

平成19年度

建設施工と建設機械シンポジウム

論 文 集

平成19年10月18日～19日
東京・機械振興会館

主催：社団法人 日本建設機械化協会

後援：国土交通省
経済産業省

独立行政法人 土木研究所

社団法人 土木学会

社団法人 日本機械学会

社団法人 地盤工学会

社団法人 日本機械土工協会

論文審査規定概要

1. 審査方法

論文アブストラクト及び本論文の2段階で行い、1編の論文について4名の審査委員が審査を行う。
下記の審査基準に基づき、審査委員会が採択の判断を下した場合に採択される。

2. 審査基準

新規性、有用性、完成度、信頼度並びに本シンポジウムの主旨に合致するかどうかの視点で採否の判断を行う。

3. 審査委員名簿（順不同・敬称略）

| | 委員名 | 機関名 | 所属・役職 |
|------|-------|--------------|--|
| 委員長 | 建山和由 | 立命館大学 | 理工学部 建築都市デザイン学科 教授 工学博士 |
| 副委員長 | 吉田正 | 国土交通省 | 総合政策局 建設施工企画課 施工環境技術推進室長 |
| 〃 | 高橋弘 | 東北大学 | 大学院環境科学研究科環境科学専攻 太陽地球システム・エネルギー学講座地球開発環境分野 教授 工学博士 |
| 委員 | 山元弘 | (独)土木研究所 | 技術推進本部 先端技術チーム 主席研究員 |
| 〃 | 新田恭士 | 国土交通省 | 総合政策局 建設施工企画課 課長補佐 |
| 〃 | 小薬賢一 | 前田道路(株) | 工務部（つくばテクノセンター）担当部長 |
| 〃 | 大坂衛 | 大成建設(株) | 土木本部 機械部 部長 |
| 〃 | 星野春夫 | (株)竹中工務店 | 技術研究所 先端技術研究部 新生産システム部門 主任研究員 |
| 〃 | 大塚和夫 | コマツ | 開発本部 商品企画室 担当部長 |
| 〃 | 有光秀雄 | コベルコ建機(株) | カスタマーサポート部 サービス技術グループ シニアマネージャー |
| 〃 | 村上誠 | 新キャタピラー三菱(株) | 直販部長 |
| 〃 | 田中利昌 | 日立建機(株) | 建設システム事業部 技術部 部長 |
| 〃 | 高見俊光 | サコス(株) | 営業推進部 部長 |
| 〃 | 川本正之 | (社)日本機械土工協会 | 技術委員長 |
| 〃 | 竹之内博行 | (社)日本建設機械化協会 | 施工技術総合研究所 技師長 |
| 〃 | 大谷悟 | (社)日本建設機械化協会 | 技師長 |
| 〃 | 浅野邦彦 | (社)日本建設機械化協会 | 技術部長 |
| 〃 | 西脇徹郎 | (社)日本建設機械化協会 | 標準部長 |
| 〃 | 吉田潔 | (社)日本建設機械化協会 | 研究調査部次長 |

平成19年度
「建設施工と建設機械シンポジウム」論文集
目次

○印 口述発表者

1. 「山岳地における鉄塔基礎建設用小型掘削機の開発」
立命館大学：○橋本 真典、建山 和由
エイト工業：辻 八郎 … 1
2. 「連続繊維ロープの性能評価」
関東学院大学工学総合研究所：○関島 謙蔵
関東学院大学工学部社会環境システム学科： 出雲 淳一 … 7
3. 「塩害により損傷したコンクリート橋のリニューアル」
西日本高速道路株式会社： 松田 哲夫
株式会社富士技建：○岸上 弘宣、高木 英昭 … 13
4. 「急斜面コンクリート打設における機械化施工による合理化、コスト縮減について」
前田道路株式会社：○宇田川健治、平塚 茂、内山伸一郎 … 19
5. 「道路法面の健全性評価に関する取り組みについて」
国土交通省 近畿地方整備局 近畿技術事務所：山本 剛、糸川 政孝、
○船曳 誠二 … 23
6. 「多連注入ポンプと集中管理装置による三次元急速浸透注入工法」
三信建設工業株式会社：○小泉亮之祐
強化土エンジニアリング株式会社： 小山 忠雄 … 27
7. 「除雪トラック用投雪制御装置の開発」
国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所 機械課長： 新田 哲雄
機械課 整備係長：○加藤 禎 … 31
8. 「簡易橋梁洗浄装置の開発と活用」
財団法人海洋架橋・橋梁調査会北陸支部：○原崎 郁夫
株式会社技術開発研究所： 秋山 和夫
北陸パブリックメンテナンス株式会社： 吉田 絃一 … 35
9. 「塵埃の可搬式分別装置の開発」
国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所 機械課： 保坂 賢二
○村上 大幹
日本下水道事業団 東日本設計センター 機械設計課： 弓削 竹志 … 39
10. 「岩盤に対する深礎掘削機的设计製作」
愛媛大学： 室 達朗
呉工業高等専門学校：○重松 尚久
株式会社バスターズ： 寺尾 信夫 … 45

11. 「丁張りレス施工による油圧ショベルオペレータ支援システムの開発」
 日立建機株式会社：○金成 靖彦
 株式会社コイシ： 井上 瑞貴 … 5 1
12. 「建設施工における ICT を活用した監督・検査業務の効率化について」
 国土交通省四国地方整備局 徳島河川国道事務所： 岩崎 洋二
 同 那賀川河川事務所： 天野 英介
 同 四国技術事務所：○石崎 秀和 … 5 5
13. 「無人化施工映像技術に関する検討（バックホウ作業を主体として）」
 北陸技術事務所機械課長： 本間 政幸
 北陸技術事務所機械課 整備係長：○以倉 直隆
 北陸技術事務所機械課 主任： 高井 謙一 … 6 1
14. 「バックホウ掘削工への情報化施工の導入と普及に向けた検討」
 ～機械土工の ICT 施工に向けて～
 国土交通省中部地方整備局 中部技術事務所：○桜田 明彦、杉山 佳幸 … 6 5
15. 「機械施工におけるデータ辞書の拡張について」
 ○二瓶 正康、南 佳孝、山元 弘、大山 敦郎 … 7 1
16. 「油圧ショベルによる掘削作業の自動制御技術に関する研究」
 独立行政法人 土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム
 ○柳沢 雄二、山元 弘、野末 晃、邵 輝、山口 崇 … 7 7
17. 「土木分野における Google マップ利用の可能性について」
 熊本大学 自然科学研究科：小林 一郎、○松尾 健二
 株式会社 九建 代表取締役社長：新永 隆一
 株式会社 ラック 取締役 執行役員：西本 逸郎 … 8 3
18. 「Web-GIS を用いた社会資本管理台帳システムの構築」
 熊本大学大学院 自然科学研究科：小林 一郎、○竹下 史朗
 熊本県土木事務所 企画調査課：野間 卓志 … 8 9
19. 「ホウ化チタン（TiB₂）セラミックス保護板の切断抵抗性評価法の確立と評価」
 株式会社 クボタ 鋳鋼事業部 材料研究部：○船越 淳、土田 二郎
 社団法人 日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 研究第四部：佐々木隆男 … 9 5
20. 「人道支援のための対人地雷除去機の開発」
 コマツ 建機マーケティング本部 市場開発部：柳樂 篤司
 コマツ 開発本部 建機第一開発センタ：中上 博司 … 9 9
21. 「能動型 RFID を用いた建設機械施工の安全対策補助システムの開発」
 国土交通省中国地方整備局 中国技術事務所 機械課：和田 慎司 … 1 0 5
22. 「歩道下空洞探査技術の開発」
 国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所 機械課：○宮内 将彰、中川 俊昭
 前) 国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所 機械課：渡部 修 … 1 0 9

23. 「ボランティアでも容易に操作可能な排泥装置の考案」
 北陸地方整備局 北陸技術事務所 機械課長 : ○本間 政幸
 整備係長 : 以倉 直隆
 整備係主任: 高井 謙一 … 1 1 3
24. 「油圧圧砕機による岩小割静音化施工」
 玉石重機株式会社: ○玉石 修介、杉原 栄作、片岡 廣志 … 1 1 7
25. 「原位置で製造する湿潤セメント製造装置の開発」
 株式会社東洋スタビ: ○田村 繁雄、太田 喜彦、小西 勇 … 1 2 1
26. 「振動タイヤローラの騒音・振動特性について」
 酒井重工業株式会社 事業推進部: ○後藤 春樹
 酒井重工業株式会社 技術研究所: 塩釜 清貴
 福田道路株式会社 技術研究所: 藤井 政人 … 1 2 5
27. 「移動式草刈焼却車の試行運用状況について」
 淀川河川事務所 機械課: 松浦 直樹 … 1 2 9
28. 「2WAY エコショベルの開発 (バッテリー型油圧ショベル)」
 日立建機株式会社商品開発事業部: ○木村 敏宏
 鹿島道路株式会社機械センター : 鈴木 泰 … 1 3 3
29. 「厚層締固め方法と密度管理」
 明石工業高専: ○江口 忠臣
 愛媛大学名誉教授: 室 達朗 … 1 3 7
30. 「Sand Seamer 《目地切砂置換工法》～RCC コンクリートはつりの省力化～」
 株式会社大本組: 早瀬 幸知、○橘 伸一、浅野 正照 … 1 4 3
31. 「簡易解体・回収型シールド機の既設構築到達への適用」
 国土交通省関東地方整備局千葉国道事務所: 正源司 寛
 株式会社奥村組 東京支社 土木工事第四部: ○山内 智晴、星 智久 … 1 4 7
32. 「長距離推進における同径側面地中接合推進工事」
 株式会社奥村組名古屋支店土木部: 広野 和正、高橋淳二郎 … 1 5 3
33. 「両発進立坑における長距離・高速掘進シールドの施工実績」
 鹿島建設株式会社中央幹線工事事務所: 木田 博光、○江森 道雄、山田 敏博 … 1 5 9
34. 「空気の力を利用してトンネルを安全に構築」
 無水削孔システム「WALDIS (ウォルディス)」を開発
 鹿島建設株式会社 機械部: 佐藤 政昭、○牟田口 茂 … 1 6 5
35. 「音源探査装置の開発と騒音防止対策への活用に関する研究」
 熊谷組: ○大脇 雅直、財満 健史
 信州大学: 山下 恭弘 … 1 6 9
36. 「電磁式地中位置探査システムの開発」
 東亜建設工業株式会社: ○松島 弘樹 … 1 7 3
37. 「ふっ素汚染土の不溶化処理施工」
 東亜建設工業株式会社: ○宮下 広樹、福本 茂、玉上 和範 … 1 7 7

38. 「スーパーグラブバケット浚渫工法」
—航路・河川・湖沼の環境に配慮した底泥除去工法—
東亜建設工業株式会社：○竹内 基幸、和田 晴久、津田 宗男 … 181
39. 「直下地下切替工法「STRUM」による営業線の地下化切替」
東急建設株式会社 技術本部 機械技術部：○大峰 秀之 … 185
40. 「円筒柱運搬建込み装置の開発と地下鉄駅部工事への導入」
東急建設株式会社 技術本部 機械技術部：○金井 孝行、西尾 仁 … 191

1. 山岳地における鉄塔基礎建設用小型掘削機の開発

立命館大学 ○橋本 真典
 立命館大学 建山 和由
 エイト工業 辻 八郎

1. はじめに

大型の送電鉄塔建設における基礎工事では、直径2～3m、深さ15～20mの縦坑を地盤中に掘削する必要がある。山岳地でこの鉄塔を建設する場合、機械搬入の困難さから人力施工が中心となるが、作業中の事故や作業員の健康への影響、工期の不確定などの問題から作業の機械化が求められている。本研究では、ヘリコプターでの搬入が可能な程度の小型掘削機で岩盤を掘削することのできる機械の開発を試みた。この機械は、油圧ショベルをベースにアームの先端に回転式掘削バケットを取り付けたもので、掘削ビットと削岩機で岩盤を掘削し、バキュームを用いて掘削ズリを排土する機構を有している。ベースマシンは縦坑の外に置き、アームを操作して掘削バケットで縦坑を掘削する機構としたため、作業員が縦坑の中に入る必要がなくなり安全性が大幅に改善される。本稿ではこの掘削機を用いた場合の掘削効率と岩盤強度との関係について報告する。

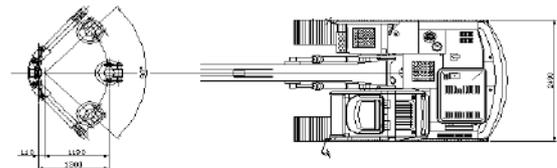


図 2.2 掘削機械平面図

2. 掘削機の掘削能力に関する検討

2.1 掘削機械の概要

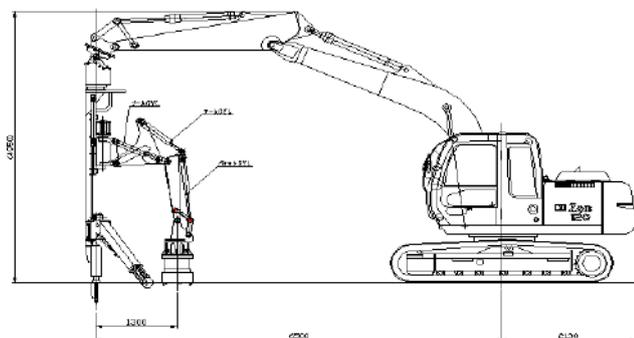


図 2.1 掘削機械立面図

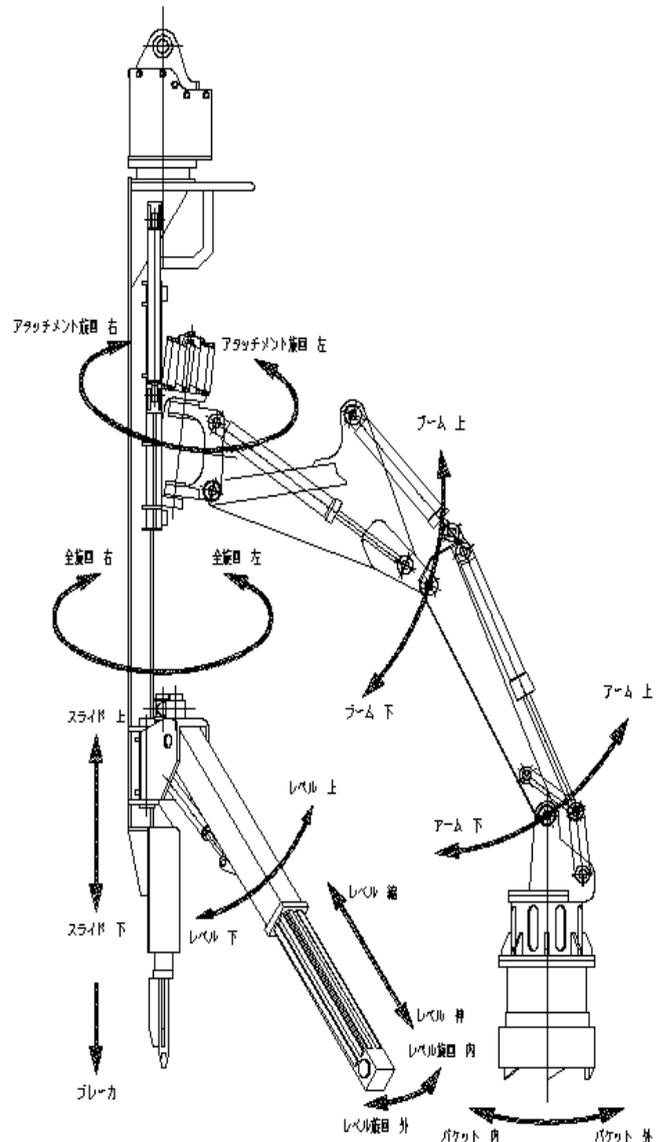


図 2.3 縦坑掘削機構全体図

今回開発する岩盤掘削機は、作業現場の制限を受
けず、機械搬入のための工事用道路を新たに設ける
ことが不要となる程度の小型機であり、かつ岩盤を
掘削することのできる能力を有することが求めら
れる。これらの要件を満たす掘削機としては、日立
建機のZAXIS120をベースマシンとし、アーム
先端部に岩盤掘削機構を取り付けた機構とした。

図 2.1、図 2.2 に掘削機の概観を、図 2.3 に掘削
部を示す。図 2.3 には本稿で使用する機械用語と機
械の可動方向を示している。さらに図 2.3 にあるバ
ケット部の写真を写真 2.1 に示す。このバケットを
岩盤面に押しつけながら回転させることにより岩
盤掘削を行なうことができる。

岩盤を掘削するためのビットとしては、写真に示
すように、8 個のコンカルビットをバケット内部に
配置した。また、バケットの中心にコンカルビッ
ドで掘削できない硬岩に亀裂を入れるための油圧ブ
レーカを配置した。さらにバケットには掘削した際
に生じる掘削ズリをバキュームにより吸引して排
出する機構も持たせている。



写真 2.1 バケット部

2.2 ビットに作用する力

図 2.4 は、ビットで物質を掘削している状況の模
式図である。図中刃先と記載されている箇所がビッ
トの先端部分であり、被掘削物と記載されていると
ころが、掘削されている物質を表す。ビットは鉛直
方向の押付力で物質に押し付けられ、水平掘削力
で掘削を行っていく。このときの押付力と水平掘削力
の合力が掘削力となる。

これに対し、ビットには被掘削物から掘削抵抗が
作用する。掘削抵抗は、作用・反作用の関係から、
掘削力と方向が逆で大きさが同じ力として作用す
る。掘削抵抗の鉛直成分を背分力、水平成分を主分
力という。

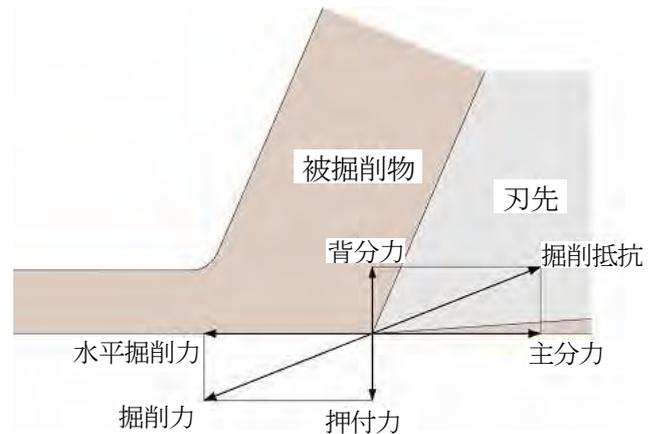


図 2.4 掘削中の刃先に作用する力の呼称

2.3 掘削機の最大押付力と掘削力

掘削機の掘削能力を算定するためには、掘削のた
めに発揮することのできる最大反力とバケットが
発揮することのできる最大回転力を把握する必要
がある。

掘削機が発揮することのできる最大押付力は、油
圧ショベルによる押付力 5 t にバケットの自重 1.5
t を加えた 6.5 t と考えた。ただし、掘削機にはそ
の中心に油圧ブレーカが取り付けられており、岩盤
からの鉛直反力の一部は油圧ブレーカにより受け
持たれると考えられる。油圧ブレーカと掘削ビット
による鉛直反力の負担割合は、岩盤硬さや作業状況
により異なるため、一概に決めることができない。
ここでは、平均的に油圧ブレーカが鉛直反力の 50%
を受け持つと設定して、以下の議論を進める。この
設定に従うと、掘削機のバケットに取り付けられた
8 個のコンカルビットが受け持つ鉛直反力は、3.25 t
となり、1 個あたりの最大押付力は、406kg となる。

バケットが発揮することのできる最大掘削力は、
モータの装備トルクから計算することができる。本
掘削機に装備されたバケット回転用のモータの最
大トルクは、1.592 tm であり、バケットの直径は、
521.43mm ある。コンカルビットは、取り付け位置に

より回転半径が異なるため、各ビットの掘削力も同一でないが、本研究では、コニカルビットの水平掘削力の平均値を使うことにする。この考えに従い、ビットの平均回転直径をバケット直径の半分の260.7 mm と考えると、バケット全体の水平掘削力は6.11 t となり、コニカルビット1個あたりの水平掘削力は764 kg となる。

2.4 掘削抵抗の算出

2.4.1 掘削抵抗算定式の導出（主分力）

コニカルビットによる岩盤掘削に関する理論的な考察は、ほとんど行われていないが、西澤らは、次元解析を使った考察を行っている¹⁾。

西澤らによって導き出された主分力を算出する式を以下に示す。

$$P = p \frac{K_c^2}{E} t \quad (2.1)$$

F : 主分力 (N)

K_c : 破壊靱性 ($\text{N}/\text{m}^{1.5}$)

E : 弾性係数 (N/m^2)

p : $f_2\left(\frac{t}{B}\right)$ で表せる関数

t : 掘削深さ (m)

B : 刃幅 (m)

2.4.2 掘削抵抗算定式の導出（背分力）

コニカルビットで岩盤を掘削するときの掘削抵抗の背分力の算出式は、さまざまな研究が進められているが、実用性のある定式化は未だ確立されていない。主分力と背分力は掘削抵抗の分力であるので、今回の研究では、主分力の式を変形し、背分力の式とみなすことにする。この変形した式を以下に示す。

$$Q = p \frac{K_c^2}{E} \tan(\phi - \gamma) \cdot t \quad (2.2)$$

Q : 背分力 (kg)

ϕ : 刃物すくい角と岩石の内部摩擦角 ($^\circ$)

γ : 刃物すくい角 ($^\circ$)

2.5 掘削抵抗の試算

(2.1)、(2.2)式を用いて掘削抵抗の試算を行う。

ここで、破壊靱性 K_c の値の設定が問題となる。

現在、岩石の破壊靱性については、算出方法が確立されていないため、個々の掘削対象である岩盤の破壊靱性を定量的に表すことができないが、河野は、配合を変えたモルタル2種類、安山岩、大谷石について破壊靱性と一軸圧縮強度、圧裂引張強度との関係について調査を行った²⁾。図2.5、2.6はその結果をグラフに表したものである。これらの結果より明らかのように、岩石の破壊靱性は、バラツキはあるものの一軸圧縮強度や圧裂引張強度と相関性が高いことがわかる。ここでは、一軸圧縮強度との関係を利用して下式により破壊靱性を推定することにする。

$$K_c = 0.08 \sigma_c \quad (2.3)$$

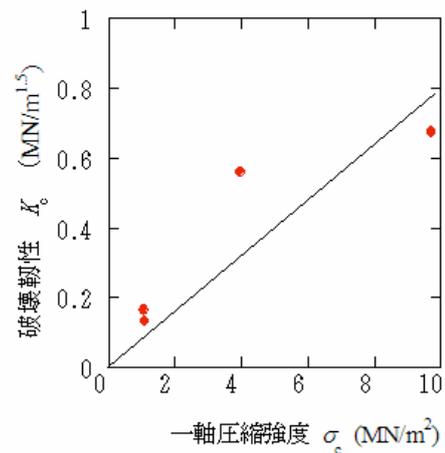


図 2.5 破壊靱性と一軸圧縮強度の関係

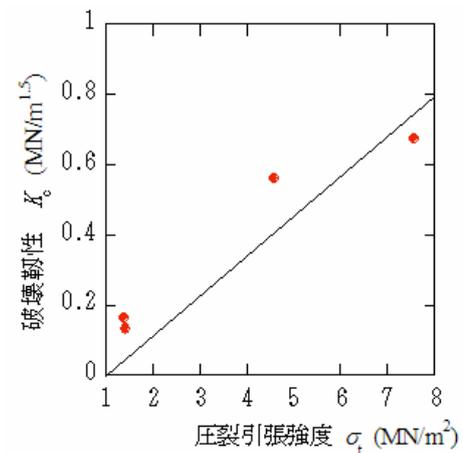


図 2.6 圧裂引張強度

計算に用いるパラメータのうち、岩盤に関わるもの（一軸圧縮強度、弾性係数）は、後述の実機による掘削実験を行った現場内の6箇所において採取した岩石試料に対して行った試験の結果を用いた（表 2.1）。

破壊靱性 K_c の値は、(2.3)式を用いて圧縮強度から推定する。岩石の内部摩擦角 ϕ については、一般的な値として $\phi = 30^\circ$ とする。刃物すくい角 γ については、 $\gamma = 5^\circ$ とする。

図 2.7 に掘削抵抗の主分力、図 2.8 に背分力の計算結果を示す。いずれの図も、掘削深さを 0~5cm の間で 0.5cm ピッチで変化させた場合の掘削抵抗の算定結果が示されている。

2.3 節で述べたように、1 個のコニカルビットが発揮することのできる水平掘削力は 764 kg、また、最大押付力は 406 kg である。図には、掘削機の掘削能力のこれらの限界値を一点鎖線で記入している。掘削機では、この点線の境界線以上の力が必要となる掘削を行うことができない。

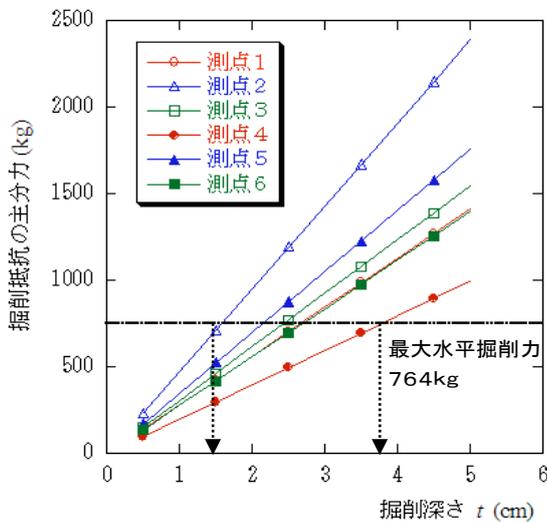


図 2.7 掘削抵抗の主分力の算定

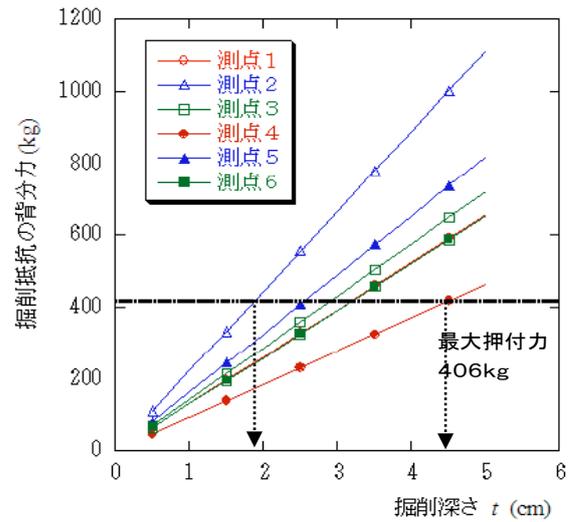


図 2.8 掘削抵抗の背分力の算出

なお、掘削可能深さは、「主分力<最大水平力」と「背分力<最大押付力」の両方の関係を満たす最大の深さで定義される。このため、図 2.7、2.8 の図で個々の測点に対して決められる限界掘削深さのうち、小さい方の値をその測点における掘削限界深さとしている。この考えに従うと、測点にもよるがこのサイトでは、1.6cm~3.8cm 程度の深さまでしか掘削を行うことができないことがわかる。

2.6 掘削機の適用範囲に関する検討

(2.1)式と(2.2)式を用いて岩盤の強度と掘削能力との関係を検討した。掘削深さは第2章と同じく、実用的な掘削を行い得る限界の深さとして 1cm を採用し、図 2.9 にこの計算の結果を示す。

この図の結果と掘削機の装備能力（水平掘削力=764 kg、最大押付力=406 kg）と比較すると、水平掘削力の制限から、一軸圧縮強度が 1,550 kg/cm² 程度の岩盤まで掘削し得ることがわかる。

表 2.1 岩石試験の結果

| | 測点 1 | 測点 2 | 測点 3 | 測点 4 | 測点 5 | 測点 6 |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 圧縮強度 (MN/m ²) | 78.7 | 76.8 | 50.4 | 91.6 | 99.6 | 94.5 |
| 静ポアソン比 | 0.278 | 0.385 | 0.380 | 0.201 | 0.228 | 0.199 |
| 静弾性係数 (MN/m ²) | 43500 | 24500 | 16300 | 83500 | 56000 | 63300 |

備考：1MN/m² =10.2kgf/cm²

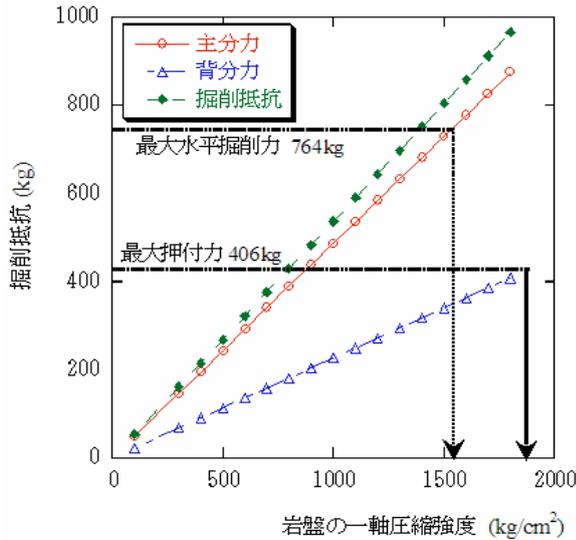


図 2.9 岩盤の圧縮強度と掘削抵抗との関係

3. 掘削機の作業効率に関する検討

3.1 岩盤強度により決まる掘削深さ

本章では、掘削抵抗の算定式を用い、掘削機の掘削効率を算出する。

まず、掘削機械のバケットを1回転させることにより、岩盤を掘削することができる体積を算出する。掘削される岩盤の体積は、掘削深さと掘削ビットの表面積を乗じることにより算出する。このために、掘削機械のバケットを1回転させた時の掘削深さを算出する。(2.1)式と(2.2)式を変形すると、掘削深さ t を主体とした(3.1)式、(3.2)式を得る。

(3.1)

$$t_p = \frac{1}{p} \times \frac{E}{K_c^2} \times F$$

$$t_Q = \frac{1}{p} \times \frac{E}{K_c^2} \times \frac{Q}{\tan(\phi - \gamma)} \quad (3.2)$$

t_p : 主分力による掘削深さ (cm)

t_Q : 背分力による掘削深さ (cm)

(3.1)式、(3.2)式を使用し、第2章で述べた現場の測点1～6における最大掘削深さを計算で求めてみる。岩盤を掘削する際、主分力 F と水平掘削力、背分力 Q と押付力は作用反作用の関係から等しくなる。このことから掘削機械の掘削ビット1個が発揮することができる水平掘削力と押付力をそれぞれ主分力 F 、背分力 Q に代入する。計算により求められた t_p と t_Q の値は表 3.1 のようになった。また、この現場の場合には、いずれの測点も水平掘削力の制限から決まる掘削限界深さ t_p の方が押付力から決まる掘削深さ制限 t_Q より小さいため、 t_p が限界掘削深さになると考えられる。

3.2 時間当たりの掘削体積の算定

前節の議論から、今回想定している現場においては、バケットを1回転させたときの掘削深さは、表 3.1 の t_p で表される。また、岩盤内にこの掘削深さだけ貫入させた状態で、水平に移動させたときの掘削面積 $A(\text{cm}^2)$ は、コニカルビットの幾何学的形状から掘削深さ t_p の2乗に比例して下式で表される。

$$A = \frac{t_p^2}{\sqrt{3}} \quad (3.3)$$

バケットを1回転させたときに掘削できる岩盤の体積 ΔV は、以下の式で表される。

$$\Delta V = A \times \pi \times 26.07 \text{cm} \quad (3.4)$$

また、このバケットは、回転数 16rpm で回転するため、このバケットが8個のビットで1時間あたりに掘削することのできる岩盤の体積 V は、以下のようになる。

$$V = \Delta V \times 16 \text{rpm} \times 60 \text{min} \times 8 \text{個} \quad (3.5)$$

表 3.1 測点別掘削可能深さ (単位 cm)

| | 測点1 | 測点2 | 測点3 | 測点4 | 測点5 | 測点6 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| 水平掘削力の制限から t_p | 2.70 | 1.60 | 2.47 | 3.83 | 2.17 | 2.73 |
| 押付力の制限から t_Q | 3.08 | 1.82 | 2.81 | 4.36 | 2.48 | 3.11 |

図 3.1 は、上記の考え方に従い、作業時間と掘削量との関係を測点別に示した結果である。

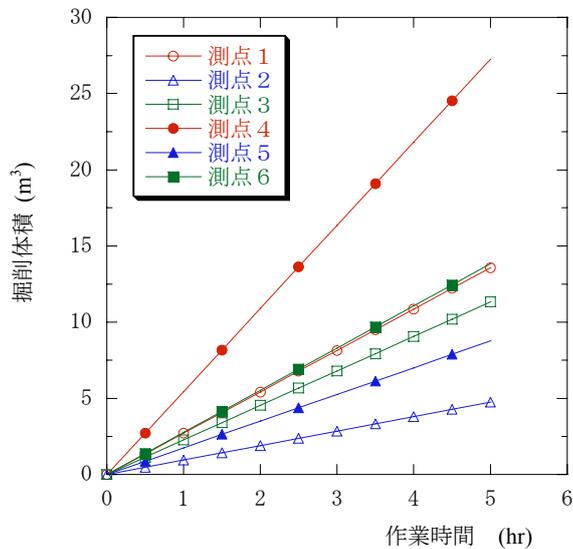


図 3.1 掘削体積の推定結果

同様の計算手法で、掘削機の単位時間あたりに掘削することのできる岩盤の体積を岩盤の一軸圧縮強度別に対して計算した。図 3.2 はその計算結果を示す。

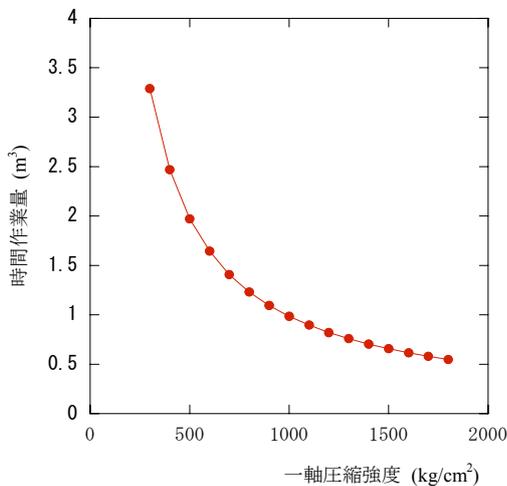


図 3.2 岩盤の強度別時間作業量

3.3 現場での掘削効率の計測

3.2 節で算定した時間作業量の適用性を調べるため、実際の現場において、掘削実験を行った。これまでの計算等で使用してきた 6 測点の岩盤の強度は、この現場において採取された試料に対して求められたものである。

実際の現場で掘削できた体積 (排土量の体積) は、

1 時間あたり 2.0 m^3 、地山の体積にすると $1.4 \sim 1.6 \text{ m}^3$ であった。図 3.1 から、1 時間当たりの掘削体積を 6 測点の平均値として求めると、 2.65 m^3 という値が得られ、実測値の 1.8 倍程度の値になっていることがわかる。この差の原因は、実際の作業では、油圧ブレーカの打ち込み、バケットの移動や姿勢の修正で作業時間のロスが生じること等が考えられるが、詳細なところは不明であり、さらなる研究が必要である。

4. 今後の課題

- 1) 作業効率を高めるために、現場での時間作業量を上げることが一番の課題と考えられる。時間作業量を増やすためには、理論計算により掘削効率に影響を与える要因を分析し、効果的な改善策を見つけ出す必要があるが、現場での時間作業量と理論値には、大きな差が存在する。この差の原因を分析して、理論的な考察により作業効率の改善を行うことのできる手法を確立する必要がある。
- 2) 掘削能力の理論的な考察では、問題を簡略化するために、様々な仮定や設定を行った。その妥当性についても現場実験等を通じて調査を行う必要がある。

5. まとめ

鉄塔基礎用の立坑を掘削する際に使用する小型立坑掘削機の開発を目的として、試作した掘削機の掘削能力と掘削効率について机上の検討を行った。さらに、現場実験により掘削効率について計算値と実測値を比較した。この結果、計算値は、実測値の約 1.8 倍となり、さらなる検討が必要であることが明らかになった。

参考文献

- 1) 西沢泉, 大久保誠介, 西松裕一, 秋山政雄:『ポイントアタックビットの掘削抵抗』, 資源・素材学会誌, No.107, pp.19-24, 1991 年 12 月
- 2) 河野幸一: ダイナモメータによる掘削力の測定と重回帰分析, 愛媛大学紀要

2. 連続繊維ロープの性能評価

○関東学院大学工学総合研究所

関島 謙哉

関東学院大学工学部社会環境システム学科 出雲 淳一

1. はじめに

連続繊維ロープはアラミド繊維やビニロン繊維などの高性能連続繊維を使用したロープ状のコンクリート用補強材である。連続繊維ロープは軽量で引張強度が高く、耐久性に優れ、腐食しない。また、可搬性に優れ、容易に曲げ加工できるため、作業性が大幅に向上するなどの特長を有する。

本研究は、連続繊維ロープの力学的特性を把握するために各種の試験を行い、これらの試験方法の妥当性について検討することを目的としている。

2. 連続繊維ロープの用途

連続繊維ロープを新設のコンクリート部材のせん断補強筋として使用する場合は、組み立てた鉄筋の周囲に巻き付けて用いる(図1)。また、既設のコンクリート部材の耐震補強に使用する場合には、部材の周囲にらせん状に巻き付けることによりせん断補強筋として利用できる(図2)。



図1 せん断補強(新設構造物)

3. 連続繊維ロープの課題

連続繊維を用いた既往の補強材としては、樹脂で固めて棒状や格子状に成形した連続繊維補強材があり、鉄筋やPC鋼材の代替品として使用されている。連続



図2 耐震補強(既設構造物)

繊維補強材は、塩害地区などのコンクリート構造物の耐久性が議論されだした1980年代の初めから本格的な研究が始められ、官・学・産の協力体制での意欲的な研究開発後、世界に先駆けて我が国で実用化された¹⁾。また、一方向配列の連続繊維シートを樹脂を用いて既設のコンクリート部材の表面に貼り付けて補強する連続繊維シート工法がある。重量の増加を伴わずに高い補強効果を発揮するので、橋脚耐震補強やトンネル、煙突、その他のコンクリート構造物の補強や剥落防止にも対応できる²⁾。

連続繊維補強材と連続繊維シートは土木学会や日本コンクリート工学協会から設計・施工指針が作成され、材料の評価方法も確立されている^{3), 4)}。しかし、連続繊維ロープは土木構造物への適用例がなく、材料の力学的特性の評価方法も未だ定まっていない。そこで新たに試験方法を提案し、実施することにした。

4. 連続繊維ロープの引張試験

4. 1 目的

最初に、連続繊維ロープの力学的特性の中で最も基本的な引張特性を把握するための試験方法について検討することにした。樹脂で固めた連続繊維補強材の引張試験方法に関しては、土木学会の「連続繊維を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」の中で「定着用膨張材を用いた引張試験方法」³⁾が提案されているので、これを参考にして供試体を製作することにした。

4. 2 使用材料

(1) 連続繊維ロープ

本実験で使用する連続繊維ロープは、T社製アラミド繊維、K社製ビニロン繊維およびY社製ビニロン繊維を用いた3つよりのより線状ロープである。これらの繊維をより線状によった後、表面をウレタン樹脂で被覆し、連続繊維ロープを成形した。ウレタン樹脂を被覆することによって、繊維のばらけが防止され、連続繊維ロープが若干硬くなり、取り扱いも容易になる。

連続繊維ロープの物性を表1に示す。なお、数値は表面のウレタン樹脂を除いた繊維自体の値である。

表1 連続繊維ロープの物性

| 繊維の種類 | 断面積 (mm ²) | 単位質量 (g/m) |
|--------------|---------------------------|---------------|
| アラミド繊維 (T社製) | 11.5 | 16.0 |
| ビニロン繊維 (K社製) | 12.5 | 16.2 |
| ビニロン繊維 (Y社製) | 12.3 | 16.0 |

(2) エポキシ樹脂

エポキシ樹脂は、連続繊維シート補強用の高強度エポキシ樹脂を使用した。連続繊維シートへの含浸に優れ、構造補強用途に使用されており、高強度に加え、適正なチクソトロピー性も有している⁵⁾。

(3) 鋼管

鋼管は、JIS G 3455に規定されている高圧配管用炭素鋼鋼管のSTS370を使用した。その機械的性質は、引張強さ 370N/mm²以上、降伏点 215N/mm²以上である。鋼管の外径は 27.2mm、厚さは 5.5mm、単位質量は 2.94kg/m である⁶⁾。

(4) 定着用膨張材

練混ぜ前の定着用膨張材は、生石灰および特殊な珪酸塩を主成分としたセメント状の粉体で、適当な水膨

張材比 (27.5%) で練混ぜることによって、高い流動性と材料分離抵抗性をもったスラリーとなる。

定着用膨張材は 48 時間後に 40N/mm²以上の高膨張圧が発生できる材料であり、従来からの静的破砕剤や通常の膨張材とは異なる。最終的な膨張圧は 100N/mm²にも達する能力を有する⁷⁾。

4. 3 供試体の概要

供試体の寸法を図3に示す。全長は 950mm で、両端部 260mm の区間はエポキシ樹脂を含浸して硬化した。その後、長さ 250mm の鋼管を挿入し、定着用膨張材を充填した。供試体は繊維の種類ごとに 5 体ずつ、合計 15 体製作した。

定着用膨張材の膨張圧が作用した場合、エポキシ樹脂を含浸していない連続繊維ロープでは、膨張圧が吸収・消失する恐れがある。そこで、鋼管内で定着用膨張材が充填される部分のみエポキシ樹脂を含浸し、連続繊維ロープを連続繊維補強材とした。従って、土木学会の「定着用膨張材を用いた引張試験方法」を適用することが可能となった。

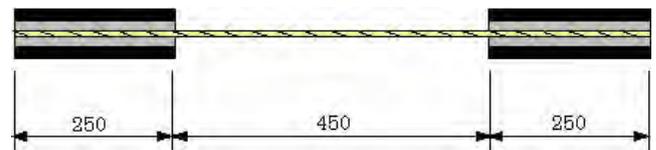


図3 引張試験用供試体の寸法

4. 4 供試体の製作

(1) 連続繊維ロープを切断する部分の両端をばらけ防止のために粘着テープで巻いて、専用のハサミで切断した。連続繊維ロープの長さは 1,500mm とした。

(2) エポキシ樹脂を主剤と硬化剤の重量比が 2 : 1 の配合で計量した。次に、主剤に硬化剤を流し込んで、ヘラを用いて十分に練り混ぜた。

(3) 連続繊維ロープにエポキシ樹脂を含浸する際、最初はヘラを用いたところ、エポキシ樹脂を十分に含浸することができなかった。そこでゴム製の手袋を着用した手で直接エポキシ樹脂を含浸することにした。連続繊維ロープの両端から 275mm~535mm (長さ 260mm) の部分にエポキシ樹脂を含浸した後、連続繊維ロープが直線状になるように固定した状態で硬化させた。



図4 エポキシ樹脂の含浸作業状況

(4) 供試体をセットするため、木製合板に寸法線をマーキングし、木製およびスポンジテープ製のスペーサーを取り付けた。

(5) 連続繊維ロープに中心に孔を開けた4枚の厚さ5mmのスポンジ板と2本の鋼管を交互に挿入した。

(6) 図5に示すように連続繊維ロープにわずかな張力を与えた状態で連続繊維ロープと鋼管を釘で木製合板に固定した。鋼管の両端に配置したスポンジ板は、連続繊維ロープを鋼管の中心に固定するためのセンターライザーであり、かつ定着用膨張材の漏れを防ぐ役割を果たす。



図5 供試体の製作状況

(7) 水と定着用膨張材の重量比が27.5%の配合で定着用膨張材を練り混ぜた後、図6に示すように鋼管の上側から定着用膨張材を充填した。定着用膨張材は材料分離しやすいので、1本の鋼管に充填した後に再び練り混ぜてから次の鋼管に充填した。定着用膨張材を充填した後、鋼管の上側をスポンジ板でふさいだ。



図6 定着用膨張材の充填状況

(8) 定着用膨張材の充填後、7日間養生した。その後、供試体を木製合板から取り出し、鋼管の両端から突き出している連続繊維ロープを切断して供試体を完成させた。

4. 5 試験方法

供試体の両端の鋼管を引張試験機のチャックで直接つかんで引張力を与えた。この時、土木学会の「連続繊維を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案)」に示されている「連続繊維補強材の引張試験方法(案)」³⁾に従って引張試験を行った。なお、連続繊維ロープにひずみゲージを直接貼り付けてひずみを測定しても、精度良い測定が行えないので、ひずみの測定は行わなかった。



図7 引張試験状況

4. 6 試験結果

連続繊維ロープの破断箇所は上部または下部の鋼管の付け根で、試験部の範囲内であり、鋼管内での破断

は生じなかった。なお、定着部としての鋼管から連続繊維ロープの抜け出しはなかった。

連続繊維ロープが破断すると、残った試験部の連続繊維ロープが反対側の鋼管に向かって急激に戻るために丸まってしまう現象が生じた。これは、従来の樹脂で固めた連続繊維補強材が破断する際には見られなかった現象である。

各供試体の最大荷重を整理した結果を図8に示す。アラミド繊維ロープ、K社製ビニロン繊維ロープおよびY社製ビニロン繊維ロープの最大荷重の平均値は、それぞれ27.64 kN、7.68 kNおよび10.93 kNとなった。また最大荷重の標準偏差は、それぞれ0.54kN、0.80 kNおよび0.74 kNとなった。従って、最大荷重のばらつきは僅かであった。

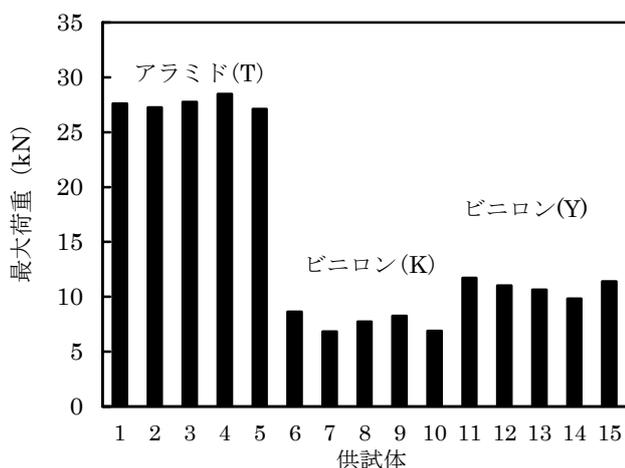


図8 引張試験結果

5. 連続繊維ロープの接続部の引張試験

5.1 目的

連続繊維ロープの施工においては、ロープ同士を接続することが必要になる。そこでロープワークの結び方を参考にし、本研究ではサージャンズ・ノット（外科結び）とダブル・フィッシャーマンズ・ノット（二重テグス結び）を採用して、接続部の引張試験を行った。

5.2 ロープワークの結び方

(1) サージャンズ・ノット

スクエア・ノット（本結び）はロープ同士を繋ぎ合わせる時の基本となる結び方である。この結び方は、一

度強く締めると固く締まる特徴がある。

サージャンズ・ノットはスクエア・ノットの最初のからみを二度にした結び方であり、からみを多くすることで強度がより増加する。外科手術の縫合用として用いられていたことから命名された。滑りやすいロープでもきっちり結べる特徴がある⁸⁾。

(2) ダブル・フィッシャーマンズ・ノット

フィッシャーマンズ・ノット（テグス結び）は、太さの異なる釣り糸のように細くて滑りやすい合成繊維ロープなどを繋ぎ合わせる時に用いられる結び方である。強度は非常に高く、結び方も簡単である。

ダブル・フィッシャーマンズ・ノットは、フィッシャーマンズ・ノットの強度をさらに高めた結び方である。結び目が太くなるので、あまり太いロープには向いていない⁸⁾。

5.3 使用材料

引張試験と同様に、本実験で使用する連続繊維ロープは、T社製アラミド繊維、K社製ビニロン繊維およびY社製ビニロン繊維を用いた3つよりのより線状ロープである。また、エポキシ樹脂、鋼管、定着用膨張材も連続繊維ロープの引張試験に用いた材料と同じものを使用した。

5.4 供試体の概要

引張試験用の供試体は全長950mmであったが、接続部の引張試験用供試体は全長約850mmとした。この理由は、試験中に接続部から連続繊維ロープが抜け出し、供試体の全長が長くなる恐れがあったからである。供試体の例を図9に示す。



図9 接続部の引張試験用供試体

5. 5 供試体の種類

供試体は連続繊維ロープの繊維の種類ごとに、また接続部の結び方ごとに3体ずつ、合計18体製作した。

1体目はエポキシ樹脂を含浸せず、連続繊維ロープ同士を結んだ。2体目は連続繊維ロープ同士を結んだ後、接続部の両側約100mmをK社製ビニロン繊維の細い紐を巻き付け、さらにその部分にエポキシ樹脂を含浸して硬化させた。3体目は連続繊維ロープ同士を結んだ後、同種類の3つよりの連続繊維ロープをほどいた太い紐を接続部の両側約100mmに巻き付け、さらにその部分にエポキシ樹脂を含浸して硬化させた。

5. 6 供試体の製作

引張試験とほぼ同様な手順で供試体を製作した。連続繊維ロープを1,100mmの長さに切断し、エポキシ樹脂を含浸して硬化させ、2枚のスポンジ板と鋼管を交互に通して木製合板にセットした後、定着用膨脹材を充填した。

5. 7 試験方法

引張試験と同様に、「連続繊維補強材の引張試験方法(案)」に従って接続部の引張試験を行った。

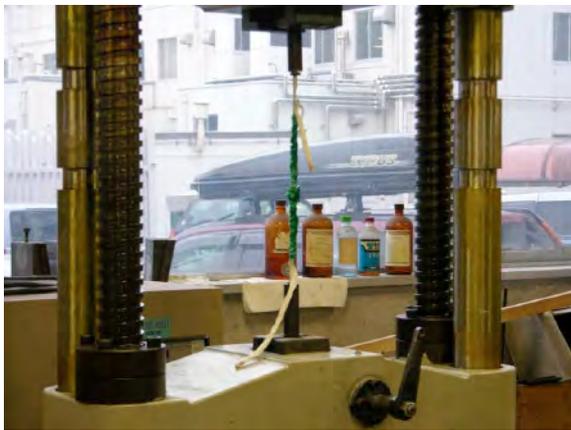


図10 接続部の引張試験状況

5. 8 試験結果

供試体の破壊状況の例を図11に、また各供試体の最大荷重を整理した結果を図12～図14に示す。

連続繊維ロープ同士を結んだアラミド繊維ロープの場合、サージャンズ・ノットは下側のロープが接続部から抜け出し破断しなかったが、ダブル・フィッシャーマンズ・ノットでは接続部の下側で破断した。またK社製ビニロン繊維ロープ、Y社製ビニロン繊維ロープも共に完全な破断には至らず、この時の接続効率(接続部の最大荷重/引張耐力)はアラミド繊維ロープで20%未満、K社製ビニロン繊維ロープで50%未満、Y社製ビニロン繊維ロープで40%未満となった。

接続部の両側にK社製ビニロン繊維ロープの細い紐を巻き付け、エポキシ樹脂を含浸し、硬化させたアラミド繊維ロープは破断しなかった。K社製ビニロン繊維ロープの場合、サージャンズ・ノットでは接続効率60%を超えたが破断せず、ダブル・フィッシャーマンズ・ノットは上側の鋼管の付け根でロープが破断し、接続効率は約80%となった。Y社製ビニロン繊維ロープの場合は樹脂含浸部の外側で破断したが、接続効率は50%前後となった。

接続部の両側に同種類の3つよりの連続繊維ロープをほどいた紐を巻き付け、エポキシ樹脂を含浸し、硬化させたアラミド繊維ロープは、サージャンズ・ノットで最大荷重が11kNを超え、接続効率は樹脂を含浸しない場合の3.5倍となった。しかし、ダブル・フィッシャーマンズ・ノットではこれよりも最大荷重が大幅に低下した。K社製ビニロン繊維ロープのダブル・フィッシャーマンズ・ノットでは、細い紐を巻き付けた場合よりも最大荷重が低下した。一方、Y社製ビニロン繊維ロープは細い紐を巻き付けた場合よりも最大荷重が増加し、接続効率は60%前後となった。従って、この接続方法では、必ずしもダブル・フィッシャーマンズ・ノットの方が接続効率が高くなるはならなかった。

なお、アラミド繊維ロープの最大荷重はビニロン繊維ロープの場合よりも大きいですが、接続効率は50%未

なお、アラミド繊維ロープの最大荷重はビニロン繊維ロープの場合よりも大きいですが、接続効率は50%未



図11 K社製ビニロン繊維ロープの破壊状況 (サージャンズ・ノット)

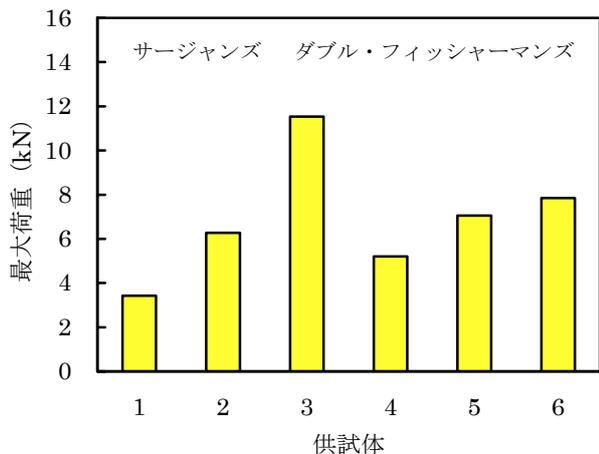


図12 アラミド繊維ロープの試験結果

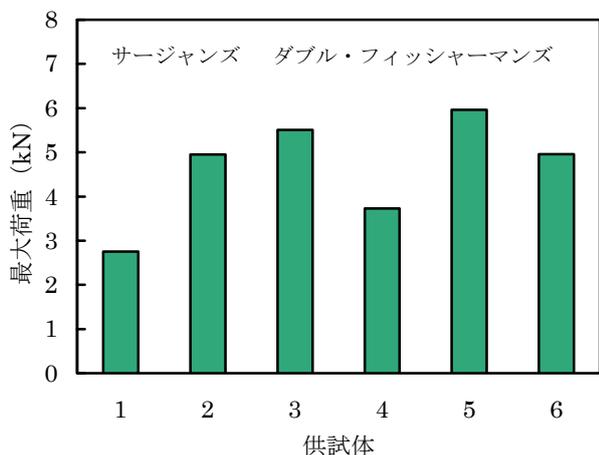


図13 K社製ビニロン繊維ロープの試験結果

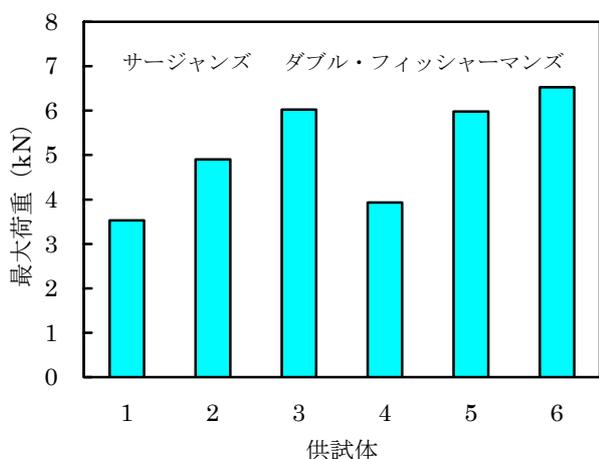


図14 Y社製ビニロン繊維ロープの試験結果

満であり、接続方法をさらに改良する必要がある。

6. まとめ

今回提案した鋼管内で定着用膨張材が充填される部分のみ連続繊維ロープにエポキシ樹脂を含浸して連続繊維補強材とし、土木学会の「連続繊維補強材の引張試験方法(案)」を適用する引張試験方法および接続部の引張試験方法の妥当性が確認された。

今後、接続方法の改良ならびにコンクリートとの付着特性、曲げ引張特性を把握する試験を引き続き実施する予定である。

謝辞

連続繊維ロープの引張試験方法に関しては、倉測建設コンサルタント株式会社の田坂雄治氏から貴重なご助言をいただきました。実験に当っては、関東学院大学工学部土木工学科の小菅拓朗氏ならびに関直哉氏、工学研究科機械工学専攻の鈴木純氏ならびに大塚英夫氏の温かいご協力をいただきました。

本研究は、文部科学省学術フロンティア推進事業(平成16年度～平成20年度)の一環として行われたことを付記します。

参考文献

- 1) ACC 製品施工実績集、pp.36、ACC 倶楽部、2002年10月
- 2) FORCA トウシート工法、日鉄コンポジット
- 3) 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案)、コンクリートライブラリー88、土木学会、1996年9月
- 4) 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針、コンクリートライブラリー101、土木学会、2000年7月
- 5) 連続繊維シート補強用高強度エポキシ樹脂 ボンド E2500、コニシ
- 6) JIS G 3455 高圧配管用炭素鋼鋼管、1988年
- 7) 定着用膨張材 エクスグリッパー、膨張材による定着法研究会
- 8) 小暮幹雄：ひもとロープの結び方、pp.20-23、日本文芸社、2000年4月

3. 塩害により損傷したコンクリート橋のリニューアル

西日本高速道路株式会社 松田 哲夫
 株式会社富士技建 ○岸上 弘宣
 株式会社富士技建 高木 英昭

まえがき

大阪市と和歌山県内諸都市、及び大阪府南部諸都市とを結ぶ阪和自動車道は、昭和49年に開通、大阪圏南部の主要幹線道路と位置付けられ、この地域の産業発展に重要な役割を果たしてきた。しかしながら、本路線に使用されている鉄筋コンクリート製の橋梁は、供用後30数年を経て老朽化が進行し、舗装上面のポットホールの発生、部分的な鉄筋腐食の進行、あるいは床版下面におけるひび割れ網の進展が報告され、橋梁全体の剛性低下や耐荷力の低下が危惧される事態となっている。その中でも劣化の進行が著しい松島高架橋は和歌山インターチェンジに隣接し、ランプ車線を有する図

-1に示す様な4径間連続形式のRC中空床版橋であり、平成2年にスチールファイバーコンクリート(以下SFコンクリートと記す)により増厚補強が行われた履歴を持つ橋梁である。

本橋の非破壊検査による事前の耐荷力調査の結果、①含有塩分量が規定値を大きく超え鉄筋の腐食が進行している、②見かけの静弾性係数が大きく低下しており桁全体の剛性低下も著しい、③平成2年補修時の増厚コンクリートと母材コンクリート間あるいは床版の上面鉄筋面に層状剥離が見られる、等によって早急な補修・補強が必要と判断された。

そこで、これらの調査結果を踏まえ、本

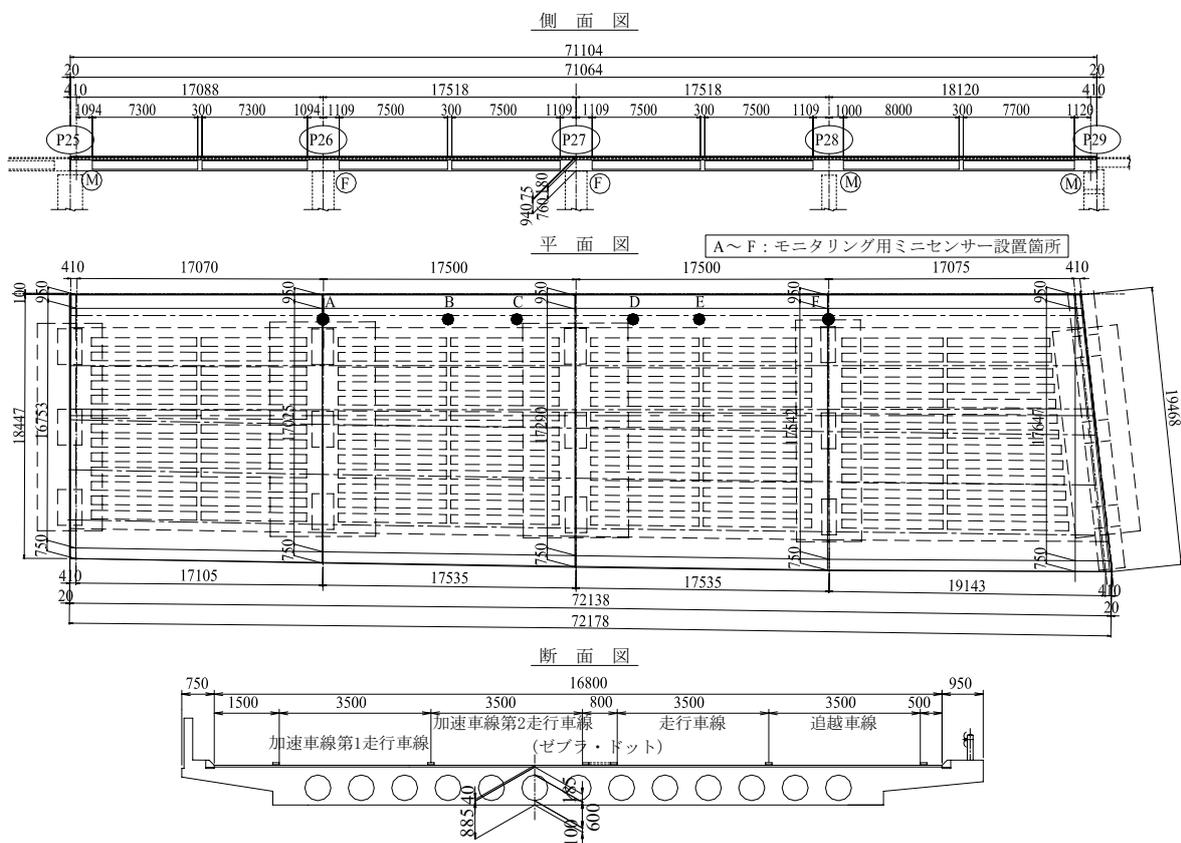


図-1 松島高架橋一般図

橋の全面架け替え案を含む補修・補強対策を種々検討し、交通規制を最小としつつ橋梁機能を回復・向上させるとともに、本橋の長寿命化を図る部分補修工法を開発、採用することにより、リニューアル工事を実施した

以下に、本橋の事前詳細調査により判明した劣化状況について報告するとともに、本橋で採用した新工法とその特長について報告する。

2. 劣化損傷に関する調査結果と劣化度の判定

本橋の補修・補強に先だって、事前調査として、コア採取によるコンクリートの物性試験、はつりによる鉄筋の腐食状況調査、アルカリ骨材反応試験、衝撃弾性波による上面コンクリートの剥離状況調査、および主版下面のひび割れ調査を行った。さらに、試験車を用いた静的載荷試験により全体剛性を確認した。

調査結果の概要を表-1に示す。この表から分かるように、コンクリートの物性値では、圧縮強度が平均値で設計基準強度を下回り、静弾性係数は基準値の半分程度まで低下していることが確認された。また、コンクリートの含有塩分量は、主版下面の表面付近を除く全ての部位において腐食発生限界塩分量 1.2kg/m^3 を大きく上回る値で

あり、深さ方向分布も表面付近を除きほぼ一様分布であった。これらから本橋の含有塩分は建設時の海砂使用によるものと推定できる。

一方、はつり試験による鉄筋の腐食調査では、上面配力鉄筋は腐食により断面欠損が進行していたが、主鉄筋は一部発錆が見られたものの断面欠損には至っていないことが確認された。本橋の鉄筋に見られたマクロセル腐食の状況写真を写真-1に示す。また、採取コアにおいて、SFコンクリート増厚補強時の新旧コンクリート間の層間剥離や、増厚コンクリート内の垂直方向クラックが観察された。

衝撃弾性波（CTM）による剥離調査からは、前項の層間剥離が広範囲にわたっていることが確認された。



写真-1 マクロセル腐食状況

表-1 事前調査結果の概要

| 調査項目 | | 調査結果 | 基準値 |
|--------------------|--------|---|--------------------|
| コンクリート物性 (コア試験) | 圧縮強度 | 平均: 22.7N/mm^2 | 24N/mm^2 |
| | 静弾性係数 | 平均: 13.9kN/mm^2 | 25kN/mm^2 |
| | 中性化深さ | 20~30mm | — |
| | 塩化物含有量 | $1.47\sim 4.00\text{kg/m}^3$ | 1.2kg/m^3 |
| 鉄筋腐食状況(はつり調査) | | 上面配力鉄筋は断面欠損、主鉄筋は表面錆程度 | |
| 衝撃弾性波による剥離調査 | | 上面増厚補強時の新旧コンクリート間あるいは上面鉄筋面において広範囲に層状剥離を観察 | |

また、高感度カメラによる主版下面の劣化状況調査からは、ひび割れ幅 0.2mm 以上のひび割れの総延長が約 1400m (1.4m/m²) に達していることが確認された。

次に、本橋の全体剛性の低下度を調べるために試験車による静的載荷試験を実施した。その結果、実測たわみがコンクリートの全断面を有効とした解析たわみの 2 倍近くに達していることが確認され、橋梁全体の剛性が大きく低下していることがわかった。

以上に述べたように、本橋の劣化状況を総括すれば、①コンクリートの静弾性係数が大きく低下している、②上面増厚部および上面鉄筋近傍のコンクリートが劣化している、③コンクリートの含有塩分量は橋梁全体にわたって規定値を大きく超えている、④現状では床版上面鉄筋の腐食が進行しているものの主版の上面主鉄筋はほぼ健全といえるが、今後主版鉄筋の腐食が進行する可能性がある、⑤上面コンクリートの劣化および層状剥離により橋梁全体の剛性が大きく低下していること等が判明した。これらのことから、本橋は早急な補修・補強が必要と判断された。

3. 劣化部コンクリートの全面撤去と剛性向上を図る断面修復工法の採用

老朽化が進行し、剛性が低下したコンクリート橋のリニューアル工法としては、既設橋を部分修復する方法、新設橋に架替える方法の 2 つの方法が考えられる。本橋では、これらの 2 つの方法に対し、各々数種の工法について検討を行った結果、WJ 工法で上面鉄筋を含む断面の劣化コンクリートをはつり取り、その上に新たな鉄筋コンクリート断面を増設する部分修復工法を採用した。ここで採用した断面修復工法の概念図を図-2 に示す。本工法を採用した理由は、①全面支保工と支間中央におけるジャッキアップを併用することにより主版上面鉄筋を含む断面の劣化コンクリートを全面撤去でき、その上に新たな鉄筋コンクリート断面を増設することにより橋梁全体の剛性向上が図れ B 活荷重対応も可能となる、②通行規制の期間が全面架替え案に比して 2 ヶ月以上短縮でき、規制範囲も部分的な車線規制での施工が可能である、③撤去するコンクリート量は全面架替え案の 40% 程度であり、産業廃棄物の縮減が可能である④全面架替え案と比べ規制費も含めた工事費で 15~20% 程度のコスト削減が図れ

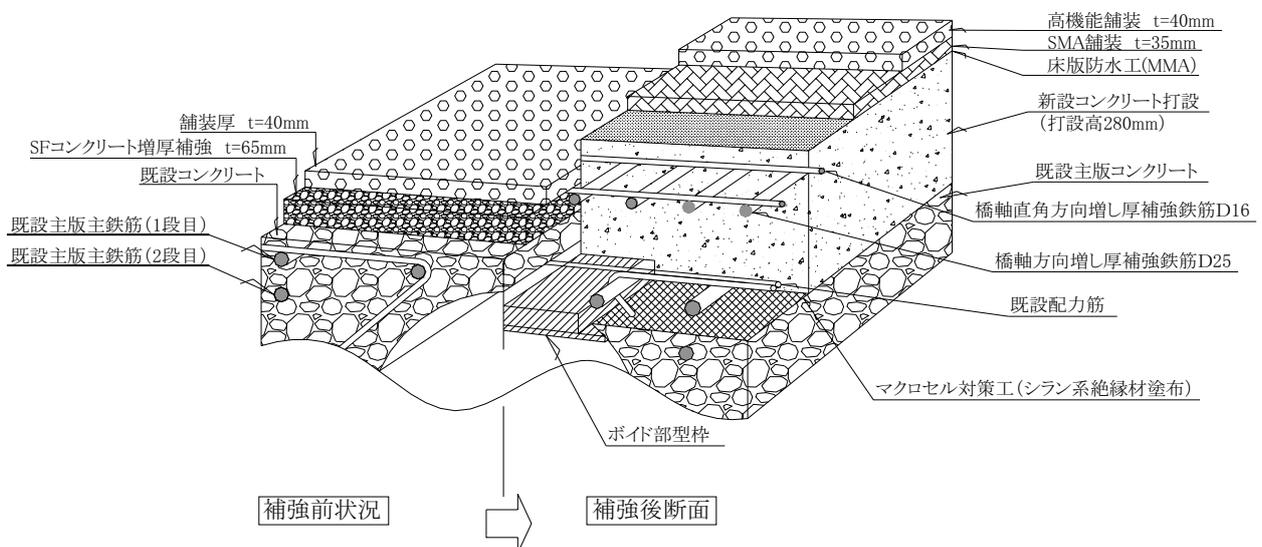


図-2 施工断面の概念図

る等である。

RC 構造の連続桁橋で全面支保工を設け主鉄筋断面を含む部位にある劣化コンクリートを撤去する場合、撤去時における鉄筋の応力解放により、既設コンクリート部に新たなひび割れの発生が懸念される。このため、支間中央および張出し部をジャッキアップすることにより、中間支点およびジャッキ支点部上面鉄筋の死荷重による発生応力が無応力に近い状態となるよう既設部材の応力を調整しつつ WJ によるはつり、および断面修復を行った。本工法における応力検討の流れ図およびジャッキアップ反力の決定法を図-3 に示す。

4. 段階施工による交通規制の最小化と施工ステップ毎の応力照査

本橋はランプ車線を含む特殊性より、交通規制の最小化が望まれ、図-4 に示すような、常時 2 車線の確保が可能な段階施工法を採用した。

実際の現場施工に当たっては、各々の施工ステップ毎にジャッキアップによる鉄筋の応力変動、およびコンクリート撤去による鉄筋の応力解放による再配分を解析と計

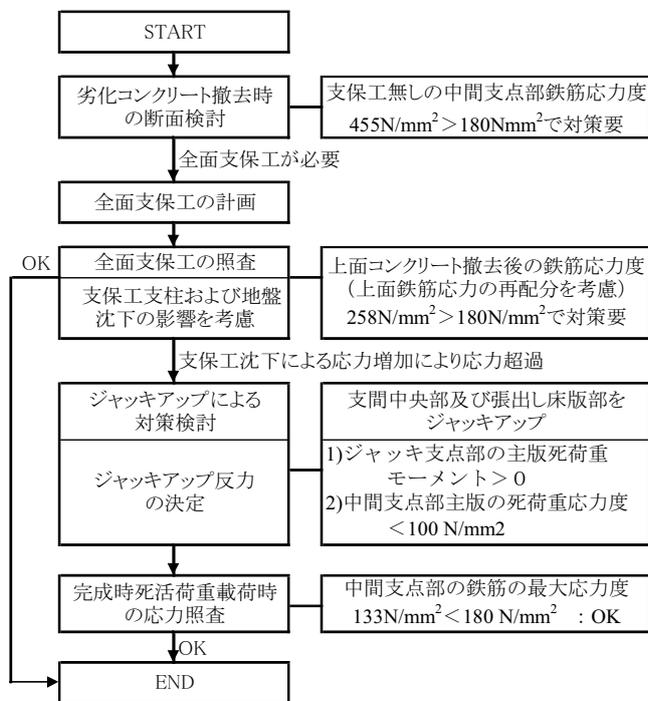


図-3 応力検討の流れおよびジャッキアップ反力の決定

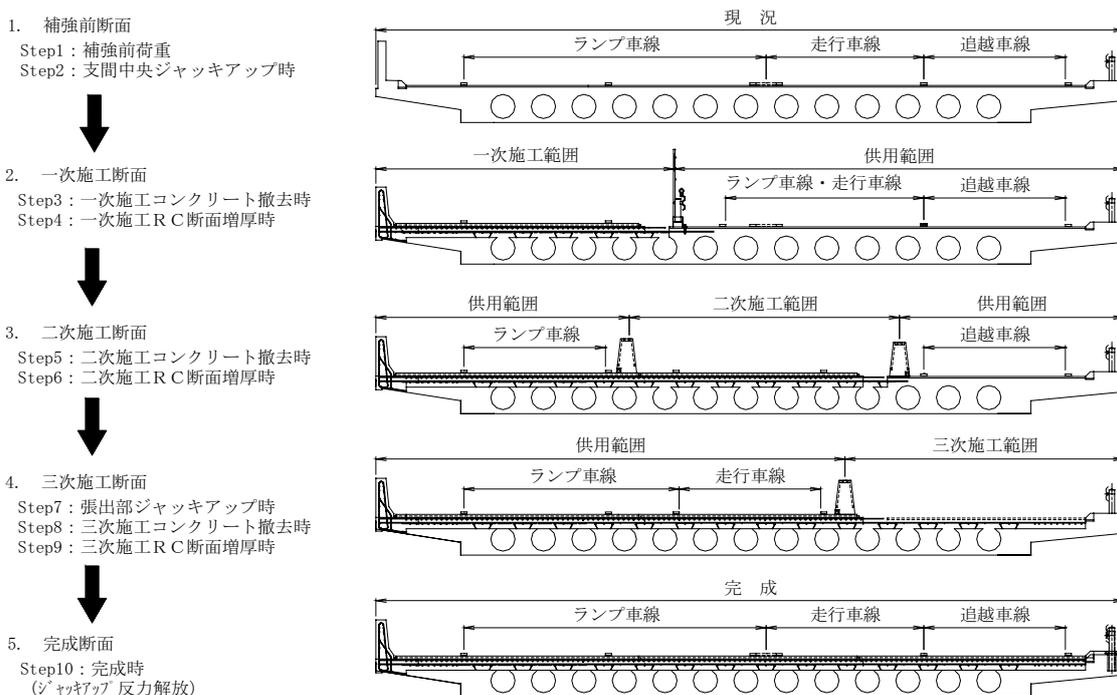


図-4 段階施工の概要と交通規制範囲

測により確認しつつ、劣化コンクリートの撤去および増設部コンクリートの打設作業を行った。また、ジャッキ反力はジャッキ支点部に設置したロードセルにより反力管理を行い各々の施工ステップ毎に反力調整を行った。

5. 劣化コンクリート撤去工法の概要

増厚部 SF コンクリートおよび既設の劣化コンクリートの撤去は、大型切削機と WJ 工法を併用することにより工期の短縮とコスト削減を図った。即ち、WJ では撤去に時間を要する上面 50mm 部分の SF コンクリートを大型切削機により撤去し、その下の鉄筋を含む断面部のコンクリートは、撤去効率が良く、かつ、母材部コンクリートにマイクロクラックや骨材剥離が発生しない WJ 工法により撤去した。写真-2 に WJ 工法による劣化コンクリートの撤去状況を示す。なお、写真に示すようにジェット水の飛散防止および防音対策として、規制部両サイドの防護柵部および機械回りを二重にシート養生することにより周辺環境に配慮した。また、WJ の濁水処理は当初本線上で行ったが、橋面作業の効率化のためボイドの水抜き孔を利用して高架下からの回収に変更した。これにより大幅な時間短縮が可能となった。

一方、撤去コンクリート殻の回収処理では、上面鉄筋を残した状態ではつり殻を吸引する必要があるため多大な時間と労力を要した。そこで、はつり殻の吸引および搬出作業を夜間作業とすることにより、橋面作業の効率化と工期の短縮を図った。写真-3 にボイド部に堆積したコンクリート殻の吸引状況を示す。また、写真-4 および、写真-5 に上面の劣化コンクリート撤去完了時の状況を示す。



写真-2 WJによる劣化コンクリート撤去状況



写真-3 コンクリート殻の回収状況



写真-4 上面劣化コンクリート撤去完了時の状況



写真-5 ボイド内から見た撤去完了時の状況

6. 新旧コンクリート間に絶縁材を塗布したマクロセル腐食対策の試験施工

内在塩分を有する鉄筋コンクリート構造物において表面付近の劣化部コンクリートを除去し断面修復した場合、新旧コンクリート間の塩分濃度の差によりマクロセルが形成され、鉄筋の腐食が促進される。この対策として劣化コンクリート撤去後の既設コンクリート面に、シラン系またはシランシロキサン系絶縁材を塗布し、新旧コンクリート間の電気抵抗を大きくしてマクロセルの形成を抑制する新たな鉄筋腐食防止工法を開発した。本工法の妥当性については、既に室内試験および現場試験施工により鉄筋腐食の抑制効果を確認しているが¹⁾、実橋において本工法を実施した場合の新旧コンクリート接合面の接合強度、および絶縁層の浸透深さとその経時挙動を確認するため、実施工を模した試験体による施工試験を実施した。さらに、施工後1年を経過した時点で、腐食抑制効果の持続性を確認するため絶縁材の浸透深さを計測した。以下にこれらの結果について報告する。

模擬試験体による現場施工試験の試験体は、平面形状 4000mm×2000mm、厚さ 100mm の母材となる下地コンクリートの上面をウォータージェットではつり取り、はつり面にシラン系ならびにシランシロキサン系絶縁材を塗布した後、その上に補強鉄筋 D32@125mm と D16@200mm を格子配置し、厚さ 180mm の新設コンクリートを打設した。この試験体より継ぎ足しコンクリート打設後 1 週目と 4 週目にコア削孔を行い、供試体を作製し、接合面の付着強度および絶縁材の浸透深さの経時変化を測定した。材齢 1 週目および 4 週目において建研式付着試験を実施するとともに、1 週目、4 週目、および 1 年 6 ヶ月経過後において絶縁材の浸透深さを測定した。材齢 1 週目および 4 週目における建研式付着試験の結

果を図-5 に示す。これによれば、シラン系およびシランシロキサン系絶縁材のいずれも建研式付着試験基準値である 1.0N/mm² 以上の付着力を有していることが確認できる。材齢 1 週目および 4 週目、さらに 1 年 6 ヶ月経過後における絶縁材浸透深さ測定値を図-6 に示す。

これより、絶縁材の浸透深さは 1 週目から 1 年 6 ヶ月経過時点まで経時変化することなく、ほぼ 10mm 程度の一定層を確保していることが確認できる。また、浸漬試験から、浸透層は絶縁材塗布後 1 年 6 ヶ月経過した後も十分な遮水効果を保持することが確認された。これより、シラン系またはシランシロキサン系絶縁材を新旧コンクリート間の打継面に塗布しても打継面の付着強度の低下はなく、浸透層の経時変化も微小で、その絶縁性を保持することが明らかとなった。

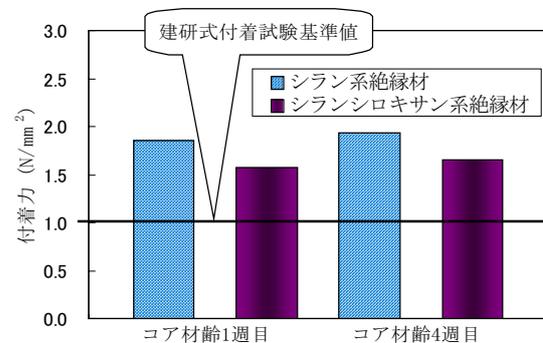


図-5 建研式付着力試験結果

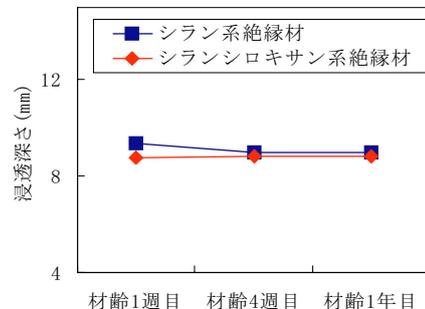


図-6 絶縁材の浸透深さ

【参考文献】

- 1) 平石陽一, 宮里心一, 他: 内在塩分を有する鉄筋コンクリート橋のマクロセル腐食を考慮した補修, 土木学会第 61 回年次学術講演会 2006,9

4. 急斜面コンクリート打設における 機械化施工による合理化、コスト縮減について

前田道路(株)：○宇田川 健治、平塚 茂、内山 伸一郎

1. はじめに

近年我が国では、コスト縮減の観点から、道路脇の法肩などにシールコンクリート工を施工し、毎年の除草作業を省略、維持管理費の縮減を図る手法が各地で実施されている。

当社は、従来からスリップフォームペーパーによる斜面シールコンクリート工（防草、路肩保護、護岸等）を施工しており、H17年度の本シンポジウムでも既報りで一部を紹介した。成果はあるが課題もある。モールド前方の材料抱え込み量が多量になる問題、斜面下方端部からの材料噴出の問題等が課題である。

斜面シールコンクリート工の課題解決の見通しを探るため、RCコンベア及びシリンダーフィニッシャーの編成を用いて、急斜面で2回に分けて（勾配1:1及び1:1.5）試験施工を実施した。これらを通して、本編成による斜面施工の課題を抽出し、実現場への適用可能性について検討を加えた。その概要と結果について紹介する。

2. 施工編成と仕様

材料供給は、米国GOMACO社製RCコンベアを使用した。外観を写真-1に、主要諸元を表-1に示す。走行装置は2クローラ方式で、左右クローラの速度差によりステアリングを行う。材料は、上部ホップより受け取り、ベルトコンベアで下方に運搬する。フレームに設置されたレール上を、デフレクタ（材料そらせ板）の取り付けられたキャリッジ（運搬台）が横行し、材料をシュートにて施工面へ分配する。

当社現有機では、施工幅員13.11mであるが、オプションの追加により最大42mまでの施工が可能である。

敷き均しは米国GOMACO社製シリンダーフィニッシャーを使用した。外観を写真-2に、主要諸元を表-2に示す。



写真-1 RCコンベア（勾配1:1）

表-1 RCコンベア 主要諸元

| | |
|-------------|----------------------------------|
| 施工幅員（当社現有機） | 5.79 m ~ 13.11 m |
| 総質量 | 3320 kg ~ 4952 kg |
| エンジン定格出力 | 52.2 kW / 2100 min ⁻¹ |
| 受け入れホップ高さ | 0.9 m |
| ベルト幅員 | 610 mm |
| ベルト速度 | 160 m / min |
| デフレクタ横行速度 | 39 m / min |



写真-2 シリンダーフィニッシャー（勾配1:1.5）

元来、シリンダーフィニッシャーは橋梁床版のコンクリート打設のために開発されたが、現在はアタッチメントを取り付けることにより、橋面スラブ、道路舗装、運河舗装、河川堤防、工場等スラブ舗装、浄水場、フィルダム、貯水池、テニスコート等、多様なコンクリート舗装に使用する事が出来る。また、シリンダーフィニッシャーへの材料供給には、RC コンベアを使用することにより、平坦部はもちろん、斜面での材料供給能力にも優れている。

走行装置はRC コンベア同様の2クローラ方式で、左右クローラの速度差によりステアリングを行う。舗設高さの調整は左右の脚を昇降させて行う。フレームに設置されたレール上をオーガ、平面振動機、シリンダー、フロート等の取り付けられたキャリッジが横行し、敷き均し、締固め及び、表面仕上げを行う。

また、ステアリングおよび仕上がり高さのコントロールは、センサーラインを張ることにより自動制御が可能である。自動制御部を写真-3に示す。

RC コンベア同様、当社現有機では、施工幅員13.11mであるが、オプションの追加により最大施工幅員42mまでの施工が可能である。



写真-3 ステアリング及びグレードセンサ

3. 試験施工の概要

本文で紹介する2件の試験施工概要を表-3に示す。施工場所は当社機械センターの構内で、広さ・目的・費用等を検討して施工計画を決定した。両施工ともに、勾配によるコンクリート滑落を防止するための金網等を設置することなく、材料分離抵抗性を有する混和剤

だけを使用した。

この混和剤は、材料中のセメント粒子間に存在する遊離水に作用する。骨材の分離抑制効果と、斜面でのコンクリートのダレを抑制する粘りの効果を有するとともに、バイブレータ振動が加わったときには流動性が向上する等の効果も有し、相反する特性を合わせ持っている。

表-2 SL-650 主要諸元

| | |
|-------------|----------------------------------|
| 施工幅員(当社現有機) | 5.79 m ~ 13.11 m |
| 総質量 | 5724.4 kg ~ 6642.5 kg |
| エンジン定格出力 | 37.3 kW / 2800 min ⁻¹ |
| キャリッジ横行速度 | 42 m / min |
| 敷き均しオーガ | φ254 mm× 610 mm |
| 仕上げシリンダー | φ254 mm×1219 mm |
| シリンダー回転数 | 353 min ⁻¹ |
| バイブレータ振動方式 | 一軸偏心式 |

表-3 試験施工概要

| | 第1回 | 第2回 |
|-----------|--------------------|--------------------|
| 施工実施日 | 2006. 10. 4 | 2007. 6. 6 |
| 施工延長 | 10.0 m | 30.0 m |
| 施工法長 | 5.0 m | 2.5~3.0 m |
| 施工厚さ t | 10 cm | 10 cm |
| 打設量 | 5.0 m ³ | 9.0 m ³ |
| 法勾配 | 1:1 | 1:1.5 |
| コンクリートの配合 | 18-5-25N | 24-5-20N |

4. 第1回試験施工

4-1. 第1回試験施工の目的

当社においては、シリンダーフィニッシャーによる斜面の施工は、今回が初めてであった。よって、どの程度の急勾配まで施工可能であるかを把握するべく、勾配1:1(45°)の急斜面を設定した。

当社機械センターの敷地内に、延長10.0m×法長5.0mの斜面を、盛土によって構築した。RC コンベアへの材料の供給は法面上部から行うが、今回の試験施工用の盛土は小規模であり、アジテータトラックが法面上部へ進入する事はできない。よって、移動式クレーンとバケットを使用し、RC コンベアのホップへ材

料を投入する方法を採った。また、RC コンベアの構成上、そのシュートが斜面最上部までは横行できない。そこで、その斜面上部にはバケットにて直接材料を供給することにした。標準断面図を図-1に示す。

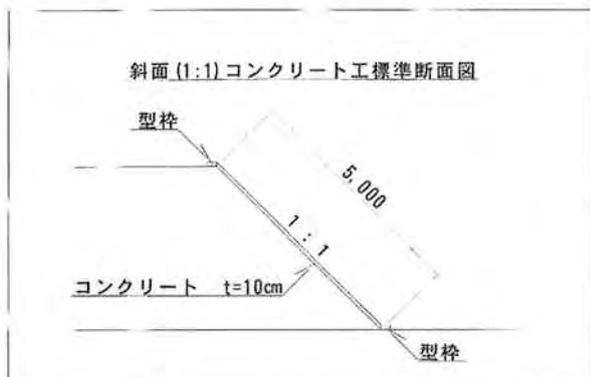


図-1 標準断面図 (第1回)

4-2. 第1回試験施工の結果

2006年10月4日、アジテータトラック2台、計5m³を舗設した。施工状況を写真-3に示す。シリンダーフィニッシャーにより敷き均し～表面仕上げまで行われた斜面は、十分平坦な仕上がりが得られ、次の点を確認できた。

- (1) 本施工編成による勾配1:1 (45°) の施工は可能。
- (2) コンクリート滑落防止の鉄筋等を敷設することなく、混和剤を使用する配合で当該施工は可能。
- (3) 施工性を向上させるためには、RC コンベアのホッパへの材料供給方法が課題。
- (4) 斜面上部まで材料を効率的に供給する方法は課題。
- (5) 斜面投下時にコンクリート材料の滑落が発生し、施工性を低下させる。この解決方法は課題。



写真-4 後方から見た施工状況

5. 第2回試験施工

5-1. 第2回試験施工の目的

前回の課題解決と、現実的な斜面勾配における施工性の把握を目的とした。急勾配ながら前回より傾斜の緩い1:1.5の勾配とし、延長を30mに長くとした。

材料供給課題の対策として、RC コンベアのキャリアッジの横行範囲を上方まで確保するべく、斜面上部側の横行フレームを延伸させた。これにより、受け入れホッパ高さは約2mになった。アジテータトラックから受け入れホッパへの直接供給は不可能であるため、別途横取り機を介して材料を供給する方法を採った。

斜面投下時にコンクリート材料が斜面上を滑落する対策として、RC コンベアのシュート下部に滑落防止アタッチメント (写真-5参照) を追加した。



写真-5 滑落防止アタッチメント

5-2. 第2回試験施工の結果

2007年6月6日、アジテータトラック3m³×3台、計9m³を舗設した。標準断面図を図-2に示す。

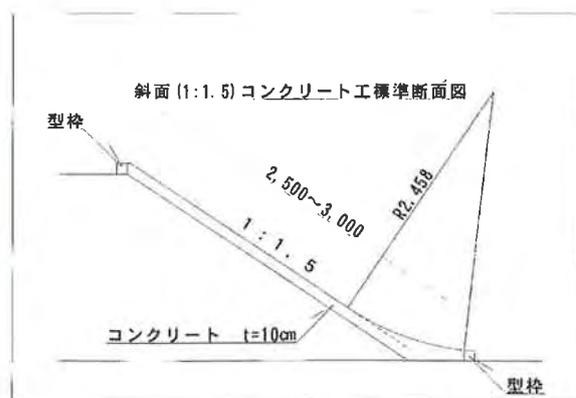


図-2 標準断面図 (第2回)

RC コンベアに追加した滑落防止アタッチメントの効果は大きく、斜面投下時にコンクリートが滑落することはなく、円滑な撒きだしを行うことができた。なお、斜面の下方側から上方側へ向かって材料を投下すると、更に滑落が防げることも判明した。

また、RC コンベアの横行フレームを延長させた結果、斜面最上部まで材料を均一に供給することができ、前回試験施工の課題は解決できた。

RC コンベアから、斜面上に分散して荷降ろしされたコンクリートは、横断方向に均一になるようオーガにより敷き均され、後方のシリンダー（振動機内蔵）がコンクリートを締め固めるとともに表面仕上げを行う。施工状況を、写真-6、写真-7に示す。

およそ3時間で打設を完了し、満足できる仕上がり結果（写真-8 参照）を得た。しかし、新たな課題も発見された。主な課題は下記である。

- 1) 法尻側の曲線部には推定以上に材料が消費された。
事前に食込量を的確に考慮する課題。
- 2) 機械施工後のコテ仕上げの労力が平坦部施工に比べて大きい。負担を軽減する足場等の改良が課題。
- 3) 誘発目地の設置方法の課題。
- 4) 最適の配合の追求、および混和剤添加の最適タイミングを把握する課題。
- 5) RC コンベアへのより効率的な供給方法の課題。

6. おわりに

2回の試験施工を通し、RC コンベアとシリンダーフィニッシャーの編成によるシールコンクリート工は相当な急斜面でも良好な仕上がりを得ることができ、実現場へも十分適用可能である見通しがついた。残った課題は経験を重ねながら解決することが可能と考えており、既に取り組を開始した課題もある。

シリンダーフィニッシャーを使用した当社実績では、道路トンネルコンクリート舗装において、従来のセットフォーム工法に比べて平坦性を30%以上向上させた例がある。多様なコンクリート施工に適用でき、施工性向上と工期短縮によるコスト削減を期待できる。改善改良を重ね、技術提案等も含め、様々な現場に活用を図っていきたいと考えている。

最後に、今回の試験施工に多大なご協力頂いた荒山重機工業（株）殿に深く感謝申し上げます。



写真-6 オーガ及び、シリンダ部施工状況



写真-7 後方から見た施工状況



写真-8 打設完了

【参考文献】1) 山内,菊地,内山:スリップフォーム工法の応用施工例と供給方法の改善,平成17年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集

5. 道路法面の健全性評価に関する取り組みについて

国土交通省 近畿地方整備局 近畿技術事務所 山本 剛、糸川 政孝、
○船曳 誠二

道路法面健全性評価の背景

我が国の道路は高度経済成長に伴うモーターゼーションの進展に合わせて整備されてきたが、供用後35年を経過するものも多く、老朽化が進展している。しかし国の財政事情も悪化し、道路投資は大幅に減少している。さらに近年、時間雨量が増加するなど、異常気象が多発してきており、国民の安全・安心を確保する意味からも効率的、効果的な道路の的確な保全が求められている。

このような背景から近畿地方整備局では、道路法面・斜面を良好に保ち、災害を未然に防止するために、道路法面の健全性評価方法について平成17年から「道路法面健全性評価検討委員会」を組織して検討を進めている。

道路法面健全性評価手法について

法面は建設直後から様々な要因により、長期的に見ると劣化が進行している。この法面を工学的なモデルの基に構築し、その健全度を評価し、新しい道路法面維持管理技術の確立を目指すものである。

健全性評価手法の検討は、大きく二つの技術的な課題を持っている。

ひとつは、地下水と力学を連成させた数値解析法による健全性評価方法である。これは維持管理すべき道路法面について、地域特性に基づいて法面をモデル化

し、FEM解析より得られる安全率を健全性として評価することを考えている。さらに、法面を長期にわたって「見る」場合に、法面のどの場所をどのような方法で(どのパラメーターで)計測し続けたら良いのかを科学的に検証するためにも利用する。

ふたつ目は「見る」手法である。これには、二つの分野を利用する。

ひとつは物理(非破壊)探査技術を用いて、法面の現状の健全性に係わる地下の情報を取得する。長期的な劣化を表す地下の物性値の変化を捉えることを目標として、道路法面の健全性を的確に評価できる探査手法を提案する。

もう一つは、法面の変位をモニタリングする手法である。FEM解析で採択した計測すべき適切な場所を適切な方法で計測することで、法面の健全性の低下を検出することが出来るようにする。

このような観測結果と降雨量や法面表面近くの含水量変化とを連携することが出来れば、降雨量の多少により広い範囲にわたり、法面の健全性の低下を予測することができる可能性がある。将来的に法面の健全性の低下が予測できれば、ライフサイクルコストの算出に繋がり、アセットマネジメントシステムの適用も可能となる。

これらの提案内容について委員会に諮り検

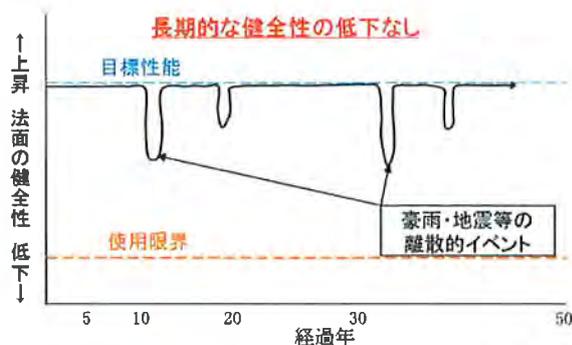


図1 法面健全性の従来の考え方

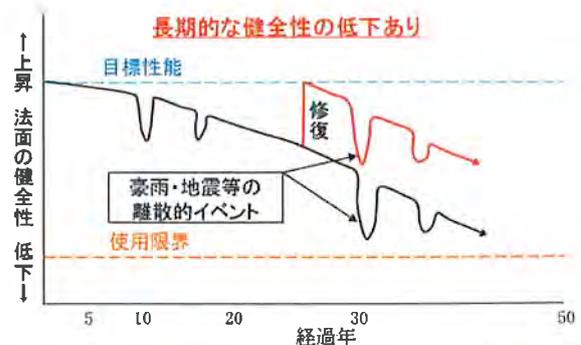
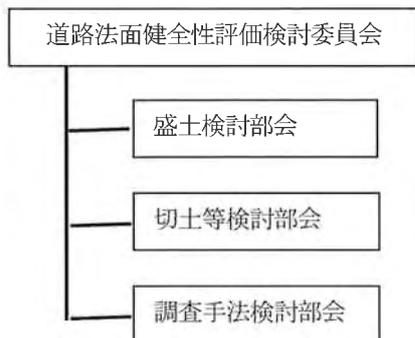


図2 法面健全性の新しい考え方

討・評価を実施している。

委員会の構成

委員会は、京都大学大学院工学研究科大西有三教授を委員長とし、学識委員、国交省職員の計11名とアドバイザー1名で構成している。委員会の下には、盛土検討部会、切土等検討部会、調査手法検討部会の3つの部会を設置しており、民間の建設コンサルタント協会、物理探査学会の方々も参加している。



各部会の検討内容

盛土検討部会、切土等検討部会では、道路法面の健全性評価項目の整理・分析及び評価手法やその調査手法・モニタリングについての検討を行い、平成8年度防災点検データや毎年調査している防災カルテ及び道路防災ドクター制度での成果などから、法面の健全性を評価するための着目箇所を抽出・整理している。また、法面は地下水の影響、地山の緩みなどによって時間経過とともに健全性が低下することを科学的に説明するモデルを作成し、解析を進めている。

調査手法検討部会は、法面の内部(目に見えない部分)の健全性を評価する手法を検討するため、比較的短時間で安価に調査できる物理探査による手法に着目し、広く一般から技術提案を募り、現地



図3 物理探査技術評価・検証フロー

実証試験を行い、

その結果について評価・検証を実施している。

物理探査技術の選定・評価方法

物理探査技術の評価のための現地実証試験の箇所として、近畿での多雨地域である和歌山県南部の国道42号の法面3箇所を選定した。

地点(1)：比較的急峻なコンクリート吹付切土法面。

地点(2)：比較的緩やかなコンクリート吹付切土法面。

地点(3)：過去に崩壊履歴があるコンクリート張盛土法面。

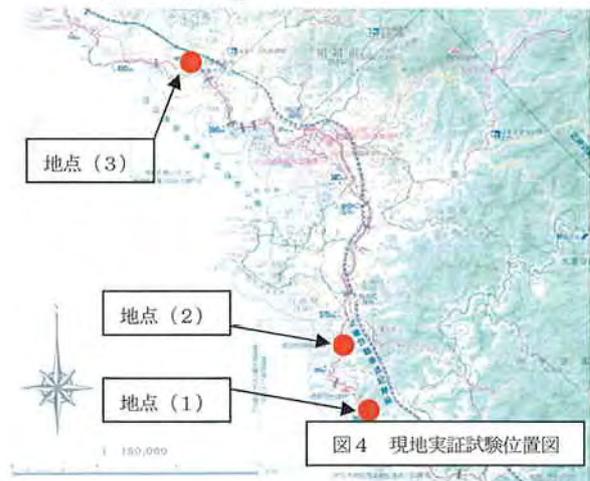


図4 現地実証試験位置図



写真1 地点(1)



写真2 地点(2)



写真3 地点(3)

探査対象項目は、次の3項目とした。

- ①土や岩盤の物性値
- ②地層境界・空洞・不均一性の有無
- ③地下水位

現地実証試験を行う物理探査技術等の選定については、広く一般から技術を公募した結果、16社からの応募があった。

現地実証試験応募企業の審査を実施し、応募16社全社が選定され現地実証試験を行った。

現地実証実験は、前記の法面において、特定したポイントの探査を、各社がそれぞれの技術を使って調査し、調査結果を解析することとした。

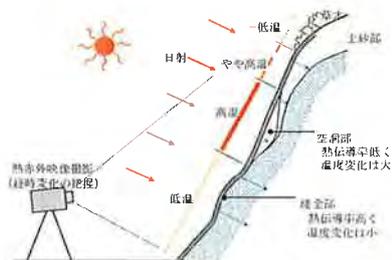


図5 熱赤外線探査原理



写真4 熱赤外線探査状況



図6 打音調査原理(ウェーブレット法)

表1 現地実証試験実施工法一覧表

| 会社名 | 実施地点 | | | 実施工法 | | |
|-----|------|-----|-----|---|----------------------|------------------------|
| | (1) | (2) | (3) | 工法① | 工法② | 工法③ |
| A社 | | ○ | | 熱赤外線調査 | 3次元レーザー形状計測 | |
| B社 | | ○ | | 地上レーザー計測 | (赤色立体地図を用いた画像解析) | |
| C社 | ○ | ○ | | 可視連続画像・熱差分画像による広域老朽法面の一括調査 | | |
| D社 | | ○ | | ・3Dデジタル画像によるクラック調査 マルチ周波FDEM探査法による地山地質調査 | ・赤外線映像法によるモルタル背面空洞調査 | ・たわみ振動方によるモルタル背面の密着性調査 |
| E社 | ○ | | | 地下レーダー探査 | 電気探査 | |
| | | ○ | ○ | 地下レーダー探査 | 電気探査 | 表面波探査 |
| F社 | ○ | ○ | | 熱赤外線探査(映像)法 | | |
| G社 | ○ | ○ | ○ | TDEM(比抵抗測定)、地中レーダー及び磁力計の同時測定(浅部地下異常探知システム) | | |
| H社 | ○ | | | 熱赤外線映像法 | IP電気探査 | 屈折法(高密度法)弾性波探査 |
| | | ○ | | 熱赤外線映像法 | | |
| | | | ○ | IP電気探査 | 屈折法(高密度法)弾性波探査 | |
| I社 | | | ○ | 表面波探査法 | | |
| J社 | | ○ | | ウェーブレットを用いた打音調査方法 | | |
| K社 | ○ | ○ | | 赤外線カメラによる調査 | 可視&赤外線連続画像システムによる調査法 | |
| | | | ○ | 表面波探査 | | |
| L社 | ○ | ○ | ○ | 熱赤外線映像法 | VLF-EM探査法 | |
| M社 | ○ | | | 地中レーダー法(パルスレーダー法) | | |
| N社 | ○ | ○ | ○ | 弾性波探査(P波S波による屈折法・反射法地震探査解析) | | |
| O社 | ○ | ○ | | 熱赤外線映像法 | | |
| P社 | ○ | | | 連続波レーダー探査(プロファイル法) | | |
| | | | ○ | 連続波レーダー探査(プロファイル法)(ワイドアングル法) | | |

の老朽化を判定する技術である。

表面波探査

地盤を伝わる表面波(レイリー波)を測定・解析することにより、深度 20m 程度までの地盤の S 波構造を求める技術である。

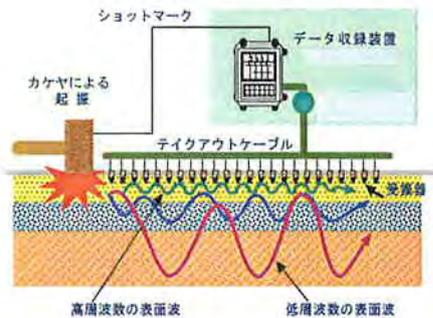


図7 表面波探査原理



写真5 表面波探査状況

地中レーダ探査

アンテナから地中に向けて発射された電磁波が、電磁気的性質の異なる物質の境界面で反射する特性を利用して地下構造を探索する技術である。



写真6 地中レーダ探査状況

弾性波探査

土木地質調査で用いられる一般的な手法で、地盤を弾性波速度によって速度層区分し、風化、変質、亀裂の過多について、数十 m の深さを断面で評価する技術である。

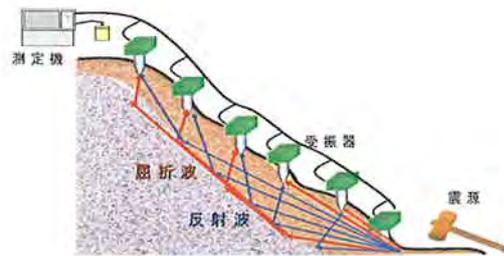


図8 弾性波探査原理

物理探査結果の整理

実施された現地実証試験は、表面部分に現れる状況の評価と深部の状況を探索する手法に大別される。

表面部分に現れる状況を評価する手法の代表的なものとして、熱赤外線探査が数社により行われている。熱赤外線探査は、法面の表面温度の変化から背面の空洞や地下水を把握しようとするものである。同一メーカーの赤外線カメラであるにもかかわらず、撮影時間、撮影時の気温・気象等の条件の違いや解析・解釈方法の違いにより、診断結果は各社で異なる点も多く見られた。最適な撮影時間、気温等の諸条件や解釈技術の確立など、統一的な探査手法を検討する必要があると思われる結果であった。

深部の状況を探索する手法としては、弾性波探査、表面波探査、電気探査等が実施されている。解析された地質構造等には、探査手法や評価・解析方法による差が見られるため、今後の現地確認調査により各技術の評価が必要である。

今後の予定

物理探査技術の選定・評価については、別途実施する現地確認調査(ボーリング調査等)を基に、調査手法、安全性、調査結果の精度(土質・地質、地質構造、地下水位(切土法面では地下水や水みちの有無))等の探査精度項目について、公表した評価基準によって評価を行う予定である。評価結果の優秀なものは、道路法面の健全性を的確に評価できる探査手法として提案できるものと考えている。

そして、これらを受けて法面の健全性評価方法の検討を進めていくこととしている。

6. 多連注入ポンプと集中管理装置による三次元急速浸透注入工法

○三信建設工業(株) : 小泉 亮之祐
強化土エンジニアリング(株) : 小山 忠雄

1. まえがき

1995年兵庫県南部地震以来、新設構造物だけでなく既設構造物の液状化対策がもたれられてきている。

薬液注入工法は、小型機械で施工が可能で、大きな騒音・振動を伴わないことから、既設構造・施設を稼働しながら施工できるメリットがある。

しかし、薬液注入工法は他の大型機械を使用する液状化対策工法と比較してコスト的に劣るため、以下の3つの方法で、コスト削減を図ってきた。

- ・注入管ピッチを大きくすることで削孔本数を減らし、削孔コスト削減。
- ・注入管の構造を工夫して、吐出量(注入速度)を多くして工期の短縮。(急速浸透注入)
- ・必要な強度に合わせて、注入材(恒久グラウト)の濃度を変えることで、材料費の削減。

今回、これらの方法に加え。小型の注入ポンプと圧力流量測定装置8セットを1台のユニットにまとめ、この操作と注入管理を1台の集中管理装置で同時に行うことが出来る、一括管理システムの開発により、省力化を図ることが出来き、更なるコストダウンが可能となった。

本論文では、急速浸透注入に用いられる注入管と、新たに開発した多連注入ポンプと集中管理装置の特徴と効果について報告する。

2. 急速浸透注入に用いられる注入管

本工法は、基本的にはダブルパッカ工法に分類されるもので、ボーリングにより地盤中に注入外管を建込み、これをシール材で地盤に固定し、注入外管の中にパッカ付きの注入内管を挿入し注入を行うことは同じであるが

- ・大吐出量を可能にする注入外管¹⁾²⁾

- ・複数ステージ同時注入可能な注入内管³⁾

の使用により、一般的なダブルパッカ工法より高効率な施工を可能にしている。

2.1 大吐出量を可能にする注入外管

薬液注入による液状化防止の原理は、土粒子中の水を薬液を注入することで、薬液と置き換え、置き換わった薬液がゲル化することで液状化を防止するものであるため、注入は薬液が土粒子間に浸透する浸透注入でなければならず、浸透注入を行うためには、地盤の透水性(流速)を越えない吐出量以下で注入しなければならない。

従来のダブルパッカ工法では、注入用外管の直径を有効径とする小さな球状浸透源からの浸透注入であるため、吐出量を多くすると流速が早くなり、浸透注入を行うためには吐出量を多く出来なかった。(図-1)

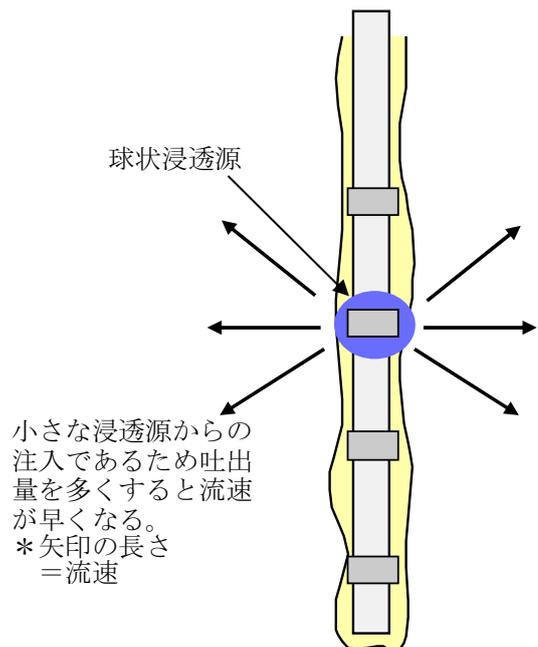


図-1 球状浸透源による浸透モデル

本工法では注入用外管に取付けられた袋パッカ内に懸濁液を注入し削孔径より大きく膨張させ、膨張させた上下の袋パッカ間に大きな柱状浸透源を構築することで、吐出量を多くしても流速が早くならず、従来のダブルパッカ工法より大きな吐出量で浸透注入が可能となった。(図-2)

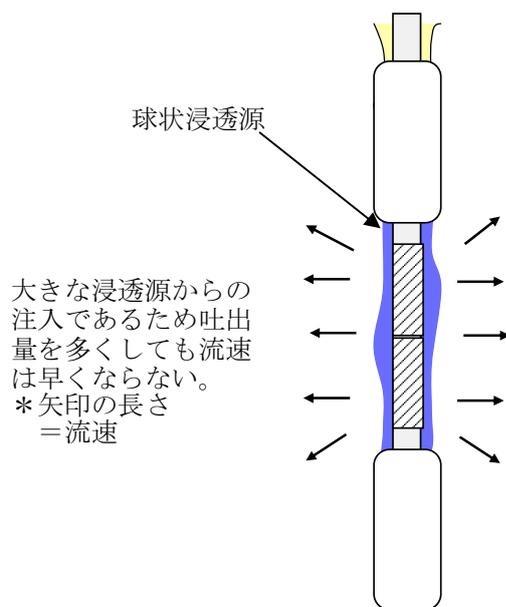


図-2 柱状浸透源による浸透モデル

2.2 複数ステージ同時注入可能な注入内管

本工法で使用される2ステージ同時注入可能な注入内管は、1台の注入ポンプ、1本の注入ホースで2ステージ同時注入できるためポンプ1台当りの施工能率を高くすることが出来る注入内管であり、本工法の特徴の1つである。

この注入内管は図-3に示すように、2つの吐出口(以下、ノズル)をはさんで3つのパッカを備えている、これらのパッカは従来のダブルパッカ工法の注入内管のようにパッカを膨張させるための空気供給システムを必要とせず、注入材を吐出することによってノズル部分で急縮による圧力損失が生じ、注入内管(パッカ)と注入外管に圧力差が生じてパッカが膨張する。

また、この圧力差によって、2つのノズルから出る注入材の吐出量は、注入圧力に影響されず、吐出量は等量を保つことが出来る。

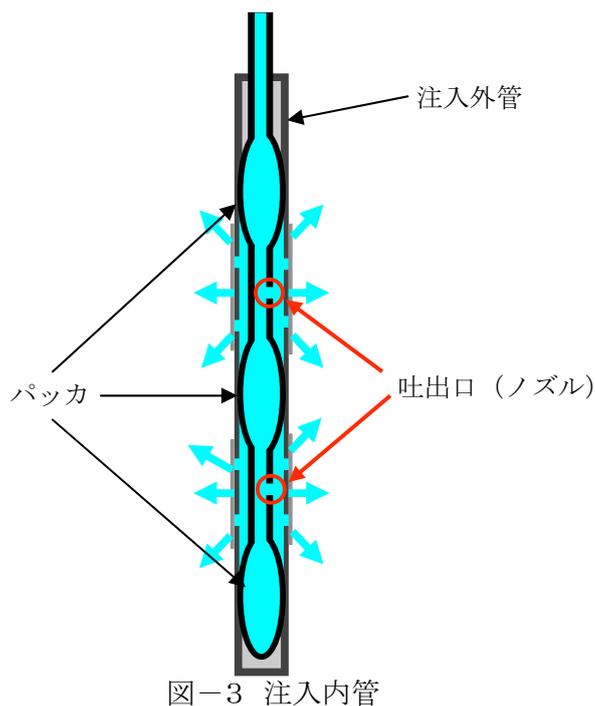


図-3 注入内管

3. 多連注入ポンプと集中管理装置

3.1 多連注入ポンプの特徴と効果



図-4 多連注入ポンプ

① 小型注入ポンプの特徴

ユニットを構成する小型注入ポンプは、ダイヤフラムポンプを採用した、その特徴は

a) 小型軽量

現在薬液注入ポンプの主流であるプランジャーポンプと比較して小型軽量でありユニット全体の小型化に貢献している。

b)懸濁型注入材の注入が可能

小型軽量であっても溶液型のみならず、懸濁型注入材の注入が可能である。

c)注入時の脈動がない

d)吐出量が、5～30l/分の間で調整可能

吐出量の調整幅が大きいため広範囲の土質に適応できる。

e)簡単な構造

簡単な構造なので分解・組立てし易くメンテナンスが楽である。

②段取りの省力化

現場に設置したら、電源を繋ぎ、注入ホースを繋げば即注入が可能である、段取り時間は作業員の経験や能力に左右されない。

③省スペース

従来の注入プラントであれば、8セットの注入ポンプと流量計を置くためのスペースは、最低 4m×6m程度必要であるが、多連注入ポンプはこれを幅2m、長さ3mの中に収めているため、通常では設置不可能なスペースでも設置できる。(図-5)



図-5 多連注入ポンプの設置例

3.2 集中管理装置の特徴と効果

①集中管理による省力化

タッチパネルに8セット分の注入ポンプと流量計の操作を集約することで、1人で8セットの管理を可能にすることが出来た。

従来の注入プラントで、1人の作業員が余裕を持って管理可能な流量計のセット数は3～4セットとされている、これは作業員が動かずに流量計と注入ポンプのスイッチに手が届く範囲にあるセット数である。



図-6 集中管理装置と操作状況

②計画注入量の入力による自動運転

各注入孔毎の計画ステージ数、ステージ毎の計画注入量が入力でき、注入時は各ステージの計画注入を終了した時点で自動的に、ポンプを停止し、流量計を中絶状態にし、人為的ミスによる無駄な注入を防止できる。また、あるステージから注入量が変わる場合でも入力データに従って自動的に注入量を変えるので、人為的ミスによる注入量の過不足を防止できる。

③管理注入圧力の入力による自動停止

管理注入圧力を入力することで、管理注入圧力を超えると自動的に注入ポンプを停止し、ブザーとディスプレイに注入異常を知らせるメッセージを点滅させる。また、管理注入圧力を超えてから注入ポンプ停止までの時間も設定できる。

④チャート紙を使用しないP-Qデータの記録

これまでチャート紙に記録されていた、P-Qデータは、孔番、施工日、注入量、ステージ数等のデータと共に、注入完了後、集中管理装置にセットされてい

る、コンパクトフラッシュに直接エクセル形式のデータとして書き込み・保存される。

コンパクトフラッシュに保存されたデータは、パソコンに取り込み、P-Q データとして見ることができる。(図-7)

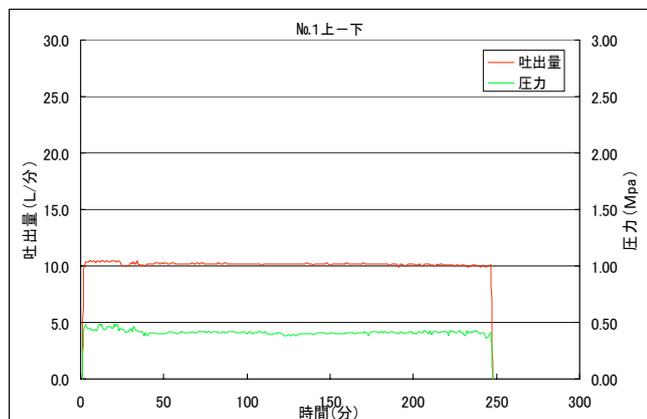


図-7 P-Q データ出力例

今後 P-Q データは、チャート紙に代わり、デジタルデータとして保存し、見やすいサイズに加工して出力するようになって考えている。

特に、液状化対策工法としての薬液注入は1ステージ当りの注入量が 10,000ℓを越えることも珍しいことではなく、これを従来通りのチャート紙に記録しても長さが 1.5m程度になるため決して見やすいデータとはならないので、この方法が適している。

⑤パソコンによる注入日報の作成

P-Q データと共にコンパクトフラッシュに保存された注入データは、パソコンに取り込み P-Q データと分離し、施工日毎に分けて、注入量、ステージ数等を集計し、日報及び材料受払いの作成ができる。

パソコンで機械的に集計、計算を行うため、日報作成に伴う人為的ミスを防ぐことができる。

また、この日報作成ソフトは、VBA (Visual Basic for Applications) で作成されているので、現場や企業者により日報の書式が変わっても、VBAの知識が少しあれば、ベースになる日報用紙の書式はエクセルで編集できるので、あとは行数や注入量、注入圧力、材料入荷量・使用量等のデータを書く位置の違い程度であれば、プログラムを数行修正するだけで

充分対応可能である。

4. まとめ

急速浸透注入に用いられる注入管と、新たに開発した多連注入ポンプと集中管理装置の特徴と効果について報告した。

注入管の構造も含めて、ハード面に緊急の課題は見当たらないが、ソフト面では改良すべき点がある。データの入力方法等、ソフトの使い勝手に係わるものであるが、このようなシステムを作ることに対する経験不足が原因で使ってみるまでは良く判らなかった部分である。

人為的ミスを防止する上で重要な部分である。まだまだ試行錯誤的な部分が多くあるが修正を加えながら使い勝手の向上を図っていきたい。

参考文献

- 1)後藤博子、島田俊介、小山忠雄、米倉亮三:柱状浸透注入工法におけるソイルパッカの研究 第 39 回地盤工学会研究発表会 2004.7
- 2)塚本信夫、米倉亮三、島田俊介、小山忠雄:ソイルパッカを用いた柱状浸透注入工法による野外実験 2004.9
- 3)島田俊介、川井俊介、鈴木毅彦、小泉亮之祐:既設構造物直下の薬液注入工法の開発(その 1)セルフパッカシステムの開発 土木学会第 60 回年次学術講演会 6-256-2005.9

7. 除雪トラック用投雪制御装置の開発

国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所 機械課長 新田 哲雄
機械課 整備係長 ○加藤 禎

1. はじめに

積雪寒冷地における冬期道路交通の確保は極めて重要である。積雪が通行車両により踏み固められ圧雪化する前の軽い雪を除雪機械で路外に排除する新雪除雪は、降雪の初期段階においては非常に効率的な除雪工法であり、機動性のある除雪トラックは新雪除雪の主力機械である。



写真1 除雪トラック作業状況



写真2 人家連担部の作業状況

しかしながら、除雪トラックのフロントプラウによる除雪作業時は投雪距離が大きいために、沿道の都市化が進んだ近年では、沿線家屋や歩行者に配慮して低速での作業を余儀なくされており、高速除雪という本来の機能を発揮することが困難な状況にある。また、作業速度が低下することにより、作業時間の増加と相まって交通渋滞等の要因ともなっている。

このような背景から、人家連担部におけるプラウ作業の作業速度の向上と除雪作業の更なる安全確保を目

的として、除雪トラックフロントプラウ用の投雪制御装置の開発を実施している。

本報告では、試作機の製作に至るまでの取組とフィールド性能試験について報告する。

2. 開発目標値の設定

除雪トラックによる除雪作業について実態調査を行った結果、東北地方整備局管内の除雪区間のうち約3割についてフロントプラウによる投雪が困難な箇所があり、殆どがフロントプラウを使用しないか、速度を低下させて作業を行っている実態が明らかになった。

こういった箇所での投雪を抑え、作業速度を低下させることなく、連続的な作業を可能とする装置を今回の開発目標としている。

ここで、開発目標値を設定するにあたり、プラウ左端から投雪の着地点までの距離を「飛雪距離」、その最大到達点までの距離を「投雪距離」、また、投雪の軌跡における最高到達点までの高さを「掻上げ高さ」とそれぞれ定義する。(図1)

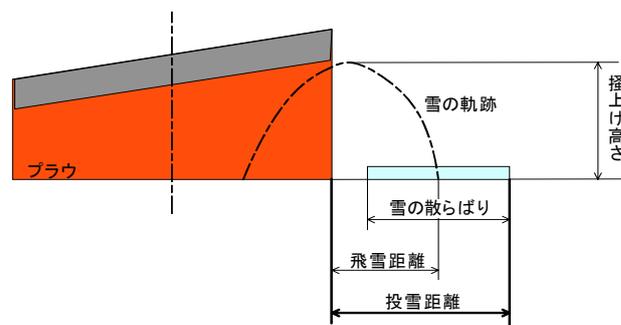


図1 用語の定義

除雪トラックによるプラウ作業の実態として、投雪が歩行者に接触したり家屋を破損する事例があることから、今回は投雪距離に着目し、道路構造令で規定されている都市部国道(4種1級)の歩道と路肩を合わせた幅員2.5mに対し、除雪トラックの標準的な作業速度である30km/h時に、歩行者空間を配慮して、投雪距離を2.0m以内に抑制することを目標値として設定した。

3. 開発構想

開発装置には、人家連担部などでは投雪距離を抑制し、郊外や山間部などの抑制の必要がない区間では抑

制効果の解除が可能で、なおかつ従来と同等の除雪能力が要求されている。

また、人家連担部では路線に間口が連続しているか点在しているか等、様々な現場条件が予想されるため、短時間で抑制の切換操作が必要となる。

以上を考慮し、投雪制御装置の開発構想を次のとおりとした。

- ①経済性や普及性の観点から、投雪制御装置は東北地方整備局管内に多く普及している従来型ワンウェイプラウに装備可能な構造とする。
- ②抑制解放時は、従来型ワンウェイプラウの除雪性能を低下させない構造とする。
- ③投雪制御方式は、投雪を直接衝突させて抑制する投雪抑制板（デフレクタ）方式を採用する。
- ④投雪制御は運転席から簡単な操作で即時に行える構造とする。



図2 開発装置イメージ

4. 投雪制御装置の実験

4.1 模型実験

投雪距離の抑制に最適なデフレクタの形状と取付位置の検討を行うために、スケールダウンしたプラウ模型を用いて模型実験を実施している。

表1 実機と模型の縮尺関係

| | 単位 | 実機 | 模型 | 備考 |
|-------|------|------|-----|----------|
| プラウ幅 | mm | 3680 | 736 | |
| 標準作業幅 | mm | 2900 | 580 | |
| 作業速度 | Km/h | 30 | 13 | フルード数を適用 |

今回の実験では模擬雪としてオガ屑を使用しており、ある程度含水させて新雪と同等の密度となるよう調整している。

<参考> 新雪の密度: 0.2g/cm³

しまり雪の密度: 0.3~0.4g/cm³

模型実験において抑制に効果的なデフレクタ面積と取付位置の検討を行った結果から、実機実験で用いるベース形状を決定した。（写真3右）



写真3 模型実験状況(左)とベース形状(右)

4.2 実機用のデフレクタ形状

前項において提案されたデフレクタ形状を基に、更に面積を縮小させた6種類の形状（表2）について、除雪トラック実機を用いた実験を実施し抑制効果を確認した。実験に用いるデフレクタは、材質を鋼板製とし、フロントプラウ装置に着脱可能な構造とした。

表2 デフレクタ形状



4.3 実機実験

実験に用いる雪は、積雪の状態からプラウで掻き出してウィンドロー状に成形し、幅は約 100cm、高さは

除雪負荷を概ね一定とするため、密度 (0.37g/cm³ ~ 0.46g/cm³) に応じて約15cm前後とした。

標準プラウに各デフレクタを設置し、実験コースの手前に加速区間を30m以上設け、作業区間を所定の速度 (20km/h、25km/h、30km/h) で走行させて除雪作業を実施し、各項目を測定した。

計測項目と計測方法を表3に示す。

表3 計測項目と計測方法

| 計測項目 | 計測方法 |
|-------|---------------------|
| 密度 | 密度計にて測定 |
| 走行速度 | ストップウォッチにより計測 |
| 投雪距離 | プラウ左端からの距離を巻き尺により測定 |
| 残雪高さ | 計測棒にて測定 |
| 投雪状況 | ビデオカメラ及びCCDカメラにて撮影 |
| 飛雪距離 | ビデオ画像より計測 |
| 掻上げ高さ | ビデオ画像より計測 |

4.4 模型実験と実機実験の比較

模型実験と実機実験の比較画像として「デフレクタなし」と「中央張出型」での飛雪状況をそれぞれ写真4、5に、「中央張出型」での計測結果の比較を図3に示す。



写真4 模型実験と実機実験の比較(デフレクタなし)



写真5 模型実験と実機実験の比較(中央張出型)

飛雪状況は雪の挙動 (特に投雪の方向など) が模型と実機でよく似た傾向を示した。

投雪距離について、「デフレクタなし」の条件では、オガ屑と雪の摩擦係数及び粒状体間の結合力の違いから模型と実機において違いが確認されたが、「デフレ

クタあり」の条件では概ね再現性が確認された。

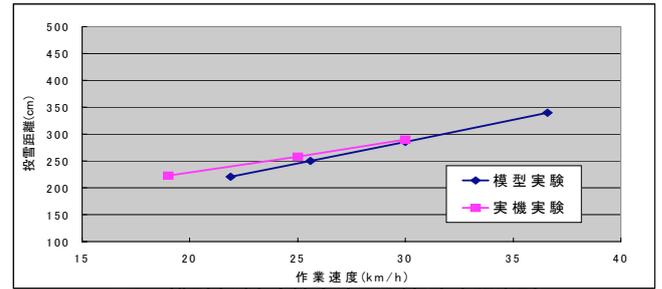


図3 模型実験と実機実験の比較(中央張出型)

4.5 実機の実験結果

図4、5にデフレクタ形状毎の作業速度と投雪距離及び飛雪距離との関係を示す。計測値は10mごとに6地点で測定した値の平均値とした。

図6に投雪距離と飛雪距離との差 (着地してからの投雪の移動距離) を示す。

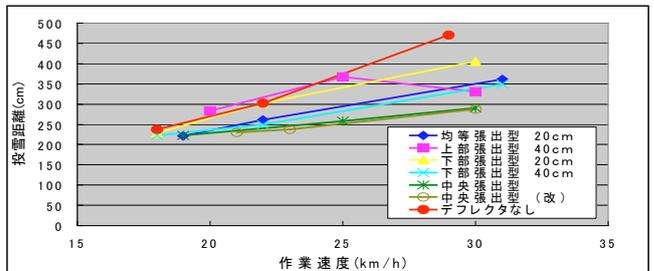


図4 作業速度と投雪距離の関係

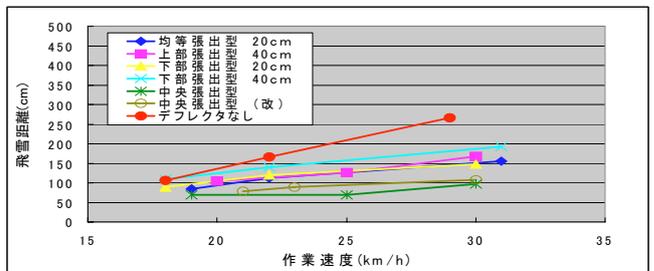


図5 作業速度と飛雪距離の関係

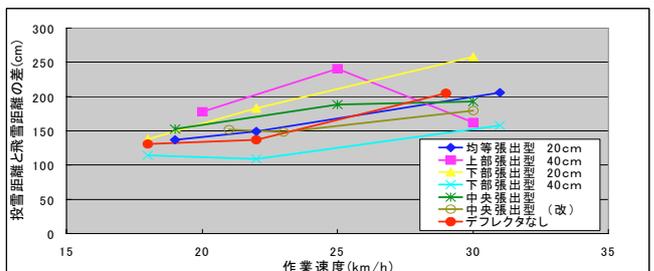


図6 投雪距離と飛雪距離の差(移動距離)

図6より「下部張出型 40cm」の移動距離がどの速度においても短いことが確認できる。これは投雪を効率的に抑える形状であることを示している。また、投雪

距離（図4）や飛雪距離（図5）についても一定の抑制効果が確認されることから、寸法・効果及び構造的な見地から総合的に判断し、最適なデフレクタ形状として「下部張出型40cm」を採用した投雪制御装置の試作機の作製を行った。（写真6）



写真6 最適なデフレクタ形状(左)と試作機(右)

4.6 試作機実験

実験時に用いる雪は、積雪の状態から平均積雪深6.3cm(5.8cm～6.8cm)、平均雪密度0.458g/cm³(0.352g/cm³～0.57g/cm³)、新雪除雪における除雪幅は290cmとした。

標準プラウに投雪制御装置の試作機を装備し、実機実験と同じ測定項目にデフレクタへ加わる圧力測定も追加して実験を実施した。

4.7 試作機の実験結果

写真7、8に試作機におけるデフレクタ有無操作の投雪状況を示す。



(測定データ)投雪距離:292cm、飛雪距離:151cm

写真7 投雪状況(デフレクタなし、新雪除雪 30km/h)



(測定データ)投雪距離:283cm、飛雪距離:118cm

写真8 投雪状況(デフレクタあり、新雪除雪 30km/h)

①図7から開発目標値である投雪距離200cmにおいて、それぞれの作業速度は、標準プラウ（デフレクタなし）が22.2km/hに対し、デフレクタ（デ

フレクタあり）が23.8km/hとなり、デフレクタの抑制効果により作業速度が約7%向上したことを示している。

②図8から雪へ突入した直後に約1.9kNの最大荷重が発生しているが、それ以外では除雪作業中にデフレクタへ加わっている荷重は1kN以下であることが分かった。従って、設計荷重7kN、デフレクタ構造の安全率1.9、上部支点ピンの安全率1.7となっており強度的に十分である。

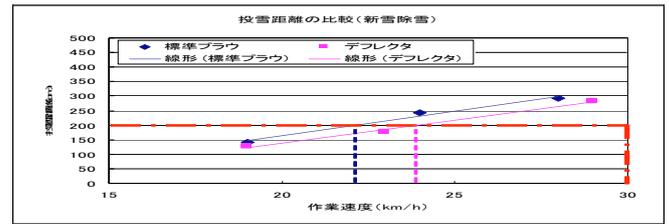
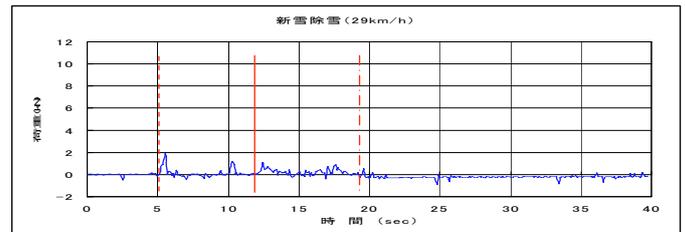


図7 投雪距離の比較(新雪除雪)



(凡例)点線:新雪突入、実線:計測区開始、一点鎖線:計測区終了

図8 デフレクタにかかる荷重(新雪除雪)

5. おわりに

これまで、投雪を効果的に抑制するデフレクタ形状について検討を行い、基本仕様の決定及び試作機の製作を行った。

現場では、堆雪が存在したり路面条件が実験とは大きく異なるが、特に市街地において除雪の効率化を図るうえで、投雪による沿線家屋や歩行者への安全確保、交通渋滞の軽減等の諸課題に対し、本装置導入により一定の効果が期待できるものと考えられる。

今後は、開発装置の導入を順次はかり、実作業現場における性能、耐久性等の適応性の確認を行いながら、より現場ニーズに適合した仕様へと装置の完成度を高めていく必要があるものと考えている。

参考文献

- 1) 鹿野安彦・榎引隆幸：除雪トラック用投雪制御装置の開発、日本雪工学会誌2007年4月Vol. 23No. 2

8. 簡易橋梁洗浄装置の開発と活用

(財) 海洋架橋・橋梁調査会北陸支部 ○原崎 郁夫
 (株) 技術開発研究所 秋山 和夫
 北陸パブリックメンテナンス(株) 吉田 紘一

1. はじめに

既設橋梁の劣化損傷のうち、狹隘で漏水のある支承周りや桁端部、伸縮装置、排水施設などに堆積する土砂や塵埃は、鋼部材の腐食や機能劣化など損傷の大きな要因である。またこれらは正確な点検や診断を進めていく上で、障害となっている。

本報文は、これら橋梁に堆積する土砂や塵埃などによって生ずる局部劣化を防止する目的で、河川水を利用して日常の維持修繕時、橋梁点検時などに活用できるコンパクトな橋梁洗浄装置の開発の考え方とその活用方法について報告するものである。



写真-1 土砂詰りによる損傷例

2. 目標の設定

平成 15～18 年度における北陸地方整備局が管理する橋梁の定期点検結果のうち、維持工事で対応する必要があると判断された損傷の内訳を図-1に示す。この結果から、土砂詰りなどの損傷数（緑色で表示）が支承部、伸縮装置、排水ますなどに多く見られ、部材の腐食や機能障害の要因となっていることが判る。

清掃、洗浄など日常の予防的補修方法によってこれらの損傷要因を除去するメリットは以下のように考えられる。

- 1) 従来、排水ますや支承部周辺など一部に限られていた橋梁洗浄の機会を増やすことが、橋梁保全水準の向上に極めて有効であり、それが橋梁の延命化に寄与できる
- 2) 橋梁点検の精度向上が図れる

このため、維持作業に適用できるよう、機動性、操作性などを重点課題としてこの簡易橋梁洗浄装置の開発が進められた。

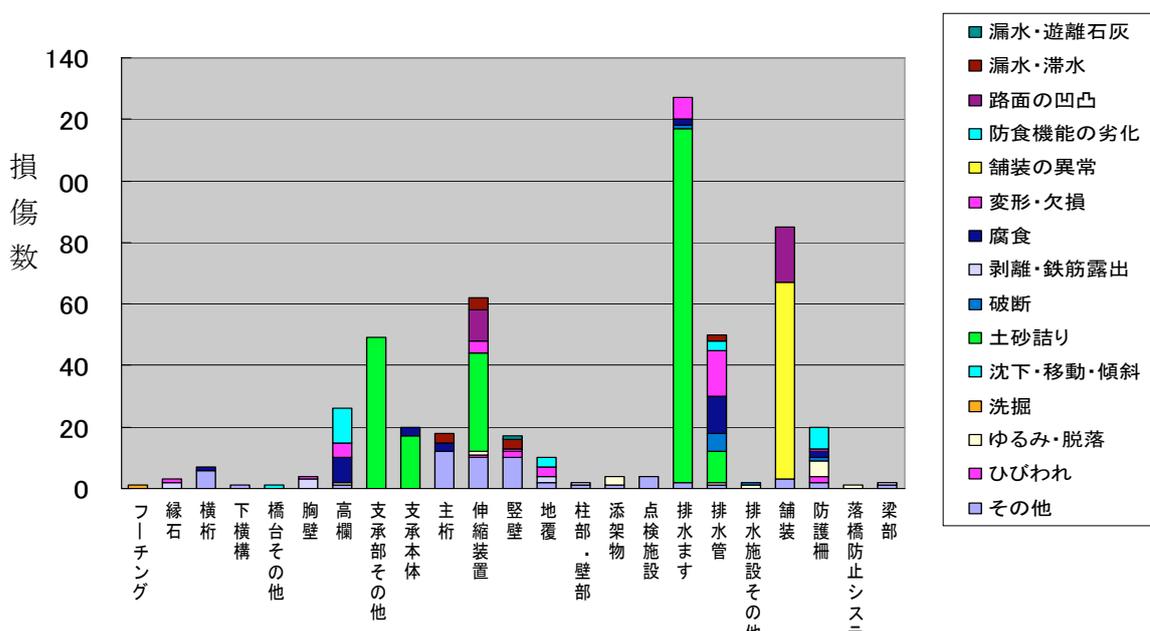


図-1 維持工事で対応する損傷部位と損傷の種別（北陸地方整備局橋梁定期点検結果による）

3. 簡易橋梁洗浄装置の概要

装置の概要を写真-2、3に示す。



写真-2 簡易橋梁洗浄装置前面



写真-3 簡易橋梁洗浄装置側面

装置の開発にあたり考慮した要件は以下のとおりである。

1) 軽トラック搭載

高圧ポンプ、エンジン、給水ポンプ、フィルターなど汎用品による機器をコンパクトに構成し、給水ポンプによる自給機能を装備することで、従来2tトラック以上の車両の運用であったものを、軽トラック1台の運用で可能とした。

(寸法B: 0.65m, L: 1.2m, H: 1.0m、重量 250kg)

装置を搭載した軽トラックを路肩や歩道部に駐車させることで、多くの場合車線規制を伴わず交通規制が最小限にできる。

また、装置単独でも自在に手押し移動ができる。



写真-4 軽トラックに積載した状態

2) 河川水の使用

運搬の必要な給水タンクにより洗浄水を確保するのではなく、装置に特殊フィルターを装備することで、河川水など自然水を高圧ポンプで供給することとした。

また、高架橋などで給水タンクが必要な場合も、汎用の給水タンクを利用して洗浄が可能である。

これら二つの給水方式のシステムを図-2に模式図として示す。

3) 給水送水システムの要求性能

水の安定供給、高圧ポンプの駆動および自動的な簡潔運転制御、余水の切り替え・排水などの要求性能と、それらの条件を満たすため工夫した方法を表-1に示す。

4) 揚水ポンプの能力

揚程 15m、吐出量 40 L/min の揚水ポンプを備え、給水ホースを水面高 15 m の橋梁で橋上を横引した場合でも高圧ポンプの運転に必要な流量 15 L/min を十分確保できる。

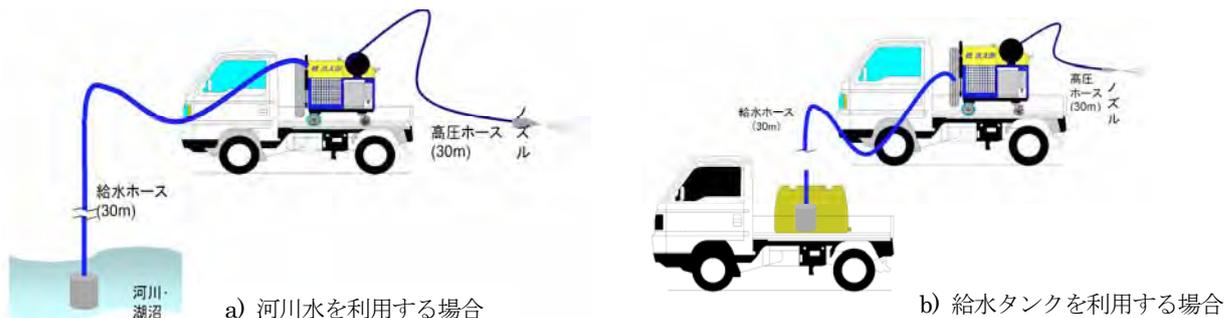


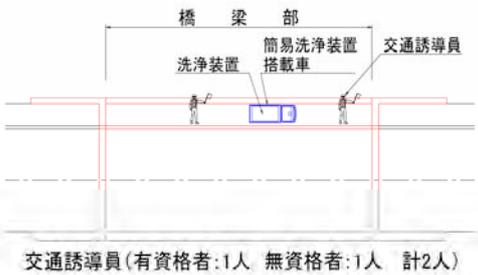
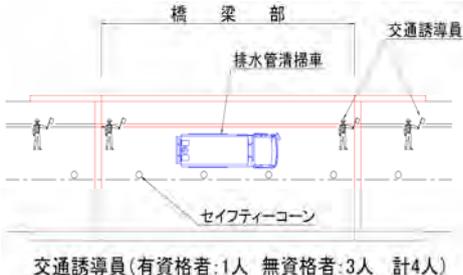
図-2 簡易橋梁洗浄装置の給水システム (模式図)

表-1 給水送水システムに要求される性能と実施した方法

| 要求される性能 | 実施した方法 |
|-----------------------|--|
| 1) 給水の安定供給 | 水を汲み上げる水中ポンプ、河川水に含まれる異物を捕捉するフィルター、高圧ポンプの空転を防止するリザーブタンクを備えた |
| 2) 自動駆動 | リザーブタンクに貯水されたことを検知して高圧ポンプが自動運転される、または高圧ポンプの運転状況に応じて水中ポンプの運転を制御する運転装置を備えた |
| 3) オーバーフロー水路による自動切り替え | 高圧ポンプの余水をリザーブタンクに戻す自動切替弁を設けた |
| 4) 給水の间歇駆動制御系 | リザーブタンクの貯水量を検出し給水ポンプの自動间歇運転制御系を備えた |
| 5) 余水の排水系 | リザーブタンクにオーバーフロー水路を設けた |

簡易橋梁洗浄装置と従来用いられている排水管清掃車を表-2に示す。これにより能力、運用、機動性、操掃車による橋梁洗浄の方法とを比較した場合の特性 作性、施工性でこの装置が優位であることが判る。

表-2 従来の汎用機種による洗浄方法との比較

| 方法 | 簡易橋梁洗浄装置による方法 | 従来の排水管清掃車による方法 | |
|----------|--|---|--|
| 外観 |  |  参考例 | |
| 寸法・重量 | 軽トラック + 橋梁洗浄装置 (全幅 1.5m, 重量 1.3 トン) | 13 トン車 (全幅 2.4m) | |
| 能力 | 15 MPa、流量 15 L/min | 約 12 MPa、流量最大 135 L/min | |
| 運用 | 洗浄機搭載車両 | 軽トラック(積載能力 350kg) | タンク付専用車 タンク容量(5,800L) |
| | 交通規制 | 不要であり、規制費最小限で済む | 必要、規制費が毎回かかる |
| | 洗浄水の供給源 | 河川水を使用、給水タンク搭載の必要なし | 車両付属の給水タンクにて確保 |
| 操作性 | ホース類 | 高圧ホース/給水ホースの繋ぎ込み不要、 径 16mm で扱いやすい | ホースの繋ぎ込みは不要、 大径であり扱いにくい |
| | 噴射パタン 流量調節 | 噴射量、パタンを手元操作できる洗浄ガン を標準装備 | 噴射量、パタン固定 |
| | 専用リール | 高圧ホース、給水ホースとも 30m、 各々の専用巻取リールを装備 | 洗浄ホースのみ |
| 施工 体制 | 人員 | 作業員 3 人/交通誘導員 1~2 人 計 4~5 人 | 作業員 3 人/交通誘導員 4 人 計 7 人 |
| | 作業車両 | 軽トラック+橋梁洗浄装置 1 台 作業車 (機材人員輸送: 2t) 1 台 | 排水管清掃車 1 台 作業車 (機材人員輸送: 2t) 1 台 |
| | 作業時間 | 1.5 hr/橋台 | 1.75 hr/橋台 |
| 施工 体制 | 車両および 交通誘導員の 配置 |  交通誘導員(有資格者:1人 無資格者:1人 計2人) |  交通誘導員(有資格者:1人 無資格者:3人 計4人) |

4. 施工法

4.1 施工順序

橋梁洗浄の施工順序は以下のとおりである。

- 1) 交通誘導員の配置
- 2) 歩道または路肩に軽トラック駐車
- 3) 給水ホース引出し、水中ポンプ投入
- 4) 高圧ホース引出し、洗浄ガン取出し
- 5) 作業員を洗浄対象近傍に配置
- 6) 洗浄ガンを作業員に渡す
- 7) 装置運転ボタンを押す
- 8) 洗浄開始
- 9) 洗浄終了



写真-5 洗浄作業

実橋(新潟県内の鋼桁橋、トラス橋)でのフィールド実験を重ねた結果、橋梁の洗浄は上記の施工法で実施できることを確認できた。(写真-5～8)

4.2 施工安全上の課題

高圧水の圧力は最大 15MPa であり、噴射水流の方向に注意する必要がある。特に排水ます等の路面上での洗浄では、飛散防止用シーツの使用や、人や車両に向けて噴射しない注意などが必要である。

4.3 周辺環境への影響

周辺環境への影響は、以下のとおりである。

- 振動：小型の装置でかつゴム製タイヤを装備しており、問題がない。
- 騒音：想定する使用場所で許容の範囲にある。

5. まとめと考察

橋梁劣化損傷の主な部位である桁端部、支承、伸縮装置、排水ますなどに着目して、日常的な維持作業で適用できるよう、汎用品で構成されるコンパクトな橋梁洗浄装置を、現場適応性試験などを経て実用化することができた。



写真-6 支承周りの洗浄



写真-7 トラス部材格点部の洗浄



写真-8 排水ますの洗浄

維持作業時および橋梁点検時にこの装置を活用することにより、従来よりも少ない費用で橋梁の洗浄ができ、国民生活の向上に繋がる橋梁の劣化抑止、維持管理水準の向上に貢献することが期待される。

また、長期的に継続される橋梁点検の精度が向上することも大きなメリットである。

今後の課題として挙げられる点は以下のとおり。

- 1) 今後の使用実績を踏まえた洗浄効果の検証
- 2) 主桁全体に付着する塵埃や飛来塩分や凍結防止剤などを洗浄により除去する方法

(橋梁洗浄装置を橋梁点検車の歩廊に搭載する使用法、仮設足場上での使用の可能性など)



写真-9 橋梁点検車の例

関連文献

原崎、吉田、秋山：簡易橋梁洗浄装置の開発と活用、平成 19 年度北陸地方整備局事業研究会 2007 年 9 月

9. 塵埃の可搬式分別装置の開発

国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所 機械課 保坂 賢二
 ○村上 大幹
 日本下水道事業団 東日本設計センター 機械設計課 弓削 竹志

1. 開発目的

路面清掃で発生する塵埃は地域により差異はあるものの、土砂、落ち葉・枯れ草等自然ゴミ、缶・ビン・ペットボトル等で構成され、およそ80%（質量比）は土砂で占められている。このことから、塵埃回収物全体が廃棄物として処理されていたものを、土砂と廃棄物に分別できれば、土砂は発生土として有効活用が可能となり、廃棄物の容積・質量が大幅に軽減されて、処分費の縮減が可能となる。

そこで、平成17年度から2ヶ年を掛けて、処分費の縮減を図ることを目的として、可搬式の塵埃分別装置の開発を行った。図-1に可搬式塵埃分別装置の概念を示す。

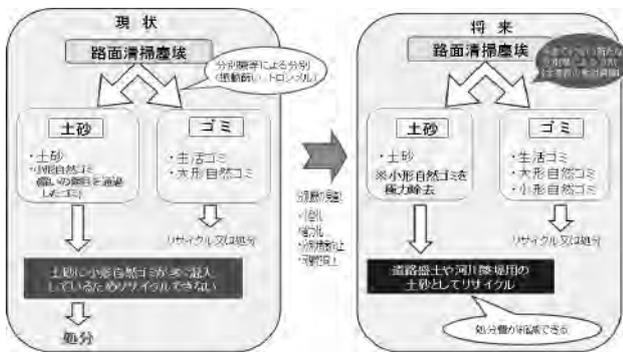


図-1 可搬式の塵埃分別装置開発の概念

2 開発概要

開発の全体計画フローを図-2に示す。

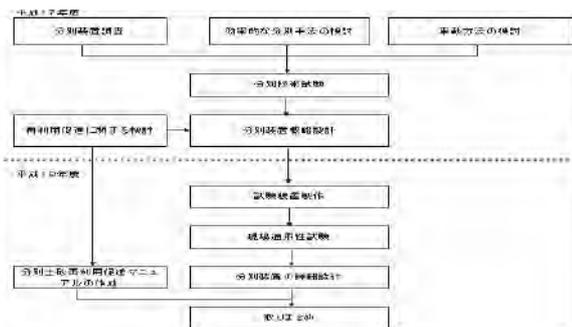


図-2 開発の全体計画フロー

2. 1 分別作業の実態調査

関東地方整備局管内における路面清掃塵埃の分別作業の実態について既存の分別装置及び分別状況の現場調査を行った。

2. 1. 1 分別装置調査

分別方法の調査結果について以下に4例を示す。

a) 事例1

振動式スクリーンを用いて、土砂とゴミに分別している。

b) 事例2

多段式ロールスクリーンが設置され、塵埃を土砂・落葉類・雑ゴミ・缶・ビン類・ガラ・コンクリート塊類に分別可能であるが、装置規模が大きく土砂の純度を高める分別には適していない。

c) 事例3

路面清掃車からダンプトラックに移す過程で、ダンプ荷台に張ったネットをスクリーンとして、清掃車からの排出でネット上に残った粗大ゴミを人力で拾い寄せる分別方法を行っていた。

d) 事例4

トロンメルを使用している。分別作業は土砂とゴミに分別し、ゴミの中のレキは人力で除去している。トロンメルは目詰まりの進行が顕著で運転可能時間は1～2時間が限度であった。

2. 1. 2 路面清掃塵埃の性状

a) 分別土砂の性状

塵埃を分別した内訳を表-1に示すが、約4%の有機物（落葉や枯れ枝等）が含まれている。また、現場で採

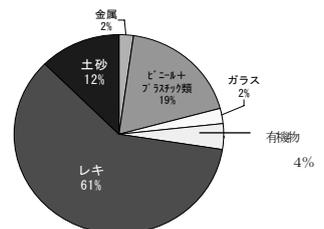


表-1 分別後ゴミ内訳

取した分別土砂の粒度分析結果を図-3に示す。

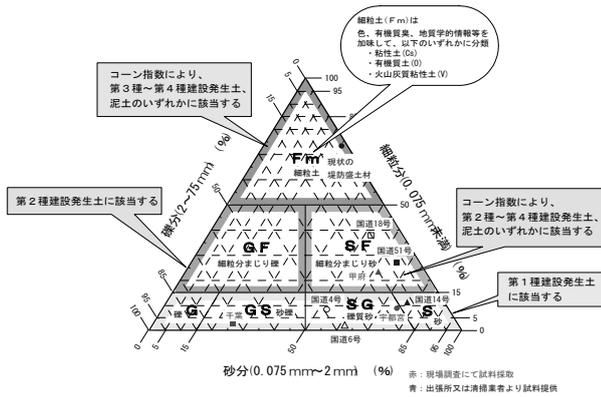


図-3 分別土砂の粒度分析結果

3. 1 分別装置基本能力

3. 1. 1 分別土砂の土質目標

分別土砂を、埋め戻し・盛土として再利用する場合、「発生土利用基準」が適用される。この基準では、コーン指数と土質材料の工学的分類体系を指標とし、第1種～第4種及び泥土に区分される。分別土砂の性状は図-3から第2種建設発生土に属し、適用用途として工作物の埋め戻し・土木構造物の裏込め・道路用盛土（路床・路体）に利用可能である。しかし、現状の分別土砂には、落葉や草木等の小型自然ゴミが多く混入し、再利用への弊害となっており極力小型自然ゴミの混入が少ないものとする必要がある。

3. 1. 2 分別装置の可搬性目標

分別装置は、以下の理由から可搬式とする。
 ・ 塵埃回収量により、装置を事務所あるいは出張所間でローテーションすることで稼働率が向上する。
 ・ 装置の設置箇所を選択することで、長距離運搬の必要性が少なくなる。

なお、装置の移設にあたっては、クレーン付トラックのみで一連の作業（分解、積込、運搬、荷下、組立）を行えるものとする。

3. 1. 3 処理能力

事務所単位とした場合の処理能力を求めた。
 日当り処理量 (m³/日)
 = 年間塵埃回収量 (m³) / 年間運転日数 (日)
 = 3, 424 / 250 = 13.7 m³/日
 年間塵埃回収量 : 3, 424 m³

(Y国道事務所 H15年度実績)
 年間運転日数 : 250日 (土日祝日除く)

時間当り処理量 (m³/h)

$$= \text{日当り処理量 (m}^3/\text{日)} / \text{日運転時間 (h/日)}$$

$$= 13.7 / 7.5 = 1.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

日運転時間 : 7.5 h/日

※ 路面清掃車の運転日当り運転時間準用

時間当り処理能力は 1.8 m³/h とする。

3. 1. 4 適用性のある分別技術

a) 分別装置の構想及び分別技術

現在使用している分別装置では、土砂に未分別の小型自然ゴミが混入しているものの、大半の大型ゴミが分別出来ていると評価した。現状の分別装置を一次分別として適用し、さらに二次分別で土砂に混入している小型自然ゴミを除去する2段階の分別処理を主たる構想とした。道路清掃塵埃の分別装置構想図を図-4に示す。

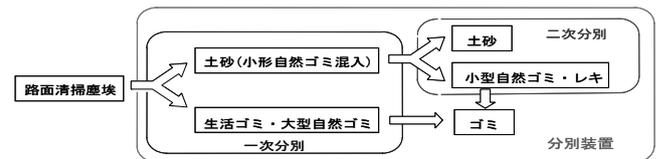


図-4 道路清掃塵埃分別装置の構想

b) 分別技術と適用性

一次分別装置に適応する技術として、篩装置（トロンメル、振動式、強震式）は従来より建設分野での実績が多い。ロールスクリーンは、装置が重く高価であることから建設分野での実績は少なかったが、近年ダム等での使用実績がある。

二次分別装置に該当する分別技術は、気流選別が主流であるが、被分別物の水分量・粒子径・密度等に制限があり、適用性のある装置は現存しない。

機械選別の種類及びそれらの組合せとして表-2に示す分別技術を考えた。

表-2 二次分別装置として適応性のある分別技術

| 分別技術 | 概要 |
|------------|--|
| 反発式分別 | 土砂を壁面に衝突させ、反発の差で小型自然ゴミと土砂を分ける。 |
| 振動分別 | 振動で土砂表面に小型自然ゴミを浮き出させる。浮き出させるだけなので、そのゴミを除去する技術との組合せになる。 |
| タイン方式 | 土砂に混入している小型自然ゴミをタイン (爪) で掻き出す。 |
| 振動分別+気流分別 | 振動で土砂表面に小型自然ゴミを浮き出させ、それを風力で飛ばす。小型自然ゴミのみを効率的に飛ばすことができる。 |
| 振動分別+タイン方式 | 振動で土砂表面に小型自然ゴミを浮き出させ、それをタイン (爪) で掻き出す。小型自然ゴミのみを効率的に掻き出すことができる。 |

c) 分別技術と試験結果

一次分別装置の要素試験結果を表-3に、二次分別装置の要素試験結果を表-4に示す。

表-3 一次分別装置試験結果

| 分別技術 | 試験結果・考察 | 評価 |
|----------|---|----|
| トロンメル | ・分別能力はゴミの含有量に影響を受けた。・試験機には送り機能が無いため、処理能力は全体的に小さくなった。(φ1,000mm:2.6~5.0m ³ /h, φ1,500mm:6.0m ³ /h)・一次分別としては良好であり、外径1,000mm×全長2,000mmの試験機が有望である。 | ◎ |
| ロールスクリーン | ・小型自然ゴミの除去は不可能であった。・生活ゴミが少ない塵埃に限っては、小型化や操作性、目詰まりが無い点でトロンメルよりも実用性が高い。生活ゴミが多い場合は、攪拌不足のために分別性能が低下すると考えられる。・トロンメルの様に、篩の見開きを自由に交換して調整出来ない点が問題 | × |

表-4 二次分別装置試験結果

| 分別技術 | 試験結果・考察 | 評価 |
|-----------------------|--|----|
| 反発式分別 | ・分別は出来なかった。また、壁面に土砂の付着が発生した。 | × |
| 振動分別 | ・振動によって上にゴミ層下に土砂層の形で成層した。・3.5Hz付近に造粒現象が見られ分別性が非常に高まった。・市販の振動スクリーン等は共振点で設計されるため約1.5Hzが上限である。・搬送手段のみでなく低速搬送では土砂と小型自然ゴミの分離手段としても有効であった。 | ○ |
| タイン方式 | ・砂を多く含む土砂の場合、自然ゴミと一緒に土砂まで掻き出され、分別は不十分であった。 | △ |
| 振動分別+気流分別 | ・土砂の巻上り風速は粒子径によって変化したため、土砂に対しては分別風速の決定は不可能。砂粒(径3mm)の飛散によって分別が不十分。吸水木屑と土砂の密度差が小さく分別が不十分 | × |
| 振動分別+タイン方式(バースクリーン方式) | ・土砂の分別状況は良好であった。・不具合の発生はなかった。 | ◎ |

試験結果から、一次・二次の分別方式は以下のとおりとした。

・一次分別装置 (トロンメル)

現行機械の問題(目詰まり)に対しては、スクレーパー装着で解決できる。

・二次分別装置 (振動コンベア+バースクリーン)

土砂の観察上、殆ど目的を達成したと考えられる。

3.2 効率的な分別手法の検討

上記の調査の結果、路面清掃作業の実態調査及び塵埃の性状調査等を実施し分別装置に必要な基本能力を決定した。

また、既存技術の適用性について検討及び要素試験を実施し、一次分別技術の決定及び二次分別技術の考察を行った。

決定した試験装置の仕様を表-5に示す。

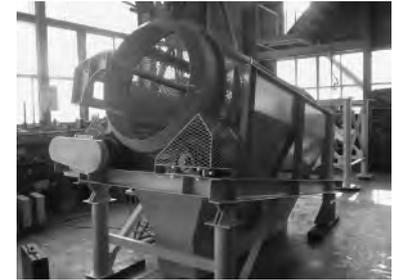
表-5 試験装置仕様

| 項目 | 仕様 |
|---------|------------------------|
| 処理対象物 | 路面清掃塵埃 |
| 処理能力 | 1.8m ³ /h以上 |
| 土砂の分別精度 | 第2種建設発生土以上 |
| システム形式 | 可搬式 |
| 一次分別装置 | パンチングメタル式トロンメル |
| 二次分別装置 | 振動コンベア+多重振動バースクリーン |

3.3 試験装置の設計、製作

a) 一次分別装置

トロンメルに最適なパンチングメタル孔径を選定する目的で試験を行った。孔径18mmでは投入回数が増大した反面、塵埃



の分別精度は向上し、写真-1 トロンメル外観。孔径25mm、36mmでは投入回数が減少したが塵埃の分別精度は低下した。分別能力と分別精度はトレードオフの関係にあるが塵埃投入回数の増大はトロンメルの大型化を招く。また、現場調査において20mmの網がトロンメルに使用されており、ほぼ良好な分別状態であることから、分別能力と分別精度の関係も考慮し、孔径25mmが妥当と考えた。要素試験結果からトロンメル直径φ1,000mm、有効長2,000mm、傾斜角は5~10°の範囲で調整可能な構造とした。トロンメルの外観を写真-1に示す。

b) 二次分別装置

二次分別装置は、振動コンベア及び多重バースクリーンで構成される。また、効率よく分別物の

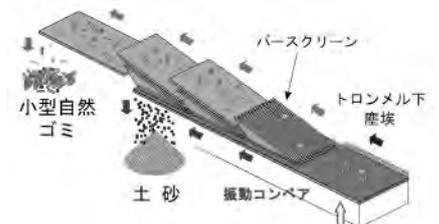


図-5 二次分別装置構造。受渡しを行うため、二次分別装置は一次分別装置のシユート直下に配置することとした。

装置の構造を図-5に示す。

c) 塵埃ホップ

塵埃の引き出し方式について検討を行い、塵埃ホップから連続的に安定した速度によって塵埃を引き出す方法として、底側からスクリュウコンベヤで引き出す

方法では、アーチングやスクリュウコンベヤの共回りにより土砂が引き出せないことが要素実験の結果より想定された。(図-6)

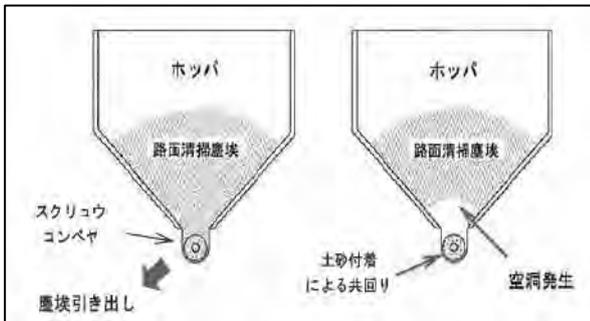


図-6 スクリュウコンベア方式

対策として、ホッパ内の塵埃表面から順次掻寄せてベルトコンベアに供給する方式(図-7)を考案した。

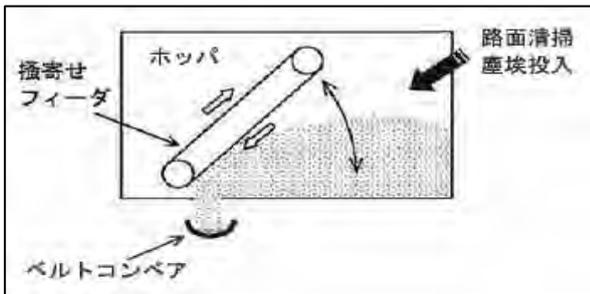


図-7 ベルトコンベアに供給する方式

3. 4 試験装置の製作仮設

試験装置を製作し現場適用性試験場所であるC国道事務所車両基地内に仮設した。(写真-2)

3. 5 現場適用性試験

3. 5. 1 供試路面清掃塵埃

以下の塵埃をそれぞれ約2~3m³、計約18m³を搬入し、分別を行った。

- ① 砂分が多い塵埃(首都圏) : 1月回収

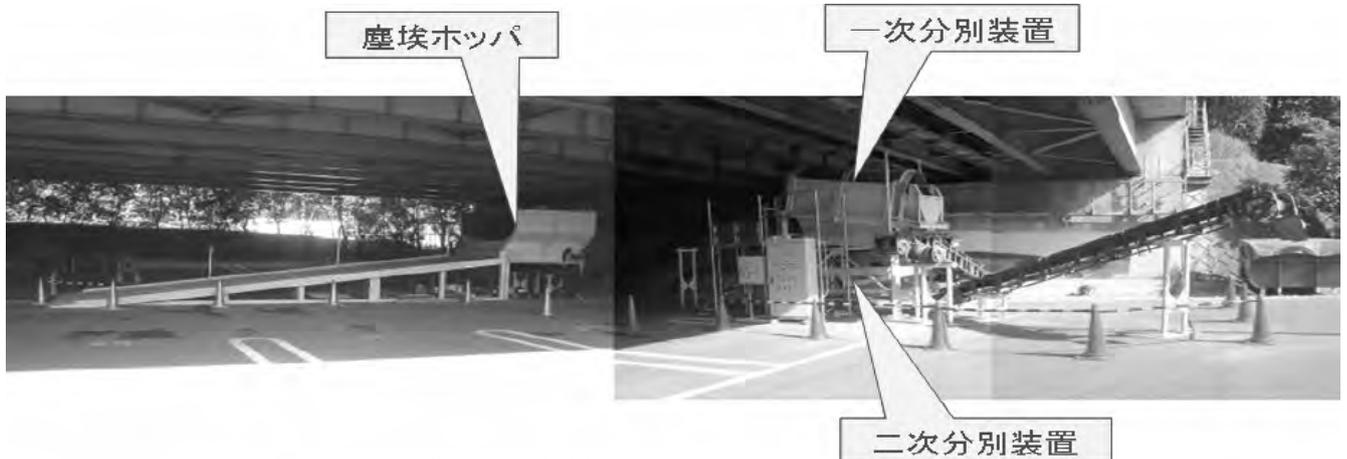


写真-2 試験装置設置状況

- ② 泥分が多い塵埃(地方部) : 10月回収, 12月回収, 2月回収

- ③ 中間的な粒度分布の塵埃(地方都市) : 11月回収, 1月回収

3. 5. 2 分別精度

回収した塵埃と分別精度の評価について表-6に、分別されたゴミ、土砂の写真を写真3~4に示す。

表-6 供試塵埃と分別精度の評価

| 供試塵埃の性状 | | 一次分別精度 | 二次分別精度 |
|--------------------|-------|--------|--------|
| 砂分が多い [首都圏] | 付着性低い | ○ | ○ |
| | 付着性高い | ○ | × |
| 泥分が多い [地方部] | 付着性低い | ○ | ○ |
| | 付着性高い | ○ | × |
| 中間的な粒度分布 [地方都市] | 付着性低い | ○ | ○ |
| | 付着性高い | ○ | × |



写真-3 砂分が多い塵埃(首都圏)

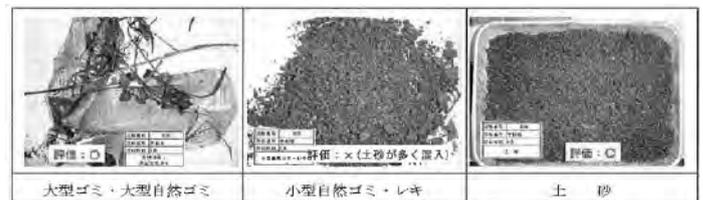


写真-4 中間的な粒度分布の塵埃(地方都市)

付着性の低い塵埃分別精度は良好であるが、含水率が高く付着性の高い塵埃の場合、二次分別装置において目詰まりが発生し、分別精度が悪くなる結果となった。

3. 5. 3 分別能力

分別精度を落とさずに目標値である1.8m³/hを概ねクリアできた。

さらに処理速度を高めた場合は、二次分別装置でオーバーロードとなり、分別精度が著しく低下する結果となった。

3. 5. 4 装置の動作および使用状況

装置の動作及び使用状況を表-7に示す。

表-7 装置の動作及び使用状況

| 箇所 | 項目 | 適用性に 関する評価 | 不具合の内容 |
|-------------------------|---------------------|---------------|---|
| 塵埃ホップ、 表面播寄せフイ ーダ | ホップと扉面の干渉 | ○ | 4tダンプによる投入では、ダンプのパンパや荷台のアオリとホップが干渉したため、改造を行い解決した。 |
| | 定置供給 | ○ | |
| | 供給量制御 | ○ | |
| | メンテナンス性 | ○ | |
| 一次分別装置 | トロンメルの目詰まり | ○ | |
| | シュートへのゴミ貼りによる土砂付着対策 | - | 集塵装置よりも塵埃が多く付着したが、長時間の運転では自然落下が期待される。(未確認)本試験では、付着量が少ないので対策効果が発揮されなかった。 |
| | メンテナンス性 | ○ | |
| 二次分別装置 | 搬送面の塵埃付着 | × | 付着性の高い塵埃では搬送面に付着した。 |
| | 搬送面からの荷こぼれ | ○ | |
| | バースクリーンの目詰まり | × | 付着性の高い塵埃では目詰まりが発生した。 |
| | メンテナンス性 | ○ | |
| ベルトコンベア | 荷こぼれ | ○ | |
| | 荷すべり | ○ | |
| | ベルトへの塵埃付着 | △ | 付着性の高い塵埃は、ベルトへの塵埃付着や、これらの落下によって、地面の汚れが発生した。 |
| 操作盤 | 操作性 | ○ | |
| その他 | 騒音 | △ | バースクリーン第3室では、やや騒音が大きい |
| | 振動 | ○ | |
| | 粉塵 | ○ | |

3. 6 仕様書案作成

現場適用性試験結果を踏まえ、実用機の仕様書案作成を行った。表-8に主要諸元を示す。

表-8 装置の主要諸元

| | |
|---------|--|
| 分別処理対象物 | 関東地整管内 路面清掃塵埃 |
| 分別処理能力 | 1.8m ³ /h以上 |
| 分別内容 | a. 土砂(ゴミが目視できない程度) 土質目標: 第2種建設発生土 b. ゴミ(生活ゴミ、自然ゴミ) |
| システム形式 | 可搬式 |
| 塵埃ホップ | 表面播寄せフイーダ式塵埃ホップ |
| 一次分別装置 | パンチングメタル式トロンメル |
| 二次分別装置 | 振動コンベア+多重バースクリーン またはロールスクリーン |

3. 7 作業歩掛

仮設作業の歩掛を基に作成した分別装置組立歩掛

表-9 分別装置組立歩掛 (1箇所当たり)

| | 項目 | 単位 | 数量 |
|---------------|-------|----|-----|
| 人員 | 世話役 | 人 | 1.0 |
| | 設備機械工 | 人 | 1.3 |
| | 電工 | 人 | 4.0 |
| トラック(クレーン付)運転 | | h | 5.3 |

を表-9に示す。なお、運転歩掛については、簡単なスイッチ操作で運転可能であることから、運転操作の作業員は計上しないものとした。

3. 8 二次分別装置についての追加試験

多重バースクリーンの目詰まりの問題に対し、目詰まりに強いと考えられるロールスクリーンについて分別精度の確認試験を行った。



写真-5 ロールスクリーン

塵埃含水率12.5%以下の条件においては、良好な分別性能であり、二次分別装置として有効であることが認められた。(写真-5)

また、試験装置からの変更点は以下の通りとなった。

- ① 塵埃ホップを傾斜させて投入口側を下げ、4tダンプトラック等で塵埃を確実に投入できるようにした。
- ② 二次分別装置として、振動コンベア+多重バースクリーンの他に、ロールスクリーンを選択肢として追加した。
- ③ 生活ゴミ、大型自然ゴミ、小型自然ゴミを脱着式コンテナに排出できるようにした。

3. 9 再利用促進に関する検討

分別された土砂(以下「路面清掃発生土」という)について、粒度分析やコーン指数測定の結果、粒度組成が「発生土利用基準」第2種建設発生土以上に適合し、溶出試験および含有試験においても問題はないことを確認した。また、強熱減量の分析結果から、建設発生土として道路盛土や河川築堤等に再利用できる可能性があることから、試験盛土等による信頼性の裏付けが必要となった。

また、さらなる路面清掃発生土の活用案として、JACICが管理する建設副産物及び発生土の情報交換システムに路面清掃発生土の情報を加えて運用することが考えられる。なお、路面清掃発生土をこれらのシステムで活用可能とするためには、時期、場所による発生量の調査を行う必要がある。

4. まとめ

4.1 分別装置の技術検討

平成17年度の国道路面清掃塵埃の分別装置場調査では、規制や苦情、コスト、処分場等の問題を解決するため、従来型の建設機械が試行的に投入された状態であったが、現行の分別機においては、以下の課題があった。

- ① 二次分別装置目詰まり防止対策
- ② 土砂をリサイクルする上での分別精度を高める対策
- ③ 小型化して可搬性を高める対策

上記の課題を解決する目的から、平成17・18年度は、局管内の代表的な塵埃を対象にした要素試験や現地試験による可搬式分別装置の開発検討、リサイクルに関する検討、および、分別処理コストの検討等が行われて、ハード・ソフト両面について一応の成果が得られ、施行の見通しを得たと考えられる。

現行分別機の課題に対するハード面の成果の評価は、表-10のとおりである。また、全体図（ロールスクリーン仕様）を図-8に示す。

表-10 分別機の課題に対する成果の評価

| 現行分別機の課題 | 装置区分 | 現地試験 | 工場試験 | 全体 |
|-----------|---------|--------|--------|----|
| ① 目詰まり対策 | a. 一次分別 | トロンパ ○ | — | ○ |
| | b. 二次分別 | パ-Se △ | パ-Se ○ | △ |
| ② 分別精度 | a. 一次分別 | トロンパ ○ | — | ○ |
| | b. 二次分別 | パ-Se △ | パ-Se ○ | △ |
| | c. 斜路 | ○ | — | ○ |
| | d. 二次分別 | ○ | パ-Se ○ | ○ |
| ③ 小型化・可搬性 | a. 全自動化 | ○ | — | ○ |
| | b. 省作業員 | ○ | — | ○ |

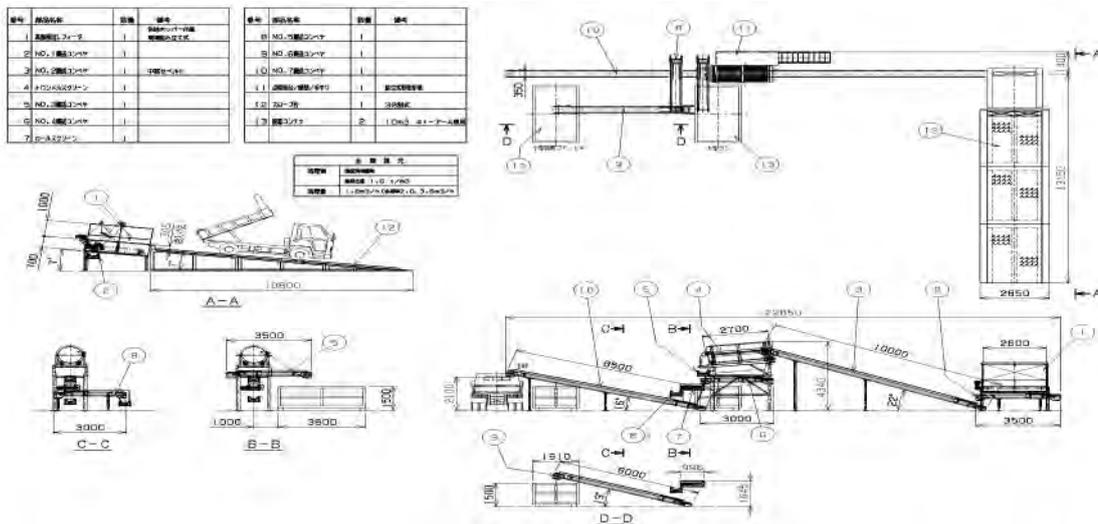


図-8 全体図（ロールスクリーン仕様）

4.2 リサイクル関係の検討

土質調査における土砂の粒度分析、分別土砂の溶出量分析試験・含有量分析試験を行った結果、分析項目において問題点はなかった。

また、路面清掃発生土利用技術マニュアル（案）を作成した。

5. 今後の課題

5.1 二次分別装置

二次分別装置に関しては以下の検討が必要である。

- ① 目詰まりに強いロールスクリーンの組み込み
- ② バースクリーンの改良
- ③ 塵埃の性状によって、バースクリーンまたはロールスクリーン等の選択肢を増やす

5.2 リサイクル関係

路面清掃発生土利用技術マニュアル（案）に準じて、実際に施行した場合の問題点を追跡調査する。

5.3 分別処理コスト

建設機械損料算定表（社団法人日本建設機械化協会）の濁水処理装置に準じて行った分別処理コストの確認が必要である。

6 おわりに

今回、開発した分別装置（試験装置）は、二次分別装置の目詰まりによる分別作業効率低下という問題を抱えながらも、現場適用性試験期間中に実施した、関東地整関係者および業者への見学会では、見学者から概ね良い評価を得ることが出来た。この目詰まりの課題が解決できれば、塵埃分別装置として、実用化レベルに仕上がるものと考えられる。

なお、今回発表する課題については「建設施工と建設機械シンポジウム」（土木学会、H19.8.3）において論文発表を行っております。

10. 岩盤に対する深礎掘削機的设计製作

愛媛大学 室 達朗
 呉工業高等専門学校 ○重松 尚久
 (株) ベスターズ 寺尾 信夫

1. はじめに

本報文の目的は、高作業効率を達成するために設計製作された岩盤掘削機を用いた新しい深礎工法を提供することである。ここでは、作業能力を一段と向上させるために、複数の回転する円盤型剥離破砕刃を円錐体型岩盤切削機に回転自在に取り付け、破砕刃が地山に接触して回転する過程で地山岩盤のエッジ部位を端面掘削するようにした。この新しい端面掘削方式を採用した岩盤掘削機は、推進力および回転力の軽減、剥離破砕刃の摩耗劣化の防止、単位切削仕事当たりの掘削土量を増加させることができる。

まず、岩盤深礎掘削機の主要部となる円錐体切削ドラムについて設計し、種々の岩盤強度、切り込み幅、1回転当たりの貫入量に対して、切削ドラムに作用する最大推進力、最大トルクおよびローラカッタビットの摩耗量について試算したものについて述べる。その後、この岩盤掘削機を使用した深礎工法の総工費および工期について、従来工法のものと比較検討することとした。

2. 円錐体切削ドラムの設計条件

図-1 と図-2 に示す円錐体切削ドラムの掘削計画径を 200 cm とし、直径 20 cm の鉛直先進導坑に沿って 1 段当たり 4 枚として計 30 段、120 枚のローラカッタビットである円盤型剥離破砕刃を螺旋状に配設し、岩盤を端面切削する円錐体切削ドラムについて設計計算をする。円錐体の形状は、底辺の直径を約 2 m、高さを約 1 m とした直円錐体であり、母線方向は鉛直軸に対して $\pi/4$ rad である。円盤型剥離破砕刃は直径 10 cm であり、ゲージカッタ部位では直径 20 cm のものを使用しており、いずれも刃物角は $55\pi/180$ rad、逃げ角は 0 rad としている。今仮に、岩盤の切り込み幅 S を 3 cm とすると、円盤型剥離破砕刃の最小掘削半径

R_1 は 13 cm となり、最大掘削半径 R_2 は $13+3\times 29=100$ cm となる。表-1 は、ある設計条件の一例を示したものである。

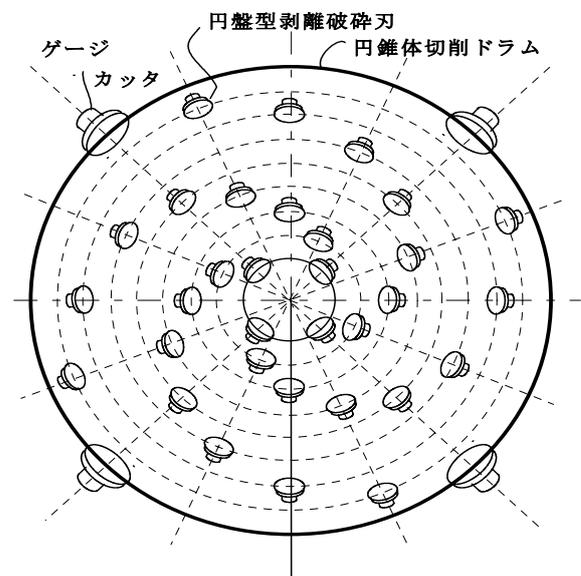


図-1 円錐体切削ドラムの平面図

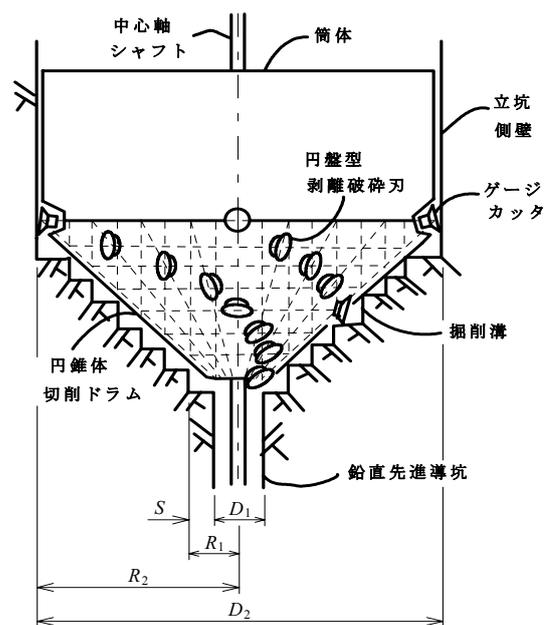


図-2 円錐体切削ドラムの立面図

表一 設計条件

| | | |
|-------------------|-----------------|--------------------------|
| 円錐体切削ドラム回転速度 | N | 12.0 r.p.m. |
| 円錐体切削ドラム1回転当たりの貫入 | p | 0.20 cm/round |
| 鉛直先進導坑径 | D ₁ | 20 cm |
| 掘削計画径 | D ₂ | 200 cm |
| 最小掘削半径 | R ₁ | 13 cm |
| 最大掘削半径 | R ₂ | 100 cm |
| 切り込み幅 | S | 3 cm |
| 円盤型剥離破碎刃直径 | d ₁ | 10 cm |
| ゲージカッタ直径 | d ₂ | 20 cm |
| ディスクカッタビット刃物角 | α | 55π/180 rad |
| 段数 | | 30段 |
| 1段当たり剥離破碎刃枚数 | n | 4枚 |
| 剥離破碎刃総数 | Σn | 120枚 |
| 岩盤特性 | | |
| 岩石名 | | 花崗岩 |
| 岩石の一軸圧縮強度 | S _C | 190.2 N/mm ² |
| 岩石の圧裂引張強度 | S _T | 11.5 N/mm ² |
| 岩石の破壊靱 | K _{CE} | 1.37 MN/m ^{1.5} |
| 弾性波速度 | V _P | 4,780 m/s |
| 弾性係数 | E | 23,600 N/mm ² |
| ポアソン比 | ν | 0.18 |

なお、ここでは岩盤強度として岩石の一軸圧縮強度 S_C を 98~294 N/mm² の 5 通り、切り込み幅 S は 1~5 cm の 5 通り、円錐体切削ドラム 1 回転当たりの貫入量 p は 0.05~0.25 cm/round の 5 通りについてそれぞれ設計する。

3. 最大推進力および最大トルク

ここでは、表一に示した設計条件について試算する。

一般に、逃げ角 0 rad に対する初期端面切削時における 1 個の円盤型剥離破碎刃に作用する接線方向力 f_x (kN) および法線方向力 f_z (kN) は次式で与えられる¹⁾。

$$f_x = 2.607 \times 10^{-2} (p/4)^{0.767} S^{1.335} \alpha^{0.332} S_C^{0.987} \quad (R=0.942) \quad (1)$$

$$f_z = 0.347 (p/4)^{0.261} S^{1.053} \alpha^{0.435} S_C^{0.730} \quad (R=0.937) \quad (2)$$

ここに

R : 重相関係数

p : 円錐体切削ドラム1回転当たりの貫入量 (cm/round)

S : 切り込み幅 (cm)

α : 円盤型剥離破碎刃の刃物角 (rad)

S_C : 岩石の一軸圧縮強度 (N/mm²) である。

一般に、初期端面切削に後続する通常端面切削時における接線方向力は初期端面切削時の値の 0.701 倍であり、その法線方向力は初期端面切削時の値の 0.781 倍となる²⁾。

最外周部に位置するゲージカッタのみが初期端面切削をしており、他の円盤型剥離破碎刃はすべて通常端面切削をしていることを考慮すると、この場合、最大トルク T および最大推進力 F_z は次式で算定することができる。

$$T = f_x \times 4 \{ (13 + 16 + 19 + \dots + 97) \times 0.701 + 100 \} \\ = 7,776 \text{ (kNcm)} = 77.8 \text{ (kNm)} \quad (3)$$

$$F_z = f_z \times \{ (30 \times 4 - 4) \times 0.781 + 4 \} \\ = 2,006 \text{ (KN)} \quad (4)$$

図-3 は、切り込み幅 $S=3$ cm における最大推進力 F_z と円錐体切削ドラム 1 回転当たりの貫入量 p の関係を種々の岩石の一軸圧縮強度 S_C に対して示したものである。図より明らかに、 F_z は、 p の増加とともに放物線的に増加しており、また、 S_C の増加とともにほぼ比例して増加する傾向が見られる。

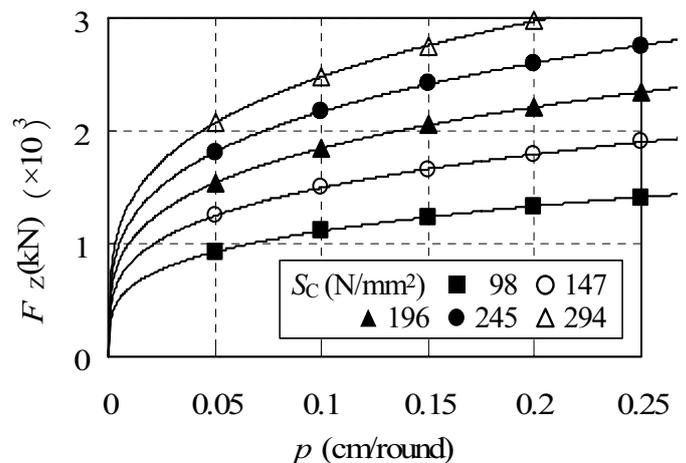


図-3 推進力 F_z と円錐体切削ドラム 1 回転当たりの貫入量 p の関係 (切り込み幅 $S=3$ cm)

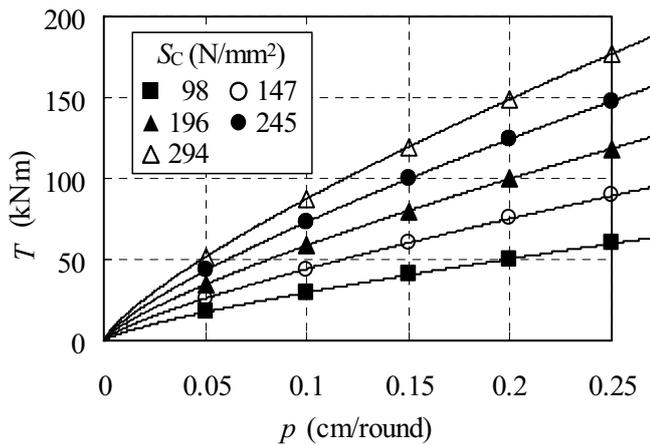


図-4 最大トルク T と円錐体切削ドラム1回転当たりの貫入量 p の関係 (切り込み幅 $S=3$ cm)

図-4は、切り込み幅 $S=3$ cm における最大トルク T と円錐体切削ドラム1回転当たりの貫入量 p の関係を種々の岩石の一軸圧縮強度 S_c に対して示したものである。図より明らかに、 T は、 p の増加とともに放物線的に増加しており、また、 S_c の増加とともにほぼ比例して増加する傾向が見られる。

4. 比エネルギー

新しい円錐体型岩盤深礎掘削機に使用されている円盤型剥離破碎刃の回転動力 P_{ER} (kNm/min) と推進動力 P_{ET} (kNm/min) は、円錐体切削ドラムの回転数 N_E (r.p.m.) と1回転当たりの貫入量 p (cm/round) および最大推進力 F_{EZ} (kN) と作用トルク T_E (kNm) に対して、次式によって算定することができる³⁾。

$$P_{ER} = 2\pi N_E T_E \quad (5)$$

$$P_{ET} = N_E p F_{EZ} / 100 \quad (6)$$

また、単位時間当たりの掘削土量 V_{EE} (cm³/min) は、

$$V_{EE} = \pi N_E p \left\{ (D_2/2)^2 - (D_1/2)^2 \right\} \quad (7)$$

となる。従って、比エネルギー E_{ES} (kNcm/cm³) は

$$E_{ES} = 100(P_{ER} + P_{ET}) / V_{EE} \quad (8)$$

で与えられる⁴⁾。

図-5は、切り込み幅 $S=3$ cm における比エネルギー E_s と円錐体切削ドラム1回転当たりの貫入量 p の関係を種々の岩石の一軸圧縮強度 S_c に対して示したも

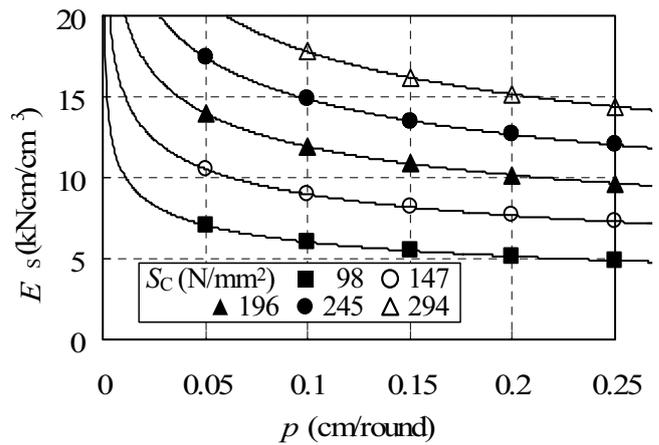


図-5 比エネルギー E_s と円錐体切削ドラム1回転当たりの貫入量 p の関係 (切り込み幅 $S=3$ cm)

のである。図より明らかに、 E_s は、 p の増加とともに双曲線的に漸減しており、また、 S_c の増加とともにほぼ比例して増加する傾向が見られる。

5. ローラカッタビットの摩耗長

円盤型剥離破碎刃であるローラカッタビットの摩耗量を的確に予測しておくことは、ローラカッタビット部品の交換計画を樹立する上で重要なことである。深川ら⁵⁾は、実際のトンネル掘削に使用されたTBM用ローラカッタビット(外径29cm, 材質SKD-11)の摩耗長 ΔR について、計5箇所地質において実測したデータに基づき、次式を提案している。

$$\Delta R = \omega L \quad (9)$$

$$\omega = 5.17 \times 10^{-8} \sigma_c \dots \dots \text{重摩耗域} (\sigma_c \geq 190 \text{ kgf/cm}^2)$$

$$\omega = 8.51 \times 10^{-6} \sigma_c^{0.0731} \dots \dots \text{軽摩耗域} (\sigma_c < 190 \text{ kgf/cm}^2)$$

ここに

ΔR : TBM用ローラカッタビットの半径方向摩耗長(mm)

ω : 単位転動距離当たりの半径方向摩耗長(mm/m)

L : TBM用ローラカッタビットの転動距離(m)

σ_c : 摩耗に対する岩盤強度指数 (kgf/cm²)^{6),7)}

である。

深礎の掘削深さ $H=10$ m, 切り込み幅 $S=3$ cm, 1回転当たりの貫入量 $p=0.2$ cm/round として、最内周部

位での転動半径 $R_1=13\text{ cm}$ のとき、転動距離は $L_1=2\pi R_1 H/p=4,084\text{ m}$ となる。従って、最内周部位にあるローラカッタビットの半径方向摩耗長 ΔR_1 は、 $\Delta R_1=\omega L_1=4,084\omega$ と算定される。また、最外周部位での転動半径 $R_2=100\text{ cm}$ のとき、転動距離は $L_2=2\pi R_2 H/p=31,416\text{ m}$ となる。従って、最外周部位にあるローラカッタビットの半径方向摩耗長 ΔR_2 は、 $\Delta R_2=\omega L_2=31,416\omega$ と算定される。

ローラカッタビットの平均半径方向摩耗長は、 $\Delta R=(\Delta R_1+\Delta R_2)/2$ で算定され、その平均直径方向摩耗長は $\Delta D=2\Delta R$ となる。表-2 は、岩石の一軸圧縮強度が $S_c=49, 98, 147, 196, 245, \text{ および } 294\text{ (N/mm}^2\text{)}$ に対する円盤型剥離破砕刃の平均摩耗長 ΔD の算定結果を示したものである。

表-2 円盤型剥離破砕刃の平均摩耗長

| S_c (N/mm ²) | 49 | 98 | 147 | 196 | 245 | 294 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| σ_c (N/mm ²) | 8.5 | 17.1 | 25.6 | 34.1 | 42.6 | 51.2 |
| σ_c (kgf/cm ²) | 87 | 174 | 261 | 348 | 435 | 522 |
| ω (mm/m) $\times 10^{-6}$ | 11.8 | 12.4 | 13.5 | 18.0 | 22.5 | 27.0 |
| ΔR_1 (mm) | 0.048 | 0.051 | 0.055 | 0.074 | 0.092 | 0.110 |
| ΔR_2 (mm) | 0.371 | 0.390 | 0.424 | 0.565 | 0.707 | 0.848 |
| ΔR (mm) | 0.210 | 0.221 | 0.240 | 0.320 | 0.400 | 0.479 |
| ΔD (mm) | 0.419 | 0.441 | 0.479 | 0.639 | 0.799 | 0.958 |

6. 岩盤深礎掘削の総工費および工期

岩石の一軸圧縮強度 $S_c=49, 98, 147, 196, 245, \text{ および } 294\text{ (N/mm}^2\text{)}$ を有する6種類の岩盤内に、直径 $D_2=2\text{ m}$ 、深さ $H=10\text{ m}$ の深礎を掘削する場合について、本工法と従来工法の総工費および工期について、それぞれ比較検討することとする⁸⁾。

本工法である端面掘削工法においては、表-1の設計条件に記述したように、実機寸法としてあらかじめ口径 20 cm のボーリング孔をダウンザホールによって掘削した後、計 120 枚の直径 10 cm の円盤型剥離破砕刃を切り込み幅 $S=3\text{ cm}$ 、切り込み深さ 3 cm で各段 4 枚の 30 段に配置した円錐体切削ドラムからなる岩盤深礎掘削機で穿孔する。いずれの岩盤に対しても、この掘削機の回転速度は 12 r.p.m. であり、円錐体切削ドラム 1 回転当たりの貫入量 p は 0.20 cm/round 、掘削速度は鉛直下方に 2.4 m/min と一定としている。総工費

の内訳は、ボーリング掘削費、機械運転経費、労務費、部品および交換費、その他から構成されている。ダウンザホール工法によるボーリング掘削費の算定においては、世話役、特殊作業員、普通作業員の労務費、ラフテレーン用クレーンおよび空気圧縮機の運転経費およびハンマー代金等を積算している。機械運転経費では、岩盤深礎掘削機、バックホウ、発電機および空気圧縮機の運転経費を積算している。岩盤深礎掘削機の運転においては、特殊運転手手当、掘削機損料、ずり搬出経費、ケーシングチューブおよびビット代金、土砂分離装置料および油圧ジャッキ費等が計上されている。また、労務費においては、世話役、特殊作業員、とび工、および普通作業員の労務費を計上している。さらに、部品および交換費については、円盤型剥離破砕刃であるローラカッタビット 1 本の代金を 2 万円と仮定した場合のコストについて、限界摩耗長を 20 mm /本としてそれぞれの平均摩耗長 ΔD から算定し、所定のビット本数に対して積算している。工期は、当該岩盤深礎を掘削するのに必要な日数であり、ボーリング掘削および本坑掘削に必要な作業時間で構成されている。本坑掘削では、いずれの岩盤に対しても掘削速度は一定であるので、工期も一定となっている。

従来工法であるパーカッション工法では、KPC-1200の重錘掘削機⁹⁾を使用することとした。この掘削機は口径 $0.65\sim 2.50\text{ m}$ の範囲の岩盤掘削が可能である。打撃ハンマーは、直径 1.25 m 、高さ 2.5 m の円錐体であり、その質量は 5 t で、全装備重量は 50 tf である。掘削のメカニズムは衝撃による岩盤破砕方式である。この重錘掘削機は、刃先角度 $60\sim 90$ 度のV字型の刃先をもつ円錐体型重錘とこれを昇降するワイヤーロープ、滑車駆動装置、架台および塔から構成されている¹⁰⁾。重錘の落下高さは $0.5\sim 10.0\text{ m}$ であり、打撃サイクルは $3\sim 60$ サイクルの範囲で岩盤の硬さに応じて自由にコントロールすることができる。また、重錘の反復落下には、自動制御式油圧駆動ウインチによる連続運転方式が採用されている。破砕岩屑はエアリフトまたはサクシオン方式によりずり管で揚土することができる。総工費は、機械運転経費、労務費およびその他で構成されている。機械運転経費は、重錘掘削機、バックホウ、発電機および空気圧縮機の運転経費を積算し

ている。重錘掘削機の運転経費には、運転手手当、燃料費、掘削機損料、ずりの搬出費、ケーシングチューブおよびビット代金、土砂分離装置経費、油圧ジャッキ代金から構成されている。また、労務費は、世話役、特殊作業員、とび工、および普通作業員の手当から構成されている。工期については、岩石の一軸圧縮強度が 180 N/mm^2 以上では、別途積算が必要とされている。

図-6 は、岩盤深礎の掘削深さ 1 m 当りの総工費と岩石の一軸圧縮強度の関係について、本工法と従来工法とを比較したものである。本工法では、切り込み幅を $S=3 \text{ cm}$ 、円錐切削ドラムの 1 回転当たりの貫入量を $p=0.20 \text{ cm/round}$ とし、ビット代金を 10 万円/本と仮定した場合の端面掘削工法について、従来工法である重錘掘削工法と比較している。図より明らかに、端面掘削工法（10 万円）の一部を除いて、本工法である端面掘削工法が、従来工法である重錘掘削工法より低コストで施工可能である。同図より明らかに、本工法は、従来工法と比較して、総工費は 60% のコスト縮減、工期は 56% 短縮を達成している。

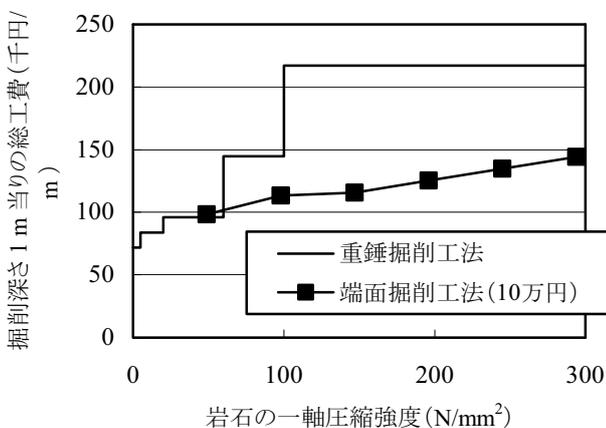


図-6 掘削コストの比較

7. あとがき

新しい硬質岩盤深礎掘削工法および円錐体切削ドラムの設計開発要領について得られた新しい知見を以下に示す。

(1)円錐体切削ドラムの推進力の設計に当たっては、

ゲージカッタを除いて全ての円盤型剥離破碎刃が通常端面掘削段階に入っていることを考慮し、所定の岩盤強度、掘削速度に対して設計する必要がある。一般に、推進力は岩盤強度に比例して増加し、円錐体切削ドラム 1 回転当たりの貫入量と回転速度の積で与えられる掘削速度とともに放物線的に増加する傾向である。

- (2)円錐体切削ドラムの回転トルクの設計において、一般に、回転トルクは岩盤強度に比例しており、掘削速度および切り込み幅とともに放物線的に増加する傾向である。
- (3)切削比エネルギーは岩盤強度および切り込み幅にほぼ比例して増加するが、掘削速度の増加とともに双曲線的に減少する傾向である。従って、与えられた岩盤に対して掘削効率を増加させるためには、切り込み幅を出来るだけ小さく設計し、掘削速度は出来るだけ大きくして作業すべきである。
- (4)円盤型剥離破碎刃の平均摩耗長は岩石の一軸圧縮強度とともに増加する。従って、部品および交換費は、硬岩に対するものは軟岩の約 2 倍にも達している。
- (5)本工法である端面掘削工法は、軟岩から硬岩に到る広範囲の岩盤深礎掘削において、従来工法である重錘落下によるパーカッション工法と比較して、総工費は 60% のコスト縮減、工期は 56% 短縮しており、ともに優れていることが半明した。

したがって、ここで提案する新しい硬質岩盤深礎掘削機は、コスト削減、省エネルギー、およびビットの耐摩耗性の向上等その有用性を明白にすることができた。

なお、本報文を作成するに当たり、愛媛大学工学部技官の河野幸一氏、ウエストコンサルタント(株)技術部の岩田智明氏、奥村組土木興業(株)課長の作原陽一氏の多大なるご援助に対して謝意を表す。

参考文献

- 1) 室達朗, 土屋清, 河野幸一: 多段式トンネル掘進機における岩石材料の定常端面掘削実験, 土木学会論文集, No.777/VI-65, pp.109-124, 2004 年 12

- 月.
- 2) 岩田智明, 室達朗, 河野幸一: 端面掘削方式を用いた岩盤深礎掘削機の性能実験, 平成 16 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.41-44, 2005 年 1 月.
 - 3) 室達朗, 土屋清, 上松正史, 河原荘一郎: T.B.M. センターカッタの定常掘削特性に及ぼすビット斜角の影響, 土木学会論文集, No.652, III-51, pp.47-60, 2000 年 6 月.
 - 4) Snowdon, R.A., Ryley, M.D. and Temporal, J.: A study of disc cutting in selected British rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics, Abstracts*, Vol.19, pp.107-121, 1982.
 - 5) 深川良一, 室達朗: TBM ローラカッタビットの摩耗特性, 愛媛大学工学部紀要, 12 巻, 4 号, pp.127-135, 1993.
 - 6) 室達朗, 深川良一: 岩盤掘削刃の摩耗とハードフエーシング対策, 土木学会論文集, 364 号/III-4, pp.87-95, 1985.
 - 7) 土砂摩耗対策委員会編: 土砂摩耗の話ー建設機械作業部品ー, テラメカニックス研究会, pp.131-156, 2000.
 - 8) (財)建設物価調査会: 国土交通省土木工事積算基準, pp. 228-236, 2005.
 - 9) (社)日本建設機械化協会編: 大口径岩盤削孔工法の積算 (平成 16 年度版), pp. 1-149, 2004.
 - 10) (社)土質工学会編: 掘削用機械・特殊な掘削, pp. 148-157, 昭和 54 年 3 月.

11. 丁張りレス施工による油圧ショベルオペレータ支援システムの開発

日立建機株式会社 ○金成 靖彦
株式会社コイシ 井上 瑞貴

1. はじめに

油圧ショベルによる掘削・仕上げ作業では、その目印となる丁張りの設置に多くの工数を要しており、施工の効率化が求められている。一方、国土交通省が推進している CALS/EC により、電子化された 3次元設計データが普及し始めており、情報利用による施工の効率化向上の期待が高まっている。こうした背景の中、測量機器メーカーなど各社から 3次元設計データを利用した施工支援システムが提供されている。

そこで、以下の 3つの特徴をもった丁張りを設置せず（以下、丁張りレス）に施工できる油圧ショベルオペレータの支援システムを開発し、実証実験を行った。

- ① 国土交通省国土技術政策総合研究所（以下、国総研）¹⁾が規格化を進めているフォーマット（以下、国総研フォーマット）の設計データと GPS による位置情報を利用する。
- ② 油圧ショベルの運転室内に設けたモニタに施工目標情報の表示を行う。
- ③ 施工目標情報を元に油圧ショベルのフロント作業機の半自動制御を行う。

本論文では、システムの概要と実証実験の結果について報告する。

2. システム概要

2.1. システム全体構成

システム構成を図 1 に、主な構成機器の仕様と用途を表 1 に示す。システムは、事務所内のコンピュータと作業現場の車体システムからなり、事務所コンピュータでは、3次元設計データを生成する。車体システムは、目標掘削断面の生成、オペレータへ情報の表示、目標掘削断面より深く掘り過ぎないよ

うな車体制御、バケット先端軌跡の保存等を行う。

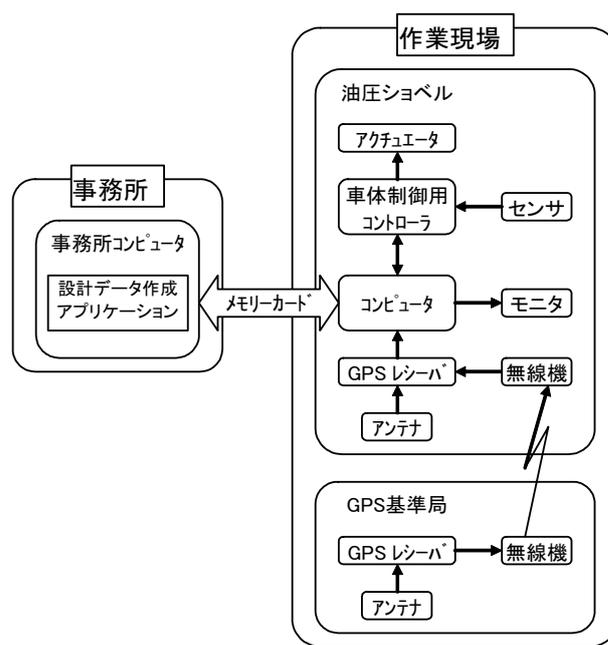


図1 システム構成

表1 システム構成機器

| 機器 | 仕様 | 用途 |
|-------------|------------------------|--|
| コンピュータ | 車載用コンピュータ WindowsXP | 位置演算 目標掘削断面生成 表示内容生成 バケット先端軌跡保存 |
| モニタ | 8inch 液晶、縦型 タッチパネル付 | 目標掘削断面及び、 ショベル姿勢等の表示 |
| GPS | RTK-GPS | 位置検出 |
| 無線機 | 2.4GHz 帯 SS 無線 | GPS 補正情報送受信 |
| 傾斜センサ | 2 軸 | 車体傾斜角度検出 |
| 回転角センサ | ポテンショメータ | ブーム/アーム角度検出 |
| ストロークセンサ | エンコーダ | バケットシリンダストローク検出 |
| 車体制御用コントローラ | H8 マイコン | 車体制御 |

2.2. 3次元設計データの生成

3次元設計データの生成には国総研フォーマットを使用する。このフォーマットは、土木建設物の設計データを紙媒体の図面を経由することなく、施工、検査、維持管理に使用するという目的で生まれたXML形式のテキストファイルである。設計データのデータ・スキーマ定義に当たって、最初に道路土工を対象に研究が開始され、まず基本的な構造を定義し、そこにパラメータを与えて道路設計データを表現するという考え方で進められた。具体的には道路中心線形、縦断線形、横断形状を定義する。(図2参照)

現時点ではこの3次元データを作成するためには、国総研の開発した「設計データ作成アプリケーション」を用いる。これは紙媒体の図面からデータを収集し、そのデータを入力することによって道路の3次元設計データを作成するアプリケーションで、通称「Skeleton」と呼ばれるスキーマに準拠したデータを生成する。Skeletonは、アメリカ合衆国における土木建設物定義スキーマである「LandXML」を参考にして、それを我が国の土木施工方式に合わせて大幅に改良したものである。

今回、国総研フォーマットを利用したのは、CADデータに比較してコンパクトで軽量であること。さらにこのSkeletonデータは新しいデータを追加するだけで、設計から施工、管理を、1つのファイルで運用可能なデータ形式だからである。

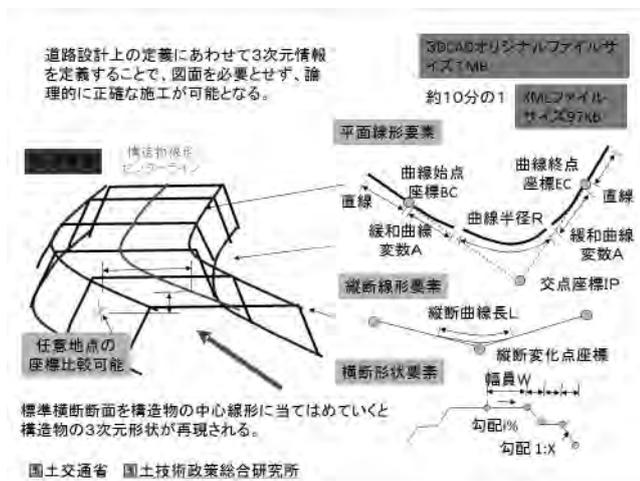


図2 フォーマット概念図

(資料提供：国土技術政策総合研究所)

2.3. 目標掘削断面の生成

油圧ショベルの位置・方向、爪先位置の演算には、車体に取り付けられたセンサを使用する。センサの取り付け構成を図3に示す。

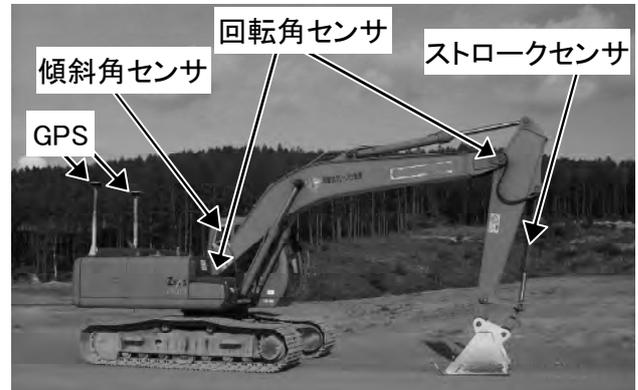


図3 システムのセンサ構成

まず、2つのGPSによりショベルの旋回中心の位置を演算する。次に、車体用傾斜センサとフロント作業機に取り付けられたセンサにより、バケット先端の位置を演算する。

これらの位置情報と3次元設計データから、現在位置における目標掘削断面を生成する。目標掘削断面は、水平方向と垂直方向の夫々で油圧ショベルの旋回中心地表面を原点とした2次元座標とし、以下に述べる情報表示や車体制御で利用する。

2.4. オペレータへの情報表示

オペレータへ情報を表示する表示装置はタッチパネル式のモニタを使用する。表示画面は、図4に示すように、油圧ショベルの上面図と側面図を基本画面とし、目標掘削断面を上面図と側面図に表示する。また、各種ステータスの表示、領域制限制御やバケット先端軌跡保存のON/OFF選択、画面切替えなどのスイッチを設ける。

上面図には、施工目標面に正対するためどのくらい旋回すればよいかを矢印と数値で表示する。側面図には、目標掘削断面までの距離を矢印と数値で表示する。また、バケットが目標掘削断面に近づくとバケット付近を拡大し、矢印と数値のみではなく、感覚的にも目標掘削断面に近づいていることを表示する。



図4 表示画面例

2.5. 車体制御

油圧ショベルのバケットが目標掘削断面より深くならないように領域制限制御²⁾により車体制御を行う。図5に示すように目標掘削断面よりも上面であれば、通常のショベルの操作と変わりなく操作でき、目標掘削断面より深くなるような操作のときに油圧ショベルのフロントを制御する。

領域制限制御を用いることにより、通常の掘削操作に比べ、オペレータはレバーの微操作を行う必要がなくなり、オペレータの負担を軽減することが期待できる。

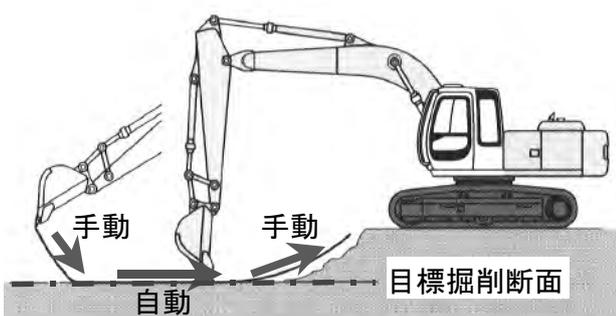


図5 領域制限制御イメージ図

2.6. バケット先端軌跡の保存

表示装置に設けたバケット先端軌跡保存ボタンを押す、バケット先端軌跡保存機能がONになると、バケットの端点の軌跡をメモリカード内に保存する。この軌跡データは、作業終了後に掘削した領域などを把握することに利用する。

3. 実証実験

開発したシステムの有効性を実施工環境で確認するため実証実験を行った。

3.1. 実証実験概要

- ・ 実験期間 2006年9月11日～22日
- ・ 実験場所 日立建機(株) 浦幌試験場
- ・ 施工内容 道路法面の掘削/仕上げ

3.2. 実証実験の目的と内容

実証実験では、表2の通り、5つの工区で実験を行った。工区1～4は、法面勾配1:1.6とし、掘削土量はそれぞれ約35m³である。工区1～4では、通常の掘削状況を模擬した工区1と比較して、開発したシステムの動作・有効性の確認、作業時間比較等を行った。なお、丁張りを設置した施工場所に関しては、丁張りを10m間隔で設置し、丁張りのみの工区1では、丁張りに水糸も張った。また、より現場に近い形での施工ということで、道路幅及び小段がある工区5のパターンでもシステムの動作確認を行った。

掘削は、全て法面の下側から掘削を行うようにし、法面の上側から掘削するよりも、オペレータの技量が必要な状況とした。本実験でのオペレータは、経験年数35年の熟練オペレータである。

表2 実証実験の実験内容

| | 丁張り | 表示装置 | 制御 | 形状 |
|-----|-----|------|----|----------|
| 工区1 | 有 | 無 | 無 | 30m直線 |
| 工区2 | 有 | 有 | 無 | 30m直線 |
| 工区3 | 無 | 有 | 無 | 30m直線 |
| 工区4 | 無 | 有 | 有 | 30m直線 |
| 工区5 | 無 | 有 | 有 | 50m幅・小段有 |

4. 実験結果

4.1. システムの動作・有効性の確認

リアルタイムで3次元設計データより目標掘削断面の生成、表示装置への表示、領域制限制御が行え、丁張りレスで施工できることを確認した。

丁張りをを用いた通常の施工方法の工区1と丁張りレス施工を行った工区4の施工結果をそれぞれ

図6、図7に示す。道路拡幅及び小段があるような工区5の施工現場においても、本システムの有効性が確認できた。図8に施工結果を示す。



図6 工区1の施工結果



図7 工区4の施工結果



図8 工区5の施工結果

オペレータは、切り出し位置や法面中央付近、法尻付近で表示装置を確認しながら掘削をしている。図9にオペレータが掘削時に見ている表示画面の様子を示す。領域制限制御を行わない場合は、行う場合に比べ、格段に操作レバーを頻繁に微操作しており、領域制限制御を用いることで、オペレータの負担を軽減できることも確認できた。

オペレータからも、表示装置を用いることで、通常分かり難い切り出し位置が簡単に分かると好評だった。



図9 オペレータから見た表示画面

4.2. 作業時間比較

実験した工区1～4でのそれぞれの作業時間結果を図10に示す。図10に示すように、掘削時間としてはそれほど変化ないが、作業員が行う丁張り設置や水系張りにかかる時間が省略される分、トータルとして施工時間が約40%短縮できた。

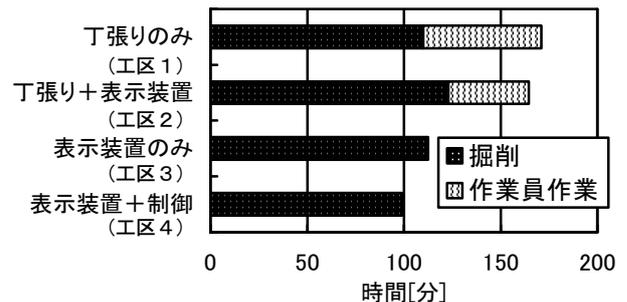


図10 工区1～4での作業時間比較

5. おわりに

国総研フォーマットで作成した3次元設計データを利用し、目標掘削断面の表示や領域制限制御を行う、丁張りレスによる油圧ショベルオペレータ支援システムを開発した。

実証実験を行い、システムの基本機能・有効性の確認と、通常の掘削作業に比べ約40%の作業時間の短縮が期待できることを確認し、実施工においても、本システムが有効に利用できる見通しを得た。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所ホームページ <http://www.nilim.go.jp/>
- 2) 羽賀正和、渡邊洋：「油圧ショベル作業を支援する掘削機能」建設機械 pp19-22、2003.10

12. 建設施工におけるICTを活用した監督・検査業務の効率化について

国土交通省四国地方整備局 徳島河川国道事務所 岩崎 洋二
 同 那賀川河川事務所 天野 英介
 同 四国技術事務所 ○石崎 秀和

1. はじめに

建設産業における生産性は、そのほとんどを人力による施工に頼っていたかつての時代に比べ、現代では飛躍的な向上を遂げている。その原動力となったのは、他の産業に比べ「単品受注生産」、「施工条件に応じた屋外作業」、「各工程毎の細かな分業」などの特異な要素がある中での、各種建設機械の導入・発展や数多の新工法の開発である。近年では、国のICT施策の柱である「e-Japan戦略」や「u-Japan政策」の推進による様々なICTの発達によって、各種の電子情報技術を建設施工に取り入れ、設計・施工・管理の各段階における様々な情報を電子的に管理・活用し、効率的で合理的な施工のマネジメントを目指す「建設施工の情報化」が進んでいる。

一方、品確法が施行されて以降、公共工事における良好な品質を確保する上では、施工の各段階での監督・検査業務は従来にも増して重要なファクターとなり、施工の最前線では日々発注者の監督職員がその都度施工現場に臨場し、現場の責任者の協力も得ながら各種の監督・検査業務を行っている。しかし、施工現場までの距離が遠い場合や、工場製作を伴う施工の場合などは、検査場所までの移動にかかる時間や経費の増大を招く要因となり、発注件数の増加と併せて各施工段階における検査・確認の頻度が高くなると、監督職員の負担が大きくなるため、各種のICTを導入することにより負担を軽減し、より密度の高い監督・検査業務を行うことが可能となる。これにより、現状よりも良好な工事品質の確保が期待できる。



このことを踏まえ、建設施工の効率化、良好な品質の確保、また施工コストの縮減に資することを目的として、ICT（画像伝送技術）を活用した監督・検査業務の効率化、人的及び時間的負担の軽減ならびに品質確保のための有効性を検証するものである。図-1にその概念図を示す。

図-1 ICTを活用した監督・検査業務効率化の概念図

2. 目的と概要

2. 1 目的

建設施工における施工品質の確保、特に公共工事における良好な品質を確保する上で重要な要素である「発注者の監督職員による監督・検査業務」の効率化を目的に、低コストで汎用的な画像伝送機器を用いて、監督職員が現地に赴くことなく、事務所等の遠隔地から施工現場や製作工場における施工の進捗状況等を確認することで、材料確認や出来高・品質確認等の監督業務を行えるかどうかについて、平成 18 年度からの 3 箇年で検討を行う計画としており、平成 18 年度は、画像伝送機器の選択及びシステムの構成と、従来の確認手法に代えて画像伝送による遠隔確認が可能な監督・検査項目の検討を管内のモデル工事にて試行し、画像伝送による遠隔確認を行う上での留意点や改善項目等の検討を行った。

2. 2 概要

画像伝送機器は、なるべく市販の機器を利用して、価格が低廉で信頼性が高く、操作の簡便なシステムとすることを目標に選定することとし、構成にあたっては、実際の工事監督の現場で想定される状況を考慮した。施工現場では、主として現場全景の確認による全体的な工事進捗状況の把握や、施工後に不可視部分となる施工箇所近景での個々の作業状況確認が必要となる。また、製作工場では、材料や部品の員数確認、製品の寸法・強度等の計測器による数値確認が必要となる。他方、伝送された画像を見る側の監督職員は、勤務時間の内外を問わず常に在勤官署内に居るとも限らないため、受信側が固定的なシステムのみの場合、適切な監督・検査等のタイミングにおけるリアルタイムでの画像確認ができないことも考えられる。そこで、2 タイプのシステムを用意することとし、使用目的に応じて使い分けが行える構成とした。一つは、現

場側（送信側）の機器を、細部や狭隘部での撮影も可能なハンディカメラ+送信機の組み合わせとし機動性を高め、受信側は事務所等のテレビやパソコンモニターを用いて大画面での画像確認が可能なタイプ（以下「ハンディタイプ」という。）と、もう一つは、現場側は可搬式の半固定的な形態で、道路や河川に設置されている I T V 装置のような据え置き型とし、受信側は手持ちの携帯電話のディスプレイモニターにて画像を確認し、電話機のボタン操作により見たい位置へのカメラ操作が行えるタイプ（以下「可搬タイプ」という。）との 2 種類の機器構成で、通信回線はどちらも一般の携帯電話回線（キャリアは N T T ドコモ）を用いる方式とした。この 2 種類のシステム構成で、工場製作を伴う工事をモデル工事を選定し、実際の監督業務において検証を実施した。なお、今回の検証における実際の使い方としては、双方のシステムで使用目的による画像確認可能な内容がオーバーラップする部分もあるため、使用目的に応じた明確な使い分けは定めていない。

3. システム構成と実施内容

3. 1. 1 ハンディタイプの機器構成

このタイプの構成は、図-2 のとおりであり、送信側と受信側双方にカード型携帯電話を 2 回線分内蔵し、画像の伝送品質及び速度の向上を図っている。また、画像伝送と同時に双方向での音声通信が行えるのが特徴である。主な構成機器は次のとおりである。

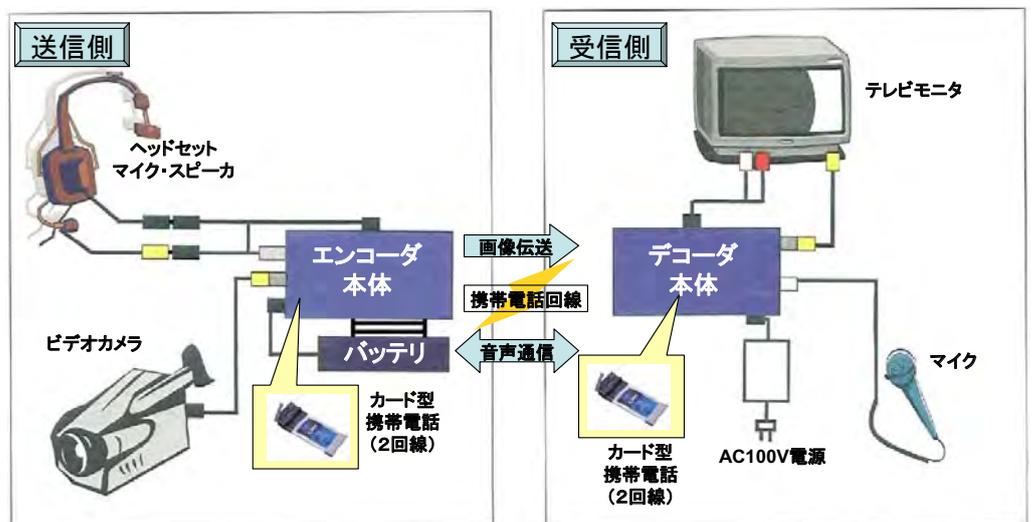


図-2 ハンディタイプの機器構成図

・送信側機器

カメラ：ビデオカメラ（市販品・静止画機能付き）

送信機：エンコーダ（カード型携帯電話内蔵）

音声通信：ヘッドセット（マイク&スピーカ）

電源：専用バッテリー

・受信側機器

モニタ：テレビ・パソコンモニタ等を使用

受信機：デコーダ（カード型携帯電話内蔵）

音声通信：スタンドマイク

（スピーカはテレビ等に付属のスピーカを使用）

電源：ACアダプタ

システムの使用時は、送信側はカメラを手に持ち、ヘッドセットを装着し、エンコーダとバッテリーはショルダーバッグにまとめて入れ、肩から掛けるようになる。送信側の装備は、全て合わせても5kg程度であり、極力機動性を損なわないように構成した。送信側の使用時イメージを写真-1に示す。



写真-1 送信側の使用時イメージ

操作方法は、送信側のエンコーダ電源を入れるだけで、自動的に設定されたデコーダへ電話を発信し、画像伝送及び音声通信が行えるというシンプルなものである。

システムの価格は、送信側のビデオカメラと受信側のテレビ等のモニタは既存のものがあると考え、この2つを除いた残りの機器を合わせた価格が約110万円となっている。なお、各側単独でも購入可能なので、1セットに追加して送信側（約70万円）のみを複数揃えておけば、工事件数や確認頻度が増加しても対応が可能と思われる。

3. 1. 2 実施内容

ハンディタイプにおける検証は、那賀川河川事務所にて発注した排水機場ポンプ設備工事をモデル工事

として、主に工場製作過程における各種の確認・検査に使用した。本システムでは動画も伝送することが可能であるが、今回の検証においては、主に製作品品に対する測定機器による計測数値の確認が目的であることより、画質優先の静止画伝送とした。遠隔確認を実施した対象製品は、ポンプ設備のうちの「電動蝶型弁」と「逆流防止弁」で、これらの「外観・寸法確認」、「耐圧試験」、「引張試験」、「漏洩試験」、「作動確認」について、遠隔確認を行った。実際の計測状況と伝送画像の状況を、写真-2及び写真-3に示す。



ノギスによる測定



メジャによる測定

写真-2 外観・寸法確認での数値確認



圧力計と
ストップウォッチ



写真-3 耐圧試験での数値確認

上記のいずれの項目においても、確認状況は「良好」または「おおむね良好」という結果が得られ、本システムによる遠隔確認の有効性が実証された。

3. 2. 1 可搬タイプの機器構成

こちらのタイプの構成は、図-3のとおりであり、送信側は荒天時の屋外据え置きにも対応できるよう、三脚に取り付けた全天候型のドームハウジングにカメラを内蔵し、カード型携帯電話を内蔵した送信機も防滴型の耐衝撃ボックスに収め、電源はAC 100 V またはバッテリーにソーラーパネルを組み合わせた自己電源でも使用可能である。受信側は、テレビ電話機能を有する携帯電話端末であれば機種を問わず、テレビ電話を発信し決められたボタンを押すことにより、カメラの上下左右とズーム操作が行えることが特徴である。なお、回線が1回線のため、ハンディタイプのような音声通信機能は無い。主な構成機器は次のとおりである。

・送信側機器

- カメラ : ネットワーク用カメラ (市販品) ※
- 送信機 : ビデオ伝送装置 (市販品) ※
- 電源 : AC 100 V またはバッテリー電源
- 付属機器 : 三脚・ドームハウジング・収納ボックス

※カメラと送信機はメーカー指定の機器が必要

・受信側機器

- モニタ : テレビ電話対応携帯電話端末
(機種によりテレビ等の大画面への出力も可能)
- 受信機 : 同上
- 電源 : 電話機内蔵バッテリー等

送信側は可搬式とし、全機器合わせて**22kg**と少々重い、「三脚+ハウジング+カメラ=7kg」、「送信機+収納ボックス=5kg」、「バッテリー+ソーラーパネル=10kg」の大きく3つのユニットに分けられており、一人でも運搬・設置が可能な構成とした。

操作は、現場に設置した機器に電源が供給されていれば、いつでもどこからでも、携帯電話から現場側へテレビ電話を発信すると、現地の画像がリアルタイムで電話機のディスプレイに映し出され、カメラの操作も電話機から行える。

システムの価格は、主要構成機器であるカメラと送信機で約30万円、全ての構成機器を合わせても80万円程度と、この種の機器で動画が伝送できるものとしては、大変安価である。画質は、携帯端末のディスプレイでは鮮明に見えても、大画面に出力した場合に

粗さが目立ち、伝送速度も完全なリアルタイムではなく、若干の遅延はある。使用目的にもよるが、どちらもおおむね許容できるレベルであり、コストパフォーマンスは高いと言え、手持ちの携帯電話が使用できるのが何より手軽である。

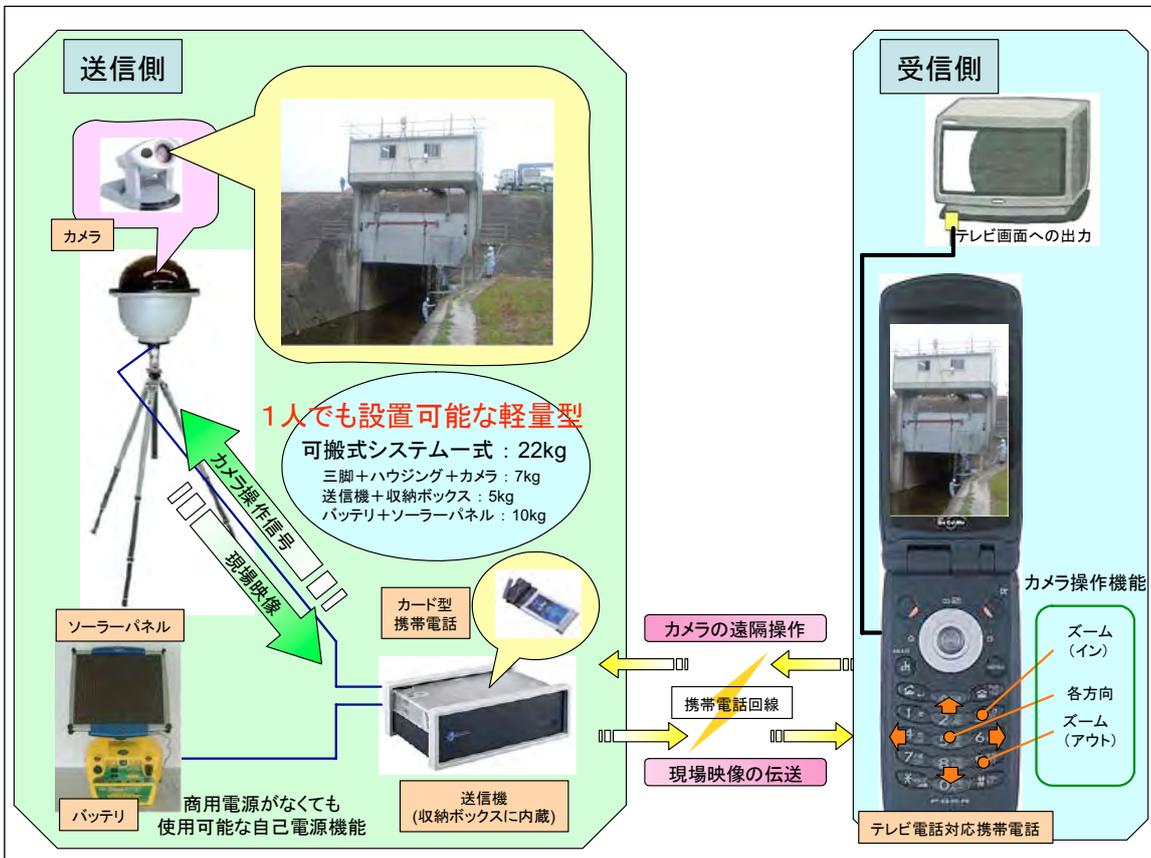


図-3 可搬タイプの機器構成図及び操作説明

3. 2. 2 実施内容

可搬タイプにおける検証は、徳島河川国道事務所にて発注した河川用ゲート設備工事をモデル工事として、主に現場据付過程における施工状況の確認に使用した。本システムによる遠隔確認を実施した工程は、「扉体据付」と「開閉装置架台部の2次コンクリート打設」である。「扉体据付」においては、「クレーンの設置状況」と「扉体の吊り上げ状況」について、適切な作業が行えているかどうか、また危険な状況がないかを作業の全景画像にて確認し、「2次コンクリート打設」においては、打設後に不可視部分となる打設途中の状況も含めて、適切な作業が行えているかどうかの確認を行った。伝送された画像は、携帯電話端末から事務所の執務室にある45インチのプラズマディスプレイに出力し、複数の監督職員が一斉に見られるようにして確認した。現場でのシステム設置状況を写真-4に、事務所のディスプレイを写真-5に、実際の伝送画像を写真-6及び写真-7に示す。



写真-4 現場におけるシステム設置状況



写真-5 事務所でのディスプレイ出力状況



写真-6 扉体の吊り上げ状況の画像

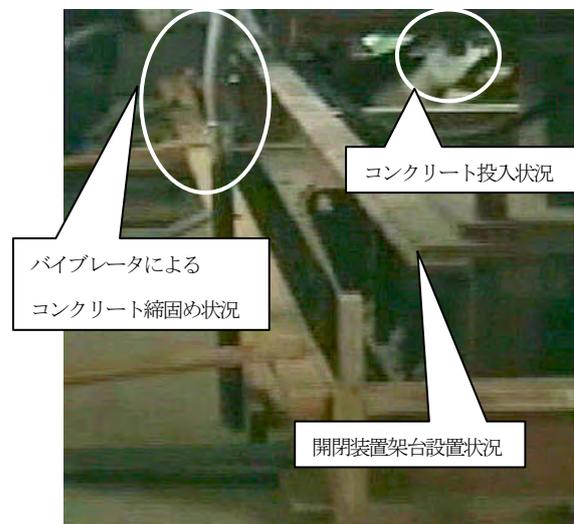


写真-7 2次コンクリート打設状況の画像

このシステムにおいても、確認した項目の全てにおいて、当初の目的をほぼ満足する確認結果が得られ、遠隔確認の有効性が実証された。

また、本システムは、現場に設置した状態であれば現場側の手を借りずとも監督職員側の意志のみにより現場の状況確認が行え、なおかつ確認中かどうかは現場側では分かり得ない（カメラは常時作動しているが、通信中かどうかは見た目には判別できない）ため、現場側の立場では常に監視されていることと同じであり、結果的に作業に対する良い意味での緊張感が生まれ、不適切な施工や危険な作業を未然に防ぐといった副次的な効果も期待出来る。ただ、これに関しては定量的な調査は困難であるため、次年度以降に現場代理人等へのアンケートやヒアリング等を実施する必要がある。

4. 検証結果等

以上の実施内容から、これまでの確認項目について遠隔確認で代替することが可能な項目の抽出を行った。その結果、臨場確認にて行っていた目視確認内容は、その多くが遠隔確認でも行えることが判明し、書面確認項目も、遠隔確認に代えることにより一層密度の高い確認が行えることが確認できた。また、工場製作を伴う工事では特に言えることであるが、本システムを用いたような遠隔確認を行うことにより、全ての確認項目を臨場確認した場合に比べ施工管理費用の低減が期待でき、品質の確保においても、臨場確認の場合と同等の品質が確保されることが確認できた。さらに、監督職員の負担軽減の面では、現場や工場までの移動時間や費用が不要となり、業務の効率化が図れることが確認できた。確認項目数の変化に関して、那賀川河川事務所のポンプ設備工事を例に検証した結果を図-4に示す。また、施工管理費用の低減に関しても、同工事において従来に比べて低減効果があることが確認された。

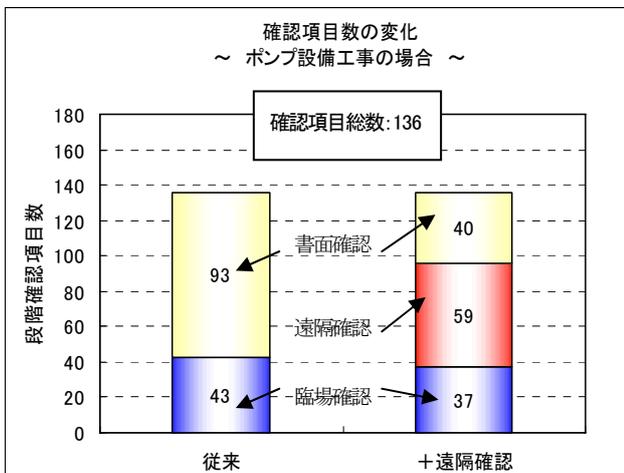


図-4 確認項目数の変化

5. 課題及び留意点など

建設施工において情報化を行う上では、現状では受注者の自主性に頼るところが大きく、施工管理基準や指針なども、そのほとんどがICTを導入した施工に対応するものになっていないため、従来の管理手法との2重管理を強いられる場合が多く、結果的に手間と費用だけが掛かり、建設施工における情報化の有効性が十分発揮されない。また、本格的な情報化施工の実

施には、それなりに多額の費用を要することから、大規模な工事での実施事例がほとんどであり、中小規模の工事において積極的に取り組むまでには至っていない。「建設施工の情報化」の黎明期においては、有効性や技術的な検証の意味も含めて従来手法との2重管理が必要であったり、大規模な現場での単純作業においての実施にとどまったりすることもあるが、技術的には既にこの段階を脱却し、情報化の有効性が検証されてきているはずであるから、今後は受発注者双方が積極的に取り組めるよう、制度や基準をICT導入に本格的に対応したものに見直し、評価すべきところは正當に評価し、与えるべきインセンティブは惜しみなく与えることにより、工事規模や工種に関係なく、建設施工の情報化が進んで行くことと思われる。

ICTを導入した施工に対応する施工管理要領が一部の工種しかない現状においては、確認の日程調整や施工管理に関してより柔軟な対応を図り、監督検査業務の効率化を目指すために、「臨場確認」と「書面確認」の中間的確認手法として「遠隔確認」を設定するのも一手であると思われる。また、「遠隔確認」の際の記録の残し方も、今後の課題である。

最近では、工事における低価格入札案件が増える傾向にあり、該当工事においては、通常よりも重点的な監督を行わなければならない。このような場合においても、現状の監督行為に追加して本システムを活用することにより、より密度の濃い監督行為を行うことが可能になるとと思われる。

6. 今後の計画

平成18年度からの3箇年で検討を行う計画としており、平成19年度は、試行対象工事を拡大し、土木工事のうち工場製作工のある橋梁工事に適用し、同様に監督業務の効率化、監督職員等の負担軽減効果の確認を行う予定としている。その結果を踏まえ、最終年度では、一般土木工事への適用も視野に入れ、調査ならびに検討を行う予定である。

また、本システムは災害発生現場の被災状況確認や、道路巡回等における迅速な状況確認などの用途にも応用が利くことから、機会ある毎にこちらも併せて適用を図り、システムの有益性を検証して参りたい。

13. 無人化施工映像技術に関する検討（バックホウ作業を主体として）

北陸技術事務所機械課長 本間 政幸
北陸技術事務所機械課 整備係長 ○以倉 直隆
北陸技術事務所機械課 主任 高井 謙一

1. まえがき

砂防工事は一般に作業ヤードが狭く傾斜地が多いなど施工条件が厳しい中で施工されている。また、土石流や斜面崩壊の発生しやすい場所で施工されていることから、工事中の安全確保が重視されており、安全かつ効率的な砂防工事を実施するため、遠隔操縦機械を使用した無人化施工が必要不可欠となっている。

本報告は、無人化施工で使用される遠隔操縦機械の操作性を向上させるため、オペレータからみた車載カメラの映像取得範囲等について検討し、車載カメラの画角、モニターの大きさ、分割数等の提案を行ったものである。

2. 無人化施工事例

北陸地方整備局における無人化施工は金沢河川国道事務所、神通川砂防事務所、立山砂防事務所、松本砂防事務所の管内で行われている。金沢河川国道事務所の施工事例を紹介する。

2. 1 施工事例

工事名：別当谷災害復旧工事
発注者：金沢河川国道事務所
主な工種：土工

写真－1は無人バックホウによる施工状況を遠隔操縦室から撮影したものである。別当谷災害復旧



写真－1 無人化施工状況

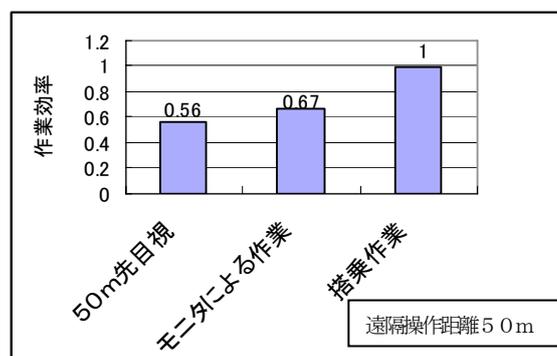
工事では土石流により破損したえん堤の腹付け作業を、遠隔操縦バックホウで行っている。遠隔操作は①有線の固定カメラ、②無線の車載カメラ、③目視を併用している。

他にも北陸地方整備局管内では、堆積土砂の除去、工事用道路の仮設、構造物の基面掘削整正を行った事例がある。作業は目視作業が標準であるが、操作距離50mを越える場合を境に、目視作業困難となるため、無線で伝送された車載カメラの映像を、モニターで見ながらの、遠隔操作を行っている。

2. 2 施工効率

掘削積み込み作業効率を、遠隔操作距離50mにおいて目視作業、モニタ作業、搭乗作業で比較した結果を図－1のグラフに示す。

映像機器を使用することによる効果が小さく、モニタ作業に残された課題改善の余地がある。



図－1 作業効率の比較

3. 映像に関する課題

3. 1 無人化施工の課題

平成17年度に、金沢河川国道事務所管内及び松本砂防事務所管内で無人化施工を実施した9工事のオペレータに対するヒヤリングを実施し、無人化施工機械の操作性向上についての実態調査、現状把握、問題点や課題の整理を行った。また、独立行政法人土木研究所が平成15年度取りまとめた「遠隔

操作施工におけるマンマシンインターフェイスの実態調査」の結果を統合し、無人化施工機械の実態としてとりまとめた。

この結果、映像に関する意見としては表-1のようなものがあった。効率化を進めるために「カメラの画角が狭い」という項目に着目し、検討を行うものとした。

表-1 無人化施工の課題

| | 北陸管内 9工事 | マンマシン インターフェイス 実態調査 |
|---------------|-------------|---------------------------|
| カメラの画角が狭い | ○ | ○ |
| 遠近感がない | ○ | ○ |
| 目が疲れる | ○ | ○ |
| モニターが不足 | | ○ |
| 機械の異常がわからない。 | | ○ |
| 作業エリアの凹凸が見づらい | | ○ |
| 画質が悪い | ○ | |

意見あり○

3. 2 検討項目

カメラ・映像関係装置は民間企業による開発が急速かつ高度に進んでおり、汎用性の高い機器であることから、課題を解決するための機器開発及び改善構想は北陸技術事務所では行わず、現地実態調査により必要なカメラ画角、モニターの大きさ、台数の検討を行うものとした。

4. 視界実態調査

4. 1 有人作業時の視界

(1) 調査方法

有人操作の際のオペレータの視線を、眼球の動きを捉えて表示するアイマークレコーダに記録しその結果から無人化施工用カメラに必要な視界の検討を行った。アイマークレコーダに関する用語を表-2に示す。

調査に使用した機種、作業内容を下記に示す。

機種：バックホウ1. 4m³級

作業内容：掘削、旋回、積み込み（10tダンプトラックへ）を3回（図-2参照）

走行内容：30m四方の場所一杯を使って前進、後進、右左折90°各1回 旋回2回

表-2 アイマークレコーダに関する用語

| | |
|-----------|---|
| アイマークレコーダ | 眼球の動きを捉えることで、注視している中心点（以後注視点という）を記録する装置 |
| 中心視野 ※1 | 人間の目は前述の注視点から左右約10°づつの範囲では物体の形を詳細に認識出来ると考えられる。この範囲を中心視野という。 |
| 周辺視野 ※1 | 物体の動き程度を認識できる範囲を周辺視野という。 |

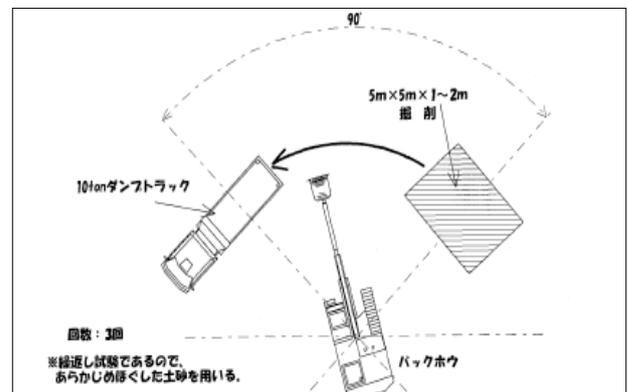


図-2 視界実態調査(バックホウ)

(2) 調査結果 (カメラに必要な画角)

アイマークレコーダを使った、バックホウ有人運転時の視野の記録を写真-3に示す。

視野の範囲は注視点の範囲を示しているので、バックホウに搭載のカメラは、この色塗りされた範囲プラス中心視野分10度の画角を持つカメラであれば、最低限の作業が可能と考えられる。



写真-3 有人作業時の視野

周辺視野については、有人作業においても無意識に目に入る程度であるので、サブのカメラで捉えればよいと考えられる。

写真-3の視界の範囲を平面図に記載したものを図-3、4に示す。

図中に必要視野範囲として示した箇所は記録された注視点に中心視野の範囲として外側に左右それぞれ10°を加えている。

この図からカメラの画角は掘削時左右110度、上下60度。走行時は、左右135度、上下70度必要なことがわかる。

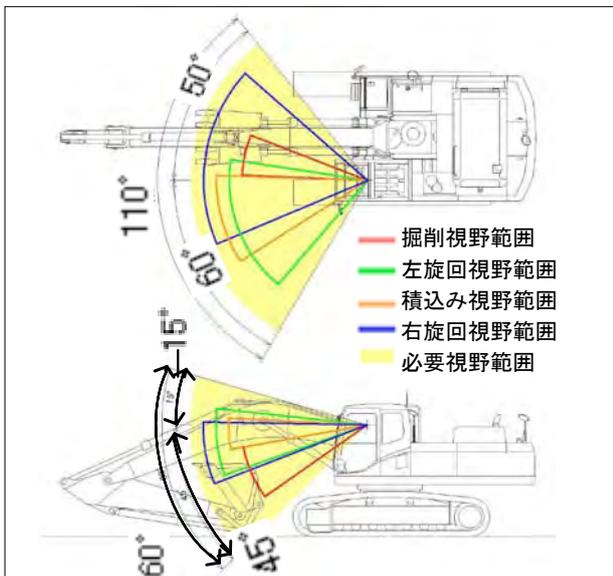


図-3 有人作業時の視界(掘削)

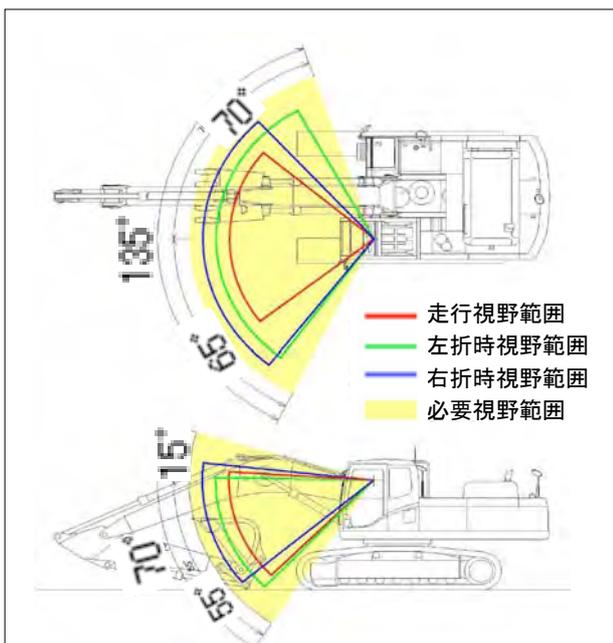


図-4 有人作業時の視界(走行)

5. モニタによる遠隔操縦

5. 1 調査方法 (モニタ用画像の取得方法)

遠隔操縦バックホウのキャブ上に汎用無線車載カメラを3台、試験フィールド内に汎用無線固定カメラを3台設置し、モニタを見ながら遠隔操縦を行った際の、車載カメラ画角、モニタの大きさ、1画面の分割数の違いと作業効率について調べた。カメラの水平画角は標準60度と、広角92度の2種類である。図-5にカメラの配置状況を示す。

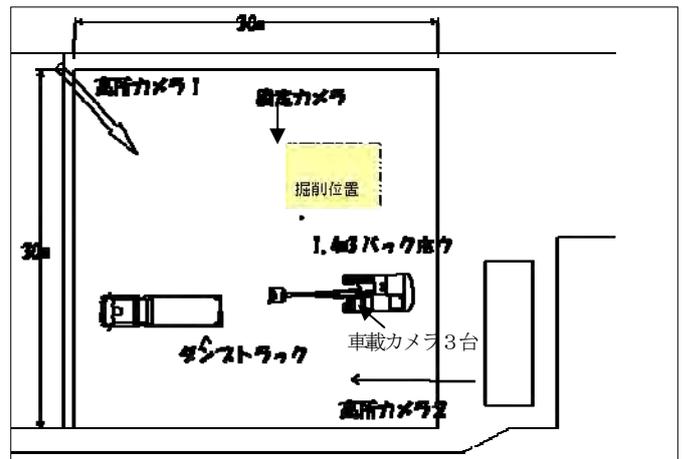


図-5 カメラ配置箇所

5. 2 モニタの配置

取得した画像を図-6左の配列で6台のモニタに出力した。

路面の凹凸等、微細な箇所も注視する車載カメラのモニタについては標準20型と大画面32型の2種類を用意した。また、1モニタを4画面に分割した場合との比較を行うため、図-6右の4分割モニタ1台にも出力した。

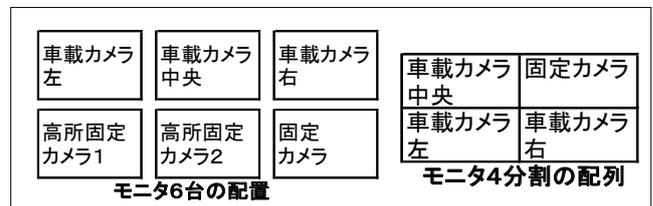


図-6 モニターの配列

5. 3 調査結果 (モニタの違いによる作業効率)

測定項目は表-3の4つのパターンで掘削→ダンプトラックへの積み込み作業(「3. 視界実態調査図-2」と同じ。)を行った際のサイクルタイム計測とオペレータの視線記録とした。

図-7に作業のサイクルタイム結果を示す。

従来からの映像取得方法である車載カメラ1台にモニター1画面の無線標準に対して、カメラの画角が広い場合、サイクルタイムは短くなった。カメラ画角は作業効率に影響を与えている。モニタの大きさは作業効率に影響を与えず、画面分割は効率を悪くしている。

表-3 モニタに関する試験パターン

| | 車載カメラ | | 固定カメラ | | モニター | |
|----------|-------|---------|-------|---------|------|-------|
| | 台数 | 規格 | 台数 | 規格 | 台数 | 規格 |
| ①無線標準 | 1 | 水平画角62° | 3 | 水平画角62° | 4 | 20インチ |
| ②無線広角 | 3 | 水平画角92° | 3 | 水平画角92° | 6 | 20インチ |
| ③無線広角大画面 | 3 | 水平画角92° | 3 | 水平画角92° | 6 | 32インチ |
| ④広角画面分割 | 3 | 水平画角92° | 1 | 水平画角92° | 1 | 32インチ |

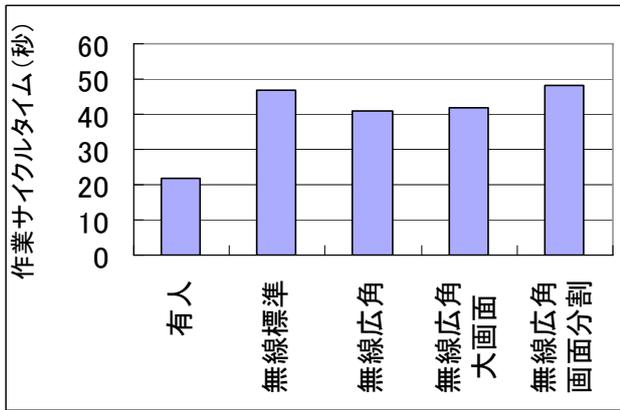


図-7 映像機器の違いと作業効率

5. 4調査結果 (モニタの注視状況)

(1) モニタを6台配置した場合

写真-4にオペレータがモニタのどの部分を注視しているか、アイマークレコーダにより記録した結果を示す。

○で示す箇所がオペレータの注視していた部分である。ほとんど、掘削箇所の映っている中央-上のひとつのモニタを見ている。モニタの大きさを換えても傾向は同じである。

あまり多くのモニタを使っても効率はよくなるだけでなく、気分が悪くなり、目も疲れる。

頻繁に使用する掘削箇所のモニタに対し、広い視界や、端部の映像がゆがまない機能が必要である。

その左右は、まれにしか使わないため、できるだけ視野に入らないよう措置し、疲労の原因とならないようにすべきである。

例えば、常時見ているモニタを一台用意し、他はフットペダル等のスイッチを使って、必要な時、必要な映像のみ、別の小さなモニタに出力する等の方法がある。



写真-4 オペレータの注視点(モニタ6台)

(2) モニタ1画面を4つに分割した場合

画面分割した際のオペレータの注視点を写真-5に示す。ほとんど画面左上の掘削箇所の映像を見ており6台のモニタを使った場合と同じ傾向である。



写真-5 オペレータの凝視点 (画面分割)

4. まとめ

無人化施工機械について、操作性の向上を目的に、車載カメラ等の映像装置に必要な機能のとりまとめを行った。この結果下記のことが考察された。

- ①車載カメラは、走行時に最も広い水平画角が必要で、135°程度である。
- ②モニタ作業を行う際は、掘削画面を注視して行き、旋回時のみ他のモニタを見ている。
- ③複数台のモニタを交互に見ながら作業することは、気分が悪くなるため困難である。

今回の結果を、無人化施工による砂防工事の施工技術や、機器の新たな開発に役立てていただければ幸いです。

※1 福田忠彦著：ヒューマンスクーパー視界の世界を探る 1996.6 日科技連出版社

14. バックホウ掘削工への情報化施工の導入と普及に向けた検討 ～機械土工のICT施工に向けて～

国土交通省中部地方整備局 中部技術事務所：○桜田 明彦、杉山 佳幸

1. はじめに

建設施工現場への情報化技術導入の取組として、中部技術事務所では施工現場でもっとも多く稼働しているバックホウに着目し、掘削工を丁張り設置なしで施工する等の情報化施工について検討を進めているところで、これまでに技術動向の整理や施工試験等を実施し、施工効率の向上等の効果とバケット位置データを活用した掘削(盛土)施工の面管理が今後の施工管理や監督・検査の効率化に極めて有効であることなどを確認している。

一方、バックホウ掘削工の情報化施工にあたり標準的な施工要領や施工管理手法等は策定されていないため、現場毎で施工精度や検査方法が異なり品質を確保するうえでの課題があると考えられることから、バックホウ掘削工の情報化施工に必要なシステム要件、情報化施工導入現場要件、施工管理方法等を取りまとめた「バックホウ掘削工における情報化施工要領(案)」の策定も検討しているため、これまでの試験結果等とあわせて紹介するものである。

2. バックホウ掘削工の情報化施工

2.1 施工技術動向

バックホウ掘削工の情報化施工(本稿では以下「バ



写真-1 試験ヤードにおけるバックホウの情報化施工(試験施工)のようす

ックホウ情報化施工」と略称する)は、大規模土工現場等を中心に行われている現状にあり、この施工には機械の位置情報、設計3次元情報及び作業管理情報を処理するシステムを付加したバックホウが使用される。

バックホウ情報化施工で用いられている各種システムの現状を把握するため、国内の総合建設業、建設機械メーカ、測量機器メーカの技術を抽出しシステム構成を調査した結果、各システムは細部技術は異なるものの基本構成は同様なものとなっていることが確認できた(表1)。

また、バックホウはバケットが3次元に動作する特性を持ちマシンコントロールと施工管理には3次元情報が不可欠なことから、施工の際に必要なデータについてあわせて調査した結果、各社のシステムに必要な設計データとその形式は表2に示すとおりであった。

表-1 バックホウ情報化施工システムの現状

| 項目 メーカー等 | バックホウ の種類 | 取得データ／機器構成 | | | | バケット位置データの 公称精度 | |
|-------------|------------------|-------------------|------------|-------------------|-----------------|-------------------------|--------|
| | | 本体位置 | 本体向き・姿勢 | | 作業装置角度(3台) | | |
| | | ピッチ | ロール | ヨーイング | バケット位置データ | | |
| 総合建設A | 既存バックホウ (後付け) | RTK-GPS (無線装置) | 2線式二軸傾斜計 | RTK-GPS (無線装置) | 磁歪式リニア 変位センサ | - | ±100mm |
| 総合建設B | 既存バックホウ (後付け) | RTK-GPS (無線装置) | サーボ式二軸傾斜計 | RTK-GPS (無線装置) | 磁歪式リニア 変位センサ | - | ±100mm |
| 測量機A | 既存バックホウ (後付け) | RTK-GPS (無線装置) | ピッチ・ロールセンサ | RTK-GPS (無線装置) | - | チルトセンサ カールセンサ | ±50mm |
| 測量機B | 既存バックホウ (後付け) | RTK-GPS (無線装置) | 2軸チルトセンサ | RTK-GPS (無線装置) | - | ロータリセンサ | ±100mm |
| 測量機C | 既存バックホウ (後付け) | RTK-GPS (無線装置) | 加速度センサ | RTK-GPS (無線装置) | - | 加速度センサ | ±30mm |
| 建設機械A | 新規バックホウ | RTK-GPS (無線装置) | ピッチ・ロールセンサ | RTK-GPS (無線装置) | - | チルトセンサ カールセンサ | ±50mm |
| 建設機械B | 新規バックホウ | RTK-GPS (無線装置) | 電磁抵抗素子(2軸) | RTK-GPS (無線装置) | - | ポテンシヨ メータ(ピン埋 込み) | ±100mm |

表-2 情報化施工に必要なデータとその形式

| 項目 メーカー等 | 必要データ | 形式 | 適用 | 座標系 |
|-------------|--|-------------------------------------|---|-------------|
| 総合建設A | ・設計サーフェイス(TIN) ・設計メッシュ標高(X, Y, Z) ・平面図 | ・LandXML ・TEXT, CSV ・DXF, DWG | ・各メニューの接続順序 が必要 ・測点等の現場指標 を含むこと。 | 公共/ 現場座標 |
| 総合建設B | ・設計平面メッシュ ・標高(X, Y, Z) | ・TEXT ・CSV | | 公共/ 現場座標 |
| 測量機A | ・3次元設計モデル ・3次元設計図(X, Y, Z) | ・LandXML ・DWG, DXF, DGN | | 公共/ 現場座標 |
| 測量機B | ・設計サーフェイス(TIN) ・3次元設計図(X, Y, Z) | ・DWG, DXF, TEXT ・CSV | | 公共/ 現場座標 |
| 測量機C | ・3次元設計モデル ・3次元設計図(X, Y, Z) | ・LandXML ・DWG, DXF等 | | 公共/ 現場座標 |
| 建設機械A | ・3次元設計モデル ・3次元設計図(X, Y, Z) | ・LandXML ・DWG, DXF, DGN | | 公共/ 現場座標 |
| 建設機械B | ・3次元設計図(X, Y, Z) | ・DXF, DWG | | |

表-3 想定される情報化施工の導入ニーズ

| ニーズ | 背景 |
|-----------------|---|
| 現地への丁張り設置をなくしたい | 現地に立入りできない、断面変化が頻繁な設計では丁張り本数が多く、設置が手間 |
| 掘削作業を効率化したい | 丁張り・延伸・盛り換え遅延による掘削工の中断をなくしたい 掘削中の丁張りによる目視確認や検測確認をなくしたい |
| 掘削精度を向上したい | 薄層掘削を実施したい 出来形精度が曖昧になる丁張りによる目視確認をなくしたい |

表-4 情報化施工の導入工事と導入目的

| 工事区分 | 対象工種 | 施工条件 | 導入目的 |
|------|------|------------------------------------|--|
| 施工者A | ダム工事 | 仕上げ掘削(コア) 堤体盛立(コア) 堤体盛立(ロック) | 掘削準備の効率化、夜間作業の効率化、掘削指示の効率化、出来形測量の効率化等。 |
| | 掘削工 | 無人化施工で困難な丁張り設置の解消、掘削・盛土作業効率の向上。 | |
| 施工者B | 床固工事 | 掘削工 土砂型枠工 | 立入禁止区域(無人化施工) 丁張り設置の効率化。丁張り設置・延伸・盛り換え時の頻繁な重機と人が接近で危険性が高いためその改善。 |
| 施工者C | 床固工事 | 掘削工 土砂型枠工 | |
| 施工者D | 床固工事 | 掘削工 土砂型枠工 | 現場への丁張り設置による手間を無くしたい。 3次元設計データ、段階施工指示データの有効活用による施工効率化。 |

2.2 施工現場動向

バックホウ情報化施工が導入される理由は、「丁張り設置を省略し施工を効率化したい」など表-3に示すような項目が想定される。

今回実際に施工を行っている現場において、どのような現場条件(工種)でどのような効果を期待して情報化施工を実施したのかについて確認するため、東北地方のダム建設現場と九州地方の災害復旧現場の施工業者を対象に現場調査(件数は4件)を実施した。

調査結果は表-4に示すとおり、丁張り作業の削減や施工の効率化を目的としていることが確認できた。

2.3 バックホウ情報化施工の現状

技術動向及び現場動向を調査した結果、バックホウ情報化施工の現状を次のように整理した。

- ①情報化施工は、丁張りなしでの施工を実施することで施工の効率化、作業の安全性向上を図ることを期待して現場導入されている。(表-5)
- ②バックホウの情報化施工技術はほぼ確立しており、情報化施工システムの標準的なバックホウシステム

表-5 期待される情報化施工導入効果

| 導入効果 | 備考 |
|----------------------------|---------------------|
| 掘削準備工の軽減 | 丁張り作業の削減 |
| 掘削作業効率の改善(作業工程の短縮)(環境負荷軽減) | 検測回数の軽減 修正施工の軽減 |
| 安全性の向上 | バックホウ周辺への作業員立入回数の軽減 |
| 余掘土量の削減 | 出来形の均一化 |
| オペレータへの負荷軽減 | 操作支援情報の提供による安心感 |

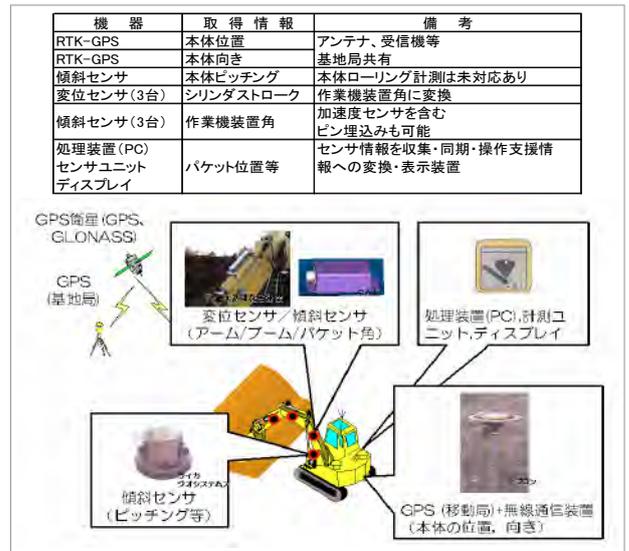


図-1 情報化施工システム技術 (バックホウシステムと機能)

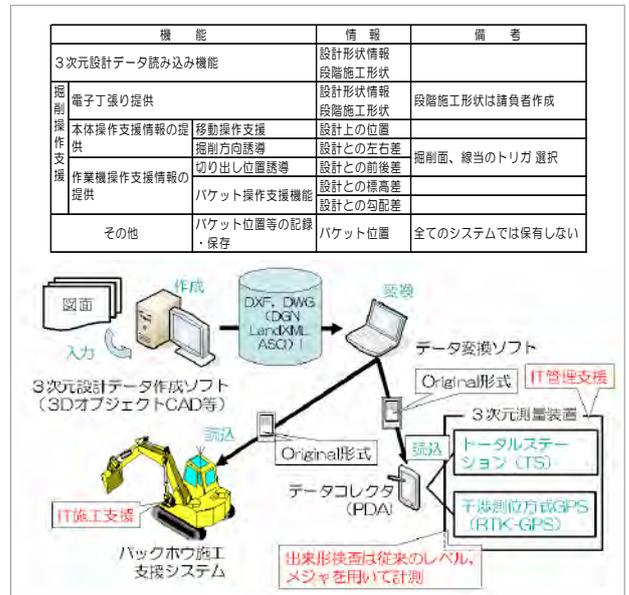


図-2 情報化施工システム技術 (施工システムと機能)

構成と機能は図-1、標準的な施工システムと機能は図-2のようにまとめられる。

3. 実証試験及び調査

3.1 施工能力の確認

前項で整理したように一般にバックホウ情報化施工は効率的な施工を実現する事を目的に導入される。

そこで、丁張りなしで施工することによる施工効率の向上を確認するため、平成16年度から平成18年度にかけて実現場及び構内に造成した試験ヤード等

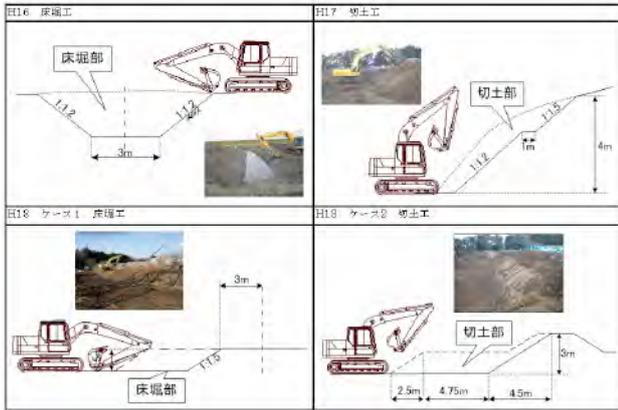


図-3 調査・試験現場の横断形状

表-6 施工能力等の調査結果

| 条件 | 試験・データ収集箇所 | 試験結果 | 標準歩掛 | 標準歩掛との比較 |
|----------|------------|------|----------------------|----------|
| 実施年 | 場所 | 線形 | 施工能力 | 施工能力 |
| 床掘工 | H16 河川現場 | R=SO | 88m ³ /h | 2.5倍 |
| | H18 構内試験 | R=SO | 83m ³ /h | 2.4倍 |
| 切土工 | H17 構内試験 | R=SO | 65m ³ /h | 1.4倍 |
| | H18 河川現場 | 直線 | 49m ³ /h | なし |
| 法面整形(切土) | H17 構内試験 | R=SO | 48m ² /h | 1.9倍 |
| | H18 構内試験 | R=SO | 37m ² /h | 1.5倍 |
| 法面整形(片切) | H17 構内試験 | R=SO | 108m ² /h | 2.8倍 |
| | H18 河川現場 | 直線 | 70m ² /h | 1.7倍 |

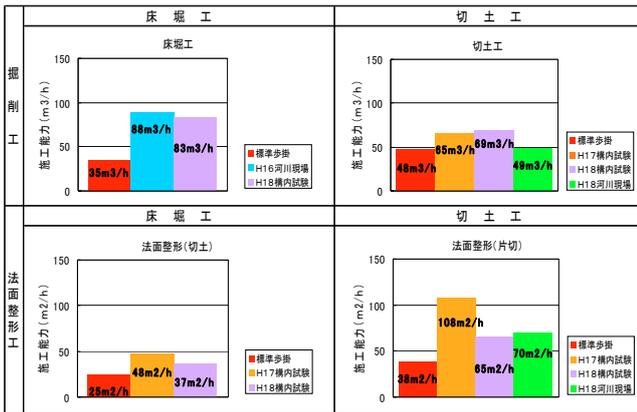


図-4 施工能力の比較図

で施工能力の調査を実施した(施工横断形状は図-3に示す)。

調査及び試験結果は表-6、図-4に示すとおりで、工種による多少のバラツキはあるものの平均で約30%の施工能力向上(注:ただし確認は直接工相当のみ)が確認できた。

3.2 施工精度の確認

施工能力の向上は施工コスト縮減等に有効であるが、一方では品質を確保することも必須である。

そこで、図-3に示す現場等における施工能力の確認と同時に施工精度(施工出来形)についての確認も実施した。

結果の一例として平成17年度に実施した切土工の

表-7 情報化施工による出来形(設計値との差)測定結果の一例

| 測定項目 | 法面(2段目) | | 小段 | | | 法面(1段目) | | 道路路面 |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|------|
| | 標高(H1) | 幅(B1) | 標高(H2) | 法長(B2) | 標高(H3) | 標高(H3) | 標高(H3) | |
| 設計値/規格値 | 172.700 ±50 | 1.000 -100 | 172.700 ±50 | 4.500 -200 | 170.200 ±50 | | | |
| 実測値/設計との差 | No.1+15.0 | 172.740 +40 | 1.100 +100 | 172.745 +45 | 4.530 +30 | 170.245 +45 | | |
| | No.2+0.0 | 172.705 +5 | 0.980 -20 | 172.700 0 | 4.510 +10 | 170.235 +35 | | |
| | No.2+5.0 | 172.700 0 | 0.980 -20 | 172.710 +10 | 4.550 +50 | 170.225 +25 | | |
| | No.2+10.0 | 172.730 +30 | 1.040 +40 | 172.710 +10 | 4.560 +60 | 170.225 +25 | | |
| | No.2+15.0 | 172.740 +40 | 1.120 +120 | 172.715 +15 | 4.470 -30 | 170.240 +40 | | |
| | No.3+0.0 | 172.725 +25 | 1.040 +40 | 172.705 +5 | 4.480 -20 | 170.245 +45 | | |
| | No.3+5.0 | 172.735 +35 | 1.150 +150 | 172.720 +20 | 4.500 0 | 170.240 +40 | | |
| | No.3+10.0 | 172.680 -20 | 1.120 +120 | 172.690 -10 | 4.480 -20 | 170.210 +10 | | |
| | No.3+15.0 | 172.735 +35 | 1.050 +50 | 172.730 +30 | 4.520 +20 | 170.210 +10 | | |
| | No.4+0.0 | 172.685 -15 | 1.040 +40 | 172.715 +15 | 4.510 +10 | 170.240 +40 | | |

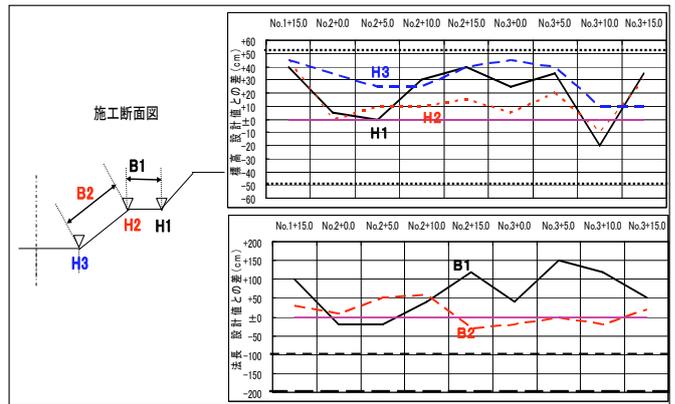


図-5 情報化施工による出来形測定図

(表7の測定結果を図化したもの)

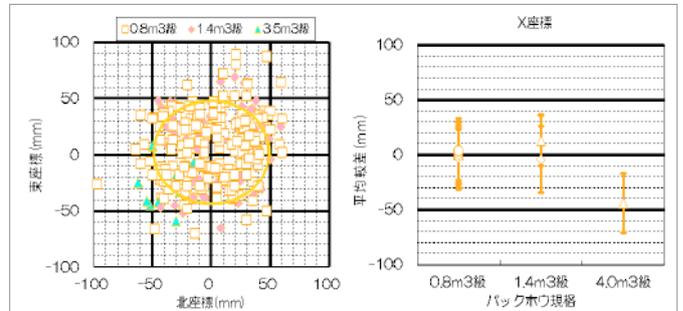


図-6 バケット(刃先)位置の取得精度

試験施工結果を表-7、図-5に示すが、すべての管理断面において国土交通省(地方整備局ごと)が定める「土木工事施工管理基準」の土工の規格値を満足する出来形で施工できることが確認できた。

また、施工出来形を左右する施工システムの精度(機械そのもののガタとバケット位置を決定するための各種センサーの誤差)もあわせて確認した。バックホウの規格ごと(情報化施工システムは表-1に示す各社方式が混在)にバケット位置(刃先位置)の取得データのバラツキを平面及び標高に分けて示したものを図-6に示すが、データにバラツキはあるものの統計的な平均値は±30mmとなり、出来形管理規格値の

±50mm をクリアすることを確認した。

3.3 出来形管理と監督・検査への活用検討

3.3.1 施工管理支援の可能性

バックホウ情報化施工は設計データとバケット位置データに基づき施工されるため、この値の差を活用する施工管理法を導入することで施工管理や監督・検査の効率化にも寄与するものと考えられる。

そこでバケット位置データを利用した施工管理の可能性と有効性を試験することとし、既存の3次元CADをベースにバックホウ情報化施工システムにより記録される施工中の刃先軌跡データを設計情報とあわせて3D化する3次元設計支援システムを試作した。これにより、3D表示で地形データと施工結果の重ね合わせによる施工数量の算出も可能とするなど情報化施工データと設計データを効果的に活用できることが確認できた(図-7)。

さらに読み込んだバケット軌跡データと3D設計データに基づき、設計との差異(設計とバケット軌跡との標高上の差異)の色分け分布図を作成表示(図-8)する出来形管理支援機能により、設計と出来形の差が一目でわかり施工の手直しが必要な範囲を適格かつ迅速に確認し指示することが可能になるなど連続的・面的な出来形管理の実現性と有効性も確認した。

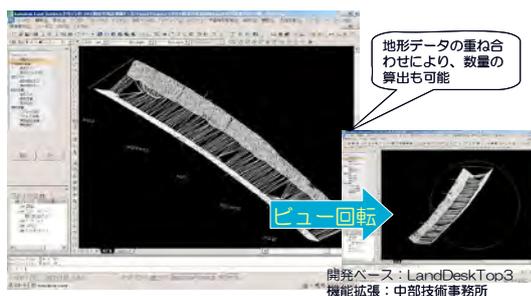


図-7 3次元設計支援システムの出力事例

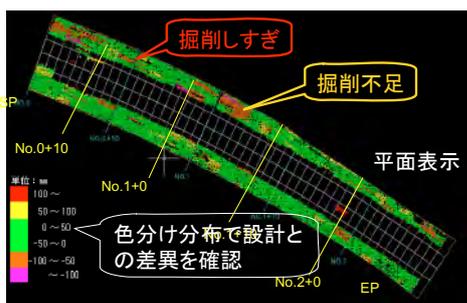


図-8 出来形管理支援システムの出力事例

3.3.2 3次元測量への適応性

3.2で述べたように情報化施工により従来同様の規格値は満足できることを確認しているが、これは設計値と出来形の差としての評価であり主に施工中の精度確認や施工の効率化に有益なものである。

一方、施工完了後の出来形検査時には標高等の測量が行われるが、バックホウ情報化施工箇所をレベル測量などの従来手法で行うのは丁張りなしでの施工メリットが十分に生かされない。

そこで、現行のレベルによる標高測量にかわる3次元測量手法として現場導入が進むトータルステーション、RTK-GPSとバックホウ情報化施工システム(バケット位置)についてレベル測量と同等の測定が行えるか確認を実施した。

確認の結果を図-9に示すが、バックホウ情報化施工システムは±50mmとGPS(一般に±30mm程度の誤差があるとされる)に比べ大きな測定値のバラツキがあることが確認された。これはGPS衛星を用いて座標算出する特性上データにバラツキが生ずるもので現状の技術ではやむを得ないと判断される。

したがって、現時点ではバックホウ情報化施工システムのみで施工管理と完成検査まで実施した場合、出来形管理規格値±50mmを満足することは難しいと考えられるので情報化施工を行った場合の検査測量はトータルステーションもしくはRTK-GPSを併用すべきであるといえる。ただし、災害復旧工事等測量が困難な現場等では、前述のバケット位置の施工精度(±50mm)も考慮し出来形管理規格値を±100mmに設定したうえで施工すれば情報化施工の導入メリットを生かすことができると考えられる。

今後のバックホウ情報化施工と監督検査の高度化に

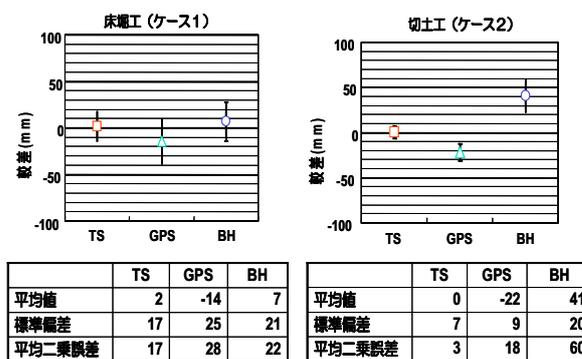


図-9 レベル測量に対する標高測定値の比較

は、精度向上が重要な技術的課題である。

4. バックホウ情報化施工の普及と活用にむけて

4. 1 施工要領の検討

バックホウ情報化施工は、施工の効率化や安全性向上など現場導入メリットが高いことから、これまでは大規模土工や災害復旧工事等の施工にあたり施工者自らが導入しそのメリットを生かしているケースが多い。

今後、一般土工現場に普及していくには解決すべき課題は残されているものの、発注者においても安全施工やコスト縮減に効果があることから積極的な現場導入と活用が望まれる。今後バックホウによる情報化施工の普及促進にあたっては、各種条件や技術要件等を取りまとめた「情報化施工要領」が必要と考えられるため、この策定作業を進めている。

これまでの検討結果をふまえた「要領」のとりまとめ方針と素案の内容は以下のとおりである。

①適用現場

特に発注者においては情報化施工導入により工事の安全とコスト縮減が期待できる現場に対して適用のニーズが高いと考えられる。図-10に導入効果の高いとされる工事を示す。

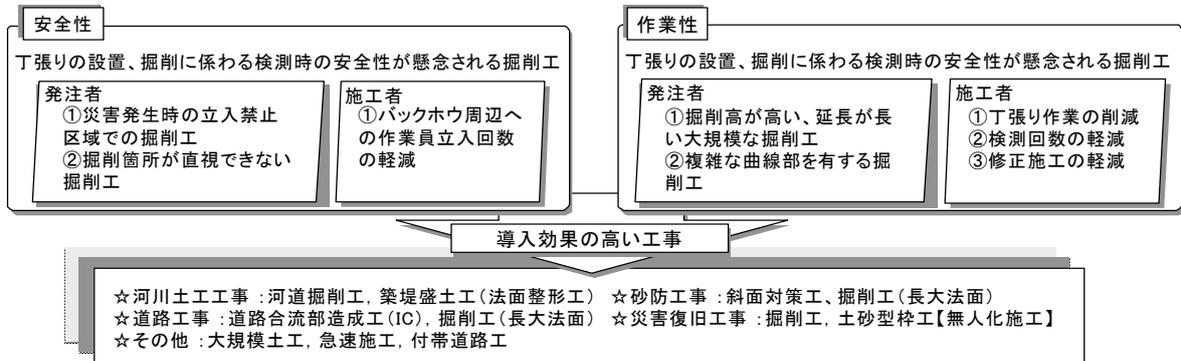


図-10 バックホウ情報化施工の導入効果が期待できる工事・工種（案）

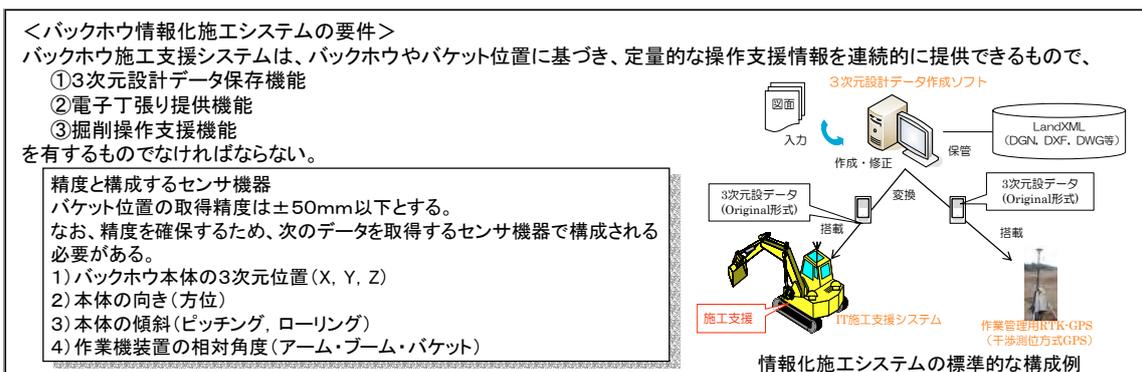


図-11 バックホウ情報化施工システムの機能要件（案）

②機械・システム要件

施工に使用する機械とシステムについて一定の要件を設定しておかなければ、施工者・発注者とも施工計画時や監督検査時に多大な労力が必要となることから、使用する機械やシステムについての条件を図-11に示すようにとりまとめた。

なお、今後新たに開発された技術等が採用しやすいような必要な機能仕様についてのみの条件設定としている。

③施工要領

情報化施工による出来形管理や検査等をスムーズに実施できるよう、図-12に示すように施工精度確保のためのルールや方法を取りまとめた。

以上のような内容で、平成18年度末に「バックホウ掘削工における情報化施工要領（案）」を取りまとめたところで、今後中部地方整備局発注の試験工事等で試行していくこととしている。

4. 2 普及に向けた課題

バックホウ情報化施工普及のためには、前述の「施工要領」等の策定とあわせて、既に述べているように施工精度の向上のための技術開発並びに施工管理手法のあり方等について検討を進めていく必要があると思

＜バックホウ施工支援システムによる情報化施工＞

現場確認

バックホウ施工支援システムの導入前に、対象掘削範囲において、RTK-GPSが適用できることを確認する。

基準点

- ①バックホウ施工支援システムの導入前に、対象掘削範囲付近の基準点の数が少なくとも3点以上あることを確認する。
- ②バックホウ施工支援システム及び作業管理用RTK-GPSにおいて、使用する基準点は、監督職員の指示を受けた4級基準点と3級水準点（山間部では4級水準点を用いても良い）もしくはこれと同程度以上のものを使用する。
- ③新たな基準点の設置にあたっては、国土交通省公共測量作業規定に準拠するものとし、測量結果を監督職員に提出し、承諾を得て使用すること。

精度の確認と維持

- ①バックホウ施工支援システムの性能確認のため、掘削工着手前に、バケット位置の取得精度を確認する。
- ②掘削期間中、バケット位置の取得精度などを適宜確認する。
確認頻度は、少なくとも作業日5日ごとに1回以上の割合で行うことを標準とする。

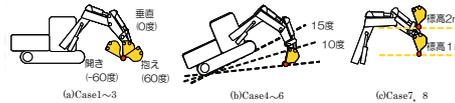
精度変化要因

- ①バケットの摩耗によるバケット寸法の変化
- ②作業機装置のピン支承の摩耗による機械ガタの変化
- ③センサ設置位置のずれ
- ④センサ性能の低下、センサ故障（較正值のドリフト等）

日常点検項目例

| 対象 | 点検項目 |
|------|-----------------------------------|
| GPS | フック（ねじ）の緩みはないか アンテナ、マストの変形はないか |
| センサ | フック（ねじ）の緩みはないか センサの変形はないか |
| ケーブル | ケーブルの緩み ケーブルの破損はないか |

| パラメータ | 目標値 | | | 試験数 | 備考 | |
|-------|--------------|------------|-------------|------|------------------|------------|
| | バケット 標高位置 | バケット 角度 | バックホウ 姿勢 | | | |
| Case1 | 0m | 0度 | 0度 | 8点以上 | バケット角 度 | |
| Case2 | 0m | -60度 | 0度 | | | |
| Case3 | 0m | 60度 | 0度 | | | |
| Case4 | 0m | 0度 | 5度 | | バックホウ 姿勢（ピッチ） | |
| Case5 | 0m | 0度 | 10度 | | | |
| Case6 | 0m | 0度 | 15度 | | | |
| Case7 | 1m | 0度 | 0度 | | | バケット高 さ |
| Case8 | 2m | 0度 | 0度 | | | |



バケット位置精度の確認方法

図－12 バックホウ情報化施工の標準要領（案）

われる。

また、前述の技術動向調査、現場動向調査を実施するにあわせて、施工者やメーカを対象に情報化施工における課題や提案についても調査している。

調査の結果は表－8のとおりであるが、施工システムの技術的課題以外に主に施工者を中心として、施工に必要な設計3次元データに関する事、施工管理基準に関する事、システム導入費用や技術提案に対するインセンティブ等契約制度に関する事、機器やシ

表－8 情報化施工の課題と提案等

| 課題分野 | 課題・提案等 |
|------------------|---|
| 技術的課題 | 情報化施工システム ○センサ交換によるキャリブレーションの簡素化。（測量機B） ○キャリブレーションを十分に行わないとバケット位置の取得精度が落ちる。（施工者C） ○バケット位置精度の向上（浅深船上での掘削）。（総合建設B） ○画面表示が遅れる。（施工者B） |
| | 設計・施工データ等 ○汎用性の高いDXF形式の設計データの提供を希望。（測量機B） ○設計データを事前に精査する必要がある。（施工者C） ○発注者から提供される図面を、IT機器で利用可能なデータ化して欲しい。（総合建設A） ○設計情報の標準化が進めば、システム側でも取り込めるように対応する。（総合建設A） |
| 制度・規定等に 係わる課題 | 施工管理基準 ○現行の出来形管理（管理断面毎の管理）では、本システムの導入のメリット（面的な仕上げ精度が向上する）が評価できない。 国土地理院の4級基準点測量にはGPSを利用可能である。出来形計測についても導入を許可してはどうか。（測量機C） |
| | 契約制度 ○バックホウ施工支援システムに対する標準積算をとりまとめてはどうか。（総合建設A） ○技術提案した場合に評価点があるのであれば、積極的に提案していきたい。（総合建設B） ○このような取り組みが工事評価につながれば、積極的に利用したい。（総合建設B） ○システム普及のための最善の契約形態は、下請けにインセンティブを与えることである。ただし、システムは高価で、3D-CADを操作できる人が確保しにくい等考えられるので、インセンティブは工程毎に支払えるような仕組みをつくり下請け業者が報われるようにすべきである。（施工者A） |
| | 市場流通 ○掘野を広げるためには、リース・レンタルの形態で請負業者が利用できる簡易システムを作るべき。（施工者A） |

ステムの流通に関する事、などバックホウ掘削工に限らず情報化施工全般にも係わる制度面に関する課題や提案を多く抽出することができた。

バックホウ情報化施工を今後本格的に普及させていくためには技術開発と並行して制度や基準の検討と整備も進めて行くことが重要と考えられる。

5. おわりに

今回の検討の結果、バックホウ情報化施工は作業における施工効率や安全性の向上等に有効な事、施工から検査までの作業の効率化にも有効な事が明らかとなったもので、今後の普及が望まれるものである。

なお、普及に向けてさらに検討すべき課題も明確になったことから、技術的課題については施工者、機械メーカや測量機メーカ等の今後の技術開発に期待するものである。中部地方整備局においても今年度以降試験施工を実施し実現現場でのデータ収集や課題の抽出を行い、現場導入効果の検証と普及に必要な検討を進めていくこととしている。

最後に、中部地方整備局関係事務所をはじめ各作業現場の施工者とメーカ関係者の皆さま及び(社)日本建設機械化協会施工技術総合研究所のご協力により本報告をとりまとめることができたことを記し、謝意を表します。

15. 機械施工におけるデータ辞書の拡張について

○二瓶 正康 南 佳孝 山元 弘 大山 敦郎

1. はじめに

国土交通省では公共事業の実施サイクルの中で、情報の交換、共有、連携を図ることで生産性の向上とコスト縮減及び品質の確保を実現する取組としてCALS/ECを推進してきた。

2006年3月には国土交通省CALS/ECアクションプラン2005が策定され具体的な目標として「工事施工中の情報交換・共有の効率化」と「情報共有・連携に向けた必要な標準の整備」が示されている。

また、2007年5月に発表のあった国土交通分野イノベーション推進大綱においては、第4章の中に社会資本整備・管理の効率化、生産性の向上が項目立てされており、施工の情報化推進として「データを交換するためのルール化を進める」と取組方針が明確化されてきた。

一方で建設業界の現状をみると、個別の用途・目的に最適化された情報システムが存在しており、建設施工の現場においても、施工の機器管理や出来形管理・品質管理を含めた建設施工システムとして情報技術を活用した取組が進められている。

しかしこれらの取組では、それぞれの現場で閉じたシステムとして構成されており、他のシステムへのデータ流用に関する要請順位は低い。

これは、情報技術を用いた施工システムの取組にはコスト面での負担が予想され、開発したシステムが再利用される可能性も低いことから、一定以上の規模の工事で且つその現場内でコスト償却できることを前提にして取組が成されるためである。

これらの現場では、自由度の高い独自のデータ定義を用いてシステムを構築・運用しており、又これらのデータ定義は非公開であることが多いため、それぞれのシステムが保有しているデータを他のシステムで利用することは困難である。

これまで、一部の大規模工事では情報システムを用いて施工の全体最適化が実現されている¹⁾。また「工事全体を通して設計情報を利活用することによる施工管理効率化検討」²⁾では、小規模な道路工事(盛土工・舗装工)においても、標準化された設計情報を施工工程で流通させ、丁張り設置、機械施工、出来形管理などに用いた場合、情報技術を活用した管理では、従来施工の管理に要する時間に対して約30%の時間短縮効果を試算できた。

建設施工のさらなる効率化実現には、これまでの一現場という範囲を越えた情報流通の実現が必要不可欠であり、「データ交換標準」の設定が必要である。

筆者らは、既研究の成果として、「機械施工に係わるデータ交換標準構築手段に関する研究開発」³⁾や「Research on the Extendable Data Exchange Standard in Information Integrated Construction of Filling Work」⁴⁾において、データ交換標準が情報交換基盤として機能し、施工情報を共有・連携するための「データ定義手法」に関する研究を行ってきた。

その中で、データ交換標準は「データフォーマット」とデータの定義手段である「情報モデル」と「データ辞書」で構成することを提案してきた。

本発表では、これらの具体例として盛土工と舗装工で建設機械と施工現場間で流通するデータを対象にデータ交換標準の作成と拡張の取組について報告する。

2. データ交換標準

データ交換標準は、情報交換基盤として永続的なデータ交換を実現するため次の2点の要件を満たす必要がある。1点目は交換データの意味や構造を把握できる点、もう1点は拡張できる点である。

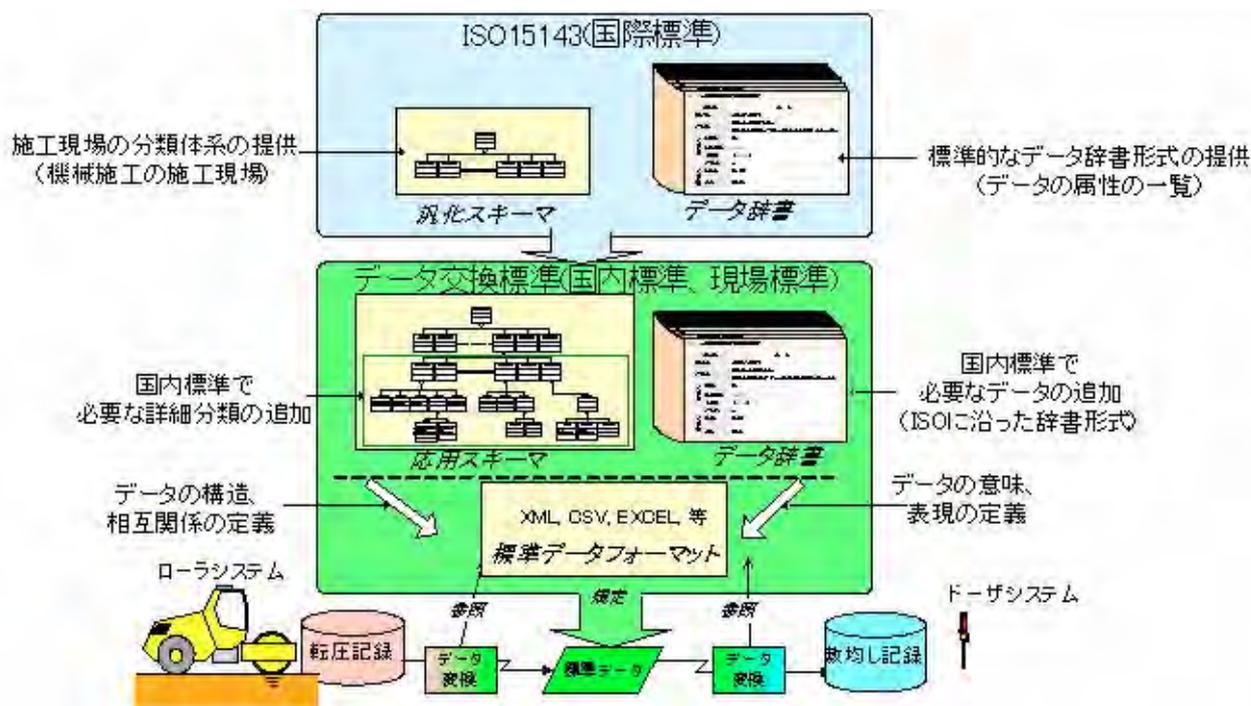


図-1 データ辞書を用いたデータ交換

(1) 情報モデル(スキーマ)

データ交換の対象(交換データ)は、一般に分類や階層を持つデータ要素から構成され、使用する施工現場のニーズに伴って変化する。そのため、交換データの意味や構造を把握し、施工現場のニーズ変化に対応できなければならない。しかし、既存のデータ交換標準では、データ交換に利用するデータフォーマット(標準データフォーマット)の仕様が策定されているだけであるため、交換データの意味や構造の把握、ニーズ変化への対応が容易ではない。

そこで筆者らは、標準データフォーマットに加えて、情報モデル(標準データフォーマットに含まれるデータ要素の分類・階層構造やデータ要素間の関係を示す)と、データ辞書(データ要素の定義を記述する)とで構成するデータ交換標準を提案している。

データ交換標準に情報モデルとデータ辞書が備われば、図-1 に示すようなデータ交換が可能になる。

図-1 に示したデータ交換標準の構成について、データ交換標準を構成する情報モデル(応用スキーマ)、データ辞書と標準データフォーマットについて次に述べる。

情報モデル(スキーマ)は、可視化のツールとしてUML 表記法のクラス図で表され、ある適用範囲に対して、施工情報を抽象化した概念クラスでの相互関係を体系化した表記方で汎化スキーマ、応用スキーマ等がある。

一般的に、交換データは複数のデータ要素から構成されるが、情報モデル(スキーマ)を用いてデータの分類・階層構造やデータ間の関係を可視化することで、この複数のデータ要素の構成を明確に把握できる。

機械施工に係わるデータ交換標準構築手段に関する研究開発³⁾で ISO 15143 に提案した情報モデル(汎化スキーマ)のクラスに、適用範囲で必要な分類(クラス)を追加して現場に適用する情報モデル(応用スキーマ)を作成する。

情報モデル(スキーマ)では、そのクラスの単位で、データ辞書に納めたデータ要素と対応する。

(2) データ辞書

データ辞書は、データ要素の意味と表現を定義し、交換データに関して共通の理解を得るための表である。データ辞書は、図-2 に示すように、記述する

| ■ Data element table(データ要素表) | | | | | | ■ Value domain table(値域表) | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----|-------------------|--------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|-----|-----------------------------------|-----|---------------------|
| classification scheme item value | data element concept name | name | ... | organization name | value domain name | representation class name | conceptual domain name | Value domain name | ... | unit of measure name | ... | value domain format |
| mission_data | work_time_start | work_time_start_1 | | ISO/TC 127 | datetime_1 | date_time | date_and_time | datetime_1 | | year,month,day,hour,minute,second | | YYYYMMDDhhmmss |
| | foreman_name_1 | foreman_name_1 | | ISO/TC 127 | character_string_5 | | | datetime_2 | | year,month,day,hour,minute,second | | YYYYMMDDhhmmss.### |
| | machinery_operator_name_1 | machinery_operator_name_1 | | ISO/TC 127 | character_string_5 | | | datetime_3 | | year,month,day,hour,minute,second | | DDDDdhmmss |
| machinery_management_data | fuel_remaining_ratio | fuel_remaining_ratio_1 | | ISO/TC 127 | rate_percent_2 | text | character_string | character_string_1 | | N/A | | Character string |
| basic_machinery_data | machinery_family | machinery_family_1 | | ISO/TC 127 | machinery_type_1 | | | character_string_2 | | N/A | | **** |
| | | | | | | | | character_string_3 | | N/A | | ***** |
| | | | | | | | | character_string_4 | | N/A | | ***** |
| | | | | | | | | character_string_5 | | N/A | | ***** |

データ辞書

図-2 データ辞書のメタデータとデータ属性

データ属性をメタデータに沿って確認し定める。このメタデータとは、対象とする情報(値)の内容を表現するデータである。また、データ辞書は、図-3に示す Data element table (データ要素表)と Value domain table (値域表)から構成している。

実際に利用するデータ辞書では、指針となる国際標準のデータ辞書に基づき、不足するデータ要素を追加して作成する。

| 素名 | 定義 | データ例 | 値域名 | ... |
|-------|----|------|-----|-----|
| 作業日 | | | | |
| 施工エリア | | | | |
| 機械名称 | | | | |
| 機械位置 | | | | |

図-1 データ辞書の構成

(3) 標準データフォーマット

標準データフォーマットは、情報モデル(応用スキーマ)とデータ辞書で各データ要素の内容が定義された、データ転送単位のデータの表現である。標準データフォーマットは、一組の情報モデル(応用スキーマ)とデータ辞書に対して、XML や CSV などの形式を取ることができる。

3. データ交換標準の試作

(1) データ辞書試作手順と課題

著者らは、まず情報技術を用いた施工の実施されている盛土工に着目し、施工機械と施工現場間で流通するデータを対象に「データ交換標準」を試作した。

手順として ISO 15143 に準拠するため ISO 15143 の汎化スキーマをベースに応用スキーマの作成を行い次にデータ辞書を試作した。

汎化スキーマから応用スキーマを作成するに際しては、日本語訳したスキーマを作成したがクラスの追加は必要とならなかった。次に、データ辞書の試作にあたり、ISO15143 のデータ辞書のメタデータについても日本語訳などの整理をし、盛土工に利用されるデータ項目を対象としてメタデータに対応する情報を検討、整理しデータ辞書を作成した。この対象データ項目は、TS・GPS を用いた盛土の締固め情報化施工管理要領(案)と土工施工管理要領で規定されている項目を用いている。

冒頭で、データ交換標準には拡張性が必要であると述べた。そこで、試作したデータ辞書を舗装工に利用できるように拡張を実施した。舗装工に利用されるデータ項目は、舗装工を業務として行っている施工会社 3 社、レンタル会社 1 社、システム開発

会社3社、建機メーカー2社の合計9社にアンケートを行って収集したデータ項目を用いた。

その結果、応用スキーマについては盛土工で作成したスキーマがそのまま適応できることを確認した。データ辞書の拡張においては、データ要素表で、盛土工のデータ項目70件に対して舗装工のデータ項目として63件追加した。また、値域表では、盛土工のデータ項目36件に対して舗装工で使用するデータ項目として12件を追加した。

現状では、ISO 11179⁵⁾などデータ辞書に関する規定が存在するだけで、データ辞書の作成手順や記述方法について記述した文書が存在しないため、今回のデータ辞書の試作・拡張の過程で、初めてデータ辞書作成の手順が明らかとなった。

まず、データ要素の新規作成とデータ要素の拡張の手順は同じであることがわかった。また、次の

ような課題があることがわかった。

データの成り立ちを確認すると、1つのデータに対し複数の参照元がある等、データ属性が複数該当するメタデータが存在する。次に、それぞれの項目には命名規則などの具体的な記入規則が必要である。そして、メタデータの重要度から、項目の記入順序を規定する必要がある。

(2) 課題の解決

データ辞書の試作で判明した課題に対して、著者らは次のような対応をとった。まず、複数の項目が該当するメタデータに対して、記号で区切る規則とした。次に、各項目の記入規則に対して、メタデータ毎に記入規則を規定した。そして、記入順序に対してはメタデータの重要度と作成効率の良い記入順序を考案した。その結果、図-4に示す順序に従ってデータ辞書を作成することで、厳密にデータ辞書を

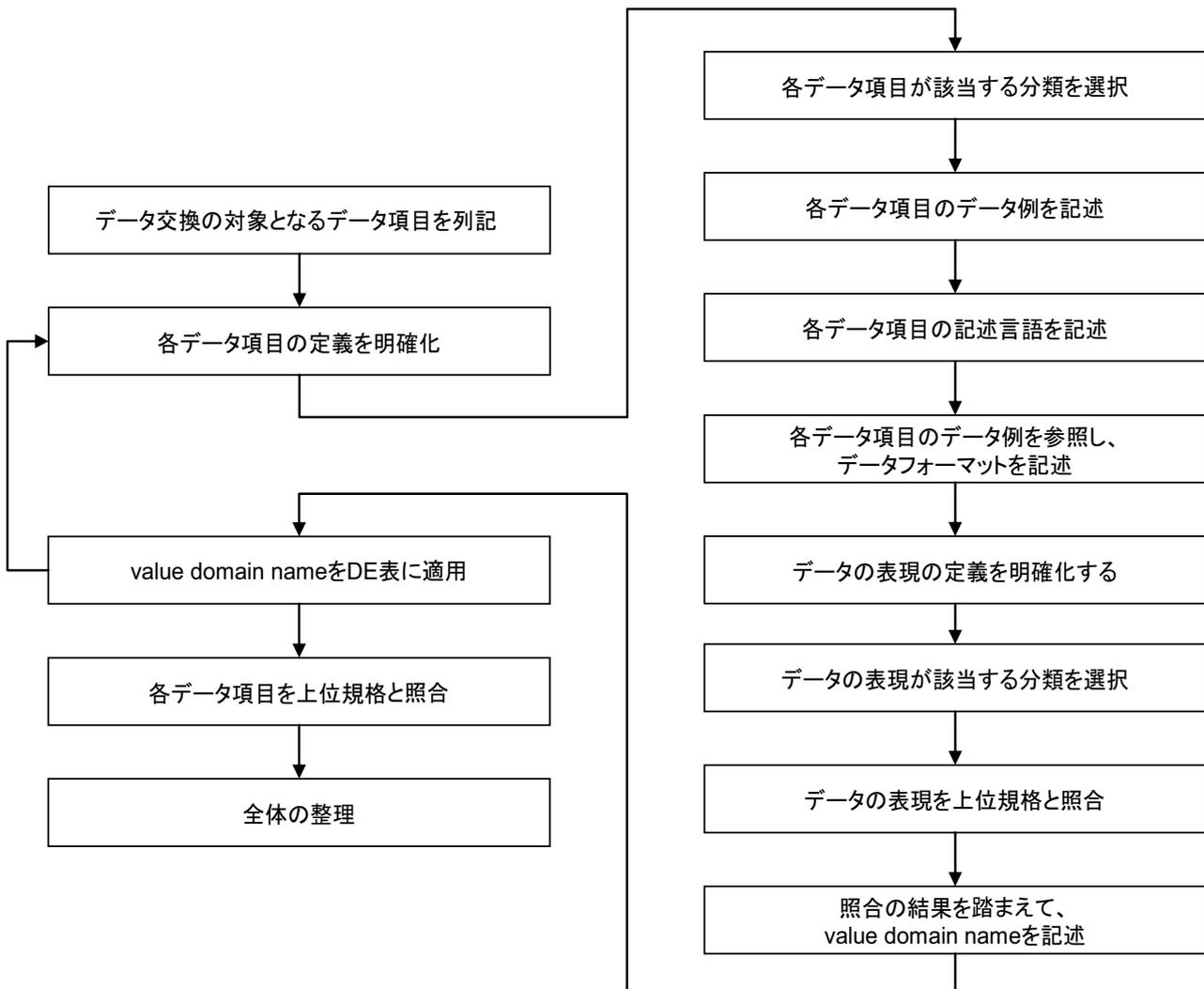


図-4 データ辞書の作成手順

作成できることが確認できた。

また、この記入順序からメタデータの関連性を考慮してメタデータの再整理を行った。その結果を図-5に示す。

データ辞書を作成するためには、前述の標準的な作業手順が必要であり、著者らはデータ辞書を試作、拡張し、その過程で得た知見に基づいてデータ辞書作成ガイドライン⁶⁾をとりまとめた。

4. 成果の活用、標準としての展開

(1) ISO 15143 への提案事項

今回のデータ交換標準試作で、課題解決の手段としてデータ辞書に次のような変を行った、メタデータの順序の変更、データ辞書の正規化、値域表へのメタデータの追加である。これらの変更は、データ辞書の利便性を向上させるためのもので、現在審議中のISO 15143へ提案する内容として妥当であると考え、当該ISO 審議機関に提案することとした。

なお、ISO 15143で規定しているデータ辞書は拡

張を前提としているため、提案が採用されなかった場合でも試作したデータ辞書は、ISO 15143に準拠していると言える。したがって、本報告の成果は国内規格として「データ交換標準」として採用された場合においても問題ないといえる。

そこで、今回の情報モデル(応用スキーマ)とデータ辞書を、盛土締固め及び舗装工での施工機械で使用するデータ交換標準として、日本建設機械化協会が所管している業界自主規格「JACMS」に規定し、国内での実績を踏まえてISO15143の次期改訂に向けて意見提案を行っていくことも提案し所管団体にて審議中である。

5. おわりに

建設産業での、情報共有と連携を目的とした、データ構造の標準化については、現在さまざまな取り組みがなされているが、実際に流通するデータ要素の定義についての詳細な取り組みは、未だなされていない。本報告では、建設産業の1部分である

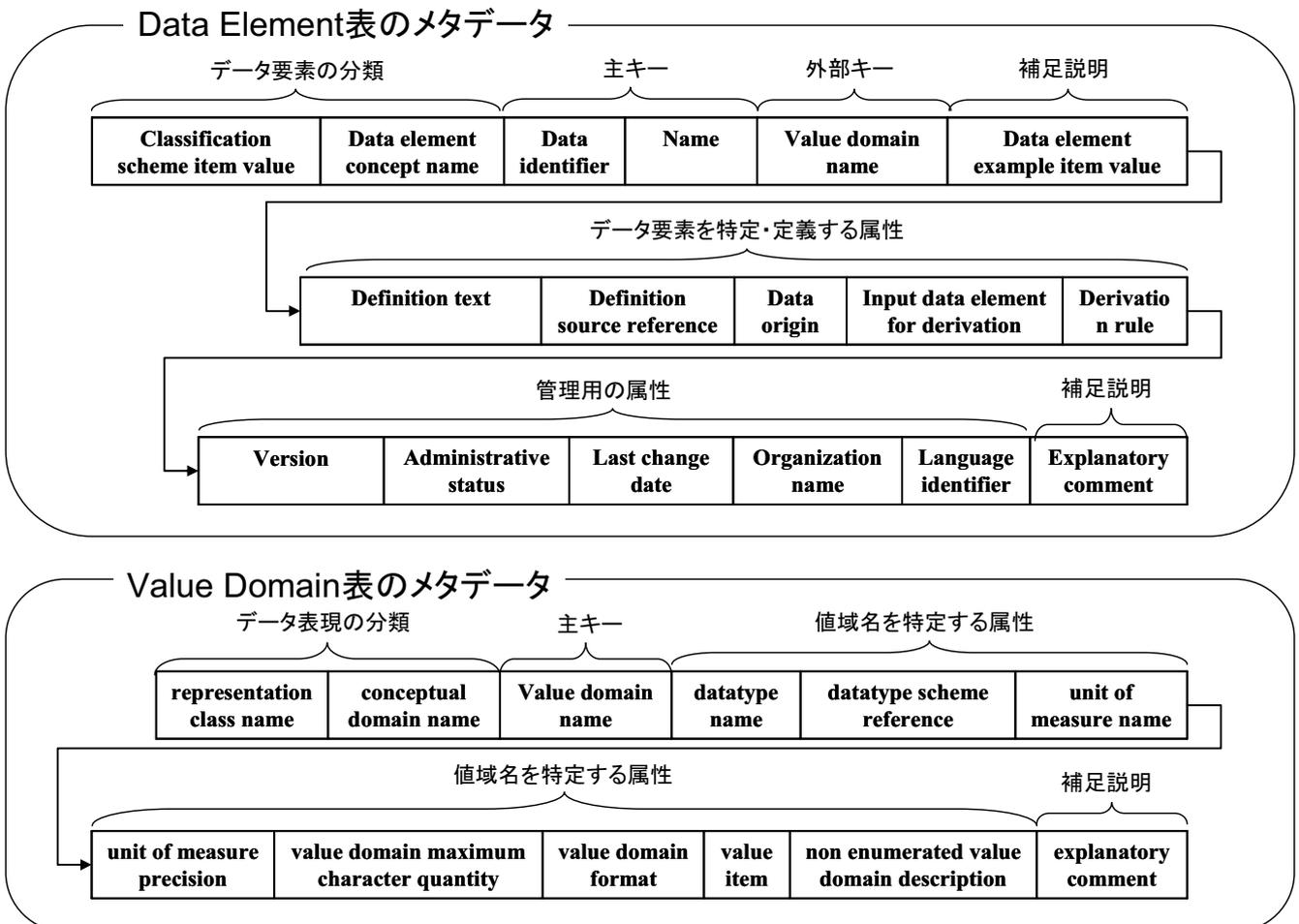


図-5 メタデータの再整理

機械施工での情報交換基盤構築に向けて、特にデータの定義手段であるデータ辞書の試作、拡張を行うことで、データ辞書作成の課題と解決手段の検討について発表した。今回作成したデータ辞書や、情報モデル(応用スキーマ)は実際に情報連携を行って行く上で必要とされる総量を想定した場合ごく一部ではあるが、作成の手順が明らかになったことに意義があると考えている。

今回報告した、データ交換標準の形態が、規格として認知されることが、人間が見てもシステムで扱う上でも齟齬を来さない情報の共有・連携が可能になる一ステップと考えており、一つの現場に止まらない互換性の高いデータ交換を実現し、データ利用の広域化と、それに伴う新たな業務効率化の実現への一助となることを期待している。

また、今回の標準作成の手順は施工だけでなく他の分野へも応用が可能であると考えられるため、周辺産業での標準化取り組みにもインセンティブを与えるものであると考えている。

謝辞:本検討実施にあたり、データ交換標準(案)作成にあたっては、業界の実例をもとに作成する必要があるため、アンケート等では先進的な取組をされている各社に多大なご協力を賜った。また土工機械委員会情報化機械土工(WG2)分科会委員各位、国土技術政策総合研究所、(社)日本建設機械化協会にも多大なご協力を賜った。この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 建山和由, 大前延夫:建設施工におけるコンカレントエンジニアリングの実践, 建設機械, Vol.42, No.9, pp.30-36, 2006年9月.
- 2) 山元弘, 大山敦郎, 藤島崇, 池田直広:工事全体を通して設計情報を利活用することによる施工管理効率化検討, 土木情報利用技術講演集, Vol31, pp69-72, 2006年10月
- 3) 大山敦郎, 山元弘, 亀井敏行, 南佳孝, :機械施工に係わるデータ交換標準構築手段に関する研究

開発, 土木情報利用技術論文集, Vol.15, 49-58, 2006年10月.

4) Yoshitaka Minami, Hiroshi Yamamoto, Toshiyuki Kamei, Atsuro Oyama: Research on the Extendable Data Exchange Standard in Information Integrated Construction of Filling Work, ISARC 2006, pp.574-579, 2006.10.

5) ISO/IEC/JTC1, "ISO/IEC 11179-3: Information Technology – Metadata Registries (MDR) – Part 3: Registry metamodel and basic attributes.", 2003

6) 南佳孝, 山元弘, 二瓶正康, 大山敦郎, :機械施工における情報交換基盤構築に向けたデータ定義手法に関する研究, 土木学会情報利用シンポジウム投稿中, 2007年10月.

16. 油圧ショベルによる掘削作業の自動制御技術に関する研究

独立行政法人 土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム
○柳沢 雄二、山元 弘、野末 晃、邵 輝、山口 崇

1. はじめに

土木工事は、危険・苦渋作業がいまだに多く、作業環境を改善し、安全を確保することが喫緊の課題となっている。また、今後の少子高齢化社会の進展により建設就業者の高齢化、若年者・熟練者の不足に備え着実に対処方策を講じておく必要がある。土木研究所では、ロボット等による IT 施工システムを実用化し、危険・苦渋作業の解消と作業の迅速化・効率化を目標として、その基礎技術の一つである油圧ショベルの自動制御技術を開発している。

建設機械の IT 施工システムの油圧ショベルの自動制御技術を実現する動作計画の方法として、事象駆動型と軌跡追従型の2とおりの動作計画の方法を採用している。

- 1) 荒掘用の動作は、作業の目標となる設計形状などによる領域制限があるものの、その範囲内で自由な動作が可能な掘削動作である。作業目標となる設計と現況地形形状との差異が大きな段階での動作のため、より多くの土砂を短時間に掘削することを求められる。そのため、掘削負荷や地盤特性の影響が大きく、負荷変動の予測が困難である。事象駆動型と短周期の軌跡追従型(精度要求低)掘削動作が荒掘に対応する。
- 2) 仕上動作は、掘削作業が進み、設計と現況地形形状との差異が小さくなった段階での出来形を成形する掘削動作のため、バケットを作業目標の設計形状に合わせて精度良く掘削することが求められる。そのため、掘削負荷は小さく、地盤特性の影響が小さな動作である。より長い周期の軌跡追従型(精度要求高)掘削動作が最後の仕上げに対応する。

本報文は、上記2つの動作計画を用いた油圧ショベルによる掘削作業の自動制御実験結果を報告す

るものである。

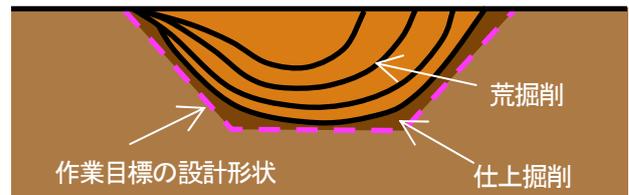


図-1 掘削動作の種類 (イメージ図)

2. 自動制御油圧ショベルの概要

1) システム概要

ベースマシンとして、12ton 級、バケット容量が 0.5 m³のリモコン操作油圧ショベルを採用し、ブーム、アーム、バケット及び旋回用に角度センサ(ポテンショメータ)、メイン及びパイロット油圧用に圧力センサを取り付け、さらに PC からの制御用に PC 制御コントローラを搭載し電磁比例弁を駆動させる改造を施した。動作計画コンポーネントが目標座標値より、ブーム、アーム、バケットの角度を算出し、目標制御量を電子油圧制御コンポーネントが伝達して電磁比例バルブを開閉することで自動制御を行うシステムとなっている。図-2 にシステムの概要図、表-1 にベースマシンのカタログ値を示す。

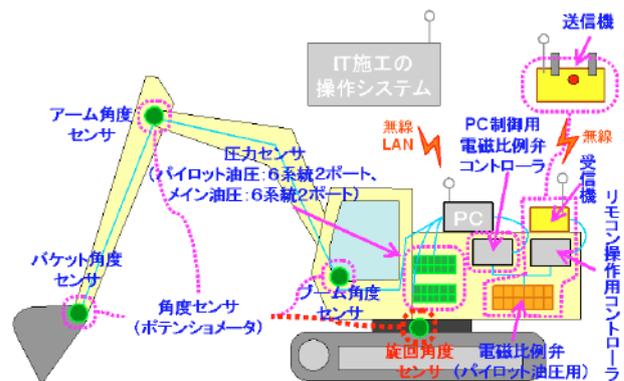


図-2 自動制御油圧ショベルの概要図

表-1 ベースマシンのカタログ値

| 項目 | 数値 |
|------------|-------------------|
| ブーム長さ | 4600mm |
| アーム長さ | 2519mm |
| バケット長さ | 1230mm |
| スウィング部角度範囲 | -180° ~180° |
| ブーム部角度範囲 | -70° ~45° |
| アーム部角度範囲 | 30° ~152° |
| バケット部角度範囲 | -33° ~144° |
| バケット底面角度 | 50° |
| バケット容量 | 0.5m ³ |
| 角度センサー | 4個 (ポテンションメータ) |
| 圧力センサー | 24個 |

2) 動作計画コンポーネントの構築

油圧ショベルの自動制御技術の試作・検証にあたり、下記の動作計画コンポーネントを試作し、動作検証の指標となる角度センサーの精度試験を行い、校正値を算出した。

① 動作計画コンポーネントの概要

動作計画コンポーネントは自動制御油圧ショベルを実現するため、掘削、旋回と放土など動作を計画する部品である。ここで、Matlab の xPC Target 環境を利用して、Master PC と Slave PC のようなコントロールシステムを構成する。プロトタイプの開発が容易な Matlab を採用し、SlavePC は、バス速度と拡張性から CompactPCI を採用した。

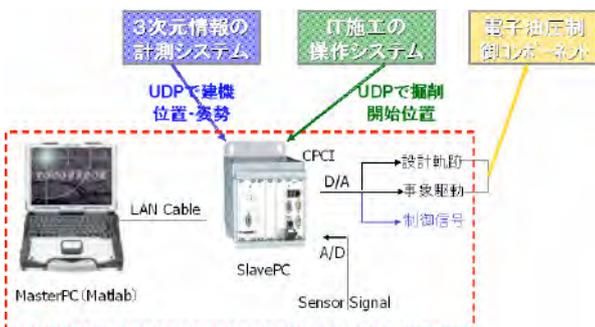


図-3 動作計画コンポーネントコントロールシステム

② 油圧ショベルの座標系

動作計画の分析をするために油圧ショベルの座標系 (図-4) を設定する。座標系は、右手系の座標系としており、各軸回りの回転角度は、各軸の正方向に向かって右ねじが進む方向を正としている。旋回中心上のブームフットピンの高さを原点として座標系を利用している、原点から地面までの距離は約 1.5m である。

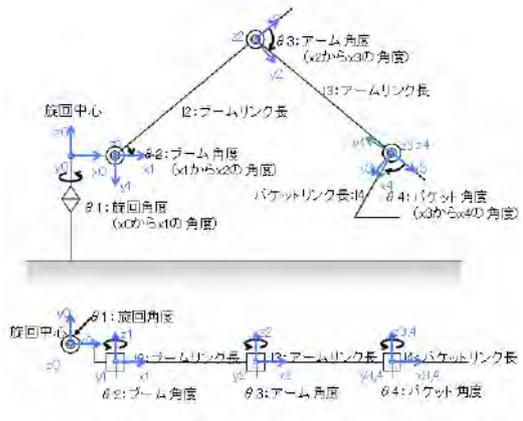


図-4 油圧ショベルの座標系

③ 角度センサーの精度試験及び校正値算出

油圧ショベルのブーム、アーム、バケットの角度および旋回体の旋回角度を計測するために、ポテンションメータを実験用油圧ショベルに取り付けている (図-2)。これら角度センサーの精度は制御性能に大きく影響するため、精度の把握と校正のため精度確認試験を行った。試験項目は、ポテンションメータのノイズ測定と各関節部にプリズムシートを貼りトータルステーションで測定を実施した。



図-5 精度確認試験プリズムシート貼付け例

④ 角度センサーの精度試験後の校正値

仕様からの係数が 36 (deg/V) に対して、算出し

た校正係数は以下のとおりである。

ブームリンク角度 : $Y = -36.6660X + 74.4315$

アームリンク角度 : $Y = 35.8107X + 5.2055$

バケットリンク角度 : $Y = -35.5448X + 175.5530$

3. 事象駆動型

1) 事象駆動型の概要

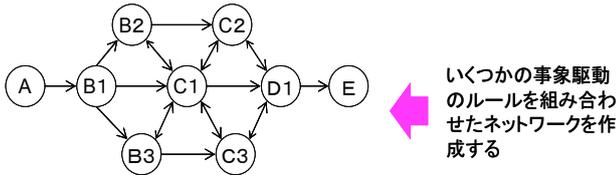


図-6 事象駆動型のネットワークのイメージ

事象駆動型の動作計画は、ある事象が発生した時にある動作を駆動する動作計画である。いくつかの事象駆動のルールを組み合わせ、階層化したネットワークを作成することで、目的とする作業を実現する動作計画を作成する。図-6にイメージを示す。○がある事象により駆動する状態を表しており、矢印が事象であり、それにより移り変わる状態を結んでいる。

2) 事象駆動型の作業階層

階層化したネットワークを形成するため、目的とする作業である油圧ショベルによる掘削・積み込み作業を以下の4段階の階層とする。

レベル1 単位作業

油圧ショベルによる掘削・積み込み作業

レベル2 要素作業

- ①バケットの移動 (掘削開始位置へ)、
- ②掘削
- ③バケットの引き上げ (掬い上げ)
- ④バケットの移動 (放土位置へ)
- ⑤放土

レベル3 単位動作

上記の要素作業を構成する動作

なお、図7で示した事象駆動のルールの例は、この階層のルールである。

レベル4 動素

- 旋回 (左/右)
- ブーム (上げ/下げ)
- アーム (引き/押し)

バケット (掘削/放土)

レベル5 制御量

ブーム、アーム、バケット、旋回の動素を実現するための油圧シリンダーや油圧ポンプの各アクチュエータの制御量。

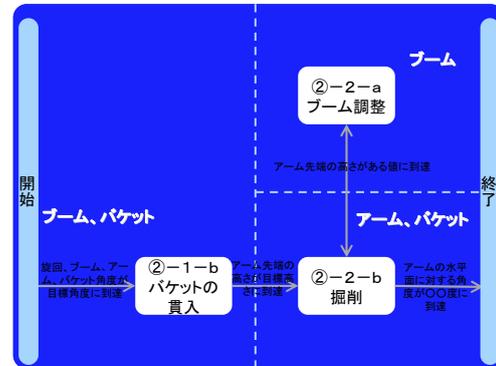


図-7 掘削を構成する単位動作のネットワーク

3) 事象駆動型の実験

①機能検証実験その1

実際に掘削をせずに、掘削開始点の高さをブームフットピン高さ (履帯下部から約1.5m) の空中として動作を行う。そのときの掘削開始点の位置は、ブームフットピンの座標系の x1 軸方向に7m、6.5m、6m、5.5m、y1 軸方向に0mとし、それぞれの掘削開始点について連続5回の掘削・積み込み作業を実施した。そのときの各種センサ情報等を取得し、各掘削開始点位置と各動作において、ほぼ再現性があることが確認できた。また、動作計画による掘削・積み込み作業の動作を実現していることを確認した。

各掘削開始地点のサイクル時間は16~18秒であった。

②機能検証実験その2

現況地形が平面の場合に、掘削・積み込み作業の動作を行う。そのときの掘削開始点の位置は、ブームフットピンの座標系の x1 軸方向に7m、6.5m、6m、5.5m、y1 軸方向に1.45mとし、それぞれの掘削開始点について連続5回以上の掘削・積み込み作業を実施し、そのときの各種センサ情報等を取得し、機能を確認する。掘削開始位置 x1:6.5m、y1:1.45m の状況を写真-1に示す。

各掘削開始点において、掘削・積み込み作業が可能であることが確認できた。また、ほぐした土を掘削する条件においては、18~21秒のサイクル時間

であり、熟練者と比較しても遜色ないサイクル時間を実現できた。

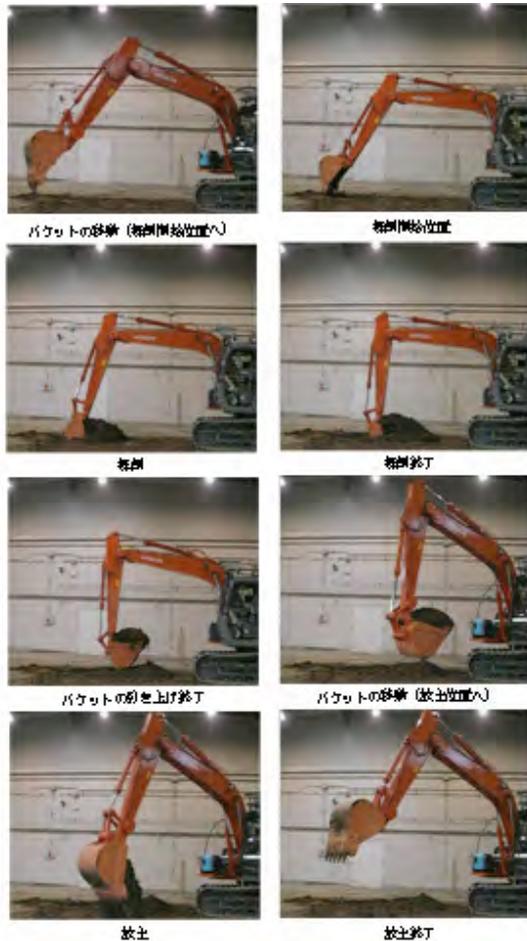


写真-1 機能検証実験その2状況写真

4. 軌跡追従型

1) 軌跡追従型の概要

荒掘削動作と仕上げ掘削動作を計画するため、バケット先端動作の軌跡を計画し、計画軌跡に追従するためにブーム、アーム、バケットの角度を逆運動学から計算する軌跡追従型の動作計画コンポーネントを試作・検証する。計画軌跡は、バケットの先端位置座標がアーム可動範囲以内であることと、バケットの姿勢（傾き）が最大、最小姿勢角度以内であるという二つの制約条件内で設計する。

2) 軌跡追従型の作業

動作計画するためには、バケット先端の位置が決まった後にバケットの姿勢を決める必要がある。さらに、制御油量が油圧ポンプの吐出量を超えない

範囲で軌跡を設計する。また将来掘削過程でバケット先端の力を分析するため、ここで軌跡により各関節の流量変化を分析し、バケット先端の力の計算を行う。関節角度変化と必要な油流量変化を分析するため、また、各リンクと関節角度の間変化の非線形性を分析するため、関節角度とリンク長さの関係を計算した。今後は関節角度とその角速度だけではなく、シリンダの長さや速度に対して制御を行う事も想定しておく必要がある。

図-8に軌跡計画のフローチャートを示す。一サイクルの動作計画軌跡は、初期状態→掘削開始点に移動→掘削→引き上げ旋回→放土→次の掘削開始点、或いは初期位置に移動の順番に設計している。掘削の状態は計画軌跡から逆運動方程式によって各関節の角度を生成するが、他の状態は開始点から終了点まで各関節の角度が一定速度で動く軌跡を生成する。

熟練オペレータへのヒアリングと掘削作業の計測データを分析した結果を参考にして、軌跡計画の方法を検討した。荒掘削の場合はより多くの土をバケットに入れることを基準として設計する。図-9に仕上げ掘削の一例として台型掘削の軌跡を示す、掘削幅 L と深さ H はバケットの容量により、計算する。軌跡は一定速度で移動し、直線引きの部分ではバケット姿勢がバケット底面を段々倒すように動かす。

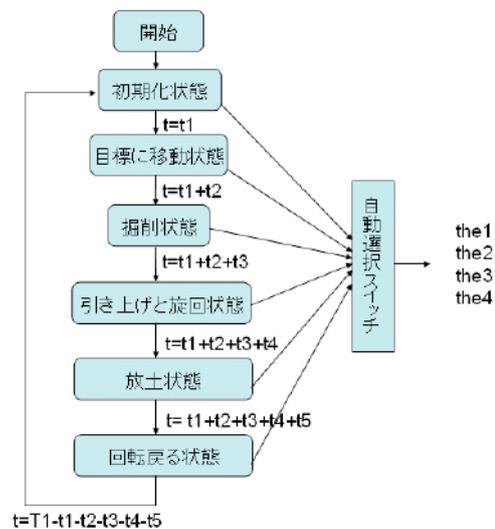


図-8 軌跡計画のフローチャート

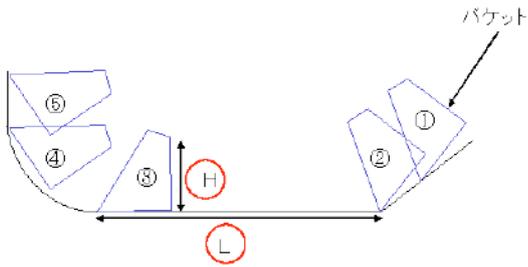


図-9 計画の台型軌跡の姿勢変化

移動は①から⑤の順番である。

また、今回の実験では、制御機器の追従精度の限界から、回転速度 27deg/s 以下、ブーム制限速度 7deg/s 以下、アーム速度 18deg/s 以下、バケット制限速度 24deg/s 以下に収まるように、軌跡の各動作の時間と周期時間を選定した。

3) 軌跡追従型の実験

FF-PID 制御器を用い、まず空中における無負荷状態における幾何学形状の軌跡精度試験を行い、結果から z 軸の増加方向に誤差が大きくなっていることが確認できた。また、地中掘削軌跡追従精度試験を検証した、同時に、建機旋回中心から掘削開始点 6.5m ぐらい、掘削深さ 250mm と 400mm など変化条件で、より多く土砂を掘削できる条件を確認した。図-10 に掘削深さ 400mm の例を示し、点線は地面のレベルを示している。

掘削実験結果より、熟練オペレータの掘削軌跡を参考として設計した台型掘削軌跡が土を満杯に掘削でき、かなり有効な掘削方法であることがわかった。また、負荷の少ない仕上げ動作においては、精度が期待できる。今後、1 サイクルの作業時間を短縮して、掘削状態を確認することが必要である。建機のブーム関節の制御量は重心変化により、影響が大きいため、重心位置変化による制御量の補償器の設計に必要な可動範囲内の重心変化を分析した。

また、荒掘削 4 回、仕上げ掘削 2 回（掘削深さ 1 m、掘削底面長さ 2 m、一辺整形 (1 : 1)）の連続掘削実験も行った。図-11、図-12 に連続動作実験結果を、掘削後の状況を写真-2 に示す。作業時間 2 分 56 秒と良好なものとなった。

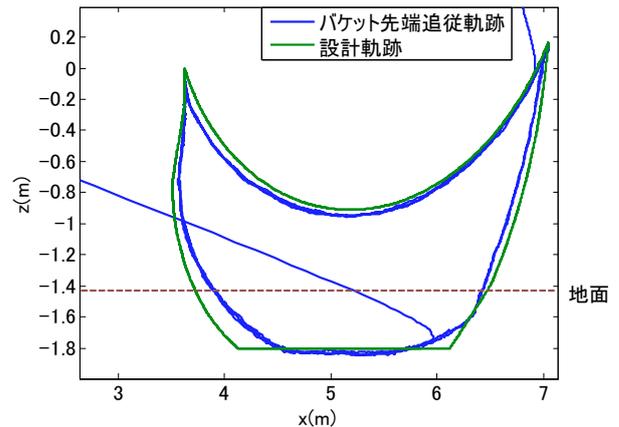


図-10 400mm 掘削の軌跡追従状況

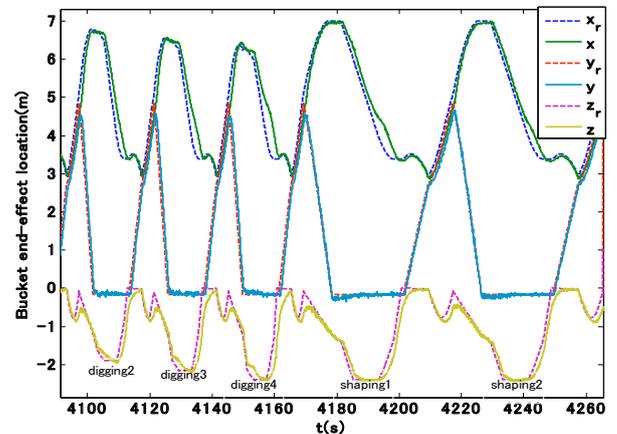


図-11 連続動作実験結果

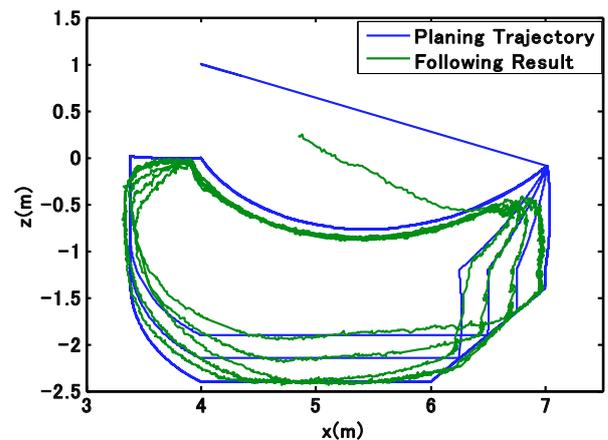


図-12 連続動作実験結果



写真-2 連続掘削後の仕上がり状態

5. まとめ

1) 結果

- ① 油圧ショベルの掘削・積み込み作業を対象に事象駆動型の基本的な動作計画コンポーネントを試作し、限定した条件下で作業可能なことを確認した。1サイクルの作業時間および掘削量は、熟練のオペレータに遜色がない結果であり、荒掘削用の動作計画としては、事象駆動型の動作計画が有効であることが確認できた。
 - ② 軌跡追従型動作計画コンポーネントを試作し、PID 制御器を用いて掘削実験を行い、バケット満杯の土を掘削できることを検証し、有効な掘削方法であることが確認できた。また、負荷の少ない仕上げ動作においては、より精度を期待できることを確認した。
- ### 2) 今後の課題と対応
- ① 作業の精度を向上させるためには、角度センサーなどのセンサー精度向上及び追従精度向上のための制御システムの改良を行う必要がある。
 - ② 作業効率を向上するための作業サイクルタイムの短縮を検討する。
 - ③ 事象駆動型において、角度センサ情報のみでは、作業装置にかかる負荷や接地判断が困難なため、作業の継続が不可能になることが想定される。これらの対応として、油圧、速度などの情報を用いた調整機能を追加する。
 - ④ 作業を自律化するため、建機姿勢情報や現況地形情報を利用して、掘削開始位置の遠近や、現況地形や設計の形状により掘削深さを自動調

整するなど動作計画の調整機能を追加する。

- ⑤ クローラダンプ等への積み込み作業の動作計画を検討する。

謝辞：本研究を実施するにあたり国土交通省、ロボット等によるIT施工システム研究委員会（委員長：筑波大学油田教授）、東京大学人工物工学研究センター浅間研究室、（社）日本建設機械化協会、（財）先端建設技術センター、建設無人化施工協会など多くの方にご協力頂きました。記してお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所，平成18年度建設機械のIT施工技術検討業務報告書，平成19年3月
- 2) H. SHAO, T. YAMAGUCHI, H. YAMAMOTO, Bucket Trajectory Planning of Hydraulic Excavator, 12th Robotics Symposia, 2007.
- 3) H. Yamamoto, ect. Introduction to the General Technology Development Project: Research and Development of Advanced Execution Technology by Remote Control Robot and Information Technology, 23rd ISARC, 2006.
- 4) P. S. Rowe, Adaptive Motion Planning for Autonomous Mass Excavation, Ph.D Thesis, Carnegie Mellon University, 1999.
- 5) S. Singh, Synthesis of Tactical Plans for Robotic Excavation, Ph.D Thesis, Carnegie Mellon University, 1995.
- 6) N. H. Quang, Robust Low Level Control of Robotic Excavation, Ph.D Thesis, Australian Center for Field Robotics, The University of Sydney, 2000.
- 7) T. Hirabayashi, ect. Experiment on Teleoperation of Underwater Backhoe with Haptic Information, 23rd ISARC, 2006.

17. 土木分野における Google マップ利用の可能性について

熊本大学 自然科学研究科

小林一郎

株式会社 九建 代表取締役社長

新永隆一

○熊本大学 自然科学研究科

松尾健二

株式会社 ラック 取締役 執行役員

西本逸郎

1. はじめに

国土交通省国土計画局では、地域、教育、防災、自然観察等、生活に密着した様々なテーマを設定した GIS プロジェクトを展開し、専門家などの特定ユーザの GIS 利用から一般市民などの不特定ユーザの GIS 利用にその利用範囲を広げようとしている¹⁾。しかし、GIS の導入・運用費は高額である。そのため、ユーザは行政、民間企業、研究機関などの一部の専門家に限られている。

一方、2003 年頃から Yahoo!、Amazon、Google などの Web サービス API が Web 上の不特定ユーザに提供され始め、2004 年後半から Web サービス API を利用したサービスが急速に普及し始めた。2005 年 2 月、検索サイト Google は Google マップ²⁾という新サービスを開始した。Google マップは特定の位置にマーカーを重ね合わせることができるため、簡易 GIS と考えることができる。Google マップにより、GIS の利用や作成の方法が一変した。Google マップの豊富な機能を持つスクリプト作成用の API (以下、GoogleMapsAPI) が無償で提供されたためである。これにより、コスト面から GIS 作成が困難な地方自治組織や市民団体、NPO でも GIS を作成が可能になった。

このようなことから、筆者らは Google マップを利用した GIS を構築することで、GIS が高額で利用されないという課題を解決できると考えた。そして、ユーザに着目した検討を行い、土木分野における利用の可能性を示す必要があると考え、Google マップの利用の分類を行い、それを基にしたシステムの開発から利用の可能性を示した。

2. GIS 利用の現状と Google マップ GIS の利点

2.1 GIS 普及の課題

インターネットの普及、PC などの情報技術の発展から GIS などの情報共有技術が注目を浴びている。平成 14 年 2 月には地理情報システム (GIS) 関係省庁連絡会議において「GIS アクションプログラム 2002-2005」を決定し、「GIS は、行政、産業活動、国民生活の幅広い分野において、これまでの諸活動を効率化・迅速化するとともに、従来にはない新しい質の高い様々なサービスを生み出しうる技術である。」としている³⁾。

これにより、現在、GIS を使ったサービスが数多く登場しているが、市販の GIS ソフトを使った GIS システムが多く、豊富な機能を有しているがライセンス料から開発までに多くの費用がかかってしまうため一部の専門家の利用に留まっている。

2.2 Google マップ GIS の利点

Google マップは地域によってばらつきはあるものの衛星・航空写真は 1~3 年に一度の更新が行われており、日本版の地図は(株)ゼンリンから提供されている。マーカーや情報を地図に重ねることができるため簡易 GIS の基盤として利用することができる。そこで、Google マップでの位置情報取得とデータベースに様々な情報を蓄積できるシステムを Google Maps API を利用して構築する。また、API の無償公開で誰でも自由なコンセプトの Google マップを使った Web ページの作成が可能となる。また、開発などの導入費が抑えられるため、個人や市民団体でも導入が可能である。

3. Google マップと API

本論文では、Google マップをその機能と API による開発環境から簡易 GIS と位置付ける。以下に、Google マップの機能と API について記述する。

3.1 Google マップの機能

①地図の移動

スライダーの上のアイコン（上下、左右、中央…中央をクリックすると地図は元の位置に戻る）やマウスで地図をドラッグすることで即時に変更できる。

②地図の拡大縮小

プラス記号（+）、マイナス記号（-）のついたボタンを1回クリックするたびに地図は1レベル拡大・縮小される。

③地図タイプの切り替え

地図は「地図」、「航空写真」、「地図+写真」の3つの表示タイプがある。

「地図」は道路、建物、山などが入った地図(図-1(a))。「航空写真」は航空写真、あるいは衛星写真(図-1(b))。「地図+写真」は航空写真か衛星写真に道路と地名が重なった画像(図-1(c))。それぞれのボタンをクリックすることで切り替えることができる。

④マーカーの生成

地図の指定された位置にマーカーを生成することができる。オリジナルのマーカーを生成することもできる。

⑤情報ウィンドウの表示

地図上に配置されたマーカーをクリックする

と、情報ウィンドウを表示することができる。この情報ウィンドウの中にはHTML要素を埋め込むことができるため、情報ウィンドウには文字や画像を表示できる。

⑥ ジオコーダーを使った住所検索

地名や住所などを解析し該当緯度経度情報を割り当てることにより、地図上の位置がわかる。

3.2 API の概要

API とはソフトウェアや OS などの開発で利用できる関数群のことである。これを利用することで一からプログラムを組むことなく様々な機能を実装することができる。また、Google Maps API に限らず、Amazon や Windows などでも API が無償公開され、様々なソフトの開発が行われている。

Google Maps API 利用に関する制限事項を提供元である Google は以下のように設けている。

①API を利用して作成されるページに、1日50万件を超えるようなアクセスがある場合は、Google に別途連絡する必要がある。

②1つのAPIキーに対して、1日あたりジオコードリクエストは5万件に制限されている。

③現時点ではAPI経由で広告は表示されていないが、今後表示されるようになる可能性がある。

④マップ上のロゴなどの改変や、目立たないように変更することは禁止されている。

⑤違法行為やプライバシーを侵害する内容には利用してはいけない。

以上の制限を守ることでGoogleマップを利用した様々なシステムの開発が可能となる。

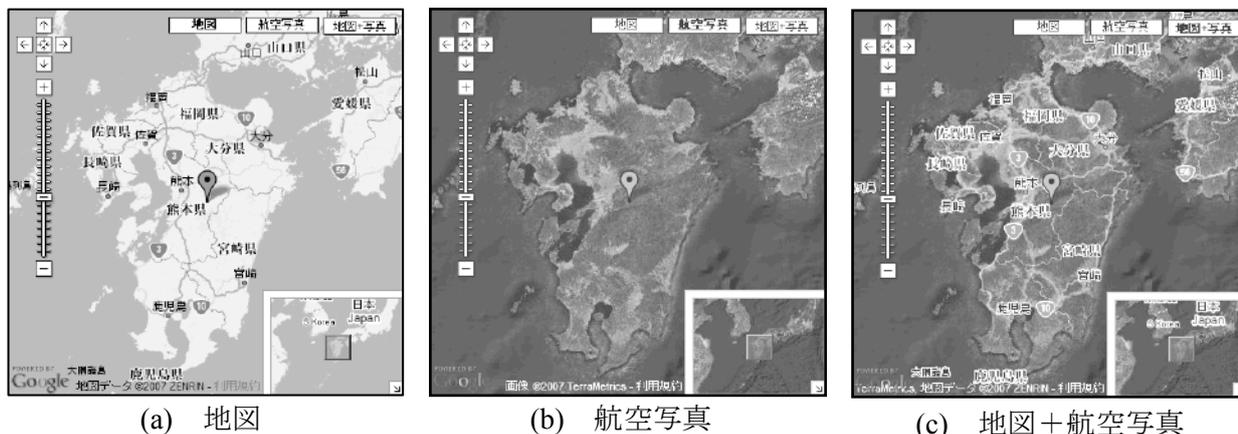


図-1 Google マップ表示例

4. Google マップの利用分類

4.1 GIS の利用状況

Google マップの利用分類を行うために GIS の利用形態に基づき⁴⁾、地図情報利用の目的を整理し、以下にまとめる。

- ① 調査した情報を検索可能な形できちんと蓄積・保存しておきたい (データベース)
- ② 調査した情報をわかりやすく視覚的に整理したい (データ整理)
- ③ 調査を継続する意欲を継続・向上させたい (インセンティブ)
- ④ 調査した情報を、インターネットで広く知らせたい (情報発信ツール)
- ⑤ 調査した情報を分析し、具体的な改善手段を検討する (分析ツール)
- ⑥ 地域住民から広く情報を収集したい (情報収集ツール)
- ⑦ 地域環境をテーマに、地域住民同士のコミュニケーションの活性化、行政・専門家・NPO・地域住民の自由な意見交流を行う (コミュニケーションツール)
- ⑧ Web-GIS という先進的な活動に取り組むことで注目度を高めたい (広報アイテム)
- ⑨ 行政・研究機関・民間企業・NPO などが所有し公開できる情報を Web-GIS 上で統合し、地域単位で共有・管理していくことで、それらを各々の活動に積極的に活かす (情報共有ツール)

4.2 Google マップの利用分類

情報の発信者、つまり登録・編集を行なうユーザを編集者、情報の受信者である検索・閲覧を行なうユーザを利用者と定義し、それぞれのユーザが特定か不特定かに着目し、Google マップの利用

表-1 Google マップ利用分類

| | | 編集者 | |
|-----|-----|------------|------------|
| | | 特定 | 不特定 |
| 利用者 | 特定 | A 知識創造型 | B 調査支援型 |
| | 不特定 | C 情報提供型 | D 共同編集型 |

を(A)知識創造型(B)調査支援型 (C) 情報提供型(D)共同編集型の4つに分類した。Google マップの利用分類を表-1 に示す。

(A)知識創造型

特定ユーザが情報の発信・受信者となる型で、行政・研究機関・民間企業・NPO などの専門機関がある課題に対し、調査した情報を視覚的に管理・共有することで課題の解決を図るシステムだと考える。以下に、特徴を述べる。

- ・情報を管理・共有するため、情報の登録者を特定できる必要がある。
- ・情報の流出を避けるため、セキュリティを高める必要がある。

運用例は、残地調査データ登録システム、工事現場管理システムなどが考えられる。

(B)調査支援型

不特定ユーザが情報の発信者、特定ユーザが情報の受信者となる型で、地域住民が身近にある情報に位置情報を加え、Web ブラウザ上もしくは携帯電話からジオコーダー機能を利用して、システムを運用する行政・研究機関・民間企業・NPO などの専門機関の調査業務を支援するシステムだと考える。以下に、特徴を述べる。

- ・携帯端末からの登録など、不特定ユーザが簡単に登録できる対策を行う必要がある。
- ・情報を提供する不特定ユーザである地域住民などにとって有益な仕組みづくりが重要である。

運用例は、不法投棄通報システム、災害報告システム、地質案内マップなどが考えられる。

(C)情報提供型

特定ユーザが情報の発信者、不特定ユーザが情報の受信者となる型で、行政・研究機関・民間企業・NPO などの専門機関が位置情報を持つ情報を公開し、地域住民が検索・利用できるシステムだと考える。以下に、特徴を述べる。

- ・不特定ユーザが容易に検索・閲覧できるように、情報発信者である特定ユーザが情報を集約・整理する必要がある。
- ・システムの運用経費や人材確保などの問題から、

情報を発信する特定ユーザの負担が大きくなると考えられる。

運用例は、ハザードマップ、避難所マップ、バリアフリーマップなどが考えられる。

(D)共同編集型

不特定ユーザが情報の発信・受信者となる型で、個人の成果や途中経過を個人だけでなく不特定ユーザ同士が共有することで、システム全体で価値を創造するシステムだと考える。以下に、特徴を述べる。

- ・単一の情報について多くのユーザが関わり、新規項目を自由に登録・編集することで、幅広い項目を集め内容の信頼性を高めることができる。
- ・正しい内容が誤った内容に更新される恐れもあるので、更新されるたびにデータをバックアップしておき、データを復元できるようにしておくなどの対策が必要である。

運用例は、石橋地図作成システム、展望スポットマップなどが考えられる。

5. 適用事例と考察

5.1 開発環境

表-2 に開発したシステムのハードウェア・ソフトウェアの稼働環境を示す。

表-2 システムの稼働環境

| | |
|------------|---|
| サーバ環境 | |
| OS | Windows Server 2003 |
| CPU | Intel Xeon 3. 20GHz×2 |
| RAM | 1. 0GB×2 |
| HDD | 200GB |
| データベース | Microsoft office access 2003 |
| 対象クライアント環境 | |
| ブラウザ | Internet Explorer 5. 5以上 |
| 登録可能拡張子 | gif, jpg, png, pdf, doc, xls, ppt, txt, csv |

5.2 適用事例

4 章では、Google マップの利用分類を行った。その利用分類を基に Google マップを利用したシステムの提案を行う。以下にシステムの概要を示す。

(A)残地調査データ登録システム(知識創造型)

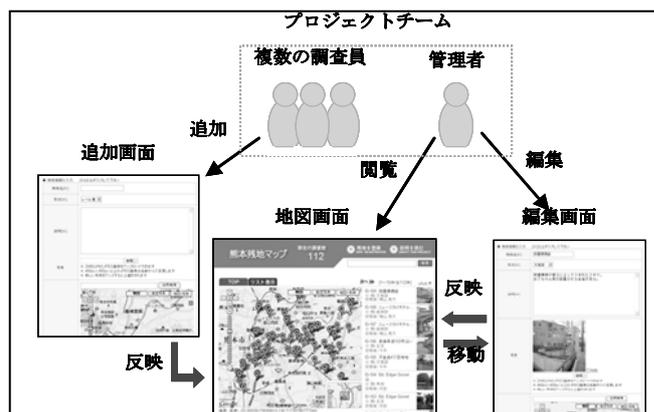


図-2 残地調査データ登録システム

残地とは道路の拡幅、線形の改良などの道路改良工事により生じた空間のことである。残地を有効利用するための研究が行われている。この研究ではまず多くの残地情報を集め、その特性や現在の利用実態を明らかにすることが重要である。また、研究グループ各個人で分かれて残地を探すため、調査結果などが重複するなどし、効率が悪い。残地情報が増えてくると一枚の紙の地図では管理しにくいといった問題があった。これらの問題を解決するため、図-2 に示す Google マップを利用した残地調査データ登録システムを開発した。

本システムにおける Google マップの利用の特徴はすべての情報が表示されている地図で、登録したい情報がすでに登録されていないか確認し、登録したい位置に十字マーカーの中心に合わせ、その中心の位置座標を入力に引き継ぐ。これにより、残地情報登録の重複を防ぐことができる。

(B)被害状況調査支援システム(調査支援型)

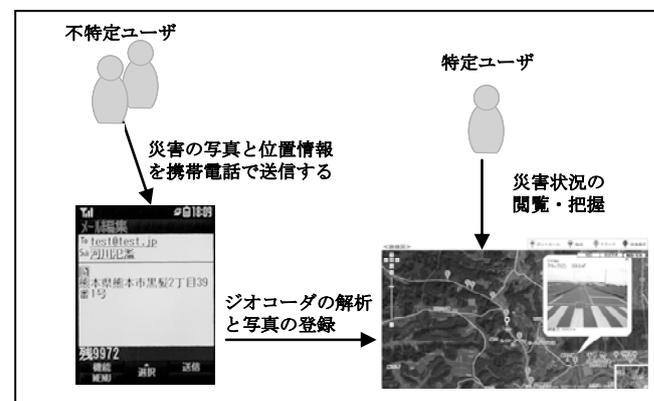


図-3 被害状況調査支援システム

地震、洪水、台風などの自然災害が発生すると、

行政はその被害状況を早急に把握しなければならない。通常、行政は電話などを使い被害状況を把握していく。しかし、人手不足のため早急に被害情報を集めて整理することは困難な作業である。また、得られる情報は言葉によって伝達されるため、誤報が生じる恐れもある。このような理由から、図-3 に示す Google マップを利用した被害状況調査支援システムを開発した。

本システムにおける Google マップ利用の特徴は GPS 機能が付いていない携帯電話からでも、Google マップのジオコーダーを利用することで、位置情報を付加し登録処理を行うことができることである。携帯電話で撮った写真と共に、その写真の住所を入力し、メールを送信する。送信されたメールは、システム側の登録処理で写真にジオタグが付いていない場合は、タイトルもしくは、コメントの内容をジオコーダーにかける。もし、位置を特定できる住所が入っていれば場所を特定できるので、その位置に被害情報を登録する。

(C)道路維持管理サポートシステム(情報提供型)

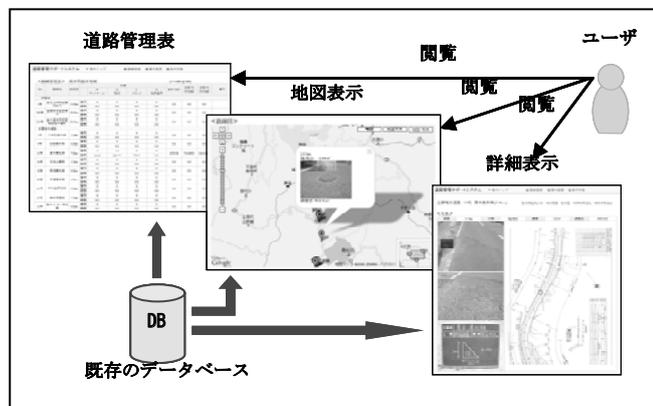


図-4 道路維持管理サポートシステム

道路を計画的に管理するため GIS を使用した道路管理システムの提案が行なわれている。しかし、コスト負担や人材不足、操作性が悪いといった問題があるため、計画的に管理できているとはいいがたい。このような問題を解決するため、図-4 に示す Google マップを利用した道路管理サポートシステムを開発した。本システムにおける Google マップ利用の特徴は前もって都道府県・管内の位置情報を登録しておくことにより、地図の位置を都道府県・管内を選択することで変更できる。こ

れにより、効率良く路線位置情報の入力ができる。また、破損区分に応じたオリジナルマーカを作成することで、破損情報を地図上で分類できる。

(D)九州石橋地図作成システム(共同編集型)

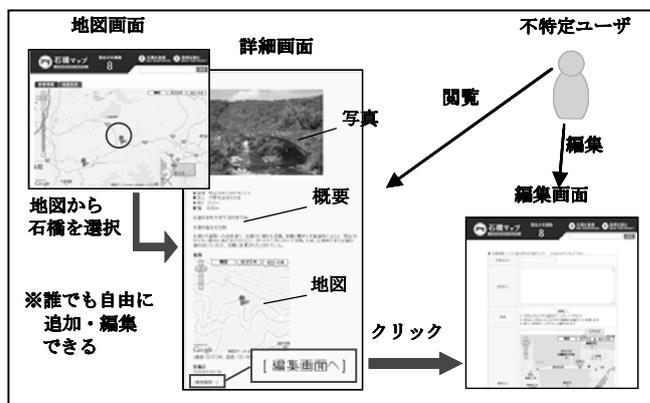


図-5 九州石橋地図作成システム

現在、九州内には 1600 もの石橋が残っているとされており、九州内には貴重な石橋の写真を数多く持っている不特定ユーザ、石橋の位置情報を自分のハードディスクの中に蓄えている不特定ユーザが各県ごとに存在している。もし、それらのデータを一つの Web サーバの中で一元化し不特定ユーザに公開すれば、石橋地図利用の可能性は大きく広がると考える。そのため、図-5 に示す Google マップを利用した九州石橋地図作成システムを開発した。

本システムにおける Google マップ利用の特徴は写真表示と説明表示を切り替えることができ、情報ウィンドウを効果的に利用できる。また、地名や住所文字列などを解析し該当緯度経度情報を割り当てるジオコーダーを利用することで、効率良く目的の場所に近づくことができる。

5.2 考察

前節において開発したシステムの運用から各システムの Google マップ利用の有効性について考察を行った。

(A)知識創造型

この分類で構築した残地調査データ登録システムは、残地を調査する研究機関である事業関係者が調査データを編集・利用するシステムであった。

このシステムでは、情報収集を迅速かつ重複させずに効率よく行うことが重要である。したがって、この型はデータベース作成などの情報の基盤作成に有効であることがわかった。

(B)調査支援型

この分類で構築した被害状況調査支援システムは、災害により被害が生じた地域に住む地域住民が被害情報を登録し、事業関係者である行政側がその被害情報を利用する調査支援型のシステムである。このシステムでは、登録作業を簡略化し多数のユーザから幅広い情報を収集することが重要である。これにより、この型は情報の収集に有効であることがわかった。

(C)情報提供型

この分類で構築した道路管理サポートシステムは、道路を管理している行政（国・都道府県・市町村）などの事業関係者が道路情報を編集し、その路線の地域に住む地域住民がその道路情報を利用できるシステムであった。このシステムでは、専門に特化した情報を地域住民が理解できるような情報に簡略化し公開することが重要である。これにより、この型は情報の発信に有効であることがわかった。

(D)共同編集型

この分類で構築した石橋地図作成システムは、石橋の調査・設計・施工・管理に明確な利害関係を持たない一般市民が石橋情報を編集・利用するシステムである。このシステムでは、データがない初期段階で一般市民に公開しても利用されないことがわかった。それは、システムの利用がまず情報の受信から始まるからである。そのため、まず知識創造型システムを構築し、一般市民にとって有益な情報量を確保する必要がある。次に、情報がある程度増えたなら共同編集型に変更し、情報を公開する。このとき地域住民に直接コンタクトし、注目を集める必要がある。そして、情報が自己増殖するようになれば、大量の情報が一気に整理されていく。このようなことから、この型は

情報の整理に有効であると考えられる。

5. おわりに

本論文では、土木分野における Google マップ利用の可能性として、知識創造型・調査支援型・情報提供型・共同編集型の 4 つを提案し、各分類の特徴について述べた。さらに、その利用分類に基づき、システムを開発し、Google マップ利用の有効性について考察を行った。これにより、Google マップ利用の可能性を示せたものとする。

また、本研究で得られた知見は、土木分野において Google マップ利用を考える場合や、不特定ユーザに対応した GIS 利用の可能性を明らかにする際の一助となり得ると考える。

現在、ユビキタス社会に向けた情報技術の開発は活発に行われており、どこでもインターネットができる環境が整えられようとしている。そうなれば、取得した情報の登録が即時に行えるようになる。また、GPS 技術の進展に伴い、位置情報を持ったデータが増加すると予想される。そうなれば、Web サーバの中に位置情報付きデータを蓄えやすくなり、Google マップ、つまり、簡便な GIS 利用の可能性はさらに広がり、単一的な利用ではなく、その後の高度利用まで視野に入れた利用が可能になると考える。

また、今後の課題として、GIS の利用目的ごとに構築したシステムの有効性を検証し、簡便な GIS 利用の可能性をより明確に示す必要があると考える。

【参考文献】

- 1) 国土交通省国土計画局
GIS 利用定着化事業ホームページ：
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/02/021014_.html，
2007.08 現在
- 2) Google Google マップ ホームページ：
<http://maps.google.com/maps>，2007.08 現在
- 3) 内閣官房，地理情報システム(GIS)関係省庁連絡会議：<http://www.cas.go.jp/>，2004年2月
- 4) 東善広・藤田友丈：参加型環境 GIS の課題と展望、滋賀県琵琶湖研究所委託業務報告書，52p、2005。

18. Web-GIS を用いた社会資本管理台帳システムの構築

熊本大学大学院 自然科学研究科 小林一郎

○熊本大学大学院 自然科学研究科 竹下史朗

熊本県土木事務所 企画調査課 野間卓志

1. はじめに

社会資本を管理する上で重要なことは、工事の履歴を把握し、改善・補修すべき箇所に適した対策を行うことである。計画的に工事を行うためには、現存する建設当時の設計図面・図書を整理し、改修整備の優先順位を把握することが極めて重要であり、各種管理台帳の整備は急務である。

地理情報システム（GIS : Geographic Information System）は、電子地図上に電子化された地理空間情報を処理分析する情報システムであり、視覚的に捉える事が可能で、データの検索等を容易に行うことができる。筆者らは、社会資本のデータ管理には GIS が有用であると考え、過去に蓄積されてきた情報及び新たに電子納品等で集積される電子情報を効率的に管理し、維持管理への利用が可能なシステムとして、Web-GIS を基盤とした社会資本管理台帳システム(以下、管理台帳システム)を構築した。特徴は以下の3項目である。

- (1) Web-GIS を基盤とした情報共有
- (2) データベースによるデータの一元管理
- (3) 現場のニーズを考慮した機能

2. 管理台帳の問題点

本章では、発注者の立場から CALS/EC 導入による現場管理業務の課題と、維持管理業務の今後の課題から、管理台帳の整備の現状を明らかにする。また、現状の GIS の問題点を述べ、現場のニーズに応えた管理台帳システムを提案する。

2.1 CALS/EC の課題

CALS/ECは公共事業に関する情報の交換、共有、

連携を図り、コスト縮減、品質確保、事業執行の効率化を目指すものである。情報の電子化が求められ、紙図面からCDなどのメディアへの移行が進んだが、各種データを有効利用するための管理体制が整っておらず、データの蓄積ばかりが進行している状況である(図-1)。

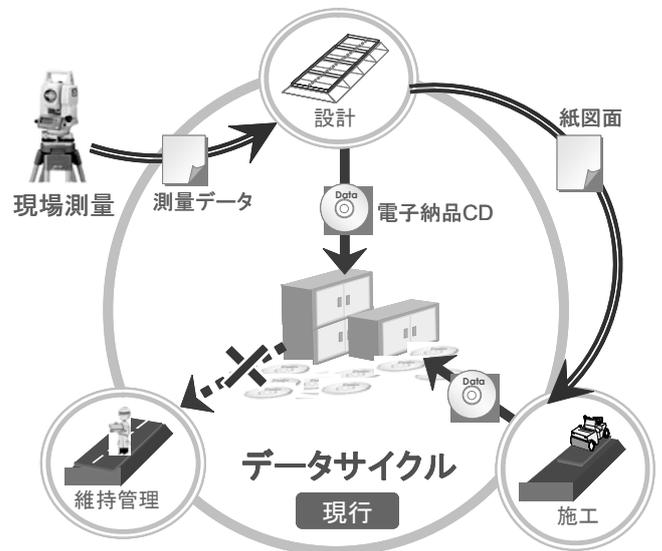


図-1 データサイクルの現状

また、発注者は現場管理業務において以下のような問題点を抱えており、電子化が業務効率の改善に結びついていない。

(1)現場写真の管理

- ①写真データ(工事、検査、日常点検)の数量が膨大
- ②保存した写真データの撮影場所・方向が不明

(2)電子納品データの管理

- ①検索や確認が困難
- ②データサイズが大きく、一括保存に限界

(3)管理されたデータの共有

- ①ルールやシステムが複雑
- ②共有すべきものと個別管理すべきものが混在

2.2 維持管理の課題

国土交通省は公共事業を新規整備への投資から維持管理保守へと移行させることを示しており、維持管理業務が増大することは明白である。一方、地方自治体では地方交付税の削減などにより厳しい財政状況にあるため、工事を計画的に行ってコスト削減を図ろうとする動きがある。つまり、維持管理業務が増大すると想定される中、予算と人員は縮小されていくのである。

効率的な維持管理を行うためには、台帳整備は不可欠である。しかし、単に電子データを蓄積しただけでは効果はなく、必要とするデータを迅速に検索することができ、新しい情報を更新しながら常に利用していけるような台帳システムを目指す必要がある。

2.3 GIS の課題

現在、民間企業も含めた社会全体でGISの利用推進に向けた取り組みが総合的に実施されている。政府は「GISアクションプログラム 2002-2005」にてGISの整備・普及を推進しているが²⁾、地方自治体などの現場が本当に求めている機能を有しているGISは少ない。そのため、GISの恩恵を十分に感じることができていない。具体的には以下のような問題点が生じている(図-2)。

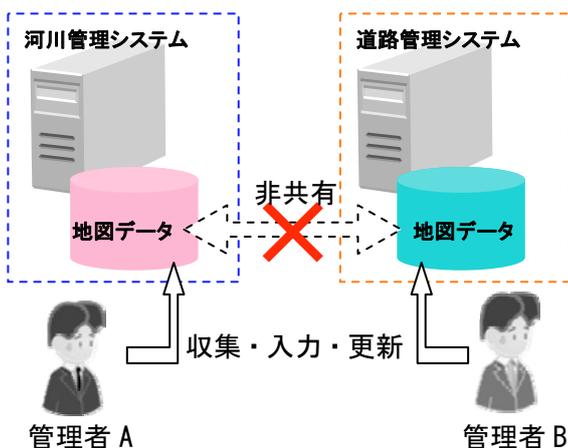


図-2 GIS 利用の問題点

- (1) マップがシステムごとに生成され、地図データの収集、入力の作業が重複して行なわれている
- (2) 個別に地図データを収集しているため、マップ

の更新を別々に行う必要がある

(3) GIS 導入・運用のコストが高いうえに、汎用性が低く、使い勝手が悪い

つまり、基盤システムが一元管理され、現場業務の様々なニーズに対応できる機能を持った GIS が求められている。

3. 管理台帳システムの構築

本章では、2 章で述べた管理台帳の課題を解決するために構築した Web-GIS による管理台帳システムの概要と主な機能について示す。

3.1 概要

本システムは、GIS エンジンに Autodesk 社の MapGuide6.5 を用いて構築した³⁾。データベースとのやりとりに PHP (Hypertext Preprocessor) と JavaScript を使用した。地図データは、数値地図と併せて航空写真を利用し、Web 上で位置が直感的に把握できるようにした。また、各台帳のデータは電子化され、位置情報を付加されたデータがデータベースに格納されており、検索可能な状態である(図-3)。

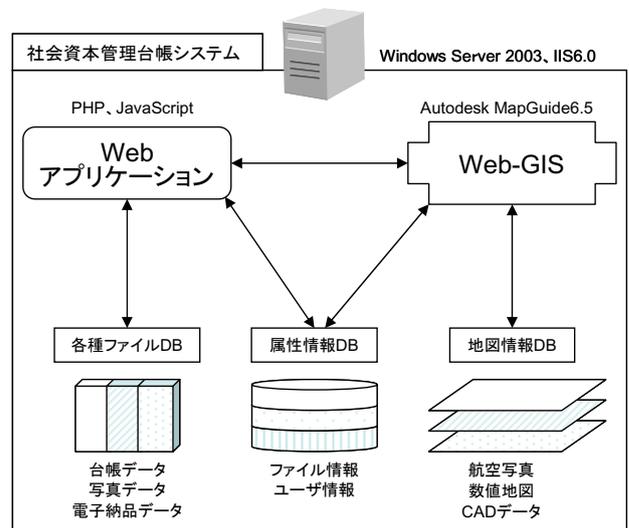


図-3 システム構成

主要機能として「ファイル管理」「ライン管理」「階層管理」「写真管理」の4つを備え、それぞれマップ上でのデータ管理を可能にした。また、全てのユーザに対してのアクセス権限情報がデータベースに登録されている。ログイン画面でユーザ

ID とパスワードを入力し、データベースに登録されているユーザ情報と一致すればログインできる。

3.2 機能の詳細

3.2.1 ファイル管理機能

データを登録する際に関連する現場の位置情報を付加することで、データがマップ上に表示される。利用者はどの現場に関するデータかを視覚的に確認できる。

(1)ファイルの登録・検索

本システムでは、単にこれまで蓄積されてきたデータに、位置情報を付加して登録することで閲覧を容易にしている。位置情報を基に必要とするデータを検索できるため、効率的なデータ運用を可能とする。他の事業のデータについても、簡単に取得閲覧できれば非常に参考になるものである。

(2)電子納品データの登録

電子納品 CD には、電子成果品の属性情報を記載した管理ファイル (INDEX_C.XML、INDEX_D.XML) を格納するよう定められている。電子納品データを管理台帳システムに登録する際、関連するマップ上の位置を指定し、CD 内の管理ファイルをアップロードする。その XML ファイルを自動的に解析し、納品情報、受注者、場所、区間、工事内容、請負者、関連データ (写真・図面) 等を情報画面に表示させることで、納品情報を容易に確認できる(図-4)。



図-4 電子納品データの登録

3.2.2 ライン管理機能

本システムでは、GIS の基盤データのひとつに

数値地図から作成した道路や河川などのラインデータをを用いている。また、現場の施工管理を支援するために CAD 平面図貼り付け機能とライン描画機能を設けた。

(1)CAD 平面図貼り付け

GIS のマップ上に CAD 平面図データを重ね合わせることで、より詳細な位置情報をデータに付加することができる(図-5)。多くの GIS ソフトウェアでは、CAD データをマップ上に表示させるためには、標準データフォーマットのベクターデータに変換する必要がある。MapGuide6.5 のメリットのひとつとして、AutoCAD により作成された dwg ファイルをサポートしており、ファイル変換の必要がないことが挙げられる。これにより、設計変更時に書き換えた dwg ファイルを容易に更新可能である。さらに、工事終了後は台帳として維持管理への利用も期待できる。

(2)ライン描画

マップ上にライン描画できる機能を設けることで、容易に範囲を指定することができる。緊急点検箇所や公共施設の範囲を示しておくことで、緊急の点検時や災害の調査等に役立てることができる。

3.2.3 階層管理機能

本システムは、現場(発注者・受注者・住民)が情報を共有することを目的としているため、Web-GIS を基盤としている。また、基盤となる地図データを共有することで、異なる部署間でのシ



図-5 CAD 平面図との重ね合わせ

システムの共有が可能となり、発注者間で統合的に利用することができる。

(1) マップの階層管理

目的に応じてディレクトリを作成することができ、ひとつのシステムで様々な台帳の管理が可能である(図-6)。

また、マップを共有マップと個別マップに分け、共有すべきデータのみを共有マップへ移動させることにより、データの散乱を防ぎ、検索効率を高めることができる。利便性を保つために、重要度が低いデータなど、無駄なデータを共有することは極力避けなければならない。

(2) アカウント・アクセス権限グループ管理

主に発注者の現場管理業務の支援を目的としているが、受注者や住民との情報共有も大きな役割のひとつである。そのため、発注者・受注者・住民を区別するアカウント管理機能を設けた。加えて、アカウントごとにアクセス権限グループを設定することで、データの保守を行うことができる。登録が必要なユーザには登録、閲覧の権限を持たせ、その他のユーザには閲覧のみしかアクセス権限を与えないなどの設定が可能である。

(3) 地図データの共有

上記の(1)と(2)の機能により、ひとつのシステムで様々な利用が可能となった。これまでは部署ごとにシステムを構築し、基盤となる地図データもそれぞれ更新する必要があったが、本システムでは地図データを共有しているため効率的にシステムを運用することができる。

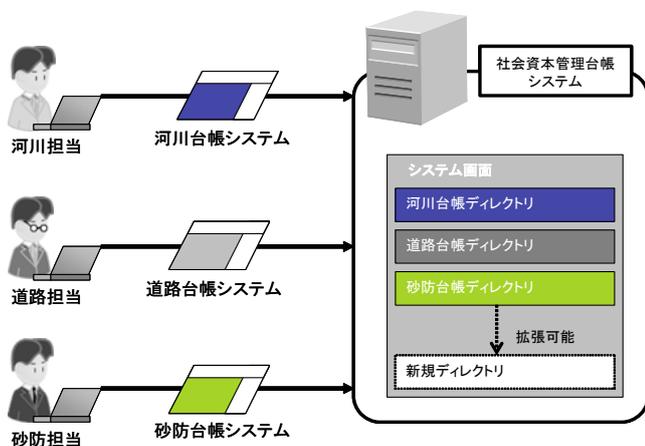


図-6 階層管理によるシステムの一元化

3.2.4 写真登録機能

GPS 対応カメラつき携帯電話(以下、GPS 携帯)と Web-GIS を連携させることで、リアルタイムな写真登録が可能になった(図-7)。

通常、GPS デジタルカメラは 10 万円前後と高価であるが、GPS 携帯ならば安価であり、導入しやすい。第 3 者からの情報提供による写真データを収集することが容易となる。これにより第 3 者の目により社会資本を管理するという新たな手法にも対応することが可能である。

(1) リアルタイムな写真の登録

GPS 携帯の大きなメリットは、即時性と携帯性にある。その特徴をシステムに活かして、位置情報を付加された写真データを瞬時にマップ上に登録可能とした。これにより、災害発生時などにおいて、現場で撮影した写真データがリアルタイムでマップ上に表示されていくため、現場の位置や状況が分かりやすく、対応が早く行える。

(2) 位置情報の自動取得

GPS 携帯を利用することで、現場から添付メールを送信するだけで写真をマップ上に自動登録することが可能となる。GPS 携帯で写真を撮影することですでに位置情報は付加されており、システムに送信後、マップ上に表示された写真データに関して必要な情報を追記していただくだけで写真管理が可能である。

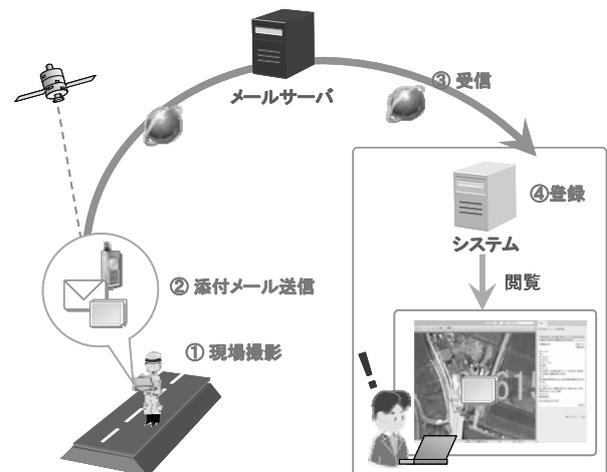


図-7 GPS 携帯による自動登録

4. 適用事例

4.1 概要

システムの階層管理機能を用いて、河川台帳ディレクトリを作成し、熊本県熊本土木事務所において仮運用を行った。以下に開発したシステムの構築環境を示す(表-1)。

表-1 システムの構成環境

| サーバー環境 | |
|-------------|---------------------------------------|
| OS | Windows Sever 2003 |
| Webサーバー | IIS (Internet Information Server) 6.0 |
| CPU | Intel Xeon 3.20GHz×2 |
| RAM | 1.0GB×2 |
| Webアプリケーション | PHP, JavaScript, HTML |
| データベース | Microsoft Access 2003 |
| クライアント環境 | |
| 登録・閲覧 | Internet Explorer 6.0以上 |

4.2 運用目的

河川工事を担当する監督職員の業務における、工事の進捗管理と出来形管理を Web ブラウザ上で行うことによって施工管理の効率化を目指す(図-8)。

4.3 現状の課題

現場代理人と打ち合わせを行う場合、事務所に行くか電話やメール等を使用しているが、地方自治体等の監督職員は、同時に複数現場を担当していることが多いため、現場への移動に多くの時間を要している。

また現場代理人も、進捗状況を規定の様式に記載して報告するなど、多くの書類の提出に時間を費やしている。

4.4 運用結果

(1)移動時間の削減 (監督職員)

Web ブラウザ上に工事進捗状況の写真やデータを登録することで、監督職員が現場に移動しなく

ても出来形管理をサポートすることが可能となった。そのため、打ち合わせ等に要する移動時間を削減することができた。

また、現場の施工範囲を指定する場合等に、マップ上に描画することでお互いに確認することが可能であるため、相互のコミュニケーションツールとして大いに有効である。

(2)書類作成時間の削減 (現場代理人)

現場代理人についても、監督職員の都合に合わせて書類を提出する必要がなく、進捗に応じてデータをマップ上に登録していくことで、監督職員とのやりとりを行った。これにより、受発注者とも進捗状況を事前に把握することができたため、お互いに時間の調整が可能となり、現場での手持ち時間を減らすことができた。直接的効果として、検査段取り等を含め、計画的に工事を進めることにより費用を削減できた結果となった。

(3)履歴の有効活用

マップ上に記載した現場の CAD 平面図データが効果的で、施工状況を把握するために大変有用であった。加えて、変更指示等もデータで受け渡しを行っていたため、この履歴を残していくことで設計変更時に漏れがなく処理することができた。

同様に、災害後等の状況についても着工前の写真や図面データ等を残すことで、今後の災害復旧工事に役立てることが可能である。

4.5 今後の課題

Web ブラウザ上で進捗管理と出来形管理を行うことにより、施工管理の効率化は達成されたといえる。さらに、多くの現場でシステムを利用していくことで、新たな課題や利用法を見出し、システムの充実につながると考える。

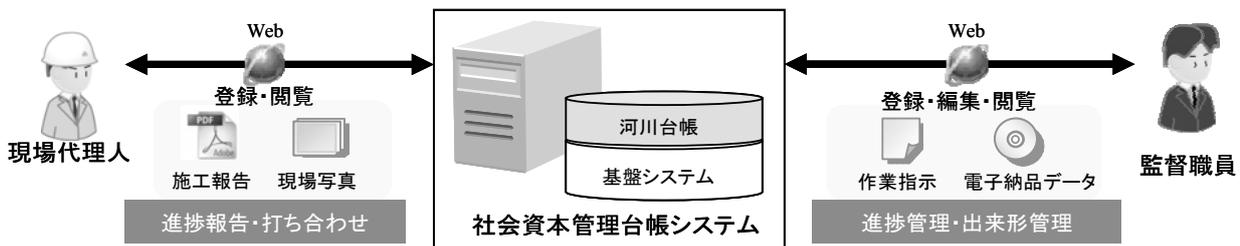


図-8 河川台帳ディレクトリによる現場施工支援

5. 考察

2章で述べた課題である(1)電子データの利活用、(2)活用できる台帳の整備、(3)基盤システムの一元化、以上3点について、本システムの運用効果よりそれぞれ考察を行う。

(1)電子データの利活用 (CALS/ECの課題)

担当者各自のパソコンなどで保存されていた情報をマップ上に収集・管理することで、関係者の情報共有が可能となった。受注者との打ち合わせや、施設調査などの個人業務のデータの履歴がそのまま台帳整備に生かされるという仕組みによって、電子化の恩恵を受けることができたといえるだろう。また、各建設プロセスにおいて生じた電子納品データや写真データ等を、一貫したシステムで運用していくためには、登録が容易であることが非常に重要である。

しかし、マップ上で情報の確認ができるといっても、現場では紙情報はまだまだ必要となるというのが現状である。全ての情報を電子化するのは、受注者にとってはデータの作成作業が増えるだけである。現場の実情を考慮し、情報として共有していくべきものを電子化していくことが重要であるだろう。

(2)活用できる台帳の整備 (維持管理の課題)

これまでの台帳は記録簿の意味合いしか持たなかったが、データに位置情報と属性を付加して保存していくことにより、維持管理だけでなく施工支援や民間の提案受付、住民への情報発信など多くの機能を有するシステムとなった。したがって、台帳データの充実が建設プロセス全体の効率化に生かされることになる。

一方で、各台帳のデータはPDFデータで保存されているため、データ内の情報を取り出すことはできない。電子納品データのようにXMLデータで保存していくなれば、さらに台帳データの利活用が可能となるだろう。

(3)基盤システムの一元化 (GISの課題)

階層管理機能により、ひとつのシステムを基盤として利用目的ごとのディレクトリを増やしていくことで様々な利用の仕方が可能である。航空写真や数値地図等の基盤データが一元化されている

ため、システムが分散している場合に比べ、更新やメンテナンス作業が容易である。しかし基盤システムに問題が発生した場合に、全てのディレクトリに影響を及ぼしてしまうため、細心の注意が必要である。

一般的にGISは高価であり予算の少ない地方自治体では導入が困難であるが、オープンソースのGISエンジンも配布されはじめており、GISは身近なものになってきている。しかし、システムの効率的な運用を行っていくためには、闇雲にGISを導入するのではなく、利用目的を明確にし、全体を見据えたルールづくりを行ってから導入する必要がある。

6. おわりに

本研究では、発注者の現場管理業務における情報共有を目的として、Web-GISを基盤とした管理台帳システムを構築した。台帳整備による維持管理の効率化だけでなく、受発注者間の施工支援や、住民への情報発信ツールとしての利用が期待できるものとなった。また、公共事業に限らず、地図上で情報を整理する方が非常に分かりやすいケースは多数あると思われるため、広く普及させることで他分野での活用の可能性も大いに考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省 CALS/ECアクションプログラム 2005:
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/13/130315_.html
2007.08 現在
- 2) 国土交通省 GISアクションプログラム 2002-2005:
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/02/020220_.html
2007.08 現在
- 3) Autodesk 社ホームページ:
<http://www.autodesk.co.jp/adsk/> 2007.08 現在

19. ホウ化チタン (TiB₂) セラミックス保護板の 切断抵抗性評価法の確立と評価

株式会社 クボタ 鋳鋼事業部 材料研究部 ○船越 淳
 社団法人 日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 研究第四部 佐々木 隆男
 株式会社 クボタ 鋳鋼事業部 材料研究部 土田 二郎

1. はじめに

近年の電柱・電線の構造設備を地中化する C.C.BOX (電線共同溝) やマルチメディア社会に対応する光ファイバー網の整備 (情報ハイウェー) により情報 BOX の地中化が推進されている。また、現場条件等により浅く埋設された情報 BOX 等は、その後の道路工事において万が一の切断事故を防止するために、その表面を鋼板で覆う等の防護策が施されている (図1参照) もの、実際の道路工事において切断事故が発生し、問題化している (切断事故が発生すると復旧まで地域社会に大きな混乱を引き起こすだけでなく、数千万円の損害金額が発生するケースもある¹⁾)。このため、耐切削性の高い金属製及びセラミックス製の保護板が種々開発され、株式会社クボタではホウ化チタンを主原料とするセラミックス保護板 (以下、TiB₂ 保護板という。) を開発した²⁾。



写真 1 TiB₂ 保護板

このセラミックス製保護板は、従来の防護に比べ難切断であり、重要地下埋設物の有無を知らせるセンサーとしての機能が期待され、情報網等の地下整備とともに、保護板のニーズは増加している。

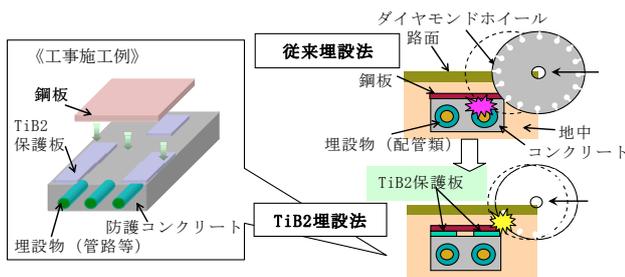


図 1 TiB₂ 保護板埋設状況と効果

一方、開発された種々の防護板については、試験室レベルの試片による研削抵抗性は把握されているものの、現場で求められる性能・実用性を評価するため、実現場における切断試験を実施することが多い。しかし、現場計測の曖昧さから定量的な評価がなされているとは言い難い状況である。

本稿では、現場試験でも防護板の切断のしにくさを、定量的な測定・評価が可能な評価法と、その評価法による TiB₂ 保護板の切断抵抗性について報告する。

2. TiB₂ セラミックスの特徴

TiB₂ セラミックスは、他のセラミックス材料に比較して、特に硬度とヤング率が高いため、ダイヤモンドブレードに対する静的な摩耗抵抗や衝撃切断時の破壊抵抗が高い。図2に TiB₂ セラミックスと他のセラミックスの特性比較を示す。

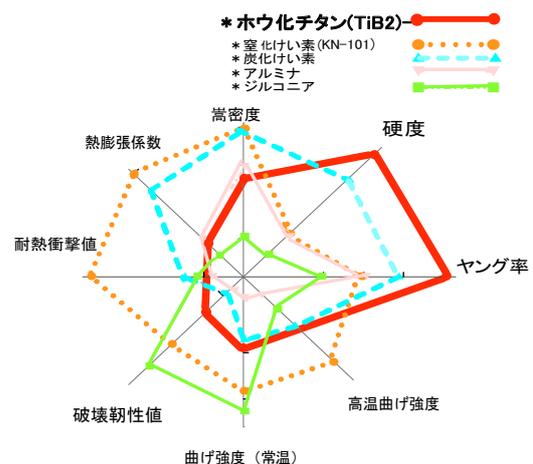


図 2 TiB₂ セラミックスと他セラミックスの特性比較

3. 定量的な切断抵抗性評価法の考え方

一般に防護板を選定する場合、地下埋設物切断試験を実施する機会が多い。この切断試験とは、被防護体とそれを防護する防護板を所定の構造に埋設し、路面上から舗装カッターマシンにより所定の深さで切断を行うもので(図1参照)、切断に要した時間と切断長さを計測し、切断速度として、切断のしにくさを評価していた。この場合、施工された保護板の位置ずれや手動で行う時間計測の曖昧さから、保護板の特性を定量的に評価しているとは言い難いものであった。

このため、現地での切断試験における普遍的データの採取と、保護板又は保護構造としての切断抵抗性を定量的に評価する方法を確立する必要がある。

そこで、現状評価に必要な舗装カッターマシンの切断深さおよび切断距離に併せて、ダイヤモンドブレードの回転数を動的計測することにより、

- a. グラフ化による可視化
 - b. 数値による比較
 - c. 防護板のみの切断抵抗性の抽出
- が可能と思われ、この結果から切断抵抗性も定量的に評価ができると考えた。

4. 切断抵抗性定量的評価法の確立

4.1 測定方法

切断試験時の舗装カッターマシンの動き、すなわち①横方向変位②縦方向変位③ダイヤモンドブレード回転数を測定するため、図3に示す構成を採った。

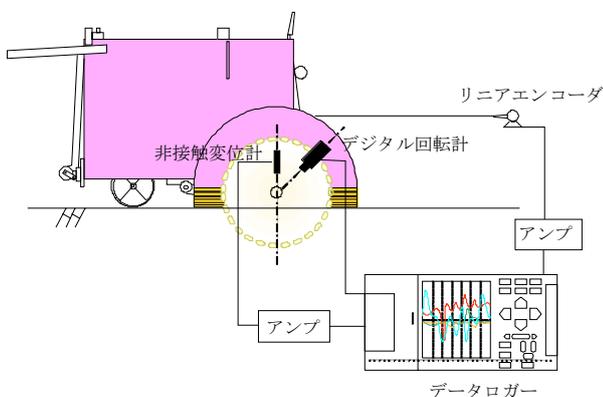


図3 舗装カッターマシンの動き測定の構成

横方向変位は舗装カッターマシンに取り付けたリニアエンコーダで移動距離を測定し、縦方向変位は非接触式変位計(超音波変位計)により路盤との距離を、またダイヤモンドブレード回転数は非接触式回転計によりダイヤモンドブレード取付軸の回転数を測定した。

4.2 鋼板切断測定

図3に示す機器構成で、16mm 肉厚の鋼板を埋設し、切断を行った。

(1)埋設構造

供試鋼板の埋設構造を図4に示す。また舗装カッターマシンに取り付けた機器を写真2に示す。今回の切断は図4に示すように鋼板を横方向に切断する試験とした。

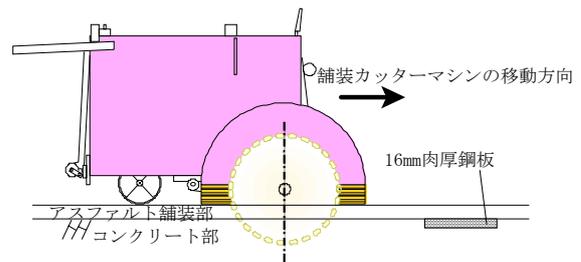


図4 鋼板の埋設構造

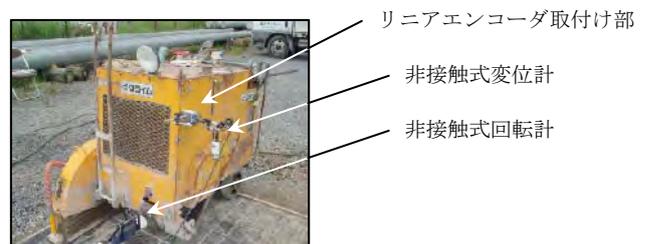


写真2 舗装カッターマシンに取り付けた機器

(2)測定結果

図5に切断試験から得られた横方向変位、縦方向変位、ダイヤモンドブレード回転数を時間に対してプロットした。

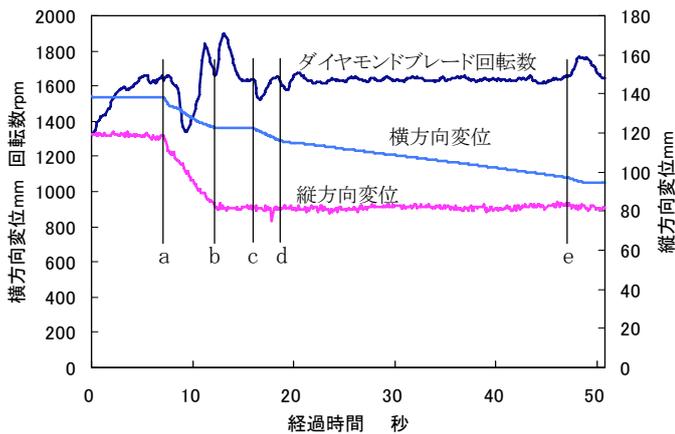


図5 16mm 鋼板切断試験測定データ

横方向切断を行う場合は、供試品手前で 110mm の深さまでダイヤモンドブレードを入れ(a~b 区間)、その深さで横方向にアスファルトを含むコンクリート部を切断しながら移動して(c~d 区間)、供試品に接触し(d 点)、供試品の切断段階になる。b~c 区間は試験待ちの区間である。

図5から、次の 2 点が分かった。

- ①一連の切断におけるそれぞれの段階が区別でき、何を切断したデータかが判別できる
- ②防護板に相当する供試品を切断している段階は d ~e の部分で、この区間のデータを採用することで供試品の切断抵抗性が評価できる

5. 切断抵抗性定量的評価法による各種評価

本評価法を用いて①TiB2 保護板及び各種防護板の切断抵抗性②特性の異なるセラミックス材の切断抵抗性③切断抵抗性に及ぼす TiB2 保護板の形状の影響について、評価した。

5.1 TiB2 保護板及び各種防護板の切断抵抗性評価

(1) 埋設構造と試験条件

TiB2 保護板、鋼板(厚み 16mm)、軟質鉄製防護板を図6に示すように埋設した。

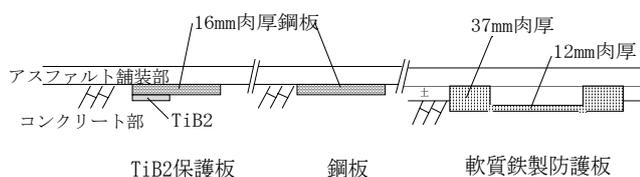


図6 埋設構造

切断試験条件を表 1 に示す。

表1 切断試験条件

| 項目 | 内容 |
|------------|--------------------------|
| カッターマシン | エンジンカッター1820cc |
| ダイヤモンドブレード | コンクリート用ブレード 外径 14 インチ |
| ブレード回転数 | 1,600rpm |
| 切断深さ | 110mm |

他の切断試験も同条件とした。

(2) 試験結果の評価

舗装カッターマシンが 110mm 深さまで切り込み横方向に移動開始してから板を切り落とすまでの切断時間に対する横方向変位の関係を図7に示す。

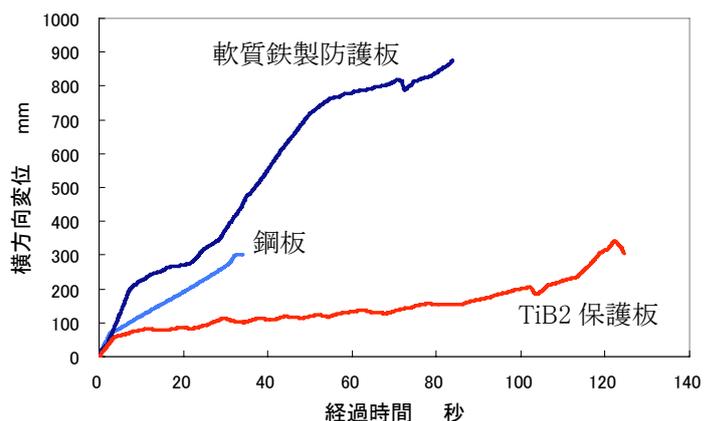


図7 切断時間に対する横方向変位の関係

次に、図8に供試品切断時のダイヤモンドブレード回転数の変化を切断時間に対しプロットした。

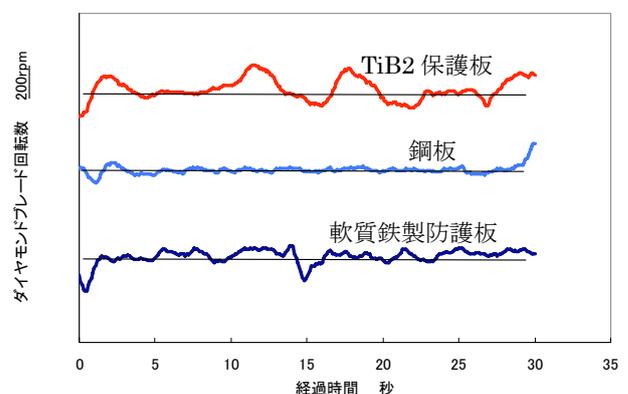


図8 ダイヤモンドブレード回転数の変化

更に、図7からグラフの傾きを求め、単位時間あたりの切断距離(切断速度)とし、また図8から回転数の標準偏差を求め、ダイヤモンドブレードの回転数変化の大きさを求めた。この結果を表2に示す。これから分かるように TiB2 保護板は他の防護板に比べ、格段に優れた切断抵抗性を示すことが分かった。

表2 切断抵抗性の評価

| 供試品 | 切断速度 mm/sec | ブレード回転数 rpm | |
|-------------|----------------|-------------|------|
| | | 平均値 | 標準偏差 |
| TiB2 保護板 | 1.1 | 1,631 | 53 |
| 鋼板 | 6.7 | 1,639 | 20 |
| 軟質鉄製 防護板 | *6.0 | 1,618 | 36 |

*軟質鉄製防護板は厚肉部切断時の値

5.2 特性の異なるセラミックス材の切断抵抗性評価

特性の異なる3種のセラミックス材の切断抵抗性の評価を行った。材質としては、硬度和ヤング率の違うTiB2、窒化けい素、ジルコニアを用いて、TiB2 保護板と同等の形状に成形・焼結を行って、供試片とした。切断時間に対する横方向変位の関係を図9に示す。硬度和ヤング率の高い TiB2 保護板の切断抵抗性が非常に優れていることがわかった。

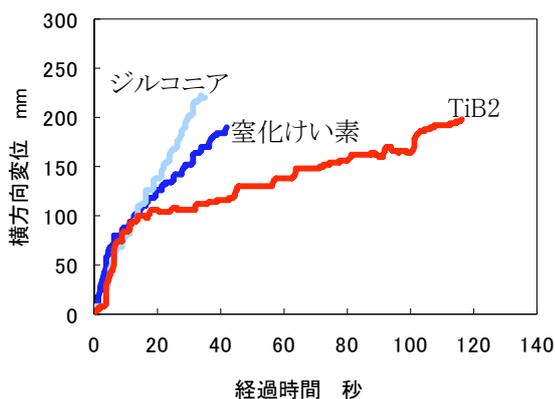


図9 切断時間に対する横方向変位の関係

5.3 切断抵抗性に及ぼす TiB2 保護板の形状の影響評価

TiB2 保護板は矢型の凸凹を組み合わせることにより設置隙間にブレードが入った場合の切断抵抗性を確

保している。矢型内角を変えた形状の TiB2 保護板の切断抵抗性を評価した。写真3に試験後の3種の TiB2 保護板の状況を示す。また切断時間に対する横方向変位の関係を図10に示す。



矢型内角 160° 矢型内角 150° 矢型内角 140°

写真3 3種の TiB2 保護板の試験後の状況

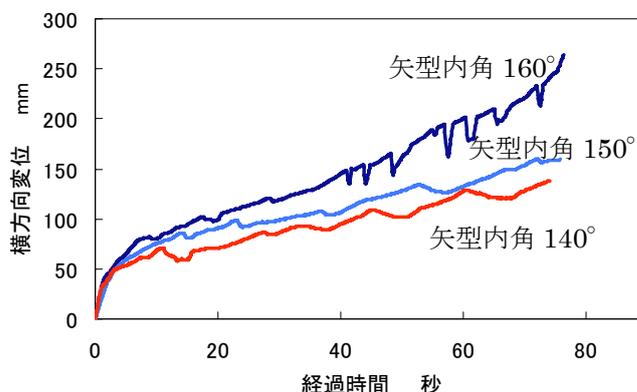


図10 切断時間に対する横方向変位の関係

これらの結果から内角を小さくすることにより矢型形状の TiB2 保護板の設置隙間切断抵抗性を向上させることができることが分かった。

6. まとめ

今回確立した機器測定法を用いた切断抵抗性評価法により、次のことが分かった。

- (1) 舗装カッターマシンに横方向変位を測定するリニアエンコーダ、縦方向変位を測定する非接触式変位計、ダイヤモンドブレード回転数を測定する非接触式回転計を取り付け測定することにより、可視的に、また定量的に、各種材質の切断抵抗性が評価できた。
- (2) この評価法を用いることにより、各種防護板の切断抵抗性の比較ができ、TiB2 保護板の優れた切断抵抗性が明らかになった。

7. 参考文献

- 1) 国交省九州地方整備局のホームページ
- 2) クボタ技報第36巻(2000年2月号)

20. 人道支援のための対人地雷除去機の開発

コマツ 建機マーケティング本部 市場開発部 柳樂篤司
コマツ 開発本部 建機第一開発センタ 中上博司

1. 概要

世界中に1億個以上も放置された対人地雷。毎年多くの市民や除去作業員が被害を被っている。コマツは、2003年の経済産業省と(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDO)による助成金事業で人道支援のための対人地雷除去機を開発した。2004年にはアフガニスタン、2006年にはカンボジアで、外務省と(財)日本国際協力システム(以下、JICS)による研究支援無償プロジェクトにより現地実証テストを実施した。地雷除去機に要求される項目は、①除去の確実性と高い速度(確実に速く地雷を除去できること)、②機動性(凹凸や急傾斜地、及び植生のある地盤でも稼働できること)、③耐久性(爆破の衝撃に耐えること)、④除去後の探知作業が容易なこと。現地テストの結果、両国の様々な地盤条件でも500m²/hの作業速度を実証。これは手作業の約25倍以上もの能力を発揮することになる。日本で始めてブルドーザをベースとして対人地雷除去専用の機械として開発された当該車両は、上記の全ての要求項目を満たし、今年度からアフガニスタンで本格的な稼働を始める。以下、詳細を述べる。

2. 地雷埋設国の現状

世界80カ国以上で地雷や不発弾による被害が報告されており、被害者数は毎年15000人以上とも言われている。



写真1 対人地雷 PMN



写真2 被害者

対人地雷禁止条約である、オタワ条約を批准している国の中で、特に地雷の多い国としては、アフガニスタンで1000万個、アンゴラで700万個、カンボジアで600万個あるとも言われている。

地雷除去作業は、その多くが未だ人手で行われており、危険かつ時間のかかる作業である。

人手による作業速度の目安は、1名で1時間当たり、カンボジアで10m²、アフガニスタンで20m²とも言われており、全ての地雷を取除くには今後数十年以上かかるとも言われている。



写真3 アフガニスタンでの除去作業

3. 対人地雷除去機の開発概要

対人地雷除去機は、弊社の中型ブルドーザのD85EX-15をベースマシンとし、開発した。



図1 対人地雷除去機のモデル案

フロント部には、地盤改良の技術で培われたCS210スタビライザーの掘削機構を応用した除去作業アタッチメントを装着し、更に防弾キャビン、専用ミッション、及びリモート操縦も可能な様にラジオコントロールシステムも準備した。



写真4 完成した対人地雷除去機

| | |
|--------|-------|
| Weight | 35t |
| Power | 179kW |
| Length | 9.0m |
| Width | 3.5m |
| Height | 3.6m |



図2 仕様概略 写真5 ラジコン送信機

4. 主要な開発項目と現地テスト結果

(1) 作業アタッチメントとシステム制御

開発で最も苦心した点は、確実にかつ高い作業速度を達成するための、作業アタッチメントの形状設計と車体の速度制御である。アタッチメントの形状は、最も小さい対人地雷を確実に除去できる様に刃(以下、ビット)の配列と回転数を設定した。その上で、最も掘削抵抗が少ない形状にするための形状をいくつか試作し、最終的に下記の M 型の配列をしたロータを開発し、これにより作業速度を約 50% アップした。

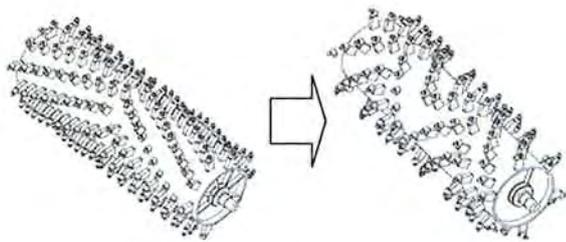


図3 当初の形状(左端)と最終形状(右端)

次に機械の制御システムについてであるが、当該ブルドーザは専用の低速ミッションを搭載しているが、それでも岩の様な硬い地盤に遭遇すると掘削不可能な状況になる。そこでトランスミッションとロータを自動制御し、除去深さ 30cm が可能な除去作業を達成するためのシステムを構成した。

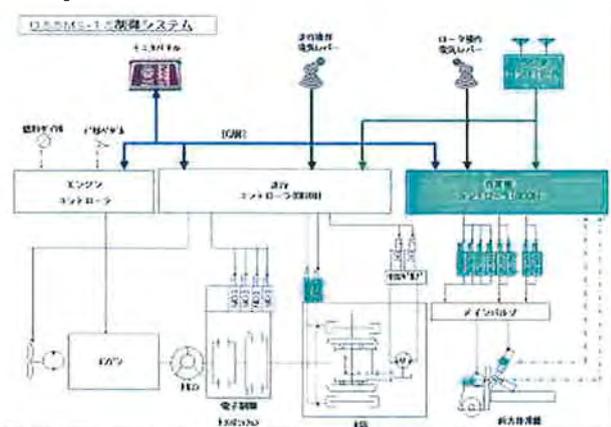


図4 制御システム

制御の仕組みを簡単に説明すると、ロータの回転数が基準値を下回れば、トランスミッションをニュートラルに戻し、掘削抵抗を軽減させる。そして回転数が基準値を超えれば、F1 の速度段で再スタートさせる。この制御によりロータ回転数を検知しながら、車体の移動速度を制御する負荷コントロールを達成した。除去速度は最高で 1000m²/h と設定した。

① 2004 年のアフガニスタンでの現地テストでは、最大で 25m x 100m の広さに、平坦地、起伏地、硬い岩地の 3 種類を準備し、全てラジコン操縦でテストを実施した。その結果、前進・後進を繰り返す実作業でのネット作業速度として、いずれの地盤でも 500m²/h 以上を達成した。また、約 30 度の斜面でも作業できることを実証し、現地の除去機関や国連等の関係者を驚かせた。



写真6 ラジコン操縦



写真7 約 30 度の勾配

そして、アフガニスタンの首都カブール空港近郊の地雷原で、約 20 分間に約 20 個の地雷を爆破処理した。そして除去跡地には地雷が残っていないことも確認した。



写真8 カブール空港近辺での爆破処理の瞬間

② 2006年のカンボジアでの現地テストでは、植生の生い茂るタイ国境付近の地雷原で、面積にして約54,000m²を、約100時間で除去した。この地盤では、地盤を掘削することに加え、同時に植生も除去した結果であり、高い作業速度と作業機の耐久性を実証したことになる。

表1 現地テストでの作業速度結果

| [単位] 面積:m ² 、作業速度:m ² /h | | | |
|--|------|-------|--------|
| 2004 アフガン | 平坦地 | 面積 | 2,500 |
| | | 作業速度 | 621 |
| | 起伏地 | 面積 | 1,500 |
| | | 作業速度 | 545 |
| 岩地 | 面積 | 1,600 | |
| | 作業速度 | 505 | |
| 2006 カンボジア | 灌木地 | 面積 | 54,000 |
| | | 作業速度 | 508 |



写真9 灌木を除去している様子



写真10 直径約10cmの灌木

また、カンボジアでは搭乗およびラジコンの両方でテストを実施した。写真11はラジコンによる実作業の様子であるが、機械で除去した跡地が、更地になっていることが判る。



写真11 ラジコンによる操縦と更地化

(2)機動性

アフガニスタンは国土の約80%が山岳地帯と言われており、急斜面や凸凹が多い。また、カンボジアの様に植生が多い地域には切り株や軟弱地が多く、悪路走破性が、機械にとって最も重要な要求項目と考える。従い、悪路に最も強い足回りをもつブルドーザをベースマシンに選定した。ブルドーザは油圧ショベルの様にリジッドなフレームにクローラが付いているのではなく、地面が凸凹していても常に地面に足を設置し高い牽引力を発揮するためのオシレーション機能を備えている。

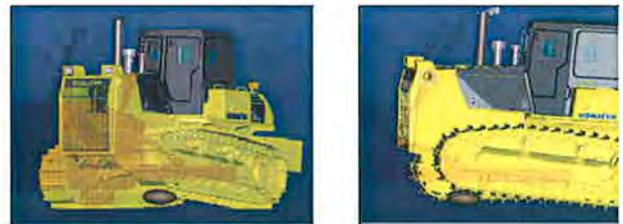


図5 オシレーション機能

① 現地テストでは様々な地盤環境下で稼動させたが、下記の写真を見ても判る様に、アフガニスタンの様な土漠の山岳地帯でも、またカンボジアの様な軟弱地であつ植生のある地帯でも、オールラウンドに稼動できることを実証した。



写真12 土漠山岳地



写真13 軟弱地

(3) 耐久性

日本では、実際の地雷を爆破することはできないので、防衛庁の施設を借り、火薬を用いて実験を実施し、そして最終的には現地テストで実地雷を用いて検証した。

① アフガニスタンでは、角度や場所を変えて6通りの対人地雷による耐爆テストを実施した。



写真14 対人地雷を用いた耐爆テスト



写真15 対人地雷の爆破の瞬間

その結果、最大級の対人地雷(火薬 1kg)の爆破衝撃であれば、作業機アタッチメントの先端部の消耗品であるビットは少し熱磨耗するものの、その他の部分は問題無いことを証明した。

ちなみにビットは熱磨耗しても、ビット先端部が残っていればそのまま継続して使用可能である。

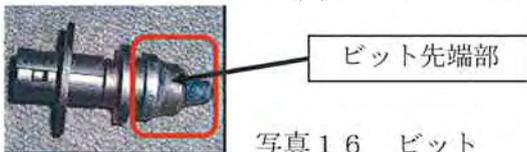


写真16 ビット



写真17 1kgの火薬での耐爆テスト結果

② カンボジアでは、万が一のことを考慮し、対戦車地雷に遭遇した場合のダメージも検証した。余談だが、日本の輸出管理令の元では、人道支援のための対人地雷除去機は軍用車両の扱いから外れたが、対戦車地雷除去機は依然、武器扱いである。従い、我々の開発の狙いはあくまで対人地雷を除去するための機材を開発することであるが、対戦車地雷の爆破衝撃を受けた際の被害度を知っておく必要がある。テストの結果、ロータ部分は損傷するものの、エンジンや足回り等の主要部分は爆破後も問題無く作動可能であり、自力で安全な所に脱出させることができた。そして現地の現場で交換作業を実施し、約2日で修復できることを確認した。



写真18 供試した TM46 対戦車地雷



写真19 対戦車地雷の爆破の瞬間



写真 20 自力脱出の瞬間



写真 22 ブレードによる整地作業

(4) 除去後の探知作業の容易性

機械で除去した跡地は、人力で金属探知機をかけて最終確認をする。何故ならば、これは全ての除去機に言えることであるが、地盤の凹凸や、ヒューマンエラーもあり、機械での 100% の除去率を達成させることは困難なためである。従い、機械による除去の跡地で如何に金属探知機での探知作業がし易いかが、重要なポイントとなる。下記は弊社の除去機での除去跡地を探知している様子だが、多少の凹凸はあるものの、除去した跡地が良く判り、かつ地盤が乱れていないので、容易に探知作業を実施させることができた。



写真 21 除去跡地での探知作業

5. ブルドーザとしての将来利用

弊社の機材は、将来利用として、フロントアタッチメントをブレードに交換すれば、ブルドーザの最も得意とする整地作業や穂場整備にも使える。つまり、地雷除去から地域復興まで長く現地で活躍することができる。

6. 地域復興へ

地雷埋設国の復興は、地雷を除去した後から始まる。つまり除去跡地に、道路等のインフラの整備、自活のための農地開発、そして人材育成のための学校等の教育インフラの整備である。この除去機の作業速度は、現地テストの結果、1 時間に約 500m² 以上を達成できることが実証されたので、この機械が 1 台、1 年間フルに稼動すれば、約 72ha の面積を除去でき、それは約 500 人規模の村の復興に寄与できると試算する。



機械による高速地雷除去 ⇒ 農地開発 ⇒



道路等のインフラ整備 ⇒ 学校建設

図 5 復興へのイメージ図

7. 最後に

2004 年にアフガニスタンで、2006 年にカンボジアで、政府機関及び地元の地雷除去 NGO である OMAR(Organization for Mine Clearance & Afghan Rehabilitation) や CMAC(Cambodian Mine Action Center) の協力のもと、過酷で厳しい条件で、現地テストを遂行した。機械を操縦することに慣れていない現地の地雷除去 NGO の方々とは、まずは機械の使い方や地雷原での安全な作業方法等を十分議論し、トレーニングをする

ところから始まった。互いの国の文化は日本と異なり、仕事の進め方や、安全に関する考え方も違いがあったが、議論を重ねるうちに、お互いの協力関係を築ける様になった。その結果、両国において、作業性能と耐久性を十分に実証できるテスト結果を得られた。



写真 2 3 OMAR と共に



写真 2 4 CMAC と共に

そして、現地テストでの性能が高く評価され、2007年夏に1号機をアフガニスタンに納入した。また2008年の初頭にはカンボジアにも出荷する計画である。

アフガニスタンやカンボジアでは、今も地雷による犠牲者が毎年でており、子供達の被害も伝えられる。機械化により、速く、そして安全に地雷を除去できるために、コマツの技術が微力でも役に立てば、本望である。そして現地が一日でも早く復興することを願ってやまない。



写真 2 5 アフガニスタンの子供たち



写真 2 6 カンボジアの子供と僧侶

21. 能動型RFIDを用いた建設機械施工の安全対策補助システムの開発

国土交通省中国地方整備局 中国技術事務所 機械課 和田 慎司

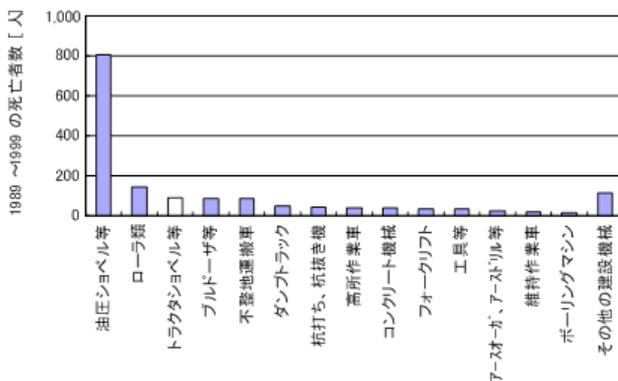
1. 概要

本件は、建設現場における建設機械と作業員との接触事故防止のための安全対策システム（以下、安全対策補助装置と記す）の開発を目的とするものである。

開発した安全対策補助装置の試作機（以下、試験装置と記す）は、接触事故の発生頻度が高く、建設現場への普及台数が最も多い0.8m³級以下のバックホウ（図1、図2参照）を対象としたものである。また、作業員個別の進入したエリアや属性を識別できる能動型RFID（300MHz帯、受信感度感応型）を用いて、目視確認に基づく操作判断を支援し、図3に示すような安全確認時のヒューマンエラー防止に寄与するものである。

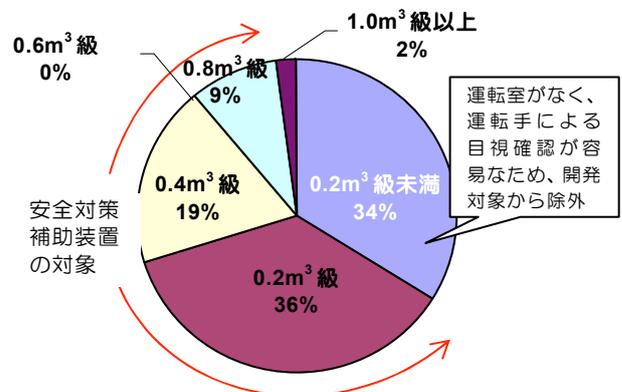
試験装置の特徴を以下に示すが、作業員を識別する（①協調作業員・誘導員、②工事関係者を区分）点で、既存の超音波反射式警報装置やトランスポンダ式警報装置とは一線を画す。

- ① 運転手の死角を含むバックホウ全周の危険範囲に対して、個別に識別した作業員の立入、退出を常時監視し、この監視結果を運転手に提供する。
- ② 監視結果に基づき、運転手に対して、予め設定した作業員区分や、バックホウ操作状態に応じて、音と光により適宜警告する。
- ③ 作業員の配置や現場条件に応じた安全措置の見直し、安全教育などを行う安全管理者に、監視結果を事後提供できる。



建設業安全衛生年鑑【平成元年～H11年度版】より引用

図1 建設機械別の死亡災害



データは建設工事事故データベース(SAS)より入手

図2 バックホウ規格別の事故発生割合

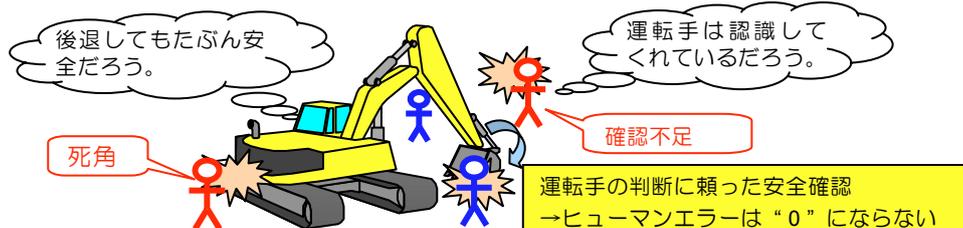


図3 建設機械操作における安全確認時のヒューマンエラー

なお、RFID（Radio Frequency Identification）は、誘導電磁界又は電波によって、非接触で半導体メモリのデータを読み出し等のために近距離通信を行うものの総称であり、送信機であるRFタグに固有の属性情報を予め与えておくことで、受信機であるリーダーで読み出した際に、個体識別が可能となる。

このRFIDは、現在、物流分野で活用が広がりつつあり、技術的な進歩が著しい。

また、能動型RFIDは、電池を内蔵して数十m程度の通信が可能なものであり、受信感度感応型は、データ取得と同時に受信強度を取得するものである（図4参照）。

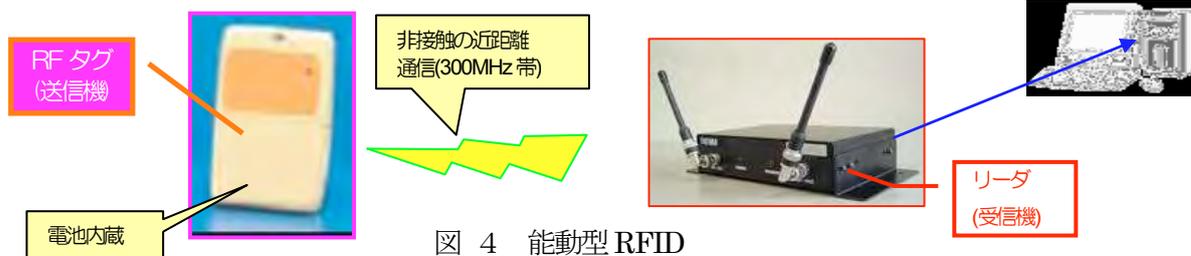


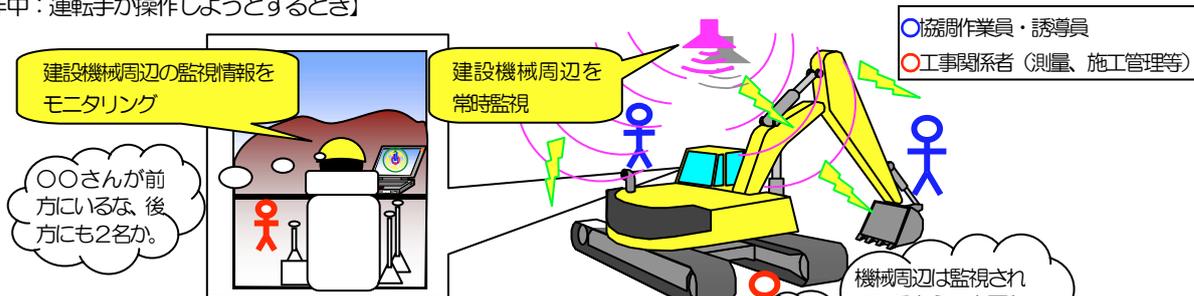
図4 能動型RFID

2. 要件仕様の検討、開発範囲

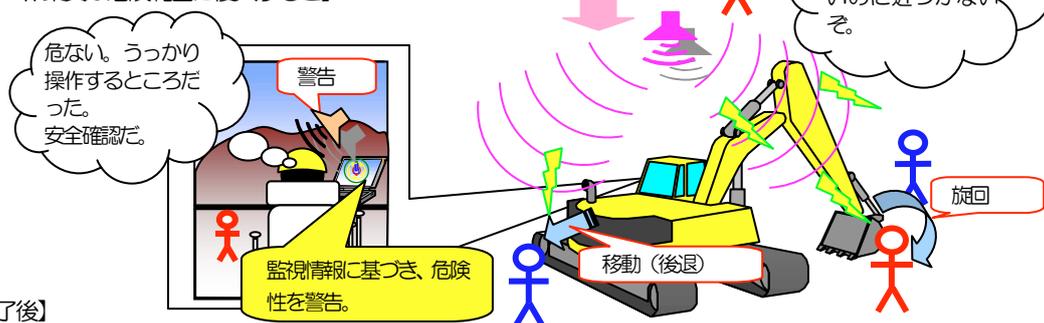
本検討における安全対策補助装置は、継続的に取得した建設機械周辺の監視情報を効率的に利用し、運転手が目視確認に基づき行う操作判断等を支援す

ることで、図5に示すように、安全確認不足等のヒューマンエラーに起因する、建設機械と作業員との接触事故発生を未然に防ぐことを目指す。

【操作中：運転手が操作しようとするとき】



【操作中：作業員が危険範囲に侵入すると】



【作業終了後】



図5 安全対策補助装置の開発による想定される効果イメージ

この安全対策補助装置の開発範囲は概要で述べたが、要点を以下にまとめる。

① 目視確認の支援：運転手に対し、死角を含めた機械周辺の監視情報を常時提供

② 接触事故回避支援：接触事故の危険性があれば、運転手に適切な警告を与え、安全確認不足や判断ミスを少なくし、安全性向上

③ 監視結果の事後提供：監視結果の情報を事後提

することで、安全教育や安全措置の見直しが可能

3. 試験装置の概要

要件仕様を満足させるため、平成17年度に設計・製作を行った試験装置により要素試験、運転手へのアンケート調査を実施し、それらに基づく仕様見直し、

試験装置の改良を平成18年度に行った。また、現場適用性を確認するため中国技術事務所の構内整備工事を対象に試験装置の導入を行った。試験装置の機器構成を図6に示し、仕様を表1に示す。

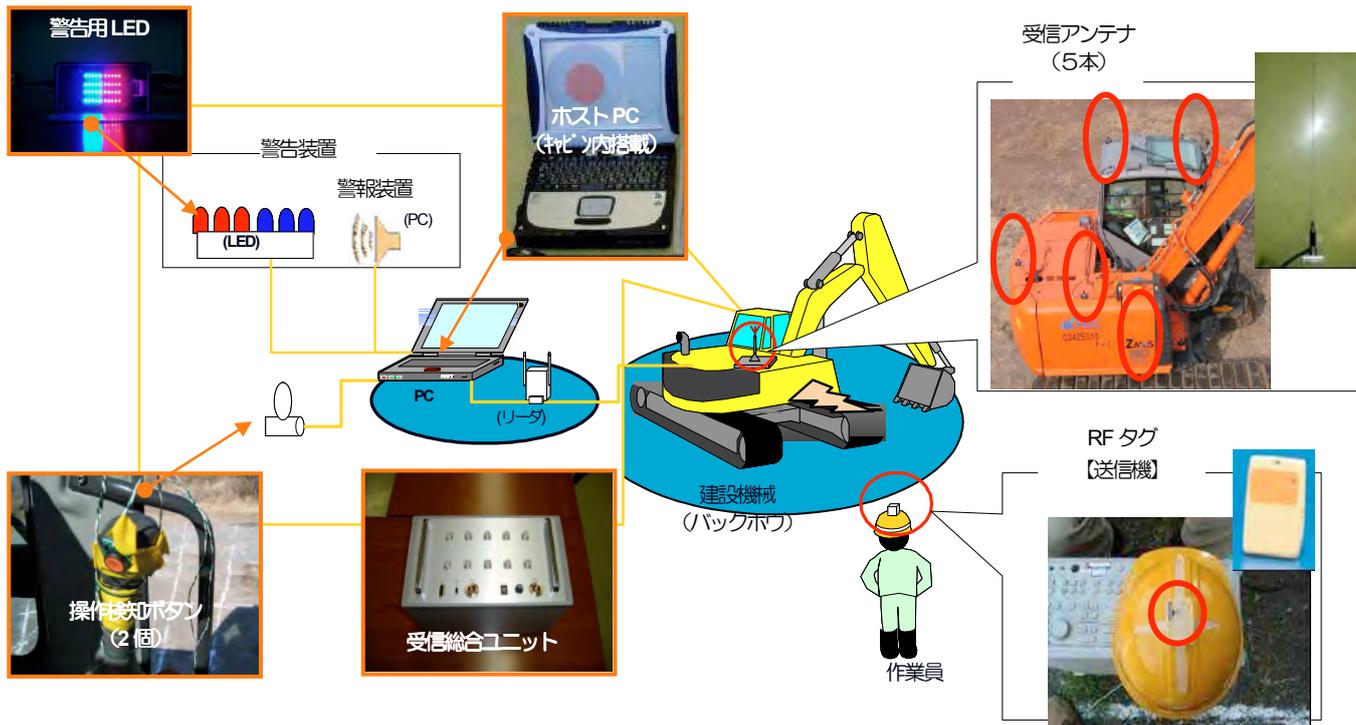


図 6 試験装置の機器構成

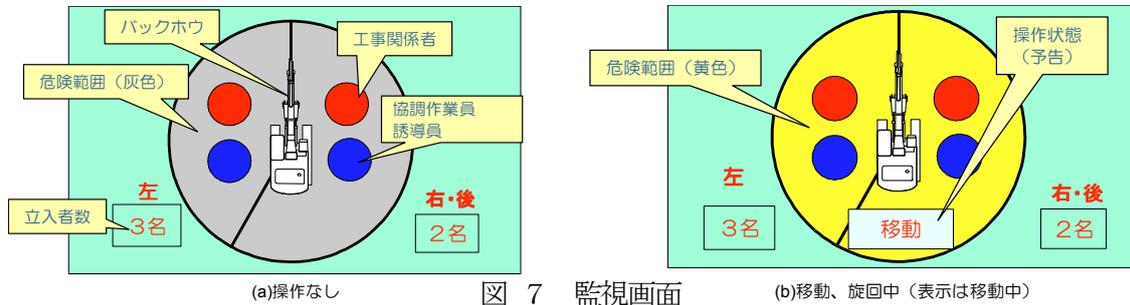
表 1 試験装置の仕様

| 区分 | 項目 | 仕様 |
|----------------|------------|-----------------------------|
| RF タグ 【送信機】 | 送信周波数 | 314.5473MHz |
| | 送信電力 | 500 μ V/m (3m法) |
| | 通信方式 | 単向方式 |
| | 送信間隔 | 0.2秒~24時間 |
| | 電源 | DC3V (リチウム電池 CR2032 1個) |
| | 動作温度 | -10~+50 $^{\circ}$ C |
| | 防水 (防滴) 機能 | JIS 保護等級5 (防噴流形) を想定 |
| 受信アンテナ | 使用周波数 | 314.5473 \pm 5.0MHz |
| | アンテナ方式 | $\lambda/2$ (ノリザル) ホップ型 |
| | 入力インピーダンス | 公称 50 Ω |
| | 指向性 | 垂直偏波水平面内無指向性 |
| | 使用環境条件 | -20~60 $^{\circ}$ C (95%RH) |
| 受信総合ユニット | 受信周波数 | 314.5473MHz |
| | 受信帯域幅 | 150kHz |
| | 受信方式 | シングルスーパーヘテロダイン方式 |
| | ダイバシチ | 検波後ダイバシチ |
| | 最大認識数 | 50個 (1秒周期) |
| | 電界強度出力 | 128段階系統出力 (ダイミツルガ 50dB) |

| 区分 | 項目 | 仕様 |
|-------------|-------|-------------------|
| 操作検知 ボタン | 形式 | 押入 丸式 (タテハイツ) |
| | ボタン寸法 | 直径 2cm (丸形) |
| | 検出 | 移動及び旋回各 1個 |
| | 操作力 | 3 \pm 0.8N |
| 警告用 LED | 形式 | 発光ダイオード |
| | 表示色 | 赤・青 2色 |
| | 消費電力 | 2.5W 以下 (全灯) |
| | 寸法 | 10cm \times 5cm |

4. 検査結果のとりまとめ

試験装置の詳細仕様について、とりまとめを行った。監視画面を図 7に示す。



試験装置の開発に伴い検討した、安全対策補助装置の要求仕様についてとりまとめを行った。主要仕様を表 2に示す。

表 2 安全対策補助装置の主要仕様 (設定)

| 要件 | 仕様 (設定) |
|-------------|--|
| 検知範囲の大きさ | 後端旋回半径+4.0m以上 |
| 危険範囲の大きさ | 後端旋回半径+4.0m(余裕あり) |
| 監視情報の同時取得員数 | 10名 |
| 情報の取得所要時間 | 1sec以内 |
| 監視画面の更新間隔 | 1sec間に1回以上 |
| エリア特定 | 危険範囲の内外(危険性判定) 建機周辺を2分割(方向判定)：右+後、左 |
| 警報・警光 | 警報：作業員区分、操作状態識別 警光：作業員区分、操作状態識別 |
| 作業員区分 | ①協調作業員、誘導員、②工事関係者 |

5. まとめ、試験装置の課題

試験装置は、要素試験、現場適用性試験等を行い、その評価から現場導入可能なレベルまで進んだと判断できる。今後普及を目指した安全対策補助装置を開発する際の課題を以下に示す。

- ① 作業員の向きや姿勢により受信電界強度は変化するため、さらなる信頼性を確保する為には、RF タグ (送信機) メーカーの技術開発による性能向上が望まれる。
- ② 操作検知ボタンの有効性は認められるものの、運転手の「使い易さ」の面からは評価されにくいと判断する。建設機械から提供可能な操作信号の利用・併用等、建設機械メーカーとの連携も視野に、運転時の「操作性の向上」を目指す。
- ③ 試験装置は、運転手に対する注意喚起を行う装置であるが、接触事故対策としては、一般作業員向けに警告を提供することは有効と考えられる。

- ④ 試験装置は試作機として製作されており、今後、普及版を民間開発する過程においては、経済性が重要となる。建設現場への導入を図りやすい、廉価な価格設定を目指す必要がある。

22. 歩道下空洞探査技術の開発

国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所 機械課 ○宮内 将彰
国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所 機械課 中川 俊昭
前)国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所 機械課 渡部 修

1. はじめに

都市部の道路の歩道下はライフライン等に利用されているが、埋設物の破損等により空洞が発生し陥没事故を引き起こす場合もある。国土交通省関東地方整備局関東技術事務所では全国に先駆けて平成13年度に電磁波地中レーダ方式の歩道調査車を開発・導入しており、関東地方整備局管内において平成18年度までに約700箇所の空洞を発見し、歩道陥没の防止に効果を上げている。

歩道調査車による調査方法は、時速5kmで走行しながら広範囲に調査する一次調査と、一次調査で発見した異常箇所に対し一箇所ずつ空洞位置及び規模の詳細を特定する二次調査により構成されている。

しかし、一次調査では調査幅1.0mのアンテナ装置を用いていたため、幅員の広い歩道においては複数回にわたる計測が必要であった。

そこで、調査の効率を図るため、歩行者に影響を与えない範囲で拡幅可能なアンテナ装置を設計・製作することにより調査時間の短縮を実現した。

2. 歩道下空洞調査について

関東技術事務所が保有する歩道調査車を写真-1に示す。



写真-1 歩道調査車

この歩道調査車は3chの地中レーダアンテナを用いて探査幅1.0m、路面下0.8mまでの範囲にある空洞を探査することが可能であり、最小で縦0.3m×横0.3m×厚さ0.07mの空洞を検知する能力を有する。図-1は異常箇所を示す波形の表示結果である。

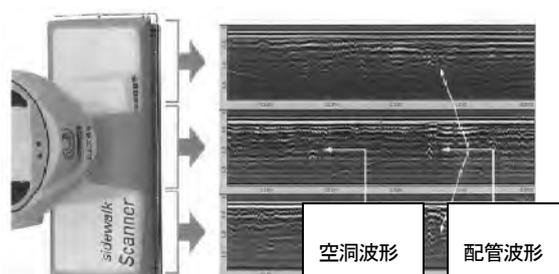


図-1 異常箇所の波形表示

また、取得したデータを解析することにより異常波形の抽出を行い、さらに図-2のように平面表示処理をすることにより空洞や地下構造物の状況が広がりとして表示される。

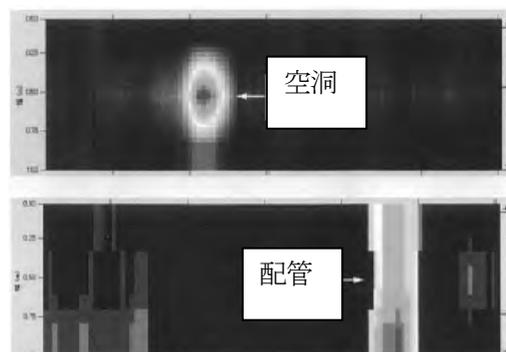


図-2 地下状況の平面表示

3. 探査幅拡幅装置の開発

道路構造令の規定により歩行者の交通量が多い歩道は幅員を3.5m、植樹帯の幅員を1.5mとしているので都市部の歩道下空洞調査では複数回にわたる計測を行う

必要があった。そのため歩道交通に影響を与えないレベルの探査幅とするべくアンテナを1ch増設し、4chを使用することにより探査幅1.5mへ拡張可能なアンテナを製作した。

3-1 拡張による調査効率と歩道交通の影響

歩道交通に与える影響として表-1に示す歩行者・自転車等の歩道通行時の標準的な占有幅を用いて歩道通行が可能か検討を行った。

表-1 通行時の占有幅

| | 道路占有幅 |
|-------|-------|
| 歩行者 | 0.75m |
| 自転車 | 1.0m |
| 車いす | 1.0m |
| セニアカー | 1.0m |

3-1-1 探査幅1.5mの場合

探査幅1.5mのアンテナ装置の場合、幅員3.5mの歩道における調査を3回の計測で行うことができる。歩行者等の通行可能な幅は2.0mであるため歩行者や自転車等のすれ違いができる。(図-3参照)

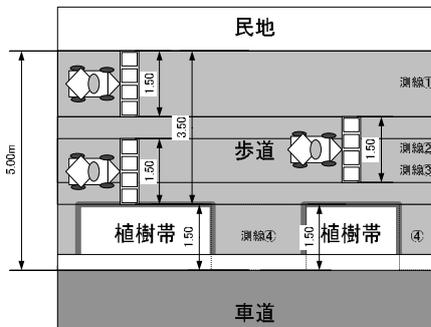


図-3 探査幅1.5mの調査測線

3-1-2 探査幅2.0mの場合

探査幅2.0mのアンテナ装置の場合、幅員3.5mの歩道における調査を2回の計測で行うことができる。歩行者等の通行可能な幅は1.5mであるため歩行者同士はすれ違うことができるが、自転車等はすれ違いができない。(図-4参照)

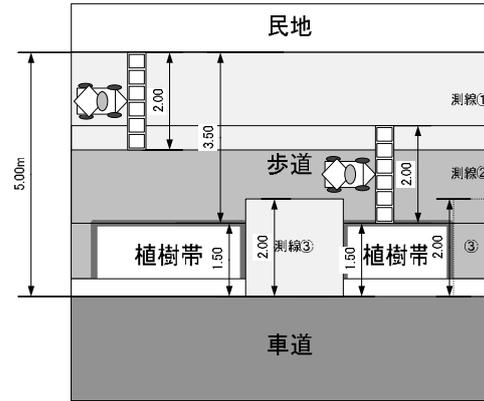


図-4 探査幅2.0mの調査測線

上記3-1-1~2より、歩道調査をおこなっても歩道交通を確保することができる探査幅1.5mを対象として検討をおこなう。

3-2 探査幅1.5mの調査効率

探査幅1.0mでは幅員3.5mの歩道における調査を図-5、写真-2のように4回の計測で行うが、探査幅1.5mにすると図-6、写真-3のように3回の計測で済むため理論上は調査効率を25%向上することができる。

なお後述する区間長300mの実証試験において、探査幅1.0mでは23分を要したが探査幅1.5mでは18分で測定し終えた。これにより調査時間を約20%短縮する事が確認された。



図-5

探査幅1.0mの調査測線

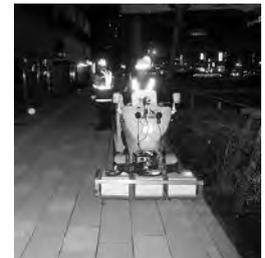


写真-2

探査幅1.0mの調査状況

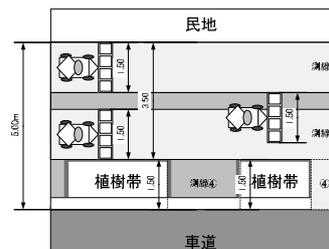


図-6

探査幅1.5mの調査測線



写真-3

探査幅1.5mの調査状況

3-3 アンテナ装置拡張方法

歩道の幅員に応じて、1種類のアンテナ装置で探査幅1.0mと1.5mに対応させるため、以下に述べるアンテナ装置追加案とアンテナ装置伸縮案を検討した。

3-3-1 アンテナ装置追加案

探査幅1mの3chアンテナ装置の横にアンテナ1chを追加する方法である。拡張状態(1.5m)の調査時にはアンテナ装置の左右のバランスを取るためアンテナ装置の中心位置をスライドする機構を設ける必要がある。(写真-4、図-7参照)

簡単な機構で実現可能であるが、追加機構の強度とアンテナ装置の中心位置へのスライド部分の耐久性が懸念される。



写真-4 アンテナ追加装置フレーム

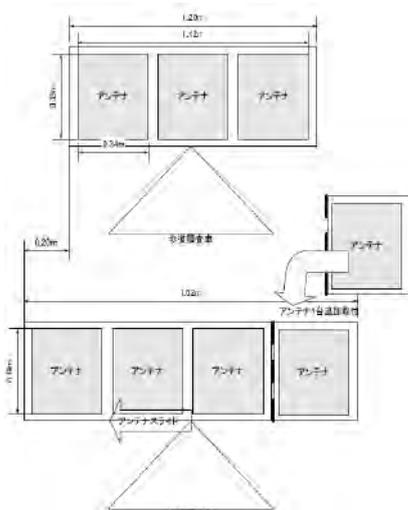


図-7 アンテナ追加方法

3-3-2 アンテナ装置伸縮案

探査幅1mの3chのアンテナ装置を左右にスライドさせてアンテナ装置を拡張し1chのアンテナをはめ込む方法である。

拡張状態(1.5m)の調査時には、アンテナ装置の左右のバランスを取るためアンテナ装置の中心位置をス

ライドする機構を設ける必要がある。(写真-5、図-8参照)

簡単な機構で実現可能であるが、伸縮機構の強度と伸縮部分の砂塵による動作不良やアンテナ装置の中心位置へのスライド部分の耐久性が懸念される。



写真-5 アンテナ伸縮装置

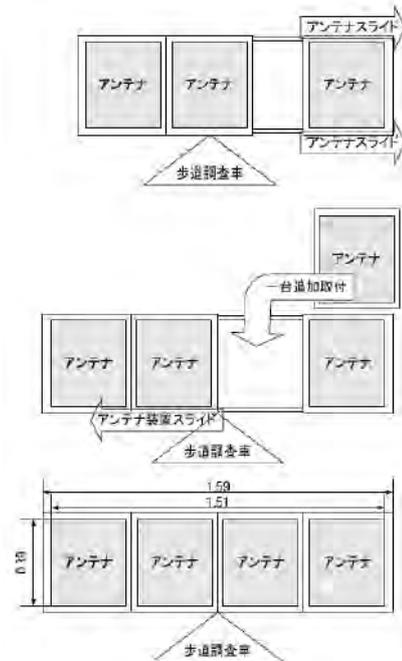


図-8 アンテナ伸縮方法

3-4 アンテナ拡張のための実証試験

前記「アンテナ追加案」と「アンテナ伸縮案」を歩道調査車へ搭載したうえで、拡張した際の装置質量、取付作業、操作性、段差乗り越えに対する影響について実証試験をおこなった。実証試験の内容を3-4-1~4に示す。

3-4-1 装置質量の比較

アンテナ装置をアルミで製作し、それぞれの質量比較をおこなったところ、2名の作業員で運搬することのできる軽量の追加方式の結果が良好であった。(表-2参照)

表－2 質量比較表

| | 測定結果 | 判定 |
|-------|------|----|
| 従来3ch | 30kg | ○ |
| 追加方式 | 40kg | ○ |
| 伸縮方式 | 61kg | × |

3-4-2 取付作業の比較

2名の作業員でアンテナ装置の取り付けの容易さを調べた結果、追加方式の取付作業が良好であった。

(表－3、写真－6参照)

表－3 取付作業の比較表

| | 試験結果 | 判定 |
|------|--------------|----|
| 追加方式 | 従来3chと変わらず良好 | ○ |
| 伸縮方式 | 質量が重いため作業性低下 | × |



写真－6 取付状況

3-4-3 走行性能の比較

走行性能(直進安定・左右旋回)を従来の3chアンテナと比較した結果、追加方式の操作性が良好であった。(表－4、写真－7参照)

表－4 操作性の比較表

| | 試験結果 | 判定 |
|------|-----------------------------------|----|
| 追加方式 | 従来3chと変わらず良好 | ○ |
| 伸縮方式 | アンテナ装置の重みによりハンドルがとられるため、操作に影響を及ぼす | × |



写真－7 実証試験状況

3-4-4 段差乗り越え

段差乗り越え高さ及び乗り越え時の挙動を、車道すりつけ部の一般的な高さである5cmと、その他の段差を想定した10cmの2種類でそれぞれ試験した結果を表－5、写真－8に表す。なお、伸縮方式は乗り越え時にアンテナ装置の挙動が大きく、乗り越え高さ10cmでアンテナ装置取付部と車両前部に負荷がかかり、前輪の部品が変形した。(写真－9参照)本格運用すると破損する恐れがあるため、車両前輪の耐久性向上を検討する必要がある。

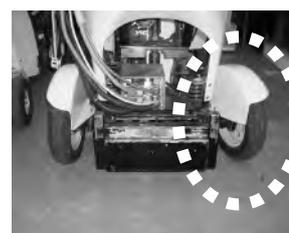
表－5 段差乗り越えの比較表

| | 乗り越え高さ 5cm | 乗り越え高さ 10cm |
|------|---------------|----------------|
| 追加方式 | ○ | ○ |
| 伸縮方式 | ○ | × |



写真－8

段差乗り越え状況



写真－9

前輪変形状況

3-5 拡幅機能の選定

前述の実証試験結果より、追加方式は従来3chアンテナと同等の取付作業・操作性・機構強度を保持することが確認された。

しかしながら伸縮方式は取付作業・操作性・機構強度とも追加方式と比較して劣る結果となった。

よって、現行の歩道調査車に対しては追加方式の拡幅機能を採用することとした。ただし、耐久性が懸念されるため今後更なる検討が必要と思われる。

4 まとめ

歩道下空洞調査の更なる効率化として探査幅拡幅装置の開発を行い、実証試験により一定の成果を確認した。そのため今後は実機製作及び運用を検討する予定である。また、歩道調査車本体の軽量化や、GPSやカメラを用いた異常箇所位置特定システムの仕様策定及び導入を検討する予定である。

23. ボランティアでも容易に操作可能な排泥装置の考案

北陸地方整備局 北陸技術事務所 機械課長 ○本間 政幸
整備係長 以倉 直隆
整備係主任 高井 謙一

1. まえがき

平成16年の新潟福島豪雨では堤防の決壊により多量の濁水が堤内地に流入し、濁水は多量の汚泥を住居や道路に堆積させた。汚泥の処理は、住民・ボランティア・自衛隊などの人海戦術によりスコップ、バケツや土嚢袋などを使い、手作業で回収された。その作業は泥との格闘で大変な重労働とともに、服装は夏季軽装により危険な環境下で行われた。

北陸地方整備局は、汚泥処理のため道路維持用作業車を支援し活動にあたったが、今後汚泥処理支援策として、汚泥吸引車等を住民・ボランティアが使用する場合が想定される。この場合、①汚泥吸引ノズルが大型かつ重い。②使用するノズルが1本しかない。③軒下等の狭い場所に適応できない。ことから、住民・ボランティアでの使用は困難である。

そこで、北陸技術事務所では、ボランティアでも容易に扱え、一台で複数の人が使えることを目的に、吸引口を6本に分配し、軽量化を図った「排泥装置」を考案した。

2. 排泥作業の現場

2.1 人力作業の現状

写真-1、2に住民・ボランティアによる汚泥の処理状況を示す。異臭がする中で、流出物が混じった汚泥を、スコップを使って掻き出し掘削を行い、一輪車やバケツリレーにより運び出された汚泥は、土のう袋や1tパックに詰め込まれ、車両で運搬された。

インターネットで「新潟福島豪雨」「ボランティア」「汚泥」をキーワードに検索した結果445サイトが抽出され、「大変」という言葉が入っているサイトは241見つかリ、半数以上が汚泥処理を大変だと感じていることが伺える。

作業時の服装は夏季のため軽装であった。汚泥の中に混じっている危険物により怪我をしたとの報

告もあり、汚泥処理作業は重労働以外に危険な要素が潜んでおり健康を害する状況に遭遇する。



写真-1 人海戦術による排泥作業状況



写真-2 軽装で泥だしに参加

2.2 機械化施工の現状

写真-3に汚泥吸引車による排泥作業を示す。吸引ホースの口径はφ100mm～125mmと大型かつ操作重量が重いため、ノズル操作とホース操作が2人がかりで行われる。作業は建設を業とする者でも重労働で、軒下など狭い箇所の作業が困難である。



写真-3 汚泥吸引車による作業状況

2.3 汚泥の性状

平成16年7月13日の豪雨で被災した新潟県中之島町から搬出された汚泥を採取し性状を調査した。粒度分布調査結果を表-1に、ふるい分けた汚泥を写真-4に示す。

汚泥の性状としては、重量比でふるい目5mmを通過する細かいものが約9割を占めていることと、50mmを越えるものが無かった。このことから装置の軽量化を考慮して最小部の直径は50mm以上あればよいと考えられる。

| ふるい目寸法(mm) | 残留率(%) |
|------------|--------|
| 50 | 0.0 |
| 40 | 1.5 |
| 30 | 0.7 |
| 25 | 2.1 |
| 20 | 1.4 |
| 15 | 0.6 |
| 15 | 2.0 |
| 5 | 2.1 |
| 上記以下 | 89.6 |

試料総質量7.7kg

表-1 汚泥の性状



写真-4 ふるい分けした汚泥（乾燥状）

3. 排泥装置の考案

3.1 基本方針

排泥装置の試作機は次の3点を基本方針とした。

- (1) ボランティアでも扱いやすい形状で軽量なこと。
- (2) 複数のボランティアが作業可能なこと。
- (3) 使用車両は国土交通省保有の側溝清掃車(汚泥タンク容量5m³級)の支援を想定すること。

支援想定車両(3)の吸い込み性能から、(2)の分配数は6本が限界であるとした。排泥装置の全体概要を図-1に示す。

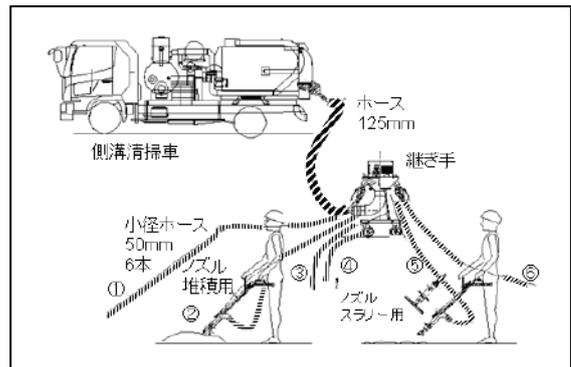


図-1 排泥装置全体概要

3.2 汚泥吸引車の吸引機構と排泥装置の考案

図-2に汚泥吸引車の吸引機構を示す。吸引はプロアでタンク内の空気を吸い出し真空状態にし、タンクに接続したホースの先端にノズルが取り付けられている。作業時はノズルから汚泥と空気を吸い込み、タンク内には汚泥が残る仕組みとなっている。

写真-5に汚泥吸引車（側溝清掃車）とそのノズルを示す。大口径のノズルとホースを取り扱うのは、体力のある2名の作業員でなければ困難である。

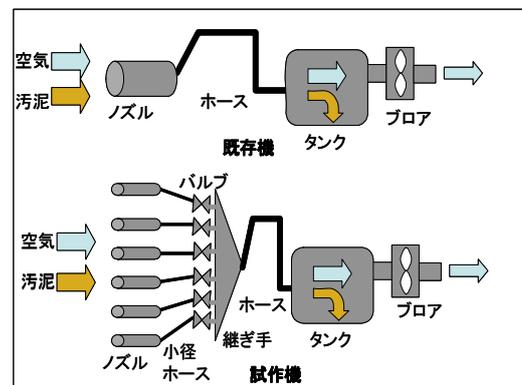


図-2 排泥吸引機構の概要



写真-5 既存装置

3.3 排泥装置の考案

考案した排泥装置はブローからタンクとホースの途中までは既存機を使用する(図-2)が、①ホースの途中に新たに継ぎ手部(分配器)を設けてホースを6本に分配し、②先端には小型軽量の6本のノズルを取り付けたものである。6本のノズル(ホース)は同時使用または、単独での使用を可能とするため、使用しない場合は継ぎ手部(分配器)のバルブを閉塞して休止させる構造としている。

なお、バルブ閉塞時と吸引作業時にホースが詰まった場合の安全装置として、継ぎ手部(分配器)に取り付けた真空破壊弁が作動するようにした。

ノズルは、含水比が低く厚く堆積している堆積用と、含水比が高くスラリー状に薄く堆積しているスラリー用の2種類を考案した。

表-2に排泥装置の概略仕様を、写真-6に堆積用ノズル、写真-7にスラリー用ノズル、写真-8に継ぎ手を示す。ノズル、ホースともに既存のもの(写真-5)に比べ小型・計量で操作が容易に可能である。継ぎ手は移動が容易なようにゴムタイヤ付き台車に取り付けた。

| | | | | | | |
|-------|-----------|----------------------|------------|----------|-----------------|--------|
| 側溝清掃車 | 規格 | 5.0m ³ 級 | 小径ホース | 規格 | 軽量型給排水用サクシオンホース | |
| | 吸い込み量 | 5.5m ³ /h | | 重量 | 0.54kg/m | |
| | 真空ポンプ | ロータリブロー式 | | 許容圧力 | 0.1MPa | |
| | 真空安全弁 | -0.093MPa | | ノズル(堆積用) | | |
| ホース径 | 125mm | 重量 | 2.6kg | 材質 | SUS304 | |
| 継ぎ手 | 車両側口径×個数 | Φ125mm×1 | ノズル(スラリー用) | | | |
| | ノズル側口径×個数 | φ50mm×6 | 重量 | 2.8kg | 材質 | SUS304 |
| | 真空安全弁 | 60A×1 | | | | |
| | 重量 | 62kg | | | | |

表-2 側溝清掃車、排泥装置の概略仕様



写真-6 堆積用ノズル



写真-7 スラリー用ノズル



写真-8 継ぎ手(分配器)

4. 機能確認

4.1 圧力変動

考案した排泥装置は、1台の汚泥吸引車両に複数のノズルを取り付けて同時に作業をすることを想定すると、一方のノズルの吸引圧力の変動が、他方の吸引圧力に影響を与えることが懸念された。

そこで、図-3に示すように2本のノズルの圧力変動を同時に測定し、圧力変動を及ぼすか確認した。図で示すようにNO.1ノズルを強制的に閉塞させても、NO.2ノズルと継ぎ手には吸引圧力の変動はなかった。また、実作業性についてはノズルを同時に使用しても支障なく行え、問題ないことが確認できた。

これは、ホース内に一定の吸引抵抗があり、複数ある吸引ノズルの圧力変動が干渉しあうことがないためと推察される。

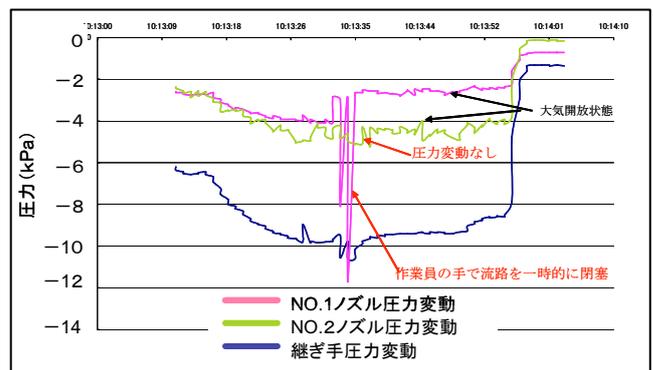


図-3 ノズル圧力変動

4.2 作業能力

既存の汚泥吸引車(側溝清掃車)と堆積用ノズル1本使用時の作業能力比較を図-4に示す。作業能力は汚泥の堆積を想定し、深さ約100mm(含水比%)の場合と、スラリー状を想定し深さ約30mm(含水比%)の場合の2ケースで試験を行った。

この結果どちらの場合も処理能力が既存車両の1/6程度となり、6本同時に使用すると汚泥吸引車(側溝清掃車)の作業能力を発揮することが可能と思われる。

参考として、バケツリレー(2人)の作業能力を比較しても2倍の能力差があり、汚泥を長距離搬出する場合の人員が不要となることから装置の効果が期待される。

なおスラリー用ノズルは、閉塞が激しく生じ連続作業に支障があり、改良が必要となった。

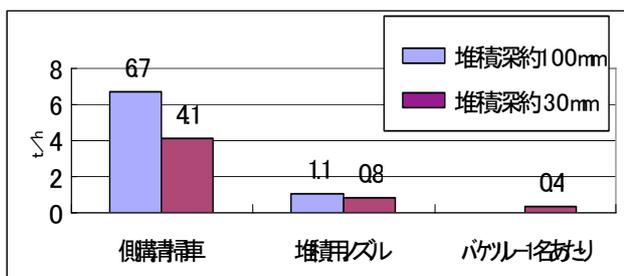


図-4 作業能力比較

4.3 ノズルの扱い易さ

考案した吸引ノズルの扱い易さについて、試験に参加していただいた作業員から下記意見を得た。

- ①ノズル径、ホース径が既存の半分以下で重量は1/2.5と軽量なため、取扱いが非常に容易。
- ②足下のホースの取り回しがしづらい。
- ③取手は不要。直接ノズルを掴むほうが扱い易い。

以上のとおりで、若干の改良が必要であるものの軽量であることへの評価が高く、概ね良好という意見であった。

4.4 改良案

ノズルの扱い易さの結果より下記改良を行い、再度機能確認を行った。

①堆積用ノズル

試作装置では「ホースの取り回しがしづらい」ことから、足下ではなく手元にホースをつなぐ形とし、ホースの取り回しを楽にすると同時に、取手を省略した単純な形状とし、軽量化を図る。図-5参照。

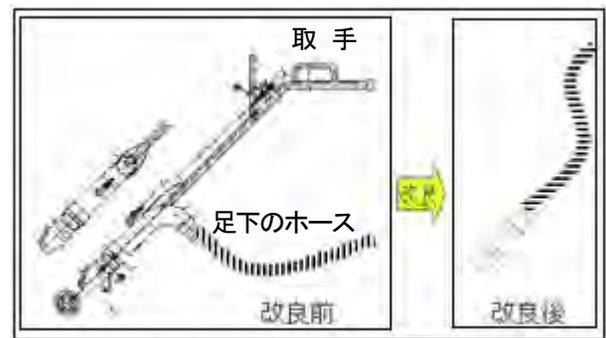


図-5 堆積用ノズル改良案

②スラリー用ノズル

掃除機の先端のような形状と吸引口の口径を絞った形状では、閉塞が激しいので、ちりとりのような先端の形状で開口部を広くとるとともに、同一径で吸い込む構造に変更した。図-6参照。

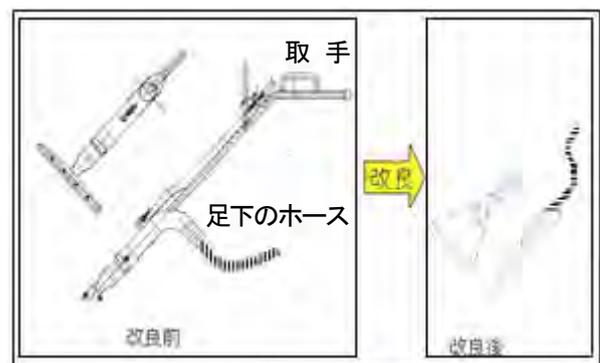


図-6 スラリー状ノズル改良案

6. まとめ

考案した「排泥装置」の処理能力等は下記のとおりで、既存の側溝清掃車と同等の性能を得ることができた。

- ①重量が既存のノズルの1/2.5であり、操作性に優れボランティアでも容易に扱える。
- ②側溝清掃車1台で6人のボランティアの同時作業が行える。
- ③側溝清掃車(汚泥タンク容量5m³級)の支援が可能。

7. あとがき

ボランティアでも容易に扱え、一台で複数の人が使えることを目的に「排泥装置」を考案した。

道路維持用作業車を水害の際使用するため、運用方法について検討の余地はあるが、ボランティアの重労働軽減と危険な環境下での作業を機械化施工することが可能である。

24. 油圧圧砕機による岩小割静音化施工

玉石重機(株) ○玉石修介, 杉原栄作, 片岡廣志

1. はじめに

土木施工における求められる技術は、品質の確実なものを発注者に渡すために追求されて来た。技術は、品質以外にも、施工過程における「安全」も重要な要素であった。

近年は施工過程上の「環境」がより大きな要因としてあげられるようになり、工事現場はその周辺に対する配慮が強く求められるようになってきている。配慮すべき要因の主なものとしては、騒音・振動・粉塵が挙げられ、それらは人に対してのみならず保護すべき野生動物や農産物を含む植物なども対象となることがある。

土工事の中でも、環境面に影響するものとして、岩掘削工事に関しては騒音や振動が在るが、工事を工種分けすると掘削作業と小割作業になる。掘削作業では、発破工法や油圧ブレーカー工法によるものが最も一般的であり、小割作業では大半が油圧ブレーカー工法であり、これらの作業に伴う騒音や振動は周辺に対して大きな負担となっている。

本報告では、岩小割作業に油圧ブレーカーに代わるものとして油圧岩圧砕機を用い、その静音性や施工特性などを明らかにする。

2. 開発の背景

受注した道路施工の作業場に、岩小割作業のために1 t級油圧ブレーカーを装着した20 t級バックホウ2台が必要となったが、作業可能範囲が狭隘で作業範囲を確保することが出来ないことと、当該現場周辺に牛舎があり、騒音に対する配慮も必要であったことから、油圧ブレーカーによる岩小割工法は再考の必要があった。

岩小割は、盛土管理から30 cm以下の大きさ

と指定されていることと、運搬の為の積込および運搬性からも必要な作業である。

小割機材を検討したところ、岩圧砕用アタッチメントは現存したが、碎石場用としてクラッシャー前処理が目的の仕様となっており、土木工事用としてそのまま用いることは適していなかった。

ここで使用することとなった油圧岩圧砕機は原型機のメーカーである(株)坂戸工作所との共同開発機となり、土木作業向けの再設計となった。

特に、原型機(GSC-120)と異なった主な点は、

- 1) より高い圧砕力を得られること
(開口幅を若干犠牲)
 - 2) 歯並びの変更 (最大30 cm以下に破碎)
 - 3) 開口作動時の時間短縮化
(作業能率を高めるため)
 - 4) 本体の高強度化
(圧砕力を高めたことにより大きくなる破碎直後の衝撃への耐久力対応)
 - 5) 本体重量の抑制
(ベース機材とのマッチングのための制約)
- これらの要件を満足するように完成されたものを原型機と区別するためにGSC-120 Tigerの呼称とした。

3. 機材概要

油圧岩圧砕小割は、アタッチメント部とそれを装着したバックホウ本体とにより構成されている。

アタッチメント部 GSC-120 Tiger
全長: 3.06m 全高: 2.72m 全幅: 0.67m
重量: 5 t
油圧シリンダー径: 250mm

シリンダーストローク : 750mm
フロントブレイカー(主歯)開口長 : 1.15m
主歯圧砕力(1点集中) : 1.54MN(157tonf)

ベース機本体仕様

自重 45t級バックホウ(1.9m³級)
エンジン排気量 : 約12L
アタッチメント用複動配管
アタッチメント駆動2ペダル
作動油量 : 約600L

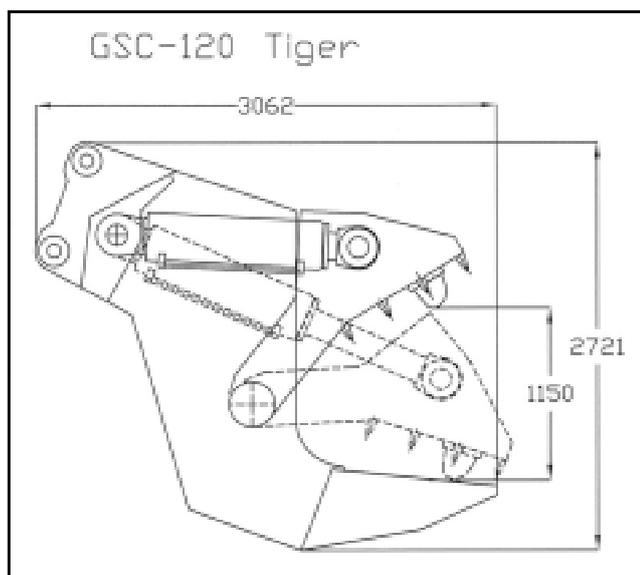


Fig. - 1 GSC-120 Tiger



Photo-1 GSC-120 Tiger

Photo-1は本機と身長約170cm人との比較であ



Photo-2 Tiger装着バックホウ



Photo-3 Tiger圧砕状況

り、Photo-2はバックホウとの組み合わせ状況、Photo-3は圧砕小割の状況である。

3. 騒音

騒音測定は、Tiger装着45t級バックホウと1t級油圧ブレイカー装着20t級バックホウでの小割作業を対象に行った。

測定位置 : 機体側方19m、高さ1.5m

測定 : 徳倉建設(株)橋梁下部工事作業所
測定位置理由 : 作業所内における作業場所と最近接周辺民家との距離から19mを設定し、測定位置とした。

測定対象の機材は、岩圧砕機は前述のものであり、油圧ブレイカー諸元については下記の通

りである。

1 t 級油圧ブレーカー

本体重量：1 t（含チゼル重量）

本体取付ブラケット付重量：1.6 t

打撃回数：500回／分 作動圧力：16MPa

全長：2.5m

油圧ブレーカー用ベース機本体

自重20t級バックハウ(0.8m³級)

エンジン排気量：約6L

アタッチメント用単動配管

作動油量：約250L

Table-1は、ほぼ同等のサンプル岩を小割し、測定した結果である。

Table-1 測定結果

| 機材区分 | Lmax | L5 | L50 |
|----------|------|----|-----|
| ブレーカーセット | 95 | 91 | 79 |
| 岩圧碎機セット | 87 | 77 | 70 |

(dB)

この測定値から、油圧ブレーカーの騒音レベルはLmax:95dB、L5:91dBであり、衝撃騒音が大きく且つ、相当の頻度で発生している状況が確認できる。

岩圧碎機は、Lmax:87dBと油圧ブレーカーに比して小さい上に、大きな岩を噛み割るときの衝撃音であり、L5:77dBはmaxより-10dBであり、作業全体として音圧レベルが低いことが解る。

油圧ブレーカー作業は、対象岩が大きな時には相当回数の打撃を続け、中割り状態になったものでは、個別に数回程度の打撃を行い、概ね30cm以下となっている状況が確認できるまで、小割を行う。

岩圧碎機の作業では、開口長1m程度以内であれば、主歯による破碎で、2つに割り、それぞれを主歯と小割歯で圧碎するので、1m立方の岩を例にすれば、5～7回程度で小割が終わる。

実際の作業量では、油圧ブレーカー2台と岩圧碎機1台がほぼ同等で有ることは経験的に確認しており、これを騒音レベルで比較するために、油圧ブレーカーセット作業をを2台分に換

算する必要がある。2台が同時にL5の状態になることを想定し、その時の騒音を算出すると94dBとなる。

小割作業における騒音が油圧ブレーカーの94dBに対して岩圧碎機では77dBとその差が-17dBとなることから本工法による静音性は確認できる。

騒音に対する感情的なものは、音圧レベル以外の要素として、騒音の質という表現は適切ではないが、油圧ブレーカーによる打撃音の連続は、不快なものがあり、五月蠅さを強く感じる。これは心理学的な分析はなされてはいないが、現場周辺における苦情が非常に多いという現実がある。事例ではあるが、山間部の碎石場で小割を油圧ブレーカーで行ったところ、谷間の数km隔てた集落から苦情があったが、発破や他の作業の騒音については問題はなかったとのことからも打撃音は受け入れられにくいことが解る。

本稿では振動に関しての測定は行っていないが、定性的に見ると、油圧ブレーカー作業は、小割対象の岩を地面に置き打撃を加えるもので、その衝撃が地盤振動となり近隣に伝搬することもあるが、岩圧碎機は、衝撃ではなく静圧であり、本体で圧碎反力を受けるために、小割時の振動は無い。

4. 施工特性

岩小割は、盛土材としての再利用が主要な目的となっており、大きさの条件は30cm以内が規定されていることが多い。

小割における油圧ブレーカと岩圧碎機では作業的に異なる点がある。油圧ブレーカーでは30cm以下程度にるように判断し作業が進められるが、岩圧碎では30cmより大きなものは、全て再圧碎を行うことになる。

この結果、油圧ブレーカーによる小割は、30cm近くのものが多くなり、粒度分布に偏りが出る。岩圧碎は、粒径の上限を考慮した作業であり、小割されたものの粒度分布に恣意性はない。

再利用される岩小割のもう一つの工法として、

自走式破碎機の利用がある。ここでは、油圧ブレーカー、岩圧碎機と比較のために、ジョークラッシャー装備の自重30t級自走式破碎機も加え比較する。

Fig. -2小割工法別粒度分布イメージから判るように、油圧ブレーカー小割では大粒径が多くを占め、岩圧碎や自走式破碎機は分布が緩やかになる。自走式破碎機の場合は、歯の隙間間隔を調整し最大粒径を8cmとした実験値とした。

粒径の分布は、再利用したときの施工に影響

し、締固めの容易性として現れる。粒度の小さな物は、大粒径の隙間へと入り間隙が満たされ良く締まるが、小粒径が少なくなりやすい油圧ブレーカーによる小割材は、転圧前の敷均の時に配慮が必要となることから、岩圧碎機や自走式破碎機による小割は、施工上の安定性の確保が容易であることが判る。

小割作業の能力に関するイメージをFig. -3小割工法別能力特性に示したが、小割前の材料サイズを矩形で表し、楕円形は作られる小割サイ

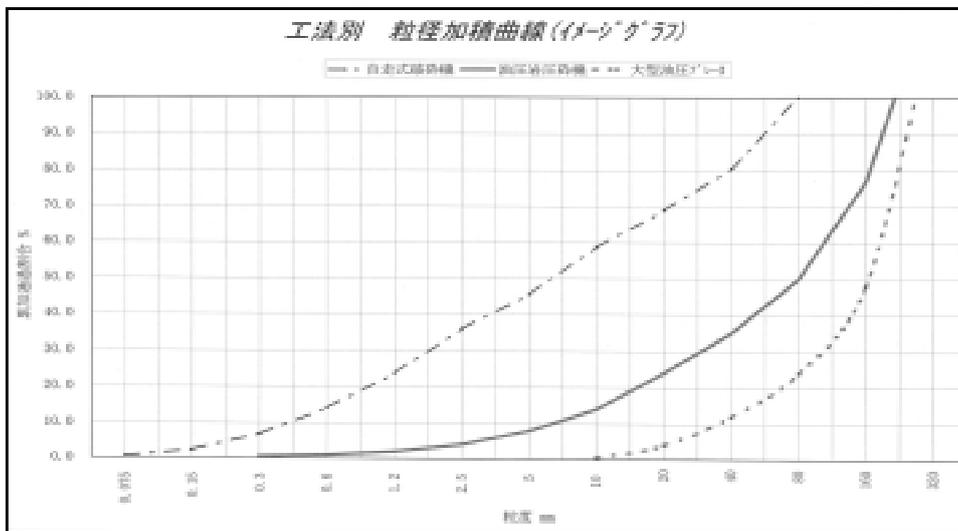


Fig. - 2 小割工法別粒度分布イメージ

ズをイメージし、そのサイズに対する標準的な作業能力を工法別に表している。例えば自走式破碎機では投入材は60cm以下であれば10cm以下への小割は、1時間当たり30m³の作業能力が有ることを示している。ただし、小割する岩の特性によりどの工法であっても能力が低下することは認識しなければならない。

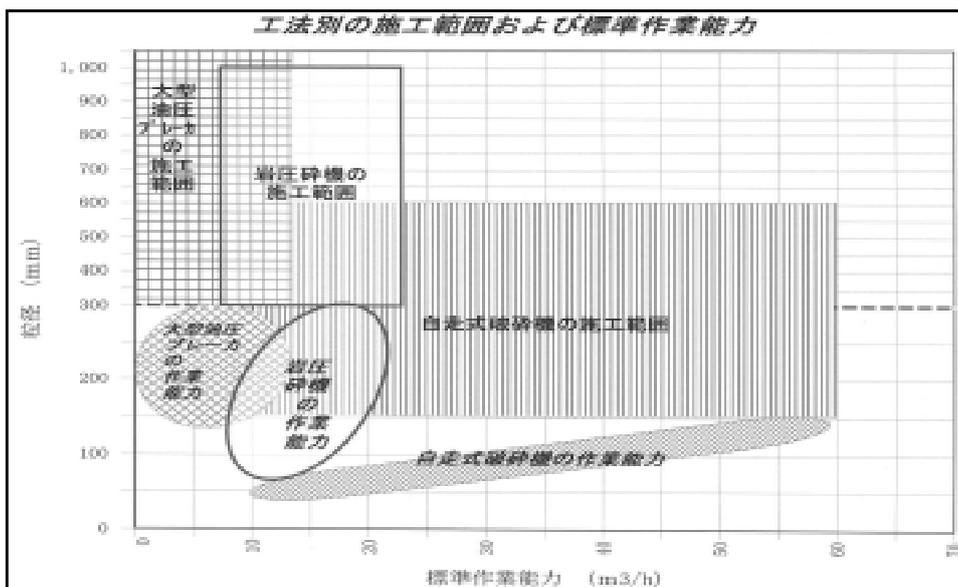


Fig. - 3 小割工法別能力特性

5. おわりに

岩圧碎小割工法は、静音性並びに施工特性からも有用性の高い工法であることが実務的に確認できた。

最後に、岩圧碎機の再設計・製造に会社を挙げてご協力いただいた(株)坂戸工作所、並びに騒音測定資料を快くご提供頂いた徳倉建設(株)には、末筆であるが心より感謝申し上げます。

25. 原位置で製造する湿潤セメント製造装置の開発

株式会社東洋スタビ：○田村 繁雄, 太田 善彦, 小西 勇

1. はじめに

浅層地盤改良において地盤改良用の固化材を使用するときに発生する固化材の粉塵・飛散を抑制する方法として、環境およびコスト面から有利となる一つの手法に、固化材に少量の水を加え湿らせた状態で使用する方法がある。これまでセメントおよびセメント系固化材を水で湿らせて使用する技術は、公知のことであるがこれまで実用化されていない。^{参考文献1)} 今回、原位置で湿潤状態の固化材を製造する装置ならびに施工システムについてその開発経緯ならびに施工例について報告する。

2. 開発の経緯

固化材を用いる地盤改良工法のうち、特に改良厚が2~3m以内の浅層地盤改良工法における原位置混合方式の現場では、散布・混合作業時に発生する固化材の発塵と飛散が環境ならびに労働安全衛生上から問題となっている。これまで通常行なわれている対策としては、埃の立ちにくい「発塵抑制型固化材」の使用や固化材を原位置でスラリーにして用いる方法などがとられており、施工費が割高になっていた。

一方、原理的にはもっとも単純で環境およびコスト面からも有利な原位置でセメントを水で湿らせて利用する方法は、以下の理由から実用化には至っていなかった。

① ミキサー内で粒子の細かい粉体であるセメントに水を噴霧しながら強制攪拌して均一に湿ったセメントとし、この湿ったセメントを排出口に向けて工事に必要な量だけ強制的に送り出すミキサーが実用化されていなかった。

② 湿潤セメントを製造後、固化材の水和反応が始まる前に土と固化材を速やかに混合する必要があるため、現場サイドからは積極的に採用されにくい

方法であった。

これらの理由から、材料価格が多少割高でも工場製品である発塵抑制型固化材が用いられていた。しかし、近年沿道住民の環境に対する意識の向上や工事費の縮減といった社会環境が変化したこともあり、従前は採用が難しかった工法や材料でも、環境もしくはコストの面から優位な工法が積極的に試みられるようになってきた。

そこで、実用化に当たりこれまでの問題点を踏まえ、下記に示す開発コンセプトで実用に供することができる湿潤セメント製造装置および施工システムの開発を行ったものである。

- ① 湿潤セメントの製造能力は、スタビライザーの施工能力に合わせ最大20t/時間以上とする。
- ② 製造システム機器全体を、トレーラーの台車に搭載できること。
- ③ 加水量は、セメント重量比で最大10%まで調整できること。
- ④ セメントの計量精度は、±5%を目標とする。
- ⑤ 吐出量は、1, 2, 3, 5t および連続運転の設定ができるものとする。
- ⑥ セメントタンクの容量は、ジェットパック車1台分が貯留できる容量とする。
- ⑦ セメントと水をできるだけ瞬時に、かつ均一に混合できるミキサーであること。

3. 発塵抑制方式

通常用いられている粉状の固化材に対する発塵抑制方式には、表-1に示すように、①テフロン繊維を混合したもの、②油脂もしくはアルコール系の添加剤を加えたもの、③固化材をブリケット状に圧縮したもの、④固化材をスラリー状にして利用するものなどがある。

このうち①、②および③のタイプのものは、あらかじめ工場にて製造し現場に供給されるものであり、④のスラリーで使用するタイプは現場で製造し、すぐに施工に供するものである。

今回報告するセメントに水を加え製造する湿潤セメントは、原則として現場もしくはその近傍で製造し、セメントと水の水和反応が進行し改良強度に影響を与える前に土と固化材を混合する方式である。

表-1 発塵抑制型固化材の種類 参考文献2)に加筆修正

| 種 別 | | 発塵抑制機構 | |
|------|-----------|---|---|
| 製品 | テフロン処理タイプ | 固化材に微量のテフロンを添加し、液体中にサブミクロン系の繊維を形成させて微粒子を捕捉し、粉体の発塵を抑制したものの | |
| | ウェットタイプ | 油脂・アルコール系 | セメント系固化材に油脂系もしくはアルコール系の液体を添加し、固体粒子の表面を濡らし湿潤感をもたせたもの |
| | | 湿潤消石灰 | 消石灰に20%程度の水を加え、湿潤状態にしたもの |
| | ブリケット状タイプ | セメント系固化材と生石灰の混合物をブリケット状に圧縮したもの | |
| 現場加工 | スラリータイプ | セメント系固化材と水とを通常1:1程度のスラリーにしたもの | |
| | 湿潤セメント | モイスト(湿潤)セメント | セメント系固化材に水を加え、固体粒子の表面を濡らし湿潤感をもたせたもの |

4. 湿潤セメント製造装置

(1) 製造フロー

湿潤セメント製造装置の主要装置は、①固化材タンク②水タンクおよび③混合攪拌用ミキサーで、固化材はスクリーフィーダーによりミキサーに供給し、水は高圧ポンプによりミキサー内へ噴射供給するものである。

湿潤セメント製造フローを図-1に、製造装置の外観を写真-1に示す。

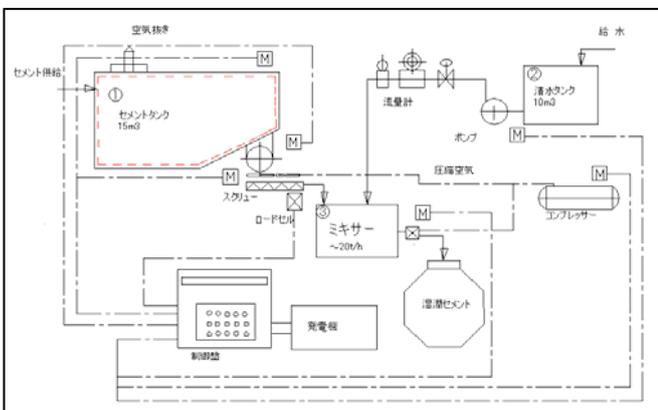


図-1 製造フロー



写真-1 湿潤セメント製造装置外観

(2) 製造装置の主な仕様

表-2に湿潤セメント製造装置の主な仕様を示す。

表-2 製造装置の主な仕様

| 項 目 | | 仕 様 |
|-------|-------|---------------------------|
| 形状 | 形式 | トレーラー車載型 |
| | 幅 | 3,000mm |
| | 長さ | 16,495mm |
| | 高さ | 3,700mm |
| 機械質量 | | 120kN |
| 台車 | | トレーラー |
| セメント | タンク容量 | 15m ³ (14t) |
| | 切出仕様 | バーフィーダー |
| 水 | タンク容量 | 10m ³ |
| | 添加方式 | 高圧ポンプ噴射 |
| | 添加水量 | 3%, 5%, 8%, 10%, 15%, 20% |
| 発電機容量 | | 75kVA(総使用電力量35.8kw) |
| ミキサー | 型式 | 一軸パドル |
| | 計量 | 1t,2t,3t,5t,連続 |

① 混合用ミキサー

型式：一軸パドルミキサー (TYM-02)

能力：最大 20t/h, 動力：11kw-4P

本体：L=2,000mm, 容量：0.3m³

回転数：100~250rpm

② セメントタンク

容量：15m³ (14 t), セメント送り機構：チェーンコンベア方式, 切出方式：バーフィーダー

③ 水タンク

容量：10m³, 吐出ノズル：シャワーノズル方式

吐出圧：490~687kPa

(3) 本機の特徴

① 粉体のセメントと重量比で 3~20%の水を均一に混合攪拌できる水平軸回転型混合機である一軸パドルミキサーを採用し、噴射ノズルの位置や噴射方法および混合羽根の改良を行い、連続的かつ均一にセメントと水の混合・加湿が可能となった。

② タンク内のセメント送り機構にチェーンコンベ

ア方式を採用し、かつタンク内部にセメントの圧密防止用バッファを取り付け、タンク内のセメント量の変動に対しても均一な送り量を確保できる。

③ 施工現場の気象条件や製造する材料の特性に応じて水の添加量を変えることができる。

5. 基本性能の確認試験結果^{参考文献3)}

(1) セメント吐出量および加水量

湿潤セメント製造装置の吐出量と加水量を確認した結果の一例を表-3に示す。

このときの測定結果では、吐出設定量 3t で吐出量のばらつき（標準偏差）は9kgであった。また、加水設定量 8%（240kg）で加水量のばらつき（標準偏差）は1kgであった。

表-3 吐出量および加水量測定結果の一例（単位：kg）

| 種別 | データ数 | 設定量 | 最大値 | 最小値 | 平均値 | 標準偏差 |
|---------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| セメント吐出量 | 98 | 3,000 | 3,047 | 2,988 | 3,010 | 9 |
| 加水量 | | 240 | 244 | 240 | 241 | 1 |

(2) 発塵抑制効果

過去の文献^{参考文献1)}および事前確認試験の結果を踏まえ、現場で発塵抑制効果が期待できる固化材に対する水の標準加水量を8%とし、試験施工において散布・混合時の発塵抑制状況を観察し評価した。その結果、写真-2に例示したように、加水量8%で従来の発塵抑制型固化材と同等の発塵抑制効果が確認できた。また、風速、気温、湿度などの気象条件にもよるが、製造後2時間以内であれば概ね所定の発塵抑制効果が持続することを確認した。

(3) 湿潤セメントの可使用時間

セメントに水を加えると、徐々にセメントの水和反応が起こるが、地盤改良材として使用する場合の可使用時間の目安を決めるため、湿潤セメント製造後から土と混合するまでの時間を変えた試験を実施した。標準加水量8%の湿潤セメントを用い、6号砕砂に添加量を変えて行った試験の結果を図-2に示す。

試験結果より、混合後の経過時間が2～3時間を超えると、強度の低下傾向が大きくなることが判った。

よって、この試験結果およびこれまでのセメント安定処理工の過去の実績から、湿潤セメントを用い

たときの可使用時間は2時間以内として管理している。



写真-2 発塵抑制効果の確認状況

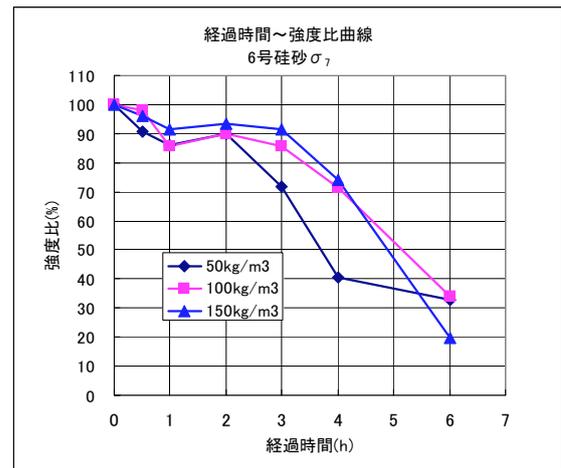


図-2 経過時間と強度の関係

(4) 加水量と強度

セメントに加える水の量が改良土の強度に及ぼす影響を確認するために、加水量を0～8%まで変化させた湿潤セメントを用い、自然含水比55%の粘性土に対して固化材添加量（75, 100kg/m³）および養生日数（7, 28日）を変化させて一軸圧縮強度試験（JCAS:L-01-1990）を実施した結果を図-3に示す。この結果によると、水8%を加えた場合で10%程度強度の低下が見られる。よって、湿潤セメントを用いた場合の配合試験は、あらかじめ加水した固化材を用いて固化材添加量を決めることとしている。

これまでの知見では、土質、目標強度、添加量により異なるが、固化材添加量で最大10%程度の割り

増しが必要となっている。

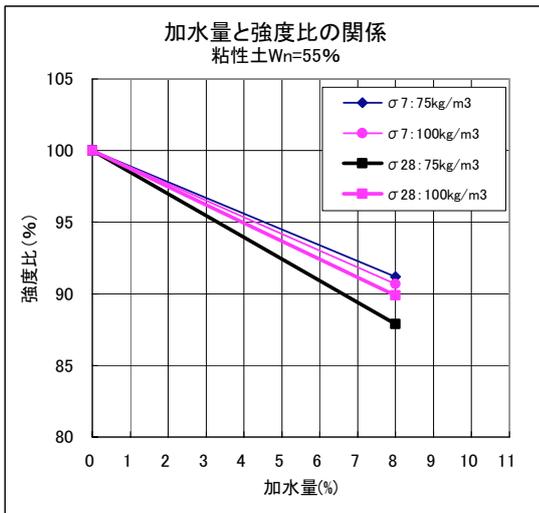


図-3 加水量と強度の関係

6. 施工例

本施工例は、岐阜県大垣市綾野地内の一般国道475号（東海環状自動車道）において、路床改良のためのセメント安定処理工に使用する固化材（一般軟弱土用セメント系固化材）の発塵抑制を目的として採用されたものである。

工事概要は以下のとおりである。

- ・施工年月：平成19年3月、
- ・施工面積：3,100m²
- ・固化材散布量：A工区97kg/m²、B工区120kg/m²
- ・湿潤セメント製造量：325t

施工状況を写真-3～写真-8に示す。



写真-3 機械配置

写真-4 固化材吐出



写真-5 固化材積込

写真-6 固化材散布



写真-7 固化材敷き均し

写真-8 混合

7. おわりに

これまでの湿潤セメントの製造実績は約960tになっているが、今後の課題等は以下のとおりである。

① 今回開発した湿潤セメント製造機は、トレーラー搭載型であり、現場の近傍で固化材を製造することができるが、現場条件によっては現場の近くに製造装置を設置することが難しいことがある。このような場合に対応し、かつ現行の機械性能を維持しながら現場内を自走できるタイプの製造装置の開発を行っている。

② 湿潤セメントを用いた場合、混合、転圧までを2時間以内に終了するように管理しているが、所定の時間で終了できない場合に対応する技術の開発を行う予定である。

③ 湿潤セメント製造中にある一定時間ごとにミキサー内部を水で洗浄しているが、今後洗浄水の処理を含めた清掃方法の改良が必要である。

<参考文献>

- 1) 宇部三菱セメント(株), 特開平6-305788号など
- 2) (株)セメント協会, 「セメント系固化材による地盤改良マニュアル, 第3版」 pp.59, 2003.9
- 3) 田村・和田・窪田, 「湿らせたセメント系固化材とこれを用いた改良土の特性」, 第42回地盤工学研究発表会, 論文NO.315, 2007.7

26. 振動タイヤローラの騒音・振動特性について

酒井重工業株式会社 事業推進部 ○後藤 春樹
 酒井重工業株式会社 技術研究所 塩釜 清貴
 福田道路株式会社 技術研究所 藤井 政人

1. はじめに

橋梁部の舗装においては、雨水から床版を保護するため、砕石マスチック舗装（以下、SMAとする）が使用されることが多い。この SMA の機能を十分に発揮させるためには、密度の均一性と高い水密性が要求される。従来の締固め作業は、振動タンデムローラと無振のタイヤローラの組合せによって行っていたが、最近では、十分な密度を得るために、より締固め効果の高い水平振動タンデムローラが適用される例もある。しかしながら、橋梁部等の施工では、鉄輪振動の影響によって発生する騒音・振動が課題とされている。しかるに、最近開発された振動タイヤローラ（酒井重工業製 GW750 型）は、鉄輪と異なり空気タイヤにて締固めを行うため、無振のタンデムローラと組合せることにより従来の工法と同等の締固め効果が得られるだけでなく、騒音・振動に対する更なる改善が期待されている。本機は、小型軽量（9 トン）ながら従来の 25 トンタイヤローラと同等以上の締固め能力を有し、機動性と広い適用性においても評価されている^{1) 2) 3)}。

ここでは、上述した振動タンデムローラ（酒井重工業製 SW651 型）、水平振動タンデムローラ（酒井重工業製 SW651ND 型）ならびに振動タイヤローラについて路盤ならびに橋面上において振動締固め作業する際の騒音・振動特性を測定・分析した。その結果、振動タイヤローラは他の振動ローラと比較して騒音・振動の抑制の面で優れ、さらには橋梁上部作業中の橋梁下部への振動の影響は殆ど無い等の知見が得られた。

2. 振動タイヤローラの振動機構

写真 1 および表 1 に示す振動タイヤローラは、従来の無振のタイヤローラに図 1 に示すように偏心軸のモーメントを変化させることで、振幅を変化させることができる可変振幅振動機構を採用している。



写真 1 振動タイヤローラ GW750 型

表 1 振動タイヤローラ GW750 型の概略仕様

| 形式 | 振動タイヤローラ | |
|--------------|----------|-------------------|
| 型式 | GW750 | |
| 運転質量 | kg | 9,000 |
| 機械質量 | kg | 8,400 |
| 全長×全幅×全高 | mm | 4,540×2,200×2,195 |
| 締固め幅 | mm | 1,950 |
| 速度（1、2、3段） | km/h | 0～9.0 |
| 振動数 | Hz | 40 |
| 振幅（1、2、3、4段） | mm | 0.1、0.3、0.5、0.7 |
| 起振力 | kN | 2.0、6.2、10.6、14.8 |

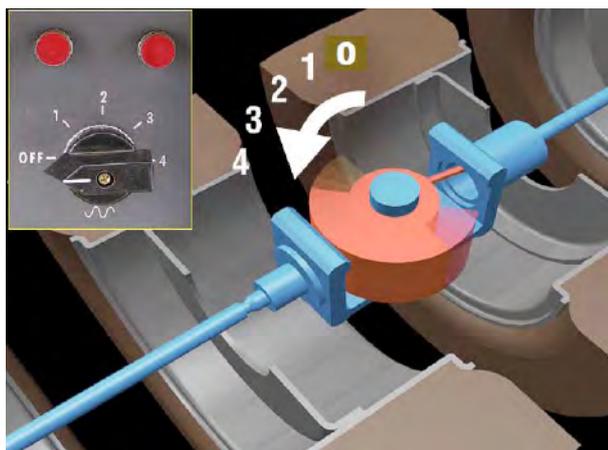


図1 可変振幅振動機構

振動タイヤローラでは、上述した振動機構を付加することで、転圧時の舗装材料に対するニーディング（こね返し）作用を助長させ、骨材の噛合せやモルタルの充填効果を向上させることができる。

3. 騒音・振動測定状況

3.1 路盤上での騒音・振動試験状況

路盤上での測定は、写真2に示すように構内の一角に路盤材を敷き均した場所で実施した。



写真2 路盤上での騒音・振動測定の場合

測定位置は、機械側面（以下、機側とする）から7m、15m、30m、70mである。測定中、振動タイヤローラは、振幅1段から4段で運転し、振動タンデムローラは振動モードLo-Hiで、水平振動タンデムローラは水平振動モードで

運転した。

騒音測定での騒音レベル（RION NL-32 精密騒音計にて計測）は、各測定点における最大値dB(A)を、また、振動測定での振動レベル（RION VM-51 振動計にて計測）は、各測定点における鉛直成分の最大値（dB）を評価として採用した。

3.2 橋梁部での騒音・振動試験状況

橋梁部での測定現場は、写真3に示す基層としてSMA混合物（転圧厚4cm、最大粒径13mm）を施工した橋面舗装現場である。橋梁の延長は約50mであり、周囲には遮音壁等、施工時の騒音を遮るものは設置されていない。測定は、表2に示すように橋梁上を施工中の振動タイヤローラの機側4～10.4mと橋梁下部で行った。橋梁下部での測定位置を写真4に示す。



写真3 橋梁上部での騒音・振動測定の場合



写真4 橋梁下部での振動測定の場合

このときの振動タイヤローラは振幅3段（振動数40 Hz、振幅0.53 mm）で運転しており、測定中は、振動タイヤローラだけでなくアスファルトフィニッシャ等、他の施工機械も稼働している状況であった。

表2 橋梁上下部の騒音・振動測定位置

| | 橋梁上部 | 橋梁下部 |
|---------|----------------------------|---|
| 騒音測定位置 | 機側 4m 機側 7m 機側 10.4m | 施工部直下 4.5m 直下から左 14.5m 直下から右 8.5m |
| 採用騒音値 | 最大値 (dB (A)) | 60秒平均値 (dB (A)) |
| 騒音測定器 | RION NL-32精密騒音計 | |
| 振動測定位置 | 機側 4m 機側 7m 機側 10.4m | 施工部直下 4.5m 直下から左 14.5m 直下から右 8.5m |
| 採用振動レベル | 鉛直成分の最大値 (dB) | |
| 振動測定器 | RION VM-51振動計 | |

4. 結果と考察

4.1 路盤上での測定結果

4.1.1 騒音測定結果

図2に路盤上で測定された振動タイヤローラおよび振動タンデムローラの測定距離と騒音値の関係を示す。

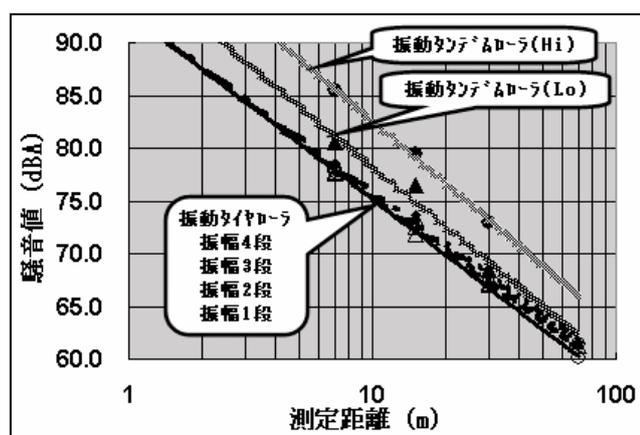


図2 路盤上の測定距離と騒音値の関係

振動タンデムローラに比べ振動タイヤローラは騒音値が低いことは明確である。また、振動タンデムローラでは振動モードをLoからHi

にすることで周辺への騒音値が増加するのに対して、振動タイヤローラでは振幅を1段～4段に変えても騒音値に大きな違いがない。これらのことより、路盤上において振動による締固め作業を行う際は、振動タンデムローラに比べ振動タイヤローラの方が騒音の影響は少ないと考える。

4.1.2 振動測定結果

図3に路盤上で測定された振動タイヤローラ、振動タンデムローラおよび水平振動タンデムローラの測定距離と振動レベルの関係を示す。

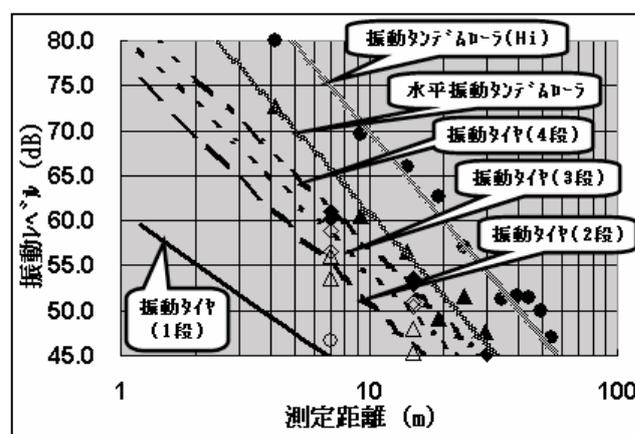


図3 路盤上の測定距離と振動レベルの関係

測定された振動レベルの大きさは、振動タイヤローラ<水平振動タンデムローラ<振動タンデムローラ (Hi) の順に大きくなる傾向が見られる。また、振動タイヤローラでも振幅を1段から4段に大きくするにつれ、振動レベルが高くなるが、そのとき最大となる振幅4段においても水平振動タンデムローラに比べ振動レベルは低い結果であった。

4.2 橋梁部での測定結果

4.2.1 騒音測定結果

図4に橋梁上部および下部において測定された測定距離と騒音値の関係を示す。

騒音規制法において「特定建設作業における騒音の規制基準」は、騒音値が85 dB(A)を超え

ないこととされ、橋梁上部では、機側から 4.5 m 以上の範囲でこの規制値を満足することができる。また、橋梁下部では橋梁上部より約 15 dB(A)騒音値が小さく、橋梁上部における振動タイヤローラが締固め作業中の騒音が橋梁下部では、殆ど影響していないと考えられる。

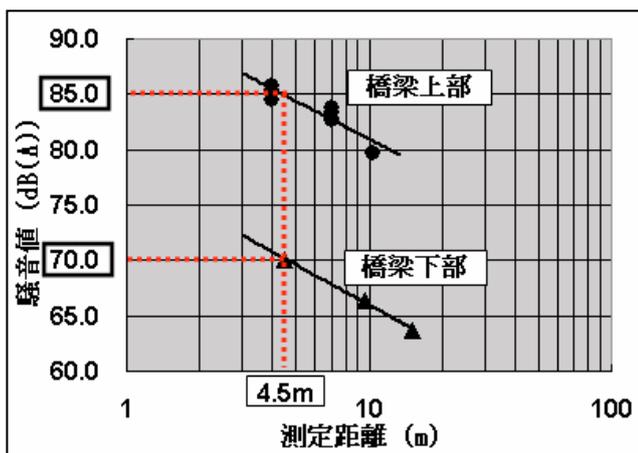


図 4 橋梁部での測定距離と騒音値の関係

4.2.2 振動測定結果

図 5 に橋梁上部において測定された測定距離と振動レベルの関係を示す。

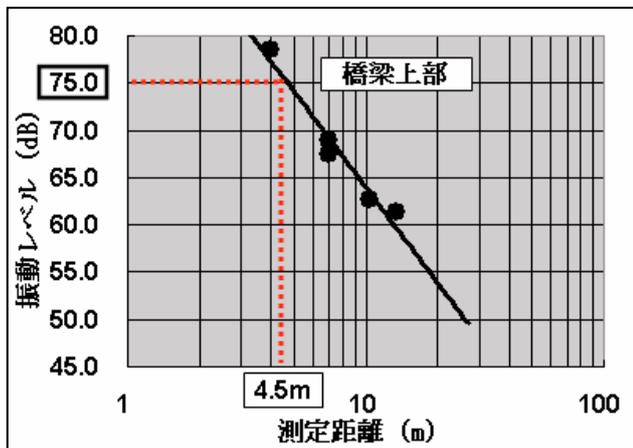


図 5 橋梁部での測定距離と振動レベルの関係

振動規制法において「特定建設作業の規制に関する基準」は、振動レベルが 75 dB を超えないこととされ、橋梁上部では、機側から 4.5 m 以上の範囲でこの基準値を満足することができる。

図 6 に橋梁上部および下部での振動レベルを示す。橋梁下部では、振動レベルが暗振動 (30 ~ 50 dB) と同等であった。このため、今回の振動タイヤローラを用いた施工においては、橋梁下部まではその振動が殆ど影響していないと考えられる。

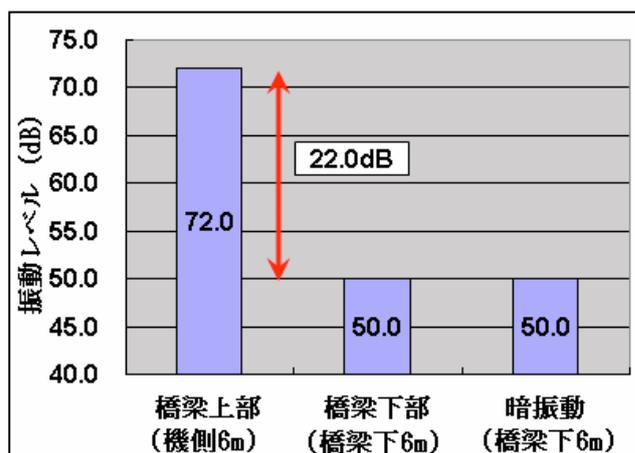


図 6 橋梁上部および下部の振動レベル

5. おわりに

本報文では、振動タイヤローラの騒音・振動特性を振動タンデムローラおよび水平振動タンデムローラと比較し、その優位性について評価した。その結果、振動タイヤローラは他の振動ローラと比較して騒音・振動の抑制の面で優れ、さらには橋梁上部作業中の橋梁下部への振動の影響は殆ど無い等の知見が得られた。今後は、様々な舗装現場において評価・検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 月本：性能規定工事における振動タイヤローラを用いた締固め度確保事例について，第 10 回北陸道路会議論文集，2006.
- 2) 渡辺，五野井，塩釜：振動タイヤローラの舗装施工への適用性，第 25 回日本道路会議論文集，2000.
- 3) 三井，飯田：振動タイヤローラの開発，第 22 回日本道路会議論文集，1997.

27. 移動式草刈焼却車の試行運用状況について

淀川河川事務所 機械課

松浦 直樹

■概要

河川堤防の維持管理として、一般的には日々の河川巡視による点検や、除草作業等の整備により管理を行っている。また、河川巡視による点検の効率化、精度を高めるために定期的な除草作業は不可欠となっている。

除草作業の主な効果は、下記の通りである。

1. 洪水に対して安全を確保する堤防の機能や強度の維持
2. 出水期前の補修箇所の発見、河川利用者への早期の危険周知
3. 不法投棄、花粉アレルギー、害虫の発生、火災、犯罪行為などの防止



写真1. 堤防の除草作業状況

また、堤防の法面等に雑草等が繁茂すると、草丈が高く、根が深い雑草が出現し、根の腐敗による土壌の緊張力の低下や、土壌の腐植土化による堤体の弱体化により、堤防の変状を助長する恐れがある。

淀川河川事務所の河川堤防における除草の対象区域は表1の通りである。

表1. 除草の対象区域

| 区 分 | 除 草 区 域 |
|------|--|
| 有堤区間 | 堤防法面（川表、川裏） 小段（川表、川裏） 側帯 |
| 無堤区間 | 管理通路法面（川表） 小段（川表） |
| 高水敷 | 堤防または管理用通路法先から5mの範囲 防火、防犯上、必要と判断される区域 洪水の流下に支障となる範囲 河川管理施設の管理上必要な場合 河川利用上、必要と判断される区域 |

除草作業の具体的な内容を把握するために、平成14年度に実態調査を行った。調査の方法は、作業員へのヒアリングやアンケートの実施、現地確認などによるものである。

調査の概要は、下記の通りである。

- ① 作業体制等の確認（1班当たりの作業員数及び使用機械の種類・台数、作業内容）
- ② 除草作業方法（使用機械と投入台数、障害物周りの除草作業、刈幅のラップ幅、除草機械の作業配置、飛び石等の防護方法、河川利用者に対する安全対策の有無、作業時間の計測）
- ③ 集草作業（使用機械と投入台数、集草位置、集草束の形状、集草束の移動方法、作業時間の計測、集草後の刈草処分方法の確認、刈草処分方法）
- ④ 刈草処分方法（運搬トラックの台数、形状、刈草の積込時間、現地から処分場の往復時間計測）など

実態調査によりとりまとめた、各作業工程の内容確認と、それにおける問題点を記載する。

■各作業工程の内容

1. 除草回数

梅雨時（6月～8月）および台風期（8月～11月）の2回を基本としている。ただし、堤防周辺の市街化状況、河川利用状況、有害な雑草の成育状況、草丈の伸張状況等を勘案して3回刈を行っている区域もある。

2. 除草・集草作業

除草・集草作業は下記の方法で実施されている。なお、除草剤による除草は行われていない。

- ① 除草の実施にあたっては、事前に塵芥処理等を行い、除草中のゴミ跳ね等による事故防止を行う
- ② 緩い法面（1:1.9以上）は、経済的に優れたハンドガイド式あるいは自走式除草機で除草及び集草を行う
- ③ 急な法面（1:1.9未満）は、護岸等のある法面、構造物・障害物等に近接する周辺、兼用道路区域、住宅連担区域等については、危険を伴うため、肩掛け式での除草、人力での集草を行う

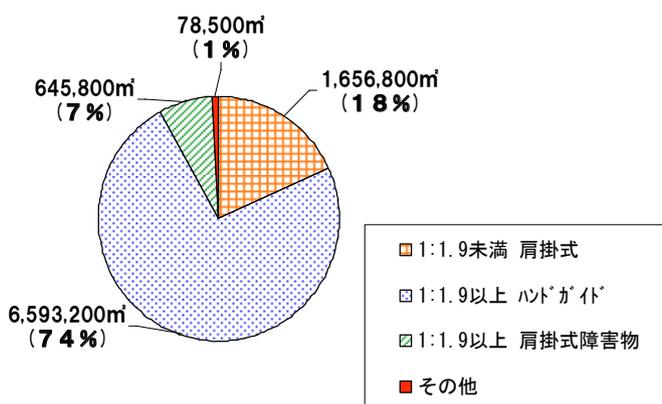


図1. 除草作業面積別の割合

3. 刈草の処分

刈草を放置しておく、その箇所芝が枯れたり、芝の育成に支障を与えることになるため、適切な方法により処分する必要がある。

刈草の処分方法は、現地焼却処分を基本としている。ただし、現地焼却が実施できない区域については、下記方法による刈草の処分を行っている。

- ① 沿川自治体の処理場への持出し処分
- ② 現地焼却可能な場所まで、刈草を移動させての現地焼却処分
- ③ 刈草の堆肥化

■各作業工程における問題点

1. 除草作業

- ① ハンドガイド式の転倒事故や、肩掛け式での自損事故、石などの飛散による物損事故
- ② 肩掛け式の作業効率が、ハンドガイド式や自走式除草機に比べてかなり劣る

2. 集草作業

- ① 運搬用トラックが堤防小段、法先に搬入できる坂路が整備されていない区間は、堤防天端への集草となり、上方へ向かっての作業効率が悪い
- ② 集草した状態で放置すると、火付け等の危険があり、早期処分が望ましい

3. 刈草の処分

- ① 現地焼却は、地区により焼却煙、焼却灰に対する住民からの苦情がある
- ② 持出し処分は、処理場の刈草受取条件（搬入量、時間帯、水分量、形態など）により拘束される。また、現地焼却に比べ積込・運搬作業が必要となり、作業コストが高くなる。
- ③ 現地内の移動焼却は、持出し処分ほどではないが、積込・運搬作業が必要であり、作業コストが高くなる
- ④ 持出し処分や移動焼却時の刈草運搬は、バラ積みで行っているため、トラックの積載容量には余裕があり、運搬効率が悪い

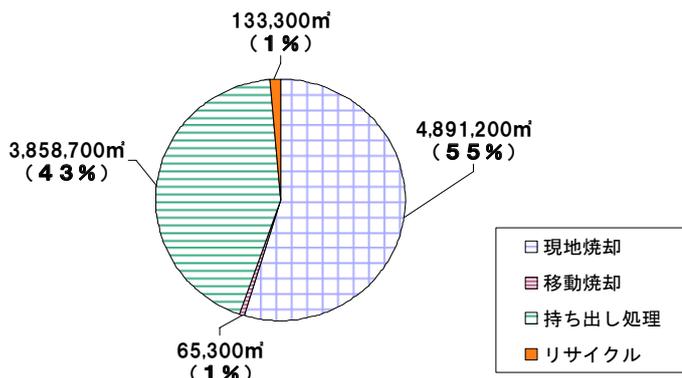


図2. 刈草処分方法別面積

導入した移動刈草焼却車と集草梱包車の仕様について下記に記載する。

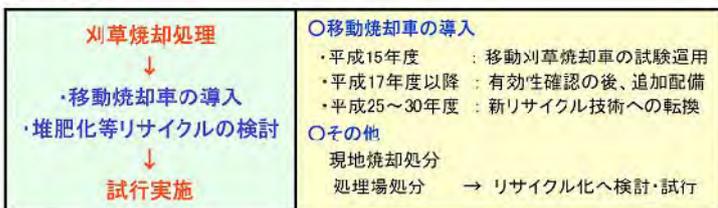


■淀川河川事務所の取り組み

刈草の現地焼却処分は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」において公共における焼却処分は認められているものの、沿川住民からの苦情等により焼却が困難な場合がある。また、持出し処分についても受入れ先から、持込量の縮減を求められている。そこで、現地焼却量を増加させるため、焼却煙、焼却灰、悪臭等を防止する移動刈草焼却車を配備した。

また淀川河川事務所では、刈草の処理について、「淀川水系河川整備計画基礎案」の「具体的な整備内容シート」の中で、維持管理（河川管理施設の機能保持）分野におけるメニューとして、堤防等の除草における刈草処理手法の年次計画を掲げている。

■刈草の処理(1)



■刈草の処理(2)



図3. 「淀川水系河川整備計画基礎案」の「具体的な整備内容シート」抜粋

■主要諸元

【外寸】7,920×2,390×3,700mm

【車両総重量】7,990kg

【乗車人数】2人

【燃料タンク】軽油100L

【集塵装置】

型式: シングルサイクロン

寸法: φ900×H2,200mm

【送風機】

型式: ターボファン

仕様: 20m³/min×1.47kPa×Q.4kw

全閉型風屋外型

【二次バーナー】

仕様: ~20L/h 両力バー付

【一次燃焼室冷却供給装置】

タンク容量: 水100L

水噴霧ポンプ: 8L/min×Q.2MPa×Q.2kw

【発動発電機】

型式: 屋外パッケージ型 低騒音型

定格出力: 6KVA以上(連続)

出力電圧: 220V 110V 周波数: 60Hz

■装備品

【一次燃焼室】

型式: ロータリーキルン式

寸法: (外筒) φ1,700×L2,500mm

(内筒) φ1,500×L2,500mm

外筒温度: 人の手が触れても火傷しない程度

回転数: 0.3~1.2rpm(右、左回転)

【車両重量】7,720kg

【駆動方式】4WD

【最低地上高】1,755mm

【キルン駆動装置】

動力: 0.75KW 全閉外風屋外型

【一次バーナー】

仕様: ~20L/h 両力バー付

【助燃剤供給装置】

タンク容量: 灯油100L

【制御盤】

型式: 閉鎖垂直風屋自立型

操作盤: W800×H500×L800mm

動力盤: W800×H500×L800mm

【二次燃焼室】

型式: 鋼板製角型

寸法: 1,900×L800×H2,200mm

【刈草搬送装置】

型式: パワーゲート式 ~30kg

図4. 移動刈草焼却車の概要

■移動刈草焼却車の有効性について

① メリット

刈草焼却時の煙の発生を抑えることができ、灰溜室を装備しているため、焼却灰が周辺に散布されることもない。また、現地焼却は除草から焼却まで、3日～5日ほど自然乾燥させる待機時間が必要だが、焼却車は程よい湿り気（生草程度）での作業が可能であり、待機時間を短くできる。処理に関して天候の影響を受けにくい。

② デメリット、課題

現地の試行結果から、焼却車の処理実績は4,000m²/日程度（梱包ロール）、現地焼却は作業員1人で3,300m²/日の刈草処分が可能である。現地焼却と比較すると、人件費、運転経費、機械損料等がかかることとなり、費用対効果の面で有効とは言えない。また、バラ状での焼却も可能であるが、さらに作業効率が落ちる。

また、車体が大きいため、堤防天端の幅員が狭いところでは侵入することが困難で、焼却車の設置場所にも制限がある。

刈草の運搬はバラ積みで行っているため、刈草の体積の圧縮は運搬効率を向上させる。

現地調査より、3tトラック（L3.1m×W1.6m×H2.0m）の1回当り積込量はバラ積みで1,600m²/回である。梱包車のロールサイズは、φ500mm×630mmであり、1度に54ロール積める大きさである。1ロール当たり59m²の出来高面積であり、約3,200m²の刈草が積込できる計算となる。バラ状の約2倍の積込み量が可能となる。

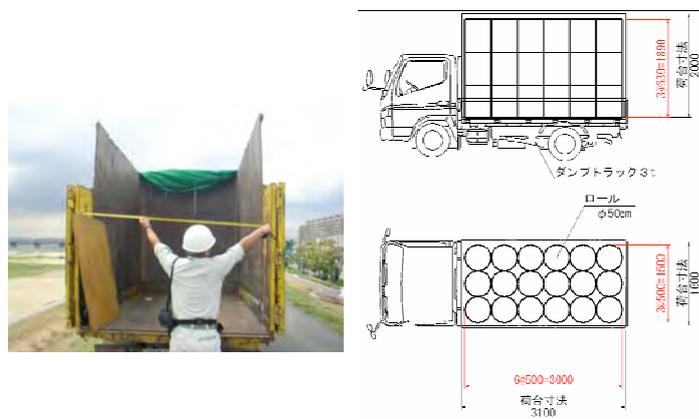


図6. 梱包ロール積載方法

■集草梱包車の有効性について

焼却車の処理効率は、刈草を圧縮し焼却した方が向上する。そのため導入した機械であるが、刈草の体積圧縮による運搬時の有効性も確認した。



- | | |
|--|---|
| <p>■主要諸元</p> <p>【外寸】4,000×1,600×1,440mm</p> <p>【車両重量】1,500kg</p> <p>【走行駆動】油圧無段階変速左右独立駆動</p> <p>ゴムクローラ</p> <p>最大登坂能力 35°</p> <p>【最大走行速度】前進：～7km/h 後進：～5km/h</p> | <p>【最低地上高】H1 60mm</p> <p>【燃料タンク】軽油33L</p> <p>【作業機】チェーンバー方式</p> <p>作業幅：700mm</p> <p>【バール寸法】バール径：φ500×630mm</p> |
|--|---|

図5. 集草梱包車の概要

■まとめ

移動刈草焼却車は、環境面では問題がなく、機動性もあることから、現地焼却が困難な場所に配備して使用することが望ましい。処理能力の面で持ち出し処分や現場内移動焼却より劣るため、状況に応じた処理方法の選択肢の一つとなりうる。全体的に待機時間が短くて済むため、天候の問題などにより早期に刈草を処理する必要がある時などには優位な手法といえる。

改良すべき点として、車体を小さくすることは設備の面から難しいが、処理能力の向上や刈草の梱包方法、燃焼過程における作業ロスなど、今回の試行結果を参考にし、管内での効率化の手法として検討していきたい。

28. 2WAYエコショベルの開発（バッテリー型油圧ショベル）

日立建機（株）商品開発事業部 ○木村 敏宏
鹿島道路（株）機械センター 鈴木 泰

1. はじめに

近年、CO₂をはじめとする温室効果ガスの濃度上昇に伴う地球温暖化の観点から建設機械においても環境に対する配慮が求められてきている。また2007年からはオフロード車に対して、第3次排ガス規制が順次施行されるなど、大気汚染物質であるNO_x、PMのさらなる低減も求められて来ている。このため建機業界では新型エンジン、排ガス後処理装置などによる排ガスのクリーン化、ハイブリッドなどの新システムによるCO₂の低減を目指した建設機械の開発がさかんに行われている。

一方、地下工事、鉄鋼、自動車解体、スクラップの分野では、作業環境、防火などの観点から現場での排ガスレスというニーズがあり、エンジンの代わりに電動モータを搭載した商用電源を動力源とする建設機械が使用されてきた。この電動タイプの建設機械は昨今の燃料の高騰からランニングコストの大きな低減が得られ、騒音・振動も少ないことからニーズが大きくなっている。商用電源を使うことで現場環境だけでなく、CO₂、NO_x、PMの排出量を従来機に比べ大幅に低減ができ、最も環境にやさしい駆動方式といえる。

しかし商用電源を用いた電動建設機械は、電源ケーブルを付随することが必須であり、電源設備のある限られた場所でしか使用できず、現場間の移動、搬出入に難点がある。そのため一般土木現場では全く普及してこなかった。

そこで今回、鹿島道路殿と共同で高性能バッテリーを搭載することより、自由に移動や掘削が可能な電動ショベルの開発を行った。

バッテリーを動力源とする建設機械は、電源ケーブルが不要になり自由に現場を動き回れることから、土木現場などに適用拡大が期待できる。建設機械の

騒音が問題となる夜間土木工事、住宅地域での工事、地下・屋内など閉空間での土木・解体工事などに有効である。しかし、バッテリー駆動の建設機械は、搭載できるバッテリー容量に制限があるため稼働時間が短いという課題がある。今回、バッテリーと商用電源の2WAY（2通り）の駆動電源を持つことで、車体の機動性を確保しつつバッテリーの課題を補完することを特長とする2WAYエコショベルを共同開発したのでここに報告する。



図1 車体概観

表1 主要諸元表

| | |
|-----------|----------------------|
| 型式 | ZX50UB |
| 機械質量 | 4610kg |
| 標準バケット容量 | 0.16m ³ |
| 標準バケット幅 | 650mm |
| 旋回速度 | 6.7min ⁻¹ |
| 走行速度 | 高3.2/低2.0km/h |
| 登坂能力 | 30度 |
| 最大掘削力 | 36.8kN |
| 動力装置 | |
| 動力方式 | 電動駆動式 |
| 駆動動力源① | リチウムイオン電池 |
| 充電電源 | AC200/100、車外バッテリー |
| 駆動動力源② | 三相AC200V |
| 電動機 | 三相誘導電動機 |
| 電動機定格出力 | 22kW |
| フロント・足回り | |
| ブームスイング角度 | 左80/右60 |
| シュー形式 | ゴム一体式 |
| 標準シュー幅 | 400mm |

2. 車体仕様とシステム構成

(1) 車体仕様

図1に車体外観、表1に車体仕様を示す。
夜間の都市土木工事を主要なターゲットとして汎用性の高い小型の0.16m³クラスとした。油圧駆動用にエンジンと同等の出力が可能な電動モータを搭載した。

(2) システム構成

図2にシステム構成を示す。
本システムは、従来機の油圧システムをそのまま踏襲し、エンジンによる油圧ポンプの駆動を電動モータの駆動に置き換えることで従来機の操作性をそのまま生かしている。

車載バッテリーは、電気自動車用に開発された高性能リチウムイオン電池を使用している。リチウムイオン電池はエネルギー密度が大きく車載スペースが限られた油圧ショベルへの搭載に適している。また、内部抵抗が小さく温度特性がよいなど優れた特長を持ち、作業環境に左右されない安定した動力を供給することができる。本システムでは、このバッテリーを効率よく使うために車体の最高回転数を抑え、オートアイドル、オートストップなど省エネ制御を行なっている。

商用電源は、一般の動力用電源である三相 AC 200V が接続でき、負荷頻度の大きい作業や現場でエンジン並の出力が得られる。

商用電源が現場近くに用意できない場合、車体外のバッテリーをつなぐことも可能になっている。鉛

バッテリーなどを搭載したバッテリー車を、車体の駆動電源、あるいは車載バッテリーへの充電電源として使用できる。

バッテリー駆動の機械は、バッテリーが放電してしまったとき動作できなくなるという致命的な問題があるが、商用電源やバッテリー車の確保により現場で動かなくなってしまうという最悪の状態を回避できる。

(3) 充電器、昇圧器

本機は、インバータ、充電器・昇圧器を車載することにより、バッテリー電圧と商用電源電圧、及びシステム駆動電圧の整合性を取っている。昇圧器を使用することで低い電圧のバッテリーを使用できるので、車載バッテリーの種類や個数に融通性が生まれる。バッテリーの性能・コストは現在発展途上の段階で今後種々の製品が出てくると推定されるが、これらのバッテリーに対応できる効果は大きい。また、バッテリー車に価格の安い鉛バッテリーを使用することができる。鉛バッテリーは急激な負荷に対し電圧が下がる特性があるが、本システムでは昇圧器によりインバータに与える電圧を一定に保てるのでインバータ印加電圧の低下によるモータの緊急停止を回避できる。さらには、車体やバッテリー車に搭載するバッテリーの数を油圧ショベルの車格により調整できるので機種展開が容易になる、などのメリットがある。

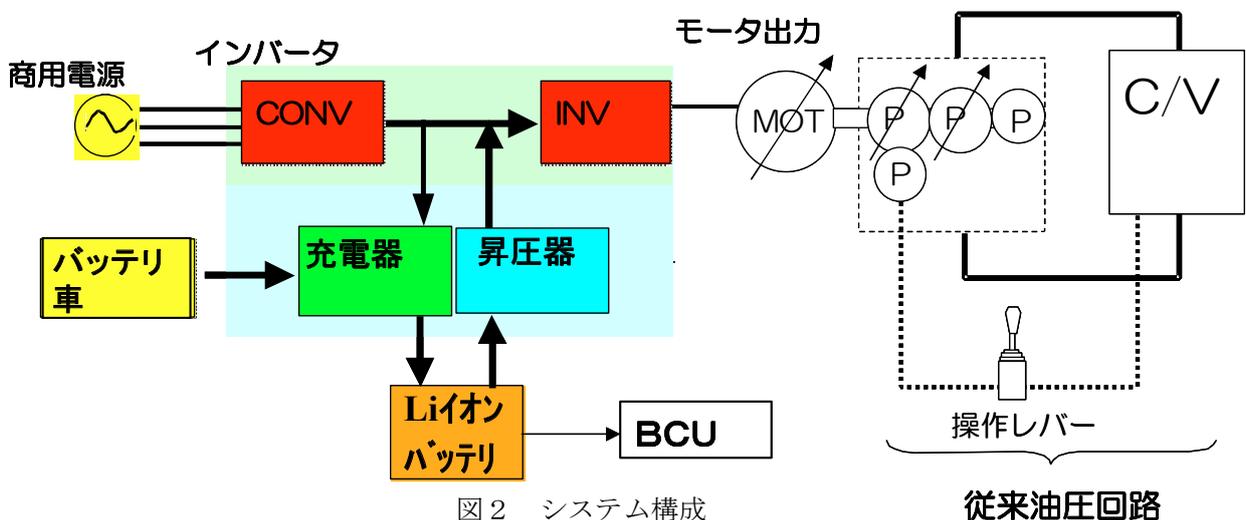


図2 システム構成

(4) 専用モニタ

本機は、車載バッテリー、商用電源、バッテリー車の多数の電源があり、充電も同様に多数の方式があるので、その組み合わせは煩雑となる。そのため、電源の接続状況を自動検出することにより動作モードを自動設定できる専用モニタを設けた。各機器の状況を監視し、モータの始動、停止をコントロールし、異常な場合には、エラーを表示してモータを停止する。



図3 画面例

3. 検証試験

(1) 騒音

騒音の検証のため、工場敷地内において動的騒音レベル測定を実施した。その結果、国土交通省指定超低騒音型建設機械の基準値（音響パワーレベル）93dB に対し、暗騒音補正後の騒音測定レベルが87.2～85.9dB、実作業における測定結果が83.6dBとなり、その静寂性が確認された。

(2) 施工性・作業量

施工性ならびに内部バッテリーのフル充電により可能な作業量の検証のため、粘性土の地山ならびに盛土にて深さ50cm掘削・旋回・排土作業を実施し検証試験とした。作業性としては、従来の油圧機構をそのまま使用しているためエンジン式油圧ショベ

ルと同等の作業できた。また、車載バッテリーのフル充電により可能な作業量としては、粘性土の地山掘削の場合、30～35m³であり、盛土の場合では50～60m³程度の作業量となった。掘削土質により負荷が変動し作業量に影響を及ぼす結果となった。



図4 検証試験状況

(3) 作業時間

粘性土及び砂質土の地山にて連続的に掘削したときの連続掘削時間を回転数に応じて測定した。その結果、土質による作業時間の変化はあまり見られず回転数による変化が支配的であることがわかった。オートアイドルやオートストップなどの省電力制御を行って運転を実施した場合、現場の条件にもよるが、約4時間程度、作業することが可能と予想される。

(4) 周辺環境への影響抑制について

本機は、エンジンを有していないため、現場におけるCO₂、NO_x、PMの発生は無い。しかしながら、商用電源からの充電という方式から発電所における発生を考慮する必要がある。今回採用した0.16m³クラスのディーゼルエンジン式と同一作業で比較するとCO₂は、およそ50%の削減、また、NO_x、PM等の排ガス有毒物質はほぼゼロという結果である。

4. 現場展開の提案

(1) 都市土木現場

本機は、建設機械の騒音が問題となる夜間の都市土木、住宅地域における騒音・排ガス対策に有効と考えられる。しかし、都市部であっても土木工事現場では、十分な容量の商用電源設備が用意しにくいという事情がある。一方、車載できるバッテリーは搭載スペース、コストなどから制約を受け、作業形態によってはバッテリー容量が不足し稼働時間が短くなる可能性がある。本機をいろいろな作業形態に対応するためには、車載バッテリーと別に、安価な鉛バッテリーを主体として構成したバッテリー車を用意して追加充電を行う方式が有効である。その構成例を図5に示す。

本構成では、現場にバッテリー車を待機させておき、車載バッテリーによる駆動が終了した時点で、バッテリー車から急速に充電する。約1時間で約6割程度の充電が可能である。1日の作業の途中で1回充電すればほぼ1日分の稼働が可能と考えている。バッテリー車には、1日分に必要な電気量をあらかじめ充電しておく。あるいは、近くに容量の大きな電源設備がある場合には移動して追加充電してもよい。現場での電源設備を常にバッテリー車と接続して電荷を蓄えておくことも可能である。

このバッテリー車を使用した施工は、バッテリーが万が一、放電してしまったときの現場での立ち往生の防止にも役立ち有効な方法であると考えている。

(2) 地下工事、鉄鋼、自動車解体

これらの現場では、容量の大きな電源設備が備わっていることが多いので、作業は商用電源設備から電源ケーブルを接続して行う。

しかし、電動ショベルが作業現場の移動をするときは、現場状況によるが、電源ケーブルを引きまわすことが困難な場合もある。本機は、このような移動時に車載バッテリーを使用し自走することでケーブルレスの現場移動が可能である。現場に到着した後再び商用電源により駆動するので、従来の電動タイプに比べ、格段に安全性、利便性が向上することができる。商用電源につなぐことにより、作業と同時に車載バッテリーに充電を行うことができるので、次の移動にも十分な電力を確保することができる。このような施工方法により、排ガスのない低騒音の作業環境をつくりだすことができる。

5. まとめ

昨今、環境に対する配慮が社会的な重要課題となっている中、バッテリー型油圧ショベルがさらなる環境保全建設機械として、地下工事や屋内工事、あるいは建設機械の騒音が問題となる夜間の都市土木工事などにおいて、現場の作業環境の改善に貢献できるものと考えている。今回、開発した2WAYエコショベルは、バッテリーと商用電源を動力源とすることで、従来の電動ショベルの屋内作業を中心とした分野から都市土木分野への実用的な適用拡大を狙った機械である。今後、大容量で高性能なバッテリーや、省エネ制御、車載インバータなど電動部品の小型化に向けての開発と共に、バッテリー型建設機械の普及をさらに進めていく予定である。

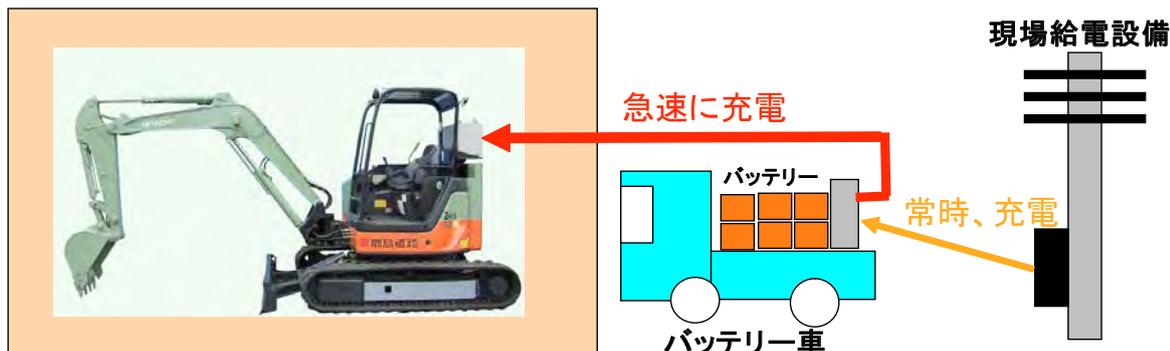


図5 現場での充電システム構成例

29. 厚層締固め方法と密度管理

○明石工業高専・江口忠臣
愛媛大学名誉教授・室達朗

1. はじめに

締固めは土工の品質を大きく支配する重要な工法である。転圧を伴う土質材料の締固めにおいては、締固め層内の均質性を確保するため薄層による締固めを基本としている。しかし、近年の土工量が増大している現場において、効率的な締固め方法が必要とされており、その対策として厚層による締固めについていくつかの検討が為されている^{1), 2)}。筆者らはこれまでいくつかの厚層締固めに関する検討を行ってきた^{3), 4)}。一方、厚層締固めにおいては深層部の密度を保証するための計測システムが必要となるが、これを簡易に行うことは困難である。

本稿ではこれまで検討してきたタイヤ式車両および履带式車両の転圧効果の厚層地盤に及ぼす機械条件を考察するとともに、転圧によって生じる地盤内応力から深層部の密度を算出する新たな密度管理手法の適応性を検討した。

2. 履帯およびタイヤ締固め

本研究で使用した履帯およびタイヤによる締固め実

験装置は図1, 2に示すようなものである。既報のタイヤ転圧実験においては重ダンプトラックによる試験施工も行っている。

履帯転圧装置はT字型グラウサを持つゴム製で鉛直方向に強制振動させる加振機を登載している。装置重量は4.9kN, 最大加振力は9.8kNであり、装置重量の2倍の加振力を有する。土槽サイズは幅1500mm, 長さ6500mmである。

タイヤ転圧装置はメインフレーム、載荷用エアシリンダ(最大負荷20kN)、載荷フレーム、鋼製土槽、土槽送り装置、土槽移動用レール、供試タイヤ、動力装置で構成されている。土槽のサイズは幅1000mm, 長さ3500mmである。

供試地盤は、試料砂として愛媛県松山産のまさ土を使用した。気乾燥状態で最大粒径4.75mm以下に調整した。まさ土の土質特性は土粒子比重(27°C/15°C) $G_s=2.66$, 平均粒径 $D_{50}=0.78$ mm, 均等係数 $U_c=12.0$, 曲率係数 $U_c=3.0$, 最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.88$ g/cm³, 最適含水比 $w_{opt}=12.8$ %である。最

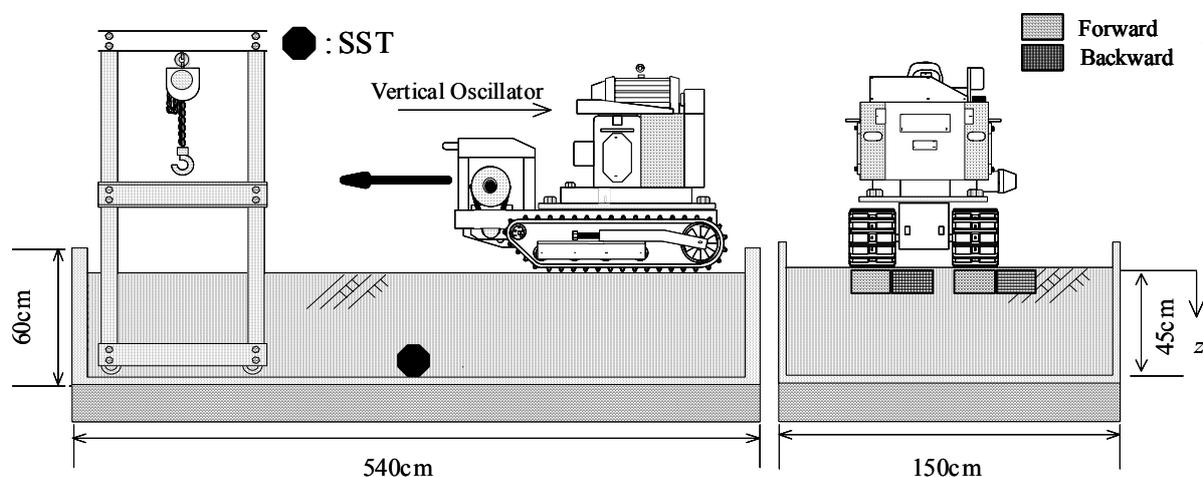


図1 履帯転圧実験装置

適含水比はJIS A 1210 1.1aの突き固めによる締固め試験から求めたものである。

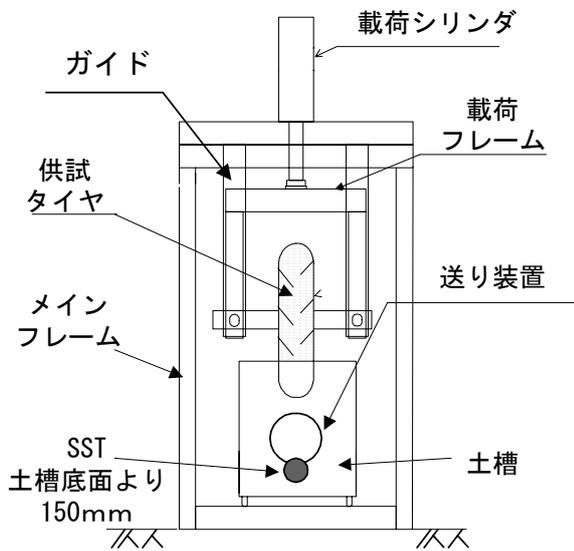
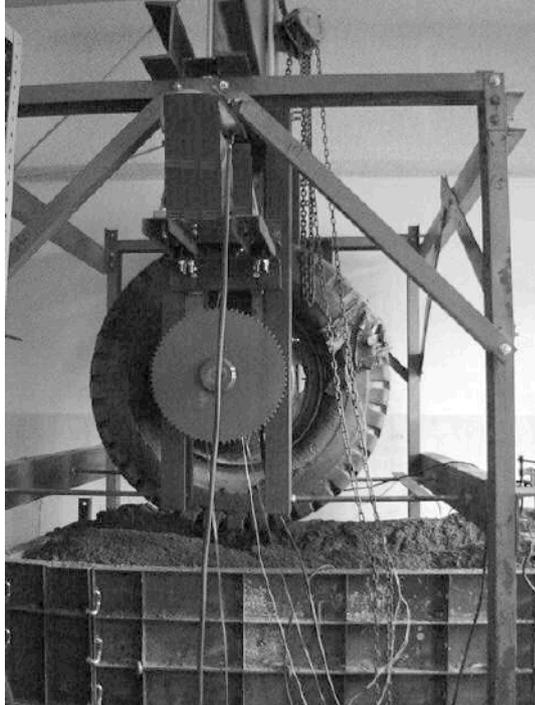


図2 タイヤ転圧実験装置

3. 履帯転圧

図1の履帯転圧装置を用い転圧実験を行った。実験では最大鉛直加振力を装置総重量で除した荷重比 α と振動数 f を設定した。荷重比は1.0および1.8とし、振動数は12~30Hzとした。転圧は無振動にて3回転後

振動転圧とした。転圧後、コーン貫入試験によりコーン指数から乾燥密度を求めた。コーン指数と乾燥密度の関係は予備実験から次式によるものとした。

$$\rho_d / \gamma_w = 1.271 \left[\frac{q_c}{\{1 + 3.101(z/H)\} p_0} \right]^{0.109} \quad (1)$$

ここに ρ_d は乾燥密度、 γ_w は水の単位体積重量、 q_c はコーン指数、 z は深さ、 H は試料土の層厚、 p_0 は大気圧である。

また、供試地盤内にSST (Stress State Transducer)⁵⁾を土槽底面の位置に埋設し、地中における垂直応力 σ_z およびせん断応力 τ_{zx} を測定した。

地表面沈下量を転圧回数ごとに計測した。計測はデプスゲージを用い、各履帯6ヶ所について行い平均値を沈下量とした。

図3は沈下量と転圧回数の関係を示したものである。荷重比1.0、振動数12Hz、16Hzの場合と荷重比1.8、振動数16Hzについて示した。転圧回数 $N=3$ までは装置の自重のみで転圧している。いずれの荷重比も同じ条件でありほぼ等しい値を示している。転圧回数4回目以降は振動転圧の結果である。振動転圧を行うことにより沈下量は大きく増加している。転圧回数が10回を超えると沈下量変化はほぼなくなっている。振動数16Hzでの荷重比1.0および1.8の沈下量はそれぞれ11.8cmと14.3cmであり、その差は2.5cmとなっている。これは加振力の増加が沈下量に大きく影響することを示している。

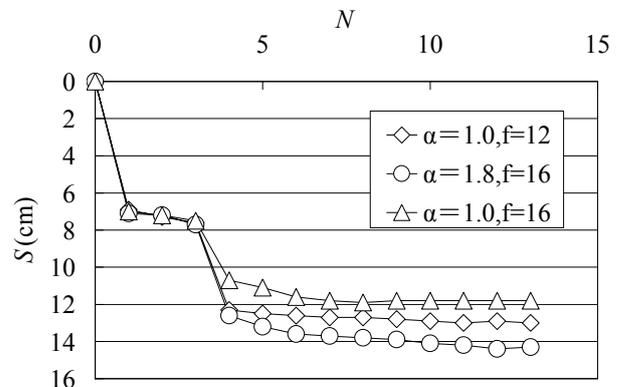


図3 試料沈下量と転圧回数

図4, 図5は転圧後の乾燥密度と振動数の関係を示したものである。最大乾燥密度, 深層部乾燥密度ともに振動数増加とともに減少していることがわかる。換言すれば振動数を減ずれば大きな締固め効果を得ることができるといえる。载荷比1.0以下は転圧装置が接地した状態で载荷を行う振動転圧であり, 载荷比1.0を超えるものは衝撃を伴う転圧となる。今回の結果はいずれの場合においても上述の現象が生じており興味深い。

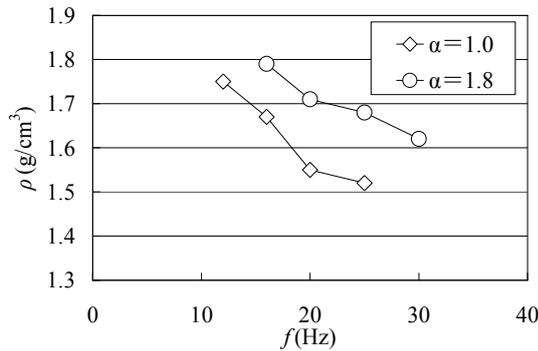


図4 最大乾燥密度と振動数

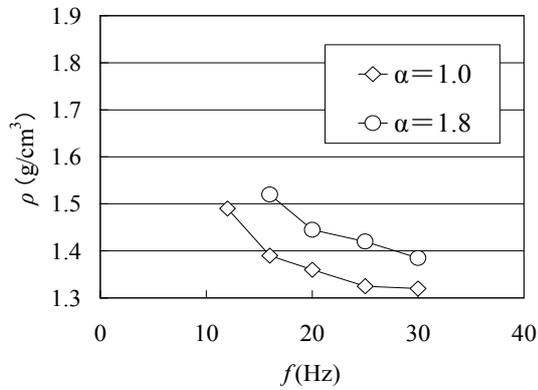


図5 深層部乾燥密度と振動数

4. タイヤ転圧

供試タイヤの空気圧550kPaに設定し軸荷重12kNまでの無振動転圧試験を行った。土の締固めとは土に外作用を加え, 土粒子同士の相互移動を生じさせることにより土粒子を密の状態にすることを意味する。荷重による締固めは, 土粒子に力を加え粒子間接点において強制的に相互移動を生じさせる作用である。これは図6に示すように外力により土の空隙を破壊していく

ことになる。したがって, まきだした試料土の各深さにおける密度はどの程度の力が伝播しているかに依存しているといえる。

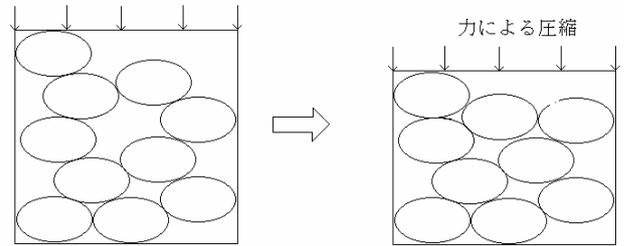


図6 荷重による土の圧縮

重ダンブトラックによる厚層転圧効果は応力比が大きく寄与している可能性について前出3)にて指摘しているが, この点に着目して実験を行った。

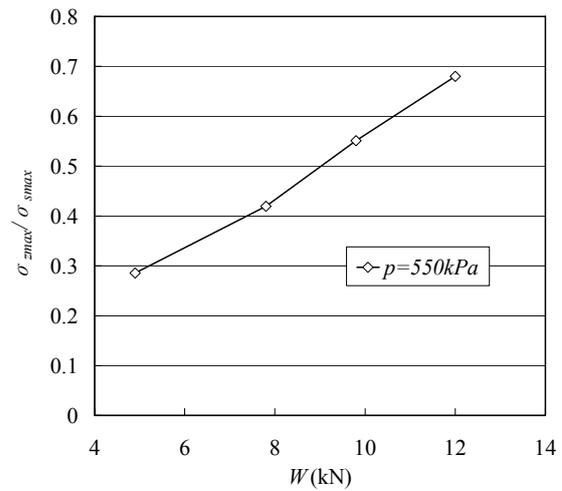


図7 軸荷重と応力比

図7は転圧実験における深さ40cmでの軸荷重と応力比の関係を示したものである。応力比は載荷面における接地圧と試料土のある深さにおける応力との比と定義している。実験結果から軸荷重の増加に伴って応力比も大きくなっている。土の締固めが外力に依存しているとすれば, 応力比が大きくなれば大きな力がその深さに到達していることになり密度増加につながる。さらに, タイヤの場合はその荷重支持機能からそれ自

身が変形するという特徴を持っている⁶⁾。この特徴は締固めを意図して造り込まれたものではないが、効果的な利用を見出すことができる。図8は軸荷重 W を増加させた時の載荷面直下の応力 $\sigma_{s_{max}}$ を示したものである。図から軸荷重増加による載荷面直下の応力状態の変化は小さいことがわかる。

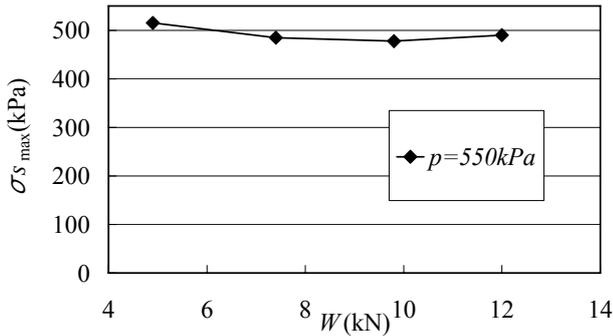


図8 軸荷重と載荷面下応力

大きな締固め効果を得ようとする方策は載荷する力を大きく採ることが挙げられるが、載荷面が剛であると載荷面直下の応力が大きくなり深さ方向の応力減衰が顕著になる。一方、今回の結果から得られた応力比を大きく採ることが可能な方策を講ずれば、締固め後の深さ方向の密度差が小さくなると考えられ、厚層締固めにおける品質向上に寄与することになる。



図9 現場施工試験

図9は重ダンプトラック現場施工試験の状況であり、図10はその結果³⁾である。現場試験のため浅層部の初

期密度が大きい影響があるものの深層部まで所定の密度を実現しており応力比増加の効果が現れていると考えられる。

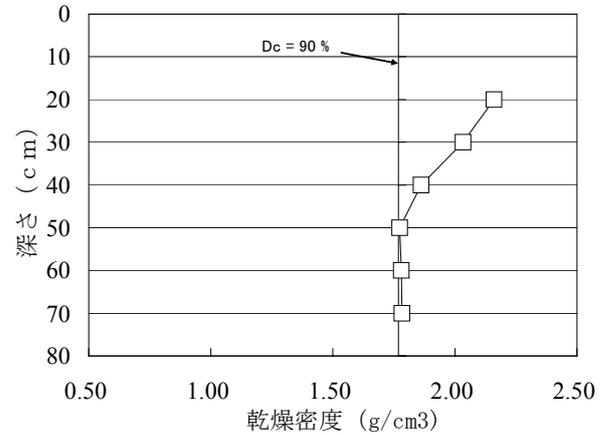


図10 重ダンプトラック現場施工試験結果

5. 締固めに与える振動数の効果

3. で述べたように載荷時の振動数が締固めに与える影響は十分に考慮する必要がある。ここでは載荷比を1.0としてタイヤにて振動転圧実験を行った。

図11は振動数と密度との関係を示したものである。実験装置の構造上振動数の設定は2Hzまでしか行えなかった。実験結果から無振動転圧に対して振動数を増加させると密度が増加していることがわかる。この振動数-密度関係からは振動数を2Hzより大きくした場

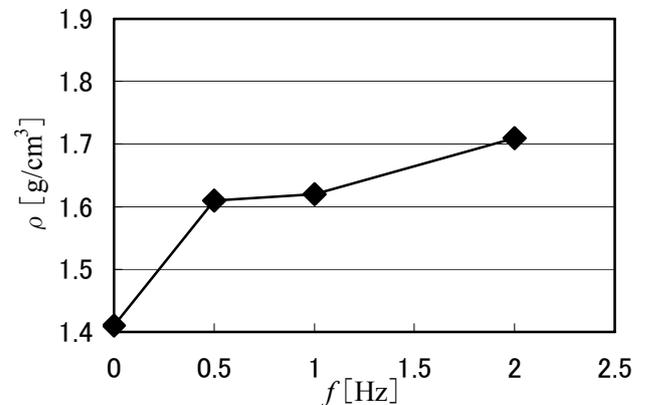


図11 タイヤ振動転圧結果

合、密度は増加していくと考えられる。一方、図4からは振動数の減少とともに密度が増加する結果が得られており、この2つの結果を勘案する必要がある。単純に载荷比 1.0 でほぼ同じ条件であるとして2つの結果をまとめると図12のようになり、2つの結果の中間付近に転圧後密度を最大にする振動数が存在する可能性を指摘できる。

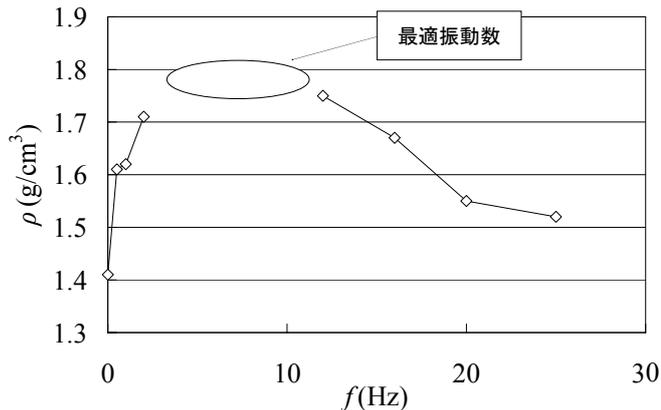


図12 振動数と転圧後密度

次に最適振動数について考察する。図13は重ダンプトラックタイヤが地盤を走行する際の挙動をモデル化したものである。ここで、 m_1 :重ダンプトラックの質量(kg), m_2 :タイヤの質量(kg), m_e :振動時の偏心質量(kg), r :タイヤの回転半径(m), k_2 :地盤剛性, c_2 :地盤の粘性減衰係数(Nsec/m)である。起振力 F_0 は(2)式で表され、振幅は(3)式で表される。

$$F_0 = m_e r (2\pi f)^2 \quad (2)$$

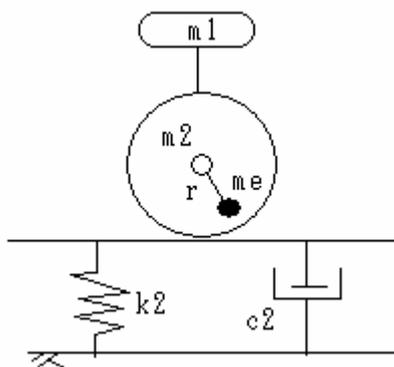


図13 タイヤー地盤モデル

$$a_p = A / (2\pi f)^2 \quad (3)$$

ここで、 f はタイヤの振動数(Hz), A はタイヤの振動加速度 (m/sec^2) である。起振力は振動数により増加するため振動数を大きく採ることが良いが、逆に振幅は小さくなりそれぞれの効果の最も良い組合せを探らなければならない。このような現象から実際には両者の相反する関係を同時に満足する最適な振動数が 2Hzから 16Hzの間に存在すると推定され、その振動数は(4)式で表すことができる。

$$f_{opt} = \left\{ \frac{(m_1 + m_2) g A}{16\pi^4 m_e r \eta} \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

ここで、 g :重力加速度(m/s^2), η :起振力による沈下量(m)である。(4)式は起振力による締固めエネルギーとタイヤが持つポテンシャルエネルギーの和を微分し、最適な振動数を求めたものである。今回の実験条件から求めた最適振動数は 4.1Hzとなり推定範囲内となっている。また、締固めにおいて地盤固有振動数とその効果に影響を与えることがわかっており⁷⁾, 地盤剛性と転圧荷重との関係から最適振動数を推定すれば次式となる。

$$f_{opt} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_2}{m_1 + m_2}} \quad (5)$$

地盤剛性 k_2 を得るにはタイヤの落下試験を行い、タイヤに取り付けた加速度計を用いて衝撃加速度を計測した。これにより地盤剛性を算定する方法⁸⁾を用いた。(5)式より得られた最適振動数は 6.1Hzとなりこれも推定範囲内である。いずれの振動数も一般的な振動転圧には用いられない領域であり、大きな効果が期待できることから载荷システムをさらに検討する必要がある。

6. 密度管理

Bailey et al., は八面体垂直応力を一定に保持し八面体せん断応力を作用させると密度と八面体応力比には線形関係が成り立つことを明らかにし (6)式を提案している⁹⁾。

$$\ln(BD) = \ln(BD_i) - \left\{ (A + B\sigma_{oct})(1 - e^{-C\sigma_{oct}}) + D\left(\frac{\tau_{oct}}{\sigma_{oct}}\right) \right\} \quad (6)$$

ここで、A：締固め係数、B、C：締固め係数 (kPa⁻¹)、D：せん断応力による体積ひずみの構成係数、BD_i：初期密度 (g/cm³)、BD：締固め後の密度 (g/cm³) である。三軸圧縮試験結果から八面体垂直応力と八面体せん断応力を決定し、体積変化から密度を求め、得られた値を用いて最小二乗法によりA,B,C,Dを求めた。転圧試験時にSSTで測定した応力からσ₁、σ₂、σ₃を求め、(7)式により八面体応力を求めた。

$$\sigma_{oct} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (7)$$

$$\tau_{oct} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{9}}$$

履帯転圧装置による載荷比 1.2 の結果について考察する。(6)式を用いて算定した密度とコーン貫入試験結果から求めた密度について比較し、両者の差が小さければ SST を用いて得た密度が正確であるといえる。図 1 4 に各振動数における実測密度と予測密度を示す。いずれも誤差は 1%以下となっており良好な関係にあるといえる。

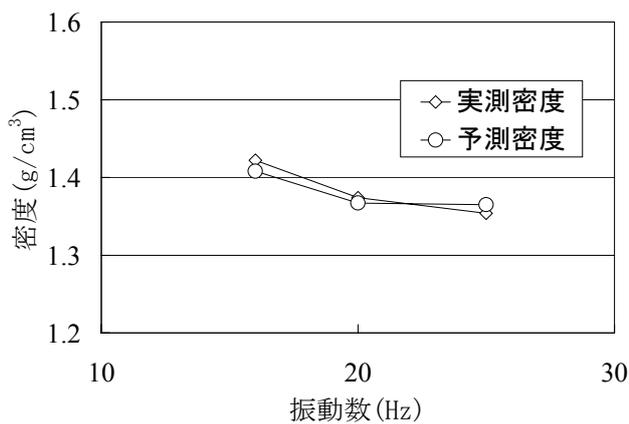


図 1 4 実測密度と予測密度の比較

7. おわりに

厚層締固めに資する諸条件とその密度管理についていくつかの考察を行った。振動転圧における締固め効果を左右する振動数に関して、従来の振動数領域とは異なる値に効果を期待できることを示した。さらに得

られた知見に対する検証を進めていかなければならない。

参考文献

- 1) 益村公人, 三嶋信雄, 三浦清一: 厚層締固めによって生じる道路盛土内の密度勾配と圧縮沈下挙動に及ぼす影響, 土木学会論文集 No.672/VI-50, pp.155-167, 2001.
- 2) 石原公明, 麻生公裕, 苗村康造, 谷口利久: 牽引式マンモスバイプロタンパー工法の開発, 平成元年度建設機械と施工法シンポジウム 1990.
- 3) 江口忠臣, 室達朗, 生木泰秀, 斎藤秀男, 重ダンプロックタイヤを用いた厚層転圧工法に関する研究, 土木学会論文集, No.784/VI-66, pp.19-30, 2005.3
- 4) T. Eguchi, Y. Honda, Y. Oiki, T. Muro, Measuring Method of Compacted Soil Density in a High Lifted Compaction Using Tracked Vehicle, 15th International Conference of the ISTVS Proc., N0.3A07pp.1-13, 2005.9
- 5) T.A. Nichols, A.C. Bailey, C.E. Johnson and R.G. Grisso: A Stress State Transducer for Soil, Transaction of the ASAE, Vol.31, No.5, pp.1237-1241, 1987.
- 6) 江口忠臣, 室達朗: 離散化タイヤモデルによる建設車両タイヤの基礎的変形性状解析, 土木学会論文集 No.665/VI-49, pp.81-90, 2000.
- 7) T. Muro, S. Kawahara, T. Mitsubayashi: Comparison between centrifugal and vertical vibro-compaction of high lifted decomposed weathered granite sandy soil using a tracked vehicle, Journal of Terramechanics, Vol.38, No.1, pp.15-45, 2001.
- 8) K. Tateyama and T. Fujiyama: Evaluation of ground properties and its application to the automatic adjustment system for vibration conditions in vibratory soil compaction, Proc. of the 13th Int. Symposium on Automation and Robotics in Construction, pp.645-652, 1996.
- 9) A.C. Bailey, C.E. Johnson: A Soil Compaction Model for Cylindrical Stress States, Transactions of the ASAE, Vol.32, No.3, pp.822-825, 1989.

30. Sand Seamer 《目地切砂置換工法》

～RCCコンクリートはつりの省力化～

(株)大本組：早瀬 幸知，○橋 伸一，浅野 正照

1. はじめに

RCC (Roller Compacted Concrete) 工法は、セメント使用量の少ない超硬練コンクリートをブルドーザで敷均し、振動ローラで締め固める工法である。コンクリートの型枠に現地の土砂を使用する場合があります、この土砂型枠の勾配により突起状のコンクリートが端部に形成される。

こうして築造されるえん堤等のほとんどの部分は土砂型枠が残されるが、一部撤去されコンクリート表面が露出する箇所については突起状のコンクリートをはつる作業が発生する。

目地切砂置換工法は、土砂型枠の撤去と同時に突起状のコンクリートも撤去する工法であり、工程の短縮と平滑なコンクリート露出面が形成可能となるものである。

2. 開発の経緯・目的

目地切砂置換工法（以下、「本工法」という。）は、コンクリートはつりの無人化施工を検討する過程で発案されたもので、RCD工法で収縮目地を設けるために使われる振動目地切機にヒントを得ている。

コンクリートのはつり作業は、工事のほぼ終盤で実施される場合が多く、これを省略できれば工程の短縮に大きく貢献できるとともに、露出面にはつり跡が残らないなど出来栄への向上も期待できることから開発に着手した。

砂により継ぎ目を形成するという意味合いから装置・工法を含めた広い名称として“Sand Seamer”と名付けた。

最終的な目標は無人化施工への適用であるため、本工法の実効性を確認する目的で有人施工区域において実物大の試験施工を行い以下の結果を得た。

○はつり部は目地切砂により分離されており、バックホウで容易に撤去できる。

○目地切部の締め固めは十分になされており、悪影響は認められない。

3. 工法の概要

本工法の大きな特徴は、コンクリートに目地を切り、その空間に砂を充填し本体構造物と突起状の端部を分離させることにある。図-1に工法の概念図を示す。

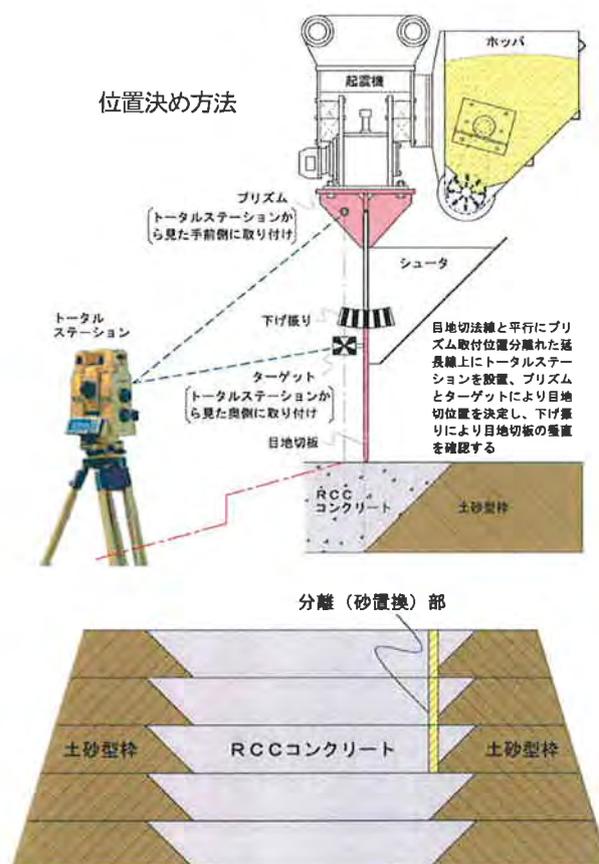


図-1 工法概念図

4. 施工方法

Sand Seamer 本体は、バックホウ (0.8m³級) のアタッチメントとして取り付けられている。RCC工法における施工フロー及び説明を図-2に示す。

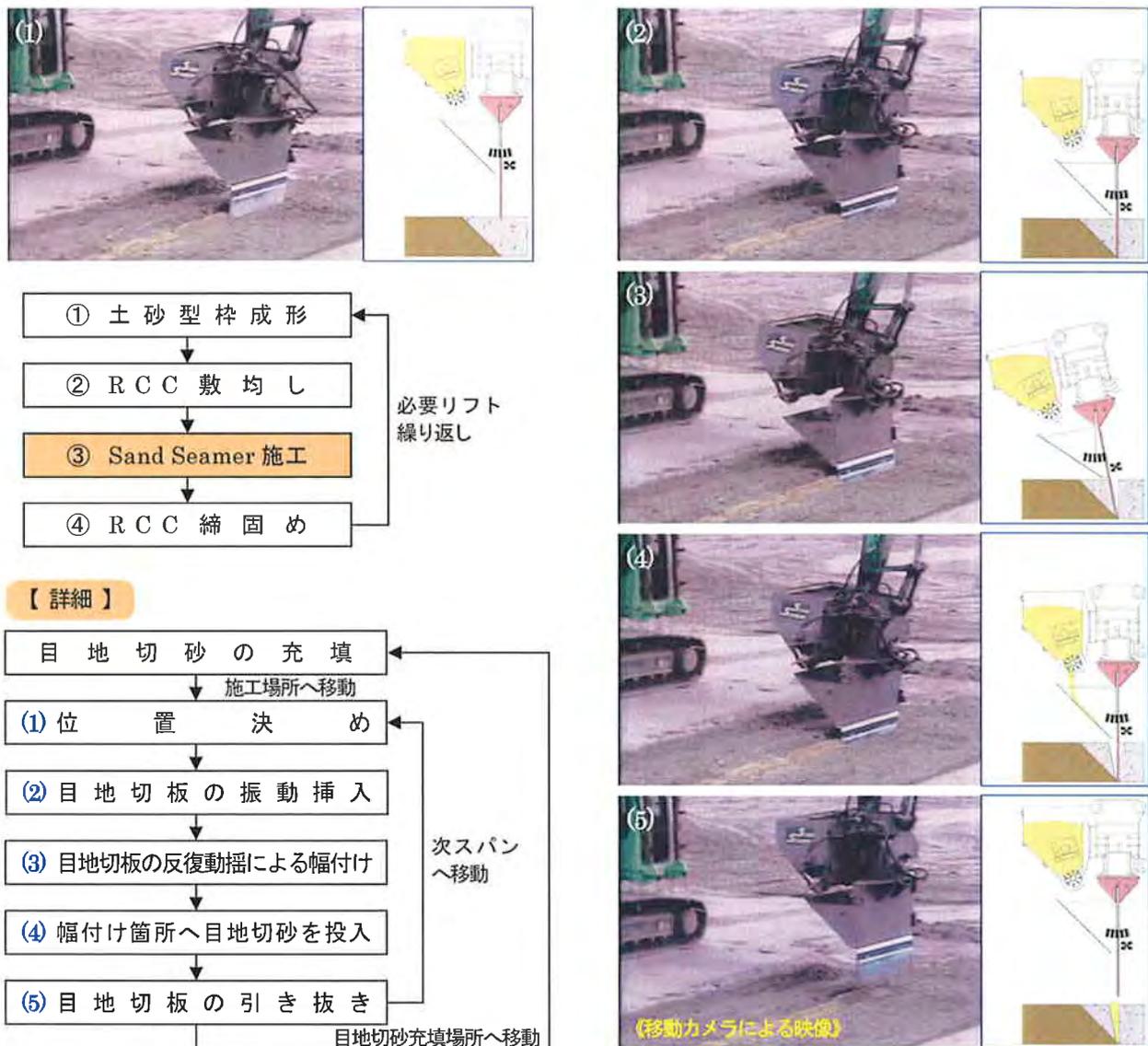


図-2 施工フロー図及び説明図

5. 実証施工

有人施工区域での試験施工結果を受けて、実際の無人化フィールドで2リフト総延長約 40m の施工を行い、以下の項目について検証した。

- (1) 目地切位置決め方法と精度
- (2) 目地切板の挿入深さの確認
- (3) 幅付け
- (4) 目地切砂の投入方法と量管理
- (5) 施工サイクルの確認
- (6) 撤去状況と出来形

(1) 目地切位置決め方法と精度

①目地切板の挿入位置

目地切法線延長線上の有人区域にトータルステーションを設置。位置の確認は「無人測量機」のシステムを応用した。



②目地切板の垂直度

移動カメラの映像で下げ振りにより垂直度を
確認した。



《検証結果》

目地切板の位置決め精度は 10cm 以内を確保でき、ほぼ垂直に挿入できた。

(2) 目地切板の挿入深さの確認

あらかじめ目地切板にマーキングを施し、バックホウ搭載カメラと移動カメラの映像により確認した。



《検証結果》

深さ方向に目地切砂が充填されていることを確認した。(撤去の際に確認)

(3) 幅付け

移動カメラの映像で下げ振りを確認しながら、押し・引き動作により幅付けを行った。



《検証結果》

2回の押し・引き動作で概ね 10cm の幅付けができた。

(4) 目地切砂の投入方法と量管理

投入機構はロータリーフィーダ方式を採用しており、あらかじめ設定した回転数を移動カメラの映像で確認した。また、移動カメラでの視認性を向上させるため、ロータリーフィーダに外部回転翼を取り付けた。



《検証結果》

視認性もよく、予定量を確実に投入できた。

(5) 施工サイクルの確認

《検証結果》

- 1 サイクルの所要時間 : 平均4分
(内、移動・位置決め所要時間 : 平均3分)
- ホッパーへの砂補給所要時間 : 約30分

(6) 撤去状況と出来形

バックホウ 0.5m³級 (通常バケット) で撤去した。



《検証結果》

はつり作業と比較し 70~80%の短縮となった。

目地切砂は連続的に充填され、Sand Seamer 施工部の撤去は容易であった。また、目地切ラインも通っており、仕上げはつりの必要はなかった。

6. 考察

実証施工により、本工法が無人化施工へ適用可能であることが確認できた。

施工精度の向上や施工サイクルの短縮などを追及するために必要と考えられる課題等を以下に記す。

(1) 目地切位置決め方法と精度

①目地切板の挿入位置

◇ 位置確認システムによる目地切位置への誘導は有効であったが、後述する垂直度の確認に関して改善の余地がある。

②目地切板の垂直度

◇ “プリズム”と“ターゲット”を視準し目地切板の垂直を確認する方法を採ったため、トータルステーションに現場職員を配置した。そのため、目地切板の垂直度を遠隔操作室に無線連絡する必要がありサイクルタイムの増加要因となった。

◇ Sand Seamer に傾斜計を取り付け、位置確認システムと連動させることにより、人員の配置も不要となりサイクルタイムも短縮されるであろう。

(2) 目地切板の挿入深さの確認

◇ より確実にするため、Sand Seamer に移動カメラを近づけ映像を大きくすることで視認度は向上する。【※1】

◇ トータルステーションによる高さ計測で挿入深さを把握することが考えられる。

(3) 幅付け

◇ 【※1】に同じ

◇ 前述“②目地切板の垂直度”に記載の傾斜計を利用すれば下げ振りも必要なくなる。

(4) 目地切砂の投入方法と量管理

◇ 【※1】に同じ

◇ 回転数を検出し自動制御する方法が考えられる。

(5) 施工サイクルの確認

◇ 1サイクルの所要時間のうち多くを移動・位置決めに費やしている。前述“(1)目地切位置決め方法と精度”で記載した方法をとれば時間短縮につながると考えられる。

(6) 撤去状況と出来形

◇ 容易に撤去でき、出来形も満足する結果となった。

◇ 2リフトのみの実証施工であったが、全リフトを本工法で施工すれば全体工程の短縮につながったと推測される。



施工状況（遠隔操作室）

7. おわりに

“Sand Seamer”は、はつり作業そのものを省くという新しい発想から生み出されたものであり、実証施工で有効性が確認できたと考えている。

今後、検証を重ね、より確実な工法として確立させる所存であり、同種工事での工程短縮、出来栄への向上などに寄与できれば幸いである。

なお、本稿で使用している写真は、多くが移動カメラなどの映像をもとにしているため、やや不鮮明であることをお詫びいたします。

最後に、本工法の開発にあたりご尽力、ご協力いただいた方々に感謝申し上げます。

31. 簡易解体・回収型シールド機の既設構築到達への適用

国土交通省関東地方整備局千葉国道事務所

正源司 寛

㈱奥村組 東京支社 土木工事第四部

○山内 智晴 星 智久

1. はじめに

近年、都市部の地下空間を利用した共同溝、下水道等の管渠築造工事では、地上交通の阻害防止や沿道住民への影響を最小限にするため、密閉型シールド工法による施工が一般的となっている。

地下空間の整備が進む中、既設構築物への到達事例も多く、到達立坑へのシールド機押し出しはもとより、解体部材の引き揚げも到達部では不可能な場合もある。その際、シールド機はその都度埋め捨てとなり、シールド機本体も閉塞された状態の到達部で小分割されることから、ガス溶断作業に伴う発熱、油煙の発生により、シールド機解体作業は、劣悪な作業環境下での施工を余儀なくされる。また、既設構築への悪影響も懸念される。

今回報告する国土交通省関東地方整備局千葉国道事務所発注の蘇我～村田共同溝工事においても、シールド工事開始時期には、到達立坑の構築および道路本復旧も既に終了しており、到達立坑からの解体部材等の引き揚げは非常に困難な状況であった。

本報告書では、これらの施工条件を鑑み、ボルト接合を主体とし、シールド機解体時のガス溶断作業を極力少なくし、駆動部等の内蔵機器を一体で発進立坑部へ回収できる簡易解体・回収型シールド機『やどかり君』を今回工事に適用し、推進工法では事例があるが、シールド工法では初めて、駆動部を坑内回収した事例について述べる。

2. 工事概要

本工事は、電気および下水道（圧送管）等の重要なライフラインを地震等の災害から守り、地上からの工事や維持管理による交通渋滞の解消を目的として、地下に収納する内径φ3900mmの共

同溝トンネルを、日交通量 50,000 台を超える重要国道 357 号下の蘇我陸橋南交差点の蘇我発進立坑から浜野町の村田到達立坑までの約 1.2km を泥水式シールド工法にて、築造するものである（写真-1、写真-2、写真-3 参照）。

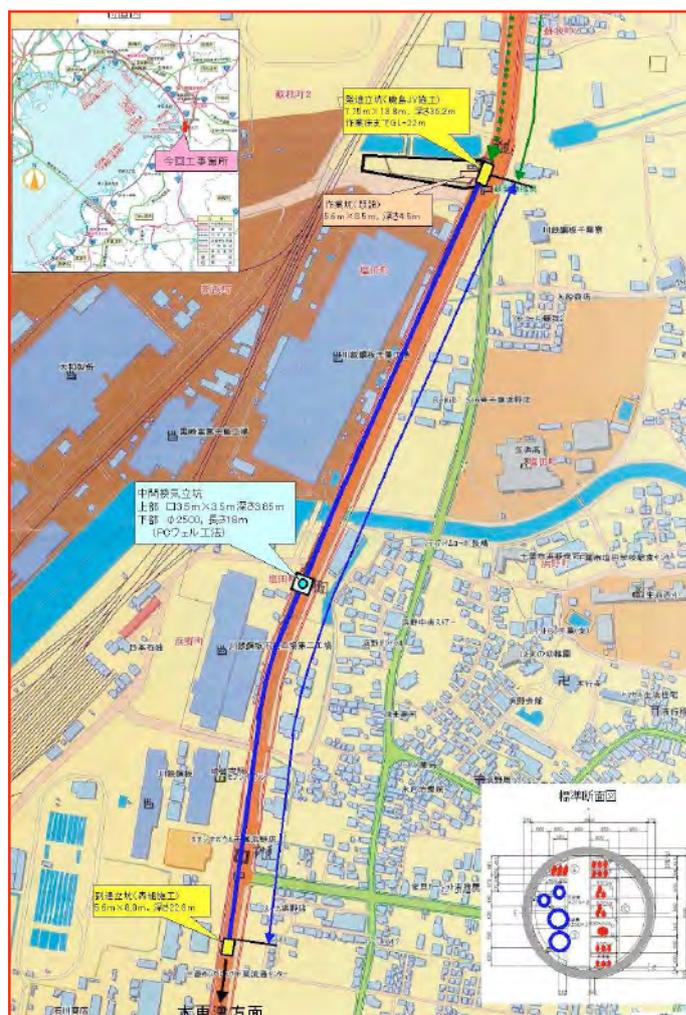


図-1 路線平面図

シールド掘進路線は、国道 357 号下、土被り約

20m の位置にあり、平面線形は図-1 に示すとおり、曲線半径 500m の曲線区間を有する。また、発進立坑から約 640m 地点に換気坑と排水坑を兼用する中間立坑を築造するため、中間立坑までは 0.2% の下り勾配、中間から到達立坑までは 0.2～0.9% の上り勾配となる（図-2 参照）。

掘進路線部の土質は、発進立坑から中間立坑までは、非常に軟弱な沖積粘性土層で、中間立坑から急激に洪積砂質土層に変化し、到達立坑までは全面砂質土層となる。今回工事では、泥水式シールド工法を採用したため、中間立坑部付近での掘進は、急激な土質の変化にリアルタイムに対応した泥水管理が必要であった。

工事内容を以下に示す。

工事名 : 蘇我～村田共同溝工事

発注者 : 関東地方整備局千葉国道事務所

施工者 : 奥村・福田特定建設工事共同企業体

施工場所 : 千葉市中央区塩田町から浜野町

施工内容

- ・ 施工法 : 泥水式シールド工法
- ・ シールド機 : 外径 ϕ 4580mm、機長 7800mm
(図-3、写真-4 参照)
- ・ セグメント : 二次覆工省略型ハニカムセグメント
外径 ϕ 4450mm、桁高 $t=275$ mm
(写真-5 参照)
- ・ 路線延長 $L=1,172$ m (掘進延長 $L=1,116$ m)
- ・ 線形 平面 $R=500$ m 1 箇所
縦断 下り 0.2% (発進～中間)
上り 0.2～0.9% (到達まで)
- ・ 土被 19.07m～21.5m
- ・ 土質 沖積粘性土 (As)、洪積砂質土 (Ds1、Ds2) 洪積粘性土 (Dc2)
- ・ 地盤改良工 (発進、中間、到達) 1 式
- ・ 中間立坑工 1 箇所
PC ウェル工法 (ϕ 2500mm、 $L=20$ m)
- ・ 車道切回し工 (中間立坑部) 1 式



写真-1 発進立坑部全景 (他社施工済)



写真-2 中間立坑部全景 (着手前)



写真-3 到達立坑部全景 (他社施工中)

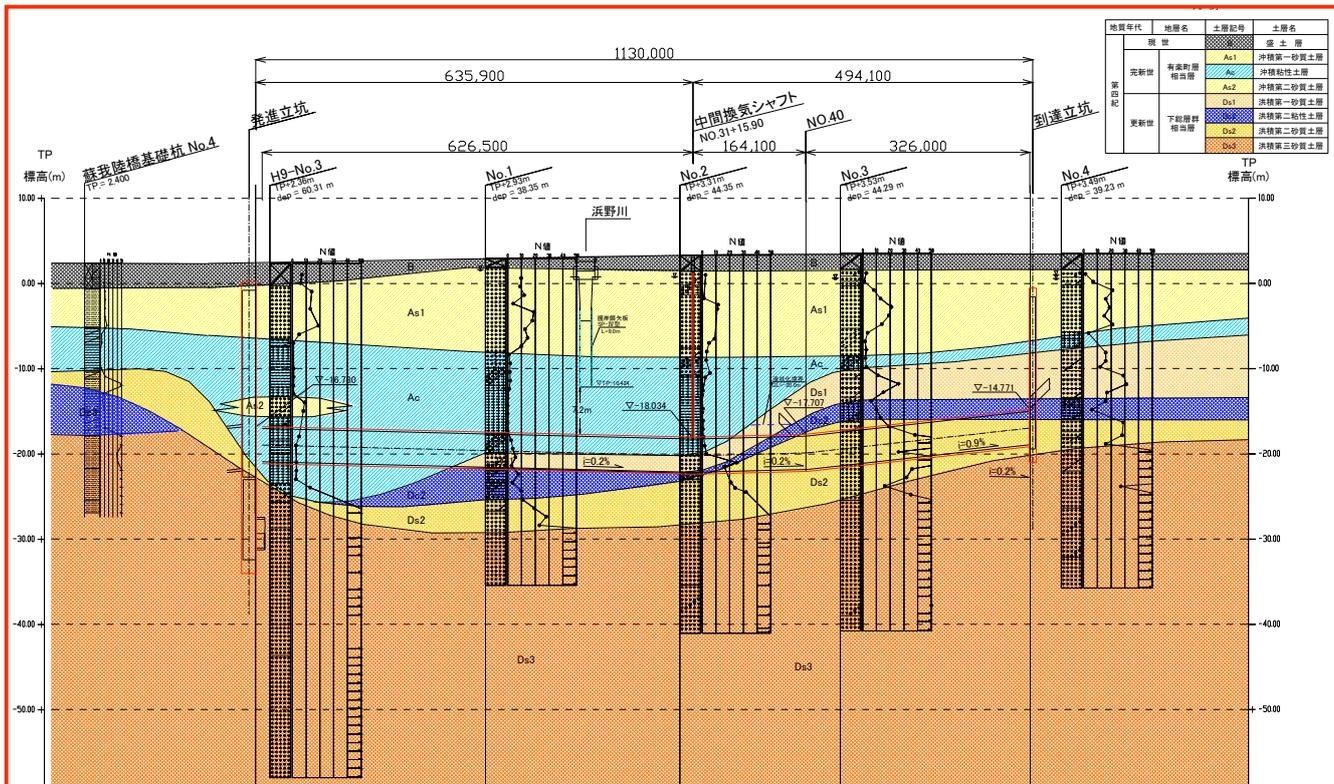


図-2 路線縦断面図



写真-4 シールド機全景



写真-5 トンネル全景

3. 簡易解体・回収型シールド機『やどかり君』

今回、シールド機が到達した立坑は既に構築および地上の舗装復旧が完了しており、地上からの資機材投入、引き揚げはφ900mmのマンホール孔のみであった。また、日交通量 50,000 台を超える重要国道 357 号の車線規制は夜間のみ限定されており、シールド機の解体部材はすべて発進立坑への搬出を余儀なくされていた。また、従来のガス溶断によるシールド機解体作業では劣悪な作業環境になることに加え、発生する油煙の立坑換気口等からの漏出が一般交通を支障する懸念もあった。

このような背景から、ガス溶断作業をほとんど行わずに、カッタ駆動部等のシールド機の内蔵部

を丸ごと回収できるやどかり君工法を採用した。

今回のやどかり君の大きな特徴は、シールド機では初めての坑内回収型ということであり、以下に解体手順を示す（図-4）。

- ① 既設立坑到達
- ② エレクタ、配管他撤去
- ③ 駆動部引抜
- ④ 駆動部反転・回収台車積込
- ⑤ 特殊回収台車で発進立坑へ搬出

《主な装備》

- ・シールドジャッキ
1200kN×2250mm×18本
- ・中折れジャッキ
2500kN×105mm×6本
- ・カッタ（油圧駆動）
装備トルク：1126kN・m
回転数：0.98rpm
- ・同時裏込注入装置 2基

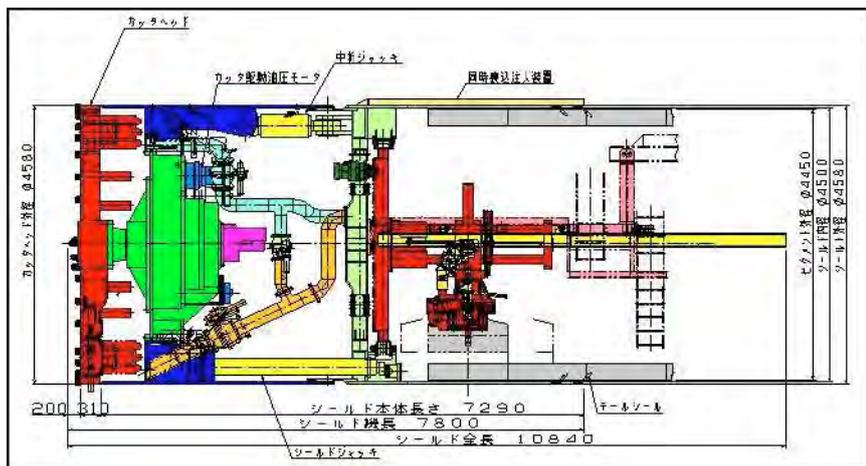
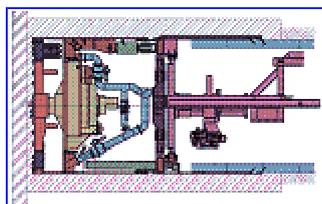
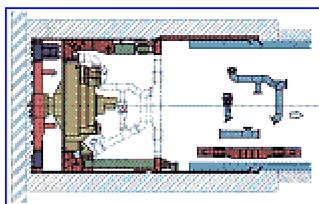


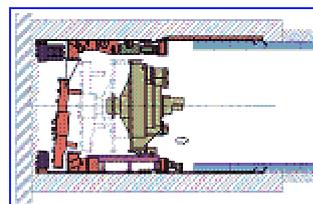
図 - 3 シールド機概要図



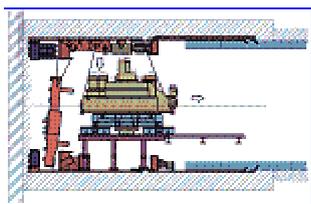
①既設立坑到達



②エレクタ・配管他撤去



③駆動部引抜き



④駆動部反転・回収台車



⑤駆動部搬出完了

図 - 4 シールド機解体手順図

4. 簡易解体、駆動部回収の仕様

(1) カッタヘッド (写真-6)

- ・ 外周の残置部 (外殻)、リング部 (中殻)、駆動部一体化した中央部 (内殻) に分け、外殻部、中殻部はそれぞれ6分割とし、カッタリング同士をボルト取付け構造とした。
- ・ カッタヘッドの連結部はコッタ状とし、外側のカッタ面盤が土圧により後退しない構造とした。

(2) シールド機本体

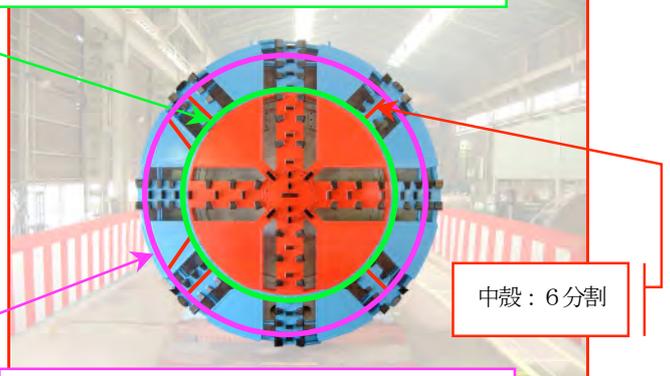
- ・ 残置する外殻と回収する駆動部 (内殻) を繋ぐ中殻に VD シールを設置し止水構造とした。
- ・ 本体天端に中殻、内殻の移動・回転用に多数のブラケット、吊金具を設置した。(写真-7)
- ・ 回収する駆動部に多数の吊り用孔加工した。
- ・ 駆動部転倒用ブラケットおよび取付座を設置した。
- ・ 回収する中殻・内殻の受けるスラスト荷重・ラジアル荷重をシールド機本体からブラケットにより支持した。
- ・ シールド機本体には、駆動部 (内殻部) と中殻移動用に移動用ガイドレールを設置し、回収側には移動用ガイドローラーを取付けた。

(3) 回収台車 (写真-8)

- ・ シールド掘進時使用の軌道設備 (枕木:H-200、@1200mm、22k レール使用、レールゲージ:610mm、2t バッテリー機関車使用) で、重量23t f の駆動部を運搬するため、回収台車は輪圧減少のため、8輪とした。
- ・ 回収台車に駆動部を載せた後、駆動部本体に転倒防止用ガイドを溶接固定
- ・ 回収牽引力低減のため、車輪にベアリングを組み込んだ。
- ・ シールド機内での積込、回収作業となるため、吊上げしろが不足するので、台車フレームの

片側は、取外し可能なボルト接合とした。

分割部 (VE シール) : 内殻 (回収) ~ 中殻 (撤去)



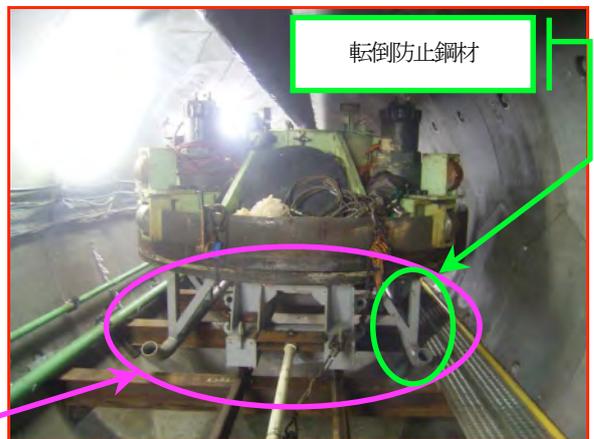
中殻: 6分割

分割部 (ボルト締結) : 中殻 (撤去) ~ 外殻 (残置)

写真-6 カッタヘッド全景



写真-7 反転用吊金具 (マシン上部)



転倒防止鋼材

写真-8 回収台車による搬出状況

回収台車

5. 施工結果

(1) シールド機解体工

シールド機解体作業は、やどかり君仕様の特徴でもあるボルト接合主体の構造であることから、解体時の油煙の発生も少なく、解体作業中に各種見学会等の際も作業を休止することなく実施できた。工程的にも、駆動部引き出し・反転・回収台車積込・搬出は約3日で終了し、この規模のシールド機の駆動部・隔壁解体作業の実績と比較し1日～2日の短縮が図れた。



写真－9 駆動部引抜き・反転完了

(2) 駆動部坑内回収

駆動部（約23tf）の坑内運搬も特殊回収台車の工夫により、2tバッテリー機関車で補助なしに牽引（上り0.2%）でき、軌道設備もシールド掘進時の設備をそのまま使用できた。



写真－10 駆動部運搬状況

(3) ボルト接合カッタヘッド

今回のカッタヘッドは、残置部と回収部を

それぞれ6分割としたボルト接合構造としたが、約450m掘進途中、想定外の支障物（φ550mm鋼管杭）に遭遇した際もビットが一部損傷したのみで、問題なく対応できた。このことからカッタヘッドのボルト接合構造の安全性も実証できた。



写真－11 カッタヘッド内殻・中殻撤去完了

5. おわりに

今回の簡易解体・回収型シールド機『やどかり君』の採用は、到達立坑からのシールド機回収が困難であったことに加え、閉塞した到達部の作業環境改善のためであったが、前項目でも記述したようにその目的は十分に果たすことができ、作業環境・安全性の著しい向上が見られた。また回収した駆動部もほとんど損傷は見られず、中殻部の止水構造を一部整備することで再利用も十分可能であると考える。今後は、到達解体、地中接合時の手順として、地盤改良工法との組合せを工夫することにより、工法としての更なる安全性の向上、コスト縮減を図る等の実用性の拡大・向上に努めたい。

最後に、今回工事での簡易解体・回収型シールド機『やどかり君』採用の承諾および工事の施工管理に多大なるご指導を戴いた国土交通省関東地方整備局千葉国道事務所の皆様方に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

32. 長距離推進における同径側面地中接合推進工事

株式会社奥村組名古屋支店土木部

広野和正 高橋淳二郎

1. はじめに

鳴尾第2雨水幹線下水道築造工事は、平成12年9月に襲った東海豪雨を教訓に名古屋市が新たな雨水対策整備事業を策定し「緊急雨水整備事業」として進めている「雨に強いまちづくり」の一環として、名古屋市南区要町4丁目～上浜町に雨水幹線管きよを築造し、雨水浸水対策を図るものである。本稿では長距離の推進の後に既設管渠に側面地中接合を行った工事の計画および施工について報告する。

2. 工事概要

本工事は図-1および2に示す通り、既設の柴田雨水幹線（下流側）と鳴尾雨水幹線（上流側）の間を推進工事で雨水管きよを築造するものである。

2.1 工事内容

工事名：鳴尾第2雨水幹線下水道築造工事

発注者：名古屋市上下水道局

施工者：奥村・徳倉・エクシオ特別共同企業体

施工位置：名古屋市南区要町4丁目～上浜町

施工方法：土圧式推進工法

呼び径：3,000

土被り：7.5m～7.9m

勾配：0.5‰



図-1 施工位置図

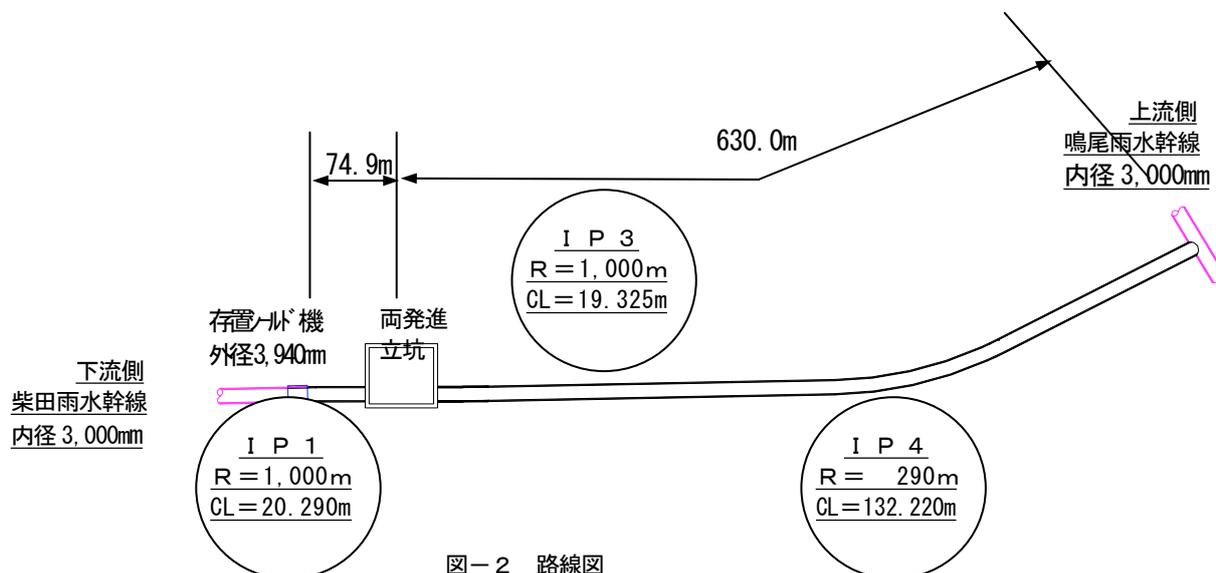


図-2 路線図

2. 2 工事の特徴

2. 2. 1 長距離推進

上流側接合部は、基幹バス路線となっている道路の交差点内であるため、長期間道路占用する立坑の築造は困難な立地である。

路線は民家、店舗等が建並ぶ市街地であるので、発進基地を設ける適地が少ないため 630.0m という長距離推進の必要が生じた。

2. 2. 2 地中接合

上流側に接合する鳴尾雨水幹線は、一次覆工が外径 $\phi 3,800\text{mm}$ 桁高 125mm の鋼製セグメント、二次覆工が厚さ 275mm の無筋コンクリートが施されている内径 3,000mm の管きよであり、86.6 度の角度で接合となる。

地中接合の形状は、**図-3**および**写真-1**の通りである。地中接合は一般的に既設管を補強し、補強した中に新設側を挿入するように到達させる。しかしながら、本工事では外径差が小さいため、既設管鋼製セグメントと新設の掘進機外殻を接合する必要がある。また、接合面は、円筒形と円筒形が重なるため、複雑な面となり立体的には鳥の口ばしのような形状となる。

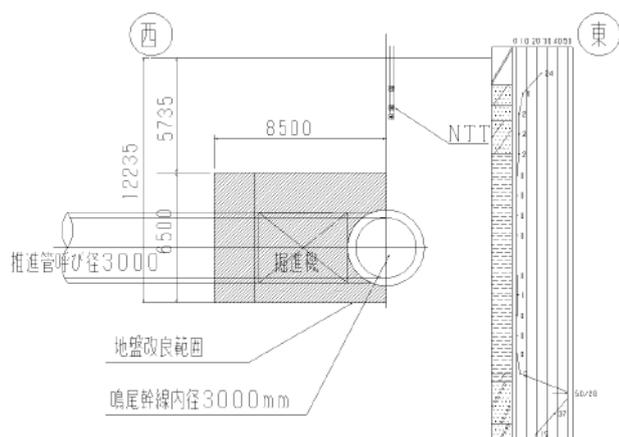


図-3 側面接合図

2. 2. 3 供用中の既設管きよ

鳴尾雨水幹線は、洪水時の貯留管として供用されており、大雨時には雨水が流入することとなる。また地中接合部の出入りは、約 200m 離れた路下にあるポンプ室の鉄蓋からしかできない。

3. 施工上の課題

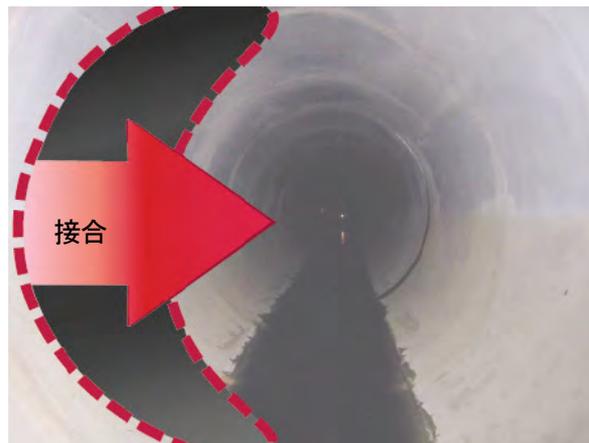


写真-1 上流側到達部
(鳴尾雨水幹線内)

3. 1 地中接合構造

掘進機の先端には、カッターフィッシュテールがあるので、先端がセグメントに到達した段階では、掘進機外殻はセグメントより約 800mm 手前の位置となる。この位置で接合すると構造的に重構造となり地中接合という条件下では、材料の運搬、溶接作業等が多くなり施工が困難である。

また、交角が 86.6 度であるため、左側外殻が既設セグメントに接した時点で、右側はまだ 208mm 離れた位置となる。

3. 2 長距離推進後の再掘進の必要性と課題

3. 2. 1 掘進機の解体

掘進機先端が既設セグメントに到達した後に、カッター部分を撤去し、掘進機を前進させ外殻部を鋼製セグメントに接合させる必要がある。

3. 2. 2 再掘進時の推力上昇の防止

掘進機解体の後に前進させるためには、推力の上昇を抑える必要がある。推力は、停止期間が長くなると上昇するため、できる限り短くする必要がある。

3. 3 接合部山留構造

接合部の掘削は、地盤を高圧噴射攪拌工法により改良された地盤を、素掘する必要がある。周辺への影響を少なくするためには、早期に堅固な山留を施す必要がある。

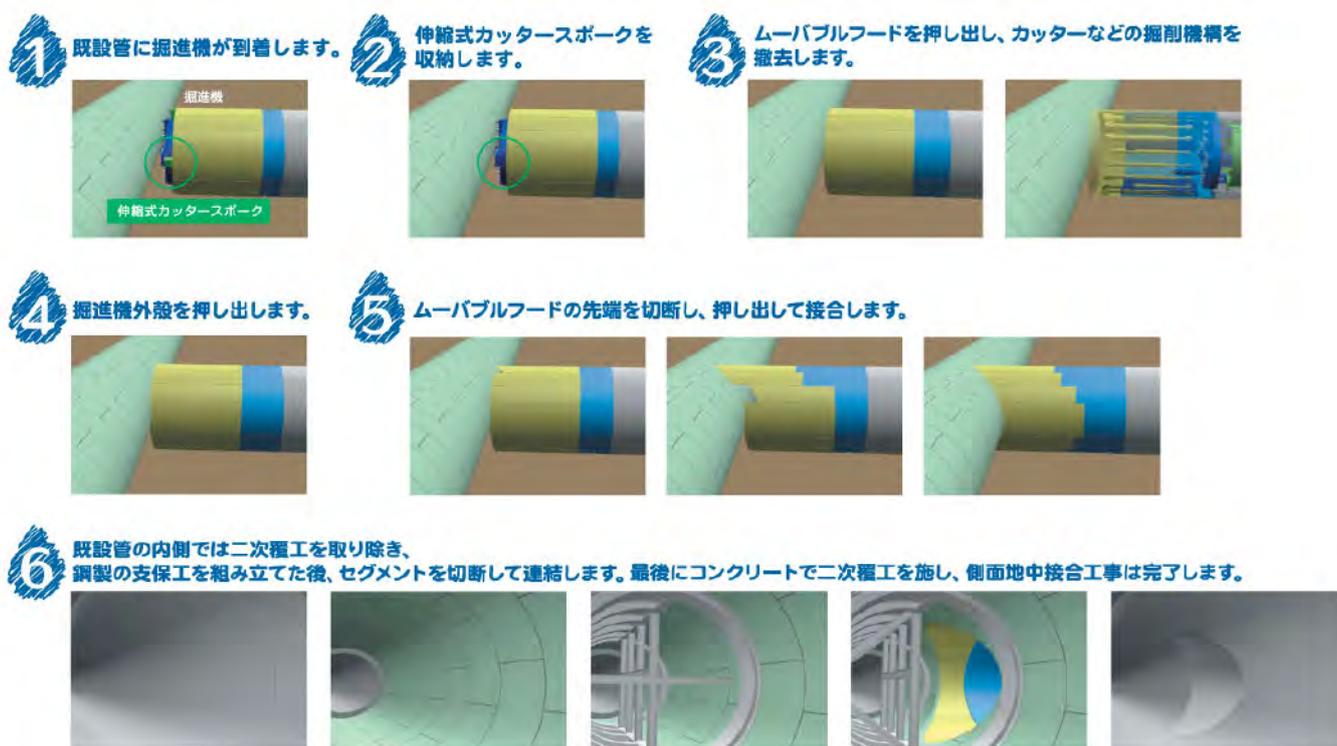


図-4 地中接合手順図

3. 4 既設管二次覆工の撤去

既設管はコンクリートによる二次覆工を施されているので、内部補強および接合するためにコンクリートを撤去する必要がある。コンクリートの撤去は、地中接合による影響区間として 10.56m の範囲であり、コンクリートの撤去量は約 30m³ に及ぶ。

3. 5 作業環境

地中接合作業の作業環境を確保するためには、坑内での溶接や溶断作業を極力少なくする必要がある。

4. 計画

4. 1 地中接合手順の計画

課題を踏まえて、図-4 に示す接合手順を計画した。既設管の補強は掘進機到達前に施工するものとした。

4. 2 接合部山留構造

接合部上部の口ばし状となる部分は、現場での作業を少なくし堅固な山留構造となるムーバブルフードを装備し、到達時に張り出し接合する構造とした。

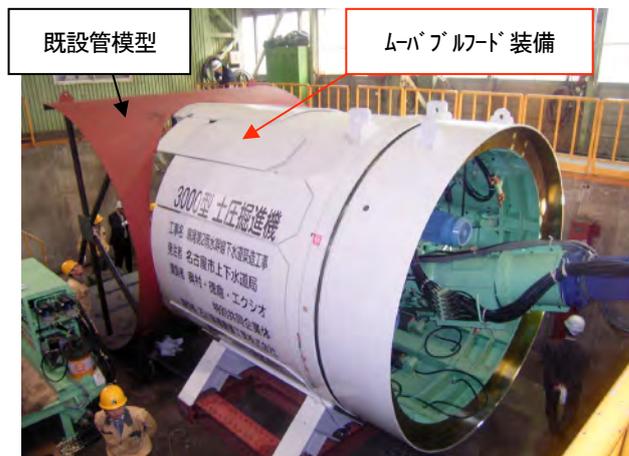


写真-2 掘進機

4. 3 掘進機解体の迅速化

掘進機の解体は、一般的にはカッターやカッター駆動部などを個々に溶断作業により解体する。本工事では、解体期間の短縮と解体による作業環境の悪化を防ぐ必要がある。先端到達後の停止期間が短縮するため、掘進機を迅速に解体できるようにカッターや駆動部等を内蔵した内殻を一体として解体・搬出・回収できる「やどかり君」を採用した(写真-2、図-5参照)。

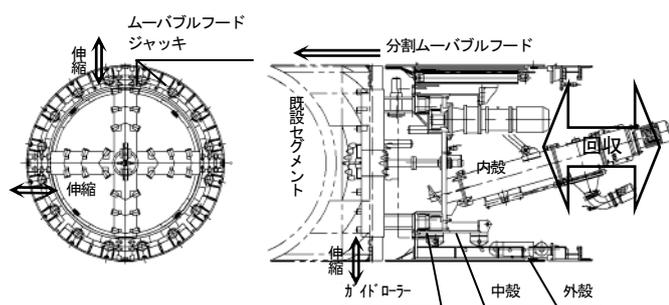


図-5 内殻一体型掘進機
「やどかり君」

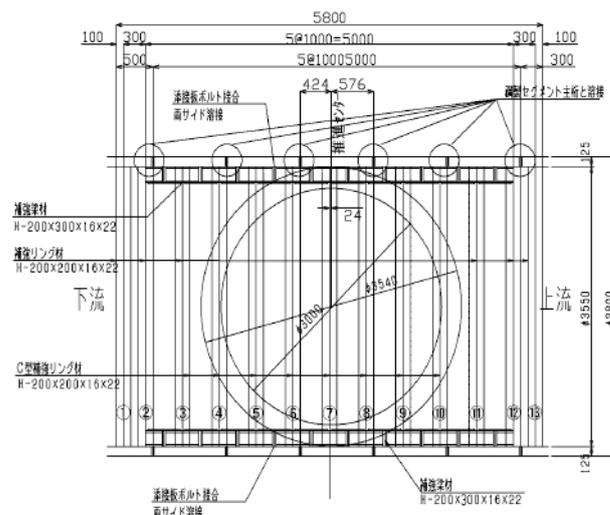


図-6 補強縦断図

4. 4 既設管補強

構造計算結果にもとづき、コンクリートの填充性、セグメント主桁との添接、坑内での人力作業等を考慮して、図-6、7に示すような構造とした。

5. 施工

5. 1 到達

5. 1. 1 掘進機先端到達

掘進機先端のカッターフィッシュテールが既設セグメントに到達した時点で、既設セグメントに設けた点検口より位置確認を行い、チャンバー内の掘削土を撤去し内殻を引き抜き、後方30mまで移動させた。ここまでの作業に7日間要し、この間推進管から二次滑材注入を行い推力の上昇を防止した。

5. 1. 2 再掘進

掘進機の外筒部分である外殻がセグメントにあたるまで掘進を行い、到達させた。推力は停止前より上がったが15,000kN程度で、元押しジャッキ能力内で推進を行うことができた。

5. 1. 3 ムーバブルフード張り出し

外殻到達後、前面の地盤改良土を人力により撤去し、伸長量の少ない側部より順次ムーバブルフードを押し出し、鋼製セグメントの形状にあわせ切断し溶接により接合を行った。ムーバブルフード間の隙間を鉄板で塞ぎ、地山を覆工するまでに3日間要した。この間、少量の湧水はあったものの地山の緩みや崩壊、周辺地盤への影響もなく接合作業は完了した。

5. 2 既設管補強工

5. 2. 1 既設管二次覆工撤去

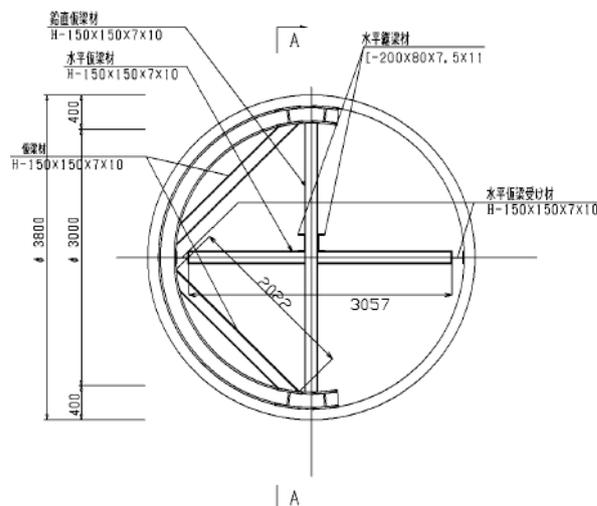


図-7 仮補強図

既設管の二次覆工の撤去は、コンクリート破砕機械を坑内に入れることができないため、直接人力等により破砕することとなる。また、一次覆工のセグメントを傷めることが懸念された。

人力で撤去するには多量であり多くの日数を要し、作業者に劣悪な作業環境を長期に曝すこととなる。

そのため、人力破砕作業の軽減化を図るため写真-3に示すように、二次覆工コンクリートにコア抜きにより自由面を作り、さらに二次覆工厚さ分のカッター溝を設け、その中に袋状の鉄板が水圧により膨らむ水圧板ジャッキを挿入し、ジャッキ圧力により二次覆工と鋼製セグメントを剥離させる方法を用いた。

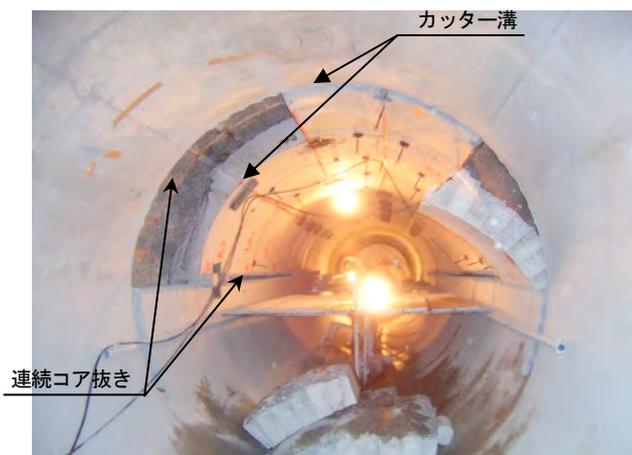


写真-3 二次覆工撤去状況

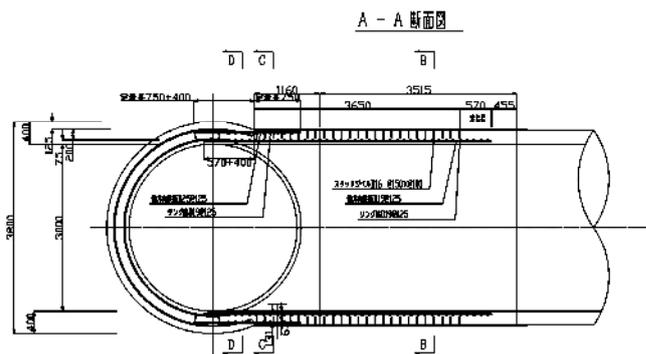


図-8 二次覆工図

既設管補強部材、既設セグメントに自動計測機器を取付け、表-1の変位や応力を測定した。

5.2.2 既設管補強工

既設管は、C型リング構造であるH形鋼により補強を行った。開口面積が大きいため、水平・鉛直に設けた仮設部材で支え、二次覆工コンクリート打設後に部材の撤去を行った(写真-4参照)。

5.2.3 二次覆工



写真-4 既設管補強

二次覆工の鉄筋が非常に密なため、外筋の一部は掘進機の外殻で代用し、外殻にスタッドジベル筋を取付け、鉄骨鉄筋コンクリート構造とし、密な鉄筋の中を行き渡るように高流動化コンクリートを使用した(図-8参照)。

5.3 計測工

5.3.1 計測項目

表-1 計測内容

| 計測項目 | 計測箇所 |
|------|--------------------------|
| 応力測定 | 補強梁、C型補強リング、仮補強材、既設セグメント |
| 変位測定 | 既設管きよ |
| 管理値 | 応力：許容応力度の80% 変位：5mm |

5.3.2 計測結果

①掘進機到達時

掘進機が、地盤改良範囲に到達直後に既設管きよが押される方向に最大1.3mmの変位が生じた。変位状況を把握しながら掘進を行い、切羽土圧値を下げ掘進した結果、変位はこの値以上大きくは生じなかった。

応力は、到達時には各部材において4~5N/mm²程度の瞬間的な応力が確認できたが、微小なものであった。

②外殻到達時

変位、応力とも微小な変動であった。

③接合作業

地盤改良土を撤去中に、掘進機到達時に生じた変位が元に戻る方向に2mm生じた。これは既設セグメント側部の土砂が除去されたために、圧力が開放されたことによる考えられる。

応力は部分的に最大30N/mm²程度の引張応力が発生したが、一次管理値(許容応力度×80%)に比べ、18%

程度と小さなものであった。

④既設セグメント撤去

応力は部分的に最大 $15\text{N}/\text{mm}^2$ の圧縮応力を確認した。生じた開口による応力が補強部材に受け代わった結果と考えられる。

⑤仮設斜材撤去

仮設斜材の撤去に伴い顕著な変動が見られた。C型リング材において最大 $70\text{N}/\text{mm}^2$ の応力増加、補強梁材において最大 $25\text{N}/\text{mm}^2$ 、既設セグメントにおいて $10\text{N}/\text{mm}^2$ の応力増加が見られた。

⑥コンクリート打設、仮設鉛直材撤去

コンクリート打設によりC型リング材において、応力が局部的に一次管理値の85%程度となる箇所が生じた。

既設セグメントはコンクリート打設による影響で $50\sim 70\text{N}/\text{mm}^2$ の応力増加傾向も見られた。

仮設鉛直材撤去に伴う顕著な応力増加は見られなかった。

⑦事後計測

仮設鉛直材撤去後、1ヶ月にわたり事後計測を実施したが、どの部材においても計測値に変化はなく安定した値となっており、収束していることが確認できた。

⑧まとめ

非常に複雑な構造であること、既設セグメントの事前の応力状態が把握できないことなどから計測を実施したが、大きな応力や変位は発生することなく完了できた。特に鉛直仮設部材の撤去時には、コンクリートのクラックの発生が懸念されたが、大きな応力増加も生じずクラックの発生もなかった（写真-5参照）。

6. 終わりに

本工事は、長距離推進の最後に地中接合を行うため、推力の上昇をいかに抑えるかが最大の課題であり、地中接合作業の迅速性が最も重要であった。内殻一体型の掘進機の採用により解体作業が速やかに終わり、再掘進時の推力が大きく上昇することがなく、接合作業も順調に進めることができた。また、複雑な地中接合構造にもかかわらず、大きな変位や応力も発生しなかった。

発注者、社内外からの支援、綿密な計画、全作業員

が地中接合作業を把握することにより、スムーズに作業が進み無事工事を完了することができた。これはひとえに関係各位の尽力の賜物と感謝しております。本稿を借りて厚く御礼申し上げます。



写真-5 完成状況

33. 両発進立坑における長距離・高速掘進シールドの施工実績

鹿島建設株式会社中央幹線工事事務所
木田 博光、○江森 道雄、山田 敏博

1. はじめに

本工事は、東京ガス(株)がガス供給の安定確保を図るため、新たな高圧幹線として全長 23.1km の高圧ガス幹線「中央幹線」(図-1 参照)を建設する工事である。

シールド工事はトンネル1本あたりの目標月進量を 400m (掘進長 3 km まで)とし、5 台のシールド機にて 2 箇所の両発進立坑と 1 箇所の発進立坑から同時施工を行った。

このうち 2 箇所の両発進立坑では、プラント用地も含め 1,000 m² 前後の極めて少ない敷地条件の中で毎月 800m 以上必要となるセグメント他資材の受入れ、また目標月進量確保のために到達時点まで掘進サイクルを変えない切羽へのセグメント供給方法等の課題があった。そこで親子シールド、立体自動倉庫を応用したセグメントストックシステム、坑内へのセグメント搬送を最大 4 リング一括搬送で行うことで搬送時間の短縮を図り、これらの課題に対応した。

本稿では、最大月進量 1 km となった進捗に対しても資材の受入れと供給は十分に対応できた設備の概要及び施工実績について報告する。

2. 工事概要

(1) 工事件名

中央幹線建設工事 シールド工事

(2) 施工場所

始点：葛西ガバナステーション (葛西GS)

終点：草加ガバナステーション (草加GS)

(3) 企業者

東京ガス株式会社

(4) 施工者

鹿島・清水・大林・大成建設共同企業体

(5) シールド工事期間

平成 15 年 10 月～平成 19 年 6 月

(配管工事及び立坑埋め戻し期間含まず)



図-1 中央幹線ルート図

3. 施工条件

(1) 進捗量

シールド機 1 台の掘進長は最大 6.3 km と長距離であるが、月進量は掘進長にあわせて下記のように設定した。

3 km まで：月進 400m (日進 20m)

3 km～4 km：月進 350m (日進 18m)

4 km 以上：月進 300m (日進 16m)

(2) セグメント

セグメントは本設構造物とし、腐食代 2 mm を考慮すると共に、土質・施工条件に応じタイプを変えた (17 タイプ、31 種類)。坑内断面を図-3 に示す。

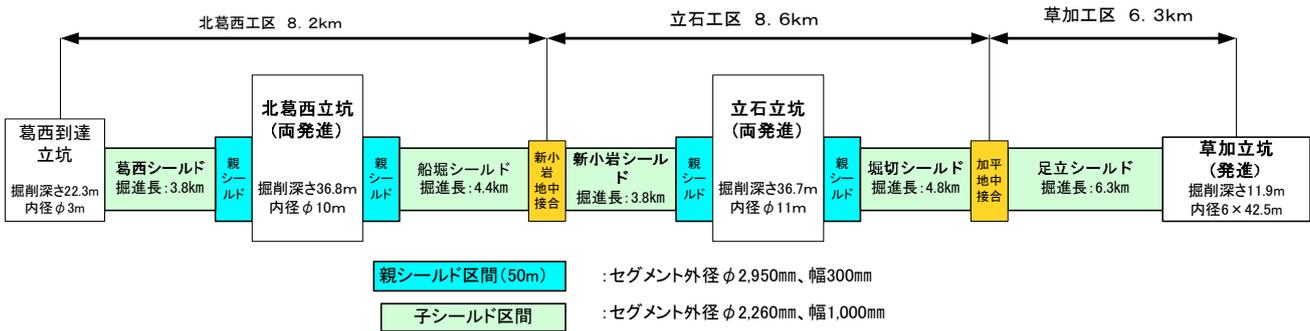


図-2 シールド工事概要

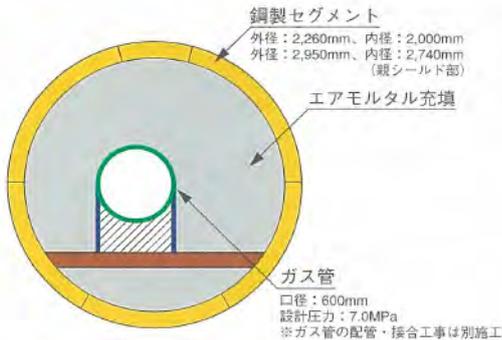


図-3 坑内断面図

(3) 両発進立坑

立石立坑と北葛西立坑は密集市街地内であり、全て民地を利用した両発進立坑とし、最低限の面積で施工することとした。両立坑の敷地面積は、立石立坑が 1,051 m²、北葛西立坑が 870 m²であった。

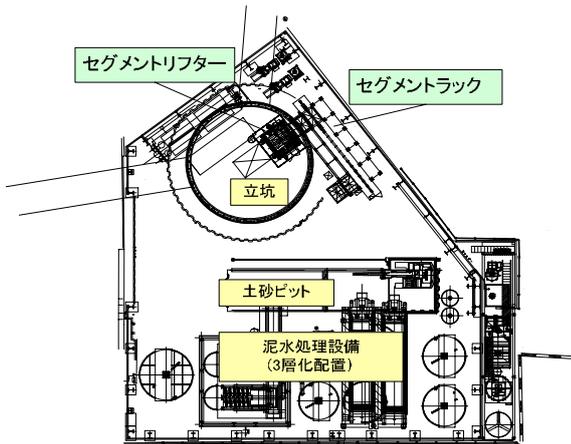


図-4 立石立坑平面図

4. セグメント供給の問題点と対策

シールド工事は泥水加圧式シールド工法で施工したため、立坑用地の 50%程度を泥水処理設備で占めた (図-4 参照)。そのため毎日 40 リング以上

必要となるセグメント他の資材は、残った用地内でのようにして受入れ、坑内への供給を円滑に行うかが重要な課題であった。

これを実現するために課題となった項目と対策について地上部及び立坑部を表-1に、坑内運搬部を表-2に示す。

表-1 地上部及び立坑部課題と対策

| 課題 | 対策 |
|--|---|
| 極めて少ない面積で、セグメント2日分程度 (80 リング以上) の保管場所を確保する。 | セグメントラックを設置し、高層化ストックを行う。 |
| 本設扱いで異なる仕様のセグメントを各切羽へ供給する必要がある。 | セグメントの在庫は、ラックの棚番号で管理し、払い出し順序は測量結果を元に決定する。 |
| 天井クレーン1台では、セグメント受入と立坑投入で 100 リング近いセグメントの荷捌きが不可能。 | セグメントリフターを設置し、立坑下までのセグメント供給を自動化する |
| 立坑深度が 30m以上で、片番最大 30 リング程度のセグメント投入が必要。 | |

表-2 坑内運搬部課題と対策

| 課題 | 対策 |
|--|--|
| 円形立坑下でのセグメント積込スペースの確保 | 親子シールドを採用し、セグメント積込スペースを確保する。 |
| 小口径のため船形運搬では、ロコの坑内での離合は不可能 | 親区間でロコの離合を行う。 |
| 到達時点でも、掘進サイクル (40 分/リング) に見合うセグメント供給を行う。 | 坑内 (切羽) へのセグメント供給を最大 4 リング一括搬送で行う (図-7 参照) |

5. 各設備の構成

セグメントストックシステムは、トラックで運ばれてきたセグメントを一時保管するセグメントラックとラックから立坑下までセグメントの垂直搬送を行うセグメントリフターから構成される。(図-5参照)

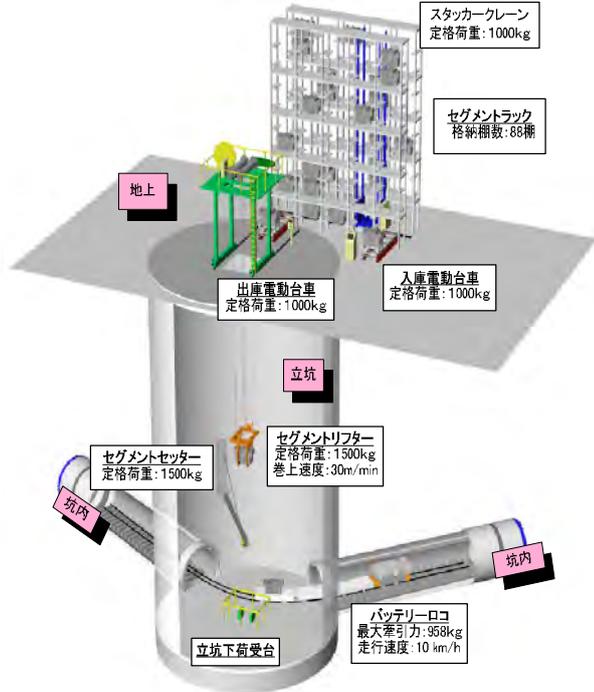


図-5 セグメントストックシステム構成図

表-3 主要設備仕様一覧

| 天井クレーン | |
|------------------|-----------|
| 定格荷重 | 4.8t |
| 操作方式 | リモコン |
| セグメントラック | |
| セグメント保管数 | 88'リング |
| 定格荷重 | 1.0t |
| 操作方式 | 全自動 |
| 所要床面積 | 40㎡ |
| 1'リングあたり | 0.45㎡/リング |
| 垂直搬送機(セグメントリフター) | |
| 定格荷重 | 1.5t |
| 昇降速度 | 30m/min |
| セグメント把持 | パワーシリンダー |
| 操作方式 | 全自動 |
| セグメントセッター | |
| 定格荷重 | 1.0 t |
| 操作方式 | ペンダントスイッチ |
| 台車部荷受け装置 | |
| 定格荷重 | 0.9t×8箇所 |
| 巻き上げ速度 | 4.6m/min |
| 昇降方式 | 油圧シリンダー |
| 操作方式 | リモコン |
| 切羽部搬送装置 | |
| 定格荷重 | 0.49t |
| 巻き上げ方式 | エア-ホイスト |
| 操作方式 | ペンダントスイッチ |

また坑内搬送部は、バッテリーロコで搬送されてきたセグメントを一括荷受する台車部荷受け装置、エレクターへセグメントを供給する切羽部搬送装置と両装置間でセグメントを移動する自走台車にて構成される。

切羽までのセグメント搬送手順を、図-6のセグメント搬送フローに示す。搬入されたセグメントをラック荷受け台へセット後、セグメントタイプを指定してラックへ入庫する。坑内への投入は、測量結果をもとに出庫セグメントを設定すると、その後立坑下までの搬送は、セグメントリフターにて自動で行われる。立坑下ではセグメントセッターでセグメント台車に積み込み切羽まで運搬し、台車部荷受け装置へセグメントを供給する。(図-8参照)。

主要設備の仕様一覧を表-3に示す。

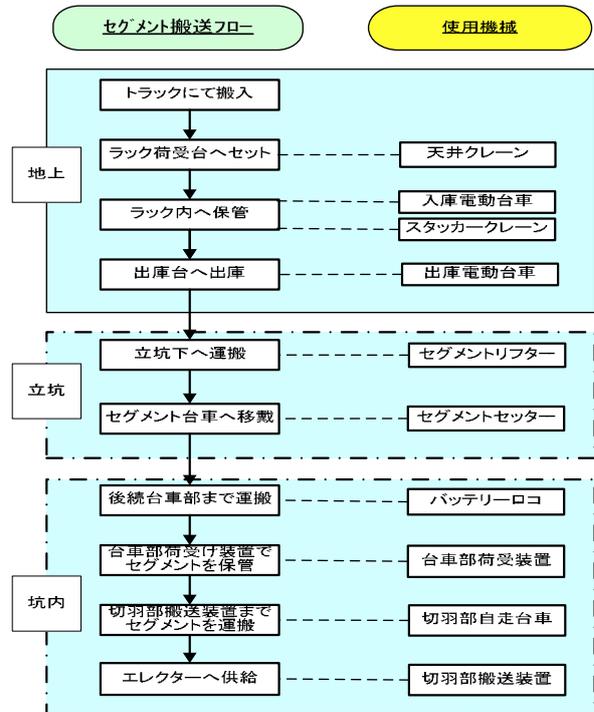


図-6 セグメント搬送フロー



写真-1 セグメントラック

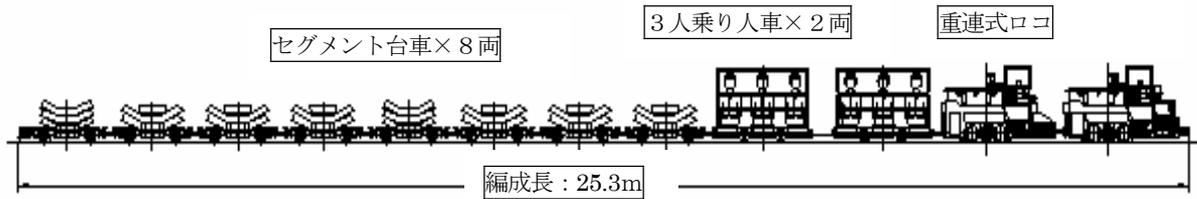


図-7 4リング搬送時バッテリーロコ編成

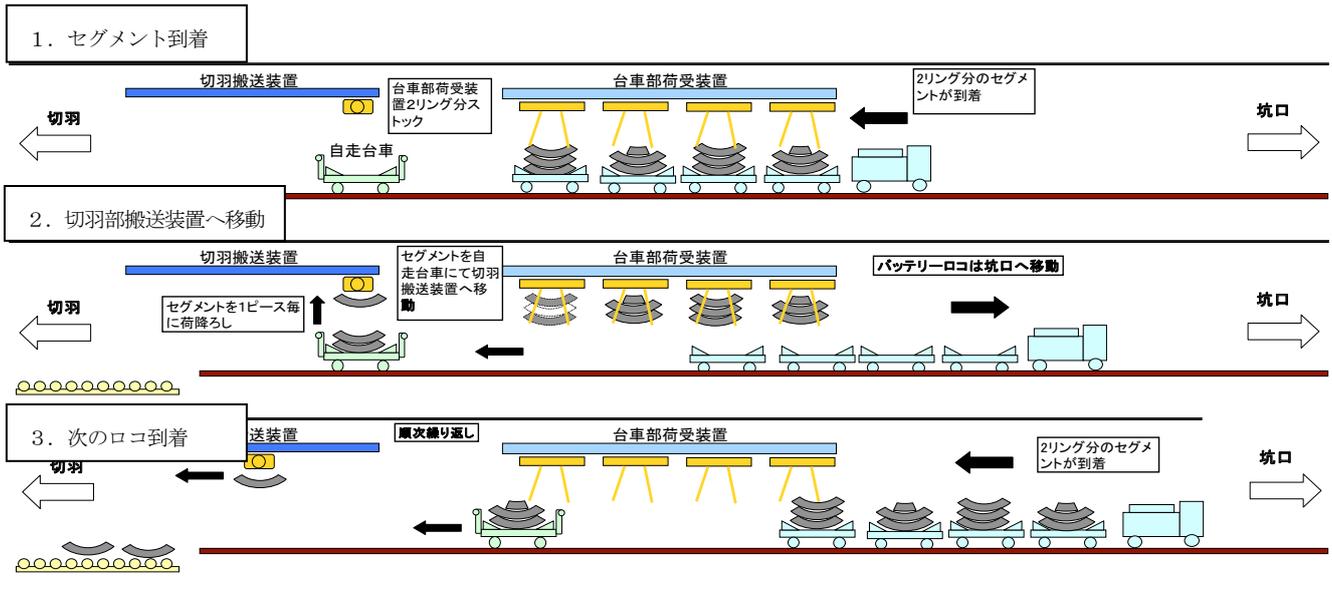


図-8 切羽部セグメント搬送フロー(2リング運搬時)

6. 設備使用実績

(1) セグメントラック

1) セグメント保管スペースの低減

セグメントラックに収納した場合のセグメント1リングあたりの占有面積は、表-2に示したように、0.45㎡であった(立石立坑)。これは88リング分のセグメントを平置きした場合の面積の約20%であり、セグメント保管スペースの低減に大きく寄与できた。

2) セグメント保管

立石工区のセグメントラックは、使用するセグメントタイプの90%以上が桁高100mmであったので、桁高100mm専用とした。土質により一部桁高が高いセグメントを使用する場合は、セグメントを3ピース毎に分割して収納した。北葛西工区については桁高150mm仕様のラックとして、桁高100mmから140mmまでのセグメントに対応できるようにした。各工区とも急曲線用の300mm幅セグメントについては、



写真-2 ラック入庫部



写真-3 セグメントリフター

ベルトスリングで2リング分を固縛してラック内に収納した。

セグメントの出庫順序は、日々の測量結果をもとにJV職員が各シールド別のセグメント出庫予定を毎日管理用パソコンに入力し、管理・指示した。従って立坑上作業員は、「出庫ボタン」を押すだけでセグメントを出庫できたので、セグメントの出庫間違いを防止することができた。

(2) セグメントリフター

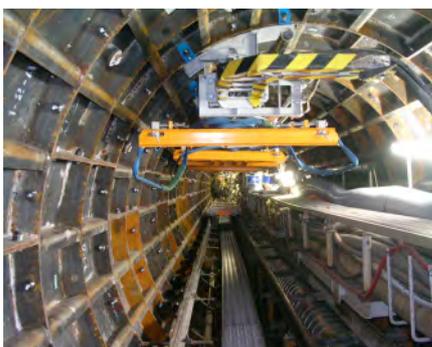
立坑下まで30mを超える大深度立坑であったが、専用の吊具を用いたリフターを使用したことにより、高速かつ安全に自動でセグメント供給を行うことができた。

(3) 坑内搬送実績

切羽へのセグメント供給については、どの工区も到達までサイクルタイムに影響を与えることなく、セグメントを供給できた。台車部荷受け装置部の通路については、緊急時の通路を確保するため配管受け台車を製作し、その上に通路を設置した。(写真－4参照)



写真－4 台車部荷受け装置（吊り上げ時）



写真－5 台車部荷受け装置(待機時)

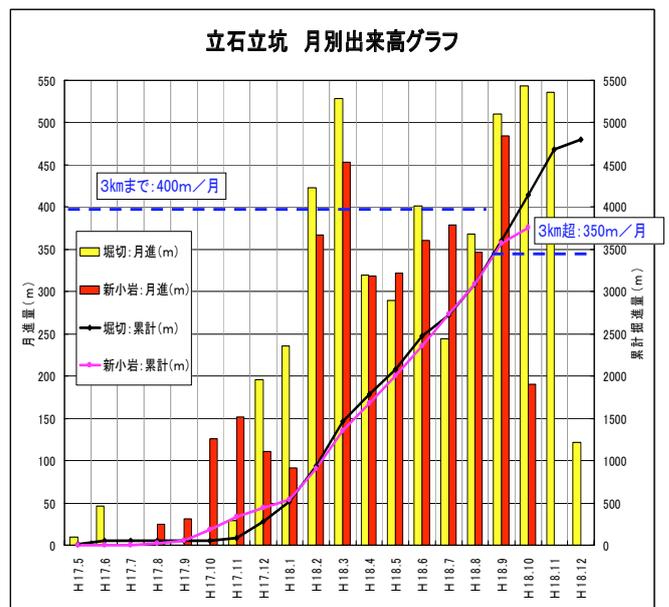
7. 掘進実績

(1) 掘進実績

両発進立坑のうち立石立坑の掘進実績を図－9に示す。土質に起因する掘進低下はあったものの、長期休暇・段取り替え等を除けば、当初計画した進捗量を確保でき、堀切シールドでは最大月進543m、新小岩シールドでは485mを達成した。なお最大月進量は船堀シールドの552mであった。

また1立坑の進捗量としては、立石立坑においては最大月進995m、北葛西立坑では最大月進856mを達成することができた。

土質により進捗量が低下したのは、当工事のシールドマシンは砂層の長距離掘進に主眼を置きビットを配置したため、洪積粘土の中でも特に粘着力が高い土質での面板閉塞、想定外の礫層による排泥管閉塞などが工程に影響を与えたものである。



図－9 掘進実績（立石立坑）

(2) 掘進長による進捗量の影響

計画段階では掘進長によって月進量が低下すると考えられたが、図－10に示すようにそのようなこともなかった。堀切シールドは地中接合の後着シールドであり、約1.5ヶ月工期短縮して到達したことで、地中接合工以降の全体工程短縮に大きく寄与した。

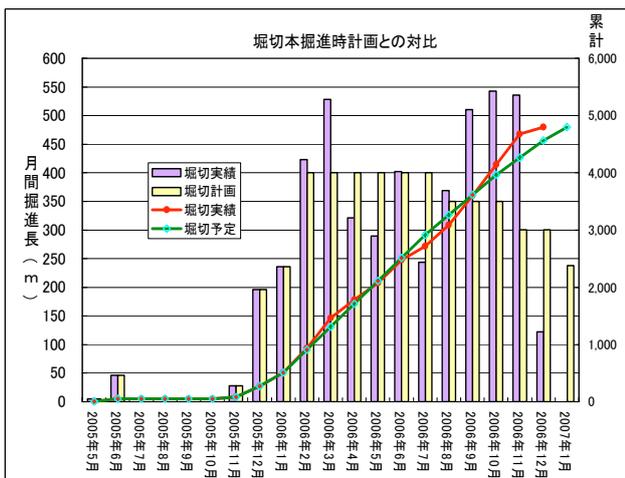


図-10 計画工程との対比(掘切シールド)

(3) 地中接合

加平及び新小岩の地中接合は、新開発した「フード部スライド+貼付凍結」方式の機械式地中接合を採用した。本工事のような超長距離施工では必ずしも先着予定のシールド機が先に接合地点に到達するとは限らない。そこで、シールド機は先着側・後着側のどちらでも対応可能とし、接合する2台のシールド機のうち、どちらか先着したシールド機が受入側となるようにした。また接合部の止水方法として貼付凍結を採用し、凍結工法にて止水実施後、マシンの解体及び接合部の止水溶接を行った。施工は先着シールド機の切羽に凍結設備を設置して行い、凍結準備からマシン解体完了まで1ヶ月程度で施工できた。



写真-6 地中接合状況

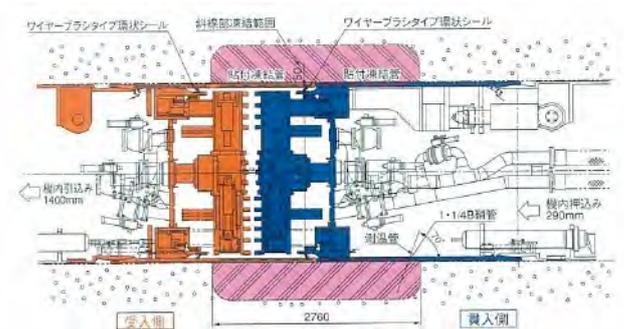


図-11 地中接合状況図

8. おわりに

シールドトンネル施工は都市部密集地域の極めて狭い立坑用地の中、両発進の長距離高速掘進シールドを2本同時に施工するために、セグメントの受入及び切羽への供給をいかに円滑に行うかが最大の課題であった。残土搬出を含めると1日50台近くの車両が出入りする中、最新の技術及び創意工夫でこの問題を克服した。

総延長 23.1 kmのシールドトンネルは、地中接合も極めて高精度で完了し、平成19年6月より配管工事の施工を開始した。

本工事は技術提案型指名競争入札(設計施工)により当社の提案が総合評価の結果、採用されたものである。今後当工事のように、立坑用地の小面積化と長距離高速施工化が進むと思われるが、そのような案件に本実績が活用できれば幸いである。

参考文献

木原晃司、矢口岳彦、木田博光、上原啓史：小口径親子シールドで大深度・長距離の高圧ガス管路を建設、トンネルと地下、Vol.38、No.2、2007 Feb

34. 空気の力を利用してトンネルを安全に構築

無水削孔システム「WALDIS（ウォルディス）」を開発

鹿島建設株式会社 機械部 佐藤 政昭
鹿島建設株式会社 機械部 ○牟田口 茂

1. はじめに

近年、経済性や断面の自由性などにより、NATMが都市部や低土被りのトンネル掘削に採用されることが多くなっている。このような場合、安全で効率的な施工を行なうためには適切な補助工法の適用が不可欠となっている。

補助工法のうち、掘削に先行してトンネル外周にアーチ状の地山改良体を形成するAGF工法は、図-1に示す鋼管打設を必要とする。

今回、周辺環境への影響を最小限に抑えながら、高品質な地山改良体を形成する鋼管打設の新工法を開発したので報告する。

2. 開発の背景

NATMでは、地質条件の悪い区間を施工する場合、切羽崩落防止や地山の緩み防止を目的として、ボルト材又は鋼管と注入材によって地山を先行補強するのが一般的である。鋼管と注入材を用いたAGF工法は、先行緩みの抑制効果に優れ

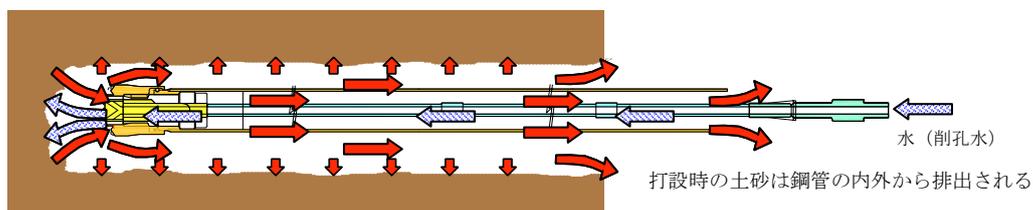


図-1 AGF工法

ているため、数多く採用されている。しかし、鋼管打設時の土砂は水で排出されるため、地山条件によっては、洗掘により予定した直径以上の孔が空き、注入材が十分に充填されないケースがある。さらに、水により地山を緩めてしまうなどの課題がある。

当社は、課題解決のため、圧縮空気をを用いて鋼管打設時の土砂を鋼管内部のみから排出する「WALDIS工法：ウォルディス工法」を考案しトンネル工事に採用した。

[従来工法]



[WALDIS工法]

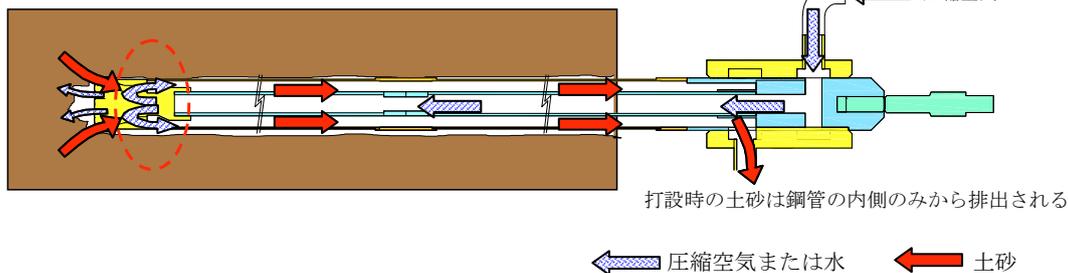


図-2 従来工法とWALDIS工法の概要

3. 開発の内容

(1) 圧縮空気による鋼管内部からの土砂排出
従来工法とWALDIS工法の概要を図-2に示す。

両工法とも注入剤の圧入が可能な有孔鋼管を、二重管方式で打設する。従来工法では、土砂は鋼管の内外を通過して水とともに排出される構造となっている。一方、WALDIS工法は、打設に圧縮空気を使用し、土砂は鋼管内部のみから排出する構造となっている。これにより、孔壁洗掘のない鋼管打設が可能となった。

(2) アタッチメント及びビットの開発

NATMで標準的に使用するドリルジャンボに簡単に装着できるWALDISビットとアタッチメントを開発した。特殊設備やドリルジャンボの改造が不要となり、経済性については従来工法と同等とした(写真-1、2)。

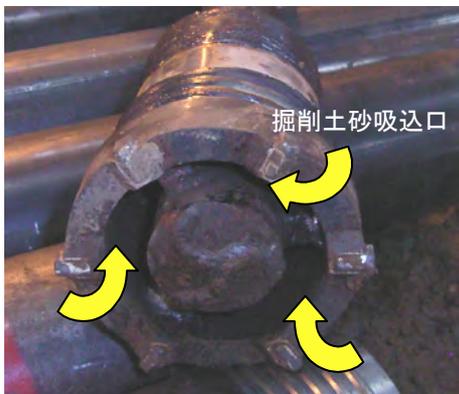


写真-1 WALDISビット



写真-2 WALDISアタッチメント

4. 試験施工

本工法の効果を確認するため、試験施工を実施した。地質を表-1に示す。試験施工は両工法それぞれについて12.5m×2本の鋼管を打設した。両工法ともにそのうちの1本は鋼管から注入剤(シリカレジン)を注入した。

試験施工の状況を写真-3に示す。

表-1 試験施工時の地質

| 項目 | 単位 | 数量 | |
|-------|-------------------|------|------|
| 湿潤密度 | g/cm ³ | 1.80 | |
| 自然含水比 | % | 40.6 | |
| 粒度分布 | 礫分 | % | 20.0 |
| | 砂分 | % | 15.5 |
| | シルト分 | % | 34.6 |
| | 粘土分 | % | 29.9 |
| | 最大粒径 | mm | 26.5 |
| 液性限界 | % | 62.3 | |
| 塑性限界 | % | 32.0 | |



写真-3 試験施工状況

鋼管打設後に鋼管を撤去し、孔内の状況をボアホールカメラにより撮影した(写真-4、5)。

従来工法では、孔壁洗掘により予定した直径より大きな径となっている。

一方、WALDIS工法では孔壁洗掘が見られず、きれいな円形を保っている。



写真-4 孔内写真（従来工法）



写真-5 孔内写真（WALDIS工法）

注入剤による鋼管周囲の地山改良効果を確認するため、シリカレジンを注入を実施した。注入方式には鋼管周囲の改良効果をより高めるためパッカーを中間に二カ所設置して均等注入をはかるステップ注入を採用した。

シリカレジンの注入速度は3kg/分とし、設計量を注入した時点で停止した。図-3、4に注入量及び注入圧の経時グラフを示す。

注入完了後、鋼管周辺を掘削し鋼管周辺への注入状況を目視により確認した。鋼管外周へのシリカレジンの平均付着厚は、従来工法では30mm、WALDIS工法では2mmである。

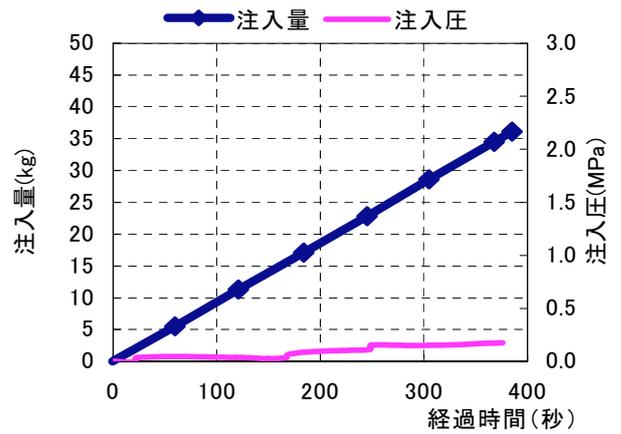


図-3 注入経時グラフ（従来工法）

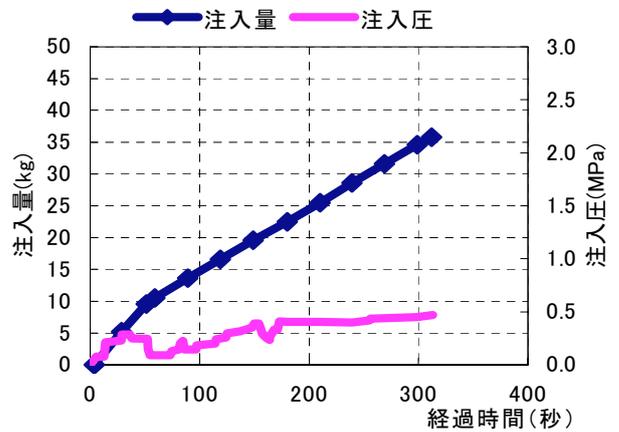
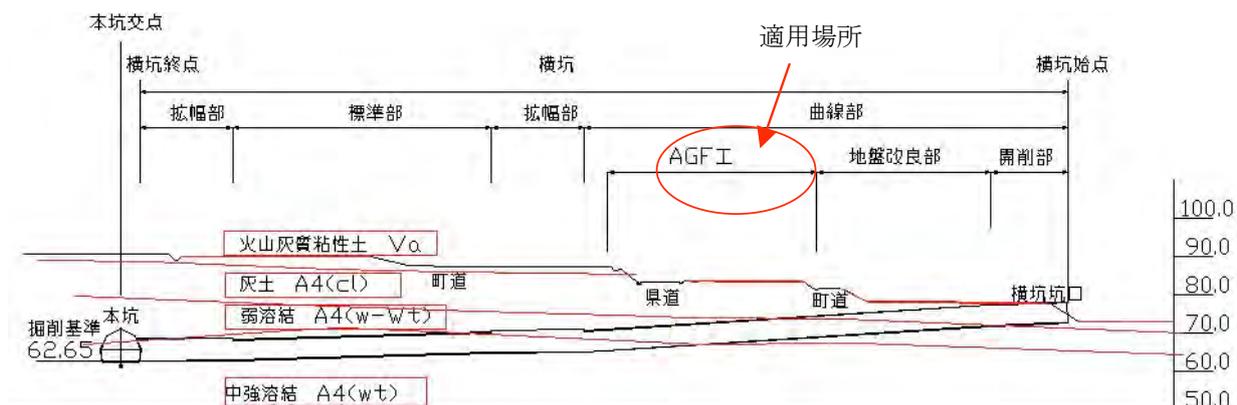


図-4 注入経時グラフ（WALDIS工法）

写真-6 にシリカレジンの付着状況（従来工法）を示す。



写真-6 鋼管周辺のシリカレジンの付着状況（従来工法）



図－４ 縦断面図

注入後の鋼管周辺掘削による目視確認と注入時の圧力変化により次のことがわかった。

従来工法では注入剤が地山の亀裂に浸透せず、鋼管周辺への空隙充填にとどまっていた。注入時の圧力上昇がほとんどないことから、同様のことが推測できる。

一方、WALDIS工法では、鋼管周辺から地山への割裂注入が目視により多数確認できた。写真－7に割裂注入状況を示す。注入時の圧力は初期注入圧から0.4MPa上昇し設計注入量を完了した。圧力上昇過程では数回圧力低下が見られるが、これは地山への割裂注入が進展しているものと推測できる。



写真－7 シリカレジン割裂注入状況 (WALDIS工法)

幹線建設局発注)の横坑低土被り区間を当工法により施工し、2007年8月に無事に低土被り区間の施工を完了した。

適用区間の最小土被りは7m、施工延長は27mである。WALDIS工法によるAGFが3シフト採用され実施工において順調に施工できたことを確認した。適用区間の縦断面図を図－4に、現場施工中状況を写真－8に示す。



写真－8 現場施工状況

6. 今後の展望、課題

試験施工及び実際の現場施工への適用により本工法が周辺環境への影響を最小限に抑えながらトンネル外周にアーチ状の高品質な地山改良体を構築できることを確認した。今後はさらに低土被り部及び脚部補強等に積極的に採用し適用範囲を拡大したいと考えている。

5. 現場への適用

試験施工により技術的課題を解決し、九州新幹線新田原坂トンネル工事(鉄道・運輸機構九州新

35. 音源探査装置の開発と騒音防止対策への活用に関する研究

○ 大脇雅直, 財満健史 (熊谷組)
山下恭弘 (信州大学)

1. はじめに

工場や鉄道、道路などの騒音防止対策を検討する場合、騒音の発生源を特定し、騒音防止対策を行う必要がある建物部位や機械を明確にすることは、効率良く対策を行う上で非常に重要である。しかし施設が広大であったり、騒音源となる機器が複数存在したりするような場合、音源や対策部位を特定するために多くの時間と労力を要する。筆者等は、現場へ簡単に持ち運びができ、その場で結果を見ることができる音源探査装置の開発を行っている^{1) 2)}。本装置は対策を必要とする音源に対して仮想の防音壁を設定し、防音壁の効果の予測を行う機能を持っている。本報では音源探査装置と防音壁の効果の予測を行う機能の概要について述べ、次に本装置を活用して防音対策を検討した事例について報告する。

2. 音源方向の推定方法

5 個のマイクロホンを用いて音源方向を推定する方法を示す。マイクロホンを図 1 に示すように配置する。M1~M5 はマイクロホン、L は水平面のマイクロホン間隔とする。ここで、音源はマイクロホン位置から充分離れており、平面波として入射すると仮定する。図 2 にマイクロホン M_i—M_j 間における平面波の進行距離の概念図を示す。D_{ij} を M_i に対する M_j の時間遅れ(sec)、c を音速(m/sec)とする。M_i, M_j を通過する平面波の進

行距離は D_{ij} · c (m) となる。図 1 における水平角を θ (°)、仰角を φ (°) とすると、M₂—M₄ 間および M₃—M₅ における平面波の進行距離は式(1)、(2)で表される。

$$D_{24} \cdot c = L \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi \quad (\text{m}) \quad (1)$$

$$D_{35} \cdot c = L \cdot \sin \theta \cdot \sin \phi \quad (\text{m}) \quad (2)$$

次に、XZ 平面および YZ 平面における進行距離を求めると式(3)、(4)となる。

$$(D_{13} + D_{15}) \cdot c = \sqrt{3} \cdot L \cdot \sin \phi_x \cdot \cos \theta \quad (\text{m}) \quad (3)$$

$$(D_{12} + D_{14}) \cdot c = \sqrt{3} \cdot L \cdot \sin \phi_y \cdot \cos \theta \quad (\text{m}) \quad (4)$$

但し、φ_x, φ_y はそれぞれ XZ 平面、YZ 平面に入射する仰角である。ここで、式(3)、(4)の右辺は等しくなるので式(5)の関係で表せる。

$$\begin{aligned} D_{1a} + D_{1b} &= D_{12} + D_{14} = D_{13} + D_{15} \\ &= \frac{D_{12} + D_{14} + D_{13} + D_{15}}{2} \end{aligned} \quad (\text{m}) \quad (5)$$

水平角は式(1)、(2)から式(6)で、仰角は式(1)、(2)、(5)から式(7)で表せる。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{D_{35}}{D_{24}} \right) \quad (6)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{D_{12} + D_{14} + D_{13} + D_{15}}{2\sqrt{3} \cdot \sqrt{D_{24}^2 + D_{35}^2}} \right) \quad (7)$$

なお、式(6)、(7)の D_{ij} は、2 個のマイクロホンに入力

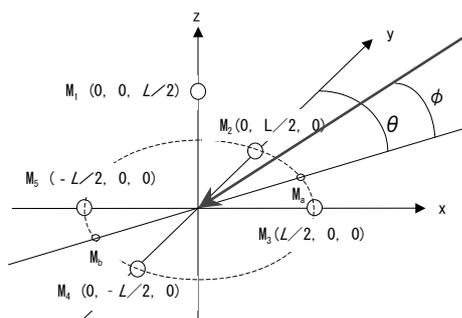


図 1 マイクロホンの配置

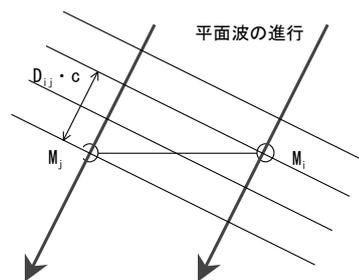


図 2 平面波の進行距離の概念

される信号のクロススペクトル $P_{ij}(f)$ を求め、対象とする周波数の位相情報 Ψ から求めることができる。

$$D_{ij} = \frac{1}{2\pi f} \psi[P_{ij}(f)] \quad (8)$$

但し、 f は周波数とする。

3. 音源探査装置の概要

図3に音源探査装置の構成を、写真1に概観を示す。センサ部は5つのマイクロホンと小型カメラから構成されており、カメラから取り込んだ画像の上に音源方向、周波数、音圧レベルを○印の大きさと色で表示するようにしている。5つのマイクロホンの間隔は各々35mmとし、解析可能周波数の上限を4,500Hzとしている。測定結果の表示例を図4に示す。

また本音源探査装置は、時系列で変化する音源や道路交通騒音のように移動する音源に対応するため、測定結果を動画処理して音の発生状況の時間変化を確認することができる。図5、6にトラックの走行音を測定した例を示す。

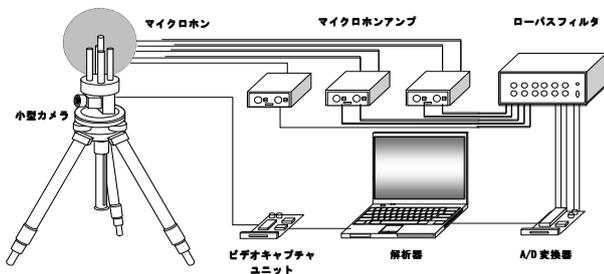


図3 音源探査システムの構成



写真1 音源探査システム概観およびセンサ部

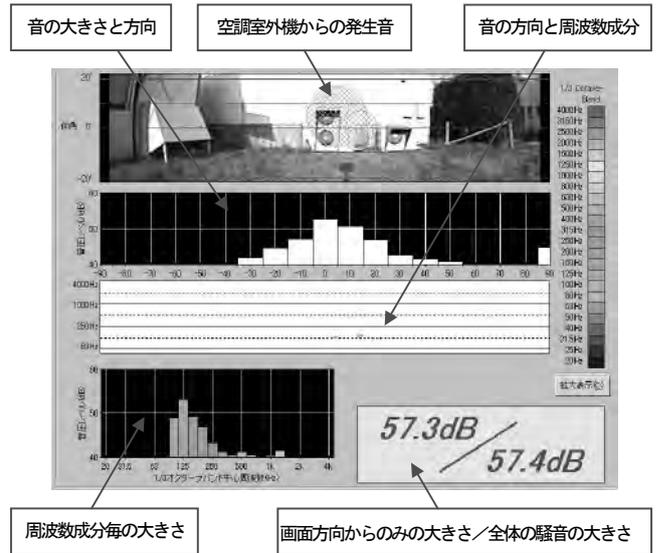


図4 測定結果の表示例（屋外：空調室外機）

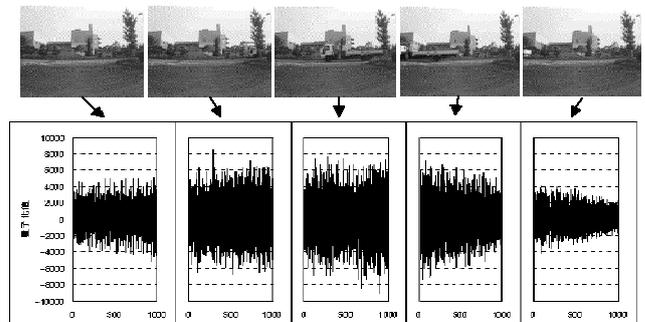


図5 音情報と画像の対応例



図6 移動音源の測定結果例（トラック、250Hz 帯域）

4. 防音壁の効果の予測について

従来の防音対策評価は、現地で詳細な騒音調査を行い、騒音源の位置や音の大きさなどの調査結果を騒音計算プログラムに入力して防音効果の予測を行う。そのため調査と調査結果の入力には多くの時間と手間が必要であった。さらに騒音源の調査漏れにより、予測結果が必ずしも正確でない場合も考えられる。

本音源探査装置による測定結果は任意の測定点における全方位の音情報を記録することができるため、調査漏れの可能性が小さい。この特性を利用して、本装置の測定結果を用いて簡単な操作で防音壁による効果を予測計算できれば非常に有用で有ると考えた。本装置に組み込んだ予測計算機能は、測定結果の画面上において、図7に示すように防音壁の影響を受ける音源の範囲や仮定の防音壁を設定し、計算に必要な数値をいくつか入力するだけで良い。予測計算において、有限長の防音壁による回折効果の計算は山本ら³⁾の提案する方法によった。

5. 適用例

本装置を用いた防音壁の予測計算の例を示す。図8～9は無響室においてスピーカ音源を使った実験例である。防音壁はW1,820×H9,1020mm厚さ15mmの合板を用いた。音源には白色雑音を用いた。図10～11は屋外に設置したコンプレッサを使った実験例である。防音壁はL字型配置とし、W2,400×H2,000mm(正面)+W2,400×H2,000mm(右側面)の防音パネルを用いた。図12～13は屋外の空調室外機を使った実験例である。防音壁はL字型配置とし、W1,000×

H2,000mm(左側面)+W2,000×H2,000mm(正面)の防音パネル(衝立)を用いた。いずれの予測計算結果も実際に防音壁を設置した結果と良く一致していた。

6. まとめ

本装置を用いて、可聴音域における音源の方向、音圧レベル、周波数を特定することができ、屋外の移動音源や室内音響にも適用できることを示した。さらに、本装置に防音壁の遮音効果の予測機能を付加すること

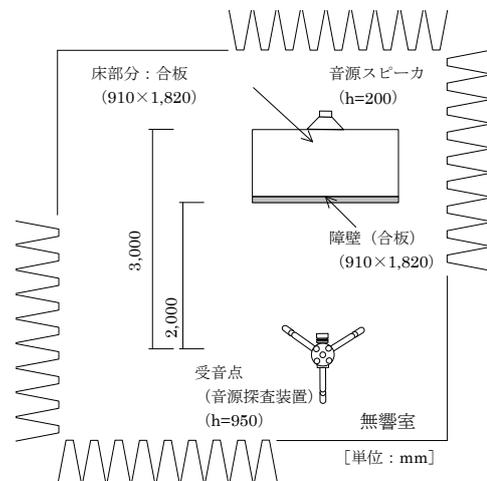


図8 無響室における実験 配置図

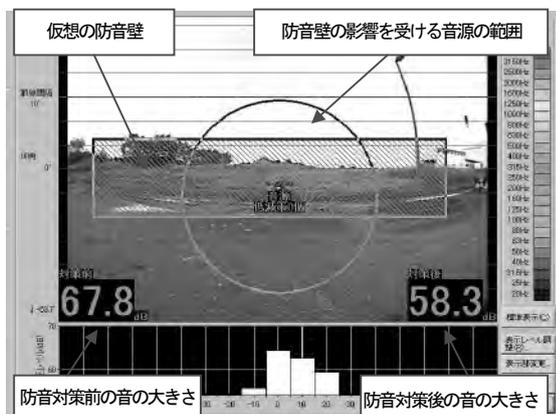
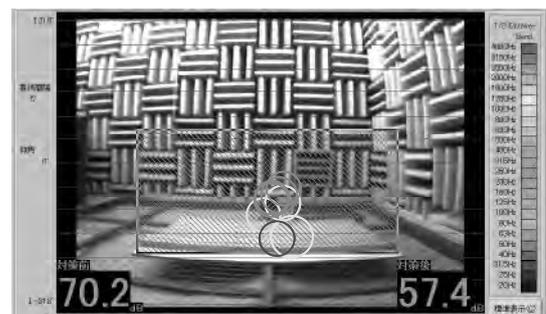
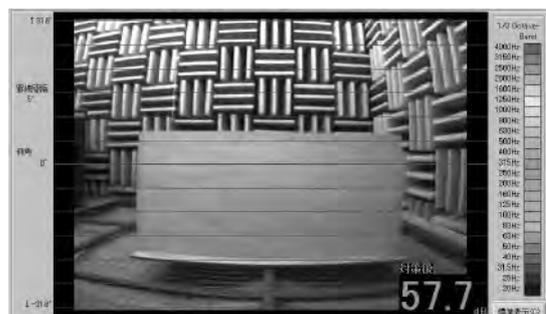


図7 予測計算の方法について



(予測計算結果)



(実測結果)

図9 無響室における例(スピーカ)

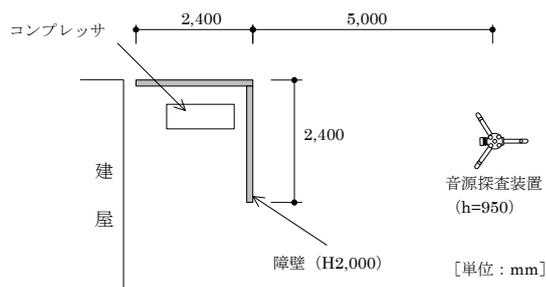


図10 屋外における例1（コンプレッサ） 配置図

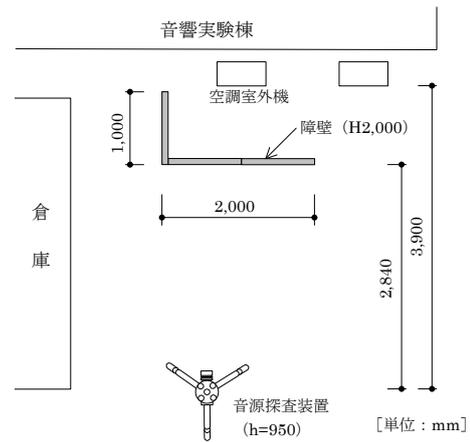


図12 屋外における例2（空調室外機） 配置図



(予測計算結果)



(実測結果)

図11 屋外における例（コンプレッサ）



(予測計算結果)



(実測結果)

図13 屋外における例（空調室外機）

で、調査から遮音壁の検討まで現地で一貫して行うことが可能となった。現在の装置では、同じ周波数で音圧レベルが同程度の音源が多数ある場合には、1回の測定で音源方向を正しく表示できないため、複数の測定点で測定を行い、音源位置を工学的に判断している。遮音壁の遮音効果の予測機能については、遮音壁による反射の影響は考慮していない。今後、さらに精度を向上させるために計算手法の検討を進めていく予定である。現場での測定をさらに簡単に行う事ができるように、装置の小型化、軽量化を進めていく予定である。

なお、本装置の開発は、中部電力（株）、（株）熊谷組、信州大学工学部山下研究室の3者が共同で行っているものである。

参考文献

- 1) 上明戸昇, 山下恭弘, 財満健史, 大脇雅直, 杉山武, 澤克紀: 倍音を含む純音性音源の方向推定に関する検討-誤差要因の基礎的検討, 日本建築学会計画系論文集, No.542, pp.15-21, 2001.4
- 2) 野上英和, 上明戸昇, 山下恭弘, 大脇雅直, 財満健史, 杉山武, 和田浩之: 音情報と画像を組み込んだ音源探査システムの開発-5 チャンネル音源探査装置の開発-, 日本音響学会講演論文集, pp.857-858, 2001.10
- 3) 山本貢平, 堀田竜太, 高木興一: 有限長障壁に対する音の回折効果の計算方法について, 日本音響学会誌 50 巻 4 号, pp.271-278, 1994

36. 電磁式地中位置探査システムの開発

東亜建設工業(株) : ○松島 弘樹

1. はじめに

近年、既設構造物直下やタンク基礎などの液状化対策として薬液注入工法を用いた地盤改良工法が開発され、その需要は高まりつつある。

計画削孔路線に対して精度の高い曲線削孔を実現するには、ロッド先端の位置・姿勢を的確かつ迅速に捉える必要がある。

こうした計測の手法として、従来は削孔法線鉛直上から地中位置・深度を計測する方法や、ジャイロと呼ばれる計測器をロッド内に挿入して計測する方法が多く採用されてきた。

しかしながら、削孔法線延長上に構造物がある場合には計測そのものが不可能になること、あるいは計測器をロッド内に挿入するために削孔作業を一時中断しなければならないという短所も見られる。

そこで当社ではより効率的で汎用性に優れた削孔管理を行うために、ロッド先端に取り付けた発信器から発信される磁界信号を、3次元的にかつロッド継足し時間程度の短時間で検出できるシステムを開発した。以下にその概要を報告する。

2. システムの特長

本システムの特長を以下に示す。(図-1 参照)

(1) リアルタイム性

オペレータが先端位置情報をリアルタイムにモニタ画面で確認しながら誘導削孔作業ができるため、到達目標地点に対して高精度の削孔が実現可能である。

(2) 削孔時間の短縮化

計測器をロッド内に挿入する必要がなく、削孔を中断させることなく計測が可能であることから削孔時間も短縮される。

(3) 構造物直下にも対応

ロッド先端に取り付けた発信器からの磁界信号を地上に設置した受信器で受信するため、構造物など前方にある障害物の影響を受けずに、先端位置情報を検出することが可能である。

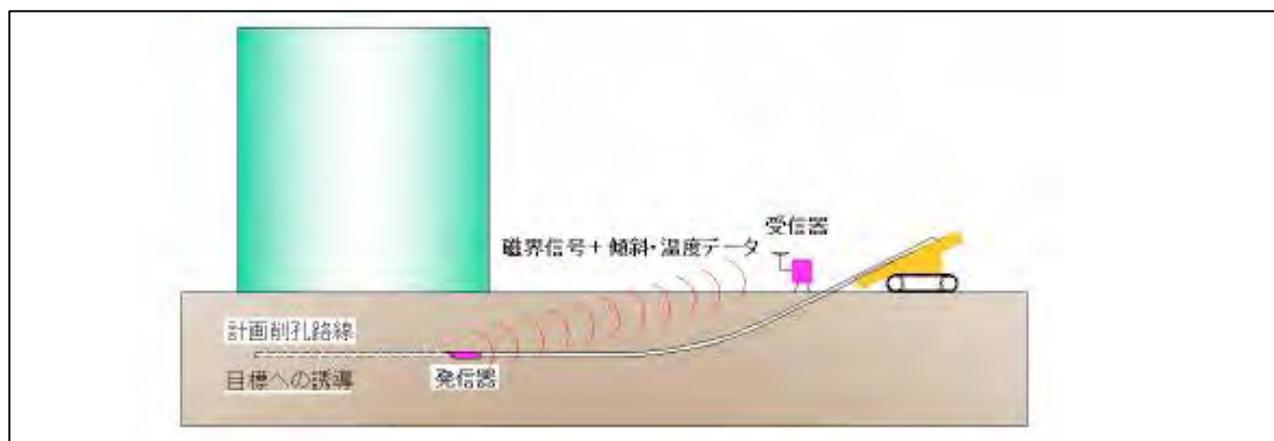


図-1 計測イメージ図

3. システムの概要

3-1 機器構成

本システムは、ロッド先端に接続される‘発信器’と、発信される磁界信号データ（ロール角・ピッチ角および温度データ）を事前測量による既知点に設置した3台の‘受信器’により受信し、これらの位置情報を上位パソコンに伝送し、表示する。（図-2）

受信する磁界信号の強さから、地中にある発信器の位置、すなわちロッド先端位置を検出するものである。

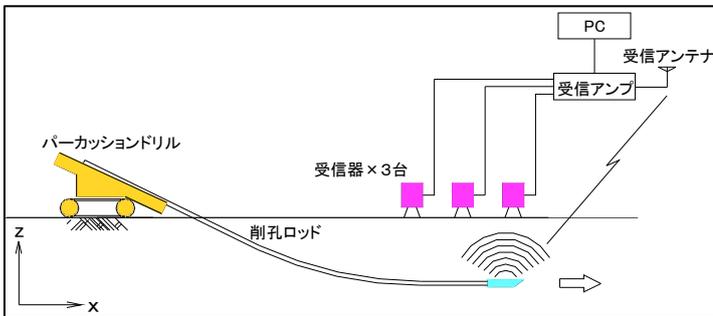


図-2 システム構成図

(1) 発信器

‘発信器’（写真-1）は単管構造で、外径はφ120[mm]、内径はボーリングロッドと同一のφ50[mm]であり、また継手構造もロッドと同一である。外周には耐摩耗性に優れた送信コイルが巻かれておりセラミック外装で保護されている。内部にはピッチ角とロール角の2軸が計測できる傾斜計・温度センサ及びこれらと無線送信器などへの電源を供給するための電源装置が取り外し可能な構造で埋め込まれている。



写真-1 発信器

(2) 受信器

受信部は受信アンプ（写真-3）とデータ受信アンテナ及び測定用アンテナ×3台（以下‘受信器’と称す）から構成される。（写真-2、図-3）

受信した傾斜データ、温度データおよび発信器から発生する無変調磁気信号の受信強度を測定して表示するとともに、RS-232Cで接続された上位コンピュータに受信データを転送する。（写真-4）



写真-2 受信器

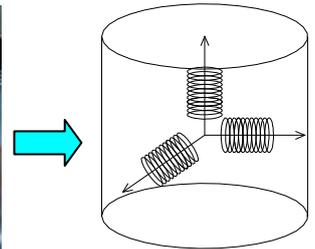


図-3 受信コイル



写真-3 受信アンプ

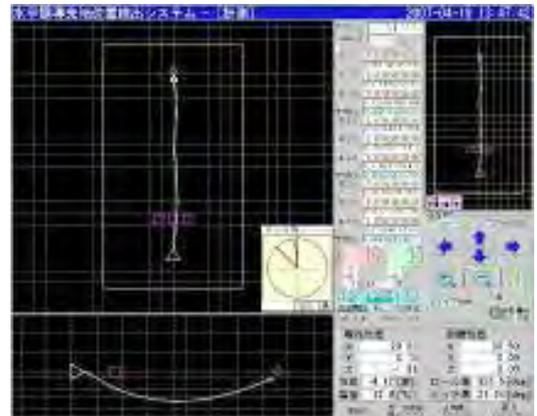


写真-4 モニタ画面例

3-2 システムの仕様

本システムは、発信器～受信器間の距離が10[m]～40[m]の範囲内において計測が可能となる。また適応については液状化対策における削孔との観点から相応の耐衝撃性を考慮して設計されている。

表-1 に発信器の基本仕様を示す。

表-1 発信器の基本仕様

| 項目 | | 仕様 | |
|------|-------|-----------|--------------|
| 発信器 | 測定レンジ | 傾斜角(ピッチ計) | ±45° |
| | | 回転角(ロール計) | ±180° |
| | 温度計 | 測定範囲 | -10°C～+110°C |
| | | 温度精度 | ±2°C以内 |
| | 寸法 | 外径 | φ120mm |
| | | 長さ | 800mm |
| 耐衝撃性 | | 30Grms | |

3-3 電磁誘導現象を利用した地中位置探査法の理論

本システムは既に述べてきたように地中の発信器より発信される磁界信号を地上の受信器にて受信し、その磁界強度から位置を求めるものであるが、これは電磁誘導現象を利用した地中位置探査法¹⁾の理論に基づくものである。

以下に理論を紹介する。

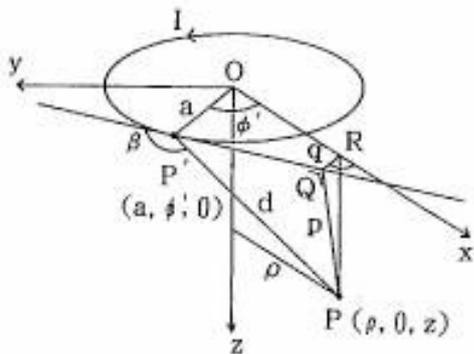


図-4 円形コイルの作る磁界

図-4 に示す座標系において、円周上の点 $P'(a, \phi', 0)$ における電流素片 dS による任意の点 P の微小磁界を dH とする。 PP' の距離を d 、 P' における円周への接線と PP' のなす角 β とすると

$$dH = \frac{I \sin \beta}{4\pi d^2} dS$$

であり、方向は $\triangle PQP'$ 面に垂直である。 dH の水平分力 dH_h および垂直分力 dH_z は

$$dH_h = dH \times z/p \quad dH_z = dH \times q/p$$

$$dH_\rho = dH_h \times \cos \phi'$$

ここで、 $dS = a \cdot d\phi'$ と置き $\sin \beta = p/d$ 、 $q = a - \rho \cos \phi'$ の関係を用いると

$$dH_\rho = \frac{aI z \cos \phi'}{4\pi d^3} d\phi'$$

$$dH_z = \frac{aI (a - \rho \cos \phi')}{4\pi d^3} d\phi'$$

ただし、

$$d = \sqrt{a^2 + \rho^2 + z^2 - 2a\rho \cos \phi'}$$

さらに変形して

$$d = \sqrt{(a + \rho)^2 + z^2} \sqrt{1 - k^2 \cos^2(\phi'/2)}$$

$$k^2 = 4a\rho / \{(a + \rho)^2 + z^2\}$$

$$\cos \phi' = (a^2 + \rho^2 + z^2 - d^2) / 2a\rho$$

とし、 $\phi' = \pi - 2\theta$ とすると次式のように楕円積分であらわすことができる。

$$H_\rho = \frac{I}{2\pi} \frac{z}{\rho \sqrt{(a + \rho)^2 + z^2}} \times \left[\frac{a^2 + \rho^2 + z^2}{(a - \rho)^2 + z^2} E(k) - K(k) \right]$$

$$H_z = \frac{I}{2\pi} \frac{1}{\rho \sqrt{(a + \rho)^2 + z^2}} \times \left[\frac{a^2 - \rho^2 - z^2}{(a - \rho)^2 + z^2} E(k) + K(k) \right]$$

ただし、 K 、 E は完全楕円積分であり、次のような関数である。

$$K(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\theta}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}}$$

$$E(k) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta} d\theta$$

以上により、コイルの中心 ($z=0, \rho=0$) における磁界は $H_\rho=0$ となり、また $E(0)=K(0)=\pi/2$ の関係から

$$H_0 = I/2a$$

と表すことが出来る。

一方、受信器に誘起される電圧 e はコイル面内

の磁界が一様であるとする次式で表わされる。

$$e = 2\pi f \mu_0 N_r A H \sin \theta \quad [\text{V}]$$

ただし、

- f : 周波数
- μ_0 : 真空（空気中）における透磁率
- N_r : コイル巻数
- A : コイルの面積

従って、受信器に誘起される磁界強度すなわち電圧を測定することで発信器の地中における位置探査が可能となる。

4. 実証実験

本システムの検出動作確認及び検出精度を確認するために、発信器をロッド先端に装着して削孔実験を愛知県甚目寺で行った。

(1) 概要

① 実験用地の土質条件 (図-5)

耕作前の田圃地であるが、地表から 50[cm] 以深は細砂層となる。削孔予定深度 (GL-4[m] 程度) までは N 値 10 程度である。



図-5 土質柱状図

② 削孔機械及びロッド

| | |
|------|---------------------------------------|
| 削孔機械 | クローラ式パーカシヨンドリル |
| ロッド | 曲線削孔用 $\phi 75 \times L3.0[\text{m}]$ |
| | 最小半径 R25[m] |

③ 曲線削孔形状

地表面に対して 25 度の角度で削孔を開始し、その後半径 30[m] の単円を描くように削孔した。

(図-6)

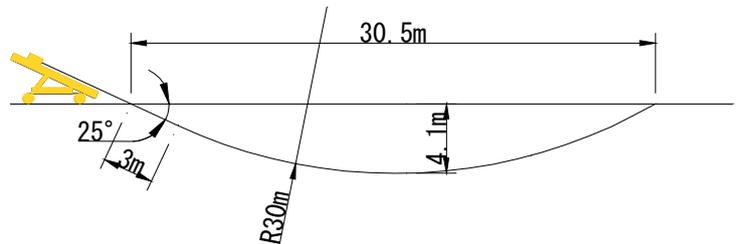


図-6 実証実験図

(2) 結果

N 値 10 程度の飽和砂地盤における検出動作の有効性について確認することができた。検出精度についても、削孔距離に対して約 2[%] と概ね良好な結果が得られた。今後はより現場条件に則した条件での削孔実験を重ねていくことでさらにシステムの完成度を一層高めていく所存である。

5. おわりに

我が国は世界でも有数の地震国家とも言われており、能登や中越地方でも多大なる被害を蒙ったことは記憶に新しい。こうした背景を受けて、空港施設や発電施設などの重要構造物はもとよりライフラインの確保について整備を進めることが急務であり、地盤改良に伴う削孔技術のニーズは今後ますます高まることが予測される。

最後になりますが、本システムの開発・製作ならびに現場での実証実験にご協力いただいた関係各位に紙面をお借りして感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 楠見晴重・谷口敬一郎・加々美幸一：「電磁誘導法による推進管の探査方法について」, 物理探査第 46 巻, 1993

37. ふっ素汚染土の不溶化処理施工

東亜建設工業(株)：○宮下 広樹、福本 茂、玉上 和範

1. はじめに

土壌が有害物質により汚染されると、その汚染された土壌を直接摂取、もしくは、汚染された土壌から有害物質が溶け出すことによって汚染された地下水の飲用により人の健康に影響を及ぼすおそれがある。こうした土壌汚染は、企業の工場跡地等の再開発等に伴い社会問題化してきている。

このような背景から、健康被害の拡大を防止する目的で、土壌汚染対策法が制定・施行された。土壌汚染対策法では、重金属・揮発性有機化合物に対して、環境基準値が定められており、ふっ素においてはその溶出量が 0.8mg/L 以下と定められている。

ふっ素は、自然界では蛍石や海水に比較的豊富に含まれる物質であり、ふっ素による汚染土の処理には一定のニーズが見込まれている。

本論文では、今回新たに開発したふっ素汚染土の不溶化処理工法の概要ならびに本工法を用いた処理事例について報告する。

2. 不溶化処理工法の概要

2-1 工法開発の背景

某産業廃棄物処分場跡地（以下「処分場跡地」という。）においてふっ素溶出量が土壌溶出量基準(0.8mg/L)を超過することが確認された。当現場では、当該処分場跡地の土砂（約 30,000m³）を掘削して盛土材料としてリサイクルする必要があり、リサイクルの条件としては、①ふっ素の土壌溶出量基準（0.8mg/L）を満足する、②盛土材として利用できる強度を確保する、の2点であった。また、施工条件としては約 30,000m³という土の処理を短期間で行うこととされた。以上より、上記を満足するふっ素

汚染土の不溶化処理工法の開発が必要であった。

2-2 ふっ素不溶化材

今回不溶化処理に使用したふっ素不溶化材は、トリータビリティ（適用性）試験により選定したアルミニウム系不溶化材（ランドライム QS-F、村樫石灰工業製）である。

本不溶化材は、主に石灰系固化材（固化材成分；ランドライム QS-F(A)）とアルミ系固化助剤（固化助剤成分；ランドライム QS-F(B)）の2材で構成されており、ふっ素汚染土に2材を混合することにより不溶化と強度増進の効果を同時に発揮させる。室内試験で実施した不溶化材の配合試験結果の一例を図1に示す。本例では、土壌溶出量基準の約2倍程度の汚染であれば総添加量が 50～100kg/m³で基準以下になることを示している。

また、本不溶化材を使用する際には2材ともに粉末状であることによりセメント設備の転用が可能であり、2材の混合割合を変化させることにより様々な土質の適用が可能であるといった特徴を有する材料である。

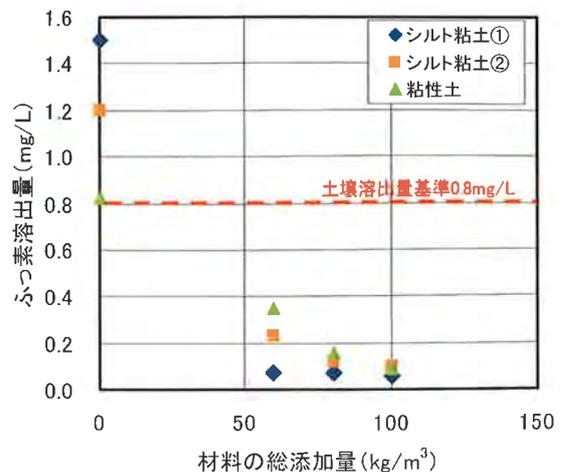


図1 不溶化材の室内配合試験結果（材齢7日）

2-3 ふっ素不溶化材の混合方法

不溶化材の混合方法の選定に当たっては、①処理土量が約 30,000m³と大容量であり効率よく処理する必要がある。②不溶化処理を行う上で不溶化材を出来る限り均一に混合攪拌する必要がある。③粉塵の発生を抑制する必要がある。④不溶化材が 2 材混合タイプであり、両者を規定の配合量で正確に添加する必要がある。等を考慮し、セメント安定処理等で用いる土質改良機を用いて不溶化材を混合攪拌する方法とした。具体的には、土質改良機を直列に 2 台配置して最初の改良機で石灰系固化材を混合攪拌した後、次の改良機でアルミ系固化助剤を混合攪拌する方法とした。

土質改良機による混合攪拌状況を写真 1、写真 2 に示す。



写真 1 石灰系固化材の混合攪拌状況



写真 2 アルミ系固化助材の混合攪拌状況

3. 不溶化処理事例

3-1 現場概要

当現場は、昭和 61～62 年にかけて埋め立てられた処分場跡地である。主な埋立て材は浚渫土、建設汚泥、焼却灰で、現在は茶畑として跡地利用されている。掘削範囲は、処分場跡地の一部であり、面積約 7,000m²(最大深さ約 12m)、容積約 30,000m³である。

3-2 処理対象土について

(1) 物性

全体的に土質性状はシルト分を中心とする黒褐色状のものが多く(写真 3)、自然含水比が 64～97%程度である。また、浚渫土と建設汚泥のコーン指数はそれぞれ $q_c = 95\text{kN/m}^2$, 125kN/m^2 程度と推定された。

(2) ふっ素溶出量

着工前に処分場跡地の土壌調査を実施した結果、ふっ素溶出量は土壌溶出量基準(0.8mg/L 以下)を超過することが確認された。そこで、処分場跡地におけるふっ素汚染土の分布・範囲を把握するために平面的に 6 地点、深さ方向に 2～3 地点の試料を採取し、環境庁告示第 46 号溶出試験を実施した。溶出試験の結果、全ての試料でふっ素の土壌溶出量基準を超過したが、その値は 1.0～2.8mg/L(環境基準値の 1.25～3.5 倍)と比較的低濃度のレベルであった。

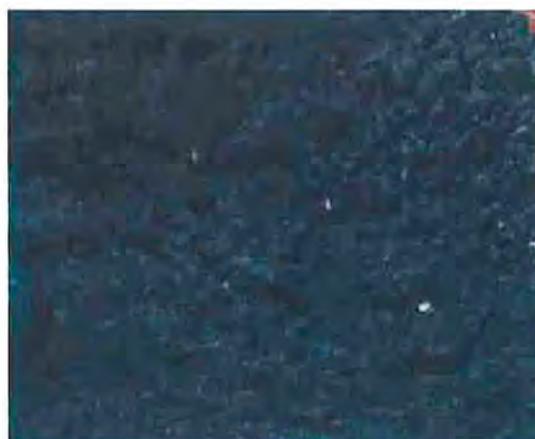


写真 3 処理対象土の外観

3-3 処理概要

不溶化处理は、約 30,000m³ の処理を約 3 ヶ月の期間で行った。

ふっ素汚染土の掘削から不溶化处理、運搬までの施工フローを図 2 に示す。施工は、不溶化处理の前処理として振動ふるい機を用いて掘削土の岩とゴミを取り除いた後に、不溶化处理を行った。

不溶化处理は、アルミニウム系不溶化材（石灰系固化材、アルミ系固化助剤）を土質改良機にて連続して混合攪拌することにより行った（写真 4）。なお、アルミニウム系不溶化材の総添加量は事前の配合試験により 80kg/m³ とした。また、処理後の土壌はダンプトラックに積み込み、盛土個所に運搬した。

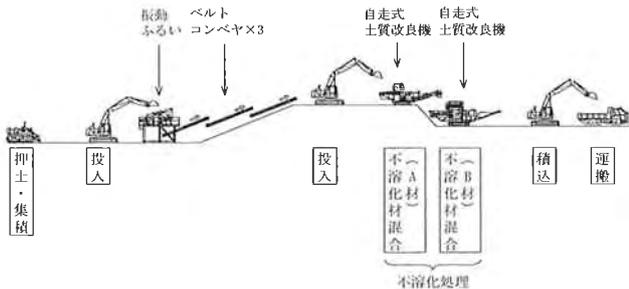


図 2 施工フロー図



写真 4 不溶化处理状況

3-4 処理結果

処理土の試料は、ふっ素溶出量については盛土個所にて 1 日 1 回 5 点混合法により採取し、

また強度を確認するために実施したコーン指数については 200m³ に 1 回採取し、試験を実施した。

施工日ごとのふっ素溶出量の結果を図 3 に示す。ふっ素溶出量は、処理前で 0.38~2.19mg/L（平均 1.23mg/L）であったが、処理後には材齢 7 日で 0.03~0.70mg/L（平均 0.23 mg/L）まで低下し、全ての処理土で土壌溶出量基準（0.8mg/L）を満足した。また、コーン指数も全ての試験で盛土材料として利用できる品質基準（qc=400kN/m²以上）を満足した。

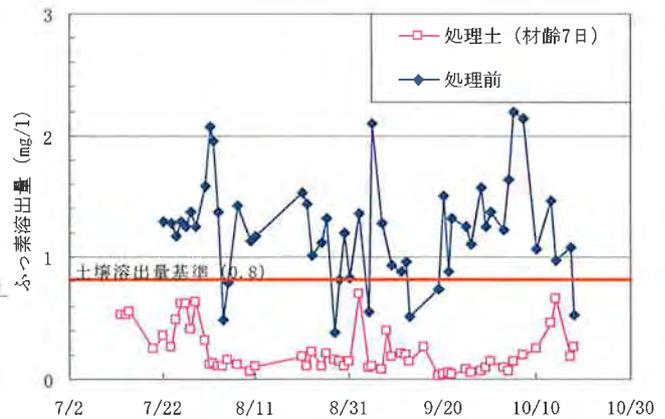


図 3 施工日ごとのふっ素溶出試験結果

次に、処理土（材齢 7 日）のふっ素溶出量の度数分布を図 4 に示す。処理土の約 80%が環境基準値の 1/2 以下の値となり、本不溶化材を用いた不溶化处理は、高い不溶化効果を発揮していることが確認できた。

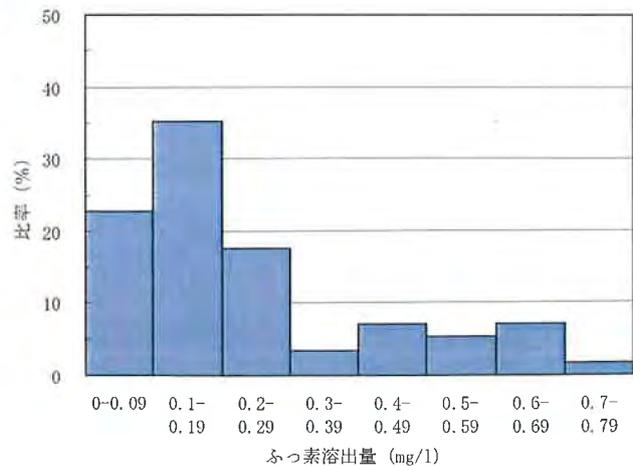


図 4 ふっ素溶出量（処理土）の度数分布

3-5 処理施工に関する問題点・解決方法

不溶化処理の施工は、転石や固形ゴミ等を含んだ掘削土をそのまま改良機に投入して行うこととしていたが、それにより以下の問題が生じた。

- 1) 転石や固形ゴミが改良機の攪拌翼に絡まり（写真 4）、攪拌性能が低下する。（処理効率の低下）
- 2) 転石や固形ゴミが改良機の攪拌翼に絡まることにより攪拌出来なくなり、故障する。（稼働率の低下）

これらの問題は工程の遅れだけでなく、処理土の品質（強度、不溶化効果）に大きな影響を及ぼすため早急に解決する必要があった。検討した結果、掘削土を改良機に投入する前処理として振動ふるい機を設置し、転石や固形ゴミを取り除くこととした。

振動ふるい機を設置する前後のふっ素溶出量を図 5 に示す。設置前のふっ素溶出量は、平均で 0.56 mg/l であるのに対し設置後は平均で 0.17 mg/l であり、設置後にふっ素溶出量が低下することが確認された。また、改良機の稼働率を（改良機の処理時間）／（改良機の稼働時間）として算出したところ、稼働率は設置前後で 0.69 から 0.75 と向上し、振動ふるい機を設置することにより問題が解決したことが確認された。



写真 4 改良機の攪拌翼に絡まった夾雑物

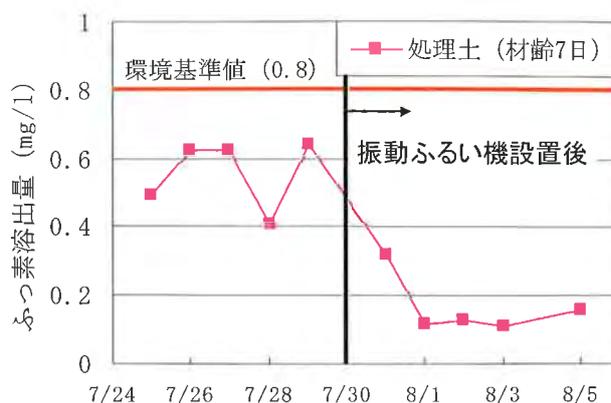


図 5 ふるい機設置前後のふっ素溶出量

4. おわりに

4-1 まとめ

本論文では、今回新たに開発したふっ素汚染土の不溶化処理工法の概要ならびに本工法を用いた処理事例について報告した。以下にまとめを示す。

①今回報告したふっ素汚染土の不溶化処理工法は、土質改良機 2 台を用いてアルミニウム系不溶化材（石灰系固化材、アルミ系固化助剤）を混合攪拌することにより不溶化処理を行うものである。

②今回の処理事例における不溶化処理土は、ふっ素溶出量の土壌溶出量基準（0.8mg/L 以下）および盛土材料として利用できる品質基準（ $q_c = 400\text{kN/m}^2$ 以上）を全て満足した。

③今回の処理事例における不溶化処理は、高い不溶化効果を発揮していることが確認できた。

④転石や固形ごみ等の夾雑物が見られる場合、振動篩等で前処理を行うことで処理効率の低下や稼働率の低下を防ぐことができ、処理土の品質の向上に繋がった。

最後にこの論文の執筆にあたり、ご協力いただいた皆様には末筆ながら感謝の意を申し上げます。

38. 「スーパーグラブバケット浚渫工法」

— 航路・河川・湖沼の環境に配慮した底泥除去工法 —

東亜建設工業(株)：○竹内 基幸、和田 晴久、津田 宗男

1. はじめに

近年、環境基準値を超える重金属やダイオキシン類等による底泥の汚染が深刻化している。これら汚染底泥を浚渫する場合、汚染底泥や余剰水の処分が必要となるため、汚染されていない底泥の浚渫と比較すると多額のコストを要する。また、汚染底泥の浚渫工事では、密閉型グラブバケットが用いられることが多いが、従来の密閉型グラブバケットによる浚渫では、①掘削面が円弧状となるため、必要以上の底泥を浚渫する、②浚渫土厚が変化する場合、バケット内に多くの余剰水を含んだ状態で浚渫するといった課題がある。加えて、グラブバケット刃先面からの泥水の漏出により、区域外に汚染物質を拡散させる可能性も考えられる。

これらの課題に対して、環境に配慮したのがスーパーグラブバケット浚渫工法である。本工法は、グラブ浚渫船に装備されるワイヤー型と、バックホウ浚渫船に装着するバックホウ型(油圧式)を有しており、実績を上げている。

本稿では、スーパーグラブバケットの特長と、佐世保港における施工実績について報告する。

2. スーパーグラブバケット工法の特長

スーパーグラブバケット浚渫工法の特長を以下に示す(図-1、写真-1・2)。

(1) 環境対応型

- ① スーパーグラブバケットの高い密閉性能により、浚渫時の濁りの発生と拡散を極力防止できる。
- ② 土砂取込み用水抜き機構を有し、底泥取込み時に土砂と水の置換えがスムーズに行えるため、余分な水の取り込みと濁りを極力抑えることができる。
- ③ 浚渫土の性状によりバケット開閉速度を最適に設定することにより、掘削時の濁りの発生を極力抑えることができる。

(2) コスト縮減

- ① 薄層浚渫支援システムにより精度の高いバケット姿勢・位置の制御が可能で、薄層で水平掘りが可能となっており、余分な土砂の取り込みを極力抑えることができ、処分土量の低減が図れる。
- ② 浚渫土厚に合わせたバケット容量の調節が可能となり、余分な水を取り込まないため水処理量を低減できる。(ワイヤー型のみ機能)

(3) 汎用性が高い

- ① 航路・泊地等の水深の深いところに適応が高いワ

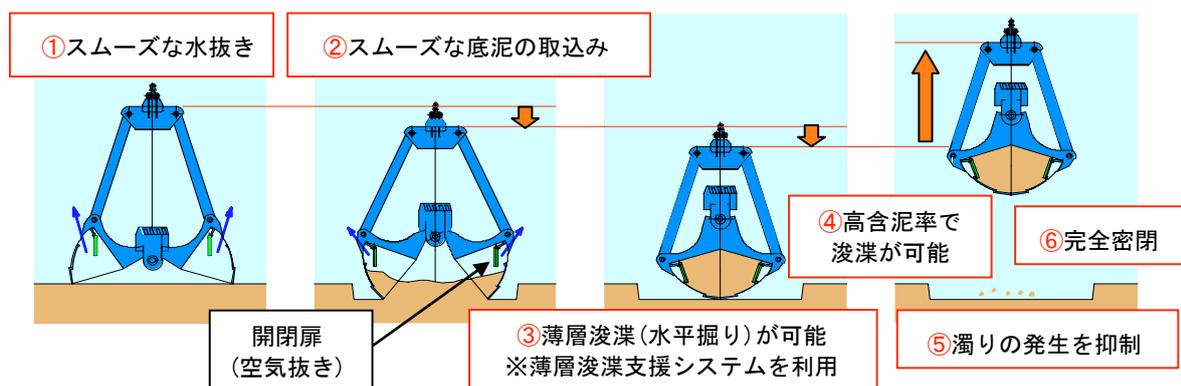


図-1 スーパーグラブバケットの特長

イヤー型(7.2, 6.0m³)と、河川・湖沼を含む狭隘な水面、浅水域へ対応できるバックホウ型(油圧式1.3m³)があり、施工条件に広く対応できる。

②通常のバックホウ浚渫船にアタッチメントであるSG Bを陸上運搬・装着することで施工が可能である。(バックホウ型のみの機能)



写真-1 スーパーグラブバケット (ワイヤー型)

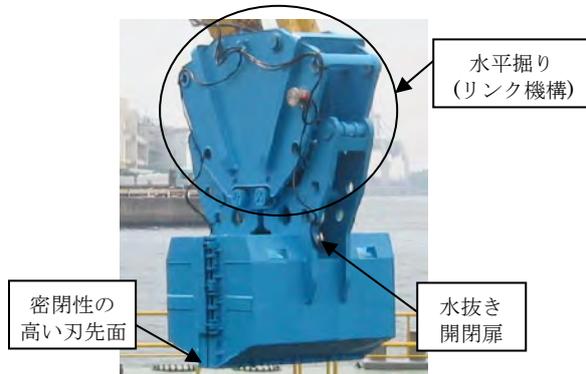


写真-2 スーパーグラブバケット(バックホウ型)

3. スーパーグラブバケットの機能

ここからは、ワイヤー型を中心とした機能について記述する。

3.1 密閉性能

スーパーグラブバケット本体は、刃先面の製造技術により、従来の密閉バケットでは達成できなかった高い密閉性を有している。この密閉性により、浚渫後のバケット上昇時や水切りから土運船への積込み時においても、濁水の漏洩による濁りの発生を大幅に低減することができる。密閉性の高さは、後述の佐世保港の工事で実施した水掴み試験により、定量的に

確認できている。なお、水掴み試験とは、バケットで水を満杯に掴み、水面より上で10分間保持した場合の漏水量を計測するものである。漏水量はバケット容量6.0m³に対し、最小で35%という結果を得ており、1分間当たりの漏水率は0.05%であった。

3.2 水平掘り機構および薄層浚渫支援システム

従来型の密閉グラブバケットでは、掘り跡が円弧状になるが、水平掘り機構と薄層浚渫支援システムを併用することで、浚渫地盤の平坦性を確保し、余分な土砂の取込みを減少させることができる。

(1) 水平掘り機構

水平掘り機構は、バケットを閉じるのに合わせて吊りワイヤーを緩め、バケット刃先先端をほぼ水平に動かすことで、浚渫地盤を平坦に掘削するものである。写真-3は、実験工事として、岸壁上に敷いた砂を気中で水平掘りしその出来形確認を行った状況を示している。出来形確認を3度実施した結果、不陸の平均値は0.17mであった。



写真-3 気中部での水平掘り出来形確認体

(2) 薄層浚渫支援システム

薄層浚渫支援システムは、写真-4に示すようにバケットの平面位置および刃先深度並びにバケット開度をリアルタイムでモニタ表示できる。オペレータは表示されたモニタを見ながら浚渫作業を行うことができる。特に、モニタ画面では浚渫状況(刃先軌跡)を断面表示できるため、精度の高い水平掘りを実現することができる。

また、水底におけるバケットの開閉状況をリアルタイムにてパーセント表示できるため、大きな障害物を刃先に噛込み、土砂が漏れる状態で揚土するのを

未然に防ぐことが可能となる。

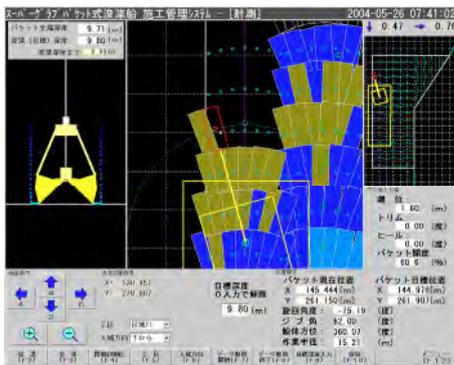


写真-4 薄層浚渫支援システムのモニタ画面

3.3 バケット容量調整機能

バケット容量と1掴み当たりの浚渫土量をほぼ一致させることにより、余分な水を取り込まず、高含泥率での浚渫が可能となる。浚渫土厚によって1掴み当たりの浚渫土量は変動するが、スーパーグラブバケット(ワイヤー型)では浚渫土厚に合わせてバケット容量を変動させる容量調整機能を有している(図-2)。

佐世保港の工事では、公称容量 6.0m^3 のスーパーグラブバケットに3種類の容量調整板を適用した。これによって、各浚渫区域の浚渫土厚 0.3, 0.4, 0.5m に対応して、バケット容量を 5.7, 7.1, 8.5m^3 の3種類に調整することができた。この結果、本工事のように広範囲の浚渫土厚に対しても、高含泥率での浚渫を維持することが可能となった。

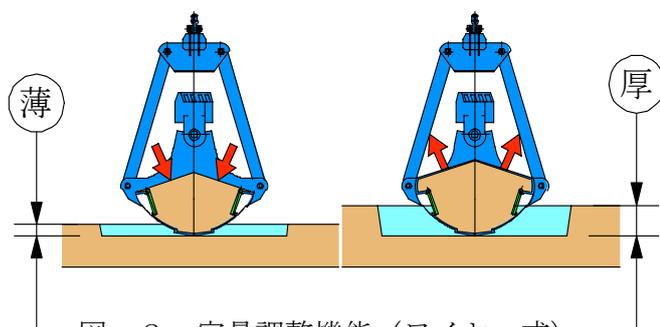


図-2 容量調整機能 (ワイヤー式)

3.4 水抜き機構

スーパーグラブバケットには、バケット投下時の空気抜きおよび水底部掘削時における底泥と水のスムーズな置換えを行うため、土砂取込み用水抜き機構(開閉扉)を装備している(写真-4)。

バケットが開いた状態では開閉扉が開き、浚渫時、底泥と水の入替えをスムーズに行うことができる。一方、バケットが閉じるに従って開閉扉が閉まり、バケット内に取込んだ底泥が外部に漏れない構造になっている。



写真-4 水抜き機構

3.5 総合的な機能

水平掘り機構と薄層浚渫支援システムにより、精度の良い水平掘りが可能となり、余分な底泥の取込みを最小限に抑えることができる。さらに、浚渫土厚に合わせてバケット容量の調整を行うことで、余分な水の取込みを最小限に抑えることができる。したがって、汚染底泥除去および底泥や余水処分のトータルコストを従来の密閉型グラブバケット浚渫工法に対して、大幅に低減することができる。

4. 施工実績

2004年5~10月の佐世保港内でのPCBを含む汚染底泥の除去工事において、スーパーグラブバケット(ワイヤー型:公称容量 6.0m^3)が適用された(写真-5)。除去土量は約 $30,000\text{m}^3$ である。

また、バックホウ型(油圧式)は、2007年6月に神戸港内における浚渫工事に適用されている。浚渫区域は水深3m以下の浅い狭隘な運河である(写真-6)。

ここでは、佐世保港の浚渫工事における薄層浚渫、濁度調査の結果について記述する。

4.1 工事概要

本工事は汚染底泥を除去するもので、事前調査結果より10ppmを超える濃度のPCBが底泥に含ま

れていることが確認されていた。また、除去厚は浚渫区域毎に0.2～0.9mに設定され、余掘り量は0.2mと指定された。

4.2 仕上り精度

出来形管理は、10mメッシュでレッド測量により事前・事後の地盤高を計測し、浚渫土厚を管理した。その結果、設計浚渫土厚を確保しかつ余掘り厚0.2m以内に収まった管理点数は全体の85%であったが、浚渫した土量は余掘り厚0.2mとした計画土量内に収めることができた。



写真－5 浚渫状況（ワイヤー式：佐世保港）



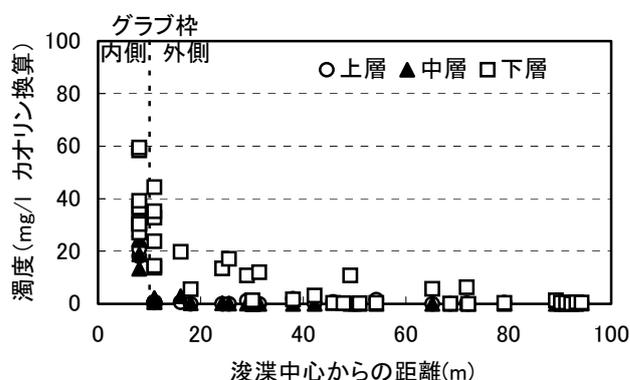
写真－6 浚渫状況（バックホウ式：神戸港）

4.3 濁度調査

高い密閉性能を有するスーパーグラブバケットと汚濁防止枠との併用により、日々実施している基本監視点（浚渫地点から約300m離れた固定点）での水質調査では、工事期間中に規定値を超える汚濁の拡散は見られなかった。

工事終盤の9月には浚渫区域周辺の濁度の拡散

状況を集中的に調査した。流れのない湾奥部での調査であったため、観測船に搭載した連続式濁度計で浚渫区域周辺の濁度を、また、グラブ枠内は投込み式濁度計で調査した。図－3は、浚渫地点からの距離を横軸とし、各計測点での濁度をグラフ化したものである。図中の濁度は、上層(0～4m)、中層(4～9m)、下層(9m以下)の各層における鉛直分布の平均値を示している。調査の結果、浚渫点から40m離れた地点までは下層で若干の汚濁が観測されたが、80m離れた地点ではほとんど観測されなかった。



図－3 濁度調査結果

5. おわりに

スーパーグラブバケット浚渫工法は、従来の密閉型グラブバケットで汚染底泥を除去する場合に生じる様々な問題点を克服できる環境対応型の浚渫工法である。主な特長である、浚渫時における濁りの発生を低減させ、余分な底泥および水の取込みを抑制する機能が実施工により実証され、懸案事項であった小石等の障害物を刃先で噛込むことによる密閉性能の低下については、特殊密閉ゴムの効果により止水性を保持したまま浚渫できることが確認された。

現在当社では、浚渫船用ワイヤー吊り式(バケット容量 6.0m³, 7.2m³)およびバックホウ式(油圧式:同 1.3 m³)のスーパーグラブバケットを所有している。今後は港湾を始め湖沼、河川等、工事の規模や浚渫土厚に合わせて柔軟に対応していきたいと考えている。最後に、本工法の開発および各種調査にご協力頂いた関係者の方々に、紙面を借りて深謝致します。

39. 直下地下切替工法「STRUM」による営業線の地下化切替

東急建設株式会社 技術本部 機械技術部 ○大峰 秀之

1. はじめに

東急目蒲線立体交差事業は、東京都を事業主体とし、品川区、目黒区、東京急行電鉄株式会社との共同で、目蒲線（現目黒線）の目黒駅付近から洗足駅付近までの約2.8kmの区間を立体交差化するもので、都市計画道路補助第26号線を始めとする18箇所の踏切を除去し、交通の円滑化を図るとともに、鉄道により隔てられていた地域の一体化を実現し、沿線のまちづくりに寄与する計画である。

本論文では、平成18年7月1日に実施した、直下地下切替工法「STRUM」の施工方法及び施工機械の選定、緊急時対策、施工実績について報告する。



図-1 事業位置図

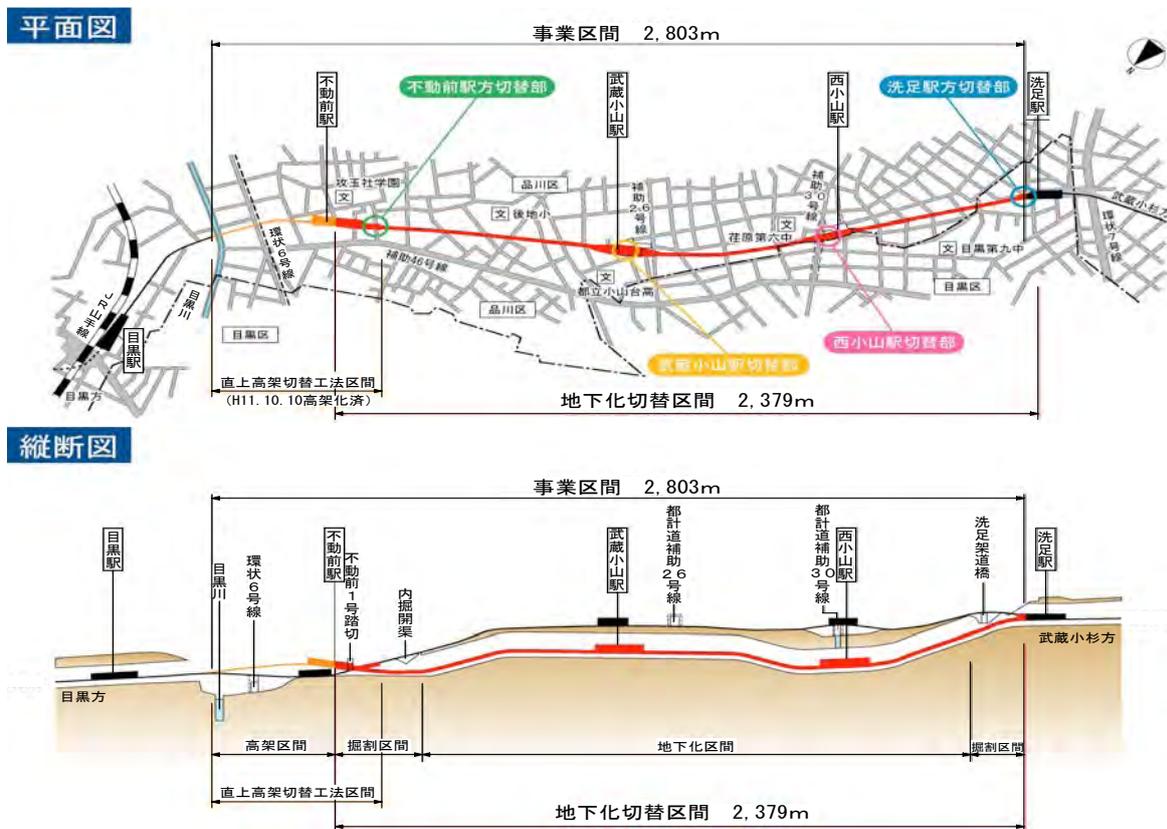


図-2 事業概要図

2. 直下地下切替工法「STRUM」の施工方法

切替概要縦断図を図-3に示す。

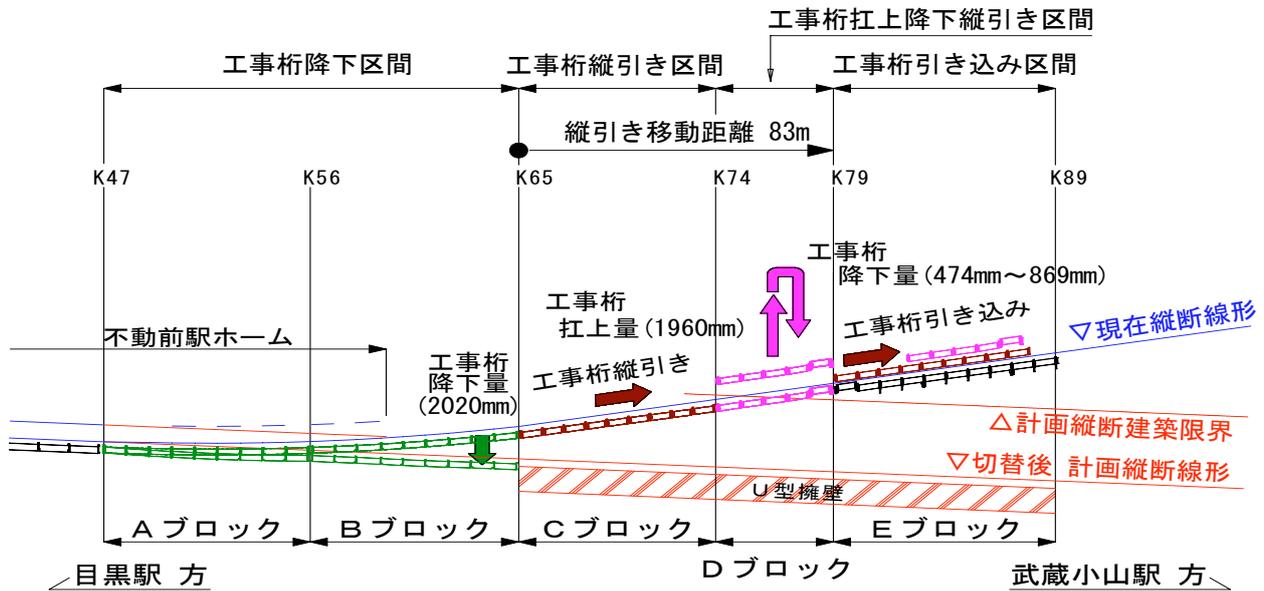


図-3 切替概要縦断図

今回施工を担当した不動前駅付近は、商店・住宅・事務所ビルが混在する高密度市街地で、仮線用地の確保が困難な為、直下地下切替工法「STRUM」にて線路切替を行った。切替工事範囲は不動前駅ホームを含む約250mで、終電車から始発電車のわずかな時間で工事桁を撤去し、地下化切替を行うものである。

工事始点よりA～Eブロックの5区間に分け、A・Bブロックを降下区間、Cブロックを縦引き（終点方に桁を移動すること）区間、Dブロックを扛上（こうじょう）区間、Eブロックを引き込み区間とした。

(1) Aブロック（降下量0～508mm）

工事桁を降下させ、計画線形に据え付ける。

(2) Bブロック（降下量527～2,020mm）

工事桁を降下させ、計画線形に据え付ける。

(3) C～Eブロック（縦引き量83.0m）

Dブロックを扛上させた後、Cブロックの1回目の縦引きを行う。縦引き完了後、Dブロックを降下させ、Cブロック工事桁と固定させる。固定完了後、C・Dブロックを同時にEブロック引き込み部へ2回目の縦引きを行い、建築限界外へ移動させる。

表-1 切替概要表

| | ブロック | 桁延長 | 扛上・降下・縦引き量 | 桁重量 | 使用設備 |
|-------|------------------|-----------|--------------------------------------|----------|------------------|
| 降下区間 | 降下区間(1) Aブロック | L=54.350m | 降下量 0～508mm | 144.719t | 500KN油圧ジャッキ |
| | 降下区間(2) Bブロック | L=54.875m | 降下量 527～2,020mm | 130.482t | 500KNセンターホールジャッキ |
| 縦引き区間 | 縦引き区間 Cブロック | L=51.863m | 縦引き量 83.0m | 173.266t | 複胴ウインチ |
| | 扛上区間 Dブロック | L=31.000m | 扛上量 2,400mm 降下量 914～1,309mm | 95.765t | 200KN電動チェーンブロック |
| | 引き込み区間 Eブロック | L=51.863m | | | |

3. 施工機械の選定

(1) Aブロック

Aブロックは不動前駅構内である。工事桁降下には実績のあるセンターホールジャッキを使用することが多いが、ホーム幅員が減少し旅客への影響が大きいため、500kN 油圧ジャッキを採用した。

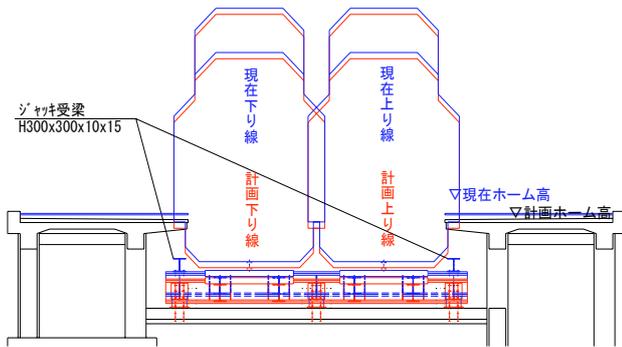


図-4 Aブロック断面図

降下量は最大 508 mm であるため、1 回で降下出来ない箇所は 1 支点到 2 台のジャッキを設置し、サンドルを盛替ながら降下させることとした。

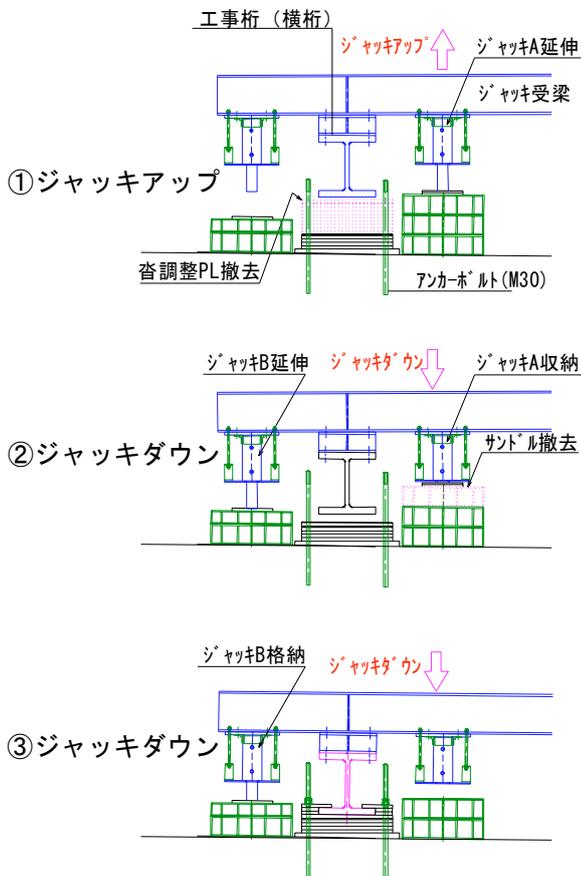


図-5 Aブロック降下手順縦断面図

(2) Bブロック

Bブロックは旅客への影響が無いいため、使用実績があり、安定して桁を降下できる 500kN センターホールジャッキを採用した。降下速度を一定にするため、油圧ホース長を同一にした。

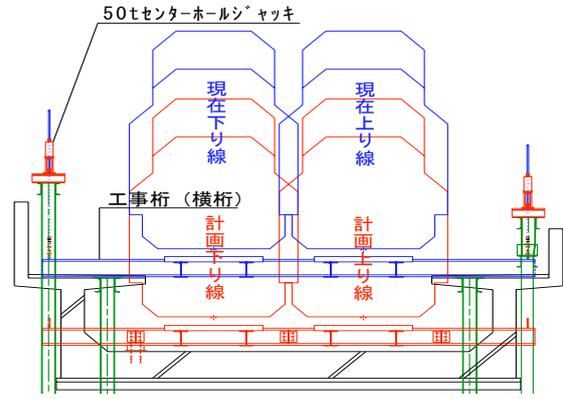


図-6 Bブロック断面図

降下量は最大 2,020 mm であり、ジャッキのストロークは 220 mm であるので、地切り量を考慮し、各支点とも 11 回に分けて降下させることとした。

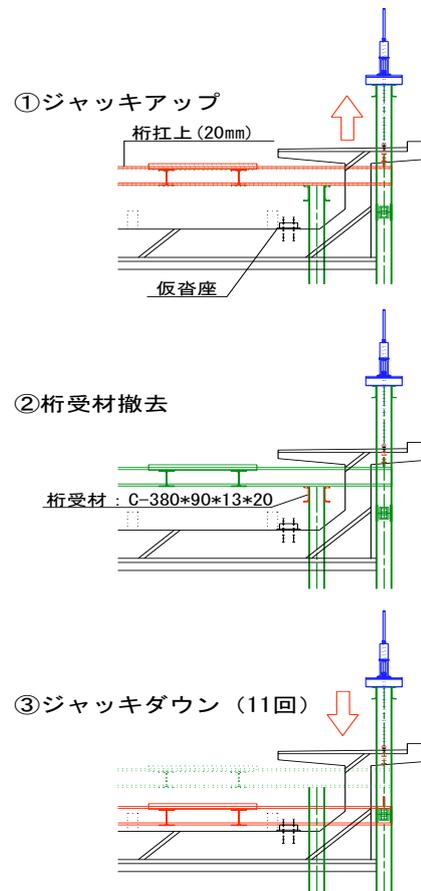


図-7 Bブロック降下手順断面図

(3) C～Eブロック

Cブロック工事桁を 500kN 油圧ジャッキを使用して台車へ受替える。Dブロック工事桁扛上完了後、1回目の縦引きをEブロックに配置した電動ウィンチにて行う。台車の1輪当りの最大反力は90.2kNであるので、車輪材質 S55C、許容輪圧 1900MPa の台車を採用した。

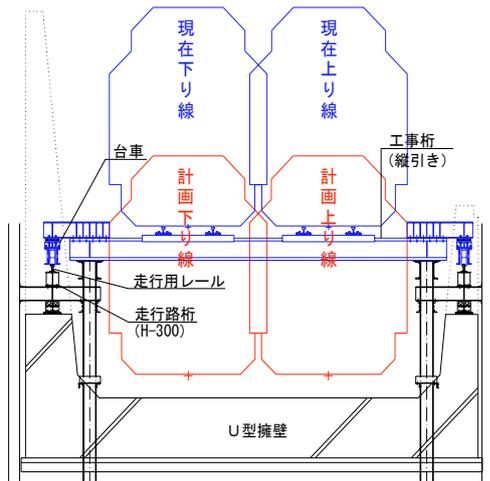


図-8 Cブロック断面図

Dブロックは工事桁を扛上させなければ縦引きを開始出来ないので、時間工程上クリティカルとなる。扛上・降下を素早く行える電動チェーンブロックを採用した。扛上量 2.4mと少ないが、個々の機械の巻上げ速度にバラつきが予想されたので、1回の扛上量を 600 mmとし、4回に分け、各支点を均等に上げることとした。

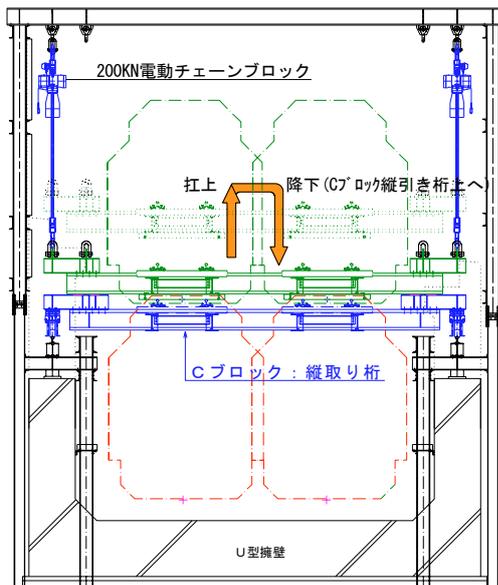


図-9 Dブロック断面図

Eブロックは計画線に対して建築限界外にあるので工事桁は動かさない。縦引き完了後、桁の固定を行うのみである。

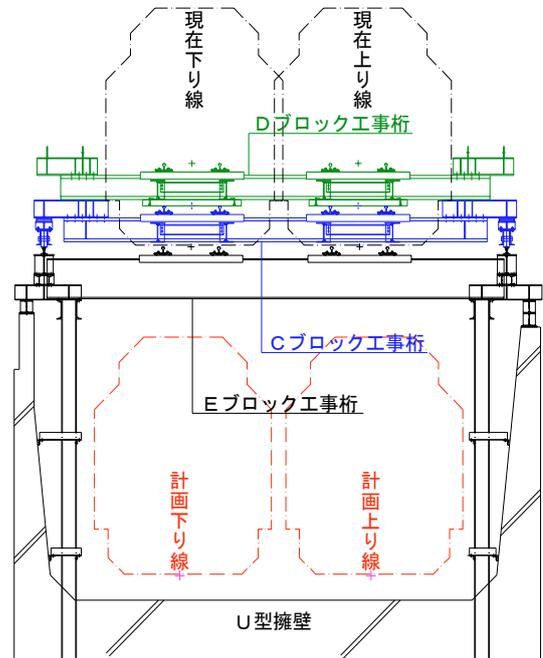


図-10 Eブロック断面図

縦引きに必要な牽引力は「実用クレーン便覧」より、走行抵抗・勾配抵抗・出発抵抗・ワイヤー抵抗・付加抵抗を算出した結果、161.7kNであった。滑車（3車）を使用した場合のワイヤーロープ張力の最大値は30.5kNであるので6号16φ(6×37)B種 JIS G3525を採用した。ワイヤーロープ必要長は、繰込み長・当初巻取り長・余裕長を足し、1,600mである。以上の条件と縦引き速度 3.0m/min 以上を満たす機械として、45kW 複胴ウィンチを採用した（ロープ張力：54.4kN・ロープ速度：25.6m/min・ロープ巻取り長：3,098m）。図-11にワイヤー繰込み概要平面図、図-12にワイヤー繰込み縦断面図を示す。

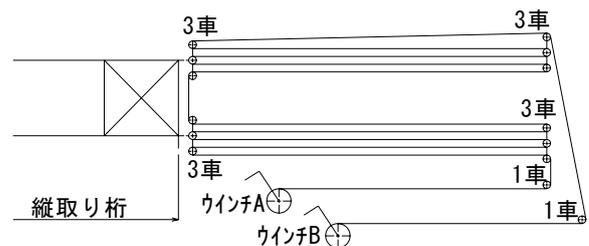


図-11 ワイヤー繰込み概要平面図

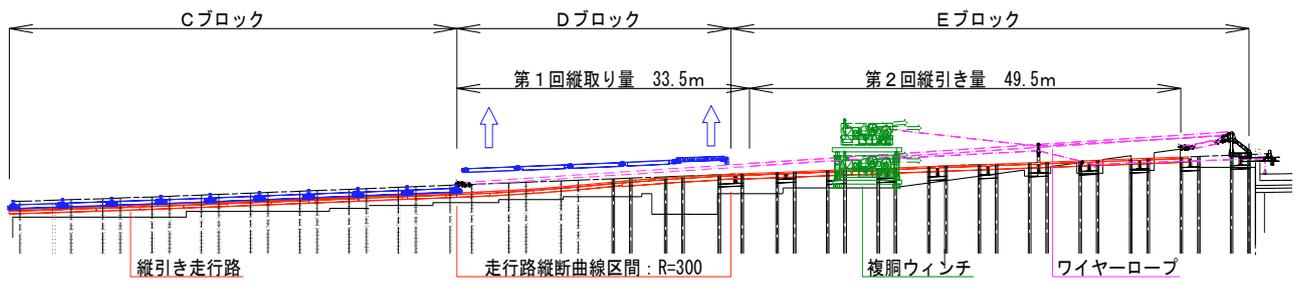


図-12 ワイヤー繰込み縦断図

4. 緊急時対策（リスク管理）

営業線の切替工事であるため、トラブルによる工事の遅れは旅客・都市機能へ多大な影響を与える。切替工事中にトラブルが無いように採った対策を以下に述べる。

(1) 試験施工の実施

A～Eブロック全て、現地で実際に使用する機械を動かして試験施工を行い、全作業員へ作業手順・機械の習熟を図った。試験時に不備が発見された場所については、再度試験を行った。

(2) 施工機械のトラブル対策

ジャッキ・油圧ポンプ類は全て予備機を各2台用意した。また、故障時の機械交換手順を事前に決定し、交換訓練を行い、トラブル時の遅延時間を把握した。

電動チェーンブロックは、最大吊り上げ荷重が120kNであったが、1台故障しても隣り合う機械でカバー出来るよう、200kNの物を採用した。2台目の故障に備え予備機と、即座に設置できるようラフテレーンクレーンを配置した。

縦引き設備は、ウィンチが1台故障しても、1台でワイヤーロープを巻き取れるドラムを装備したも

のを採用した。さらにウィンチが2台共故障しても縦引きが可能にするため、500kN ジャッキ・レールクランプを配置した。ジャッキ・レールクランプを使用した長距離移動時のデータ（桁の挙動・サイクルタイム等）が無い場合、500kN ジャッキ・レールクランプを使用し、実験施工を行った。



写真-1 実験施工状況

(3) 工事進捗管理

本報告では不動前駅付近について述べてきたが、切替当日は他の駅部・踏切部でも工事を行っており、全体の進捗を把握する必要があった。無線機・電話では、進捗が把握しにくいので、ウェブカメラを各所に配置し、工事本部・指揮所にモニターを設置して、映像にて進捗管理・確認を行った。

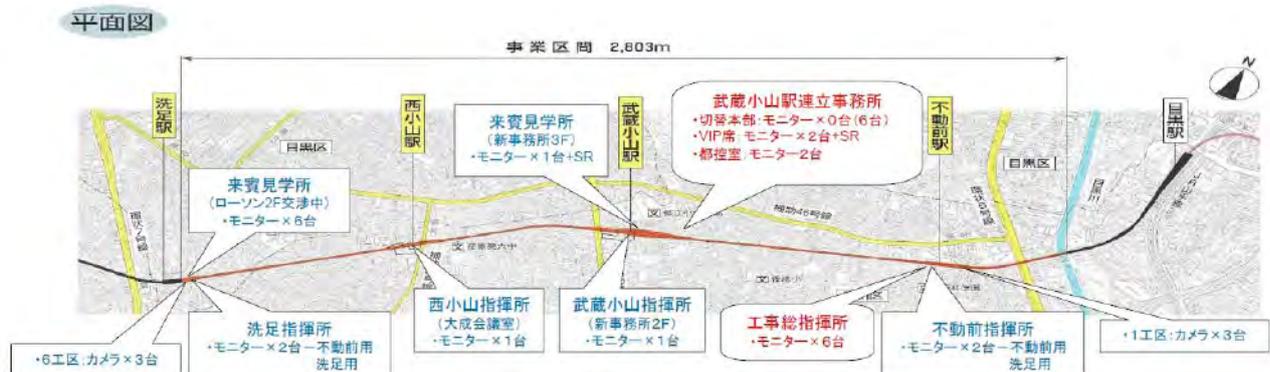


図-13 ウェブカメラ・モニター配置図

5. 施工実績

表-2 に実施時間工程を示す。

表-2 切替工事实施時間工程

| 工種 | 時間 | 24 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------|-------|---------------------|-----------|--------|------------------|-------|---|
| 準備工 | | 機材確認調整 | | | | | |
| 降下区間 | Aブロック | ボルト撤去・地切り | | 桁降下 | 調整・固定 | | |
| | Bブロック | ボルト撤去・桁地切り | | 仮受材撤去 | 桁降下 | 調整・固定 | |
| 縦引き区間 | Cブロック | 地切り | 受替え1回目縦引き | 2回目縦引き | | | |
| | Dブロック | レールガス切断 | 桁扛 | 桁降下・固定 | | | |
| | Eブロック | | | | | 桁固定 | |
| ホーム部 | | ナスリップ合板撤去・復旧(脚型枠含む) | | | | | |
| 保線工事 | | ガードレール撤去・補修 | | | レール復旧・軌道検査 | | |
| 信号工事 | | | | | ポイント復旧 ATC軌道回路調整 | | |
| 電路工事 | | | トロリ線切断・撤去 | | トロリ線高上・運轉 | | |

下り終電0:42
上り終電0:35

き電停止1:10
線路閉鎖0:49

送電依頼4:20

上り初電5:10
下り初電5:01

切替当日は20時から最終打合せを行い、定刻通り終電車を通過させた後、工事に着手した。Bブロックの桁降下前作業に手間取り、降下開始が予定より遅れたが、時間内にレール復旧作業を終えることができた。C Eブロックは順調に作業を行い、予定より7分早く終わることができた。

今回の切替工事に動員された人員は、土木工事500名、保線工事200名、電気工事120名の合計820名であった。

6. おわりに

今回は直線区間での切替工事であったが、今後は曲線部にも対応できるよう、施工方法・施工機械の検討が必要とされる。

都市部での鉄道立体交差事業ではSTRUM工法の必要性が増すと考えられるので、本報告が参考になれば幸いである。



写真-2 地下化切替前



写真-3 地下化切替状況



写真-4 地下化切替完了

40.円筒柱運搬建込み装置の開発と地下鉄駅部工事への導入

東急建設株式会社 技術本部 機械技術部：○金井 孝行 西尾 仁

1. はじめに

近年、地下構造物の施工においても、品質向上・省力化・工期短縮を目的に工場生産された製品部材が躯体重要部位として多く使われ、その部材は大型・重量化の傾向にある。今回、狭隘な地下トンネル工区内の駅舎プラットフォーム構築に円筒形鋼製柱が採用されたのに伴い、柱の運搬と建込み作業を安全迅速に行う必要に迫られた。

本稿では自社で開発し、現場導入した円筒形鋼製柱の運搬・建込み装置について報告する。

2. 運搬建込み装置の要求性能と選定上の問題点

2.1 工事概要

横浜市高速鉄道4号線日吉駅建設工事は横浜環状鉄道(市営地下鉄4号線)中山～日吉間の起点である日吉駅を東急東横線日吉駅の下に駅舎構造物を建設するものである。地下空間は NATM トンネル工法で施工され、駅舎はアーチ形状の空間内に構築される。

プラットフォーム上部に位置する機械室床盤支持に円筒形鋼製柱が使われ、この柱の現場内運搬と建込み作業の検討が必要となった。柱建込み完了状況を写真-1、地上開口部から柱の吊降ろし状況を写真-2、柱の諸元を表-1に、柱外形を図-1に示す。



写真-2 地上開口部から搬入中の円筒柱

表-1 円筒柱の諸元

| | | | |
|----|---------|------|------|
| 質量 | | (Kg) | 4430 |
| 全長 | | (mm) | 3600 |
| 直径 | 柱本体 | (mm) | 650 |
| | 上下フランジ部 | (mm) | 1300 |



写真-1 建込み終了後の円筒柱

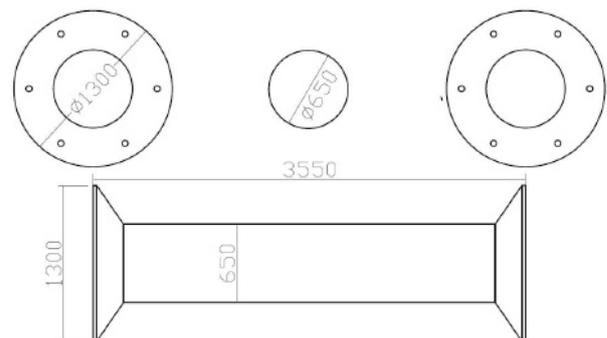


図-1 円筒柱

円筒柱の搬入経路全体を図-2 に示す。

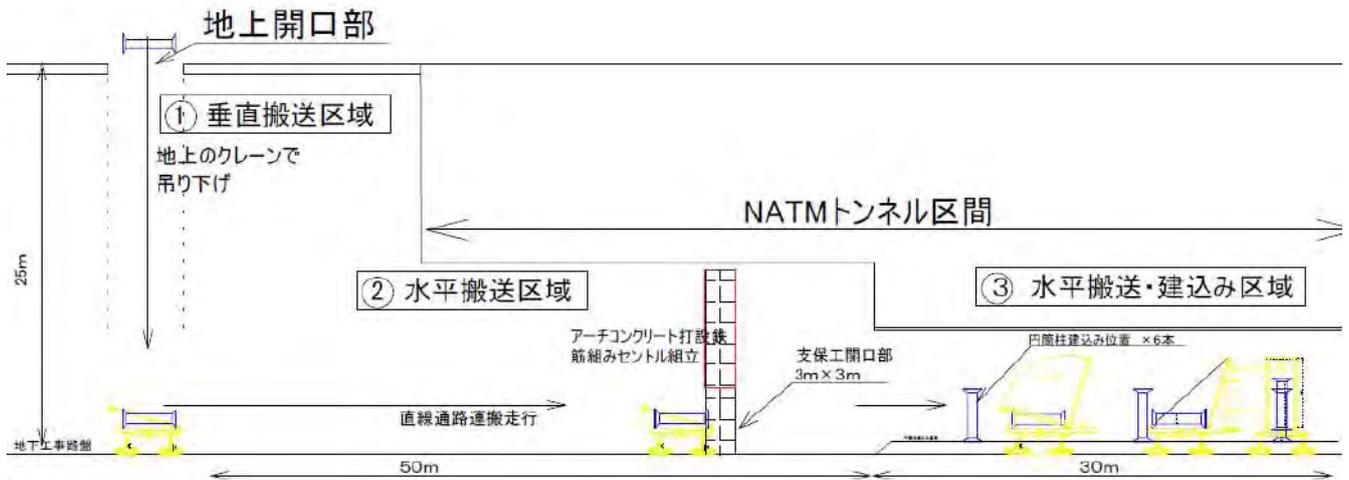


図-2 円筒柱搬入経路の全体概要

2.2 円筒柱運搬と建込みの制約条件

(1) 垂直搬送区域

(地上路面投入開口部から地下工事床盤までの揚程 25m区間、図-2、①)

円筒柱の地下空間への投入は、日吉駅前東口の路面覆工板を夜間の交通量が減少した時間帯に開放し、有効幅 2.6m、長さ 4.0mの開口部を投入口とする。柱の吊り降ろし機械はラフテレーンクレーンを用いる。

(2) 水平運搬区域

(NATMトンネル大断面工区、延長 50m、図-2、②)

水平搬送で、最初に NATM トンネル大断面工区を通過する。この工区では同時期に二次覆工のコンクリート型枠支保工の組み立てが進行し、中央運搬路を遮断している。支保工中央部に高さ3m×幅3mの開口部をもうけ、搬送動線を確保する。

搬送路面は鉄筋コンクリート床であるが、排水や設備配管溝等の切り込みが点在し±50mmほどの段差が生じている。

(3) 水平運搬と建込み区域

(NATMトンネル小断面工区、延長 30m、図-2、③)

大断面工区を通過すると図-3 の断面図に示す建込み区間に入る。柱建込みは図-4 の平面図に示すように、中央走行路左右のプラットフォーム側に片側3本ずつ、計6本の柱を建込む。柱の基礎高さは中央走行路よりレベルが+858mm高く、走行路センターから直角方向に 2850mm離れた距離に位置する。

柱は下端フランジボルト穴と基礎アンカーボルト穴を一致させボルト8本で固定する。

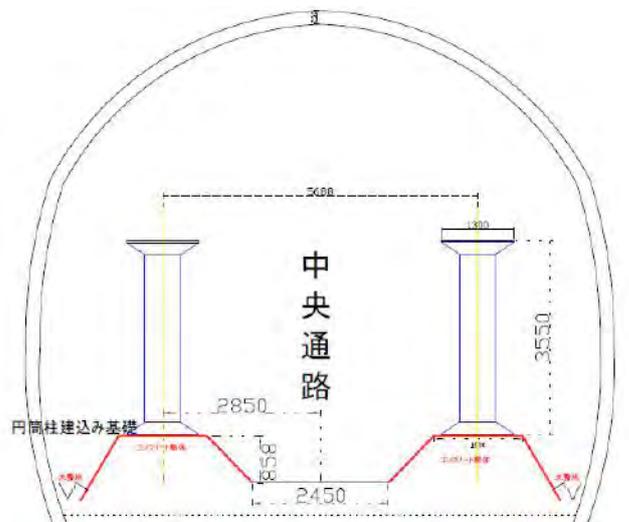


図-3 柱建込み区域 断面図

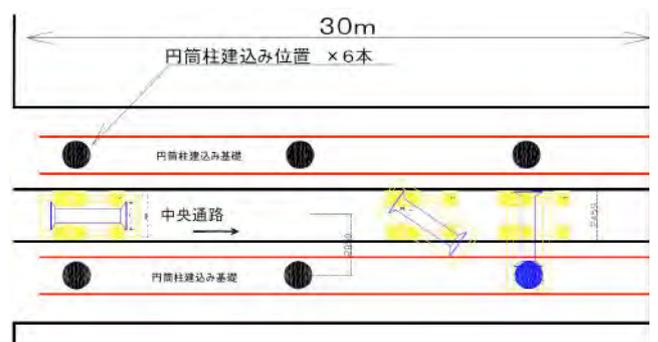


図-4 柱建込み区域 平面図

2.3 運搬建込み装置の要求性能

前項2.2で述べた制約条件から搬送・建込み時の機械の要求仕様を表-2に明記する。

表-2 搬送・建込み機械要求性能

| 部位 | 仕様 | | | 備考 |
|---------|--------------------------|---------|------|--|
| 1 搬送機械 | 積載定格荷重 | (Kg) | 5000 | 地上から地下への機械投入時に路面覆工作業口部有効寸法(幅2.6m×長さ4.0m)からの投入可能な形状 |
| | 車体幅 | (mm) | 2400 | |
| | 車体長さ | (mm) | 4000 | |
| | 積載時全体高さ | (mm) | 3000 | |
| | 走行速度 | (m/min) | 12 | |
| 2 建込み機構 | 建込み定格荷重 | (Kg) | 5000 | 基礎部フランジボルトの穴位調整機能(回転)が必要 |
| | 水平距離 搬送路中心より | (mm) | 2850 | |
| | 垂直距離 搬送路盤高より | (mm) | 4700 | |
| | 基礎部フランジボルトの穴位調整機能(回転)が必要 | | | |

2.4 既存機械の問題点

最初に既存の施工機械導入を前提に機械の検討を行った。

(1) 運搬機械の検討

クローラダンプ、貨物自動車、フォークリフトの中から検討したが、積載荷重の容量や荷台の長さ寸法が不足した。建機レンタル業者が保有する資材運搬台車も検討したが、同様に積載荷重が不足し選定困難であった。

(2) 建込み機構の検討

最大吊り上げ荷重が5~10tonの自走式クレーンと鋼材ハンドリングマシンの中から選定を進めた。

- クレーン設置通路が狭くアウトリガーの張出しが困難。
- クレーンブーム先端の空間がトンネル内壁に接近し、柱上端部の玉架けワイヤ吊り代の確保が困難。
- ハンドリングマシンの把持機構はH形鋼に対応しているため円筒柱中央部〔φ650mm〕の把持が困難。
- 柱下端部フランジのアンカーボルト穴合わせの回転角度調整も困難と判明した。

又、上記の既存機械は地下路盤へ投入する時に、地上路面覆工開口部の拡大が不可欠であった。

以上のように既存機械では対応困難なことが判明したため、新規開発を行うことにした。

3. 運搬建込み装置の新規開発

3.1 新規開発のコンセプト

- 運搬機械と建込み機械を一体化し、狹隘な作業空間にゆとりを持たせ、施工の容易化を図る。
- 運搬建込み機械の地下投入時に地上開部(幅2.6m長さ4.0m)を拡大せずに投入可能とするため、分解組立が容易な構造とする。

3.2 運搬装置の設計条件

- 運搬装置の本体フレーム上面は長方形の平面形状とする。
- 走行路面はコンクリート床、鉄板、覆工板上で不陸の段差は最大100mmを通過可能とする。
- 運搬時には走行路に過大な集中荷重が作用しないよう、荷重を分散させる。走行速度はゆっくり歩く時の速度(12m/分程度)とする。
- 運搬装置車輪は水平運搬だけでなく、建込み時の重心移動による荷重変動に耐えられ垂直沈下変動の少ない構造とする。

3.3 運搬走行車輪の構造

(1) 車輪ユニット台車の構造

車輪ユニット台車は、建込装置を搭載するので、全装備質量は20トンを超え、この荷重を車輪が受ける。

又、装置の高さ制限や平面形状のコンパクト化が要求され車輪の小径化が必須条件である。近年フォークリフトや高所作業車への普及が目覚ましい硬質ゴム(ノーパンク)タイヤに注目し、硬質ゴムタイヤの導入を前提に性能調査した。空気タイヤと硬質ゴムタイヤの最大負荷能力比較を図-5に示す。

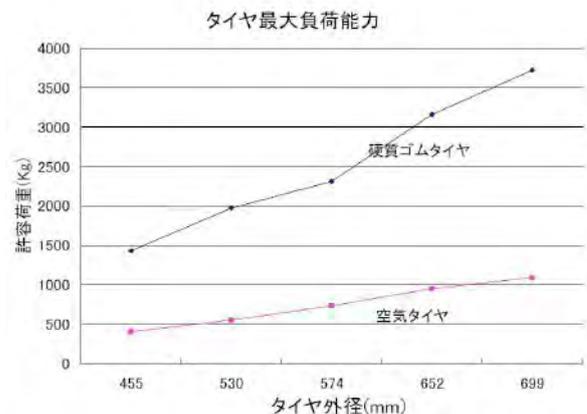


図-5 空気タイヤと硬質ゴムタイヤ最大負荷能力の比較

図-5で示すように、硬質ゴムタイヤは同径の空気タイヤの3倍以上の荷重負荷能力を有することが確認できる。空気タイヤはエアの圧力管理やパンク対策が必要である。また車軸との結合にハブドラムが必要である。タイヤはリムとハブボルトで接合するので3本以上のホイールの接続は困難である。しかし硬質ゴムタイヤを用いる車輪接合機構の設計は比較的容易である。

今回、選定した硬質ゴムタイヤ(5.00-8-3.00D)は外形455mm、幅は140mmである。このタイヤ3本を接合し、幅420mmの車輪ブロックを1軸のシャフトに接合し、2軸のシャフトで1ユニット台車を構成した。1ユニット台車はタイヤを6本装着し、4ユニット台車で24本のタイヤを走行フレームに装着した。

このタイヤ1本当たりの最大負荷能力は1500kgである。24本のタイヤに1500kgが同時に作用したと想定した場合、全体で36tonの質量を支持できる。

最大負荷時のタイヤ変形量および走行時の接地路面に与える応力(接地圧力)のデータが公表されていないので計測を実施した。(写真-3,写真-4)

計測の結果を図-6に表示する。タイヤ最大負荷時の変形沈下量は20mmであった。路面に作用する接地圧力は、接地面中心の変形量が多く圧力は高くなり、周辺は低下する。接地面の平均圧力は0.59MP(6.07kg/cm²)と判明した。この値は一般の貨物自動



写真-3 タイヤ荷重テスト(1.5t)



写真-4 接地面積測定



写真-5 タイヤ3本連結

車の空気タイヤの接地圧(タイヤ空気圧)にほぼ等しい。

写真-6は走行フレーム上に16tonの試験ウエイトを積載した走行テスト状況である。走行フレームの4隅に車輪ユニット台車を配置し、計4ユニット台車(24輪)で本体フレームを支える。

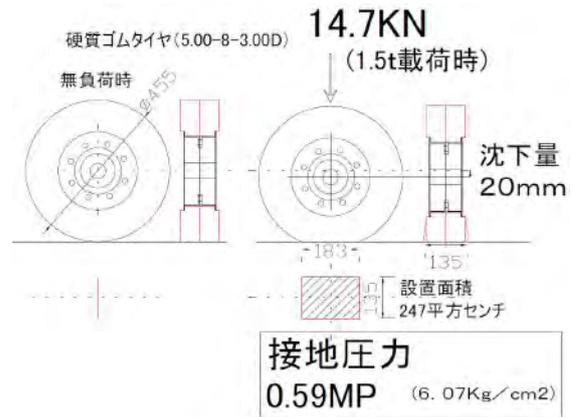


図-6 接地面変形状況と接地圧力



写真-6 走行フレーム荷重(16t)走行テスト

3.4 建込み装置の構造

建込み装置は走行装置本体フレーム上部に回転テーブルを搭載し中心部をピンで結合する。

回転テーブルは旋回時に通路両側の柱基礎に接触しない様、走行ユニットフレームのコーナーに柱フレームを配置し、走行フレーム上端高さを走行路面から+1,450mmの位置とした。(写真-6) 運搬建込み装置の構造概要を図-7と表-3に示す。

表-3 運搬建込み装置仕様

| | | | | |
|-------|------------|---------|-------|-------------------------------|
| 寸法 | 長さ | (mm) | 4700 | |
| | 幅 | (mm) | 2352 | |
| | 荷台寸法 | (mm) | 3800 | |
| | 荷台面上高さ | (mm) | 3039 | |
| | 最低地上高さ | (mm) | 1100 | |
| 走行 | 最大積載質量 | (ton) | 30 | 無負荷時 最大積載時 |
| | 走行速度 | (m/min) | 12 | |
| | 登坂応力 | (度) | 20 | |
| | 段差乗り越え | (mm) | 5 | |
| | 段差乗り越え | (mm) | 100 | |
| 駆動部 | 走行電動機出力 | (Kw) | 2.2×2 | ブレーキ付キアモータ 2台 インバータ速度制御 |
| | 制御 | | | |
| 操舵機構 | 電源部 | (KVA) | 9.9 | 小型発電機を車体に搭載 |
| | 油圧シリンダ〔推力〕 | (ton) | 5 | |
| 操作方法 | 独立ユニット | (Kw) | 1.5 | ストローク200mm×2本 |
| | 押しボタンスイッチ | | | |
| 建込み装置 | 起伏マスト高さ | (mm) | 6649 | 電動チェーンブロック 必要により手動引き出し式を使用 |
| | 定格半径 | (mm) | 2850 | |
| | 最大半径 | (mm) | 4000 | |
| | 定格荷重 | (Kg) | 5000 | |
| | 巻き上げ装置 | | | |

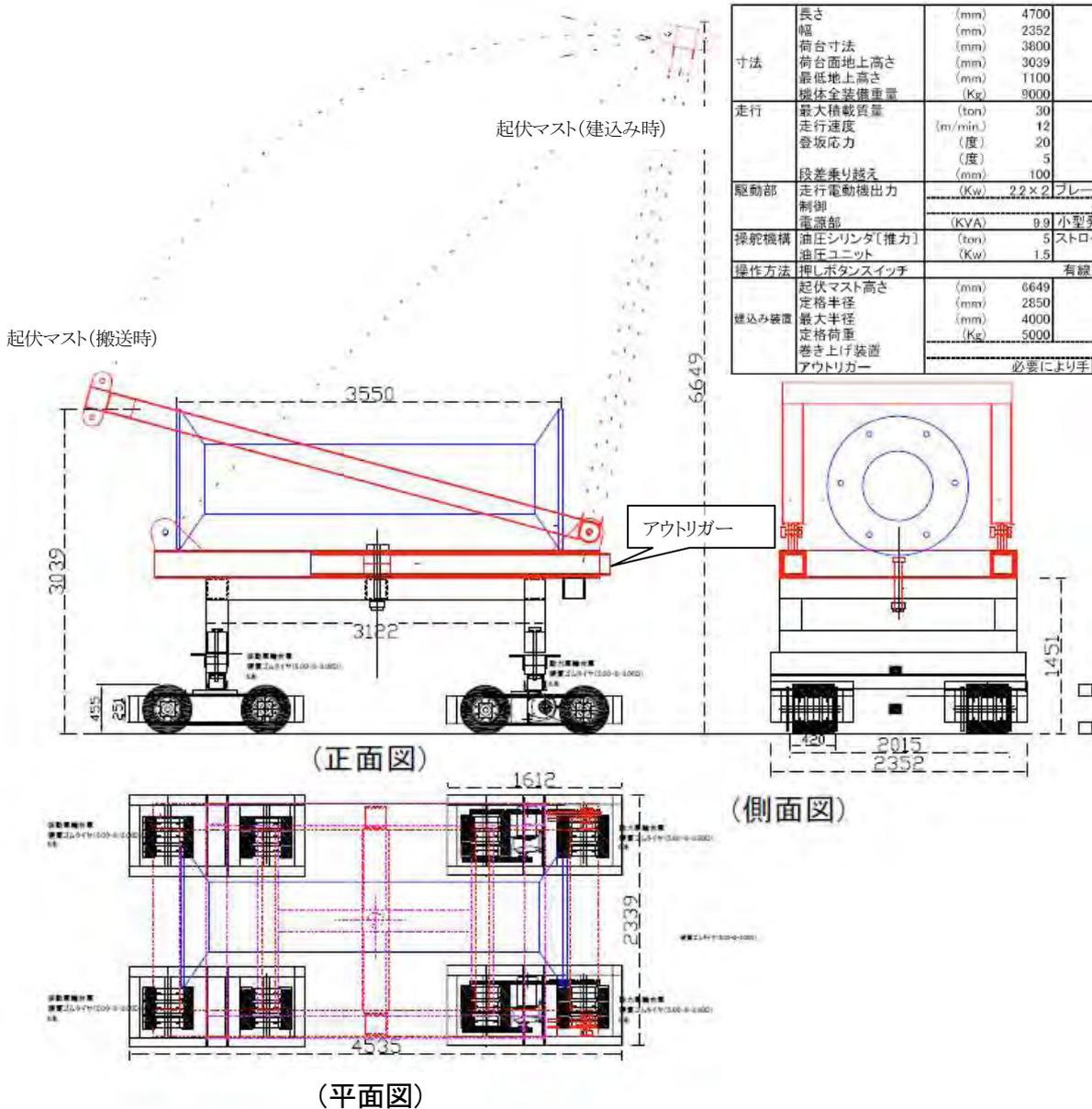


図-7 運搬建込み装置 全体概要

4. 施工報告

4.1 施工手順

運搬・建込み手順概要は以下のとおり

(建込み手順を図-8に示す)

- (1) 柱運搬時は回転テーブル中央に柱を水平固定し、折畳み式鳥居型起伏マストは積載物を囲む形状で後方に収納する。(図-7)
- (2) 建起し作業時には回転テーブルを建込み基礎方向に旋回し、起伏マスト上部先端を柱建込み位置センターに一致するよう、起伏マスト角度を調整する。(図-8、①)

- (3) 起伏マストの先端に取り付けたチェンブロックで水平に搭載している柱の上端を引き上げる。柱の下端は回転テーブル上を滑りながら移動し柱は立ち上がる。(図-8、②)
- (4) 柱上部が完全に吊り上がると、柱下端フランジは基礎アンカー上部に移動し揚重状態となる。(図-8、③)
- (5) 柱下端のフランジ穴芯とアンカーボルトの角度を合わせた後に柱を降下させ、固定する。(図-8、④)

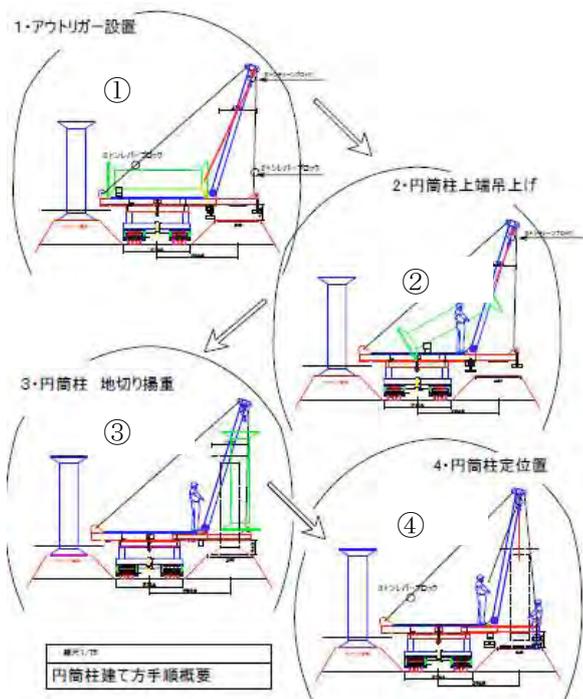


図-8 円筒柱建て込み手順

4.2 施工状況

前述の手順に従い、安全で迅速な柱の運搬建て込み施工を実施した。(写真7～11)



写真-7 円筒柱運搬状況(前方)

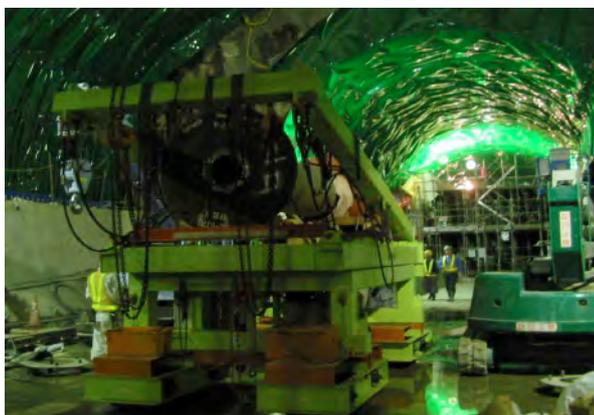


写真-8 円筒柱運搬状況(後方)



写真-9 建起し状況 下部スライド装置

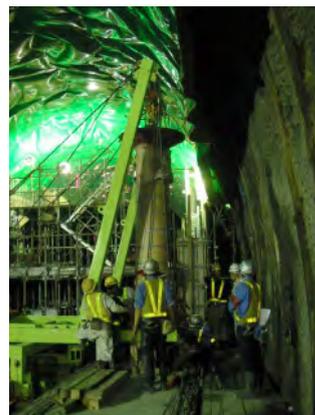


写真-10 アンカーボルト芯合せ



写真-11 建て方終了

5. おわりに

資機材揚重に用いる工事用クレーンは幅広いニーズに対応する機種が開発され、特殊な小分割クレーンなども建設工事で活躍している。資機材水平運搬に用いる搬送機械も、軌道走行のバッテリーロコなど、工事のニーズに対応し高性能化し進化している。しかし、工事現場の路盤上を自由走行する運搬機械は流通・倉庫・製造・鉱山・農林等で開発された機械がそのまま建設工事に転用され、自動化・高性能化が図られて広く活躍しているが、本稿で報告した狭隘地下空間において運行可能な重量物運搬は汎用機械で対応することは困難である。

今回、現場と共同で車輪調査の選定から新規に見直し、硬質ゴム車輪ユニットを組み合わせ小型の車体寸法枠の中で重負荷搬送の能力を有する台車(走行プラットフォーム)を開発製作し、このプラットフォーム上に建込装置を搭載して使用した結果、鋼製円筒柱の運搬建て込みを1日に2本施工できた。

今後は、プラットフォームの走行曲線半径の縮小化による操作性と機動性向上や構成ユニットの標準化と低コスト化を図り、重量運搬作業の更なる安全と生産性向上の推進に寄与したい。

平成 19 年度 広報部 シンポジウム実行委員会 名簿

(順不同・敬称略)

| | 委員名 | 機関名 | 所属・役職 |
|------|-------|--------------|--|
| 委員長 | 建山和由 | 立命館大学 | 理工学部 建築都市デザイン学科 教授 工学博士 |
| 副委員長 | 吉田正 | 国土交通省 | 総合政策局 建設施工企画課 施工環境技術推進室長 |
| 〃 | 高橋弘 | 東北大学 | 大学院環境科学研究科環境科学専攻 太陽地球システム・エネルギー学講座地球開発環境分野 教授 工学博士 |
| 委員 | 山元弘 | (独)土木研究所 | 技術推進本部 先端技術チーム 主席研究員 |
| 〃 | 新田恭士 | 国土交通省 | 総合政策局 建設施工企画課 課長補佐 |
| 〃 | 小薬賢一 | 前田道路(株) | 工務部 (つくばテクノセンター) 担当部長 |
| 〃 | 大坂衛 | 大成建設(株) | 土木本部 機械部 部長 |
| 〃 | 星野春夫 | (株)竹中工務店 | 技術研究所 先端技術研究部 新生産システム部門 主任研究員 |
| 〃 | 大塚和夫 | コマツ | 開発本部 商品企画室 担当部長 |
| 〃 | 有光秀雄 | コベルコ建機(株) | カスタマーサポート部 サービス技術グループ シニアマネージャー |
| 〃 | 村上誠 | 新キャタピラー三菱(株) | 直販部長 |
| 〃 | 田中利昌 | 日立建機(株) | 建設システム事業部 技術部 部長 |
| 〃 | 高見俊光 | サコス(株) | 営業推進部 部長 |
| 〃 | 川本正之 | (社)日本機械土工協会 | 技術委員長 |
| 〃 | 竹之内博行 | (社)日本建設機械化協会 | 施工技術総合研究所 技師長 |
| 〃 | 大谷悟 | (社)日本建設機械化協会 | 技師長 |
| 〃 | 浅野邦彦 | (社)日本建設機械化協会 | 技術部長 |
| 〃 | 西脇徹郎 | (社)日本建設機械化協会 | 標準部長 |
| 〃 | 吉田潔 | (社)日本建設機械化協会 | 研究調査部次長 |

建設施工と建設機械シンポジウム論文集（平成19年度版）

平成19年10月6日 印刷

平成19年10月8日 発行

編集 社団法人 日本建設機械化協会
発行所

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8
(機械振興会館内)

TEL (03)3433-1501

FAX (03)3432-0289

複製厳禁

印刷所 昭和情報プロセス(株)
東京都港区三田5-14-3