

局地的豪雨探知システムについて

上野 和也¹・松田 政裕²

¹近畿地方整備局 河川部 水災害予報センター （〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44）

²近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所 防災情報課 （〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町10-1）

XバンドMPレーダについては、人口、試算が集中している政令指定都市等の大都市や、近年、甚大な水害、土砂災害等が発生し、被災リスクの高まっている地域を重点に整備を進めてきたところである。XバンドMPレーダの特徴は、既存レーダに比べ降雨に関する詳細情報を図ることを可能にし、しかも短い時間間隔で観測更新できる（というこで、降雨監視体制を強化することができる）。そこで、急激に発達する局地的な豪雨による災害を防止するために、XバンドMPレーダを使って豪雨となる可能性がある積乱雲を数分から10分程度先予測する試験システムを検討・整備していくこととした。

キーワード XバンドMPレーダ，豪雨のタマゴ，予測

1. 背景と目的

(1) 平成20年7月28日 都賀川水害（神戸市）

兵庫県神戸市都賀川において、10分間雨量で最大24mmを記録し、10分で1.34mの水位上昇、5名死亡、11名が救助、41名が避難という水害が発生した。従来のレーダでは、捉えきれない局地的な豪雨であった。（図-1、図-2）

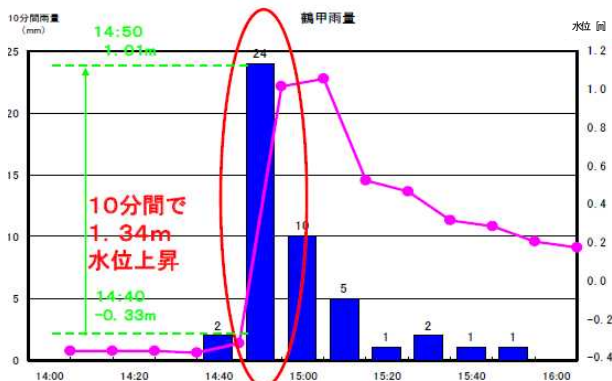


図-1 平成20年7月28日 都賀川甲橋水位と降雨量



図-2 都賀川甲橋 水位上昇状況（神戸市モニタリング画像）

(2) 豪雨水害を踏まえたWG

都賀川の水害を契機に、中小河川における局地的豪雨対策、水難事故防災策の検討を行う場として、平成20年

9月「中小河川における水難事故防止策検討WG」、
「中小河川における局地的豪雨対策WG」が設置され、局地的な大雨や集中豪雨の監視を強化するための高解像度のレーダ雨量計の設置するなど、観測体制を強化するとともに気象予測や洪水予測の高度化への取り組みについて提言された。（図-3）

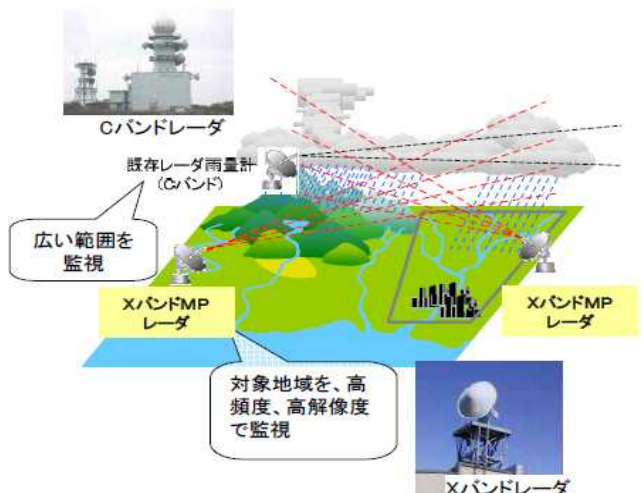


図-3 レーダ高度化のイメージ

(3) XバンドMPレーダの特徴と整備

XバンドレーダはCバンドレーダに比べ波長が短く、高分解能な観測が可能である。2種類の偏波（水平・垂直）を送信することで、雨粒の形状等を把握し、雨滴の扁平度等から雨量を推定し、地上雨量計による補正なく、高精度な雨量観測データをほぼリアルタイムで配信することが可能である。またドップラー機能により、雨滴の移動速度を計測することで風の観測も可能となっている（図-4）。 また整備状況については、人口、資産が集中

している政令指定都市等に、ゲリラ豪雨対策として整備され現在は27基体制で運用している。

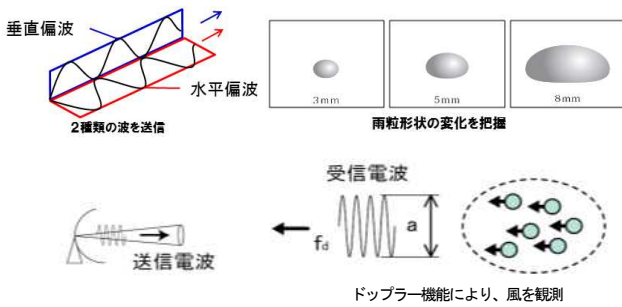


図4 XバンドMPレーダの特徴

(4) 範囲、対象および目的

a) 範囲

大阪、神戸、京都、堺の重点監視地域を含み、図-5のとおり5台（六甲、葛城、田口、鷺峰山、鈴鹿）のXバンドMPレーダにより観測可能な範囲を探知範囲とした。なお、探知を行う高度は、積乱雲の発生とその後の発達過程を追跡できる地上から上空10kmまでとした。

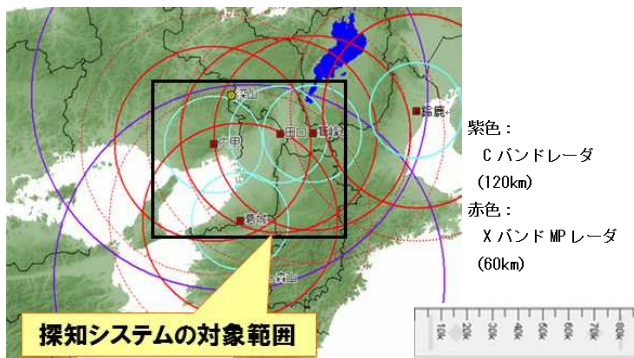


図5 局地的豪雨システムの対象範囲

b) 対象

①発生時は孤立しており、②30分以内で50mm/hに急発達し、③その後50mm/h以上の強雨が30分以上続く積乱雲を「豪雨セル」、①②の条件を満たす積乱雲を「準豪雨セル」とし、それらを対象とする。

c) 目的

都賀川で発生したような急激に発達する局地的な豪雨による災害を防止するために、従来レーダでは捉えることが困難だった積乱雲の発生当初を探知し、数分から10分程度先に豪雨のタマゴを見つけるシステムを整備する。(図-6)

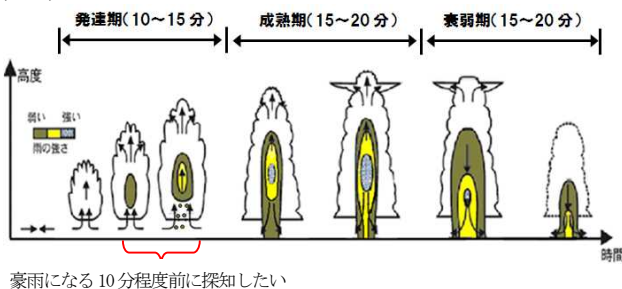


図6 積乱雲の一生

2. 豪雨のタマゴ手法

(1) 定高度面データ（CAPPI）作成処理

5台（六甲、葛城、田口、鷺峰山、鈴鹿）のXバンドMPレーダを組み合わせ、仰角運用の最適スケジュールを調整し、1分間のレーダ観測を行うことで、CAPPIデータの空間平均カバー率が76%となる。連続5分間のCAPPIデータを合成することで、空間カバー率が100%となり、それを順次、繰り返すことにより1分間隔の3次元観測を可能にしている。(図-7、図-8)

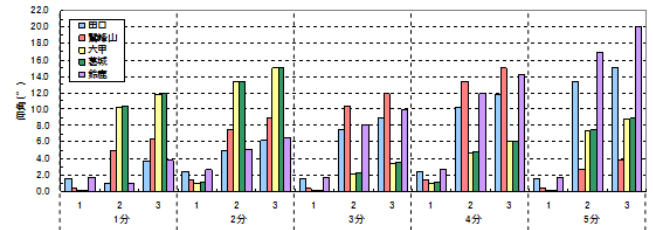


図7 近畿4基および鈴鹿局の仰角スケジュール

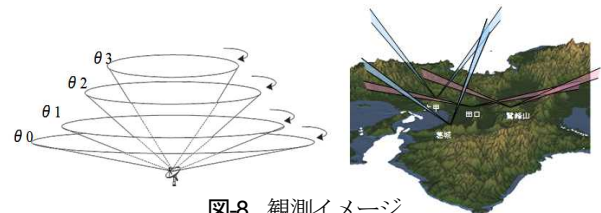


図8 観測イメージ

(2) 降雨セルの抽出・追跡

京都大学防災研究所で開発された降水セル抽出・追跡プログラム（CCL）を改修し、豪雨のタマゴシステムに適用した。

a) 抽出

降水セルの抽出は、反射強度20dBZ（雨量強度1mm/h相当）以上の降水域を検出し番号を付ける。(図-9)

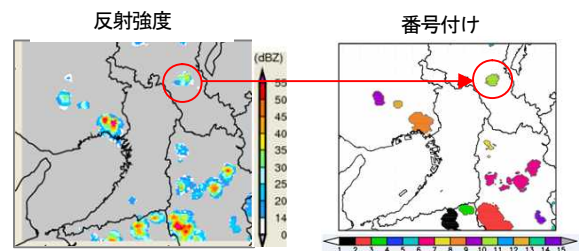


図9 降水セルの抽出

b) 追跡

抽出された降水セルを時間方向に紐付けすることで追跡を行う。紐付けは、セルとセルの体積変化量と移動距離を組み合わせた「体積距離」を使用し、体積距離が最小のセル同士を紐付けすることで追跡を行う。(図-10)

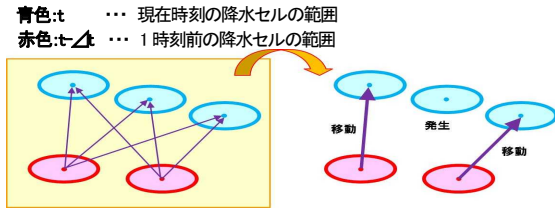


図-10 降水セルの追跡

体積変化量の式(1a)、移動距離の式(1b)、

$$dV_{ij} = |V_i^{1/3} - V_j^{1/3}| \quad (1a)$$

$$dD_{ij} = \sqrt{(\bar{x}_i - \bar{x}_j)^2 + (\bar{y}_i - \bar{y}_j)^2 + (\bar{z}_i - \bar{z}_j)^2} \quad (1b)$$

体積距離(1c)が最も小さいセルとセルを紐付ける

$$C_{ij} = w_1 dD_{ij} + w_2 dV_{ij} \quad (1c)$$

(3) 各種パラメータの計算処理

各時刻の反射強度、渦度、収束量のCAPPIデータから、豪雨危険度判定に使用する総合指標値算出のための各種パラメータをセル（1個の積乱雲）毎に求める。パラメータは以下の5種類であり、各パラメータの値が多きほど、豪雨をもたらす積乱雲（豪雨セル）に発達しやすい。（図-11）

- ① エコー頂高度差 …… セル発生時と最新時刻におけるエコー頂高度の差(単位:km)
- ② 鉛直発達速度 …… ①のエコー頂高度差をセル発生からの時刻(分)で除したもの(単位:km/分)
- ③ 鉛直積算エコー強度 …… 最新時刻における0.5km~10kmのCAPPI高度面における反射強度の積算値(単位:dBZ)
- ④ 渦度 …… 最新時刻における0.5km~10kmのCAPPI高度面における渦度の最大値(単位:0.001/s)
- ⑤ 収束量 …… 最新時刻における0.5km~10kmのCAPPI高度面における収束量の最大値(単位:0.001/s)

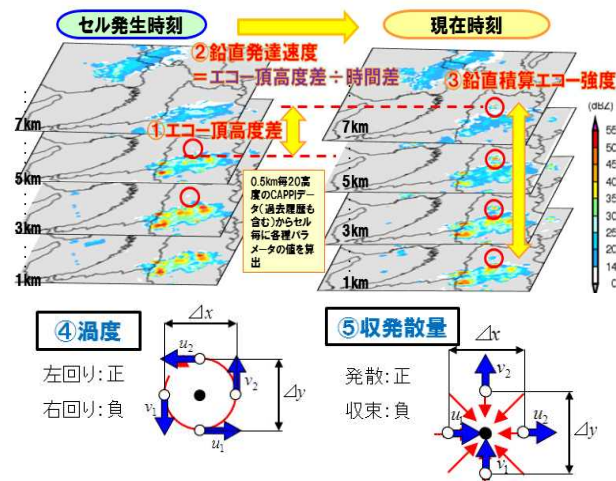


図-11 豪雨の危険度判定に用いる各指標（パラメータ）

(4) 危険度判定処理

a) 総合指標

ファジー理論におけるメンバーシップ関数を求めるため、豪雨セル（80個）と未発達セル（73個）ごとのエコ

一頂高度差、鉛直発達速度、鉛直積算反射強度、渦度、収束量を算出し、それぞれの階級毎に豪雨セルの割合を求め、それらの回帰直線を算出した（図-12）。この回帰直線をメンバーシップ関数(2a~2e)とし、重み付けして豪雨発生の可能性を判定する総合指標(2f)を作成する。

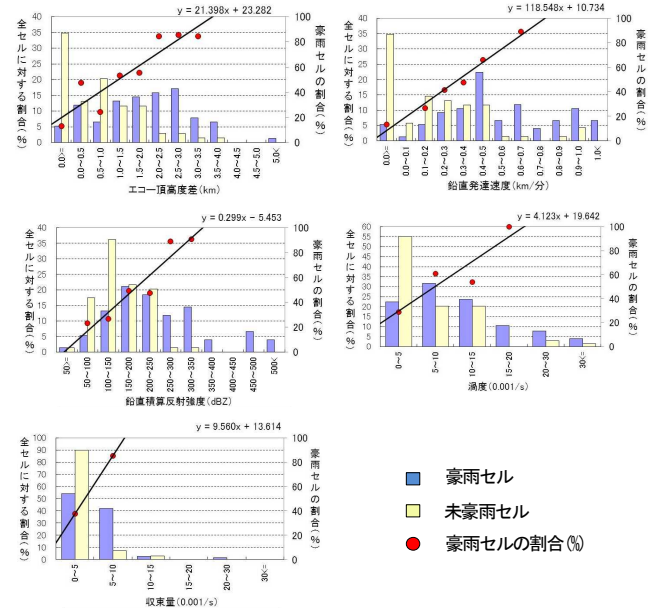


図-12 メンバーシップ関数算出

エコー頂高度差 (2a)、鉛直発達速度(2b)、鉛直積算エコー強度(2c)、渦度(2d)、収束量(2e) のメンバーシップ関数は以下のとおり。

$$f_1(x_1) = 21.398x_1 + 23.282 \quad (2a)$$

$$f_2(x_2) = 118.548x_2 + 10.734 \quad (2b)$$

$$f_3(x_3) = 0.299x_3 - 5.453 \quad (2c)$$

$$f_4(x_4) = 4.123x_4 + 19.642 \quad (2d)$$

$$f_5(x_5) = 9.560x_5 + 13.614 \quad (2e)$$

総合指標(2f)

$$G = 0.27f_1(x_1) + 0.27f_2(x_2) + 0.24f_3(x_3) + 0.10f_4(x_4) + 0.12f_5(x_5) \quad (2f)$$

b) ランク

a)で算出された総合指標値に3つのしきい値を設け、危険度ランク①②③およびランクなしの4段階の情報を作成する。（図-13）

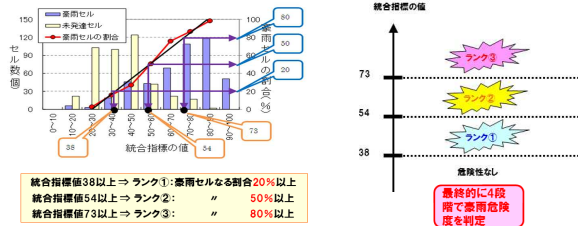


図-13 総合指標値の分布とランク

(5) Web表示プログラムの整備

豪雨危険度及び総合指標値をはじめとする関連指標値を読み込んで、画像を作成・表示する処理プログラムを豪雨のタマゴサーバに実装した。過去1ヶ月程度の雨域および豪雨のタマゴ表示の円を再現でき、GIFファイルを作成できるため動画をパワーポイントへ貼り付けることができる。また豪雨のタマゴのランクを選択するボタンをON、OFFすることで表示・非表示の選択ができる。(図-14)



図-14 表示画面

3. 精度検証

本システム対象範囲内のアメダス及び国土交通省テレメータ雨量から日最大時間雨量を調査し、2011～2013年の日最大時間雨量上位20日を抽出する。抽出20日から、降雨原因が天気不安定である上位10日を対象事例に選定する。

(1) 的中・見逃し・空振りの判定

1.(4) b)で示した豪雨セル、準豪雨セル、および降雨強度が5mm/h未満である非豪雨セルを抽出し、豪雨セル、準豪雨セルにランク値が出現した場合を的中、出現しなかった場合を見逃しと定義する。また非豪雨セルにランク値が出現した場合を空振り、出現しなかった場合を的中と定義する。(図-15)

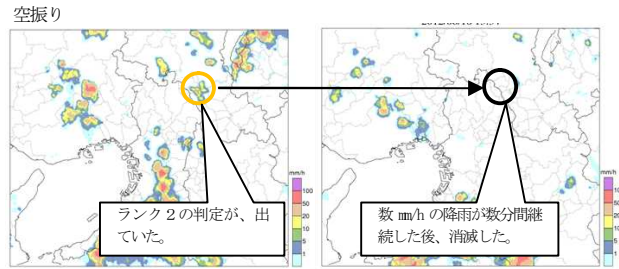
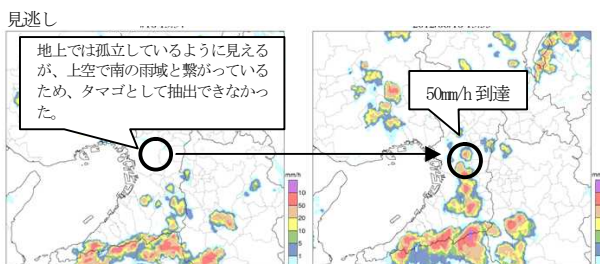


図-15 見逃し、空振りの事例

(2) 他の早期探知手法との精度比較

豪雨のタマゴ手法、雨雲発達指数（六甲砂防事務所）、VILナウキャスト（防災科学技術研究所）の3手法について、豪雨予測のリードタイム、的中率、見逃率、空振率の検証結果を比較した。その結果、豪雨のタマゴは、雨雲発達指数やVILナウキャストよりも10分程度早く豪雨・準豪雨セルを探知している。豪雨のタマゴは、地上降雨開始前に豪雨を探知できる唯一の手法だが、その他の手法に比べると見逃しや空振りが多。また豪雨のタマゴは「孤立した積乱雲」のみ対象となっており、その他の手法は孤立した積乱雲以外でも予測可能となっている。(表-1、表-2、図-16)

表-1 3手法の特徴

探知手法	特徴	アウトプット
①豪雨のタマゴ	・ 定性的な指標 ・ 上空に豪雨のタマゴが発生したことを検知して、危険度をランク表示。最も早く危険性を通知。	・ 1分毎更新
②雨雲発達指数	・ 定性的な指標 ・ 現時点までの雨雲の動き(発達)に基づいて危険度を表示。タマゴに次いで早く危険性を通知。	・ 1分毎更新
③VIL(鉛直積算雨量)	・ 定量的な指標 ・ 現時点までの雨雲の動きに基づいてメッシュ毎の雨量を予測する。このとき、上空の積乱雲の発達度が加味される。危険性の通知は最も遅れる。	・ 5分毎更新 ・ 60分先までの予測雨量を提供

表-2 3手法比較結果

手法	豪雨予測のリードタイム		的中率	見逃率	空振率
	50mm/h到達まで	降雨開始時刻まで			
豪雨のタマゴ	16分6秒前	2分56秒前	81%	6%	13%
雨雲発達指数	7分12秒前	5分4秒後	94%	5%	1%
VILナウキャスト	2分46秒前	10分07秒後	95%	4%	1%

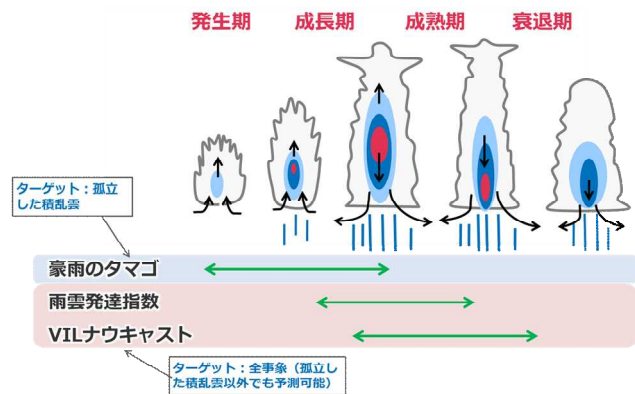


図-16 3手法の適用範囲

4. 自治体ヒアリング結果

近畿の7自治体に直接訪問し、豪雨のタマゴについて、ヒアリングを行った。豪雨のタマゴを含めた3手法について、洪水管理、内水氾濫、道路冠水、地下街の浸水などに活用したいとの意見があった。一方、住民へのアラート発信には慎重な意見が多く、その理由として、豪雨の対策を取るためには60分程度は必要との見解がほとんどであり、10分程度の早期探知では行政が対応できる時間がないとのことであった。また、見逃しは許容されず、ある程度の空振りはやむを得ないとの意見があり、3つのシステムを統合し、精度向上を図って欲しいとの要望が多かった。

5. 今後の課題

(1) 上空で結合した降水セルの分離（OCLの見直し）

本システムで見逃しとなる事例や追跡が途中で不能となる事例の多くが、上空で他の降水セルと結合することで生じるセルの不分離が原因である。高度によってセルの分離に用いるしきい値（現行20dBZ固定）を可変する等の見直しが必要である。

(2) セルの移動方向を考慮した表示方法の検討

現行のランク円は、豪雨セルの重心位置を中心として描いているが、セル移動方向がわかるような表示方法を検討することで、より防災情報として活用しやすいシステムにしていく必要がある。

(3) 運用を通じた事例の蓄積と感度調整

今後運用を通じて検証事例を増やし、豪雨日以外の日も含めて感度調整を行う必要がある。

(4) 他の豪雨早期探知手法との連携方法の検討

本システムが対象とするのは1個の孤立した積乱雲であり、組織化した降水システムは対象としていない。利用者側にとってわかりやすく、より使いやすい情報になるよう、VILナウキャストなど他の豪雨探知手法との連携方法を検討する必要がある。

(5) 警報システムの活用検討

現在、自治体では、中小河川における安全対策のため、気象庁が大雨・洪水注意報及び警報を発表すると信号が

自動発信され、回転灯が作動するシステムを導入している。今後、自治体との適切な役割分担のもと、豪雨のタマゴシステムによる豪雨探知と警報システムの連動など活用を検討する。(図-17)

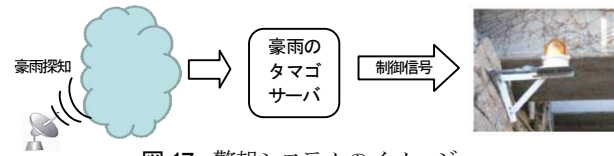


図-17 警報システムのイメージ

6. まとめ

豪雨のタマゴ手法の結論としては、精度向上を行うことができれば、局地的豪雨災害の対策に有効利用する可能性は十分にある。現在、市町村向けに「川の防災情報」でレーダの予測として移動解析を情報提供している。それに加え、今後は、本システムも配信することで情報を充実させる予定であり、試行対象自治体が実際に使用した状況を検証し、改善していきたい。最終的には、市民向けに重要かつ迅速な情報提供ツールとして、現場に回転灯を作動させるなど、都賀川水害のような痛ましい災害を防止するための監視体制強化を目指している。

謝辞：本研究において、京都大学防災研究所の中北研究室の皆様にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- ¹⁾中北英一・西脇隆太・山邊洋之・山口弘誠：ドップラー風速を用いたゲリラ豪雨のタマゴの危険性予知に関する研究、土木学会論文集B1（水工学），第69巻4号，2013.
- ²⁾中北英一・山邊洋之・山口弘誠：ゲリラ豪雨の早期探知に関する研究，水工学論文集，第54巻，2010.
- ³⁾中小河川における水難事故防止検討WG報告書，2009.
- ⁴⁾中小河川における局地的豪雨対策WG報告書，2009.

北山文化環境ゾーンにおけるPCaPC工法の採用 (京都・北山地域にとけこむ施設をめざして)

足立 敬吾・足立 英司

京都府 建設交通部 営繕課 (〒602-8570 京都府京都市上京区下立売通新町西入藪ノ内町)

本施設は、本府が取り組む北山文化環境ゾーン整備の一環として建築するもので、北山地域の景観や隣接する府立植物園からの眺望に配慮する一方で、大学施設として講義室等の大空間が求められるという条件の中、プレキャスト・プレストレストコンクリート（以下、PCaPCという）工法を用いることで意匠・構造・環境の融合を図ろうとする事例である。

本稿では、PCaPC工法の採用理由や本現場におけるPCaPC工法の特徴等について報告するものである。

キーワード PCaPC, 大空間, 細柱, ST版, 調和

1. はじめに

計画地は、賀茂川、北山通、下鴨中通、府立大学南側通に囲まれた北山地域の一角で、京都市営地下鉄烏丸線北山駅から南へ600mの京都府立大学キャンパス内に位置している。この地域は、府立植物園をはじめ、府立総合資料館、府立陶板名画の庭、京都コンサートホール等が立地する北山文化環境ゾーンとされ、京都の文化力を活かし「文化」「環境」「学術」を通じた交流・発信・にぎわいの創出を目指し、整備を進めている。

本施設は、京都府立大学、京都府立医科大学、京都工芸繊維大学の3大学における教養教育の連携拠点施設であり、更に一般府民も利用できる施設として、府民・学生の交流を目的とした施設である。



図-1 位置図

2. 工事概要

本施設の工事概要は以下のとおりである。

- 建築主：京都府
- 設計・監理：(株)久米設計 大阪支社
- 施工：松村・中川・平和特定建設工事共同企業体
- 工期／金額：
- 建築場所：京都市左京区
- 主用途：大学
- 建築面積：3,800㎡
- 延べ面積：9,100㎡
- 構造：PCaPC造＋現場打ち鉄筋コンクリート造
(以下、RC造という)
- 階数：地上3階、地下1階（最高高さ14m）
- フロア構成
 - 1階：レストラン、講義室、事務室等
 - 2階：講義室、視聴覚室、共用室等
 - 3階：研究室、実験室、実習室、コンピューター室等
- 構造計画
 - 平面形状：長方形（約36×90m）
 - 構造スパン：長辺方向 5.4m（基本）
短辺方向 中央6.75m（廊下部分）
両側14.475m（講義室等）
 - 上部構造：PCaPC造＋RC造
 - 架構形式：長辺方向 純ラーメン構造
短辺方向 耐震壁付ラーメン構造
 - 床形式：PCaPC床梁（以下、ST版という）＋RC造の合成構造

3. PCaPC工法の採用理由と効果

(1) PCaPC工法の採用理由

本施設は、周辺地域への景観等に配慮する上で、主に以下3点の建築上の制約がある中で、北山文化環境ゾーンに立地する学術と文化が一体となる魅力的な拠点とすることが求められている。

- ・隣接する府立植物園からの比叡山の眺望を保持するため、建物高さを抑える必要があること。
- ・一方で、講義室等は一定の天井高を確保した上で、100～200人が利用できる大空間を確保する必要があること。
- ・閑静な住宅地に位置するため、周辺環境に配慮し、工事車両の減少及び工期短縮が望まれること。

そして、上記を満足させるために以下の3つのコンセプトを掲げ、意匠・構造・環境の融合を図っている。

- ① 北山地域にとけこむ施設：
北山地域の文化を「感じ（文化）」「学ぶ（学術）」にふさわしい開かれた建物
- ② 京都議定書のまちにふさわしい施設：
自然エネルギー活用・環境負荷低減を高いレベルで実践する環境配慮建物
- ③ 持続可能な骨格を備えた施設：
意匠・構造・環境が一体となり、永く使える持続可能なシステムをもつ建物

コンセプト①に対しては、この施設が、京都・北山地域にとけこむため、周辺施設との調和に配慮し、まず、隣接する府立植物園からの眺望を今までどおり保持するため建物高さを抑える中で、講義室等の大空間を確保している。

外観については府立大学特有の大きく張り出した庇を取り入れ、更に外壁は1.8mピッチで縦方向に整然と並ぶルーバー状の細柱とすることにより陰影のある繊細な表情を持つ端正で品格のあるデザインとしている。

平面計画では、京都固有の大路・小路・路地を共用廊下に見立て、徐々に空間スケールを縮小させながらその両側に講義室等を配している。

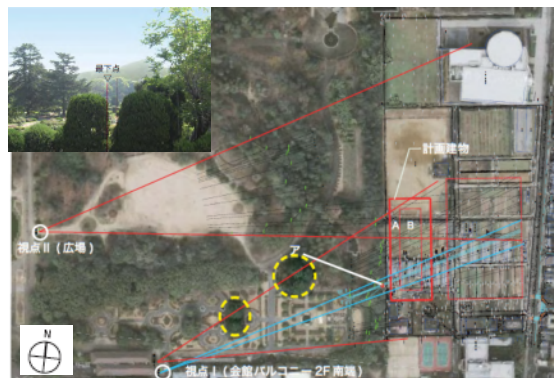


図-2 府立植物園からの眺望検討

コンセプト②に対しては、長寿命と更新性に配慮した建築計画とするために、工場生産で品質が高く耐久性に優れたPCa部材により主構造材を構成し、中央大廊下沿いには柱型を出さないことでフレキシブルな空間を実現している。

また、外周部に設けたPCaPC細柱により、日射制御も行われている。

コンセプト③に対しては、架構を均等モジュールのシンプルなフレームの平面計画とし、PCa部材にて構造材を構築することで現場作業削減と工期短縮を行い研究環境・住環境への影響の低減を図っている。

(2) PCaPC工法の効果

本施設におけるPCaPC工法効果としては、以下の5点があげられる。

a) 高さの抑制、大空間の確保

ST版を用いることにより、階高を抑えつつ、天井高3.4m、スパン約14mの柱なしの空間を形成

b) 工事車両の減少

PCa部材を使わず、全てRC造とした場合は、ミキサー車約2,600台の出入が想定されるが、両端部分及び中央部分の耐震壁を除く主構造材にPCa部材を使用することで、ミキサー車約900台となり、約1,700台減少する。

c) 枠の組立・解体作業の減少に伴う騒音等の減少

PCa部材を用いることで、現場での型枠組立・解体作業が減少するため、それらに伴う騒音等も同時に減少する。



図-3 施設外観

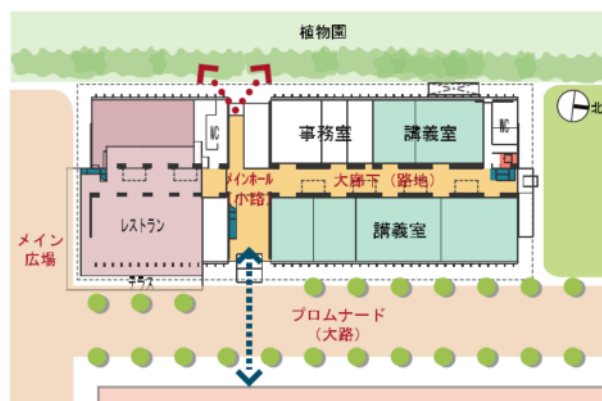


図-4 平面計画図

d) 現場の型枠材料等の減少に伴う環境配慮

現場で使用する型枠材が減少することで材料の運搬・処分量も減少し、環境負荷が低減される。

e) 工期短縮（約22ヶ月→約18ヶ月：4ヶ月短縮）

工場生産で天候に左右されないPCa部材を採用することで、現場打ちコンクリート打設回数を削減し、上部躯体工事工期を短縮している。

また、ST版を採用することで支保工をなくし、内装工事への移行を短期間に行うことができ、更に工場でPCa部材表面に仕上げを施すことにより、現場での内・外装工事期間を短縮している。

なお、建物両端部及び中央部分の耐震壁等については、施工性・効率性・経済性等の観点からPCa部材とするメリットが少ないため、在来RC造としている。

4. PCaPC工法のポイント及び手順

(1) PCaPCの概要とポイント

本施設のPCaPC部材は、主に以下の部分に採用している。

a) 外周部に配置するPCaPC細柱

総数：270本（1階あたり90本）

荷重：1本あたり1.55t～1.71t

据え付け時間：1本あたり約20分

本施設の外観を印象づける1.8mピッチで縦型ルーバーのように配置されたPCaPC細柱は常時荷重のみを支持させることで、外部からの見付けを重視した断面形状（20×80cm）を可能にしている。

また、縦方向に途切れることなく柱を1本に見せるため、実物大サンプルにより水平方向の追従性能、接合部の強度検証及びコンクリート精度の向上・ジャンカへの配慮等、部材の仕上がり等の検証に加え、部材の保管及び運搬にも配慮するとともに、施工にあたっては、断面が小さく自立困難な細柱に対して、柱固定専用サポート等の考案や徹底した精度確認を行うことで高い品質を確している。

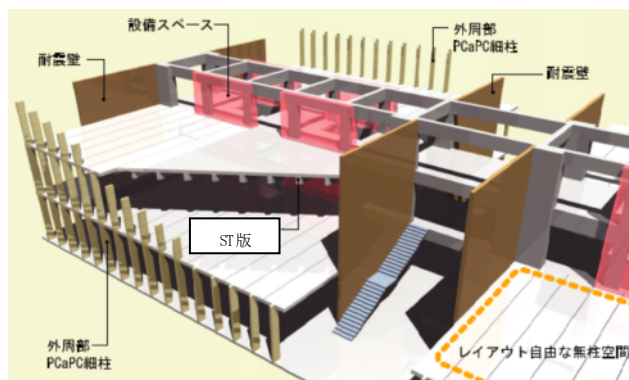


図-5 架構イメージ

b) 2・3階 講義室・研究室部分の床に配置するST版

総数：162枚

荷重：1枚あたり11.79t（長さ約14m）

据え付け時間：1枚あたり約30分

2階、3階の講義室等はST版を、内部中央大廊下側のRC造の耐震壁から外周部のPCaPC細柱に1.8mピッチで架設し、隣り合うST版を現場打ちトッピング・コンクリートにより一体化することで、梁をなくし、階高を抑えつつ、14mを超えるスパン長の大空間を確保している。このST版は、外周側端部では外装収まり、内部中央大廊下側端部では、天井・設備計画によりT型のリブを端部から1.5m（外）又は1.0m（内）までとし、端部断面を30×180cmとする形状としている。

PCaPC細柱との接合は、下階柱の柱頭部を柱せいの内側1/2を欠き込み、ST版端部を割り込んで柱に支持させる形状として現場圧着接合としている。通常であれば外見上、床があってその上下に柱が立つ構造となるが、柱せいの外側を残し、圧着接合で縦方向に連続させることで、1本の柱に見せることを可能にしている。構造的には、ST版両端部はピン接合として、外周部の柱梁接合の固定度を考慮した設計としている。

また、工場生産にあたり、設備配管等のインサートやスリーブ等の位置調整を十分行うとともに複雑な床版形状のため、細柱同様部材の仕上がりを検証することで高い品質を確保している。

c) R階の底付ST版・PCaPC底版

総数：86枚（ST版・底付ST版、長さ約17m）

88枚（PCaPC底版、長さ約1～5m）

荷重：1枚あたり17.64t～19.21t（ST版・底付ST版）

1枚あたり5.5～9.0t（PCaPC底版）

据え付け時間：1枚あたり約60分

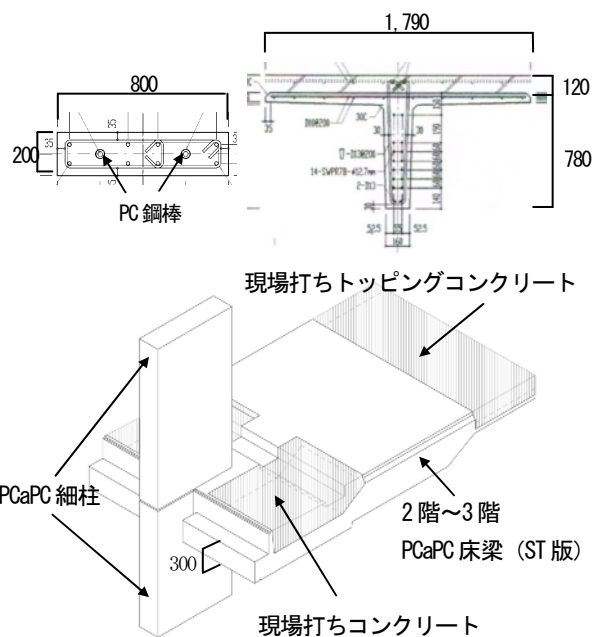


図-6 PCaPC細柱・ST版の断面図及び接合部イメージ

既存施設との調和と本施設の存在感を示すR階外周部四周の大底は、キャンチ長さ3.0m、厚さ15.5cm（先端）～40cm（基端）の変断面の底キャンチとなっている。この大底は、短辺方向では、講義室等の屋根と連続させた全長16mを超えるST版とし、妻面部分及び中央エントランス部分の大底は、基端をRC部分に連続させている。そして、この大底は、キャンチ方向に現場緊張すると共に、大底のPCaPC版同士を圧着接合により一体化し、クリープやひび割れによる将来のたわみ等の予防も図っている。

また、施工にあたっては、部材の工場生産過程での検証や搬入・揚重・支保工等の仮設計画時において長大な部材の工場からの運搬及び現場での荷揚げについて綿密に事前調整することで、高い品質を確保している。

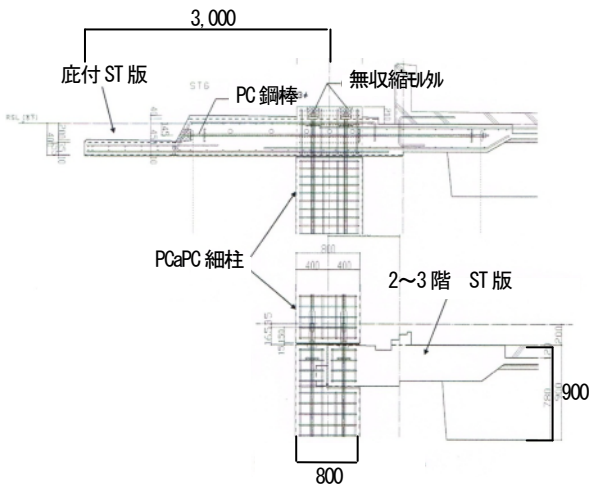


図-7 PCaPC細柱と底付ST版との圧着接合部詳細

(2) 施工手順

本施設におけるPCaPC工法の施工手順は以下のとおりである。

※ 綿密な事前調整

- ① 基礎部にPCa細柱用PC鋼棒セット
- ② 1階PCa細柱建方
- ③ 支保工を設置
- ④ 2階ST版を架設
- ⑤ 2階トッピング・コンクリートを打設
- ⑥ PCa細柱の調整後、柱頭・柱脚の目地に無収縮モルタルを充填
- ⑦ PC鋼棒を緊張後、グラウト充填
- ⑧ 上述作業を2階部分において繰り返し
- ⑨ 3階PCa細柱建方
- ⑩ 内部・R階外部底版用の支保工を設置
- ⑪ R階底付ST版・底版を架設
- ⑫ R階底付ST版・底版の圧着用目地施工後、外周部に圧着用PC鋼線を入線し緊張
- ⑬ R階トッピング・コンクリートを打設
- ⑭ トッピング・コンクリート導入時に強度確認後、底版PC鋼棒を緊張しグラウト注入
- ⑮ PCa細柱の調整後、柱頭・柱脚の目地に無収縮モルタルを充填
- ⑯ PC鋼棒を緊張後、グラウト充填

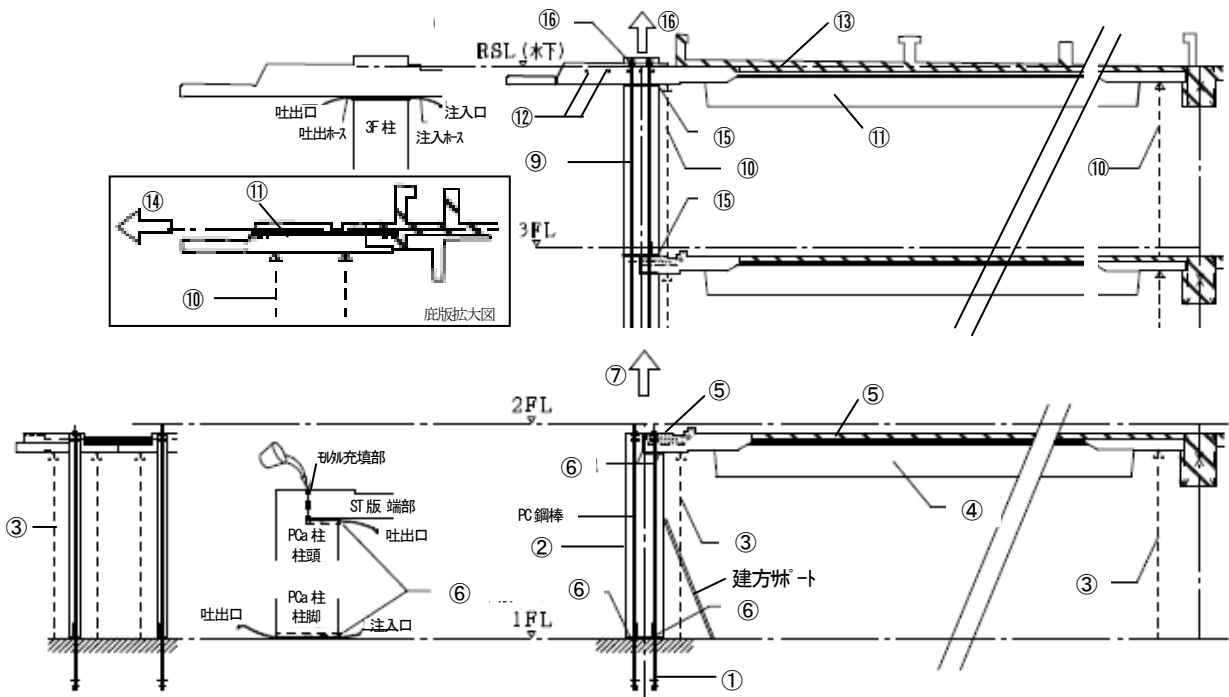


図-8 施工手順概要図

5. おわりに

今回は、北山文化環境ゾーンにおける大学施設の整備の中で PCaPC 工法を用いた建築工事の採用から施工手順等について簡単に触れてきた。

PCaPC 工法の活用は、在来 RC 造では作ることが難しい大空間を小断面で構成することができる。また、工場生産により、天候に左右されず高品質の部材が確保できるため、工期短縮と現場での型枠材料、型枠の組立・解体作業、工事車両やそれらの作業に伴う騒音等を縮減し、周辺環境への負担を軽減することが可能である。

昨今、職人不足への対応や環境への配慮が求められる社会情勢の中、今後の建築を考えると、当然、建物用途・規模にもよるが、イニシャルコスト、ランニングコストも見据えた上で、PCaPC 工法の活用は、重要な役割を担うものとする。

また、工事監理を行う中で、PCaPC 工法を活用するにあたっての種々の部材の接合方法等、施工管理知識の向上は必須であり、建築職員として一層のスキルアップを図っていかねばならない。

最後に、本施設の完成にあたり設計者は、「意匠・構造・環境を統合したPCaPCの細柱や奥行きの高い底は、コンクリートが持つ素材の力強さを十分に発揮し、深みのある味わい深い外観を造りだしている。」と喜びを表現し、施工者は、「これだけの規模のPCaPC工法の現場は少なく、社内的だけでなく対外的にも印象に残る建物となった。部材の工場生産段階での検討等綿密な事前調整に多大な労力を要したが、現場での精度誤差に対する苦労が在来RCとは比較にならないほど軽減され、昨今の労務事情の中でも工程管理を確実に行うことができた。」と喜びとともに充実感・達成感のコメントがあった。

本施設が、これから3大学の学生たちが集い、大学を超えた活発な交流が行われる中で、様々な人間関係を構築する場となり、本当の意味で地域にとけこむ施設となることを期待したい。

謝辞：本稿の執筆にあたり、資料等提供いただきました設計者・施工者をはじめ、本工事にご尽力いただきました関係各位に感謝いたします。

防潮壁構築における 礫質埋立地盤の地盤改良試験施工

狭間 智一¹

¹新関西国際空港(株) 技術・施設部 土地会社技術グループ (〒549-8501大阪府泉佐野市泉州空港北1番地)

東日本大震災以降、関西国際空港においては、ソフト面の対応として「関西国際空港津波避難計画」(2011年11月)を策定した。その後2013年8月に大阪府が南海トラフ巨大地震に伴う津波の想定を公表した。これは政府機関の想定に加え地域の地盤条件等を反映させたものである。関西国際空港におけるハード面の対策は、大阪府が公表した津波浸水想定に基づいて行うこととした。本報告はその対策のうち1期空港島西側護岸付近に設置する防潮壁について、その断面を検討する際に行った試験施工について報告するものである。

キーワード 南海トラフ巨大地震、津波、防潮壁、止水性、中層混合処理

1. 背景

大阪湾の海上を埋立てて建設された関西国際空港は、本年9月開港20年を迎える。現在規模は小さくなりつつも沈下は継続しており、これまで通常の維持管理に加え空港島の沈下に伴う護岸の嵩上げや旅客ターミナルビルのジャッキアップ工事等の沈下対策を行いながら運用を行ってきた。一方、東日本大震災を受け、2012年8月、内閣府から南海トラフ巨大地震対策を検討する際の津波高の推定が公表され、2013年8月には大阪府においても地域の実情を反映した津波浸水想定が公表された。これを受け関西国際空港島においても津波にも対応した防潮壁工事を計画することとした。



写真-1 関西国際空港の全景

2. 防潮壁の計画諸元

(1) 計画高さ

これまでの維持管理では空港島護岸は高潮への対応を前提に、波あたりの強い沖合側護岸を高くすることを優先的に行ってきた。一方、大阪府の津波浸水想定によると、関西国際空港の1期島と2期島に挟まれる内部水面内の津波水位が最も高く上昇する結果となった。これまで内部水面海域は沖合波の伝播もなく静穏度が高く、波浪の影響は殆どないと考えていた。今回の大阪府の想定結果を受け内部水面のうち1期島側は旅客ターミナル等が存在することから、防潮ラインの計画高さを大阪府の津波想定結果を基に見直した。

写真-1に関西国際空港の全景と防潮壁の設置位置を示す。また図-1.1に防潮壁の計画断面図を示す。

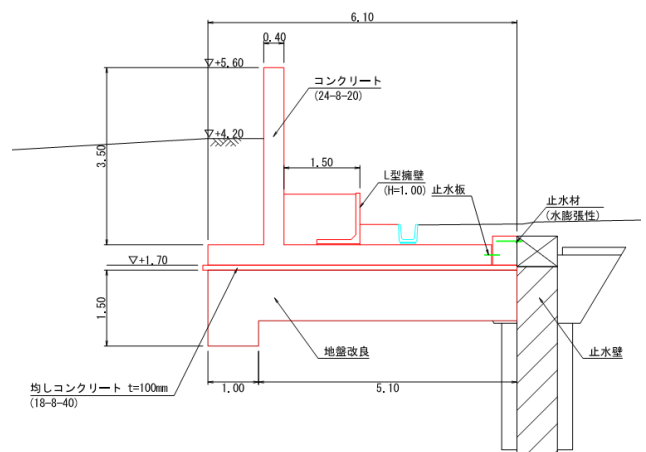


図-1.1 防潮壁の計画断面図

なお、その他の護岸部については高潮から求められる計画高さの方が、津波水位より高い結果であった。

(2) 防潮壁に求められる止水性の確保

空港島は埋立材料の透水性が高く、外海の潮位と島内の地下水位が連動し、地下室への漏水等の不具合に対処するために2000年～2006年にかけて空港島全周に止水壁を構築した。図-1.2に示すように止水壁は施工上、空港島の護岸の捨石部を避けた箇所に設置せざるを得なかった。設置後、止水壁の天端高も沈下に伴って低下してきたことから、今回止水壁の嵩上げも兼ねた防潮壁の断面を設計することとした。

後で述べるが、埋立地盤は透水性が高いことから高潮や津波に伴って止水壁から外側の地下水位が上昇することが想定される。防潮壁はこれに対する安定性能が求められることとなる。つまり揚圧力に重量で抵抗させる必要がある。その断面をコンクリートで設定する案も考えられるが、経済性や残土の低減といった観点から代替案として原位置において中層混合処理(中層混合処理機、トレンチャー式)を行い、その上にコンクリートの擁壁を接続して構築する断面を検討することとした。なお試験施工改良体は止水壁の嵩上げを兼ねるため、止水壁の要求性能である透水係数 $1.0 \times 10^{-8} \text{m/sec}$ を満足することを試験施工に置いて確認することとした。

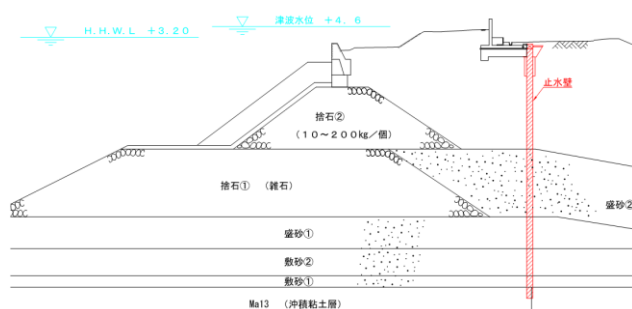


図-1.2 護岸標準断面図

3. 試験施工の目的

空港島の埋立材料の多くに和泉層群系の礫質土（最大粒径約300mm、礫分含有率約90%）が使用されている。このような埋立地盤を対象とした原位置機械攪拌による難透水性地盤の構築例は無く、その施工性や品質は不明であった。そこで、中層混合処理機（パワーブレンダー工法）の施工性とその品質の確認検証を目的に試験施工を実施した。

(1) 埋立材料の物性

閑空1期島の埋立土砂は、主に大阪府の阪南、和歌山県の加太および兵庫県淡路島の3箇所より採取され、淡

路島北部産のマサ土と阪南、加太及び淡路島南部産の和泉層群系土砂に大別できる。今回の施工範囲は和泉層群系の礫質土で埋立造成されている。表-3.1に埋立土砂の物性を示す。

表-3.1 埋立土砂の物性

細粒分含有率	3～7%
礫分含有率	89～95%
最大粒径	220～300mm
均等係数	10～45

(2) 地下水位と周辺潮位の関係

図-3.1に止水壁構築前後の地下水位周辺潮位の関係を示す。2006年の止水壁完成以前は、地下水位と周辺潮位が連動しており、高い透水性地盤であることがわかる。今回の施工エリアは止水壁から護岸側であるため外海の潮位と地下水位が連動することが想定される。今回の試験施工において、中層混合処理工法が地下水位の影響を受けるか否かも確認事項となる。

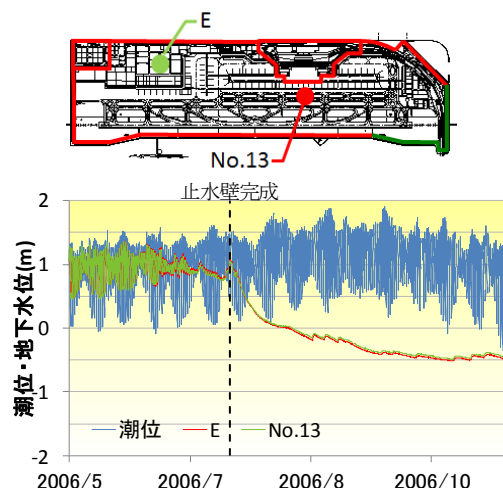


図-3.1 地下水位と周辺潮位の関係

4. 配合試験

(1) 想定条件

最大粒径 300mm の巨礫を含む透水性の高い礫質土による埋立地盤を対象に、潮位変動下、原位置機械攪拌にて難透水性地盤を構築する施工手順を検討した。

現在使用が想定される中層混合処理機では、300mmの巨礫を含んだままでは攪拌混合が困難なことから、ワーカビリティを確保するため巨礫を取り除くこととした。まず改良範囲をバックホウで掘削し、100mm メッシュのスケルトンバケットにて礫分等を除去する。通過したフルイ処理土を埋戻し、バックホウで転圧後、地盤改良することとした。次に、潮位の影響確認のため、施工時の潮位を DL+1.6m（満潮位）と仮定した。また、施工中、

周囲の水を巻き込むことも考えられるので、水セメント比も数種類試験することとした。

(2) 試料調整と試験方法

表-4.1 に採取した試料土のうち粒径 100mm 以下の物性を示す。

表-4.1 粒径 100mm 以下の物性

土粒子の密度 (g/cm^3)		2.687
自然含水比 (%)		8.12
粒度特性	礫分	69.3
	砂分	20.3
	細粒分	10.4
均等係数		177
最大乾燥密度 (g/cm^3)		1.932
最適含水比 (%)		13.3

掘削した礫質土をバックホウ転圧するため、日本工業規格「突固めによる土の締固め試験方法」(JIS A 1210:2009) の A-c 法で締固め度 85%程度を目安にモールドに充填した(実測 85.8%)。満潮時には、施工地盤の 3 分の 2 が地下水位以下となるため、上部を自然含水比状態、下部を浸水状態とする合併試料を作製した。その合併試料は、湿潤密度 $1.926\text{g}/\text{cm}^3$ 、含水比 15.5%の試料土となった。

現場目標透水係数($k=1\times 10^{-8}\text{m/s}$)を得るのに必要なセメント添加量及び水セメント比を求めるため、以下の試験を実施した。練り混ぜ直後のテーブルフロー試験(JIS R 5201:1997)、供試体作製は(JGS 0821:2009)による、所定日数養生後、一軸圧縮試験(JIS A 1216:2009)と透水試験(JIS A 1218:2009)を実施し、以下の配合とした。

表-4.2 配合試験のパターン

セメント添加量	150・200・250 kg/m^3
水セメント比	70・105・140%
セメント種類	高炉セメント B 種

(3) 試験結果

図-4.1 にテーブルフロー値（以下、TF 値とする。）と水セメント比の関係を示す。添加量 $150\text{kg}/\text{m}^3$ では TF 値 119～155mm、添加量 $200\text{kg}/\text{m}^3$ では TF 値 126～173mm、添加量 $250\text{kg}/\text{m}^3$ では TF 値 138～193mm となった。

前述したように、地下水の巻き込み影響にて、施工時の安定処理土の TF 値は 150mm を超えるのではないかと予測した。そこで、得られた試験結果より、目標透水係数 ($k=1\times 10^{-8}\text{m/s}$) を満足する TF 値と添加量の関係 (図-4.2 に示す) 作製した。図-4.2 より、TF 値を 150mm とした場合における、目標透水係数($k=1\times 10^{-8}\text{m/s}$)を満足するために必要な固化材添加量は、 $197\text{kg}/\text{m}^3$ とする値を得た。

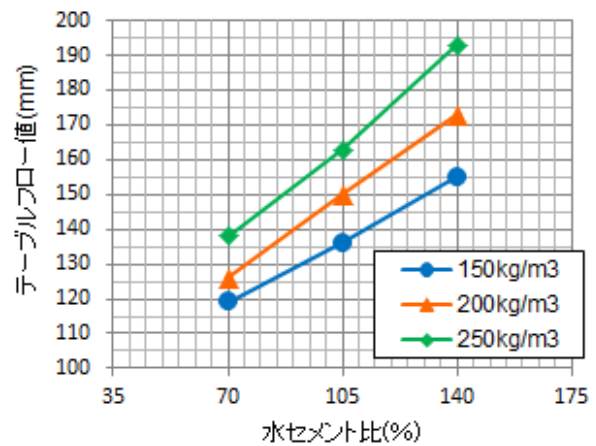


図-4.1 テーブルフロー値と水セメント比の関係

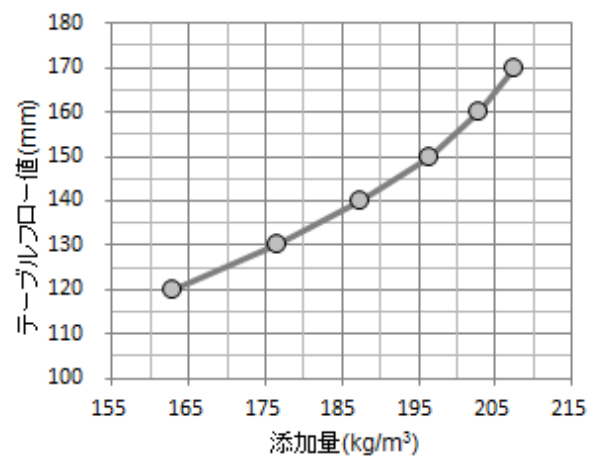


図-4.2 目標透水係数 ($k=1\times 10^{-8}\text{m/s}$) を満足する
テーブルフロー値と添加量の関係

5. 試験施工

(1) 試験施工概要

幅 3.0m×奥行 4.0m×深度 3.0m をパワーブレンダー工法により、改良体を造成した。配合試験では添加量 $150\text{kg}/\text{m}^3$ で現場目標透水係数 ($k=1\times 10^{-8}\text{m/s}$) 以下の結果が得られたが、難透水性地盤の構築確認の最優先と、以下の 2 点が懸念されるので、より確実な添加量を採用した。

1. 施工地盤周辺の地下水位による、改良体品質への影響は、不明である。
2. 最大粒径 100mm の礫質地盤を対象とする、室内と現場との品質（混合性）の差は、不明である。

表-5.1 に実験パターン、図-5.1 に試験施工位置図を示す。

表-5.1 実験パターン

実験パターン	A	B
固化材種類	高炉セメント B 種	
固化材添加量	200kg/m ³	250kg/m ³
水セメント比	70%	
時間当り作業量	40m ³ /h	

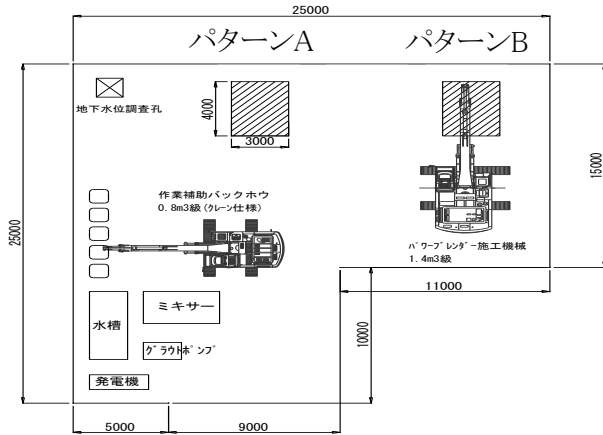


図-5.1 試験施工位置図

(2) 潮位測定結果と施工状況

図-5.2 施工時の地下水位と潮位測定結果を示す。潮位表と実測値はおおよそ同じだった。また、潮位実測値と地下水位実測値との差は 5cm 程度であり、潮位がほぼ地下水位であった。

表-5.2 に攪拌混合直後の安定処理土の TF 値を示す。パターン A、B とともに、配合試験時とほぼ同程度の結果となり、地下水の影響は確認されなかった。

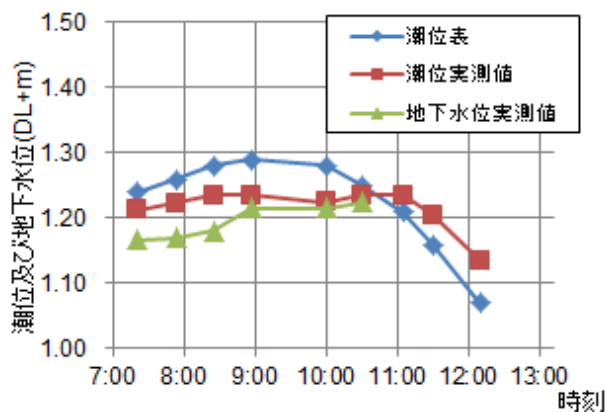


図-5.2 施工時の地下水位と潮位測定結果

表-5.2 攪拌混合直後の安定処理土の TF 値

実験パターン	A	B
TF 値	127	132
(mm)	126	138

(3) 改良体の品質管理

改良体の品質を確認するため、チェックボーリングを

行った。ボーリング位置は改良体の中央部で、上部の盛り上がり土も含め、DL-0.35m 程度(改良体下端より 0.5m 上部)まで長さ約 2.5m のコアを採取した。図-5.3 にボーリング採取位置を示す。

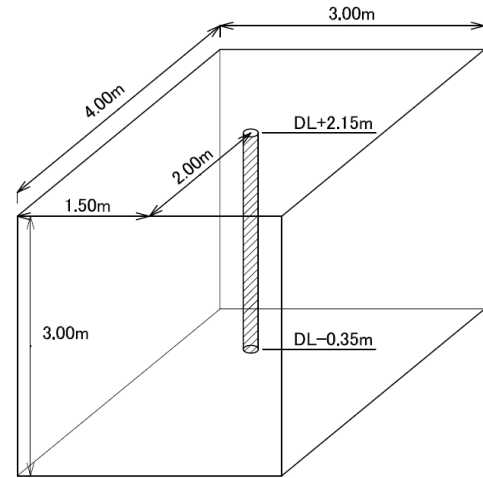


図-5.3 ボーリングコア採取位置

改良体の湿潤密度及び強度は、ボーリングコアを用いて一軸圧縮試験で評価した。1 コアあたり 5 箇所 (DL+2.2m 付近, DL+1.9m 付近, DL+1.3m 付近, DL+0.6m 付近, DL+0.1m 付近)を試験した。表-5.3 にボーリングコアの湿潤密度と一軸圧縮強さを示す。

1 コアあたり 5 箇所の平均値及び変動係数をまとめている。湿潤密度の平均値は、パターン A、B とともに 2.072g/cm³ 以上であった。また、一軸圧縮強さの平均値は、パターン A、B とともに 4000 kN/m² 以上となった。

表-5.3 ボーリングコアの湿潤密度と一軸圧縮強さ (n=5, 材齢 28 日)

実験パターン	湿潤密度 (g/cm ³)	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	
	平均	平均	変動係数
A	2.072	4100	8.8%
B	2.087	4780	24.6%

一方、改良体の透水係数は、ボーリング削孔後の孔壁を利用して現場透水試験 (JGS 1314-2003) を実施した。試験した深度は、上 (DL+1.65m～DL+1.15m) ・中 (DL+0.90m～DL+0.40m) ・下 (DL+0.15m～DL-0.35m) の 3 箇所で、試験結果については 3 箇所の平均値を用いた。表-5.4 に孔壁を利用した現場透水係数を示す。

今回、得られた現場透水係数の平均値は、材齢 28 日で $k=5.21 \times 10^{-10}$ m/s 以下であり、現場目標透水係数 ($k=1 \times 10^{-8}$ m/s) を満足する結果が得られた。この結果は、当初懸念した周辺地盤からの地下水の影響もなく、室内試験値よりも良好な結果となった。

また、A・B いずれのパターンにおいても、材齢と共に改良体の透水係数が小さくなっていることが確認でき

た．長期材齢 365 日の現場透水試験においても同様の結果が得られ，安定した品質が継続されていることを確認した。

表-5.4 孔壁を利用した現場透水係数(n=3)

実験 パターン	透水係数の平均値 (m/s)		
	材齢 28 日	材齢 90 日	材齢 365 日
A	5.21×10^{-10}	3.76×10^{-10}	1.70×10^{-10}
B	3.26×10^{-10}	3.52×10^{-10}	1.03×10^{-10}

6. まとめ

今回の配合仕様のみではあるが，関西空港の最大粒径 100mm 以上の礫分を除去した礫質地盤において，地下水位の変動を受ける施工条件下であっても，攪拌混合時の流動値（TF 値）を適切に管理することにより，良好な難透水性地盤の構築が可能であることが確認できた。

適切な流動値（ワーカビリティ）にて施工された難透水性地盤は，長期に亘り良好な品質が継続されることが確認できた。

参考文献

- 1) 狭間，大竹，野田ら：礫質埋立地盤の止水を目的とした原位置攪拌による地盤改良試験施工(その 1)・(その 2)・(その 3)，土木学会全国大会第 69 回年次学術講演会，2014.9(投稿中)

FRP材を用いた検査路の耐荷性状と適用実例

久保 圭吾¹・清水 達也²

¹宮地エンジニアリング（株） 技術部技術グループ（〒103-0006 東京都中央区日本橋富沢町9-19）

²宮地エンジニアリング（株） 橋梁営業部 橋梁第2グループ（〒550-0004 大阪府大阪市西区靱本町一丁目8-2）

近年，社会資本の老朽化が大きな社会問題となっており，維持管理の重要性が認識されている．しかしながら，既存の橋梁では維持管理設備が不足や，鋼製検査路の腐食劣化などの課題が顕在化してきており，軽量で耐食性の高い点検設備が望まれている．このような状況の下，軽量，高強度で耐食性に優れるFRP材を用いた検査路を開発した．ここでは，FRP検査路を実橋に適用するにあたり実施した各種の耐荷力試験結果を示すとともに，既設橋梁に後から設置した実例，および腐食した検査路を取替えた事例をもとに施工性について報告する．

キーワード FRP，維持管理，検査路，耐荷力

1. はじめに

近年，社会資本の老朽化が大きな社会問題となっており，2012（H24）年の道路橋示方書の改定では，維持管理の容易さに加えて，維持管理の確実性についても考慮すべきことが規定された．このため，維持管理設備等については，橋の設計段階から適切に配置できるものの，既存の橋梁では維持管理設備が不足していた場合，近接できない箇所の点検が困難となることが課題となっている．また，海岸部や融雪材などを散布する地域では鋼製の検査路自体の腐食劣化も進行しており，腐食した検査路の床を踏み抜いて落下する事故も起きていることから，耐食性の高い点検設備が望まれている．

これらの問題に対する解決策の一つとして，軽量，高強度で耐食性に優れるFRP材を用いた検査路を開発した．

このFRP検査路は，概念図を図-1に，構造図を図-2に示すように，軽量で耐食性に優れたFRP材を組合せた構造としている．このため，海岸部や融雪材を散布するような腐食環境の厳しい場所での適用に対し維持管理上有利となる．また，既設橋梁に後から検査路を設置する場合は，重量が軽いことから既設構造への荷重増加の影響を最小限に抑えることができる上，橋梁下面への設置に際しクレーン等の重機を必要とせず，人力による施工が可能となることから施工性面でも有利となる．

ここでは，FRP検査路を実橋に適用するにあたり実施した各種の耐荷力試験結果¹⁾を示すとともに，現在約50件の実績がある中で，既設橋梁に後から設置した実例として，福井県三国町の鋼橋に設置した上部工検査路，腐食した検査路を取り替えた福井県あわら市の下部工検査路及びブラケットに関して施工状況¹⁾について報告する．

2. FRP検査路の構造概要

FRP検査路に使用する材料は，FRP材の中でも高強度・高弾性率の材料を製造可能なFRP引抜成形材を用いている．手摺の構造は，角パイプを用いた柱にチャンネル材を笠木として被せることで，柱による笠木の分断がなく歩行時の使用性も向上を図っている．また，丸パイプの中段手摺を，柱の角パイプに貫通させることで交差部の角変形を抑制し，面内の剛性を高めている．



図-1 FRP検査路の概念図

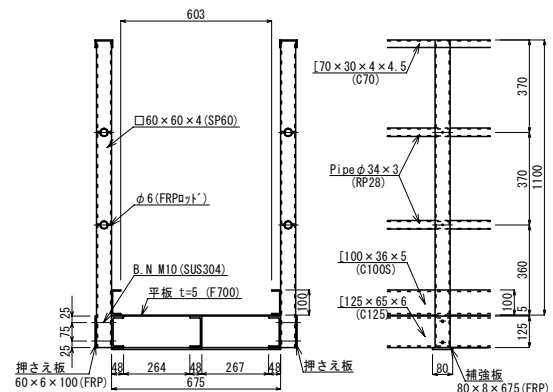


図-2 FRP検査路の構造（支間 L ≥ 6.0mの場合）

歩廊の構造は、平板を歩行面とし、この下にチャンネル材を接着剤により一体化させた断面で活荷重に抵抗するものとしている。なお、歩廊断面は、チャンネルのサイズにより、検査路の支間長が6mまでのタイプと10mまでのタイプの2種類としている。

3. FRP検査路の耐荷性状

検査路の荷重は、活荷重および手摺への水平力・鉛直力が設計荷重として規定されている。FRP構造物に関しては、FRPが異方性材料であることから想定した計算結果と異なる損傷が生じる可能性があり耐荷性状が明確ではない。このため、実用化にあたっては、各荷重に対する載荷試験を実施し、耐荷性状の確認を行うものとした。

(1) 活荷重載荷

試験に用いる供試体は、検査路の6mタイプ（[125]）で実施した。載荷は、20kgに調整した砂袋を載せる方法で実施し、活荷重（ 3.5kN/m^2 ）相当の荷重を載荷した。なお、載荷に際しては、方側に偏載した場合の挙動も調べるため、歩廊の半分に載荷する荷重状態も再現した。

供試体の概要を図-3に、試験状況を図-4に示す。図-5に示す支間中央でのたわみは概ね線形的な挙動をしており、設計荷重に対する耐荷力は問題ないことが確認できた。このときのたわみ値が、歩廊のみの剛性で計算した値（59mm）に対し若干小さい値を示すのは、手摺の剛性が寄与しているためと考えられる。また、半載した状態では、載荷側のたわみが大きくなるものの、特に変状は生じないことが確認できた。

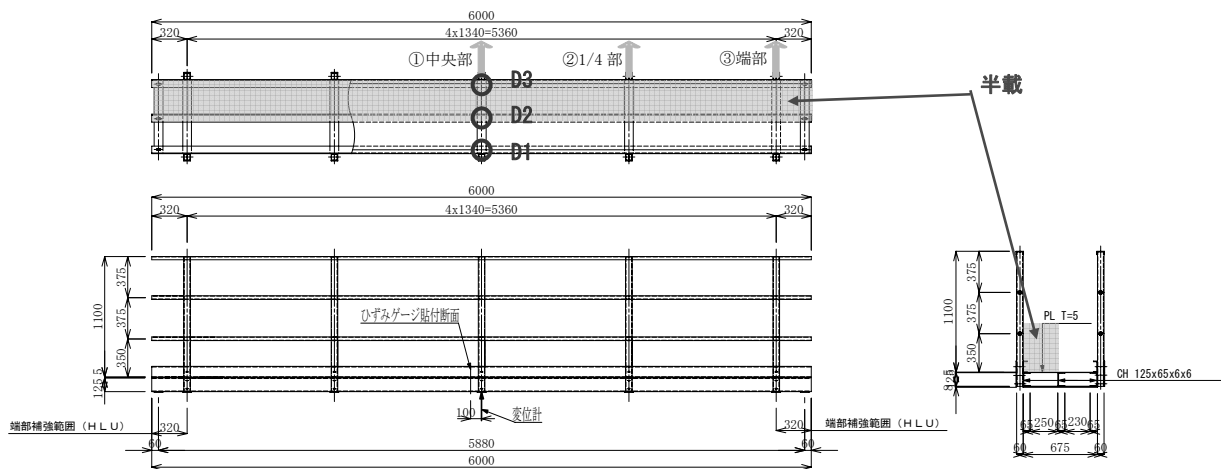


図-3 6mタイプ供試体



図-4 試験状況（活荷重全載）

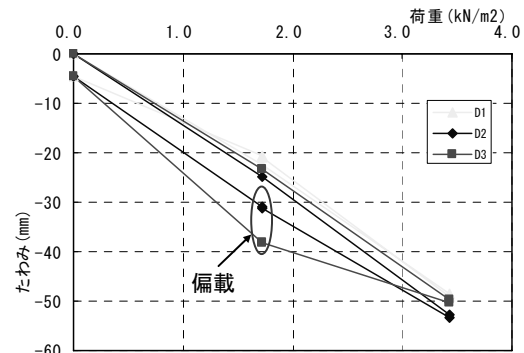


図-5 試験結果



図-6 載荷状況

表-1 試験結果

	①中央部		②1/4部		③端部	
	荷重 (kN)	変位 (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)
初期	0.000	0	0.000	0	0.000	0
設計荷重	0.521	38	0.529	36	0.390	49
設計荷重×2	1.058	82	1.038	83	0.773	113

(2) 水平載荷

試験に用いる供試体は、活荷重載荷に用いた供試体と同じものを使用した。載荷位置は、図-3に示す各柱部とし、図-6に示すようにチェーンブロックにより水平に載荷した。試験結果を表-1に示す。これより、設計荷重の2倍の載荷に対してもFRP検査路に損傷は生じておらず、十分な耐荷力を有していることが確認できた。

(3) 歩廊の破壊性状

FRP 検査路の歩廊に対する破壊性状を確認するため載荷試験を実施した。試験は 10m タイプの歩廊桁（[200]）を H 鋼 2 基で試間 6m で支持するものとした。供試体の概要を図-7 に示す。載荷は、門型フレームから油圧ジャッキにより、歩廊中央部の載荷板（100mm×650mm）を介して行った。歩廊中央の荷重-たわみ関係を図-8 に示す。これより、実験値と解析値は概ね一致しており、設計荷重の 7.5 倍（57.6kN），たわみ 135mm で大きな音をともなう破壊に至った。破壊状況を図-9 に示しているが、破壊形態は載荷板付近の板材とチャンネル材の剥離であり、側面のチャンネル材にも亀裂が生じていた。ただし、破壊した後も設計荷重以上の荷重を保持してい

ることから、安全性を損なうような破壊形態とならないことが確認できた。

(4) ブラケットの耐荷性状

ブラケットは、本体部に I-300×150×10×14 の GFRP 引拔成形材を用い、接合部は L 形に曲げ加工した SUS アングル材を FRP ウェブとステンレス製高力ボルト 6 本により摩擦接合する構造としている。表-2 に GFRP 材（I-300）の材料特性を、表-3 に SUS アングル材の材料特性を示す。

このブラケットの耐荷性状を確認するため、実際の構造を模した供試体による載荷試験を実施¹⁾し、FRP 本体部および接合部の耐荷性状を確認することとした。

図-10 に試験体の概要を、図-11 に試験状況を示す。

試験は、ブラケット固定点から 708mm の位置に、載荷フレームに設置した油圧ジャッキにより単調増加で載荷した。なお、載荷点上には 100mm×100mm の載荷板を置き、その下に同寸法のゴム板を敷いている。

このとき、検査路の歩廊に群集荷重 3.5kN/m² が作用した時の検査路からの反力により、ブラケット基部に生じる曲げモーメントと等価となる曲げモーメントが作用するようなブラケット先端の集中荷重を設計荷重

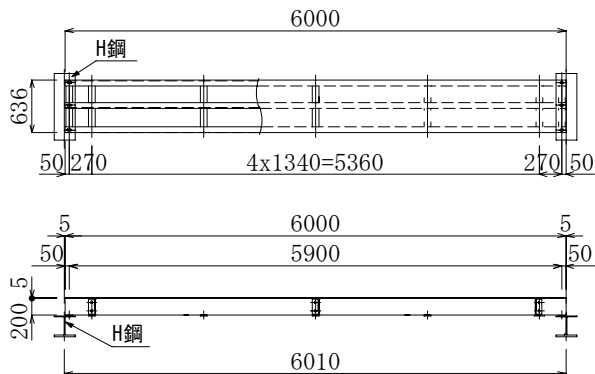


図-7 歩廊耐荷力試験供試体の概要

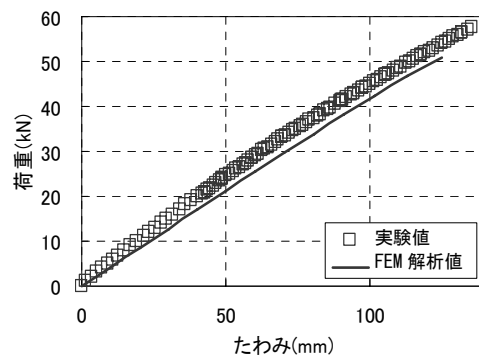
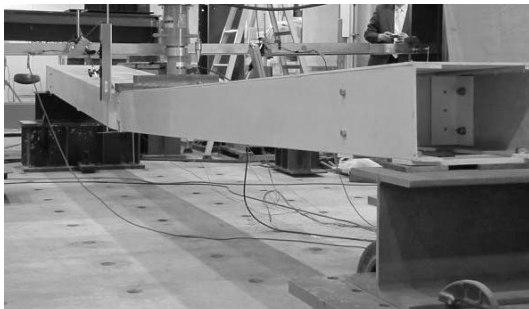
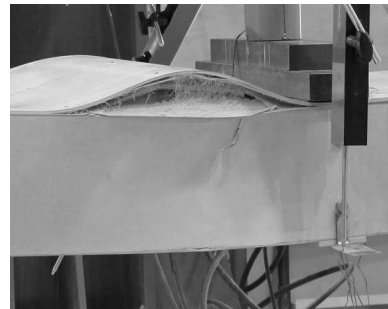


図-8 歩廊中央の荷重-たわみ関係



(a) 試験体全景



(c) 載荷板直下の変形性状

図-9 破壊状況

表-2 GFRP の材料特性

	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (kN/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮弾性率 (kN/mm ²)
フランジ	400	30	480	35
ウェブ	引抜方向	250	430	30
	直角方向	90	95	20
	45° 方向	45	—	—

表-3 SUS の材料特性

	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (kN/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)
SUS材	600	196	260

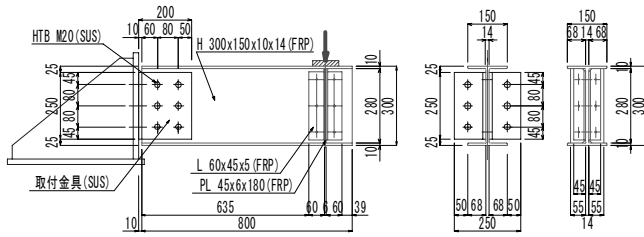


図-10 供試体の概要

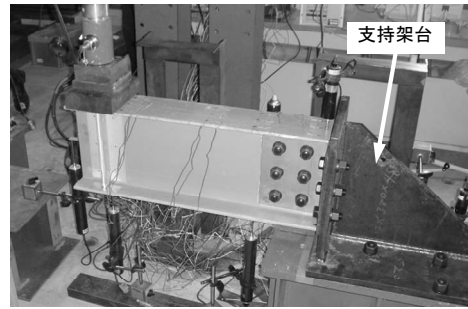


図-11 試験状況

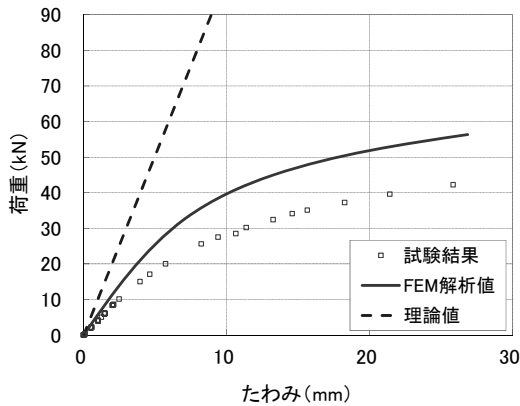


図-12 荷重-たわみ関係

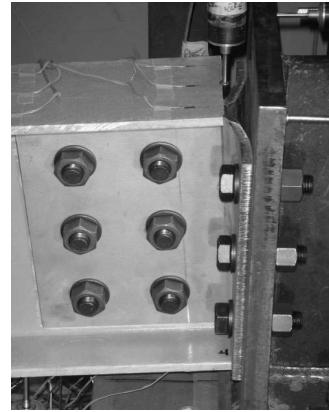


図-13 最大荷重時の接合部状況

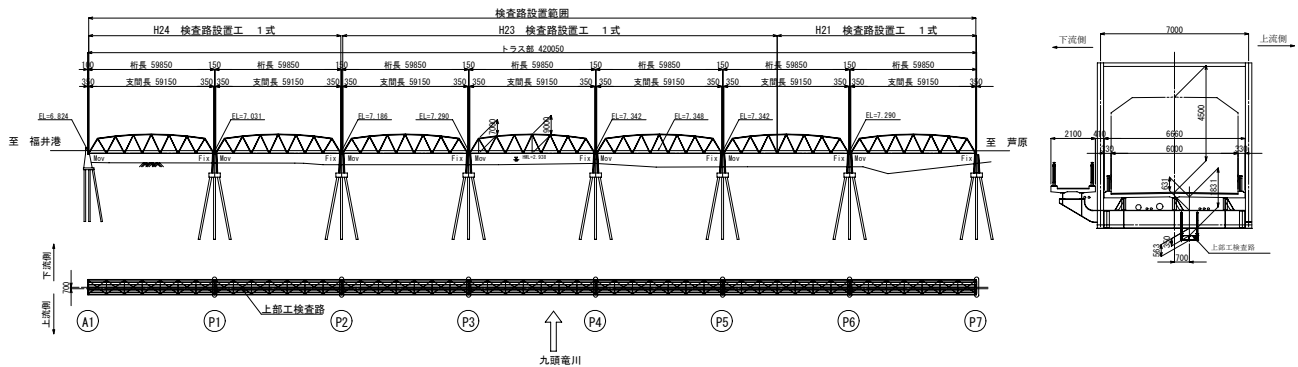


図-14 新保橋一般図



図-15 新保橋の全景

(8.5kN) として载荷した。

図-12 に荷重-たわみ関係を示す。なお、図中の理論値は、はり理論に基づいたブラケットのたわみの計算値である。これより、設計荷重 (8.5kN) 程度の荷重に対しては線形性が確保されており、その後荷重 24.6kN 時に

SUS アングル材の降伏により、以降の変位増加量が增大することが確認できた。また、最大荷重時の接合部の状況を図-13 に示すが、アングル材が降伏し大きく変形しているものの GFRP 本体の損傷は生じていないことがわかる。これより、FRP ブラケットは、設計荷重の 3 倍程度で SUS アングル材の降伏により終局を迎え脆性的な破壊とならないことから、実用上問題ないと考えられる。

4. 実橋での適用事例

(1) 既設橋梁に後から設置した事例

新保橋は、福井県坂井市の九頭竜川河口に位置する 1966 年完成の下路式単純平行弦トラス橋 (7 連) である (図-14 に橋梁一般図、図-15 に全景を示す)。本橋は海に近く、飛来塩分の影響で図-16 に示すように鋼桁が腐食しており、橋梁長寿命化修繕計画の基に補修が進めら



図-16 鋼桁の腐食状況



図-17 検査路の荷下ろし（ユニック車）



図-18 桁下の足場への取込み



図-19 桁下の足場上での移動



図-20 設置完了



図-21 鋼製検査路の腐食状況

れていた。FRP検査路は、点検用通路の確保とともに、塗装の長寿命化を図るための鋼桁洗浄の足場としても用いることを目的として設置されたものである。

このとき、検査路の選定にあたっては、塩害環境下における耐食性はもとより、塗替え用の足場上での設置の作業性を勘案してFRP検査路が採用された。なお、FRP検査路の設置は、図-14に示すように3カ年に分けて実施された。

検査路の施工は、先ず橋上のユニック車（図-17）から桁下の足場に橋梁側面から搬入（図-18）し、その後図-19に示すように、FRP検査路が比較的軽量である（長さ8m、重量160kg）ことから、足場上を人力で設置場所に移動させる手順で実施した。この結果、足場内の狭い空間にも関わらず、FRP検査路の設置は容易に施工できることが確認できた。FRP検査路を設置完了した橋梁下面から状況を図-20に示す。

(2) 下部工検査路の取替え実例

本実例は、福井県あわら市熊坂の国道8号線上に位置する高速道路の橋梁の下部工検査路が腐食したため、耐食性に優れるFRP製検査路に取り替えたものである。この鋼製検査路の腐食の原因は、幹線道路上に散布された融雪材が車輛走行により巻き上げられ、この塩分が検査路に付着することで劣化損傷したものであり、図-21に示すような断面欠損を生じるまで進行している。

FRPブラケットは、耐食性のみならず軽量であることから、重機を必要とせず現場施工性に優れると考えられる。このため、実際の取付け作業をもとに施工性についての確認を行った。

FRPブラケットの施工のフローチャートを図-22に示す。アンカーボルトの施工は、橋台の鉄筋を切断しないように鉄筋探査後に搾孔を行った。その後、アンカー孔位置を実測し、その結果をもとにベース部プレートの孔

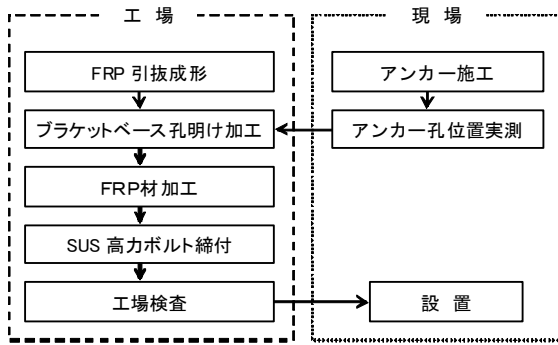


図-22 施工のフローチャート



図-24 ブラケット製作完了状況



図-23 設置状況



図-25 設置完了

明け加工を行い、工場で高力ボルトの締付けを行った。なお、高力ボルトの軸力管理はトルクレンチで行っている。製作工程は、材料手配に日数がかかったものの、塗装やメッキの必要が無く、製作日数は10日程度と比較的短いことが確認できた。図-23に製作完了状況を示す。

FRPブラケットの架設は、軽量であるものの、ベース部がSUS材であるため重量バランスが悪く、取扱いやや注意が必要であった。しかし、作業員一人で十分持てる重さ（約20kg）であり、取付も高所作業車で容易に行うことができた。（図-24）FRPブラケット設置後のFRP検査路の設置はクレーンを用いて行い、歩廊部のみを架設した後、手摺りの取付を行った。（図-25）

5. おわりに

FRP検査路の一連の耐荷力試験および実施工から、以下に示す事項が明らかとなった。

- 1) FRP検査路は、活荷重、水平荷重に対し実用上十分な耐荷力を有していることが確認できた。
- 2) FRP検査路の歩廊の破壊形態は、載荷板付近の板材とチャンネル材の剥離であるが、破壊後も設計荷重以上の荷重を保持しており、安全性を損なうような破壊形態とならない。
- 3) FRPブラケットは、設計荷重の3倍程度の耐荷力を有しており、脆性的な破壊とならないことから実用上問題ないことが確認できた。
- 4) 既設橋梁の路下へのFRP検査路の設置は、塗装用足

場を用いれば、容易に設置することが可能であることが確認できた。

- 5) FRPブラケットの設置は、作業員一人で十分持てる重さであり、取付も高所作業車で容易に施工できることが確認できた。

近年、維持管理の必要性から検査路を後から追加する場合や、腐食した検査路の取替えが増加するものと考えられる。この場合、軽量で耐食性に優れるFRP検査路の適用は有益なものと言える。

ただし、FRP検査路では手摺と歩廊の接続にステンレスボルトを用いており、腐食環境の厳しい地域ではステンレスの腐食も懸念される。このため、現在FRPボルトの適用性についても検討している。さらに、歩廊断面の一体成形による構造改善も実施しており、より合理的なFRP検査路構造を提供していきたい。

謝辞：FRP検査路の施工に関して、新保橋に関しては福井県三国土木事務所、熊坂橋に関しては中日本ハイウェイメンテナンス北陸の関係各位にご指導いただきました。ここに、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 久保圭吾・永見研二・山口浩平・日野伸一・稲葉尚文・青木卓也：道路橋検査路用 FRP 製ブラケットの静的耐荷性能と試験施工，土木学会第4回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム，pp.115-122，2012。

音響トモグラフィー探査を用いた岩盤の 鋼管矢板根入基面評価

谷地 宣之¹・植田 康宏²

¹大成建設（株）関西支店（〒611-0021 京都府宇治市宇治金井戸 15-4
大成建設（株）天ヶ瀬ダム放流設備建設工事作業所）

²（株）地域地盤環境研究所（〒550-0012 大阪市西区立売堀 4 丁目 3 番 2 号）

天ヶ瀬ダム再開発トンネル放流設備建設工事のうち、本工事は呑み口側にあたる流入部・前庭部を施工するものである。流入部は鋼管矢板で締切り、トンネルが接続するための立坑を掘削するものであり、前庭部はそのトンネルへの放流水を受け入れるため鋼管矢板で仕切り、その底盤にコンクリートを打設して水路を確保するものである。本稿では、前庭部における鋼管矢板工法に対して根入れ長を決定する際に重要となる連続的（面的）な施工基面（岩盤線）の推定を目的に、鋼管矢板打設位置の 4 隅に置いて実施された調査ボーリング孔を探查孔として利用した音響トモグラフィー探査結果について報告するものである。

キーワード 鋼管矢板、根入れ長、施工基面、物理探査、音響トモグラフィー探査、可視化

1. はじめに

京都府宇治市に位置する天ヶ瀬ダムのトンネル再開発工事のうち、流入部建設工事において鋼管矢板工の計画、施工を行っている。当該工事のうち、前庭部と呼ばれる土砂侵入防止部は、事前調査のボーリングデータが不足していることから、地層確認のために鋼管矢板打設位置の 4 隅において追加の調査ボーリングを行った。しかし、調査ボーリングで得られる結果はあくまでも点のデータであるため、当該調査地のように岩盤が傾斜し褶曲している場合は、ボーリング孔間で鋼管矢板の根入れ長の決定に必要な施工基面（岩盤線）を特定することは困難であった。そこで、探查断面内において連続的に岩盤線を推定できる音響トモグラフィー探査^{1) 2)}を用いて、施工基面の特定を行うことを試みた。本稿はその結果について報告するものである。

2. 工事概要及び地盤概要

写真-1、図-1 に示すように、本工事はトンネル放流設備のうち最上流の流入部（呑み口部）工事であり、立坑部の流入部と土砂侵入防止部の前庭部からなる。流入部は鋼管矢板で締切り（内径 28m）、鋼管矢板内を掘削し、トンネルが接続される立坑が構築される。一方、前庭部（21.3m×17.8m）は自立式鋼管矢板で仕切り、トンネルへの放流水が流れ込む際の土砂の流入を防止するものである。



写真-1 天ヶ瀬ダム放流設備再開発工事

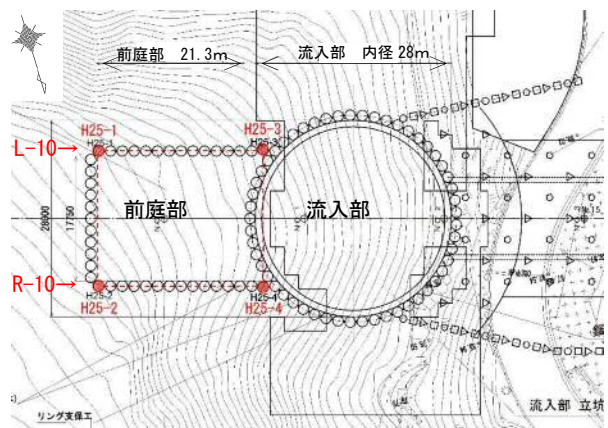


図-1 工事概要平面図（前庭部と流入部）

当該地の地層構成は、中・古生代の泥岩を主体として、これに砂岩、チャート、緑色岩の小規模なクラストを含むとともにひん岩岩脈の貫入が見られる岩盤であり、亀裂や破碎帯が多く発達している。周辺の調査結果からも、当該地の地質構造は概ね走向NW-SE方向で、傾斜は急角度の南落ちを示す。

図-2 に L-10 断面での事前調査による想定地質断面図を示す。当初は前庭部中央の 1 箇所ではしか調査ボーリング行われておらず、流入部側のボーリングデータ等から推測した地層縦断面図を基に鋼管矢板が設計されていた。しかし、その不確実さが大きいこと、自立式矢板のため根入れ長基面 (CL 級岩盤線) の評価が重要であることから前庭部の 4 隅に追加のボーリング調査を行った。この結果をもとに、当初の想定地質縦断面図を修正した L-10 断面の結果を図-3 に示す。ところが、4 か所のボーリング調査結果をもってしても、根入れ長基面の高さ等を一義的に特定することはできず、その不確実性を排除できる結果ではなかった。そこで、各ボーリング孔間 (4 断面) において音響トモグラフィ探査を実施した。

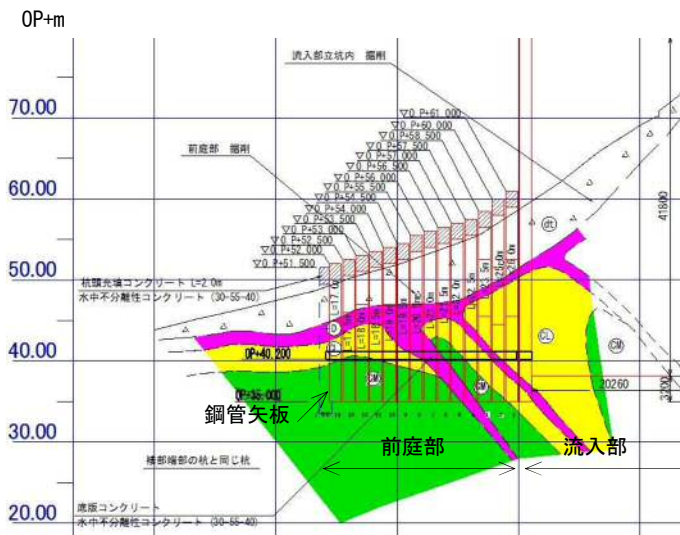


図-2 既存の想定地質縦断面図 (L-10 断面)

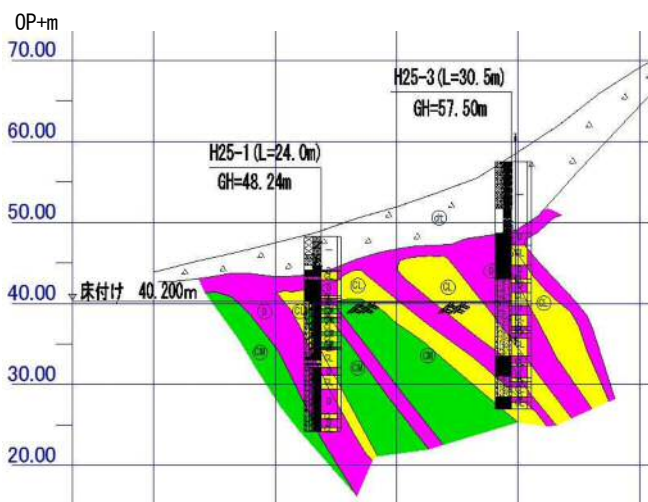


図-3 修正された想定地質縦断面図 (L-10 断面)

3. 音響トモグラフィ探査の原理

音響トモグラフィ探査の計測概念図を図-4 に示す。音響トモグラフィ探査は、孔内発振器と多連受信器を 2 つの孔に配置して、この孔間の地盤情報を可視化する技術である。本手法は、超音波と地震波の中間の周波数帯域である音響波 (数 100Hz ~ 数 10kHz) を用い、かつ連続波の一種である疑似ランダム波を用いることで、ボーリングに近い精度を維持しつつ従来の弾性波探査と同等の探査距離を可能にしている (図-5 参照)。図-6 は探査に用いる疑似ランダム波の一例で、(a) 図は発振波、(b) 図は受信波、(c) 図は発振波と受信波の相関計算を行った後の波形で、これより、到達時間と受信振幅が決定される。

探査は、受信器を所定の深度に設置し、発振器を任意のピッチで移動させていくことにより、音波の走査線が対象断面全体を切るように計測を行う。この時の各深度における到達時間とその振幅データから逆計算により、地盤の状態 (固さや開口の有無等) を解析するものである。

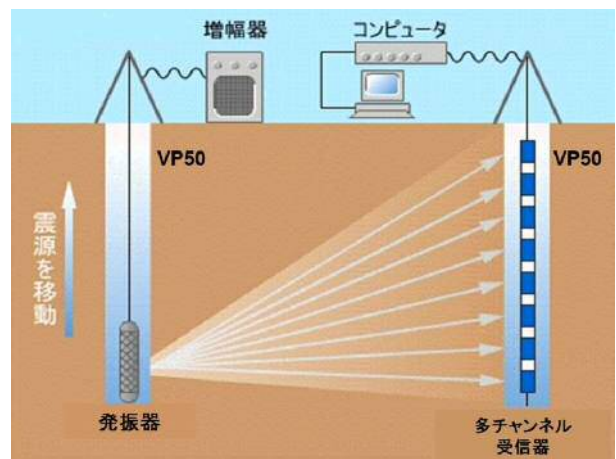


図-4 音響トモグラフィ探査概念図

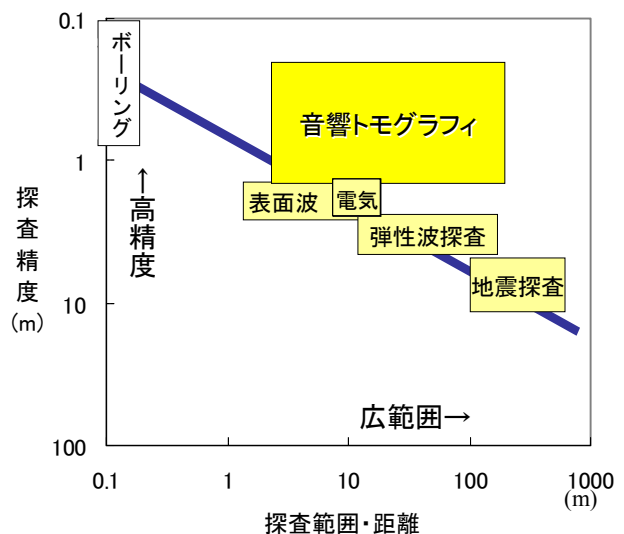


図-5 各種探査法における精度と範囲の比較

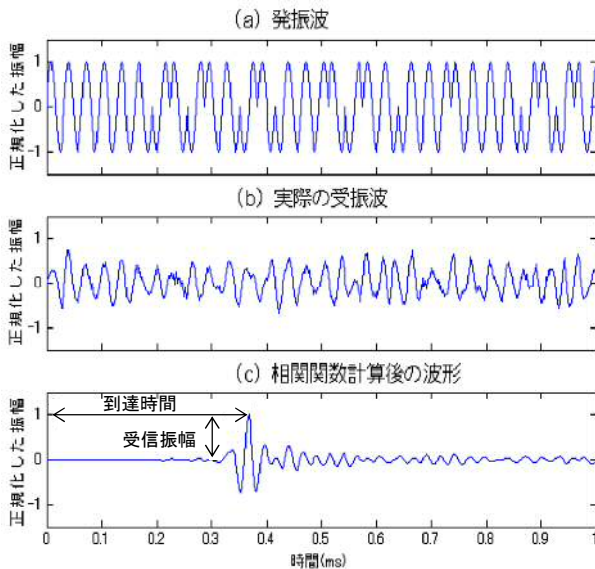


図-6 疑似ランダム波と相関計算後の波形

4. 音響トモグラフィ探査結果に基づく基盤面の決定

探査結果に基づく根入れ長基面（工学的基盤面）の決定方法、および当該地での速度値や減衰率に基づく岩盤の評価方法・留意点について説明する。

(1) 決定方法

音響トモグラフィ探査結果に基づく工学的基盤面は、以下の手順で決定した（図-7 参照）。

- ①速度分布とボーリング調査結果による地層状況を比較し、各断面において工学的基盤面に対応する速度値を判断する。
- ②速度値や減衰率の細部における変化等を考慮して探査断面内の地盤状況を詳細に検討する。

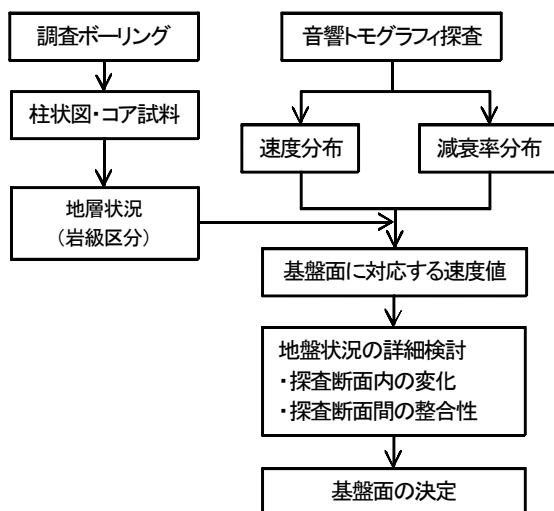


図-7 工学的基盤面の決定方法

- ③各断面で推定した工学的基盤面の位置をもとに、断面間の整合性を検討する。

- ④①～③の手順を繰返し、工学的基盤面を決定する。

(2) 速度分布と減衰率分布

本調査地の地盤は、前述したように亀裂や破碎帯が多く発達している。このような地盤状況において、泥岩・頁岩は劈開面に沿って角礫状に剥離する性質をもつため、ボーリングコアの状態では容易に角礫状を呈することになる。しかし、応力解放前の地盤内の状態では、潜在的な亀裂が密着した状態で、弾性波速度の低下はほとんど生じない。また、異方性を持つ成層構造であるため測定断面方向と片理方向の関係で計測される速度値が大きく異なることもある。一方、減衰率は岩盤内の不均一性、特に亀裂性状の影響が反映されやすく、不連続面の間隔や粗度、充填物の有無や種類によって減衰率特性は様々に変化する。また、岩石種の相違による固結度・密度の差異やそれらの接面での減衰も生じる。一般に速度と減衰の組み合わせで、地盤状況は以下のように判定できる。

- ①高速度＋高減衰：硬質の岩石が分布し、密着性の悪い亀裂が多いゾーン
- ②高速度＋低減衰：硬質の岩石で亀裂が少ないか、亀裂があっても非常に密着性が良いゾーン
- ③低速度＋高減衰：軟質の岩石が分布し、充填物を含んだ密着性の良くない亀裂が多いゾーン
- ④低速度＋低減衰：軟質の岩石で亀裂は少ないか、亀裂があっても非常に密着性の良いゾーン

(3) 速度の異方性

頁岩、砂岩、チャート等の互層は全般に層状の構造を示し、異方性がある。さらに、結晶片岩は片理面により異方性が顕著である。このような岩盤で弾性波探査を行った場合、地層走向方向の測線では速度が相対的に速く、走向に直行する方向では速度が遅くなる傾向が知られている。

本調査地においては、地質構造はN20～60° W, 50～80° Sとなっており、局所的に微褶曲が見られ、走向の変化が激しいことがわかっている。このため、今回実施した探査の測線と現地の地層走向とは様々な角度で交わり、結果として同じ岩種、同程度の岩盤等級であっても速度値が変化することは十分予想される。

5. 原位置調査

本調査では、図-1に示す4断面で探査を行ったが、そのうちの代表断面として、L-10測線における探査計画図を図-8に示す。探査孔は、所定の深度まで塩ビパイプを挿入し、水中部分は湖底から地山中に2m

程度打ち込んだケーシングパイプで保護した。写真-2～6は現地での調査状況および使用機材等を示す。

各測線とも、GL-2m～孔底を調査範囲とし、発振器側を50cmピッチで移動させて計測した。特に施工基面付近では25cmピッチとして対象断面を切る走査線を増やすことでより精度の高いデータを収集することとした。

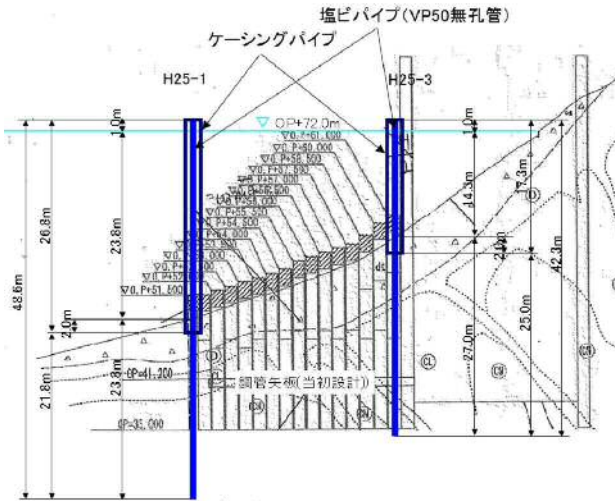


図-8 調査計画図 (L-10 測線)



写真-2 調査状況 (計測システム)



写真-3 調査状況 (発振孔)

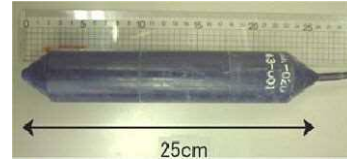


写真-4 発振器



写真-5 調査状況 (受信孔)



写真-6 受信器

6. 工学的基盤面の推定

図-9に、L-10断面の音響トモグラフィによる速度分布、および図-7の手順で特定した工学的基盤面（根入れ長基面）を示す。

音響トモグラフィ調査では、図-2 もしくは図-3に示すような急角度の傾斜構造を持つ地層に対しては、その地質構造を速度分布でもって再現することができず、結果は調査方向に対して平均的な速度分布となっていることが分かる。

図-9の工学的基盤面（根入れ長基面）は、得られた速度分布図と柱状図との対比から基盤面に対応する速度値を設定し、断面内や隣接断面との整合性を考慮して決定したものである。図において、工学的基盤面に対応する速度値は3.18km/sであった。

なお、H25-3側のOP+40～45mとOP+35m付近に低速度領域がみられるが、前者については安全側を考

慮して工学的基盤面を下方のラインに設定した。後者については局所的に挟在するもので広がりを持った分布はないと判断した。一方、本調査で得られた減衰率は、全測線において 0.1dB/kHz/m 以下とかなり小さい値であった。これは、当該地盤は亀裂が少ないもしくは亀裂があっても地山内では非常に密着性がよい状態にあると推定される。

図-10 に、ボーリング調査による想定地質断面図に、音響トモグラフィ探査によって得られた工学的基盤面（赤実線）を併記した。当初設計では既存のボーリング調査結果で推定された岩盤線をもとに床付け面（青実線）を基盤面として、それを基準に鋼管矢板の根入れ長が決定されていたが、音響トモグラフィ探査の結果では H25-1 側で基盤面が床付け面より下がっていることが判明したために、図の赤線を基盤面として鋼管矢板の根入れ長を再計算した。

図-11 に、今回実施した音響トモグラフィ探査に

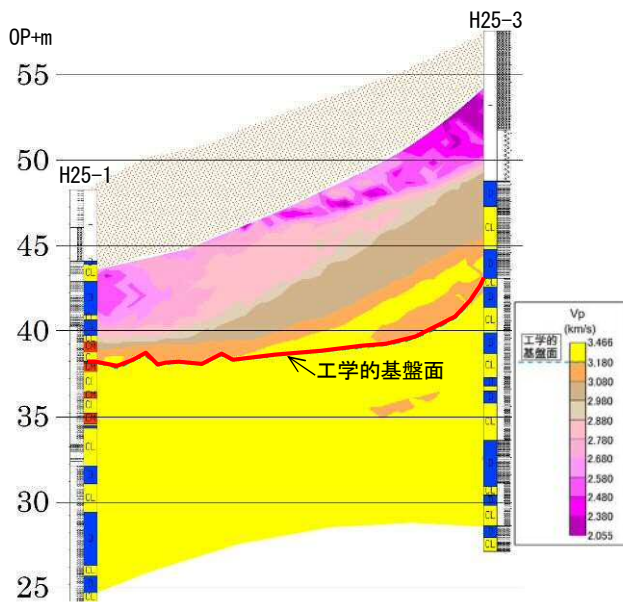


図-9 速度値に基づく想定基盤面図 (L-10 断面)

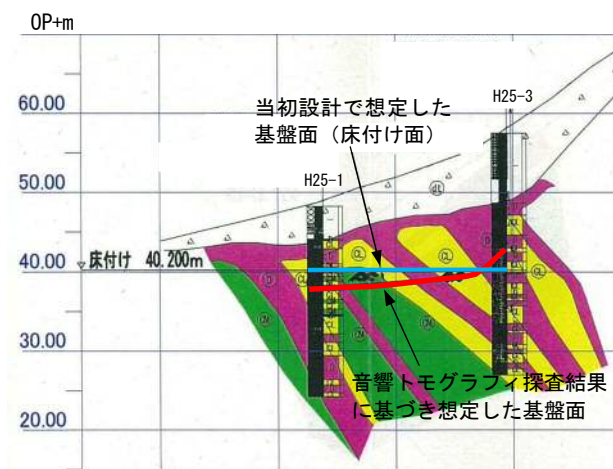


図-10 工学的基盤面の比較

基づく工学的基盤面（赤実線）と、計画されている床付け面（青実線）および鋼管矢板下端（緑実線）の位置関係を三次元的に図示した。

当該地のように急角度の傾斜構造を持つ地層に対しては、図-2, 3 に示すような地質構造区分を音響トモグラフィ探査で求めることはできなかったが、本調査の目的である鋼管矢板根入れ長設計のための基盤面を決定することは十分可能であることが分かった。

7. おわりに

本調査では、前庭部におけるボーリング調査孔を利用して音響トモグラフィ探査を実施した。探査の結果、ボーリング調査では得られない地盤の面的情報（連続的な岩盤線）をもとに、鋼管矢板の根入れ長基面の位置を想定できた。今後、このように複雑な地層構成を示す地盤に対して、施工基面を決定する際の有効な手法として音響トモグラフィ探査が活用できるものとする。

参考文献

- 1) 榊原淳一：音響トモグラフィを用いた新しい地盤評価技術、基礎工、Vol. 33、No. 9、pp. 81～83、2005。
- 2) 山内淑人・譽田孝宏・榊原淳一・吉塚守・睦角英夫：音響トモグラフィを用いたトンネル施工地盤詳細評価、土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集、pp. 551～552、2008。

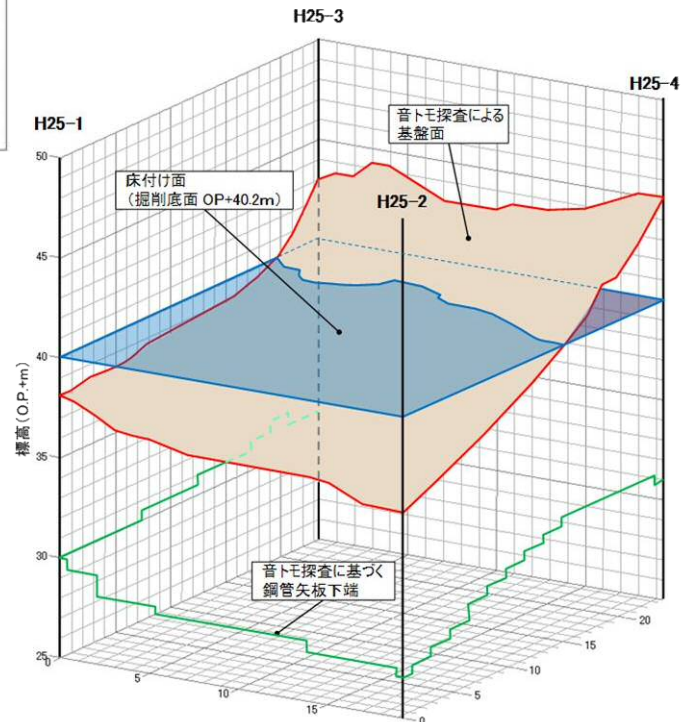


図-11 音響トモグラフィ探査に基づく工学的基盤面と鋼管矢板下端位置

GISを用いた平時・非常時の 官民情報共有システムの構築と運用について

矢野 定男¹・窪田 諭²

¹大阪府岸和田土木事務所 地域支援・企画課 (〒596-0076 大阪府岸和田市野田町3-13-2)

²関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35) .

災害時には、被災の位置と状況を紙に集約しており、一覧表への転記などの作業と併せて位置確認作業や関係機関への情報の伝達作業が発生し、関係者間での情報連携に課題がある。本研究では、被災情報の迅速な収集と共有を目的として、オープンソースGISと電子国土Webシステムを用いて被災情報の収集、共有、提供を行うシステムを提案し、大阪府の風水害訓練にて利用可能性を検証した。そして、平時からシステム運用を行うために、道路規制情報システムに発展させ、運用している。本研究は、オープンソースGISを用いた点、および産官学連携により現場ニーズと現場利用に配慮した実用システムを目指す点に特長がある。

キーワード 災害情報、道路規制情報、GIS、情報共有、産官学連携

1. はじめに

社会基盤施設においては、頻発する地震や風水害などの災害に迅速に対応する必要がある。災害時の被災情報の迅速な収集と共有が、救助・救援・復旧活動の円滑化と効率化には欠かせない。しかし、現状では被災情報の収集には電話とFAXが、その共有にはホワイトボードなどが用いられることが多い。そのため、被災の位置と状況を紙に集約しており、一覧表への転記などの作業と併せて位置確認作業や関係機関への情報の伝達作業が発生し、関係者間での情報連携に課題がある。この解決を図った関連研究として、地方自治体の災害対策本部における被災情報管理システム¹⁾や被災情報を迅速に収集するためのタブレット端末を用いた被害情報収集支援システム³⁾がある。

本研究では、まず、被災情報の迅速な収集と共有を目的として、オープンソースGISと電子国土Webシステムを用いて被災情報の収集、共有、提供を行うシステムを提案する。次に、大阪府の風水害訓練で本システムを試用し、その使用性と有用性を確認する。そして、平時においてもシステムを運用し、災害時のシステム活用を円滑に行うために、平時および災害時の道路規制情報を共有するシステムに発展させる。

本研究は、地方公共団体が安価かつ容易に地理空間情報を共有できるようにオープンソースGISを用いたシステムとした点に特長がある。さらに、大阪府GIS大縮尺

空間データ官民共有化推進協議会（以下、GIS官民協議会という）支援グループとの産官学連携によりシステムの開発と運用を行うことにより、現場ニーズに適し、利用者の操作性にも配慮した実用的なシステムを目指す点に意義がある。

2. 災害情報の収集と共有における課題

大阪府域では、基盤地図情報や電子国土基本図が整備され（大阪府域では2,500レベル）、インターネットを利用し無料で公開されている。これを踏まえ、国土地理院と大阪府においては、「地理空間情報の活用促進のための協力に関する協定書」が締結された（図-1）。本研究では、国土地理院地図を用いてシステムを構築する。

(1) 課題の抽出

大阪府岸和田土木事務所における被災情報の共有に関する課題を職員へのヒアリングと過去の災害訓練の報告から検討した。抽出された課題を次に述べる。

- ・通報される情報の真偽や正確な位置把握は、職員の現地確認によって行われている。
- ・情報の管理と伝達が紙で行われており、最新情報が事務所内で共有されていない。訓練においても防災ボランティアからの通報と主催者側の通報に時間のズレが発生し、同じ被災箇所を二重に扱った事例があった。

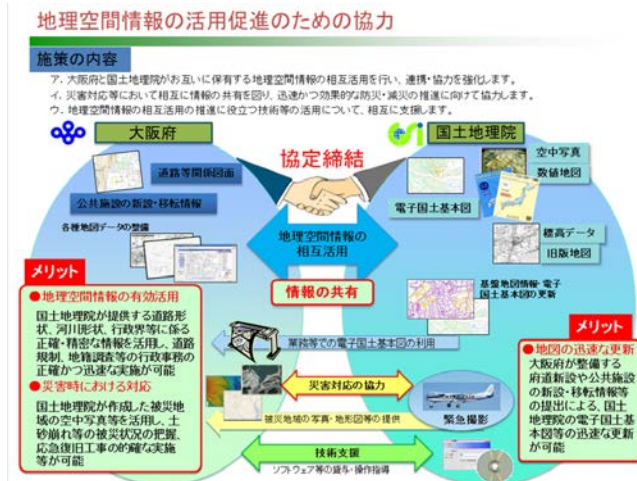


図1 大阪府と国土地理院の協定締結

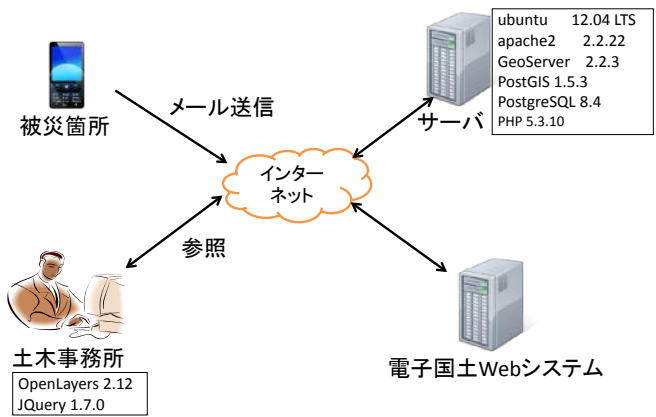


図2 官民情報共有システムの構成

- ・市町村、消防、警察、占有者など関係機関が個別に情報を管理し、一元化して状況を把握できない。土木事務所ではその管理施設の被災状況を扱うが、発災時には所管の施設以外の情報が市民から寄せられる。これらの情報を一元的に管理することが難しい。
- ・交通規制や道路啓開計画の策定では、各関係機関が所管する道路など施設のみを対象として検討され、道路などのネットワークに配慮した検討が行われていない。

(2) システムへの要求

- 前節の課題を解決するために、GIS官民協議会において勉強会を複数回開催し、課題を解決可能な情報システムへの要求を整理した。
- ・発災直後から情報管理と整理、最新の情報取得とその反映、更新を行えること。
 - ・救援・復旧に必要な交通規制計画と情報発信、道路啓開計画と進捗管理に係る正確な情報を提供できること。
 - ・官民の関係者間で相互に正確な情報を共有し、速やかに連携した対応策協議が可能な環境を構築する。また、それぞれが責任を持って情報を更新できること。
 - ・情報システムは災害時のみに利用されるだけでは、職員が操作に不慣れなど円滑な復旧活動に支障を来す。そのため、職員が平時から取り扱う地理空間情報を官民で共有できること。

3. 災害情報共有システムの開発と評価実験

(1) システムの設計と開発

a) システムの設計方針

第2章の課題とシステム要求のうち、災害時の情報収集と共有の課題を解決するために、被災情報共有システムを提案する。システムでは、GPSとスマートフォンを

用いて、通報者が現場状況と写真を送信することで正確な位置と状況を紐付けて管理できるようにする。土木事務所では、職員用パソコン画面で被災箇所の位置情報、簡単な状況報告および写真を確認できる。システムの特徴を以下に述べる。

- ・パトロール実施前に被災状況の概要を把握することができ、パトロール実施計画に反映することもできる。また、被災箇所の二重管理の解消や管理者区分を正確に行える。
- ・位置情報を被災情報の管理に用いることで、地図上で関係者が情報を把握し、共有する仕組みとする。紙の帳票による管理を行わず、最新の被災情報を入手する。
- ・関係自治体と被災情報を共有し、作業の優先順位の協議を迅速に行い、通行可能道路の協議を行う。
- ・道路被災状況を元に交通規制情報を市民向けに地図上で提供する。
- ・ライフラインの被災・復旧情報や避難所などの情報を提供する。

b) システム構成

本システムの構成を図-2に示す。本研究では、電子国土Webシステムを利用し、国土地理院地図を背景とする。地方自治体や関係機関が幅広く利用でき、高額な利用料を負担することがないようにオープンソースのWebGISとしてGeo Serverを利用し、クライアントのライブラリとしてはOpen LayersとJQueryを利用して基盤地図上で被災情報を確認できるようにした。これにより、汎用性の高いシステムを構築している。地図データベースおよびDBMSにはPostGISとPostgreSQL、開発言語にはPHPを使用した。

c) システム利用の流れ

- 1) 発災時に職員が事務所への参集途上で被災箇所を発見するとGPS機能付きスマートフォンで写真を撮影し、写真と状況をシステム特有のメールアドレス宛にメールで送信する。
- 2) システムでは、メールに添付された写真のExif情報



図-3 風水害訓練でのシステム利用

から経緯度を抽出し、電子国土上の該当する位置にマーカー、被災状況と写真を登録する。

3) 土木事務所の職員は、インターネット経由でシステムにアクセスし、地図をインタフェースにして被災状況を確認する。

(2) 風水害訓練におけるシステム評価実験

a) 実験概要

2013年6月10日に実施された大阪府の風水害訓練において、岸和田土木事務所での訓練を対象にプロトタイプを試用し、その使用性と有用性を確認した。訓練の様子

を図-3に示す。

訓練では、集中豪雨と落雷が発生したとの想定のもと、河川災害、土砂災害、道路災害、公園災害の仮想災害8箇所の状況をシステムに送信し、事務所職員がそれらの内容を確認して対応を検討するものとした。なお、被災情報の送信は筆者の研究室学生が土木事務所内のパソコンを使って実施した。また、状況を表す写真は消防科学総合センターの災害写真データベース⁴⁾から類似のファイルをダウンロードし、そのExifファイルに仮想災害の当該箇所の位置情報を事前に付与して利用した。

b) 実験結果

システムに登録された被災状況と写真をそれぞれ図-4と図-5に示す。例えば、地下道が冠水したとの想定のもと、被害状況：人的被害なし、車が立ち往生、避難：なし、といったメール本文と写真の添付ファイルを送信すると、地図上のマーカーと状況ウインドウ（図-4）および写真（図-5）として表示される。風水害訓練では、災害対策本部である会議室（図-3）にて、著者らが送信した被災情報の状況報告と写真を職員が確認する様子が見られた。また、岸和田土木事務所の出張所職員が自分のスマートフォンを用いて予定にはなかった被災状況2件を登録する積極的な利用があった。実験の結果、従来までの紙での情報収集と共有に比べ、被災箇所と状況を迅速かつ的確に把握することができ、有効に活用できそうであるとの意見が得られた。一方で、メールアドレスが長いので送信に手間取る、システム画面のアイコンやマークがもう少し大きいと見やすい、掲示板機能があれば指

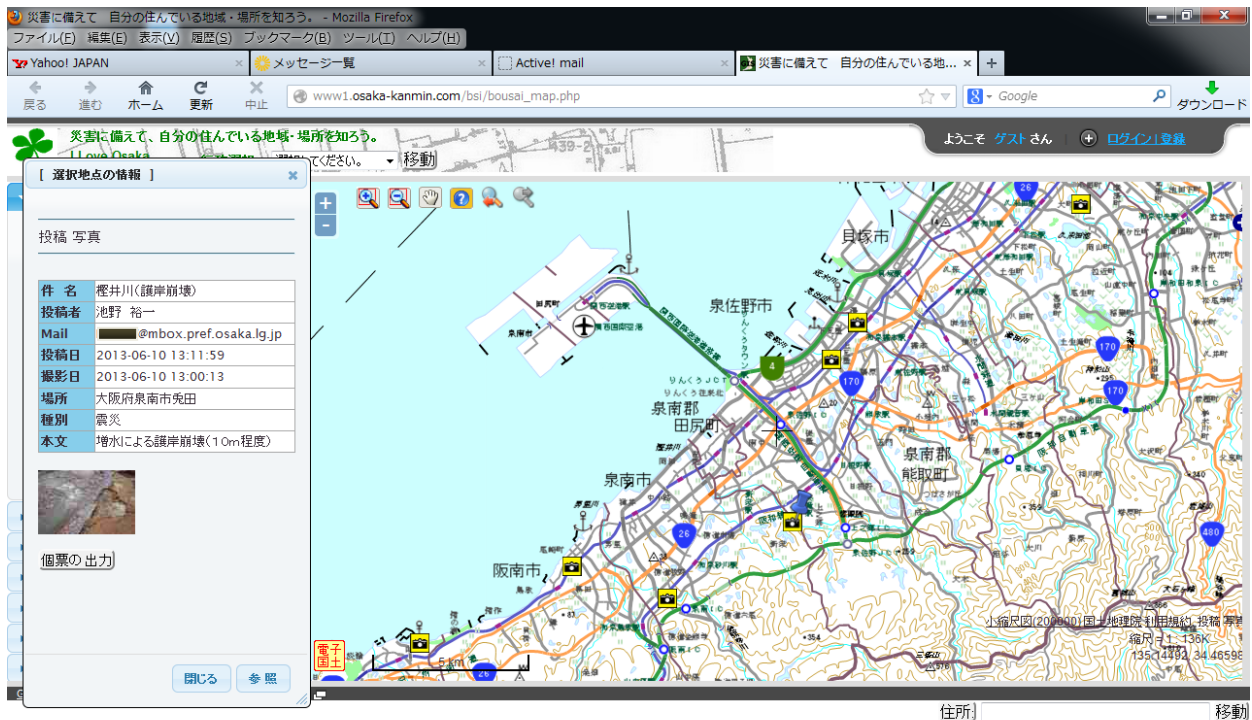


図-4 地理院地図上での状況表示

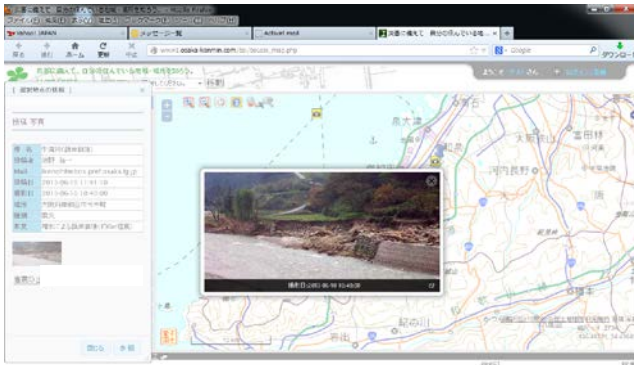


図-5 システムに登録された写真

示と対応を記入できる，という使用性と機能拡張に関する意見が得られた。

c) 考察

風水害訓練におけるプロトタイプの実験において，災害対策本部や現場でシステムを利用する場面があったことから，本システムが発災時に有用である可能性が高いと考える。ただし，システムを実用するためには，使用性や平常時からのシステム利用での課題がある。使用性については，通報者がメールアドレスを入力する必要がないようにQRコードを利用することや画面構成とボタン配置を情報デザインの観点でより使いやすく改善していくことが考えられる。

文献5)のように道路のポットホールやクラックなど維持管理情報を共有し，工事業者に指示や報告を行うツールとして利用することで，事務所職員の利用頻度が高まることが期待できる。筆者らは，被災情報共有システムを災害時だけでなく，平常時の避難所や浸水想定区域な

どの情報や被災時の交通規制情報を提供できる仕組みと考慮しており，地方自治体の施設管理に関する様々な情報を共有し，業務を支援するためのポータルとして位置づけられる。

4. 道路規制情報登録システムの開発と運用

災害情報共有システムは主に災害時での利用を想定していたが，平時から利用できる情報システムとするために，災害情報共有システムを拡張し，被災時の道路規制だけでなく工事規制情報も入力し，平時から通行規制の区間表示や市民にこの情報を提供することを考える。

(1) 道路規制情報登録システムの概要

道路規制においては，当該自治体だけでなく，近隣の自治体との情報共有が必要である。例えば，大阪府岸和田土木事務所では，和歌山県などの関係機関に対して，管内の規制情報を的確に伝え，道路規制準備の効率化を図ることが重要である。

道路規制情報登録システムは，このような課題を解決するとともに，職員が日常の工事規制などを登録することにより，当該情報システムに親しみ慣れることを目的とする。システムでは，道路規制情報として，地図上に規制区間と迂回路を「線」で入力する。あわせて，これらの始点と終点として，通行止め・閉鎖，一部車両通行止め，片側交互通行，対面通行，車線規制等をマーカーで登録する(図-6)。地図上に登録された情報に対しては，移動，修正，分割，削除の編集操作を行うことができる。



図-6 道路規制情報登録システムの画面

(2) システムの運用

道路規制情報登録システムの登録者は岸和田土木事務所職員とし、閲覧者は次のように定めている。

- 和歌山県海草振興局建設部，那賀振興局建設部
- 岸和田市，貝塚市，泉佐野市，泉南市，阪南市，熊取町，田尻町，岬町
- 市町消防署，泉州南消防組合，阪南岬消防組合
- 岸和田警察，貝塚警察，泉佐野警察，泉南警察
- 南海バス

平時・非常時モードの色分けにより関係者が情報を理解しやすくなっていること，システムの操作性については，岸和田土木事務所における満足度は高かった。システム閲覧者にはそれぞれシステムのIDとパスワードを提供し，システムの運用を開始している。2014年6月11日に行われた大阪府の災害訓練において，筆者が道路規制情報登録システムを用いて規制情報を登録し，訓練に参加する職員にシステムを閲覧してもらった。ただし，この訓練ではシステムの評価には至っていないため，今後システムの評価実験を行い，システム機能と操作性をブラッシュアップしていきたい。

5. おわりに

本研究では，非常時を対象として，災害情報の迅速な収集と共有を目的に，オープンソースGISと電子国土Webシステムを用いて，被災情報の収集，共有，提供を行うシステムを開発し，災害訓練において有用性を評価した。そして，平時から情報システムを利用しなければ非常時には情報システムを利用できないため，災害情報共有システムを地方自治体が連携して利用できる道路規制情報システムに拡張し運用した。

以上の結果，災害情報共有システムを利用して現場で発見した被災情報を事務所で共有できることを確かめられた。ただし，このシステムを円滑に運用するためには，

事務所職員がシステムの意義と操作に精通している必要がある。そこで，道路規制情報登録システムにより平時から官民が情報を共有する環境を構築する基礎ができたと考える。災害時には，官だけでなく民が災害情報を収集し，素早く復旧活動を行うなど，民の果たす役割が非常に大きい。本研究は，この点に大きく貢献できる。それは，災害時の被災情報と平時の道路規制情報という平時・災害時に円滑に使用できることを目指しているためである。

今後は，災害訓練と平時・非常時の実際のシステム運用を継続し，システムをスパイラルアップで改善していく予定である。また，本システムは地域防災に汎用性の高い仕組みであるので，地域の防災マップ作成などの分野への適用を進めていく。

謝辞：本研究を遂行するにあたり，GIS大縮尺空間データ官民共有化推進協議会支援グループにご助言とご協力を賜った。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木猛康，天見正和：地方自治体の災害対策管理システムの開発と災害対応訓練への適用，地震工学論文集，土木学会，Vol. 29，pp. 781-790，2007.
- 2) 鈴木猛康：災害対応管理システムの市町村への展望ならびに他の情報システムとの連携機能の実装，地震工学論文集 A1（構造・地震工学），Vol. 66，No. 1，pp. 278-287，2010.
- 3) 柴山明寛，久田嘉章，村上正浩，座間信作，遠藤真，滝澤修，野田五十樹，関沢愛，末松孝司，大貝彰：被害情報収集支援システムを用いた災害情報共有に関する研究，日本地震工学会論文集，Vol. 9，No. 2，pp. 113-129，2009.
- 4) 消防科学総合センター災害写真データベース：http://www.saigachousa-db-isad.jp/drsdb_photo/photoSearch.do，2013.
- 5) 阿部昭博，小田島直樹，佐々木辰徳：位置情報を用いて地域コミュニティ活動を支援するグループウェアの開発と運用評価，情報処理学会論文誌，Vol. 45，No. 1，pp. 155-163，2004.

伝送設備更新に向けた信頼性の確保とコスト縮減

森 秀 樹 ¹

¹ 近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所 防災情報課（〒573-0166）

概要：

ダム管理に必要な河川水位等の観測は、テレメータ設備により観測を実施しているが、観測間隔が最小でも10分間毎であることから、急峻な地点に設置されている観測所、ゲリラ的な豪雨の場合は、流入量予測の対応が遅れる場合があるので、それらの観測所には、テレメータ設備と別に、NTT 専用線を使用した連続テレメータ設備を併用して観測を実施している。

連続テレメータ設備は、観測所と管理所をNTT専用線により接続し、1対1の観測を行うため、観測所毎の装置が必要であり、かつNTT専用線の通信費用が高価なことから、更新にあたり汎用品の導入、通信コスト削減が大きな課題である。今回比奈知ダムで試行的に汎用品を導入して、その結果を基に伝送設備のシステム設計を行い、信頼性確保のうえコスト縮減効果を算出して、今後の管理業務に活かす取り組みを報告するものである。

キーワード：ダム管理の高度化、コスト縮減、連続テレメータ、通信回線

1. はじめに

木津川ダム総合管理所は、淀川の支川である木津川へ流れ込む名張川及び、布目川に建設された5つのダムを総合的に管理するため、各ダムの操作管理について、指示・命令を行っている。H21年10月の台風18号による洪水対応では、青蓮寺、室生、比奈知の3ダムによる連携操作を行い下流の名張市の被害を軽減するなど、その機能を発揮した。

日々の管理や洪水対応を行う中で、各ダムの流域データは、必要不可欠であり、無線回線を利用したテレメータシステムを構築し、データ収集を行っている。一方、突発的な洪水対応や即時管理体制をとる必要のある水質障害に伴うデータについては、リアルタイムデータ（1分）が必要なことから、連続データ送信が可能なNTT専用線を利用し、データ伝送を行っていたものである。今回は、この連続テレメータ設備の更新に際して、通信回線使用料が高価であることからコスト縮減を考慮したシステムの選定を行うものである。

2. 現状の把握

2.1 連続テレメータ設備の現状

木津川ダム総合管理所内5ダムでは、雨量・水位テレメータ観測所を51カ所設置している。この51

カ所のうち、連続テレメータ設備は、各ダム直近の上下流11カ所に設置されている。

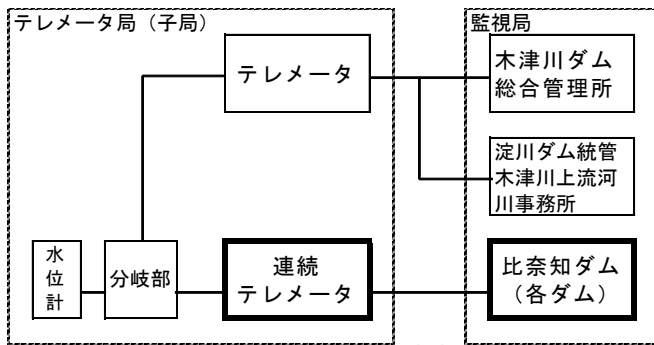
テレメータ設備と連続テレメータ設備の違いは、データ収集周期以外にシステム構成に違いがあり、テレメータシステムは、1対n通信であり、木津川ダム総合管理所外2カ所「淀川ダム統合管理事務所・木津川上流河川事務所」から一括呼出しを行いそれぞれの箇所で、必要な観測局データを取得するシステムであり、各ダムにとどまらずその情報は上位局でデータの把握が可能となっている。



図ー1 テレメータ設備位置図

一方、連続テレメータ設備は、1対1通信で、各ダム親局と子局間で通信を行うシステムであり、そのデータは、ダム管理用制御処理設備に集約されており、上位局への伝送は行わないシステム構成となっている。

この連続テレメータ設備のシステム構成は、図－2に示すとおりである。



図－2 テレメータシステム構成図

また、連続テレメータで使用する回線は、NTT専用線を使用しており、その回線費用は、多いところで、年間約100万円と高価であり（伝送距離に応じた費用）、また、伝送設備も主に商用電源が必要な限定された設備である。

収集するデータの内訳は、表－1に示す。

- ・水位（流量）
- ・水質（濁度・水温）

監視場所	伝送項目	
家野局	水位	
伊賀見局	水位	
上名張局	水位	水温
榛原局	水位	
鹿高局	水位	
峰寺局	水位	
布目副ダム	水位	
深川局	水位	
太郎生局	水位	濁度・水温
神矢局	水位	濁度・水温
比奈知局	水位	濁度・水温

表－1 収集データ一覧表

この収集するデータの管理目的は、以下の通りとなっている。

① 水位（上流）

上流水位（流量）は、降雨時において、急激な雨の立ち上がりに対して、目標放流量の判断を速くし、急激放流やただし書き操作の回避を目的に設置されている。

② 水位（下流）

下流水位は、流水の正常な機能の確保や下流既得水量の確保量をシビアに管理するため、ダムからの放流量を過不足なく供給する判断材料として設置されている。

③ 水質（濁度・水温）

濁度・水温は、水質事故の早期発見を行う事で、ダム及びダムからの下流放流に対して影響を及ぼさないようダム職員の迅速な対応と関係機関への迅速な情報提供を行う事が出来るよう、情報をいち早く把握するために設置されている。

このような現状を踏まえ、必要性のある設備として、更新を行うものとするが、主要設備（テレメータ・水質観測設備等）の管理補助的な設備として位置づけし、現在の高価な通信費用削減を第1目的として、設備更新の検討を行う事とした。

3. 連続テレメータ更新に向けた検討

3.1 試行的な設備導入と検証

連続テレメータ更新に向けて、木津川ダム総合管理所全体の設備として、システム構築を行う検討の前に更新時期を控える比奈知ダム太郎生水位局をモデルに動作検証を行う目的で、試行的な設備の導入について、検討を行った。

はじめにデータ収集を行う設備については、下記の項目を重視し設備選定を行う事とした。

設備条件として、以下の条件に見合う設備を選定する事とした。

- ・水位・水質データの取得が可能であること
- ・観測局よりデータが収集出来る事
- ・時系列データが閲覧・管理・印刷が出来る事
- ・システム費用が安価であること
- ・汎用性があること

また、この設備は、既設設備と比較検証を行うことを目標として、既設連続テレメータ設備と併用設置を行った。

3.2 通信回線の検討

データ収集を行う通信回線として、下記の表に示す通信回線から最も安価な通信回線を決定した。なお、今回の回線選定にあたり、回線速度については、伝送項目の性質上、映像・音声データのように遅延を考慮する必要がないため、考慮しないものとした。

項目	回線提供可否	価格(千円/年)
専用線 (NTT)	○	950
インターネット回線	×	—
FOMA回線	○	100
自営線 (光)	○	960
ケーブルTV	×	—

表－2 通信回線一覧表

上記の中で、太郎生局で回線提供が可能かつ最も安価なFOMA packets通信網を使用する事に決定した。

3.3 設備の更新計画

今回の連続テレメータの更新計画として、H26・27年度に比奈知ダム連続テレメータ設備の更新を控えている事から H23 年度にコスト削減を考慮した設備仕様の検討並びに試行設備の導入、H24 年度動作検証の実施と課題抽出、H25 年度検証結果後をふまえて予算を確保し、H26 年度に設備更新（システム切替）を行う計画とした。

項目	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
設備仕様検討・試行設備導入					
動作検証(課題抽出)					
設計検討(全体設計)					
連続テレメータ設備更新					

表－3 更新計画

3.4 試行設備の機器仕様

更新計画に基づき、試行設備の導入を行うものとした。

なお、設備については、前述に記載した、設備条件と通信回線が使用できる汎用設備で、安価な設備を導入する事とした。

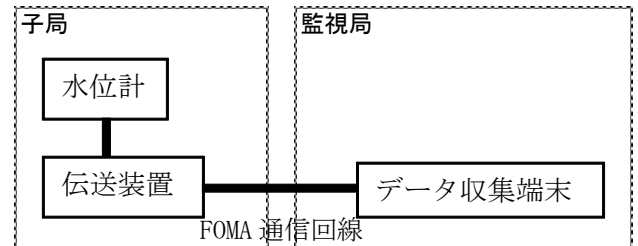
また、監視装置については、特別なソフトウェアを使用する事なく、現地における収集装置とセットとなっている汎用設備として限定したものである。

導入を行った装置としては、以下のものを採用した。

1. 水位等計測装置（現地設備）
FOMA計測端末装置
2. 監視端末装置及びソフト（監視設備）
監視・集計帳票処理等

図－3に示す通信回線構成図のとおり、現地の水位等データを子局に設置された伝送装置により、収集し、収集したデータについて、FOMA回線を使用する事により、監視局に設置されたデータ収集端末装置に伝送するものである。監視局に設置されたデ

ータ収集端末装置では、収集したデータを時系列に表示し、グラフ表示も可能となっている。また、帳票印刷や電子データとして出力する事も可能となっている。



図－3 通信構成図イメージ

導入する設備の主な機能としては、以下に示すとおりである

- (1) データ取得を行う箇所の一覧表示が可能
- (2) 地点別データ表とグラフ表示が可能
- (3) データ自動受信が可能で、地点別に管理が可能
- (4) 設備異常時のメール表示が可能
- (5) 水位、雨量計、流速、濁度計、水質計測が可能
- (6) データ送受信は、FOMA回線を使用

本設備の設置費用及び維持管理費用について、既設設備とのコスト比較を行った結果を、表－3に示す。

項目	既設	今回	縮減額	備考
設置費	2,320,000	500,000	1,820,000	
維持費	(943,000)	(96,000)	(847,000)	(年間)
	9,430,000	960,000	8,470,000	10年
計	11,75000	1,460,000	10,290,000	

表－4 コスト比較表

上記表－4のコスト比較表に示すとおり、約1000万円コスト削減を図ることができるものであるが、更なるコスト削減を図る為、管理特性を考慮し、水位伝送について、しきい値（1.0m以上「7.26 m³/s」）を設定した。

これは、リアルタイムデータ（1分）が、本来管理に必要な時というのは、水位であれば、ある一定以上の水位上昇及び下降時であるが、それ以外のデータというのは、10分・60分のデータでも管理上問題ないためである。

この条件を考慮して太郎生局において、水位のリアルタイムデータ（1分）のしきい値を決定した。

これにより、水位データが1.0m以上の場合は、1分間隔の伝送間隔とし、1.0m以下は、10分間隔とする事で、通信パケット数を抑制し、通信料金の低減を

行ったものである。

なお、パケット数については、各種料金が設定されていることから、今回の太郎生データが取得できる必要なパケット数の算出を行った。

なお、必要パケット数の算出は、H22年・23年の2年の水位実績データを基に年平均パケット数を算定し、算出されたパケット数により、最も安価な通信料金の設定を行ったものである。

(計算例)

H22年8月

1 m 越え 12 日 × 60 回 × 24h × 36 パケット = 622, 080

1 m 未満 18 日 × 6 回 × 24h × 36 パケット = 93, 312

715, 392

(1 回送信データ通信料 36 パケット)

この計算方法により、2年の実績パケット数を算出し、FOMA回線料金プランで最も安価なプランを採用した。

3.5 設備の動作検証

連続テレメータ設備更新計画に基づき、試行設備により、データの信頼性の確認と課題の抽出を行うためにH24年度の約半年間動作検証を実施した。

検証項目は、以下の項目について、確認を行う事とし、その結果を示す。

項	動作検証項目	結果
(1)	欠測状況	データ欠測なし
(2)	データの信頼性	既設連続テレメータと比較して、誤差ばらつき等はなし
(3)	操作性・視認性	管理上特に問題はなし

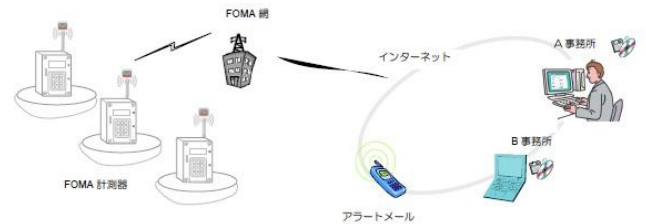
表－5 動作検証項目表

3.6 本格導入に向けた課題について

設備の動作検証では、データの信頼性・設備の稼働や操作性について、表－5 動作検証項目表に示すとおり、問題がないことが確認出来た。

ただし、ダム個別で使用し、かつ連続テレメータデータを専用の端末で見るという条件であれば、この設備で十分といえるが、木津川ダム総合管理所で使用する場合は、5ダムの総合管理を行っている事を考慮し、必要なデータを木津川ダム総合管理所で、収集する必要がある。また、同様に5ダムにおいても同様なデータの情報閲覧管理が必要となってくる。

本格導入を行う場合は、1対1通信ではなく、図－4 伝送路構成図に示すとおり、n対nのシステム構成とする必要がある。また、各局には、FOMA回線等が利用できない箇所が存在する可能性がある。その際は、FOMA回線以外の通信回線を利用した設備構成の構築が必要となってくる。この2点について、今後木津川ダム総合管理所管内における連続テレメータ設備を導入する場合の課題となってくる。



図－4 伝送路構成図

4. 今後の本格導入に向けた取組

本報告では、試行設備での検証結果から、コスト削減の可能性と、使用上の問題がないことが確認出来た。ただし、課題の中の1つであるFOMA回線等が使用できない箇所については、特定省電力無線や無線中継LANを設置するなどの対応で、システム構成を再検討するものとする。

また、n対n通信を可能とする為、各管理所等へ端末を設置し、個々に現地よりデータを収集する方式とし、収集したデータの取込・保存方式については、自営によるサーバ収集方式若しくはクラウドサービス等の可否の検討と価格等比較を行い、本格導入の設計検討を行うものとする。

なお、この設備は安価かつ取付けも容易な事から大規模地震などの有事の際に、ダム管理所などの水位伝送設備が故障またはケーブル断線した場合、流入量の把握が出来なくなり管理に支障を来す事になる事から予備品として使用する事も検討する。

5. 最後に

今回の試行設備導入及び動作検証結果を基に、今後の木津川ダム総合管理所の連続テレメータ設備の全体システム構成を、信頼性は確保しつつ簡易かつ低コスト設備としてシステム設計を行い、関連する河川の水質データや監視映像等の取込みの実現に向けて再検討を行い、本設備の全体更新を行っていく事としたい。

中国道西下野高架橋の床版取替における 長期耐久性向上に係る取組について

栗野 清文¹・中森 康裕²

¹西日本高速道路㈱ 福岡高速道路事務所（〒679-2204 兵庫県神崎郡福崎町西田原2023）

²西日本高速道路メンテナンス関西㈱ 保全工事本部（〒567-0032 大阪府茨木市西駅前町5番1号）

中国自動車道は、中国地方のほぼ中央の山間部を通る高速道路で、建設から約40年が経過し、建設当時からの交通荷重増や経年による耐久性の低下もあり、その中でも構造物の劣化損傷が顕著になってきている。特に西下野高架橋は、冬期の凍結防止剤による塩害劣化が発生し、数度の補修を実施したが、劣化が顕著となってきたため、プレキャストPC床版に取替える全面補修を実施した。近年施工が増加中の中国自動車道の床版取替工事の一つであるが、施工条件も厳しい場所での補修工事に際して、現在考え得る床版の長期耐久性向上に資する様々な新工法などを採用した。その取組ならびに施工について報告するものである。

キーワード 床版取替、プレキャストPC床版、SLJスラブ、長期耐久性

1. はじめに

中国自動車道は、1970年に吹田IC～中国豊中ICの開通から徐々に延伸し、1983年に山口県下関ICまで全線開通した。その殆どの区間は、中国地方の中央山間部の山肌を縫うように建設されている。兵庫県佐用町に位置する西下野高架橋は、冬期に散布される凍結防止剤により塩害劣化が発生し、これまでに舗装や床版上下面の応急補修及び剥落防止等の対策を実施してきた。しかし、近年は、鉄筋腐食にともなう床版コンクリートの浮き・はく離が顕著となってきたため、抜本的な対策が必要となった。そこで、ライフサイクルコストの最小化を目指し、既設のRC床版を、高品質かつ高耐久な材料であるプレキャストPC床版（以下、PCaPC床版と示す。）に取替えることとなった。

取替工事に際しては、床版の長期耐久性と安全性の向上を目標に、①品質の安定したプレキャストPC床版の採用 ②PC床版の軽量化及び施工性向上の観点からPC床版継手部にエンドバンド継手（SLJスラブ、NETIS KT-070081-A）を採用 ③コンクリートに凍結防止剤散布による塩化物イオンの浸透抑制と密実性向上のため、高炉スラグ微粉末（NETIS QS-980177-V）を混入 ④壁高欄は直接凍結防止剤が当たり、これによるコンクリートへの影響を軽減するためにシラン系含浸剤（NETIS KT-070047-V）による保護層を形成⑤鉄筋の腐食による爆裂防止対策として、結束線も含め全ての鉄筋にエポキシ樹脂被覆鉄筋を採用 ⑥鋼製伸縮装置の腐食を防止するため、アルミニウム・マグネシウム合金溶射（NETIS QS-040005-V）によ

る腐食防止対策 ⑦鋼製伸縮装置表面のスリップ事故防止対策としてアルミニウム・マグネシウムクロム合金溶射（NETIS QS-0027-A）による長寿命滑り止め対策 ⑧床版防水工に寒冷期施工が可能なウレタン防水工などを実施し、現在考え得る床版の長期耐久性向上に資する様々な新工法などを採用した工事である。

本文は、今回の工事で実施した長期耐久性向上に資する取組ならびに施工について報告するものである。

2. 工事概要と損傷状況

西下野高架橋は、中国自動車道の山崎 IC～佐用 IC 間に位置する橋長 303.9m で、3連からなる鋼 3 径間連続非合成鈹桁橋であり、供用開始より 38 年が経過した橋梁である。図-1 に橋梁位置図を、図-2 に全体一般図をそして、橋梁諸元を表-1 に示す。



図-1 西下野高架橋の位置

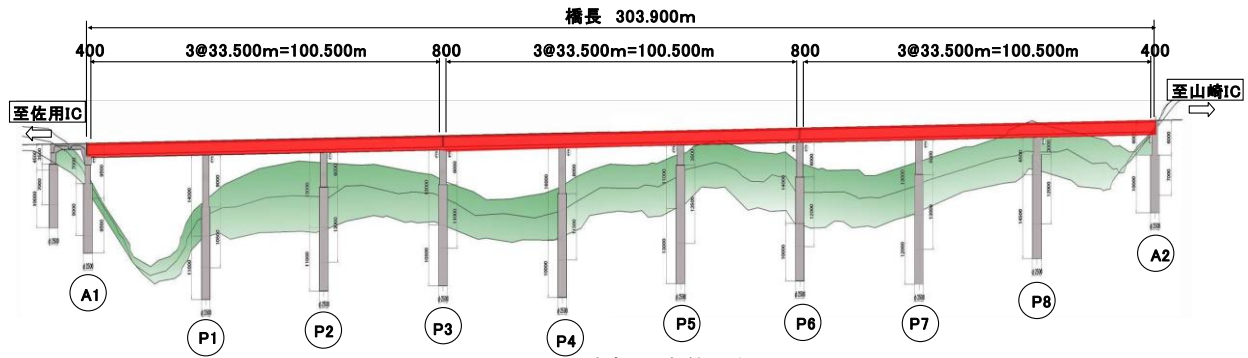


図-2 西下野高架橋全体一般図

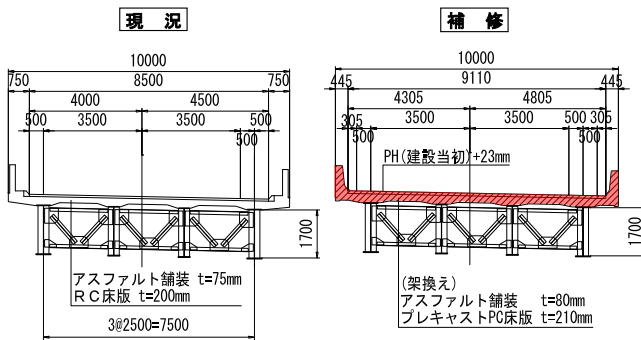


図-3 西下野高架橋 断面図

表-1 橋梁諸元

工事名	中国自動車道 西下野高架橋(下り線)床版補修工事
施工場所	兵庫県住用郡住用町西下野
発注者	西日本高速道路株式会社 福岡 高速路事務所
橋長	303.900m
構造形式	鋼 3径間連続非合成板桁橋×3連
支間	9@33.500m
有効幅員	9.110m (床版取替後)
横断勾配	2.0%
縦断勾配	1.323%
工期	2013年1月17日～2014年4月11日 (450日間)

(1) 損傷状況

一般に鋼桁の床版損傷は疲労による劣化の可能性が高く、これに施工条件や交通量、車両重量といった使用条件、あるいは走行位置により劣化の潜伏期から進展期に劣化過程が進む。さらに雨水の浸透水などの環境条件、橋面防水層の有無、補修補強の有無で加速期に進行し、やがて貫通ひび割れ、かぶりコンクリートの剥落などの劣化期に至る。西下野高架橋においても、図-4に示す潜伏期～進展期～加速期～劣化期が生じていったと考えられ、部分的に劣化期に至っている部分もあった。写真-1～4に西下野高架橋の劣化状況を示す。写真-1は、舗装部分の補修した状況である。アスファルト切削後の観察では床版上面が土砂化しており、そのため舗装にポットホールが生じ、頻繁な舗装補修が行われていた。写真-2は、床版下面の劣化状況で、下側まで貫通したひび割れから、遊離石灰や一部かぶりコンクリートが剥落しており、下面全体に劣化が見られる。

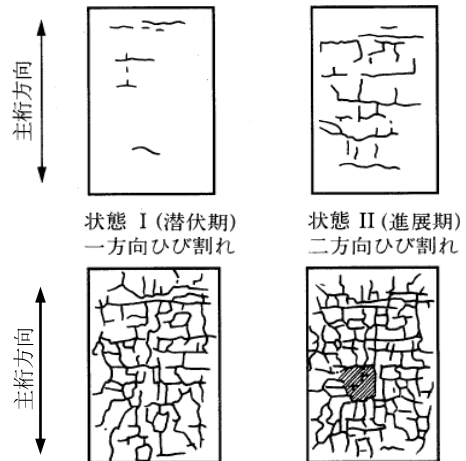


図-4 鉄筋コンクリート床版の下面のひび割れと劣化状態¹⁾



写真-1 アスファルト舗装の部分補修

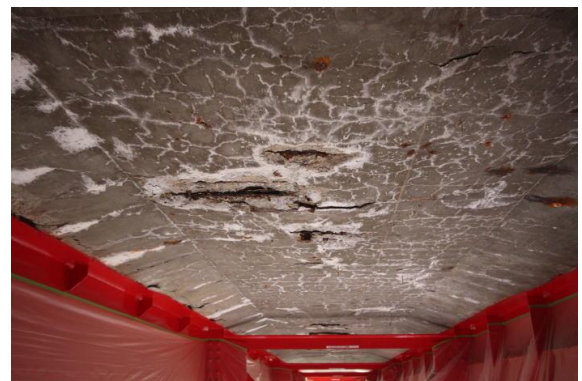


写真-2 床版下面の劣化（ひび割れ、遊離石灰、剥落）



写真-3 床版下面の劣化（かぶり剥落）



写真-4 壁高欄・伸縮装置の劣化状況

3. 長期耐久性向上に資する新工法

(1) SLJスラブの適用

現況の RC 床版の版厚は、床版増し厚により 235mm となっていた。建設当初の床版厚が 200mm であったが、それより 35mm 厚くなっている。舗装厚を含めると 310mm である。そのため、舗装厚が 75mm の隣接トンネル部や盛土部との舗装すりつけが行われている。このような状況に対して、舗装すりつけ区間の縮小と、既設鋼桁に対する死荷重の軽減を図ることを目的に、床版厚を薄くすることができる SLJ スラブが採用された。

SLJ スラブの特徴は、PCaPC 床版の接合部にエンドバンド鉄筋を用いたスラブで、写真-5 に示すような形状である。従来の PCaPC 床版はループ継ぎ手で接合される構造が多い。ループ継ぎ手の床版は、ループ継ぎ手の曲げ加工形状とかぶりにより版厚が決定されるが、SLJ スラブは、その接合の特徴から、ループ継ぎ手床版に比べて版厚を薄くすることができる。

本橋に適用した SLJ スラブの床版厚は 210mm で、舗装厚 80mm と合わせて 290mm となり、隣接区間との計画高の差は 15mm (290-275) に縮小できた。

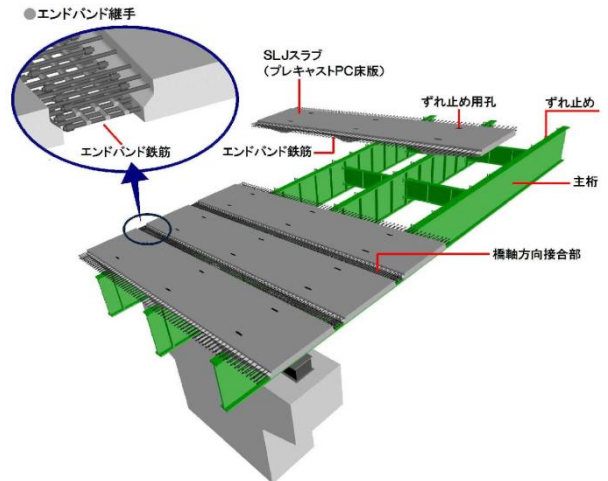
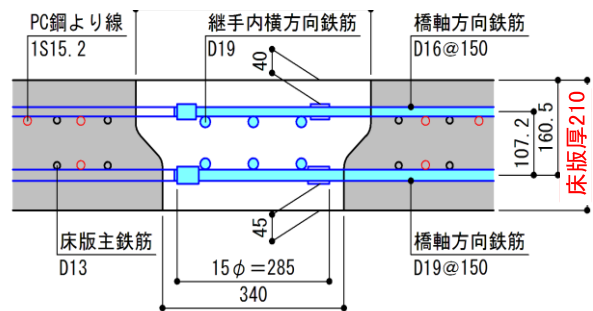
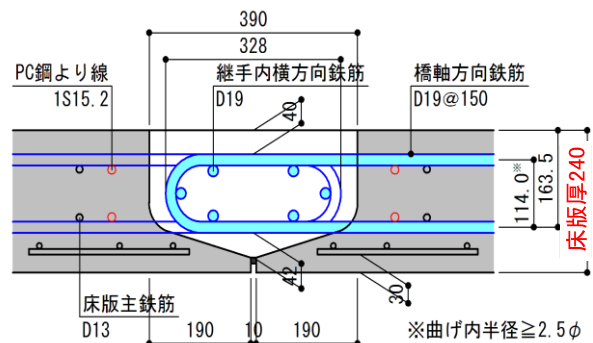


図-5 SLJスラブの概要



(a) 西下野高架橋で採用したエンドバンド継手



(b) 一般的なループ継手

図-6 PCaPC 床版の RC 接合方法の比較

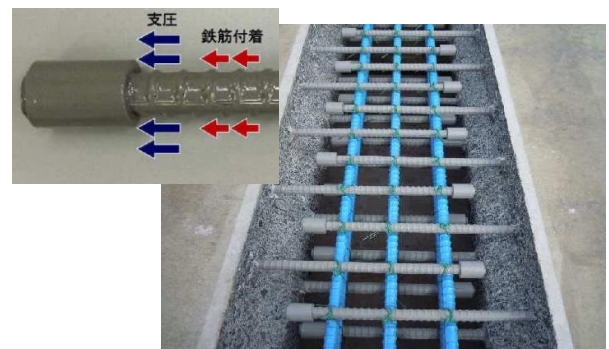


写真-5 SLJスラブの継手部

(2)高炉スラグ微粉末の使用

中国自動車道における構造物の主な劣化要因は、その多くが凍結防止剤の散布による塩害である。一部ではあるが、十分洗浄処理がされていない海砂をコンクリートに使用したため、内在塩分が影響している構造物もある。

a) 高炉スラグ微粉末の使用

架橋地点は山間で日射があたりにくい北側斜面にあるため、凍結防止剤が散布される。耐久性を確保する上で、その塩害対策が必要なため高炉スラグ微粉末（比表面積 $6000\text{cm}^2/\text{g}$ ）を 50%置換したコンクリートとした。

高炉スラグ微粉末は、銑鉄を製造する際に排出される副産物であり、資源のリサイクルの観点からも有効な材料である。本工事では、高炉スラグ微粉末の添加は PCaPC 床版はもとより、現場打設となる間詰め床版、場所打ち床版、さらに壁高欄に添加した。一般に現場打設部分に特殊なセメントや混和材を使用する場合、現地のコンクリートプラントの適応が問題となる。本工事においても、高炉スラグ微粉末専用の貯蔵サイロの確保が困難なことであったため、セメント工場にて早強セメントと高炉スラグ微粉末をプレミックス（混合比率 50 : 50）した状態で、現地プラントに搬入する計画を立てた。当該工事地域では、山崎地区に 1 社だけプレミックスしたセメントを貯蔵できるサイロを確保できる現地コンクリートプラントがあったため、適用が可能となった。高炉スラグ微粉末を使用した配合を表-2 に示す。

b)膨張材の使用

一般に高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、早強セメント単味コンクリートと比較して、自己収縮及び乾燥収縮による初期ひび割れが大きくなる。そのため、現場でのコンクリート打設となる間詰め床版、場所打ち床版及び壁高欄部に使用するコンクリートは、耐久性の低下を招く初期ひび割れの発生が懸念される。そこで硬化初期の段階で膨張効果が期待できる膨張材を混合した。膨張材の使用にあたっては、高炉スラグ微粉末や早強セメントとの相性、またその効果を検証することとし、コンクリート試験練り時に、拘束膨張試験（JIS A 6202）を実施した。材齢 14 日までの測定結果を図-7 に示す。この結果より、高炉スラグ微粉末を混合し、そこに膨張材を混合した場合でも、一般的な混合量（ $20\text{kg}/\text{m}^3$ ）で、収縮補償用コンクリートとしての膨張性能（ $150\mu\sim 250\mu$ ）が確保されていることを確認し、採用した。

c)コンクリート単位水量の低減

高性能 AE 減水剤を使用することで、単位水量を低減させ、合わせて単位セメント量を減少することにより、発熱量や乾燥収縮量を低減することが可能となる。現場打設となるレディミクストコンクリートは、品質変動が懸念されることから、ワーカビリティと材料分離抵抗性を確保するため、高性能 AE 減水剤の使用量を調整し、実施工を模擬した実機での試験練りにより、単位水量の低減に努めた。

単位水量は、管理の上限値である $175\text{kg}/\text{m}^3$ に対して、プレキャスト部材については $140\text{kg}/\text{m}^3$ 、現場打ちコンクリートについては $150\text{kg}/\text{m}^3$ とした。

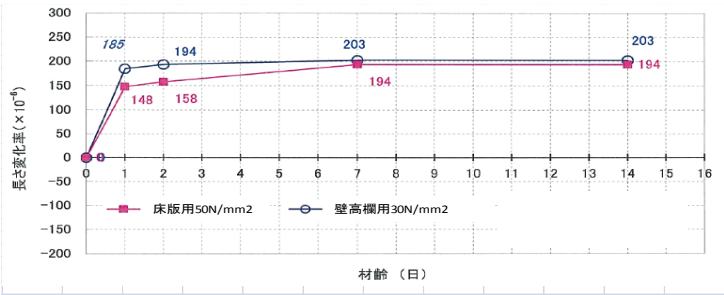


図-7 拘束膨張試験結果

表-2 高炉スラグ微粉末を置換した配合

	σ_{ck}	Gmax	スラブ	空気量	W/C	細骨 材率	単位量 (kg/m ³)						単位量 (g/cc/m ³)	
	(N/mm ²)	(mm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	水	セメント	高炉スラグ	膨張材	細骨材	粗骨材	減水剤	AE剤
現場打ち	50	20	15	5.0	37.0	43	150	193	193	20	748	1019	4050	40.5
プレキャスト部材	50	20	12	4.5	33.7	41	140	208	208	—	745	1078	1789	50

(3)表面含浸材の塗布

壁高欄は直接凍結防止剤が当たるため、これによるコンクリートへの影響を軽減するためにシラン系含浸剤（NETIS KT-070047-V）を塗布し、保護層を形成した。

(写真-6)

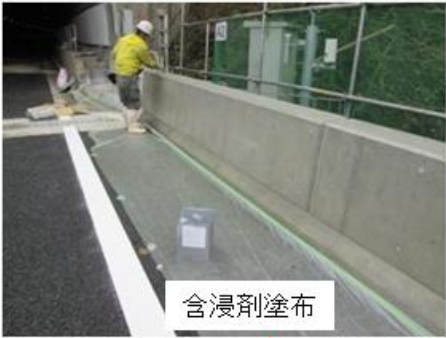


写真-6 表面含浸剤塗布

(4)鉄筋の腐食対策

エポキシ樹脂塗装鉄筋は、コンクリートのみでは鉄筋の腐食を防げないような過酷な塩分環境下に設置される鉄筋コンクリート構造物の最も信頼のおける防食方法として、耐久性にも優れており、多くの構造物に適用されている。(写真-7, 8)

鉄筋の腐食による爆裂防止対策として、結束線も含め全ての鉄筋にエポキシ樹脂被覆鉄筋を採用した。この「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針：土木学会」は、1986年に制定され、2003年に改定されている。

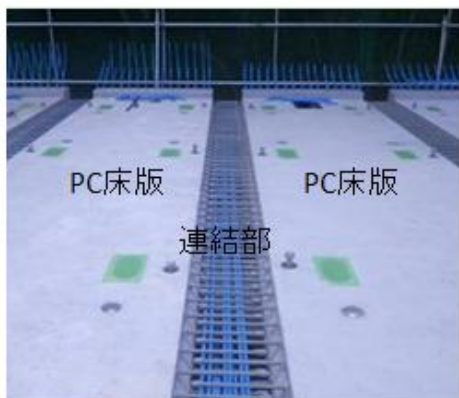


写真-7 エポキシ樹脂鉄筋
(床版部)



写真-8 エポキシ樹脂鉄筋
(壁高欄部)

(5)伸縮装置の耐久性向上

橋の劣化・損傷は桁端部が多くを占めており、その主因は伸縮装置からの漏水である。特に、凍結防止剤を散布する地域では、その高い塩化物イオン濃度により伸縮装置と止水材との取付け部位の腐食が促進され、早期に漏水が生じている。また、この凍結防止剤を含む水が伸縮装置とコンクリートとの界面に浸透することで、伸縮装置が腐食し、コンクリートにひび割れや浮きが生じる場合もある。このように、伸縮装置の耐久性の確保は、桁端部の劣化・損傷を抑制する上で特に重要である。

そこで、伸縮装置の金属部分の防錆被膜として、アルミニウム・マグネシウム合金 (Al-(5%)Mg) のプラズマアーク溶射を採用した。また、伸縮装置表面のスリップ事故防止対策としてアルミニウム・マグネシウムクロム合金溶射を採用した。(図-8、写真-9)。この防食被膜は、環境遮断、犠牲陽極および自己修復の各作用により優れた防食性能を発揮し、中性塩水噴霧サイクル試験では溶融亜鉛めっきの6倍以上、フッ素系重防食塗装の4倍以上の耐久性が確認されている。

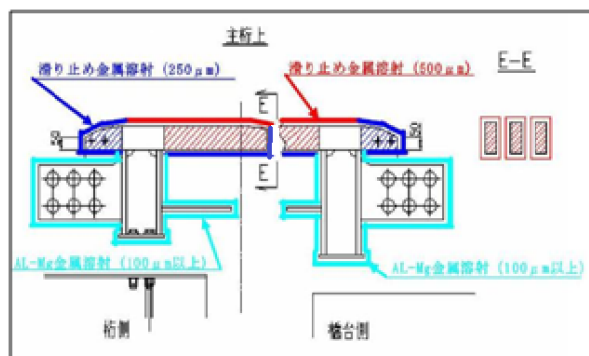


図-8 伸縮装置金属溶射区分図



写真-9 アルマグ溶射

(6)床版防水層の形成

床版防水層に高機能床版防水として寒冷期施工が可能なウレタン系速硬化型床版防水システムを採用した。ここで、防水層との接着面に施されるコンクリート打設時の仕上げ補助・塗膜養生剤には、防水層の接着性能の規格値を確保できることが確認された材料を用いた。

(写真-10)



写真-10 ウレタン床版防水工

4. 床版取替えの施工

本工事は、橋長 303.9m の全区間を床版取替えの対象としており、1 工事での床版取替延長としては、国内でも比較的長い延長である。

床版取替えは、上り線の昼夜連続対面通行規制を実施して、上下1車線を供用した状態で下り線を全幅一括で取替える方法とした。橋梁の前後を連続するトンネルや急カーブに挟まれており、下り線から上り線に移行できる区間を橋梁近傍に設定できない。そのため、2km に及ぶ対面交通区間を設定し、車線減少区間を含めると総延長 6km の交通規制区間を設けた。(図-10) この対面通行規制は、8 月のお盆及び夏休みとなる期間を除き、年末年始繁忙期までに完了しなければならない。床版取替えの施工フローを図-9 に示す。最終的に、安全対策及び重機の配置に苦慮しながら対面交通規制は 9/2 から開始し、12/5 に解除し施工することができた。昼夜連続対面通行規制での床版取替状況を写真-11、12 に示す。

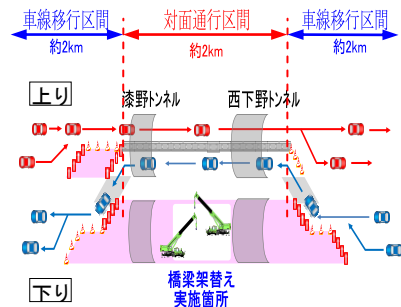


図-10 交通規制概要図



写真-12 対面通行規制下での施工状況

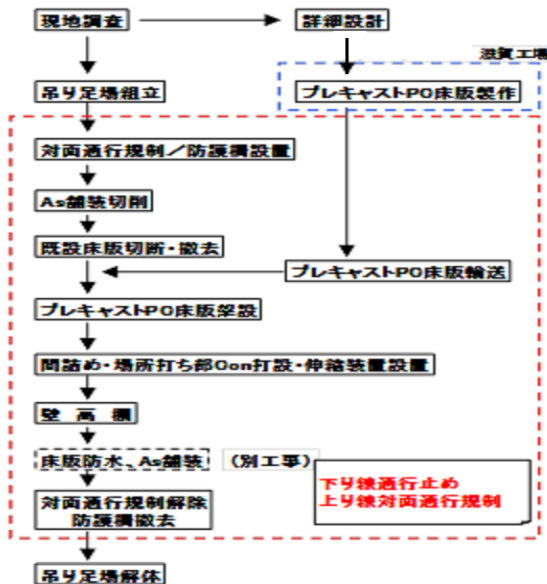


図-9 施工フロー



写真-11 PcaPC 床版の設置状況

5. おわりに

本工事では、床版取替後も凍結防止剤散布による構造物の塩害劣化等を防ぐ、施工および長期耐久性を向上するために、PCaPC 床版の RC 接合のエンドバンド継手（SLJ スラブ）の採用、コンクリートに高炉スラグ微粉末 6000 を混合、伸縮装置にアルミニウム・マグネシウム合金溶射を行うなどの様々な取組を行った。また、山岳部での約 6km 交通規制課下での床版取替えに対して、本工事で採用した仕様や施工方法などが、今後の同種工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕、2008.3
- 2) 本荘ら、高耐久化を目指した床版取替え ―中国自動車道蓼野第一橋―、プレストレストコンクリート Vol.54, No.3, May 2012
- 3) 脇坂ら、エポキシ樹脂塗装エンドバンド継手を用いた伊芸高架橋の床版取替え工事、プレストレストコンクリート工学会、第 21 回シンポジウム論文集（2012 年 10 月）
- 4) 亀谷ら、重交通区間における鋼橋 RC 床版取替え工事―九州自動車道・向佐野橋―、プレストレストコンクリート技術協会、第 20 回シンポジウム論文集（2011 年 10 月）

次世代電源システム！

工藤 章典¹

¹独立行政法人水資源機構 日吉ダム管理所 (〒629-0335京都府南丹市日吉町中神子ヶ谷68)

東日本大震災により，国内における電力供給情勢は大きく変化し，電気の安定供給について考える時にきている．今まではコストが優先し，災害に備えた機能や構造は軽視されがちであったが，これからは災害により強い施設が求められ，水資源機構も例外ではない．本稿では，電力会社の長期停電を想定した管理用水力発電設備の自立運転の実現に向けた取組として，発電実績を踏まえた発電量の増強と併せて検討したことから，日吉ダムをモデルとした次世代電源システムを提案するものである．

キーワード 自立運転，発電量の増強，再生可能エネルギー，予備発電設備，売電のプール化

1. はじめに

日吉ダム管理所は平成10年4月に管理を開始し15年が経過している．電源システムとしては管理用水力発電設備，予備発電設備，及び受変電設備を設置している．東日本大震災以降，電力を取り巻く情勢は大きく変化し，災害に強い施設造りと自然エネルギーの普及が求められているが，そのような中において日吉ダム管理用水力発電設備（以下「水力発電設備」という．）は，昨年末に再生可能エネルギーの設備認定を受け，クリーンエネルギーの象徴として貢献している．また，当ダムのように水力発電設備を有するダムでは，被災時における管理設備へのpower station（発電所）としての役割が期待され，国等においても検討が進められている．本稿では現状の電源システムにおける課題を抽出し，自立運転（電力系統から独立した運転形態），及び発電量の増強の可能性について概略検討を行ったことから，次世代電源システムの構築について報告するものである．

2. 既存設備の問題点

水力発電設備は利水従属方式として建設され，設備諸元は表-1のとおりである．発電した電力は管理所内の管理設備で消費され，余剰電力は特定規模電力事業者へ売電しているが，既設の水力発電設備には大きく三つの問題が上げられる．

① 自立運転が行えない点である．東日本大震災のよう

に計画停電が実施された際には，水力発電設備の運転は不可能となり，予備発電設備による電力供給となる．備蓄している燃料は3日間分であるため，その後の燃料調達に課題がある．

表-1 電源システム設備諸元

管理用水力 発電設備	型式	横軸フランシス水車
	発電量	850kW～415kW
	基準落差	35m
	発電水量	2.0m ³ /s～3.0m ³ /s
	運転水位	EL.191.4m～EL.169.7m
	落差変動	125%～65%
予備発電設備	型式	ガスタービン
	最大出力	300kVA×2台
	燃料	灯油 (地下タンク 15,000L)
	運転時間	3日間 (72時間)

② 貯水位の高低時，又は商用停電により発電停止となる点である．水力発電設備の運転範囲は EL.191.4m（平常時最高水位）から，EL.169.7m（渴水位）までの21.7mである．そのため洪水によりダム貯水位が平常時最高水位以上，または，渴水位（EL.169.7m 以下）となった場合には水力発電設備は運転できず，売電ができないどころか電力事業者から買電することになる．また，台風等の影響により商用電源が停電した際には，水力発電設備は停止する仕組みのため，管理設備へのバックアップ電源として予備発電機2台（現用，予備）を設置している．

③ 貯水位の変化による発電量の減少，または，抑制についてである．水力発電設備の発電にあたっては，ダ

ムの貯水位が洪水期(6月16日～10月15日の期間)と非洪水期(10月16日～翌年6月15日の期間)で約13m変動するため、中間水位である EL182.3m が最大効率となるよう設計している。そのため、洪水期には水頭の低下から最大発電水量の 3.0m³/s に対し発電量は 600kW に落ち込み、逆に非洪水期には発電水量を 2.3m³/s に抑制することで、発電量が最大 850kW を超えないよう運転している。このことから洪水期は発電量の減少が生じ、非洪水期には発電量の抑制が発生している。

3. 次世代電源システムの設計要件

検討すべき項目

次世代電源システムの設計にあたり、検討すべき項目を表-2に示す。

表-2 検討項目一覧

検討項目	検討内容	備考
水力発電設備の自立運転導入	3.(1)	運転範囲拡大
水力発電設備の発電量増強	3.(2)	
予備発電設備の台数見直し	3.(3)	

(1) 水力発電設備の自立運転導入に関する検討

水力発電設備の設計に際しては、自立運転の必要性について機能とコストから比較している。建設当時は電力神話なるものから自立運転の必要性は低く導入が見送られたが、今回、既設設備の更新を前提とした自立運転の機能追加について、次のとおり検討を行った。

1 点目は自立運転に必要なハードの整備である。発電する場合、需要と供給のバランスが崩れると、送電電圧の上昇、もしくは低下を招き、電気製品の正常な使用ができず、最悪の場合、発電所の緊急停止による大規模停電が発生する。そのため発生電力＝消費電力(需要と供給)となるよう、送電網の管理者である電力事業者が応答性の優れた火力発電設備等で調整している。しかし、日吉ダムの水力発電設備はこの調整機能を備えていないため、余剰電力を消費する手段として系統連系(電力会社の送電線に接続し、余ったら電力を一般家庭等に供給すること)を行う必要がある。このように自立運転の実施にあたっては自らが電力調整を行う必要があるが、水力発電設備の調整機能は火力発電設備に比べ劣っているため、付属設備として管理用水力発電設備にフライホイール(回転エネルギーを蓄える円盤)を設置する方法がある(阿木川ダム、一庫ダムにおいて実績あり)。また、別の方法として負荷側でバランスをとるダミーロード(疑似負荷)や負荷制限装置の設置も考えられるため、

据付位置や運用方法(急激な負荷変動への対応)を考慮し決定することとなる。

2 点目はシーケンス(制御の手順)に関する検討である。日吉ダムの送電網は売電・買電共用の専用線となっており、上位変電所との系統連系が行われている。系統に障害が発生した際は、作業員の安全と二次被害を防ぐため、上位変電所より図-1に示す転送遮断(日吉ダムの水力発電設備に接続された遮断器が遠隔操作にて開放するもの)が行われる。転送遮断が行われると水力発電設備は自動停止するよう設計されているため、転送遮断が行われても運転を継続できるよう、遮断位置を図-1の①から②への変更、もしくは上位変電所との転送遮断の運用方法について協議が必要である。遮断位置を①から②へ変更した場合、自立運転は可能になるが、水力発電設備の故障により転送遮断が行われた際には、電力事業者からの買電も不能となるため、遮断位置は変えずに上位変電所との運用について協議することが得策である。

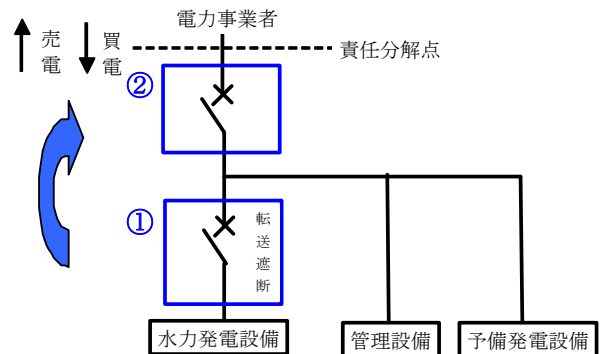


図-1 転送遮断位置(イメージ)

3 点目は水力発電設備の運転可能な水位である。一般的に水力発電設備(フランシス水車)の運転範囲は基準落差の125%～65%の範囲とされ、日吉ダムにおいても同様である(図-2参照)。

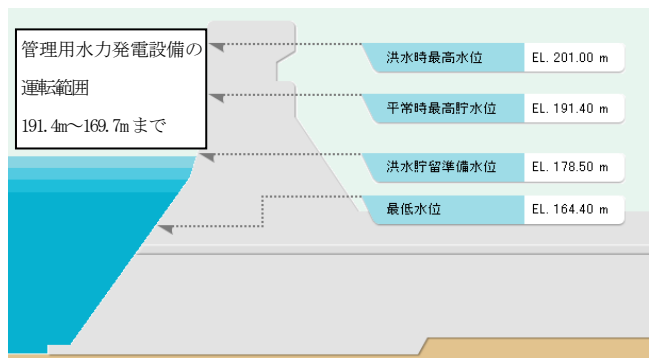


図-2 運転範囲

この範囲を超えた運転はキャビテーションの発生が高まることからメーカの保証外となるが、自立運転の導入と併せて運転可能水位を拡大することが水力発電設備(power station)としての価値を更に高めることになる。

なお、運転水位の拡大については実機を用いて限界値を探ることから、更新後の検証が必要である。

(2) 水力発電設備の発電量増強に関する検討

ダムからの放流は発電放流を優先し、利水補給やドロウダウンのように放流量が増加する場合は、分岐バルブとの混合放流を行っている。発電量の増強にあたっては、過去にどれだけ分岐バルブからの発電外放流が行われているかを確認する必要があるため、発電量の計算に直接関係する貯水位と放流量を昨年のデータを用いて体系化（図-3）した。横軸は月日とし実線にてダム貯水位と発電量を表しており、洪水期（EL.178.5 m）は非洪水期（EL. 191.4m）に比べ貯水位が約13m低いことから、水頭の低下による発電量の減少が確認できる。縦軸は発電水量と分岐バルブからの放流を表している。これらの条件をもとに水力発電設備の出力公式より、発電外放流量0.5～0.1m³/sを発電量へ振り替えた際の仮想計算を行った。計算の結果、洪水貯留準備水位（洪水期）においては発電量を100kW程度の増加が可能である。

(出力公式) $P=9.8QH\eta p\cdot\eta g$ (kW)

表-3は有効落差毎に発電量を表したものである。この中で非洪水期においては有効落差が約41mとなり、発電水量が2.3m³/s以上では、発電機の定格出力850kWを超えてしまい運転禁止（表の右下の範囲）となる。そのため発電水量を2.3m³/s以下に抑制する必要がある。一方、洪水期では有効落差が約28mと低いため、発電水量は定格3.0m³/sの運転が可能となるが、実際にはバルブ開度が100%にもかかわらず、発電水量が2.9m³/sに減少し発電量も600kWに低下する。

上記を改善するため、発電機の定格出力を1000kWに増強（変更）すると共に、発電外放流の振替を最大で

0.5m³/sとした発電水量3.5m³/sに増加する。さらに、低水位における効率を改善するため、基準落差を現状より5m下げた30m付近へ変更する。なお、発電水量の増加にあたっては別途、圧力管の水撃圧について詳細設計を行うものとする。

表-3 貯水位－使用水量－発生電力表

貯水位 (EL. m)	落差 (m)	発電使用水量 (m ³ /s)										
		2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
169.7	21.0	380	400	420	430	450	470	490	500	520	540	550
172.5	23.8	430	450	470	490	510	520	540	560	580	600	620
174.5	25.8	460	480	500	520	540	570	590	610	630	650	670
175.5	26.8	480	500	520	540	560	590	610	630	650	670	690
176.0	27.3	490	510	530	550	570	600	620	640	660	680	710
177.0	28.3	500	520	550	570	590	620	640	660	680	710	730
178.0	29.3	520	540	560	590	610	640	660	680	710	730	750
179.0	30.3	530	560	580	610	630	660	680	700	730	750	780
180.0	31.3	550	580	600	630	650	680	700	730	750	780	800
181.0	32.3	570	590	620	640	670	700	720	750	780	800	830
182.0	33.3	580	610	640	660	690	720	740	770	800	820	850
182.5	33.8	590	620	640	670	700	730	750	780	810	840	860
183.0	34.3	600	630	650	680	710	740	760	790	820	850	870
185.0	36.3	630	660	690	720	750	780	810	840	870	900	920
186.0	37.3	650	680	710	740	770	800	830	860	890	920	950
187.5	38.8	670	700	730	760	800	830	860	890	920	950	980
189.0	40.3	700	730	760	790	830	860	890	920	950	980	1020
191.0	42.3	730	760	800	830	860	890	920	950	980	1020	1070
191.4	42.7	740	770	800	840	870	910	940	970	1010	1040	1080

(3) 予備発電設備の内燃方式に関する検討

予備発電設備の設置にあたっては、電気通信施設設計指針に基づき設計している。その中で原動機方式はディーゼル機関、又はガスタービン機関を標準としダム毎に決定することとし、90年代には殆どのダムがガスタービン機関を採用していた。これはディーゼル機関とは違い冷却用の補機が不要であることと、原動機本体が小型になるため設置スペースの縮小が上げられる。しかし、ガスタービン機関は構造が複雑であるとともに、ディーゼル機関に比べ運転時におけるタービン破損等の重大な故障が時折発生している。そのため日吉ダムを含む各ダムにおいては更新と併せて、ガスタービン機関からディーゼル機関への変更が検討されているが、設置スペースの問題から実施できない問題がある。

今回、運転可能範囲を常時満水位から設計最高水位まで拡大することで、水力発電設備を予備発電機として見なすことができると判断した。これにより機能は変わら

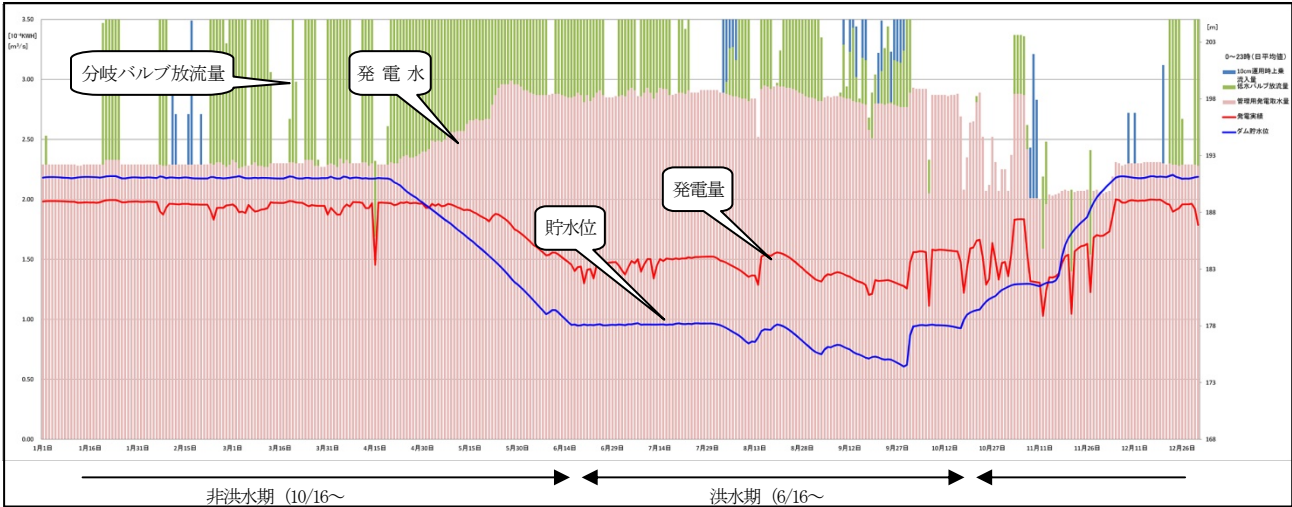


図-3 運転実績

予備発電機の台数を2台から1台に縮減でき、予備発電機が1台になることで、これまで設置スペースの問題から実施できないでいた、ディーゼル機関への機関変更が可能となる。

4. 次世代電源システムの構成

検討結果より日吉ダムをモデルとした次世代電源システムの概要を表4（フルリプレース版）に示す。まず、非洪水期における発電水量の抑制を解消するため、発電出力を現状の850kWから990kWに増強する。また、発電水量については当初、過去10ヶ年の流況から2, 3, 4, 5, 6, 7m³/sのモデルで検討を行っているが、今回の検証から発電水量を3.5m³/sに見直し、基準落差についても35mから30mに変更する。これにより洪水期（貯水位が低い場合）における発電の増量が可能となるが、実施にあたっては水車本体と同期発電機の更新が必要となる。また、圧力管径についても拡張する必要があるが、幸いにも既設の圧力管は管路ロスを最大限に軽減する設計がされており、図-4のとおり元径をφ1000mmとし、入口径にてφ800mmに絞っているため、拡張する際には大規模な改修を伴わず約0.5m³/sの増量が可能である。

自立運転については、水車本体の更新と併せて付属設備の追加、及びシーケンスの改造を行い、運転範囲についても拡大する。

表4 機能比較表（フルリプレース版）

設備	機能	電源システム	
		現状	次世代
水力発電設備	発電出力	850～415kW	990～100kW
	基準落差	35m	30m
	発電水量	2.0～3.0m ³ /s	0.5～3.5m ³ /s
	運転水位	191.4～169.7m	203.7～164.4m
	自立運転	なし	あり
予備発電設備	台数	2台	1台
	原動機	ガスタービン	ディーゼル
	燃料	灯油 15,000L	軽油 15,000L
	運転時間	3日	4日

予備発電設備については、ディーゼル機関に変更することで、ガスタービン機関よりも燃料消費が良くなり、運転時間が既存の地下タンク容量で3日から4日に延長できる。油種についても現在の灯油から警報車等への供給可能な軽油（別途、減免申請を行う）へ変更可能である。

本構成は概略検討にて確認しているため、実施にあたっては、「貯水位の最高水位が何時間続くのか」という

ダムの放流計画を基本に詳細検討を行うこととなる。また、既設圧力管の耐水撃圧や試験環境の構築・実施方法、及び手順についても整理する必要がある。

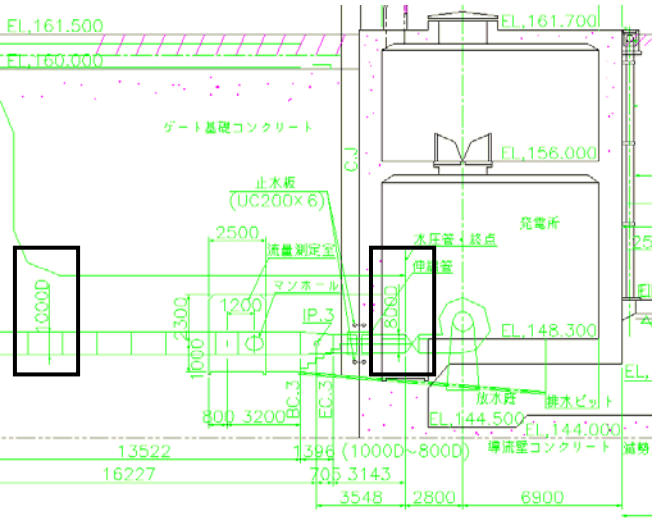


図-4 水圧鉄管断面図

5. おわりに

クリーンエネルギーが注目されている時代において、水力発電設備の重要度は増している。水資源機構の水力発電設備は利水従属方式の設備であるため、電力事業者とは異なった運用をしている。そのため今後の設計にあたっては事前にダムの管理水位の確定と基準落差の決定方法が重要である。また、売電収益については毎年度精算するのではなく、整備を見越したプール化の仕組みを構築することで、設備の効率的な運用とユーザの皆様への還元がスムーズに行えと考える。

最後になるが、経営理念である「安全で良質な水を安定して安くお届けする」を念頭に置き、既存の設備のメリットとデメリットを的確に把握し、設備提案できるよう技術の習得に励みたい。

地中熱を利用したトンネル坑口融雪設備の 性能調査について

宮川 昌樹¹・松島 健朗²

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 防災課（〒918-8015 福井県福井市花堂南 2-14-7）

²近畿地方整備局 近畿技術事務所 施工調査・技術活用課（〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町 11-1）

近年、注目されている自然エネルギーを利用した融雪設備について、国道158号中部縦貫自動車道 永平寺大野道路のトンネル坑口に設置した、極浅層地中熱および深層地中熱交換器を用いた融雪設備の性能・効果について調査を実施した。

キーワード 自然エネルギー，地中熱利用，融雪設備，融雪性能，性能調査

1. はじめに

福井河川国道事務所では、国道158号中部縦貫自動車道（L=160km）の一部である永平寺大野道路の改築事業をおこなっている。永平寺大野道路は大野市中津川から福井市玄正島町に至る26.4kmの自動車専用道路であり、順次部分供用をおこないながら全線供用を目指して事業を進め、2013年（平成25年）3月に勝山IC～大野IC間（L=7.8km）が暫定2車線で開通した。

永平寺大野道路の開通により、交通渋滞の緩和、高度医療施設へのアクセス向上、災害時における安定した交通の確保、文化・地域資源を活かした沿線地域の活性化が期待されている。

冬の積雪・凍結等の安全で円滑な交通確保を図るため、平成24年度に勝山IC～大野IC間にあるトンネルの両坑口に自然エネルギーを利用した極浅層地中熱および深層地中熱交換器を用いた融雪設備を設置し、今回、この融雪設備について性能・効果の調査を行ったので報告する。

2. 融雪設備概要

(1) 調査位置

調査を実施した融雪設備は、より気象条件が厳しいと考えられる杉俣トンネルの大野側坑口、大袋トンネルの大野側坑口、小矢戸トンネル福井側坑口の各1箇所ずつ、計3箇所とした。図-1に調査箇所を示す。

(2) 設備概要

杉俣トンネル・大袋トンネルは深層地中熱採熱器および極浅層地中熱採熱器を併用、小矢戸トンネルは極浅層地中熱採熱器のみでシステム構成されている。融雪設備の概要を図-2、融雪設備の設計条件を表-1に示す。



図-1 調査箇所図

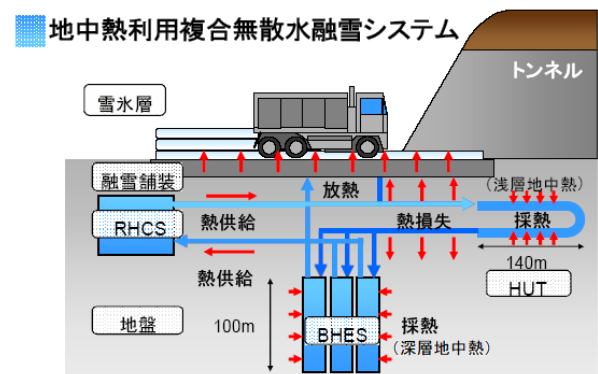
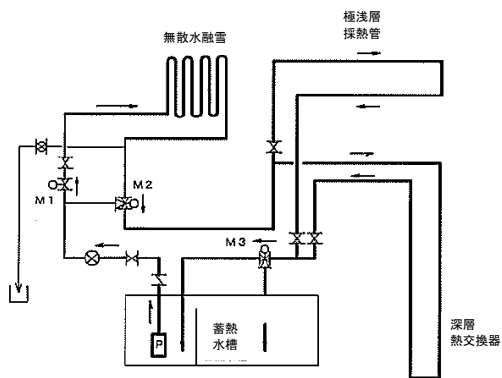


図-2 融雪設備イメージ



放熱量（融雪）	141.2 W/m ²	放熱量（凍結防止）	68.8 W/m ²
---------	------------------------	-----------	-----------------------

図-3 融雪設備の概要

表-1 融雪設備の設計条件

項目		記号	単位	設計値	備考
設計日降雪深		Hs	cm/d	11.0	過去10年累積相対頻度80%
設計時間降雪深		hs	cm/h	1.7	$h \leq 0.32/Hs \times 0.7$
設計気温	降雪時	t a	℃	-2.0	降雪日の平均気温
	凍結時	t a	℃	-2.4	風を考慮して1℃以上

(3) 設備の運転パターン

各システムには凍結防止運転（路面温度3℃以下でON、5℃以上でOFF）、融雪運転（路面温度1℃以下でON、3℃以上でOFF）、採熱運転（路面温度20℃以上でON、40℃以下でOFF）、蓄熱運転（蓄熱水槽温度12℃以下ON、15℃以上OFF）がある。設備の運転の概要を図-4に示す。

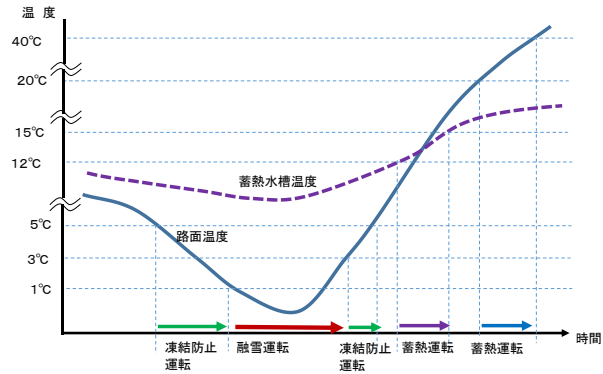


図-4 温度条件による運転パターン

3. 調査方法

(1) 観測項目

期待する融雪性能を確保しているか確認するためには、配管の循環水の往き戻り温度の測定だけでなく、実際の融雪時の路面状況・降雪量・気温の測定も必要である。

施設の制御条件を判別するために制御盤内の運転信号情報も同時に取得するほか、現地の制御に使われている路温データ、気温データも記録した。路面状況は、監視カメラで路面を撮影し、映像を間欠録画で記録した。

融雪設備で取得する観測項目として表-2に既存の観測項目、表-3に追加した観測項目を示す。

観測は、2013年12月10日～2014年2月28日の期間実施した。

表-2 既存の観測項目

	観測項目	観測内容	計測間隔
融雪制御機器測定	運転条件 制御条件	・ 運転状態（凍結防止運転、融雪運転、蓄熱運転、） ・ 路面温度	1時間

表-3 追加観測項目

	観測項目	観測内容	計測間隔
融雪制御機器測定	配管温度 流量	・ 往き配管表面温度（ T_o ） ・ 戻り配管表面温度（ T_i ） ・ 往き配管の流量（ q ）	1時間
	循環水温	・ 循環水槽水温	〃
路面状況観測	気温	・ 気温	〃
	積雪深	・ 非融雪部の積雪深	〃
	融雪状況	・ カメラによる融雪部の路面状況撮影	〃

(2) 性能調査方法

性能調査としては、融雪設備稼働時の路面状態、路面温度、参考として放熱量を算出する。

a) 放熱量

融雪設備における放熱量の考え方は路面消・融雪施設等設計要領（H20.5路面消・融雪施設等設計要領編集委員会 以下、設計要領）に記された温度低下の考え方の式を用いて逆算することで推定した。設計要領では放熱による温度低下として ΔT_i を求め、その上で設計温度を設定している。

本融雪設備の場合、 $\Delta T_i \cdot$ 流量・面積・循環液の比熱・密度の値は現場で実際に運用している上で発生する既知の値となり、これらの数値をもとに放熱による温度低下が発生するユニット単位の流量と面積を算定式に代入することで、融雪中の単位面積当たりの放熱量 Q を求めることが可能となる。設計要領に記載された計算式より、既設の融雪設備における単位面積あたりの放熱量は以下に示した式で推定した。

$$Q = \Delta T \cdot q \cdot \rho_w \cdot C_w / a \tag{1}$$

ここで、 Q ：単位面積あたり放熱量（W/m²） ΔT ：循環水の低下温度の平均値（℃）、 $\Delta T =$ 送り温度 T_o （観測値）－戻り温度 T_i （観測値） q （観測値）：単位ユニットあたりの循環流量（m³/s）、 ρ_w ：水の密度（1,000kg/m³）、 C_w ：水の比熱（4,186 J/kg/℃）、 a ：放熱する1ユニット当たりの面積（m²）である。

4. 融雪施設の稼働状況

(1) 杉俣トンネルの稼働状況

①12月の稼働事例

12月の稼働状況グラフを図-4に示した。運転形態としては、融雪・凍結防止・蓄熱・採熱というパターンがあるが、杉俣の12月は凍結防止または蓄熱の運転パターンだけが確認できる。

凍結防止運転の場合、運転中の送り温度 (T_o) が12月初旬で8~9℃、12月下旬で7~8℃、戻り温度 (T_i) は12月初旬も下旬もあまり変わらず5~6℃程度となっている。ただし、流量は12月下旬の方がやや多い運転形態となっている。

蓄熱運転をかけることで少しずつ送り戻り温度、および蓄熱部温度が回復していることが確認できる。

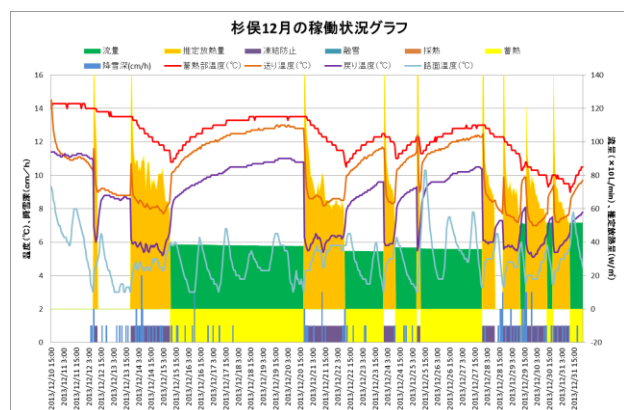


図-4 杉俣12月の稼働状況グラフ

②降雪時の稼働状況例

降雪初期の状況として最初の降雪が確認された12月13日から12月15日にかけてのグラフを図-5に示す。

降り始めの12月14日1:00頃は特に路面に積雪は見られないが、12月14日5:00頃にはうっすらと積雪が残っているのが確認できる。このとき、4cm/hの降雪があり融雪に必要な熱量は332W/m²と考えられるが、1時間あたりでの平均的な推定放熱量は89W/m²であった。その後、12月14日7:00の写真を見ると、路肩には積雪が残っているが、車両走行部分の積雪は確認できず、路面温度も4℃を超えていた、全体を通して熱量が不足する状況はなかったものと考えられる。

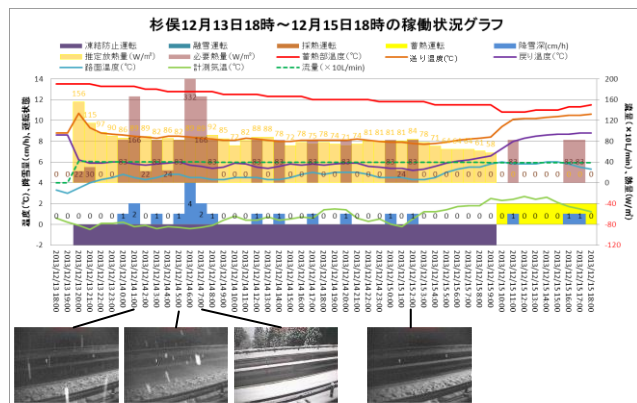


図-5 杉俣12月13日18時~12月15日18時の稼働、路面状況

(2)大袋トンネルの稼働状況

①12月の稼働事例

12月の稼働状況を図-6に示した。運転形態としては、融雪・凍結防止・蓄熱・採熱というパターンがあるが、大袋の12月は凍結防止または蓄熱の運転パターンだけが確認できる。凍結防止運転時の送り温度 (T_o) は6℃~14℃、戻り温度 (T_i) は5~10℃程度である。

運転状況を見ると12月20日からの蓄熱運転による温度上昇が終わった直後に凍結防止運転が開始され、蓄熱運転で得られた熱量が利用されている。また、降雪が頻繁に発生している割に路面温度が1℃以下まで下がらないため、凍結防止運転のままとなっている。

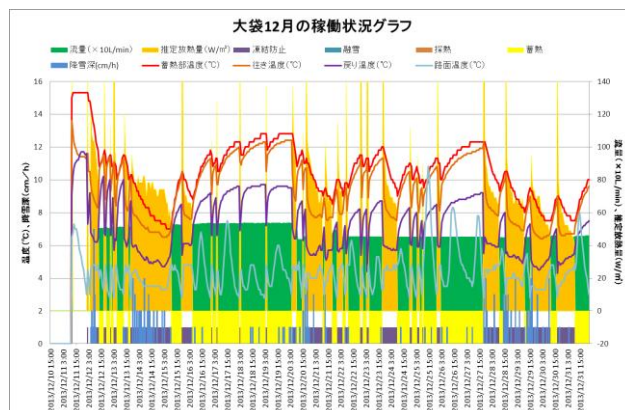


図-6 大袋12月の稼働状況グラフ

②降雪時の稼働状況例

降雪初期の状況として最初の降雪が確認された12月13日から12月15日にかけてのグラフを図-7に示す。

降雪当初の12月13日20:00頃は積雪も発生せず融雪されていたが、12月14日5:00頃から積雪が発生し始め、12月14日11:00頃には、路面積雪が残るほどの雪が確認できるが、路面温度を見ると積雪が断続的に続いた上記の時間帯は3.5℃と一定の温度となっている。このことから推察すると、路面が積雪状態のときでも融雪設備が機能しており、路面温度が3.5℃以下の状況とならないものと推定できる。

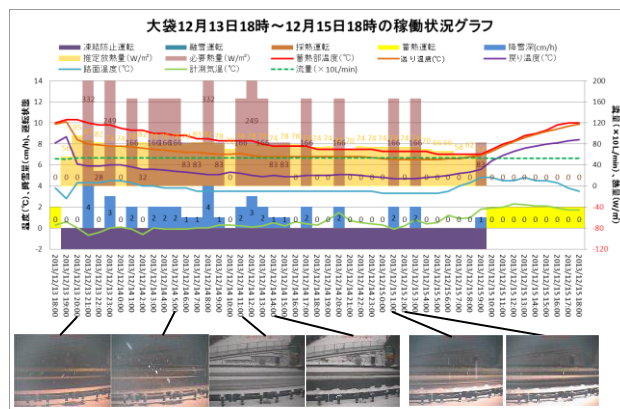


図-7 大袋12月13日18時~12月15日18時の稼働、路面状況

(3)小矢戸トンネルの稼働状況

①12月の稼働事例

12月の稼働状況を図8に示した。凍結防止運転時の送り温度(T_o)は $7.5^{\circ}\text{C}\sim 12^{\circ}\text{C}$ 、戻り温度(T_i)は $6\sim 9.5^{\circ}\text{C}$ 程度である。

運転は凍結防止運転または蓄熱運転のいずれかであり、降雪が多い時間帯でも路面温度が 3°C になると凍結防止運転が始まり、路面温度が低下しないため、そのまま凍結防止運転を続けている様子が読み取れる。

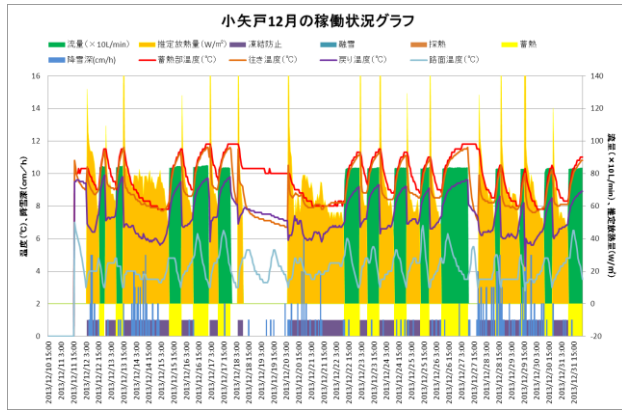


図-8 小矢戸12月の稼働状況グラフ

②降雪時の稼働状況例

降雪初期の状況として最初の降雪が確認された12月13日から12月15日にかけてのグラフを図7に示す。

降雪は翌日12月14日13:00まで降り続き、路面の積雪がなくなり、落ち着いてきたのは12月14日16:00であった。この間、降雪が強かったため、路肩部にはかなりの積雪が確認できる。

調査期間中も降雪が多く、路面温度も 3°C を下回ることがあったものの、路面温度が 1°C を下回ることがなかったため、路面が積雪状態のときでも融雪設備が機能しており、路面温度が 1°C 以下の状況とならないものと推定できる。

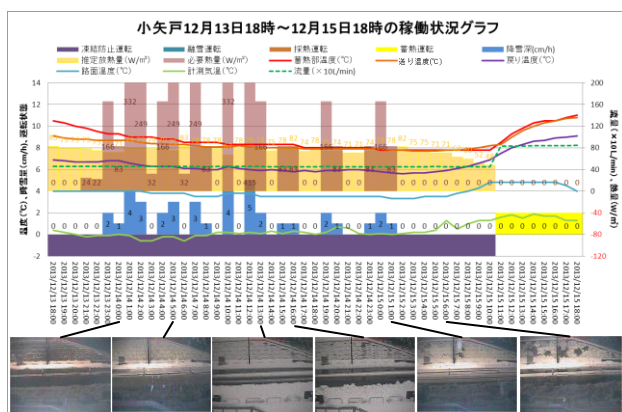


図-9 小矢戸12月13日18時～12月15日18時の稼働、路面状況

(4)設計条件下での稼働状況

融雪設備の設計条件下での稼働状況事例として、杉俣の設計条件(時間降雪深 1.7cm 、気温 -2°C)に近い状況時(平成26年1月22日13時～23日12時)の稼働状況を図-10に示す。この期間の気温は17時から翌日9時まで 0°C 以下であり、 $1\sim 2\text{cm}$ の時間降雪深が観測されていた。

融雪設備の運転機能は、当初は蓄熱運転であったが、20時に路面温度が 3°C に低下したため21時から凍結防止運転となり、翌日路面が 5°C 以上に上がる11時まで凍結防止運転が継続した。その後蓄熱運転に切り替わった。

凍結防止運転期間中の推定放熱量は最初 $127\text{W}/\text{m}^2$ と大きいのがその後 $70\text{W}/\text{m}^2$ と安定し、気温は氷点下であったが路面温度は 4°C に安定していた。

また、図-11に時間降雪深 2cm 、気温 -3°C であった23日8時の路面状況を示す。周囲には積雪があるものの路面は黒く雪がない状況であった。

杉俣 1月22～23日の稼働状況グラフ

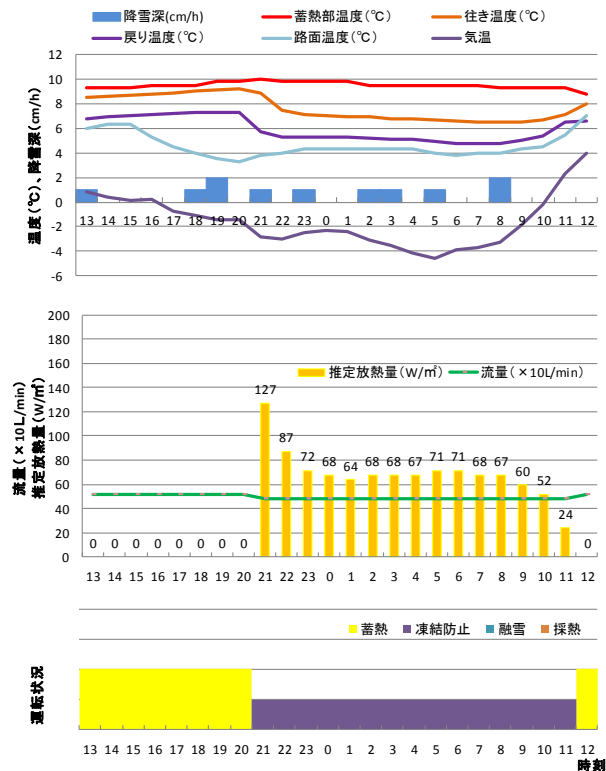


図-10 設計条件に近い状況時の稼働状況グラフ

平成26年1月22～23日



図-11 杉俣トンネル大野側出口付近の路面状況

平成26年1月23日8時

5. 融雪設備の調査結果

測定期間(2013年12月10日～2014年2月28日)の融雪設備の運転時間、最低気温、及び最低路温を表-4に示す。凍結防止運転(路面温度 3°C 以下ON)は510～895時間と

総運転時間の27.6～48.9%であり、蓄熱運転（蓄熱水槽温度12℃以下）は935～1,338時間と51.1～72.4%（＝1,338／1,848）であった。融雪運転と採熱運転は行われていなかった。

表-4 融雪施設の運転時間、最低気温・路温

期間※1	杉俣 TN (大野側)	大袋 TN (大野側)	小矢戸 TN (福井側)
凍結防止運転(h)	510	752	895
融雪運転(h)	0	0	0
採熱運転(h)	0	0	0
蓄熱運転(h)	1,338	1,140	935
総運転時間(h)	1,848	1,894	1,830
ロガー計測時間(h)	1,929	1,929	1,929
最低気温(℃)	-7.3	-7.2	-7.3
最低路温(℃)	2.8	1.8	2.0

※1：12月10日～2月28日

融雪設備の凍結防止性能、融雪性能及び蓄熱性能について。

① 凍結防止性能

- ・今回、 ΔT ＝送り側温度 T_o （観測値）－戻り側温度 T_i （観測値） q （観測値）：単位ユニットあたりの循環流量（ m^3/s ）を計測することで、熱量として算出

し、設計値での確認が行えた。

また、実際の路面状況からも、測定期間で気温の最低は-7.3℃であったが、路温は最低1.8～2.8℃程度までしか下がっていなかったことから凍結防止の効果が確認できた。

② 融雪性能・蓄熱性能

- ・今冬は少雪傾向だったこともあり、融雪運転に切り替わることが無く、データの収集が行えなかった。

6. まとめ

今回の調査で、設備の蓄熱水温・外気温・路面温度等の収集データより想定される熱量を算出し、設備の凍結防止運転時の性能を確認することが出来た。

融雪運転については、雪の少ない年であったため、調査期間中に融雪運転に切り替わることが無く、融雪運転のデータについては収集することが出来なかった。

今後、自然エネルギーを利用した融雪設備を効率的に活用するためには、引き続き調査を行いデータを蓄積し、設備の計画・設計に生かしていきたい。

参考文献

- 1) 路面消・融雪施設等設計要領編集委員会：路面消・融雪施設等設計要領 H20.5

丹波綾部道路瀧谷高架橋での耐久性向上対策 ～橋梁上部工コンクリートへのSEC工法の適用～

熊谷 徹¹

¹大成建設(株)本社土木本部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1新宿センタービル)

SEC (Sand Enveloped with Cement) 工法は、練混ぜ水を最適な比率で2分割して投入・練混ぜを行うことで細骨材周辺を低水セメント比のセメントペーストで覆われるようにコンクリートを製造し、通常の練混ぜ方法と比べて、コンクリートのブリーディング発生を抑制でき、圧縮特性を向上させる1)2)。瀧谷高架橋では、このブリーディング抑制効果による躯体コンクリートの緻密性・耐久性向上に期待し、SEC工法をPC橋梁上部工のコンクリートとしては初めて本格的に適用した。本稿は、適用に当たっての検討結果を報告する。

キーワード SEC工法、分割練混ぜ、ブリーディング抑制、橋梁上部工コンクリート

1. はじめに

丹波綾部道路（綾部市～京丹波町間29.2km）は、京都縦貫自動車道（宮津市～久世郡久御山町間約100km）の一部で、近畿自動車道敦賀線や国道9号、国道27号を結ぶ道路である。本工事は、そのうちの第2工区（京丹波わちICから瑞穂IC間：11.2km）内に、橋長421mのPC6径間連続ラーメン箱桁上部工を建設する橋梁工事である（図-1）。

本橋は、図-2に示すように最高27.7mの橋脚上に建設される橋梁上部工で、供用後の維持管理が難しいために、施工時に上部工コンクリートの耐久性向上の工夫が求められる構造物である。

そこで本工事では、コンクリートの練混ぜ手順を変更するのみでブリーディング量を低減でき、結果的にコンクリートの緻密性・耐久性向上が図れる“SEC工法”を橋梁上部工コンクリートに適用した。本稿では、その適用検討および結果について報告する。



図-1 工事位置図

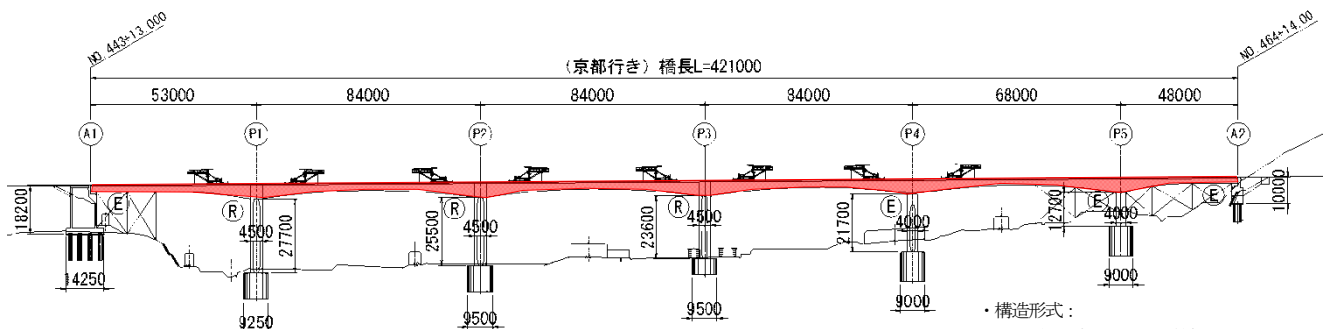


図-2 瀧谷高架橋一般図（■がSEC工法適用範囲）

- ・構造形式：
PC6 径間連続ラーメン箱桁橋
- ・橋長：421m
- ・最大支間長：84m
- ・幅員：10.5m
- ・架設工法：
張出工法+固定支保工

2. SEC工法を現場に適用するに当たっての課題

図-3は、大成建設技術センターで実施した、分割練りによるブリーディング抑制効果を確認するための予備実験の結果である。実験は、工事で使用する生コンプラントでの呼び強度24N相当の配合を参考に、通常の場合と練り混ぜ水を分割し練り混ぜたコンクリートのブリーディング試験を行った。このようにSEC工法は、練混ぜ水の投入を2回に分けてコンクリートを製造するだけで、通常の一括投入し練り混ぜを行った場合と比べブリーディングを抑制できる。

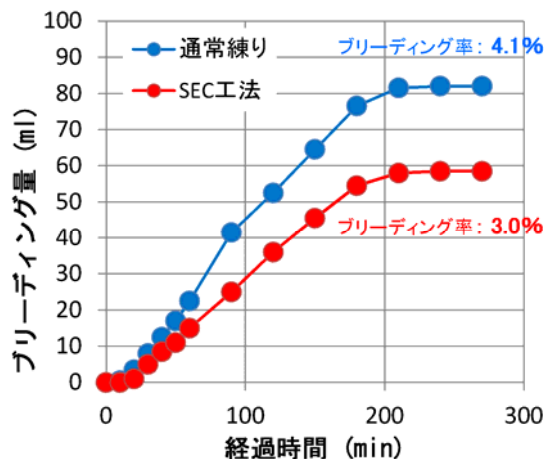


図-3 ブリーディング試験結果（24N配合）

本工法に期待する効果は、ブリーディングが抑制されることで、骨材や鉄筋などの下部に発生する空隙が減少し、結果としてコンクリート自身を緻密化（今回は強度改善効果で判断）できる点である。

しかしSEC工法は、吹付コンクリートやダムコンクリートで多くの実績を有するが、PC橋梁上部工への適用は瀧谷高架橋が初めてであり、実施するに当たっては以下のような懸念があった。

【コンクリートの製造】

- ①元々低W/Cの配合に於いて、練混ぜ水を2分割するために、さらに水の少ない状態で1次練りを実施する必要がある（表-1）。したがって、ミキサへの負荷が増大するために、プラントの設備によっては練混ぜができない可能性がある。
- ②練混ぜを2回に分けるため、自ずと練混ぜ時間も長くなり（通常の約1.5～2倍）、単位時間当たりの生コン供給量が少なくなる。

【配合】

- ③橋梁上部工のコンクリートは、PC構造なので設計基準強度40Nの高強度コンクリート仕様となっている。したがって、W/Cは37%と小さい値となっており、元々ブ

リーディングも少ない。このようなコンクリートでもSEC工法による更なる緻密化（今回は強度改善効果で評価）は得られるのか。

【コテ仕上げの作業性】

- ④一般的にW/Cの少ない高強度コンクリートでは、ブリーディングが少ないのでコンクリート表面のコテ仕上げ時の作業性が悪くなる。SEC工法でよりブリーディングが少なくなった場合、さらに作業性が悪くなる可能性がある。

①に関しては、生コンプラントの設備を確認するとともに、最終的には、実機で試験練りを行い、練混ぜサイクルも含め検討し解決を行った。

②に関しては、幸い生コンプラントが施工現場に非常に近かった（運搬時間約10分）こと、また、部材の殆どが張出施工であり1回の打設量55～70m³程度と少なかった（最大打設量は場所打ち部の320m³/回）ため、大きな問題とはならなかった。

③④に関しては、室内試験練り、実機試験練りを実施し、コンクリート性状を確認したうえで、実施工を行った。

3. 室内試験練りでの検討結果

(1) 1次水セメント比の検討結果

SEC工法の最適一次水量は、下記の式(1a)に、二次水量は式(1b)により算出する。

$$W1 = \alpha / 100 \times C + \beta 0H / 100 \times S \quad (1a)$$

$$W2 = W - (W1 + Ad) \quad (1b)$$

W1：最適一次水量（kg/m³）

W2：二次水量（kg/m³）

W：単位水量（kg/m³）

Ad：混和剤量（kg/m³）

α ：セメントのキャピラリー状態に必要な水セメント比（%）

$\beta 0H$ ：細骨材の拘束水率（%）

C：単位セメント量（kg）

S：単位細骨材量（kg）

今回使用する生コンプラントの材料特性は、試験の結果次のとおりであった。

- ・セメントのキャピラリー状態に必要な水セメント比： $\alpha = 26\%$
- ・細骨材の拘束水率： $\beta 0H = 0.73\%$

以上より決定された配合を表-1に示す。

表-1 コンクリートの配合

W/C	単位量(kg/m³)					
	C	W		S	G	Ad
		W1	W2			
37%	446	121	44	679	1038	3.12

(2) 練混ぜ手順

練混ぜは、表-2 に示す手順で行った。総練混ぜ時間は、通常練りの 100 秒に対し、SEC 工法は 150 秒とした。ミキサはプラント試験室のパン型ミキサ使用し、1 バッチの練混ぜ量は 40 リットルとした。

表-2 試験練時の練り混ぜ手順

通常練り	S, C, G投入→10秒→(W+Ad)→90秒→排出
SEC工法	S, W1投入→30秒→C投入→60秒→(W2+Ad), G→60秒→排出

(3) コンクリートの性状確認

表-3にコンクリートの性状確認試験結果を示す。管理値は、スランブ：12±2.5cm，空気量：4.5±1.5%である。

SEC工法の場合、タッピング時の水上りが若干少ない傾向は認められたが、仕上げ作業に支障を来すほどではなかった。実際の床版仕上げ時には、被膜養生剤を併用しながら作業を行ったので、ブリーディングが抑制されることは問題とならなかった。その他の性状に関しては、分割練り混ぜとしても、通常練りのコンクリートと同等の性状が得られることが確認できた。

また、圧縮強度に関しては、分割練りとすることで約9%向上することが確認できた。これは、SEC工法のブリーディング抑制効果により、骨材下面に生成される空隙も小さくなることの結果⁹⁾であり、コンクリートが緻密化する事を間接的に示すものと考えられる。

表-3 フレッシュコンクリートの試験結果

測定項目	SEC 工法	通常練り
フレッシュコンクリート		
スランブ	 13.5 cm	 14.0 cm
空気量	3.0 %	3.4 %
温度	17.0 °C	16.0 °C
室温	18.0 °C	18.0 °C
1hr 後のコテ仕上げ状況	 OK (タッピング時の水上りやや小)	 OK
その他	(スランブの経時変化) 練り上り：13.5 cm 30 分後：14.5 cm 60 分後：14.0 cm 90 分後：13.0 cm	—
圧縮強度		
材齢 3 日	38.4 N/mm ² (通常練りの 1.09 倍)	35.1 N/mm ²
材齢 7 日	63.2 N/mm ² (通常練りの 1.09 倍)	58.0 N/mm ²

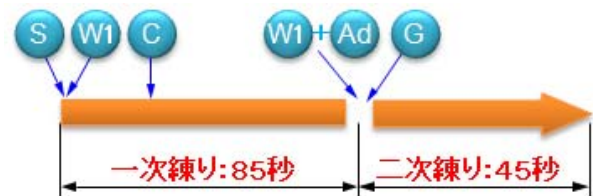


図-4 実機ミキサでの練り混ぜ要領

4. 実機試験練りでの検討結果

(1) プラントでの練り混ぜ要領

図-4 に、実機試験練りでの練り混ぜ要領を示す。今回は、ミキサの負荷低減に配慮し“モルタル先練り”とした。使用プラントに於いて通常練りが 60 秒で排出となるのに対し、SEC 工法では約 130 秒で排出としたが、混練ぜ中のミキサ負荷状況を確認した結果(図-5)，ミキサの負荷は問題とはならず、1 次練り，2 次練りとも約 10 秒短縮可能であることが判明したので、実施工では約 110 秒で排出とした。

練混ぜ容量は、何れも 1 バッチ 2 m³で、通常練りは 2 m³，SEC 工法は 2 m³×2 バッチ=4 m³製造した。

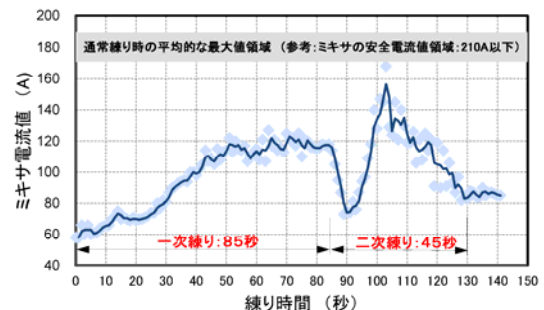


図-5 練り混ぜ中のミキサ負荷

(2) コンクリートの性状確認

実機試験練りでSEC工法により製造したコンクリートは、ミキサ車で現場まで運搬、ポンプ車で約25m上方へ圧送し、P2橋脚脚頭部ブラケット足場上のブロック供試体(900×900×900mm)を3体打設する模擬施工を実施した(写真-1)。

表-5にコンクリートの性状確認試験結果を示す。コンクリートは、練り上り後90分までスランプ、空気量ともに安定しており、圧送後のワーカビリティ低下もなく、ブロック供試体での締固め状況も良好で問題は認められなかった。また、表-6に示すように、通常練りのコンクリートと比較し、ブリーディング率はいずれも0.4%と小さく差異はでなかったが、圧縮強度は室内試験練りと同じくSEC工法のほうが高くなる傾向が再現され、実際のプラントミキサで製造しても、コンクリートの緻密性改善効果が得られることが確認された。



写真-1 模擬打設の状況

表-5 コンクリートの性状確認結果(1)

測定時間	圧送前(荷卸し)		圧送後(筒先)	
	スランプ	空気量	スランプ	空気量
SEC工法				
練上り	12.0 cm	3.2 %	—	—
練上り後1.0hr	11.5 cm	3.6 %	11.5 cm	3.5 %
練上り後1.5hr	10.0 cm	3.5 %	9.5 cm	3.5 %
通常練り				
練上り	10.5 cm	4.3 %	—	—

表-6 コンクリートの性状確認結果(2)

	SEC工法	通常練り
ブリーディング率		
練上り時試料	0.4%	0.4%
圧縮強度		
材齢3日	48.0 N/mm ² (通常練りの1.09倍)	44.2 N/mm ²
材齢7日	56.1 N/mm ² (通常練りの1.07倍)	52.5 N/mm ²

5. 実施工での品質管理結果

当現場では、橋梁上部工工事として、柱頭部、張出し施工部、固定支保工施工部に、延べ約4,000m³にSEC工法を適用した。その施工管理結果を表-7に示す。

コンクリートの総打設回数56回に於いて、スランプの平均値は12.2cm(標準偏差:0.60)、空気量の平均値は4.1%(標準偏差:0.42)で、打設中の供給トラブルもなく平成26年1月に無事に最終打設を完了した。

表-7 実施工での品質試験管理結果

項目	規格値	実測値	差
スランプ			
平均値	12.0 cm	12.2 cm	+0.2 cm
最大値	14.5 cm	13.5 cm	-1.0 cm
最小値	9.5 cm	10.5 cm	+1.0 cm
データ数	—	n=194	—
標準偏差	—	$\sigma = \pm 0.60$	—
空気量			
平均値	4.5 %	4.1 %	-0.4 %
最大値	6.0 %	5.0 %	-1.0 %
最小値	3.0 %	3.3 %	+0.3 %
データ数	—	n=65	—
標準偏差	—	$\sigma = \pm 0.42$	—

6. おわり

SEC工法は、練混ぜ水を最適な比率で2分割して投入・練混ぜを行うことで、コンクリートが本来持っているポテンシャルを引き出せる良い工法である。

しかしながら、市中の生コンプラントで製造する際には、設備的な問題、練混ぜ時間の増大も含めた他工事との供給調整の問題、プラント制御システムの改造費用の問題など、生コンプラントや生コン組合の理解と協力を得られなければ実施する事が難しいのが現状である。

本工法が今後も実績を増やし、生コンプラント関係者へも認知されてゆくことを期待する。

謝辞:SEC工法実施に当たり技術指導頂いたリブエンジニアリング(株)殿、またコンクリート製造に当り真摯に協力頂きました関係者の皆様に、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) NETIS登録公開資料 「登録No. KT-100097-A」
- 2) 山本康弘・丸嶋紀夫・早川美光敬・伊東靖郎:SECコンクリートの基礎的性状に関する研究, 第4回コンクリート工学年次講演会講演論文集, pp121-124, 1982
- 3) 田澤栄一・笠井哲郎・岡本修一:ダブルミキシングで製造したコンクリートの圧縮強度, 土木学会論文集, 第408号, V-11, pp139-146, 1989.8

トンネル掘削機の振動を利用した 切羽前方探査の適用実験

西 琢郎¹・岩橋 輔²

¹清水建設（株）技術研究所 社会基盤技術センター （〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17）

²清水建設（株）大阪支店 土木部 （〒541-8520 大阪府中央区本町3-5-7 御堂筋ビル）

筆者らは、トンネル切羽前方探査手法の一つとして、掘削機械が発した振動を利用する反射法地震探査の研究開発を進めている。近畿自動車道紀勢線 十九淵第一トンネル工事現場にて実施した現場適用実験では、8チャンネルのセンサーを油圧ブレーカーおよびロックボルトに設置し、ブレーカーが切羽面でこそく作業を行う際に振動測定を行った。測定データに各種数値フィルター処理を施して切羽前方からの反射波を抽出し、反射波の走時楕円を描くことによって切羽前方約50m間での共通反射面を複数推定した。想定された反射面は、風化が局所的に進行した岩盤劣化部に相当しており、本手法の有効性が確認できた。

キーワード 新技術、切羽前方探査、山岳トンネル、反射法弾性波探査、調査・計測

1. はじめに

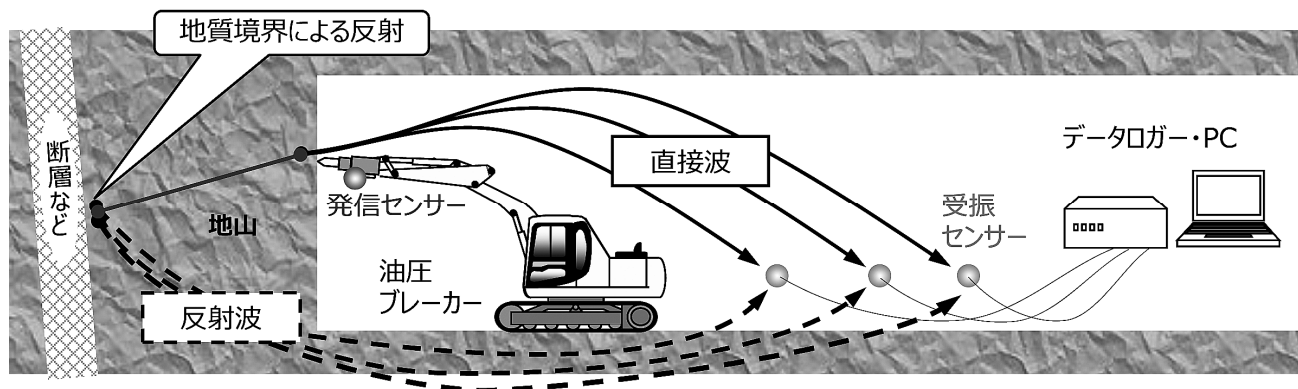
トンネル切羽前方の地山状況を事前に把握することは、突発事象への対処を減らし、工事を安全に進めるだけでなく、より急速施工を実現してコスト低減にも寄与するものと考えられる。筆者らは、施工を極力止めず、日常作業のモニタリング的データの中から、切羽前方の状況を概略探査し、先進ボーリング等の詳細調査を実施する場所を合理的に選定する方法を得るための研究開発を進めている。現在までにNATM工法による山岳トンネルを対象とし、掘削機械によって発生する振動を利用した切羽前方探査手法を検討してきた^{例え1)}。

本報告では、この手法の原理・特徴と、測定～データ処理方法について述べ、近畿自動車道紀勢線 十九渕第一トンネル工事現場にて実施した現場適用実験の結果と、今後の課題等について述べる。

2. 探查方法

(1) 測定原理と特徴

本手法は、いわゆる反射法弾性波探査を応用したものであり、地山を伝播する弾性波が岩盤性状（主に岩盤の硬さ）の変化点で反射する現象から、切羽前方の地山状況の変化点を推定するものである。ここで用いる弾性波の振動源は、トンネル掘削では普通に行われる「こそく作業」で使用される油圧ブレーカーで、ブレーカーが切羽面を打撃する際の振動を、トンネル壁面に設置した加速度センサーで受振することにより探査を行う（図-1）。従って、本手法は探査のための特殊な機材や工程をほとんど必要とせず、日常作業の中で実施できるところが特徴であり、また切羽の進行に伴ってモニタリング的に複数回実施していくことにより、反射面位置の推定精度の向上を図ることも可能である。



图一1 探查方法概念图

(2) 測定仕様

測定に使用する機材は、通常の反射法地震探査で用いるものと同様である。受振センサーは設置をなるべく短時間で終わらせるため5箇所設置とし、切羽に最も近い受振点ではトンネル軸に対して直交する3成分方向の振動を計測、残り4箇所では主にトンネル軸方向1成分の振動を計測する。また、トリガーとして別のセンサー1個をブレーカーに取り付ける。表-1にその他の測定仕様一覧、図-2、3にセンサー設置状況を示す。

表-1 測定仕様一覧

受振センサー数	7個
トリガセンサー数	1個
測定周波数	10～20kHz
測定時間	3sec
分解能	16ビット
センサー固有振動数	28Hz(動電型)

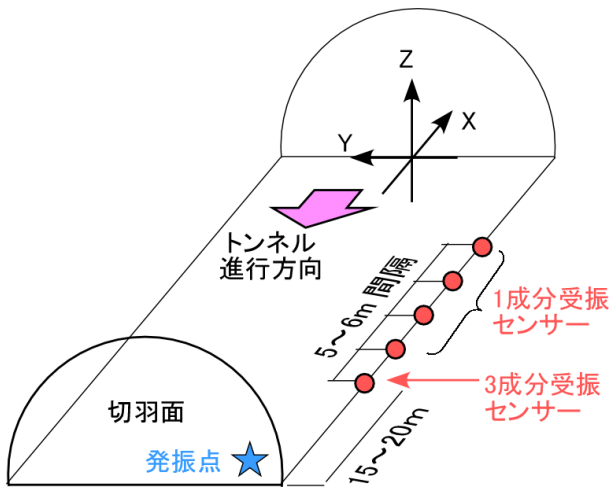


図-2 測定ジオメトリー鳥瞰図

従来の反射法地震探査では、受振センサーは坑壁近傍のゆるみ域を避けて壁面から1m以上の深さに設置する場合が多い。しかし、この方法ではセンサー設置孔を削孔する必要があり、切羽進行に合わせて都度センサーを再設置することは工程的に困難になる。そこで、筆者らはゆるみ域の影響をなるべく避けるためにロックボルト

を受振スパイクとして利用することとし、センサーをボルト頭部に簡易に脱着できる治具を作成した。センサーを固着した治具は、ねじによりロックボルト頭部のナットに短時間で確実に固定される。

(3) データ処理

収録されたデータは、0.25秒分を1データセットとして取り出し、図-4に示す手順に沿って処理を行う。

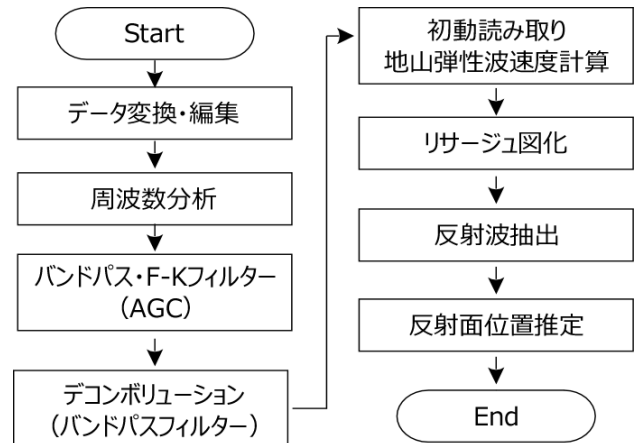


図-4 データ処理手順

まず、受発信点位置等の測定ジオメトリーの整理・ノイズ状況等の分析を行った上で、バンドパス・利得補正(AGC)・デコンボリューション等の数値フィルター処理を行い波形を強調する。次に、各受振センサーでの直接波初動を読み取り、センサー間での到達時刻の遅れから地山弾性波速度を計算する。

反射波は、発・受振点の位置、地山弾性波速度、反射波の到達時刻が既知である場合、発振点と受振点を焦点とする楕円体(走時楕円という)面上にある点から発生したものとみなすことができる²⁾。センサー毎に反射波の走時楕円を描くと、同一の点からの反射波であれば走時楕円が重なる点が形成され、反射面位置の推定ができる。ここで、図-2のようにトンネル進行方向が主軸X方向となる座標系において、発・受振点をできるだけX軸に沿うように配置して測定を行えば、3成分振動データからリサージュ図形を描いてX軸方向の振動が卓越す

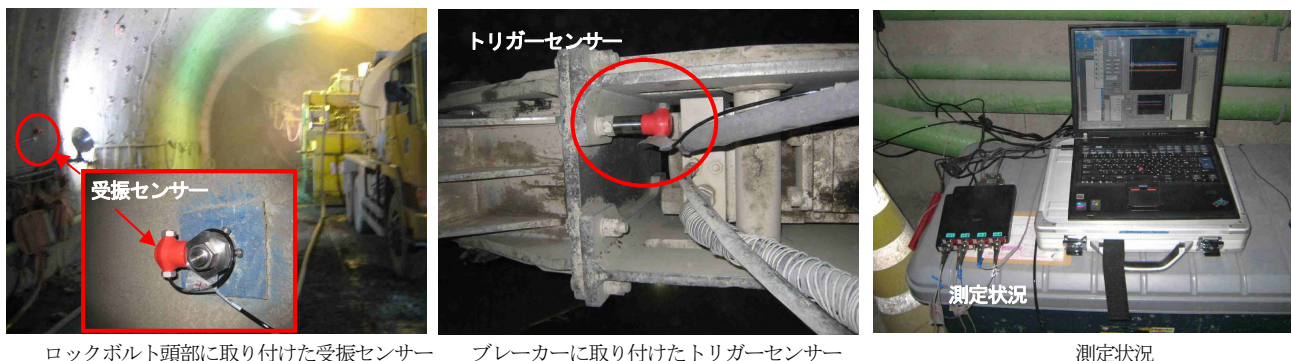


図-3 坑内での受信センサー、トリガーセンサーの設置状況と測定状況

る波を抽出すると切羽前方からの反射波である可能性が高まる。X軸方向の振動が卓越する波であれば共通節点は切羽前方にあり、反射面が鉛直に近いほど各センサーでの波の到達時刻遅れは弾性波速度に応じて線形に現れる。これは波形記録を並べることによっても確認できる。

以上の処理手順を踏まえて切羽前方の反射面位置を推定し、更に掘削の進行に伴って測定ジオメトリーを保持しつつ測定を繰り返していく。なお、上記のデータの分析・処理では、反射法探査解析用としてコロラド鉱山大学からフリーで配信されているCWP/SU^③を用い、直接波初動の読み取り・弾性波速度計算と走時楕円の描画では、局所ARモデルによる初動の自動読み取り機能を備えた専用ソフト（自社開発）を用いた。

3. 適用実験

平成25年8月、近畿自動車道紀勢線 十九渚第一トンネルにおいて、本手法の現場適用実験を行った。このうち、ブレーカーを用いた切羽面の打撃による探査では、4日間の測定によって前方約60m区間内において4か所の地山性状変化点を予測した。実験内容についてまとめる。

(1) 十九渚第一トンネルの概要

近畿自動車道紀勢線は、大阪府松原市を起点とし紀伊半島を回り三重県多気郡多気町に至る延長335kmの高速自動車国道である。現在、起点から和歌山県田辺市までが供用されており、南紀田辺ICからすさみIC（仮称）に至る区間（延長38km）の建設が平成27年の開通に向け進められている。

十九渚第一トンネル工事は上記工事の一部で、日本三古湯の1つである南紀白浜において延長388m、掘削断面積約80m²のトンネルを建設するもので、平成24年11月より工期スタート、平成25年1月からの仮設備等の工事を経て、4月中旬から本格的に発破掘削を開始、10月末に貫通した（図-5）。地山の地質は、新第三紀田辺層群白浜累層の砂岩泥岩互層からなり、支保パターンはCⅡ、DⅠ、DⅢからなるが、比較的岩質は硬固であった。しかし、到達側（起点側）坑口部は崩積土、破砕帯が厚く堆積し、設計変更によりシリカレジンを注入材とする注入式長尺鋼管先受工法が採用された。

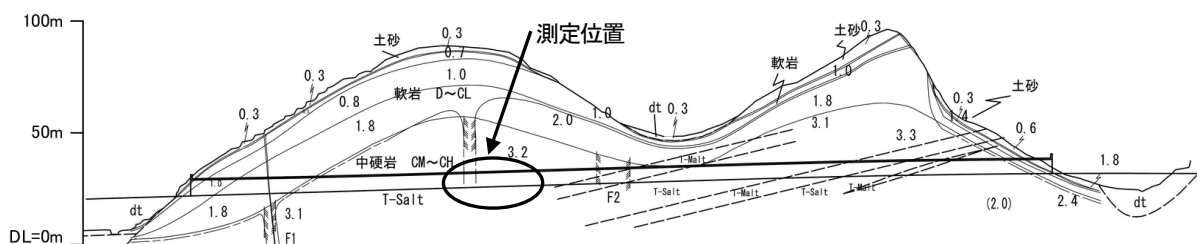


図-5 十九渚第一トンネル縦断面図

（図中数値：弾性波速度(km/s)，T-Salt：砂岩優勢泥岩互層，T-Malt：泥岩優勢砂岩互層，dt：崖錘堆積物）

(2) 実験内容

実験は、事前探査によりトンネル内に想定されていた低速度域（距離程260m付近：図-5）の約40m手前から4回、切羽が計16.8m進行する間に行った。測定では、発破後ズリ出しが終了した直後に発・受振センサーを取り付け、切羽をブレーカーで1～3回打撃することを10回程繰り返す間の振動を計測した。計測に要した時間は、設置→計測→撤去までで30分以内であった。

(3) 実験結果

図-6にデコンボリューション処理を終えた受振波形記録の一例を示す。波形は下から順に切羽面に近いものから並んでおり、上2つの波形（Trace 6, 7）は測点1におけるY成分とZ成分である。いずれも比較的明瞭な初動が現れている。初動の到達時刻の遅れから地山弾性波速度は3.3km/sと推定されるが、これは事前探査での弾性波速度（図-5）とほぼ一致する。また、波形記録からは0.04秒以降は初動から続く振幅の大きな直接波がほぼ見られなくなり、反射波とみられるやや振幅の小さなピークが散見されるようになる。

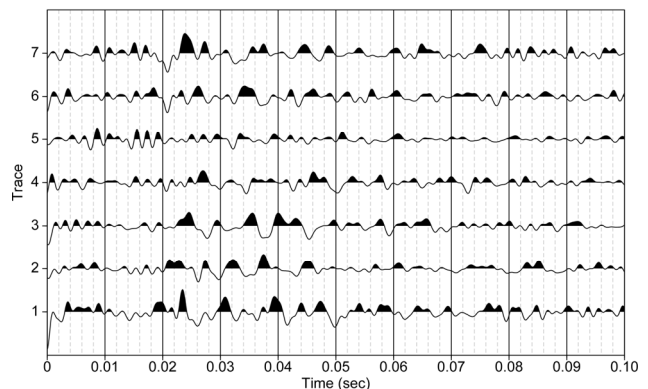


図-6 第1回測定結果（フィルター処理後）

図-7に、フィルター処理後のX・Y・Z成分波形から描いたリサージュ図形の一部（0.04～0.07秒分のみ）を示す。今回測定された波形は概ね全てX成分の振幅が大きく、トンネル前方からの波の入射が示唆される。

そこで、トンネル軸方向1次元での波の伝搬を仮定し、弾性波速度に応じた到達時刻勾配を持つ反射波を抽出（4測点以上で勾配に乗るものを選択）すると図-8(a)に示したA～Eの5つの波形の並びが選択された。これを共通反射面からの反射と想定し、走時楕円から求めた

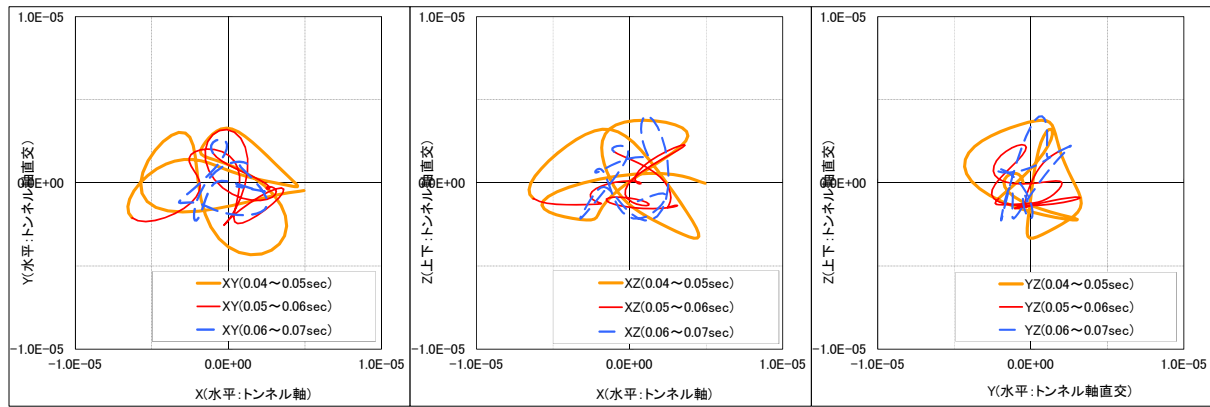


図-7 測定結果（第1回，フィルター処理後）のリサージュ図形（右：x y，中：x z，右：y z成分）

反射面までの距離を同図に示す。翌日の第2回測定では、切羽が6.0m 進行した状態で同様の測定を行った。反射面A～Eは前日の位置（破線）より6.0m 移動した実線付近に反射波形が並ぶことになる。A，B，Dでは3 測点以上で合致した。同様に3 日目は全て、4日目ではC以外は3 測点以上で合致した結果となった。

以上4 日間の推定結果を総合すると、推定確度を高（×無し）、中（×が1 日）、低（×が2 日以上）と分類すれば、C 以外は中以上の推定確度となる。これを後日の掘削結果で見出された地山劣化部の位置と対比すると、推定確度が中以上の反射面では劣化部の位置と良く一致しており、前方探査手法としての有効性が確認できた。

4. まとめと今後の課題

日常的なトンネル掘削作業において使用する機材を利用し、切羽前方探査を行う方法の研究開発を行った。十九渚第一トンネルでの現場実験では、4日間の測定で切羽前方の複数の岩盤劣化部の存在を予測し、手法の有効性を確認した。今後は反射面の3次元形状をより高精度に評価する手法の改良に取り組む所存である。

謝辞：紀勢線監督官詰所の中村恭介監督官には、本実験を行うにあたりご協力頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 若林成樹，西琢郎，中谷篤史：トンネル施工時の機械振動を利用した切羽前方探査の現場試験，第42回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp. 280-283，2014。
- 2) 芦田譲，松岡俊文，楠見晴重：弾性波3成分受振によるトンネル切羽前方の高精度イメージング，土木学会論文集，No. 680/III-55，pp. 123-129，2001。
- 3) Cohen, J. K. and Stockwell, Jr. J. W. : CWP/SU: Seismic Unix Release 43: a free package for seismic research and processing, Center for Wave Phenomena, Colorado School of Mines, 2011。

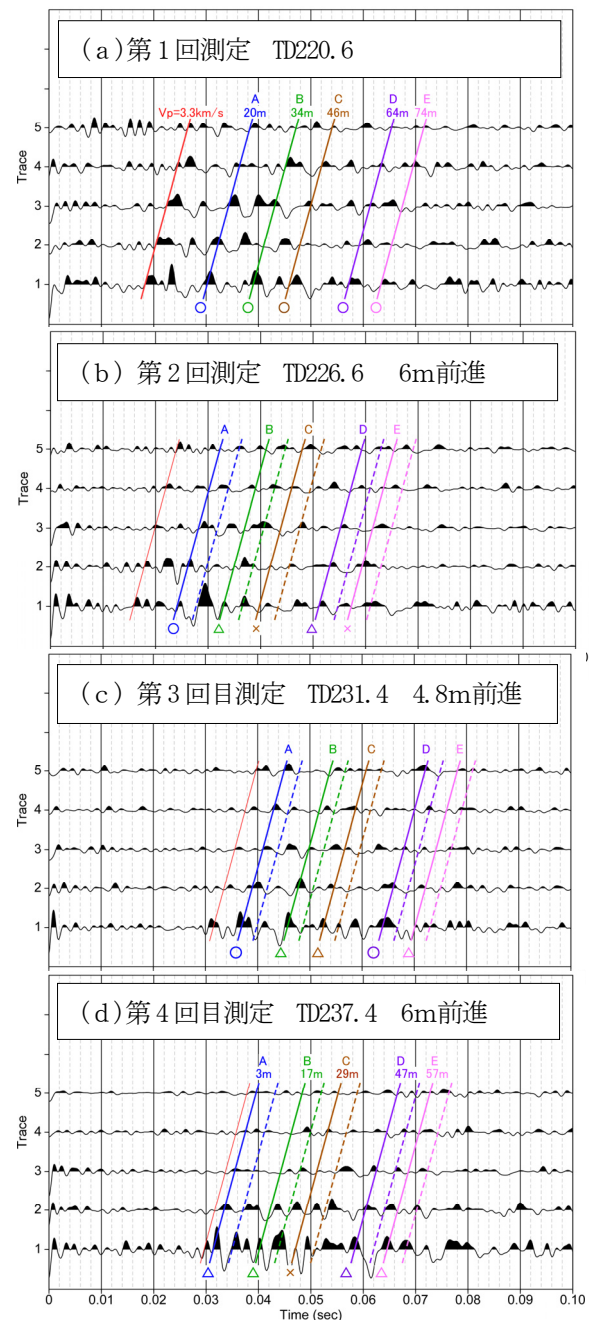


図-8 波形記録（0.1秒分）と反射面位置
（○：4 測点で合致，△：3 測点で合致，×：左記以外）

御堂筋共同溝における 上向きシールド工法による立坑の施工

小森 敏生¹

¹大成・五洋特定建設工事共同企業体 御堂筋上向きシールド作業所
(〒556-0011大阪市浪速区難波中1-12)。

御堂筋共同溝は、大阪のシンボルロードである御堂筋の地下約30mに位置する延長約4kmの幹線共同溝であり、大阪市水道局の水道管と関西電力(株)の電力ケーブルを収容するものである。共同溝本体は2012年3月に完成しており、現在「国道25号御堂筋共同溝立坑工事」において、8箇所に分岐立坑と共同溝内の内部構築工を施工している。本稿では、上向きシールド工法による7箇所の立坑の施工実績について報告するものである。

キーワード 上向きシールド、近接施工、交通規制

1. 工事概要

(1) 全体工事概要

工事名称：国道25号御堂筋共同溝立坑工事

施工場所：大阪市浪速区難波中1丁目

～北区曽根崎2丁目

工期：2011年3月17日～2014年11月16日

御堂筋共同溝事業は、国土交通省近畿地方整備局と大阪府が地下に整備を進めている幹線共同溝の内、大阪のメインロードである一般国道25号（御堂筋）の梅田から難波の延長約4kmに計画している大阪市水道局の水道管（φ1,500mm）および関西電力のケーブルを布設するための共同溝を構築するものである。図-1に全体平面図・断面図を示す。

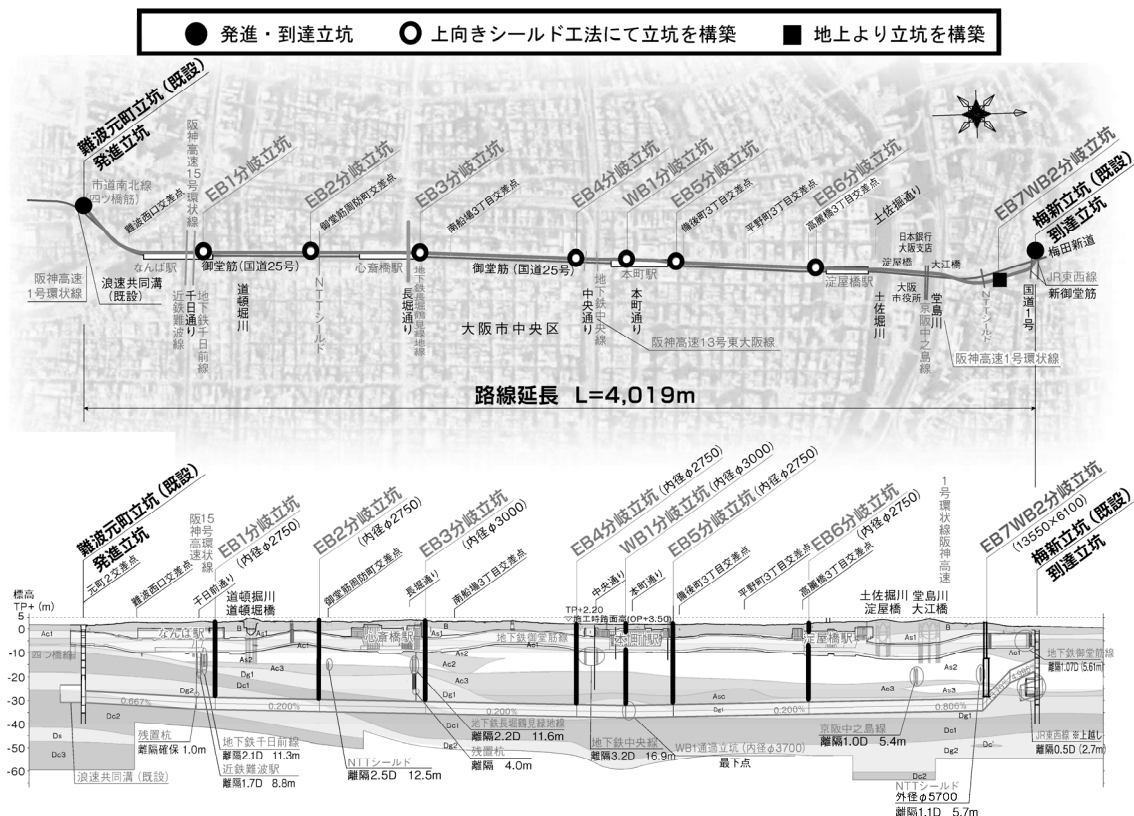


図-1 御堂筋共同溝全体平面図・断面図

(2) 分岐立坑工事概要

御堂筋共同溝は本体トンネル部と分岐立坑で構成されており、分岐立坑は、電力ケーブルの分岐立坑（EB1～6）、水道管の分岐立坑（WB1）および水道管と電力ケーブルの分岐立坑（EB7WB2）の計8立坑からなっている。その内、7箇所の分岐立坑（EB1～6、WB1）については、図-2に示すように地上付近に構築するボックスカルバート構造の分岐室（高さ約5m、延長約15m）と本体トンネル部をつなぐシャフト部と呼ばれる約30mの立坑より構成されている。

分岐立坑の施工は、平日の昼12時間の交通量が28,000～38,000台、歩行者10,000～26,000人と交通量の多い（御堂筋）国道25号内分離帯の中に位置しているため、道路規制の必要な工事は夜間に制限され、地上の作業を極力少なくし交通規制を削減することが要求された。

また、共同溝に並行して営業している大阪市営地下鉄御堂筋線は、1日に約120万の利用がある大阪市の交通の大動脈である。分岐立坑は全てこの地下鉄躯体に近接しており、最も近接する立坑で離隔約3mとなり、分岐立坑構築時には地下鉄の軌道に関係する周辺地盤への影響を最小限に抑える必要があった。

そのため、本工事では深度約30mのシャフト部の構築には上向きシールド工法を採用した。

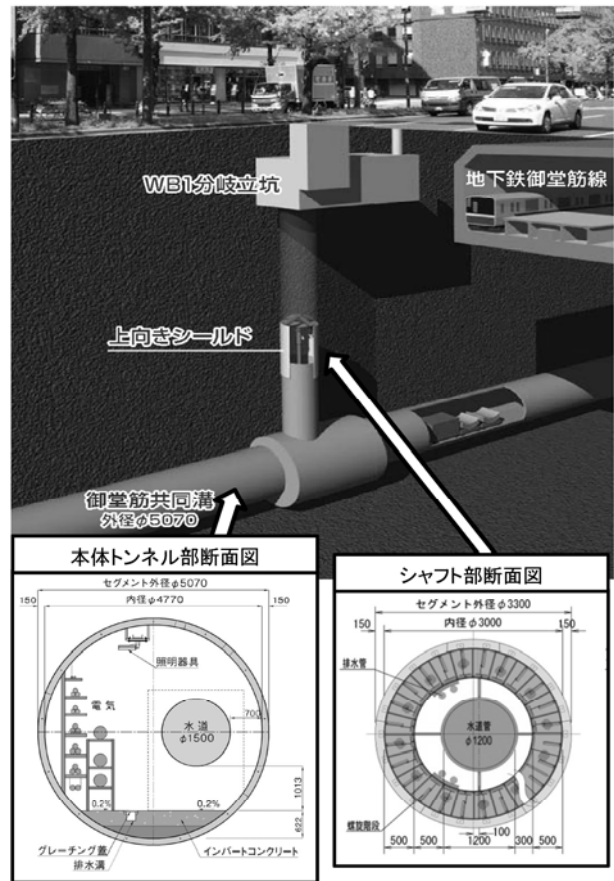


図-2 分岐立坑の概要

2. 上向きシールド工法の概要

(1) 上向きシールド工法の特徴

上向きシールド工法は、既設の本体トンネル内部から地上に向けて上向きにシールドトンネルを構築していく工法である。そのため、材料の運搬・供給ともに地下のトンネル坑内から行うことができるため、シャフト部施工中の地上作業は、シールド回収作業のみとなる。地上より掘り下げる従来工法と比較すると、地上設備の大幅な軽減及び地上での道路占用作業を最小限にすることができる。図-3に分岐立坑構築工法の比較を示す。

シールドにより立坑を構築するため、開削工法と比較して周辺地盤への影響を抑えることができる。また、本体トンネルとの分岐箇所の地盤改良（凍結工法）が不要となる。

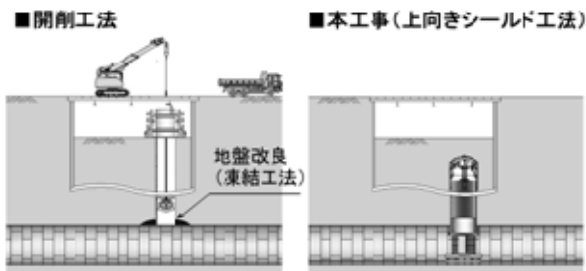


図-3 分岐立坑構築工法の比較

(2) 上向きシールド機

本工事で採用したシールドは、外径φ3,450mm、全長4.6m、総推力9,600kN、最大トルク622kN・mの泥土圧シールドである。テール部からの地下水や土砂の機内への侵入防止のため、テールブラシを2段配置し、テールグリス自動給脂装置を装備した。土圧計は、カッタチャンバ内に固定型を2台装備している。また、メタンガスに対応するためシールド機には防爆型の機器を採用している。

写真-1は工場検査時の仮組状況。

バルクヘッドは、上向きに掘進するため、中心に向かってすり鉢状にし、土砂を取り込み易くしている。シールド機は坑内運搬、組立作業を考慮して3分割（カッタ部+ボディ部+テール部）とした。



写真-1 上向きシールド機

(3) 上向きシールド施工方法

上向きシールド工法の施工フローを図-4に示す。

- ①シールド機前胴部を発進立坑より投入し、所定の位置に坑内運搬する。
 - ②反力架台上に据付け、シールド機前胴部のみを推進し、仮組セグメントを組立て、開口用（F F U）セグメントを切削する。
 - ③所定の位置まで掘進完了後、テール部を坑内に搬入し前胴部と接続し、組立てる。
 - ④テール組立完了後、本掘進を行う。
 - ⑤掘削深度や地層変化に合わせて、切羽土圧を管理しながら地上到達部まで掘進する。
 - ⑥掘進完了後、シールド機前胴部をテールから切り離し、クレーンにより回収し、発進立坑へ運搬する。
- 上記①～⑥を繰り返し、1台のシールド機を転用して7箇所分岐立坑の施工を行った。

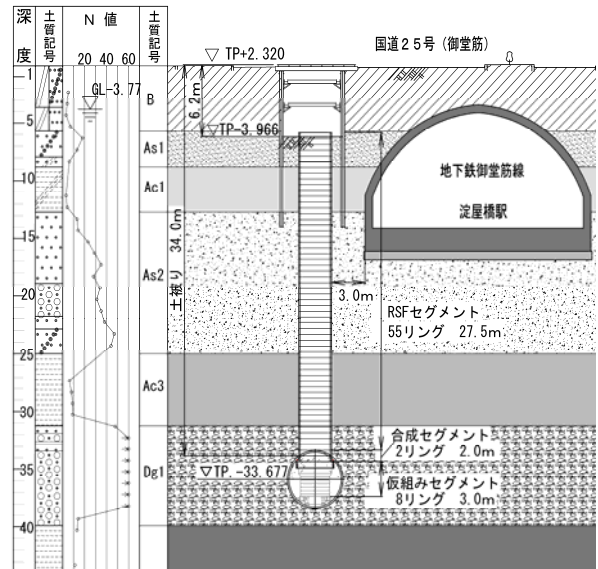


図-5 E B 6 分岐立坑断面図

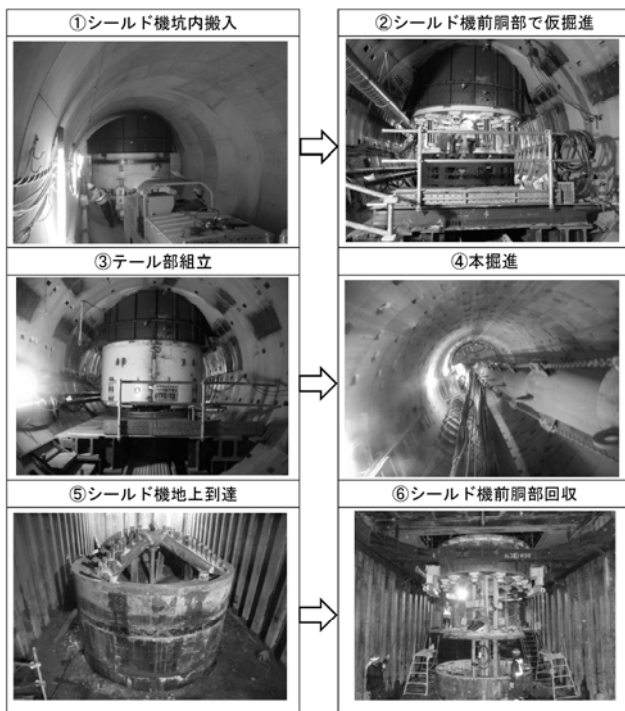


図-4 上向きシールド工法施工フロー

上向きシールドでの掘進は、上記のような土層を掘削していくため数m単位で掘削土の性状が変化していく。そのような掘削土の急激な変化に短時間で対応できる掘進および排土管理を行う必要があった。

また、掘進の進捗に伴い鉛直土圧・地下水圧が変化していくことから、切羽土圧の管理値を地下水圧とTerzaghiの式を参考とした土の緩み範囲を想定してリング毎（50cm）に設定した。その切羽土圧は、上向きシールドの排土管内部にピンチバルブと呼ばれる排土設備を装備し対応した。

図-6にピンチバルブ構造図を示す。

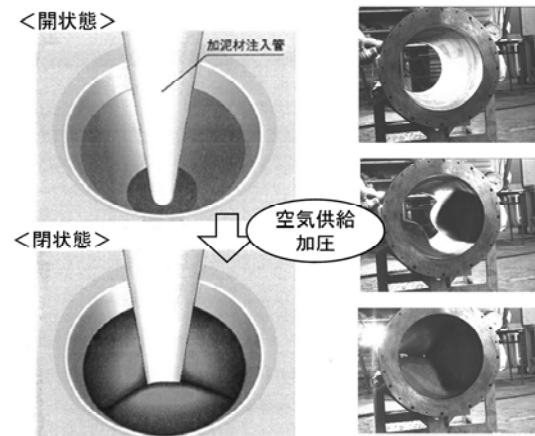


図-6 ピンチバルブ構造図

3. 施工実績

(1) 上向きシールドの掘進

上向きシールドを施工する7箇所の立坑の発進部から地上部までの土被りは30m以上、地下水位はGL-2m～-5m程度となっており、シールド通過土層はN値50以上の洪積礫質土層（Dg1）、N値1～10程度の沖積粘性土層（Ac1、Ac2、Ac3）とシルトを主体としたN値10～40程度の沖積砂質土層（As2）の互層となっている。

図-5にE B 6 分岐立坑断面図を示す。

ピンチバルブには、ゴムスリーブが内蔵されており、このゴムスリーブに空気を供給し加圧、膨らませることで排土の取り込み口を小さくして排土量を減らしたり、逆に減圧、収縮させることで排土の取り込み口を大きくして排土量を増やしたりして、排土量と切羽土圧の調整を適切に行うことができた。

また、通常の泥土圧シールド工法は地層ごとに加泥材の種類を変えて対応するが、掘削土の急激な変化に短時

間に対応できるよう実績や現位置土での試験結果を踏まえ、同一の添加材で濃度調整するだけで全ての土層に対応可能な加泥材を採用した。

設定した管理土圧の妥当性は、上向きシールド掘進中に計測した地盤内変位（鉛直変位、水平変位）より検証を行ったので後述する。

(2) 上向きシールド発進部

シールド工事全般、発進と到達の施工が最もリスクが高い状態となる。

上向きシールド発進部では、共同溝セグメントの鏡切時に0.3Mpaの被圧水圧下での施工が求められた。従来の鋼構造やRC構造のセグメントであれば、地盤改良等補助工法を施工したのち人力等によりセグメントを撤去する鏡切工が発生するが、あらかじめ共同溝の上向きシールド発進部に開口用セグメントとしてカッタで直接切削可能なFFU（Fiber Formed Urethane）部材からなるセグメントを使用した。

写真-2に上向きシールド発進部の写真を示す。



写真-2 上向きシールド発進部

開口用セグメントを上向きシールド機で直接切削して発進させる構造とし、その坑口部に転用可能なエントランスパッキンを使用することで、地山と既設の本体トンネル内部を密封・止水を行い、リスクが高い鏡切工を省略した。

FFUセグメントを使用することにより、地盤改良等補助工法を用いた鏡切工と比較して安全性向上のみならず、工期短縮、工事費削減が図ることができた。

(3) 上向きシールド到達部

シールド工事でもう一つリスクが高いものとして、到達の施工がある。上向きシールドは、分岐室構築用の立坑として約6m掘削した立坑に到達した。到達部である立坑の床付面は、地下水位より低く一部の立坑では地盤改良体（高圧噴射攪拌工法）となっており、上向きシールド機が立坑に到達した際、立坑内の方が地下水位より

低い場合カッタ余彫り部から地下水や土砂が流入する恐れがあった。

図-7に示すように、事前に到達部の水位を地下水位より上げるため、地下水位まで湛水させて上向きシールド機を到達させた。立坑は、延長約15m・幅約6mと大きく水量を出来るだけ必要最小限にするため、上向きシールド機（φ3.45m）より一回り径が大きいライナープレート（φ4.0m）を到達位置に事前に設置し、その中に湛水させて水中到達した。到達後に余彫り部等に裏込注入を行い、地下水の流入が無いことを確認後、ライナープレートを撤去した。これにより立坑内への地下水や土砂の流入もなく、安全に到達することができた。

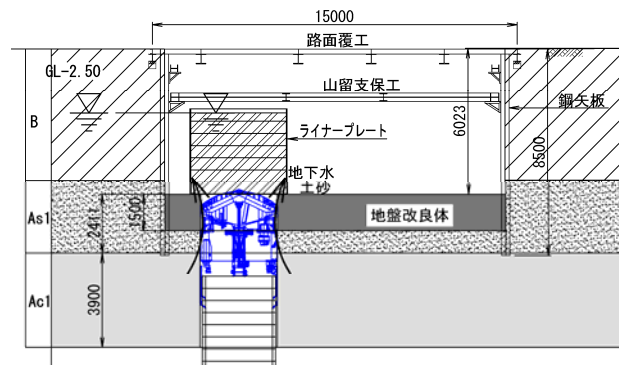


図-7 上向きシールド到達立坑図
(EB5 分岐立坑)

4. 実施工程

(1) 上向きシールド実施工程

EB6分岐立坑シャフト部の施工実績工程を図-8に示す。シールド機を発進立坑に投入し、シャフト部の施工が終わり、次の立坑掘削のためシールド機を再度発進立坑に投入するまでを1立坑のサイクルとすると、1立坑当たり約45日（15ヶ月）で施工をすることができた。一次覆工は、本掘進で昼夜日平均5.4リング／日（2.7m／日）の進捗となり約30mのシャフト部のシールド掘進期間は、2週間弱であった。

工程	施工日数	1	10	20	30	40
EB 6 シャフト部構築工						
発進準備工	シールド設備設置	■				
	エントランス設置		■			
シールド機組立工	シールド機組立	■				
	テール部組立		■			
	立坑投入・坑内搬送				■	
初期掘進	仮セグメント8リング		■			
本掘進	57リング			■		
設備撤去工	エントランス処理				■	
	シールド設備撤去				■	
EB 5 シャフト部構築工						
発進準備工	シールド設備設置					■
	立坑投入・坑内搬送					■

図-8 シャフト部実施工程（EB6 分岐立坑）

(2) 分岐立坑実施工程

分岐立坑1箇所の施工実績工程は、立坑の土留・覆工・掘削を24ヶ月、上向きシールド到達後に分岐室構築・埋戻し・仮設撤去を2.7ヶ月で行った。上向きシールドは15ヶ月を要したが、前述のとおりシャフト部施工中の地上作業は、シールド回収作業のみであり、2～3日であった。

シャフト部の構築工法が、地上からの開削工法であった場合と比較すると、その施工4ヶ月は路上工事となるため、路上工事を9.7ヶ月から5.7ヶ月～4ヶ月短縮できたことになる。

図-9に分岐立坑の工程比較を示す。

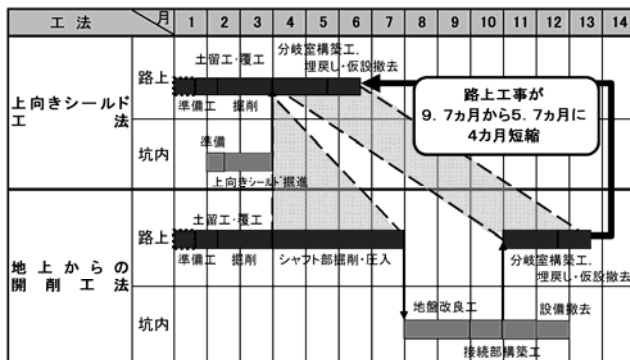


図-9 分岐立坑の工程比較

5. 周辺地盤への影響

地下鉄御堂筋線への影響は、施設管理者である大阪市交通局と近接協議を行った結果、地盤内変位（鉛直変位、水平変位）を計測し管理を行った。図-10に示すように鉛直変位を層沈下計（4箇所）、水平変位を多段式傾斜計（19箇所）により施工中の影響を計測した。

計測管理値は、事前にFEM解析により算出した地下鉄鉄躯体位置での地盤変位予想値と軌道管理値（7.0mm）の内、小さい方の値とした。

表-1に、EB3・EB5分岐立坑の地下鉄鉄躯体位置での予想地盤変位量とシャフト部施工中の地下鉄鉄躯体位置地盤の最大変位量を示す。上向きシールド掘進中での各立坑の鉛直変位量は1mm以内であり、水平変位量も最大で2mm程度に収まり、上向きシールド掘進が周辺地盤に大きな影響を与えることは無く、設定管理土圧が適切であったと判断できる。

分岐立坑	変位	軌道管理値	地下鉄鉄躯体位置 予想地盤変位	シャフト部施工中の 地下鉄鉄躯体位置 最大変位量(絶対値)
EB3分岐立坑	鉛直変位	7.0mm	0.8mm	0.5mm
	水平変位	7.0mm	5.0mm	1.5mm
EB5分岐立坑	鉛直変位	7.0mm	1.8mm	0.7mm
	水平変位	7.0mm	4.1mm	0.5mm

表-1 地盤計測結果

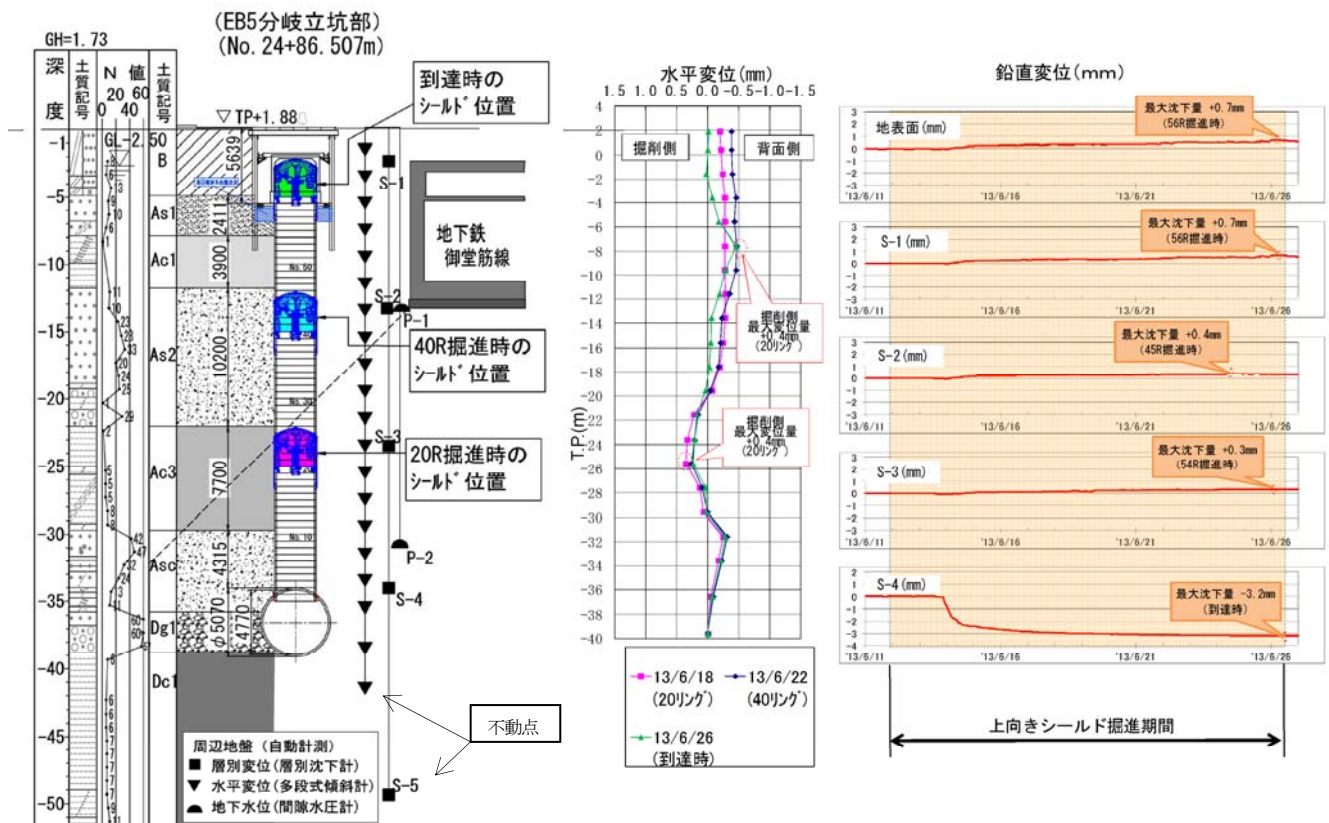


図-10 計測機配置図及び計測結果（EB5 分岐立坑）

6. 今後の課題

上向きシールド発進部は、FFUセグメントを直接切削して発進させる構造としたため、FFUセグメントが大割れし、排土管を閉塞させることを避けるためにカッターを本体トンネルの内面の曲率に合わせたのドーム形状とし、全パスを先行ビットで掘削するビット配置とした。また、開口用セグメント切削中はシールドジャッキを微速制御し、カッタートルクの上昇を抑えながらセグメントを細かく切削できるように対策を施したが、実際の施工では、一部で板状になった切削片が原因で、排土管の中で閉塞が発生し解除作業に時間を要した。図-10に示すように、上向きシールド発進部（S-4）で最も大きな鉛直地盤変位が発生している。これは、上記作業で発進部の通過に時間を要したことが原因と考えられる。

今後は、前述の開口セグメントや上向きシールド機設計段階での大割れ防止対策に加えて、排土管の閉塞が起こりそうな箇所に注入装置を設けるなどの対策を行い、円滑に発進部を通過することが必要と考える。

7. まとめ

2012年12月より上向きシールド工法での施工を開始し、2013年11月に7箇所全ての上向きシールドの掘進が完了している。7箇所の立坑において、上向きシールドの施工では周辺地盤・構造物への影響も少なく安全に施工完了することができた。

上向きシールド工法は、都市部の工事による周辺環境への影響を最小限に抑制しながら、大深度になるほど経済的になる立坑の構築技術である。本工事のような共同溝の分岐立坑のほか、上下水道では取水・管理用立坑、鉄道・道路では換気・管理・避難用立坑、地下構造物では物流シャフトなど様々な用途への展望が望まれる。

また、今回の施工により近接構造物への影響が非常に小さいことも確認できた。

今後は、施工により得られた知見を活かして更なる技術の検証と発展を検討していきたい。

謝辞：論文作成にあたり当工事関係者のご協力を賜りましたことについて、厚く御礼申し上げます。

エジェクター方式深層混合処理工法 (CI-CMC工法) の改良体品質についての考察

村上 恵洋¹・田中 克実¹

¹株式会社不動産テトラ 地盤事業本部 第二研究室 (〒542-0081大阪府大阪市中央区南船場2-3-2)

深層混合処理工法改良体の品質は現場改良体コアの一軸圧縮強さの平均値とバラツキを求めることで検証することが出来る。これらの項目は工法特性、地盤種別、目標強度、施工条件等によって変化すると考えられ、各々の条件を適切に分析することで、改良体の品質を評価し、以降の施工における配合設計に反映させることが重要である。本稿では、固化材をエアに同拌させ霧状に放出させることで高い攪拌混合能力を発揮し、大径の高品質改良体造成を実現したエジェクター方式深層混合処理工法（CI-CMC工法）の近畿地区での現場の事後調査結果の分析から同工法の改良体品質に関する考察を行ったものである。

キーワード 新技術、地盤改良、深層混合処理工法、品質管理

1. はじめに

固化を改良原理とする代表的な地盤改良工法として、セメント系の改良材を地盤中の原位置で攪拌混合し、化学的な結合作用を利用して軟弱土を改良する深層混合処理工法がある。本工法における分野では改良径の大径化による大量施工を行い、コスト削減を求められるケースが増えている。しかしながら、闇雲に大径化を行うことは、攪拌効率の低下を招き、改良体の品質低下を発生させるため、大径化には攪拌効率を向上させるための技術革新を同時に実施する必要がある。攪拌効率を向上させ

る技術の一つにエジェクター吐出方式がある。本方式を採用した深層混合処理工法（CI-CMC 工法）は、大径化と同時にバラツキの少ない均質な改良体の造成が可能となっている。エジェクター吐出と攪拌装置を図-1 に示す。エジェクター吐出状況を写真-1 に示す。一方で改良体の品質は、工法の攪拌性能および地盤条件、施工条件により変動するため、データを蓄積し、性能を適正に評価することが重要である。本稿は、近畿地方整備局管内において CI-CMC 工法により施工された 32 現場における品質確認試験の結果を分析して、その性能評価を実施したものである。各現場の改良径は、φ1.6m：26 現場、φ1.3m：5 現場、φ1.0m：1 現場であり、多くは従来工法のφ1.0mと比較して大径での施工を行っている。

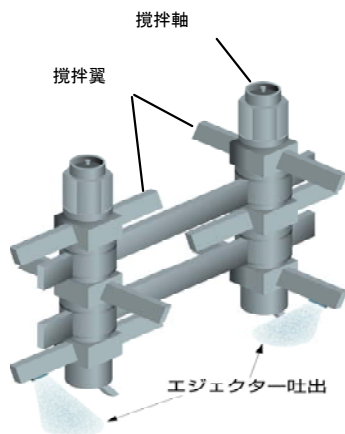


図-1 エジェクター吐出と混合処理装置



写真-1 エジェクター吐出状況

2. エジェクター吐出方式による深層混合処理工法

エジェクター吐出方式とは、改良材と水を混合したスラリーをエアールと同時に霧状に高速噴射させる機構である。従来の吐出方式とエジェクター吐出方式の比較を図-2 に示す。従来の方式では吐出したスラリーにムラができていたものに対し、エジェクター吐出方式では、攪拌域全体に改良材スラリーを広く散布でき、更に土の破碎効果や混合土の流動性増加が期待できる。このため、本方式を採用した深層混合処理工法である CI-CMC 工法では、バラツキの少ない均質な改良体を造成することができる。

CI-CMC 工法においては開発の初期段階で、試験工事により、改良杭頭部断面コアで一軸圧縮試験を実施することで、表-1 に示すように従来方式との品質比較を行っている。従来方式と比べ CI-CMC 工法では平均強度が高く、バラツキが小さいことが確認できている。バラツキの程度は攪拌翼が深さ 1m 当りの地盤を横切る回数である羽根切り回数との相関があり、頭部断面コアによる強度の変動係数との関係として図-3 に示す結果を得ている。エジェクター吐出方式を採用する CI-CMC 工法においては、従来工法と同等の品質（目標変動係数 40%²⁾）の改良体を造成する場合に羽根切り回数 180 回/m

以上を目標としており、建築基礎などでバラツキの少ない改良体を造成して目標変動係数を 30% に設定する場合には羽根切り回数 250 回/m 以上を目標として、施工管理を行っている。本稿で分析した現場においては、投入するスラリー量の影響もあり、殆どの現場で羽根切り回数は 250 回/m 以上となっている。

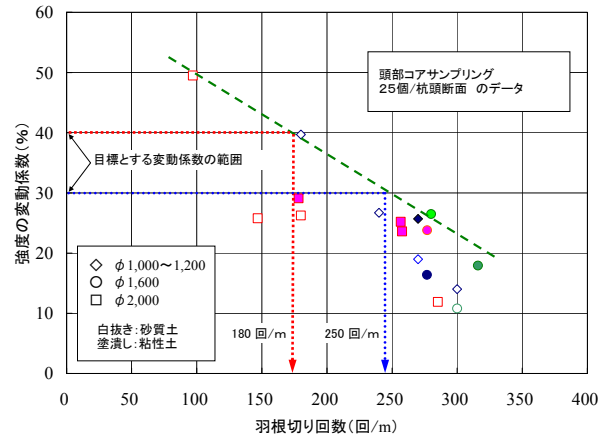


図-3 羽根切り回数と変動係数の関係
(エジェクター吐出方式)¹⁾

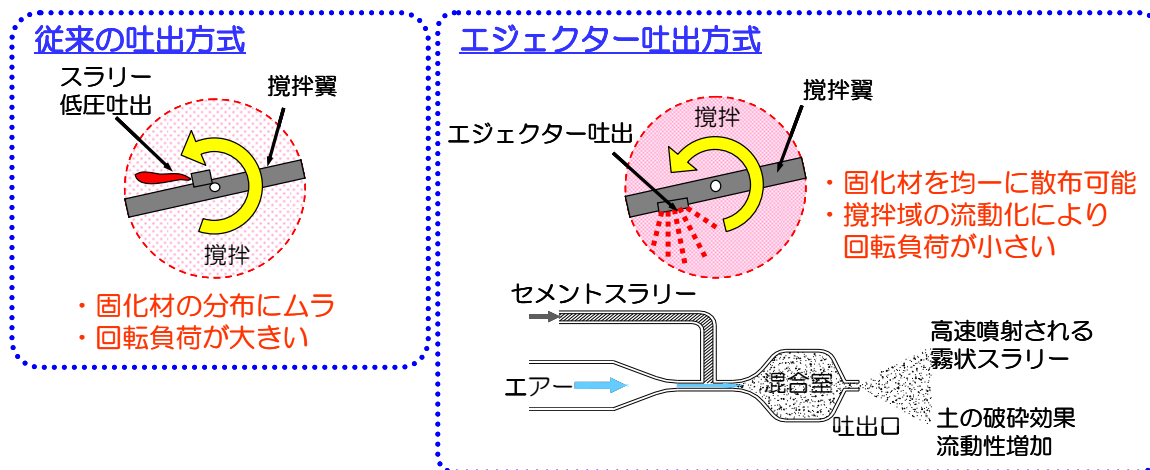


図-2 従来の吐出方式とエジェクター吐出方式の比較

表-1 試験工事における従来方式とエジェクター方式（CI-CMC 工法）の性能比較¹⁾

	土質	データ数	従来方式			エジェクター方式 (CI-CMC)		
			平均強度 (kN/m ²)	変動係数 (%)	改良径 φ (mm)	平均強度 (kN/m ²)	変動係数 (%)	改良径 φ (mm)
A試験工事	砂混りシルト	25	1,658	33	2,000	2,377	26	2,000
B試験工事	砂	36	3,096	21	1,200	3,857	17	1,200

3. 深層混合処理工法の現場強度と設計基準強度の関係

深層混合処理の設計に用いる設計基準強度 q_{uck} は、現場で発揮する改良体の一軸圧縮強さ q_{uf} であればよいが、現場強度にバラツキがあること、および現場強度 q_{uf} と室内配合試験による一軸圧縮強さ q_{ul} には違いがあることを考慮し、現場強度と室内配合試験強度の関係を式 (1) で表す³⁾。

$$q_{uck} = \gamma \cdot \overline{q_{uf}} = \gamma \cdot \lambda \cdot \overline{q_{ul}} \quad (1)$$

ここに

q_{uck} : 設計基準強度

$\overline{q_{uf}}$: 現場強度の平均値

$\overline{q_{ul}}$: 室内強度の平均値

γ : バラツキを考慮した現場強度

$$(\gamma = q_{uck} / \overline{q_{uf}})$$

λ : 現場強度の平均値と室内強度の平均値の比

$$(\lambda = \overline{q_{uf}} / \overline{q_{ul}})$$

陸上工事の場合、設計基準強度と室内強度の平均値の比は $\gamma \cdot \lambda = 1/3 \sim 1/4$ とすることが多い。

$$q_{uck} = \overline{q_{uf}} - K \cdot \sigma = \overline{q_{uf}} - K \cdot V \cdot \overline{q_{uf}} \quad (2)$$

ここに

K : 係数

σ : 現場強度の標準偏差

V : 現場強度の変動係数 ($V = \sigma / \overline{q_{uf}}$)

係数 K は目標とする設計強度に対して幾らの不良発生率となるかの指標であり、不良発生率との関係は図-5 に示すとおりである。

現場と室内の強度比 λ や変動係数 V は工法の特長である攪拌性能や地盤条件、施工条件により変動するものであり、深層混合処理工法においては、これらの数値を蓄積することが、施工に対する性能評価に繋がるため重要である。

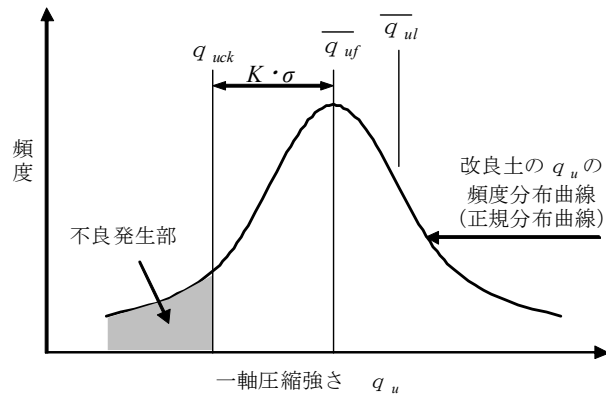


図-4 設計基準強度と現場強度、室内強度の関係³⁾

4. 深層混合処理工法における品質管理

深層混合処理工法の品質管理基準としては、一軸圧縮試験 (JIS A 1216) による規格値として、「①各供試体の試験結果は改良地盤設計基準強度の 85% 以上。②1 回の試験結果は改良地盤設計基準強度以上。なお、1 回の試験とは 3 個の供試体の平均値で表したものの。」が国土交通省の共通仕様書などにより広く採用されている。このため、深層混合処理工法の品質管理および配合計画は、上記①、②において、品質不良が発生しないように適正に実施する必要がある。

一方で、現場強度のバラツキを考慮し、統計的手法をもってその評価を行うことができる。現場強度の強度分布が正規分布にあると考えるとき、図-4 および式 (2) に示す関係が成り立つ³⁾。

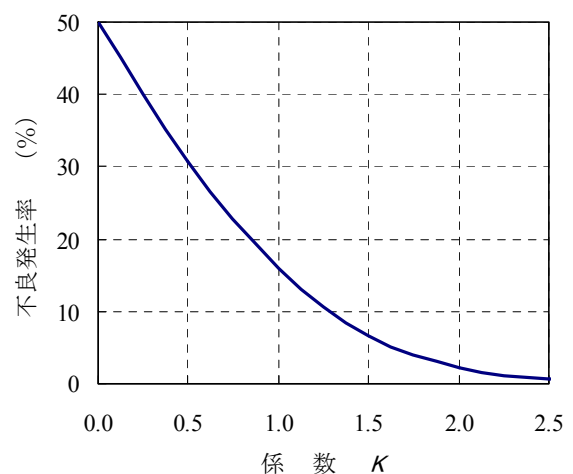


図-5 係数 K と不良率の関係³⁾

5. CI-CMC工法における改良体の品質分析

(1) 現場コアの一軸圧縮強さとバラツキ

各現場では目標となる設計基準強度に対して、施工前に現地で採取した試料を用いて、土層毎に室内配合試験により室内目標強度（設計/室内の配合比は 1/2～1/4、材齢 28 日）を満足する固化材と添加量を設定する。また、施工後のチェックボーリングにおいて材齢 28 日の現場強度の確認が行われている。

設計基準強度が異なる各現場の現場強度を等価に比較するために、現場強度を設計基準強度で除したものの頻度分布を図-6 に示す。現場強度と設計基準強度の比の平均は 3.0 にあるが頻度のピークは 1.5-2.0 の範囲にある。1.0-1.5 が全体の二割強含まれている一方で個数は少ないが 10 以上のものも含まれ、最大は 14.1 であった。このような現象は強度発現が低い有機質土や粘性土を対象として配合設計した固化材添加量に対し、実際の地盤が強度発現が高い礫質土や砂質土であった場合や、原地盤が硬く、貫入に時間を要した場合に固化材が過剰に添加されることなどが原因である。

同様に各現場の現場強度を室内配合強度で除したものの頻度分布を図-7 に示す。現場強度と室内配合強度の比の平均は 1.0 にあり、平均としては現場強度と室内強度は等しくなる。しかしながら、頻度のピークは 0.5-0.75 の範囲にあり、最小値は 0.3、最大値は 4.7 である。

次に室内配合試験を実施している各現場の土層毎に分類して強度分布の分析を行った。分析の実施例を図-8 に示す。

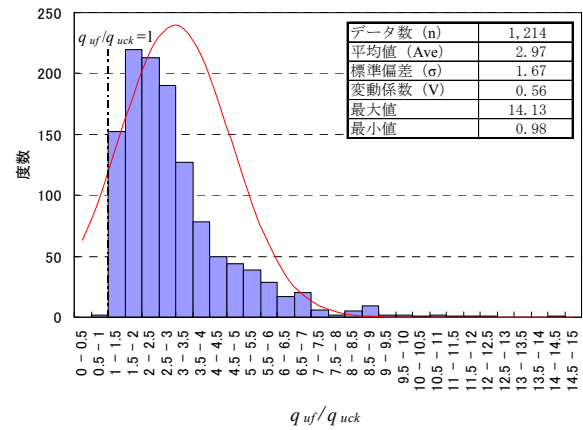


図-6 q_{uf} / q_{uck} の頻度分布

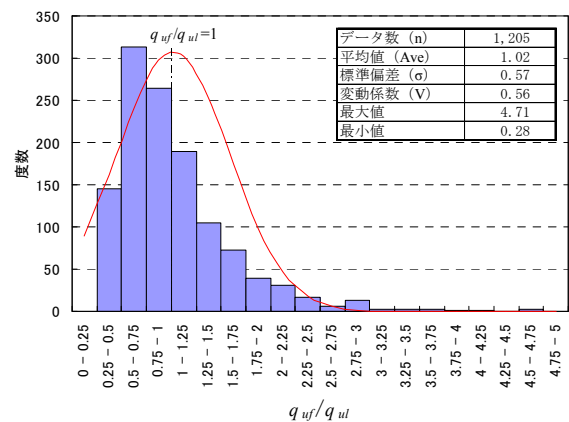


図-7 q_{uf} / q_{ui} の頻度分布

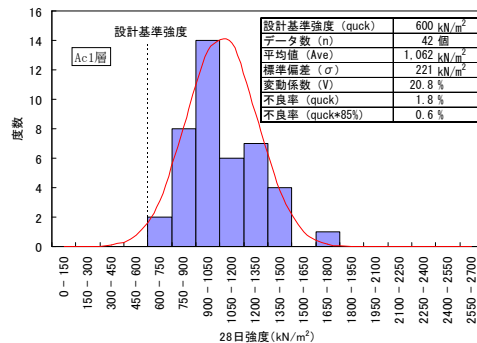
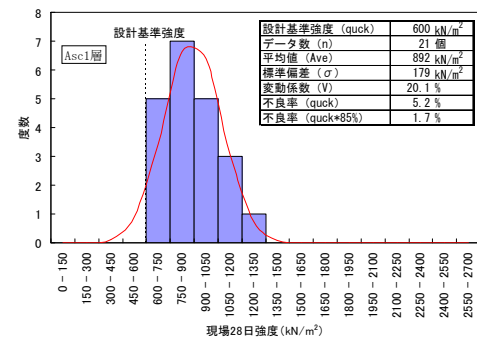
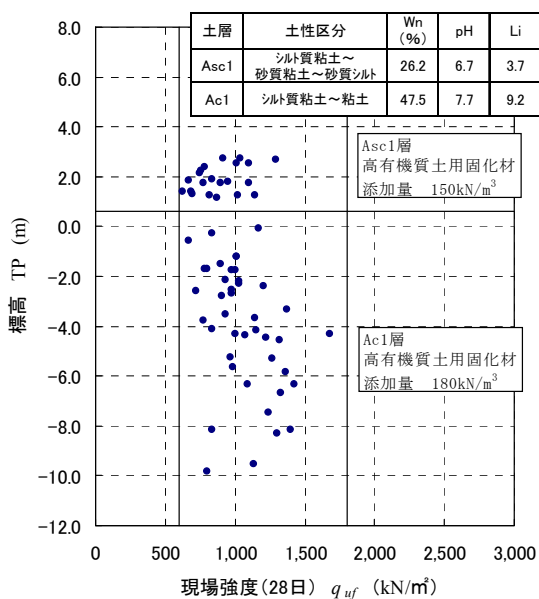


図-8 土層毎の改良体の現場強度分析の実施例

各現場の土層毎に整理した室内強度の平均値と現場強度の平均値の関係を図-9 に示す。CI-CMC 工法では、粘性土、有機質土で $\lambda=1\sim1/2$ 、砂質土で $\lambda=1\sim3/4$ の範囲にある。従来工法（スラリー攪拌）との比較を行うため、既存文献³⁾の室内強度の平均値と現場強度の平均値の係に CI-CMC 工法のデータをプロットしたものを図-10、図-11 に示す。何れも CI-CMC 工法では従来工法と比較して λ の下限値が大きいことが判る。

次に CI-CMC 工法の改良体強度のバラツキの評価として土層毎に求めた現場強度の変動係数と供試体のサンプル数との関係を整理したものを図-11 に示す。また、変動係数と $\overline{q_{uf}}/q_{uck}$ ($=1/\gamma$) の関係を図-12 に示す。品質管理結果の分析では、同一土層内の性状のバラツキや粘性土中に挟まれる薄層の砂など、土層自体の不均質性の影響を受ける。また、サンプル数が少ない現場では統計分析としての精度が低く変動係数の範囲は大きくなるが、サンプル数が 15~20 程度以上あれば変動係数の範囲は一定となる傾向にあり、試験工事で確認されている CI-CMC 工法の性能である変動係数 30%程度以下が確認できる。φ1.0m で施工されてきた従来工法の変動係数が

30~50%（平均 40%）を目標としている²⁾ことを踏まえると、CI-CMC 工法では多くがφ1.6m-2 軸の大径施工にも係わらず、バラツキが少ない品質のよい改良体が造成されていることが判る。また、図-12 から変動係数が大きくなれば $\overline{q_{uf}}/q_{uck}$ の値も大きくなる傾向が判る。

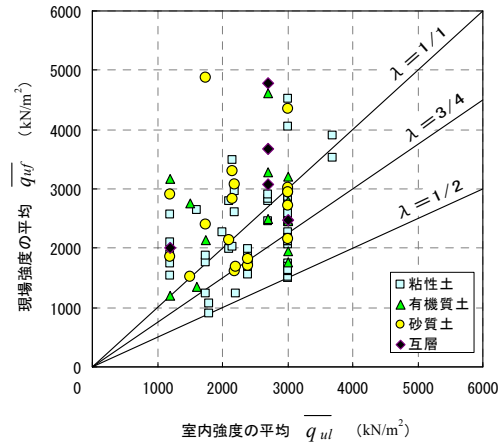


図-9 $\overline{q_{uf}}$ と $\overline{q_{ul}}$ の関係 (CI-CMC 工法)

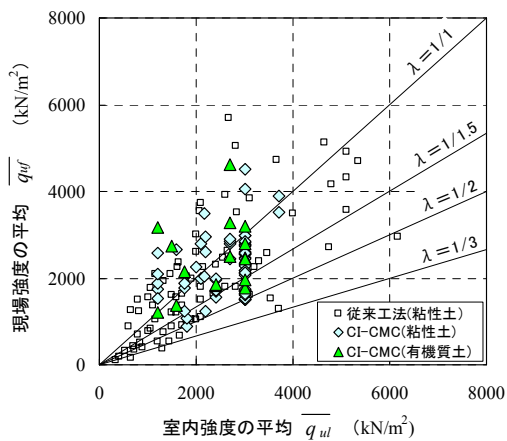


図-10 $\overline{q_{uf}}$ と $\overline{q_{ul}}$ の関係 (粘性土・有機質土)³⁾に加筆

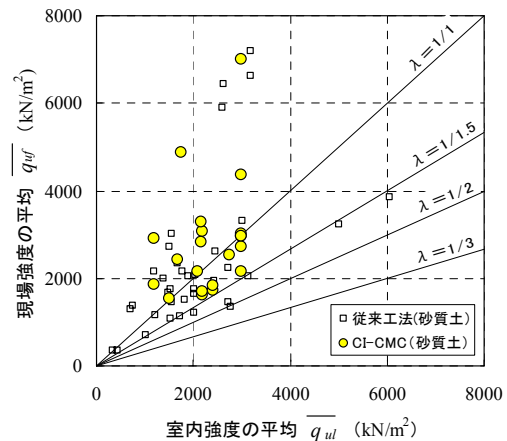


図-11 $\overline{q_{uf}}$ と $\overline{q_{ul}}$ の関係 (砂質土)³⁾に加筆

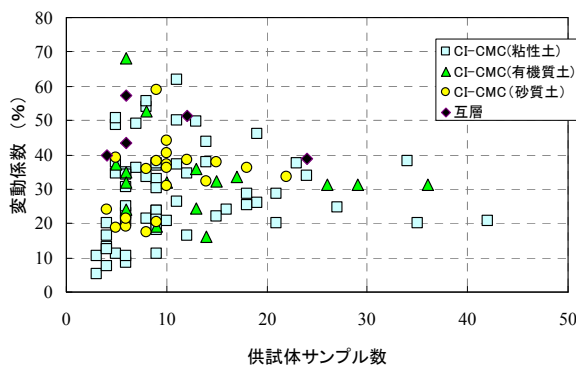


図-12 供試体数と変動係数の関係

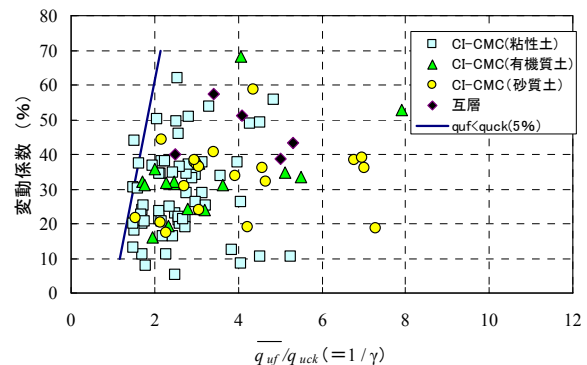


図-13 変動係数と $\overline{q_{uf}}/q_{uck}$ の関係

(2) 現場コアの変形係数

現場事後調査および室内配合試験における材齢 28 日の一軸圧縮強さ q_u と変形係数 E_{50} の関係を既往のデータと合せて図-14 に示す。今回の調査も既往のデータの分布の範囲にある。また、現場事後調査と室内配合試験では有意な差は見られない。 E_{50} と q_u は比例関係にあることが確認でき、平均で $E_{50}=350 q_u$ ，下限値付近で $E_{50}=150 q_u$ 程度である。

6. バラツキによる不良発生確率

品質管理基準に対する不良発生率を式 (2) および図-5 を用いて求め、表-2 にまとめた。また、 q_{uf} が q_{uck} を下回る確率が 5%になる条件を図-13 に示した。ここで、 σ の標準偏差を持つ「 n 個の標本の平均値」の標準偏差は $\sigma/\sqrt{n}$ として求めることが出来る⁴⁾。したがって、事後調査の供試体の一軸圧縮強さが σ の標準偏差を持つとき

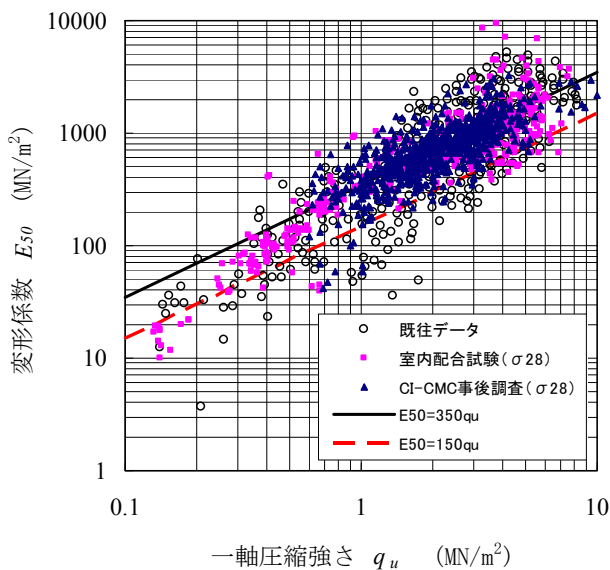


図-14 一軸圧縮強さと変形係数の関係^{3)に加筆}

表-2 改良体の諸定数と不良発生率の関係

変動係数 V	現場/室内 λ	設計/室内 $\gamma \cdot \lambda$	現場強度係数 γ	不良発生率 (%)		
				$q_{uf} < q_{uck}$	$q_{uf} < q_{uck} * 0.85$	$q_{uf(3本)} < q_{uck}$
50%	1/2	1/3	0.67	15.9	9.7	4.2
40%	1/2	1/3	0.67	10.6	5.2	1.5
40%	1/2	1/4	0.50	0.6	0.2	0.0
40%	1/3	1/4	0.75	20.2	11.3	7.4
30%	1/2	1/3	0.67	4.8	1.5	0.2
30%	3/4	1/3	0.44	0.0	0.0	0.0
30%	3/4	1/2	0.67	4.8	1.5	0.2

の「3 個の供試体の平均強度」の標準偏差は $\sigma/\sqrt{3}$ として

を求めることができる。表-2 から $\gamma \cdot \lambda=1/3$ で配合設計した CI-CMC 工法の改良体の品質が、 $V=30\%$ 、 $\lambda=1/2$ であるならば、現場強度が設計基準強度を下回る確率は 4.8%、設計基準強度の 85%を下回る確率は 1.5%、3 個の供試体の平均値が設計基準強度を下回る確率は 0.2%となり、共通仕様書が定める管理基準値をほぼ下回らない設定ができていると判断できる。粘性土、有機質土については $\lambda \geq 1/2$ であるためこれに該当する。一方、砂質土に関しては $\lambda \geq 3/4$ であるため、安全側の設定と判断できる。砂質土においても粘性土や有機質土と同程度の不良発生率を目標とする場合は $\gamma \cdot \lambda=1/2$ の設定が可能である。

7. まとめ

- ① エジェクター吐出方式を採用した CI-CMC 工法の改良体の品質は、従来工法と比較して大径施工を実現しているにも係わらず、現場強度の平均の下限値で従来工法を上回り、変動係数 $V=30\%$ 程度の品質のより改良体が造成されている。
- ② CI-CMC 工法の現場での E_{50} と q_u は比例関係にあることが確認でき、平均で $E_{50}=350 q_u$ ，下限値付近で $E_{50}=150 q_u$ 程度である。
- ③ CI-CMC 工法において〔設計基準強度/室内配合強度〕 $\gamma \cdot \lambda=1/3$ の設定は、改良体の事後の一軸圧縮強さが、共通仕様書で定める品質基準値をほぼ下回らないような設定である。
- ④ 土質により〔現場強度の平均値/室内強度の平均値〕 λ が異なるため、土層毎に $\gamma \cdot \lambda$ を設定することで、土質種別によらず同程度の品質が確保可能なバランスのよい配合設計が可能となる。CI-CMC 工法の場合、粘性土や有機質土で $\gamma \cdot \lambda=1/3$ 、砂質土で $\gamma \cdot \lambda=1/2$ と定めることができる。

参考文献

- 1) (財) 先端建設技術センター：先端建設技術・技術審査証明、CI-CMC 工法（大径・高品質の深層混合処理工法）（内容変更と更新）審査技術依頼者：（株）不動テトラ，（株）ソイルテクニカ，2012.1
- 2) 中村，松沢，松下：深層混合処理工法における攪拌効率の向上についての研究，第 17 回土質工学研究発表会，1982.6
- 3) (財) 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル改訂版，2004.3
- 4) 例えば，Alfredo H.S.Ang, Wilson H.Tang, (伊藤，亀田訳)：土木・建築のための確率統計の基礎，丸善（株）

C I M試行活用事例の報告

高見 義弘¹

¹近畿地方整備局 滋賀国道事務所 工務課 (〒520-0803 滋賀県大津市竜が丘4番5号)

C I M (Construction Information Modeling) は、公共事業の計画から調査・設計、施工、維持管理、更新に至る一連の過程において、I C T (情報通信技術) を活用し、設計・施工・維持管理等に係る各情報の一元化及び業務改善等により効果・効率の向上を図り、公共事業の安全、品質確保や環境性能の向上、トータルコストの削減を目的としています。

本報告では、平成24年度(2012)と平成25年度(2013)にC I M試行モデル事業として実施した、2件の業務の内容について報告します。

キーワード C I M, I C T, 3次元C A D, 3次元モデル, 属性情報

1. はじめに

国土交通省における土木分野でのI C Tの活用としては、事業の効率化などをめざして平成8年度(1996)に「建設C A L S整備基本構想」を策定し取り組んできました。

この間、電子納品、情報化施工、情報共有システムなど一定の成果は得られましたが、C A L S/ E Cがめざしてきた調査～計画～設計～施工～維持管理まで、一貫した情報化システムは未だ構築されていません。

建築分野では、B I M (Building Information Modeling) 「B I Mとは、コンピュータ上に作成した3次元の形状情報に加え、材料・部材の仕様・性能、コスト情報等、建物の属性情報を併せもつ建物情報モデル(B I Mモデル)を構築することで、設計から施工、維持管理に至る建築ライフサイクルのあらゆる工程でB I Mモデルを活用することにより、建築生産や維持管理の効率化につなげるもの」が導入されています。

国土交通省では、今後の建設生産システム全般において、建築におけるB I Mの思想とツールを取り入れて、建設分野全般に適用すべくC I M (Construction Information Modeling) の構築と導入を進めることになりました。

C I Mの導入にあたっては、現行制度や要領・基準類の見直しが必要になることから制度の検討を進めることになりました。また、並行して実際の事業の中でその効果について検証する必要がある、C I Mを導入したモデル事業も実施することになりました。

滋賀国道事務所では、平成24年度(2012)にC I M試行モデル事業として溝橋(RC単純インテグラルアバット橋 橋長 14.6m)の構造物外形・配筋の構造物モデル、溝橋を中心にした全体モデルを試行しま

した。引き続き平成25年度(2013)は、地形測量を実施し、そのデータを平成24年度(2012)の全体モデルのデータに入力し地形の精度を向上させる試行を実施しました。また、情報化施工でのC I Mデータの活用を確認するため、溝橋両側の土工モデルのC I M試行も併せて実施しました。

(1) 対象橋梁概要

- ・橋梁名：溝橋
- ・道路規格：第3種第1級 V=60km/hr (暫定時)
- ・橋梁形式：RC インテグラルアバット構造 橋長：14.600m
- ・有効幅員：10.240m (暫定時)
- ・径間長：14.600m
- ・橋台：2基 (単列場所打ち杭 φ1500)

(2) 橋梁全体一般図

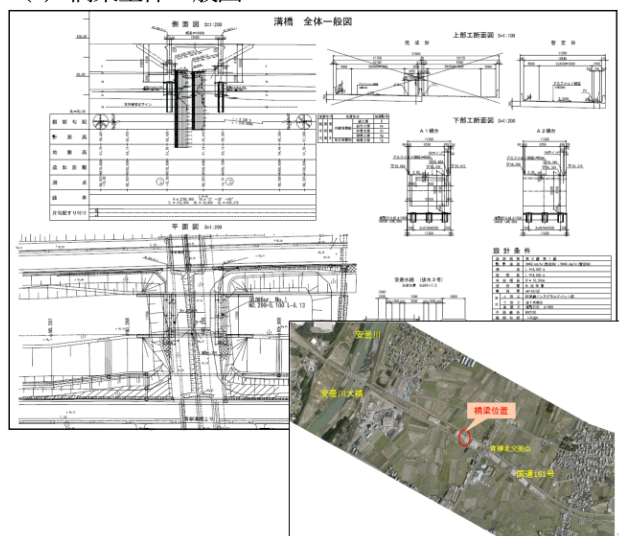


図-1 溝橋の一般図と航空写真

2. C I Mとは

C I Mとは、コンピュータ上に作成した3次元の形状情報に加え、材料、部材仕様、コスト情報、時間情報等構造物の属性情報を併せ持つ建設情報モデル（C I Mモデル）を構築することです。単なる3次元C A Dではありません。

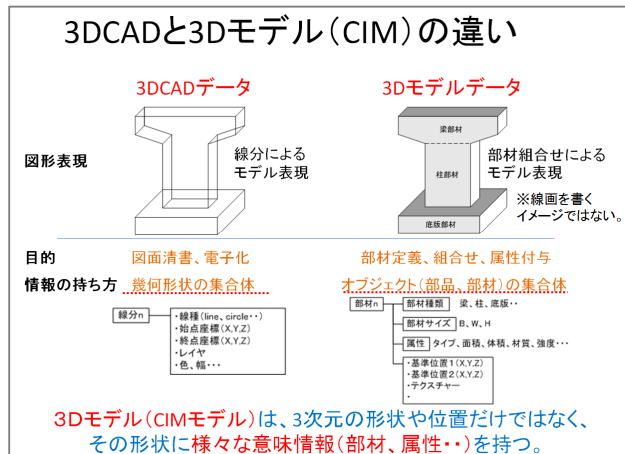


図-2 3次元CADとC I Mの違い

今回の試行で使用したソフトは、平成24年度(2012)は、建築B I Mで多く利用され、実績のあるAutodesk社製のInfrastructure Design Suite Ultimate 2013(主なソフト AutoCAD Civil 3D 2013、Revit Structure 2013、Navisworks Manage 2013、Infrastructure Modeler 2013)を、平成25年度(2013)は、Autodesk社製のAutoCAD Civil 3D 2014、Revit Structure 2014、Infraworks 2014を使用しました。

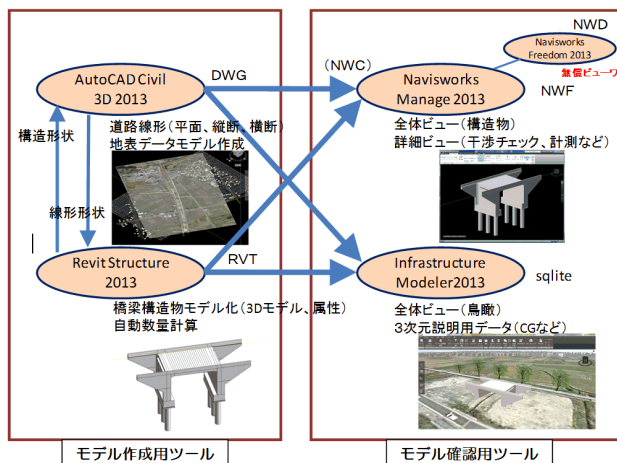


図-3 各ソフトウェアの役割と関係

ハード機器、ソフトの導入にかかる費用(平成25年度の場合)

使用機器	HP Z230 Workstation
OS	Windows7 Professional (64bit)
CPU	Xeon E3-1270v3 3.5GHz
メモリ	16GB (4GB×4) DDR-3 SDRAM
ハードディスク	DHH 500GB + SSD 64GB
GPU	NVIDIA Quadro 2GB

ハードウェア価格：\285,000

Autodesk Infrastructure Design Suite Premium 2014

使用ソフトウェア	主な用途
AutoCAD Civil 3D 2014	地形情報の3次元化 盛土形状の作成 数量自動算出
Revit Structure 2014	盛土形状のモデル化 (ソリッド化、属性付与)
Infra Works 2014	全体ビュー 3次元説明用データ

ソフトウェア価格：\740,000

3. C I M試行モデルの作成

平成24年度(2012)業務の作成内容を報告します。

(1) 地形情報の3次元化

国土地理院基盤地図情報や、地形測量データを用い、C I Mモデルの基盤データを生成しました。これは、従来の地形平面、地形縦断の作図作業にあたります。平成24年度(2012)試行では国土地理院基盤地図情報を活用しました。

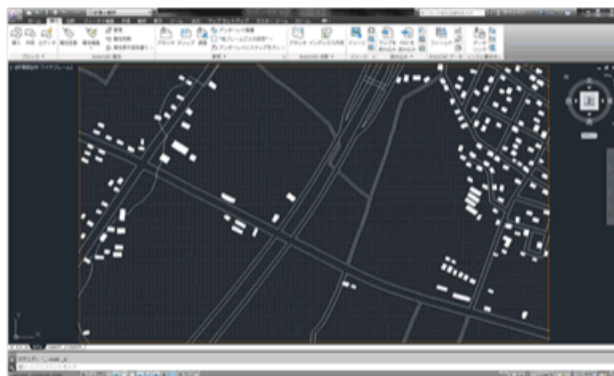


図-4 5mメッシュ(数値標高モデル)SHPファイルの読み込み

(2) 道路線形情報及び路面基本形状の入力

道路(橋梁)の基本骨組み線となる道路線形要素を入力し路面形状の3次元化を行いました。試行では、道路線形入力後、次のステップの構造モデル作成に必要な路面断面形状(モデル作成上のガイドとなる断面線)を生成しました。

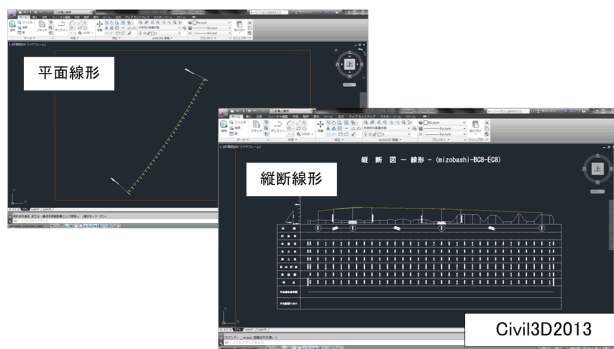


図-5 平面線形、縦断線形、横断形状の入力

(3) 構造物外形形状のモデル化

道路線形に沿った正確な形状の橋梁外形形状モデルを作成し、併せて各部材に対して属性を付与しました。

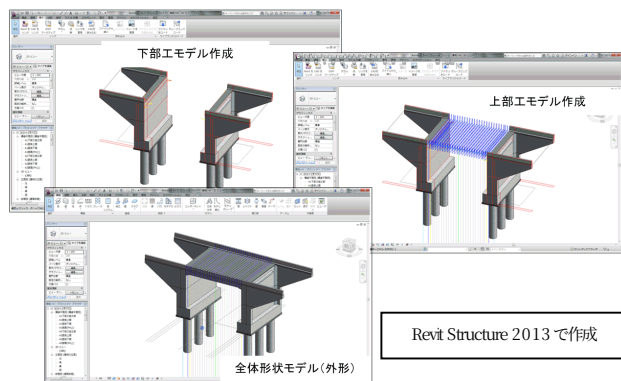


図-6 下部工部品モデル作成、上部工部品モデル作成

(4) 配筋形状のモデル化

配筋図に沿った正確な配筋形状モデルを作成し、併せて鉄筋部材に対する属性を付与しました。

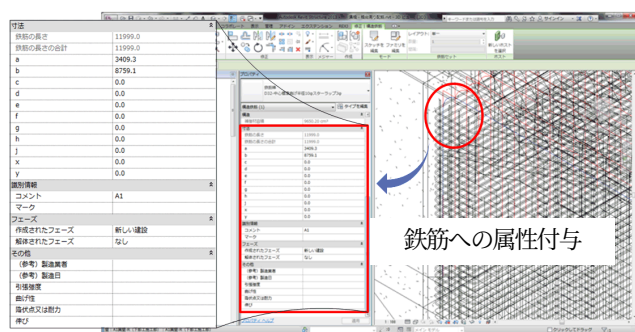


図-7 属性項目の設定、入力

(5) 確認用ビューの作成

構造物モデル、配筋モデル、地形モデルを読み込み、構造物確認用（外的、内的確認用）及び全体鳥瞰用（住民説明用等）と、それぞれの目的に応じた統合モデルを作成しました。

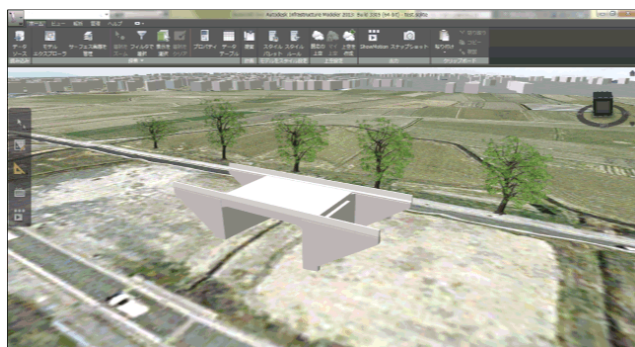


図-8 確認用ビュー

4. CIM試行モデルの活用

平成24年度（2012）業務で、試行実験として行われた活用事例の報告をします。

(1) 内部干渉チェック

配筋モデルを反映した橋梁3次元モデルを活用し、鉄筋等の内部干渉の照査を行いました。

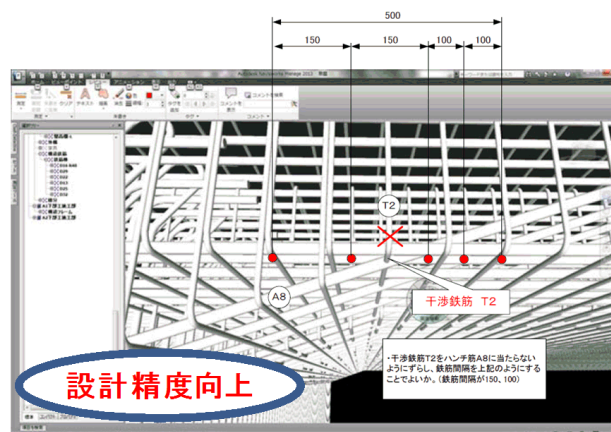


図-9 鉄筋干渉箇所の指示

<評価>

- a) 鉄筋の組立状況の確認が出来る。
- b) 3次元モデル作成の手間が多大。

(2) 3次元モデルからの数量の自動算出

数量属性を付与した橋梁3次元モデルから必要な数量項目の自動算出を行い、従来設計と同じ数量項目での比較を行いました。

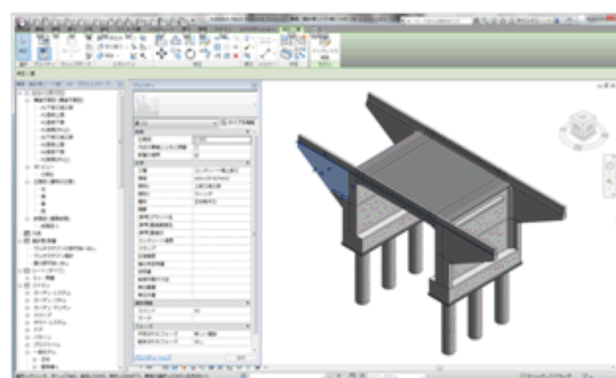


図-10 集計項目の設定

<評価>

- a) 数量自動計算による省力化が出来る。
- b) 正確な3次元モデル作成が必要。

(3) 3次元モデルから2次元図面の作成

配筋モデルを反映した橋梁3次元モデルを活用し、2次元図面作成の試行（全体一般図・構造図・配筋図（一部））を行いました。

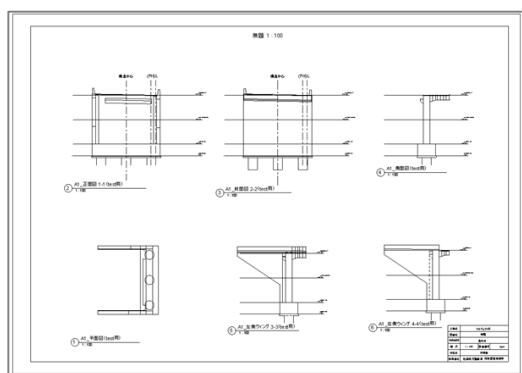


図-11 断面図を図枠（シート）に配置

<評価>

- a) 2次元図面は3Dモデルと連動するため、モデル修正時における図面修正ミス防止が期待出来る。
- b) 3Dモデルからの2次元断面図配置では寸法線が伴わないため、寸法線付記等の記載で手間が多。

(4) 3次元モデルによる設計協議

3次元モデルを活用した協議資料の作成を行いました。

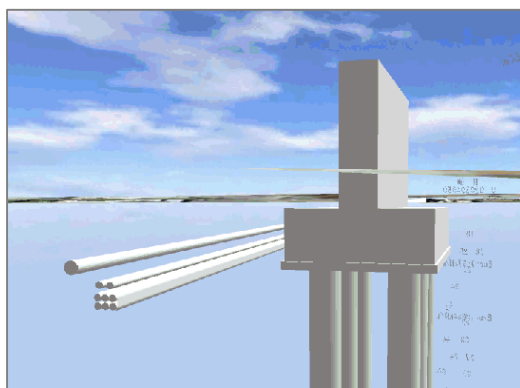


図-12 埋設物との位置関係確認

<評価>

- a) 協議での合意形成が容易に出来る。
- b) 3次元モデル作成の手間が多。

(5) 情報化施工データの作成

情報化施工データをC I Mモデルから作成しました。

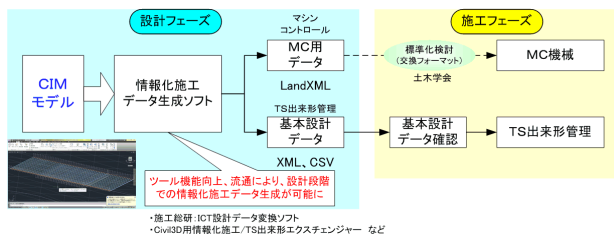


図-13 情報化施工データ作成の流れ

<評価>

- a) C I Mモデルのデータから容易に作成出来る。
- b) C I Mモデル作成の手間が多。

5. C I M試行モデルの活用（追加）

平成24年度（2012）に実施したC I M試行モデルに、平成25年度（2013）に実施する測量データ

の反映と溝橋両側の土工モデルの追加検証を報告します。

(1) 測量成果の反映

平成24年度（2012）業務では、地形情報を国土地理院基盤地図情報数値標高モデル（5mメッシュ）を活用しC I Mモデルを作成しましたが、道路面が波打つなど精度に問題がありました。そのため、平成25年度の業務で実施する実測地形図1/500を活用し、C I Mモデルの地形情報の精度を向上させる試行を追加しました。

a) 地形情報の3次元化(3次元情報の付与・補完)

現地で測量した実測地形図（1/500）のPOINTから各図式の3次元情報付与（3Dポリライン作成）を行いました。

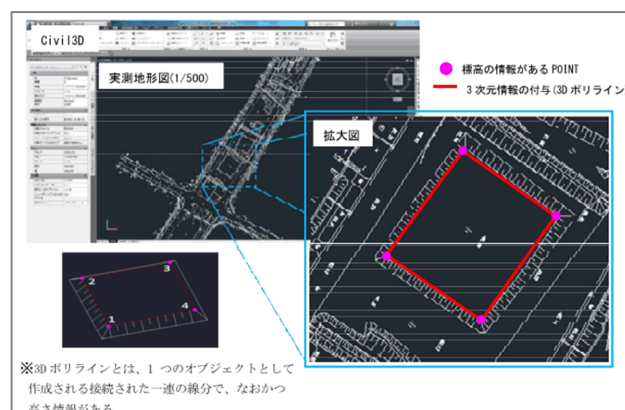


図-14 地形情報の3次元化

標高情報があるPOINTのみであると、情報量は少なく間違った結線をしてしまうことから3次元情報の補完を試行しました。
⇒ 今回は20cm間隔で情報補完を試行

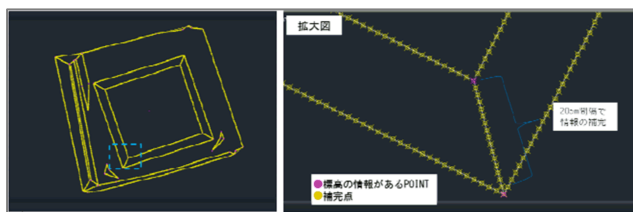


図-15 3次元情報補完の試行

b) T I Nサーフェスの作成

3次元情報の補完した点データよりT I Nサーフェスの作成をしました。盛土形状等が現況地形形体に則した地形系上に作成することができ、高精度化が図れました。

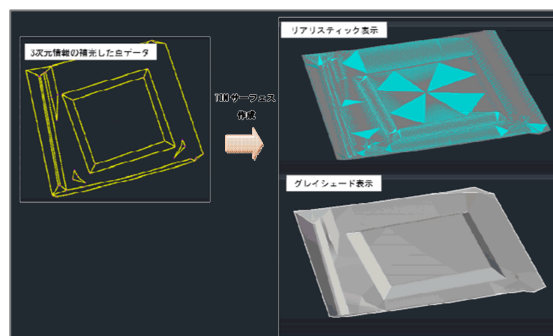


図-16 T I Nサーフェスの作成

c) 全体モデルへの反映

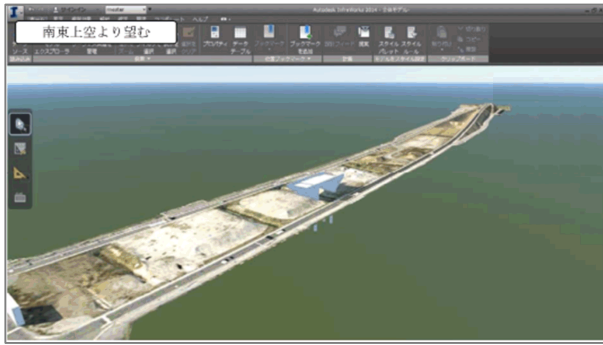


図-17 全体モデルへの反映

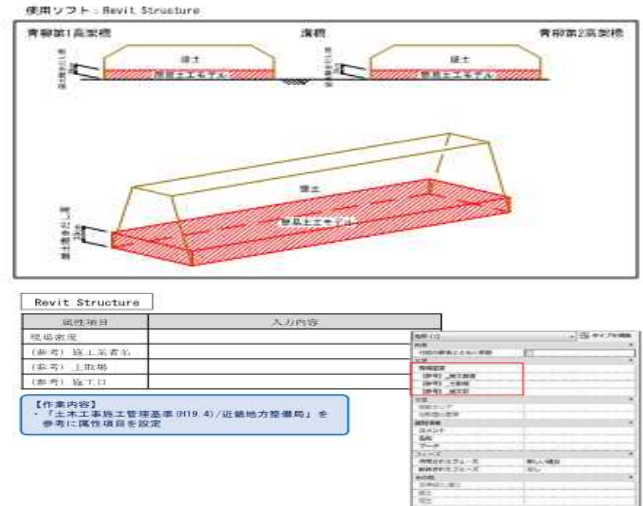


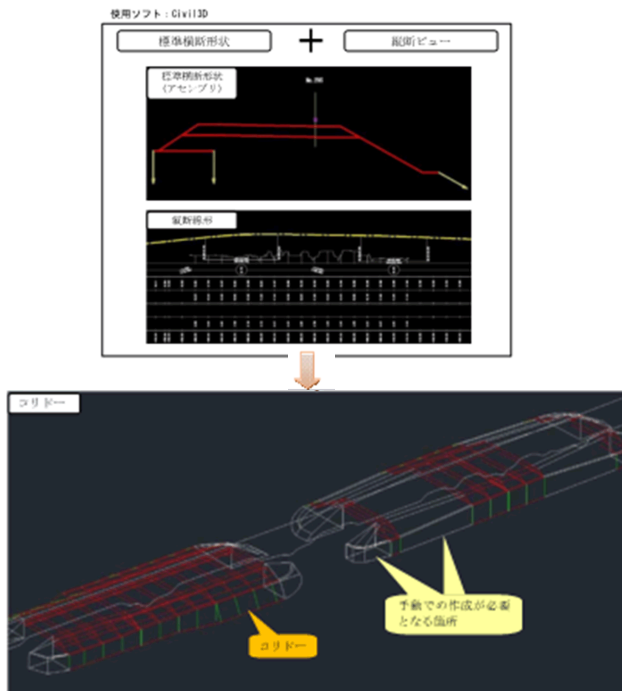
図-19 簡易土工モデルの提案

(2) 情報化施工への対応（土工モデルの作成）

測量成果が反映され、正確な現状地盤面のC I Mモデルを活用し、情報化施工への対応を試行するため、土工モデルの作成を行いました。

a) 線形情報の入力、盛土形状の作成（3次元CAD）

3次元C A D（Civil 3D）を使用し盛土形状を作成しました。



橋台の巻込み部および、非常駐車場などは標準アセンブリの自動押出しでは作成不可能であるため、別途、手動で作成する必要があります。

図-18 盛土形状の作成

b) 土工モデルの作成（簡易土工モデル）

3次元C A D（Civil 3D）で作成したデータを使用し盛土形状のC I Mモデル（モデル化）を作成しようとしたが、C I Mモデル（モデル化）に変換できるソフトがありませんでした。そのため、C I Mモデル（モデル化）で使用しているソフト（Revit Structure）で作成可能な土工モデルを、簡易土工モデルとして作成することを提案しました。

c) 全体モデルへの反映

3次元C A Dで作成したコリドーサーフェス（面データ）を反映させました。



図-20 全体モデルへの反映

6. C I M導入効果の検証

(1) C I Mモデル作成の視点からの検証課題整理

a) C I Mモデルの作成環境について

現状では、C I Mモデル作成環境を整えるための投資が大きな負担となっています。

b) 教育、研修体制について

モデルの便利さを体感できる環境、3次元思考を深めるための教育、研修体制が必要です。

c) モデリングツールの機能について

道路線形要素を部材形状へ反映したモデル作成が出来ません。そのため、土工モデルが作成できず、簡易土工モデルの作成を提案しました。

d) モデル作成レベルについて

リアルな可視化思考が強くなるため、必要以上に精細な作図（ボルトねじ切り、部材面取り等）を要求される場合が想定される。何をどこまでモデル化するか、モデル作成レベルのルール化が必要です。

e) 形状決定の意思伝達方法について

3次元表示上での寸法等の考え方や技術的解説などの意思伝達方法のルールを決める必要があります。

f) 測量での3次元情報の付与について

今回の試行では実測地形の3次元情報付与において、従来の2次元測量データを基に作業を行ったため、多大な時間を要しました。しかし、新しい測量ソフトは3次元情報を保持した状態でDWGに出力出来ることが確認出来ました。また、測量に関しては、CIM等に対応したソフト開発が進んでいます。

(2) CIMモデル活用の視点からの検証課題整理

CIMの活用について、設計段階では、以下の観点から検証を行いました。

a) 内部干渉チェック

- ・干渉箇所を3次元可視化により具体的に確認。→設計ミス排除に効果。
- ・干渉確認のために正確な配筋モデル作成。（ラップ、フック方向など含む）→手間が多大。
- ・施工段階で発生するところの課題を設計段階で把握、対応することが可能。→フロントローディング。

【効果】配筋干渉チェック、設計ミスの排除。

b) モデルからの数量自動算出

- ・集計表はモデルの変更と連動、設計変更時の数量自動修正が可能。→数量自動計算による省力化。
- ・問題点→照査、確認方法がない。

【効果】自動計算による省力化。

c) 3次元モデルから2次元図面の作成

- ・3次元モデルを変更すると2次元図面も連動して変更。→修正ミスの防止。
- ・問題点→寸法表記等の手間が多大。

【効果】作図・図面修正の効率化・省力化。

d) 3次元モデルでの設計協議

- ・全体モデルを関係者協議で使用。→埋設物・交差物件等の関係確認が容易になる。
- ・配筋モデルを鉄筋の干渉状況の確認に使用。→工事での協議時間短縮が期待。
- ・問題点→労力が多大。

【効果】合意形成の効率化。

e) 情報化施工に使用するデータ作成

- ・設計段階でCIMモデルを生成することで、施工段階に引き渡す情報化施工データを比較的容易に作成。→情報化施工データ作成効率化。

【効果】情報化施工データ作成の効率化。

以上から、効果は確認出来ましたが、それぞれの3次元モデルを作成する手間が多かったため、今後も継続して効果の検証課題整理を実施していく必要があると考えます。

7. まとめ

今回、滋賀国道事務所で国道161号安曇川地区橋梁修正設計業務及び国道161号安曇川地区道路詳細設計他業務の2件の業務で、1つのCIM試行モデル事業を行いました。

CIM導入の取り組みはまだ開始されたばかりではありますが、建設産業における生産性の向上の実現を目途としている中で、CIMを活用していくためには、運用面、技術面、制度面に対する課題を解決していく必要があります。

担当したコンサルタントの技術者からは、CIMはツールありきの世界であるため、現場で使いやすいCIMツールへの改良（技術面）を優先する必要があると報告を受けました。

今回のCIM試行を担当して、CIMに大きな可能性を感じました。それは、CIMは、コンピュータ上の3次元モデルであるため、紙では扱えません。CAI/ECでは、電子納品、情報化施工、情報共有システムがすでに実施され、脱、紙の準備は整っています。

CIMは、今後、ツールの開発・改良、情報機器（パソコン等）の性能向上がどんどん進み、身近な技術になっていく予感があります。

謝辞：本報告を作成するにあたり、CIM試行を担当していただいた、大日本コンサルタント（株）及び協和設計（株）の技術者の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1)建設マネジメント技術 2012年8月号
- 2)CIM技術検討会 平成24年度報告

抜き取り可能なアンカーボルトの施工について

三輪 浩二¹・藤間 誠司²

¹株式会社駒井ハルテック 橋梁営業本部 大阪営業課 (〒550-0012大阪府大阪市西区立売堀4-2-21)

²電気化学工業株式会社 インフラ・無機材料部門 (〒194-8560 東京都町田市旭町3-5-1) .

公共工事では、仮設用としてコンクリート構造物にあと施工アンカーボルトを使用することがある。一般的に仮設用としてのあと施工アンカーボルトを撤去する場合には、コンクリート内に一部アンカーボルトが存置されており、埋設部のボルトの錆など本体コンクリートの劣化因子になる可能性がある。そこで、アンカーボルト埋込部に特殊コーティング剤とアクリル樹脂系接着剤を用いた抜き取り可能なアンカーボルトを開発した。

本報告では、工法およびアクリル樹脂系接着剤の特徴を示し、実際に兵庫県道路公社発注の「播但連絡道路 道路維持修繕工事(落ヶ池橋耐震補強工事)」で採用された事例について示す。

キーワード 抜き取り可能なアンカーボルト、接着系あと施工アンカーボルト、アクリル樹脂

1. はじめに

公共工事では、仮設用としてコンクリート構造物にあと施工アンカーボルトを使用することがある。仮設用としてのあと施工アンカーボルトを撤去する場合には、下部工コンクリートのかぶりを確保した位置でアンカーボルトを切断し、コンクリートで埋める。コンクリート内にアンカーボルトが存置されることになるため、埋設部のボルトの錆など本体コンクリートの劣化因子となる。また再度アンカーボルトなどをコンクリート構造物に設置する場合、埋め込まれたアンカーボルトを外して施工

する必要がある施工が煩雑となる。

そこで、アンカーボルト埋込部に特殊コーティング剤とアクリル樹脂系接着剤を用いた抜き取り可能なアンカーボルト(以下、Rアンカーとする。)を開発した。

本稿では、Rアンカーの特徴と基礎性能試験結果を述べ、Rアンカーが採用された施工事例を報告する。

2. Rアンカーの特徴

Rアンカーはアンカーボルト埋込部のボルト軸部に特殊コーティングを施し、アクリル樹脂系接着剤を用いて

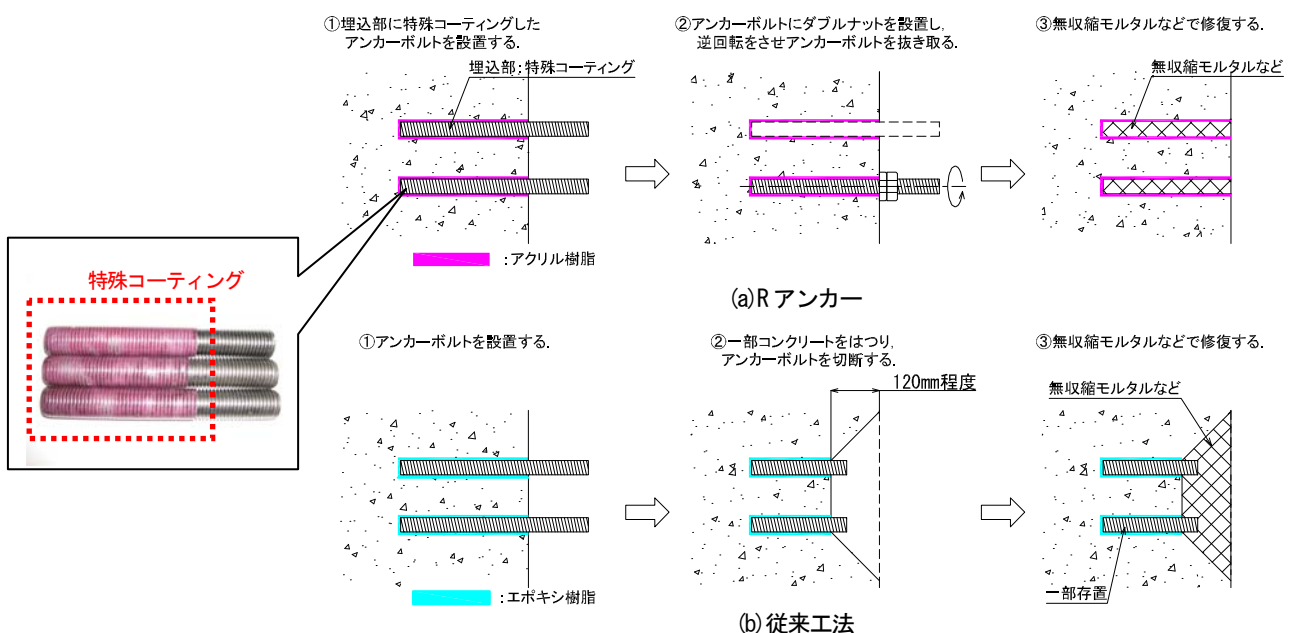


図-1 従来工法との比較

定着させた接着系あと施工アンカーボルトである。仮設材の固定用にボルトを使用した後、ボルトを回転させ抜き取り力を与えることで、アンカーボルトと接着剤が切り離され、アンカーボルトを抜き取ることが可能となる工法である。図-1にRアンカーの概要図および従来工法との比較を示す。なおRアンカーは、ボルト軸に対して引張荷重が支配的でない箇所に使用する。

Rアンカーで用いるアクリル樹脂系接着剤の特徴を、3章に記載する。

3. アクリル樹脂系接着剤の特徴

コンクリート構造物に部材を固定する際に用いられる接着系あと施工アンカーボルトでは、一般的に接着剤としてエポキシ樹脂系接着剤が使用されている。

エポキシ樹脂系接着剤は、金属やコンクリートなど多種の材料に強力な接着力を発揮することや硬化収縮が小さいなどの長所を有している。その反面約24時間以上の養生が必要であり硬化時間が長く、5°以下の低温時の硬化不良や湿潤面での接着不良などの課題を有している。

アクリル樹脂系接着剤は、エポキシ樹脂系接着剤に対して、約2時間と硬化時間が短く、-10°の低温時でも施工可能であるといった施工性を改善した接着剤である。またアクリル樹脂系接着剤は図-2に示す注入機器を使用

して注入することで、2液を均等に攪拌し注入することができ、攪拌不足や軽量誤差による施工不良を防止することができる。

アクリル樹脂系接着剤を用いたあと施工アンカーボルトについて、性能確認試験として引張試験を行った。その結果として、荷重-変位関係を図-3に示す。図-3から分かるように、ねじ部降伏荷重までは初期剛性はほぼ同等であり、エポキシ樹脂系接着剤を用いたあと施工アンカーボルトと同等の性能を持つことを確認している。¹⁾

Rアンカーとあわせて、アクリル樹脂系接着剤を用いたあと施工アンカー(NRアンカー)の開発も行っている。

4. 基礎性能確認試験

(1) 試験目的

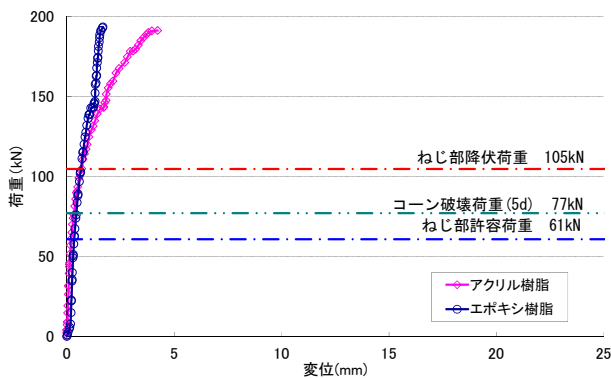
特殊コーティング剤が抜き取りに及ぼす影響を確認するため、3種類のコーティング剤を用いてスクリーニングのため抜き取り試験を行った。

(2) 試験体諸元

コンクリート試験体寸法を図-4に示す。コンクリート強度は28日圧縮強度(標準養生)が28.2N/mm²であった。アンカーボルトはM30(SS400)の全ねじ加工ボルトとし、定着長はアンカー径の10倍とした。アンカーホール径はア



図-2 アクリル樹脂系接着剤注入機器



荷重-変位関係

図-3 性能確認試験結果(引張試験)

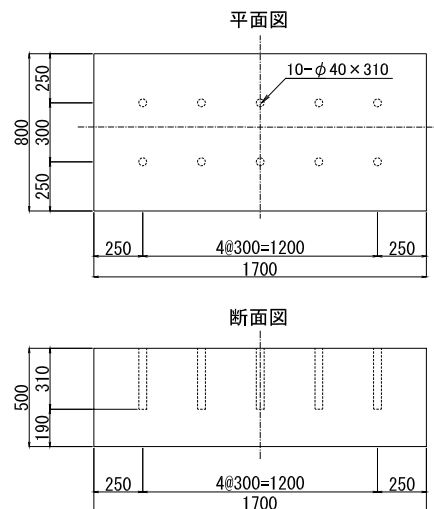


図-4 試験体寸法(単位:mm)

表-1 アクリル樹脂物性値

圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	衝撃強度 (kJ/m ²)
124	25	49	2.3

表-2 試験ケース

コーティング	①	②	③	なし
塗布方法	ディップ	スプレー	ハケ	—
着色	可	不可	不可	—
塗布量管理	重量	目視	目視	—

ンカーボルト径+10mmとし、穿孔長は定着長+10mmとした。また使用したアクリル樹脂系接着剤の物性値を表-1に示す。試験時の樹脂の材齢は、1日とした。

(3) 試験ケース

コーティング剤として3種類を用いて試験を行った。試験ケースを表-2に示す。比較するためにコーティングしない場合のケースも抜き取り試験を実施した。

(4) 試験結果

抜き取り試験結果として、各ケースの抜き取り時の最大トルク値を表-3に示す。コーティングなしの場合、図-5の通り、抜き取りによるトルクによりボルトがねじれて変形し抜き取ることができなかったため、ボルトが変形した初期トルク値を示している。コーティング①～③すべてのケースで抜き取ることが可能であった。しかしコーティング②、③は塗布量がわずかで重量管理ができない。また着色も不可であるため、目視での塗布確

表-3 抜き取り時の最大トルク値

コーティング	①	②	③	なし
最大抜き取りトルク値 (N・m)	1	539	130	800
	2	570	-	-
	3	580	-	-
	平均値	563	130	800
抜き取り可否	可	可	可	不可
塗布方法	ディップ	スプレー	ハケ	-
着色	可	不可	不可	-
塗布量管理	重量	目視	目視	-

認も不明確であった。そのため特殊コーティング剤としてコーティング①を採用することとした。

なおコーティングなしではボルトが変形し、抜き取ることができなかったため、コーティング剤の効果を確認することができた。

5. 施工事例

(1) 工事概要

工 事 名：播但連絡道路 道路維持修繕工事
(落ヶ池橋耐震補強工事)

発 注 者：兵庫県道路公社 播但連絡道路管理事務所

工事場所：兵庫県神崎郡福崎町東田原地内

工 期：2013年7月13日～2014年3月31日

構造概要：鋼単純2主桁桁橋 1連

鋼単純8主桁桁橋 2連

施工内容：支承取替 40基

A1-P1(箱桁部) 8基

P1-P2(鈑桁部) 16基

P2-A2(鈑桁部) 16基

(2) 施工箇所概要

耐震補強のための支承取り替え工事を行った。本工事の橋梁一般図を図-6に示す。本工事では下部工天端にジャッキアップスペースがないため、下部工側面にジャッキアップ用ブラケットを設置する必要があった。

しかし図-7の通り、下部工側面には落橋防止装置のブラケットが設置されていた。落橋防止装置のブラケッ



図-5 コーティングがない場合の抜き取り状況(試験体)



図-7 発注時の状況(A1橋台)

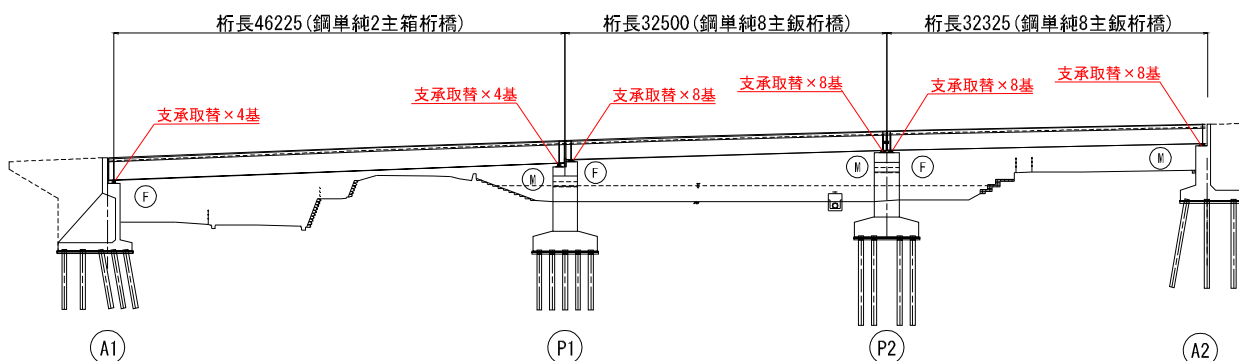


図-6 橋梁一般図

トとジャッキアップ用ブラケットが干渉するため、ジャッキアップ時は、落橋防止装置ブラケットを一時撤去し、ジャッキアップ終了後、落橋防止装置ブラケットを再度設置することとなった。そのためジャッキアップ用ブラケットを固定するあと施工アンカーボルトは使用後、撤去する必要がある。撤去するあと施工アンカーボルトは、発注当初は下部工コンクリートの一部をはつり、かぶりを確保できる位置でアンカーボルトを切断し、コンクリートで埋め戻すことが計画されていた。しかし一部アンカーボルトが下部工コンクリート内に存置されることとなり本体コンクリートの劣化の要因となるため、すべてのアンカーボルトが撤去できるRアンカーが採用された。

採用本数は、M48×埋込長720mm：117本、M42×埋込長630mm：297本、M42×埋込長880mm：83本の合計497本であった。なおアンカーボルト施工後に、非破壊試験として各ケース3本ずつねじ部許容荷重まで引張試験を行い、抜け出しなど過大な変形を起こさないことを確認した。なお抜き取りに使用した機器を図-8(シンプルトルコン、TONE株式会社)に示す。M42×埋め込み長630mmのボルトで抜き取り時間は、1本当たり20分程度であった。

6. おわりに

本稿では、仮設用に使用する接着系あと施工アンカーとしてRアンカーの特徴、基礎性能試験結果および施工事例を紹介した。

今後は、抜き取りトルク値のばらつきの低減やボルト締め付け時のトルク管理方法、抜き取り時間の短縮など施工性向上に向け検討していく予定である。



図-8 Rアンカー抜き取り機器



図-9 Rアンカー抜き取り状況

謝辞：本工法にご理解頂きました兵庫県道路公社播但連絡道路管理事務所の皆様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1)吉岡夏樹，三輪浩二，中本啓介，藤間誠司：アクリル樹脂を用いた接着系あと施工アンカーボルトの性能確認試験，土木学会第 68 回年次学術講演会，CS3-022，pp.43-44，平成 25 年 9 月
- 2)社団法人日本建築あと施工アンカー協会技術部会：あと施工アンカー試験方法，平成 19 年 8 月 土木学会：土木学会論文

見草トンネルにおけるCIMの取組みについて

柏原 宏輔¹・岩本 俊一²

¹(株)大林組大阪本店 見草トンネル工事事務所 (〒649-2326和歌山県西牟婁郡白浜町椿1061-8)

²(株)大林組大阪本店 見草トンネル工事事務所 (〒649-2326和歌山県西牟婁郡白浜町椿1061-8) .

CIM (Constraction Information Modeling) は「建設分野において、3次元モデルを共有・活用させることにより、建設に関わるトータルコストを縮減すること」を目的とし、国土交通省を中心に、平成24年度から本格的な取り組みが行われている。見草トンネルは工事着手時から施工CIMを採用した全国初のプロジェクトである。見草トンネルでは、地形・地質データを再現した3次元モデルに切羽観察・覆工品質管理データなどの施工情報を組み込み、一元管理できる統合モデルを作成した。

キーワード 施工CIM、情報共有、維持管理

1. はじめに

国土交通省では、「建設分野において、3次元モデルを共有・活用させることにより、建設に関わるトータルコストを縮減すること」を目的として CIM (Construction Information Modeling) の取組みを本格化している。

平成 24 年 4 月に開催された JACIC セミナーにおいて、国土交通省の佐藤直良技監（当時）が「CIM ノススメ」と題した基調講演を行い、建設産業の生産性向上のためには CIM の活用が不可欠であると提唱された。これは、建築分野ですでに広まっている BIM (Building Information Modeling) を土木分野でも積極的に活用し、3次元モデルを共有しながら、さまざまな ICT 技術を利用して計画、設計、施工、維持管理を進めていく方法を推奨したものである（図-1）。この講演を契機として、土木工事における3次元モデルの本格的な活用が検討されはじめた。

CIM は、平成 24 年 7 月に国土交通省主導による第 1 回検討会が開催されて以降、日本建設業連合会をはじめとする建設業に関わる 11 の関係団体がそれぞれワーキンググループを開催し、今後に向けた技術的な検討方針、具体的な技術開発項目、今後のモデル事業や採用基準に関する提案について取りまとめている。平成 24 年度下期には、モデル工事において設計段階および施工段階での試行が開始された。平成 25 年度からは、新設工事の入札における技術提案課題に CIM の活用が盛り込まれる案件も出始めており、CIM は土木部門において、急速に発展している分野である。

見草トンネルは、工事着手段階から当社が提案し、CIM を施工に導入したトンネル工事として全国初のプロジェクトである。本文では、当工事での取組内容および今後の展望を述べる。

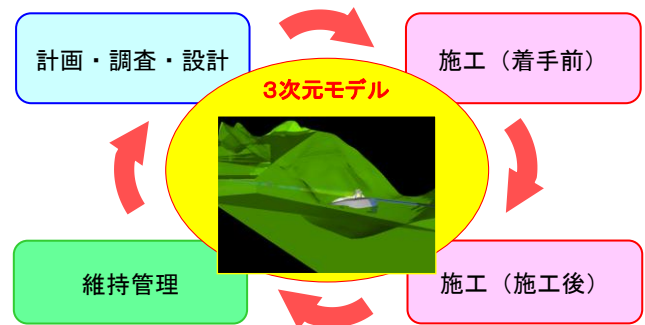


図-1 CIM の概念

2. 工事概要

工事概要、現場位置図をそれぞれ表-1、図-2に示す。見草トンネルは近畿自動車道紀勢線工事で建設される紀伊田辺～すさみ間のトンネル工事の中で、4番目に長い長大トンネルである。

表-1 工事概要

項目	内容
工事名称	近畿自動車道紀勢線見草トンネル工事
発注者	国土交通省近畿地方整備局
施工場所	和歌山県西牟婁郡白浜町富田地先～樁地先
工期	平成24年3月～平成27年2月
工事内容	道路トンネル
主要工種	トンネル工（発破工法）、残土処理、橋台下部工
数量	トンネル延長L=2380m、残土処理 179,900m ³ 、橋台工 1基



図-2 現場位置図

3. トンネル工事における課題とCIMの導入

(1) トンネル工事における課題

従来よりトンネル工事では、地質平面図、縦断図、標準断面図、支保パターン図などの2次元図面や、内空変位等の計測データ、切羽の岩質、亀裂面の間隔・傾度などを記録した切羽観察などの情報を元に施工を進めている。この際には、前方の切羽状況を適切に予測し、発注者の同意を得た上で補助工法の採用や支保パターンの変更を行うことが特に重要であるが、切羽状況の予測は、現場技術者の技量に大きく左右されること、発注者と立体的なイメージを上手く共有できないことなどがあり、手待ち、手戻りとなるケースがあった。なお、切羽状況の予測が現場技術者の技量に左右される一因には、トンネル掘削のための調査において、データ評価の手法や表現が大きく異なり、統一して判断するためのツールがなかったことが挙げられる。

さらにトンネル供用開始後にトラブルが発生した場合は、膨大な施工記録の中から、原因を特定するための資料を探し出すことが必要となるが、施工時の情報を維持管理業務に引き継げておらず、資料の探索が困難な場合

も多かった。

このように発注者と施工者、管理者で情報の共有や連携に関して問題があった。

(2) CIMの導入

以上の課題を解決し、効率的にトンネル工事を施工するため、CIMを導入し、以下に示す地質情報や施工情報等を一元管理するモデルを構築した。

- ① 地形・地質データ、設計データ（トンネル線形・断面形状）のモデル化（施工前データ）【4.(2)】
- ② 3次元モデルへの属性情報の取込み（施工中データ）【4.(3)】
- ③ 供用後の維持管理に向けたひび割れデータ等のモデル化（施工後データ）【5】

4. 当工事におけるCIMの取組み

(1) CIMに用いるCADソフト、解析ソフト

CIMの導入に当たって、建築用BIMソフトに採用され、最も汎用的な表-2のソフトウェアを利用した。

表-2 使用ソフト一覧

製品名	内容	備考
① AutoCAD Civil 3D	土木向けの設計機能が付与された3次元モデルを作成するソフトウェア	
② 3次元土木地質CAD GEORAMA	既存の地質平面図・断面図などの断片的なデータを基に3次元地盤モデルを作成するためのソフトウェア	①にアドオン
③ Autodesk Navisworks	複数の異なるCADで作成された3次元モデルを統合し、見るためのソフトウェア	
④ Navis+	Excel等で作成された属性を関連づけて、Navisworks上で属性管理をするためのソフトウェア	③にアドオン

(2) 地形・地質データ、設計データのモデル化（施工前データ）

今回、設計段階では設計者によりCIMが導入されていなかったため、地形・地質データの作成から進める必要があった。そこで、まず、現況測量として3次元スキャナにより坑口の形状を計測し、盛土図面と重ね合わせることで、坑口部のモデル化を行った（図-3）。また、周辺地形のモデル化は、3次元土木地質CADソフトであるGEORAMAを使用し、国土地理院から公開されている5mメッシュの標高データを用いることで、省力化を図った。

次にトンネル線形、断面形状といった設計データをAutoCAD Civil 3Dを使用し、地形・地質データに取り込み、工事着手前のトンネル3次元モデルを作成した（図-4）。



図-3 坑口部の3次元化

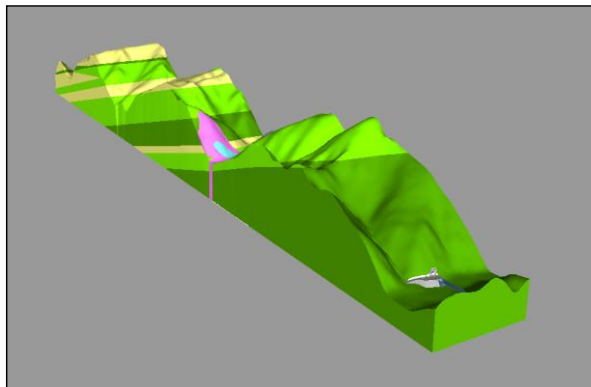


図-4 地形・地質データ、設計データのモデル化

(3) 3次元モデルへの施工情報の取込み（施工中データ）

統合モデルの概要を図-5に示す。施工情報のうち、切羽観察は画像データを統合モデルで閲覧可能にし、観察記録（日時、測点、切羽評価点、湧水などのデータ）をCSVファイルに入力するだけで、ひとつのモデル上で表現可能とした（図-6）。また連続した切羽画像により、前方の断層などの予測・評価につながり、施工後には地山不良箇所や、湧水が多かった場所などが判断しやすくなった。

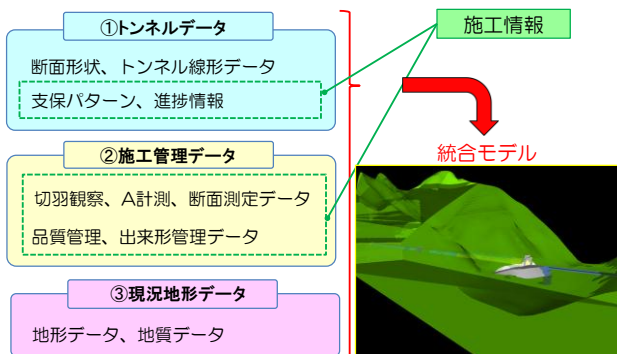


図-5 統合モデルの概要



図-6 施工情報の取込み（切羽観察）

次に覆工コンクリートの品質管理データの一例を示す（図-7）。各ブロックの打設管理状況と上述した地質状況を1つのモデル上で管理することで、供用開始後の維持管理に向けた運用も可能になると考えられる。

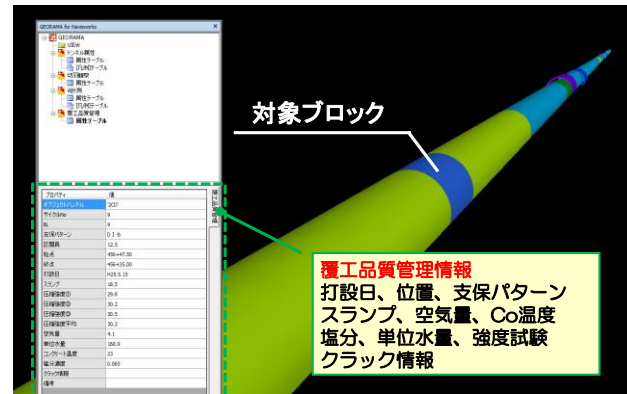


図-7 施工情報の取込み（覆工コンクリート）

(4) CIM活用の成果と今後の課題

今回取り組んだCIM活用の成果と今後の課題、取組みを以下に述べる。

CIMによる成果

- ①地形・地質データ、設計データのモデル化
 - ・ 地表面の低土被り部とトンネル位置との関係が明確になり、分かりやすい
 - ・ 一般公開データを用いることで、モデル化を省力化できた
- ②切羽状態、計測データ、品質管理データのモデル化
 - ・ 断層、亀裂面の方向が表現でき、次サイクル以降の地山の状況が判断しやすい（図-8）
 - ・ 計測データに関して、管理レベルを色分けすることで、異常・変状などが判断しやすい（図-9）
 - ・ 覆工品質管理データをモデルに組み込むことで今後の維持管理へ向けた連携強化に繋がる

今後の課題、取組み

- ・ 追加する施工情報の選定
→前方探査（トンネルナビ）、設計時のボーリングデータなどを検討している
- ・ 3次元スキャナによる覆工巻厚のモデル化
- ・ グラフィック表現の高度化

施工段階においては、CIMにより情報を可視化し、イメージを共有化することで、実際の岩判定などの設計変更協議にも役立ち、支保パターンの選定や補助工法の可否等を迅速に決定することができた。

当工事では表-2に記載したNavis+というアドオンソフトを利用したが、本ソフトは施工情報をCSVファイルとして取り込む際に、非常に有効であった。

計測・覆工品質管理モデルは、施工情報を迅速・簡単に閲覧可能になるよう計測システムから自動で取り込めるシステムとし、業務の効率化、生産性向上に寄与できた。

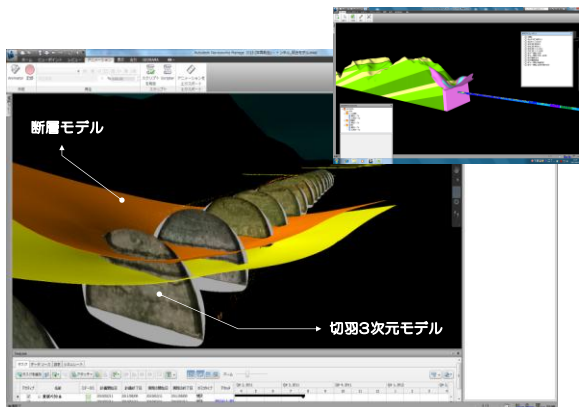


図-8 切羽情報

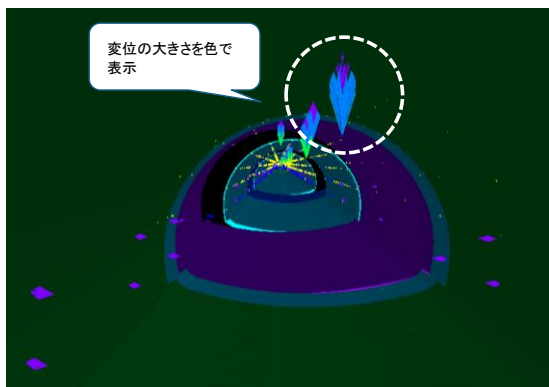


図-9 内空変位情報

5. 維持管理へ向けた取組み

CIMの取組みの中で、施工と維持管理との連携は、今後のストック型社会への転換に向けた社会資本整備（アセットマネジメント）において、非常に重要になってくる。従来の工事では、供用開始後にトラブルが発生した場合、膨大な施工記録の中から、原因を特定するための資料を探し出すことが必要となるが、施工時の情報を維持管理業務に引き継いでおらず、資料の探索が困難な場合も多かった。当工事において構築した統合モデルは、切羽観察情報、覆工品質管理情報を組込んでおり、劣化予測、評価が行いやすく、より計画的な維持管理が行えると考えられる。

上記の具体的な取組みの一例として、工事完了後に作成する通常の目視によるクラック台帳に替わり、覆工面の画像を高精度な3次元スキャナで取得できる走行型3次元レーザースキャナを活用したひび割れの計測を計画している（写真-1）。得られたひび割れデータを統合モデルに組み込むことで、維持管理の効率化、高度化が可能になる（図-10）。

また、当工事付近において、隣接工事が計画されており、今回のモデルは、地山情報、計測情報、支保パターンなどの記録を一元管理しているため、新規工事の計画・調査、設計、施工、維持管理に向けて非常に有効な情報となる。



写真-1 MIMMによる計測状況（参考）

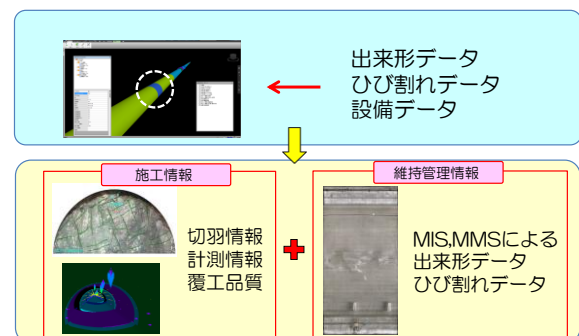


図-10 維持管理への統合モデルの組み込み（案）

6. iPadを用いた新たな取組み

当工事ではCIM活用に関して、モバイル端末であるiPadを利用し3次元モデルの運用を行っている。iPadを利用した主な取組み内容を以下に述べる。

(1) 3次元モデルの閲覧・管理

iPad内のアプリでトンネルの3次元モデルを閲覧可能にした(写真-2)。これにより、例えばトンネル断面と地表面の取合いを正確に把握することができ、現場での施工計画・施工管理、また発注機関との協議などに有効活用できた。この運用には一般公開されているBIM360というアプリを利用した。

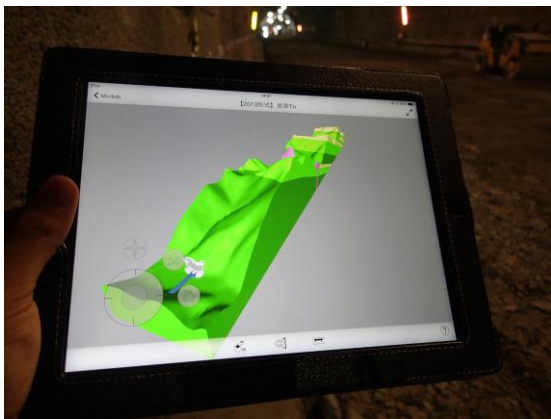


写真-2 iPadによる操作画面

(2) 山岳トンネルモニタリングシステム

㈱大林組ではトンネル工事において、地山の挙動を把握するための計測データ、進捗状況をiPadにて監視できるシステムを独自に開発した。現場での計測結果、進捗状況をインターネット回線を利用し、リアルタイムに把握することで、適切な支保パターンの選定などを迅速、タイムリーに進めることができた。

また、坑内の状況はWEBカメラと連携して、iPad内でいつでも閲覧可能である(写真-3)。



写真-3 モニタリングシステム画面

(3) デマンド監視システム

トンネル工事では、大型機械や仮設備の稼働により電気使用量が大きくなる。そこで、トンネル内に現場全体の使用電力量を「見える化」できるデマンド表示計を設置した(写真-4)。また設定した使用電力量を超過すると、担当者にアラートメールを受信する設定とした。これにより契約値を超える前に、電気使用量を抑制することが可能である。

さらにiPad上で閲覧可能となるアプリを開発し、日々刻々と変化する電力需要を把握することができるシステムとした(写真-5)。

使用電力を「見える化」することで、専門知識がなくても現場の電気使用状況が確認でき、電気使用量削減による環境負荷の低減にも貢献できる。



写真-4 デマンド表示計設置状況



写真-5 デマンド表示画面 (iPad)

7. おわりに

今回のCIMの取組みはトンネル工事についてはまだ前例がなく、ゼロからのスタートで手探りの状態であったが、試行錯誤を繰り返した結果、トンネルの統合モデルを構築し、業務の効率化に繋げることができた。今後は維持管理のためのデータの取込み、引継ぎなどについて検討を行い、維持管理時のCIMの活用方法を検討していきたい。

国土交通省がCIMを提唱してから2年以上が経過し、計画・調査、設計、施工、維持管理の各段階で各社が独自の取組みを行っている。今後、CIMの取組みが本格化する事は明らかであり、CIMモデルを有効活用するためにも、組織、立場間で単に情報を受け渡しするのではなく、組織、立場を超えた情報共有が大切である。本報文が、今後のCIMの取組みの参考になれば幸いである。

博物館 展示照明の全面LED化について

石澤 佳也

近畿地方整備局 営繕部 整備課（〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44）

国宝や重要文化財などを収蔵、展示する博物館の展示照明には展示物保護に対する性能、展示物鑑賞のための性能、展示物の入替に対するフレキシビリティなど様々な性能が要求される。

京都国立博物館の新平常展示館である『平成知新館』（2014年9月開館予定）の建設にあたり、展示照明について、国立施設で初めて全面的にLED光源を採用した。

建設計画以前は、汎用的なLED光源では、出力や、演色性（色の再現性）などの性能が低く、博物館の展示照明という特殊な用途で全面的にLED光源を採用をした事例はなかった。

近年の技術革新により、これらの性能を満たすものが普及してきた中で、このLED光源を採用し、従来の光源（蛍光灯・白熱灯）にはない特性により、最適な博物館の展示照明を構築することができた。

キーワード 博物館，展示照明，LED，文化財保護

1. はじめに

博物館の展示照明では、一般事務室とは異なり、様々な性能が要求される。展示物の保護（劣化原因となる紫外線の抑制等）、展示物を鑑賞するための環境を演出する性能（明るさ、まぶしさ、演色（色の再現性）、均一さ）、頻繁に展示物を入れ替えることに伴うフレキシビリティなどの機能がそれにあたる。

展示照明にLED光源を採用する事で、発光体が半導体素子であるため、紫外線が発生しない事や、従来のランプに比べ長寿命であることによる保守性の向上、器具が小型化できるため従来よりも照明器具を意識させない展示空間の演出が可能なる事や、省エネルギー性の向上などのメリットがある。

しかし、従来の光源（蛍光灯、白熱灯）とは、発光原理そのものが異なる光源であり、その特性も異なり、採用にあたっては、技術的検討、試作品による実験などを行い、性能に問題が無いか確認する必要があった。

本研究では、それら検討を行った内容について報告すると共に、得られた結果を整理する事により、今後類似施設の展示照明に活用する事を目的とする。

2. 展示照明の概要

平成知新館の展示室は、各展示室の壁一面に壁面展示ケースがあり、室の中央部は、独立展示ケースで展示を

行うスタイルとなっているが、展示品の中には巨大な彫刻、仏像など展示ケースに収容しきれない大きさの展示品もあり、それらを展示するための大空間もある。

展示室としては、全部で13室あり、大きく分類すると、次の3種類の構造となっている。

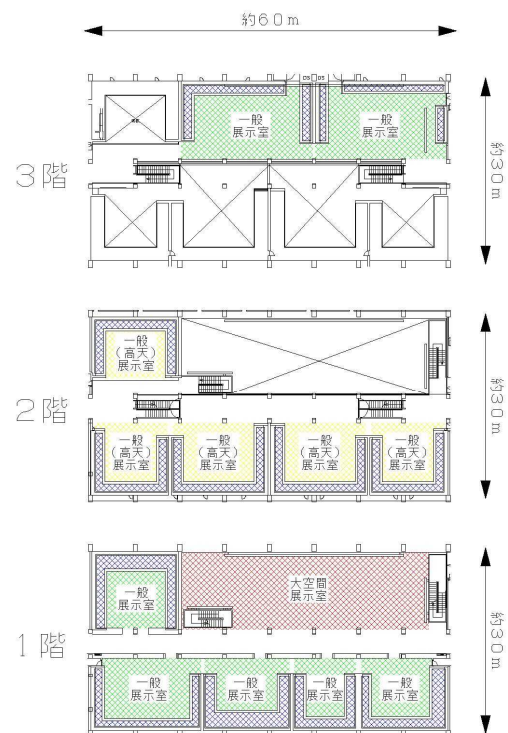


図-2 展示室エリア平面図

(1) 大空間展示室（１室）

壁面展示ケースは無く、天井高さが7.5m程度あり、展示ケースに収まらない巨大な彫刻、仏像などを露出で展示が行え、面積も広いことから、多目的な使用が可能な、メインの展示室である。



図-2-1-1 大空間展示室

大空間展示室は、リモコン操作により、任意に照射角度、出力（調光）調整可能なムービングスポットを天井部に複数配置している。

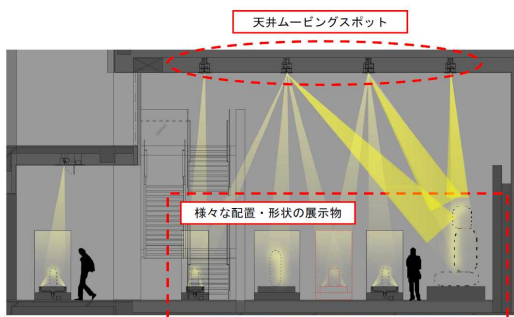


図-2-1-2 大空間展示室の展示照明概念

ムービングスポットは、レンズ等の交換により、配光（照射範囲）を変える事ができ、配光の違うスポットを2台セットの配置とする事により、様々な配置、形状の展示物に対応することができる。

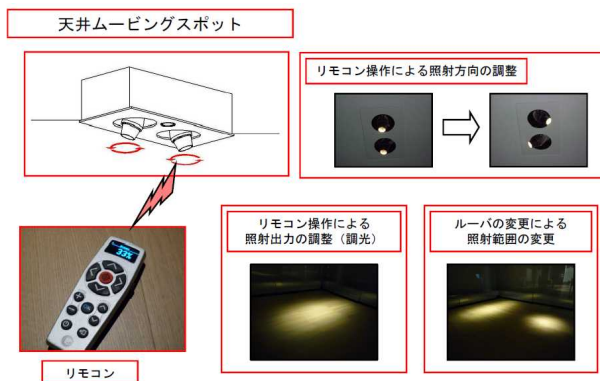


図-2-1-3 ムービングスポット

(2) 一般展示室（７室）

壁面には、壁面展示ケースがあり、中央部のスペースに独立展示ケースを配置し展示を行う、天井の高さは3.5m程度であり、通常の大きさの展示物であれば、十分展示できる最も基本的な展示室である。



図-2-2-1 一般展示室

一般展示室の照明は、一定間隔でライディングダクト（照明スポットを任意の位置に取り付けできる電源用レール）を天井部に設けている。

意匠性を高めるため、ボックス内に収納し、スリットより任意の方向、角度にスポットの照射が行える仕様となっており、器具個別又は、ダクト毎の照射出力の調整（調光）も行えまた、レンズ等の交換により、配光（照射範囲）を変える事ができ、様々なケースの配置に対応が可能となっている。

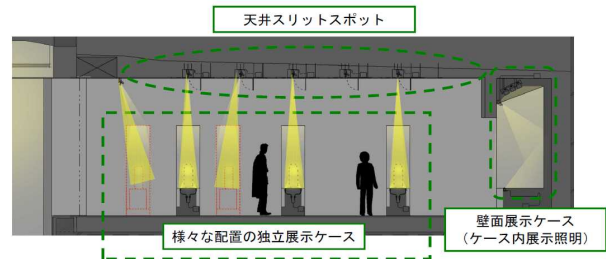


図-2-2-2 一般展示室の展示照明概念

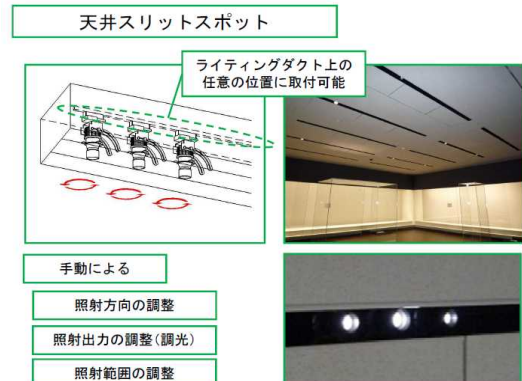


図-2-2-3 スリットスポット

(3) 一般（高天井）展示室（5室）

一般展示室と同様に壁面に壁面展示ケースがあり、中央部に、独立展示ケースを配置し展示を行う形となっているが、天井の高さは大空間展示室と同程度あり、圧迫感無く、展示が可能な展示室である。

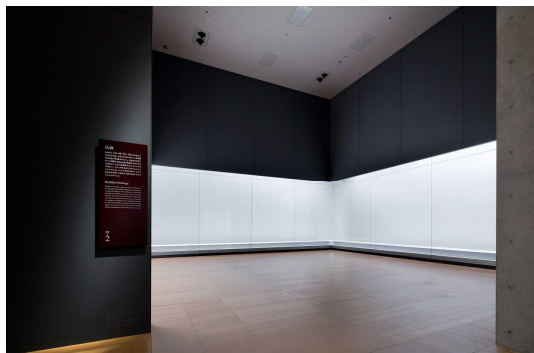


図-2-3-1 一般（高天井）展示室

一般（高天井）展示室は、天井高さが高いため、大空間展示室と同様のムービングスポットを設置しているが、常時は壁面展示ケース及び、展示照明が内蔵された展示ケースでの展示が主体となるため、最低限の設置台数としており、通路部分等の明るさを確保する事を目的としている。

将来的な展示内容の変更にも対応可能なよう、ムービングスポット等の増設が可能な仕様としている。

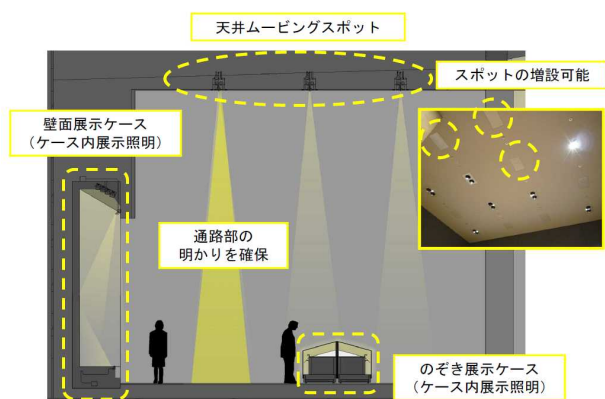


図-2-3-2 一般（高天）展示室の展示照明概念

(4) 展示ケース内照明

各展示室のベース照明に加え、壁面展示ケース内及び、独立展示ケースにも展示照明を設置しており、ベース照明と合わせ、展示照明の機能を満たしている。

<壁面展示ケース>

壁面展示ケースは、ケース内全体の照明であるLEDベースライン照明と、前述のスリット部と同じスポットを上部に取付可能な仕様としている。下部のLEDベースラ

イン照明は、筒状の鏡面ダクトを介して、展示物の正面に照射する構造で、位置の可変、ダクトの変更で高さを変えるなどができ、さまざまな形状の展示物に対応できる。

又、壁面展示ケースの下部には、展示照明用操作器が収納されており、室内、ケース内照明の調光、点滅などの設定、記憶を行うことができる。

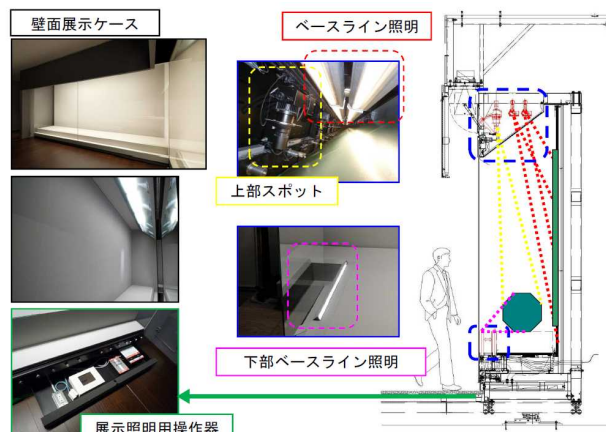


図-2-4-1 壁面展示ケース照明

<のぞき展示ケース>

のぞき展示ケースでは、ラインLEDによる間接照明でケース内全体に均一な明るさを確保し、ケース単体で展示物の照明をまかなう事ができる。

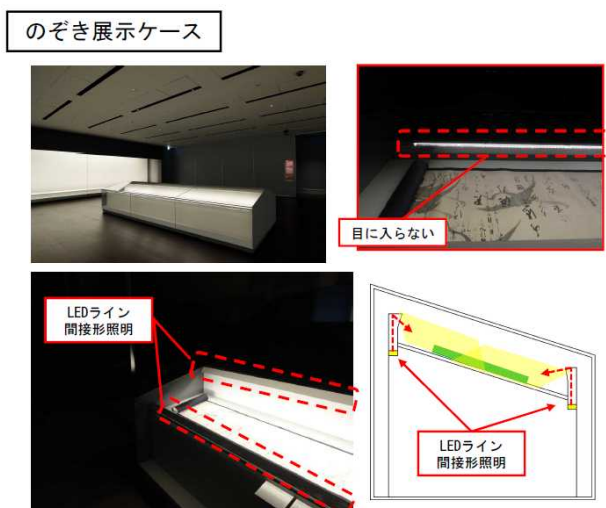


図-2-4-2 のぞきケース照明

<独立展示ケース>

独立展示ケース及び、壁面展示ケースには、下部からの局所的な照明が必要な場合の為に、超小型のLEDピンスポットを展示に合わせて取付け可能な仕様としており、手動により、照射方向、範囲、出力（調光）の調整が可能なものとなっている。

又、独立展示ケース上部には、必要に応じて、天井の

スポットライトよりの直接光を拡散させる事のできるフロストシートを取付できる仕様となっている。

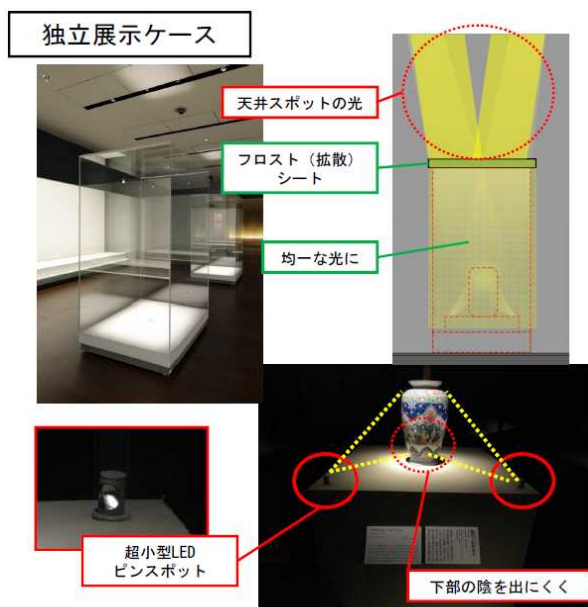


図-2-4-3 独立展示ケース

3. 展示照明のLED化について

展示照明にLED光源を採用するにあたり、従来の蛍光灯、白熱灯（ハロゲンランプ）と、発光原理そのものが違うことによる特性の差があるため、各性能について検討を行った。

理論値での机上検討だけでなく、実際に模擬展示物を使い、試作品での実験を博物館学芸員の立会いのもとで何度も行い、博物館の展示照明としての性能確保のための照明仕様を検討した。

検討を行う項目としては、博物館等の展示照明において必要な性能として、大きく分けると次の3つが考えられる。

- ・展示物の保護に対する性能
- ・展示物を鑑賞するための性能
- ・展示物入替に対するフレキシビリティの性能

(1) 展示物の保護に対する性能について

a) 紫外線の検討

照明光が展示物に与える影響としては、光化学反応（色紙などが、光を吸収することにより変退色する作用）によるものがある。照明光の波長300～380nmの紫外線で95%程度、380～780nmの可視光線で5%程度の変退色作用があると言われており、それらの光が照射された量に比例（照度×照射時間）し、展示物に対して影響を与えられている。

今回実際に採用するLED光源の素子の分光特性曲線

（照明光の各波長毎の量をグラフ化したもの）を確認し、特に有害な影響を与える380nm以下の紫外線波長については、ほぼ発生しない事を確認した。

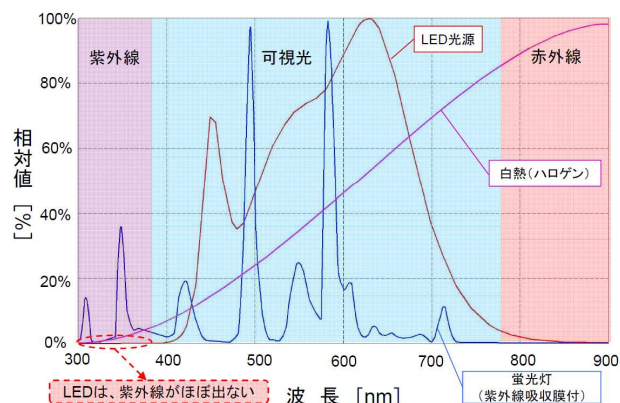


図-3-1 LED光源の実際の分光特性及び、従来光源の分光特性の一例

従来の蛍光灯（一般的に博物館・美術館に用いられる紫外線吸収膜付のもの）や、白熱灯（ハロゲン電球）と比較しても、紫外線の発生量は少なく、展示物に対する影響は、低くできると言える。

又、紫外線域の波長が出ないため、害虫などが寄ってきにくい光とも言え、展示物の保護の面で、最適の光源である事が確認できた。

b) 発熱に対する検討

展示物に与えるもうひとつの影響として、発熱による温度上昇がある。一般にLED光源は、入力電力（エネルギー）の内、約70%が熱に変換されると言われている。発熱に対する性能としては、従来の蛍光灯などと大きな差はないが、白熱灯に比べると消費電力が低いため、発熱量は、大幅に少なくできる事を確認した。

また、試作展示ケース内での温度上昇実験も行い、問題のないことも確認できた。

又、LED光源は赤外線がほとんど含まれないため、照射光による熱の影響も少ないと考えられる。

c) 保守メンテナンス性に対する検討

従来は、照明のランプが切れた場合、展示物を出して、ランプ交換を行う必要があり、展示物破損のリスクがあった。LED光源はランプ交換が不要であり、通常メンテナンスは清掃のみのため、リスク軽減ができる。

表-3-1 ランプ寿命

光源	ランプ寿命
蛍光灯	約6,000～12,000時間
白熱灯（ハロゲン）	約1,000～2,000時間
LED光源	約40,000時間以上

(2) 展示物を鑑賞するための性能について

a) 明るさの検討

展示照明での照度（明るさ）は、来館者が快適に疲れが少なく観賞、観察できるよう設定する必要がある、必要以上に照度を高くすることは、まぶしさの原因となるばかりでなく、光・熱により展示物に損傷を与えることになるため、適切な照度に設定することが重要である。

照度の設定は、実際に模擬展示品により従来の蛍光灯、白熱灯とLEDでの見え方の比較も行い、鑑賞実験にて必要な照度の検討を行った。その結果、従来の照明に比べ、LED光源では低い照度でも鑑賞しやすいとの意見が多く、従来の照明に比べ低照度での設定とすることができた。



図-3-2-1 鑑賞照度実験

LED光源が、従来の光源に比べ低い照度で鑑賞可能であったのは、散乱光しか出さない蛍光灯や白熱灯と違い、LED光源の光は太陽光に近い平行光のため、少ない光量でも対象物の形を認識しやすい事、発光波長領域に可視光領域（380nm～780nm）が連続し安定して含まれているためであると考えられる。

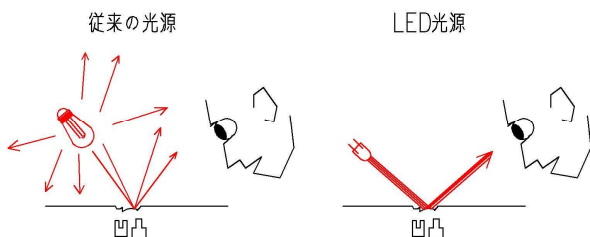


図-3-2-2 散乱光と平行光の目視認識のイメージ

b) 色温度と演色性の検討

展示物を鑑賞するための光環境として、検討が必要なものに、色温度と演色性がある。

色温度とは、光源の光色を数値化したものであり、K（ケルビン）という単位で表し、約3,000K以下の光源はやや赤みがかった光色、約7,000K以上の光源はやや青みがかった光色となる。

LED光源は、制作時に色温度の選択が可能であり、今回は、試作照明により、複数の色温度を比較し、最終的に汎用性の高い温白色である3,500Kの仕様とした。



図-3-2-3 色温度・演色性実験

演色性は、光源の分光分布（波長）が変わると物の色の見え方が変化する。このような照明光による物の色の見え方に及ぼす光源の特性を言い、それを数値化したものが平均演色評価数（Ra）であり、100に近づくほど対象物の実際の色を再現していると言える。

従来の蛍光灯（博物館・美術館用の高演色のもの）で最大99程度、白熱灯のRaは100と高い数値になるが、LED光源は、80～95程度となる。

今回LED光源を採用するにあたっては、汎用素子で最大のものであったRa92の素子を用いて実験を行い、従来照明との比較した結果、Ra92でも十分に鑑賞に堪えうる事がわかったため、Ra92以上での設定とした。

LED光源の場合は、従来器具のようにランプでそれらの性能が決定するのではなく、器具（素子）自体でその性能を確保する必要があるため、器具製造メーカーでの製作上の品質（色温度・演色性）管理について確認をおこない、それらの性能が確保できる事を確認した。

c) まぶしさ・陰影に対する検討

LED光源の特徴として、前述の明るさと相反する部分で、平行光であることにより陰ができやすい事や、まぶしさが問題となる。

陰については、試作品での実験を行い、陰に対して超小型ピンスポットなどで、下部からの照明を行う事により解決できた。

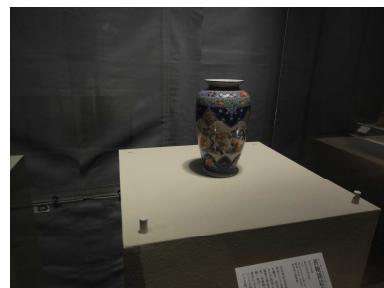


図-3-2-4 超小型ピンスポットの試作品

また、まぶしさについては、鑑賞者の目に入らないような照明配置等を検討し、照明自体が目に入らない形の配置とでき、まぶしさについても解決できた。

d)照度均斉度の検討

展示照明では、展示面照度の均一さも必要である。LED光源は、面光源ではなく、点光源の集合体であることから、照度の均斉度（対象範囲内の照度（明るさ）の最大値と最小値の比率）の確保については難しく、試作品で照度測定を行い、何度も調整を行う必要があった。

壁面展示ケースは、調整の結果、上部のLEDベースライン照明を2列とし、形状、角度を試作品で実験し、均斉度の確保を行えた。

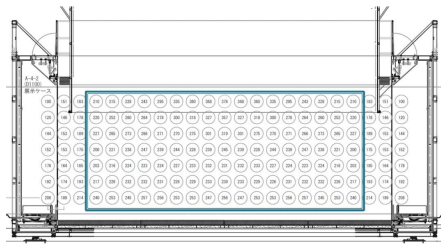


図-3-2-5 壁面展示ケースの照度測定の一例



図-3-2-6 壁面展示ケースの試作品実験の様子

のぞき展示ケースは、上下のLEDベースライン照明が、直接照射する形では、均斉度が確保できなかったため、最終的に、間接照明の形状にする事により、均斉度が得られた。

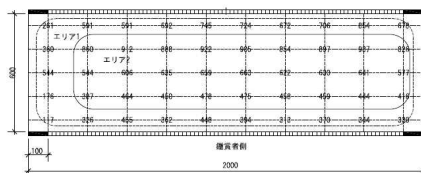


図-3-2-7 のぞき展示ケースの照度測定の一例



図-3-2-8 のぞき展示ケースの試作品実験の様子

(3) フレキシビリティについて

フレキシビリティについては、ベース照明、ケース照

明含め、LED光源にした事によりコンパクトとなり、多くの照明を配置でき、さまざまな形状、配置の展示物に対応できる形とできた。

(4) その他の性能について

スポット照明については、従来は白熱灯（ハロゲンランプ）であったが、LED光源での照明としたことにより、消費電力としては、約1/3程度となり、大幅な省エネとなる。

又、従来照明に比べ、照度を低めに設定できることで、その効果は、それ以上と考えられる。

4. まとめ

LED光源を用いた展示照明については、性能的に従来の蛍光灯、白熱灯などと比較しても、良い結果が得られ、特に重要な、展示物の保護の面で、従来照明以上の性能が確保できることから、博物館の展示照明の光源としては、最適な光源であると言える。

表-4-1 LED化に関するまとめ

性能	検討項目	従来の光源に比べ、・・・	評価
展示物保護 に対する 性能	紫外線	紫外線は、ほぼ発生しない。	◎
	発熱	白熱灯に比べ、大幅に発熱量低。	○
	保守性	ランプ交換不要なため、リスク軽減。	◎
展示物鑑賞 のための 性能	明るさ	低い照度で鑑賞可能。	◎
	色温度	色温度の選択が可能。	○
	演色性	数値的に若干劣るが、鑑賞上問題無し。	○
	まぶしさ	まぶしさ、陰影がでやすいため、配慮は必要。	△
	均斉度	散乱光では無いため、均斉度の確保は難しい。	△
スライド・ディスプレイ の性能	コンパクト	コンパクトで、スライド・ディスプレイの確保がしやすい。	○
	意匠性	照明を意識させない展示空間を演出できる。	○
その他	省エネ	スポットは、消費電力が約1/3程度となる。	◎

また、LED光源を採用した事により、器具がコンパクトになり、施設全体において、照明器具を意識せず、鑑賞の雰囲気を損なわない展示空間を演出することができたことも大きな成果であった。

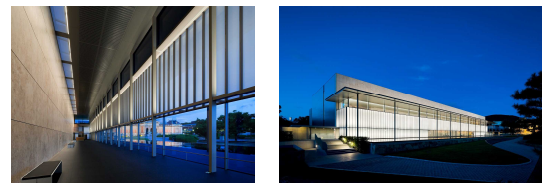


図-4-1 グランドロビー・外観

当該照明の設計、協力、施工（図版提供共）

設計：（株）谷口建築設計研究所
岩井達弥光景デザイン
環境エンジニアリング（株）

協力：（株）YAMAGIWA

施工：戸田建設（株）、栗原工業（株）

福井河川国道事務所管内における 供用10年経過した機能性SMAについて

井上 拓也¹・江崎 耕太²

¹グリーン・コンサルタント(株) 関西営業所 (〒575-0033大阪府四條畷市美田町5-1)

²(株)NIPPO 関西支店 試験所 (〒575-0033 大阪府四條畷市美田町5-1)。

近年、道路舗装に求められる性能は、耐流動性および耐摩耗性などの耐久性に加え、雨天時の走行安全性の向上や沿道環境改善などの機能が挙げられる。特に排水性舗装については、多機能を有するニーズの高い舗装の一つであるが、骨材飛散による機能の低下が課題である。

福井河川国道事務所においては、2003年より排水性舗装の代替工法として、機能性碎石マスチック舗装（以下機能性SMA）が検討され、実路において施工が行われてきた。

本報は、当該舗装の中期から長期にあたる供用10年までの機能性および耐久性の検証結果を報告するものである。

キーワード 機能性SMA、積雪寒冷地、長期耐久性、キメ深さ、残留塩分濃度

1. 機能性SMAの特長

機能性SMAとは、図-1および写真-1に示すように、上部は排水性舗装に近いキメを持ち、下部はSMAの緻密な層となっており、SMAの耐久性と排水性舗装の機能を併せ持つ舗装である。

機能性SMAは、表-1に示すようにSMAの特長である粗骨材のかみ合わせ効果と、骨材把握力に優れるサンドマスチックの充填効果により、耐流動性や耐摩耗性、排水性舗装と比較して骨材飛散抵抗性も優れる点が挙げられる。

また、もう一つの特長として、排水性舗装に近似した機能性があり、道路交通騒音の低減、沿道への水はねの低減による沿道環境の改善と、雨天時におけるすべり抵抗性の向上および視認性の向上が期待できる。さらに、積雪寒冷地においては、凍結抑制剤の散布効果の持続性向上につながる。

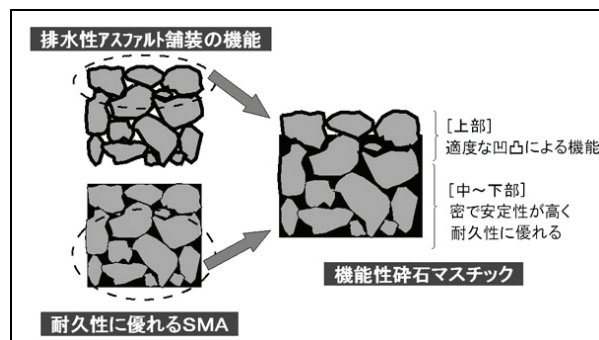


図-1 機能性SMAの概念図



写真-1 機能性SMA施工直後の路面



写真-2 排水性舗装の路面

表-1 機能性SMAの特長

項目	特長
耐久性	①耐流動性 ②耐摩耗性 ③骨材飛散抵抗性
機能性	①沿道環境の保全 ・道路交通騒音の低減 ・沿道への水はねの低減 ②車両の走行安全性の向上
その他	・凍結抑制剤の散布効果の持続性向上

2. 機能性SMAの施工概要

福井河川国道事務所では、国道8号を舗装補修するにあたり、沿道環境改善を考慮して排水性舗装が検討されていた。しかし、積雪寒冷地においては、冬季のチェーン荷重履歴による骨材の飛散や、凍結抑制剤の散布効果が短時間であるという技術的課題が指摘されていたため、耐久性に優れた代替混合物として機能性SMAに着目し、2003年の舗装補修工事に採用した。

機能性SMAの適用箇所は、一般国道8号福井県鯖江市から越前市にかけて、大型車交通量3,000台以上の重交通路線である。

施工は厚さ5cmの切削オーバーレイ工法で行われ、2003年から2007年にかけて施工延長7.7km、施工面積は約10万m²にのぼっている。

機能性SMAの耐久性と機能性の検証のため、表-2に示す工区を対象に、追跡調査が計画された。

表-2 調査工区

工区名	東鯖江工区	葛岡工区	大屋工区
施工場所	鯖江市長泉寺～定次	越前市高木～葛岡	越前市大屋～小野谷
施工面積(m ²)	21,920	38,380	30,100
施工厚さ(cm)	5cm	5cm	5cm
施工年月	2003年10月	2005年8月	2006年8月
調査時供用年数	9年7ヶ月	7年9ヶ月	6年9ヶ月

3. 機能性SMAの混合物配合

機能性SMAの混合物配合は表-3に示すとおりである。

ギャップ粒度の骨材配合に、植物性繊維を外割0.3%添加し、耐久性の向上を図っている。

使用したバインダは、冬季のタイヤチェーンによる骨材飛散を考慮して、ポリマー改質H型アスファルトとした。

混合物の特性値のうち、動的安定度は目標値3,000回/mm以上に対して10,000回/mm以上と高い耐流動性能を示した。

表-3 機能性SMAの混合物配合

工区名		東鯖江工区	葛岡工区	大屋工区	目標値
バインダ種		高粘度改質As	高粘度改質As	高粘度改質As	—
配 合 (%)	6号砕石	67.8	67.7	65.8	—
	7号砕石	7.5	7.5	8.5	—
	粗砂	9.4	9.4	9.4	—
	石粉	9.4	9.4	10.3	—
	アスファルト	5.9	6.0	6.0	—
	植物性繊維（外割）	0.3	0.3	0.3	—
特 性 値	マーシャル安定度(kN)	11.0	11.0	9.2	5.0以上
	空隙率(%)	6.8	6.7	5.0	4～7
	飽和度(%)	65.8	66.7	73.4	65～85
	フロー値(1/100cm)	40	41	39	20～50
	動的安定度(回/mm)	12950	12600	10500	3000以上
	すり減り減量 (cm ²)	0.70	0.69	0.89	1.5以下
	キメ深さ (mm)	1.92	1.86	1.72	1.5以上
	最大吸音率 (%)	28.5	28.1	21.9	—

4. 調査内容

調査は、一般国道8号（大型車交通量3000台以上/日・方向の4車線道路）で表-2に示す機能性SMA施工区間3工区のそれぞれ100m区間を定点として行った。

評価は表-4に示す機能性SMAに期待される性能を考慮し、積雪寒冷地かつ重交通路線における耐久性と機能の持続性について評価を行った。

表-4 調査内容

項目	特性	調査項目
耐久性	耐流動性	わだち掘れ量測定
	耐摩耗性	路面目視観察測定
	骨材飛散抵抗性	
機能性	道路騒音の低減	環境騒音、タイヤ／路面騒音
	沿道への水はね低減	キメ深さ測定
	すべり抵抗性の向上	すべり抵抗測定
	凍結防止剤の残留遅延効果	残留塩分濃度測定

5. 耐久性の評価

各工区のわだち掘れ量は図-2に示すとおり、施工後10年を経過した東鯖江工区においても10mm程度であり、それ以外の工区でもわだち掘れの進行が小さく、耐流動性に優れる混合物であることがわかる。

また、目視による舗装面の骨材飛散状況を確認すると、東鯖江および葛岡工区で少し舗装面の摩耗が見受けられたが、骨材飛散は見受けられなかった。（写真-1～写真-2参照）また、3工区ともに輪跡部において空隙つぶれが確認された。

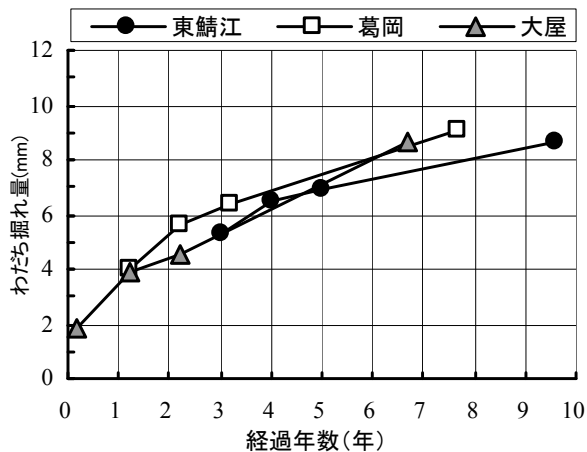


図-2 わだち掘れ量の推移



写真-1 東鯖江工区



写真-2 葛岡工区

6. 機能性の評価

(1) キメ深さ

サンドパッチングによるキメ深さ測定結果を図-3に示す。キメ深さは、供用5～10年においても1.2～1.5mmの間で推移しており、大きな低下はみられない。これは、ホイールトラッキング試験機を用いたトラバース走行試験による検証データ¹⁾とも符合する傾向を示しており、重交通路線においてもキメ深さの低下が小さいことがわかる。

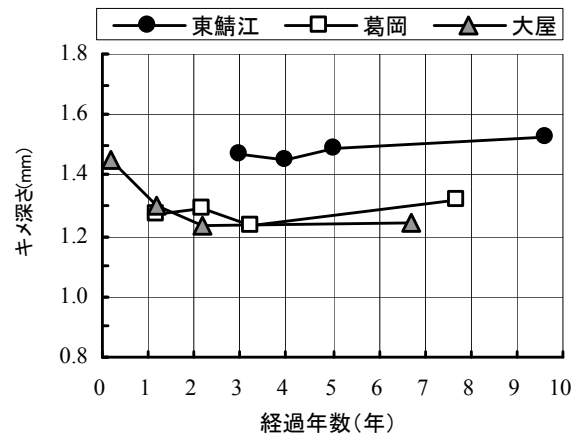


図-3 キメ深さの推移

(2) すべり抵抗

DFテストによるすべり抵抗測定結果を図-4に示す。60km/hにおける動的摩擦係数 μ は、全ての工区で0.5以上であり、良好なすべり抵抗性を有している。

供用初期では供用年数が進むにつれ、すべり抵抗が増加する傾向にあったが、供用3年以降はすべり抵抗に変化が無く推移している。

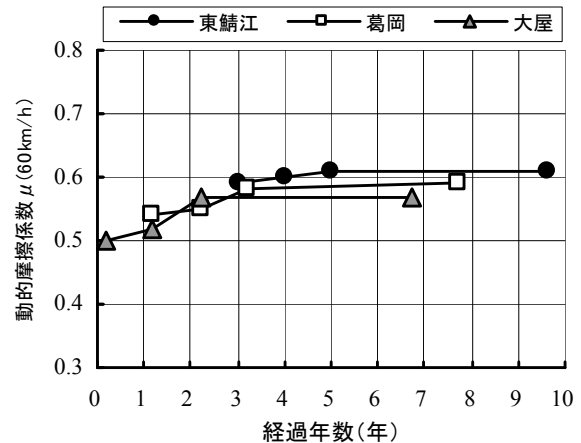


図-4 すべり抵抗の推移

(3) 環境騒音

環境騒音（等価騒音レベル）測定結果より，施工前の密粒舗装と比較した場合の騒音低減値は図-5 に示す。施工前の表層である密粒舗装の測定値と比較すると，施工直後は 4～5dB の低減であったが，次第に低下し，供用 3 年以降は 2～3dB 程度の低減で推移している。

供用 10 年以上経過した現状においても騒音低減効果が維持されている結果となった。

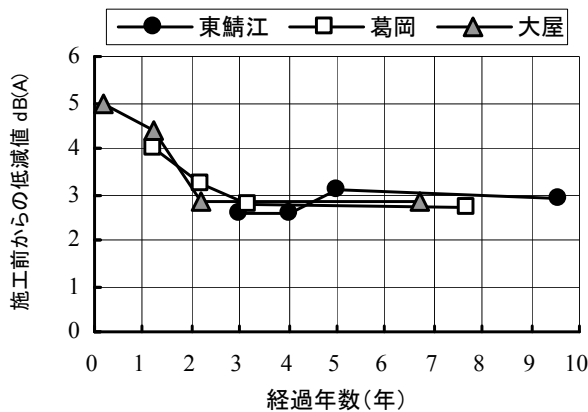


図-5 環境騒音低減値の推移

(4) タイヤ／路面騒音

タイヤ／路面騒音測定²⁾については，機能性 SMA 区間と近隣の排水性舗装および密粒舗装も測定対象とした。

測定結果を図-6 に示す。機能性 SMA のタイヤ／路面騒音は，供用初期では 91dB とポーラス舗装に近似した値であったが，供用 4 年で密粒舗装と同程度の 94～95dB となった。この傾向は排水性舗装も同様であり，供用 4～5 年経過で密粒舗装と同程度になると推察される。

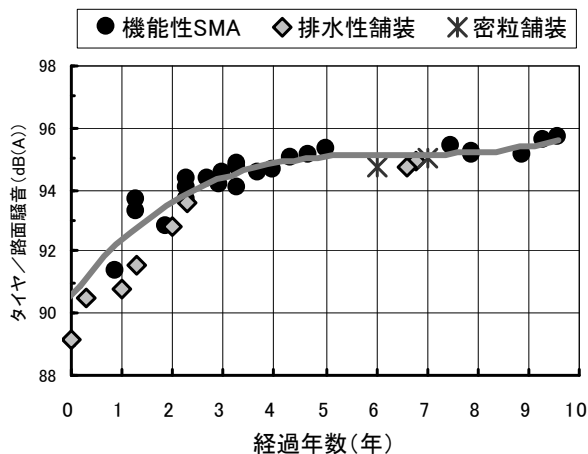


図-6 タイヤ路面騒音の推移

(5) 残留塩分濃度

機能性SMAは，表面が独立した適度な凹凸を有し，中下層は密であることから，凍結防止剤が流出しにくく，凍結防止剤の効果の持続が期待できる。

凍結防止剤の残留遅延効果の検証として，散布直後から30分毎に路面の表面水の塩分濃度測定を行った。

散布直後の塩分濃度に対して，各経過時間の塩分濃度を百分率で表したものを表-5および図-7に示す。

散布後150分の塩分残留率が，密粒区間が10%程度であるのに対し，機能性SMA施工区間は20～30%の範囲にあり，供用10年においても，密粒舗装と比較して優れた残留遅延効果が確認された。

表-5 残留塩分濃度測定結果

単位: (%)

工区名	東鯖江工区	葛岡工区	大屋工区	比較工区
調査時供用年数	10年3ヶ月	8年5ヶ月	7年5ヶ月	密粒区間
経過時間 (min)	0	100.0	100.0	100.0
60	76.1	69.8	60.7	42.6
90	52.2	51.2	41.1	25.9
120	37.0	30.2	26.8	14.8
150	28.3	25.6	21.4	9.3

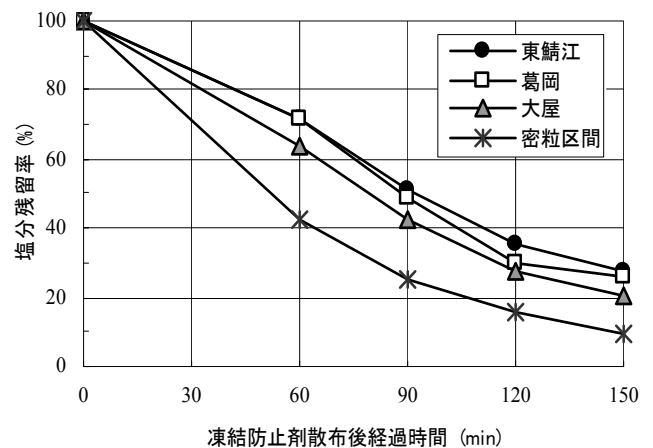


図-7 残留塩分濃度測定結果

7.まとめ

追跡調査結果をまとめると、以下のとおりである。

- ・わだち掘れ量は、供用10年において10mm以下であり、高い耐流動性を確認できた。
- ・路面状況は、タイヤチェーンによる骨材飛散も無く良好な路面を維持している。
- ・すべり抵抗は、供用経過による低下は見られず、良好なすべり抵抗性を有している。
- ・キメ深さは上部の多孔質層を維持している。
- ・環境騒音は、施工前の密粒舗装と比較して2～3dBの低減を維持している。
- ・タイヤ騒音は初期ではポーラス舗装と近似しているが、供用4年経過で密粒舗装と同水準となる。
- ・凍結防止剤残留効果は、密粒舗装の2～3倍であり、供用中～長期でも効果を維持している。

以上の結果から、供用10年後までの機能性SMAは、耐久性に優れ、適度な機能性を有し、積雪寒冷地域の表層材料として有効であることが確認できた。

排水性舗装と比較すると、初期の機能性では及ばないものの、耐久性で優位であることと、長期にわたり機能を維持することも確認できた。

8.あとがき

排水性舗装を積雪寒冷地に適用する場合、タイヤチェーン等による摩耗やその粉塵による空隙詰まり、凍結融解作用による混合物の耐久性、凍結防止剤の効果等による冬季の路面管理方法等が課題として挙げられる。

排水性舗装のこれらの課題に対して、本報で紹介した機能性SMAは、積雪寒冷地かつ重交通路線の過酷な供用条件に耐え、排水性舗装の様々な機能性を維持していることが確認された。

今後は、積雪寒冷地域における排水性舗装の代替工法または環境改善工法として、活用されることを期待する。

今後の追跡調査では、当該舗装の中長期の供用性を継続して調査し、ライフサイクルコストによる評価や、機能性SMAの更なる改良に取り組む所存である。

本調査に先立って、ご協力をいただきました福井河川国道事務所福井国道維持出張所の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 市原ほか：積雪寒冷地の排水性舗装に代わる機能性 SMA の検証，舗装 Vol. 37 No. 8, 2002 年
- 2) 井原ほか：アスファルト舗装の空隙特性とタイヤ／路面騒音に関する検討，第 25 回日本道路会議論文 No. 09148, 2003 年

情報化施工技術の普及推進

牧田 吉弘¹

¹近畿地方整備局 近畿技術事務所 施工調査・技術活用課（〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1）

報化施工技術は、建設施工における生産性の向上、技術者不足への対応、品質向上、コスト削減を図ることができる施工技術であり、平成25年度から「一般化技術」として、10,000m3以上の土工を含む工事におけるトータルステーション（以下、「TS」）による出来形管理技術が対象とされている。一方で情報化施工がどういうものかわからなかったり、また施工の経験者が少なかったこともあり、今後の普及促進に向け、情報化施工の基礎的な内容や施工時の施工手順を確認する手引書と現場での工夫事例を記載した現場対応集を作成した。また、情報化施工に関するヘルプデスクを開設し、活用支援の取組を実施している。

キーワード 情報化施工、普及推進、TS出来形管理技術

1. はじめに

情報化施工は、建設事業の調査、設計、施工、監督・検査、維持管理という建設生産プロセスのうち「施工」に注目して、ICT（情報化通信技術）の活用により、生産性の向上や品質の確保を図ることを目的とした技術である。

平成20年2月に国土交通省において産学官の有識者による「情報化施工推進会議」が設置され、平成25年度に今後5年間の目標とその達成に向けて取り組む項目として、5つの重点目標と10の取り組みが設定された。

この5つの重点目標と10の取り組みには、情報化施工の特性を活かしたルールの見直しの推進や人材を広く育成していく仕組み作りなど、情報化施工を「活かす」ための目標や取り組みが設けられている。

平成25年度からは10,000m3以上の土工を含む工事におけるトータルステーション（以下、「TS」）による出来形管理技術が一般化技術となった。

「一般化技術」は標準的に導入されるものである。さらに、「一般化推進技術」は技術的に確立されているが、普及率やコスト面で一般化技術の目標値に達成していない

いが、今後標準的になる技術と位置付けられているもので、表-1の5技術が対象とされている。

平成23年度頃では近畿地整内の活用工事件数も約60件と地整全体の工事件数からみても少ない状況であった。また、TS出来形管理技術が平成25年度より一般化することを知っていたのは約40%であり、まだまだ普及していない状況であった。実際に施工する場合、具体的に何をどうすれば良いのかわからない技術者もあり、今後の10000m3未満での一般化等も視野に入れ、活用支援を実施していくため、現場での一助となる資料を「一般化技術」及び「一般化推進技術」の計6技術について作成し普及促進の取組を実施した。

2. 活用支援資料の作成

施工現場への導入支援にあたり、施工者及び発注者が施工時における流れや留意点がわかる「手引書」と活用時の課題や工夫のノウハウがわかる「現場対応集」を作成した。近畿地整管内の直轄工事を対象に、アンケート及びヒアリングにより現地での課題等の把握を行った。

例としてTS出来形管理技術における結果を下記に示す。

- ① 施工計画書の記載すべき内容がわからない。
- ② 基本設計データ作成時のデータ入力方法がわからない。
- ③ 施工時における工事基準点設置をどのようにすればよいかわからない。
- ④ 計測時のトラブルやそれらの対処方法についてわからない。

上記意見により、現場等で活用できるように下記の着目の整理を行い、作成した。

情報化施工技術		目標件数・目標活用率		
一般化技術		H25	H26	H27
①TSIによる出来形管理技術(土工)10,000m3以上		使用原則化工事の全てで使用		
一般化推進技術		H25	H26	H27
②TSIによる出来形管理技術(土工)10,000m3未満		60%		
③MC(モータグレーダ)技術		60%		
④TS・GNSSによる締固め管理技術		15%	30%	60%
⑤MC・MG(ブルドーザ)技術		15%	30%	60%
⑥MG(バックホウ)技術		15%	30%	60%

表-1 国土交通省の普及促進方針

- ・「手引書」
 - ① TS出来形管理技術の流れ
 - ② 準備から施工、検査におけるその時々での留意点や注意事項
- ・「現場対応集」
 - ① TSによる計測の応用手法の事例
 - ② 要領等の運用に関するQ&A

「手引書」は表-2のとおり、未経験者でも活用しやすいように情報化施工の基礎知識や施工で用いる機器構成等を記載している基礎編及び施工の流れや実務内容がわかる実務編で構成している。実務編の活用方法の流れを図-3～5に示す。

表-2 手引書の構成

目次項目		
基礎編	情報化施工技術の動向	・国土交通省における情報化施工施策の施行状況
	各情報化施工技術の概要	・各情報化施工技術の説明、機器構成 ・準拠する要領・基準等、適用工種 ・各情報化施工技術のメリット ・各情報化施工技術の主要パート
実務編	各情報化施工技術の流れ	・各情報化施工技術の全体フロー
	実務内容	・全体フローに沿った各段階の実務内容 ※各技術によって実施内容は異なる。 －機器・ソフトウェア等の準備段階 －施工計画・準備段階 －施工段階 －施工段階 －監督・検査段階

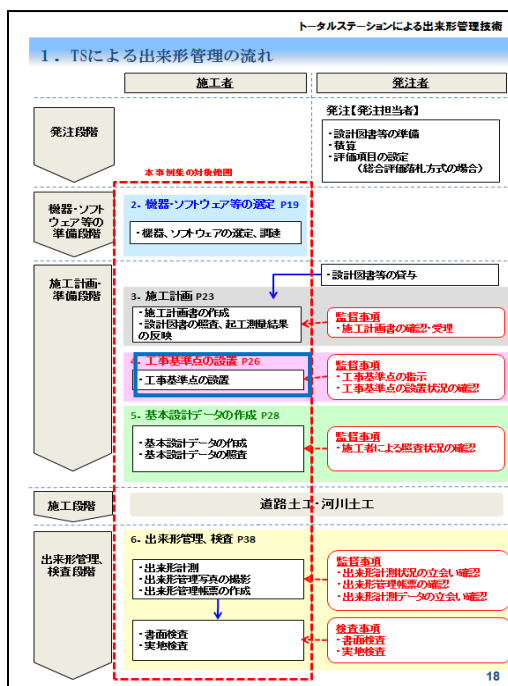


図-3 手引書(TSによる出来形管理の流れ)

図-3 のように施工者、発注者がどの段階で何をすべきかを表し、各々の項目のページを記載し、各々の項目の手順が分かるページへ進みやすいように作成した。

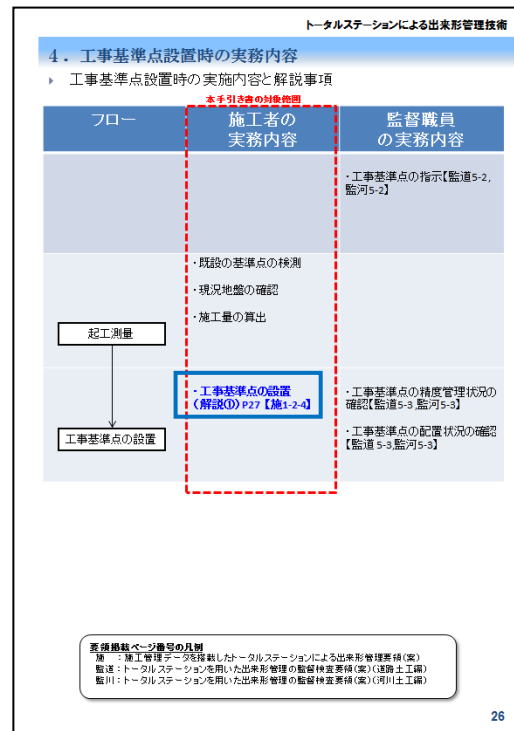


図-4 手引書(工事基準点設置時の実務内容)

各々の項目ではそれぞれの実務内容の手順を記載している。図-4では工事基準点設置の手順を記載しており、項目の詳細事項へ進むことができるよう、図-3と同様にページを記載した。

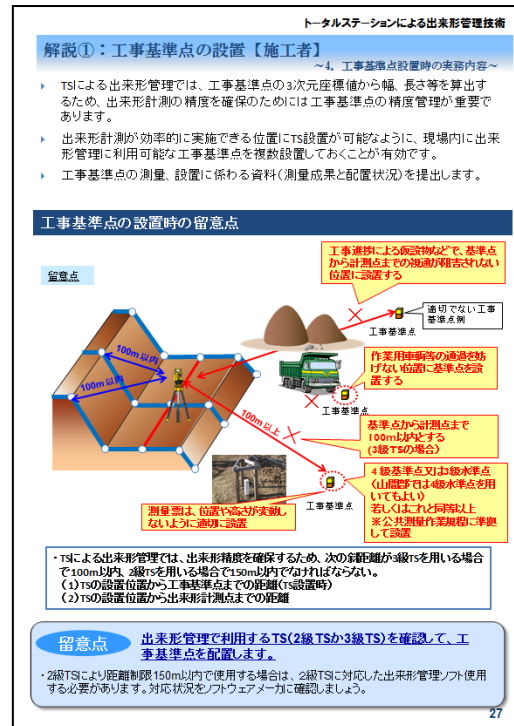


図-5 手引書(解説①工事基準点の位置)

詳細事項としてそれぞれの項目の留意点や何に基づくのかを記載している。図-5 のとおり、工事基準点の設置時ではTSの機種によって斜距離が定められていること

やどの基準に基づいているかを記載している。

「現場対応集」は特に現場で困っている事例についてその対処方法がわかる内容としている。構成は表-3のとおりである。また、現場対応集の抜粋を図-6に示す。

表-3 現場対応集の構成

目次項目	
現場対応種の構成と使い方	
全体フローに関する各段階のQ&A ※各技術によって実施内容は異なる。	・システム適用条件の事前調査 ・計測精度の確保 ・3次元設計データの作成 ・機器取り付け・システム設定 ・施工 ・施工中のトラブル

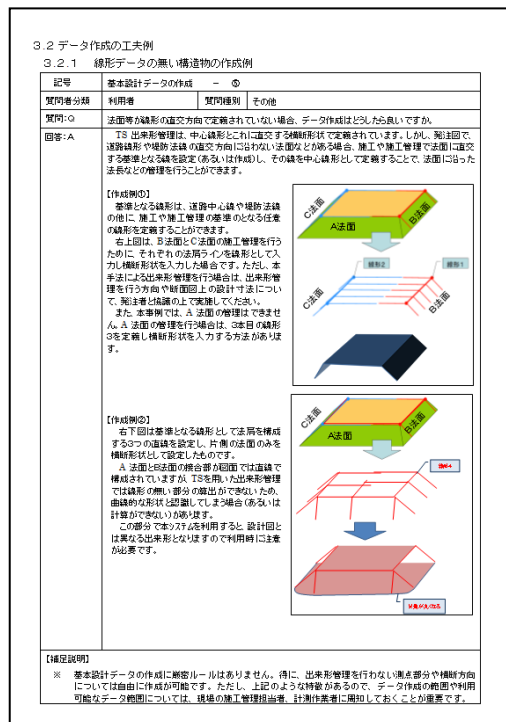


図-6 現場対応集

現場対応集はそれぞれの事例のQ&A方式とした。図-6の事例では中心線と直交方向のデータを入力するため、直交方向でないA法面は作成できない。A法面の端部に中心線と直交する線加えて新たな断面を基本設計データに追加することで、データの作成が可能である。しかし、法面の接合部は曲線となるため、監督職員との協議となるなど、解決方法及び協議となるポイントについて記載している。

3. 普及促進への取組

(1) TS出来形管理技術説明会

現場で活用しようとしている施工者を対象に「手引書」、「現場対応集」を用いて本局と連携して説明会を実施した。各説明会の概要を表-4に示す。

説明会での代表的な質問では、施工者から「出来形確

認データの社内規格値を出来形管理へ反映できないか。」、監督職員から「立会時の出来形データと立会時のデータとの差の確認方法」と基本的事項というよりは、実務的な質問が多い状況であった。

表-4 TS 出来形管理技術説明会

	事務所	開催日時	開催場所	参加人数
第1回	浪速国道	H25年9月4日(水) 1300~1530	第二阪和国道 建設監督官詰所	受注者 5名(3社) 発注者 7名
第2回	和歌山河川国道	H25年9月13日(金) 1330~1530	紀の川大堰	受注者 8名(4社) 発注者 3名
第3回	豊後河川国道	H25年10月24日(木) 1330~1530	和国山監督官詰所	受注者 2名(1社) 発注者 2名
第4回	福知山河川国道	H25年11月13日(水) 1310~1600	道の駅 和	受注者 37名(26社) 発注者 15名
第5回	姫路河川国道	H25年12月16日(月) 1310~1600	姫路河川国道	受注者 7名(6社) 発注者 5名
合計				受注者 59名(40社) 発注者 32名

(2) 情報化施工ヘルプデスク

ヒアリング時等でも、何をどうすればよいかわからない場合や誰に聞けばよいのかわからないこともあり、情報化施工に関する内容を聞けるヘルプデスクを開設した。問合せは表-5のとおりで、当初は技術的な質問を想定していたが、監督職員との協議や制度的な内容であった。

表-5 ヘルプデスク問合せ

技術名	問合せ	回答
TS 出来形管理 (土工)	工事基準点と工事基準点間の設置間隔に100mの制限はあるのか。	工事基準点間に設置間隔の制限はありません。
	発注図面記載の完成法面線が全ての断面で計測できない場合もTS出来形管理は可能か。	現在見込まれている法面で基本設計データを作成すればTSによる出来形管理は可能と考えます。監督職員と協議の上、認められれば従来の出来形管理方法も可能と考えられます。
TS 出来形管理 (舗装)	TSを用いた出来形管理要領(舗装工事編)では縁石、側溝、管渠等も含まれるが、控除しても問題ないか。	事前に測量や設計照査を実施されていると思われますのでデータ作成は可能です。どうしても設計データが作成できない場合は出来ない理由を明らかにして頂き監督職員と協議して頂く必要があります。
	TSを用いた出来形管理要領(舗装工事編)で出来形管理項目の舗装厚さはコア・掘り起こしによるその理由なぜか。	現段階ではTSの誤差が±5mm程度あります。舗装厚の規格値がmm単位であるため適切な出来形管理が出来ないからです。また、アスファルトの密度管理も「コア・掘り起こし」により実施されています。

(3) TSを用いた出来形管理技術講習会の実施

TS出来形管理技術において、施工者から以下項目の問い合わせが多いことからTS出来形の現場で実際に対処しているノウハウの紹介及びデータ作成の応用に着目した講習会を行った。

- ・設計図面の断面方向と施工管理(丁張り)の方向が異なる場合の対応(図-7) 実習ではランプ部における横断面図の出来形計測(図-8)を実施する。
- ・法尻やラウンディング部などの対応

・複数線形部分での設計データ作成方法

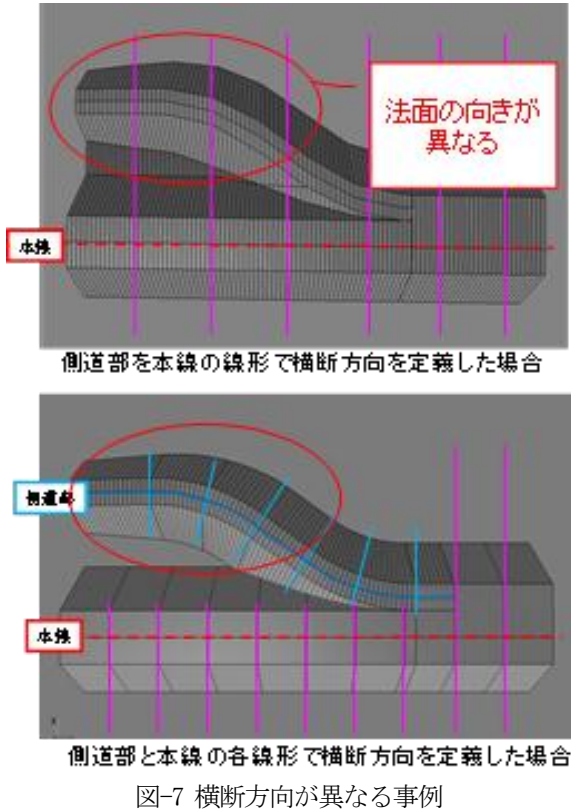


図-9 によるアンケート結果から、実現場のノウハウを取り入れた計測実習 においては参考になったと回答を得ている。

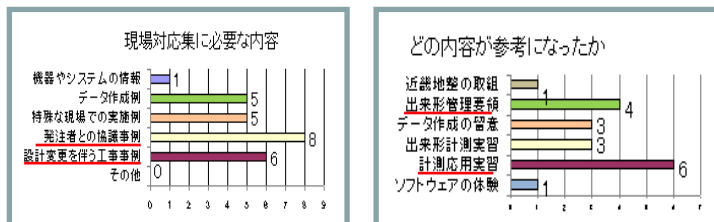


図-9 アンケート結果

4. まとめ

情報化施工の活用支援を実施してきたが、図-10 のとおり平成 23 年度での施工経験は 35%であったが、平成 25 年度においては約 50%に上昇してきている。

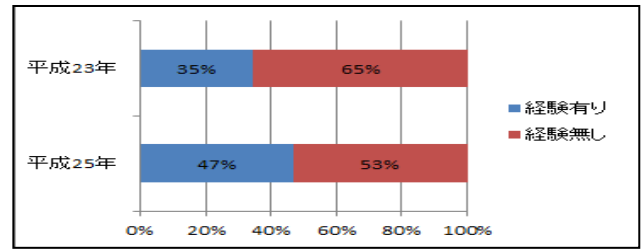


図-10 施工者の情報化施工の経験の有無

また、活用工事件数についても、図-11のとおりで、平成23年度に比べ平成25年度は約4倍程度になってきており、確実に普及している。

近畿技術事務所の取り組みも地道ではあるが普及の一端を担っていることができたと思われる。

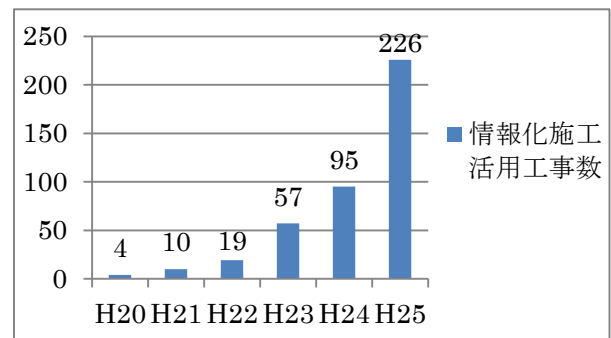


図-11 年度別情報化施工活用工事数

5. 今後の取組

TS出来形管理技術も含め、情報化施工技術が普及してきているが、その一方で「発注者との協議」や「設計変更に伴う内容」について不安を感じている意見も多い。

そのため、これからも「手引書」等のフォローアップや現場に即した講習会の開催、ヘルプデスク等を継続的に実施していく必要がある。

また、更なる取組としてTSの機能を生かした出来形管理の任意点での計測手法による検査の省力化等の検討も実施していきたい。

緊急油圧装置の開発

○笠原 諭¹・清永 勇治²

1. 独立行政法人水資源機構 関西支社 設備課（〒540-0005 大阪市中央区上町 A 番 12 号）
2. 前：独立行政法人水資源機構 関西支社 事業部 参事役（〒540-0005 大阪市中央区上町 A 番 12 号）

概要

油圧を駆動源とするゲート設備等に於いて、通常時はもちろん大規模災害時に電源喪失や機器故障等により電気機器が使用不可となった場合、ゲート等の操作が不能となり施設管理に重大な支障を及ぼすことが想定される。現状は、装置の二重化等は図られているが、電源喪失や機器故障時等には使用不能となることや各種バルブ操作が必要となるなど「パニック状態」に於いて万全なものとは言い難い。

そこで大規模災害時を想定した、更なる危機管理強化を図るべく、「小型軽量で簡単かつ確実に操作ができる非常用の油圧装置」を現場に設置することを念頭に、「緊急油圧装置」を開発したものである。

本稿は、これまでの開発経緯・設計・検討における考え方および今後の展開について報告するものである。

キーワード：危機管理、予備動力装置、油圧駆動

1. はじめに

ダムにおける機械設備の中でも、洪水調節や常時の利水放流のために設置されている「放流設備」の開閉装置は油圧駆動式であることが多く、ダムによっては主放流設備が 1 門の場合もあり、万一異常洪水時等にゲート設備が使用不可能になるような危機に対し、事前に対策を講じておく必要があることから、現状では設備の二重化等を実施しているが万全の対策とは言い難い。

また、東日本大震災以降、更なる危機管理対策が求められており、今後大規模災害等を想定した危機管理対策の強化が急務である。

ゲート設備の開閉装置はワイヤロープ式と油圧駆動式が主に使用されているが、ワイヤロープ式については市販の予備動力装置があることから、今回油圧駆動式の開閉装置を対象として、新たに「緊急油圧装置」を開発したものである。本装置の特徴は、小型・軽量で電源を必要とせず、操作が極めて簡単であり、構造がシンプルでコスト的にも安価な装置である。

2. 既存の危機管理対策

油圧駆動式のダム用ゲート設備において、特に確実な操作が必要な「主放流設備」における危機管理対策として、予備発電装置や予備動力装置が設置されている。しかし、油圧駆動装置のバックアップとして今後設置するにはいくつかの課題があることから、必ずしもベストであるとは言い難い。各装置の課題について表-1 に記載する。

表-1 既存の危機管理対策

危機管理対策	内 容	課 題
機側予備発電装置	設置できれば、通常どおりの電氣的操作が可能	既存設備に設置するには、スペースの問題や高価なことからコスト的な制約があり、設置できないケースがほとんどである。また、機器故障時や水没時には操作不能
手動装置	手動ポンプによりゲート等を操作	技術基準において、操作力100N・30rpmで操作可能時間10分程度とされており、開閉時間および操作者の体力に限界がある
予備装置	予備モータ&ポンプ	電源喪失時や水没時は使用不可能
予備エンジン	別置き予備エンジン&ポンプにより、既設油圧ユニットの油圧回路を使用してゲート等を操作	既設油圧ユニットを使用することから、ユニット内の各種バルブ操作が必要なため、熟練が必要であり、誰でも操作するのは困難。また、機器故障時には操作不能

3. 開発の経緯

本装置の開発にあたっては、阪神淡路および東日本大震災を目の当たりにし、大規模災害時に起こりえる電源喪失や機器故障、水没による操作不能がもたらす甚大な被害を再認識し、対策を事前に講じておく事の重要性を痛感した。こうした危機管理強化は急務な課題であり、既存設備と切り離した独立したシステムによる操作装置が必要であるため、油圧総合システムメーカーと共同で緊急油圧装置を開発することとした。

開発は 2012 年 7 月に着手し、2013 年 3 月には基本開発を完了し、2013 年 6 月に装置を完成するに至った。

4. 設計・検討

(1) 設計思想

開発にあたり、既存の危機管理対策の課題を克服するため、独自のシステムを構築することを前提とし、以下の基本思想を元に検討を行った。

- ① 操作が簡単で確実であること
- ② 小型軽量で可搬が可能なこと
- ③ 既存設備の改造が容易で少ないこと
- ④ 電源が不要なこと
- ⑤ 安価で汎用性があること

(2) 設計条件

ダム・堰施設技術基準（案）では予備動力装置の開閉速度は常時（0.3m/min）の1/2～1/3程度とされており、機構内の全てのダム主放流設備について、開閉速度・作動圧・油圧ポンプ能力の調査・比較を行い、本装置における設計条件の目安を表-2のとおり設定しエンジンと油圧ポンプの仕様を検討した。

表-2 設計条件の目安

設計圧力	6.9MPa	13.7MPa
設計流量	26.9L/min	18.5L/min
開閉速度	0.12m/min	0.12m/min

(3) 主要機器

a) エンジン&油圧ポンプ

エンジンは、長期保管後でも確実に始動可能なディーゼルエンジンを採用し、エンジン出力は、始動性・操作性を考慮に入れ5.5～7.5PS程度として検討した。また、エンジン以外は共通の機器とすることで、製作効率を向上させコスト低減を図った。

油圧ポンプは、構造がシンプルで信頼性・耐久性が高く、長期保管性に優れるギヤポンプを採用した。

エンジンおよび油圧ポンプの選定にあたっては、目安として定めた設計条件を基に各エンジンと共通のポンプでトルク・出力を比較し、可能な限り吐出流量が設計条件に見合うよう選定した。表-3に検討結果を示す。

表-3 エンジン&油圧ポンプの検討結果

	6.9MPa用		13.7MPa用	
	エンジン	油圧ポンプ	エンジン	油圧ポンプ
回転数	3600rpm	—	3600rpm	—
理論吐出量	—	6.16cc/rev	—	6.16cc/rev
トルク	1.16kg・m	0.74kg・m	1.68kg・m	1.46kg・m
出力	5.9PS	3.6PS	8.4PS	7.1PS
吐出流量 (設計流量)		21.7L/min		21.2L/min

b) 制御バルブ

油圧回路を構成するにあたり、各種制御バルブについては、軽量化・シンプル化を図るため必要最少限の機能のみとし、表-4に本装置に設ける基本機能を示す。

表-4 基本機能

機 能	内 容	使用機器名
圧力設定	設定値以上の圧力になると作動油をタンクへ戻し、回路内の圧力を一定にすると共に、異常圧に対する安全弁となる。なお、閉側はロッドの座屈を防止する。	リリーフ弁
開度保持	作動油の逆流を防止することで、中間開度で停止した場合に、開度を保持する。また、パイロット圧が設定値以上になると逆方向にも作動油を流し、シリンダの往復動作を可能にする。	パイロットチェック弁
自走防止	設定圧力以上になると作動油が流れ始め、作動圧力とつり合いながら作動油を流し、閉操作時における扉体自重による自走を防止する。	カウンタバランス弁

なお、設計圧力（6.9MPa、13.7MPa）は、リリーフ弁で設定しているが、設計圧力内であれば、任意に設定可能である。また、開閉速度（＝吐出流量）については、エンジンの回転数を調整することによりポンプ能力の範囲において変動させることが可能である。

c) 配管

配管は、作業性を考慮し高圧ゴムホースを採用した。操作に必要な作動油は、必要油量のタンクを本装置に設けることは装置が大型化するため、既設油圧ユニットの作動油を使用することで小型・軽量化を図り、作業性を考慮し吸込・戻り側ホースを既設油圧ユニットの給油口に挿入し使用することとした。駆動側ホースは、既設油圧ユニット外部もしくは油圧シリンダ部の配管へ接続する必要があるため、作業を安全かつ簡単にするため、「ワンタッチカプラ&接続ポート」により接続することとした。なお、事前に接続ポート（多機能弁等）は、既存設備に取り付けておく必要がある。また、駆動側ホースのA（開）・B（閉）ラインは、誤接続防止のため、ワンタッチカプラのオス・メスを逆にし、かつ異なる色で塗装することで接続ミスを無くすよう工夫した。

(4) 装置内圧力損失

本装置における各制御バルブと接続ホースの仕様を決定するにあたり、全構成機器の圧力損失を算出する必要があるが、計算には流量の多い6.9MPa用の21.7L/minを用いた。装置内圧力損失の総和は、「ゲート用開閉装置（油圧式）設計要領（案）」では2.5～3.0MPa以下とされているが、対象設備の負荷が不明確であることから2.0MPaを目標値として設計した結果、1.8MPaとなった。

設計圧力から本装置の圧力損失を差し引いた分を「有効作動圧力」として明示することで、本装置導入時点の圧力確認ができるようにした。全圧力損失イメージ図と有効作動圧力の計算結果を表-5および表-6に示す。

表-5 全圧力損失イメージ図

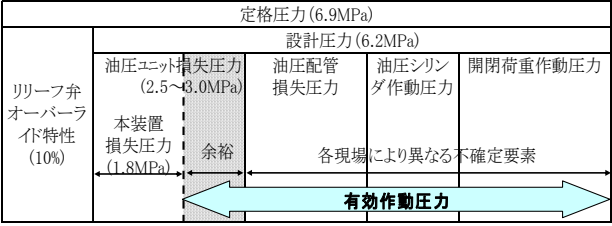


表-6 有効作動圧力

設計圧力	6.9MPa 用	13.7MPa 用
有効作動圧力	4.4MPa	10.5MPa

(5) その他の検討内容

a) 定置式&可搬式

ゲートが複数門ある場合など本装置 1 台で供用することを考慮してタイヤ付の可搬式とし、定置式の場合はタイヤを外すことで兼用可能とした。また、架台をアルミ製にすることで 6.9MPa 用と 13.7MPa 用共に約 100kg の重量としたが、大人 2 人で運搬可能で、ライトバンに積載できることから、迅速な対応が可能である。

b) 開閉操作

一般的には、ソレノイドバルブ（電磁式方向切換弁）という特殊な切換弁を使用するが、操作が煩雑で分かりにくいため、簡単で確実な「手動切換レバー式」を採用した。操作は停止状態の中立から、「開」・「閉」側に倒すことで操作可能で、安全を考慮して手を離すと中立に戻るスプリングリターン方式を採用した。

c) 照明

実際の操作時が夜間かつ電源喪失時となった場合を考慮してライト付とした。ライトは取外し可能で、5m の延長ケーブルを付属し、広範囲に使用できるようにした。

d) 付属品

本装置を使用する際の各現場条件を考慮し、必要な付属品も準備し、表-7 に示す。

表-7 付属装置一覧

付 属 品	備 考
給油口アタッチメント	給油口寸法がφ65 以下に使用
増設用燃料タンク (10L)	燃料増設用
排気管アタッチメント	排気ホース接続用

5. 検討結果

(1) 主要仕様

本装置の設計検討結果の主要仕様を表-8 に示す。

表-8 主要仕様

項 目	6.9MPa用	13.7MPa用	備 考
緊急油圧装置	寸 法	550(W)×650(L)×830(H)	550(W)×650(L)×830(H)
	重 量	90kg	105kg
エンジン	タイプ	空冷ディーゼルエンジン	空冷ディーゼルエンジン
	出 力	4.3kw(5.9ps)	6.2kw(8.4ps)
	燃料消費量	270g/kwh	275g/kwh
	タンク容量	3.3L	5.4L
ポンプ	タイプ	ギヤポンプ	ギヤポンプ
	吐出量	21.7L/min	21.2L/min
	有効作動圧力	4.4MPa	10.5MPa ※
ホース	吸込側	可搬型:2.5m、定置型:1.5m	
	戻り側	可搬型:2.5m、定置型:1.5m	
	駆動側(A)	可搬型:5.0m、定置型:1.5m	
	駆動側(B)	可搬型:5.0m、定置型:1.5m	

※一般的に使用されるゲート用油圧シリンダの面積比にて設計

(2) 操作方法

本装置の操作方法是以下のとおりシンプルなものとし、可能な限り現地での作業を軽減した。



ホース接続後、ストップ弁を全閉にした時点で、既設回路から独立し、独自の回路が構築される。本装置の使用イメージ図と回路構成図を図-1 および図-2 に示す。

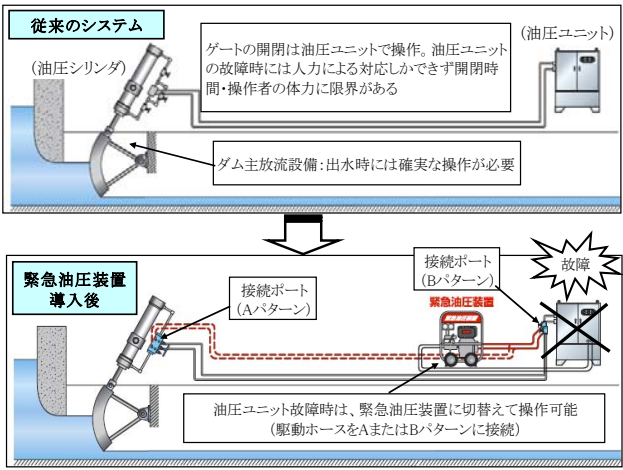


図-1 使用イメージ図

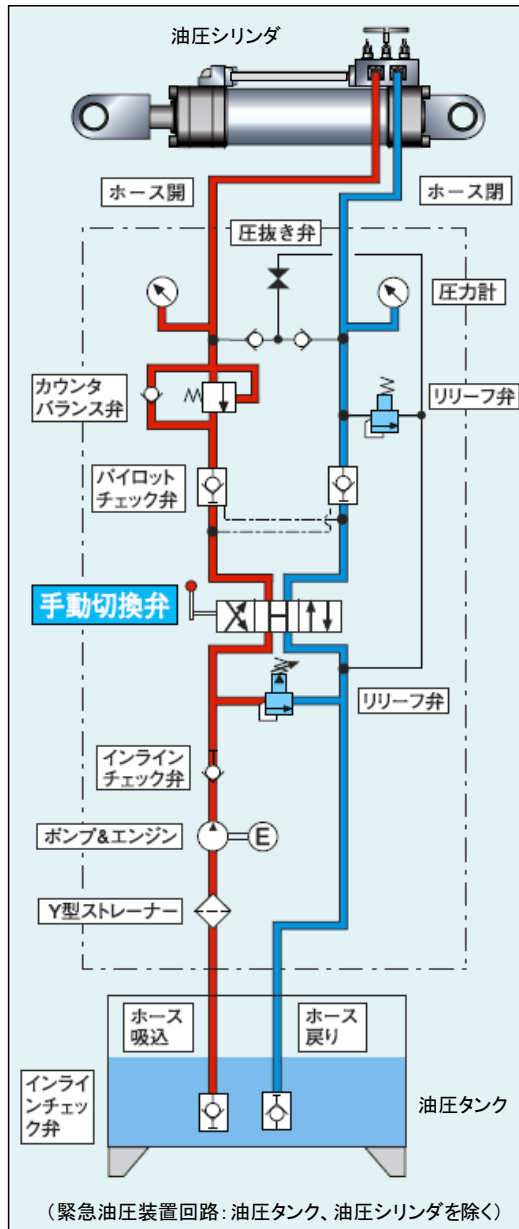


図-2 回路構成図

6. まとめ

本装置は、油圧装置に障害が生じた場合でも、既存の油圧回路から切り離すことで故障箇所等を回避し、最低限のシステムにより独自の油圧回路でゲート等を操作可能とする装置である。また、既設油圧ユニットのタンク内作動油を利用し、既設配管にホースを接続しエンジン駆動で油圧を送り、手動切換レバーにより簡単かつ確実にゲート等が操作可能で、様々な油圧駆動装置のバックアップとして、汎用性が高く幅広い範囲に使用可能である。

今回の開発は、油圧駆動装置のバックアップとして過去に例が無いものであるが、開発期間約1年という非常に短期間でスピード感を持って完了した。開発にあたっては、2013年3月に共同開発者と共に特許出願している。なお、開発後には実機による実証実験やデモンストレーションを行い性能・機能を確認すると共に、学識経験者等から「システムがシンプルで操作が簡単で良い」「プラス1で必要性の高いシステムである」と高い評価を得ている。

7. 今後の展開

本装置で開発したシステムは、機構内ではゲート設備が主な対象設備であるが、共同開発者工場にて保管していた試作機を他機関から購入の申し込みがあるなど極めてニーズが高く、広範囲にわたり危機管理上有効な装置であると考えられる。その他ゲート設備以外の例としては、災害対策機械として、構造物倒壊時等における可搬式油圧ジャッキや陸閘・防潮水門などへの応用、また本装置に遠隔操作機能を付加することで、操作者が近づけない場所等への応用も考えられ、より一層の危機管理対策が図れるものと期待できる。

最後に、地域住民の方々の生命・財産を守る為、既存・新規設備を問わず広く応用・設置され、危機管理上の必需品として配備されるよう祈念いたします。

微細気泡発生装置を用いた水路の嫌気化抑制

原田 加奈子

独立行政法人水資源機構 関西支社 中津川管理室 (〒554-0001 大阪府大阪市此花区高見1-10-46)

正連寺川利水事業では淀川の水（汽水）を高見機場で取水し、六軒家川水路及び正連寺川水路に分水して下流河川の浄化をおこなっている。

毎年、冬期には通水を停止するが、その間閉鎖水域となる六軒家川水路では汽水中の塩分による硫化水素が発生し、特に将来公園となる吐出樋門地点での悪臭や通水再開時の白濁水が問題となっている。

中津川管理室ではこの問題に対応するため、平成21年度から微細気泡発生装置による対策を実施してきた。今回、硫化水素を抑制出来ることを確認したのでその結果を述べる。

キーワード 嫌気化抑制，微細気泡，硫化水素，汽水

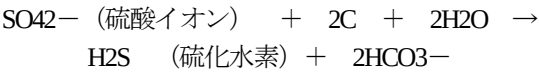
1. はじめに

正連寺川利水事業では淀川の水を高見機場で取水し、六軒家川水路及び正連寺川水路に分水して下流河川の浄化をおこなっている。取水地点が感潮域であるため汽水による発錆や生物付着が著しく、毎年冬季に高見機場からの分水を停止し施設の整備等を行っている。

その間六軒家川水路は閉鎖水域となることにより水中への酸素の供給がなくなる。一方、水中や堆積物中の有機物を分解する為に酸素が消費されるため、水路内部は酸素のない状態（嫌気状態）となる。

嫌気状態の下では硫酸還元菌による次の反応により、汽水中の硫酸イオンが硫化水素に変化する。

【硫酸還元】



発生した硫化水素は六軒家川水路両端の樋門立坑から周辺に拡がり悪臭問題となったり、分水再開時には白濁水の原因になったりする。特に六軒家川水路の下流端である吐出樋門部は民家が近接しており、住民から異臭に対する苦情が寄せられた経緯がある。更に周辺が大阪市により公園として整備される計画となっており、硫化水素の発生を抑えることが課題である。

表-1 六軒家川水路の緒元

構造	鉄筋コンクリート函渠（暗渠）
断面	高さ 3.1m×幅 2.3m×二連
延長	約 850m

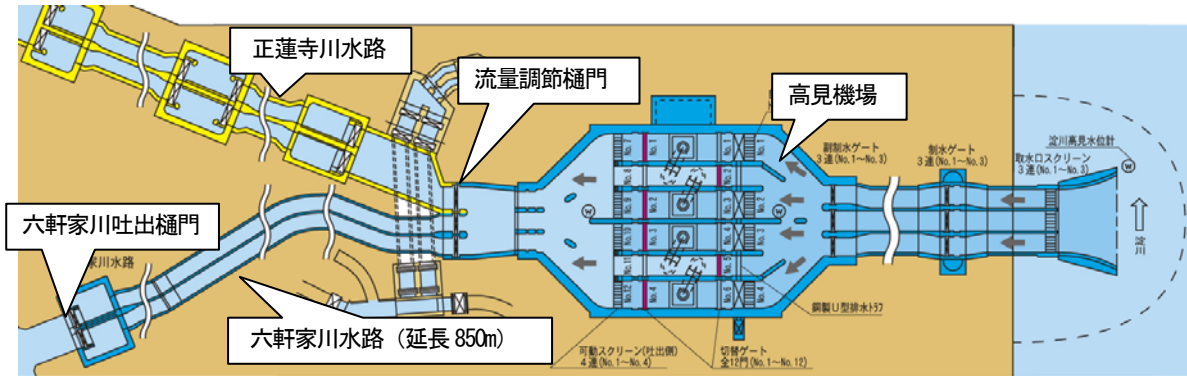


図-1 施設概要



写真-1 水路からの白濁水

写真-2 公園整備計画（枠内が公園となる）¹⁾

2. 硫化水素対策の検討

(1) 硫化水素抑制方法

嫌気化に伴って発生する硫化水素の一般的対策方法は、①酸素供給（空気・酸素の注入）、②水路内の清掃、③薬品添加（硫化物の固定化や殺菌など）がある。

六軒家川水路は延長約850mの途中に立坑が無く土砂の搬出や作業員の安全確保の観点から②は難しいと考えられ、河川維持用水として生物や環境への安全性にも配慮が必要なので③にも慎重になるべきである。よって、対策としては①の酸素供給が最も現実的と言える。

酸素の供給技術としては、周辺が公園として整備されることから、設備規模や騒音が比較的小さく効率的に水中に酸素を供給出来る微細気泡方式を検討した。気泡の発生方式は比較的低コストであり環境中の水質浄化への実績が多い旋回流ノズル型²⁾を採用した。

(2) 微細気泡の特性

微細気泡とは、一般的に気泡の直径が10～100 μm 程度の微細な気泡であり、以下のような特性を持ち医療、環境および水処理関係に実用化されてきている³⁾。

- 気泡同士の合体や吸収が起こらず、単一気体のまま水中に長時間留まり、気泡としての寿命が比較的に長い。
- 単位体積あたりの気泡表面積が大きい。
- 浮上速度が極めて遅い（一般的に2～3m/h）ため、水平方向への拡散性に優れている。

これらの特性により空気と水との接触効率が高められ、

効率的に水中に酸素を供給出来る。また、浮上速度が小さいことは気泡が長距離を移動拡散でき、底泥を巻き上げることもないという利点もあり、環境分野では主に小規模水域（ため池など）の水質改善に利用されている。

(3) 装置規模の設定

水路内で消費される以上に酸素を供給する、という発想から装置の規模を検討した。溶存酸素消費速度は財団法人ダム水源地環境整備センター「曝気・循環施設マニュアル」の算定式を参考に、六軒家川水路における2008年の最高COD値46mg/Lを用いて計算した。

その結果、必要給気量は210L/minとなり、ノズルの1本当たりの給気量は110L/min（32口径ノズルの実測ベース）であることから、必要ノズル数は2本とした。

表-2 微細気泡発生装置の諸元等

ノズル形式	旋回流ノズル型 水中ポンプ併用型 口径 32mm×2本/台
ポンプ規格	口径 100A 吐出量 1.6m ³ /min 以上 電源 7.5kw, 60Hz, 200V
吐出量 給気量	800L/min（参考） 200L/min（参考）
運転期間	概ね 12月～3月の冬期

装置は1水路あたり1台設置とし、設置箇所は対策の必要度と開口部の規模から吐出樋門側の立坑とした。

2009年度に装置規模の検討・導入をし、本格的には2010年度から運用した。稼働期間は分水を停止する概ね12月～3月の冬期である。また、貝類や藻類によるノズルの目詰まりを防ぐため、月に1回の清掃を実施している。

3. 結果（2010～2012年度、吐出樋門閉）

(1) 吐出樋門部における効果

2010～2012年度の吐出樋門立坑部での硫化水素の測定結果を図-2に示す。

微細気泡発生装置を設置した吐出樋門では、No.2水路において2011年度は12月、2012年度は1月に硫化水素が発生した。これは2011年度については装置を清掃するために水路から引上げたことによる一時的なものである。

平成24年度はコスト削減の可能性を探るため3.7kWに装置能力を落としたことによる（その後7.5kW装置を追加稼働することで硫化水素は減少した。）。

よって吐出樋門部では7.5kWの装置を用いることにより硫化水素が抑制出来ることを確認し、近隣や将来の公園への硫化水素対策という所期の目的は達成できた。但し、装置清掃時には水路内を攪乱しないよう注意が必要である。

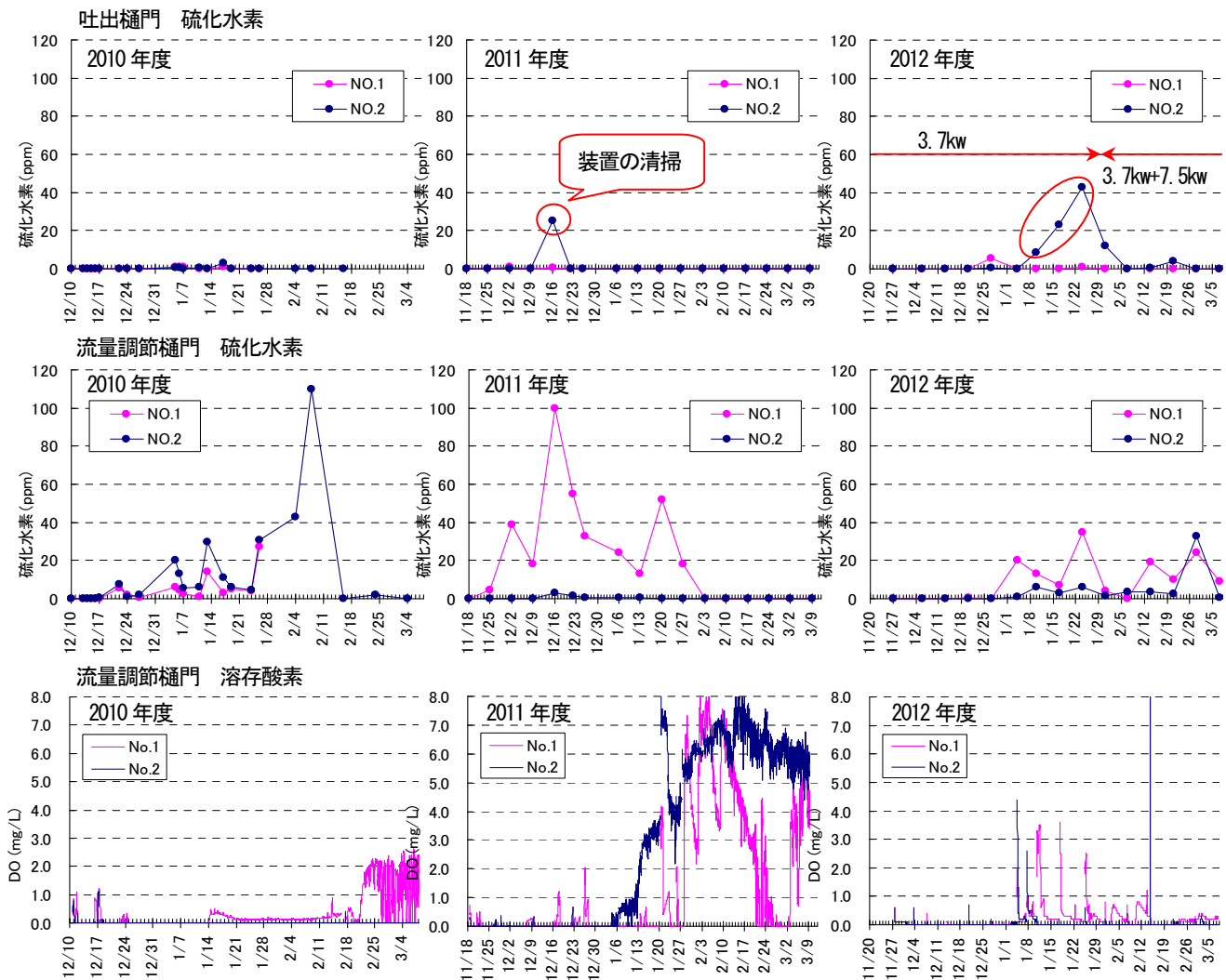


図-2 硫化水素及び溶存酸素測定結果

(2) 流量調節樋門部における効果

一方、微細気泡発生装置から約850m離れた流量調節樋門部では2011年度のNo.2水路以外の全てのケースで数十ppm以上の硫化水素が発生した（図-2：中段）。

硫化水素は概ね0.3ppmで大多数の人間の鼻で感知されることから、流量調節樋門部での硫化水素発生濃度はかなり高い。

流量調節樋門底層の溶存酸素（DO）測定結果（図-2：下段）をみると、例年分水停止後すぐに溶存酸素濃度が0となり、2011年度は両水路とも微細気泡発生装置稼働後2ヶ月程度で溶存酸素が回復しているが、それ以外の年では分水再開まで溶存酸素が回復せず嫌気的な状態が続いていた。

流量調節樋門部までは微細気泡による酸素供給が足りていない、あるいは効果が達するのに時間がかかっており、嫌気状態が続いた結果、硫酸還元反応が起こり硫化水素が発生したと考えられる。

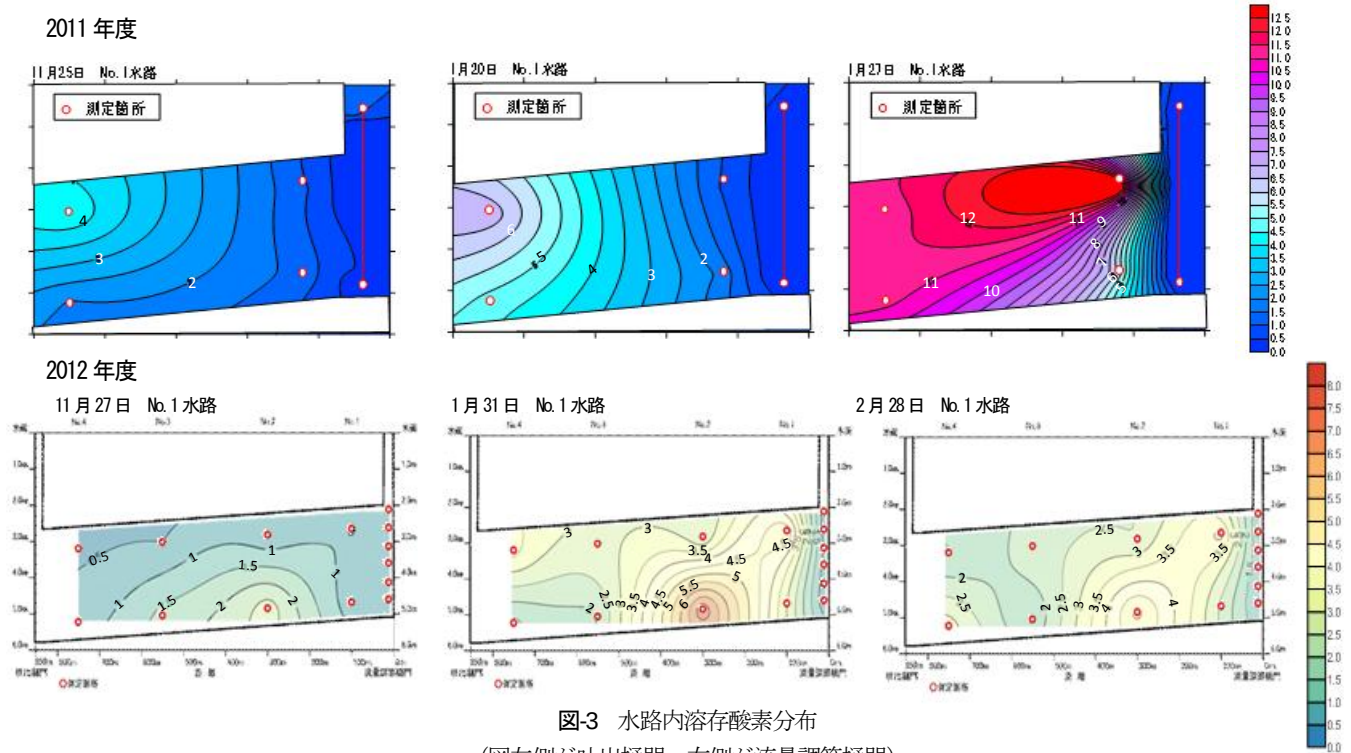
なお、同じ装置を用いたにも関わらず、年度及び水路によって水質改善結果が異なることについては、気温

（水温）や分水停止時の水路内水質、堆積物の量が関係していると想像される（2011年度は比較的水温が低く、水路内の堆積物量が少なかったため、酸素を消費しにくい環境だったと考えられる）

(3) 水路内部における効果

2011、2012年度には樋門立坑部に加えて水路内の溶存酸素を測定した。No.1水路の結果（縦断分布）を図-3に示す。2011年度は時間の経過とともに吐出樋門から流量調節樋門に向かって、徐々に溶存酸素の回復がみられた。2012年度も微細気泡発生装置により溶存酸素が改善されていた。しかし必ずしも装置に近い箇所で溶存酸素が高い値となった訳ではなく、流量調節樋門から約300mの地点で局所的に溶存酸素が高くなっていた。

このように水路内の嫌気化改善の様子は複雑と想像されるが、微細気泡発生装置の稼働が六軒家川水路閉塞に伴う嫌気化の改善に有効であるものと考えられる。



4. 結果 (2013年度, 吐出樋門開)

2010～2012年度は吐出樋門を全閉とした運用での結果であったが、2013年度は吐出樋門を開いた状態で微細気泡発生装置を稼働した。使用した装置や稼働期間は過年度と同じである。

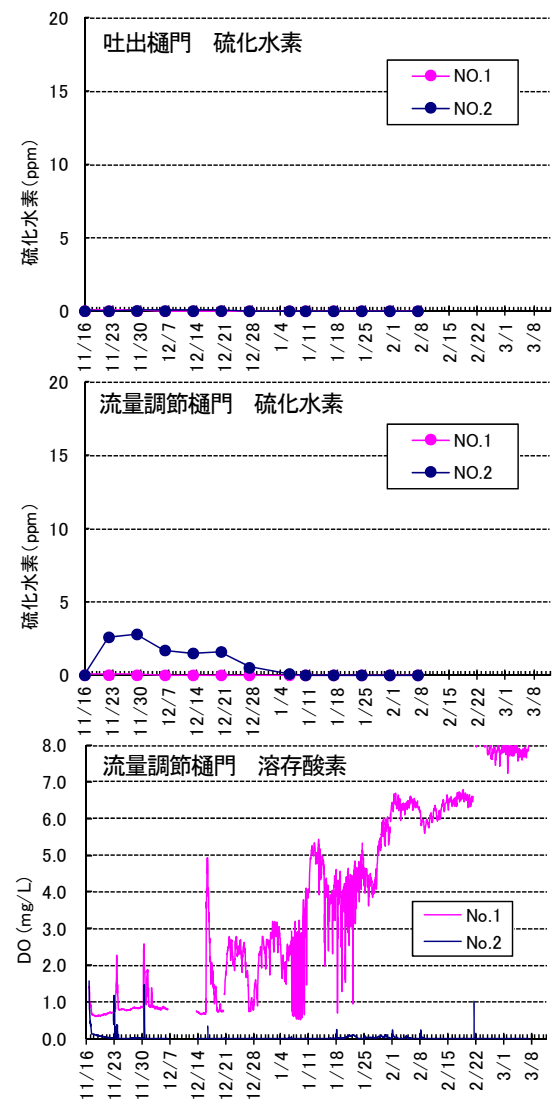
立坑部での硫化水素及び溶存酸素の測定結果を図-4に示す。

吐出樋門、流量調節樋門ともに硫化水素の値は低く、最大でも流量調節樋門 (No. 2) の2.8ppmであった。特に流量調節樋門では例年数十ppm以上の硫化水素が発生していたので、2013年度は硫化水素が抑制できていると言える。

流量調節樋門底層での溶存酸素については、No. 1水路で1月より順調に回復していた。No. 2水路では分水再開まで回復しなかったが、中層以浅では数mg/Lまで回復しているのを別途確認している。

吐出樋門を開いておくことで僅かではあるが水路に水の出入りが生じ、これが水路内の溶存酸素を回復するうえで有利に働き、結果、硫化水素の発生が抑制されたと考えられる。

水路の運用上可能であれば、吐出樋門を開いておくことが流量調節樋門部での硫化水素対策に有効であり、望ましい (今のところ一般への影響はないものの、流量調節樋門上空には高速道路淀川左岸線及び淀川南岸線が繋がる海老江JCTが建設中であり、将来的に悪臭対策はやはり重要と考えられる)。



5. まとめと今後の課題

以上をまとめると

- 六軒家川水路では、7.5kwの微細気泡発生装置を1水路あたり1台用いることで吐出樋門付近での硫化水素臭を抑制でき、近隣や将来の公園への硫化水素対策という所期の目的は達成できた。
- 吐出樋門を閉状態とした場合、微細気泡発生装置から約850m離れた流量調節樋門では完全に嫌気状態を改善することが出来ず、硫化水素が発生した。
- 水路内の溶存酸素は年によっては微細気泡発生装置から離れた地点で局所的に高くなるなど改善の様子は複雑と考えられるが、徐々に回復していた。
- 吐出樋門を開状態にすると、流量調節樋門部でも硫化水素は発生しなかった。水路の運用上支障がなければ

吐出樋門を開いておくことが望ましい。

今後は微細気泡発生装置の効果をより経済的に発揮しこの課題に対処できるよう、今ある装置（微細気泡発生装置以外の汎用的な装置も含む）の有効活用や水路の運用方法を検討することとしたい。

参考文献

- 1) 大阪市.2011.事業再評価調書（正連寺川公園）
- 2) (株)トータルビジョン研究所.2006.マイクロ・ナノバブル調査総覧
- 3) 岩松，二井.2009.閉鎖水域における微細気泡発生装置の試み（平成21年度(独)水資源機構技術研究発表会）