

平成21年度

建設施工と建設機械シンポジウム

論 文 集

平成21年11月10日～11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
社団法人 日本建設機械工業会
一般社団法人 日本測量機器工業会

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、アブストラクトについては全審査員が全編を審査し、論文については1編あたり3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（委員五十音順・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	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 地球環境開発環境分野 教授 工学博士
委員	大塚和夫	コマツ	開発本部 商品企画室 担当部長
委員	川本伸司	前田建設工業(株)	土木事業本部 土木部 機械グループ マネージャー
委員	小栗賢一	西尾レントオール(株)	測器部 情報化施工推進室
委員	白鳥昭浩	(社)日本建設機械化協会	技師長
委員	高見俊光	サコス(株)	営業推進部 部長
委員	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
委員	田中利昌	日立建機(株)	建設システム事業部 技術部 部長
委員	玉石修介	(社)日本機械土工協会	技術委員長
委員	西脇徹郎	(社)日本建設機械化協会	標準部長
委員	藤野健一	(独)土木研究所	技術推進本部 先端技術チーム 主席研究員
委員	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 工学博士
委員	前原信之	(社)日本建設機械化協会	技術部長
委員	溝口孝遠	コベルコ建機(株)	顧問 工学博士
委員	宮野泰彰	キャタピラー・ジャパン(株)	市場開発部 マーケット営業支援課 課長
委員	吉田 正	国土交通省	関東地方整備局 関東技術事務所長

平成 21 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. 「小口径・長距離シールドにおける施工の効率化とビット交換」
株式会社フジタ：○渋谷 光男、西井 健比古・・・ 1
2. 「ダムコア材の乾燥、曝気設備の開発と現場実績」
株式会社熊谷組：○緒方 伸一郎、中川 安典、沼宮内 雅人・・・ 7
3. 「水中バックホウのマニピュレータ化に関する研究」
独立行政法人港湾空港技術研究所：○平林 丈嗣
筑波大学： 矢野 博明、岩田 洋夫・・・ 11
4. 「排水ポンプ設置支援装置の開発」
独立行政法人土木研究所寒地土木研究所
技術開発調整監付寒地機械技術チーム：○牧野 正敏、堀田 歩、高松 茂・・・ 17
5. 「ロックボルトによる極小断面水路トンネル補修の設計と施工法」
三井住友建設株式会社：○山地 宏志、中野 陽一
山口大学：清水 則一・・・ 23
6. 「可塑性材料によるトンネル覆工背面空洞の長距離圧送充填工法の開発」
三井住友建設株式会社：○戸村 豪治、山地 宏志
財団法人建設工学研究所：櫻井 春輔・・・ 29
7. 「繊維シートによる新設トンネル覆工コンクリートのはく落防止技術」
佐藤工業株式会社：○京免 継彦、宇野 洋志城、小泉 直人・・・ 35
8. 「柱梁P C a 構造化の各種工法における品質確保について」
株式会社熊谷組：○渡辺 英彦、吉松 賢二・・・ 41
9. 「有機酸浸透方式による腐食土地盤の無公害バイオ系改良」
大崎建設株式会社：○清野 昭博・・・ 47
10. 「多段載荷累積変位法による地盤診断法の開発と適用事例」
清水建設株式会社：川崎 廣貴、○長澤 正明・・・ 51
11. 「C S G工法用混合装置の開発と実用化」
清水建設株式会社：○加瀬 俊久、吉野内 眞二、大崎 祐作・・・ 57

12. 「CSG工法用混合装置の開発と実用化」
 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所
 技術開発調整監付寒地機械技術チーム：○国島 英樹、山崎 貴志
 技術開発調整監付寒地技術推進室道央支所：平 伴斉・・・ 61
13. 「油圧ショベルにおける低燃費性能開発」
 株式会社神戸製鋼所：○南條 孝夫、今西 悦二郎
 コベルコ建機株式会社：沼田 直剛・・・ 67
14. 「環境に配慮した固化材散布機の開発」
 株式会社NIPPON：○相田 尚、片岡 直之
 株式会社範多機械：野田 正治・・・ 73
15. 「外部コスト換算比較による建設機械排出ガス削減効果の評価」
 社団法人日本建設機械化協会：○稲葉 友喜人、佐藤充弘
 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：西ノ原 真志・・・ 77
16. 「環境に配慮した中高層ビル解体工法の開発」
 鹿島建設株式会社：吉川 泰一朗、水谷 亮、○飯塚 満・・・ 83
17. 「くい打機の転倒に与える施工現場の支持力要因」
 独立行政法人労働安全衛生総合研究所：○玉手 聡、堀 智仁・・・ 89
18. 「遠心模型実験によるくい打機の最大接地圧と支持力安全率の検討」
 独立行政法人労働安全衛生総合研究所：○堀 智仁、玉手 聡・・・ 93
19. 「油圧ショベルのハイブリッド化による燃費低減技術について」
 コマツ：○井上 宏昭・・・ 99
20. 「防振ゴム材の応力緩衝効果に関する基本考察」
 東海大学大学院：○南條 聡嗣、難波 達郎
 東海大学：近藤 博・・・ 103
21. 「盛土施工管理システムの現場適用」
 東急建設株式会社：○上野 隆雄、前田 勝行、永島 裕太・・・ 109
22. 「鉄道営業線上で実施するスライド工法に対応した施工管理システムの開発」
 株式会社大林組：○池田 雄一、川上 宏
 西日本旅客鉄道株式会社：端山 賢一・・・ 113
23. 「鉄道営業線上で実施するスライド工法に対応した施工管理システムの開発」
 株式会社NTTドコモ：○林 宏樹、田村 隆幸
 株式会社フジタ：三鬼 尚臣・・・ 119

24. 「コンクリート舗装へのICT施工技術の適用」
大成ロテック株式会社：○関口 峰、平野 晃、越村 聡介・・・125
25. 「重機土工におけるネットワーク型RTK-GPSの有効性検討」
株式会社間組：○武石 学、榎本 教隆、黒台 昌弘・・・131
26. 「パッシブ型ICTタグを用いた建設施工現場における協調的な情報システムの提案」
大阪大学大学院工学研究科：○矢吹 信喜
タイ・チュラロンコン大学（大阪大学）：Phatsaphan Charnwasununth
タイ・チュラロンコン大学：Tanit Tongthong・・・135
27. 「情報化施工における転圧管理システムCISの適用事例について」
酒井重工業株式会社：○小栗 はるな、眞壁 淳
前田道路株式会社：上野 健司・・・139
28. 「情報化施工における監督・検査に利用する施工管理情報項目の提案」
国土交通省 国土技術政策総合研究所：○渡邊 賢一、梶田 洋規、遠藤 和重・・・143
29. 「舗装工事における各種ICT機器を用いた施工と施工性能評価について」
前田道路株式会社：○宇田川 健治、古島 勝、菊地 重徳・・・147
30. 「ボーリング工事における、掘削モニタリングシステムの利用とモニタリングデータの活用」
株式会社大林組：○鶴山 雅夫、長井 千明、渡辺 和哉・・・151
31. 「油圧ショベルによる掘削作業の自動制御技術に向けた研究」
独立行政法人土木研究所：○茂木 正晴、藤野 健一、大槻 崇、邵 輝・・・155
32. 「ロータリ除雪車対応型路面清掃装置の開発」
独立行政法人土木研究所寒地土木研究所
技術開発調整監付寒地機械技術チーム：○中村 隆一、佐々木 憲弘
技術開発調整監付寒地機械技術推進室道央支所：坂口 勝利・・・161
33. 「PC床版の搬送及び取付装置の開発と導入」
東急建設株式会社：○西尾 仁、藤原 和博・・・167
34. 「機械攪拌と高圧噴射攪拌を用いたハイブリッド地盤改良工法」
国土交通省 関東地方整備局 荒川下流河川工事事務所：嵯峨 弘喜
WHJ工法研究会：鈴木 孝一、○西尾 経、高桑 一輝・・・171
35. 「音響カメラを用いた港湾構造物水中部劣化診断装置の開発」
独立行政法人土木研究所寒地土木研究所
技術開発調整監付寒地機械技術チーム：○五十嵐 匡
技術開発調整監付寒地機械技術推進室道央支所：長瀬 禎
国際航業株式会社：大西 明夫・・・175

36. 「ダム堆砂除去装置の開発」
東京電力株式会社：荒木 宏則、○小林 敏晴
東亜建設工業株式会社：宮下 広樹・・・181
37. 「端面掘削方式によるバックホウアタッチメントとしてのローラヘッダーの開発に関する基礎的研究」
呉工業高等専門学校：重松 尚久、○花岡 尚
株式会社スターロイ：小田 登・・・187
38. 「2層同時施工可能なアスファルトフィニッシャ新型機の開発」
大成ロテック株式会社：○関口 峰、平野 晃、藤枝 隆行・・・191
39. 「空気連行型翼式超高压噴射工法の概要と適用事例」
農林水産省 中国四国農政局：上岡 雅司
小野田ケミコ株式会社：鈴木 孝一、西尾 経、森 邦広・・・197
40. 「狭所作業が可能なドリル付き油圧割岩機の開発と施工」
玉石重機株式会社：○玉石 修介、片岡 廣志、濱山 祐司・・・201
41. 「凍結抑制舗装における振動マカダムローラと振動タイヤローラの適用事例」
酒井重工業株式会社：○木村 公俊
福田道路株式会社：勝野 靖之、田畑 雅浩・・・205

1. 小口径・長距離シールドにおける施工の効率化とビット交換

株式会社フジタ 建設本部 土木エンジニアリングセンター 機械部 ○渋谷 光男
 横浜支店 土木部 西井 建比古

1. 概要

本工事は、愛知県企業庁発注の送水管布設工事（延長 2,930m、セグメント外径φ2,000mm）で、泥土圧シールド工法を用い、平成 18 年 9 月から約 1 年半で一次覆工を施工した。

本工事の特色として、送水管ルートが国道直下ため、立坑用地の制限から小口径シールドではほとんど例のない、約 3km という長距離を 1 台のシールド機（写真-1）で施工した。そして、掘進途中において地盤改良をした砂層中で、2 回にわたり機内から切羽に人が出てカッタビット（土砂切削刃）の点検・交換作業を実施したことがあげられる。

本稿では、小口径で長距離、機内からのビット交換という難しい施工課題を、様々な工夫と技術で解決し、工事を完遂した成果を現場実績に基づいて報告する。また、最近の総合評価方式入札での技術提案を踏まえた、今後の小口径シールド長距離化の展望を記述する。



写真-1 Φ2.13m シールド機

2. 工事概要

愛知県営水道では、長期に亘る水需要への対応のほか、地震や渇水に強い水道施設づくりを目指し、より安全で安定した供給ができる施設の整備を進めている。

当事業は、緊急時対応施設等の一環となる管網化路線として、西三河地域の浄水場や広域調整池などの供給拠点を連絡し、地震災害時や渇水・事故時など非常時に広域的な水運用を可能とする施

設整備として計画された。その内、本工事は西三河中心部の国道 155 線直下に、土被り 9m から 31m の深さで、豊田市駒場町から刈谷市一ツ木町に至る 2,930m の区間に送水管を布設するものである。工事概要（表-1）と工事位置図（図-1）を示す。

表-1 工事概要

工事名	刈谷線第 4 工区（その 1）送水管布設工事
発注者	愛知県企業庁
施工者	フジタ・株木・近藤特定建設工事共同企業体
場 所	豊田市駒場町 ～ 刈谷市一ツ木町地内
工 期	平成 17 年 8 月 23 日 ～ 平成 21 年 3 月 15 日
一 次 覆 工	泥土圧シールド工法 掘削外径：Φ2,13m 掘削延長：2,930m 平面線形：最小曲線 R=60m 縦断線形：-2.1% ～ 1.48% セグメント：鋼製 外径 Φ2,000mm, 幅 750mm, 3,904 リング
二 次 覆 工	Φ800mm 鋼管運搬・据付け エアモルタル充填工：7,530.7m ³
地 盤 改良工	立坑地盤改良：CJG Φ2,000×32 本 発進防護工：薬液注入工 （二重管ストレーン復相） ビット交換部防護工（2 回）：薬液注入工 （二重管ストレーン復相）
立 坑 築造工	発進立坑：SMW 連続壁 ソイル Φ850, @600, L24m 芯材 H588×300, L23m, 60 本
管 工事工	開削工：一般管路、排水管部
構造物 築造工	制御弁室：1 箇所、排水柵：1 箇所

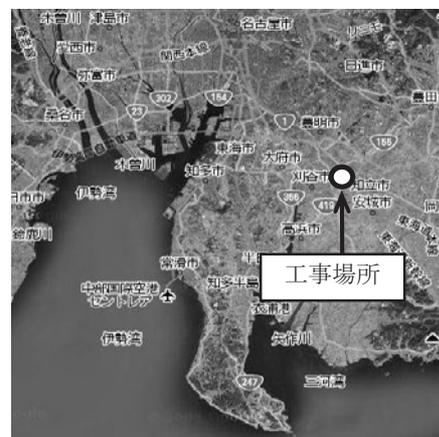


図-1 工事位置図

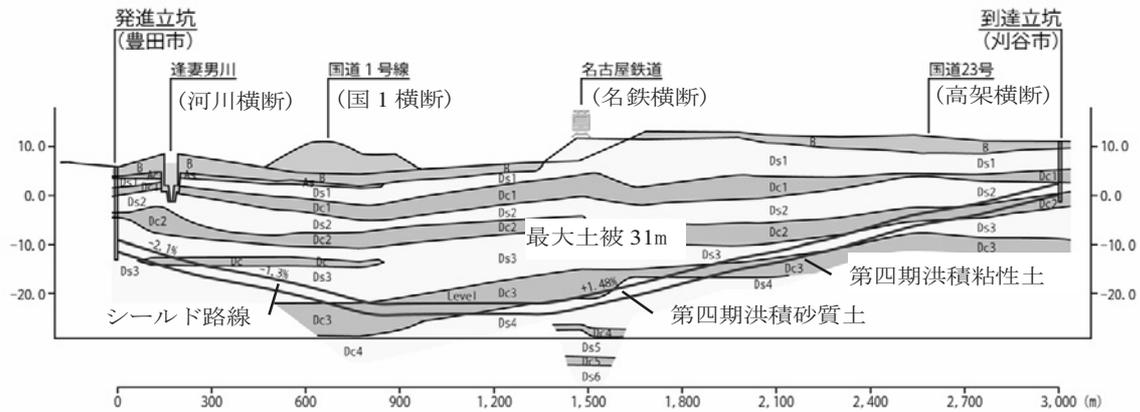


図-2 シールド縦断線形・土質柱状図

3. 線形及び地質概要

シールドの縦断勾配は-2.1%～+1.48%と変化が激しく、土被りは9.0m～31.2mとなっていて、シールド路線中に逢妻男川、国道1号線、名古屋鉄道、国道23号線が横断している。

地質の特徴として、路線断面の洪積層は砂質土と粘性土の互層となっていて変化に富む。また、主体となる砂質土は細砂にシルト分を混入し、一部でΦ10mmの礫を混在する(図-2)。

地盤強度は、粘性土層でN値=10前後、砂質土層でN値=30と中位で、透水係数は全般に 10^{-4} ～ 10^{-5} 以下だが、一部礫分の混入が多い箇所では 5×10^{-3} と高くなっている。

4. 長距離シールドの課題と対応策

4.1 坑内輸送の効率化

長距離施工にあたっては、セグメントをはじめとする資材の搬入や掘削した土砂の搬出をいかに早く行うかが課題となる。

坑内輸送設備は、バッテリー機関車による軌道方式を用いるが、2,000m地点でずり運搬車の運行サイクルは、切羽から立坑まで搬出(20分)、立坑でずり運搬車をクレーンで吊上げ土砂ホップへ回収(15分)、再び空のずり運搬車が切羽に搬入(20分)と、合計55分かかることになる。一方、切羽で土砂搬出中に行うセグメント組立作業などは30分で完了するため、ずり運搬車待ちの時間(25分)が発生し、1日の掘進出来高が3mほど減少することになる。

そこで、小口径では前例のない坑内複線化を計画し、離合ポイントの配置等について、事前に綿密な検討を行い次の3つの対策を実施した。

(1) 特殊バッテリー機関車採用

延長距離1,200m地点で坑内軌条に複線区間を設け、この複線部から切羽側に特殊幅狭バッテリー機関車を採用し、小口径でのずり運搬車2編成の離合を可能として、ピストン運行を行った(写真-2)。

(2) 複線ポイント設置

この複線区間で2編成車両を5cmの離隔ですれ違いさせるため、レールや枕木を嵩上して有効内空を確保し、電気ケーブルや給排水、裏込配管等全てを枕木下へ格納し接触防止を図った(写真-3)。

(3) 安全対策

万が一にも車両と作業員との接触災害を起さぬよう、離合箇所に退避所や警報設備を設置、分岐切替え操作をバネ式割込型にして省力化し、離合作業手順のルール厳守を徹底した。



写真-2 バッテリー機関車離合状況

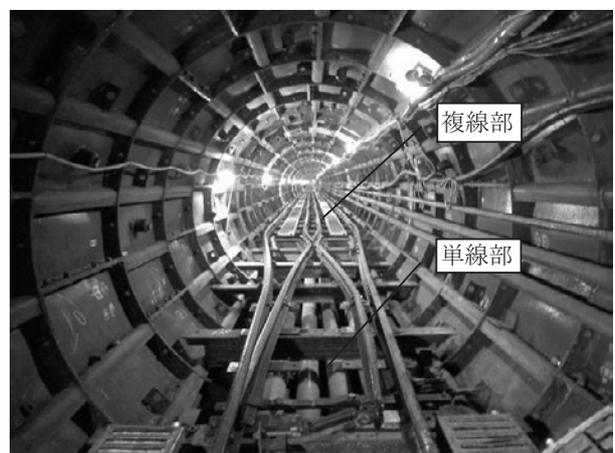


写真-3 坑内複線ポイント部

これにより、切羽でずり運搬車に掘削土の積込が終わってから、空のずり運搬車が切羽に来るまでの時間を短縮し、延長 2km を過ぎても土砂搬出時間を 30 分以内として、最後まで計画日進量を確保できた。

4.2 坑内測量の効率化と精度向上

長距離施工でもう一つの大きな課題は、3km 到達時の位置誤差をいかに少なく収めるかである。シールドの基線と方向をチェックする毎日の坑内測量は、精度を上げるために施工距離に比例して測量回数が増える。しかし、この測量は坑内作業の休憩中や昼夜勤交替時で行うため、長距離になるほど入坑に費やす時間が長くなり測量者の負担が大きくなる（写真-4）。

そこで今回、改良を重ねた当社開発の遠隔測量システム「FRS」を導入した。本システムは、すべて事務所からの遠隔操作で、測量器とカメラを搭載した測量台車を測量用基準点まで自走させてシールド機の位置測量を行うものである（写真-5）。

(1) 遠隔測量システム (FRS) の特長

- ・画像認識による自己位置算出方式(従来ダゴ使用)
- ・自走式測量台車による測量(作業中は台車格納)
- ・遠隔操作による測量作業 (坑内通信用ケーブル)

(2) FRS 導入の成果

①測量作業の省力化

今回は従来測量作業と並行して本システムを活用した。これにより、とくに職員が手薄となる夜勤時の測定データを、昼勤の職員が朝礼前に事務所からの遠隔測量で再確認しチェックできた。省力化率は 87.5% (従来: 坑内 2 人×1 時間 ⇒ 改善: 事務所 1 人×15 分) となった (写真-6)。

②高精度なデータを有効活用

従来と本システムを比較した結果、測量精度の誤差±10mm 以内 (図-3) となり、実用に供した。また、シールド機内の複数の計測点を測量することで、本体のピッチングやローリング、方位角等が計算でき、シールドの挙動解析が可能となった。

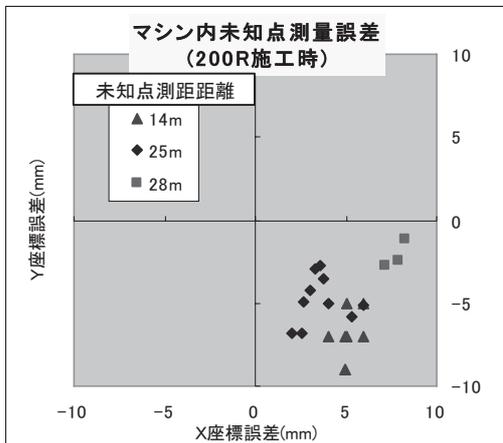


図-3 従来-FRS 測量誤差

③到達高精度を達成
測量データのチェックが倍増したことで、約 3km 到達時の施工誤差を上下 9mm 左右 14mm という高精度に収められた (写真-7)。



写真-4 従来の坑内測量状況



写真-5 遠隔測量システム



写真-6 事務所にて遠隔操作



写真-7 シールド到達状況

4.3 ビット交換作業の改善

本工事では延長約 3km のシールド掘削にあたり、途中 2 回のカタビット交換が計画された。この作業は、シールド機外の地山へ作業員が出てカタ面板のビットを交換する方法 (図-4) で、設計の補助工法は薬液注入工法であった。薬液注入は、ビット交換時の切羽の自立と止水を目的として、シールド機の前面と周囲を複相式二重管ストレーナ工法で地盤改良するものである。

しかし、ビット交換作業は、昼夜で 4 日程度の日数がかかり、その期間の止水効果が十分に発揮されていないと、経時とともに湧水が増加して地山の崩壊、坑内への土砂流入等が発生し、大事故の危険性がともなう。このような危険に対し、地盤改良として信頼性の高い (改良強度の高い) 高圧噴射攪拌工法が優位だが、現場施工ヤード等の条件から採用できなかった。

そこで、補助工法の施工計画と実施にあたり、次の手順で薬液注入工の段階確認と効果検証を行うことで、発注者の承諾を得て、より安全な施工法に変更改善することとした。

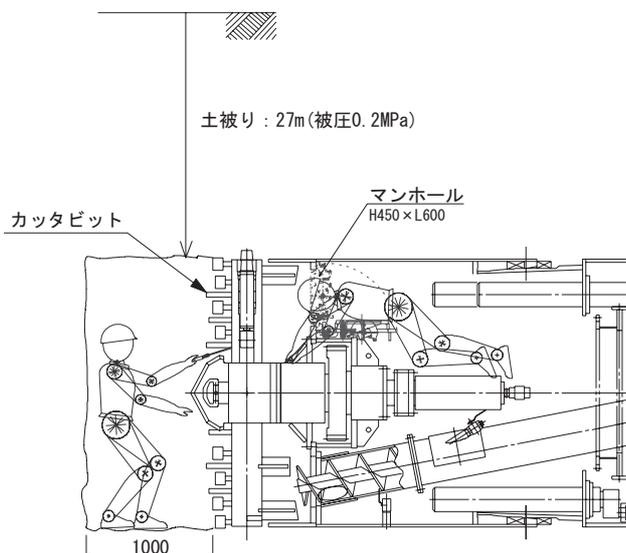


図-4 ビット交換概要図

(1) 薬液注入工の設計照査

① 注入量の変更

設計の注入量は改良地盤から 190m 離れた土質データを基に算出されたが、実施工にあたり現地でのボーリングを行った結果、当初想定したものより砂質土の比率が高かった。このため、注入率を砂質土対応の 31.5% (設計 24%) に変更し、注入材は止水性と強度に優れ、砂質土で有効的な溶液型グラウト材を選定し、ピッチ 1m で 101.5m³ (合計 60 本) の地盤改良を実施した。

② 改良効果の予測

改良効果を透水性で考えると、改良前の透水係数は土質調査から $1.5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ であり、これに対し改良後は、(図-5 薬注協会資料) から $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s} \sim 5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ に変化すると推定できる。また、改良後に切羽でビット交換作業ができる条件は、不透水層と評価され地山の自立を確保できる $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 以下とすれば、計画通りの薬液注入で改良後の透水係数は (図-6) のとおり、ほぼ不透水層の領域となり安全に切羽作業ができると判断した。

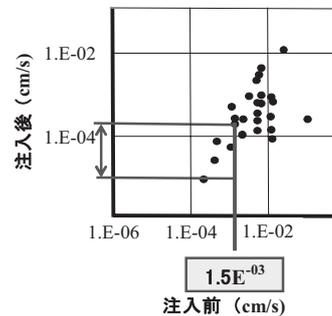


図-5 注入前後の透水係数変化 ($\lambda < 30$)

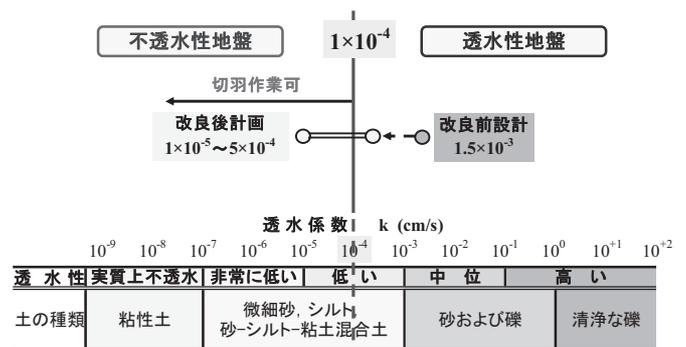


図-6 透水係数変化 $k = 1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 以下を不透水層とした判定図

(2) 改良結果の検証と湧水

ビット交換にあたり、地盤改良をした所定の位置でシールド機を停止させ、切羽へ作業員が出る隔壁マンホールを開放するため、マンホール横 $\phi 50 \text{ mm}$ バルブを開け、チャンバー内地下水の排水を行ったが、切羽からの湧水は止まらないため、次の 3 つの確認を行った。

①排土した地山の薬注効果を試薬にて検証し、改良の品質に問題がないことを確認。

②マシン外周と後方セグメントから、止水材と裏込の注入でマシン後方部の止水を実施し、この区間の湧水がないことを注入孔から目視で確認。

③この時、湧水量は5L/minであった。ビット交換作業は昼夜で4日程度の日数がかかり、総湧水量が約29m³となり、経時と共に湧水量も増加する危険性が高い。また、この湧水量を透水係数に換算すると1.17×10⁻⁴cm/sとなり、当初に設定した条件の1×10⁻⁴cm/sよりやや高いため、安定地盤といえず地山崩壊を起す可能性がある。また、切羽土圧については、隔壁のバルブ排水で一時的に土圧を0MPaに落しても、4時間程度で元の静止土圧0.2MPaに復元するため、地下水は溜まり水ではなく満水になれば高い被圧状態になることがわかった。

上記の点から、このままではマンホール開放によるビット交換作業が危険で困難と判断した。

(3) 切羽湧水の原因

改良後の透水係数が1×10⁻⁴cm/sより高く、湧水が発生した原因としては、改良地盤が粘土混り砂

層という不均質性であったことに伴い局所的に存在していた粘性土や流木の影響で、やや止水効果が低下し、10⁻⁵オーダーの不透水層レベルまで減少させられなかったと考えられる。

(4) 圧気工法の適用

工法比較の結果、工期、信頼、経済性の全ての面で優位な、薬液注入施工+圧気工法という併用補助工法とし、圧縮空気の問題の湧水を遮断する方法を提案し採用された。

本工法は、坑内に隔壁とマンロックを設置して、地上から圧縮空気を隔壁内部へ送ることで湧水を止める工法(図-7)で、所要空気圧は切羽上部砂層13mの間隙水圧に対し、薬注工による透水係数低減を加味し60%程度の、0.08MPa(0.13MPa×0.6)を上限値とした。圧気設備は圧気推進用のブロウ(39KW, 18m³/min)2台とマンロック1基を使用し、隔壁は坑口から100mに設置することで、短期間で交換作業にかかれた(写真-8, 写真-9)。この結果、地下水を完全遮断し2日間で安全にビット交換を実施できた。

当初の薬液注入工法では地山自立と止水性は困難で、圧気工法を併用して止水性を確実にして安全性を高めたことは有用であったと考える(写真-10, 写真-11)。

圧気設備一覧表 (ビット交換工1回当たり)

機械設備、資材名	仕様	単位	数量
ブロウユニット	18m ³ /h, 0.08MPa	基	2
マンロック(ユニット型)	Φ1,300mm推進用	基	1
隔壁(ロック取付)		基	1
隔壁取付リング		基	1
ロック移動台車	セグメント台車代用	基	1
圧気用送気管	Φ100mm鋼管	m	200
排気管	Φ300mm鋼管	m	200

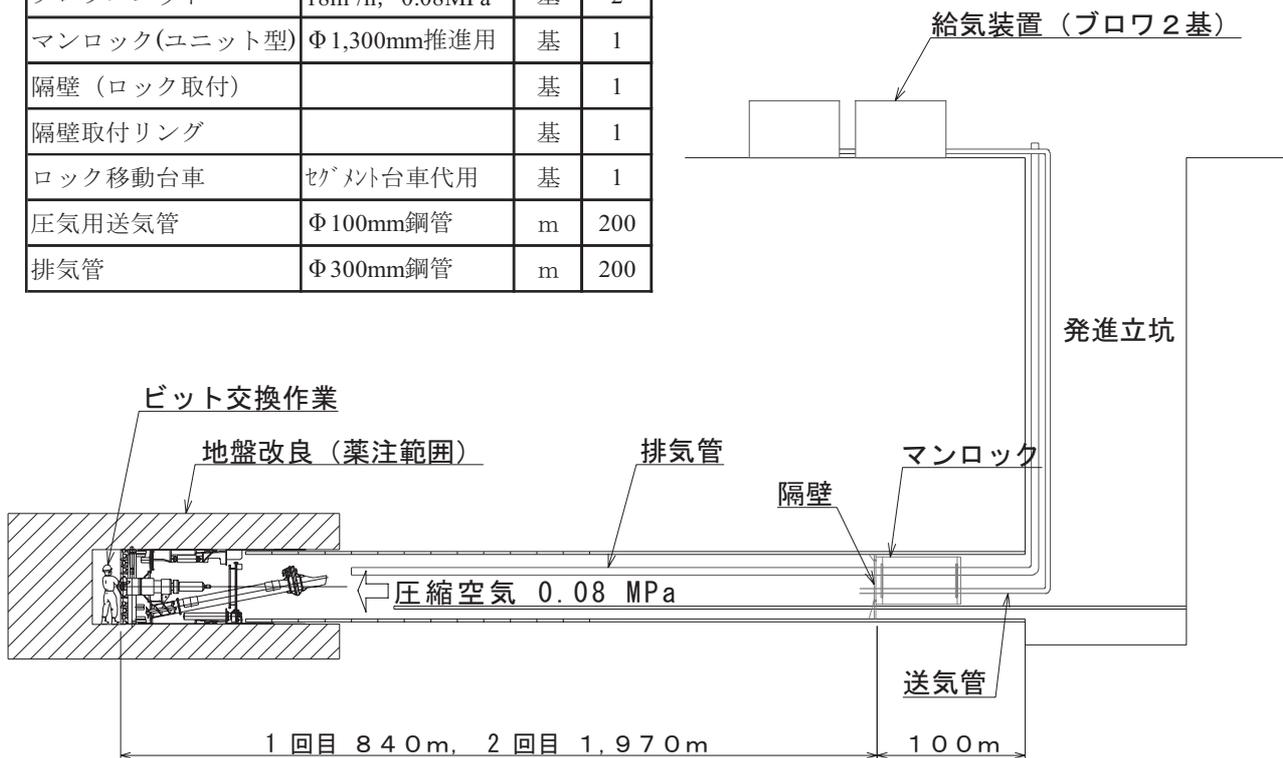


図-7 圧気補助工法の概要図



写真-8 ブロワ設置状況



写真-11 カッタービット交換前状況

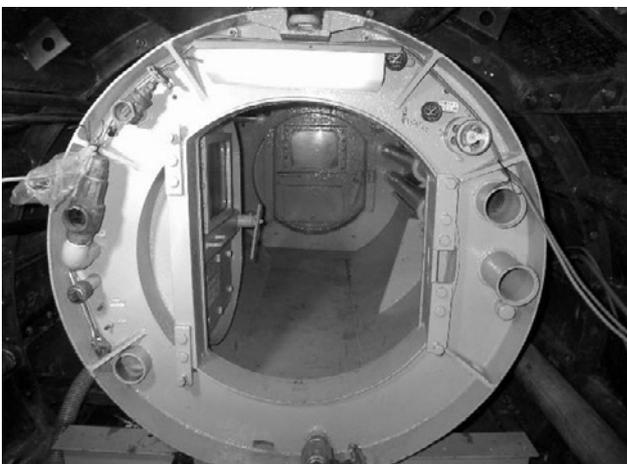


写真-9 坑内マンロック設置状況



写真-10 ビット点検交換状況

5. 長距離掘進実績

長距離掘進については、シールドのテールブラシやシールドの耐久性といった機械設備上の問題はなかった。ビットの摩耗量は、約3kmを一度も交換しなかったもので先行ビットが実測最大30mm（許容30mm）、ツールビットが実測最大10mm（許容20mm）であり、ビット数の増加や多段配置の効果で少なかったものと判断され、交換しなくても3kmの掘進が可能であったとも考えられる。月進は最大328m、平均213m（初期、到達除く）で、当初の工程を1.5ヶ月短縮して到達した。

6. 小口径シールド長距離化の展望

現在、総合評価方式が採用されるシールド入札は、長距離化に伴う経済性がキーワードとなり、工期短縮、高速施工が技術提案の柱となるケースが多い。高速施工というと、シールド機のジャッキ速度向上や掘進とセグメントの同時組立が注目され、技術開発もこの分野に集中しているが、小断面においては作業空間が狭く労働条件が厳しいため、これらの技術導入は困難なのが現状である。今後、工期短縮という発注者のニーズに応えるには、掘進の停止期間を極力短縮する手段として、1日3交代制の作業形態に取り組むケースがある。この場合、とくに設備に対しては今回のような新システムや工夫改善の効果的な組合せで稼働率を上げ、余裕のある作業環境造りが重要と考える。

おわりに、今回の対策と提案に協力して頂いた関係者の方々に心から、感謝の意を表します。

2. ダムコア材の乾燥, 曝気設備の開発と現場実績

真喜屋ダムにおけるコア材曝気設備について

株式会社熊谷組

○ 緒方 伸一郎
中川 安典
沼宮内 雅人

1. はじめに

真喜屋ダムは、沖縄県名護市羽地地区に位置する、沖縄総合事務局発注の農業用ダムである。その諸元は堤高 33.6m, 堤頂長 171.1m, 堤体積 $357,000\text{m}^3$ の中心遮水ゾーン型ロックフィルダムである。ダム施工中の航空写真を写真-1 に、堤体盛立の施工状況を写真-2 に示す。亜熱帯海洋性気候で特異な地域性での施工となり、ダムの工事期間は H9 年度から H18 年度であり、同年に試験湛水を完了した。長期間を要した工事である。これは 2 度に渡り、ダムの基礎岩盤となる左右岸のアバットメントが崩壊しダム軸の変更を余儀なくされたためである。これによりダムの堤頂長が長くなり堤体積が膨らんだ結果コア材の数量が当初の 2 倍必要となった。コア材はもともと高含水比であったが、更に高含水比のコア材も採取しなければ材料を確保できなくなった。コア材採取の増加は、コア材の含水比調整の時間が、コア材採取～ダム盛立までの工程に影響し、工程の遅延が予想された。

本論文はダム工学会 (H20 年) に発表された論文から設備における検討を主にし再構築した。

2. コア盛立の概要と計画

従来からダム地点において、コア材が要求する品質持つ土質材料が単体で存在することは稀である。従って幾つかの材料を混ぜ合わせ、含水比を



写真-1 真喜屋ダム (施工中の航空写真)



写真-2 盛立の施工状況

調整して使用するダムが多い。一般的に材料の混合は、各材料を体積比率に換算し、厚さを変えて互層に撒き出し所定の高さまで盛り上げておく。これを堤体施工時にブルドーザ等によりスライスカット (斜切り) しながら混合する方法である。

含水比低下の方法としては、

- ① 自然曝気
- ② 室内における温風
- ③ 高盛土にしての圧密
- ④ 材料採取場にドレーンを入れ排水を促す等がある。

当ダムにおけるコア材は粗粒材 (緑色岩類の強風化岩 Gs2s) と細粒材 (国頭礫層の強風化帯 Kc) の体積比 1 : 1 に混合することとしている。当初、施工含水比は最適含水比 $Wopt \sim Wopt+3\%$ に設定されていた。この時の混合材の $Wopt$ は平均 16% であり、粗粒材 Gs2s の自然含水比は 17% 前後、細粒材 Kc 材の自然含水比は 30% を超えるものが多くボーリングの結果 35% 程度となっている。自然含水比の状態 で混合した時、混合材の含水比は約 26% となり目標値を $Wopt+2\%$ とした時の含水比は 18% ($16+2=18$) となる。自然含水比の状態 で混合した時、約 8% の含水比を低下させる必要があった。

3. 曝気設備の導入の経緯

3.1 自然乾燥による曝気

H10 年度には盛立仕様を決定することになり、各材料を層別に撒き出し、これをバックホウで切り取り攪拌、かつ天日干しによる乾燥を繰り返した。日中乾燥させ夜間シート養生をする作業を繰り返すことにより含水比は低下するが、亜熱帯海洋性気候で突然のスコールがあり、シート養生が間に合わず、含水比は元に戻り再施工となった。500m³のコア材を造るため5ヶ月以上の日数を費やした。

3.2 曝気設備による自然乾燥

そこで昇降屋根付き曝気設備（写真-3）を考案した。この中に材料を入れバックホウで攪拌混合しながら自然乾燥させた。

この設備の特徴は、

- (1)台風・雨天時は屋根を地上高さまで降下できる。
- (2)太陽光を取り込める様、屋根部は透明のビニール張りとした。

短所は

- (1)一回当りの材料処理量が限られ 375 m³（15m×50m×0.5m）であり小さい。
- (2)攪拌用のバックホウを頻繁に稼働させなければならない。

この昇降屋根付曝気設備で曝気試験を行った結果、混合材の自然含水比は23.2%で、最適含水比16%までの乾燥曝気には約2週間近くの日数を要した。また、放置すると吸水し含水比が再上昇する問題も起きた。



写真-3 昇降屋根付き曝気設備

3.3 強制曝気設備の必要性

コア材の堤体盛立数量が約 50,000 m³ になり、締固めによる土量変化率やロス率を考慮し、約 70,000 m³ のコア材を生産する。計画工程は盛立に合わせて 13 ヶ月、月当たりの稼働日数 14 日（コア盛立稼働日数 14 日）とした。また施工計画は日平均盛立量 385 m³、日最大盛立量 600 m³、月最大盛立量 8,500 m³ とした。先の昇降屋根付き曝気設備では 1 サイクル 2 週間で 375 m³ の生産能力のため、昇降屋根付き曝気設備を 10 基以上も必要となる。

ヤードの確保など現実的ではなく、このことから強制的に乾燥させる設備を考えることになった。

3.4 ベルトコンベヤ方式による実験

密封した箱の中に、ジェットヒータで熱風を送り込み、そこへ混合した材料をベルトコンベヤで搬送する（写真-4, 5）。ベルトコンベヤ（7m×3台）はインバータ制御にし、箱内での搬送時間（滞留時間）で含水比の調整を行った。実験の結果、室内の温度は 50～60℃ になり混合材投入から約 10 分で含水比が 3% 程度の低下となった。しかし固まりになった材料は表面部が乾いている程度で中までの含水比の低下は見られず、品質に均一性がなかった。さらに、高温状態でベルトが緩みだし、駆動部が空転する等の機械的な問題もあった。改良を加えても実現性に乏しいと言う結論に達した。



写真-4 ベルトコンベヤによる実験装置（外観）



写真-5 ベルトコンベヤによる実験装置（箱の内部）

3.5 キルン方式による実験

次にロータリーキルン方式によりコア材曝気設備を計画した。ロータリーキルンはアスファルトコンクリートの製造に用いられる骨材を熱アスファルトと加熱混合する装置であるが、コア材を乾燥させるに当り温風で、コア材の物性が変質しないようにしなければならない。さらにコア材は粘性があるため碎石などの骨材と違ってキルン内の羽根や胴鉄板への付着がないようにしなければならない。含水比低下の熱量計算や曝気能力の設

定などを検討し、独自にメーカーと共同で実験を行なうことにした。実験結果より、コア材の含水比の低下が瞬時に出来かつコア材の物性値が変化しないことが確かめられた。この結果より発注者と協議を重ね正式に採用されることになった。コア材の製造能力は、日最大盛立量 600 m³ (昼夜体制にて製造) より時間当たり 50 トンとして設定した。このような経緯からコア材強制曝気設備を導入した。装置のフローを図-1 に示す。尚、混合の方法については施工の合理化、品質の安定性、コストの面から機械による混合(2軸ミキサー)を採用した。

4. 強制曝気設備によるコア材生産

4.1 コア材供給装置と乾燥装置

平成15年8月から基礎工事の着手、10月から装置の組立てを開始し、11月末には装置が完成した(写真-6)。製造の工程は、まず粗粒材 Gs2s, 細粒材 Kc をバックホウで交互にホッパーへ投入する。

(バックホウ投入可・不可はミキサ下部のロードセルで感知し回転灯にて明示) 投入された材料は均一的な乾燥を行なう為、バッチ式2軸ミキサで1度攪拌する。次に供給ホッパーからフィーダーで送出し、投入ベルコンに送るが、この送出し速度を制御することによりコア材の製造量を調整することができる。投入ベルコンでコア材を高速搬送させ回転しているロータリーキルン(円筒型 φ2.2m, L=8m)へコア材を投入する(写真-7)。ロータリーキルン内はバーナーによる熱風方向とコア材の搬送方向を同方向とした。コア材はバーナーの温風によって熱し、温度はキルンからの排ガス温度(140℃)で管理し、バーナーへの燃料(A重油)供給量で制御した。キルン内でコア材を攪拌・搬送し乾燥させるにあたり、「コア材の物性が変質しない」が条件の為、工夫をしている。キルン内で、バーナーの“火炎”にさらされて、コア材を焼いてしまわないようにキルン内の掻き揚げフライトをバーナーから離れたところに設置し、バーナー付近の羽根は搬送用の形状にしている(写真-8)。



写真-6 強制曝気設備（全景）



写真-7 ロータリーキルン（外観）

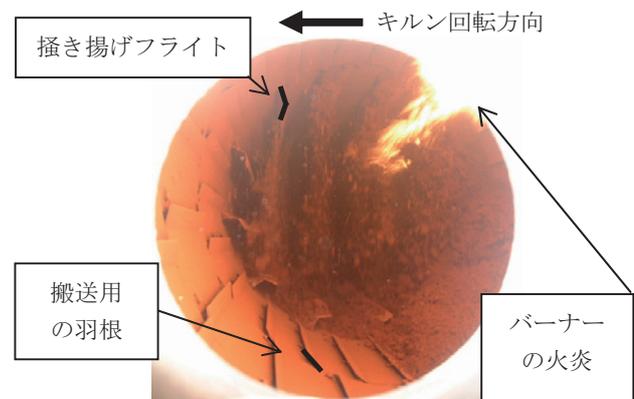


写真-8 ロータリーキルン（内部）

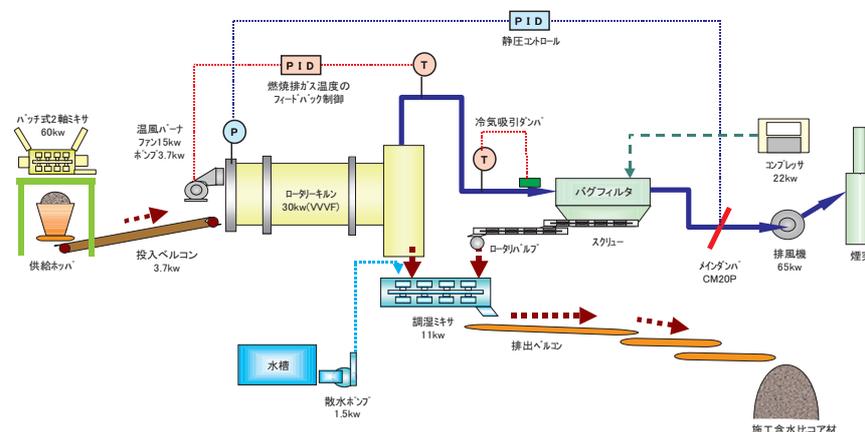


図-1 コア材強制曝気設備 製造フロー

4.2 コア材微粒分回収と調湿ミキサ

コア材はロータリーキルンを介し調湿ミキサへと移動する。コア材の微粒子はキルン内で乾燥しやすく一部の粒子は燃焼ガス・水蒸気とともにバグフィルタへ送られる。バグフィルタでコア材の微粒子を捕捉し調湿ミキサへと移動し、排気は大気に放出する。調湿ミキサ（2軸強制ミキサ）に集められたコア材を加水し再度攪拌をする。これは均一的な含水比調整を最終的に行なう為である。

5. 稼動の実績

5.1 コア材の含水比低下における製造実績

曝気後のコア材は製品ストックヤード（全面ビニールシート張り）に搬し3日～4日貯蔵する。曝気後のコア材は約70℃で常温まで自然冷却の際、含水比は1%程度低下する。ストックしたコア材は表面より乾燥が始まるので、含水比を維持させる為に噴霧設備を製品ストックヤードの天井部に設置し、必要に応じて使用した。また目標施工含水比21%（盛立て仕様の確認試験にて決定）まで低下させると盛立て現場で乾燥側になるため湿潤側に製造した。コアの盛立て量とコアの生産量を表-1に示す。また粗粒材Gs2sと細粒材Kcの混合後の自然含水比は平均27.6%、曝気後のコア材の含水比は平均22.6%となり平均5%の低下であった。

5.2 コア材製造における燃料使用量実績

当初燃料のA重油の使用を1トン当たり12リットルと計画した。実績は全A重油654,342リットルに対してコア材生産量は136,252トンであった。1トン当たり4.8リットルとなり計画の約40%程度の使用となった。これは調湿ミキサの攪拌による調整能力によりキルン出口での含水比を4%低減出来たことが燃料消費量を下げる結果になった。

5.3 従来工法とのコスト比較

経済比較の為、装置費及び運転費で比較する。従来工法を屋根付曝気ヤード14箇所、攪拌バックホウ7台、250m³曝気に14日と設定した場合、コストは6,300円/m³と算出した。これに対し、強制曝気設備による稼動実績は3,200円/m³であり低コストであった。

6. コア材強制曝気装置の今後の課題

強制曝気装置の利点としては

- (1)土の性状、天候に影響を受けずに含水比の低減が出来、しかも含水比の微調整が可能である。
- (2)全体的には曝気の低コスト化が可能である。
- (3)曝気の工期を短縮出来る。
- (4)施工サイクル及び工程に合わせて生産量を設定できる。
- (5)バッチ式2軸ミキサと調湿ミキサの攪拌によりコア材を混合し均一的にできる。



写真-9 バグフィルタ

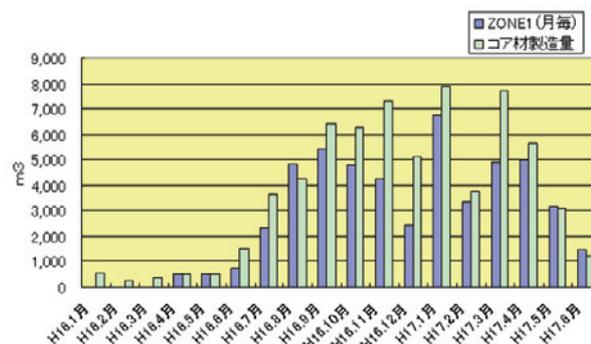


表-1 コア材の盛立量及び製造量

一方課題としては

- (1)エネルギー使用量が大きく必要性の理解が得られないと導入が難しい
- (2)同じ条件の現場があるとは限らずキルン等製作機械の転用が難しい

7. まとめ

コア材の含水比調整の為、工程の遅延が予想された。その対策として日本で初めてロックフィルダムのコア材の強制曝気設備を開発し導入した。盛立工程に合わせ、曝気設備は能力を十分に発揮し、昼夜体制で22時間/日の稼動を続けたが大きなトラブルは無かった。またコア材の品質管理においても良好な結果を得られた。

8. 謝辞

このような強制曝気装置を導入することに深く理解を示され、承諾を頂いた沖縄総合事務局土地改良課、羽地大川農業水利事業所、施工管理について御指導していただいた日技クラウン（株）様、また開発メーカーである日工株式会社様、設計から運転までアドバイスを頂いた株式会社セイヤ様、関係者皆様に心より感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 伊藤 隆・沼宮内 雅人他：ダムコア材曝気設備の開発と現場導入事例、ダム工学会、18巻・1号、pp.36～47、発行2008年

3. 水中バックホウのマニピュレータ化に関する研究

港湾空港技術研究所
筑波大学
筑波大学

○ 平林 丈嗣
矢野 博明
岩田 洋夫

1. はじめに

港湾施設はその大部分が水面下に構築されるため、その整備や点検・診断，維持・補修の多くは水中での作業となり，その多くを潜水士等の人力に依存している．このような水中作業を一層安全で効率的に行うことができる技術の確立が急がれている．当研究所では，こうした観点から，港湾施設の整備や点検・診断，維持・補修，場合によっては災害復旧にも活用できる水中作業の無人化の研究開発を進めている．

本稿では，維持補修を目的とした水中建設機械の高度遠隔操作インタフェースに関する研究において，エンドエフェクタの追従性向上のためブーム・アームの重心位置により油圧弁の開度を可変する Valve 補償について提案しており，その特性についての報告を行う．また，エンドエフェクタにフォークグラブアタッチメントを搭載し，遠隔操作による把持作業についての実験について述べる．

2. 維持補修用水中マニピュレータの提案

本研究所では，過年度の水中バックホウ遠隔操作に関する成果を基¹⁾に，点検診断・維持補修を目的とした重作業用ロボットアームとして利用することを提案しており，平成 18 年度よりマニピュレータ化に関する研究を行っている．

バックホウはバケットの代わりにアタッチメントを取り付けることで，把持，カッター，ブレーカなど様々な作業に適応することができる汎用作業機械であり，水中維持補修作業においてもその汎用性は期待できる．そこで，水中作業における機械化の基礎技術として，フォークグラブアタッチメントを搭載し，ハンドリングマニピュレータ作業機械システムを構築することとした．なお，対象とする作業は重量物の把持作業とした．これは将来的な維持補修作業や大水深での工事に潜水士の手作業の代替となる技術として期待できる．

2.1 油圧作業機械の追従性向上

過年度の研究では位置-位置制御である相似形インタフェースを用いたため，油圧シリンダの制御に追従性の悪い P 制御を用いても特に問題とな

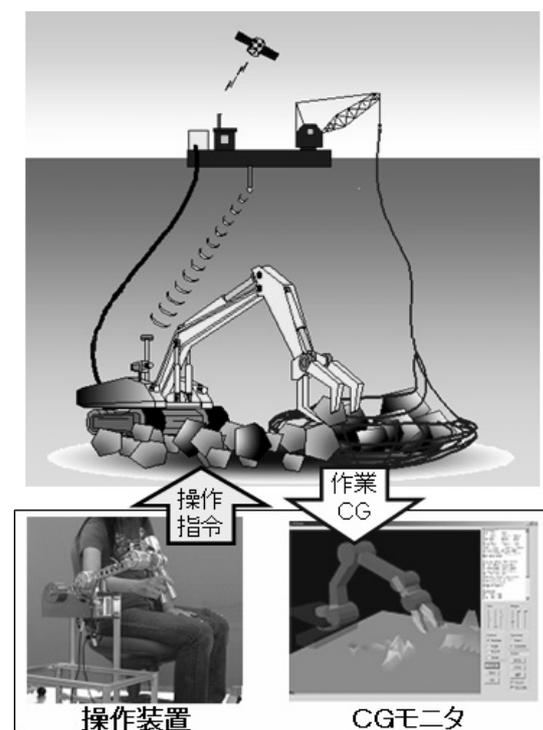


図-1 水中における把持作業イメージ

ることは無かった．しかし，マニピュレータとして活用するにはエンドエフェクタ座標を直線的に移動させる場面があると予想される．追従性低下の大きな要因として挙げられるのは，ブームシリンダ延長時と短縮時にその特性が大きく異なるためだと考えられる．つまり延長方向にはバックホウフロント部の重量が負荷として加えられ，短縮時には摩擦抵抗をキャンセルする働きとなるため，絶対的な差分だけでバルブ開度を決定する P 制御では特に中立付近の微小な制御は困難となる．またフロント部の重量は不変であるが，アームの角度によって重心位置が変化するため延長時の負荷も変化すると考えられる．

そこで，フロント部重心位置をパラメータとした動作開始電圧値を補償マップとして持つ重力補償をブームシリンダの制御に適応する．

2.2 バックホウのディメンション

バックホウの先端座標と姿勢は，関節変位の値により変化する．関節変数ベクトル q とバケット先端の位置姿勢を表すベクトル r の関係は

$$r = f(q)$$

によって表される。q が与えられたときに r を求める問題を順運動学問題と呼び、r が与えられたとき q を求める問題を逆運動学問題²⁾と呼ぶ。

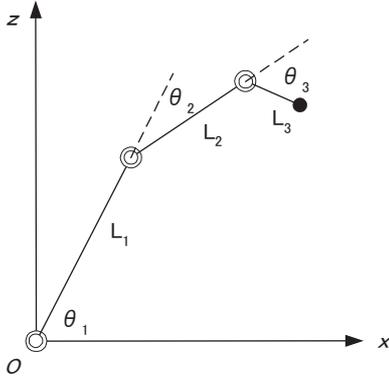


図-2 バックハウフロント部モデル

図-2 に示す x z 平面内を動くバックハウのブーム・アーム・バケットについて、関節変位ベクトル $q = [\theta_1, \theta_2, \theta_3]$ と位置姿勢ベクトル $r = [x, z, \theta]$ に関する順運動学問題と逆運動学問題を解いてみる。ただし、 θ はバケットと x 軸のなす角である。順運動学問題は三角関数の定理より

$$\begin{aligned} x &= L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ z &= L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ \theta &= \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \end{aligned} \quad (1)$$

と導くことができる。次に逆運動学を求めると

$$L_2^2 = \{L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)\}^2 + \{L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)\}^2 \quad (2)$$

に上式を代入し整理すると

$$\begin{aligned} (z - L_3 \sin \theta) \sin \theta_1 + (x - L_3 \cos \theta) \cos \theta_1 \\ = \{(z - L_3 \sin \theta)^2 + (x - L_3 \cos \theta)^2 + L_1^2 - L_2^2\} / (2L_1) \end{aligned} \quad (3)$$

となる。ここで

$$a \sin \sigma + b \cos \sigma = c \quad \dots \dots \dots (4)$$

の関係式が成立するとき

$$\phi = a \tan 2(a, b) \quad \dots \dots \dots (5)$$

と置くと、三角関数の合成則より σ は

$$\begin{aligned} \cos(\phi - \sigma) &= c / \sqrt{a^2 + b^2} \\ \sin(\phi - \sigma) &= \pm \sqrt{(a^2 + b^2 + c^2) / (a^2 + b^2)} \\ \sigma &= a \tan 2(a, b) - a \tan 2(\pm \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}, c) \end{aligned} \quad (6)$$

と求まる。したがって

$$\begin{aligned} a &= z - L_3 \sin \theta \\ b &= x - L_3 \cos \theta \\ c &= \{(z - L_3 \sin \theta)^2 + (x - L_3 \cos \theta)^2 + L_1^2 - L_2^2\} / (2L_1) \\ \sigma &= \theta_1 \end{aligned} \quad (7)$$

と置くことにより θ_1 を得る。同様にして

$$\begin{aligned} \theta_2 &= a \tan 2(\pm \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}, c) \\ &\quad - a \tan 2(\mp \sqrt{a^2 + b^2 + d^2}, d) \end{aligned} \quad (8)$$

を得る。上式の複合は二つの姿勢を持つことを示しているが、バックハウの場合関節の可動範囲が限定されるため判別は可能である。

これらの式によりバックハウの先端座標、及び各関節角度を求められる。

2.3 重力補償制御

一般的に制御に用いられる P 制御手法では、Master と Slave の位置の差分を各関節独立して検出し、その差分を指令値として Slave を制御する。ここで油圧を用いたバックハウの機構を考えると、動力源となる油圧ポンプは 1 つで、弁の開閉により各シリンダへ供給される油量を調整³⁾する。そのため、動きやすいシリンダが大きく動くため、先端座標の精密な制御は困難である。この問題に対し重力補償を用いることにより解決する。これはフロント部（ブーム・アーム・バケット）の重心を計算し、その重心位置により制御指令値に補償を加えるものである。この補償量は予め調べたものをマップとして持たせており、リアルタイムにマップを参照することで、バックハウの姿勢に応じたバルブ開度に修正するものである。図-3 に重力補償型油圧制御の補償マップを示す。

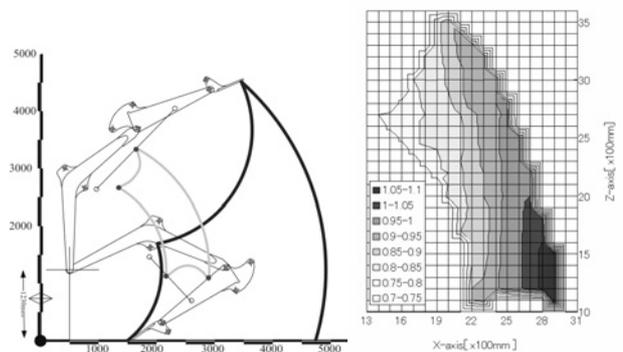


図-3 バックハウ可動範囲および補償マップ

この重力補償をバックホウ制御系に組み込みバケット先端座標を水平移動させ軌跡を計測する。

図-4はP制御に重力補償を加味したときの先端座標の軌跡である。往路では±30mmの範囲に収まっているが、3600mm付近で急激な振動が起きた。このときのシリンダ速度と角度差分を示したグラフを図-5に示す。

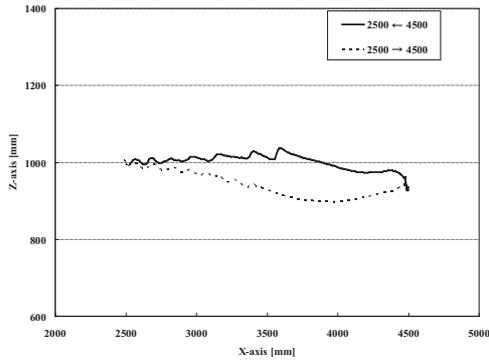


図-4 P制御によるバックホウ先端座標

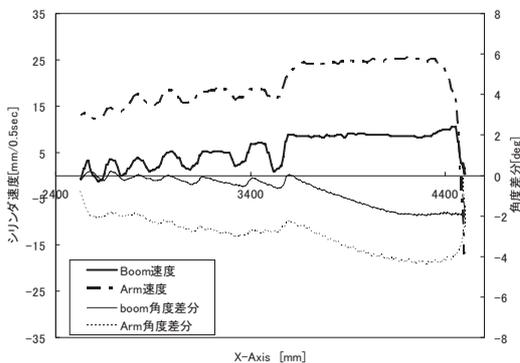


図-5 シリンダ速度及び角度（引き動作時）

ブーム角度差分を見ると一定の遅れはあるものの、シリンダ速度は動作開始直後より急激に立ち上がっており、補償マップにより静止摩擦抵抗、自重負荷をキャンセルしたと言える。その後、目標角度に達するまで速度がほぼ等速であり、これは補償マップによりシリンダが作動する最低のバルブ開度を確保しているためである。

しかしブーム角度が目標値に達した瞬間、補償量が0になりバルブが全閉となるため、ブームシリンダは急激に停止している。このブームが停止するタイミングにあわせて、アームシリンダの速度も変化しており、これは停止時の加速度がアーム動作に影響を及ぼしたものと考えられる。

また、図-4の復路の軌跡においては、目標値より大きく下回った。これはアームが開く場合、重力に逆らう方向への動作となるため目標角度への追従性が低下したことが原因であると考えられる。この結果より、ブームを上げる場合にはPI制御+重力補償とすることでブームシリンダの緩停止を

行い、アームが開く場合にはPI制御のみとすることで、目標角度への追従性の向上を図る。

図-6に重力補償に上記の条件を加味したときの先端座標の軌跡を、表-1に各軌跡の座標誤差を示す。これらより可動範囲全域において直線的な軌跡であることがわかる。このように本制御手法により追従性の高いバックホウの制御が可能となる。

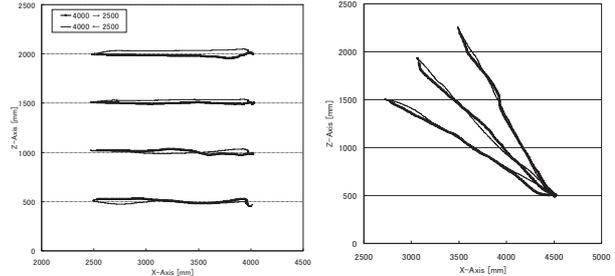


図-6 先端座標の軌跡

表-1 先端座標誤差

Horizontal		Average	Standard deviation	Maximum difference	Minimum difference
Z=500	往路	509.7	14.4	32	-18
	復路	490.5	16.2	24	-48
Z=1000	往路	999.9	17.7	31	-39
	復路	1007.0	14.3	34	-15
Z=1500	往路	1491.5	9.0	9	-42
	復路	1528.7	9.0	40	2
Z=2000	往路	1979.0	12.0	11	-50
	復路	2028.9	12.7	50	-10

ANGLE(deg)		Average	Standard deviation	Maximum difference	Minimum difference
120	往路	-17.5	25.9	31.9	-59.8
	復路	-18.7	17.8	12.7	-51.4
135	往路	-31.0	20.8	35.4	-73.2
	復路	-16.2	19.7	19.8	-54.3
150	往路	-13.7	22.7	34.0	-80.2
	復路	11.7	11.8	40.7	-28.1

2.4 マニピュレーション操作インタフェース

バックホウの形状を考えたとき、図-7のように4つのリンク機構を持つシリアルリンクマニピュレータと考えることができる。ここで J_1 から J_3 までは油圧シリンダの伸縮により駆動されるため、ある程度精度の高い位置制御が可能である。そこで旋回動作のための入力レバーは別に設けることとし、本研究における操作入力装置の制御対象である先端座標はバックホウ正面をX軸としたX-Z平面状に制限する。また、作業アームのエンドエフェクタをフォークグラブなどとし把持作業を行う場合、対象物とフォークグラブの成す角度が重要であると考えられる。つまり操作入力装置には J_3 の角度が制御可能であることが求められる。

以上のことを考え、操作入力装置はレバーグリップ部が回転入力できるジョイスティックを横に設置した形状とした(図-7)。レバーを倒すことにより先端座標を速度制御し、レバーを捻ることで

J_3 を角速度制御する。また、横置きとしたことで入力方向が X-Z 平面となり、レバーを倒す方向にアーム先端が動くため直感的な操作も期待できる。

しかし、入力量が減少した場合、微小な入力が行いにくくなることが想定される。遠隔操作型建設機械では比例電磁弁（パイロット弁）により低圧の油圧を制御し、その油圧で高圧のメインバルブを動かす構造となっている。つまり物理的に動く弁が二段階あるため、駆動するまでにタイムラグが発生することになり、ハンドリング作業に必要となる微調整が難しくなるものと考えられる。

この問題に対しては最終的な座標を指定できる位置制御が有効であると考えられる。具体的には機体が停止状態、レバー中立の場合に、速度制御と位置制御を切替えるようにする。ここでジョイスティックの最大入力角度は約 30deg であり、その範囲を 10 段階程度で入力できた。また実験機の先端座標の目標分解能は 50mm としている。よって位置制御に移行した場合、その時点での位置を中心として、レバー入力量最大のときに先端座標が 25cm 動くように設定することとした。

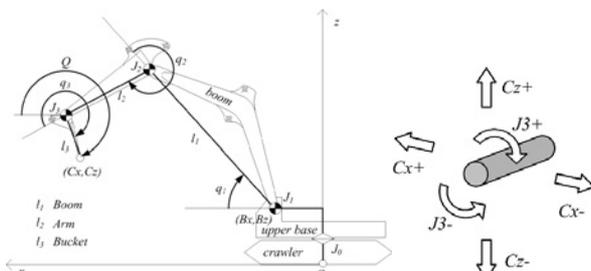


図-7 エンドエフェクタ座標直接入力方式

2.5 対象物認識技術

海底面に積まれている鋼材など不用意な力がかかることを避けねばならない状況下での物体認識を想定し、対象物にもっとも近接できるフォークグラブ部に設置した水中カメラにより、対象物の位置を同定する方法を提案する。前述のバックホウのモデルでは、バックホウ回転中心を Z 軸、バックホウ正面を X 軸とし、Z 軸とクローラ下面と交わる点をバックホウローカル原点 0 としている。回転を考慮しなければ、バックホウは一般的な 3 自由度シリアルリンクマニピュレータと考えることができ、先端部に設置したカメラ座標 (C_x, C_z) 及びカメラの向き Q は以下の式によって表すことができる。

$$C_x = l_1 \cos q_1 + l_2 \cos(q_1 + q_2) + l_3 \cos(q_1 + q_2 + q_3) + B_x \quad (9)$$

$$C_z = l_1 \sin q_1 + l_2 \sin(q_1 + q_2) + l_3 \sin(q_1 + q_2 + q_3) + B_z \quad (10)$$

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 \quad \dots \dots \dots (11)$$

この式からカメラ視線は次の一次直線として表すことができる。

$$z = (\sin Q / \cos Q)x - (\sin Q / \cos Q)C_x + C_z \quad (12)$$

また、カメラと対象物の位置関係は ARToolKit を用いた。これは既知形状のマーカを画像解析することで、その位置・傾斜を 4 行 4 列のアフィン変換行列式で表すことができるものであり、その行列を用いて図-8 のように Master モニタに H 鋼の姿勢を描画すれば、H 鋼とフォークグラブの位置姿勢の関係容易に認識できる。

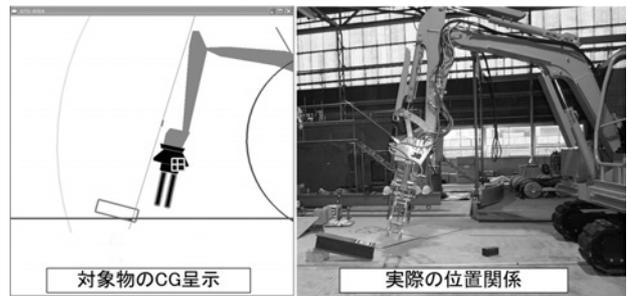


図-8 傾斜した対象物の呈示

3. 遠隔マニピュレーション実験

3.1 単純把持作業実験

H 鋼等の部材が海底面に無造作に置かれた場合、その姿勢は水平であるとは限らない。

そこで H 鋼 (L700×H200×W200mm) をピッチング方向に傾斜させた場合の把持実験を行った。実験時の H 鋼の設置位置・姿勢を図-9 に示す。

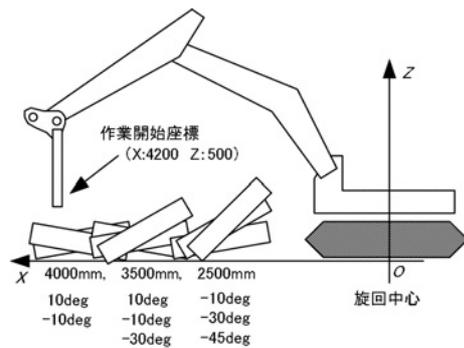


図-9 実験時の H 鋼設置位置

それぞれの姿勢において 3 回ずつ把持作業を行い、把持時の座標とフォーク角度を評価項目とする。フォーク先端座標の初期位置として、X:4200, Z:500, フォーク角度は真下の状態から作業を開始する。オペレータは H 鋼の中心を目標とし、H 鋼の設置角度と直交するように把持作業を行う。実験は座標入力方式のジョイスティックにより操作し、評価は H 鋼の中心位置からの差分と、H 鋼と直交する軸とフォークグラブ角度との差分とする。なお、ARToolKit を稼働させている PC のモニタ(フ

オークカメラ映像)はオペレータに呈示しておらず、図-8のCGモニタのみでの遠隔操作となる。さらに濁水中での作業条件に近づけるため、マーカークとカメラの距離が2m以上ある場合はCGモニタにH鋼を表示させないこととした。

3.2 単純把持作業実験結果

把持時のフォーク先端座標とフォーク角度をH鋼を基準とした座標系に変換したものを図-10に示す。図の長方形がH鋼を示しており、プロット点から伸びている線は把持時のフォーク角度を示している。

実験の結果、把持時のフォーク先端座標の誤差はH鋼の中心から長手方向に最大96.7mm、短手方向に最大71.2mmであり、H鋼に対する角度誤差は最大7度であった。また、計24回の把持作業においてすべて把持することができており、様々な視点からの映像が確保できない水中においてARToolKitによる座標認識とCGモニタによる位置関係の呈示は有効であると言える。

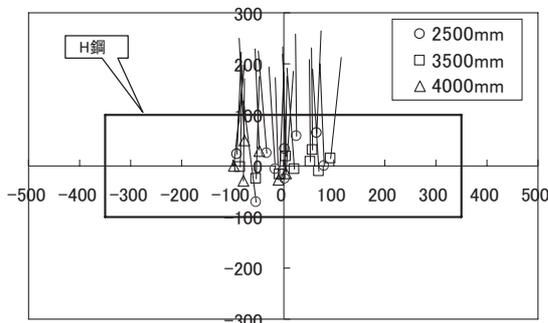


図-10 フォーク先端座標及び角度

3.3 港湾工事における把持運搬作業

水中での重量物の把持・運搬は、現在のところクレーン台船により行っており、その玉掛や指示は潜水士により行っている。ここで、クレーン運転士は水中の状況を目視で確認することが不可能であり、操作は潜水士の音声指示により行っている。また、台船上からの荷役であるため、台船が波浪により動揺すると、吊荷も安定せず、近傍で指示を行う潜水士に危険を及ぼす可能性がある。

そこで水中バックホウの先端にフォークグラブを取り付け、重量物のハンドリングに用いることを想定し、遠隔操作による把持作業について実験を行った。

実験はフォークグラブを取り付けた実験機によりH鋼を把持し、水平面に対し一定の角度を保持したままH鋼を移動させる作業を行うこととした。これは長尺資材を地面などに接触しないように任意の姿勢で運搬する作業を想定しており、具体的にはH鋼(700×200×200)の中心を機体の旋回中心から2.7mの距離に設置し把持動作を行い、垂直に持ち上げた後、水平状態を保ったまま4.2m先に

設置したタイヤ(中心高さ610mm、内径680mm)に通す作業を実験タスクとした(図11)。評価はH鋼の角度の誤差と中心座標の軌跡とする。但し、H鋼を直接計測することは困難であるため、把持後のフォークグラブの座標・角度の変化量から算出することとした。

さらに、比較実験としてJIS型リモコンによる入力方式、及び、直視での座標入力方式による操作実験を行った。それぞれの入力方式においてそれぞれ5回実験を行うこととした。

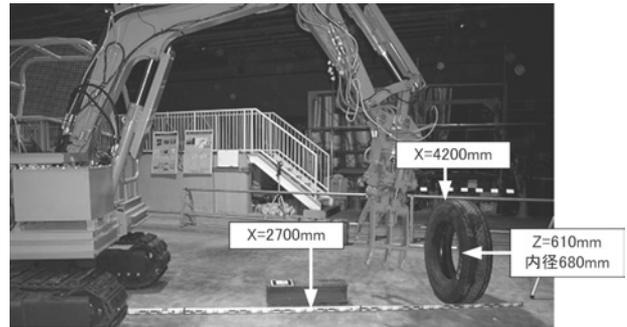


図-11 把持運搬作業実験状況

3.4 把持運搬作業実験結果

図-12は横軸を時間とした場合のH鋼の角度変化、図-13はそれぞれの入力方式において最も角度誤差が大きかった回のH鋼の中心座標の軌跡を示したものである。データはH鋼を掴んでから0.5sec毎に記録している。

JIS型入力では常に角度が大きく変化しているのに対し、座標入力方式では前半に角度誤差が大きくなるものの、後半では一定の角度で推移している。

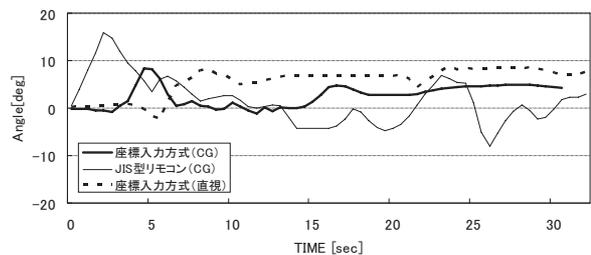


図-12 H鋼の角度の変化

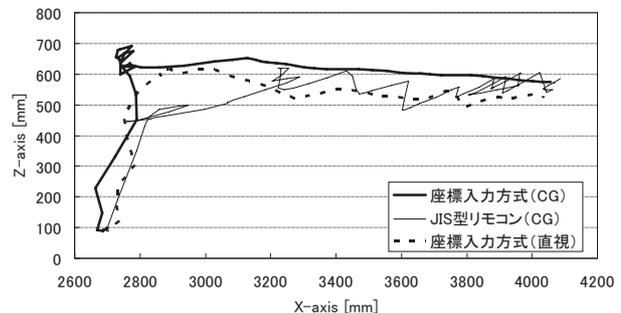


図-13 H鋼中心座標の軌跡

H鋼座標軌跡の図では、JIS型入力が鋭角的な動きになっているのに対して、座標入力方式は水平移動時に±5cmの範囲で直線的に移動している。この結果から、エンドエフェクタ座標入力方式ではJ1, J2, J3の角度を連携して操作することができ、任意の姿勢で直線的に対象物を移動させる入力操作を容易に行うことができたと言える。

直接目視の場合では、操作装置を運転席横1mに設置した。角度の変化や水平移動時の軌跡は細かく変化することはないが、目標からの誤差は横視点CGを呈示した座標入力方式と比較して大きくなっている。これは、直接視認することで立体感はあるものの、水平や高さなどの情報は運転席付近からの視点では正確に判断できなかったためであると考えられ、横視点CGによる情報呈示は精度を要求される遠隔操作に有効であると言える。

4. マニピュレーションの応用（水中点検作業）

バックホウをマニピュレータとして利用する場合、重量物の把持運搬のほか、可動範囲内における定点での固定が容易となる。また重力補償制御により、エンドエフェクタの座標を直線的に運動させることが可能となっており、その精度は±50mm以内に抑えられている。ここで前述のとおりバックホウは先端部のエンドエフェクタを変更することで様々な作業に適応でき、例えば点検用センサ等を搭載することで点検診断作業の機械化についても応用することが可能である。そこで先端座標誤差や、ロール・ピッチ方向への補正を行う電動ステージをエンドエフェクタとし、そのステージに超音波肉厚計測センサを搭載することで、波浪や潮流に影響されない正確な測定が可能となる。



図-14 水槽内での肉厚計測実験

そこで図-14に示すような実験水槽内での鋼管肉厚点検作業実験を行った。使用した超音波センサは当所で研究開発が行われているものであり、鋼管との距離を30cmから50cmの範囲で可能な限り直交させる必要がある。実験の結果、油圧制御とセンサ搭載機構により超音波センサの要求する仕様を満足することが可能となったことが確認で

きた。またセンサを任意の位置へ連続して固定することが可能となれば、肉厚断面のプロファイル計測が可能となり、信頼性の高い維持管理が可能となると考えられる。

5. まとめ

遠隔操作における作業効率の向上には、オペレータの操作意思を直感的に入力できるMaster、入力どおりに追従するSlave、そして状況をオペレータに呈示するトレイグジスタンスが重要である。

本研究では油圧制御に重力補償、操作インタフェースにエンドエフェクタ座標入力方式、さらにARToolKitにより対象物の位置を認識し、横視点からのCG表示により対象物との位置関係を明確に示すことで、作業状況の呈示を行うインタフェースを構築した。実験ではH鋼が傾斜していた場合でも把持を失敗することがなく、その有効性が確認され、提案するインタフェースは相似形インタフェースの問題点であった疲労度について改善し、水中遠隔操作作業において従来のJIS型操作方式より優れた操作精度を有することが確認できた。

陸上での工事では作業内容に応じて多種にわたる建設作業機械が開発・普及しており、さまざまな作業を効率よく施工している。それに対し水中における工事では、その特殊性から機械化が進んでおらず、いまだ潜水士の手作業に依存している。しかし水中作業は極限作業環境下であり、最も機械化が必要な分野⁴⁾であると考えている。そこで近年現場導入されはじめた水中バックホウに注目し、アタッチメントを変更することで様々な作業に適応できる水中作業マニピュレータとして活用することを想定し研究を行ってきた。高度成長期に整備された数多くの港湾施設が耐用年数に近づいており、これらを健全な状態に管理し、及び有効に活用することが求められる今日、情報の呈示に優れた操作インタフェースを建設機械遠隔操作に応用し、より高度で実用性の高い水中作業の無人化を目指して研究を進めていく考えである。

参考文献

- 1) Hirabayashi, Yamamoto, Yano, Iwata : Experiment on Teleoperation of Underwater Backhoe with Haptic Information” , ISARC2006, pp. 36-41 (2006)
- 2) 川村 : ロボット制御入門 ; オーム社(1995)
- 3) 一柳建 : 電子油圧制御 ; 日刊工業新聞社(1993)
- 4) 金山裕幸 : 水中施工機械「水中バックホウ・ビッグクラブ」による施工コスト削減対策について ; 第16回港湾技術報告会概要集(1999)

4. 排水ポンプ設置支援装置の開発

(独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地機械技術チーム ○ 牧野 正敏
(独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地機械技術チーム 堀田 歩
(独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地機械技術チーム 高松 茂

1. まえがき

近年、北海道では冬期でも降雨があり、周囲の雪を融かすため、雨量以上の洪水被害となる場合がある。特に低温積雪条件下では、凍結により排水機場などの施設が使用出来ない場合は、排水ポンプ車での対応に頼らざるを得ないが、冬期間は除雪の必要性や現場状況の悪化等、作業を遅延する要因が増える。



写真-1 平成19年1月十勝太での排水作業

また、北海道は広域分散型の地域構造であるため、それぞれの地域で着実に災害対策を行わなければならない。

本開発は、平成19年1月の爆弾低気圧の影響による浦幌町十勝太での内水排除等、多様化する現場の状況(写真-1参照)を踏まえて、既存の排水ポンプを利用し、汎用性を持たせた設置支援装置を開発することで、柔軟な現場対応と共に、排水ポンプの安全且つ効率的な設置・回収を図ることを目的とする。

2. 検討概要

排水ポンプ設置支援装置の開発については、道内で最も多く排水ポンプ車を保有している北海道開発局において、車両に搭載されている排水ポンプ121基中76基と全体数の約6割を占め、最も保有台数が多い規格である

7.5m³/min排水ポンプを対象とした。(図-1参照)

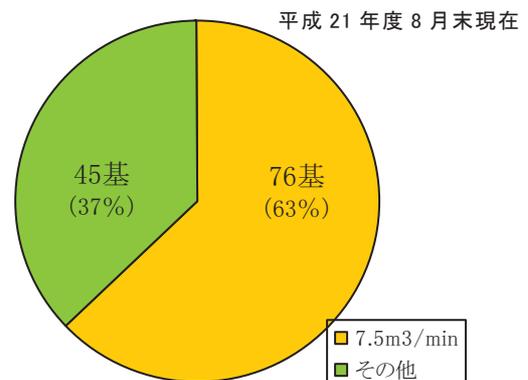


図-1 排水ポンプ保有台数

道内で最も多く導入されている規格の排水ポンプを対象とすることにより、ポンプ本体の開発、改造を新たに必要とせず、装置自体に汎用性を持たせることにより、広域的且つ効率的な運用を図り、購入台数の低減、開発コストの縮減を図ることが可能である。

3. 排水ポンプの仕様

本開発において主対象とする排水ポンプの仕様について下記に示す。(写真-2、表-1参照)



写真-2 7.5m³/min排水ポンプ

表-1 排水ポンプ諸元

型式	水中モーター駆動ポンプ
口径	250mm
全長	1,062mm
全高	370mm
排水量	7.5m ³ /min
電動機	
形式	乾式水中三相誘導電動機
出力	15kW
電圧	440V
周波数	60Hz
軸封装置	ダブルメカニカルシール
電源キャブタイヤケーブル	50m/台
質量 (ポンプ及びフロート重量)	120kg/台
主要材料	
ケーシング、モーターフレーム	アルミニウム合金鋳物
主軸、羽根車	ステンレス鋼

4. 設置支援装置の検討

排水ポンプ車の過去の災害出動実績、排水作業訓練視察及び聞き取り調査より、排水ポンプ車の運用実態を調査し、それらを踏まえて、排水ポンプ設置支援装置の検討を行った。

4.1 自走による排水ポンプ設置の検討

現在の排水ポンプ車運用実態を調査した結果から、クレーン装置の届く範囲内であれば、排水ポンプの設置・回収は比較的スムーズに行われている。そのため、検討するのはクレーンの届かない範囲、もしくは不整地や積雪時に排水ポンプ車が作業場所まで入っていけない状況などを対象とする。

現状、災害時に排水ポンプ車が進入出来ない場所は少ないが、新潟県中越地震に代表される大規模災害の発生時や冬期間の未除雪現場など、悪条件下でも排水作業を可能とするにはポンプ設置支援装置が必要である。

よって、悪条件下で排水ポンプを設置地点まで搬送し、設置する手段として、自走式の設置支援装置は有効であると考えられる。

4.2 基本条件

災害現場では迅速且つ確実な作業が求められるため、設置に時間をかけることはできない。また、故障等による時間のロスを減らすため、複雑な機構などを用いないシンプルな構造が望ましい。現在、北海道開発局では15m³/min級のポンプ自走装置(写真-3、表-2参照)を所有しているが、本体が大型であるため使用状況が限られている。そこで走行性能が同等で、排水ポンプの着脱を容易且つ小型な構造にすることにより、各地に配置されている排水ポンプ車に転用ができ、より多く

の状況で災害支援を可能とするための検討を行った。

4.3 基本性能・開発目標の設定

自走式の設置支援装置(以下、自走装置という。)の仕様については、既存のポンプ自走装置と同等程度の能力を発揮すること、各種コストを抑えることを踏まえ、前述の排水ポンプを使用する事を前提とし検討を行った。

開発目標は以下のとおりとする。

- 汎用の排水ポンプ(7.5m³/min)を搭載して使用する装置であること。
- 車載クレーンを使用せずに排水ポンプを設置・回収出来る装置であること。
- 設置支援装置へのポンプの搭載は現地での作業性を考慮して、単純且つ簡潔な構造とすること。
- 設置支援装置は車両に積載して運搬し、現場で車両から降ろして使用することを前提としているため、積み降ろし、運搬が容易な構造であること。
- 夏期、冬期、及び路面状況を問わず可能な限り走破性を高めること。
- 装置本体の寸法は可能な限り、小型・軽量化を考慮すること。



写真-3 ポンプ自走装置

表-2 ポンプ自走装置諸元

排水量	15m ³ /min
最大登坂角度	30° (tan θ=0.58)
全長	3,500mm
全幅	1,800mm
全高	2,400mm
総質量	3,200kg (水中ポンプ含む)

4.4 概略構想によるイメージ

前述の開発目標を踏まえたうえで、自走装置の各構成の概略構想を以下にまとめる。

- a) 走行装置はクローラ駆動とし、可能な限り汎用品を使用する。
- b) 排水ポンプの着脱は特殊な工具を必要としない構造とする。
- c) 搭載する排水ポンプは2台とし、重量バランスから自走装置中央の可能な限り低い位置に搭載する。
- d) 自走装置の最低地上高は悪路走破性を考慮し、150mm程度確保する。
- e) 駆動装置は可能な限り自走装置全体がコンパクトな形状にまとまるよう配慮する。
- f) フロートは前後分割式とし、現場での脱着が容易な構造とする。
- g) スライドベースの底面は網状の部材を使用し、排水作業時の支障とならない構造とする。

上記をまとめた概略構想のイメージを図-2に、示す。

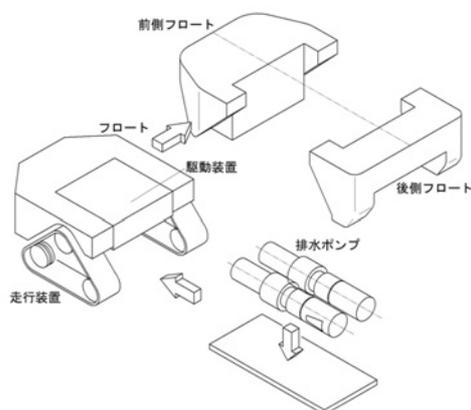


図-2 開発装置概略

前述のとおり、排水ポンプを搭載するスペースを装置本体の下部に確保するため、上部にモーター等を配置し、減速機を介して動力

をクローラ側に出力する構造とした。駆動装置は、設計の自由度と構造の簡潔さを優先し、クラッチ機構等を設けず、駆動用モーター1基に対して減速機を1基とし、それを左右に一組ずつという構造を採用した。



図-3 駆動装置及び排水ポンプ配置

4.5 試作機の製作及び試験

これまでの検討結果をもとに平成20年度に開発機械の試作機を製作した。製作した試作機の仕様を表-3、全景を写真-4～5に示す。



写真-4 試作機

排水ポンプの搭載、ホースの接続時には後部のフロートを外す必要があるが、フロート

表-3 試作機主要諸元

基本性能		駆動装置 (電動機)	
(1) 走行速度	8km/h	(1) 定格出力	7.5kW
(2) 最大登坂角	30° (Tan θ=0.58)	(2) 電圧	440V
(3) 接地圧	19.6kPa (0.2kgf/cm ²)	(3) 周波数	60Hz
主要諸元		(4) 回転数	1500rpm
(1) 全長	2,360mm	(5) 相数・極数	3相・4P
(2) 全幅	1,780mm	走行装置	
(3) 全高	980mm	(1) 全長	1,265mm
(4) 総質量 (ポンプ搭載時)	1,160kg	(2) 全高	760mm
(5) 総質量 (ポンプ未搭載)	920kg	(3) 幅	300mm
フロート部		(4) 材質	ゴム (NBR)
(1) 構造	前後2分割式	(5) 駆動輪	φ370mm
(2) 材質	内部/発泡スチロール 外面/FRP	(6) 転輪	4個 φ220mm

は左右 2 本のロングピンで固定する構造のため、現場での脱着は容易である。



写真-5 試作機（フロート無し）

排水ポンプは縦 660mm×横 1,000mm のスライドベースに搭載する。ポンプの種類に合わせた台座に取り替える事により多様なポンプへの対応が可能である。スライドベースの中央部には仕切り板を設けて、排水時に 2 台のポンプが干渉しない構造とした。



写真-6 ポンプ搭載用スライドベース

本体下部のポンプ搭載スペース(図-3 参照)は幅約 950mm, 高さ約 400mm であり、この寸法に収まる排水ポンプであれば搭載が可能である。

平成 20 年度は試作機の冬期における走行試験を実施した。積雪深 30cm 程度の新雪、凍結路面等の条件において走行速度、制動距離、登坂能力等の測定と検証を行った。

結果、前後の重量バランス、フロート形状の一部改良が必要であると判断されたが積雪条件下においても良好な走行性能を発揮した。



写真-7 冬期走行試験

平成 21 年度は夏期における排水試験及び走行試験を実施した。



写真-8 試作機進水状況



写真-9 試作機排水状況

水深が 1m 程度で完全に本体が浮いた状態となる。浮いた状態では推進力は無く、排水時にホースが伸びる力で僅かに動く程度であり、設置位置を細かく調整する場合はロープを渡しておく必要がある。

ただ、本体が浮くほどの水深があれば十分に排水が可能であるため、ある程度水位が下がり、クローラが接地したら深い場所へと移動し、再度排水をするという運用が基本となる。

排水試験においても良好な結果を得る事が出来た。水深 1m 程度から排水を始め、排水可能な最低水深の調査を行った。60cm 程度の水深で排水可能であったが、最低水深は余裕をみて、70cm 程度とする。既存のポンプ自走装置は 1.4m 程度の水深が必要なので、試作機は、より低水深対応が可能である。



写真-10 異物吸い込み状況

草などの漂流物の吸い込みについては、ポンプ位置の調整及び、フレームの隙間に網を設置する事で大方の異物は防ぐ事が出来たが、僅かではあるがフレーム等に引っかかるケースが確認できた。しかし、排水性能を妨げる程ではなく問題はないものとする。



写真-11 試作機登坂状況

登坂走行については、排水ポンプを搭載していない状態では重心位置が高く不安定な場面が見られたが、排水ポンプを搭載した状態では重心位置も下がり、接地圧も向上する為、概ね 20～25 度の勾配であれば乾燥した草地、濡れた状態の草地のどちらでも問題なく登坂、降坂ができる事が確認できた。但し、路面状況によって安定した走行が可能な角度は変化するので運用時には注意が必要である。

5. 改良検討

冬期及び夏期の試験で分かった今後の主な改良点については以下のとおりである。

5.1 フロート及び重量バランスの見直し

試験の結果から法面等を登坂、降坂する際に、前側フロートの下方が地面に接触してしまう事による挙動の不安定さが見受けられた。また進水時に前側フロートの浮力が大きすぎた為、水平姿勢を維持出来なかった。

これらの問題点はフロート形状の変更で改善出来るものと判断した。それにより挙動等は更に安定するものと思われる。



写真-12 前側フロート接触部

5.2 電動機の仕様変更

現在の仕様では走行速度は時速 8km/h 程度となっているが、全速力で走行する必要性は少なく、特に登坂時などは定格出力の半分(時速 4km/h)以下である。その事を踏まえ、最高速度を落とし、減速比を大きくする事で現在の電動機よりも出力の小さな物を選定する事が可能となる。電動機を小さくする事で全体の軽量化、重量物を中心に寄せる事による挙動の安定化を図る事が出来る。

また、それに伴い電源ケーブルを細くする事もでき、取り回しを更に軽快に行う事が可能となる。

5.3 電源ケーブル等の統一

試作機は傾斜地などで装置が勝手に進んでいかないように電気式のブレーキ装置を採用している。

現在は各ブレーキ機構を個別に制御しているが、一括制御方式に変更することにより、制御用の心線数が減らせる為、2本のケーブルを1本にまとめることができ、ケーブルの取り回し作業の時間短縮が可能となる。

6. 導入効果

開発機械を導入運用した場合の経済効果について、既存の排水ポンプ設置方法との比較検討を行った。

①開発機械の購入費、開発機械の維持管理費(点検費等の固定的な管理費、及び変動的な修理費等)

②開発機械の組み合わせによる出動経費(機械経費、及びオペレータ人件費等)

6.1 購入費・維持管理費

購入費については、試作機の価格であり、実用機として導入する際には、詳細な市場調査による実勢価格について、再度検討する必要がある。購入費、維持管理費について耐用年数（10年）で総合的に比較した結果を、図-5に示す。

なお、管理費は【購入費×3%×耐用年数（10年）】と仮定し、修理費は【購入費×10%】と仮定して算出した。今回の比較では購入費の面でコストが下がるため、関連して維持管理費についても若干ではあるがコスト縮減が見込まれる。この結果、耐用年数期間内においては約21%の縮減効果が期待できる。（既存機械は北海道開発局保有のポンプ自走装置とし、購入費は排水ポンプの価格を除いたものとする。）

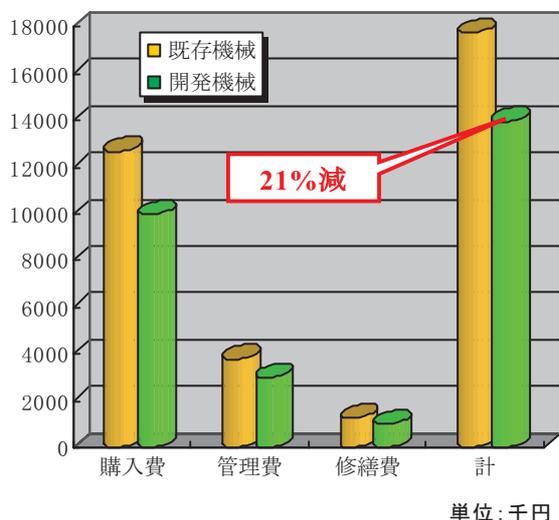


図-5 購入費・維持管理費

6.2 出動経費

出動経費について、出動を年1回、現場までの距離を片道50km程度と仮定して、既存機械はラフタークレーンを貸借して排水ポンプを設置する場合の輸送時の運転経費、開発機械はクレーン付トラックで自走装置を輸送する場合で比較した。既存機械の出動経費はラフタークレーンの貸借費（人件費込み）が大きな割合を占めているが、開発機械はその経費が削減されることから、大幅なコスト縮減が期待できる。また、今回はクレーン付トラックで自走装置を輸送する事を想定したが、排水ポンプ車搭載のクレーンを使用できる場合、輸送は普通トラックで可能となり、コスト縮減率も増加する。出動経費を図-6に示す。

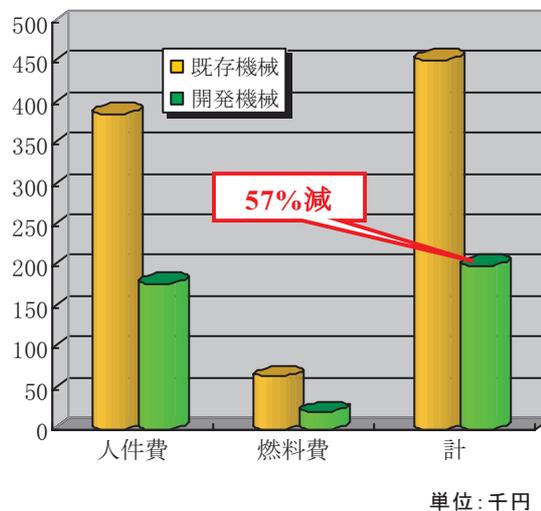


図-6 出動経費

7. まとめ

試作機による走行試験及び排水試験の結果、概ね良好な結果が得られた。

今後は試験フィールドだけではなく、実際の現場で試験及びデータ収集を実施し、適応性及び改良点の調査を行うことを予定している。その結果を踏まえ、試作機の改良、運用方法の検討を行い、災害対応の迅速化、及び効率化に貢献していきたい。

5. ロックボルトによる極小断面水路トンネル補修の設計と施工法

極小トンネル内で低粉塵穿孔作業を実現

三井住友建設株式会社 ○ 山地 宏志
 三井住友建設株式会社 中野 陽一
 山口大学 清水 則一

1. はじめに

トンネル断面積3m²未満の極小断面トンネルは、水路トンネルを中心として高度経済成長期に数多く建設され、今日でも経済活動を支える重要な社会インフラである。しかし、それらの多くは建設後、40～50年が経過し、老朽化の時期にさし掛かり、適切な維持・補修計画の立案とその実施が喫緊の課題とされる。

一般に、トンネルに発生する変状は、外力による変状(構造ひび割れ)と、覆工劣化に伴う変状(初期欠陥の成長・材料劣化)の二つに大きく分類される。図-1¹⁾に示すように、外力による変状の発生形態はさまざまであるが、その代表的な対策工は覆工背面空隙の充填とロックボルトによる補修が主とされる。覆工背面空隙の充填は、トンネル覆工背面に存在する空隙を適切な材料で充填することで地山荷重伝達を均等に伝達し、局所的に過大な外力が作用することなく、覆工全体が構造体としての機能を発揮することを目的として実施される。

一方、ロックボルト補修は覆工と地山をロックボルトにより一体化することで、覆工に固定支承を形成し、作用モーメントのアームを短くすることで部材応力の軽減を図ることを目的とする。したがって、トンネル掘削時に地山安定化を目的として打設されるロックボルトとは、期待される役割が異なることに注意が必要である。

外力に起因する覆工の構造ひび割れがすでに発生したトンネルにおいては、まず当該ひび割れ発生箇所をロックボルトにより補強した後、覆工背面の空洞部を充填することが合理的な補修戦略であると考えられる。ところが、極小断面トンネルは余りに狭く、坑内から必要な長さのロックボルトを打設することのできる削孔機械が開発されていない。このため、極小断面トンネルにおいては、覆工に構造ひび割れが発生したとしてもひび割れ充填やシート被覆等の対症療法的な対策しか行われず、トンネル構造体としての力の釣り合いを確保することのできる根本的な対策が施されてこなかった。

筆者らは、幅1.50m、高さ1.78mの工業用水トンネルにおいて、水平ひび割れがスプリングラインより10cm下に50m区間にわたって発生していることを点検時に発見した。これを受けて、当該トンネルの長期安定に関する検討を実施したところ、当該ひび割れ箇所をロックボルトにより補修し、覆工の安定性を確保した後に、全線に亘る覆工背面空洞調査を実施し、これを確実に充填することのできる対策工であるものと判断した。

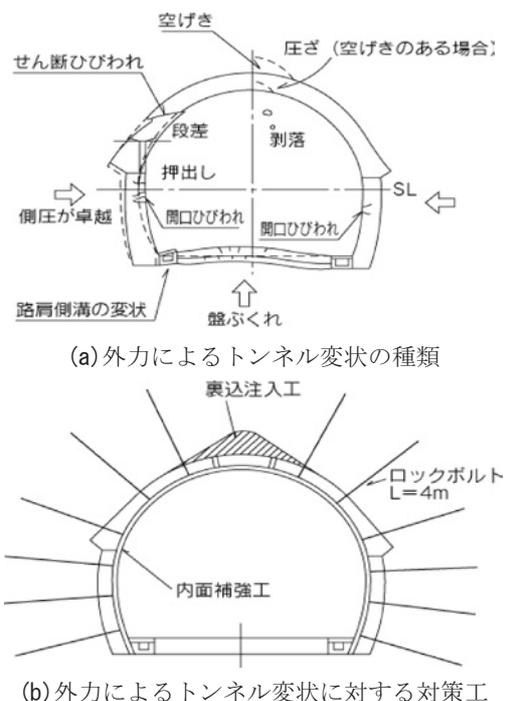


図-1 外力によるトンネル変状とその対策工¹⁾

この検討結果に従い、そのロックボルト打設パターンを設計するとともに、極小断面内から長尺のロックボルトを施工することのできる削孔システムを開発し、当該トンネルの補修に適用した。その結果、所期の作業性能を発揮することができ、限定された作業時間内で所定のトンネル補強を実

施できた。本文は、この工事におけるロックボルト補修設計を示すとともに、開発した削孔システムの概要とその稼動状況を示すものである。

2. ロックボルトによる覆工補修とその設計

点検において発見された覆工の構造ひび割れは、下流に向かい右側スプリングライン下部 20cm の位置に発生しており、写真-1 に示すように最大ひび割れ幅 3mm で水平に延びる明らかな構造ひび割れである。そのひび割れ延長は 400m~450m 区間(上流側坑口から)の約 50m である。



写真-1 点検で確認された構造ひび割れ

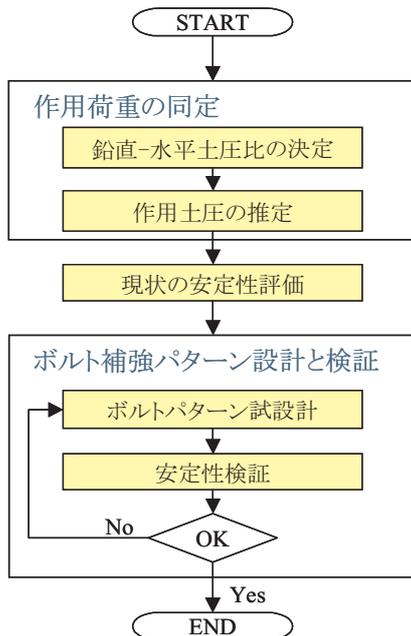
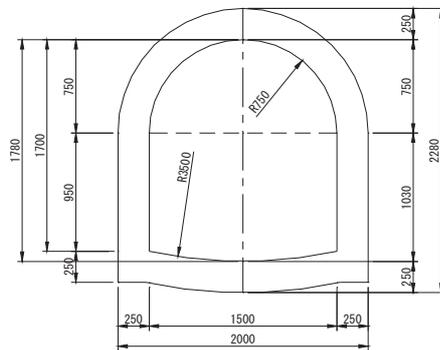


図-2 ロックボルト補修設計のフロー

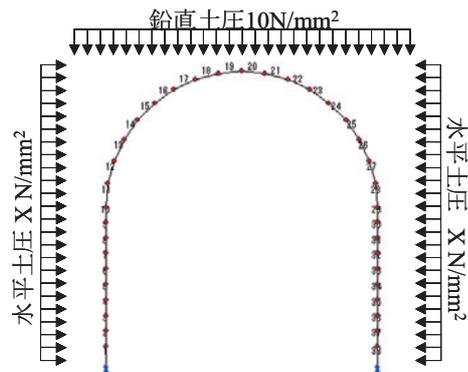
以下に、対象ひび割れに対するロックボルト補修の設計手順とその詳細を示す。

2.1 設計手順

設計の手順を図-2 に示す。すなわち、ひび割れ発生位置に最大引張応力を発生させる単位作用荷重の組み合わせを見つけ、この単位作用荷重により発生する最大引張応力度が覆工の引張強度と等しくなるように実際の作用荷重を推定する。次に、その作用荷重を用いて現状の覆工応力状態を検証し、補強が必要であるならば、ロックボルトの打設パターンを定め、その打設パターンで覆工が十分に安全な応力状態に移行することを確認し、これを設計ロックボルトパターンとする。以下に、その実際を示す。



(a) 一般部覆工コンクリート断面



(b) フレーム計算モデルと単位荷重の作用

図-3 対象トンネル断面と同定計算に用いたモデル

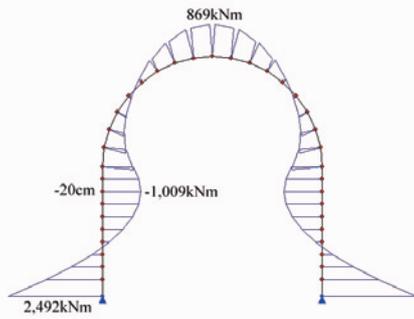
表-1 計算に用いた諸元

断面積	A	m^2	0.25 m^2
断面二次モーメント	I_y	m^4	0.0013 m^4
断面二次モーメント	I_z	m^4	0.0210 m^4
弾性係数	E	kN/m^2	$2.1 \times 10^7 kN/m^2$
ポアソン比			0.3

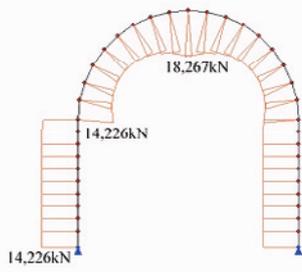
2.2 作用外力の推定

覆工側壁に水平ひび割れを発生させた外力の分布とその大きさを推定するために、まず図-3 のよ

うに対象トンネルの覆工構造をフレーム要素でモデル化し、単位荷重の組み合わせを変化させて作用させ、対象トンネルのひび割れ発生箇所にも最大曲げモーメントを発生させる組み合わせを求める計算を実施した。なお、単位荷重は鉛直土圧を $10\text{N}/\text{m}^2$ に固定し、水平土圧だけを変化させるものとした。



(a) 曲げモーメント分布



(b) 軸力分布

図-4 ひび割れ位置に最大曲げモーメントを発生する断面力分布

その結果、当該位置に最大曲げモーメントが発生する荷重の組み合わせは、図-4(a)に示すように鉛直 $10\text{N}/\text{mm}^2$ -水平 $10\text{N}/\text{mm}^2$ の場合であった。また、図-4(b)に示されるように、覆工に作用する軸力は全断面で一様であり、最大曲げモーメント発生箇所でも最大引張ひび割れが発生することがわかる。このモデルにおいて発生する最大縁応力度は、

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \frac{M}{Z} - \frac{N}{A} \\ &= \frac{1,009}{0.001} \times \frac{0.25}{2} - \frac{13,725}{0.25} = 42,119 \quad \text{kN}/\text{m}^2 \end{aligned} \quad (1)$$

として与えられる。一方、対象の覆工コンクリート設計規準強度を $\sigma'_{ck}=18\text{N}/\text{mm}^2$ とすると、圧縮強度は20%を割り増して $\sigma_{ck}=21.6\text{N}/\text{mm}^2$ と推定される。ここで、次の引張強度と圧縮強度の関係を用いると、対象覆工の引張強度は以下のように推定される²⁾。

$$\sigma_{tk} = 0.23\sqrt[3]{\sigma_{ck}^2} = 0.23\sqrt[3]{21.6^2} = 1.78 \quad \text{N}/\text{mm}^2 \quad (2)$$

したがって、

$$\begin{aligned} P_V = P_H &= 10 \quad \text{N}/\text{mm}^2 \times \frac{\sigma_t}{\sigma_{tk}} \\ &= 10 \times \frac{1,366}{42,119} = 0.324 \quad \text{N}/\text{mm}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

として、覆工に作用する土圧が推定される。

2.3 作用外力の推定

前節で推定された覆工作用荷重を用いて現状の覆工安定性の検討を行う。いま、ひび割れ箇所を塑性ヒンジで置き換えると現状の覆工コンクリート構造を図-5のようにモデル化できる。このモデルに、式(3)で推定した外力を作用させた場合の覆工最大曲げモーメントと軸力の分布を図-6に示す。

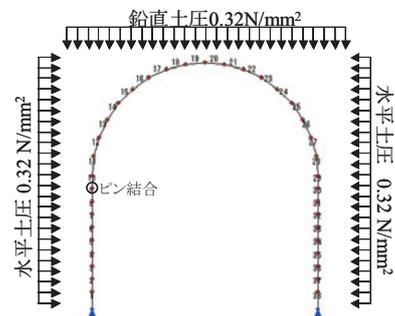


図-5 現状の覆工構造のフレームモデル

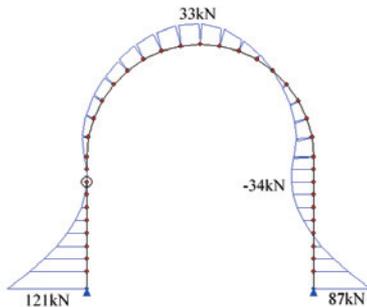
図-6に示すように、右側壁部にひび割れ発生後も覆工には左側壁部の同じ高さ付近に内側引張の大きな曲げモーメントが作用する。この位置に作用する最大縁応力度を計算すると以下ようになる。

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \frac{M}{Z} - \frac{N}{A} \\ &= \frac{34}{0.0013} \times \frac{0.25}{2} - \frac{480}{0.25} \\ &= 1,349 \quad \text{kN}/\text{m}^2 < 1,366 \quad \text{kN}/\text{m}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

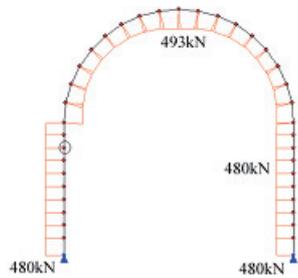
この最大縁応力度は覆工コンクリートの引張破壊強度よりも小さい値ではあるが、ほとんど余裕がなく、右側壁部にもひび割れが発生する可能性が高いものと判断される。このため、何らかの対策工が必要であると考えられる。なお、補修のため坑内観察を再度実施したところ、右側壁部にもひび割れが予測された箇所にも発達していた。

2.4 ロックボルト補修パターン在设计

左側壁のひび割れ位置より 10cm 下部とスプリングラインより 10cm 上部にロックボルトを打設する。また、ひび割れの発生していない右側壁においても同じ位置にロックボルトを打設するものとする。

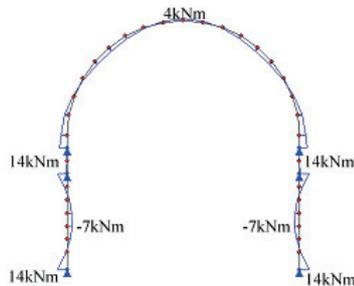


(a) 曲げモーメント分布

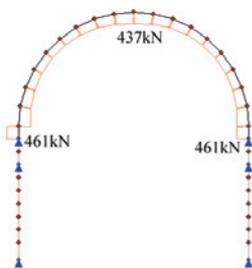


(b) 軸力分布

図-6 現状の推定断面力分布



(a) 曲げモーメント分布



(b) 軸力分布

図-7 打設後の推定断面力分布

図-5 に示すモデルにおいてロックボルトの打設位置を新しい固定支承として、ロックボルト打設

後の曲げモーメントと軸力の分布を図-7 に示す。同図を図-6 と比較すると、現状覆工部材力に比べ曲げモーメントおよび軸力とも大きく減少し、同一荷重においても覆工構造が変化することで発生部材応力が大きく軽減することがわかる。ここで、内壁側に最大の曲げモーメントが作用する位置の最大縁応力度は以下のように求められる。

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \frac{M}{Z} - \frac{N}{A} \\ &= \frac{7}{0.0013} \times \frac{0.25}{2} - \frac{0}{0.25} \\ &= 673 \text{ kN/m}^2 < 1,366 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \quad (5)$$

したがって、覆工コンクリートに作用する最大縁応力度はコンクリート引張破壊強度の半分程度まで低下することが期待され、ロックボルトの補修効果は大きいものと判断することができる。

2.5 ロックボルト打設範囲とロックボルト長

トンネル軸方向の打設間隔は確実な固定支承を形成することを目的として 1m とする。一方、ロックボルト長は、覆工に固定支承を形成し得る長さがあれば良い。ここでは、覆工自重をロックボルトの極限摩擦抵抗で支持することのできる定着長を設計長と考える。なお、表-2 に地盤毎の極限摩擦抵抗の設計値を示す。

表-2 極限摩擦抵抗の設計値

岩盤の種類	極限摩擦抵抗 (N/mm ²)
硬岩	1.18
軟岩	0.78
風化岩	0.49
土丹	0.49

アーチ部: スプリングラインより上部のアーチ部は左右二本のロックボルトで支持される。その隧道軸方向 1m 当たりの覆工重量は以下のように求められる。

$$W_a = \rho \frac{1}{2} \pi (r_1^2 - r_2^2) L = 17.17 \text{ kN} \quad (6)$$

いま、ロックボルト打設長を 1m とすると、覆工厚が 0.25m であるので岩盤での付着長は 0.75m となる。また、削孔径 0.042m とし、ロックボルト定着材と地山間の極限摩擦抵抗を 1.18 とすると、その付着抵抗は以下のように求められる。

$$T = \mu \pi D \ell = 116 \text{ kN} > 17.17 \text{ kN} \quad (7)$$

側壁垂直部: スプリングラインより下部の側壁垂

直部は左右それぞれ一本のロックボルトで支持される。その隧道軸方向 1m 当たりの覆工重量は、以下のように求められる。

$$W_a = \rho WH = 5.94 \quad kN \quad (8)$$

いま、ロックボルト打設長を 1m とすると、その付着抵抗は、以下のように求められる。

$$T = \mu \pi D l = 116 \quad kN > 5.94 \quad kN \quad (9)$$

以上より、ロックボルト打設長を 1m とする。なお、ロックボルトの定着を確実にを行うため湧水対応の早強セメントカプセルを用い、ロックボルト母材、ベアリングプレート、ナット・ワッシャー等は耐腐食性を考慮し亜鉛メッキ仕様とした。

3. 極小トンネル内削孔システムと施工の実際

極小断面トンネル内の補修施工には、以下のような問題点がある。

- ① トンネル断面幅が 1.5~2.0m 程度と極めて小さく、一般的な建設機械の搬入・運搬ができない。
- ② 一般的な建設機械が使用できないため、施工可能な補修工法が限定される。
- ③ 点検・補修工事のために、工場稼働や発電を停止しなければならないことから、補修に許容される時間が限定される。
- ④ 水路トンネルには工事に必要な電気、水、空気、照明等の設備が一切ないため、限られた時間のなかでこれらの敷設・撤去作業を行わなければならない。
- ⑤ 換気条件が著しく悪いため、内燃機関や有機溶剤が使用できない。また、換気が不可欠となる。

このような、諸条件を勘案し削孔システムはニューマティックドリルを用いるものとした。ニューマティックドリルは油圧ドリルに比べ打撃圧が劣るものの、ドリル本体の寸法が 640mm と小さく、極小坑内での操作性に優れるためである。また、ニューマティックドリルの場合、空気配管の敷設・撤去のみでよいという利点もある。なお、油圧ドリルの場合、最小でもドリル本体寸法は 1m を超える。

一方、ニューマティックドリルの打撃圧が油圧ドリルに比べ小さいことから、空圧作動のドリフターを採用し、空圧によりドリルをフィードするものとした。これにより、人力削孔に比べ安定して大きなフィード圧を与えることが可能となり、硬岩の削孔も可能となるものと考えた。

また、無水削孔の問題点として、削孔屑が粉塵となる問題が挙げられる。坑道換気しか行えない

極小断面トンネルでは、粉塵を作業環境内に浮遊させると塵肺等の深刻な粉塵災害を招きかねない。このため、発生する粉塵を削孔口元からサイクロンとバキュームによりすべて吸引し、所要の容器内へ貯蔵する方式を考えた。

以上のような、削孔作業諸元を狭小空間内で実現すべく設計・製作した削孔システムが写真-2 に示すシステムである。当該システムが要求性能を満たすことを検証することを目的に、写真-3 のような実物大トンネル模型を製作し、その一部に設計一軸圧縮強度 $\sigma_c=150\text{MPa}$ の削孔用ブロック (2,000×1,200×1,500) を設け、削孔試験を実施した。その結果、設計諸元たる要求性能をすべて満たし、かつ $\phi 32\text{mm}$, $L=1,000\text{mm}$ のボアホールを 12 分程度で削孔できることを確認した。

なお、削孔は替えノミ方式とし、最初に $L=700\text{mm}$ のロッドでガイドホールを削孔し、削孔後、ドリル本体を持ち上げ、 $L=1,300\text{mm}$ のロッドと交換し、深さ 1,000 mm まで追いノミするものとした。幾つかの削孔方式を試験したが、この方法が最も効率的で、かつボアホールの直進性も確保できたため、当該方式を対象トンネルの施工方式として採用した。

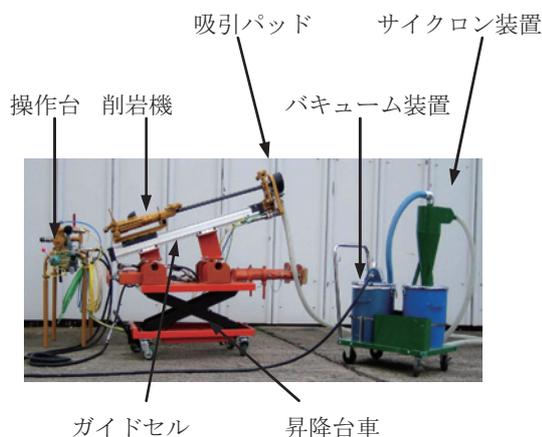
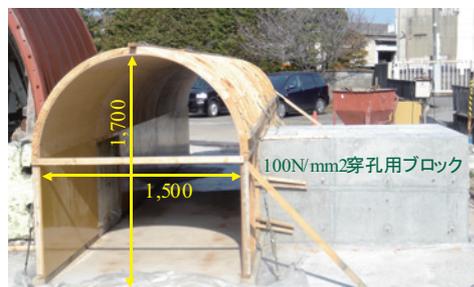


写真-2 削孔システムの構成



実際の施工においては、トンネル施工時に余掘り部を土砂等で充填した箇所があり、孔の自立性が保てず、ボルト挿入・定着が行えないため、打設位置を変更せざるを得なかった孔が数本あった。それ以外は、全く問題のない施工を行うことがで

きた。

なお、施工に要した日数は6日間で、坑内足場組み立てと坑内配管・配線のために1日、その撤去に1日を要したため、実際の補修工に当てられた日数は4日間であった。また、作業時間は午前8:00から午後7:00とし、夜間作業は行わなかった。写真-4に補修終了後の坑内状況を示す。



写真-4 ロックボルトで補修された坑内

5. おわりに

本文では、外力に起因する構造ひび割れに対するロックボルト補修の設計方法を提案し、極小断面トンネル内で作業可能な削孔システムの開発経緯と、その施工の実際に関して述べた。

設計に関しては、やや安全側の設計であるものと考えているが、経済的に過大なものではないため、長期の安定性を考慮すれば妥当な方法であると考えている。また、削孔システムは実務において所要の性能を発揮し得ることが確認されたが、限定された作業時間で柔軟な対応を可能とするよう坑内配管・撤去方法を含めた改良が求められる。なお、孔が自立しない地山に対しての自穿孔ボルトの適用を考え、システムの一部改良を実施し、その作動を確認済みである。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧，丸善，1993.
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書〔平成8年度制定〕設計編，1996.

6. 可塑性材料によるトンネル覆工背面空洞の 長距離圧送充填工法の開発

三井住友建設株式会社
三井住友建設株式会社
(財)建設工学研究所

○ 戸村 豪治
山地 宏志
櫻井 春輔

1. はじめに

NATM 以前の、いわゆる在来工法で建設されたトンネルの長期耐久性確保を目的とした維持・補修では、その覆工が本来有する耐荷力を十全に発現させることが最も重要となる。すなわち、覆工に生じたひび割れ等の構造弱部に対しては、何らかの補修工により、その耐荷機能を回復させるとともに、覆工全体が有効に機能するように、地山荷重を均等に覆工に作用させなければならない。

一般に前者に対してはロックボルト補強工が、また後者に対しては覆工背面空洞の充填工が有効とされ¹⁾、交通トンネル等の大断面トンネルにおいてはこれらの方法による維持・補修が一般に行われている。しかしながら、水路トンネルをはじめとする小断面・極小断面トンネルにおいては、一般の施工機械が使用できないため、これまで対処療法的な補修しか行われてこなかったのが現状である。筆者らは、すでに小断面・極小断面トンネルに特化したロックボルト補修工法を開発し、実務に供してきた²⁾。その後、覆工背面空洞充填工に関しても開発を進め、可塑性材料を用いた長距離圧送充填工法 MOLE-Grout を開発した。本報文は、MOLE-Grout 工法の概要を示すとともに、坑口近傍に混練り・圧送機器を設置できない状況下で、急勾配配管を介して空洞充填を実施した事例を示すものである。

2. 可塑性材料による長距離圧送充填工法の概要

2.1 充填材 MGM の選定とその特性

当該圧送充填工法が対象とする小断面・極小断面トンネルでは、その空間的な制約条件から、充填工に供する混練機やポンプを坑内に搬入することができない。また、可能としても、これを運搬するために内燃機関を使用することはできない。したがって、その充填方式は坑外からの材料圧送方式によらざるを得ない。

ところが、小断面・極小断面トンネルの多くは、その断面に比して距離が長大であることが一般的

で、5km を超えるトンネルも存在する。このため、3km 程度の長距離圧送が可能な圧送充填工法が開発が求められる。すなわち、両坑口を利用すれば、5km を超える水路トンネルでも全線を充填できる工法が望ましい。

ところが、圧送距離の増大に伴って、配管内の充填材料に作用する圧送圧力や配管抵抗が急増するため、充填材料の分離が問題となり、充填材料の各種性能劣化や未固結が生じ易くなる。したがって、充填材料には長距離が圧送可能なワーカビリティと、性能劣化を生じさせない分離抵抗性が要求されることとなる。

このように背反する要求性能を同時に満たすため、充填材として可塑性材料を採用することとした。ここで、可塑性材料とは、作用する力によって柔軟に変形し、除荷後もその変形が回復しない材料を意味する。

各種可塑性材料を比較検討・検証して選定した材料を MGM(MOLE Grout Material)と名づけた。MGM は、上記要求性能以外に、以下のような充填材に適する性質を持つ。

- ① 2液混合後、瞬時にゲル化するため、水中分離抵抗性が高く、湧水下でも分離せず確実に固化する。
- ② 可塑性であるため、岩盤の割れ目やコンクリートのひび割れからのリークがある程度で収束する。
- ③ 充填直前に、2液混合することで、材料分離や品質低下を生じず 3km 程度まで長距離を圧送することが可能となる。
- ④ 時間当たりの打設量が大きく(2~24m³)、短時間に大量の圧送充填が可能である。

一般に、湧水発生箇所のトンネル覆工背面には大規模な空洞が形成されやすいため、上記の①は特に重要となる。また、上記②と同じ機構で、背面空洞以外の岩盤割れ目などに必要以上に充填材が逸走することを防止する効果も期待される。

表-2 覆工背面充填材の要求基準と MGM の性能比較

性能項目	覆工背面充填材の要求性能	MGM の基本性能
充填性 (流動性)	覆工コンクリートクラックからの漏出や地山への逸走が少なく、充填性に優れていること	フロー値(JHS 313) 100±20mm
圧縮強度	充填材により作用土圧を均等に伝達する必要があるため、1.5N/mm ² 以上の圧縮強度が求められる。	圧縮強度 1.5N/mm ² 以上
比重	充填箇所には湧水のあることが考えられるため、比重が 1.0 以上である必要がある。また、既設覆工コンクリートへの影響を考慮して軽量であることが求められる。	比重 1.34±0.1
非漏出性	注入材がトンネル内に漏出するおそれがあるため、覆工コンクリートからの漏出や地山への逸走が少ないこと	「矢板工法トンネルの背面空洞注入工-設計施工指針 4.8 試験法(中日本道路株式会社)」に示される試験性能をいずれも満足する。
水中分離抵抗性	充填箇所には湧水があることが考えられるため、水に希釈されにくいことが求められる	
非収縮性	覆工と背面の地山を密着させる必要があるため、ブリージングが少なく、注入後の体積変化が少ないこと	
耐環境性	地下水と接触した場合に、耐環境性が求められる。	
		無機材料とする。

表-1 MOLE-Grout の構成材料表

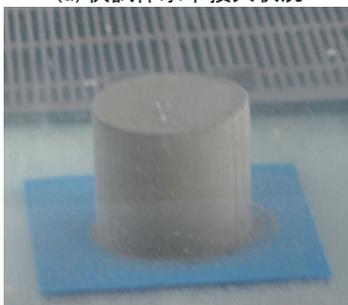
MOLE-Grout 構成材		成分
A 材	固化材	普通ポルトランドセメント
	MG-A I	可塑促進剤
	混練り水	水道水
B 材	MG-B I	可塑化材
	MG-B II	粘度調整材
	混練り水	水道水



写真-1 静止フロー試験状況 (D=98mm)



(a) 供試体水中投入状況



(b) 水中内 24 時間放置後の供試体
写真-2 水中分離抵抗試験状況

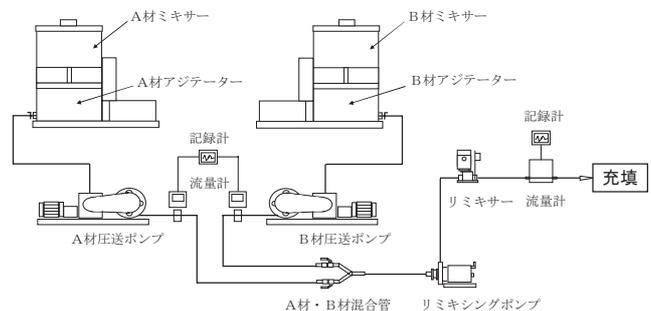


図-1 MOLE-Grout 工法の充填システム

表-3 MOLE-Grout 工法のシステム構成機器

機械名	数量	Remarks
ミキサー	2	縦型2連式、攪拌容量200ℓ、200V / 3.7kW
注入ポンプ	2	スネークポンプ、200V / 3.7kW
流量計 A	2	100V A/B 材用
流量計 B	1	100V 混合材用
リミキシングポンプ	1	200V / 3.7kW
リミキサー	1	200V / 2.2kW

表-1 に MOLE-Grout の構成材料を、表-2 にトンネル覆工背面空洞充填工に関する各種基準から抽出した充填材料の要求性能と MGM との性能比較を示す。また、写真-1,2 には検証時に実施した流動性試験と水中分離抵抗試験状況をそれぞれ示す。

表-2 に示されるように、MGM は覆工背面空洞充填材料に要求される諸元をすべて満たし、かつ長距離圧送に対する分離抵抗性も高く、小断面・極小断面トンネルの充填材として適切であるものと判断した。

2.2 MOLE-Grout 工法の充填システムと充填工法

図-1 に、MOLE-Grout 工法の充填システム概念図を、表-3 にシステムを構成する機器の仕様をそれぞれ示す。

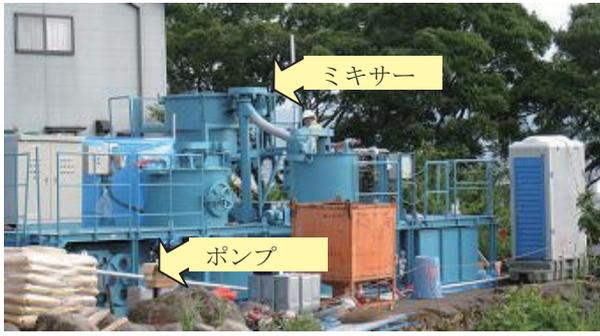
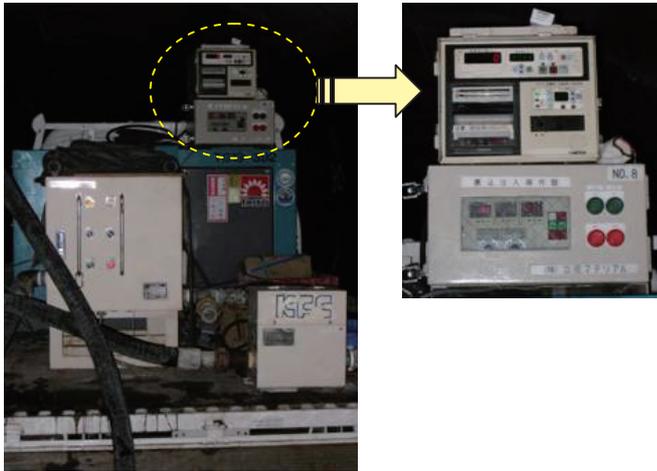


写真-3 ミキサー，およびポンプ設置状況



(a) 合流部 Y字管



(b) 充填制御部

写真-4 充填箇所近傍の充填機器設置状況

表-1 に示すように，MGM は二材で構成されるから，A 材，B 材を個別に混練り後，計量しつつ注入箇所近傍まで圧送し，Y 字管で二材を混合後，リミキシングをかけてから注入する手順を採用した。写真-3 にミキサー，およびポンプの設置状況を示し，また写真-4 に坑内の合流部 Y 字管，および充填制御部を示す。

写真-4(b)の事例では，坑内に原動機を搬入したため，2ton トラックの荷台にリミキシングポンプ，リミキサー，流量計，充填制御等を積載した。しかし，極小断面トンネルでは，別途坑内配線により電源供給し，これらの機器は手押し車等で搬入・運搬すればよい。

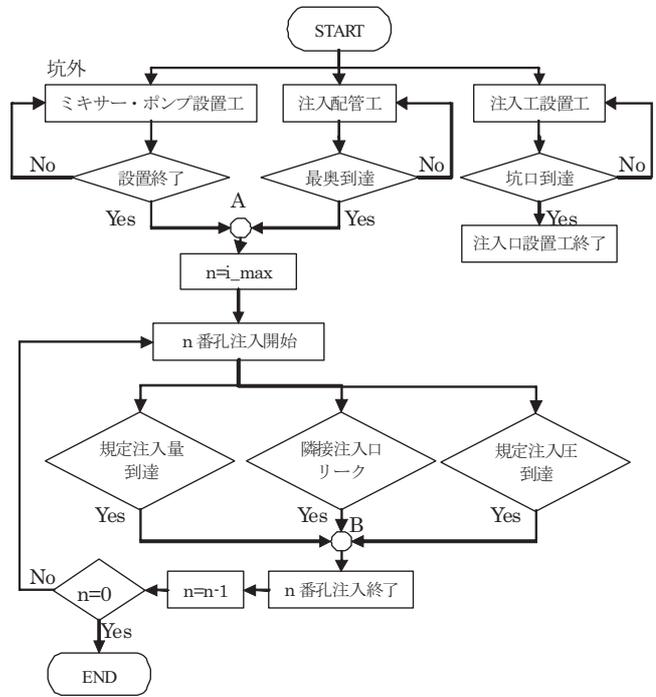


図-2 MOLE-Grout 工法作業手順



(a) 注入口削孔作業状況



(b) 注入口設置状況

写真-5 注入口設置状況

充填作業手順を図-2 に示す。図に示すように，MOLE-Grout 工法では注入口設置工と配管工は並行して実施することを前提としている。これは，水路トンネルにおいて許される短い断水期間中に



写真-6 注入管先端部のリターン用分岐



写真-7 充填作業状況

充填作業を終了することを目的としたものである。

このとき、注入口設置工は最先端の注入箇所から坑口に向かって、配管設置工は坑口から奥へ向かって施工することで、狭小な坑内での作業の交錯を回避するものとした。

注入口は、トンネル軸方向 5m ごとに 1 箇所設置するものとする。その設置箇所は、トンネル断面積 10m² 未満では天端部に、それ以上のトンネルでは左右肩部に千鳥で設けるものとするが、事前調査により側壁部などに大規模な空洞が確認されている箇所ではこの限りではない。

また、注入口は削孔径 $\phi 65\text{mm}$ で、写真-5(a)のように電動コアマシーンで削孔し、 $\phi 50\text{mm}$ のソケット付き注入管を写真-5(b)のように挿入・固定する。

一方、配管は内部を特殊コーティングした専用の電縫管 (3B,L=6m) を 3 系統配管する。このうち 2 系統は MGM の A/B 材供給に供し、他の 1 系統 (C 系統と呼ぶ) は充填作業終了時に配管内の残材処理に供する。すなわち、注入管先端部にある弁 (写真-6) を切り替えることにより、充填材は C 系統配管内へと流入し、残材はポンプ設置箇所まで運ばれる。これは、残材処理の効率化を図ったものであり、残材の坑内運搬は不要となる。

写真-7 に充填作業状況を示す。充填工は、最先端の注入口 (図-2 では、 $n=i_{\text{max}}$) 箇所から坑口に

向かって実施することを基本とする。この場合、注入口設置工が終了していなくても、充填工を開始することが可能となる。図-2 中の結節点 A は、坑外の混練機・ポンプ設置工と配管工が終了すれば、充填工を開始できることを意味するものであり、作業可能期間が限定される水路トンネル等での効率を図ったものである。この方式では、各注入口の注入が終了すれば、逐次配管を撤去することができるため、注入後の坑内後片付けも大幅に短縮される。また、最終の管内残材量も大きく低減することができるなどの利点もある。

各注入孔の充填管理は、①注入圧、②注入量、③隣接注入孔からのリークの 3 項目により実施する。図-2 中の結節点 B はいずれかの項目が規定に達した時点で、当該注入孔の充填作業を終了することを意味する。このとき、規定注入量は事前調査、あるいは注入口削孔時の空洞幅測定結果から決定し、注入圧は覆工へ過大な負荷を与えないため 0.2MPa を標準の規定注入圧に設定している。

以上の要領で、各注入孔を逐次充填し、坑口に最も近い充填孔 (図-2 では $n=1$) の注入が終了後、充填工は終了する。以降、配管・配線撤去、坑内清掃、およびそれらの確認後、トンネルの開放、あるいは通水が可能となる。

3. 急勾配配管を介した注入事例

水路を中心とする小断面・極小断面トンネルでは、坑口近傍に混練機やポンプを設置するヤードを確保できない作業条件がしばしば現れる。このため、坑外にも長距離配管が必要となるが、水路トンネル等の坑口は急峻な地形に設置されることが多く、配管経路に急勾配を介する可能性が高い。このとき、上り勾配ではポンプの圧送能力が、また下り勾配では充填材の閉塞が問題となる。特に、充填材の施工可能性を支配する深刻な問題となる。

当該事例は、大正時代に建設された発電所水路トンネルの覆工背面空洞充填において、用地、および運搬経路の関係から、下り急勾配配管を介して充填作業を行った。

図-3 にその配管平面図を、写真-8,9 にその配管状況を示す。図に示すように、水路から約 25m 上部にミキサーやポンプ等の混練りプラントを設置し、約 30° の下り勾配で法面に配管する (図-3①、写真-8)。その後、斜面に沿って約 250m 水平配管 (図-3②、写真-9(a)) し、開水路部へ接続するため鉛直に 5m の配管 (図-3③) 後、さらに開水路部を 120m 配管 (図-3④、写真-9(b)) して坑内へと進入する。なお、坑内充填区間長は 180m である。

このように、複雑な配管系で充填作業を行ったが、総配管距離約 600m で充填作業中、閉塞等の不具合は一切生じず、通常どおりの作業効率で充填

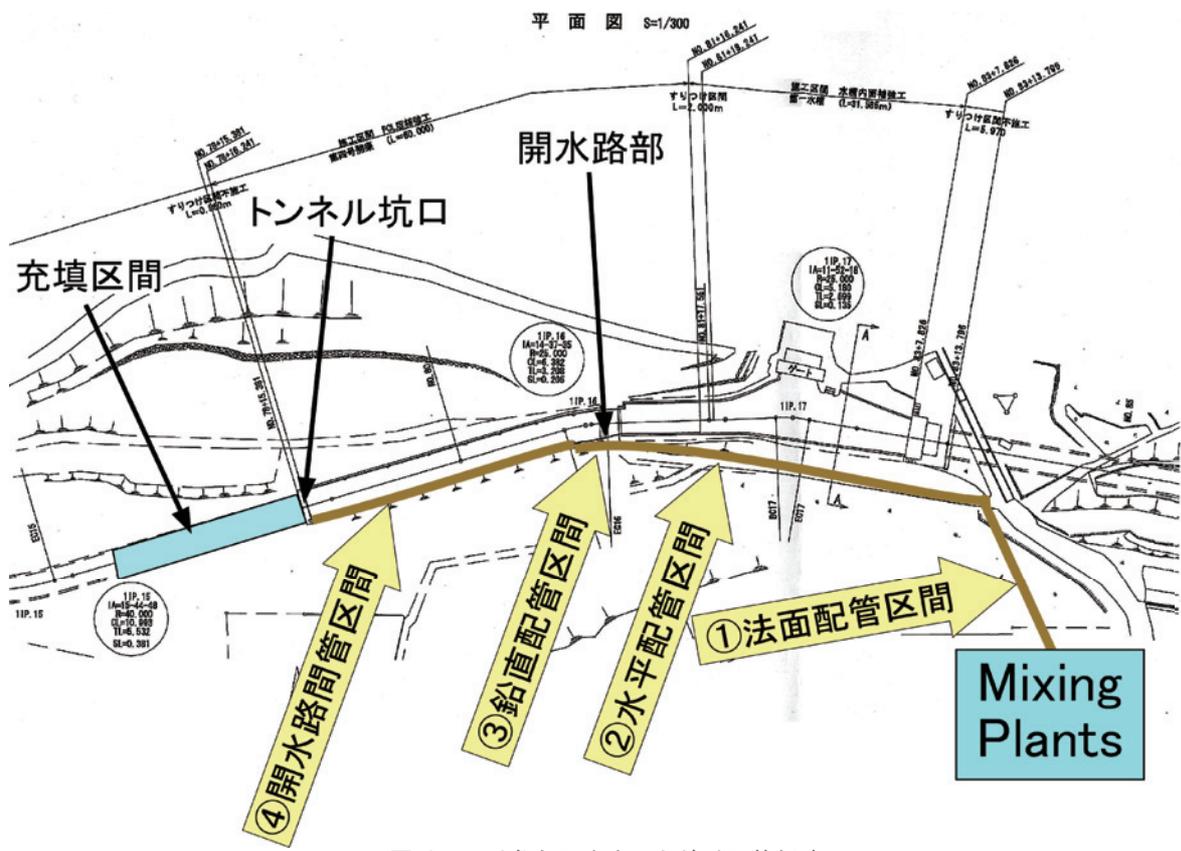


図-3 下り急勾配を介した坑外配管経路



写真-8 混練りプラントおよび法面部配管状況



(a) 水平配管部



(b) 開水路配管部

写真-9 水平および開水路内配管状況



写真-10 貫通割れ目からの漏出状況

作業を実施することができた。

なお、対象トンネルは大正年間に建設されたこともあり、その覆工は非常に多孔質で、各孔の注入開始とともに、地下水が注入進行方向に向かって、覆工壁面から、逐次、排出され、やがて隣接注入孔からも地下水の排出が確認される。これは、充填材が覆工背面に滞留していた地下水を排除しつつ、充填されているものであり、可塑性材料の良好な充填性を証明する事象であると考ええる。

また、比較的大きな覆工ひび割れ部や貫通孔からは、写真-10のように充填材の漏出が見られたが、漏出の継続は長くても4分程度であり、コーキング等の処理が必要になった漏出箇所は確認されなかった。これも可塑性材料の充填材としての適性を示す事象であると考ええる。

4. おわりに

小断面トンネル、あるいは極小断面トンネルの維持補修を目的として、可塑性材料によるトンネル覆工背面の長距離圧送充填工法を開発した。これまでの施工実績では、工法の成立性に疑問が生

じる不具合は確認されておらず、交通トンネルなどの大断面トンネルと同等の施工性と充填品質が確保されているものと判断する。

しかしながら、小断面・極小断面トンネルにおける施工条件は種々多様なものであり、配管工を含む準備工・付帯工の改良・開発を進め、より広範囲な施工条件に対して適用可能な工法の開発を継続する方針である。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧,丸善,1993.
- 2) 山地宏志, 黒川幸彦, 長野 祐司, 中野陽一：極小断面トンネル補修のためのロックボルト補強設計と施工, 三井住友建設技術研究所報告, Vol.6,pp.75-80,2008.

7. 繊維シートによる新設トンネル 覆工コンクリートのはく落防止技術

佐藤工業(株) ○ 京免継彦
 // 宇野洋志城
 // 小泉直人

1. はじめに

近年、トンネル覆工コンクリートの品質の向上はトンネル施工における大きな課題となっている。既設のトンネル覆工コンクリートにひび割れが発生した場合は炭素繊維等の連続繊維シートを不具合部に接着する、はく落防止対策が採用されている場合が多い。これは、事後における機能回復を目指した予防保全技術といえる。一方、今回の技術は、ひび割れの発生後ではなく、事前の供用開始前、設計段階や施工段階から覆工コンクリートの耐久性を考え、機能を永く維持することを目指し開発された技術である。コンクリートの打込み前の型枠面に連続繊維シートを配置し、脱型時からコンクリートの表面近傍に埋設した状態で供用開始する工法には、これまでに橋梁上部工（交差部の橋梁下面）や二次製品のシールドトンネル用セグメントを対象に実用化されているが、山岳トンネルにおける覆工コンクリートへの適用例はなく当社が初の試みとなる。

- ・目地部からの湧水による劣化
 - ・地震、その他による経年劣化
- 各項目に対して様々な対策がとられているが、不具合要因を完全に排除することは出来ていない。

(2) 繊維シート

使用する繊維シートは耐アルカリ性のガラス繊維を格子状に接着させたもので、表-1に繊維シートの特徴、写真-1に繊維シートを示す。

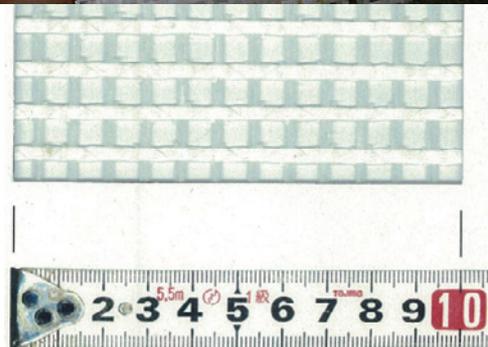


写真-1 耐アルカリ繊維シート

2. T-FREG の概要

2.1 はく落防止技術の概要

(1) 適用箇所

完了したトンネル覆工の中でも、ブロック継目部周辺が、はく離・はく落の発生しやすい箇所と考えられている。打音検査でも、ブロック継目部周辺に異常が多く認められる。主な発生原因を示す。

- ・セントルつま部のコンクリート充填不足
- ・セントルラップ部分の押付け過ぎ

表-1 繊維シートの特徴

繊維シート種類	形状	密度	引張強度	製品の特徴
耐アルカリ ガラス繊維	7mm×5mmの格子 (芯10mm×10mmの格子)	400g/m ²	タテ 60kN/m ヨコ 38kN/m	厚さ 0.85mm

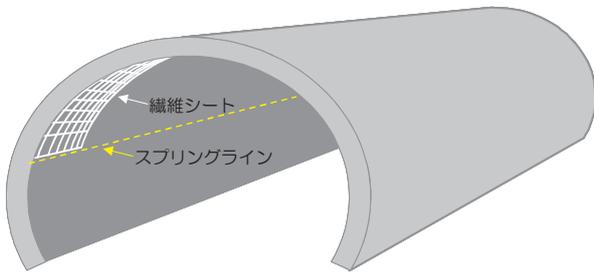


図-1 施工範囲

(3) 施工方法

スライドフォームのつま側端部および既設ラップ側端部に耐アルカリガラス繊維シートを敷設し，そのままコンクリートを打設する。覆工表面には繊維シートが埋め込まれ，コンクリートのはく離，はく落防止効果を発揮する。施工範囲を図-1，施工フローを図-2，効果イメージを図-3に示す。繊維シートの貼り付けは通常サイクルと並行して行う。

シートの敷設範囲は有効範囲と施工性から考えて天端から左右 60 度（10m～12m）幅 50cm とした。目地部も「欠け」の発生しやすい場所として繊維シートを敷設する。図-4 繊維シート敷設範囲図，図-5 目地部詳細図参照。スライドフォームへの敷設固定の方法が最も重要であるが，鋼線，糸，P コン等様々な固定方法で試験施工を行った。

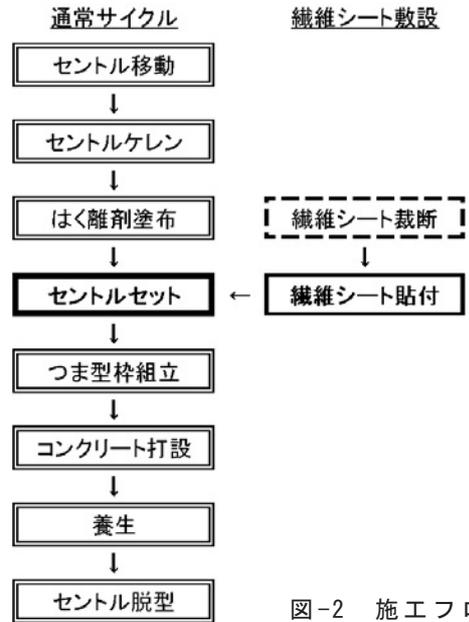


図-2 施工フロー図

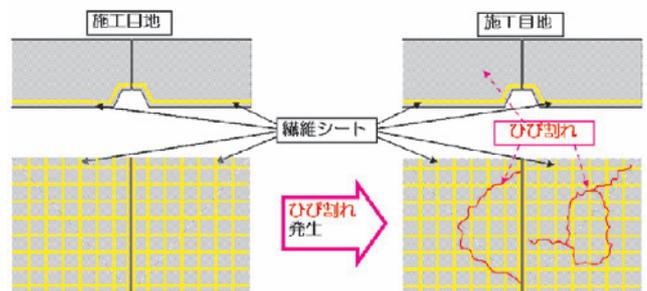


図-3 効果イメージ図

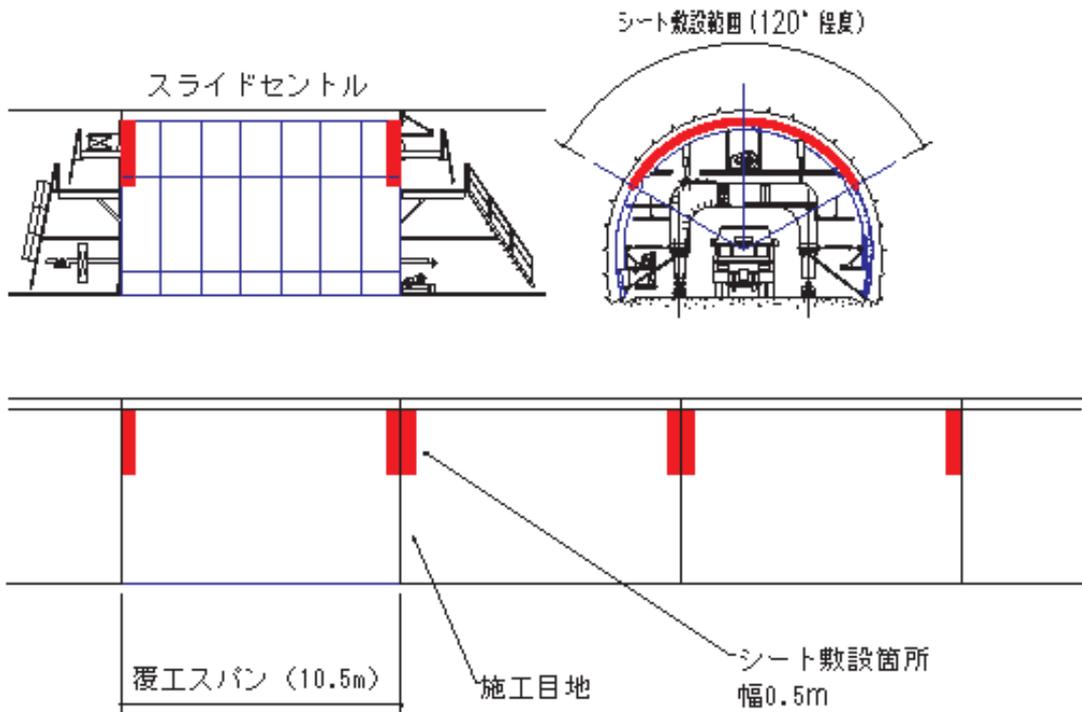


図-4 繊維シート敷設範囲図

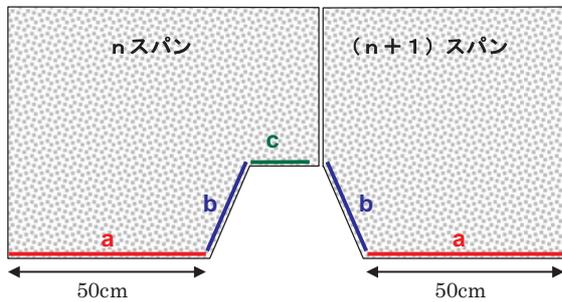


図-5 目地部詳細図

a) 結束線，Pコン方式

セントルスチールフォームに穴（φ5mm）を開け，結束線，Pコンを通して固定する。固定スパンは25cm～50cmで十分な固定効果が得られる。図-6に結束線，Pコン方式の設置モデルを示す。

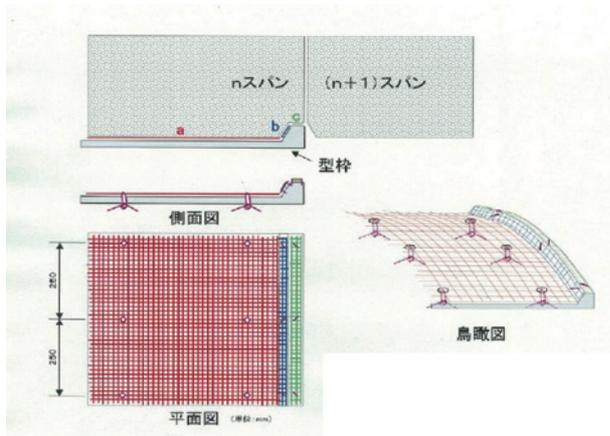


図-6 繊維シート固定方法①

b) 糸方式

セントルスチールフォームに穴（φ5mm）を開け，ナイロン糸を通して固定する。ナイロン糸は打設完了後引き抜く事が可能。図-7に糸方式の設置モデルを示す。

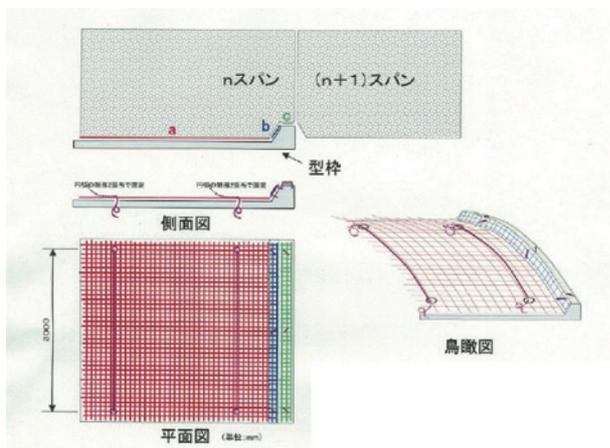


図-7 繊維シート固定方法②

3. 試験施工

3.1 試験施工の経緯

試験施工の経緯について示す。

- (1) 1次試験：平成19年7月～8月
コンクリート2次製品工場にてシールド工事用セグメント型枠を利用して施工実験を実施。
- (2) 2次試験：平成19年12月～20年1月
当社技術研究所にて実施。
- (3) 現地実証試験
当社施工トンネルにて実施。

3.2 試験施工結果

(1) 1次試験

実規模レベルでの実験として，セグメント用鋼製型枠を利用した打設実験を行った。使用した型枠は，外径4000mm，内径3650mmのAtypeセグメント用である。通常セグメントの場合，平置きした状態で上部からコンクリートを打込むが，今回は山岳トンネルの覆工コンクリートのアーチ天端部を模擬するため，トンネル地山側は鋼製のエキスパンドメタル材で蓋掛けし，圧入方式でコンクリートを打込むために型枠下面には5インチ管の圧入口を設けた。打設試験用型枠を写真-2に，繊維シート敷設状況を写真-3に示す。

使用したコンクリート配合は，実験の施工性とフレッシュコンクリートの品質を重視し，早強ポルトランドセメントを使用した。30-15-40H(呼び強度30N/mm²，スランプ15cm，粗骨材の最大寸法40mm)さらに強度発現を促進させるために蒸気養生を実施した。



写真-2 打設試験用型枠



写真-3 繊維シート敷設状況

1次試験ではスランプによる影響，繊維シートの種類，繊維シート固定方法の確認を主体に試験を行った。

(2) 2次試験

2次試験は，試験方法としては1次と同様であったが，主に目地部の繊維シートの固定方法の確認を行った。写真4～5に繊維シート敷設状況を示す。写真-6に目地部の繊維シート埋設状況を示す。写真-7に試験体全景を示す。



写真-6 目地部脱枠状況



写真-7 試験体全景

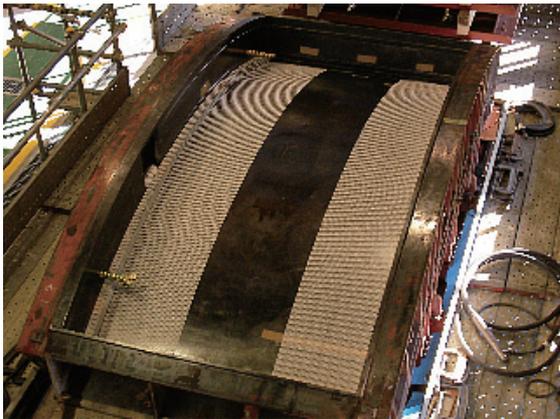


写真-4 繊維シート敷設状況

(3) 道路トンネル実証試験

当社施工中トンネルにおいて，実際の覆工施工で試験施工を行った。実施トンネルは，内径5160mm片側一車線の道路トンネルで，つま側部のみ7ブロックに繊維シート補強の試験適用を行った。繊維シートの固定方法としては，作業員からの意見徴収により使い慣れたPコンを採用した。写真-8に繊維シート敷設状況，写真-9に出来型を示す。セントル脱型直後には繊維シートの設置部分は目立ったが，材齢の経過に伴って違和感は認められなくなった。

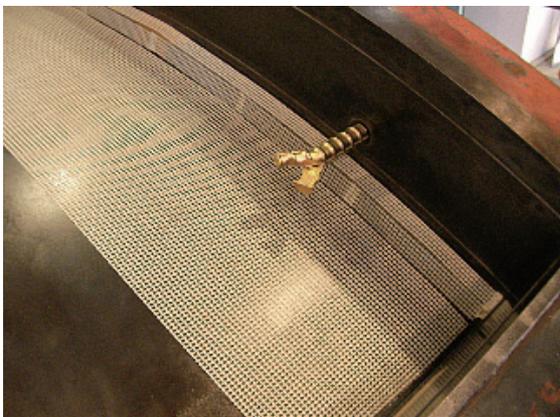
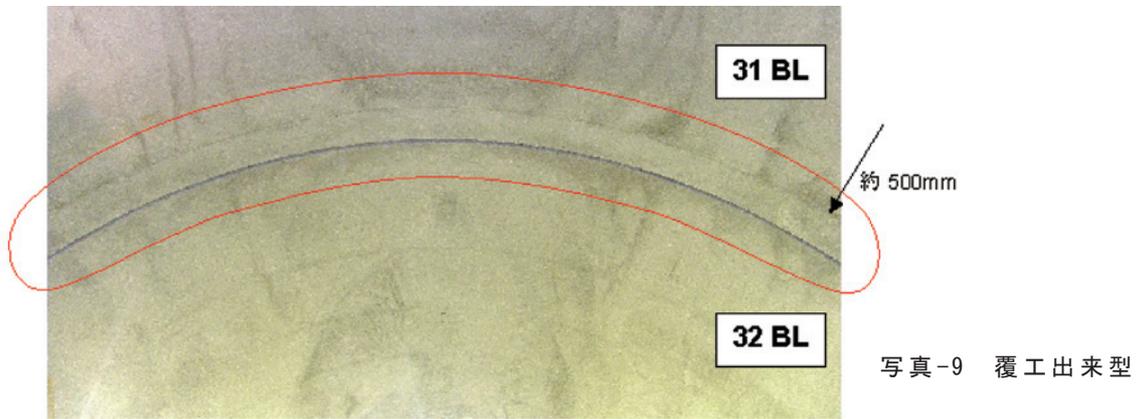


写真-5 繊維シート敷設状況（目地部）



写真-8 ラップ部の敷設状況



4. 繊維シート補強の性能

試験施工の結果より繊維シート補強の性能について評価する。

表-2 性能評価一覧

項目	評価
施工性	敷設、固定、パイプレータの影響について実施工に耐えうる事が確認できた。
コンクリート配合	21-8-40BB, 21-15-40BB, 21-21-40BB の各スランプで試験施工を実施 ----- 各試験体の繊維シート埋設状況に影響はみられなかった。
若材齢時の脱枠状況	試験体を材齢 12 時間, 15 時間, 18 時間で脱枠し繊維シートの付着状況を確認 ----- 材齢 12, 15, 18 時間でも, 型枠側に繊維シートが付着する状況は見られなかった。ただし脱枠時の圧縮強度が 1.0N/mm ² 以下の場合, 表面モルタルの剥がれが見られた。
接着強度試験	試験体を材齢 12 時間, 15 時間, 18 時間で脱枠し材齢 28 日の接着強度を測定 ----- 各試験体の接着強度は母材コンクリート強度の 60% 程度で差異はなかった。
曲げ靱性試験	はく落防止効果: JHS 730-2003 「繊維補強コンクリートの曲げ靱性試験方法」 ----- 平均値 2.02N/mm ² 曲げ靱性係数について, すべてのケースで平均 1.4N/mm ² をクリアしており, 十分な剥落防止効果 (直径 4m 厚さ 30cm のコンクリート塊を抑える) を有している
押し抜きせん断試験	はく落防止効果: JHS424-2005 「はく落防止押し抜き試験方法」 ----- 変位 23mm で最大荷重 2.62kN 「変位 10mm 以上最大荷重 1.5kN 以上」であるため合格

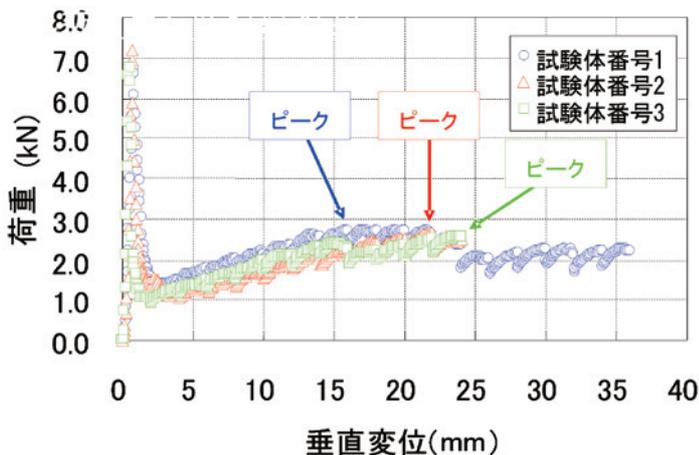
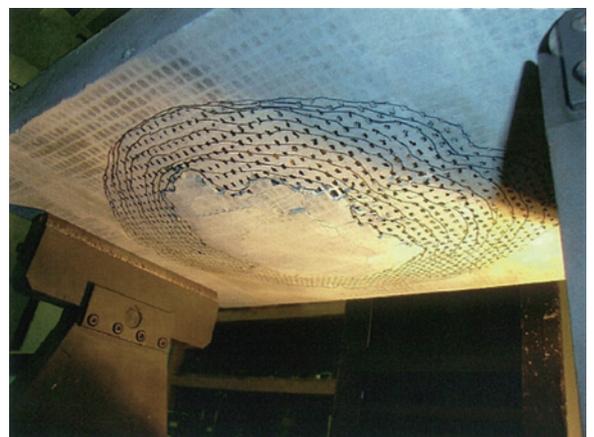


図-8 押し抜きせん断試験結果



5. トンネル工事への採用

NEXCO 西日本と共同開発という形で試験施工を実施した。

- ・実施箇所：宮崎県 東九州自動車道
中山トンネル (L=250m)
門川第一トンネル (L=243m)
- ・実施期間：平成 20 年 10 月～21 年 2 月
- ・施工概要：10.5m×20 スパン
(有筋, 無筋コンクリート区間)

試験施工の結果を写真-11～13 まで示す。施工全スパンでシートのズレ, はがれ等の状況は見られなかった。ラップ側部のシート敷設の方法について有効な方法を検証することが出来た。

6. まとめと今後の展開

繊維シート補強工法の特徴を示す。

- a) 覆工コンクリート自体が, はく離・はく落防止の機能を持つ。
- b) 新設工事の覆工打設時に施工を行うため, 従来工法に比較して小さな手間とコストで高いリスク軽減効果が得られる。従来工法の場合は対策施工時にトンネル機能の制限, 中断が不可欠。
- c) 覆工作業への影響は, シート敷設 1 工程が加わるだけで軽微であるため, 施工サイクルへの影響が少ない。

現在, 多様なトンネルへの適用を目指し, カーブ対応, 覆工全面への敷設方法を検討している。本技術を, トンネル利用者と管理者双方に, 安全と安心を提供できる技術として, 新設トンネルへの適用を提案していきたい。



写真-11 セントルへのシート敷設



写真-12 打設状況

脱型直後には
繊維シートの境界が判る



脱型4週後には
繊維シートの境界が判らない

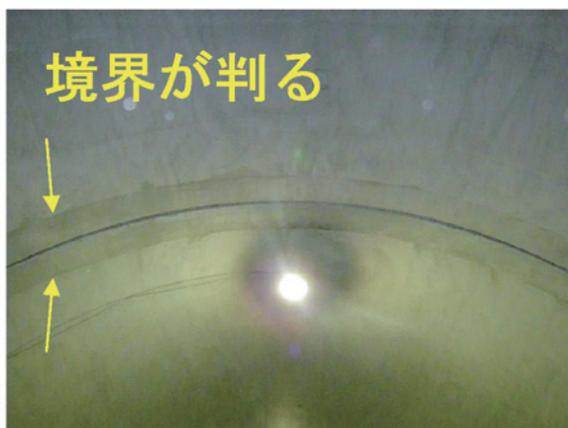


写真-13 試験施工結果

8. 柱梁P C a構造化の各種工法における品質確保について

株式会社 熊谷組
同 上

○ 渡辺 英彦
吉松 賢二

1. はじめに

集合住宅などの建設において、柱梁等の部材を工場にて製作するプレキャストコンクリート（以下「P C a」と呼ぶ）構造が多用されている。現場で鉄筋と型枠を組立ててコンクリートを打設して柱梁を構築する方法に比べて、大幅な工期短縮が可能となること、品質管理の容易性・安定した品質の確保ができること、施工位置での労務量や資機材量が少なく安全に施工できること等が、その理由と考える。

このP C a構造の工法には種々のバリエーションがあり、それぞれに工法の特徴がある。本報文では、これらの各種工法を紹介し、それらの特徴、品質確保のための要点について記述する。

2. 全体工法

P C a工法の一般的な施工は、図-1に示すように、

- ① コンクリート打設後、墨出しの実施。
- ② 柱P C a部材の建込み。
- ③ 梁P C a部材の建込み。鉄筋の接続。
- ④ 床P C a板部材の敷込み。床鉄筋の配筋。柱梁接合部などの型枠の建込み。
- ⑤ コンクリート打設。

の順序で行われる。

1層を構築するのに要する日数は、揚重機（クレーン）の台数、工区分割の程度で変化するが、揚重機2台・3工区分割の場合、図-1に示す工法では、6日程度のサイクル工程が一般的である（表-1参照）。

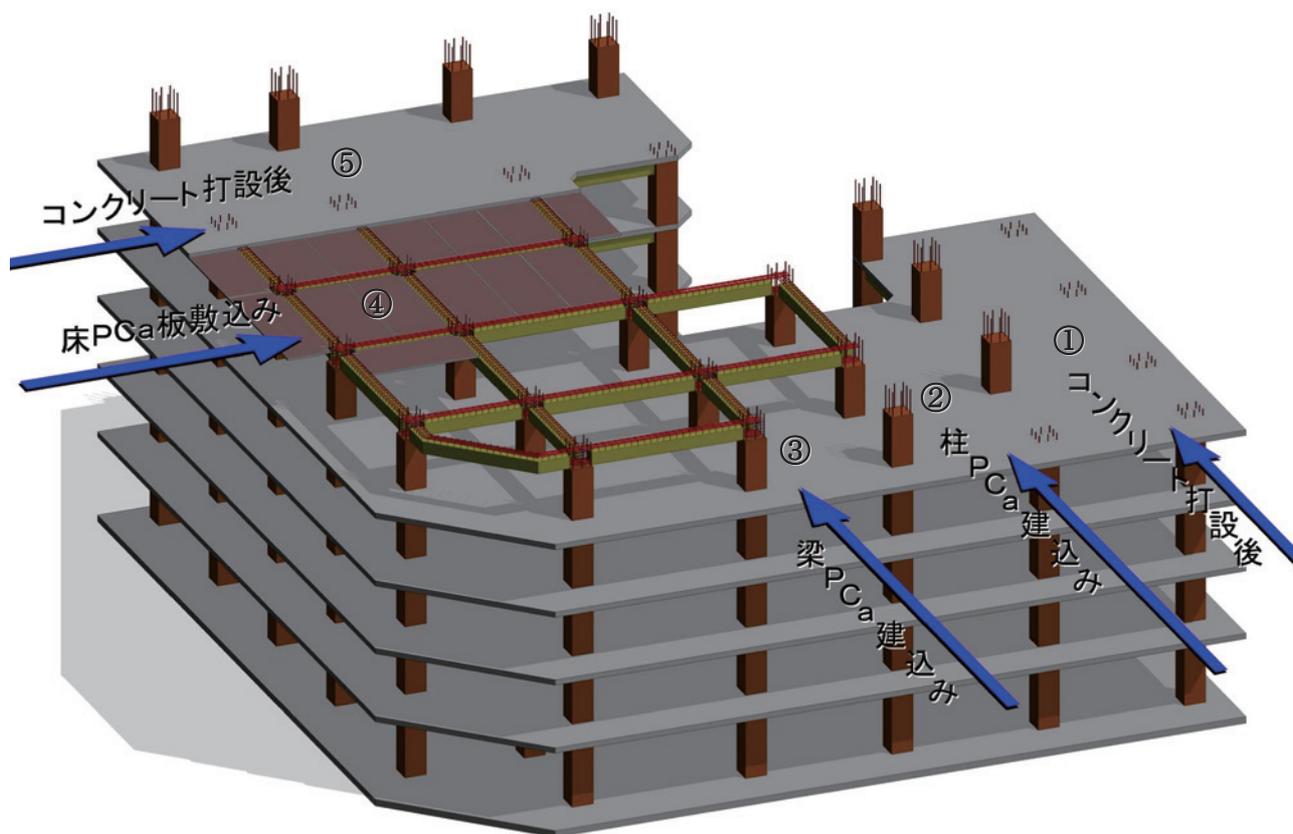


図-1 一般的なP C a工法での全体施工手順

表-1 サイクル工程表 (例：3工区分割・6日サイクル)

	全体第1日	全体第2日	全体第3日	全体第4日	全体第5日	全体第6日
第1工区	サイクル第1日	サイクル第2日	サイクル第3日	サイクル第4日	サイクル第5日	サイクル第6日
	①墨出し ②柱PCa建込み	③梁PCa建込み	④床PCa板敷込み	④床鉄筋配筋・型枠その他工事		⑤コンクリート打設
第2工区	サイクル第5日	サイクル第6日	サイクル第1日	サイクル第2日	サイクル第3日	サイクル第4日
	④型枠その他工事	⑤コンクリート打設	①墨出し ②柱PCa建込み	③梁PCa建込み	④床PCa板敷込み	④床鉄筋配筋
第3工区	サイクル第3日	サイクル第4日	サイクル第5日	サイクル第6日	サイクル第1日	サイクル第2日
	③梁PCa建込み ④床PCa板敷込み	④床鉄筋配筋・型枠その他工事		⑤コンクリート打設	①墨出し ②柱PCa建込み	③梁PCa建込み
(n-1)層・立ち上がり					n層・立ち上がり	

品質確保の観点からは、工区分割なしで全エリアを同時施工する方法が、コンクリートの打継ぎが発生しないので望ましいと言えるが、以下のような理由により、工区分割の方が一般的である。

- ・ 労務の平準化のため：比較的小さめの多工区に分割することにより、作業員の労務の平準化、つまり、比較的少人数の作業員が同じ現場に常駐することで、労務の確保が容易となる。また、ほぼ毎日同じ作業を繰り返すこととなるので、作業の習熟程度が高くなり、施工品質の向上が期待できる。
- ・ 全エリアのコンクリートを一度に打設することがコンクリートのボリューム上困難である場合や、床仕上げの金ゴテ押さえの左官職人の人数確保が困難である場合。

3. 各種PCa化工法

柱梁の部材分割の位置、部材の接続方法、鉄筋のジョイント位置等の相違により、柱梁PCa化工法は、次のようなタイプに分類できる。

- ・ タイプ1: 柱梁接合部内ジョイント型 (図-2 参照)

／柱間スパンが梁PCa部材の1部材となる。

- ・ タイプ2: 梁中央ジョイント型 (図-3 参照) / スパンの中央から隣のスパンの中央までが梁PCa部材の1部材となる。
- ・ タイプ3: 柱梁接合部-梁PCa一体型 (図-4 参照) / タイプ2の梁PCa部材の柱梁接合部をPCa化したもの。柱梁接合部の柱筋を通すためにシーブ管を打込む等の措置を行っている。
- ・ タイプ4: 梁PCaグラウト接合型 (図-5 参照) / タイプ2・3および本タイプ4は、梁中央でのジョイントであるが、タイプ2・3がジョイント部分に型枠を建込んでコンクリート打設する必要があるのに対して、本タイプ4では、柱PCaのジョイントと同じスリーブジョイントを用いてグラウト接合する方法のため、コンクリート打設の必要がない。
- ・ タイプ5: 柱鉄筋逆差し型 (図-6 参照) / 柱筋のジョイントが柱頭(梁下)に位置しており、梁PCa部材・梁鉄筋・柱梁接合部内柱フープ筋等を配筋した後に、下向きに突出した柱筋を差込む工法。なお、図-6には、柱がPCa

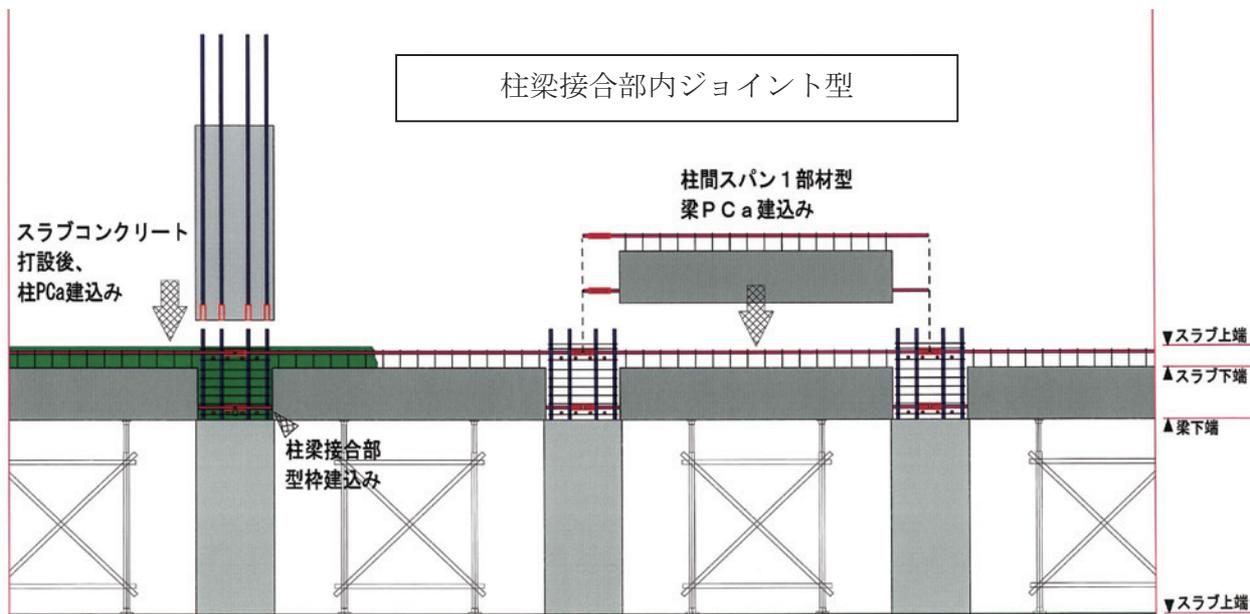


図-2 タイプ1: 柱梁接合部内ジョイント型

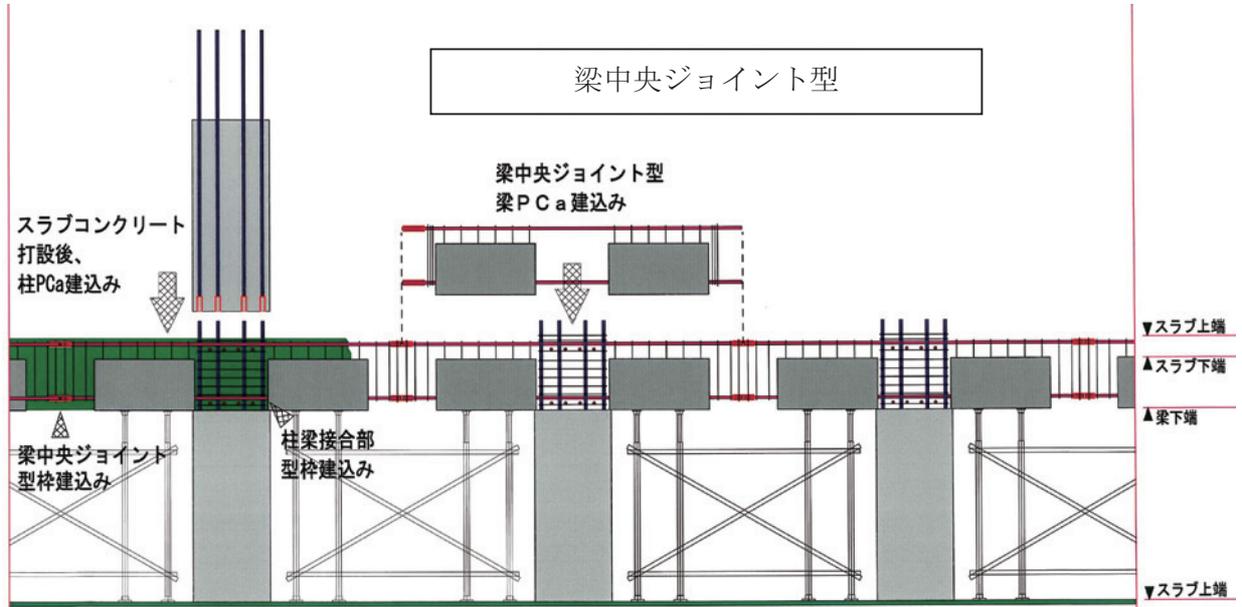


図-3 タイプ2：梁中央ジョイント型

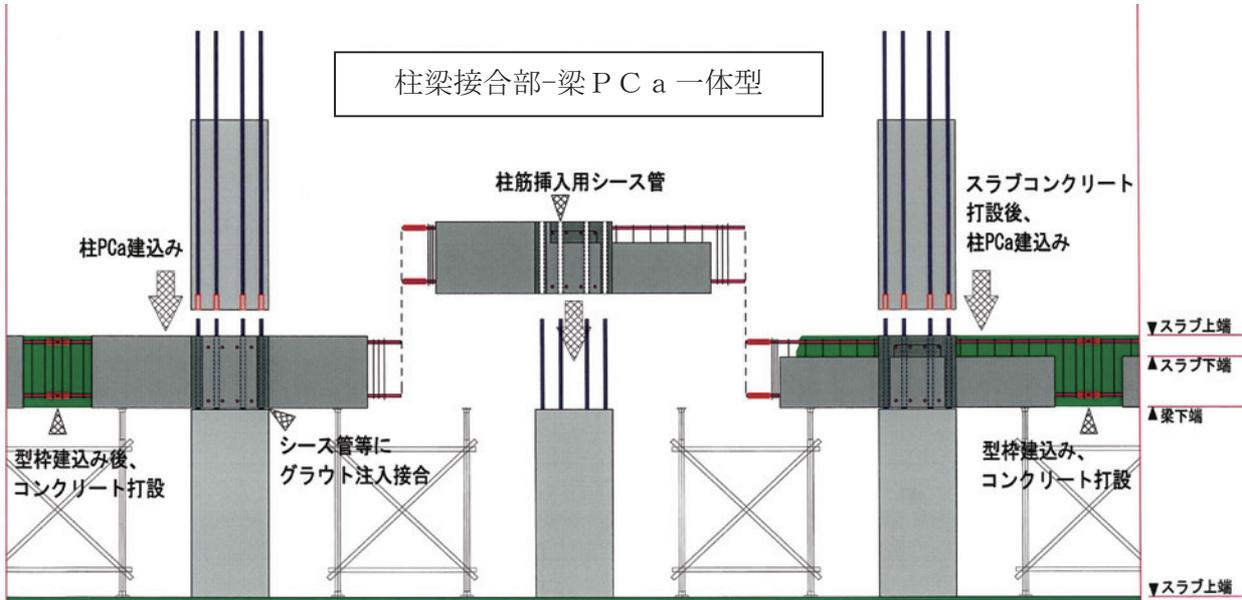


図-4 タイプ3：柱梁接合部-梁PCa一体型

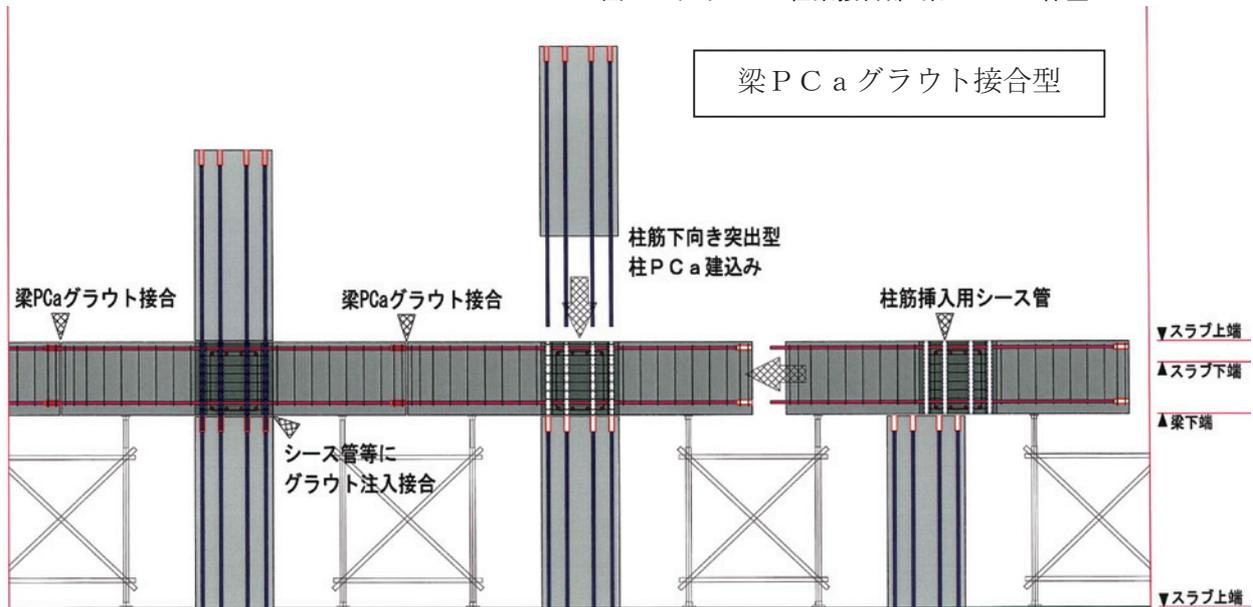


図-5 タイプ4：梁PCaグラウト接合型

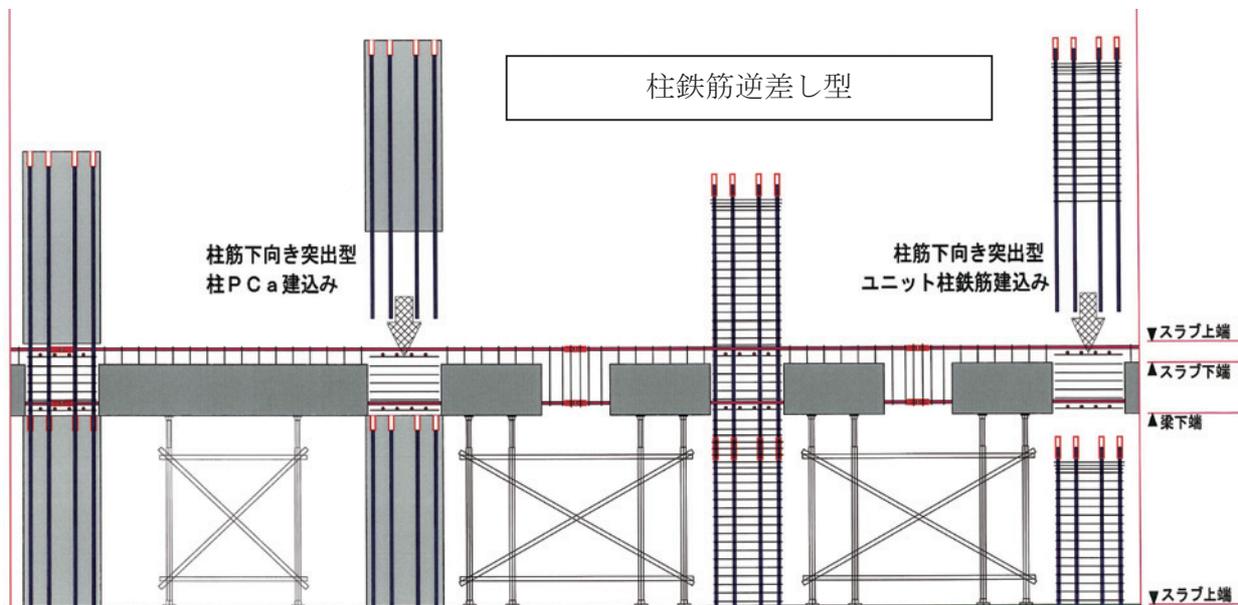


図-6 タイプ5：柱鉄筋逆差し型

部材の場合とユニット鉄筋の場合の両方を図示している。

4. 各種PCa化工法の特徴

4.1 タイプ1：柱梁接合部内ジョイント型

図-2のように、柱間スパンが梁PCa部材の1部材となる工法で、一般に、梁鉄筋は全て柱梁接合部内でジョイントする。このため、梁鉄筋のジョイント方法は、以下のような施工手順となる。

- (a-1) X方向(先置き)梁 PCa 部材を柱梁接合部にセット。下端筋を機械式継手等でジョイントする。
- (a-2) Y方向(後置き)梁 PCa 部材を柱梁接合部にセットできるように、X方向(先置き)梁 PCa 部材の上端筋を移動させる。(図-7 参照)
- (a-3) Y方向(後置き)梁 PCa 部材をセット。下端筋を機械式継手等でジョイントする。
- (a-4) 当該梁 PCa 部材の梁上端筋の移動が不要になった時点で、まずX方向を、次にY方向の梁の上端筋を機械式継手等でジョイントする。梁の上端鉄筋のみが2段筋である場合は、上記と同じ手順で施工できるが、梁の下端鉄筋が2段筋の場合は、以下のような煩雑な施工となる。
- (b-1) X方向(先置き)梁 PCa 部材を柱梁接合部にセット。下端筋1段目・2段目を機械式継手等でジョイントする。
- (b-2) Y方向(後置き)梁 PCa 部材は、下端筋の突出が、1方の端部で長く、もう1方の端部で短く製作し、柱梁接合部内の中央でなく、端寄りで接合するようになっている。
- (b-3) この左右の梁筋の突出長さの違うY方向(後置き)梁 PCa 部材を、柱間スパンの中で斜めに吊り、まず、長く突出した方を柱梁接合部内に、所定の位置よりクリアランスの許す限り

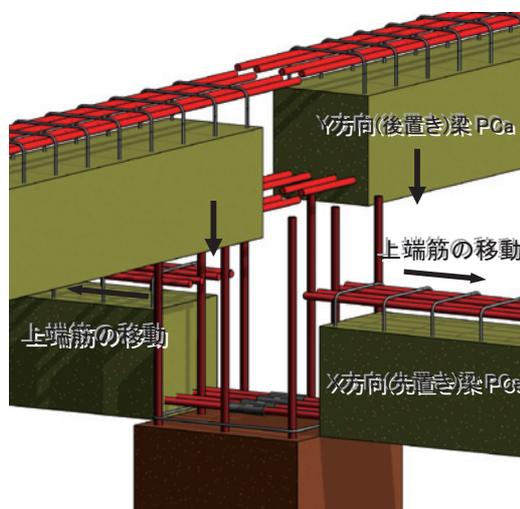


図-7 上端筋の移動

- 奥まで差込む。そして、柱間スパンの中で水平にし、梁筋の突出長さの短い方を柱梁接合部内に差し戻し、所定の位置にセットする。
 - (b-4) Y方向(後置き)梁 PCa 部材の下端筋は、柱梁接合部内の端に寄っており、手が届くので、機械式継手でジョイントする。
- ただし、この方法はかなり困難な施工となるので、次のような方法で行うこともある。
- (c-1) (a-1)と同様にX方向梁下端筋1段目を機械式継手等でジョイントする。
 - (c-2) (a-2)と同じ。
 - (c-3) (a-3)と同様にY方向梁下端筋1段目を機械式継手等でジョイントする。
 - (c-4) 梁鉄筋の下端2段目は、梁鉄筋が交差する部分を抜いて(間を空けて)いるので、梁筋のアンコ材を使用して、梁筋1本につき、2箇所を継手を接続する。まずX方向鉄筋を接続し(図-8参照)、次にY方向鉄筋を接続する。以上で柱梁接合部内の梁下端鉄筋の接続が完了。

(c-5) (a-4)と同じ。

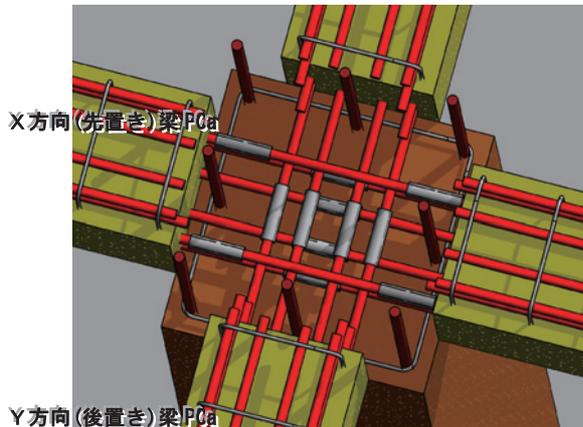


図-8 下端2段筋の施工方法

メリット

- ・躯体誤差の吸収:PCa 部材には製品誤差があり、建方誤差も発生するが、本タイプでは、この誤差を柱梁接合部内で吸収・補正することができるので、精度の高い躯体が構築できる。
- ・また、梁部材が1部材で構成されているので、コンクリートの面精度が高く、直仕上げの場合などに補修が不要。
- ・梁PCaの両サイドに柱PCaがあり、柱PCaから上に突出している柱筋の中に梁PCaの鉄筋を差し込むので、梁PCa部材が落下することがなく、安全に施工できる。これにより、梁支保工は比較的軽微にできる。

デメリット

- ・梁鉄筋の移動が必要で、太径の重い鉄筋の場合など、苦渋作業となる。
- ・梁の断面設計の際、梁鉄筋の下端筋を1段筋とすると、太径鉄筋の使用や広い梁幅が必要となることが多い。

4.2 タイプ2: 梁中央ジョイント型

メリット

- ・一般に、梁鉄筋は端部で鉄筋量が多く中央で少ない。この中央でのジョイントとなるため、継手数量の低減、コスト・工数の低減となる。
- ・梁鉄筋の移動が不要:梁架構の形状にもよるが、全部または一部で、梁鉄筋の移動が不要となる。

デメリット

- ・梁の中央でジョイントされるので、部材の製品誤差や建方誤差の吸収が難しい。
- ・同様に、梁中央ジョイント部分は、型枠建込み後にコンクリート打設されるので、コンクリートの面精度出しが難しく、直仕上げの場合などに補修が必要となることが多い。
- ・梁架設の際の安定性確保のため、比較的しっかりした梁支保工が必要。

4.3 タイプ3: 柱梁接合部-梁PCa一体型

メリット

- ・柱と梁でコンクリート強度が異なる場合、柱梁接合部のコンクリートの現場打設がなくコンクリートの打ち分けの必要がない本タイプが採用されることが多い。
- ・一般に柱梁接合部はスラブ天端までのPCa部材であり、注入グラウトが硬化すれば、その上の柱PCaの建方が可能なので、工期短縮の効果が大きい。

デメリット

- ・タイプ2と同様に、梁の中央でジョイントされるので、部材の製品誤差や建方誤差の吸収が難しい。
- ・多量のグラウトが必要。
- ・シース管の中のグラウトの充填性、グラウトの強度・付着性能など、慎重な品質管理が要求される。
- ・柱筋貫通孔(シース管等)の直径は、鉄筋径より20mm以上大きいものが必要で、これにより、柱梁接合部内を通る梁筋の配筋の自由度が制限される。
- ・一般に、工場PCa製作費は割高になる。

4.4 タイプ4: 梁PCaグラウト接合型

メリット

- ・工期短縮:コンクリートの現場打設が不要で全てグラウト接合となるため、工期短縮効果が大きい。3日サイクルの実例も多数あり、前出表-1の6日サイクルと比較すると、50階の超高層住宅では、実働150日(5ヶ月)の工期短縮となる。30階を越える超高層住宅が多数建設されている昨今、社会のニーズに応えられる超短工期工法である。
- ・同様にコンクリートの現場打設が不要で建物外面の外からの施工が極小となるため、外部足場が不要。

デメリット

- ・部材の製品誤差や建方誤差を吸収する余地がほとんど無いので、PCa部材の製作には極めて高い精度を要する。これにより、工場製作費はかなり割高になる。
- ・梁端部の接合面、及び、梁鉄筋のスリーブのグラウト注入について、確実な充填が必要。

4.5 タイプ5: 柱鉄筋逆差し型

柱鉄筋を逆差しする際の柱梁接合部の柱フープのセットのタイミングは、柱梁接合部への梁の取り付け方がI型とT型とL型の場合は、柱鉄筋を逆差ししなから行う。十字型の場合は、最後の梁PCaを差し込む前、柱梁接合部の4面のどこか1面が空いている時に事前にセット・仮止めすることとなる。



写真-1 T型配置の梁 PCa

メリット

- ・梁筋(上端筋)の移動の必要がない。これにより、梁筋が 2 段筋であっても施工方法は変わらず、容易に施工できる。
- ・梁の断面設計の際、容易に梁鉄筋の 2 段筋の採用が可能のため、鉄筋の径の選択や梁幅の設定などにおいて、最適な経済設計が可能で、タイプ 1 のような太径鉄筋の使用・梁幅の増大などが発生しにくい。

デメリット

- ・タイプ 1 のような、梁 PCa の両サイドに柱 PCa があり、柱 PCa から上に突出している柱筋の中に梁 PCa の鉄筋を差し込む方式でなく、支保工の上に梁 PCa 部材を置いているだけの空中にある状態なので、安定した支保工・位置決めのための斜めサポートの設置などの慎重な仮設計画が必要。また、梁部材のセット時に、測量工の合番による精密な位置出しが必要。

5. 品質確保の要点

柱梁 PCa 構造の施工に当たっての品質確保の要点を以下に列挙するが、ここに記述しない内容については「日本建築学会編：建築工事標準仕様書・同解説 JASS10（プレキャスト鉄筋コンクリート工事）」を参照されたい。

躯体精度の品質確保

- ・タイプ 5 の場合、梁部材のセット時に測量工の合番による精密な位置出しが必要だが、鉄筋の接合の後にも再度精度確認を行い、必要により是正する。
- ・鉄筋の継手に溶接工法を採用する場合、1 ヲ所につき 1.0～1.5mm 長さが縮むので、部材製作はこれを考慮して行う。
- ・柱 PCa セット時のレベル調整用ライナーは 3 ヲ所が望ましいが、床(柱)のコンクリートが若材齢の場合、支圧強度の確認が必要。

構造体（コンクリート・鉄筋）の品質確保

- ・PCa コンクリートと現場打設コンクリートの一体性確保のため、コッターを設ける・目荒しを行う・PCa 製作時に遅延剤を用いて水洗いして

粗面を出す等の措置を行う。

- ・柱梁接合部に柱筋の貫通孔を設けて柱筋を通しグラウト接合するタイプ 3・4 の場合、施工直前に孔内の水湿しを行う。
- ・40 階を越えるような超高層住宅の下層部の柱では、100N/mm² 前後の高強度コンクリートが用いられるが、このコンクリートは強い粘性と高い流動性により、現場打設が極めて困難なことが多い。このような高強度コンクリートを用いる部材では、現場打設を極力行わない工法の実現が必要。タイプ 3 と 4 では、柱のコンクリートの現場打設がないので、良好なコンクリート品質を確保できる。
- ・柱梁接合部のコンクリートが現場打設で、柱と梁のコンクリート強度が異なる場合、事前に柱廻りに止め枠を設置して、まず、柱コンクリート強度で柱梁接合部のコンクリートを打設し、その後、梁コンクリートを打設する。この時の打ち継ぎ時間の適切な管理と適切な施工が、コンクリートの品質確保上、重要である。
- ・機械式継手内への鉄筋の挿入は、所定の長さが確保できるように、事前に鉄筋端部にマーキングを行い、施工時および接合後にマークの確認を行う。
- ・機械式継手へのグラウト注入の有無が確認できるように、注入口が見えるようにして、グラウトの漏出を確認する。

品質管理システムなど

- ・近年、鉄筋のサイズ・種類・本数の間違い、機械式継手やスリーブジョイントのグラウト未注入などのミスが発生しており、施工時の全数検査を確実に迅速に記録に残すため、小型パソコンや携帯端末・デジカメ・IC タグ(RFID タグ)・無線通信などの ICT 技術を用いた「品質管理システム」の開発が重要で、いくつかの方法が実用化されている。
- ・鉄筋のサイズ・種類の識別のために、マーキングルールを設定して、荷受け時・施工時に確認する。

6. おわりに

柱梁 PCa 構造の施工に当たっては、工区分割の位置・分割数、部材分割(部材タイプ)の選定、部材タイプの組合せバリエーション、部材の重量・揚重機の選定、鉄筋の選定、鉄筋の継手工法の選定、コンクリート強度の打ち分けの有無、施工手順、要求工期(施工速度の設定)、などにより、工期・コスト・品質等の総合的な検討の上、最適な選定を行うこと、及び、品質管理システムの活用などが、品質確保上、非常に重要である。

9. 有機酸浸透方式による腐食土地盤の無公害バイオ系改良

「増粘圧密加速材による土質改良工法」

大崎建設株式会社

○ 清野 昭博

1. はじめに

近年、地球環境保全、土壌汚染関連の法規制の流れと共に、各地で汚染の被害が報告されている。建設発生土の利用促進についても無公害での改良が必要とされはじめています。掘削汎用機械(バックホウ)を利用した土質改良機と有機酸から生る「コーン α 材」による土質改良法も、粘性土の他、腐食土にも対象を広げ、高含水比の対象に対しても、現位置での改良が可能で、建設発生土の利用拡大促進に貢献している。

千葉県内において実施した、地下水位GL-0.1mの腐食土地盤のバイオ系土質改良(コーン指数 $q_c=30\sim 40\text{kN/m}^2$ の腐植土地盤にコーン α 液を注入浸透させ、集積(地下水位上)により自由水の早期離脱と粘着力増強により、コーン指数 $q_c=400\text{kN/m}^2$ へ改良)、今まで産廃処分としていた対象を公園用地や生産緑地用の植栽可能な盛り土材とする改良で、今回実施した施工例を基に各種データを交え紹介する。また、凝灰質粘土地盤で一年前に実施した、有機酸からなる「コーン α 材」による飛散防止、雑草抑制効果の検証も合わせ報告する。

2. 有機酸「コーン α 材」利用土質改良の概要

2.1 有機酸利用の土質改良の仕組み

改良前、軟弱な土は図-1の様な状態で、通常の転圧では土粒子の鎖を断ち切る事ができず密度は上がらない。

そこで、図-2の通り有機酸「コーン α 材」を散布攪拌、注入浸透により、土粒子に付着コーティングし、粘性が瞬時にアップ、鎖が断ち切れ、最小の間隔で全ての土粒子が結合できる準備が完了、この段階で転圧を実施する。

転圧後、図-3の通り、改良地盤では好気性バクテリアが増殖し、土中にある空気を消化、後に呼吸法を変え、硝酸呼吸に変化、土粒子は再配列で密になり、バクテリアが全体を繋ぎ合せ、地盤強度が増加する。改良地盤特性として、地山特性を持ち、透水性も地山と同等で変化せず、粘り強い性能を持ち、早期に地山化を実現出来る。

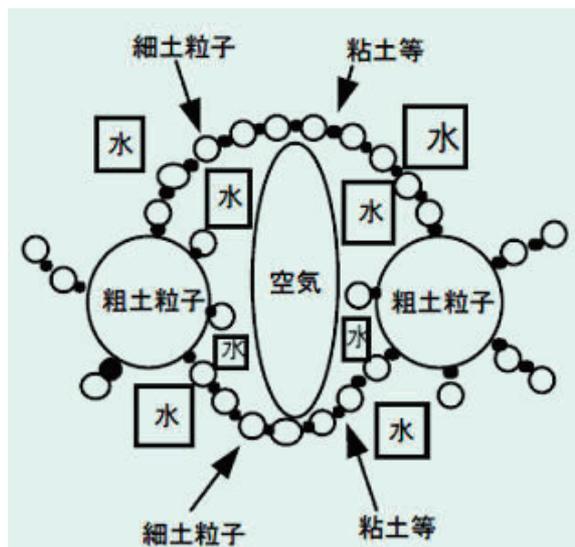


図-1 改良前の土粒子の状態

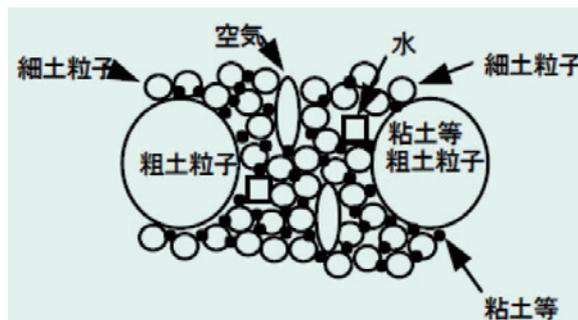


図-2 有機酸添加改良転圧直後の状態

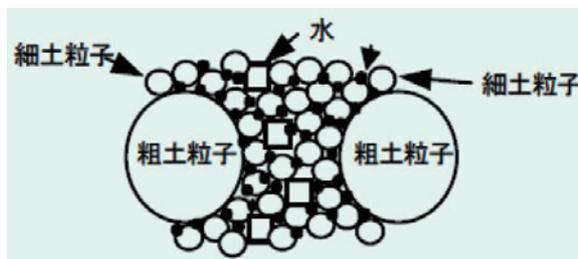


図-3 転圧後微生物安定後の状態

2.2 有機酸利用土質改良の特徴

- ・改良材は、リンゴ酸・クエン酸・ブドウ糖等食品添加物から成るもので、有機酸利用のバイオ系改良は、新しい考えの改良法である。
- ・混合転圧で粘着力を増やし、圧密を加速、微生物増殖効果により固化出来る。
- ・地山と変わらない透水性を短期に確保出来る。
- ・植性を脅かすことなく、転圧により高密度とすれば根の活着不能により雑草の繁殖を抑制出来る。
- ・改良土は、無公害で植生の良い一般残土として利用でき、産業廃棄物での処分は必要ない。
- ・セメント系等の投入物が固まる改良ではなく、有機酸を利用し粘着力を増強、転圧行為により、土そのものが主体で、粘性を増し、高密度化し安定する事による粘りの改良である。

2.3 有機酸利用土質改良効果の一例

過去実施した試験を基に各種データを図-4、表-1、表-2、表-3にて紹介する。

改良強度効果については、対象土質が粘性土か砂質土により大別される。図-4は、粘性土（ローム）、砂質土の一軸圧縮強度で、それぞれ強度に幅があり、採用については事前配合試験により確認する必要がある。また、レキ分の混入により強度増も調整出来る。

表-1は砂質土の三軸圧縮強度例で、 1m^3 当り 1kg 添加で粘着力 C が 16.2 kN/m^2 増加、 1m^3 当り 1.5 kg 添加では 24.7 kN/m^2 増加と同率で増加する事が確認できる。

表-2は凝灰質粘土のコーン指数強度例である、3層目は太陽光の当たる雨ざらしの条件での結果である、未改良土は1層目から3層目までコーン指数強度はほぼ一定で変化無い。これに対し、有機酸改良土は1層目から2層目は室内試験と同等のコーン指数 $q_c = 400\text{ kN/m}^2$ で、太陽光の当たる3層目はコーン指数 $q_c = 870\text{ kN/m}^2$ と2倍の強度を確保、これは温度上昇による微生物増殖からなる結果と考える。

表-3は凝灰質粘土の密度変化例で、有機酸改良土のスムーズな圧密性能を証明している。盛土での粘性土の管理は空気間隙率15%以下が基準である、施工直後に全て基準を満たしているが、翌日以降の経時変化を確認するため、5日経過後、7日経過後、10日後と計測した。3層目再転圧後の空気間隙率は7.7%から5日後6.5%、7日後-1.2%と上がっている。

また、耐久性については、加速的に圧密性能をアップした改良地盤で、土粒子間の有機酸の薄い被膜が接着剤となって、つなぎ止めている、有機酸の被膜はその後、微生物に置きかわり安定する。これは、土粒子が高密度で微生物により安定し、

固まりとなっている、固結土や軟岩の性状に似ている。施工実績でも、10年を経過している改良現場では、変形、障害もなく、その機能、効果を保っている事を付け加える。

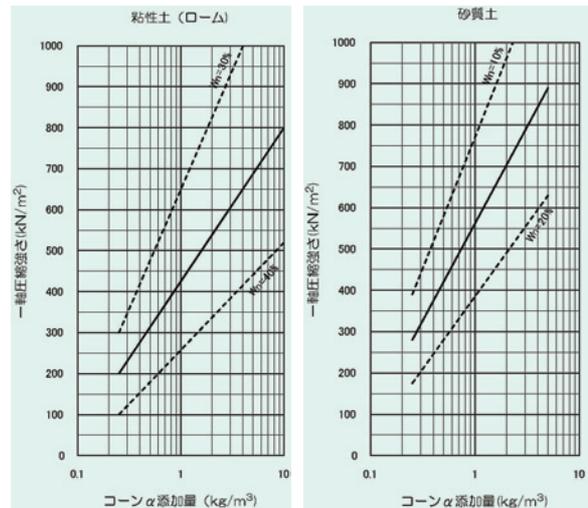


図-4 粘性土（ローム）、砂質土の一軸圧縮強度

表-1 砂質土の三軸圧縮強度例

試料番号 (コーンα添加量)		① (添加無し)	② (1kg/m^3)	③ (1.5kg/m^3)
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm^3	1.920	1.953	1.938
	乾燥密度 ρ_d g/cm^3	1.707	1.722	1.703
	自然含水比 W_n %	12.5	13.4	13.8
三軸圧縮	試験条件	CD	CD	CD
	全応力			
	C kN/m^2	28.8	45.0	53.5
	ϕ 度	39.0	36.3	36.2

表-2 凝灰質粘土のコーン指数強度例

		コーン指数 q_c (kN/m^2)					平均値
		1	2	3	4	5	
改良土	1層目	403	454	414	358	398	405
	2層目	421	436	407	381	410	411
	3層目	898	859	855	873	883	874
未改良土	1層目	188	202	174	139	125	166
	2層目	205	247	266	216	193	225
	3層目	285	386	292	257	169	278

表-3 凝灰質粘土の密度変化例

測定時期		締固め度 (%)	空気間隙率 (%)	飽和度 (%)
3層目盛土時	1層目	56.0	3.2	95.5
	2層目	59.4	-0.8	101.2
	3層目	60.4	12.1	82.3
再転圧測定結果	3層目再転圧	63.4	7.7	88.3
	5日後転圧前	65.2	6.5	90.0
	5日後転圧後	66.4	3.2	95.0
	7日後転圧前	71.0	-1.2	101.7
	7日後転圧後	70.5	-1.0	102.7
	10日後	70.5	-0.1	100.7

3. 汎用機械利用の有機酸浸透による腐植土地盤のバイオ系無公害改良工法の概要

現状の腐植土は高含水比であることと腐植土による粘着力不足が原因である。改良は有機酸(コーン α)により粘着力を増強し、コート作用による自由水の早期離脱作用を利用し改良、目標強度(コーン指数)を確保するものである。よって、コーン指数確保は、注入浸透後、掘削、地下水位上での集積よりの養生期間後となる。(図-5改良フロー図参照。)また、高含水比の対象への注入浸透となるが、土中の自由水と比べ注入する有機酸液はその比重が重いため、浸透する事を付け加える。コーン指数 $qc=30\sim40\text{ kN/m}^2$ 程度の腐植土地盤を対象とし、写真-1の油圧ショベル利用の貫入機により貫入した穴に有機酸液を写真-2、写真-3の様に注入浸透後、写真-4の様に掘削地下水位上で集積養生、乱した後も $qc=400\text{ kN/m}^2$ 以上を確保、転用可能な改良土とし、写真-5の通り盛土工区にて撒きだし転圧とし利用する。

4. 工法採用現場での実績

採用現場は、首都圏新都市鉄道沿線で行っている大規模開発において宅地地盤造成工事が行われている。当該地域には、厚さ1~2m程度の腐植土地盤を有する谷が分布しており、これを対象とし、有機酸利用の改良により $qc=400\text{ kN/m}^2$ 以上を確保、公園予定地での造成工事に利用する。地下水pH、植生の問題を考慮し、バイオ系土質改良材の採用となった。ここでは、有機酸「コーン α 材」による土質改良材としての適正を実施工で検証した結果を報告する。

本施工前に事前の室内配合試験を行った。

改良目標強度 400 kN/m^2 を得るためのコーン α 添加量は、注入浸透方式により、ばらつき等は発生しないため(現場/室内)強さ比を1.00として、室内配合試験で $400 \div 1.00 = 400\text{ kN/m}^2$ を満足するコーン α の添加量を採用し施工を実施した。

結果、盛土工区での施工も、品質を満足し完了している。(表-4、写真-6参照。)



写真-1 油圧ショベル利用の貫入機



写真-2 有機酸注入状況



写真-3 腐植土地盤での改良状況



写真-4 改良腐植土の地下水位上集積養生状況

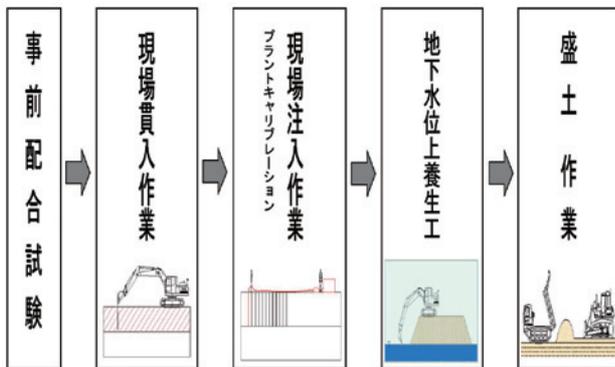


図-5 改良フロー図



写真-5 改良腐食土の盛土工区での撒きだし転圧状況

表-4 コーン α 添加によるコーン指数試験結果

室内添加量 (kg/m ³)	試料No.			単位 (kN/m ²)
	No. 1	No. 2	No. 3	最低値
現土	43	34	38	34
0.6	269	269	260	260
1.0	432	447	408	408
2.0	553	538	529	529



写真-6 事前配合試験状況

5. 凝灰質粘土地盤で一年前に実施した、有機酸からなる「コーン α 材」による飛散防止、雑草抑制効果の検証

写真-7、写真-8、写真-9は平成19年度工事で有機酸浸透改良を実施した、切土工区現場の画像である。有機酸浸透面全体に苔が繁殖、粘性土地盤でのバイオ系改良の特徴である。これにより、飛散防止、雑草抑制の効果を自然な状態で満足している。切土法面についても同様に苔が繁殖、斜面を保護している事、ゲリラ豪雨も多く発生したが、浸食による斜面崩壊も無く確実に保護している。盛土工区の法面についても苔の繁殖は無いものの、写真-10の通り切土法面と同様、飛散も雑草の繁殖も無く、確実に保護している事を検証した。

6. まとめ

有機酸利用のバイオ系改良も 200,000m³/年程度のペースで実績を積んでおり、毎年増加傾向にある。利用工種は、土質改良(コーン指数改良)、路床改良、地盤改良、土舗装、飛散防止、雑草等の防草処理と多工種で利用頂いている。今後は、貫入機械、注入機械、散布機械の更なる改良、効率化を図り、工事費の削減を目指し、全国に有機酸利用のバイオ系改良を広めるため活動して行く所存である。最後に、関係機械器具の改善改良にあたり、キャタピラージャパン(株)に協力頂いた事を付け加える。



写真-7 有機酸浸透地盤1年経過全景



写真-8 切土工区 有機酸浸透法面1年経過状況



写真-9 有機酸浸透地盤1年後苔繁殖状況



写真-10 盛土工区有機酸浸透法面1年経過状況

10. 多段載荷累積変位法による地盤診断法の開発と適用事例

— スーパーFWD (SFWD) —

清水建設(株) 土木技術本部基盤技術部
同 上

川崎 廣貴
○長澤 正明

1. はじめに

建設分野においては、巨大地震に対する耐震性や豪雨などの自然災害に強いという安全・安心な道路や堤防などの土木インフラ造りが求められている。これには、より強く、高耐久性という構造物の性能品質を直接的に施工管理することが重要である。さらに、施工における高い性能品質の確保はもちろんのこと、土木構造物の維持更新時代を迎え、過去に遡った際にはトレーサビリティによる施工履歴や性能品質が簡便に可視化表示でき、後からの設計検証を容易にして更新コストを合理化できる技術が求められる。

一方、道路や堤防などの盛土施工の締固め管理は、従来から一般的に乾燥密度や空気間隙率による施工管理で行われている。しかし、これらの管理手法は、盛土材料単体毎の相対値管理であるため、粘性土・砂質土・礫質土などで盛土材料の変形強度特性に起因する性能品質としての絶対値管理が不可能であり、施工時に土構造物の沈下やすべり安定性に関する性能が直接的に把握できないものである。巨大地震に対する耐震性や豪雨などの自然災害に強いという性能を直接的に施工管理できれば土構造物の設計・施工での合理性がより高められる。このためには、施工時に土構造物全体の変形強度特性という性能品質をより高い精度で明示できる技術が重要と考える。加えて、現場での土構造物の性能特性に関する動態挙動や実態状況を捉えながら、性能施工管理法との対応を検証する研究開発が同時に必要と考えられる。

こうしたニーズに応えるため、筆者らは、舗装診断用のFWD計測機における簡便な計測原理に着目し、独自に自動化や多段載荷累積変位法などの考案を行い、高精度に地盤変形強度特性が得られる「スーパーFWD (SFWD)」を新たに開発し、これを建

設工事に適用している。

SFWDは、最先端の精密ICT技術を結集して誕生したものであり、現存技術の中で平板載荷試験のK値ともっとも等価な地盤挙動を得ることができるものであり、土構造物の変形強度特性という性能評価を建設現場で迅速・簡便・高精度で精緻に行い、適正な性能品質の検証を行うことができる。これにより、施設構造に直接影響する変形強度特性という地盤品質の良否を瞬時に判定し、早期の施工フィードバックと地盤剛性や地耐力などの可視化表示ができるため、造成地盤の品質保証がより明確化できると考える。

ここでは、初めに、盛土の沈下性状と締固め度との相関性を明らかにし、施工時の性能評価技術を用いた施工管理法のさらなる発展性について展望する。次に、地盤の性能評価技術の全般を概説し、SFWDの概要と適用事例について報告する。

2. 締固め特性と圧縮沈下ひずみ

表-1に示す礫質土を対象とし、締固め度 D_c をパラメータにして、大型一次元圧縮沈下試験を実施した。なお、試料の粒度調整は、最大粒径 $D_{max}=53\text{mm}$ のせん頭粒度で実施した。試験条件は、供試体寸法 $\phi 300 \times H354\text{mm}$ 、荷重段階は $\sigma_z=40, 80, 160, 320, 640, 1280\text{kN/m}^2$ の6段階で不飽和条件とし、

表-1 盛土材料の材料特性と締固め特性

項目		値
土粒子の密度 G_s		2.697 g/cm ³
自然含水比 w_n		9.6 %
粒 度	石 分	4.2 %
	礫 分	57.6 %
	砂 分	24.1 %
	細粒分	14.1 %
	最大粒径	200 mm
	50%粒径 D_{50}	4.8 mm
均等係数 U_c		317
室 内	最大乾燥密度 ρ_{dmax}	1.968 g/cm ³
	最適含水比 w_{opt}	12.0 %

注) 室内締固め試験：モールド $\phi 300$ 、B法

最終段階 $\sigma_z = 1280\text{kN/m}^2$ において水浸させて飽和条件とした。

締固め度 D_c と荷重段階 $\sigma_z=320, 640, 1280\text{kN/m}^2$ の圧縮沈下ひずみ ε_c の関係を図-1 に示す。同図より、圧縮沈下ひずみ ε_c は、締固め度依存性が強く、 $D_c=90\%$ 以下では急激に圧縮沈下ひずみ ε_c が大きくなる傾向を示す。また、試験荷重が大きくなるにしたがって、圧縮沈下ひずみ ε_c も大きくなる傾向を示すことから、沈下量を規定した場合の高盛土施工では、より高い締固め度が要求されることになる。試験結果の不飽和と飽和の比較では、飽和条件の圧縮沈下ひずみ ε_c が不飽和の2倍程度となるため、盛土の水浸には十分な注意が必要であることが明らかである。さらに、盛土の転圧締固めにおいて、締固め度 D_c を95%以上にできれば、当該盛土材料では沈下が極めて発生しにくくなることが読み取れる。

礫質土の沈下挙動調査では、礫質土の粒径が大きいことから、大型供試体を用いた室内試験とする必要があるが、試験は、大きな手間と期間や費用が掛かるものである。盛土施工時に盛土の地盤剛性を迅速に精度良く評価できる SFWD などの性能評価技術を用いた性能施工管理法が適用できれば、将来的には動態観測の沈下と地盤剛性の関係から、目標沈下量に対して施工仕様などのグレードを制御できる新しい情報化施工が可能になるものと考えられる。土構造物の変形強度特性の施工時管理を通じて、最終性能品質を保証することができる、新しい革新的な施工管理法の創造という観点から、今後の研究開発と実用化が望まれる。

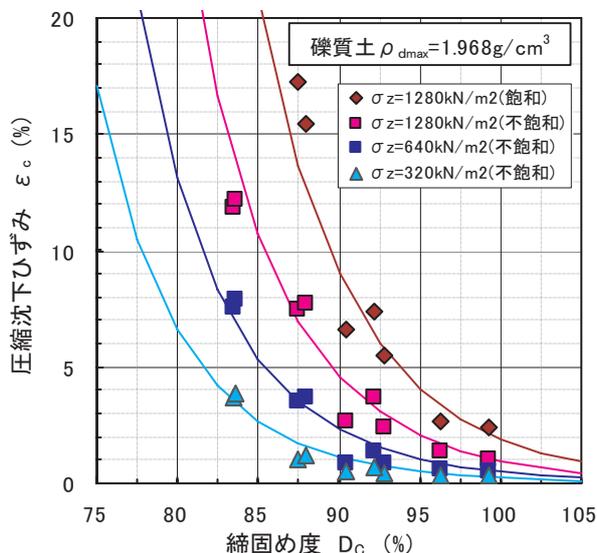


図-1 締固め度 D_c と圧縮沈下ひずみ

3. 地盤の性能評価技術

地盤の性能特性の一つである地盤剛性を採り上げ、これを評価できる技術を整理し、地盤性能評価技術としてその一覧を表-2 に示す。当該技術は、変位を直接的に評価して剛性を求める方法（平板載荷試験・現場 CBR 試験・FWD・小型 FWD・SFWD）と、加速度指標値の換算から間接的に剛性を評価する方法（簡易支持力測定器・ローラ加速度法）に分類できる。なお、載荷板を用いた地盤性能評価法の適用範囲は、調査深度が載荷板径の2倍程度で、調査地盤の最大粒径は載荷板径の1/3以下である。

平板載荷試験は、もっとも一般的な試験法であるが、本試験では大きな反力装置が必要であり、しかも1点当りの計測に数時間を要するため、手間と時間が掛かるといふ問題がある。一方、加速度指標値を用いる間接法は、簡便ではあるが適用地盤範囲と精度的な面に難点がある。例えば、ローラ加速度法は、転圧中の振動打撃毎の沈下やローラ傾斜により、振動輪接地面積が同一にならないという計測境界条件のばらつきの問題があるため、地盤剛性の大きな目安値を調査する場合に適用されている。

FWD や小型 FWD の地盤剛性評価法から求まる K_{FWD} は、平板載荷試験の単調載荷時の荷重変位挙動から求まる K 値とは、本質的に異なったものになっている。これについては次章で詳述する。

SFWD は、FWD のハード的な原理を利用したものであるが、新しく考案した多段載荷累積変位法を用いる点で、FWD の地盤剛性評価法と根本的に異なっている。多段載荷累積変位法とは、漸増荷重の連続多段載荷を実施して同時に累積的に増加する変位

表-2 地盤の性能評価技術一覧

項目		計測項目	変位精度	載荷板径 (mm)	予備載荷履歴	K 値算定法	K 値との相関性
剛性評価法	平板載荷試験	変位荷重	高	$\phi 300 \sim \phi 750$	なし	—	—
	現場 CBR	変位荷重	高	$\phi 50$	なし	換算	礫質土で低
	FWD	変位荷重	高	$\phi 300 \sim \phi 450$	あり	繰返しを利用	中
	小型 FWD	加速度荷重	低	$\phi 100 \sim \phi 300$	あり	繰返しを利用	やや低
	SFWD	変位荷重	高	$\phi 300 \sim \phi 450$	なし	平板試験と等価	高
間接法	簡易支持力測定器	加速度	—	$\phi 50$	あり	換算	極低
	ローラ加速度法	加速度	—	ローラ幅	なし	換算	低

ら地盤剛性を定義するものである。これにより、地盤の変形性能をより適正に評価可能となり、平板載荷試験の単調載荷の結果から求まるK値と等価なものが得られやすいという特長がある。さらに、計測可能な最大変位は30mmに設定しており、変位計測レンジが大きく、地盤の変形特性をより広い範囲で取得できるものとなっている。

4. SFWDの概要

4.1 SFWDの地盤剛性評価法

SFWDは、図-2に示すように荷重機能と荷重および地盤の変位量を計測する機能を一体化した荷重・計測装置、GPS受信機、それら装置をコントロールし計測結果を解析して地盤剛性を評価する制御・解析パソコンにて構成している。荷重は、重錘質量200kgを使用し、それを地盤面に落下させて、最大90kNの衝撃荷重を作用できる。地盤剛性は、多段載荷累積変位法によって求め、これを面的分布表示して土構造物の変形性能を解析・評価する。SFWDの特長は、地盤剛性を迅速・簡便・高精度で適正に評価できるオンサイト型全自動計測システムになっていることであり、これにより、地盤剛性の計測作業を大幅に合理化でき、効率

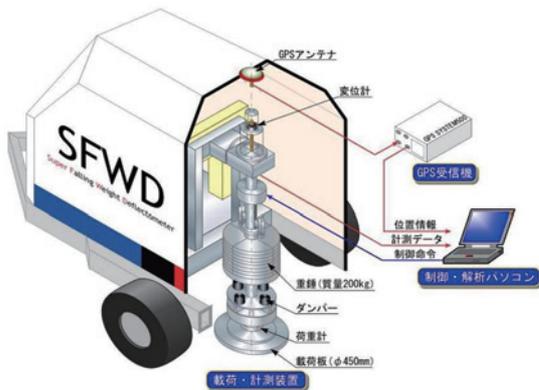


図-2 SFWDの計測装置概念

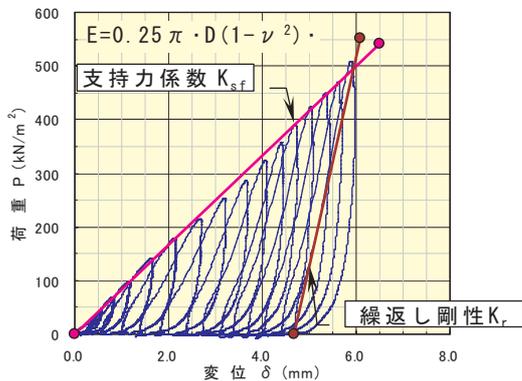


図-3 多段載荷累積変位法の概念

的な施工と性能品質の簡便な確保を実現で

きる。図-3には、多段載荷累積変位法の概念を示す。同図において各荷重段階のピーク点を結ぶ勾配を支持力係数 K_{sf} 、各荷重段階の起点からピーク点を結ぶ勾配を繰返し剛性 K_r と定義する。なお、SFWD変形係数 E_{sf} は、地盤の平板載荷条件による支持力係数 K 値との関係式(1)から算定している。

$$E_{sf} = 0.25\pi(1-\nu^2)D \times K_{sf} \dots\dots (1)$$

ここに、 ν : ポアソン比

D : 荷重板径 ($\phi 450\text{mm}$)

同図の K_{sf} は、平板載荷試験の単調載荷の結果から求まる K 値と極めて相関性が高く、 K 値とほぼ等価なものが得られ、地盤の変形性能評価の指標として優れたものとなっている。

4.2 SFWDと平板載荷試験、FWDの計測法比較

SFWD計測、平板載荷試験、FWD計測における地盤剛性評価法を図-4～図-6に示す。

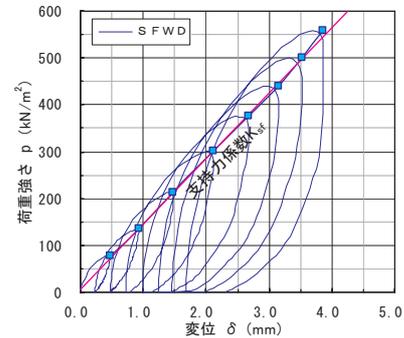


図-4 SFWD

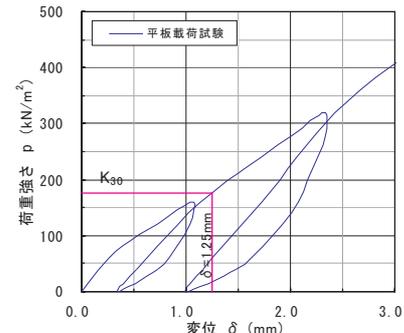


図-5 平板載荷試験

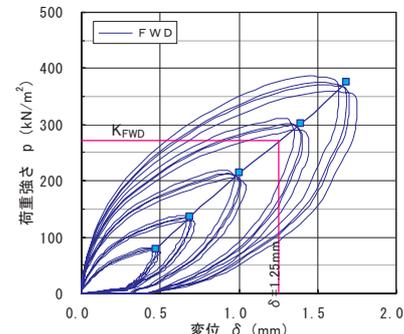


図-6 FWD

図-4のSFWDは、多段載荷累積変位法に

よるピーク点勾配を支持力係数 K_{sf} と定義している。図-5の平板载荷試験の支持力係数 K_{30} は、変位 $\delta=1.25\text{mm}$ の荷重点における勾配で定義される。この平板载荷試験では、荷重の途中段階で繰返し载荷を与えているが、この挙動と SFWD の多段载荷累積変位法による挙動とは極めて類似した形状を示す。図-6に示す従来の FWD や小型 FWD では、変位を累積評価するという機能を設けておらず、各荷重段階の単载荷で 5 回計測して平均し、落下高さを徐々に高くして、これを結ぶ線上の変位 $\delta=1.25\text{mm}$ の荷重点における勾配を K_{FWD} と定義している。この剛性は、図-3に示す SFWD の繰返し剛性 K_r に相当するものである。したがって、支持力係数 K_{sf} と繰返し剛性 K_r に相関性があれば、本手法においても十分に地盤の変形特性を捉えることができると考えられる。

図-7には、砂質土と礫質土における種々の盛土材料での剛性比 $\beta = K_r / K_{sf} = E_r / E_{sf}$ と SFWD 変形係数 E_{sf} を整理した結果を示す。同図の β はばらつきが大きく、FWD の繰返し剛性を使用して平板载荷試験の K_{30} と統一的に相関性を取ることは限界があるものと考えられる。なお、剛性比 $\beta = 1.0$ は鋼材やコンクリートなどの線形弾性材料となる場合を表し、この場合には K_{sf} と K_r のどちらを用いても剛性評価に差異が生じないものになる。

5. 平板载荷試験との関係

図-8には、SFWD と平板载荷試験との载荷挙動を示す。両者は極めて類似した曲線を描くことが明らかである。

図-9には、平板载荷試験と SFWD との相関度合いを示す。相関係数 r は $r=0.956$ であり、両者には極めて高い相関性があることが明らかである。

図-10には、SFWD による計測結果を平板载荷試験の変形係数に換算し、造成地盤の面的な変形係数を評価したものである。このように造成地盤の剛性が可視化表示でき、地盤の性能品質が容易に把握できるため、盛土地盤の性能評価として締固め管理技術のさらなる発展が期待できる状況となっている。

6. 現場 CBR 試験との関係

建設現場の礫質土路床などにおいて現場 CBR 試験を行い、SFWD との相関を調査すると、CBR 試験の载荷ロッド径 $\phi 50\text{mm}$ の影響で現場 CBR 値にばらつきが生じて両者

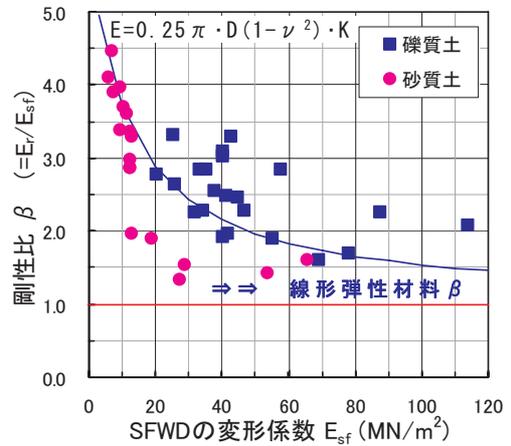


図-7 SFWD 変形係数と剛性比 β

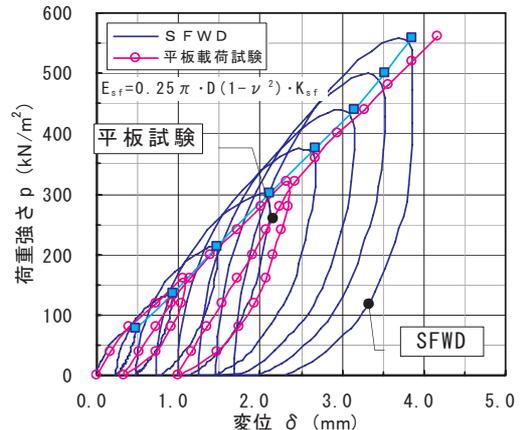


図-8 SFWD と平板試験の载荷挙動

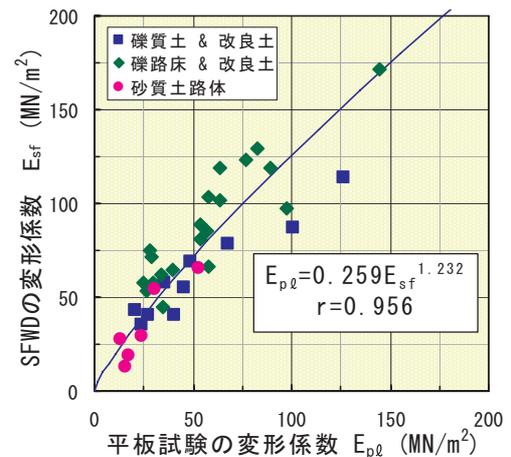


図-9 平板と SFWD の変形係数の関係

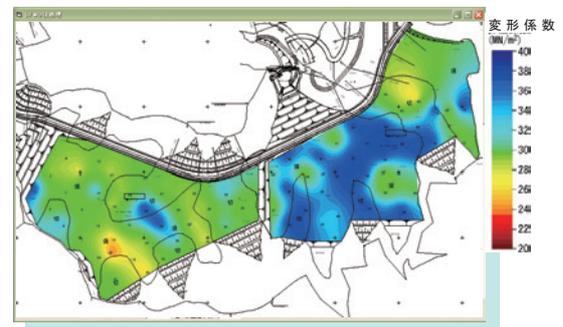


図-10 面的地盤剛性の評価

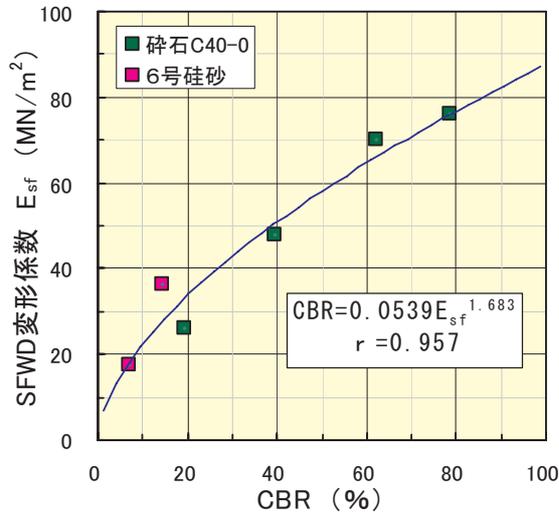


図-11 CBRとSFWD変形係数 E_{sf} の関係

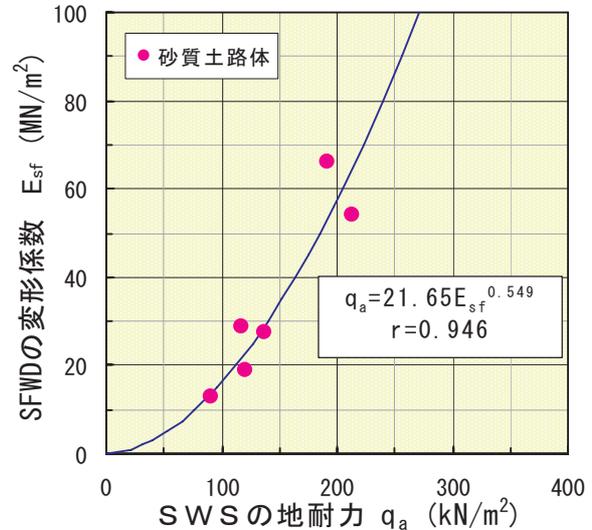


図-12 SFWDとSWS地耐力の関係

の相関性が低くなる。このため、室内の大型土槽を用いた実験により材料の影響によるCBR値のばらつきを小さくしてSFWDと比較することとし、砕石と珪砂を用いて締固めた状態の地盤条件で、現場CBR試験とSFWDの計測を行った。なお、CBR値の広いデータ幅で相関傾向を把握するため、締固めエネルギーは $0.5E_c \sim 4.5E_c$ で調整した。図-11には、現場CBR試験のCBR値とSFWDの変形係数 E_{sf} との相関度合いを示す。同図より、CBR値とSFWDの変形係数は累乗近似状態で表すことができ、その相関係数 r は $r=0.957$ であり、両者には極めて高い相関性があることが明らかとなった。

したがって、SFWDの変形係数を用いて精度良くCBRを推定することができるものとする。

7. SWS地耐力との関係

産業団地造成工事における造成仕上げ盤において、SFWD計測とスウェーデン式サウンディング試験（SWS試験）を実施し、両者の結果を比較した。この工事でのSFWD計測は載荷板 300mm で実施している。計測対象とした造成地盤は、まさ土材料による盛土仕上げ盤と、まさ土地山の切土仕上げ盤の2種類である。SWS地耐力 q_a は、SWS試験の結果を基に国交省告示第1113号の式 $q_a = 30 + 0.6N_{sw}$ を用いて深度別に平均地耐力 q_a を求めたものである。

図-12は、SFWD変形係数 E_{sf} とSWS地耐力 q_a の相関度合いを示している。同図のSWS地耐力は、深度 $z=0.75\text{m}$ までのものであり、載荷板径の $2.5D$ まではSWS地耐力との相関性が良いという結果が得られてい

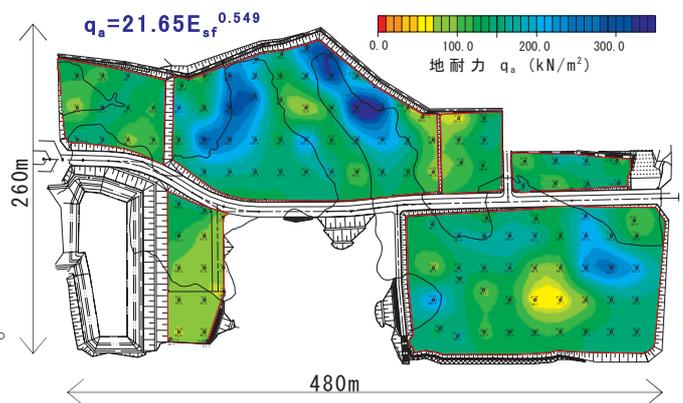


図-13 面的地耐力の評価例

る。同図中に示す $q_a = 21.65 E_{sf}^{0.549}$ の相関式により、SFWDを用いて精度良く地耐力を評価することができるものとする。

図-13は、SFWDによる計測結果をSWS地耐力 q_a 値に換算し、造成地盤の面的な地耐力を評価したものである。これにより、SFWDが広範囲の施工領域の地盤剛性と地耐力を高精度に評価する手法として、効果的であることが明らかとなった。

8. おわりに

近年、土工という分野では、ICT技術の活用により、施工情報のリアルタイム化とコンクリート化が進展しており、施工の高度化と効率化、および施工管理の確実性が可能になっている。

一方、土木インフラ整備の基本を考えた場合、より長期的な視点を持ったメンテナンスを見据えたICT化の実現も同時に求められている。すなわち、施工段階に把握した造成地盤の変形強度特性や支持力特性と

いう性能情報を，ICT でデジタル化して可視化し，それを供用後の管理・維持・更新に提供できるようにする。これにより，道路の舗装や設備などの更新時期との関係が把握できるようになり，維持管理・更新計画を立てやすくなる。また，耐震性向上がより高いレベルで必要となった場合，新たな詳細地盤調査の必要性がないなど，過去の施工時の性能情報に基づいた効率的な対応ができる可能性がある。こうした観点から，設計・施工から維持管理までを網羅した土工の ICT 化を目指すことが重要であると考えられる。

筆者らが開発した SFWD は，計測時間が約 5～10 分/点程度であり，平板載荷試験や現場 CBR 試験の計測で数時間を費やしているのに比べて著しく短い。この点で言えば，地盤剛性の調査には時間とコストが掛かるという，既成概念に変革をもたらすのに十分なものと考えられる。

本システムは，造成地盤の要求性能に対して確実な施工を工事管理面で保証でき，デジタル化で可視化された施工情報を供用後の管理・維持・更新に役立てることができるものを目指している。さらに，SFWD の最新の研究成果では，図-14 に示すように，地盤支持力の降伏限界が求められるようになっており，将来的に地盤や舗装の新しい診断技術としても活用できる発展可能性を有している。

今後とも，さらに SFWD にて現場データなどを蓄積し，建設技術と ICT 技術をマッチングさせた情報化施工の発展に貢献したいと考える。

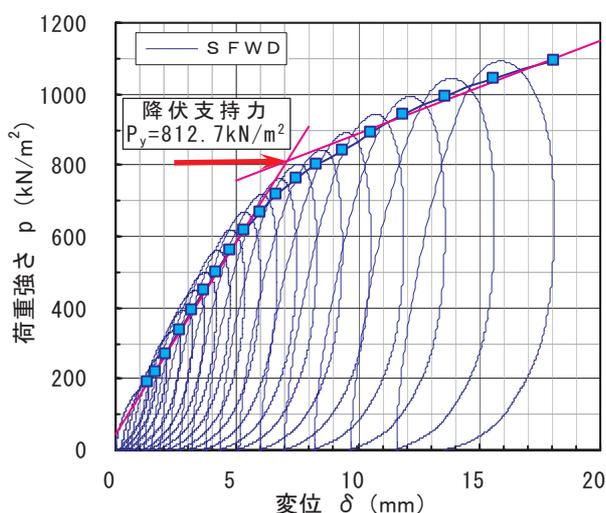


図-14 SFWD による降伏支持力

参考文献

- 1) 阿部，横田，川崎，久保：礫質土を用いた試験盛土の現場密度とその試験法評価，土木学会第 57 回講演概要集，2002 年 9 月
- 2) 横田，阿部，瓦川，川崎：高盛土に用いた礫質土の大型一次元圧縮沈下試験，土木学会第 57 回講演概要集，2002 年 9 月
- 3) 阿部，姫野，森下，川崎：礫質土を用いた高盛土の圧縮沈下挙動，土木学会第 57 回講演概要集，2002 年 9 月
- 4) 土木学会：FWD および小型 FWD 運用の手引き，舗装工学ライブラリ 2，2002 年 12 月
- 5) 川崎，長澤：全自動地盤剛性評価システム (SFWD) の計測法と適用事例，基礎工，2006 年 8 月号，vol.34，No.8
- 6) 川崎，長澤：IT 土工による造成地盤の性能評価，建設の施工企画，2008 年 11 月号
- 7) 川崎，長澤：高盛土の沈下挙動と地盤の性能評価技術，基礎工，2009 年 7 月号，vol.37，No.7
- 8) 川崎，皿海，龍岡，平川：地盤剛性全自動評価システムにおける地盤剛性計測法，土木学会第 59 回講演概要集，2004 年 9 月
- 9) 皿海，川崎，龍岡，平川：地盤剛性全自動評価システムの室内試験による精度評価，土木学会第 59 回講演概要集，2004 年 9 月
- 10) 川崎，皿海，長澤，龍岡：地盤剛性全自動評価システム (SFWD) による礫質盛土の地盤剛性評価，第 41 回地盤工学研究発表会講演集，2006 年 7 月
- 11) 川崎，土屋，長澤，龍岡：地盤剛性全自動評価システム (SFWD) による改良土地盤の地盤剛性評価，第 41 回地盤工学研究発表会講演集，2006 年 7 月
- 12) 堀田，長澤，川崎，龍岡：全自動地盤剛性評価システム (SFWD) による空港造成地盤の剛性評価，土木学会第 62 回講演概要集，2007 年 9 月
- 13) 川崎，長澤，龍岡，平川：全自動地盤剛性評価システム (SFWD) と現場 CBR 試験との相関性，土木学会第 62 回講演概要集，2007 年 9 月
- 14) 杉本，長澤，川崎，村松：全自動地盤剛性評価システム (SFWD) による空港造成泥岩地盤の剛性評価，第 43 回地盤工学研究発表会講演集，2008 年 7 月
- 15) 岩村，川崎，長澤，杉本，田崎：全自動地盤剛性評価システム (SFWD) による産業団地造成地盤の剛性と地耐力評価，第 43 回地盤工学研究発表会講演集，2008 年 7 月

1 1. CSG工法用混合装置の開発と実用化

2 重回転式連続ミキサ

清水建設株式会社
清水建設株式会社
清水建設株式会社

○ 加瀬 俊久
吉野内真二
大崎 雄作

1. はじめに

CSG (Cemented Sand and Gravel の略) とは、建設現場周辺で手近に得られる岩石質材料を分級・粒度調整、洗浄を基本的に行うことなく、セメント・水を添加し、簡易な設備を用いて混合した材料である。

CSG 工法とは、この混合した材料をブルドーザで敷均し、振動ローラで転圧することによって構造物を築造する工法であり、(財)ダム技術センターが本工法を開発・推進している。本工法を用いて設計された新しいダムの型式が「台形 CSG ダム」であり、『材料の合理化』、『設計の合理化』、『施工の合理化』を目的としている。図-1 に台形 CSG ダムの標準断面を示す。

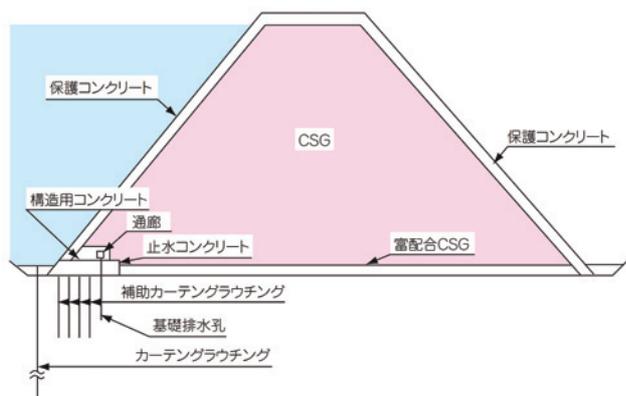


図-1 台形 CSG ダムの標準断面

CSG の混合装置は、施工設備の合理化の観点からこれまで多くの装置が開発されてきた。本装置について開発者は、以前から CSG 工法用混合装置の開発に取り組んでおり、今回「新しい混合の概念」を導入した混合装置を開発した。本論文では CSG 混合装置の概要、装置の実証試験結果及び現場における実用化について述べる。

2. CSG 工法用混合装置の概要

2.1 DK ミキサ

開発者は、H13 年度より CSG 工法用混合設備「DK ミキサ」の開発に取組み、鷹生ダム (岩手県発注) における現地実証試験により実用化した。DK ミキサは筒型の装置内部に攪拌用の板が設置された「重力式」の混合装置である。写真-2 に DK ミキサの全景を示す。



写真-1 DK ミキサ全景

DK ミキサの実用化を通じ、実際のダム現場への適用を図るには、混合性能をさらに向上させることが必要であると考えられた。

2.2 2 重回転式連続ミキサの概要

従来の各種材料の混合機は、ドラム回転式などによる重力混合と、パドル (羽根) 回転式による強制混合に大別される。新型の混合装置は両者を組合せた 2 重回転式 (回転ドラムによる重力混合 + パドル羽根による強制混合) とすることにより、効率の良い混合方式となると考えられた。図-2、写真-5 に混合方式の模式図及び新型混合装置の内

部構造を示す。

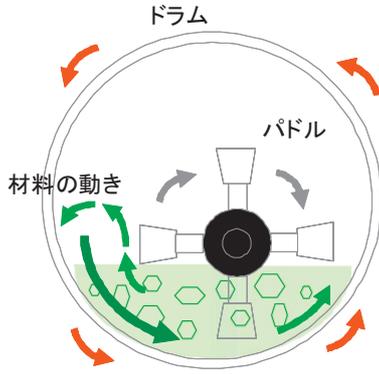


図-2 混合方式の模式図



写真-2 新型混合装置内部

本ミキサは、パドルとドラムが逆方向に回転し、パドルで攪拌した材料はドラムの回転により素早くパドルの攪拌位置に戻され、混合効率を向上させる機構となっている。

表-1 に 2 重回転式連続ミキサの仕様を示す。

表-1 2 重回転式ミキサ仕様

回転ドラム仕様		
ドラム内径×長さ	φ1800×4200L	
回転数及び回転方向	10rpm(進行方向に向かって右周り)	
動力	37kw×220V	
駆動方式	チェーン駆動	
処理能力	100m ³ /h	
支持方式	ローラ (φ400×145L)×4箇所	
	スラストローラ (φ250×90L)×2箇所	
インバーター制御	37KW×220V	
パドル仕様		
ミキサー外径×ピッチ×条数	φ1100×P1000(二条)	
回転数及び回転方向	38rpm(進行方向に向かって左周り)	
動力	45KW×220V×4P×1/20	
駆動方式	チェーンカップリング駆動 チェーン駆動	
処理能力	100m ³ /h	
支持方式	ベアリング	
	ブランマブロック(φ135)	
パドルチップ	寸法	30t-220-220
	個数	36ヶ

本装置の機構上の特徴を以下に示す。

- ① 動力を利用した連続式混合装置である。
- ② ドラムは 0~10rpm, パドルは 0~38 rpm で回転数の調節が可能である。
- ③ ドラム・パドルが互いに反対方向に回転する機構である。
- ④ パドルの向きは任意の角度で取付けが可能である。
- ⑤ ドラムとパドルの回転軸は互いに偏心しており, 両者の回転により投入口から入った CSG 材・セメント・水は, 混合されながら排出口側へ送られる。

3. 2 重回転式ミキサ実証実験

今回開発した 2 重回転式連続ミキサの回転ドラムとパドルの回転数や, パドルの取付け角度等が混合性能に及ぼす影響把握するため, 実機の 1/6 模型及び実機を製作し実験を行った。

3.1 1/6 模型実証実験

1/6 模型装置を写真-3 に示す。回転ドラム, パドル羽根の回転数, パドル羽根の角度はそれぞれの調整を可能とし, 各水準で実験を実施した。表-2 に模型実験の試験水準を示す。

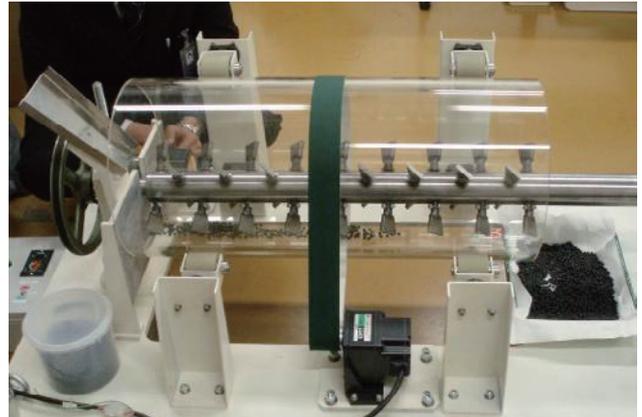


写真-3 混合装置 1/6 模型

表-2 模型実験水準

模型部位	設定水準
外周ドラム回転数	0, 8, 12, 30rpm
内部パドル回転数	19, 30, 38rpm
内部パドル取付け角度 (軸垂直方向)	0, 30, 45, 90°

実験では, 粒子φ12mm およびφ8mm の 2 種類を 5 秒間隔で 333.5g ずつ交互に投入し, 排出された粒子を同じく 5 秒間隔で採取し粒子の平均排出量および平均粒子分布量からの変動の標準偏差を求め評価した。なお, 1 回の投入量 333.5g は実機での製造能力 100kg/m³ を 1/6 模型に対する量とし

て算出したものである。

実験結果の一例を図-3に示す。実機での製造能力100m³/hは、本模型実験では平均排出量333.5gに相当する。すなわち、平均排出量がこの数値に近い、あるいはこの数値以上であれば、製造能力が確保されていることを示している。一方、標準偏差は平均粒子分布量からの変動の大きさの指標であり、小さいほど混合性能が良好であることを示している。

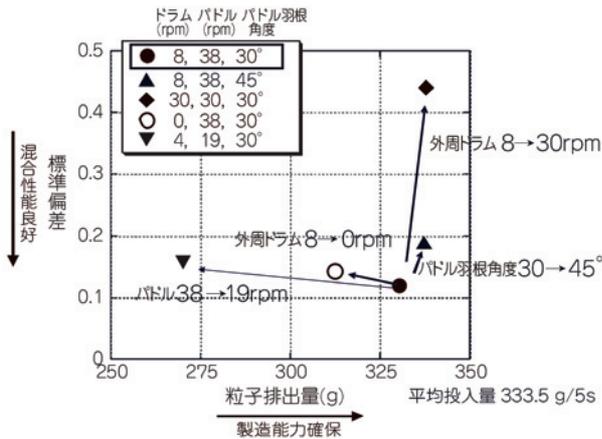


図-3 平均排出量と粒子変動量の標準偏差におよぼす各種要因の影響

これらの結果より、基本のケースである外周ドラム回転速度8rpm、パドル羽根回転速度38rpm、パドル羽根取付け角度30°の組み合わせが、製造能力および混合性能の点から、概ね妥当であると考えられる。

3.2 実機実証実験

2重回転式連続ミキサの性能確認のために、実機により以下の項目の確認を目的に実証実験を実施した。

- ① 製造能力の確認
- ② 混合性能の確認

2重回転式ミキサ実機を写真-4に示す。



写真-4 2重回転式ミキサ

(1) 製造能力の確認

模型試験の結果に基づき、回転ドラム、パドル羽根の回転数、ならびにパドル羽根取付け角度を調整しながら、実機でCSG材料製造能力の確認実験を実施した。実際のCSG材料は粘性が大きく、材料の排出に時間を要する状況にあったため、混合機を排出方向に5°の傾斜をつけて設置した。その結果、混合時間(投入～排出まで)が25秒、製造能力100m³/h以上を確保することが可能であることを確認した。

2重回転式ミキサの仕様は以下の通りである。

- ・ ドラム回転数 8rpm
- ・ パドル羽根の回転数 38rpm
- ・ パドル羽根取付け角度 30°
- ・ 設置角度 5° (排出方向を下向き)
- ・ 混合時間 25秒 (投入～排出まで)

また、併せて混合装置の騒音・振動測定も実施した。騒音パワーレベルが80dB、振動パワーレベルが53dBであり、通常のコンクリートプラントに比べて低騒音、低振動であることが確認された。

(2) 混合能力の確認

混合性能の確認実験は、可傾式コンクリートミキサを用いた室内混合試験と実機混合試験を行い、それぞれ作成した供試体の圧縮強度で比較を行った。表-3に実験水準を、図-4に実験結果を示す。

表-3 実機混合能力確認実験水準

要因	水準数	水準
セメント添加量	1	80kg/m ³
単位水量	2	90, 100kg/m ³
粒度	2	細粒, 粗粒

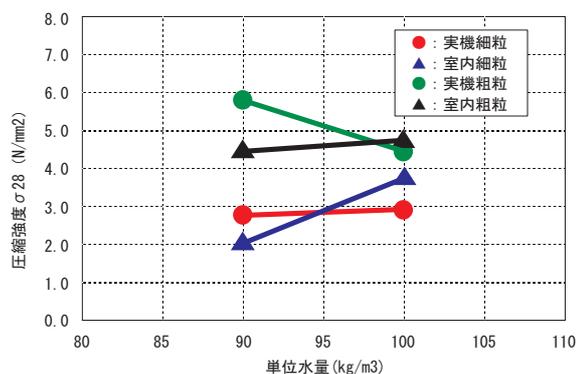


図-4 混合能力確認実験結果

実験結果データは多少の誤差はあるが、概ね実機試験データは室内試験と同等以上の値を示している。以上の結果より、2重回転式連続ミキサは可傾式ミキサと同程度以上の混合性能を有すると考えられる。

4. 2重回転式ミキサの実用化

平成21年6月より、福井県発注の大津呂ダム建設工事において、今回開発した2重回転式ミキサを使用してCSG工法による工事用水貯留堤の施工を実施した。図-5に工事用水貯留堤の標準断面を示す。

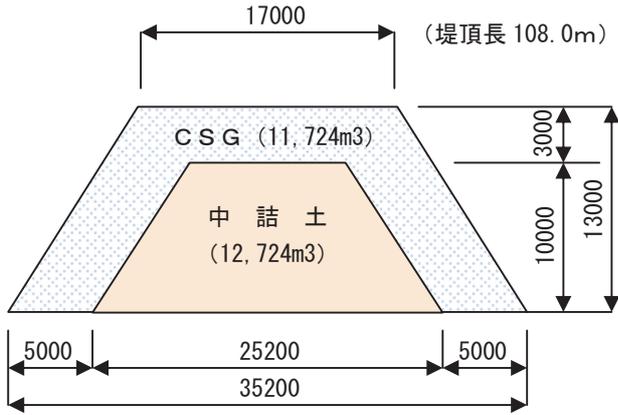


図-5 工事用水貯留堤標準断面

工事用水貯留堤は、以下の目的で築造された。

- ① 堤体コンクリートの主打設備である300tクローラクレーンの走行路として利用する。
- ② かんがい期間(4月～8月)は河川から工事用水を取水できないため、この期間中の工事用水を確保する。

写真-5～9にCSGによる工事用水貯留堤の施工状況を示す。



写真-5 CSG母材採取・運搬状況



写真-6 CSG製造状況



写真-7 2重回転式ミキサ内部状況



写真-8 CSG荷卸状況



写真-9 CSG締固め状況

今回、ダム現場におけるCSG工法で2重回転式ミキサの実用化により、その施工性の高さ及び品質の確保が確認された。

今後は更に施工実績を積み重ねて、国交省を中心に計画されている台形CSGダムやダム以外の適用可能な本設構造物の施工の合理化・高速化に寄与していきたい。

参考文献

- 1) 財団法人ダム技術センター：台形CSGダム施工・品質管理技術資料，2007年9月

1 2. ガーベージ・バイオガスの道路パトロールカーへの適応性調査研究

～ CO₂ 排出量削減への取り組み ～

(独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地機械技術チーム ○ 国島 英樹
 (独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地機械技術チーム 山崎 貴志
 (独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地技術推進室道央支所 平 伴齊

1. はじめに

1997年12月に京都市にて開催された第3回気候変動枠組条約締約国会議(COP3)にて議決されたCO₂など温室効果ガス6種の削減目標は、締約国全体で1990年比で2008～2012年の5カ年間に於いて-5%となっている。また、我が国に課せられた義務は、同条件で-6%となっている。なお、これらの削減枠を遵守できなければ、超過分を3割増にて次期削減義務値に上乗せされる他、他国と温室効果ガス排出分を取引するうえで、売却が出来ない等の罰則規定が設けられている。何よりも地球規模の温暖化を防ぐには、各国が目標値を遵守することが重要であり、この削減目標を達成するには、国をあげての取り組みや国民一人一人の常日頃からの努力が必要不可欠である。

本調査では、実質的なCO₂削減と未利用エネルギーを有効活用する際の積雪寒冷地における適応性調査を進めており、その中のガーベージ(生ごみ)・バイオガスを車輛の燃料として使用する際の課題や改善策について調査検討を行った。

2. 調査概要

本調査のスキームは、図-1に示すとおり、3機関の協力体制にて、調査期間は平成20年7月から平成21年3月にて実施した。

バイオガスの提供は、中空知衛生施設組合¹⁾(滝川市、芦別市、赤平市、新十津川町、雨竜町)が管理運営する広域ごみ処理施設(以下、リサイクル)より無償で受けている。北海道開発局からは、バイオガス精製圧縮充填装置の貸与及び充填対象車輛であるCNG(圧縮天然ガス)燃料タイプ(以下、CNG車)の道路パトロールカーを運行させ稼働データを提供して頂いた。

また、日々の充填装置の保守管理は、リサイクルの維持管理を担当している三井造船環境エンジニアリング(株)に協力をお願いした。

寒地土木研究所は、これらの稼働データを踏まえ、経済性等を調査すると共に、積雪や凍結など積雪寒冷地ならではの課題や車輛の始動性、動力性能などの課題を抽出し、対応策を検討する。

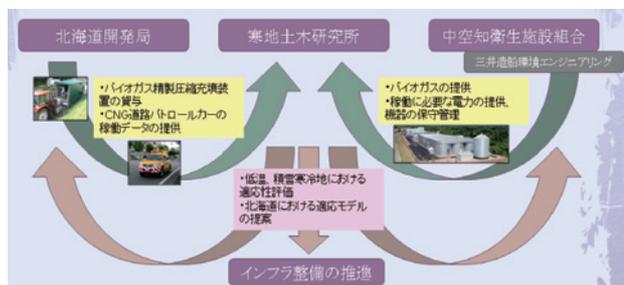


図-1 スキーム図

3. バイオガスの活用

3.1 メタン発酵

滝川市に位置するリサイクルは、前記した3市2町にて組織される中空知衛生施設組合にて、ごみ処理広域化計画に基づき、ごみを資源として再利用するとともに、エネルギーを有効活用し、埋立量やダイオキシン類の発生をできるだけ抑える循環型社会を目指し、平成15年度より稼働している。受け入れごみの処理能力は、生ごみが55t/日、資源・粗大・不燃・その他ごみは選別を行っており18t/日、可燃ごみは58t/日を圧縮処理できる。平成18年度の実績としては、3市2町(人口約9万人)で約62t/日となっており、内訳としては、可燃ごみが約50%、生ごみは約33%である。

生ごみから得られるバイオガスは、図-2に示す高速メタン発酵処理施設にて生成後、オンサイト利用として発電機の燃料に使用し、得られる電力は施設内利用と余剰分は売電している。

また、施設内のボイラー燃料としても利用し、温水は発酵槽の加温、冷暖房や冬期間の敷地内ロードヒーティングにも利用している。更に発酵後

の汚泥は、堆肥として加工し農地還元している。ここで、バイオガスの生成量 83,000m³/月 (H18 年度実績) に対し、余剰量が 10,000~27,000m³ 程度発生しており、通常は焼却処分させているが、オフサイト利用として、この余剰ガスを更に精製圧縮充填装置により、圧縮調整することでCNG車の燃料として有効活用を試みた。



図-2 高速メタン発酵処理施設
(滝川市, リサイクルン)

3.2 CNG車への充填

バイオガスをCNG車へ充填する際には、精製圧縮充填装置を使用するが、これは、北海道開発局において、「バイオマス・ニッポン総合戦略」の目標を達成すべく、バイオガス多角的利用に関する地産地消モデル構築調査の一環として、エアー・ウォーター(株)との協力により開発された装置である。

特徴としては、すべての機器・配管類を20フィートコンテナ内に搭載し、車輻での移動を可能としており、メタン濃度が50~60%の原料バイオガスを膜分離装置にて93%程度まで精製することにより、熱量を都市ガスの12A相当に調整可能である。更にCNG車などのボンベに充填するために約20MPaまで昇圧可能である。処理フロー及び主要諸元を図-3及び表-1に示す。

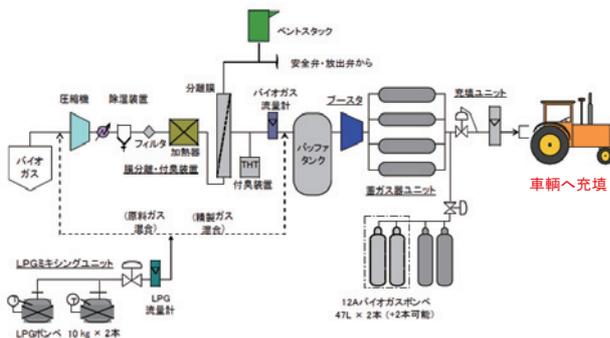


図-3 バイオガス精製圧縮充填装置の処理フロー
(エアー・ウォーター(株)提供資料)

この装置により、リサイクルンより発生し精製したガーベージ・バイオガスを北海道開発局札

幌開発建設部滝川道路事務所のCNG車の道路パトロールカー(以下、CNG道路パトロールカー)燃料として使用する。

表-1 バイオガス精製圧縮充填装置主要諸元

大気条件		温度	-20~40°C
		湿度	30~80%RH
原料バイオガス条件			
組成	メタン	50~60%	
	二酸化炭素	35~45%	
	窒素	5%	
	硫化水素	5ppm以下(脱硫処理後)	
精製ガス(想定値)			
組成	メタン	93.0%	
	二酸化炭素	0.5%	
	窒素	5.5%	
	硫化水素	1ppm以下	
	付臭剤	微量(THT)	
発熱量	12A相当	約38MJ/Nm ³	
精製量	96Nm ³ /日程度		
精製方式	膜分離方式		
充填能力			
		上限充填圧力	24.5MPa(35°C)
		有効蓄ガス量	50Nm ³
使用条件			
		運転期間	通年
		設置場所	屋外
使用電力			
		200V	三相
コンテナ			
		長さ	5,919mm
		幅	2,340mm
		高さ	2,380mm

この車輻は、ガソリンとCNGを切り替えて使用することが可能なバイフューエルタイプであり、基本的にバイオガスを使用した。また、必要に応じ、リサイクルンにてガスの充填を行い、通常道路巡回業務にて使用した。一般的に道路パトロールカーは、通常時に巡回する時間帯やコースの予定が決められており、バイオガスの生産量や充填タイミングの計画が立てやすいことから選定した。精製圧縮充填装置設置状況を写真-1に、CNG道路パトロールカーへのガス充填状況を写真-2に、CNG道路パトロールカーの主要諸元を表-2に示す。



写真-1 バイオガス精製圧縮充填装置設置状況



写真-2 バイオガス充填状況
(滝川市, リサイクルーン)



表-2 CNG道路パトロールカーの主要諸元

項目	仕様
ベース車種	トヨタ ハイラックスサーフ
全長	4,770mm
全幅	1,875mm
全高	2,120mm
車両総重量	2,325kg
乗車定員	5名
機関	形式:ガソリン機関、CNG切替使用可 最高出力(ガソリン):120kW 最大トルク(ガソリン):246Nm
排気量	2,700cc
クラッチ形式	トルクコンバータ式
駆動方式	前2駆動(切替式)、後2駆動
タンク容量	ガソリン 87L CNG 27Nm ³
CNG充填圧力	20MPa

4. 積雪寒冷地における適応性調査

バイオガスは、生ごみなどの有機物が原料であり、食物連鎖を考えると、大気中のCO₂を取込んで光合成を行う植物が起源となることから、最終的にガスが燃焼されCO₂が大気中に排出されても、大気中のCO₂量に変化がないとの考えから、カーボンニュートラルであるとされている。しかしながら本調査では、バイオガスを燃焼使用した際のCO₂排出量を把握し、ガソリン使用時と比較することで、実質的な排出量や、経済性比較を行うとともに、年間を通して使用することで、積雪や凍結など寒冷地ならではの課題やバイオガス使用時の車両の始動性や動力性能などの課題を抽出し、対応策を検討する。

4.1 エンジン始動性調査

CNG車のエンジン始動には、ガソリンと比較し時間がかかる場合がある。バイオガスの場合もエンジン始動性には難があり、特に気温が下がり着火性が悪くなる冬期間においては懸念がある。そこで、秋から冬にかけて、その日の最初にエン

ジン始動させた場合のセル動作時間を計測した。

セル動作は、エンジンが掛かった段階ですぐに止めて2回目以降を繰り返して行った。結果を表-3に示す。いずれの日も気温に対し、エンジン表面温度が低いのは、ボンネットの中にあるエンジンが前夜に冷え込んだまま、午前中は、まだ外気温と同程度までに上昇していないためである。

セル動作時間は、いずれの日も1回目始動までの時間が4~5秒であり、燃料をガソリンとした場合の約1秒に対し、掛かりにくさ感はあるが運用上は問題無いと判断できる。2回目以降は3秒程度で安定している。特に気温、湿度、エンジン温度による影響は無いことが解る。

表-3 エンジン始動調査

月日	10月28日	12月25日	2月12日
測定時間	AM10:30頃	AM10:30頃	AM11:00頃
気温	8.3℃	4.3℃	2.1℃
湿度	68%	67%	57%
エンジン表面温度	5.3℃	-2.0℃	-2.9℃
セル動作時間			
1回目	5.4sec	3.6sec	5.4sec
2~5回目平均	2.8sec	3.1sec	3.4sec
6回目(ガソリン)	0.8sec	0.9sec	1.1sec

4.2 馬力、トルク計測試験

一般的にCNG車の出力(馬力)は、ガソリン車に比べて劣る。ガソリンの主成分でオクタン価(ノッキングの起こりにくさ)の指標値を100としているイソオクタン(C₈H₁₈)と比較すると、天然ガスの主成分であるメタン(CH₄)のオクタン価は130程度²⁾であり、燃焼効率からいうと向上するが、天然ガスは気体であり、単位容積における発熱量が少ないため、エンジン出力については低下する。バイオガスの主成分もメタンであり同様の結果になると考えられるため、バイオガス使用時とガソリン燃料使用時における出力及びトルクの比較を、シャーシダイナモメータを用いて実施した。なお、測定は後輪駆動時にて実施した。計測状況を写真-3に、測定結果を図-4に示す。



(モニタ画面)



写真-3 シャーシダイナモメータ測定状況
(後輪軸をシャーシダイナモに設置)

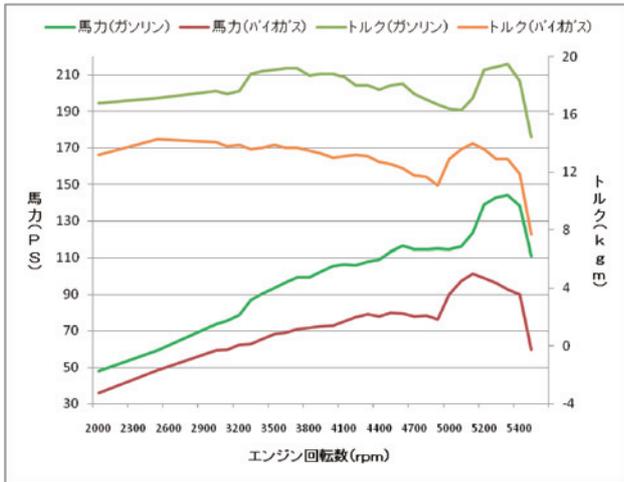


図-4 出力（馬力）・トルク曲線
（シャーシダイナモによる）

測定結果より、最大出力の比較はガソリン使用時は、143.9PS (105.8kW) で、バイオガス使用時は 101.2PS (74.4kW) であり、約 30%ほどバイオガス使用時の出力が落ちていることが解った。図-4 よりトルクについてもほぼ同様な傾向が見られる。一般的に市販されているガソリン車の出力で 100PS 程度の車輛は、排気量が 1,500cc クラスであり、道路パトロールカーとしての使用上は特に影響ないと考えられる。また、実運用時におけるエンジン回転数は、50 km/h 走行時で約 2,000rpm であり、その場合における出力の落ち込みは 20%程度であり影響は少ない。通常乗車している運転員のヒアリング結果からも、登坂時に力の無さを感じるが、通常では特に問題無いとのフィードバックを得ている。

4.3 加速試験

出力・トルク計測試験において、バイオガス使用時はガソリン使用時に比較し 20~30%低下することが判明したが、実際の走行時における影響を検証するために、当研究所構内にて加速試験を行った。計測機器は、GPS による位相から速度、移動距離、移動時間などを計測可能な「VBOX」を車輛に搭載し実施した。加速試験状況を写真-4 に示す。



写真-4 加速試験状況

加速試験は、車輛停止からアクセルを全開にし、

直線で走行距離が 70m に到達するまでにかかった時間を比較した。ガソリン、バイオガスそれぞれ 5 回走行しての平均値での比較を図-5 に示す。

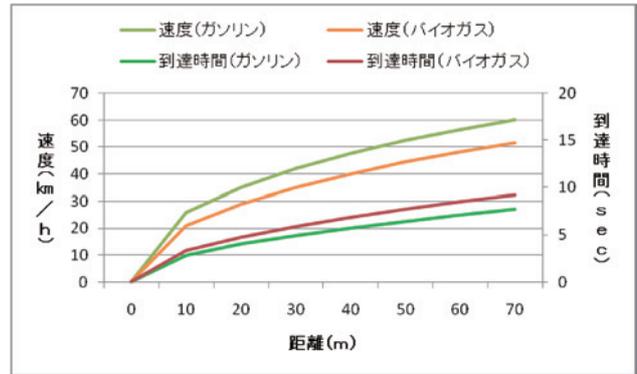


図-5 加速試験結果

測定結果より、走行距離 70m 到達地点で速度が約 15%、時間で 18%程度バイオガスが劣っているが、40 km/h から 50 km/h 到達点における追い越し加速度から計算すると、高速道路に進入する際に必要な 70 km/h までには、約 90m の走行距離で到達可能と想定される。よって、加速性能は十分であることが解る。

4.4 排出ガス成分測定

排出ガス成分測定は、ハンディ型で車載しながらの測定も可能な「Auto5.1」を使用し、CO₂、CO、O₂をガソリン、バイオガスにて計測した。なお、測定はアイドリング状態で5分程度行い、安定した1分間を比較することとした。測定状況を写真-5、測定結果を図-6 に示す。



写真-5 「Auto5.1」(自動車排ガス分析計)による測定状況

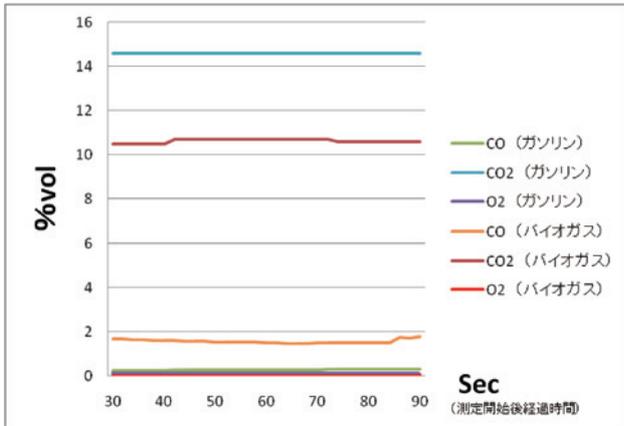


図-6 排出ガス成分測定結果
(アイドリング時, エンジン回転数約 650 r p m)

図-6より, アイドリング時においては大きな成分の変動は見られない。O₂ (ガソリン及びバイオガス) 及びCO (ガソリン) は, 1%未満で推移している。CO (バイオガス) は2%弱であり, ガソリンよりは高めである。CO₂ は, ガソリンが約14.6%, バイオガスが約10.6%であり, バイオガスの方が27%程度少ない値となっている。

5. 調査結果

5.1 CO₂削減効果

平成21年3月末までのバイオガス使用分のCNG道路パトロールカー稼働状況を表-4に示す。

CNG道路パトロールカーは, 週に3回の定期的な通常道路巡回及び緊急時点検, 異常時点検などに使用している。この間における燃料消費率は, 9.0 km/m³である。これをガソリン使用した場合を想定し, コストを算出すると下記の通りとなる。

表-4 バイオガス使用実績

月	走行距離km	使用量m ³	備考
6月	697	72.7	20日~
7月	1,231	152.9	
8月	1,238	138.0	
9月	1,285	127.6	
10月	1,161	149.8	
11月	968	127.3	
12月	1,123	108.9	
1月	772	107.7	
2月	1,134	125.4	
3月	1,109	82.8	
累計	10,718	1,193.1	

10,718 km ÷ 6.1 km/L × 116 円/L ≒ 20 万円
(ガソリンの燃料消費率は過去の実績, 単価は,

H21年8月)

また, 本来バイオガスはカーボンニュートラルであるとされているので, CO₂ 排出量はゼロカウントであるが, 更に実質的な CO₂ 削減効果を期待するうえで, この距離をガソリンで走行した場合と比較すると, CO₂ 削減量は, 4.4 排出ガス成分測定結果 (-27%), 及び一般的にガソリン1リットル当たりの CO₂ 排出量が 2.3 kg であることから, 下記の通りとなる。

$$10,718 \text{ km} \div 6.1 \text{ km/L} \times 2.3 \text{ kg/L} = 4,041.2 \text{ kg}$$

$$4,041.2 \text{ kg} \times 0.27 \text{ (CO}_2 \text{ 削減率)} = 1,091 \text{ kg}$$

この削減量は, 北海道民1人当りの1年間に排出するCO₂量が約3t³)とされていることから, その4ヶ月分に相当する。

5.2 バイオガス精製圧縮充填装置の適応性

冬期間において, リサイクリン製のバイオガスホルダーと装置間のガス配管内凍結を防止するために, リボンヒーターと防寒材を巻いた。また, CNG道路パトロールカーへ充填の際に, 装置開閉扉周辺への積雪が支障となるため, 防寒シートと単管足場で簡易的に防寒囲いを設置した。しかし, ガス配管内の水抜きが不完全なための凍結による破損やコンプレッサーの損耗による圧力不足などシーズンを通して運用するうえでの課題が発生した。凍結防止対策状況を写真-6, 7に, 防寒囲い状況を写真-8に示す。



写真-6 ヒータ巻付状況



写真-7 保温材巻付状況



写真-8 防寒囲い状況

6. まとめ

今回の試験結果より, バイオガスを燃料とした

場合の車輛動力性能や冬期における始動性などについて、特に問題点が無いことが解った。また、排出ガス成分より CO₂ 排出量については、カーボンニュートラルであることは勿論であるが、更にガソリン車と比較し実質的な削減効果があることが確認された。今後は、更に長期的にデータを取得し、バイオガス燃料の適応性と CO₂ 削減効果の検証を行う。

バイオガス精製圧縮充填装置については、長期的に使用するうえでの信頼性や冬期間の凍結に対応すべく改良を行うと共に、今後の普及を考えた場合のイニシャルコスト削減のための改良も併せて実施する。更に、これらの改良の有効性などの調査を行う予定である。

最終的にこれらの調査試験を通して、運用面や技術的な課題を抽出し、改善策を検討することにより、北海道など低温、積雪寒冷地において比較

的コンパクトで地域導入しやすい CO₂ 削減や未利用エネルギー導入モデルを作成し、提案する。

これにより、地域に潜在する環境負荷の少ないエネルギーや未利用エネルギーの利用促進、エネルギー供給施設などインフラの整備促進に繋がっていくことで、結果として世界的な温室効果ガスの削減に寄与できると考えている。

参考文献

- 1) 中空知衛生施設組合ホームページ
<http://www15.ocn.ne.jp/~recycle/>
- 2) 日本ガス協会ホームページ
<http://www.gas.or.jp/default.html>
- 3) 環境省新地方公共団体実行計画策定マニュアル等改訂第2回検討会、室田委員資料、p13

1 3 . 油 圧 シ ョ ベ ル に お け る 低 燃 費 性 能 開 発

－ 燃 費 性 能 解 析 技 術 と 機 種 開 発 へ の 適 用 －

(株) 神戸製鋼所 機械研究所 ○ 南條 孝夫

今西 悦二郎

コベルコ建機 (株) 開発生産本部

沼田 直剛

1. はじめに

地球温暖化問題が年々深刻化しており、CO₂削減が大きな社会的ニーズとなっている。わが国においては、建設機械の燃料消費によるCO₂排出量は全分野の約1%に過ぎないが、その中でも油圧ショベルの排出量は51%を占めており、油圧ショベルの燃料消費量削減は重要な課題となっている。そのような背景から、油圧ショベルに対しては、作業性、操作性といった一般機能だけでなく、省エネ化への要求がますます強くなってきた。コベルコ建機では、2006年の排ガス3次規制(特定特殊自動車排ガスの規制等に関する法律)施行に合わせて、中大型機種モデルチェンジ(図1)を行ったが、この一連の開発では、エンジンの排ガス規制対応だけでなく、燃費性能向上を最重要目標に掲げて開発を行った。低燃費性能目標は図2に示すとおり、旧型機に対し、作業量は旧型機同等で燃費を20%削減することを目標とした。

上記の燃費性能向上の達成のためには、エンジンの単体性能改善だけでなく、油圧システムやエンジン/ポンプ駆動源システムをトータルで評価し、システム全体の効率を効率的、効果的に改善

する必要がある。そこで、本開発においては、神戸製鋼独自で開発した油圧制御系を含む機械システムのシミュレーション技術であるSINDYS¹⁾、²⁾、³⁾を活用した動力・燃費解析評価技術を開発し、これを機種開発プロセスに組み込んだ。これにより、油圧ショベルの掘削作業などの複雑な挙動や損失寄与度を詳細に評価することができるようになり、対策部位を明確化することで効率的、効果的な対策を行えるようになった。さらに、機器単体の実働負荷での性能評価とより高精度な燃費評価を行うための手法として、解析技術と実際の機器を組み合わせるHILS(Hardware In the Loop Simulation)システムを開発し、商品開発に適用してきた。

本報では、実際の機種開発プロセスにおいて適用してきた、HILSシステムを含む解析評価技術と、これらを活用して行った低燃費化技術について報告するとともに、旧型機と比較した省エネ効果や解析評価の精度検証結果について報告する。また、油圧ショベルの燃費性能評価手法として制定されたJCMAS H 020:2007(土工機械-油圧ショベルの燃料消費量-試験方法)での評価結果についても報告する。



図-1 排ガス3次規制対応の油圧ショベル

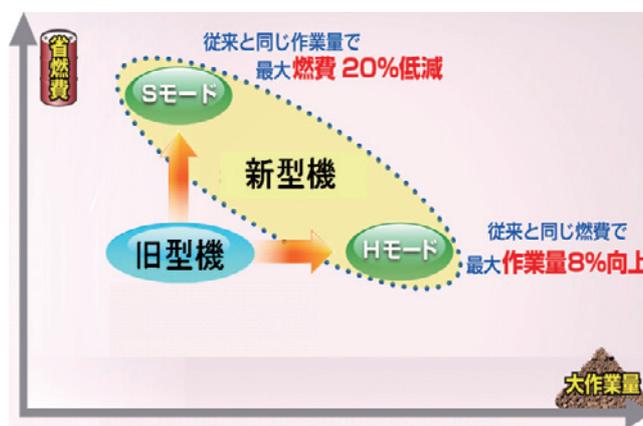


図-2 排ガス3次規制対応機の低燃費性能目標

2. 油圧ショベルの燃費性能解析技術

2.1 解析評価の狙い

油圧ショベルは、エンジンによって油圧ポンプを駆動し、油圧配管、バルブ等の油圧システムによりシリンダ、油圧モータへの流量分配を行い、作業機（アタッチメント）を駆動するシステムである。アタッチメントを駆動するアクチュエータは、ブーム、アーム、バケット、旋回など複数あり、実作業時には、これらのアクチュエータを同時に操作する複雑な複合操作を行う。目標の低燃費性能を達成するにあたり、これまでの実機を用いた動力評価では、システム全体の評価は可能であるが、各部位に関する詳細な動力損失の把握ができず、さらに、複雑な複合操作の中で、一部の部位に関するシステムの変更が全体システムの性能に及ぼす影響を把握することが困難であった。そこで、油圧ショベルを構成するアタッチメント、上部旋回体などからなるリンク機構システム、アタッチメントを駆動する油圧システム、油圧ポンプ・エンジンからなる動力源システムなどを含む油圧ショベルの全体システムを解析評価できる技術を開発した。この技術を用いて、実機製作より前の設計段階で、机上でシステム全体の性能評価だけでなく、個別部位の詳細な動力損失やその寄与度、システム改良による効果等を検討できる評価システムを作ることにより、開発の効率化を目指した。

また、エンジン燃費性能については、コモンレール制御、ターボ制御、EGR 制御等の複雑な制御が組み込まれており、これらの制御のチューニングにより燃費性能が大きく変化するため、燃費性能評価を高精度に行うためには、これを静的なエンジン燃費性能を用いた簡易解析モデルで評価するには不十分である。そこで、実機のエンジンと上記の解析を組み合わせた HILS システムを開発し、実作業時の燃費性能を高精度に評価することを目指した。

2.2 リンク機構システムと油圧システムの連成解析技術

油圧ショベルの油圧システムとリンクシステムの連成解析を行うため、リンクシステムでは変位、油圧システムでは流量積の状態量を用いることによって、連成するシステムを次式のような MCK 形の非線形運動方程式に記述した。

$$[M_L + M_N] \ddot{u} + [C_L + C_N] \dot{u} + [K_L + K_N] u = f - f_N \quad (1)$$

ここで、 u はリンク機構系では変位、油圧系では流量積の状態量を表すベクトルである。 M_L 、 C_L 、 K_L は各時間ステップで一定の線形部分の質量、減衰、剛性マトリックスであり、 f は外力である。 M_N 、 C_N 、 K_N は動的システムを構成する要素に非線形性がある場合の各時間ステップご

とに変化する非線形の質量、減衰、剛性マトリックスであり、 f_N は非線形性を各時間ステップで線形化することによる補正外力である。式(1)によって記述された解析モデルを数値積分する解析コードは神戸製鋼で独自開発した SINDYS を用いており、SINDYS は陰解法による数値積分を行うことができ、油圧システムのような非線形性の強いシステムでも安定して解析することが可能となる。リンクシステムでは、物体が空間を大きく運動することによる幾何学的非線形性を考慮したはり要素⁴⁾、およびトラス要素を用いた。これらの要素を用いて、油圧ショベルのアタッチメントをモデル化したものを図3に示す。油圧システムは、配管要素、バルブ要素、シリンダ要素⁵⁾などを用いて図4のようにモデル化した。シリンダ要素ではポートからの作動油の流入・流出によってストロークが伸縮し、部材端における負荷に応じてシリンダ内部に圧力が生じる。シリンダ要素では油圧システムの作動油流量積とリンクシステムの節点変位が連成しており、連成解析が可能となる。

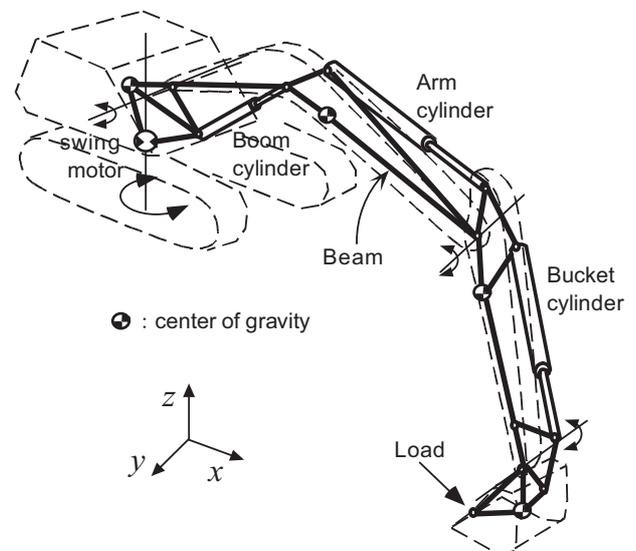


図-3 油圧ショベルアタッチメントのモデル化

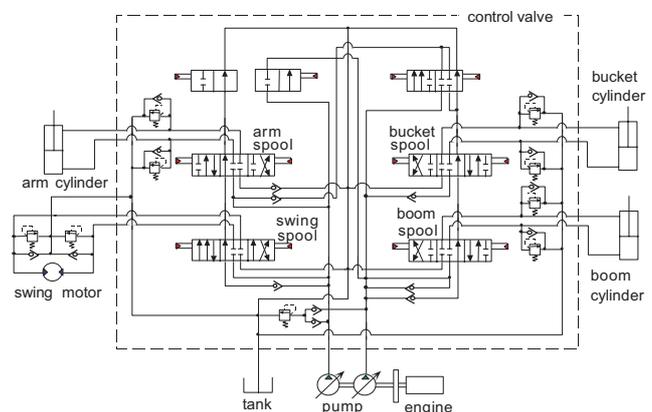


図-4 油圧ショベルの油圧システム

高精度な動力評価のためには、機器の効率特性、油圧システムの配管やバルブ開口や通路の圧損特性、バルブの電気制御特性、掘削時の掘削反力などを精度よくモデル化する必要がある。これらについては、以下のようなモデル化を行った。

(1) 機器効率

油圧モータ等のアクチュエータについては、容積効率、機械効率を各々漏れ流量、損失トルクとしてパラメータ同定した式を用いモデル化する。

(2) 配管圧損特性

直管部、急拡大/急縮小、ベント、エルボなどの形状変化を各配管仕様から抽出し、これらの圧力損失特性を油温も考慮して机上計算してパラメータ化してモデル化する。

(3) バルブ圧損

バルブの各開口の繋がる通路について、バルブ圧損ベンチデータからバルブ開口による損失特性と開口以外の通路損失特性に分けて圧損特性をパラメータ化してモデルに組み込む。

(4) チェック弁、リリーフ弁

チェック弁、リリーフ弁などは流量と圧力の関係が強い非線形性を有するため、断片線形系の非線形な PQ 特性としてモデル化し、逆止弁としての特性とチェック弁開放時のオーバーライド特性をモデル化する。

(5) 電気制御特性

電磁比例弁などの電気制御を用いているバルブのストローク制御については、制御ソフトを SINDYS の解析コードにリンクする形で一体化し、実際の制御ロジック通りに比例弁制御が動作する仕組みを作った。

(6) 掘削時の掘削反力

掘削作業時などのバケットにかかる土からの掘削反力については、バケット掘削面への粘性抵抗としてモデル化し、反力の大きさは、機種ごとに実働データ分析による平均値を用いる。

2.3 エンジン HILS システムによる燃費評価技術

図 5 に、エンジン HILS システムの構成概念図を示す。このシステムは、上記の油圧システムおよびアタッチメントのリンク機構システムから成る解析モデルと実際のエンジン・油圧ポンプを組み合わせた評価システムである。実機のエンジン・油圧ポンプはオペレータのレバー操作などのレバー入力に基づいて実機と同じように油圧ポンプから圧油を吐出する。シミュレータ部ではポンプの吐出流量に基づいて、アクチュエータを駆動する解析を行い作業機の挙動を演算するとともに、ポンプ負荷を演算する。ポンプ出力部の負荷装置は演算されたポンプ負荷を実機に与える仕組みとなっており、実機のエンジン・油圧ポンプと解析モデルが相互にフィードバック制御を行うことによって、実際の挙動を再現することが

できる。エンジンの挙動や燃費は実際のエンジンに取り付けた回転センサや燃費センサにより計測することができる。

HILS システムを用いた評価（以下、HILS 評価）では、解析部分の計算にリアルタイム性が要求されるとともに、ポンプ負荷を与える負荷装置にも高い応答性が要求される。負荷装置には、応答性の速い可変リリーフ弁を利用した負荷装置を用いることにより応答性を確保し、解析計算も、モデル化の工夫による自由度縮小化、式(1)の状態量ベクトルの配列最適化、高速ソルバーの採用などにより、対象機種の評価については十分リアルタイム性を確保することができた。

図 6 にエンジン HILS システムによる燃費評価の例を示す。この評価により、実機を用いずに、実際の作業負荷に相当する負荷をエンジンに与えることができ、エンジンの過渡特性を含めて負荷変動による燃費評価が行える。また、シミュレータ部で解析した作業機の挙動を画面上で確認しながらオペレータによるレバー操作入力を行うことにより、エンジンの応答性を含めてエンジン・ポンプの挙動がアクチュエータの挙動に反映されるので作業のサイクルタイム（土量）評価も高精度に行えることとなる。

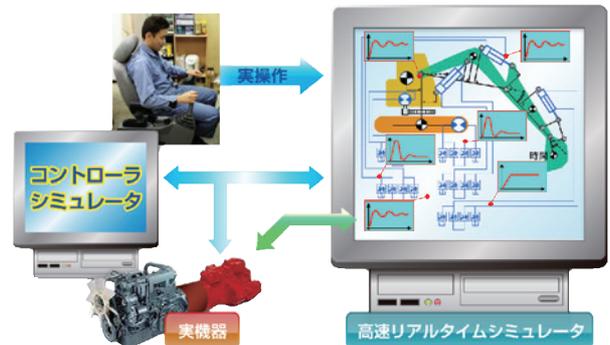


図-5 エンジン HILS システムの構成概念図

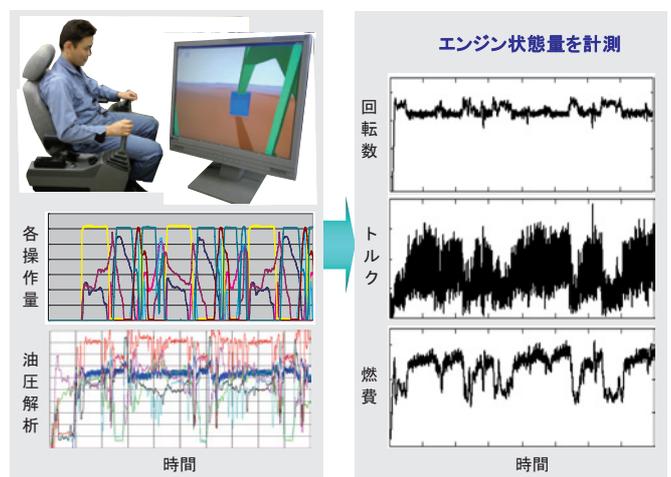


図-6 エンジン HILS システムによる燃費性能評価の例

3. 解析評価システムの精度検証

HILS システムでの燃費評価について精度を確認するため、旧型機での実機評価結果と HILS 評価での性能評価結果を比較する。

図7に油圧ショベルの代表作業である90° 旋回実掘削作業（2 サイクル）での比較を示す。この結果は、精度比較のため、実機評価(Experiment)で測定したオペレータのレバーパターンの波形を、HILS システムの制御入力として与えてその時の応答を実機評価と比較したものである。上段には、アクチュエータ挙動の例としてブームとアームのシリンダストロークを比較しているが、両者は良く一致している。中段は油圧ポンプの圧力お

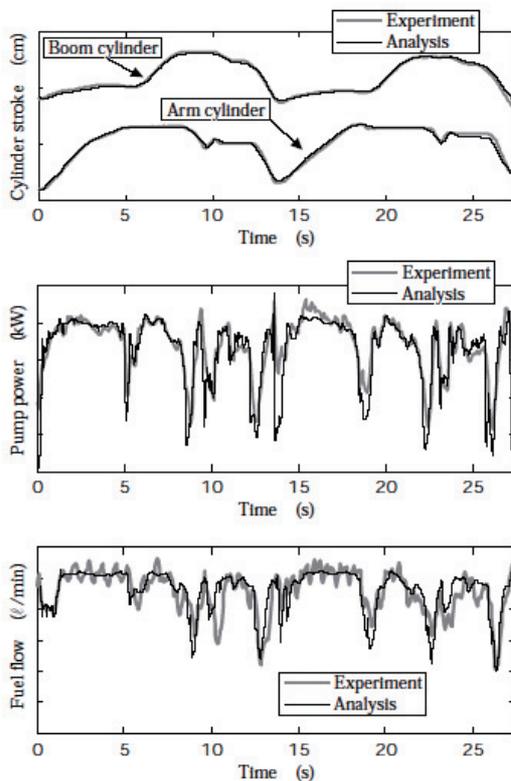


図-7 掘削作業時の実験結果と解析結果の比較

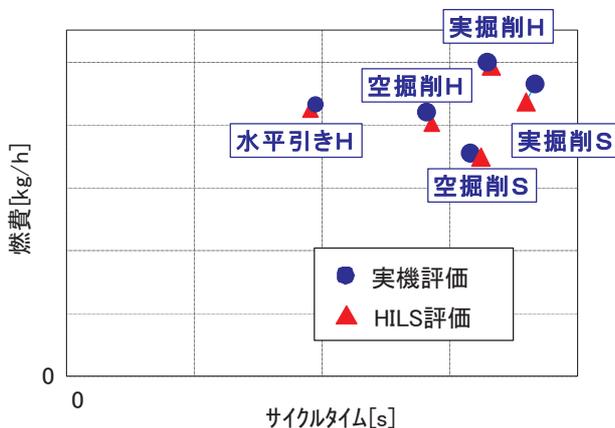


図-8 HILS 評価と実機評価の作業量・燃費比較

よび流量から計算される油圧ポンプ出力動力を比較したものであるが、一部過渡状態での違いが見られるものの負荷変動の状況や負荷の大きさは十分実機の特徴を捉えられており、平均動力としてみれば高精度に実機性能が再現できていることがわかる。燃費評価についても同様に十分な精度を確保しているといえる。

図8は上記の実掘削以外の操作として土を掘削しない空掘削や水平引き操作について操作モードを変えてその精度を比較した結果である。横軸はサイクルタイムで表示しているが、これは土量に対応したものであり、この点の位置が生産性あるいは燃費性能を表している。誤差としては、実掘削Sモードが最も大きいですが、これは土に関わる掘削反力に違いがあるものと推察される。この結果からも、HILS 評価が十分高精度に燃費評価ができていていることがわかる。厳密には評価パターンが異なるが、図中の空掘削や水平引き操作は、JCMAS の燃費評価作業における掘削積込動作およびならし動作の模擬動作に近い動作であり、これらが精度よく再現できていることから考えると JCMAS 評価も HILS 評価で十分評価可能であると考えられる。

4. 損失低減と低燃費化技術

4.1 解析による損失寄与度分析

解析評価の例として、実掘削作業時の解析評価から得られた油圧システム各部の損失の評価結果を図9に示す。最も損失寄与度が大きい要素は制御バルブ開口であり、次いで、バルブ通路圧損、配管圧損、リリース損失がほぼ同程度の寄与度となっている。図10には、さらに部位別にさらに細かく損失寄与度分析をした結果を示している。これらの分析から損失削減対象となる部位を抽出して対策する。損失削減検討としては以下のようなプロセスで検討した。

- (a) 全損失から、作業上必要な損失を抜き出し、残りの損失から削減対象部位を抽出
 - (b) 対象部位の損失発生状況を考慮して、各部位ごとに削減目標を決定
 - (c) 削減目標を達成するための具体的な仕様変更またはバルブおよびポンプの制御方法の検討
 - (d) 解析評価により上記方法の定量的効果を検証
 - (e) 対象作業以外の操作で不具合が生じないことを検証
 - (f) 燃費削減効果に対するコストアップ試算を行い、費用対効果の評価により実機対応を決定
- なお、(c)～(f)については、最適な仕様決定のために、解析にて繰り返し計算を行う。

これとは別に、油圧ポンプやエンジンなどの機器についても損失分析を行っており、これらの機器については、実作業での解析結果から使用領域

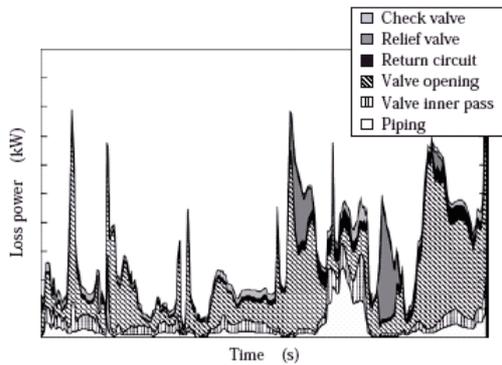


図-9 掘削作業時の油圧動力損失解析結果

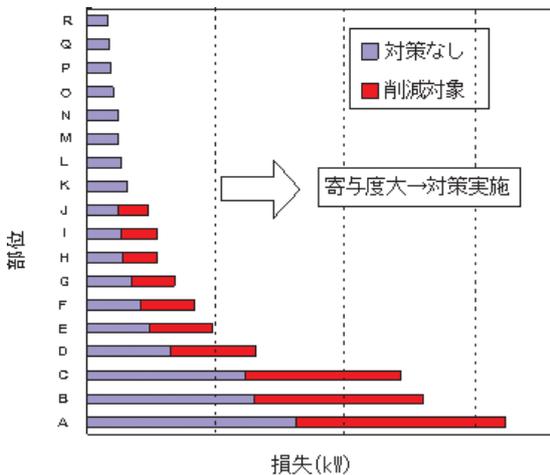


図-10 油圧システム内の損失寄与度解析結果

別に頻度分布を求め、機器単体の効率特性に対し、効率的な使い方になっているかをチェックするとともに、使用頻度が高い領域を重点的に効率改善した。

4.2 低燃費化アイテム

上記の HILS 評価および損失寄与度分析などから、新型機に対する低燃費化アイテムとして以下の項目等を抽出し、改善を行った。

(1) バルブ通路損失低減

バルブ通路の損失は、内部通路の大きさに依存するが、全体を拡大させるとバルブ本体が大きくなりすぎて搭載が困難となる。損失寄与度分析から最も効果的な通路（特に大流量部位）を抽出し、CFD 解析を活用して対象部位に対する最適化を図った。また、リターン回路については、アクチュエータによりリターン流路を変えるなどの損失低減対策を行った。

(2) 配管圧損低減

配管については、損失寄与度分析やコストアップ試算などから効果的な配管を抽出し、特に寄与度の大きい配管については、配管サイズアップを実施した。また、配管経路各部の詳細な圧損評価計算を行い、特に配管接続部や分岐・合流接続部の形状見直しを行い、圧損低減を図った。

(3) 油圧制御損失低減

掘削操作等の制御バルブでの開口制御による油圧損失の全損失に占める割合は非常に大きい。ただし、制動動力に関わる損失や複合操作上必要な開口の絞り制御は残さなければならないので、損失寄与度分析結果をさらに必要損失と不要損失に分類し、不要損失の寄与度の大きい部位やそれに関わる制御の見直しを行った。

主な改善点としては、旋回急操作時に発生するリリーフ損失を低減するポンプ吐出流量のリリーフカット制御や、ポンプ合流制御時の合流油圧回路やその時のポンプ流量制御の最適化による損失低減などのシステム改良などである。また、各バルブの M/I, M/O 開口についても、複合操作の制御性を損なわない範囲で、絞りすぎの開口を最適化して損失低減を図った。

(4) エンジン・ポンプでの燃費改善

エンジン・ポンプの効率は燃費に直結している要素であり、この部分の改善効果の寄与度は大きい。今回の開発では、油圧システムでの損失低減の効果を動力源の効率改善に最大限に生かすために、油圧システムの改善幅に合わせて油圧吸収馬力の見直しを行うとともに、エンジン回転数の制御領域を HILS 評価を活用しながら最適化させた。エンジン回転数については、アイソクロナス制御をするとともに、従来よりも使用回転数を下げた設定にし、さらに油圧ショベルの負荷特性に合わせてエンジン燃費特性をチューニングすることで高出力域での燃費を大幅に改善することができた。

5. JCMAS 基準燃費評価結果

油圧ショベルの燃費評価方法としては、日本建設機械化協会の規格として 2007 年に制定された JCMAS⁶⁾ 規格がある。コベルコ建機では、これまで燃費評価の社内基準として、90° 旋回実掘削作業を対象に評価してきたが、統一規格ができたことで改めて旧型機も含めて JCMAS 規格での燃費性能評価を行い、性能を検証した。

JCMAS 規格は、掘削積込動作、ならし動作、走行、アイドルの 4 つの試験に重み付けを行い、標準動作あたりの燃料消費量を指標として評価するものであるが、アイドルや走行などの定常動作ではなく、最も評価が予測しにくい掘削積込動作について、実機評価と HILS 評価にて比較検証を行った。

表 1 に、20t 機 (SK200) を対象とした JCMAS 規格での掘削積込作業動作における実機評価と HILS 評価の結果を示す。サイクルタイム、燃費および燃料消費量評価値のどの値も誤差が 3% 以内の評価結果となっており、実機評価や HILS 評価内での個々のばらつきも考えると平均値とし

ては、十分高精度な評価が行えていることがわかる。JCMAS 規格では、掘削積込評価の重みが 50% と最も高い操作であり、設計・開発段階での HILS システムを含む燃費評価が有効であることが確認できた。

表 2 には、20t 機における JCMAS 規格での最終燃費評価結果と新型機の旧型機に対する燃費削減効果を示す。また、参考として、これまでの社内基準の評価（実掘削）での旧型機に対する燃費削減効果の結果も示す。JCMAS 規格での燃費削減効果は、社内基準での効果に対し、3 ポイントほど小さい効果となる結果となっているが、どちらの評価もほぼ傾向は一致しており、どちらの評価でも性能比較をする上では同様な結果が得られることが確認できた。

なお、旧型機（SK200-6）での作業モードは基本的に 1 種類の単一モードであるが、新型機（SK200-8）は、作業モードとして、HモードとSモードの 2 種類のモード設定をしているため、各モードの評価を併記している。新型機の S モードは、旧型機の作業性能を落とさずに、燃費低減を図ったモードであり、表 2 の掘削積込動作のサイクルタイムでわかるとおり、新型機の S モードでも旧型機に対して同等以上の作業性能を確保していることを確認している。

表-1 JCMAS 規格・掘削積込み動作に対する HILS 評価の精度検証（対象機 SK200-8 H モード）

	サイクルタイム [s]	燃料消費量 [kg/h]	燃料消費量 評価値 $F_1 \cdot Ms \cdot \alpha$ ※1) [kg]
実機評価	14.3	15.3	7.34
HILS評価	14.5	15.5	7.55
誤差	1.9%	1.0%	2.9%

※1)JCMAS規格燃料消費量評価値の計算式における掘削・積込み動作試験に対する燃料消費量評価値

表-2 20t 機（SK200）の JCMAS 最終評価結果と燃費低減効果

	JCMAS評価			社内基準 評価※2)
	燃料消費量※1) 評価値 [kg/標準動作]	効果 [%]	掘削積込動作 サイクルタイム [s] ※3)	効果(参考) [%]
SK200-6(旧型機)	13.5	--	15.5	--
SK200-8(新型機) Hモード	12.8	5%	14.3	8%
SK200-8(新型機) Sモード	11.2	17%	14.9	20%

※1)JCMAS規格の掘削積込み、ならし、走行、アイドルングの結果を含む最終評価値

※2)社内基準効果は90° 旋回実掘削作業で評価

※3)作業性能を比較する目安の参考値として示した。

6. まとめ

コベルコ建機では、2006 年の 3 次排ガス規制にあわせた中大型機のモデルチェンジ開発において、昨今の社会的ニーズである CO₂ 削減に応えるべく 20%の燃費低減を目標に低燃費性能開発を行った。この開発では、設計段階での燃費性能予測技術として、実機のエンジン・ポンプと解析評価を組み合わせた HILS 解析システムを開発し、これを開発プロセスに組み入れることにより、効率的な開発環境を実現した。

- (1)今回開発した HILS システムを含む燃費解析評価手法の精度検証を行った結果、油圧ショベルの代表作業である実掘削作業において、ほぼ実機評価での性能を評価できるに十分な精度の評価が行えることが検証できた。
- (2)JCMAS 規格による燃費評価の掘削積込み動作においても HILS 評価での燃費評価が高精度に評価できることが検証できた。
- (3)これまでの社内基準の評価と JCMAS 規格の評価の結果は、性能差に一定の違いはあるものの、評価としては、どちらの評価でも同様の結果が得られることが検証できた。

参考文献

- 1)藤川猛・ほか 2 名, 神戸製鋼技報, 34-3(1984), 109-110.
- 2)E. Imanishi et al., Proc. Adv. Mechatro. (1989), 365.
- 3)今西悦二郎・ほか 5 名, 神戸製鋼技報, 48-2(1998), 14.
- 4)頭井洋・ほか 3 名, 機論, 52-483(昭 61), 2814.
- 5)今西悦二郎・ほか 4 名, 機論, 53-492(昭 62), 1171.
- 6)社団法人日本建設機械化協会規格 JCMAS H 020:2007 土工機械—油圧ショベルの燃料消費量— 試験方法

1 4. 環境に配慮した固化材散布機の開発

(株)NIPPO 技術開発部 ○ 相田 尚
同上 片岡 直之
(株)範多機械 技術部 野田 正治

1. はじめに

路床・路盤改良工事では、現場状況に応じた施工方法や固化材が選定されている。そのうち固化材を対象土表面に散布する方法としては、より効率的に工事を進めるために、固化材散布機の積極的な採用が増えてきている。

一方、固化材の使用に起因する粉塵は周辺環境、作業環境への影響だけでなく、施工機械の腐食や故障の要因にもつながり、作業性・安全性の低下を招きかねない。

今回、上記現状を踏まえ、環境に配慮した固化材散布機の開発を行い実用化したので報告する。

2. 従来機の問題点

固化材散布機は、自走式のスタビライザにより現位置混合を行う場合に、あらかじめ対象土表面に固化材を均一に散布しておくために用いられる。

現在、わが国において使用されている固化材散布機の多くはクローラトラクタに架装され、ベルトコンベヤあるいはスクリュウコンベヤによる容積計量排出が殆どであり、問題点としては以下のようなことが挙げられる。

2.1 固化材の飛散

固化材散布機の作業工程は、①固化材ローリ（以下、ローリ）から固化材を補充→②現場へ移動→③対象土表面へ散布→④ローリ補充地点へ移動→①の繰り返しとなる。そして、1日の作業の終わりには⑤機械の清掃を行う。

従来機ではこの全ての工程の中で、固化材の飛散が起り得る。

(1) ローリからの補充時

ローリから固化材を排出する機構は、殆どが空気圧送式でエアスライドタンクあるいはエアレーションブロウタンクが採用されている。一方、散布機の貯蔵タンクが元々それほど気密性が高くないことに加え、雨水の侵入や固化材による腐食に

より徐々に隙間は大きくなる。そのためローリからの圧送圧力が高いと、散布機側の隙間から大量の固化材が空気と共に大気中へ放出されることとなる（写真-1）。

発塵を抑制するためには、ローリ側では排出圧をできるだけ低くして、時間を掛けて補充せざるを得ない。



写真-1 ローリから供給時の発塵状況

(2) 対象土表面へ散布時

固化材を対象土表面へ散布するとき、その落下時の衝撃により固化材が空気中へ飛散する。これは、コンベヤの排出口が高かったり、吸引する回収機能が十分でないことから発生している。

(3) 現場内の移動時

現場内を移動するとき、クローラが散布済箇所を通過したり、際ぎりぎりを走行すると安定材を巻き上げて粉塵が発生する。

(4) 機械の清掃時

最も発塵が多いのが作業終了時に機械を清掃するときである。作業中に機体に堆積した固化材をコンプレッサの圧縮空気で直接吹き付けたりするためであるが、湿気や雨水により固化して次回の作業開始時に動作不良を起こさないためには必要な作業である。

2-2 安全性

固化材散布機はその使用する現場環境も相まって、汚れやすく非常に視界が悪く、移動時には後進も伴い、安全面で危惧するところは大きい。

2-3 残量管理

定置式タンクと違い現場内を走行しながら作業する機械である上、固結しやすい材料を扱うことから、タンク内残量を検知するためのセンサは故障が多く、正確な残量を把握できないことが多い。

3. 開発コンセプト

前述の問題点を解決するため、開発機では次の3点を開発コンセプトとした。

- ①発塵の抑制
- ②安全性向上
- ③残量の把握

4. 固化材散布機の開発

4-1 発塵抑制

発塵抑制を考慮するにあたり、作業状況に応じた対策を講じた。

(1) 材料補充時、散布時の発塵抑制

①密閉タンクの採用

ローリから材料を補充する際の発塵の原因は、散布機側のタンクの隙間が殆どである。従来の散布機では、タンクからの排出はベルトコンベヤやスクリュウコンベヤによるものが多い(図-1)。これは、タンクからの排出機構と定量散布機構とが併用されているからである。

開発機では発塵の抑制とメンテナンス性の向上を考え、密閉タンクとエアスライドコンベヤによる排出方法を採用した。

エアスライド式は、タンク底部が通気性のあるキャンバスで仕切られ、ブロワにより送り込まれた空気と粉体が混合されることで摩擦抵抗が小さくなるため、タンクにわずかな傾斜角を与えるだけで排出が可能となる(図-2)。これにより固化材の露出を全く無くすることができ、補充時の発塵が無くなった。

②ロータリーフィーダの採用

エアスライド式のタンク排出にした場合、それとは別に一定量を地表面に散布する機構が必要となる。そこで、容積計量装置として一般的なロータリーフィーダを採用した。ロータリーフィーダはケーシングとの隙間があると流動的な材料は漏れだしたり、ロータ内に付着したりするといった問題点があるが、ロータ先端部にゴム板を付け隙間を常にゼロに保つこと、また粉体が付着しにく

い塗料をケーシングとロータに塗布することで解決できた(写真-2)。

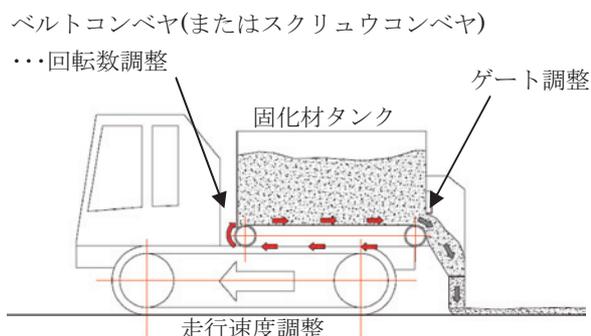


図-1 従来型の排出散布機構

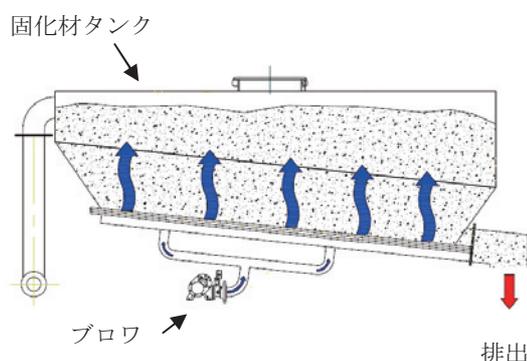


図-2 開発機の排出機構

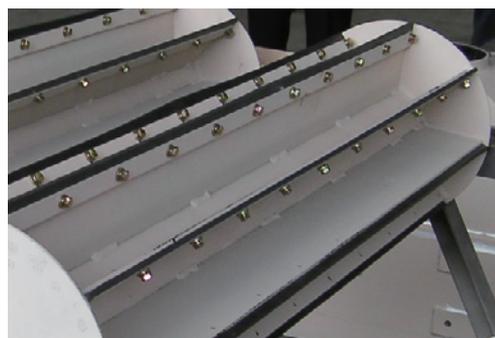


写真-2 ロータリーフィーダ

③車載型固化材回収機の開発

散布時に発生する粉塵は、固化材が対象土表面に落下したときに発生する。このため、ロータリーフィーダの後部に吸引室を設け、散布直後の発塵をそこから回収機で吸引する機構とした。フィルタに回収した固化材は、圧縮空気により払い落とされ、また対象土表面に排出される。

回収機は散布機全体の中に収まるように出来るだけコンパクトで且つ回収性能も強力なものにした。また、ローリからの補充時および散布時のタンク内のエア抜きとして利用するため、回収機の吸込み口を固化材タンク上部にも設けた。回収機構を図-3に、諸元を表-1に示す。

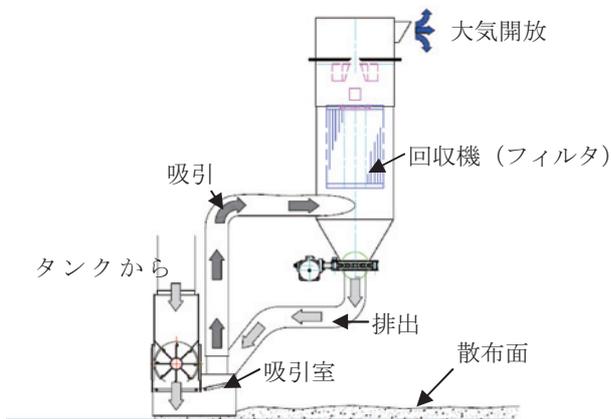


図-3 散布時発塵回収機構

表-1 車載型固化材回収機主要諸元

処理風量	12m ³ /min
フィルタ面積	12m ³
フィルタ素材	テフロン
フィルタ再生	パルスジェット逆洗

(2)移動時の発塵抑制

機械の輸送を考えた場合、殆どが車体幅以上の散布幅を得ることは出来ない。そのため、散布した場所に隣接して散布するような場合に散布済みの固化材の際を走行するために発塵することが多い。

散布装置の左右スライド化なども含め検討したが、構造上よりシンプルな上部旋回機構を採用した。散布幅が履帯外となるように若干上部を旋回させて散布することで、散布済固化材上を走行することなく隣接した散布が可能となった(図-4)。

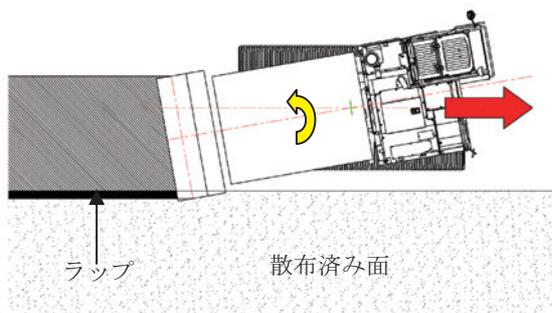


図-4 連続施工時の散布方法

(3)清掃時の発塵抑制

上記(1), (2)の方策を盛り込むことにより、作業終了時の清掃箇所が大幅減少し、結果的に発塵を抑えることに繋がった。

特に、密閉タンクの効果により材料を積み置きすることが可能となったため、タンク内の清掃が不要となったことが大きい。

4-2 安全性向上

一般的に固化材散布機が使われる改良工事での固化材添加量は 10~100kg/m² 程度である。1 日の施工量によっては、約 100t から 150t の固化材を散布する必要がある。散布機のタンク容量は最大 6t となったため、ローリからの補充作業を 1 日約 25 回行うことになる。そのため現場内での移動が多く、特に視界が悪くなりがちな散布機の走行は危険を伴うケースが多かった。

今回上部旋回機構としたことにより、後進作業を殆ど無くすることができ、安全面は格段と向上した。旋回状況を写真-3 に示す。



写真-3 旋回状況

4-3 残量の管理

固化材の残量の管理は、タンク補充時のオーバーフロー、施工時の散布量の把握をする上で重要な要素である。しかし、タンク内の粉塵、湿気による検知部への固化材付着と固結、走行による振動といった悪条件で使用することから、耐久性に問題があり、数年で使用できないといったケースが少なくない。

そこでこうした環境でも影響を受けにくいレーダーレベル計を採用した(写真-4)。レーダーレベル計は、測定対象面に向けてマイクロ波パルスを送信し、そのマイクロ波が戻って来るまでの往復時間を測定し、距離を求める方式である。従来のコンベア式によるタンク排出では、出口側に圧密が加わりタンク内の材料高さが均一にならないが、エアースライド式のタンクでは、およそ均等な減り方であるため、一個のレベラで1タンクの残量が把握できる。操作席ではLEDインジケータにより残量が常時把握でき、補充時はタンク内が満タンになった時に、警告の回転灯を連動させてオーバーフローを防ぐことができる。



写真-4 タンク内に設置されたレーダーレベル計

以上の要素を取り入れた開発機の主要諸元を表-2に、全体外観を写真-5示す。

表-2 開発機の主要諸元

質量	15,300kg
散布速度	10～100m/min
接地圧	39kPa(載荷時)
散布幅	2,400mm(1,200mm)※選択式
全長	6,750mm
全幅	2,570mm
全高	2,910mm
履帯幅	700mm



写真-5 開発機外観

5. 現場供用試験

実用化に向けて、約 10,000m²の現場で供用試験を行った。

(1) 発塵抑制効果

旧型機との併用で発塵抑制効果を検証した。固化材の補充時、散布時とも良好な結果であった。写真-6は、従来機と開発機の散布時の比較写真である。

また、固化材の回収量を測定した結果、12t 積載ローリ 1 台あたりおよそ 8kg (0.07%) であった。写真-7は、散布時に回収機を使用した時と使用しない時の違いを比較したもので、回収効果は明らかである。

(2) 施工能力

当該機の散布機構はロータリーフィーダ方式、即ち容積式計量であるため、材料の比重によって吐出量は違ってくる。今回供用試験をした結果、セメント系固化材の散布では、10m/min～100m/minの施工速度範囲で、10kg/m²～100kg/m²の安定した散布が可能であった。5mm アンダーの生石灰も問題なく積込み、散布が可能で、比重が小さいおおよそ 5kg/m²～50kg/m²の散布能力となる。

(3) 散布精度

エアスライドコンベアとロータリーフィーダの組合せによる散布では、タンク内の貯蔵時間等による比重の違いが生じず、常に一定の比重で散布できる。

また、散布量はロータリーフィーダの回転数を変えずに車速を変えることで調整する。操作盤では設計散布量を入力すると目標の車速が表示され、オペレータは車速を合わせるだけで良い。

これらの結果、従来機よりも簡単に、且つ精度の高い散布量が実現できた。

6. おわりに

環境問題への関心は年々高まりつつある。その一方では建設コスト縮減の影響で施工の合理化、高効率化等によるコストダウンも求められている。開発した固化材散布機は、環境改善に重点をおいた結果、省メンテナンス化が図られ、長寿命化も期待できる。即ち、中長期的に見ればコストダウンに繋がることになる。今後もより多くの現場に対応できるよう、改良改善を進めていきたい。



写真-6 従来機 (上) と開発機 (下) の散布状況



写真-7 回収なし (左) と回収あり (右) の発塵状況の違い

15. 外部コスト換算比較による建設機械排出ガス削減効果の評価

(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 ○ 稲葉 友喜人
 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 西ノ原 真志
 (社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 佐藤 充弘

1. はじめに

日本における建設機械の排出ガス対策は、1992年の建設省排出ガス対策型建設機械指定制度（以下、「指定制度」という。）に始まり、現在は法律による特定特殊自動車の排出ガス規制を中心に進められている。一方、建設機械のこれまでの地球温暖化対策は、燃料費の縮減を目的とした製造業者の自主的な燃費低減による二酸化炭素（以下、「CO₂」とする。）の削減が主体となっている。

今後、排出ガス対策だけでなく地球温暖化対策を目的とした燃費低減の必要性が高まるものと推察されるが、両者は相反する関係にあることから、対策の推進は適正に進める必要がある。

そこで、建設機械の排出ガス対策及びCO₂対策を適正に進めるための一資料とするため、これまでの対策による両者の削減効果及び両者の現況排出量について外部コストでの比較評価を行った。

本稿は、「建設機械における排出ガス及び温室効果ガス対策に関する調査検討業務」（発注者：国土交通省 総合政策局，受注者：(社)日本建設機械化協会）によるものであり、ここでの排出ガス対策次数は指定制度初回基準値を1次としている。

2. 排出ガス及びCO₂排出量の試算方法

建設機械全体の排出ガス及びCO₂排出量は、試算区分（1機種又は1機種を細分した区分。）毎に単年度排出量を計算して合計した。

$$A=B \times C \times D \times E \times F \times G \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 A：1 試算区分の単年度排出量

B：保有台数

C：年間運転時間

D：平均的な稼働率

E：代表規格の定格出力

F：負荷率

G：排出ガス原単位 G_{GAS} 又は CO₂ 原単位 G_{CO2}

(1)式の B~F について以下に記述し、G については3章、4章に記述する。

2.1 試算建設機械

表-1 に試算建設機械と試算区分数を示す。

試算建設機械は、「建設機械動向調査報告（経済産業省・国土交通省）」（以下、「動向調査」という。）に揚げられた機種の内、次の条件に該当する機種とした。

- ・ディーゼル8モード排出ガス測定方法の範疇にある機種
- ・台数の極めて少ない機種（累計販売台数が全体の0.1%未満）以外

また、試算精度の向上を図るため、寄与率の高い油圧ショベルについては、動向調査の規格区分を更に細分した。

2.2 保有台数

保有台数は、動向調査の保有台数を用いた。動向調査に販売台数しか記載のない機種は、保有台数が記載されている主要建設機械の保有台数と販売台数の関係から当該機種の保有台数を推定した。図-1 に推定した保有台数を示す。

表-1 試算建設機械

No.	機 種	[形式区分等]	試算区分数
1	ブルドーザ	[クローラ型]	3
2	小型油圧ショベル	[ハッドが1ト除く]	3
3	油圧ショベル		5
4	クローラローダ		3
5	ホイールローダ		3
6	クローラクレーン	[掘削機含む]	3
7	トラッククレーン	[作業用エンジン]	1
8	ラフテレーンクレーン		1
9	建設専用ダンプトラック		1
10	不整地運搬車	[1t積以上]	1
11	アースオーガ		1
12	クローラドリル		1
13	モータグレーダ	[除雪含む]	1
14	アスファルトフィニッシャ		1
15	ロードローラ	[マカダム、クマダム]	1
16	タイヤローラ		1
17	振動ローラ	[クマダム、コンパインド]	1
18	空気圧縮機	[可搬式15kW以上]	1
19	発動発電機	[可搬式15kW以上]	1
20	ロータリー除雪車	[搭乗式]	1
21	路面清掃車	[搭乗式]	1
22	高所作業車	[トラック架装外]	1

(1) 販売台数と保有台数の考え方

保有台数の推定においては、販売台数と保有台数の関係として次のことが成り立つものとした。

$$\left[\begin{array}{c} \text{その年の} \\ \text{保有台数} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{その年の販売台数を含} \\ \text{め「保有年数」分遡っ} \\ \text{て積み上げた台数} \end{array} \right]$$

(2) 2006年度以降の台数

排出量の試算は、1990年度以降の評価を目的にして2007年度まで行った。2006年度以降は動向調査公表前となるので、次のとおりとした。

- ・(社)日本建設機械工業会が販売台数を公表している機種は、その販売台数を用いた。
- ・上記以外の機種は、それまでの販売台数の傾向を基に推定した。

2.3 年間運転時間

年間運転時間は、「建設機械等損料表(日本建設機械化協会)」(以下、「損料表」という。)の「標準年間運転時間」を適用した。毎年更新される損料表は、年間運転時間の実態調査から掲載までの期間を2.5年(見直し時の変化を吸収するために0.5年追加。)と見込み適用した。

2.4 平均的な稼働率

本稿でいう「平均的な稼働率」及び後述の「対策毎の稼働率」とは、前述の年間運転時間を適用する保有台数の割合(あるいは年間運転時間への乗率)を意味するもので、実質的な稼働に見合った仕事量を求めるためのものである。

平均的な稼働率は、保有台数を「高稼働機械」と「それ以外の機械」に分け、(2)式を用いて設定した。図-2に高稼働機械のイメージを示す。

$$D = \alpha \times 1 + (1 - \alpha) \beta \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 α : 高稼働機械の比率

$$\alpha = Nh / B$$

Nh : 高稼働機械の台数

$$Nh = 0.26Ic$$

Ic : 建設投資(1990年換算億円)

B : 保有台数

$$\beta : \text{高稼働機械以外の平均稼働率} \\ 0.38675$$

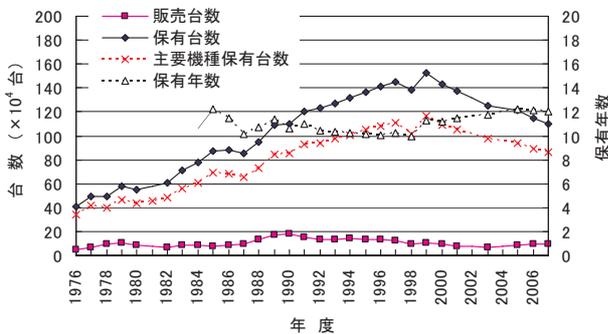


図-1 建設機械保有台数

(2)式における「高稼働機械の台数 Nh 」の算出式は、図-3の建設投資と販売台数の関係(図中の回帰式の傾き)から設定したもので、建設投資に直結して変動する台数を高稼働機械と見なしたものである。図-4に計算した平均的な稼働率を示す。「高稼働機械以外の平均稼働率 β 」については、3章に記述する。

2.5 代表規格の定格出力

機種あるいは細分した規格範囲を代表する規格は、販売台数の少ない機種を除き指定型式毎の報告販売台数整理結果に基づき設定した。

代表規格の定格出力は、損料表の「定格出力」を適用した。適用に際しては、前の年間運転時間と同様2.5年の掲載遅れを見込んだ。

2.6 負荷率

定格出力を作業時平均出力に換算するための負荷率は、「国土交通省土木工事積算基準」(以下、「積算基準」という。)の「原動機燃料消費量」に示す定格出力当たり燃料消費量と表-2に示す8モード燃料消費率を元に(3)式により設定し、得られた負荷率を全ての年に適用した。

なお、8モード燃料消費率は、8モード排出ガス測定で得られる燃料消費率であり、排出ガス測定と同じように8測定点で測定され重み付けされた燃料消費率であって、建設機械の代表的な負荷状態が反映されている。

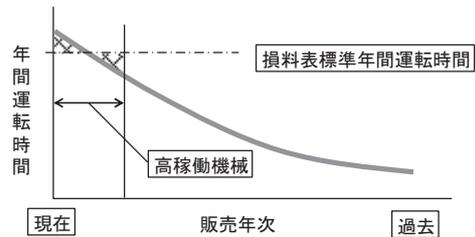


図-2 高稼働機械のイメージ

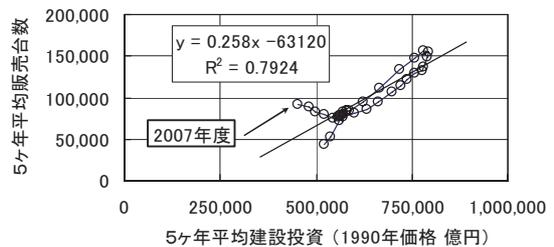


図-3 建設投資と販売台数の関係

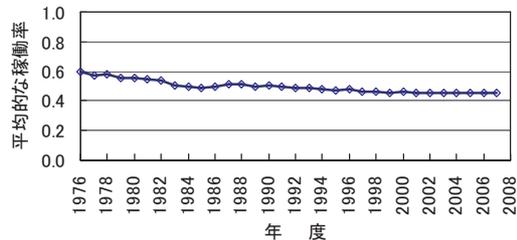


図-4 仕事量算出に用いる平均的な稼働率

算出した負荷率を表-3に示す。

$$k = (Br/Lc) \cdot \rho / b \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 k ：負荷率

Br ：積算基準の定格出力当たり燃料消費量 (l/kWh)

Lc ：積算基準に含まれる油脂類の経費を除くための定数 1.2

ρ ：燃料密度 830g/l

b ：8モード燃料消費率 (g/kWh)

(1) 定格出力当たり燃料消費量について

積算基準における定格出力当たり燃料消費量の最終見直しは、平成15年(2003年)度版となっており、(3)式に用いる定格出力当たり燃料消費量は平成15年度版の値とした。

(2) 8モード燃料消費率について

負荷率の設定に用いた8モード燃料消費率は、1999年度までに販売された53万台の1次基準指定機械搭載エンジン集計値と、2002年12月指定までに販売された2次基準指定機械929型式搭載エンジン集計値の平均値である。1次対策と2次対策の8モード燃料消費率に大差がないことから、前記(1)の積算基準見直し年との整合性(1次対策と2次対策の寄与率)は考慮していない。

3. 排出ガス原単位

試算年度の排出ガス原単位は、対策次数毎の排出ガス原単位にその年の対策次数毎の寄与率を乗じて合計することで求めた。

表-2 負荷率の設定に用いる8モード燃料消費率

定格出力 (kW)	8モード燃料消費率 b (g/kWh)
15未満	293
15～30未満	270
30～60未満	244
60～120未満	241
120以上	233

表-3 建設機械の負荷率

No.	機種	負荷率	備考(積算基準の機種等)
1	ブルドーザ	50%～52%	
2	小型油圧ショベル	41%～45%	
3	油圧ショベル	50%～52%	
4	クローラローダ	45%～52%	
5	ホイールローダ	39%～45%	
6	クローラクレーン	26%	
7	トラッククレーン	13%	
8	ラフテレーンクレーン	31%	
9	建設専用ダンプトラック	25%	
10	不整地運搬車	45%	
11	アースオーガ	24%	クローラ式アースオーガを適用
12	クローラドリル	43%	ボーリングマシンを適用
13	モータグレーダ	32%	
14	アスファルトフィニッシャ	43%	加熱用燃料は含まない
15	ロードローラ	31%	
16	タイヤローラ	29%	
17	振動ローラ	39%	
18	空気圧縮機	54%	
19	発動発電機	49%	
20	ロータリー除雪車	41%	
21	路面清掃車	19%	
22	高所作業車	10%	リフト車を適用

$$G_{GAS} = \sum (G_{GASi} \cdot Wfi) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 G_{GAS} ：試算年度の排出ガス原単位

G_{GASi} ：対策次数*i*の排出ガス原単位

Wfi ：対策次数*i*の寄与率

3.1 対策次数毎の排出ガス原単位

試算に用いた対策次数毎の窒素酸化物(以下、「NOx」とする。)原単位と粒子状物質(以下、「PM」とする。)原単位を表-4、表-5に示す。

2次対策以前の原単位は、次の資料による。

- ・未対策 NOx：指定制度発足時調査結果
- ・未対策 PM：土木研究所資料第3742号(平成12年10月)
- ・1次対策：1999年度までに販売された53万台の1次基準指定機械搭載エンジン集計値
- ・2次対策：2002年12月指定までに販売された2次基準指定機械929型式搭載エンジン集計値

3次対策の原単位は、最小出力帯を除き2次対策における30kW以上の原単位と基準値の比率を用いて推定した。2次対策における30kW未満は、排出ガス値に余裕があることから、3次対策の原単位設定に用いなかった。

表-4 2次対策以前の排出ガス原単位

定格出力 (kW)	NOx (g/kWh)			PM (g/kWh)		
	未対策	1次	2次	未対策	1次	2次
15未満	5.9	5.28	5.31	0.53	0.53	0.355
15～30未満	8.9	6.77	5.76	0.59	0.54	0.423
30～60未満	13.6	7.67	6.13	0.63	0.50	0.272
60～120未満	12.6	8.33	5.43	0.45	0.34	0.218
120以上	10.8	8.37	5.28	0.41	0.31	0.149

表-5 3次対策型の排出ガス原単位

定格出力 (kW)	2次対策NOx (g/kWh)			3次対策NOx (g/kWh)		
	原単位	基準値	A/B	基準出力 (kW)	基準値	原単位
15未満	5.31	9.0	0.59	8～19未満	6.4*1	5.31*2
15～30未満	5.76	8.0	0.72	19～37未満	6.0	5.34
30～60未満	6.13	7.0	0.88	37～56未満	4.0	3.56
60～120未満	5.43	6.0	0.91	56～75未満	4.0	平均
				75～130未満	3.6	3.48
120以上	5.28	6.0	0.88	130～560未満	3.6	3.20

*1 基準値HC+NOx 7.5をその上の出力帯のHCとNOx基準値の比で配分した値。
*2 係数0.89の場合に2次原単位を上まわるため、2次原単位を適用した。

定格出力 (kW)	2次対策PM (g/kWh)			3次対策PM (g/kWh)		
	原単位	対応基準	A/B	基準出力 (kW)	基準値	原単位
15未満	0.36	0.8	0.44	8～19未満	0.8	0.355*1
15～30未満	0.42	0.8	0.53	19～37未満	0.4	0.288
30～60未満	0.27	0.4	0.68	37～56未満	0.3	0.216
60～120未満	0.22	0.3	0.73	56～75未満	0.25	平均
				75～130未満	0.2	0.162
120以上	0.15	0.2	0.75	130～560未満	0.17	0.122

*1 基準値が見直されていないので2次と同じとした。

3.2 対策次数毎の寄与率

排出ガス量の試算における対策次数毎の寄与率は、試算区分に関わらず建設機械全体の対策次数毎の普及率、対策次数毎の稼働率及び2.4の平均的な稼働率 D を用いて(5)式で計算した。

$$Wf_i = S_i \times D_i / D \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 S_i : 対策次数 i の普及率
 D_i : 対策次数 i の稼働率

図-5 に対策次数毎の寄与率を示す。寄与率は、新しい機械の稼働率が高いため図-6 の普及率図と比較してピークが左側にシフトしていることが分かる。

(1) 対策次数毎の普及率

普及率（あるいは販売率）は、全ての保有台数（あるいは販売台数）に対する当該対策次数の台数比率である。図-6 に対策次数毎の普及率を示す。

2005年度までの対策次数毎の保有台数は、前述した「2.2(1)販売台数と保有台数の関係」を用いて国土交通省に報告された指定型式毎の販売台数から推定し、それ以降2ヶ年の対策次数毎の保有台数は、2次対策型販売率の傾向から3次対策型販売率を設定して推定した値である。

(2) 対策次数毎の稼働率

機械の稼働率は、一様ではなく機械の古さの程度、すなわち対策次数が低い程低くなるものと考えられるところから、これまでの調査資料を元に現場で稼働する機械のアワメータ（年式の代わり）の分布を解析した。

675台（油圧ショベル429台、その他246台）の

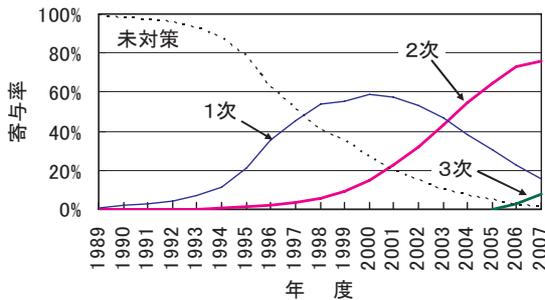


図-5 対策次数毎の寄与率

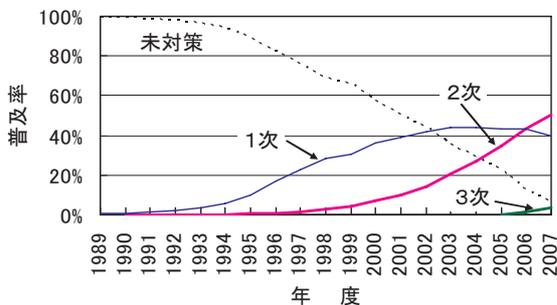


図-6 対策次数毎の普及率

アワメータの分布を解析した結果、図-7a)に示すとおりアワメータと稼働頻度（稼働台数）の間に高い相関があることが分かった。

対策毎の稼働率の設定に用いる機械年式と稼働率の関係式は、複数の回帰式の中で最も相関が高かった二次式を採用した。

対策毎の稼働率の設定に用いる関係式は、図-7b)に示すように、アワメータ軸と稼働頻度軸を指数化したときの線形式とし、図-8に示す方法で高稼働機械以外の稼働率を設定した。

対策次数毎の稼働率は、高稼働機械と高稼働機械以外の台数加重平均とした。

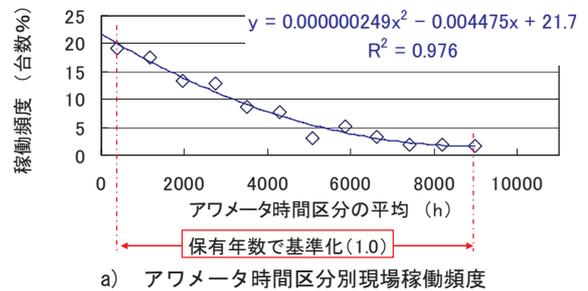
$$D_i = (T_{ia} \cdot 1 + T_{ib} \cdot \beta_i) / T_i \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 T_{ia} : 対策次数 i の台数比率の内、高稼働機械分

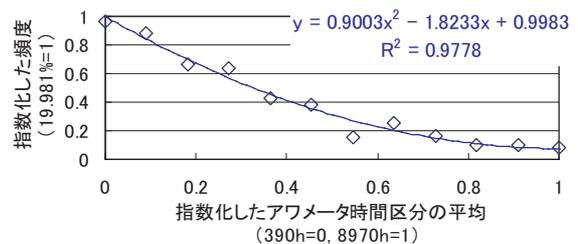
T_{ib} : 対策次数 i の台数比率の内、高稼働機械以外の分

β_i : 対策次数 i の高稼働機械以外の稼働率

T_i : 対策次数 i の台数比率



a) アワメータ時間区分別現場稼働頻度



b) 指数化したときの回帰式

図-7 現場稼働機械のアワメータ分布

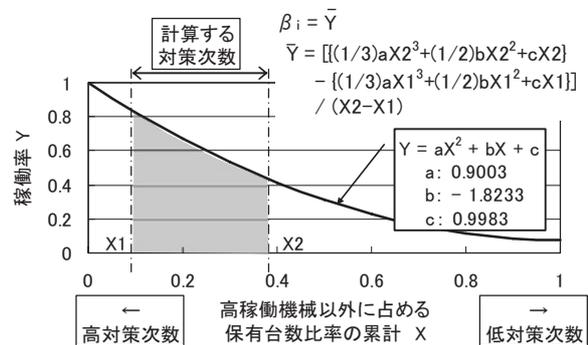


図-8 高稼働機械以外の稼働率計算方法

4. CO₂原単位

CO₂原単位は、表-2の8モード燃料消費率、以下に記述する燃費変化率、及び軽油の排出係数から計算した。

$$G_{CO_2} = b \times f_x \times c / \rho \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 G_{CO_2} ：試算年度のCO₂原単位

f_x ：試算年度xの燃費変化率

1990年以降 $f_x = 1.23849(x-1983)^{-0.07433}$

1989年以前 $f_x = 1.072$

c ：軽油の排出係数 2.62kg-CO₂/l

燃費変化率は、積算基準の定格出力当たり燃料消費量の見直し値の傾向から求めたもので、見直しの実態調査から掲載までを2年と見込み最終見直しの調査年を2001年度として、その年度を基準にした変化率とした。機種毎の定格出力当たり燃料消費量は、過去に試算した機種毎の仕事量寄与率で加重平均して試算機種全体の値とした。設定した燃費変化率を図-9に示す。

5. 貨幣換算原単位

排出ガス排出量とCO₂排出量を外部コストに換算するための元になる貨幣換算原単位は、既存資料を基に設定した。

排出ガス排出量の貨幣換算原単位は、CO₂と異なり人的被害が排出地点の人口の集中程度により変化することで、その貨幣換算原単位も地域で大きく異なる。そのため、今回は、日本全体の排出量に適用することを目的に、人口の集中程度で4区分（人口集中地域、その他市街部、非市街部(平地部)、非市街部(山地部)）した地域毎の建設機械存在確率を考慮した貨幣換算原単位を作成した。

5.1 文献調査による貨幣換算原単位

(1) 排出ガス貨幣換算原単位

NO_x貨幣換算原単位については、複数の資料におけるその他市街部の原単位を平均した。この値は、最新の資料である次の資料と同様である。他の地域の原単位は、この資料の値を採用した。採用した値を表-6に示す。

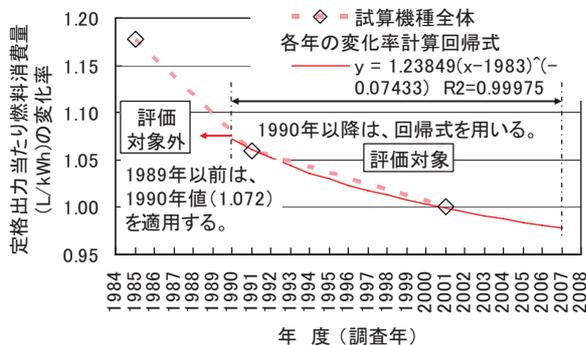


図-9 2001年度を基準にした燃費変化率

道路投資の評価に関する指針(案) (平成17年5月(第5刷) 編者：道路投資の評価に関する指針検討委員会、発行：(財)日本総合研究所)

PM貨幣換算原単位については、複数の資料における人口集中地区相当の原単位を平均し、NO_xの地域区分毎の値の比を適用して、上記地域区分以外の値を設定した。設定した値を表-6に示す。

(2) CO₂貨幣換算原単位

CO₂貨幣換算原単位は、複数の資料を検討した上で、次の資料の値とした。値を表-7に示す。

公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編) (平成20年6月 国土交通省)

5.2 存在確率を考慮した貨幣換算原単位

(1) 建設機械の存在確率

建設機械の地域区分毎の存在確率は、機械の位置情報を地図上にプロットし、その点がどの地域区分に該当するかを判定して集計することで行った。集計結果を図-10に示す。

- ・集計対象とした都道府県：人口集中地域面積割合、人口密度及び平地部面積割合が日本全体と乖離していないことを条件に代表的な8府県を選んだ。
- ・非稼働機械の除外：製造会社、販売会社及びレンタル会社に在ると推測されるデータは除外した。

(2) 存在確率を考慮した貨幣換算原単位

建設機械存在確率を考慮した日本全体の排出ガス貨幣換算原単位は、表-6に示した値を、図-10の地域毎の建設機械存在確率で重み付けして求めた。日本全体の排出ガス量に適用する貨幣換算原単位を表-7に示す。

表-6 資料調査による排出ガス貨幣換算原単位

地域区分	人口集中地域	その他市街部	非市街部(平地部)	非市街部(山地部)
NO _x 貨幣換算原単位(万円/トン)	292	58	20	1
PM貨幣換算原単位(万円/トン)	1,857	368	129	5

表-7 日本全体の排出量に適用する貨幣換算原単位

建設機械存在確率を考慮した貨幣換算原単位		貨幣換算原単位
NO _x (万円/t)	PM(万円/t)	CO ₂ (万円/t-CO ₂)
62	391	0.29

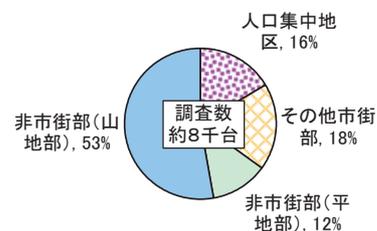


図-10 建設機械の稼働位置

6. 排出ガス基準値の外部コスト比較

今後の排出ガス規制に伴う NOx, PM 及び CO₂ 排出量外部コストの変化を予想するため、排出量寄与率が最も高い 20t 級油圧ショベルをサンプルに、CO₂ 原単位を 2001 年度値とし排出ガス基準値毎の排出量外部コストを試算した。図-11 で示すように、排出ガス排出量外部コスト (NOx+PM) と CO₂ 排出量外部コストは、4 次排出ガス規制で逆転すると予見される。

7. 試算排出量と削減量の外部コスト換算値

試算結果を図-12~図-14 に示す。図中の未対策は、排出ガス対策を行わなかった、あるいは燃費低減努力を行わなかったと仮定した場合であり、削減は未対策時を基準に示したものである。

指定制度による排出ガス対策効果は、概略 1990 年度から出始めている。その排出ガス対策効果と、1990 年度を基点とした燃費低減効果を外部コスト換算で比較すると、NOx の削減効果が突出して高いことが分かる。

現在の排出量外部コストは、高い方から NOx, CO₂, PM の順序となっている。この順序は、4 次排出ガス規制により NOx と PM の大幅削減が見込まれるので、将来的に CO₂ 排出量が高位となる。このことは、今後の対策として燃費対策が極めて重要になることを示唆するものであり、今まさに岐路に立っていると思われる。

8. 試算排出ガス量の確認

今回の試算排出量の妥当性を確認するため、総合エネルギー統計 (資源エネルギー庁) の建設業軽油消費量を全て建設機械によるものと見なして CO₂ 排出量を計算し、今回の CO₂ 排出量試算結果と比較した。今回試算した CO₂ 排出量中の建設業使用機械分は、動向調査における「建設業」保有台数分と「リース・レンタル業」保有台数分と仮定した。比較結果を図-15 に示す。

図が示すように、統計ベースの建設業 CO₂ 排出量と今回試算の建設業使用機械 CO₂ 排出量は、概ね近い計算結果となった。仮定で不確かな要素も多分にあるが、大きな乖離はないと思われる。

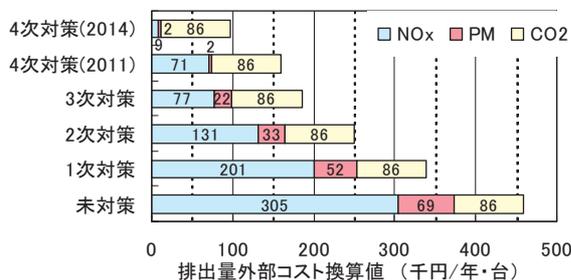


図-11 20t級油圧ショベル排出量の外部コスト換算値

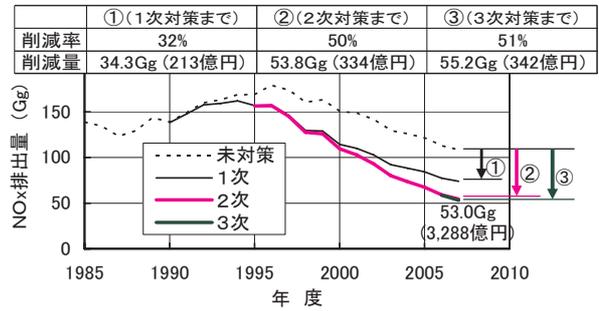


図-12 試算NOx排出量と外部コスト換算値

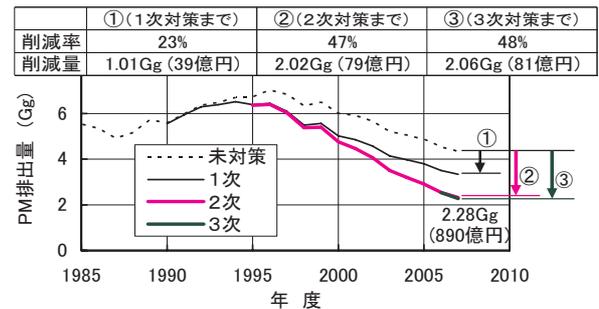


図-13 試算PM排出量と外部コスト換算値

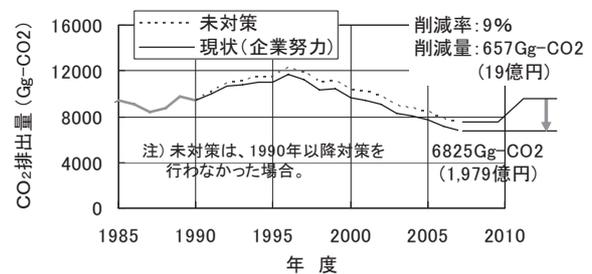


図-14 試算CO₂排出量と外部コスト換算値

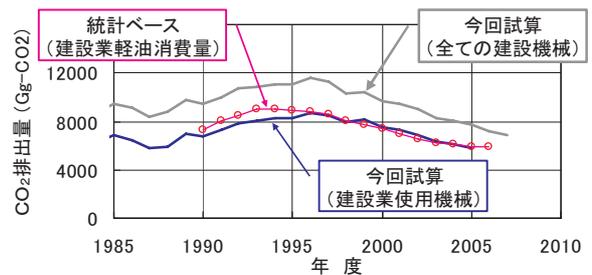


図-15 建設業使用建設機械CO₂排出量の比較

9. おわりに

今回、建設機械の排出ガス量と CO₂ 排出量を外部コスト換算することで、異なる成分の比較評価を行った。今回の結果は、採用した貨幣換算原単位に左右されるが、文献によりその数値にひらきがあることに注意する必要がある。

排出量の試算においては、まだ調査検討すべき事項が残っているが、今後の課題としたい。

最後に、建設機械の存在確率調査に御協力頂いた (社) 日本建設機械化協会機械部会ショベル技術委員会委員諸氏に感謝の意を表す。

16. 環境に配慮した中高層ビル解体工法の開発

ジャッキダウン式ビル解体工法（KC&D工法）

鹿島建設㈱

吉川 泰一朗
水谷 亮
○ 飯塚 満

1. はじめに

近年、高層ビルは建て替えのニーズが高まってきたが、狭隘な市街地において安全にビルを解体するためには特に工夫が必要となる。従来のビル解体工事は、屋上部分から躯体を破断、粉砕しながら順次地上まで降ろして行く方法が一般的である。このような方法では、上階から拡散する騒音や粉塵の飛散、近隣が抱く不安感、高所作業による危険性など数多くの問題が存在する。

そこで、これらビル解体工事に内在する問題を解決するために既存建物の全ての柱直下に油圧ジャッキを設置して、建物総荷重を支持しつつ、ジャッキ直上の柱部材を少しずつ切断撤去しながらジャッキダウンを繰り返し、ビル全体を下層階から解体して下げていく、鹿島カットアンドダウン工法（KC&D工法）を開発した。

本報では、工法内容及び鹿島旧本社ビル解体工事に適用した事例について報告する。



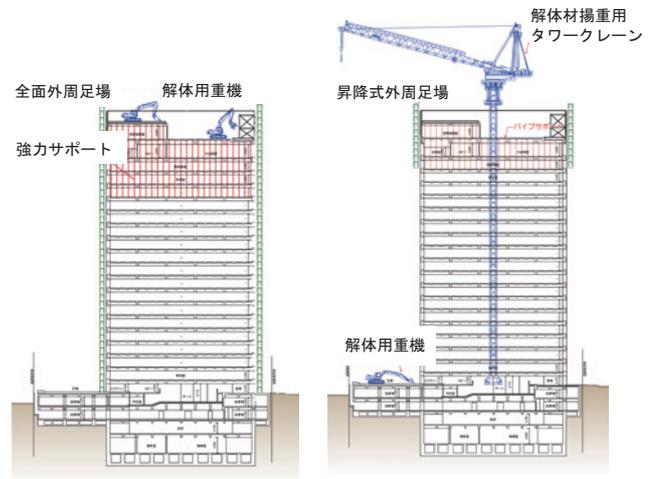
写真-1 旧本社ビル解体工事全景
(左：2月23日，右：5月28日撮影)

2. 従来のビル解体工事の問題点

通常、中高層ビルの解体工事は、

- ① 解体重機や解体作業員を最上階に上げる
- ② 上階にて構造躯体を破砕、切断する
- ③ 解体材料を下層階に下ろす
- ④ 順次下階へと移行していく

というフローが進められる。



解体用重機による方法 タワークレーンによる方法

建物上階に解体重機を揚重し、上から順次解体床は、場合により強力サポートで補強が必要
タワークレーンを支持する躯体の補強
柱、梁、床は粉砕してクレーンで吊り降ろす
または、仮設開口から投下して粉砕

図-1 従来の解体工法

この場合、

- ・ 床スラブの補強をして解体材、及び重機をのせるための強度を確保する
- ・ 高所作業が多く、墜落、飛来、落下の危険性が高い
- ・ 解体作業員は上階まで上がらなければならないため肉体的負担が大きい
- ・ 解体材の投下作業、または荷降ろし設備が必要となる
- ・ 粉塵の飛散、振動、騒音の拡散の恐れがある
- ・ 散水により内装材が水浸しとなりリサイクルが難しくなる

など、施工管理上の、多くの問題点がある。

表-1 解体建物概要

工事場所	東京都港区元赤坂1-2-7	
工期	2007年11月～2008年9月(11ヵ月)	
棟	1棟	2棟
竣工年	1968/08	1972/05
築年数	39年	35年
建築面積	1,770.6 m ²	1,350.0 m ²
地上延床面積	12,181.6 m ²	16,712.1 m ²
最高高さ	65.4m	75.325m
階数	B3F/17F/PH2F	B3F/20F/PH2F
構造	地下RC/地上S	地下RC/地上S
解体工法	KC&D工法	KC&D工法
柱本数	20本	24本

3. KC&D工法

3.1 工法の目的

外装を保ったままビルを下から解体してそのままの姿勢で下げていくことで、危険や飛散要因の多い解体作業を下層階付近に限定して行い、高所作業をなくし安全性の向上、粉塵の飛散や騒音の拡散の抑制、解体材料のリサイクル率向上などを狙いとしている。

3.2 工法のポイント

建物を上層階から解体していく従来工法とは逆に、各柱の1階部分にあたる柱脚を切断して油圧ジャッキに置き換え、建物を順次降下させて躯体を解体していき、地上に降りてきた屋上階部分を最後に解体するという工法である。

本工法のポイントを以下に示す。

- ・解体する建物全体を油圧ジャッキで支持する
- ・各柱の下層階部分を切断、撤去して、建物全体を一斉ジャッキダウンする
- ・解体施工中も解体前の建物と同等の耐震性能を確保する
- ・躯体解体は下層階にて行い、内装解体材も同時進行で下層階から分別、搬出する

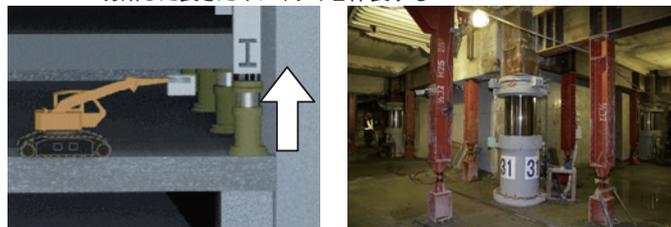
3.3 施工手順

表-1の建物解体工事においては、まず、準備作業として1階部分の鉄骨柱を切り取って油圧ジャッキを挿入、設置。全ての柱に対して油圧ジャッキを設置した後、本設柱と2階梁床とをワイヤーソーにて順次切り離した。以降は図-2に示すフローに沿って、①柱の切断、②ジャッキの伸長、③全ジャッキ一斉収縮によるフロアの下降「一斉ジャッキダウン」、④躯体の解体を繰り返した。

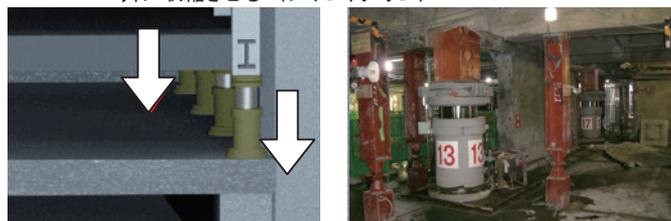
- ① 柱の切断
1回に約70cmの長さを切断する



- ② ジャッキの伸長
切断した長さだけジャッキを伸長する



- ③ 全ジャッキの収縮 フロアの下降
全てのジャッキで①、②を行った後、全ジャッキを一斉に収縮させる（ジャッキダウン）



- ④ 上層階の梁、床の解体
下降してきた上層階の梁や床を解体する



図-2 施工手順

①から③の工程を繰り返すことにより、2.5日間で1フロア分の高さ(3,375mm)を下降。④のフロア解体には3.5日。したがって、1フロア分の解体は5~6日を要した。

3.4 KC&D工法の構成

(1) 油圧ジャッキ

今回使用した油圧ジャッキには、長期荷重で最大約6300kN(640tf)、地震時には最大で約9300kN(950tf)の鉛直力が作用することが想定されたため、これに対応できるジャッキを新規に設計、製作した。

ジャッキを設置する1階の階高、及びジャッキの強度検討により、ジャッキストロークは725mmとした。



写真-2 油圧ジャッキ



写真-3 油圧ジャッキ設置状況

ジャッキの頂部には、すべり支承を取り付け、柱の建て入れ誤差や切断誤差、地震等による柱脚の回転と水平力を吸収する機構とした。低摩擦特性を持つすべり部材と内部に組み込まれたゴム部材により、ジャッキに過大な偏心荷重が作用しない仕組みである。

油圧ジャッキ操作には、ストロークの制御と荷重の管理が必要となる。ストロークはエンコーダ式の変位計で計測を行い、荷重は油圧ポートに取り付けた圧力センサーから読み取っている。ジャッキは、指令室に配備した操作盤にて全ジャッキの集中管理をしている。

光ファイバー通信によりジャッキのストロークと荷重をフィードバックし、適切なレベル制御を行うとともに、異常検出や上限荷重を超えないよう荷重管理を行った。さらに、全ジャッキの状況がリアルタイムで把握できるモニタリングシステムや、建物全体の位置姿勢を管理するための自動計測システムも導入して、建物下降時及び常時の管理を行った。

(2) 柱の切断作業

柱を切断して引き抜く方法として「吊るし切り」を採用した。切断する柱のジャッキを下げて荷重を解放して切断する方法である。

解放された柱が負担していた荷重は、隣接する複数本の柱にて分配支持させる。荷重の解放時には、柱は10mm程度沈降するが、躯体全体の変形及び応力が過大にならず、外装PCカーテンウォールの変形も大きくならないことを確認している。

「吊るし切り」は、柱荷重を分配支持させる柱が重複しないこと、つまり同時に2本以上の柱の荷重を負担しないことを条件とし、柱切断作業は複数の作業班を最も効率のよい切断順序となるように配置し、切断タイミングを最適化するように順次移動させていった。

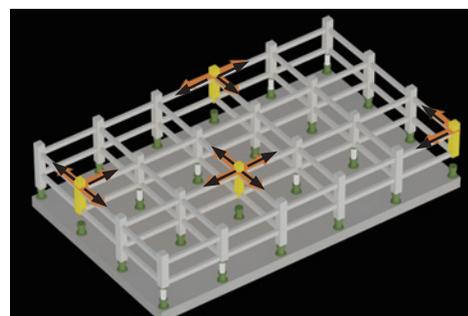
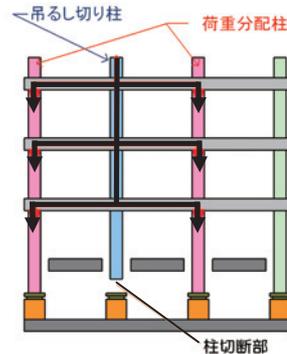


図-3 吊るし切り

3.5 耐震性の確保

解体施工時は建物基礎部分と上部構造が油圧ジャッキ設置部分で分断された状態であり、柱を単純に油圧ジャッキで支持しているだけでは、耐震性能が著しく低下してしまう。そこで解体中の建物でも解体前と同じ耐震性能を確保することを目的に「コアウォール」と「荷重伝達フレーム」とを考案した。ジャッキダウン中は、大地震による揺れが起きる直前に「くさび制御装置」を介して上部構造と下部構造が連結される。

(1) コアウォール

コアウォールは、地下1階から地上3階部分までの高さ約12.5m、鉄筋コンクリート造の箱状断面中空壁であり、建物中央部に配置され、地震時の水平力を基礎構造へ伝達する役割を担う。

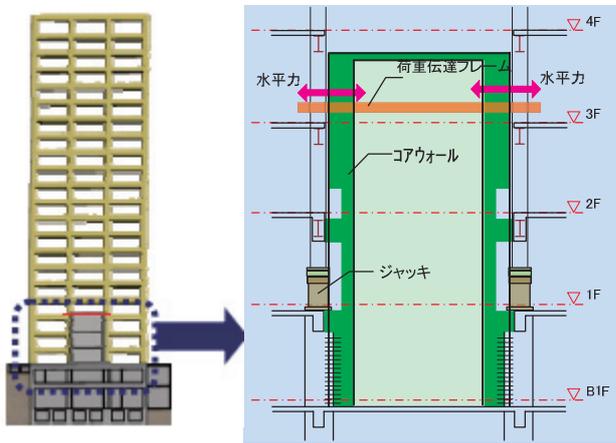


図-4 コアウォール

(2) 荷重伝達フレーム

地震時の建物上部の水平力をコアウォールへ伝達させるために、コアウォールを囲む四本の鉄骨柱に対して鉄骨造の梁フレームを架け渡して設置した。

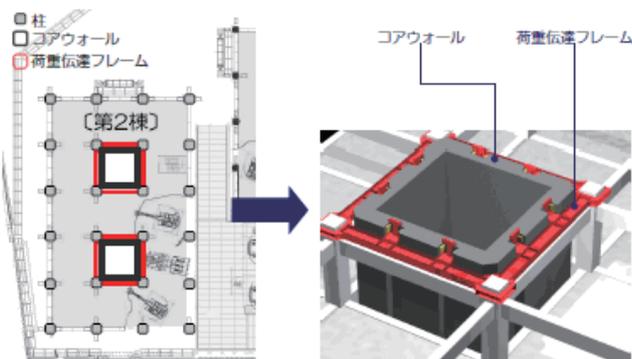


図-5 荷重伝達フレーム

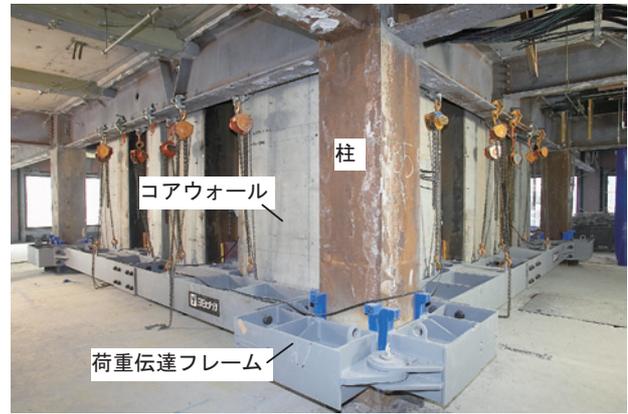


写真-4 コアウォールと荷重伝達フレーム

(3) くさび制御装置

柱吊るし切り時、及び一斉ジャッキダウンを行う際には、建物を鉛直下方にスムーズに下降させるために、コアウォールと荷重伝達フレームには一定のクリアランスがある。しかし、大地震発生時にはこのクリアランスを解消してコアウォールと荷重伝達フレームを一体化する必要がある。



写真-5 くさび制御装置

そこで、大地震時にはこのクリアランス部分に「くさび」を自動的に落下、挿入させて即座に隙間を埋める「くさび制御装置」を考案した。直下型地震に対しては、現場内に配置した感震器と連動して作動し、震源地の遠い地震に対しては、「鹿島早期地震警報システム」と連動して作動する。また、この早期地震警報システムを、ジャッキ制御システムとも連動させることにより、緊急非常停止としても機能させた。

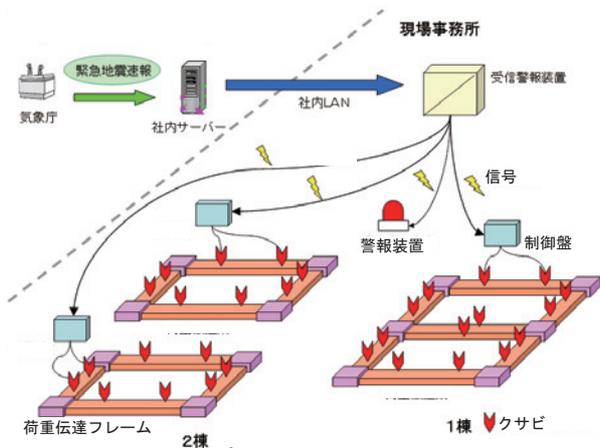


図-6 早期地震警報システム

3.6 内装材の解体撤去

内装材の解体は各階で区分けしており、各階床スラブで完全に分断されたエリアごとに、異なる作業を一定サイクルで同時進行させている。

1階を油圧ジャッキ設置及び柱切断作業エリア、2階を降下してきたN階の外装、梁、床躯体を重機で解体する作業エリアとした。解体、分別したコンクリートガラと鉄筋スクラップ材は2階から効率よく搬出できる。

これと同時進行で、N+1階では荷重伝達フレーム取付け作業を、N+2階ではジャッキダウン時にコアウォールが貫通する部分の床スラブの先行解体を行った。

内装解体は、N+4階以上で行っており、N+3階では飛散防止の養生を設けた上でアスベスト除去を行った。撤去材はおのこの撤去階の床レベル上にて分別、集積しておき、ジャッキダウンによって地上レベルまで降下させてから車輛への積み込み、搬出を行った。

在来工法では、アスベスト除去や躯体解体の工程前に、内装解体、荷降ろし、搬出を完了させなければならない。十分なストックヤードが確保できない場合には、リサイクルよりも現場から廃材を搬出することが優先されてしまう可能性がある。また、短期間で全館分の内装材を搬出しなければならない場合、リサイクル受け入れ側の許容量を超過してしまい、結果、最終処分とされてしまう割合が増加することも考えられる。

これに対して、本工法では、それぞれの解体作業を複数のフロアに分散させて施工することができるので、撤去、分別、集積が効率よく進められる。



写真-6 内装解体搬出

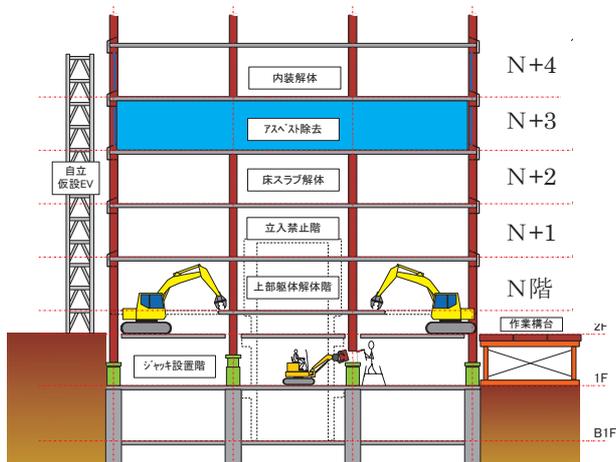


図-7 内装・外装解体

また、ジャッキダウンの工程に合わせて決められたタクトの中で、計画的に内装解体材が搬出できるので、受け入れ可能数量内での搬出が可能となり、高いリサイクル率を保つことができる。

これにより、通常の解体工事では、10品目程度であった分別に対して、当工事では約20品目の分別を行い、従来工法では約55%程度であったリサイクル率を93%まであげることができた。

4. KC&D工法によるメリット

KC&D工法の効果を以下にまとめる。

①騒音、粉塵飛散の抑制

建物の下層階にあらかじめ用意した作業フロアに限定して、梁、床、外装の解体作業を行うため、騒音や粉塵の飛散抑制など、周辺環境に与える影響を低減できる。

②周辺住民の不安感を払拭

解体工事が地上付近のみで行われるため、上層階は外部足場もなく、建物は外観そのままに下降してくるだけであるので、特に市街地での工事においては近隣住民の不安感を抑制できる。

③墜落、飛来落下災害の防止

重機や人が高層建築物の上階に上がって解体する作業工程が削減されるため、高所作業や墜落の危険に対する安全性が向上する。また、落下物による公衆災害の防止には効果絶大である。

④地球環境にやさしい

重機や人がアクセスしやすい建物の下層階に解体作業エリアを確保しているため、発生する廃棄物を資源としてリサイクルする分別作業が容易に進められる。建物躯体を含めたリサイクル率は99%となった。

⑤省力化、工期短縮

従来工法では、高層階からクレーンやエレベーターで廃材を下まで降ろしていたが、KC&D工法では、集積フロアが地上近くまで降りてきてから搬出できるため、作業員の上下移動や、荷降ろしの手間が省け、効率的に作業が行われる。常に囲まれた中での作業となり、解体工事現場が、いわば環境に配慮した工場のように管理され、機能することとなる。

5. おわりに

従来の解体工法とは全く逆の発想で、下層階で躯体解体を進めていく新しい工法「鹿島カットアンドダウン工法(KC&D工法)」を開発し、日本

社ビル解体工事に適用した。これにより、解体作業の安全性が向上したばかりではなく、廃材の搬出効率化、リサイクル率の向上、低騒音、低粉塵による躯体解体など、環境にも近隣にも優しいビル解体工事を実践することが可能であると確認できた。今回のビルは高さ約80m、20階建ての鉄骨造ラーメン構造であったが、ここで得られた技術的知見を収集し、環境保全、施工効率の向上、コスト低減などについて更なる改良を加え展開を図っていく。そして、中高層ビル解体手法の選択肢の一つとして、また、将来の超高層ビル解体工事に適用されるように、その汎用性を高めていき、環境保全に貢献していく所存である。



写真-7 解体工事全景

参考文献：

- 1) 吉川泰一朗, 水谷亮, 飯塚満：人と環境に優しい高層ビル解体工法の開発と適用, 「建設の施工企画」2009年4月
- 2) 川上敏男, 吉川泰一朗, 水谷亮, 成田司, 加藤公基, 飯塚満：世界初のジャッキダウン式高層ビル解体工法, 「クレーン」2009年4月
- 3) 川上敏男, 川井裕基, 吉川泰一朗, 水谷亮, 成田司, 加藤公基, 飯塚満：人と環境に優しい高層ビル解体工法, 「建設機械」2009年7月

17. くい打機の転倒に与える施工現場の支持力要因

(独)労働安全衛生総合研究所 ○玉手 聡
同 上 堀 智仁

1. はじめに

基礎工事用の大型建設機械の転倒災害が度々発生している。その転倒原因の多くは設置地盤の支持力不足に見られるが、その背景にはくい打機がトップヘビーな構造を有しながら自走することと、設置される施工現場が軟弱地盤であるなど潜在的な危険要因が存在する。

本報告では、はじめに国内外の安全基準を概説し、次に過去に発生した転倒事例について、機体と地盤条件を整理する。そして、事故の発生原因と今後解明が必要とされる問題点を考察する。

2. 国内外の安全基準

労働安全衛生規則¹⁾では、基礎工事用機械(以下、くい打機と呼ぶ)の倒壊防止について述べており、軟弱な地盤における沈下防止措置を義務付けている。また、車両系建設機械構造規格(厚生労働省告示)²⁾では、建設機械が備えなければならない安定度を機種毎に定めている。

安定度は限界傾斜角の下限値を意味し、機械が最も不利となる方向に対して満足しなければならない値である。ブル・ドーザー等ではその値を35度と高く設定する一方で、くい打機は5度となっている。すなわち、くい打機はブル・ドーザー等に比べて安定度が低く不安定な機械といえる。なお、安定度の値は水平かつ堅固な面に対する設置が前提とされている。

日本材料学会が発行するソイルミキシングウォール設計施工指針³⁾では、独自に安定度の推奨値を示している。その値は、作業時が7°以上とし、走行時は9°以上としている。この値は日本建設機械化協会ならびに、関係業界が発行するマニュアルで標準的に示されている。

欧州規格では、くい打機について2つの安全基準を示している。一つは、EN-996- Piling equipment - Safety requirements⁴⁾である。この基準では、くい打機の状況を施工時と休止時の2つに大別し、さらに両状況をそれぞれ3つに分類して、2つの指標を示している。詳細は文献⁴⁾に譲るが、この指標には作用荷重の安全率と機体の安

定度が示されている。6つの荷重状態に対する安定度(Stability angle)は自走以外の場合を5度、自走する場合は8度としている。

もう一つの基準はEN-791(1996) -Drill rigs- Safety⁵⁾である。この基準においても同様に条件を2つの作業状態、すなわち自走時と施工時に大別して次のように解説している。「移動中は、前後左右方向に対して10度以上を有し、その他の状況では5度以上を有しなければならない。安定度10度は、加速時と停止時の動的な力の作用による影響が考慮された値である」。

表1は国内外の基準を比較して示す。くい打機が備えるべき安定度は日本とヨーロッパに共通して示されている。しかし、その値には差がある。施工時の安定度は日本とヨーロッパで値が共通して5度であるが、自走時については、日本では特示していない。一方、ヨーロッパでは機種によって8度または10度であるが、いずれも、施工時に比べて大きく設定されている。

表1 くい打機の安定に関する基準の国際比較

	安定度		設置地盤	
	施工時	走行時	支持力	傾斜
安衛則と構造規格	5	5	堅固	水平
団体等の推奨値	7	9	$F_s=1.5$	1/100
EN996(Piling eq.)	5	8	—	—
EN791(Drill rig.)	5	10	—	—



写真1 転倒災害の様子

2. 災害事例

写真1は建築工事現場で発生した転倒事例を示し、図1は現場平面の概略を示す。14.3m×29.4mの敷地に8階建てのビル建築が計画され、その基礎には地中連続壁（ソイルミキシングウォール、以下SMWと呼ぶ）が選択された。その施工には3軸のアースオーガを備えるくい打機が用いられた。

敷地の外周部には防護フェンスが支柱によって支持されていた。現場地盤の表層部はセメント安定処理による養生が行われていた。しかし、転倒したくい打機の履帯には大きな沈下が見られ、設置地盤は不安定な状態であったことがわかる。この災害では現場の作業員2名が重傷を負った。

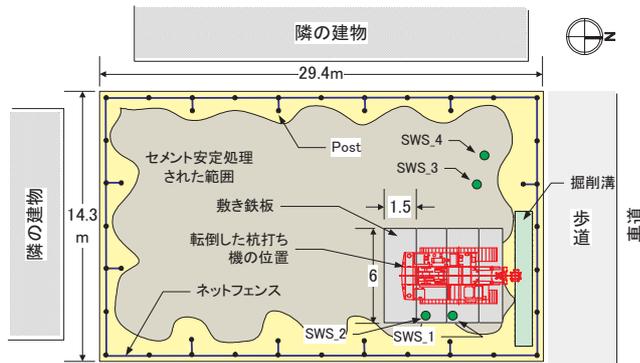


図1 発生現場の平面的状況

3. 災害発生までの経過

本転倒災害の発生までの過程は表2の通りであった。現場地盤では地耐力を確保するために表層部のセメント安定処理による地盤の養生が行われた。前日までにくい打機の搬入と組立が終了していた。

災害当日はSMWの打設に先立って、敷き鉄板の敷設と写真2に示すような打設予定位置の溝掘削作業が行われた。この溝は幅1m、深さ0.8mであり、長さは7mであった。この掘削は探索堀とも呼ばれ、オーガによる地中掘削とその後に実施するセメントと土の混合（これを削孔混練りと言う）をスムーズに行うためのものであった。しかし、当日の10:00頃、掘削を行っていたバックホウが誤って埋設されていた水道管を破損し、溝が湛水した。その復旧には約2時間を要した。なお、その後の調査から実際の溝の深さは施工標準よりも0.2mほど大きかったことがわかった。

水道管の修理が終了した後には作業は再開され、敷き鉄板の敷設を完了させた。13:00頃、くい打機を自走させて図2に示す敷地内の北東部へ移動させた。施工位置の溝脇に到着したところ、溝の法肩部が図3のように崩壊した。この時、履帯と溝の離隔は少なくとも施工標準より0.1m小さい状況であったと見られる。

表2 転倒災害発生までの過程

経過	時刻	作業内容
以前		セメント安定処理による地盤養生の実施
前日		くい打機の搬入と組立作業
当日	8:00	朝礼
	9:00	溝掘と敷鉄板の敷設等の準備的作業を開始
	10:00	水道管を破損し、掘削溝が湛水
	10:05	水中ポンプにて排水の実施
	10:45	水道局担当者の到着
	11:30	止水の完了
	11:45	水道管の復旧、溝掘作業及び敷鉄板の敷設作業を再開
	12:15	準備的作業の終了
	13:00	くい打機の施工位置への移動開始
	13:10	溝近傍でくい打機が転倒



写真2 SMWの施工に先立って行われる溝掘削

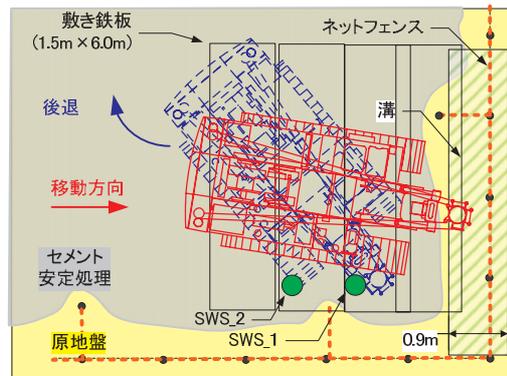


図2 転倒時におけるくい打機の位置

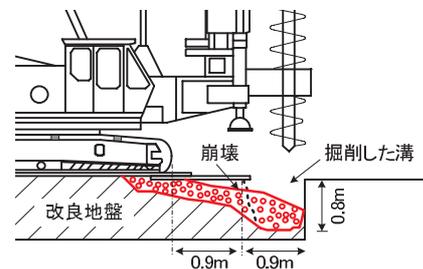


図3 機械の設置地盤に生じた崩壊概要

この崩壊に伴って敷鉄板には沈下が生じ、機体がゆっくりと傾斜した。傾斜を察知した運転士は

溝近傍から機体を後退させるとともに、上部を右旋回させて転倒モーメントを減少させた。しかし、機体の傾斜増加は収まらず、転倒に至ったものである。

先にも述べた通りこの地盤では浅層部分にあらかじめ安定処理が施されていた。しかし、機械を移動させた箇所は当該現場の敷地境界付近であった。敷地の外周部にはネットフェンスが設けられていた。このフェンスが安定処理の障害となったために、部分的に地盤の支持力は低い箇所が存在していた。

4. くい打機の安定条件

4.1 機械の安定度

先に述べたとおり、くい打機は前後および左右方向に対して5度以上の安定度(θ_s)を有しなければならない。表3は本件のくい打機の諸元を示し、これに基づいて計算した機体の前方と側方の安定度を表4に示す。機体前方に対する安定度は18.4度であり、側方の安定度は11.9度であった。従って、本くい打機の安定度は規則で定める値よりも大きく、安定な条件であった。

表3 くい打機の諸元

水平方向の重心位置 (G_x)	0.62m
鉛直方向の重心位置 (G_y)	3.36m
履帯の接地面の長さ (d)	3.475m
左右の履帯の中心間隔 (S)	2.660m

表4 機体の安定度

	前方安定度	側方安定度
関係式	$\tan \theta_{sf} = \frac{L - 2G_x}{2G_y}$	$\tan \theta_{ss} = \frac{S - 2G_x}{2G_y}$
安定度	$\theta_{sf} = 18.4 \text{ 度} > 5 \text{ 度}$	$\theta_{ss} = 11.9 \text{ 度} > 5 \text{ 度}$

4.2 履帯に作用する接地圧

履帯面に働く接地圧力の計算方法が JIS⁶⁾に定められている。履帯面上に投影した重心と中心間の距離(e)の違いにより、接地圧力の分布は表5に示すような5つに分類されている。なお、支持地盤は水平かつ堅固であることが仮定されている。

この接地圧力の分布は図4に示すとおり上部構造体の旋回角度(θ)によっても変化するため、その計算では別途考慮が必要である⁷⁾。傾斜を開始した当初は上部構造体が前方を向いていたが、転倒直前には右前方約45度に旋回させていた。

本事例では履帯の長手方向に対する作用位置(e)が $\theta=0$ の時に $e > d/6$ となり、圧力分布は三角形となる。一方、 $\theta=45$ の時は $e < d/6$ であり、分布は台形となる。接地圧力の理論分布は図4のような三角形である。以上の検討に基づいて推定した最大接地圧力の値を表6に示す。

本事例の場合では $\theta=45$ 度の場合が $\theta=0$ の場合よりも大きく、履帯接地圧力の最大値は146(kPa)から165(kPa)程度であったと推定された。なお、沈下によって生じる機体傾斜は転倒モーメントを増加させるため、最大接地圧力はさらに大きく生じる場合がある。

表5 重心と履帯接地圧力の関係(JIS A 8509-1:2007)

履帯の接地圧力分布	単一荷重 P (重心)の作用位置	接地圧力 (最小: σ_1 , 最大: σ_2)
	$e=0$ 中央に P	$\sigma_1 = \sigma_2 = P/bd$
	$e < d/6$	$\sigma_1 = \frac{P(1-6e/d)}{bd}$ $\sigma_2 = \frac{P(1+6e/d)}{bd}$
	$e = d/6$	$\sigma_1 = 0$ $\sigma_2 = 2P/bd$
	$e > d/6$ $c = d/2 - e$	$\sigma_2 = 2P/3bc$
	$e = d/3$	$\sigma_2 = 4P/bd$

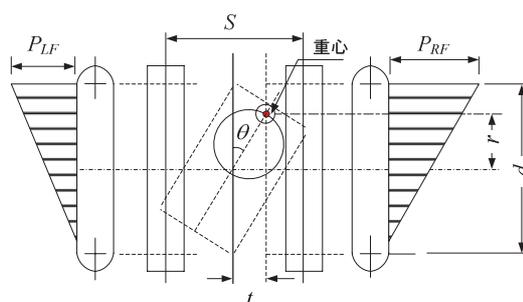


図4 履帯に作用する接地圧 ($r > L/6$ の場合)

表6 転倒時における履帯の最大接地圧力の推定値

旋回角, θ (deg)	0	45
最大接地圧力, σ_2 (kPa)	146	165

5. 現場地耐力の推定

施工現場は深さ約0.7m以深の土質が粘土であり、 q_u の値が30kPa前後の軟弱地盤であった。この粘土地盤に対する履帯の支持力(q_d)は110kPa程度と推定され、 $q_d < P_{max}$ の不安定条件であった。地表から深さ約0.7mの範囲には砂質土が存在した。セメ

ント安定処理は当初、深さ 1m までを計画したが、実際には 0.7m 程度までしか処理されていなかった。処理深さが計画よりも浅くなった原因は粘土とセメントを均一に混合することが困難なためであった。

安定処理された地盤箇所をスウェーデン式サウンディング試験により調査した。試験は転倒位置の近傍 2 地点(SWS_1 と SWS_2 の地点)と、そこから約 8m 離れた地点(SWS_3 の地点)と 10m 離れた地点(SWS_4 の地点)の計 4 地点である。

図 5 はこの試験結果に基づいて計算した一軸圧縮強さ(q_u)の分布を示す。安定処理が施された浅層部すなわち、地表から深さ 0.75m の q_u は 0.7m 以深のそれに比べて大きな増加が見られる。しかしながら、浅層部の q_u には調査地点の違いによって大きな差が見られる。

転倒付近の SWS_1 および SWS_2 による q_u は、SWS_3 および SWS_4 のそれに比べ小さく、重機を支持できない強さであった。これはセメント安定処理の深さが予定よりも浅くまた、敷地境界部は囲いフェンスが障害となって不十分な処理状態であったためである。転倒はこの境界付近で発生しており、安定処理における施工上の問題も明らかになった。

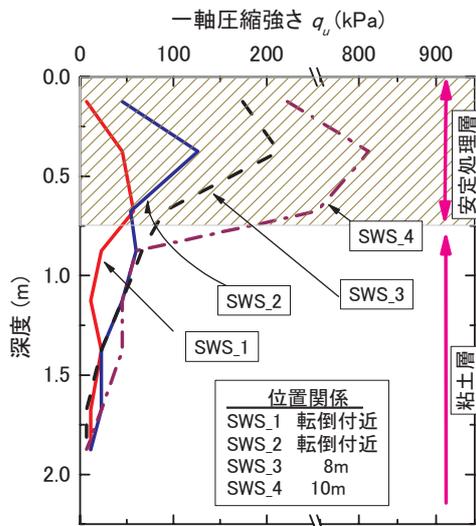


図 5 スウェーデン式サウンディング試験の結果より算出した一軸圧縮強さ (q_u) 分布

6. 転倒原因と再発防止対策の考察

くい打機は大型の建設機械であるため、その転倒は建設現場内のみならず周辺社会にも多大な影響を及ぼす。本事例の転倒原因は次の通り要約できる。

- 敷地境界付近の地盤養生が設置されたフェンスが障害となって不十分な施工となり、部分的に支持力は低い状態にあった。
- セメント安定処理による表層地盤の改良深さが計画よりも小さかった。

- 準備掘削された溝が所定よりも深く、また機械と溝の離隔も少なかった。
- 水道管の破壊により溝が湛水し、地盤を軟化させた。
- 水道管の修復後直ちに、地盤の安定性を確認せずに作業を再開した。

施工上のミスを中心に防ぐことは容易でない。しかし、準備が不十分なことにより生じた災害については、その防止は可能と考えられ、危険は低減されるべきものである。特に施工現場の支持力については養生の確実な実施により、沈下を防止できる。なお、地盤養生における安全要件とその設定レベルについては明らかでなく、事業者委ねられているのが現状であり、検討が必要である。

7. まとめ

くい打機の転倒事例を調査した。機体の諸元や作業方法ならびに地盤養生等の条件を分析し、発生原因を考察した。その結果、現場地盤は軟弱であり潜在的な危険性を有していたことがわかった。加えて施工中の水道管破損による溝の湛水トラブルも発生し、地盤を劣化させた可能性も明らかになった。さらに作業上のミスも重なり、転倒災害に至ったことがわかった。

くい打機による施工においては様々な危険要因が存在し、災害はいくつかの要因が重なって発生するものと見られる。この中で大型機械を支持する施工地盤のリスク評価は最も重要な課題と考えられ、安定設置に必要な地盤支持力や傾斜などの必要条件について今後検討したいと考えている。

謝辞：本研究は厚生労働科学研究費補助金による研究(課題番号 H19-労働-一般-005)で得られた成果⁸⁾である。関係各位に対し謝意を表します。

参考文献

- 労働調査会:安衛法便覧I 平成19年度版, p.967, 2008.
- 労働調査会:安衛法便覧II 平成19年度版, p.513, 2008.
- (社)日本材料学会:ソイルミキシングウォール(SMW)設計施工指針(改訂版), SMW 掘削機械転倒防止のための重点管理基準, p.78, 2002.
- British Standards Institution: BS EN 996, Piling equipment - Safety requirements, 1996.
- British Standards Institution: BS EN 791, Drill rigs - Safety, 1996.
- (社)日本規格協会: JIS A 8509-1:2007「基礎工事機械—安全—第一部:杭打ち機の要求事項」, pp.20-33, 2007.
- (社)日本建設機械化協会:移動式クレーン・杭打ち機棟の支持地盤養生マニュアル, pp.9-22, 2000.
- 玉手 聡:基礎工事用大型建設機械の転倒防止に関する研究, 厚生労働科学研究費補助金(労働安全衛生総合研究事業)平成19年度総括分担報告書, pp.3-31, 2008.

1 8. 遠心模型実験によるくい打機の最大接地圧と支持力安全率の検討

くい打機械の転倒防止に関する研究

独立行政法人 労働安全衛生総合研究所 ○ 堀 智仁
 独立行政法人 労働安全衛生総合研究所 玉手 聡

1. はじめに

くい打機は建設工事や土木工事の基礎を造成するために用いられる大型の建設機械である。上部旋回体と下部走行体で構成され、上部旋回体には長尺なリーダーが備わる。そのため、重心位置が高く、不安定な構造をしている。主に軟弱地盤の対策工事や杭基礎工事に用いられ、潜在的に不安定な地盤上での作業を余儀なくされる。近年、この種の建設機械の転倒災害が相次いで発生している。

くい打機の転倒防止に関する関係規則^{1), 2)}を調査すると、機械が有すべき安定度について述べられているものの、地盤の支持力要件に関する規定がなく、その詳細については明らかになっていないのが現状である。

本研究では、くい打機の安定設置に必要な地盤の支持力要件を明らかにするために、くい打機模型を作製し、遠心場走行実験を行った。既報³⁾では、実機を用いた実大走行実験と、1/25 スケールのくい打機模型を作製し、遠心場走行実験を行い、実機と模型の走行挙動の類似性を確認した。また、走行挙動に起因する接地圧変動は正規分布的に分布し、確率的検討に基づいた支持力安全率の導入が可能であることを明らかにした。

本稿では、関東ロームと硬質ウレタンフォームを用いて、地盤支持力のバラツキが異なる模型地盤を作製し、遠心場走行実験を行った。高速度カメラを用いて行った挙動解析や、履帯接地圧およ

び地盤支持力の変動係数から、信頼性設計の概念に基づいた支持力安全率の検討を行った。

2. くい打機模型

作製したくい打機の小型模型を写真-1に示す。小型模型は過去に転倒災害が発生した機種を参考に作製した。表-1は実機と模型の諸元を比較した表である。実機の総重量は539kN(55t)であり、同種機械の中型クラスである。くい打機模型は1/25スケールで設計した。模型の重心は実機と相対的に同じになるよう、モーターや減速機、およびバッテリーを配置させた。模型の重量は29.9N(3kg)である。

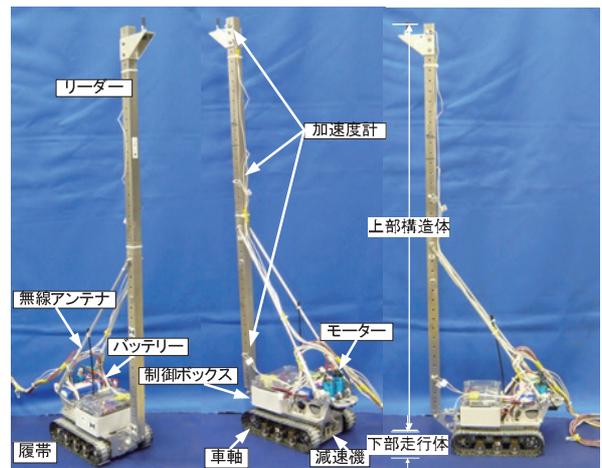


写真-1 作製したくい打機模型

表-1 実機と模型の諸元の比較

		くい打機械			
		実機		模型 (1/25 scale)	
重心の位置		水平 x (m)	鉛直 y (m)	水平 x (mm)	鉛直 y (mm)
下部走行体		-0.83	1.43	6.5	2.7
上部構造体	機体・リーダー	3.35	12.42	213.0	198.8
	アースオーガ類	4.20	15.98	-5.8	32.2
合計重量		539kN		29.9N (25g in 747N)	
接地圧力 (kPa)		101		133	
走行速度 (km/h)		1.6 (=45cm/sec)			

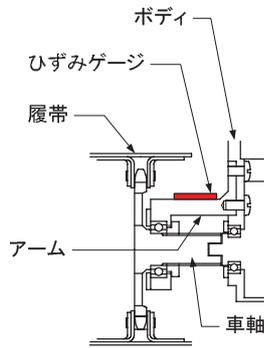


図-1 車軸部の断面図

模型は最大回転数が 35000rpm の小型モーターを 2 個搭載し、左右の履帯が独立して駆動する。モーターに取り付けたギアには、軸対称な位置に切り欠き部が設けられた検知盤が備わる。検知盤の単位時間における回転数をフォトセンサーでモニタリングし、制御ボックスで演算処理してフィードバック制御を行っている。制御ボックスでは、モーターの回転数を制御するための電子回路に加え、走行をワイヤレスで操作するための命令信号を送受信する電子回路も搭載している。

模型の安定度はリーダー部分に搭載する付加質量の重さと高さの組み合わせにより任意に変更設定できる。付加質量は、サンドコンパクションパイプを施工する機械やオーガーを模擬している。

図-1 に模型の車軸部断面の拡大図を示す。アームはボディに剛結された片持ち梁構造となっている。全アームの上部にひずみゲージを貼り付け、車軸に作用する荷重の計測が可能となっている。

走行中の機体に生じる挙動の計測は、リーダー上部に設置した加速度計により行った。

3. 地盤のモデル化

模型地盤は硬質ウレタンフォームと関東ロームを用いて作製した。関東ロームの物理特性を表-2 に示す。

硬質ウレタンフォーム (Urethane Foam, 以下ウレタンと記す) は水平かつ一様な支持力分布の地盤を模擬している。それに対して、関東ローム地盤は、地盤の支持力バラツキがある地盤を模擬している。

関東ローム地盤は、最適含水比を目標に含水比調整した後、締固め後の厚さが約 25mm となるよう所定の量の試料を投入し、締固め圧力 150kPa で 1 時間静的に締固めを行った。2 層目の締固めは 12 時間以上行い、厚さ 50mm のローム地盤を作製した。

2 種類の模型地盤の載荷圧力(q)-沈下比(s/D)関係を明らかにするために、支持力試験を行った。

表-2 関東ロームの物理特性

試料名	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	塑性指数 I_p	最適含水比 w_{opt} (%)
関東ローム	2.759	60.6	102.0

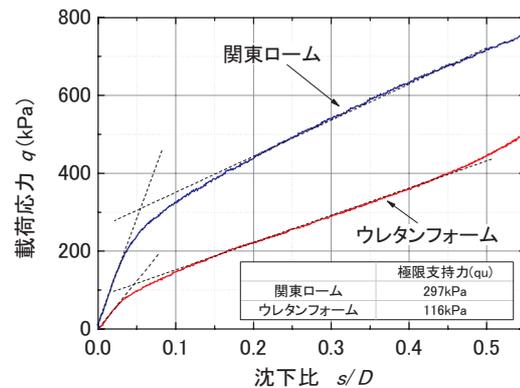


図-2 支持力試験結果

ここで、 q は荷重を載荷面積(A)で除した値であり、 A は 30mm×30mm の正方形である。 s/D は沈下量(s)を辺長(D)で除した値である。試験はひずみ制御で行い、載荷速度は 1mm/min とした。

図-2 に載荷応力 q と沈下比 s/D の関係を示す。載荷初期の $s/D < 0.02$ は、 s/D 増分に対する q 増分は大きく、直線的な関係が共通して見られる。その後、屈曲点が現れるが、明確なピークは示さない。屈曲点前後の 2 つの接線交点を極限支持力(q_u)と定義すると、試験に用いたウレタンの q_u は約 100kPa、関東ローム地盤は約 270kPa であった。

4. 実験装置と実験条件

4.1 実験装置および実験条件

図-3 に、遠心模型実験の概要を示す。実験に用いた容器は幅 250mm、長さ 800mm、高さ 300mm である。その上部には遠心装置の回転に伴う空気抵抗の影響を排除するため、風防カウルを設置し、模型全体を覆った。走行時の移動距離はワイヤ式変位計により計測を行った。

表-3 は実験条件を示す。異なる 2 つの安定度を与えた模型を、遠心加速度 5g と 25g において走行させた。この比較は、接地圧力と極限支持力の関係を変えて、弾性的支持条件と、塑性的な沈下を伴う支持条件を再現するためである。試験地盤は前述の通り、硬質ウレタンによる模型地盤と関東ロームを静的に締固めた模型地盤の 2 種類であり、平坦性を有する地盤において、地盤支持力のばらつきの有無が自走挙動に与える影響を比較した。

車両系建設機械構造規格²⁾には建設機械が有すべき構造的な安定度を機種毎に定めている。ここで、安定度とは、機械が最も不利となる状態で

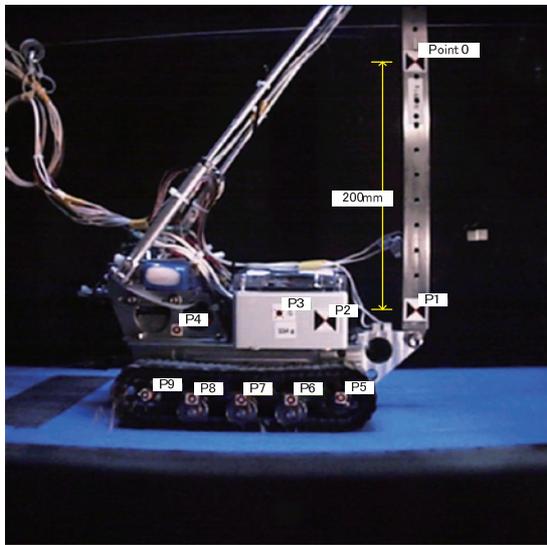


写真-2 高速度カメラの測点

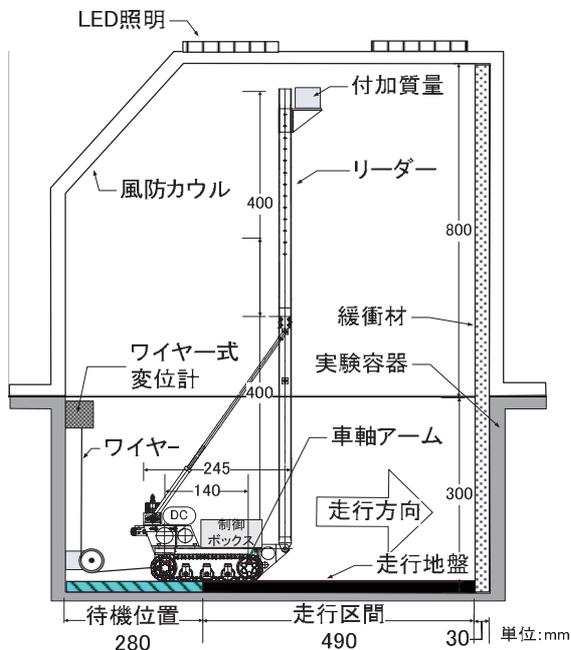


図-3 遠心模型実験の概要図

表-3 実験条件

実験名称	安定度 (度)	遠心加速度 (g)	地盤材料
Cs1	10	5	関東ローム
Cs2	10	25	関東ローム
Cs3	10	25	ウレタン
Cs4	5	5	関東ローム

の限界傾斜角を意味し、前後左右の方向に対して満足しなければならない値である。くい打機械が有すべき安定度は5度であるため、本研究では、模型の安定度を5度および10度とした。

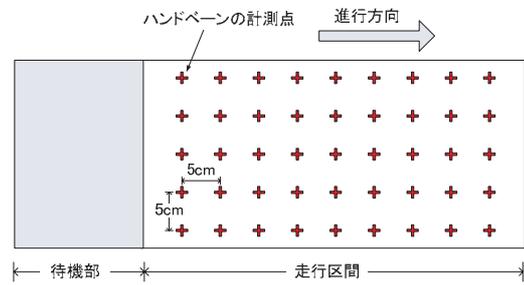


図-4 ハンドベーンの計測箇所

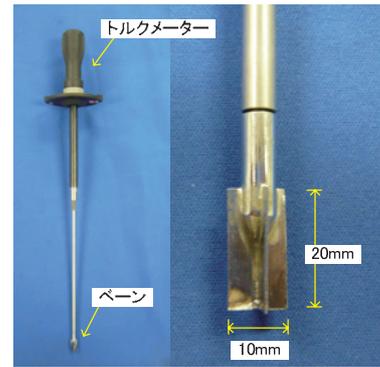


写真-3 ハンドベーンの概要

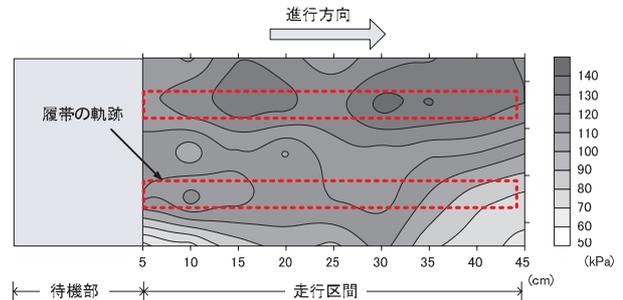


図-5 ハンドベーン試験結果

4.2 高速度カメラの概要

走行中のくい打機模型挙動の実測は困難であるため、高速度カメラで走行挙動を記録し、画像解析を行った。実験に使用した高速度カメラは nac 社製 fx Rx-6G である。

動画は 500 コマ/秒で撮影し、1pixel あたりの精度は約 0.8mm である。写真-2 に測点の概要を示す。マーカーは全部で 10 点 (P0~P9) であり、本研究では、Point0 と Point1 を結んだ測線の傾斜角を算出した。なお、解析結果にはレンズの光学歪補正を施した。

4.3 ハンドベーン試験

遠心場走行実験を行った関東ローム地盤に対して、ハンドベーンを用いたせん断強度分布の調査を行った⁴⁾。調査は 5cm 間隔の格子状に測点を設定し、合計 45 箇所(5×9)の計測を行った。図-4 にハンドベーンの計測箇所を示す。用いた装置は、幅 10mm×長さ 20mm のベーンブレードが備わり、

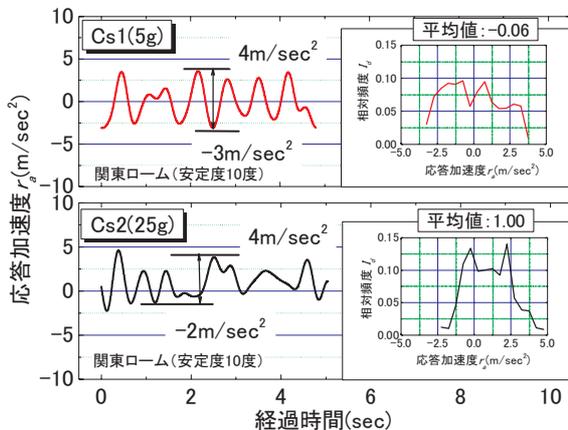


図-6 応答加速度と経過時間の関係 (実大換算)

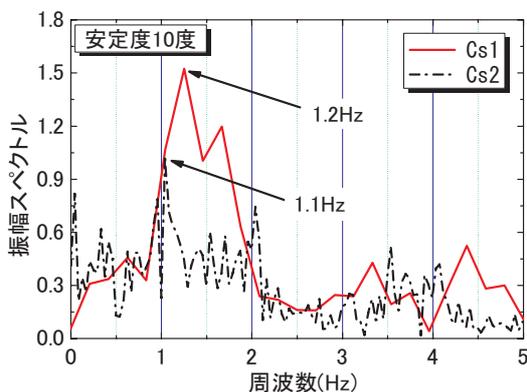


図-7 周波数と振幅スペクトル

表層部に手で貫入した後に、最大トルク M_{max} を計測するものである。写真-3 にハンドベーンの概要を示す。

図-5 にハンドベーン試験の結果を示す。走行路のせん断強さにはバラツキが見られ、部分的にせん断強さが大きい箇所が見られる。この原因として、遠心場走行実験の後にベーンせん断試験を実施したため、履帯の通過により地盤が締固まった事が考えられる。しかしながら、進行方向のせん断強さのバラツキは比較的小さいことがわかった。

5. 実験結果および考察

遠心場走行実験では、くい打機模型を待機位置から加速させ、次に定常走行させる。この加速に要する距離は 15cm 程度である。この時履帯は全面が待機位置から模型地盤上に移動する。従って本研究では、走行距離が 15cm 以降のデータを解析対象とした。

5.1 応答加速度

図-6 に、Cs1 と Cs2 におけるリーダー上部の応答加速度(r_a)の経時変化を示す。

応答を比較すると、遠心加速度の大小による r_a の振幅には顕著な差は見られない。値を比較する

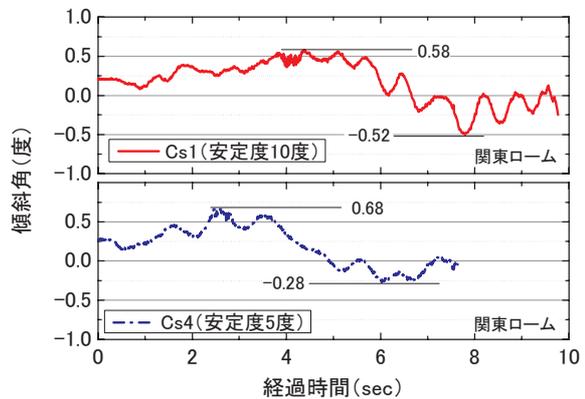


図-8 経過時間と傾斜角の関係

と両実験結果はともに最大 r_a が 4m/sec² 程度である。また、最小 r_a は Cs1 の遠心加速度 5g において -3m/sec² 程度、Cs3 では -2m/sec² 程度と若干の差が見られた。これは、履帯接地圧力(q_a)が大きい Cs2 では、 $q_a > q_u$ となるために、Cs1 に比べて大きな沈下が生じ、機体が傾斜したと考えられる。このことは、図中に示す r_a の分布図からも解る。Cs1 の平均値は -0.06m/sec² であるが、Cs3 の平均値は 1.00 m/sec² である。従って、Cs3 では機体が約 5 度傾斜した状態で自走し、揺動したことがわかる。

5.2 揺動の周波数特性

図-7 は、Cs1 と Cs3 における r_a を周波数解析し求めた振幅スペクトルの分布である。遠心加速度 5g における Cs1 の振幅スペクトルはピークが 1.2Hz 付近に現れている。遠心加速度 25g における Cs3 の振幅スペクトルのそれは 1.1Hz 付近に見られ、その値はほぼ一致している。また、Cs3 の周波数 0~0.1Hz 付近に見られる振幅スペクトルの増加には、先に述べた模型の傾斜による影響が見られる。

5.3 高速度カメラによる挙動解析

図-8 に傾斜角と経過時間の関係を示す。安定度の違いにかかわらず、ほぼ同じ傾向を示している。これは、与えた遠心加速度が小さく、履帯に生じる接地圧が小さいため、弾性的な支持条件が支配的となり、同じような動揺が生じたと考えられる。

表-4 に傾斜角の解析結果を示す。平均値と標準偏差、傾斜角の最大値と最小値の差 ($\Delta\theta$) を比較すると、試験条件の違いにかかわらず、有意な差は見られない。それに対して周波数成分を比較すると、Cs1 (安定度 10 度) に比べ、Cs4 (安定度 5 度) は長周期的に揺動している。このことから安定度の低下に伴い、走行時の揺れは長周期化することが確認された。

5.4 履帯に作用する接地圧力変動

計測した車軸荷重を各車軸の接地面積で除して接地圧力を求めた。

表-4 傾斜角の解析結果

	平均値 (度)	標準偏差 (σ)	最大傾斜角差 ($\Delta\theta$)	周波数 (Hz)
Cs1	0.173	0.258	1.10	1.13
Cs4	0.184	0.254	0.96	0.91

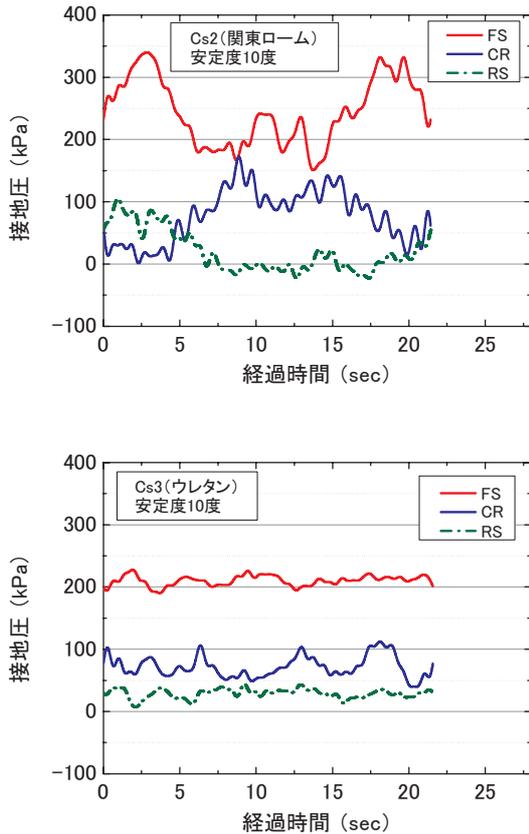


図-9 接地圧の時刻歴
(a)Cs2(ローム) (b)Cs3(ウレタン)

図-9 に接地圧力と経過時間の関係を示す。関東ロームとウレタンの結果を比較すると、関東ロームの接地圧変動が大きい。これは、関東ローム地盤は支持力のバラツキを有するのに対して、ウレタン地盤は、支持力のバラツキが非常に小さいため、地盤支持力の影響によるものと考えられる。

全接地圧に対する各車軸の接地圧の比を、接地圧分布割合 R と定義し、実験値 R_e と理論値 R_t の比較を行った。ここで、理論値 R_t の算出方法については、JIS が定める接地圧力の関係式⁵⁾から算出した。JIS A 8509-1 には、くい打機の履帯に作用する接地圧力分布形状とその最大・最小接地圧の算出方法が定められており、機体重心の水平偏心量(e)と履帯諸元の相対的な関係に基づいて接地圧力の算出式が規定されている。

図-10 に Cs2 および Cs3 より得られた接地圧力

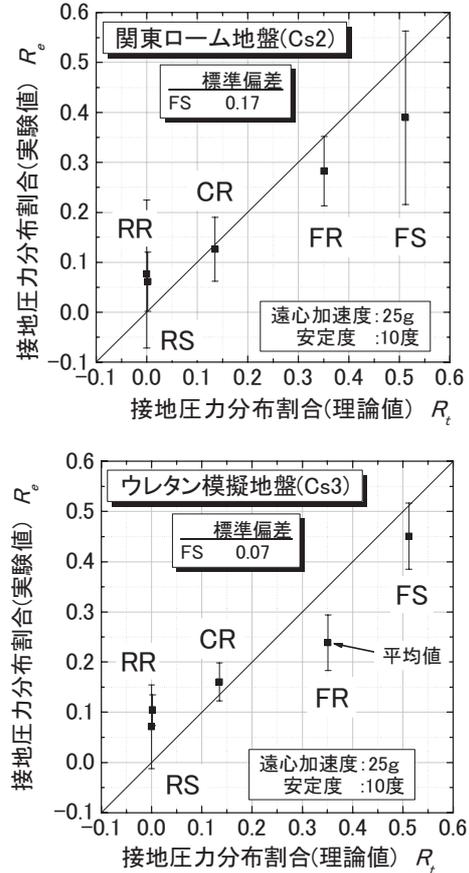


図-10 接地圧分布割合の実験値と理論値の比較
(a)Cs3(ローム) (b)Cs4(ウレタン)

の理論値 R_t と実験値 R_e の比較を示す。実験値の平均値をマークで、標準偏差 σ をエラーバーで示した。 R_e に注目すると、RR と RS はともに 0 である。これは、両実験の安定度条件では、機体が前輪 3 個の車輪によって支持されることを意味する。平均値に着目すると、両実験に共通して R_t と R_e は、ほぼ一致している。RR と RS には、 R_e が 0.1 以下程度の小さな荷重の発生が見られ、 $R_e > R_t$ である。一方、FR と FS では、 $R_e < R_t$ である。

標準偏差 σ の分布を見ると、ウレタン地盤では各部の値がほぼ等しいが、ローム地盤では R_e の増加に伴う σ の増加が見られる。特に接地圧力が最大となる FS の σ に着目すると、ウレタン地盤では 0.07 であるが、ローム地盤では 0.17 と大きく、地盤支持力のバラツキによる違いが確認された。

5.5 走行地盤に必要な支持力安全率の考察

遠心場走行実験より得られた履帯接地圧の変動係数と、模型地盤の支持力の変動係数を用いて、不確かさを考慮した支持地盤の破壊確率の検討を行った。

G_f を地盤破壊に関する限界状態関数と定義すると、 G_f は式 (1) によって表される。

表-5 接地圧力の支持力安全率と変動係数

	支持力安全率 q_u/μ_a	変動係数	
		支持力 C_{vg}	接地圧力 C_{vp}
Cs2	2.2	0.16	0.45
Cs3	0.9	0.08	0.14

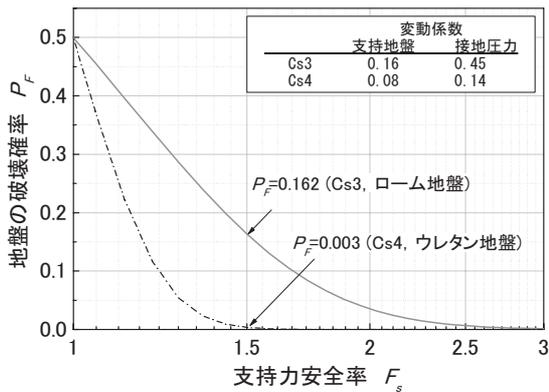


図-10 地盤の破壊確率と支持力安全率の関係

$$G_f(q_u, q_a) = q_u - q_a$$

$$\begin{cases} G_f(q_u, q_a) > 0 & \text{安全} \\ G_f(q_u, q_a) < 0 & \text{危険} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 q_a は履帯に生じる接地圧力であり、 q_u は地盤の極限支持力である。

q_a と q_u は互いに独立であり、 G_f は正規分布に従うことを仮定すると、地盤の破壊に対する危険の確率 (P_{FP}) は式 (2) により求められる。

$$P_{FP} = P(q_a > q_u) = P(G_f < 0)$$

$$= F_G(0) = \Phi\left(\frac{0 - \mu_G}{\sigma_G}\right) = \Phi\left(-\frac{\mu_G}{\sigma_G}\right) = 1 - \Phi\left(\frac{\mu_G}{\sigma_G}\right) \quad (2)$$

ここで、 μ_G と σ_G は G_f の平均値と標準偏差である。 F_G は確率分布関数であり、 Φ は F_G によって表された標準正規分布関数である。

遠心場走行実験に基づく走行地盤の破壊確率について、仮定的な検討を行った。検討に用いたパラメータを表-5に示す。支持力安全率は地盤の極限支持力 q_u を FS の履帯接地圧 q_a の平均値 μ_a で除した値である。支持力の変動係数 (C_{vg}) は、ローム地盤ではハンドベーン試験の結果より与え、ウレタン地盤には推定値を与えた。

Cs2 と Cs3 の事例に基づいた支持力安全率 F_s と地盤の破壊確率 P_f の関係を図-10に示す。

C_{vg} と C_{vp} の値がともに大きい Cs2 の曲線は、両値がともに小さい Cs3 の上方に位置している。施工現場で慣用的に用いられることが多い、短期的な安全率 $F_s=1.5$ で P_f の値を比較すると、その値は 0.162 と 0.003 であり、大きな差が生じることがわ

かった。

以上の結果から、接地圧力変動と地盤のせん断強さのバラツキから、信頼性設計の概念に基づいた支持力安全率の検討が可能であることが明らかになった。

6. まとめ

(1) くい打機模型を作製し、遠心場走行実験を行った。その結果、自走に伴う機体の動揺は 1.1~1.2Hz 付近に卓越が見られた。

(2) 高速度カメラで撮影した動画を解析した結果、安定度の低下に伴い、機体の揺れが長周期化していることが確認された。

(3) 履帯の接地圧力は自走に伴って変動することがわかり、その変動は、支持力の安全率と地盤支持力のバラツキに影響を受けることがわかった。

(4) 実験的に得られた支持地盤と接地圧力の変動係数を用いて、支持力安全率 (F_s) と地盤の破壊確率 (P_f) の関係を調査した。その結果、現場で慣用的に用いられている $F_s=1.5$ における P_f の値は 0.162 と 0.003 と大きく異なり、両変動係数は安全率の選択上、重要なパラメータであることがわかった。なお、本実験では現場地盤に存在する地表面の凹凸は考慮されていないため、実際の P_f はこれよりも大きくなる可能性がある。

謝辞：本研究成果は平成19年度厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）の交付を受けた研究課題「基礎工事用大型建設機械の転倒防止に関する研究（H19-労働一般-005）」において得られた成果であり、関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 労働調査会：安衛法便覧I，平成19年度版，pp.967, 2007
- 2) 労働調査会：安衛法便覧II，平成19年度版，pp.512, 2007
- 3) 堀智仁，玉手聡：くい打機の走行挙動と履帯圧力分布に関する実験的解析，平成20年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集，pp.151~156, 2008
- 4) (社)地盤工学会：地盤調査法，pp.242~248, 1995
- 5) 日本工業規格：基礎工事機械-安全-，第一部：くい打機の要求事項，JIS A 8509-1，pp.25, 2007

19. 油圧ショベルのハイブリッド化による燃費低減技術について

PC200-8ハイブリッド油圧ショベルの紹介

コマツ

○井上 宏昭

1. はじめに

1997年にトヨタ自動車からまったく新しいコンセプトの乗用車が発売された。それまでの走る・曲がる・止まるといった基本性能に対し、環境、とりわけCO₂低減を第一義としてとらえハイブリッドシステムを搭載したプリウスの登場である。このクルマが産業界に与えたインパクトははかり知れず、弊社においても早速建設機械のハイブリッド化について検討を着手した。また、ここにハイブリッド方式を“アクチュエータの電動化と回生エネルギーのストレージシステムを備えたシステム”と定義した。

従って電力供給源については各種のシステムが考えられ、エンジン発電機以外にバッテリー+キャパシタからなるハイブリッドフォークリフトの実用例がある。建設機械は、製造から廃却にいたるライフサイクルにおいてCO₂の排出は稼働時の燃料消費によるものが90%以上を占めており、燃料消費の低減が直接温暖化ガス排出の低減につながる為、ハイブリッド化による低燃費技術は環境のみならず機械を使用していただくお客様にとっても有益な手法であることが判明した。

そこで国内において最も普及している油圧ショベルに対し、地球温暖化問題とりわけCO₂排出に対する社会的貢献を果たし、一向に進まぬ温暖化ガス低減に対し建設業界においても今後規制が厳しくなることが予想される経営環境下において、お客様に燃費低減可能な商品を提供することによりご満足いただくと共にマーケットの活性化に結びつけることを目標としたハイブリッド油圧ショベルの開発を2005年より本格的に開始し、昨年弊社よりPC200ハイブリッドを発売開始したのでその概要について¹⁾報告する。

2. 油圧ショベルの低燃費技術

図-1に油圧ショベルの代表的な作業でのエネルギーフローを示す。エンジン出力を総て油圧エネルギーに変換し各アクチュエータに分配する油圧ショベルにおいては、エンジン～ポンプ間においてエネルギー変換ロスが、圧油を分配する際に圧力損失

他によるロスが発生する。さらには作業機および上部旋回体の位置・運動エネルギーは油圧システムのメータアウト損失となって熱に変換されロスを計上する。

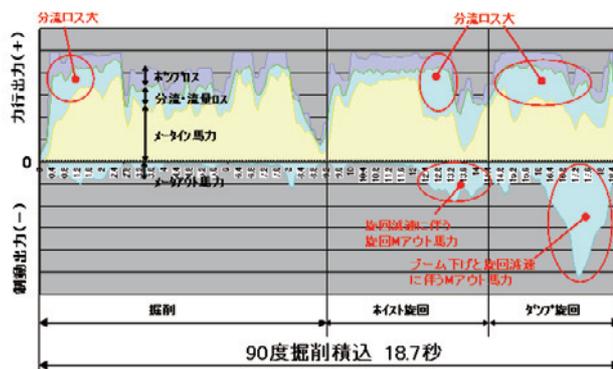


図-1 油圧ショベルのエネルギーフロー

これに対し、上部旋回体の駆動を電気モータで行うハイブリッドシステムとすることによりエネルギー変換および伝達ロスの低減と、旋回体の運動エネルギーを回生することが可能となる。そうして得られたエンジン出力の抑制効果をさらにエンジン燃費マップ上で最適マッチングさせることで、大幅な燃費低減効果を見込むことが出来る。

3. ハイブリッド油圧ショベル概要

3.1 ショベル外観

コマツPC200-8ハイブリッドショベル外観を図-3に示す。ベースマシンに対し外観上の相違は唯一ステッカのみであり、ハイブリッド化による搭載コンポーネントの増加分は既存スペース内で吸収した。

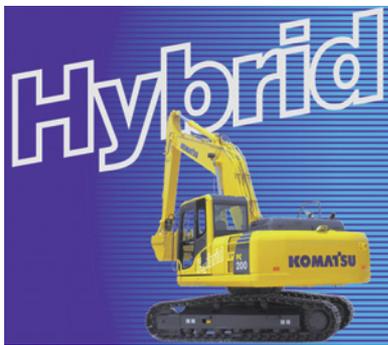


図-2 ハイブリッド油圧ショベル外観

3.2 ハイブリッドシステム

ハイブリッド油圧ショベルの構成は、旋回電気モータ、発電機モータ、インバータ、キャパシタ等から成り立っている。車体の旋回が減速する時、旋回電気モータが減速時に発生するエネルギーを電気エネルギーとして回収し、キャパシタと呼ばれる蓄電器に蓄える。これを旋回時のエネルギーとして再活用すると共に、発電機モータを通じて作業時のエンジン加速時のアシストエネルギーとしても活用する。此の為、待機状態を始めエンジン回転を低く抑え燃料消費量の低減が可能となっている。また、「コマツ・ハイブリッド・システム」では、電気エネルギーを効率よく瞬時に蓄電・放電することを可能にするために「キャパシタ」を採用していることが特徴のひとつである。

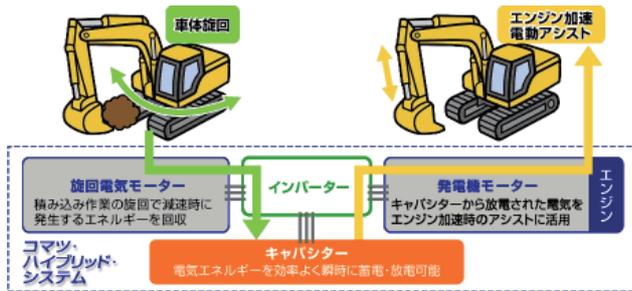


図-3 コマツ・ハイブリッド・システム概要

3.3 ハイブリッドコンポーネント

① 発電機モータ

発電機モータはエンジンと油圧ポンプ間にビルトインし油圧ポンプへの伝達効率を格段に高めている。また、エンジンアイドリング状態では効率よく発電しキャパシタへの蓄電補充も行う。

② 旋回モータ

旋回減速時のエネルギーを回収する電気モータを新規開発した。電気モータは油圧モータよりも加速時の効率が良く、スムーズな旋回性能を発揮できる。電気モータ用の潤滑油、冷却水循環も専用ケースを開発することで対応し、さらに電気モータ特有の高速運転に伴い、専用減速機も新規開発した。

③ インバータ、キャパシタ

昇圧器一体型インバータとキャパシタをコンパクトに搭載。専用の水冷装置を装備することで、各コンポーネントの信頼性を確保した。蓄電器としては、電子・イオンの移動のみで充放電できるキャパシタを搭載。そのため化学反応を要するバッテリーに比べ、短時間での充放電が可能で、建設機械の頻繁なエンジン回転変動への追従を可能にした。

また、発熱や劣化が理論的に無いので、長寿命でかつメンテナンスも不要である。

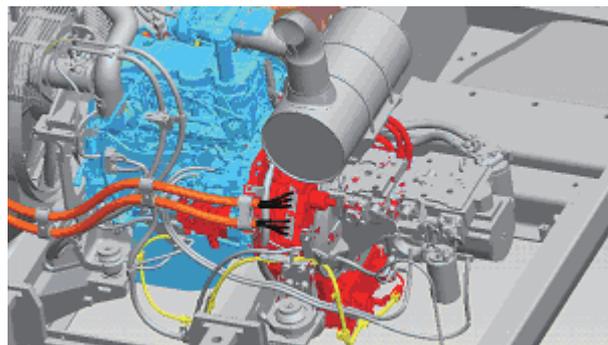


図-4 発電機モータ搭載図

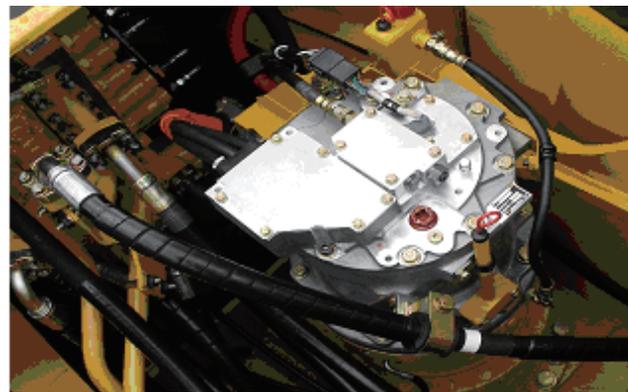


図-5 旋回モータ外観



図-6 インバータ&キャパシタ搭載図

④ キャパシタについて

旋回回生エネルギーの蓄電装置としてキャパシタを採用した。ハイブリッド技術で先行する自動車の場合は、発進加速の際に大容量の電気エネルギーを必要とし、その後は比較的安定したエンジン回転で使われる為、蓄電装置としてバッテリーを搭載

している。それに対して、建設機械の場合、掘削作業等で短時間で頻繁なエンジン回転の変動が生じ、この頻繁なエンジン回転に追従してアシストするために、キャパシタを採用した。

自動車に使われるバッテリーは化学反応を伴い、放充電に時間を要するため、十分なアシストが得られないが、キャパシタであれば効率よく回収・蓄電し、また瞬時に放電することが可能となる。

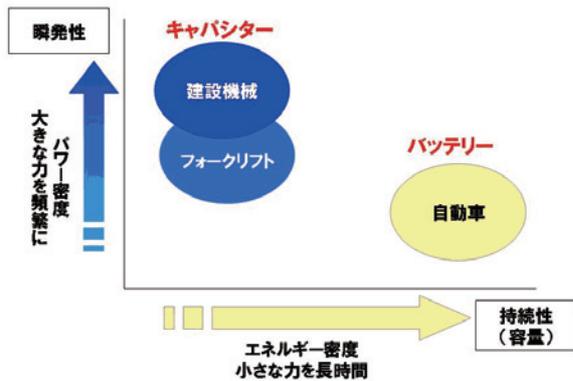


図-7 キャパシタとバッテリーの特性概念図

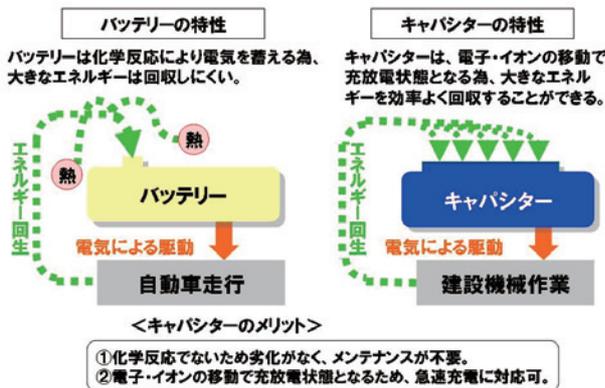


図-8 キャパシタとバッテリーの充放電メカニズム

90度旋回ダンプ積み作業におけるキャパシタ充放電パターンを以下に示す。図からワンサイクルの中で充電と放電の収支がほぼバランスしていることが解る。

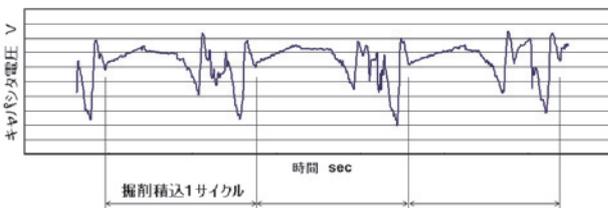


図-9 キャパシタの充放電パターン

3.4 IT技術

ハイブリッド車では、エコ運転を助成するため、「ハイブリッド専用モニター」を装備した。

① 省エネナビゲーションシステム

運転席に装備したモニター画面中央部に直近5分

毎の燃料消費量を棒グラフ表示し、オペレータのエコ運転励行を助成する。また画面を切り換えることで、直近1時間、12時間、1週間、1ヶ月の過去の燃料消費データも表示できる。

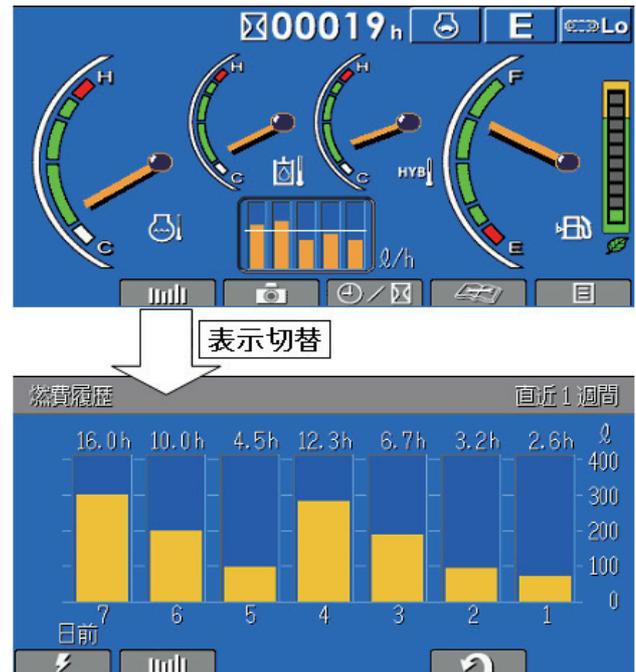


図-10 省エネナビゲーションシステム

② エネルギーモニタ

モニタ画面を切り換えることで、キャパシタの充放電や発電機モータのエンジンアシストの状況を、エネルギーフローとしてモニタ表示することも可能である。

画面にはシステムを構成する各コンポと、それらコンポ間のエネルギーの流れが以下に色分け表示される。一例として、作業機操作+旋回起動時のパワーフローを下図に示す。



図-11 エネルギーモニタ

作業機は従来機同様エンジンによるエネルギーを油圧で動かす。(赤矢印)

旋回はキャパシタ及び発電機からの電気エネルギーで駆動する。(黄矢印)

3.5 低燃費効果

旋回を電気駆動としたハイブリッドである為、

燃費低減効果については旋回操作を主体とした作業において発揮されると考えられる。そこで販売に先立ち旋回動作の頻度が高い作業現場においてユーザ3社によるテストを実施した。結果は下図に示す様に同一稼働現場の従来機「PC200-8」と比較して30~40%の燃費低減効果を得た。

これはこのシステムが旋回エネルギーを回生するので旋回時の負荷、旋回角度、旋回の頻度によって燃費低減効果が異なるためと考察する。

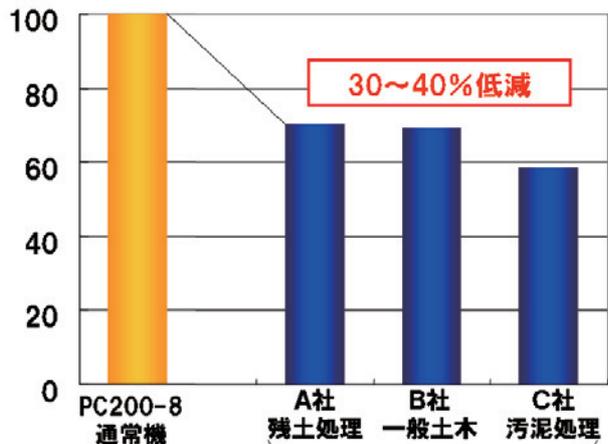


図-12 ユーザテストにおける燃費低減効果

参考として旋回角度の異なる作業における燃費低減効果を表-1に示す。

表-1 燃費低減効果と旋回角度の関係

作業内容	旋回角度	現行機に対する燃費低減効果指数 (90度ダンプ積込を1とする)
ダンプ積込	90度	1.00
ダンプ積込	180度	0.95
溝掘削	45度	1.04

3.6 CO2削減効果試算

ハイブリッド車1台が1時間作業をした場合、燃費低減効果として通常機と比較した場合、約10KgのCO2が削減される。日本国内で稼働する弊社の油圧ショベルが全てハイブリッド車に置き換わった場合を試算すると、年間約370,000トンのCO2の排出が削減されることとなり、これは東京ドームの約153個分に相当する。

PC200-8 ハイブリッド 1台/作業1時間 約10KgのCO2削減



日本国内で稼働するコマツの油圧ショベルが全てハイブリッド車になったら...

年間約370,000トンのCO2排出量が削減 注1) = 東京ドーム約153個分のCO2削減に相当 注2)

注1)油圧ショベルの稼働台数/排出量は2006年末の数値。ユーティリティ(ミニ建機)は除く
注2)東京ドームの体積1,240,000m³として試算

図-13 ハイブリッドによるCO2削減効果

4. まとめ

従来のエンジン出力を総て油圧のエネルギーに変換し各アクチュエータを駆動する油圧ショベルのシステムに対し、上部旋回体の駆動を電気モータで行うことにより、エネルギー変換および伝達ロスの低減と、旋回体の運動エネルギーを回生することが可能となった。これにより得られたエンジン出力の抑制効果をさらにエンジン燃費マッチングと組み合わせることにより、大幅な燃費低減効果を達成し、併せ以下の技術を確立した。

① 旋回装置の電動化技術

従来の油圧モータに換え電気モータにより上部旋回体を駆動する。操作性とりわけ他作業機との複合操作におけるモータ制御技術を確立した。

② 旋回運動エネルギーの回生技術

旋回電気モータ減速時のエネルギー回生を行うため、蓄電池の電圧制御技術を確立した。

③ エンジン、油圧、電気のトータルエネルギーマネジメント技術

エンジン、油圧ポンプ、発電機モータ各々のパワー配分を決定し、燃費最適運転となるようなトータル制御技術を確立した。

④ ハイブリッドコンポーネントの開発技術

建設機械用重負荷対応のハイブリッドコンポーネントとして、モータ・インバータ・キャパシタを開発した。(キャパシタセルは購入品)

5. 参考文献

- 井上 宏昭:PC200-8ハイブリッド油圧ショベルの紹介, コマツテクニカルレポート, Vol.54・No161, pp.26~31, 3/27/2009

20. 防振ゴム材の応力緩衝効果に関する基本考察

東海大学・院 ○南條 聡嗣
 東海大学・院 難波 達郎
 東海大学 近藤 博

1. はじめに

建設機械等において、防振ゴムは重要機能部品をはじめ、部材と部材の間に必ずといっていいほど使われている。防振ゴムの主な使用目的は、防振、緩衝、防音のためである。

防振に関しては、詳細な検討が行われている。一方、緩衝効果については、次のように考察されている。ひとつは、鋼部材を質点、ゴム材をバネとおいた一次元振動系に、衝撃外力が作用したときの応答から、他の鋼部材への伝達力を求める方法¹⁾である。もうひとつは、鋼部材-ゴム材-鋼部材と伝播する進行波のみの検討から、防振ゴムの緩衝効果を検討する方法²⁾である。

前者の問題は、鋼部材を質点として扱うので、鋼部材内部に生じる弾性波の影響を考慮できなのが問題である。また、後者は波動問題で防振ゴムの緩衝効果を検討しているが、進行波のみの考察から、ゴム材の応力緩衝効果が非常に大きいと判断していることある。しかし、このように判断できるのは、衝突する鋼部材から継続時間の短い応力波(継続時間が $\tau_0 = 2L_r/c_r$ 以下の波。ここに、 L_r はゴム材厚さ、 c_r はゴム材中の波動伝播速度)がゴム材に入力された場合だけである。

応力波の継続時間が τ_0 以上になると、ゴム材に入射した応力波の多重反射の影響を考慮する必要が生じる。すなわち、ゴム材中の応力波の多重反射により、応力波の重ね合わせの現象が生じ、ゴム材及び鋼部材中の応力が大きくなる。例えば、鋼部材長が大きくなると、応力波の継続時間(鋼部材長と比例関係にある)が大きくなり、条件によっては、鋼部材中の応力は、入射応力と同値まで上昇する。同様な現象は、ゴム材が薄くなっても起こる。

本論文では、まず、進行波を採用した既往の考え

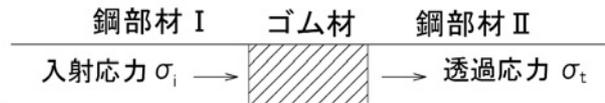


図-1 入射応力波と透過応力波の従来の考え方

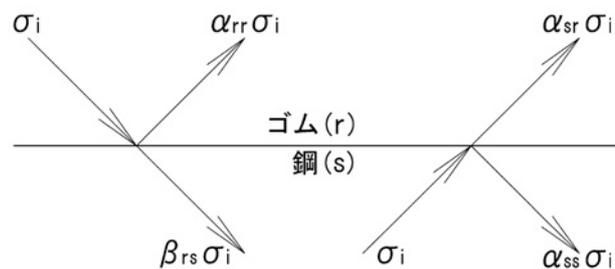


図-2 反射係数と透過係数の記号

方と今回提案する多重反射を考慮したときの応力緩衝効果について述べた。次に、鋼部材が長くなると応力緩衝効果が小さくなることを、ホプキンソン棒を用いた衝突実験により示した。次に、波動伝播モデルを採用したシミュレーションにより、実験波形が再現できることを確認した。さらに、波動伝播モデルにより、ゴム材の応力緩衝効果の基本特性が検証できることを示した。

2. 既往の考え方²⁾

図-1 により、鋼部材 I からゴム材、鋼部材 II と応力波が伝播する場合の既往の考え方を説明する。鋼部材 I と鋼部材 II は同材質とし、そのインピーダンスを Z_s 、ゴム材のインピーダンスを Z_r と記す。また、鋼部材からゴム材への応力波の透過係数を β_{rs} 、ゴム材から鋼部材への透過係数を β_{rs} と記すことにする(図-2 参照)と、両透過係数はインピーダンスを用いて次式で示される。

$$\beta_{sr} = 2Z_r / (Z_s + Z_r) \quad (1)$$

$$\beta_{rs} = 2Z_s / (Z_s + Z_r) \quad (2)$$

いま、鋼部材 I から入射応力波 σ_i が伝播すると、鋼部材 II に透過する応力波 σ_t は、両透過係数を用いて次式で求められるとしている。

$$\sigma_t = \beta_{sr} \cdot \beta_{rs} \cdot \sigma_i = \left\{ 4Z_r \cdot Z_s / (Z_s + Z_r)^2 \right\} \sigma_i \quad (3)$$

ここで、鋼部材 (弾性係数 $2.1 \times 10^5 \text{N/mm}^2$, 密度 7850kg/m^3) とゴム材 (弾性係数 4.5N/mm^2 , 密度 1350kg/m^3) のインピーダンス比 ($q=Z_s/Z_r$) は、約 510 になるので、透過応力は

$$\sigma_t = 7.8 \times 10^{-3} \sigma_i \quad (4)$$

となる。

すなわち、鋼部材 I から鋼部材 II に透過する応力は、入射応力 σ_i の約 0.78% と小さくなるので、ゴム材の緩衝効果が期待できるとしている。

以上の説明から明らかなように、既往の考え方は進行波のみ考え、ゴム材中に生じる応力波の多重反射の影響を考慮していないことがわかる。

3. ゴム材中の多重反射と透過応力

ゴム材中の多重反射の様子を検討するために必要となる 2 媒体間の反射係数 α と透過係数 β を図-2 のように定義することとする。図-3 は、鋼部材に挟まれたゴム材中を応力波が反射を繰り返しながら、鋼部材 II に透過していく様子を示したものである。この計算に必要なのが、次式のゴム材と鋼部材の境界面での応力波の反射係数 α_{rr} である。

$$\alpha_{rr} = (Z_s - Z_r) / (Z_s + Z_r) \quad (5)$$

鋼部材 I に入射応力 σ_i が入射すると、ゴム材中の応力 σ_b は式(5)の反射係数と式(1)に示した透過係数を用いて次式で求めることができる。

$$\sigma_b = \frac{\beta_{sr} (1 - \alpha_{rr}^n)}{1 - \alpha_{rr}} \sigma_i \quad (6)$$

ここに、 n は、ゴム材中を応力波が行き来する回数である。ここで、 n の値が大きくなると、 σ_b は次式で表現される。

$$\sigma_b = \sigma_i \quad (7)$$

同様にして、鋼部材 II に入射される応力 σ_{II} は、式(1)、式(2)および式(5)を用いて次式で求めることができる。

$$\begin{aligned} \sigma_{II} &= \beta_{sr} \beta_{rs} (1 + \alpha_{rr}^2 + \alpha_{rr}^4 + \dots + \alpha_{rr}^{2l}) \\ &= \frac{\beta_{sr} \beta_{rs} (1 - \alpha_{rr}^{2l})}{1 - \alpha_{rr}^2} \sigma_i \end{aligned} \quad (8)$$

ここに、 $2l = n - 1$ ($n = 1, 3, 5, \dots$) とする。

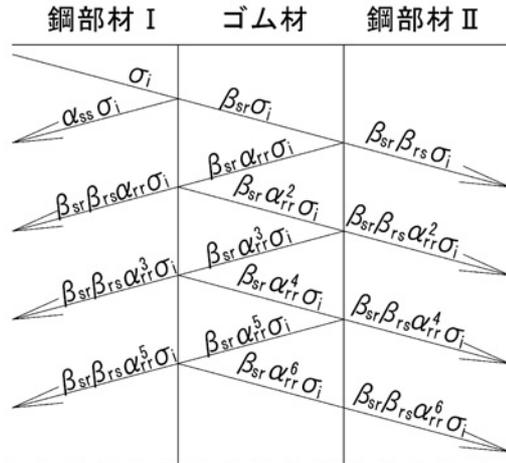


図-3 ゴム材中の応力波の多重反射の状況

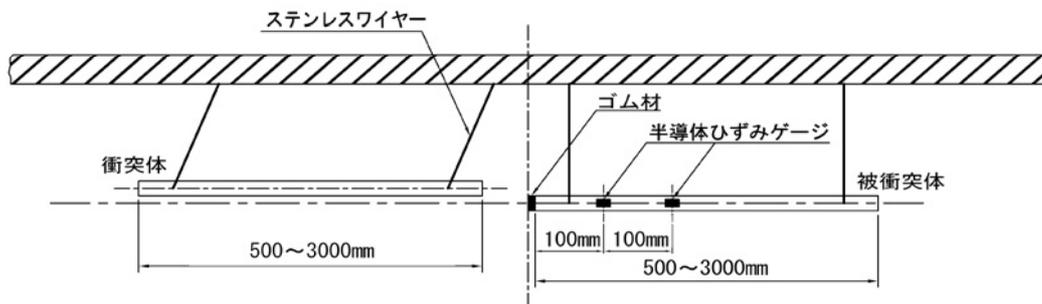


図-4 実験装置の概要

ここで、 l の値が大きくなると、

$$\sigma_{II} = \sigma_i \quad (9)$$

となる。すなわち、入射応力の継続時間が大きくなると、両部材中の応力は入射応力と一致することになる。

4. 検証実験と検討

4.1 実験装置と方法

図-4 に、実験装置の概要を示す。2本の鋼部材模型(直径 25mm, 長さ 500mm(A), 1000mm(B), 2000mm(C), 3000mm(D)の4種)をワイヤーロープで吊り下げ、衝突体を所定の高さ(衝突速度 1m/s, 2m/s を得る高さ)から振り子スタイルで被衝突体に衝突させる方法で実験を行う。本方法は、図-1 で示したモデルで、鋼部材 I に、長さ 500mm~3000mm の鋼部材が衝突するときや、同モデルで、鋼部材 I と鋼部材 II の長さを 500mm~3000mm としたときに、鋼部材 I に衝突力が作用し鋼部材 I がある速度で運動するときの挙動を再現したものである。

ゴム材は、硬度 50 の天然ゴムで、直径 25mm, 厚さ 10mm である。応力波の計測は、被衝突体の衝突面から 100mm, 200mm の 2 点に半導体ひずみゲージを貼付して行った。なお、応力波形はログステーションを用いてサンプリングタイム 1 μ s で収録・処理した。

4.2 実験結果と検討

図-5 は、実験装置の検証のために、ゴム材を設置しないで、実験を行ったときの、鋼部材模型 B(衝突速度 1m/s と 2m/s の 2 段階)と鋼部材模型 C(衝突速度 1m/s)での、衝突応力-時間関係を示したものである。また図中に理論値を破線で示した。

同材質、同断面の鋼部材模型が速度 V_0 で衝突し

たときの、理論応力 σ は、鋼部材模型の弾性係数を E , 鋼部材模型中の波動伝播速度を c とすると、次式で表現できる。

$$\sigma = (E/2c)V_0 \quad (10)$$

式(10)から、衝突応力は衝突速度に比例するが、鋼部材模型の断面積や長さに影響されないことがわかる。ただし、鋼部材模型長が大きくなると、衝突を持続する時間(応力継続時間)が長くなる。図から、実験波形は立ち上がりが少々遅れるものの、理論波形に近い矩形波形が得られることがわかる。実験波形から被衝突体への入射エネルギーを計算したところ衝突体の保持したエネルギーの約 98% になった。よって、ホプキンソン棒を鋼部材模型に採用した本実験装置により、ゴム材の応力緩衝効果が精度良く検討できることになる。

図-6 は、同じ長さの衝突体と被衝突体が、境界

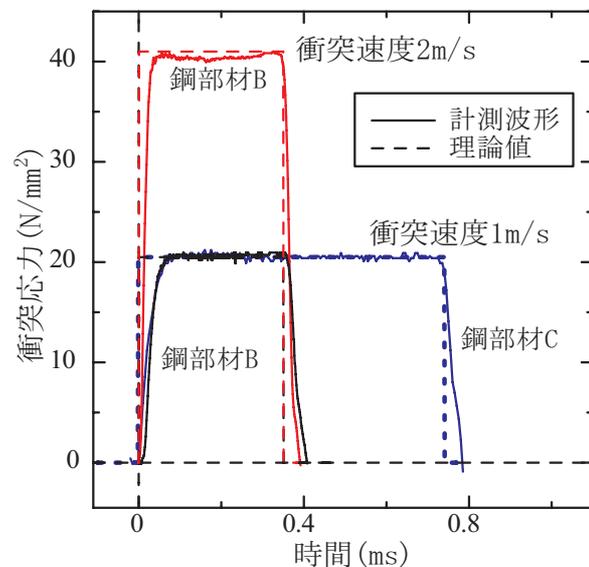


図-5 ゴム材を設置しないときの理論波形と実験波形

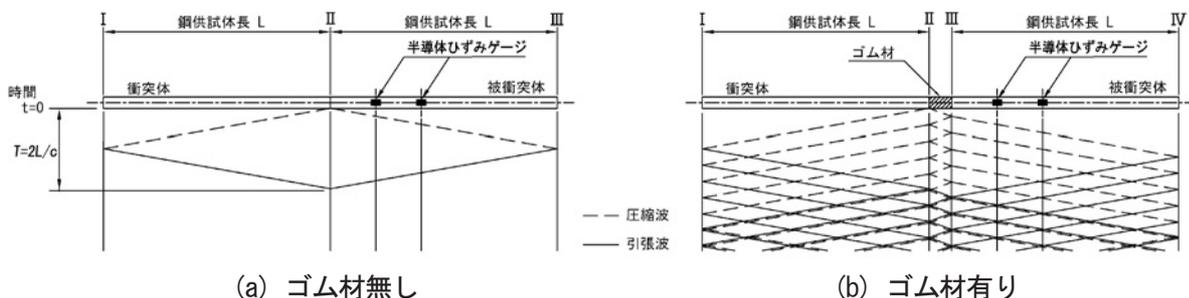


図-6 鋼部材中の弾性波の伝播の様子

面Ⅱで衝突したときに、鋼部材内を伝播する応力波の様子を示したものである。図中の破線は圧縮波、実線は引張波を表している。

図-6(a)は、ゴム材を設置しないときの様子を示したものである。境界Ⅱで衝突が起これると、他端に向かい圧縮波が伝播し、自由端である境界ⅠおよびⅢで引張波として反射する。その反射波の波頭が衝突面に到達するまで衝突が継続する。ここに、衝突継続時間 T は、衝突体長さを L 、衝突体内の波動伝播速度を c とすると、 $T=2L/c$ となる。 T 時間後、衝突体は静止し、被衝突体は、衝突体の衝突速度で移動を開始する。このときの、ゲージ点で測定される波形は、図-5 で示したような矩形波形となる。また、 T 時間後には、両衝突体中の波動エネルギーは消滅する。衝突の持続時間 T は、鋼部材の長さを 1000mm とすると、弾性波の伝播速度は約 5100m/s であるので、約 0.4ms になる。

図-6(b)は、ゴム材を設置したときの初期部の応力波の伝播の様子を表したものである。境界Ⅱで衝突が起これると、ゴム材に入射した応力波が、多重反射を繰り返すとともに、図-6(a)の場合とは異なり、境界ⅠおよびⅣからの引張波が、衝突面に到達した後も衝突が継続することになる。これは、ゴム材の剛性が鋼部材に比べて小さいため、衝突体の保持したエネルギーがゴム材に入射されに

くくなるため、鋼部材模型長が 1000mm のとき、接触継続時間は約 8ms となっている。すなわち、鋼部材模型に入射された弾性波は、鋼部材模型中を約 20 回(= $8/0.4$)往復することになる(鋼部材長が短い場合は、3章での検討より複雑な現象になる)。その後、衝突体と被衝突体は離れる。

図-7 は、鋼部材模型長を4段階と変化させ、衝突速度 1m/s で実験したときの衝突応力-時間関係を示したものである。ゴム材を設置しないときの衝突応力は鋼部材模型長の影響を受けない(図-5 参照)が、緩衝材を設置した場合は、鋼部材模型長が大きくなると、ゴム材中の多重反射の影響により衝突応力が大きくなり、鋼部材長が 3000mm の場合には、ゴム材を設置しないときの約 15% の応力に達し、ゴム材の応力緩衝効果が小さくなる様子がわかる。よって、鋼部材長がさらに大きくなると、3章で論じたように、ゴム材の応力緩衝効果が消滅することになる。同様な現象は、ゴム材厚さが小さくなくても起こる。

5. 波動伝播モデル

5.1 波動伝播モデルの検証

多重反射の計算に、最適と考えるインピーダンス法^{3,4)}(例えば、図-6(b)に示した応力伝播状況で、所要箇所の応力を求める手法)を採用した波動伝播モデルで、実験結果の再現性について検討した。

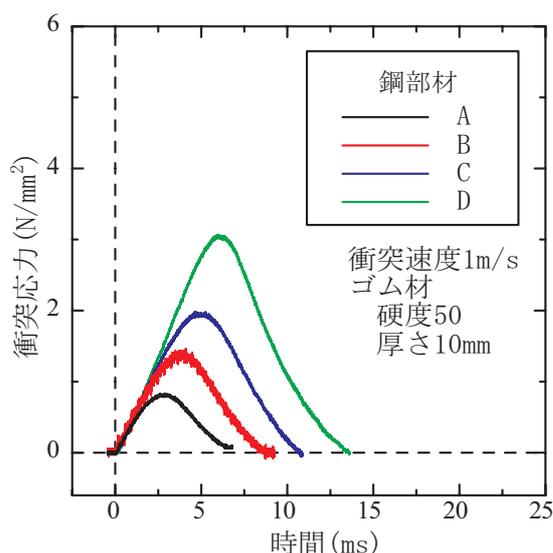


図-7 鋼部材長さと緩衝材設置時の衝突応力

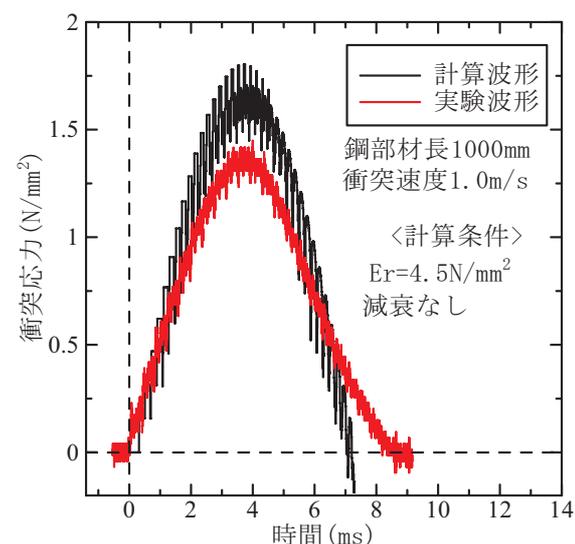


図-8 実験波形とゴム材の応力減衰率を考慮しないときの計算波形

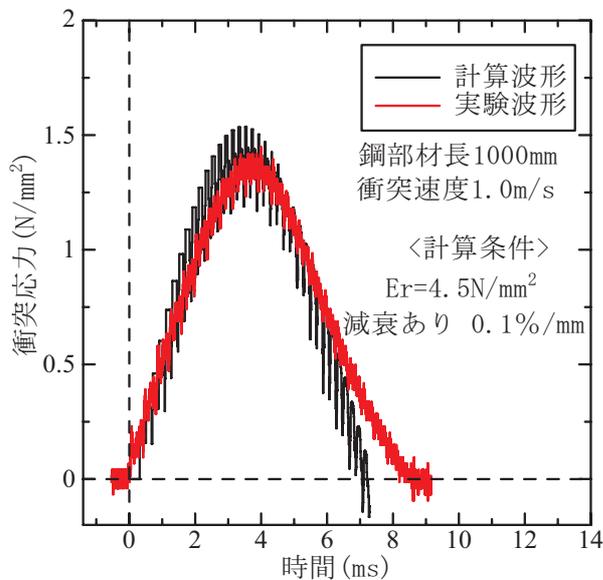


図-9 実験波形とゴム材の応力減衰率を考慮したときの計算波形

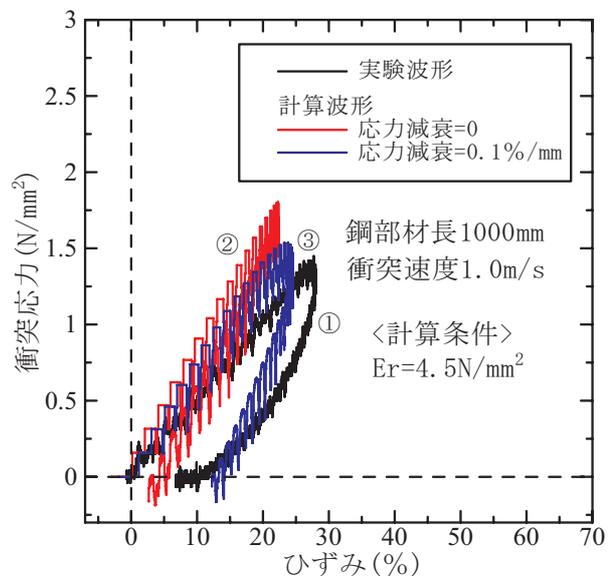


図-10 3者の応力-ひずみ曲線の比較

図-8 は、鋼部材模型 B、ゴム材厚さ 10mm、衝突速度 1m/s で実験したときの計測応力波形とインピーダンス法を用いて計算した波形を並べて示したものである(計算に用いたゴム材の弾性係数 4.5N/mm^2 は、実験波形から求めた応力-ひずみ関係の応力最大値の $1/3$ と $2/3$ の点を結ぶ直線の勾配値を採用した)。図から、計算波形のほうが大きくなるのがわかる。これは、ゴム材変形時のエネルギー消費を考慮しなかったためである。

そこで、直径 25mm、長さ 300mm のゴム棒の中央部 2 カ所(間隔 50mm)に加速度計を貼付し、一端を打撃し速度の低下率を求めたところ、約 $0.1\%/mm$ となった。この値を応力減衰率と呼ぶことにする。

図-9 は、図-8 と同一の実験波形と、応力減衰率を採用したときの計算波形を並べて示したものである。図から、両波形はよく一致している様子がわかる。

図-10 は、図-8 と図-9 の応力波形から求めた、ゴム材の応力-ひずみ関係である(ホプキンソン棒を採用すると、応力波形から棒の変位を求めることができる)。線①は実験波形から求めたゴム材の応力-ひずみ曲線である。線②はゴム材を弾性体と仮定したときのもので、応力-ひずみ曲線が

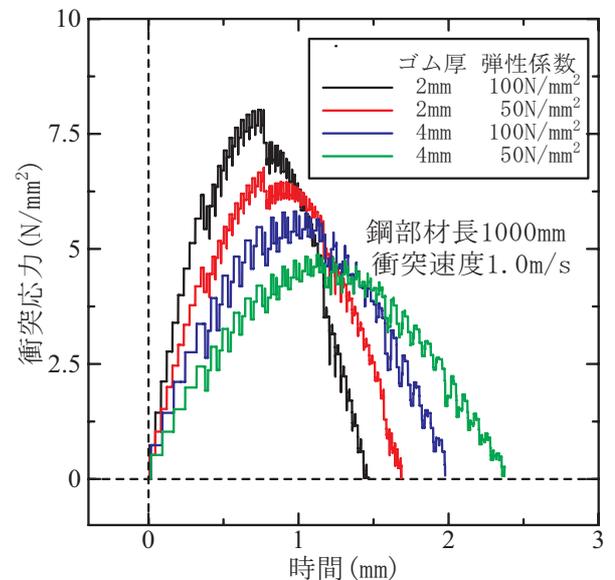


図-11 シミュレーション波形

直線状になっていることがわかる。図で曲線が振動しているように見えるのは、図-6 から分かるように、自由端からの引張波の影響である。線③はゴム材の応力減衰率を採用したときの応力-ひずみ関係で、実験波形から求まる曲線とほぼ一致した。また、応力-ひずみ曲線のループの面積から求まる、ゴム材の圧縮変形時のエネルギー消費量と、鋼材模型の速度変化から求まるエネルギー消費の値もほぼ一致した。よって、インピーダンス法を採用した波動伝播モデルにより、ゴム材の

応力緩衝効果やゴム材のエネルギー消費量を精度よく検討できることになる。

5.2 波動伝播モデルによるシミュレーション

4章で示した検証実験は、ゴム材厚さ10mmで行ったものである。そこで、ゴム材厚さを小さくしたときの応力緩衝効果についてシミュレーションにより検討した。

ゴム材厚さが小さくなると、衝突応力が増大する。応力が増大すると、ゴム材がハードニング効果により、見かけの弾性係数が増大する。そこで、鋼部材長1000mm、ゴム材の厚さ2mmと4mm、弾性係数を50N/mm²と100N/mm²と仮定して計算を行った。

図-11は、そのときの計算結果を示したものである。図から、当然のことではあるが、衝突応力は、ゴム材厚さが薄くなると大きく、見かけの弾性係数が大きくなると大きくなった。ゴム材厚さ2mm、弾性係数100N/mm²での衝突応力は、緩衝材を設置しないときの約4割にも達し、既往の考え方の約50倍の応力になる。よって、緩衝材の応力緩衝効果が小さくなっていることがわかる。

以上のように、本手法はゴム材の変形時の平均的な弾性係数が推定できれば伝播応力を推定できる。よって、本手法はゴム材の緩衝効果の基本特性を扱うのに有効と考えられる。

6. まとめ

- (1) 従来から行われてきた、進行波のみを考えたゴム材の緩衝効果の推定法は、緩衝効果を過大に見積もる。
- (2) ゴム材の緩衝効果は、鋼部材-ゴム材-鋼部材内部に生じる、弾性波の多重反射現象を考慮する必要がある。よって、鋼部材長が大きい場合や、ゴム材が薄い場合はゴム材の緩衝効果が消滅する可能性がある。
- (3) 今回提案した、インピーダンス法に立脚した、波動伝播モデルは、ゴム材の緩衝効果の基本特性を知るのに有効である。
- (4) ゴム材の応力緩衝効果やエネルギー消費量を求める方法として、今回採用したホプキンソン棒を用いた試験法は有効である。

参考文献

- 1) 防振ゴム研究会編：新版防振ゴム，現代工学社，pp.97～113，1998.
- 2) 石川信隆，大野友則，別府万寿博，藤掛一典：衝撃工学，森北出版，pp.141～142，2008.
- 3) 野村昭一郎，武者利光，内藤喜之，森泉豊栄：振動波動入門，コロナ社，pp.148～149，1977.
- 4) 近藤博，木村修一，鈴木勝也，本間重雄：インピーダンス法による桁間衝突のモデル化とゴム材の緩衝効果について，土木学会論文集 No.752/I-66，pp.193～202，2004.

2.1. 盛土施工管理システムの現場適用

自動追尾トータルステーションを用いた情報化施工

東急建設株式会社

○ 上野 隆雄
前田 勝行
永島 裕太

1. はじめに

自動追尾型トータルステーション(以降 TS と呼ぶ)を用いた盛土施工管理システム¹⁾を改良し、空港造成工事に適用した。新システムは複数機種の TS に対応可能で、オペレータと管理者のソフトを分割するなど作業の実情に合わせた使いやすいシステムとした。また、重機に搭載するパソコンには振動対策を施しトラブルを防いだ。さらに現場適用にあたっては、電波環境測定を行い通信妨害の有無を確認した。

本論文では、本システムの構成と特長を説明し、現場適用事例を紹介する。また、適用により明らかになった知見、課題について述べる。

2. 盛土施工管理システムの構成と特長

2.1 システム構成

ハードウェアは、①事務所用PC、②締固め重機に搭載するプリズム、③プリズムを追尾するTS、④締固め重機に搭載するPC、⑤TSの計測データを車載PCに無線伝送するモデムから構成される(図-1)。

ソフトウェアは、⑥締固め範囲等の設定を行うプロジェクト管理ソフト、⑦TSと通信し座標データを

取り込む通信ソフト、⑧走行軌跡データを記録・画面表示する転圧管理ソフト、⑨記録した走行軌跡データから帳票作成を支援する帳票作成支援ソフトから構成される。仕様を表-1に示す。

表-1 システム仕様

	項目	型式・仕様等	備考
ハードウェア	①事務所用 PC	当社標準機	WinXP, Vista 対応
	②プリズム	全周プリズム	
	③TS	TOPCON GTS-823A	他機種も対応可
	④重機搭載 PC	パナソニック タフブック CF19 等	HDD を SSD に換装
	⑤通信用モデム	データリンク社 DLSSNET-R/T	2.4GHz 特定小電力
ソフトウェア	⑥プロジェクト管理ソフト	事務所用 PC にインストール	USB メモリで車載 PC ヘッダー受渡し
	⑦通信ソフト	車載 PC にインストール	他 TS, GPS に対応
	⑧転圧管理ソフト	車載 PC にインストール	GPS にも対応可
	⑨帳票作成支援ソフト	事務所用 PC にインストール	USB メモリで車載 PC からデータ受領



図-1 システム構成図

2.2 特長

本システムの特長を以下に示す。

- (1) 通信ソフトと転圧管理ソフトを分離することで多機能かつ複数機種の TS、GPS に対応可能
- (2) 転圧層・エリアの設定および帳票作成は作業所職員が事務所にて、締固め作業はオペレータが現場で行うため、ソフトを分割し使いやすくした
- (3) 国土交通省「TS・GPS を用いた盛土の締固め情報化施工管理要領（案）」²⁾ に準拠

3. 現場適用

3.1 工事概要

(1) 工事件名

東京国際空港 B 平行誘導路用地造成等工事

(2) 施工場所

東京都大田区羽田空港 東京国際空港内

(3) 工期

平成 20 年 7 月 10 日～平成 21 年 2 月 27 日

(4) 工事概要

空港土工、撤去工、排水工、ケーブルダクト工および基本施設舗装工

(5) 土工詳細（図-2）

掘削：土量 43,400m³、面積 50,100m²

盛土：土量 53,300m³、面積 50,590m²

(6) 発注者

国土交通省関東地方整備局東京国際空港整備事務所

3.2 適用準備

(1) 試験盛土

現場において試験盛土を行い、締固め重機（表-2）により偶数回締固めては RI 法により締固め密度を測定し、必要な転圧回数を求めた（写真-1, 2）。その結果、転圧回数は 6 回と決まった。

表-2 締固め重機仕様

項目	仕様	備考
メーカー	キャタビラー・ジャパン	
型式	D6R シリーズ III	ブルドーザー
全長 (mm)	5,725	
全高 (mm)	3,425	
全幅 (mm)	3,490	履帯最外周
履帯長 (mm)	4,270	
履帯幅 (mm)	1,200	片側あたり

(2) 機器の取付

締固め重機はレンタル機で直接の加工が困難だったため以下のようにして取り付けた。

- ① 追尾用のプリズムはベースを介し重機天井上部（外部）に荷締めバンドにて固定（写真-3）
- ② 通信用アンテナはベースを介し照明金物にボルト締め（写真-4 左）
- ③ 上記アンテナ線は運転席窓を通したが窓締めができるようサッシ部のみフラットケーブルを使用（写真-4 右）
- ④ 重機搭載 PC は運転席の肘置き付近のスペースに設置でき、かつ PC がはめ込めるように発泡樹脂板を加工して装着した（写真-5）。PC には衝撃や粉じんに比較的強いとされるタイプを選び、さらにハードディスクドライブを可動部のないソリッドステートドライブに換装した。
- ⑤ 座標データ受信用モデムと電源用インバータはプラボックスに収納し運転席付近のバンドで固定した。

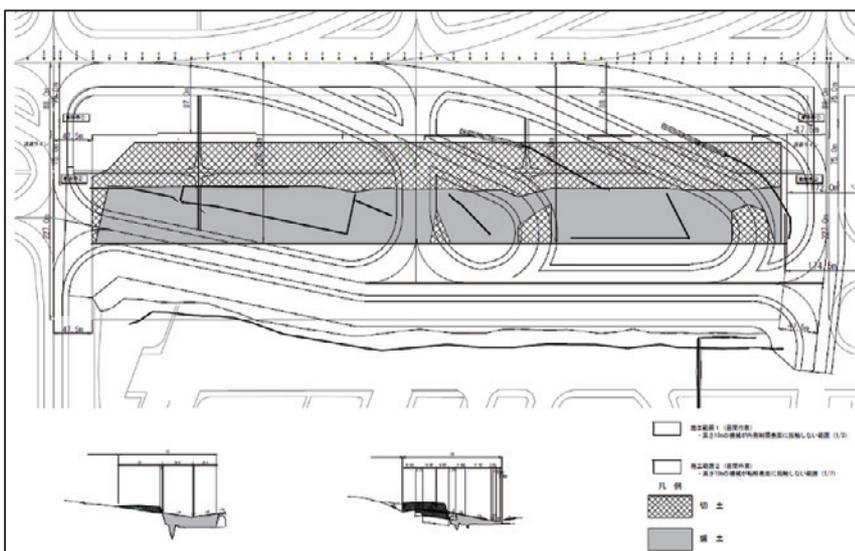


図-2 造成計画平面図



写真-1 試験盛土



写真-2 RI 法による計測



写真-3 プリズム (上)



写真-6 電波環境計測状況



写真-4 アンテナ (左)

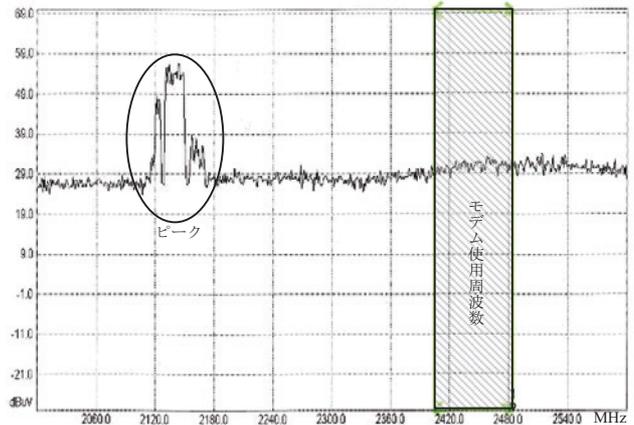


図-3 電波強度



写真-5 重機搭載 PC (運転席左)

(3) 電波環境計測

データ伝送用のモデム (2.4GHz 帯特定小電力無線) が周囲の電波環境の影響を受けないか確認するため電波環境計測を行った。スペクトラムアナライザおよびホーンアンテナを用いた (写真-6)。

その結果, 2.120~2.168GHz 付近に3つのピークがみられた (図-3: 携帯電話の基地局と思われる) もののモデムの使用周波数 (2.412~2.484GHz) に影響を及ぼさないと考えられた。

(4) 取扱指導

作業所職員とオペレータに取扱の指導を行った。

3.4 運用

作業所は日々以下の手順で運用を行った。

- (1) 当日締める層・エリアの設定 (事務所PC)
- (2) TSの設置
- (3) 重機搭載PCの立ち上げと設定
- (4) オペレータによる締固めとデータ収録
- (5) 締固めた層・エリアのデータ保管と帳票作成

3.5 適用結果

本システムによる工法で作成・提出した帳票類 (管理要領案で規定) は以下の通りである。

- (1) 盛土管理図 (各層ごとに作成し施工日ごとの施工範囲を示すもの) (図-4)
- (2) 走行軌跡図・締固め回数分布図 (施工日ごと) (図-5)
- (3) 走行軌跡の座標データ (重機搭載PCに記録された電子データ)

4. 得られた知見と課題

作業所のヒアリングや関係部署との意見交換会により以下のことがわかった。

- (1)ブルドーザによる転圧では、管理メッシュサイズが 0.25×0.25 (m) とローラ (同 0.5×0.5 (m)) に比べて小さく、また2本の履帯間の設置しない領域は転圧にカウントされない (管理要領案規定) ため、効率よく締固めるのに慣れが必要であった
- (2)エリアを広く設定した際に PC の表示処理が追いつかないことがあった (期間中に改良し解決)
- (3)転圧管理ソフトの仕上がりは概ねよいが、表示サイズや表示色の改善が望ましい
- (4)帳票作成が自動化できるとさらによい
- (5)情報化施工に慣れていないオペレータには専用のマニュアル整備を含め丁寧な教育が必要である

5. おわりに

システムを改良後、初めての現場適用により多くの知見が得られた。今後さらに完成度を高めるとともに数多くの現場適用を図りたい。

最後にこの場を借りて関係各位に感謝したい。

参考文献

- 1) 国土交通省：新技術情報提示システム (NETIS) KT-000140-A, 2001
- 2) 国土交通省：TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工管理要領 (案), 2003

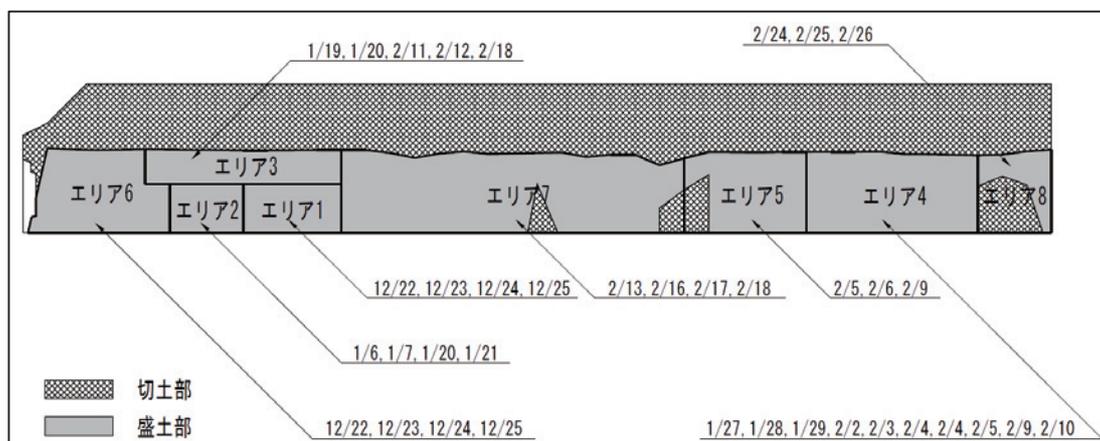


図-4 盛土管理図 (例)

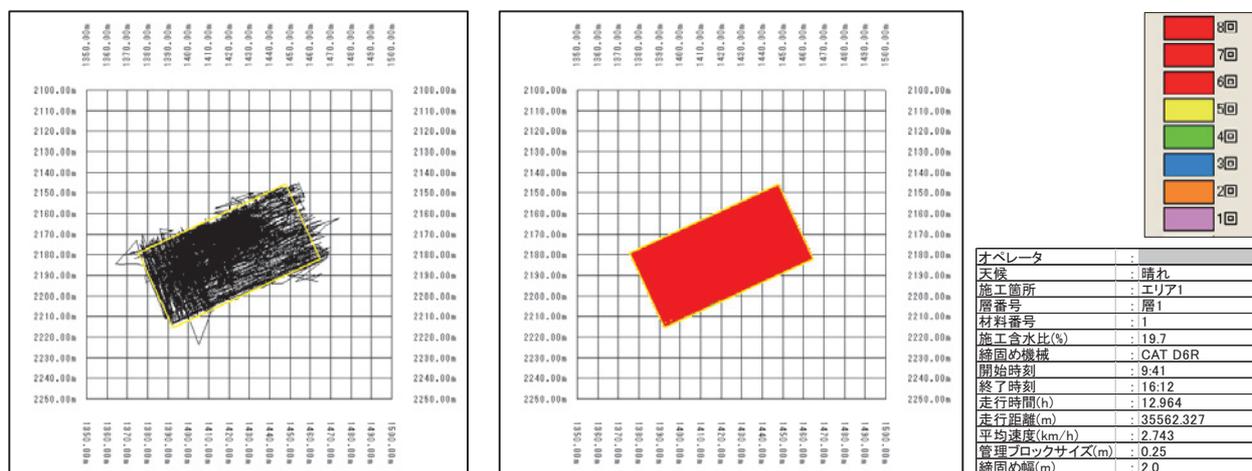


図-5 走行軌跡図および締固め回数分布図 (例)

2.2. 鉄道営業線上で実施するスライド工法に対応した 計測・監視システムの開発

大林組 技術研究所
大林組 本店
西日本旅客鉄道

○ 池田 雄一
川上 宏伸
端山 賢一

1. はじめに

スライド工法は、一般的に構造物を水平移動させる工法であり、スライディング工法やトラベリング工法などとも呼ばれている。クレーンの作業半径が全面をカバーできない場合や作業空間に制限が多い工事などに採用される工法であり、鉄道営業線上の大スパン構造物の建設に適用されることが多い。通常、架構をいくつかのブロックに分割して、クレーンの作業半径内の仮設構台上等で地組する。構台上に設けられた仮設走行レール上に地組したブロックを載せて、順次平行移動させながら架構を構築する。工期を大幅に短縮できる一方、多くの場合に架構の補強が必要で施工管理項目が非常に多いといった特徴がある¹⁾。

本報では、鉄道営業線上で実施した2つの異なる架構のスライド工事について、当初の施工計画上の問題点を整理し、それを解決するために実施した計測・監視を中心としたシステムの開発とその適用結果について報告する。

2. スライド工事の概要と当初施工計画

2.1 工事概要

対象は、大都市ターミナル駅に計画された2つの架構のスライド工事である。一つ目は、南側の既存駅ビルと北側に建設中の駅ビルとを接続する橋上駅架構である。二つ目は、最終的に5つのホームの大部分を覆う大屋根が積載される最南ホーム上に構築される東西架構と北側に建設中の駅ビルとを接続する南北架構である。

橋上駅のスライド工事のイメージを図-1に示す。架構は、長さ約100m×幅約40mの鉄骨ラーメン構造であり、建設中の駅ビル内に構築された仮設構台上で地組される。スライド工事に伴い、必要な箇所に補強がなされている。橋上駅は、最終的に5つのホーム上に架設され、各ホームに構築される最大スパン約22mの独立柱で支持される。

南北架構のスライド工事のイメージを図-2に示す。架構は、長さ約80mの鉄骨ラーメン構造であり、東と西に1体ずつの構成である(図-2には東のみ表示)。スライド工事の終了した橋上駅架構を

仮設構台として地組を行い、東西方向へそれぞれ約60mスライドさせる。最終的に5つのホーム上空に構築される大スパン構造物である。

2.2 スライド工事の当初施工計画

鉄道営業線上におけるスライド工事には、夜間のキ電停止時間内(約120分)で完了させるため、高速スライドが可能なジャッキシステムが必要不可欠である。このジャッキシステム(計測・制御を含むシステム全体)と多くの監視者を現場内の各所に配置して安全性と品質が担保されたスライド工事を実施するという当初計画であった。また、スライド工事を司る監視室は、建設中の駅ビル内に設置する計画であった。

(1) 橋上駅

橋上駅スライド工事の概要を表-1および図-3に

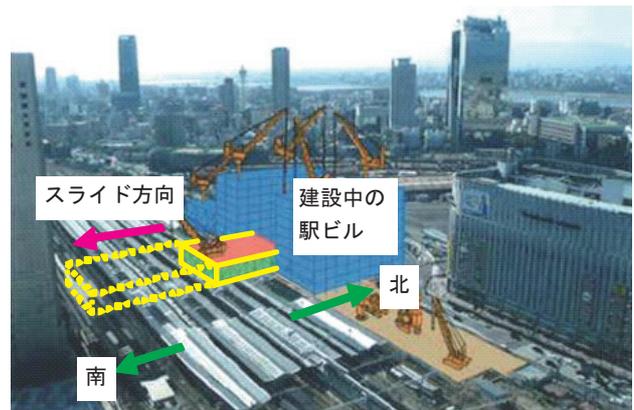


図-1 橋上駅のスライド工事

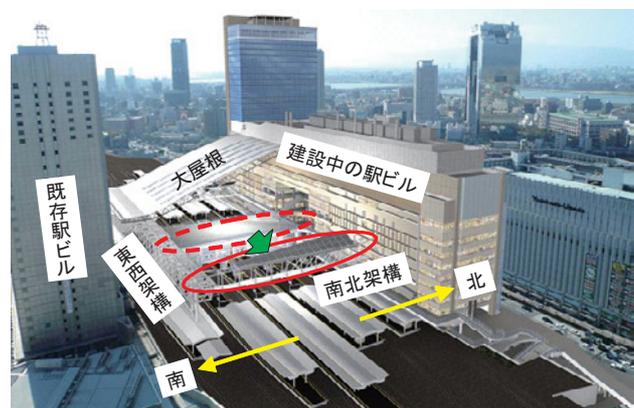


図-2 南北架構のスライド工事

示す。工事は南へ5回に分けて実施し、各回、隣のホームに向けて架構をスライドさせる。並列配置した2台のジャッキを交互に稼働させるジャッキシステムを採用し、ジャッキ戻し時の停止時間がない連続的な高速スライドを可能にした。ジャッキシステムを地組構台上の架構後方に設置し、架構を押し出す方式とした。また、ジャッキシステムに付属するロータリエンコーダで架構後方においてスライド量を計測する計画とした。

各ホームの独立柱上部には、転動機構を備えたエンドレスジャッキを設置した。独立柱上でたわみの生じた架構先端を待ち受けし、ジャッキアップした後、再度スムーズにスライドさせる。また、独立柱上部には水平ガイドをセットして架構の左右方向への動きを拘束するとともに架構停止時に水平ガイドへ反力を取ることで架構を左右方向に位置調整できるようにした。

(2) 南北架構

南北架構スライド工事の概要を表-2 および図-4 に示す。東と西へ各4回に分けて実施する。橋上駅と同様に並列配置した2台のジャッキを交互に稼働させるジャッキシステムを採用し、高速スライドを可能にした。ジャッキシステムに付属するロータリエンコーダでスライド量を架構近傍で計

表-1 橋上駅スライド工事の概要

架構総重量	22.64MN (1, 2回目)
	34.05MN (3~5回目)
架構大きさ	約90×40×13m
スライド量	約88m
最大区間スライド量	約22m
ジャッキシステム	ダブルツインジャッキ 1,470kN×3基 エンドレスジャッキ 2,450kN×33基
スライド速度	約8.7mm/sec
ジャッキ制御方式	スライド量差分制御

表-2 南北架構スライド工事の概要

架構総重量	4038kN
架構大きさ	約77.5×4.5×7.5m
スライド量	約65m (西側), 約62m (東側)
最大区間スライド量	約23.75m
ジャッキシステム	ダブルツインジャッキ 686kN×2基
スライド速度	約8.7mm/sec
ジャッキ制御方式	スライド量差分制御

測する計画とした。仮設走行レールの基礎となる鉄骨工事の施工手順から、架構の北側は引張る方式、南側は押し出す方式とした。仮設走行レールの北側は建設中の駅ビルのスラブ上にセットされたH形鋼の上を、南側は最南ホーム上に構築される東西架構頂部の鉄骨梁の上をチルトタンクによりスライドさせる計画とした。また、架構側に水平ガイドをセットして仮設走行レール上のチルトタンクの左右方向の動きを拘束できるようにした。

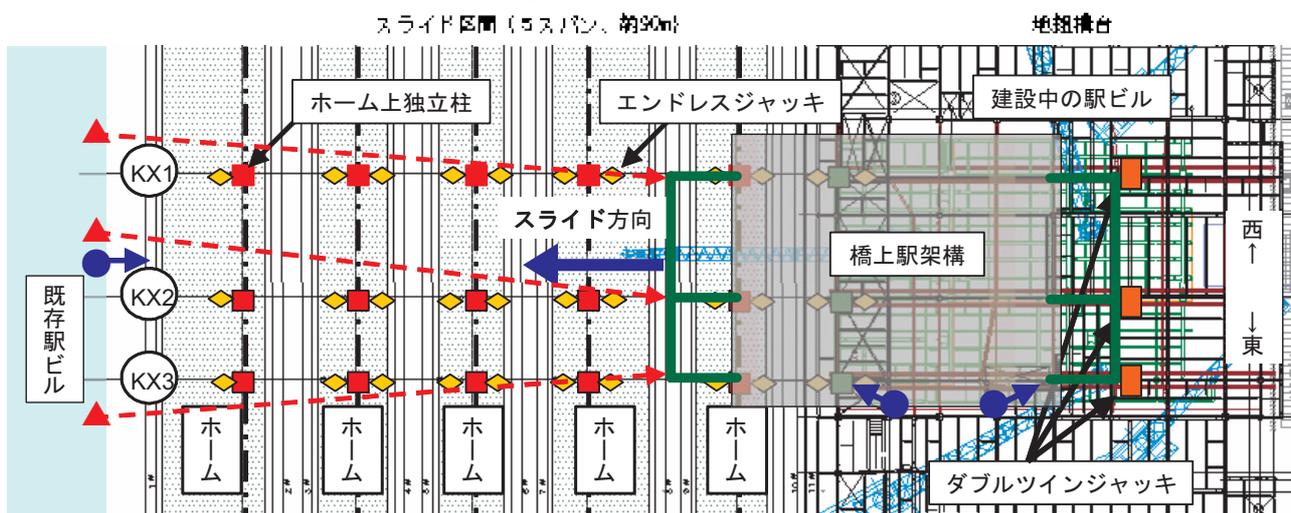
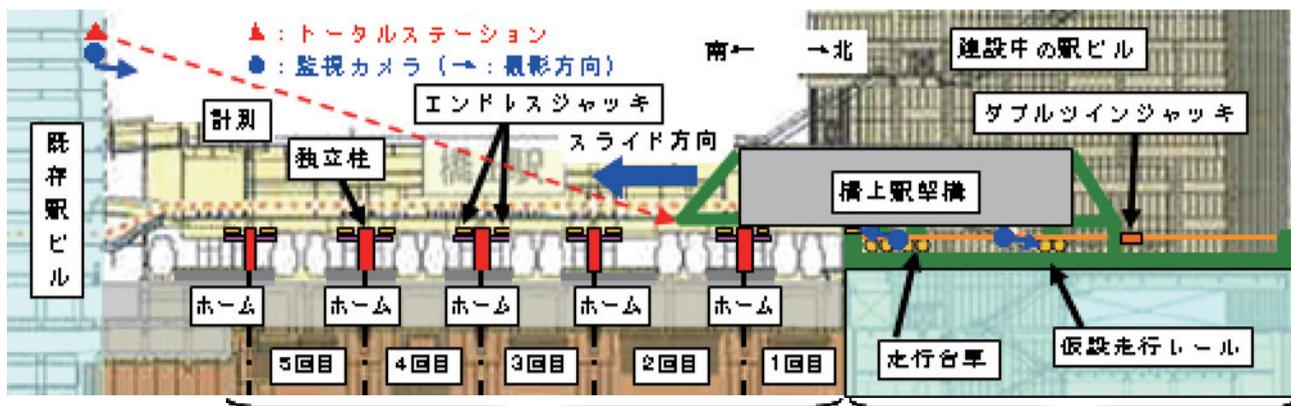


図-3 橋上駅のスライド工事施工計画およびシステム適用計画

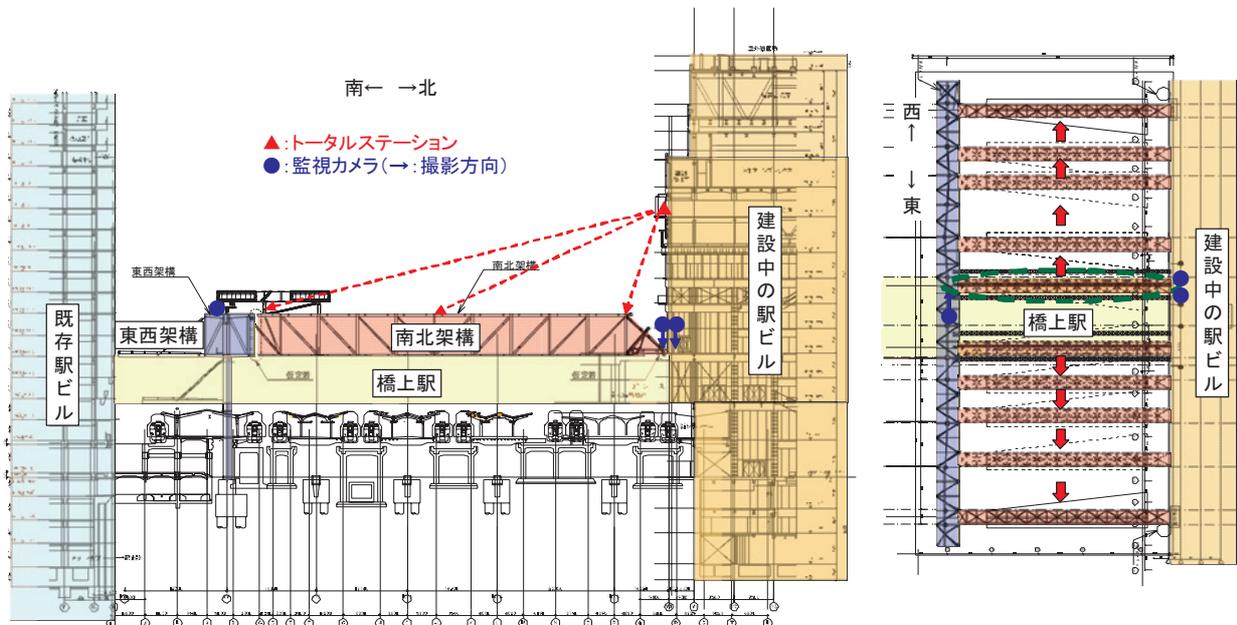


図-4 南北架構のスライド工事施工計画およびシステム適用計画

3. 問題点の整理とシステム開発

3.1 当初施工計画の問題点

(1) 橋上駅

架構先端をスライド停止時のみ、1台のトータルステーションで計測し、監視室にいる管理責任者へその都度、無線連絡する当初計画であった。しかし、線路上へ跳ね出す架構先端は自重によりたわみが発生し、垂直下方へ徐々に変位が大きくなる。また、水平方向は仮設走行レールと車輪の遊びの範囲内で自由に変位する。さらに、図-3のようにKX1, KX2, KX3通りにダブルツインジャッキを不等間隔に設置するため、各ジャッキの負担荷重の配分が不均等になる。そのため、真っ直ぐ進むより、むしろ西側方向へ進む傾向になることが予想できた。以上から、最大約22m離れた隣のホームの独立柱へ向って正確にスライドさせるには、架構後方に設置したロータリエンコーダから常時得られるスライド量の情報だけでは品質・安全性の面で不十分であると予想できた。このため、架構先端の変位を常時計測する必要が生じた。

一方、各所の監視者からの無線連絡だけで工事状況を把握する当初計画だったが、スライド工事に伴う監視領域は非常に広範囲なため、無線連絡だけで工事状況を的確に把握するのは困難と予想できた。そこで、監視カメラを効率良く配置し、その監視映像を利用して、工事状況を把握しやすくする監視システムが必要となった。

橋上駅スライド工事の計測・監視における問題点に対して必要となる機能を以下にまとめる。

- ・ 架構を迅速かつ正確にスライドさせるため、架構先端の変位を常時計測・管理する機能
- ・ 工事状況を把握しやすい各所の監視映像を管理責任者へ提供する機能

(2) 南北架構

長さ約80mの南北架構両端をジャッキにて引張るまたは押し出す方式で計画された。架構両端2箇所のジャッキの負担荷重がほぼ同等であることから進行方向に対して左右へ偏った変位を生じる要因がほとんどないため、橋上駅のように専用の計測システムを必要としない。また、橋上駅のように水平・垂直変位の修正作業がほとんどないことから、スライド工事が非常に早く進捗することが予想できた。そのため、南北架構の位置を監視室内にわかりやすく表示することが求められた。

図-4のように南北架構は、鉄道営業線上に両端のみを仮固定した状態で長期間留まる。一方、南北架構の約半分の荷重を負担する東西架構は一列の柱で支持されるため、南北架構の荷重や施工誤差によって変位が大きくなると予想された。そこで、スライド前後において、架構の位置および変位状態が構造解析結果または管理値以内であるかを確認する仕組みが必要となった。

橋上駅と同様にスライド工事に伴う監視領域は非常に広範囲で作業エリアが北と南に大きく二分されるため、監視カメラを効率良く配置し、管理責任者へ工事状況を把握しやすい（特に南側エリアの）映像を提供することが求められた。

南北架構スライド工事の計測・監視における問題点に対して必要となる機能を以下にまとめる。

- ・ 架構の位置および南北のスライド量の差を監視室内で常時わかりやすく表示する機能
- ・ 鉄道営業線上に長期間留まる南北架構および東西架構の位置、たわみ・変位をスライド前後において計測・管理できる機能
- ・ 工事状況を把握しやすい各所の監視映像を管理責任者へ提供する機能

表-3 開発、適用したシステム

	システム	内容
橋上駅	位置計測システム	スライド時の架構先端の3点の位置計測を行い、工事に必要な情報を画面に表示した
	監視システム	施工管理上、重要な3箇所の監視映像を監視室内に表示した
南北架構	位置表示システム	ジャッキシステムの計測値を利用し、専用画面に表示した
	架構変位計測システム	スライド工事の前後に東西・南北架構の変位を計測し、計測結果を専用グラフィック画面に表示した
	監視システム	施工管理上、重要な3箇所の監視映像を監視室内に表示した

表-4 橋上駅の監視内容

監視目的	監視内容
全体状況把握	工事の進捗状況を監視
スライド状況の把握	レール上の車輪の動きからジャッキの制御状況を監視
地組構台先端部の状況把握	エンドレスジャッキの稼働状況を監視

表-5 南北架構の監視内容

監視目的	監視内容
ガイドの非接触状況把握	蛇行せずに真っ直ぐスライドしているかを監視
東西架構側の作業状況把握	監視室から遠い作業エリア全体の状況を監視
チルトバンクの転動状況把握	チルトバンクが正常に動作しているか、浮き上がっていないかなどを監視

3.2 システム開発と適用計画

鉄道営業線上のスライド工事は、作業時間に大きな制約があるため、前節で得られた必要機能を満足し、迅速かつ品質・安全性を確保した計測・監視システムの開発・適用が求められた。開発・適用したシステムを表-3に示す。

(1) 橋上駅

架構は高速でスライドし、先端は左右・垂直に時々刻々変位するため、サンプリング周波数 1Hz 以上で計測しないと状況を的確に把握できない。架構先端の3点を 1Hz 以上で計測するため、自動追尾式トータルステーションを各点1台ずつ計3台使用し、架構の各通り先端に取付けた専用プリズムをそれぞれ計測する計画とした。約 8.7mm/sec で動くプリズムを追尾し続け、数ミリ単位の精度でリアルタイム計測可能な変位計測システムを開発した。なお、同システムを適用した架構先端の水平・垂直変位の管理値を独立柱にセットされた水平ガイドのクリア寸法やエンドレスジャッキの待ち受けレベルの下限値などから以下のように設定した。

- ・水平：±40mm（一次），±50mm（二次管理値）
- ・垂直（たわみ）：-100mm（二次管理値）

なお、計測した架構先端3点の3次元座標の履歴のほか、スライド量や各点の変位から推定された架構先端の形状を平面と断面に分けて表示した。

著者らは、ホール施設の屋根架構のリフトアップ工事において、監視カメラを効率良く配置し、

画像処理技術を利用して管理責任者へ工事状況を把握しやすい映像を提供し、その有効性を確認した²⁾。本工事においても同様に管理責任者が工事状況を的確に把握できるよう、3台の監視カメラを効率良く配置する計画とした。各カメラの監視目的・内容を表-4に示す。

(2) 南北架構

過去の同様のスライド工事を参考に南北のスライド量の差についての（二次）管理値を±100mmと設定した。スライド量の差が管理値に到達した際の南北架構の左右のずれは約 6mm であることから、この管理値によって左右方向の変位を合せて管理できる。ジャッキシステムに付属するロータリエンコーダから得られた情報を南北架構の位置情報に置き換え、南北のスライド量の差と合せて常時表示する専用システムを開発した。

スライド前後における東西架構と南北架構の変位計測については、図-5のように南北架構の9点および東西架構の柱頂部を計測して、結果を専用のグラフィック画面にタイムリーにかつ、簡便に表示できるシステムを開発した。このシステムで架構の位置、たわみ・変位を管理する計画とした。

管理責任者が工事状況を的確に把握できるよう、3台の監視カメラを効率良く配置する計画とした。各カメラの監視目的・内容を表-5に示す。

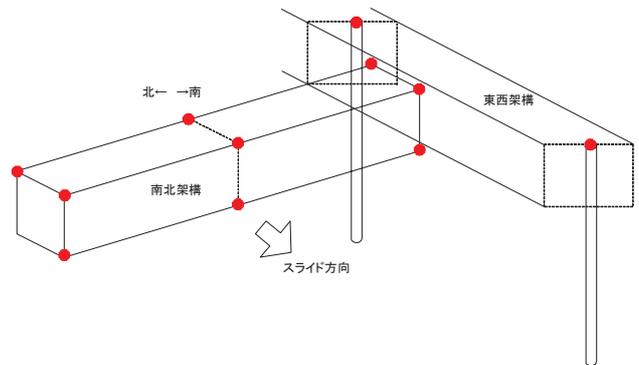


図-5 東西・南北架構の計測ポイント詳細

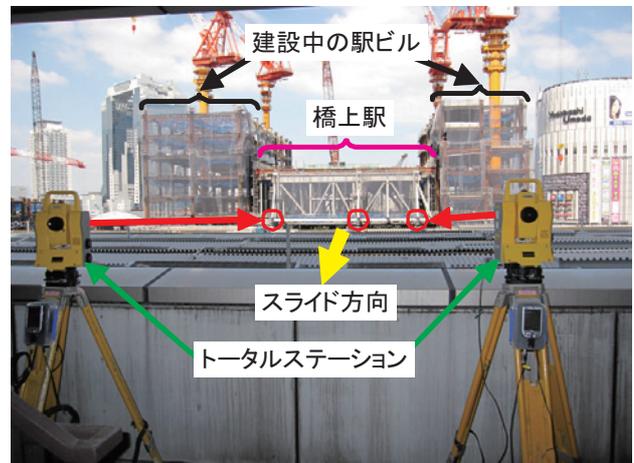


図-6 計測システム適用状況

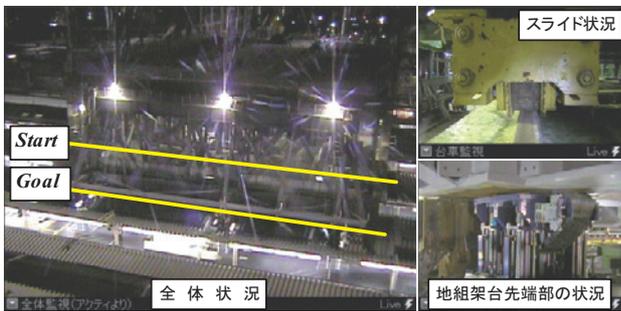


図-7 橋上駅監視システム画面



図-8 南北架構スライド量表示画面



図-9 南北架構監視システム画面

4. システム適用と結果

4.1 適用状況

(1) 橋上駅

位置計測システムの適用状況を前頁図-6 に示す。既存駅ビルの避難用バルコニーに設置した自動追尾式トータルステーション3台から得られた計測データ（架構先端の3次元位置座標）を監視室へ無線LANを利用して約100m伝送した。監視室内の専用モニターにスライド量・工事進捗率などの工事の総括、架構先端の水平変位・垂直変位（たわみ）、変位の履歴をそれぞれ1秒ごとに表示した。

監視システムは、工事の全体状況として橋上駅の進行方向側（既存駅ビルの避難用バルコニー）から見た架構全体の状況、地組構台上の走行台車のスライド状況、地組構台先端部のエンドレスジャッキの状況を図-7 のように表示した。全体状況画面については、画像処理技術を利用して一目で工事進捗状況を把握できるように1日の作業のスタート・ゴールラインを追加表示した。

(2) 南北架構

スライド工事中の架構の位置および南北のスライド量の差を図-8 の画面に表示した。スライドとともに架構が移動するようグラフィック表示を行った。また、架構の変位計測システムについては、スライド工事の前後にトータルステーションを建設中の駅ビルのスラブ上へ設置し、東西架構および南北架構に貼付したターゲットを計測した。計測するとシステムに計測値が入力され、画面の上に架構変形・位置情報をグラフィック表示した。

監視システムは、建設中の駅ビル側の水平ガイドの非接触状況、東西架構の作業状況、チルトタンクの転動状況をそれぞれ図-9 に示すように表示し、管理責任者に状況を把握しやすい映像を提供した。

4.2 工事適用結果

(1) 橋上駅

トータルステーションは、工事中、ターゲットを確実に追尾し、途切れることなく計測を続けた。第1回スライド工事の計測結果から、工事の傾向が掴めたため、作業時間のロスを伴わなければ、管理値到達前であっても水平位置の調整を行う方針に変更した。第2回工事の計測結果を図-10 に示す。スライド中、架構の偏芯や台車車輪とレールの遊びなどの要因から、架構先端は水平方向に比較的自由に動き、西側へ変位する傾向が見られた。いずれも位置計測システムから得られた情報に基

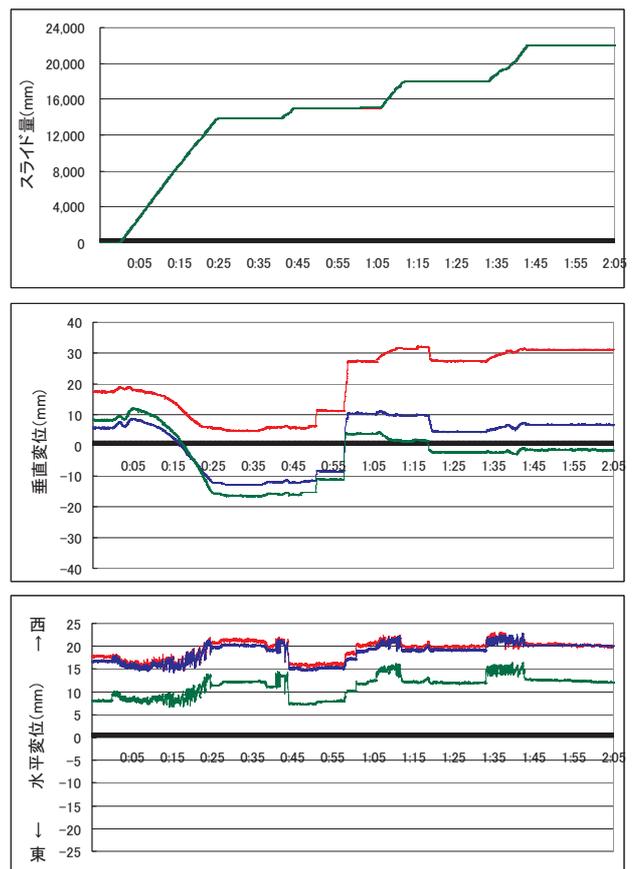


図-10 スライド工事計測結果（第2回）

表-6 スライド工事計測結果

管理項目	単位	区別	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回
スライド量	mm	計画値	15,060	22,000	16,900	17,140	14,690
		実測値	15,065	22,015	16,841	17,189	14,728
平均スライド速度	mm/s	計画値	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67
		実測値	8.52	8.63	9.72	10.20	8.90
架構先端垂直変位	mm	管理値	-100	-100	-100	-100	-100
		実測値	-6	-24	-10	-15	-22
架構先端水平変位	mm	管理値	±50	±50	±50	±50	±50
		実測値	13	22	5	-29	20

づいて一次管理値へ到達する前に水平位置の調整を行った。頻繁に水平位置を調整したにも関わらず、作業時間のロスを最小限に留め、作業を2時間以内に収めたことが読取れる。また、架構先端が隣のホームの独立柱にセットされたエンドレスジャッキに到達後、ジャッキアップして、たわみによる変位をキャンセルした。

計5回実施されたスライド工事の計測結果を表-6に示す。架構先端の垂直変位（たわみ）は、独立柱へ到達前に最大24mmの変位を生じたが、構造解析結果に対してほぼ同等の値であることを確認しながら工事を進められた。また、各回とも水平位置の調整を早め実施したことで水平変位は最大29mmであった。

監視室から直接目視できない映像を管理責任者へ提供したことで監視者からの無線連絡だけでは得られない工事の生の状況や的確な判断規準、安心感を与えることができた。

(2) 南北架構

スライド工事の約半分が終了した現段階で適用結果をまとめた。南北架構は、スライド方向に対して左右に大きくふらつくことはなく、スムーズにスライドする傾向にあったことが、位置表示システムから得られた。万が一、南北に大きくふらつき、ガイドがH形鋼に接触しようとしても監視カメラの映像で事前に把握できるため、ジャッキシステムを制御して回避可能であった。また、スライド工事前後の東西・南北架構の変位は、いずれも構造解析結果または管理値以内であることを確認して工事を進められた。

南北架構は、東と西の架構が異なる方向へスライドし、スライド場所もその都度、東西方向に大きく変化することから、管理責任者の重点管理内容に合わせてカメラの設置場所をスライド工事ごとに変更した。カメラを様々な場所へ簡便に取付け

られる治具を製作したことで迅速に監視箇所の変更に対応できた。

5. おわりに

本報では、工事時間の限られた鉄道営業線上でのスライド工事における計測・監視について、スライド形式の異なる2種類の架構に対して、システムを開発・適用した。その結果、以下に示す知見を得た。

(1) 橋上駅

- ・ 架構先端の変位を計測するシステムを開発・適用したことで架構全体の挙動を瞬時に把握でき、迅速な工事進捗を可能にする効果を確認できた
- ・ 効率良く配置した監視カメラの映像によって、管理責任者は施工状況を把握しやすくなり、的確な判断をしながら工事を進められた

(2) 南北架構

- ・ スライド量およびスライド量差を表示する専用システムを開発・適用したことでスライド工事の全体状況を把握しながら迅速な工事進捗を可能にした
- ・ 東西架構・南北架構の変位は、いずれも構造解析結果・管理値以内であった。工事前後に変位状態を確認した上で安心してスライド工事を実施することができた
- ・ 水平ガイドの非接触状況やチルトタンクの転動状況などその場にはないと確認できない映像を監視したことにより、安心して高速スライドを可能にし、作業時間短縮に寄与した

最後に位置計測システムおよび架構変位計測システムの開発にあたり、(株)ソーキの協力を得た。また、御協力頂いた工事関係者に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 木谷：【特集】ドームの計画 VI 施工計画，建築技術，No. 574，pp. 148-167，1997. 12
- 2) 池田：リフトアップ工事の監視・計測技術，建設機械，No. 519，pp. 42-46，2008. 05
- 3) 池田，川上，柴崎，端山：スライド工法における計測・監視システムの開発，2009年度建築学会大会学術講演梗概集A-1材料施工，pp. 1307-1308，2009

2.3. 無人化施工における通信遅延と通信周期が 施工効率に与える影響の分析と改善提案

株式会社 NTT ドコモ
株式会社 NTT ドコモ
株式会社 フジタ

○ 林 宏樹
田村 隆幸
三鬼 尚臣

1. はじめに

1990年に噴火した雲仙普賢岳の堆積土砂を除去する災害復旧として、1994年に建設機械を遠隔操作し施工を行う無人化施工が開始された。その後、無人化施工は火砕流、土石流、地すべり、崖崩れなどの災害復旧現場で行われており、更なる適応範囲の拡大が期待されている。しかしながら、無人化施工における施工効率は、通常の有人搭乗施工と比較し60%程度と低く、安全上無人化施工が不可欠な災害復旧現場や特殊で劣悪な作業環境での導入に留まっている。この施工効率を向上させ、システム導入のコストを抑えられれば、適応範囲の拡大に繋がると考えられ、非常に大きな意義があると考えられる。

本稿では、無人化施工の施工効率低下の要因を抽出するために行った実験について述べ、効率低下の大きな要因の1つである通信遅延/通信周期が効率低下に与える影響を計測した実験について紹介し、現状のラジコン遠隔操作油圧ショベルにおける操作遅延についてまとめ、改善手法として携帯電話網を利用した遠隔操作の提案を行う。

2. 無人化施工における課題

無人化施工にて一般的に利用されている遠隔操作システムは、図-1に示すようなものである。施工フィールド及び建設機械の車載カメラの映像を50GHz帯の簡易無線で伝送し、その映像を見ながらオペレータは、遠隔操作用コントローラを操作し、建設機械に対し429MHz帯の特定小電力無線を介して運転制御信号（操作コマンド）を送ることで、建設機械を遠隔操作する。

無人化施工における課題は、映像の質が悪い、



図-1 無人化施工遠隔操作システム

建設機械にかかっている力が分からないなどの、直接施工効率に関わるものと、建設機械の輸送コストがかかる、無線が干渉し建設機械が動かさないことがあるなどの工事全体の進捗やコストに関わるものと大きく2つに分類できると考えられる。文献¹⁾や無人化施工のオペレータからのヒアリングなどから得られた無人化施工の課題を以下にまとめる。

(1) 施工効率に関わる課題

- ・映像の視野角が狭い、奥行き情報が分からない
- ・映像を見ることで目が疲れる
- ・建設機械にかかる力や傾きが分からない
- ・操作レバーの操作感が悪い
- ・操作の遅れがあり、操作しにくい

(2) 工事全体の進捗やコストに関わる課題

- ・遠隔操作対応建設機械の数が少なく、建設機械の輸送コストがかかる
- ・無人化施工のオペレータの数が少なく、オペレータの確保が難しい
- ・無線が干渉し、同時に動かせる建設機械の数が限られる
- ・150mを超える遠隔操作を行うためには無線中継器が必要²⁾となり、コストがかかる

以上のように、無人化施工における課題は大きく2つに分けられる。施工効率の向上に関して、一般的な無人化施工では、オペレータは遠隔地の情報として映像を頼りに建設機械を操作するため、課題解決の取り組みとしては、映像関連の数が多¹⁾。ただし、施工効率低下の要因の抽出方法としては、オペレータへのヒアリングによるところが大きく、経験則に頼った課題抽出方法となっている。そこで、無人化施工での施工効率低下の要因を客観的観点から抽出するための実験を行った。

3. 施工効率低下の要因抽出予備実験

無人化施工での施工効率低下の要因を抽出するために普賢岳赤松谷川上流付近にて予備実験を行った。

3.1 効率低下要因抽出実験方法

効率低下の要因を抽出するために、油圧ショベル（キャタピラージャパン社製 320DL）を用いて一定の区画（5m×4m：深さ 1m）を掘削及び埋め戻し、それぞれに要した時間と実際に掘削・埋め戻しを行った土量を計測した。操作条件は以下の4パターンを行うものとした。

- ①通常の有人施工
- ②無人化施工
- ③目視での無人化施工
- ④搭乗リモコン操作する有人施工

搭乗リモコン操作する有人施工（リモコン搭乗）とは、図-2に示すように、油圧ショベルの搭乗席からリモコン操作機を用いて操作を行う方法である。

図-3に掘削範囲と油圧ショベルの位置関係を示す。オペレータは、適宜クローラを操作し油圧ショベルを移動させながら作業を行った。掘削範囲は5m×4m、深さ1mとし、掘削後、押し固めて掘削範囲の成型が終了した時点で掘削作業完了とした。埋め戻しは、直前に掘削した範囲に土を埋め戻し、埋め戻し後、押し固めて平らに成型が終了した時点で埋め戻し作業完了とした。掘削範囲をあらかじめ白線で土表面に記し、オペレータに分かるようにした。また、放土範囲は掘削範囲から約90度程度左方向に旋回したあたりとした。掘削作業については、掘削開始から掘削作業完了までの時間を計測し、作業完了後、掘削範囲の計測を行い、土量を計測した。埋め戻し作業については、埋め戻し開始から埋め戻し作業完了までの時間を



図-2 リモコン搭乗操作の様子

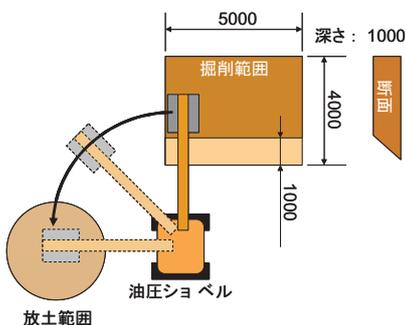


図-3 掘削範囲と油圧ショベルの位置関係

計測し、土量については、直前の掘削作業で掘削した土量とした。オペレータは、無人化施工歴6～13年の熟練オペレータ4名とした。

3.2 実験システム

実験システム構成図を図-4に示す。有人搭乗操作と特定小電力無線を介した遠隔操作での、ジョイスティック操作から各油圧シリンダの動作までの操作遅延時間を計測するために、油圧ショベルの搭乗席のジョイスティックの変位センサ、リモコン操作機のジョイスティック変位センサ及び、油圧シリンダの変位センサを設置した。なお、操作遅延の計測結果については、第5章にて紹介する。映像については、油圧ショベルキャブ上の車載カメラ1台と客観視用カメラ1台の映像を有線でオペレータ側に伝送し、1台の20インチCRTモニタに出力した。CRTモニタに表示する映像はオ

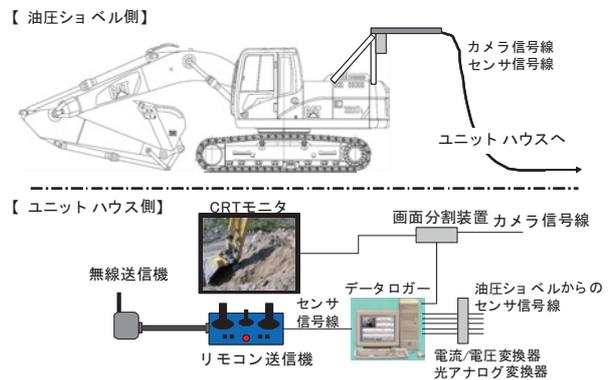


図-4 予備実験システム構成図

表-1 施工効率予備実験結果

	無人化施工歴	平均	オベ1	オベ2	オベ3	オベ4
			6年	10年	10年	13年
掘削	有人施工	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	無人化	0.61	0.61	0.57	0.85	0.40
	無人化目視	0.56	0.49	0.58	0.69	0.47
	リモコン搭乗	0.67	0.69	0.68	0.85	0.46
埋戻	有人施工	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	無人化	0.56	0.47	0.50	0.87	0.41
	無人化目視	0.53	0.62	0.37	0.61	0.51
	リモコン搭乗	0.55	0.69	0.47	0.61	0.42

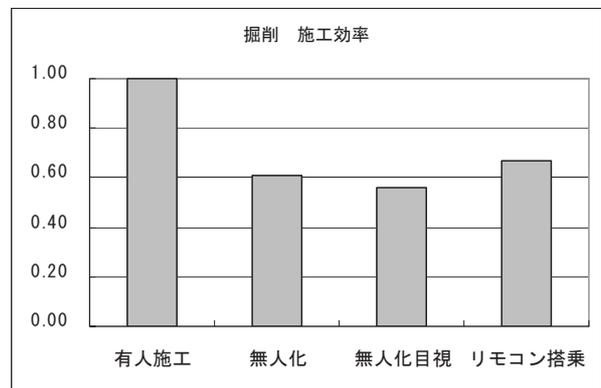


図-5 掘削作業における施工効率

オペレータが適宜ボタン操作で変更できるようにした。

3.3 実験結果

実験結果について、掘削及び埋め戻しの施工効率を表-1 に示す。また、各オペレータの掘削作業における施工効率の平均値の結果を図-5 に示す。効率については、土量を作業時間で割り、有人施工の効率を1とした値となっている。

結果を見ると、オペレータによって、施工方法の得意・不得意があり施工効率の傾向に多少バラつきが見られるが、有人施工と比較すると他の3パターンの操作方法では大幅に作業効率が低いことが分かる。さらに有人施工とリモコン搭乗との2つの施工方法は、両者とも油圧ショベルの搭乗席から操作しているため、視覚、傾きなどの体感可能な情報については同等であり、差異は「リモコン操作機を介して操作しているか否か」の1点だけである。有人施工とリモコン搭乗での作業効率を比較すると、30~40%程度リモコン搭乗での効率が低いことが分かる。よって、リモコン操作機を介した操作自体が施工効率の低下の大きな要因であることが分かる。

リモコン操作機を介した操作と通常の搭乗操作との大きな違いは、以下の2点であると考えられる。

- ・操作レバーの操作感が悪い
- ・操作の遅れがあり、操作しにくい

前者は、操作インターフェースに関する課題、後者は通信遅延や通信周期に関する課題である。今回の実験のオペレータは、無人化施工の熟練オペレータであり、リモコン操作機のジョイスティックによる油圧ショベルの操作には十分慣れていると考えられる。そのため、操作効率低下の大きな要因は、リモコン操作機を介することによる通信遅延や通信周期にあるのではないかと考えられる。

4. 通信遅延/通信周期と施工効率

効率低下の要因抽出予備実験の結果から、無人化施工における通信遅延及び通信周期が施工効率低下の大きな要因であると考えられる。そこで無人化施工において、通信遅延/通信周期がどの程度施工効率に影響を与えているかを検証するとともに、NTTドコモが提供する第3世代携帯電話サービスの高速パケット通信規格であるHSDPA (High Speed Downlink Packet Access) を利用した遠隔操作がどの程度の施工効率を得られるかを検証するために施工効率比較実験を行った。なお本実験はキャタピラージャパン株式会社の協力のもと、キャタピラージャパン秩父デモセンターにて行われた。

4.1 施工効率比較実験方法

施工効率を比較するために、効率低下要因抽出

予備実験同様に、油圧ショベル（キャタピラージャパン社製 320DL）を用いて一定の区画（5m×4m：深さ1m）を掘削し、掘削にかかった時間を計測する実験を行った。操作条件は以下の7パターンで効率比較実験を行った。

- ①通常の有人施工
- ②特定小電力無線での無人化施工
- ③HSDPAでの無人化施工
- ④通信周期10ms、通信遅延0msでの無人化施工
- ⑤通信周期10ms、通信遅延100msでの無人化施工
- ⑥通信周期10ms、通信遅延350msでの無人化施工
- ⑦通信周期80ms、通信遅延100msでの無人化施工

通信遅延は0、100、350msの3パターンを、通信周期は10、80msの2パターンを比較した。通信周期とは、リモコン操作機から、重機側の操作データ受信部までの通信部分の遅延時間である。また、通信遅延とは、リモコン送信機から重機側に送信する操作コマンドのデータ送信間隔である。なお特定小電力無線の通信遅延は実測片道100ms程度、通信周期は80ms（仕様）。HSDPAの通信遅延は実測片道平均（リモコン送信機から油圧ショベル側ユニットまでの片道通信遅延）120ms程度、通信周期は10msに設定した。HSPDAの通信遅延については、キャタピラージャパン秩父デモセンター（埼玉県秩父市）における実験当時の環境での値である。HSPDAでの通信遅延は、場所、計測時のネットワークのトラフィックの状態、天気など様々な要因で変化するため、120msという値は、実験当時の計測値であることを注意されたい。掘削範囲は図-3と同様で、掘削条件、作業完了条件も効率低下要因抽出予備実験と同様とした。掘削開始から作業完了までの時間を計測し、作業完了後、掘削範囲の計測を行い、土量を計算した。

オペレータは無人化施工において主に油圧ショベルを操作している無人化施工歴7年の熟練オペレータ1名とした。

4.2 実験システム構成

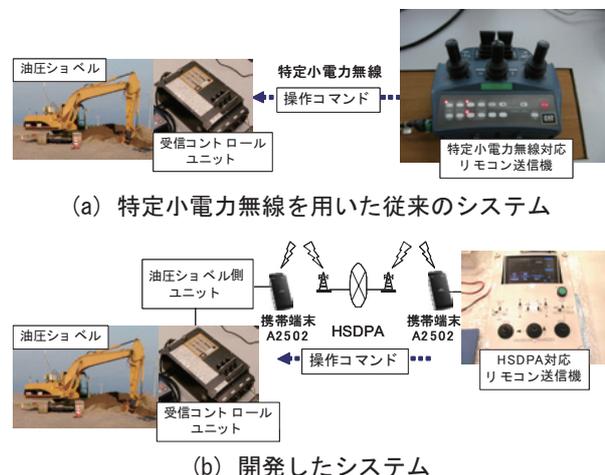


図-6 遠隔操作システム構成比較

実験を行う上で、通信遅延を擬似的に付加が可能及び、HSDPA を介して操作を行えるリモコン送信機が必要となるため、独自にリモコン操作機を開発した。従来のリモコン送信機及び開発したリモコン送信機を図-6 に示す。開発した HSDPA 対応リモコン送信機と油圧ショベル側ユニットの間は、HSDPA などの公衆無線網、無線 LAN、LAN ケーブルでの有線接続などが利用可能である。通信周期は、リモコン送信機側で最小10ms から10ms 間隔で設定可能である。

施工効率比較実験の実験システム構成図を図-7 に示す。通信遅延の影響を比較するため、油圧ショベルの操作コマンドを、LAN ケーブルを介して有線で送信し、間を経由するネットワークエミュレータにて通信遅延を付加した。付加した通信遅延は、それぞれ揺らぎのない固定値とした。映像については、油圧ショベルキャブ上の車載カメラ1台と客観視用カメラ1台の映像を有線でオペレータ側に伝送し、それぞれを20インチカラー液晶ディスプレイに表示した。特定小電力無線を用いた操作条件では、キャタピラージャパン社純正の遠隔操作リモコン送信機を、通信遅延/通信周期を設定した4つの操作条件及びHSDPAを用いた操作条件では開発した HSDPA 対応リモコン送信機を用いて実験を行った。

4.3 実験結果

実験結果について各操作条件での施工効率、土量、作業時間を表-2 に示す。また、通信遅延を比較した施工効率のグラフを図-8 に、通信周期を比較した施工効率のグラフを図-9 に示す。

通信遅延を比較した施工効率の結果を見ると、通信遅延 0ms で効率 66%、通信遅延 100ms で効率 60%、通信遅延 350ms で効率 44%と、通信遅延が小さければ小さいほど、施工効率が高いことが分かる。従来の特定小電力無線を介した無人化施工での効率 57%と、通信遅延 0ms での効率 66%とを比較しても 10%程度の効率向上があり、通信遅延または操作遅延が施工効率に与えている影響が大きいことが伺える。

通信周期を比較した施工効率の結果を見ると、通信周期 10ms で効率 60%、通信周期 80ms で効率 54%と、通信周期が短ければ短いほど、施工効率が高いことが分かる。

また、HSDPA を介した操作条件では、特定小電力無線を介した操作条件とほぼ同等の施工効率が見られており、現在サービスが行われている HSDPA の公衆無線網を利用しても、従来の無人化施工と遜色ない作業が行える可能性があることが分かった。

5. ラジコン遠隔操作における操作遅延

効率比較実験により、油圧ショベルの遠隔操作の操作効率には、通信遅延及び通信周期が影響を与えていることが分かった。ここでは、通信遅延を含めた操作遅延が、どの部分でどの程度発生しているのか計測を行った結果について記す。なお操作遅延とは、オペレータがジョイスティック操作を行ってから油圧ショベルの各油圧シリンダが

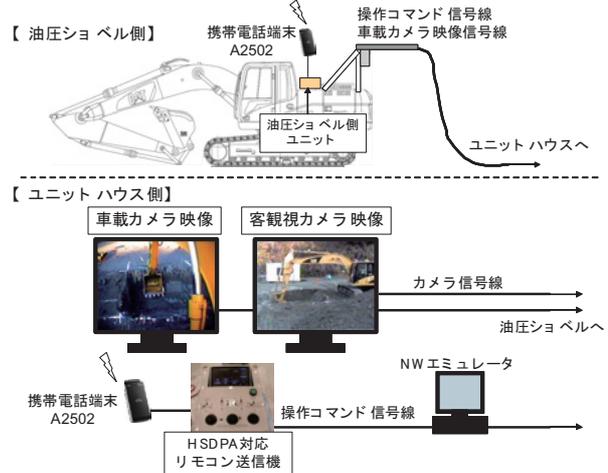


図-7 効率比較実験システム構成図

表-2 効率比較実験結果

	有人施工	無人化施工					
		周期80ms 特小	周期10ms HSDPA	周期10ms 遅延0ms	周期10ms 遅延100ms	周期10ms 遅延350ms	周期80ms 遅延100ms
施工効率	1	0.57	0.57	0.66	0.60	0.44	0.54
時間(分:秒)	07:14	12:45	12:50	11:07	11:54	13:51	13:38
土量 立米	19.44	19.44	19.58	19.86	19.17	16.41	19.72

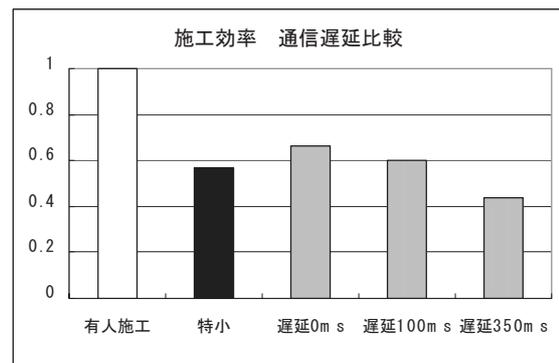


図-8 施工効率と通信遅延

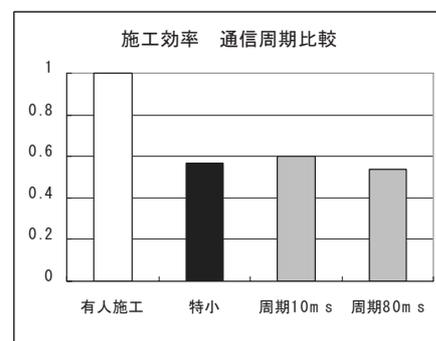


図-9 施工効率と通信周期

動作し始めるまでの時間とする。

5.1 ジョイスティック操作—油圧シリンダ動作

まず、通常の有人搭乗操作と、従来の特定小電力無線を介した遠隔操作における操作遅延を計測した。第3章に記載した予備実験の際に記録したジョイスティック操作と油圧シリンダの変位データより操作遅延を算出した。ブーム、アーム、バケットの各操作について、それぞれ10回分のデータを計測した結果を表-3に示す。通常の有人搭乗操作の場合は、油圧ショベルキャブ内のジョイスティック操作と各油圧シリンダの動作とを、特定小電力無線を介した遠隔操作の場合は、リモコン操作機のジョイスティック操作と各油圧シリンダの動作とを比較し、操作遅延を算出した。

搭乗操作の場合とラジコン遠隔操作の場合を比較すると、搭乗操作の場合の操作遅延は平均282ms、ラジコン遠隔操作の場合の操作遅延は平均507msとラジコン遠隔操作の場合、225ms操作遅延が大きくなっていることが分かる。

この225msの原因として考えられるものは、ラジコン操作の際の特定小電力無線の通信遅延及び油圧シリンダへの油圧の流量を制御する電磁弁の動作の処理遅延の大きく2つである。今回計測に使用したキャタピラー・ジャパン社製油圧ショベル320DLでは、搭乗操作の場合は、ジョイスティックを操作することで直接機械的に弁の開閉を行っており、ラジコン遠隔操作の際は、電磁弁を電気的に開閉することで油の流量を制御している。

5.2 ジョイスティック操作—電磁弁信号出力

ラジコン遠隔操作における、通信遅延時間と電磁弁制御の処理遅延時間とを計測するために、計測実験をおこなった。実験システム構成図を図-10に示す。計測方法は、リモコン操作機のジョイスティック操作信号（右ジョイスティック左右動作：バケット排土/掘削動作）と油圧ショベル側受信コントロールユニットからの制御用出力信号とを時間同期させながら計測し、ジョイスティック操作から制御用信号出力までの時間を計測した。

計測を行ったのは、

- ①特定小電力無線
- ②HSDPA 対応リモコン送信機で HSDPA 接続
- ③HSDPA 対応リモコン送信機で有線接続（通信遅延なし）

の3つの条件である。

計測結果を表-4に示す。結果は、各10回分の計測データを平均したものである。本実験は、NTTドコモ R&D センタ（神奈川県横須賀市）にて行ったが、実験時の環境における HSDPA 接続の片道の通信遅延は平均約95msであった。

結果をみると、実験時の環境では、特定小電力無線と HSDPA 接続では、ジョイスティック操作か

ら受信コントローラまでの制御信号出力までの時間がそれぞれ229msと223msとなっており、ほぼ同等の結果であった。また、有線接続で通信遅延なしの場合、108msであり、これは受信コントロールユニット内の電磁弁制御の処理遅延が約100ms程度であることを示している。実験当時の HSDPA での通信遅延が約100msであったことから、特定小電力無線での通信遅延も約100msであったと推測できる。

5.3 操作遅延まとめ

以上の結果から、図-11に有人搭乗操作とラジコン遠隔操作での操作遅延について示す。

有人搭乗操作の場合、ジョイスティック操作から、各油圧シリンダの動作まで約300msである。ラジコン遠隔操作の場合、リモコン操作機ジョイスティック操作から、各油圧シリンダ動作まで約500msである。特定小電力無線を利用したラジコ

表-3 搭乗操作/ラジコン操作における操作遅延

		ジョイスティック操作から油圧シリンダ動作までの時間 [ms]
通常搭乗操作	ブーム	288
	アーム	341
	バケット	218
	平均	282
ラジコン操作	ブーム	655
	アーム	419
	バケット	447
	平均	507



図-10 通信遅延計測実験システム構成図

表-4 通信遅延計測実験結果

	ジョイスティック操作から制御用信号出力までの時間 [ms]
特定小電力無線	229
HSDPA接続	223
有線（遅延なし）	108

ン遠隔操作の場合、操作遅延約 500ms の内訳は、通信遅延:約 100ms、受信コントローラの内部処理遅延:約 100ms、油圧動作遅延:約 300ms である。

6. 操作遅延/周期の改善方法

無人化施工における施工効率低下の大きな原因の 1 つである操作遅延について計測した結果、ラジコン遠隔操作では、有人搭乗操作と比較し、200ms 程度操作遅延が大きいことが分かった。この 200ms を如何に少なくし、全体の操作遅延を有人搭乗操作の操作遅延相当の 300ms に近づけるかが、施工効率向上に向けた課題となる。

弁が開閉してから、油の流量が変化し油圧シリンダが動作するまでの油圧動作遅延 300ms は、油圧系のアクチュエータを使用すると必ず発生してしまう動作遅延であるため、この時間を減らすには、別のアクチュエータに変更するか、新しい油圧アクチュエータに変更しなければ、改善は難しいと考えられる。

油圧ショベル側の受信コントロールユニットでの内部処理遅延 100ms は、内部でどのような処理が行われているのか不明であるため、改善は可能であると推測されるが、重機メーカーの協力が必要



図-11 搭乗操作及びラジコン操作における操作遅延

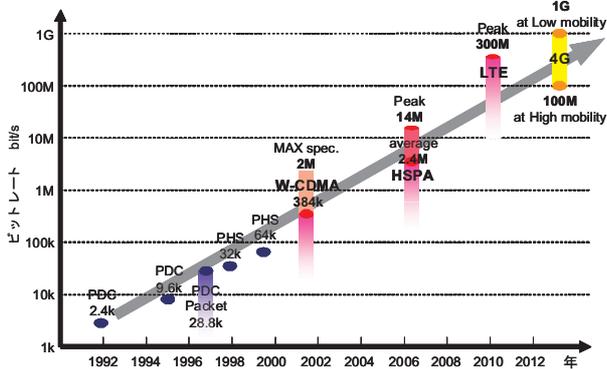


図-12 携帯電話網の発展 (文献 7) より再構成

な部分である。

通信遅延については、現状の特定小電力無線では、約 100ms であることが分かった。操作室から施工フィールドまでの距離が長く、無線中継局が必要な場合は、更に通信遅延が大きいと推測される。そこで、我々としては、携帯電話網を利用することを改善案として提案したい。HSDPA を介した遠隔操作での施工効率は、特定小電力無線を介した遠隔操作とほぼ同等であることを確認している (表-2 参照)。また図-12 に示すように³⁾、NTTドコモでは、今後も LTE(Long Term Evolution)や 4G と研究開発を進めており、通信遅延は更に短くなる予定である。さらに、通信周期については、HSDPA における携帯端末と無線基地局との間のパケット転送間隔である TTI(Transmission Time Interval)は、下り 2ms、上り 10ms であるが、LTE、4G と更に短くなる予定で、開発したリモコン送信機では通信周期を 10ms としているが、更なる通信周期の向上が見込める。

7. まとめ

本稿では、無人化施工の施工効率低下の大きな要因の 1 つである、通信遅延/通信周期が効率低下に与える影響を分析し、遠隔操縦における操作遅延を計測し、改善方法として携帯電話網を介した遠隔操作を提案した。HSDPA を介した遠隔操作についての詳細は、文献 4) を参照されたい。ラジコン遠隔操作の操作遅延について、通信遅延に対しては、携帯電話網を利用することにより改善が見込めるものの、内部処理遅延及び油圧動作遅延については、重機メーカーの協力なしには改善することは難しい。今後、無人化施工の効率向上及び適応領域拡大に向け、国交省や重機メーカーなどに理解を求め協力し取組みたいと考えている。

本研究を進めるにあたり、キャタピラー・ジャパン株式会社様には大変お世話になりました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 柳沢雄二, 山元弘, 邵輝, 境田右軌, 野末晃, 山口崇: 作業機械の遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスに関する研究, 第11回建設ロボットシンポジウム論文集, pp.253-262, 2008.
- 2) 財団法人 先端建設技術センター: 緊急時の無人化施工ガイドブック, 大成出版社, 2001.
- 3) 大矢智之, 長敬三, 樽橋祥一: 将来の高速大容量通信に向けた無線要素技術, NTTドコモテクニカルジャーナル, Vol.16 No.2, pp.24-30, 2008.
- 4) 林宏樹, 山本新吾, 三鬼尚臣: 公衆無線網を用いた油圧ショベル遠隔操作, 建設の施工企画, 2009年3月号 No.709, pp.69-75, 2009.

24. コンクリート舗装へのICT施工技術の適用

スリップフォーム工法への適用事例

大成ロテック株式会社 ○ 関口 峰
大成ロテック株式会社 平野 晃
大成ロテック株式会社 越村 聡介

1. はじめに

情報化施工とは、ICT（Information Communication Technology）の活用により得られる電子情報を活用して生産性向上と高効率、高精度な施工を行うことであり、施工管理や施工の合理化に活かす技術のことである。日本においては、産学官による情報化施工の戦略的な普及方策が推し進められている。また、国土交通省直轄工事においては、大規模工事では、2010年、小中規模工事では、2012年までに標準的施工方法として推進するように位置づけられている。¹⁾

その中でもここ数年、三次元マシンコントロールシステム（3DMC）は、舗装業界においても実用化され、飛躍的な進歩を遂げ急速に普及している。

近年の3DMCの代表例としては、①「GNSS（Global Navigation Satellite System）」とレーザ技術を融合し、mm単位の制御を可能にした「高精度GNSSシステム」と、②測量機器の1つである「自動追尾式のトータルステーション」（以下TSという）を利用した制御システムがある。

これらのシステムは、三次元の位置情報をリアルタイムに測位、測定しながら施工を行うため、一般的に以下のようなメリットが知られている。

- 1) 計画した設計データ通りに施工を行うため、経験の少ないオペレータでも高精度の施工が可能となり省熟練化を図ることができる。
- 2) 計画設計高に対する現況の把握が容易になることや従来の丁張りを使用した点の管理から連続した面の管理が可能となり、生産性の向上が期待できる。
- 3) 設計データを基準として、機械制御から施工後のデータ管理まで一元化できるので施工の合理化を期待できる。

大成ロテック(株)（以下、当社）においては、3年ほど前より高精度GNSSシステムと自動追尾式TSによる3DMCシステムを導入し、これらのシステムを適用した舗装技術の普及に取り組んできた。今回、当社では、自動追尾式TSによる3DMCシステムをスリップフォームペーバに適用したコンクリート舗装を行っている。本文では、システム概要と構成を紹介すると共に、施工事例について紹介する。

2. スリップフォーム工法に3DMCシステムを適用する場合のシステム構成

2.1 スリップフォーム工法

スリップフォーム工法とは、①コンクリートの供給・②敷き均し・③締固め・④成型・⑤表面仕上げの機能を備えた自走式施工機械を使用して、型枠を設置せずにコンクリート版やコンクリート構造物を連続的に打設する工法である。スリップフォームペーバの外観を写真-1に示す。



写真-1 スリップフォームペーバ外観

2.2 自動追尾式TSを適用した3DMCシステムの概念

スリップフォーム工法に自動追尾式TSによる3DMCシステムを適用する場合のシステム概念を以下に示す。

- ① スリップフォームペーバのマシンフレーム左右にマストを立て、その先端部にTS視準用の360°プリズムを設置し、

そのプリズムを2台の自動追尾式 TS で、1秒間に5~10回測定する。

- ② これらの測定値は無線モデムによってマシンに搭載されたマシン PC に送信される。
- ③ マスト下方に取り付けられた2軸勾配センサによって、モールドの縦横勾配に関する情報もマシン PC に提供する。
- ④ 継続的にモールドの位置、高さ、勾配情報を使用して、現時点でのモールド位置、高さ、勾配および進行方向が算出される。
- ⑤ モールドの実位置情報（位置、高さ、勾配）は、マシン PC 内で3D設計モデルと瞬時に比較される。実際値と設計値の比較差（偏差）は補正值として、機械本体のマシンコントローラ（油圧制御）へ送信され、油圧制御により施工中の舗設高さや縦横断方向の傾き補正、機械のステアリング操作を全て自動制御で行う。

自動追尾式 TS による 3DMC システムの概念を図-1 に示す。

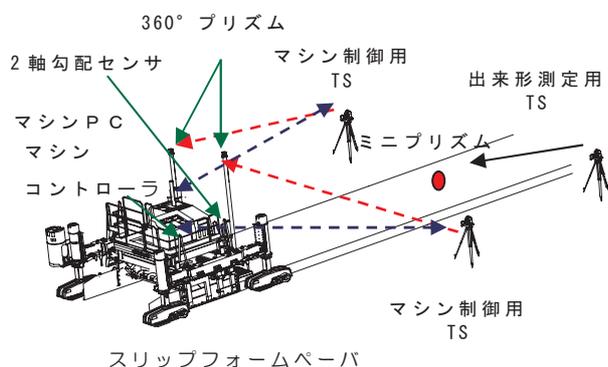


図-1 3DMC システム概念図

2.3 自動追尾式 TS による 3DMC システムの制御機器の役割

自動追尾式 TS による 3DMC システムの制御機器を以下に示す。

(a) 自動追尾式 TS (3台)

機械制御用として2台の TS で自動追尾を行う。又、出来形測定用として1台の TS にて敷きならし高さ及び、仕上がり高さの測定を行う。

(b) 360° プリズム (TS 設置用×3台)

TS を任意の位置に設置する際に既知の基準点にプリズムを設置 (3箇所以上) して、TS の位置座標を測定算出する。

(c) 出来形測定用ミニプリズム (1台)

敷きならし直後、または打設完了後に舗装面上に設置して舗装の出来形を測定する。

(d) マシンコンピュータ (1台)

本システムの全ての制御を司るメインコンピュータで、TS からのデータ受送信のため、3台の無線モデムを備えている。

(e) マシンコントローラ

本装置は、スリップフォームペーバ本体に内蔵されており、マシン PC から送信された指令（補正值）を受け、前後左右の4つのトラック（クローラ）の高さ、進行方向を油圧制御するものである。

(f) 2軸勾配センサ (2台)

施工機械の縦断・横断勾配をリアルタイムに計測し、マシン PC にデータをリンクする。

(g) 360° プリズム (機械視準用×2台)

機械視準用のターゲットとして、マシンフレームの左右にマストを立て、その先端部に360°プリズムをセットする。

3. 自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用したスリップフォーム工法の優位性

従来のスリップフォーム工法の施工においては、出来型の目安となる丁張りや機械の舗設高さ、機械のステアリングを制御するセンサーライン等の基準物は、測量機器を用いて施工エリアに一定の間隔で設置する必要があった。施工機械のオペレータは、それら基準物を目安とし、機械を操作し、現場を構築していくものである。

自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用したスリップフォーム工法は、標準的なスリップフォーム工法と比較して、以下のメリットがある。

- ① 施工機械のオペレータが、ステアリング、高さの管理による拘束が軽減され、付加価値の高い施工、品質管理（出来形管理）に目を配ることができる。
- ② 丁張り、センサーライン等の基準物を必要としないので設置工程が削減され、生産性の向上が見込まれる。また、施工エリアの障害物が減少するので、施工がスムーズに行う事ができ均一な品質が得られやすい。センサーラインの破損、緩み等の取り扱い不備が排除され、生産性が向上する。
- ③ 施工中の検測作業が簡素化され、施工機械との近接作業が減少し安全性が向上する。
- ④ 従来工法では、基準物を目安にした点での管理であったが、設計データを元にして面での管理が可能となる。また、ステアリング、高さの制御は、標準的なスリップフォーム工法では、3mm 単位の制

御であったが、自動追尾式 TS による 3DMC システムでは、1mm 単位で制御可能であるので、高精度の施工が可能である。

- ⑤ 設計データを基準として、機械制御から出来形管理までの一連の作業工程を行うので、データが一元化され効率的な施工管理が可能となる。

4. 施工事例

4.1 明かり部での適用事例

現場は、一般国道の新設のバイパス道路で、区間の一部をコンクリート舗装で施工した。また、今回の施工においては、品質や生産性の向上を目的として、自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用したスリップフォーム工法で連続鉄筋コンクリート舗装を行った。

工事概要を表-1 に示す。

表-1 工事概要

施工期間	平成 19 年 12 月 17 日 ～平成 20 年 1 月 30 日
施工場所	岡山県
施工幅員	4.215m～4.325m (4 車線)
施工延長	382.5m
施工数量	6500m ²
施工厚	25cm

4.1.1 施工準備

4.1.1.1 データファイルの作成

【設計データファイル】

システムを運用するには、計画設計データファイルが必要となる。データ作成には、

- ① 3次元 CAD から設計データを作成する方法
- ② Excel ファイルで設計データを作成、編集する方法がある。

今回の施工では、②の方法で 500 ポイントの設計データファイルを作成した。

1 横断面のデータは最大 50 点、ファイルデータは最大 3,000 点とする。また、施工機械に取り付けられたプリズムが設計データエリア外になると、TS での機械の制御が不可能になるため、設計データは実際の施工エリアよりも幅広くデータを作成する必要がある。そこで、施工機械の移動を考慮し、施工延長に対し、前後 30m の設計データも作成した。施工幅員に対しては、実際の施工幅員よりも外側

に 1m ずつ離れた座標を設計データとして作成した。更に、勾配変化点、曲線部の設計データはデータ作成間隔を細かくする必要がある。本現場は、施工エリアが直線区間であり、横断勾配も一定であったので、縦断勾配の変化について考慮し、縦断勾配が一定の区間では、設計データの設置間隔を 5m、縦断勾配が変化する点の前後 10m の区間では、設計データの設置間隔を 1m とした。

【基準点データファイル】

基準点データは、施工時に設置するトータルステーションの位置座標を確認するための基準点となり、施工エリアを囲むように設置する必要がある。

今回の施工では、設計データファイルと同様な方法で 40 ポイントの基準点データファイルを作成した。

4.1.2 機器の設置・取り付け

自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用したスリップフォーム工法に施工を行うには、TS 等のシステム機器を設置する必要がある。機器を設置する際の留意点を以下に示す。

- ① GNSS のように上方視界に左右されないが、TS の視準を妨げる障害物等の影響を受けない位置に据え付ける。
- ② 施工条件、施工距離を考慮し、施工方向に対して、前方からの視準、後方からの視準を検討する。本施工現場においては、材料運搬車や他の車両の影響を受けにくい機械進行方向の左側に TS を設置した。
- ③ 据付け地盤の悪い箇所は極力避ける。また、沈下、振動による三脚のずれ等に備え、定期的に水準を確認する。
- ④ 送受信無線モデムは、できるだけ高い位置に設置し、送受信の環境を可能な限り良好なものにする。
- ⑤ 機械本体のプリズムマストは可能な限り高く設置した方が、障害物の影響を受けにくくなるが、高く設置するほど、プリズムの振幅も大きくなり、TS の視準を外れる恐れがある。本施工では、プリズムマストの設置高さを TS の設置条件、材料運搬車の高さ等を考慮しプリズムマストの設置高さを決定した。
- ⑥ 操作距離が、150m 程度でも通信追尾は可能であるが、操作距離が長くなると誤差が大きくなる傾向にあるので、TS とマシンの最大操作距離は 100m 程度を目安にする。

4.1.3 施工

材料運搬車で現場に搬入した生コンを本体のベルトコンベアで横取りし、本体に供給する。供給された生コンは、スクリーオーガで横断方向に撒き広げられ、モールドで生コンを所定高さに敷きならされる。成型後、本体に付帯するオートフロートにて表面仕上げを行った。

施工状況を写真-2 に示す。



写真-2 施工状況

4.1.4 施工時の調整及び出来形確認

出来形測定用 TS およびミニプリズムにて随時、敷きならし高さを確認する。施工開始直後および勾配変化点付近は測定間隔を短縮し十分に確認する必要がある。高さ方向の制御に関しては、制御の追従性は生コンの性状に依存するところが大きく、舗装高さを適宜測定確認し、補正・調整操作を行う必要がある。打設時に円形水路等の構造物が設置してある場合は、現況構造物の高さを測定し、設計計画データと差違がある場合は、設計計画データの高さを調整した。

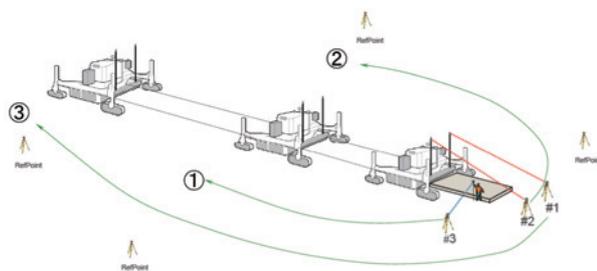
写真-3 に測定状況を示す。



写真-3 出来形測定状況

4.1.5 TS のターニング

3 台の TS を機械制御用、出来形測定用に順番にローテーション（移動セットアップ）させることで、継続的にロングスパンの施工が可能となる。ここで、TS のターニングの概念を図-2 に示す。なお、ターニング時の器械高さの誤差は、マシン PC の自動補正機能により処理される



施工開始時：すべての TS を後方に配置

Part1：#3TS をマシン制御用に移動

#2TS を出来形測定用に切替え

Part2：#2TS をマシン制御用に移動

#1TS を出来形測定用に切替え

Part3：#1TS をマシン制御用に移動

#3TS を出来形測定用に切替え

図-2 TS のターニングの概念 (＃1, 2, 3)

4.1.6 適用結果

出来形測定結果を以下に示す。

①位置精度（設計ラインに対する精度）

水平方向に±10mm 以内、高さ方向に±6mm 以内の精度を確保した。

②舗装面の平坦性

平坦性は、 $\sigma=1.0\text{mm}$ 以下（規格値： $\sigma=1.8\text{mm}$ 以下）であった。

4-2. トンネル内での適用事例

4.2.1 工事概要

現場は、横断勾配 1.5% の両勾配で、緩やかなカーブになっている。表-2 に工事概要を示す。

施工は、スリップフォーム工法で行い、以下の手順とした。本工事では、アジテータトラックで現場に搬入したコンクリートを、2 層に分け施工を行うもので、1 層目の施工では、シリンダフィニッシャを使用して、所定厚さの 2/3 を敷きならした。鉄網・目地金物設置後、2 層目の施工では、スリップフォームペーパーを使用して、コンクリートを所定の高さに敷きならし成型した。本

施工では、スリップフォームペーパの走行、敷きならし高さの制御を、自動追尾式 TS による 3DMC システムでの自動制御で行った。

表-2 工事概要

施工期間	平成 20 年 5 月 13 日～6 月 13 日
施工場所	徳島県
施工幅員	4,250mm (2 車線)
施工延長	1,278m
施工数量	11,060m ²
施工厚	25cm

4.2.2 TS 設置方法の検討

TS の設置は、通常は専用の三脚を使用する。しかし、材料搬入車両の通行などで、TS の追尾を遮断する恐れがあるため、専用のブラケットを製作し、トンネル地覆に固定した。

写真-4 に TS 設置状況を示す。



写真-4 TS 設置状況

TS の制御範囲を超えた場合は、TS のターニングが必要になる。直線区間では、通常、100m 程度を目安にターニングを行うが、曲線区間では、TS の見通せる距離が限られるため、ターニング距離を直線区間より短縮し、70m 間隔とした。

追尾方法としては、施工機械の「前方からの追尾」と「後方からの追尾」の 2通りが考えられたが、前方からの追尾では、材料搬入のアジテータトラックによって TS の追尾が遮断されることが予想されたため、後方から追尾する方法を採用した。

4.2.3 設計データの検討

設計データは、3次元データが用いられる。設計データの作成に際しては、直線区間では、横断勾配が一定であったので、縦断勾

配の変化について考慮し、設計データの設置間隔を 5m、縦断勾配が変化する点の前後 10m の区間では、設計データの設置間隔を 1m とした。曲線区間では、機械走行の線形性を考慮し、設計データの設置間隔を全て 1m 間隔とした。

4.2.4 施工

施工起点に機械を配置する際に、モールドの位置が施工ラインに対して若干ずれている場合がみられた。この場合は、水平方向及び高さ方向をオフセット処理し補正した。実際の施工においては、舗装高さを適宜測定確認し補正、調整操作を行った。

施工機械に取り付けたプリズムに対し、TS の追尾が交錯する可能性もあったので、左右のマストの高さに差を設け、TS の追尾が交錯しないような方法とした。その結果 TS の追尾は交錯する事なく良好であった。

施工状況を写真-5 に示す。



写真-5 施工状況

4.2.5 適用結果

施工終了後、舗装面の硬化を確認し、ミニプリズムと TS を使用して、舗装面の仕上がり高さを測定した。

得られたデータは、ばらつきが小さく、±3mm 以内に全観測数の約 70% が入る高い施工精度が確保できた。

路面の平たん性は、上り線 $\sigma=1.12\text{mm}$ 、下り線 $\sigma=0.95\text{mm}$ と規格値 1.6mm 以下を満たす結果が得られた。

5. 考察

施工において施工速度は、1.0～1.5m/min で平均施工速度は 1.2m/min であった。本施工で使用した自動追尾式 TS による 3DMC システムの制御周波数は、5～10Hz であった。制御する間隔は(1)式で表す事ができる。

$$W=1000v/60f \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

W：制御間隔 [mm]
 v：施工速度 [m/min]
 f：制御周波数 [Hz]

(1)式によれば、本施工においては、施工縦断方向 2～4mm 走行する毎に一度制御されていた計算である。施工速度と制御周波数の関係は、位置精度に影響を及ぼす要素である。スリップフォームペーバにおいては、モータグレーダ等の敷き均し機械と比較して、施工速度は非常に低速であり、施工結果からも十分な位置精度は確保されており、スリップフォームペーバに自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用する場合の制御周波数は問題ない範囲であると推定できる。

6. まとめ

自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用したスリップフォーム工法の施工を行った結果以下のような所見が得られた。

- ① 現場内が、座標系がしっかりしており測定の精度が良好な場合には、設計図面を元に設計データ、基準点データファイルの作成する方法を適用することが可能である。設計が明確でない場合や当初の設計から出来形が変更になっている等の理由により図面上の計画と出来形が必ずしも一致しない場合は、現場の出来形をトータルステーションにて測量し、設計データを作成する方法も検討が必要である。
- ② 機器の設置、取り付けに関しては、良好であった。曲線部施工においては、スリップフォームペーバに取り付けた 360° プリズムに対し、TS の視準が交錯する可能性もあるので、左右のマストの高さに差を設け、TS の視準が交錯しないような方法も有効であった。
- ③ 急激な勾配変化等がない一般的な施工条件では、水平方向の制御精度は、概ね ±10mm 以内であり、高さ方向の制御精度は、概ね ±6mm 以内である。今後は、各種施工条件におけるシステムの信頼性把握のため、施工データの蓄積が必要となる。
- ④ 施工起点に機械を配置する際には、水平方向及び高さ方向はオフセットし補正処理をする必要がある。
- ⑤ 制御の追従性は生コンの性状に依存す

るところが大きく、舗装高さを適宜測定確認し補正、調整操作を行う必要がある。

- ⑥ 自動追尾式 TS による 3DMC システムをスリップフォーム工法に適用する場合の制御周波数は 5～10Hz で問題ない。
- ⑦ スリップフォームペーバに自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用することにより、施工の効率及び作業の安全性が向上し、データ一元化による施工の合理化を図ることができた。

以上のことより自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用したスリップフォーム工法は、位置精度及び舗装面の平坦性測定結果から、所定の規格値を満足させる結果が得られた。よって、所定の出来形管理基準を十分に満足する舗装施工システムであると判断できる。

7. おわりに

情報化施工においては、「現場設計データの処理」「現場の現況測量」「基準点の位置決めおよび測量」「設計データと現況比較」等の施工前準備作業が、実施工での精度、効率を大きく左右する重要なポイントとなる。これらの処理には機械の特性、測量、情報化機器等の専門知識が要求され、また、労力も要する。情報化施工導入により、作業の省力化・施工にかかわる省熟練化等のメリットが大きい反面、新たな技術力および、人材育成等も要求される事も考慮しなければならない。

情報化施工は、建設生産性を向上させ、魅力ある現場作りを実現する有効なツールになる可能性をもっている。今後は、3DMC システムを様々な施工現場に応用し、更なる改善を図ると共に普及に努めていきたい。

参考文献

- 1) 情報化施工推進会議：情報化施工推進戦略,2008 年

25. 重機土工におけるネットワーク型 RTK-GPS の有効性検討

(株)間組 機電部 ○武石 学
(株)間組 機電部 榎本 教隆
(株)間組 技術研究所 黒台 昌弘

1. はじめに

道路施工などの土工事において、位置情報（座標）の取得は GPS を用いた測位が一般的になりつつある。この測位方法には単独測位と相対測位があるが、稼働重機の位置情報データは、リアルタイムで高い精度が要求されるため、相対測位方式の一種である RTK(Real Time Kinematic)-GPS を用いることが一般的である。この方式は、座標既知点である固定局（施工エリア内外に配置される）からその地点の位置座標と観測データを、無線等を利用して移動局に送信し、移動局では送られてくる固定局の観測データと自局の観測データを利用して即座に移動局における位置情報を求めるものである。

しかし、道路土工などのような施工延長が長い場合には、GPS 受信機等の機材を複数台配置することが必要になるので、安全管理の問題や、固定局と移動局との位置補正データの良好な通信手段の確保などの課題があった。

本稿では、東北地方の道路施工現場において、上述の課題を解決すべく新たに導入した「ネットワーク型 RTK-GPS(VRS 方式)」について、土木施工分野での有効性について報告するものである。

2. ネットワーク型 RTK-GPS (VRS 方式)

ネットワーク型 RTK-GPS とは、複数の固定局の観測データを利用して、固定局と移動局の距離に関係なく、短距離基線の RTK-GPS と同等の精度を実現する測位方式である。複数の固定局のデータとして、国土地理院が運用し民間に開放している全国に約 1,200 点の電子基準点網 (GEONET) の電子基準点リアルタイムデータを利用する。

VRS (Virtual Reference Station) とは「仮想基準点」と直訳される。その測位方法は、観測地点の GPS 測位情報(単独測位値)を、携帯電話通信網を利用して配信事業者に送信し、配信事業者は国土地理院から提供される電子基準点データを元にその観測点近郊に仮想基準点を構築する。移動局ではこの仮想基準点に対する補正情報等を配信事業者から受信し、移動局観測データと補正情報から基線解析を行うものである (図-1)。

測位機器は、①観測点に配置される GPS 受信機、②GPS 受信機を制御するためのコントローラ、③配信事業者との通信を可能とする通信モジュールで構成される (図-2)。

3. VRS 方式を重機土工に利用する際の問題点

VRS 方式は定点観測が主体の基準点測量の分野では近年活発に利用されているが、連続的に速度をもって移動する車両や船舶に搭載しての適用事例は少ない。その要因としては以下のような問題を含んでいるためであると考えられる。

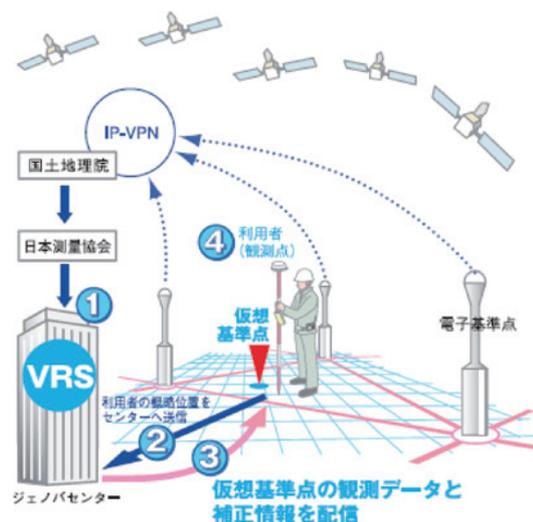


図-1 VRS 方式のイメージ (ジェノバ社 HP より)

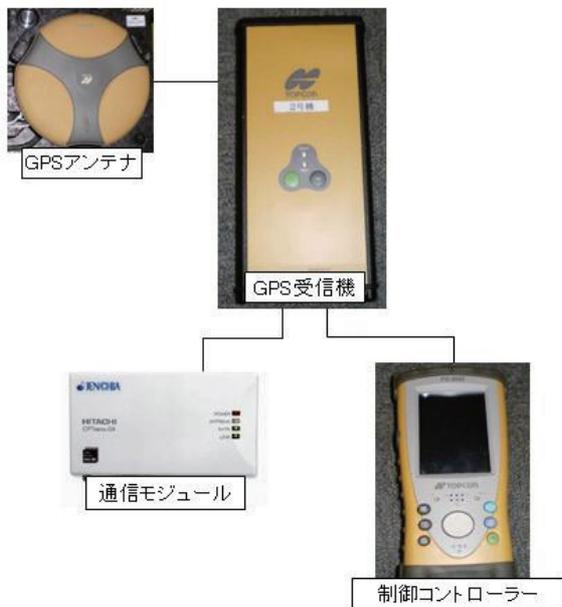


図-2 VRS方式システム構成

- 1) 電子基準点ベースの位置計測となるため、TSなどを用いた現地測量結果との整合が取れない場合がある。
- 2) 仮想基準点データは近隣の複数の電子基準点データから生成されるが、その位置はGPS受信機を初期化した場所に規定される。初期化した位置が実際に施工する場所から大きく離れていた場合には、位置計測精度や座標再現性が劣化する恐れがある。
- 3) 専用回線ではない一般的な携帯電話通信網を利用して仮想基準点に関連した補正情報が配信されるため、通信状況や配信データ量によってはデータ遅延や不達が生じる可能性がある。このことにより、GPS受信機には時間遅れに対応したRTK演算機能が組み込まれているが、重機走行を考慮した正確な位置計測ができない可能性がある。
- 4) VRS方式では固定局機材が不要となるが、一方で補正情報の配信を受けるために、携帯電話通信料と補正情報利用料が従量的に課金される。このことから、運用期間にもよるが、既に固定局機材を保有しているユーザーにはVRS利用の経済的メリットが少ない場合がある。

4. VRS方式の測位精度の確認

VRS方式を重機土工に採用するため、上記の問題点の内、1) 2) の2点について現地実験を実施したので、以下に報告する。

導入予定現場は山間部であったことから、

あらかじめ現場周辺における携帯電話の通信状況について調査を行い、現場全域において良好であることを確認した。また、配信事業者からの電子基準点データ等の送信には、RTCM3.0フォーマットを利用してデータ量を縮減し、通信費を削減するとともに確実なデータ受信を試みた。

4.1 精度確認方法

(1) 実験1 (問題点1) に対応)

仮想基準点を構築した後に、現場内の任意点において10分間1秒間隔の観測を行いX, Y, Z座標の偏差を確認するものである。

「TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工管理要領(案)」では、使用するGPSの性能確認の方法として、データ取得間隔1秒、5分間の観測を実施することとしており、これに準じた観測とした。

(2) 実験2 (問題点2) に対応)

導入現場は施工延長が約2kmにおよぶ長い区間での施工となることから、構築される仮想基準点の生成位置の変化による誤差を次の①～③の3ケースについて確認した。仮想基準点生成位置とは初期化作業を実施した位置となる。

- ① 観測を行う各点で、初期化を行う。
- ② 工区始点側で初期化を行い、始点側と終点側で観測を行う。
- ③ 工区終点側で初期化を行い、終点側と始点側で観測を行う。

なお、「公共測量作業規程の準則」におけるVRS方式の運用基準を参考にして、ここでの観測条件を表-1のように設定した。

表-1 観測セット内の条件

受信衛星数	5衛星以上
観測回数	FIX解を得てから10エポック以上
データ取得回数	1秒



写真-1 精度確認状況

4.2 測量結果

(1) 実験 1 の結果

各座標の測定値の変化を図-3 から図-5 のグラフに示す。また、平面座標 (X,Y 偏差) を図-6 に示す。「TS・GPS を用いた盛土の締固め情報化施工管理要領 (案)」に示され

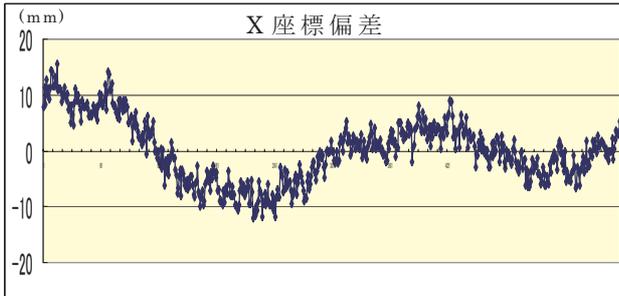


図-3 X 座標偏差



図-4 Y 座標偏差

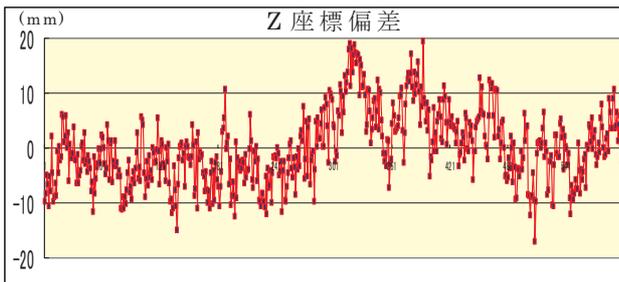


図-5 Z 座標偏差

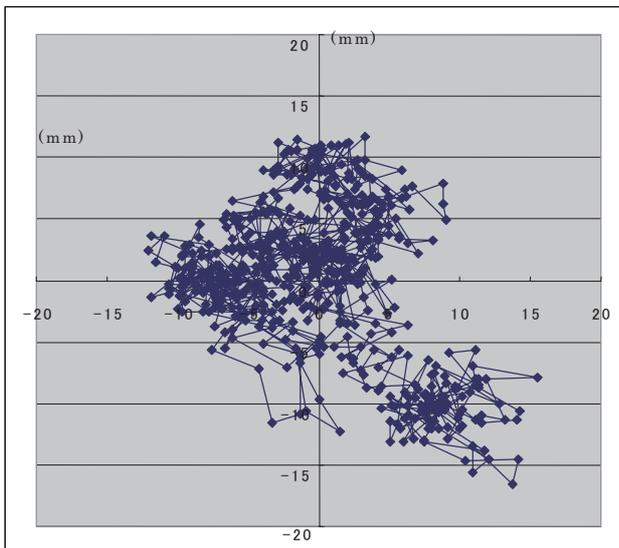


図-6 平面座標 (X, Y 偏差)

ている制限値, $\pm(20\text{mm} + 2\text{ppm} \times D)$ に 3 成分とも含まれていることが確認できる。ここで, $2\text{ppm} \times D \approx 0$ である。

(2) 実験 2 の結果

観測位置は現場内の既知の基準点および水準点から選定した。工区始点側で S-1 と S-2 の 2 点, 終点側で E-1~E-3 の 3 点である(図-7)。

観測は表-1 に準じて行い, 各点 2 セットの平均値と既知座標とを比較した。

前述のように初期化する位置変えながら, その 5 点を VRS 方式で観測し, 初期化位置による差異を確認した。観測した結果を表-2 から表-4 に示す。

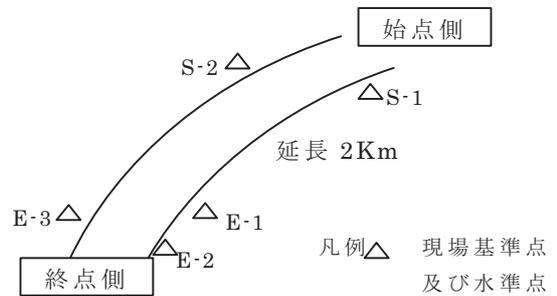


図-7 観測位置図

表-2 ①観測各点にて初期化した場合(単位:m)

測点	X 座標較差	Y 座標較差	Z 座標較差
S-1	-0.031	-0.003	-0.011
S-2	-0.013	-0.021	-0.025
E-1	-0.008	-0.005	-0.047
E-2	-0.001	-0.013	-0.027
E-3	-0.025	-0.009	-0.052
Ave	-0.016	-0.010	-0.032

表-3 ②始点側で初期化した場合(単位:m)

測点	X 座標較差	Y 座標較差	Z 座標較差
S-1	-0.014	0.000	-0.031
S-2	+0.002	-0.014	-0.015
E-1	+0.008	-0.011	-0.008
E-2	-0.006	-0.018	-0.003
E-3	-0.003	-0.007	-0.017
Ave	-0.003	-0.010	-0.015

表-4 ③終点側で初期化した場合(単位:m)

測点	X 座標較差	Y 座標較差	Z 座標較差
S-1	-0.001	+0.012	-0.029
S-2	+0.008	+0.011	-0.045
E-1	-0.006	-0.018	-0.007
E-2	-0.010	-0.009	-0.016
E-3	+0.021	-0.006	-0.024
Ave	-0.008	-0.002	-0.024

表-2 から表-4 に示すとおり、各成分の較差は-0.002m～-0.032m の間で分散しており、初期化位置に対して有為な差異は認められない。

「公共測量作業規程の準則」では X,Y 座標で 20mm, Z 座標で 30mm という規定を設けており、X,Y 座標については概ねそれを満足しており、Z 座標ではそれを満足できない観測も 2,3 点みられる。その原因としては、データ通信遅延などによる座標演算の誤解析などが考えられる。

また、前出の問題点 3)4)については、当該現場においては、RTCM3.0 によるデータ受信としたことで、実験 1 と 2 を通じて、データ遅延や不達は確認できなかった。従来から利用されている配信事業者からの補正情報は RTCM2.3 であり、今回利用した RTCM3.0 はデータ量として 1/3 程度に圧縮されていることから、通信に利用するパケット量が軽減されたこともデータ遅延が生じなかった要因として考えられる。

以上の実験結果より、VRS 方式は精度の高い観測を可能とし、道路土工における敷き均しや振動締め固め等の重機の位置情報をリアルタイムで観測する方式として従来の RTK-GPS 測位方式と同様に十分活用ができる方式であることが確認できた。

4.3 VRS 方式運用上の課題

本稿で示したように静止定点観測の計測精度は諸規定に対応させて評価しても問題ない値を示した。今後、移動体（重機）に搭載してその位置計測を行っていくためには次のような課題が挙げられる。

(1) 携帯電話利用環境

VRS 方式は固定局が不要であるため、基準局の設置及び維持管理が軽減され、機動性が向上する。しかし、補正情報の通信手段として携帯電話通信網を利用するため、電話会社各社のサービス網の範囲内での VRS 運用とならざるをえない。そこで、携帯電話不通エリアでは有線によるインターネット接続を利用して、仮想基準点データを配信するサービスが開始されており、この導入検討も必要である。

(2) 初期化作業

RTK-GPS 測量では、基準局からの補正情報は無線を通じて移動局側の GPS 受信機に送信され観測が可能となるため、特別な操作を必要としない。しかし、VRS 方式では作業を開始するために仮想基準点を構築する初期化作業を行う必要があり、重機に搭

載する場合には、計測機器の操作に不慣れた重機のオペレータがこの作業を行うことになる。配信事業者との通信接続という初期化作業をより簡易に実施するためのマニュアル化やソフトウェア開発が必要となる。

(3) 仮想基準点の生成位置

実験 2 の結果によれば、延長 2km 程度の現場においては仮想基準点の生成位置が計測精度に及ぼす影響は少ないものと判断できる。そこで、作業位置がある程度の範囲に限定されている作業現場での利用においては、例えば、現場付近の地図情報から得られる任意の緯度経度をもとに、配信事業者サーバー内で仮想基準点を設定することにより初期化作業そのものを省略することも考えられる。



図-8 VRS-GPSシステム構成例（振動ローラ）

5. まとめ

本稿では、ネットワーク型RTK-GPS測位（VRS方式）を、重機土工に利用するための問題点や課題を整理するとともに、基礎的な実験を通じてその有効性を確認した。

今後は実機に搭載して走行中の計測特性を把握するとともに、敷き均し管理や締め固め管理（図-8）へのVRS方式の適用性を確認し、情報化施工の1つのアイテムとして展開して行きたい。

また、VRS方式の重機土工での利用（測量利用も含む）は携帯電話通信に大きく影響を受けることから、通信品質と通信料についての通信各社の理解を業界として求めるとともに、GPS受信機メーカーに対しては、仮想基準点データ等の時刻遅れなどVRS方式特有の問題に対応した重機搭載型VRS対応GPS受信機の開発にも期待したい。

26. パッシブ型 IC タグを用いた建設施工現場における 協調的な情報システムの提案

大阪大学大学院工学研究科 ○ 矢吹 信喜
タイ・チュラロンコン大学 (大阪大学)
Phatsaphan Charnwasununth
タイ・チュラロンコン大学 Tanit Tongthong

1. はじめに

プレファブ住宅は、壁や床などを部品化して、予め工場生産して現場で組立てるものである。タイなど東南アジア諸国で非常に人気が高く、従来の建設方法に比較して、短期間で、低コストで、効率的にできることから、その建設需要は年々増えている¹⁾。タイにおける一般的なプレファブ住宅建設プロジェクトは、数百個の世帯ユニット分を数年間で施工することが多い。施工組織は、プロジェクトによって異なるが、ほぼ、デベロッパ（不動産会社など）と請負業者（コントラクタ）および多くの場合、下請業者（サブコントラクタ）によって構成される。プロジェクトに関与する人員は、その機能によって、設計、製作、管理、監督、施工、検査、補助といったグループに分類される。プレファブ住宅の建設サイトでは、プロジェクトマネージャ、プロジェクトエンジニア、サイトエンジニア、現場監督、移動式クレーン運転者、作業員、点検員が存在する。

プレファブ技術は、住宅建設を従来の手作りの職人的な手法から半分工業生産的な施工方法へと大きく変化させた（図-1、図-2、図-3）。従って、潜在的に高い効率性と大きな効果をもたらすはずなのであるが、その変化が大きいため、問題ももたらしている。例えば、より高いスキルを持ち、経験豊かな現場監督が必要であること、施工従事者達がもっと協調的に仕事を行う必要があること、事前に施工の順番（段取り）を十分に決めておくとともに、臨機応変の対応も求められることなどである。具体的な事例としては、建設現場で、プレファブ・パネルを設置する順番を間違えてしまうと、部材を支持するために余分な構造的仮設材を取り付ける必要が出てきたり、既設の2枚のパネルの狭い隙間に、別のパネルを挿入するために、より多くの時間と作業員を必要としたり（図-4）、

パネル設置をやり直したり、パネルにヒビ割れや穴を生じさせたりといったことが起こる。

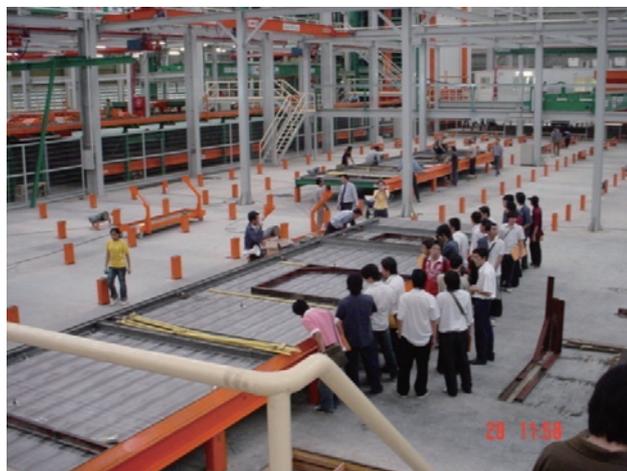


図-1 工場生産されるプレファブ部材



図-2 現場では移動式クレーンでプレファブ部材を吊り上げ、組立てていく

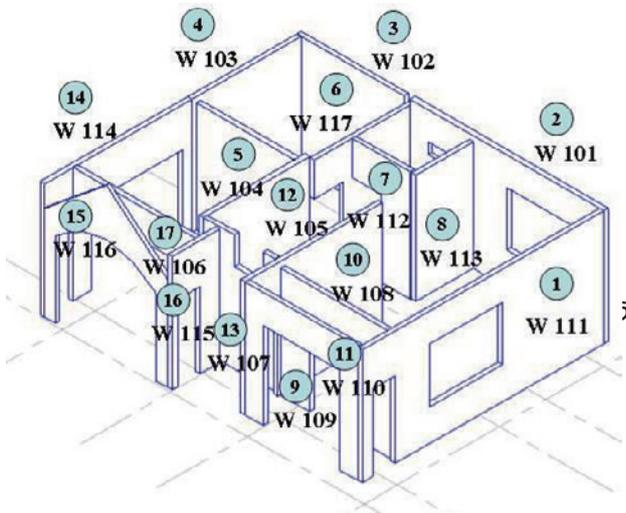


図-3 壁の部材には番号が振られている



図-4 順番を誤って狭い空隙に壁を挿入している

我々の観察と分析によれば、こうした問題の多くは、協調的な作業の欠如であり、これは、情報の貯蔵および共有の欠如、現場、工事事務所、本社という異なった環境と動機付けで働く従事者たちの管理監督手法の欠如と密接な関連がある。そこで、本研究では、IC タグ (RFID: Radio Frequency Identification) 技術^{2), 3), 4)}を用いて情報の流れを改善し、情報と知識を貯蔵して、問題解決や将来のために再利用するための枠組みを提案するものである。

2. 提案するシステム・アーキテクチャ

前述のように、本研究で提案するシステムでは、RFID 技術と知識マネジメントにおける協調的工学を利用している。RFID は、モノと情報とを容易につなげることができる技術であり、既に多くの分野で利用され、効果を発揮している。RFID に似たもので、バーコードがあるが、バーコードは、工事現場のように土や埃などの汚れが付いたり、

こすって一部が剥がれれば、読み取り不能になるため、本研究では RFID を使用した。本システムは、RFID リーダ (RFID タグを読み取るためのアンテナを含む装置) を取り付けした PDA (Personal Digital Assistant)、工事事務所に設置するノートパソコン、本社や支店など大きな事務所に設置するデスクトップパソコンによって構成される。本システムのユーザは、現場監督、クレーンなどの機械運転者、点検員、および管理者である。システム・アーキテクチャを図-5 に示す。工事事務所のノートパソコンには、6 個のモジュールと 1 個のデータベースシステムがある。6 個のモジュールは、

- (1) 実ケース記録モジュール：資源、スペース、作業場所、作業順序、日付、時刻などの実際の状態を記録することに用いる。
- (2) 代替案作成モジュール：実際の状態と一般的な情報からいくつかの代替案を作成し、各代替案による期待される効果、長所・短所を提供する。
- (3) 品質保証・管理モジュール：品質検査結果を集め、品質保証・管理プロセスのために工具や機械の使用履歴とメンテナンスデータ、チェックリストを提供する。
- (4) 一般的な情報モジュール：プロジェクトの情報、組織図、役割分担、図面、スケジュール、仕様、必要な場所などの一般的な情報をユーザに提供する。
- (5) 特定情報モジュール：施工状態や順序に関する特定の情報を、グラフィカルなフォーマットやステップバイステップの形式で表現する。
- (6) 評価モジュール：実ケース記録モジュールと品質保証・管理モジュールからえら得るデータベースのデータを使用して、工事を分析および評価する。

システム・アーキテクチャでは、ユーザについては 4 人と指定されているが、設計者などの他の技術者も知識を代替案作成モジュール、一般的な情報モジュールおよび特定情報モジュールへ提供することにより、データベースを発展・維持させていくことに協力することが期待されている。品質保証・管理モジュールや点検員の情報によって開発される。評価モジュールは組織管理レベルで利用される。

3. システムの適用と期待される効果

本システムは主に、移動クレーンなどの機器運転者、現場監督、点検員、工事長、管理者により利用され、プレファブ部材の設置プロセスの中の、組立、接合、点検、および評価作業をサポートする。本システムでは、全ての人員 (工事長、管理者、機器運転者、現場監督、作業員、および点検

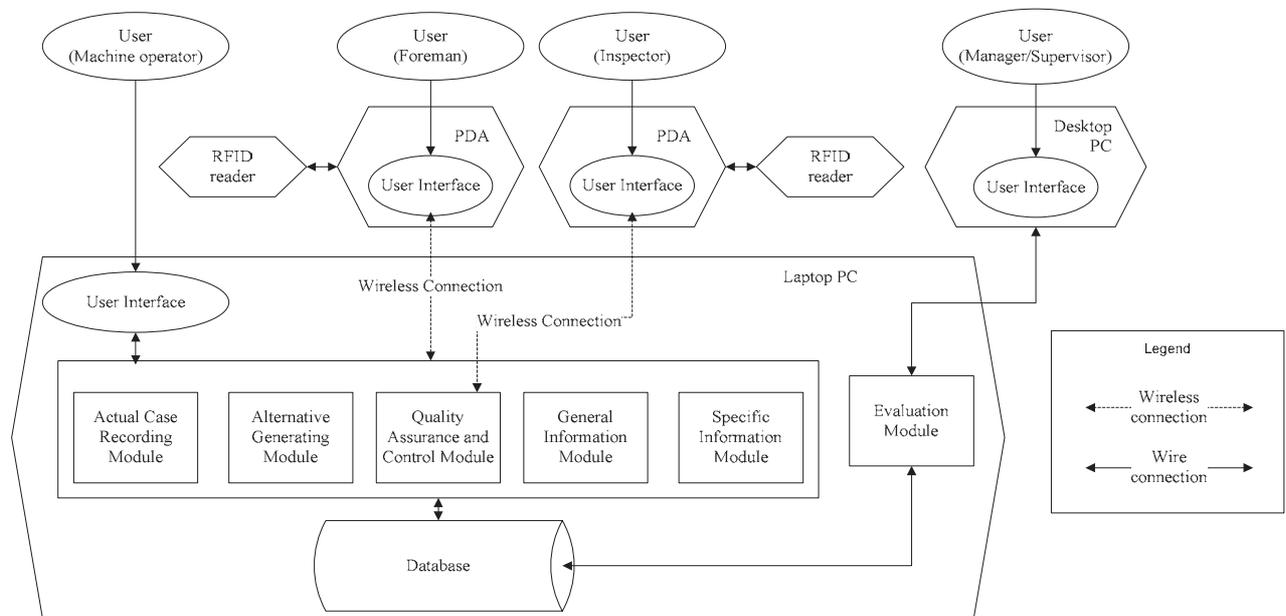


図-5 システム・アーキテクチャ

員), プレファブ部材, 道具類 (ベースプレート, 突っ張り棒, ドリル, フック, ケーブル, レンチなど), および移動式クレーンに RFID タグが取付けられる. 各ユーザは, 適切なアクセス権を得て, ユーザ自身を記録するために, 自分の RFID タグを PDA についている RFID リーダを使用して読取る必要がある.

プレファブ部材設置プロセスの前に, 現場監督は自分の PDA で各部材の RFID タグを読取る. 一方, 機器運転者は, 機器がアクセスできないエリアを入力する. 次に, 現在の状態が捉えられ, 建設資源, 場所, 時間などに影響された, 実際の状況とは異なるいくつかの代替案が生成される. このシステムがなければ, 現場監督は, 適切な代替案を生成するためには, 設計者, 管理者などと協力し合わなくてはならない. あるいは, 現場監督自ら, 適切な代替案を考え出し, その代替案によって生み出される結果を予想できなくてはならない. 代替案, 予想される結果, 長所・短所を得た後, 現場監督は, 工事を停止するか代替案を用いて継続するか判断しなくてはならない.

プレファブ・パネルが設置されている最中, 現場監督と機器運転者は, 情報とチェックリストをシステムから得るとともに, 品質結果をシステムに入力しなければならない. 次に, 点検員が重要な部材をクロスチェックしたり, ランダムに点検したりする. こうすることにより, 点検員の作業量を減らすことができる. また, 現場監督, 機器運転者, および点検員間の協力が改善される. 現場監督から信号を得るために, 本システムは, 機

器オペレータの役割をレベルアップさせている. これにより, 機器オペレータは持ち上げるパネルを持っていく位置やその次の作業順序を本システムから事前に知ることができる. 従って, 現場監督と機器オペレータの協力が向上し, 効率が改善される. 部材の RFID タグを読取ることにより, 各オペレーションは, いつ, 誰が, どこで, 何を, どのようにしたのかを記録できる. さらには, 現場監督と機器オペレータは, 一般的な情報モジュールから一般的な情報をリクエストすることができる.

工場の評価は, 評価モジュールを使って, データベース内のデータを評価することにより実施できる. 評価結果は, 組織的な管理レベルへ転送される.

本システムを使用することによって期待される便益は, 作業の協調性と効率性が向上し, ミスが減少することである. さらに, 効率的な情報の流れと提供された知識の支援によって, プレファブ部材の設置プロセスにおいて中心的な役割を果たす現場監督に対するスキルと経験の要求水準を相対的に軽減することができる.

4. プロトタイプシステムの開発

本研究で提案しているシステムを実証するために, プロトタイプシステムを現在, 開発中である. PDA としては, ヒューレット・パッカード社の HP iPAQ212 Enterprise Handheld を使用し, RFID リーダには, シーエフカンパニー社の CF RFID Reader Card 6E を用いている. 周波数帯は, 13.56MHz で

ある。使用可能な RFID タグの種類は、複数あるが、本研究では、テキサス・インスツルメンツ社の TI Tag-it HF-I Standard を使用している。図-6 に、PDA、RFID リーダ、RFID タグを示す。

RFID タグの ID を RFID リーダが読取った後、PDA のプログラムでその ID を受け取って処理することができるようにすることは容易ではない。通常、RFID を製造販売している会社に業務委託しなければならず、そのソフトウェア開発費は、かなり高額になるのが一般的である。そのため、工事現場などで、ちょっと PDA で RFID を使ってみたい、と思っても中々できないのが現状である。本研究では、オゴー開発株式会社と株式会社 ePI-NET が、株式会社ソア・システムズのル・クロン (Le Courent) ディベロッパーを利用して開発した PDA と RFID のインタフェースソフトウェアをレンタル利用することにより、問題解決した。

工事現場に設置するノートパソコンに内蔵させる 6 個のモジュールについては、プログラミング言語 Java および JADE (Java Agent Development Framework) を用いて、マルチエージェントシステムとして開発する予定である。データベースには、MySQL を使用している。



図-6 PDA, RFIDリーダ, RFIDタグ

5. 結論

本研究では、プレファブ住宅建設における協調的な作業を促進し効率化を図るために、6 個のモジュールとデータベースシステムを有するコンピュータと RFID 技術を用いたシステムを提案した。ここで言う協調的な仕事は、作業員達のプロジェクトレベルでの協力に止まらず、システム構築、データベースの維持、情報の共有によって組織的なレベルでの協調性を包含する。

尚、本研究は現在進行中であり、提案したシステム・アーキテクチャに従って、プロトタイプシステムを構築して、実際の建設現場に適用し、評価を行う予定である。

謝辞

本研究は、タイ高等教育委員会のファカルティデベロップメント奨学金 (AUN/SEED-Net と共同) によって支援されている。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Tobaramkul, M.: A Study of Prefabrication System for Building Construction in Bangkok Metropolitan Area. Master's Thesis, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, 1997
- 2) Jaselskis, E.J., Anderson, M.R., Jahren, C.T., Rodriguez, Y., Njos, S.: Radio-Frequency Identification Applications in Construction Industry, Journal of Construction Engineering and Management, 121(2), pp.189-196, 1995
- 3) Chin, S., Yoon, S., Choi, C., Cho, C.: RFID+4D CAD for Progress Management of Structural Steel Works in High-Rise Buildings, Journal of Computing in Civil Engineering 22(2), pp.74-89, 2008
- 4) Yabuki, N., Shimada, Y., Tomita, K.: An On-site Inspection Support System Using Radio Frequency Identification Tags and Personal Digital Assistants, Conference proceedings, CIB, W78, Aarhus, Denmark, vol. 2, pp.14-19, 2002

2.7. 情報化施工における転圧管理システム CIS の適用事例について

酒井重工業(株) 事業推進部 ○小薬 はるな
同 技術研究所 眞壁 淳
前田道路(株) 東京支店 上野 健司

1. はじめに

舗装工事の情報化施工においては、施工の効率化、コスト低減および品質の向上を目的として、敷きならし機械への三次元マシンコントロール（以下、3D-MC と称す）の適用が増加しつつある。中でも位置情報検知装置である自動追尾トータルステーション（以下、TS と称す）との併用による施工方式は、複雑な設計形状の路面整形にも高精度かつリアルタイムで位置情報を把握できるため、施工効率と精度が従来に比べて飛躍的に向上している¹⁾。一方、最近では舗装転圧作業の分野でも情報化施工への適用要求が高まっている。既に路体・路床などの土工事の分野では、転圧回数管理装置や加速度応答法による締固め品質管理機器（酒井重工業製 Compaction-Control-Value：以下、CCV と称す）等が開発され、リアルタイム転圧管理手法として、その適用性が評価されてきた²⁾。以下に紹介する最近開発された転圧管理システム（酒井重工業製 Compaction-Information-System：以下、CIS と称す）は、加熱アスファルト混合物の転圧時にも使用可能であり、舗装工事の新たな情報化施工品質管理ツールとして期待されている。本報文では、TS 式 3D-MC を適用した路盤工事およびアスファルト舗装工事における CIS の転圧施工例を紹介すると共に、品質検査の一手法であるブルーフローリング（以下、PR と称す）の代替ツールとしての適用性を報告する。

2. CIS システム概要

2.1 システム概要

CIS のシステム概要を図-1 に、画面表示例および 4t 振動コンバインドローラ（酒井重工業製 TW502 型：以下、振動コンバインドと称す）への取付け状況を図-2 に示す。図例は CCV 分布の表示である。所要転圧回数に応じて色を自由に設定可能である。また、CCV および路面温度は左上端のタッチキーによって切替える。さらにディスプレイ上端の数値は、作業速度、路面温度、CCV および振動数をリアルタイムで表示する。

本システムは所要の締固め品質の均一化向上に資するシステムである。CIS はセンサ類（CCV、TS 受光機等）、ディスプレイ、車載用施工情報入出力解析ソフトおよびオフィス用データ処理ソフトで構成される。また、アスファルト舗装転圧時は、ローラ前方に放射型温度センサを設置する。大型ディスプレイには転圧回数、CCV および路面温度の分布がリアルタイムで表示される。従来他社モデルに比べ、表示画面が大きく見やすい。また、Windows ベースで操作が容易である。そのため、オペレータおよび現場監督は容易に締固め状況が把握できる。なお、測定されたすべての施工情報は、USB メモリを介してデータ移動を行い、オフィス用データ処理ソフトにてデータ管理と帳票化が可能である。

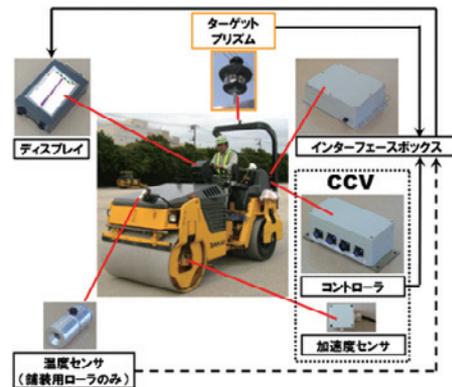


図-1 CIS システム（ハード）概要

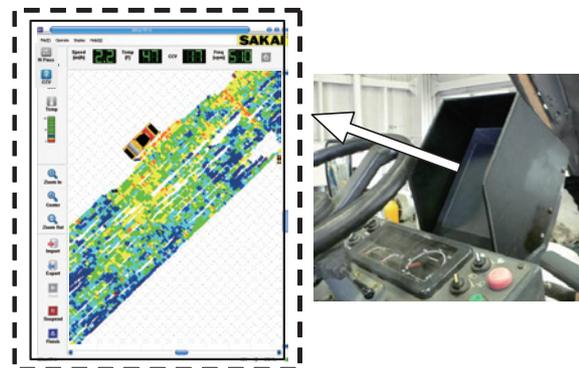


図-2 CIS 画面表示例とローラへの搭載状況

2.2 CCV 計測方法

一般に振動ローラ転圧時の地盤からの応答加速度は、地盤の状態（硬軟）によって変化する。図-3に転圧回数と応答加速度の関係を示す。図中(A)は、転圧回数2回目の応答加速度を示し比較的地盤が軟弱である。図中(B)は、転圧回数8回目の応答加速度を示し転圧回数2回目に比べ締固めが進行し地盤が硬化している。図より、転圧回数の増加に伴い、複数の周波数成分が合成され、応答加速度が変化していることがわかる。

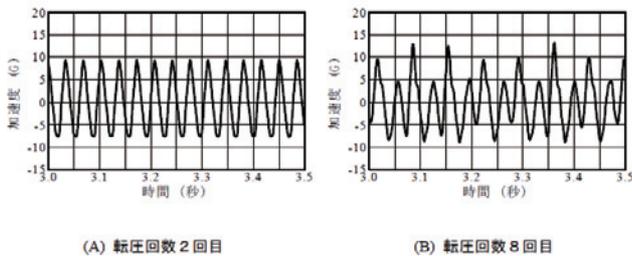


図-3 転圧回数と応答加速度の関係

CCVは、このような応答加速度の変化を捉え数値化したものである。検知された応答加速度信号を高速フーリエ変換 (FFT) して、振動輪の基本振動周波数 F_0 を検出する。次に基本振動周波数 F_0 を含む6種類の周波数 ($1/2 F_0$, F_0 , $3/2 F_0$, $2 F_0$, $5/2 F_0$ および $3 F_0$) に対応するバンドパスフィルタでフィルタリングし、図-4に示すように各周波数における加速度振幅スペクトル ($A_1 \sim A_6$) を検出する。

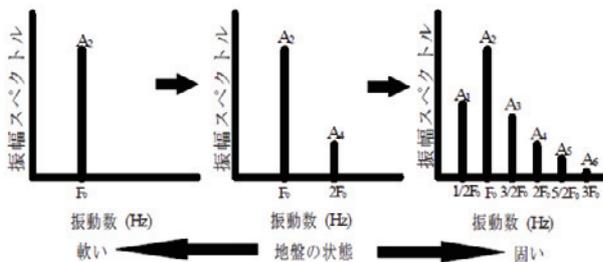


図-4 地盤の硬軟による振幅スペクトル

検出された振幅スペクトルから以下の演算式により CCV (無次元量) を算出する。このように算出された CCV は、ローラ転圧時の地盤の硬軟 (剛性) として表現できるものである。

$$CCV = \{(A_1 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) / (A_1 + A_2)\} \times 100$$

CIS では、上述した CCV と同様に転圧回数および路面温度をリアルタイムで計測している。また、施工エリアをメッシュ分割することで、メッシュ上をローラが通過した時の計測データを色付けし

その分布を表示している。

3. 舗装転圧工事における CIS の適用性

3.1 路盤転圧工事への適用事例 1

施工現場は、総施工面積 38,000 m²、横断勾配 2.5 % のモータープール予定地である。路盤材料は、下層路盤は再生クラッシャーラン (RC40, 20 cm)、上層路盤は再生粒調砕石 (RM40, 20 cm) である。複雑な横断と縦断勾配に沿って撒きだし厚を短期間に確保するために TS 式 3D-MC を用いた。これは、自動追尾 TS (TOPCON 製: GPT-9600 (写真-1)) とターゲットプリズム (写真-2) により敷きならし機械の位置を検出し、その結果を無線で敷きならし機械にフィードバックして排土板の高さと勾配を自動制御 (高さ方向の精度は ± 5 mm 程度) している。



写真-1 ブルドーザおよびローラ用自動追尾 TS



写真-2 3D-MC 付ブルドーザでの敷きならし状況

前述の通り、CIS はリアルタイムに転圧管理が可能であるが、ここでは、試みとして従来の PR の代替検査ツールとしての適用性を検証した。ローラの位置検出には TS (Leica 製: TPS-1200) を用いた。CIS にて既施工部全面を測定した後、図-5に示す CCV 分布図を基に CCV 値の高、中、低のエリアを各々4箇所選択し、ハンディ FWD (以下、HFWD と称す) によって地盤剛性 (以下、K 値と称す) を測定した。図-6に示すように、CCV 値と K 値の相関関係 ($R^2=0.83$) は良好であり、CIS は施工後の品質検査ツールとしても有効であった。

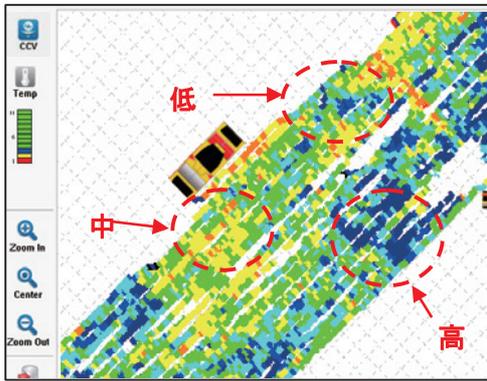


図-5 CCV 値の分布表示例

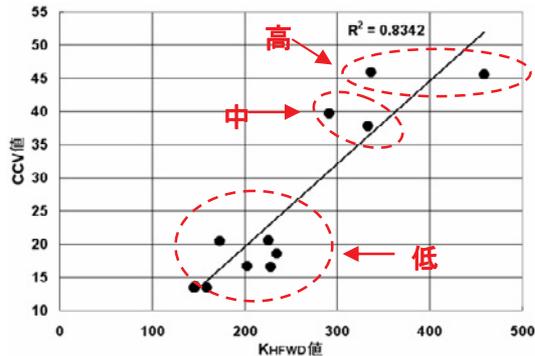


図-6 CCV 値と K_{HFWD} 値の関係

3.2 路盤転圧工事への適用事例2

施工現場は、総施工面積1,400 m²、道路延長約400 mの町道である。10tマカダムローラと15tタイヤローラによる転圧後に、前項と同様にCISにて施工部全面を測定した。写真-3は、CISを搭載した振動コンバインドによる測定状況である。なおローラ的位置検出には、自動追尾TS (Trimble製: SPS930) を用いた。図-7にCCV分布を示す。図より、路肩部のCCV値が相対的に低い。これは、端部に材料を拘束する型枠が無く、施工部外側への材料の押出しによる転圧不足が要因と見られた。本現場では、HFWDとの比較は行えなかったものの、目視確認により転圧不足が懸念された端部でCCV値が低く、傾向が一致した。



写真-3 CISによるCCV測定状況

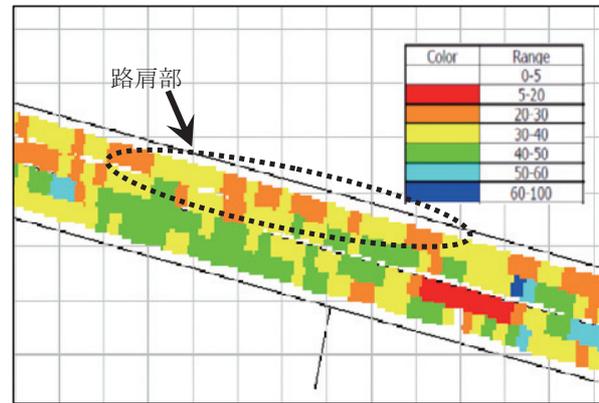


図-7 CCV値の分布表示例と分布割合

3.3 表層転圧工事への適用事例

3.2項の路盤上に敷設したアスファルト混合物(再生密粒度アスコン(13), 仕上り厚5cm)の転圧中にCISの適用性を検証した。アスファルトフィニッシャーで敷きならし後、CISを搭載した振動コンバインドにて初期転圧を行った。写真-4に初期転圧状況を示す。また、二次転圧には15tタイヤローラを用いた。本現場では無振動仕様が転圧条件であったため、振動加速度応答値によるCCVは測定していない。従って、本項では、転圧回数と路面温度の測定結果を評価することとした。



写真-4 初期転圧状況

図-8に初期転圧開始時の路面温度分布を示す。図より、ほぼ全面で100度以上であり、適切な温度範囲内の施工であったことがわかる。図-9に転圧回数分布を示す。本施工では、所要の転圧回数が3回以上であり、要求された転圧回数を満足していることが本図より明らかである。しかしながら、転圧回数の分布には、転圧回数が少ない箇所と多い箇所が混在しており、過転圧による不均一な締固めが懸念された。

CISでは、転圧施工中にオペレータに対して、適切な施工温度の把握・確認および所要の転圧回数が均一に転圧することを促すことができる。従っ

て、施工の効率化や締固め品質の向上だけでなく、従来人力にて計測・管理していた温度測定や転圧回数測定等の省人化を含めた施工全体のコスト低減に寄与することができる。また、帳票化された施工データは、将来的な修繕・補修時期の予測や修繕方法に対しても利用できるものと思われる。

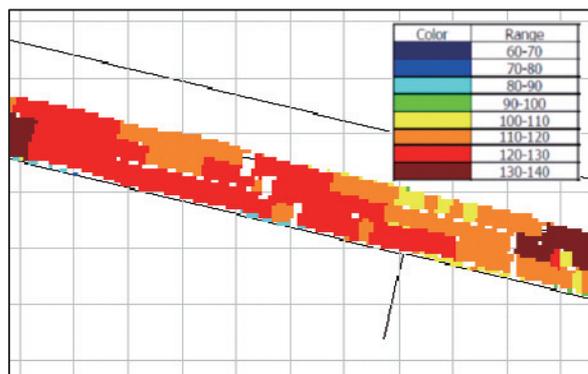


図-8 初期転圧開始時の路面温度分布

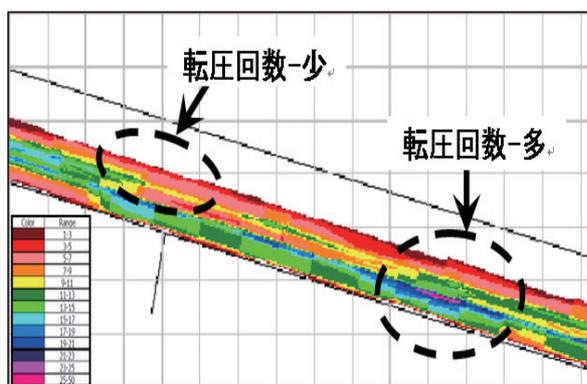


図-9 転圧回数分布

4. まとめ

前述した施工結果より、CISは、転圧施工中にCCV値、転圧回数および路面温度等をリアルタイムで管理できるだけでなく、施工後の品質検査（PR）の代替ツールとしても有効であることが明らかになった。また、路盤施工においては、敷きならしから転圧まで同じ地形（位置）データを用いたことでデータの一元化も図られた。これらのまとめを以下に示す。

4.1 施工品質の向上

CISは、従来の局所的かつ少数の測定数と比べて施工全面を測定できると共に視覚的に不良箇所を容易に発見できるので、品質の飛躍的な向上が期待できる。また、PRの代替ツールとして品質検査が可能である。

4.2 施工の効率化とコスト低減

CISでは、オペレータがリアルタイムで転圧回数の過不足を確認できるため、施工の均一化と効率

化（無駄の排除）を図ることができる。また、従来人力にて計測・管理していた温度測定や転圧回数測定等の省人化を行うことができ、施工コストの低減にも寄与できる。

4.3 舗装の長寿命化とメンテナンス費用の低減

締固め品質の向上は、舗装の長寿命化に伴う補修工事等の作業ならびに費用を低減することに寄与する。また、CCV、転圧回数および路面温度により転圧不足や過転圧が懸念される箇所を予測することができれば、検査や補修作業の効率化を図ることができる。

4.4 教育

CISにより測定された施工情報は、電子データとして保存できるので、帳票作成および転圧ローラのオペレータ教育等にも適用できるものと思われる。

参考文献

- 1) 菊池・上野：3Dマシンコントロールのブルドーザへの適用，建設機械，44・3，pp22-25，2008. 3.
- 2) 藤岡・北村：ローラ加速度応答法を用いた道路路床の品質管理に関する研究（その1，2），第39回地盤工学研究会資料，pp1343-1345，2004. 7.

28. 情報化施工における監督・検査に利用する施工管理情報項目の提案

国土技術政策総合研究所 情報基盤研究室 ○渡邊 賢一
国土技術政策総合研究所 情報基盤研究室 梶田 洋規
国土技術政策総合研究所 情報基盤研究室 遠藤 和重

1. はじめに

近年の情報通信技術の発展は目覚ましい。総務省情報通信経済室が発表した「平成20年通信利用動向調査」¹⁾によると、インターネットの利用者は9,091万人であり、人口普及率では75.3%である。情報通信技術があることが当たり前の世界になりつつあり、国民の情報通信技術に対する認識が高まっている。

情報通信技術を取り入れたことによる製造業、特に自動車産業の発展もまた目覚ましいものがある。3次元の設計データを生産サイクルで流通させることで、製造工程のシミュレーションなどに活用でき、より高度な技術者判断ができる環境を整えている。設計段階における製造工程の検討の高度化で、手戻りや工程の無駄を減らし、高い生産効率を達成してきた。

一方、建設業では、生産ツールである建設機械や測量機器などは情報通信技術により発展してきているが、生産体制全体の高度化となると、製造業ほどには達成できていない。その原因の一つとして、生産ツール間での「情報の流れ」が発展途上であったことがあげられる。ここでいう情報の流れとは、設計から施工を通じて、維持管理にまで至るデータの流通を表す。それら情報の流れの中で情報を活用する手段の一つとして、施工の分野における情報化施工がある。

建設施工のイノベーションを実現するツールとして、情報化施工に対する期待が高まるなか、平成20年7月に情報化施工推進会議（事務局：国土交通省総合政策局建設施工企画課）より、「情報化施工推進戦略」²⁾が発表された。情報化施工推進戦略の中では、情報化施工の普及に向けた課題と対応方針として、工事発注者の課題、施工企業等の課題、共通課題が挙げられており、国総研情報基盤研究室（以下、「本研究室」）では、工事発注者の課題のうち、施工管理手法および監督・検査の情報化施工への対応と施工データの受発注者間の共有を目指した課題解決に取り組んでいる。

情報化施工を用いた施工管理を的確にかつ効率的に実施するための施工管理要領やマニュアルの

整備の一環として、本研究室では、施工管理データを搭載したトータルステーションを用いた出来形管理手法³⁾（以下、「TS手法」）を提案してきた。TS手法により、出来形管理としての3次元座標データを容易に取得することができようになった。

また、本研究室では、情報化施工における情報交換の互換性を高めるため、システムアーキテクチャを構築し、情報化施工において共通化できる機能と再利用する情報の整理をして、情報基盤を構築することを目指して検討を進めてきた。

情報化施工の進展により、監督・検査職員が現場で取得したり、施工者が電子データとして提出することで、監督・検査に利用できるデータ流通が容易になった。これらデータを活用する手段として、監督・検査職員の判断を支援することで監督・検査を効率化するシステムを構築することが考えられる。

本研究は、土工と舗装工を対象工種として、監督・検査に活用可能な情報化施工で取得される情報を整理した。次に、監督・検査を支援するシステムに必要な機能をヒアリングなどにより収集・整理し、システムの開発コンセプトをとりまとめた。また、監督・検査を支援するシステムで管理基準および規格値を表示し、システムを介して測定値を受け渡しが可能となるよう、出来形管理基準および規格値と品質管理基準および規格値について、XML形式による記述方式を提案し、監督・検査データ交換標準仕様書（素案）とデータ辞書を作成した。

2. 監督・検査を支援するシステムの基本コンセプト

2.1 監督・検査に活用可能な情報化施工で取得される情報

情報化施工により取得できる情報項目は、施工しながら取得できるものもあり、工事を一時中断して検測するなどの手間が省け、より効率的な監督・検査が実施できる可能性がある。また、面的管理により、監督・検査をより密におこない、より良い監督手法・検査手法が確立される可能性がある。

表－1 発注者・施工者の情報項目比較（出来形）

発注者が求める情報	確認頻度	要求精度	確認者	確認方法	施工者が提供可能な情報	測定頻度	測定精度	実現性	備考
<土工出来形>									
幅、長さ (幅員、法長等)	1箇所 /40m	100 mm	監督員・ 現場技術員	テープ	TS出来形測定値(計算値)	任意	1～数mm	◎	実用化済み 要領策定済み
					GPS出来形測定値(計算値)	任意	1～数cm	◎	
厚さ (法面整形工)	1箇所 /40m	50 mm	監督員・ 現場技術員	水準測 量	TS出来形測定値(計算値)	任意	1～数mm	○	Z方向の測定精度は水 準測量に劣る
					GPS出来形測定値(計算値)	任意	1～数cm	○	
—					TS出来形測定値(座標値)	任意	1～数mm	△	出来形管理項目に該当 なし
					GPS出来形測定値(座標値)	任意	1～数cm	△	
施工高	1箇所 /40m	50 mm	監督員・ 現場技術員	水準測 量	情報化施工機器の施工高さ (軌跡)	リアル タイム	数cm	▲	機器高さと施工高さは 必ずしも一致しない
—					油圧ショベルバケット位置 (軌跡)	リアル タイム	数cm	▲	出来形管理項目に該当 なし
<舗装出来形>									
幅	1箇所 /40m	50 mm	監督員・ 現場技術員	テープ	TS出来形測定値(計算値)	任意	1～数mm	○	GPSの舗装出来形管理 精度はTSに劣る
					GPS出来形測定値(計算値)	任意	1～数cm	○	
厚さ	1箇所 /40m	15 mm	監督員・ 現場技術員	コア抜 き	TS出来形測定値(計算値)	任意	1～数mm	○	Z方向の測定精度は水 準測量に劣る
					GPS出来形測定値(計算値)	任意	1～数cm	○	
—					TS出来形測定値(座標値)	任意	1～数mm	△	出来形管理項目に該当 なし
					GPS出来形測定値(座標値)	任意	1～数cm	△	
施工高				水準測 量	情報化施工機器の施工高さ (軌跡)	リアル タイム	数cm	▲	機器高さと施工高さは 必ずしも一致しない

◎：制度、技術とも現在実施可能 ○：技術的な課題は残るが実施可能 △：技術的には可能だが制度改正が必要 ▲：制度・技術とも課題あり

施工者が保有する情報化施工にて取得できる施工管理情報と、現状の監督・検査情報としての出来形・品質管理項目を比較し、整理した。表－1に土工および舗装の出来形管理項目を示す。なお、品質管理項目のうち、土の締固め試験など、材料の室内試験により取得されるものは、発注者の確認が試験成績表などで行われるため、現場から得られる情報では置き換えられない。

発注者が監督・検査を行う際に活用可能な情報項目を整理したことで、実現性が高く短期的に実現でき、現行の監督・検査において発注者、受注者、双方省力化が期待される項目と、現時点での実現性は低いが長期的な実現を目指し、高品質化・均質化に寄与する項目とに分類することができる。

短期的に実現可能な項目については、TS・GPSを用いた土工・舗装の出来形管理や転圧回数管理による土工の品質管理が挙げられる。一方、長期的に実現可能な項目については、技術的・制度的な課題が残されている。

例えば、発注者は施工高を表す情報化施工データを求めているが、施工者が提供可能な情報は、情報化施工機器の施工高さであるため、直接的に出来形を表すデータではない。このため、情報化施工に対応する検測ツールの開発を進めることで、監督・検査において、情報化施工データが有効活用される可能性がある。

2.2 監督・検査を支援するシステムに必要な機能

監督・検査業務におけるシステム化領域を明確にするため、受発注者において課題となる項目をヒアリングにより明らかにした。課題から、監督・検査を支援するシステムに求められている機能が明らかとなった。

第一に、監督職員および検査職員が臨場時に利用し、作業の効率化・省力化を図るために必要な機能がある。具体的には、全てを現場に持ち出すのが困難な帳票類や現場で閲覧する必要がある図書の電子化と入力支援機能などがあげられる。

第二に、監督職員および検査職員が臨場時に直面する課題を解決するための補助となる機能がある。監督・検査データを他業務へ利用したり、監督員と現場技術員のコミュニケーションに活用したり、ノウハウを蓄積できる機能などがあげられる。

第三に、施工者が保有する情報化施工データなど施工管理情報を直接確認できる機能が必要である。この機能は、粗雑工事の監視や低入札工事の重点監督に用いることを想定している。

また、上記機能を有するシステムを実現するための課題をヒアリング結果などから整理した。

- ・ 現場職員にとって使いやすい情報端末であること。
- ・ 情報端末で取り扱う、情報化施工機器から取得できるデータの中で、監督・検査に活用可能なものは限られていること。

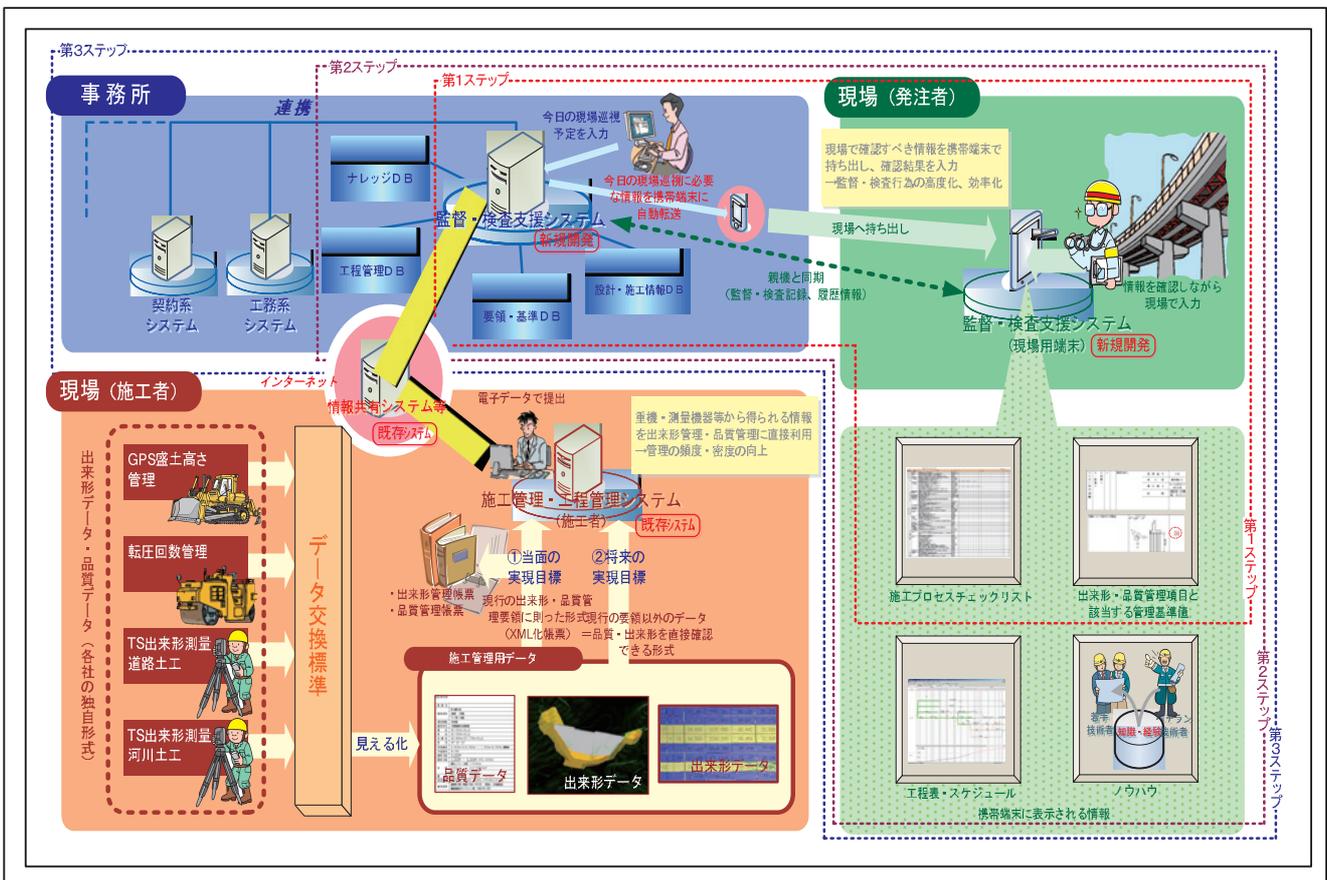


図-1 監督・検査を支援するシステムの開発コンセプト

- ・ 情報項目の追加には、制度面・技術面の課題があること。
- ・ 監督・検査行為の範囲を超える安全法令などのデータについては、より詳細な調査が必要であること。

2.2 監督・検査を支援するシステム開発のコンセプト

監督・検査を支援するシステムの開発コンセプトを図-1に示す。監督・検査を支援するシステムの開発は、実現性を考慮し、3つのステップに分けて段階的に行うものとした。

a) 第1ステップ (基本機能の開発と普及)

システムの基本機能の開発と現場への普及を最優先とし、最も実現性の高い以下の3機能の開発を行う。

- ・ 施工プロセス検査支援機能

施工プロセスチェックシート入力を支援する機能

- ・ 施工者保有情報利活用機能

情報化施工データのうち最も簡便に出力可能な出来形帳票を閲覧する機能

- ・ 設計データ確認機能

出来形管理基準、品質管理基準を閲覧する機能

b) 第2ステップ (端末機能と情報項目の拡張) 機器の普及を踏まえた機能改良を行うとともに、高度な利用を可能とするための機能追加や情報項目の拡張を行う。

- ・ ノウハウの共用機能
- ・ 工程表、スケジュール確認機能
- ・ 情報化施工データの閲覧機能
建設機械などからのデータを直接読み込む

c) 第3ステップ (他システムとの連携)

監督・検査データの他業務への連携が行えるよう機能を追加する。

- ・ 他システムとの連携機能
- ・ その他ニーズの高い機能の実現

3. 監督・検査データ交換標準仕様書 (素案) の作成

TSによる出来形管理に必要な情報項目および舗装関連工種の監督・検査で利用している情報項目について整理した。「土木工事共通仕様書」を適用する請負工事に用いる帳票様式 共通タグ(案) (以下、「帳票 XML」という)のうち、出来形帳票作成のための情報項目仕様書との関係を整理した。監督・検査を支援するための情報項目のうち、工事名、出来形管理の対象点(および略図構成点)、測点が帳票 XML で扱えない項目であることが判明

した。T

以上の考察を元に、監督・検査を支援するシステムで管理基準および規格値を表示し、システムを介して測定値を受け渡しが可能となるよう、管理基準値および規格値のデータ定義を行う。

「監督・検査データ交換標準仕様書（素案）」では、「監督・検査支援システム」を適用する請負工事において受発注者間で交換される情報のうち、出来形・品質管理基準および規格値などの情報をXMLデータとして記述する場合のデータ構造・形式について定めた。図-2に「監督・検査データ交換標準仕様書（素案）」で規定するXMLスキーマの全体構成を示す。さらに一例として、図-3に出来形管理基準および規格値の基準値セットを示す。

平成21年度は締固め回数管理技術に着目したデータ交換標準を策定する予定である。

4. あとがき

情報化施工推進戦略に記載されているマシンコントロール技術やマシンガイダンス技術を用いることで、均質な施工を達成できる。また、施工管理データを残すことが可能であるため、トレーサビリティが向上する。したがって、監督の頻度や書面上の検査を簡略化できる可能性がある。

情報化施工を用いることで、監督・検査はより多くの有益な情報が取得でき、また一方で手間が省かれていく可能性があるが、現在は発注者側で情報化施工による施工管理（出来形、品質）の成果を受け取るための施工管理基準などの整備と周知が不足している。情報化施工推進戦略に則り、施工管理基準などの整備を進めていくことと併せて、監督・検査の在り方についてより一層議論を深めていく必要がある。

また、CALS/ECとの連携を重視し、情報化施工により取得できる情報を、維持管理場面でも有効活用していくロードマップを作成する必要がある。

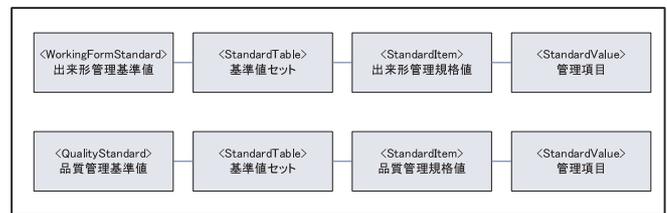


図-2 監督・検査に用いる交換データの全体構成

要素名	StandardTable	論理名	基準値セット
パス	/ WorkingFormStandard/StandardTable		
図			
子要素	StandardItem		
出現回数	1以上		
属性	workName	工事名	xs:string 例：国道〇号線改良工事
内容	工事別の出来形管理基準値の集合		
記入例	<pre><StandardTable workName="国道〇号線改良工事"> <StandardItem workType="土工-掘削工" measureCriterion="合は50m"につき 1箇所、延長40m（又は50m）以下のものは1施工箇所につき2箇所。基準高 は掘削部の両端で測定。"measurePlacedDiagram="measure001.pdf"> <StandardValue controlItem="高さ" standard="基準高▽" unit="mm" upperLimit="-50" lowerLimit="-50"/> </StandardItem> </StandardTable></pre>		

図-3 出来形管理基準および規格値の基準値セット

参考文献

- 1) 総務省 情報通信経済室：平成20年「通信利用動向調査」の結果，平成21年8月18日（火）入手 http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/02tsushin02_000001.html
- 2) 国土交通省 建設施工企画課：情報化施工推進戦略，平成21年8月18日（火）入手 <http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kensetsusekou/kondankai/ICTsekou/sennryaku.pdf>
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 情報基盤研究室：土工におけるトータルステーションを用いた出来形管理の検討，平成21年8月18日（火）入手 <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0505.htm>

29. 舗装工事における各種 ICT 機器を用いた施工と 施工性能評価について

前田道路株式会社

○ 宇田川 健治
古島 勝
菊地 重徳

1. はじめに

弊社では、モーターグレーダ、ブルドーザ、アスファルトフィニッシャ、スリップフォームペーパー等の情報化施工に積極的に取り組んでいる。

今回、東京都内のアスファルト舗装工事現場において、TS（トータルステーション）式ブルドーザを用いて路床工～上層路盤工、TS式モーターグレーダを用いて上層路盤工、GNSS（汎地球測位航法衛星システム）式アスファルトフィニッシャを用いて基層工、超音波式アスファルトフィニッシャを用いて表層工の施工を行った。

施工後、レーザ式縦断プロファイラを使用し、各層（下層路盤工、上層路盤工、基層工、表層工）で平坦性・IRI（国際ラフネス指数）の測定を行い、施工性能及び品質を確認した。

また、非破壊式アスファルト舗装密度の測定も行ったので、その概要も報告する。

2. 目的と概要

2.1 目的

当現場では路床工、下層路盤工、上層路盤工、基層工、表層工全てにおいて、情報化施工機器（表-1）を利活用した施工を行った。施工後に、レーザ式縦断プロファイラによる平坦性測定、国際ラフネス指数（IRI）の測定、非破壊式アスファルト舗装密度の測定による、施工性能評価を行う。

表-1 情報化施工機器

工種	施工機器
路床工	TS式ブルドーザ
下層路盤工	TS式ブルドーザ
上層路盤工	TS式ブルドーザ
上層路盤工（仕上げ）	TS式モーターグレーダ
基層工	GNSS式アスファルトフィニッシャ
表層工	超音波式アスファルトフィニッシャ

2.2 各自動制御機器の概要

(1) TS 式ブルドーザ、モーターグレーダ

TS式は、近年舗装工、路盤工等に適用され始めている三次元マシンコントロール技術の1つである。重機制御のための計測技術にトータルステーション(TS)を利用するため、高精度な高さ精度が得られ、舗装工、路盤工等の仕上げ精度が要求される作業に最適なシステムである。TS式のシステム概要を図-1に、主要諸元を表-2に示す。

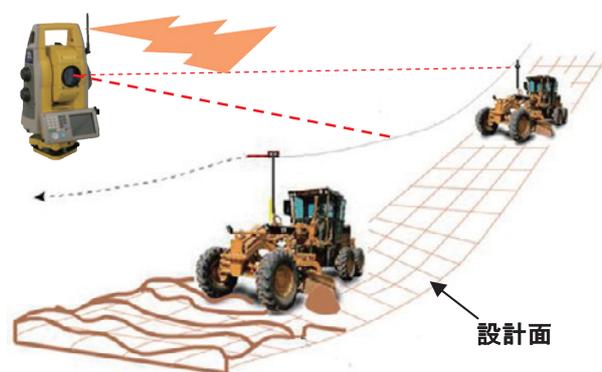


図-1 TS式概要

表-2 TS式主要諸元

最大追尾速度	85° /秒
測距範囲	1000m(全周プリズム)
測距精度	ファストコース ± (30mm+2ppm×D) m. s. e.
表示単位	10mm
測距時間(初回)	約 0.04 秒(2.5 秒)
測角方式	アブソリュート測角方式
測角精度	3”
無線機能	約 300m
使用時間	連続追尾：約 3.5 時間
国土地理院登録	2 級 A トータルステーション

(2) GNSS（汎地球測位航法衛星システム）式アス

ファルトフィニッシャ

GNSS 式は、近年舗装工、路盤工等に適用され始めている三次元マシンコントロール技術の1つである。重機制御のための計測技術に GPS (アメリカ合衆国製) 及び、GRONASS (ロシア連邦製) などの人工衛星を使用している。測位方式にはリアルタイムキネマティック測位方式 (RTK 測位方式) を採用し、水平精度±数cmを確保している。また、高さ方向に幅を持つ回転レーザを併用することにより、高さ精度を mm 単位で設定することが出来る。GNSS 式のシステム概要を図-2 に、主要諸元を表-3 に GNSS 式基地局設置状況を写真-1 に示す。



写真-1 GNSS 式基地局設置状況

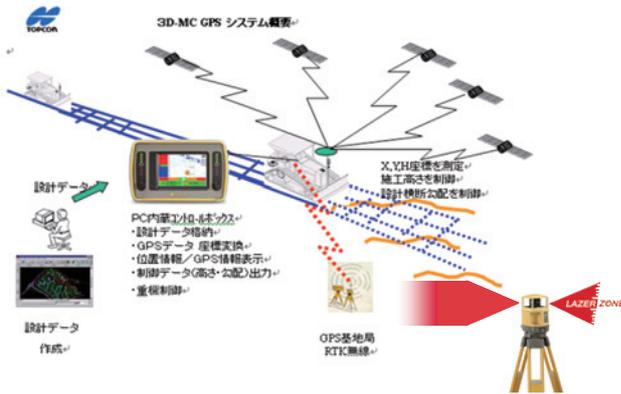


図-2 GNSS 式概要



写真-2 超音波式取り付け状況

表-3 GNSS 式主要諸元

RTK 観測	受信衛星	GPS (24 衛星) アメリカ GLONASS (現在 14 衛星) ロシア
	受信衛星数	最大 20 個
	データ出力	10Hz
	水平精度	± (10mm+1.5ppm×D) m. s. e.
レ ー ザ	使用範囲	±10° (5~30m) ±5m (30~300m)
	高さ精度	分解能 1"
	回転数	600min ⁻¹
	チャンネル	4ch
設定単位		1mm

表-4 超音波式主要諸元

検出範囲		0.4m~1.0m
検出分解能		0.7mm
超音波	発信音の 広がり	直径 15cm at60cm 直径 25cm at90cm
	温度補正	温度センサ、温度補正金具
	反射面寸法	φ=3mm 以上
	反射面角度	± 4° 以内 (鏡面) ±10° 以内 (散乱面)
制御範囲		±3cm (標準)
設定単位		1mm

(3) 超音波式アスファルトフィニッシャ

超音波式は、3次元設計データに基づいた制御ではなく、超音波センサによりロープ、縁石、既設路面などの基準高までの距離を測定する。測定したデータはコントロールボックスへ送られ、スクリーンを自動制御する。超音波式の取り付け状況を、写真-2 に、主要諸元を表-4 に示す。

3. 施工性能評価方法

3.1 工事概要

本検証は、東京都内のアスファルト舗装工事現場で実証した。

3.2 施工性能評価方法

今回の施工性能評価方法は、3つの指標 (平坦性、IRI、テクスチャ) を同時に測定することが出来る MRP2000 を使用し、平坦性 (3mプロファイルメー

タによる方法)測定と、国際ラフネス指数 (IRI)、を測定した。又、非破壊式アスファルト密度測定機 (PQI302) による密度測定を行った。

(1)舗装路面の平坦性測定

3 mプロフィールメータにより、平坦性を測定する。

(2)国際ラフネス指数 (IRI)

国際ラフネス指数 (IRI) は、1986 年に世界銀行が提案した路面のラフネス指標で「2 軸 4 輪の車両の 1 輪だけを取り出した仮想車両モデルをクォーターカー (図-3) と呼び、このクォーターカーを一定の速度で路面上を走行させたときの車が受ける上下方向の運動変位の累積値と走行距離の比 (m/km または mm/m) を、その路面のラフネスとする」と定義され、各国で採用されており、我が国においても、高速道路における平坦性の評価に優れる IRI を新たな平坦性の指標として採用されている。

又、今回の路面の凸凹等の測定方法と IRI の算出方法は、縦断プロフィール測定装置で縦断プロフィールを測定し、QC (クォーターカー) シミュレーションにより IRI を算出した。

図-3 にクォーターカーモデルを示す。

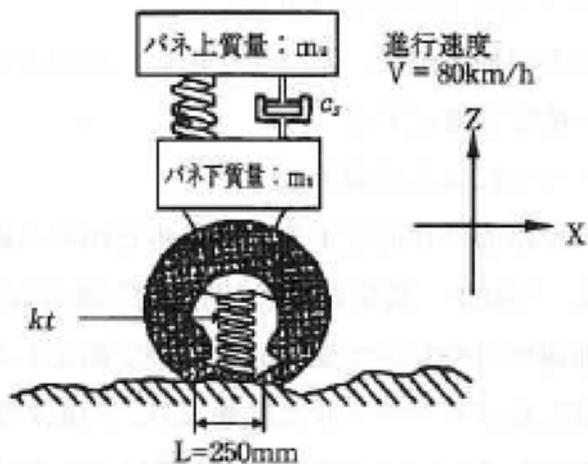


図-3 クォーターカーモデル



写真-3 PQI301 測定状況

(3)アスファルト舗装密度測定器(PQI301)

PQI301 は、測定面 (底面) より電磁波を出し、設定した舗装厚さの密度を約 3 秒で測定できる。コア採取することなく測定することが出来るため、施工管理、監督の簡素化を図ることが期待できる。PQI301 の測定状況を、写真-3 に示す。

4. 結果と考察

4.1 検証施工の実施

TS 式ブルドーザによる施工状況を写真-4 に、GNSS 式アスファルトフィニッシャによる施工状況を写真-5 に示す。各制御機器により舗設された路面は、良好な仕上がりであった。



写真-4 TS 式ブルドーザ路盤施工状況



写真-5 GNSS 式基層施工状況

4.2 各種試験結果

(1)舗設路面の平坦性

MRP-2000 による平坦性測定結果を表-4 に測定状況を写真-6 に示す。

(2)国際ラフネス指数 (IRI)

MRP-2000 による IRI 測定結果を表-5 に示す。

表-4 平坦性測定結果

上層路盤工	$\sigma=2.68\text{mm}$
基層工	$\sigma=1.96\text{mm}$
表層工	$\sigma=1.10\text{mm}$



写真-6 MRP-2000 測定状況

表-5 国際ラフネス指数測定結果

上層路盤工	4.73
基層工	2.54
表層工	1.77

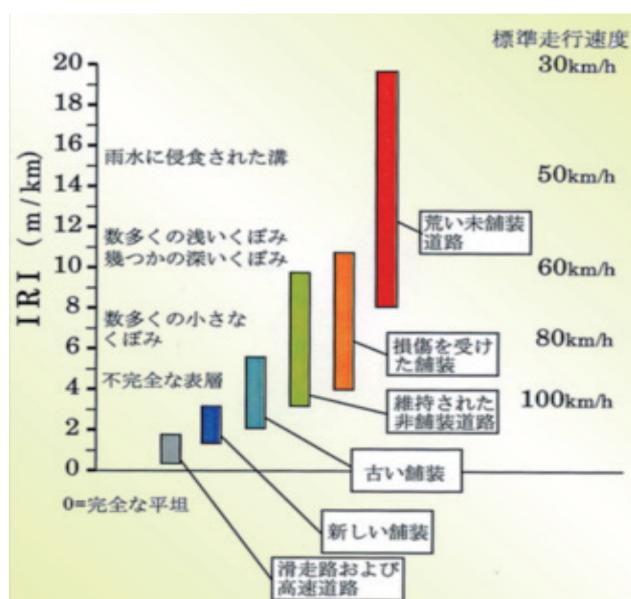


図-4 路面性状とラフネスの関係

(3)アスファルト舗装密度測定器(PQI301)

PQI302 による、現場密度の測定結果は、コア供試体の採取による密度の測定結果と同等の測定結果が得られた。

4.3 考察

(1) 情報化施工による、品質の向上

3D-MCなどの情報化施工機器を用いて施工

することにより、従来工法と比較すると均一で高精度な品質が得られる。

(2) 情報化施工による、品質の確保、管理の効率化

現在、舗装工事における出来形、品質管理では、コア供試体により、舗装厚さ、現場密度の測定、アスファルト量などの現場試験が行われている。

しかし、コア供試体の採取方法や、コアの穴の埋戻しが適切でないと、そこから舗装が破損することがあり、舗装のライフサイクルコストを低下させている。

そこで、「施工管理データを搭載したTS（トータルステーション）による出来形管理」や、PQI301などの非破壊でアスファルト舗装の出来型、品質管理を行う手法を採用する事により、施工現場でコア採取することなく出来形、品質管理を行うことが出来ると考えられる。

4.4 今後の課題

情報化施工機器は、高精度な仕上がりが得られるが、次のような課題もある。

- ①初期導入コストが高い。
- ②システムを取り扱う専門知識を有した技術者が必要。

4.5 まとめ

情報化施工により、施工の効率化や施工精度が確保できる。TSによる出来型管理、非破壊式アスファルト舗装密度測定器等の採用により、施工管理、監督の効率化を図ることができる。

5. おわりに

近年、地球温暖化問題が大きく取り上げられ、情報化施工による施工効率の向上が、CO₂の発生低減につながると期待されている。また、少子高齢化による、熟練オペレータ不足の適応策としても、期待されている。しかし、情報化施工を構成する主要技術は、機械制御技術、油圧制御技術、TS・GNSSによる測量・測位技術、3次元設計データを扱う情報利用技術など、多岐にわたる。そのため、システムを取り扱う技術者の育成が急務である。弊社では、生産性の向上、高精度な施工を実現する情報化施工を様々な現場で利活用していきたいと考えている。

最後に、今回の検証施工に多大なご協力を頂いた発注者、現場担当者、(株)トプコン販売、(株)クマタカエンジニアリング、西尾レントオール(株)殿に、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 舗装調査・試験法便覧, 社団法人 日本道路協会, 平成19年6月
- 2) 情報化施工推進戦略, 国土交通省, 平成20年7月31日

30. ボーリング工事における、掘削モニタリングシステムの利用とモニタリングデータの活用

(株)大林組

○鵜山 雅夫
長井 千明
渡辺 和哉

1. はじめに

調査ボーリングを行う目的は、地下のさまざまな情報を得ることであり、ボーリング調査において地下の情報を最初に得るのが掘削である。今回は、その掘削情報を定量的に得ることを目的として、掘削モニタリングシステムを構築し、原位置での計測を行った。

掘削モニタリングデータの利用としては、以下の通り。

- ①既存のオペレータの感覚に頼っていた部分を、数値化しグラフ化にすることによる掘削の品質管理
オペレータによる施工差を解消。
掘削作業の定量化⇒安全かつ高効率の施工。
モニターによる可視化⇒作業イメージの向上
- ②管理基準を設けて警告システムを備える異常時の早期発見
- ③今後の孔内試験計画の立案の資参考資としての利用

さらに、リアルタイムデータや今までの履歴データ（グラフ化した画像）を、PCや携帯端末を利用して遠隔地で監視可能にする情報の共有化も進めた。

今回は、調査ボーリング掘削にて、運用中の掘削モニタリングシステム活用事例と、その利用方法について紹介する。

2. モニタリング項目の選定

本調査ボーリングにて運用する掘削モニタリングシステムでは、掘削条件となる①ビット回転数、②ビット荷重、③送水流量、掘削状況を示す、④送水圧力、⑤掘削深度、⑥掘削速度を逐次計測する。また、泥水管理のために⑦給水・排水タンク等の泥水量、⑧循環泥水のpHおよび電気伝導度、⑨比重を対象項目とした。モニタリング項目は、本システムの適用目的や範囲を勘案し、現場単位で設定、設計することが可能である。

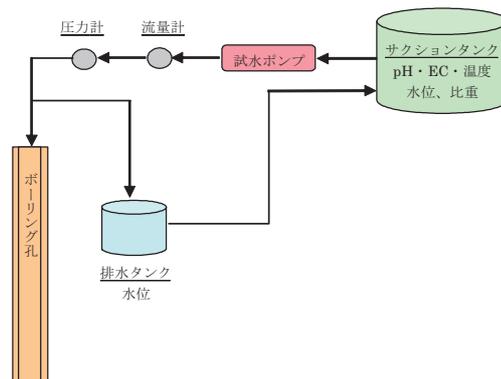


図-1 基本モニタリング項目

3. 測定方法

モニタリング項目とその精度を勘案して各センサを設置する。これらのセンサから計測データを取得し、工事事務所にある制御パソコンで集約する。そして、制御パソコンでは、計測生データを逐次評価、グラフ化して画面表示する。ボーリングオペレータは、試錐機の脇に設置したタッチパネル式のモニター画面にて共通の情報を確認するとともに、掘削編成などの掘削記録を入力する。図-2に掘削モニタリングシステムのモニター画面を示す。



図-2 掘削モニタリングシステムモニター画面

4. 測定結果・考察

4.1 泥水量のモニタリングデータの活用

掘削中の逸水・湧水量管理は、ボーリング掘削、泥水管理に重要となるだけでなく、水みちとなる地層との遭遇を示唆することもあり、孔内試験（透水試験や地下水採水）の計画立案にも有用な情報となる。今までは、逸水・湧水の確認は、孔口・各タンクでの目視観測で確認であったため、僅かな量の変化を捉えることが出来なかったが、この掘削モニタリングシステムを導入することにより、各データをオペレータの手元で確認でき、初期段階での孔内抑留事故防止や掘削作業の停止ができる。また、他の検層（電磁フローメータ等）結果との比較も出来る。

図-3 のグラフは、ある現場の掘削深度と逸水量（各掘進長での平均値）の関係を示す。ここでの逸水・湧水量の管理は、配管詰まりを考慮し、流入出の配管流量はなく、サクシオンタンク・中継タンク・廃泥タンクの3つのタンクの総泥水量を測定することで管理した。この図より56.3m付近の掘削中に逸水が発生し、56.3mから掘削を中断する100mまでの間については、掘削水が逸水することによるタンク水量の減少が顕著となり、頻繁に掘削水を追加している様子が読み取れた。また、温度・pH・電気伝導度との比較では、55m付近掘削中の合計タンク水量は概ね10.5m³に保たれているが、57m付近に変化が見られ、逸水箇所の特定ができた。なお、温度、PHでは排水側の計測であったが、電気伝導度に関しては、給水側のデータのため57m以深も給水の度に数値が変化している。

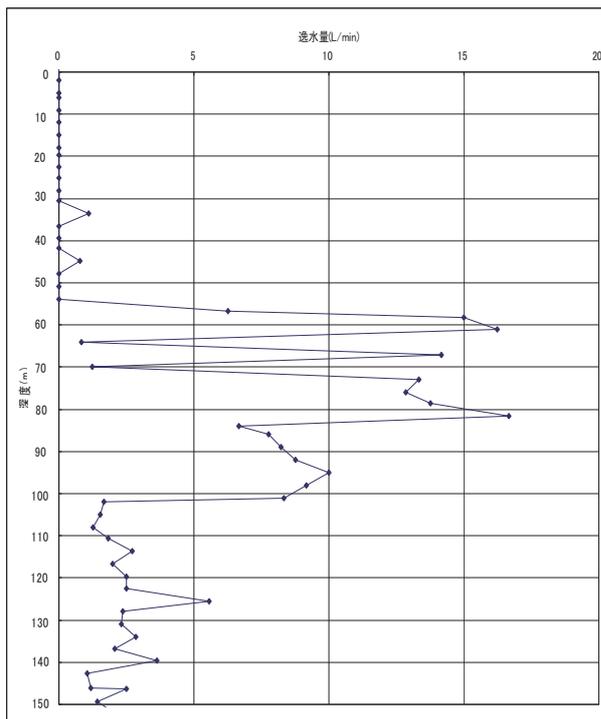


図-3 掘削深度と逸水量の関係

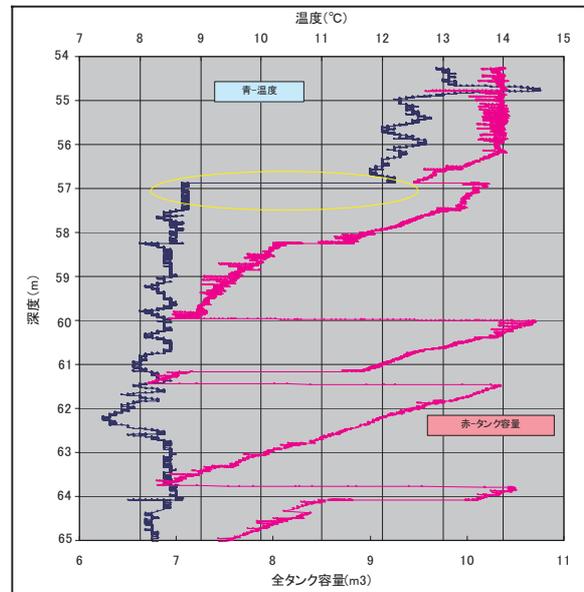


図-4 掘削深度と温度の関係

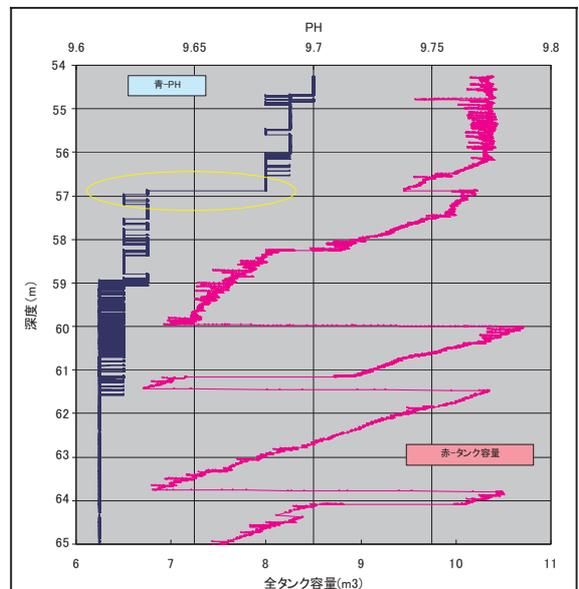


図-5 掘削深度とPHの関係

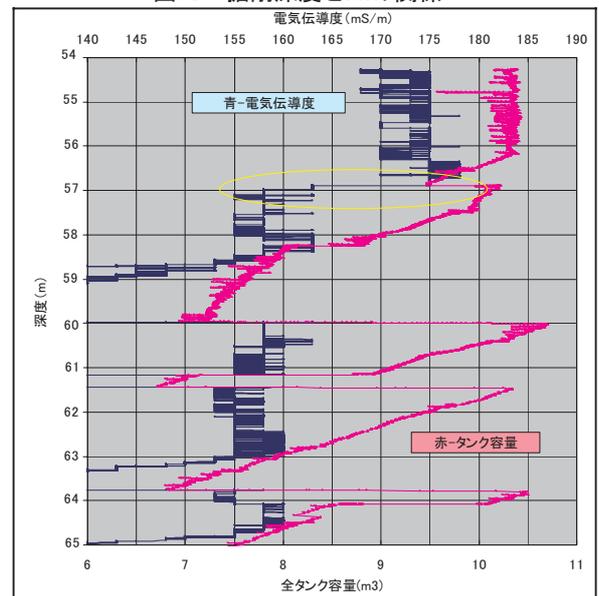


図-6 掘削深度と電気伝導度の関係

4.2 掘進状況のモニタリングデータの活用

掘削最中に、掘削状況の変化を読み取ることは、地質の評価だけでなく、掘削条件の変更(回転数、ビット荷重、送水圧力等)の材料として利用可能であり、孔内での抑留事故防止やビット交換にも利用できる。

ここでは、掘削状況のモニタリングデータの一つである掘削速度を指標に地質状況の変化を評価してみた。

通常、オペレータはロッドの降下速度を試錐機に設置されたメジャーにより認識するが、ここではエンコンダーにより、深度情報をデータ化させ、さらにグラフ化し、瞬時の掘削速度の変化を掘削全深度で可視化した。

図-7、図-8は深度350.0~400.0mの掘進中の掘削のモニタリングデータの例である。なお、PQコア掘削は最大2mの掘削長で実施しており、その範囲見たグラフであり、赤線で示すデータの傾きが掘削速度を表している。

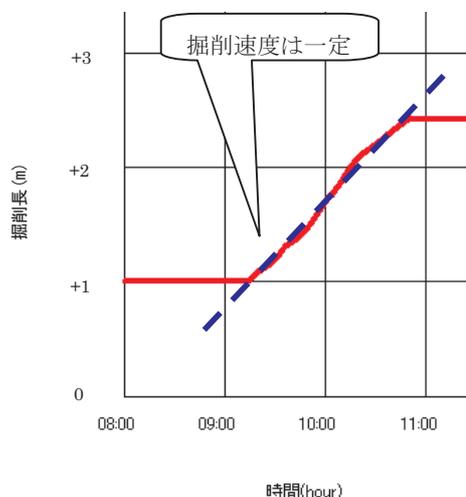


図-7 掘削速度の計測結果例①

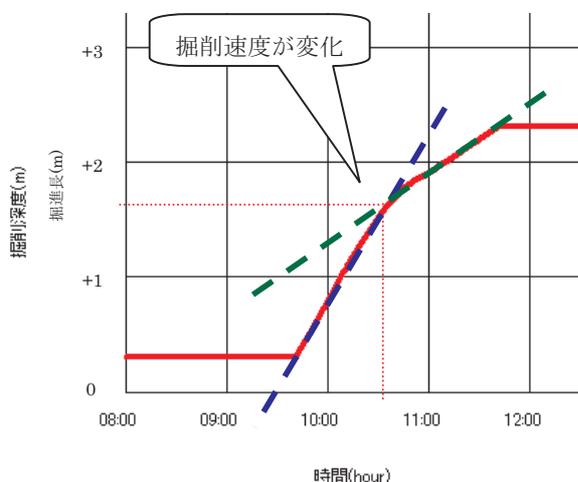


図-8 掘削速度の計測結果例②

図-7では多少の揺らぎはあるものの一定の速度で掘削が行われ、図-8では約2mの掘進中に掘削速度が変化(低下)していることが分かる。掘削速度は、ビットの種別・孔径、ビット回転数、ビット荷重、送水量等の掘削条件と、対象地層の硬さによって変化する。実際、掘削にて採取したコアの観察結果より、掘削速度の変化深度近傍にて、凝灰質砂岩より泥岩へ地質が変化することが確認された。本掘進中は掘削条件の変更はなく、掘削速度の変化が対象地層の硬さ、つまり地層の変化を示唆することが確認できる。

上記の結果に基づき、モニタリングデータから深度380.0~400.0mの掘進時のビット荷重と掘進率を岩種と共に整理した(図-9)。図-9より、凝灰質砂岩部と破碎状泥岩で異なるグループを示し、岩種の分類と両モニタリングデータが整合することが確認できる。

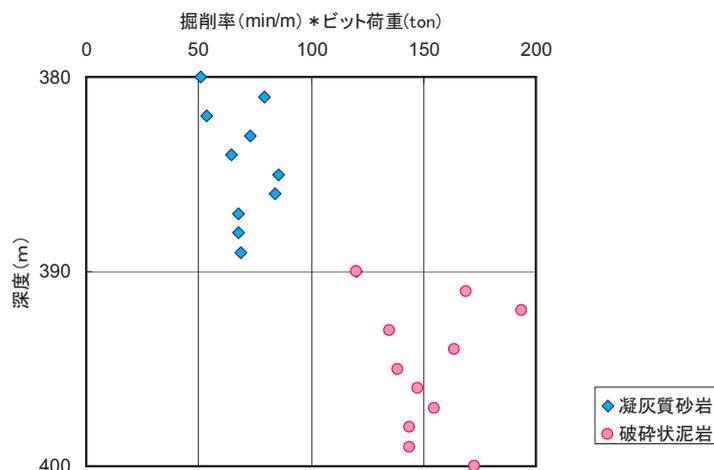


図-9 掘進率とビット荷重の関係

以上より、掘削条件が一定の際に掘削速度が変化した場合には地層に変化が起こった指標として判断することが可能である。一般的に、物性の異なる地層境界や不整合面等ではコアロスを生じることがある。掘削モニタリングシステムを稼働させることで、掘進速度が変化した深度の情報により地層が変化する深度を推察することができる。

今後は、掘削による微小変化(振動等)を取得し、地質の変化やビット磨耗の指標として発展させていきたい。また、掘削速度に加えて、ビット荷重等の掘削条件のパラメータと地層のデータを蓄積し、岩盤性状や変化を判断させていく。

4. 掘削データの閲覧機能

2章, 3章で取得した, 掘削泥水の情報や, 掘削状態からのデータを, 今まででは各種計器の針の動きや, ハンドルレバーの動き, そして機械からのショック音等で, オペレータが評価しボーリング掘削を行っていたが, 掘削モニタリングのデータを利用することにより, 感覚的なものからより具体的な評価が出来た。

ここでは, さらにLANの構築やインターネット回線の利用することにより, 情報水平転換の向上を試みた。下記がその概要図である。今までは, 現場内だけの独立したシステムであったが, 現場内のモニタリング用PCを使用し, インターネット上へ各種データの閲覧を可能にさせた。

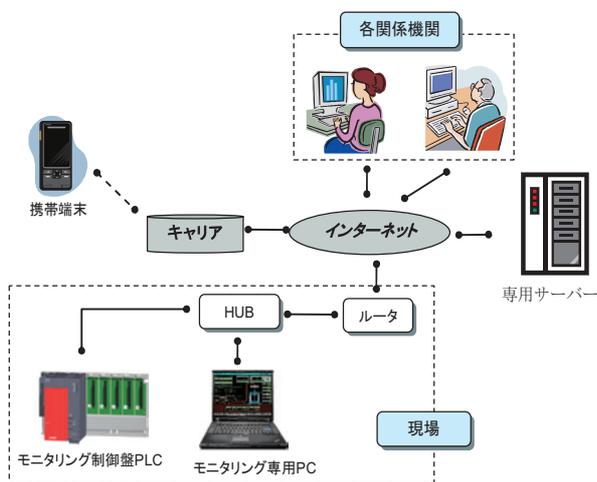


図-10 LAN やインターネットの利用による掘削モニタリングデータの開示

今回閲覧可能な情報は以下の通り。

- ①各モニタリングデータのリアルタイム情報
 - ②過去のデータ (約 1hr 程度) の閲覧
- であり, 下記の利点が得られた。
- ①各関係機関への進行状況開示
 - ②異常時, 迅速な対応が可能
(履歴データも閲覧可能にすることにより不具合の早期発見が可能)
 - ③掘削評価研究機関へのデータ早期供給
(今後の検層方法の再検討, 解析評価機関への情報提供)

さらに, このネットワークシステムを利用することにより, 遠隔でソフト等システムを操作できるようにし(パスワード等による管理), システム異常時や, 計測項目追加時に利用も可能にした。

また, 携帯端末での接続も可能にするためのソフトを開発し, 移動中でも閲覧や, 異常時の警報

等の機能も追加した。(実験中)

図-11 に, 携帯端末 (PDA) で表示された掘削モニタリンググラフを表示する。



図-11 携帯端末 (PDA) を利用した掘削モニタリングデータの閲覧

5. おわりに

現在運用中の掘削モニタリングで得たデータの活用を通して, 掘削中の連続データの取得が重要であることを示した。その中で, 総泥水量の計測による逸水・湧水管理の方法や, 掘削速度が地層の変化と関連性があることを示した。今後の展望としては, トルク, 掘削振動等, 他の情報とを取り込むことや, 掘削条件や掘削状況の連続データと孔内検層結果との関連性を検討・評価し, コアロス部やノンコア掘削時の岩盤性状の推定を試行するなど, 本システムの更なる活用方法について検討していく。最後に, このシステムを導入にご協力いただいた, 原子力発電環境整備機構, 電力中央研究所の皆様へ感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人 全国地質調査業協会連合会 ボーリングポケットブック第4版
- 2) 長井千明・鶴山雅夫・田中達也: 概要調査に向けた地質環境の調査技術・評価手法の実証(その4) - ボーリング掘削モニタリングシステムの運用とデータの活用 -, 平成21年度土木学会論文発表
- 3) 門田直恵・上田正・瀬戸彩子・鶴山雅夫・田中達也・下嶋隆史・安藤賢一: 調査・解析・評価業務におけるWeb管理システムの開発と試行, 平成21年度土木学会論文発表

3 1. 油圧ショベルによる掘削作業の自動制御技術に向けた研究

掘削事象に応じた動作計画構築のための基礎データ採取

(独) 土木研究所
(独) 土木研究所
(独) 土木研究所
(独) 土木研究所

○ 茂木 正晴
藤野 健一
大槻 崇
邵 輝

1. はじめに

土木工事における危険・苦渋作業を解消すること、自動化による施工の効率化と品質向上を図ることや若年労働者や熟練オペレータ不足への対応を目的に、遠隔からの簡単な作業指示により、自律した施工を行うロボット建設機械（油圧ショベル）を用いたIT施工技術の研究開発を行うものである。

現在までに研究・開発されたプロトタイプは、自動制御を行うための要素技術として、IT施工の操作システム、施工状況の3次元情報を計測するシステム、自動制御システムから構成されており、限定されたフィールド内での掘削・積込作業の自動化を実現させた。

しかし、現在までの検証実験では、土木研究所構内での比較的掘削の容易な土質条件（関東ローム）での検証であったため、当初想定している災害現場での復旧（地震・降雨等による土砂災害、火山による災害）に必要な多様な土質、掘削条件に100%対応できるものとなっていない。

そのため、将来的に現場での適用を想定した場合、現行の自動制御では事象の変化に対応することが難しいと思われる。

そこで、油圧ショベルの姿勢及び動作方向をパラメータとして、掘削にかかる荷重とバケットリンクにかかる歪みの関係を実験で明らかなものにし、今後、現場での様々な事象（障害物等）に対応した動作計画構築のための基礎データを採取した。

2. 研究内容

本研究では、研究・開発されたプロトタイプを利用し、掘削にかかる荷重とバケットリンクの歪みの関係等を明らかにすることにより、掘削時に障害となる岩塊、地盤の固さ、礫、コンクリートなどの事象に対応した、動作制御計画を生成することを目的とした基礎実験を行った。



写真-1 プロトタイプの全景

2.1 実験の概要

本実験は、油圧ショベルの掘削にかかる荷重を推定することを目的に油圧ショベルの姿勢及びバケットの動作方向をパラメータとして、掘削荷重とバケットリンク歪みの関係を求めたものである。

具体的な手法としては、油圧ショベルのバケット先端に作用する垂直・水平荷重をロードセルで計測する荷重実験とプロトタイプの動作計画を利用した掘削時におけるバケットリンク歪み計測（掘削実験）を行うこととした。

実験では、共通して図-1に示すバケットリンクの圧縮引張歪み（掘削抵抗）を計測した。このリンクは、バケット油圧シリンダの変位をバケットの回転に変換するリンクで、バケットに掘削荷重が作用する際に発生するリンクの歪みを計測したものである。

荷重実験については、油圧ショベルのバケット先端に作用する荷重をロードセルによって計測した。荷重方向は鉛直（重力方向）と水平方向である。図-2に姿勢概念を示す。

掘削実験については、図-3 に示すような実掘削に伴う歪みを計測するとともにバケットリンクに作用する水平・垂直加重と油圧ショベルの姿勢による掘削限界を実験により明らかにした。

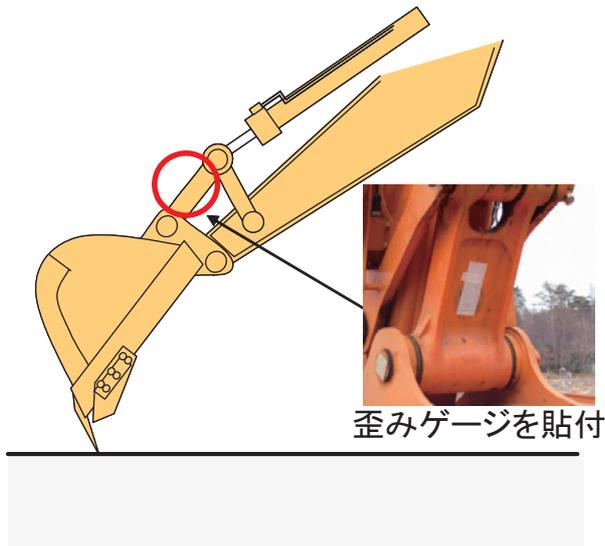


図-1 歪みの測定位置

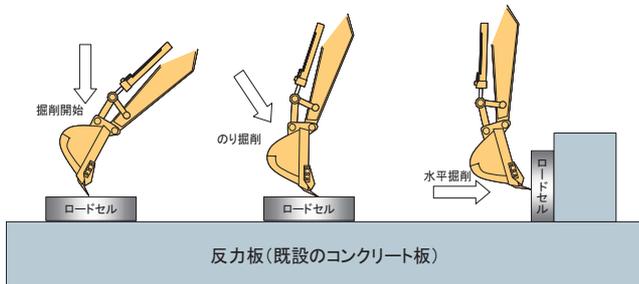


図-2 姿勢概念

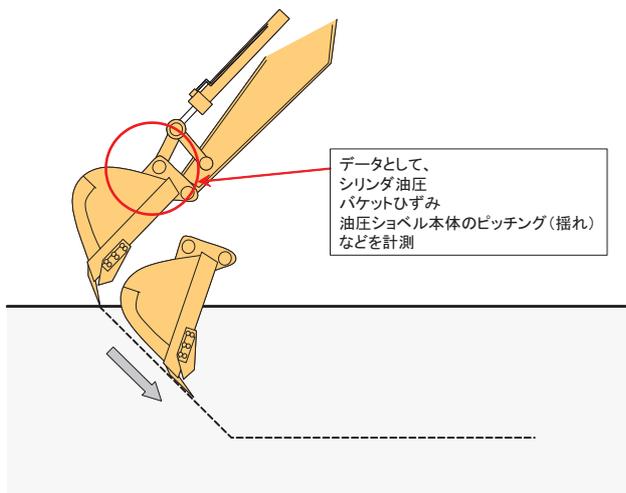


図-3 掘削実験の概要

2.2 実験内容

(1) 荷重実験

荷重実験において、鉛直荷重実験では、図-4 に示すように盛土（反力板より 1m）の上に油圧ショベルを設置し、ブーム操作でロードセルを下方に押しつける操作を行った。荷重によって油圧ショベルの前方がピッチング（油圧ショベルの本体が持ち上がる）した段階が荷重限界に達したものと判断し、操作を終了した。

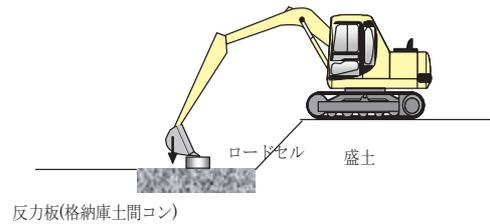


図-4 垂直荷重作用時の姿勢



写真-2 垂直荷重実験状況

水平荷重実験では、ロードセルを盛土（礫混じり土で造成）の鉛直面に立てた鉄板に置き、図-5 のように主としてアームで荷重を作用させる。この実験では、ロードセルの保護用に設置した木材合板（厚さ 40mm）にバケット先端爪が食い込む状態を荷重限界とした。

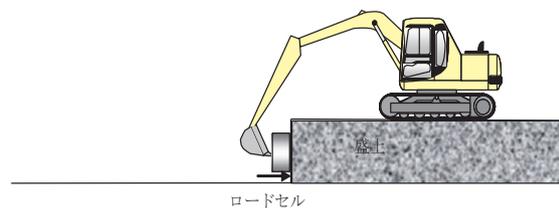


図-5 水平荷重作用時の姿勢



写真-3 水平荷重実験状況



写真-4 掘削実験時の姿勢

垂直荷重及び水平荷重では、原則としてショベルのクローラ先端からバケットフットピン位置までの距離を、最小値から1mピッチで、最遠距離までとした表-1に示す実験ケースで行った。

表-1 荷重実験ケース

実験条件	バケットフットピン座標		バケット角(°)	ピッチ(°)	ヨー(°)
	水平(mm)	垂直(mm)			
水平	0点				
	Cal				
	1m	1270	23	60.2	4.8
	1m	1320	182	61.9	4.7
	2m	2060	210	62.6	3.6
	3m	2860	297	66.5	2.8
	4m	4010	264	68.4	0.4
垂直	5m	4850	360	76.6	-0.7
	2m	1880	493	-19.9	2.4
	3m	2860	385	-34.9	2.6
	3m	3340	210	-49.2	2.8
	4m	4290	129	-44.0	2.7
5m	4815	400	-82.6	2.9	1.2



写真-5 掘削実験状況

表-2 掘削実験ケース

掘削開始距離	5.0m				5.5m				6.0m				6.5m				7.0m			
バケット角度	50	60	70	80	90	50	60	70	80	90	50	60	70	80	90	50	60	70	80	90
掘削深さ設定	1.0m																			

3. 実験結果

(1) 荷重実験

図-6, 7に荷重と歪みの関係を示す。図中の回帰式は、切片を0とした場合の回帰式である。図(代表例)に示すように全ての実験事例で比例関係を確認することが出来た。

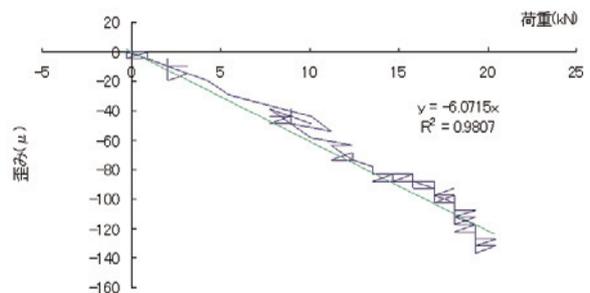


図-6 垂直掘削抵抗

(2) 掘削実験

掘削実験については、バケット侵入角度、掘削深さ、旋回中心からバケット先端部での距離をパラメータとして、表-2に示すような実験ケースにより掘削時に発生する掘削荷重をバケットリンクの歪みから推定する方法について検証した。

本実験における掘削条件としては、予め設定する2点間(のり掘削の始終点)を既存の動作計画制御プログラムを用いて実施しており、掘削速度は、自動掘削(粗掘削)時に設定されている0.4km/hにて行った。

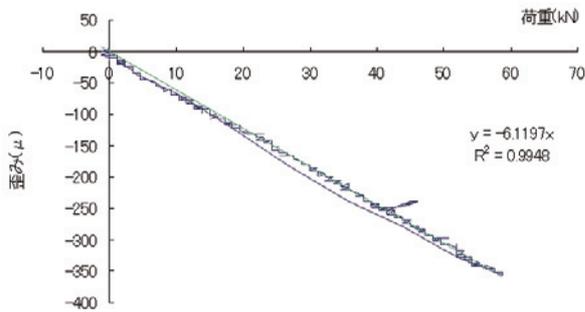


図-7 水平掘削抵抗

図-8, 9 は、油圧ショベルの姿勢 (バケット位置) と荷重-歪み間の勾配との関係を求めたものである。図から水平荷重時には距離に関係なく掘削抵抗と歪みには一定の関係があることが分かった。

垂直掘削の場合、水平距離が長くなるほど勾配が大きくなる傾向を示す。これは、水平掘削ではバケット角度に大きな変化がないのに対し、垂直掘削では距離によってバケット角度が変化することが原因と考えられる結果となった。

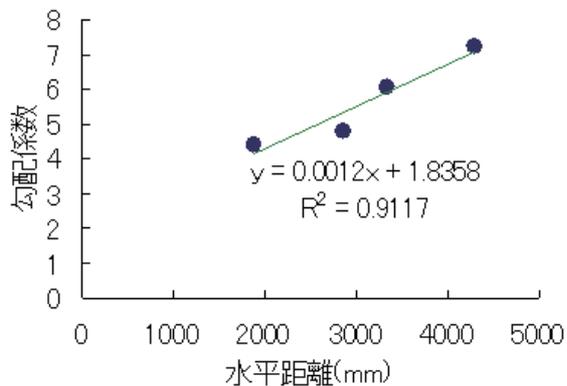


図-8 水平距離と垂直掘削抵抗の勾配係数

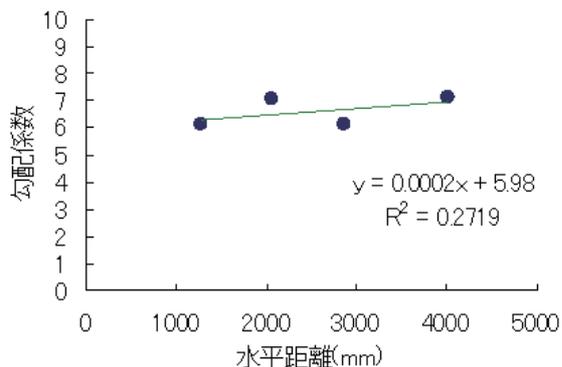


図-9 水平距離と水平掘削抵抗の勾配係数

(2) 掘削実験

表-2 に基づくケースによって、実施した掘削実験では、掘削荷重をバケットリンク角度、掘削開始距離をパラメータとしてバケットリンクの歪みと実掘削状況から推定するとともに、荷重実験によって得られた結果を掘削実験結果に利用して、掘削限界で発生している荷重を明らかにするものである。(図-10)

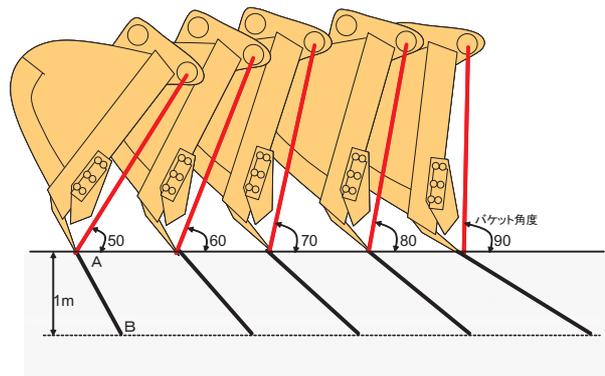


図-10 実験時のバケット角度

実験の結果、表-3 に見られるように掘削可能な領域は、掘削開始距離が 5.5m~6.5m、バケット角度 80° ~90° が掘削可能領域という結果が得られた。

表-3 に示す掘削可能領域及び不可領域を大きく分類整理するとバケットの姿勢、掘削開始距離により図-11 に示すような現象が見られた。図-11 1) については、目標とする掘削軌跡 A-B において掘削作業が可能な姿勢におけるバケットの状態を示したもので、バケット底部の接圧若しくはバケット内部に堆積する掘削土による荷重によって作業が停止したものである。

一方、図-11 2) は、目標とする掘削軌跡 A-B において掘削作業が不可能となる姿勢におけるバケットの状態を示したもので、掘削に必要な荷重が得られずに作業停止となった。

表-3 掘削可能領域

バケット角度		50	60	70	80	90
掘削開始距離	5.0m	×	×	△	△	○
	5.5m	×	×	△	○	○
	6.0m	×	×	△	○	○
	6.5m	×	×	△	○	○
	7.0m	×	×	△	△	○

○:掘削可能な状態

△:バケット底面が地盤圧接等による掘削停止

×:掘削不可能な状態

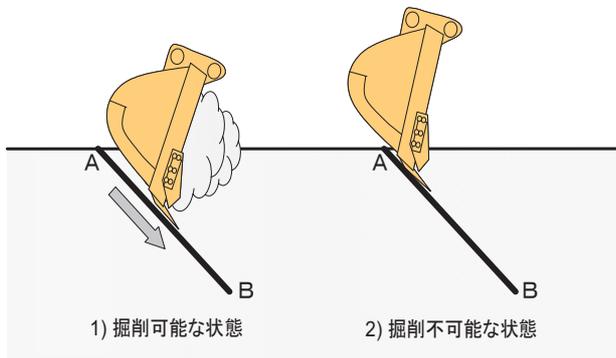


図-11 掘削状況



写真-6 掘削可能な状態



写真-7 バケット底部に発生した接圧によって停止



写真-8 掘削に必要な荷重が得られない状態

4. 考察

荷重実験によって、掘削時の各種姿勢とバケット角度における掘削荷重とフットピンにかかる歪みを計測し、検証の結果、掘削荷重-歪みに相関があるものと判断できる。

この結果、実際の掘削実験において計測した歪みを荷重に換算し、「土が硬い、何か障害物がある」といった状況時に独自の荷重変化が現れ、掘削限界になると停止する状況の変化を観測することができた。これを利用して、発生する歪みの挙動から「土が硬い、何か障害物がある」といった状況をイベントとして位置付けし、別の動作に移行するシステム構築の考え方（アルゴリズム）が整理できるものと考えられる。

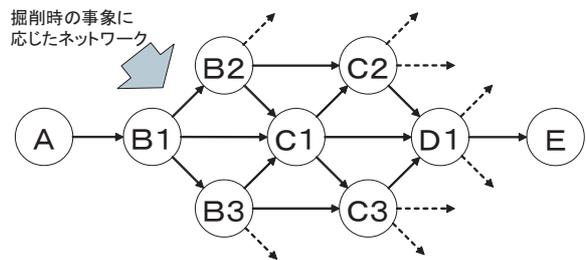


図-12 システム構築の考え方

また、掘削実験によって得られた知見として、歪みをバケット先端の垂直、水平荷重に換算した図-13, 14 に示すグラフは、掘削時にバケット底面に接圧が発生したために作業停止となった状況を角度毎に示したものである。(CASE6.0m)

図-13 に示すように、バケット先端角度によって、それぞれの水平移動距離で荷重の変動が見られた。

特にバケット先端角度 70° では、5,200mm 付近での変動があるが、この変動については、実験時の目視での確認でバケット底面の地盤との接圧によるものと考えられたが、その後、図-15 の掘削軌跡に示すように停止せず掘削が継続された。これは、他のバケット先端角度においても同様な現象として捉えられた。図-14 は、バケット先端の水平荷重を示したものであるが、荷重に大きな変動が見られないことから、水平時における荷重変動障害の要因となるものがないと考えられる。

本実験における停止現象は、荷重変動後に図-15 のバケット先端軌跡に示すように、更に掘削作業が継続されていることや、掘削時におけるバケット先端の軌跡をみると水平方向と深さ方向 (Z 軸) が、ほぼ比例関係になっていることから、土質の崩壊、せん断、滑り等の発生によるものが、要因となったと推測される。

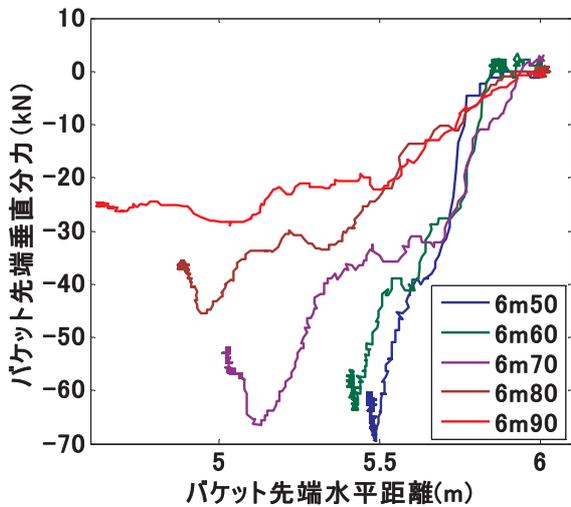


図-13 リンクに作用した垂直荷重

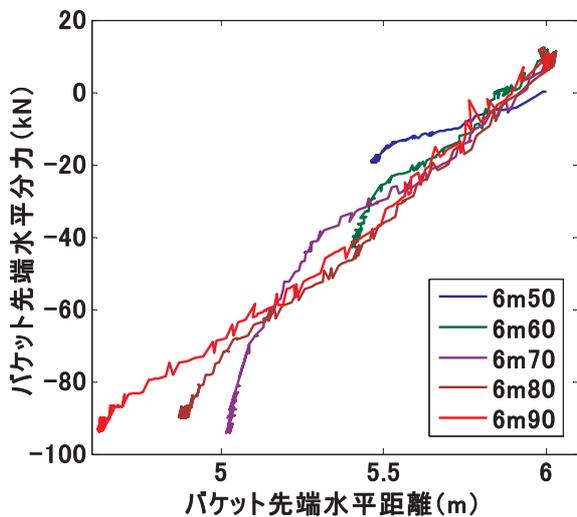


図-14 リンクに作用した水平荷重

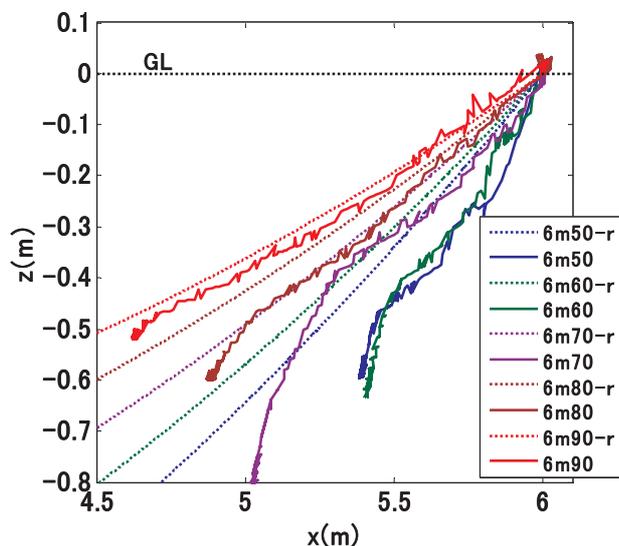


図-15 バケット先端の軌跡

5. まとめ

本研究では、荷重実験と掘削実験により、油圧ショベルの姿勢及び掘削動作時のパラメータとなる掘削抵抗とバケットリンクの歪みの高い相関関係を明らかにした。

掘削作業において、荷重の計測を歪みに置き換えることで様々な現場での事象に対応した動作計画構築が可能になるものと考えられる。

また、掘削時の接圧による現象として、土質の崩壊、せん断、滑り等を考察（もしくは、バケット内部に堆積する掘削土による荷重）しているが、この現象を更に解析し、その成果を反映した物理モデルの構築が事象に対応した動作計画構築において必要になるものと思われる。

今後は、動作計画の構築を行ううえでの物理モデルの作成と併せて、他の動作パターンにおける相関等について実験による検証を行う必要がある。

参考文献

- 1) 茂木正晴・山元弘・大槻崇・邵輝：土木技術資料/第51巻6号，2009.6
- 2) 山元弘・邵輝・茂木正晴・大槻崇・柳沢雄二・野末晃・境田右軌・山口崇：油圧ショベルによるIT施工システムに関する研究，建設施工と建設機械シンポジウム論文集，pp.5～10，2008.10
- 3) 山元弘・柳沢雄二・野末晃・邵輝・境田右軌・山口崇：油圧ショベルの自律化に向けた基盤技術について，建設ロボットシンポジウム論文集，pp243.～252,2008.9
- 4) 境田右軌・山元弘・邵輝・野末晃・柳沢雄二：熟練オペレータによる油圧ショベルの掘削操作解析，建設ロボットシンポジウム論文集，pp263.～270,2008.9

3 2. ロータリ除雪車対応型路面清掃装置の開発

(独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地機械技術チーム ○中村 隆一
 (独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地機械技術チーム 佐々木憲弘
 (独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地技術推進室道央支所 坂口 勝利

1. はじめに

道路の維持管理は、近年の厳しい財政状況を踏まえた経常経費の縮減から、より一層のコスト縮減が求められている。また、北海道は積雪寒冷地であることから、路面清掃車等の維持機械及び除雪機械の専用車は各々半年程度しか稼働できない実態にある。

そこで、維持・除雪双方の機能を複合化し、1台の機械をオールシーズン使用することで、インシヤルコストの縮減を行い、更に複合化する機械の効率的な配置・運用によるランニングコストの縮減といった、道路維持管理のライフサイクルコストの縮減を図ることを目的に路面清掃車とロータリ除雪車の複合機械の開発を行うものである。

計画フローを図-1に示す。本報告では、昨年度実施した性能試験及び導入効果の試算について、報告するものである。

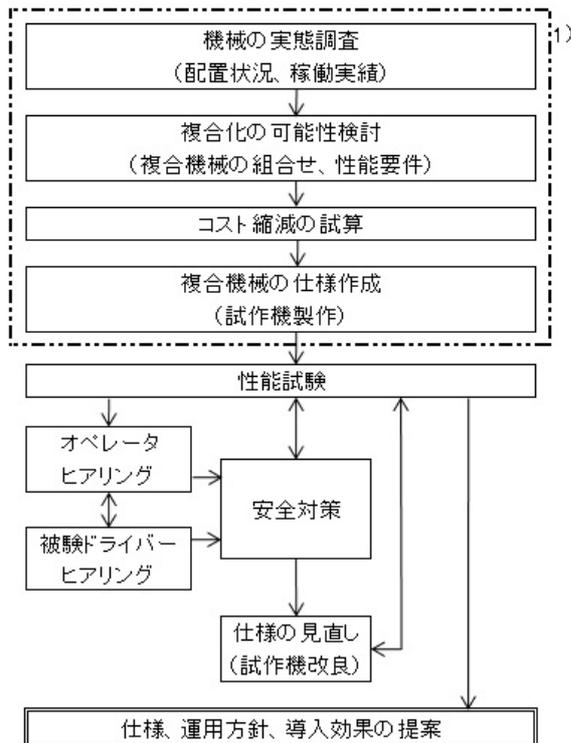


図-1 計画フロー

2. 複合機械の仕様¹⁾

過年度に実施した北海道開発局が保有する全道の機械配置状況、稼働実績及び維持機械・除雪機械の複合化によるコスト縮減の試算結果に基づき、複合機械のベース車両、作業装置、複合機械の仕様、基本運用方針、導入効果について検討を行った。その結果、路面清掃車とロータリ除雪車の複合化について検討することとした。複合機械は、ロータリ除雪車をベース車両とし、装置部分をアタッチメント化することで、路面清掃装置とロータリ除雪装置を交換使用するオールシーズン仕様とした。

設定した複合機械の主要仕様を下記に、製作した路面清掃装置試作機（以下、試作機という。）を写真-1に示す。

(1) 形式

- a) ロータリ除雪装置 ツーステージ
2.2m級・2.6m級対応
- b) 路面清掃装置(試作機) ブラシ式, 2.5m³,
フロントリフトダンプ式, 両ガッタ,
散水機能付

(2) 性能

- a) ロータリ除雪装置(既存装置)

最大除雪量	2,300t/h
投雪距離	0~40m
最大除雪幅	2,200mm
最大除雪高	1,700mm
- b) 路面清掃装置(試作機)

清掃速度	3~10km/h
清掃幅	3,000mm(両側)
回収塵埃最大寸法	玉石 径 80mm
ホップダンプ角度	底板 55度
ホップダンピングクリアランス	2.1m

(3) 主要諸元

	(ロータリ除雪仕様)	(路面清掃装置仕様)
全長	7,820mm	9,900mm
全幅 (除雪装置含む)		(回送時)
	2,200mm	2,600mm
	(除雪装置を除く)	(作業時最大)

	2,130mm	3,000mm
全高	3,570mm	3,570mm
車両総質量	13,940kg	15,900kg
ホッパ内容積		2.5m ³
標準塵埃収納容量		2.0m ³
水タンク容量(試験用簡易型)	500 L) 1,900 L	



写真-1 ロータリ除雪車対応型路面清掃装置
(ロータリ除雪車両+試作機)

グとアングリング機構の併用操作を行う必要があり、操作の煩雑等が懸念される。

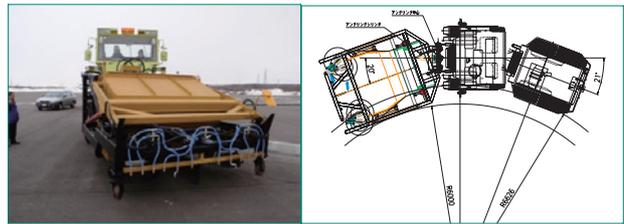


写真-3 装置アングリング状態

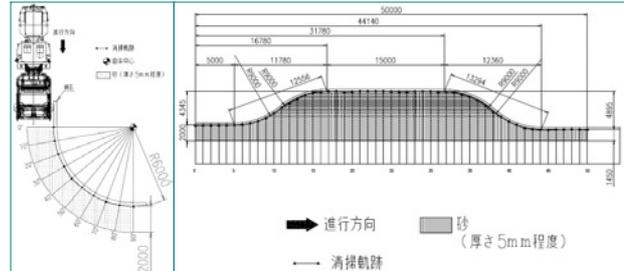


図-2 回転半径及びバスベイ構造試験コース

3. 性能試験

3.1 試作機性能試験

平成20年度は、製作した試作機を用いて、走行試験(道路線形追従走行試験)、作業装置試験(主ブラシ・側ブラシ・補助ブラシ及びホッパ、散水機能作動試験)、作業試験(標準土砂の清掃能力試験、異形物清掃能力試験、最適掃き込み構造の検討)、その他(視野試験、ダンプトラックへの積み込み試験等)の基本性能の確認を行った。性能試験の状況を写真-2に示す。



写真-2 性能試験状況

(1) 走行試験

回転半径及びバスベイ構造の道路線形に対し、追従走行が可能か装置軌跡と道路線形の軌跡誤差を確認した(写真-2左、図-2)。

回転半径(R4m, R5m, R6m, R7m)、バスベイ(R9m)とともに、車両ステアリング及び装置アングリング機構(写真-3)を併用することにより、道路線形に対して追従走行が可能であることを確認出来た。

但し、曲線部に進入する際、車両左前輪及び装置左側面が道路線形に干渉しないようステアリン

(2) 作業装置試験

主ブラシ・側ブラシは、ブラシ式路面清掃車(以下、専用車という。)と同じ部品を使用し、回転数等の作動は専用車と比べ同等以上の性能を確認出来た。散水性能も専用車の散水量(国土交通省・建設物価調査会:土木工事標準積算基準書より適用)と比較し、同程度となった。

補助ブラシ及びホッパの作動性能は、試作機のオリジナル機構となるため、専用車との比較は出来ないが、ホッパのダンプ角度、ダンプングクリアランス及びリーチは同程度であった。

(3) 作業試験

試作機の掃き込み量は、砂及び異形物を対象に清掃後の残留量を計測して収納能力(塵埃量-掃き残し量/塵埃量)を確認した(写真-2中央)。

専用車の作業速度(日本建設機械化協会:道路清掃作業の手引より適用)を基に、直線部における春先清掃作業及び道路維持清掃作業の塵埃量を想定して、2種類(0.4m³/km, 0.8m³/km)の条件と3種類(低速3~5km/h, 中速6~8km/h, 高速10km/h)の作業速度で試験を行った。その結果、作業速度が大きくなるに伴い、収納率が低下していくことを確認したが、収納率は塵埃の量に影響なく、低速・中速で90%以上、高速でも85%の清掃能力があることが確認出来た。専用車との比較試験を実施していないため、試作機の単独評価となるが計測、目視確認等で良好な結果となり、主ブラシ、側ブラシともに回転数、圧力、作動油タンク温度等の能力は安定し、清掃能力を保持出来た。

異形物清掃作業は、玉石（40~80mm）、空き缶（アルミ、スチール）及びペットボトルの正常状態と潰れた状態、空き瓶、新聞・広告紙、雑誌、段ボール、ウエス、ビニール袋、ロープ等の道路上に落下していそうな異形物を対象（写真-3左）とし、低速・中速作業を行った結果、平均90%程度の収納率となった。なお、潰れたペットボトルやビニール袋といった薄く、軽い物は約70%と低い収納結果となった（写真-3右）が、各落下物ともに主ブラシで引きずられている状態となっていたため、道路上の取りこぼしは無かった。



写真-3 異形物作業状況

また、収納能力確認と同時に最適掃き込み構造を確認するとともに最大塵埃収納容量を確認した。

試作機の掃き込み構造は、各専用車のベルトコンベア機構と異なり、主ブラシ及び補助ブラシで直接掃き込む構造となっているため、より多くの塵埃収納容量を確保するにはホッパ内の構造を工夫する必要がある。ホッパ内構造は、より多くの塵埃収納容量を確保するのはもちろん、塵埃のこぼれ防止、ダンプトラックへの積み込み作業に影響を与えない構造を検討した。

表-1に示すよう各専用車と試作機のホッパ内容量に対する標準塵埃収納容量（各メーカー仕様値）及びホッパ内容量に係数（国土交通省・建設物価調査会：土木工事標準積算基準書より適用）を乗じた換算値と確認試験で得られた結果を比較すると試作機は専用車の収納容量と同等の能力があることが確認出来た。表-2で示す試作機塵埃収納容量は、ホッパ内構造に複数のパターンを設定したものに散水機能の有無で塵埃をどの程度収納可能か確認したものである。

なお、補助ブラシの必要性及び主ブラシとの最適間隔、回転数の設定は、本試験で確認出来なかったため、今後の改良試験で確認する必要がある。

(4) その他試験

作業姿勢及び回送時における運転室からの視野（写真-4右）及び、ダンプトラックへの積み込み確認（写真-2右）を行った。

試作機を取り付けた作業姿勢時（図-3左）とロータリ除雪装置を取り付けた作業姿勢時（図-3右：建設機械化研究所 J C M A S 性能試験結果よ

表-1 各種ホッパ容量諸元

形式	3輪ブラシ式	4輪操舵ブラシ式	4輪ブラシ式	4輪ブラシ式CNG	試作機(新規)	適用
	フロントリフトダンプ式	フロントリフトダンプ式	リアリフトダンプ式	リアリフトダンプ式	フロントリフトダンプ式	
ホッパ内容積	2.2m ³	2.0m ³	2.5m ³	2.5m ³	2.5m ³	仕様書 (メーカー値)
標準塵埃収納容量	1.8m ³	1.2m ³	2.0m ³	1.6m ³	試験結果 (表-2参照)	
ホッパ係数	0.55	0.55	0.48	0.48	0.55	土木工事標準積算基準書 (国土交通省)
換算値	1.21m ³	1.1m ³	1.2m ³	1.2m ³	1.375m ³	

表-2 試作機塵埃収納容量の試験結果

ホッパ内パターン	ホッパ内塵埃安息角(°)	砂		ホッパ内収納容量(m ³)	ホッパ内収納重量(kg)
		状態	比重		
No.1	32.7	湿潤	1.40	1.40	1,960
No.2	34.7	乾燥	1.50	0.87	1,305
No.3	32.0	乾燥	1.50	1.12	1,680
No.4	33.4	乾燥	1.50	1.40	2,100
No.5	53.2	湿潤	1.55	1.54	2,387

り引用)の視野を比較すると同等の視野を確保していることが確認出来た。

また、ダンプトラックへの積み込みは、専用車と同等のホッパダンプ角度、ダンプクリアランス及びリーチを確保しているため、問題なく行え、ホッパ内構造に設定した各パターンとも積み込み作業に影響がないことを確認した。

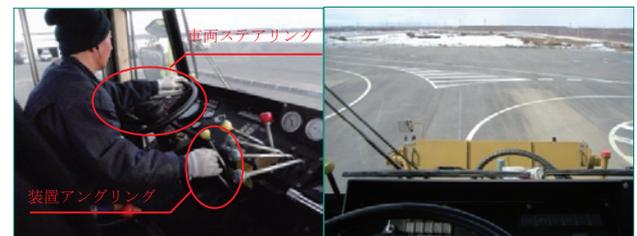


写真-4 オペレータ操作・運転席視野状況

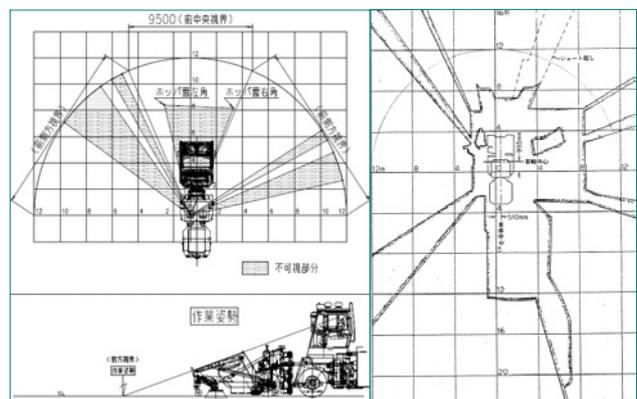


図-3 作業姿勢時の視野範囲
(左：路面清掃装置、右：ロータリ装置)

3.2 ヒアリング

3.2.1 オペレータヒアリング

性能試験から、運転操作に関する懸案事項をオペレータにヒアリングした。

(1)直線試験

縁石への接地時に注意しながら運転操作を行えば、ブラシ操作は比較的スムーズに行えた。

(2)曲線試験

最小回転半径 R4m の曲線追従は、車両ステアリングと装置アングリング機構を併用しながら、縁石に対して左側ブラシを追従させるため、車両ステアリングと装置アングリングのタイミングを図るのに操作の慣れが必要だったが、数回練習を行えば比較的容易に追従出来た（写真-4 左）。

但し、以下の点に注意が必要であった。

- ①アングリング機構を全く使用しないと車両前方の左タイヤが縁石に干渉する。
- ②必要以上にアングリングを切り過ぎると装置と縁石が干渉する。

(3)バスベイ試験

バスベイエリアから出る際、装置は右にアングリングした状態から本線に追従するために左にアングリング操作が必要になるが、タイミングが遅れると上手く追従出来ない。

(4)積み込み試験

ホップ上昇及びダンプ操作は全体的にスムーズに行えた。

(5)回送走行

路面に追従走行する必要がないため、問題なく走行出来た。

3.2.2 被験ドライバーヒアリング

性能試験から、バスベイエリアに関する後続車ドライバーの懸案事項を被験者にヒアリングした。

被験者は、一般的な一般国道（路肩+1車線）の最小幅 3.5m（図-4：「道路構造令の解説と運用」及び「北海道開発局道路設計要領」より適用）を想定し、スタート地点で試作機（作業幅 2.8m、左側ブラシのみ張り出し状態）から側方約 1m、後方約 2m の距離を保ったまま直進した。速度は試験車両の後方に位置するよう低速走行とした（写真-5）。

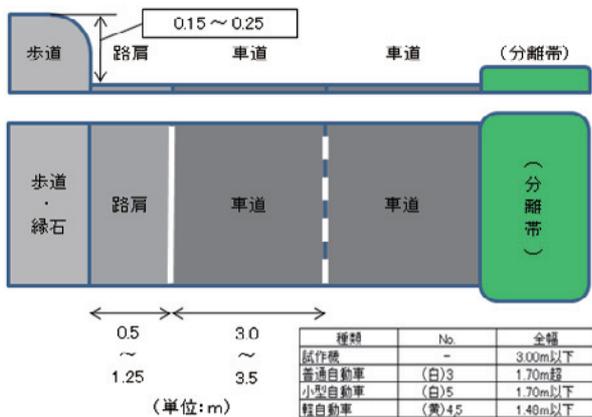


図-4 一般的な一般国道構造



写真-5 被験ドライバー走行・運転席視野状況

- ①バスベイ出口付近のアングリング姿勢時は装置全長が長く、危険を感じた。
- ②後ろからは、除雪機械（ロータリ除雪車）が走行しているようにしか見えないので違和感がある。
- ③昼間作業（主に比較的交通量の少ない市街地、郊外道路）は視認性が良いので大丈夫だが、夜間作業（主に混雑が予想されるD I D地区、商店街に隣接する市街地道路）だと視認性が悪いので、装置に安全対策が必要だと感じた。

3.3 安全対策

安全対策には、オペレータ及び一般ドライバー視線の安全対策が必要であるが、互いに操作性、視覚による認識の向上を図る必要がある。対策が必要な要因を以下に示す。

3.3.1 オペレータ視線の安全対策

- ①運転席から左側ブラシまでの距離が長いので、ミラーでの目視確認に注意が必要である。
 - ②回転半径 R5~8m の曲線追従は、左側ブラシと接地する縁石が比較的可見やすいが、最小回転半径 R4m になると現行のミラーでは、縁石が視界から急に消えて見え、全てのRに対応できない恐れがあるため、曲線追従ではアングリング姿勢にて曲線部に進入する必要がある。
- 以上より、視覚確保及び、運転操作性の改良を検討する必要がある。

3.2.2 一般ドライバー視線の安全対策

- ①ドライバーには、この車両がどういう物で、どういう動きをするのかわからない。
- ②車両全長が約 10m（内、装置全長は約 4m）と長いので、追い越し時に注意が必要である。
- ③バスベイエリアの進入口及び出口付近の作業速度は、運転操作が煩雑になるため、約 1km/h と遅く、40~60km/h の速度で走行してくる後続車からは車両状態が停止中か走行中かの判断が難しい。
- ④装置が車体よりはみ出す動き方をするため、注意喚起を促す必要がある。

以上より、装置に塗装、ブレードマーカ、反射板の設置及び、車両後部に「低速作業中」、「装置が右に張り出します」等の標識装置を装備する

ことによる後続車両及び対向車両への安全対策が必要である。

3.4 仕様の見直し

専用車と比較して、作業速度、塵埃収納容量、道路線形への追従性等、機械の性能・機能は概ね良好な結果となったが、運転操作性に課題が残った。

より運転操作をシンプルにするためには、装置全長の短縮化（アングリング機構の取り外し、側ブラシの視界向上）、装置短縮化のためのホッパ形状改良、各機構の再配置等の課題を整理する必要がある。

専用車の代用として使用することを目的としているが、専用車と比較すると機械の能力、機動力、操作性のいずれかは劣ってしまう。アタッチメント装置として代用する場合、必要最小限の性能の見極めが重要である。

試作機製作時の仕様は、専用車（4輪ブラシ式、3輪ブラシ式、4輪操舵ブラシ式）の各種性能の最大値を仕様値としてアタッチメント化した場合、どのような利点・欠点があるか性能試験を行ったが、今後は、装置短縮化、操作性向上の目的から、標準塵埃収納容量及び散水タンク容量等を専用車の最小値以上に設定することで、どこまで専用車に近い性能を引き出せるか改良設計する必要がある。

4. 導入効果

4.1 配置方針の検討¹⁾

北海道開発局が保有する平成19年度現在のロータリ除雪車と路面清掃車の配置状況を整理した。

ロータリ除雪車又は路面清掃車を配置している箇所内、双方の機械を配置している箇所は、ステーション単位で約12%、事務所単位では約41%である。

複合機械は、夏期にロータリ除雪車をベース車両として活用し、路面清掃作業を行うことから、同一ステーションに双方の機械が配置されていなくても、同一事務所内で双方の機械配置があれば、夏期にロータリ除雪車を別のステーションに移動させて路面清掃作業を行うことが可能である。また、現状の機械配置でも全てのステーション単位に路面清掃車は配置されていないことから、事務所内での機械の運用を検討する。

4.2 複合化によるコスト縮減

維持機械及び除雪機械の複合化によるメリット、デメリット並びに検討方法を以下のとおりまとめる。

(1)ロータリ除雪車(冬期)の運転費が下がる要因¹⁾
 ①ベース車両を路面清掃作業でも使用することに

より、年間標準運転時間の増加が、運転日数、供用日数の増加よりも比率が大きくなり、供用日当り運転時間(t)、運転日当り運転時間(T)が増加する。そのため、運転1時間当り労務工数及び機械損料が下がり、運転1時間当り単価が減少する。

(2)路面清掃車(夏期)の運転費が上がる要因¹⁾

①ベース車両がロータリ除雪車になることで、運転日数、供用日数の増加が、年間標準運転時間の増加よりも比率が大きくなり、供用日当り運転時間(t)、運転日当り運転時間(T)が減少する。そのため、運転1時間当り労務工数及び機械損料が上がり、運転1時間当り単価が増加する。

②ベース車両の機関出力及び燃料消費率の増加により、燃料費が増加する。

③運転手の職種が4輪ブラシ式のみ一般運転手から特殊運転手に変更され、人件費が増加し、大型特殊免許の資格が必要になる。

(3)複合機械の導入効果による試算

ロータリ除雪車として使用する場合は、ランニングコストが減少し、路面清掃装置として使用する場合は、インシャルコスト及び3輪ブラシ式を除くランニングコストが減少するが、運転費のみ増加する。そのため、近年の燃料単価の変動により、導入効果は一律とはいえないが、複合機械であるロータリ除雪車と路面清掃車の稼働時間比から運転費についてもコスト縮減効果が得られる配置を検討する必要がある(表-3)。ロータリ除雪車の稼働時間が多い地域ほどコスト縮減に有利であることから、複合機械は、年間稼働時間が全国値に対し、除雪機械が多く、維持機械が少ないといった積雪寒冷地である北海道には適した機械で、より大きな導入効果が得られる。また、燃料単価が安価なほどコスト縮減効果は大きい。

表-3 効果が得られる稼働時間比
(平成19年度稼働実績・平成21年8月燃料単価)

		路面清掃装置(燃料消費量別)機械構成付)		
		3輪ブラシ式	4輪ブラシ式	4輪操舵ブラシ式
ロータリ除雪車	2.2m級184kW級(排対2次)	0.393 : 0.607	0.374 : 0.626	0.252 : 0.748
	2.2m級220kW級(排対3次)	0.399 : 0.601	0.380 : 0.620	0.261 : 0.739

※(左)ロータリ除雪車 : (右)路面清掃車
 ※(左)ロータリ除雪車の値が表中よりも大きいほど機械経費及び労務費が減少、小さいほど増加する。
 ※(右)路面清掃車の値が表中よりも大きいほど機械経費及び労務費が増加、小さいほど減少する。

以上の検討より、今後、導入していくロータリ除雪車(2.2m級184kW級3次排対)をベース車両とする路面清掃装置の組合せと、現行の組合せであるロータリ除雪車(2.2m級184kW級3次排対)と路面清掃車(3輪ブラシ式、4輪ブラシ式、4輪操舵ブラシ式)でコスト縮減に対する比較検討を行った(表-4, 5, 図-5)。

表-4 コスト縮減比較表 (2.2m 級 184kW 3 次排対)

(平成 19 年度稼働実績・平成 21 年 8 月燃料単価)

(単位：円)

			イニシャルコスト		ランニングコスト				ライフサイクルコスト 小計	機械別 合計	機械別 現行比率 (%)	夏期・冬期 組合せ合計	ライフサイクルコスト 現行比率 (%)			
			購入費	整備費	管理費	運転費								計		
						運転単価(1H)	運転時間	使用年数							計	
現行	夏期	路面清掃車	3輪ブラシ式	16,000,000	5,600,000	1,440,000	5,412	155	13.5	11,324,610	18,364,610	34,364,610	34,364,610	96	98,936,840	93
	夏期	路面清掃車	4輪ブラシ式	26,900,000	9,030,000	2,322,000	5,551	126	13.5	9,442,251	20,794,251	47,694,251	47,694,251	69	112,266,481	82
	夏期	路面清掃車	4輪操舵ブラシ式	30,200,000	9,765,000	2,511,000	6,274	253	13.5	21,428,847	33,704,847	63,904,847	63,904,847	52	128,477,077	71
	冬期	ロータリ除雪車	2.2m級220kW級 (排対3次)	29,300,000	9,141,000	2,493,000	11,370	154	13.5	23,638,230	35,272,230	64,572,230	64,572,230	91		
新規	夏期	ロータリ除雪車 (ベース車両)	220kW級 (排対3次)	0	0	0	7,258	144	13.5	14,109,552	14,109,552	14,109,552	33,028,352	91,802,083		
	夏期	路面清掃装置	ブラシ式2.5m ³	11,200,000	3,780,000	972,000				4,752,000	15,952,000					
	夏期	改造費		2,110,000	673,200	183,600				856,800	2,966,800					
	冬期	ロータリ除雪車 (ベース車両)	220kW級 (排対3次)	19,500,000	6,072,000	1,656,000	8,589	154	13.5	17,856,531	25,584,531	45,084,531	58,773,731			
	冬期	ロータリ装置	2.2m級	9,800,000	3,055,800	833,400				3,889,200	13,689,200					
計				42,610,000	13,581,000	3,645,000	15,847	298		31,966,083	49,192,083	91,802,083	91,802,083			

表-5 運転費縮減比率表

(平成 19 年度稼働実績・平成 21 年 8 月燃料単価)

	新規		現行	運転費 現行比率(%)		
				単体	夏冬・組合せ	
夏期	路面清掃仕様	ブラシ式2.5m ³	路面清掃車	3輪ブラシ式	134 %	95 %
			路面清掃車	4輪ブラシ式	131 %	91 %
			路面清掃車	4輪操舵ブラシ式	116 %	95 %
冬期	ロータリ除雪車	220m級(排対3次)	ロータリ除雪車	220m級(排対3次)	76 %	-

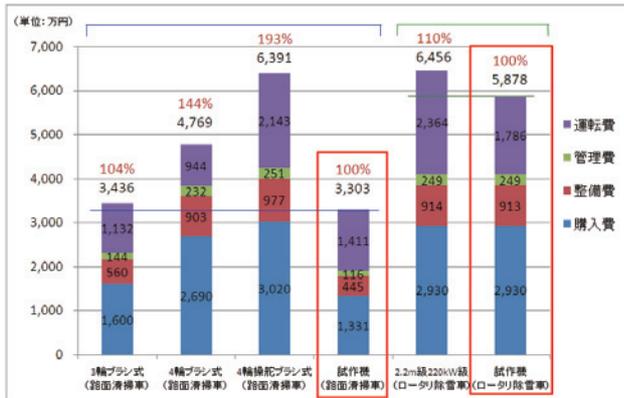


図-5 ライフサイクルコスト比較表

(表-4 より:万円以下四捨五入)

表-4, 5 及び図-5 で示すとおり, イニシャルコスト (購入費) 及びランニングコスト (整備費、管理費、運転費) といった導入から処分までのライフサイクルコストはもちろん, 工事費ベース (運転費) でも縮減が可能である。なお, 運転時間については, ロータリ除雪車と路面清掃車の双方組合せのある事務所の全道平均(平成 19 年度実績)を採用した。

5. まとめ

(1) 複合機械の基本方針として, ベース車両をロータリ除雪車, 組み合わせ機械を路面清掃車とした。路面清掃装置をアタッチメント化した試作機を製

作し, 性能試験を行った結果, 専用車に比べ概ね同等な性能を確認出来たが, 運転操作性に課題が残った。

(2) 複合化によるコスト縮減の試算結果から, 各規格の組み合わせでも複合機械の導入効果があることがわかったが, より大きな導入効果が期待出来る稼働時間比の有利な配置を行う必要がある。本検討では, 全道各地で一斉に春先清掃・維持清掃作業を行うことを前提とし, ロータリ除雪車 1 台に対し, 路面清掃車 1 台といった 1 対 1 の検討としたが, 同一事務所内で 1 台の路面清掃車を複数の工区(工事)へ併用貸し付けしている場合や稼働時間(日数)の低い路面清掃車は, 事務所単位等の隣接する工区(工事)で時期を調整して作業することにより, 更なるコスト縮減が期待できる。

経常経費縮減の背景から, 道路維持管理費を始めとした維持機械の管理費, 整備費といったコスト縮減対策は急務である。また, D I D 地区や商店街に隣接する市街地道路の交通量や歩行者を考慮した人体・環境に与える影響への対策も重要である。

6. おわりに

見直した仕様にに基づき, 試作機を改良中である。これを用いて, 今年度は, 平成 20 年度に実施した基本性能試験を基に確認試験及び評価を行う予定である。

これらの試験に対する評価・課題等を整理し, 更なるコスト縮減を目指していきたい。

参考文献

- 1) 中村隆一・佐々木憲弘・坂瀬修: 雪氷処理のコスト縮減に関する技術開発についてーロータリ除雪車対応型路面清掃装置の開発ー, 北海道開発技術研究発表会論文集, 第52回(平成20年度)

3.3. PC床版の搬送及び取付装置の開発と導入

東急建設株式会社 土木総本部 機械技術部
○ 西尾 仁
藤原 和博

1. はじめに

建築工事における躯体施工は、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多く使用され、その部材は大型化・重量化の傾向にある。今回、当社施工の学校校舎新築工事に PC 床版を水平搬送し所定位置に据付する装置を開発し、施工に導入した。

2. 工事概要

工事件名：中央大学付属中学校新築工事
工事場所：東京都小金井市貫井北町 3-3-35
実施工期：2008 年 4 月 7 日～2009 年 5 月 28 日
構造規模：RC 造、床一部 PC 版
地下 1 階 地上 5 階
延床面積：8459.11 m²
最高高さ：19.24m



図-1 建物竣工図

本工事は地下 1 階、地上 5 階建校舎棟に体育館が併設する建物で、校舎棟の壁や柱部は RC 構造であるが、床部はプレキャスト桁梁付き床版を採用している。

PC 床版は高強度の PC 鋼線と高強度コンクリートを組合せた耐朽性の高い構造で、柱や壁のスパンを飛ばし、用途変化に応じたレイアウトの自由性が高い大空間を得ることが可能となる。

また工場製作・現場組立で工期が短縮でき、周辺環境への影響が少ないなどの利点がある一方、重量物である PC 部材の据付には大型の重機が必要となる。

3. PC 床版取付計画

施工計画ではトレーラで搬入された PC 床版は、

150 ト級のクローラタワークレーンで揚重し、所定の位置に直接、取付ける予定であった。

しかし 150 ト級のクローラタワークレーン設置は数台の大型トレーラに分割して搬入し、組立解体に多大な手間が生じる。又、一度組立てると使用終了まで現場に常駐となるが、クレーンを必要とする PC 床版の取付作業は、10～12 日の躯体立ち上がりサイクル中に 2 日ほどと少ない。

本工事は、実質 14 ヶ月の短期で竣工しなければならず大型クレーンが外構部に常駐することで併設する体育館工事の鉄骨工事や外構工事の開始がクレーン解体撤去後となるため、竣工前の作業錯綜が予測され、工事工程の見直しが必要となった。

4. PC 床版搬送取付装置の開発

各種工事工程の早期着手を図るため、現場に常駐させないで道路走行可能な移動式クレーンを床版取付に使用することに計画を変更した。

定格荷重の低下対策として、クレーン作業は所定階までの垂直揚重に限定し、作業半径が増加する水平搬送は、水平搬送及び所定位置への取付が可能な装置を早急に開発することに決定した。

4.1 開発条件

- 1) 開発・製作期間 3 ヶ月(使用開始 9 月上旬)。
- 2) 搬送装置の走行部は、既設床版上を走行するため、集中荷重を発生させない構造とする。
- 3) 床版取付作業は mm 単位の制御が可能な構造とする。
- 4) 当初計画のクローラタワークレーンによる取付に比べ、作業性や安全性を同等以上とし、同時に工事原価の低減も図る。

4.2 装置の開発及び開発期間短縮

当社では、狭隘空間で大型重量物の移動と搭載物の据付機能を有する建設工事用搬送装置の研究開発を 2003 年より実施し、積載荷重性能の向上、荷台の低床化、装置本体の軽量化、分解組立の容易性など多様化する要求に対応している。

本開発機の走行部(表-1)は、既存の走行機構を改造し、取付装置は新規に製作した。

表-1 開発・改造事項

検討項目	開発・改造項目
急曲線カーブ走行に対応	2WS⇒4WSに改造
昇降旋回装置の搭載	走行装置の低床化
集中荷重の分散 (写真-1)	硬質ゴムタイヤを24本使用
重心位置・安定度確認 (写真-2)	積載能力・走行性を検証



写真-1 硬質ゴムタイヤ



写真-2 積載能力・走行性検証

5. 装置の仕様と操作確認試験の実施

5.1 PC床版の形状と重量

- ・寸法：L10.8m×W2.0m
- ・重量：7.8t

5.2 PC床版取付装置

- ・テーブル寸法：L6.0m×W0.78m
- ・重量：8.64t
- ・最大揚重荷重：8.0t
- ・走行速度：3・7・10m/min (3段階)
- ・昇降スライド：0.65m
- ・前後スライド：1.05m
- ・左右スライド：±0.08m

上記各動作を図-2に示す

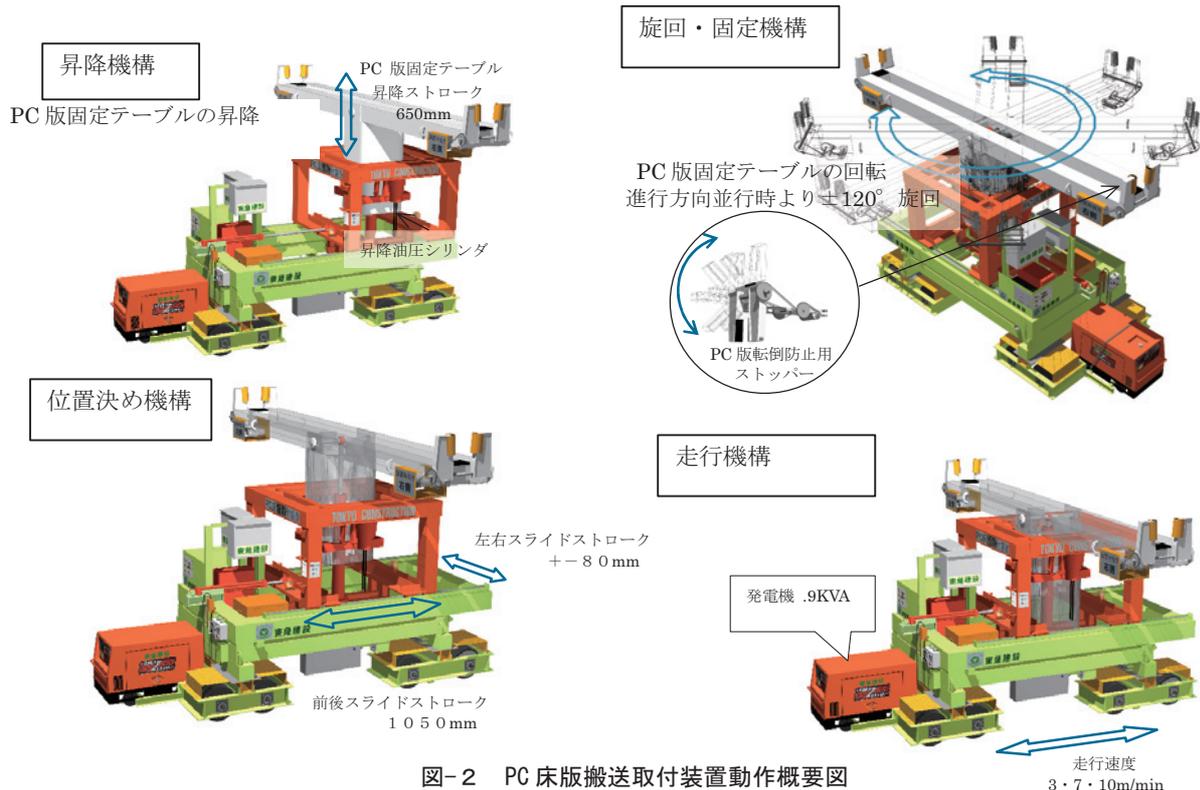


図-2 PC床版搬送取付装置動作概要図

5.3 操作確認試験の実施

製作開始2ヵ月後、当社相模原工場で実物大PC床版を用いて以下の手順で実証テストを実施した。

- ① PC床版を橋形クレーン(定格荷重30t)で吊り揚げ、PC床版取付装置に積み込む。
- ② PC床版転倒防止ストoppaを作動する。
- ③ PC床版積込後、PC床版取付装置にて30m直線移動させる(床面不陸あり)。
- ④ PC床版を模擬壁面上に設置、位置合わせをしながら設置する。
- ⑤ PC床版を模擬壁面に据付、PC床版取付装置を後退させる。



写真-3 操作確認試験

5.4 サイクルタイムの計測

- | | |
|----------------------|----------------|
| ① PC床版積み込み | : 7分30秒 |
| ② 転倒防止ストoppa作動 | : 0分30秒 |
| ③ PC床版の運搬 | : 7分00秒 |
| ④ PC床版の据付 | : 4分00秒 |
| ⑤ <u>PC床版取付装置の後退</u> | : <u>4分00秒</u> |
| 合計(1サイクル) | : 23分00秒 |

6. PC床版取付の施工手順

6.1 PC床版搬送取付装置搬入・揚重(図-3)

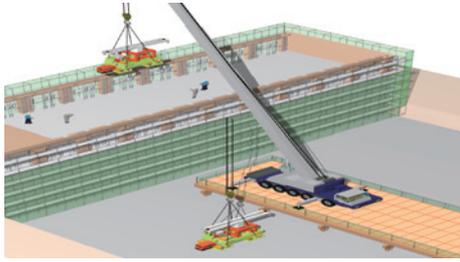


図-3

6.2 PC床版揚重・仮受け(図-4)

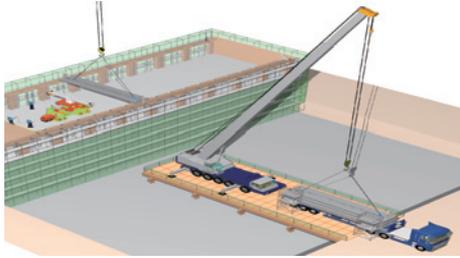


図-4

6.3 PC床版水平搬送(図-5)

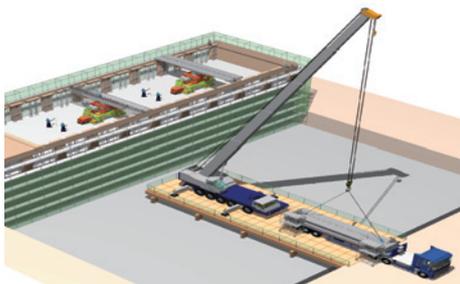


図-5

6.3 PC床版取付(図-6・7)

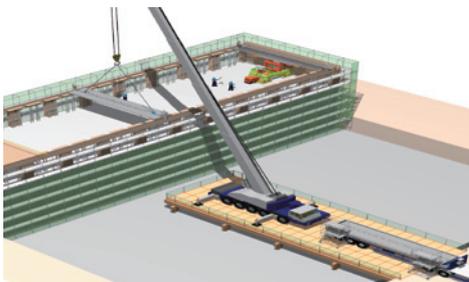


図-6

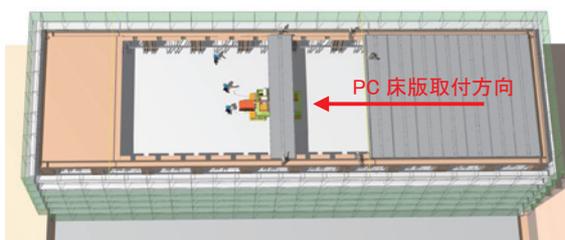


図-7

7. PC床版取付施工状況

7.1 PC床版搬送取付装置搬入・組立状況

PC床版搬送取付装置は、走行部と昇降旋回部に分割することで、10t平トラック×1車での搬入が可能であり、搬入後30分程度で組立が可能である。(写真-4・5・6)



写真-4 搬入状況



写真-5 組立状況(下部走行台車設置)



写真-6 組立状況(上部取付装置搭載)

7.2 PC床版搬送取付装置揚重・投入状況



写真-7

7.3 PC床版揚重仮受け状況



写真-8



写真-11 施工完了部

7.4 PC床版水平搬送状況

PC床版を搬送取付装置に受替え、ストッパにて固定し、昇降旋回装置にて鉄筋・型枠をかわしながらPC床版取付箇所まで水平搬送を行う(写真-9)。



写真-9

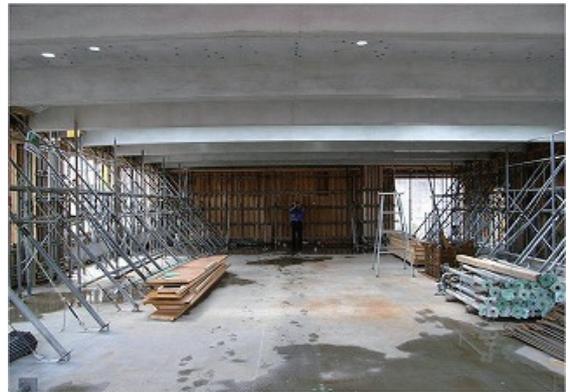


写真-12 施工完了下部

7.5 PC床版取付状況

PC床版を所定の位置まで水平搬送した後、取付を行う。ただし、端部のPC床版については、搬送取付装置が壁面に近接するため、前後スライド機構を用いて所定の位置に取付を行う(写真-10)。以降、同様の手順にて所定枚数の取付を行い、上部階への盛替を行う(写真-11)。



写真-10

今回の導入現場にて、2階からR階までの施工を行ったが、15分/枚のサイクルで施工が可能となった。

8. 導入効果

8.1 工期短縮

約2ヶ月(体育館、外部仕上げ及び外構工事の早期着手)

8.2 経済効果

・クローラタワークレーン(150t)の削減	- 10,840 千円
・ホイールクレーン追加使用の総額	+ 3,170 千円
・PC床版搬送取付装置使用料	+ 4,000 千円
削減効果	- 3,670 千円

9. 終わりに

本装置は、大型PC床版の搬送取付作業を安全かつ効率的に行いたいという現場の要求に応え開発した。

今後も施工が多様化し、既存機械の選定だけでは対応が困難なケースが増加すると考えられる。今後とも関係する各方面の皆様方のご指導をいただきながら、さらなる施工の効率化に新たな機械技術で挑戦してゆく所存である。

3 4. 機械攪拌と高圧噴射攪拌を用いたハイブリッド地盤改良工法

－WHJ工法による既設護岸の耐震向上対策の施工事例－

国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所 嵯峨 弘喜
WHJ工法研究会 鈴木 孝一
○西尾 経
高桑 一輝

1. はじめに

人口や資産、社会経済活動の中核機能などが集中している首都東京や周辺都市等においては、洪水や地震によって壊滅的な被害が発生するおそれがある。このため、高潮対策や河川堤防等の河川構造物の耐震性向上は、いざ災害が発生した際でも、通船可能な河川域の確保や防災船着場の確保の面からも重要な課題である。

本論文は、河川護岸の高潮対策と耐震性強化を目的に、既設護岸部に設置された鋼管矢板の河川側受働域を地盤改良し、矢板と改良体を密着一体化させた護岸構造形式で耐震性の向上を図った施工事例とそれに採用した台船式大口径高圧噴射攪拌工法（以下、WHJ工法〔Waterfront Hybrid Jet Mixing Method〕と略記する）について述べる。

2. 超高圧噴流攪拌複合技術工法の概要

2.1 複合技術工法の概要と特徴

護岸の地盤改良による耐震性強化を目的とした従来の施工法は、機械攪拌工法で受働領域を先行改良し、機械翼が寄れない護岸との隙間部は、補助工法として高圧噴射攪拌工法を後施工して矢板と改良体の一体化を図る2段階施工であった。

本工法では、固化材スラリーが機械攪拌翼先端部の噴射ノズルから吐出圧力40MPaと超高圧で高速噴射されるため、直径 $\phi 1.6\sim 2.3\text{m}$ の大口径改良体を造成できる。このため、改良造成域と既

設護岸との一体化施工が容易で、補助工法が省略できる特徴を持つ。また、台船方式の深層混合処理工法である。このため、河川域あるいは河口に面した海域の既設護岸の耐震補強等を目的として、施工に十分な足場が確保できないケースでも、水上から施工できる。さらに、近接施工でも独自の排土機能の採用により低変位施工も可能であるなど特徴を併せ持つ。〔NETIS登録No. KT-070064-A〕

2.2 複合技術の改良原理

WHJ工法の基本改良原理を図-1に示す。二軸式で機械攪拌翼先端部の噴射ノズルから固化材スラリーを圧力 $p=40\text{MPa}$ による超高圧大容量のジェット噴流を吐出する。このジェット噴流により地盤は瞬時に切削され、同時に対象土は固化材と強制混合攪拌される。これにより、機械攪拌翼外側の外周部は、超高圧ジェット噴流による混合攪拌の改良が主となり、既設護岸との高い一体性を確保した密着施工や改良体の相互ラップ施工等も容易に可能となる。従来の機械攪拌工法と高圧噴射攪拌工法の併用施工に比べ、WHJ工法では、単一の1工種の工法によって行うことが可能となり、工期の短縮、施工コストの縮減を図ることができる。写真-1にWHJ工法の施工機械の全景を示す。当該現場では、左側に見られるように高速道路の橋梁ピアと近接した施工現場である。

攪拌軸に排土スクリュロッドを装備し、当該現場のような近接施工においては、固化材スラリーの

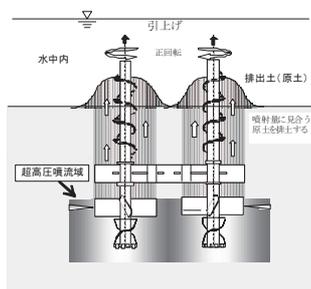


図-1 WHJ工法の改良メカニズム概要図

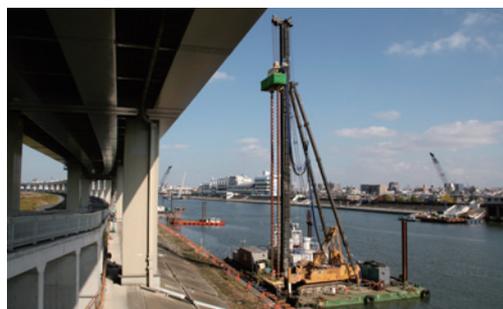


写真-1 WHJ工法と護岸施工状況

噴射量に見合う原土量を排土する。動態観測と併せて排土量を調整できる正回転・逆回転混合制御機能があるため施工時変位の発生を抑制できる。

3. 超高压噴流攪拌複合技術工法の施工仕様

3.1 適用土質とWHJ改良径の設定

WHJ工法の標準改良径を表-1に示す。超高压噴射攪拌を基本原理としており、対象土の粘着力、 N 値により設定改良径が異なる。改良径は $\phi 1.6 \sim \phi 2.3\text{m} \times 2$ 軸，改良断面積 $A=4\text{m}^2 \sim 8\text{m}^2$ である。従来の二軸式機械攪拌工法の $\phi 1.0\text{m} \times 2$ 軸式の場合， $A=1.5\text{m}^2$ に比べ，2.7~5.3 倍が得られる。また，攪拌軸間の幅も $B=1.4 \sim 2.0\text{m}$ に変更できるため適用条件に応じて様々な改良仕様の選択が可能である。対象土の適用範囲は，標準的には粘性土では $S_u=70\text{kN/m}^2$ ，砂質土では $N \leq 20$ としている。

表-1 適用土質と改良径の設定

対象土質		改良径 D(m)	改良断面積 A(m ²)
砂	$N \leq 10$	2.1m×2軸	6.81
	$10 < N \leq 20$	1.9m×2軸	5.56
粘性土	$S_u \leq 30\text{kN/m}^2$	2.3m×2軸	8.08
	$30 < S_u \leq 40\text{kN/m}^2$	2.1m×2軸	6.81
	$40 < S_u \leq 50\text{kN/m}^2$	1.9m×2軸	5.56
	$50 < S_u \leq 70\text{kN/m}^2$	1.6m×2軸	3.92

*WHJ攪拌翼径 $\phi 1.0\text{m}$ の場合

3.2 施工仕様

本工法の攪拌混合は超高压噴流体による対象地盤の切削破壊・混合攪拌が主体であり，施工時には，固化材スラリーの吐出圧力，吐出量，改良時間および回転数等の管理を行う。

4. 超高压噴流攪拌複合技術の施工技術

4.1 既設構造体との一体化施工

本工法の改良径は $\phi 1.6 \sim 2.3\text{m}$ で，機械攪拌翼 $\phi 1.0\text{m}$ より半径 $0.3\text{m} \sim 0.65\text{m}$ の超高压ジェット攪拌域を有する。図-2に既設護岸の耐震化のための改良配置を従来施工方法と WHJ 施工方法を模式的に比較した。従来は護岸構造体と機械攪拌工法との間詰め工として高压噴射攪拌工法の2工種によって行われる場合が多かった。一方，WHJ工法では，外周部の改良域が超高压噴射攪拌であるため，護岸構造体との一体性が図れる密着施工と改良体相互のラップ施工が単一工法で計画可能であり，作業性の効率化と信頼性の向上が図れた。

4.2 機械構成

WHJ工法は，台船上に三点支持式杭打機を搭載させる方式である。その標準的な搭載方法を図-3に示す。台船上には，表-2に示すようなWHJ施工機，スラリープラントの一式を搭載する。使用する台船は，搭載する施工機種，搭載質量によ

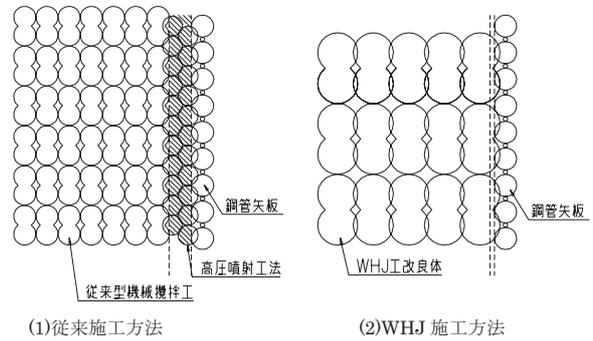


図-2 WHJ 施工による既設護岸の密着施工例

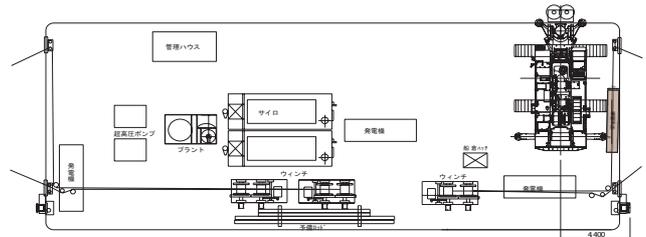


図-3 WHJ 施工機の台船搭載例

表-2 台船上の搭載施工機械

機 械 名	仕 様
WHJ 処理機	WHJ 駆動装置、耐圧40MPa 施工管理装置
WHJ オーガスクリュ	特殊オーガスクリュ×2軸 WHJオーガヘッド $\phi 1.0\text{m} \times 2$ 軸 軸間幅1.4m~2.0m
超高压大容量ポンプ	可変型ポンプ 110kW
スラリープラント	処理能力20m ³ /h
施工位置測定機器	自動追尾光波測定器またはGPS

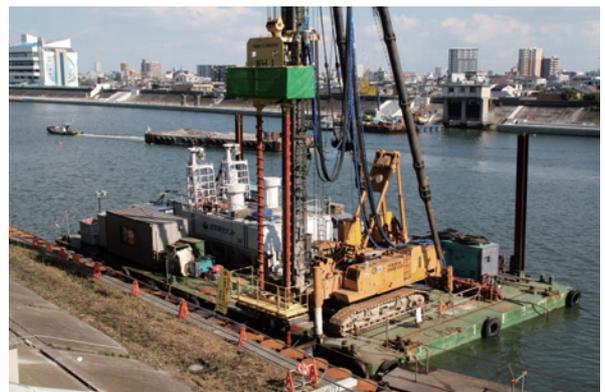


写真-2 台船上に搭載したWHJ 施工機械全景

って選定されるが，通常では呼称 700 t 級台船を用いることが多い。台船の設備には，WHJ 本体のほかに台船移動のためのウインチ設備，施工位置の固定のためのスパッドを装備する。写真-2にWHJ 施工機の台船上の搭載例を示す。

4.3 施工時の環境軽減

鋼管矢板等の既設護岸前面側から地盤改良施工を行う場合には，改良体と既設護岸との密着性が求められる。構造体との近接した施工によって地盤変位を及ぼす場合がある。WHJ工法では，図-

4に示すように、回転軸の排土スクリュロッドの正回転と逆回転の比率を組み合わせることで、施工時の地盤変位を抑制することが可能である。機械攪拌工法は、改良時の回転方向が一方向に決まっているのに対し、高圧噴射攪拌工法では、変位制御のために軸回転を切替えることで、WHJ攪拌翼先端装置部の超高圧ジェット噴流の方向も切り替わる。改良品質は回転方向に影響受けないことから、施工能率を制限することなく、通常施工のままで行うことができる。排出土率は、標準的には100%である。また、排出土は原土のみで固化材の混入がなく、水質の汚染等は生じない。WHJ工法は单相式高圧噴射攪拌方式であり、エアを併用しないため、排出土は水中内で拡散することなく、施工が可能である。

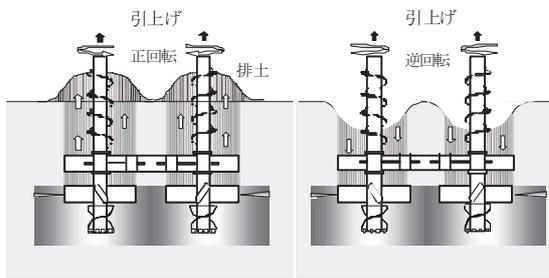


図-4 正回転と逆回転による排土制御模式図

5. 超高圧噴流攪拌複合技術を用いた護岸耐震補強工事施工事例

5.1 工事概要

東京都東部に位置する荒川と中川の間位置する「中堤」では、08年2月から老朽化や地盤沈下に伴う改修工事を実施した。本工事は、東京都が中川左岸の護岸耐震補強を実施するために江戸川競艇を一時休止させることから、対岸の中堤でも同様に改修を進めるものである。工事延長は、競艇場前後の延長約1500mを整備するものである。

中堤は、荒川と中川の間部に位置する延長約7kmの背割堤で、完成後約20年が経過し、老朽化や地盤沈下による変形が進んでいることから、鋼管矢板杭の打設による補強、変形個所の補修などを行うものである。地盤改良施工において、中堤内の地盤改良域は、陸上部側からの地盤改良施工に十分な足場が確保できないため、水上から台船施工が可能でWHJ工法が適用された。

5.2 地質概要

河口から測点4k付近（江戸川区東小松川2丁目）の対象土質は、現況河床からAP-8m付近までは $N=2\sim14$ の非常に緩いシルト質細砂で構成されている。また、AP-8m以深では、含水比 $w=44\sim51\%$ 、砂分含有量 $50\sim60\%$ の砂質シルトで、粘着

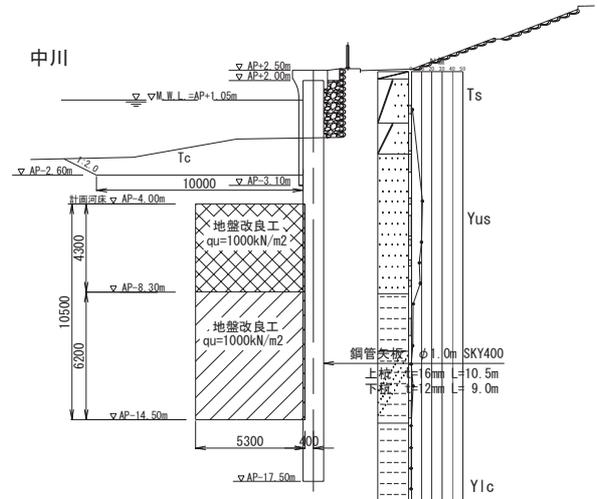


図-5 土質柱状図と改良位置

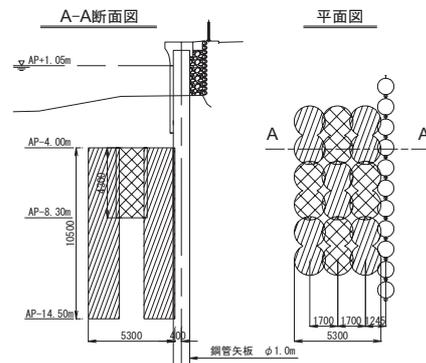


図-6 WHJ改良体の配置図

表-3 WHJ施工数量

区分	貫入長	改良長	空打ち長	本数
1	6.0m	4.3m	1.7m	144本
2	12.4m	10.5m	1.7m	201本

力 $S_u=28\sim64\text{kN/m}^2$ である。図-5にWHJ工法の地盤改良断面図と土質柱状図を示す。

5.3 地盤改良計画

本工事は、河川内に新設された鋼管矢板の前面部に3列のWHJ改良体を配置した。改良形式は、2仕様の改良体を交互に配置した。改良上部のAP-4.0～-8.3mまでの改良長 $l_1=4.3\text{m}$ では、改良率 $a_w=89\%$ の改良とした。改良体の配置ではラップ状に配置し、改良体相互で一体化が図れる計画である。また、それ以深のAP-8.3～-14.5mの改良長 $l_2=10.5\text{m}$ では、 $a_w=47\%$ 改良とした杭式改良である。なお、いずれの2仕様のWHJ改良体も新設鋼管矢板と改良体との密着性を図る配置とした。図-6にWHJ改良体の標準配置を示す。

5.4 施工概要

(1) 施工仕様

本工事は、施工延長390mのWHJ施工における施工数量を表-3に示す。また、実施したWHJ施

工の施工仕様を表-4に示す。設計強度は $q_u=1000$ kN/m²とした。設定改良径は、対象土質の N 値および粘着力から判断し、改良径 $\phi 1.9$ mとし、軸間幅1.7mで改良断面積は、 $A=5.56$ m²の連珠形状である。鋼管矢板とWHJ攪拌翼先端部との距離は、25cmと近接した離隔距離である。また、鋼管矢板と超高压ジェット噴流域との密着幅は、10cmとした。

表-4 WHJ 施工仕様

項目	施工仕様
改良径	$\phi 1.9$ m(軸間1.7m)
改良断面積	$A=5.56$ m ²
改良時間	4分/m
使用固化材	ケミコC-201
水・固化材比	W/C=1.0
材料混入量	$aw=166$ kg/m ³
設計強度	$qu=1000$ kN/m ²

(2) 施工方法

WHJ工法の施工手順図を図-7に示す。WHJ処理機を搭載した台船を施工工位置に移動し、台船を固定する。WHJ攪拌装置と施工管理システムを動作させ、所定深度まで貫入する。WHJ超高压ポンプを所定の圧力、吐出量に設定した後、定速回転で引抜き改良する。なお、改良時に護岸等の構造物の変位が懸念される場合は、WHJ攪拌装置

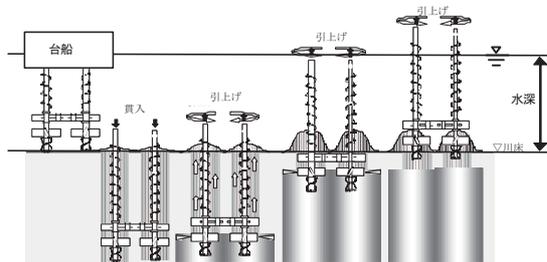


図-7 施工手順図



写真-3 中堤地区 WHJ 施工状況

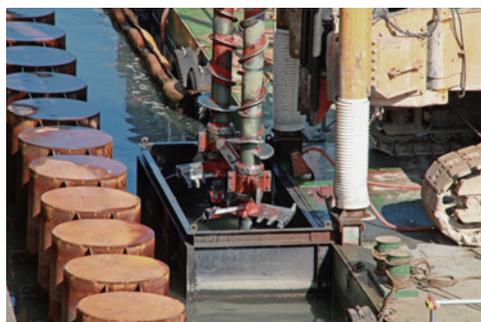


写真-4 鋼管矢板との密着施工状況

の軸回転を正回転、逆回転の組合せ制御により、発生変位を管理値内に抑制することができる。写真-3にはWHJ工法の施工状況を、また、写真-4には既設鋼管矢板とWHJ改良体との密着による一体化を図るための位置セット状況である。

5.5 施工結果

(1) 現場改良強さ

WHJ改良後の現場改良強さ q_{uf} の結果を表-5に示す。その結果、各改良杭 $l_2=10.5$ m仕様の上層、中層および下層とも平均 $q_{uf}=2300$ kN/m²以上であった。現場改良強度の変動係数は、 $V=13\sim 21\%$ と小さく、改良土の混合性能は高いと判断される。また、改良杭体相互のラップ部の改良強度は、上、中、下層とも $q_{uf}=2300$ kN/m²以上であり、外周改良体とほぼ同等の強度であることが確認された。

表-5 WHJ改良体の現場改良強度結果

採取位置	改良体NO.	現場改良強さ q_{uf} (kN/m ²)				変動係数 V (%)
		1	2	3	平均	
上層部 (AP-4m)	A	2674	2861	1917	2484	20.2
	B	1803	1961	2666	2143	
中層部 (AP-8m)	A	3127	2385	2900	2804	21.3
	B	1702	2899	2186	2262	
下層部 (AP-12m)	A	2377	2781	2994	2717	12.6
	B	2340	2168	2802	2437	
上層部	CとD (ラップ部)	2662	1837	2475	2325	
中層部		2445	3189	2560	2731	
下層部		3107	2963	2230	2767	

(2) 施工環境

施工時の鋼管矢板の変位観測によると、陸側へ8mm程度の変位が認められた。このため、変位抑制の制御方法として、正回転と逆回転を始める深度を改良下端から3mまでを正回転させ、それより上部は逆回転により行う改良方法が最も変位の少ない排出土の調整方法であった。また、水中施工時の水質汚濁等に与える環境影響は認められなかった。

6. まとめ

本工法は、機械攪拌工法と高压噴射攪拌工法の複合技術を応用し、台船上に搭載した地盤改良工法である。既設護岸と地盤改良体との一体性を保つことは、護岸構造物としての耐震性の向上を図る上で重要である。中堤地区における施工事例を紹介したが、今後の耐震補強に向け、施工性、経済性の高い地盤改良工法が期待される。

参考文献

- 鈴木孝一, 西尾経, 松岡大介: 高压噴射攪拌による高速低変位施工を実現したSDM工法(高速低変位深層混合処理工法), 建設の施工企画 No.698, pp.29~34, 2008.4
- 鈴木孝一, 西尾経, 田中 信哉, 松岡大介, 斎藤邦夫: SDM工法(高速低変位深層混合処理工法) - 機械攪拌併用高压噴射攪拌による地盤変位の抑制制御型工法の概要と施工事例 -, 基礎工 vol.37, pp.88~90, 2009.5

35. 音響カメラを用いた港湾構造物水中部劣化診断装置の開発

(独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地機械技術チーム ○五十嵐 匡
 (独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地技術推進室道央支所 長瀬 禎
 国際航業(株) 社会基盤事業部河川・環境部水域基盤グループ 大西 明夫

1. はじめに(背景)

港湾及び漁港施設における水中構造物の健全度診断は有効な点検手法が確立されておらず、潜水士による目視観察に頼っているのが現状である。

水中部の点検については、陸上で点検の指示を行う技師と水中で実際に目視点検を行う潜水士との連携が重要であり、透明度による影響も大きく、視界の悪い箇所については潜水士が手探り状態で異常箇所を確認している等、非効率で困難な作業となっている(写真-1)。



写真-1 潜水士による点検

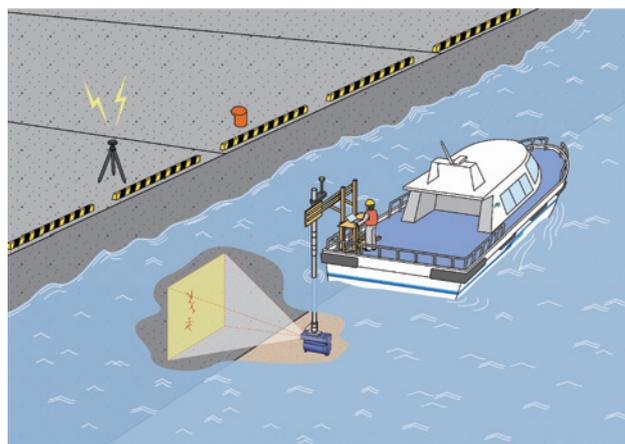


図-1 開発イメージ図

2. 開発イメージ及び開発計画

2.1 開発イメージ

本開発においては、潜水士を必要としないで水中部の構造物(コンクリート構造形式)の状況を計測する技術、及び計測データを蓄積して効率的に健全度診断を行えるシステムからなる、港湾構造物水中部劣化診断装置を開発するものである。

開発のイメージを図-1に示す。撮影装置をポール状の架装装置先端に固定し、それを架台に取り付け船舶に艀装する。そして、船舶を航行させながら岸壁面水中部を撮影し、専用のソフトウェアで岸壁面全体画像を作成する。

次に、得られた岸壁面全体画像から変状箇所を抽出し過去の点検履歴との比較などから、詳細な点検の必要性を判断するなど、点検作業を効率化するシステムの開発を目標とする。

2.2 開発計画

本開発は、平成20年度からの3カ年計画であり(表-1)、平成20年度は、必要となる構造物水中部分全体の画像作成を行っている。

なお、本開発は国際航業(株)との共同研究であり、平成20年度に実施した現地撮影試験状況を報告するものである。

表-1 年次計画

項目	H20	H21	H22
水中部非破壊点検・計測手法の検討	○		
音響カメラの現場適合性試験	○		
各点検・計測センサー取得データの解析手法開発	○	○	
各点検・計測センサー、データ解析手法の全体システム化	○	○	○
水中部点検・計測システムの性能要件作成			○

3. 撮影装置の概要

撮影装置を選定するに先立ち、現状の点検調査方法を把握するため、実態調査及び点検技術の動向調査を実施した。

そして、撮影装置については可視画像法と音響画像法の得失について比較検討した結果、超音波を使用した「音響カメラ¹⁾」を採用した。

3.1 音響カメラ

音響カメラ本体を写真-2に示す。(外寸 32.5×22.4×18.4cm, 重量(空中) 13.2kg)

この音響カメラ(DIDSON (Dual-Frequency Identification Sonar))は、周波数 1.8MHz (または、1.1 MHz) の音波を使用し、水平方向 29° (= 幅 0.3° 間隔×96 ビーム)、垂直方向 14°幅のビームパターンを形成する(図-2)。そして、8回の送受信サイクルに分割したビーム画像ラインを張り合わせて1画面を形成し、毎秒 4~21 フレームの画像を提供可能とする。

画像は、水平方向に 96 分割、垂直方向に 512 分割で照射された音波の反射強度により画像化され、反射エコーが強ければ明るい光、弱ければ薄暗い光にかえて画面上で輝かせることで、白黒の映像を作り出す。

従って、周囲の明暗や海水の濁度に関係なく撮影することができる(写真-3)。

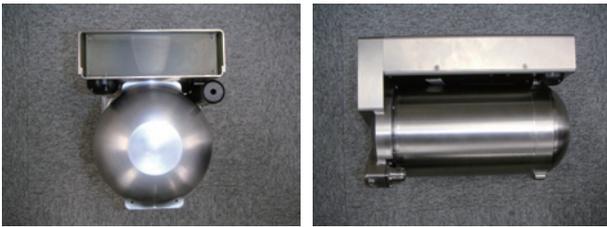


写真-2 音響カメラ本体

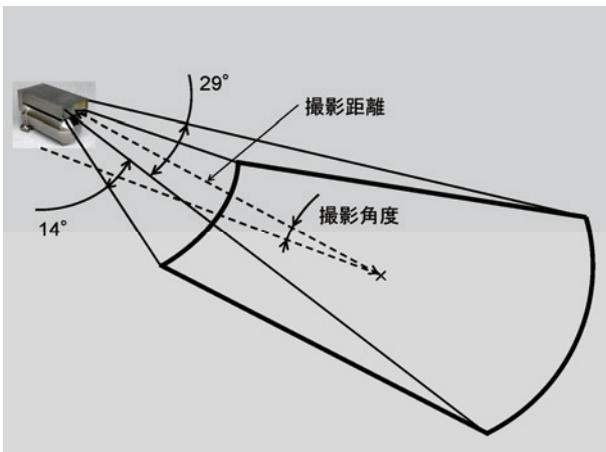


図-2 撮影範囲

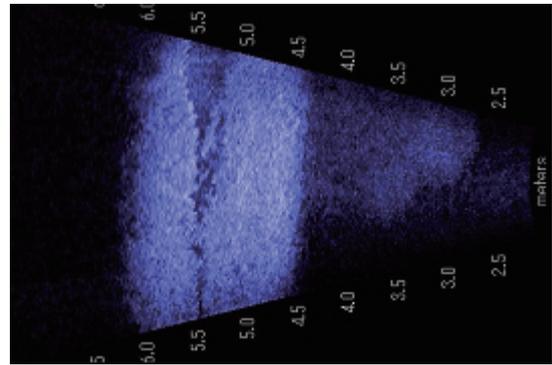


写真-3 音響カメラによる画像

3.2 分解能

音響カメラを使用し、水槽及び実海域において、撮影試験を行った。

その結果、既存調査で報告されている構造物変状箇所やケーソン目地を音響カメラの再生画面で認識することができた。

また、音響カメラで見逃した欠損箇所がないか潜水目視点検を実施したが、新たな欠損箇所は見つからなかった。

これらから、現地で撮影した映像の分解能は、潜水土の目視程度(透明度が低い状況では潜水土以上)を確保していることを確認した。

4. 撮影方法

次に、分解能を確保しつつ岸壁面全体を撮影する方法を検討した。

音響カメラは指向性の鋭い超音波を使用しており、分解能を高めるために至近距離での撮影が必要となる。このため、撮影範囲(フットプリント)が狭くなり、撮影方法に工夫が必要となる。

このため、音響カメラを取り付けた船舶を水平方向に移動させることにより、各水深部を撮影することとした。

具体的には、船舶に艀装したポール状の架装装置先端に音響カメラを取り付け、船舶を岸壁と一定距離を保ちながらゆっくりと航行させ撮影を行う。この作業を水深に応じて繰り返す。

このとき、撮影距離は安全性を考慮して、船舶・岸壁間の距離を 3.5m に、また、試験結果より撮影角度は 10~45 度が良好であるが、撮影距離は近距離ほど画像が良好であることから、撮影角度は撮影距離が最短となる 45 度とし、撮影距離を 5 m とした(図-3)。

以上の条件で水深方向に撮影幅 1.9m を確保でき、重複部を考慮しても 1.5m 間隔で各水深部を撮影することができる(図-4)。

また、船速は可能な限り遅いほうが好ましいため、1ノット程度で撮影試験を行った。

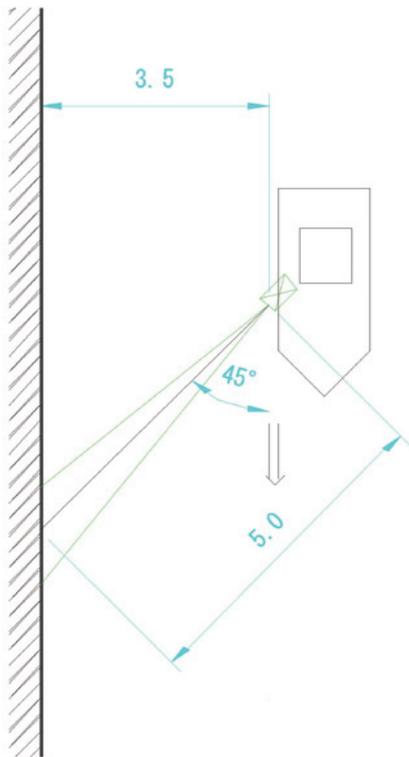


図-3 撮影方法（平面図）

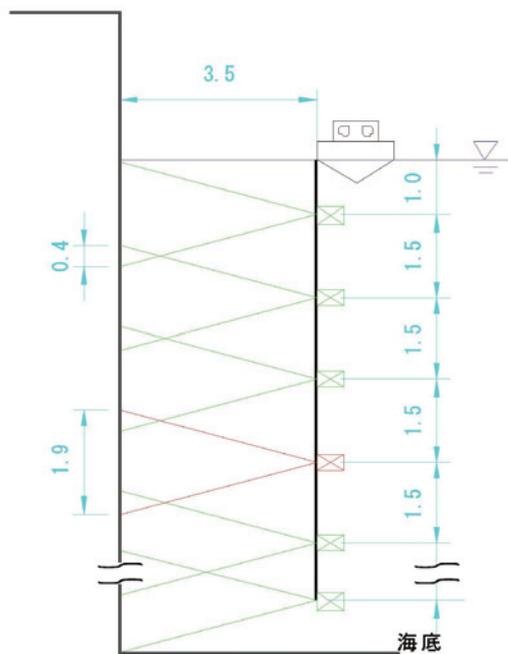


図-4 撮影方法（断面図）

5. 架装装置

次に、撮影方法を満足する架装装置を試作した。主要部材であるポールは、-14m 岸壁撮影を想

定し、喫水から 13m 程度伸ばすことが可能であり、また、可搬時には 2.7m まで縮めることができる、伸縮可能な構造とした（図-5）。

カメラ位置は 1~13m の範囲で固定可能であり、手動のワイヤーロープ巻上機で位置調整し、撮影位置でポールが縮まないよう、エアで加圧することにより固定する仕組みとした。

また、材質はアルミ合金及びステンレス製で、重量は 150kg 程度であり、小型船舶にも搭載できる。

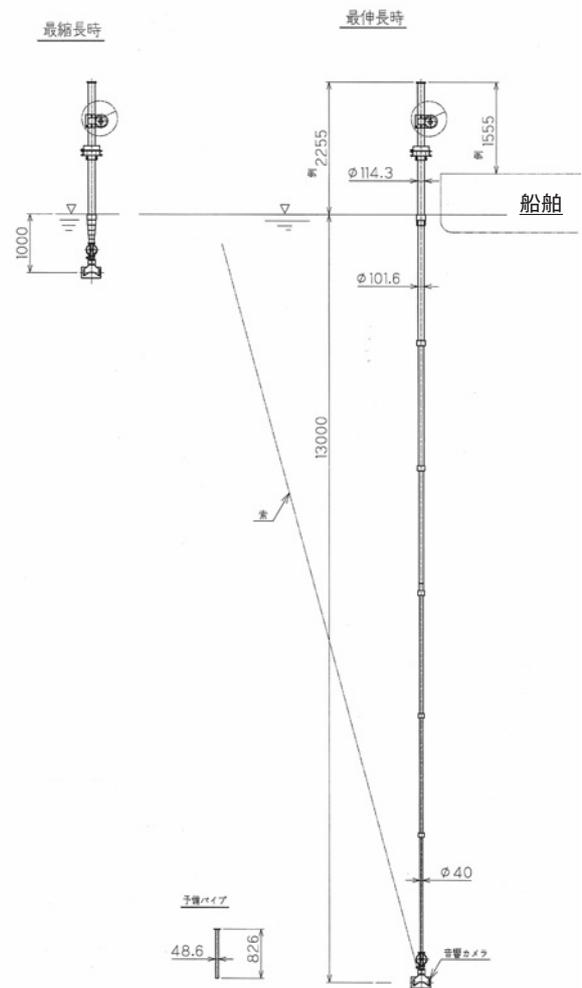


図-5 架装装置

6. 計測機器類

次に、音響カメラでの撮影で得られる、毎秒数フレームの各画像データに対し、それらが岸壁面のどの位置の画像であるかを把握する必要がある。

そのため、音響カメラと岸壁側面間の距離を RTK-GPS による位置情報により把握（または、音響測深器により実測）し、更に、音響カメラの姿勢情報をモーションセンサーにより計測することで撮影位置を特定する。

撮影試験では、その他にジャイロコンパスなどを使用し、各データを取得した。

また、リアルタイムに計測した各データは、画像取得用に1台、各データ取得用に1台の計2台のPCで取得し、取得時刻はGPS時刻データにより同期した。

架装装置（試作機）の艀装状態と各計測機器類の取付状態を写真-4、5に示す。

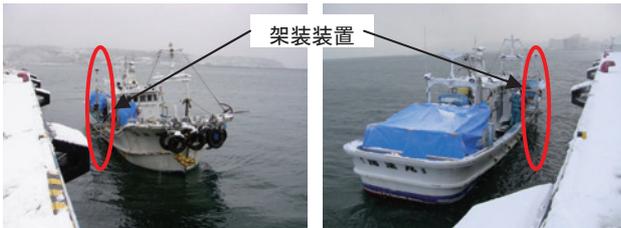


写真-4 架装装置の艀装

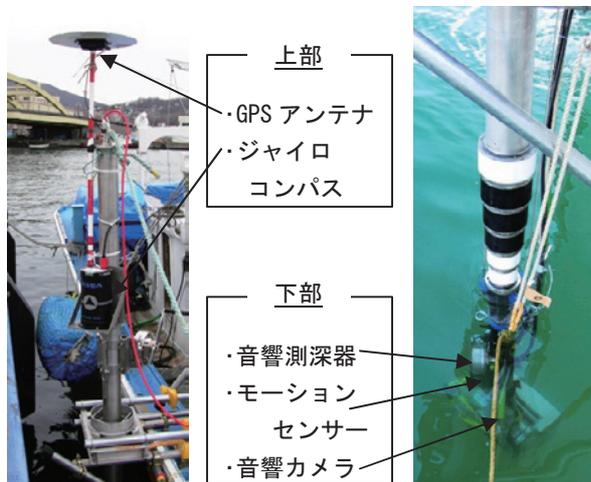


写真-5 架装装置、計測機器類

7. 撮影試験

平成20年度は、撮影試験を実施し、機器類の構成とデータ取得方法の確認、架装装置性能の検証を行った。

撮影試験場所は北海道小樽市の小樽港・港町ふ頭 (-14m)、第2ふ頭 (-9m)、第3ふ頭 (-9m) の岸壁側面で行った。

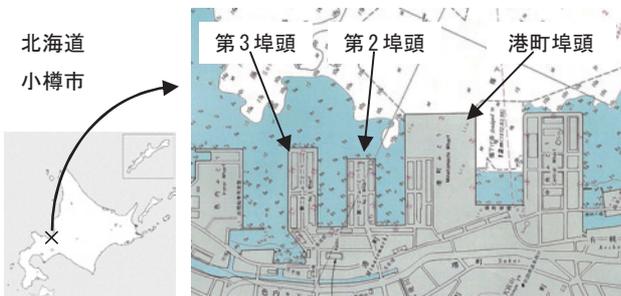


図-6 試験箇所

8. 取得画像の処理

次に、撮影試験において得られた画像と各計測データより「画像解析ソフトウェア」を使用し岸壁面画像（以下、モザイク図）を作成した。

8.1 モザイク図の作成

画像データ1フレームにおいて音波の反射強度が強い部分（すなわち、明るい部分）を処理範囲とし（図-7）、各水深のモザイク画像、さらに、岸壁面全体のモザイク図（写真-6）を作成した。

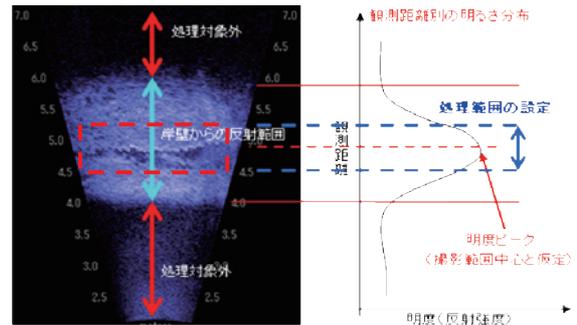


図-7 処理範囲の決定

なお、モザイク図の作成方法としては以下の方法を検討した。

音響カメラの位置情報（水平方向、鉛直方向）、姿勢情報より、対象構造物の相対的な位置関係を用いて幾何学的補正・接合を行う方法と、得られた画像のみから幾何学的補正・接合を行う方法の2つである。

前者では、画像取得時（フレーム毎）のカメラ位置、姿勢情報（ロール、ピッチ、撮影方位）と構造物での3次元情報（あるいは音響カメラと対象構造物までの距離）が必要となる。

8.2 モザイク図の評価

今回作成したモザイク図は写真-6のとおりである。

試験では、コンクリート平板表面にクラック等を疑似再現した供試体を製作し、各水深で横方向同位置に設置することで、分解能、位置精度を確認した（写真-7）。

また、写真-8は、供試体付近部分を拡大したものである。

結果として、各水深で横方向同位置に設置した供試体に、最大2m程度のぼらつきが見られ（目地も同様）、位置精度に課題が残った。原因として、音響カメラと岸壁面間距離の計測誤差、架装装置ポールの撓みによる音響カメラ位置誤差などが考えられる。

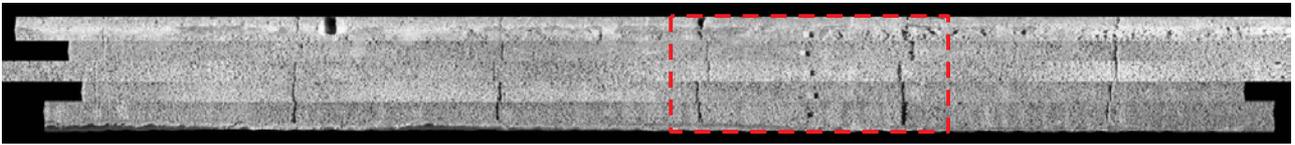


写真-6 モザイク図 (9m×約150m)

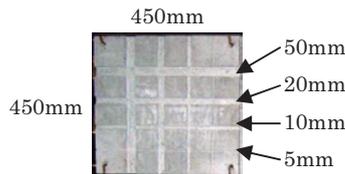


写真-7 供試体

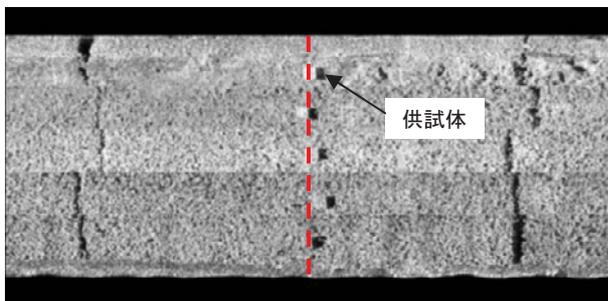


写真-8 モザイク図 (拡大)

また、供試体の撮影から、約3cmの分解能を確認した。

9. 今後の課題

以上のとおり、H20年度は撮影試験、及びモザイク図作成を行った。更に位置精度の高いモザイク図を得るため、問題点を抽出し検討事項を整理した。

9-1 機器類の構成とデータ取得方法の確認

モザイク図を構成する個々の画像フレームの位置精度を向上させるには、音響カメラと岸壁面との垂直距離を正確に計測することにある。

垂直距離の誤差は岸壁面の横方向の位置誤差に直接影響するため、垂直距離をより高精度に計測する方法を検討する。

9-2 架装装置改造

最伸長時には約15mとなるポール状の架装装置には、上部先端にRTK-GPSアンテナ、水中部先端(下端)に音響カメラが固定され、上部から約1.5m程度の位置で船体に固定している。撮影時はポール部分が水流抵抗を受け、また、先端部の音響カメラもその形状から大きく水流抵抗を受け、ポール自体には偶力による撓みが生じていると推測される。

以上より、RTK-GPSによる誤差を1~2cm程度

とすると、ポールの撓みによる誤差はそれ以上と推測されることから、ポール部を改造し撓みの少ない構造とすることを検討する。

また、架装装置を艀装するため単管パイプにより架台(写真-9)を組んだが、設置に多くの時間を要したほか、必要な強度が得られず、運用面で問題があった。

そのため、架装装置を船舷に確実に固定できる艀装用架台を製作し、短時間で確実に艀装する方法を検討する。



写真-9 単管パイプによる艀装用架台

9-3 画像解析ソフトウェア改造

モザイク図を作成する画像解析ソフトウェアに対しては、良好なデータを提供する必要がある。

また、画像解析ソフトウェアにおいては、撮影条件に応じた対応など、プログラムの改良を検討する。

また、現状ではモザイク図を水深に応じて作成しているが、それらを水深方向に繋ぎ合わせる方法を検討する。

運用面では、撮影後に短時間でモザイク図が作成され、その場で変状箇所を把握可能とする必要があるため、操作性、汎用性の向上を検討する。

9-4 港湾構造物劣化診断システム

港湾構造物水中部劣化診断システム(以下、劣化診断システム)の概略構想を示す(図-8)。

構想中の劣化診断システムは、画像解析ソフトウェアにより作成されたモザイク図を使って、過去の点検データとの比較や、詳細点検の実施を、船上にて可能にする支援ツールである。

劣化診断システムでは、縦断図の水中部を実

際に撮影したモザイク画像と重ね合わせ、変状箇所・状況を付記したものとする(図-9)。また、変状箇所の重要度が高い場合などには、詳細な撮影を行い記録可能とするが、詳細については、今後、機能要件・仕様を含めて検討する。

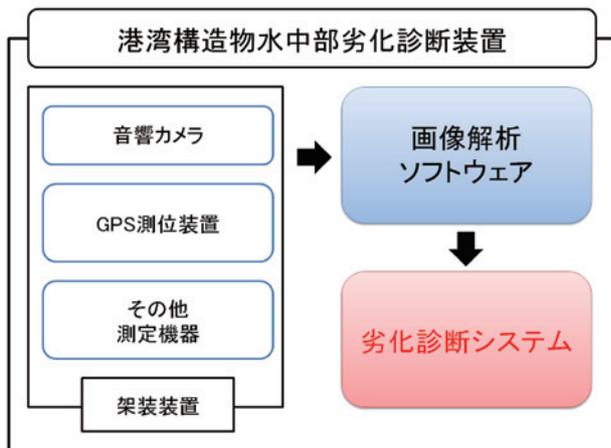


図-8 劣化診断装置の概略構想

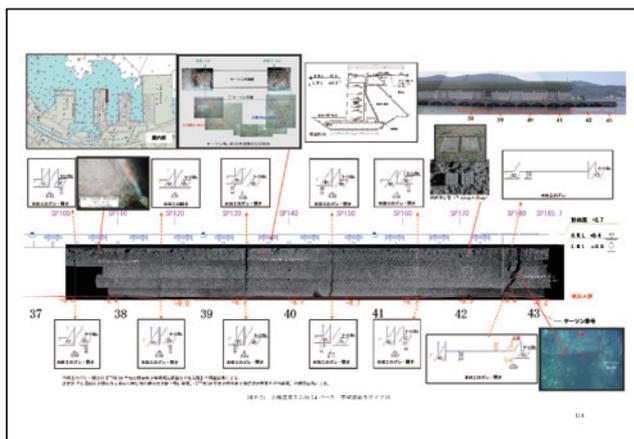


図-9 健全度点検結果イメージ

10. まとめ

構造物水中部の撮影を潜水士に頼らず可能とするため撮影試験を行ったが、十分満足できる分解能を得ることができた。

本年度も引き続き撮影試験を実施し、画像解析ソフトウェアや、架装装置改造の検証などを行い、精度の高いモザイク図作成を行う。

運用面では、サイクルタイムの計測・コスト比較を行い、実運用試験を行う。

今後は、各点検・計測技術の開発を更に進めるとともに、取得データの管理、解析手法を含めたシステム全体の検討を行い、港湾及び漁港管理者による施設の機能保全に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 浅田 昭: 音響ビデオカメラと海中作業, 作業船, 第 265 号, pp.14~19, 2003.1
- 2) 北海道開発局: 平成 18 年度港湾構造物水中部劣化診断業務報告書
- 3) 北海道開発局: 平成 19 年度港湾構造物水中部劣化診断業務報告書
- 4) サウンドメトリックス社 HP (<http://www.soundmetrics.com/>)

36. ダム堆砂除去装置の開発

～小型堆砂除去装置「マジックボール」～

東京電力株式会社
東京電力株式会社
東亜建設工業株式会社

荒木 宏則
○小林 敏晴
宮下 広樹

1. はじめに

水力発電用ダムの調整池や貯水池では、年々土砂が流入堆積しており、堆砂の進行が、貯水量の低下を促し、若しくは発電電力量の減少を引き起こすことにもなる。このため、堆砂の除去を行い、適正な維持管理を行うことが必要となる。

通常、堆砂除去には浚渫船などが用いられるが、一般的にダムは山間部に位置しているため、工事中船舶・重機の搬入が制限されることが多く、有効な堆砂除去の技術が確立されていない。

東京電力株式会社と東亜建設工業株式会社は、小型で運搬が容易な堆砂除去装置「マジックボール」を共同で開発し、2008年10～12月の高瀬川第五発電所調整池（長野県大町市）の堆砂除去工事に適用した。

この工事では、機材搬入用の車両が現場まで進入できず、ヘリコプターによる機材運搬・組立を行う必要があったため、小型・軽量の装置としたが、工事条件や現場条件に応じて様々なサイズ・能力で柔軟に設計・製作を行うことが可能である。

本稿ではこの堆砂除去装置マジックボールとその施工管理システムの概要について紹介するとと



写真-1 堆砂除去装置「マジックボール」

もに、マジックボールを使用した工事について概説する。

写真-1 に堆砂除去装置「マジックボール」の概観を示す。

2. 堆砂除去システムの構成

今回高瀬川第五発電所調整池に適用した堆砂除去システムは、マジックボール（球形の堆砂除去装置）、マジックプレーサ（位置決め装置）、マジックコントローラ（遠隔操作盤）、マジックビューア（施工管理システム）から構成されており、これらを組み合わせることにより調整池の堆砂除去を効率的に行う。図-1 に堆砂除去装置マジックボールと位置決め装置マジックプレーサを組み合わせた一般配置図を示す。

球形の堆砂除去装置であるマジックボールは、堆砂を吸引・吐出するための吸入装置を内蔵しており、遠隔操作盤にて吸入装置を起動し、堆砂除去を行う。マジックボールの昇降はマジックプレーサ（位置決め装置）に搭載した昇降ウインチで行い、水平方向の移動・位置決めは陸上部に設置したウインチ3台を操作することにより行う。

本堆砂除去システムの構成と仕様は以下の通りである。

○マジックボール（堆砂除去装置）

径	φ 1,200 mm
質量	450 kg
堆砂吸入装置	1 台
出力	11kW
吐出口径	100 mm

○マジックプレーサ（位置決め装置）（写真-2）

フロート部	
全長×幅×深さ	3.5m×3.4m×0.8m
質量	2,500 kg
昇降ウインチ	1 台
巻上荷重	1,300kg

荒木宏則：東京電力株式会社 高瀬総合制御所長 小林敏晴：東京電力株式会社 松本電力所 土木建築グループ
宮下広樹：東亜建設工業株式会社 土木事業本部 機電部

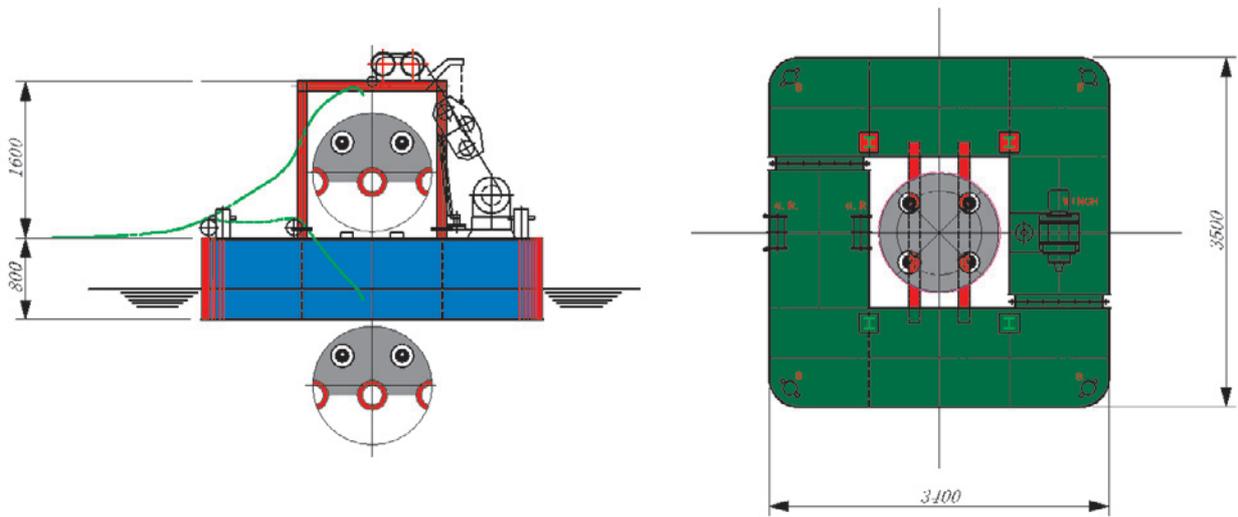


図-1 堆砂除去装置マジックボールと位置決め装置マジックプレーサの配置図



写真-2 位置決め装置「マジックプレーサ」



写真-3 遠隔操作盤「マジックコントローラー」

支持荷重	2,000kg
巻上速度	10m/min
ドラム容量	45m
電動機	3.7kW×4P
質量（電動機を除く）	175 kg
音響測深機	1 台

写真-2 に位置決め装置マジックプレーサの概観を示す。

○操作用ウインチ（陸上設置）

ウインチ	3 台
巻上荷重	2,000kg
支持荷重	2,000kg
巻上速度	10m/min
ドラム	300m
電動機	3.7kW×4P
質量（電動機を除く）	175 kg

○マジックコントローラ（遠隔操作盤）（写真-3）

縦×横×高さ	0.6m×1.2m×1.5m
質量	80 kg
ウインチ個別操作レバー	4 式
ジョイスティック式レバー	1 式
タッチパネル式モニタ	15 インチ

3. 堆砂除去装置の特長

堆砂除去装置「マジックボール」の特長は以下の通りである。

①山間部の調整池や貯水池に適応

小型で計量なため、運搬・組立が可能であり、浚渫船では対応が難しい山間部の調整池や貯水池に適応可能である。また、工事条件等に応じて様々なサイズ・能力で柔軟に設計・製作を行うことが可能である。

②発電所運転状態での施工が可能

発電所を通常運転した状態での施工が可能であることから、これに伴う溢水伝電力の低減を図ることができる。

③余分な水を取り込まず、堆砂を効率的に吸入
 堆砂除去装置に内蔵した吸入装置を起動すると、球体下部と堆砂の接触面では少量の水が流れ、堆砂を巻き込むため、余分な水を取り込まず堆砂を効率的に吸入できる。

図-2 に堆砂除去機構の概要を示す。

④作業効率・安全性が高い

陸上に設置した複数台のウインチを手動・自動で遠隔操作するため、様々な状況に対応可能で作業効率・安全性が高い。

⑤環境に配慮

動力源は主にダム の管理用電力を使用するため、余分な CO₂ の発生を抑制できる。また、堆砂除去に伴う水質汚濁もほとんど発生しない。

⑥直立姿勢を保ち、常に安定した施工が可能

球体上部にフローター、下部にウェイトを内蔵しており、堆砂除去装置は常に直立姿勢を保つことが可能で安定した施工ができる。

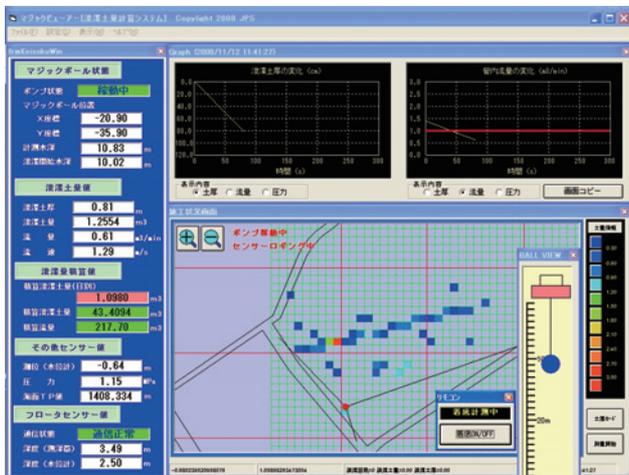


写真-4 マジックビューアー（遠隔モニタ）

4. 施工管理システム

施工管理システム（マジックビューアー）はマジックボール専用の管理ソフトであり、管理項目は排砂管内流量（m³/min）、排砂管内圧力（MPa）、浚渫深度（m）、浚渫座標（X,Y,Z）、浚渫土量（m³）である。写真-4 に本管理ソフトのモニタ画面を示す。

4.1 排砂管内流量

排砂管内の流量を記録し、アナログモジュールを通して計測用 PC ヘデータを転送する。管内流量を管理することで、排砂管の閉塞等のトラブルを未然に防止する。

4.2 排砂管内圧力

流量計と同様に排砂管内の圧力を記録し、アナログモジュールを通して計測用 PC ヘデータを転送する。管内圧力よりポンプの稼動状況を管理する。

4.3 浚渫深度

浚渫深度はマジックボール本体に取り付けた水位計により管理する。マジックプレーサ上の計測用の PC に一度データを蓄積し、無線 LAN を用いて陸上側の計測用 PC ヘデータを転送する。

4.4 浚渫座標

操作用ウインチの繰り出し長を演算することで浚渫座標を設定する。浚渫座標は遠隔モニタ上の平面図上に表示される。過去の浚渫記録は浚渫深度ごとに色分けし、平面図上に表示する。

4.5 浚渫土量

浚渫深度より演算することで概算の浚渫土量を管理する。浚渫土量は 1 施工点の他に 1 日の累計、全浚渫土量の累計を表示する。

図-3 に本施工管理システムの構成を示す。

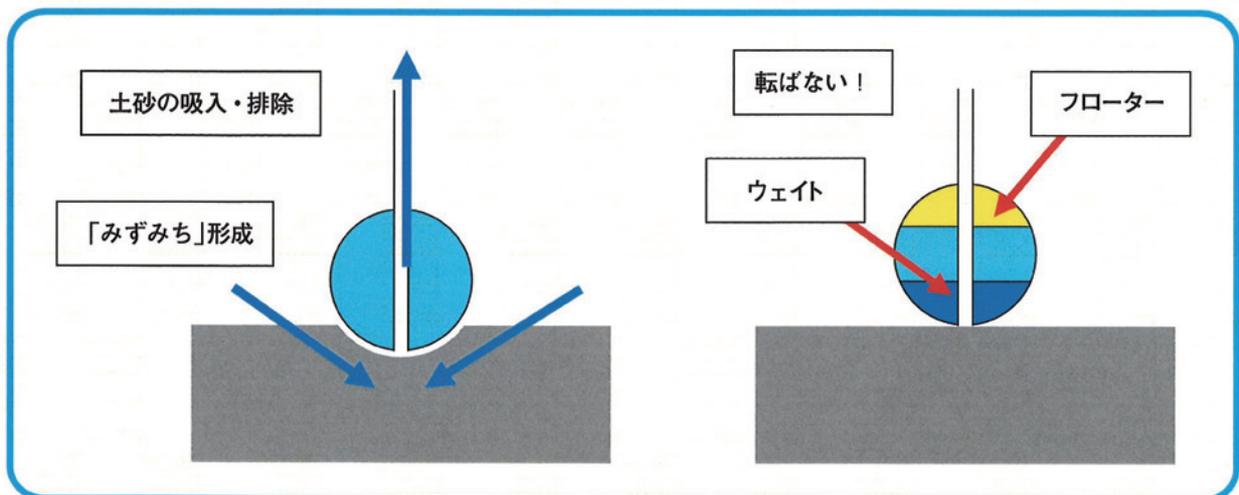


図-2 浚渫機構の概要

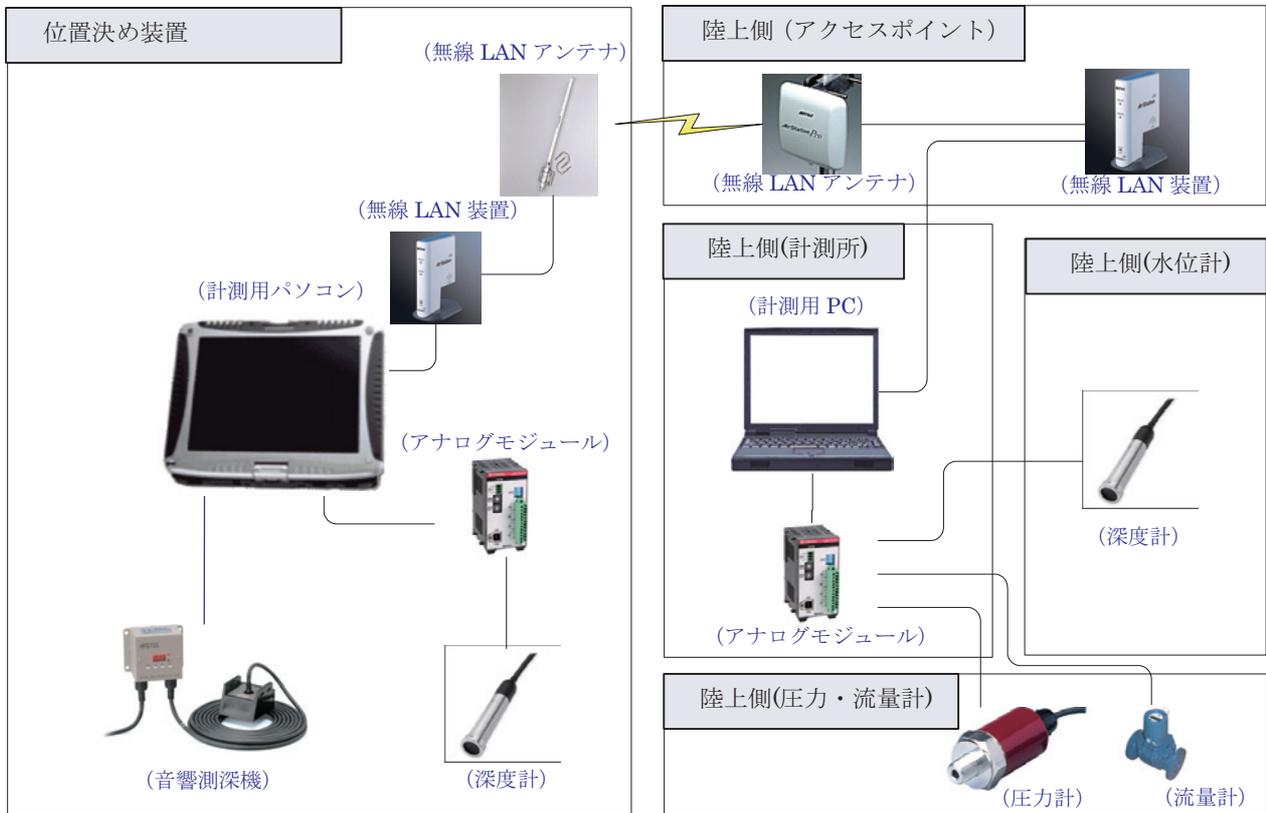


図-3 管理システム構成



写真-5 現場全景



写真-6 ヘリコプターによる機材運搬状況

5. 施工事例

高瀬川第五発電所調整池土砂排除工事（工期：平成 20 年 10 月～12 月）において今回開発した堆砂除去装置マジックボールを採用した。図-4 に本現場の配置図を示す。

本現場は、標高 1,500m 付近の山間部に位置しており、機材搬入用の車両が現場まで進入できないため、ヘリコプターによる機材運搬・組立を行った。

写真-5 に現場全景、写真-6 にヘリコプターによる機材運搬状況を示す。

マジックボールで吸入した土砂は、水上ならびに陸上の排砂管を通して土砂ストック箇所に排砂した。実稼働期間は約 1 ヶ月の昼間作業で、約 1,000 m³ の堆砂除去を行った。

写真-8 に堆砂除去装置マジックボールの運転状況、写真-9 に遠隔操作状況、写真-10 に陸上排砂管設置状況、写真-11 に位置決め装置マジックプレーサの移動状況、写真-12 に排砂口と堆積土砂ストック状況を示す。

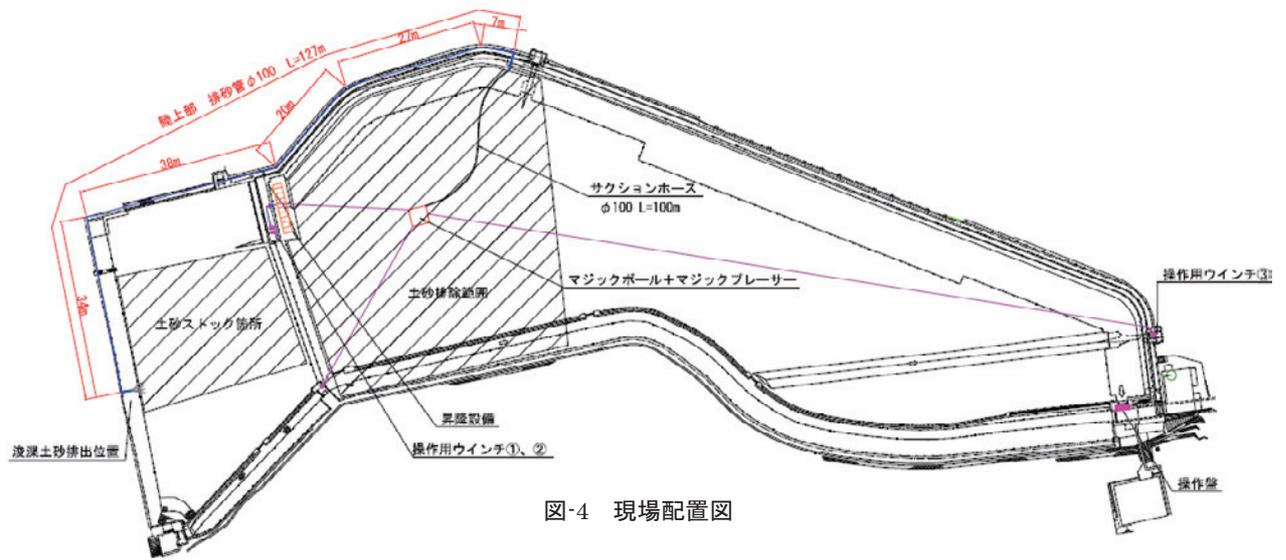


図-4 現場配置図



写真-7 調整池航空写真



写真-8 マジックボール運転状況



写真-9 遠隔操作状況



写真-10 陸上排砂管設置状況



写真-11 マジックプレーサ移動状況



写真-12 排砂口と堆積除去土砂ストック状況

6. おわりに

本稿で紹介したマジックボールは、車両による機材運搬・組立が行えない調整池向けに製作した小型・軽量の堆砂除去装置であるが、山間部のダムや調整池、貯水池だけでなく、一般の船舶・重機では対応が難しい河川、湖沼、港湾構造物近傍など狭隘な水域にも適用でき、性能向上や大型化などにも柔軟に対応できるものとする。今後、さらなる改良を加え、各水力発電所用ダムの調整池や貯水池の有効な堆砂除去技術として採用していく予定である。

最後に本装置の開発ならびに現場施工に際して、ご指導・ご協力頂いた関係各位に感謝の意を申し上げます。

3 7. 端面掘削方式によるバックホウのアタッチメントとしてのローラヘッダーの開発に関する基礎的研究

呉工業高等専門学校 重松 尚久、○花岡 尚
株式会社スターロイ 小田 登

1. はじめに

従来、硬質岩盤を掘削するにあたっては、爆薬やダイナマイト等を用いた発破工法が主流であったが、近年では騒音、振動問題や周囲環境への影響が懸念されている。そのため、機械式掘削工法への移行が注目されている。現在、切削ビットを螺旋状に配置したものを掘削機やバックホウのアタッチメントとして取り付け、回転させながら地盤にあてることにより、チップング効果を利用しながら掘削を行う機械がある。しかしながら、切削ビットの摩耗が著しく、摩耗した状態での掘削は非効率であり、摩耗するたびに交換を必要とするため、効率性と経済性の面で問題を残している。そのため、これらの問題をクリアする掘削方法が望まれるのである。

本研究では、ディスクカッタービットを用いて平面硬質岩盤の掘削を行う掘削機やバックホウのアタッチメントとして位置づけられるローラヘッダーの設計開発に資するための基礎となるデータを得ることを目的とする。図-1 に掘削のイメージを示す。この提案は、掘削面に対し、ディスクカッタービットを 30° 傾けた状態で、掘削を行うというものである。

2. 実験概要

2.1 実験方法

本研究では変位制御による実験を行った。図-2 にディスクカッタービットを取り付けた実験装置の概略図を示す。2 個のディスクカッタービットを供試体の中心から 87mm の位置に向かい合わせに取り付け、回転速度 2r.p.m で回転する供試体にディスクカッタービットを押しつけることにより掘削を行う。掘削速度は、0.028、0.058、0.087mm/s の 3 通りに設定し、実験を行う。ロードセルによって垂直力 F_z 、回転トルク T 、横方向力 F_y を測定し、回転トルク T より転がり抵抗

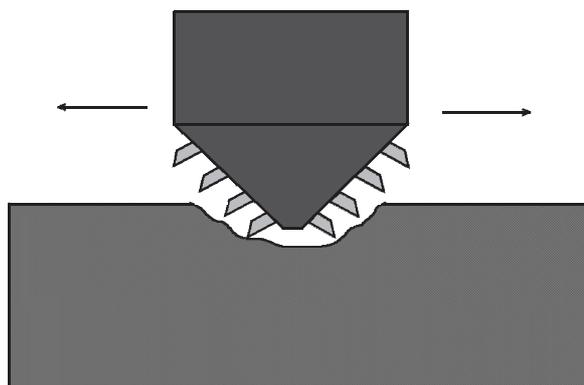
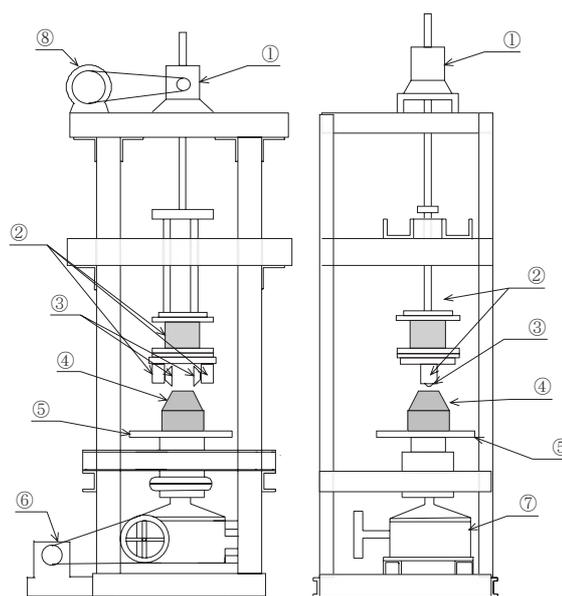


図-1 掘削のイメージ図



- | | |
|---------------|---------------|
| ① ウォームジャッキ | ⑤ ターンテーブル |
| ② ロードセル | ⑥ モータ (1.5kw) |
| ③ ディスクカッタービット | ⑦ 減速機 |
| ④ 供試岩石 | ⑧ モータ (0.2kw) |

図-2 実験装置概略図

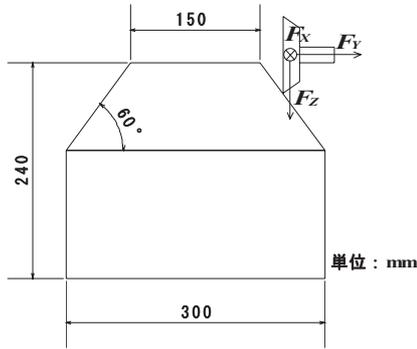


図-3 供試体寸法と

ディスクカッタビットに働く作用力方向

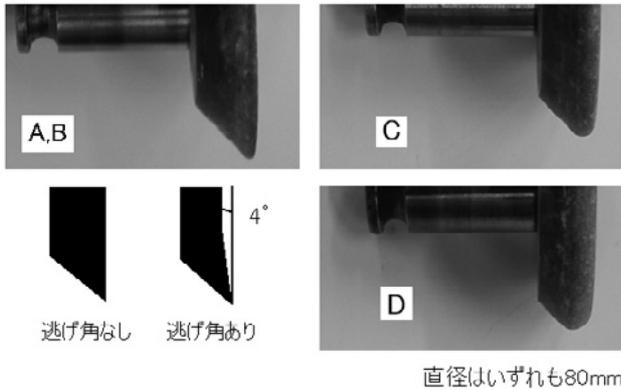


図-4 ディスクカッタビットの形状

F_x を算出し、また、横方向力 F_y は、2つのロードセルから得られる値を平均する。

図-3 に供試体寸法とディスクカッタビットに作用する力の方向を示す。

2.2 ディスクカッタビット

図-4 にディスクカッタビットの形状を示す。ディスクカッタビットは刃先の曲率半径が 1mm の刃 A および刃 B、曲率半径 3mm の刃 C、曲率半径 5mm の刃 D の 4 種類を用いた。曲率半径が大きいほどより摩耗が進行したディスクカッタビットと見立てることができる。なお、刃 A のみ逃げ角 0° であり、刃 B、刃 C、刃 D は逃げ角 4° である。

2.3 供試体

下部は直径 300mm、高さ 110mm の円柱、上部は下面直径 300mm、上面直径 150mm、高さ 130mm の円錐台で構成される。この斜面を掘削することによって、ディスクカッタビットを掘削面に対し 30° 傾けた状態での掘削を再現する。本研究では、高強度モルタル、超高強度モルタルの 2 種類の供試体を用いた。表-1 に高強度モルタルおよび超高強度モルタルの配合表を示す。表-2 にそれぞれの供試体の物性値を示す。高強度モルタルおよび超高強度モルタルの一軸圧縮強度は JIS 規格圧縮強度試験 (JIS A 1108)¹⁾、引張強度は JIS 規格引張強度試験 (JIS A 1113)¹⁾ に従って算出した。

表-1 配合表

	水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	シリカフェーム (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	混和剤 (g/m ³)
高強度モルタル	222	966	96.6	981	19,320
超高強度モルタル	222	1187	118.7	872	26,114

表-2 供試体の物性値

種類	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	引張り強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
高強度モルタル	100	7.8	35
超高強度モルタル	135	7.4	44

3. 実験結果と考察

3.1 実測データ

図-5～図-7 に、超高強度モルタル、刃 C、掘削速度 0.058mm/sec における垂直力 F_z 、横方向力 F_y 、転がり抵抗 F_x の実測値と掘削深さ z の関係をそれぞれ示す。測定したすべての作用力は掘削深さ z が大きくなるに従い、上下に振幅しながら増加している。

図-5 より、掘削深さが約 5mm 付近まで垂直力 F_z が上昇と下降を繰り返す、その後は上下に振幅しながら上昇している。本研究の円錐供試体を用いた実験では、円柱供試体の初期端面掘削²⁾ほど大きな解放は見られないが垂直力 F_z が大きく減少する初期端面掘削が生じ、小さな剥離を連続的に起こすことにより、上昇と下降を繰り返している。その後の定常端面掘削では、切り込み幅 S が増加することにより、供試体を掘削するのに要する力が大きくなり、垂直力 F_z が上昇しているといえる。これは、円柱供試体を用いた研究³⁾でも明らかになっている。掘削深さが約 20mm を越えたあたりから、振幅が大きくなるのは、ディスクカッタビットの側面と供試体との接地面が増加したからだと考えられる。

図-6 より、横方向力 F_y はある程度掘削が進んだところで、わずかな増加が見られるもののほぼ一定の値となる。垂直力 F_z に見られた、掘削深さが約 20mm を越えたあたりから振幅の幅が大きくなる現象は見られなかった。つまり、横方向力 F_y はディスクカッタビット側面に発生する周面摩擦の影響は見られないといえる。円柱供試体を用いた研究³⁾においても横方向力 F_y は切り込み幅が大きくなっても一定であった。

図-7 より、転がり抵抗 F_x が、掘削深さ z が大きくなるにしたがって徐々に増加する要因、および掘削深さが約 25mm を越えたあたりから、振幅の幅が大きくなる要因は、ディスクカッタビット側面と供試体との接地面が増加することにより、周面摩擦が増

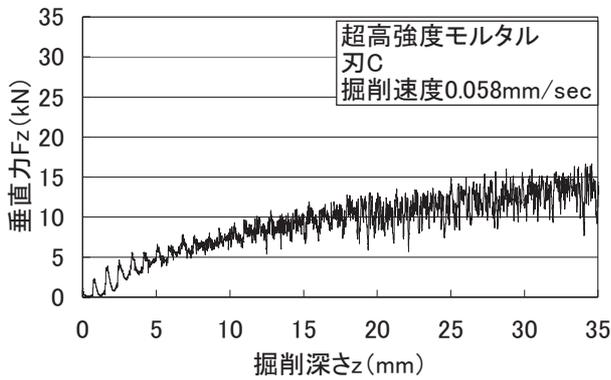


図-5 垂直力 F_z と掘削深さ z の関係

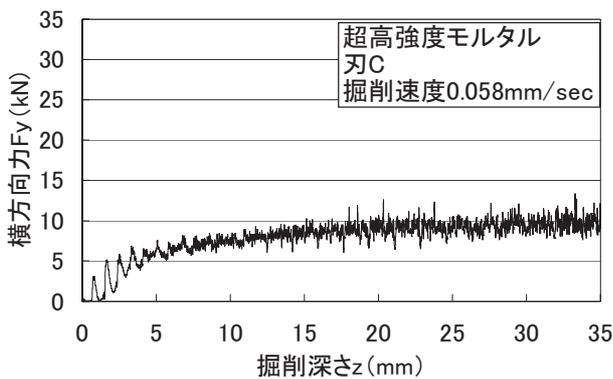


図-6 横方向力 F_y と掘削深さ z の関係

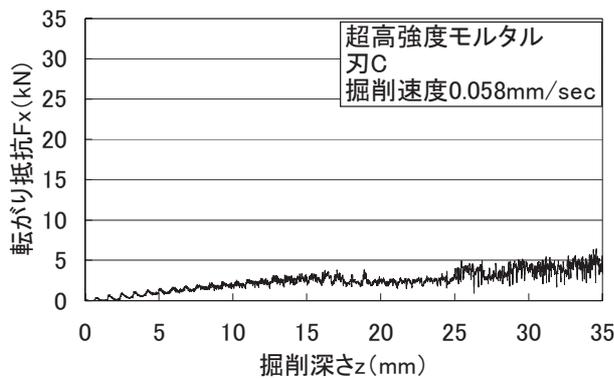


図-7 転がり抵抗 F_x と掘削深さ z の関係

加することが考えられる。

図-8 に超高強度モルタル、刃 C、掘削速度 0.058mm/sec における垂直力 F_z 、横方向力 F_y 、転がり抵抗 F_x と掘削深さ z の関係を示す。この図は、設計上の安全を考慮し、実測値より掘削深さ 5mm 以内の間隔で、最大値を最低一点以上取ったものである。作用力の中でも垂直力 F_z の増加率が最も大きいことがわかる。

これらは、他の実験条件でも同様の傾向が示された。

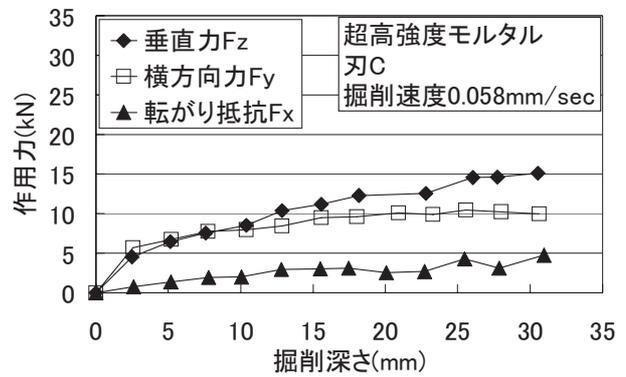


図-8 作用力と掘削深さ z の関係

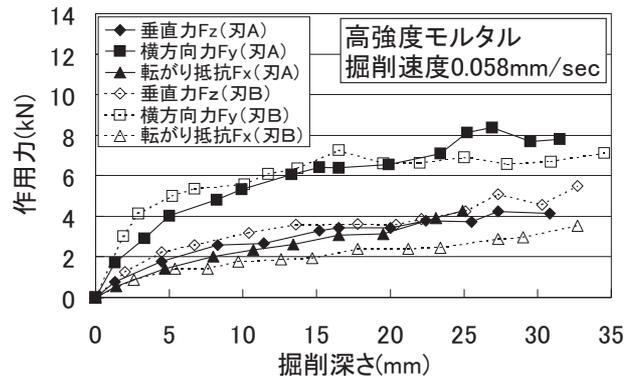


図-9 逃げ角の効果

3.2 逃げ角の効果

図-9 に高強度モルタル、刃 A および刃 B、掘削速度 0.058mm/sec における垂直力 F_z 、横方向力 F_y 、転がり抵抗 F_x と掘削速度の関係を示す。垂直力 F_z および横方向力 F_y は刃 A と刃 B でほぼ同等の力が作用している。転がり抵抗 F_x は、刃 A に比べて刃 B の方が作用する力が約 30~50%低減しているがわかる。つまり、ディスクカッタービットに逃げ角を設けることにより、ディスクカッタービット側面の周面摩擦を低減させ、転がり抵抗 F_x を減少させる効果があるといえる。

3.3 掘削速度による影響

図-10、図-11 に刃 B における垂直力 F_z 、横方向力 F_y 、転がり抵抗 F_x と掘削速度の関係を高強度モルタル、超高強度モルタルの順に示す。これは、各条件において掘削深さが約 25mm-30mm 間の作用力の最大値をそれぞれプロットしたものである。すべてのグラフにおいて、垂直力 F_z および横方向力 F_y は掘削速度が大きくなるにしたがって、増加していく傾向にある。垂直力 F_z および横方向力 F_y の増加率は、掘削速度 0.028mm/sec-0.058mm/sec 間の増加率よりも、0.058mm/sec-0.087mm/sec 間の増加率の方が大きい傾向がみられた。転がり抵抗 F_x については、ほぼ変化は見られないといえる。

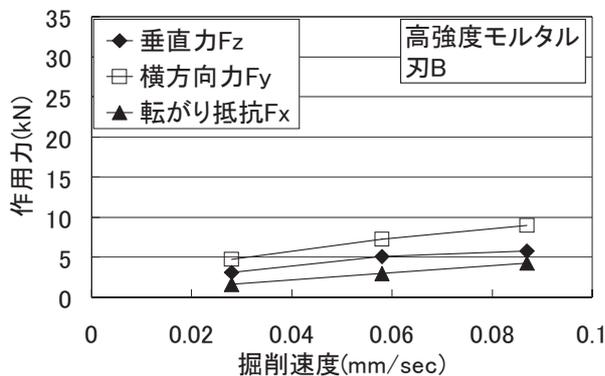


図-10 高強度モルタルにおける作用力と掘削速度の関係

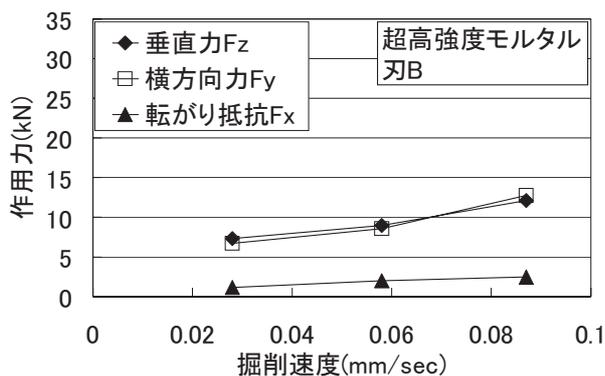


図-11 超高強度モルタルにおける作用力と掘削速度の関係

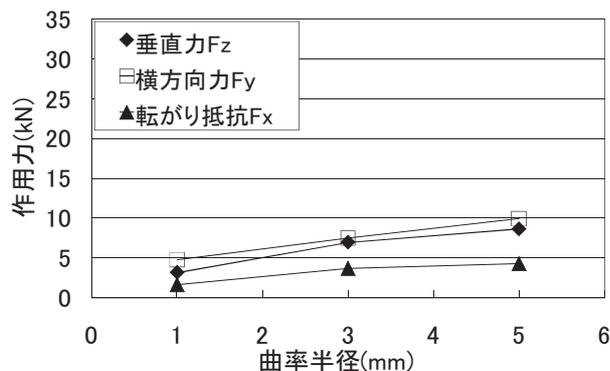


図-12 高強度モルタルにおける作用力と曲率半径の関係

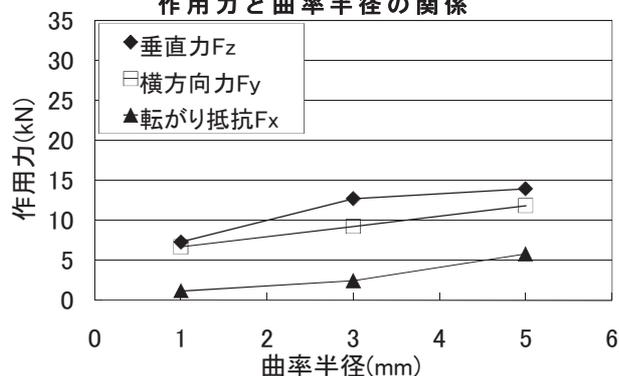


図-13 超高強度モルタルにおける作用力と曲率半径の関係

3.4 曲率半径による影響

図-12、図-13 に掘削速度 0.028mm/sec における垂直力 F_z 、横方向力 F_y 、転がり抵抗 F_x と曲率半径の関係を高強度モルタル、超高強度モルタルの順に示す。垂直力 F_z および横方向力 F_y は曲率半径が大きくなるにしたがって、増加していく傾向にある。垂直力 F_z および横方向力 F_y の増加率は、曲率半径 1mm-3mm 間の増加率よりも、3mm-5mm 間の増加率の方がやや小さい傾向がみられた。転がり抵抗 F_x については、曲率半径の増加に対し比例的に増加する傾向にある。

4. 結論

- (1) 垂直力 F_z は、掘削深さ z が大きくなるにしたがって、切り込み幅が大きくなるので上昇する。
- (2) 横方向力 F_y は、掘削深さ z がある程度大きくなったところで一定となる。
- (3) 転がり抵抗 F_x は、掘削深さ z が大きくなるにしたがって、周面摩擦が大きくなるので上昇する。
- (4) 掘削速度が大きくなると、垂直力 F_z と横方向力 F_y は大きくなり、転がり抵抗 F_x は一定である。
- (5) 曲率半径が大きくなると、すべての作用力は大きくなる。

5. 今後の予定

この度の実験では、変位制御によって実験を行った。今後は応力制御による実験を行い、実機作成のための基礎的データの収集を行っていく予定である。

謝辞 本研究は、(社)日本建設機械化協会の平成20年度研究開発助成を受けて実施しています。

参考文献

- 1) 土木材料実験教育研究会：新示方書による土木材料実験法，鹿島出版会，1997
- 2) 室達朗・土屋清・河野幸一・若林優輔：ディスクカッタビットによるモルタル端面の定常掘削特性に関する実験的考察，土木学会論文集，No.687，pp.37-47，2001.9
- 3) 重松尚久・室達朗・花岡尚：道路建設における環境に優しい硬質岩盤剥離掘削技術の開発，建設施工と建設機械シンポジウム，pp.107-110，2008.10

38. 2層同時施工可能なアスファルトフィニッシャ新型機の開発

大成ロテック株式会社 ○ 関口 峰
大成ロテック株式会社 平野 晃
大成ロテック株式会社 藤枝 隆行

1. はじめに

わが国における道路舗装は、高度経済成長期を経て着実に整備され、舗装率の上昇とともに、道路基盤の利便性や質が向上してきたといえる。近年は、車両交通の安全性確保や騒音低減を目的とした低騒音型排水性舗装が増加するなど、機能性舗装が施工実績を伸ばし、広く普及している。また、現在の経済状況を考慮した道路建設コスト削減やCO₂削減等の地球環境に配慮した技術の開発も求められており、舗装に対する要求事項は多種多様化している。

当社は、それらの舗装技術に対するニーズを踏まえ、アスファルト舗装工事における施工の効率化・合理化による工期短縮、コスト削減を目的に平成10年度に世界初となる2層同時施工が可能な「マルチアスファルトペーパー」(以下、MAP)をMAP工法研究会会員各社(大林道路㈱, 世紀東急工業㈱, 大成ロテック㈱, 東亜道路工業㈱, 福田道路㈱, 前田道路㈱, 住友建機㈱)と共に開発した。

しかし、従来機開発から約10年が経過し、各装置の老朽化による更新時期を迎えていることに加えて、「機械輸送に関わる規制による施工機の小型化」・「排ガスや騒音対策の強化」等の要求により、MAP工法研究会会員各社と共にMAPの全面的な見直しを実施した。

本文では、その新型機の概要および特徴、新型機を使用した施工事例などを紹介する。

2. MAPを使用した施工方法の概要

MAP工法は、2基のアスファルト混合物用ホップと2組のスクリードを装備したMAPを使用して、2種類のアスファルト混合物を上下2層に同時施工する「デュアルアスファルトペーパーメント工法」と、2種類のアスファルト混合物を複数レーンに同時

施工する「マルチレーンペーパーメント工法」がある。

以下にこれら2つの工法について、その概要を示す。

2.1 デュアルアスファルトペーパーメント工法

この工法は、上層と下層のスクリードにより、2種類の異なるアスファルト混合物を上下2層同時に敷き均す工法である。

異なるアスファルト混合物を2層同時に敷き均すことでの主なメリットを以下に示す。

- 1) 表層と基層を同時に施工することで、施工時間を短縮できる。
- 2) 層間へのタックコート散布が不要となり、施工時間の短縮、コスト削減が期待できる。
- 3) 1層の施工厚さを薄くしても、2層同時に施工することにより、転圧時の総施工厚さが標準厚さであれば、締め固めを確保しやすくなる。
- 4) カラー舗装や排水性舗装などの機能性舗装を薄層化して基層と同時施工することで、各層を、各々の粗骨材の最大粒径の1.5~2.5倍程度の薄さで敷き均す事が可能となり、従来の最大粒径の3~4倍の敷き均し厚で1層のみで施工する場合と比較して、高価な材料の使用量を減らすことができ、コスト削減が図れる。

カラーアスファルト混合物を適用した舗装構成例を図-1に示す。また、図-2に低騒音舗装の舗装構成例を示す。



図-1 カラーアスファルト混合物を適用した舗装構成例

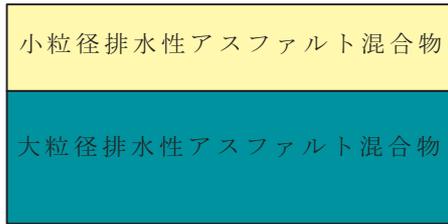


図-2 低騒音舗装の舗装構成例

2.2 マルチレーンペーブメント工法

この工法は、専用のスクリッドユニットを装着することで、図-3に示すような2種類の異なる混合物を道路の縦断方向に帯状に同時施工する工法である。主な活用例を以下に示す。

1) 耐流動性対策

重交通路線等の耐流動対策として、耐流動性に優れた改質アスファルト混合物を車輪走行部のみに適用し、非わだち部には、一般のアスファルト混合物を使用することで、合理的な舗装の施工が可能となり、コスト削減が期待できる。

2) 景観舗装

色彩の異なる2種類のカラーアスファルト混合物を使用することで景観舗装等にも利用することが可能である。

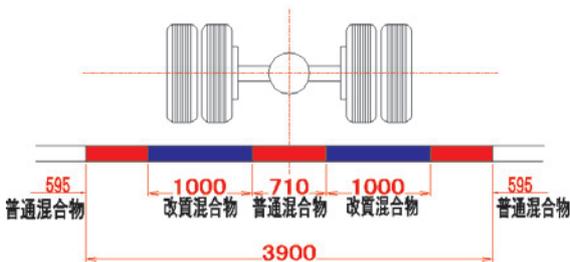


図-3 マルチレーンペーブメント工法例

3. 新型MAPの開発目標

新型MAPの開発目標を以下に示す。

1) 施工性の向上および省力化

作業装置を集約し、利便性を図ること

で、操作性を容易にし、施工性の向上および、省力化を実現する。また、機械周囲の死角を解消し、安全性を確保向上させる。

2) 機械の軽量化

従来機においては、機械輸送時の総重量が45t超となり特殊車両通行許可取得が容易ではなかった。そこで、機械重量を軽量化(23t程度)することで輸送総重量を45t以下とし、特殊車両通行許可取得を容易とする。

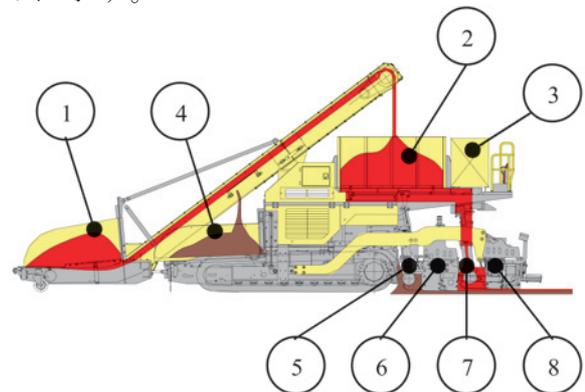
3) 環境対策の強化

社会的ニーズが高まっている環境問題への取り組みとして、排ガス(排ガス黒煙濃度25%以下)および騒音(騒音基準値107dB以下)に関する国土交通省指定建設機械の認可を取得し、環境負荷の低減に努める。

4. 新型MAPの開発結果

4.1 新型MAPの概要

同機は、住友建機(株)製のアスファルトフィニッシャ HA90C(舗装幅員9.0m級)をベースマシンとし製作した。主要装置は、チャージングホップ・チャージングフィーダ(脱着可能式)、上下層のアスファルト混合物用ホップ、上下層のスクリュウおよび上下層のスクリッドと各操作盤やモニターで構成されている。デュアルアスファルトペーブメント工法におけるMAPの機構を図-4に示す。



新型MAP主要装置構成

- ①：チャージングホップ・フィーダ
- ②：上層ホップ・上層スクリュウコンベア
- ③：運転席他
- ④：下層ホップ
- ⑤：下層スクリュウ
- ⑥：下層スクリッド
- ⑦：上層スクリュウ
- ⑧：上層スクリッド

図-4 MAP 新型機機構図

4.1.1 アスファルト混合物移送経路

新型 MAP の敷き均し機構を以下に示す。

- ① ダンプトラックでアスファルト混合物をチャージングホッパに供給する。
- ② チャージングホッパに供給されたアスファルト混合物は、チャージングフィーダのフライトコンベアによって下層および上層敷き均しアスファルト混合物用ホッパに各々供給される。各ホッパへの供給の切換は、チャージングフィーダのドラッグ板に設けられた切換ゲートを開閉することによりアスファルト混合物が混合することなく供給される。
- ③ 下層ホッパのアスファルト混合物は、バーフィーダコンベアにより下層スクリーンに供給され、敷き均される。
- ④ 同様に上層ホッパのアスファルト混合物はスクリュウコンベアにより上層スクリーンに供給され敷き均される。

新旧 MAP の外観比較を写真-1 および写真-2 に示す。



写真-1 新型 MAP 外観写真



写真-2 従来型 MAP 外観写真

4.1.2 主要装置の特徴

新型 MAP 主要装置の特徴を以下に示す。

1) チャージングホッパ・チャージングフィーダ

MAP の従来機では、ダンプトラックによりチャージングホッパに供給されたアスファルト混合物をスクリュウで中央へかき寄せ、チャージングフィーダにより各ホッパ搬送する特殊な機構であった。そのため、故障等のトラブル発生頻度が高かった。そこで、MAP の新型機では、汎用アスファルトフィニッシャと同様のホッパ式およびバーフィーダ構造を採用した。

2) 上層アスファルト混合物用ホッパ

実容量は、6.5 m³である。従来機では、斜板油可倒式であったが、ホッパ式を採用した。また、スクリーンへのアスファルト混合物供給方法は、スペースをコンパクトにするため、グースフィニッシャ等で実績のあるスクリュウコンベアを採用した。(写真-3 参照)



写真-3 上層スクリュウコンベア

3) 下層アスファルト混合物用ホッパ

実容量は、2.8 m³である。汎用アスファルトフィニッシャと同様のホッパ式とバーフィーダ方式を採用した。

4) 下層敷き均し用スクリーン

デュアルマット型スクリーン(2枚スライド式)を採用し、締め固め装置として、シングルタンパを備える。

5) 上層敷き均し用スクリーン

従来機では、タンパ・バイブレータ方式の3スクリーンであったが、軽量化を図るため、下層スクリーンと同様のデュアルマット型スクリーンを採用し、締め固め装置は、舗装表面性状を確保するためタンパ・バイブレータ方式とした。(写真-4 参照)

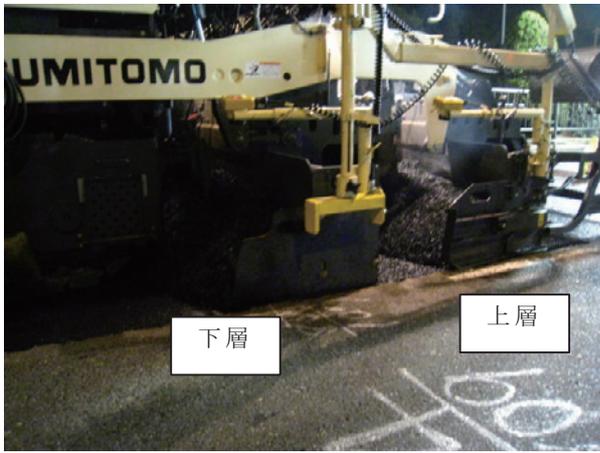


写真-4 上層および下層スクリード

4.2 開発目標への対応

開発目標に対する改善結果を次項に示す。

4.2.1 施工性向上と省力化への対応

従来機では専属の運転手が運転席で行っていた走行操作をチャージングフィーダ操作員が、兼務する機構とした。更に、全ての作業装置の操作系統を集約させ、スクリードステップ上で操作を可能な機構としたことで、従来の4名体制のオペレーティングから3名での施工が可能となった。

運転操作員削減に伴う安全性の確保として、機械周囲の死角およびホップ内部に複数の監視カメラを設置し、各オペレータがモニターで視認可能としたことで、安全性が確保されると共に施工性の向上に寄与できた。死角部監視モニターを写真-5に示す。



写真-5 監視モニター

4.2.2 機械重量の軽量化への対応

新旧 MAP の主要諸元の対比を表-1に示す。

表-1 主要諸元対比表

項目	新型機	従来機
全長(作業時)	9760 mm	10468 mm
全幅(回送時)	3000 mm	2990 mm
全高(作業時)	4250 mm	4220 mm
総重量	23.5 t	27.5 t
機関出力	132.1 kw	138 kw×2 基
舗装幅	2.5~4.5 m	2.5~6.0 m
下層スクリード	T式 2スクリード	TV式 2スクリード
上層スクリード	TV式 2スクリード	TV式 3スクリード

表-1の総重量対比より、約15% (約4.0t)の軽量化を実現することができた。これにより、輸送総重量45t未満の特殊車両での輸送が可能となったことで、特殊車両通行許可取得も容易になり、輸送コストの軽減ができた。また、チャージングフィーダを脱着分離型としたことで、20tトレーラと10tトラックでの分割輸送も可能とした。(※ただし現場にて組立必要)

チャージングフィーダを分離した状態の外観を写真-6に示す。



写真-6 チャージャー分離型外観

4.2.2 環境負荷低減への対応

従来機は、チャージングフィーダと機械本体の各々に動力源を必要とし、駆動動力確保のため、138kwのエンジンを2機搭載していた。新型MAPにおいては、地球環境への負荷低減を目的として国土交通省第三次基準値排ガス対策型エンジン(132.1kw、

表-1 参照) を 1 基のみ搭載し、施工能力を低下させることなく、全作業装置の動力を確保可能な機構に改良した。結果として、排ガスおよび騒音に関する国土交通省指定建設機械の基準値をクリア(排ガス黒煙濃度測定値 0%, 騒音測定値 104dB)することができ、従来機と比較して、燃料消費量および CO₂ 排出量の約 50%削減を実現することができた。

5. 施工事例

兵庫県的一般国道において、新型 MAP による「デュアルアスファルトペーパメント工法」を適用した切削オーバーレイ工事をを行った。

以下に施工事例を紹介する。

5.1 工事概要

当該工事は、既設のアスファルト舗装を 100mm 切削後、基層(再生粗粒度アスファルト混合物(20): t=50mm)の敷き均しを行い、表層(上層 小粒径排水性アスファルト混合物(5): t=20mm 下層 排水性アスファルト混合物(13): t=30mm)の施工を実施した。

工事概要を表-2、舗装構成を図-5に示す。

表-2 工事概要

工事対象	一般国道(片側4~5車線)
工事場所	兵庫県神戸市
施工時期	平成20年12月18日 ~平成21年2月23日
施工幅員	2.8~4.5m
施工面積	18,870m ²



図-5 舗装構成

5.2 施工

施工フローを図-6に示す。

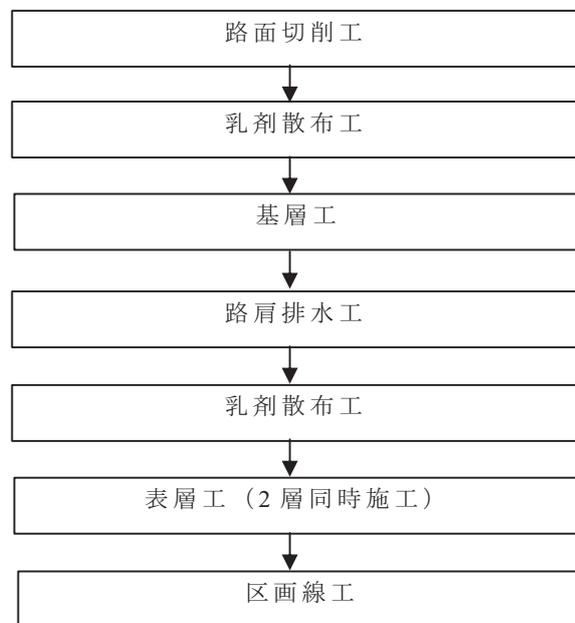


図-6 施工フロー

5.2.1 基層施工

当初の計画では、基層施工は、汎用のアスファルトフィニッシャーを使用して施工を行う予定であったが、施工時間短縮および施工コスト削減を目的として、MAPを使用し施工を行うこととした。施工は、上層敷き均し用ホッパにアスファルト混合物を取り込み、上層スクリードで敷き均しを行い、通常のアスファルトフィニッシャーと同様な施工を行った。

5.2.2 表層施工

表層施工における主な留意点を下記に示す。

1) アスファルト混合物の確認

2種類のアスファルト混合物を使用するため、材料の受け入れミスが発生する可能性が懸念された。受け入れるアスファルト混合物の識別を明確にするため、ダンプトラックの運転席前に混合物名を明記したボードを設置し、2色の回転灯を準備した。

2) チャージングホッパの管理

2種類のアスファルト混合物を交互に受け入れる施工を行うため、各アスファルト混合物が混ざる可能性が懸念された。そのため、アスファルト混合物受け入れの際には、先に受け入れたアスファルト混合物をホッパ内に残さないようにし、また、チャージングフィーダを十分に空運転させることで、フライトコンベア内に付着したアス

ファルト混合物を排出し、2種類のアスファルト混合物が混ざらないようにした。

3) アスファルト混合物搬入順序の確認

上層，下層で施工厚が異なるため，各アスファルト混合物の時間当たりの使用量も異なる。スムーズな連続施工を行うためには，2種類のアスファルト混合物のホッパ内の残数量を適宜確認しながら，受け入れ順序を決定した。

5.3 施工結果

新型 MAP を当該工事に導入したことで，施工日数を 5 日間短縮することができた。また，当初計画に対して基層と表層を MAP により，兼用施工することで，機械経費の削減が図れた。表層施工状況を写真-7 に示す。



写真-7 表層施工状況

平坦性の測定結果を表-3 に示す。上り線 $\sigma=0.74\text{mm}$ ，下り線 $\sigma=0.89\text{mm}$ と優れた平坦性が得られた。

表-3 平坦性測定結果

項目	上り線	下り線
規格値 (mm)	2.4 以下	
最小値 (mm)	0.55	0.69
最大値 (mm)	1.12	1.14
平均値 (mm)	0.74	0.89

6. まとめ

新型 MAP 開発により得られた所見を以下に示す。

- ① 作業装置を利便化し，操作性を容易にし

たことで，施工性が従来機対比で，約 30% 向上した。また，運転操作人員も 25% 削減され省力化が図れた。

- ② 省力化に伴う安全対策として，機械周囲の死角部に対する監視モニタリング機能により安全性が向上した。
- ③ 汎用機を用いたベースマシンの設計，動力性能の改善，スクリードの軽量化等により従来機対比で，約 15% の軽量化を達成した。
- ④ 軽量化および作業装置の分割輸送により，運搬経費の削減を実現した。
- ⑤ 排ガスおよび騒音ともに基準値をクリアし，国土交通省指定建設機械に認定された。
- ⑥ 環境負荷低減対策として，エンジン出力の半減化に成功し，燃料消費量及び CO₂ 排出量を従来機対比で約 50% 削減できた。

7. 今後の課題

今回開発した新型 MAP の主な課題点を以下に示す。

- 1) 機械装置の耐久性の向上
軽量化に伴う部材強度および消耗部材耐久度の検証が必要である。
- 2) 作業装置のメンテナンス性の向上
トラブル発生が想定されるチャージングフィーダ等の材料供給システムのメンテナンスを容易にする。
- 2) 施工データの蓄積

新型 MAP は，開発されて日も浅く，施工実績が少ない。「マルチレーンペーブメント工法」も含め，施工実績を増加させ，施工データの蓄積が必要である。

8. 終わりに

MAP を使用した施工は，「デュアルアスファルトペーブメント工法」を主体に，施工実績を伸ばしている。今後は，MAP 工法研究会会員各社と共に，当該工法の普及に努めていく所存である。

3.9. 空気連行型翼式超高压喷射工法の概要と適用事例

— N J P 工法による農地防災用水路築造工事への適用事例 —

農林水産省 中国四国農政局 上岡 雅司
小野田ケミコ株式会社 鈴木 孝一
西尾 経
○森 邦広

1. はじめに

近年では市街地郊外において、急速な生活環境の変化や都市化に伴い、下水管渠やボックスカルバート等の水路整備が進められている。その築造方法では立坑部、水路部を開削工事によって行われる場合が多い。掘削に伴い山留め壁の安定確保が必要なことから、一般的に先行地中梁および盤ぶくれ防止を目的とした地盤改良施工が行われている。地盤改良において、地下水位が高い場合には掘削に伴う止水性、土留め壁との密着性、安定した強度発現等を確保する必要があるため、ジェットグラウト系工法が適用される場合が多い。

本工法は、ジェットグラウト系工法の一つで、空気連行型二重管攪拌翼方式による超高压喷射攪拌工法（以下 N J P 工法と略記する）で、改良径 ϕ 1.6~2.2m が造成され、従来工法に比べ、短い改良時間で、排泥量の大幅な低減、高い施工効率による工期短縮等の特徴を持つ地盤改良工法である。

ここでは、本工法の概要とその施工事例として、徳島県吉野川下流域地区において、農業用水の安定的な供給を図るための用水路の築造に伴う一環として、開削土留工の安定を目的とした本工法の適用事例を報告する。

2. N J P 工法の概要

2.1 N J P 工法の改良原理と特徴

N J P 工法は、**図-1**に示すように二重管ロッドに装着した N J P 特殊攪拌翼の先端部から、圧縮空気を連行させ、同時に固化材スラリーを超高压噴流の流体エネルギーにより地盤を切削し、円柱状の改良体を造成する。**写真-1**に造成された N J P 改良体を示す。圧縮空気の併用により、対象地盤内では強力なキャビテーションによって、切削破壊・土粒子の再配列が生じ、短時間に改良径 ϕ 1.6~2.2m の大口径の改良体を造成できる。改良時に生じる排泥土量は、従来工法と改良 1 m^3 当たりの発生土量を比べると、 $1/3\sim 1/4$ と少く、産業廃棄

物処理量の大幅な低減ができ、環境負荷の少ない工法である。また、改良時には地盤内で切削作用を終えた空気が N J P 特殊攪拌翼で形成した孔壁内を通じて、切削された排泥土とともに安定的、かつ確実に地上に排出させるため、施工時の地盤変位等が抑制され、低変位な施工も可能である等の特徴を有する。

さらに N J P 特殊攪拌翼外周部が超高压噴流による攪拌のため、山留め壁、基礎杭等への密着施工や改良体相互のラップ施工が容易にでき、山留め壁体との止水性の確保が図れる。また、施工機械

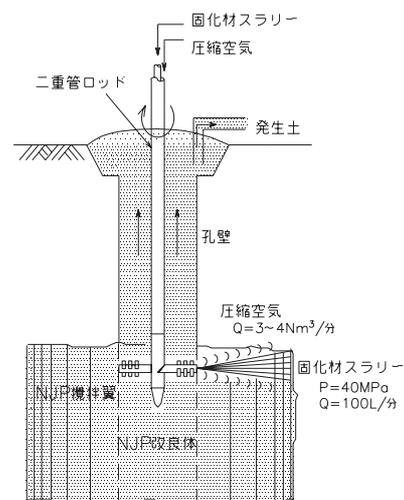


図-1 空気連行型二重管攪拌翼式超高压喷射攪拌工法 (N J P) の改良原理



写真-1 N J P 攪拌翼と造成改良体

は軽量小型で機動性の高い工法である。

2.2 標準改良径と改良仕様

NJP 工法は、従来ジェットグラウト系方式とは異なり、ロッド先端部にφ0.4mの特殊攪拌翼を装着していることが特徴である。標準改良径Dは、高圧噴射攪拌のため、適用土質により異なるが、表-1に示すように、単位m当たりの改良時間の設定により、φ1.6m～φ2.2mの円柱状の改良体を造成するものである。なお、礫を含む場合には、N値が小さくとも設定改良径は十分に検討する必要がある。

NJP 施工における改良仕様は、φ0.4mの特殊攪拌翼を用い、超高压流体域では固化材スラリーを圧力 $p=40\text{MPa}$ 、吐出量 $q=100\text{l/分}$ で、また、空気噴流体域では圧縮空気を連行させ、 $p_a=0.8\sim 1.0\text{MPa}$ 、 $q_a=3\sim 4\text{Nm}^3/\text{分}$ を同時に噴射し、攪拌混合する。表-2にNJP工法の改良仕様を示す。

表-1 土質条件と標準改良径

改良時間t(分/m)	標準改良径 D(m)		
砂質土	$N \leq 10$	$10 < N \leq 20$	$20 < N \leq 30$
	粘性土	$S_u \leq 10$	$10 < S_u \leq 30$
6		2.0	1.8
8	2.2	2.0	1.8

*NJP攪拌翼径φ0.4mの場合

表-2 改良仕様

項目	施工仕様	
NJP特殊攪拌翼径	φ0.4m	
超高压流体域	吐出圧力	$p=40\text{MPa}$
	吐出量	$q=100\text{l/分}$
空気噴流体域	圧力	$p_a=0.8\sim 1.0\text{MPa}$
	吐出量	$q_a=3\sim 4\text{Nm}^3/\text{分}$

2.3 NJP改良体の設計の考え方

NJP 工法では、均質な改良強度、掘削等に伴う高い止水効果、土留め壁との密着性等の外力に安定した強度が必要であることから、各土質に応じ改良体の設計基準強度を設定している。表-3にその設計基準強度を示す。なお、使用する固化材スラリーは、専用固化材としてケミコC201Sを使用するものとする。

山留め壁を用いた開削工事等における底盤部等の改良厚さの設定では、設計計算結果によるものの、最小改良厚さTを $T=1.5\text{m}$ としている。

表-3 改良体の設計基準強度

使用固化材	土質	一軸圧縮強度 $qud(\text{kN/m}^2)$	粘着力 $C(\text{kN/m}^2)$	弾性係数 $E_{50}(\text{kN/m}^2)$	付着力 $f(\text{kN/m}^2)$	曲げ引張強度 $\sigma_t(\text{kN/m}^2)$
ケミコC201S	砂質土	2000	400	20×10^4	1/3×C	2/3×C
	粘性土	700	300	7×10^4		
	有機質土	200	100	2×10^4		

2.4 施工機械

NJP 施工機械は、NJP 施工機本体部とプラン



写真-2 NJP 施工機本体全景

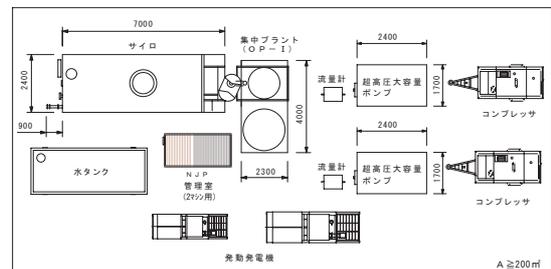
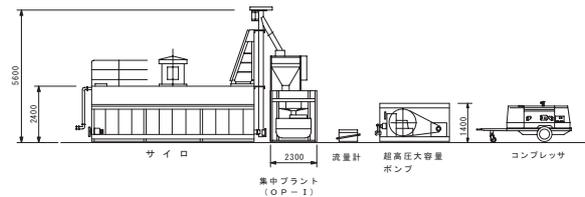


図-2 NJP プラント設備配置図(2セット例)

表-4 施工機械仕様

機材名	仕様	容量
NJPマシン	70.6kN・m, 施工管理システム付	30kW
スライドベース	標準10mスパン, 駆動装置	
スラリープラント	20m ³ /h, サイロ付	15.6kW
超高压大容量ポンプ	$p=40\text{MPa}$, 可変型	110kW
コンプレッサ	$p=1.05\text{MPa}$, $q=18\sim 19\text{m}^3/\text{分}$	140kW
NJP管理装置	集中管理装置	3.8kW
発動発電機	200kVA超低騒音型	195kW
	350kVA超低騒音型	331kW
バックホウ	平積0.4m ³ , 排出ガス対策型	64kW

ト部により構成される。NJP 施工機本体では、NJP マシンを専用スライドベースに搭載することで、機械移動やロッド接続作業等において、ラフテレーンクレーン等の重機使用の必要性がなく、施工の効率化、機動性を高めている。写真-2にNJP マシンの施工機本体を示す。また、プラント部では、固化材スラリーを安定的に混練できるように図-2に示すように設備を配置する。表-4は、NJP 施工に使用する主な機械仕様を示す。

2.5 施工方法

NJP 工法の施工方法は、図-3に施工手順を示す。施工手順は専用スライドベースに搭載したNJP マシンにより、NJP 特殊攪拌翼を所定の深度まで貫入する。次にNJP マシンの管理操作盤において、改良時間、ロッド回転数を設定する。改良仕様で定めた超高压流体域の固化材スラリーの圧力、吐出量および圧縮空気を連行させ、圧

力、風量を確認した後、引上げを開始し造成する。

このとき、NJP 施工管理システムでは、改良造成に必要な施工管理データをプラント部および NJP マシン部から検出し、集中管理装置に送信され自動記録される。施工管理データ等の管理数値はモニタリングでき、集中管理室および NJP マシンオペレータともに同時にリアルタイムで確認することができる。NJP 改良体を造成する場合に必要な主な施工管理データの深度(改良時のみ)、固化材スラリー吐出圧力・吐出量およびエア吐出圧力、風量を改良仕様に定めた管理値により監視するものである。

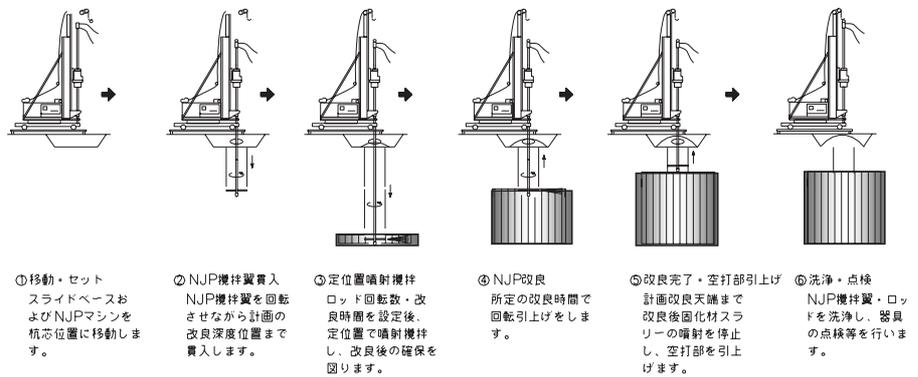


図-3 NJP 施工手順図



写真-3 現状の用排兼用の開水路¹⁾

3. NJP工法による農業用水路築造施工事例

3.1 事業概要

吉野川下流域地区は徳島県の北部に位置し、東西を貫くように流域が形成されている。吉野川下流域農地防災事業は、塩害や生活排水などの影響で農業用水の水質が悪化し、営農に制約が出ている吉野川下流の左岸地域の農地に吉野川本川のきれいな水を安定的に供給し、生産性の向上と農業経営の安定を図るものである。現在の用水路は、用排兼用の開水路が多く、隣接の吉野川北岸地区に比べ、パイプライン化が遅れている。このため、生活排水等が農業用水路に流入し水質悪化を招いている¹⁾。図-4に用水路の現況と整備後の水路構造を示す。また、写真-3に現状の用排兼用の開水路状況を示す。

本工事は、農業用水路の築造に伴う一環として、立坑および開削土留工の先行地中梁および盤ぶくれ防止を目的とした地盤改良工事の事例を以下に示す。

3.2 地盤改良工法の計画と選定

用水路形式のボックスカルバート(Box-C)の設置方法においては、従来では余裕幅を確保した開削方法によって行われていた。しかし、最近では用地買収面積の縮小を考慮し、余裕幅を確保しないゼロスペース開削方法が多く採用されてきた。

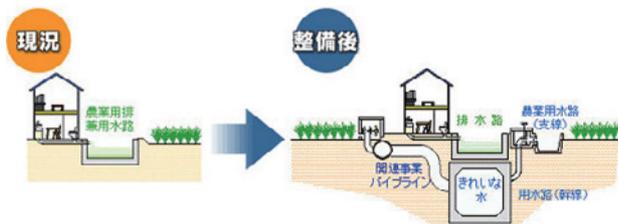


図-4 用水路の現況と整備後の水路構造¹⁾

改良方式	空気連行型 二重管攪拌翼式	二重管式	三重管式
改良原理図			
地盤条件	粘性土 $30 < S_u \leq 50 \text{ kN/m}^2$	砂地盤 $10 < N \leq 20$	
有効造成径	$\phi 1.8 \text{ m}$	$\phi 1.4 \text{ m}$	$\phi 1.8 \text{ m}$
造成時間	8分/m	20分/m	20分/m
排泥量比率	1	3	3.5
工期比率	1	2.5	4

図-5 地盤改良工法の選定比較図

当該施工地区では、Box-C 下端に軟弱粘性土が分布しており、鋼矢板による土留め壁と砕石置換+地盤改良工が計画された。地盤改良工法の選定にあたり、開削に伴うドライ施工による止水性、鋼矢板との密着性、および設計上必要な確実性の高い改良強度等が求められ、ジェットグラウト系(JG系)工法が提案された。JG系工法のうち、図-5に示すような各工法の比較検討を行った結果、排泥量が従来JG系工法の1/3以下に減少し、高施工能率による工期の短縮等により、経済性の高いNJP工法が選定された。

3.3 各工事区の施工概要

本工事は、農業用水路の築造に伴うS水路(O1)工事および開削工に伴う改良工事としたN水路(H4)工事の2事例を報告する。表-5にその工事概要を示す。

S水路(O1)工事では、 $\phi 1500$ 埋設管の推進を

表-5 各施工例の工事概要

	S水路(O1)工事		N水路(H4)工事
	発進立坑部	到達立坑部	水路開削部
施工目的	先行地中梁、底盤改良		盤ぶくれ防止、支持力増加
貫入長 L	10.58m	11.21m	8.73m
改良長 Lc	2.3m+1.5m	2.1m+1.5m	2.2m
施工本数	30本	35本	249本
設計強度 qud	地中梁部 700kN/m ²		700kN/m ²
	底盤部 2000kN/m ²		

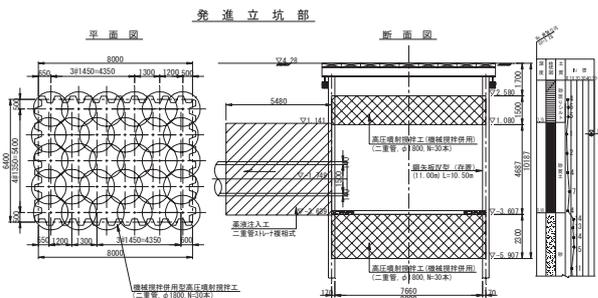


図-6 発進立坑の先行地中梁及び底盤改良例

目的として発進および到達立坑の築造が計画された。事前調査の結果、発進立坑部では $N=5$ 、 $S_u \div 50\text{kN/m}^2$ の砂混りシルト層、また、到達立坑部は、底盤改良部分で $N=21$ の砂層が確認された。NJP 改良配置では、改良径 $\phi 1.8\text{m}$ とし、先行地中梁厚 1.5m、底盤改良部 2.1m~2.3m 厚とした。また、改良時間 $t=8$ 分/m、設計強度 $qud=700\text{kN/m}^2$ とした。図-6 に発進立坑の NJP 配置例を示す。

N水路(H4)工事では、幅 4m の水路を延長 116m に渡り、鋼矢板を土留め壁とし開削によりボックスカルバートを築造する計画である。底盤改良位置の GL-7.1m~9.4m 付近の土質は、 $N=6$ の砂まじりシルトで構成されている。NJP 改良配置では、改良径 $\phi 1.8\text{m}$ とし、図-7 に示すような配置とした。

3.4 施工結果

S水路(O1)工事において、立坑付近は狭隘で民家に近接している箇所の施工環境であった。また、N水路(H4)工事では、施工延長が長く、NJP 施工機のスライドベースは仮設鋼上を自走が可能ことから機動性が高く、効率的な施工が可能であった。写真-4 にその施工状況を示す。NJP 施工後の各工事の現場改良強度の結果を表-6 に示すが、いずれも設計強度を満足している。

各工事の掘削に伴う改良効果では、山留め壁の変形、近隣への影響もなく、開削作業では止水効果も高くドライ施工ができた。写真-5 に NJP 改良後の開削した水路部の床付け部の状況を示す。

4. まとめ

二重管攪拌翼方式による NJP 工法は、改良径 $\phi 1.6\sim 2.2\text{m}$ で、従来工法に比べ、短時間の改良時

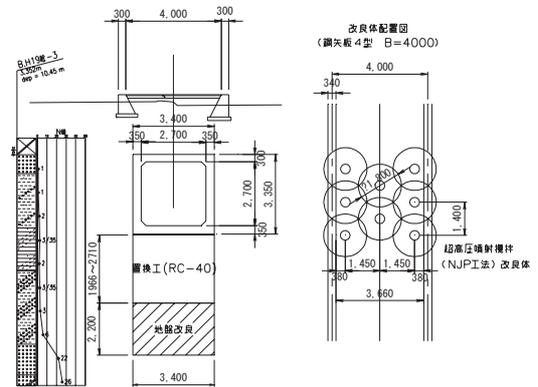


図-7 開削工事に伴う底盤部改良



写真-4 開削部の NJP 施工状況



写真-5 水路部開削による NJP 改良確認状況

表-6 各工事例の改良強度結果

試験位置		試験 NO.	現場改良強度 $quf(\text{kN/m}^2)$	
			平均	
S水路(O1)工事	発進部	地中梁部	1 850	995
		2 1140		
	底盤部	1 3210	2420	
		2 3580		
	到達部	地中梁部	1 1240	1118
			2 996	
底盤部		1 4760	5135	
		2 5510		
N水路(H4)工事	底盤部	1 1240	1390	
		2 1540		
		1 2930	3020	
		2 3110		
		1 2560	1950	
		2 1340		

間で、排泥量の大幅な低減と高効率な施工方法により、経済性が期待される。NJP 施工による施工事例として、徳島県吉野川下流地区の農地防災用水築造工事の一部を紹介したが、今後、さらに環境に配慮された地盤改良工法の改善が望まれる。

参考文献

- 1) 農林水産省中国四国農政局四国東部農地防災事務所：よしのがわ国営吉野川下流域農地防災事業ホームページ，2009.8

40. 狭所作業が可能なドリル付き油圧割岩機の開発と施工

玉石重機株式会社

○ 玉石 修介
片岡 廣志
濱山 祐司

1. はじめに

土工事において岩掘削工種が含まれることは多くあり、一般的に施工は発破工法か油圧ブレーカー工法が用いられるが、作業環境により静的破砕剤や油圧セリヤ割岩方式が飛散防止や静音化目的で用いられることもある。油圧セリヤ割岩方式は、セリヤに必要な深さを掘る削孔機と油圧セリヤ及び油圧発生機により構成された工法で、各々が別の機械として用意されるが、国内ではこれを一体化した既存の機械も存在し、ドリル付き割岩機とも呼ばれる。

受注案件への対応を既存機での可能性を検討したが、作業エリアの狭さの関係から作業姿勢に問題があることが判明した。ここでは、狭さへの対応機の開発と施工を報告する。

2. 開発の背景

狭所における作業が適切に出来る機材が必要と

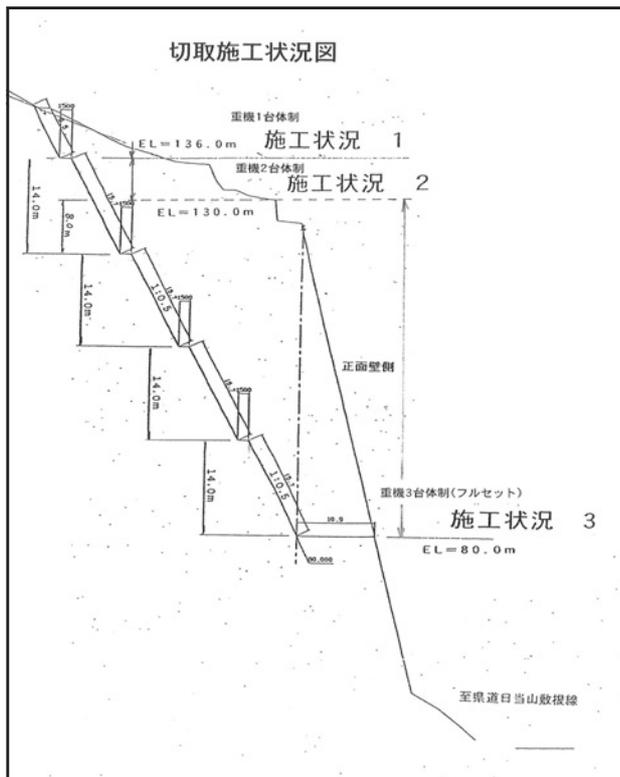


図-1 掘削断面と計画図

なった理由は、図-1掘削断面と計画図に示すように施工状況2の高さE.L. 130mから8施工状況3のE.L. 80m間の一部オーバーハングを含む垂直に近い柱

状節理の安山岩の岩体である。作業場所は、図-2 E.L. 130m作業範囲に示すとおり面積が狭く、形状も鋭角三角形状のところから、図-3 E.L. 80m作業範囲に在るように扁平な台形状にまで変化し、十分な作業広さが確保されないことが判った。また、周辺には数軒の民家や県道・国道も近接し、発破工法が使えないだけでなく掘削岩の飛散の可能性のある施工も選択できないことや、掘削岩の運搬はケーブルクレーンでの搬出とされた。

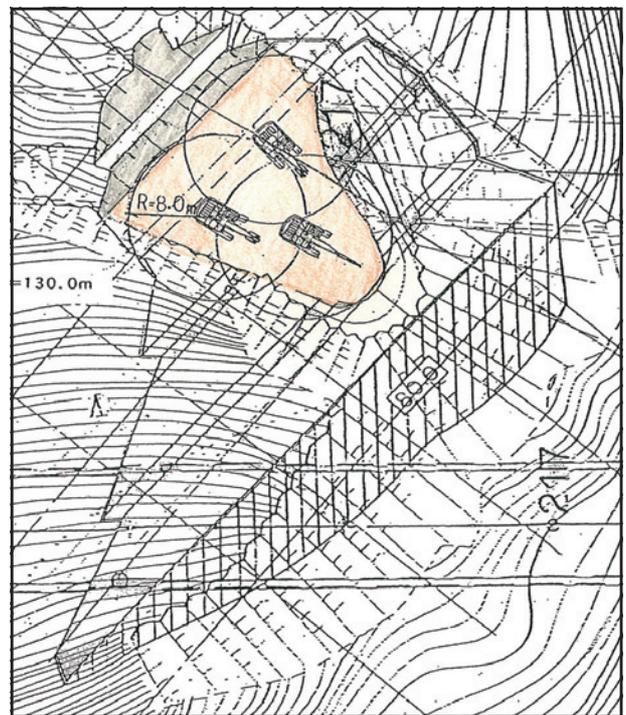


図-2 E.L. 130mの作業範囲

作業場所となる岩体には柱状節理の剥離面が在ることは判っているが、どのように入っているかを正確に把握することはできなかった。作業の安全性を考えると、剥離や滑落などの挙動を知るために変位系センサーやアコースティックセンサーなどが設置され、少しでも早く異常を捉える配慮

はなされた。ただ、作業中にどのような異常が発見されるのか、どのように避難すべきかの想定は困難なものであるが、異常が観測された時は作業関係者全てが絶壁面からできるだけ離れることとした。



図-3 E.L. 80mの作業範囲

このように狭隘で作業盤に不安がある場所では、安全性を考慮した作業計画を立てなければならない。

特に安全性確保の面では、施工中の作業員・作業機械の転落防止を目的に、可能な範囲で絶壁側に壁一枚を残す内側掘削先行を基本とする施工方法とし、壁は水平削孔・割岩を行うこととした。

当初指定された既存機では、この作業計画に合致しないことが判明し、これを解決しなければ安全性や作業性に問題が残ること判った。

また、工事用機材はケーブルクレーンによる搬入となり、最大6t以下に分解し、運搬・組み立てを行わなければならない、特に工事途中での重機の入替えは非常な困難を伴うと判断出来ることから、この施工工期内は同一機材で対応する作業計画とした。

作業エリアが狭いことから、コンプレッサーなどの補助機能の機械類を置くことも困難であることも確認できた。

これらの条件を整理すると下記の特徴が開発機材の必要条件である。

- 1) 一体型削孔・割岩機であること
- 2) 作業方向が垂直から水平までできること

これらの特徴を有する既存機はなく、対応できる機材を開発し施工することが必要となった。

3. 既存機の状況

施工仕様に指定されていた既存機の仕様を確認し、施工計画との整合性を検討する。

主作業装置

削孔：削孔長	180cm
削孔径	9cm
割岩：割岩セリヤ長	150cm
割岩力	4,900kN(500t)
機械質量	23,4t
車体幅	298cm
車体長	1050cm
旋回中心からの後方長	271cm

搭載補助装置（本体に内蔵）

削孔用コンプレッサー，集塵装置

特徴

削孔から割岩へと一連作業となるように、リボルバー弾倉回転様式の入替え機構を有し、作業を容易にしている。

垂直作業時は、アームを垂直方向にすることで作業が行え、削孔・割岩が連続的に進めることができるが、水平方向の作業では、アームも水平方向にしなければならぬため、作業点と機械本体が離れることになり、狭所作業は困難である。

4. 開発機の概要

ここでは、開発機の具備すべき機能を整理する。

- 1) 削孔装置，割岩装置の搭載
- 2) 削孔に必要なコンプレッサー，集塵機を搭載
- 3) 垂直から水平まで任意角の作業ができること
- 4) ベースマシーンは後方小旋回機とする
- 5) 機械耐久性は14ヶ月以上
- 6) 6t以下に分解できること
- 7) 機械の前後バランスが保てること

これらの要求事項を前提に、開発機の基本仕様を次のように定める。

主作業装置

削孔：削孔長	130cm以上
削孔径	10cm
割岩：割岩セリヤ長	70cm
割岩力	12,000kN(1,300t)

割岩部耐摩擦グリス自動給脂装置

割岩方向調整用軸回転機能

補助装置の搭載

カウンターウエイト上にコンプレッサー
エンジンルーム上に集塵装置

ベースマシーン

20t級後方小旋回機

標準ブーム、ショートアーム

分解後つり上げ用治具

エンジンカバー開閉方向変更

削孔装置制御バルブ等の設置

割岩装置操作部の設置

自動給脂装置操作部の設置

コンプレッサー搭載用ステージの設置

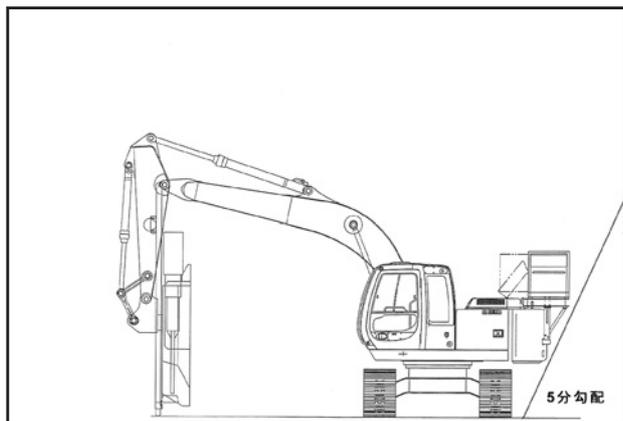


図-4 垂直作業姿勢と後方空間

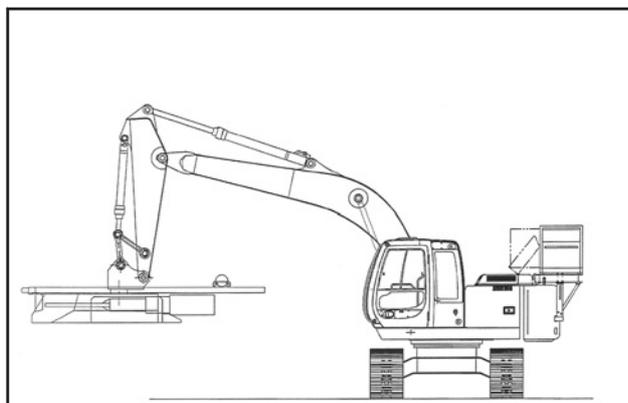


図-5 水平作業姿勢

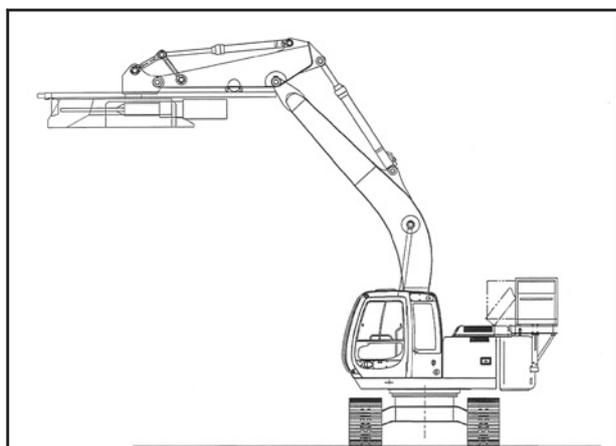


図-6 高所水平作業姿勢

作業姿勢の確認を図-4, 5, 6に示すとおり、機械の作業姿勢の自由度を高く設定し、かつ図-4で示すように法面勾配5分でも搭載したコンプレッサーなどに影響のない峡所対応となっている。

既存機にあった削孔装置・割岩装置の入れ替え装置は、使い勝手の良い機構であるが、同様の機構の搭載は断念した。その理由は、垂直から水平までの任意角度における作業が出来ることでありその時の姿勢に条件を付けることはできない。

また、アーム片側に2種類の装置を配置することも検討したが、アームの捻れやバランス欠く懸念もあった。

2種類の装置の平行移動による入れ替え機構も検討したが、移動機構の構造体もしくは、装置の位置合わせ移動時にアームと干渉することが解消できなかった。

また、このような移動機構は重量増となることから、開発機の仕様に含まないものとした。

2つの装置の入れ替えは移動機構無しに行わなければならないので、バックホウの旋回機能で行うこととした。



写真-1 完成実機と主要作業装置

写真-1で確認できるように、削孔装置は、運転席側から見てアーム右側に、左側には割岩装置を配置し、2つの装置の入れ替えは、削孔後、運転席

から見える削孔口を確認しながら、アーム左側に配置している割岩装置を挿入する。

垂直作業時は削孔後にバックホウ上部旋回体の旋回により位置合わせをし、割岩装置の挿入・割岩の順に行う。

水平方向では、削孔口に上部旋回体の旋回で割岩装置を合わせても、削孔方向と割岩装置挿入方向が一致しないので、方向のズレを補正するための、横方向のオフセット角が得られるように回転軸と角度調整用の油圧シリンダーも設けた。

5. 施工状況

施工は、130m盤より機械3台体制が組め、ドリル付き割岩機1台、油圧ブレイカー装着機1台が各20t級バックホウ、バケット装着積込機1台が12t級バックホウにより構成・実施された。写真-2には、割岩にて出来た亀裂を現している。



写真-2 割岩状況

標準作業は、垂直方向に削孔・割岩し、油圧ブレイカーにより小割とその周辺の掘削・整形、積込用機械による搬出バケットへの積込と、それぞれの分担が、作業位置を入れ替わりながら進められた。各作業の進捗により重機足場に段差があったり、小割岩の上で不安定であったり、入れ替わりのような単純作業も狭所では容易でない。

掘削岩を搬出するケーブルクレーンのバケットの着地は常にケーブル直下の作業盤の位置であ

り、最優先で準備しなければならない。

安全のために絶壁側に壁を残す工法では、内側の盤がある程度下がった段階で残した壁に水平削孔・水平割岩を行い、亀裂の上部を内側に引き込み、壁高を低くした。

削孔・割岩作業は、掘削ベンチ高を1m、削孔間隔を80cm、削孔深さを1.3mを目安として進められた。削孔深さ1.3mは、割岩装置のセリヤ長70cmとこれを押し広げる油圧クサビの移動量が50cmあり、この合計に予防長さを加え1.3mとした。削孔間隔80cmは、岩の堅さや自由面からの乖離距離など状況に応じて増減させる。

削孔・割岩の作業時間が1サイクル5～6分程度であるが、狭さや機械位置の入れ替え、手待ちなど作業外状況により、作業能率は変化する。

写真-3では、目的に応じ作業方向が選ぶことができる例を示している。この様な姿勢でもブーム・アームに作業装置が干渉していない。



写真-3 作業方向の任意性

6. まとめ

本報告の開発機は、特殊条件に合わせて設計・製作がなされたが、一般時の使用も問題なく1台で削孔・割岩できるので有用性は高い。

当初の予定工期の14ヶ月間は、メンテナンスと一部の部品交換のみで対応でき、予定の耐久性も確認できた。この機械は、工期余裕がなかったため製作直後に現場投入となり、試験運転無しというリスクがあったものの工期内に大過なく作業を終えることができ、当初目的の狭隘場所での作業可能な機械としては満足のできるものであった。

今後は、昨今の作業環境問題への対応も考えると以下の2点について検討を進めたい。

- 1) 削孔機の騒音低減化
- 2) 削孔集塵後の切り粉の飛散防止

最後に、削孔・割岩装置関係の製作及びベースマシン関係の改造・製作に携わっていただいた関係各位に心からの感謝を申し上げます。

4 1 . 凍結抑制舗装における

振動マカダムローラと振動タイヤローラの適用事例

酒井重工業(株) 事業推進部 ○木村 公俊
 福田道路(株) 中部支店 勝野 靖之
 福田道路(株) 中部支店 田畑 雅浩

1. はじめに

積雪寒冷地に用いる凍結抑制舗装の一つとして、廃タイヤゴム粒子をアスファルト舗装に混入させ、物理的弾性効果により、氷結層の破壊ならびに積雪の剥離促進効果を発揮する凍結抑制舗装(以下、ゴム粒子入り凍結抑制舗装と称す)がある。このゴム粒子入り凍結抑制舗装はアスファルト量が多く、ギャップ粒度の骨材配合であるため、施工時には材料分離や温度低下などにより、緻密な舗装面を得られない場合もあり、その対策は重要な課題とされる。ゴム粒子入り凍結抑制舗装の施工マニュアル¹⁾によれば、転圧には10tマカダムローラ(以下、マカダムと称す)、7t振動タンデムローラ(以下、振動タンデムと称す)と15tタイヤローラ(以下、タイヤと称す)を組合せて、初期転圧から仕上転圧を行うこととされている。しかしながら、ゴム粒子入り凍結抑制舗装を用いる施工現場の多くは、冬期の気温が低くなる寒冷地および山間地であり、この時期に施工を行うと混合物の温度低下が著しく、標準的な転圧工程より迅速で効率的な転圧作業が必要となることもある。

本報文では、上記施工マニュアルに準じた施工法に対する、最近開発された振動マカダムローラならびに振動タイヤローラのゴム粒子入り凍結抑制舗装施工への適用事例を報告する。

2. 提案転圧ローラの概要

今回の施工で使用した転圧ローラの特徴を以下にまとめる。また、各転圧ローラの車体寸法、運転質量、振動仕様(起振力等)については表-1,2に示す通りである。

2.1 振動マカダムローラ(写真-1)

(酒井重工業製 MW700 型 : NETIS KT-080028)

振動マカダムローラ(以下、振動マカダムと称す)は、従来のマカダムと比べて小型、軽量ながら全輪(3輪)に振動機構を装備し、マカダムク

ラスでは最大の動線圧(1,079N/cm)を有する。また、左または右の前輪を独立して振動(通常振動と水平振動の切換式)できるので、舗装端部のみに振動を加えられる等、これまで小型振動ローラやプレートコンパクタによる人力仕上げ作業を省略し、迅速で安全な転圧作業を実現しうる特長を有する。



写真-1 振動マカダムローラ

表-1 振動マカダムローラの概要

機種	振動マカダム	
公称型式	MW700	
運転質量 (kg)	8,730	
全長×全幅×全高 (mm)	4,700×2,100×3,065	
締固め幅 (mm)	2,100	
振動性能	通常振動	水平振動
起振力 (kN)	90	145
振動数 (Hz)	43	
振幅 (mm)	0.6	
静線圧 (N/cm) 前輪/後輪	390/390	
動線圧 (N/cm) 通常	前輪	1,079
	後輪	1,206

2.2 振動タイヤローラ（写真-2）

（酒井重工業製 GW750 型：NETIS KT-070017）

振動タイヤローラ（以下、振動タイヤと称す）は、従来のタイヤと比べて小型、軽量ながら、4段階の振幅を設定できる振動機構を装備している。最大振幅時には 25t タイヤローラと同等以上の締固め効果を得ることができる。この振動により、タイヤ固有のニーディング作用を助長させ、骨材の噛み合わせならびにモルタルの充填効果が向上する。



写真-2 振動タイヤローラ

表-2 振動タイヤローラの概要

機種	振動タイヤ			
公称型式	GW750			
運転質量 (kg)	9,000			
全長×全幅×全高 (mm)	4,540×2,200×2,975			
締固め幅 (mm)	1,950			
振動性能	1 段	2 段	3 段	4 段
起振力 (kN)	7.8	24.5	41.9	58.4
振動数 (Hz)	40			
振幅 (mm)	0.1	0.3	0.5	0.7

3. 施工実施状況

3.1 試験施工条件

試験施工では、幅 2.5m、延長 16m の試験施工ヤードを設け、既設舗装上に仕上り厚さ 5cm で敷きならしを行った。下表-3,4 に示す条件で転圧を行った後、締固め度ならびに表面のキメの違いを評価した。転圧条件は、初期転圧における振動の効果ならびに二次転圧に使用する転圧ローラの機種について検討を行った。また、混合物に関しては、中温化剤を用いた混合物（以下、ゴム粒子入り凍結抑制舗装（中温化）と称す）についても検討を行うこととした。

敷きならし温度は、実施工条件を想定して 2 時間程度の運搬、放冷を行い調整した。

表-3 各工区の転圧条件（1 工区、2 工区）

	1 工区	2 工区	従来 (参考)
混合物	ゴム粒子入り 凍結抑制舗装（標準）		従来 (参考)
初期転圧	振動マカダム 無振 2 回		マカダム 6 回以上
	無振 4 回以上	水平振動 4 回以上	
二次転圧	振動タンデム 水平振動 6 回以上		振動タンデム 水平振動 6 回以上
仕上転圧	振動タイヤ 振動 2 回以上		タイヤ 2 回以上

表-4 各工区の転圧条件（3 工区、4 工区）

	3 工区	4 工区	従来 (参考)
混合物	ゴム粒子入り凍結抑制 舗装（中温化）		従来 (参考)
初期転圧	振動マカダム 無振 2 回		マカダム 6 回以上
	通常振動 4 回以上	水平振動 4 回以上	
二次転圧	振動タイヤ 振動（振幅 4 段） 6 回以上		振動タンデム 水平振動 6 回以上
仕上転圧	振動タンデム 無振 2 回以上		タイヤ 2 回以上

3.2 試験施工時の敷きならしおよび転圧温度

試験施工時における敷きならしならびに転圧時の温度測定結果を表-5 に示す。試験施工当日の気温は 6℃、施工面の路面温度は 2~4℃であった。混合物温度は敷きならし直後から急激に低下していたので、転圧を迅速に実施する必要があった。

表-5 試験施工時の敷きならしおよび転圧温度

	標準 (°C)	中温化 (°C)
出荷温度	181	182
到着温度	177	174
敷きならし温度	156	138
初期転圧温度	144	123
二次転圧温度	111	85

4. 試験結果

4.1 締固め度

各工区から採取した5箇所のコア供試体ならびに端部のコア供試体の締固め度を図-1に示す。締固め度は、初期転圧が無振動の1工区に比べ振動転圧した2~4工区の方が高い。特に、振動マカダムの通常振動を加えた3工区では、一般的に混合物温度が低下しやすい端部においても、99.4%と非常に高い締固め度が得られた。この結果より、転圧温度の高い初期転圧において、鉛直方向への振動効果が大きい振動マカダムの通常振動で転圧することが、高い締固め効果を得るに有効であると考えられる。

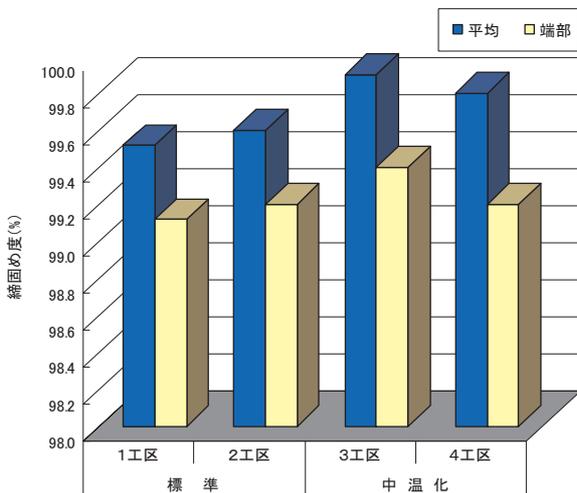


図-1 各工区の締固め度

4.2 キメ深さ

各工区のサンドパッチならびにMTMにより測定したキメ深さの結果を図-2に示す。締固め度と同様に1工区に比べ2~4工区の方が緻密なキメの路面が得られた(写真-3)。この要因としては、二次転圧時の振動タイヤ(振幅4段)による動的ニーディング効果が有効であったと考えられる。

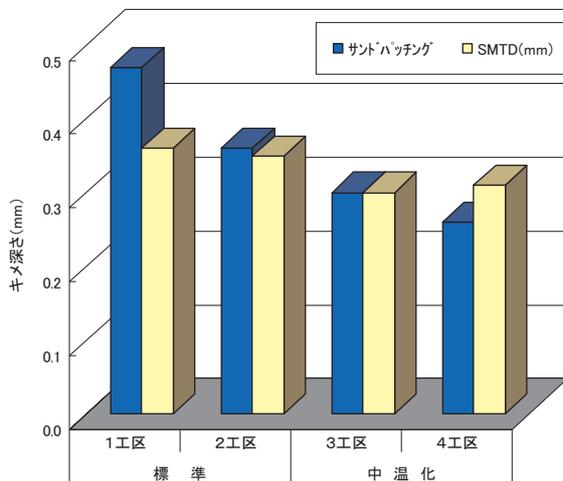


図-2 各工区のキメ深さ



写真-3 3工区での路面状態

4.3 路面観察結果

各工区において、初期転圧、二次転圧、仕上転圧時の表面状態を観察した結果を表-6および表-7に示す。表中の混合物の流動状態とは材料が流動し波打つ状態をいう。骨材の並びとは材料の流動が少なく、骨材の噛合せと表面のキメの細かさをいう。転圧後の路面状態とはローラマークの出現をいう。

表-6 各転圧工程における表面観察結果 1

工区	1工区			2工区		
	混合物の流動状態	骨材の並び	転圧後の路面状態	混合物の流動状態	骨材の並び	転圧後の路面状態
初期転圧	○	△	△	×	○	△
二次転圧	×	○	○	○	○	△
仕上転圧	○	○	○	○	○	○

◎:非常に良い ○:良い △:普通 ×:不良

表-7 各転圧工程における表面観察結果 2

工区	3工区			4工区		
	混合物の流動状態	骨材の並び	転圧後の路面状態	混合物の流動状態	骨材の並び	転圧後の路面状態
初期転圧	○	◎	△	×	○	△
二次転圧	○	◎	△	○	○	△
仕上転圧	○	◎	○	○	○	○

◎:非常に良い ○:良い △:普通 ×:不良

初期転圧においては、各工区とも混合物が不安定でローラマークが出現すると共に水平振動を加えた場合は混合物が流動し波打つ状態が観察された。また、振動タンデムで水平振動を加えた1工区の二次転圧でも同様な状況がみられた。さらに、若干ではあるが表面にモルタル分が浮き上がる箇所も観察された。しかしながら、初期転圧にて振動マカダムの通常振動を加えた場合、流動は見られなかった。

二次転圧においては、振動タイヤにて振動転圧すると緻密なキメが得られたが、若干のローラマークも観察された。

仕上転圧においては、振動タンデムにより無振動で転圧することでローラマークを消すことができ良好な路面を得ることができた。

4.4 実施工結果

試験施工の結果で最も締固め結果が良好であった振動マカダムと振動タイヤの組合せ（3工区の条件）により実施工を行った。写真-4に示すように初期転圧から骨材の良好な噛合せが見られ、写真-5に示すように二次転圧完了後、モルタルの充填効果が促進され路面全体で均一な表面性状を得ることができた。さらに、写真-6に示すように縦ジョイント部では、既設舗装との接合面が滑らかで同一の高さにて仕上げを行うことができた。



写真-6 縦ジョイント部

5. おわりに

本報文では、寒冷期の施工条件で温度低下により締固め不足が発生し易いゴム粒子入り凍結抑制舗装への振動マカダムおよび振動タイヤの適用性を検討した。その結果、振動マカダムおよび振動タイヤは、締固め度の確保ならびに緻密なキメを得るに有効であることが明らかになった。本技術が寒冷期の施工改善の一手法として役立つものと考えられる。

最後に、本試験の実施に関し、お世話になった福田道路(株)中部支店、機械センターおよび技術研究所、大林道路(株)エンジニアリング部および機械センターの関係者の皆様に感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) ゴム粒子入り凍結抑制舗装振興会：ゴム粒子入り凍結抑制舗装技術資料，平成18年12月
- 2) 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，北陸道路舗装会議 2007



写真-4 初期転圧後の路面



写真-5 二次転圧後の路面

平成21年度 広報部 シンポジウム実行委員会 名簿

(委員五十音順・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	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 地球環境開発環境分野 教授 工学博士
委員	大塚和夫	コマツ	開発本部 商品企画室 担当部長
委員	川本伸司	前田建設工業(株)	土木事業本部 土木部 機械グループ マネージャー
委員	小葉賢一	西尾レントオール(株)	測器部 情報化施工推進室
委員	白鳥昭浩	(社)日本建設機械化協会	技師長
委員	高見俊光	サコス(株)	営業推進部 部長
委員	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
委員	田中利昌	日立建機(株)	建設システム事業部 技術部 部長
委員	玉石修介	(社)日本機械土工協会	技術委員長
委員	西脇徹郎	(社)日本建設機械化協会	標準部長
委員	藤野健一	(独)土木研究所	技術推進本部 先端技術チーム 主席研究員
委員	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 工学博士
委員	前原信之	(社)日本建設機械化協会	技術部長
委員	溝口孝遠	コベルコ建機(株)	顧問 工学博士
委員	宮野泰彰	キャタピラージャパン(株)	市場開発部 マーケット営業支援課 課長
委員	吉田 正	国土交通省	関東地方整備局 関東技術事務所長

建設施工と建設機械シンポジウム論文集（平成21年度版）

平成 21 年 11 月 2 日 印刷

平成 21 年 11 月 4 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