

災害時における府県との 迅速な情報交換について

山内 健史

近畿地方整備局 企画部 情報通信技術課 (〒540-8586大阪市中央区大手前1-5-44)

「熊本地震」や「平成29年7月九州北部豪雨」におけるTEC-FORCE活動の中で、電子データによる情報共有が困難であったとの声がある。これは大規模災害時に支援先での円滑な連携の阻害要因となっていた。

この事例を受けて同様の事象が近畿管内で発生した際、自治体等に派遣された職員の作業環境を改善すべく既存の設備を見直し、国土交通省以外の施設を利用した現地災害対策本部とのネットワーク、情報通信環境の整備、近畿管内の府県庁、政令指定都市でのネットワーク利用について課題の解決を図ったので報告する。

また平時からの連携を図るため、テレビ会議システムを整備したので併せて報告する。

キーワード TEC-FORCE, リエゾン, 情報通信環境の改善

1, はじめに (概要)

昨今ではIoT(Internet of Things)という言葉が注目を浴び、あらゆるものがオンラインで結ばれシステムが構築されている。さらにテクノロジーの進化に伴うデータの大容量化も相まって“止まらないネットワーク”“遅延のないネットワーク”の需要はますます高まっている。これらは国土交通省における災害支援においても例外ではなく、例えば高画質な写真や映像データの受け渡しを支援先から迅速に行うことは、被害状況の把握や自治体との情報共有において非常に有効である。一方で「熊本地震」や「平成29年7月九州北部豪雨」での現地活動にて、電子データによる情報共有が困難であったとの報告もあり、環境の改善に向けて、既存の情報通信設備と技術を見直し、技術的検証と検討それに対する解決策をとりまとめた。また日頃からの自治体との連携のために管内の府県庁との間に既存の設備を応用してのテレビ会議システムを整備したので併せて報告する。

2, 現状と技術的課題の抽出

情報通信設備という観点でTEC-FORCEまたはリエゾン派遣の経験のある職員への聞き取り調査と併せて、インターネットや他機関の発表データ等を通じて、広く情報を収集し、解決すべき課題について整理した。

(1) 災害現場における通信ネットワーク

TEC-FORCE及びリエゾン派遣時には災害対策本部等への報告・連絡のため、貸与されたパソコン(以下TECパソコン)を用いて作成した資料や現場写真を送信する業

務に当たっており、その通信手段は、主に通信キャリアが提供するネットワークインフラを使用している。しかし災害の現場では通信が安定せず、通信が途切れたり、ファイル伝送に時間がかかったりするという意見が確認され、特に大容量の写真データの送付にかなりの時間を要したとの意見が多くあった。また、通信サービスが従量制であるため、帯域を超過する度にパケットの追加の申し込みを行わなければならないという問題も確認された。

(2) 災害時における通信キャリア回線

東日本大震災を踏まえ総務省が開催した「大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会」における資料を参考に、被災時におけるインフラのトラフィック状況の確認したところ、図1～3のとおり、大幅にトラフィックが増加している。



図-1 東日本大震災発生時のパケットトラフィック状況(ドコモ)

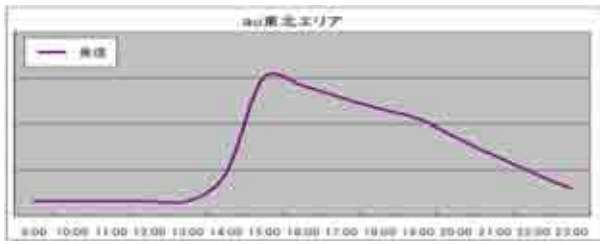


図-2 東日本大震災発生時のトラフィック状況 (KDDI)

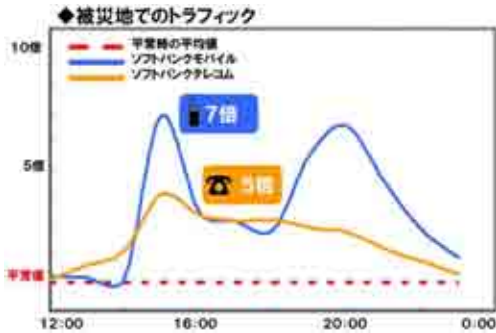


図-3 東日本大震災発生時のトラフィック状況 (ソフトバンク)

出典：大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会 ネットワークインフラWG (第2回) 配付資料

これらのデータからもわかるように被災直後は平常時と比較して約3倍～8倍のトラフィックが発生しており、被災から一定時間経過後においても、平常時よりも高いトラフィック量となっている。このトラフィック量の増加により、通信キャリアによっては最大30%の通信規制を実施していた。

(3) 課題のまとめ

聞き取り調査の結果と各通信キャリアの大規模災害時のトラフィック状況のデータを比較しても、通信キャリアの回線がボトルネックとなっているのは否めない。これに対して受動的にキャリアの対応や復旧を待つのではなく、国土交通省では光ファイバやマイクロ回線による独自回線を既に有していることから、これを用いた通信回線を確保することを前提として、次の4つの内容について検討を進めることにした。

- 1) 通信経路の確保と通信速度の向上
- 2) 使い慣れた環境での利用
- 3) 容易な情報通信環境の構築
- 4) 平時からの自治体との情報共有

3. 課題に対する解決手法と成果

(1) 通信経路の確保と通信速度の向上

a) 府県庁及び政令指定都市との通信回線

従来のキャリア回線ではなく、近畿情報ネットワーク（国土交通省が整備している統合通信網（以下、国交省回線）と府県庁と近隣事務所を結ぶ府県庁回線）

を利用することとした。この回線を使用するメリットについては主に次の5つがあげられる。

- 1) 既存の回線のためイニシャルコストがかからない
- 2) 論理的な設定変更だけで構築が可能
- 3) 可用性の高い回線
- 4) 直轄管理のためトラフィックのコントロールが可能
- 5) 光回線のため通信が高速

また管内の設備（事務所や出張所）以外からの接続であるため、セキュアな伝送路の確保が必須と考えた。そこでVPN(Virtual Private Network)を導入し、TECパソコンから本局の設備までの間の通信を暗号化することによりこれを確保した。

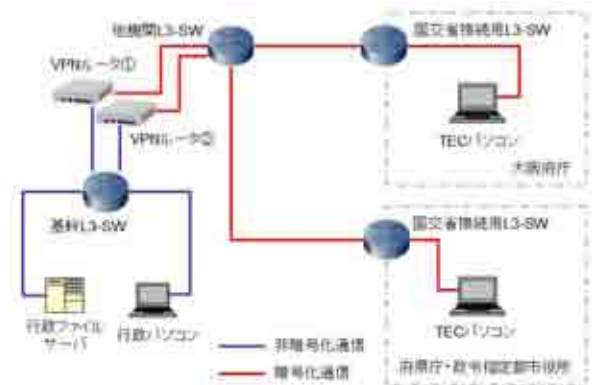


図-4 TEC・リエゾン回線のシステム構成図

この近畿情報ネットワークを利用したVPNによる通信経路については既に実用レベルに達しており、2018年6月時点で大阪府庁、京都府庁、兵庫県庁、滋賀県庁、奈良県庁、和歌山県庁より接続実験を行い接続に問題なく、接続した環境において以下の動作を確認した。

- 1) メール
- 2) イン트라ネット閲覧、インターネット閲覧
- 3) 共有フォルダへのアクセス（書込、読取）
- 4) 映像共有化システムによる映像の閲覧
- 5) ソフトフォンを用いたマイクロ電話による通話



写真-1 和歌山県庁での接続実験の様子

一方、この回線の確立にはTECパソコン側で、接続する通信ネットワークに適したIPアドレスやサブネットマスクなどのネットワーク設定とセキュア通信の確立のための接続設定といった専門的なスキルを要する作業が必要になるが、これらについては後述するTEC活動支援ツール（通称：TEc-Support-Tools）を開発することにより解決を図った。

b) 基礎自治体との通信回線

基礎自治体については、国交省回線が延伸していないという実状から可搬型Ku-SAT IIを設営しての衛星通信回線を利用したネットワークについて検証を行った。これは衛星通信事業者のサービスを利用したものであるが、東日本大震災の時に衛星回線提供及び通信サービスに影響がなかった点、衛星通信回線においては輻輳による通信規制は発生しないという点に加え、衛星通信を行うための設備についても従前に比べIP通信が可能となったことが理由である。



写真-2 可搬型Ku-SAT II



写真-3 通信高速化実験の様子

一方で衛星通信回線は通信帯域が国土交通省全体として15MBという狭い帯域しかなく、1つの地球局（1台の可搬型Ku-SAT II）でデータ通信に使える速度が128kbpsと、極めて狭帯域であるため、まずはこの帯域を最大限に活用できるようメーカー協力のもと、衛星通信回線の設備に回線高速化装置を試験的に設置してのデータ伝送時間の短縮を試みた。

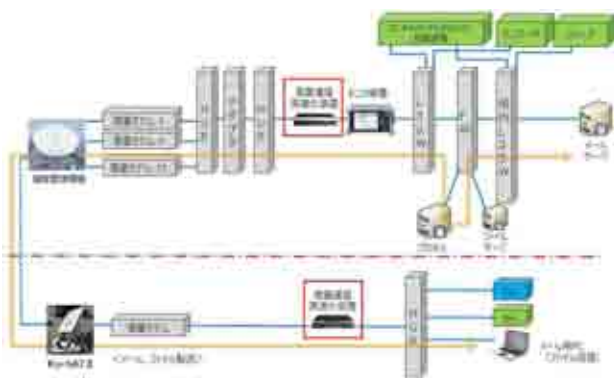


図-5 衛星通信回線高速化のシステム構成図

この衛星通信高速化装置は、ファイルのアップロード(SMB通信)やホームページの閲覧(HTTP通信)にも用いられているTCP通信と呼ばれる通信方式を内蔵されたモジュールにより高速化することができる装置である。結果として、約6MBの写真データをファイル送信用のパソコンから衛星通信回線を通して、ファイルサーバへのアップロードする時間を1/5に短縮することができた(衛星通信高速化装置装着前は約15分かかっていたところを装着後は約3分で完了)。但し、実際の現場では2GBのデータの受け渡し等もあったという話も聞き取り調査の中で明らかになっており、実運用に耐えられるか、については判断が難しく実用化には至っていない。

(2) 使い慣れた環境での利用

災害現場或いは支援先の自治体にて、特に緊急性の高い業務に対応する中で、情報通信機器の環境までがいつもと違うというのは職員のスキル発揮の妨げるなることが考えられる。そこでリモート機能により自身の行政パソコンに接続することで、普段のパソコン環境による現地作業を実現し作業の効率を上げることを試みた。これによりメールやインターネットが普段使いに近い形で使用できたため、現地での作業の効率化に寄与できるものと判断している。一方で次のような問題が想定される。

- 1) リモート接続するパソコンの起動
- 2) 情報セキュリティ実施手順の見直し

この内、リモート接続するパソコンの起動についてはWake-On-LAN等の技術を用いることで遠隔地からも自身のパソコンを起動させることができ、勤務時間であれば執務室の職員が電源を入れるという代替的な処置も講じることができると考えている。また行政パソコンのリモートデスクトップの有効化についてもドメイン管理システムにてグループポリシーを変更する等の対応を取ること一元的管理が可能であると考えているが、外部機関からの職員による行政パソコンへの接続という観点から情報セキュリティ実施手順の見直しを行っていく必要があると考える。

(3) 容易な情報通信環境の構築

現地での災害支援活動に注力するためには、それ以外の負担を軽減する必要がある。例えばTECパソコンの設営にかかる手間と時間はまさに軽減すべきそれであり、そのための支援ツールを作成した。

a) 他機関電気通信災害支援台帳

府県庁・政令指定市については、既設のネットワーク接続設備があるため、それらの機器配置や衛星通信設備の配置所等、災害支援時に必要となる情報を各自治体と連携して情報通信技術課で作成している。



図-6 災害支援台帳

これにより、調査済みの自治体へ支援に向かう際は、必要な設備の選定や配置が容易に行え、自治体担当者との連携も容易になると考える。なお2018年6月時点で近畿管内の府県庁及び政令指定都市、一部基礎自治体(紀宝町)の調査については完了しており、自治体と調整のう

え、内容の更新についても随時実施している。

b) TEC活動支援ツール（通称：TEc-Support-Tools）

TECパソコンを支援自治体に合わせて適切な環境設定を行うツールである。現状では、支援自治体を選択して、設定ボタンを押下すると、ネットワーク設定とVPN接続の設定を自動的に行うという2つの機能を実装した。



図-7 TEc-Support-Tools



図-8 VPN接続画面

また国交省回線への接続に必要な設定情報は漏洩するとセキュリティインシデントとなり得るため、印刷物などで携帯するにはリスクが高く、アプリケーションの中に組み込むことでこのリスクを低減する狙いもある。なお、このツールによる効果については、電気通信職員が必要な情報を与えられた状況で接続の設定に約5分かかるところを開発した支援ツールを使用したところ、約20秒で接続を行うことができたため、設定の時間短縮には効果があるものと判断している。現在は通信ネットワークに係る機能のみが実装されているが、将来的にはネットワーク接続だけでなく、多くのニーズに対応できるよう機能を拡張する予定である。

(4) 平時からの自治体との情報共有

災害に備えるためには平時から連携を行っておく必要があり、コミュニケーションツールとしてはその容易性においても配慮する必要がある。これらを加味し、かつ低コストで導入可能なテレビ会議システムを整備局と府県庁、整備局と港湾空港部の間で行えるように整備を行った。

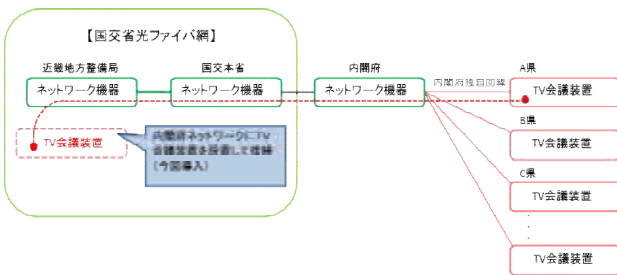


図-9 テレビ会議システム構成図

現状では既設のテレビ会議システムを流用しているため、2拠点間(1対1)の会議のみが行えるが、3拠点間以上で会議が行える多地点接続装置 (Multipoint Control Unit) 機能を有したシステムへのリプレイスについても検討を進めているところである。



写真-4 兵庫県庁とのテレビ会議接続実験の様子

4, 今後の課題とまとめ

(1) ハード面

今回の実験において、ハード面では国交省回線を利用した近畿情報ネットワークが“止まらないネットワーク”“遅延のないネットワーク”の構築に効果を発揮した。一方、近畿情報ネットワークに接続していない自治体との通信経路については課題を残すところであるが、この点に関しては他地整で導入されているi-RAS回線(統合網無線アクセスシステム)や公共BB移動無線を用いた国交省回線の臨時的な延伸による対応のほか、災害時にも安定した通信が確立できることが前提であるが公衆回線の利用も含めて、今後の検討を進めていく。

また、今回の実験では、従来は行っていなかった近畿情報ネットワーク(防災系ネットワーク)から行政系ネットワークへの接続を実施している。防災系ネットワークは、主に直轄の河川や道路の現地に設置されている機器の通信に利用するという性質から行政系ネットワークに比べて情報セキュリティのリスクが高くなってしまふ。そのため、今回の実験で結果として行政系ネットワークのリスクが高くなってしまったことは、セキュリティ面で課題を残すところである。この点については、技術動向も踏まえながら詳細に検討を重ね、情報セキュリティの最適化を図っていくこととしたい。

さらに現地における自治体職員とのコミュニケーションを現状では紙ベースで行っているため、プリンタやスキャナを持ち込んでいるが、これらの代替となるツールとして、タブレットや小型プロジェクタを基本としたパッケージ化についても検討する必要がある。

(2) ソフト面

ソフト面では、危機に際して臨機応変に対応できるよう、日頃からの積み重ねが重要であり、その為には職員に対する訓練や演習・研修等が必要であり、特に自治体関係者も含めての訓練は効果が高いと考える。

また他機関電気通信災害支援台帳については、担当者の変更や災対本部等の場所変更、設備の配置変更等に対する確実な対応が必要と考えている。そのためには、各自治体との台帳の共有及び修正対応はもちろん、担当者同士での相互連絡調整を密にすることで、認識共有や意識共有を行っていくこととしたい。

既設大規模空間への 空調設備設置に関する検討について

池田 泰¹

¹兵庫県県土整備部住宅建築局設備課（〒650-8567 兵庫県神戸市中央区下山手通 5-10-1）

ビーンズドームは立体鋼管トラスを用いた国内最大級の屋内テニス場である。平常時は屋内テニス場として利用されているが、災害時には広域防災拠点の一部としての機能を担うことになっている。今回、新たにドーム内に空気調和設備を設置することとなったが、その設計においては、大規模空間をいかにして空調するかという技術的検討に加えて、平常時、災害時の施設運用方法を変更せずにこれまで通りとすること、建築物の持つ高い意匠性に配慮することが設計条件として求められていた。本論文では、これらの技術的課題や設計条件に対する検討内容とその結果について報告する。

キーワード 大規模空間、空気調和設備、置換換気空調、改修

1. はじめに

ビーンズドームは兵庫県三木市に位置する三木総合防災公園内にある屋内テニス場である（図-1）。その構造は立体鋼管トラスを用いたドームで、内部は面積 16,167m²、最大高さ 22.85m の大規模空間であり、屋内テニス場としては国内最大級のものとなっている。

また、その設計は建築家の遠藤秀平氏によるものであり、非整形曲面ドーム屋根を始めとした特徴的な意匠と、屋根面の緑化による周辺環境との調和が国内外から高く評価され、2012年には公共建築賞優秀賞にも選ばれている。

三木総合防災公園は、平常時は地域スポーツ振興の拠点として利用されているが、緊急・災害時には、隣接する広域防災センターと一体となって兵庫県全域の広域防災拠点として機能することとなっている。

ビーンズドームも平常時は地域のテニス教室や大規模大会等に利用されているが、東日本大震災などの災害時には広域防災拠点の一部として救援物資の荷捌き場所に利用されたほか、2017年

には災害時における地域住民の避難所にも指定されている。

今回ビーンズドームにおいて、これまでの施設利用実績をふまえ、今後のより高い品質での「平常時の地域スポーツ振興、テニスの大規模大会の開催」と「緊急・災害時の防災拠点、避難所」として活用されることを目的に、ドーム内に新たに空気調和設備を設置することとなった。本論文では、この設計において課題となった内容及びその検討結果について報告する。

2. 設計において配慮が求められる事項

ビーンズドームの内部にはセンターコート1面、サブコート8面の計9面のテニスコートを有しており、大規模大会時にはセンターコート周囲の通路に観客席を増設することによって、最大2400人まで観戦できるようになっている（図-2）。

また、ドーム内部は柱のない大規模空間である



図-1 ビーンズドーム外観

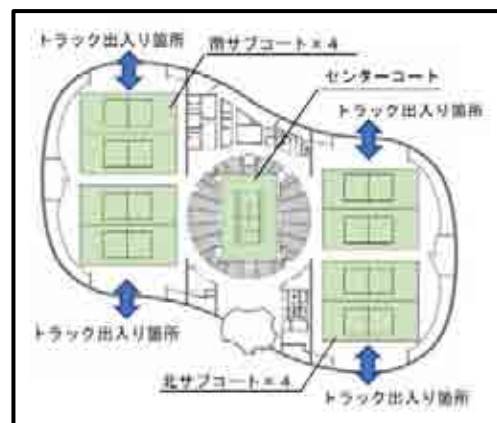


図-2 ドーム内のコート配置



図-3 ビーンズドーム内観

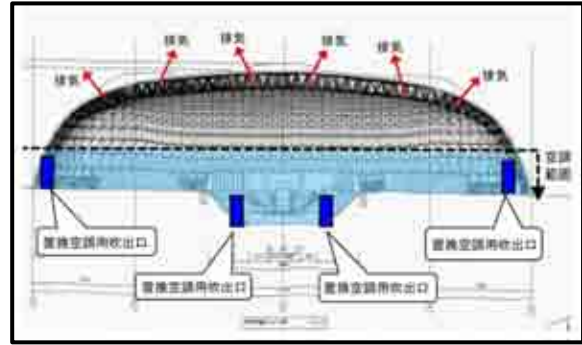


図-4 ドーム内冷房イメージ

ため、誰がどこで何をしているかがひと目で把握でき、人や物の情報を効率よく整理することができる(図-3)。このため、災害時には消防・警察等の応援要員の集結・宿泊場所、近隣住民の避難場所、救援物資の集積・仕分け場所として利用されることとなっており、サブコート部分の床面はフォークリフトやトラックなどの車両が往来出来る床仕様になっている。

今回の設計にあたっては、空調設備設置後も上記の施設運用方法を変えずにこれまで通りの運用が出来るようにすることが求められた。このため、観客席の増設場所、荷捌き作業空間、ドーム内の車両通路幅、床仕様などを変更せずに空調機器を設置しようとする、ドーム内の殆どの部分は空調機器、配管等の設置場所として利用できないこととなった。

また、前述したとおり、ビーンズドームは、その特徴的な意匠(デザイン)が国内外から高く評価されている建築物である。このため、今回新たに設置する空調機器、配管等については、建築物の持つデザイン性を損なわないことが求められ、その外観についても慎重な検討が必要となった。

3. 大規模空間における空調設備の設計

大規模空間の空調設備は、事務所建築の空調設備と異なり、対象となる空間の巨大さや形状の多様性により、その設計手法が確立していない。

このため今回の設計においては、設計の途中段階から室内の気流分布、温度分布等のコンピューターシミュレーションを重ね、空調効果や問題の有無を確認し、設計内容の修正を繰り返しながら設計を進めることとした。

なお、今回の設計条件としては、主に平常時のテニス大規模大会時における施設利用を対象として各種負荷計算や気流分布等の検討を行い、災害時の応援要員や避難者の受け入れについては、設置された空調設備能力の範囲内で対応するものとした。

(1) 冷房方式の検討

大規模な室内空間を冷房しようとする場合には、「大型の吹出ノズルを複数配置して冷風を勢よく吹き、空間全体を均等に冷房する」という方式が一般的である。

だが、大規模空間における人の活動範囲は地上から数メートルの範囲だけであり、「空間全体を均等に冷房する」という方式にしてしまうと、人が活動することのない範囲までも冷房することになり、無駄の多い冷房方式となってしまう。

そこで、大規模空間に適した冷房方式として、「置換換気空調」という方式が考案されている。これは置換換気空調専用の吹出口から、大規模空間にゆっくりと染み出すように冷風を送る冷房方式である。冷えた空気は暖かい空気より比重が大きく、空間の低いところに溜まる性質がある。

このため、冷えた空気を大規模空間に染み出すように送ると、空間内にあった暖かい余剰空気は空間上部へと押し出され、地上から数メートルの範囲が冷えた空気であらされる。このようにして、「置換換気空調」は人の活動範囲だけを冷たい空気に置き換えることにより、大規模空間においても効率的に冷房と換気を行うことができる。

また、ビーンズドームは屋外の既設機械室とセンターコートが地下管廊で結ばれており、その地下管廊に敷設された換気ダクトを通じて、新鮮空気をセンターコート付近に送ることにより換気を行っている。この際に、ドーム内の余剰空気は屋根上部の開口部から排気されており、これは上記の置換換気空調を導入した場合と同様の空気の流れであった。このため、置換換気空調を導入する場合は、既設の換気ダクトや屋根上部の開口などの既設給排気経路の再利用による工事費の低減が見込まれた。

これらを総合し、冷房方式については、「置換換気空調」を採用する方向で検討を進めた(図-4)。

(2) 暖房方式の検討

冬季の暖房において、夏季の置換換気空調と同様に人の活動範囲のみを集中的に暖房する方法

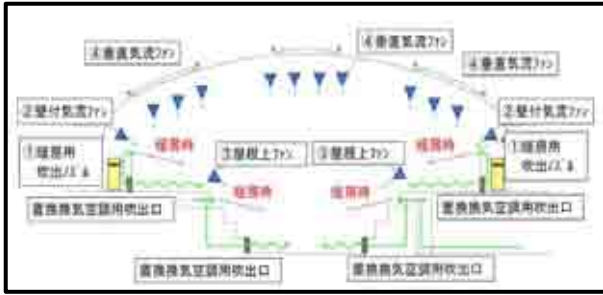


図-5 ドーム内暖房イメージ

としては、床暖房や床吹出方式の暖房などがある。

しかし、ビーンズドームでこれらの暖房方式を導入するには、広い範囲の床面に機器やダクト等を埋め込む必要があり、膨大な量のコンクリート床の研り掘削作業を伴う工事となる。その上、機器やダクトを埋め込んだ床面は、車両の通行に適した耐荷重の確保が難しく、冷暖房時の伝熱による床面の変形や亀裂、テニスコートとしての床仕様からの逸脱なども懸念され、必要となる膨大な工事費や長い工事期間も考慮すると現実的な方法ではなかった。

このため今回の設計では、コート周辺に横からの吹出ノズルを分散配置する従来の暖房方式を前提として検討を行った。以下に今回の設計において検討した暖房方式のイメージ図を示す(図5)。

暖房方式としては、ドーム内各所に暖房用吹出ノズル(①)設けて暖気を供給しつつ、供給した暖気が効率的にテニスコート部分に到達するよう、壁付気流ファン(②)やドーム内の諸室棟、事務所の屋根に屋根上ファン(③)を設置することを検討した。また、ドーム内に供給された暖気は室内の空気と比べて暖かく軽いため、比重の違いにより空間上部に上昇してしまう。そこで、供給された暖気ができるだけ長く人の活動範囲に滞留するよう、天井面に複数の下向きの垂直気流ファン④を設置することを検討した。

これらの①～④の機器の設置効果については、それぞれの機器を設置した場合と設置しなかった場合のシミュレーションを行って検討した。例として①～④を全て設置した場合の温度分布のシミュレーション結果(図-6)と風速分布のシミュレーション結果(図-7)を示す。

図-6の温度分布のシミュレーション結果より、①～④の機器を全て設置した場合、センターコート部分及びサブコート部分共にほぼ均一な温度分布となることがわかったが、図-7の風速分布のシミュレーション結果を見ると、センターコートの一部で風速の高い部分が生じる結果となった。

通常の屋外テニスコート上でこのような極端に偏った風速分布が生じることは考えにくく、この偏った風速分布がセンターコートにおけるテニスのプレーへの支障となることが懸念された。

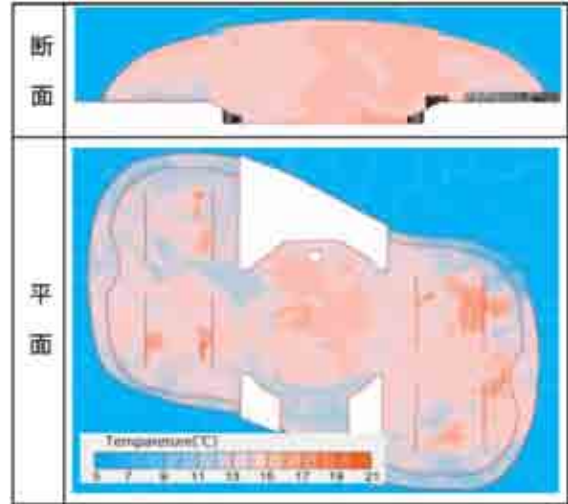


図 6 温度分布のシミュレーション結果

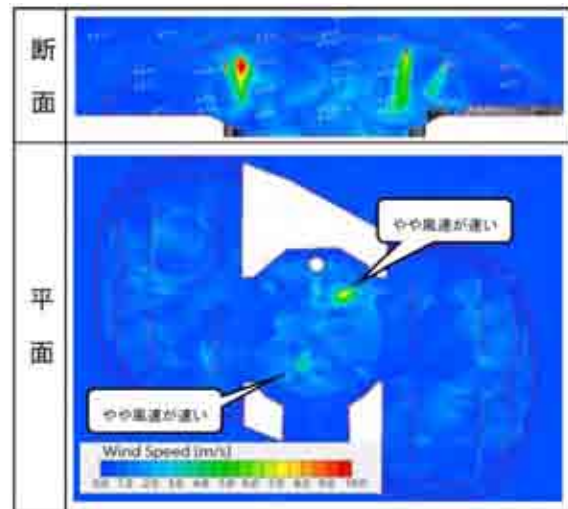


図-7 風速分布のシミュレーション結果

そこで、屋根上ファン③を設置しない条件で再度シミュレーションを行ったところ、ほぼ均一な温度分布となった上で、極端な偏りの無い気流分布になるシミュレーション結果となったため、設置を検討していた屋根上ファン③については今回の設計では設置しないこととした。

4. 既設デザインとの調和

今回の設計においては、新たに設置する機器が建築物の持つ高いデザイン性を損なわないことが求められていた。だが、図面から既設デザインと調和しているかどうかを読み解くことは非常に難しく、その判断も個人の感性による部分が大きいため、担当者だけでは設計の良否を判断することは難しかった。

そこで今回は、機器や配管の設置について、複

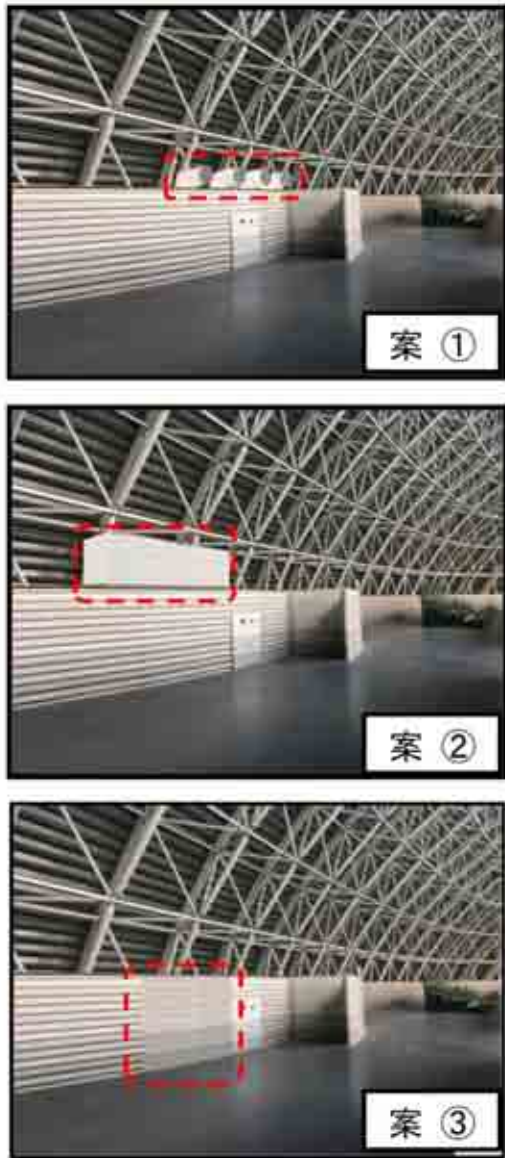


図-8 置換空調吹出口設置方法の検討案

数の設置形状、カラーパターンを考案し、そのそれぞれについてドーム内部の写真と合成した設置イメージ図を作成して複数の関係者と協議することにより、既設デザインとの調和についての検討を行った。

またその過程においては、当初のデザイン思想を崩さないよう、当初の設計者である遠藤秀平氏からも意見やアドバイスを頂きながら設計を進めた。次にその具体的な検討例を示す(図-8)。

図8はドーム内に設置する空調吹出口の設置方法の検討例である。ビーンズドーム内の外壁付近にはコルゲート板が配置されており、このコルゲート板と外壁との間がメンテナンススペースとなっている。今回の設計ではこのメンテナンススペースに隠れるように設置した空調機からサブコート側への吹出口の設置方法について、複数の案を作成して検討を行った。

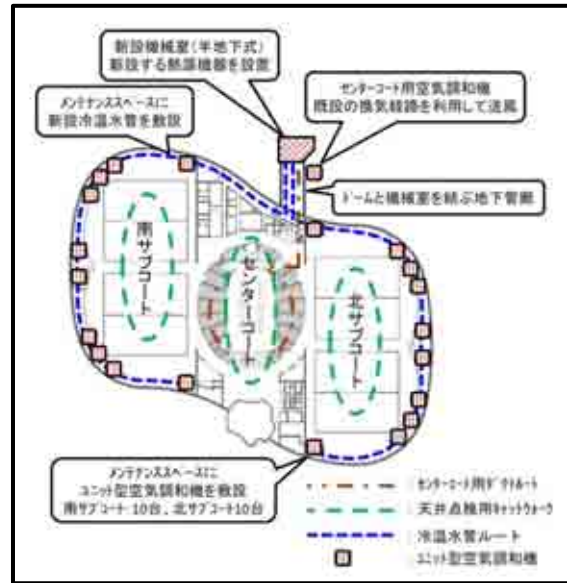


図-9 空調機器配置図

案①と案②は配置されているコルゲート板を加工せず、コルゲート板の上部よりノズル型の吹出口や角型の置換空調用吹出口を設置した場合のイメージ図である。案③はコルゲート板を一部撤去し、そこに既設のコルゲート板と大きさ、色を合わせた置換換気空調用の吹出口を設置したイメージ図である。

検討当初は既設建築物の持つデザイン性を損なわないよう、ドーム内部を取り囲むように配置されているコルゲート板の撤去を行わない案①又は案②で検討をしていた。だが、設置後のイメージ図を複数作成して検討した結果、案③のようにコルゲート板を一部撤去し、その周辺のコルゲート板と馴染むように調整した吹出口を設置した方が既設建築物の持つデザイン性を損なわないと考え、案③の方法で設置することとした。

5. 空気調和設備設置工事の設計概要

今回検討した設計の概要を示す(図-9)。

増設する空調熱源機器やポンプ類は、屋外に新たに設ける機械室に設置する。なお、機械室は景観に配慮して半地下式の機械室とした。

センターコート部分については、既設機械室に新たに設けるユニット型空気調和機により行い、既設の換気ダクト経路を再利用して冷温風を送風するものとした。

サブコート部分については、ドーム内外壁付近のメンテナンススペースに冷水管及びユニット型空気調和機(北サブコート用10台、南サブコート用10台)を設置して空調を行うこととした。

【主要機器】

吸収式冷温水機 (灯油焚)	1台	冷房能力：1,400kW	屋外機械室
		暖房能力：1,100kW	
温水ヒーター (灯油焚)	2台	定格出力：930kW	屋外機械室
ユニット型空調和機 (センターコート用)	1台	33,300m ³ /h	屋外機械室
ユニット型空調和機 (北サブコート用)	10台	12,000m ³ /h	ドーム内 メンテナンススペース
ユニット型空調和機 (南サブコート用)	10台	12,000m ³ /h	ドーム内 メンテナンススペース
垂直気流ファン (センターコート用)	30台	1,476m ³ /h × 100Pa	センターコート 天井点検用キャットウォーク
垂直気流ファン (北サブコート用)	22台	630m ³ /h × 100Pa	北サブコート 天井点検用キャットウォーク
垂直気流ファン (南サブコート用)	22台	630m ³ /h × 100Pa	南サブコート 天井点検用キャットウォーク

【最大熱負荷】

冷房時最大負荷	1,149[kW]	FL+3m以下を空調範囲
暖房時最大負荷	2,653[kW]	屋内全域を空調範囲

【設計条件(参考)】

屋内温湿度	夏季	温度：28℃、湿度：50%
	冬季	温度：15℃、湿度：40%
屋外温湿度	夏季	9時 温度：31.0℃、湿度：69%
		12時 温度：33.1℃、湿度：61%
		14時 温度：33.8℃、湿度：59%
		16時 温度：33.6℃、湿度：60%
	冬季	温度：-0.5℃、湿度：50%

また、冬季の暖房時に暖気ができるだけ長く人の活動範囲に滞留することを目的として、垂直気流ファン（センターコート用 30 台、北サブコート用 22 台、南サブコート用 22 台）を天井点検用キャットウォークに設置するものとした。

熱負荷については、冬季はドーム内全域（FL+22 mまで）を空調範囲として熱負荷計算を行ったのに対し、夏季は置換換気空調を採用したことにより人の活動範囲のみ（FL+3mまで）を空調範囲として計算を行った。

その結果、夏季の冷房時最大負荷（1,149kW）は、冬季の暖房時最大負荷（2,653kW）の 43%程度に抑えられる計算結果となった。また、冷房時最大負荷よりも暖房時最大負荷が大幅に大きくなったため、熱源は冷房時最大負荷に見合った能

力の吸収式冷温水機を冷熱源として採用し、暖房時の熱源の能力不足分については、温水ヒーターを熱源に追加して賄う設計とした。

6. 今後の検証課題

今回の設計で採用した置換換気空調は、兵庫県が管理する施設では初めての採用であり、設計における検討段階で期待している空調効果やランニングコストなどについては、運用段階にてデータ収集を行い検証していく必要がある。

また、今回これまで非空調空間であったドーム内に新たに空調設備を設置するもので、空調設備を設けたことによる騒音や結露などの二次的な悪影響が生じる恐れがある。これらについても、運転状況を注意深く観察し、二次的な悪影響が生じた場合には、その対策方法に関する検討も行う必要がある。

7. まとめ

今回、「平常時と災害時におけるそれぞれの施設運用方法を変えることなく、大規模空間に新たに空調設備を設置する」という設計上の制約が非常に多い中で、無駄の少ない効率的な空調設備を設けることができるような様々な検討を行った。

現有資産の有効活用の点からも、今後は「より効率的で合理的な行政サービスの提供のために、既設建物に竣工当初とは異なる新たな役割や行政機能を持たせる」という事例が増えると思われるが、このような設計事例は数が少なく、事業が始まってから担当者が手探りで設計手法や検討方法を模索し、事業を進めることが多いと考える。

よって、今回のような特殊な設計・検討を行った過程は、その後の検証も含めて積極的に研究会等で情報発信し、組織及び自治体間でそれらの知見を共有・蓄積していくことが、職員の技術力及び行政サービスの向上につながると考える。

平成25年台風18号を踏まえた防災対策の高度化

寺内 夕希¹・木瀬 龍也²

¹近畿地方整備局 大阪国道事務所 西大阪維持出張所（〒551-0002大阪府大阪市大正区三軒家東5-6-4）

²近畿地方整備局 淀川河川事務所（〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10）

淀川河川事務所では、「水防災意識社会 再構築ビジョン」に基づき、被害最小化を目指した取り組みを行っている。本報告では、SNSやタイムラプスカメラを活用した「住民目線のソフト対策」の取り組み状況を報告する。また、洪水時の観測員の安全確保や省力化を目的とした、高度流量観測の実用化に向けた観測環境の整備状況を示す。このような従来手法に捉われない新たな手法、取り組みを今回「防災対策の高度化」と称し、報告を行うものである。

キーワード 防災、高度化、住民目線のソフト対策、SNS、高度流量観測

1. はじめに

淀川河川事務所（以下、「事務所」）は、宇治川、木津川、桂川とこれら三川が合流した淀川（本川）の維持管理を行っている。事務所の防災対策は、ハード対策として、堤防決壊による被害の回避・軽減を目指した堤防強化、桂川の治水安全度向上に向けた緊急的な河道掘削や井堰撤去工事などを実施している。また、いかなる洪水に対しても氾濫等による被害の最小化を目指すべく、河川管理者・自治体等で構成した「水害に強い地域づくり協議会」において、マイ防災マップ作成、まるごとまちごとハザードマップ、他機関連携型タイムラインなど、ソフト対策を推進している。

ソフト対策は関東・東北豪雨を踏まえ2015年12月に策定された「水防災意識社会 再構築ビジョン」に基づき、「住民目線」のわかりやすいものへと転換している。

具体的には、住民等の行動につながるリスク情報の周知として、立ち退き避難が必要な家屋倒壊区域等の公表や、避難行動のきっかけとなる情報のリアルタイム提供として、水位計・ライブカメラの設置やスマートフォン等によるプッシュ型洪水予報等の提供などで、水害リスクの高い地域を中心に、住民が自らリスクを察知し自主的に避難できるよう、重点的に取り組んでいる。

この背景として、近年豪雨や大規模台風による災害が頻発している一方で、河川改修を進めてきた結果、堤防が高くなり安全神話ができ、川の様子を見に行ったり、避難情報が出されても逃げないといった正常性バイアスが働いていることが考えられる。

2013（平成25）年台風18号洪水時には、桂川・嵐山地

区で激流の間近で撮影する一般人と思われる方が確認されている。また、HWLを超える水位となった宇治川沿川においても、久御山町で町内全域に避難勧告が出されたにも拘らず、避難者は15世帯42名と少数であった。

さらにこのような水害経験もすぐに風化してしまうことが危惧され、社会全体での水防災意識の高揚が喫緊の課題であると言える。



写真-1 桂川・嵐山地区

2. 情報提供手法の多様化 ～「住民目線のソフト対策」～

事務所では、2013（平成25）年台風18号での課題を踏まえ、既設CCTVカメラや新たに設置したタイムラプスカメラを活用した洪水時の状況把握を行っており、それらの情報をSNS（Facebook等）を用いて即時的に住民へ発信している。

(1) SNS（Facebook）と連携したCCTVカメラの活用

「住民目線のソフト対策」を推進するにあたり、避難行動のきっかけとなる情報をリアルタイムで提供するこ

とが非常に重要となる。事務所では、これまでもホームページで水位情報を提供している他、「淀川ライブカメラ」として桂川18.2k地点（嵐山渡月橋）の他、静止画も含め合計7地点に設置されたCCTVカメラ画像の提供を行ってきた。2018年3月には、宇治川・木津川・桂川が合流する三川合流域「さくらであい館」にもCCTVカメラを設置、宇治川37.3k地点が新たに加わり、同画像はさくらであい館ホームページでも閲覧が可能である。

「避難行動のきっかけとなる情報」という観点から水位情報とライブカメラ画像を比較した場合、水位情報は平常時の水位を把握していなければ、洪水時に今どのくらい水位が上昇し危険な状況であるか把握しがたいのに対し、ライブカメラ画像は視覚的に堤防に対する水面高を把握できるため、より住民が自らリスクを察知し、主体的に避難するきっかけになるものと考えられる。

2017年10月の台風21号に伴う洪水時には、近畿地方整備局及び各事務所ホームページへのアクセスが急増し、繋がりにくくなる事象が発生した。このことから、近年インターネットによる情報収集が主流となっていることが改めて見て取れる。

事務所では、2017年5月22日よりFacebookを活用した情報発信を始めており、2017年10月の台風21号接近時には、「台風21号の接近に伴う水位上昇について」と題し、10月22日18時18分に災害対策状況や今後の見込み等の情報を、また「台風21号の接近に伴う水位状況」と題し、10月23日2時24分に同日1時現在の水位状況を投稿している。その中で、図-1のようにこれまでのホームページでは即時に対応しがたい、洪水時の状況を平常時のCCTVカメラ画像と対比する情報提供を行った。前述のように、ホームページが一時的なアクセスの集中により閲覧しがたい場合にも、このように異なるツールを用いた情報発信を試みているところである。



図-1 投稿記事 (10月22日)

今後もこのような社会的に関心の高いSNS (Facebook等) と既設CCTVカメラ画像を連携させた即時的な情報提供を行うことにより、幅広い方々に対し「避難行動のきっかけとなる情報」の伝達ができるものと思われ、水防災意識の高揚が期待できるものと考えている。

(2) タイムラプスカメラの活用

前述(1)のCCTVカメラとは異なり、リアルタイムでの提供には現状は適さないものの、事務所管内では2017年より、タイムラプス動画（静止画をつなぎ合わせて作成したコマ送り動画）の撮影を実施している。工事の進捗状況の他、宇治川の「三川合流部」、木津川の「流れ橋」、桂川の「渡月橋」などにおいて洪水時の状況撮影を行い、通常CCTVカメラだけでは把握しがたい長時間にわたる動画記録の保存を図った。このようなタイムラプス動画を用いた不可視情報を、YouTubeに投稿し広く情報発信を行う他、事業説明等の機会に関係住民の方々へ提供することにより、治水事業の必要性について理解が促進するものと期待できる。



図-2 YouTube 投稿画像 (淀川レポート)

また、前述(1)のFacebookでは、毎年7月第1日曜日に実施される洪水・高潮に備えた防潮鉄扉操作訓練で、全国で唯一の回転式陸閘が閉鎖する状況のタイムラプス動画も投稿しており、再生回数が2,755回と多くの方に興味を持っていただけたことが分かる。このことから、今後はより住民の興味と理解を得られやすく、なおかつデータ容量及び再生時間がコンパクトでありながら、長時間にわたる実際の動画を用いることが可能である、タイムラプスカメラを活用した情報提供を更に積極的に行っていくべきと考える。

3. 水文観測技術の高度化

桂川・天竜寺観測所では、2013（平成25）年台風18号洪水において、浮子投下地点である渡月橋の桁上まで洪水流が迫り観測員の退避を余儀なくされ、桂川の戦後最大洪水のピーク流量を観測できない事案が発生した。

淀川・枚方観測所では、同洪水において、ゴルフ場のネットに浮子が引っ掛かり、戦後最大流量が正常に観測

できない事象が発生した。

このような課題に対し、洪水時に観測員の安全を確保すると同時に、重要な流量データを逃さず取得し、いつ生じてもおかしくない大規模洪水に備える必要がある。

(1) 事務所管内の流量観測

流量観測は、計測流速と区分断面積を基に流量を算出し、観測時水位と算出流量との間の一意の関係から作成する水位流量曲線式(H-Q式)により、各地点の流量把握を行っている。しかしながら、従来手法では正確な流量把握が困難である4地点(淀川・枚方地点、桂川・天竜寺及び請田地点、木津川・八幡地点)において、2014年より近畿地方整備局のモデル河川として、新しい流量観測手法(以下、「高度流量観測」)を用いた観測を実施、適用性を検証してきた。

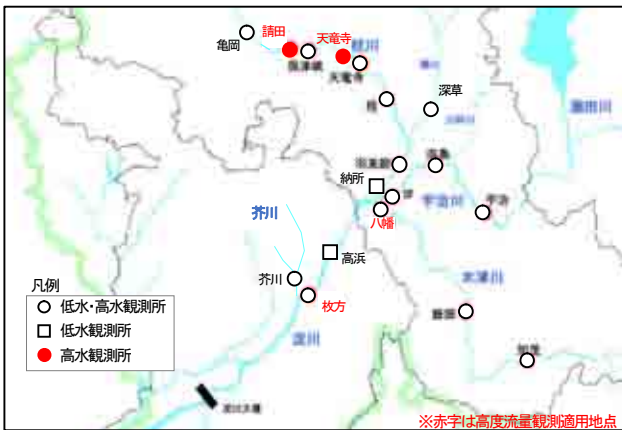


図-3 観測所位置図

(2) 高度流量観測手法の概要

高度流量観測手法として、橋梁係留船等に搭載し移動しながら、超音波のドップラー効果を応用し断面内の三次元流向・流速分布を測定するADCPや、橋梁上から電波を発射し、その反射波の周波数変化から表面流速を測定する電波流速計がある。これらは固定式でないため、

多地点で兼用することが可能であるものの、観測員が現地に行く必要がある点で安全性や省力化に劣る。

これに対し、観測員の安全確保や省力化を実現する、流量観測の自動連続化が可能な高度流量観測手法の内、主なものとして、電波流速計(固定式)、画像解析(STIV)、H-ADCPがある。各手法の詳細は表-1に示すとおりであり、それぞれに得られるデータ、利点、欠点、機器コストなどが異なるため、地点毎に適切な観測手法を選定した。

(3) 高水流量観測の高度化

a) 高度流量観測手法の選定(桂川・天竜寺観測所)

天竜寺観測所は、風致地区に位置し、また保津峡の出口にあたり保津川下り等観光船の航行があることから、景観上の配慮が必要となる。



写真-2 桂川・天竜寺観測所付近

前述(2)の高度流量観測手法の内、電波流速計(固定式)は、橋梁等横断的に複数台の機器を設置する必要があるため景観面に劣る。次に、画像解析(STIV)は、河道全幅を捉えられ、洪水時にカメラ等機器が水没しない設置位置の確保や、商用電源の確保が必要であり採用に至らなかった。これに対し、H-ADCPは、バッテリー稼働のため商用電源が不要であり、電源設備を含め機器がコンパクトである点は景観上優位である。また、1台の

表-1 高度流量観測手法の比較表

観測手法	電波流速計(固定式)	画像解析(STIV)	H-ADCP
事例写真			
手法概要	電波のドップラー効果(空気中の伝播)	動画による波紋の追跡	超音波のドップラー効果(水中の伝播)
計測原理	橋梁等に設置したセンサから電波を発信し、反射波の周波数変化より表面流速を計測。	流下する波紋を追跡し、画像解析により表面流速を計測。	超音波のドップラー効果(水中の伝播)により、設置高における流速の横断分布を計測。
得られるデータ	1点の表面流速	表面流速の横断分布	設置高の流速の横断分布
利点	流下物の影響を受けずに安定した流速計測が可能。	遠赤外線カメラを用いれば、夜間においても観測が可能。	1台で流速横断分布を計測可能。波立ち・波紋の影響を受けない。
欠点	複数台設置、風補正が必要。	風補正が必要。	濁りや超音波の河床干渉による超音波減衰で計測範囲が狭められる。
電源	自動連続化には商用電源要	商用電源要	バッテリー
機器コスト	10,000千円(複数設置)	1,000千円(カメラ1台)	9,000千円(ナロータイプ)

機器で設置高における流速横断分布を計測可能であることから、機器コストも勘案し本手法を採用した。

b) 高度流量観測手法の選定（淀川・枚方観測所）

淀川・枚方観測所は、左右岸共に高水敷が広く、平常時は淀川河川公園、ゴルフ場といった一般利用者の多い開かれた場所である。そのため、高水敷も含む河道全幅を捉えられるH-ADCPの複数台設置は、機器の維持管理や機器コスト総額からも好ましくなく、電波流速計（固定式）は、付近に橋梁があるものの複数台設置による機器コストが高額である等、採用に至らなかった。これに対し、画像解析（STIV）は、機器コストが最も安価であり、洪水時にカメラ等機器が水没しない設置位置や商用電源の確保が可能な枚方出張所屋上に設置、洪水時の高水敷部を含む範囲を対象とする観測手法として採用し、低水路部分はH-ADCPを採用した。



写真-3 淀川・枚方観測所付近

c) 新たな課題と実用化に向けた整備状況

枚方観測所では、画像解析（STIV）において、遠赤外線カメラ画像が距離による減衰や、気温・強雨によるカメラ画質の低下により、観測精度が低下する事象が見られた。この課題を解決すべく、2017年度に枚方出張所屋上（左岸）に設置されていた50mmタイプ遠赤外線カメラを、対岸高槻出張所（右岸）のマイクロ波電波回線用鉄塔に移設すると共に、枚方大橋下流の枚方水質観測所（左岸）に19mmタイプ遠赤外線カメラを追加設置した。これにより、これまで低水路部分も含め1台のカメラでの撮影から、設置河岸側の高水敷を中心とした中・大規模洪水時のみの撮影とすることで、観測精度の向上を図ることができると考えられる。また2台の遠赤外線カメラについては、4年間にわたる観測の中でその効果が確認された、画像鮮明化装置を設置することで、より解析に適した画質を保つことができると考えられる。

d) 高度流量観測手法導入の利点

高水流量観測の高度化となる、桂川・天竜寺観測所他におけるH-ADCP及び画像解析（STIV）導入の利点として、以下が挙げられる。

まず、洪水時に観測員の安全を確保すると同時に、重要な流量データをいかに取得するかという点について、観測の自動連続化及び無人化により実現が可能となった。

また、観測の自動連続化及び無人化は、観測自体（外業）、流量算出に必要な多断面の横断測量（外業）、その後の流量算出及び水位流量曲線式の作成（内業）においても省力化に繋がるものである。

更に、従来手法の高水流量観測における浮子が不要となることから、購入及び在庫管理の省力化が可能となる。浮子は観測時の水位（水深）により、浮子表で定められた種類のものを使用する必要があるが、大規模洪水時に使用する最長4mのものは1本当たり4,000円程と高額である一方で、材質が紙や砂等自然に戻りやすいものであるため、劣化しやすく使用に適さないことがある。年によっては洪水が全くない一方で、2017年のように2週続けて台風が接近するケースもあり、浮子の確保にも苦慮しているところである。高度流量観測が浮子測法に完全に代替する手法となれば、浮子購入に必要な予算削減にも繋がるものと考えられる。

(4) 新たな流量算出手法（簡易法）

H-ADCPや画像解析（STIV）の計測流速を用いた流量算出は、「区分求積法」を基本としている。これは、実際の計測値から対数分布測により水深平均流速（区分幅における断面平均流速）を算出し、区分断面積と乗じた区分流量を合算する手法である。

一方で、例えば図-4のようにH-ADCPにおいて超音波ビームが河床に干渉する等、未計測エリアが広範囲に及ぶ場合は、当該エリアで得られたであろう計測流速を推定し流量算出を行う必要がある。

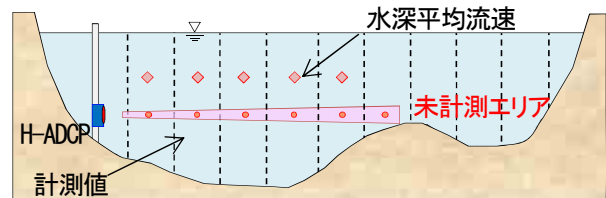


図-4 区分求積法による流量算出（H-ADCP）

未計測エリアの外挿を行う場合、未計測エリアがわずかであり、なおかつ同一低水路内で河床形状も同様である等、近傍で得られる計測流速で代替が可能である場合は、同流速より区分流量の外挿が可能である。

しかし、未計測エリアが広範囲である場合や、同一低水路内でも左右岸で流況が異なる場合、計測流速が低水路部に対し高水敷部の外挿が必要である場合には、過小もしくは過大な計測流速の推定となる恐れがある。

このような問題を回避すべく、これまでは特許技術である「DIEX法」を用いた流量算出を行ってきた。

「DIEX法」とは、H-ADCP等から得られた横断面内での限られた計測流速データを数値解析に取り込み、合理的に流速値の横断分布を推定する手法である。当手法は順流域のみでなく、感潮域においても試行実績があるものの、今後継続的に流量算出を行うにあたり、特許使用料

が発生する流量算出手法であった。

これに対し、前述「DIEX法」に代わる新たな流量算出手法として、2017年度は対数分布測に基づく方法で流速を補間する解析を実施した（以下、「簡易法」と呼ぶ）。ここで摩擦速度は次式で算出した。

$$U_* = \frac{u(z)}{\frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{k_s} \right) + A_r} \quad \dots \text{式①}$$

U_* :摩擦速度[m/s], $u(z)$:観測流速, κ :カルマン定数,

z :河床からの高さ[m], k_s :相当粗度[m], A_r :定数(粗面)

「簡易法」とは、低水路及び高水敷毎に式①から摩擦速度を算出し、未計測箇所における対数分布測に代入することで水深平均流速を推定する手法である。2017（平成29）年台風21号洪水での計測流速を基に「簡易法」を用いた流量算出を行った結果、図-5に示すとおり浮子観測と概ね一致することが分かった。このことより、今後継続的に流量観測を行うにあたっても特許使用料の発生しない流量算出が可能となった。

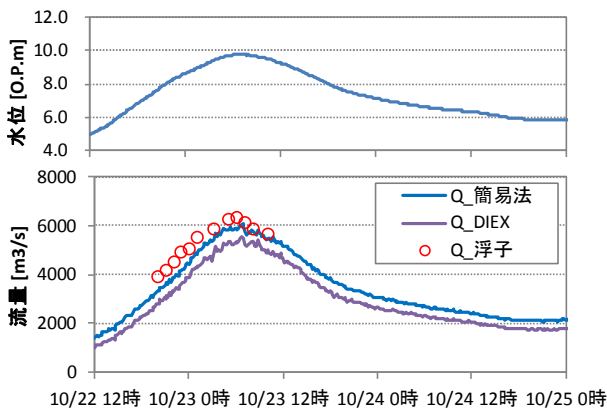


図-5 流量算出結果(2017年台風21号洪水)

(5) 既設CCTVカメラを用いた画像解析

2017年度、新たな流量観測手法として、前述(3)の遠赤外線カメラを用いたものとは別に、既設CCTVカメラを用いた画像解析（STIV）の検討を桂川・天竜寺観測所をモデルに行った。

a) 画像解析の概要（原理）

通常、高度流量観測手法における画像解析（STIV）は、前述のとおり遠赤外線カメラ画像を用いるのに対し、本手法は、河川管理者が河川流況等の状況監視用に設置しているCCTVカメラの画像を用いて、画像解析（STIV）を行うものである。具体的には、予め後述b)の標定点測量を実施した画角をプリセット登録しておき、同画角において浮子測法と同様に、1時間に1回の観測に代わる1～10分程度の画像録画を行っておくことで、画像解析により表面流速横断分布を計測し、当該地点の流量算出が可能となるものである。ちなみに、標定点測量は洪水後でも可能であり、平成25（2013）年台風18号洪

水時において、淀川・枚方観測所付近及び桂川・天竜寺観測所付近のCCTVカメラ画像を基に流量算出を試みている。しかし、流量算出に必要な解析時間の短縮と、算出される流量データの精度向上のためには、本試行のように事前に観測環境を整えておくことが望ましい。

b) 標定点測量の実施

画像解析では、斜め画像を上から見た画像に補正する幾何補正が必要である。幾何補正のためには画像上の複数点で平面座標・標高が必要となる。2017年度は本試行において、実際の洪水を捉えることができなかったが、次年度以降、天竜寺地点に該当する「渡月橋上流」地点のCCTVカメラを用いた画像解析が可能となるよう、標定点測量及び幾何補正操作を実施済みであり、いつでも流量解析が可能な状況である。

c) CCTVカメラを用いた画像解析実施手順の作成

本試行では、「渡月橋上流」地点のCCTVカメラに対する画像解析適用を例に実施手順を作成した。解析の流れは図-6に示す実施フローのとおりであるが、本手順書にも記載の留意すべきポイントは以下のとおりである。

①解析画像の取得に係るポイントの内、画角設定に係るものとしては、高水時に流下する範囲全体を包括する画角とすることである。一部画角内に映っていない場合は正確な流速分布把握ができず、流量算出時に未計測エリアの外挿を行う必要がある。また、夜間画像取得時に、画角内に光源を含むことも重要である。基本的には遠赤外線カメラを用いなければ、夜間時の既設CCTVカメラによる画像解析は困難である。ただし、画角内に十分な光源が存在している場合、解析が可能となるケースもあるため、前述の範囲全体を包括する画角設定を基本としながらも、定期的に1～10分程度光源を重視した画角画像も残しておくことで、後に貴重なデータの取得に繋がる可能性があることを意識しておくべきである。

次に、動画取得に係るポイントとしては、1分以上できれば10分程度の動画取得がある。洪水時には流木やごみ等の流下も生じるため、解析値に異常値が発生する場面がある。解析に適した画像を抽出するために可能な限り長時間の画像取得が望ましい。また、動画保存期間の確認も重要である。CCTVカメラ画像は一定期間事務所サーバに保存した後、容量の関係上消去されることが通常であるため、システム上の保存期間等を把握しておき速やかに別媒体へ保存しておくことが、基本的なことでありながら重要となる。

②標定点測量に係るポイントとして、標定点の設置数と設置範囲がある。解析精度を確保するためには、標定点を6点以上設置し、解析範囲を取り囲むように設置する必要がある。洪水後に標定点測量を実施する場合、画角設定の段階で、後に標定点が確保可能かという点も考慮することが望ましいが、画角内に位置が明確に認識できるような構造物がある場合は、当該構造物を標定点として用いることもできる。

このように、大規模洪水時にはとにかく画角を定め、定期的に画像を残しておくことが重要であり、そして本手順により「渡月橋上流」地点以外のCCTVカメラについても、画像解析による流量観測を展開していくことができる。このことは同様にCCTVカメラを設置している近畿地方整備局管内の他事務所に留まらず、防災用ライブカメラを設置している自治体においても展開が可能であると考えられる。前述のとおり本手法は基本的に遠赤外線カメラではないため、夜間等画像解析に耐えられない時間帯の制約があるものの、必要となる観測機器は既存のもので代替できる点においては、有効な新しい流量観測手法であると考えられる。

水文観測技術の高度化に、これまで以上に期待が寄せられるところである。

一刻も早い水防災意識社会の再構築が急がれる中、事務所においても、従来手法に捉われない「防災対策の高度化」に取り組むことによって、水防災意識社会再構築に今後一層努めていく必要がある。その新たな第一歩として、今回報告した「防災対策の高度化」の中でも「住民目線のソフト対策」の一つであるSNS（Facebook等）と連携した積極的な情報発信について、今後も継続した取り組みとしていき、その成果をぜひ皆様に「リアルタイム」で確認いただきたい思いである。

最後に、本報告は発表者が2017年度まで所属した、淀川河川事務所調査課における所掌内容について取りまとめたものであることを申し添える。

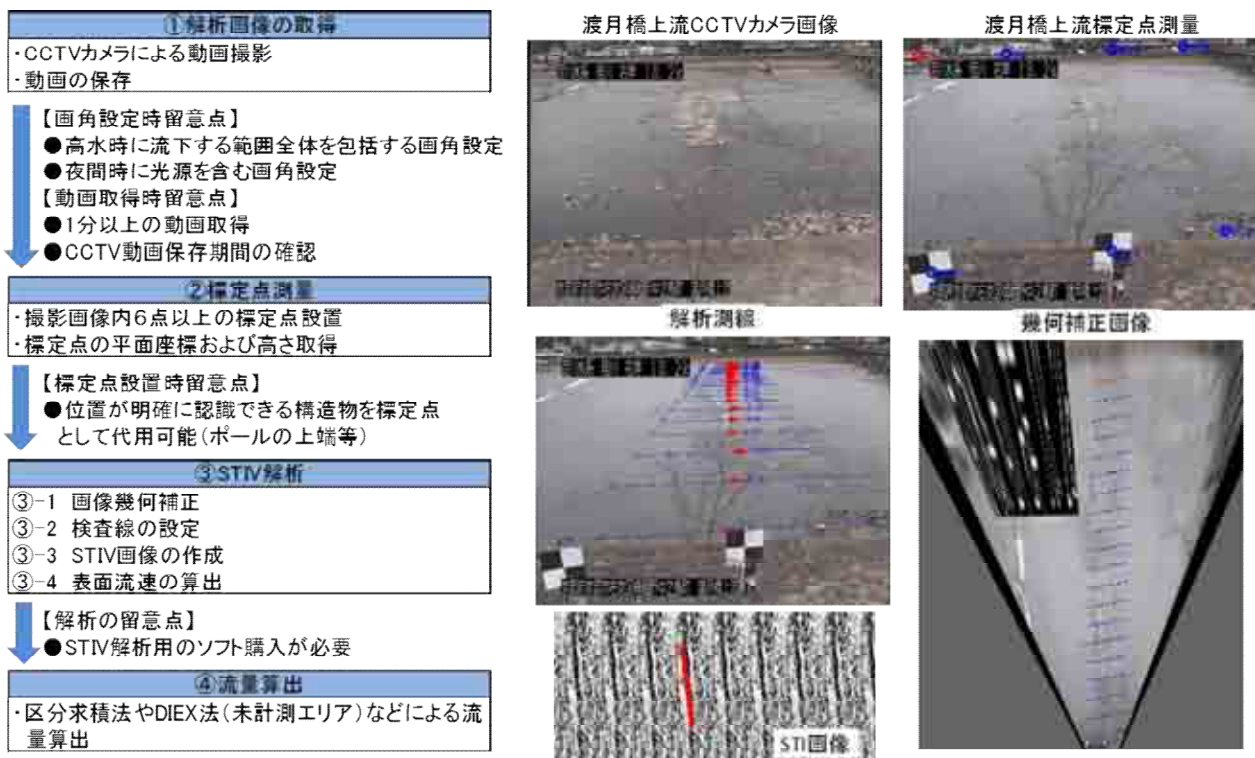


図-6 CCTVカメラ画像を用いたSTIV解析の実施フロー

4. おわりに

2017年3月31日付け水文観測業務規程及び同細則の改正により、施設能力を上回る洪水発生時などで浮子測法では観測を一時的に中断せざるを得ない場合でも、非接触型流速計測法（ドップラー型・画像処理型）で観測を継続し、観測データを補間できるよう、また、河口感潮域の低水流量観測等において水理学的知見に基づく手法（例：DIEX法）の使用が可能となるよう定められた。このことは、事務所において2014年より4年間にわたり検証を行ってきた高度流量観測が、規程上においても実用化への道が開かれたことを意味するものであり、今後

謝辞：本報告にあたり、ご助言、ご協力をいただきました皆様に、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 淀川管内高度流量観測検証業務, 2018.3
- 2) 淀川河川事務所における高度流量観測の取り組み・課題について, 2016
- 3) 流量観測の高度化マニュアル（高度流量観測編）Ver1.2, 2016.6

円山川における堤防の 維持管理コスト縮減に向けた取り組み

横山 雄一¹・名村圭司²

¹国土交通省 近畿地方整備局 企画部 技術管理課 (〒540-8586) 大阪府大阪市中央区大手前1-5-44

²国土交通省 近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 (〒668-0025) 兵庫県豊岡市幸町10-3

河川堤防は、洪水から地域住民の生活・資産を守る上で、大きな役割を担っているため、特に重要である。そこで、豊岡河川国道事務所が行っている3つの取り組みを紹介する。3つの取り組みとは、①堤防点検の省力化・高度化、②除草した刈草の処分費の削減、③除草頻度・刈草の処分量の削減である。①は、民間会社が現在技術開発を進める、堤防法面の計測システムを円山川で現地検証を行った。また、②では、集草・梱包した刈草を一般農家に配布することで、刈草の処分費を削減。一部区間では刈り放しを行う事で集草・梱包・運搬・処分の費用削減を実施した。③では、近年導入が進められている堤防の植生転換の試験施工を実施している。

キーワード SIP, モニタリング技術, 先駆的導入, ICT技術

1. はじめに

円山川の堤防は、地域の地盤特性である軟弱地盤上に構築されており、年々沈下傾向にあるため、かさ上げや拡幅等の強化を繰り返し、安全性が確保されてきた。特に、外観点検による日常の状態把握が重要である。

そのため円山川では、これまで航空レーザ計測、MMS等による3次元点群データを用いた堤防管理を実施している。一般的に堤防法面のデータ取得という点においては、航空レーザ計測では植生が繁茂している場合には点密度が十分ではない。また、MMSによる堤防天端上からの計測では、法尻までを網羅したデータ取得に限界がある等の制約が大きな課題である。その課題を解決する方法として、除草後の計測、高水敷からの補完計測等があるが、時期が限定される、コストが増大する等、有効な方法とは言い難い。このような背景を踏まえ、朝日航洋株式会社では計測時期に左右されることなく、堤防法面上から至近距離で計測するCalSokを戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) で研究した。ここでは、円山川において試行的に導入し、堤防の維持管理に3次元点群データの活用が有効であるか検証した。その結果を報告する。

また、その他の取り組みとして、集草・梱包した刈草 (刈草ロール) を一般農家へ配布したり、一部区間で刈り放しを実施することで処分費を縮減、堤防の裏面の張芝を草丈の低い草種 (低草丈草種) へ転換することにより除草にかかるコスト全体の縮減を目的とした植生転換の試験施工を実施している。本論文ではこれらの取り組み

についても、前述の検証結果と合わせて紹介する。

2-1. SIP技術 (CalSok) の紹介

CalSokは、電源ユニット、収録ユニット、レーザスキャナ (2基)、にデジタルカメラ、GNSS/IMUで構成された計測システムである。CalSokの特徴として、大型除草機の後部に簡単に装着することができ、除草・集草直後の堤防法面を計測する。また法面に対してレーザの入射角が90°となるよう垂直方向に設置しているため (図1)、3次元点群データ上では、モグラ等の小動物の穴、浸食 (ガリ)、不陸、陥没等の微細な変状を捉えることができる (表1、表2)。



図1. CalSok 設置状況

表1. 全体性能

全体性能	
全重量	45kg (計測機: 35kg, マウント: 10kg)
消費電力	120w
点群密度	0.58cm (平均点間隔)
測距精度	±0.7cm ※地点: 1m~10m
オルソ解像度	1mm
位置精度	水平: 8cm, 標高: 15cm
データ容量	約15GB/hour

表2. センサ性能

センサ性能		
レーザスキャナ	発射点数	57,000点/秒
	計測可能距離	0.7m~80m
	照射角度	190度
	反射強度データ	取得可
	台数	2台
デジタルカメラ	画素数	1.9M×1台
GNSS/IMU	位置精度	2~5cm
	Roll, Pitch精度	0.025度
	Heading精度	0.08度

2-2. CalSokによる計測・解析

2-2.1 .計測概要

計測区間は、豊岡河川国道事務所と朝日航洋株式会社での協議の結果、比較的変状の多い区間（右岸 9.2～10.2kp）の川表・川裏法面とした（図2）。計測時期は比較検討ができるよう、6月（台風期前）、10月（出水期前）の2時期とした。計測は、より正確な結果を得るため集草作業と同時に進行し、レーザ計測機で集草直後の堤防法面の地盤地形、及びカメラ画像で法面状況をそれぞれ取得した。計測実施状況を図3に示す。



図2. 計測位置図



図3. 計測実施状況

2-2.2. データ解析

計測データに対し、法面以外の周囲の植生、空気中の塵等のノイズ処理、及び刈り幅単位の計測データの統合処理を行い、連続した3次元点群データを作成した（図4）。また3次元点群データ上で捉えた堤防法面の変状と対応する現地状況を図5、図6に示す。

図5、図6に示す通り、CalSokによる至近距離からの計測により、従来の航空レーザ、MMS等の計測では取得が困難な堤防法面の詳細な地形形状を捉えていることを確認した。

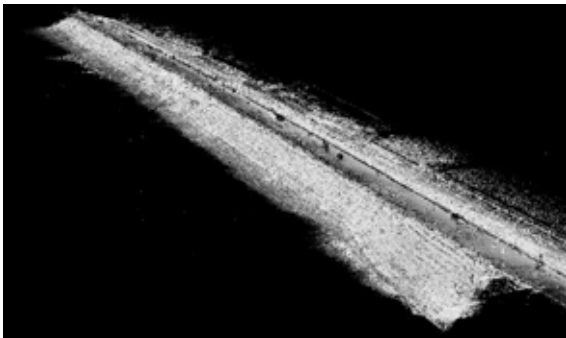


図4. 解析処理後の3次元点群データ



図5. 不陸の検出状況



図6. モグラ等の小動物穴の検出状況

2-3. 3次元点群データを活用した変状の自動抽出

本試行業務では、詳細な法面の形状把握だけでなく、計測データから効率的に堤防変状の候補となる箇所の抽出を目的とし、変状種別に対応したパラメータ設定に基づく自動抽出の有効性を検証した。具体的には6月に計測したデータを対象に自動抽出を行うと共に、別途現地を確認した変状箇所、大きさ等を基にパラメータ設定値を調整した。調整前後での抽出状況を図7、図8に示す。その結果、パラメータ調整後は変状の候補となる箇所の大幅な絞り込みが可能となった。また10月の計測データに対しては、調整後のパラメータで自動抽出を行い（図9）、6月の計測データによる結果と比較した（表3）。その結果、10月の計測データでは6月計測データと比較して全体的に抽出箇所数が多い結果となった。これは10月22日の台風21号により、堤防法面が大きな影響を受けており、その影響の度合いが自動処理の抽出件数の差として表れていることを確認した（図10、図11）。

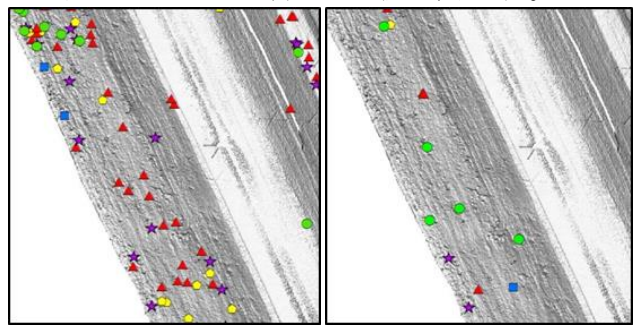


図7. パラメータ調整前（6月）

図8. パラメータ調整後（6月）

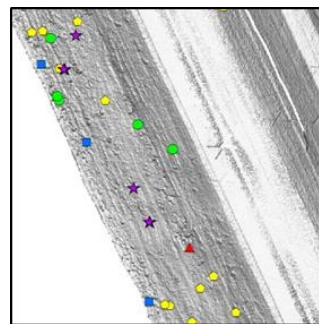


図9. パラメータ調整後（10月）

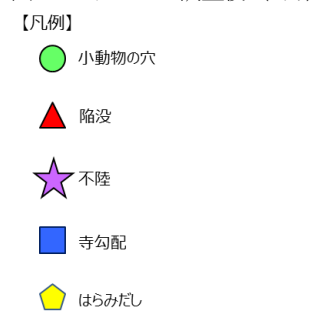


表3. パラメータ調整前後の自動抽出処理結果の比較

堤防点検項目	小動物の穴	陥没	不陸	はらみだし	寺勾配	その他	総数	
調整前	6月	1753	264	149	47	54	120	2387
調整後	6月	16	9	5	1	2	2	35
調整後	10月	23	12	10	12	14	2	73



図10. 台風前の堤防



図11. 台風後の堤防

2-4. 本技術による目視点検の高度化・省力化の
効果検証

目視点検で抽出対象となる変状が、自動抽出の結果にどの程度含まれているのか検証した。

具体的に、10月に実施した計測データの抽出結果の中から、小動物の穴、陥没、不陸、はらみだし、寺勾配の5つの変状毎にそれぞれ9か所（検証サンプル）を抽出し、通常の年2回行われる目視点検（堤防詳細点検）で対象となる箇所数を確認した。その結果を表4に示す。

抽出した45か所の変状は、ほぼ現地で確認ができ、さらに、机上で事前に変状箇所を特定出来ていた。従来と比較して、効率的に目視点検を実施できることを確認した（図12）。また、目視では判読が困難な、はらみだし、寺勾配は、それぞれ1箇所ではあるが現地では確認できなかった。この要因については、自動抽出による過検出の可能性がある一方で、目視では判読が困難な変状を捉えている可能性もある。したがって、定期的なモニタリングによる変状の有無を確認することが重要である。

そこで2時期のデータを用い、はらみだしが確認された9.4kp+150mから9.6kpの区間を対象に、それぞれ堤防展開図（堤防表面の凸凹を段彩図として可視化し、水平に投影して作成）を作成し、さらにその差分を同様に可視化した堤防差分図を作成した（図13）。

その結果、この期間内での大きな変化は確認できなかったが、堤防展開図・差分図共に、定期的なモニタリングに有効であることを確認した。

表4. 自動抽出と目視点検との検証結果

堤防点検項目	自動抽出結果	検証サンプル	現地で確認した変状	カルテへの記載候補
小動物の穴	23	9	9	8
陥没	12	9	9	5
不陸	10	9	9	1
はらみだし	12	9	8	0
寺勾配	14	9	8	2
その他	2	-	-	-
総数	73	45	43	16



図12. CalSok計測データを用いた目視点検の様子

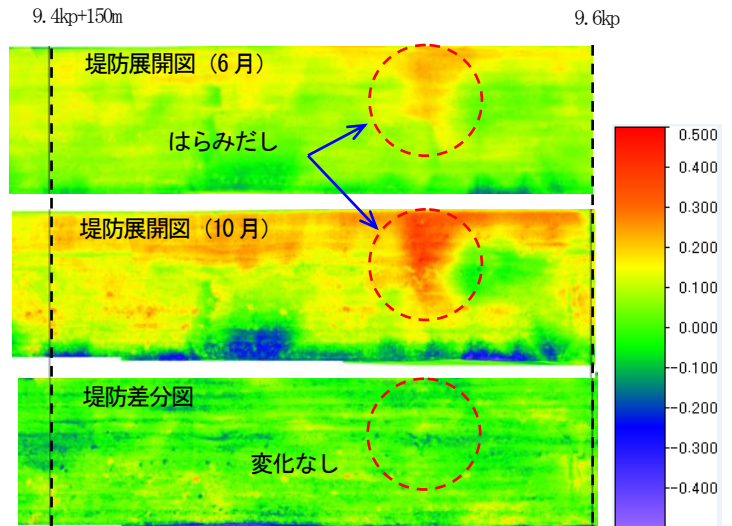


図13. 堤防展開図・堤防差分図

3. 刈草ロールの配布と刈り放し

除草後の刈草は通常、一般廃棄物として運搬・処分が行われるが、円山川では一部刈り放しを行っている区間を除く全ての除草区間において刈草のロール化及び一般農家への配布を行っている。

刈草ロールの配布は年2回、5月と9月に地元のJA（JAたじま（香住営農生活センター）・JA京都（久美浜支店営農生活センター））宛てにFAXを送付して希望者を募集し、現地まで運搬・荷下ろしを行っている（図14）。

また、集草・梱包・運搬・処分を行わない刈り放しという手法があるが、刈り放しを実施する為には、風で刈草が飛んでも地元の住民に影響が出ないこと、出水で刈草が河川に流れない川裏側であることといった現場条件を満たす必要がある。円山川ではこの条件を満たす赤崎地区右岸の川裏側（円山川右岸26.0k～26.6k）にて刈り放しを実施した。（図15）



図14. 刈草ロール配布の流れ



図15. 刈り放しを実施した区間（円山川右岸26.0k～26.6k）

4-1. 低草丈草種を用いた堤防植生転換の試験施工の概要

河川堤防は流水や風雨等から堤防を保護するため施工後に張芝が行われるが、通常の芝は放っておくと徐々に草丈が伸びる。草丈が伸びると堤防法面の視認性が悪くなり、変状の確認が困難となる。そのため、年2回、堤防点検を行う前に堤防除草を行っている。また、河川堤防を維持管理する上で、外来種の繁茂が問題となっている。オオキンケイギク、セイバンモロコシ等に代表される外来植生は、草丈が高く根が浅く張るといった特徴があり繁殖力も高い。植生転換とは、低草丈草種を用いた年2回の除草に係るコストの縮減及び外来植生の駆除を目的として実施されるが、円山川では寒冷地における低草丈草種の生育、施工コスト・維持管理手法の検討を行うため、試験的に低草丈草種を用いた張芝の施工を実施した。

本施工の工期は平成28年5月16日から平成28年6月18日であり、施工場所は円山川水系奈佐川右岸3.6k付近で行い、改良イヌ芝、改良ムカデ芝、改良コウライ芝（以下TM9）、イワダレ草（ポット苗）の4草種を6m毎に等間隔で施工した。また、通常の張芝と比較するため、野芝を合わせて施工した。（図16、図17）施工条件については表5の通りである。



図16. 各低草丈草種の張り芝施工状況（施工中）

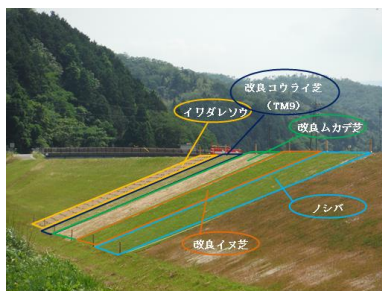


図17. 各低草丈草種の張り芝施工状況（施工後）

表5. 低草丈草種施工及び維持管理における諸条件

草種	施工形態	施肥	散水	雑草への処置
改良イヌ芝	張り芝	なし	なし	特になし
改良ムカデ芝	張り芝	なし	なし	特になし
改良コウライ芝 (TM9)	張り芝	なし	なし	特になし
イワダレ草	株植栽(ポット苗)	なし	なし	特になし
野芝	張り芝	なし	なし	特になし

法面中央付近・法尻付近)にて行き、平成29年11月より、遠景6定点、近景3定点を目視にて行っている。

平成28年度から平成29年度にかけて行ったモニタリングでは、改良イヌ芝（図18）、改良ムカデ芝（図19）については、気温の上昇する6月下旬頃から草丈が伸び、気温が下がる10月下旬から草が枯れ初めることにより草丈も短くなるといった、通常のノシバと同じような生育が確認された。一方で、TM9（図20）は年間を通して草丈や被覆率はほとんど変わらず、外来種や別草種、雑草の進入もほとんど見られなかった。イワダレ草については、気温が下がり日照時間も少ない11月から翌年3月の間は葉が枯れ、茎も灰色になっていたが、気温が上がってきた5月には再び緑色の葉が付くようになり、完全には枯れていないことが分かった。また、被覆率は施工から約2年経った現在においてもほとんど変化がなく、法面に裸地が目立ち、雑草の進入も見られている。（図21）

改良イヌ芝、改良ムカデ芝、TM9については、雑草の進入はほとんど見られなかったものの、少量の雑草が確認されている。この雑草が将来どの程度まで繁茂するかは今後の調査状況次第ではあるが、完全な植生転換のためには、被覆率が十分確保されるまでの間定期的に雑草や外来種等の抜根を行う事が望ましい。



図18. 改良イヌ芝（左：H29.4.7 右：H29.7.5）



図19. 改良ムカデ芝（左：H29.4.7 右：H29.7.5）



図20. TM9（左：H29.4.7 右：H29.7.5）

4-2. 植生転換実施箇所のモニタリング状況及び現状と課題

モニタリングは平成28年度及び平成29年10月までは月に1回、遠景2定点、近景3定点（堤防法面の法肩付近・



図21. イワダレソウ (左: H29.4.7 右: H29.7.5)

謝辞: 本論文を発表する経緯となり、また論文の執筆にご協力頂きました、Ca1Sokの研究開発を進めている朝日航洋株式会社さま、円山川河川巡視支援業務、近畿地域づくりセンター豊岡支店さま、並びに円山川下流維持作業、(株)川嶋建設さまにおかれましては、この場をお借りして御礼申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- 1) 朝日航洋株式会社: 円山川フィールド試行実施報告書

6. まとめ

CalSokの計測から得られた成果は、はらみ出し、寺勾配、モグラ穴、不陸、陥没等、目視点検では判読が困難な堤防変状の抽出、及び2時期以上の計測データによる差分抽出等が有効であることを確認した。また、集草作業と同時に計測することから、計測時期、計測コースの設定等、従来の航空レーザ、MMS計測に必要な計測計画が不要なため、計測から解析までの工数コストの削減効果が期待できる。

一方、本試行業務で検証した変状の自動抽出の有効性について、引き続き円山川や他の河川の堤防法面で計測を実施し、設定したパラメータの適用範囲等の検証を重ねる必要があると考える。

今後はCalSokによる計測データの容量が非常に大きいことから、現地で迅速にデータ処理と解析結果を可視化するシステム、及びCalSokの解析結果による目視点検業務の効率性向上を図るためのARツール(図22)の導入についても検討中である。計測から解析、データ運用までを含めて全体的に最適化を図ることにより、河川堤防の維持管理の高度化・効率化に貢献する所存である。

また、刈草ロールの配布については、ロール化した刈草の全てが一般農家に配布されているため、さらなるコスト削減のためには運搬費の削減が重要となる。そこで、今後はこちらからの配布だけではなく、希望者から刈草ロールを取りにきてもらえるような仕組み作りを行う。

低草丈草種への植生転換に関して、イワダレソウを除く3草種については概ね問題無く生育が確認されており、寒冷地であっても生育に支障が無いことが分かった。中でも、年間を通して特に草丈が低いTM 9については、今後植生転換を実施するに当たって有用な草種であるといえる。円山川では依然として植生転換を実施した延長が短いため、今後は積極的に植生転換に取り組み将来の維持管理コストの削減を目指す。



図 22. AR ツール

足羽川ダム貯水池内樹木管理計画について (中間報告)

吉田 理香子¹・横山 英樹²

¹近畿地方整備局 総務部 厚生課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

²近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 調査設計課 (〒918-8239福井県福井市成和1-2111)

流水型ダムの貯水池においては、試験湛水時に貯水池が水没するが、供用後、平常時にはダム建設以前と概ね同様の植生が生育できる環境が存在する。ダム建設にあたっては、試験湛水後も生残する可能性がある樹木は伐採せずに残置することにより、環境保全や伐採コストの縮減につながる。一方、試験湛水後、枯死木を残置した場合、出水に伴う流木化が懸念されるなどの課題が明らかになり、今後、安全なダム運用を行う上での樹木管理計画について検討を進める。

キーワード 流水型ダム, 貯水池内樹木, 冠水耐性, ダム運用, 環境保全, 伐採コスト縮減

1. はじめに

足羽川ダムは、足羽川、日野川、九頭竜川の下流域における洪水被害の軽減を目的として、九頭竜川水系足羽川の支川部子川（福井県今立郡池田町小畑地先）に建設中の洪水調節専用のダム（以下：流水型ダム）である（表1, 図1）。

貯留型のダム建設では、試験湛水時に貯水池内の樹木が水没により枯死し、ダム運用に影響を及ぼす可能性があることから、湛水前に樹木を伐採することが多い。

一方、流水型のダム建設では、試験湛水時に一時的に樹木が水没し、冠水に耐えうる日数（以下：耐冠水日数）を超えて水没する樹木が枯死する可能性がある。ただ、出水時に貯水池内の樹木が水没するのは数日程度となる見込みであり、平常時には貯水しないため、貯水池内にダム建設以前と概ね同様の樹木が生育できる環境が存在する。

枯死する可能性がある樹木については、出水に伴う流木化や景観の悪化を生じる懸念がある範囲を精査し、伐採を検討する。そのためには、枯死範囲の精度向上が重要となる。

なお、流木化は、大規模な洪水が生じた場合、流水によって樹木が倒伏することにより引き起こされる。想定される洪水の流体力によって、樹木が流出するおそれがある立地については、管理上の注意が必要である。

表-1 足羽川ダムの諸元

ダム本体	堤体	堤高	約 96m
		堤頂長	約 460m
		天端標高	標高 約 271m
ダム貯水池		貯水面積	約 94ha
		常時満水位	—(常時は空虚)
		洪水時最高水位	標高 265.7m



図-1 足羽川ダム位置図

2. 貯水池内樹木の現状

足羽川ダム貯水池における現存植生は、図2、3に示すとおりであり、スギ植林が約61.4%を占め、コナラ群落とケヤキ群落合わせて約10.0%、その他木本群落が約0.6%、それ以外（木本群落以外：草本群落、人工構造物等）が約28.0%である。

試験湛水により樹木が枯死する範囲を検討するにあたり、貯水池内のスギ植林、コナラ群落、ケヤキ群落を対象とし、面積の少ないその他木本群落（ミヤマカワラハンノキ群落、ヤナギ低木林等）は除外した。

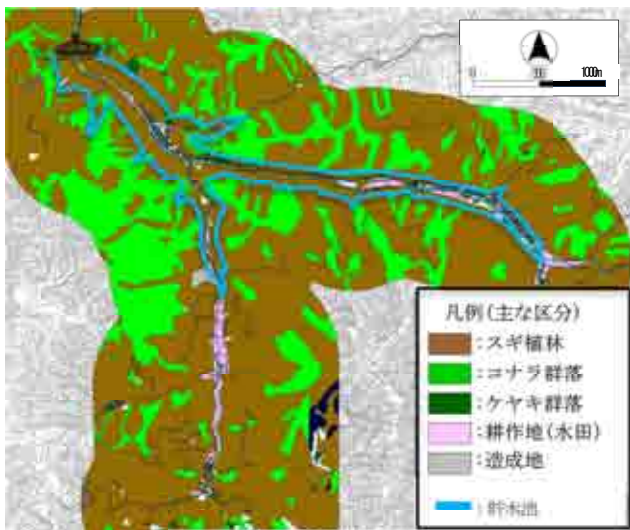


図-2 現存植生図

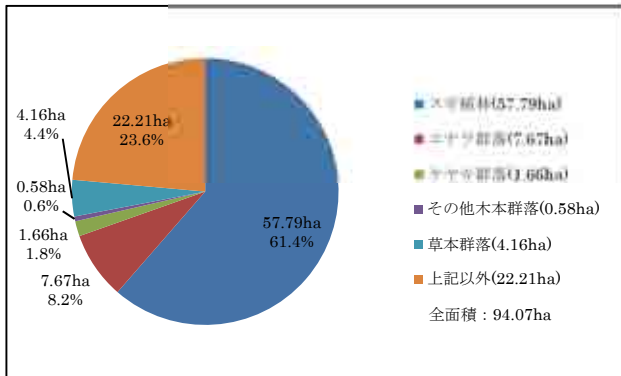


図-3 現存植生の面積及び割合²⁾
(現存植生図からGISソフトにより算出)

3. 試験湛水による枯死の可能性のある範囲の推定

(1) 試験湛水による植生への影響

試験湛水時に生じる水位変動により植生に与える影響のモードを図4に示す。試験湛水時には低標高部ほど、長期間水没し、植生が枯死する可能性が高くなる。

足羽川ダムでは、図5に示すとおり、流況別に試験湛水計画（案）（以下、「試験湛水計画」という）を検討している。

試験湛水開始から終了までの期間は、豊水年、平水年、渇水年の順に長くなり、流況毎の冠水日数は、標高180mでは、豊水年で241日、平水年で266日、渇水年で280日となっている（表2）。

ただし、本試験湛水計画は、小畑水位観測所における1997年から2006年までの流況データによる検討であり、今後、変更を行う予定である旨を申し添えておく。

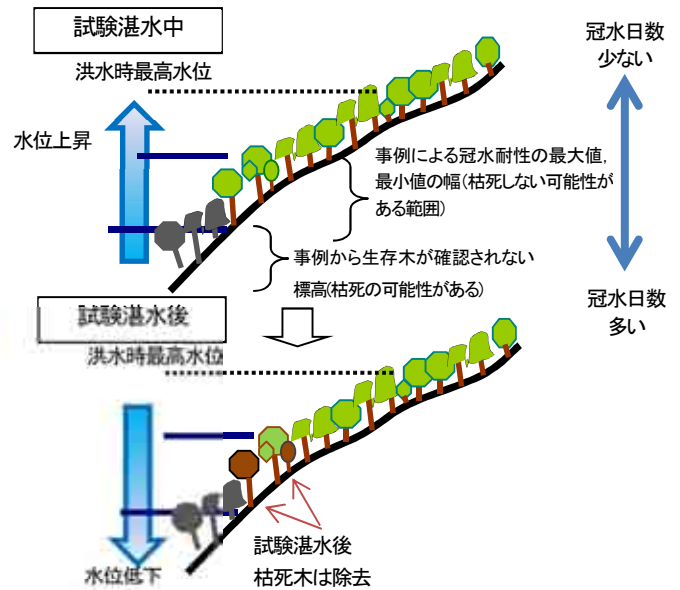


図-4 試験湛水による植生への影響のモード²⁾

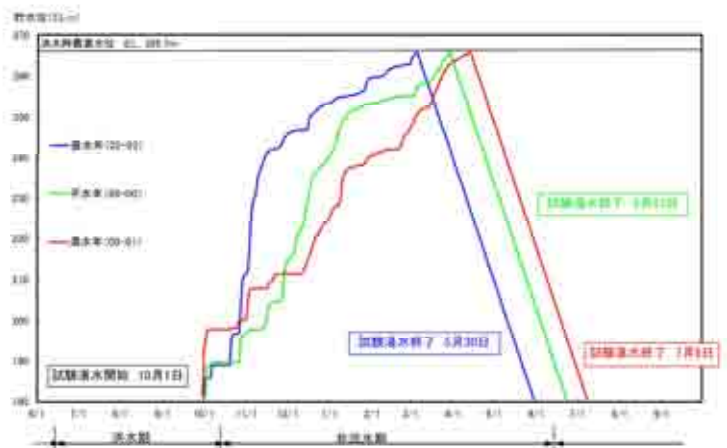


図-5 試験湛水計画（案）²⁾

表-2 流況毎の冠水日数²⁾

流況	豊水	平水	渇水
採用年	2002年-2003年	1999年-2000年	2000年-2001年
冠水日数 (標高180m)	241日	266日	280日

(2) 枯死の可能性のある範囲の推定

足羽川ダム貯水池内の主な植生について、文献、事例等から耐冠水日数を整理し、平水年の冠水日数に基づき枯死の可能性のある面積を算出した(表3)。針葉樹であるスギ植林で20.86haとなるのに対して、広葉樹であるコナラ群落で2.62ha、ケヤキ群落で0.79haとなり、広葉樹の枯死の可能生のある面積は、現存植生の面積に比例して小さいことがわかった。

表-3 樹種別耐冠水日数及び枯死の可能性のある面積

樹種	耐冠水日数(日)	耐冠水限界標高(m)	貯水池内群落面積(ha)	枯死の可能生のある面積(ha)
スギ ³⁾	100	238	57.59	20.86
コナラ ⁴⁾	97	249	7.67	2.62
ケヤキ ⁵⁾	130	236	1.66	0.79

4. 流水型ダムの運用上の課題に対する対策

(1) 流木によるダム運用上の課題

足羽川ダムにおける流木の挙動を想定すると、出水時の流木は湛水の影響が無い箇所では河川の流心に沿って流下する。

ダム貯水池内の湛水域では、流速は低減し、流木が浮遊し停滞する。流入水量の減少とともにダム貯水位が低下し、最終的には平常時の河道部に向けて流木が徐々に移動し、一部は堆積し、一部はダムサイトまで流下する。

ダム運用上の課題として、これらの流下してくる流木によってゲート操作障害、ゲート閉塞による放流障害が考えられることから流木対策を行う必要がある⁵⁾。

(2) ダム運用上の課題に対する対策

a) 流木捕捉設備及びスクリーン

流木によるゲート操作障害等を未然に防ぐために、ダ

ム湛水域端部等に流木捕捉設備を設置する方法がある。また、流木捕捉設備で捕捉できなかった流木を、スクリーンを用いて捕捉する方法がある。現在、流木捕捉設備については、配置を検討中であり、ここではスクリーンの検討状況を以下に示す。

b) 足羽川ダムのスクリーン

足羽川ダムが有するゲートは、現況河道機能及び洪水調節機能(低水位時)を有する河床部放流設備と、出水後の貯水位低下機能(高水位～低水位時)を有する常用洪水吐き(後期放流設備)、超過洪水に対応するための非常用洪水吐き、試験湛水時の維持流量の放流等に使用する小放流設備がある(図6)。このうち、常用洪水吐き及び河床部放流設備を代表に、スクリーンの検討をした結果について説明する。

常用洪水吐き(後期放流設備)は、B2.2m×H2.4m×1門である。常用洪水吐きに、前面を開口して流木を流すスクリーンを設置した場合、洪水吐き規模が比較的小さく、流木による閉塞の危険性が高まり、洪水調節機能の低下が想定される。このため、常用洪水吐きは、図7-1に示すとおり、上方、側方からの流木の進入の防止に加え、前面からの流木の進入を防ぎ、前面が流木で閉塞した場合でも、側面部からの水の流入を期待し、側面部の面積を広めに確保したスクリーンを配置することとする。

河床部放流設備は、河床部と同じ高さに設置されており、常用洪水吐きよりも6.0m低く、スクリーンが無い場合、接近した流木が下方に落下できず、呑口周辺に流木が堆積し易いことが考えられる。また、開口規模が幅5.0m、高さ5.0mと大きく、流木が流下し易いが、足羽川ダムはゲート操作を有するため、戸当たり部への噛み込みを考慮し、常用洪水吐きと同様に、全面にスクリーンを設置することとする(図7-2)。ただし、維持運用も考慮し、開閉可能な構造にしておくことが望ましく、今後引き続き検討を進めることとする。

なお、以上については、現在設計中のものであり、今後変更する可能性がある旨を申し添えておく。

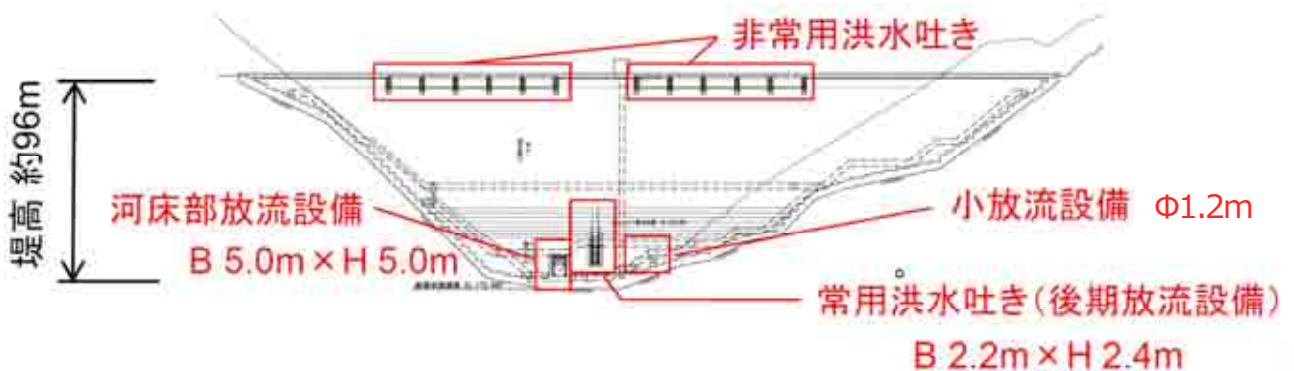


図-6 足羽川ダム堤体上流面図

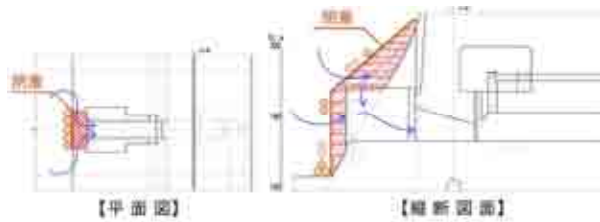


図-7-1 足羽川ダム常用洪水吐き（後期放流設備）のスクリーン(案)

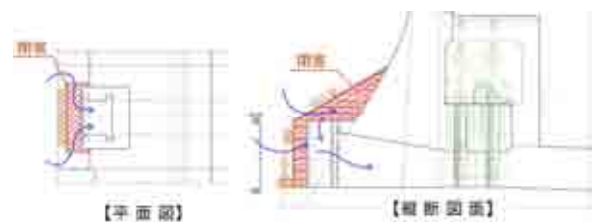


図-7-2 足羽川ダム河床部放流設備のスクリーン(案)

5. 貯水池内における試験湛水による影響を見据えた樹木伐採計画

足羽川ダム貯水池内の樹木管理にあたっては、試験湛水時の樹木への影響及びダム運用上の課題について考慮した上で、計画的な樹木伐採を行う必要がある。

さらに考慮すべき点として、伐採に伴う生態系への配慮、再樹林化を想定した計画等に加え、伐採コストの縮減が挙げられる。

樹木は、多種多様な動植物が生息、生育するなど生物多様性を保全する機能や、二酸化炭素を吸収し貯蔵する機能を有する。このような樹木の環境資源としての機能を重視し、過度な伐採を行わないようにしなければならない。

針葉樹と広葉樹では、試験湛水時の影響が異なるため、それぞれの影響に応じた伐採計画を検討していく。

針葉樹であるスギ植林は、植生面積割合が大きいいため、枯死による景観の悪化が懸念される。さらに、枯死木の伐採手間やコストの増加といった問題を生じる。また、ダム運用上の課題である供用後の出水に伴う上流からの流木処理の省力化を行う必要がある。したがって、ダム堤体の上流において、耐冠水限界標高より低い場所に生育しているスギ植林は伐採することを想定している。

一方、広葉樹であるコナラ群落やケヤキ群落は、枯死する可能生のある面積が小さいことが予想され、また、枯死した場合でも、萌芽性に優れ、再生速度が速いことから⁶⁾、極力現状の植生を保持するものとし、現時点では伐採は行わない予定である。

6. 貯水池内の植生の早期回復の検討

九頭竜川水系足羽川ダム建設事業環境影響評価書（2013年2月）において、「環境保全措置と併せて、工事の実施並びに土地又は工作物の存在及び供用時において、専門家の指導及び助言を得ながら、森林伐採に対する配慮、植栽する樹種の検討、森林伐採試験、ダム洪水調節地内の植生の早期回復の促進、湿地の整備

後の監視、植物の生育状況の監視を行う。」と記載されている。また、樹木、草木が枯死した裸地は、土壌の不安定化や自然環境の保全面、景観面からダム運用上の課題であるため、枯死した植生の早期回復を検討する必要がある。ダム貯水池内の森林環境は試験湛水によって失われた後、草地、先駆的樹林を経て落葉広葉樹林に遷移することが考えられるが、森林環境が早期回復するよう配慮することが重要である⁷⁾。

7. 法面における自然回復緑化の取り組み

足羽川ダム建設事業では、法面の自然回復緑化を計画している。自然回復緑化とは、法面保護を行いつつ周辺環境と調和のとれた植物群落を造成するもので、自然景観の修復や自然生態系の回復などの実現を目的とする⁸⁾。最終的に周辺の自然と調和のとれた植物群落を「最終緑化目標」とし、それに到達可能な群落を「初期緑化目標」とする。初期緑化目標では、最終的に自然回復を期待する周辺植物群落に推移する可能生の高い目標群落の主構成種とその外観によるタイプを設定する。植生回復のための初期緑化目標を表4に示す。

緑化調査箇所として、本ダム建設のために整備した工事用道路に面した法面を検討中である（図8）。最終緑化目標は、足羽川ダム貯水池周辺の植生と同じであるコナラ群落、ケヤキ群落等の中高木林とするのが望ましいため、初期緑化目標を遷移中後期樹種の中高木林タイプに設定する。表4より初期緑化目標達成までに5～10年以上かかることがわかる。

調査箇所の状況を図9に示した。2015年8月には、工事に伴う樹木伐採により裸地が存在しているが（図9-1）、2018年5月には草本種が生育している（図9-2）。

初期緑化目標達成までは、草本種から先駆樹種、遷移中後期樹種へと順調に遷移しているかを適宜モニタリングする必要がある。遷移にかかる年数については、表4の初期緑化目標達成までの期間を参考にし、モニタリングの結果、遷移が順調に進んでいないことが確認された場合は、播種等の対策を検討

する。また、初期緑化目標達成後も、引き続きモニタリングを継続し、最終緑化目標に導いていくことが重要である。

表-4 植生回復のための初期緑化目標⁹⁾

群落質的目標 (目標群落の主構成種)	景観的目標 (目標群落の外観)	初期緑化目標の 群落の高さ	初期緑化目標達成 までの期間
草本種	草原タイプ	1m程度以下	1~3年
先駆樹種	低木林タイプ	2~3m	3~5年
	中高木林タイプ	3m以上	5~10年以上
遷移中後期樹種	低木林タイプ	2~3m	3~5年
	中高木林タイプ	3m以上	5~10年以上



図-8 法面緑化の調査箇所位置図



図-9-1 調査箇所の状況 (2015年8月)



図-9-2 調査箇所の状況 (2018年5月)

8. まとめ

流水型である足羽川ダムの安全な運用を行う上での、貯水池内における樹木管理計画について検討を進めた。試験湛水時の樹木への影響及び、供用後の出水に伴う樹木の流木化という課題について考慮し、計画的に樹木伐採を行っていく。

試験湛水による枯死の可能性がある範囲を推定した結果、針葉樹であるスギ植林に比べ、広葉樹であるコナラ群落やケヤキ群落の枯死しうる面積は小さいことがわかった。

貯水池内樹木の流木化の課題に対しては、ゲート閉塞等の支障が生じる可能性が考えられるため、スクリーン等の設置を検討する。

環境保全や伐採コストの縮減につなげるため、針葉樹と広葉樹について、試験湛水時におけるそれぞれの影響を配慮し、以下のとおり伐採計画を検討する。

針葉樹であるスギ植林は、貯水池内の植生面積割合が大きいため、枯死木の伐採によるコストの増加が懸念される。また、供用後の出水に伴う上流からの流木処理の省力化を行う必要があるため、試験湛水前に、ダム堤体の上流において耐冠水限界標高より低い場所に生育しているスギ植林は、伐採する方向で検討していく。

一方、広葉樹であるコナラ群落やケヤキ群落は、萌芽性に優れていることから、枯死後の自然回復が望める。したがって、極力現状の植生を保持する方向で検討していく。

今後、自然景観の修復などの実現のため、法面の自然回復緑化を計画し、植生の生育状況のモニタリングを継続していく。

参考文献

- 1) 「足羽川ダム周辺の環境」平成25年2月
- 2) 「足羽川ダム貯水池内樹木運用計画作成業務報告書」平成28年2月 一般財団法人 水源地環境センター
- 3) 「植物の耐冠水性について (続報)」2010 白井明夫・岩見洋一 平成22年度ダム水源地環境技術研究所所報 35-10
- 4) 「一庫ダム変動水域の植生状況について」1998 古川保典・赤瀬川勝彦・猿楽義信・鶴飼裕士 ダム技術 No.138 : 70-78
- 5) 「ダム貯水池における流木流入災害の防止対策検討調査報告書」平成19年3月 林野庁 森林整備部 国土交通省河川局
- 6) 「広葉樹林施業」1994 藤森隆郎・川原輝彦 林業改良普及双書
- 7) 「九頭竜川水系足羽川ダム建設事業環境影響評価書」平成25年2月
- 8) 「のり面における自然回復緑化の基本的な考え方のとりま

イノベーション部門 :No.05

とめ」2004 斜面緑化研究部会 日本緑化工学会29(4)509-520

9)「法面の植生回復事例における初期緑化目標が完成するまでの期間とその群落特性—植生回復緑化における検査の考え方」2008 山田守 日本緑化工学会誌33(3)463-465

維持管理を考えた電気通信・機械設備における CIMの活用について

原 裕貴¹・先原 勲²

¹近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 管理課 (〒520-2279 大津市黒津4-5-1)

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

本報告は、CIM推進委員会で検討されている電気通信設備、機械設備におけるCIM整備の方向性を踏まえたうえで、現場における両設備の維持管理状況と、両設備特有の維持管理上の留意点を踏まえて試行的に作成したCIMモデルを紹介するとともに、本取り組みを通じて明らかとなった課題とその対策方針について、今後の両設備の維持管理におけるCIM推進の一助となるよう、整理したものである。

キーワード 電気通信設備、機械設備、維持管理、CIM、効率化、新技術

1. はじめに

国土交通省においては、建設現場の生産性向上を図るi-Constructionのトップランナー施策として「ICTの全面的な活用」を推進し、3次元モデルを活用した社会資本の整備、管理の効率化・高度化を図るCIM (Construction Information Modeling/Management) を本格導入するため、CIM導入推進委員会を設置し、検討を行っている。

H30年度から、橋梁、トンネル、河川構造物、ダムなどの大規模構造物の詳細設計においては、「新技術導入促進調査経費」等を活用し、CIMの実施が原則対象となる。一方、電気通信設備では、CIM導入ガイドライン(案)の拡充として、トンネル本体工のCIMモデル(坑口周辺の電気室等を含む)に排水管、電路、通信線の管路を描画し、建築分野におけるBIM (Building Information Modeling) に倣った属性情報の付与について検討される段階にあり、機械設備においても、水門設備に加え、揚排水ポンプ設備、トンネル機械設備のCIMモデルについて内容を拡充するとともに、水門設備に関して試行事業を実施していく段階にある。また、土木施設の維持管理段階のCIMについても導入について検討が始まった段階にある。

本報告は、上記のCIM推進委員会の方向性を踏まえたうえで、電気通信設備、機械設備特有の維持管理上の留意点とその対策について福井河川国道事務所防災課において意見交換した結果を基に試行作成したCIMモデルを紹介するとともに、今後の電気通信設備、機械設備におけるCIM推進の一助となるよう、本取り組みを通じて明

らかとなった新たな課題とその対策方針について整理したものである。

なお、対象とした大谷トンネルの計画諸元、概要は表-1及び図-1のとおりである。

表-1 大谷トンネル諸元

計画路線	中部縦貫自動車道 大野油坂道路
トンネル延長	2,853m
道路規格	第1種第4級
設計速度	60km/h
日交通量	7,900台/日
車線数	対面交通2車線(片側分離1車線)
平面線形	R=∞~A=350~R=1000~A=350~R=1000
縦断勾配	1.400%
横断勾配	拌み2.0%~右下り2.0%~左下り2.0%
トンネル等級	A等級
電気通信設備	高圧受変電設備・照明設備・ 防災設備(押し紐式通報装置、非常電話、火点検出装置、誘導表示板、消火器、監視設備、ラジオ再放送設備、無線通信補助設備)・情報BOX
機械設備	防災設備(消火栓・給水栓、排煙設備)・ 換気設備

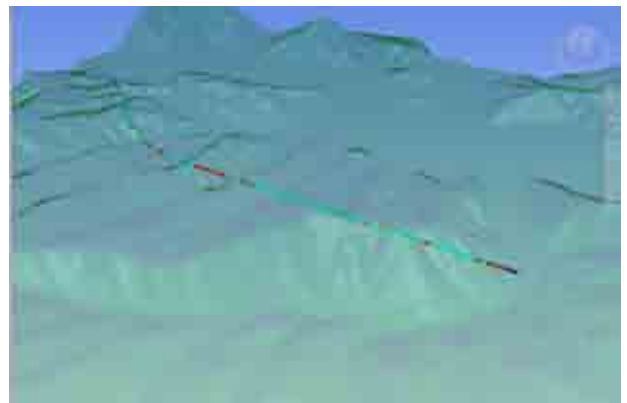


図-1 大谷トンネル CIM (総合モデル図 俯瞰図)

2. 電気通信分野・機械設備分野における維持管理の合理化をはかるCIMの工夫

(1) 設備のCIM活用における課題

電気通信設備、機械設備のCIM活用にあたっては、土木構造物におけるCIMモデルとの共通課題の他、設備特有の主な課題として以下があげられる。

- a) 管理が電気通信設備と機械設備で分かれる
- b) 土木構造物に比して内部が小さく、機能仕様が多様
- c) 同一の仕様のものが数多く設置される
- d) 更新サイクルが早い（10～15年）
- e) 製品個体の寿命の差、破損等による修繕のため、同一箇所（トンネル等）で整備年次の異なる複数の設備を管理する必要がある
- f) 地中埋設物（配管、配線）においては、土木構造物等との干渉にも注意を要する
- g) 更新時に寸法、仕様のみでなく、配置が変わるものがある（照明設備等）

(2) 設備の3次元モデル化における工夫

各設備の3次元モデル化にあたっては、維持管理の効率化と、設備更新時における変更作業の省力化の両立に配慮した。

a) 詳細度の設定

電気通信設備、機械設備は、配管、配線等を除き、主に工場製作された同一仕様の機器が多数設置される。さらに、土木構造物に比べ更新時期が早く（10～15年）、機器の個体差や設置環境に伴う寿命差、あるいは損傷等により、製作年次の異なる複数の設備を管理する必要性が生じる。

上記を踏まえ、個々の機器内部の3次元モデル化は、新設時には対応できたとしても、更新を踏まえた上では膨大な作業量が生じる一方で、管理上の必要性が低いと判断し、実施しないものとした。

さらに、機器外形の詳細度についても、覆工コンクリート壁面に取り付け金具等で設置され、機器外面と建築限界、あるいは土木構造物や他設備に対する干渉や所定の離れ程度が求められる設備（照明設備、ジェットファン等）については図-2に示すように100～200レベルとし、詳細仕様については、外部属性で確認する形式とした。

一方で、覆工コンクリートの箱抜き内に設置され、コンクリート壁面や、配管、配線との取り合いがあるもの（主に非常用設備）については図-3に示すように400レベルとした。また、監視員通路や地中に埋設される配管、配線については、供用後に確認し難く、更新設計において問題となることが多いため、300レベルとし、条数、径を再現した。なお、設備収納のために設けられた覆工コンクリートの箱抜きについては、設備更新に伴い変更されることが少ないため、400レベルとした。

b) 配色の設定

機械設備・電気通信設備のメンテナンスサイクル、実務的な担当者は異なる。また、維持管理段階では、不具合が発生した設備に対して現場と事務所で迅速に相互確認が求められる。このため、モデル化にあたっては、管理区分がひと目で判断できるように、図-4及び図-5に示すように機器のみでなく、配線、配管に至るまで、電気通信設備を緑色、機械設備を赤色、共通するハンドホール等は黄色に分け、配色した。なお、土木構造物については、グレー系とした。

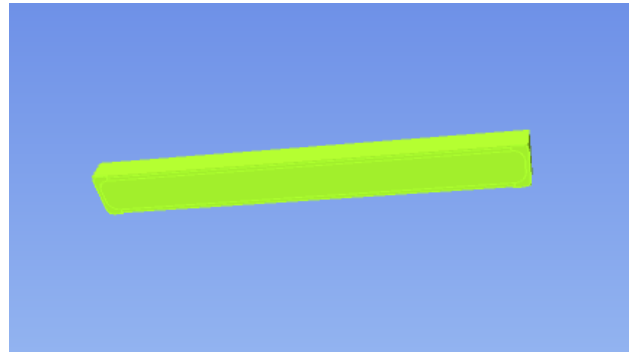


図-2 照明設備（詳細度100）

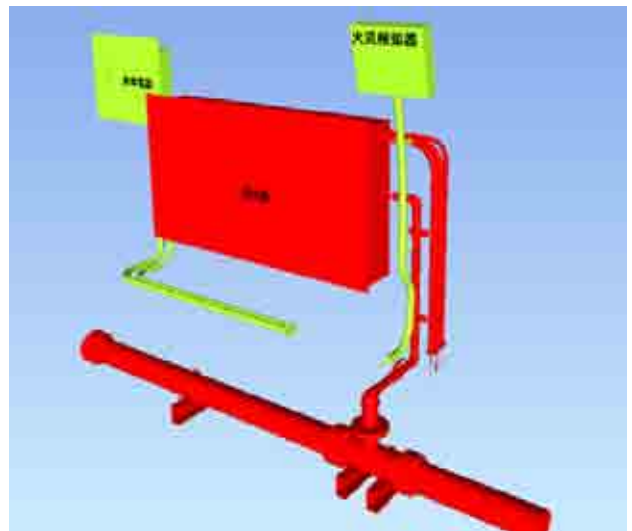


図-3 消火栓・押し釦式通報装置（詳細度400）

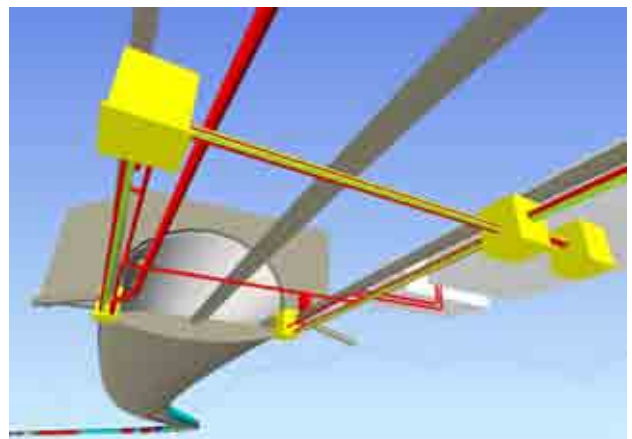


図-4 設備の管理区分を考慮した配色（明かり部）

3. CIMモデルの有効活用

(1) 維持管理・更新しやすい構造の確保

トンネルの電気室側の坑口付近では、電気通信設備、機械設備の配線、配管、ハンドホール等と土木の排水、暗渠、柵などの多くの埋設物・構造物が複雑に交差する。

本来これらの取り合いは、トンネル本体設計時、又は道路設計時に、電気通信・機械設計と調整を行い、トータルとして最適な配置とすべきである。しかし、設計時期が異なることに加え、立体的に地中で交差する多くの配線、配管、排水工の施工状況が的確に把握できていないことから、後施工側で既施工側に干渉しないよう屈曲させたり、深さを変更するなどして対応することが実情として多くみられる。これらは設計や施工時における問題だけでなく、維持管理や更新の合理性に欠ける構造となる原因にも繋がっている。

本トンネル事業では、電気通信設備、機械設備詳細設計と並行して実施されたトンネル本体内工詳細設計、道路詳細設計において、土木構造物のCIMモデルが構築されていなかった。このため、本モデルにおいて、電気通信設備、機械設備のCIMモデルを構築する上で、覆工コンクリート（箱抜きを含む）、舗装、排水工、監視員通路等、最小限のモデル化をはかった。その上で、電気通信、機械設備の配管、配線との干渉を踏まえ、最終計画を行い、各設計へフィードバックした。

なお、作成した3次元モデルについては、土木排水工と設備配管、配線のための掘削、設置、埋め戻しを同時にすることで工事の合理化や手戻り防止をはかる計画にも役立てた。

(2) 内部属性を用いたトンネル本体内工、電気通信・機械設備工事への重要事項の引継ぎ

土木構造物をモデル化したのは、上述した設備のCIMモデルを構築する上で、土木構造物のCIMモデルが必要不可欠であったこと、さらには、トンネル本体内工時に電気通信・機械設備の新設、または維持更新工事に向け、残してもらいたい情報を申し送りする媒体としての活用が期待できると考えたことにある。

例えば、ジェットファンを取り付ける位置については、図-11の例に示すように施工時に断層等があり供用後の地震発生等を考えた場合、崩落した位置や内空変位が管理値近くに達したり、変位の収束が遅く、覆工コンクリートの打設を遅らせたような位置への設置は望ましくない。このため、トンネル本体内工への申し送り事項として、覆工コンクリートモデルの内部属性に上記のような特殊事項を属性情報に記載してもらうことを内部属性に記載することとした。また、機械設備への申し送り事項として、ジェットファンモデルの内部属性に上記のような特殊事項がある場合には、設置スパンの変更を検討する必要がある旨を記載した。

これら内部属性に記載した申し送り事項は、工事段階で書き換えられることが想定されるが、CIMの目的の一つである全事業工程でCIMモデルを活用し、合理化をは

かる点において有効な手段と考える。



図-8 外部属性（製品関連情報）

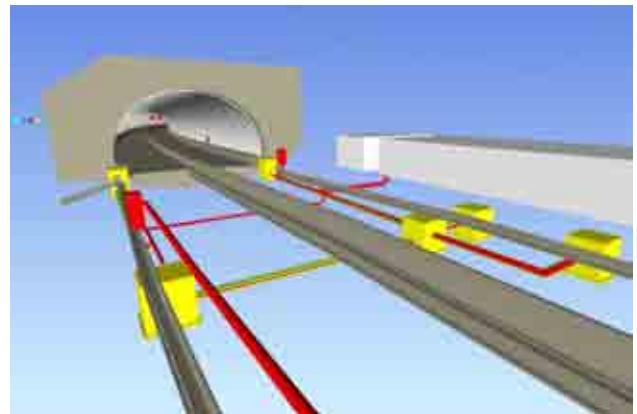


図-9 設備配管・配線と土木排水工系統最適化

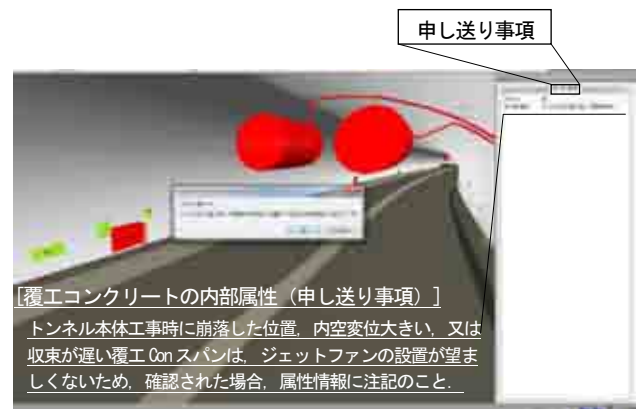


図-10 内部属性を利用した以降事業への申し送り付与

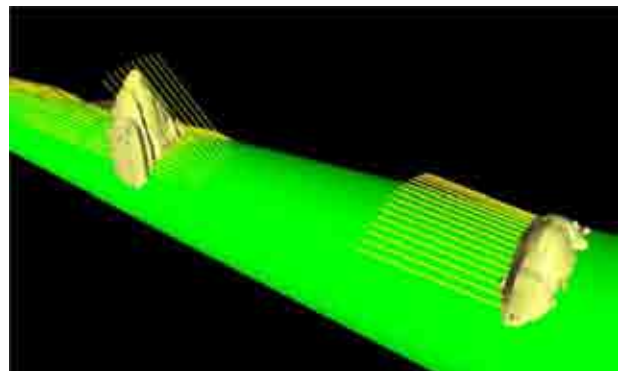


図-11 トンネル崩壊箇所のCIM化の例

4. おわりに ～課題と提言～

本取り組みを通じて明らかとなった課題とその対策方針について、今後の両設備のCIM推進の一助となるよう整理をおこなった。

なお、本トンネルは、現在、トンネル本體工設計の工事発注前の段階である。今後、作成したCIMモデルが、CIM推進委員会での方向性を踏まえブラッシュアップされ、土木工事、設備工事活用、維持管理に向けた情報が追加され、維持管理で活用されていくことを期待したい。

(1) 維持管理システムとCIMの連携

CIMモデルに紐づけられる属性情報は、測量、調査、設計、施工段階では、一度入力すれば、更新する必要はない。一方、維持管理段階では、点検、補修、更新の結果に基づき逐次更新が求められる。

また、トンネル内で事故等により破損が発生した事などにより、緊急点検等を行う事案が発生した場合、管内において同一の条件（設置後経過年数等）を有する設備がどのトンネルのどの箇所に設置されているかを迅速に把握する必要がある。

現在、福井河川国道事務所においても、近畿地方整備局管内の設備を一元管理するシステムとして、電気通信設備系については「電気通信施設DB」、機械設備系については「トンネル非常用設備台帳システム」、「トンネル換気設備台帳システム」を利用している。

これらの維持管理システムを外部属性の一つとして管内で管理する全トンネルのCIMモデルと紐づけし、さらに、これらの維持管理システムにより情報を更新した際、各トンネルCIMモデルの内部属性、外部属性が一括で更新される状況が構築できれば、上記の対応が可能になると考えられる。ただし、現状では、これらのシステムは、CIMでモデル化される個々の機器レベルでの管理台帳となっていないことから、CIMモデルとの連動を踏まえた更新が必要である。

また、高速道路会社などでは、維持管理物に貼り付けられたQRコードを読み込むことで、対象となる維持管理物の情報が保管されたフォルダへアクセスし、モバイル上（現場）で台帳（障害履歴等）を確認する試みもされている。これらを一括して新設設備にも取り入れ、QRコードのリンク先を維持管理システムと紐づけることにより、現場と事務所との情報共有を円滑化することが期待できる。

(2) CIM属性情報のAI等への活用

既存の電気通信設備、機械設備のデータベースにおいては、単体の機器レベルまで情報を蓄積していない。一方、CIMにより単体の機器をモデル化し、属性情報を付与して管理する場合、新たな情報として各機器の寿命や機能の劣化速度等の情報が多量に蓄積される。こうしたデータはAIを活用したアセットマネジメントの教師デ

ータとして利用できる。これにより、AIによって更新時期の予測が行えることが期待できる。

(3) VR (virtual reality-仮想現実) との連動

土木分野においては、施工の各段階における課題把握や確認、地元説明の効率化を目的として、CIMモデルを基に施工ステップ図や、VR (virtual reality-仮想現実) を作成し、利用する例が増えている。本モデルにおいては、S字曲線トンネルにおけるCCTVの視認範囲、及び剛性中央分離帯が設置された場合のトンネル照明の見え方についてVRを作成し、より現実に近い確認を行うため、CCTVについては可動範囲や視野範囲、照明については照度分布や構造物による反射等の忠実な再現を試みた。結果として、採用した3次元CADソフトでの再現は難しく、専用のVRソフトを用いて再現した。元々の用途は異なるが、CIMを用いた生産性向上の一つには、情報共有による事業の円滑化があり、VR等の活用は非常に有効であるため、CIMソフトのVR処理能力向上を期待したい。

なお、今回のCIMモデルでは、維持管理段階での管理区分を明確にするため、土木構造物をグレー系、電気通信設備を緑系、機械設備を赤色系とした。VRでは、実施の現場の再現性が求められるため、土木構造物や各設備は実際の色で再現する必要がある。用途によって、複数の配色を切り替えられるようにすることも考えていく必要がある。



図-12 VRによる照度分布、壁面反射等を考慮した坑内状況

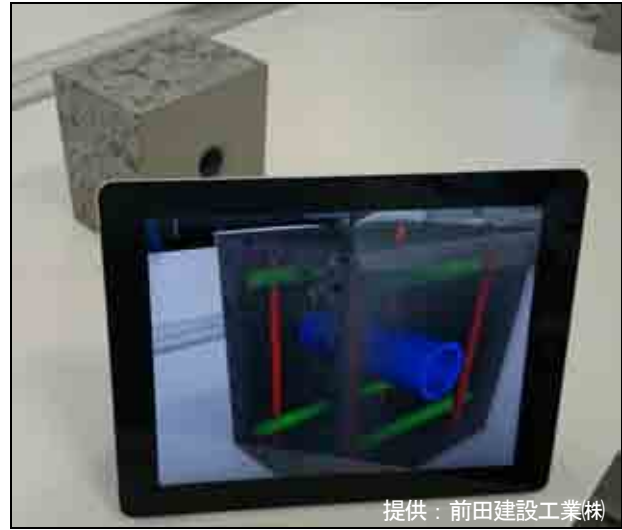


図-13 VRによるCCTV撮影範囲の確認

(4) 地中埋設配管、配線の現地把握

設備の維持管理や更新時における問題の一つに、各設備の位置に加え、特に外部から目視出来ない地中埋設配管、配線等の現場確認や、施工時の認識不足による破損等がある。現場における確認作業では、ハンドホール等を頼りに図面と対比し配管系統等を確認することとなるが、供用開始後の現場においては、トンネル坑口付近のように電気通信設備、機械設備の配管・配線と土木の排水工・暗渠柵、ガードレールの基礎等が入り組んだ状況下における配管状況等の把握には、時間を要する。本内容については、「i-Construction推進コンソーシアム技術開発・導入WG 新技術のニーズ・シーズマッチング決定会議」において、現場からのニーズとして出されている内容でもある。配管、配線を3次元でモデル化することにより、2次元図面に比べ、飛躍的に状況を把握する精度が高まることが期待できる。また、さらにCIMモデルをもとに地下の様子を可視化できるAR（拡張現実）技術の活用が進めば、地下埋設物の位置確認はさらに容易、確実にすることが期待できる。

管理や属性情報を基にした維持管理データベースの管理を進めていくこととなる。このため、CIMモデルを基にプロジェクト関係者の意見をとりまとめていくCIMマネージャーの役割が重要と考える。



提供：前田建設工業㈱

図-14 ARによるCIM地下埋設モデルの可視化

(5) 既存の設備への対応

既存設備の維持管理においては土木図面や設備図面が無い場合が多い。このため、周辺の土木構造物を含めて位置情報を把握できるMMS（モバイルマッピングシステム）で取得した点群データを活用することが有効と考える。ただし、点群からサーフェスモデルを構築し、属性情報を付与するには多大な労力を要する。一方、設備を維持管理するうえでは、詳細をモデル化する必要性は低いため、点群データに属性データを付与するという手段は、構築の為の費用、迅速性を考えると有効と考える。

参考文献

- 1) 第5回 CIM 導入推進委員会（平成30年3月6日）
- 2) CIM 導入ガイドライン（案）第6編トンネル編 平成29年3月 国土交通省 CIM 導入推進委員会
- 3) CIM 導入ガイドライン（案）第7編機械設備編（素案）平成30年3月 国土交通省 CIM 導入推進委員会

(6) MMS（モバイルマッピングシステム）の新設設備への活用

特にトンネルにおいては、施工時の出来形確保からトンネル断面は設計断面より大きく作られる。

供用前にMMSにより点群データを取得し、サーフェスモデルを構築した場合、施工段階までに活用したCIMモデルとずれが生じる。より現実に近い寸法は、MMSを活用したものとなるが、施工まで情報を再度、MMSを活用したモデルに落とし込むには多大な労力を要する一方で、維持管理上、再作成を要する精度は求められないとも考えられる。MMSによる画像撮影、点群データ取得自体は土木本体、設備の管理において有用であると考えられるが、CIMモデルの再作成への利用については今後十分な議論が必要と考える。

(7) CIM マネージャーの育成

CIM活用の最終段階である維持管理においては、電気設備、機械設備だけでなく、土木の関係者も含め、多くの関係者がCIMモデルを確認しながら意見交換し、維持

無散水融雪設備のコスト縮減について

星田慎一

豊岡河川国道事務所 道路管理課 (〒668-0025 兵庫県豊岡市幸町10-3) .

北近畿豊岡自動車道は、雪寒地域の山間部を通る道路であるため、冬場の降雪・凍結の対策として除雪車両による機械除雪に加え、散水・無散水融雪設備の整備を行っている。本稿では、2017年3月に開通した八鹿～日高間（八鹿日高道路）で導入したコスト縮減を考慮した無散水融雪設備の効果検証を行った。無散水融雪設備のコスト縮減の内容と有効性について検証し、今後の導入に向けての注意点と、完成した設備の継続調査の内容をまとめ報告する。

キーワード 無散水融雪設備、コスト縮減、融雪区間（段階融雪）、凍結防止区間（土工熱量）

1. はじめに

豊岡河川国道事務所が管理する北近畿豊岡自動車道（国道483号）は、丹波市から豊岡市に向けて延伸を続けている道路で、現在（2018.4.1時点）日高神鍋高原ICまで供用している。

北近畿豊岡自動車道は、雪寒地域の山間部を通る道路であるため、冬場の降雪・凍結の対策として、除雪車両による機械除雪に加え、散水・無散水融雪設備の整備を行っている。

なお、融雪設備の導入にあたっては、削減される凍結防止剤散布や除雪車両による除雪費用の低減、交通事故による経済損失の低減、凍結防止剤使用量の縮減による橋梁等の劣化抑制等、さまざまな要因によるライフサイクルコストの縮減を考慮し検討を行っている。

また、散水融雪設備の設置には、取水源として河川水や地下水の確保が必要となり設置場所が制限されるため、北近畿豊岡自動車道では、融雪設備の必要な34箇所は無散水融雪設備を採用している。

本稿では、2017年3月に開通した北近畿豊岡自動車道の八鹿日高道路で初めて導入した、コスト縮減を考慮した無散水融雪設備の効果検証を行った。

無散水融雪設備のコスト縮減の内容と有効性について検証し、今後の導入に向けての注意点をまとめ報告する。

2. 無散水融雪設備について

(1) 無散水融雪設備とは

融雪設備は、大きく分けて河川水や地下水を道路に散

布し、水の熱と流雪効果で道路の雪を取り除く散水融雪設備と、道路に放熱器を埋め込み、熱で道路の雪を溶かさず無散水融雪設備の2種類に分類される。

無散水融雪設備の熱源は、温水や電熱利用、工場の排熱など、さまざまなものが利用されており、設置箇所の条件により、最も経済的な物が選定される。

北近畿豊岡自動車道では、降雪が多い区間について、本線部に地中熱を利用した無散水融雪設備を設置し、IC部に散水融雪設備、又は無散水融雪設備を設置している。

(2) 融雪範囲の考え方

北近畿豊岡自動車道で融雪設備は、降雪・凍結時の危険箇所に設置しており、具体的には、IC、トンネル坑口、橋梁の中で、道路線形や気象条件（降雪量や日照時間、気温等）を踏まえ設置箇所を選定している。

特にトンネル坑口については、坑口からどこまでを設置範囲とするかを定める必要があり、次のような考えで算定を行っている。

トンネル坑口の危険は、無雪路面から明かり部の雪路面へ路面環境の大きな変化が車両通行に影響を及ぼすためであり、融雪延長の算定にあたり、走行車両が安全に停止する動作に必要なすべり摩擦抵抗を確保することを考慮している。

つまり、降雪や凍結による事故を防ぐため、雨で濡れた道路と同程度の条件の滑り摩擦抵抗の範囲を融雪範囲として確保するという考え方である。

この時融雪範囲は、トンネル坑口部においては、前方の同一車線上に故障車などの対象物を認めた場合にブレーキを掛けて停止するために必要な距離であり、湿潤状態の路面の制動停止距離と同じと考えた。

表-1 湿潤状態路面の制動停止距離

設計速度 (km/h)	走行速度 (km/h)	制動停止距離 (m)	基準値 (m)
120	102	212.0	210
100	85	153.7	160
80	68	105.8	110
60	54	72.2	75
50	45	54.0	55
40	36	38.3	40
30	30	28.9	30
20	20	17.5	20

表-1に湿潤状態路面の制動停止距離を示す。北近畿豊岡自動車道の設計速度は80km/hであり、この条件に必要な基準値は110mである。これにトンネル内に吹き込む雪を溶かすための設置範囲10mを加え、120mをトンネル坑口部に必要な無散水融雪設備の設置範囲とした。

3. コスト縮減について

(1) コスト縮減の導入背景

北近畿豊岡自動車道で導入している無散水融雪設備は、地中熱を利用する方式で、河川水や地下水をくみ上げる必要がなく、散水融雪設備等と比較して設置場所の制限が少ない。また、同じ無散水融雪設備でも、熱源に電熱を利用する設備に比べ、必要な電気が少なくランニングコストの面で有利な設備である。

しかしながら、採熱のため、トンネル内に送水管を埋設したり、地中の深層杭に送水管を設置する必要があるため、設備の初期投資が高額となる傾向にある。

北近畿豊岡自動車道が延伸していく地域は、降雪量が多い地域であるため、融雪設備の設置が今後も必要となることが予想される。

こうした背景の中、八鹿日高道路では、今後の建設費用を抑えるため、コスト縮減を考慮した無散水融雪設備の導入を行った。

八鹿日高道路でコスト縮減のために導入した方法として、本線の無散水融雪設備に段階融雪と土工熱量の考え方を導入することとした。

本稿では、初めて導入したコスト縮減型の無散水融雪設備の有効性について検証し、今後の導入に向けての注意点をまとめる。

(2) 段階融雪

段階融雪はトンネル坑口部に採用した方法である。図-1にトンネル坑口からの熱量の変化の様子を示す。

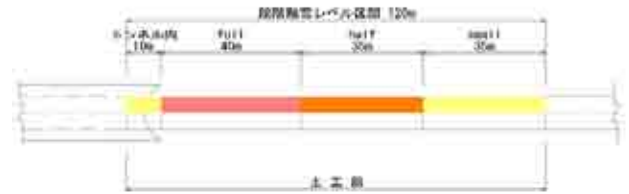


図-1 トンネル坑口の融雪レベル

段階融雪方式は、路面に与える熱量を、full(143W/m²)half(105.3W/m²)small(67.7W/m²)のエリアに分け、徐々に縮小していくシステムで、トンネル坑口部の路面状態を黒路面からシャーベット路面に段階的に変化させる。

過去の調査により、1cm以内の路面残雪の滑り摩擦抵抗は、湿潤路面と同程度であることから、最も熱量の少ないsmall区間においては、設置を予定している地域の設計降雪深に対し1cm残雪となる計算になっている。

融雪必要箇所の融雪熱量を安全性を保ちながら段階的に縮小していくことで、融雪システムの採熱部及び放熱部の規模を縮小しコスト縮減を行うものである。

(3) 土工熱量

土工熱量方式は橋梁部の融雪設備に導入した方法である。

一般的に橋梁部は土工部にくらべ凍結しやすく、橋梁前後は凍結しておらず橋梁のみが凍っている状態でスリップ事故が発生しやすいため、対策として橋梁に無散水融雪設備の設置を行ってきた。

今回導入した土工熱量の考え方は、従来の橋梁部だけ熱を与えて融雪するという方法ではなく、橋梁部の熱量に土工部の自然放熱量と同等の熱量を与え、橋梁の路面レベルを土工部の路面レベルと同等にするという考え方である。

土工部と橋梁部の路面レベルを同等とすることで、凍結防止剤の散布や機械除雪のタイミングを一致させることができ、除雪作業の回数を減らすことができる。

そのため、気温低下により橋梁部の冷却が土工部よりも早い場合には、橋梁部で放熱を行い凍結防止効果を発現するが、降雪等により土工部の冷却が進み積雪が始まると、橋梁部の放熱を停止し土工部と同様に積雪が始まるようになっている。

これにより、必要熱量が低減するため、採熱部及び放熱部の設置を減らすことができ、全体のコスト縮減を行うことができる。

(4) コスト縮減効果

上記の段階融雪と土工熱量を採用した無散水融雪設備について、イニシャルコストとランニングコストを合わせた総合的なコスト縮減の割合を試算した。その結果を表-2に示す。

表-2 融雪設備のコスト削減効果

		従来方式	コスト削減 採用方式
段階融雪設備 500㎡の設置コ スト (千円)	イニシャルコスト	110,800	80,300
	20年ランニングコスト	1,650	1,140
	合計	112,450	81,440 (従来比 72.4%)
土工熱量設備 500㎡の設置コ スト (千円)	イニシャルコスト	123,900	41,300
	20年ランニングコスト	1,650	900
	合計	125,550	42,200 (従来比 33.6%)

それぞれの設備の規模を500㎡あたりで比較した。これは、トンネル坑口設備の設置範囲が延長120m、設置幅3.5mとしているため、設置面積が420㎡となり、現実の設備規模に近い値で比較を行うために設定した値である。

段階融雪設備で約3割、土工熱量設備で約7割のコスト削減効果が得られる結果となっている。

この削減の大部分は建設時のイニシャルコストの削減によるものである。

4. 実態調査及び効果の検証

(1) 実態調査の方法

今回の実態調査は、段階融雪区間を対象に a)路面状況調査 b)発熱量調査 c)除雪作業へのヒアリングの3つの方法により行うこととした。

なお、土工熱量区間については、①路面状況調査のうち目視による調査のみを行うこととした。

a) 路面状況調査

段階融雪区間について、融雪設備稼働時の路面状況を目視による状況の確認と、サーモグラフにより路面の温度を確認する。

また、土工熱量区間については、降雪時の状況を目視により確認した。

b) 発熱量調査

無散水融雪設備の送り出し水温と戻り水温を測定し、放熱量の算定を行った。

継続的に観測を続け、降雪状況の違いによる設備の発熱量の変化を分析した。

c) 除雪業者へのヒアリング

北近畿豊岡自動車道で除雪トラックや凍結防止剤散布車等の除雪車両により作業を行う除雪業者に対し、コスト削減を考慮した八鹿日高道路とそれ以外の区間の無散水融雪設備を比較し、除雪作業の違いが生じているかをヒアリングにより確認を行った。



図-2 段階融雪の目視状況

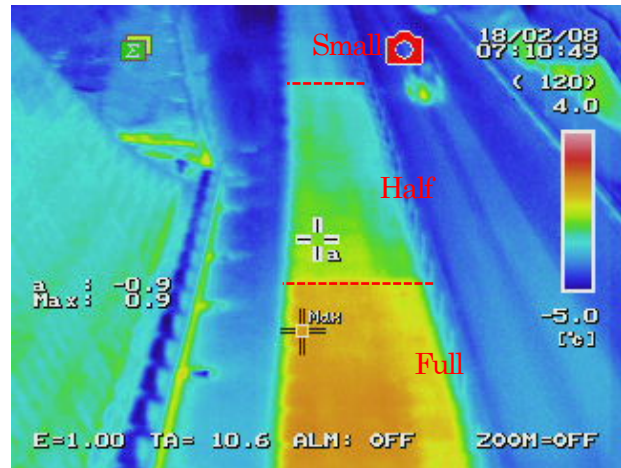


図-3 段階融雪のサーモグラフ

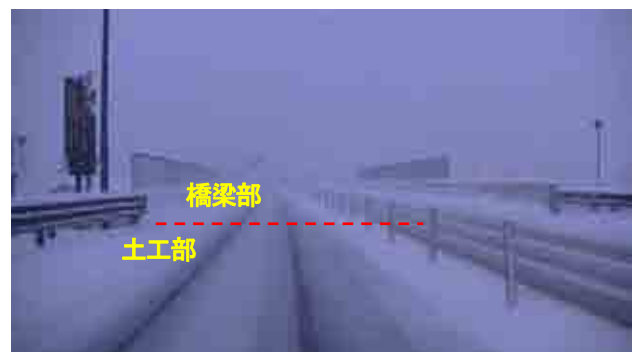


図-4 降雪時の土工熱量区間

(2) 効果の検証

a) 路面状況調査の結果

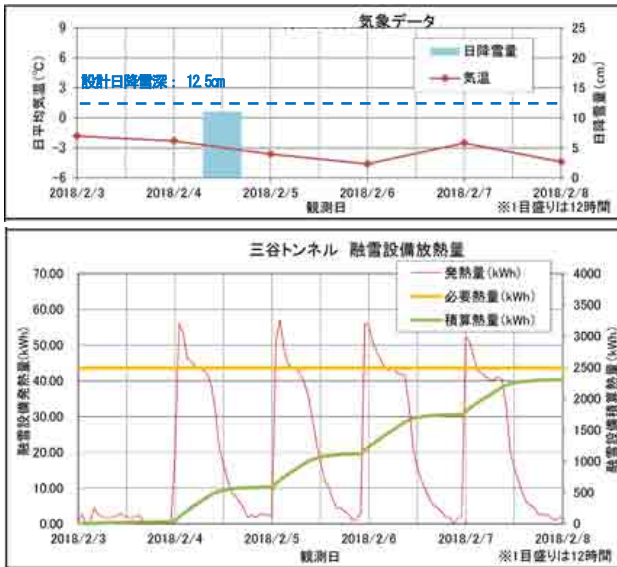
はじめに、図-2に降雪時の段階融雪区間の路面状況を示す。また、図-3に同じ箇所のサーモグラフを示す。

融雪熱量がfull, half, smallのエリアの違いが目視で確認できた。また、サーモグラフでもエリアの違いが確認できた。

これらに結果より、段階融雪は、当初の設計どおり路面状態を黒路面からシャーベット路面に段階的に変化させる性能を発揮していることが確認できた。

次に、図-4に土工熱量区間の降雪時の状況を示す。所期の性能を発揮し、土工部と橋梁部の路面レベルが同等になっていることが確認できた。

＜設計日降雪深以下の場合＞



＜設計日降雪深を上回った場合＞

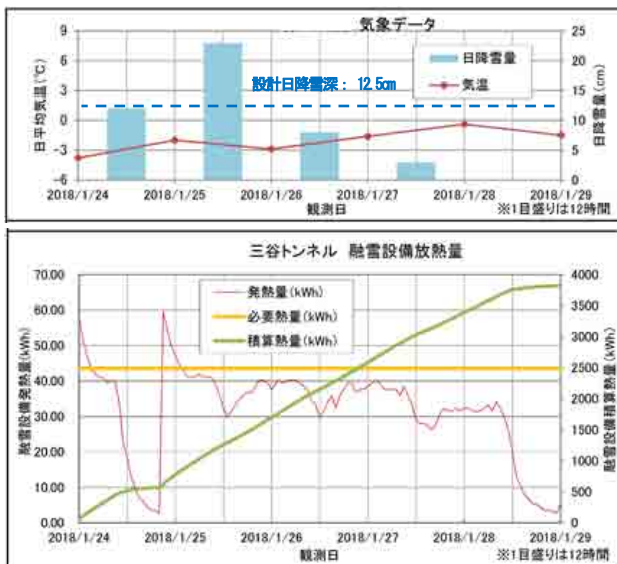


図5 融雪設備の発熱量の変化

b) 発熱量調査の結果

図-5に降雪状況の違いによる、設備の発熱量の違いを示す。

ここでは、降雪量が設計日降雪深(12.5cm)より少なかった場合と多かった場合で比較を行っている。

降雪が設計日降雪深より少ない場合、融雪設備の発熱量は必要熱量を確保出来ていたことがわかる。

一方、降雪が設計日降雪深を上回った場合、融雪設備は連続で運転を続けても発熱量が必要熱量を下回っていたことが確認できる。

この結果より、段階融雪設備は、設計日降雪深以下の状況においては適切に動作していることが確認できた。

c) 除雪業者へのヒアリングの結果

除雪作業員に対して行ったヒアリング結果を表-3に示す。

表-3 除雪業者へのヒアリング結果

	質問	回答
①	路面状態の違い	両区間とも融雪設備として機能を果たしている事が確認できた。
②	凍結防止剤の必要量の違い	従来と同等の散布を行っていたが支障はなかった。

この結果より、コスト削減を考慮した設備においても、除雪作業が増えたという結果は得られなかった。

5. 課題と今後の展望

(1) 無散水融雪設備のさらなるコスト削減の検討

今回導入した、コスト削減を考慮した無散水融雪設備は、従来の設備に比べインシヤルコストを削減できることが確認された。

しかしながら、散水融雪設備と比較して無散水融雪設備の建設費用は、依然として高額であるため、さらなるコスト削減に取り組んでいく必要がある。

例えば、トンネルの中央排水の利用や、下水処理場の廃熱利用など、採熱器の簡略化によるインシヤルコスト削減の検討が必要である。

また、現在の設備も除雪作業の削減を考慮したライフサイクルコストの削減を踏まえて設備の導入を行っているが、危険箇所にのみ設置している設備を連続化し、さらに除雪作業を削減するなど、さまざまな観点からコスト削減の方法を検討していく必要があると考える。

6. おわりに

今回得られた知見を以下に示す。

- (1) コスト削減を考慮した無散水融雪設備について、段階融雪の方法で約3割、土工熱量方式で約7割のインシヤルコスト削減が確認できた。
- (2) 完成したコスト削減を考慮した無散水融雪設備は、降雪時に想定していたどおりの能力を発揮していることが目視、サーモグラフによる路面状況調査及び発熱量調査の結果から確認された。
- (3) コスト削減を考慮した無散水融雪設備は、それ以外の区間の設備と比較し、冬期の凍結防止作業及び除雪作業において、大きな違いはないというヒアリング結果が得られた。

謝辞：論文を作成するにあたり，ご協力いただきました株式会社日本海コンサルタントのご担当者様，資料を提供していただいた株式会社モリモトのご担当者様，また，関係各位に感謝いたします。

参考文献

1) 社団法人日本建設機械化協会北陸支部：道路消・融雪設備の

- 設計技術
2) 社団法人日本建設機械化協会北陸支部：路面消・融雪設備等
設要領
3) 近畿地方整備局近畿技術事務所：道路消融雪設備の設計技術
4) 中央コンサルタンツ株式会社：八鹿豊岡南道路融雪設備予備
設計業務(H24年3月)

タブレット端末や航空レーザ測量データを活用した砂防情報管理システムの構築について

山下 大雅・菅原 寛明

近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

紀伊半島大水害以降、急ピッチで進めている砂防事業に対して、砂防関連情報の適切な管理と効率的な事業展開を行うため、航空レーザ測量データやタブレット端末を活用した砂防情報管理システムを構築したので報告する。

キーワード 情報管理, 効率化, タブレット端末, 航空レーザ測量

1. はじめに

平成 23 年 9 月の紀伊半島大水害では、各地で土砂災害が多発し、甚大な被害をもたらした。中でも、大規模な河道閉塞や斜面崩壊が発生した箇所、土石流が集中的に発生した箇所では被害や影響が大きく、重大な二次災害が懸念されたことから、国土交通省では、緊急対策工事に着手し、砂防堰堤の整備や崩壊斜面の安定化等の対策を進め、被災箇所の安全度の確保を図ってきた。

一方で、急ピッチで進めている砂防事業に対して、砂防関連情報の適切な管理と業務の効率化が課題であった。今回、その課題を解決するために、航空レーザ測量データやタブレット端末を活用した砂防情報管理システムを構築したことから、その内容について報告する。

2. 航空レーザ測量の実施

(1) 航空レーザ測量とは

航空レーザ測量とは、航空機に搭載したレーザスキャナから地上にレーザ光を照射し、地上から反射するレーザ光との時間差により得られる地上までの距離と、GNSS 測量機、IMU から得られる航空機の位置情報により、地上の標高や地形を精密に調べる測量方法を指す。

(2) 山間地域における航空レーザ測量の工夫

事業を実施しているエリアは、急峻な地形をなす山間部が主であることから、対象範囲の地域特性を踏まえ、より高精度な計測データを取得するための計測を実施した。

<植生下の微地形の把握を考慮した計測方法>

a) 高密度でのレーザ照射の計測

地表に多くのレーザ照射が届くよう、紀伊山地の植生

にあわせた高密度照射を実施した。

b) 植生下計測に有効なレーザ機器の採用

フルウェーブフォーム機能を持つ機器を使用した。この機能は一つのレーザ照射で最大256個の反射波(通常4個の反射波)の計測が可能で、植生下での微地形情報取得の有効性を確認できた。

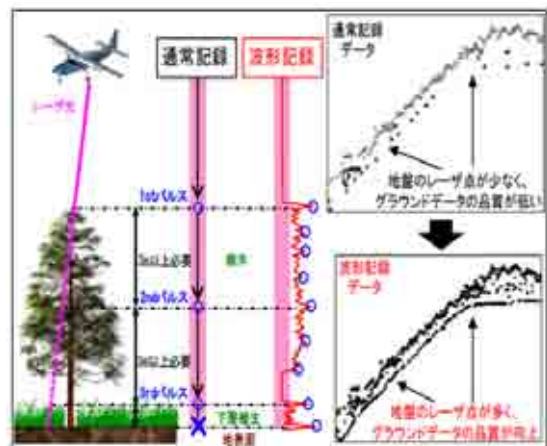


図-1 フルウェーブフォーム機能

<地形特性を考慮した計測方法>

a) レーザ照射距離による位置精度低下を少なくした計測ブロックの設定

地形起伏・斜面方向を考慮し、対地高度が一様となる計測ブロックと各コース標高差が少ない計測コース(段撮)を設定し、可能な限り低高度の計測を計画する。しかし、高低差の大きい区域を計測するため、固定翼(飛行機)では対地高度が高くなる場所があり、位置精度の低下が懸念される。その対策として飛行機には、高高度からでも回転翼(ヘリコプター)と同等のフットプリント径が照射できる高出力のレーザスキャナを採用し、水

平・標高精度の向上を図った。

b) 高いコース間ラップによる死角軽減

高密度の計測を実施するため、通常30%で設定される各コース間ラップのパーセンテージを上げて設定し、レーザ照射を実施した。

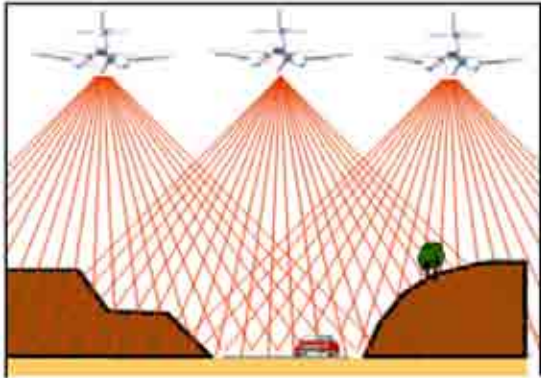


図-2 サイドラップでの計測イメージ

3. 砂防情報管理システムの構築

計測した航空レーザ測量データ等を基に、砂防情報管理システムを構築した。砂防情報管理システムは以下の3つのシステムから構成される。

(1) 三次元表示システム

事業を実施しているエリアは紀伊半島の広範囲に及びかつ山間部であることから、現地の状況を容易に把握・集約できないという課題がある。そこで、航空レーザ測量データを有効活用し、事業エリアを詳細に三次元表示するシステムを構築した。

a) 三次元地形データの作成

三次元地形データは、数値地形地図データファイルのグリッドデータ（1mメッシュ毎に1点のx y z座標情報に変換したデータ）を基に地形形状を作成し、その上に航空レーザ用写真地図を貼り付けたものである。整備範囲全体が連続（シームレス）かつ高速に表示できるデータとして整備した。



図-3 2次元の写真地図

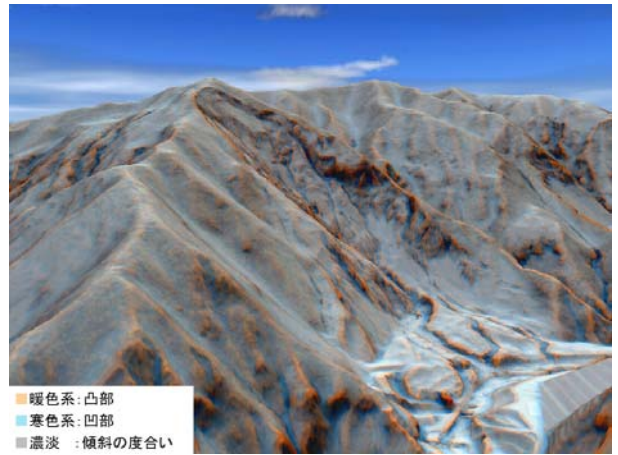


図-4 グリッドデータから作成した三次元地形モデル



図-5 作成した三次元地形データ

b) 三次元表示システムの機能

三次元表示システムの主な機能を以下に示す。

① 微地形解析図の表示

砂防事業では微地形と呼ばれる小規模な地形の判読も重要になる。地すべりの兆候など地形変化の把握に活用するために、グリッドデータを用いた地形解析により微地形を色の使い分けにより強調して表示する機能を設けた。



図-6 作成した微地形解析図

② 三次元地図の拡大・縮小・移動

マウスの操作によって、三次元地図を自由に拡大・縮小・移動する機能を設けた。拡大することで、現地であったかも見ているようなスケール・視点で表示することも可能とした。



図 - 7 マウスによる基本操作

③ 距離計測・断面図の作成

災害発生箇所の調査や応急対策工の検討など様々な場面において、土砂災害発生箇所の地形状況を正確かつ迅速に把握するために、任意の断面を設定することで距離の計測及び断面図を作成する機能を設けた。



図 - 8 任意の断面による断面図の作成イメージ

④ レイヤの選択による多時期データの表示

計測時期がことなる複数の計測データを格納し、選択する地図レイヤのチェックをON/OFFにすることで、多時期データを表示することができる機能を設けた。例えば、発災当時の写真を表示した後に、現在の写真を表示することで、対策工事の進捗を確認することを可能とした。

(2) 砂防関連情報管理システム

急ピッチで進めている砂防事業に対して、砂防関連情報を適切に管理するため、事務所の各種砂防関連事業を一元管理し、検索・表示できる砂防関連情報管理システムを構築した。

砂防関連情報管理システムは、大別すると、「台帳データベース」と「砂防GIS」の2種類のシステムで構成さ

れている。「台帳データベース」はWeb型のシステムであり、各種砂防情報に関する資料データ(台帳、写真、図面など)を管理するためのものであり、各砂防情報の諸元(名称、年月日、地名、構造、関連情報など)を検索・閲覧・更新が可能なシステムとした。台帳に記載される様々な情報の正確さを保障するために、その根拠となる資料(業務報告書、工事完成図書など)も明確にし、台帳と関連付けて閲覧できるようにした。「砂防GIS」は、事業エリア内の各種地図情報(砂防設備位置、砂防基盤図、オルソ航空写真など)を閲覧が可能なシステムとした。

a) 効率的なデータ検索方法の採用

台帳データベースとして管理している情報は、砂防設備、砂防指定地、業務・工事の成果品、土石流危険渓流、土砂災害警戒区域(土石流)、災害履歴、航空レーザ計測の8種類の情報である。それぞれ台帳を検索し、その結果が一覧表示され、さらに詳細な情報を個表形式で表示することができる。また、それぞれの台帳に地図が関連付けられており、地図表示の際に砂防GISを起動する仕組みとした。データベース同士を連携させ、例えば「〇〇砂防堰堤に関する砂防指定地、業務、工事」がピンポイントで検索することが可能となり、情報を探し出す手間を削減できるようにした。



図 - 9 台帳との関連付けのイメージ

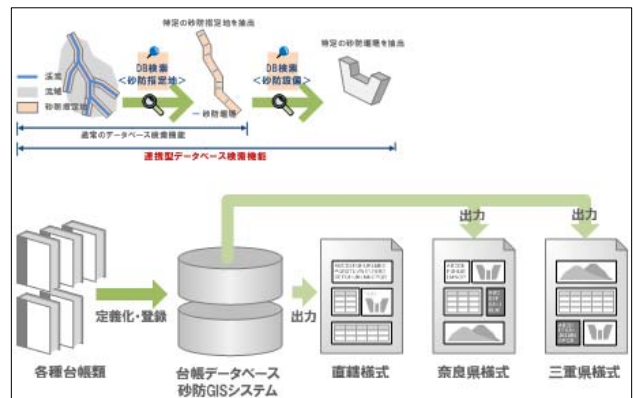


図-10 データベース同士の連携/複数台帳様式への出力イメージ

b) 効率的なデータ更新方法の採用

所定の様式で作成したデータをシステムで読み込むことで、台帳情報を自動登録できる機能を設けた。これにより、膨大な量の情報を効率的に更新することが可能になった。



図-11 各種ファイルデータから台帳情報を自動登録

(3) 現地対応型システム

三次元表示システムと砂防関連情報システムで管理している情報の一部をタブレット端末に格納し、現地で閲覧することができるシステムを構築した。さらに、GPS機能付きタブレット端末と連携が可能なシステムにすることで、現地で取得した写真などの情報を台帳などに自動で集約することも可能とした。



図-12 タブレット端末を活用した現地対応型システム

a) 現地対応型システムの活用事例

タブレット端末にインストールした三次元表示システムを活用し、地元住民への説明を行った。三次元表示システムには、過去に計測したデータが格納されていることから、過去と現在の状況を見比べることで事業の進捗を効果的に説明することができる。



図-13 現地対応システムを活用しての住民説明（過去計測データと見比べ工事の進捗を説明することに活用）

また、三次元表示システムの利点として、高精度に現地の地形を三次元で表示できることがある。対策現場に行かなくてもリアルな現状を説明することができる。



図-14 現地対応システムを活用しての住民説明（遠方に住む方などへの説明に活用）

5. おわりに

今回作成した砂防情報管理システムにより、様々な業務効率化を図ることが期待できる。そのためにまず職員に対してこれらのシステムを活用してもらう環境作りが必要と考える。また、必要となる情報は今後事業を進めていくうえで常に変化していくため、今後も利用頻度の高い情報を更新・整備するとともに、ニーズに沿った情報を反映する仕組みを構築していくことで、業務効率化を図っていきたいと考えている。

謝辞：論文を作成するにあたり、ご協力いただきました株式会社パスコのご担当者様、関係各位に感謝いたします。

河川管理施設の 3次元モデリングにおけるLODの検討

原 恒太

近畿地方整備局 福井河川国道事務所 河川管理第一課 (〒918-8015 福井県福井市花堂南2-14-7)

現在、公共、民間を含めた関係者間で3次元モデルデータなどの情報を共有できるCIM (Construction Information Modeling/Management) の活用により、インフラ事業全体の生産性向上が期待されている。CIMは設計段階から3次元による設計を行い、工事での活用を推進することとなっており、工事完了後は3次元データにより維持管理に引き継がれる。しかし、河川や道路事業においては、既に完成し管理に移行している施設が多く存在し、現時点では2次元図面を基本として管理されているのが現状である。本研究は、河川管理施設のひとつである樋門を例に、既設建造物の3次元化の必要性について点検からの視点で整理し、3次元モデリングにおけるLOD (Level of detail) の検討を行った。

キーワード 河川管理、樋門、LOD、CIM、3次元モデリング

1. はじめに

福井河川国道事務所では合計22の樋門（水門）を管理しており、こういった既設の建造物ですでに管理されている施設は2次元のCAD図面または、手書きの図面で管理している施設が多数存在する。今後3次元で河川管理を行っていくうえで、全ての施設を高い詳細度（Level of detail：以下LOD）で3次元化することは非常に困難である。本研究では河川管理を行う上で、最低限必要なLODはどの程度か、また職員自ら河川管理に必要なLODに基づく3次元モデリングを行った場合どの程度の時間を要するのかについて試みた。

2. LODとは

今後、CIM実運用の場面で3次元CADのモデルを作成することが普及（一般化）した場合、「モデル詳細度」の目安となる基準の策定と標準化が必須の課題となる。モデルを作成するときの詳細度（作り込みレベル）の基準が存在しなければ、モデル作成の際に受・発注者間の意識の違いが生じ、作業の手戻りや成果引き渡しに支障が発生する可能性がある。

このように、基準の必要性は高いと考えられ、これらを解決するための考え方として、諸外国では“LOD”などの定義がされている¹⁾。

3. 点検要領から考える3次元モデリング

樋門等河川建造物詳細点検要領²⁾のなかで建造物の観察は、建造物、堤体及び護岸の変状状況を、外部から観察する外観観察と、樋門内部から建造物の全体及び壁面の個々の部位の変状状況を観察する函内観察がある。従来の外観観察では建造物を正面図、背面図、側面図に分け、クラック等の変状を書き込むことでその変状状態を示してきた。しかし複雑な建造物の2次元図面は、その実物を見たことがなく図面を見慣れていない者にとって、その建造物をイメージするのは難しい。

一方で3次元化したものであれば初めて図面を見た人にもその建造物がどのような形をしているのかすぐに理解することができる。また、点検時に正面と側面など2

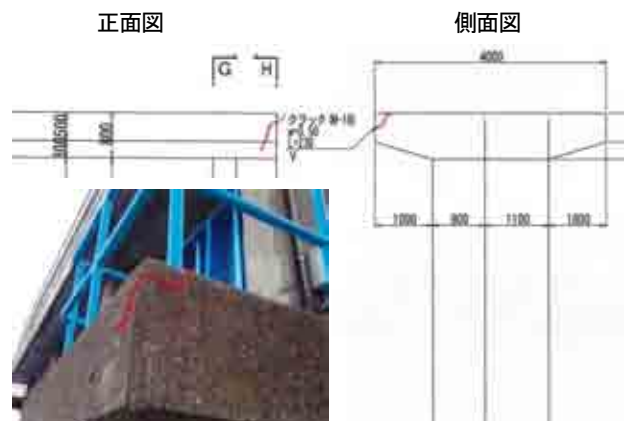


図-1 詳細点検時の2次元表示の例

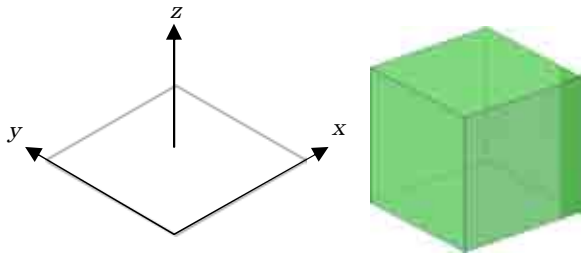
面で貫通しているクラック等を発見し図面に書き込む際にも、現時点では図-1のように2つの図面に描き込むことになり、そのクラックが連続していることが分かるような別途の記載が必要となる。一方で3次元化したものに示せば、そのクラックが連続したものであることは視点を移動させることで安易に理解することが出来る。図内観察でも従来は側壁、頂板、底板を展開して表し変状等を書き込んできたが、3次元化したものであれば図内からの視点で変状を確認することも可能となる。

4. 3次元モデリングの概要

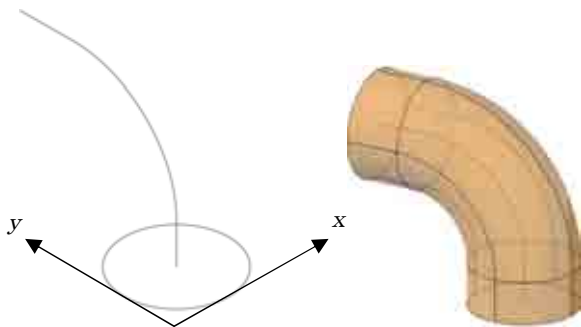
3次元モデリングとは、ソフトウェアを利用して、数学的に表される線を組み合わせることで立体的な物体や形を表現する手法である。作成されたオブジェクトは3次元モデルと呼ばれ、この3次元モデルを使ってビジュアル的に完成度の高いグラフィックで表現し、シミュレーションを行うこともできる。この3次元モデリングの基礎となる主な手法を以下に示す。

(1) 押し出し

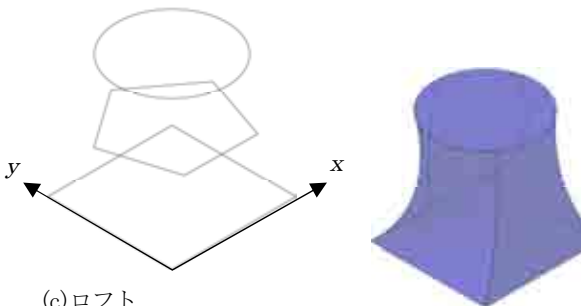
押し出しとは図-2(a)のように、x-y軸上に描かれた2次元の図面を、z軸方向に押し出すことで3次元モデルを



(a)押し出し



(b)スイープ



(c)ロフト

図-2 3次元モデリング手法

作成する機能である。

(2) スイープ

スイープは図-2(b)のように、2次元で描かれた図形を、任意のパスに沿って押し出して、3次元モデルを作成する機能である。

(3) ロフト

ロフトは図-2(c)のように、3次元空間にある2つ以上の違った2次元の図形を繋げて、3次元モデルを作成する機能である。

5. 対象とする樋門と事前準備

今回は、はじめてのモデリングということもあり、当事務所が管理する施設のうち、規模が中程度であり比較的モデリングしやすい樋門として、九頭竜川右岸20k付近にある芳野川樋門を対象とした。

(1) 現地調査

3次モデリングを行う前に、設計図面では読み取れない部分の寸法や構造を理解するために現地調査を行い、樋門の特徴や各部位の位置関係を確認し、併せて重要となるおそれのある箇所を図面および写真で記録した。

(2) アイソメ図による3次元モデリングの準備

樋門の構造図は2次元の紙図面であるため、3次元モデリングの準備として、アイソメ図法を用いて手書きでイメージを掴むこととした(図-3)。

アイソメ図法とは、投影図のひとつで等角投影図ともいい、直交する3軸が120度に交わって見えるように投影した図法で、物体を斜め上から俯瞰するように描画することができる。

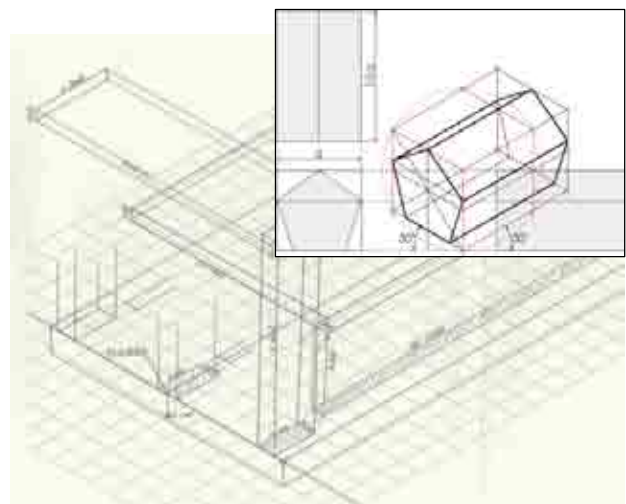


図-3 アイソメ図法を用いたイメージ確認

6. 3次元モデリング

(1) 2.5次元モデリングの試行

構造が比較的複雑であり、かつ施設数も多い樋門のモデリングではLODを高くすることに比例して作成にかかる時間もふえる。そこで、職員が勤務時間内で3次元モデリングにさける時間を考慮し、まず今ある紙の2次元図面を立ててみる（以下2.5次元モデル）ことでその効率性と有用性を検討した。

紙の正面図、側面図、平面図をスキャンし3DCAD上で組み立てる。このとき図面の縮尺を統一し、角度の修正を行ったうえでそれぞれの図面の位置を合わせる作業を行った。図-4がその結果である。

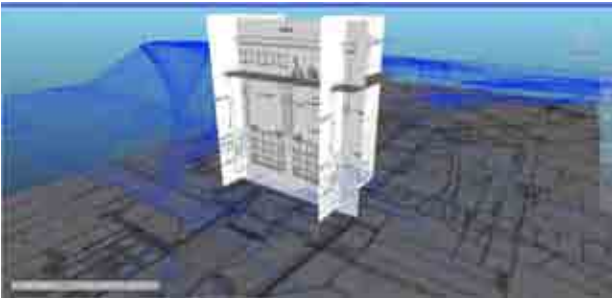


図-4 2.5次元による表現

当初は既存の図面活用であり、簡素にできるものと思っていたが、縮尺統一、角度の調整等で以外と時間を要した。この結果を踏まえ、当初どおり3次元モデリングで進めることとした。

(2) 各部位ごとのモデリング

樋門を基礎、門柱、函体側面、函体頂板、扉体、建屋基礎、建屋の7つに分け、それぞれを個別に作成し位置を合わせることで作成した。

基本的に用いる機能は押し出し機能のみであるため比較的安易で、施設の全体像が非常に分かりやすくできている。作成時間は3時間程度であったが、完成したモデルを図-5に示す。

(3) 詳細度を上げたモデリングの挑戦

図-6は、前項のモデルに加え、建屋と門柱などの接続部構造や、函体の止水鋼板などの細部構造のモデリン

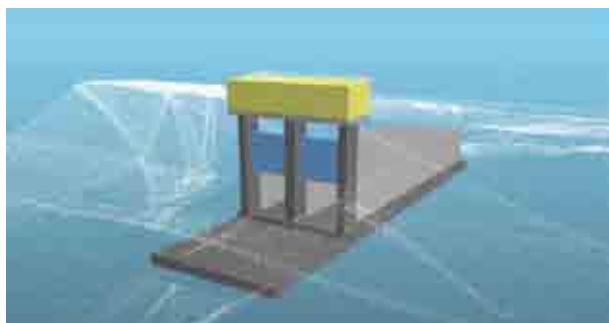


図-5 3Dモデリング結果

グをしたものであるが、より詳細なモデリングには、単純な押し出し法や複写といった機能だけでなく、ロフトや各オブジェクトとの合成、差し引きといった技術が必要となるため、本研究の目的である、職員自らが時間を要しないといったコンセプトには馴染まないことを確認した。



図-6 細部を詳細に表現

(4) その他の応用技術

6. (2)で作成したモデル（図-5）に写真や2次元の函体内の展開図をテクスチャとして貼り付けることで、図-7のように表すことも出来る。この方法を用いることで、詳細点検における函体内のクラック調査^③のデータを3次元モデルにも反映することができる。



図-7 詳細点検時の結果をオブジェクトに反映

7. 作成したモデルから考える樋門のLOD（案）

土木分野におけるモデル詳細度標準（案）のなかで、構造物（橋梁）の詳細度（案）が示されており、LOD 100から500の5段階で定義付けをしている。それに準拠した樋門のLOD（案）を表-1に示す。

表-1 維持管理における樋門のLOD (案)

詳細度	共通定義
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。 各構造物一般図に示される標準横断面を 各部分毎に押し出し で作成する程度の表現。
300	附帯工等の細部構造を除き、 接続部構造を含めた 対象の外形形状を正確に表現したモデル。
400	詳細度300に加えて、附帯工、接続構造などの細部構造および配筋も含めて、正確にモデル化する。
500	対象の現実の形状を正確に表現したモデル。

8. 結論

作成した3次元モデルから考える樋門のLOD (案) で示した詳細度の共通定義を踏まえ、モデリングした2つの樋門のLODを考察する。

6. (2)に示した図-5のモデルは、各部分を押し出しのみで作成したが、構造形式が十分理解できるものとなっていることから、LODは200程度と考えられる。

6. (3)で示した図-6のモデルは、接続部等の細部に加え、附帯構造についても正確にモデリングされているが、配筋については考慮していないためLODは300程度であると考えられる。

河川管理者として業務を行うなかで必要な情報はその位置や門扉の数、函体形状などの簡単な構造、施設年数などであり、また、その構造物の外観と位置の把握が可能であれば問題ないと考える。よって既に管理されている樋門に求められる3次元モデルのLODは200程度であると考えられる。ただし樋門の詳細点検等においては構造物に小さな変状を示す必要があるような場合は、LOD 300以上が求められるケースも考えられ、今後の課題といえる。

参考文献

- 1) 社会基盤情報標準化委員会特別委員会：土木分野におけるモデル詳細度標準 (案)
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：樋門等河川構造物詳細点検要領
- 3) 九頭竜川・北川河川構造物点検とりまとめ業務報告書

持続可能な堤防植生の維持管理へ向けて ～職員による除草コスト縮減の取り組み～

新垣 亜以¹・黒田 公平²

¹近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 道路管理第二課 (〒640-8227 和歌山県和歌山市西汀丁16番)

²近畿地方整備局 大和川河川事務所 管理課 (〒583-0001 大阪府藤井寺市川北3丁目8番33号)

河川堤防の維持管理として行われている年2回の除草では、築堤時に植栽されたノシバが衰退し、セイバンモロコシ等の外来植物の侵入・繁茂等の影響により、堤体の弱体化、出水期間中における河川巡視等への支障や処分コストの増加等の問題が発生している。

本稿は、その問題を解決するため、従来のノシバに比べて草丈の低い改良コウライシバへの植生転換を実施し、職員自らが抜根除草等の維持管理を行った体験を踏まえ、大和川における植生転換の課題と今後の展望についてとりまとめたものである。

キーワード 堤防植生, 維持管理, コスト縮減, 植生転換, 低草丈草種

1. はじめに

堤防除草は、点検などによる状態把握のための環境整備及び堤体の保全のため、年2回を基本として実施している。

大和川河川事務所管内において、除草費は維持管理にかかる費用の内の1/3を占めており(図-1)、河川改修事業(堤防強化や遊水地整備等)の進捗に伴い、除草面積が増加することから、今後、除草費がさらに増加することが想定されるため、堤防除草についてコスト縮減を図っていく必要がある。

平成28年度、河川維持管理計画の見直しに伴い、近畿地方整備局管内では堤防除草コスト縮減ワーキングが開催され、短期的なコスト縮減対策として「遠隔式草刈機による除草」、「堆肥化」、「ロール化」、「刈放し」、「野焼き」、「動物除草」等の導入、及び中・長期的なコスト縮減対策として「低草丈草種による植生転換」の試行が位置づけられた。

大和川河川事務所管内では、平成29年度現在、短期的対策として「遠隔式草刈機による除草」、「刈放し」、「野焼き」及び中・長期的対策として「低草丈草種による植生転換」を実施している。事務所管内における堤防植生の9割がセイバンモロコシ等の外来植物が占めてお

り、堤体の弱体化、出水期間中における河川巡視等への支障や処分コストの増加等の問題が発生している。

本稿は、上記の問題を解決する「低草丈草種による植生転換」を検討するため、セイバンモロコシ等の外来植物が生育・繁茂している箇所を対象として、従来のノシバに比べて草丈の低い改良コウライシバ(以下、改良コウライシバという。)への植生転換を実施し、職員自らが抜根除草等の維持管理を行った体験を踏まえ、大和川における植生転換の課題と今後の展望を報告する。

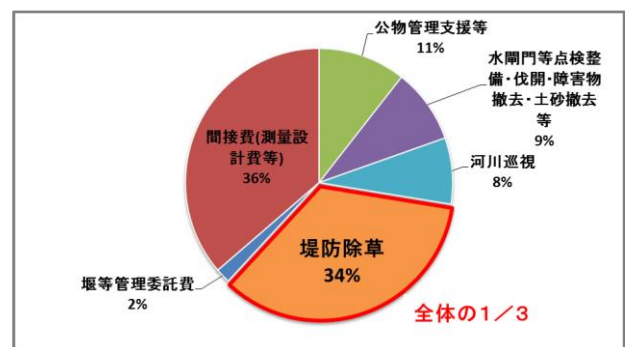


図-1 H28年度維持管理費の内訳

2. 大和川における堤防植生の現状と課題

(1) 堤防植生の現状

堤防植生は、その優占する種によって5つの堤防植生タイプ（シバ、チガヤ、外来牧草、広葉、オギ・ススキ）に分類することができる。

この分類を基に、大和川河川事務所管内における堤防植生の現状を把握するため、平成28年秋季に、堤防植生タイプ区分調査を実施した。

その結果、堤防植生として望ましいシバタイプ及びチガヤタイプが全体のわずか約10%、堤防植生として望ましくない外来牧草タイプ及び広葉タイプが約90%を占めていた(図-2)。また、外来牧草タイプのうち、堤防管理上の支障となるセイバンモロコシが約94%確認された。

以下に主な堤防植生タイプ a)シバ、b)チガヤ、c)外来牧草の特徴を示す(図-3)。

a) 「シバ」

築堤時に植栽されたシバが3割以上を優占するタイプである。シバタイプは、耐侵食性に優れているが、維持するためには年4回以上の除草回数が必要¹⁾であり、現状の年2回除草では、シバが衰退し、外来牧草へ遷移する傾向にある。

b) 「チガヤ」

春～秋に生長する中型イネ科多年草のチガヤ等が3割以上を優占するタイプである。チガヤタイプは、耐侵食性に優れている¹⁾が、草丈が高くなり、河川巡視等への支障が懸念される。

c) 「外来牧草」

牧草や法面緑化を目的に導入された外来イネ科草本（セイバンモロコシ等を含む）が優占するタイプである。外来牧草タイプは、耐侵食性が低く¹⁾、外来植物の繁茂に伴い法面の草丈が高くなることから、河川巡視等への支障が懸念される。特に大和川において、セイバンモロコシは根張りが乏しいため、耐侵食性が低く、草丈が高く一面を覆うように繁茂するため、河川巡視等への支障、刈草の処分費の増加等が懸念される。

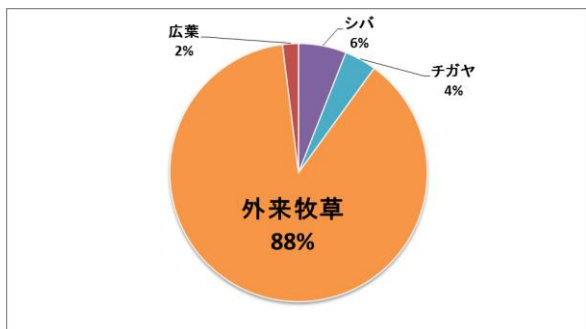


図-2 大和川管内における堤防植生の現状(延長割合)



図-3 主な堤防植生タイプの状況

(2) 堤防植生の課題

大和川における堤防植生の課題は、a)堤体の弱体化、b)出水期間中における河川巡視等への支障、c)刈草の処分コストの増加などの問題が懸念され、堤体の耐侵食性の確保及び堤体の状態を把握しやすい草丈の維持等の堤防植生に求められる機能を保持するための対策が必要である(図-4)。

a) 堤体の弱体化

堤防植生の耐侵食性は、シバ・チガヤタイプが外来牧草タイプより優れている。そのため、外来植物の侵入・繁茂等の影響により耐侵食性が低下し、堤体の弱体化が生じている。

b) 出水期間中における河川巡視等への支障

堤防植生の草丈は、シバ・チガヤタイプより外来牧草タイプの方が高い。そのため、外来植物の侵入・繁茂等の影響により、出水期間中における河川巡視等への支障が生じている。特に、外来牧草タイプのうち、セイバンモロコシは草丈が2mを超えて成長し、密生するため、河川巡視等への支障が懸念される。

c) 刈草の処分コストの増加

草丈の高い外来植物の侵入・繁茂等の影響により、刈草量が増加し、処分コストの増加が生じている。



根張りが乏しく、耐侵食性が低いセイバンモロコシの繁茂

堤体の状態把握が困難な外来植物の繁茂

図-4 堤防植生の課題

3. 植生転換の試行

(1) 植生転換とは

本稿における植生転換とは、堤防の維持管理に支障を及ぼす外来種等の現況堤防植生を草丈の低い他の植生（以下、低草丈草種という。）に転換することをいう。低草丈草種による植生転換は、年2回程度の除草により、草丈が低く、根張りの良い植生が堤防法面を密に被覆し、

雑草の侵入・生育を抑制する。それにより、堤防植生に求められる機能を長期的に保持する効果が期待できる。

(2) 施工箇所

施工箇所は、大和川右岸16.6 k+60 m～16.6 k+80 m川裏堤防法面（藤井寺市川北地先）である(図-5)。法面改修箇所の張芝に 低草丈草種の改良コウライシバを使用した。

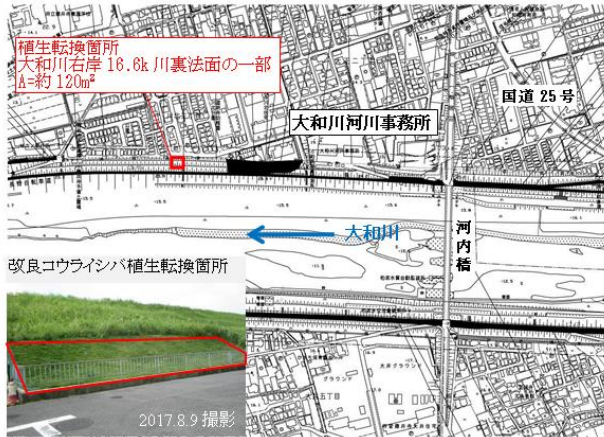


図-5 施工箇所 位置図

(3) 施工内容

堤防の強化対策及び除草に関する住民要望対策として、裏法尻補強シート敷設等の法面改修を計画していた大和川右岸16.6 k川裏堤防法面（延長20 m, 面積120 m², 法勾配2割）の法面下部において、改良コウライシバ張芝工による植生転換を平成29年3月に行った。なお、裏法尻補強シート敷設後の埋め戻し土は、現況表土を用いた。

施工手順及び施工状況は以下のとおりである(図-6)。

- ①表土掘削（剥ぎ取り厚90 cm）→裏法尻補強シート敷設→表土埋め戻し→法面整形
- ②改良コウライシバ張芝（全面張り）→目土敷設



図-6 植生転換の施工状況

(4) 職員による維持管理内容

施工箇所では埋め戻し土に現況表土を用いたため、施工後1ヵ月程度が経った時点から、現況表土に残存していたと考えられるセイバンモロコシ等の外来植物の種子や根茎からの発芽・生育が確認された。生育・繁茂した

セイバンモロコシ等の外来植物から、導入した改良コウライシバに求められる機能を保持するため、通常の維持業者による年2回の除草に加えて職員による抜根除草等の維持管理を行った。

職員による維持管理は、平成29年4月から平成30年3月（平成30年2月を除く）まで月1回から月2回の抜根除草を行った(表-1)。外来植物の繁茂状況により、一度に行う維持管理の範囲や頻度を調整したり、改良コウライシバが比較的繁茂していない箇所には散水を行ったりと現地状況に応じた維持管理を行った。

更に、施工箇所周辺からの外来植物の侵入を抑えるため、平成30年3月には改良コウライシバとの境界部分に防草シートを設置した。

表-1 抜根除草等の実施頻度

年月	平成29年					
	4月	5月	6月	7月	8月	9月
抜根除草等	①, ② 4/1728	③, ④ 5/929	⑤ 6/21※	⑥ 7/20	⑦, ⑧ 8/928	⑨ 9/19
	平成29年			平成30年		
	10月	11月	12月	1月	2月	3月
	⑩, ⑪ 10/19, 30※	⑫ 11/19	⑬ 12/5	⑭ 1/9	—	⑮ 3/15

※維持業者による除草

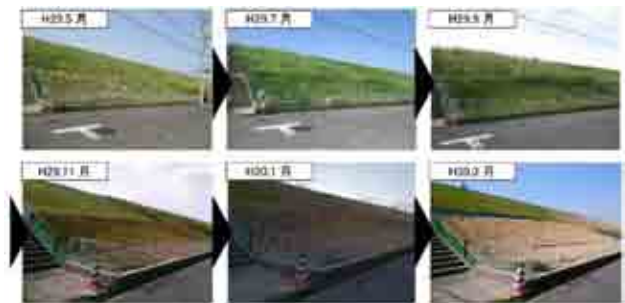


図-6 植生転換箇所の経過状況（全景）

4. 植生転換後の堤防植生機能の評価

(1) 目的

改良コウライシバ植生転換箇所において、堤防植生に求められる機能（堤体の耐侵食性、堤体の視認性等）の基礎データを調査し、植生転換の達成状況を把握することを目的とする。

(2) 調査内容

調査は、導入種（改良コウライシバ張芝）を植栽した堤防法面にコドラート（1m×1m）を設置し、堤体の視認性を把握するため、導入種の草丈を確認した。また、堤体の耐侵食性を把握するため、導入種の植被率、侵入種の植被率及び根系強度を確認した。なお、根系強度は、ペン式根系強度計を用いて測定した。

調査の時期は、施工後6ヵ月程度が経過した平成29年

10月とした。

(3) 調査結果

調査結果の評価にあたっては、堤防植生の機能として求められている「堤体の視認性」及び「堤体の耐侵食性」を示す項目の評価目安を設定した上で、整理した。

表-2、表-3より、堤防植生の機能として求められている「堤体の視認性」及び「堤体の耐侵食性」を示す項目について、全ての評価目安を満たしているため、改良コウライシバは堤防植生機能を達成・保持している。

表-2 各項目の評価目安³⁾⁴⁾

項目		評価目安		
		○:優れている	△:中程度	×:劣っている
堤体の視認性	導入種の平均草丈	草丈:10cm以下	草丈:10cm以上	
	導入種の植被率	植被率:80%以上	植被率:80%以下	
堤体の耐侵食性	侵入種の植被率	植被率:50%以下	植被率:50%以上	
	根系強度	400kgf・cm以上	400~250kgf・cm	250kgf・cm未満

表-3 各項目の調査結果

項目		調査結果	評価	
堤体の視認性	導入種の平均草丈	草丈5cm	草丈:10cm以下	○
	導入種の植被率	植被率90%	植被率:80%以上	○
堤体の耐侵食性	侵入種の植被率	植被率5%	植被率:50%以下	○
	根系強度	根系強度623kgf・cm	400kgf・cm以上	○

(3) 考察・課題

改良コウライシバの維持管理方法は年2回の抜根除草を基本としている⁶⁾が、大和川における植生転換箇所においては施工後1ヵ月程度の時点からセイバンモロコシ等の生育・繁茂が確認された。埋め戻し土に草丈の高いセイバンモロコシ等の種子・根茎を含んでいることから、さらなるセイバンモロコシ等の侵食が予測されたため、平成29年度は月1回程度の抜根除草等を実施した。そのため、改良コウライシバが施工6ヵ月の時点で堤防植生機能を達成したと考えられる。

平成30年度以降においても、基盤土壌のセイバンモロコシ等の埋土種子等より、セイバンモロコシ等が再繁茂し、改良コウライシバへの生育に影響を与えることが懸念されるため、改良コウライシバの堤防植生機能を保持するためには、今後の維持管理も引き続き注意して取り組む必要があると考えられる。

また、植生転換箇所は法面下部のみを対象としていることから、法面上部や施工箇所周辺に生育・繁茂しているセイバンモロコシ等の外来植物が秋期に結実し、種子が施工箇所へ供給されるので改良コウライシバの生育に影響

響を与えることが懸念される。

5. 今後の展望

大和川のようにセイバンモロコシ等の外来植物が優占する堤防法面において、低草丈草種による植生転換を実施する場合は以下に留意することで堤防植生に求められる機能を達成・保持できると考えられる。

- (1)埋め戻し（又は、盛土）材料は購入土を使用
- (2)施工範囲は法面全体を対象
- (3)抜根除草に代わる方法の検討

(1) 埋め戻し（又は、盛土）材料は購入土を使用

植生転換を実施する際の埋め戻し材料（又は、盛土材料）は、原則、購入土を使用することが望ましい。埋め戻し材料に現況表土を流用する場合、本稿の事例のように、現況表土に残存しているセイバンモロコシ等の外来植物の種子や根茎等により、施工後早期に外来植物が生育・繁茂する可能性がある。

(2) 施工範囲は法面全体を対象

植生転換を実施する施工範囲は、法面全体を対象とすることが望ましい。法面上部、又は下部のように法面の一部を施工範囲とした場合、植生転換を実施していない箇所から外来植物が侵入・繁茂する可能性がある。

(3) 抜根除草に代わる維持管理方法の検討

本試験施工箇所では、職員による抜根除草等を月1回程度実施したが、維持業者に委託する場合、抜根除草はかなりの労力とコストがかかる作業である。そのため、抜根除草の頻度や時期を変えた方法だけではなく、抜根除草に代わる、環境に与える影響が小さい除草剤や重曹散布等の維持管理方法を検討する必要がある。

謝辞

本稿の作成にあたり、植生転換箇所の調査等にご協力いただいた日本工営株式会社へ深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 佐々木寧・戸谷英雄・石橋洋宏・伊坂充・平田真二：堤防植生の特性と堤防植生管理計画，河川環境総合研究所報告第6号，2000.
- 2) 北川明ほか：植生の遷移と堤防の管理，水工学論文集 第39巻1995.
- 3) 国土交通省：土木工事共通仕様書（案），2017.
- 4) （一財）公園財団：公園管理ガイドブック，2005.
- 5) 東北地方建設局 河川部 河川管理課：堤防植生管理指針（案），1999.

- 6) 国土交通省 近畿地方整備局 近畿技術事務所：堤防除草コスト縮減対策の導入の手引き（案）～効率的な堤防植生管理に向けて～，2015.

UAVを活用した河川点検・監視システムについて

中村 公彦

兵庫県 養父土木事務所 (〒667-0022 兵庫県養父市八鹿町下網場 320)

兵庫県姫路土木事務所では、これまで堤防上から行っていた河川の巡視・点検業務の効率化・高度化を図るために小型無人航空機 (UAV : Unmanned Aerial Vehicle) を導入し、空撮画像を用いた河川点検・監視システムの整備に取り組んでいる。(公財) 兵庫県まちづくり技術センター及び(一社) 兵庫県測量設計業協会の共同でアプリケーションソフトの開発、UAV 動画仕様の設定等を整備した。UAV に予めルート、高度を記憶させ同一ルートをフライト、その空撮動画と地図上の位置がパソコンの画面で確認できる。本稿は、他府県も同様の課題に直面しているとの認識のもと、UAV を活用した河川点検・監視システムの特徴と整備の基本的な考え方等について紹介する。

キーワード 新技術、新システム、維持、管理、UAV

1. はじめに

社会資本の老朽化、人口減少や高齢化による財政難、担い手不足、気候変動に伴う外力の増加等、我が国の社会の安全・安心の確保が、困難な状況となっている。

こうした中、我が国では、生産性向上を図るため、ICT等の活用を推進しているが、地方の中小企業では、なかなかその普及が進んでいない。

そこで、兵庫県姫路土木事務所(以下、姫路土木という。)では、地域に精通した地元測量設計会社が、小型無人航空機(Unmanned Aerial Vehicle : 以下、UAV という。)を活用した河川点検・監視業務を実施することを念頭において、簡便で安価なシステムを整備した。

本稿は、他府県も同様の課題に直面しているとの認識のもと、当システムの特徴と整備の基本的な考え方等を紹介する。

変状箇所を「河川管理カルテ」、河川の状況変化を追跡する定点観測箇所を「定点観測写真」として取りまとめている。(写真-1)

表-1 河川維持管理計画 区間区分
() 内は、姫路土木管内の両岸延長

区間区分	重要度	点検頻度
A区間	治水上等の影響が特に大きい区間	年1回程度の巡視点検 (130 km)
B区間	治水上等の影響が大きい区間	2年又は3年に1回程度の巡視点検 (162 km)
C区間	その他の区間	住民からの通報等に基づき点検

2. 河川巡視点検の現状

兵庫県河川維持管理計画では、全河川を治水上での重要度等に応じ3つの区間区分(表-1)に分類し、定期点検頻度を定めて、河川点検・監視業務を行っている。

具体的には、建設コンサルタント会社等へ委託し、巡視点検結果を「河川巡視点検記録簿」、点検で判明した



写真-1 2014年度の成果品

3. 河川巡視点検の課題と問題点

点検は、これまで堤防上から目視により行ってきたことから、以下のような問題があり、業務の効率化と高度化を図ることが課題であった。

(1) 河川全体の状況を把握することが困難

- ・川幅の広い河川の流水、樹木の繁茂や土砂堆積、背後地等、河川全体の状況を俯瞰的に把握できない。
- ・主に変状や異常箇所について資料を作成することから、点検に見落としがないか確認できない。

(2) 近づきにくい箇所の点検に時間と危険を伴う

- ・管理用通路の有無、樹木繁茂により、近づくことが困難な場所も多く状況把握に時間がかかる。
- ・急こう配の護岸や流水部の構造物等の点検が危険である。

(3) 点検情報の確認、活用に多大な時間が必要

- ・点検情報が膨大であるにもかかわらず主に紙ベースで作成しているため、データの検索、確認、追跡(経年変化等)に時間を要する。
- ・管理用通路がない箇所等、現地へ行く経路を調べるのに時間を要する。

4. 河川点検・監視システムの整備

これらの問題点を解消するため、UAVとQGIS(オープンソースの地理情報システム)を組み合わせた河川点検・監視システムを整備することにより、点検監視業務の効率化・高度化が図られると考えた。

具体的には、UAVによる空撮動画をパソコン画面の地図上で表示するアプリケーションソフトの開発を行った。

また、UAV飛行の安全と成果品の品質確保のために、試験飛行を実施し(写真-2) UAV動画撮影仕様(表-2)等を設定し、汎用性のあるシステムにした。



写真-2 UAV 試験飛行状況

表-2 UAV動画撮影仕様(一例)

自動航行を行うために飛行計画をもとに、座標(緯度経度)、高度等、以下のとおり登録する。

- ・飛行ルートの設定: 座標データ入力
- ・撮影高度(適用川幅)の設定
50m(250m未満)、70m(250~340m)
100m(340~420m)
- ・撮影モードの設定: ハイビジョン
- ・俯角の設定: 20度(図-1)
- ・撮影速度の設定: 5m/S(18km/h)

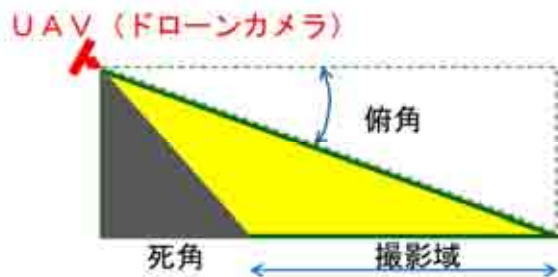


図-1 撮影角度(俯角)

5. システムの4つの特徴

当システムには、河川巡視点検の問題を解消する4つの特徴がある。

(1) 空撮動画で監視

- ・空から一目瞭然、状況を迅速に把握できる。
- ・人が近づきにくい危険な箇所も楽に見える。
- ・静止画ではわからない流向・水勢もわかる。

(2) 河川ごとに一定の飛行ルートを設定

- ・UAVに予めルート、高度を記憶させ同一ルートをフライトできる。
- ・同一ルートの動画を比較することで河川の経年変化を容易に追跡できる。
- ・河川を切れ目なく確認できる。

(3) 撮影データをGISで管理

- ・空撮画像(動画・静止画)と地図上の位置を関連づけられる。
- ・地図上の位置情報をすばやく検索できる。
- ・電子データのため情報の共有、利用が容易である。

(4) 短期間で経済的に業務を実施

- ・飛行速度18km/h、素早く全体像を把握し、目視巡視点検の効率化が図られる。
- ・経済的(2割削減)に巡視点検業務が実施できる。

6. システム整備の基本的な考え方

前例のない、この新たな取り組みを実効性のあるものとするため、以下方針（表-3）のもと、姫路土木、（公財）兵庫県まちづくり技術センター（以下、「まちセン」という。）及び（一社）兵庫県測量設計業協会（以下、「兵測協」という。）の三者で共同整備し、事後の点検・監視業務を効率的・効果的に行うこととした。〔基本協定書締結：2017年2月27日〕

システムの整備にあたっては、毎年、実施できる持続可能なシステムとする仕組みを考え、地域に精通する地元測量設計会社が業務を実施することを念頭に置いて、簡便で安価なシステムにすることとした。（写真-3）

アプリケーションソフトの開発とUAV動画撮影仕様等の設定をどのようにして作れば良いのか。姫路土木だけの試行にとどまるのではなく、全県展開も見据えて、実効性のあるものにするには、どのような体制で進めれば良いのかを考えた。

そこで、新技術の導入を支援するまちセンへ開発を委託し、地元測量設計会社を統括する兵測協と連携して、三者で共同開発することとした。（図-2）



写真-3 UAV汎用機 一式

表-3 実行性のあるものとするための方針

(1) 責任ある主体（コアメンバー）の参画

地域に精通し、緊急時に即応可能な地元測量設計会社を統括する「兵測協」と、県及び建設関係団体へ新技術導入を支援する「まちセン」に参画を要請する。

(2) 簡便で安価なアプリケーションソフトの開発

- ・利用者目線でアプリを共同開発する。
- ・アプリのプラットフォームに無料GISソフト（QGIS）を使用する。【まちセン、兵測協の役割】
- ・利用者にアプリとマニュアルを無償提供し普及と習熟を後押しする。【まちセンの役割】

(3) 官民が連携し業務品質を確保

- ・実運用に先立ち、市川、夢前川（10km）をフィールドにシステムを試行し、三者が協議を重ね、UAV動画撮影仕様等を設定する。
- ・研修、訓練の充実を図り、UAV撮影・測量技術を向上させる。【兵測協の役割】
- ・成果品検定を義務づける。【姫路土木の役割】
- ・検定体制を整備する。【兵測協の役割】



写真-4 UAV運航前の点検状況

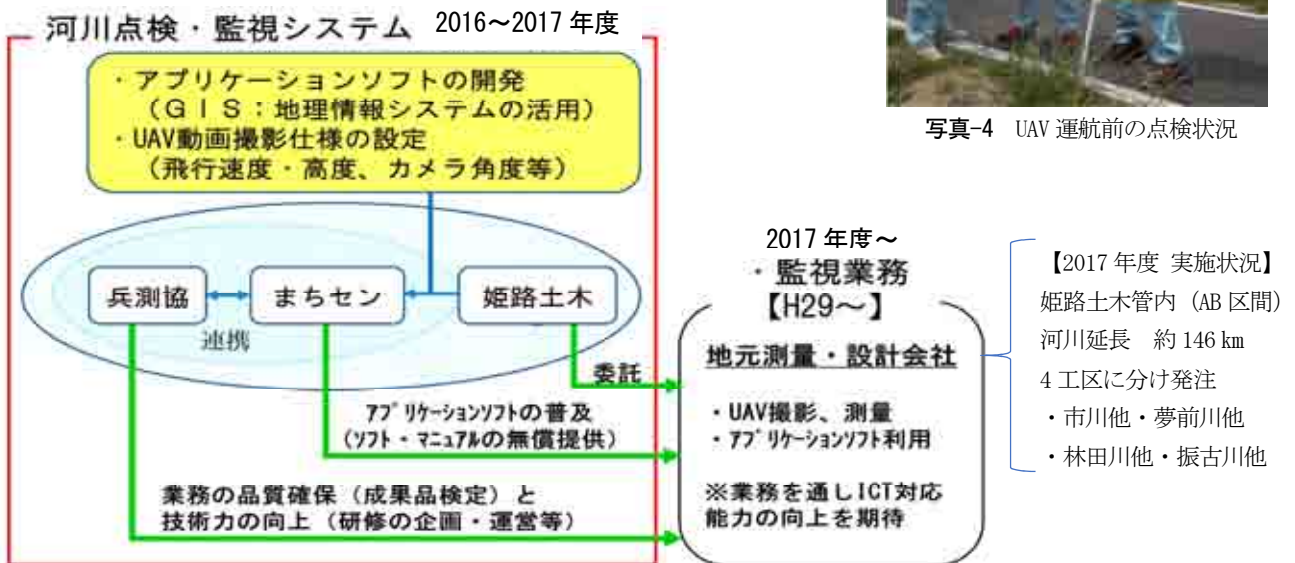


図-2 システムと業務のイメージ

7. アプリケーションソフトの概要

アプリケーションソフトの基本機能は、地図、動画をウィンドウ単位で表示、実行できる以下の仕様で開発した。

(1) プラットフォーム：QGIS（無料GISソフト）

将来、カスタマイズ（機能追加）も可能である。

(2) ウィンドウの構成（拡大縮小可能）（図-3）

a) 地図

- ・ UAV の位置は、常に地図上に表示し、動画の再生にあわせ移動する。
- ・ 国土地理院電子地図と国土数値情報を利用した。
- ・ 目印となる距離標や橋梁名も表示できるようにした。
- ・ インターネット接続環境ではグーグルマップ等も利用可能である。

b) 空撮動画

- ・ UAV 進行方向（下流から上流）の空撮動画を表示、再生する。
- ・ 再生中の動画(UAV)位置を座標表示する。
- ・ 気になる箇所、護岸崩壊箇所等はスナップ写真（静止画）として保存可能である。

(3) 操作環境：市販パソコンでスペックは以下の通り。

- ・ OS：Windows7以上
- ・ メインメモリ 4GB 以上
- ・ HDD：3GB 以上

8. 今後の取り組み

当システムの運用開始にあたり、開発にあたった三者共同で、システムの普及に向けた業者向け講習会を開催した。UAVによる撮影時の留意事項や河川点検・監視システムとの連携内容等を説明した。河川点検・監視業務契約後は、4工区合同で、打ち合わせをして、不明点を解消しながら、初業務を円滑に進めた。

この2017年度の実績を踏まえて、今後は、歩掛りや業務仕様書、マニュアル等を検証して、県下統一システムの構築に向け取り組んでいきたい。

受託業者からは、UAVの活用について前向きな意見が多かった。改善点としては、カーブのきつい20m未満の小河川の撮影方法の見直しや動画からの損傷確認方法等の基準づくりが必要であると感じた。

9. おわりに

本取り組みについて、NHK兵庫ニュース及び全国紙（地方版）等に取り上げられ、社会的関心の高さがうかがえた。生産性向上が求められる中、地方の中小企業においても、UAVの活用拡大が期待できる。

また、今後の新たな展開の可能性として、AI（人工知能）技術を活用した損傷危険箇所抽出の自動化が考えられる。このような生産性を高める技術を積極的に活用し、建設業のイメージアップを図っていきたい。

（この論文は、筆者の昨年度（2017年度）の所属である兵庫県姫路土木事務所河川砂防課の所掌内容について記載したものである。）



図-3 パソコン操作画面

サクラマス¹の生息環境に配慮した 堰魚道操作の検討について

川合 重光¹・北垣 潤一²

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 河川管理第二課（鳴鹿大堰管理所）
（〒910-1211福井県吉田郡永平寺町法寺岡5-26-1）

²近畿地方整備局 福井河川国道事務所 河川管理第二課（鳴鹿大堰管理所）
（〒910-1211福井県吉田郡永平寺町法寺岡5-26-1）

サクラマスレストレーション(サクラマスの聖地といわれている九頭竜川にサクラマスを増やそうと言う取り組みをしている団体)、漁業組合、学識経験者等と連携し、鳴鹿大堰の呼び水流量の調整や、魚道放流量（ソフト面）の堰操作の運用により大型魚(サクラマス)の遡上を実現させた事例であり、その際、小型魚（アユ）及び底生魚の遡上に影響が出てしまわないよう、最適な流量を調整して実施した。

キーワード サクラマス、連携、水量の調整、遡上

1. はじめに

九頭竜川・鳴鹿大堰は、平成16年3月に竣工（平成11年3月から暫定運用開始）している。魚類が遡上するための2種類の可動式魚道を右岸・左岸に設置し、魚道放流量を調整することが出来る構造となっている。魚道の横には遡上する魚たちを魚道へ導くために流水を発生させる呼び水水路を設置している。（図-1）以前にあった旧堰の時代よりも、より多くの種類の魚が川を遡上していることが確認出来ている。

2. 大型魚（サクラマス）の滞留

大堰が竣工してから大堰の適正な管理運用のため毎年フォローアップ調査として底生動物、付着藻類、地下水水位、魚類、水温の現地調査を実施してきたが、底生動物、付着藻類、地下水水位については大堰の適正な運用の結果調査を終結し、現在は魚類と水温について現地調査を継続している。

2010年度のフォローアップ調査の、有識者からの意見で、「夏季に大型魚（サクラマス）が堰直下流の呼び水水路周辺で集魚しており、魚道を有効に利用されていない可能性がある」と指摘された。（図-2）

3. 魚道流量の放流量の変更と大型魚遡上数の改善

(1) 流況調査

サクラマスが集魚行動をするのは呼び水水路からの流れに誘引されているものと仮定して流況の把握を行ったと



図-1 鳴鹿大堰の魚道



図-2 サクラマスの滞留

ころ、2.0m/sを超える高流速が発生しており、魚道入口周辺と呼び水水路周辺での流速差が大きいことが問題であると考えた。(図-3)

(2) 放流パターンの検討

魚道入口周辺と呼び水水路周辺での流速差を極力小さくするため、3通りの水量 (m³/s) の調整をする放流パターンを検討した。(表-1)

(3) 平面二次元解析

平面二次元解析による検討ケースから、最適な放流量を決定した。水量の調整として呼び水水路の流量を1/3とし、魚道流量を3倍としたケース3が遡上に最も効果的であると示唆された。

(図-4)

(4) 放流量変更の試行 その1

呼び水水路の流量を大幅に低減し、魚道流量は実際に2011年度から2015年度までケース3 (1.5m³/s) の放流量で水量の調整を実施し試行的に放流した、あわせて学識者の提言をふまえて通常モード (0.5m³/s) とケース3の中間流量を:ケース4 (0.5m³/s) ケース5 (1.0m³/s) として放流した。アユの遡上には流量が多いと思われたためである。遡上時期である春 (5.6月) と秋 (10.11月) に各流量モードで放流を実施した。

効果を検証したところ通常モードの時よりもケース3及びケース4、ケース5の時に遡上数が多くなる傾向がわかった。(表-2、図-5、図-6、表-3)

個体数の確認は魚道にCCDカメラを設置して実施した。

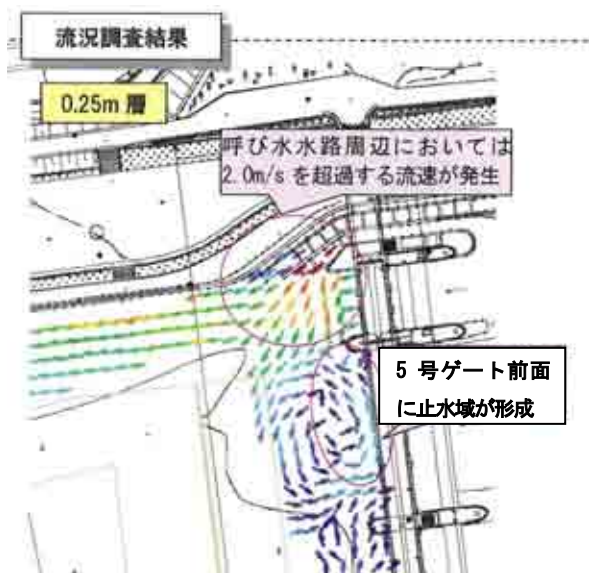


図-3 流況調査結果

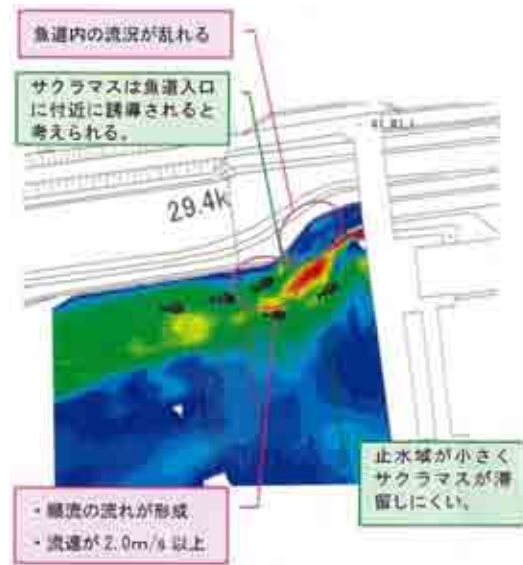


図-4 流況解析結果

表-1 放流パターンの検討 (解析)

検討ケース	魚道	呼び水水路
現状	0.50m ³ /s	15.0m ³ /s
ケース1	1.50m ³ /s	15.0m ³ /s
ケース2	1.50m ³ /s	10.0m ³ /s
ケース3	1.50m ³ /s	5.0m ³ /s

表-2 試行的放流パターン

検討ケース	魚道	呼び水水路
通常モード	0.50m ³ /s	15.00m ³ /s
ケース3	1.50m ³ /s	5.00m ³ /s

放流パターン	魚道	呼び水水路
ケース4	0.50m ³ /s	5.00m ³ /s
ケース5	1.00m ³ /s	5.00m ³ /s

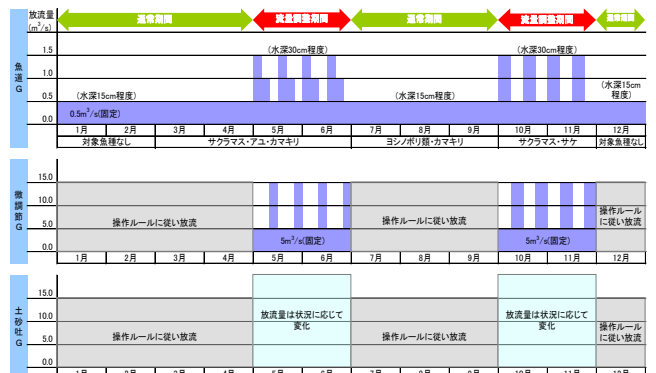


図-5 通年の放流量配分 (2015年度)



通常モード時は水しぶきの範囲が広く白くめだつ

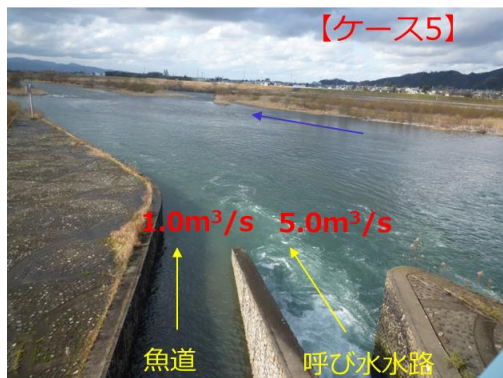


図-6 放流パターンを変更して水量を調整 (左岸魚道付近を撮影 2016年1月7日)

表-3 水量の調整効果

【小型魚 春季】		単位：個体/日					
放流パターン	魚道流量	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度
ケース3	1.5 m³/s	5,076	19,837	15,863	9,883	-	-
ケース4	0.5 m³/s	-	21,173	-	-	-	-
ケース5	1.0 m³/s	-	-	5,869	19,202	6,826	1,221
通常モード	0.5 m³/s	6,694	-	5,863	14,939	-	-

通常モード時の呼び水水路の流量は15m³/sで、その他のケース時は5m³/s

【大型魚 春季】		単位：個体/日					
放流パターン	魚道流量	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度
ケース3	1.5 m³/s	97	308	193	227	-	-
ケース4	0.5 m³/s	-	332	-	-	-	-
ケース5	1.0 m³/s	-	-	202	193	86	83
通常モード	0.5 m³/s	110	-	63	170	-	-

通常モード時の呼び水水路の流量は15m³/sで、その他のケース時は5m³/s

【大型魚 秋季】		単位：個体/日					
放流パターン	魚道流量	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度
ケース3	1.5 m³/s	42	25	27	22	-	-
ケース4	0.5 m³/s	-	-	-	-	-	-
ケース5	1.0 m³/s	-	-	-	-	16	8
通常モード	0.5 m³/s	5	-	19	10	-	-

流量調整(魚道G 1.0m³/s程度【観測水深20cm】)微調節G 5.0m³/sを遡上ピーク時期(5~6月、10~11月)に継続して実施。



図-7 意見交換会で確認した試行運用の放流パターン

(5) 放流量変更の試行 その2

大堰における実際の放流量の管理については、頻りにモード変更することは堰の管理上困難なため、ケース5 (1.0m³/s) の流量に固定して放流を試行することとした。(図-7)

試行した2016年度と2017年度の遡上結果から、大型魚と小型魚が共に良好に遡上することが確認できた。

(表-3)

4. 底生魚(カジカ類)の遡上状況の確認

ケース5で大型魚と小型魚の遡上が良好であることが確認出来たが、2017年度からは、生息地が天然記念物であるカマキリの遡上とカジカ類の遡上への影響を確認するために、2014年度以降に録画したCCDカメラ映像データからカジカ類の映像を抽出し、個体数を確認した。カジカ類の遡上個体数は少ないものの、確認個体数は例年と同程度であり、流量調整による傾向は認められない。魚道流量の変化による底生魚への影響は無い物と判断した。魚道は利用されている。(表-4)

表－4 カジカ類の遡上数

【カジカ属 春季】		単位：個体/日/兩岸			
放流パターン	魚道流量	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度
ケース3	1.5 m ³ /s	1.0	1.8	-	-
ケース4	0.5 m ³ /s	-	-	-	-
ケース5	1.0 m ³ /s	0.5	1.1	1.2	1.3
通常モード	0.5 m ³ /s	0.0	0.4	1.2	1.3

5. 当初目的の達成と結果

当初のフォローアップ調査の目的であった「夏季に大型魚（サクラマス）が堰直下流の呼び水水路周辺で集魚する」ことについては、試行的放流による調査の結果、適正な呼び水水路と魚道の水量の調整を導き出すことが出来て遡上環境が大きく改善されたことが確認された。今後は春（5.6月）と秋（10.11月）にケース5（1.0m³/s）の流量に固定して放流することとする。

(1) 遊泳魚

大型魚（サクラマス）の遡上及び小型魚（アユ）の遡上に対して流量調整自体の課題はみられない。

(2) 底生魚。

底生魚の魚道の遡上についても魚道を利用していることが確認出来ているため、流量調整自体の課題はみられないと考えているが、カマキリについては遡上個体数、堰下流の現存量が少なく流量調整の効果が明確には検証出来ていない。

サクラマスの生息環境に配慮した堰の魚道操作は、アユや底生魚の遡上にも影響を与えること無く大堰を管理するものであり、今回の試行結果を反映し、大堰の操作規則・細則の改正を行う予定である。

よって当初の目的を達成したため魚類の調査については一旦終結するものとする。

6. 地域との連携

今回の調査を進めるにあたっては、堰魚道に設置したCCDカメラの映像での遡上数の確認だけではなく、サクラマスの産卵状況及びサクラマスの釣果についてはサクラマスレストレーションの調査結果やフィッシングセンター（釣具店）の釣果報告をよりどころとしている。

なおこの団体と地元の学識経験者、土木研究所、漁業組合に意見交換会として参画してもらい、意見を提言していただき業務を実施した。

サクラマスの産卵状況及び釣果数についてはサクラマスレストレーションの調査結果をもとにしており、学術的検証データを扱っている訳では無い。放流量を調整した結果、サクラマスの遡上数が増えているという目安と

している。（表－5、図－7）

7. おわりに

今回は鳴鹿大堰の呼び水流量の調整や、魚道放流量（ソフト面）の堰操作の運用により大型魚（サクラマス）の遡上を実現させた事例であるが、遡上結果の確認については行政だけの調査は難しく、今回のように地域と連携して実施できれば、河川の利用者（釣り人や漁業組合）も納得出来る結果が導き出せるものと思われる。

今回、サクラマスが良好に遡上することになったが、堰上流域の支川での産卵床に適した礫場が減少しつつ有る。数少ない礫場へ産卵されている卵を、あとから産卵に来たサクラマスが掘り返して卵を除去してしまい、掘り返した礫場へ新たに卵を産卵するという現象がおり、数少ない産卵床の取り合いが発生している。今後は上流の河川管理者との連携が必要である。

表－5 平成28年産卵床目視確認結果
(サクラマスレストレーション 提供)

河川名	産卵床確認箇所数
鳴鹿大堰下流	永平寺川 7箇所
鳴鹿大堰上流	九頭竜川 (鳴鹿大堰～下荒井堰堤) 1箇所
	九頭竜川 (大野市新田付近) 1箇所
	的川 なし
	吉峰川 3箇所
	岩屋川 7箇所
	皿川 11箇所
	野津又川 なし
	滝波川 9箇所
	鹿谷川 なし
	計 32箇所



産卵床aは鳴鹿大堰上流の本川の一部及び支川
産卵床bは鳴鹿大堰下流の本川及び支川(永平寺川)
2016以降はモード5で放流量を固定

図－7 釣獲数、滞留数、産卵床数の推移
(サクラマスレストレーション 提供)

木津川ダム総合管理所における CIMfam- I (管理における CIM) について ～管理の省力化・効率化・高度化を目指して～

相馬 成樹¹・丹羽 賢一²

¹ (独) 水資源機構 木津川ダム総合管理所 高山ダム管理所 (〒619-1421 京都府相楽郡南山城村田山字 ツルギ 4 3)

² (独) 水資源機構 木津川ダム総合管理所 管理課長 (〒518-0413 三重県名張市下比奈知 2811-2)

木津川ダム総合管理所では、布目ダムをモデルとして、ダム管理の省力化・効率化・高度化の実現を目指した CIM システムの設計・構築を実施した。システムの検討にあたり、今回新たにダム維持管理業務の分析・体系化を行い、システムに必要な 4 つの機能を抽出し設計に反映させた。構築したシステムは、通常の CIM と区別し、管理における CIM として、新たに CIMfam- I (Construction Information Modeling for advanced dam management version- I) と名付けた。本報告は、上記ダム管理業務の分析とその結果得られた機能の概要、今後のダム管理の省力化・効率化・高度化の実現に向けた課題の報告を行うものである。

キーワード：CIM、ダム、維持管理、業務改善、効率化、省力化

1. はじめに

ダムが治水・利水・環境保全といった所要の効果・機能を発揮するためには、長期にわたり適切なダム管理が必要である。ダム管理においては、施設の日常点検等の定形業務、防災業務等多岐にわたる業務を少ない人員で対応する必要がある。これらの業務を全て効率的に実施するためには、定形業務の省力化・効率化・高度化を図る必要があると考えられる。木津川ダム総合管理所(以下、「木津総管」という。)では、ダム管理の省力化、効率化、高度化を目指し、ダムの維持管理段階で活用できる CIM の設計・構築を行った。

CIM とは、Construction Information Modeling の略称であり、PC で土木構造物の 3 次元モデルを作りながら設計を進める手法である。単なる CG と異なる点は、3 次元モデルの各部位に、部材や材質、関連情報等の属性情報を付加できる点であり、構造・情報・履歴の見える化がなされ、構造物や埋設物等の設計・施工・維持管理の省力化、効率化、高度化が期待できる。

本来、CIM は計画・施工段階から構築され、設計の可視化や整合性の確保、情報化施工等に活用され

ているが、木津総管ではダムの維持管理段階で活用できる CIM を目指し、主にダム堤体の 3 次元モデル化を行う上で関連データが比較的整理されている布目ダムをモデルダムとしてシステム設計・構築を行った。

本報文は、木津総管で構築したダム維持管理段階で活用できる CIM の機能の概要と、今後のダム管理における省力化・効率化・高度化の実現に向けての課題について報告するものである。

2. ダム維持管理業務の分析

木津総管管内の技術系職員を対象にワークショップを行い、ダム維持管理業務の分析を行った上で、CIM に実装する機能や将来的な可能性についてとりまとめた。

本分析では、管理行為を①流水管理、②日常点検、③堤体観測、④水質管理、⑤貯水池管理、⑥堆砂管理、⑦環境管理、⑧施設台帳管理、⑨障害対応、⑩苦情処理、⑪教育研修・広報、⑫成果報告書管理、⑬臨時点検の 13 項目に大別し、各作業の流れの中で省力化、効率化、高度化を図ることができると考えられるものを抽出し、項目毎に作業の改善案を検討

した。その一例を、管理行為の①流水管理を例として図-1に示す。

図-1に示す流水管理については、データの手入力が手間であるという意見があった。その他の管理行為においては、自動観測データの取得・更新が手間である、設備等を可視化(3次元化)できるとよい、利水者や管理者毎に資料作成様式が異なり資料作成に時間がかかる等の意見があった。これらの意見に対し、データ取得・整理、構造物等の可視化、資料作成等の省力化、効率化、高度化が実現できる改善案及びCIMに実装すべき機能について検討した。

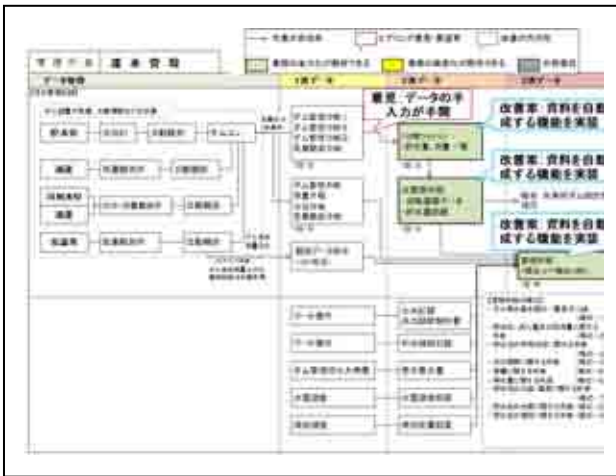


図-1 作業の改善案 (流水管理)

3. 検討結果

(1) 管理における CIM の概念

ダム維持管理業務の分析結果より検討された CIM の概念について図-2に示す。

CIM の特性を踏まえ、管理における CIM には、次の 4 つの機能を期待することとした。

- a) 各種データを一元管理するデータストック機能
- b) 各種施設の 3 次元モデル等による見える化機能
- c) 各種データのリアルタイムモニタリング機能
- d) 各種検索・作業効率化支援機能

以下に、業務分析により期待される、CIM に実装すべき 4 つの機能について説明する。

(2) 各種機能

a) データストック機能

布目ダムにおいては、建設段階及び管理段階における膨大な資料・データがあるが、資料の多くが紙媒体で扱い難く、検索や検索に時間を要する。

これらのデータを CIM に取り込み一元管理することで、大量のデータをストックでき、関連情報等を効率的に管理できる。管理段階のデータは、タブレット、ダムコン、その他各種観測システムからデータストック機能により自動的に蓄積することで、常

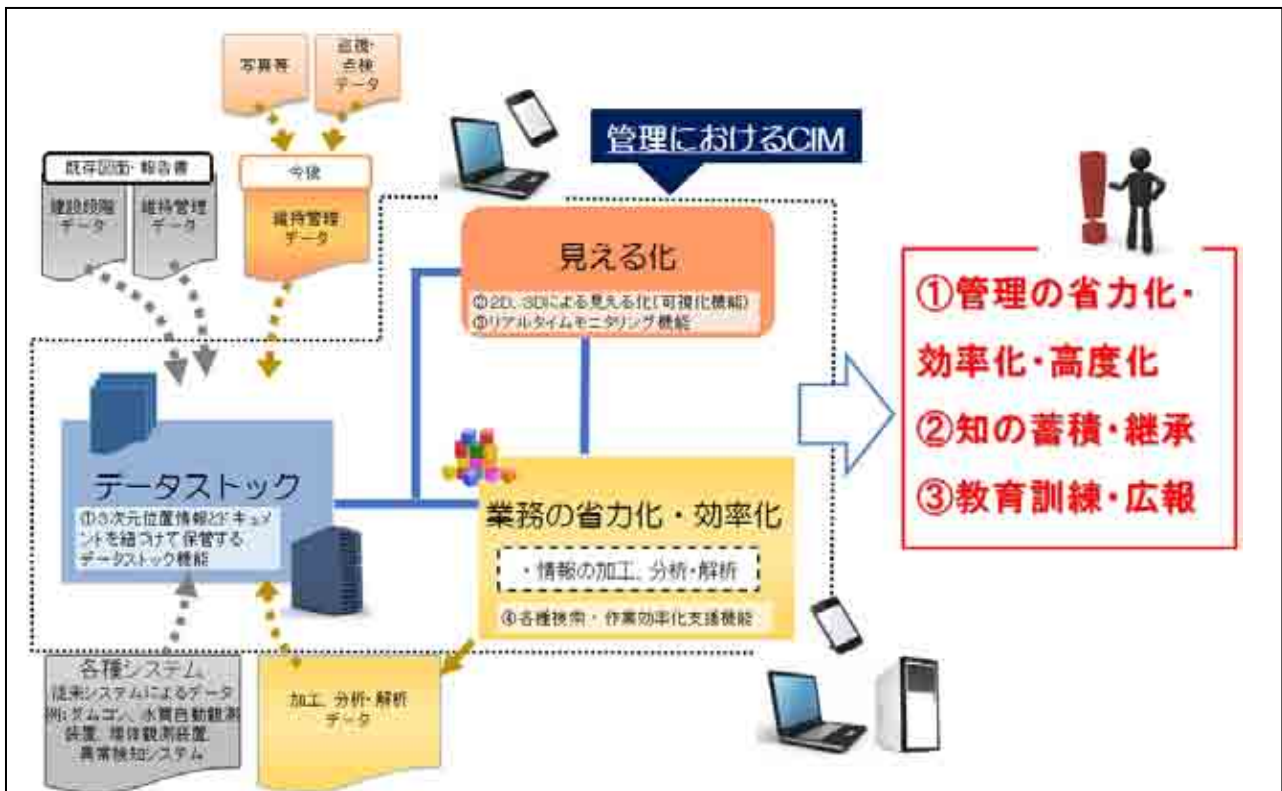


図-2 管理における CIM の概念図

にリアルタイムのデータを一元管理できる。

なお、データの蓄積に際し、十分なセキュリティ対策、タブレットや各種観測システムから観測データ等を自動送信するためのプログラム改造が必要である。上記の課題については、随時実施する予定である。

b) 見える化機能

ダム堤体、付属施設、貯水池等はこれまで 2 次元 CAD データとして電子化されているが、3 次元構造について 2 次元では把握し難く、情報の理解に時間を要する。

3 次元モデルを作成し構造物等の見える化を図ることで、構造物等の情報を視覚的に理解することができる。3 次元モデルはあらゆる角度から構造物を確認でき、詳細な構造を把握できるため、例えば設備のトラブルや異常が発見された場合に、3 次元モデルにより専門職以外の職員への情報共有などで活用できると考えられる。その他、広報や職員の教育、モデルにリンクされた関連情報の把握等に活用することができ、構造物の特徴を簡単に理解することができる。

なお、構築するモデルによっては 2 次元表示する場合があるが、視覚的・感覚的に操作し易く、理解し易いシステムとすることに留意した。表-1 にモデル化の概要、図-3 に 3 次元モデルの一例を示す。

c) リアルタイムモニタリング機能

現在、各種観測システムのデータ（ダム諸量、水質、堤体情報等）は観測システム毎に蓄積され、統合運用されておらずデータ収集・確認に時間を要する。

各観測データを CIM に自動送信・蓄積することで一元管理し、リアルタイムで各観測データを一元的にモニタリングできるとともに、蓄積された各種データ間の関係性（外気温と堤体変位量、貯水位と漏水量等）をグラフ処理することで、現状を容易に確認できる。当機能により、各観測データ収集の手間が省け、各種データ間の関係性を把握することが可能であり、作業の省力化、効率化、高度化を図ることができる。また、タブレットと CIM が連動できれば、施設点検時等にタブレットを利用して点検記録をしたり、過去データとの比較による異常発見等に活用できると考えている。

なお、現在は各観測システム等からデータを自動送信できる環境の整備を行っている段階である。各種システムからの自動送信・蓄積が可能となれば、CIM へのアクセス権限がある全クライアントからモニタリングが可能となる。リアルタイムモニタリング機能のイメージについて図-4、図-5 に示す。

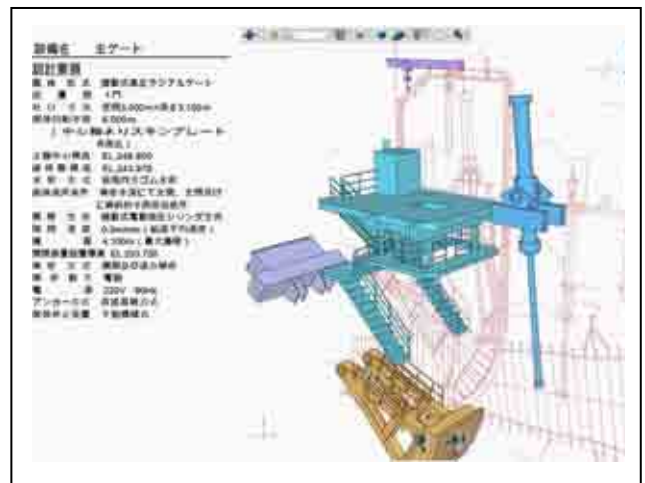


図-3 3次元モデル（ソフト：3DPDF）

表-1 モデル化の概要

項目	ソフトウェア名	概要	使用場面	適用データ
3DPDF	Adobe Acrobat Reader DC	位置情報のない 3D データ	・構造物・設備、部品の表示 ・部品名称と色分け表示 ・属性情報を機構職員自ら追加可能	ダム堤体以外の 3D モデル ※大容量データは表示不可
3D モデルビューワー	Navisworks freedom 2014	位置情報を持った 3D データ	・ダム堤体から貯水池周辺及び堆砂の表示 ・施設・設備を統合的に表示 ・諸元の表示や関連情報（データストック機能）へのリンク	ダム堤体～貯水池周辺の 3D モデル ※大容量データを表示可能
2DGIS	IE11（※ブラウザ表示）	位置情報を持ったデータ	・流域全体の表示 ・データストック機能へのリンク	貯水池周辺、上下流域の管理区域内の施設位置

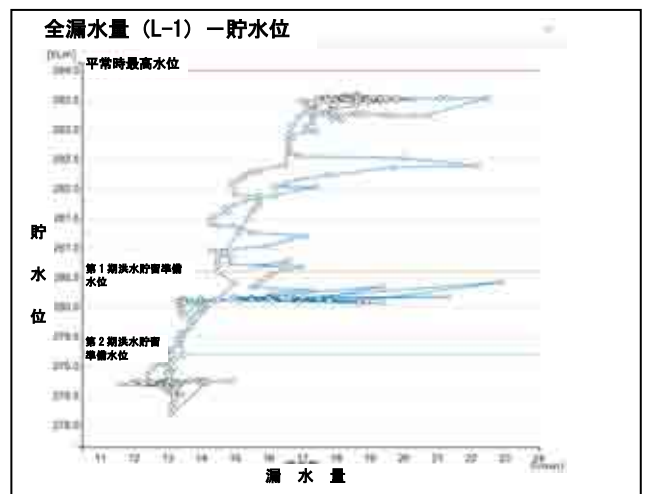


図-4 貯水位と漏水量の関係を示すグラフ

（縦軸：貯水位、横軸：漏水量）

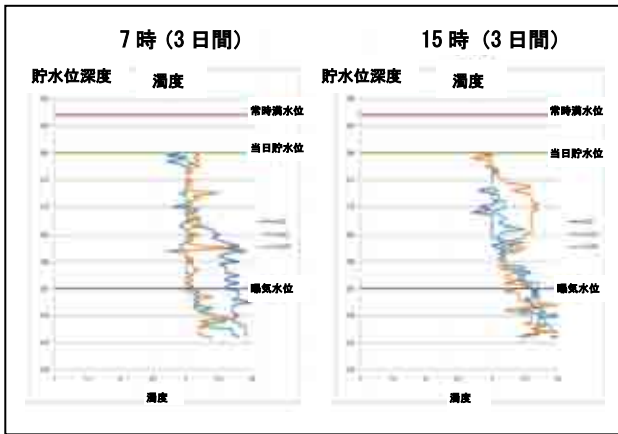


図-5 深度別の水質を示すグラフ

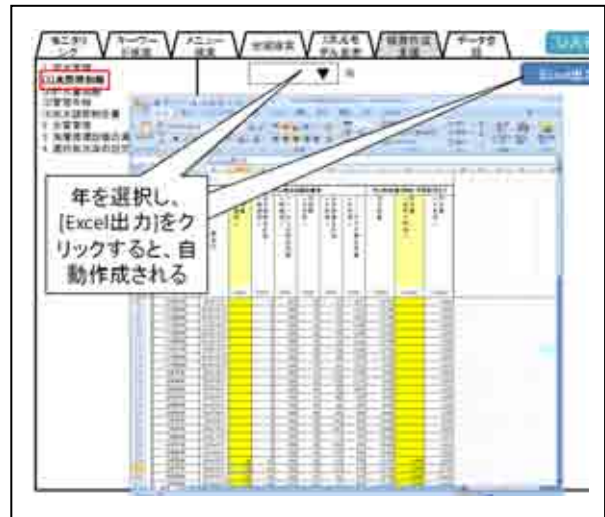


図-6 定型資料等自動作成（水管理旬報）

d) 各種検索・作業効率化支援機能

ダム管理においては、日報・月報・年報や定型帳票等を作成するために、作業手順に則りデータ取得・整理・加工・統合まで手作業で実施したり、各種データ等の検索に作業労力がかかる。

データストック機能により自動送信・蓄積した観測データを用いて、事前に登録した定型様式の帳票等を自動作成したり、容易に情報検索をすることができ、業務の省力化、効率化を図ることができる。各種検索機能においては、キーワード、各種施設の位置、各管理行為の項目名等からの情報検索（キーワード検索、地図検索、施設メニュー検索）が可能であり、各種施設、各管理行為等に関連付けされた資料について容易に検索することができる。

なお、関連データについては機構職員自ら CIM に追加登録が可能であり、システム構築後においても検索可能な情報を保存することができる。定型帳票等自動作成の一例を図-6に、検索の一例を図-7に示す。

4. CIMfam-I

今回布目ダムにおいて構築した CIM は CIMfam-I (Construction Information Modeling for advanced dam management version. 1) と名づけた。CIMfam-I は、設計・建設・管理段階における土木構造物や観測データ等の情報を一元管理し、土木構造物の施工情報・使用材料・点検履歴等の属性情報や、位置情報の把握等が可能であり、今後のダム維持管理における省力化、効率化、高度化を図ることができる手法である。



図-7 検索機能（地図検索）

5. 今後の課題

CIMfam-I の構築にあたり、今後解決すべき課題は以下のとおりである。

- (1) 現在は CIMfam-I と各種観測システムが接続されておらず、自動観測によるデータが自動送信・蓄積されていないことから、今後データを自動送信・蓄積できるようプログラム改造等を進める。
- (2) CIMfam-I と各種観測システムを接続する際、十分なセキュリティー対策を講じる必要がある。
- (3) ダム管理上必要な資料・データについては、全て CIMfam-I に保存しておく必要がある。必要な資料・データには過去の点検記録・打合せメモ等担当者間で引き継ぐべき資料・データが含まれており、CIMfam-I に確実に保存しておかなければ、後任者が過去の問題等を把握できない危険性がある。また、閲覧したい資料・データが CIMfam-I に保存されていない場合、保管場所から当該資料・データを探す

手間がかかるため、資料・データの検索や検索に関して余計な労力がかかってしまうことが想定される。以上のことから、ダム管理上必要な資料・データは全てCIMfam-Iに保存していくことが望ましいと考えられる。なお、関連データを保存する際には、データ毎に検索キーワードを属性情報として登録する必要があるが、効率的に関連データを検索できるよう、属性情報の命名ルールを決めておく必要がある。

(4) 作業効率化支援機能の導入により、機構職員の技術力低下が懸念される。これまで、各帳票等は観測データを手入力して作成するためその都度データの確認、理解ができた。各帳票等が自動作成でき、作業の省力化、効率化を図ることができる反面、デ

ータの確認、理解が疎かになる可能性がある。これに対しては、リアルタイムモニタリング機能により現状を把握し、課題に対する問題意識を持つことで、機構職員の技術力向上を図ることができると考えられる。

今年度以降、布目ダムにてCIMfam-Iを試験運用するとともに、上記課題を解決し、実用性を向上させる機能等を適宜追加する予定である。また、ダム維持管理業務の省力化、効率化、高度化による業務改善や管理負担軽減等の効果を検証・評価する予定である。さらに、他ダムへの水平展開（導入提案）に向けたシステム設計のノウハウ・仕様等のとりまとめを行う予定である。

河川管理全般での活用をめざした福井河川国道事務所版C I Mガイドライン（案）について

渡邊 俊夫¹・山本一浩²

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 総括保全対策官 (〒918-8015 福井市花堂南 2-14-7)

²近畿地方整備局 福井河川国道事務所 河川管理第一課 (〒918-8015 福井市花堂南 2-14-7)

A L B (Airborne Laser Bathymetry) (航空レーザ測深) など得た 3 次元点群データと堤防法線の座標データ (属性情報) を組み合わせて構築した河道モデルを C I M に取り入れ、河川管理の全段階に活用する取り組みを進めている。現行の「C I M 導入ガイドライン (案) 第 3 編 河川編 (H29.3) (国土交通省 C I M 導入推進委員会)」に記載されている、調査、設計段階の堤防・構造物モデルにこの河道モデルを加えることにより、汎用性のある河川管理全般の広範囲に活用できるガイドラインを作成した。これを福井河川国道事務所版 C I M 導入ガイドライン (案) として示すものである。

キーワード 河道モデル C I M 導入ガイドライン (案) 河川管理 (マネジメント)

1. はじめに

福井河川国道事務所では、A L B (Airborne Laser Bathymetry) (航空レーザ測深、「以下、A L B という。」) など得た 3 次元点群データと堤防法線の座標データ (属性情報) を組み合わせて構築した河道モデルを C I M に取り入れた。

これを福井河川国道事務所では、福井河川国道事務所版 C I M モデル、(以下、福井 C I M モデルという。) として位置づけ、河川管理の全段階に活用する取り組みを進めている。

C I M モデル作成のガイドラインとして、C I M 導入ガイドライン (案) 第 3 編 河川編 (H29.3) (国土交通省 C I M 導入推進委員会) (以下、C I M 導入ガイドラインという。) が出されているが、記載されている調査、設計段階の堤防・構造物モデルにこの河道モデルを加えることにより、計画段階の検討ができる。これを福井河川国道事務所版 C I M ガイドライン (案)、(以下、福井 C I M ガイドラインという。) として、より河川管理全般に活用できるガイドラインを作成した。

C I M 導入ガイドラインの設計、施工段階中心の活用から調査、計画、維持管理段階へも活用範囲が広がる C I M モデルとなることを期待して、福井 C I M ガイドラインを示すものである。

いて、A L B など得た 3 次元点群データ (地形モデル) と、堤防法線の座標データ (属性情報) を組み合わせて構築した河道モデルを福井 C I M モデルとしている。

地形モデルとは、A L B (図-1) による 3 次元点群データからノイズ除去を行って作成したオリジナルデータ、さらに建物・建築物、樹木・植生の高さも除去するフィルタリングを行ったグランドデータにより現況地形を 3 次元データで表現するもので河川区域内の現況地形 (堤防、低水路、高水敷、堤防法線) も対象に作成した C I M モデルである (図-2)。



図-1 ALBによる測深イメージ

2. 福井河川国道事務所版C I Mモデルの概要

(1) 概要

九頭竜川 18.0~29.0k (約 11km) の河川区域にお

使用データの概要は以下のとおり。

○使用データ：A L Bによる点群データ

□航空機：ヘリコプター

□グリーンレーザ：ライカ社 Chiroptera II (80g)



■ : 現況地形 ■ : 堤防 ■ : 低水路内掘削範囲

図-2 地形モデル

- 計測密度：陸域 45 点/m²，水域 3 点/m²（再掲）
- 精度：標準偏差は，陸域：0.2m 未満，水域：0.1m 未満
- メッシュサイズ＜詳細度＞
 - 0.5m＜詳細度 300 に概ね対応
- 単位系
 - m 単位
- 使用ソフト
 - AutoCAD Civil 3D 2018 (AUTODESK) 【モデル作成（施工図変換）】
 - ReCap (AUTODESK) 【モデル作成（レーザシュキャン及びA L B航空写真からの変換）】
 - AutoCAD (AUTODESK) 【モデル作成（3D）作成】
 - Autodesk Navisworks 2018 (AUTODESK) 【モデル表示（モデル統合）】

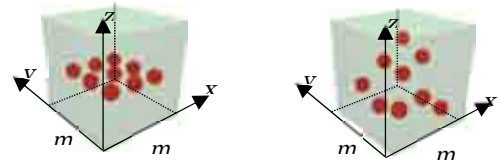
属性情報とは、地形モデルに堤防法線の座標データを付与するものである。堤防法線は、距離標毎に設定されている堤防形状の基本となる計画堤防断面と関連づけ、堤防設計や許可工作物の協議等に使用される重要な情報である。以下に、属性情報である堤防法線データの作成および河道モデルの設定方法を説明する。なお、堤防法線は現況堤防の川表側法肩を堤防法線とする。

(2) 点群データ分散値を用いた堤防法線データの作成と河道モデルの設定

既に完成している堤防法線に関しては、現況堤防の法肩を堤防法線とし、河川管理基図との整合を図ることとした。この方法を以下に説明する。

堤防法肩は堤防天端から法面に变化する場所であり、レーザ計測における点群データのバラツキにより判断する。図-3 のように、天端のような平坦な場所では点群のバラツキが小さく、法面のように勾配が变化する箇所では点群のバラツキが大きい。このバラツキを定量的に把握するため、今回はあるメッシュサイズの中にある点群データの分散値を利用した堤防法線の抽出を試みた。図-4 の「白」または「水

色」部から「ピンク」に変化する境界を堤防法線として抽出する(図-4(a))。抽出したラインから曲率を持たせた円弧と直線で平面線形を設定する(図-4(b))。平面線形には高さ情報がないため、距離標にある計画堤防高により縦断線形を設定する(図-5)。



バラツキが小さい = 堤防天端 バラツキが大きい = 法面・擁壁

図-3 分散解析のイメージ

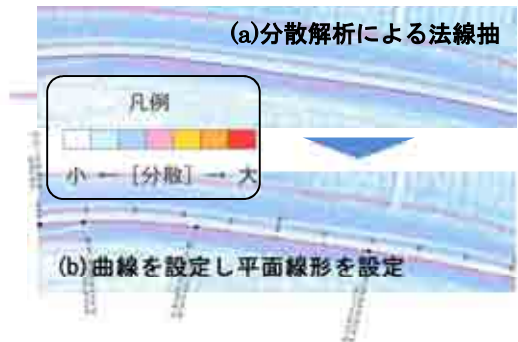


図-4 平面線形の設定

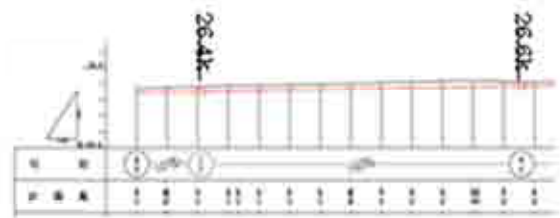


図-5 縦断線形の設定

完成していない箇所の堤防法線については、前述と同様に、河川管理基図の平面線形に高さ情報を付与し3D堤防法線とする。

以上の作業を対象区間の左右岸で行うことで、属性情報を持つ堤防法線データができる(図-6)。

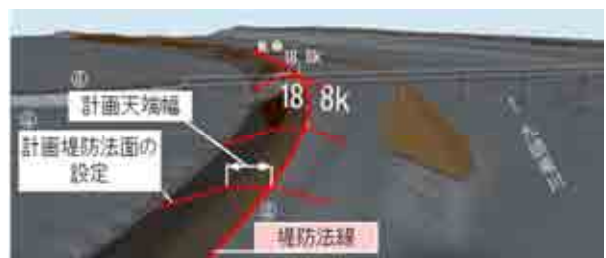


図-6 属性情報を持つ堤防法線データ

作成した3D堤防法線と、3DCADにより点群データを付与することで、これらから河川区域全体の水域を含む現況地形（堤防、低水路、高水敷、堤防法線）の3次元点群データの座標を位置づけ、加えて、河川計画緒元（左右岸計画堤防緒元、堤防計画高、HWL等）を含めたモデルを作ることで、河道モデルが完成する。（図-7）



図-7 河道モデル

(3) 福井河川国道事務所版CIMモデルの概念

河道モデル（CIMモデル）を作ることで、計画堤防、高水敷、低水路等、現況地形表現が座標を持つ。これにより、現在CIM導入ガイドラインに記載されている堤防・構造物モデルの調査、設計、施工、に加えて、計画、維持管理の概念を入れて、河川管理（マネージメント）の全段階において、CIMモデルを活用することを福井CIMモデルの概念としている（図-8）。



図-8 福井河川国道事務所版CIMモデルの概念

2. CIM導入ガイドライン（案）(H29.3) との比較

平成29年3月にCIM導入ガイドラインが策定された。このうち、第3編 河川編にこの福井CIMモデルを当てはめた場合の追加項目を考察した。項目内容としては、適応範囲、モデル詳細度、CIMの効果的な活用方法、調査（事業計画）、設計段階、CIMモデルの作成、河道モデルの作成指針、維持管理、維持管理段階での活用、河道モデルの河道管理への適用となる。

(1) 適応範囲

CIM導入ガイドラインでは、調査、設計主体での活用を考慮しており、「河川堤防及び構造物（樋門・樋管等）を対象に調査・設計段階で堤防・構造物モデルを作成すること、作成された堤防・構造物モデルを施工時に活用すること、更には調査・設計・施工の堤防・構造物モデルを維持管理に活用する際には適用すること」が記述されている。河道モデルの要素を加えるとこれに、計画の要素が加わり「更には河川区域全体を対象に調査・計画・設計段階で河道モデルを作成し、作成された河道モデルを施工及び維持管理に活用する際に適用する.」という表現を加えるCIMモデルの作成の流れとなる（図-9）。

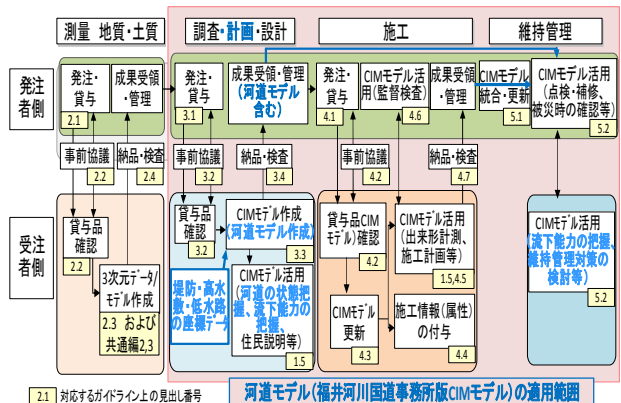
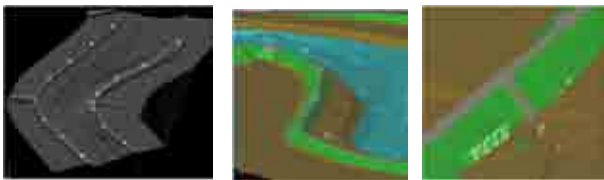


図-9 CIMモデルの作成の流れ

(2) モデル詳細度

CIMモデルをどこまで詳細に作成するかを示すもので、各々作り手によって、精度（見えるきめ細かさ）が異ならないように設定するものである。CIM導入ガイドラインでは、以下詳細度の定義がされているが、福井CIMモデルでは、具体的なメッシュサイズを当てはめて、解り易くした。実際の活用にあたっては、どの詳細度、メッシュサイズで活用する目的に合わせて吟味して使用する。

- 詳細度 100（メッシュサイズ5m程度）
対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。（図-10a）
- 詳細度 200（メッシュサイズ2m程度）
対象の構造形式が分かる程度のモデル。標準横断で切土・盛土を表現、又は各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスイープさせて作成する程度の表現（図-10b）。
- 詳細度 300（メッシュサイズ0.2m～0.5m程度）
附帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデル。（図-10c）
- 詳細度 400（メッシュサイズ0.1m程度）
詳細度300に加えて、附帯工、接続構造などの細部構造及び配筋も含めて、正確にモデル化する。



詳細度 100

詳細度 200

詳細度 300

図-10a

図-10b

図-10c

※詳細度 400 メッシュサイズは 0.1 m 程度であるが、今回、陸上部でこの精度の測量データは取っていない。

(3) CIMの効果的な活用方法

CIM導入ガイドラインでは河川堤防及び構造物（樋門・樋管等）の設計段階、施工段階の活用事例が記述されている。たとえば、調査・設計段階の内容が主体であるため、

■活用方法① 設計時の仕上がりイメージ確認と記されている。

福井CIMモデルで河道モデルの項目が加わることで、計画段階における以下の活用方法が加わることが考えられる。

■活用方法① 河道計画諸元の確認

■活用方法② 堤防の状態把握

■活用方法③ 河道の現状把握

（みお筋、砂州、瀬淵、河岸侵食、樹木分布等）

■活用方法④ 流下能力の把握

■活用方法⑤ 河道の時系列変化把握

具体的な活用内容は、4. CIMの効果的な活用方法で後述する。

(4) 調査（事業計画）・設計段階

CIM導入ガイドラインでは、「3. 調査・設計」として、河川堤防及び構造物（樋門・樋管等）を対象にしたモデルを作成し、そのモデルを設計段階、施工段階へ活用することを中心に記述されている。

結果的に、調査、計画、維持管理段階の記述が少ない。福井CIMモデルでは「3. 調査・設計」に計画の要素を加えることで、河道の状態把握、流況解析、計画立案も行うことができるCIMモデルの作成指針を追記した。

具体的には以下の下線部分となる。

3. 調査・計画・設計

調査（事業計画）、計画、設計段階では、前工程で得られた成果を活用し、河川の状態把握、分析、計画の成果、河川堤防及び構造物の設計成果としてCIMモデルを作成する。

(5) CIMモデルの作成（堤防法線データの付与）

CIM導入ガイドラインでは河川堤防CIMモデル作成指針の中で、「堤防線形を表現可能なモデルでの作成または線形情報を別途モデル化することが望ましい」とされている。

福井CIMモデルの作成手順をあてはめると、以

下の表現が加わる。

「現況地形（陸域・水域）の測量データを用いて作成した地形モデルに、堤防法線の座標データ等の属性を付与、あるいは堤防法線の線形モデルを関連付けたモデルを河道モデルとする。

具体的には、レーザ測量等で得られた点群データによる地形モデルに対し、堤防法線座標データ等の属性を付与し LandXML 形式で納品することとする。

なお、地形モデル作成においては、必要に応じてALB、音響測深等の測量手法により水域の河床数値標高が把握できる点群データを適用する。」

福井CIMガイドライン本文で言えば、以下河道モデルの基本的な考え方の項目が無いため、福井CIMモデル作成対象として以下の考え方を追加する。

作成するCIMモデルは、河川区域全体の水域を含む現況地形、定規断面の堤防法線を対象とする。

加えて、河川計画諸元（計画堤防諸元、堤防計画高、HWL等）等、設計に関わる基本的な重要条件は明記するものとする。

【解説】

調査、計画段階においては、堤防、低水路、高水敷の状態把握、状態把握を踏まえた分析、計画を目的に、ALB等による点群データ（地形モデル）と堤防法線の座標データを組み合わせてCIMモデル（河道モデル）を作成する。

(6) 河道モデルの作成指針(LP計測におけるフィルタリング)

CIM導入ガイドラインでは、レーザ測量による点群データからノイズを除去することにより作成したオリジナルデータから、建物、植生等を除去（フィルタリング）し作成したグランドデータを地形モデルとされている。

福井CIMモデルでは、オリジナルデータによる建物、植生等の数値標高、あるいはオリジナルデータとグランドデータの差分から建物、植生等の高さとして分離して利用する。

具体的な表記としては、以下となる。

なお、オリジナルデータによる建物、植生等の数値標高、あるいはオリジナルデータとグランドデータの差分から建物、植生等の高さとして分離し、必要に応じて利用する。

(7) 維持管理（維持管理段階の修正）

CIM導入ガイドラインでは、維持管理段階のモデルとして、測量、地質・土質、調査・設計、施工の各モデルを統合した維持管理モデルを作成し、維持管理に活用することが記述されている。

福井CIMモデルでは、「調査・計画・設計」で作成した河道モデルに維持管理において必要な情報を属性として付与することにより、維持管理段階に活用する。

よって、福井CIMガイドラインでは、以下下線の部分が追加となる。

発注者は、工事完了に当たり、設計業務や複数工事（土堤工事、護岸工事、樋門・樋管工事等）で納品されたC I Mモデルを管理区分（範囲）で統合の上、共有サーバ等に格納し、維持管理段階で事務所・出張所職員等が共有・活用できるようにすることが望ましい。

また、必要に応じて、維持管理での使用用途に応じC I Mモデルを更新することが望ましい。なお、設計・施工で作成したC I Mモデルについても、災害対応や施設更新時に必要となることから、あわせて保管、共有できるようにすることが望ましい。

なお、維持管理段階では各河川の距離標で対象位置を確認している。C I Mモデルを活用する場合でも、この距離標をC I Mモデル上に表現すると共に属性として付与することが望ましい。

河道モデルの場合は、地形モデルと堤防法線座標を組み合わせたモデルであり、計画諸元や堤防法線座標を基準として各種変状の把握や対応策の検討が可能であるため、河川管理の各段階で更新された最新の河道モデルがそのまま維持管理に適用可能である。

(8) 維持管理段階での活用

C I M導入ガイドラインでは、資料検索の効率化、劣化・損傷原因の究明と対策工選定の適切な判断等、河川構造物の維持管理に関する活用事例が多い。福井C I Mガイドラインでは、河道の状態把握（点検、監視）、分析、対策検討に関する活用事例を追加した。

以下の項目が追加となる。

【河道の状態把握】

【堤防の点検（その1）】

堤防天端、堤防断面の面的な変状の把握（距離標間の形状把握）

【堤防の点検（その2）】

堤防法面の面的な変状の把握（距離標間の形状把握）

【河岸侵食対策】

【橋脚等と周辺の洗掘状況把握】

【流下能力の詳細把握】

(9) 河道モデルの河道管理への適用

C I M導入ガイドラインでは河道モデルの河道管理への適用する表現がないため具体的に以下本文を追加する。

「河道モデルの河道管理への適用」

河道モデルは、水域を含めた3次元地形モデルと堤防法線座標を組合せたモデルであり、3次元地形と河道計画諸元の位置関係を明確にしているため、河道管理に適用可能である。

4. C I Mの効果的な活用方法

C I M導入ガイドラインでは、レーザースキャナー、A L B、音響測深等によって得た3次元地形デ

ータと設計・施工時の3次元モデルを重ねることで、課題点の抽出や対応策を講じることが可能となり、維持管理の高度化に寄与するとされている。

例として、以下2つを挙げる。

例①堤防の高さが合わない箇所や法面が連続していない箇所があることが判明(図-11a)。

例②樋門の座標値に誤りがあったため、堤防に対して樋門の位置が川側に突出していることが判明。(図-11b)



図-11a 堤防不具合



図-11b 樋門不具合

ここに、福井C I Mガイドラインとして、河道モデルを加えることにより、任意地点における計画諸元の確認、定規断面と現況地形との比較、河道の状態把握や分析、それを踏まえた対応策の検討が可能となり、新たな活用事例を加えることができる。以下、事例をいくつか示す。

例③【堤防天端、堤防断面の面的な変状の把握（距離標間の形状把握）】

堤防法線、縦断諸元、堤防断面を3DCADに反映し、堤防部の計画を任意な位置で確認する。

上記に加えてA L Bデータに3DCADと重ね合わせ、整備状況や堤防断面や堤防高不足箇所の確認に活用する。

距離標間の任意の位置において現況河道との重ね合わせにより、堤防断面や堤防高不足箇所を把握可能であり、河道計画における堤防整備や重要水防箇所の選定などへの活用が可能となる(図-12)。

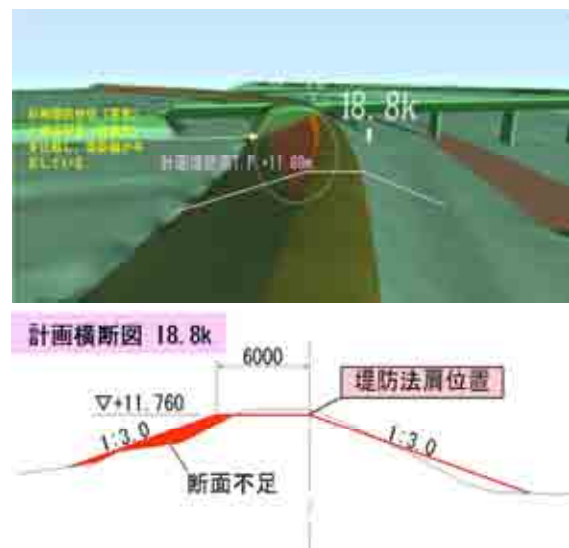


図-12 堤防断面の面的な断面不足

例④【流下能力の詳細把握】

通常の河道管理において、流下能力は距離標毎に算定し、距離標毎(200m 間隔)に治水安全度を評価しているが、距離標間を分割した密な断面毎に流下能力を算定することにより、詳細な流下能力の把握ができる。

(例えば 20m 間隔)が可能となり、より実態に近い流下能力を把握できる(図-13)。

詳細な治水安全度の把握により見落とし等による被害が防止され、治水対策の強化、実質的な治水安全度の向上につながる。

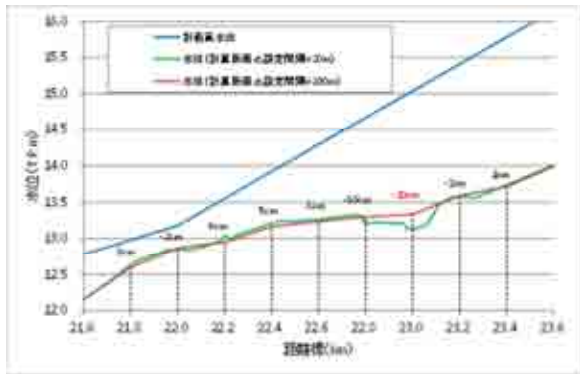


図-13 実態に近い流下能力を把握

例⑤【河道の状態把握】

河道のみお筋、砂州、瀬淵、を把握し、河道の特徴を判読するとともに、過去のLP測量データや定期測量データと比較することにより河道の経年変化を整理し、局所洗掘や樹木繁茂の進行状況や砂州・瀬淵等の微地形の変化を把握する。

3次元モデルにより、治水上の安全性確保や河川環境の保全対策立案の効率化、精度向上が期待できる(図-14)。

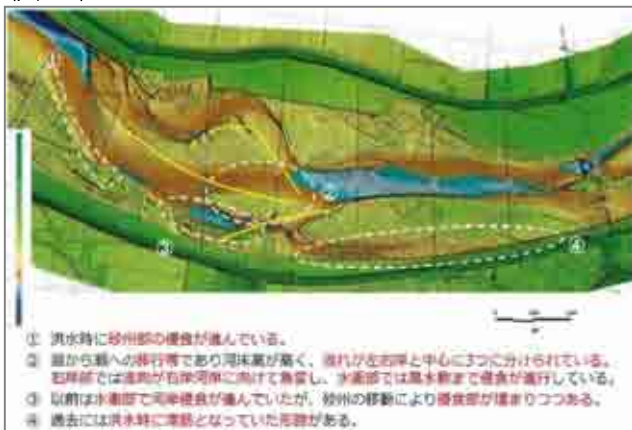


図-14 河道の状態把握

例⑥【河道の時系列変化把握】

複数時点のレーザ測量により得られた現況地形を重ね合わせることで、経時的な量的変化による

樹木の生長速度等を分析し伐採計画を立案するなど、維持管理対策に役立つ。(図-15)

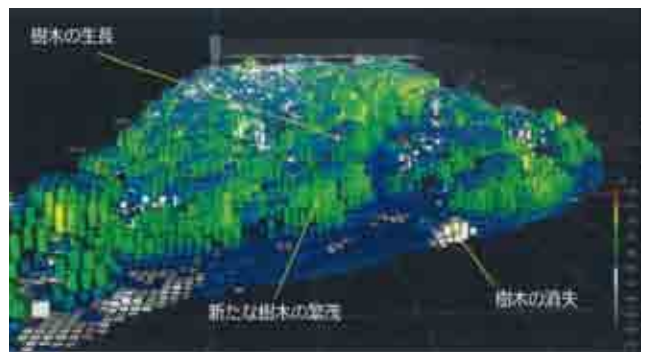


図-15 経時的な量的変化による樹木の生長速度等の分析

5. おわりに

CIM導入ガイドラインで河川編については、「河川堤防及び構造物(樋門・樋管等)を対象に調査・設計段階で堤防・構造物モデルを作成すること、作成された堤防・構造物モデルを施工時に活用すること」になっており、調査、設計主体での活用が考えられている。今回、福井河川国道事務所版CIMモデルで作成した河道モデルをCIMに取り入れることにより、計画、維持管理の概念をガイドラインに加え、河川管理のマネジメントを行う上での汎用性の広がりや、活用事例を示させていただいた。

ただし、これを進めていくには3次元点群データの測量での計画的取得が必要で、福井においては、全管理区間の3次元データ測量採取にはまだ至っていない。また、これら3次元データからの河道モデルへの変換ソフトも種類が少なく、多種の目的に対する効率のよい変換ソフトの開発が望まれる。

CIM導入ガイドラインはここ数年にわたって提言されたもので、毎年新しい項目が加わってくると予測される。この福井CIMガイドラインの事例が今後、CIMモデルの活用の発展に役立ち、河川マネジメントの高度化や生産性向上に生かされることを望むものである。

謝辞: なお、本報告の作成にあたり、土木研究所水環境研究グループ 中村圭吾 上席研究員(前福井河川国道事務所長)からも指導いただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) CIM導入ガイドライン(案)(H29.3)(国土交通省CIM導入推進委員会)
- 2) CIMに関する用語集(H25.4, CIM技術検討会)
- 3) 産学官CIM検討会 千曲川河川事務所資料(H26.12)
- 4) 河川縦横断測量におけるALBの活用について(平成29年度近畿地方整備局研究発表論文集【新技術・新工法部門】)(H29.7)

UAVと3Dレーザースキャナを組み合わせた 道路舗装の維持管理手法の提案

鍋島 康之¹・森 誉光²

¹明石工業高等専門学校 都市システム工学科 (〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡679-3)

²(株)エムアールサポート (〒616-8372 京都市右京区嵯峨天龍寺広道町7-9) .

道路舗装の維持管理にかかる人力ならびに費用は膨大である。省力化，コスト削減の観点から道路舗装の維持管理業務を効率化する技術として，UAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人機）とTLS（Terrestrial Laser Scanner：地上型3Dレーザースキャナ）を用いた道路舗装の維持管理手法を提案する。TLSは非常に高精度の点群データとして道路舗装の凹凸を短時間で計測することができるが，高分解能の画像データを取得することが困難である。一方で，UAVには高分解能のカメラを搭載して上空から舗装面の画像を入手することが可能である。そこでUAVにより取得した道路舗装の空中写真を点群データと重ね合わせることにより，詳細な道路舗装面の情報が得られる。この手法を用いることにより，道路舗装面の凹凸ならびにひび割れ等の路面状況を詳細に把握することができ，維持管理の効率化を図る。

キーワード UAV, TLS, 道路舗装, 維持管理

1. はじめに

土工では測量・設計から，施工，管理に至る全プロセスにおいて，ICT技術の全面的な導入を目指した新基準（i-Construction）が進んでいる。まずUAVによる三次元測量を行い，設計・施工計画には三次元測量データを活用し，施工・施工管理では設計図面と比較して，その差分を施工量として自動的に算出，それをもとに作成された設計データをICT 建機を自動制御し，最終的な出来形についてもUAVによる測量を活用する。さらに検査だけでなく，維持管理・更新までの全てのプロセスにおいてICT技術を導入することを目指している。

道路の維持管理においてはICT技術の導入が進められており，市販のビデオカメラやスマートフォン，加速度センサー，ドライブレコーダー等を搭載した点検車両で道路を走行することにより，道路状況の情報を収集することができ，収集した情報の解析により，路面性状の把握と正確な位置の特定を行う技術¹⁾が開発されており，道路パトロールにより収集されるデータをもとに道路舗装の簡易的な点検手法ができる。

今回の報告ではTLSで道路舗装面について高精度の点群データを採取し，UAVにより取得した道路舗装の空中写真を点群データと重ね合わせることにより，詳細な道路舗装面の情報が得られたので，本手法の維持管理への適用性について検討した。

2. UAVとTLSの組み合わせ

(1) UAVによる測量

写真-1は本研究で使用したUAVを示している。交通量が多い道路ではUAVを同一地点で一時的に待機させて複数枚の写真を撮影する。交通量が多い場合，撮影した写真には走行している多数の車両が写っていることがあり，路面の状況を把握するためには走行車両によって欠落する箇所が無いように写真を撮得することが重要である。



写真-1 使用した UAV (DJI Inspire 1 Pro)

次に，UAVで連続写真を撮影し，写真解析によって被写体を点群化する。UAVで連続撮影された写真をもとに三次元形状を復元する方法として SfM (Structure from Motion) 解析がある。この解析方法を用いて被写体の位置情報を解析する。しかしながら，SfM解析の課題とし

て、被写体のXY座標を高精度にすると、Z座標が低精度になることである。一般にUAVの自動操縦プログラムは単純に指定された範囲を巡回してその間に等間隔で写真を撮影するだけである。この方法は、走行車両が少ない場合には有効であるが、走行車両や停車車両が多い場合には必要な情報を取得できない可能性があり、問題がある。図-1は道路直上からUAV直下のみを撮影した場合で、自動操縦のみの場合である。この場合の写真をもとにSfM (Structure from motion) を用いて三次元に再現した画像が図-2である。この画像では、街路樹下部などで画像が欠落している。このため、自動操縦に加えて図-3に示すように停車車両が移動するまで待機させ、街路樹の下も狙って撮影を行った写真をSfMで三次元化した画像が図-4である。明らかに街路樹下の路面が改善されている。上記のように、自動操縦による道路直上からのみの撮影では交通量の多い市街地では撮影画像に欠損箇所が生じることがあり、路面状況を正確に把握することができない。このため、正確な路面状況を把握するためには、手動操作による斜め方向からの撮影や停車車両が移動した後の撮影が欠かせない。

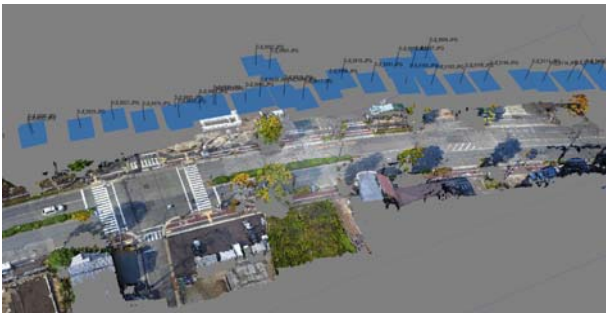


図-1 自動操縦のUAVによる写真撮影



図-2 自動操縦の写真から作成した三次元画像

さらに、マスク機能²⁾を使用すれば作業は大幅に改善できる。走行車両が少ない場合にはPhoto Scan等のソフトでは走行車両をノイズとして自動削除する機能があるが、駐・停車車両がある場合や渋滞等で走行速度が遅い場合には自動削除することができず、マスク処理が必要となり、作業効率が落ちる。今回も駐・停車車両の除去にマスク処理を行っている。



図-3 手動操縦のUAVによる写真撮影



図-4 手動操縦の写真から作成した三次元画像

(2) TLSによる位置情報の取得

TLSはスキャナーから照射されたレーザーによって、対象物の空間位置座標を取得する計測器で、離れた位置から非接触、ノンプリズムで大量点群データを取得するのが特徴である。従来のトータルステーションによる測量と比較して、短時間に大量の点群座標を取得することができる。TSLは短距離から長距離間瀬の幅広い距離レンジで測量が可能で、しかも水平360°、鉛直270°のフルドームでのスキャンができる。その反面、TSLには色彩情報取得センサ(内蔵デジタルカメラ)が搭載されているが、図-5に示すような非常に低画質の画像しか取得できない上に、道路舗装面を撮影する際には不適切なカメラアングルになる。



図-5 TLSに搭載されているカメラの画像

図-6はTSLで計測した点群データに内蔵カメラの画像をもとに作成した画像である。区画線等の視覚要素が不明瞭で様々なノイズを含んだ画像であり、道路舗装面のデータとしては適用できない。また、TSLは夜間でも点群データを取得することは可能であるが、夜間撮影の画像は低解像度のため使用できないという問題がある。



図-6 TLSの画像から作成した路面状況



図-9 UAVとTSLを組み合わせたハイブリッドデータ

(3) UAVとTLSの組み合わせ

前節で述べたように、TSLの色彩情報取得センサが非常に低解像度であるため、高精度な空間位置情報のみを取得することに利用し、道路舗装面の画像情報はUAVで取得することにして、両方を組み合わせて道路舗装面の三次元データを構築することにした。図-7はUAVで取得した画像をもとに作成した画像データである。平面制度を重視した設定で撮影している。図-8はTSLで取得した点群データである。これらを合成して作成したハイブリッドデータが図-9である。画像にゆがみもなく、舗装路面の性状を正確に把握できるだけでなく、位置情報も正確なデータが作成できていることがわかる。この手法を適用することで、高精度の位置情報と視認性に優れた画像情報を併せ持つハイブリッドデータが作成可能となった。



図-7 UAVで取得した画像（平面精度に特化）



図-8 TLSによる点群データ

3. 舗装路面維持管理への適用

前章で述べた手法を舗装路面の維持管理に適用した事例について紹介する。

(1) 夜間観測での活用事例

2.(2)で述べたようにTSLは夜間でも点群データを取得することが可能であり、日中の交通量が多く走行車両によりレーザーが遮蔽されるなど日中にTSLで点群データを取得することが困難な場合に夜間観測が行われる。図-10はTSLによる夜間観測のデータである。夜間観測であるため色彩情報は非常に低解像度であり、路面状況がよくわからない。図-11は夜間観測画像を補正したハイブリッドデータを示している。舗装路面の解像度が明らかに向上し、夜間観測でも舗装路面の状況を識別できることがわかる。



図-10 TSLによる夜間観測データ



図-11 夜間観測ハイブリッドデータ

(2) 轍の判別に適用した事例

次に、TSLの点群データを用いて、轍ぼれの箇所を視覚的に判りやすく表現する方法について提案する。まず、取得した点群データから舗装端部、舗装センターおよび、反対側の舗装端部のデータを抽出し、結線してTINを形成する(図-12)。これが舗装路面のセンターと端部を直線的に結んだ傾斜を示すことになる。そして、縦断方向の3DサーフェスマodelとTSLで取得した舗装路面の点群データの標高差を算出する(図-13)。図-13では赤い部分がセンターラインと端部を結ぶ直線よりも舗装面が高い箇所、緑色の部分が低い箇所を示している。その標高差を出力したファイルを段彩表示する(図-14)と、轍が色分けされて表示される。図-14では青い部分が低い箇所を示しており、縦方向に青い箇所が連続しているゾーンが轍を示しているものと考えられる。

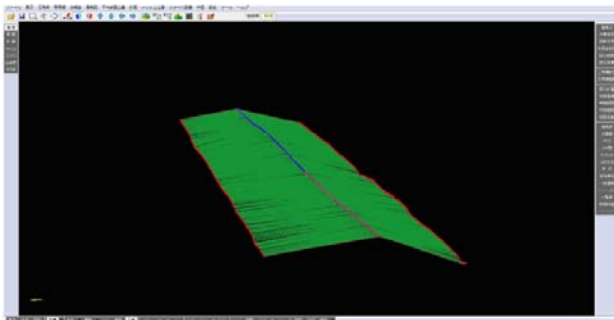


図-12 センターラインと端部を結線したTINデータ

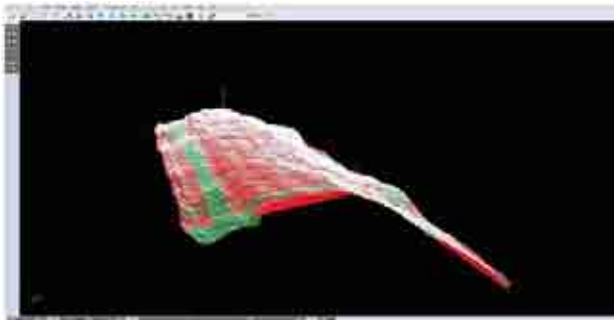


図-13 舗装点群データとTINデータの標高差

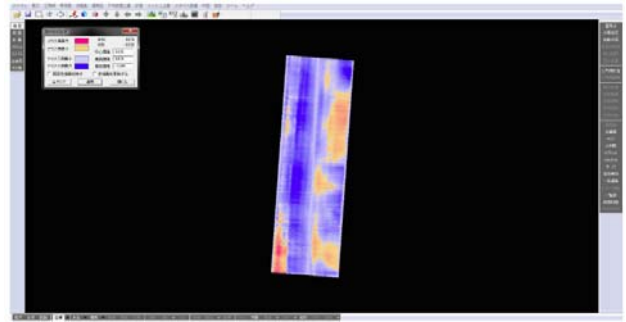


図-14 舗装路面の標高差

このように標高差ファイル化することで、舗装路面データを単純に段彩表示やコンタ線表示するだけでは対応できなかった箇所を抽出することが可能になった。他にも急な方勾配や起伏のある路線においても凹凸情報を得ることができるため、全体的な作業を省力化し、損傷の激しい箇所の調査に注力することができる。

4. 最後に

本研究では、省力化、コスト削減の観点から道路舗装の維持管理業務を効率化する技術として、UAVとTLSを用いた道路舗装の維持管理樹法を提案した。TLSの高精度の点群データとUAVによる高分解能の空中写真を重ね合わせるにより、詳細な道路舗装面の情報が得られることを示した。また、この手法を用いることにより、道路舗装面の凹凸ならびにひび割れ等の路面状況を詳細に把握することができ、維持管理の効率化が期待できることを示した。

参考文献

- 1) 村上, 島田, 谷, 葛西: 社会インフラの効率的な維持管理の実現～道路の簡易点検から始める長寿命化～, FUJITSU, Vol.64, No.6, pp.630～637, 2013.
- 2) 鍋島, 草木, 森: マスク機能を用いた車両除去による路面情報の抽出, 会報, Vol.42, 2018. (印刷中)

ETC2.0プローブ情報に基づく道路勾配を 考慮した速度低下要因の分析

金崎 智也¹・安田 幸司²

¹一般社団法人システム科学研究所 調査研究部 研究員

(〒604-8223京都府京都市中京区新町通四条上ル小結棚町428番地 新町アイエスビル)

²一般社団法人システム科学研究所 調査研究部 副部長 (同上)

本報告は、速度低下発生箇所抽出にETC2.0プローブ情報を活用することの有用性を検証するとともに道路勾配と速度低下の関係について、道路勾配に起因する顕著な渋滞が発生している区間をケーススタディとして分析を行った。また、ETC2.0プローブ情報に収録されている高度データから道路標高データを作成する手法を検討し、実際に近畿地整管内における道路網の道路標高データを整備し分析への適用を行った。

キーワード ETC2.0プローブ情報, 道路勾配, 渋滞要因

1. はじめに

実務において、ETC2.0 プローブ情報を交通状況分析に活用する機会が増えている。走行履歴に基づく平均旅行速度や交通流動分析、挙動履歴に基づく危険箇所の抽出、また、それら結果を踏まえた地域課題の抽出や新規供用路線の整備効果把握など幅広く利用されている。

ETC2.0 プローブ情報は、日々の車両の走行状況を経路も含めて蓄積されたデータであり、様々な状況下での交通特性を捉えることができる。よって、交通特性変化の規則性や他の外的要因との関係等を分析することにより、速度や交通流に与える要因の分析が期待できる。

走行に影響を与える要因としては、気象、沿道状況、ネットワーク構成、道路構造等、様々なものが考えられるが、高速道路の速度低下の主たる要因である勾配もその一つである。(高速道路では上り坂及びサグ部により引き起こされる渋滞は交通集中渋滞の約 58%¹⁾を占めている。) この道路勾配に関する情報は、一般的には、道路台帳などと併せて管理されることが多く、道路設計以外で利用されることは少ない。

一方、ETC2.0 プローブ情報に含まれる情報の中には、“高度”データがあり、これを活用することにより比較的容易に道路勾配を計算することができる。

本研究では、ETC2.0 プローブ情報を活用して得られる道路勾配と速度変化の関係性から、勾配が速度変化に与える影響について分析を試みた。高速道路と違い、アクセスコントロールがなく、また交差点の多い一般道路

は、交通流に影響する要因は複雑であり、道路勾配との関係性を捉えることは容易ではないが分析することの意義は大きいと考える。そこで本論文は基礎的分析として対象をアクセスコントロールのある自動車専用道路としてデータ活用の可能性と課題について検討を行った。

2. 利用できる道路標高データと課題

道路勾配の把握においては、道路標高データが必要である。これまで道路標高を示した資料の多くは道路台帳や設計図面の値を参照し作図する必要があった。

近年は GIS の高度化、計測技術の向上から分析に活用できそうな標高を示すデータがいくつか存在する。以下に、利用可能なデータを紹介する。

(1) 国土地理院：数値標高モデル (DEM)

航空レーザ測量で計測した高さのデータから、建物、橋等の人工構造物や樹木等の植生を除去し、南北及び東西方向に5m間隔等で標高値を内挿補間により作成されたデータである。無償で利用できる精度の高い標高を得ることができるため地上部に位置する道路では活用可能である。しかし、あくまでも地表面の標高であり、トンネル部や高架部等の標高として活用できない課題がある。

(2) 国土交通省：道路基準点

国土交通省では、直轄国道のキロポストごとに公共測

量により経緯度・標高を計測し道路基準点を定めている。整備された情報は道路基準点案内システムとしてWEB上で閲覧可能であり、精度の高い情報が容易に無償で利用可能である。しかし、道路基準点の設置場所は統一されておらず、歩道上や建物の屋上などに設置された基準点が混在しており、必ずしも標高値が道路の標高を示すとは限らないことに留意しなければならない。

(3) 民間企業：地図データ（道路網）

民間企業が整備しているデータを活用することも有効な手段である。実際に道路を走行して計測し、精度の高いデータを整備している企業もある。中には、数値標高データの課題であるトンネル内や橋梁部も道路標高として整備が行われているデータもあるが、広範囲で分析を行うにはコスト的負担が大きくなる懸念される。

3. ETC2.0プローブ情報を活用した道路標高データの作成

本章ではETC2.0プローブ情報の高度データに着目し、分析に必要とされる道路標高データを広範囲にわたり作成できる手法を考案した。

(1) ETC2.0プローブ情報に基づく道路勾配計算の意義

前述したような道路標高データでは、広域にわたって道路勾配と速度低下の分析を行うことは容易ではない。しかし、速度変化と道路勾配の関係性を捉える場合、設計に用いるような道路勾配の精度よりも、速度変化と道路勾配の関係性を捉えられるサンプル数の確保が重要である。多くのサンプルを対象として分析することにより、速度変化に与える規則性を捉えやすくなる。

本論文で提案するETC2.0プローブ情報に基づく道路勾配の計算は、効率的に道路勾配と速度変化の関係性を分析することを可能にするものである。

(2) ETC2.0プローブ情報の概要と活用上の留意点

道路標高データの作成に用いるETC2.0プローブ情報は、ETC2.0対応車載器を搭載した車両が蓄積した走行履歴等の情報を収集し処理したデータであり、いくつかの様式が提供されている（表1）。そのうち、本研究では測地点ごとの“高度”が収録されている様式1-2を主に活用する（表2）。ETC2.0対応車載器の普及状況（図1）をみると2018年2月末時点で約338万台のETC2.0車載機がセットアップされている。また、再セットアップも含めたセットアップ件数は毎年100万台を越え、近年データ量が著しく増加している状況である²⁾。

ETC2.0対応車載器の普及状況

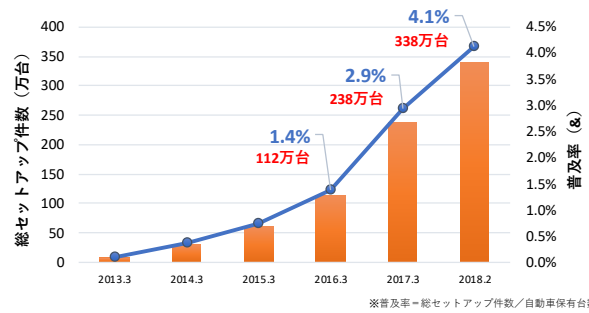


図1 ETC2.0対応車載器の普及状況²⁾³⁾

膨大なデータが日々蓄積されており2017年12月のデータでは日単位運行IDが約1037万ID/月に達している。このうち高度データの値が存在するのは約28万ID/月（全体の約3%程度）にすぎない。しかし、道路の標高は道路事業が行われない限りは変わることはないため、これまでに蓄積されてきたデータの時点を考慮することなく集約して活用することが可能である。すなわち、ETC2.0対応車載器を搭載した各車両を計測車両としてみなし、全国の道路の標高を計測できる環境が整っているものと考えられる。さらに、ETC2.0プローブ情報ではあらかじめDRMリンクへのマップマッチングが行われておりDRMリンク番号と流入ノードからの距離を知ることができる。これらを活用することにより、理論上は全国のDRM道路ネットワークに対して1m間隔の道路標高データが整備可能となる。ただし、データ活用上、懸念事項も多い。

1つ目は現行の道路ネットワークへのマッチング技術では高架道路での精度が悪くなってしまうことが懸念されるため、本来走行した道路とは異なる道路へ対応付けられている可能性がある点。また、測位点に対してDRMリンクの1m間隔に対応付けが行われているため、厳密には測位された地点との平面上のズレが生じている。2点目はGPSによる標高の計測において根本的に大きな誤差が発生しうることである。ただし、GPSで測位された値をカーナビ内でそのまま採用しているか、あるいはカーナビ内でジャイロセンサー等により加速度等の指標を組み合わせて推定しているかはメーカーにより異なり、詳細を把握することはできない。

以上のことを踏まえた上でデータ作成時にはクリーニング処理を行う必要がある。

表1 ETC2.0プローブ情報で提供される情報項目

情報項目	様式	内容
基本情報	様式1-1	個車の基本情報 ※日単位の運行IDベース
走行履歴情報	様式1-2	走行履歴情報(個車の点列データ)
トリップ詳細情報	様式1-3	トリップ詳細情報
挙動履歴情報	様式1-4	挙動履歴情報
DRM単位集計結果	様式2-1	DRMリンク単位車両別旅行時間(個車の経路データ)
	様式2-2~2-4	DRMリンク単位に整理された平均旅行時間及び旅行速度(15分単位・時間帯別・月平均)
交通調査基本区間単位集計結果	様式2-4~2-6	交通調査基本区間単位に整理された平均旅行時間及び旅行速度(15分単位・時間帯別・月平均)
プローブデータ受信情報	様式3-1	プローブ成功率
	様式3-2	ASL-IDプローブデータ詳細情報

表2 ETC2.0プローブ情報 様式1-2に含まれる主なデータ項目

情報項目	主なデータ項目
運行情報	運行日, 運行ID等
車種情報	自動車の種別や用途
測位点に関する情報	GPS時刻, 緯度, 経度, 速度, 高度 2次メッシュコード, 流入ノード, 流出ノード 流入ノードからの距離

(3) データの作成手法

道路標高データの作成フローを図2に示す。まず、ETC2.0プローブ情報 様式1-2から“高度”データを含むレコードのみを抽出する。次に、抽出したレコード群から各DRMリンクの流入ノードからの距離別に高度の平均、標準偏差、情報件数を算定し、クリーニング参照表を作成する。そして、再びETC2.0プローブ情報様式1-2からレコードを抽出する。その際、先のクリーニング参照表をもとに、情報件数が3件未満または高度が平均±標準偏差÷2の範囲を越える場合は測位誤差あるいはマッチング誤差が発生しているものとして除外する。クリーニング後のレコード群からDRMリンク別に流入ノードを起点として10m間隔に作成した代表点に標高を付与する。付与する標高は代表点を起点として道路ネットワーク上の距離が±5m以内に位置する点を参照対象として逆距離加重平均法(式1a、式1b)により算定される値を採用する。

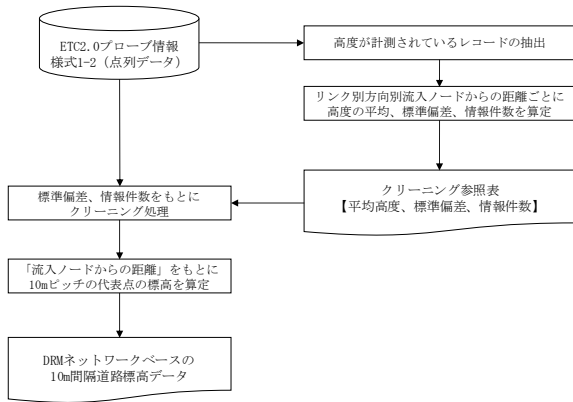


図2 道路標高データの整備フロー

$$h(s) = \frac{\sum_i^n w_i(s) h_i}{\sum_j^n w_j(s)} \quad (1a)$$

$$w_i(s) = \frac{1}{d(s, s_i)^p} \quad (1b)$$

- $h(s)$: 代表点 s の推定値
- n : 集計計測点数 ※最大 10 点
- h_i : i 番目の計測点の平均標高
- $d(s, s_i)^p$: 代表点と計測点との距離 ※ $p=1$ とした
- $w_i(s)$: 代表点における計測点の重み

4. 速度低下発生状況の分析と道路標高データの活用

本章では具体的に渋滞発生が顕著な区間をケーススタディとして速度軌跡図を用いて速度低下箇所の抽出を行い、前章で作成された道路標高データとの関係性について考察を行う。

(1) 湖西道路：真野IC→坂本北IC

湖西道路(真野IC→坂本北IC)の2017年4~6月休日の速度状況について分析を行った。湖西道路は2車線区間であり、交通集中による渋滞が発生している区間である。13時台では湖西道路区間は概ね60~80km/hで走行可能であるが仰木雄琴IC合流部と上り坂が重なる地点において速度低下が一部発生していることが確認できる。また、坂本北IC以南は4車線区間であり、2車線から4車線へ交通容量が増加することにより速度向上の様子も確認できる。14時台では先の速度低下箇所から北側に速度低下地点が移動している状況である。また、坂本北IC北側で上り坂を終える地点から速度が向上している状況も確認できることから上り坂が速度低下に影響を与えていることが把握できる。

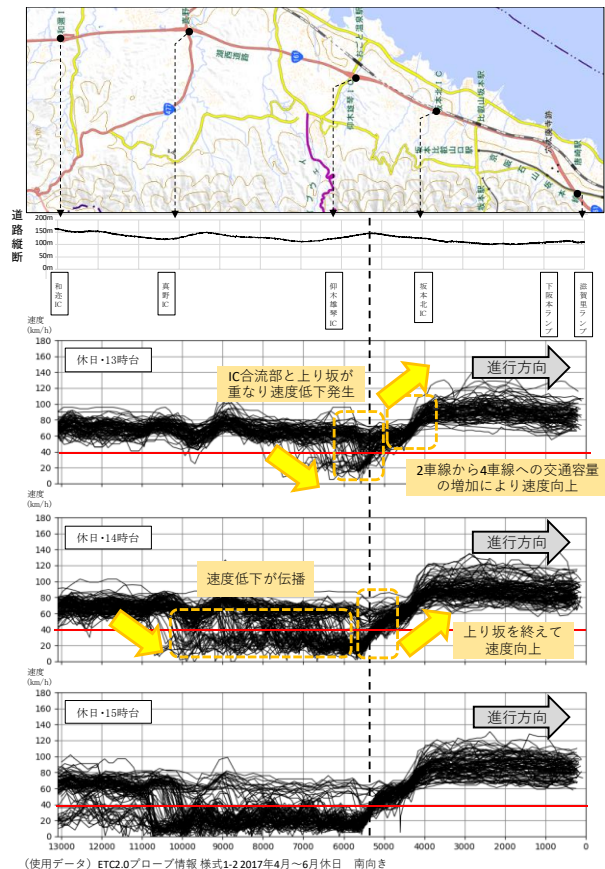


図3 湖西道路(真野IC→坂本北IC)の速度低下箇所の把握

(2) 中国自動車道：神戸JCT→宝塚IC

中国自動車道（神戸JCT→宝塚IC）の2017年5月3日の速度状況について分析を行った。対象区間における渋滞は宝塚西TN手前のサグ部と宝塚西TNの入口が連続するため速度低下が発生しやすい道路構造にある。一般に速度低下状況の把握は区間単位の平均旅行速度を算定して整理することが多いが速度低下の起点を捉えることはできない。そこで、ETC2.0プローブ情報 様式1-2を活用し1台ごとの地点速度をつなぎ合わせた速度軌跡図（図4）を作成し、局所的な速度低下箇所の抽出を試みた。

12時台では概ね80～120km/hの範囲で走行できており、渋滞は発生していない。13時台になると一部の車両が宝塚西TN入口付近で速度が低下しており、宝塚TN通過後は速度が回復している様子がわかる。また、西宮名塩SA通過後に速度低下発生している車両も現れているが速度回復地点は宝塚TN通過後であることから同様の要因により渋滞が伝播し、速度低下発生地点が移動していることがわかる。14時台では顕著に渋滞の伝播が表れており西宮北IC～西宮名塩IC間で速度低下発生し、西宮名塩SA～宝塚西TNではすべての車両が40km/hを下回っている状況である。作成した道路標高をみると西宮山口JCTから宝塚西TNにかけて下り勾配の大きい区間が続く、そして宝塚西TN手前の地点では下り勾配から上り勾配への変化が確認でき、サグ部を認識することができる。

図4 中国自動車道（神戸JCT→宝塚IC）の速度低下発生状況

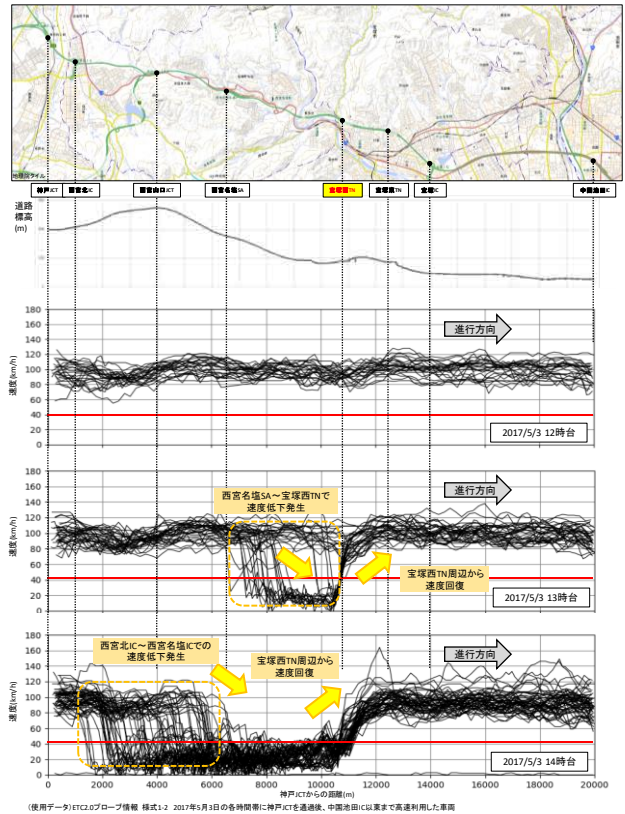


図4 中国自動車道（神戸JCT→宝塚IC）の速度低下発生状況

5. おわりに

本研究では、道路交通流の速度変化要因を捉える基礎的な分析として、中国自動車道と湖西道路を対象とした速度低下箇所と道路勾配との関係性について考察を行った。道路勾配については、道路標高データを ETC2.0 プローブ情報から作成する手法を提案した。これにより、広範囲の道路勾配を効率的に把握することが可能となり、ETC2.0 プローブ情報活用の有用性を示すことができた。また、これら結果を用いた速度低下箇所との関係性については、上り坂区間での速度低下を確認した。

今後は、他の自動車専用道路、一般道路を含め、広範

参考文献

- 1) NEXCO 西日本 HP 渋滞原因解説：http://www.w-nexco.co.jp/forecast/trafficjam_comment/
- 2) ETC 総合情報ポータルサイト GO!ETC セットアップ件数の推移：<https://www.go-etc.jp/fukyu/etc2/index.html>, 2018.6
- 3) (一財)自動車検査登録情報協会 統計情報 自動車保有台数：<https://www.aira.or.jp/publish/statistics/number.html>, 2018.6

空調運転データを活用した改修設計 ～国立国会図書館関西館の運用を踏まえた検討～

飯塚 淳悟

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

国立国会図書館関西館は、法律により納本された出版物を、国民共有の文化的資産として永く保存する施設であり、保存するための書庫の空気環境は年間通して一定に保たれている。開館後15年が経過して、空調熱源設備が老朽化してきているため、書庫の空気環境を確保するために空調熱源設備を更新する設計を行うことになった。

今回の設計では、既存設備の空調運転データから、実際の運転を分析して、環境負荷低減、省エネルギー化、長寿命化を考慮し、より効率的な運転が可能となる設計とすることを目指した。

キーワード 新手法, 改修, 設計

1. はじめに

国立国会図書館関西館では、エネルギーの消費傾向の計測を行い、それをもとにした運用改善・チューニングによって使用熱量の削減を可能とする「ビルエネルギー管理システム（以降、BEMS）」が設置されており、空調設備に関する運転データが蓄積されている。

一般的な空調設備の設計では、計算や実情の把握により検討を行うが、今回の設計では、BEMSのデータについて分析検証を行い、設計に取り込むことを検討した。今回、設計を行った図書館は、一般事務室に対しての書庫の占める割合が大きい特殊な施設である。そのため、BEMSによる実情の把握は有効であると考えます。

運用実態に則したシステム及び機器を選定することで、環境負荷低減、省エネルギー化、長寿命化に配慮した、より効率的な運転が可能となる設計とすることを目的とした。

■ 氷蓄熱槽（内融式）（蓄熱量）7,458 kJ ×2基
（放熱量） 207 kW

表-1 建物概要

用途	図書館
所在	京都府相楽群精華町
敷地面積	82,655m ²
延床面積	約59,270m ²
階数	地下4階, 地上4階
竣工	2002年 3月
開館時間	9時30分～18時00分
休館日	日曜日, 国民の祝日・休日 年末年始, 毎月第三水曜日
室内条件（一般室）	夏期28℃ 50% 冬期19℃ 40%
室内条件（書庫）	通年22℃ 55%

2. 建物概要

建物概要を次の表-1に示す。

3. 熱源設備概要

熱源設備は、以下のような構成となっている。

■ 吸収冷温水機 1,160 kW ×3台
■ 水冷ブラインチラー（蓄熱時） 240 kW ×2台
（追掛け時） 348 kW



外観写真

4. 熱源運転データの検証

(1) データの収集

熱源設備の運転実績検証に先立ち、現地中央監視室内のBEMS装置から、運転データの収集を行った。

収集したデータの内容は次の通りである。

- ・ 収集日 2017年10月11日
- ・ 年間運転データ 竣工から収集日まで
- ・ 日データ 2011年1月1日～2017年10月10日
- ・ 時間データ 2016年9月11日～2017年9月30日

データの種類としては、熱源機器毎の冷暖房に用いる発生熱量を用いて、検証を行った。

(2) 年間データの検証

図-1に年間一次熱量積算値の推移を示す。なお、グラフの表現上、上向きに冷房に必要な冷熱量、下向きに暖房に必要な温熱量を示している。

竣工当初は、設計通りの運転を行っていたが、BEMSのデータをもとに、運用改善・チューニングを行っていくことにより、徐々に使用熱量を削減することができ、5年ほどで安定したと考えられる。使用熱量は当初から約40%の削減が行われている。

2010年から2011年に大きな変化がみられるため、施設管理者にヒアリングすると、2011年の東日本大震災を受け、省エネルギーの観点から書庫空調の24時間自動運転を、温湿度の設定値を外れた場合のみ手動で運転する運用に変更したとのことであり、それが要因であると考えられる。これにより、使用熱量は前年度比で約40%削減されている。

2012年以降も徐々に減少傾向がみられるが、運用の変更は特にないとのことである。

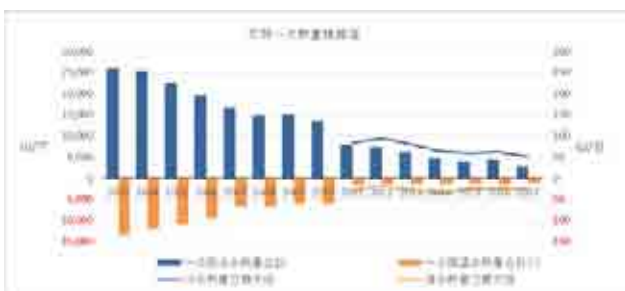


図-1 年間一次熱量積算値

(3) 日データの検証

前項の年間熱量と施設管理者へのヒアリング結果から、2014年以降の運用において、大きな変化がないため、2014年以降のデータを用いて、詳細な検討を行った。

図-2に2014年以降の日熱量の推移を示す。

グラフから、6月や11月など一般的な庁舎では冷房を行わない時期でも、空調の運転を行っていることが分か

る。そのため、一般的な庁舎と比較して、空調の運転期間が長く、また、低負荷時の運転が長いと考えられる。

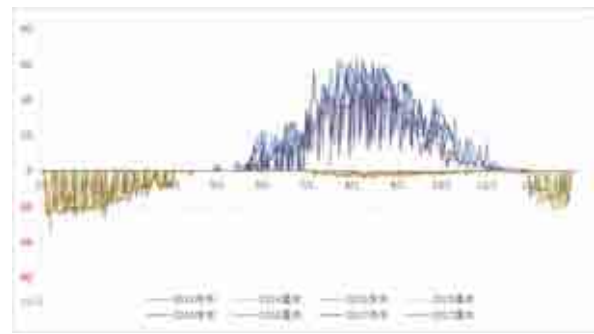


図-2 日冷温水熱量推移

冷水温水の最大熱量検証のため、図-2の7-8月と1-2月を拡大したものを図-3, 4 に示す。

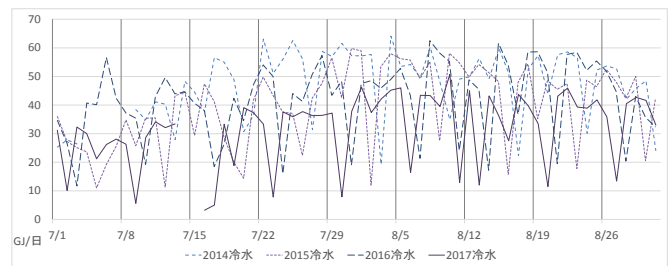


図-3 7-8月 日冷水熱量

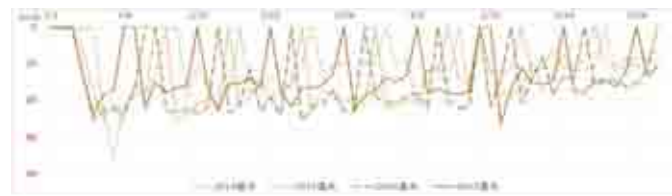


図-4 1-2月 日温水熱量

冷水熱量については、夏期においては、休日にも書庫システムは平日と同じ空調の運用がされているため、平日の1/2～1/3程度の熱量で、空調の運転を行っていることがグラフより読み取れる。

温水熱量については、各年に大きな差違は見られない。また、冷水熱量と異なり休日には熱量が発生していないことから、冬期には書庫システムの温湿度が安定しているものと考えられる。

(4) 時間データの検証

BEMSに保存されている時間毎データの過去1年分から、日熱量の大きい上位10日分のデータを抽出し、時刻別の平均熱量から構成比率を算出し、2014年以降で日熱量が最大の日の時刻別の最大熱量を想定することとした。

上記の冷水熱量のグラフを図-5に示す。

2016, 2017年日熱量上位10日の時刻別熱量は、ほぼ同じような傾向を示している。

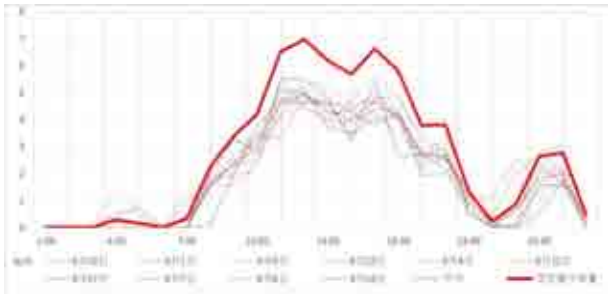


図-5 時間 冷水熱量

次に、熱量がどの程度発生しているか分析した。時刻別の熱量を大きい順に並び替えて、棒グラフにしたものを図-6に示す。この時に表現される曲線をデューレーションカーブという。

縦軸、横軸の目盛は、最大値を10等分している。これによると、最大熱量の80% (4.48GJ/h) を超える時間帯は50時間未満で全体の5%以下である一方、最大熱量の30% (1.68GJ/h) 以下の時間は全体のおよそ半数であり、低熱量時の運転が多いことが分かる。

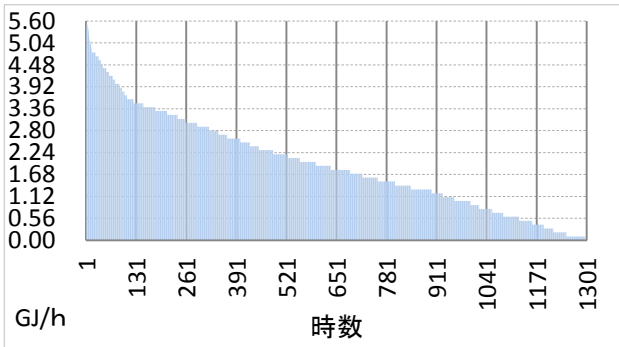


図-6 冷水熱量デューレーションカーブ

同じく、温水熱量のグラフを図-7に示す。

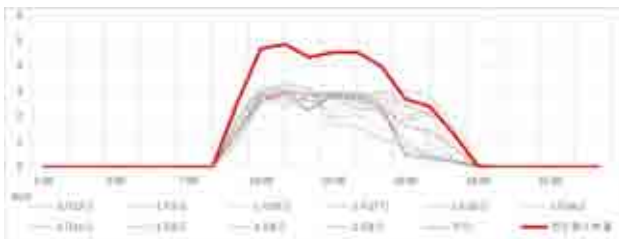


図-7 時間 温水熱量

次に、12-2月の温水熱量デューレーションカーブを図-8に示す。冷水熱量のカーブに比べて最大熱量及び発生時

数は少ないが、最大熱量の80% (2.64GJ/h) を超える時間帯は約150時間で全体の20%程度あり、最大熱量の50% (1.65GJ/h) を超えている時間は全体のおよそ半数と平均的であるが、最大熱量の10% (0.33GJ/h) の時間は30%となっており、低熱量時の運転が、冷水と同様に多くなっている。

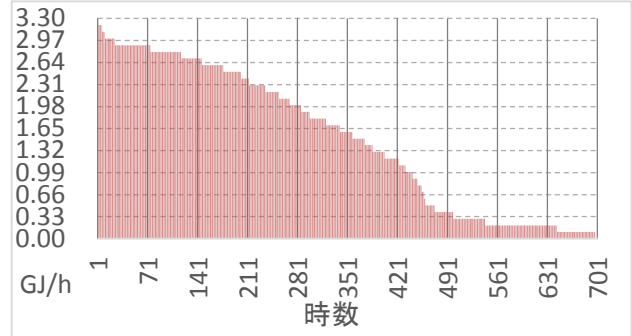


図-8 温水熱量デューレーションカーブ

最後に、時間外及び休日は、原則として書庫系統のみの空調運転であり、冷水熱量傾向の検証を行った。想定最大熱量グラフを図-9に示す。

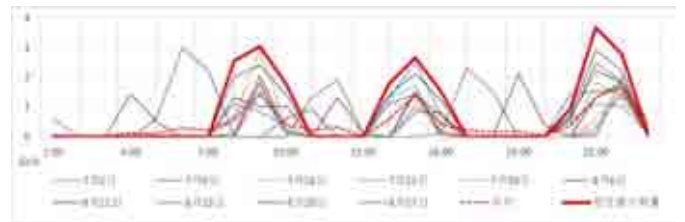


図-9 時間 休日 冷水熱量

休日冷水熱量のデューレーションカーブを図-10に示す。平日と比較すると、熱量は約半分だが、傾向は類似していた。

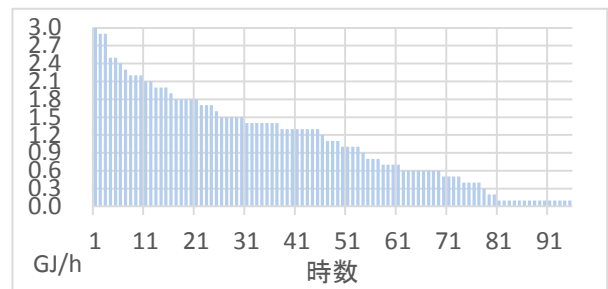


図-10 休日冷水熱量デューレーションカーブ

最大熱量の80%を超える時間は図-6と同じく全体の5%程度であり、最大熱量の40%以下である時間は全体のおよそ半数程であることが分かる。

なお温水については、休日に熱量がほとんど発生していないため、検証からは省いた。

5. 熱源比較システムの考察

(1) 冷暖房最大熱量の設定

熱源運転データの検証から求めた時刻別の最大想定熱量より、冷暖房の最大熱量を以下のように設定した。

本施設の冷房熱量	6.97GJ/h
本施設の暖房熱量	4.84GJ/h

また、今回の設計においては、本施設の南側に建築中の新館が必要とする熱量を本施設の熱源容量にバックアップとして見込むこととなっている。

新館の建物概要を表-2に示す。

表-2 新館 建物概要

用途	図書館
延床面積	約24,966㎡
階数	地下1階、地上7階
竣工	2020年2月（予定）

必要となる熱源容量は以下の通りである。

新館冷房熱量	1.31GJ/h
新館暖房熱量	0.84GJ/h

上記を合計した値を、熱源選定の容量として設定した。

冷房最大熱量	8.28GJ/h
暖房最大熱量	5.68GJ/h

(2) 熱源機器の選定

a) 熱量の特性等

熱源運転データの検証から、本施設の熱量は以下のような特性を表している。

- ・年間の日熱量の傾向は一般庁舎のものと大きな差はなく、中間期に冷暖房熱量は発生していない。
- ・24h空調を要する書庫を有しているため、夜間や休日でも比較的大きな熱量が発生しているが、手動運転のため、発生頻度は高くなかった。
- ・時間熱量発生率の検証から、最大熱量の90%以上の発生時間は非常に少ない一方、冷房では30%以下の発生時間が全体の半数近くあり、また暖房では、10%以下の発生時間が30%あり、低熱量での運転時間が長いことが分かる。

b) ガス熱源の選定

ガス熱源としては、既設でも利用している、大熱量での運転の効率が良く、ベース熱源として適している吸収冷温水機を選定することとした。

c) 電気熱源の選定

電気熱源としては、休日や時間外運転において、低熱

量での運転時間が長くなることから、小容量の機器を複数台連結しており、容量制御性に優れた空冷ヒートポンプモジュールチラーが最適と考え選定することとした。

(3) 熱源分割台数の検討

現在稼働している機器は、吸収冷温水機3基のみとなっている。また、この吸収冷温水機が冷房・暖房の同時運転をすることはないことが分析結果より分かっている。

ここで、熱源分割数の妥当性について検証する。

図-11に図-6を熱源の機器容量に置き換えた冷水熱量のデュレーションカーブを示す。なお、機器容量にはポンプ熱量・配管損失・装置熱量、経年劣化、能力補償を考慮した係数を加算している。

分割する機器容量は、運転時間の均一化、メンテナンスや更新時の容量確保の面などから、原則として同一容量の機器を選定する。

グラフの目盛り線は、縦横とも10分割としている。熱源機器を既設と同じ3分割した場合を実線で、低熱量での運転が多いため、4分割した場合を破線で表している。

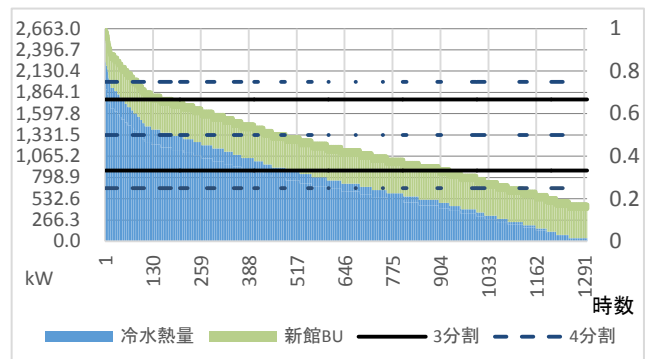


図-11 総冷水熱量デュレーションカーブ及び熱源分割ライン

現状と同じ3分割とした場合、1台運転（実線の下段）で熱量要求時間の30%程度を賄うことができる。2台運転では85%以上を賄うことができ、全台数同時運転は年間で約190時間以下であると想定できる。

4分割とした場合は、1台運転（破線の下段）で熱量要求時間の10%程度、2台運転では60%程度、3台運転では90%以上を賄うことができ、全台数同時運転は約100時間ほどと想定できる。

図-11と同じ内容で温水のグラフを図-12に示す。

温熱優先で機器を分割した場合、3分割と4分割では1台運転時の対応可能時間には大きな差はない。3分割時の2台運転では、60%程度が賄え、全台数同時運転は280時間程度発生すると想定できる。4分割時の2台運転では、45%程度、3台運転時では70%程度が賄え、全台数同時運転は200時間程度発生すると想定できる。

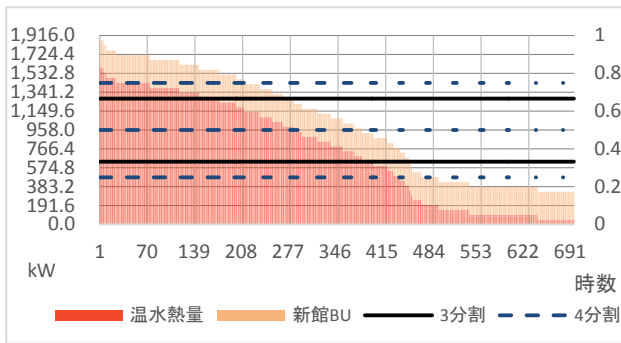


図-12 総温水熱量デグレションカーブ及び熱源分割ライン

一方、書庫のみの運転となる休日及び時間外では、図9、10より、想定最大熱量が957kWとなる。3分割とした場合の1台容量は約900kWとなるため、最大熱量の90%以下の時に対応できる。4分割とした場合の1台容量は約670kWで最大熱量の70%となり、図9、10より要求時間の約90%に対応できる。

以上の検討より、本施設においては、3分割と4分割ではあまり差がないことが分かった。そのため、両方の場合のシステムにおいて比較・検討を行うこととした。

(4) 更新システム案の検討

システムの比較検討を行うにあたって、更新案A～Dを検討した。機器容量は、運転時間の均一化、メンテナンスや更新時の容量確保の面などから、原則として同一容量の機器を選定する。また、機器の選定については、特注品ではなく、標準の製品を用いて、必要な熱量を満足する機器を選定して組み合わせるため、案により、機器能力の合計にはバラツキがでることになる。

<更新案A>

比較案のベースとして、現状のシステムと同じ構成としたものを更新案Aとする。

既設の熱源設備は、吸収冷温水機、水冷ブラインチラー、氷蓄熱槽（内融式）が設置されているが、使用熱量の削減により、現状は吸収冷温水機 3基のみの運転となっている。そのため、更新案Aは吸収冷温水機 3基とする。

- ・吸収冷温水機 1,055kW × 3基

<更新案B>

休日や時間外及び中間期の低熱量時の追従性を考慮して、モジュールチラーを1台選定したものを更新案Bとする。

この場合、モジュールチラーの容量については、夜間及び休日最大熱量の70%程度の機器を選定し、冷房要求

時間の約90%に対応できるものとする。

これにより、万が一、ガス途絶時にも冷房が必要な時間帯のうち、約90%で書庫の環境確保が可能となる。

- ・吸収冷温水機 1,055kW × 2基
- ・空冷ヒートポンプモジュールチラー 750kW × 1基

<更新案C>

信頼性の向上や更新時の容量確保の面から、吸収冷温水機及び空冷モジュールチラーそれぞれを複数台設置したものを更新案Cとする。

モジュールチラーの容量については、更新案Bと同じ考えとする。

- ・吸収冷温水機 739kW × 2基
- ・空冷ヒートポンプモジュールチラー 750kW × 2基

<更新案D>

全電化としたものを更新案Dとする。

1台あたり上記750kWとし、屋外設置スペースから4分割とする。また、冬期においては、3台で最大想定熱量熱量を賄えるため、1台を冷房専用機とする。

- ・空冷ヒートポンプモジュールチラー 750kW × 4基
(内、1台は冷房専用機)

図-13、14は、現行の熱源機器容量と熱源運転データから検証した想定最大熱量、熱源更新案A～D各方式における熱源機器の容量構成を示したものである。

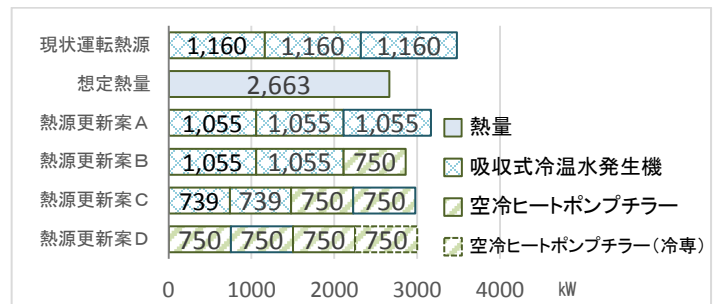


図-13 熱源機器構成（冷房熱量）

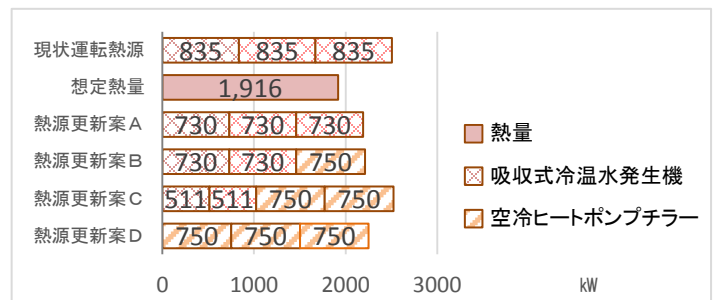


図-14 熱源機器構成（暖房熱量）

6. 熱源システム比較

今回の設計において、目標に掲げた「より効率的な運転」を達成するために、机上でシステムを構築し、年間のエネルギー消費量をシミュレーションにより算出することができる。ライフサイクルエネルギーマネジメントツール（LCEMツール）を使用して、更新案A～Dについて、定量比較を行った。LCEMはExcelを使用したシミュレーションソフトとなっており、機器の仕様や使用熱量を入力することにより、エネルギー消費量を算出することができる。このときの使用熱量としては、過去1年の実績データを用いた。また、電気・ガス・水道料金については、現在の契約単価を使用する。

表-3、4に、それぞれ現行システムに近い更新案Aを基準として、環境性・コストの定量比較結果を示す。

表-3 環境性定量比較結果

項目	更新案A	更新案B	更新案C	更新案D
CO2 排出量	100	79	82	68
一次エネルギー 消費量	100	80	84	70

環境性については、CO2排出量、一次エネルギー消費量共に更新案Dが最も良く、次いで更新案Bが良いということが分かった。

表-4 コスト定量比較結果

項目	更新案A	更新案B	更新案C	更新案D
イニシャル コスト	100	115	129	140
ランニング コスト	100	88	95	89

イニシャルコストについては、電気熱源比率が高くなるほど高額となった。

ランニングコストについては、電気を使用する場合、ガスのみの場合と比較してやや安価となっている。

まず、環境性が最も良い更新案Dについて検討を行った。更新案Dは、全電化に伴う受変電設備の改修や、屋外設置スペース確保及び付帯建築工事など、ハード面への影響が大きいことと、設定している工事予算をオーバーしていることにより、採用は困難と判断した。

次に環境性が良い更新案Bについて検討を行った。更新案Bは、受変電設備の改修や機器の設置スペースの問題も無く、イニシャルコストについても、工事予算内に納まり、ランニングコストに関しては最も優れている。

以上より、更新案Bを採用することとした。

7. まとめ

今回の空調運転データを活用した設計では、一般的に行う空調設計に加え、データより実際の運転を把握を行った。空調運転データを分析・検証することは、運用実態に則したシステムの選定を行う際に効果的であった。

また、今回の設計では、図書館の様な特殊な施設の改修設計であったが、一般庁舎の改修設計においても同様に空調運転データを活用し、実際の最大熱量や傾向の把握を行うことにより、その施設に適した空調設備の設計が可能となり、より効率的な運転が可能になると考えられる。

本研究で行ったデータの分析・検証、機器選定の手法は、他の施設において、空調運転データを用いた改修設計を行う際の参考となれば良いと考える。

UAVによる道路台帳附図作成の検証

野田 祐¹・大石 勉²

¹近畿地方整備局 総務部 会計課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

²近畿地方整備局 浪速国道事務所 工務課 (〒573-0094大阪府枚方市南中振3-2-3)

国土交通省では、生産性向上を図り、以て魅力ある建設現場の実現のため、i-Constructionを推進している。その一環として、道路台帳附図作成に関する部門においてICTの更なる活用をするための検証を行った。

今回の検証では、UAVによる写真測量・レーザ計測を行い、従来方式である航空写真測量の成果との精度比較、それぞれの手法の比較や利用にあたっての課題点の抽出などを行った。

キーワード 新工法, 新技術, i-Construction, UAV, 道路台帳附図

1.はじめに

昨今、わが国においては労働力人口の減少が問題となっており、社会基盤を支える重要な役割を持つ建設産業においても、人手不足が大きな課題として挙げられる。

現在、国土交通省では、このような課題に対し、建設のあらゆるプロセスでICT等の革新的な技術を活用し建設現場の生産性向上等を図る「i-Construction」を推進し、以て魅力ある建設現場を実現するための取り組みを行っている。これまでも、調査設計・維持管理を通して三次元データを継続的に活用するCIMの導入を推進、平成28年度からはICTを全面的に活用した土工を建設現場に導入する等、様々な取り組みを続けているところである。

今回は、道路台帳附図の作成というプロセスに着目し、UAV(Unmanned Aerial Vehicle)の活用について検証するため、「和歌山岬道路孝子地区他管理台帳整備業務」のなかで、UAVを用いた手法と従来方式との比較を行ったものである。

2. 道路台帳附図について

道路台帳附図とは、一般の用に供された道路について、これを管理するために必要な図面である。近畿地方整備局の管理する道路においては、一例として図-1のようなものを作成し、これを用いて道路を管理しているところである。

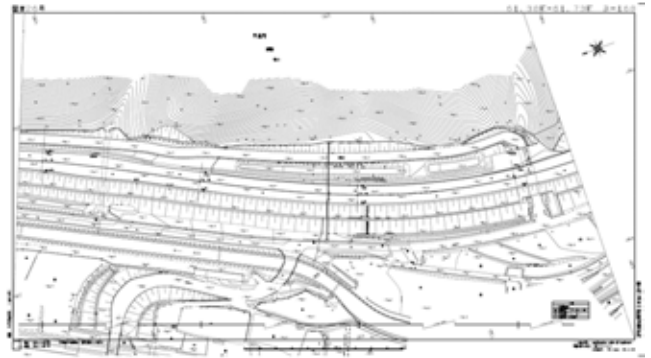


図-1 道路台帳附図(サンプル)

3. 検証の手法について

今回の検証では、従来からの方式である航空写真測量、UAVを用いた写真測量及びUAVを用いたレーザ計測の三つの手法について、比較を行った。

(1) 使用機材

今回の検証では、表-1のと通りの機材を使用した。

表-1 使用した機材

UAV本体	DJI Matrice 600
コントロールソフト	DJI GS pro
カメラ	SONY A7RM2
画素数	4240万画素
レンズ	固定焦点距離レンズ
ソフトウェア	Summit EvolutionおよびAutoCAD
レーザスキャナ	TDOT PLUS
発射レート	60,000パルス/秒
距離	受光強度 $\geq 30\%$ ~200m over
視野角	90° (±45°)
測距精度	±4mm@50m、±20mm@150m (1σ)



図-2 使用したUAV(レーザスキャナ搭載時)

また、今回使用したUAVの外観は図-2のとおりである。
尚、UAV写真撮影に用いたカメラについては、撮影前に専用の施設でキャリブレーションを行い、焦点距離を調整した。

(2) 作業工程

今回の UAV 写真測量は、国土地理院が 2016 年 3 月に制定、2017 年 3 月に改正された「UAV を用いた公共測量マニュアル(案)」をベースに行った。図-3 に UAV による空中写真を用いた数値地形図作成の工程別作業区分及び順序を示す。この工程のうち現地調査と補測については、今回の目的に照らし、実施しない事とした。

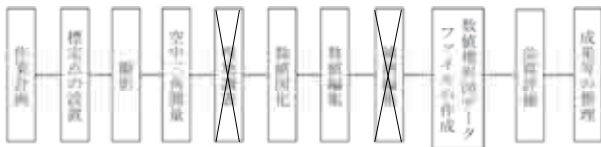


図-3 UAVによる空中写真を用いた数値地形図作成における工程別作業区分及び順序(省略した工程に×印を入れたもの)

なお作業時点において、UAVレーザ計測についてのマニュアルは未発表であり、作業後の2018年3月に「UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)」が発表された。そのため、今回のUAVレーザ計測ではこれを参照していない。しかし、最適な計測手順を検討し、これを実行した結果として、当該マニュアル(案)を準用した場合と同様のかたちでの計測となった。

(3) 飛行ルート・周辺条件

今回の検証に用いた箇所は、一般国道26号(第二阪和国道)の岬町域である。航空写真測量については実際に使用する道路台帳附図の作成を目的とするため、淡輪ランプ～大谷ランプ間を撮影した。UAVについては検証を目的としているため、その区間の中で、約300メートルの区間を計測した。

今回のUAVの飛行ルートについては、写真撮影の際の飛行ルートを図-4aに、レーザ計測の際の飛行ルートを図-

4bに示す。

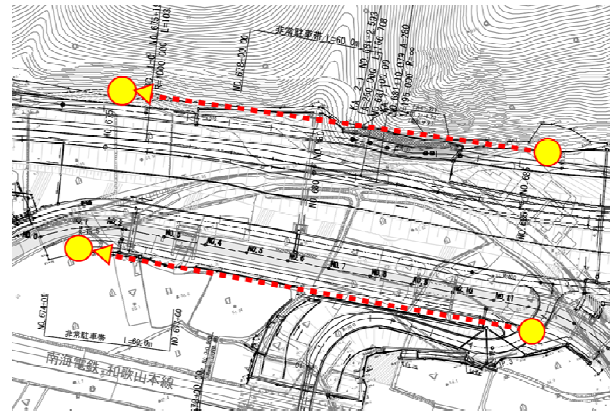


図-4a UAV写真撮影の飛行ルート概略

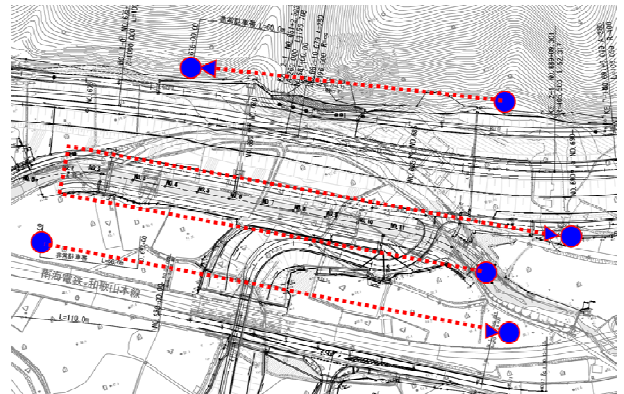


図-4b UAVレーザ計測の飛行ルート概略

撮影等に際しては、DJI GS Proを用いてコース設定を行った。これにより、接続されたUAVは設定されたコースを自動で飛行する。そのため、操作者はコース設定と離陸の指示のみをすればよい。なお、本番に先立ち、小型のUAVを接続して試験飛行を行い、設定したコースに問題がないか検証を行っている。

なお、当該国道の検証区間は暫定二車線供用済であり、その車道上でUAVを飛ばすことはできない。そのため、今回のUAVによる計測は二期線用地等の上空で行っている。また、今回UAVを用いた箇所には、DID(人口集中)地区や空港等による制限・制約はない。

(4) UAVレーザ計測の結果について

レーザによる計測からは、点群が生成される。これを3Dモデルにしたものを図-5に示す。点群には輝度情報が含まれており、白線等のコントラストがハッキリしたものが判別でき、電柱や電線も計測される。ただし、レーザの性質上、水面については点が抜けている。

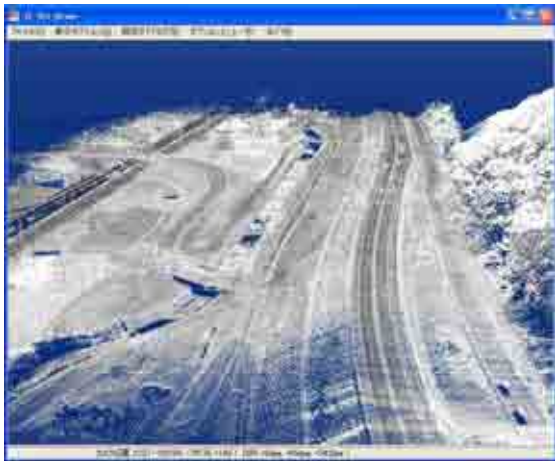


図-5 UAV レーザ計測による 3D 点群モデル

点群の精度検証として、UAV 写真の精度検証でも用いた標定点(VRS 計測を行ったもの)での高さ評価を行った。点群のバラツキを考慮し、標定点の座標付近の点群を半径 10cm の範囲において高さ方向で平均を取り、標定点自体の高さと比較した。その結果、表-2 に示すとおり平均値において 4.6cm の差がみられた。計測日時など条件が異なることもあり、これをオフセット値として考慮すると約 1cm の精度であることが確認できる。

(5) UAV 写真による計測結果について

図化手順は以下の通り。

- ①計測する範囲より、機材・飛行コース・高度・航行速度・焦点距離・シャッター間隔等を決定する。
- ②カメラ位置の算出のため標定点を設置、同時に検証の為に標定点の VRS 計測を行う。
- ③設定したコースで撮影を行う。
- ④標定点から 2 枚の画像のそれぞれのカメラ中心位置を算出し、2 枚の画像点をマッチングさせることにより図

化対象物の座標を確定。線と点を順次作成する。今回は空中三角測量用ソフト「Summit Evolution」を利用した。図-6 に図化した成果を示す。

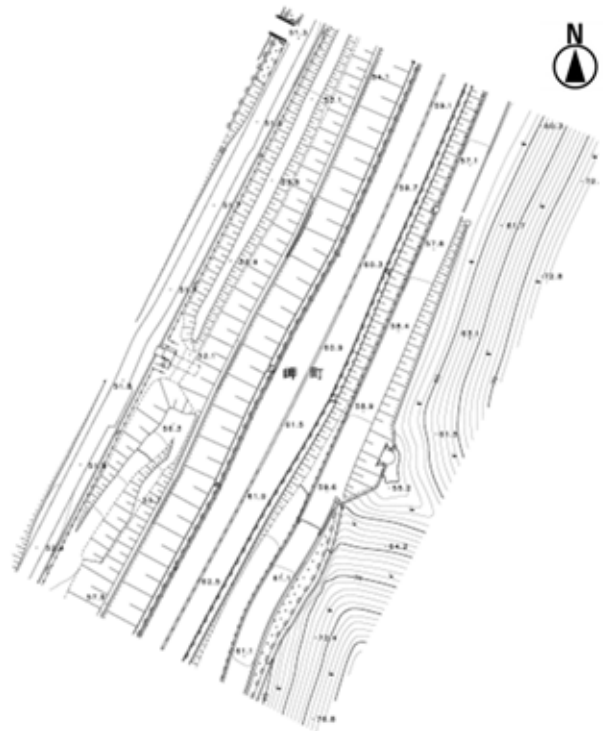


図-6 UAV 写真測量による図化成果

⑤精度検証のため、図化成果から、再度標定点の座標を求める。求めた座標と VRS 計測による座標のずれが図化精度となる。表-3 の通り、図化精度は水平方向 1.6 cm 程度、高さ方向 1.8 cm 程度であることが確認された。

また、低高度・低速度で飛行できることから、SFM (Structure From Motion) を用いることで、航空写真測量で作成する場合と比べて高精度の 3D 点群を生成することができる。この成果については後述とする。

表-2 VRS 計測とレーザ計測 標定点の高度比較

No.	検証点			レーザ高さ		差分 (H'-H)[m]	オフセット分を考慮した差 [(H'-H)-Δ [m]
	x[m]	y[m]	H[m]	H'[m]			
1	-188856.041	-78002.559	57.240	57.208	-0.032	0.014	
2	-188877.920	-78011.588	57.966	57.893	-0.073	0.027	
3	-188897.759	-78020.397	58.619	58.588	-0.031	0.015	
4	-188916.234	-78028.711	59.231	59.183	-0.048	0.002	
5	-188934.281	-78038.435	60.010	59.940	-0.070	0.024	
6	-188951.745	-78048.111	61.507	61.481	-0.026	0.020	
7	-188927.608	-78097.402	52.010	51.964	-0.046	0.000	
8	-188900.371	-78083.993	51.734	51.684	-0.050	0.004	
9	-188875.410	-78071.112	51.699	51.656	-0.043	0.003	
10	-188849.758	-78057.926	51.492	51.459	-0.033	0.013	
11	-188826.045	-78043.820	51.194	51.151	-0.043	0.003	
12	-188820.136	-78058.462	51.194	51.139	-0.055	0.009	
13	-188847.748	-78073.799	51.068	51.024	-0.044	0.002	
14	-188865.192	-78082.880	51.128	51.092	-0.036	0.010	
15	-188883.703	-78091.224	51.553	51.504	-0.049	0.003	
16	-188897.058	-78097.808	51.842	51.832	-0.010	0.036	
17	-188910.584	-78105.312	51.817	51.783	-0.034	0.012	
18	-188924.715	-78112.021	52.016	51.955	-0.061	0.015	
7a	-188927.604	-78097.394	52.060	51.966	-0.094	0.048	
平均			53.967	53.921	-0.046	0.013	

表-3 VRS 計測と UAV 写真測量の図化での標定点座標値の比較

検証点観測記録簿												
項目	VRS 計測			UAV 写真測量			UAV 写真測量			UAV 写真測量		
項目	X	Y	H	X	Y	H	X	Y	H	X	Y	H
標定点	188856.041	78002.559	57.240	188856.041	78002.559	57.240	188856.041	78002.559	57.240	188856.041	78002.559	57.240
観測点	188856.041	78002.559	57.240	188856.041	78002.559	57.240	188856.041	78002.559	57.240	188856.041	78002.559	57.240
差分	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
標準偏差	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最大値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均	0.000	0.000	0.000									

4. 各手法の精度比較

(1) UAV写真測量 と 航空写真測量(従来方式) の比較

比較する点を図-7 のとおりに選定し、それぞれ作成した図面から座標を求め、表-4 のとおり比較した。

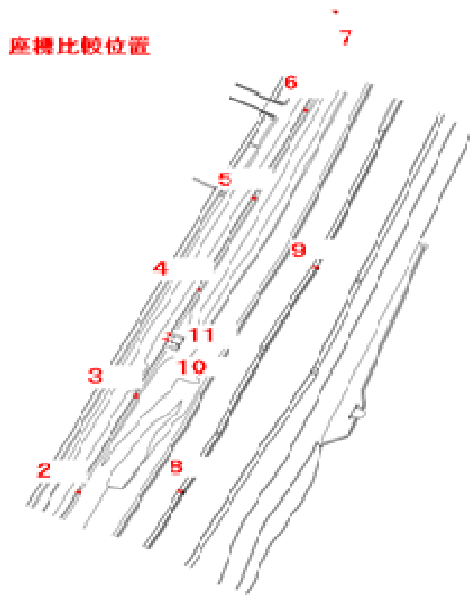


図-7 精度比較に用いた点

表-4 の比較結果より、UAV 写真測量の精度は、従来方式の航空写真測量と遜色のないものであることがわかる。

表-4 精度比較結果 (航空写真測量 vs UAV 写真測量)

No	比較点	航空写真測量図化(A)		UAV計測図化(B)		差分(A-B)			
		x(m)	y(m)	x(m)	y(m)	Δx(m)	Δy(m)	距離Δ(m)	
1	電柱1	-188979.903	-78115.921	-188979.808	-78115.985	-0.095	0.044	0.105	
2	電柱2	-188943.069	-78097.491	-188943.061	-78097.495	-0.008	0.004	0.009	
3	電柱3	-188912.588	-78081.710	-188912.490	-78081.751	-0.098	0.041	0.106	
4	電柱4	-188978.739	-78064.144	-188978.867	-78064.176	0.128	0.032	0.132	
5	電柱5	-188849.733	-78049.378	-188849.767	-78049.414	0.034	0.036	0.050	
6	電柱6	-188822.188	-78035.088	-188822.043	-78035.082	-0.145	0.004	0.145	
7	電柱7	-188790.928	-78026.881	-188790.989	-78026.927	0.061	0.046	0.076	
8	標高1	-188942.684	-78099.150	-188942.761	-78099.312	0.077	0.162	0.179	
9	標高2	-188971.750	-78092.746	-188971.808	-78092.590	0.058	-0.156	0.168	
10	側角点1	-188944.499	-78073.484	-188944.545	-78073.470	0.049	-0.014	0.051	
11	側角点2	-188982.877	-78072.735	-188982.917	-78072.690	-0.090	-0.055	0.092	
						平均値	0.000	0.013	0.100
						max	0.128	0.162	0.179
						min	-0.145	-0.156	0.009
						振れ幅	0.273	0.318	0.170

また、航空写真をもとにした図化成果(黒)と、UAV 写真をもとにした図化成果(緑)を重ねたものを図-8 に示す。

これより、図化作業者が異なることも関連し図には多少のズレがあるものの、UAV 写真による図化成果が従来方式による図化とほぼ一致することがわかる。

以上より、UAV 写真測量は航空写真測量を代替できる精度をもったものであるといえる。

(2) UAV レーザ計測 と 航空写真測量(従来方式) の比較

UAV レーザ計測による点群から生成した三次元モデルを図-9 に示す。この点群がもつのは X・Y・Z の座標値と輝度情報であり、実際の色は判別できない。そのため、点の特定には形状か輝度が明確に変化する箇所を使用する必要がある。よって、今回は電柱下部の座標を主に、標識、柵角の点を比較した。比較結果については表-5 にて示す。なお、比較に用いた点は(1)と同じである。

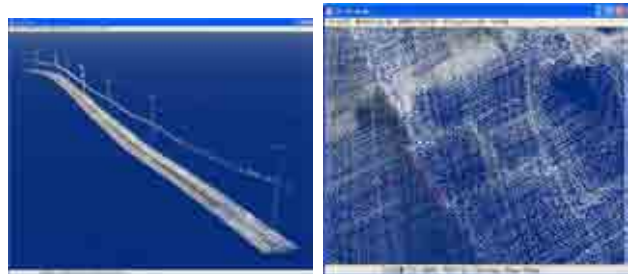


図-9 比較に用いた座標部分の 3D モデル (電柱および柵角)

表-5 精度比較結果 (航空写真測量 vs UAV レーザ計測)

No	比較点	航空写真測量図化(A)		UAV計測点群(C)		差分(A-C)			
		x(m)	y(m)	x(m)	y(m)	Δx(m)	Δy(m)	距離Δ(m)	
1	電柱1	-188979.903	-78115.921	-188979.702	-78115.929	-0.201	0.007	0.201	
2	電柱2	-188943.069	-78097.491	-188943.019	-78097.484	-0.050	-0.007	0.051	
3	電柱3	-188912.588	-78081.710	-188912.462	-78081.774	-0.126	0.064	0.141	
4	電柱4	-188978.739	-78064.144	-188978.753	-78064.217	0.014	0.073	0.074	
5	電柱5	-188849.733	-78049.378	-188849.627	-78049.490	-0.106	0.112	0.154	
6	電柱6	-188822.188	-78035.088	-188821.936	-78035.263	-0.252	0.175	0.307	
7	電柱7	-188790.928	-78026.881	-188790.858	-78027.127	-0.070	0.246	0.256	
8	標高1	-188942.684	-78099.150	-188943.080	-78099.590	0.396	0.440	0.592	
9	標高2	-188971.750	-78092.746	-188971.830	-78092.350	0.080	-0.396	0.424	
10	側角点1	-188944.499	-78073.484	-188944.420	-78073.480	-0.076	-0.004	0.076	
11	側角点2	-188982.877	-78072.735	-188982.730	-78072.700	-0.147	-0.035	0.151	
						平均値	-0.049	0.061	0.219
						max	0.396	0.440	0.592
						min	-0.252	-0.396	0.611
						振れ幅	0.648	0.836	0.541



図-8 航空写真による図化成果と UAV 写真による図化成果の重畳

(3) UAV 写真 と UAV レーザの点群による比較

UAV 写真測量から生成した点群と UAV レーザ計測で取得した点群を重ねて比較を行った。図-10 は UAV 写真測量により生成した点群（白）と UAV レーザ計測により取得した点群（赤）を重ねて 3D 表示したものである。赤と白が混ざり合い、大まかな形状としては特に乱れがなく、基本的な精度には大きな差がないことがわかる。

一方、図-11 は UAV 写真測量による点群と UAV レーザ計測で取得した点群の高さを比較した 3D モデルである。黄色の点が 10 cm 以内の差となった点、橙は UAV レーザのみで検出した点、青は UAV 写真測量のみで検出した点である。これによると、電柱や架空線といった突起物は UAV レーザが検出しており、写真測量による点群では容易に検出できていないことがわかる。一方、水面については写真測量でのみ検出できていることが確認できる。

また、点の高さの精度についてより正確に比較するため、断面で切断した点群を真横から見たものを図-12 および図-13 に示す。白が UAV 写真測量から生成した点群、赤が UAV レーザ計測による点群である。

図-12 では比較的平坦な箇所を比較している。ここでは、高さ方向に約 10 cm 程度の差が認められる。

図-13 では、水路のある部分の断面を比較している。UAV レーザ計測はほぼ正確に水路の形を反映しているのに対し、UAV 写真測量では水路の底部まで点が到達していない。これは、写真測量では植生表面の座標のみしか取得できないのに対し、レーザ計測では計測器の発するレーザが枝葉の間をすり抜けて地面へ届く場合があり、その際地面までの距離が正確に計測できるためである。

以上より、グランドレベル（地面そのものの高さ）を計測することについて、レーザ計測は写真に対して優位であるといえる。

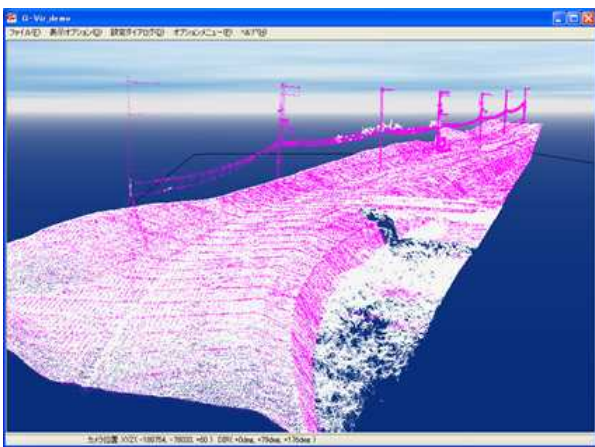


図-10 UAV 写真の点群と UAV レーザ計測点群の重畳

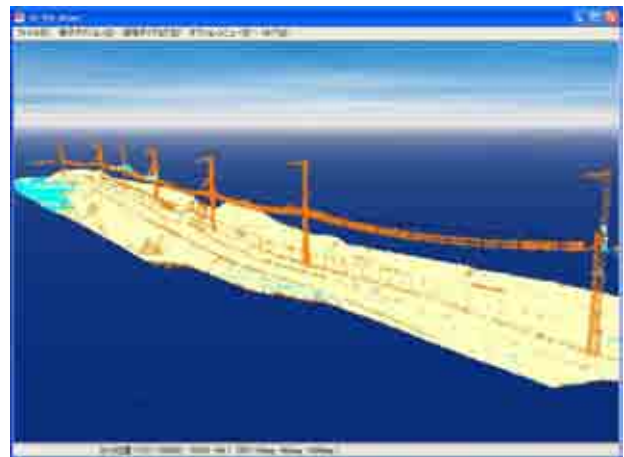


図-11 UAV 写真と UAV レーザ計測での点群の高さ比較

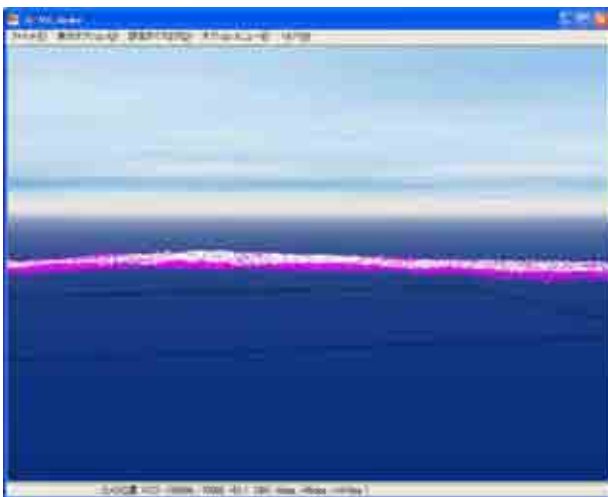


図-12 断面比較

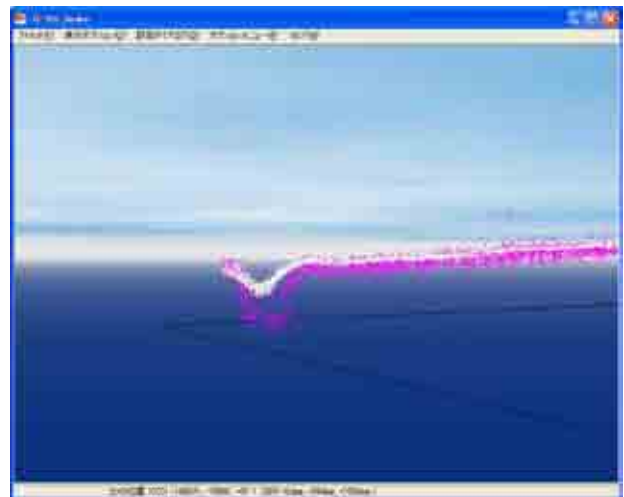


図-13 断面比較(水路部)

5. 考察

今回の検証から、道路台帳附図の作成について、下記の結果が得られた。

(1) UAV 写真を用いることについて

UAV 写真による測量は、道路台帳附図の作成において、十分な精度を備える。また、UAV 写真からも一定程度の精度をもつ点群が生成できる。ただし、電柱等の突起物・電線等の架空物・地表面の形状把握において UAV レーザが優位である。一方で、細かな物体の存否については写真が勝る。

(2) UAV レーザ計測について

レーザ計測で得られる点群は形状の計測において優位であり、これを上空から計測することから、UAV レーザ計測では路面や法面等の詳細な情報が得られる。これは、TS 等を用いた従来のレーザ計測の手法では得がたいものであり、管理上有用なものであるといえる。

ただし、その特性上、コントラストのハッキリした白線、柵や電柱等の突起物は判別できるものの、細かな物体の判別は難しいことが確認された。このため、UAV レーザ計測単体で道路台帳附図を作成することは困難であると言わざるを得ない。

(3) UAV 測量全体について、航空測量等との比較

航空機は一度に測量できる範囲では勝るものの、航空機自体や専用の撮影機器に加えて操縦士や撮影技術者といった、専門性が強くコストのかかる機材および専門職の人員が多く必要となる。

一方、UAV測量はバッテリー容量の制限から一度に測量できる範囲に限られるものの、機材は大幅に安価であり、航空測量と比べて実行のハードルが大幅に低いといえる。

また、航空機による測量は規模が大きく高度が高いことから、天候次第で実行を見送る必要がある場合もある。一方でUAV測量は短時間で完了し、必要なコストも低い。このため例えば、現地で天候を見ながら待機しておき、タイミングを見て実行するといったような、機動的な対応も可能となる。

このことから、今回検証した範囲での図化であれば、UAV測量が適した手法であることがわかる。

(4) 最後に

UAV 測量の技術は日進月歩の発展を見せており、今後、技術革新やコストの低減などによって、更に有用性が増すものと見られる。

例えば、今回は UAV レーザ計測と UAV 写真撮影を別で行ったが、レーザ計測と写真撮影を同時に行える機材も開発されている。これは本検証実施時には存在しなかったものであり、発展の速度を示すといえる。

また、現在の技術では、航空写真測量と UAV 写真測量のどちらであっても図化の工程に際しては技能者による作業が必要となる。現状では、自動図化技術は道路台帳附図に要求されるレベルには達していない。しかし今後、AI を含む ICT 技術の発展によって、図化の工程についてもより効率化・省力化を実現できると思われるところであり、今後の発展に期待したい。

今回の検証が、今後の道路管理におけるICT活用推進の一助となれば幸いである。

なお、本稿は従前の所属である近畿地方整備局浪速国道事務所工務課での所掌内容である。

謝辞：本発表に際して多大なるご協力を頂いた、一般社団法人 近畿建設協会のみなさまをはじめとし、関係各所の皆様に感謝の意を述べさせていただきます。

参考文献

1) 国土地理院：UAV を用いた公共測量マニュアル(案)

CIMを活用した橋梁設計と今後の展望

池田 広晃¹・迫田 康平²

¹近畿地方整備局 技術管理課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

²株式会社オリエンタルコンサルタンツ 関西支店総合技術部 (〒530-0005大阪府大阪市北区中之島3-2-18)

本業務は、国道24号の交通混雑の緩和、交通安全の確保を目的に新名神高速道路と一体となって整備する「国道24号寺田拡幅」において、近鉄京都線を跨ぐ箇所での橋梁詳細設計 (L=340m)を実施するものである。これら2つの近接・交差物件に対して分かり易い関係機関協議を実施し、条件や施工方法を早期に確定させることが、本業務を円滑に進めるためには不可欠であった。また、跨線橋であるため、桁高制限や架設時の制約、将来的な維持管理性向上にも配慮した計画・設計とする必要があった。

本稿では、これら関係機関協議や設計上の制約に対してCIMを活用した事例として、橋梁計画や設計結果を紹介・報告するとともに、今回作成したCIMモデルの今後の活用方法や展望について考察する。

キーワード i-Construction, CIM, 橋梁

1. 業務概要

本業務は、国道24号の交通混雑の緩和、交通安全の確保を目的に新名神高速道路と一体となって整備する「国道24号寺田拡幅」において、近鉄京都線を跨ぐ箇所での橋梁詳細設計 (L=340m)を実施するものである。

本橋は、近鉄京都線に並走した城陽市道10号線、2361号線とも交差しているため、跨線部支間長が約60mと長スパンである。

本橋は、近鉄軌道上に存在する架空地線、配電線、き

電線のうち、配電線とき電線間に計画されていた。予備設計段階において、架設工法は、配電線とき電線の間を送り出すことで計画されていたが、H28国土交通省事務連絡より、橋桁が橋脚に据え付けられていない状態での桁下交通の開放は不可となったことから、送り出し架設による一夜間での架設は不可となった。

また、軌道上支間60mに対する鋼鈹桁橋の標準桁高は3.3m(標準桁高支間比1/18)であるが、軌道上桁下は鉄道建築限界が非常に厳しい状態であり、桁高を絞る必要があった。

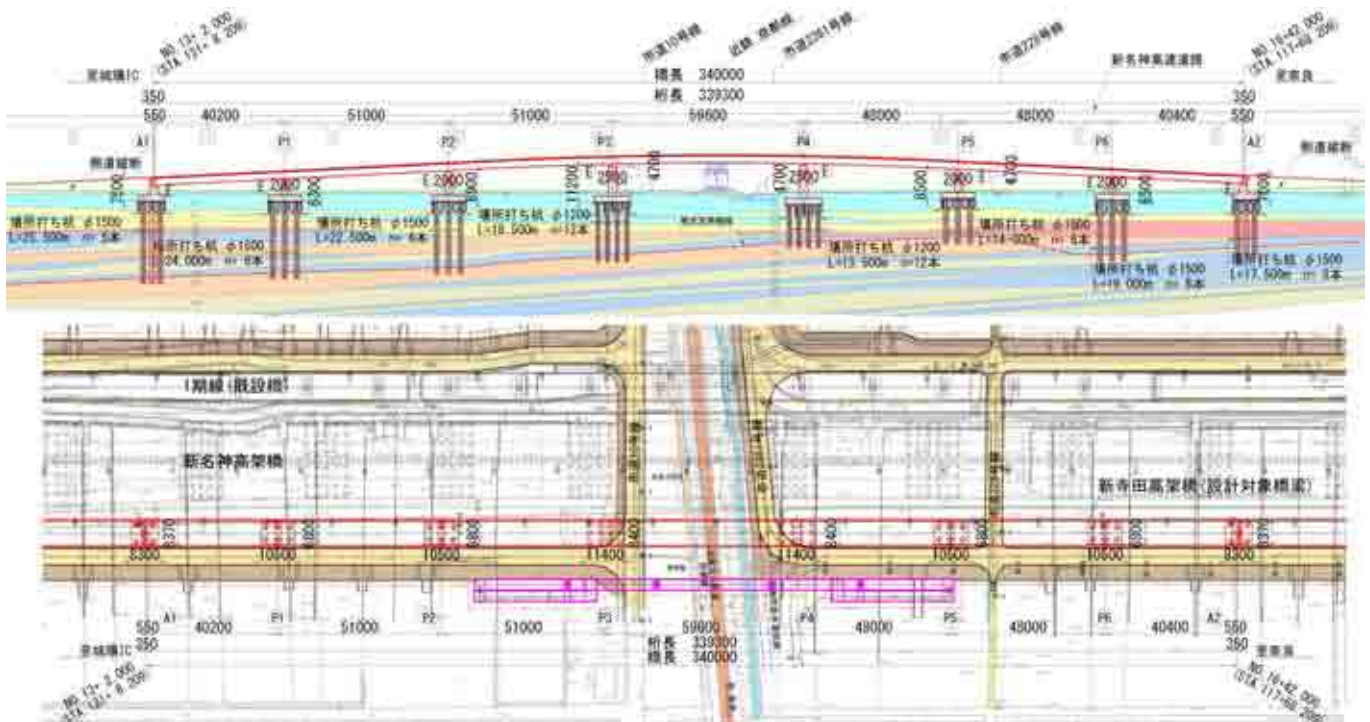


図-1 新寺田高架橋橋梁一般図

本橋北側には、新名神高速道路も並走する計画になっている。NEXCOは、『新名神高速道路の橋梁等に関する景観検討委員会（城陽市域）』を設置し、鋼桁の塗装色や、景観に配慮した支間割の検討を実施していた。また、施工箇所が近接しており、工事による現地作業が輻輳する懸念があった。そのため、橋梁計画において、本橋は新名神高架橋と調整を図る必要があった。

これらより、下記課題を解決する必要があった。

- ・き電停止時間内(=1夜間)での近鉄上上部工の架設
- ・軌道上で桁高制約を受ける上部工の計画と設計
- ・並走する新名神高架橋との橋脚位置や施工時期等の調整
- ・将来的な軌道上上部工の維持管理に配慮した構造の採用および点検計画の構築

本業務では、これら課題に対して、関係機関との意思決定の促進を図るため、CIM(Construction Information Modeling / Management)を活用することを試みた。

橋梁計画方針と結果を以下に示す。

a) 橋台位置

躯体形状および上部工費差、橋台背面擁壁延長差から最も経済性に優れた位置として、現地盤に対し桁下余裕2.5m程度を確保できる位置。

b) 橋脚位置

市道をコントロールとしたモーメントバランスに優れた位置。

c) 上部工形式

予備設計案である非合成連続鋼桁橋に加え、合理化橋梁である少数桁橋、開断面箱桁橋の3橋に対し、LCCを含む経済性の他、構造的、施工性、維持管理性、環境性を総合的に評価し、最適な形式を選定。

d) 支承構造

多点固定構造、免震構造、ラーメン構造の3種から橋全体の経済性向上に最も寄与する支承構造の選定。

e) 基礎形式

地盤条件から適用可能な杭種を抽出し、用地境界を考慮した経済的で適切な杭径の選定。

f) 維持管理方針

将来的な軌道上の上部工の維持管理に配慮した構造の採用や定期点検時、異常時点検時の維持管理計画の実施。本橋の橋梁諸元を表-1に示す。

2. CIMの概要

国土交通省は、建設現場の生産性向上に向けて、測量・設計から施工、維持管理に至る全プロセスにおいて、情報化を前提とした新技術「i-Consutruction」を2016年度より導入した。CIMとは、i-Consutructionの基本思想のうち、設計・施工計画に関わる構造物の形状・材料・コスト等の属性情報をコンピュータ上に作成した3次元モデルを組み込んだ情報モデルである。設計、計画段階から導入することで、以後の施工、維持管理の効率化やコスト縮

表-1 橋梁諸元

項目	諸元
道路等級	第4種第1級
設計速度	V=60km/h
幅員	8.37m
橋長	340m
支間長	40.2m+2@51.0m+59.6m+2@48.0m+40.4m
平面線形	R=∞
縦断線形	i=5.0% ↗ ~5.0% ↘ (VCL=140m)
横断勾配	i=2.0%
上部工形式	鋼7径間連続非合成鋼桁橋
桁高	2.1m
床版形式	RC床版
下部工形式	橋台：逆T式橋台 橋脚：張出式T型橋脚
基礎形式	場所打ち杭φ1200、φ1500
支承構造	全方向免震支承
架設工法	トラッククレーンベント架設工法
維持管理方針	上部工：検査路、常設足場(軌道上)、高所作業車 下部工：検査路、梯子・脚立



図-2 CIMモデルの連携概念図¹⁾

減、生産性の向上、高度化に寄与するものとして期待されている。図-2に示すCIMモデルの連携概念図のように、発注者側にとっては、調査設計時の違算の防止や、数量算出等の効率化が利点として挙げられ、以後の施工段階においても、現場管理の効率化が図れる利点がある。

3. CIMモデルの作成

本業務におけるCIMモデルは、Autodesk Civil 3Dで作成した構造物モデルをInfraworksに落とし込み、3次元地形データと合成し作成する。作成に当たって、新名神高架橋橋梁一般図、近鉄架空線配置図、歩道橋一般図、1期線図面を受領し、本橋の橋梁一般図及び3次元地形データと合成した。

今回作成したCIMモデルは、「詳細度200」²⁾(対象橋梁の位置や形式がわかるレベルの外形モデル)であり、

作成に要した時間は、約10日であった。これを「詳細度400」²⁾(下部工配筋や上部工板厚、ボルト形状等詳細部までモデル化)とした場合は、「詳細度200」の10倍以上の時間を要することが想定される。

4. CIMを活用した関係機関協議

先に記述した課題解決のため、NEXCOおよび近鉄と協議を実施した。協議結果およびCIM活用による効果を以下に示す。

(1) NEXCO協議

新名神高架橋と新寺田橋の橋脚位置を揃えるか否かについて協議するため、図-3に示す完成形CIMモデルを作成した。

a) 協議結果

新名神高架橋は、本橋と比べ縦断が高く、幅員が広い構造である。北側には国道24号線の既設橋があり、南側に歩道橋も計画されている。そのため、架橋地周辺は、橋脚が乱立した状況で、規模の異なる構造物が並走する状態となる。また、既設橋の支間長は22m程度であるため、橋脚位置は景観性の向上に寄与しないものとし、揃えないことで決定した。

b) CIMを活用した効果と課題

①活用効果

CIM化により、視覚的に多方面から橋梁全体を把握することができたため、橋梁規模の差を理解し易く、早期に合意できた。

②課題

景観検討ツールとして活用する場合、橋梁形式や下部工形状が具体化した段階で、最低でも「詳細度200」のレベルでCIM化する必要があるが、橋梁計画の進捗状況によっては、協議開始時期が遅延する可能性がある。

(2) 近鉄協議

架設工法の決定のため、予備設計段階で計画されている送り出し架設工法とトラッククレーン架設工法のCIMモデル(図-4)を作成した。協議結果およびCIM活用による効果について以下に示す。

a) 協議結果

送り出し架設工法は、送り出しヤードと手延べ機解体ヤードを設置するための構台を設置する必要があり、施工規模が大きい上、降下作業に時間がかかるため、軌道上作業日数が長くなる(表-2)。

一方、トラッククレーンによる一括架設工法は、送り出し架設に比べ施工規模が小さく、一夜間での架設が可能であるため、軌道上作業日数を短縮できることから、トラッククレーンベント工法による一括架設工法を採用し、架空線を移設することで合意を得た。

また、軌道上の維持管理性向上のため常設足場を設置し、それに対して移設した架空線の離隔を確実に確保するようCIMモデルを作成した(図-5)。

表-2 軌道上概略架設日数

	TCベント工法	送り出し架設工法
架設 日数 内訳	地組 : 4日	手延べ引出し : 1夜間
	架設 : 1夜間	手延べ機解体(昼) 盛り替え(昼) 送り出し(夜) : 3日
	ボルト本添接 : 1日	桁降下 : 7夜間
日数計	6日	11日



図-3 完成形CIMモデル



(a) 送り出し架設



(b) トラッククレーン架設

図-4 架設工法CIM

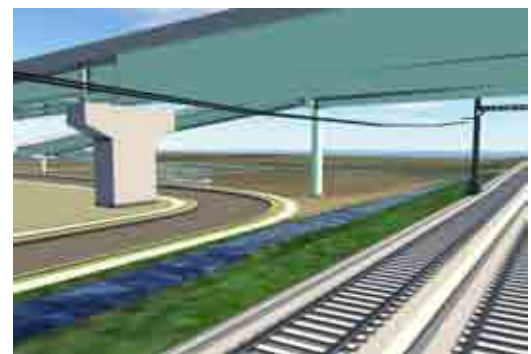


図-5 架空線と常設足場との離隔確認

b) CIMを活用した効果と課題

①活用効果

架設工法をCIM化することで、関係機関の理解が容易となり早期に合意できた。

また、移設する架空線計画図をCIM化することで、上部工との離隔状況を確認することができ、早期の移設計画決定に寄与することができた。

②課題

CIMは架空線と上部工の離隔状況を視覚的に確保できるが、どの程度の離隔があるか確認ができないため精度に欠ける。



図-6 付属物の取り合い確認モデル

5. その他のCIMの活用例とその考察

(1) 付属物の取り合い確認

図-6のように、橋脚には、支承や下部工検査路、排水管が設置される。これらをCIM化することで、干渉や点検経路を確認した。これは、設計段階での品質確保を確実するためであるが、施工、維持管理へと引き継いでいく場合、付属物のCIM化は必要となるため、設計段階におけるCIMの詳細度を発注者側で決定する必要がある。

また、P3橋脚から常設足場への点検経路を、より分かりやすく伝えるため、図-7のように3Dプリンタによるモデルも作成し、CIMと併用して活用した。3Dプリンタモデルは、出力に手間を要するが、手に取って即座に確認できることが利点として挙げられる。

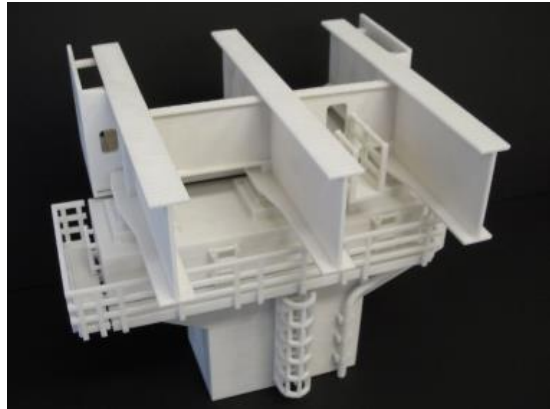


図-7 P3橋脚3Dプリンタモデル

(2) 下部工施工ステップ図の作成

新名神高架橋橋脚が完成しているものと想定し、図-8のようにCIMにより下部工施工ステップ図を作成した。

本業務では、本橋工事が、新名神高架橋工事との錯綜工事となると予想されていたが、新名神高架橋の施工計画図や工程が不明であったため、新名神工事を踏まえた施工ステップ図は作成していない。しかし、CIMソフトを用いて、施工アニメーションを作成することが可能であり、これにより、錯綜工事での問題点等を視覚的に捉えることができる。



(a) 杭施工時



(b) 下部工躯体施工時

図-8 下部工施工ステップ図(P2、P3橋脚付近)

6. CIMの効果と課題

今回、NEXCOや近鉄に対し、CIMを用いて説明したことで、以下の効果と課題が得られた

(1) 得られた効果

① 全体モデルや施工計画図のCIMモデル化は、2次元図面に比べ、視覚的で多角的に橋梁全体を把握する上で理解し易く、早期の合意形成に非常に有効である上、景観検討ツールとしても活用可能である。

② 工事車両が錯綜するような大規模工事の場合は、それ自体の工事の実現性が、設計段階では不透明であるが、アニメーションを作成することで、計画の施

エステップや工程を明確化でき、課題の見える化に繋がる。

- ③ 交差物件の桁下状況のチェックをビジュアルで確認できるため、見落とし防止にもつながる。
- ④ 橋梁付属物のCIMモデル化は、付属物同士の干渉確認や、点検ルートの確認などが可能なため、設計品質の向上につながる。3Dプリンタも併用することも望ましい。

(2) 課題

- ① 詳細設計段階におけるCIMは、測量段階から導入することで、検討作業の効率化に繋がるが、導入されていない場合も考えられる。CIMの活用には、CIMモデル作成のための資料等を受発注者間で共有する必要がある。適切な時期に資料の受け渡しを行い、スムーズに業務運営を実施するためにも発注者は契約当初時等にCIMデータを貸与するようルール化して取り組むべきである。
- ② CIMは与条件が多種多様であるため、導入が有効な工種、規模、属性情報の程度の明確化が必要である。
- ③ CIM導入のためのハード・ソフトへのコスト負担及び、モデル運用する人材育成が求められる。

7.今後の展望

本業務で作成したCIMモデルは、関係機関協議の円滑な進行が目的であったため、本橋周辺構造物に留めて作成している。CIMは、計画、設計段階から施工、維持管理に至るまで、連携して3次元モデルを活用することで従

来作業を効率化、高度化できるシステムであるため、本事業の今後の展望として以下について期待する。

- ① 本業務で作成したCIMモデルの詳細度向上や属性情報の付与
- ② ICT建設機械との連携による施工の高度化
- ③ 将来の包括的な維持管理システムとして、CIMのプラットフォームとしての活用

また、今回CIMを業務で実施した上で、CIMに対する要求事項としてCIMのシステムに簡易的な設計機能を搭載して頂きたい。ここでの“簡易的な設計”とは従来設計を短縮して実施するイメージであり、環境状況や施工延長をインプットすることで想定した構造物(概算工費、工期等含む)がアウトプットされるものを指す。この機能が実現されることで発注者側においても設計作業ができる上に、行政事務の効率化に大いに寄与されるものと思われる。

国土交通省では、「i-Construction」をはじめとする様々な施策を講じており、建設産業人口の減少、少子高齢化に対し、これからの「担い手」を確保するための好機として積極的に「i-Construction」を推進しようとしている。そのような状況の中で、今後、技術開発が進むことにより、更なるCIMの性能の出現にも期待する。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通省における CIM (Construction Information Modeling)の取り組みについて、2013年
- 2) 国土交通省：CIM 導入ガイドライン(案)、2018年

176号名塩道路 武庫川張り出し橋の橋種選定について (張り出し橋の中間支間に架け替える西宝橋が接続)

樽井 美奈実

近畿地方整備局 兵庫国道事務所 計画課 (〒650-0042兵庫県神戸市中央区波止場町3番11号) .

国道176号名塩道路事業は、現道2車線から4車線に道路拡幅を行う事業である。一部区間に、武庫川へ縦断的に張り出しする区間があり、張り出し区間において、既設西宝橋(市道)が接続する。西宝橋は、武庫川河川整備計画により架け替えが必要であり、武庫川張り出し橋と合わせて西宝橋架け替えの検討を行った。今回は、西宝橋と接続する武庫川張り出し橋の橋種選定について報告するものである。

キーワード 河川上の張り出し橋、河川整備計画、PC中空床版橋、プレビーム橋、平面交差(橋梁上)

1. はじめに

国道176号名塩道路事業の生瀬地区(本設計箇所)は図-1に示す生瀬変電所がコントロールポイントとなっているため、道路拡幅を実施するには武庫川へ縦断的に張り出す橋梁を設置する必要がある。武庫川水系河川整備計画で定められる計画高水位を満足させるためには、現道の嵩上げが必要となる。本橋梁は上記の名塩道路事業と武庫川水系河川整備計画の両計画を満足させた橋梁計画とする必要がある。両計画の概要は表-1に示す。

(1) 名塩道路事業

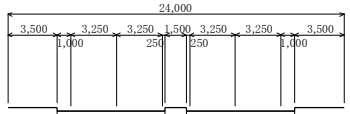
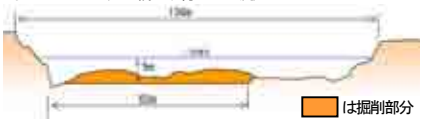
国道176号は、京都府宮津市から大阪府大阪市に至る延長178.3kmの主要幹線道路である。このうち名塩道路は、西宮市山口町から土塚市栄町間の延長10.6kmで現道拡幅を主体とした道路事業である。この区間の現状は、①カーブが多く1日当たり2.7万台の交通量があり、朝夕に渋滞が生じていること、②歩道が狭く人がすれ違ふことができない区間があること、③異常気象時には通行規制が行われる区間もあり、交通渋滞の緩和ならびに交通安全の確保を目的として事業化されている。

(2) 武庫川水系河川整備計画

武庫川水系武庫川は、その源を兵庫県篠山市の丹波山地に発し、阪神地域を貫流して大阪湾にそそぐ、幹線流路延長65.7km、流域面積約500km²の二級河川である。

「武庫川水系河川整備計画」は2011年8月に策定され、本設計箇所を掘込区間であり、河床掘削対策により2700m³/sを流す計画としている。また、計画高水位を満たすためには現状の西宝橋では桁下高が不足しており、架け替えによる西宝橋嵩上げが必要である。

表-1 計画概要

項目	内容
名塩道路事業	道路規格 第3種第2級(設計速度60km/h)
	道路幅員構成 
河川整備計画 武庫川水系	計画高水流量・水位 計画高水流量 Q=2,700m ³ /s 計画高水位 T.P+52.433m(西宝橋位置)
	河川断面 河口から17.0km(西宝橋より約200m下流) 

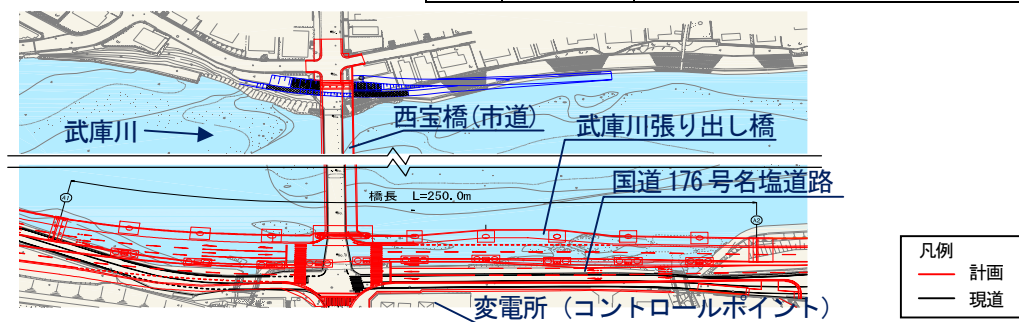


図-1 平面図

(3) 本事業における課題

武庫川張り出し橋の横断図を図-2、西宝橋接続部の横断図を図-3に示す。橋種選定を行うにあたっては、①嵩上げによる現道への影響を抑える、②現道交通に配慮した施工、③西宝橋と武庫川張り出し橋接続部の構造、④巨大地震に対する安全性の確保（設計で想定以上の地震力が作用した場合等）の4点について、如何に計画するかが課題となった。橋種選定フローと各段階における課題を図-4に示す。

2. 現道の嵩上げ対応

(1) 基本条件

本設計箇所は、生瀬変電所がコントロールポイントとなっているため、4車線化にあたり川側に拡幅せざるをえず、河川内に橋脚を設置する必要がある。西宝橋から生瀬駅に向かう市道とJR交差点の函渠において、路面の嵩上げが困難なことから、武庫川張り出し橋の嵩上げ可能量は2.2mである。

(2) 武庫川張り出し橋の橋脚形式

一般的な橋梁の橋脚は図-5に示す「張り出し式橋脚」となる。この場合、河川横断方向に梁を設置する橋脚となり、HWL+余裕高を考慮した梁にすると、現道の嵩上げ高さが3mを越え、2.(1)で述べた最大嵩上げ量以上となるため構造が成立しない。そこで、図-2、図-3で示すように下部工に梁がない「2柱式橋脚」を採用した。

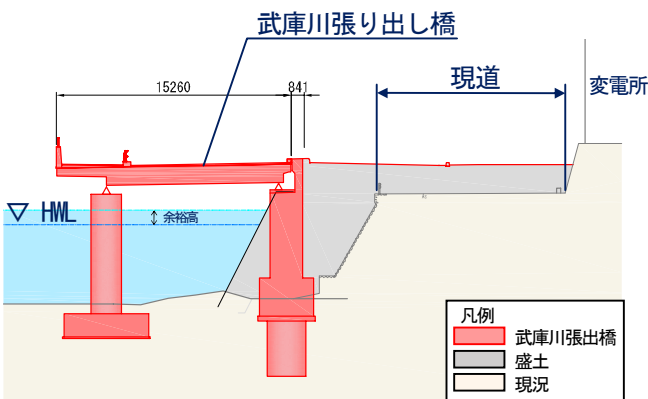


図-2 武庫川張り出し橋横断図

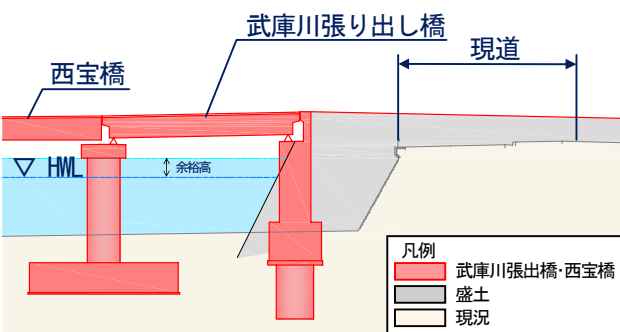


図-3 武庫川張り出し橋横断図（西宝橋接続部）

(3) 武庫川張り出し橋の橋梁上部工形式

a) 基本方針

橋長は図-1に示す250mとなる。橋種選定にあたっては、西宝橋交差点部と起点側区間、終点側区間の3区間に分けて計画した。このうち西宝橋交差点部は橋梁の耐震性を高める観点から3径間で計画した。また、西宝橋交差点部は車両の荷重載荷方向が橋軸方向だけでなく、直角方向にも載荷されることとなる。

b) 支間割計画

西宝橋交差点部の橋梁は、交差点の隅切形状に配慮し支間長をL=17mとし、景観性に配慮して3径間を等間隔に配置することで17m@3=51mとした。起点側ならびに終点側の橋梁は、河川縦断方向の洗堀深を抑える観点から橋軸方向の橋脚躯体幅と支間長を検討し、支間長L=25m程度として計画した。

c) 上部工形式の抽出

河川条件から決定される桁下高を確保したうえで現道嵩上げ量が2.2m以下となる橋梁形式としては、鋼床版桁橋、鋼床版箱桁橋、プレビーム桁橋、PC中空床版橋が考えられる。

下部構造は図-2、図-3に示す2柱式の分離構造であることからプレビーム桁橋は中桁部に支点が無いため構造的に成立せず、形式選定の対象外とした。



図-4 橋種選定フローと各段階における課題

梁を設けることにより嵩上げが3.0mを超える

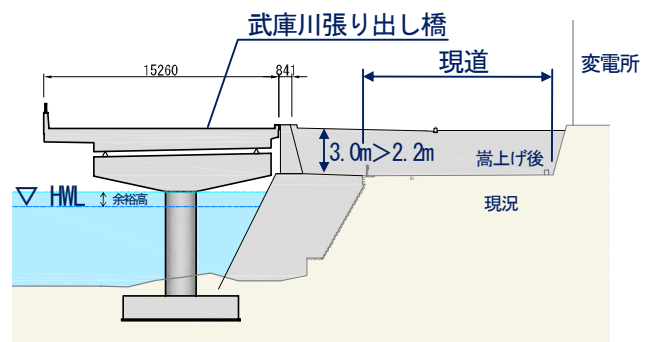


図-5 武庫川張り出し橋横断図（一般的な橋梁の場合）

鋼床版鈹桁及び鋼床版箱桁橋は、支点上横桁を図-6に示す剛性を確保したボックス構造とすることにより構造上は成立する。PC中空床版橋は、支点を橋脚上のみとし、主桁直角方向にはPC鋼材を配置した構造を成立させる計画とした。

d) 橋梁上部工形式選定

表-2に示す鋼床版鈹桁橋、鋼床版箱桁橋、PC中空床版橋の3案の比較を行い、河川内工事における現場工期の短縮や経済性の観点から第1案：鋼床版鈹桁橋を選定した。この案においては、現道の嵩上げ高さは約2.0mとなる。

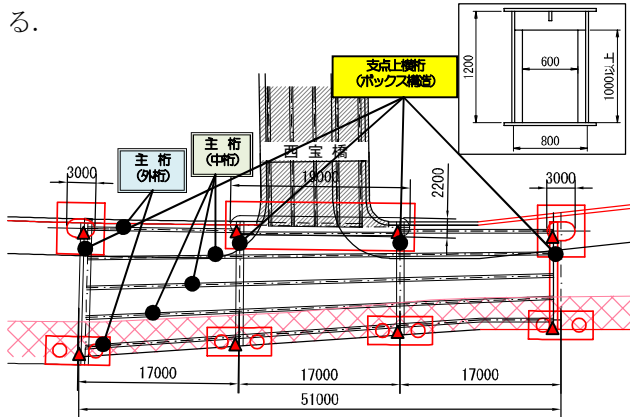


図-6 鋼床版鈹桁橋支点上横桁計画

表-2 武庫川張り出し橋(西宝橋接続部)上部工形式一覧表

案	断面図
第1案： 鋼床版鈹桁橋 選定	<p>工費：232 百万円, 現道嵩上げ：2.0m</p>
第2案： 鋼床版箱桁橋	<p>工費：286 百万円, 現道嵩上げ：2.0m</p>
第3案： PC 中空床版橋	<p>工費：214 百万円, 現道嵩上げ：2.0m</p>

(4) 西宝橋の橋梁上部工形式

a) 基本方針

西宝橋は、橋長127mの橋梁である。図-3に示すとおり、武庫川張り出し橋と路面高さを併せる必要がある。

b) 支間割計画

河川構造令第63条より基準径間長 $L=33.5m$ ($20+0.005 \times Q$ (Q : 計画高水流量: 2700 m^3/s)) 以上確保する必要があることから、 $127m/33.5m=3.7$ より3径間とする。

c) 上部工形式の抽出

3径間の場合の平均支間長は $127m/3=42.3m$ となる。上部工形式としては、本支間で一般的に採用されている鋼非合成鈹桁橋に加え、桁高を低くすることが可能な鋼床版鈹桁橋とプレビーム桁橋を抽出した。

d) 橋梁上部工形式選定

表-3に示す3案の比較を行い、現道嵩上げ量が武庫川張り出し橋の嵩上げ高と同等以下で、経済性に優れた第3案：プレビーム桁橋を選定した。

(5) 結論

現道の嵩上げ量を、コントロールとなる2.2mより低い2.0mとして武庫川張り出し橋ならびに西宝橋の橋梁上部工形式を決定した。

表-3 西宝橋上部工形式一覧表

案	断面図
第1案： 鋼非合成鈹桁橋	<p>工費：984 百万円, 現道嵩上げ：2.6m</p>
第2案： 鋼床版鈹桁橋	<p>工費：1,186 百万円, 現道嵩上げ：2.0m</p>
第3案： プレビーム合成桁橋 選定	<p>工費：986 百万円, 現道嵩上げ：2.0m</p>

3. 現道交通に配慮した施工

(1) 基本方針

国道176号と西宝橋の交差点は主要渋滞箇所となっていることから、現況の2車線を確保した状態で施工する方針とする。

(2) 施工方法

図-7の横断面図に示すように、国道176号沿いからの施工はできないため、橋梁工事は全て河川内からの施工とすることが必要。したがって、非出水期（11月1日～5月31日）での施工となる。

4. 西宝橋と武庫川張り出し橋の接続部の構造

(1) 基本方針

現計画は、図-6に示すとおり西宝橋と武庫川張り出し橋の掛け違い橋脚上で上部工が平面的に直角に接続する構造となっている。河川条件である河積阻害率5%以下を満足させるためには橋脚幅2.2m以下とすることが必要であることから、①「掛け違い橋脚をなくした接続構造の検証」、②「①を踏まえて西宝橋と武庫川張り出し橋の両計画が成立する構造計画」を行うという2段階で計画した。

(2) 掛け違い橋脚をなくした接続構造の検証

図-8に平面図を示すように、西宝橋を土工区間まで延長すれば掛け違い橋脚をなくすことが可能である。

ただし、この場合、以下の2点の課題があることから、現計画どおり西宝橋と武庫川掛け違い橋脚は設けたうえで成立する構造を計画することとした。

- ・主交通となる国道176号（設計交通量 27,000台/日）を横断するように伸縮継手が交差点内に2箇所生じ、維持管理性に劣る。なお、従交通となる西宝橋の設計交通量は4,000台/日未満である。
- ・西宝橋側の側径間の支間長L=50mは、拡幅橋L=17mと比較して長く、たわみ量が大きく段差が生じやすく走行性に劣る。

(3) 掛け違い橋脚の構造

西宝橋と武庫川張り出し橋との衝突を避けることを前提に掛け違い橋脚上の支承条件として西宝橋と武庫川張り出し橋の橋軸方向ならびに橋軸直角方向を固定として計画する方針としたが、武庫川張り出し橋の橋軸方向を固定とすると掛け違い橋脚の構造が成立しなかったため、図-9に示すとおり、武庫川張り出し橋の橋軸方向のみ弾性固定支承として、その他の支承条件は固定とした。

さらに武庫川張り出し橋は橋脚上に1支しかないので横変位拘束構造が必要となるが、横変位拘束構造は河川流下を阻害する箇所に設置できないことから図-10に示すとおり武庫川張り出し橋の橋軸方向にセットした。以上より、河川条件を満足したうえで西宝橋と武庫川張り出し橋の接続部の構造を成立させることができた。

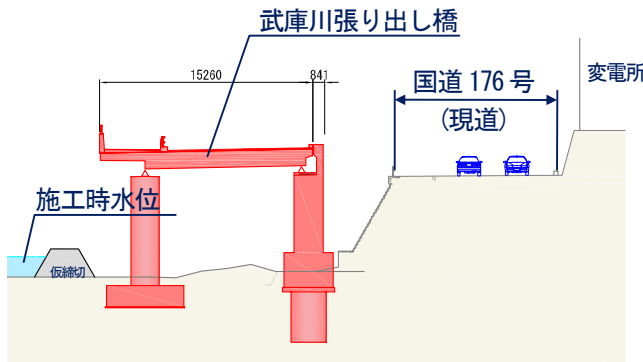


図-7 武庫川張り出し橋横断面図

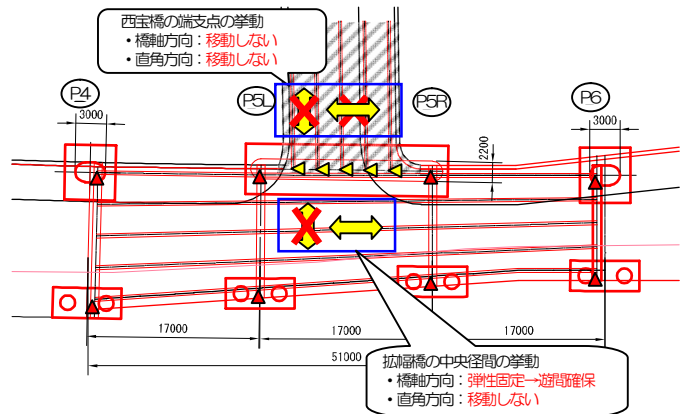


図-9 接続部支承計画図

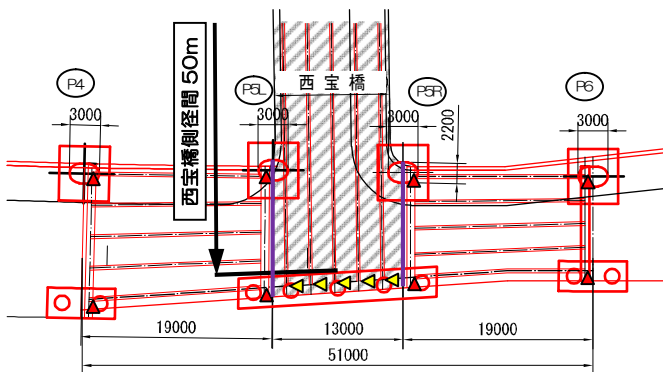


図-8 接続部代替案平面図

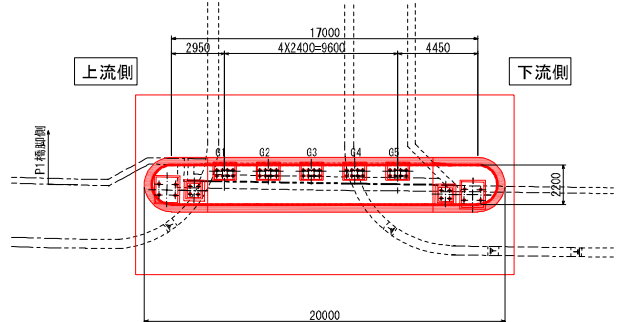


図-10 掛け違い橋脚平面図

5. 巨大地震に対する安全性の確保

(1) 基本方針

西宝橋交差部の構造について、設計想定以上の荷重が作用し支承破壊後に桁通しが衝突した場合、張り出し橋で採用している鋼床版桁橋の側面に西宝橋の桁が衝突することになり、主桁の座屈・落橋の恐れがある。したがって、不測の事態に対する安全性を担保するため、表-4に示す2案を検討した。

第1案：橋脚上に設置したパラペットで接続する案：

想定以上の地震が作用して支承が破壊しても橋脚上にパラペットを設けることにより、桁同士が衝突しないようにした案。

第2案：西宝橋交差部の桁形式をコンクリート構造とする案：橋梁上部工形式選定時に抽出していたPC中空床版橋を採用することにより桁同士が衝突したとしても主桁の座屈による落橋の恐れを防ぐ案

表-4 安全対策一覧表

案	概要図
第1案： 橋脚上に設置したパラペットで接続する案	
第2案： 西宝橋交差部の桁形式をコンクリート構造とする案	

(2) 第1案構造細目の検討

パラペットの設計荷重として、落橋防止構造を上部工とパラペットで接続する際の設計荷重 $P=1.5Rd$ (Rd : 死荷重)を採用して、構造を成立させた。

(3) 第2案構造細目の検討

a) 概要

- ①非出水期間内に施工する必要がある。
- ②河川条件、横梁を設けることができない構造特性を満足する橋梁計画（桁下高、HWL、橋脚幅等）とする必要がある。

b) PC鋼材緊張方法

橋軸方向のPC鋼材緊張方法について、第1案：両引き案、第2案：左片引案（起点側より）、第3案：右片引案（終点側より）の3案が考えられるが、片引き案だと端部の緊張力が不足し、曲げ応力度が許容値を超過するため、構造的に成立する第1案：両引き案を採用した。

また、橋脚が2柱式橋脚であることから、橋軸直角方向にもPC鋼材を配置する必要がある。橋軸直角方向の鋼材は、護岸側に緊張スペースが無いため、図-11に示す通り、護岸側を固定端とした片引きにて計画した。

c) 活荷重載荷方法

交差点に位置するため、通常は図-12上段のとおり活荷重載荷方向は一方だけであるが、西宝橋からの交通を考慮して図-12下段に示す荷重載荷状態も考慮し、鉄筋ならびにPC鋼材を決定した。

d) 結論

上記の検討を行い、構造成立性の確認ならびに非出水期内の施工ができることを確認した。

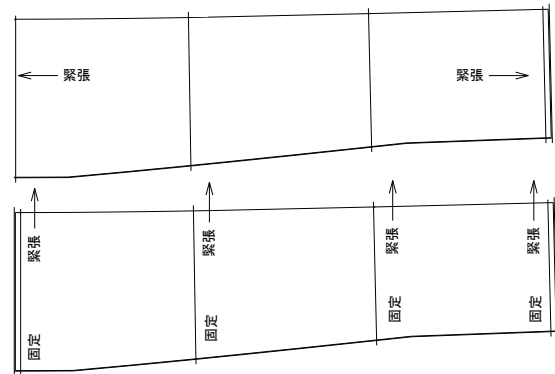


図-11 PC鋼材緊張イメージ図

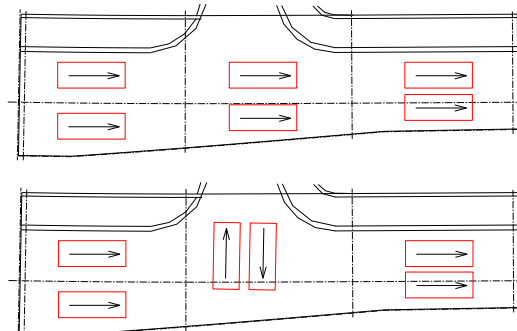


図-12 活荷重載荷イメージ

(4) 土研・国総研協議

河川縦断方向に張り出し橋を計画し、かつその橋梁の中間支間に別橋が平面的に直交する形で接続することについて前例がないことから、表-4に示す2案について、土木研究所ならびに国土技術政策総合研究所に技術相談を行い、以下の助言を頂いた。

プレベーム桁である西宝橋が武庫川張り出し橋との掛け違い橋脚上で落橋しない対策が重要である。

第1案の橋脚上に設けたパラペットでは、背面土の効果もないため、パラペットが損傷して、西宝橋が武庫川張り出し橋に衝突し多大な衝撃を与える恐れがある。

第2案は、武庫川張り出し橋の上部工がコンクリート桁（中空床版橋）であることから、重量および剛性があるため、プレベーム桁の衝突に対して掛け違い橋脚での落橋の恐れはないと考える。

以上より、第2案を採用し西宝橋と接続する武庫川張り出し橋の上部工形式はPC中空床版橋とした。また、両橋梁が接続する掛け違い橋脚は、レベル2地震時においても弾性設計とし、耐震性の向上を図るとともに、落橋のリスクを低減する設計思想とした。

6. おわりに

近年では、毎年のように地震や津波、台風等による水害・土砂災害等の自然災害が発生しており、気候変動による水害・土砂災害の頻発化・激甚化、南海トラフ巨大地震等の巨大地震の発生等も懸念されていることから、安全で信頼性の高い、災害に強い道路ネットワークを確保することが求められている。

武庫川張り出し橋の橋種選定について、張り出し橋の中間支間に西宝橋が接続するという特殊な条件のもと、西宝橋、武庫川張り出し橋ともに、1. (3)に示す4点の課題を解決し、大規模災害時の設計基準以上の不足の事態にも耐えうる橋梁計画を立案することができた（図-13、図-14に完成パースを示す）。

謝辞：本橋梁選定にあたり、ご指導を賜り適切な助言をいただきました土木研究所及び国土技術政策総合研究所に心から御礼申し上げます。



図-13 完成パース（国道176号から西宝橋方向）



図-14 完成パース（武庫川左岸上流から国道176号ならびに西宝橋接続部方向）

現場解決型「ダム湖等浮遊ごみ回収装置」 (水面清掃船)の開発・活用について

町田 輝次¹・関 拓夢²

¹NPO法人地域リサイクル推進機構 事務局 (大阪府柏原市本郷 1-1-7)

²NPO法人地域リサイクル推進機構 事務局 (大阪府柏原市本郷 1-1-7)

ダム湖等には、流木止の網場を通過した木片やペットボトル等の細かいごみの漂着や、浮草等が繁茂して水力発電所等の重要な施設への障害発生(発電停止、ゲート閉塞等)、湖面の景観や利活用にも悪影響を与えることから、その都度回収作業が行われている。

一般的に、作業船に乗った作業員によりタモ網による手作業が行われており、作業の安全性・効率性等から改善に向けたダム現場からの課題解決に向けて、ダム管理者である(独)水資源機構と「地域完結型リサイクルシステム」の普及に取り組むNPO法人地域リサイクル推進機構、船山(株)との協働による『カンタン・アンゼン・ハヤイ』を合言葉に「ダム湖等浮遊ごみ回収装置」を創造し実用化に至ったので紹介する。

キーワード：創意工夫、塵芥回収、ダム管理、環境保全、NPOとの協働開発、特許出願

1. まえがき

ダム湖等での流木止網場を通過した浮遊ごみ(木片、ペットボトル、浮草等)の回収は、一般的に管理所に備え付けられている小型作業船によるタモ網を用いた手作業での回収が行われている。

これら浮遊ごみを除去せず湖面に放っておくと、取水塔スクリーン(10cm程度)を透って発電設備の水車等を破損し発電停止に伴う経済的損失や、ダム湖等の環境保全、湖面の安全な利活用に支障が出る等の課題がダム現場から提起された。

このため、(独)水資源機構、流木等の適正処理で「地域完結型リサイクルシステム(建設技術展2004近畿に出展し、注目技術賞受賞)」の実績があるNPO法人地域リサイクル推進機構(発表者は、水資源開発公団&建設省でダム建設・管理を経験し、本装置の特許発明者)、船山(株)が協働して、時代に即した『アンゼン・カンタン・ハヤイ』の装置を目指

して2015年8月から開発・活用を進めた結果、実用化の目途が立った2016年6月に「水面清掃船」と題して特許申請を行い、現在に至っている。



写真1 湖面に浮かぶ木片



写真2 湖面に繁茂する浮草

2. これまでの浮遊ごみ回収作業

これまで主に、タモ網等を用いて手作業で湖面の浮遊ごみを①すくい揚げ→②作業船に積込み→③湖上運搬→④陸揚げ・陸上運搬・保管が行われてきた。



↓写真-3 ①



↓写真-4 ②



↓写真-5 ③



↓写真-6 ④

[以下、反復作業]

これらの課題として、以下の事柄が挙げられた。

- ・ごみを湖面からすくい上げる際や、作業船による湖上運搬時の安全性が損なわれる。
- ・手作業であるため、作業効率が低く特に緊急時の迅速な回収が困難。
- ・緊急時の場合は、昼夜かかわらず管理所職員自らの作業が求められるため、作業従事者の省力化（作業員の確保、健康管理含む）が必要。

3. 研究・開発の経緯

2. で示されたダム現場での課題解決に向けて、『アンゼン・カンタン・ハヤイ』を合言葉に、新装置の創意工夫に取り組んだところである。

基本的な考えとして以下の事柄に留意し、創案・試作品・現地試運転等試行錯誤を繰り返しながら進めた。

- ・手作業の省力化を図るため、作業船両縁にタモ網に代わる回収ネットをしっかりと固定し、作業船の前進走行により水流に沿いながら、自動的にごみ回収可能な装置とする。
- ・作業船及び作業員の安全性を高める為、回収した浮遊ごみは作業船に積み込まない。
- ・回収ごみの陸揚げを容易な作業とし、その後円滑なりサイクル化に努める

《第1回目試作品》



写真-7 装置が大きくて船への固定不可

↓

《第2回目試作品》



写真-8 網サイズと新装置の更なる簡素化



《装着品の改良》



写真-9 取付け金具の改良



写真-10 ラケット&フレームぶれ止金具を追加



《最終案》



写真-11 シンプルな 回収ネット本体の全景

4. 新開発装置による作業フロー

以下に、主要な回収作業の流れを写真で示す。



写真-12 作業船両縁に取付け金具を装着



写真-13 取付け金具にラケット装着



写真-14 ラケットに回収ネット装着



写真-15 船の前進走行に伴う自動的なごみ回収

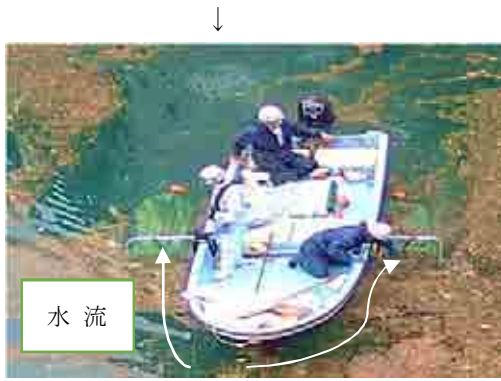


写真-16 船の両縁の装置によるごみ回収



写真-20 回収ネット底を緩め斜面にマルチング材利用



写真-17 ごみ回収後、回収ネットを湖面に浮かばす



写真-18 最大10個の回収ネットを後進作業船で集団牽引



写真-19 回収ネットごと陸揚げのためゴミが散乱しない

5. ダム湖浮遊ごみ装置の紹介

主な装置の概要は、以下のとおりである。



図-1 概要図



写真-21 作業船による回収ネット10個用牽引ロープ

《装置仕様》

標準装置仕様 1 組を以下に記載する。

標準装備品	
ボート船縁取付け金具 2ヶ所	鋼板 5.4k g /個
ラケット 2 個	アルミ合金 1.8K g /個
回収ネット×10 個 (ネットフレーム付)	ポリエステル: φ 550mm×2.0m 1.4K g /個
牽引二股専用ロープ 1 組	ナイロン 0.9k g /組
フロート 10 個 (回収ネット付)	PVC 0.2k g /個

表-1 標準装備品一覧 (一組総重量 29.3k g)



写真-22 タモ網による回収作業



写真-23 新回収装置による回収作業

6. 新旧作業による作業効果の比較検討

以下に、タモ網作業 (写真-22) と新回収装置 (写真-23) による作業の比較を示す。

《作業性》

・手作業主体のタモ網工法は、船から作業員が湖面に落ちる恐れや、ごみの積荷で船のスペースが狭く、バランスが崩れて運搬中に船への風等も影響し、転覆する危険性をはらんでいる。

ただし、作業自体はシンプルではあるが、人力作業が主体であるため長時間労働は困難が伴う。

また、荷揚・荷卸作業時に地面等へのごみの散乱や片づけ作業に余分な時間を要する。

・新回収装置は、回収ネットに船の前進走行に伴いごみが自動的に吸い込まれ、かつ船に回収ネットを積まず一旦湖面に浮かばせ、船で回収ネットをまとめて牽引するため、安全性や作業性は向上する。

・最初の浮遊ごみ回収装置の取付け金具の据え付けに 5 分程度の時間を要するが、以後はほぼ自動的に連続した「アンゼン・アンシン・ハヤイ」を合言葉に作業が行える。

特に、緊急時の迅速なごみ回収には新装置が優れている。

《コスト》

- ・作業員数はタモ網工法 3~4 人、新工法は 3 人で済むが、現地試験では作業時間 (装置セット回収、運搬、荷揚等) として従来のタモ網工法に比べ、新回収装置では 1/2 程度に短縮される。
- ・新回収装置は、タモ網に比べて購入額は高価となる。(作業船形式より、事前に寸法調査が必要で取付け金具の手作り製造が必要となる。)

7. 納入実績

これまでの納入実績と広報を、以下に示す。

《新装置納入》

(独) 水資源機構

- ・高山ダム (浮草の除去)
- ・浦山ダム (木片&ペットボトルの除去)
- ・比奈知ダム (木片の除去)

《広 報》

- ・2017 年度水資源機構関東ブロック技術研究発表会発表「NPOと連携した解決手法（ダム湖塵芥回収装置の開発について）」
- ・2017 年度水資源機構業務改善コンテスト入賞（浦山ダム管理所）
- ・ダム日本 2018 年 4 月号「高山ダム管理所を訪ねて」掲載

8. 今後の展開について

本装置は、約 2 年半にわたる研究→開発→活用を着実に進める中で、現時点での最もよい装置にたどり着いたとの思いではあるが、今後の展開について以下に検討を行った。

《装置の課題》

- ・装置の納品実績を増やして、利用者からの意見を踏まえ、今後共に更なる改善を図っていく。
- ・本装置の普及を図るため、ダム湖だけでなく農業用ため池、城のお堀、公園地の池、河川ワンド、漕艇場等範囲拡大を図り、特に 2020 東京オリンピック、2019G20 サミット大阪、2025 日本万国博覧会（大阪・関西）等大きなイベント開催に伴う海外も含め多くの観光客が予想されるため、これら観光地での景観保全への活用も積極的に図っていく。
- ・現時点では、特許公開中であるため、実運用結果も反映した最終的な装置での特許取得を果たす。
- ・ダム湖等には、油等水質汚染が発生するため、一般的には油吸着材（マットや粉末剤）が撒かれるが、これらの迅速な回収に本装置の応用が期待される。

9. まとめ

本論文では、ダム現場での日常管理から課題提起されたダム湖等浮遊ごみ回収作業のあり方について、時代に即した『アンゼン・カンタン・ハヤイ』を合言葉にダム湖等浮遊ごみ回収装置の研究開発・活用を試み、

特許出願・公開までの歩みを報告した。

最初は、ダム湖に漂着する流木等の大きな浮遊物の回収技術は多方面で研究・開発されているもののこのような手造り装置であるがゆえに、試行錯誤しながら幾多の装置を考案しては試作、ダム湖での試運転等を繰り返し、改良を積み重ねた結果本装置の実用化までこぎつけたところである。

今にして想えば、ここに至るまでの道程は関係者の技術・職人魂に支えられ最後まであきらめることなくチャレンジし続けたことが良かったと安堵すると共に、本装置の活用で少しでも社会貢献に寄与出来るとすれば本装置の発明者としてはこの上ない喜びである。

これまでの「時代に即した」から、「時代を先取りした」ダム湖等浮遊ごみ回収装置を目指してこれからの小さなことからコツコツと歩いていく所存であり、よって、関係者のご意見を願うものである。

最後に、本装置の研究・開発・活用に熱きご指導下さいました（独）水資源機構、NPO法人地域リサイクル推進機構法人会員でもある船山（株）に対し、心から感謝申し上げますとともに、本装置の普及と更なる改善を目指して奮闘することを誓い、発表論文のまとめとする。

10. 本装置の関係者紹介

なお、本装置の関係者（特許含む）を以下に紹介する。

- ・独立行政法人水資源機構
- ・NPO法人地域リサイクル推進機構：事務局 町田専務理事（090-2064-4289）
- ・船山株式会社（製造・販売）：環境部一関、佐藤 千104-0052 東京都中央区月島 2-20-15（電話 03-3532-3605 F A X 03-3532-3321）

以 上

下水汚泥固形燃料化事業について ～下水汚泥が電気に生まれ変わります～

真見 一樹¹

¹京都府 流域下水道事務所 施設整備室（〒617-0836 京都府長岡京市勝竜寺樋ノ口）。

京都府長岡京市にある洛西浄化センターでは、1日に約65t-wetの汚泥が発生している。発生した汚泥は焼却し、焼却灰をセメント原料として利用するか、埋立処分することで処分を行ってきたが、セメント利用量の減少や埋立処分場の受入量の限界などの問題を抱えていた。

そこで、下水汚泥の有効利用方法について、民間事業者から提案を公募し、最も効果が高いと判断された、下水汚泥固形燃料化事業を実施することとした。下水汚泥を高い稼働率が期待できる発電用途として利用可能な燃料化物とすることで、長期にわたる処分先の確保と、燃料化物から生み出される電気エネルギーを地域へ還元することが可能となった。

キーワード 汚泥処理、汚泥の有効利用、下水汚泥固形燃料化、D B O

1. はじめに

京都府の流域下水道は、都市化の著しい府南部において、京都府最初の流域下水道である桂川右岸流域下水道（洛西浄化センター）が1979年に供用開始し、続いて木津川流域下水道が1986年、木津川上流流域下水道と桂川中流流域下水道が1999年に供用開始した。また、特別名勝天橋立を擁する宮津湾の自然環境の保全を図るため、宮津湾流域下水道が1993年に供用開始した。（桂川中流流域下水道は町村合併により、2016年4月1日に南丹市へ移管した。）

洛西浄化センターは、桂川右岸流域の3市1町の区域を対象とし、約35万人の下水を処理しており、供用開始から既に38年が経過している。



図-1 桂川右岸流域下水道（洛西浄化センター）
計画概要図

洛西浄化センターが対象としている地域は、JR東海道本線、阪急京都線および国道171号等の主要な路線が地域内を南北に縦断しているため、高度経済成長期から急激に都市化が進行し、下流域には阪神地域の都市群が存在していることから、府が流域下水道整備を進め、下水の高度処理を行うことで公共用水域の良好な水質を保全してきた。

なお、処理場内の水処理施設の上部空間を府立洛西浄化センター公園（アクアパルコ洛西）として利用、処理水を勝竜寺城公園（長岡京市）で再利用、下水熱を管理棟空調の熱源として利用するなど、施設や資源の有効利用につとめている。

今回、洛西浄化センターにおいて、下水処理により発生する下水汚泥の有効利用を推進するため、石炭火力発電所の代替燃料を製造する下水汚泥固形燃料化施設が新たに完成、平成29年4月から稼働したため、その概要について報告する。

2. 事業導入の背景

(1) 洛西浄化センターにおける汚泥処理

洛西浄化センターには1日に平均約16万m³もの下水が流入し、浄化センター内の水処理設備で処理された後、処理水は桂川へ放流される。一方で、処理の過程で発生する下水汚泥は、汚泥の減容・安定化のための濃縮、消

化及び脱水の処理を行うことで減量されるものの、それでも約65t-wet/日の汚泥が発生する。これまで洛西浄化センターでは、汚泥を焼却炉により焼却処理し、焼却後に残る焼却灰をセメント原料として有効利用、もしくは、埋立処分することで、処分を行ってきた。



図-2 洛西浄化センターの処理フロー

(2) 汚泥の長期的・安定的な処理と有効利用

現在稼働中の既設焼却炉は平成15年より運転を開始したが、老朽化や劣化が進んでおり、当面は長寿命化対策を実施することで運転を継続していくものの、その後については以下の理由から、今後の長期的・安定的に下水汚泥を処理できる方法及び有効利用率を改善する方法を検討する必要がある。

- ・埋立処分の処分先の受入量に限界があること
- ・セメント原料として有効利用しているものの、セメント生産の減少により安定した焼却灰の有効利用先の確保が不透明となっていること
- ・検討開始時の平成22年度において、汚泥の有効利用率が44%と全国平均の78%に比べて低い状況にあり、有効利用が進んでいるとは言えない状態であったこと

(3) 温室効果ガス排出量の削減

汚泥を焼却処理するにあたっては、約850℃の高温状態を保つために多くの電力や燃料を使用し、さらに焼却過程でN₂O（一酸化二窒素（CO₂の310倍も温暖化に影響がある温室効果ガス））を排出することなどから環境へ与える影響は大きい。

一方で、汚泥は豊富な有機分を含んだバイオマスとして利用可能な資源であり、緑農地利用やエネルギー利用などの有効利用が可能である。下水汚泥を廃棄物としてとらえるのではなく、バイオマスとして資源化・再利用することで、温室効果ガス排出量やエネルギー使用量の削減が可能となることから、環境負荷の低減や地球温暖化防止に貢献できる方法を検討する必要がある。

3. 事業概要

(1) 汚泥処理方式の評価・選定

汚泥の有効利用の方法については、技術革新が著しい分野であることから、民間事業者から提案を公募することとした。汚泥有効利用事業については、各技術が新しい技術であり実績も少ないこと、標準的な設備仕様や運営方法がないため、民間事業者の創意工夫やノウハウを活用した事業手法を採用するのが合理的である。民間事業者が設計から運営まで一体的に関与することで自由度が高まり、技術的能力、経営能力などが活用されることから、公共が直接実施するよりも効率的かつ効果的に公共サービスを提供できる可能性が高い。

そこで、民間事業者に対し、発生する汚泥を全量有効利用、施設の設計・建設から維持管理・運営までを一括とした事業方式とすること、という条件の下で提案を募った。その結果、計9件の提案（緑農地利用：1件、エネルギー利用：7件、建設資材利用：1件）があり、安定性、経済性及び環境への配慮などの観点から総合的な評価点の高い、エネルギー利用の方式（汚泥固形燃料化）を外部有識者会議の提言を得て導入することとした。

(2) 汚泥固形燃料化事業概要

- 事業名
桂川右岸流域下水道 洛西浄化センター下水汚泥固形燃料化事業
- 受注者
電発・月島・日メン・B P S 共同企業体
- 事業期間
設計・建設 : 平成25年10月～平成29年3月
維持管理・運営 : 平成29年4月～平成49年3月
- 契約額
3,957,450千円
設計・建設 : 1,516,200千円
管理・運営 : 2,441,250千円
- 処理方式
低温炭化方式汚泥固形燃料化
- 処理能力
汚泥処理能力 : 50t-wet/日
計画処理汚泥量 : 13,200t/日
稼働日数 : 330日/年
燃料化物製造量 : 約1,500t/年 (1日あたり約4.5t)
燃料化物発熱量 : 19.3MJ/kg-ds
- 事業方式
DBO方式 (公設民営方式)



図-3 施設位置図

(3) DBO方式の採用

今回の事業は、民間事業者の創意工夫やノウハウを活用するため、設計・建設・維持管理・運営の一切の業務運営を一括して発注するDBO方式を京都府で初めて採用した。事業全体への責任を負わせることによって、機器の故障時における修繕費や、その休止期間中の汚泥処理の増加に対する費用を受注者に負担させることができる。DBO契約では、事業者が設計・建設を行ったあとに、運営管理を行うための特別目的会社であるSPC「株式会社バイオコール京都洛西」を設立、地位の承継をし、運営を行うこととしている。これにより、20年間という長期にわたり、サービスの安定的かつ継続的な維持管理・運営を担保させることが可能となっている。



図-4 受注者とSPCによる運営

4. 処理方式の特徴

(1) 汚泥固形燃料化施設の処理フロー

本事業における汚泥の炭化処理の特徴について述べる。洛西浄化センターで発生した汚泥は水分を約80%含んでいるため、乾燥機により水分を約25%まで乾燥させた後、炭化炉により250~350℃程度で約60分間炭化処理を行う。炭化後に安定化処理し、燃料化物が生成される。生成された燃料化物は、炭化物ホッパーで貯蔵し、火力発電所等へ運搬される。

(2) 低温炭化燃料化方式

固形燃料化にあたっては、「低温炭化燃料化方式」を採用している。

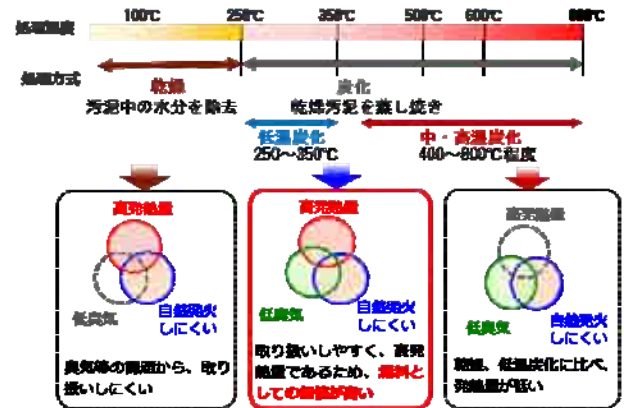


図-5 低温炭化方式

「低温炭化燃料化方式」は、既存技術である高温及び中温炭化と比較して、より低温領域である250~350℃程度で炭化する技術であり、燃料として重要となる3要素「高発熱量」、「低自然発火性」、「低臭気」のすべてを実現し、石炭代替燃料として品質の高い燃料化物を生成できる技術となっている。生成される燃料化物の発熱量は、19.3MJ/kg-dsであり、石炭発熱量のおよそ75%程度となっている(石炭の発熱量: 25.7MJ/kg)。

(3) エネルギーの再利用

炭化処理や排ガス処理に使用する燃料は、浄化センター内の消化タンクで発生した消化ガスを利用しており、省エネルギー化を図っている。炭化炉にて発生する排ガスは、再燃炉にて高温で燃焼処理し、再燃炉を出た排ガスは廃熱ボイラ等にて熱回収された後、排煙処理塔にて煤塵を除去し、排出口より大気放出する。再燃炉を通った約900℃の排ガスは、廃熱ボイラ及び空気予熱器にて熱回収し、廃熱を乾燥機の熱源に利用、かつ燃焼空気の予熱にも利用することで熱風炉及び再燃炉の補助燃料の使用量削減に貢献している。

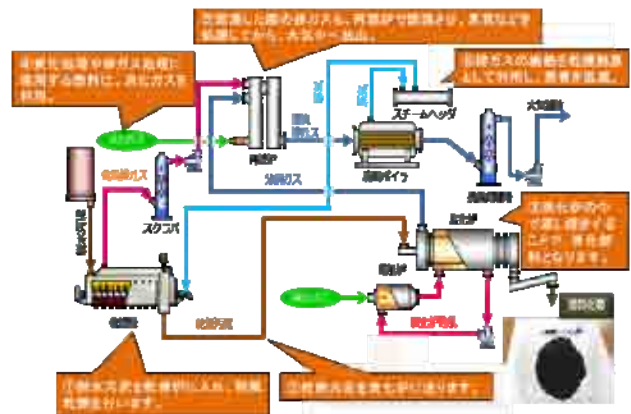


図-6 汚泥固形燃料化の処理フロー

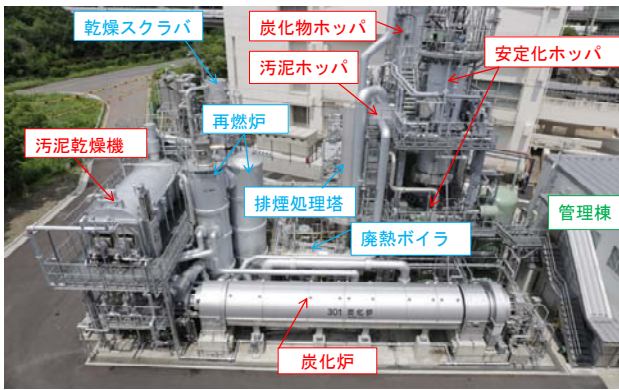


図-7 汚泥固形燃料化施設

さらに、燃料化設備で発生する排水熱を浄化センター内の消化槽へ供給、加温に有効利用することで、最大限の廃熱利用を行い、浄化センター全体の省エネルギー化にも貢献している。

汚泥ホッパ等から発生する臭気はブロワで吸引し、再燃炉と熱風炉の燃焼空気として利用すると同時に、高温で焼却処理することで、臭気対策も行っている。

5. 事業の効果

(1) 下水汚泥の安定処分の確保

これまで洛西浄化センターで発生した下水汚泥は、その一部がセメントに有効利用されるのみであった。本事業により、下水汚泥は燃料化物として石炭代替燃料として生まれ変わり、今後20年間にわたって、13,200-t/年の汚泥の処分先を確保することができた。さらに、火力発電所で電気エネルギーに変換され、一般家庭や工場などで電気として使用される。約1,500t/年の燃料化物が生成され、約2,900MWhの電気エネルギーとなるが、これは一般家庭約900世帯分が1年間に使用する電気エネルギーに相当する。



図-8 汚泥（燃料化物）の有効利用

(2) 温室効果ガスの削減

これまでの焼却処理では、汚泥の高温処理のため電力や燃料を使用すると同時に、CO₂の310倍も温暖化に影響があると言われるN₂O（一酸化二窒素）の温室効果

ガスを大量に排出していた。

汚泥固形燃料事業に採用した低温炭化燃料化方式では、N₂Oの排出量がきわめて小さく、従来の焼却方式に比べて発生する温室効果ガスを大幅に削減することが可能となっており、同規模の焼却炉と比較した場合、CO₂換算で約80%の温室効果ガス（約2,600t/年）の削減につながっている。

また、生成された燃料化物は火力発電所で使用することで、代替した石炭使用量に応じた温室効果ガス排出の削減につながるため、火力発電所で発生する約2,400t/年の温室効果ガス削減につながる。

以上より、燃料化物の製造過程から火力発電所での有効利用までの全体工程で既存焼却設備と比較して、年間約5,000tの温室効果ガス削減効果が見込まれる。これは、一般家庭約1,000世帯分に相当する量の温室効果ガス削減効果となっている。

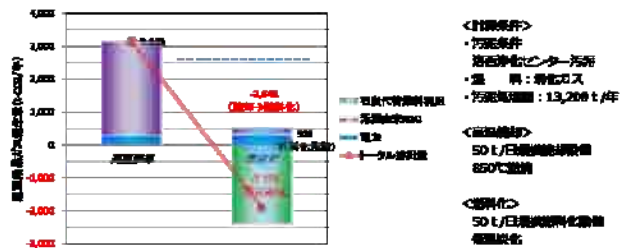


図-9 温室効果ガス削減効果

(3) 循環型社会の構築

これまで廃棄物として処分していた下水汚泥を石炭に変わる燃料化物として新しいエネルギーを創出することで、石炭燃料の使用量を減らし、温室効果ガスの削減が可能となった。生成された燃料化物は火力発電所で石炭代替燃料として利用されることで、下水汚泥が電気エネルギーとして生まれ変わる。下水汚泥は石炭資源とは異なり、安定して供給することが可能であり、下水汚泥を電気の形で地域社会への還元することで、環境に優しい循環型社会、低炭素社会の構築に貢献することが可能となった。



図-10 循環型社会の構築へ

6. おわりに

下水汚泥固形燃料化事業は、京都府として初めてDBO方式による契約を経て事業化に至り、現在、維持管理・運転を行っている。

京都議定書誕生から20周年となる節目に、地球温暖化防止につながる本施設が稼働したことは、非常に有機的なことであると考えます。

下水汚泥固形燃料化事業に携わってこられた皆様をはじめとする多くの方の御尽力により、下水汚泥固形燃料化事業が完成することができたことを心より感謝申し上げます。



図-11 生成した燃料化物

20人まで同時に行うことができ、個別に暗証番号付きの会議室を作成することも出来る。操作者及び指示者間の通信には、無線LANまたはモバイルデータ通信が必要なため、ダムによっては携帯電話の電波が弱く、モバイルデータ通信では十分な映像通信が出来ない恐れがあった。そこで、通信容量を確保するため、既存のインターネット回線が有り、最も使用頻度が高いと想定される各ダムの操作室に無線LANルータを設置した。また、設備点検や防災時等の現地（無線LANが無い環境での）作業も想定し、モバイルデータ通信の契約も行った。スマートフォンの諸元及び契約内容は表-1に示すとおりである。なお、本システムはアプリケーションをインストールしたスマートフォンであれば、契約したライセンス数まで同時に通信することが可能であるため、業務支援システム専用の端末を契約する必要はない。

表-1 スマートフォンの諸元及び契約内容

項目	詳細
O S	Android6.0 (64bit)
C P U	Qualcomm S410 (64bit)
メ モ リ	2GB (LPDDR3 RAM)
内部ストレージ	eMMC 16GB
ディスプレイ	5.5型 (1,280×720ドット)
カメラ	前面 500万/背面 1,300万画素
S I M	SIMフリー
モバイルデータ通信	5GB/月

(2) メリットとデメリット

木津総管管内のダムでは、夜間休日等勤務時間外の管理所周辺の巡視や利水バルブ操作等を一部民間委託しており、夜間等にバルブ操作の必要が生じた場合、職員の指示の下、委託業者が操作を実施することとなる。特に青蓮寺ダム管理所では、業務支援システム導入前後よりダムコンの更新工事中であり、既設新設双方のダムコンの操作を要する等、通常とは異なる手順が多くあった。また、同時期に委託業者の人員入替があったため、慣れていない者が操作を行う機会が生じた。これにより青蓮寺ダム管理所では本システムを活用する機会が増え、結果として多くの利点及び課題点が抽出されることとなった。当該管理所を中心に、木津総管管内の各ダムで業務支援システムを約一年半試行し、判明した利点及び課題点を表-2に示す。

業務支援システムによる最大の利点は、操作者は指示内容を正確に実行することが容易になり、指示者は映像として結果を短時間で得ることが可能となったことである。従前は、携帯電話による音声指示であったため、設備に対する習熟度合いによって操作の速度や報告の正確性に個人差が生じていた。また、音声による情報伝達で

あったため、現地状況の把握が正確に出来ない可能性があった。しかし、映像により相互の情報が正確且つ迅速に伝わるため、習熟度の差に関係なく、情報の伝達に齟齬が生じる可能性を大きく減少させることが出来た。また、指示者が映像を通じて現場状況を把握できるため、指示者と操作者及び第三者によるチェックが可能となり、焦燥によるケアレスミス等、操作時における人為的ミスの低減に貢献している。

しかし、多くの利点がある一方で、課題も明らかになった。先ず本システムを利用するためには、常にスマートフォンを手にしていなければならない事である。これは、従前の携帯電話による方法でも同様であるが、本システムでは指示者へ映像を常に送信するため、より操作性が制限されることになる。2つ目に、通信が確立するまでに時間を要することが挙げられる。図-2に示すとおり本システムを利用するためには、①スマートフォンのロックを解除する②アプリケーションを立ち上げログインする③クラウドサーバ上のWEB会議室にログインするといったステップが必要となり、携帯電話と比較すると時間を要する。また、スマートフォン内蔵のマイク及びスピーカを用いて通話するとエコーやハウリングが発生するため、使用時にはイヤホンマイクを使用する必要があり、より操作が煩雑になってしまう。最後に、携帯電話より通信圏が狭いことが挙げられる。無線LAN環境下に無い場合、携帯電話事業者回線により通信を行うが、電波強度が低い場合、携帯電話が通じても業務支援システムでは通信できない（携帯電話よりも通じにくい）状態となることがあった。

表-2 業務支援システムの利点と課題点

利点	指示者が操作や現地状況等を視覚情報によって正確に把握出来る
	操作者の操作に誤りがあった場合、即座に修正を指示することが出来る
	操作や結果を複数の目によりチェックすることが可能となる
課題点	話者間の情報が正確に伝わるため、操作者の焦燥感が減少する
	スマートフォンを片手に所持することで操作性が低下する
	通信が確立するまで、携帯電話による通話より時間が掛かる
	内蔵スピーカ等を使用するとエコーやハウリングが発生する
	携帯電話が通じる場合でも電波強度により通信が出来ない場合がある



図-2 業務支援システム起動手順

低コスト化について更なる検討を進める必要がある。

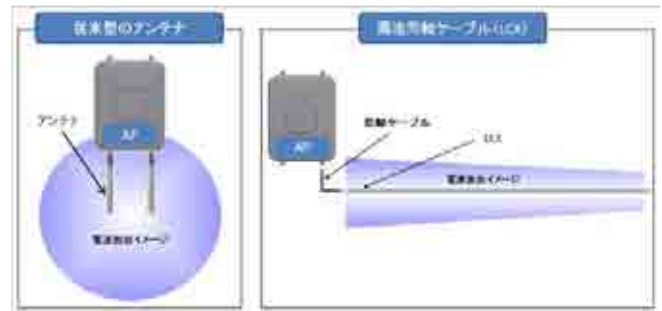


図-3 構築される無線LANエリアの違い

(3) 検討事項

2.(2)で述べたとおり、メリットとデメリットが有るが、デメリット解消のため、検討すべき事項を示す。

a) 無線LAN環境整備の検討

ダム堤体内部より外部への連絡手段は、内部に設置されたアクセスポイントによるPHSでの通話に限られるため、ゲート・バルブ室内の設備点検等に業務支援システムを利用することが出来ない。本システムの利用可能範囲を拡大し安定した通信環境を構築するためには、無線LAN環境をダム堤体内に整備する必要がある。ダム堤体内部の監査廊は、鉄筋コンクリート構造でゲート・バルブ室等をつなぐよう配置されている。断面積の小さい直線部が大半を占め、且つ曲がり角や階段が多数存在することから、アンテナを中心に球状の無線LANエリアを構築する従来のアンテナでは多くの機器を設置する必要が生じる。よって、効率化を図るため漏洩同軸ケーブル（以下、「LCX」という。）による無線LANエリアの構築を検討した。

LCXは、ケーブルに設けられた穴より電波が漏れ出すことで、ケーブル近傍に無線LANエリアを構築するケーブルである。従来のアンテナとLCXにより構築される無線LANエリアの違いを図-3に示す。LCXは無線LANアクセスポイント（以下、「AP」という。）間に最大通信速度150Mbps、最大延長約50m×最小半径φ5mの無線LANエリアを構築することが可能となる。LCXを使用した機器構成は図-4に示すとおり、APへの電源供給及び光ケーブル接続用のPower over Ethernet 給電スイッチ（以下、「PoE」という。）、AP及びLCXとPoE間を接続する光ケーブルによって構成される。PoEに接続する光ケーブルはループ状に配線し、1箇所故障が生じても故障箇所以外では無線LAN環境を維持できるよう冗長性を確保している。LCXは、効率的にダム堤体内の無線LAN環境整備を行うことが可能となる。

しかしながら、本構成による費用を試算したところ1ダムの機器単体費のみで1,000万円以上を要する結果となった。無線LANエリアの拡大はIoT等の活用に必要な不可欠であるため、今後は無線LANエリアのスポット化等、

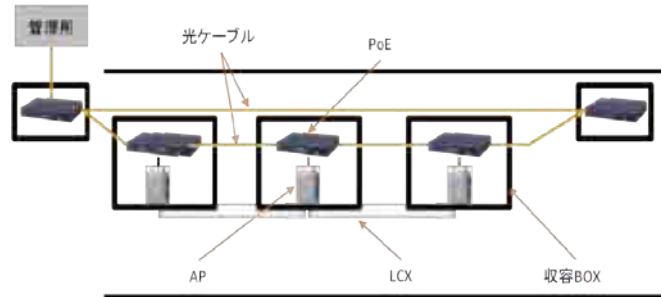


図-4 機器構成図

b) ハンズフリー化の検討

本システムにおいて映像の撮影及び確認は、スマートフォンによって行われるが、撮影と映像の閲覧を同時に行うため操作性が低下する。操作室内でのダムコン操作等では、市販のスマートフォン固定器具で対処可能であるが、設備点検等は移動が多いため固定器具では対応が難しい。このため、移動範囲が広くてもハンズフリー化が可能な方法としてヘッドマウントディスプレイ（以下、「HMD」という。）の利用を検討している。HMDとは、両目若しくは片目に覆い被せるように、一体化したカメラ、マイク、スピーカ及びディスプレイ等を装着するものである。ヘルメット等に固定して使用することで、操作者の視点に近い映像を撮影することが可能となる。HMDを使用したシステム構成図は図-5に示すとおり、スマートフォンが中継器の役割を果たしHMDからの映像が指示者へ送信される。



図-5 HMDを使用した業務支援システム構成図

木津総管では、実際にHMDによる操作感を体験するため実機を用いた学習会を昨年度実施した。HMDによる通話では、操作者は両手が自由になるため移動・撮影共に負担が減少し、指示者は操作者の視点を確認できるため、よりの確な指示が可能となる。しかし、ディスプレイの装着位置やヘルメットへの固定、スマートフォンとのペアリング設定等、スマートフォン単体で通信を行うよりも手順が煩雑であった。また、機器の発熱や装着時の違和感が大きい等のデメリットも感じられた。HMD導入による一定のメリットは有るものの、既存のデバイスではデメリットも無視できないことから、HMDを現状において導入する必要性は薄いと思われる。一方、2025年にはVR/AR（仮想現実/拡張現実）のハードウェア市場規模がテレビの市場規模を超える可能性も予測されており³⁾、今後これらのデバイスであるHMDが大きく進歩すると期待される。従って、現時点ではHMDの導入は見送るが、新製品等の情報を積極的に調査し、導入を適宜検討していく必要があると考えられる。

3. IoT等を活用した将来展望

IoT等の更なる活用の展望として、固定電話機のスマートフォン化を検討している。これは、従来の電話機をスマートフォンに置き換え、音声クラウドサービスを利用することによって、モバイルキャリア網若しくは無線LAN環境下であれば、場所を問わずに内線及び外線を利用できるものである。また、業務支援システムと組み合わせることで、データ閲覧や映像通信を低コストで実現できると考えられる。本検討による構成を図-6に示す。固定電話機をスマートフォン化することによって次のメリットが生まれると考えられる。

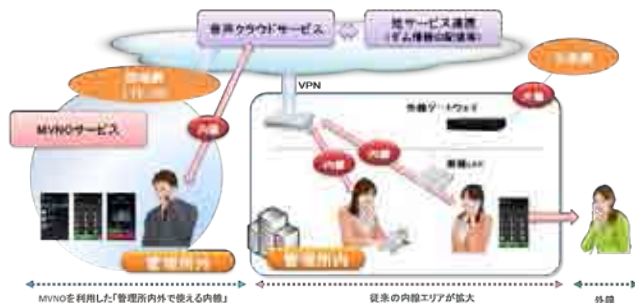


図-6 固定電話機スマートフォン化構成図

- ①スマートフォンをデータ閲覧にも用いるため、データ閲覧用に契約しているタブレットの通信費用が削減可能
- ②事業所と現場の区別無く内線/外線の対応が出来るため業務効率が向上
- ③電話機がスマートフォンになるため、事務所内の配線が減少
- ④各人が業務支援システムを利用可能となるため、使用頻度が増加しシステムの形骸化を防止
- ⑤水管理情報設備に配信用サーバを設置するため、リアルタイムにダム情報が閲覧可能

4. おわりに

木津総管では、IoT等の試行として業務支援システムを構築し、ダムコン操作等で大きな利点を得ることが出来た。業務支援システムはIoT等の技術としては平凡なものではあるが、システム導入が容易であること、手軽に映像通信が出来ることから緊急時のダム操作、巡視時の現地報告等に活用することで他事業所においても容易に活用され業務効率化を図ることが出来ると考えている。

IoT等は、活用次第でさらなる業務効率化や管理能力の向上を図ることが出来る。その一方、使用頻度が低下すると費用を浪費するだけのお荷物となる危険性もあるため、導入に当たっては内容を吟味する必要がある。木津川ダム総合管理所では、今後も幅広い視野で活用方法を模索することで更なる業務効率化を目指していきたい。

参考文献

- 1)総務省. 2015. 平成 28 年通信利用動向調査の結果. p. 18.
- 2) 東京大学先端科学技術研究センター特任教授 情報未来創研代表 稲田修一. 2016. 知識ゼロからのビッグデータ入門. pp. 62-73.
- 3)Goldman Sachs Inc. January 13, 2016. Goldman Sachs Global Investment Research. p. 8.