

# VTOL機を用いた長距離河川巡視実証実験

山田 英幸<sup>1</sup>・南竹 知己<sup>2</sup>・北森 誠<sup>3</sup>・房前 和朋<sup>4</sup>・TAC<sup>5</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 企画部 情報通信技術課 計画係長 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7)

<sup>2</sup>九州地方整備局 インフラDX推進室 課長補佐 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7)

<sup>3</sup>九州地方整備局 企画部 情報通信技術課 課長補佐 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7)

<sup>4</sup>九州地方整備局 インフラDX推進室 建設専門官 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7)

<sup>5</sup>TAC (九州地整・関東地整UAV講習団体登録教官チーム)

河川巡視において、UAVによる上空からの巡視・点検が有効であることは様々な実証で明らかとなっている。一方、現在用いられているマルチコプター型の電動UAVは、河川巡視のような「管理区間を長距離かつ連続」して飛行する用途で用いる場合、航続距離の短さや通信距離の限界により、複数回離着陸を繰り返す必要があるため、巡視に時間を要することが課題となる。今回、これらの課題を解決する手法として、連続して高速・長距離航行が可能かつ、垂直離着陸やホバリングが可能なVTOL機と管理用光ファイバを用いた通信支援設備(K-PASS)を用いて迅速かつ効率的に巡視する実証実験を実施したので報告する。

キーワード DX, UAV, VTOL, K-PASS, 河川巡視

## 1. 河川巡視・点検の現状と課題

現在の河川巡視・点検は、河川砂防技術基準（維持管理編）に基づき実施されており、内容や頻度が各河川に応じて設定され、河川パトロールカーやバイク、徒歩等によって実施されている。現在の河川巡視やダム放流巡視における課題について、九州地方整備局の河川系事務所職員約60名にアンケート調査をしたところ、図-1のような結果が得られた。

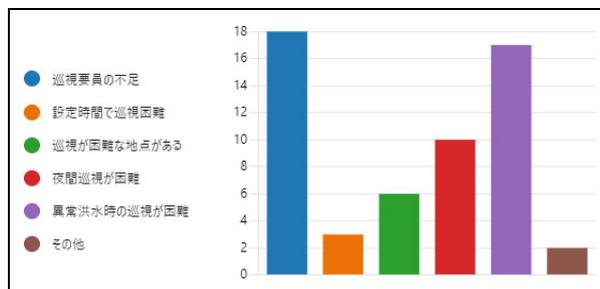


図-1 河川巡視・ダム放流巡視についての課題

最も多い意見は「巡視要員の不足（56%が選択）」であり、現状において人員の確保に不安を抱えていることが伺える。二番目は「異常洪水時の巡視が困難（53%が選択）」であり、「人員不足」に加えて洪水時

における「巡視の安全性」や「巡視の確実性」に懸念を抱いていることがヒアリング結果と併せて伺える。なお、これらの課題に対して求められる対策としては、以下のような回答が得られた。

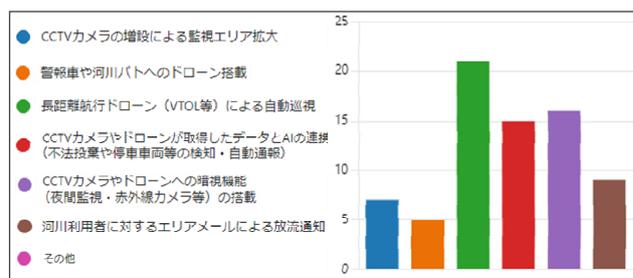


図-2 将来の河川巡視について、早急に実現してほしい内容

最も回答が多かった「長距離航行ドローンによる自動巡視」は66%の職員が選択している。ただし、同じドローンの利活用にあっても「警報車や河川パトへのドローン搭載」については最もニーズが低く、ドローンという同じツールであっても背反する回答となっている。この点について回答者にヒアリングをしたところ、人手不足や安全性への対応として自動巡視は有効だが、河川パトロールカーへのUAV搭載では、手間だけが上がる懸念があるとのことであった。なお、「長距離航行ドローンによる自動巡視」と「CCTVカメラやドローンが取得し

たデータと AI の連携」のクロス集計では、両方を選択した者が52%となり、単に巡視用のツールとしてではなく、人員不足や洪水時の巡視の安全性に対応するための自動化や効率化を求めていることが明らかとなった。

## 2. 長距離航行可能な UAV 「VTOL 機」

災害時の被災状況調査において、ドローン（以下「UAV」(Unmanned Aerial Vehicle: 無人航空機)と記述）は非常に有効な手段として広く用いられており、特に構造物点検や砂防巡視、河川巡視で地上からの視認が困難な場所などで UAV の活用が進みつつある。一方、活用されている多くの UAV は、操縦や映像伝送の通信手段にマイクロ波による一対一通信を用いているため、見通し範囲外における通信は困難であり、技術的にも法令上においても長距離の目視外飛行は困難とされてきた。また、多く用いられているマルチコプター型の UAV は、ホバリング等の低速飛行が容易であるため施設点検のような特定地点の詳細な調査には適している一方、バッテリー消費が大きいため長距離の飛行には不向きで、数 km を超えるような長距離飛行、例えば出張所の管理区間を無着陸で連続して巡視するような用途には使用することが出来なかった。しかし近年、長距離航行が可能な UAV として、従来のマルチコプター型の機体にエンジン駆動の発電機とバッテリーを搭載したハイブリッド型マルチコプターや、高速・長時間の飛行が可能な固定翼型の機体が開発されており、離島での配送用として既に実運用が開始されている。このように、従来の UAV の弱点を克服する新しい形態の UAV が登場しつつある。

今回、従来の河川巡視の課題を解決すべく、新型の UAV を用いて河川を連続して無着陸で上空から巡視・点検する実証実験を実施した。実験には「VTOL (Vertical Takeoff and Landing: 垂直離着陸) 機」と呼ばれる高速・長距離航行が可能な固定翼型と、垂直離着陸とホバリングが可能なマルチコプター型の両方の長所を兼ね備えた電動の機体を用いた(写真-1 e-VTOL 機)。

VTOL 機には V-22 オスプレイのようなティルトローター機などいくつかの形態があるが、本実証実験で選定した機体は、離陸時には4機の垂直プロペラを備えたマルチコプター機として垂直上昇し、障害物のない上空まで上昇した後、機体後方の推進用プロペラを始動して前進を開始し、大気速度が上がり主翼が十分な揚力を得て失速速度を上回ると垂直プロペラを停止、固定翼機として飛行する形態となっている。巡航時(時速70 km/h)は、専ら固定翼機として飛行し、揚力を主翼のみで得ることから、マルチコプター型に比較してバッテリーの電力消費が少ない。ホバリングに移行する場合や、着陸する場合はマルチコプターモードへ遷移するため、着

陸のための滑走路やキャッチネットが不要であるなど両方の機体の特徴を兼ね備えている。また、何らかのトラブルにより機体の失速速度を下回る恐れが生じた場合は、自動的にマルチコプターモードへ遷移し着陸する機能を有しており、安全性についても優れた機体となっている。

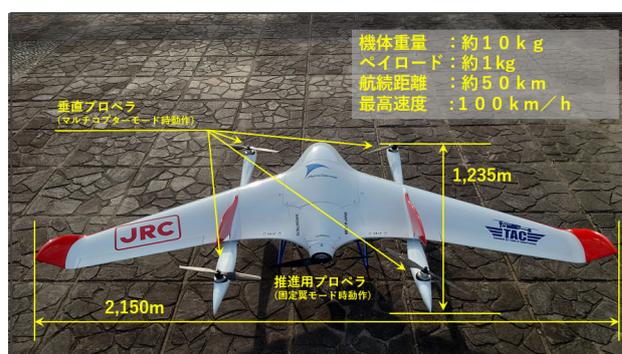


写真-1 試験に用いた e-VTOL 機 (エアロボウイング AS-VT01)

## 3. 施設管理用無線 LAN システム

UAV による長距離飛行を実施する上で、航空法上の課題となる事の一つが、「通信の確保」である。航空法の規程に定める「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領(カテゴリ II 飛行)」によると、「4-1 無人航空機の機能及び性能」の項目において、「4-1-1 (5) 抜粋: あらかじめ設定した飛行プログラムにかかわらず常時不具合等において・・・強制的に操作介入が出来る設計であること・・・」とあり、自律航行可能な機体であっても、遠隔操縦に切り替えられる事が必須であると解釈されることから、機体と操縦者の間において、無線通信は常時保たれている必要がある。見通し外の距離における機体との通信を確保する手段としては、携帯電話回線が多く用いられる(携帯電話は陸上移動局であるため、上空で使用する場合は特別に許可された SIM: 通信カードが必要)。ただし、携帯電話のサービスエリアは地上での利用を前提(陸上移動局に対する通信用)に構築されているため、上空での回線利用においてはサービスエリアが限定されたり、データ伝送の遅延が発生したりする場合があり、UAV の遠隔操縦やデータ伝送に制約が生じる事が知られている。河川巡視に利用する UAV の用途では、自動航行のみではなく、映像を見ながら遠隔での操縦を行う可能性があることから、サービスエリアの制約や通信の遅延の課題を解決する必要があった。今回の実験で、これらの課題を解決する手段として用いたのが通信支援設備(以下「K-PASS」(仮称)と記述)である。K-PASS (Kokudokotsusyo - Patrol Support System) は、直轄河川や直轄国道に敷設された施設管理用光ファイバ網を利用している CCTV カメラや観測所、情報板等に無線 LAN 基地局を設置し、巡視する区間に無線による自営通信網を構築するシステムである。

巡視する区間に設置された複数の基地局を自動的に切り替えながら通信する(=ハンドオーバー)ことで、河川や道路における巡視端末や将来の無人除草機械、巡視ロボットの監視制御、現場からのリアルタイム映像や点群データの伝送等に必要の通信について、管理区間内で連続的に利用することが可能であり、インフラ管理のDXを実現するデジタル基盤の一つであると見做すことが出来る。本システムは、既存の管理用光ファイバ回線と複数の基地局、それらを制御する無線LANコントローラから構成される(図-3)。写真-2はCCTVカメラポールへ設置された、K-PASS基地局とアンテナである。

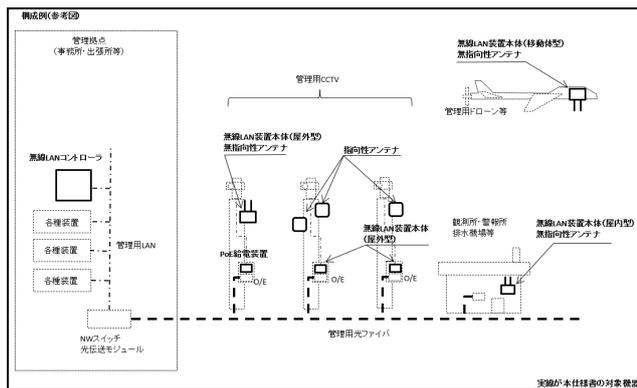


図-3 K-PASSシステム系統図(案)



写真-2 現地に設置された K-PASS 基地局とアンテナ

#### 4. 長距離河川巡視実証実験フィールドの選定

長距離航行可能なUAVを用いた河川巡視の実証実験を実施するフィールドは、九州地整 河川部 河川管理課と協議し、以下のような条件に基づいて選定した。

- ・機体の航続距離内(概ね50km)で実施可能であり、かつ、平均的な出張所管理区間延長をカバー出来ること(概ね20km程度)
- ・都市部(DID地区)の区間を避けること
- ・UAVによる河川巡視では、道路や鉄道の橋梁横断が避けられないことから、橋梁横断について法令上の手続きを含む、管理者との調整が実証できる区間であること。

- ・ダム放流警報巡視で活用することを考慮して、可能であればダム放流警報区間が含まれること
- ・管理用光ファイバが敷設され、K-PASS基地局が容易に設置できる管理施設が数キロメートルピッチで配置されていること
- ・固定翼モードでの旋回特性等を検証出来る狭隘な区間があること

これらの条件を検討した結果、複数の候補の中から、福岡県と大分県の県境を流れる山国川を選定し、耶馬溪ダム管理支所から山国川河川事務所の25km区間を実証実験フィールドとして設定した(図-4)。飛行のレベルとして、実際の長距離河川巡視では、目視外飛行でかつ補助者を配置せず、立入が規制された区域内を飛行する(河川の場合は水面上)「レベル3」飛行を実施する必要があるが、今回の公開実証実験では安全に配慮し、飛行する全区間に補助者を配置して水面上空のみを飛行させる「レベル2」(レベル3相当)で実施することとした。また、通信手段の比較を行うために、上流3/4区間を携帯電話回線、下流1/4区間をK-PASS網における通信区間とした。



図-4 山国川に設定された実証実験区間

#### 5. 山国川における実証実験

実証実験にあたっては、目視外の長距離飛行でかつ、橋梁を横断することや、初の自営通信網による制御であることから安全に最大限配慮する必要があり、以下の手順に従って、各段階で確認された課題を慎重にクリアしながら、徐々に飛行距離を伸ばし、25km全区間での公開実証実験に向けて準備を進めた。

- ① テストコースによる周回運用試験
- ② シミュレータによる現地を想定した事前検証
- ③ 現地上空での携帯電話エリア電界強度測定調査
- ④ 携帯電話回線区間での飛行テスト
- ⑤ K-PASS区間での飛行テスト
- ⑥ 携帯電話回線←→K-PASSの切り替えテスト
- ⑦ 全区間(25km)通しでの飛行テスト
- ⑧ 公開実証実験(令和5年3月16日(木))

シミュレータによる事前検証では、狭隘な溪谷での旋回において、斜面との離隔に安全上の懸念が持たれたことから対地高度を見直して(70m→100m)、より安全マージンを確保した。現地での携帯電話回線の電界強度測定調査では、予想されたとおり地上に比べて電界強度が低い状況が確認され、実際の飛行においても30秒程度、映像伝送が切断される地点や映像の遅延が大きい地点が確認された。写真-3に機体監視制御画面(GCS)を示す。



写真-3 機体監視制御(GCS)画面

なお、実験にあたっては、高速道路や国道の橋梁横断があるため、道路管理者および所轄警察署と協議し、橋梁通過時間について道路管理者及び河川事務所の工事受注者に対して事前通告する手段を整えた。

2月からスタートした実証実験は、徐々に距離を伸ばし、3月の初旬には25kmの試験区間を通しで飛行する試験を開始し、K-PASSのアンテナ方向調整やMCS(帯域幅)の設定、使用CHの調整等を入念に実施した。

令和5年3月16日(木)公開実験当日は、テレビ局3局、新聞社3社が取材中、10:30に耶馬溪ダムを離陸して実験が開始された(写真-4)。テレビ局の取材では、ヘリによる追尾撮影の依頼があり、安全離隔や追尾位置、飛行予定時間について入念な協議を実施した。当日、風速は微風、天候は曇りという飛行には支障が無い状況で離陸したが、経路上の補助者から雨が降り出したとの連絡があり、約8kmを過ぎたあたりから機体カメラの映像にも雨滴が付き始め、小雨の中を飛行する状況となった。当該機体は小雨程度であれば運用出来る仕様となっていることから大きな懸念はなかったが、長距離航行では従来のUAV運用と異なり、離着陸場所だけではなく、経路上の気象についても十分配慮する必要があることを痛感した。なお、経路上の気象情報については、ウェザーニュース(株)から提供されているUAV向けの気象サービスを状況把握の手段の一つとして利用した。本サービスは、対地高度150mまでのウインドプロファイルを7つの高度で1km毎に提供するサービスであり、UAVの運用には有効なサービスである。その他、飛行中に機体の不具合や天候急変などが発生し飛行を中止させた場合、従来のUAVで用いる単に直線で離陸場所へ

帰還するRTH(Return to home)では、山岳等への衝突や帰還途中でのバッテリー切れが懸念されたため、飛行位置毎に予め設定した最寄りの不時着地点に着陸(帰還)させる運用とした。実験区間が残り5.5kmとなり、K-PASS区間の目安となる東九州自動車道の橋梁通過後には自営通信網への切り替えに成功、10:50分過ぎには山国川河川事務所から機体が視認可能となり、減速して高度を下げながら平成大堰上空に到達、マルチコプターモードに切り替えて10:54頃に着陸し、実験は無事に成功した。飛行距離は25km、時間は約24分であった。



写真-4 離陸上昇中のVTOL機(耶馬溪ダム)

## 6. 実証実験において取得された成果

本実験の目的の一つであった自営通信網であるK-PASSを使用したUAVの遠隔操縦、映像伝送は成功し、携帯電話回線に比べて、通信の安定性や低遅延の特性について優位性が確認された。この成果に基づき、他の河川においても施設管理や巡視に利用出来る自営通信網の仕様として「施設管理用無線LANシステム(K-PASS)機器仕様書(案)」を作成した。VTOL機運用の実験結果としては、25km飛行後のバッテリー残量が約50%であり、設計どおり余裕を持って管理区間を運用出来ることが確認された。なお、事前の試験飛行では最大、風速7m/sまでの離発着試験を実施したほか、追い風及び向かい風時においても試験飛行を実施し、向かい風でバッテリー消費が多い条件であっても、十分な安全マージンを持って25kmを飛行可能であることが確認出来た。



図-5 VTOL機により取得した25km区間の三次元点群データ

今回の実証実験では、搭載センサーとしてリアルタイムの映像を撮影するFPVカメラに加えて、垂直写真用のデジタルカメラを搭載しており、撮影したデータを用いて飛行終了後、約40分で SfM (Structure from Motion: 写真測量) による三次元点群モデル(図-5)及びオルソモザイク画像を作成した。このような短時間でかつ自動航行で約25kmの三次元データが取得出来たことは、従来から整備局で運用しているマルチコプター型 UAV を用いる場合と比較して、作業時間のみの評価としても、約10倍の時間短縮・効率化(DX)となる(図-6)。

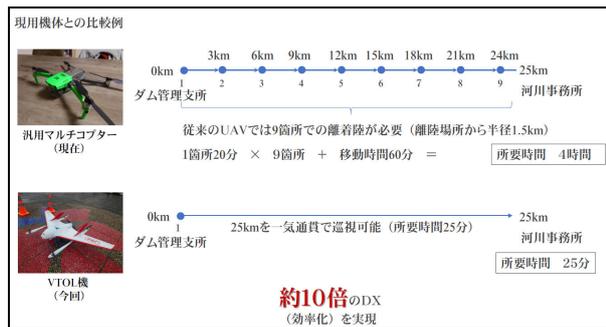


図-6 従来型 UAV と VTOL 機での 25km 巡視比較

## 7. 課題と今後の展望

実証実験の主目的の一つであった施設管理用の自営通信網である K-PASS は、管理用光ファイバやこれに接続された CCTV カメラ、観測所等、既存のインフラを利用して比較的容易に無線基地局を設置することが可能であり、国土交通省が管理する河川や道路空間において様々なDXを実現するためのデジタル基盤として活用出来る。ただし、既存設備の配置がサービスエリアを構築するのに必要な無線基地局の配置として必ずしも最適とは限らないため、場所によっては新たな無線基地局を設置する必要がある。その場合は管理用光ファイバへのクロージャ追加や配管配線、基地局用ポールの新規設置等が必要となる。今回のように UAV だけでなく、河川巡視端末 RiMADiS や内線通話用ソフトフォン等、屋外で汎用の Wi-Fi 機器も利用することを考慮すると、2.4GHz 帯 ISM バンドを利用することとなるが、電波の特性上、1つの基地局がカバーする範囲は見通し区間であつて基地局から距離が最大約2km程度となる。狭隘な山間部の現場等では、さらに短い間隔での基地局設置を要するが、汎用機器の利用を考慮せず、UAV の航行支援や無人重機の操縦などへ特化するのであれば、旧アナログTVのV-Hi帯域である169MHz帯の利用により、基地局数を減らすことが可能である。なお、都市部区間での都市雑音への対処や、省内ネットワークへの接続に対するセキュリティの確保などについては、さらなる追加検証が必要である。本実験のもう一つの目的である VTOL 機の実証につ

いては、想定通りの性能が確認され、K-PASS と組み合わせることで安定した長距離航行・巡視が可能であることが実証された。なお、現場への実装・実運用にあたっては、河川巡視に用いるセンサーとして以下のものを搭載する必要があり、現在検討を進めているところである。

- ・ジンバル搭載型ズームレンズカメラ  
(カメラチルト角及び、レンズズーム比の可変)
- ・放流警報巡視等、夜間飛行に必要なIRカメラ
- ・LED投光器の搭載
- ・河川利用者に対する情報提供用スピーカの搭載

一方、若干の課題として、実験に使用した VTOL 機の形態では、マルチコプターモードでの運用時に電力消費がやや大きいことが判明している。対策として、離陸時に消費するエネルギーを節約するため、マルチコプターモードでの垂直離陸・上昇は最小限の高度までに留め、早めに固定翼モードに切り替えてから巡航高度まで上昇させる運用や、機体の強度が許せば、物資輸送用(固定翼)UAV で実現しているカタパルトを用いた発進方法等も検討する余地がある。その他、運用上の課題として長距離航行に必要な区間全域の風況や降雨の有無を把握するための風速計の設置や CCTV カメラの映像活用、占地上空におけるイベント実施の状況(イベント上空の飛行は予め航空局の個別許可承認が必要)について河川利用者との情報共有が必要であり、他の UAV の飛行情報共有や運航調整を実施する UTMS (UAV Traffic Management System: 運航管理システム)の構築や運用、三次元管内図との連携が必要である。その他、操縦資格として河川上空の長距離航行では、レベル3運用に必要な二等若しくは一等無人航空機操縦士の養成あるいは、運航業務委託が必要であり、今年度さらに検討を進めることとしている。UAV で取得したデータは AI と連携させて異常箇所を自動的かつ効率的に検出することが出来れば、インフラ管理の効率化、高度化がさらに進むものと考えられる。

## 8. まとめ

今回の実証実験で新型 UAV を活用した河川巡視については法的・技術的な検証が概ね完了し、今後は巡視手段の一つとして活用出来るものと考えられる。また、今回検討した K-PASS や UTMS などの UAV 航行支援設備は将来、上空の民間利用が進む際に新たな社会インフラとして活用することも考えられる。UAV の機体そのものや通信方式、取得したデータの処理等は、AI やクラウドの利用などと併せて、技術の進歩が著しい分野であるため、引き続き、関連する分野で開発をアジャイルに進め、社会の役に立つDXを推進する所存である。最後に、本実証実験にご協力頂いた(社)建設電気技術協会、日本無線株式会社、エアロセンス株式会社の皆様に深謝いたします。

# 官庁営繕事業における設計段階での遠隔臨場,360°カメラの利活用について

河野 生歩<sup>1</sup>・白木原 史明<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 営繕部 整備課 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7)

近年の建設業では、少子高齢化等により人手不足、担い手の確保が喫緊の課題となっている。そのため国土交通省では、ICT技術を活用することで働く人の生産性向上、働き方改革を促進している。官庁営繕事業においても、施工段階では遠隔臨場を活用することによって工事受発注者の生産性向上、働き方改革に寄与している一方で、設計段階においては遠隔臨場等のICT技術を活用することによる設計業務受発注者の生産性向上、働き方改革に寄与する手法が確立化されていない。そこで本稿では、官庁営繕事業における設計段階の現地調査において、遠隔臨場及び様々な利点から市場に広く普及している360°カメラを活用することによる効果を紹介する。

キーワード 遠隔臨場, 360°カメラ, 生産性向上, 働き方改革

## 1. はじめに

国土交通省では近年、「i-Construction」,「インフラDX」に取り組んでいる。これは、ICT技術を活用することで働く人の生産性向上、働き方改革に寄与するものであり、その取り組みのひとつに遠隔臨場がある。遠隔臨場とは、動画撮影用のカメラ等により撮影した映像と音声をWeb会議システム等を通じて、遠隔地の状況把握、材料確認、立合いなどを行える近年の建設現場において、広く普及している取り組みである(図-1)。さらに国土交通省では、2022年6月に「官庁営繕事業の建設現場における遠隔臨場に関する実施要領」<sup>1)</sup>を策定した。同実施要領には、遠隔臨場を活用した監督職員の具体的な実施方法と留意点等が示されており、原則すべての官庁営繕工事で遠隔臨場を行うこととなっている。一方で、設計段階においては遠隔臨場等のICT技術を活用した生産性向上や働き方改革に寄与する手法が確立化されていない。そこで本研究では、設計担当職員が設計業務発注前に行う現地調査(以下、「発注前調査」という。)において、遠隔臨場を活用することによる生産性向上や働き方改革に関する効果を検証する。遠隔臨場とは、工事監理段階で使用されている言葉ではあるが、本研究では、リモートで行う発注前調査を設計版遠隔臨場として検証を行った。

また、遠隔臨場に併せて、360°カメラの活用も行った。360°カメラとは、1度の撮影で上下左右360°の撮影が可能なカメラであり、機材によっては動画機能も搭

載されている。さらに撮影した写真や動画は、スマートフォンやパソコンで直ぐに確認することが可能である。軽量で持ち運びの容易さに優れており、片手で撮影できる操作の簡易さや価格の安価さから市場に広く普及しているものである(図-2)。そこで本研究では、様々な利点から市場にて広く普及している360°カメラを発注前調査において活用することによる生産性向上、働き方改革に関する効果の検証も行った。

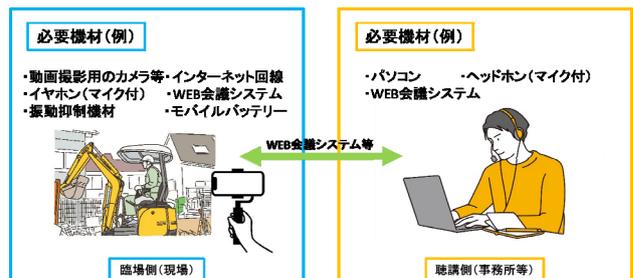


図-1 遠隔臨場イメージ図

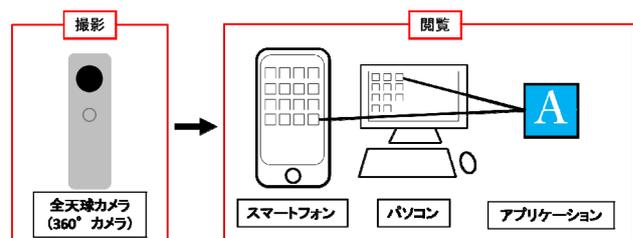


図-2 360°カメライメージ図

## 2. 遠隔臨場

### (1) 使用機器

遠隔臨場の際に使用した機材等を紹介する。機材等の選定においては、誰が使用しても容易に操作が行えるように、操作性を念頭に置いた。

#### a) 端末

上述を踏まえ、遠隔臨場の際に使用する端末は、モバイル端末の中で最も世に普及しているスマートフォンを選定した。スマートフォンは、普及が進んでいることから操作に慣れている人が多い。また、近年のスマートフォンには、防水・防塵機能が搭載されている機器も多く、屋外や粉塵等が舞う場所においても安心して使用ができる。さらに、安定した通信回線と視認性確保のために振動制御機器のジンバルを使用した(図-3)。ジンバルは、スマートフォンに取付ける形で使用するもので、常に水平方向を維持するように振動制御機能が働く。そのため、映像がブレず視認性をよくすることができる。また、揺れや傾きを大幅に軽減することができることから映像の変化量が少なくなり、データ量も抑えられる為、安定した通信に寄与するといった効果もある。

#### b) Web会議システム

遠隔臨場で使用するWeb会議システムを選定するために、代表的な3つのWeb会議ソフト(「Teams」、「Zoom」、「Webex」)について料金、参加可能人数、会議上限時間の3項目で比較検討を行った(表-1)。Web会議ソフトの選定は、発注前調査の調査時間が長時間になることから、できる限り長時間の会議が可能なソフトが好ましいため会議上限時間に重点を置いた。その結果、会議上限時間が最も長い「Teams」を採用した。そのほかにも「Teams」には、通話機能やチャット機能、会議中の画面共有機能など様々な機能がある。さらに国土交通省では、通常のWeb会議にも「Teams」を使用しているため、操作性が良い。

### (2) 検証方法

発注前調査において、遠隔臨場を活用した事例と遠隔臨場を活用しなかった従来の類似事例において遠隔臨場を活用することによる設計担当職員の生産性向上、働き方改革について効果を検証した。

#### a) 遠隔臨場を活用した事例

事例：都城住宅  
所在地：宮崎県都城市  
設計担当職員数：4名  
延べ面積：536.77m<sup>2</sup>  
距離：262km(福岡第2合同庁舎一現地)  
移動時間(往復)：約7時間  
調査時間：1時間30分  
工事概要：外壁、防水、天井、建具、床改修工事



図-3 ジンバル利用時イメージ

表-1 Web会議システムの比較

	料金	参加可能人数	会議上限時間
Teams	無料	300人	24時間
Zoom	無料	100人	40分※
Webex	無料	100人	50分

※ 3人以上接続時による。1対1では無制限。

表-2 遠隔臨場を活用することでの効果の検証比較

	都城住宅	都城合同庁舎
現地調査人数	1名	4名
1㎡当たりの調査時間	約10.0秒	約1.2秒
総移動時間	約7時間	約28時間

実施内容：遠隔臨場

#### b) 遠隔臨場を活用しなかった事例

事例：都城合同庁舎  
所在地：宮崎県都城市  
設計担当職員数：4名  
延べ面積：7397.96m<sup>2</sup>  
距離：263km(福岡第2合同庁舎一現地)  
移動時間(往復)：約7時間  
調査時間：2時間30分  
工事概要：外壁、建具、外構改修工事  
実施内容：担当者全員が現地へ移動

#### c) 比較

発注前調査の際に遠隔臨場を活用した都城住宅と設計担当職員全員が現地に行き調査を行った都城合同庁舎の2事例で、現地調査人数、調査に要した時間、総移動時間の項目で比較を行った(表-2)。

### (3) 検証結果

発注前調査の際に、遠隔臨場を活用した都城住宅と遠隔臨場を実施しなかった都城合同庁舎の比較により分かった結果と課題について報告する。活用することで分かった課題については、今後の対応策を考察した。

#### a) 結果

遠隔臨場を実施した都城住宅の現地調査では、設計担当職員は4名であったものの、遠隔臨場を実施したことにより、現地調査人数は1名でよく、3名の出張費及び移

動時間の削減につながった。調査時間については、事業規模が大きく異なるため、1㎡当たりの調査時間で比較を行った。比較の結果、遠隔臨場を実施した都城住宅の現地調査が遠隔臨場を実施しなかった都城合同庁舎と比較して、多くの時間を要していることが分かる。これは、1名の出張であることにより調査範囲の分担ができないためと考えられる。総移動時間については、遠隔臨場実施することにより4分の1となった。これは、本局からかなりの移動時間を要する宮崎県都城市までの移動時間を3名分削減することができたためである。官庁営繕では、県をまたぐ移動が多く、場所によっては移動にかなりの時間を要するため、移動時間の削減効果は大きく、遠隔臨場を実施することにより削減できた時間は、他の業務の時間に充てることができた。さらに、遠隔臨場を実施したことによる効果は他にも見受けられた。それは調査後に上司に行う報告が容易となったことである。遠隔臨場は、Web会議システムの録画機能を用いることで現地の状況を映像としてデータに残すことが可能となる。録画機能を利用し、映像をデータに残すことができたことにより、調査報告を映像を用いて行うことができるため、現地を見ていない上司でも現地の状況を把握しやすくなる。また、都城住宅の調査を実施したのは2021年度であったため、コロナ渦での調査となった。しかし、遠隔臨場を実施したことによって現地調査人数を1名に抑えることができ、感染拡大防止対策を行いつつ調査を行った。

#### b) 課題と対応策

発注前調査の際に遠隔臨場を実施した都城住宅では、現地に1名の設計担当職員が出向き、遠隔臨場を行ったが、1名での遠隔臨場で苦慮した点があった。それは、遠隔臨場時に撮影者は聴講者からのリクエストや質問等の対応をする必要があり、調査に集中できない場合があることである。さらに結果からわかるように遠隔臨場を実施することにより、実施しなかった際と比較し、調査時間が増えることも課題である。検証の結果、2つの課題が見受けられたが、これについては、少なくとも2名の職員を派遣することで対応ができると考える。2名以上の職員を現地に派遣することによって、調査範囲の分担が可能となる他、撮影者の負担軽減、周囲の安全確認による事故防止等につながるものと思われる。

### 3. 360° カメラ

#### (1) 使用機器

発注前調査の際に使用した360° カメラを紹介する。

##### a) 360° カメラ

使用した360° カメラは「THETA V」を選定した。このカメラは、スマートフォンと同等程度の重量であり、



図4 カメラ本体



図5 スマートフォンとの  
大きさ比較

表-3 360° カメラを活用する事での効果の検証比較

	大分合同庁舎	佐賀県警察機動隊
1㎡当たりの調査時間	約4.1秒	約6.8秒
1㎡当たりの撮影枚数	約0.03枚	約0.06枚
総データ容量	約289MB	約80MB

大きさはスマートフォンよりも小さく持ち運びが非常に容易である。撮影方法もワンタッチで撮影が可能で操作性にも優れている。さらに、動画撮影機能、音声記録機能も搭載しており、撮影した写真や動画は専用のアプリケーションをダウンロードすることで、撮影直後でも撮影した写真や映像を閲覧することができる。(図4、図5)

#### (2) 検証方法

発注前調査において、360° カメラを活用した事例と従来のデジタルカメラを利用し調査を行った類似事例において360° カメラを活用することによる設計担当職員の生産性向上、働き方改革について効果を検証した。

##### a) 360° カメラを活用した事例

事例：大分合同庁舎  
所在地：大分県大分市  
設計担当職員数：8名  
延べ面積：4387.45㎡  
調査時間：5時間  
撮影枚数：124枚  
業務内容：既存施設とりこわし、庁舎新営  
実施内容：360° カメラ

##### b) 360° カメラを使用しなかった事例

事例：佐賀県警察機動隊  
所在地：佐賀県佐賀市  
設計担当職員：8名  
延べ面積：2120.45㎡  
調査時間：4時間  
撮影枚数：117枚  
業務内容：既存庁舎とりこわし、庁舎新営  
実施内容：デジタルカメラ

##### c) 比較

発注前調査の際に、360° カメラを活用した大分合同庁舎と従来のデジタルカメラを利用した佐賀県警察機動

隊の2事例で、調査時間、撮影枚数、総データ容量の項目で比較を行った（表-3）。比較する2つの事例の調査では、両事例共に既存庁舎とりこわし、庁舎新営の業務内容であったことから、既存施設の状況確認、機能性を主に調査した。

### (3) 検証結果

発注前調査の際に、360°カメラを活用した大分合同庁舎と、従来のデジタルカメラを利用した佐賀県警察機動隊において、比較を行ったことにより分かった結果と課題について報告する。検証によって確認できた課題については、今後の対応策を考察した。

#### a) 結果

発注前調査の際に360°カメラを活用した大分合同庁舎と従来のデジタルカメラを利用した佐賀県警察機動隊において、調査時間については、事業規模の違いから1㎡当たりの調査時間で比較を行った。その結果、大分合同庁舎の調査時間は、1㎡当たり約4.1秒であったのに対し、佐賀県警察機動隊では1㎡当たり約6.8秒であった。また、撮影枚数についても、1㎡当たりの撮影枚数で比較を行った。その結果、「大分合同庁舎」で撮影した写真枚数は「佐賀県警察機動隊」で撮影した写真枚数のおよそ半分には抑えられる結果となった。これは、360°カメラを活用したことで、360°の写真が1枚の写真として撮影できたため、写真枚数の削減につながったものと考えられる。また、写真枚数の削減によって、調査後の写真整理の時間も削減でき、1㎡当たりの調査時間の結果とも関連してくる。これは前述した、1部屋を1回の撮影で済ませられる360°カメラの特性によるものと思われる。

#### b) 課題と対応策

360°カメラは、1度の撮影で360°の撮影が可能であることから便利な点が多いが、一方で、注意しなければいけないことがある。それは、機密性の保持である。例えば、事務室内の撮影をする際、機密性のある書類が机の上に置いてある際に写りこんでしまうことがある。これらについては、撮影前の入居者への確認や写真の加工、デジタルカメラとの併用により対応ができると考える。360°カメラで写真や動画を撮影する前に入居者に対して、撮影の可否を確認することによって、機密文書の移動等による対応が可能になる。さらに、撮影した写真や動画に機密性のあるものが映ってしまった際にも、加工アプリ等による画像や映像の編集により、モザイクや切り抜き等によって対応が可能となる。そして、360°カメラの使用が難しい箇所の撮影については、デジタルカメラと使い分けることも可能である。また、比較結果からも分かる様にデータ容量についても課題を感じた。これは、大容量のサーバーに保存するなど保存先の工夫や画素数を変更によって対応できると思われる。

## 4. 遠隔臨場と360°カメラの併用

これまで、発注前調査の際に遠隔臨場及び360°カメラを活用したことによる結果と課題について論じてきた。それにより、分かった効果と課題を踏まえ、遠隔臨場と360°カメラの併用の事例についてさらなる効果の検証を行った。また、地下階での遠隔臨場は過去に事例がなかったため、良好な通信環境を確保するための方法についても検討した。

### (1) 事例紹介

事例：国立長崎原爆死没者追悼平和祈念館（以下、「平和祈念館」という。）

所在地：長崎県長崎市

業務内容：空気調和設備改修

建物規模：地上1階、地下2階建て

実施内容：遠隔臨場、360°カメラ

調査目的：事業の予算要求、設計業務発注方針の検討

### (2) 検証内容

平和祈念館の事例では、通信環境対策及び遠隔臨場の共有について検証を行った。

#### a) 通信環境対策

平和祈念館は、地上1階、地下2階建てであることから遠隔臨場時の通信環境に問題がでることが懸念された。そのため、次の2つの対策を講じた。1つ目は、遠隔臨場と360°カメラを併用すること。2つ目は、Wi-Fiの設置場所の工夫である。

#### b) 遠隔臨場の共有

平和祈念館の発注前調査では、設計担当職員以外にも遠隔臨場の共有を行った。

### (3) 検証結果

平和祈念館の現地調査で検証を行ったことにより分かった結果について報告する。

#### a) 通信環境対策

平和祈念館での遠隔臨場は、懸念していた通り、地下階では通信環境が良くなかった。そのため、Wi-Fiの設置位置を工夫することで通信環境の改善を試みた。通常遠隔臨場では、ポケットWi-Fiを携帯しながら調査を行っているため、Wi-Fiが電波を受信できなければ通信が途切れてしまう。そのため、今回の調査では、ポケットWi-Fiを地上や吹き抜けなどの比較的電波の受信がしやすい箇所に配置し、通信環境の改善を図った。その結果、ポケットWi-Fiを携帯しながら遠隔臨場を行った際と比較し、遠隔臨場の可能な範囲が広がった。しかし、電気室や機械室などの遮蔽物が多い設備室では、Wi-Fiの設置位置の工夫だけでは通信環境の改善ができず、画面が静止した（図-6）。そのため、電気室や機械室などの設備室では、遠隔臨場と360°カメラの併用を行い、

通信状況が悪化した箇所については、360°カメラで写真と動画を撮影した。それによって、360°カメラで撮影した写真や動画を用いて、後日、遠隔臨場で確認できなかった箇所を確認することが可能となった。360°カメラは、通信環境に左右されず、どこでも撮影することが可能であり、360°カメラの特性が生きた結果となった。遠隔臨場での共有が難しかったが、360°カメラにて写真、動画撮影を行い、後に共有を図ったため、全体像の把握、ダクト等の納まり確認等を行うことができた。

#### b) 遠隔臨場の共有

平和祈念館では、設計担当職員以外にも遠隔臨場を共有した(図-7)。共有したことにより設計担当職員以外にも改修内容や建物概要を把握することができたため、現地調査後の報告や設計審査会に際し行う設計担当者以外の図面審査の負担軽減や多くの人の目による気づきの効果があった。そのほかにも従来の現地調査では複数人での調査が難しかったピット内を多くの人で確認することができた。ピットは、設備配管配線ルートの点検等を目的として用いられているため、狭く、複数人での調査は難しいが、遠隔臨場を行うことで、多くの人で確認が可能となった。さらに、職員の経験値蓄積等の効果も見受けられた。遠隔臨場の共有によって、新規採用職員などの経験の浅い職員の参加が可能となり、調査の進め方や一緒に確認をしている職員の着眼点を知ることができるなど様々な効果が見受けられた。

#### (4) 良好な通信環境確保のための対策

平和祈念館では、地下階での遠隔臨場であったため、通信環境の悪化により、映像の切断が生じた。今回の調査の際には、通信環境悪化による映像の切断について、Wi-Fiの設置位置や360°カメラとの併用を行うことで対応したが、Wi-Fiの周波数の変更によっても対応できると考えた。Wi-Fiの周波数には、2.4GHzと5GHzの2種類があり、それぞれの特徴を表にまとめた(表-4)。平和祈念館では、2.4GHzの周波数で電波を受信していたが、表-4に記載のあるように2.4GHzの周波数は、電波干渉が起りやすいことから、通信機器同士の電波干渉が起きたため、通信環境の悪化を招いた可能性が考えられる。そのため、状況に合わせて周波数の切り替えを行うことで、安定した通信環境を確保できるのではないかと考えた。

## 5. まとめ

### (1) 遠隔臨場、360°カメラのその他の効果

本稿ではこれまで、発注前調査において遠隔臨場、360°カメラを活用し、その成果と課題について紹介したが、今後も活用を続けていく中で期待できる効果を以下にまとめる。

#### a) 職員の勉強

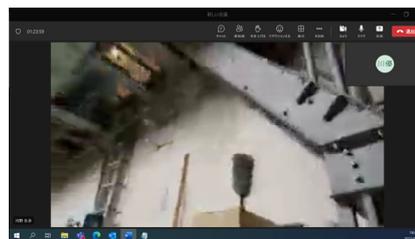


図-6 機械室遠隔臨場中の画面の様子



図-7 聴講している職員の様子

表-4 各周波数の特徴

	メリット	デメリット
2.4GHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遮蔽物に強い</li> <li>・電波の受信が広範囲</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電波干渉しやすい</li> </ul>
5GHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電波干渉が起きづらい</li> <li>・2.4GHzに比べ通信速度が速い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遮蔽物に弱い</li> <li>・電波の受信範囲が狭い</li> <li>・機器によっては搭載していない</li> </ul>

従来は、新規採用職員などの経験の浅い職員は、指導職員と一緒に現地へ調査に行っていたが、遠隔臨場を活用することによって、経験の浅い職員のみでの調査も可能になると考える。指導職員は、職場から指導を行えるため、移動時間の削減となりその時間を他の業務に活用できる。現地に出向いた職員も従来の指導職員と一緒に現地に赴く調査と変わりなく指導や助言をしてもらえることで、安心して調査を行えると考えられる。さらに、遠隔臨場を活用することで学びの場を設けることができると考える。遠隔臨場を通じて、担当職員以外の職員に共有を行うことで、経験の浅い職員の勉強のみならず、長年の経験により設計の進め方や手法が確立化されているベテラン職員の参加により、助言等による懸念事項の早期解決やベテラン職員にとっても新たな発見等による様々な事象への対応の柔軟性向上の効果が期待できる。

#### b) 撮り忘れの防止

官庁営繕事業では、発注前調査後に入居官署の新たな要望等により追加調査が必要になることもある。このような場合、これまでは再度調査に行くか入居官署の方へ追加要望に必要な写真や情報の共有を依頼する必要があったが、調査の際に各室1枚程度360°カメラで撮影しておくことで不測の事態が起きた際にも対応ができるのではないかと考えた。それにより、情報の提供や再調査を行う手間が省略できるため、入居官署及び設計担当職員の双方の負担軽減の効果が期待できる。

### c) 設計業務受発注者とのやりとりでの活用

本稿ではこれまで発注前調査時の遠隔臨場、360°カメラの活用について紹介したが、設計業務発注後の設計業務受注者（以下、「受注者」という。）とのやりとりでも活用ができないかと考えた。従来の設計業務では、設計業務発注後に受注者と共に設計担当職員が同席し、設計業務受注者による現地調査（以下、「受注者調査」という。）を行っている。調査日数は行政確認や詳細調査により複数日にわたることもあり、複数日にわたる場合は2日目以降の調査は出張費削減や担当職員の負担軽減の観点より受注者のみで調査を行なうことがある。その場合は、後に受注者より状況の報告を受けている。そのため、2日目以降の受注者調査を遠隔臨場とすることを考えた。職場にいながら映像で現地を確認できるため、状況把握が行いやすい他、問題点の認識、解決策の協議を円滑に行える。さらに受注者も報告の手間が省けるため、業務効率化に寄与すると考える。さらに、発注前調査の際に設計担当職員が撮影した360°カメラの映像や画像を受注者へ共有することで、現地に行く前に現地のイメージがしやすくなるほか、打合せ資料にも活用できると考える。また、360°カメラで撮影した写真のデータ形式は、画像ファイルの代表格とも言える「JPG」ファイルであるため、誰でもデータを閲覧できる点も優れている。

## 6. おわりに

検証の結果、現地調査において、遠隔臨場、360°カメラを活用することによって、業務効率化、コスト削減、ワークライフバランス、柔軟な働き方の実現及び生産性向上の効果が見られ、それらは設計業務担当者の生産性向上、働き方改革へ寄与することが確認できた。

一方で、遠隔臨場時の通信環境の問題や設計業務発注後の活用等課題はあり、引き続き検証を行う必要があることも確認できた。今後さらに、遠隔臨場、360°カメラを様々な視点から活用し、よりよい活用方法の検討を重ねていく。

### 参考文献

- 1) 国土交通省 大臣官房官庁営繕部整備課 建築技術調整室：官庁営繕事業の建設現場における遠隔臨場に関する実施要領
- 2) 総務省：令和4年 情報通信に関する現状報告の概要

# 空港周辺の制限表面下における海上工事の コスト縮減方策について

谷口 広陽<sup>1</sup>・栗林 葉一<sup>2</sup>・石田 道昭<sup>3</sup>・中村 泰貴<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所 保全課  
(〒800-0306 福岡県北九州市小倉南区空港北町6)

<sup>3</sup>九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所 第二工務課  
(〒801-0841 福岡県北九州市門司区西海岸1-4-40)

空港には航空機の離発着に際し、その安全を確保するために突出する物件を禁止する制限表面を設定している。北九州空港沖合に、2017年度より関門航路等の浚渫土砂を投入するための処分場を整備中だが、作業船が制限表面を突出するため、作業時間の確保が課題であった。

空港の制限区域内の工事では、航空機運航に影響のない作業時間を確保するため、2012年度にICAOの定める内側転移表面を適用するよう指針が改正となった。制限区域外の土砂処分場の海上工事での内側転移表面の適用にあたり、作業の安全性の確保や航空機運用の安全性の担保を確認しながら実施したところ工期短縮やコスト縮減が図られたため、一連の取組を報告する。

キーワード : 直轄土砂処分場、北九州空港、制限表面、内側転移表面、地盤改良工事

## 1. はじめに

### (1) 関門地区における浚渫土砂の処分

関門地区は、国の開発保全航路である関門航路をはじめ、北九州港、下関港及び苅田港といった港湾があり、港湾整備も活発に進められている。この地域は瀬戸内海の西側に位置し、内湾性の遠浅海域であるため、港湾整備に伴い膨大な浚渫土砂が発生する。戦後は、臨海工業用地造成のための埋立用材として活用されてきたが、オイルショックなどを契機に大規模開発が見直された結果、浚渫土砂の処分先が課題になった。

このため、第四港湾建設局（当時）は、苅田沖3.5kmの海上に関門航路・北九州港・苅田港の港湾整備で発生する浚渫土砂の処分場（苅田沖土砂処分場）を計画した。1977年に苅田沖土砂処分場（面積153ha）の護岸整備に着手し、20年間で約2,900万 $\text{m}^3$ の浚渫土砂を受け入れた。

その後、関門航路の水深14m化に対応するため、港湾整備事業と空港整備事業の連携事業として、新門司沖土砂処分場（面積220ha）を計画した。新門司沖土砂処分場は、1994年に護岸整備に着手し、1工区と2工区が空港用地として整備された。3工区は、空港が供用した2006年3月以降も、関門航路の浚渫土砂を受け入れている。2022年度末までの間の新門司沖土砂処分場（1～3工区）の浚渫土砂の受入量は、約3,300万 $\text{m}^3$ に達し、受入容量は限界になりつつある。（図-1）



図-1 新門司沖土砂処分場と北九州空港の変遷



指針では、「なお、移動式クレーンのように自走により容易に移動することができる高さの高い大型機械を使用する工事については、着陸帯工事における内側転移表面を確保し、空港の設置管理者が安全上支障がないと認めた場合は、運航制限をしないで実施することができる」と規定されている。(図-5)

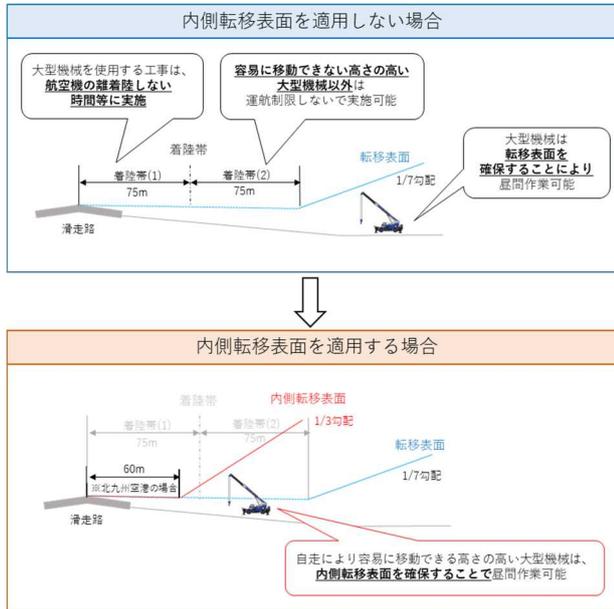


図-5 空港整備工事における内側転移表面の適用

北九州空港の東側護岸と新門司沖土砂処分場(Ⅱ期)との取付部の昼間作業の高さ制限は、転移表面の規制の場合は、最高水面から8.8mとなるのに対し、内側転移表面を適用した場合は、44.9mが確保できることとなる。

### 3. 内側転移表面の適用時の安全の確保

#### (1) 海上工事における内側転移表面の適用の条件

制限区域内工事の運用の見直しを踏まえ、2012年9月に土砂処分場の護岸整備の地盤改良工事を行う作業船に対し、内側転移表面の適用が可能か大阪航空局と調整を行った。次の理由により、内側転移表面の適用にはならないとの結論になったため、現地での工事実施時までには制限表面に抵触しない方法を検討することになった。

- ① 空港関連工事以外の工事であること
- ② 制限区域外(空港外)の工事であること
- ③ 自走により容易に移動できない可能性があること
- ④ 計器飛行方式での運航時は、海側に進入復行を設定していることから、安全が確保されない可能性があること

#### (2) 空港護岸に対する高波・高潮対策の必要性

2018年9月の台風21号に伴う関西国際空港での冠水被害を踏まえた「防災・減災、国土強靱化のための3ヶ年

緊急対策」により、航空局は最新の海象データによる空港護岸施設の検証を2019年度に実施した。航空局の検証をもとに、九州地方整備局でも波浪推算手法に基づき検証を行った。いずれの検証結果でも、北九州空港は、護岸の天端高さが不足することが判明した。

北九州空港の東側では、新門司沖土砂処分場(Ⅱ期)の護岸整備を実施中だが、将来的に土砂処分場の護岸ができるのであれば、空港整備事業での既存護岸の改良延長は大幅に減らすことが可能となる。(図-6)

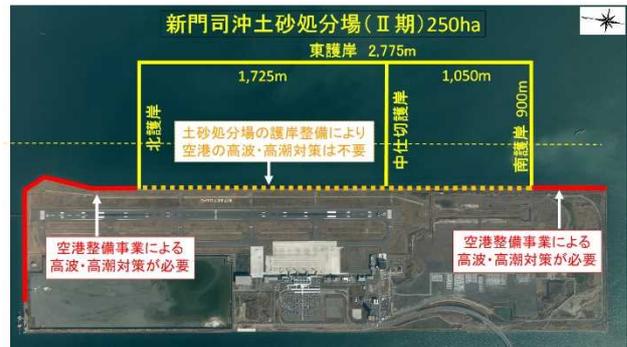


図-6 空港整備事業による高波・高潮対策の改良範囲

港湾事業で整備予定の護岸が空港の高波・高潮対策に資すること、新門司沖土砂処分場(Ⅱ期)の公有水面埋立願書の土地利用は、空港用地となっていることを説明した結果、2020年8月以降、内側転移表面の適用の可能性について、大阪航空局と再調整することになった。

#### (3) 空港運用への影響の検討

海上工事において使用する作業船のうち、転移表面に一番影響する高さのある船舶は、サンドコンパクション船(以下、「SCP船」という。)である。自走による移動には、SCP船を対象に転移表面の区域外までの退避時間を検討した。その結果、移動準備で5分、300mの移動で24分と30分程度での待避が可能ながわかった。施工中に運用制限対象区間外への作業船の移動を必要とする事態が発生した際は、全作業員が速やかに動ける状態で待機し、現地北九州空港事務所の指示に従うこととした。

また、作業船の制限表面高さの管理は、作業船クレーン類の先端に航空障害灯及び昼間障害標識(赤旗)の設置を工事受注者に義務化するとともに、現地北九州空港事務所が運用する情報共有サイトにより、日々の作業概要(位置、高さ、時間帯)をエアラインなど関係者へ周知することとなった。

航空機の運航への影響については、空港管理者が安全上支障がないか確認したところ、進入復行方式の一部影響があるものの必要な措置(決心高の変更)をとることによって安全が担保されることがわかった。

これらの対策を行うことを前提として、2022年10月1日から2026年6月30日の工事实施の際は、内側転移表面を適用することとなり、SCP船の物件到達高(最高水面からの高さ)となる44.3mを確保することができた。

#### 4. 内側転移表面を適用した海上工事

##### (1) 2022年度の地盤改良工事の概要

空港の東側護岸と新門司沖土処分場（Ⅱ期）の取付部は、設計時の検討により原地盤の地耐力不足によって連れ込み沈下を起こし、護岸が崩壊するおそれがあることが判明したため、サンドコンパクションパイル（以下、「SCP」という。）による地盤改良を要した。（図-7）

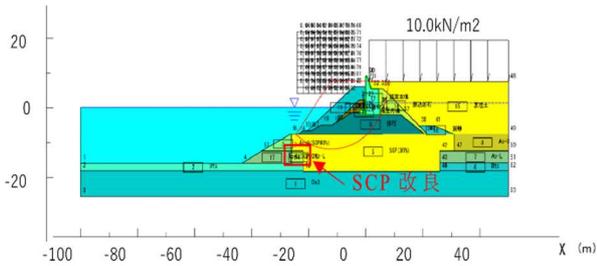


図-7 空港東側護岸の円弧すべり結果およびSCP改良範囲

2022年度の工事は、既設護岸の被覆石を起重機船で撤去した後、SCP船により、南護岸374本、中仕切護岸414本の地盤改良を行うこととなった。

南護岸の取付部は、進入表面下にあるため、夜間作業となるが、中仕切護岸の取付部は、内側転移表面の適用が認められたことにより、昼間に工事を行うことが可能となった。（図-8）



図-8 地盤改良工事（SCP）の施行箇所

##### (2) SCP船の高さ調整

本工事で使用するSCP船は、既存檣高さが57.1mであり、水平表面を上回る高さであったため、内側転移表面下となるように約1ヶ月を要して、44.3m以下に高さ調整を行った。（図-9）



図-9 SCP船の高さ調整前後

##### (3) 南護岸取付部のSCP改良

南護岸は、工事用船舶の高さが進入表面に支障するため、航空機運航に支障のない夜間施工を行った。（図-10）

打設前の既設護岸の撤去工においては、ブイ設置等の潜水作業を昼間に実施し、起重機船のオレンジバケットによる撤去を夜間に行った。撤去物は被覆石が1t/個、被覆ブロックが2t/個と比較的小さかったため、潜水作業による玉掛は不要だった。

SCP船による地盤改良の施工期間は、2023年2月中旬から2023年3月中旬までの約1ヶ月間となり、うち緊急離発着による作業中止が3日間生じた。打設本数は、日当たり平均で20.8本であった。（図-11）

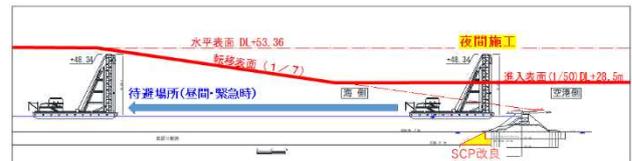


図-10 南護岸取付部における制限表面



図-11 SCP船による南護岸の地盤改良（夜間施工）

##### (4) 中仕切護岸取付部のSCP改良

中仕切護岸は、SCP船の高さ調整により、内側転移表面を突出しないようにしたため、航空機の運航時間帯である昼間施工が可能となった。（図-12）

既設護岸の撤去工では、9t程度/個の消波ブロックが存在したが、昼間施工であったため、通常どおりの潜水士による玉掛作業で対応することができた。

SCP船による地盤改良の施工期間は、2023年3月中旬～2023年3月下旬の約0.5ヶ月間となり、緊急離発着等の影響はなかったものの、荒天による影響で、打設本数は、日当たり平均で46.0本となった。（図-13）



図-12 中仕切護岸における制限表面



図-13 中仕切護岸取付部の施工

#### (5) 内側転移表面の適用にあたっての安全対策の実施

SCP船は、南護岸取付部の施工が夜間となり、中仕切護岸取付部の施工が昼間となるため、航空障害灯（OM-3A型）と赤旗（0.6m×0.6m）の両方を設置した。

航空機の緊急離発着機への対応は、運航情報官から発信される緊急連絡体系も設定し、元請業者・下請業者にも徹底させ、全員が速やかに動ける状態を構築した。

また、中仕切護岸の昼間施工では、場内からの施工管理を行うため、元請業者は、安全講習等を受講した。

#### (6) コスト縮減の効果

24時間空港である北九州空港では、夜間工事の作業可能時間帯は、0時45分から5時までの4時間15分となる。

高さ調整を行わない場合、SCP船の退避場所（水平表面の外）への曳航速度（1.48km/h）、準備や着錨等を勘案した実作業可能時間は以下のとおり。（図-14）

- ・南護岸取付部（距離1.2km）：実作業時間（97分）
- ・中仕切護岸取付部（距離2.4km）：実作業時間（-1分）



図-14 SCP船の待避距離

当初は、2022年度に南護岸取付部の地盤改良（夜間工事）を実施し、2023年度に高さ調整を行った上で中仕切護岸の地盤改良（夜間工事）を行う予定だった。2022年7月に内側転移表面の適用が可能になったことが明らかになったため、2022年度工事でSCP船の高さ調整を行い、南護岸取付部の地盤改良（夜間工事）と中仕切護岸取付部の地盤改良（昼間作業）の両方を施工することとした。

SCP船の高さ調整に伴い、南護岸取付部の地盤改良工事の待避場所は、転移表面の外となるため、実作業時間は以下のとおり。

- ・南護岸取付部（距離0.2km）：実作業時間（163分）
- ・中仕切護岸取付部（-）：実作業時間（昼間10時間）

2023年度に予定していた中仕切護岸の地盤改良工事（414本）が2022年度工事で実施できたこと、2022年度にSCP船の高さ調整を行ったことにより、南護岸取付部の地盤改良（374本）の実作業時間が1.7倍となったことから、効果の早期発現とコスト縮減が可能となった。

施工日数は、南護岸と中仕切り護岸で102日（2ヶ年）を想定していたが、46日（1ヶ年）に短縮できた。

## 5. おわりに

本稿では、空港近傍の海上工事（地盤改良工事）に対し、内側転移表面を適用することにより、工期短縮とコスト縮減に繋がった事例について紹介した。

今回、港湾工事に内側転移表面の適用は、港湾工事では初めての試みでもあり、大阪航空局と九州地方整備局の間で度重なる協議を行ったことにより、実現できた。

また、大阪航空局において、適用における課題等の解決に向けた検討や関係各署との調整を行っていただき、夜間から昼間へ作業が可能となったことで、作業の安全性の確保が可能となり、航空機運用への安全の担保を確認しながら実施したことで、コスト縮減にもつながった。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省航空ネットワーク部空港技術課：制限区域内工事実施指針
- 2) 大阪航空局 北九州空港事務所：北九州空港周辺海域航行停泊船舶へのお知らせ

# 調査観測兼清掃船「海輝」の建造について

岩永 康平<sup>1</sup>・蔵谷 満<sup>1</sup>・松本 崇司<sup>1</sup>・草野 昂希<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 施工技術課（〒750-0025 山口県下関市竹崎町4-6-1）

2003年10月に建造された調査観測兼清掃船「海輝」は、海洋に漂流するゴミ回収及び海洋環境調査の実施、更にこれまで数々の災害で発生した大量漂流ゴミの回収や給水支援などの活動を行ってきた。しかし、稼働から20年が経過していることで船体及び装備機器等の老朽化が進み、今後の維持管理に問題を抱えていることから、2021年9月から2023年3月にかけて代替船の建造を行った。

本稿では、新「海輝」の建造における過程と災害対応における機能強化について報告する。

キーワード 調査観測兼清掃船, 建造, ゴミ回収, 災害対応, 給水支援

## 1. はじめに

閉鎖性海域である有明海・八代海（図-1）を豊かな海として再生するために「有明海及び八代海を再生するための特別措置に関する法律」が2002年11月に公布及び施行され、調査観測兼清掃船である「海輝」は、これまで漂流ゴミの回収及び海洋環境のモニタリングを実施してきた。また、近年の災害対応として、平成29年7月九州北部豪雨（2017年）での大水害や令和2年7月豪雨（2020年）での球磨川氾濫など、大雨災害によって河川から流出する大量の流木回収等の災害支援活動に広域的かつ長時間の活動を行ってきた。こうした中、「海輝」は約20年の稼働を経て、船体及び装備機器等が老朽化し維持管理が困難となったことから、代替建造が計画された。



図-1 有明海・八代海 及び「海輝」基地港

本稿では、調査観測兼清掃船「海輝」の代替船である新「海輝」（写真-1）の建造過程と、ゴミ回収及び災害対策における機能強化について報告するものである。

## 2. 諸元

本船の基本諸元を表-1に示す。旧「海輝」からの主な変更点として、ゴミ回収コンテナの増量や清水タンク、燃料タンクの増量、そして新たに災害対策用である支援物資コンテナ、浅海域用リブポートを搭載しており、それに伴って全長を2.5m長くした。

調査観測用の装備機器については、旧「海輝」で搭載した同型の最新型モデルが採用されている。



写真-1 調査観測兼清掃船 新「海輝」

### 3. 建造工程

#### (1) 詳細設計

本船の建造工程を 図-2 に示す。建造においては、当局で船の基本仕様を決定し発注、造船会社にて詳細設計を行い、当局の承認・承諾行為を踏まえ工事に着手していく。詳細設計の過程では、最も重要な設計要素となる推進性能（計画速力を24.0ノット以上に設定）を確認するため、船の主要寸法と船体形状を表す線図により、縮尺1/14.4の模型を製作し水槽試験（写真-2）を行っている。水槽試験では、模型を曳航して速力と全抵抗を計測・解析し、所要出力と速力との関係性から推定馬力を算出する。水槽試験の結果、今回搭載予定である主機関の定格出力（1,440kw×2基）で25.0ノットと推定されたことから、計画速力をクリアできると判断した。

表-1 新「海輝」 基本諸元

	新「海輝」	旧「海輝」
船質・船型	アルミ・双胴	アルミ・双胴
全長×幅×深さ	29.5×9.0×3.3	27.0×9.0×2.8
総トン数	128トン	99トン
速力	24.06ノット	27.64ノット
主機関	1,440kw×2基	1,203kw×2基
清水タンク	11.86m <sup>3</sup>	3.00m <sup>3</sup>
燃料タンク	21.42m <sup>3</sup>	9.60m <sup>3</sup>
ゴミ回収装置		
スキッパー	容量：3m <sup>3</sup>	容量：3m <sup>3</sup>
回収コンテナ	30m <sup>3</sup> （7.5m <sup>3</sup> ×4個）	15m <sup>3</sup> （7.5m <sup>3</sup> ×2個）
多関節クレーン	0.99t吊×10.2m	0.99t吊×10.5m
調査観測装置	採水器、採泥器 高性能音響測深機 自動水質測定器 潮流観測装置	採水器、採泥器 高性能音響測深機 自動水質測定器 潮流観測装置
災害対策関連		
搭載艇	脹張式（全長4.5×幅2m）	-
支援物資用コンテナ	折り畳み式（約1m <sup>3</sup> ×12個）	-



図-2 建造工程フロー図

#### (2) 船殻工事・艦装工事（工場）

船体は 図-3 のとおりブロックに分けて製作している。各ブロックは、プレス加工によって各部材や湾曲部材を加工、溶接し組み立てていく（写真-3）。製作された各ブロックは工場内の船台に移され、更に溶接で繋ぎ合わされ船体が完成する（写真-4）。この工法を「ブロック工法」といい、ブロックの組立を足場の良い状態で行えるため作業能率の向上及び安全な施工を図ることができる。船体が組み上がると主機関を搭載し、芯出しを行いながら推進装置の取り付けを行う。次にゴミ回収装置や補機関をはじめとする主要機器、船底に取り付ける調査観測装置のセンサー等、進水後に施工できない機器類を取り付け、最後に外板の塗装を行っている。



写真-2 模型（上）及び水槽試験状況（下）

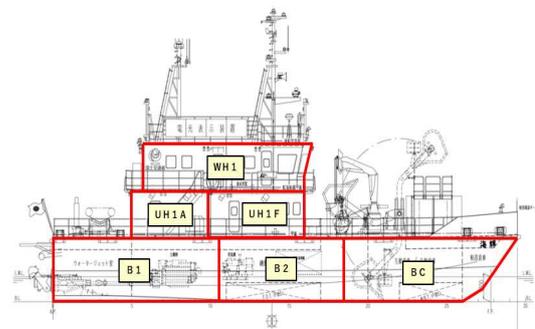


図-3 船体ブロック図

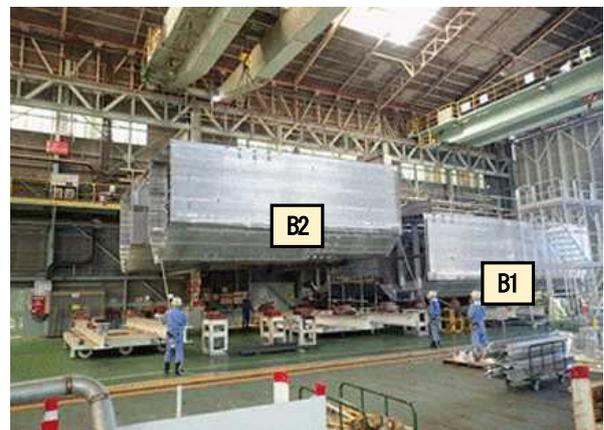


写真-3 ブロック組立状況（B2・B1）

### (3) 進水

塗装が終わると工場から岸壁へ引き出し、大型クレーンにて吊り下げ、船を進水させ艀装岸壁に係留する。写真-5 は進水式における進水状況である。

### (4) 艀装工事（艀装岸壁）

艀装岸壁では、航海計器や各機器操作盤、救命筏等法定備品の積み込みから燃料・清水管の配管、電線敷設、内装工事と、仕上げに向け急ピッチで多くの工種が同時進行していく。発電機の起動後は各機器の制御信号の確認から作動確認まで行い、自航への準備を進めていく。

### (5) 海上公試・搭載装置試験

船体完成後は、運輸局検査官による立会いのもと、傾斜試験、重量・重心査定試験を行い、船としての臨時航行検査証の発給を受け、その後、所定の搭載状態（満載状態、試運転状態）にて最終検査である海上公試を行う。また、運輸局による法定検査完了後は、搭載している調査観測装置及びゴミ回収装置の個別試験を海域にて実施し、作動及び能力の確認を行っている。



写真4 ブロック全体組立状況



写真5 進水式 進水状況

## 4. 災害対応における機能強化

### (1) ゴミ回収装置の配置変更及びコンテナ増量

旧「海輝」におけるゴミ回収装置は船尾側（操舵室の後方）に設置していたが、新「海輝」のゴミ回収装置では作業効率を考えた結果、船首側（操舵室の前方）に配置変更を行った（図-4）。これにより操船者が漂流ゴミを双胴間へ誘導しながら、スキッパーへの流入状況を目視にて確認できる。さらに、ゴミがスキッパーに溜まりコンテナに回収するまでの一連の作業の流れを操舵室から確認できることで作業の安全性も確保でき、効率よく漂流ゴミの回収が可能となる。

また、大量の漂流ゴミに対応するため、コンテナを7.5m<sup>3</sup>×2個（15m<sup>3</sup>）から4個（30m<sup>3</sup>）へ増量し、作業効率の向上を図った。（写真-6）。

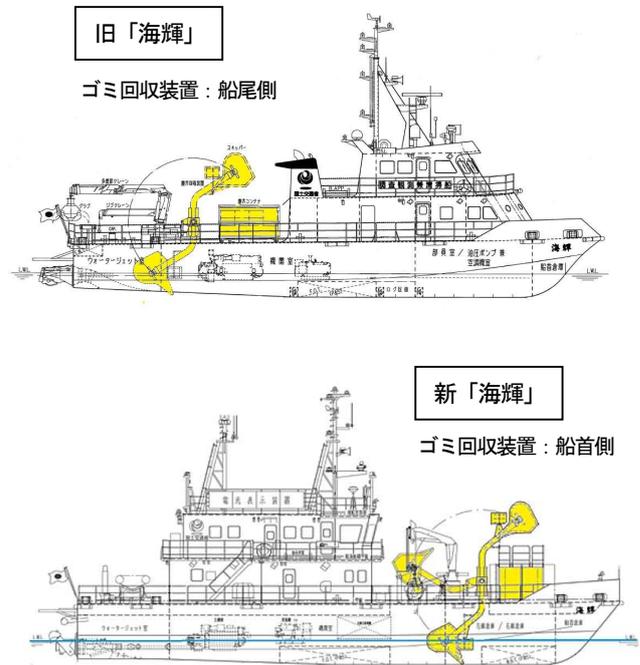


図4 ゴミ回収装置の配置



旧「海輝」  
(コンテナ:7.5m<sup>3</sup>×2個)

新「海輝」  
(コンテナ:7.5m<sup>3</sup>×4個)

写真6 ゴミ回収装置の比較

## (2) リブボートの搭載

有明海、八代海を中心に「海輝」と同じく漂流ゴミの回収や海洋環境のモニタリングを実施している調査観測兼清掃船「海煌」は、小型船の浮遊ゴミ回収装置「むつごろう」（全長 5.5m×幅 2m、アルミニウム合金製）を搭載し、浅海域にも対応している。新「海輝」でもリブボート「とびはぜ」（膨張式、全長 4.5m×幅 2m）（写真-7）を新たに搭載し、浅海域での浮遊ゴミに対応することとした。



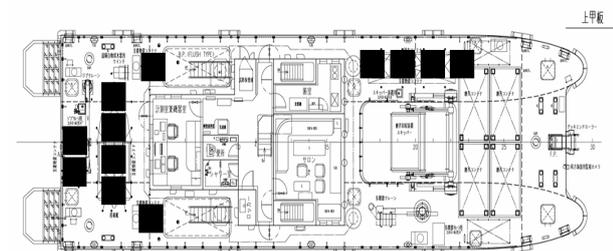
写真-7 リブボート 搭載状況



(組み立て前)

(組み立て後)

写真-8 支援物資用コンテナ



■ : コンテナ搭載位置

図-5 支援物資用コンテナ搭載箇所

## (3) 支援物資用コンテナの新設

給水支援や物資運搬などの災害対策として、新たに支援物資用コンテナの搭載を計画した。当初はステンレス製のボックスタイプで検討を進めていたが、使用しない際の保管場所確保や、コンテナ1個当たりが約150kgであり、ハンドリング性能が悪いことから、軽量かつ高強度のマグネシウム合金製で折り畳むことが可能なコンテナ構造（外寸法 1.0m×1.0m×1.0m、重量約 35kg×12個）

（写真-8）を製作することとした。搭載場所は甲板上の図-5に示す位置とし、コンテナはラッシングベルトにて固縛される。コンテナはパネルの嵌合で容易に組み立てることが可能であり、コンテナの積み降ろしについては、「海輝」に搭載されている多関節クレーンやジブクレーンを使用する。最大積載重量は1個当たりのコンテナで約450kgとし、2リットルペットボトル6本分の段ボール（約13kg）を約30個と木製パレット1個当たりの重量を想定して製作した。

## (4) 清水タンク・燃料タンクの増量

船舶には、船員用の飲料水、トイレ、シャワーなど生活用水として貯蔵している清水タンクがある。平成28年熊本地震（2016年）の際には、「海輝」及び「海煌」が自船の清水タンクから給水支援活動を行った。新「海輝」では、給水支援活動としての能力を更にアップするため、清水タンクの容量を3.0m<sup>3</sup>から11.86m<sup>3</sup>の約4倍に増量し、両舷側に清水供給ラインの接続口を設置することで、陸上又は他船への供給が可能となった。また、燃料タンクについても9.6m<sup>3</sup>から21.42m<sup>3</sup>の約2倍に増量し、長時間の航行にも対応できるよう変更した。

## 5. おわりに

新「海輝」は2023年4月より熊本港湾・空港整備事務所に配備されて運航を開始し、既に有明海・八代海を中心に漂流ゴミの回収や水質・底質調査、潮流観測のモニタリングを実施している。九州地域は特に災害（台風、豪雨、土砂など）の多発する地域であるが、災害協力団体や漁業者と連携を図りながら、航行船舶の安全確保や海洋環境保全に努めているところであり、今回の建造によって機能を強化した新「海輝」が十分に能力を発揮して活躍していく姿に期待したい。

# 棧橋式岸壁の鋼管杭先行掘削の工夫について

黒岩 寛<sup>1</sup>・大橋 修<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 長崎港湾・空港整備事務所 保全課 (〒857-0852 長崎県佐世保市干尽町4-1)

<sup>2</sup>九州地方整備局 長崎港湾・空港整備事務所 保全課 (〒857-0852 長崎県佐世保市干尽町4-1) .

佐世保港前畑地区の岸壁(-10m)は建設から約50年が経過しており、施設点検を行った際に鋼管杭などの老朽化が進行していることが判明したため予防保全として既設構造物を改良する必要が生じた。

棧橋式岸壁の改良工事として、鋼管杭打設のための先行掘削時において、一定の深度で掘削不能に陥る事態となったことから、その原因の考察と解決に至るまでの経緯について発表する。

キーワード 棧橋式岸壁, 老朽化, 鋼管杭打設, 先行掘削, 2重管掘削

## 1. はじめに

### (1) 佐世保港について

佐世保港は、長崎県北部地域の中央に位置する重要港湾で、湾口が狭く奥に広がる形状がヤツデの葉に似ていることから「葉港(ようこう)」と呼ばれる天然の良港である。1889年に海軍鎮守府が開庁されて以来、佐世保の街は大きく発展し、造船業や重工業を中心とした生産拠点としての役割や、石炭や畜産飼料等の輸入を受け入れる貿易港としての発展を続け、2019年に開港130周年を迎えた。

また、佐世保港の背後圏には大自然が残る西海国立公園九十九島や大型観光施設ハウステンボスなどがあり、さらに日本近代化の歴史が残る「佐世保鎮守府」や日本磁器の故郷として親しまれている「三川内焼」が2016年日本遺産に認定されるなど、豊富で多様な観光資源を有している。2014年から東アジアに近接する地理的な優位性を活かした大型クルーズ客船の受入を開始するなど、佐世保市は「国際観光の活性化と観光都市機能の強化」の実現に向けた取り組みを推進している。

このように佐世保港は100年以上の歴史と軍港および商業港の2つ役割を持つ全国でも珍しい港となっており、さらに港の各地区を写真-1のように機能毎に分離集約化されることで1つの港で基地機能・商港機能の両立化および効率化を実現させている。

今回は各地区の中で物流拠点として穀物、石炭、砂・砂利および鋼材等の貨物を取り扱う前畑地区における港湾施設の改良工事について焦点を当てる。(写真-2)



写真-1 佐世保港全景



写真-2 前畑地区施工箇所

## 2. 前畑地区の予防保全計画について

### (1) 前畑地区岸壁(-10m)の改良

前畑地区岸壁(-10m)は、1969年3月に完成してから既に50年以上が経過しており、施設点検を行った際に鋼管杭などの老朽化が進行していることが判明した(写真-3)ため、早急な施工が求められたことから、予防保全として2019年度以降に段階整備を行って施設の暫定利用を図りながら施設改良を行う必要があった。

岸壁(-10m)の改良のうち今回の対象となる箇所は栈橋式であるが、従来の栈橋式とは異なり、海側前面が重力式になっている。これは1964年設計では重力式を予定していたが、岸壁の施工に当たり埋立工事が進むにつれて岸壁の沈下、法線はらみ出しの滑動が生じたため、工事を中止して適正な設計方法を再検討した結果、栈橋式が採用された。そのため、重力式の施工段階で栈橋式に切り替えたことから構造が図-1のようにになっている。



写真-3 鋼管杭の老朽化

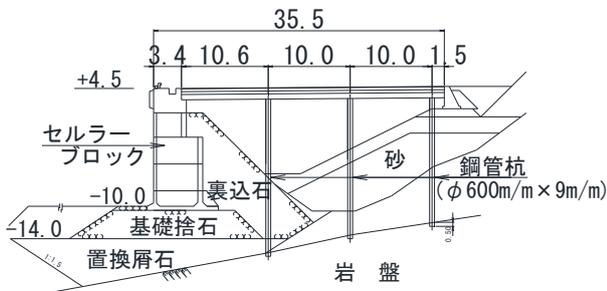


図-1 前畑地区岸壁(-10m)断面図

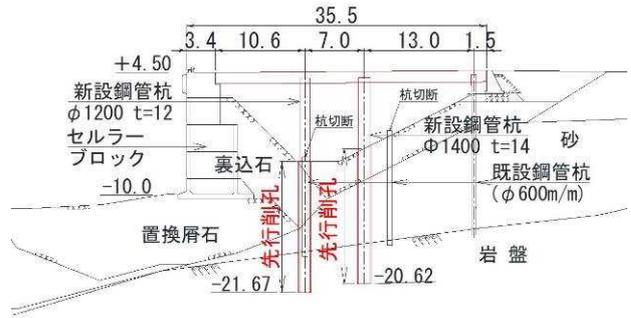
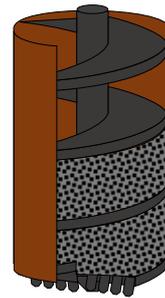


図-2 前畑地区岸壁(-10m)改良断面図



図-3 前畑地区岸壁(10m)改良平面図



<掘削方法>

- ①オーガヘッドが先行し掘削断面の全面を切削
- ②オーガヘッドの掘進に追従してケーシングが掘進

図-4 二軸同軸アースオーガ工法

度が極端に低下し、さらに掘削箇所の異なる3地点で同様の現象が確認されており、原因が不明のまま施工が進まない状態に陥ったため、次章に示すとおり原因の推定と対策を実施した。

## 3. 改良設計と実施施工

### (1) 設計内容及び先行掘削の難航

岸壁の改良における構造形式については、既設構造と同じ直杭式栈橋(図-2, 3)を適用しており、主な改良として海側および中央の既設杭(各φ600)を切断し、新設杭(海側φ1200, 中央φ1400)を打設するものである。

実施施工においては、鋼管杭の打設に先立って、裏込石等を貫入させることから杭打ち船による二軸同軸アースオーガ工法(図-4)にて先行掘削(φ1,500)する計画で施工を進めていたが、掘削開始から一定の深度で掘削速

## 4. 原因の推定および対策の実施

### (1) 当初対策

当初講じた対策として、具体的な原因が不明だったため、掘削能力の向上により解決を図ることとし、以下の3点の対策を順に実施した。

#### a) 周辺摩擦の低減

ケーシングに掘削ビットを溶接して一回り大きく地盤を掘削することで、ケーシングの摩擦軽減を図った。

(写真-4)

#### b) 雑石の取り込み能力の増加

掘削不能となり引き抜きを行った際、管内に取り込んだ雑石が少ない事が判明したため、雑石をうまく取り込

めずオーガーが掘進できない状況が予想された。そのため、オーガヘッドの飛出し長を調整(写真-5)し、オーガヘッド周辺の裏込石を取り込み易くした。

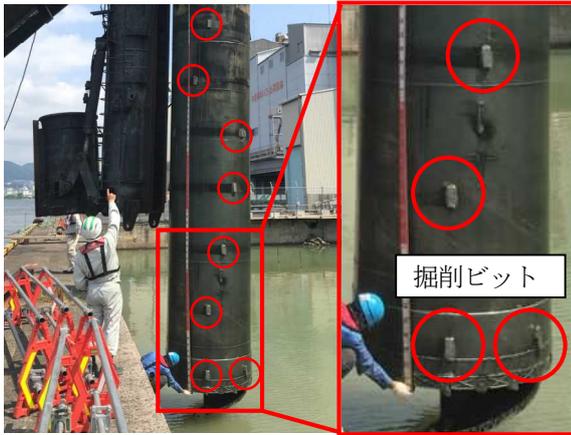


写真-4 ケーシングの掘削ビットの溶接



写真-5 飛出し長確認(L=0.45m)



写真-6 スパイラル筋の溶接



写真-7 ケーシングの凹みや破れ

### c) ケーシングの掘進力の増加

ケーシング先端に丸鋼をスパイラル状に設ける(写真-6)ことで、ケーシング自体の掘進力増加を図った。

しかし、これらの対策を講じたものの、掘削に進捗は見られず、過負荷による掘削機の停止やケーシングの凹みや破れ(写真-7)、リーダーの変形が起こるなど水深-10m~-13m付近で施工不能に陥ったことから、さらなる対策が必要となった。この現象事態は裏込石をすべて掘削する前に発生し、掘削速度が落ちて停止に至っており、施工機の損傷状況から先行掘削よりもケーシング周辺に加わる抵抗が大きいことが予想された。

### (2) 推定した原因に基づく対策工の実施

掘削能力の向上だけでは改善に至らなかったことから、推定した以下の3点の原因からそれぞれの対策工を順に実施した。

#### d)局所的な地盤の締固め

約50年前に施工した既設鋼管杭打設時のハンマ打撃の振動等で、地盤の締固めが局所的に発生していると推定した。加えて、先行掘削が進むにつれてケーシングの回転により基礎捨石が徐々に締まることで、抵抗の増加につながっていると推定した。

そこで、図-5のように二軸同軸アースオーガ工法のケーシング径をφ1500からφ600に取り替え、先行掘削施工位置をケーシングで地盤をほぐし、先行掘削時の抵抗の軽減を図った。φ600での掘削は順調で、途中で施工不能となることなく裏込石を通過するまで実施できた。これにより、地中障害物が無いことも確認できた。

しかし、地盤をほぐした後に再度φ1500のケーシングで先行掘削を実施したが、進捗に変化はなく、水深-10m~-13m付近で施工不能となった。

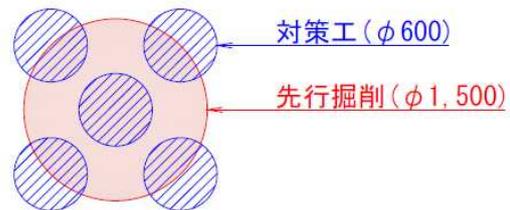


図-5 地盤ほぐし施工図

#### e)既設鋼管杭の影響

ケーシングが凹んだり、破れたりしていることから、先行掘削時に既設鋼管杭が接近し、ケーシングと既設杭間に雑石が噛み込んでしまうことで、抵抗が増加していると推定した(図-6)。

そこで、バイブロハンマ(水中ヤットコ)による既設鋼管杭の引抜きを行った。劣化による破断が懸念されたた

め、引抜き前にφ1000のケーシングで杭の周囲を掘削し、周辺摩擦低減を図った。

既設杭引抜後に再度先行掘削を実施したが、進捗に変化はなく、水深-10~-13m付近で施工不能となった。

f) 排土が滞ることによる掘進の妨げ

施工不能になった際、ケーシングが自立することを確認し、スクリーアの引抜きを行ったところ、雑石や掘削土砂が少量しか確認できなかった。引き抜く際に落下したとも考えられるが、明らかに量が少なかったため、スムーズに土砂の取り込みができていないことがわかった。

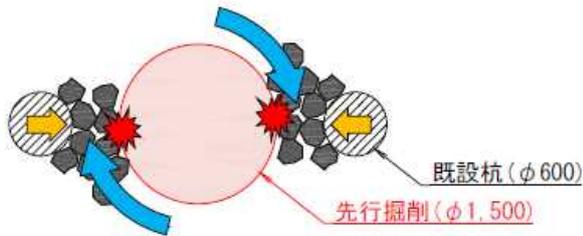


図-6 裏込石の噛み込み

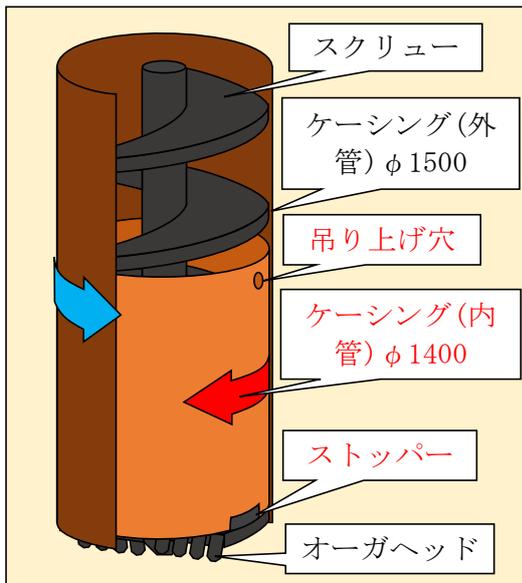


図-7 2重管構造ケーシング



写真-8 内管取付写真



写真-9 内管吊り上げ状況



写真-10 内管吊り上げ後

二軸同軸アースオーガ工法は、切削した土砂をケーシング内に取り込みながら掘削するため、排土が滞ったことで掘進を妨げたものと考えられる。

対策として、排土を促すためにはケーシングに開口を設けることも考えられたが、抵抗が大きいことから、開口が弱点となり、ケーシングが破断することが懸念されたため、実施には至らなかった。そこで、オーガヘッド部に3mのケーシング(φ1400)を取り付けて2重管構造とした(図-7、写真-8)。排土が滞り掘削速度が落ちたときにオーガヘッドを引き抜くことで、内管が掘削土砂の落下を防止し、確実に排土することができる(写真-9, 10)。加えて、ケーシング先端よりも深く掘削することも可能となり、状況に応じて対応することが可能となった。

2重管掘削によって、これまで難航していた水深-10~-13m区間を徐々に掘削することが可能となり、全数の施工を完了することができた。

## 5. 結果等の整理と原因の考察

### (1) 結果の整理と判明した対策

順番に実施した対策、期待される効果および実施結果

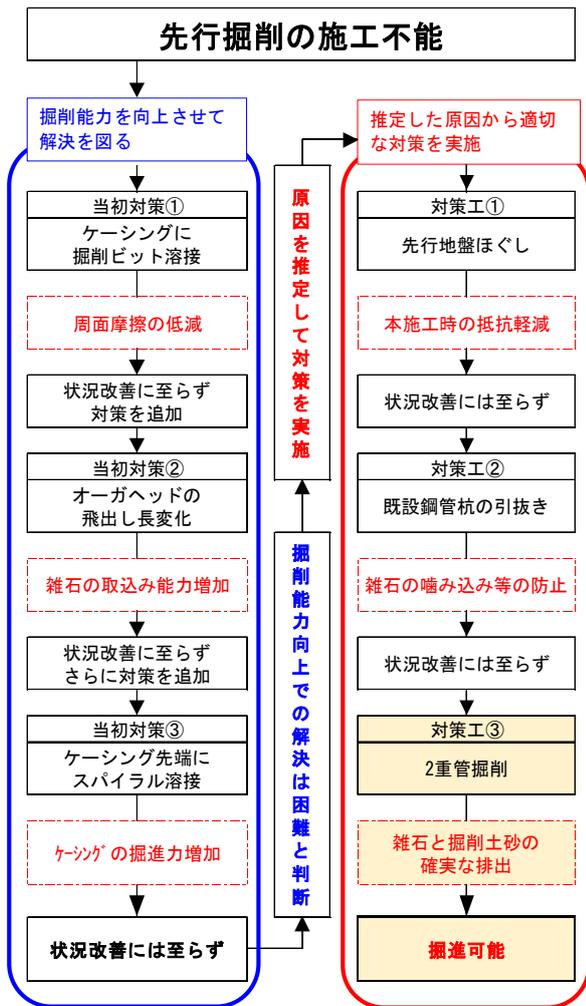


図-8 先行掘削対策の実施フロー図

を図-8のように整理した。今回の工事で有効だった対策は、二軸同軸アースオーガ工法のケーシングに内管を追加して2重管構造ケーシングで掘削する方法であり、掘削時の排土を促すことで解決に繋がった。

また、本対策の概要として、施工方法を以下のa)~e)のとおり記載する。

- a) 2方向からケーシングを誘導して位置決めを行い、掘削を開始する。
- b) 掘削機の電圧を確認しながら可能な限り掘進を行う。
- c) ケーシングが自立することを確認し、オーガスクリーナー、内管を引き抜く。
- d) 掘削機の負荷が大きくなったら、内管を吊り上げ、掘削土砂をかき落とす。
- e) オーガヘッドと内管を連結して、ケーシングに挿入し、掘削を再開する。

また、施工上の留意事項として以下の内容が挙げられる。

1点目は、残土がありケーシングが接続できない場合は、c)~d)を繰り返して撤去する。

2点目は、c)の引抜きの際、施工中に一度内管がケーシング内に落下しているため、対策として、スクリーナーと内管をチェーンでつなぎ、再度落下防止を図る必要がある。

3点目は、e)で掘削再開する場合、ケーシングを回転させる際に掘削機に大きな負荷がかかるため、掘削機の停止に繋がるほか、リーダーにも大きな反力が加わることから、損傷する可能性がある。ケーシングが回転できない場合は、スクリーナーロッドが伸縮可能なため、2m(先端から内管が飛び出さない程度)伸ばして先行掘削を行い、ケーシング先端の土圧低減を実施することで再施工が可能となった。

## (2) 実施結果から考察される施工不能の原因

対策の実施結果から先行掘削が施工不能となった主な原因について考察した事象を、以下の f)~h)に記載した。f)掘削が進むにつれて掘削土砂が密に詰まり、取り込みが出来なくなることで掘削能力が低下した。g)掘削時に周辺の雑石が締められ抵抗が増加することでケーシングの回転を妨げ、掘進速度が低下した。h)ケーシングの径の大きさがφ600では貫入できたが、φ1500になることで周辺の土層との接触面積が増えるため掘削時に掛かる摩擦抵抗が増大することで掘進速度が低下した。

また、以上の事象について、図式化したものを図-9に示す。

以上のとおり、雑石層掘削時における雑石の取り込み不能、掘進速度の低下、ケーシング径の大きさによる摩擦抵抗の増大などが施工不能となった主な原因と考えられる。

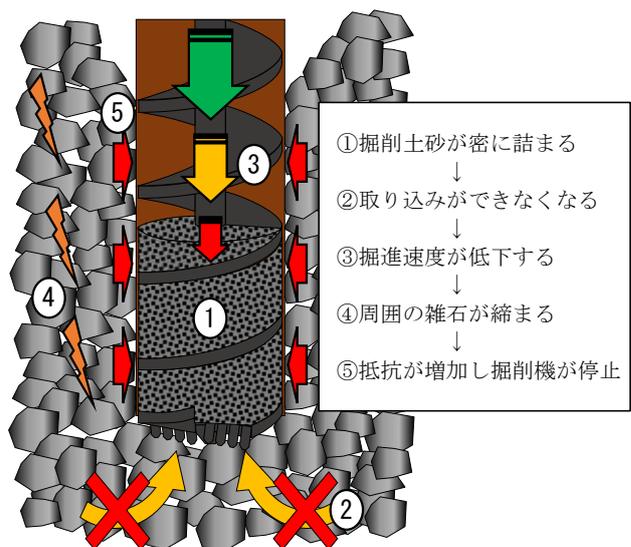


図-9 施工不能となった原因

## 6. おわりに

今回の既設岸壁における改良工事を進める中で、設計段階では想定できなかった現場の状況により、様々な施工方法の検討が必要となる状態に発展した。このような工事における不測の事態というのは珍しいことではないが、当該工事においては当初想定した現場条件に違いがあるわけではなく、複数の条件が偶発的に重なり施工不能となった非常に稀なケースであったと言える。

しかし、近年において老朽化に伴う既存の施設・構造物等の改良工事が増加していることもあり、先行掘削においては現場で地中の状況を予測することが難しいため、本工事のような想定外のケースが出てくることが考えられる。その場合、適正な対策検討や早期解決に向けた対応として、様々な角度から原因を推定し、受注者・関係者との迅速かつ円滑な調整を行って問題解決に向けた取り組みを行うことが重要になる。また、工事の前提となる調査・設計においても新しい知見や事例を元に想定範囲を広げて現場条件や施工方法などの検討を行うことも重要になると考える。本報告は工事の実施事例であるが、同様の工事に限らず、事前の調査・設計検討においても参考となれば幸いである。

**謝辞：**本論文作成にあたり、ヒアリングおよび資料提供などにご協力いただきました関係各社には深く感謝致します。

# 地震に強い空港を目指した滑走路の 液状化対策について

羽田 遥佑<sup>1</sup>・井上 光輝<sup>2</sup>・後藤 清美<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 別府港湾・空港整備事務所 保全課 (〒874-0919 大分県別府市石垣東 10-3-15)

<sup>2</sup>九州地方整備局 別府港湾・空港整備事務所 空港整備室 (〒874-0919 大分県別府市石垣東 10-3-15)

2007年8月に設置された「地震に強い空港のあり方検討委員会」において、地震災害時に求められる空港の役割と耐震性向上の基本的な考え方が取りまとめられた。大分空港は、地震災害時の防災拠点となるため、液状化対策により耐震性の向上を図り、地震に強い空港を目指している。

本研究では、大分空港において滑走路の液状化対策を効果的に実施するために行った施工管理方法について紹介するものである。

キーワード 液状化対策, 静的圧入締固め工法, 地盤見える化, 大分空港

## 1. はじめに

大分空港は、かつて大分海軍航空隊基地として大分市今津留に建設されていたが、滑走路の両端が川に挟まれて滑走路の延伸が困難であったことや、大分市の新産業都市指定に伴い、国東半島の東端に移転し、1971年に、中型ジェット機が就航出来る空港として供用を開始した。開港当初の滑走路は延長2,000m(写真-1)であったが、航空需要の増大や航空機の大型化に対応するため、1982年に2,500mに、1988年には3,000m拡張へされた。現在の大分空港を写真-2に示す。



写真-1 開港当初の大分空港



写真-2 大分空港平面写真

2007年に国土交通省航空局で開催された「地震に強い空港のあり方検討委員会」、2011年に大阪航空局で開催された「防災拠点のあり方に関する検討会」より、地震災害時の防災拠点空港としての機能を確保する検討が行われた。大分空港に求められる役割は、**図-1**のとおり想定されているが、滑走路2,000m×45mの範囲に液状化対象エリアの存在が判明した。

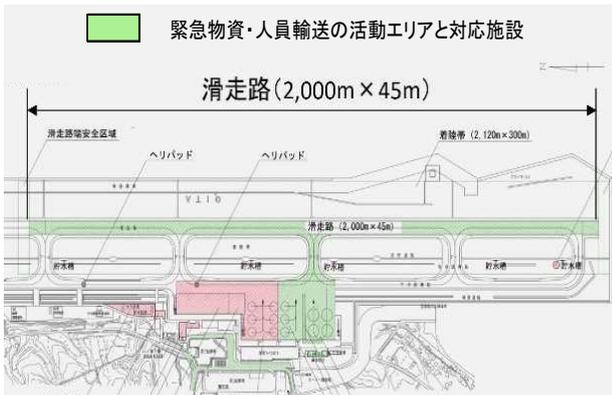


図-1 地震災害時の活動エリア

## 2. 静的圧入締固め工法の概要

### (1) 供用中の滑走路液状化対策に適した工法

滑走路液状化対策の地盤改良工法としては、一般的には締固め工法、固結工法、ドレーン工法などがある。大分空港は供用中の空港で作業時間に制約があることから、日々の施工においては、小型で移動が容易な施工機械による工法が望ましい。

このことから、様々な工法と比較して、他の空港で実績があり、振動・騒音問題がなく、コンパクトな設備と、土層に応じた改良率が選定可能で、経済的に優位な静的圧入締固め工法(以下「CPG工法」と記す)が採用された。

### (2) CPG工法の原理

CPG工法は、液状化対策の地盤改良工法としては締固め工法に分類され、注入管よりスランブが5cm程度と極めて流動性の低いモルタルを強制的に地盤に圧入して固結体を造成し、周辺地盤の密度を増大させる工法である。

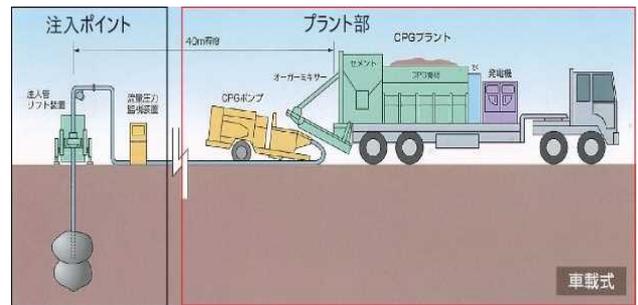


図-2 CPG工法施行システムの概要図

施工システムは、**図-2**に示すように、削孔・注入を行う注入ポイントと、材料の配合・圧送を担うプラント部に分かれている。注入ポイントの設備は、削孔時の小型ボーリングマシン、注入時の注入管リフト装置、流量圧力監視装置で構成されていて、いずれも小型でコンパクトな機械である。

プラント部は、モルタルを連続的に供給するCPGプラントと流動性の低いモルタルを圧送する強力なCPGポンプで構成され、トレーラーに車載できる大きさである。注入ポイントとプラント部は、最長40mのホースにより接続されており、現場の状況に合わせたレイアウトできるのが特徴である。

### (3) CPG工法の施工

滑走路の液状化対策としてのCPG工法の施工は、改良体造成の位置出し後、防護キャップを設置する。防護キャップは、供用中の航空機の発着に支障をきたさない**図-3・写真-3**に示す構造としている。この後、日々削孔・注入を繰り返し、最後に設置した防護キャップを撤去して舗装を復旧する手順で行う。

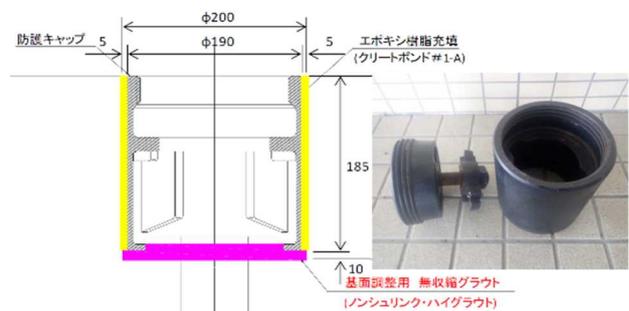


図-3 防護キャップ詳細図

写真-3 防護キャップ



写真4 小型ボーリングマシンによる削孔

#### (4) 滑走路液状化対策としての問題点

CPG 工法は、大分空港で採用される以前から、東京国際空港をはじめ、多くの空港で施工実績を積み重ねている。

しかし、施工に伴う地盤隆起が問題となることがあり、大分空港のように滑走路の液状化対策として用いられる場合、航空機の離発着に支障をきたさず、滑走路の規程勾配を超えないように隆起量を抑制する必要がある、確実に隆起を抑制する施工管理を行わなければならない。



写真5 舗装面の隆起観測

### 3. CPG 工法の隆起対策と施工上の工夫

#### (1) 分散・ローテーション施工の採用

滑走路の隆起抑制の対策は、2015 年度試験工事で効果が確認できた「分散・ローテーション施工」を採用した。

図-4,5 に示すように、同日注入施工地点間の離隔距離 5m 以上確保と、注入施工済箇所隣接する箇所は、注入施工後 3 日間の放置期間を確保するローテーション施工を行えるよう打設順序の計画を立て施工を行った。

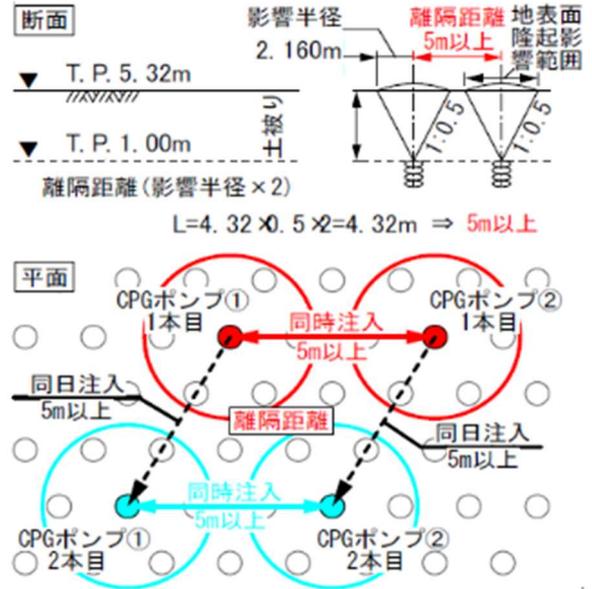


図4 分散施工概要図

(1日最大 12箇所施工)

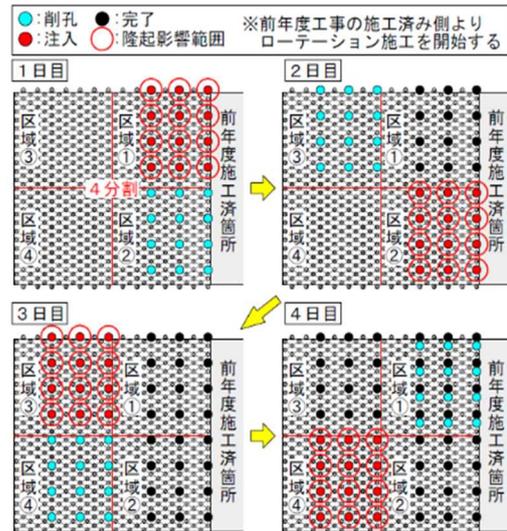


図5 ローテーション施工概要図

#### (2) 施工管理による舗装面隆起を抑制する工夫

地盤改良材の注入時は、写真-5 に示すレーザーを利用したリアルタイム計測が可能で最小表示値が 0.1 mm と高精度な「DD システム」を使用して注入地点における注入時の隆起量を監視し、ガイダンス付流量圧力管理システムで注入圧力と注入量を管理した。このシステムを使用することにより、上限注入圧力に達した場合は回転灯が作動し、注入量が設計注入量に達した舗装面の隆起を抑制した施工管理を行うことが可能となった。

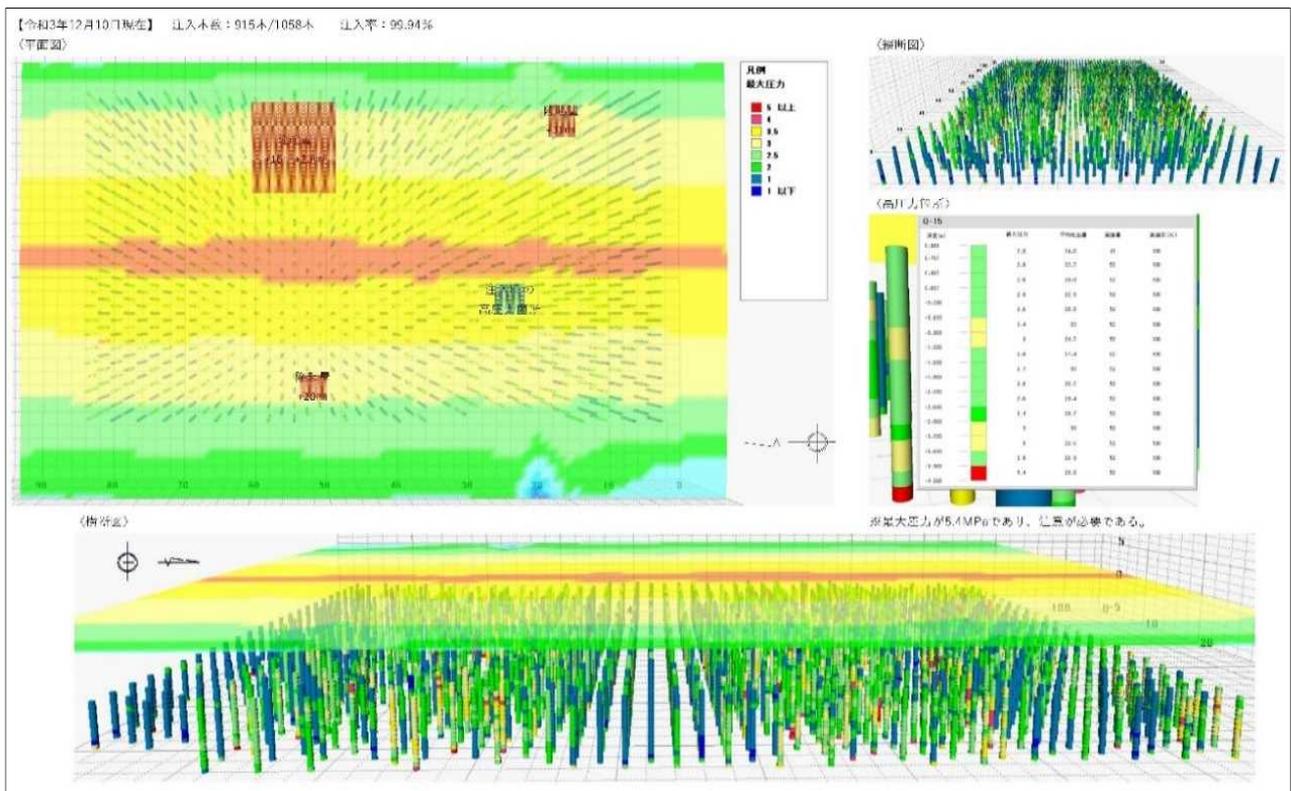


図-6 CPG工法の「地盤見える化」図

## 4. 地盤の見える化

### (1) CPG工法の「地盤見える化」技術の開発

CPG工法の注入管理および隆起管理は、作業員の手間を要し、施工管理する書類は注入量・注入圧力、隆起量の数字の羅列であった。このような従来の施工管理方法から、地盤情報をビジュアル化することを開発目標として、CPG工法の注入状況および隆起量が一目で分かる図-6に示す「地盤見える化」技術のシステム開発を行った。

### (2) CPG工法の「地盤見える化」技術の効果

CPG工法の「地盤見える化」技術の開発により、施工管理データを用いて、注入状況を色分けして管理することが可能となった。また、注入圧力が高くなり、所定の量を注入することが出来なかった改良体については、注入量に応じて改良体の太さを細くした表示としている。隆起管理についても、隆起量を色分けして表示することで、隆起量が大きいエリアを把握しやすくなり、注入と隆起量の関係をビジュアル化して明確化することが可能となった。

このように「地盤見える化」技術の開発により、施工管理におけるデータを3次元で表示することにより、これまで以上に地盤情報の把握が可能となった。

## 5. おわりに

地震に強い空港を目指した、滑走路液状化対策としてのCPG工法による施工は、2022年度に無事完了した。大規模地震がいつ発生してもおかしくないような状況の中、早期に液状化対策を完了することができ、施工者と空港関係者の皆様のご協力に感謝したい。

大分空港は大分県の国内外への玄関口であり、人流の拠点であるが、今回の整備により地震発生時の防災拠点の役割が加えられたことで、その果たすべく役割は、今後ますます大きく重要になっていくものと思われる。

# -TDX- ダム管理に向けた 立野ダム試験湛水CIMの構築について

吉村 一輝<sup>1</sup>・舘 新吾<sup>1</sup>・遠山 哲生<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 立野ダム工事事務所 工務課 (〒861-8019 熊本県熊本市東区下南部1-4-73)

国土交通省は、2016年からi-Constructionを推進しており、立野ダム建設事業においても維持管理を見据え、調査・設計・施工の各段階において一貫してCIMモデルを活用し、業務・工事の効率化・高度化を図っている。立野ダムでは、管理移行前にダムの安全性を確認する試験湛水を令和5年11月に実施予定である。立野ダム試験湛水は、自然環境への影響を極力低減するため、水位下降速度を速める計画としていることから、一般的なダムと比較し計測・監視の高度化が必要であり、現在、試験湛水用CIMを構築している。本稿では、試験湛水CIM構築にあたっての検討内容やCIM活用によるダム管理の省力化を目指した今後の展望について報告する。

キーワード BIM/CIM, WebGIS, クラウド, 試験湛水, ダム管理

## 1. はじめに

立野ダムは、政令指定都市熊本市を貫流する一級河川白川沿川の洪水被害を防ぐことを目的とし、令和5年度の完成を目指している流水型ダムである。立野ダム建設事業は、九州地方整備局管内唯一のi-Construction推進モデル事業に選定されており、ダムの維持管理を見据え、調査・設計・施工の各段階においてCIMモデルを活用し、業務・工事の効率化・高度化を図るためにCIM活用の試行・検証を行っている。(表-1)

現在は、下記3テーマについて取り組んでいる。

<p><b>A. 【総括CIM】 阿蘇にふさわしい風景の追求</b></p> <p>景観CIMモデルを作成しダム関連施設の設計行くとともに、広報活動において完成後のダムをCIMで再現することにより理解促進を図っている。</p>
<p><b>B. 【施工CIM】 地元企業に着目した施工管理の合理化</b></p> <p>情報共有システムを活用するにより、関係者間の情報共有やデータの一元管理を行う。また、異業種工事を統合したモデルによる設計照査や施工管理の合理化、課題の発見・共有を行っている。</p>
<p><b>C. 【管理CIM】 普段使いできる管理CIMの構築</b></p> <p>施工時のデータと維持管理のデータを統合し、ダム管理に活用できること、CIM活用により維持管理の省力化を目指し、現在構築を進めている。</p>

本稿では、試験湛水CIM構築にあたっての検討内容やCIM活用によるダム管理の省力化を目指した今後の展望について報告する。

表-1 立野ダムBIM/CIMロードマップ

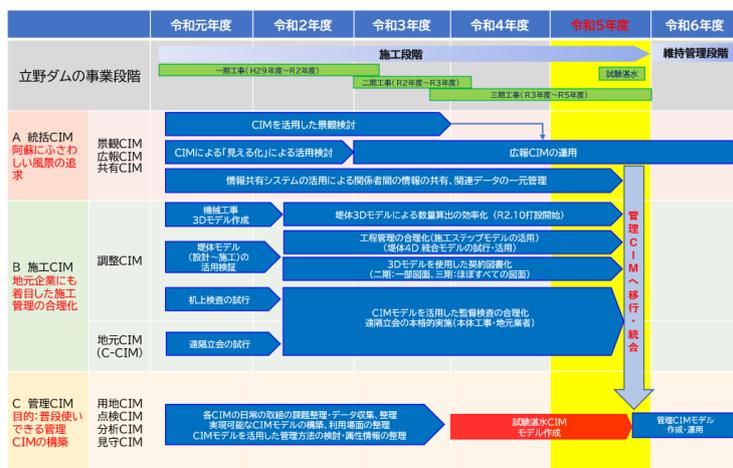


図-1 立野ダム景観CIMモデル

## 2. 試験湛水CIMの必要性

### (1) 試験湛水とは

ダムは大規模な土木構造物であり、その安全性が社会に及ぼす影響は極めて大きい。したがって、通常の管理に移行する前にその安全性を確認するため、綿密な計測・監視のもと試験的に水を貯める試験湛水を実施する。

一般的な試験湛水は、試験湛水実施要領（案）に従って行われ、流れは次の通りである。工事用の仮設排水路を閉塞し貯水位を上昇させ、ダム運用上の最高水位であるサーチャージ水位で24時間以上貯水位を保持する。その後、貯水位の下降速度を1m/日以下の制限のもと水位下降を行い、問題が無いことが確認できれば完了となる。

### (2) 立野ダム試験湛水の特徴

立野ダムは、出水時のみ貯水を行う「流水型ダム」であり、実運用時は数時間程度で貯水位が変動する。一方で、試験湛水時は河川の流量が少ないときに、人為的な操作で貯水位を変動させるため、水位変動速度が遅くなる。これにより、湛水期間が長期化し、自然環境へ与える影響が大きくなる懸念される。これらを踏まえ、立野ダムの試験湛水においては、貯水位の下降速度を可能な限り速めることにより、湛水期間を短縮化し、自然環境への影響を極力低減させる計画とした。（図-2）

水位変動速度を速めるために、通常の計測頻度（1回/日）では異常の察知が遅れることから、従来、手動計測を行っていた基礎排水量、継目排水量、揚圧力を含む全計測機器を自動化し、毎正時間計測を行う。また、異常発生時の対応を迅速に行うために、通常よりも計測機器数を増加し、綿密な監視を行う。（表-2）

試験湛水では、この膨大なデータを適切に管理、監視し、異常が発生した場合には、これらデータを分析し状況把握、要因分析、対応検討を迅速に行う必要がある。そこで、立野ダムでは試験湛水のインフラ DX として、BIM/CIM を含めたデジタル技術を活用した監視体制を構築することにより効率化・高度化を目指す。

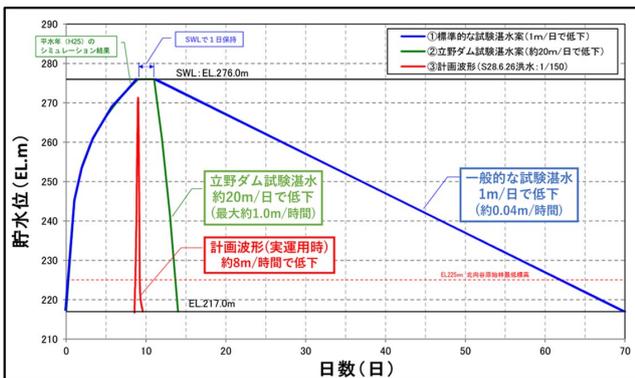


図-2 立野ダム試験湛水の貯水位変動イメージ

### (3) 計測・監視のための課題と試験湛水CIMによる対応

#### a) データの一元管理

従来、試験湛水中の各種データは個別のデータ収録装置に蓄積されており、必要なデータをUSB等により収集し、職員PCにおいて整理を行っていた。しかし、今回の立野ダム試験湛水では、短時間でデータが大きく変化するため、都度USBにてデータを取得・更新することは非現実的である。

これを改善するため立野ダムでは、各種データを保存するためのデータサーバー（管理CIMPC）を新設し、ダム管理用制御処理装置（ダムコン）や観測装置と接続し、計測データを自動で収集・蓄積するプログラムを作成する。

#### b) 計測機器の見える化

試験湛水中は、各計測位置や関係性を熟知していない若手職員や事務系職員、管理支援員も当番としてデータの監視や巡視を行う必要がある。特に、立野ダムは地質が複雑であることから周辺地下水位の計測や、縦断方向の計器を設置しているため、2次元図面だけでは理解しづらい点にも配慮が必要である。

これに対し、計器位置を3次元モデル上に表示することで、計測目的の理解や巡視ルートの把握を容易にする。また、異常発生時には発生箇所を特定を迅速に行うことができ、かつ異常の空間的な連続性や関係性が可視化できるため、要因分析に役立つことが期待される。

#### c) 関係者への同期化

従来、ダムでは計測値等の情報は隔離されたダム管理所の操作室でしか確認できず、関係者への情報共有は、管理所内にいる当番から必要に応じて行っていた。常に状況判断ができる職員が配置されているわけではなく、異常を察知し注意体制や警戒体制に体制を拡充した後、判断を行うことになる。

立野ダムの場合は、水位下降速度を速めるため、異常の確認や共有を迅速に行う必要がある。これに対し、クラウドサービスを活用することで、セキュリティを確保した上で、管理所外でもデータを見ることを可能にし、当番以外の職員やコンサル業者、施工者、その他関係者もリアルタイムで情報が共有できることとした。これにより異常発生時には、対応の迅速化・高度化が期待される。

表-2 観測項目と計測方法・頻度

項目	従来のダム			立野ダム		
	個数	計測方法	頻度	個数	計測方法	頻度
三角堰	2	自動	1回/日	8	自動	1回/時間
基礎排水孔	36	手動	1回/日	36	自動	1回/時間
揚圧力	(36) 基礎排水孔	手動	1回/日	25 専用孔	自動	1回/時間
継目排水孔	10	手動	1回/日	10	自動	1回/時間
変形	1	自動	1回/日	1	自動	1回/時間

### 3. 試験湛水CIMの構築

#### (1) 試験湛水CIMの概要

##### a) 試験湛水CIMの基盤選定

クラウド環境で計器位置の確認や計測値を確認する方法として、①BIM/CIMモデルと情報共有システムを組み合わせた方法と②WebGISを用いた方法の2案を立案した。①については、BIM/CIMモデルをベースとしているため、BIM/CIMモデルを取り扱うための知識や高性能PC、高価なソフトウェアを必要とし、他ダムの経験から高度・複雑すぎるシステム構成は運用段階において継続的な活用が困難であることが確認されている。一方、②WebGISとは、地理院地図やGoogleMapのようにインターネット上で動く電子地図であり、通信回線が繋がっていれば、高性能PCや高価なソフトウェアを必要とせず、どこからでも使用できるメリットがある。

これらより、立野ダムの試験湛水 CIM としては、WebGIS を基盤とする。WebGIS にも様々なものがあるが、九州地方整備局の方針を念頭に、地理院地図 globe や国土交通省のProjectPLATEAUにも使用されているオープンソースの3DGISである「セシウム」を用いる。セシウムはWebブラウザで動く2次元/3次元のデジタル地球儀であり、様々なデータを集約し、重ね合わせて可視化することが可能となる。

##### b) データ伝送方法

クラウド上に構築する試験湛水 CIM に管理所内のデータを伝送する方法として、各事務所のホームページのアップロード等で使用されている既往のシステムであるAmazonWebService (通称AWS) を活用する。

しかし、通常、管理所内の装置から AWS にデータを転送する機能は搭載されていないことから、観測装置とAWSの間にデータサーバー(管理CIMPCと呼称する)を新設し、転送を可能とした。管理CIMPCには転送機能だけでなく、データベースとしての機能やAWSに送り込む前にデータを加工してグラフ表示の補助をする機能を持たせた。また、貯水位や雨量については、ダムコンよりデータを入力する必要があるため、セキュリティ面に配慮し、ダムコンと観測装置をシリアル通信で接続し、必要なデータを入力する。(図-3)

##### c) セキュリティの確保

試験湛水 CIM へのアクセスは、ID と Pass を付与し管理する。一般ユーザと登録ユーザの2つの区分けがあり、一般ユーザはモデルに表示された観測値の確認のみが可能であり、観測値データのダウンロード等のデータ取得は登録ユーザのみと限定することで、セキュリティを確保した。

#### (2) 試験湛水CIMにおける観測項目

今回の3DGIS活用により、ダム堤体だけでなく、ダム周辺の地下水位観測や湛水予定地の斜面観測など広い範囲を一つの画面で把握が可能となった。試験湛水CIMにおける観測項目は、河川砂防技術基準に規定される全ての計測項目を満たすよう貯水位、漏水量、揚圧力、変形量、地下水位、貯水池孔内傾斜計、地盤傾斜計等を対象とした。(図-4)

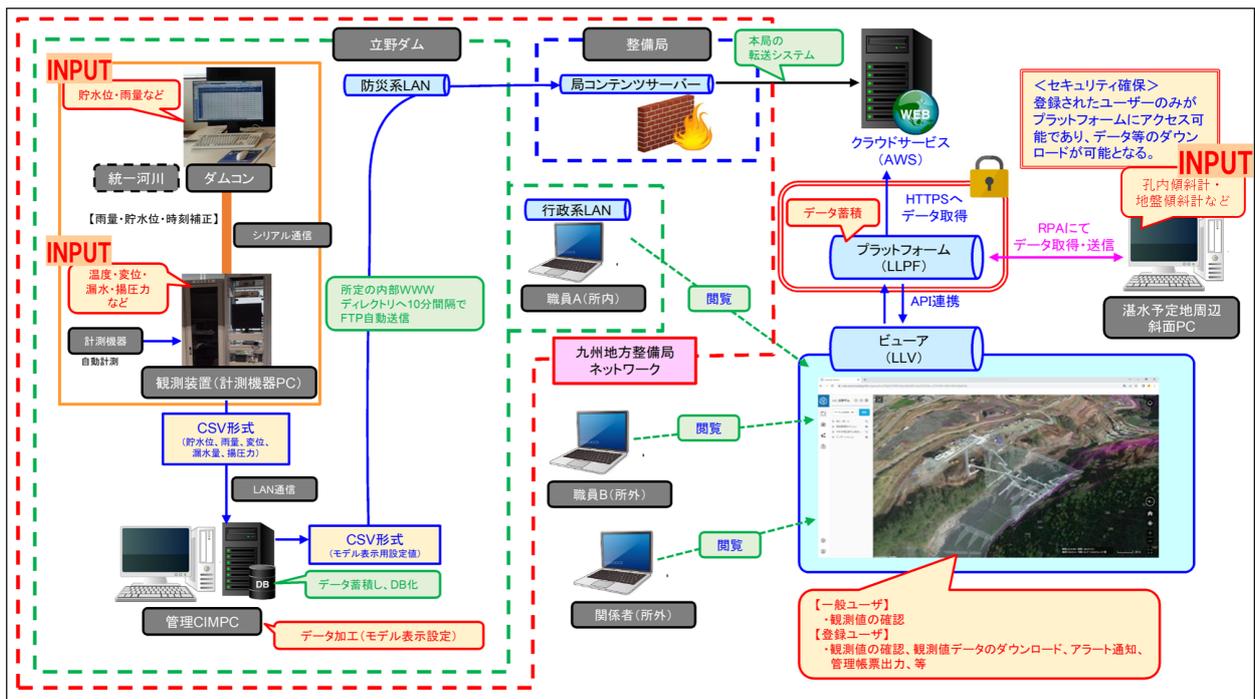


図-3 試験湛水 CIM 全体構成イメージ

### (3) 試験湛水 CIM の搭載機能

試験湛水 CIM の開発着手にあたり、試験湛水期間中に蓄積される膨大なデータの管理、監視や異常発生時の迅速な対応を可能にするために実装した機能を整理する。

#### a) 計測機器モデル

複雑な立野ダムの監査廊及び計測機器位置の把握が容易となるよう配慮して3次元モデル化し、見える化した。(図-5)

#### b) 観測データの自動取得

九州地方整備局の AWS サーバに格納された計測データを 10 分おきに取得する機能であり、取得方法は、公開 URL より csv 形式を取得するものとした。

#### c) 観測データのグラフ表示

観測値の見える化を図るために、取得した csv データをもとに、各観測計器毎にグラフを表示する機能であり、最新値の確認とともに、経過状況を確認するために、任意の期間のグラフ表示を行うものとした。また、直感的な操作が可能となるよう、グラフ表示の際には、観測計器モデルをクリックすることで表示されるよう構築した。

#### d) 閾値の設定

注意体制と警戒体制の閾値を設定し、グラフ上に表示できる機能を搭載した。また、閾値を超えた観測計器のモデル上の色を変更する機能を搭載した。(図-6, 7)

#### e) アラート機能

観測値が閾値を超えた場合に、予め設定したアカウントにメールを送信する機能を搭載した。

#### f) 帳票出力

試験湛水期間中に毎日提出する必要がある定期報告様式について、取得した csv データより自動生成できる帳票出力機能を搭載した。

#### g) 貯水位モデル

水位変動状況を見える化するために、観測データと貯水位モデルを連携させる機能を搭載した。

#### h) 共有機能

試験湛水 CIM のベースとしているランドログビューアには公開機能があり、公開用 URL により試験湛水 CIM にアクセスでき、多くの職員が自席の PC または、外出時のスマートフォン／タブレット等で観測値を確認することが可能となる。

### (4) 緊急時対応

何らかの不具合等により試験湛水 CIM にアクセスが不可能となった場合は、データが蓄積されているプラットフォーム（ランドログプラットフォーム）に直接アクセスして、観測値をダウンロードし確認することが可能である。プラットフォームはマルチクラウド型のプラットフォームであるため、機能停止となる可能性は極めて低い。インターネット環境そのものに不具合が発生した場合については、管理庁舎内に設置されている管理 CIMPC より計測値を確認することが可能であり、緊急

時のデータ確認体制は確保している。また、緊急時のデータアクセス方法を職員、関係コンサルタントと訓練することで万全の体制を構築している。



図-4 観測項目一覧

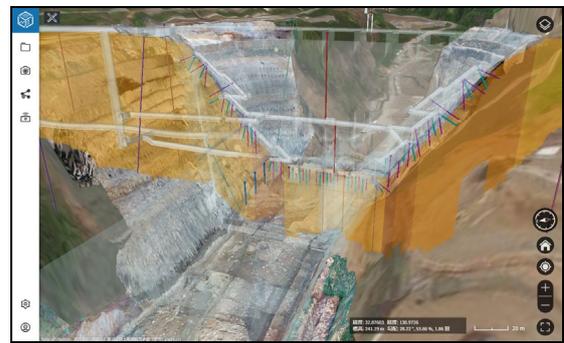


図-5 ダム堤体等と計測機器モデル



図-6 閾値の設定画面

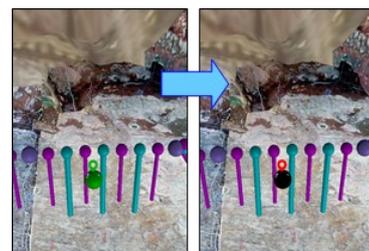


図-7 閾値を超えた場合のモデルの変化

**(5) 試験湛水 CIM の構築状況**

前述の機能を搭載した試験湛水 CIM は構築を概ね完了しており、令和 5 年 11 月からの試験湛水で活用する予定である。ただし、令和 5 年 6 月からの出水期において、職員だけではなく、堤体や貯水池周辺地山、地下水位等の各観測項目を監視する関係者を含め試験湛水 CIM の仮運用を行っており、必要要件を抽出して整理している。これらの要望をもとに、機能改善を並行して進めるアジャイル型での開発手法により、試験湛水の本番へ向けて、より使いやすさを求めた改善を図っているところである。現時点で抽出された課題と対応について表-3に示す。

主に、以下3点がある。

a) グラフ表示

使用者が見たい縦軸・横軸の設定など、設定せずにデフォルトで設定することで見やすくする。

b) モデル表示

優先的に表示するモデル、セットで表示するモデルをデフォルトで設定することで、見やすくする。

c) 計測データ

各計器のデータ変化が見れるが、指定した時間に横並びでデータを表示することで、報告の簡素化が図れる。

モデル上でこれらの課題と対応を繰り返しながら、試験湛水に向けて、少しでも使いやすい試験湛水の構築を目指している。

**4. 管理CIMへの継承**

**(1) 管理ダムにおける日常管理の実態**

ダム完成後は、ダム機能が発揮・維持できるよう日常点検、異常時の管理、定期検査（約3年毎）、ダム総合点検（約30年毎）等の維持管理が行われる。過去にダム管理実務に係る職員数や点検状況等についての実態調査が実施され、管理所職員は少ないが日常点検項目は多く、

点検に要する時間も平均2～4時間程度あることが明らかになっている。また、各ダムとも1～2名程度の新採が配属されることが多く、ダム管理初心者の割合が高い。少人数で管理しているため、観測から評価、分析に時間を要しており、通常業務に追われ、観測や巡視は委託で実施している場合がある。これらを踏まえると、少ない人数で、短時間で効率的に日常点検を実施することが望ましい。

そのため、CIM活用を含むインフラDXによりダム管理の省力化を図り、業務の効率化の実現を目指す。

**(2) 試験湛水CIMの活用**

今回構築した試験湛水CIMによって、ダム管理の高度化・合理化が可能となる事項について整理を行う。

a) 自動計化による点検の省力化

立野ダム特有のもののだが、通常手動計測する漏水量・揚圧力について自動化したことにより、堤体観測項目がすべて自動計測となった。これにより、従来点検にかかっていた時間の短縮化が実現する。

b) 一元管理によるデータ管理の合理化

試験湛水時に蓄積した計測データと管理時の観測データの比較が容易となり、計測値の評価支援が可能なため、経験が浅い管理者でも、異常発生の把握が容易かつ迅速化される。

c) 見える化による状況把握の迅速化

ダム堤体や監査廊、湛水範囲、貯水池周辺地山の計測機器、堤体内部の計測機器の位置を3次元モデルで見える化しているため、各機器、設備の位置の確認が容易となり、引継ぎの円滑化や効率化が可能となる。

d) クラウド化による合理化

クラウドを基盤としたシステム環境で構築したことで、これまで操作室内に隔離されていた情報へのアクセスが操作室以外の環境からも可能となった。日常的な報告等の作業が執務室から行える環境となり、業務の効率化・高度化が実現する。

表-3 現時点で抽出された試験湛水 CIM の課題と対応

項目	課題	対応
グラフ表示	現状、折れ線グラフしか選択できず、散布図が選べないため、相関図が作成できない。	開発中。
	貯水位は標高表示であるため、EL.205mから開始するグラフをデフォルトにしてもらいたい。また、縦軸を貯水位、横軸を観測値として確認したい。	令和5年7月迄に、機能拡充を行う。
モデル表示	計器名について、全て旗上げか、何の計器か分かるようにしてほしい。	文字の大きさ、位置を調整した。
	地下水位（基礎処理）のモデルについて、下記を修正してほしい。 (1)A/T01 孔口位置の修正 (2)Ttm07,Ttm08 孔口マークの表示 (3)Ttm01,Ttm05,Ttm07,Ttm08 斜めポーリングの角度の再確認 (4)A/t01,A/T02 孔の方向及び角度の再確認	モデルの修正をした。
	アイテム表示状態の「構造物+計測機器」を一番上に配置してほしい。ビュー設定でモデルを表示した後に計測値を確認し易くしてほしい。	アイテム表示状態の「構造物+計測機器」を一番上に配置し、「構造物+計測機器+観測値」を追加した。
	等高線を10m間隔か5m間隔で表示してほしい。また、標高も合わせて確認できるようにしてほしい。全てのアイテム表示状態に貯水位を追加してほしい。	LLVの機能で10m間隔は表示可能であり、右クリックで座標値が確認できることを回答。5m間隔については、暫定的に等高線モデルを追加した。「構造物+計測機器」以外のアイテム表示状態について、貯水位を追加した。
計測データ	止水ラインをソリッドモデル(壁)ではなく、パイロット孔だけの柱状モデルとしてほしい。	基礎処理設計担当に確認の上、柱状モデルを構築し、更新した。
	9時時点データで報告するため、毎日9時時点の全てのデータを横並びに見れないか。全体の計測データが俯瞰できたらいい。	管理CIMPCにて対応。
	基礎処理(地下水位データ)について、標高換算した水位を表示してほしい。	管理CIMPCにて対応。

### (3) 今後の展望

前頁の通り、今回構築した試験湛水CIMを管理段階においても有効に活用したいと考えている。管理移行後に必要となる情報を試験湛水CIMに追加した管理CIMを構築して維持管理を実施することで、ダム管理の高度化・合理化が図られる。

また、今まで各ダムで施工時のデータベースのような管理CIMが構築されてきたが、上手く活用されているとは言い難い状況である。一方で、立野ダム管理CIMは計測データを随時更新していく仕様としており、かつ職員用PCでアクセスできるため従来の管理CIMよりも普段使いができ、継続的に活用されるものを目指している。

### 5. さいごに

立野ダムは、令和5年7月に30mほど湛水し、そのときの計測監視を行ううえで、試験湛水CIMが大きな効果を発揮した。今後も試験湛水や管理移行までの間、より良いものを目指し、改良を行っていきたい。

今後のダム事業をはじめ、管理段階に移行するインフラ構造物の機能保全や日常的な管理等、同じような課題に直面した時の課題解決の一助になることを期待したい。

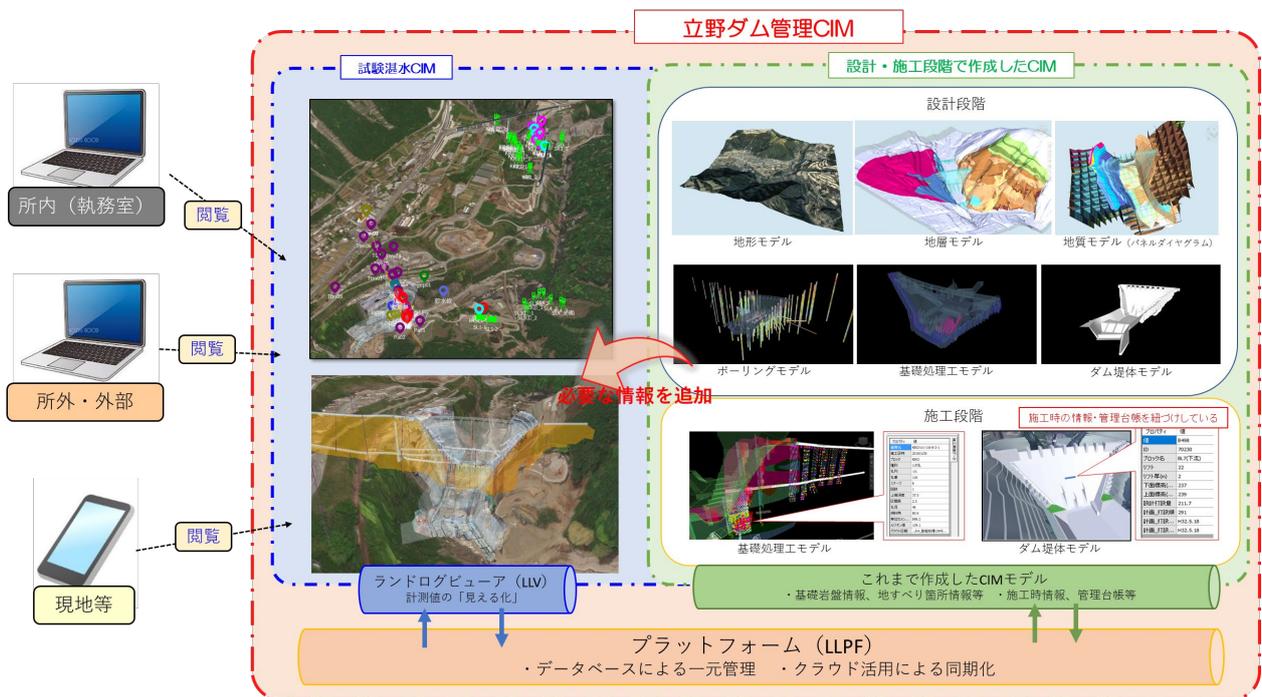


図-8 管理CIM全体構成イメージ

# 切羽前方探査と3次元解析を利用した トンネル掘削方法の最適化の検討

國居 史武<sup>1</sup>・永井 正勝<sup>2</sup>・篠本 悟<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (独) 水資源機構 筑後川下流総合管理所 福岡導水事業所 (〒812-0013 福岡県久留米市高野1-1-1)

<sup>2</sup> (独) 水資源機構 千葉用水総合管理所 東総管理所 (〒289-0602 千葉県香取郡東庄町笹川ろ81)

山岳トンネルの工事においては、施工中に行う切羽観察や変位計測の結果だけでなく、切羽前方探査で得られた地質情報を評価することにより、安全で経済的な施工を実現することが重要である。本稿では、福岡導水施設地震対策2号トンネル併設水路下口工区工事（以下、「下口工区」という。）において切羽前方探査として行った水平ボーリングにより採取したコアの室内試験や既往地質調査結果をもとに三次元FEM解析を行い、トンネル掘削時の変位量の予測から当初設定した支保タイプの妥当性を評価し、実施工の天端沈下と比較するとともに、FDEM探査（電磁探査）の結果と実際の切羽観察等と比較検証した結果について報告する。

キーワード 切羽前方探査, 三次元FEM解析, FDEM探査, 限界ひずみ, 花崗岩

## 1. はじめに

山岳トンネルにおけるNATM工法では、切羽で岩盤の不連続面の状態を直接目視して行う切羽観察により支保パターンを経験的に選定するのが一般的であるが、切羽観察や計測の結果だけでなく、施工中の調査として行う切羽前方探査で得られた地質情報を適切に評価することが安全で経済的な施工を実現することが重要である。特に、大きな変位や異常な土圧が予想される地山、破碎帯や突発湧水、近接構造物への影響が考えられる場合は、切羽前方探査や地質調査等の結果をもとに地山物性値等を設定して解析的に支保構造や施工方法を検討することで、トンネルの安定性、施工性、経済性を踏まえた支保構造や施工方法や地質リスクの低減が期待できる<sup>1)</sup>。

福岡導水施設地震対策事業で実施中の2号トンネル併設水路下口工区において、切羽観察による岩質判定で支保タイプが当初想定より早く変更となり、今後の支保タイプの妥当性の評価が必要と考えられた。本稿では、試行的に切羽前方探査として実施した水平ボーリングで採取したコアの室内試験や既往地質調査結果をもとに地山物性値を設定して、三次元FEM解析によりトンネル安定性を評価する解析的手法の適用性について検討することとした。併せて、切羽前方の湧水状況を把握する目的でFDEM探査（電磁探査）を行い、実際の切羽観察等との比較し、NATMにおけるトンネル掘削方法の最適化の検討結果について報告する。

## 2. 切羽前方探査

### (1) トンネルルートの地質概要

図-1に下口工区のトンネルルートの地質縦断面図を示す。地質は中生代白亜紀後期に貫入形成された塊状の花崗岩である。しかし、断層を示唆するリニアメント（線状構造）がトンネル直交方向に顕著であることが確認されており、これらが亀裂帯に沿った水みちを形成して、トンネル施工時に天端崩落や突発湧水に繋がることが技術的課題として挙げられるため、切羽前方探査を行う計画としている。

### (2) 切羽前方探査

図-2に切羽前方探査位置図を示す。本稿では、下口工区の坑口部から94m地点（TD=94m：No.235+27.8）から144m（TD=144m：No.234+77.8）の50m区間で、水平ボーリングとFDEM探査<sup>2)</sup>を行った結果を報告する。

#### a) 水平ボーリング

水平ボーリングは、トンネル中心線上の天端付近1箇所孔径50mm、延長50m行い、湧水の影響を少なくするために坑外に向かって $2^{\circ}$ の斜め上方に行った。採取したコアの観察結果、TD=94m~124mでは部分的に硬岩が介在しているものの、全体的には軟質でマサ化している部分もあり、全体的に良質なコアは得られていない。それに対して、TD=124m~144mでは部分的に風化が見られる

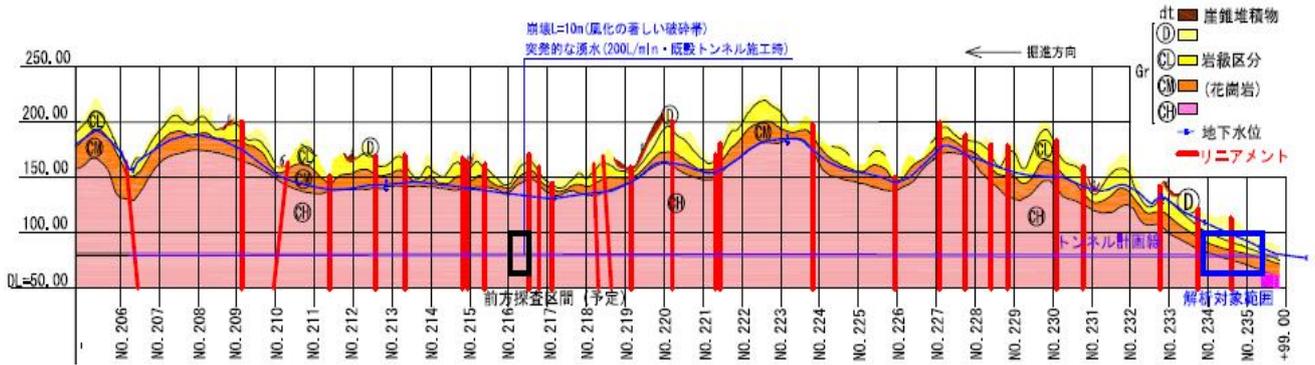


図-1 地質縦断面図（下口工区）

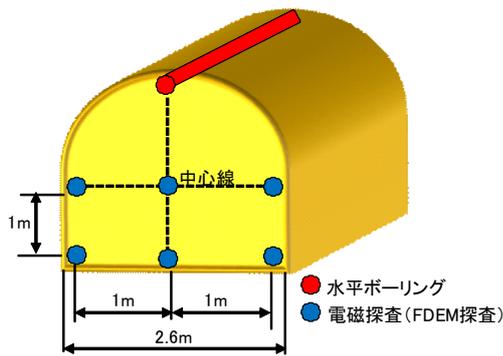


図-2 切羽前方探査位置図

が、全体的には硬質である。

### b) FDEM 探査（電磁探査）

切羽前方の湧水状況及び地質状況を推定する目的で、FDEM 探査を行った。FDEM 探査は相対的な比抵抗値の変化から湧水や脆弱部などの地質変化を推定する電磁探査法の一つで、送受信コイルを一体化させているため軽量かつコンパクトで扱いやすく、迅速に推定できるという特徴を有する。FDEM 探査は、図-2 に示す各探査範囲のトンネル中心高より下側の鉛直方向 2 測線（1m 間隔）、水平方向 3 測線（1m 間隔）の計 6 点で実施した。

## 3. 解析方法

### (1) 解析モデル

解析モデルの範囲は、地表面形状および掘削による影響を考慮し、側方境界はトンネル中心線から左右に50m程度、トンネル軸方向は切羽前方探査区間を含む約170m、下方領域は地表面沈下の影響を考慮し、トンネル掘削径Dに対して2D程度とした。図-3に地山の解析モデル図を示す。地山は線形弾性体のソリッド要素、吹付コンクリートは弾性体部材のシェル要素とし、ロックボルトはモデル化を省略している<sup>3)</sup>。境界条件は、地表面以外の境界面について、境界面の法線方向を固定とした。

表-1 解析に用いた地山物性値

地質	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	変形係数 (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比
表土	20.0	6,600	0.42
強風化花崗岩 (D級)	20.0	6,600	0.42
弱風化花崗岩 (CL級)	22.2	26,290	0.42
花崗岩 (CM級)	26.0	3,570,000	0.33

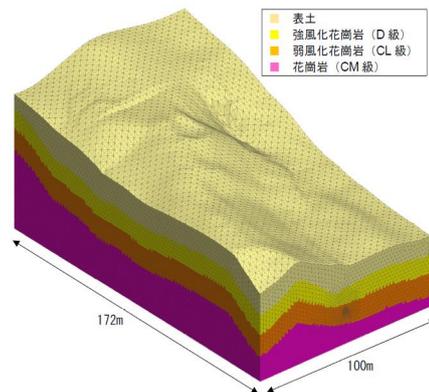


図-3 解析モデル

### (2) 地山物性値の設定

解析に用いる地山物性値は、水平ボーリングで採取したコアを用いた室内試験結果から設定した。表-1に室内試験結果を示す。表土は薄いため解析モデルでは強風化花崗岩 (D 級) として扱った。コア採取状況から一軸圧縮試験が困難な箇所は、点載荷試験により圧縮強度を推定した。今回の検討では、変形係数は一軸圧縮強度と変形係数の関係式<sup>4)</sup>から算定し、各対象層の最小値を採用した。花崗岩 (CM 級) 以外のポアソン比は、変形係数の値から既往文献<sup>5)</sup>をもとに設定した。

### (3) 解析方法

三次元 FEM 解析は全断面掘削による逐次解析とした。支保タイプは事前の切羽観察で硬岩が確認されたため当初設計と同じ C タイプ (吹付コンクリート t=100mm) とし、日掘進長 1.2m とした。地山の安定性評価には図-4 に示す内空変位や天端沈下等の管理限界値を定める目安に用いられる限界ひずみを用いた。限界ひずみは地山の

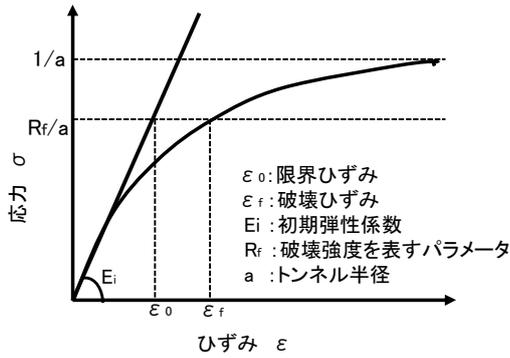


図-4 限界ひずみ

表-2 変位の管理基準値

地質	変位の管理基準値 (mm)		
	I	II	III
強風化花崗岩(D級)	16.8	25.1	33.5
弱風化花崗岩(CL級)	11.2	16.1	22.3
花崗岩(CM級)	6.7	10.1	13.4

※: 管理基準値 I および II は, III の 50%, 75% である.

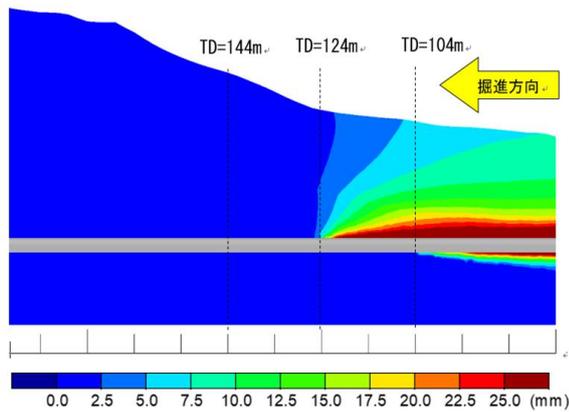


図-5 解析結果 (縦断方向の変位)

弾性波速度から算定し, これをもとに変位の管理基準値 III (壁面限界変位量) を設定し, 表-2 に示す変位の管理基準値を用いた<sup>6)</sup>. 表-2 と FEM 解析で得られた掘削による変位量を比較することで, 解析対象範囲における支保タイプの妥当性を評価した.

#### 4. 解析結果および考察

##### (1) 三次元FEM解析結果

図-5に三次元FEM解析の結果のうち, トンネル縦断方向の変位を示す. 弱風化花崗岩 (CL級) から花崗岩 (CM級) に変わるTD=124m付近で変位が急激に小さくなる.

##### (2) 実施工との比較検証

図-6(a) ~ (c) にFEM解析で得られた天端沈下と実施工での天端沈下を示す. TD=104m付近は弱風化花崗岩 (CL級) の影響で変位量は大きい, 地山が花崗岩 (CM級)

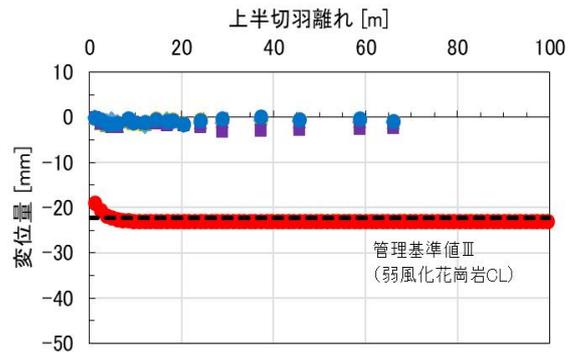


図-6(a) 解析結果 (天端沈下・TD=104m)

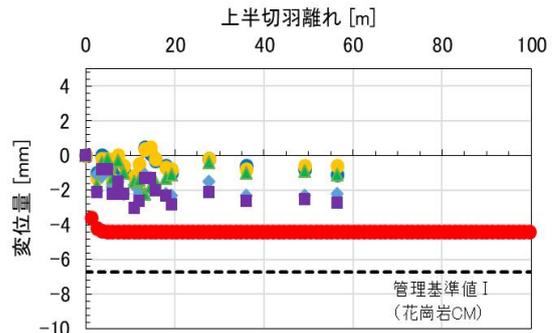


図-6(b) 解析結果 (天端沈下・TD=124m)

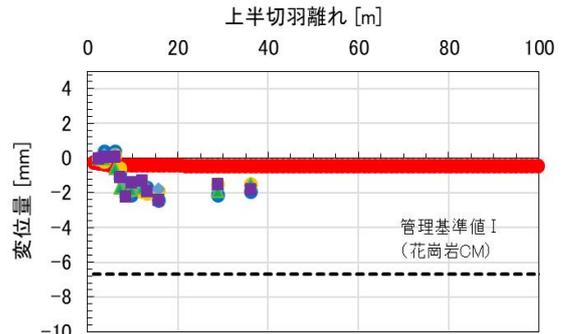
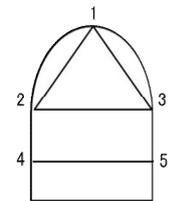


図-6(c) 解析結果 (天端沈下・TD=144m)



に変わるTD=124m付近で変位が5mm未満となり, 花崗岩 (CM級) が主体となるTD=144m付近では変位がほとんど見られない. したがって, 弱風化花崗岩 (CL級) を掘進する場合, Cタイプの支保では変位の管理基準値 III (壁面限界変位量) を上回るため, 支保タイプの見直し (Cタイプ→Dタイプ (吹付コンクリートt=150mm) が必要という解析結果となった. それに対して, TD=124m以深では解析値の変位は小さく, 管理基準値 I (壁面限界変位量の50%) を下回っているため, Cタイプの支保工が妥当

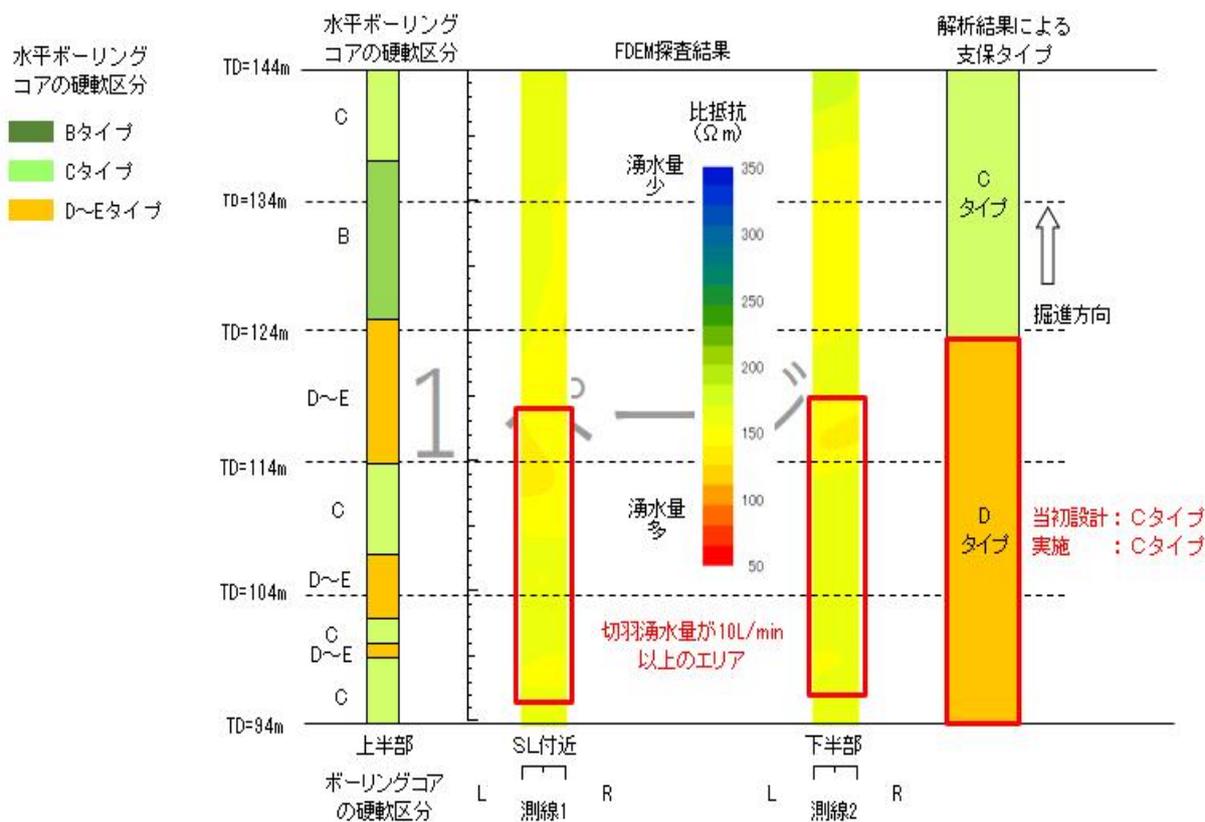


図-7 切羽前方探索結果と三次元FEM逐次解析による支保タイプ

であると評価された。図-7に切羽前方探索の結果と解析結果による支保タイプを並べて示す。FDEM探索で比抵抗値が小さい領域と切羽観察で10L/min以上の湧水が確認されたエリアは概ね一致している。

FEM解析で支保がDタイプと評価されたエリアは、切羽観察では粘土の介在や割れ目の開口が点在するものの全体的には硬岩と見なせること、図-6(a)に示す実施工の変位計測結果において管理基準値I（壁面における限界変位量の50%）を超過していないため、実施工では支保を当初設計と同じCタイプとした。

切羽で硬岩と粘土・風化岩が点在して分布するエリアで、解析結果と実施工の支保タイプと差異が生じた要因として、水平ボーリングで硬岩と風化岩の互層部で孔曲がりにより弱部のコアが採取され、その結果、解析に用いた変形係数とポアソン比が過小評価された可能性がコア観察と切羽観察結果から示唆された。したがって、逐次解析により掘削方法の最適化を検討に際しては、硬岩と風化岩が互層状に分布するエリアの地山物性値の評価が重要であり、水平ボーリングの孔曲がり対策やコア採取率の向上により解析精度が改善すると考えられる。

## 5. まとめ

本稿では、従前からNATM工法で行われている地山分類による標準支保パターンの適用に対して、設計の最適化

を目的として切羽前方探索結果を併用してトンネル安定性を評価する解析的手法の適用性について検討し、切羽観察との比較検証を行った。解析精度が向上すれば、これらの結果をクラウド上で一元管理して、タブレット端末等で閲覧すれば、施工中のリスク管理への活用が期待できる。今後も地質状況等を踏まえて地質リスクの低減など施工の合理化を図りながら、工期遵守や安全管理だけでなくコスト削減に取り組んでいく所存である。

## 参考文献

- 1) 土木学会：2016年制定トンネル標準示方書[山岳工法編]
- 2) 電磁探査法の土木分野への展開。農業土木学会誌第67巻第11号, 1999. 11
- 3) 日本道路公団試験研究所：トンネル数値解析マニュアル（都市部トンネル解析留意事項編），2002. 3, p12
- 4) 土木学会：実務者のための山岳トンネルにおける地表面沈下の予測と合理的対策工の選定（トンネルライブラリー24）p112
- 5) (社)日本トンネル技術協会：大断面トンネルの設計・施工法に関する調査研究（その3），1996. 3
- 6) トンネル工事における変位計測結果の評価。土木学会論文集。第317号, 1982. 1, p96-100

# ダム管理職員のための使いやすい 地すべりCIMの構築

染矢晃<sup>1</sup>・小石真也<sup>1</sup>・恵良和仁<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局大分河川国道事務所 ダム管理課（〒870-1213大分県大分市大字下原 1546-4）

現在、試験湛水中のななせダムでは、貯水池地すべりならびに周辺斜面の安定性評価を日々行っている。ななせダム貯水池周辺には地すべりの発生が想定される箇所が存在し、貯水位変化に伴うこれらの地すべり等の安定性評価を効率的にかつ迅速に行う重要なツールとして「貯水池地すべりCIM」を作成し活用している。貯水池地すべりCIMは地形モデル、地質モデル、構造物モデル、その他モデルならびに点群モデルから構成されている。貯水池斜面の地すべり箇所の動態観測の計測機器、計測箇所、計測結果の表示機能をCIMに取り入れ、CIM画面上で動態観測結果を確認できるようにした。また、貯水池周辺で地すべりが発生した際に地すべりの状況を把握する目的で「地すべり災害CIM」にも対応できるCIMの仕様とした。さらに、日常管理時の軽微な変状（例えば道路への落石、転石）もCIM上に点群データとして表現しアーカイブとしてのCIMで活用するシステムを構築した。

キーワード 試験湛水、貯水池地すべり、災害対応、CIM、点群データ、SfM解析

## 1. はじめに

ななせダムは試験湛水実施中であり、貯水位の変化に伴う地すべりならびに貯水池周辺斜面の安定性評価を実施している。これらの安定性評価を実施するうえで貯水池全体の地形、地質、貯水池地すべりの3次元的な形状やすべり面の位置、動態観測の計測機器ならびに計測位置、既往調査ボーリングの位置、掘削深度などを把握することは非常に重要であり、これらの情報の有無が大規模な斜面変状が発生した際の初動やその後の判断に大きな影響を与える。しかし、紙ベースで保存されているデータの膨大さや情報の分散などの課題がある。

これらの情報の全体像を把握するには貯水池周辺斜面に関する情報を可視化（見える化）し、一元化することが最も有効であり、それらを具現化するCIMの構築が最適である。

ななせダムでは貯水池地すべりのCIM（以降、地すべりCIMと称す。）を構築した。この地すべりCIMは、通常の斜面監視、緊急時の斜面安定性評価に対応でき、かつダム管理課職員のPCでも稼働するモデルの構築とした。さらに作成した地すべりCIMは、「地すべり災害対応のBIM/CIMモデルに関する技術資料<sup>1)</sup>」に対応しつつ、日々の巡視や点検で確認した軽微な変状（転石や落石の状況、貯水池内の濁水など）をアーカイブとして取り込みCIMモデルを活用している。本稿ではななせダムの地すべりCIMのモデルの構成とその活用について詳述する。

## 2. 地すべりCIMモデルの作成

地すべりCIMを作成する際に、まずは「誰が」「いつ」「どこで」使うか検討をする必要がある。ななせダムの管理に携わる職員は少人数で業務を行っている状況である。このため、「ダム管理課職員が簡単に」「緊急時あるいは平常時に」「事務所所有のソフトと職員のパソコン」で貯水池斜面の安全性を迅速かつ正確に評価するためのサポートシステムとして地すべりCIMの作成を目指した。

地すべりCIMモデルの構成の概要は表-1に示すモデルから構成されている。図-1に作成した地すべりCIMの全体像を示す。

表-1 ななせダム地すべりCIMモデルの構成概要

CIMモデル	作成範囲	モデルの種類	
地形モデル	貯水池周辺	Surface	
地質モデル	地質平面図	貯水池周辺	Texture
	ボーリングモデル	各地すべり	Solid
	準3次元地質断面図	各地すべり	Surface
	3次元地盤モデル	各地すべり範囲、すべり面	Surface
構造物モデル	保全対象構造物	Solid	
その他モデル	湛水面、堆砂、観測機器等	Surface or Solid	
点群モデル	適時	3D_Point	

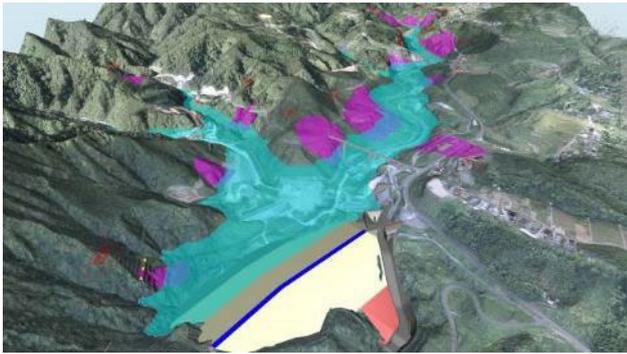


図-1 貯水池地すべりCIMの全体像 (紫が地すべり平面形状)

### (1) 地形モデル

ななせダムの貯水池周辺斜面は、付替道路の建設や地すべり対策工等の施工により、地形が改変されている。そのため、地すべりCIMには湛水開始前と現況の2時期の地形モデルを作成し、ダム建設に伴う地形の変化を視覚的に把握しやすくした。湛水開始前の地形モデルは、平成28年度実施の航空レーザー測量成果を用いて作成し、現況の地形モデルは、令和4年度実施された最新の航空レーザー測量成果および堆砂測量成果を用いて作成した。

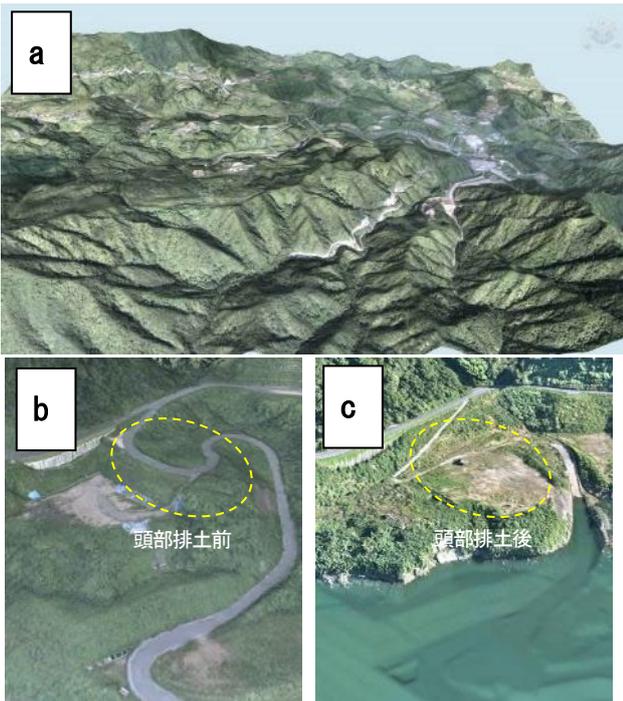


図-2 地形モデル  
(a全体 b:湛水前の地形、c:現況地形)

### (2) 地質モデル

貯水池全体の地質平面図を図-3に示すように地形モデルに沿って立体的に表示した。ボーリングモデルは、既往調査ボーリングの位置や角度・方位、掘削深度、地質情報等を円柱状のモデルとして表現した。さらに、モデルには属性情報を付与するとともに、柱状図やコア写真等の詳細な情報を外部参照でリンク付けした(図-4)。

これにより、地すべりCIMモデルで全体像を見ながら個別のボーリングモデルをクリックすることで詳細データに速やかにアクセスすることが可能となった。個別の地すべりブロックの地質断面図は準3次元地質図としてパネルダイアグラムを作成し地すべりCIMに配置した。また、既往の地質断面図に表示されている想定すべり面をコントロールポイントとして、空間補間処理を行い、想定すべり面の3次元モデルを作成した(図-5)。

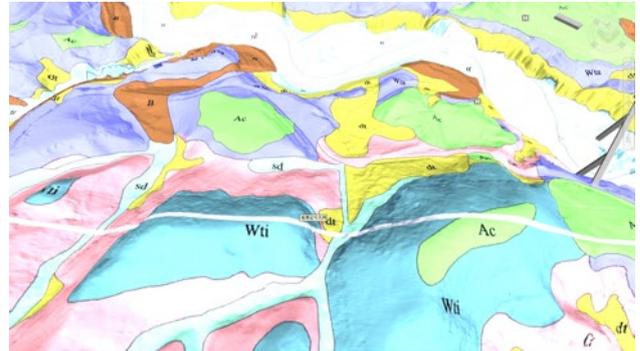


図-3 貯水池全体の地質平面図の立体表示

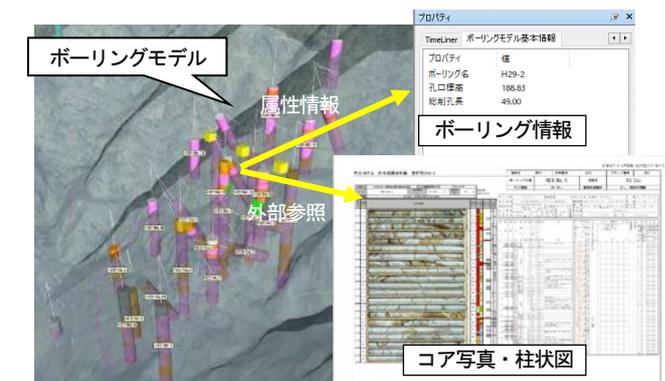


図-4 ボーリングモデル

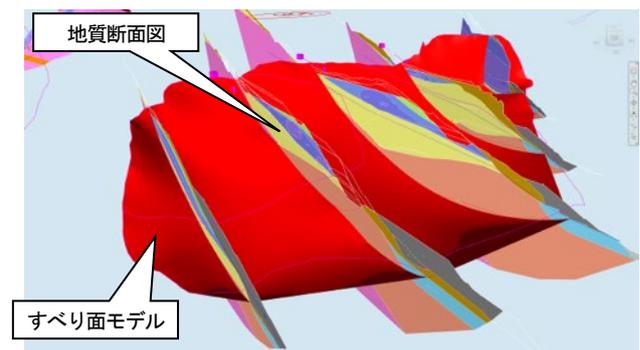


図-5 すべり面 (赤色の面) の3次元モデル

### (3) 構造物モデル

構造物モデルは、貯水池周辺に位置する保全対象を単純な形状(詳細度100)で作成した。図-6に示す構造物は橋梁のモデルであるが、このような構造物モデルを作成することで貯水池地すべりと構造物の位置関係を直観的に理解することが可能となった。

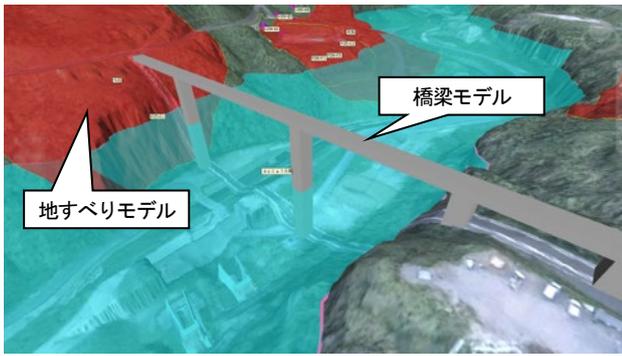


図6 構造物モデル例（橋梁のソリッドモデル）

#### (4) その他モデル

地すべりブロックの湛水状況を視覚的に把握しやすくするため、SWL・NWL・LWL時における湛水面を半透明にしたサーフェスモデルで表現した。

その他、以下の情報のモデル化及び属性の付与を図った。

- ・ 観測機器の種類、位置
- ・ 貯水池で確認された軽微な変状及び今後変状の発生が予想される箇所
- ・ 鉱区禁止区域
- ・ 堆砂測量結果

#### (5) 点群モデル

点群データは地すべりCIMにおけるリアルタイムの変状監視や貯水池管理の効率化、高度化につながる重要なデータである。本稿では地すべりCIMに付与している点群データの取得方法をいくつか紹介する。

##### (1) UAV撮影写真からの点群データ

UAVを使用して撮影した連続写真をSfM(Structure from Motion)解析し、地すべりCIMに付与した例を図-7に示す。UAVを活用することで、広範囲の撮影をすることができ、最新の周辺地形の情報を得ることが可能となる。基図の地形データとなるLP図、既往ボーリング位置、地すべり位置などの位置関係が直観的に理解することができる。



図-7 点群データのCIMでの表示例（UAV撮影写真のSfM解析結果）

##### (2) スマートフォン撮影写真からの点群データ

手持ちのスマートフォンで撮影した連続写真をSfM解析することで図-8に示すような点群データを手軽に取得

できる。

このデータをCIMで示すと図-8（下）のようになり平常時の巡視等で気づいた軽微な変状などを点群データとして記録し保存することが可能となる。

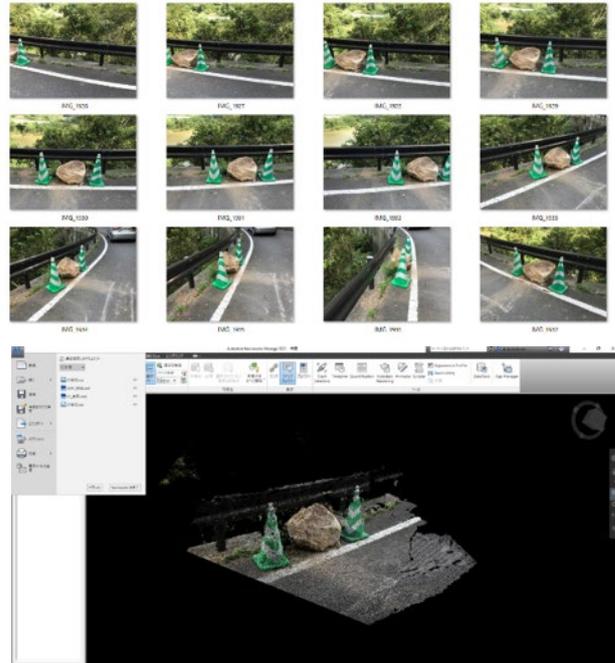


図-8 点群データのCIMでの表示例（上：撮影した連続写真一覧、下：連続写真から作成した点群データ）

##### (3) 携帯型LiDARからの点群データ

最近、携帯型LiDARスキャナが普及しつつある。携帯型LiDARは、携帯性が高いためすぐに現地の状況を計測し点群化することが可能である。

携帯型のLiDARにはいくつかあるが、そのうちiPadに搭載されているLiDAR計測の一例を図-9に示す。なお、iPad搭載のLiDARは約5mより遠い場所は計測できないデメリットがある。

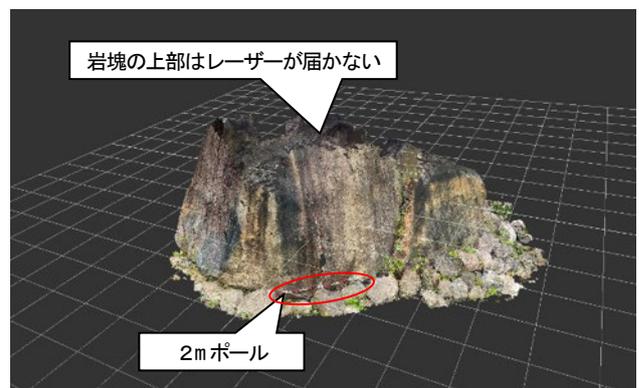


図-9 iPad搭載のLiDARによる点群表示例（岩塊の上部はレーザーが届かないため計測できない）

### 3. 地すべりCIMの利活用

#### (1) 平常時

平常時における地すべりCIMの利活用は、地すべり等の動態観測結果の確認や、計測値に異常が発生した場合の発生場所と地すべりとの位置関係、異常箇所既往資料の確認などがある。また、軽微な変状が発生した際の情報共有、情報データベースを目的としたアーカイブなどが挙げられる。さらに、打合せ時にCIMモデルを画面で共有し共通認識の向上を図っている。

#### a) 地すべり動態観測結果の確認

ななせダムでは孔内傾斜計8箇所、地盤傾斜計4箇所、伸縮計3箇所、アンカー荷重計2箇所で動態観測の自動計測を行っている。これらの動態観測結果は、1時間毎に計測データの更新ならびにグラフ化が自動で行われWEB上で閲覧することができる。また、動態観測の異常値が計測された際は関係者へアラートが発信される。この情報を地すべりCIMでリンク閲覧できるようにした。(図-10)

地すべりCIMの計測機器をクリックすることで常に最新の計測結果を閲覧することが可能となり、また、異常値のアラートが発信された場所をCIM上で確認することができるため場所の把握が容易にできることとなった。



図-10 動態観測結果の表示例 (リンク先の情報は常に更新されているため1時間毎のリアルタイムの情報が閲覧可能)

#### b) 地質状況の確認

観測が必要な箇所の既往地質断面図を準3次元のパネルダイアグラムとして表現し表示した。これにより地質の状況、ボーリングの位置関係の把握が素早く行える。具体的には、図-11に示すようにボーリングモデルをクリックすることでボーリング柱状図、コア写真などの資料の確認することができる。

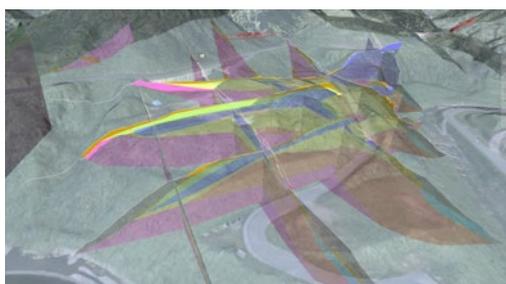


図-11 貯水池地すべりの準三次元表示例 (地質ごとに色分け)

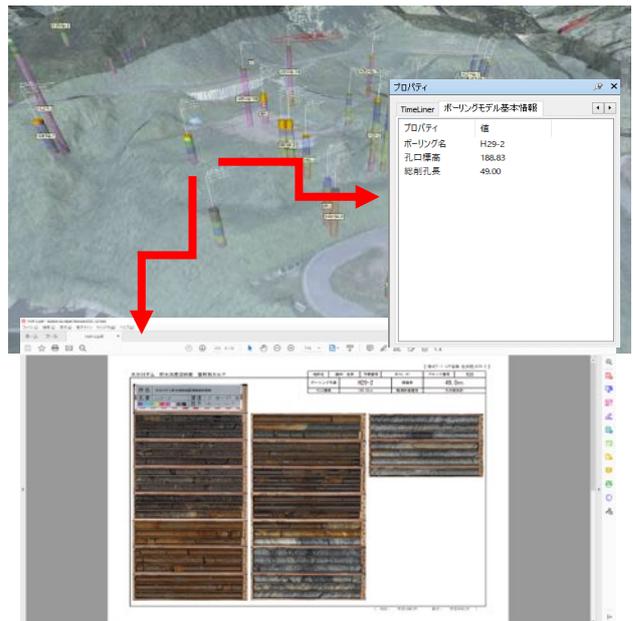


図-12 貯水池地すべりボーリングの表示例 (リンク先の情報は地すべり斜面カルテの情報を表示)

#### c) 軽微な変状のアーカイブ

CIMモデルをデータベースとして活用し、変状に関わる情報を関係者間で共有することが可能となる。この情報共有化によって、地すべり等の大きな変状に至る兆候の見逃しを防げる可能性が高いと考えられる。

具体的な活用方法としては、貯水池周辺で確認された軽微な変状 (例えば、濁水や気泡の発生等) に関わる情報を収集し、それらを地すべりCIMに反映する。具体的には、発生箇所の位置情報を作成し、そのモデルの外部参照として状況を撮影した写真や動画、発生原因の検討資料等の情報を格納したフォルダへのリンクを設定する (図-13)。

この作業により、試験湛水開始から現在までに発生した軽微な変状の情報が職員に効果的に共有できることが確認された。例えば、軽微な変状についても、CIMで情報を一元管理できるため、あいまいな記憶による伝達ではなく発生した位置や情報を正確に伝達ができる。

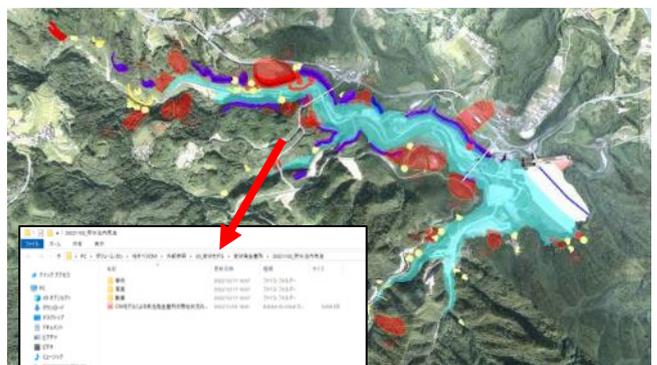


図-13 データベースとしてのCIMの利活用例 (貯水池内の黄色ポイントをクリックするとリンク先のフォルダ表示)

また、台風通過後などに貯水池周回道路で確認した転石などは、写真を連続して撮影しSfM解析を行い、点群データとしてCIM上に表現し、情報をアーカイブ化した（図-14）。点群データのため机上で寸法などを測定することも可能である。CIMを用いて軽微な変状などの情報を管理することにより情報のアーカイブが可能となり職員が異動後の後任の職員へと情報が正確に引き継がれることが可能となった。



図-14 転石情報の表示例（SfM解析により点群データを生成）

#### d) 打合せ時の活用

コロナ禍以降、WEBを活用した会議が一般的となり、画面共有を通じて会議資料の共有が行われている。ななせダムでもWEB会議を積極的に行なっている。地すべりCIMを画面に表示し、先述の地質情報、地すべり範囲を示しながらの計測結果の確認など打合せに活用している。

さらに、WEB会議の仕組みを活用して、現地、事務所、関係者をリアルタイムでつなぎ、現地状況と地すべりCIMの情報を共有することによりその活用度をさらに高めることができることを確認した。

具体的には、図-15に示すように現地でやや大きめの転石が発生したと想定し、現地状況をWEB会議で情報共有するとともに点群データを取得し、地すべりCIMで情報共有するまでの作業の試行実証を行った。

- ① 現地から変状の発生状況（ここでは転石を想定）をWeb会議形式にて報告
  - ② iPad搭載のLiDARを用いて転石の点群データを取得し、情報共有システムでデータを共有
  - ③ 点群データを解析し、地すべりCIMに統合し、変状の発生状況のイメージを共有
  - ④ 職員が状況を確認し、必要に応じて各関係者に指示
- 試行の結果、①～④までに要した時間は10分程度であった。地すべりCIMモデル上で点群データを再現し、様々な角度から対象を観察することで、関係者間での共通認識が得やすくなり、今後の対策検討に非常に有用であることが確認できた。



図-15 貯水池CIMを用いたリアルタイム斜面管理  
（上：WEB会議でリアルタイムに現地状況を共有、下：現地で取得した点群データをほぼリアルタイムで貯水池CIMに反映し情報共有）

#### (2) 緊急時

地すべり等の変動が発生した緊急時においては、貯水池全体の状況を俯瞰して把握できることができる3次元モデルは不可欠であり、このような場面で地すべりCIMは特に効果的に活用できることが考えられる。また、「地すべり災害対応のBIM/CIMモデルに関する技術資料」（令和3年4月）<sup>1)</sup>によると、地すべり災害の状況をカラー点群データで再現し、「バーチャル現場」として活用することが可能とされている。

##### a) 技術資料の試行検証

ななせダムでは大規模な災害が発生していないものの、現状の地すべりCIMを用いて前述の技術資料で示されている内容がどこまで再現できるかの検証を行った（図-16）。その結果、地形モデル（LPモデル）とUAV等で取得した点群データを用いることで地形情報の精度が格段に上がり、地すべりCIMには既往調査位置が示されているため、災害発生箇所と既往調査箇所との位置関係が地下空間を含めて明瞭になる。

また、図-3に示すように、CIM上での地質平面図の表示も可能であり災害発生箇所の構成地質もすぐに確認できる。

したがって災害発生時に、構成する地質情報、既往地すべりとの位置関係、既往調査ボーリングの有無などの情報を地すべりCIMで表現することができ、情報の一元管理が可能になる。このため、災害時の初動対応やその後の判断材料に大きな利点があると期待できる。さらには災害発生後に点群データを取得し、被災前の地形デー

タと比較することで、災害の規模や構造物との離隔距離などを事務所にいながらPCで計測でき把握ができることも確認できた。

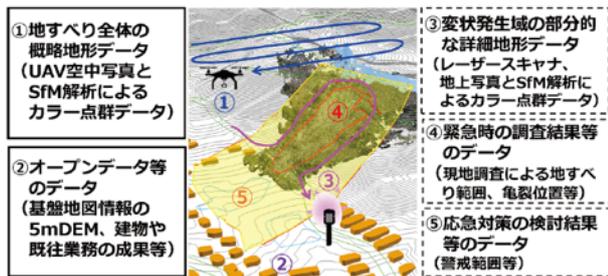


図-16 地すべり災害対応のCIMモデルのデータ構成

#### 4. まとめ

今回作成したななせダムの地すべりCIMは地形モデル、地質モデル、構造物モデル、その他モデル、点群モデルから構成されている。このモデルを利活用することで貯水池斜面の安全性を迅速かつ正確に評価することが可能であることを確認した。

また、試験湛水期間中における軽微な変状についても点群データなどを用いて地すべりCIMに付与することで情報のアーカイブが可能となった。これは情報の伝達と共有について非常に有効なツールであることを示している。

このように作成した地すべりCIMは斜面の安定性評価

を行う際の基礎データ、動態観測結果の確認、試験湛水期間中に発生した軽微な変状のアーカイブなど多様な用途で使用ができることが判明した。

さらに、現地状況をリアルタイムに確認する際にも非常に有効なツールであり、災害時の地すべり災害CIMとしての活用が期待され、他ダムにおいても有効なツールになると考えられる。

#### 5. 今後の課題

今回作成したCIMモデルを閲覧表示するためには、職員のパソコンにインストールしているソフトを使用する必要がある。このため、スムーズな操作性を得るためには、パソコンのスペックに依存する。アーカイブとして残す点群データやモデルのデータ数が多くなるとデータ容量が大きくなり職員のパソコンでは表示に時間がかかる、あるいは表示ができなくなる可能性がある。データサーバーへのデータの移行や外部CPUを用いたCIMの表示、さらには外部サーバー（クラウド）を介したCIMモデルの作成、表示などについて今後は検討していきたい。

#### 参考文献

- 1) 土木研究所資料：地すべり災害対応のBIM/CIMモデルに関する技術資料、令和3年4月

# 国土交通省所管国庫補助事業を活用した 久留米市浄水管理センター管理棟のCO2排出量削減 及び省エネルギー改修事例について

木藤 敦之<sup>1</sup>・香月 雄志郎<sup>2</sup>・清水 淳<sup>3</sup>

<sup>1</sup>久留米市役所上下水道部総務 (〒839-8501 福岡県久留米市合川町2190-3)

<sup>2</sup>久留米市役所上下水道部浄水管理センター (〒839-0827 福岡県久留米市山本町豊田614) .

<sup>3</sup>久留米市役所上下水道部浄水管理センター (〒839-0827 福岡県久留米市山本町豊田614) .

浄水設備は設備改修の際に省エネ設備への更新等により省エネ対策が進む傾向にある一方、管理棟の省エネ対策については浄水設備に対して改修の優先度が低く、先送りされる傾向にある。本市浄水管理センター管理棟では、ランニングコスト及びCO2排出量の削減、国庫補助金の獲得と、一石三鳥の効果を求め、民間施設での採択事例が多い国土交通省所管である『既存建築物省エネ化推進事業』の活用によりチャレンジし、一部国費を活用した省エネ改修を実施した。今回、補助事業を活用した省エネ改修内容、導入後の省エネ効果等について報告を行う。本報告が他市同様の施設での活用検討の一助になれば幸いである。

キーワード 省エネルギー改修, 国庫補助事業, BELS, 断熱改修

## 1. 放光寺浄水場の概要

本市の水道施設は1927年に施設の建設着工以来、給水区域の拡大や産業の発展による水需要の増加に対応するため、浄水場や配水池等の施設を整備してきた。現在、取水施設は太郎原(たいろばる)取水場1箇所、浄水施設は放光寺浄水場1箇所、配水池は6箇所ある。放光寺浄水場は筑後川表流水を水源とし、処理は凝集沈殿+急速ろ過方式で2つの処理系統があり、1系は1969年、2系は1985年稼働である。施設能力は103,000m<sup>3</sup>/日となっている。

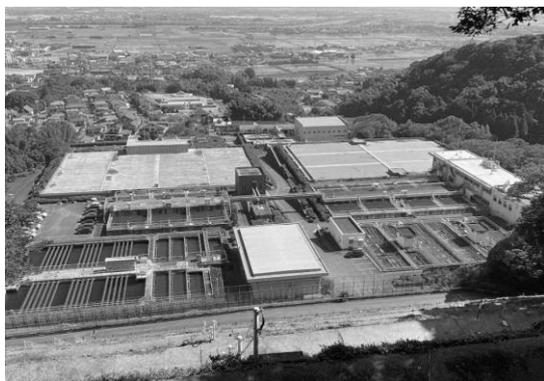


図1 放光寺浄水場全景

## 2. 浄水管理センター管理棟概要、改修ニーズ

浄水管理センター管理棟は放光寺浄水場1系稼働にあわせ1969年に竣工し、現在も浄水施設全体を運転監視する管理棟として使用している。図2に管理棟外観を示す。

これまで劣化部位を改修しながら使用を継続してきたが、最終改修から照明設備は30年以上、空調設備は20年以上が経過している。特に空調設備については集中管理式の旧型の空冷チラーユニット空調であり、消費電力が大きく、劣化進行によりいつ停止してもおかしくない状況となっており、蛍光灯ベースの照明設備についても頻りにランプ交換を必要とするなど老朽化が進行していた。

当初は省エネ改修という視点が無く、照明設備はLED化へ、空調設備はチラーユニットをパッケージエアコンへ改修する、単なる設備改修で計画しており、約40,000(千円)(税込)の工事予算を想定していた。

○浄水管理センター管理棟建築概要

延床面積1,813m<sup>2</sup> 地下1階・地上2階 RC造



図2 管理棟外観

### 3. 久留米市における省エネCO2対策補助活用状況

本市での省エネCO2対策国庫補助事業活用実績について表1に示す。本市では大規模な空調設備改修が必要な際には、施設の大規模改修を行う減多に無い機会として捉え、省エネ改修やZEB化改修が可能か否かを検討する流れが定着しつつある。その検討においては、一般財源の負担を出来るだけ低減するため、国庫補助事業の活用に関する検討についても力を入れている。

表1 久留米市での省エネCO2対策補助活用状況

国庫補助事業名(所管)	所管	年度
地方自治体カーボンマネジメント強化事業	環境省	2019・2020
エネルギー使用合理化等事業者支援事業	経産省	2019
地域の防災・減災・低炭素同時実現事業	環境省	2019・2020
ZEB実証事業	環境省	2020・2021

### 4. 国庫補助事業獲得への取組み

今回の浄水管理センター管理棟における改修では、2019年に通常改修での設計を完了しており、当初計画では単なる劣化部位の更新として約40,000(千円)の予算で2020年度に改修を実施する計画としていた。

しかし、前章で述べたように2020～2021年度にかけて実施した本市環境部庁舎での既存建築物改修による100%ZEB達成事例など、本市での最近の国庫補助を活用した省エネ改修の取組み状況を踏まえ、大規模な空調設備改修を千載一遇の機会と捉え、国庫補助事業を活用した省エネ改修に挑戦する事とした。

今回の空調設備改修は大規模改修とは言え、施設全体

の改修では無かったこともあり、ZEB実証事業活用によるZEB化改修については難易度が高い。他に活用できる補助事業は無い各都府のホームページ調査などを通して検討した結果、国土交通省所管の「既存建築物省エネ化推進事業」であれば、獲得可能性があることが分かった。当該国庫補助事業の主な要件等について以下に記す。

#### 【補助事業名】

『既存建築物省エネ化推進事業』(国土交通省)  
補助率 1/3 補助執行団体による間接補助

#### 【事業の要件】

- ① 躯体(外皮)の省エネ改修を伴うこと
- ② 建物全体で15%以上の省エネとすること
- ③ 改修後の建物省エネルギー性能を表示すること
- ④ エネルギー使用量計測を行い省エネ活動推進のこと
- ⑤ 事業費の合計が5,000(千円)以上であること
- ⑥ 改修後に耐震性を有すること

### 5 可能性調査、設計見直しの実施

ターゲットとなる国庫補助事業は判明したが、実際に事業の採択を受けるためには、当該補助事業が求める公募申請書を提出し審査を受ける必要がある。

省エネ改修は躯体断熱の程度により建物の空調負荷が変化するため、必要となる空調設備の能力が変わる。しかし躯体断熱については、断熱強化の対象が窓ガラス、外壁、天井など様々な部位と、断熱強化の手法やレベルにもバリエーションがあり、多数の組み合わせがある。

躯体断熱強化を伴う省エネ改修については、躯体断熱強化の内容と空調改修の組合せについて最も投資効果の高い改修の組合せをプランニングすることが重要になるため、公募申請に向けた可能性調査業務を実施した。

可能性調査業務により省エネ率15%以上となる改修プランが整理でき、躯体断熱強化の内容と範囲、空調負荷低減に応じた空調能力が明らかになった。既に通常改修での空調設備改修設計は完了していたため、省エネ改修を実施する場合における、空調設備改修設計の見直しについては自前で実施することにした。

### 6. 補助事業支援業務の発注、補助事業応募

省エネ補助獲得の為の公募申請書類の作成は、省エネ計算等のスキルが必要となり難易度が高い。過去に『地方自治体カーボンマネジメント強化事業』では職員が自前で公募、補助申請、完了実績報告まで実施した実績はあるが、全てを担当職員が自前で実施することは業務負

担が重い為、補助事業支援業務を補助事業活用実績のあるコンサルティング会社に発注した。コンサルティング会社の支援を受け、令和3年度事業について2021年5月末に応募し、同年8月に事業採択を頂く事ができた。図3に事業スケジュールを示す。

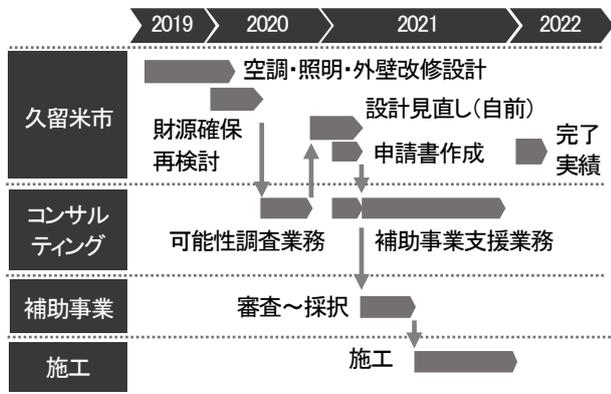


図3 事業スケジュール

## 7. 浄水管理センター管理棟の改修内容

躯体断熱強化を必須とし、投資効果の高い改修プランを可能性調査業務により検討を行い、建物全体の省エネ率26.4%となる改修を計画した。表2に改修による建物全体の省エネ率、今回の改修概要を図4に示す。

改修のポイントは下記の通りである。

### ① 躯体断熱強化

窓断熱として窓ガラスをLow-E真空ガラスに更新、また天井断熱としてグラスウール敷き込みを施し、建物の断熱性能を向上させ空調負荷の低減を図った。

### ② 空調設備改修

既設の空冷チラーユニット、冷温水ポンプ、ファンコイルユニットの空調システムを廃止し、高効率パッケージエアコンの導入により消費電力の削減を図った。

### ③ 照明設備改修

既設の蛍光灯照明を撤去し、LED照明の導入により明るさをそのまま消費電力の削減を図った。

表2 改修による建物全体の省エネ率

改修部位	建物全体の省エネ率
躯体断熱強化	9.7(%)
空調設備改修	9.6(%)
照明設備改修	7.1(%)
(合計)	26.4(%)

また、各改修部位についての詳細を(1)～(3)で示す。

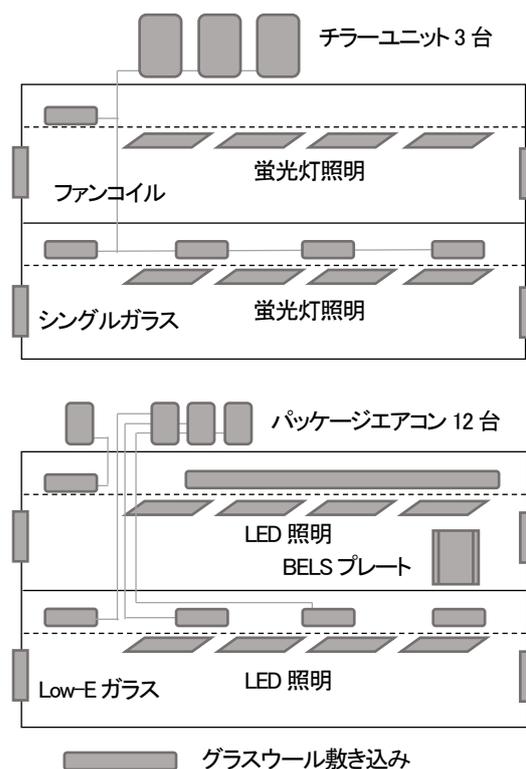


図4 改修概要(上:改修前、下:改修後)

### (1) 躯体断熱強化

窓の断熱強化については、既存の単層ガラスをLow-E真空ガラスに改修した。図5にLow-E真空ガラスへの交換作業状況を示す。事務所ビルなどは窓からの熱の出入りが大きく窓の断熱強化は大変重要である。

今回の真空ガラス化により、窓部分については約9倍の断熱性能となった。また、今回採用したガラスは既存の窓枠を活かすことが可能であり、現場で窓枠を取り外し、その場でガラスのみ交換で改修が実現できた。1階については作業の効率を上げるため、屋外側からの作業も実施したが、室内側からのみの交換作業も可能である。2階については一部FIX窓交換用に足場を設置したが、それ以外の大部分については足場を設置せずに作業を実施した。また、躯体断熱強化については作業を実施するエリアの業務継続へ支障が発生する懸念が考えられるが、外壁面から2m程度を作業スペースとして確保するのみで交換作業を実施することができ、業務を継続しながらの工事を実施することが出来た。

また、空調設備や照明設備の改修により天井材の一部取り外しを行うため、施工中の開口部を活用し、2階の天井断熱強化として、グラスウール敷き込みを併せて実施した。

窓ガラスのLow-E真空ガラスへの更新と、2階天井内グラスウール敷き込みによる躯体断熱効果により、省エネ率9.7%を達成した。



図5 Low-E真空ガラスへの交換作業

表3 躯体断熱強化内容と省エネ率

	開口部(窓)	2階天井内
改修内容	Low-E真空ガラスへ更新	グラスウール敷込み
効果	省エネ率 5.2%	省エネ率 4.5%

## (2) 空調設備改修

空調設備については、旧型の空冷チラーユニットによる冷温水での空調方式を廃止し、電気式パッケージエアコンに改修した。図6に空調設備の改修前後を示す。改修前の空冷チラーユニットの成績係数(冷房2.2~暖房3.0)に対し、改修後の電気式パッケージエアコンの成績係数が(冷房3.3~5.3、暖房4.0~5.0)向上していることに加え、躯体断熱強化により空調改修の対象となっている部屋の空調負荷が冷房で約16%(137.5kW→115.3kW)、暖房で約22%(165kW→129.1kW)削減され、空調改修工事費についても削減が可能となった。空調設備の改修により、省エネ率9.6%を達成した。表4に空調設備改修内容と省エネ率を示す。



図6 空調設備改修前後(左:改修前、右:改修後)

表4 空調設備改修内容と省エネ率

	空調方式	空調能力
改修前	チラーユニット×3台	冷房 137.5kW 暖房 165.0kW
改修後	電気式パッケージ×12台	冷房 115.3kW 暖房 129.1kW
効果	個別運転が可能 低負荷時の効果大	冷房▲22.2kW(▲16%) 暖房▲35.9kW(▲22%) 省エネ率 9.6%

## (3) 照明設備改修

照明設備については、倉庫など一部点灯時間の短いエリアを除き、蛍光灯からLED照明への改修を行った。図7に改修前後の照明設備を示す。

市民が常時来場されるのではなく、勤務する職員の利用が中心の施設であるため、通路やホール部分の節電に活用できる自動調光や自動点灯といった機能は付加せず、節電のための照明入り切りは職員の手動作業とした。



図7 蛍光灯(左)をLED照明(右)へ更新

今回の照明設備改修ではLED照明への改修により、表5に示すように、消費電力量で約59%、施設全体の省エネ率で7.1%の削減となった。

表5 照明設備改修内容と省エネ率

	器具種類	消費電力/消費電力量
改修前	蛍光灯 (375台)	消費電力 24,065W
		消費電力量 39,009kWh
改修後	LED照明 (371台)	消費電力 7,859W
		消費電力量 15,868kWh
効果	—	消費電力削減 ▲23,141kWh (▲59%) 省エネ率 7.1%

## 8. 改修におけるコスト・省エネ評価

### (1) 経費と追加投資回収年数

躯体断熱強化の追加経費については空調のダウンサイジングによる効果と、国庫補助金で相当額を賄うことができた。また、今回の省エネ改修において試算では年間1,300(千円)程度の電気料金のコスト削減も図れることが分かった。

断熱性能向上により空調設備のダウンサイジングができたことは、今後15年~20年程度後に訪れる次期空調改修工事においても経費の削減に繋がることになる。今回の省エネ改修は、ライフサイクルコストにおいても有利であると評価できる。表6に今回の省エネ改修での実質負担額と改修年数を示す。

表6 今回の省エネ改修での実質負担額と回収年数

	当初計画	今回省エネ改修
改修内容 空調 照明 建築	チラー ⇒ BHP 蛍光灯 ⇒ LED	チラー ⇒ BHP 蛍光灯 ⇒ LED Low-E真空ガラス 断熱材敷込み
工事費	空調 26,761(千円) 照明 12,080(千円) 建築 - 合計 38,841(千円)	空調 23,692(千円) 照明 12,080(千円) 建築 20,481(千円) 合計 56,253(千円)
国庫補助金	-	16,875(千円)
実質負担額	38,841(千円)	39,378(千円) 【537(千円)増】
年間コスト削減額	820(千円)	1,300(千円) 【480(千円)増】
経費増分回収年数	-	1.1(年) 【=537/480】

## (2) 省エネ及びコスト削減実績

コロナ禍による物資供給納期の乱れにより、工期の延長を余儀なくされたが、2022年4月に工事を完了することが出来た。これまでの省エネ実績、コスト削減実績を表7に示す。これまでの実績では省エネ計画値26.4%を超える削減効果効果を達成している。今後についても継続してフォローを実施していくこととしている。

表7 改修前後での省エネ状況

	種類	改修前	改修後	削減率
使用量 (kWh, m3/年)	電気	271,979	179,779	33.9
	ガス	9,908	4,630	53.3
一次エネルギー 消費 (GJ/年)	電気	2,655	1,755	-
	ガス	495	232	-
	合計	3,150	1,986	36.9
料金 (千円/年)	電気	3,530	2,334	-
	ガス	3,336	1,559	-
	合計	6,866	3,892	43.3

今回、ガス空調設備は改修の対象ではないが、電気式空調とガス式空調を併用しているエリアがあり、回収により電気式空調の性能が回復したため、ガス式空調の負担が低減したことでガス使用量が削減した。

## 9. 省エネ改修補助活用のポイント

地球温暖化への対応を考慮すると、施設の大規模改修を実施する際に省エネ改修を併せて実施することは、今後益々重要になると考えられる。しかし、改修により躯体断熱強化を行う場合、老朽化していない窓や外壁、天井面へ断熱強化のための工事を行う事になる場合も多く、

新築の場合と比較して躯体断熱強化に必要なコストはどうしても追加経費となってしまふ。以上のことから地方自治体の財政状況を考慮すると、既存建築物の改修による省エネ対策の実施における国庫補助の活用は大変有効かつ重要なものとなる。

国庫補助の活用に必要な点は、まずは情報収集である。各省庁のホームページを確認し、どのような補助制度があるのか十分に調査し、活用を考えている施設への適用が可能なのか早めに検討することが重要だと思われる。

次に、複数年計画で事業に臨むことを視野に入れる必要がある。応募は年度当初に行われる事になるため、その前年度には対象施設を選定し、設計を完了させ、応募書類の作成準備をしておく必要がある。

また、躯体断熱強化と空調改修を同時に実施する計画した場合は、躯体断熱強化の範囲やレベルによって空調能力が変化するため、空調設備のダウンサイジングによる効果と躯体断熱強化の投資、省エネによる効果とのバランスを考え、総合的に投資効果の高い改修プランを練る業務を行う、「可能性調査業務」が必要になることや、補助応募申請書の作成には省エネに関する高い知識が必要になることから、コンサルティング会社を上手く活用することも重要であると思われる。

## 10. まとめ

今回、空調設備の劣化による大規模更新を省エネ改修の絶好の機会と捉え、躯体断熱強化を伴に行うことで、空調設備のダウンサイジングと大幅な省エネ対策を実施することができた。一般的に、一度躯体断熱強化を実施すれば、建物を解体するまで断熱強化の効果は継続されることになるため、その間に何度か訪れる空調整備改修の工事費削減のメリットは続くことになる。窓のLow-E真空ガラスへの更新等の躯体断熱強化の余地がある建物の場合には、大規模空調を実施する際に併せて検討してみるのも良いと考えられる。

また、省エネ対策を補助する国庫補助事業については、申請すれば必ず採択を得られる訳ではなく、投資効果が高く、省エネ効果の高い提案から採択を受けることになっている。今回の応募においても、補助要件では15%以上の省エネ改修が対象ではあるが、出来るだけ省エネ達成率を上げるため、投資効果の高い躯体断熱強化を検討し改修プランを組み立て、補助要件を超える省エネ率を設定し応募した。省エネ工事完了後、一定期間(今回の補助事業については3年間)の省エネ実績報告が必要となるが、補助採択を頂いた時の嬉しさは格別であり、今後同様の施設で大規模な空調改修等が必要になった場合など、再び省エネ対策国庫補助金の獲得にチャレンジして行きたいと考えている。

# 「新時代の合意形成」

～ゲームエンジンで作るメタバースの活用と普及に向けた取り組み～

西岡 龍偉<sup>1</sup>・橋口 仁<sup>1</sup>・砥上 達也<sup>1</sup>・山崎 好宏<sup>1</sup>・高橋 玲子<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 九州技術事務所 品質調査課 (〒830-8570 福岡県久留米市高野1丁目3番1号)

本論文においては、「新時代」の地元合意形成として期待されるメタバースを活用した川づくりの取り組みについて従来の合意形成との比較を紹介するとともに、ゲームエンジンの有効性また、普及に向けたセミナーの開催など今後の課題と展望について整理し、報告するものである。

キーワード ゲームエンジン、メタバース、新時代、セミナー、人材育成、地元合意形成

## 1. ゲームエンジンとメタバースについて

日常ではあまり使われることの少ない用語である「ゲームエンジン」と「メタバース」という言葉をご存じだろうか。

ゲームエンジンとは、ゲーム開発に使用されるツールで、高品位かつリアルタイムで仮想空間を作成することができるソフトのことであり、中でも今回紹介する

<sup>1)</sup> Unreal Engineというソフトは無償で提供されており、画像のグラフィック性能が高く、様々なゲーム会社でゲーム制作の基本ツールとして採用されるなど「最も成功したビデオゲームエンジン」としてギネス登録もされている(写真-1)(図-1)。

また、ゲームエンジンの利用例は、<sup>2)</sup> ドラゴンクエストなどの世界的に有名なゲーム製作に限らず、映画やアニメなど、幅広い分野での利用がなされている。



写真-1 現地写真



図-1 「Unreal Engine」で再現した仮想空間

「メタバース」とは、現段階では明確な定義がなされていないが、「ユーザーが仮想空間内で自由に活動できるサービス」として認識されている。

メタバースの特徴は、特定の空間に多数のユーザーが入ることで仮想空間上で様々なやりとりをすることができることである(図-2)。

メタバースの利用例としては、最近メディアでも多く取り上げられてきた<sup>3)</sup> あつまれどうぶつ森といった仮想のキャラクターを使い他のユーザーと活動できる例や不動産業界でも同様に仮想キャラクターを用いることで、複数人が同時に家の内覧ができるなどビジネス面での活用例もある。

この技術を現在、測量での3次元、設計時の3次元モデルなど多くのデジタル技術を活用していくことになっており、そこに新たにゲームエンジンの動くグラフィック技術を取り入れることで整備後の姿をメタバース(仮想空間)上に作成することによって誰もが見やすい「新時代」の合意形成手法の検討を進めた。



図-2 メタバース(仮想空間)内でユーザーがやり取りする様子

## 2. これまでの合意形成事例とメタバース（仮想空間）を用いた合意形成の比較

### （１）従来の合意形成の手法について

これまでの地元説明会での合意形成の進め方は、まず設計の段階において、コンセプトをもとにパース（完成予想図）や模型を作成し、その後、地元説明会で作成した模型を用いて説明するという手法で従来の合意形成として長年利用されてきた（<sup>4</sup>）図-3）。



図-3 パース（左）と模型（右）のイメージ

しかし、従来の手法では、パースや模型は整備内容を説明する上では優れているものの、地元説明会において出た意見をすぐに反映できず修正の手戻りが起き、再度つくりなおすことを繰り返すことで合意に至るまでに時間を要していた（図-4）。

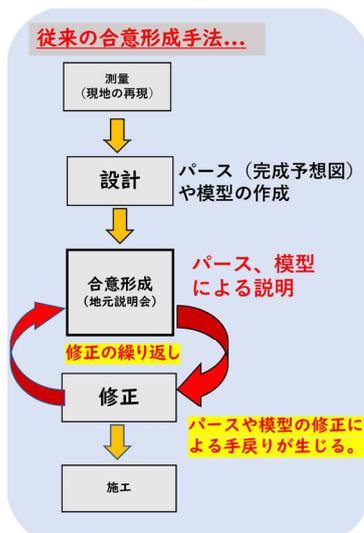


図-4 従来の合意形成手法

### （２）新たな合意形成手法について

新たな合意形成手法では、3次元の点群データと現地写真をゲームエンジンに取り込むことで河川空間をデザインし、整備後の川を構築することが可能となり、従来の地元説明会において主流だったパースや模型に代わってゲームエンジンで作成したメタバース（仮想空間）を活用することとした（図-5）。



図-5 整備後のイメージを反映させたメタバース（仮想空間）

利点として、仮想空間内にVR (Virtual Reality) ゴーグルやコントローラを使用し、メタバース（仮想空間）内で整備後の姿を体験することで、一つの視点だけでなく、360度を「人目線」で確認することができることに加え、ゲームエンジンは天候や、日照の調整ができ、パース、模型では再現できなかった夜や積雪時のイメージでさえも再現できることが挙げられる。

新たな合意形成手法においては、地元説明会で出た意見をその場で反映できることで修正による事業工程の短縮化につながり、無償ソフトであるUnreal Engine を活用することで作成の初期費用にかかるコストの縮減などが期待できる（図-6）。

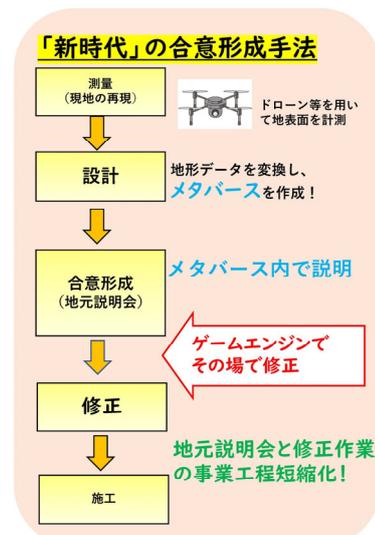


図-6 新たな合意形成手法

### 3. 新たな合意形成手法の活用事例について

ゲームエンジン活用の検討を進めていく上で、実際にこの技術を令和3年に山国川で初めてかわまちづくりの地元説明会を開催した。地元説明会では、設計をもとに仮想空間を作成し、実際に参加者にはVRゴーグルを使用して仮想空間内に入ることによって規模感のイメージを把握してもらいながら地元説明会を進めた(写真-2)。



写真-2 山国川での地元説明会の状況

また、ゲームエンジンを活用した地元説明会の第2弾の取り組みとして、大分川下流域かわまちづくりの今後の整備計画について地域合意形成を図るための説明資料として活用した(写真-3)。



写真-3 大分川での地元説明会の状況

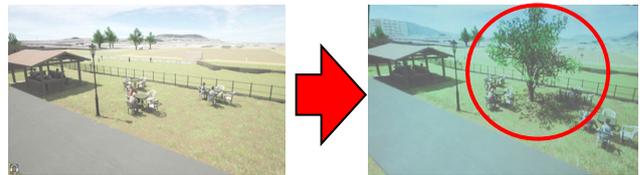
2つの地元説明会で得た意見として、「様々な角度から見られるのでサイズ感等の把握がわかりやすい」「VRゴーグルを用いると人からの視線で確認できるため大変有効である」との声が上がっている(写真-4)。



写真-4 メタバース(仮想空間)に入る体験

大分川の地元説明会で得た意見として「東屋の近くに木陰がほしいので木を植えてほしい」という意見に対してゲームエンジンを活用して、その場で木を配置することで木陰を再現した(図-7)。

従来では、地元説明会で得た意見をその場で修正することができなかったことに対して、ゲームエンジンを活用することで、得た意見をその場で修正することが可能となった。



(図-7) 配置前(左)と配置後(右)

### 4. ゲームエンジンの普及に向けた取り組み

#### (1) 操作マニュアル(案)の作成と公開

ここまで新たな合意形成手法について触れてきたが同時に課題等も見つかった。土木分野でのゲームエンジンの活用が周知されておらず、また、仮想空間を作成できる技術者が不足していることである。

これらの課題から九州技術事務所では、3次元データを活用した川づくりを推進していた土木研究所と「VR技術を用いた川づくりの推進」に関する協定を締結・連携し、ゲームエンジンを用いた、川づくりを展開していく上での課題を整理し、令和4年2月「ゲームエンジンを用いた川づくりツールの操作マニュアル(案)」を作成しHP上で公開した(図-8)。



図-8 公開したマニュアル(案)

#### (2) ゲームエンジンを活用する人材の育成

その後、「ゲームエンジンを用いた川作りツールのマニュアル(案)」を広く普及することを目的に「メタバース

ス（仮想世界）を活用した川づくりセミナー」と題して民間技術者向けのセミナーを開催した。このセミナーではWEBと対面を併用させて開催し、あわせて全国から1,110名の方に参加いただいた（図-8）。



図-8 セミナー開催チラシとセミナーの様子

そして、更なるゲームエンジンの普及を図るために、発注者にも理解を得る必要があると考え、九州地方整備局職員を対象に令和5年1月11日に「職員向けメタバースセミナー」を開催した（写真-5）。

開催にあたり、河川系のみならず他分野の職員からも参加を募集したところ、道路系の職員・事務系職員・他地整の職員と幅広い業務分野の方々に参加いただいた。

セミナーの内容としてゲームエンジンでメタバース（仮想空間）を作成する上で、基礎的な操作である土の切り盛りや護岸、植物、人の配置など簡易的な編集技術などを職員が操作できるような内容で行った。



(写真-5) 職員向けセミナーの様子

開催した2つのセミナーで得た意見をまとめると「これまでに例がなく非常に興味深いものであり有意義だった」「VRを使用して完成イメージを反映させることができるのはとてもよくイメージしやすい」等民間技術者や職員に向けたゲームエンジンの普及につながるセミナーとなった。

また今年度、九州技術事務所では毎年開催している基礎技術講習会に新たに「DX基礎技術講習会」を開設し、

DXの概要説明をするほか研修の一環にゲームエンジンを活用したかわづくりを組み込む予定であり、前回のセミナーに引き続きゲームエンジンの普及に向けた職員への周知にむけて取り組んでいきたい。

カリキュラムの内容については下記を予定している。

- ・簡易水中地形計測
- ・簡易地上空間計測
- ・手軽に作るバーチャルツアー
- ・メタバース（仮想空間）をつくらう。など

## 5. まとめ

本論文において説明した「新時代」の合意形成手法の有効性をまとめると、①メタバース（仮想空間）の作成において、無償ソフトを使用することで初期費用削減、②VRゴーグルを活用することで従来できなかった360度を「人目線」で確認できることで地元住民の方々からの理解を飛躍的に深められる点、③得た意見をその場で修正できることで、地元説明会と修正の繰り返しの改善による事業工程の短縮化が図れることが新たな合意形成手法の有効性として挙げられる。

今後は、開催したセミナーをもとにゲームエンジンの更なる普及に向けて今後の講習会等に生かすように進め、川づくりのみならず様々な土木分野での活用を進めていきたい。

現代の社会において新時代へと流れが進むにつれてインフラ整備の分野でも、AR（拡張現実）やMR（複合現実）といった現実の光景にデジタル情報を重ね合わせるといった技術も開発されており、この技術を活用することで、今後のまちづくりにおいて新風を巻き起こすのではないかと期待されている。これらの導入も含め、今後も業務改善に向けて、「新時代」の合意形成の開拓に向けて進化を図っていきたい。

最後に、本検討並びに多数のセミナー開催にご尽力いただいた関係者の皆さんに対し、ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 「Unreal Engine」は米国及びその他の国と地域におけるEpicGames, Inc. の商標または登録商標です。
- 2) 「ドラゴンクエスト」は、(株)エニックスにおける商標または登録商標です。
- 3) 「あつまれどうぶつの森」は(株)任天堂における商標または登録商標です。
- 4) 出典：多自然川づくりに役立つ川の模型のつくりかた（1997年5月）財団法人リバーフロント整備センター

# VR技術を活用した鋼橋 メンテナンスモデルの開発について

白石 光一郎<sup>1</sup>・俵野 陽一郎<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>九州地方整備局 九州技術事務所 維持管理技術課（〒830-8570 福岡県久留米市高野 1-3-1）。

九州技術事務所では、研修の充実を図る一環として、「みて・触れて・学べる」体験型実習施設を整備し、九州地方整備局が主催する計画研修や九州技術事務所が主催する基礎技術講習会で活用している。橋梁メンテナンスの技術力向上を目的として、鋼橋の劣化・損傷に伴う不具合をVR技術で再現し、VR（仮想空間）で橋梁点検の損傷の主な着目箇所、点検順序や手法、詳細調査手法、健全度診断までの一連を体験するコンテンツを開発したので紹介する。

**Key Words:** 鋼橋の劣化, 橋梁点検, VR, 研修

## 1. はじめに

平成24年に発生した中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故などを踏まえ、平成25年を「社会資本メンテナンス元年」とし、メンテナンスサイクルを回す仕組みを構築しています。仕組みづくりにおける「体制」メニューの一つに、「地方公共団体の職員、民間企業の社員も対象とした研修の充実」が掲げられ、メンテナンス技術の習得の重要性が唱えられた。このメンテナンス技術の習得には、座学だけでなく、さまざまな劣化・損傷事例を実際に”みて・触れて・考えて”いくことが欠かせない。当事務所では、平成30年度に橋梁実モデルを作成し、令和3年にVR技術を活用したコンクリート橋メンテナンスVRを作成して活用している。

今回、鋼橋の劣化・損傷に伴う不具合をVR技術で再現した鋼橋メンテナンスVR（図-1）を作成し、3次元空間で、橋梁点検の損傷の主な着目箇所、点検順序や手法、詳細調査手法、健全度診断までの一連で体験するコンテンツを作成した。

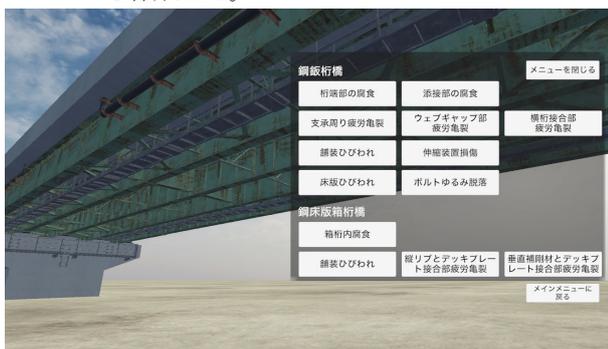


図-1 鋼橋メンテナンスVR

## 2. 鋼橋メンテナンスモデルVRの概要

### 1) 橋梁の2タイプ（鋼版桁橋と鋼箱桁橋）を再現

モデル化する橋梁タイプは、橋梁点検を行う頻度が多い橋梁を選ぶ事とした。「道路橋健全度に関する基礎調査に関する研究/国土交通省 国土技術政策総合研究所」によれば、全国の分析数、分析対象となった鋼橋全10,458橋の内、鈹桁橋がおよそ82%、箱桁橋がおよそ13%、その他特殊橋梁がトラス橋で2.4%、アーチ橋で2.2%、斜張橋が0.3%であり、最も数が多い鈹桁橋と箱桁橋をモデル化の対象とすることとした。また、腐食、亀裂は、桁端部や各溶接部で多く発生していることから橋長の大小に関わらず表現可能であるため、径間数を縮小してモデル化している。

### 【選定橋梁】

○鈹桁橋：鋼6径間連続非合成鈹桁橋（2径間のみモデル化）（図-2）

○箱桁橋：鋼3径間連続鋼床版箱桁橋（図-3）

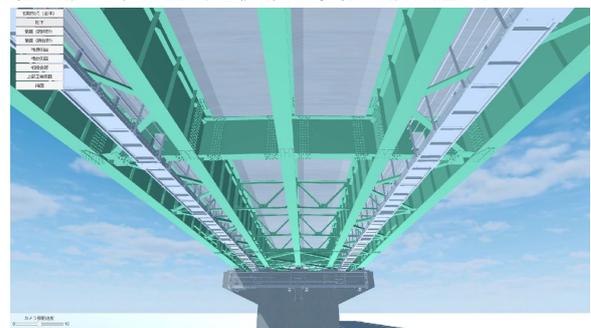


図-2 RC床版鋼鈹桁橋モデル

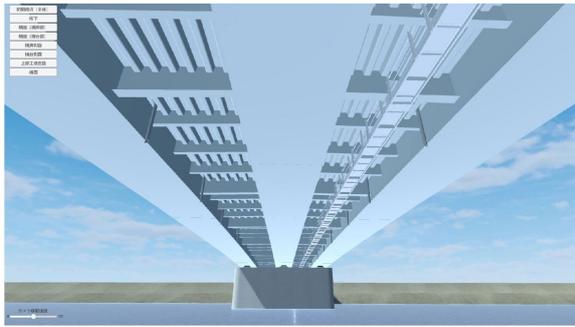


図-3 鋼床版鋼箱桁橋モデル



図-4 鋼桁橋3次元モデル(全景)

## 2) 使用機器

コンクリート橋メンテナンスVRで使用している機器であるHMD(写-1)とVRコントローラ(写-2)を使用することで、仮想の3次元空間をリアルに没入体験が可能となる。また、コンクリート橋と鋼橋のコンテンツを切り替えることにより、1種類の使用機器で、両方のコンテンツが使用できる。なお、スタンダードモデルのノート型PCに対応したコンテンツも作成した。



写-1 HMD(ヘッドマウントディスプレイ)



写-2 VRコントローラ

## 3) 再現した3次元モデル

選定した対象2橋梁の3次元モデルを作成した。橋梁点検の未経験者でも、橋梁点検を行う一連の作業を体験できるようにコンテンツに盛り込んだ。鋼橋鋼桁橋モデルの全景(図-4)、鋼橋鋼桁橋モデルの桁接合部の再現(図-5)、橋梁点検作業の流れ(図-6)、橋梁点検時のポイント(図-7)である。

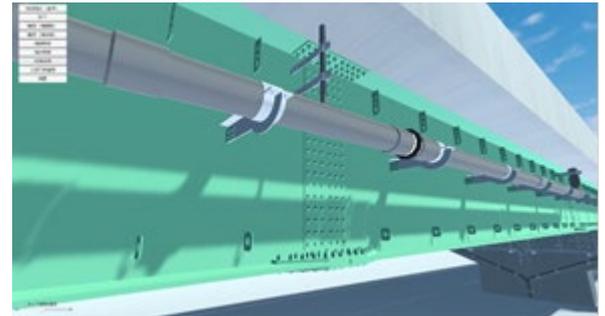


図-5 鋼桁橋3次元モデル(桁接合部)

### 点検の流れ

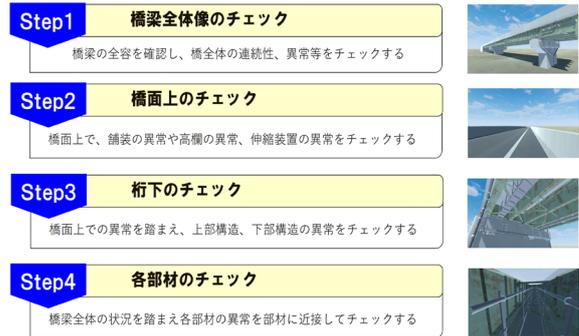


図-6 橋梁点検作業の流れ

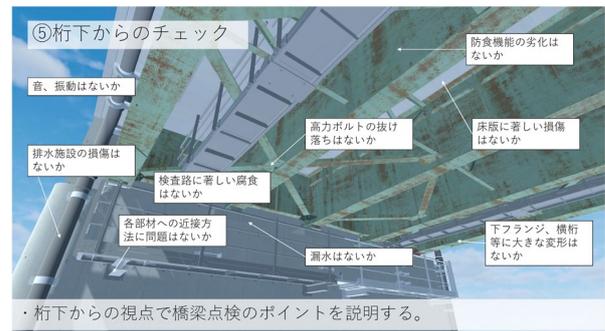


図-7 橋梁点検時のポイント(桁下)

## 4) 代表損傷データの埋め込み

今回は、鋼桁橋の3次元モデルを対象として鋼道路橋の代表的な損傷の埋め込みを行った。鋼床版箱桁橋の3次元モデルは、箱桁および鋼床版における代表損傷を

埋め込んだ。(図-8~15)

以下に埋め込んだ損傷を示す。

【鋼桁橋モデル】

- ①防食機能の劣化、②腐食、③舗装のひび割れ、
- ④伸縮装置の段差、⑤コンクリート床版のひび割れ、
- ⑥高力ボルトの脱落、⑦疲労亀裂



図-8 桁端部の腐食



図-9 桁接合部の腐食

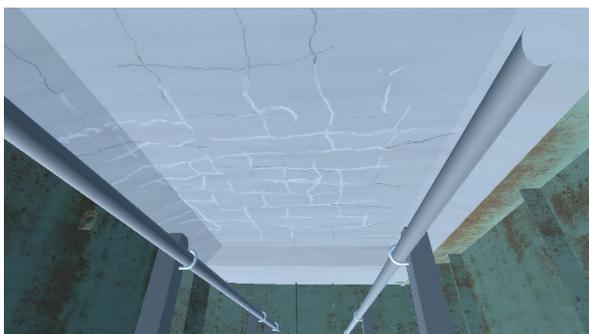


図-10 床版ひびわれ



図-11 高力ボルトの脱落



図-12 支承部の疲労亀裂



図-13 垂直補剛材の疲労亀裂

【鋼床版箱桁橋モデル】

- ①箱桁内部の腐食（マンホールからの雨水浸透）
- ②疲労亀裂



図-14 箱桁内部の腐食

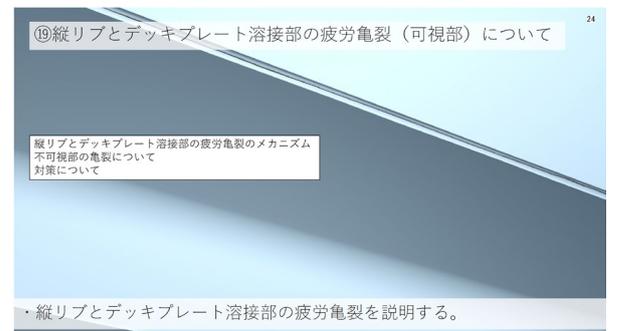


図-15 鋼床版の疲労亀裂

また、橋梁点検を行ううえで必要な橋梁の基礎知識は、3次元VRモデルでの表現が不必要な項目は、スライド

形式(図-16)で解説している。



図-16 スライド形式の選択画面と橋梁形式解説画面

### 3. VR技術を生かすコンテンツ検討

今回、研修コンテンツを作成するにあたり、橋梁に関する維持管理技術の向上に資するため、技術者が身につけなければならない知識や技術力を整理したうえで進めた。

#### 1) VR技術の特長

研修にVR技術を活用する場合は、以下の特長がある。

なお、令和3年に開発したコンクリート橋メンテナンスVRの開発で経験したノウハウより整理した。

#### メリット

- ① 場所や天候の制約がなくなり、現場への移動の時間が最小限になる。
- ② 損傷劣化の進行や事象を自由に再現
- ③ 非現実的な不可視部分を表示できる
- ④ ゲーム感覚の学習で意欲的に取り組める
- ⑤ 実モデルで再現するより低コスト

#### デメリット

- ① 触れない
- ② VR酔い
- ③ 理論を可視化した際の再現性
- ④ 使用機器管理 (アップデート)

#### 2) 埋め込みコンテンツの検討

鋼橋メンテナンスVRを用いた研修コンテンツの作成を行う中で、経験の少ない若手職員や自治体職員が、橋

①	橋梁の基礎知識	橋梁の構造名称	上部構造	下部構造	付属物(支承,伸縮装置,落橋防止システム)
②	橋梁形式	上部工形式	下部工形式(橋台形式,橋脚形式)	基礎形式	桁の支持方法
③	鋼橋の特徴	鋼橋の技術の変遷	構造部位による影響		
④	損傷とその要因	腐食による損傷、疲労による損傷、その他の損傷(変位・変形,ゆるみ・脱落)			
⑤	調査手法	環境・荷重	外観目視	打音検査	板厚測定
		浸透探傷試験	渦流探傷試験	超音波探傷試験	ひずみ計測
		新技術の活用			
⑥	補修・補強工法	判定区分	補修・補強の定義		
		補修・補強工法	補修工法	漏水・滞水箇所の補修 塗装塗替え 当て板設置 部材取換え ストップホール 高力ボルト取換え	
			補強工法	溶接継手の疲労強度等級改善 細部構造の改良 剛性向上	
			施工手順	塗装塗替え 部材取換え 高力ボルト取換え 床版取換え 支承取換え	
⑦	補修・補強後の維持管理	維持管理を行う上での基本方針	補修・補強の施工後の点検の頻度	補修・補強効果の確認	
⑧	補修・補強における留意点	腐食	疲労亀裂		

図-16 研修カテゴリー

梁点検の損傷の主な着目箇所、点検手順や手法、詳細調査手法、健全度診断までVRモデル上で確認できる埋め込みコンテンツについて検討した。検討にあたり、「橋梁定期点検要領（H31.3）」や「土木鋼構造物の点検・診断・対策技術-2013 年度版-」（一社）日本鋼構造協会」を参考に鋼橋の研修モデルとして必要と考えられる項目を抽出し、研修カテゴリー（図-16）として取りまとめた。

### 3) 再現する損傷・劣化等を選定

九州地整管内の橋種割合と損傷・劣化状況は、過去の橋梁定期点検結果により、損傷・劣化状況を把握した。九州地整管内では、鋼橋の内、約8割が塗装系鋼材、残りの2割が耐候性鋼材を使用している。（図-17）

また、架設年度別に分けて整理を行うと2000年代以降は約6割が耐候性鋼材を用いた橋梁となっており、これらに対する点検についても、今後、重要度が高まるといえるため採用する。（図-18）

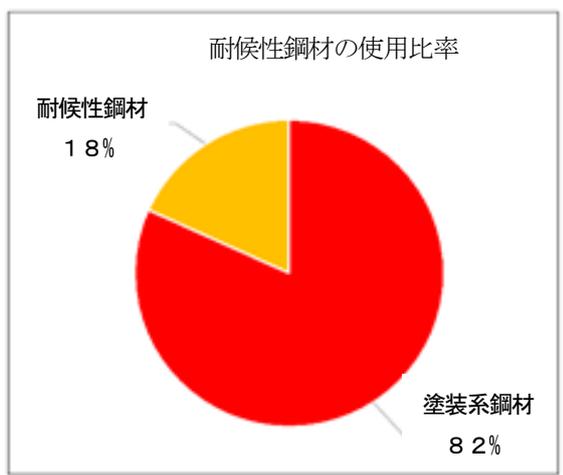


図-17 塗装・耐候性別鋼橋の割合

損傷と劣化の種類は、「腐食」、「防食機能の劣化」の割合が高く、健全度が悪化している（損傷が進行している）部材では、「腐食」、「亀裂」の比率が高いため、採用した。（図-19、20）

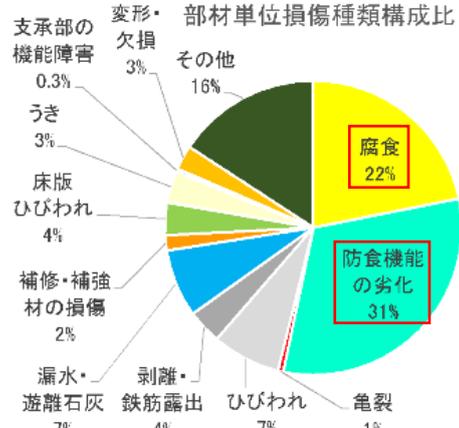


図-19 部材単位の損傷種類構成比

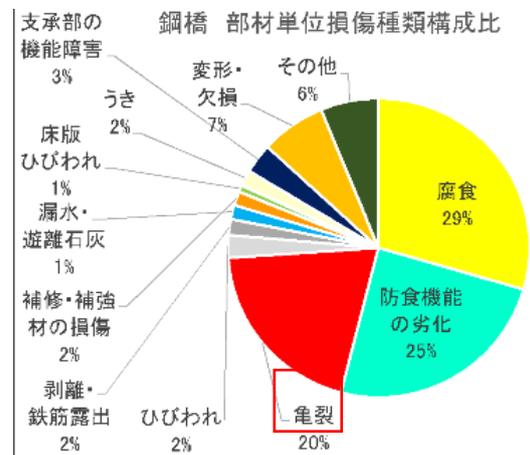


図-20 2回以上の点検結果の損傷種類構成比

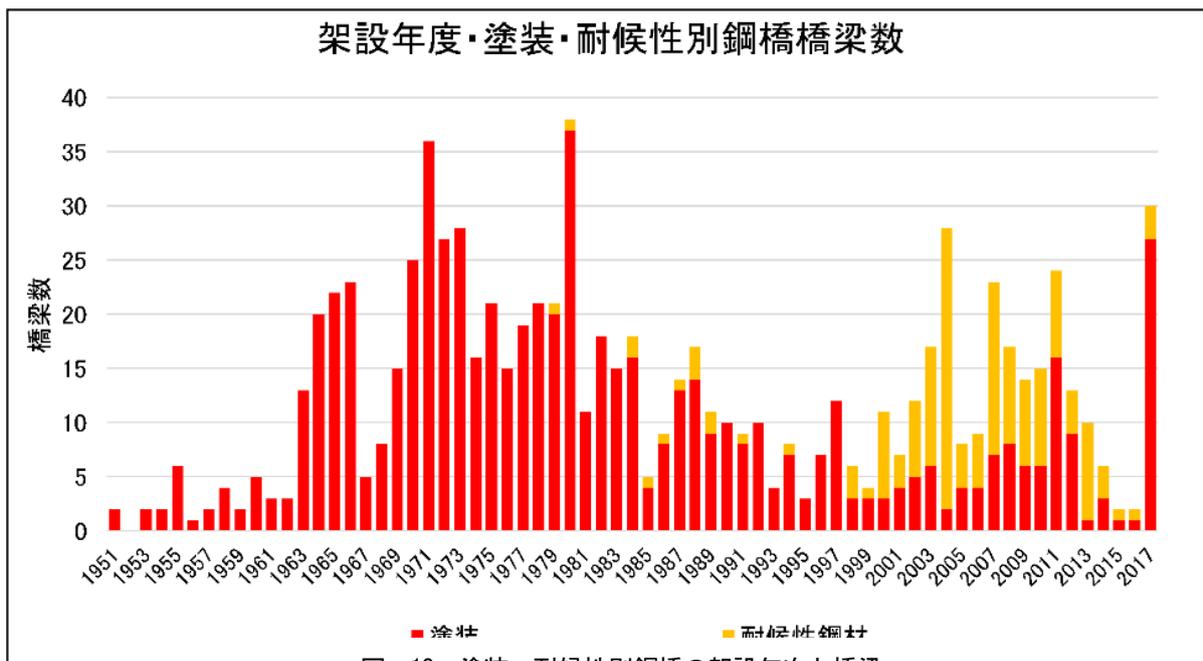


図-18 塗装・耐候性別鋼橋の架設年次と橋梁数

#### 4) VR技術のデメリットの改善策

VR技術は万能ではない。そのため、事前にデメリットを理解したうえで、開発にあたった。前回に開発したコンクリート橋メンテナンスVRの開発ノウハウが生かされた。一例としては、現在のVR技術では、人の感覚機能のうち、触覚、嗅覚と味覚の再現は、開発途中にある。前回の開発では、コンクリート橋メンテナンスVRで基礎知識の動画やモデルを視覚や聴覚で学び、橋梁実モデルで触覚や嗅覚を加えた人の五感を使い学ぶことにより、お互いに補完することでデメリット①の改善につながる。それは、仮想空間と現実という現場を体験したことで感覚的経験として身につけられる体験型実習と考えられる。

#### デメリット②

VR酔いの主な原因は、一般的に脳に送られる情報の不一致だと考えている。個人差もあり、今のところ抜本的な改善はないため、VR体験前の注意事項で、「体調が悪い人の利用は控える」「長時間の使用を避ける」「気分が悪くなったら体験中止」を説明。また、スタンダードモデルのノート型PCに対応したコンテンツも作成した。

#### デメリット③

VRは仮想現実のため、実在しない物も表現でき、表現の自由度が高い。一方で、現実でも目視で確認できない亀裂などの小さい損傷を再現する場合は、工夫が必要。また、見えない物を可視化する場合、大げさな表現や見たことないことを創作するので、誤解を招く恐れがある。そこで、再現したものが適切であるかを鋼橋VRメンテナンスモデルに関する検討会(写-3)で確認した。



図-21 支承部の疲労



図-22 垂直補剛材の疲労亀裂

亀裂は、亀裂幅を誇張して再現している。(図-21、22) また、磁粉探査を用いて、亀裂を蛍光色で光らせる工夫で分かりやすくした。垂直補剛材の疲労亀裂(図-21)は、最新の疲労設計では行わない主桁上フランジと垂直補剛材を溶接したモデルにして、損傷原因のつじつま合わせを行っている。

#### デメリット④

エラー発生時の対処が困難である。そのため、使用する機器の種類を減らすことで、エラー発生頻度が少なくできる。前回開発したコンクリート橋メンテナンスVRは、高性能PCにHMDをケーブル接続して使用するものであったが、今回は、HMD単体で使用出来るように開

発した。検討会(写-3)では、ケーブルレスを試作したところ好評であった。



写-3 鋼橋VRメンテナンスモデルに関する検討会

#### 4. おわりに

国のDX推進で、様々な分野や産業で、急速な技術開発が行われている。今回、開発した鋼橋メンテナンスVRは、様々な立場の方と議論を行い、試行錯誤を重ね、ゲーム感覚で楽しく学べるコンテンツになりました。鋼橋メンテナンスVRの開発にあたり、九州大学佐川准教授や福岡大学下妻助教をはじめ、(一社)日本橋梁建設協会、(一財)橋梁調査会、(一社)建設コンサルタンツ協会の産学官による鋼橋VRメンテナンスモデルに関する検討会(写-3)で、ご指導ご協力を頂いた。この場を借りて御礼申し上げます。

今後は、道路土工VR、道路トンネル点検VRと開発する予定である。引き続き、職員研修のみならず、様々な方にも利用してもらい、公共施設の維持管理の重要性を伝えると共に、維持管理分野で活躍する技術者育成に貢献できれば幸いと考える。

# 地域特性を考慮した河道掘削工法の検討

馬淵 蒼大<sup>1</sup>・竹内 一朗<sup>2</sup>・谷口 正浩<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 筑後川ダム統合管理事務所 松原ダム管理支所 管理第二係  
(〒877-0201 大分県日田市大山町西大山8492-2)

<sup>2</sup>九州地方整備局 筑後川ダム統合管理事務所 松原ダム管理支所 管理第二係長  
(〒877-0201 大分県日田市大山町西大山8492-2)

<sup>3</sup>九州地方整備局 筑後川ダム統合管理事務所 松原ダム管理支所 支所長  
(〒877-0201 大分県日田市大山町西大山8492-2)

筑後川上流に位置する筑後川水系筑後川（杖立川）沿いの杖立地区（熊本県阿蘇郡小国町下城地先）では、これまで幾度となく出水による浸水被害を受けている。杖立地区は、山間狭窄部の河川沿いに温泉街が立ち並びかつ岩河床であるため、治水対策を行うにあたり温泉の泉源や宿泊施設等への影響が懸念される地区である。このため筑後川ダム統合管理事務所では、騒音・振動等を考慮した工法を選定し、治水対策（河道掘削）を実施している。本論文は、上記条件の下、影響が少ない工法を検討し試験施工した河道掘削工法について報告するものである。

キーワード 治水、河道掘削、騒音・振動、掘削工法

## 1. はじめに

### (1) 松原ダムについて

松原ダムは筑後川河口から約94km上流の大分県に位置している（図 - 1）。昭和48年に完成し、今年で管理開始50周年を迎えた重力式コンクリートダムである。流域面積491km<sup>2</sup>で洪水調節、河川維持用水、水道用水、発電を目的とした多目的ダムである。また、年間34m貯水位が変動する制限水位方式のダムである。



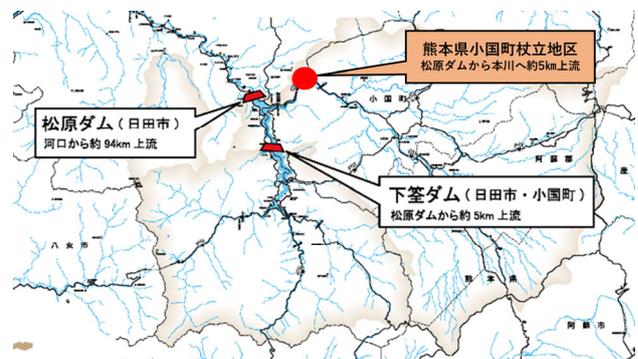
(図 - 1) 位置図

## 2. 杖立地区について

### (1) 地域紹介

筑後川の熊本県阿蘇郡小国町の杖立地区は、松原ダムより約5km上流に位置し、河川水位が貯水位変動の影響を受ける地区である。（図 - 2）。

杖立地区では河川沿いに湯けむりが立ちのぼり、温泉や宿泊施設等が存在しており1年を通じて多数の観光客が訪れるような観光業が盛んな地域特性を有している。特に4月から5月にかけて開催される「杖立温泉鯉のぼり祭り」は今年で43回目を迎えている（図 - 3）。



(図 - 2) 杖立地区位置図



(図 - 3) 杖立鯉のぼり祭り

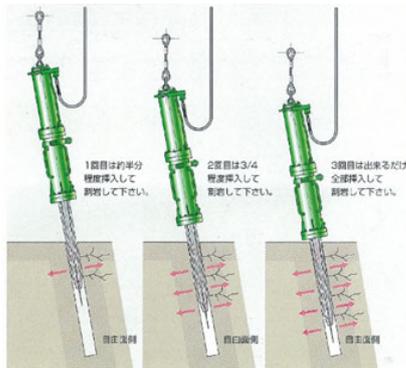


(図 - 4) 出水時の写真

## (2) 治水事業について

杖立地区は川幅が狭く、山間狭窄部の河川沿いに温泉旅館等が立地しており幾度となく出水による浸水被害を受けている(図 - 4)。

特に、令和2年7月豪雨では、杖立水位観測所において、氾濫危険水位6.00mを3.92mも上回る観測史上最大の水位9.92mを記録し、床上・床下浸水被害等の甚大な被害を受けた。床上浸水被害が頻発する杖立地区における浸水対策として、浸水被害の軽減を図るため令和3年から河道掘削に着手した。



(図 - 5) ビッグー破碎方法<sup>1)</sup>

## 3. 河道掘削工法について

### (1) 河道掘削における施工条件

杖立地区の河道掘削を行うにあたり、大きく2点の条件が挙げられる。

#### ア) 地域特性

前述のとおり、杖立地区は観光業が盛んな地域であるため、河道掘削にあたり繁忙期は工事施工を行わない、宿泊施設に対する騒音や振動を抑制できる工法を選定するといった観光業への影響を軽減できるような施工方法の検討や地元調整が必要であった。その結果、宿泊者への配慮から施工時間は、宿泊施設のチェックアウトからチェックインまでの時間である10:00から15:00とした。

なお、当該地域の河川水位は、松原ダム貯水位の影響を受けるため、利水者との貯水位調整が事前に必要となった。

#### イ) 河道内地質

今回掘削する杖立川は、山間狭窄部であり、岩河床となっている。このため、一般的な岩掘削で利用されるブレイカーによる掘削工法を採用した場合、山間狭窄部である杖立地区では高音が反響しア) に示す条件をクリアすることができない。

### (2) 施工方法の検討

上記課題を踏まえて、杖立地区における現場施工では騒音・振動を抑制できる岩掘削工法に着目し試験施工することとした。令和4年度に試験施工した3工法をa)～c) に示す。

#### a) ビッグー 無振動油圧割石工法

発破を伴わないため、騒音・振動が小さく、作業環境の制約がある現場で有利であるとともに安全。飛散物がなく割れる方向が予測できるため近隣のほかの作業が並行して行うことができる。さらには、取り扱いが容易で高度な技術を持ったオペレーターの必要がない工法である。また、広い作業スペースを必要とせず、現場条件にも対応でき、バックホウ(0.45～0.8m<sup>3</sup>)に装着できる工法という特徴がある。

(図 - 5, 6)

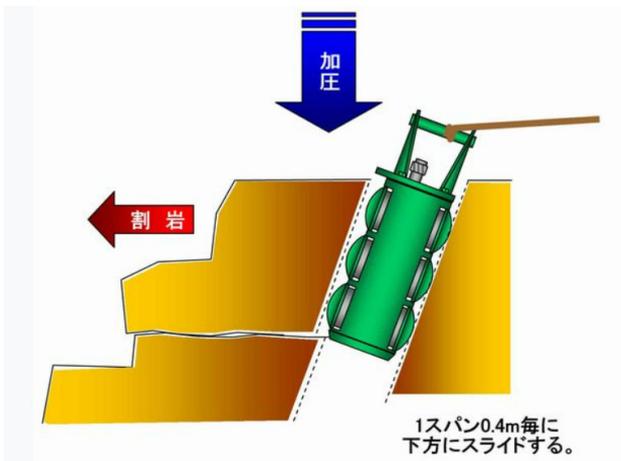
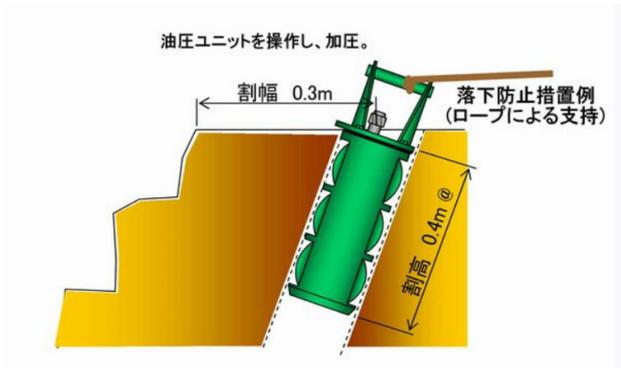


(図 - 6) ビッグー施工状況

b) スリット君 岩盤法面景観工法

発破を伴わず、低振動・低騒音の油圧式の割石装置を使用するため、住宅近接地においても飛散物がなく割れる方向が予想でき、地山の岩盤を緩めない工法である。また、軽量小型装置のため高度な技術を持ったオペレーターを必要としない工法である。

(図 - 7, 8)



(図 - 7) スリット君破碎方法<sup>2)</sup>

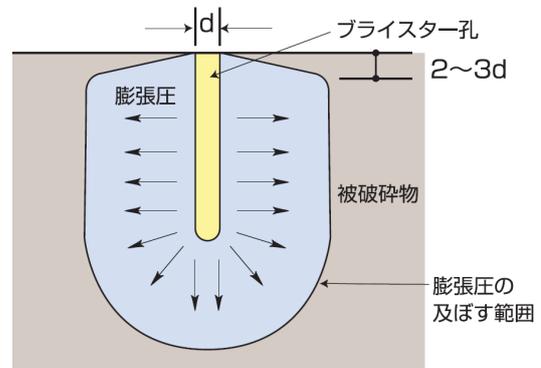


(図 - 8) スリット君 施工状況

c) ブライスター工法

ブライスター（薬剤）を水で練り混ぜ、孔へ流し込むのみの工法である。

また、膨張圧力によって亀裂が発生するため、騒音・振動・飛石がほとんどなく、低公害で破碎ができ、亀裂を発生させることで二次破碎時の作業効率を上げることができる特徴がある(図 - 9, 10)。



(図 - 9) ブライスター破碎方法<sup>3)</sup>



(図 - 10) ブライスター破碎状況

(3) 騒音振動調査について

(図 - 11) に騒音振動調査を行った位置を示す。調査期間は始業から終業までの10:00から15:00の測定を行い、最大値及び平均値 (db) の判定を行うこととした。



(図 - 11) 騒音振動調査測定位置

## 4. 掘削工法の評価

(表 - 1) のとおり、掘削工法について評価を行ったものを示す。なお、令和4年度に杖立地区において各工法で試験施工を行い騒音振動調査を実施しており、今回の評価はこれを踏まえたものとなっている。

(表 - 1) 河道掘削工法の評価一覧

工法	施工性	コスト	騒音・振動
ビッグー	○	△	○
スリット君	○	△	○
プライスター	△	△	○

### 1) 施工性

3工法を日あたり施工量で比較したところ、「ビッグー」「スリット君」ともに大きな差はなかったが、「プライスター」は、薬剤注入後から破碎までは約48時間を要したため「△」評価としている。

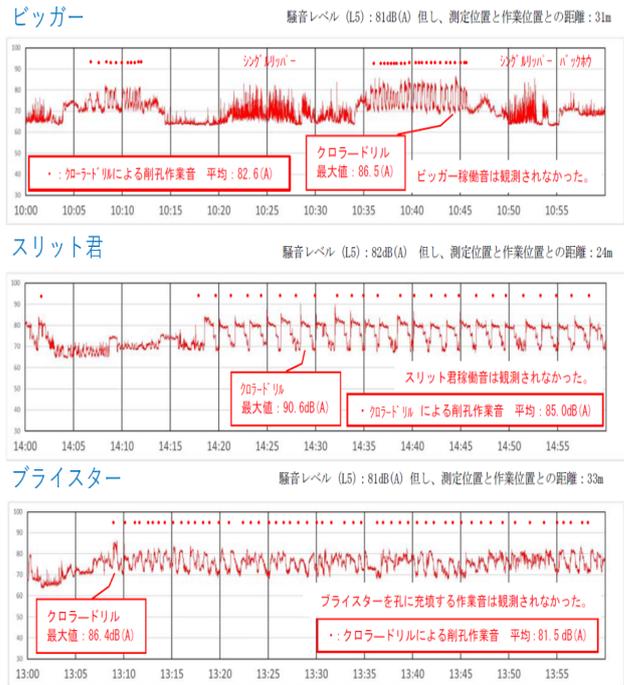
### 2) コスト

どの工法についても杖立地区が温泉地で旅館のチェックアウトからチェックインの時間帯での施工を制限される等、施工条件が厳しいため従来工法のブレーカーと比べて単価が割高となっている。

### 3) 騒音振動調査結果

振動調査について、岩盤掘削をメインに施工していたため、周辺への振動による影響はなく、通常とほとんど変化のない結果となった。騒音調査について、(図 - 12) のとおり示す。騒音のほとんどがクロードリル、バックホウの走行音であったが、すべての工法が基準値内であった。また、杖立川の河川流量も通年で多く、川の流れる音を考慮すると破碎音ほどの工法を用いても影響が少ないと考えられる。

なお、今回河道掘削を行った現場近隣の宿泊施設に騒音振動について聞き取りを行ったところ、施設内では工事中の作業音は聞こえず、振動については感じられないという意見をいただいている。



(図 - 12) 騒音調査結果

### 4) 総合評価

施工方法について、3項目における評価を行った。評価結果より「ビッグー」「スリット君」が妥当といえる一方、杖立地区における河道掘削は、河道の状況や既設構造物、また観光業への配慮を考えると、ある一種のみが適切とは言い難く、施工箇所に応じた対応が必要となる。今後も治水事業として工事を進める中で、常に最適な方法を検討しながら杖立地区の治水対策を取り組んでいく。

## 5. おわりに

杖立地区における治水対策として騒音・振動を最小限にする河道掘削工法を検討し、試験施工を行った。今後、この杖立地区で治水対策が進められていくなか今回検討した工法を用いて河道掘削を行っていく予定である。今後も引き続き、地域の方々と意見交換しながら河川整備を進めていく。本稿で検討した河道掘削工法が今後の同じ条件下の河道掘削の一助になると幸いである。

### 参考文献

- 1) 東興ジオテック株式会社, 「無振動油圧割石工法 (ビッグー工法)」 カタログ
- 2) NETIS 「KK-100015-AG」 スリット君 岩盤法面景観工法 概要
- 3) 太平洋マテリアル株式会社, 「静的破碎材 岩石・コンクリートの静かな破碎に!! 太平洋プライスター」 カタログ, P9

# 伊万里道路におけるプレキャスト製品の活用による生産性向上の取り組みについて

東 真杜<sup>1</sup>・山口 正明<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 佐賀国道事務所 工務課 (〒849-0924 佐賀県佐賀市新中町5-10)

近年、建設現場における技能者の不足や、就労者の高齢化などの懸念により更なる生産性の向上や、担い手確保の観点から作業現場の安全性の向上などのための環境改善が求められている。そのような背景を受けて、「i-Construction」の取り組みで、コンクリート工の生産性向上を進めるための一つの方針として、省人化や働き方改革、環境負荷低減などのプレキャスト優位性を含めた総合的な評価を取り入れた、プレキャスト製品の導入が検討されているところである。当事務所が担当する西九州自動車道 伊万里道路事業においても、プレキャスト製品の活用による生産性向上の取り組みを実施しており、その活用状況や効果等について報告するものである。

キーワード プレキャスト、生産性向上、i-Construction、働き方改革

## 1. 事業概要

伊万里道路は西九州自動車道の一部を構成する路線であり、佐賀県北西部に位置し九州西北部～福岡都市圏における相互交通の利便性の向上、高速定時性の確保により輸送時間が短縮され、地域経済の活性化に寄与する。また、佐賀県北西部の幹線道路である国道202号の代替路線としての機能も有している。

現在、伊万里東府招IC～伊万里中IC(仮称)間(延長4.2km)において、改良工事の推進を図っている。当該区間は、山林の農地及び集落を通過し、地形は比較的なだらかであるため、ほとんどの区間が土工構造物で構成されている。このため、生活道路や用水路などの機能復旧として、数多くの函渠工を設置する必要がある。

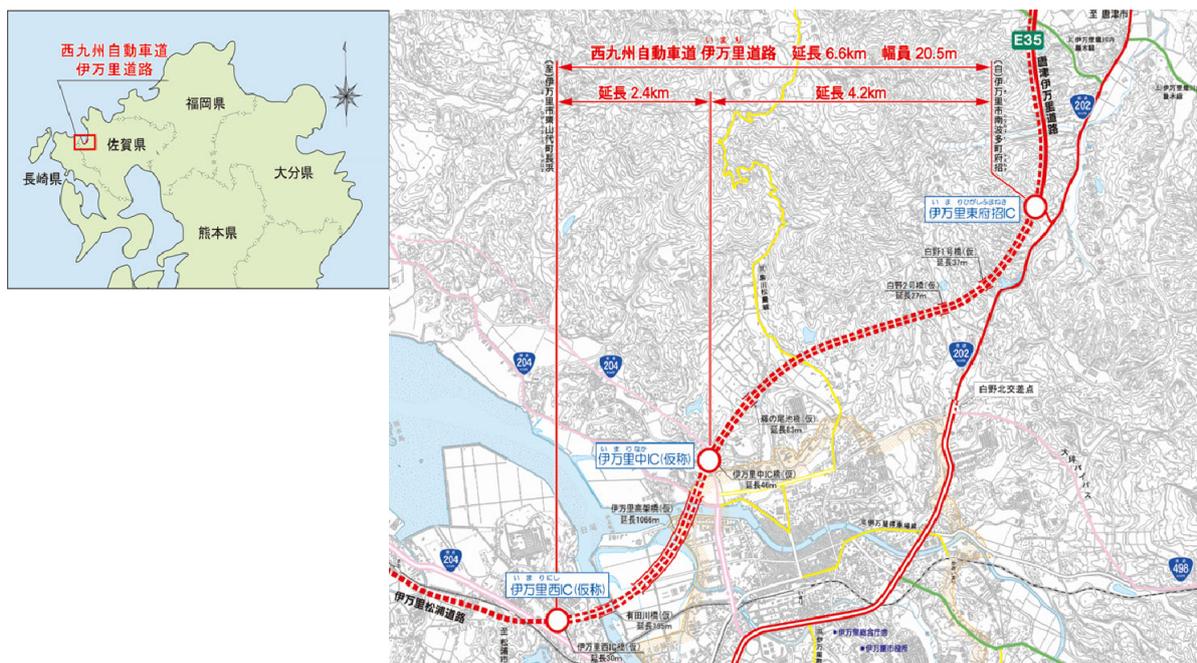


図-1 位置図

## 2. 工事概要

大型プレキャスト製品活用による施工の一事例として、1号函渠の施工について紹介する。

### (1) 函渠の概要

盛土箇所を横断する水路（幅3.0m、高さ2.0m）及び管理用通路（幅2.0m、高さ2.5m）の機能復旧として計画されたプレキャストアーチカルバート（延長52.5m、幅7.0m、高さ7.15m）である。

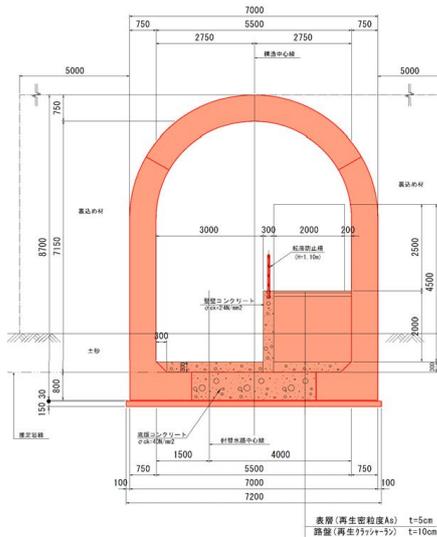


図-2 標準断面図

### (2) 工法選定

工法選定に当たっては、表-1に示すとおり、経済性、工程、品質、安全性、施工性、環境性及び働き方改革への寄与度の指標で比較を行い、総合的に優れているプレキャスト工法を採用した。

### (3) 発注条件

工事発注に当たっては、1. 「道路土工用カルバート工指針（社団法人日本道路協会平成22年3月）」に記載された「従来型以外のカルバート等」の規定・性能を満足すること。2. 「道路プレキャストコンクリート工指針（一般社団法人道路プレキャストコンクリート製品技術協会平成29年10月）」の規定・性能を満足すること。3. 構造形式が剛性構造（結合）であること。を条件明示し、所定の規格・仕様を満たす製品での施工を行った。

### (4) 施工概要

施工は、3分割のプレキャスト部材を、1ブロック（延長1.5m）毎に両側の脚部を設置後、頂版部の設置を35ブロックに渡り繰り返した後に底版部を現場打ちにて構築するものである。また、部材寸法が大きく、部材重量（脚部22.3t、頂版部18.4t）が重いため、据付精度の確保が重要であり、本現場では、高さ調整可能な定規材や、複数の測定器による通り芯確認などの工夫により所定の精度を確保し、施工を行った。

表-1 工法比較表

		従来工法（現場打ち）		プレキャスト工法			
構造寸法		内空幅：5.5m × 内空高：4.5m × 総延長：61.6m		内空幅：5.5m × 内空高：7.15m × 総延長：52.5m			
計画断面図							
計画概要		現場にて鉄筋組立、型枠、足場及び支保工の設置・撤去を行い現場打ちコンクリートを打設して構築するコンクリート構造物である。		工場で作成されたプレキャスト製品を現地に搬入、設置・接続して、底版部分を現場打ちコンクリートを打設して構築するボックスカルバートである。			
経済性 (50)	雨渠工	83,336 (千円)	1.00	50.0	118,361 (千円)	0.77	38.5
	交通管理工	9,812 (千円)		4,099 (千円)			
	直接工事費合計	93,148 (千円)		122,460 (千円)			
	設計費	1,435 (千円)		360 (千円)			
	合計	94,583 (千円)		122,820 (千円)			
(比率)		(1.00)	(1.30)				
工程 (10)	・躯体が現場打ちコンクリートであり、打設毎に一定の養生期間が必要なため施工期間は長期となる。 概略工期：7.9ヶ月	△	4.0	・二次製品であるため養生期間が無く、施工期間が短縮できる。 概略工期：3.3ヶ月	○	7.0	
品質 (10)	・現場打ちコンクリートであり、品質が天候の影響を受けることから、現場での品質管理に留意する必要がある。	○	7.0	・二次製品であるため工場生産となり、一定の品質確保が可能である。	◎	10.0	
安全性（構造性）(5)	・カルバート工指針に示す従来型カルバートのため慣用設計法を適用できる。	○	3.5	・カルバート工指針に示す従来型カルバートの適用範囲外であり地震動を考慮した設計計算により断面形状を決定する。 ・頂版部材と側壁部材を機械式継手にて剛結合する連結構造である。	○	3.5	
施工性 (6)	・構造物を構築するまでの施工工種が多い。	△	2.4	・構造物を構築するまでの施工工種が少なく施工性が良い。	○	4.2	
環境性 (4)	・現場工期が長期となり、工事関係車両が長期間の通行となるため、周辺住民への影響は大きい。	△	1.6	・現場工期が短期となり、工事関係車両が短期間の通行となるため、周辺住民への影響は少ない。	○	2.8	
働き方改革への寄与度 (15)	設計～施工に要する労力の省人化	△	6.0	△	○	◎	15.0
	高温・多湿での工事期間の圧迫による週休二日の達成しやすさ	△			◎		
	設計・工事発注の効率化	△			◎		
	工事書類の削減・管理の効率化	△			◎		
総合評価			74.5		○	81.0	

### 3. 従来工法（現場打ち）とプレキャスト工法の比較検討

従来工法（現場打ち）とプレキャスト工法での比較により、生産性向上の効果について検証した。比較にあたっては、受注者の協力により、本現場での実績及び本現場と同規模程度の従来工法の施工実績を参考とした。

#### (1) 労務者数の比較

従来工法では、各工程に多くの人手が必要であり、延べ700人を超える作業員が必要である。

プレキャスト工法においては、延べ360人（部材据付290人、底版部（現場打ち）70人）と約5割の省力化が図られた。（表-2，表-4）

表-2 労務者比較表

	従来工法(現場打ち)	プレキャスト工法
作業工程	作業員数	
型枠工	308人	70人
鉄筋工	155人	
コンクリート工	60人	
クレーンオペレーター	60人	290人
プレキャスト据付・目地工	0人	
外部足場・支保工	128人	0人
合計	711人	360人

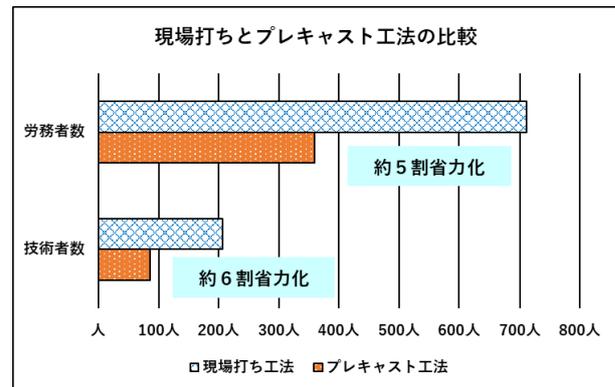
表-3 技術者比較表

	従来工法(現場打ち)	プレキャスト工法
作業工程		・現場代理人 1人 ・監理技術者 1人
型枠工	88人	58人
鉄筋工	62人	
コンクリート工	24人	
プレキャスト据付・目地工	0人	28人
外部足場・支保工	32人	0人
合計	206人	86人

#### (2) 技術者数の比較

受注者の施工管理等にかかる業務について、従来工法では各工程の繰り返し作業により、日々の作業が変化することにより、施工管理だけでなく、労務管理、安全管理面でも煩雑となるため、延べ206人必要であった。プレキャスト工法の場合は据付作業の繰り返しであり、86人と約6割の省力化が図られた。（表-3，表-4）

表-4 省力化の比較



#### (3) 工程の比較

従来工法では、足場支保工、鉄筋、型枠、コンクリート打設、養生を繰り返し行い、現場施工が9ヶ月かかる。

プレキャスト工法では主な現場施工が部材据付作業であり、約6割の工期短縮が図られた。（表-5）

表-5 工程比較表

工種	令和3年			令和4年												令和5年		
	11	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
現場打ち	底板コンクリート工																	
	側壁コンクリート																	
	スラブコンクリート																	
プレキャスト工法	準備工																	
	製品製造																	
	基礎工																	
	製品据付																	
	底板コンクリート工																	

現場打ち9ヶ月、現場施工3.5ヶ月、工場製作6ヶ月、実作業日数180日、実作業日数43日、従来工法(現場打ち)9ヶ月、約6割の作業日数短縮

#### 4. まとめ

昨年度、現場打ち函渠工において、入札不調が発生している。原因としては、型枠工や鉄筋工などの技能労働者を長期間拘束するため、担い手不足による下請け企業の確保が困難な事があげられた。元請企業においても働き方改革の観点から現場の工程管理、品質管理、安全管理が煩雑である現場打ち構造よりもプレキャスト構造を望む声が出ている状況である。

今回の現場では、プレキャスト製品の活用により、技能を要する作業が低減された事により労務者で約5割、施工管理及び安全管理面での負担が軽減された事により技術者で約6割の省力化が図られた。また、現場工程の縮減により、周辺住民に対する生活環境への影響も低減できたと考えている。発注者においても、配筋確認などの監督業務の低減に繋がっており、受発注者双方の働き方改革へ寄与していると考えられる。

伊万里道路では、函渠工21箇所（内プレキャスト14箇所）を設置する必要があり、10箇所が施工済み、3箇所が現在施工中である。今後もプレキャストカルバートの施工を予定しており、活用効果等について引き続き検証を重ね、建設現場の生産性向上により、円滑に事業を進めて参りたい。



写真-1 着工前全景



写真-2 完了後全景



写真-3 施工中近景



写真-4 完了後近景

# 川辺川砂防事業で取り組む流域巡視の効率化について -川辺川砂防事業の新たな挑戦-

中村 良一<sup>1</sup>・須田木 諭<sup>1</sup>・田中 誌龍<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 川辺川ダム砂防事務所 工務第二課 (〒868-0095 熊本県球磨郡相良村柳瀬3317) .

川辺川砂防事業の流域面積は498Km<sup>2</sup>と広大なうえ、非常に急峻な地形で形成されており、広範囲に点在した砂防施設が146施設ある。これら砂防施設の巡視においては、主に目視（人力）による点検を行っており、多くの労力・時間を要している。また、災害時には、砂防施設への道路が寸断されたり、緊急巡視時に危険のリスクが高い中での巡視作業を行う必要があり、巡視作業員の安全確保が課題である。そのため、川辺川流域におけるUAV自立飛行（レベル3）を活用した施設点検・全自動飛行による施設点検の事例や試行結果について報告をする。

キーワード UAV自立飛行・レベル3・全自動飛行

## 1. はじめに

川辺川流域の砂防事業着手は、1954年（昭和29年）より熊本県の補助事業として行われてきた。1963年（昭和38年）から3年連続の集中豪雨により多数の深層崩壊や山腹崩壊が発生した。特に五木村頭地～宮園間においては河床が2m～7m上昇する土砂洪水氾濫が発生し、人的被害を伴う災害となった。熊本県からの要望を受けて1967年（昭和42年）6月に国の直轄砂防事業に編入し、これまでに直轄砂防流域内に122基と県管理施設の24基（計146施設）の砂防関係施設を整備し、川辺川流域の土砂災害からの被害低減に努めている。

川辺川ダム砂防事務所が管轄する川辺川砂防流域は498km<sup>2</sup>と広大であり、相良村・五木村・八代市泉町の各地域の集落も広範囲に点在しており、過去には大規模かつ広範囲に渡る土砂災害により、道路の寸断により、長期に及ぶ孤立も発生している。

また、急峻な地形を形成しており、山間部では、携帯電話等の不感地帯もあり、危険で厳しい環境が多く、施設までのアクセスに時間を要する。そして、豪雨後や地震後に緊急巡視等が必要となる中で、道路等の崩壊により現地へたどり着けず、迂回したり、徒歩での移動など巡視員の安全面も課題となっている。一方で、平成11年から土砂災害情報連絡員制度（砂防モニター制度）や土砂災害に関する協定に係る実施協定を結び情報収集を行っているが、人命を優先するため避難をされた時に情報収集ができなかったり、電話回線を停止された時に届かない等の課題がある。

川辺川ダム砂防事務所における小型無人航空機（以下、「UAV」）自立飛行（レベル3）を活用した施設点検の

実装を令和7年を予定している。今報告では、川辺川流域管内の特徴や課題をふまえ、本報では全自動飛行による施設点検の事例、試行結果について紹介する。

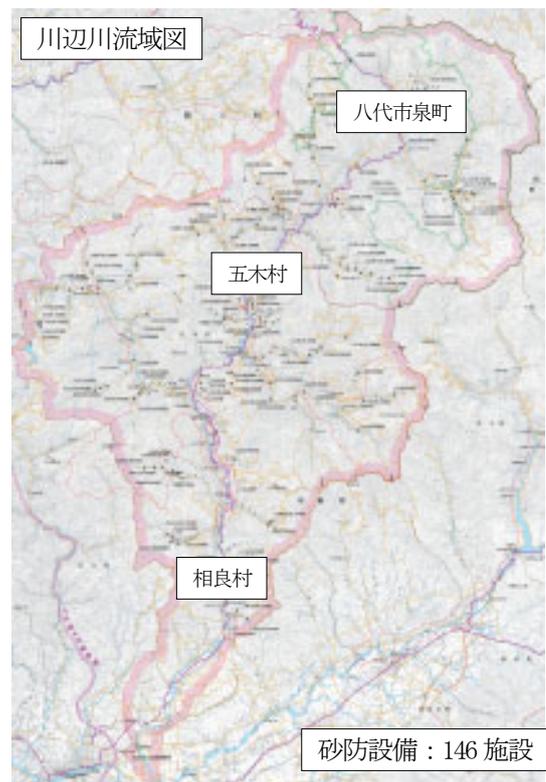


図-1 川辺川管内図

## 2. 川辺川ダム砂防事務所の現状

川辺川ダム砂防事務所では、非常に急峻な地形で本川・支川は谷深い形状を有し、川辺川流域内には、146

施設の砂防設備がある（図-1）。また、地質的には「秩父帯」や「四万十帯」の付加体堆積岩類が広く分布しており、脆弱で、豪雨後は崩壊や土石流が発生しやすい状態である。そのような、砂防施設の点検は主に目視（人力）により行われている。

また、これらの砂防施設に対し、年間複数回の定期点検や応急点検が実施されている。そして、砂防施設にアプローチするための道路は本川・支川に沿う形で設置され、特に支川沿いの道路は切り立った箇所に設置されているため豪雨時や地震後には崩壊等で通行が困難となるリスクを有する。

### 3. UAVを活用した砂防施設点検の抽出

川辺川管内の146施設をアクセス性や目視（人力）点検に要する時間、安全性、豪雨等でアクセスが困難になった場所を安全で効率良く点検するためUAVを活用した。UAVを活用することで実施できる施設や溪流を抽出した。

表- 1, 2に示すようにUAV活用による効率化・メリット整理表、UAV活用の際の注意点整理表に示す観点より、現地の状況を確認して離発着箇所の有無や樹木の繁茂状況、GNSS補足状況、LTE通信環境等の調査を行い、適正な飛行レベル区分を行った。

その結果、対象となる施設の久連子川を選定するとともに、監督官詰所近くで離発着地となる宮園地区の上記2箇所の抽出した。

表- 1 UAV活用による効率化・メリット整理表

①	点検コストの削減(点検の効率化)
②	自律飛行による点検(点検の効率化)
③	施設全体の把握(点検の効率化)
④	変状の近接撮影(安全性の向上)
⑤	俯瞰的な撮影(点検の効率化)
⑥	変状規模の把握(点検の効率化)
⑦	3Dモデルの作成(点検の高度化)
⑧	縦横断図の作成(点検の高度化)

表- 2 UAV活用の際の注意点整理表

①	支障物が多い場所の点検
②	画像に写らない変状の点検
③	堰堤からの落水が激しい場所周辺
④	貴重種が生息する場所での点検
⑤	通信障害が発生する場所での点検
⑥	悪天候時の点検

### 4. UAV自立飛行レベルについて

UAVの飛行レベルは、目視が可能か、有人地帯で、補助者の有無等の操作飛行により、表- 3に示すように区分されている。

今回の飛行試験では、川辺川流域の無人地帯での目視

外飛行として、八代市泉町久連子地区にて「レベル3飛行」を行った。また、目視内飛行として、五木村宮園地区で「レベル2飛行」を行った。飛行試験のため監視者の配置をして実施をした。

表- 3 UAVの飛行の種類

レベル1	目視内での操作飛行
レベル2	目視内飛行（操縦なし）（宮園地区）
レベル3	無人地帯での目視外飛行（久連子川） （補助者の配置なし）
レベル4	有人地帯（第三者上空）での目視外飛行 （補助者の配置なし）

### 5. UAV飛行試験

(1) 宮園地区における全自動飛行による点検

人家周辺の土石流危険溪流に砂防堰堤が設置され、豪雨後には溪流から土砂・流木の流出状況や除石の必要性の確認等のため、頻繁に目視（人力）・UAVを用いた点検が行われている。豪雨後や地震後に迅速な点検が必要となる中、砂防施設へアクセスする道路が寸断される等のことが考えられる。そこで、あらかじめUAVの離発着箇所を設定し、一連の飛行ルートも設定することで安全な場所からかつ効率よく被災状況を確認することができる。

今回、人家近傍に砂防堰堤が設置されており、砂防監督官詰所を基地とすることが想定できる宮園地区を対象とした全自動飛行試験を実施した。（写真- 1、図- 2）本来ならば、遠隔地から目視外自立飛行を想定しているが、安全面に考慮して砂防監督官詰所に操縦者を置き、遠隔操作を模した飛行を行った。

結果として、撮影画像は、土砂・流木の流出状況や砂防施設の変状を確認ことができ、撮影画像がリアルタイムでクラウド保存され、迅速に状況把握をすることができること示された。しかし、現状では設定コマンド数（WP+撮影アクション）に制限があるため、詳細点検に用いるような細かい設定・撮影が課題となった。（図- 3）例えば、微調整が必要となる場面での撮影等である。



写真- 1 宮園地区で使用したUAV



飛行計画を図-4に示すが、基地を中間地点の「古代の里」として、砂防堰堤の配置区間を含む総飛行距離を13.3kmを飛行範囲とした。使用する機体は長距離飛行が可能な固定翼機（エアロボウイング）とし、2000万画素の撮影が可能なカメラを搭載し、16mmと35mmで垂直写真の撮影を行い、撮影写真から点群データを作成した。今回は、飛行試験のため、安全面に考慮して補助者を設置した。

図-5では、固定翼機を用いた砂防施設点検の状況を示した。通常の人視巡視点検では、久連子に到着してから約270分（30分 / 1箇所）を要するが、固定翼機を使用することで、総飛行距離は13km、飛行時間は13分で大幅な時間短縮につながった。写真についても、土砂・流木の発生状況も把握することができた。また、点群データより約20cmの堰堤水通し部の摩耗を見つけ出すこともできた。



写真-4 水中ドローンについて



写真-5 水中ドローンによる洗堀調査の状況

## 6. 水中ドローン・ソナーを活用した調査

川辺川流域において多く発生している砂防施設の変状である洗堀に対して、水中ドローン・ソナーを用いた調査手法の適用性についての調査を行った。対象箇所は砂防堰堤の水叩部を対象としたが、流れや落水等がある状況下においても水中カメラによって、水面下の撮影が可能であり、水面下の状況を確認することができた。また、ソナーを用いた調査と組み合わせることによって、洗堀深（河床高）を定量的に調査することができた。（写真-4、5）

## 7. 今後の課題

目視外自立飛行（レベル3）を想定し、固定翼による長距離飛行による砂防施設点検、全自動飛行による砂防施設点検の適用性についての検証を行った。また、水中ドローン・ソナーを用いた水面下の洗堀箇所の調査を行った。川辺川流域は、498km<sup>2</sup>と広大なうえ、非常に急峻な地形をしており、146施設の砂防施設がある。そのような中、年間に数回の砂防施設の点検・緊急点検もあるため、UAVの活用で選定された久連子川については、実現可能なレベルであることが分かった。しかし、巡視環境等でUAV活用が困難な地区もあるため、人力（目視）による点検とUAVによる自立飛行による点検とを組み合わせる必要がある。また、地元の業者でも扱えるUAVでの巡視作業だったり、業者のUAVについての知識力等を向上していくことが必要である。今後、残りの抽出した施設の飛行試験を行い、最終的に時間・労力・安全面等の課題改善、ロードマップに繋げていくことが重要である。

## 8. さいごに

今回の飛行試験を通して、久連子・宮園地区のような事例を増やせれば、災害等の状況確認時に迅速でかつリアルタイムで映像を確認しながら情報収集ができ、二次災害も防ぐことに繋がれると感じた。

国土交通省に入省して1年が経ち、分からない事ばかりで学びの日々が続いており、今まで体験できなかった事を体験しながら日々業務に取り組んでいる。

公共事業を展開していくには、如何にして地域住民の方たちと信頼関係を築いていくことが大切であり、また自分自身の技術力・説明能力・調整能力等を高めていくことを目標として、今後の業務等に取り組んで成長をしていきたい。

参考文献1) 川辺川流域無人航空機渓流点検調査・計画検討業務