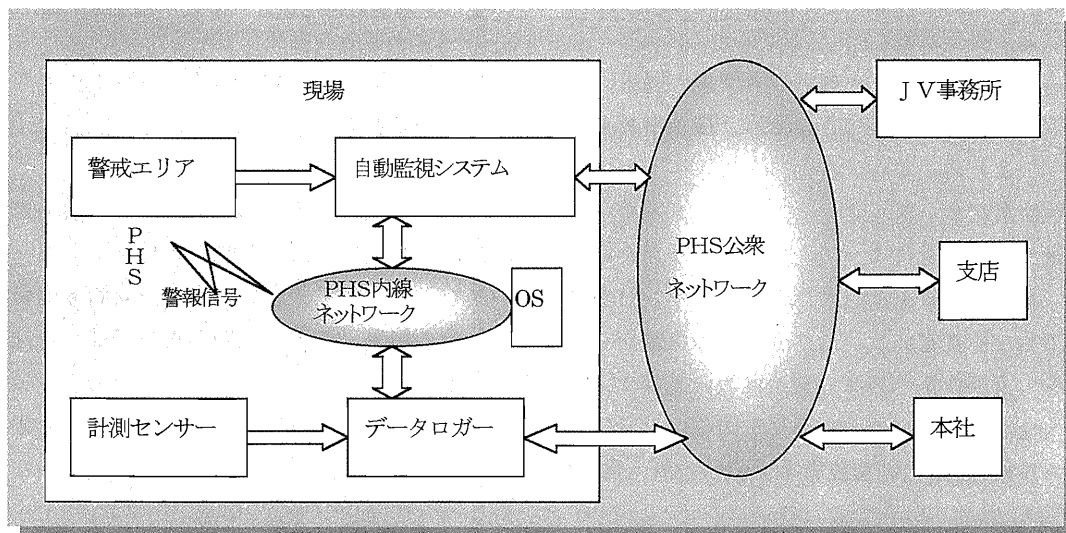


図-1 システムの全体構成

2.1 PHSネットワーク

PHS公衆ネットワークは、施工現場とV事務所・支店・本社間など広域でのデータ通信をおこなうものであり、PHS内線ネットワークはOS(オフィスステーション)を中心に半径約200mのエリア内でデータ通信をおこなうもので、公衆・内線の2段階構成をとった。PHS内線ネットワークの利用で、

- ・ PHS公衆アンテナの占有時間最小化と誤接続の防止(他のPHS一般ユーザーへの配慮と秘匿)
- ・ 内線モードにより常時接続を可能にする(通話料金がかからない)

などの効果が期待できる。

2.2 自動監視システム

狭隘な施工場所や立ち入り禁止区域などでの重機・吊り荷の侵入を防止することを目指したものであり、画像認識により異常が検出された場合、警報を鳴動すると同時にPHSに警報信号を送信している。このような機能を加えた理由は、

- ・ 運転席のオペレータから警戒灯が見えない
- ・ 施工時の騒音で警報が聞こえない
- ・ 警戒領域が複数ある場合に、どれに対する警報か区別できない

場合を考慮したものであり、PHSにイヤホン装着することで、騒音の中でも警戒内容に応じて個別に警報を発することができる。

3.自動監視システムと画像認識方法

本システムは、監視カメラ・パソコン・キャプチャー回路・PHS機器、および画像認識ソフトウェアで構成されている。(図-2)また、画像認識ソフトウェアは以下の点に留意し開発をおこなった。

- 1) 面内に警戒領域を自由に複数設定できる。
- 2) 領域毎にパラメータを個別設定できる。
- 3) 警戒領域毎に警報動作を設定できる。
- 4) 単なる画像比較ではなく、侵入物の大きさ・移動方向・移動速度を検出する。
- 5) 天候の影響を極力低減する(雨、霧など)。
- 6) 画像処理から警報までの動作時間を最短化する。

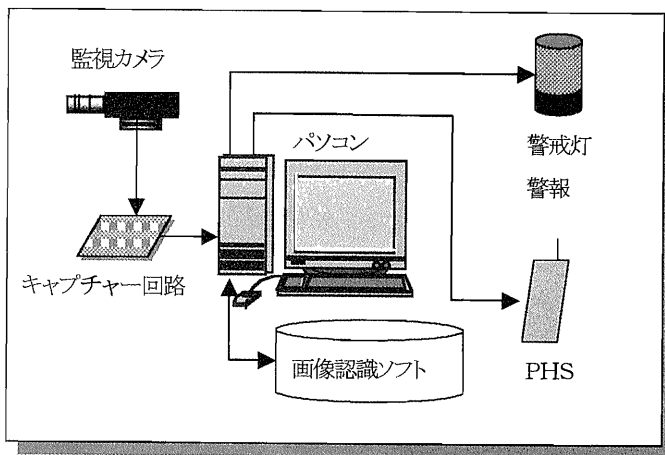


図-2 自動監視システムの構成

上記1)2)3)は使用者(係員)の操作を簡便化するため、マウスでの描画的な設定方法とした。

上記4)は警戒ライン(領域)を2つ設定することで移動方向・移動速度を検出する。図-3に侵入物判断方法の概要を示す。図-3では、警戒ライン上の輝度がまとまって(一体となって)変化しているかどうかにより、侵入物の概略の幅を判断できる。そのため、輝度変化がとぎれなく連続的であるかどうか、ライン上を1画素ずつチェックし、連続性を確認。指定したドット数(侵入幅)を越えた場合に侵入と判断する。

上記5)の天候の影響を低減する方法としては、天候監視ウインドウや変化部分の連続性判断により晴れ・曇りの検出や画像ノイズとの区別などをおこなっている。

上記6)については画像処理時間+制御時間+警報機器の初動時間となるため、PHSへの発信動作などを含め、最短時間で動作するように工夫した。

4. 現場での実施例

本システムを適用した橋梁工事の例を示す。この現場では、施工場所が在来線(JR本線)と約10mの距離で工事を行う必要があり、安全を最優先する方法が望まれていた。そこで、警戒エリアへの進入物体の自動検知と作業員への警戒信号発信を目的に本システムを適用した。(表-1)

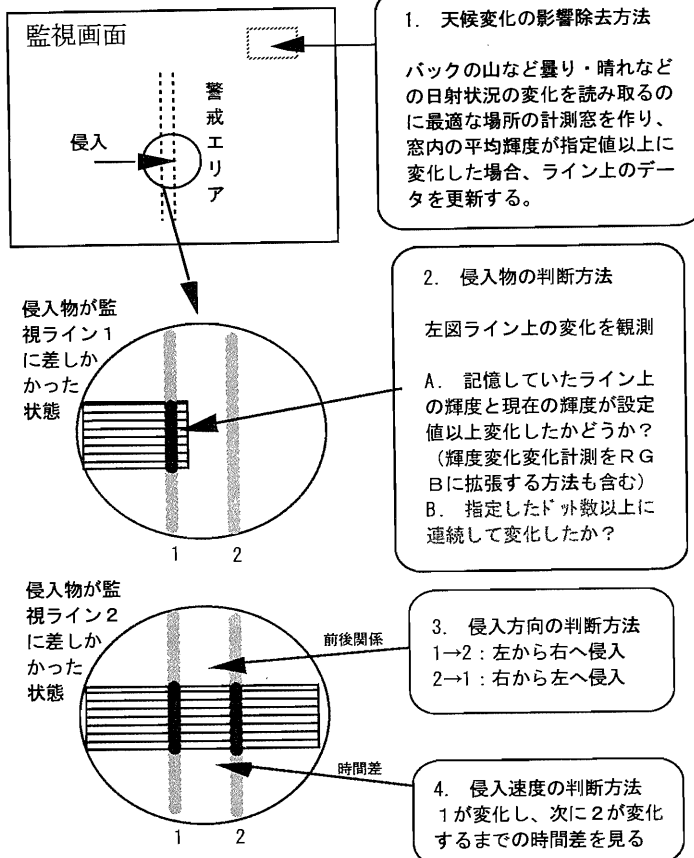


図-3 侵入物判断方法の概要

表-1 適用したシステム仕様

| | |
|--------|---------------------------|
| 警戒範囲設定 | 位置・形状・個数などをマウスにより自由に設定可能 |
| 監視サイクル | 1/30秒以下 (NTSC信号のタイミングに同期) |
| 判断内容 | 侵入方向・速さ・大きさ |
| 警報出力形式 | リレー接点・PHS送信 |
| PC機種 | Window s98 |
| カメラ | NTSC出力のもの |
| その他 | 天候の影響を除去する機能 |

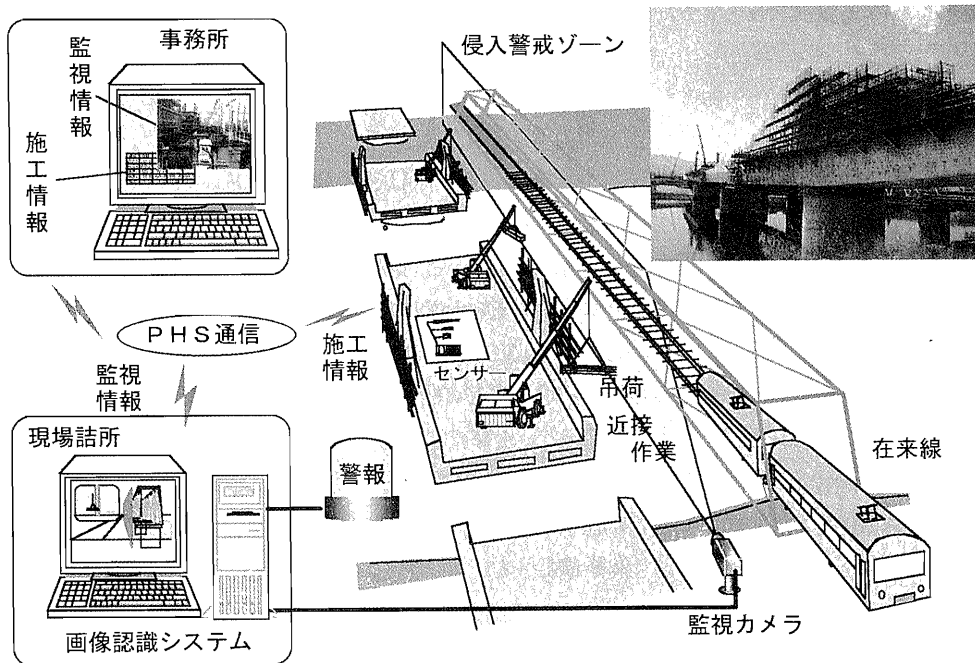


図-4 施工場所の全体イメージ

監視カメラは、在来線と施工場所の中間位置(警戒位置)に設置し、パソコンおよびキャプチャー回路・警報器・PHS機器等は近傍のガードマンBOX内に設置した。また、PHS子機はクレーンのオペレータや監視員が所持することとし、警報発生と同時に作業を中止できる体制をとった。

また、これらの警戒情報と埋設計器などのデータ収集にはPHS公衆回線を利用したネットワークを用いて、現場事務所・本社などから施工情報の収集がおこなえるようにした。

図-4に施工場所の全体イメージを、図-5に施工場所での監視エリア

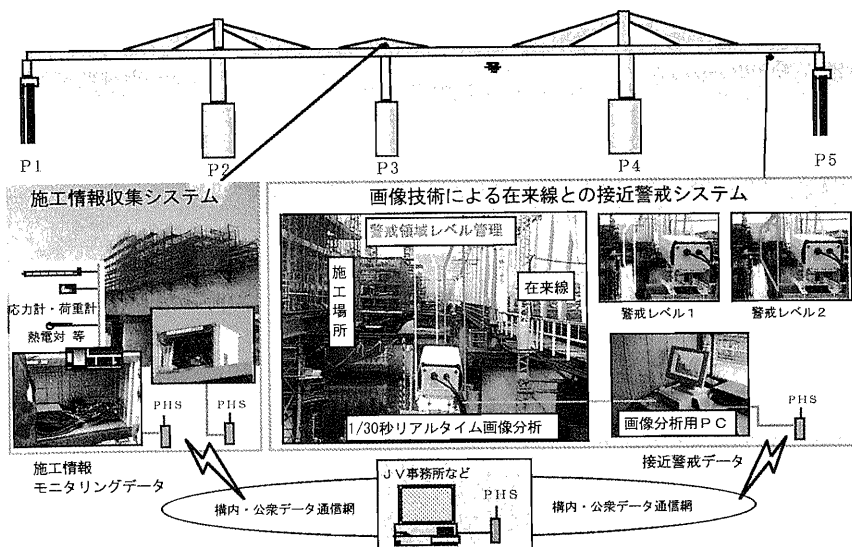


図-5 自動監視エリアの現況

の現況とシステム稼働状況を示す。

5. 本システムの効果

本システムを現場で試行した結果、以下の効果を確認できた。

- ・カメラを設置するだけで警戒エリアへの侵入を判断でき、手間がかからない
- ・画面内で警戒エリアは幾つでも設定できるため警戒力所が増えても安価ですむ
- ・侵入物の判断が短時間にできる(高速監視 1/30 秒で処理できる)
- ・日射の変化など侵入物以外の要因で変化する状況を除外出来る
- ・監視窓を複数重ねて、警戒ランク(A,B,C)を付けることができる
- ・監視窓を複数重ねることにより、移動物体の早さも判定可能
- ・輝度識別にRGB識別を付加すれば、特定色だけを警戒することも出来る
- ・現場のカメラ映像を有線・無線で伝送することで、遠隔集中監視が可能

このように、本システムで検証された技術は、接近警戒のみならず施工場所での様々な情報収集の応用可能性を示しており、以下にその応用例・実験例を示す。

6. 車両通過ゲートへの応用

このような画像認識の応用として、車両通過検出への応用が考えられる。前述の手法を拡張することで、物体の侵入方向・通過速度・物体形状などの認識・検出が可能となる。掘削や造成、構築などの作業とそれらを結ぶ車両の搬入出ルートからなる現場(図-6)では、監視員による車両のチェックや通過台数の確認が行われている。これを自動化する場合、現地にセンサーなどを設置するのが一般的であるが、工事の進行に合わせ、走行ルートも変更するケースが多い。このような時、画像内に指定した映像監視スリットで通過車両を検出し、速度、形状などを判断できれば、ルート変更などにフレキシブルに対応できるシステムを作ることができる。

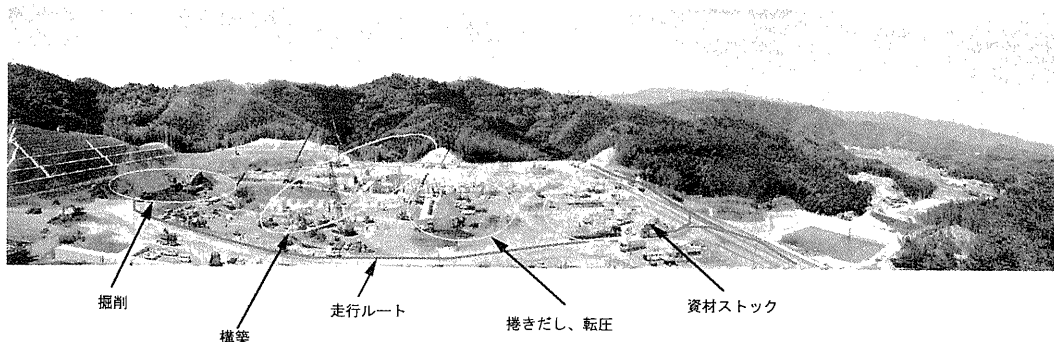


図-6 現場の全体イメージ

図-7には実際の現場でダンプの速度検出を行ったときの様子を示す。画像で白枠は、ダンプの位置で1mに相当する幅を持つスリットであり、このスリット左にダンプ先端が進入した時刻と右端に達した時刻から、ダンプの走行方向・速度を知ることが可能である。また、図-8のようにスリット内の変化部分の画像をスリット幅と速度の関係から短冊状に切り出し(クロマキー的手法)、貼り合わせれば通過物体のみの画像を得ることができる。

この面積や長さ・高さから車種や人などの相違を自動判定することも可能である。しかし現実には、施工フィールド特有の、

- ・画像ノイズの処理
- ・影などの誤判断の処理
- ・カメラ解像度と対象エリアの限界
- ・天候など環境の影響
- ・対象速度の分析限界

などについて、研究すべき課題は多いものと考えられる。

7. まとめと今後の課題

画像認識技術は、前述の車両走行管理や本文で紹介した接近警戒自動化システム以外にも様々な応用分野が考えられる。また、CCD カメラやコンピュータの高解像度化・高速化・低価格化も急激に進む中で、さらに高度な画像認識や画像処理の可能性も出てきた。今後は、現場のニーズと最新の画像技術の調査・研究を進めながら、画像応用システムの展開を図っていきたいと考えている。

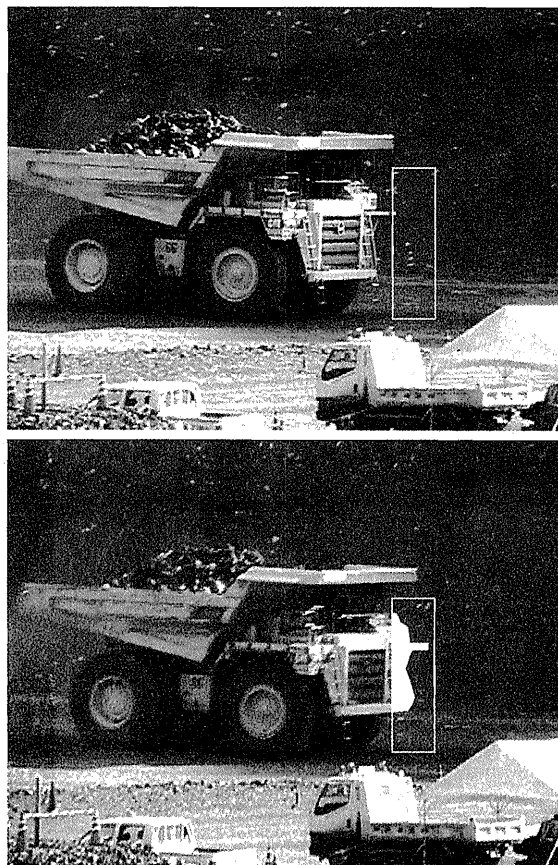


図 - 7 速度検出の実験例

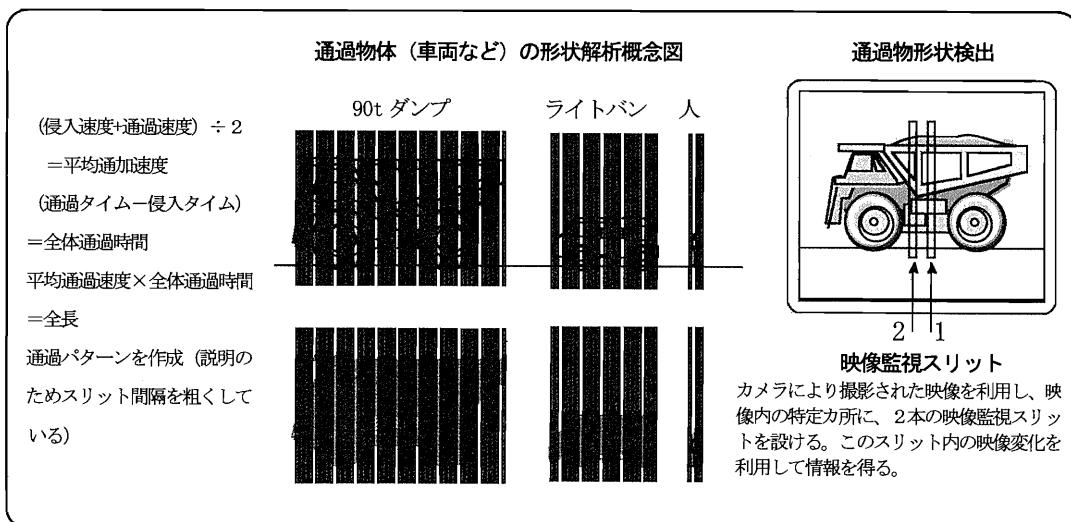


図-8 画像分析による通過物体形状抽出システム

26. 透光性遮音壁清掃機械の開発

国土交通省 近畿技術事務所：中田 育伺

1 はじめに

透光性遮音壁は、道路隣接地域への日照や通行車両等の視界を確保しながら騒音問題に対処できることから、近年全国的に設置箇所が増加している。しかし、通行車両から排出される煤煙や巻き上げる粉塵等が付着し、次第に透光性能が低下するため、定期的に清掃を行って機能を維持することが必要となっている。

現状の透光性遮音壁清掃作業は人力作業が中心で効率は良くない。また、通常、作業は車線規制を伴い、高所作業を必要とする箇所も多く、施工性や安全性等に課題も多い。

本論文は、このような現状を背景に透光性遮音壁を安全かつ効率良く清掃できる機械の開発の結果を報告するものである。

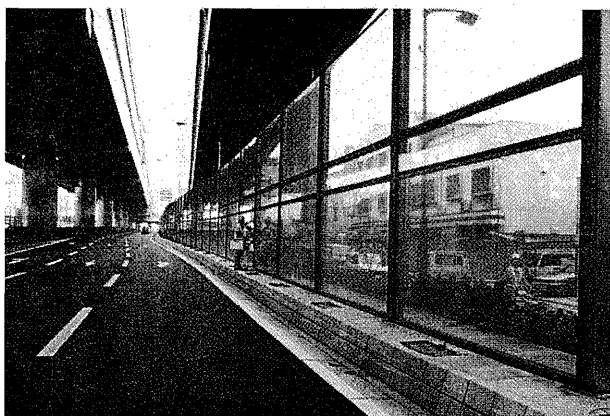


写真-1 透光性遮音壁設置状況

2 開発概要

今回の開発においては、平成10年度に予備的な調査として全国の透光性遮音壁の設置状況及び維持管理実態に関するアンケート調査を実施した。平成11年度には、汚れ度評価方法の検討を行った上で、実際の現場における汚れ度調査と清掃方法の検討と清掃要素実験を行ってきた。これらにより清掃機械の開発コンセプトを「安全に作業ができる」「効率的に作業が出来る」「様々な透光性遮音壁に対応ができる」として、清掃機械の基本方針を検討した結果、車載式非接触高圧水洗浄方式に決定した。平成12年度においては、国道43号兵庫国道工事事務所管内において現地清掃要素試験及び現地システム試験を行い、清掃能力、現地適応性等を検討した上で、清掃機械の基本仕様・諸元を決定した。

3 検討結果

3.1 清掃要素試験

基礎データ、清掃能力、現地適応性確認として表-1の試験を行った。

表-1 実施試験

| 項目 | 試験場所 | 試験内容 |
|----------------|---------------|-----------------------------------------------|
| ラボテスト | 実験室内 | 透光板表面損傷確認、高圧水噴流温度、飛散状況確認、高圧水噴流衝突径、高圧水ノズル回転数測定 |
| 現地要素試験 (2回) | 国道43号 尼崎市内 | 高圧水噴射圧力、高圧水噴射温度、高圧水噴射距離、洗浄液 |
| 現地システム試験 | 国道43号 神戸市内 | 高圧水噴射圧力、高圧水噴射距離、洗浄液、車両走行性確認、騒音測定、排水水質測定 |

3. 2 試験結果

清掃効果を定量的に示す指標として色彩色差計による明度を用いた。透光板を通して光の反射率を色彩色差計で測定すると汚れの度合いにより明度が落ちていく。今回の開発では、新品状態に対する汚れによる明度の低下量差を明度差と呼び、これをもって透光性遮音壁の汚れの状態を評価し、試験結果をまとめた。

表-2 試験結果まとめ

| 項目 | 試験結果 | 備考 |
|----------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 表面損傷 | 透光板に高圧水(25Mpa、0.8m)噴射後のヘイズ率(拡散透過率/全光線透過率)測定結果0.6%で損傷の影響なし | |
| ノズル噴流衝突径 | 噴射距離0.8mで壁面到達時の衝突径φ250mm | |
| 高圧水噴射圧力 | 1.5Mpa以上の領域で洗浄効果が飽和傾向になる | 図-1 |
| 高圧水噴射温度 | 洗浄水温度上昇に伴う洗浄効果は少ない | |
| 噴射距離 | 洗浄水噴射距離が小さいことにより洗浄効果は向上する | 図-2 |
| 洗浄液 | 洗浄液有り(特にオレンジ系)では洗浄効果は向上する | 図-3 |
| 走行性 | システム試験車での走行性確認の結果、約5km/hの低速走行で壁面距離0.8mを確保しながら清掃作業を続けることは運転操作上可能であった | |

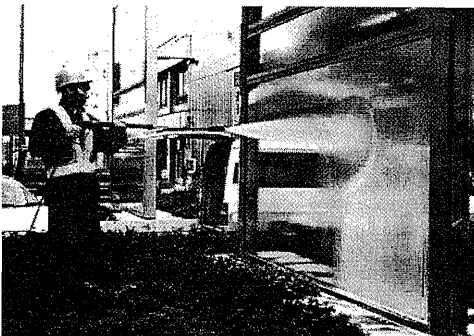


写真-2 現地要素試験実施状況



写真-3 現地システム試験実施状況

高压水喷射圧力の最適値検討結果

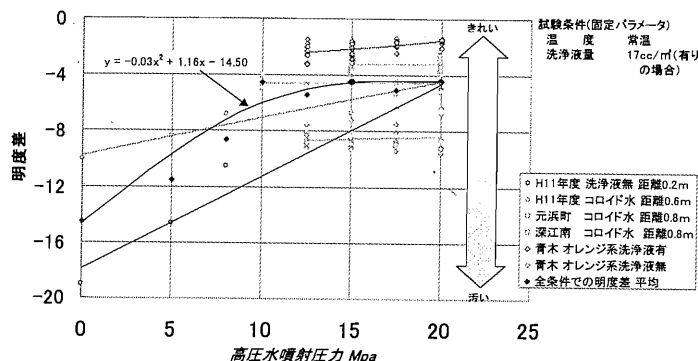


図-1 圧力と洗浄効果

噴射距離の違いによる洗浄効果比較試験

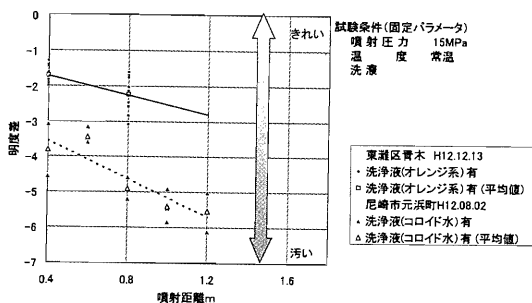


図-2 噴射距離と洗浄効果

洗浄液の洗浄力比較試験
 試験条件: 常温(10℃) 圧力 15MPa 距離 0.8m
 実施日: 平成12年12月13日

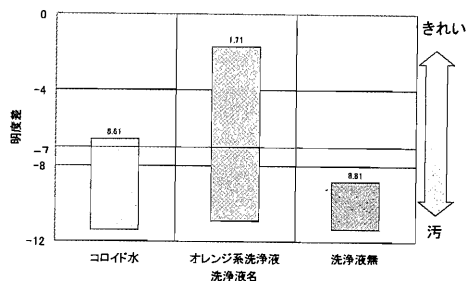


図-3 洗浄液と洗浄効果

3. 3 洗浄効果

現地透光性遮音壁汚れ度調査において、明度差と官能評価(清掃必要度合い目視判定: 4段階評価)との関係を整理し、また汚れの進行状況(概ね-2~-4/年)調査から年一回の清掃で最小限必要な清掃回復量を検討した結果、透光性遮音壁の「清掃が必要なレベル」を明度差(-10)、「清掃による回復目標値」を明度差(-7)として設定した。基本条件設定の清掃試験では、明度差(-10)以上の汚れ箇所で明度差(-7)を上回る回復量を確認できた。視覚的には、清掃前後の違いが十分確認できる結果となった。

3. 4 水質検査

洗浄後の排水について、本機械の洗浄方式では回収しないで側溝に流すので、確認のため水質検査を行った。その結果「有害物質に係る排水基準」「生活環境に係る排水基準」の各項目の基準値を超えるものは検出されなかった。

また、本開発機械使用の洗浄液についても成分分析を行った結果、「有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律」に規定された基準値を超えるものはなかった。

3. 5 基本仕様検討

試験結果より清掃機械の基本仕様を次のとおり決定した。

基本的な清掃方法としては、透光性遮音壁に対して約0.8mの間隔を保ち、時速5キロで走行しながら、前方のノズルから洗浄液を噴霧し、後方の高圧水ノズルより高圧洗浄しさらに後端の低圧水ノズルですすぎ洗浄する。高所の遮音壁に対しては、各洗浄ノズルを油圧式昇降装置により上昇させて高さを合わせて清掃する。

表-3 清掃機械基本諸元

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|----------|----------------------------------|----------------------------------|
| 車両 | (パースバス) 8 トン級 CNG エンジン | 車両全長 : 約10,000mm 車両総重量: 約16トン |
| 高圧洗浄水圧力 | 15 Mpa | |
| 洗浄水温度 | 常温 | |
| 清掃幅 | 2,500 mm | 垂直方向 |
| 清掃時走行速度 | 約 5 km/h | |
| 清掃能率 | 208 m ² /min | |
| 洗浄水タンク容量 | 5,400 L | |
| 洗浄水消費量 | 高圧水: 180 L/min 低圧水: 340 L/min | |
| 洗浄液消費量 | 3.5 L/min | |
| 清掃可能高さ | 500~6,000 mm | 油圧式洗浄ノズル昇降装置付き |

※併用機能として、排水管清掃車としての機能を有する。



写真-4 透光性遮音壁清掃機械 (兵庫国道工事事務所購入車)

4 導入効果

4.1 清掃効率

今回の開発車両を購入した兵庫国道工事事務所管内 国道43号で、その導入効果を予測検討してみる。当該箇所の遮音壁の主要寸法は、図-5のとおりである。その配置パターンは、設置個所により様々で、①②③共全面透光板、②③のみ透光板（①は吸音板）となっている。人力で行う場合は、排水管清掃車（ジェット式）及びモップ・ハンドワイパー等を使用し、①については更に高所作業車を使用する。機械による清掃の場合は、全面については上部・下部と二回に分けて、②③のみの箇所については、一回の作業走行で清掃を行う。その内容を表-4にまとめる。

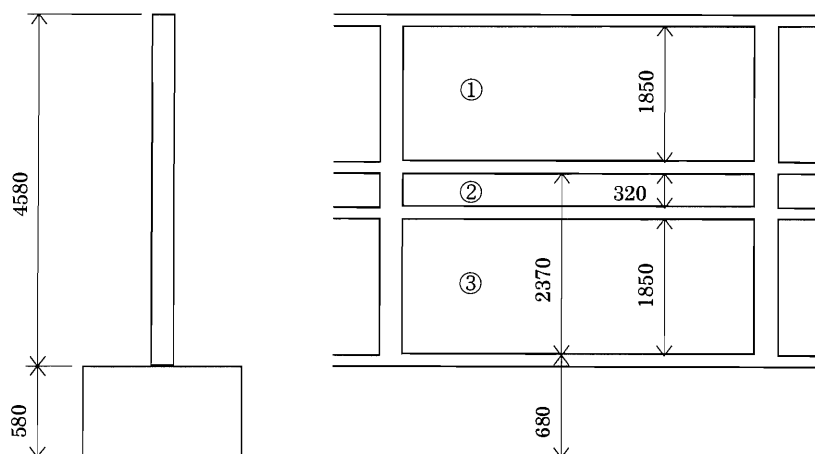


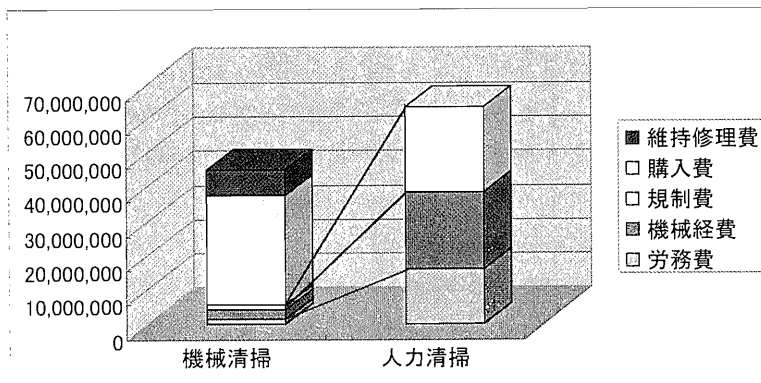
図-5 遮音壁設置パターン

表-4 清掃効率比較表

| 項 目 | | 現状（人力） | 機械化後 |
|-------------|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 作業方法 | 上部（①） | 高所作業車上で、ジェット・モップ・ワイパーによる清掃 | 清掃車運転席から操作ノズルを上方にセット |
| | 下部（②、③） | 車線上からジェット・モップ・ワイパーによる清掃 | 清掃車運転席から操作 |
| 規制方法 | | 一車線規制 | 後方警戒車による移動規制 |
| 作業員数（規制を除く） | | 4人もしくは3人 | 2人 |
| 作業効率 | 上部（①） | 190m ² /日 | 1598m ² /日 |
| | 下部（②、③） | 470m ² /日 | 1598m ² /日 |
| 対象延長（面積） | 上部 2,500m (4,625m ²) | 約24日 | 約1日 |
| | 下部 7,500m (16,275m ²) | | |
| 清掃日数 | | 約34日 | 約3日 |

4. 2 コスト比較

コスト比較として、清掃時の規制費、労務費、機械経費（機械損料）とさらに、本機械の購入・ランニングコストを含めたトータルコストを機械の標準使用年数（9.3年）で比較すると、図-6のとおりとなり、約24%のコスト縮減となる。



5 おわりに

導入効果を検討するにあたっては、本開発機械を平成13年度に購入した兵庫国道工事事務所（国道43号）をモデルに机上検討を行った。しかし、実際の遮音壁設置状況は、複雑で100m以上連続に設置されている箇所だけではなく、乗り入れ等で数パネル毎に寸断されている箇所もあり、端部での噴射タイミング、水の飛散等の操作性を確認する必要があり、合わせて実作業上の安全性の確認も必要である。また、雨のかかるところとかからないところがありその汚れ方も違うので、清掃方法（速度・回数）をそれぞれの箇所に合わせて変える必要があると思われる。これらを考慮して実作業を行うなかで、効率の良い運用方法を確立していきたい。

最後になりましたが、本業務を行うにあたって御尽力頂いた方々に感謝の意を表します。

27. 無人測量システムの開発

㈱フジタ：*浅沼 廉樹、三村 洋一

【概要】

雲仙普賢岳における災害復旧工事において無人化施工は、試験フィールド工事として採用されて以来、除石や砂防ダムの工事を経て改良・発展を行ってきた。しかし、無人化施工が発展している今日でも、測量作業や RCC コンクリート打設後の養生や清掃等の作業は、二次災害の恐れのある危険区域内で未だ有人で行われているのが現状であった。この無人化施工区域での有人作業は、開始当初は特例的に行われていたが、技術が進歩している今日、早急に解決しなければならない課題となっていた。そこで株式会社フジタは、この有人作業の中でも最も作業時間の長い、測量作業を無人で行う”無人測量システム”を開発、実証実験を経て、無人化施工ヤードへの導入を行なった。本論文では、雲仙普賢岳における災害復旧工事において導入された無人測量システムの導入結果を述べるものである。

1. システム概要

1-1 開発経緯

無人化施工における有人作業には、測量や RCC コンクリート打設後の散水養生及び清掃等があり、この作業の中でも一番作業時間を要するものに測量作業が挙げられる。また、これらの作業は、無人化施工と並行して作業が出来ない事から、安全性だけでなくサイクルタイムにも大きな影響を与えていた。

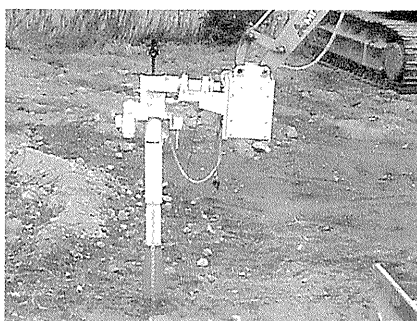


写真 1-1 ポイントマーキング機構

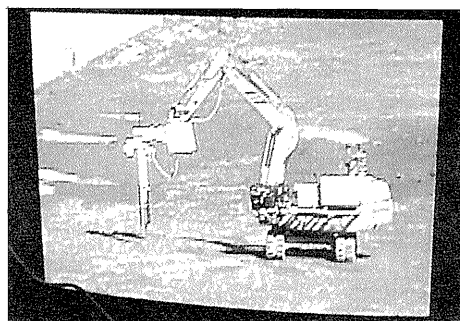


写真 1-2 無人測量システム 1号機稼動状況

無人測量システムは、この有人測量作業の中で最も頻度の多い土砂型枠のライン出し測量と、出来形測量の2つの作業を無人で行うべく、開発したシステムである。システムの導入実績としては、国土交通省九州地方整備局 雲仙復興工事事務所 水無川 2号砂防堰堤工事において 1

号機による実証実験を実施し（写真 1-1, 1-2 参照）、その後、測量精度の向上や測量時間の短縮を計るため、微小位置決め操作が容易に出来る XY テーブル機構（写真 1-3 参照）を搭載した 2 号機を新たに開発（写真 1-4 参照）。赤松谷川 2 号砂防ダム工事においてシステムの実証と現場運用を行った。

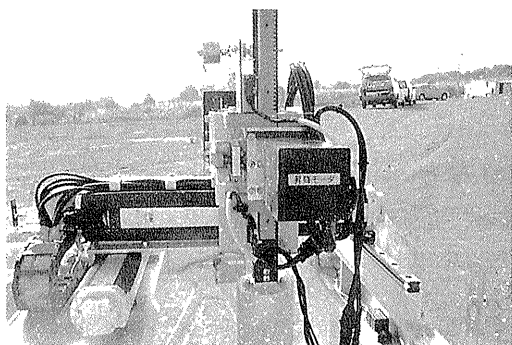


写真 1-3 XY テーブル機構



写真 1-4 無人測量システム 2 号機

1-2 システム概要

無人測量システムは、災害復旧工事における危険区域での有人測量作業を無人で行う為に、開発されたシステムであり、今回は、無人化施工における砂防ダム工事での RCC コンクリート上の測点の位置出し、出来形高さの計測の無人化を目的として開発を行った。

本システムは、①マーキング機構搭載重機、②トータルステーションシステム、③制御ユニット、3つの部分で構成されている。図 1-1 にシステムの構成図を示す。

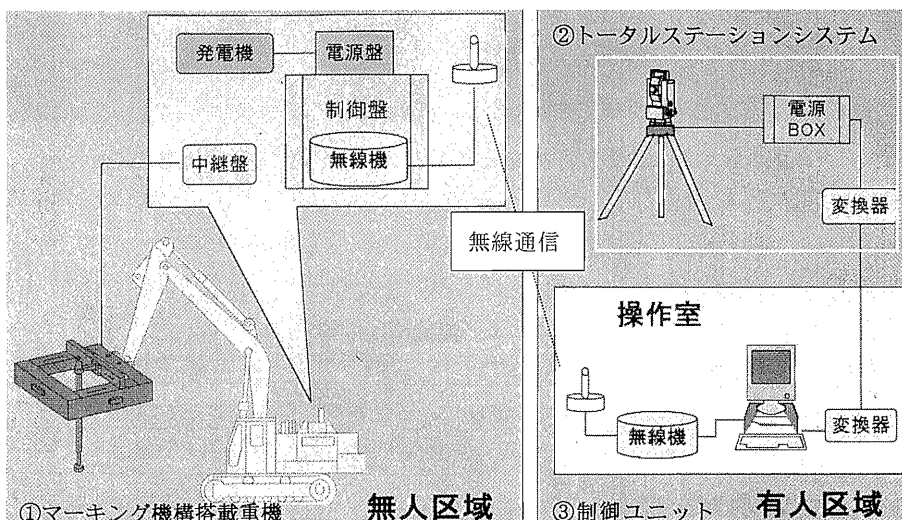


図 1-1 無人測量システム構成図

1) マーキング機構搭載重機

マーキング機構搭載重機は、無人バックホウのアタッチメント部分にマーキング機構を取り付けた重機であり、その制御盤や発電機は重機後方に搭載されている。1号機では、マーキング機構単体で現場実証を行ったが、2号機では、測量精度の向上と測量時間の短縮を図るため、マーキング機構に微小位置決め操作が可能なXYテーブル機構が付加されている。

2) トータルステーションシステム

トータルステーションシステムは、マーキング機構に取付けられたプリズムを自動追尾する事で目標マーキング点への誘導を行うシステムである。本システムは、無線による測定命令とデータ取得機能により遠隔操作が可能であり、また、重機旋回時にアーム等でプリズムが隠れた場合でも自動でプリズムのサーチを行う為、危険な環境下での無人測量が可能となっている。

3) 制御ユニット

制御ユニットは、トータルステーションシステムからの測量データをパソコン画面上に表示させ、目標マーキング点への誘導を行う。また、マーキング点誘導後は、微小位置決めデータの計算を行い、マーキング機構制御盤に制御データを送信し、マーキング制御を行う。

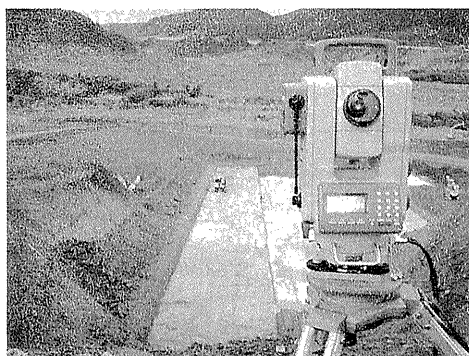


写真1-5 トータルステーションシステム

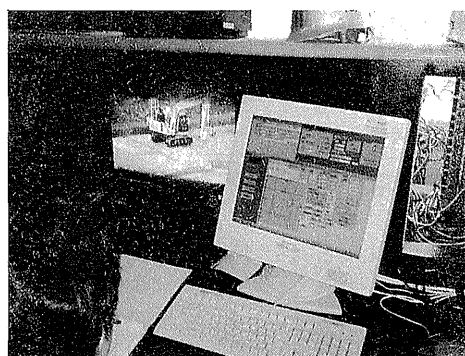


写真1-6 制御ユニット

1-3 機械仕様

本システムの機械仕様を表1-1に示す

表1-1 機械仕様一覧

| ユニット名 | 項目 | 仕様 |
|-----------------------------|---------|-------------------------------|
| マーキング機構搭載重機 (本体重量 100kg) | 無人バックホウ | 0.4m ³ クラス以上 |
| | マーキング機構 | XY移動範囲 200(mm)×200(mm) |
| | 制御盤 | 縦*横*高さ=600×250×700(mm) 40(kg) |
| | データ転送装置 | 2.4G SS無線機 |
| | 発電機 | 2KVA |
| トータルステーションシステム | 測量機 | 2秒読み |
| | バックサイト | プリズム3型使用 |
| 制御ユニット | パソコン | タワー型パソコン |
| | データ転送装置 | 2.4G SS無線機 |
| | モニタ | |

2. 施工状況

本システムは、平成 11 年 11 月に水無川 2 号砂防ダム工事に 1 号機を導入を開始、現場での実証実験を行った結果、以下の問題点が判明した。

- ・ 目標点への微小の位置合わせの操作が難しく、マーキング精度が安定しない。
- ・ 目標点への誘導が難しく、オペレータに負担が生じる。

これらの原因としては、目標マーキング点への移動をブームの油圧制御によって行っている事が原因として考えられる。この解決策として、XY テーブル機構を付加した無人測量システム 2 号機を開発。平成 13 年 12 月に水無赤松谷川 2 号砂防ダム工事に導入を開始、測量精度や施工時間の確認の為、有人による測量との誤差の再検証を行った。

2-1 施工方法

マーキング精度の検証方法としては、事前に有人測量にて、ダム堤体に十字のマーキングを施しておき、同様に無人測量システムにてマーキングした結果と、有人による十字マーキングとの誤差の検証を行う。以下に試験施工の手順及び施工結果を示す。

1) マーキング位置の設定

河川センターをNo.0とし、20m間隔で右岸側にRNo.1、左岸側にLNo.1、LNo.2とする4断面を管理断面に設定する。(図2-1)それぞれの管理断面上において、5箇所マーキングを行う。図2-2に断面上のマーキング位置を示す。各マーキング点は、H1、H3については次リフト施工時の土砂型枠ライン用に、Hk、H2、Hjについては出来形管理用として用いられる。

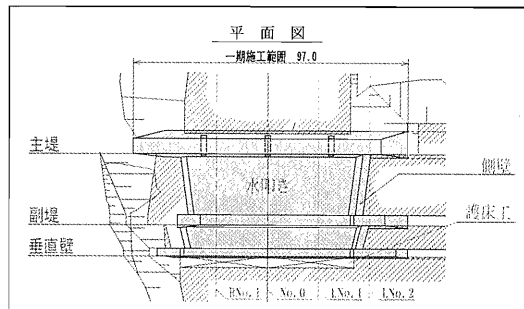


図 2 - 1 堤体平面図

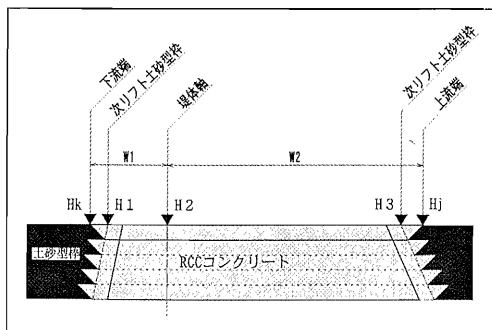


図 2 - 2 マーキング位置図

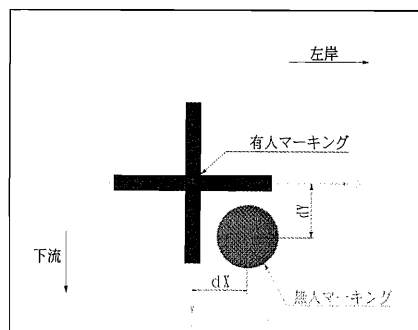


図 2 - 3 誤差成分と座標系

2) マーキング点の計測方法

マーキング誤差の計測方法としては、予めマーキング目標位置（設計位置）に誤差計測用の十字マークを有人でマークしておき、無人測量マーキング完了後にX成分、Y成分、Z成分（高さ）の誤差を計測する。図2-3に誤差成分と座標系（堤体軸左岸方向を+X方向、下流方向を+Y方向とする）を示す。

マーキング時間の計測は、操作室に設置した制御用ユニットにてカウントする。マーキング時には管理断面間の移動時間を含むこととし、システムの立ち上げ時間は含まないこととした。

2-2 施工結果

今回の試験施工では、合計8リフトでのマーキング施工を実施し、総測点数 225 点のマーキング誤差計測を実施した。

1) XY軸（平面）誤差

予め、有人にてマーキングした十字マークの中心点を原点O(0,0)とし、無人によるマーキング点の誤差成分(dX、dY)を、図2-4に平面内誤差分布図に示す。図中の半径20mmの円が無人測量システム2号機の目標精度範囲である。図の結果より、マーキング点の平面誤差は、ほぼ20mm以内の範囲に入っている事が確認された。

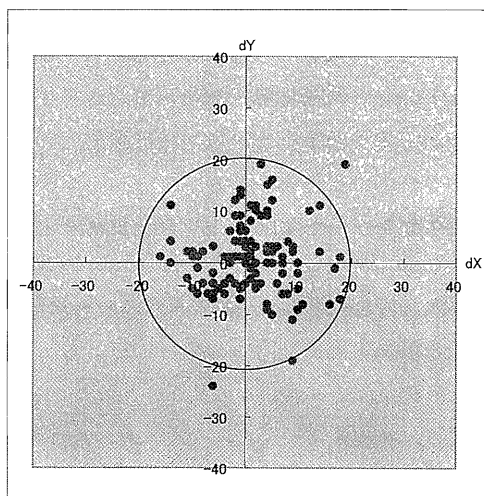


図2-4 平面内誤差分布図

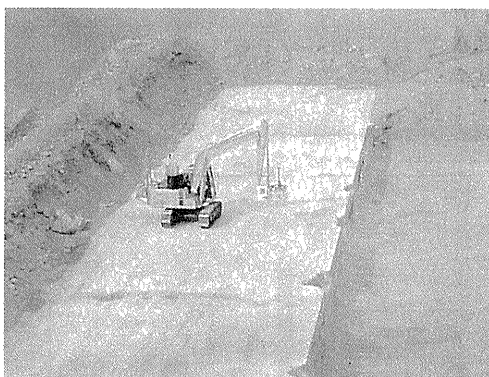


写真2-1 試験施工状況

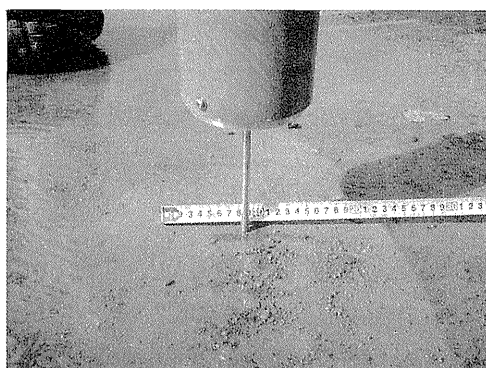


写真2-2 マーキング点計測状況

2) Z軸(高さ)誤差

次に、マーキング高さの誤差度数分布図を図2-5に示す。この結果より、高さの誤差平均値は-1.64、標準偏差は8.13であった。これは、平面内誤差と比較すると計測値にばらつきが大きく、目標値の±20mm以内から外れる割合が高く出ていた。この原因としては、バックサイトの基準高さを計測する際のばらつきが影響していると考えられる。この為、測定箇所付近に確認用ダボを設置し、高さの補正を行って誤差のばらつきを小さくした。

この結果、測量精度についてはおおむね良好な結果が得られ、目標とする誤差±20mm以内での計測が可能であることが確認できた。

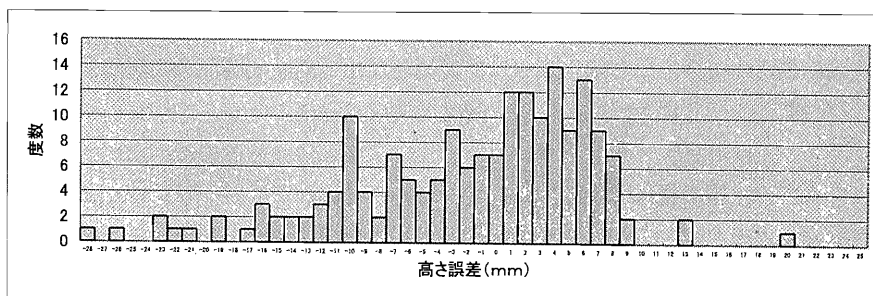


図2-5 高さ誤差度数分布図

3) サイクルタイム

施工時間については、制御ユニット内のデータを解析した結果、1箇所のマーキング当たり平均で4分23秒、管理断面当たり平均で23分40秒であった。これにより1箇所のマーキングに要する時間は、目標の5分以内で可能である事が確認できた。

4) まとめ

今回の試験施工により、XYテーブル機構を付加した無人測量システム2号機では、1号機に比べて、測量精度の向上と施工スピードの向上を図る事ができた。以下に、1号機と2号機での1測点当たりの測量時間とマーキング精度を示す。

表2-1 施工結果

| | 1号機 | 2号機 | 備考 |
|---------|-------|-------|--------|
| 測量時間 | 7分43秒 | 4分23秒 | 1測点当たり |
| マーキング精度 | ±50mm | ±20mm | |

3. 終わりに

無人測量システムは微調整機能の開発により、測量精度及び施工スピードの向上を図る事が出来た。これにより、RCC出来形管理や立会検査を遠隔で行う事が出来、これまで有人で行っていた作業を無人で行う事が可能となった。今後は、本システムを更に改良し、その他の測量項目にも展開していく所存である。

28. 無人化施工によるリサイクル 緑化工法の実施

長崎県 島原振興局：古藤 秀明、

(株)熊谷組：*北原 成郎、岡田 喬

1. はじめに

雲仙普賢岳周辺では、約1億7千万 m^3 の火山堆積物が体積しており、平成新山の溶岩ドームはいまだに崩落の危険性がある。警戒区域内では無人化施工による治山ダムの建設が進んでいる。その周囲は火山堆積物の裸地が広がっており植生が急がれている。しかし警戒区域であるためにこれまで植生基盤を造成する本格的な緑化工法が施工できなかった。土壌は火山周辺であるため肥料分が少なく早期の緑化を行う場合、厚層の植生基盤の造成が必須である。これまでの厚層基材吹付工法などでは、人力主体の施工方法であり、遠隔操作での施工は吹付機の機構上困難であった。また警戒区域であるため、施工後の補修の少ない降雨による浸食の影響が少ない緑化工法が不可欠であった。今回採用した無人緑化工法は、チップを混入した現地発生土をミキサーで攪拌し団粒化させた基盤材を、バックホウのアームに取付けた高速ベルコンによる播きだし装置で法面へ施工するものである。有人での重機を利用したリサイクル緑化工法は、これまで全国各地で実績を積み、安定した成果を残している。そこで無人化施工に適した機械化施工のできるこの緑化工法システムを遠隔操縦可能に改良し、現地への材料の運搬から積替え、法面への施工を行い、その性能を検証した。また伐採材などのチップを混入し、補強効果をあげた緑化工法であるため、無人地域での侵食防止にも効果が期待できる。今回、日本ではじめて本格的な無人緑化施工を実施し、実現したのでここに報告する。

2. リサイクル緑化工法の概要

リサイクル緑化工法は現地周辺で発生した伐採材を長い針状に粉砕した生チップと、団粒土壌に改良した畑土を混合した材料に、種子・肥料・添加剤・水などを加えて、植物が良好に発芽・生育できる生育基盤材料を製造し、専用の高速ベルトコンベア式専用撒きだし機を使って現地法面に生育基盤を造成する工法である。撒きだし機から高速で放出された土壌内のチップは強固にからみあう。この網目状に配したチップ材が基盤を保護するため、降雨や流水に浸食されにくく、乾燥しにくい。またコンベアを組み合わせた機構から施工能力が高く必要な厚吹きに対しても施工性に問題なく、

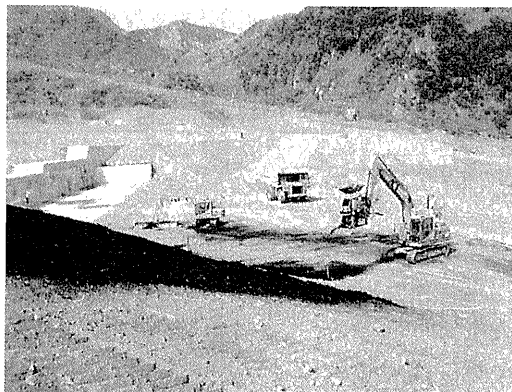


写真1 施工状況

詰りなどの故障が発生しにくい。この他、この工法は無人重機（バックホウ）により容易に施工できるなどの特徴を持つ。

3. 無人化施工システム

無人区域内のリサイクル緑化工法施工には、無人化施工機械を組み合わせ施工する。

今回の施工では、有人区域で材料を製造し、有人区域に近接した区域で無人化施工機械へ材料を受け渡す。その材料を遠隔操縦で施工区域へ吹付ける施工を行う。無人化施工機械の操作は約100m程度離れた操作室より遠隔操縦で施工した。

(1) 使用機械

無人化施工に使用する機械を以下の表1に示す。

表1 遠隔操作関連使用重機一覧表

| 機械名 | 規格 | 台数 | 使用工種 | 適用 |
|------------|---------------------|----|-----------------|-------------------|
| 遠隔操作式バックホウ | 0.8 m ³ | 1 | 緑化工 撒き出し作業 | 車載カメラ搭載 撒き出し装置 |
| 〃 バックホウ | 0.45 m ³ | 1 | 緑化工 積替え作業 | 車載カメラ搭載 |
| 〃 ダンプトラック | 45 t 積み | 1 | 緑化工 運搬作業 | 有人・無人切替運転 |
| 移動カメラ車 | | 2 | 緑化工 作業補助 | バックホウ利用 |
| バックホウ | 3.5 m ³ | 1 | 緑化工 プラント積込作業 | 有人運転 |
| 移動操作室 | 10 t 車 | 1 | 作業全般 | |

(2) 無線設備

前述のとおり、本工事では、無人区域内の施工を前提として、無人区域内で使用する重機はすべて遠隔操作する。このため、操作用信号、画像用信号はそれぞれ専用の周波数により無線で送信する。

① 操作用信号

操作としては、重機本体のコントロールの他にアンテナの方向コントロールにも無線が使用される。重機本体は429MHz帯特定小電力無線局の電波を使い、映像制御は422MHz帯特定小電力無線局および2.4GHz帯小電力データ通信無線局の周波数を用いた。

② 画像用信号

画像の転送には、業務用無線1.2GHz、建設無線2.4GHz、50GHz帯簡易無線を使用する。将来傾斜地等の施工に対応

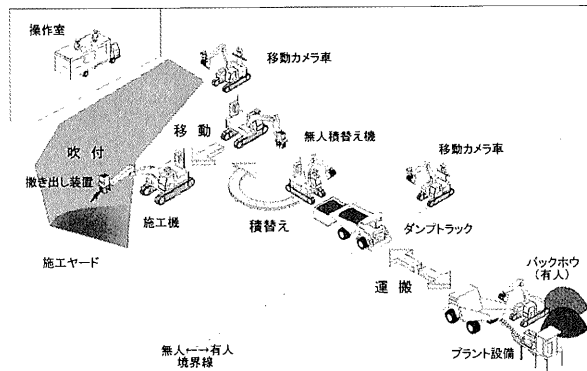


図1 施工概要図

するため、無指向性アンテナを使った 1.2GHz と 2.4GHz 無線局を作業を行うバックホウに搭載した。50GHz の電波は指向性が強いので、移動カメラ車に採用している。

4. 施工報告

4. 1 施工概要

今回の施工場所は、火山灰を主体とした法面であり、保水性（保肥性）が極めて低く、有機物が全く含まれていないなど植物の生育環境としては劣悪な状況にある。一方、当地では工事区域への立入りが制限されており、緑化の工事を行うに際しても、無人化での施工を行った。

工事件名：水無川（赤松谷 1 工区）地区 火山地域総合治山工事

施工地：長崎県 赤松谷治山ダム群 1号えん堤右岸副堤 右岸

法面状況：勾配 1：2.0m 地山 火山灰・火山礫堆積法面

施工日：平成14年3月6日～3月7日

施工面積：300 m² 生育基盤造成厚 t = 10cm

表 2 施工実績表

| 施工日 | 施工日数(日) | 施工面積(m ²) | 実稼働時間(h) | 作業量(m ² /h) | 備考 |
|------|---------|-----------------------|----------|------------------------|----|
| 3月6日 | 1 | 158 | 6 | 26.3 | |
| 3月7日 | 2 | 142 | 5 | 28.4 | |
| 合計 | | 300 | 11 | 27.3 | |

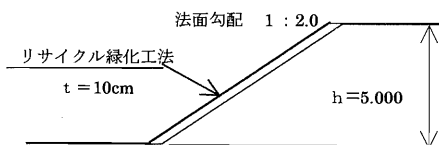


図 2 標準断面図

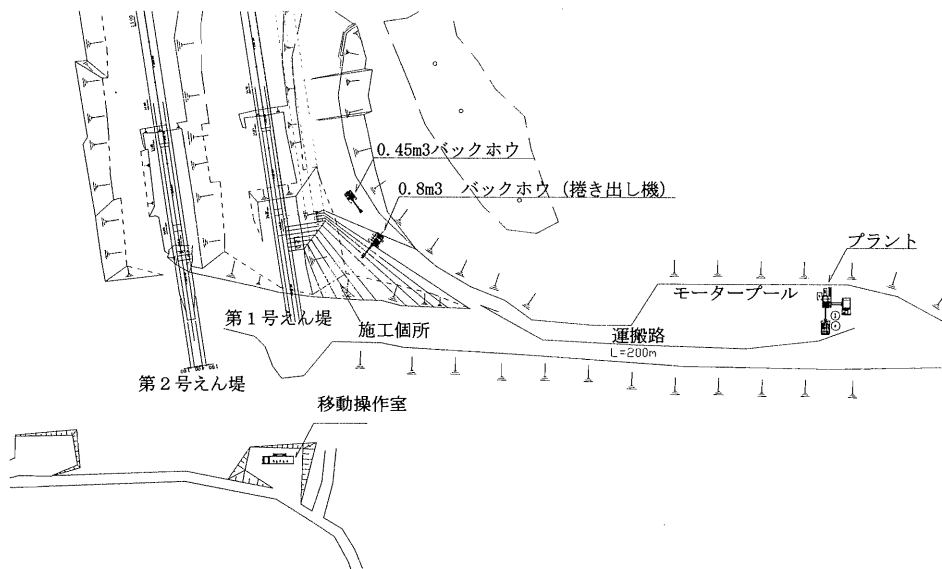


図 3 施工位置図

4. 2 主要機械・使用材料

表3に主要機械、表4に標準配合を示す。

表3 主要機械一覧

| | 使用機械 | 仕様・形式 | 台数 | 備 考 |
|-------------|----------------|--------------------|----|-------------------|
| 生育基盤 材製造 | バックホ | 0.8m ³ | 1 | 表土・チップ材投入 有人 |
| | 生育基盤製造 プラント | | 1 | 有人 |
| | バックホ | 3.5m ³ | 1 | 有人 |
| | 発動発電機 | 125kVA | 1 | |
| | 水 槽 | 5m ³ | 1 | |
| | ベッセル | | 1 | 生育基盤材ストック |
| 生育基盤 造成 | ダンプトラック | 4.5 t | 1 | 生育基盤材の運搬 無人 |
| | バックホ | 0.45m ³ | 1 | 撒きだし機への材料投入 無人 |
| | バックホ | 0.8m ³ | 1 | 撒きだし機ベースマシン 無人 |
| | 撒きだし機 | | 1 | 生育基盤の造成 無人 |
| | カメラ車 | | 2 | 作業補助 無人 |

表4 標準配合 (1 m³当たり配合)

| 材料 | 品名 | 単位 | 1 m ³ 当り数量 |
|-----------------|--------------|----------------|-----------------------|
| チップ材 | | m ³ | 0.5 |
| 表土 | | // | 0.5 |
| 団 粒 剤 | NC ボンド A | kg | 3.0 |
| 接 合 剤 | NC ボンド B | // | 4.0 |
| 化成肥料 (8:8:8) | | // | 3.0 |
| 緩効性肥料 | ハイコントロール | // | 2.0 |
| 水 | | m ³ | 0.35 |
| 種 子 | センヒートグラス | g | 3.3 |
| | ハ° ミューダ° グラス | g | 0.6 |
| | ハ° ヒア° グラス | g | 16.6 |
| | ヤマハキ° | g | 228.6 |

4. 3 施工方法

無人区域内のリサイクル緑化工法施工には、無人化施工機械を組み合わせ施工する。

今回の施工では、有人区域で材料を製造し、有人区域に近接した区域で無人化施工機械へ材料を受け渡す。その材料を遠隔操縦で施工区域へ吹付ける施工を行う。無人化施工機械の操作は約100m程度離れた操作室より遠隔操縦で施工した。

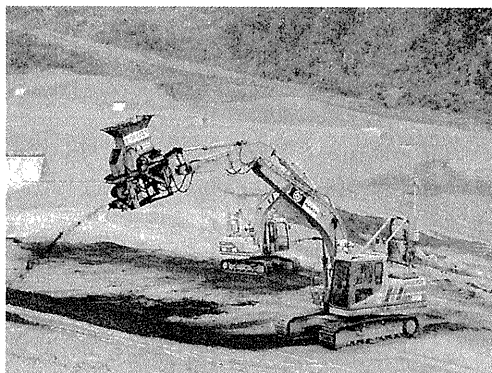


写真2 吹付状況

(1) 施工手順

施工手順をフロー図に沿って説明する。

また図4 無人化施工フロー図を以下に示す。

- ① 施工はリサイクル緑化材料をプラントで製造し、バックホウ（有人）にて重ダンプに搭載する。
- ② 無人重ダンプは約200m程度運搬し、仮置ベッセルに荷降ろしする。
- ③ カメラ車の支援を受けながら、無人バックホウで材料を撒き出し装置に積替える。
- ④ 撒き出し装置を搭載した無人バックホウは施工ヤードまで移動する。
- ⑤ 作業位置を確認し、吹付作業を行う。

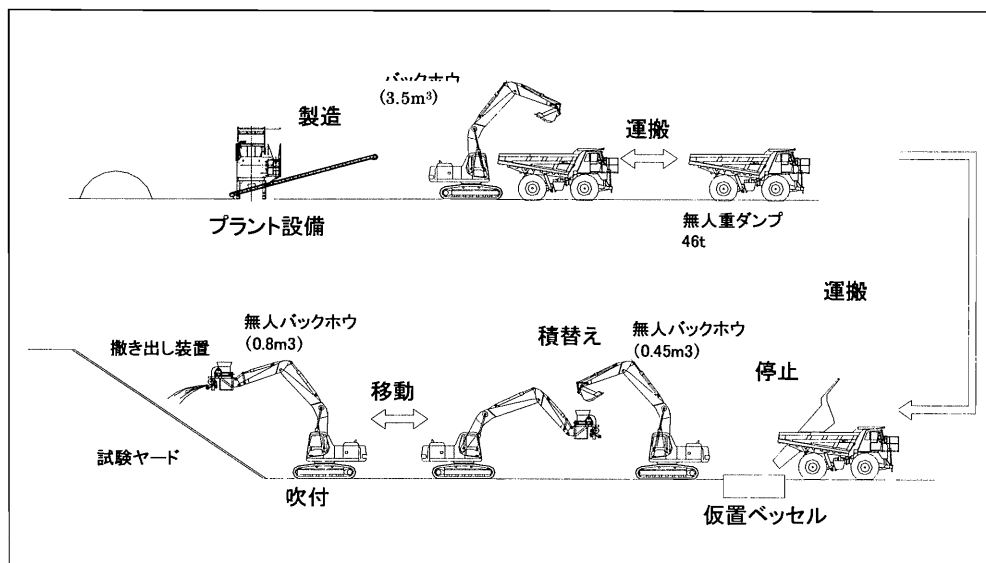


図4 施工フロー図

4. 4 施工管理

施工管理方法は、吹き付け作業を行う前に、検測治具と施工範囲を区画（ 9 m^2 ）切りし、そこに吹き付ける量で厚さの管理を行った。今回の工事では検測治具と施工範囲の区画切りは、有人作業で行った。また、施工後に 100 m^2 に1箇所吹き付け厚の検測を行った。

4. 5 追跡調査

追跡調査は、施工法面の3箇所（上部、中部、下部）の位置に $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ （ 1 m^2 ）のコドラートを1箇所ずつ設置し、それぞれを調査した。調査の日程は施工後から1週間おきに実施し、以後12ヶ月後まで実施している。

4. 6 火山噴出物の団粒化試験

現地の表層土を形成する火山噴出物を法面緑化（リサイクル緑化工法）の生育基盤材として再利用する方法について実験を行い検証した。使用材料は表層土（火山噴出物を採取）と表土（周辺地より採取）、チップ材（普賢岳周辺伐採木利用）である。表5参照。

（1）使用材料の配合

・配合①および配合②

チップ材と火山噴出物を1：1の比率で混合、団粒剤の混入量を 1.5 kg （配合①）と 2.0 kg （配合②）として試験実施した。

・配合③

チップ材を 0.5 m^3 、現地発生土を火山噴出物（ 0.25 m^3 ）および周辺表土（ 0.25 m^3 ）とした。団粒剤の混合量は 2.0 kg とした。

(2) 試験結果

いずれの配合においても、団粒化が確認された。しかしながら、火山噴出物だけでは微粒分量が不足していると考えられるため、団粒による結合が若干弱く保水量が少ない。これに対し、微粒分を多く含む現地周辺から採取した表土を混合した場合には、さらに良好な団粒構造をした生育基盤が得られる。

配合①と配合②では、団粒剤 1.0kg の混入で団粒反応が起こり火山噴出物は団粒するが、基盤材の結合力が弱い。

団粒剤の量を増やしても（団粒剤 2.0kg）この傾向に変化はなく、基盤材が粘性をおびていわゆる団粒剤が過剰の状態を呈する。このため、この火山噴出物に微粒分を含む現地周辺の表土を加えることにより、良好の生育基盤が製造できると判断される。

5. まとめ

今回の工事では、国内初めて緑化工事を無人化施工で行ったが、警戒区域内でも厚層の緑化基盤を無人化施工で構築することが実証できた。結果として警戒区域で作業に人間が入れない制約条件下では、無人化施工を前提とした緑化システムの構築が重要であった。また吹付作業自体は能率低下は少なく、安定して施工が実施できた。

課題としては、今回の工事では施工は無人化作業で行えたが、施工管理を全て無人で行えるよう新システムの開発を行っていきたい。

また、今後施工数量の増大が図られる場合、無人化施工システムの大型化により施工効率と経済性の向上を図ることが必要である。具体的には撒き出し装置の大容量化、無人化による材料の投入効率向上などがある。

さらに無人化施工上流部の急峻な地形に対応するためにはブルドーザや専用大型運搬機械の導入、対応可能な無線の導入、撒き出し機構改良などの重要な検討課題が予想されており、これらの技術開発にも力を入れていきたい。

最後に、本工事を実施するにあたりご協力いただいた関係者の皆さんに心より感謝いたします。

表5 1 m³ 当たりの配合

| | 単位 | 配合① | 配合② | 配合③ | 実施工配合 |
|------------------|----------------|------|------|------|-------|
| チップ材 | m ³ | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| 現地発生土 (火山噴出物) | " | 0.50 | 0.50 | 0.25 | — |
| 現地発生土 (表土) | " | — | — | 0.25 | 0.5 |
| 水 | " | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.35 |
| 団粒剤 | kg | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 3.0 |
| 団粒状況 | | ○ | ○ | ◎ | |



写真3 施工3ヶ月後

29. 土の締固め遠隔管理システム

大成建設㈱：西澤 修一

1. はじめに

GPSや自動追尾型トータルステーションを使用した締固め自動管理技術は、現在、高速道路や空港、ダムなど、大規模造成工事において次第に普及し始めている。本システムは、盛土工事における締固め機械の3次元走行軌跡情報を、GPSや自動追尾トータルステーションを用いて追尾し、品質管理の高度化を図ったものである。これまで、システムの実用性を高めるため、様々な造成工事での実利用をとおして機能の改良を行ってきた。本論分は、その間に組み込んだ主なシステム機能の改良ポイントを中心に述べる。

2. システム概要

2.1 システムの概要

システムの特徴は、大きく2つに分かれる。

GPS無線機

計測管理装置



図-1 重機に設置した各種計測管理機器

1) 重機用管理システム；

GPSや自動追尾型トータルステーション（以下、「TS」とする）を用いて重機の走行軌跡を追尾し、転圧回数や施工層厚状況を画面に色分け表示する。同時に、3次元走行軌跡データを記録する（図-2参照）。

2) 作業所用管理システム；

重機の3次元走行軌跡データに基づいて転圧作業を分析し、転圧情報をメッシュ単位の電子ファイルに登録する（図-3参照）。

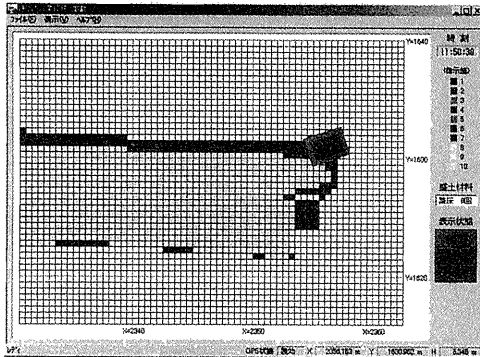


図-2 重機用管理システムの画面例

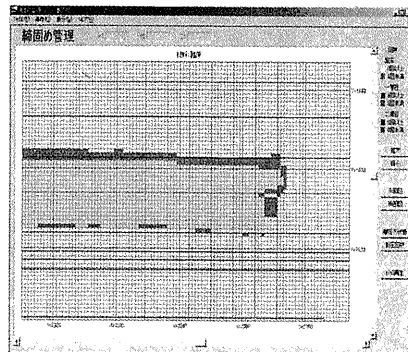


図-3 作業所用管理システム画面例

2.2 GPSおよび自動追尾トータルステーション（TS）の併用

本システムは、GPSとTSを併用することが可能である。しかし、両者の特徴はかなり異なっており、測量機械の選定に当っては、特に地形や工事規模を考慮する必要がある。重機の追尾に関する両者の特徴は以下のとおりである。

2.2.1 GPS方式

- (1) 施工場所： 山間部においては、適用時間・場所が限定される恐れがある。
- (2) 機器の運用方法： 重機の電源を入れるだけで重機の追尾が開始できる。
- (3) 天候への対応性： 基本的に全天候型である。
- (4) 重機追尾性能： GPS固定局から3～4kmの範囲まで追尾が可能である。
- (5) 重機の測位精度： 水平位置＝±10～20cm、鉛直位置＝±2～3cm。
- (6) 追尾上の留意点： GPSの測定標高は、工事で採用するジオイド高とは異なる楕円体高であり、追尾範囲は広い場合、この違いをよく認識する必要がある。

2.2.2 自動追尾トータルステーション（TS）方式

- (1) 施工場所： 山間部やトンネル内など、閉鎖された空間での適用が可能である。
- (2) 重機の運用方法： 追尾開始時には、TSで反射プリズムを視準する必要がある。
- (3) 天候への対応性： 霧や雪、雨の中では、重機の追尾は難しい。
- (4) 重機追尾性能： 追尾範囲は300m程度が限界である。
- (5) 重機の測位精度： 水平位置＝±20～30cm、鉛直位置＝±3～4cm。
- (6) 追尾上の留意点： 重機が多数錯綜して作業する場所では、追尾の中断が発生する恐れがあり、この対策を十分に検討しておく必要がある。

3. システムの主な改良ポイント

本システムは、数カ所の現場適用をとおして、機能の実用性をさらに高めるための見直しを行った。機能の改良を図った点は主に以下の4点である。

3.1 振動転圧輪の通過判定手法の開発

面的なメッシュ内を転圧輪が通過したか否かを判定する方法として、メッシュ中心から転圧輪の端部までの距離を測定し、その距離が設定した通過判定の半径以上あるか否かで判定する方法を用いた。この通過判定半径（判定率）は自由に設定できる。

転圧輪の通過判定方法と、転圧回数を加算していく処理の流れは以下のとおりである。（図-4参照）

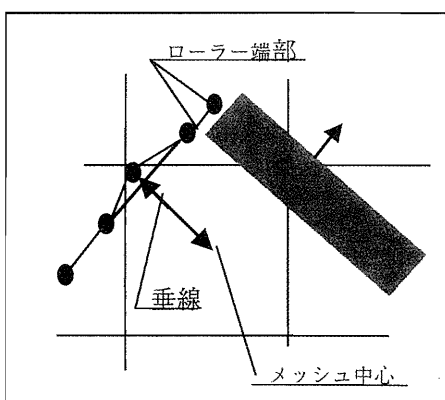


図-4 転圧ローラー通過管理の概念図

- (1) GPSまたはトータルステーションにより、重機の走行軌跡を3次元座標で1秒間隔に追尾する。
- (2) 1秒前と現在位置の左・右それぞれの転圧ローラー端部を直線で結ぶ。
- (3) 管理用メッシュごとに、メッシュ中心からローラー端部を結ぶ直線に対する垂線を引き、垂線の長さを求める。
- (4) 垂線の長さが、設定値以上の場合、そのメッシュを重機が通過したと判定する。

表-1 通過判定率と未転圧発生割合

| 通過判定の許容半径 (メッシュ幅 50cm 使用) | 未転圧面積 の発生割合 |
|---------------------------------|----------------|
| 50%以上の場合 (メッシュ枠から 25cm 以内) | 0% |
| 75%以上の場合 (メッシュ枠から 12.5cm 以内) | 0.1% |
| 100%の場合 (メッシュ枠いっぱい) | 1.1% |

そこで、通過したと判定できないメッシュの発生割合について実験した。

実験は通過判定率を、①50%（メッシュ幅の半分以上の通過が必要）、②75%（メッシュ幅の75%以上の通過が必要）、③100%（メッシュ幅いっぱいの通過が必要）の3タイプに分けて行った。その結果は、表-1、図-5、-6のとおりである。

検証実験の結果、未転圧の発生割合は、通過判定率を100%にしたとき1.1%、通過判定率を75%にしたとき

0.1%であった。転圧走行では、隣接レーンと10cmの範囲で重なるように心掛けたが、地盤の不陸等の影響により、重機の水平位置の測位誤差は、±10～20cm程度見られた。

管理用メッシュ幅は、小さいほど管理精度は上がるが、その反面、メモリー容量を多く必要とし、また、パソコン操作上で画面の移動時間が遅くなるなどの不都合が生じる。したがって、メッシュ幅や通過判定率は、重機の管理精度と運用面とのバランスを考慮しながら、工事の規模や工種に応じた検討を行う必要がある。

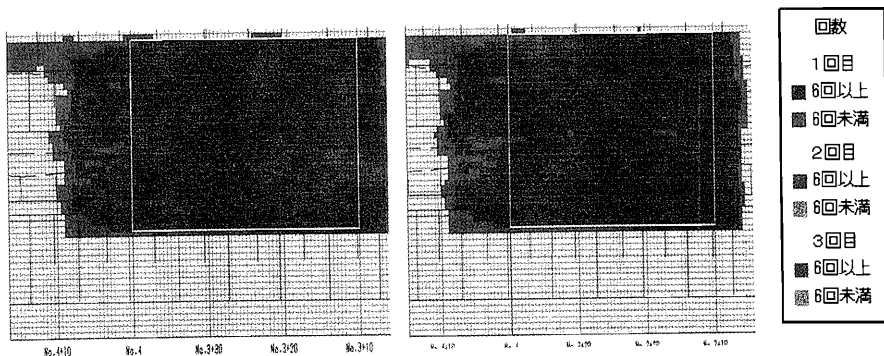


図-5 通過判定率 75%の管理結果 図-6 通過判定率 100%の管理結果

3.2 既転圧区域に接する新規転圧区域でのデータ管理方法

転圧作業がすでに完了している区域に接して、新たに敷均し・転圧作業を行う場合、すでに転圧作業が完了している隣接部は、締固め機械が方向転換などを行う場所となるため、新たに発生する転圧回数は規定値以下が多くなる。しかし、この隣接部の電子ファイルには、すでに規定値内のデータが記録されており、このデータと新たな規定値以下のデータとが置き換えられるのを防ぐ必要がある。

そこで、転圧回数を電子ファイルに記録する際に、メッシュ単位で前回と今回との標高差を求め、標高差が一定の範囲内にあるときは、記録されている転圧回数に新規の転圧回数をそのまま加算するようにした。これにより転圧回数の登録時において、既転圧区域と新規転圧区域の処理方法の選別が自動的にできるようになり、両区域における転圧回数データの管理を正しく行うことができた。(図-7、-8参照)。

3.3 盛立層情報の管理方法

一層ごとに盛立てられる転圧情報の層別管理方法は、盛立てられる地形条件の違いにより、以下の2つの方法を選択して行った。

1) 山間部での盛立管理

山間部の地形形状は複雑であり、電子ファイルへの記録や出力は、層 No. 単位に

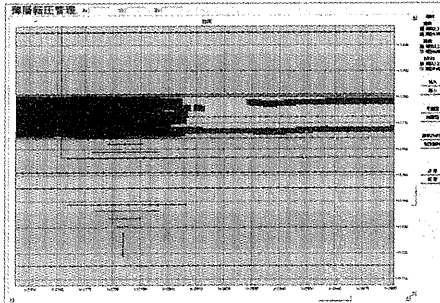


図-7 隣接部が転圧前の管理図例

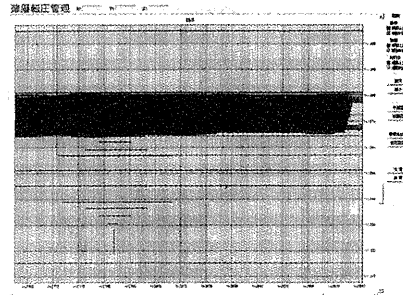


図-8 隣接部が転圧後の管理図例

行っても、それらは同一標高上のデータではないため、そのような管理方法は、結果を表示する際にほとんど利用できない。そこで、このような地山地形での転圧情報は、盛立層 No. を意識せずに、施工された順に電子ファイルへ記録する。そして、結果の出力は、任意の標高を指定し、その標高にかかる全メッシュ情報を一連表示させるようにした。

2) 平坦部での盛立管理

平坦部での転圧作業は、盛立層 No. 単位に実施が可能であるため、転圧情報の電子ファイルへの記録は、層 No. を指定しながら行う。そして、結果の出力は、層 No. を指定し、その層 No. にかかる全メッシュ情報を一連表示させるようにした。

3. 4 転圧情報の電子ファイル登録前の確認方法

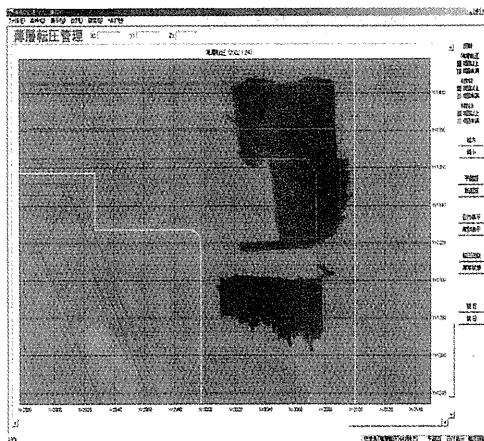


図-10 転圧情報の確認画面例

転圧情報の取得から電子ファイルへの登録に至る処理過程において、例えばGPS固定局のアンテナ高の設定やTSの後視点を間違えて重機の追尾を行った場合、管理データをすべて一連に自動処理を行うと、この誤りに気が付かない恐れがある。また、重機搭載の管理装置の一部にトラブルが発生した場合は発見が遅れるなど、すべて一連に自動処理を行うことへの弊害が予想される。

そこで、転圧情報を正確に電子ファイルへ登録するため、作業所用管

理システムでは、電子ファイルへ登録を行う前に、転圧情報を日単位でパソコン画面に表示させ、これと手元の作業記録とを照らし合わせて、転圧情報の善し悪しを目でいったん確認してからファイリング処理を行うようにした。

4. システムの導入効果

本システムの現場適用実績に基づいた適用効果は、以下のとおりである。

- (1) 締固め作業の品質管理が、面的、盛立層単位にできる。
- (2) 複数の締固め機械の転圧情報は、携帯電話等を用いて作業所用管理システムへ自動送信されるので、稼働状況が遠隔地にて管理できる。
- (3) 転圧情報はCSV形式等で出力し、必要な成果表や提出書類を自動的に作成できる。
- (4) 竣工後において、施工情報が詳細に再生、確認できるため、維持管理データとしての利用や保存ができる。

5. おわりに

本システムの現場運用にあたっては、いくつか検討すべき課題も残っている。それらは、主に以下の3点である。

- (1) システムを迅速に現場適用するためには、工事の規模や工種に応じて、システム機器構成を数種類に分けて標準化しておく必要がある。
- (2) 装置を日常的に管理していくためには、現場の運用体制を整備する必要がある。
- (3) 重機のオペレータは、管理装置を操作する必要はほとんどないが、装置は重機の電源を利用しており、システム概要を理解してもらうための教育は必要である。

本システムは、現在、静岡空港本体造成工事および中部国際空港埋立工事で適用中であり、システム機能の実用性は実証されている。今後も現場からの要望を取り入れながら、システムの高度化をさらに進めていきたい。

参考文献

- 1) 日本道路公団：土工施工管理要領、pp. 32～36、1989.
- 2) 三嶋信男・緒方健治・北村佳則・益村公人：GPSを利用した土の締固め自動管理手法の導入、土と基礎、Vol. 48、No. 4、pp. 9～12、2000.

30. 深層混合処理機の施工精度 管理システムの開発

(株)竹中土木：*太田 恵智、森田 英仁、

(株)竹中工務店：山本 光起

Development of direction control system for Deep Cement Mixing Machine

* Yoshitomo Ohta Hideyoshi Morita Mitsuoki Yamamoto

軟弱地盤にスラリー状の固化材を添加し、深層混合処理機によって原位置で地盤と混合攪拌する深層混合処理工法は、従来工法と比較して早期の改良効果が発揮できるとともに、低騒音・低振動工法であることから多くの土木・建築分野で施工実績を積み重ねている。

本報では、従来システムに処理機の先端位置をリアルタイムに演算する軌跡管理システムと、施工時に処理機先端位置を能動的に制御できる機構を付加することにより、処理機の先端位置を方向制御できるシステムの開発事例を報告する。また、本システムの制御効果は、先端軌跡管理システム、実験後の改良杭への大口径ボーリング調査、孔曲がり測定器による測定およびボアホールカメラによるボーリング孔の撮影にて検証した。このシステムを用いれば、建て入れ精度の確保が容易になるばかりではなく、施工品質の向上によるコストダウンも期待することができる。

キーワード：地盤改良、深層混合処理機、方向制御、施工精度、施工品質、施工実験

1. はじめに

軟弱な地盤に、スラリー状のセメント系固化材を原位置で混合・攪拌する深層混合処理工法 (DCM-L工法) は、早期に改良効果が期待できる、低振動・低騒音工法であることから多くの施工実績がある。また、兵庫県南部地震において液状化防止効果が確認されてからは、建築分野にもその適用範囲が広がっている。

本報では、油圧ジャッキとワイヤを用いて処理機先端位置を能動的に制御し、従来より鉛直精度の向上を可能としたシステムの概要と施工実験および検証結果について述べる。

2. 工法の概要

2.1 深層混合処理工法

一般的に深層混合処理機は、1または2本の掘削軸を有しており、簡易式バッチャープラントで製造

したスラリー状のセメント系固化材を掘削軸の先端から吐出しながら貫入を行い、攪拌翼で原地盤とセメント系固化材を混合・攪拌する。一方、施工される改良杭は、各々が接合（以下、ラップと称す）した連続した壁体として外力に抵抗する設計が採用されるのが一般的であり、そのため改良体のラップは、鉛直精度とともに重要な管理項目である。

2.2 施工精度の管理方法

ラップ施工による改良杭相互の一体化を確実なものとするために、通常は施工時のバラツキを考慮してラップ巾を200mmとして処理機を位置決めして施工を行っている。しかしながら、従来は処理機先端位置の直接的な制御手段が確立されていないため、ラップ量や鉛直性を確保するために施工スピードを慎重にコントロールする等の工夫が必要とされ、処理機を運転・操作するオペレータには、高度な技量と多大な作業負荷が要求されていた。

3. 方向制御システムの概要

方向制御システムの全体図を図-1に、油圧ジャッキとワイヤの仕様を表-1に示す。方向制御は、攪拌翼上部に取り付けたワイヤに油圧ジャッキで引き力を与えることで行う。先端位置は、軌跡管理システムにてリアルタイムで検出されており、この計測結果にもとづき油圧ジャッキを適宜操作する。

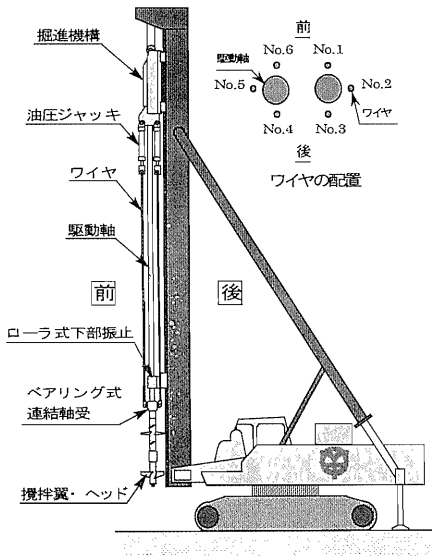


図-1 方向制御システム

表-1 油圧ジャッキとワイヤの仕様

| | | | |
|--------|------|-----|-----------|
| 油圧ジャッキ | 前後方向 | 本数 | 前後各2本、計4本 |
| | | 引き力 | Max 200kN |
| 油圧ジャッキ | 左右方向 | 本数 | 左右各1本、計2本 |
| | | 引き力 | Max 340kN |
| PC鋼より線 | 前後左右 | 外径 | φ 35.6mm |

3.1 油圧ジャッキ

油圧ジャッキは、処理機の下端に前後方向に各々2本、左右方向に各1本の計6本を装備した。油圧ジャッキの引き力は、攪拌翼先端での横方向力が約2.0kNになるよう設定した。また、駆動軸が2軸であるため、前後方向に比べて左右方向の剛性が大きくなる。よって、左右方向は前後方向より引き力の大きい油圧ジャッキとした。油圧ジャッキの取付け状況を写真-1に示す。油圧ジャッキの操作用油圧回路は、高圧（25MPa）と低圧（7MPa）の2系統

とした。これは、事前の制御手法確認実験において、油圧ジャッキを操作して引き力を与えた場合、操作した反対側の油圧ジャッキにワイヤを介して引き力が生じ、結果として制御の抵抗となる現象が確認されたためである。実機においては、制御に使用しない油圧ジャッキは、低圧側で常に加圧されておりワイヤを介して生じる引き力に対しては、ロッドが自動的に伸びて引き力を打ち消す。

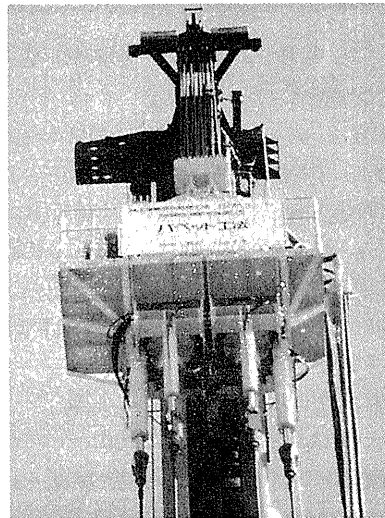


写真-1 油圧ジャッキとワイヤ

3.2 ワイヤ

油圧ジャッキの引き力を連結軸受に伝達するワイヤは、引張り荷重による伸びが生じないことからPC鋼より線を採用した。ワイヤの太さは、最大引張り力を考慮してφ35.6mmとした。また、腐食対策として、ワイヤの外周がポリエチレンで被覆されたものを採用した。

3.3 軌跡管理システム

軌跡管理システムは、攪拌翼直上の保護ケース内に設置する3次元ジャイロセンサと施工管理用パソコンで構成される。保護ケース内に設置した3次元ジャイロセンサを写真-2に示す。3次元ジャイロセンサは、光ファイバージャイロ1基および傾斜計2基で構成されており、施工時の天頂軸方向の回転角（ヨウ角）と水平2軸の傾斜角（ロール角、ピッチ角）を検出し、そのデータをもとに貫入中の攪拌翼の先端位置座標をリアルタイムで演算する。

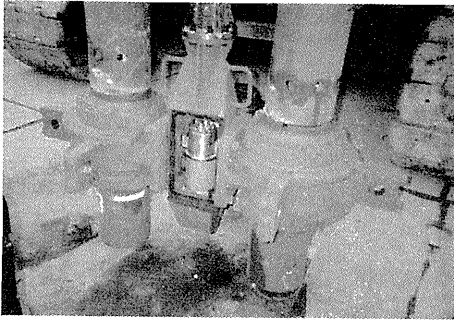


写真-2 3次元ジャイロセンサ

3.4 リンク機構

処理機は、2本の掘削軸の軸間距離を規定値に保つために、2軸間を連結部材で固定している。このため、前後方向に比較して左右方向の剛性が高くなる。一方、左右方向には油圧ジャッキが構造上1本しか装備できないことから、油圧ジャッキを大きくする他に、左右方向の剛性を下げる対策を施した。

- ① 連結軸受の軸間部は、固定されていたために左右方向の剛性が高くなる要因となっている。よって、軸間部をリンク機構とし左右方向の剛性を下げた。リンク機構を写真-3に示す。
- ② 方向制御の変位は、軸継手があそび分だけずれることから生じる。よって、変位を起こしやすくするために、短い駆動軸（L=1m）を接続し継手を増やした。

装置の設計にあたっては、油圧ジャッキ操作時の処理機変形が、軸受や軸継手の許容変形範囲内に収まるように設定した。

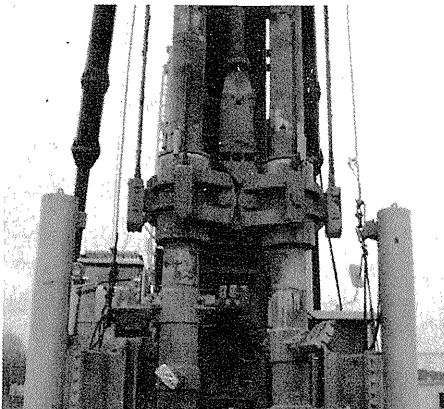
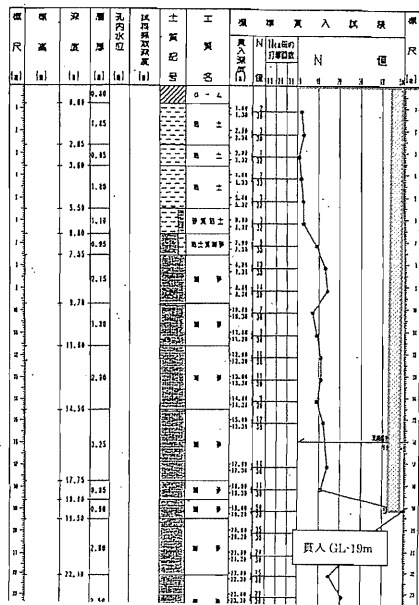


写真-3 リンク機構を組み込んだ連結軸受

4. 実証実験

4.1 実験概要

実証実験は、2001年12月、千葉県内で実施した。実験場所の土質は、GL-7mまでがN値1~3の粘土、それ以深はN値10~15の細砂層である。土質より、改良目標深度は、N値50のGL-19mとした。また、実験後に実際の改良杭出来型形状を確認するために、大口径ボーリングを行なうこととした。ボーリング調査を行なう実験杭は、ラップ形状を明確にするために固化材に着色材（ベンガラ）を混ぜて赤く着色した。実験場所の土質柱状図を図-2に、実験時の杭配置を図-3に示す。



4.2 実験方法

実証実験は、貫入速度や傾斜などを全く制御せずに先端軌跡の変位を放置した「無制御」、処理機先端軌跡が鉛直を維持するようにした「鉛直制御」に加え、制御効果を顕在化させるために、貫入途中で制御方向を反転させて、先端軌跡が「くの字」を描くように制御した「くの字制御」を実施した。

4.3 「無制御」での軌跡

制御操作を加えなかった「無制御」の結果を図-4に示す。ラップせずに原地盤に貫入させたが、前後左右とも深度とともに変位が増大している。実際の工事では、変位が発生すると貫入速度を抑えたり、一度引き抜いて再貫入するなどの修正を行なうので、実験のように先端変位が増加するまま施工を続けることはないが、放置しておくで先端変位は深度とともに増大する傾向があることが判る。

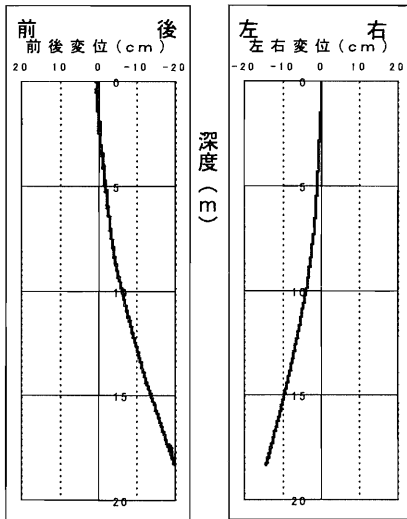


図-4 「無制御」での先端軌跡

4.4 「鉛直制御」での軌跡

先端軌跡が鉛直を維持するように制御した「鉛直制御」の結果を図-5に示す。ラップ条件は、当日施工の改良杭と右側をラップさせた。図より、前後方向の軌跡は、GL-6m 付近で後方向に変位したが、油圧ジャッキの操作により位置を修正されて鉛直を維持していることが判る。左右方向においても、GL-10m 付近では、左に3cm 程度変位しているが、軌跡は修正されており制御効果を確認できた。

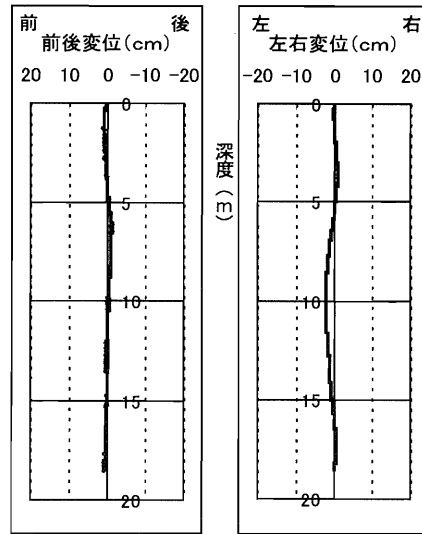


図-5 「鉛直制御」での先端軌跡

4.5 「くの字制御」での軌跡

貫入中に制御方向を反転させ、先端軌跡が「くの字」を描くように制御した「くの字制御」の結果を図-6に示す。ラップ条件は、前日施工した改良杭と前側をラップさせた。前方向に変位していた軌跡に対して、GL-3m~5m の間で後ジャッキを操作して後方向に変位させた後、GL-6m~13m 間では前ジャッキを操作して、先端軌跡を前方向に 8cm まで変位させている。GL-14m からは、再度後ジャッキを操作して変位を修正し、最終深度の GL-19m では、変位がほぼゼロに修正されていることが判る。

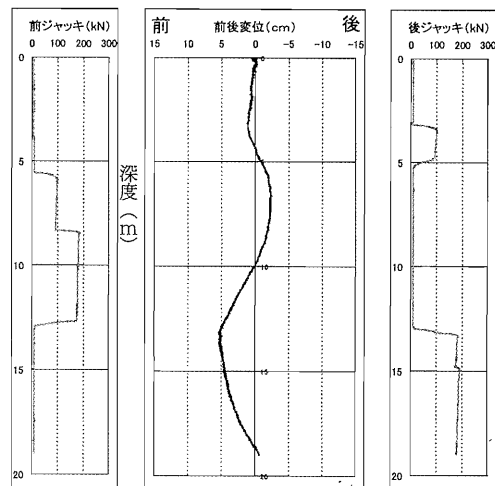


図-6 「くの字制御」での先端軌跡

5. 実験後の調査

5.1 調査項目

実験終了後、方向制御の状況を確認するため、大口径ボーリング（図-3参照）を行なった。ボーリングは、「くの字制御」の制御状況を確認するために C-No.4 杭と C-No.5 杭のラップ部および「鉛直制御」の制御状況を確認するために C-No.5 杭と C-No.6 杭のラップ部の 2 か所に行った。ボーリングには、外径 220mm（内径 195mm）のサンブラを使用した。ボーリング終了後、ボーリング自体の鉛直性を確認するために、傾斜計と方位角センサを装備した孔曲がり測定器を用いてボーリング孔の傾斜を測定した。また、ボーリング孔の内壁を観察するために、ポアホールカメラにて孔壁の撮影を行った。ボーリング状況を写真-4に示す。

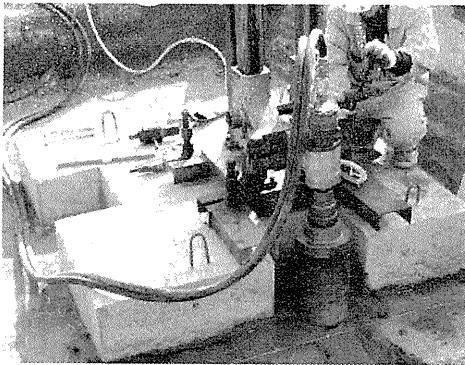


写真-4 大口径ボーリング

5.2 孔曲がり測定結果との比較

「くの字制御」を行なった実験杭における、実験時の先端軌跡とボーリング孔の孔曲がり測定結果を図-7に示す。図中の実線は、実験時の先端軌跡である。破線は、孔曲がり測定器で求めたボーリング孔自体の変位である。図より、採取されたコアサンプルは、地上部ではほぼ中央に色の境界があるが、GL-11m 付近まで赤く着色された部分が増加傾向になっており、その後は全体が赤色になっていると想定される。

実際に採取されたコアサンプルを、写真-5~7に示す。写真-5は、GL-5m 付近のコアで、着色した部分は改良体のほぼ半分であることが判る。写真-6は GL-6.5m~8.5m のコアである。写真-5と

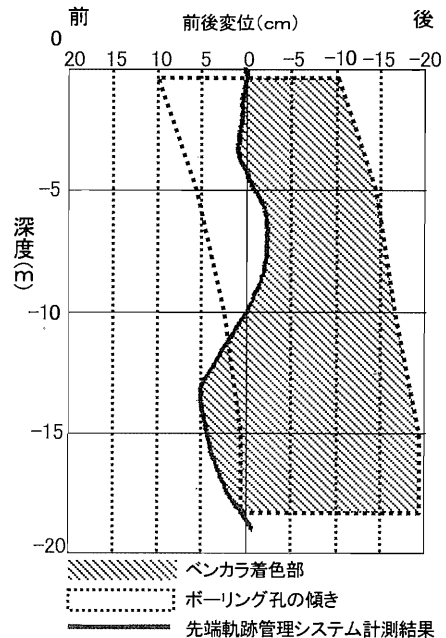


図-7 先端軌跡とボーリング孔の位置関係

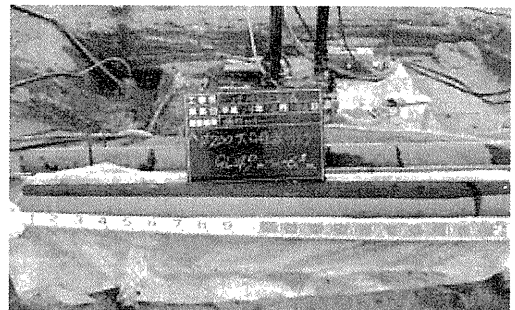


写真-5 GL-5m 付近のコアサンプル



写真-6 GL-6.5m~8.5m 付近のコアサンプル

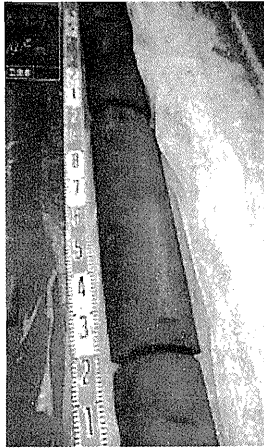


写真-7 GL-11m~14m 付近のコアサンプル比較して着色した部分が増加しており、GL-8.5m 付近では無着色部分が非常に小さくなっている。写真-7は、GL-11m~14m のコアで、サンプル全体が着色されている。以上のことから、軌跡管理システムと孔曲がり測定器による測定結果は、実際に採取されたコアサンプルとよく一致しており、軌跡管理システムは攪拌翼先端の動きを正確に検出しているとともに、本手法による方向制御が有効であることが裏付けられた。

5.3 ボアホールカメラでの撮影結果との比較

次に、ボアホールカメラにて撮影した画像から計算した軌跡と、軌跡管理システムの演算結果の比較を行った。攪拌翼の中心位置は、図-8に示すようにボーリング孔を直径 220mm の円と仮定し、ボーリング孔の展開図から着色部と無着色領域の境界点1と2を取り、その中心から鉛直方向に500mmの位置に孔曲がり測定の変位量を加味して求めた。

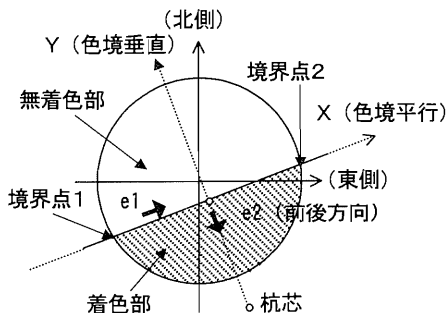


図-8 攪拌翼中心位置の計算方法

先端軌跡の比較したグラフを図-9に示す。図より、両データに良好な近似が見られることから、方向制御は有効であることが裏付けられた。

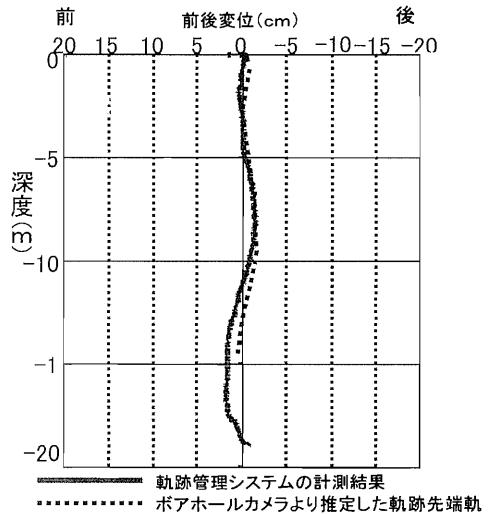


図-9 先端軌跡の比較

6. まとめ

本システムの開発により、深層混合処理工法における先端軌跡の制御手法を確立することができた。制御効果としては、施工深度にかかわらずに処理機先端変位を3~5cmの範囲であると考えている。今後、この制御システムにより、建入れ精度の確保が容易・確実になるばかりでなく、オペレータの作業負荷軽減、施工能率向上等の付随的な効果も期待できる。また、制御効果は地盤条件やラップ条件により影響を受けると考えられるので、今後、実施工データを蓄積して制御方法の確立したい。制御方法が確立し、ラップ幅のバラツキが低減されれば、ラップ量を低減することができ、コスト低減と産業廃棄物の抑制が期待できる。

システムの運用については、処理機またはスラリプラントのオペレータが制御操作を行なうことが可能と考えられるが、将来的には、制御装置の自動化を図り、作業の省人化、施工品質の安定を図っていきたいと考えている。

最後に、本システムの開発にご協力をいただいた関係各位に感謝の意を表します。

31. ジオファイバー工法（連続繊維複合補強土工法）の機械化施工

日特建設(株)：堀江 直樹

1. はじめに

山間部の多い我が国では、開発や災害により多くの法面が現れる。これら法面には、安定保護工はもとより、環境保全や景観保全に配慮した法面对策工が求められる。

本工法は、棒状の抵抗体を地山内に多数埋め込む「地山補強土工」と、砂質土と連続繊維の混合土からなる「連続繊維補強土工」、さらに植物に覆われた法面をつくりあげる「植生工」とを組み合わせた法面の安定保護工法で、「連続繊維複合補強土工法」である。

この内、連続繊維補強土工は、厚い連続繊維補強土層を築造するジオテキスタイル技術である。ジオテキスタイル技術の多くは、補強材を面的に敷設して土を撒き出し転圧することを繰り返し補強土壁を構築する。これに対し、連続繊維補強土は、法面上で砂質土と連続したポリエステル繊維を均一に吹付混合して、連続繊維補強土壁を構築するものである。

ここでは、本工法の概要と連続繊維補強土の機械化施工技術について報告する。

2. ジオファイバー工法（連続繊維複合補強土工法）

2.1 工法の概要

ジオファイバー工法は、図-1に示すように、従来のコンクリート吹付工や法枠工、積みブロック工に代わる工法で、「地山補強土工」と「連続繊維補強土工」、および「植生工」を組合わせた「連続繊維複合補強土工法」である。

連続繊維補強土の造成形状は、積みブロック工などに代わり、断面を台形状に造成する擁壁形状タイプと、法枠工などに代わり、均一な厚さに造成する法面保護タイプに大別される。

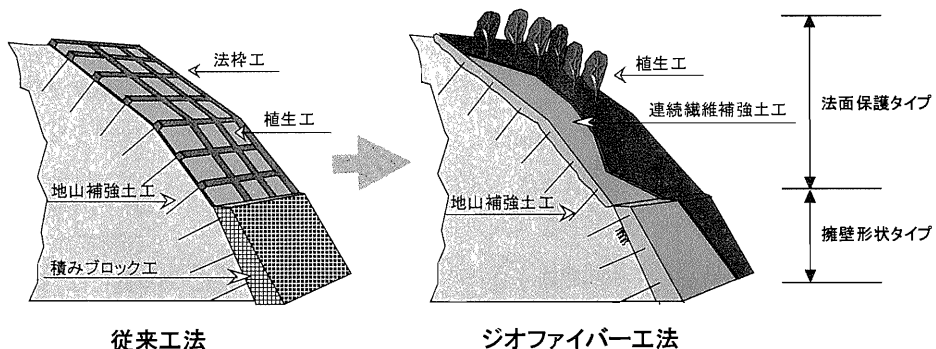


図-1 従来工法とジオファイバー工法

2.2 複合補強土帯

法面の安定保護機能は、図-2～3に示すように、「鉄筋補強土帯」・「連続繊維補強土帯」・「バイオアンカー帯」を組み合わせた「複合補強土帯」からなる。

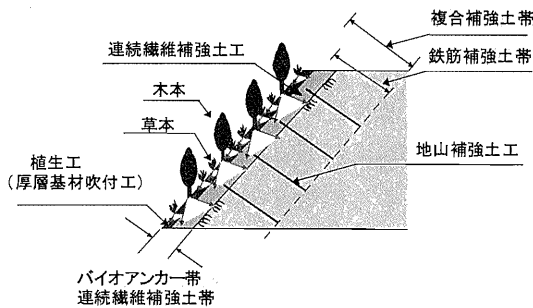


図-2 法面保護タイプの複合補強土帯

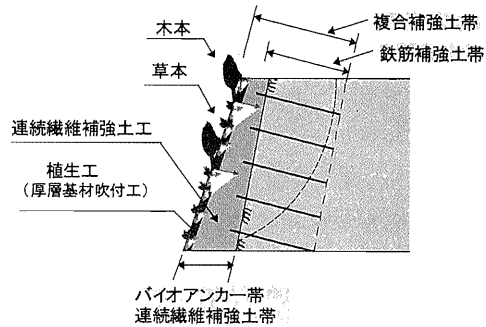


図-3 擁壁タイプの複合補強土帯

3. 連続繊維補強土工の概要

3.1 連続繊維補強土

連続繊維補強土の材料規格は、表-1に示すとおりである。砂質土と連続繊維との配合割合は、砂質土 1m³当たり 3.3kg 以上の連続繊維（繊維の長さは約 200km）を均一に混合する。この砂質土には、砂質系現地発生土や火山灰などを粒度調整して有効利用することも可能である。また、連続繊維は、回収ペットボトルから再生したポリエステル繊維を使用し、資源の有効活用が図られている。

砂質土に連続繊維を混入した連続繊維補強土は、連続繊維が砂質土の粒子間に均等に混入されることで、繊維が引張り補強材として働き、砂質土に疑似粘着力が付与され、せん断強度が増加して粘り強い土質材料となる（平成4年5月「土木系材料技術・技術審査証明」（財）土木研究センター）取得）。

表-1 連続繊維補強土の材料規格

| 種別 | 項目 | | 規格 |
|------------------|------|----------|-------------------------------------------------------|
| 素材 | 連続繊維 | 材質 | ポリエステル（ペットボトル再生繊維） |
| | | 太さ | 125～300d※ ¹ |
| | | フィラメント数 | 24～60本 |
| | | 引張り強度 | 4.0g/d以上 |
| | 砂質土 | 最大粒径 | 20mm程度以下 |
| | | シルト粘土含有率 | 20%程度以下 |
| 繊維の混入量（連続繊維/砂質土） | | | 3.0～4.0kg/m ³ （標準設計 3.3kg/m ³ ） |
| 添加材 | | | 必要に応じて |
| 保水・保肥材 | | | 1～2個/m ² ※ ² |

※¹ d（デニール）：繊維 9000mあたりのグラム質量を表す単位（100dは繊維 9000mあたり 100g）

※² 有機質ブロック体（連続繊維補強土の表面近くに埋設する）

3.2 施工機械

連続繊維補強土の施工機械には、図-4に示すように砂質土と連続繊維の供給ノズルを人力によって操作する「ハンディタイプ」と、図-5に示すように供給ノズルをバックホウ型のベースマシンのアームに取り付けた「ロボットタイプ」がある。

施工機械の仕様は表-2に示すとおりである。

連続繊維補強土の築造方法は、機械化された専用の施工システムによって、砂質土を高压空気で骨材ホース内を圧送し、先端の骨材ノズルより吐出する。また、連続繊維は高压水の吐出力によって格納ケース（スレッドフィーダー）内から引き出し、高压水とともに先端の噴射ノズル（エジェクター）より噴射する。この2系統からの砂質土と連続繊維は、同時に同位置に吐出・噴射して、斜面の法尻から上方に向かって順次積層する。

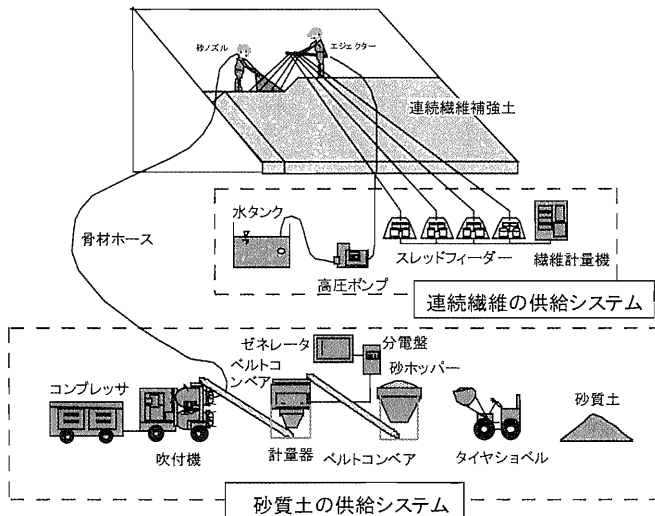


図-4 ハンディタイプの施工システム

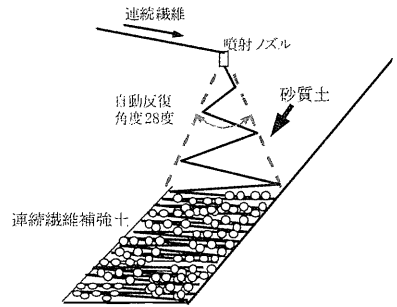


図-6 連続繊維の規則的な配向

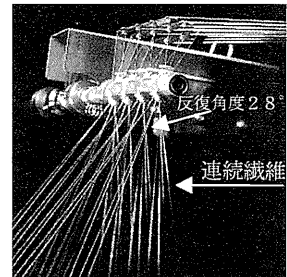


写真-1 ハンディタイプのエジェクター

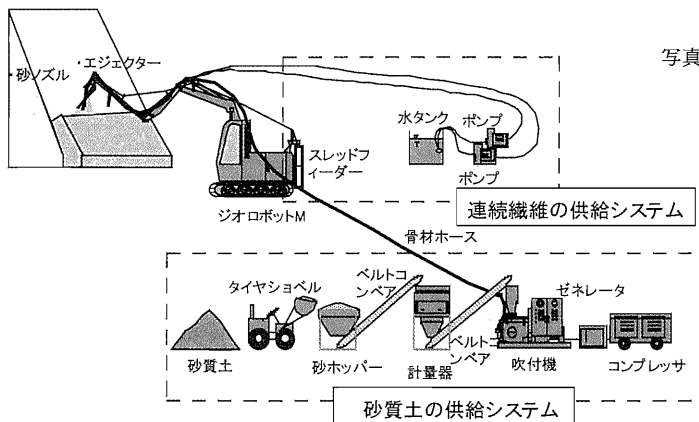


図-5 ロボットタイプの施工システム



写真-2 ロボットタイプのノズル部

砂質土と連続繊維は、均一に混合されさらに繊維が直線的に配向をもって混合されることで、繊維補強土としての補強効果が増すことができる（図-6）。そこで、連続繊維の噴射ノズルは、ハンディータイプ・ロボットタイプともに、28度の反復揺動を自動化した（写真-1～2）。

連続繊維の噴射量は、繊維重量を管理しているロードセルの信号を繊維計量機に常時表示することで、経時的な噴射量を管理することが可能である。さらに、砂質土の吐出量は、バッチ毎の値を繊維計量機に表示し管理することが可能である。これにより、連続繊維補強土としての品質が安定するとともに、施工管理を容易にすることが可能である。

ハンディータイプでは、砂質土と連続繊維の供給ノズルを人力によって操作する。これに対し、ロボットタイプでは、写真-2に示すようにノズル部を機械に取り付けた。これにより、人力操作が困難であった太径の骨材ホース（φ65mm）を使用することができ、ハンディータイプでは1.45m³/hの施工量であるのに対し、ロボットタイプでは、この2倍以上の施工が可能である。また、ノズル部の操作は、ラジコンによる遠隔操作によって、安全性が確保されるとともに、工期の短縮を図ることができる（平成12年3月「連続繊維補強土の機械化施工技術審査証明」（社）日本建設機械化協会）取得）。

表-2 施工機械の仕様

| 機 種 | | ハンディータイプ | ロボットタイプ | |
|----------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| | | | ジオロボットM型 | ジオロボットL型 |
| 施工適用範囲 | 最大施工高 | 45.0m | 7.0m | 15.0m |
| | 圧送距離※ | 150.0m | 60.0m | 60.0m |
| ノズルの操作 | | (人力) | バックホウ (0.4m ³ 級) ラジコン遠隔操作 | バックホウ (0.7m ³ 級) ラジコン遠隔操作 |
| 砂質土 供給システム | 骨材ホース | φ45mm 耐摩耗ホース | φ65mm 耐摩耗ホース | φ65mm 耐摩耗ホース |
| | 吹付機 | AG300N ディーゼルエンジン※※ 電動モーター※※ 15kw×1台 重量=2.8t 容量：300リットル | ジオショット800W 電動モーター 17.5kw×2台 重量=5.5t 容量：400～800 リットル×2 | ジオショット800W 電動モーター 17.5kw×2台 重量=5.5t 容量：400～800 リットル×2 |
| | コンプレッサ | 0.7MPa 19.0m ³ クラス/min | 0.7MPa 19.0m ³ クラス/min | 0.7MPa 19.0m ³ クラス/min |
| | ゼネレータ | 45KVA | 125KVA | 125KVA |
| | ベルトコンベア | 350×7m×2台 | 450×7m×2台 | 450×7m×2台 |
| | 計量機 | 300kg | 1000kg | 1000kg |
| | ポンプ | 3.7kW×1台 | 3.7kW×2台 | 3.7kW×2台 |
| 連続繊維 供給システム | 繊維揺動方法 | エアリリガーによる 自動揺動 | 電動モーターによる 自動揺動 400W | 電動モーターによる 自動揺動 400W |
| | 繊維揺動反復角度 | 28.0度 | 28.0度 | 28.0度 |
| | 繊維揺動数 | 0～10回/秒 | 0～30回/秒 | 0～30回/秒 |
| | ホビーン収納数 | 16～28個 | 40個 | 40個 |
| | 繊維使用量の管理 方法 | ロードセル指示 計にて連続計量 | ロードセル指示計に て連続計量 | ロードセル指示計に て連続計量 |

※：標準的なホース長（この値以上の距離を圧送する場合はコンプレッサの容量・付属部品の検討が必要である。）

※※：ディーゼルエンジンまたは電動モーターのいずれかを選定

4. 施工手順

図-6、写真-3～5に、施工の手順およびロボットタイプでの施工事例を示す。

ロボットタイプは、擁壁形状タイプ専用タイプに用いられ、施工規模 500m³以上の施工に適用される。

写真-3は、鉄筋を地山内に多数埋め込み、地山自体の抵抗値を高めるとともに、連続繊維補強土との一体化を図る「地山補強土工」の施工状況である。写真-4は、砂質土と連続繊維をジェット水と共に噴射・混合させて法面上に厚い連続繊維補強土壁を構築する「連続繊維補強土工」である。写真-5は、連続繊維補強土層の表面に施した「植生工」で、施工完了後に草本植物が繁茂している状況である。

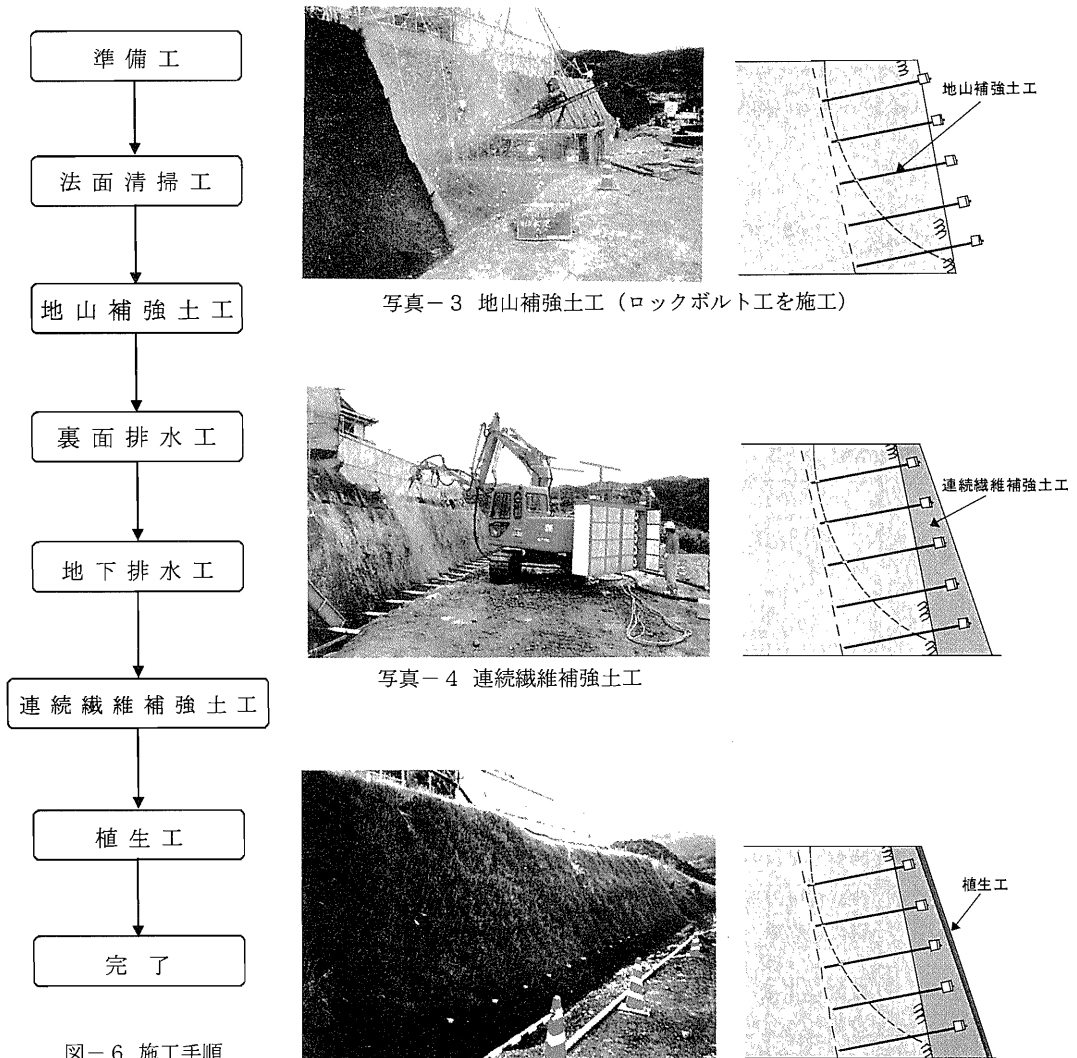


図-6 施工手順

写真-5 植生工（厚層基材吹付工を施工）

5. 施工事例

5.1 ジオロボットの施工における緑の擁壁づくり

秋田県と青森県の県境には、世界自然遺産に指定されているブナの原生林、白神山地がある。世界自然遺産に通じる秋田県側の道路改良工事において、積みブロック擁壁工に代わって、ジオロボットでの施工を実施した。

写真-6はジオロボットのノズル部をラジオコントローラで操作している状況である。

写真-7はジオロボットにおける連続繊維補強土の施工状況である。写真-8は施工後6ヶ月経過した状況である。大容量の施工が能率良く進み、緑の擁壁が完成した。



写真-6 ラジコン操作

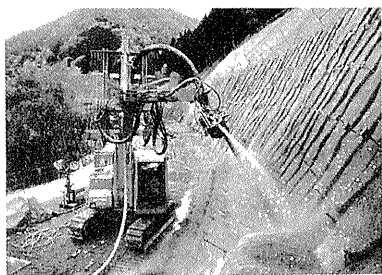


写真-7 連続繊維補強土の施工



写真-8 施工後6ヶ月経過

5.2 阪神大震災で崩壊した山腹斜面の復旧

写真-9は、阪神大震災で山腹斜面が崩壊した状況である。従来工法では、法枠工と植生工との組み合わせで対応することが多いが、遠景からも容易に目立つため、ジオファイバー工法が採用された。尾根添いの地山安定工にはロックボルト工を施し、ハンディータイプにより、20cm厚さの連続繊維補強土を施工した(写真-10)。写真-11は、施工後3年6ヶ月経過した状況である。徐々に周辺の森林景観との調和が進んできている。



写真-9 崩壊山腹斜面

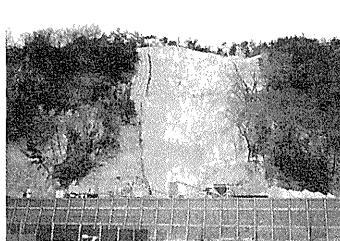


写真-10 連続繊維補強土の施工



写真-11 施工後3年6ヶ月経過

6. おわりに

ジオファイバー工法(連続繊維複合補強土工法)の概要と連続繊維補強土工の機械化施工技術について紹介した。連続繊維補強土は、繊維の適切な混入方法が品質を大きく左右する。これらを機械化することで品質の管理・施工性の向上が図れた。今後とも新たな機械化施工技術に寄与したい。

32. 三次元レーザースキャナーを用いた プラント配管現状図作成技術

三井建設㈱：*大津 慎一、寒川 慎也、
佐田 達典

1. はじめに

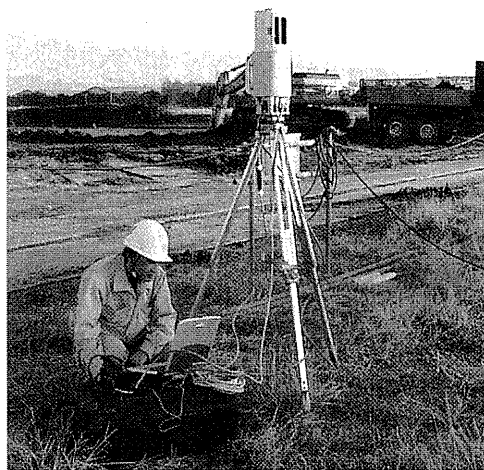
従来、石油プラント等において改造工事を行う場合、改造部の配管形状や機器設置状況を把握して改造工事計画に反映するために現地測量を実施してきた。また改造部の状況は、監督官庁への申請図書にも現状図（変更前図面）として添付されてきた。これまでの計測方法としては、現地においてコンベックスやトータルステーションにより配管の各寸法を直接計測する方法が主となっていた。そのため高所や人が近寄ることが困難な場所の精密な計測を行うには、足場などの安全を確保するための設備が必要のため設置コストや日数などを考慮した計測計画が必要であった。

筆者らは、以前より土木分野における造成工事の土量計測などで三次元レーザースキャナーの適用を行っている¹⁾（写真—1）。本機は、対象物の計測を非接触で行い遠隔観測が可能である。またデータ解析によって成果作成を行うため計測ミスや測量不足といったヒューマンエラーの軽減も可能である。本稿では、これら三次元レーザースキャナーの特長を活かしたプラント配管計測および計測データ解析による配管現況図の作成とその適用事例について報告する。

2. 三次元レーザースキャナー計測技術概要

三次元レーザースキャナーは、1回の計測で図—1に示す範囲の計測が可能な計測器である。計測は、本体より赤外線レーザーを計測対象に発射しその反射光を検知することで距離および振り角度を検出することで行う。また対象物からの乱反射光を検知するため計測対象にミラーや反射板などの特別な処理は必要としない。

その反面、計測対象となる構造物などの表面形状を面的に捉えることは可能であるが、計測を行いたい位置を点として捉えて計測することが困難であるといった特徴も持っている。そのため配管現況を図面化するために必要となる配管の位置や変化点などを求めるには、図—2に示す流れでデータ解析により対象物の三次元的な形状を把握し、それをもとに位置算出を行う必要がある。しかしデータ解析による位置算出方法は、1) 取得される計測データの情報量が膨大で解析時の負荷が大きい、2) 計測データ取得状況によって現況図の品質が左右されると



写真—1 三次元レーザースキャナー計測状況

といった問題点がある。そのため、計測データから解析に必要なデータのみを抽出することによる解析時の負荷の軽減や現地踏査時における成果品質を考慮した計測計画の立案が必要となる。

2. 1. 現地計測

本機は最大 350mの距離計測が可能であるが、レーザーの広角が約 3mrad であり、計測対象までの距離が長くなるとデータ処理時に配管部の識別が困難となる。φ 150 mmの配管を識別しようとした場合、有効データとなる計測距離は、25m程度であり、計測計画では配管径による有効距離を考えて器械設置を行う。

また配管形状が複雑である場合や配管との間に遮蔽物がある場合は、計測欠損部を補うように配置する必要もある。欠損部の補間は、データ解析時に合成処理によって補うため、合成処理に必要な座標参照点として各計測データ内に 3点以上の既知点の設置を行う。基準点は、図-3の機器構成に示すターゲットを用いる。基準点位置をデータ処理によっては正確に把握することができる有効距離は 5m程度である。

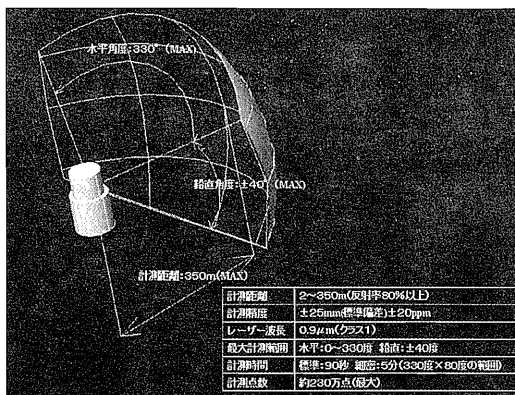


図-1 三次元レーザースキャナー仕様

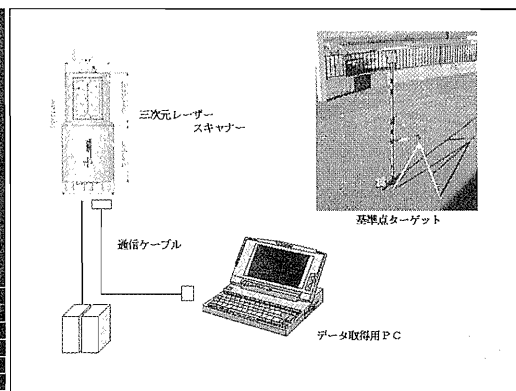


図-3 機器構成

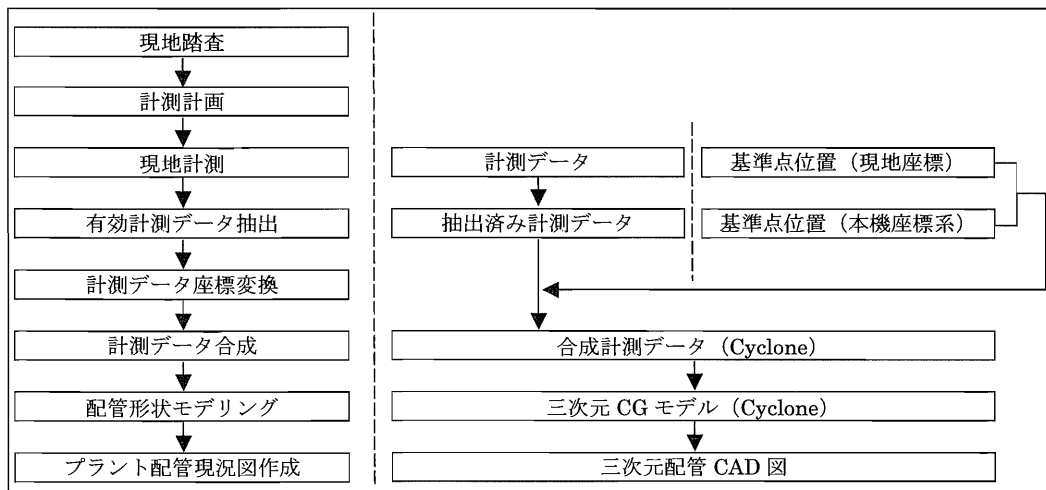


図-2 データ処理フロー図

2. 2. 計測データ解析

現地計測によって取得された計測データは、三次元座標を持つ点の集合体である。位置を特定したい点や計測対象となる配管などの形状などの取得は、計測データを解析することによって行う。

(1) 有効計測データの抽出

計測データには、現況図作成を行う配管部のほかに地面や付帯物などのデータ解析に不要なデータが含まれている。取得される計測点数は、1計測あたり最大で約230万点となり複数の計測データを合成してデータ解析した場合、データ解析に大きな負担を与える。そのため計測データから解析に必要なデータのみを抽出して解析する必要がある。

図-4に示すように配管以外の計測データは、データ解析に不要なデータである。配管のみの抽出を行うと計測データは、約1/3の計測点数に削減することができるため、独自のフィルター処理によってデータ解析に必要な配管部のみのデータの抽出を行う。

(2) 計測データの合成

1計測で計測できなかった箇所は、他の観測点からの計測データとの合成を行って補間する。各計測データの座標系は、三次元レーザースキャナーの座標系であるため現地計測で設置した基準点を用いて座標変換を行い、現地座標系で合成を行う。合成の状況を図-5に示す。

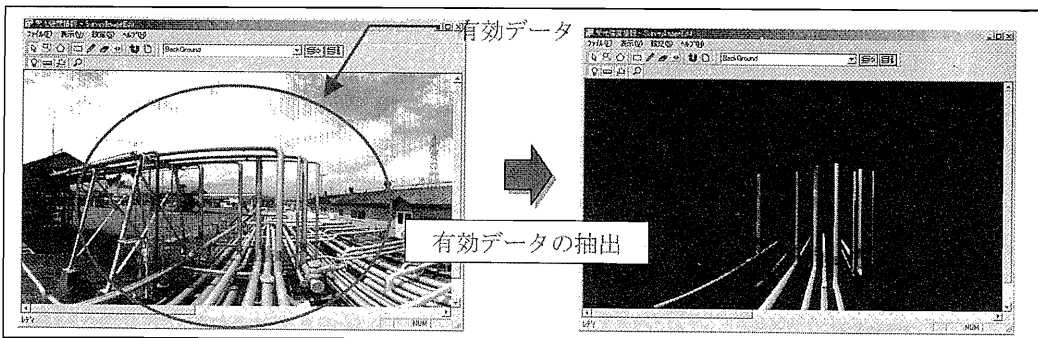


図-4 有効計測データ抽出状況 (左：抽出前・右：抽出後)

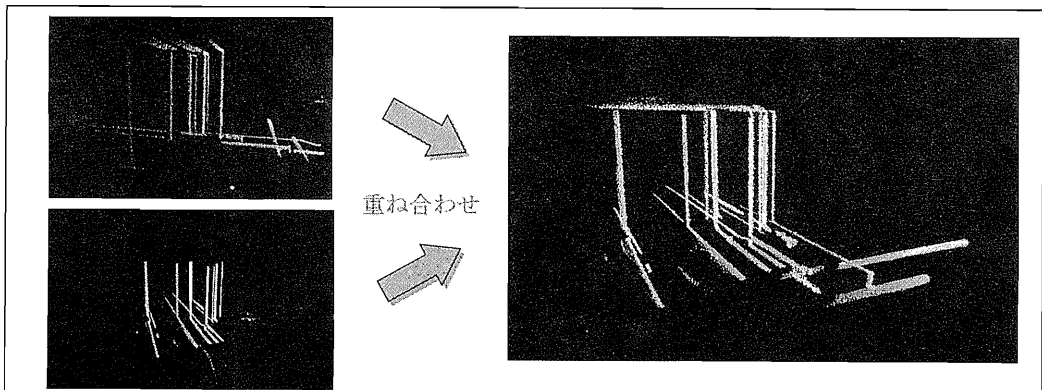


図-5 計測データ合成状況 (左：合成前・右：合成後)

3. プラント配管現状図作成業務への導入

3. 1. 概要

本システムを実際のプラント配管現状図作成業務に適用した例を次に示す。実施場所（写真—2）および時期は、以下の通りである³⁾。

- 1) 実施場所： 日本オイルターミナル株式会社 札幌営業所
- 2) 計測時期： 平成13年5月31日～平成13年6月2日

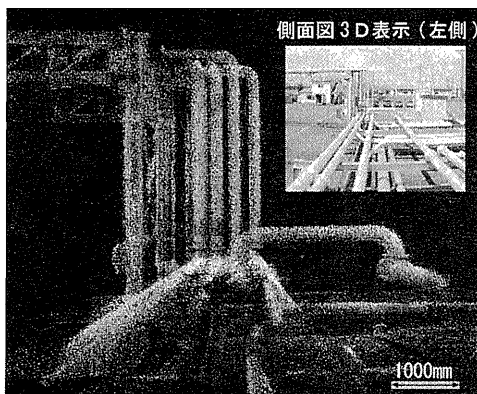
3. 2. 現地計測およびデータ解析

以下に本導入における現地計測範囲および各作業日数を示す。また本導入においては、図—7の現況図面のほかに変更申請（消防法第11条1項）に添付する変更部現状図として、図—8、9の変更配管部現状図の作成を行った。

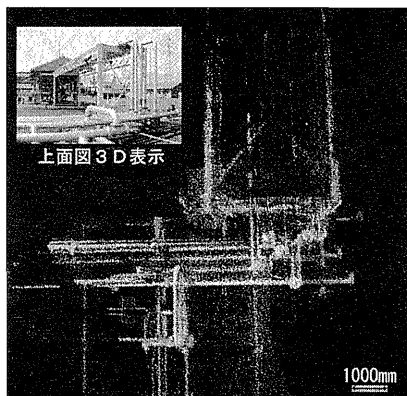
- 1) 計測範囲： 200m×300m
- 2) 計測日数： 三次元レーザースキャナー計測 1日
既知点の位置計測 0.5日
- 3) 解析日数： 有効計測データ抽出 1日
合成およびCAD図面作成 1日



写真—2 現地状況



図—8 変更部現況図（側面図）



図—9 変更部現況図（上面図）

3. 3. 計測技術の導入効果

今回の導入における効果を以下に述べる。

- 1) 高所の計測があったが、足場等の仮設物の設置をする必要がなかった。
- 2) 仮設設置等の時間を考慮すると在来より短時間で計測ができた。
- 3) 変更部現状図の作成が短時間で行えた。

また、今後期待できる効果としては、以下のことが挙げられる。

- 1) 配管全体の外観を計測し、データ解析により寸法等を算出するため計り間違いなどといった現地計測／図面作成時の人的ミスを軽減することが可能である。
- 2) 三次元現状モデルに設計データを重ね合わせるにより、設計時に新設、既設の取り合いを視覚的に確認できる。

4. まとめ

従来計測による図面に基づく施工では、再度現地にて原寸を当たりながら内作を実施し施工するケースがほとんどであり、工場製作を計画する場合でも現場合わせ寸法を多く採用し、必ずしも安価な工法とは言えなかった。今回の計測方法では、精密な配管図が作成できるため、コスト削減につながる改造配管部の工場製作化が可能となる。

今後は、計測対象として石油プラントだけではなく橋梁などの他構造物に対しても順次適用を行い、三次元レーザースキャナーの適用分野を拡大していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 佐田達典, 大津慎一: 地上型レーザースキャナーを用いた地形計測システム, 建設の機械化, 2000.3, pp35-41, 日本建設機械化協会
- 2) 大津慎一: 三次元レーザースキャナーを用いたプラントにおける配管現況図作成技術, 月刊『測量』, 2001.7, pp24-26, 日本測量協会
- 3) 大津慎一: 三次元レーザースキャナーを用いたプラント設備における配管図の作成について, Safty & Tomorrow 第 82 号, 2002.3, 危険物保安技術協会

建設機械と施工法シンポジウム論文集 (平成14年度版)

平成 14 年 9 月 7 日 印刷

平成 14 年 9 月 11 日 発行

不 許
複 製

編 集 社団法人 日本建設機械化協会
発行所

東京都港区芝公園 3 - 5 - 8
(機械振興会館内)

T E L (03) 3433-1501

F A X (03) 3432-0289

振替口座 00120-4-183852

印刷所 共立速記印刷㈱

東京都千代田区飯田橋3-11-24