

**令和 6 年度
国土交通省 国土技術研究会**

**概要論文集
～イノベーション部門Ⅱ～**

研究会1日目(12月5日(木)):C会場

13:00～18:15

令和6年度 国土交通省 国土技術研究会 プログラム

1日目(12月5日(木))			
研究発表会場			
会場	A 2号館共用会議室2A・2B	B 2号館共用会議室3A・3B	C 2号館共用会議室5
区分	○自由課題 ・一般部門(安全・安心Ⅰ) ・一般部門(安全・安心Ⅱ) ※国土技術開発賞受賞 技術報告含む	○自由課題 ・イノベーション部門Ⅰ ・一般部門(活力) ※SBIR建設技術研究開発 助成制度成果報告および 国土技術開発賞受賞 技術報告含む	○自由課題 ・アカウンタビリティ部門 ・イノベーション部門Ⅱ ※SBIR建設技術研究開発 助成制度成果報告および 国土技術開発賞受賞 技術報告含む
9:00			
10:00	9:45～ 受付開始		
11:00	A1 10:15～12:00 一般部門 (安全・安心Ⅰ) ・審査課題:6本 ・報告課題:1本	B1 10:15～12:00 イノベーション部門Ⅰ ・審査課題:6本 ・報告課題:1本	C1 10:15～12:00 アカウンタビリティ 部門 ・審査課題:7本
12:00			
13:00	A2 13:00～14:15 一般部門 (安全・安心Ⅰ) ・審査課題:4本 ・報告課題:1本	B2 13:00～14:15 イノベーション部門Ⅰ ・審査課題:5本	C2 13:00～14:15 イノベーション部門Ⅱ ・審査課題:4本 ・報告課題:1本
14:00			
15:00	休憩(15分)	休憩(15分)	休憩(15分)
	A3 14:30～15:45 一般部門 (安全・安心Ⅰ) ・審査課題:5本	B3 14:30～15:45 イノベーション部門Ⅰ ・審査課題:4本 ・報告課題:1本	C3 14:30～15:45 イノベーション部門Ⅱ ・審査課題:4本 ・報告課題:1本
16:00			
17:00	休憩(15分)	休憩(15分)	休憩(15分)
	A4 16:00～17:00 一般部門 (安全・安心Ⅱ) ・審査課題:4本	B4 16:00～17:00 一般部門(活力) ・審査課題:4本	C4 16:00～17:00 イノベーション部門Ⅱ ・審査課題:4本
18:00	A5 17:15～18:15 一般部門 (安全・安心Ⅱ) ・審査課題:4本	B5 17:15～18:15 一般部門(活力) ・審査課題:4本	C5 17:15～18:15 イノベーション部門Ⅱ ・審査課題:4本

2日目(12月6日(金))				
	研究発表会場			特別講演会場
会場	A 2号館共用会議室2A・2B	B 2号館共用会議室3A・3B	C 2号館共用会議室5	D 3号館10階共用会議室
区分	○自由課題 ・一般部門(安全・安心Ⅱ) ※SBIR建設技術研究開発 助成制度成果報告および 国土技術開発賞受賞 技術報告含む ○各局等提案課題	○自由課題 ・一般部門(活力) ※SBIR建設技術研究開発 助成制度成果報告含む ○各局等提案課題	休憩スペース ※14:00まで	○特別講演 ○表彰式
9:00				
	9:15～ 受付開始			
10:00	A6 9:45～10:45 一般部門 (安全・安心Ⅱ) ・審査課題:3本 ・報告課題:1本	B6 9:45～10:45 一般部門(活力) ・審査課題:4本		
	休憩(15分)	休憩(15分)		
11:00	A7 11:00～12:00 一般部門 (安全・安心Ⅱ) ・審査課題:3本 ・報告課題:1本	B7 11:00～12:00 一般部門(活力) ・審査課題:3本 ・報告課題:1本		
12:00				
13:00	A8 13:00～14:00 各局等提案課題 ・2本	B8 13:00～14:00 各局等提案課題 ・2本		
14:00				14:00～ 受付開始
15:00				
				15:00～16:00 特別講演
				16:05～16:35 表彰式
16:00				16:35～16:50 受賞者記念撮影
17:00				
18:00				

自由課題(イノベーション部門Ⅱ)

C会場：12月5日(木)13:00～18:15

セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
C2	1	審査課題	13:00～13:15	供用中かつ利用頻度の高い岸壁における予防保全工事の実施について～大阪港大正内港地区岸壁改良～	近畿地方整備局 大阪港湾・空港整備事務所 保全課	中川 元気
	2		13:15～13:30	玉島維持出張所におけるDXの取り組みについて	中国地方整備局 岡山国道事務所 管理第二課	伊藤 大悟
	3		13:30～13:45	BIM/CIM技術を用いた「事業情報プラットフォーム」の試験運用	四国地方整備局 松山河川国道事務所 調査課	伊藤 理愛
	4		13:45～14:00	国土交通データプラットフォームにおける電子成果品のさらなる活用のためのメタデータ自動作成に関する研究	国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本情報基盤研究室	夜久 将司
	5	報告課題	14:00～14:15	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 ※論文掲載なし コンクリート床スラブの厚さを半減する環境配慮型床振動遮断メタマテリアルの開発	愛媛大学 大学院理工学研究科 機械工学講座 教授	水上 孝一
C3	6	審査課題	14:30～14:45	基礎処理工における現場立会のビデオオンデマンド化について	東北地方整備局 成瀬ダム工事事務所 工事課	徳永 源造
	7		14:45～15:00	DX技術を用いた現場確認の効率化について	群馬県 県土整備部 都市計画課 道路交通計画室	西潟 将利
	8		15:00～15:15	予防保全型道路メンテナンスに向けた地域支援等の取り組みについて	中部地方整備局 中部道路メンテナンスセンター 技術第一課	鈴木 健文
	9		15:15～15:30	Air-des工法による液状化対策の試験施工～全国初となる河川堤防への適用性検証～	四国地方整備局 徳島河川国道事務所 流域治水課	橋田 水輝
	10	報告課題	15:30～15:45	【国土技術開発賞受賞技術報告】 ※論文掲載なし 地盤改良工法の自動打設 システム ～GeoPilot+AutoPile【ジオパイロット+オートパイル】～	株式会社不動テトラ 地盤事業本部 技術部部长	伊藤 竹史
C4	11	審査課題	16:00～16:15	三国川ダムにおけるAIを用いた流入量予測システムの構築について	北陸地方整備局 三国川ダム管理所	垣田 駿斗
	12		16:15～16:30	味噌川ダムにおけるドローダウン開始時期の早期化による水力発電電力量増大の取り組み	独立行政法人水資源機構 味噌川ダム管理所	田尻 春満
	13		16:30～16:45	福地ダム上流洪水吐法面における災害復旧の対応	沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 流域治水課	砂川 尚也
	14		16:45～17:00	SIPにおけるダム群連携最適操作シミュレータの開発	独立行政法人水資源機構 経営企画部 国際課	松橋 輝明
C5	15	審査課題	17:15～17:30	吉田川河道掘削工事 事業全体の生産性向上に向けた取組	東北地方整備局 北上川下流河川事務所 事業対策課	羽賀 毅
	16		17:30～17:45	時短BIM／CIM～DXの取り組み	九州地方整備局 本明川ダム工事事務所 工事課	田中 祐一
	17		17:45～18:00	衛星測位による迅速かつ容易な標高決定の実現に向けた取組	国土地理院 測地部 物理測地課	小川 拓真
	18		18:00～18:15	堤防草刈機の運転自動化を支援するための周囲監視装置の開発	国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム	山崎 貴志

供用中かつ利用頻度の高い岸壁における 予防保全工事の実施について ～大阪港大正内港地区岸壁改良～

中川 元気¹

¹近畿地方整備局 大阪港湾・空港整備事務所 保全課 (〒552-0007大阪府大阪市港区弁天1-2-1)

高度経済成長期に集中的に整備された公共施設は、整備後約50年を経過し、劣化や損傷等の老朽化が進行している。計画的な維持管理を行い、施設の延命化を図ることが求められている。

大阪港では、築造から約60年が経過した大正内港地区岸壁において、老朽化が進んでいる部位の補修を行うことで、岸壁施設の延命化を行う老朽化対策事業を行っているところである。本稿では、供用中の港湾施設という現場条件下での老朽化対策事例ならびに施工に関する取組を報告するものである。

キーワード 老朽化対策，維持管理，供用中の施設，BIM/CIM

1. はじめに

近年、供用中の港湾施設において、老朽化が進み、我が国の基幹物流を支える港湾機能の低下が懸念されており、効率的かつ効果的な港湾施設の更新・改良が求められている。高度経済成長期に集中的に整備された港湾施設は、老朽化が進行している。岸壁等の係留施設では、建設後50年を経過する施設が2015年3月の約1割から、2040年3月には約7割に急増することとなり、安全性の低下や更新費用の増大などが懸念されている¹⁾(図-1)。

港湾の施設は、塩害などの厳しい環境下におかれることや、海中部等目視では容易に劣化・損傷状況を把握できない部分も多い。海中部の鋼矢板や鋼管杭、栈橋床板の裏側などの劣化・損傷が見逃され、大事故に繋がりがねない事態も発生しているため、適切な維持管理による安全・安心の確保が重要とされている。

こうした中で、港湾局では施設の老朽化状況、利用状況、優先度等を考慮したうえで、港湾単位で予防保全計画を策定し、これに基づいて計画的かつ効率的に改良工事を行うことにより、ライフサイクルコストを抑制しつつ、個々の施設の延命化を図るため、老朽化対策を実施していくことになった(図-2)。

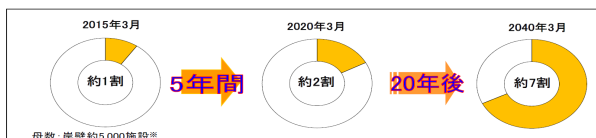


図-1 供用後50年以上経過する岸壁の割合

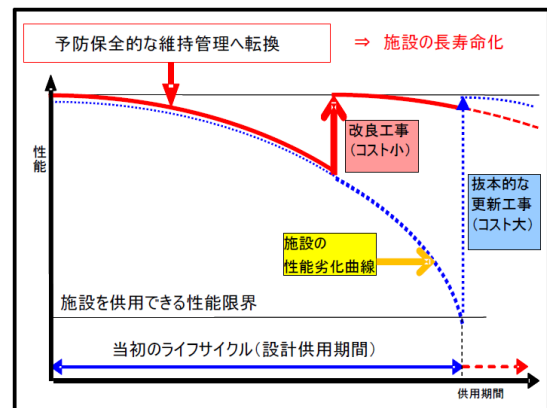


図-2 予防保全的な維持管理

2. 施設の概要と老朽化状況

(1) 施設の概要

大正内港地区岸壁は、大阪市大正区に位置し、築造から約60年経過しており、構造形式は、棚式構造・矢板式構造、延長420m、水深7.5m～9mからなる施設である(写真-1)。当該施設は、鋼材等の荷役を行っており、現在も供用中の港湾施設であり、施設利用が高い状況である。また、維持管理計画に基づき2011年度に実施された点検結果等では、栈橋上部工(下面部)の半数以上、脚柱部の全般において、大きな剥離・剥落・鉄筋露出が認められ、劣化度Aと評価されており、2013年度より予防保全事業として位置づけられている。

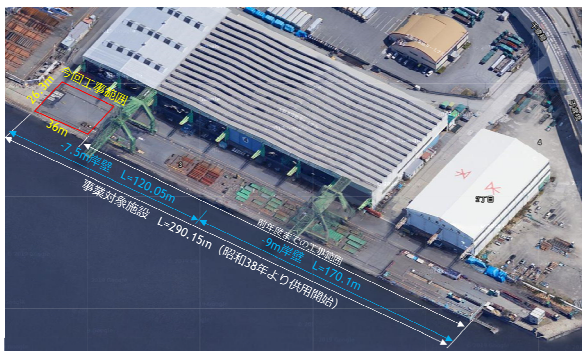


写真-1 大阪港大正内港地区岸壁施工箇所

(2) 老朽化状況

老朽化状況は、2011年度に施設の現況調査を行ったところ、上部工(下面部)では、ほぼ全てのスパンにおいて、剥離・剥落・欠損・鉄筋露出や、ひび割れが見られており、脚柱部では、部材の性能に影響を及ぼす規模の損傷ひび割れ、欠損、鉄筋露出等が発生している状態であることが確認された(図-3、写真-2)。岸壁が著しく老朽化していることが判明し、対策を講じなければ、部材の要求性能が満たせなくなり、施設の崩壊または、施設利用制限の可能性が考えられることから、供用中の施設を大規模な利用制限を行わず早急な施設の更新が必要となった。

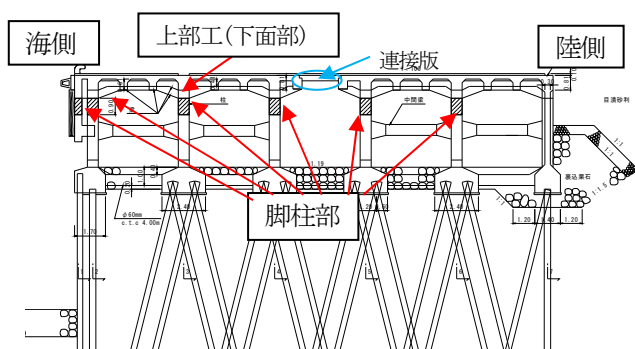


図-3 大阪港大正内港地区岸壁断面図



写真-2 脚柱部老朽化状況

3. 老朽化対策

(1) 対策方針

予防保全事業を実施する際における設計上の適用基準については、明確な規定はないものの、修繕は設計当時

の技術基準、更新・改良については、最新の技術基準が基本とされているが、施設の劣化状況などの工学的な判断だけでなく、行政的な判断も含め、総合的に判断することとなる。

当該施設については、整備から約60年が経過しているが、現在、50年を越えた施設の設計評価については明確な方針が無い状況である。現行基準で検討を行うと、当該施設の老朽化対策として施設の全更新という結果となり、大規模な整備が必要となる。

港湾管理者との協議の結果、老朽化が進んでいる部位の断面修復を行うことにより、設計当時の技術基準における安全性は確保されていると考え、既設部材の耐用年数を延命することとした。

(2) 老朽化対策

工法については劣化面積の大小により、大断面修復(型枠工法)と小断面修復(左官工法)の2種類に分けて補修を行うこととした。

a) 大断面修復(型枠工法)

栈橋下部の脚柱部については、劣化範囲が多く、修復面積が大きい箇所であるため、無収縮モルタル打設による型枠工法を採用した。

始めに、調査時点から老朽化が拡大していないか事前調査を行い、補修箇所を確認する。その後、既設コンクリートを撤去、帯筋を撤去し、主筋を露出させた後、腐食した主筋については、添え筋を溶接することにより、部材耐力を向上させることとした。既設コンクリート面にプライマー塗布、鉄筋に防錆材を塗布し、断面修復部と既設断面境界部の腐食による鉄筋の再劣化を抑えるため、犠牲陽極を設置する。帯筋復旧後、ひび割れ低減材設置し無収縮モルタルを打設する(写真-3)。



写真-3 脚柱部の断面修復施工手順

b)小断面修復(左官工法)

上部工(下面部)については、劣化範囲が少ないため、左官工法を採用することとした。コンクリートはつり後、無機ポリマーセメントによる左官により、補修を行った(写真4)。



写真4 上部工の断面修復施工手順

(3) 本工事の特徴及び留意事項

a)養生方法

本工事は、栈橋下部の柱の補修であり、通常の散水養生等の方法では十分な養生ができずクラック等が発生する懸念があった。そのため、モルタル打設後の養生方法については、型枠脱型後に速やかにモルタル表面へ湿潤養生シートを貼り付け、さらに養生シートの上からストレッチフィルムを巻き付け、吊り足場解体直前まで湿潤養生を行った(写真5)。吊り足場解体直前にストレッチフィルム及び養生シートをはがし、コンクリート浸透性改質剤を塗布した。これらの養生により、十分な養生を行うことができ、クラック等の発生もなく施工を完了することができた。

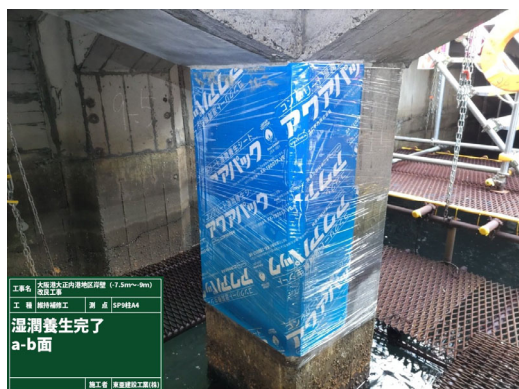


写真5 脚柱部養生状況

b)潮位に伴う作業時間の管理

本工事の施工箇所は潮間帯であり、潮位により補修範囲の多くが水没した。そのため、維持補修工では作業時間に制約があり、潮位に応じた作業内容を決め、施工時

間を調整する等の工夫が必要であった。当日の潮位に合わせて作業開始～終了時間を調整し、潮位が高い時間帯の作業は梁小断面の修復や胴長を着用して水没しない上部の作業を行うなどして作業時間に制約がある中で工夫して施工を行った。

上記のとおり特異な工事現場であることから、品質管理や工程管理において、施工業者と情報共有を図り、的確に指示する必要があった。また、老朽化状況は調査時よりも変化していたため、補修箇所については的確かつ迅速な判断をすることにより円滑な施工を行うことができた。

(4) 老朽化対策に伴う岸壁利用の調整

老朽化対策に伴い施設利用者と協議を行い、施工中の岸壁利用制限について調整を行った。現在も供用中であることから、長期間、広範囲の施工範囲の占有による施工が難しい。また、岸壁下部という狭隘な箇所での施工であるため、施工期間がかかる状況である。このため施工時には、施設利用者と調整のうえ、施工期間中のクレーン走行範囲を制限することとした。

大正内港地区岸壁においては、2基のクレーンが稼働しており、施工箇所によって、片方のクレーンの走行範囲を制限することで、岸壁の供用を止めることなく、施工を行うようにした。また、クレーン1号機または2号機が故障した場合に、故障していない方のクレーンで荷役を行わなければならない。したがって、1号機と2号機の間を補修するときには、クレーンが補修範囲上を移動できるようにしておく必要がある。そのため、支保工を設置することで、クレーン荷重にも耐えられるようにした(図4、図5)。

また、工事の進捗状況により、工程に影響が及ぶ場合は岸壁ユーザーと調整を図り、船舶の着岸調整等を依頼することにより、円滑な施工を行うことができた。

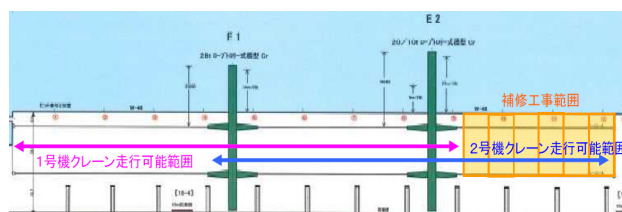


図4 クレーン走行可能範囲図

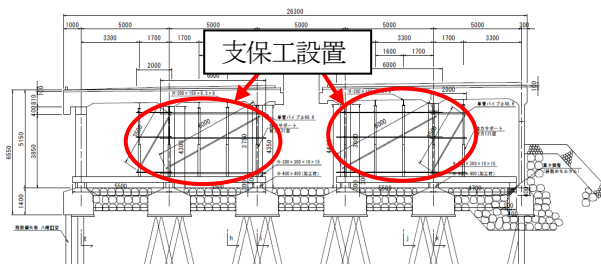


図5 支保工設置図

4. 安全管理

(1) 岸壁ユーザーへの影響防止

工事中は施工範囲内に資材仮置き場を設けて資機材を仮置きする。資材仮置き場においては、施工範囲外への作業員や資材のはみだしを防止し、出入りするトレーラーや頻繁に走行する大型フォークリフトなど岸壁ユーザーの作業への影響を防止する必要がある。このため、資材仮置き場の施工範囲外に面する側に1mの緩衝区間を設け、そこを危険監視エリアとして、モーション検知機能付きwebカメラで作業中は連続監視した。危険監視エリアに資材や作業員が侵入すると、モーション検知機能が作動し現地に設置した回転灯や職員のスマートフォンに警告を発し、緩衝区域への侵入を知らせ、施工範囲外へのはみだしを防止する。カメラ映像はICT技術を活用しクラウド上で管理し、事務所や携帯端末からも確認できる。ICT技術を用いたカメラを用い、岸壁ユーザーへの影響を防止することで、供用中の岸壁作業における安全性の向上が図れるとともに、資材仮置き場で作業する際に監視員等の配置が不要になり生産性が向上につながった(写真-6、写真-7)。



写真-6 モーション検知機能付きwebカメラ設置状況



写真-7 タブレット管理画面

(2) 安全教育

狭隘で作業空間がイメージしにくい栈橋下部の補修において、熟練度に差がある作業員に作業の危険箇所や安全作業のポイントを確実に周知させる必要がある。吊足場上の作業箇所360度カメラを使って映像化し、危険箇所や施工上の留意点を体感させる体感型のVR安全教育を実施し、視覚的なイメージを持たせ作業の安全性と効率化を図った(写真-8)。

今後ベテラン技術者の定年・離職が進んでいく中、同じ条件で同じ物をつくることのない土木工事において、外国人労働者や若手技術者への教育や技術の継承といった面で必要性が増すとともに、ネットワーク上での仮想空間の共有など利用の幅はさらに広がることが期待される。

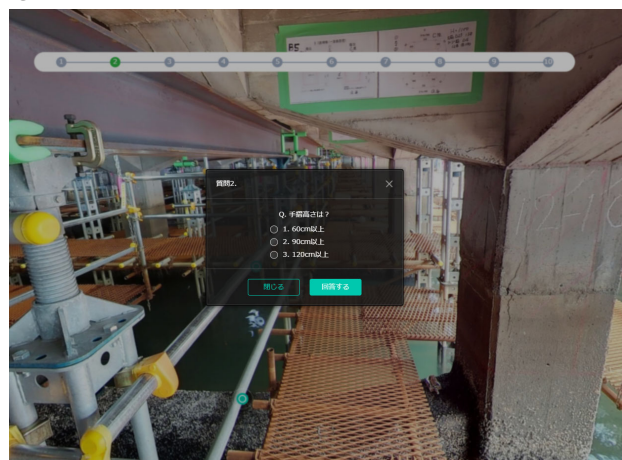


写真-8 VR設問画面

5. CIMデータの活用による施工管理の効率化

今回補修する栈橋構造が複雑で、各部位毎補修範囲、補修パターンが異なることから、各条件に合わせた複雑な仮設工が必要であり、施工にあたっては、効率的な施工管理が求められた。

CIMモデルを導入し、栈橋の3次元モデルを作成することにより、モデルで様々な角度や視点から現場を確認することで、狭隘な施工箇所の施工性や適正な人員、作業手順等を効率的に計画し確実な施工を行った(図-6)。3次元モデル上に作業日、補修形状・内容、使用資材等の情報を属性情報として付与し、電子データとして記録し広く共有することは、BIM/CIMの本格運用と合わせて、今後の技術の伝承やインフラ維持管理における新たな手法となってきた。また、CIMモデルを活用した施工管理情報プラットフォームにより、作業ステップや細分化したパーツ毎に全職員が管理データを一元的に確認することができ、書類作成や工事途上の検討作業の大幅な効率化が図れ、働き方改革や生産性向上につながった。

今後、日本国内の数多くの港湾施設が更新時期を迎える。これらのライフサイクルコストを抑制するためには、いつどのような材料を用いて補修工事を実施したのか、

将来にわたって情報を共有する必要がある。今回のような港湾施設の補修工事において実施した3次元モデルの活用は、補修箇所や補修内容が明確に把握できるため、今後の点検や劣化状況把握と併せて補修工事の可否判断の参考にでき、インフラ設備のライフサイクルコスト抑制につなげられる。

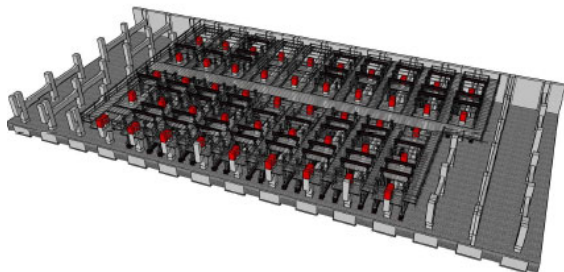


図-6 3次元モデル

6. おわりに

本稿では、供用中の港湾施設の老朽化対策事例および施工に関する取組について報告した。

本工事では、岸壁を供用しながら施工を行うことが条件であったため、施工時はクレーン荷重にも耐えられる支保工を設置することで荷役作業への影響を抑えることができた。また、工事施工時に模型およびCIMデータを活用したことにより、複雑な構造における施工管理の効率化や補修履歴データの共有を行うことができた。施設の維持管理において、CIMデータの属性情報を利用することで、維持管理の効率化を図れるものと考えられる。

供用中の岸壁においても、荷役作業への影響を抑えた施工方法をとることで、岸壁ユーザーの理解が得られ、抜本的な更新工事が必要となる前に、改良工事を行うができ、施設の延命化ならびにコスト削減を図ることができた。

今後、老朽化が懸念される港湾構造物が増加することが考えられ、施設供用をなるべく制限しないように効率的かつ効果的な老朽化対策が必要となる。今回の事例は、他港の供用中の港湾構造物の老朽化対策の参考になると考えられる。

謝辞：論文作成に当たり多くの関係者の方々にご指導、ご協力いただきました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：港湾施設の維持管理の現状と課題

玉島維持出張所におけるDXの取り組み

伊藤 大悟¹・横山 洋範²

¹中国地方整備局 岡山国道事務所 管理第二課 (〒700-8539 岡山市北区富町2-19-12)

²中国地方整備局 岡山国道事務所 管理第二課 (〒700-8539 岡山市北区富町2-19-12) .

出張所業務は、道路管理を始め、工事の監督業務、行政相談などの窓口業務と多岐にわたり、限られた職員により日々の対応に苦慮しているところである。さらに今後も新たな道路の供用に伴い、管理区間の延長など、業務量が増大することが予想される。これらの課題解決に向けて、岡山国道事務所玉島維持出張所において、インフラDXを意識した3次元空間情報の可視化、道路施設情報の一元化、閲覧機能の集約化による道路維持管理作業の効率化に向けたオープンソースの「3次元道路管理情報システム」の開発などインフラDXの実装に向けた出張所業務の効率化・高度化に関する取り組みについて述べる。

キーワード インフラDX、道路管理システム、360度カメラ、BIM/CIM

1. 背景

岡山国道事務所の道路管理区間は国道2号、国道30号、国道53号、国道180号であり、延長は約270 kmにおよび、この区間を3つの出張所において日々、維持管理を行っている。しかしながら、近年、岡山国道事務所管内の出張所については、以前は4つあった出張所が3つに統合されたことや新規開通に伴う管理区間の増加などに加え、少ない人員で膨大な道路相談件数に対応することが求められるなどの課題を抱えている。また、その対応にあたっては、複数の書類の確認や、現地での状況確認など情報収集の労力が多大化している状況にある。

特に玉島維持出張所においては、今後新規路線の開通が予定されており、道路管理の効率化・高度化が急務の課題である。本論は、これらの課題に対して「インフラDX」の導入による解決を図っている取り組みの中間発表である。

2. インフラDXの定義を踏まえた取り組み

DXとはデジタルトランスフォーメーションの略であり、国土交通省インフラ分野のDX推進本部においては、社会経済状況の激しい変化に対応し、インフラ分野においてもデータとデジタル技術を活用して、国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや、組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現することと定義されている。

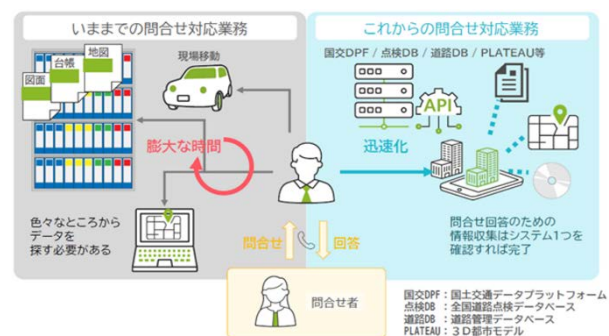


図-1 DXで効率化したい道路維持管理の将来像

今回の取り組みでは、前述の課題に対して3次元での設計から施工まで実施された各種道路管理施設の3次元データについて、道路管理を行うために活用出来るシステムを構築し、道路管理者が立体的に道路管理施設を把握出来るシステムを構築したものである。

これに合わせ、リアルタイムな道路の状況を把握出来るように、定期的に巡視を行う道路パトロールカーに装備した360度カメラによる映像取得により、道路管理者が施設情報と合わせてリアルな映像により現地に赴かず、に状況把握をすることを容易にしたものである。

上記のシステム等を活用し、図-1に示す通り職員の作業効率化を図ると共に道路利用者からの問い合わせ、ニーズに対して迅速に対応を図ることを目指すものである。

3. 道路管理の現状と課題

道路管理者の窓口業務においては、外部から問合せや苦情、許認可書類の受付など多くの業務を遂行しており、

現地に赴かないと状況が把握出来ない案件も多い。しかしながら、人員削減が進む中、窓口担当職員は少人数となっており、外部へ赴くことが難しい状況となっている。一方、国土交通省では、平成27年度から生産性の向上としてi-Constructionを推進してきており、これにより道路等の各種施設は3次元での設計が行われ、施工においてもICT技術などを活用し、3次元で施工管理が行われてきている。更に、令和5年度からは国発注の土木工事の施工において、BIM/CIMによる発注、施工が原則として実施されて来ている状況となっている。しかしながら、これらの3次元データは、完成図書として納品されるものの、道路管理に活用出来る状況にはなっていない。

この様な状況から、3次元で設計から施工まで行われた道路管理施設の3次元データの道路管理における活用と窓口業務の負担軽減のため、執務室内で現地の状況を把握することが出来るようにすることが求められている。上記課題に対応するため、本件においては、図-2に示す9本の柱により、システム開発等に取り組んだ。

4. インフラDXにかかる具体的な取り組み

(1) 「3次元道路管理情報システム」の開発

前述の課題に対応するために、道路施設の3次元データを扱えるシステムの構築を行うこととした。システムの構築にあたり、3次元ビューアをオープンソース（著作権料が不要なもの）とし、表示する3次元データについても形式を統一化（標準化）し、インターネットブラウザ上で展開出来るデータベースを構築することとした。

3次元のベース地図は、国土地理院の1/2,500 DEM（数値標高モデル）を活用することとし、道路管理において計測したMMSデータやLPデータを重ね、道路施設周辺の地形は詳細に表示が出来るようにすることとした。この上に、道路施設台帳や各種道路構造物のデータを表示出来るようにシステムを構築した。

出張所業務においては、一般からの問合せや苦情に対するレスポンスが重要であることから、このシステムを構築するにあたっては操作性も大事であり、新しく着任

した担当者などがマニュアルを読むことなく触ることが出来るようなものとなるように、タッチパネルを想定したスマートフォンの操作に近いような操作性を目指した。

また、道路巡回車両による巡視時の状況を360度カメラを搭載し、撮影、蓄積することで、リアルタイム情報および過去データも含め確認・比較出来るようになると共に、3次元地図や閲覧可能なデータを同時に表示することと合わせ、窓口対応が容易になることを目的とした。

なお、3次元データや様々なデータの掲載のためには必要な情報量も多くなることから、システム構成に重きを置き、玉島維持出張所の管理区間の内、総社一宮バイパスの令和4年度供用区間（L=1.9km）について重点的にデータの整備を行った。

(2) システムの機能

a) 地図機能

システムの基盤データとなる地図は、図-3に示す通り、地理院地図や航空写真を3次元化して表示し、加えてBIM/CIMデータなどを重畳させた。ソフトウェアは、国土交通省が進める3次元都市モデル（PLATEAU）で使用されているオープンソースソフトウェアのCesium（セシウム）を使用した。

3次元により展開された画面により、問い合わせがあった際に位置関係や道路構造などを感覚的に理解することが可能となる。

b) 検索・一元化表示機能

行政相談を受け、まず取りかかるのが、位置の特定であり、一般からの問い合わせの中で目印となる交差点や店舗等から、該当箇所を確定させる必要がある。またその後、該当箇所のキロポスト（距離標）を割り出し、道路台帳や道路管理区域を示した図などを確認し、当該出張所にて所掌する案件かの特定を行うという手順となる。その過程で、インターネットの地図情報や写真情報のほか、複数の台帳の確認が必要となっていたが、当システムにおいては、図-4に示す通り、ランドマークや道路台帳、用地境界、管理区域、道路施設情報等のデータを3次元地図上で一元化し、検索・閲覧できる。



図-3 システムに使用した3次元基盤地図にBIM/CIMデータを重畳表示

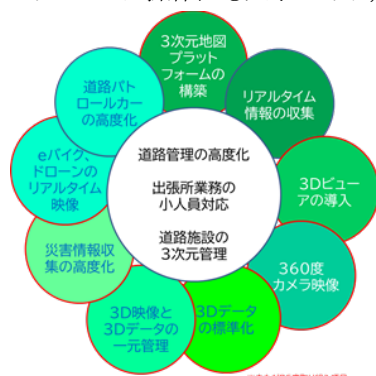


図-2 取り組みに関する9本の柱

c) 詳細情報表示機能

道路構造物管理については、X-ROADにおいてデータベース化が図られており、システム内でのAPI（Application Programming Interface）連携を図り、画面上で表示される構造物をクリックすると、当該構造物の点検データを直接閲覧できる設定とした。

今後の取り組みとしては、図-5に示す通り、3次元地図上にBIM/CIMデータを重畳させることで道路構造物等の詳細情報が可視化できることを目指す。施工データや点検データと連携することにより、紙ベースのデータでは困難であった部材単位での維持管理が可能となる。

d) データ登録機能

行政相談については、過年度の問い合わせ内容と対応等について記録を残すことにより、その後の行政サービスの向上に資すると考えられ、今までも紙ベースでの保存や共有サーバ内への保存を行っているところである。今回のシステムでは、地図上にデータを関連付けることにより、過年度の問い合わせの内容の把握が容易に可能

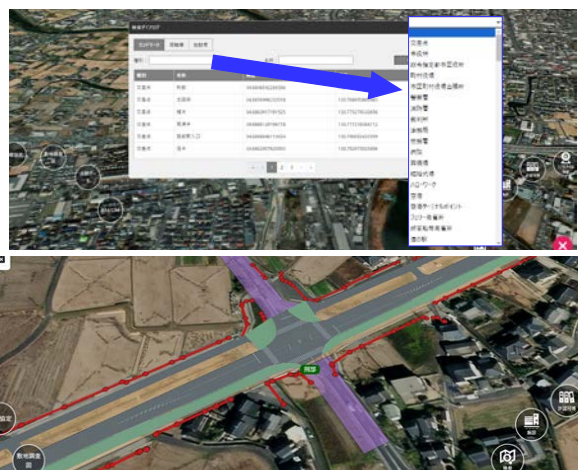


図4 3次元地図上で検索する道路施設イメージ

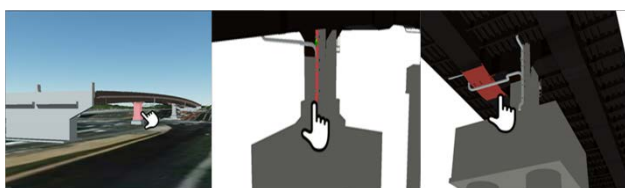


図-5 BIM/CIMデータによる詳細情報表示イメージ



図-6 3次元地図上でのデータ登録イメージ

なシステム構成とした.

具体的には、図-6に示す通り、3次元地図上に写真、位置情報を紐づけて道路巡回、点検や要望・苦情の情報を登録することが可能となる。

(3) システムのデータ整備と課題

システムに搭載するデータ体系を図-7に示す。大きくは、地形データ、基礎データ、許認可データ、施設等データ、リアルタイム情報、行政相談データに分類し、属性データとして、維持管理に有用な施設名、緯度経度、距離標、点検結果等を付加したGISデータの構造を基本とした開発を行った。また、検索を行うためのランドマーク情報、雨量情報、地質・土質調査情報についてもデータ収集及びシステム搭載・連携について検討を行った。データ整備の要件は、表-1に示す通り、システム基盤図、点群モデル、地図データ、台帳データ、CCTVカメラ画像、外部連携について、検討・開発を行った。

また、地形データの搭載について、保管または入手した航空レーザデータは、全てLAS形式のデータで整理されており、Cesiumをベースとする本システムにデータを適用させるために3Dデータを画像や映像処理できかつ、オープンソースで公表されている3D tilesに変換し、システムに搭載した。一方で、BIM/CIMモデルのデータについては、IFC形式のためFBX形式の中間フォーマットに変換した後、3D tilesに変換し、システムに搭載するという2回のデータ変換作業が生じた。更に、データに位置情報が付加されていなかった、もしくは、任意座標であったため、国家座標への変換作業が生じた。

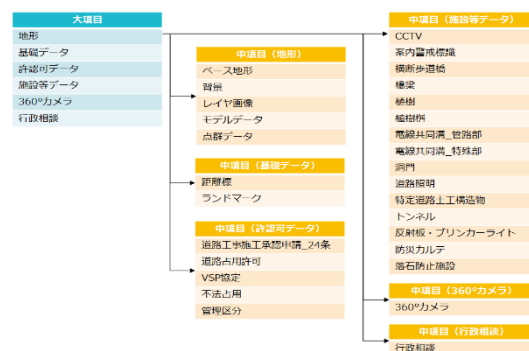


図-7 システムに搭載するデータ体系

表-1 データ整備の要件

データ	検討要件
システム基盤図	3次元道路管理情報システムの基盤図は地理院地図とする。
点群モデル	オープン性を有し、軽量化されたデータ形式に変換する。
地図データ	Webシステムで快適に表示可能な形式とし、汎用性のあるデータ形式とする。
台帳データ	PDFやEXCELなどの台帳データは、対象となる路線・施設の3次元モデルまたは2次元図形オブジェクトへのファインディングを基本とする。
CCTVカメラ映像	カメラの設置位置を3次元点群データより取得し、図形オブジェクトに位置情報を付与し、任意のCCTVカメラ映像を映像情報共有システムから取得する。
360°巡回映像	位置情報、計測時刻等を関連付け、KP単位で地図上または一覧リストから巡回映像を検索・抽出し、360°映像ビューアで閲覧できる。
外部連携	道路施設点検データベース及び電子納品・保管管理システムのデータ将来的に連携する可能性を見据え、連携手法の検討を行う。



図-8 道路巡回車両に搭載した 360°カメラ機器類



図-9 道路巡回車両に搭載した 360°カメラ機器

(4) 360° 道路巡回映像取得システムについて

a) 360° 道路巡回映像取得システムの搭載

道路巡回車両（2台）に図-8、図-9に示す360°カメラ機器、GPS機器、通信機器を搭載した。走行しながら位置情報及び時刻を付加した360°画像が取得でき、保存、出張所内において閲覧が可能な環境を構築した

b) 巡回映像ビューア機能

図-10に示す通り、道路巡回車両に装備した360度カメラにより取得した映像を出張所のPC上で可視化できる。

2日に1回の道路パトロールにおいて、自動的に動画を保存でき、再生については方向角度が任意に設定できることから、周辺状況や路側の樹木や標識の状況についても過去の映像も含めて、確認が出来る。

今後は、3次元道路情報管理システム内での展開により、さらなる行政相談へのレスポンスが向上されることが期待されるため、システム改良を行う予定である。

(5) 3次元敷地調査図の作成

国土交通省が所有するMMS（Mobile Mapping System）で取得された3次元点群データを使用し、図-11に示す3次元敷地調査図の作成を行い、3次元道路情報管理システムに搭載した。なお、3次元敷地調査図の基本仕様は、

- ・道路骨格（道路部・歩道部）は、点群データより3次元モデルを作成する。
- ・道路付属物・付帯物は、3次元点群データのクラス分



図-10 360° 映像の展開（V-mapIII）

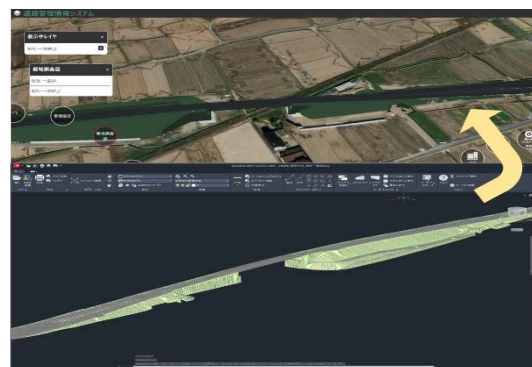


図-11 3次元敷地調査図

けで表現する。

- ・上記以外については、既存の敷地調査CADデータを利用する。
- ・地形モデルはUAVデータのグラウンドデータと3次元の道路骨格データを利用するとした。¹⁾

5. まとめ

本開発では、道路維持管理の効率化・高度化を図るため、インフラDXを意識したオープンソースの「3次元道路管理情報システム」を開発した。道路施設の情報を一元化し、更に3次元データを活用することにより、状況把握が容易となることからベテラン技術者以外においても適切な管理が可能となる。

開発した3次元道路管理情報システムは、令和6年3月より玉島維持出張所で運用を開始しており、書類データの一元化や、キロポストの表示、360°カメラ映像による現地状況の確認などにより、業務における職員の負担軽減や効率化につながっているとの意見がある反面、改善点や拡張すべき事項なども見えてきており、今年度引き続きデータベースや3次元データの複合活用や充実等について検討を行い、更なる効率化、高度化に取り組む。

参考文献

- 1) 3次元道路台帳附図検討業務における仕様検討について、森義孝、逢坂直樹、高木久、西村大助、藤木三智成、政野敦臣 先端測量技術(116)92-98, 2022-03

10

b) 事業情報プラットフォームの構築・活用

新たなシステムとして「事業情報プラットフォーム」を構築・試行し、事業情報の一元管理と可視化について検証を行う。また、高度化利用（施工から維持管理まで各段階での活用等）に関しても検討を進める。

3. 事業情報プラットフォームの検討・活用

(1) 事業情報プラットフォームの構成

事業情報プラットフォームは、情報共有システム及び地理情報システム（GIS）の2つによって構成されている（図-2）。前者は担当者間で事業情報を一元管理することに使われる。後者は一連の情報を地図に落とし込み、可視化するために用いられる。

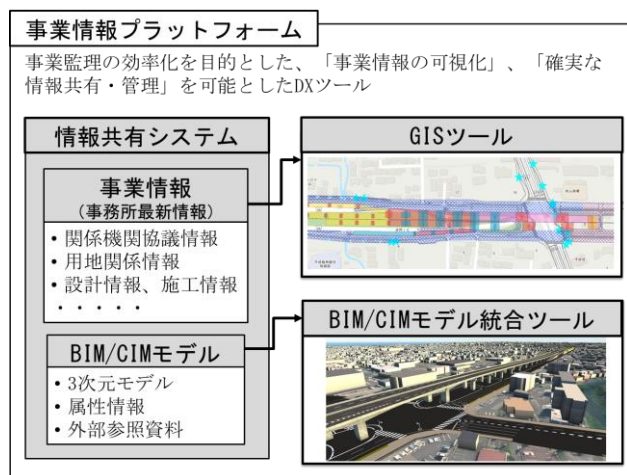


図-2 事業情報プラットフォームの構成

a) 情報共有システムの役割

BIM/CIMの一種である情報共有システムは、各種の事業に関する情報を組み合わせたものである。最新のファイルを本システム上に保存することで、関係者が常に同一のファイルを共有し、同じ認識の下で各々の業務を進めることが可能となる。これにより、古いファイルを取扱うことによる手戻りの防止や、データ受け渡しの遅延によるタイムロス等の削減が期待できる。

b) 地理情報システムの役割

情報共有システムの中でも、用地や協議情報のように、データを可視化することで効率化が期待できる項目は、地理情報システム（GIS）により可視化する方針とした。これは、BIM/CIMツールでは属性情報の管理・活用が困難である一方で、GISは位置情報と属性情報の可視化や管理に優れているためである。特に用地の取得状況など、事業推進に必要な情報を地図上で確認できることは、事業監理の効率化に役立つと期待される。

(2) 事業情報プラットフォームの目標

事業情報プラットフォームは、「効率的な事業監理の標準化」を目標とし、具体的には下記の事項を達成するために開発を進めている。

- ①情報を一元管理し職員間での情報共有を確実にかつ容易なものにすることで、事業監理の手戻りを防止し、事務所職員間の連携を促進する。
- ②一元管理された各種情報をタイムリーに共有することで、事業進捗の確認や工程の検討にあたり、事務所職員の負担を低減する。
- ③情報の可視化により事業進捗が分かりやすいシステムを標準化することで、担当職員の変更時における引継ぎ作業の負担を低減し、課題対応漏れを防止する。

(3) 各事業段階でのシステム内容および作業軽減効果

事業情報プラットフォームにより効率化を図る項目を抽出するため、事業の過程を「調査測量・設計段階」「用地交渉段階」「施工（工事発注）段階」「維持管理段階」に分類し、それぞれの効果を整理した。

a) 調査測量・設計段階

- ①土木構造物の建設には地質等の調査が不可欠である。従来は、受注者に対して柱状図などのデータを提供するように依頼しても、資料を探す作業に時間を要したうえ、取り違えの恐れも含まれていた。本システムでは、各種調査、設計に関わる情報を、事業情報プラットフォームから即時に呼び出すことができるため、一元管理により情報共有が効率化される（図-3）。
- ②調査すべき箇所と下部工の配置を重ね合わせることで、必要な調査が実施されているか否かの確認が容易となり、未実施個所の漏れ等による手戻りを防止できる。

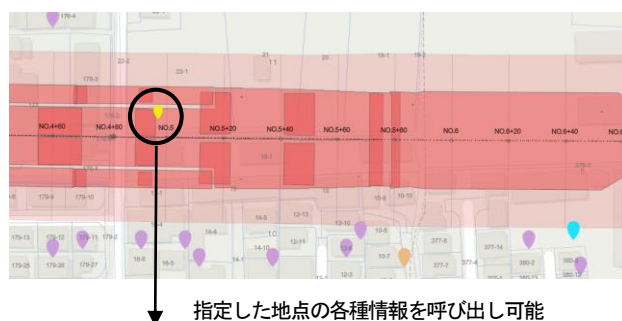


図-3 地質調査の結果や完成予想図を表示

b) 用地交渉段階

- ①従来は用地の取得状況を管理する際、表（Excel）と色分け図（CAD）の2つが独立していたため、担当者が片方の更新を忘れる、誤ったセルを更新してしまう等の恐れをはらんでいた。本システムは両者をリンクさせており、片方を操作するともう一方も自動で更新されるため、最新かつ正確な情報を保持できる（図-4）。
- ②用地課で入力した最新の状況を、調査課、工務課でも閲覧することが可能なため、古い情報をもとに検討して手戻りとなることを防止できる。
- ③対象用地の用途、面積などの情報を即時に呼び出せるため、協議結果や課題の引継ぎに係る負担が低減される。



図-4 常に最新の用地状況を表示

c) 施工（工事発注）段階

- ①対象工事の範囲に施工期間を属性情報として付与することで、指定した年度の施工状況を表示できる（図-5）。そこに用地取得情報などを重ね合わせることで、工事の発注が可能な段階であるか、施工段階での課題があるかも確認することができる。さらに、指定した地点のBIM/CIMモデルを表示することで、地中の構造物を含めた全体像の把握が容易になる（図-6）。

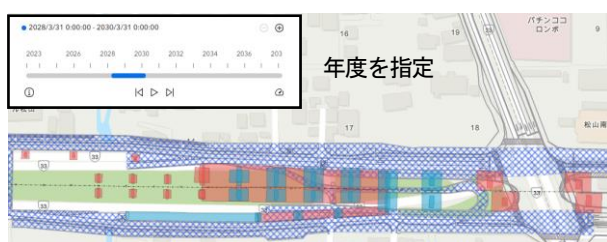


図-5 施工段階を時系列で表示

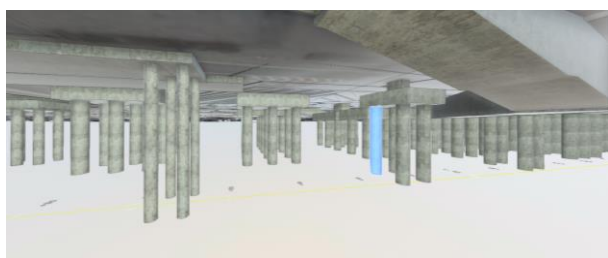


図-6 同地点における地中の構造物を表示

- ②属性情報として各工事の施工期間と共に概算工事費を付与することで、総事業費の算出、現在の予算執行状況、年度毎の必要予算等のグラフ等を表示できる。工程計画の見直し等を行った際にも、この機能により必要な情報を素早く集計することができる（図-7）。
- ③施工予定年度との照合により、工事実施状況の確認や関連資料の保存ができ、各年度の予算の確認による発注計画立案や進捗確認が効率化される。

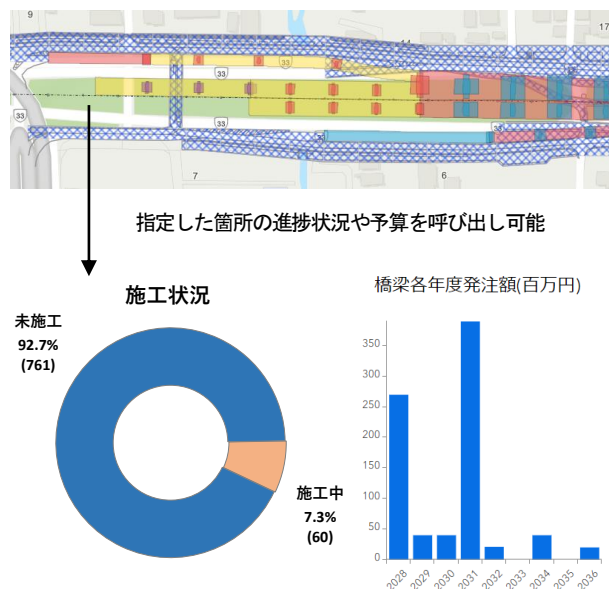


図-7 進捗状況や年度ごとの予算を表示

d) 維持管理段階

- ①構造物の点検記録をプラットフォームに保管しておくことで、記録の散逸を予防できる。
- ②全区間の老朽化に関する状況をまとめて把握することで、効率よく補修等の計画を立てることができる。

(4) 事業情報プラットフォームの検討手順・改良方法

事業情報プラットフォームの検討、改良を行うため、事務所内の各課において操作方法の説明会を開催し、実際にシステムを運用した。その上で、意見交換会を行うことで実業務に向けた改良点を抽出し、システムに反映した。改良後は再度の講習会・意見交換会を実施し、PDCAサイクルを構築した（図-8）。

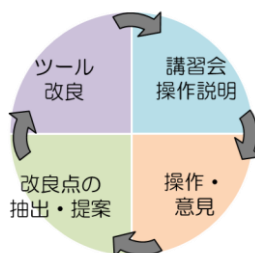


図-8 講習会・意見交換会の実施状況

(5) 職員からの評価

事業情報プラットフォームの効果を検証すべく、職員へのアンケートを行った。現在の利用状況は「閲覧したことはある」が最も多く、本格的な利用は少数であった。これは、本システムを用いているのがモデル事業のみであること、事業が初期段階にあり、施工に至っていないこと等が影響していると考えられる（図-9）。一方で、「現時点で工務課としての利用はないが、事業が進むにつれて利用頻度が高まると思う」との意見もあり、今後は利用の拡大が見込めると考えられる。加えて、事業の効率化に関する評価では「データが揃ってくれば業務が効率的になる」という回答が大半を占め、職員の期待は高いと言える（図-10）。操作性については、利用していない職員が無回答であったものの、利用経験者の間では肯定的な回答が大半であった（図-11）。「使う頻度が増えれば慣れてきて、どんどん扱いやすくなると思う」という記述もあり、利用機会を増やすことの意義が示唆された。また、他部署からの問い合わせが多い事項等を日々入力しておくことで、作業の一部が不要になるという指摘もあり、利用の対象を広げることで、業務を一層効率化することが期待できる。

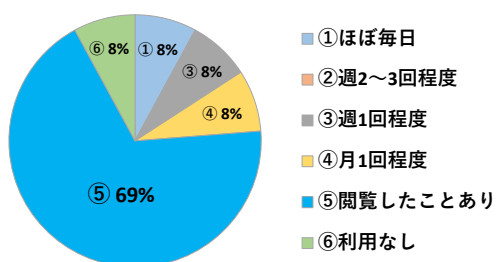


図-9 閲覧・利用頻度 (N=13)

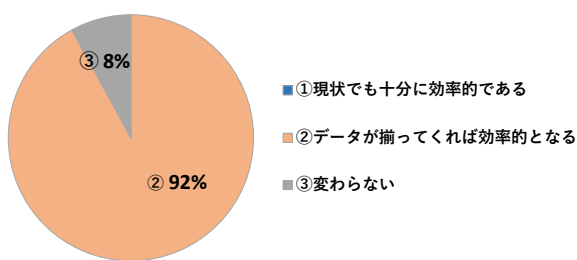


図-10 システムの効率化への寄与 (N=13)

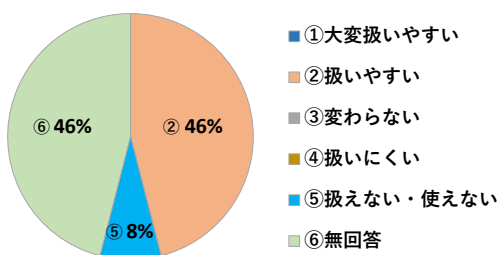


図-11 システムの操作性 (N=13)

4. 事業情報プラットフォームの今後の展開

(1) モデル事業での取り組み

まず、事業情報プラットフォームの運用範囲を、現在の区間（約500m）からモデル事業の全線（2km）へ拡大し、調査測量、設計、用地交渉の効率化を進める。また、より高度な運用の実用化に向け、施工（発注）段階での試行運用を実施するほか、完成後の維持管理・更新段階についても検討を行う。各段階での効果を検証し、システムの改良に繋げるため、意見交換会の実施も継続する。

(2) 他事業への展開に向けた取り組み

長期的には、事業情報プラットフォームを他事務所で運用に横展開し、管内全体で事業の効率化を目指す。ただし、前述のアンケートにおいては横展開に慎重な意見が複数見られた。特に「現時点ではシステムへの入力自体が負担」「（担当職員が）約2年で異動するので、しっかり引き継ぎして継続してもらう必要がある」等のコメントは、システムの普及にあたっての課題を示していると言える。管内の道路事業で統一したシステムを構築するためにも、紹介・周知自体は進めるべきである。同時に、他事務所においても講習会や意見聴取を重ねることで、継続的な運用に向けたノウハウを蓄積していく必要があると考えられる。

5. 終わりに

今回は、現在設計・用地交渉を複数実施している段階の道路事業において、業務効率化を図るための事業情報プラットフォームを構築・改良し、今後の施工段階等における活用検討を行った。これにより国土交通省のBIM/CIM推進に寄与するとともに、職員の業務を効率化する可能性も生まれた。本事業は現時点で設計・用地交渉段階であることから、今後は施工・維持管理段階まで含めて計画的かつ積極的に事業情報プラットフォームを活用することで、様々な効果や課題が得られると想定される。これらをフィードバックし改良・周知することで、他事業等へ展開していくことがモデル事業の役割である。

注：事業情報プラットフォームの画面（図-3～図-7）はダミーのデータを表示したものであり、モデル事業とは異なることを付記します。

参考文献

- 1)国土交通省：直轄土木業務・工事におけるBIM/CIM適用に関する実施方針
- 2)国土交通省：BIM/CIM原則適用に係る参考資料
<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001590426.pdf>

国土交通データプラットフォームにおける 電子成果品のさらなる活用のための メタデータ自動作成に関する研究

夜久 将司¹

¹ 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本情報基盤研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1)

国土交通省では、保有する様々なデータの利活用を可能とするためのハブとして国土交通データプラットフォーム（国交 DPF）の構築を進めている。連携先の一つとして電子納品・保管管理システムがあるが、保管されている成果品は国交 DPF 上では業務毎に1地点に地図表示され、業務内容の検索性に乏しい。本研究では成果品のさらなる有効活用のために、成果品からメタデータを抽出し、検索性を向上させることを検討する。具体的には道路防災点検業務を試行対象として、報告書から防災カルテのメタデータを抜き出し、地図上のカルテ点検実施位置に防災カルテのメタデータを表示させることができることを確認した。

キーワード 国土交通データプラットフォーム、メタデータ、PDFファイル

1. はじめに

(1) 国土交通データプラットフォームの概要

国土交通省は保有する多くのデータと民間等のデータを連携し、Society 5.0が目指すフィジカル（現実）空間をサイバー（仮想）空間に再現するデジタルツインにより、業務の効率化やスマートシティ等の国土交通省の施策の高度化、産学官連携によるイノベーションの創出を目指し、「国土交通データプラットフォーム」（以下、国交DPF）の構築・機能改良を進めている。

表 1 連携データベース一覧（R6.10時点）

連携システム・データ（計 21 システム・データ）	
電子納品・保管管理システム	社会資本情報プラットフォーム
静岡県 航空レーザー点群データ	全国道路施設点検データベース
国土数値情報	国土地盤情報データベース
全国幹線旅客純流動調査	My City Construction
FF-Data （訪日外国人流動データ）	海洋状況表示システム （海しる）
道路交通センサス	ダム便覧
PLATEAU	GTFS データリポジトリ
水文水質データベース	工事実績情報（コリンズ）
DiMAPS	工事図面データ
SIP4D	自然災害伝承碑
東京都 ICT活用工事 3D点群データ	

国交DPFはインフラ分野に関連する計21データベース（R6.10時点、表1参照）と連携しており、これらのデータを一元的に検索・表示・ダウンロード可能なデータハブとしての機能を有している。令和2年4月からは一般公開（<https://www.mlit-data.jp/>）も開始されている。

(2) 電子納品・保管管理システムとの連携における課題

国交DPFと連携しているシステムの一つに電子納品・保管管理システムがある。国土交通省発注の業務、工事の成果品が保管され、国交DPFでは業務、工事の基本情報（件名、発注者名、住所、分野等）や一部の図面データを表示、ダウンロードすることができる。業務、工事情報を検索する際には、基本情報内の情報から絞り込み検索することが出来るほか、基本情報内の緯度経度から、地図上で業務、工事をピン表示しており、地図から検索することも可能である。

業務、工事成果品の検索結果は、地図から検索する場合には、各業務、工事は図1のように、代表の1地点にピン表示される。例えば道路の点検業務では、複数箇所点検が行われるが、国交DPF上では代表の1地点にピン表示される。ある地点の点検結果を調べる場合には、どの点検業務で当該地点の点検が実施されたか調べ、その後、該当した点検業務の報告書から点検結果を探す必要があり、手間を要する。

そのため本研究では、成果品内の情報をさらに有効活用するために、成果品から施設名や位置情報等のメタデータを抽出し、位置情報をもとに国交DPF上で地図表示を行い、検索性を向上させることを検討した。

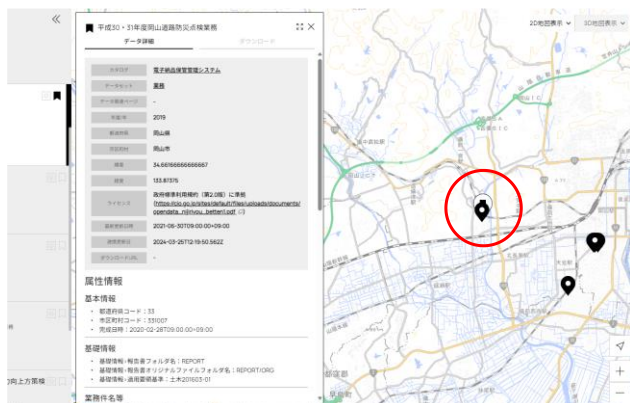


図1 国交DPFにおける施設点検業務の
検索結果表示の例

図2 防災カルテの様式

2. メタデータ作成処理の流れ

本研究では、道路防災点検業務を試行対象として、業務成果品内の報告書（PDFファイル）から防災カルテに関するメタデータを自動作成し、地図表示することを検討した。具体的には、報告書から防災カルテが掲載されているページを抽出し、防災カルテからメタデータとして表示したい事項を読み取り、防災カルテ点検を実施した地点に表示するプログラムをPythonを用いて試作し、検証を行った。防災カルテの様式を図2、メタデータとして防災カルテから抽出する項目を表2に示す。

メタデータ作成の流れを以下に示す。

(1) 防災カルテが存在するページを抽出

PDFの報告書ファイルから防災カルテの情報を読み込むにあたり、どのページに防災カルテが掲載されているか特定する必要がある。そこで、報告書ファイルのしおりの名称に点検対象の施設管理番号が含まれること、さらに施設管理番号が、「アルファベット+3桁数字+アルファベット+3桁数字」（例：A123B456）の組み合わせで命名されていることに着目し、報告書ファイルのしおりの読み取り、その中で施設管理番号の命名規則を満たしているものを抽出し、そのしおりが設定されているページを読み込むページとした。

表2 メタデータの項目一覧と入力例

項目名	入力例
地整・都道府県名	〇〇地方整備局
管理機関名	〇〇事務所
管理機関コード	XXXXXXXX
施設管理番号	XXXXXXXX
点検対象項目	〇〇
路線名	一般国道〇号
距離標（自），（至）	（自） xx.xx （至） xx.xx
延長	〇〇m
道路種別	一般国道（指定区間）
現道・旧道路区分	現道
所在地	〇〇市〇〇
緯度経度	北緯 xx° xx' xx" 東経 xx° xx' xx"
交通量（平日，休日）	平日： xx,xxx 台/12h 休日： xx,xxx 台/12h
報告書ファイル名	REPORT.pdf
掲載ページ	〇〇

(2) 表データの読み込み

図2に示すとおり、防災カルテは表データで、報告書中の防災カルテは表データをPDF化したものであることから、PDFから表データを抽出するpythonのライブラリである“Camelot”¹⁾を用いて読み込みを行った。Camelotにより読み取った防災カルテの表フレームを図3に示す。なお、今回はメタデータ作成が目的のため、防災カルテの上部（図2赤点線囲み部）の項目について読み取りを行った。なお、図形を用いて囲み選択する項目については、読み取りは行っていない。

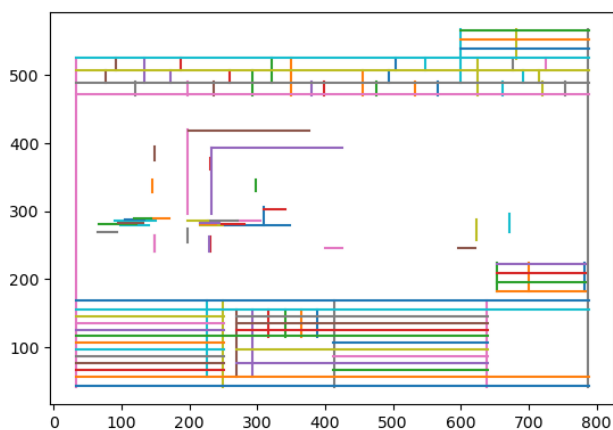


図3 Camelotによる防災カルテ読取結果
(フレームのみ表示)

(3) メタデータ出力

(2)で得られた表データから、メタデータとして表示する項目を抽出し、geojsonファイルを作成するpythonのライブラリである“GeoJson”²⁾を用いてgeojsonファイルを作成し、地図上に表示できることを確認した。なお、表示の確認は、当初の目的を踏まえると国交DPF上で行うべきであるが、ここでは便宜的に国土地理院地図を利用した。メタデータ表示のイメージを図4に示す



図4 メタデータ表示のイメージ

3. 試行結果

本研究では表3に示す8ケース（1ケースにつき1業務）において、メタデータ作成を行った。業務の選定に際しては、地方整備局の偏りに配慮し、4つの地方整備局から2業務ずつ試行対象として抽出した。プログラムは当初、ケース①に対応するように作成していたが、ケースを重ねる毎に、業務により防災カルテの様式や報告書にしおりが無い等の形式的な違いがあることが判明したため、プログラムを改良して対応した。プログラムの実行結果は表3に示す通り、ケース⑦以外は全てのケースにおいてメタデータを作成し、地図上に表示することがで

きた。プログラム改良を行う原因となった、(1)しおりの有無、(2)防災カルテの様式の違い、の2つの形式的な違いとその対応については以下に詳述する。なお、作成可否の判定については、(1)、(2)のような防災カルテの形式の違いに起因し、プログラムの改良により解消できるエラーは作成可と判断し、(1)、(2)の条件が全く同じでも読み取ることができない場合を不可と判定した。ケース⑦については後述する。

表3 試行した業務一覧

ケース	地整	しおり有無	様式	メタデータ作成可否
①	A 地整	有	Type.1	○
②		有	Type.1	○
③	B 地整	無	Type.2	○
④		有	Type.2	○
⑤	C 地整	有	Type.2	○
⑥		有	Type.2	○
⑦	D 地整	有	Type.2	×
⑧		無	Type.2	○

(1) しおりの有無

プログラム処理において、前述の通り、報告書のPDFファイルから防災カルテが存在するページを特定する際には、しおりの情報を活用していたが、ケース③ではしおり情報がなく、防災カルテがあるページを特定できなかった。そこで、読み込むページに必ず表題で「防災カルテ 様式 (A)」(図2参照)と記載され、報告書の他の箇所にはこのような文字列は確認されなかったことから、しおりが無い場合には、この表題を含むページを抽出するように条件分岐を設定した。この改良により、しおりがない場合や、しおりがあっても、「アルファベット+3桁数字+アルファベット+3桁数字」の命名規則に則った文字列がない場合にも読み込むことが可能となった。

(2) 防災カルテの様式の違い

ケース③において、ケース①②とは異なる様式の防災カルテが使用されていたため、表データの読み込みにエラーが生じていた。本稿では区別のため、ケース①②で使用されていた様式をType.1、ケース③で使用されていた様式をType.2とする。図5にType.1とType.2の防災カルテの内、本研究で読み込み対象としている項目部分の比較を示す。図5にある通り、Type.1では“地整・都道府県名”“管理期間名”とあるが、Type.2では“管理機関名”で統合されている他、管理期間コードや施設管理番号等の記入が1桁、1文字毎に区切りが来ている等の違いがある。ここで表題がType.1では「防災カルテ様式 (A)」とあったのが、Type.2では「防災カルテ様式A」となっていることに着目し、様式の違いを () の有無で

Type.1

防災カルテ 様式(A)

施設管理番号		点検対象項目		路線名		距離標(自)		(至)		上・下・他		延長		m			
事業区分	一般・有料・他	道路種別		現旧区分	所在地	位置目印	北緯	度	分	秒	東経	度	分	秒	測地系		
事前通行規制区間指定	有(通行・特殊)・無	規制基準	連続	0 mm	時間	0 mm	交通量	平日	台/12h	休日	台/12h	D/D区間	該当・非該当	バス路線	該当・非該当	迂回路	有・無

【点検地点位置図】 ※スケッチと位置を明記する

地整・都道府県名、管理機関名で分かれていたのが、
管理機関名で統一

管理機関コード、距離標等の
入力欄に区切りが追加

Type.2

防 災 カ ル テ 様 式 A (落石・崩壊)

施設管理番号		点検対象項目		路線名		距離標(自)		(至)		上下線の別		延長		m	
事業区分	道路種別	現旧・旧道路区分	所在地	市	町	位置目印	北緯	度	分	秒	東経	度	分	秒	測地系
事前通行規制区間指定	規制基準等	連続雨量	mm	時間雨量	mm	交通量	平日	台/12h	休日	台/12h	D/D区間	該当・非該当	バス路線	迂回路	緊急輸送道路区分

図5 防災カルテの様式の比較 (上: Type.1, 下: Type.2)

判別し、読み込む方法をType.1とType.2で分岐させるようにプログラムを改良したことで、いずれの形式でも読み込むことが可能となった。

また、Type.1では防災カルテの点検対象項目（土石流、落石・崩壊等）に関わらず様式は同一であったが、Type.2では点検対象項目が「橋梁基礎の洗掘」の場合のみ、項目名が変更となり、読み込みにエラーが生じた。そのため、点検対象項目が橋梁基礎の洗掘の場合には読み込む方法を変更を分岐させるようにプログラムを改良し、点検対象項目が橋梁基礎の洗掘である防災カルテが含まれる場合でも読み込むことが可能となった。

(3) メタデータ作成が不可となったケースについて

ケース⑦においては、ケース⑥と全く同様の条件であるにも関わらずエラーが生じた。エラーを生じたのは緯度、経度の読み込みで、図6に読み取り結果の内、緯度、経度に関連する部分を示す。図6の赤線部に示す通り、緯度経度の〇度〇分〇秒の数字の部分が先に読み込まれ、“度”“分”“秒”が最後にまとめて表示された他、北緯については本来37→29→59.8→の順番に数字が読み込まれるべき所を59.8→37→29と表示され、メタデータ作成不可とした。

```
print(allitemlsit)
['事業区分', ' ', '道路種別', ' ', ' ', '現道・旧道路区分', ' ', ' ', '所在地', ' ', ' ', '市', '町', ' ', ' ', '位置目印', ' ', ' ', '北緯', '59.8', '37', '29', '度', '分', '秒', '東経', '140', '23', '25.6', '度', '分', '秒', '測地系']
```

図6 読み取り結果（ケース⑦、緯度経度関連抜粋）

4. まとめ、考察

本研究では、報告書のPDFファイルから防災カルテが掲載されているページを抽出し、防災カルテからメタデータとして表示したい事項を読み取り、防災カルテ点検を実施した地点に表示するプログラムの試作・検証を行った。防災カルテには形式的な違いはあるものの、プログラムを条件に応じた分岐処理ができるように改良することで8ケース中、7ケースにおいてはメタデータを作成し、地図表示をすることができた。ケース⑦では、防災カルテの形式に起因しない読み込みエラーが発生した。

今後の課題として、ケース⑦のようなエラーがどの程度発生するか、試行ケースを増やし、検証する必要がある。仮に読み取り精度にばらつきが発生する場合には、他の手法、例えばAIを用いた画像処理による読み込み等についても検討したい。

また、今回は全国的に広く作成されていて、かつ緯度経度の位置情報が含まれることを考慮し、防災カルテを試行対象としたが、今回の手法は他の成果品等にも応用が可能であるため、メタデータ作成によって検索性を向上させるニーズがある情報をヒアリング等で把握し、メタデータを作成することが可能か検討を行うとともに、国土交通省職員の業務効率化に寄与するかの検証についてもあわせて行いたい。

参考文献

- 1) Vinayak Mehta : Camelot Documentation Release 0.11.0, 2023 年.
- 2) Sean Gillies, Matthew Russell, Corey Farwell, Blake Grotewold : python-geojson. <https://python-geojson.readthedocs.io/en/latest/> (参照 2024 年 10 月 28 日) .

基礎処理工における現場立会のビデオオンデマンド化について

佐藤 尚司¹・岡崎 正秀²・○徳永 源造³

¹成瀬ダム工事事務所 工事課 工事課長 (〒019-0801 秋田県雄勝郡東成瀬村田子内字宮田97-1)

²成瀬ダム工事事務所 工事課 建設専門官 (〒019-0801 秋田県雄勝郡東成瀬村田子内字宮田97-1)

³成瀬ダム工事事務所 工事課 工事第二係長 (〒019-0801 秋田県雄勝郡東成瀬村田子内字宮田97-1)

建設業では、労働時間の上限規制が適用され、業務効率化による長時間労働の是正や生産性向上が急務である。受発注者の作業効率化を図る目的で遠隔臨場による立会等を推進しており、主に移動時間削減の生産性向上効果を得ている。成瀬ダム工事事務所では、さらなる生産性向上を目指して、遠隔臨場にビデオオンデマンドを適用することで立会等にかかるスケジュール調整・待機時間さらには立会時間を削減する取組を行っており、今回はその取組について報告するものである。

キーワード 遠隔臨場、生産性向上、働き方改革、ICT

1. はじめに

ダム工事では、基礎岩盤の遮水性確保を目的とした基礎処理工が必須となる。基礎岩盤に対して行うグラウチングのためのボーリング作業は削孔完了時に出来形(削孔長)を検尺により確認する。成瀬ダム工事事務所では、不可視部の工事であることから、段階確認として監督職員等による臨場確認が特記仕様書で規定されている。

成瀬ダムは、施工規模が大きく、孔数は約4,000孔、総延長約130,000mと施工量が膨大であり、受発注者双方の業務負担が大きかった。本稿では、クラウド録画型カメラを使用したビデオオンデマンドを適用することで、立会等にかかるスケジュール調整・待機時間・立会時間を削減し、生産性向上となった取組みを報告するものである。

2. 成瀬ダムの概要

成瀬ダムは、秋田県雄勝郡東成瀬村に建設を進める堤高114.5m、堤頂長755mの台形CSGダムであり、この型式としては国内最大である。

2018年9月にダム本体工事に着工し、2020年6月からは堤体CSGの打設を開始、2024年9月当初時点でCSG

とコンクリート合わせて、約465万m³(進捗率約96%)の打設が完了している。

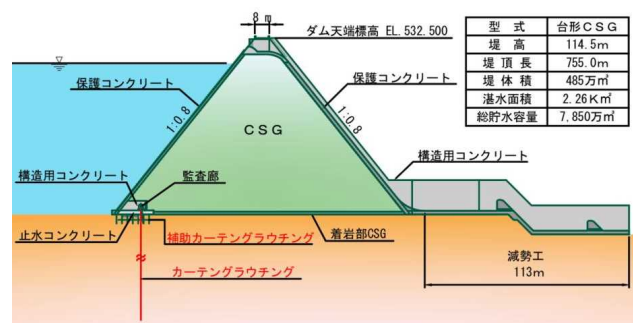


図-1 成瀬ダムの諸元

3. 基礎処理工の現場臨場における課題

(1) 待機時間

削孔完了後から段階確認が完了するまでの時間は、注入作業を開始できないため、作業効率が悪化する。また、臨場の準備後は監督職員等の到着待ちのための待機時間が発生し、元請職員・協力会社職員・作業員が拘束される。

オンタイムの遠隔臨場の場合でも、削孔完了が夜間の場合は、監督職員の確認が翌日となり次の作業に着手できない。

(2) 立会時間

削孔長の確認項目は延長のみと単純な内容である。しかし、残尺確認後に作業員によりロッドを引上げ・切り離す作業が発生するため、総ロッド本数により出来高(総延長)を確認するまでに長時間を要する。

(3) 移動時間

施工現場までは発注者の工事事務所からは約45分、JV工事事務所から約30分程度の移動時間が必要となる。

監査廊内を移動して臨場箇所に到達するためにさらに移動時間がかかる。

段階確認の臨場方法は、今回取り組んだ1・ビデオ(動画)によるオンデマンド臨場を含めると、2・現場臨場、3・WEBによるオンタイムの遠隔臨場の3つに分類される。

オンタイムのWEB遠隔では移動時間を削減できるが、立会時間は削減できない。WEBでの中継映像を、ビデオ(動画)にすることで、立会時間を倍速で確認することができ、立会時間を削減することが期待できる。

4. ビデオオンデマンドの試行

前述した課題の解決策としてクラウド録画型カメラによるオンデマンド配信による臨場を試行した。

撮影動画は、クラウドへ保存し、監督職員の要求に応じて時間に拘束されず、確認することが可能となる。

撮影機器は、建設現場における遠隔臨場に関する実施要領(案)に準拠した仕様とした。

現場の通信環境は、プラント管理室から監査廊内入り口までは無線通信とし、廊内は、無線受信ユニットから有線で無線アンテナへ配線している。

廊内には、QRコードを掲示しており、ネットワークを選択しパスを入れることで通信可能となる。

ダムサイトは、不感地帯が多いが、従来の有線通信以外の移動体通信による方法を確立することで、作業員間の連絡体制および安全対策も向上させた。

遠隔臨場に当たっては、ウェアラブルカメラで立会内容を動画撮影したものがクラウドに保存され、オンデマンド配信する。

試行段階においては、撮影者と作業員の2名とし、引上げ前に管理値を記載した黒板を投影し、残尺およびゼロ値を視認できるよう近景で撮影する。ロッドの引上げを開始する際は、ロッドが見切れないよう作業を行う。引上げ後は、ロッド本数・ロッド長・コアチューブ長が確認できるように示す。

監督職員等、発注者職員はクラウドシステムから配信動画を確認する。



写真-1 動画撮影状況

これにより、従来の遠隔臨場と同様に移動時間が大幅に削減される。また配信動画はリアルタイムでも確認できる他、後追いで確認も可能である。倍速再生機能やチャプター機能により、確認項目をピンポイントで確認でき、立会確認そのものを効率化できる。



写真-2 廊内通信環境

配信動画には、タイムレコードが自動でクレジット表示され、確認動画の編集をしないことで、撮影動画の連続性と信憑性を担保するようにした。

さらに監督職員等、発注者職員は、業務の任意時間に確認することでスケジュール調整に係る手間が削減されるとともに、立会のための他業務の中断がなくなり、副次的に業務効率の改善が期待された。

5. ビデオオンデマンド適用の結果

令和 5 年 10 月から遠隔臨場にビデオオンデマンドを適用し、令和 6 年 9 月末までに 364 回を実施した。

従来の遠隔臨場に比べ、リアルタイム性が失われるが、撮影動画はクラウドに随時アップされる仕組みのため改ざんが困難であること、確認者は可能な限り速やかに配信動画を確認すること、万が一不合格の場合は再施工とすることを協議し、臨場行為の本質が損なわれないことを確認した。

令和 6 年 9 月末までの 364 回実施した録画時間が、累計 172.8 時間（10,369 分）である一方で、監督職員等が確認に要した時間は累計 81.9 時間（4,911 分）であり、ビデオオンデマンドの活用で従来の遠隔臨場に比べ、図-2 に示すとおり 91.0 時間（5,458 分）約 53%の業務時間削減効果であった。

移動時間 90 分/回を考慮すると臨場に比べ、630.0 時間（38,218 分）約 89%の削減効果に及んだ。1 回あたりの平均は、録画時間＝引抜時間が約 30 分、確認に要した時間は、約 14 分となる。

立会時間のコストを比較すると、図-3 に示すとおり現場臨場の場合と、ビデオオンデマンドを実施した場合とでは、監督職員で約 90%削減、受注者で約 65%削減効果があった。

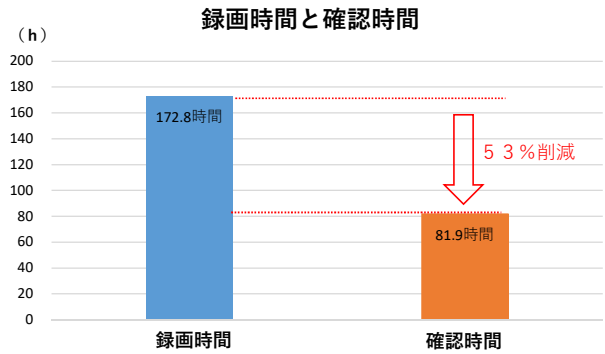


図-2 録画時間と確認時間

また、通常、夜間に削孔が終了した場合は、段階確認を実施するための「待機」が生じる。

図4 に示すとおり、令和 5 年 10 月から令和 6 年 9 月末までの間で、夜間作業時間帯（19 時から翌 7 時の夜勤帯から日勤までの間）で削孔作業が終了した回数は 157 回あり、全体の約 43%となる。これらは夜間時間帯に動画撮影し、最大 12 時間生じる「待機」時間を無くすことで、連続した作業を可能にすることができた。

段階確認を実施するために、削孔完了を昼間時間帯に調整する必要がなくなり、日中と夜間における偏りの解消に繋がっている。

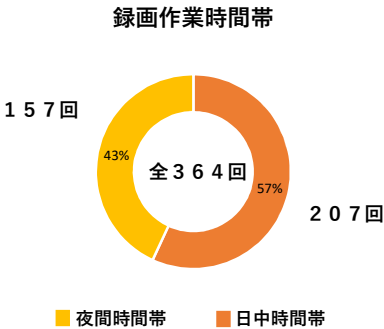


図-4 録画作業時間帯

臨場 種別	立会者	工程										立会時間 コスト (分/回)	待機 時間
		夜間					日中						
臨場	監督職員 必要時間(分)	-	-				移動 45	待機 10	立会 30	移動 45	約90%削減 130	約65%削減 85	最大 12時間
	請負者 必要時間(分)	削孔	待機 最大12時間（19時～翌7時）				待機 45	待機 10	引き抜き 30	注入			
WE B 遠隔臨場	監督職員 必要時間(分)	-	-				待機 10	立会 30			40	最大 12時間	
	請負者 必要時間(分)	削孔	待機 最大12時間（19時～翌7時）				準備・調整 10	引き抜き 30	注入	硬化待ち	40		
ビデオ オン デマンド	監督職員 必要時間(分)	-	-				任意時間に確認（倍速等活用） 14/回					14	0
	請負者 必要時間(分)	削孔	準備・調整	引き抜き 撮影 30	注入	硬化待ち	削孔	準備・調整	引き抜き 撮影 30	注入	硬化待ち	30	

図-3 夜間削孔終了時施工サイクルと臨場種別による比較

本取組で選定したクラウド録画型カメラは、通信環境が悪くてもカメラ本体に一時保存し、通信回復後に自動でクラウドにアップする機能も備えており、録画映像で後追い確認する今回の方法は、従来の遠隔臨場の大きな課題であった通信環境による映像・音声の乱れ・不明瞭さによるストレスも解決した。

さらには、待機時間が無くなることによりロッドの引抜き時、孔壁が干渉して引抜き時間が増加するリスクが減り作業効率が向上する副次的効果もあった。

一方、撮影する手間自体が増えたこと、撮影状況確認のための補助員が必要であること、通信環境の維持管理が改善点として挙げられる。

6. さらなる活用について

今回のクラウド型録画カメラによる臨場は、削孔長の検尺のみならず、その他の立会についても活用した。

グラウチングに用いる注入機器の流量検定において、従来は、中央プラントによる操作盤と廊内での計測を移動しながら確認していたが、カメラを2台活用することで操作盤と現場での流量を同時に中継し、遠隔で一度に確認することが可能となった。



写真-3 録画作業時間帯

また、遠隔臨場であるため確認後の記録と保存が不要となり、写真等のデータ整理作業を省力化することができた。

7. おわりに

昨年度までは、4週6休であったため休日の「待機」も課題であったが、今年度からは4週8休となったことから休日の「待機」がなくなったため、本報告は夜間に削孔作業が完了した場合をもとに、効果を整理した。

今回、遠隔臨場へのビデオオンデマンドの適用で受発注者双方の立会等に要する業務時間を大幅に削減し、副次的に現場リスクの低減や作業効率が改善し、生産性を向上させることができた。

工事記録改ざん等の施工者の不正防止面で臨場確認の

重要性は大きく、臨場自体の削減は困難であるが、ビデオオンデマンドを使用して立会時間そのものを短縮するアプローチは、業務効率向上へ有効である。

また、動画での配信は、若手技術者への説明において静止画より有効であり、現場へ臨場する機会が減っている中でも現場を感じる一手段になると考える。

建設業の2024年問題である、労働時間の上限規制や休日確保への一助となることを期待するとともに、基礎処理工に限らず、様々な工種への展開の参考となれば幸いである。

成瀬ダムでは、工事最盛期を迎えているが今後も生産性向上となる取組みを実施することで、1日も早い完成にむけて事業を進めて参りたい。

DX技術を用いた現場確認の効率化について

西潟 将利¹・金井 誠²・長岡 永喜²・根岸 蒼馬³・安藤 健⁴

¹群馬県 県土整備部 都市計画課 道路交通計画室 (〒371-8570 群馬県前橋市大手町1-1-1)

²藤岡土木事務所 (〒375-0014 群馬県藤岡市下栗須124-5) ³富岡土木事務所 ⁴企業局 渡良瀬発電事務所

県境部の山間地域に位置する土木事務所が抱える問題として、管轄範囲が広く現場確認に時間を要していることが挙げられる。近年の建設現場では移動時間の短縮を目的とした遠隔臨場の取組が推進されているが、山間部においては電波が届かない地帯（以下、電波不感地帯）が多く、取組が十分に実施できていない状況である。これらの問題に対して可能な限り職員で改善することとし、現地調査に要する時間を短縮するために360°カメラによる動画撮影を行った。また、電波不感地帯までの移動時間を削減するために、デジタル技術を用いた取組を試行した。

キーワード 山間地域、電波不感地帯、360°カメラ、WEB会議システム、Starlink、DX

1. はじめに

群馬県藤岡土木事務所では県南西部に位置する多野郡（神流町と上野村）を管轄しており、東西に45km、南北に15kmと横長な管内となっている。管内全体は山間地域となっており、特に県境部は急峻な山々が連なっていることから、複数の現場確認がある場合は効率的に周回することが困難な状況である。また、近年の建設現場で推進されているWEB会議システム等を用いた遠隔臨場については、山間部のため電波不感地帯が多く、取組を実施できる範囲が限定的であったため、現場確認に当たり多くの移動時間を要していた。このような状況に対し、「現地調査に要する所要時間の短縮」及び「現場までの移動時間の削減」を目指して、職員にも実施可能なデジタル技術を用いた改善案を検討し、試行した。

続いて、多野郡における遠隔臨場の取組状況に着目した。2022年11月時点で多野郡において契約中の工事を対象とし、実際に遠隔臨場が実施できている割合を調査した。調査にあたっては、段階確認を実施できる程度の通信品質が確認されたかを基準として、実施状況の可否を判定したところ、表-1のとおり44%の工事で遠隔臨場が十分に実施できていないことが判明した。

また、多野郡の県管理道路における通話可能な区間についても併せて調査した。調査方法は、道路パトロールを担当する職員へNTT回線の通話が圏外になる区間を確認した。表-1と図-2は確認結果を整理したものであり約38%の区間で通話が困難であることが判明した。上記の大部分が山間部かつ県や市町村境に位置していたため、事務所から遠方で移動時間を要する地域に、電波不感地帯が集中している状況が確認された。

2. 多野郡の電波状況及び遠隔臨場の取組状況

図-1は群馬県全体と多野郡のそれぞれにおけるNTTdocomoの電波状況を示したものである。電波状況が良好な範囲（図中の赤と橙）は、前橋市をはじめ関東平野の広い範囲で確認されたが、山間部の県北、県西部では良好な範囲は限定された。多野郡においても、同様の状況であり、電波不感地帯が多いことが確認された。

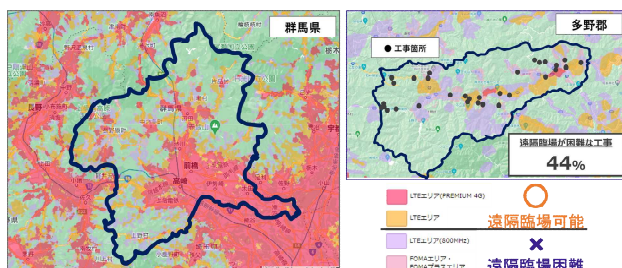


図-1 群馬県及び多野郡における電波状況(NTTdocomo)

表-1 多野郡における電波不感地帯の割合 (%)

項目	全数	不可	%
遠隔臨場が困難な工事数 ※2022年11月時点	50	22	44
県管理道路における 通話不能区間(km)	98.1	37.7	38.4

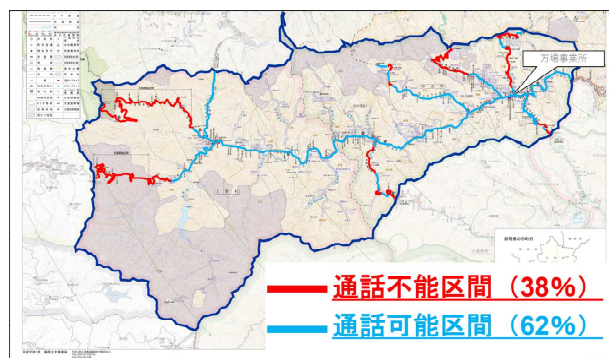


図-2 県管理道路における通話可能区間の分布図

前述の管内条件を踏まえ、次章では現地における調査手間の効率化を目指して 360° カメラを用いた取組について記述する。

3. 360° カメラを活用した現地調査

(1) 360° カメラの概要

360° カメラは、カメラ本体を中心として球体上に全方位を撮影できる機能を有している。撮影後の動画は「Googleストリートビュー」のように、立体的かつ全方位を確認できるため、通常のカメラと比較し多くの情報を短時間で入手することができる。カメラの外形を写真-1、機器の仕様及び付属品等について表-2、3に示す。



正面 背面
写真-1 Insta360 ONE R

表-2 360° カメラの仕様 (Insta360社製)

項目	仕様
動画解像度	3008x1504@100fps ~ 5760x2880@30fps
静止画解像度	6080 x 3040 (2:1)
重量	130.5g
サイズ	72mm×48mm×43mm
バッテリー	連続撮影時間 70分間(5.7K 30fps 時)
稼働環境	-20℃～40℃
接続方法	Wi-Fi, Bluetooth

表-3 撮影時の付属品・ソフト等

項目	仕様
ネットワーク接続用ツール	iPad Air(第3世代)
アプリケーション	insta360
共有ツール	YouTube
その他	撮影補助用の自撮り棒

今回は全て動画の撮影により現地調査を行った。撮影後の動画はiPad上で確認したり、他者と共有する際はYouTubeの限定公開機能を利用した。

次節では、実際に行った2つの活用事例を記述する。

(2)活用事例・効果

a) 異常気象時の災害調査・査定への活用

2022年9月に発生した豪雨により管轄する国道において道路路肩の一部が崩壊したため、この災害調査及び査定業務を行う中で360° カメラを活用した。(写真-2)

災害発生箇所は事務所から片道1時間を要する位置にあったため、1度の調査において入手する情報量を可能な限り向上させ、効率的かつ迅速な災害調査を実施する必要があった。また、査定額の関係から机上査定が予定されており、現地状況を示す資料の役割が極めて重要であったため、従来の被災状況写真を補完する形で360° カメラを用いた動画を撮影した。

活用した効果としては、現地での撮影手間やその後の資料作成に係る手間が削減されたため、約30分の作業時間の削減に繋がった。

また、全方位の撮影により、現地状況の立体的な把握が可能のため、復旧工法や仮設工の検討、支障物の状況把握を行う中でも、優位性が確認できた。

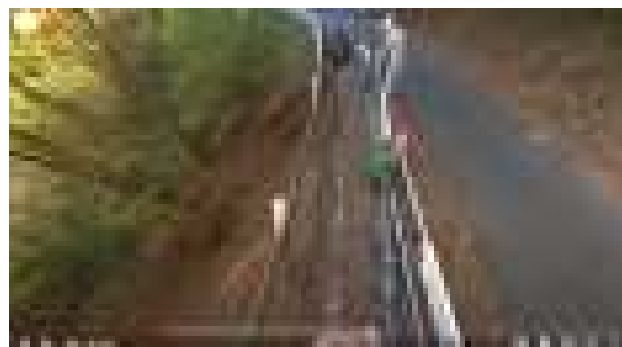


写真-2 災害調査（道路災）における活用

b) 樹木等の支障物により空撮困難な範囲への活用

砂防事業における詳細設計時には、事業範囲の現地状況を効率的に把握するために、ドローンによる空撮写真を活用することがあるが、山間に近接した範囲では樹木の影響により、撮影対象が映らない問題が生じていた。また、砂防堰堤と併せて進入路を計画することが多く、調査が広範囲にわたる場合があるため、従来の写真撮影では撮影手間及びその後の資料整理（写真方向図の作成等）に時間を要している状況であった。

このため、360° カメラを活用し砂防堰堤への進入路に係る現地調査を実施した。写真-3は上記の進入路検討時に撮影した事業範囲の空撮写真である。撮影対象であった写真の赤点線部分は、樹木により撮影が困難であったが、地上から360° カメラを用いて動画を撮影したことで、上空から把握できない地上の状況を効率的に把握できた。写真-4は撮影動画の切り抜き写真であるが、撮影動画から確認したい画角を任意で抽出でき、全方位の現地状況を把握するのに適していた。

続く4章と5章では、事務所から現場までに要する移動の総時間を削減するための取組について記述する。



写真-3 計画砂防堰堤への進入路に係る検討資料（空撮写真）



写真-4 360°カメラ動画の切り抜き写真(写真-3の赤点線部)

4. 電波不感地帯における動画を用いた現場確認

(1) 取組概要

電波不感地帯ではWEB会議システムを活用したリアルタイムでの遠隔臨場は困難なため、事前に受注者へ施工状況を動画撮影するように依頼し、撮影した動画を時間差で共有することを試行した。なお、撮影動画の共有は、受発注者ともに通信可能な地帯へ移動した後、メール等の送受信やMicrosoft Teamsを用いたWEB会議システムの画面共有機能を用いて実施した。取組フローのイメージについては、図-3に記載する。

■ 本取組の流れ



図-3 本取組のフロー図

なお、実施にあたっては、受注者の施工工程に遅れや手戻りが生じないように、動画の確認期限を事前に設定した。また、発注者が確認したいポイントを受注者と事前にすり合わせすることで、撮影漏れを削減できるよう工

夫した。なお、本取組は従来の写真による確認と差別化を図るため、動的に確認することが望ましい工種を選定した。

(2) 活用事例・効果

写真-5は、道路防災事業の鉄筋挿入工において、グラウト材が削孔内へ適切に充填されているかを確認した事例となる。作業開始から終了までを動的に確認することで、グラウト材があふれて、適切に充填されていることが確認できた。



写真-5 鉄筋挿入工のグラウト材充填確認への活用例

本取組による発注者側の時間短縮効果としては、現場確認1回あたり、平均60分の往復時間が削減された。また、時間短縮の効果以外にも事務所で複数の職員による動画の確認が可能となるため、若手職員が他職員から施工状況の確認ポイントを吸収できる機会が増加した。

受注者からは、動画の共有で日程調整の手間や発注者が到着するまでの手持ち時間が削減されたという意見があったが、反対に動画撮影の手間が追加となり、その分の作業時間が増加したとの回答も確認された。また、受発注者ともに活用事例がないため、撮影すべきポイントのすりあわせが曖昧になるという問題もあった。

上記のようなリアルタイムでの遠隔臨場ができないことによる課題が確認されたため、当事務所では2022年より日本でも導入された衛星通信サービスStarlink（スターリンク）についても、実証実験を行った。詳細は次章より記載する。

5. 衛星通信サービスStarlinkの試行

(1) Starlink の概要

Starlink とは専用の衛星通信アンテナを地上に設置し、地球の外周を低空で移動している人工衛星を通して通信を行うものである。地上の基地局からの電波が取得困難な地域でも、衛星通信を行える環境であればインターネットサービスへアクセスできるのが特徴である。

Starlink のアンテナ設置状況を写真-6 に示す。使用にあたっては、専用アプリをダウンロードしたスマートフォンを用意した。現地での設置作業は Starlink より郵送されたアンテナ及びルーターをモバイル電源（100V）へ接続し、用意したスマートフォンでアプリを

起動すると衛星通信が開始された。機器の仕様については、表-4 に記載する。

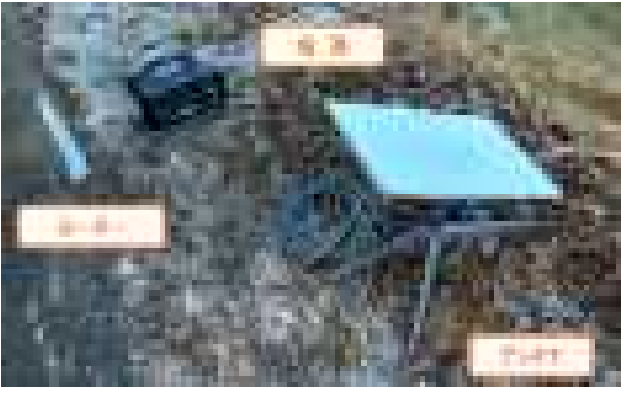


写真-6 Starlinkのアンテナ設置状況

表-4 衛星通信時の使用機器・ソフト等

項 目	仕 様
衛星通信アンテナ	Starlink
ルーター	Starlink
接続ケーブル	Starlink
モバイル電源	100V
ネットワーク接続用ツール	スマートフォン
アプリケーション	Starlink

(1) Starlinkの検証実験・結果

実験は 2023 年 10 月に計 11 箇所の工事現場で実施した。今回はオンライン会議が実施可能な目安である通信速度 25Mbps 以上を確認できた箇所を通信可能として設定した。実験結果とすると 11 箇所中 5 箇所で遠隔臨場に必要な通信速度が確認され、その中には地上の電波通信及び通話が困難な範囲でも通信可能な箇所が確認された。検証結果を管内図に整理したものを図-4 に示す。

また、Starlink で通信不良であった 6 箇所について、原因を考察したところ、障害物の存在が通信品質へ影響を及ぼしていると考えられる。具体的には、山間部において谷が深く法面が長大となっており、現地の上空範囲が限定されているような箇所では、衛星通信を受信できる範囲も縮小され、通信不良へ繋がると推察される。写真-7 は同路線の別箇所において実験した際の現場状況を比較したものである。写真左の現場では、道路法面が近接しており上空範囲が狭まっていたため、衛星通信へ接続できなかったが、写真右の現場では路線の峠付近に位置することもあり、上空が開けていたため、25Mbps 以上の通信速度を確認することができた。

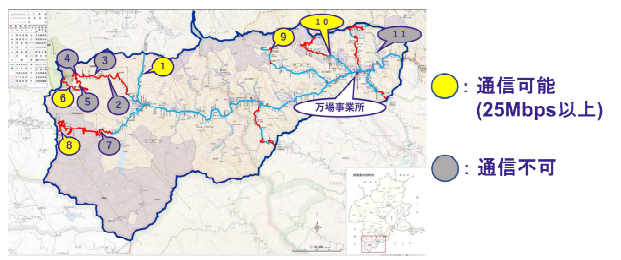


図-4 Starlink通信試験の結果



写真-7 Starlink設置時の現場状況の比較

このことから、衛星通信を受信できる現場条件が整えば、遠隔臨場に必要な通信品質を十分に確保できることが確認された。また、電波不感地帯は事務所から遠方の地域に多いため、Starlinkの活用によって、往復2時間を要する移動時間が削減された箇所も確認できた。

6. 終わりに

「現地調査に要する所要時間の短縮」及び「現場までの移動時間の削減」を目指し、3つの取組を試行した結果、職員の作業時間を削減することにおいて、取組ごとに一定の成果が確認できた。

360° カメラは新規事業立ち上げ時など、現地調査が広範囲にわたり1回の調査で大量の情報を効率的に入手したい場合に適したカメラであると感じた。

電波不感地帯における現場確認の改善案としてはStarlinkが活用できる現地条件の場合は、衛星通信を用いたリアルタイムでの遠隔臨場を推進していく必要があると感じた。一方で、衛星通信が繋がらない範囲については、受注者により撮影された動画を時間差で確認する手段が有効であると感じた。

近年はStarlinkなどデジタル技術が急速に進化している状況である。前述した当事務所におけるDXの取組においても2022年から開始したところであり、現在も試行錯誤の段階であるため、引き続きデジタル技術に係る情報に意識を向け、業務の効率化を目指していきたい。

参考文献

- 1) NTT docomo サービスエリアマップ (2022 年 10 月時点)
- 2) Insta360
- 3) Starlink(スターリンク)|法人・ビジネス向け|KDDI 株式会社

予防保全型道路メンテナンスに向けた 地域支援等の取り組みについて

鈴木 健文¹

¹中部道路メンテナンスセンター 技術第一課 (〒461-0047 愛知県名古屋市中区大幸南1-1-15)

中部道路メンテナンスセンターでは、急速に老朽化する社会資本への対策を強化するため、戦略的・効率的なメンテナンスを推進し、予防保全型のメンテナンスへの転換に取り組んでいる。その中で、技術者が不足する地方公共団体に対し、技術相談、技術講習会の開催など点検・診断の技術習得や技術力向上への支援として、当センターの工夫した取り組みを紹介する。

キーワード 地域支援、予防保全型道路メンテナンス、技術支援

1. はじめに

道路のメンテナンス事業については、2012年に発生した「中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故」をきっかけに、2014年から道路構造物を5年に一度点検することが道路法で定められ、各道路管理者にて定期点検の実施及びそこで確認された損傷に対してのメンテナンスが進められている。

現在、重交通に晒される道路構造物や、沿岸部や寒冷地など塩害・凍害の影響が大きい過酷な環境に置かれる構造物の急速な劣化進行等により、大規模な修繕となる「事後保全」から、損傷が軽いうちに補修を行いライフサイクルコストを低減する「予防保全型」道路メンテナンスへの転換が求められている。

そのような状況の中、上記の対応に追われる地方公共団体（以下、地公体という。）からは「技術系の職員が足りない、入ってこない」「事務系の職員を充てて対応せざるを得ない」などの声があり、深刻な人手不足並びに技術力・経験不足の中での対応に悩んでいる。（図-1）



図-1 中部地整管内 市町村の部門別職員数の増減

¹総務省「令和5年地方公共団体定員管理調査結果 団体別データ, 2023」より中部MC作成

本稿では、その悩みに対して、中部道路メンテナンスセンターが行っている取り組みを紹介する。

2. 地方公共団体における道路メンテナンスの現状

道路メンテナンスにおける地公体の現状として、道路構造物の定期点検や診断、補修工事などを担当する技術職員が減少しており、メンテナンス業務を遂行するにあたって求められる技術力の確保が課題となっている。橋梁の補修工事においては、適切な工法による丁寧な施工が重要であり、排水装置などの施工が疎かであると、補修を実施したにもかかわらず、次回定期点検時に再劣化している事例も見受けられる。これは、損傷の原因排除が適切に行われなかったこと等が要因であると考えられ、このような事態を防ぐためにも、適切な補修を実施するよう指導できる知識や経験が重要となってくる。（図-2）

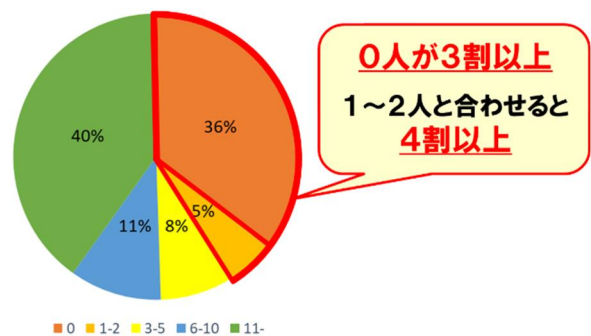


図-2 中部地整管内 市町村における技術系職員数(2023年)

¹総務省「令和5年地方公共団体定員管理調査結果 団体別データ, 2023」より中部MC作成

地公体の規模によって状況は異なるが、特に小規模な町・村においては技術系職員の人手不足は深刻であり、事務系として採用された職員が道路メンテナンスに関わる部署に配属され、定期点検等の業務に従事している地公体も少なくない。

専門知識の少ない職員が上述の対応や判断を行うことは難しく、そのような職員に対して技術力を高め、育成する機会を設けることは今後のメンテナンス事業にとって重要な取り組みとなってくる。

3. 中部道路メンテナンスセンターの取り組み

前章で述べた地公体の課題や悩み事に対し、中部道路メンテナンスセンターとして、現場を踏まえた工夫や気づきによる取り組みとして行っている、VR・ARによる技術学習、DIYによる橋梁補修、技術的な相談窓口の整備、講習会の開催等を以下に示す。

(1) VR・ARを用いた技術学習ツール

橋梁点検を初めて行う職員や、橋梁に関する知識に不安のある職員向けに活用しているのが「橋梁模擬点検VR」である。(写真-1)

橋梁現場の点検実習では足場が狭く1:1で教習せざるを得なくなるが、VRゴーグルを装着することで模擬的に橋梁点検を体験・学習できるようにし、現場に行かなくても、室内などで橋梁の構造・各部材の名称、損傷個所の目視、点検・診断のポイント等を現実に近い環境で学習できるものである。

作成にあたっては、鋼橋・コンクリート橋それぞれについて損傷の把握から健全性の判定までの流れを問題形式で順を追って学習できるようにすることで、初心者でも橋梁点検全体の流れを理解できるよう配慮している。また、自身が橋梁内のどの位置にいるのかを分かりやすくするため、加えて、部材毎の位置関係を把握しやすくするため、各部材番号を常時表示させるなどの工夫を行っている。講習会にて実際に体験した感想として「新規



写真-1 VRによる橋梁模擬点検の様子

採用職員の教育に使える」「初心者には現場に行くより分かりやすく良い」という意見が出ており、参加者アンケートにおいても約95%が「非常に良かった」又は「よかった」と回答しており、満足度の高いツールとなっている。

また、センター内にある橋梁コンクリート床版の損傷部材の実物と、AR技術を活用して損傷前の床版の配筋状況や、その後のひび割れや土砂化の進展状況とを重ね合わせることで学習効果を高め、点検・診断時に損傷の原因を推定し、進行を予測するために必要な知識である劣化メカニズムについて学習できるARシステムを開発中である。(図-3)

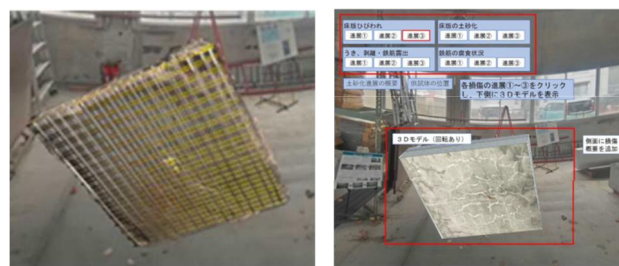


図-3 AR技術を活用した劣化メカニズムの学習ツール

(2) DIYによる橋梁補修

橋梁の損傷・劣化進行を食い止め、長寿命化やコスト縮減に繋げるためには早期の補修実施が大切である。特に、橋面（伸縮装置等）からの漏水は、桁端部等の損傷を早め、維持管理コスト増大の主な原因となっている。しかしながら橋梁補修工事の実施には、供用中の道路に対しては長期の時間を要し、損傷の発見から対策工完了まで期間が長引くことで損傷を進展させる恐れがある。そこで、一時的な簡易措置ではあるが、止水効果のある充填剤などを道路管理者自ら施工し損傷の進行を遅らせる「橋梁補修DIY」をとりまとめ、実際に施工してみた事例や、誰でも施工が可能ないように施工方法・留意点等を掲載したリーフレットを作成している。(図-4)



図-4 橋梁補修DIYのリーフレット

これは、NETIS登録された製品以外で、職員が道路以外の展示会で道路橋にも適用できるのではないかと、気づきや、ホームセンターで購入できる材料などを調べ、当センター内で試験施工するなどして収集した工法が多く含まれている。

橋梁補修D I Yは、様々な資材・工法をまとめたカタログ集と共に、ミニ講習会等の機会を通じて地公体へ紹介している。その際には、地公体の職員がD I Yについて知だけでなく行動に繋げてもらうため、資材等はホームセンター等で簡単に購入できることや、実演等を交えて簡単に施工できることを説明するように心掛けている。(写真-2)



写真-2 D I Yによる橋梁補修の様子

(3) 動画による「施工時の注意点・留意点」の公開

補修済箇所の再劣化事例が多くあることから、丁寧な施工が再劣化を防ぐために重要であるが、その際の注意点及び留意点について、補修後の状況を踏まえ施工業者へのヒアリング等を行い、工種毎に解説した動画を作成し各道路管理者や施工者向けにYouTubeにて公開している。(写真-3)

断面修復工を例に挙げると、施工時に注意する点として、カッター工の際に後々剥離しやすい部分を作らないよう垂直にカッターを入れること等に注意する点や、断面修復材の充填不良が起きやすい鉄筋裏への充填時の注意点などを、動画を用いて分かりやすく解説している。

現在、「断面修復工」「ひび割れ注入工」「塗装塗替工」の3本の動画を公開しているが、今後もよく用いられる工法及び再劣化を引き起こしやすい工法について追加作成する予定である。



写真-3 「断面修復工」の注意点・留意点動画

(4) 中部自治体支援ポータルサイトの開設

地公体における道路メンテナンスについては、課題解決を図る土木技術者が減少している点が問題視されている。そこで、地公体が抱える課題や悩み事について、時間にとらわれず気軽に相談できる仕組みとして、課題を一元的に集約・共有し、メンテナンスに関する知見を有する産・学・官の有識者とのコミュニケーション形成及び知見集積することを目的とした「中部自治体支援ポータルサイト」を開設した。(図-5)

ポータルサイトに登録した地公体にはサイトにログインするためのIDとパスワードが割り振られており、サイト上で相談したい悩み事等を、相談先（当センター・業協会・大学等）、構造物の分類（橋梁・トンネル等）、相談分野（点検・診断・工法等）を選択した上で登録すると、その相談先から回答が得られる。このサイトは地公体にとっては「相談窓口」としての機能を果たすとともに、産学官の回答者側にとっても道路管理者がどんな課題に直面しているのかを集積することで、技術開発や学術研究等に活用できるという利点がある。

今後も、よくある質問を一覧で確認できる機能や、掲示板機能を整備し利便性の向上を図る予定である。



図-5 中部自治体支援ポータルサイト

(5) 講習会の開催

地公体の職員向けに、点検や補修等のポイントを説明する講習会や、VR・D I Yの体験会を実施している。

2023年11月には、若手職員や点検・診断の経験が少ない職員を対象に橋梁点検講習を開催し、小規模橋梁に関する点検・診断の方法やポイントについて座学を行うとともに、VRを用いて模擬点検を行うことで技術力の向上を図っている。また、各県で開催される道路メンテナンス会議やインフラメンテナンス市区町村会議中部ブロック会議の開催に合わせてVR・DIYの体験会を実施している。（写真-4）

その他、今年度より橋梁定期点検の3巡目を迎え、定期点検要領が改定されたことをうけ、改定内容を学ぶ講習会も実施している。（写真-5）



写真-4 講習会（座学）の様子



写真-5 橋梁定期点検要領の改定内容を学ぶ実習会の様子

アや機会を用いると効果が高いのかを検討している。例えば、専門知識が少ない職員に対しては、橋梁の基礎知識を学習できるVR・AR及び用語集を紹介し、ある程度知識のある技術職員に対しては、施工時の留意点を確認できる動画や事例集を紹介することで効果が高まると考えられる。

一般の方や学生に対しては、建設技術フェア等の機会に出展しVRで橋梁の模擬点検を体験できるようにすることで道路メンテナンスの内容や必要性を周知していく等の計画を行い、取り組んでいく予定である。（写真-6）



図-6 VRによる橋梁点検や橋梁補修DIYのリーフレット



写真-6 VRの紹介動画

(6) 広報活動

中部道路メンテナンスセンターでは上述の様々な取り組みについて理解・把握してもらい、活用いただくために各種広報活動を実施している。

地公体に対しては、道路メンテナンス会議等の機会にVRを用いた橋梁模擬点検や橋梁補修DIYのリーフレットを配布し、どんな活用ができるのかを周知している。また、メールマガジンを配信することで道路メンテナンスに関する最新情報を展開している。さらに、当センターHPに用語集や事例集などの技術資料を掲載していることを周知し、知識レベルに応じた学習ができるようにするなどの取り組みも行っている。（図-6）

広報媒体を制作する際にはターゲット（誰に向けて）と目的（どんな効果があるか）を明確にし、どのメディ

4. 今後の方針・取り組み

前述した取り組みの実施を踏まえ、今後、取り組むべきと考えられる活動を以下に3点挙げる。

(1) 地公体からの意見に対するフィードバック

VRやARを体験した方からの感想や改善意見を集約し、より使いやすい・分かりやすいツールへブラッシュアップすることで地公体の技術力向上に努める。また、DIYについても各道路管理者が実施した結果を収集し、得られた知見を集約・展開することで、他の地公体にも実施してもらえるように取り組む。

(2) ポータルサイトの利用促進

中部自治体支援ポータルサイトは2024年3月から運用開始しており、まだ登録案件が少ないため引き続き存在の周知や活用メリット等を広めていく必要がある。サイトの使いやすさ改良も含め、活発な情報交換・共有の場となるよう運用を継続する必要がある。

(3) 効果的な広報手段の検討

戦略的・効果的な道路メンテナンスを展開する上で重要となる地公体の道路管理者について、各種取り組みやツールをまだ知らない、気付いていない職員に対して、どういった方法を用いれば内容が伝わるかを検討する必要がある。また、各県の道路メンテナンス会議等を通じて当センターの取り組み紹介や講習会等の充実をしていくと共に、各職員の知識レベルや理解度に応じた支援となるよう、広報手段をより効果的なものとしていく必要

がある。

5. おわりに

道路メンテナンス事業について、地公体が抱える課題を常に的確に把握し、当センターが積極的に支援していく各種取り組みを今後も継続していくことと、より効果的なものへと改善することで、メンテナンスに携わる職員の知識や技術力の底上げが図られ、「予防保全型」の道路メンテナンスへ繋がると確信している。

参考文献

- 1) 総務省：令和5年地方公共団体定員管理調査結果 団体別データ,2023

Air-des工法による液状化対策の試験施工 ～全国初となる河川堤防への適用性検証～

橋田 水輝

四国地方整備局 徳島河川国道事務所 流域治水課 (〒770-8554 徳島県徳島市上吉野町3-35)

旧吉野川・今切川の堤防における耐震対策の必要延長は長く、事業費も膨大であることから、効果的・効率的な整備に向けて、最新の知見を踏まえた対策工の検討が急務である。Air-des工法（空気注入不飽和化工法）（以下、本工法）は地盤に直接空気を注入することで改良を行う液状化対策の新工法である。本工法は、既設構造物直下を改良出来るため大規模な仮設が不要で、注入材料としても空気を使用することから、従来工法に比べて大幅なコスト縮減となると期待されている。しかしながら、これまでに河川堤防への適用事例は無く、注入空気の長期持続性は未知である。本稿では、令和7年度の実施を予定する本工法の試験施工およびモニタリング計画について報告する。

キーワード 河川堤防、液状化、耐震対策、Air-des工法（空気注入不飽和化工法）

1. はじめに

徳島河川国道事務所においては、旧吉野川・今切川の堤防について、今後30年以内に高確率で発生するとされる南海トラフ地震に対して、被災防止を目的とした耐震対策を実施中である。

令和6年5月時点で、旧吉野川・今切川における「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II. 堤防編（国土交通省水管理・国土保全局治水課，H28.3）」に基づく液状化対策の必要区間延長は約16km残存している（図-1）。対策完了までに要する総事業費は540億円程度が見込まれ、現状の予算ベース（約10億円/年）では事業完了までにおよそ54年を要する試算となる。このように、河川堤防の耐震対策に係るコストの縮減、工期の短縮は今後の河川改修における主要な課題であるといえる。

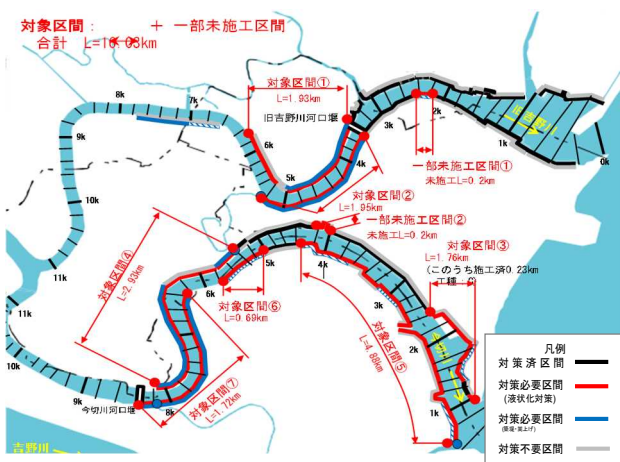


図-1 旧吉野川・今切川の耐震対策の現状

このような背景のもと、当事務所では令和元年度に「旧吉野川・今切川 河川堤防の耐震対策に関する技術検討会」を設立し、主に「液状化判定方法の見直し」および「新工法の採用」の観点から議論を進めてきた。本工法は、令和2年の第2回検討会において合理的な対策工として提示され、以降、試験施工に向けた準備を進めている液状化対策の新工法である。本稿では、令和7年度を予定する本工法の試験施工計画について報告する。

2. Air-des工法の概要

一般に、土の液状化抵抗は飽和度の低下に伴い増加することが知られている。本工法ではこの性質を利用し、液状化の発生が予見される飽和した砂質地盤に対して直

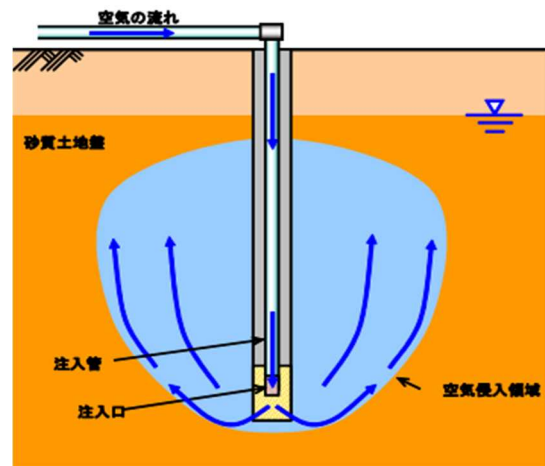


図-2 Air-des 工法施工イメージ

接空気を注入することで不飽和化を促し、沈下を抑制する(図-2)。注入終了後に間隙内に残留した空気は、地震時にクッションとして働くことで間隙水圧の上昇を抑え、土粒子の結合を維持する(図-3)。この効果は体積ひずみポテンシャル ε_v^* によって表される。体積ひずみポテンシャルとは、過剰間隙水圧と有効上載圧がつり合った状態で間隙空気が体積圧縮した際の地盤のひずみであり、式1によって表される。体積ひずみポテンシャルと液状化強度倍率の関係式は式2に示す通りであり、飽和度の低下に伴い液状化強度は大きく増加する。一般に、間隙全体の約5~10%程度が空気に置き換わることで、地盤の基本的な性質はそのままに液状化強度が向上する。

$$\varepsilon_v^* = \frac{\sigma_c'}{p_0 + \sigma_c'} \left(1 - \frac{S_r}{100}\right) \frac{e}{(1+e)} \quad (式1)$$

$$IR = \frac{R'}{R} = \log(6500\varepsilon_v^* + 10) \quad (式2)$$

本工法は平成20年度より四国地方整備局を含めた産・官・学による共同開発が進められており、過去には現場実験において地盤の不飽和化が確認されている。

本工法の主な特徴は、以下に示す4点である。

1. 粘性の低い空気を注入材料とするため、広範な地盤を比較的短時間かつ少ない注入孔で改良可能。
2. 構造物直下の地盤を改良できるため、現堤防を供用したまま施工が可能。
3. ボーリングマシンなど簡素な機器で施工できるため、スペースが限られた狭隘な箇所でも適用可能。
4. 注入材料として空気を使用することから、材料に係るコストが小さく環境負荷も軽微。

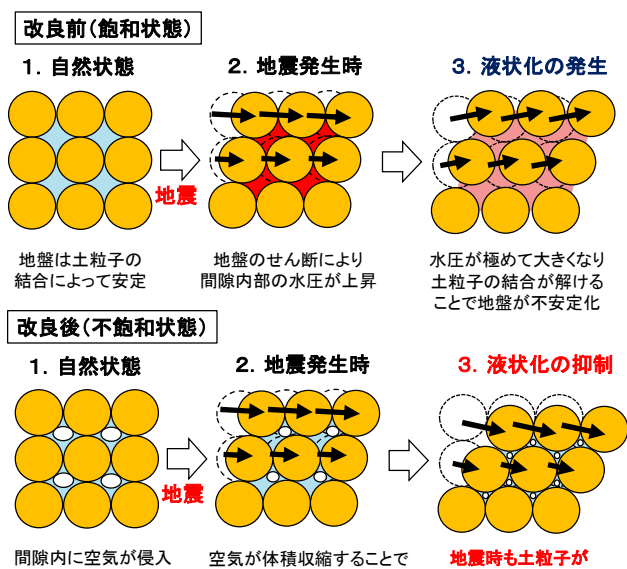


図-3 本工法の原理

簡素な機材を使用し、空気を注入材料としながらも、迅速かつ効果的に対策可能な本工法は、従来工法と比較して極めて安価な対策工になると期待されている。しかしながら、これまでに河川堤防へ施工を行った事例は無く、適用性に関する知見は不足している。次項からは、本工法の適用性検証を目的とした試験施工計画について述べる。

3. 試験施工計画

(1) 目的

前述の通り、本工法は過去にも実証実験を経ているが、何れも河川堤防は対象としておらず、「河川堤防の液状化対策の手引き」にも具体的な記載は見られない。殊に、河川堤防においては地下水流動に伴う空気の抜けが懸念されており、実用化にあたっては知見の蓄積が欠かせない。本試験施工は、河川堤防への施工および注入後継続したモニタリングを行うことで、本工法の早期実用化に資する知見の蓄積を行うものである。

(2) 地盤条件

試験施工は旧吉野川L4k800にて実施する。本箇所の地質調査の結果は図-4に示す通りである。地表から1mまでは難透水性の粘土層が堆積し(A1c層)、2~7mまではシルト混じりの砂層が存在している(A1s, A2s層)。砂層の細粒分含有率は21~23%程度であり、旧吉野川の代表的な地質構成といえる。本箇所では令和6年度末を目途に堤防整備が進行中であり、試験施工は工事完了後

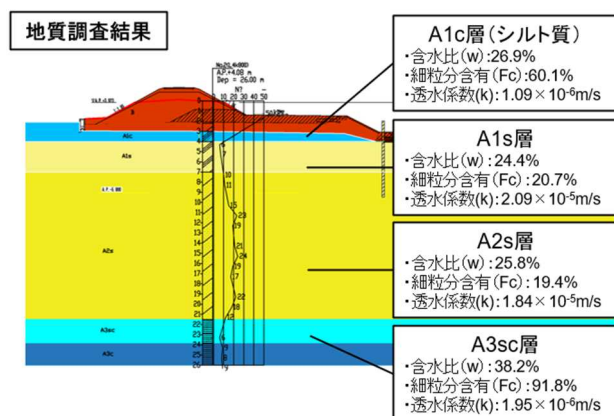


図-4 地質調査結果 (L4k800)

の完成堤防にて実施する。

選定過程では一次選定において対策済み区間および現整備計画で対策を位置付けている区間を、二次選定において施工スペース確保のため人家連坦地等を除外した。L4k800周辺は地表の難透水性層により施工の確実性が高く、

特に試験施工に適した地質条件であるものと判断された。なお、残留変形解析手法（以下、ALID）による解析の結果、本箇所はL2-1地震動発生時に液状化が発生し、被災すると判定された。

(3) 各種諸元の決定

本試験施工における各種諸元の決定には、Air-des工法研究会編著の「Air-des工法技術マニュアル」²⁾を使用した。

飽和度は必要飽和度並びに設計飽和度の2種について検討した。前者はL1地震動に対して液状化しないために必要な飽和度であり、本工法の標準的な液状化強度倍率（ $F_L=1.2$ ）より $S_r=99\%$ と算定した（式3）。後者は設計およびL2-1地震動に対する性能照査に使用する飽和度であり、保水性試験の結果（図-5）から $S_r=95\%$ とした。

$$S_{rn} = 100 \left(1 - \varepsilon_v^* \cdot \frac{P_0 + \sigma_v'}{\sigma_v'} \cdot \frac{1+e}{e} \right) \quad (\text{式3})$$

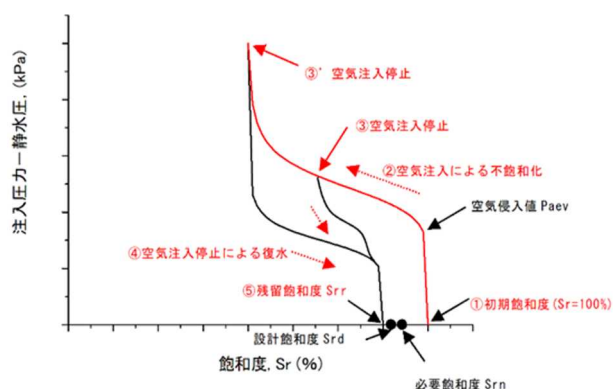


図-5 削孔・注入管設置手順（DP方式）

保水性試験では排水過程における最小の飽和度を注入終了後に保持される飽和度と仮定した。設計飽和度 $\leq$ 必要飽和度であることから、本箇所はAir-des工法が適用可能と判断された。

気液二相流解析により、注入圧力および注入時間、改良範囲を決定した。空気みちの形成や割裂破壊を防ぐため、注入圧力は土の骨格構造を乱さない範囲内である静水圧+有効上載圧の1/2を上限とした。

改良範囲は事務連絡（平成25年4月）に則り川面・川裏法尻間の液状化層（A1s層、A2s層）とした（図-8）。空気注入は直径8mを全9カ所、未改良部が生じないように四角形配置した。注入管は深度方向に2点の注入口を備えたダブルパッカー（DP）方式を採用し、G.L.-8.5m, G.L.-17m付近より注入を行う。

空気侵入領域を確認するため、各注入孔および民地境界部には比抵抗計を設置する。空気注入時には常時比抵抗

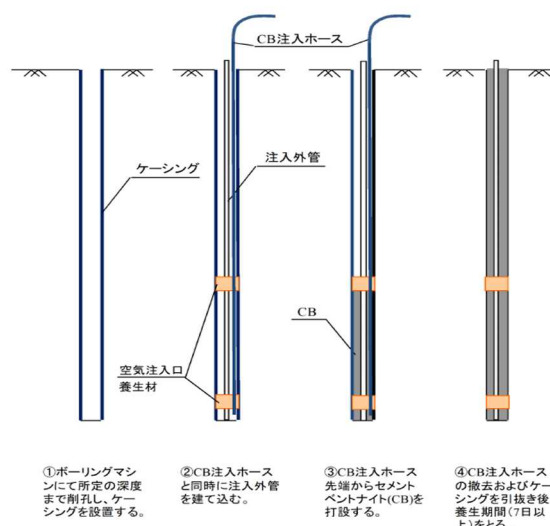


図-6 削孔・注入管設置手順（DP方式）

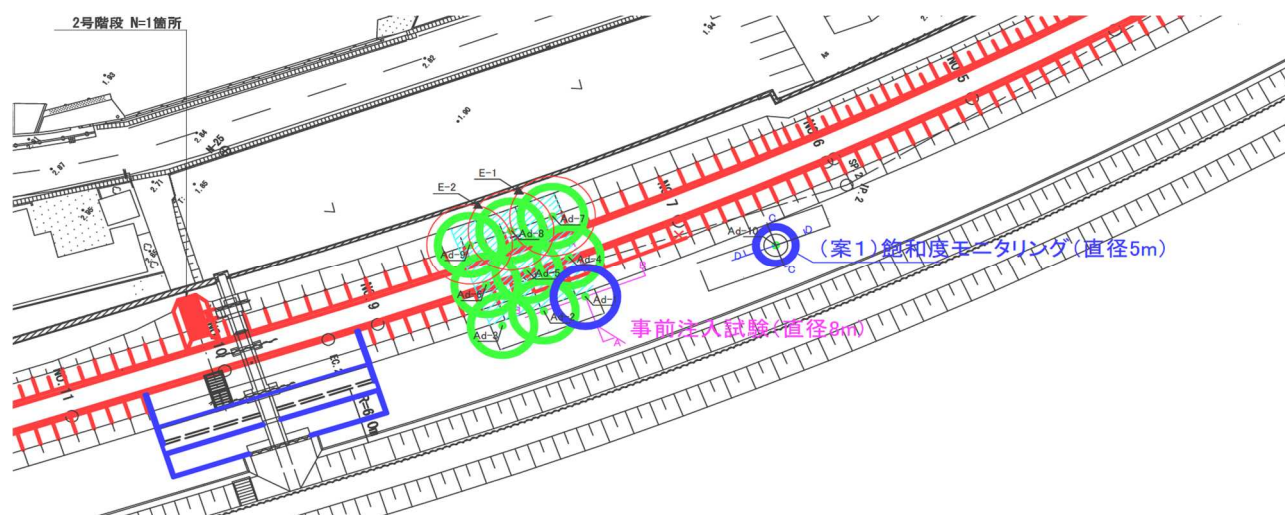


図-7 試験施工平面図

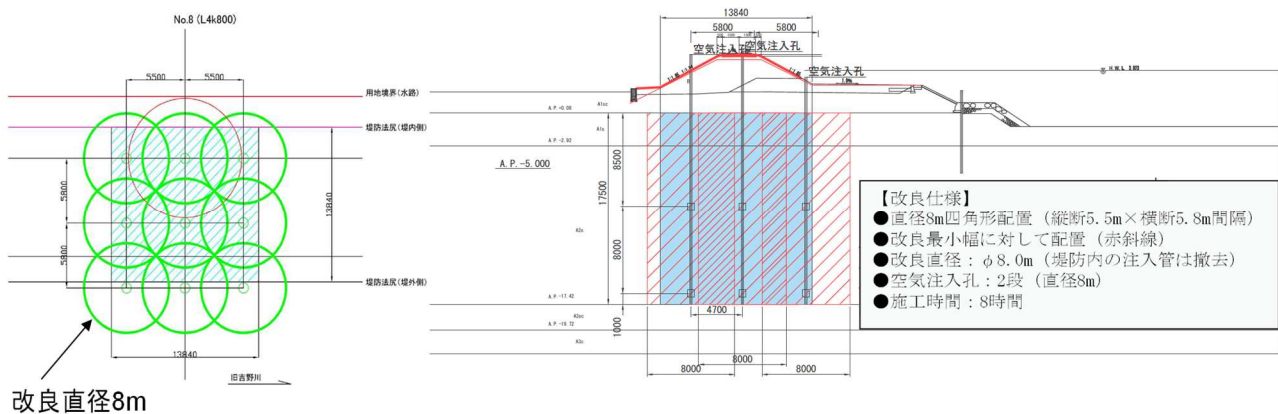


図-8 平面配置図・縦断配置図

抗値の変化を監視し、改良領域が諸元を満足し、民地へ及ぶことの無いよう留意する。

(4) モニタリング計画

本試験施工では「長期モニタリング」、「飽和度モニタリング」2種のモニタリングから飽和度の長期持続性を確認する。いずれも結果は単年毎に整理を行い、5年経過後には長期予測モデルのキャリブレーションのため解析を実施する。

a) 長期モニタリング

注入した空気長期持続性を確認するため、改良範囲で継続的に飽和度および地下水位を計測する。飽和度の測定にはPS検層、RI測定2種を用い、前者ではP波速度の変化から空気の侵入状態を定性的に評価し、後者ではγ線の変化から飽和度を定量的に評価する。なお、Air-des工法技術マニュアルでは飽和度の確認手法として凍結サンプリングが推奨されている。本試験施工では長期にわたる連続的なデータの取得が求められるため、より長期観測に適した上記2種を採用した。計測は川面・川

裏法尻に6カ所（Sr-1~6）、改良領域の川面側に3カ所（Sr-7~9）の計9カ所とした（図-9）。

地下水動態を把握するため、地下水位計により地下水流速・流向を測定する。水位観測は改良範囲周辺の4カ所に加えて、河川水位の測定用として堤外側に1カ所設置する。地震が発生した場合の効果検証のため、横断測量により沈下量を測定する。測線は未対策区間の測線No.7と対策済み区間の測線No.8の2カ所に設け、地表面沈下量を比較する。同様に、地震時の液化化層の状態を比較するため、水圧計により間隙水圧を測定する。

b) 飽和度モニタリング

本試験施工の改良は堤体直下で行うため、前述の長期モニタリングの観測孔設置は改良範囲の四隅に限定される。このため、より短期間で重点的に長期維持の特性をとらえるため、改良範囲の近傍で飽和度モニタリングを実施する（図-7）。空気注入は直径5m×1孔とし、飽和度観測孔を計8カ所、密に配置する（Sr-10~17）。

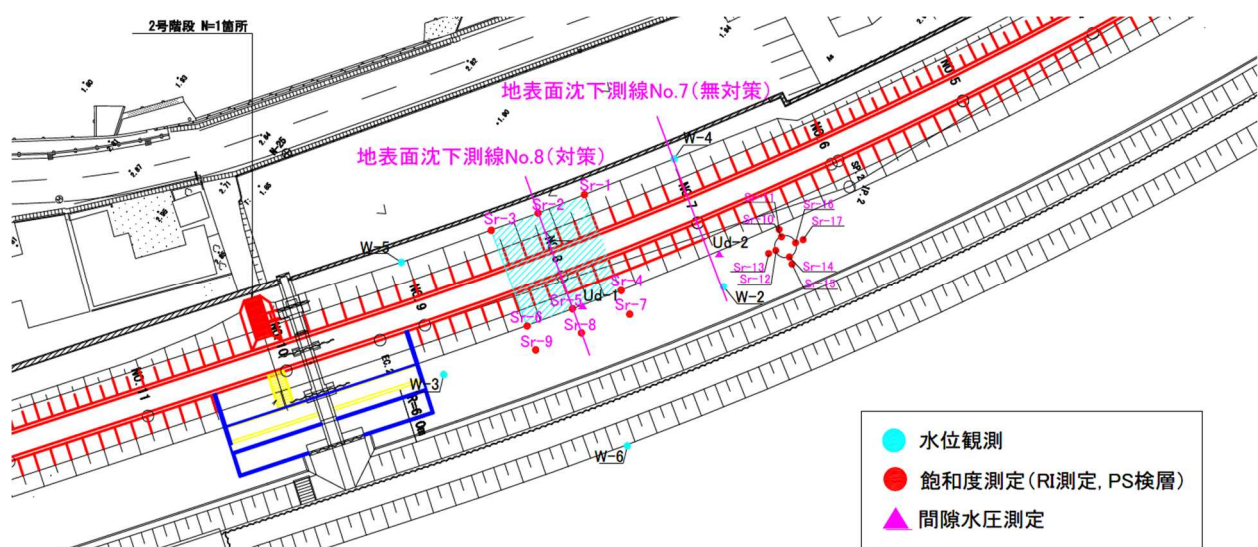


図-9 試験施工（モニタリング）平面図

4. 予測解析の結果

ALID解析により改良前後の沈下量を予測した結果、本工法は河川堤防において所要の液状化対策効果を発揮する可能性が示唆された。L4k800では、無対策の状態においてL2-1地震動に対する堤体沈下量は約2.53mとなり、許容沈下量である1.74mを大幅に超過する結果となった。

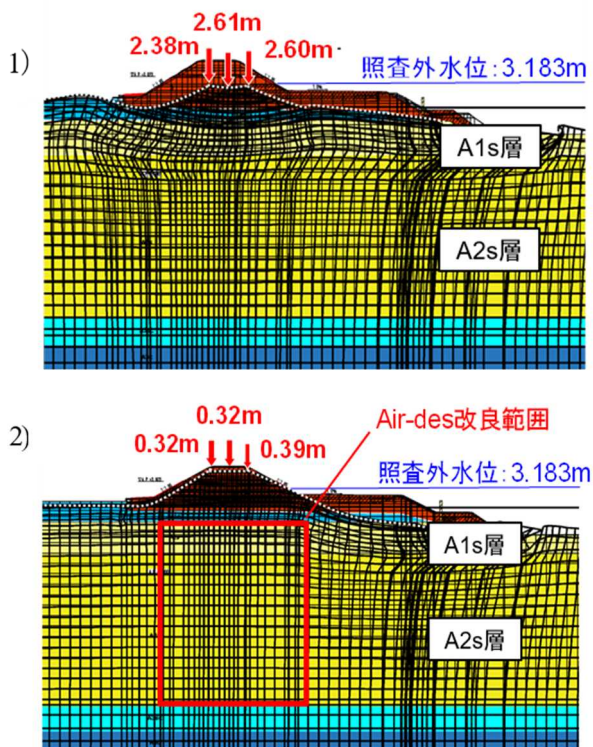


図-10 ALID による L2-1 地震動発生時の予測沈下量
※1)対策前, 2)対策後

しかしながら、改良後の条件では沈下量は約0.34mにとどまり、地震発生後も十分な堤防高を確保できると判定された（図-10）。

注入した空気の長期維持を予測するため、気液二相流解析を行った（図-11）。空気は注入後約10日程で安定し、約50年後まで堤防下に残存する可能性が示唆された。50年経過後は初期飽和度の高いA.P.-5m付近から飽和度の戻りが進展し、100年ほどで注入点付近の飽和度が顕著に低い領域は見られなくなった。しかしながら、100年経過後もA1s層上部には空気の残存が見られ、長期にわたり空気が持続する可能性が示唆された。ALID解析の結果、50年後、70年後、100年後の沈下量はそれぞれ約0.66m、1.21m、1.37m程度となり、いずれも同箇所のL2-1地震動に対する許容沈下量（1.74m）を満足すると判定された。

5. 事業費および工期の概算比較

事業費および工期について、従来工法である固化工法と比較を行った。旧吉野川・今切川で今後対策が必要な区間について、L2-1対策完了まで固化工法を使用した場合と、現整備計画で定められている2003中防二連動対策完了以降の残区間を本工法に置き換えた場合の概算事業費を比較したところ、前者は総額約535.3億円であったのに対し、後者は約272.5億円とおよそ50%の縮減が見込まれる結果となった。また、工期については現状の予算ベース（10億円/年）では約26年の短縮が見込まれる結果となった（図-12）。なお、本工法の実施可能な適用範囲については今後更なる検証が求められる。

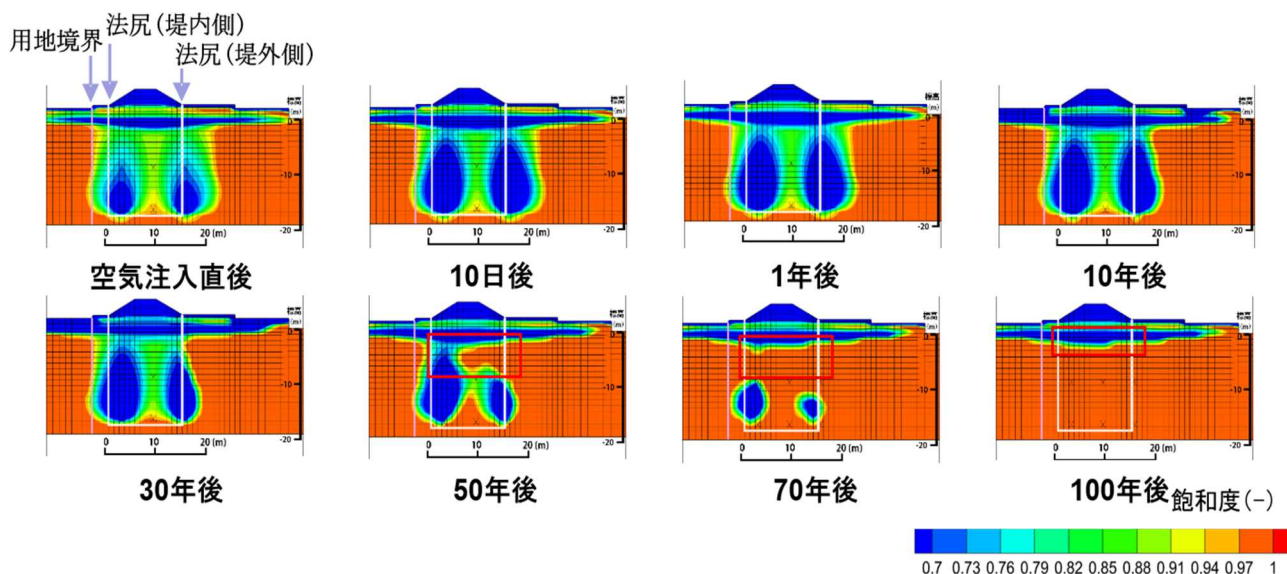


図-11 気液二相流解析による注入空気の長期予測

縮減，工期短縮効果がもたらされる可能性が示唆された。

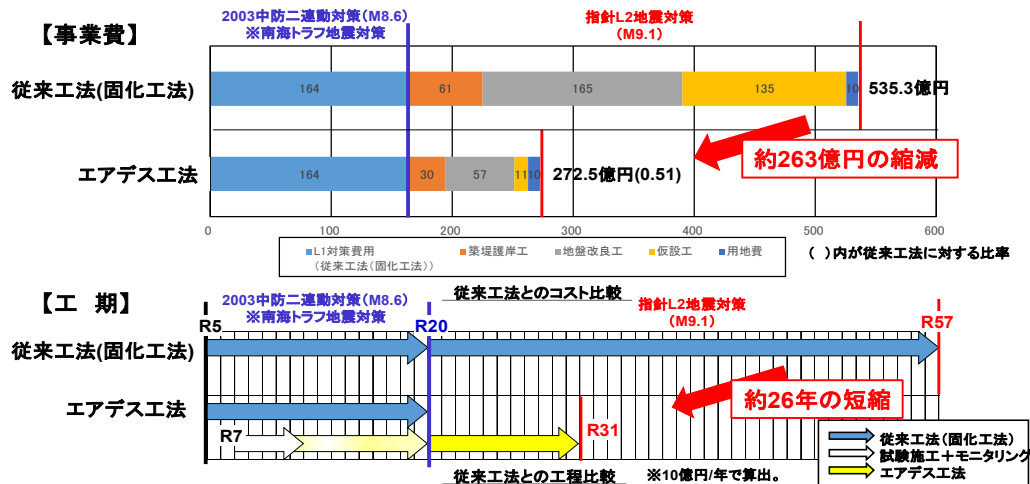


図-12 Air-des 工法および従来工法（固化工法）の総事業費および工期の概算比較

6. まとめ

本稿では，当事務所が全国に先駆けて河川堤防への適用性検証を予定するAir-des工法について報告した．本試験施工計画では，本工法初となる河川堤防への施工を行うほか，最低5年間にわたる継続的なデータ収集により，本工法の早期実用化に資する知見を収集する．予測解析の結果，本工法は試験施工箇所において所要の改良効果を発揮し，改良効果は長期にわたり持続する可能性が示された．また，事業費および工期を整理した結果，本工法の採用により，従来工法と比較しておよそ50%の費用

徳島河川国道事務所では，引き続き令和7年度の試験施工実施に向けて各種準備を進めるほか，施工後には継続したモニタリングを行うことで注入空気の長期維持に関する知見を蓄積し，以て本工法の早期実用化を目指す所存である．

参考文献

- 岡村未対，武林昌哉，西田克司，藤井直，神宮司元治，今里武彦，安原英明，中川恵美子：空気注入による地盤不飽和化の現場実験とそのモニタリング
- Air-des工法研究会：空気注入不飽和化工法（Air-des工法）技術マニュアル（平成30年6月）

三国川ダムにおける AI を用いた 流入量予測システムの構築について

長谷川 達也¹・谷澤 俊夫¹・垣田 駿斗¹

¹三国川ダム管理所 (〒949-6741 新潟県南魚沼市清水瀬686-59)

三国川ダムにおいて、AI 技術を活用したダム流入量予測システムの構築を行った。既往洪水の雨量等の観測データとダム流入量の関係を学習し予測精度を高めたが、学習していない洪水においては再現性が低くなる欠点があった。そのため、既往最大洪水を上回るような未経験洪水の予測精度を補完することを目的に、別途 RRI による物理モデルも構築し、流入量予測を行うシステムとした。また、AI 技術を用いた予測の信頼度を評価する仕組みを加えることにより、物理モデルへの切換えを支援し、よりダム管理者の視点に立ったシステムを実現させた。本稿では、上記システムの概要について報告するものである。

キーワード：ダム流入量予測, AI, RNN, RRI

1. はじめに

三国川ダムは計画総雨量 394[mm/4day]、計画高水流量 1,100[m³/s]、計画放流量 100[m³/s]を想定して建設されたロックフィルダムである。

近年、水害が激甚化・頻発化しており、今後も気候変動の影響により降雨量が増大していくことが懸念されている。

三国川ダムは上流域が山岳に囲まれた狭い流域であるため、洪水到達時間が短く、特に大規模な降雨があった場合には短期間で流入量が増加する特性を持つ。

ダムはこれらの洪水による被害を抑えるための事前放流、異常洪水時防災操作、特別防災操作に加え、発電のための後期放流活用操作といった柔軟な操作を求められており、これらの操作を事前に判断するためにはダム流入量の予測精度が重要となる。

本稿では AI を用いた流入量予測システムの構築を行い、その概要について報告を行う。

2. ダム流入量予測システムの検討

(1) AI モデルの検討

まず、使用する AI モデルの検討を行った。

AI モデルの種類としては、従来からあるニューラルネットワークモデルに加え、多層パーセプトロン(以下「MLP」という)や再帰型ニューラルネットワーク(以下「RNN」という)などの深層学習モデルが存在する。本検討ではダム流入量の様々な波形パターンに対応できるよう、多層のネットワークから構成される他のモデルと比べて表現力が優れている深層学習モデルを採用した。MLP は中間層を複数持っているネットワーク構造であり、複雑なパターンを学習できる。RNN は、1 時刻でのネットワークを時間方向に展開したものとなり、過去の出力情報を引き継いでデータを出力する。

洪水予測のように時系列データを学習させる場合には RNN の方が優位と考えられる。



図-1 三国川ダム位置図

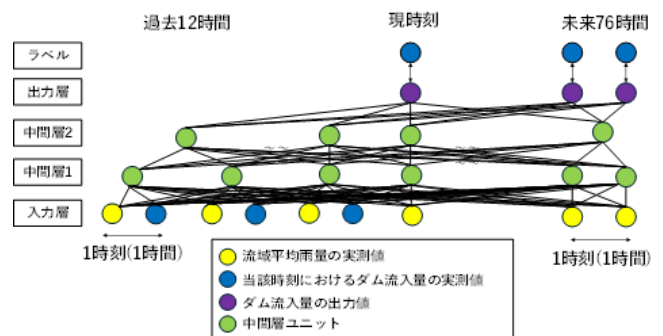


図-2(a) AI (MLP) モデルネットワーク構造図

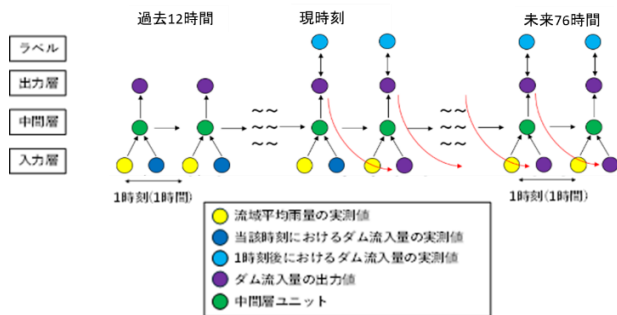


図-2(b) AI (RNN) モデルネットワーク構造図

(2) 運用時に用いるオンラインデータの検討

流入量予測を行うにあたっては、予測雨量のみならず実績雨量も必要となるため、リアルタイムで受信可能なデータを事前に整理しておく必要がある。

予測雨量としては気象庁が運用しているメソモデル（以下「MSM」という）と全球モデル（以下「GSM」という）のデータを採用した。なお、MSMはメッシュの間隔が5kmで36時間後まで予測可能であり、GSMはメッシュの間隔が20kmで76時間後まで予測可能となっている。

また、インターネット上からリアルタイムで受信可能な実績雨量のデータは、河川情報センターの河川情報提供サービスから提供している地上雨量、レーダ雨量がある。地上雨量計が冬季に閉局となる期間が長いため、通年観測されているレーダ雨量データ（Cバンドレーダ）を選択した。

(3) 学習方法

AIモデルのパラメータを求めるには、学習のための洪水を選定する必要があるが、AIモデルは学習データが多いほど精度が向上する傾向にあるため、2007年からの洪水期を対象に、24時間雨量が40mm以上の洪水をすべて対象とした。なお、洪水期間は無降雨期の学習も含むよう、ピーク流入量を観測した時刻を基準に、過去3日から未来2日を1つのイベントとした。上記のデータを用いて、学習を行った。

(4) 検証結果

以下にMLPモデルおよびRNNモデルにおける、テスト用洪水（学習には用いていない洪水）の予測流入量を示す（図-3(a)～(c)）。

2009年洪水（図-3(a)）は、RNNモデルの方が急激な流入量の増加に対して精度よく予測できていることが分かる。

2020年洪水（図-3(b)）では、RNNモデルの再現性が良く、多峰性の雨でも精度確保できていることが分かる。

2011年洪水（図-3(c)）では、RNNモデルのほうがMLPモデルよりも予測精度は低い。理由としては、当洪水が学習させた洪水の特徴に当てはまらなかったことが考えられる。一般的にRNNモデルはMLPモデルに比べ、学習させた洪水の特徴を的確に捉えられる

が、学習させていない洪水に対する精度は悪くなる傾向にある。しかしながら、全体的な精度としてはRNNモデルの方が高いため、本システムにはRNNモデルを採用した。

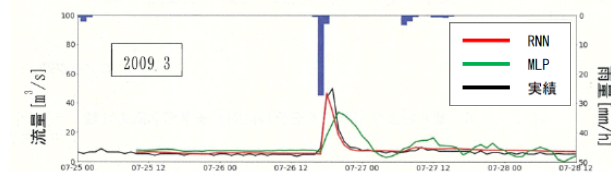


図-3(a) 2009年7月洪水

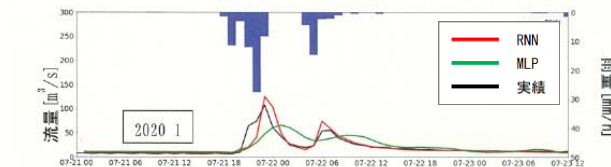


図-3(b) 2020年7月洪水

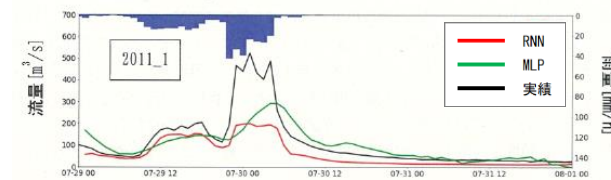


図-3(c) 2011年7月洪水

(5) 信頼度評価の検討

前述したとおり、AIモデルによるダム流入量予測では、学習させていない規模の洪水が発生した場合には予測精度は大きく低下する。特に流入量の大きな洪水に対しては数が限られるため、結果的にリスクの高い洪水の予測精度が下がることが問題とされている。そのため、各時刻のデータ雨量が過去に学習させた洪水の特徴を持っているか否かを判定し、AIモデルの信頼度を評価することを試みた。判定方法としてAIモデルが出力したデータ雨量と過去の実績雨量の2乗平均平方根誤差をもとめ、得られた値の標準偏差を基準にした。信頼度が低い場合には、RRIモデルの結果を参照可能にすることによりシステムの欠点を補完した。

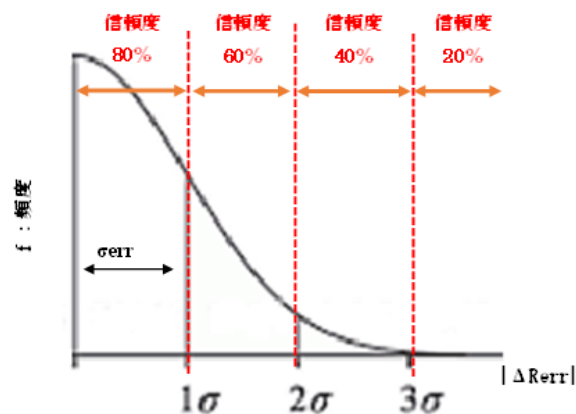


図-4 学習データに対する実績雨量の2乗平均平方根誤差の頻度分布と信頼度の関係

3. RRI を用いたダム流入量予測

(1) RRI モデルの概要

降雨流出氾濫モデル（以下「RRI」という）は、流域に降った雨が河川へ集水する現象に加え、河道の流下現象、河道からの氾濫現象を一体で解析するモデルである。

当手法を用いて三国川ダム上流域の RRI のメッシュモデルを構築した(図-4(a),(b))。

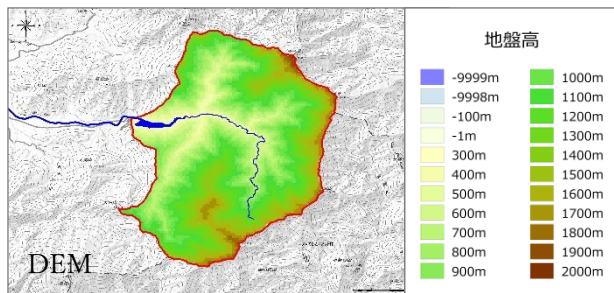


図-4(a) RRI モデル 地盤高図

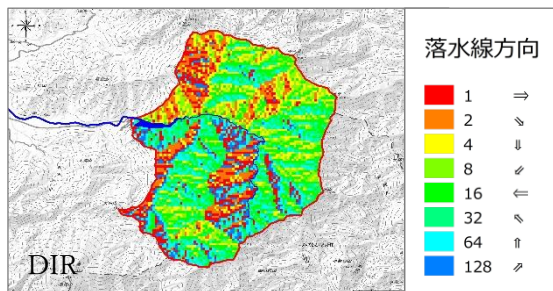


図-4(b) RRI モデル 落水線方向図

(2) 再現結果

今回はAI モデルの未経験洪水への対応として RRI モデルを構築していることから、既往最大である 2011 年 7 月豪雨の再現を行った。

RRI モデルには斜面流出量の計算に必要な土壌パラメータを設定する必要がある。今回の土壌パラメータは、2011 年 7 月豪雨の流出量に合わせ設定を行った。図-5 に示すように概ねピーク流量を捉えるように再現した。

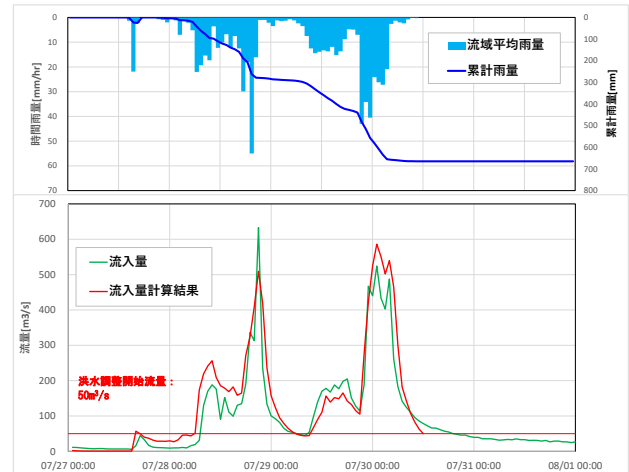


図-5 2011 年 7 月洪水検証結果

4. 流入量予測システムの構築

(1) 画面仕様の検討

流入量予測システムの画面レイアウトについて検討を行った。

画面レイアウト(PC 版)を図-6 に示す。

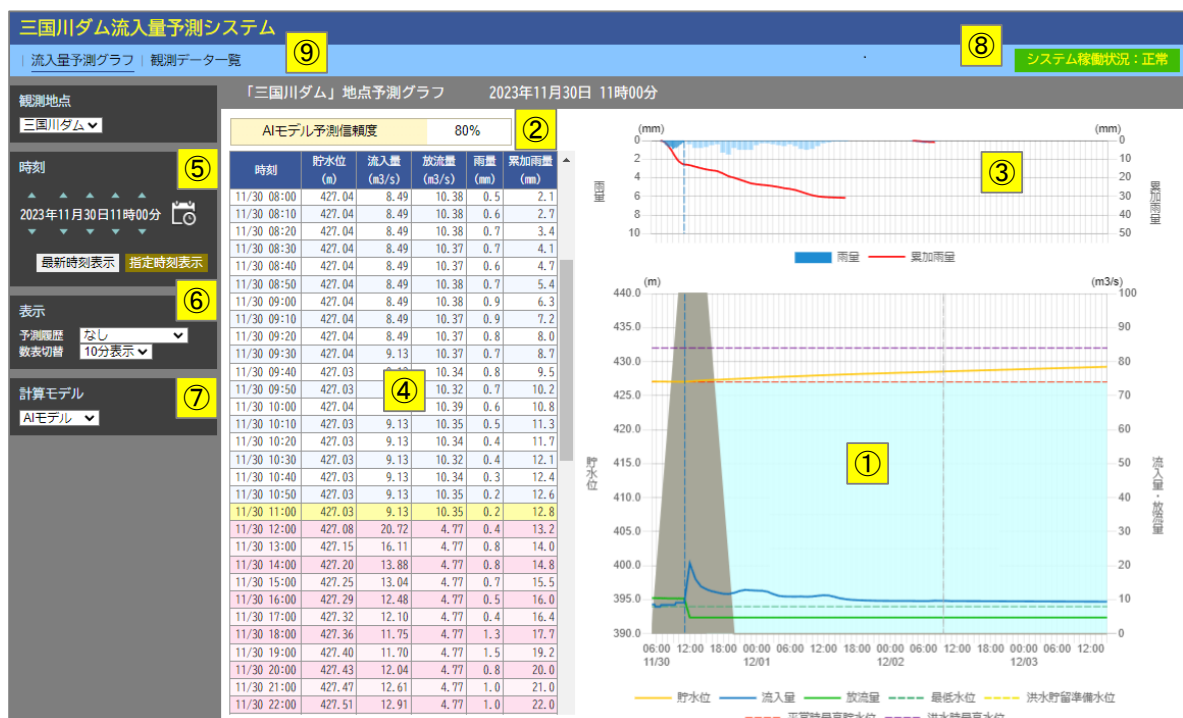


図-6 画面レイアウト(PC 版)

- 画面レイアウト(PC 版)の機能説明を以下に示す.
- ①貯水位, 流入量, 放流量, 雨量の実績値および予測
 - ②予測信頼度
 - ③流域平均雨量の実績値および予測値
 - ④①～③に表示した各項目のデータ
 - ⑤表示対象時刻の選択
 - ⑥予測履歴
 - ⑦AI モデル・RRI モデルの切り替え
 - ⑧システム稼働状況
 - ⑨観測データ一覧

PC 版の他に職員が官携帯ですぐ確認できるようにスマートフォン版のシステム構築も併せて行った. 画面レイアウトを図-7(a), (b)に, 機能説明を以下に示す.

- ①貯水位, 流入量, 放流量, 雨量のデータ
- ②貯水位, 流入量, 放流量の実績値および予測
- ③流域平均雨量の実績値および予測値
- ④AI モデル・RRI モデルの切り替え
- ⑤10 分表示・正時表示の切り替え
- ⑥予測信頼度
- ⑦予測時刻の表示
- ⑧グラフ凡例の表示
- ⑨グラフ画面への移動
- ⑩一覧表画面への移動
- ⑪タイトル画面への移動

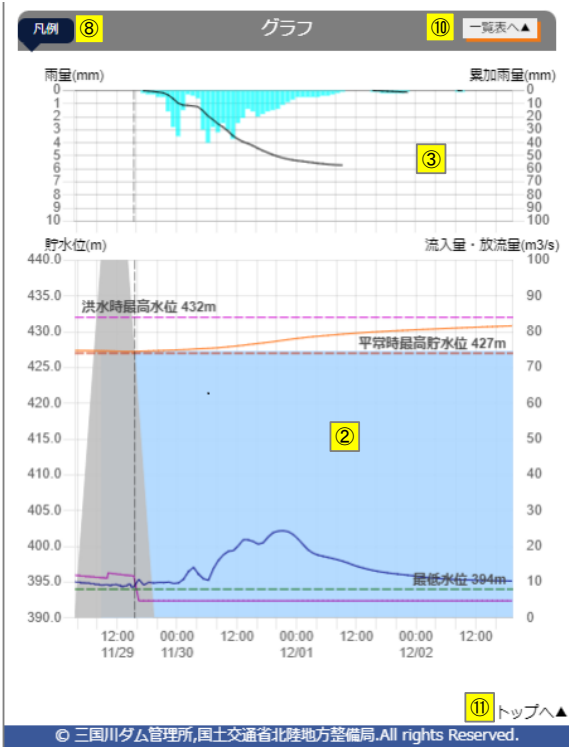


図-7(b) 画面レイアウト (スマートフォン版)

5. まとめ

本検討では AI モデルを用いてダム流入量予測システムを構築した. その結果 76 時間先までの予測流入量を閲覧することが可能になった. しかし, AI モデルは学習していない大規模な洪水の予測において著しく精度が下がるため, 別途 RRI を用いた物理モデルを構築し AI モデルの予測を補完するシステムとした. AI モデルと RRI モデルの切り替えには AI モデルが過去に学習した洪水の特徴を持っているか判定し, それを信頼度として評価するシステムを用いて, システム全体の汎用性を向上することができた. 今後は開発したシステムを運用し, 精度検証を行う. また, より多くのデータを AI に学習させ, 予測精度の向上を狙う.

参考文献

- 1) 大規模洪水氾濫の時空間起源分析に関する研究, 土木学会論文集, B1(水工学)2013
- 2) 日本全域高解像度の表面流向データ整備, 土木学会論文集 B1(水工学)2018
- 3) AI の信頼度評価に基づくダム流入量予測システムの構築, 河川技術論文集, 第 30 巻, 2024 年 6 月
- 4) 降雨流出氾濫一体解析を用いた全国ベースでの氾濫予測の試み, 土木学会論文集, B1(水工学)2019



図-7(a) 画面レイアウト (スマートフォン版)

味噌川ダムにおけるドローダウン開始時期の早期化による水力発電電力量増大の取組み

田尻 春満¹

¹水資源機構 味噌川ダム管理所 (〒399-6203 長野県木曽郡木曽郡木祖村小木曽2058-22)

味噌川ダムの水力発電設備（長野県企業局奥木曽発電所）は、最大使用水量 $4.70\text{m}^3/\text{s}$ 、最大出力 $5,050\text{kW}$ の水力発電設備であり、至近10カ年の平均で年間約 $20,000\text{MWh}$ の発電を行っている。

味噌川ダムでは、水力発電電力量増大を図るため、現状の非洪水期から洪水期に向けたドローダウン時（4月1日～5月31日）における発電無効放流量（発電最大使用水量を上回る放流量）に着目し、ドローダウン期間の見直しを検討し、その結果、1月前の3月1日からドローダウンを開始することが有効であることがわかった。本稿はこの検討結果に基づき実施したドローダウンによる増電効果について報告するものである。

キーワード カーボンニュートラル、ドローダウン、発電量増大

1. はじめに

味噌川ダムは、長野県木曽郡木祖村に位置し、鉢盛山を源流とする木曽川本川最上流に建設された、堤高 140m 、堤頂長 446.9m 、総貯水容量 $61,000,000\text{m}^3$ の中央土質遮水壁型ロックフィルダムである。ダムの目的は、洪水調節、新規利水（岐阜県、愛知県、名古屋市）、流水の正常な機能の維持、発電（写真-1）である。



写真-1 味噌川ダムと奥木曽発電所

発電所がダムの利水放流に従う従属発電として行っている。図-1のとおり表層取水設備から水路トンネルを経由し、バルブ室の手前から水圧鉄管により発電所に導水されている。

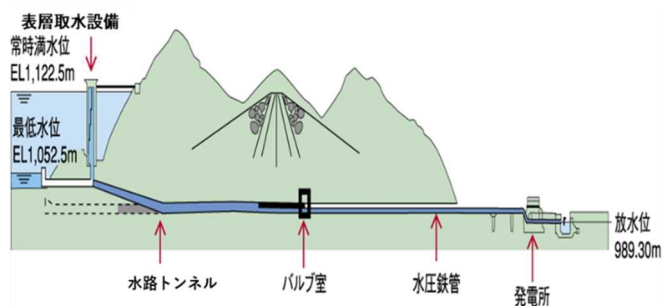


図-1 奥木曽発電所導水管経路図

奥木曽発電所諸元を表-1に示す。

表-1 奥木曽発電所諸元

項目	諸元
最大出力	$5,050\text{kW}$
最大使用水量	$4.70\text{m}^3/\text{s}$
最大有効落差	125.12m
水車	横軸二輪単流渦巻両掛フランシス水車（ $2,505\text{kW} \times 2$ 輪）
発電機	形式：三相交流同時発電機 容量： $5,050\text{kVA} \times 1$ 台

2. 味噌川ダムにおける水力発電の概要

(1) 味噌川ダムにおける水力発電の概要

味噌川ダムにおける水力発電は、長野県企業局奥木曽

過去10年間（2013年～2022年）における月別の発電電力量、全放流量、発電放流量の平均を図-2、表-2に示す。

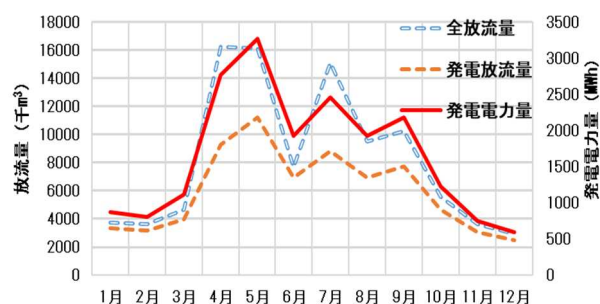


図-2 発電実績(2013年～2022年の平均)

表-2 月別発電電力量等(2013年～2022年の平均)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
全放流量 (千m³)	3,744	3,648	4,654	16,204	16,092	7,662	15,104	9,516	10,265	5,547	3,606	2,943
発電放流量 (千m³)	3,317	3,145	3,992	9,258	11,221	6,937	8,798	6,915	7,746	4,649	3,035	2,512
発電電力量 (MWh)	866	806	1,117	2,763	3,269	1,920	2,463	1,929	2,178	1,226	753	592

4月～5月は全放流量が多いため、発電電力量が多く、対して10月～3月は放流量が少ないため、発電電力量が少ない。また、発電電力量は4月～5月に多い反面、全放流量に対する発電放流量の割合は低く、発電無効放流量が多い状況となっている。

(2) ドローダウンについて

味噌川ダムでは非洪水期（10/16～5/31）から洪水期（6/1～10/15）への移行に際し、洪水調節容量確保のため、4月1日から5月31日の間で管理水位を約10m等差的に低下させる操作（以下「ドローダウン」という。）を実施しており、一日の水位低下量は約15cm、放流量は流入量+2.30m³/sをドローダウン計画の目安として運用している。

図-3は1997年～2022年までの流入量と放流量の水位低下実績の平均を示したものである。味噌川ダムの特徴として雪解け水により春先には流入量が増加しやすく、4月～5月の平均流入量は4.87m³/sと比較的多い。年毎の差はあるが、4月～5月上旬には貯水位がドローダウン計画線に達しており、4月中旬から5月にかけては発電放流の最大量である4.70m³/sを超えての放流が多くなっている。このため、これまでのドローダウンの方法ではドローダウン中に発電最大放流量以上の発電無効放流が多く発生していた。

このことから、味噌川ダムでは発電無効放流を減らし、発電電力量の増大を図るため、ドローダウンの開始時期の見直しを行った。

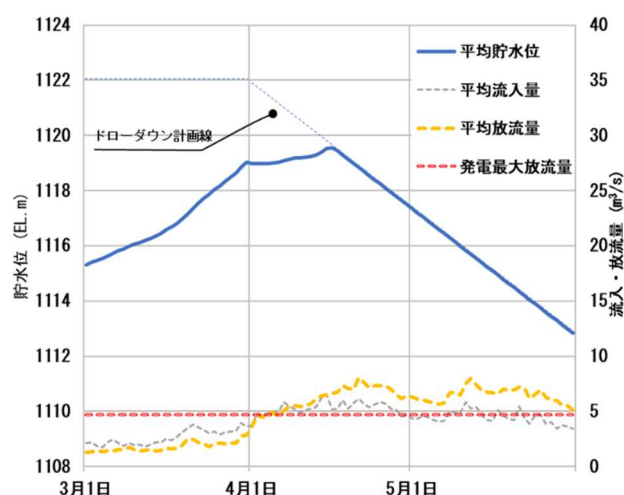


図-3 水位低下実績（1997年～2022年の平均）

2. ドローダウン時期の検討

(1) 検討内容・方法

水力発電電力量の増大を図る検討として、過去4年間のドローダウンの実績についてまとめたのち、ドローダウンの開始時期を1ヶ月早め、3月1日から3ヶ月間かけて実施した場合の発電電力量の増加量について以下の条件により検討を行った。

○水位低下についてはダム貯水位が3月1日開始のドローダウン計画線①（3月1日からの水位低下計画線）に達した日から行うこととし、それまでは通常運用（水位低下操作をしない）とする。

○ドローダウン計画線①に達した日以降は、1日の水位低下は10cm、放流量は流入量+1.47m³/sを目安とし、流入量が上昇し、発電放流(最大4.70m³/s)のみでドローダウン計画線①を維持できない場合でも発電放流のみとし、ドローダウン計画線②（4月1日からの水位低下計画線）2まで余裕のある期間は貯留する。

○ドローダウン計画線②に達した期間からについては従来どおりの一日の水位低下を15cm、放流量は流入量+2.30m³/sとする。

○水力発電電力量の算出は次の発電出力量計算式¹⁾を用いた。

発電出力量計算式

理論水力

$$P \text{ (kW)} = 9.8 \times Q \text{ (放流量)} \times H_t \text{ (有効落差)}$$

$$\text{最大放流量 } Q = 4.70 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_t = \text{現在水位} - 989.30 \text{ m} - \text{全損失水頭}$$

$$\text{全損失水頭} = 0.3 + 7.78/35 \times (\text{現在水位} - 1087.5)$$

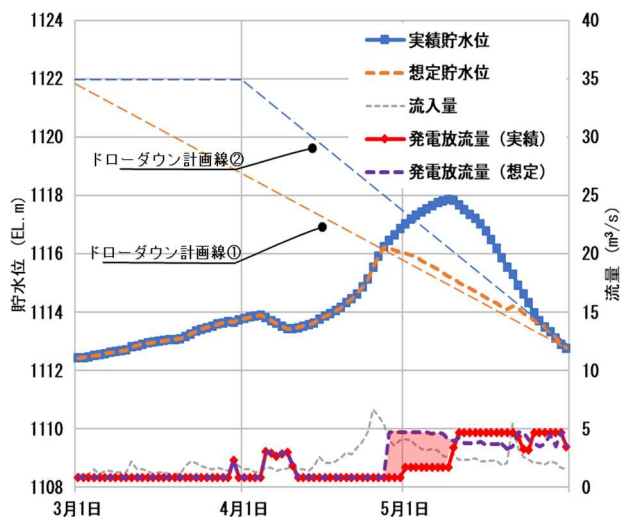


図-4 2019 年水位低下モデル

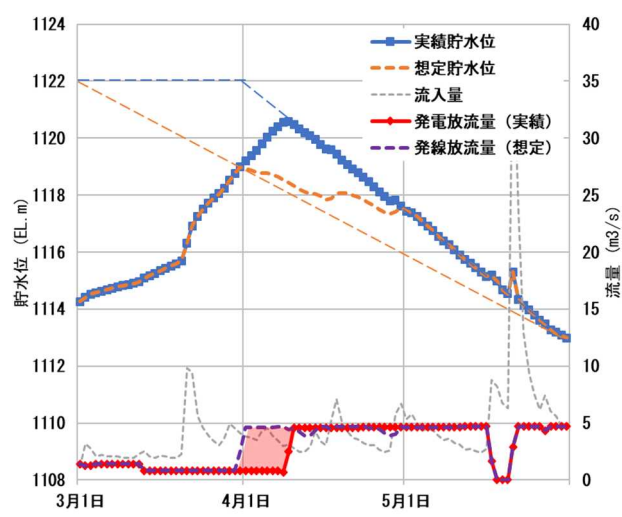


図-6 2021 年水位低下モデル

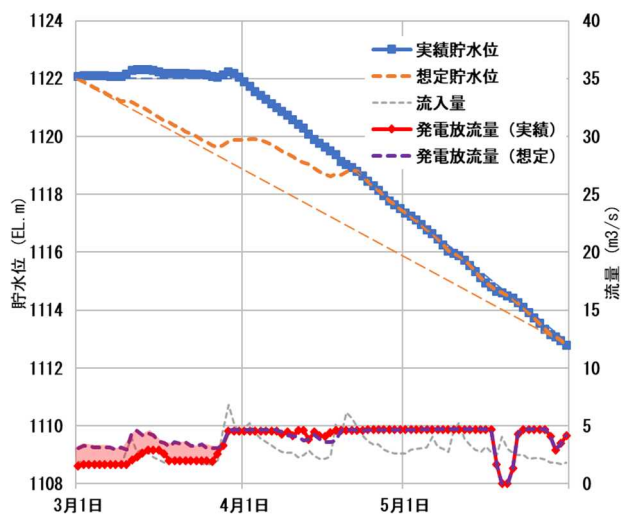


図-5 2020 年水位低下モデル

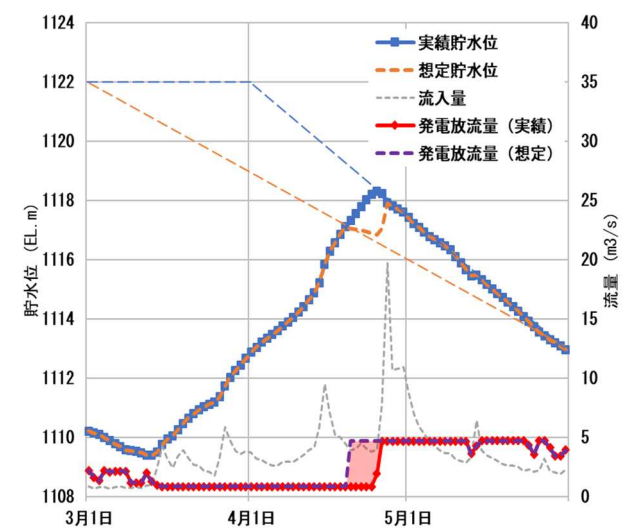


図-7 2022 年水位低下モデル

発電出力量

$$P \text{ (kW)} = P \times y \text{ (水車・発電機合成効率)}$$

$$y = 87.7\%$$

(2) 検討比較結果

図-4～7 の水位低下モデルはドローダウン計画線①から水位低下を行った場合（想定貯水位）とドローダウン計画線②から水位低下を行った場合（実績貯水位）、更にその際の発電放流量等の関係を示している。発電放流量（実績）と発電放流量（想定）間の着色箇所が従来と比較した際の放流量の増加分である。つまり、この区間だけ、過去の実績と比較して、多く発電していることとなる。

2019 年から 2022 年までのドローダウンによる発電放流量、発電電力量を実績、想定別にまとめると表-3、表-4 のとおりとなった。

表-3 発電放流量（千 m³）※3/1～5/31 の期間

	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
実績	15, 203	28, 781	22, 801	19, 105
想定	17, 447	31, 749	25, 417	21, 018
差	2, 244	2, 969	2, 616	1, 913

表-4 発電電力量（MWh）※3/1～5/31 の期間

	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
実績	4, 328	8, 383	6, 572	5, 430
想定	4, 949	9, 229	7, 316	5, 979
差	621	843	743	550

上記の検討結果から、2019 年から 2022 年までの平均で 690MWh 相当の発電電力量の増加が可能ということがわかった。

この結果をもってドローダウン開始時期を2023年の3

月1日に早めることについて、河川管理者、関係機関と協議し、了承を得られたため、2023年から実施した。

4. 実施結果

2023年～2024年のドローダウン実施結果を図-9、図-10に示す。

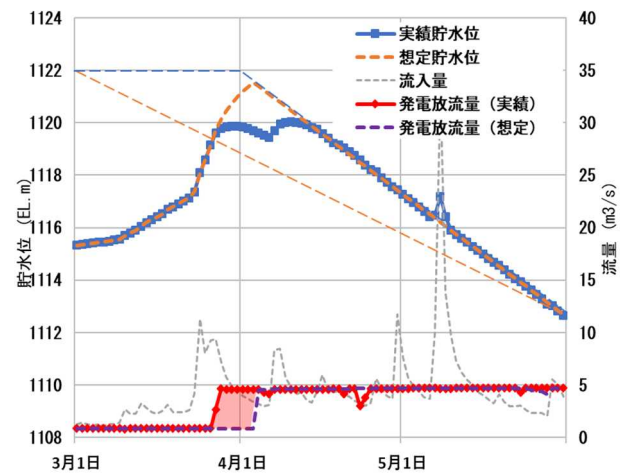


図-9 2023 年水位低下実績

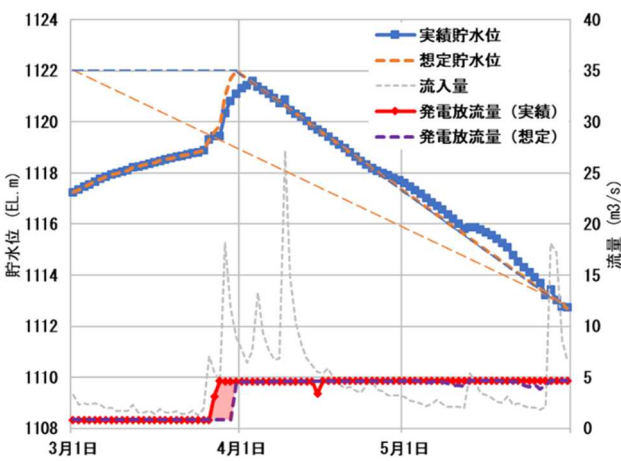


図-10 2024 年水位低下実績

2023年、2024年ともに、3月初旬の貯水位がドローダウン計画線①以下であったため、貯留に勤め、3月末頃に貯水位がドローダウン計画線①に達し、ドローダウンを開始した。その後、両年ともに4月頭の降雨により流入量が増加し、貯水位がドローダウン計画線②に達したため、以後はドローダウン計画線②を基本に従来どおりの水位低下を行った。その結果、2023年は3月27日～4月4日の8日間、2024年は3月27日～3月31日の4日間において従来よりも発電電力量が増大する結果になった。3月1日から5月31日までの発電放流量、発電電力量を実績と従来どおりに行った比較結果を表-5、表-6に示す。

表-5 年発電放流量（千 m³） ※3/1～5/31の期間

	2023年	2024年
実績	27,874	28,155
従来の方法	25,726	26,631
差	2,148	1,524

表-6 発電電力量（MWh） ※3/1～5/31の期間

	2023年	2024年
実績	8,050	8,159
従来の方法	7,426	7,707
差	624	452

4. 結論

ドローダウン計画の見直しを行い、2023年は624MWh、2024年には452MWh、2年平均して538MWhの発電電力量を増大することができた。これは一般家庭約150戸分の1年間の消費電力量²⁾に相当する。さらに増電量を温室効果ガス排出削減量として換算すると以下ようになった。

$$538\text{MWh} \times (0.459\text{t} \cdot \text{CO}_2/\text{MWh})^3 = 247\text{t} \cdot \text{CO}_2$$

2023年の味噌川ダム温室効果ガス排出量が248t-CO₂であることから、水力発電の増電による温室効果ガス排出削減量で味噌川ダムの一年の排出量をまかなえることがわかった。この結果は昨今求められているカーボンニュートラルの実現に向けた取組の一つとして有効な手段の一つであると考ええる。また、洪水調節容量を持つ制限水位方式のダムで水力用発電設備を所有するダムであれば、発電電力量の増加分を管理費用として充当することが可能となる。

味噌川ダムでは他にも水力発電量増加の取組として洪水後期放流活用操作の試行要領を定め（2023年8月1日）、取り組んでおり、今後も発電量増加方法について検討を進めていきたい。

本取組が発電設備を持つダムにとって今後のよりよい管理の一例となれば幸いである。

参考文献

- 1) 奥木曽発電所 水利使用許可申請書添付図書 別添資料「6. 施設又は工作物に関する水理計算書」
- 2) 環境省「令和4年度家庭部門のCO₂排出実態統計調査資料編（確報値）」p.41.
- 3) 環境省「電気事業者別排出係数（令和6年提出）」（中部電力ミライズの調整後排出係数を使用）p.11.

福地ダム上流洪水吐法面における 災害復旧の対応

我喜屋 靖¹・砂川 尚也¹

¹内閣府沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 流域治水課 (〒905-0011 沖縄県名護市大北3-19-8)

2023年8月、台風6号の断続的な降雨の影響により、福地ダム上流洪水吐において法面崩壊が発生した。洪水吐流路内には崩壊土砂が堆積したため洪水調節機能の低下が懸念されたとともに、崩壊頭部が県道と近接している状況もあり、迅速な応急復旧が求められた。また、洪水調節機能の早期回復（流路内の崩壊土砂撤去）や、災害復旧に必要な予算（災害復旧事業費）の確保及び工事の発注手続きに関しては、被災から約3.5ヶ月で行った。

本稿では法面崩壊から災害復旧に至るこれまでの対応を紹介する。併せて、現在施工中の災害復旧工事における新技術の導入やDXの取組についても紹介する。

キーワード 災害対応、法面崩壊、応急復旧、コスト縮減

1. はじめに

(1) 2023年台風第6号の特徴

7月28日にフィリピンの東で発生した台風第6号は、大型で非常に強い勢力に発達し、8月2日朝に沖縄本島に最接近した。沖縄近海で西北西に進路をとっていた台風第6号だったが、3日には一変して進路を東寄りに変えたことで、約7日間にわたって沖縄本島付近に留まり続けた。

県内各地では暴風雨による冠水や土砂崩れ、停電等の被害が頻発し、8月6日には本島北部に線状降水帯が発生した。国管理ダムである福地ダムの流域では、1日の降り始めから7日までの累加雨量が695mmを記録した。

(図-1)

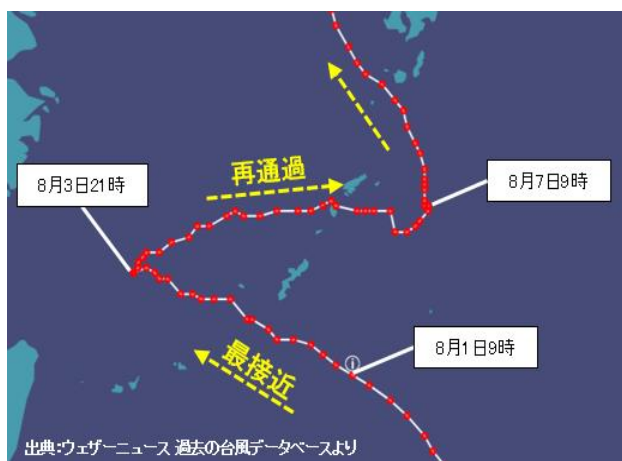


図-1 台風第6号経路図（沖縄近海を抜粋）

(2) 発災：福地ダム上流洪水吐右岸の法面崩壊

風雨が弱まりつつあった8月6日16時頃、巡視にあたっていた支援技術員が上流洪水吐右岸の法面崩壊を確認した。右岸法面が管理用道路3本と付属施設を巻き込んで崩壊しており、延長77m、幅62mの範囲にわたっていた。

洪水吐流路内には流れ込んできた土砂が大量に堆積し、ダムの洪水調節機能の低下が懸念された。また、路面排水の流末が欠損した影響で、排水が直接崩壊箇所に流れ込んでいる状況であった。そのため、関係機関との連携や堆積土撤去の応急復旧などに、迅速な対応が求められた。（図-2a、図-2b）



図-2a 上流洪水吐右岸の法面崩壊箇所

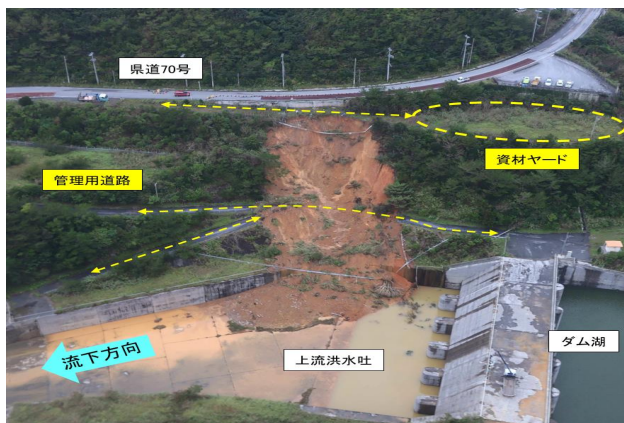


図-2b 法面崩壊の状況

(3) 崩壊要因の推察

福地ダム上流洪水吐は、米軍から工事を引き継いだ1972年当時、日本の基準に適合した設計洪水流量を流すために、新たな洪水吐としてダム上流端に設置された。その工事にあわせて県道の付替工事が行われた際に、一部の沢地形を盛土して工事用道路も造成しており、今回の崩壊箇所がそれにあたる。

過去の施工状況を踏まえた結果、台風の長雨によって元々集水地形であった当該箇所では、沢からの浸透水が集中しやすい状況であったとともに、県道からの路面排水が流れ込み、地下水位が上昇して盛土内の間隙水圧が大きくなったことで、沢と盛土との境界層付近から崩壊に至ったものと推察される。(図-3)



図-3 上流洪水吐設置時（1972年）の崩壊箇所の状況

2. 初動対応

(1) 関係機関との連絡調整

直ちに本局へ災害報告（第1報）を行うとともに、道路管理者の県北部土木事務所や、地元自治体である東村とのホットラインを確立をした。また、県道70号線の通行規制にあたっては、これまでの台風対応で土木事務所

の資機材が不足していたこともあり、当事務所から備品を貸出で、連携しながら規制対応にあたった。(図-4)

被災の翌日には関係機関との合同現地確認を実施し、県道の路面や擁壁に変異が見られなかったこと、監視体制を確保したことなどから、片側通行規制に切り替えた。また、当局の防災ヘリに自治体職員を同乗させ、上空からも被災状況を確認するとともに、当該箇所周辺を撮影した映像データを提供した。



図-4 県道70号線の規制状況

(2) 関連基礎資料の収集

今後の対応を進めるうえで必要となる基礎資料として、局関係課の協力のもと、国土地理院から崩壊前の現地盤がわかる航空レーザ測量データを提供していただいた。県北部土木事務所からは、県道70号線の工事図面や直近の地質データ等の関連資料を提供していただいた。

(3) 現場対応・監視計測体制

崩壊部への雨水流入を抑制するため、シートによる養生や土嚢を用いた路面排水の流入抑制対応を行った。

監視体制としては、崩壊部に変状が発生した際に迅速に対応できるよう、被災から数日は24時間体制で目視監視を行い、徐々にネットワークカメラや自動観測型地盤伸縮計等による遠隔監視に移行して、職員の負担軽減を図った。また、当該箇所では電柱も被災し商用電源が消失したため、自家発電機やソーラー発電機を設置して対応した。さらに現場作業員の安全面も考慮して、地盤伸縮計の計測値が閾値を超えた際には、パトランプとサイレンが連動し、携帯メールにも通知が届くよう整備した。

法面挙動の観測では、県道の擁壁や崩壊箇所の頭部で光波測量や鉅間計測、地下水位・歪観測を実施し、挙動解析用のデータを積み上げていった。また、計測用のチェックリストを作成し、現場担当者以外の者でも対応ができるよう、更なる職員の負担軽減を図った。(図-5)

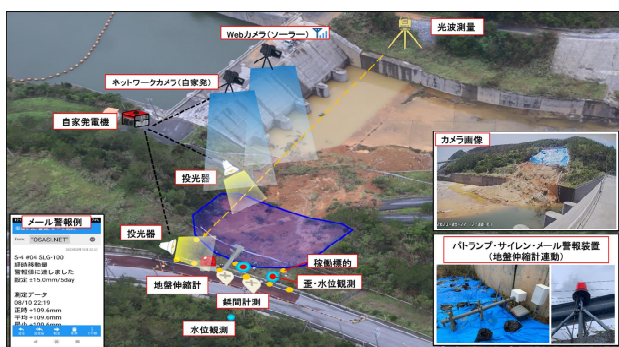


図-5 監視・計測体制

(4) 関係者間の進捗管理

当事務所では下記の2つの資料を用いて災害対応の作業状況を管理した。

a) 災害対応ミーティング様式 (図-6左)

初動対応～応急復旧の完了まで、毎日1回～2回実施していたミーティングで使用した。局・事務所の関係者全員で昨日までの実施状況を書き込み、当日と明日の具体的な作業内容を共有する。各項目の暫定方針も併せて記入しているため、実際の対応に沿って修正するだけで現時点の履行状況や変更内容についての把握が容易になる。

b) 進捗管理様式 (図-6右)

初動対応・応急復旧・災害申請・恒久復旧工事等における必要な項目を抽出分類して、各項目に対応する関係課・受注業者・概算金額・目標期日・対応状況等を一覧で整理した。目標期日を入力するとスケジュール表が自動着色されるように設定したことで、各担当項目の目処や関係する作業の進捗状況が一目でわかるようになった。また、項目ごとに各保存先フォルダをリンクさせることで、データの検索が容易となり、保存忘れも防止できた。

このような取組で、災害対応が初めての職員でも他部署の進捗状況や作業目処の把握がスムーズに行えていたと感じた。

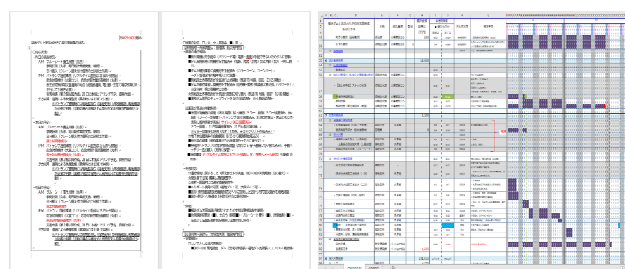


図-6 左：災害対応ミーティング様式 右：進捗管理表

3. 応急復旧対応

流路内に崩壊土砂が大量に堆積し、洪水調節機能の低下が懸念されたとともに、崩壊頭部が県道と近接していた状況から迅速な応急復旧が求められたため、契約中の維持補修工事に対応した。前段のように必要な作業項目の抽出と進捗状況を共有していたことで、初動対応から崩壊土の撤去、2次崩壊土対策の完了まで約1.5ヶ月で実施できた。土砂撤去作業の流れを下記に示す。(図-7)

(1) 崩壊土砂撤去仮設計画

①初動対応

シート被膜による法面保護対策と法面挙動の監視体制強化

②赤土砂等流出防止対策

スイッチバック道路を整備し、減勢池を活用した沈砂池を設置(滞留水をポンプで汲みあげて仮設足場から貯水池へ排水)、流路の崩壊土周りに土嚢堤を設置

③土捨て場整備

伐採、除草、整地(雨水は貯水池へ誘導)

(2) 崩壊土砂撤去計画

④工事用道路整備

擁壁平面を敷鉄板養生、重機用斜路整備、支障物撤去

⑤流路内土砂撤去

擁壁の高さが約8mあるため、ロングアームのBHを擁壁上に設置して、小型BH数台を流路内に下ろし、リレー方式によって崩壊土砂を撤去

⑥2次崩壊土対策

崩壊法面底部のダム湖側に大型土嚢を4～5段設置し、流路内への更なる崩壊土砂の流出を防止

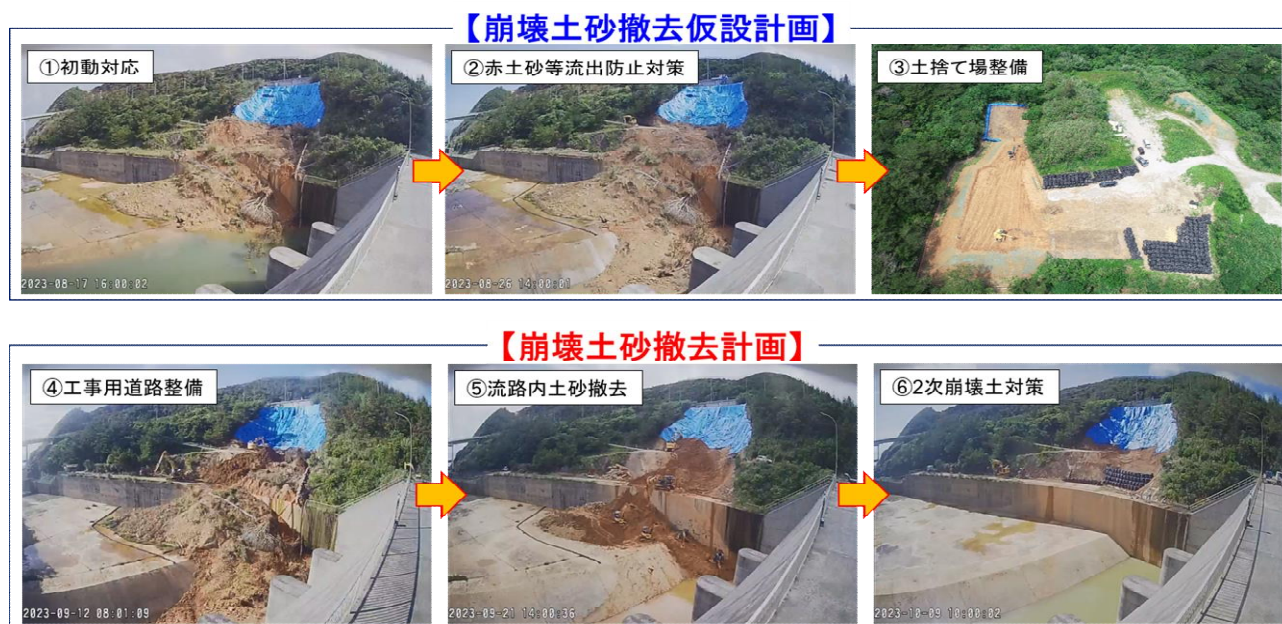


図-7 各応急復旧対応の現場状況

4. 災害申請

災害申請は恒久復旧工事に向けた予算確保のため、応急復旧と同時に進めた。（事務所では26年ぶりの申請）

恒久対策案の検討のため、発災後直ちに測量と設計を指示して概算額の算出を行った。本局河川課とも密に調整を進め、9月19日に本省に災害申請書を提出（発災から約1.5ヶ月）11月1日に配分額通知と予算申込を受けることができた。（発災から約3ヶ月）

こちらも各作業項目の進捗を共有しながら進められたことがスムーズな手続きに繋がったと感じる。（表-1）

表-1 災害申請の各手続きと実施日

各手続き状況	災害発生 第1報 8月9日	最終報告 8月10日	現地調査 (省庁確認) 8月28日	災害申請書 提出 9月19日	復旧箇所 承認決定 10月13日	配分額決定 (第1報) 10月16日	配分額通知 11月1日	実施計画書 提出 11月1日	実施計画書 承認・予算配分 11月1日
手続機関	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
財務本省									
国土交通本省									
各地方整備局 北海道開発局									
各地方整備局 事務所									
北海道開発局 開発建設部									
該当機種の 送付資料	・様式-1 ・図面 ・写真 ・調査書 ・測量資料 等	・様式-1 ・図面 ・写真 ・調査書 ・測量資料 等	・様式-1 ・図面 ・写真 ・調査書 ・測量資料 等	・様式-2-1 ・様式-2-2 ・写真 ・調査書 ・測量資料 等	・様式-2-3 ・様式-2-4 ・写真 ・調査書 ・測量資料 等	・様式-2-5 ・様式-2-6 ・写真 ・調査書 ・測量資料 等	・様式-2-7 ・様式-2-8 ・写真 ・調査書 ・測量資料 等	・様式-2-9 ・様式-2-10 ・写真 ・調査書 ・測量資料 等	・様式-2-11 ・様式-2-12 ・写真 ・調査書 ・測量資料 等

5. 恒久対策の比較検討

(1) 設定条件

恒久対策の条件として、下記3点を設定した

- ◆災害復旧の原則に従い、原形復旧とする
- ◆復旧対象は、機能・利用形態・重要性等を勘案し、管理用道路3本とする
- ◆崩壊土砂は水分を含むと急激に軟化することから、盛土材は良質な現場発生土や購入土等を利用する

(2) 恒久対策案の比較

上記の検討条件をもとに、3つの比較案から選定した

- A) 「補強盛土案」 崩壊法面全体を補強盛土で覆い、被災前の法面形状に復元する
- B) 「補強盛土+補強土壁案」 復旧対象区間だけ補強盛土と補強土壁を設置し、その他の法面区間は崩壊土砂及び不陸土塊を除去し、表面保護対策を行う
- C) 「通常盛土案」 法面区間が県道と流路に挟まれており、勾配を寝かせることができず、復旧対象である上段の管理用道路が設置できないため、対象外。

以上からA案とB案を比較し、経済性・施工性・景観性の観点からA案の全面補強盛土案を選定した。（表-2）

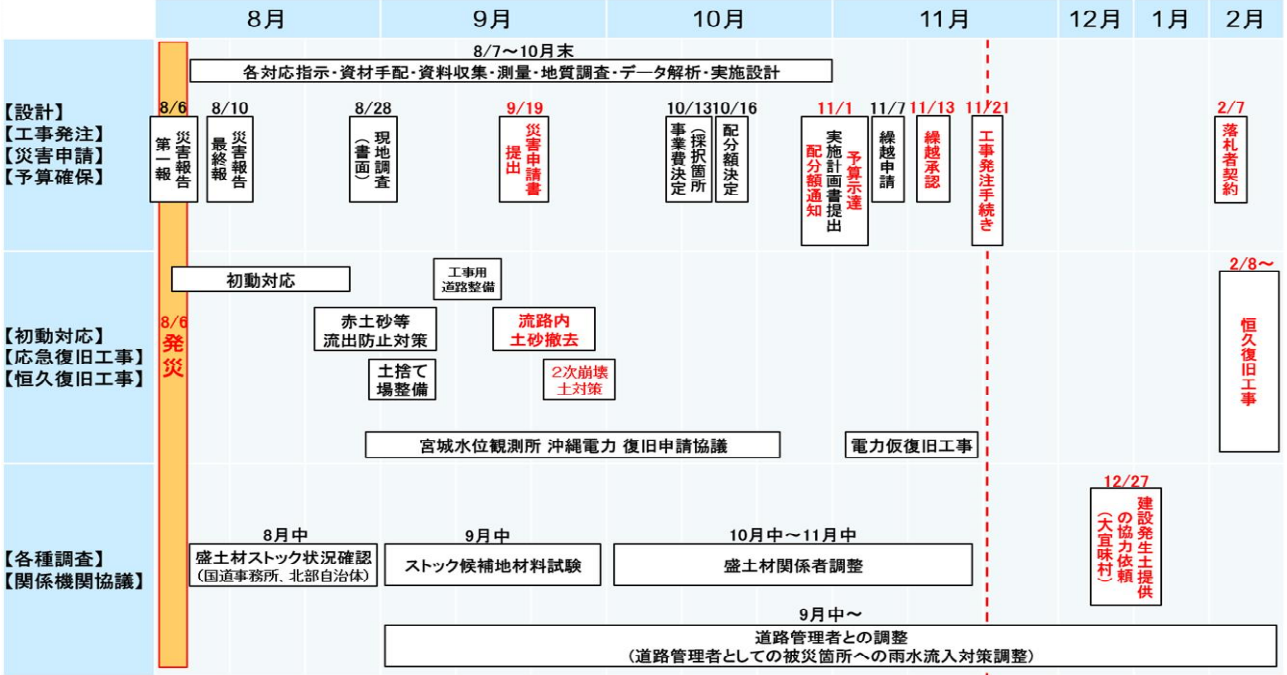
表-2 恒久対策案（原形復旧）の比較

等断面、幅30mを想定	
断面図	等断面、幅30mを想定
A案 補強盛土(全面)	B案 補強盛土(一部)+補強土壁
主要工種	
管理用道路① : 補強盛土工	管理用道路① : 補強土壁工
中間法面 : 補強盛土工	中間法面 : 植生マット工+法面保護工(左右法面)
管理用道路②③ : 補強盛土工	管理用道路②③ : 補強盛土工
仮設工 : 施工時モルタル吹付+ロックボルト	仮設工 : 仮設杭工
特徴	
被災前の盛土形状に原形復旧する案 ①崩壊土除去、②地下排水、③補強盛土、④表面排水等を行い、原形に復旧する。 法面全体に適切に補強盛土を配置することで、幅の広い盛土材に対応できる。 ・原形復旧なので、第2案に比較して景観性が良い。 ・経済性・施工性に優れている。 ・最下段法面より法面上方に連続して施工できるため施工性が良い。	一部を除き崩壊後の法面形状で復旧する案 ①崩壊土除去、②地下排水、③補強盛土、④補強土壁設置、⑤表面排水、⑥中間法面の風化防止 ※県道部の仮設時補強等を行う。 ・左右法面への摺り付け部の法面保護も新規に行う必要がある。 ・盛土上段の施工後、施工位置を最下段法面からの施工となるため、少し施工性が劣る。
概算工事費	
主項目 : 土工、補強盛土、植生マット工、地下水排除工 残土は全処分(搬出)としている。 直接工事費 : 109,226,307円 総工事費 : 192,016,000円	主項目 : 土工、補強盛土、補強土壁工、植生マット工、地下水排除工、法面保護工 残土は全処分(搬出)としている。 直接工事費 : 170,955,136円 総工事費 : 298,034,000円
評価	
○ 経済性施工性に優れている	×

6. 発災から恒久復旧工事までの時系列

発災から現場対応、災害申請、関係機関協議など恒久復旧工事に至るまでの状況を時系列にまとめた。（表-3）

表-3 恒久復旧工事に至るまでの各対応の時系列



7. 恒久復旧工事における特徴的な取組

現在、恒久復旧工事では補強盛土工等を行っていて、年度内の完成を目指している。本工事の中でも特徴的な取組を以下に示す。

(1) コスト縮減

詳細設計を進めた結果、最上段の弱部の補強として行う仮設法面对策工は、概略設計時の工法から変更が必要となり、想定より工事費が増大することがわかった。そのため、様々なコスト縮減の可能性を探った結果、補強盛土で使用される「ジオグリッド」を活用する、新技術の「フィット筋工法」がコスト縮減やその他の事項に関しても適していると判断した。（表-4）

表-4 仮設法面对策工の比較

工法	当初案 吹付法枠工+鉄筋挿入工	変更 フィット筋工法
施工写真		
コスト	2,200万円	550万円
安定性	盛土との一体性が低下する懸念あり	一体性に問題はない
地下水の 排水性能	普通	良い
全面盛土との 施工性	悪い	良い

(2) DX：BIM/CIMを活用した施工手順の見える化

本工事は複雑な掘削形状だが、被災箇所の頭部が県道と近接し、さらに崩壊法面上での作業となるため、施工にあたっては慎重な対応が求められた。そのため、本工事においてはDXの取組として3次元BIM/CIMモデルを活用した作業手順の確認や仮設計画、安全対策等の検討を行った。

また、施工完了後には3次元データに属性情報を付与することで、今後の維持管理においても効率的な点検が可能である。（図-8）

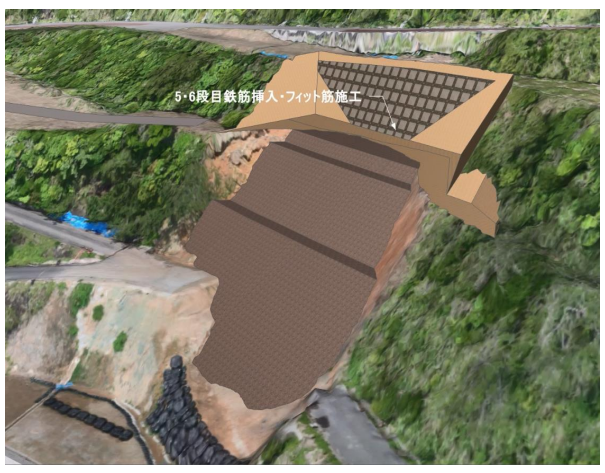


図-8 3次元BIM/CIMモデル（詳細度:300）

8. 災害対応を経験して

(1) まとめ

大規模な法面崩壊は、再開発時に沢地形を盛土した箇所が、長雨の影響で盛土内の地下水位が上昇したことによって、地山との境界層付近から崩壊に至ったものと推察される。

また、当事務所では大規模な災害対応は初めてのケースであったが、事務所全体で取り組み、発災から工事発注手続きまで約3.5ヶ月で実施できた。

恒久対策は比較検討の結果から補強盛土案とし、コスト縮減として新技術の「フィット筋工法」の採用や、BIM/CIMを活用した施工手順の確認を行い、工夫しながら復旧工事を進めているところである。

(2) 今後に向けて

当事務所ではダム管理がメインで大きな土木工事も少ない。特に若手職員は今回の一連の対応を踏まえ、現場で復旧していく状況を把握しながら現場監理の一部を経験することで、スキルの向上に繋がられる。そのため、この機会を若手の現場経験のフィールドとしても活用していきたい。また、進捗状況を広報誌やSNS等で発信することで、広報業務の経験も積めると考えている。

さらに、災害発生から恒久復旧工事までを職員同士で振り返り、好事例や課題について意見交換を行うことで、今後に類似事例が発生しても迅速に対応ができるよう、ノウハウの技術継承を行っていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 治水課：直轄河川災害復旧事業の手引き，2023.
- 2) フィット筋工法技術研究会 HP <https://www.fitkin-k.com/>

SIPにおけるダム群連携最適操作シミュレータの開発

松橋 輝明¹・田村 和則²・木戸 研太郎³

¹独立行政法人水資源機構 総合技術センター 水路グループ
(〒338-0812 さいたま市桜区大字神田936番地)

²独立行政法人水資源機構 総合技術センター ダムグループ マネージャー (同上)

³独立行政法人水資源機構 総合技術センター (同上)

河川やダムの治水計画規模を超えるような豪雨時において、流域内の複数のダムの洪水調節機能を最大限活用し下流河川の氾濫を回避ないし軽減するため、高速演算・組合せ最適化技術であるアニーリング技術を用いた「ダム群連携最適操作シミュレータ」を開発した。本シミュレータは、降雨予測の更新等に応じ、ダム群の放流方法の膨大な組合せの中から見出した最適ないし有力な解を提示するもので、ダム管理者は、当該出水におけるダム操作の考え方や方針等に基づいた放流方法検討の際に、意思決定支援ツールとして活用することができる。また、本シミュレータは、過去の再現された出水における操作を体験できる訓練機能も有している。

キーワード ダム群連携、シミュレータ、アニーリング、意思決定支援ツール（DSS）、SIP

1. はじめに

近年の深刻な豪雨災害の頻発により、既存ダムのソフト・ハード機能の有効活用の必要性が高まっている。そのような状況のもと、内閣府総合科学技術・イノベーション会議による第2期SIP（戦略的イノベーション創造プログラム：2018～2022年度）において、京都大学防災研究所、水資源機構および日本気象協会（2021年度より関西電力、中部電力および九州電力が参加）のチームにより、既存ダムの洪水調節機能の最大活用を目指す「統合ダム防災支援システム」の開発が進められた¹⁾。

統合ダム防災支援システムは、ダムの防災操作に長時間アンサンブル降雨予測等を活用し、洪水貯留機能の拡大と利水（特に水力発電）の増大を目指すものであり、①ダム流域への正確な流入量予測、②早期の事前放流開始、③発電量の増大かつ洪水貯留能力の最大化、④ダム群最適操作による治水効果の拡大、の4つのコア技術から構成される。

本稿は、このうち④で開発した「ダム群連携最適操作シミュレータ（以下「シミュレータ」という。）」について述べるものである²⁾。

2. シミュレータ開発目的

河川やダムの治水計画規模を超えるような豪雨時において、流域内の複数のダムは、個別に最適な操作をするのではなく、ダム群としての洪水調節機能を最大限活用できるように連携した操作を行うことで、下流河川の水位を低下させ浸水被害を回避ないし軽減できる可能性がある。

このような連携操作の際、ダム管理者は限られた時間とマンパワーのもとで、気象や河川・ダム等の大量の情報を俯瞰的に整理分析し、流域や出水の特性に基づいて複数ダムの操作の基本方針を設定したうえで、逐次変化する降雨予測や予測のブレ等をも考慮して各ダムの放流量を調整し、河川管理者等関係機関との緊密な連絡調整を図る等、高度な技術的判断とともに多大な労力が必要とされている^{例えば3)}。しかし、気候変化による大規模洪水の頻発化・激甚化やベテラン技術者の減少という状況に鑑みると、そのような状況下での検討作業を補完・支援するツールの必要性は高いといえる。

そこで、近年発達著しい高速演算・組合せ最適化技術に着目し、下流の被害最小化すなわち河川氾濫の回避・軽減を目的関数として、ダム群の放流と流入の膨大な組合せを迅速に計算し、ダム管理者の検討を補完するための意思決定支援ツール（Decision Support System）として、本シミュレータの開発を行った。

3. シミュレータの機能および構成

(1) 概要

本シミュレータは、下流での河川氾濫の回避・軽減を目的として、貯水容量、ダム操作規則及び特別防災操作、放流の原則等のルールその他制約条件を踏まえ、降雨予測に基づく流入計算など水文情報からダム群の流入と放流の考えられる組合せを逐一計算し、最適ないし有力な複数の解を提示するものである。シミュレータにおける検討フローを図-1に示す。これらに要する計算量は膨大であり、かつ実操作に反映するためには短時間に計算結果を得る必要があることから、3. (2)に述べる高速演算法「アニーリング技術」⁴⁾を採用した。本シミュレータは、いわゆるAIとは異なり、考える操作方法の組合せを逐一計算し最適解を見いだす方法をとっており、AIの弱点の未学習タイプのイベントに対する精度や妥当性に対する懸念等は生じないとされる。

さらに、実効性の高い操作方法をダム管理者が判断し選定するための支援機能として、各ダムの放流パターンの組合せの変更や任意の放流量の設定等を手入力により調整する「カスタマイズ機能」も装備している。

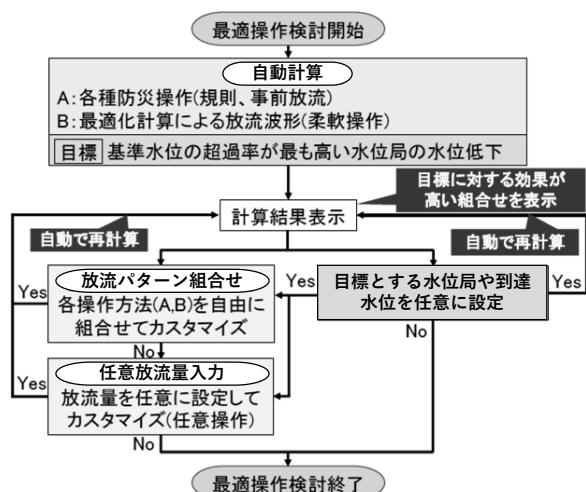


図-1 シミュレータ検討フロー

(2) 最適化操作の高速演算法

アニーリング技術は、組合せ最適化問題を解くための汎用近似解法として開発された計算手法である。一般的なコンピュータでは解くことが難しい膨大な組合せ最適化問題に特化した技術であり、演算スピードは極めて速く、数式と制約条件を与えることで最適解を求めることができる。具体的には、組合せ最適化問題をイジングモデルに落とし込みスピン状態 (-1, +1) をバイナリー変数(0, 1)に変換したエネルギー関数に対し、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) でエネルギーを最小化する基底状態を探索する仕組みである。

本シミュレータでは、各ダムの放流の原則やその他制約条件の範囲内で考えられる放流量の組合せ (10分ピッチ, 0.5m³/sの刻み幅で増減) を反映した下流河川水位を計算し、各ダムの洪水調節容量の範囲で、下流河川水位を最も下げられる放流波形を表示する仕様としている (図-2参照)。

(3) モデルダム群

淀川水系木津川の上流域 (図-3(1) 参照) は地形的条件等から過去たびたび氾濫が発生し、河道整備が進捗するまでの間、ダムの特別な操作により可能な限り洪水被害を軽減する努力がなされてきた経緯がある³⁾。そこで、まず名張市の上流に位置する比奈知ダム、青蓮寺ダムおよび室生ダム (以下「名張上流3ダム」という。) を対象としたシミュレータを先行開発し、機能検証を行った後、高山ダムおよび布目ダムを加えたシミュレータ [木津川ダム群版] を作成した。

次に、SIPの検討の進捗により荒川水系をモデルとしてダム-河川-高潮を連携させた長時間/広域洪水予測システムを構築する方針となったことを受け、木津川ダム群での成果をふまえ、滝沢ダム、浦山ダム、二瀬ダム (国土交通省) および合角ダム (埼玉県) (図-3(2) 参照) を対象としたシミュレータ [荒川ダム群版] を開発した。

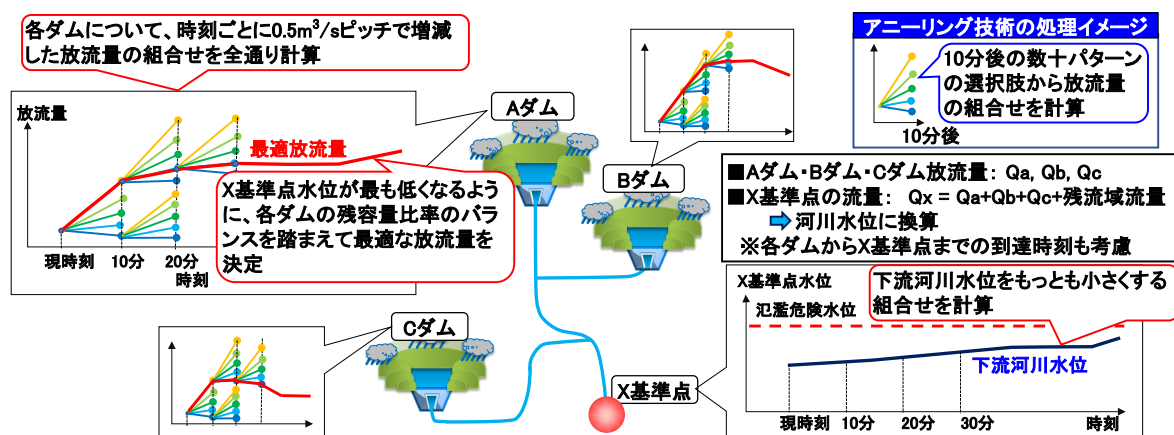


図-2 アニーリング技術による最適化計算のイメージ



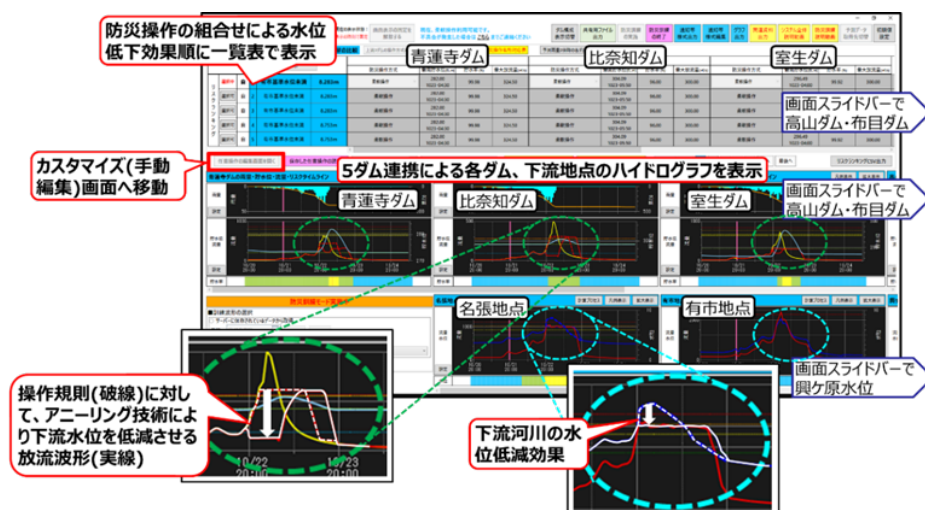


図-4 シミュレータによる自動計算結果画面

量の和となる。表-1によれば、名張上流3ダムでは、②ではそれぞれ貯水容量の97～100%（①に比べ約3～11ポイント増）まで活用し、名張地点水位が①より0.14m低下し氾濫危険水位を下回るという結果となった。下流の高山ダムでは、②では貯水容量のほぼ100%（①に比べ約19ポイント増）まで活用し、木津川合流後の有市地点水位が①より0.45m低下するという結果となった。また、布目ダムでは、②では貯水容量のほぼ100%（①に比べ約23ポイント増）まで活用し、興ヶ原地点水位が①より1.30m低下するという結果となった。この計算に要した時間は約20秒である。

特別防災操作などの際には、降雨予測の更新等に応じて放流量を随時調整する必要がある。本シミュレータを活用することにより、従前よりはるかに多くの放流パターンの試算が可能となりダム管理者の作業負担が軽減され、マンパワーを分析・判断・調整等に充てることができるようにするため、ダム群の貯水容量のさらなる有効活用と下流水位の低減効果増大の推進に寄与することが可能となると考えられる。

表-1 計算結果の比較

	①再現計算			②アニーリングによる最適操作		
有効貯水容量使用率	青蓮寺ダム 91.48%	比奈知ダム 94.72%	室生ダム 88.15%	青蓮寺ダム 99.96%	比奈知ダム 97.33%	室生ダム 99.20%
下流水位	名張地点 7.70m (> 氾濫危険水位)			名張地点 7.56m (< 氾濫危険水位)		
有効貯水容量使用率	高山ダム 81.33%			高山ダム 99.96%		
下流水位	有市地点 9.22m			有市地点 8.77m		
有効貯水容量使用率	布目ダム 76.61%			布目ダム 99.92%		
下流水位	興ヶ原地点 2.72m			興ヶ原地点 1.42m		

5. まとめ

本シミュレータは、流域内の複数ダムの容量を最大限活用し下流被害の回避・軽減を図るためのダム群連携操作による放流方法の検討にあたり、各ダムの操作規則、放流の原則やその他制約条件の範囲内で考えられる流入と放流の膨大な組合せを、降雨予測の更新等に適応して逐一計算、最適ないし有力な解を見だし、ダム管理者に提案するものである。

気候変化による大規模洪水の頻発化・激甚化やベテラン技術者の減少という現状に対し、本シミュレータはダムの洪水調節技術の維持向上に寄与するものであると考える。

謝辞：本技術開発は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議のSIP「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」（管理法人：防災科学技術研究所）により実施されました。また、国土交通省関東地方整備局荒川上流河川事務所、埼玉県県土整備部、水資源機構荒川ダム総合管理所および木津川ダム総合管理所の皆様には、データ提供等のご協力をいただきました。

参考文献

- 1) 吉岡敏幸：SIPにおける統合ダム防災支援システム開発の取り組み，河川 No.914, pp.45-48, 2022.
- 2) 田村和則ほか：ダム群連携最適操作シミュレータの開発，河川技術論文集第29巻，2023.
- 3) 松村貴義：平成21年台風18号における名張川上流3ダムの統合操作による洪水調節，ダム技術, No.287, pp.98-102, 2010.
- 4) 中山寛ほか：富士通 解説 第三世代デジタルアニーラの技術，https://www.fujitsu.com/jp/documents/digitalannealer/research/articles/DA_WP_JP_202109

吉田川河道掘削工事 事業全体の生産性向上に向けた取組

○羽賀 毅¹・阿部 洋行¹・長谷川 守信²・葛西 信智²
三浦 英晃³・長倉 都美樹³・阿部 智宏⁴

¹東北地方整備局 北上川下流河川事務所 事業対策課 (〒986-0861 宮城県石巻市蛇田字新下沼80)

²東北地方整備局 北上川下流河川事務所 吉田川緊急治水対策出張所
(〒989-4102 宮城県大崎市鹿島台木間塚字小谷地496-1)

³東北地方整備局 新庄河川事務所 〒996-0071 山形県新庄市小田島町5-55)

⁴令和5年度吉田川河道掘削工事協議会 副会長

本報告は、2019年（令和元年）東日本台風により甚大な被害を受けた鳴瀬川水系吉田川で大規模災害関連事業として実施している「吉田川河道掘削工事」で想定された各種課題の解決を目的とし、ICT施工stageIIとして着工前の渋滞シミュレーションやGNSS、AIカメラ等の最新技術を活用し、渋滞状況を数値化・可視化し、施工体制の見直しを行い、事業全体の生産性向上を図った事例の報告を行うものである。

工事の仮設計画の見直しやダンプトラックの台数制限等の対策を行った結果、重機の稼働率上昇による日作業量の増加を確認し、加えて渋滞の未然防止に活用した。

キーワード ICT施工stageII、渋滞シミュレーション、GNSS、AIカメラ、
事業全体の生産性向上、地域交通の安全確保、工事用道路の全面2車線化

1. はじめに

2019年（令和元年）東日本台風によって、宮城県を流れる鳴瀬川水系吉田川では1箇所破堤、33箇所越水が発生した（図-1）。現在、再度災害防止を目的として、吉田川全体で約160万m³に及ぶ大規模な河道掘削工事が実施されている。

本報告では、2023年度に実施した大量の土砂掘削により想定された課題に対し、様々な最新技術を活用し、そこから得られたデータを分析し、数値化・可視化しながら事業全体の生産性向上と地域交通の安全確保を同時に実施した事例を紹介する。



図-1 2019年（令和元年）東日本台風 被災状況

2. 吉田川河道掘削工事における課題

河道掘削は下流側より順次進める必要があるため、2023年度は吉田川の3.5kmの区間で計9工事が隣接して稼働することとなった。また、吉田川沿線の道路は住家が近接した幅員の狭い生活道路であるため（図-2）、主に以下の点が課題として挙げられた。

課題1：渋滞等に伴う掘削工事全体の生産性の低下

課題2：約40万m³の大量の河道掘削土砂運搬に伴う地域交通の安全確保

そこで、工事施工会社相互の情報共有を円滑にする目的で、隣接9工事による「令和5年度吉田川河道掘削工事協議会」を設立し、受発注者が連携しながら課題解決に向け検討及び試行を実施することとした。

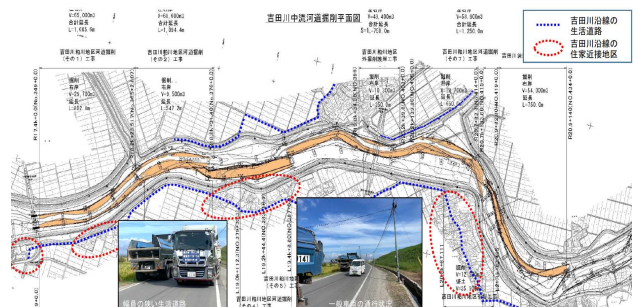


図-2 吉田川河道掘削工事位置図

3. 最新技術の活用による課題解決策の検討

前項の課題を解決するため、「ダンプ運行管理センター」を設置し「渋滞シミュレーション」や「運行管理システム」、「AI入退場管理システム」を活用し渋滞や苦情の発生状況に応じた対策を実施した。また、効果測定を行い最適化のサイクルを回すこととし、得られた工事車両の定量的なモニタリングデータを工事関係者・関係機関と共有し、運行管理に活用することとした（図-3）。

4. 具体的な対策内容

上記対応方針に基づき、工事請負者らと協議のうえ以下の対応を行うこととした。

(1) 渋滞シミュレーションの活用

工事着手前にダンプトラック走行状況のシミュレーションを実施し、渋滞の発生状況を確認した。渋滞シミュレーションは（株）EARTHBRAINの既製サービスを利用した（図-4）。民家が隣接する生活道路の走行を避け、高水敷に工事用道路を計画した結果、工事用道路を従来のマニュアル通りの1車線で施工を行った場合、渋滞が発生し、重機の稼働率が著しく下がることから、仮設計画を見直し工事用道路の全面2車線化を実施し、生産性向上と渋滞防止を実現した。2車線化により、重機稼働率が42%から80%に改善され、ダンプトラックの停車時間が4.6hから1.5hとおおよそ1/3に短縮された。これによりCO2（約50tCO2/日）の排出削減にも寄与した（図-5, 6）。



図-3 試行実施サイクル



図-4 渋滞シミュレーション

【A】

条件①:工事用道路1車線(待避所300mに1箇所)

条件②:坂路1車線

	稼働率	日作業量	サイクル数
前年度:10t	42%	29m ²	6
前年度:10t	42%	29m ²	6
前年度:10t	42%	29m ²	6
前年度:10t	42%	29m ²	6
前年度:10t	42%	29m ²	6

【B】

条件①:工事用道路2車線(道路幅7.0m)

条件②:坂路2車線

	稼働率	日作業量	サイクル数
前年度:10t	83%	48m ²	10
前年度:10t	82%	48m ²	10
前年度:10t	81%	48m ²	10
前年度:10t	79%	48m ²	10
前年度:10t	79%	48m ²	10

図-5 シミュレーション結果 (DT 稼働率)

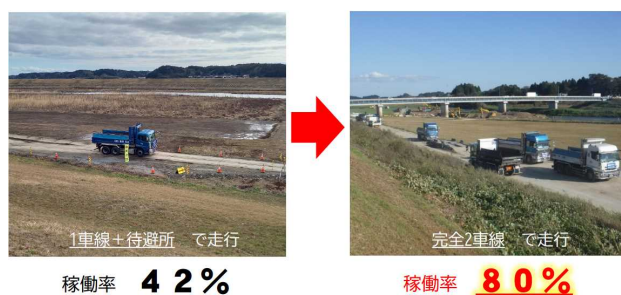


図-6 重機稼働率の改善

(2) 運行予定ダンプ台数の共有

最大9社の車両が近隣を通行するため、各社の予定走行台数を集約・周知することで、事前に車両集中の変動状況を確認した。

関係者が多く、メールによる集約・展開に手間がかかるため、国総研の「DXデータセンター」のクラウドサーバーを活用し、各社が都度共通様式に記入・閲覧可能とし、メール送受信の手間を削減した（図-7）。

共通様式については、毎週金曜AMまでに各社更新してもらい、翌週の運行状況を把握可能とし、施工計画の立案に使用した。

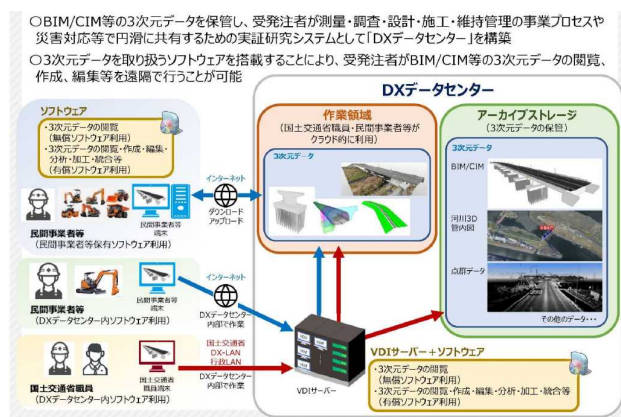


図-7 国総研 DX データセンター概要注1)

(3) 運行管理システム（Vasmap等）の活用

各社ダンプの移動履歴と低速データを観測するため、Vasmap等の運行管理システムを搭載し、GNSSを利用した。

全車両への搭載は、費用面を考慮して各社車列の「先頭・中間・最後尾」の3台設置を基本とした。

移動履歴のCSVデータについては、毎週金曜AMまでにデータ保存して貰い、事務所・出張所でGISにより車速10kmのポイントを抽出・統合し、渋滞発生状況の集計・モニタリングを行い、毎週関係者に共有した（図-8）。

また、取組状況について交通管理者である所轄警察から要望があり、試行的に情報共有中である。

(4) AI入退場管理システムの活用

(3)の運行管理システムは一部車両を抽出したデータであったが、全車両の入退場管理を行うためAIカメラによる入退場管理システム（Arkit(同)）を導入した（図-9）。本システムにより、全工事車両の入退場記録を自動で取得可能となった。

安全管理対策にも効果があり、ここに紹介する。工事で使用していた坂路の付近で、直轄事業に合わせ地元自治体の復興工事が始まり、片側交互通行の規制が行われた。掘削工事現場へ入場のため停車しているダンプトラックによって見通しがきかず、一般車の事故が懸念されるとの苦情を受け、入退場管理データを踏まえた施工体制の見直しを行った。データから、坂路入口の渋滞発生件数とダンプトラック通行台数が250台/日から強い正の相関を確認したため（図-10）、坂路入口のダンプトラック通行台数を最大250台/日に制限したことで、渋滞の発生件数を約8割減らすことができた（図-11）。

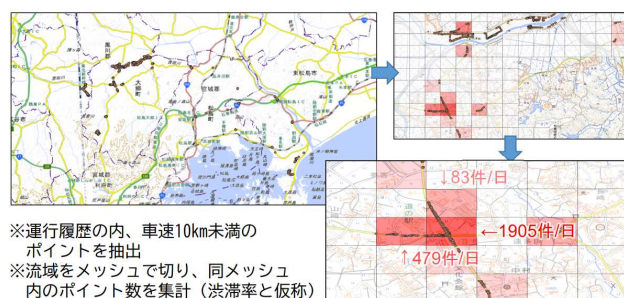


図-8 運行履歴のGIS整理状況

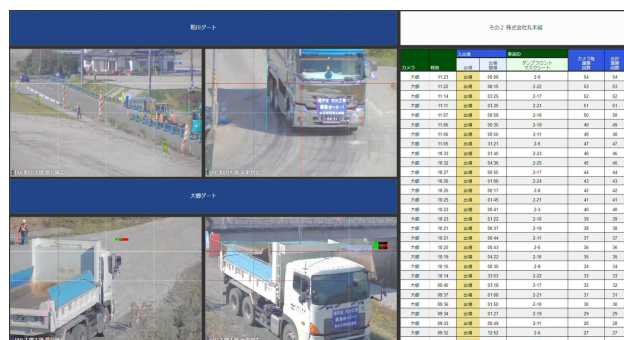


図-9 AI入退場管理システム

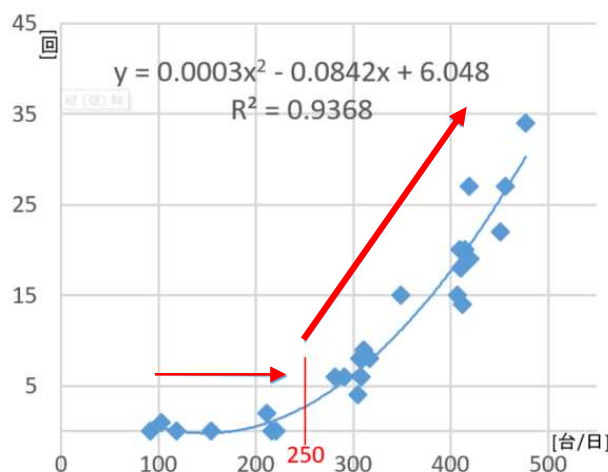


図-10 坂路入口の渋滞回数とダンプ通行台数の関係

<10/19（通行規制開始前）> <10/24（通行規制開始後）> <11/10（台数制限反映）>

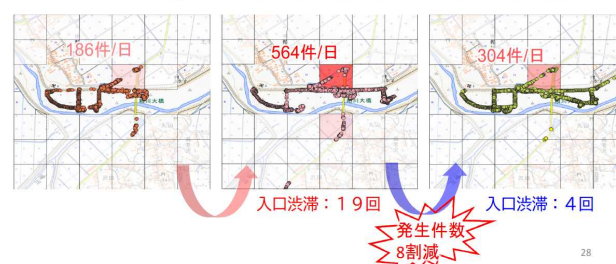


図-11 対策前後の渋滞状況の可視化

5. 試行による成果

(1) 渋滞予防による生産性向上

事前にシミュレーションを活用し渋滞予防（仮設計画見直し）を行うことで、日作業量が 350m³/日から 600m³/日に改善された。

また、施工者においてもダンプトラック等を手配する前にシミュレーションによる渋滞予測を把握することで、最適なダンプ台数の確保が可能であり、施工計画立案の一助となった。

(2) データ共有・保存による安全意識の向上

運搬路を共有する関連工事の運行状況も確認・共有することで各社での施工管理や翌週の運行計画に反映させることができた。

また、取り組み終了後に河道掘削協議会各社を対象に行ったアンケート結果からも、運行履歴（場外の走行経路や速度）の記録によりダンプトラックのオペレーター等の安全意識の向上にもつながったという意見が多数あった。

(3) データに基づく円滑な交通の管理

毎週、渋滞状況の定量的なモニタリングを実施することで、渋滞状況の変動を数値・画像で確認でき、渋滞予見箇所により一層の注意喚起等の安全対策の検討をする

58

時短BIM／CIM～DXの取り組み

田中 祐一¹・松本 佳之¹

¹九州地方整備局 本明川ダム工事事務所 工事課 (〒851-0121 長崎県長崎市宿町316-1)

実務担当者は、常日頃から時間に追われ多くの業務を遂行している状況にあるが、実務には従来手法によることで「時間を要している作業や業務」が数多く存在している。そのような状況を踏まえ、本明川ダム工事事務所では、『時短』に着目した取り組みを実践しているところであるが、単に業務を早く終わらせるだけではなく、『業務の無駄を見極め、排除することが重要である』ことを念頭に、従来手法で時間を要している様々な実務を抽出し、タイムパフォーマンスを意識してBIM／CIMの概念を持ちながらDXへ展開している取り組み事例を紹介する。

キーワード BIM／CIM, DX, 時短, タイムパフォーマンス

1. はじめに

本明川ダム工事事務所（以下、当事務所という）では、本明川ダムの早期完成に向け、職員一丸となって業務に取り組んでいるところである。そのような中、実務経験が浅く基礎知識が乏しい担当者にあっては、仕事を進めていくにあたり結果的に「時間を要している実務」が数多くある。その背景には、『業務の無駄を見極め、排除すること』が出来ずに従来手法や事例に頼っていることが挙げられる。これらを踏まえてまずは当事務所担当者協働で時間を要して苦労している実務を抽出するとともに、「デジタルネイティブ」と呼ばれるZ世代の世代感を以て、徹底的に時短していくことを目的として、まだまだ実践中の段階ではあるが、通常実務の中で様々なデジタル技術を積極的に導入して「効率性」や「生産性」の向上を追求しながら、BIM／CIMの概念を持ちつつDXへ展開している取り組みの一部について紹介する。

2. 時間を要している実務

前述のとおり実際に時間を要している実務を抽出した。

(1) 理解に要する時間

土木技術者として取り扱う資料の中には、必ず図面がある。経験豊富な熟練職員や、施工業者・設計コンサルタントの技術者などは図面を容易に理解し、課題の抽出から対応までが速やかに行えてフロントローディングが可能になり、早い段階で以降の実務の無駄をそぎ落として全体業務量のスリム化が図られる。一方で、技術系の若手職員や事務系職員は、実務経験の浅さによる想像力不足により、特に2次元であるため理解に時間を要すると共に、課題等の把握が促らないケースも多々ある。また、技術者が図面を用いて一般の方に対して説明する際も同様のことが言え、自身の理解も然る事ながら相手方の理解を得るのはさらに難しい。（図-1）

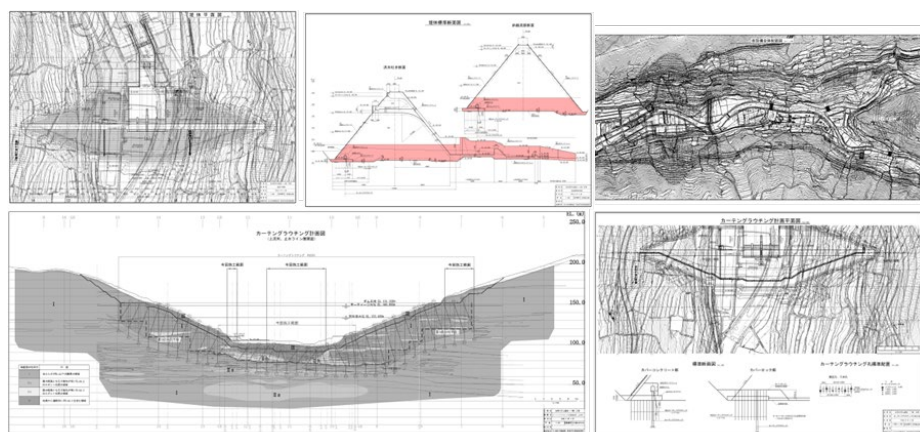


図-1 工事図面

(2) 検討に要する時間

現在、当事務所では6月末時点で8件の道路改築工事が稼働している。各工事は単体で完結する工事ではなく、工事間調整を含めた検討が必要である。一例で言えば、各工事の発生土量と必要土量の収支を調整する土量配分などである。これらは、担当者が各施工業者から発生土量や必要土量などを聞き取り、旗振り役となって検討や調整を行っており、各業者からの情報を集約するのにも時間を要していると共に、ようやく情報を集約できたかと思えば、現場状況は日々刻々と変化し、それらに応じた検討ができず土量不足や土砂の一時仮置きが発生するなど対応が後手に回ることもしばしばある。

(3) 共有（調整）に要する時間

工事を進めていく中では、現場で生じた懸案事項に対して内部にて報告・連絡・相談などを行いながら、場合によっては関係部署に共有する必要もあり、外部関係者との協議や調整等がある。そのような一連の実務を進めていくにあたり、従来手法では2次元図面に懸案箇所の写真を貼付して状況説明をしたり、メール等で共有しているが、これらの情報取得から資料を作成し、データを変換・統合等の共有には多大な時間を要する。さらには過不足等があれば、時間をかけて再度現場確認に足を運ぶなど時間を費やすこともある。共有は内部だけではなく外部とも必要であり、これらの情報がリアルタイムに共有（調整）できなかつたり、伝達不足があつたりすると部署間や内外部の縦割りが発生して業務が属人化したり、齟齬や手戻りが生じるなど組織的な生産性の低下を招く可能性がある。

(4) 合意形成に要する時間

組織内部での検討や共有が完了した後は、外部の関係機関や地元関係者と合意形成を図りながら事業を進め

ていくことが基本的な流れであるが、これまでの検討や共有は、経験や技術力の格差があるとはいえ、技術者の間での実務であり、基本的には法律や諸基準に準拠した基本を示したものである。これらの基本を元に関係機関との協議や地元関係者の意向を把握しながら互いの意見を納得のいく形で一致させる必要がある。この際、各関係者が2次元図面等を理解できない場合には合意形成までに相当な時間を要する場合があると共に、各者の意向を具現化出来ていないまま工事を進めると、後の段階で見解の相違が発生して地元紛争に発展したり、工事の概成時や完成後に修補を命じられて工程の遅延を招くなど、国損を伴う可能性もあり得る。

3. 解決のためのツール

現在までに多くのDXが進められてきた。それらを活用すると解決できることも多くある。

(1) CIMモデルの活用

図面を理解できない多くの理由は、完成形をイメージできないことが挙げられる。図面では平面図・縦断面図・横断面図の3つを用いてようやく立体的にすることができ。そこで、イメージ不足を補える手法の1つとして、BIM/CIMモデルが挙げられる。2次元の図面に対して、BIM/CIMモデルは3次元であるため図面を理解するのが難しい地元関係者や、若手職員、事務系職員の理解を促すことができる。（図-2）

また、BIM/CIMモデルは、例えば他で作成した構造物モデルや点群データ等の複数データと統合することで、空間や時間の変化を一元的に見ることができる。これを用いることで、他工事や異工種間での検討や共有（調整）が容易となる。

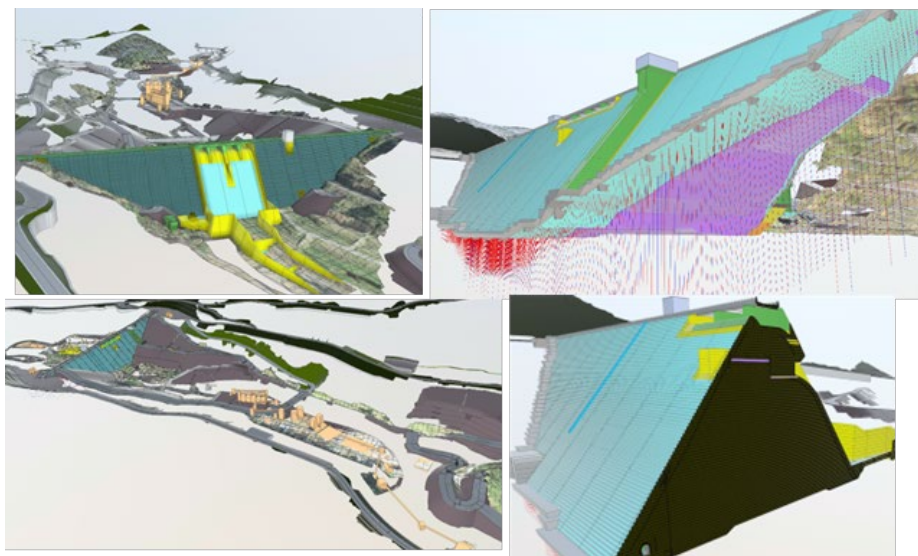


図-2 本明川ダムCIMモデル

(2) バーチャルツアーの活用

現場の状況を説明するのに活用できる手法の1つとして、360°カメラを用いたバーチャルツアーが挙げられる。360°カメラとは、文字通り上下左右360°を1ショットで1つの写真・動画に収めることができるソフトである。その写真をVRtourMakerというアプリに取り込み、バーチャルツアーを作成する。種類によってはGPS機能を搭載している機種もあり、撮影箇所の位置情報を取得できる。これらの情報を組み合わせてバーチャルツアーを作成することで、誰でも簡単に「位置」「360°画像」を1つのデータとして扱うことができる。（図-3）

(3) PIX4Dの活用

PIX4Dとは、iPhoneやiPadを用いて誰でも手軽に3D測量を行うことができるものである。pro以上の機種は、LiDARセンサーと呼ばれる装置が搭載されており、光を出して物体で反射して返ってきた光で物体までの距離や形状を測量し、そのデータをクラウド上にアップロードする事で、3次元データを簡単に確認でき、距離や面積、体積まで測定することができる。（図-4）



図-3 バーチャルツアー画面



図-4 実際に職員が計測している様子

4. 実際に取り組んだ事例と成果

(1) CIMモデルを活用した事例

a) 設計時点での活用

ダム本体工事での図面同士の整合を図るためにCIMを活用し、2次元での図面では気づきにくい鉄筋の干渉箇所を発見することができた。これにより、本来は熟練職員でないと見つけきれない箇所を、若手職員でも容易かつ具体的に見つけ、状況をイメージでき、理解速度向上にも繋がる。（図-5）

b) 施工時点での活用

隣接する区間の、各工事の施工計画にて並列施工の検討に活用した。橋梁工事にて架設の際にクレーンの配置検討を行い、隣接工事の盛土計画断面を統合モデルで確認したところ、配置予定のクレーンと盛土が干渉することが判明した。事前に確認したことで、着工後の手戻りを防ぐことができ、組織的実務速度の低下を抑止した。

（図-6）

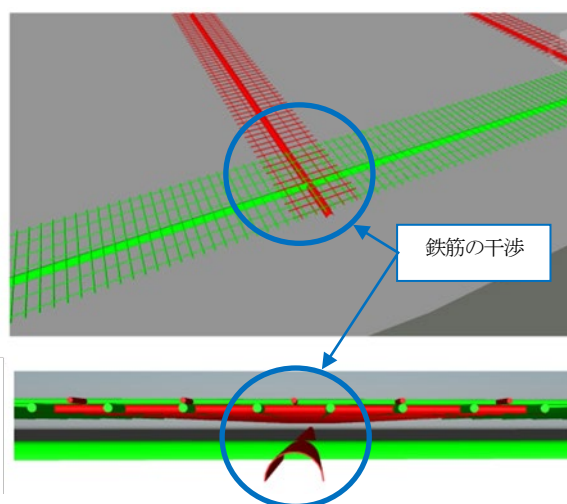


図-5 鉄筋の干渉をCIMにて確認

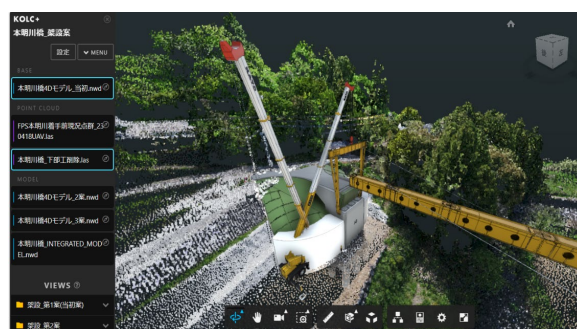


図-6 工事間での施工計画をCIMにて検討

c) 合意形成時点での活用

従来では地元関係者への説明には図面を使用していたが、図面を理解できる方は少なく、合意形成に時間を要する場合があった。そこで、CIMモデルを活用して説明を行った。CIMモデルで説明することで、2次元図面では分かりずらかった部分も3次元で可視化することによって、理解を促し合意形成までの速度を向上することができた。（図-7）

(2) 情報共有システムを活用した事例

当事務所では、1つのクラウドを契約しており、各施工業者に参加してもらうことで、リアルタイムで資料等を更新することで、担当者がメールにて集約する時間を短縮し、情報共有に要する速度を向上することができた。

(3) バーチャルツアーを活用した事例

机上で設計と現場の整合性を確認したい場合、直近の現場の記憶を頼りにするか、実際に現場に足を運んでいる状況にあったが、工事箇所や調査箇所のバーチャルツアーを定期的に作成しておくことで、いつでも机上から現場の状況を確認することができる。このバーチャルツアーは数十分で作成することができ、1人が現場に行き作成することで共有された関係者は現場に行ったような疑似体験ができる。現場へ移動する時間も短縮され組織的なタイムパフォーマンスが向上する。（図-8）



図-7 実際にCIMモデルにて地元説明している様子

(4) PIX4Dを活用した事例

バーチャルツアーと同様で、PIX4Dでも現場状況を詳細に共有することができる。PIX4Dの利点としては、特別な測量技術は必要なく職員自ら3D測量ができる点にある。工事にて掘削法面に空洞が発見された際には、iPadの端末1つで現場に行き、3D測量を行った。従来では、同様の事象が生じた際には、平面図・横断図・地質図・写真の4つのデータを確認していたところをPIX4Dの活用によって1つに集約することが可能となった。これにより、情報を探す時間が短縮でき、関係者間で共有することで、意思決定の速度向上に寄与することができた。（図-9）

6. 今後の展望

(1) 3次元データの可能性

これまでのダム本体工事の基礎掘削では、基礎掘削面の記録として手書きスケッチを行っており、本明川ダムでも同様の手法を考えているが、それには多大な労力と費用、時間を要する。詳細な地質情報であっても、2次元となると重層的に確認することが難しい。そこで、写真測量や点群測量を使用することで、1度に3次元データを取得でき、時短やコストカットが見込まれる。



図-8 バーチャルツアーを事務所内で共有している様子

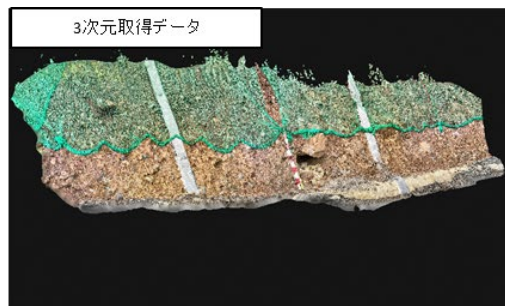
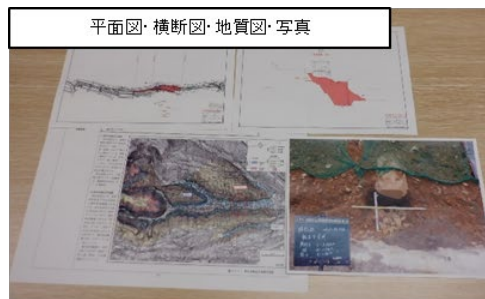


図-9 空洞を発見した際に取得した3次元データ

(2) 5次元CIM

現在のCIMでは、「高さ」「幅」「奥行き」に加えて「時間」の要素を追加できているところである。今後目指していくべきものとして、4次元に「予算」の要素を追加した、5次元CIMである。役所に勤めている人間が必ずといっていいほど携わる業務の1つに予算要求がある。予算要求は、「箇所」「工程」「要求額」「状況」を2次元で行っているところである。これらを取りまとめるには、多大な時間と労力を要している状況にある。それをCIMにて一元化することで、大幅な時短を目指していきたい。

7. 最後に

これまで述べたとおり、当事務所では個々の時短も然る事ながら、将来の用途も踏まえながらデジタルデータを丁寧に積み重ねることで将来の不可視部分を一元化し

てデジタル記録として残しておくことが可能となり、ダム建設後の不測時の対応や再生・再開発の情報検索速度を向上させ、無駄を排除して将来の時短にも寄与できるよう努めているところである。それらの積み重ねたデジタルデータとデジタル技術を活用することで、従来手法にて時間を要していた実務の変革に取り組んでいきたい。

また、建設業界では、「働き方改革関連法案」の適用に5年間の猶予期間が設けられていたが、本明川ダム本体建設工事を開始する令和6年度から建設業も同法の適用が開始された。同業界では慢性的な人手不足や長時間労働など解決しなければならない労働環境問題が未だに多くある。これらの状況を鑑みて、当事務所では紹介した時短BIM／CIM～DXの取り組みにより労働時間の縮減＝休暇の確保だけに止まらず、従来より言われてきた建設業の3K（きつい・きたない・きけん）からの脱却を目指すと共に、新3K（給与・休暇・希望）の実現に「かつこいい」を加え、『本明川ダム4K』を実現すべく、さらなる発展を目指していきたいと考えている。

衛星測位による迅速かつ容易な 標高決定の実現に向けた取組

小川 拓真¹・菅原 安宏¹・平岡 喜文¹・松尾 功二²・古屋 智秋³

¹国土地理院 測地部 物理測地課 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)

²国土地理院 地殻活動研究センター 宇宙測地研究室 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)

³国土地理院 測地部 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)

衛星測位による迅速かつ容易な標高決定を実現するため、2019年度から航空重力測量を開始するなど、新たな標高の基準となる精密重力ジオイドの整備を進めている。また、国土地理院で管理する電子基準点、三角点、水準点等の全国の基準点の標高成果について、この精密重力ジオイドと衛星測位を基盤とする最新の値へ2025年4月1日に改定する取組も進めている。これにより、長年の地殻変動で累積した標高成果のズレや、水準測量の距離によって累積していた誤差等を解消するとともに、衛星測位で標高を決定する新しい測量方法「GNSS標高測量」の導入が可能となり、最新の標高成果を用いた高さ情報の管理や、測量の効率化等が期待される。

キーワード 衛星測位・標高・ジオイド・航空重力測量

1. はじめに

明治以来、我が国の標高は、日本水準原点から全国の水準点に水準測量を実施することで決定されてきた。しかし、全国の水準測量には多くの時間と費用を要するなどの課題があり、国土地理院では、より効率的な標高決定の手法として衛星測位の活用に向けた取組を進めてきたところである。

衛星測位では「楕円体高」という高さが得られ、そこから「標高」を得るためには、標高の基準となるジオイドの情報（「ジオイド高」）が別途必要となる（図-1）。ジオイドは平均海面を仮想的に陸地へ延長した面であり、その精度は計算の入力値である重力加速度データ（以下「重力データ」という。）の品質に依存する。従来のジオイドの計算で用いた重力データには、山岳域や沿岸域においてデータの空白域が存在するほか、重力値は古い重力基準網に基づいた値であるなどの課題があった。そこで、重力データの再整備を目指して、航空機に重力計を搭載して上空から重力値を測定する航空重力測量に取り組んだ。また、古い重力基準網に基づいた地上重力データについては、新しい重力基準網に基づいた重力値に変換した。

そして、これらの重力データのほか、最新の衛星重力データ、海上重力データ等を活用して精密重力ジオイドを構築し、その試行版を2024年3月末に公開した。現在、正式公開に向けた準備を進めている。また、国土地理院で管理する電子基準点、三角点、水準点等の全国の基準点の標高成果について、

この精密重力ジオイドと衛星測位を基盤とする最新の値へ2025年4月1日に改定する取組も進めている。さらに、衛星測位で標高を決定する新しい測量方法「GNSS標高測量」の導入に向けた準備も進めており、本講演では、これらの衛星測位による迅速かつ容易な標高決定の実現に向けた取組を紹介する。

この取組は、国土交通省が進めているインフラ分野のDXアクションプランの個別施策「デジタル化・リモート化のための位置情報の共通ルール（国家座標）の推進」の一つである。

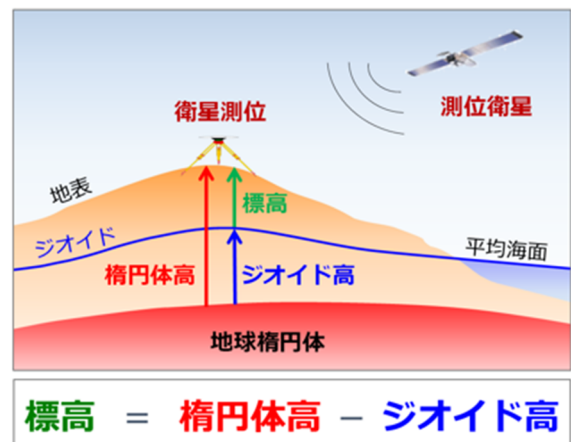


図-1 楕円体高、標高及びジオイド高の関係

2. 重力データの再整備

(1) 航空重力測量

航空重力測量は、地上重力測量と比べて、広範囲を効率的に測量することができ、山岳域や沿岸域などの地上重力測量では測定が困難な場所でも測量することができる。これらのデータ空白域を含む全国を対象とした最新の重力値測定を目的として、2018年度から「航空重力測量」プロジェクトを開始した。

航空機に搭載する航空重力計には、Micro-g Lacoste 社製 TAGS-7 を用いた。この重力計は、航空機の中で重力値を測定するための仕組みとして、センサー部の水平を保つジンバルや、機体の振動を吸収するダンパー、センサーの傾斜や水平方向に働く加速度を計測する装置等を備えている。この重力計は、相対的な重力の差を求める相対重力計であり、飛行場に設置した重力点を基点として上空で重力の変化量を測定し、その変化量を飛行場の重力値に加えることで上空の重力値を求めるものである。飛行場の重力点の重力値は、ラコスト重力計などの地上型の相対重力計により、国土地理院が設置した基準重力点や一等重力点を基点として求めた。

航空機は、2019 年の測定では Cessna 社製 208B Grand Caravan、2020 年からは Textron Aviation 社製 208B Caravan を用いた。航空重力計や GNSS/IMU の航空機への設置については、航空局による対空証明検査によって、航空機の強度・構造・性能の安全性等の基準に適合することが認められた。上空での測定時には、機体の揺れが少なくなるようオートパイロット機能により飛行した。

また、衛星測位技術と慣性計測装置を組み合わせる航空機の位置と姿勢を精密に計測する GNSS/IMU と呼ばれる装置を航空機に搭載した。本装置によって得られたデータから、解析段階において、重力値に位置情報を付与するとともに、測定値から航空機の揺れによる擾乱を計算で除去した。

航空重力測量の測定は、NGS が実施する米国標高基準座標系再構築のための重力測量事業（Gravity for the Redefinition of the American Vertical Datum, GRAV-D）で採用されている方法を参考にするとともに、使用する航空機と航空重力計の性能、使用できる飛行場の分布等を踏まえ、表-1 の仕様で実施することとした。測線設計の模式図を図-2 に示す。

表-1 測定の仕様

項目	仕様
測線間隔	主測線：10 km 副測線：50km～100 km (副測線は主測線の精度評価用)
飛行高度	3,000 m 又は 5,000 m (一部地域は 1,500 m)
対地速度	約 250 km/h～300 km/h

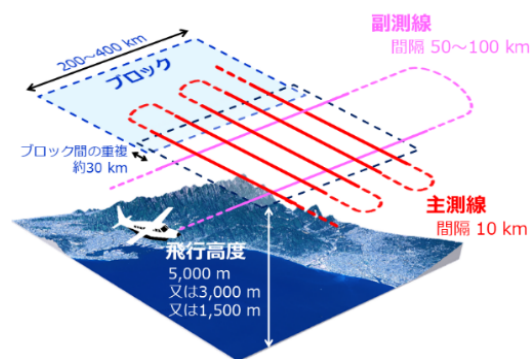


図-2 測線設計の模式図

飛行場内及び航空機内で実施する作業における危険・事故等の防止と安全な作業の遂行のため、2019年度に「航空重力測量安全マニュアル」を整備し、測量作業はこれに従い実施した。

航空重力測量の測定値の解析には航空重力計付属のソフトウェアではなく、米国国家海洋大気庁国家測地測量局（NOAA/NGS）が独自に開発したデータ処理プログラムの提供を受けて、これを使用した。

測定データから地球の自転によって生じるエトベス効果や、重力計の傾きによって生じる影響、重力センサーの経年劣化による伸びの影響などを補正した後、ノイズ除去及び平滑処理を行うことで、最終的な重力データを算出した。

航空重力測量で得られた重力データの分布を図-3 に示す。

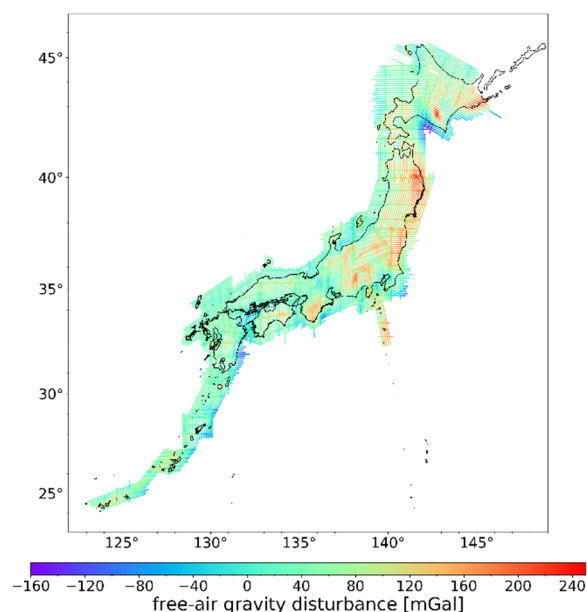


図-3 航空重力データの分布（フリーエア重力擾乱）

航空重力測量の空間分解能は5 km～10 km であり、一定以上の大きさのある離島では、航空重力測量に

よって重力データの改善が見込まれる。しかし、小笠原諸島などでは航空重力測量による重力データの改善の効果があまり期待できず、また測量にかかる労力と費用を考慮して、本取組においてはこれらの離島では航空重力測量を実施しないこととした。

航空重力測量は 2023 年度に完了し、総飛行距離は約 13.9 万 km、総飛行時間は 1,316 時間に及んだ。従来の重力データではカバーできなかった山岳域や沿岸域を含めた全国の重力データを取得し、沿岸域においては沖合約 40 km まで重力データを整備することができた。

(2) 地上重力データの再整備

航空重力測量と並行して、地上重力データの再整備を実施した。前述のとおり、従来のジオイドの構築に使用した既存の地上重力データは日本重力基準網 1975 に基づいた値であり、新しい日本重力基準網 2016 との間には系統差が存在する。ジオイドは重力データを空間積分することで構築しており、系統差はジオイドの計算精度に影響を及ぼす。そこで、既存の地上重力データの約 13,000 点のうち、当時の測量で使用した測量標（三角点や水準点等）が残る約 260 点にて地上の重力測量を実施して日本重力基準網 2016 に基づく重力値を求め、日本重力基準網 1975 の重力値との比較から各地域の補正量を計算し、その補正量を重力データに加えることで、日本重力基準網 2016 に基づく重力値に変換した。

また、地上重力データの配点密度が特に小さい北海道の道央地区や、航空重力測量を実施しなかった小笠原諸島などの地域において地上重力測量を実施した。各地域とも約 2 km 間隔で地上型の相対重力計により重力値を取得し、併せてネットワーク型 RTK-GNSS 等により位置情報も取得した。これにより約 560 点の地上重力データを追加した。

3. 精密重力ジオイドの構築

現在公開しているジオイド「日本のジオイド 2011」は、重力データから求められた重力ジオイドと、衛星測位による橢円体高と水準測量による標高の差から求めた実測ジオイド高の 2 つを組み合わせた混合ジオイドとして構築された²⁾。この構築方法をとった理由としては、ジオイドの用途が測量であり、電子基準点の橢円体高や水準点の標高などの基準点成果に整合させる必要があること、また、当時の重力ジオイドが持つ長波長成分の系統差を除去することがあげられる。

しかし、混合ジオイドの構築に用いる実測ジオイド高には、水準測量を起因とした誤差（例えば、水準測量は距離に応じて誤差が累積する特徴があり、日本水準原点（東京）から離れるほど誤差が大きくなる。）が含まれることが課題として存在していた。

そこで、新しく構築するジオイドは、従来の混合

ジオイドではなく、重力ジオイドのみとすることとし、これを精密重力ジオイドと呼ぶこととした。なお、これまで混合ジオイドを使用してきた理由であった、基準点成果との整合については、後述する標高成果の改定により、重力ジオイドと衛星測位を基盤とする標高に移行することで、整合を図ることができ、重力ジオイドが持つ長波長成分の系統差については、近年の技術の進展により改善が図られている。

精密重力ジオイドは、航空重力データや地上重力データのほか、最新の衛星重力データ、海上重力データ等を活用して構築し、「ジオイド 2024 日本とその周辺」（試行版）を 2024 年 3 月末に公開した（図-4）。測量法により、日本の標高は一部の離島を除き東京湾の平均海面を基準とすると定められており、「ジオイド 2024 日本とその周辺」（試行版）は東京湾の平均海面を仮想的に延長した面となっている。

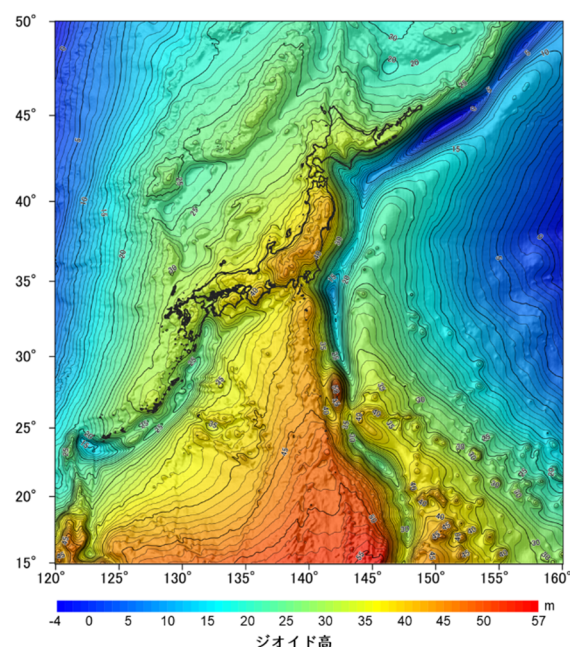


図-4 「ジオイド 2024 日本とその周辺」（試行版）のジオイド高分布

精密重力ジオイドの精度を評価するため、東北地方や道東地方等において、水準路線にある水準点及び電子基準点等において水準測量と GNSS 測量を実施し、各点で実測ジオイド高を算出した。2 点における実測ジオイド高の差分（ジオイド傾斜³⁾）と、試行版の精密重力ジオイドにおけるジオイド高の差分を比べて評価した結果、目標精度である 3 cm を達成していることが確認できた。

4. 離島の基準面の補正

日本の土地の高さである標高は、東京湾の平均海面を基準（標高 0 m）とする日本水準原点からの水

準測量により求めてきた。一方、離島については、日本水準原点からの水準測量が海域のために実施できなかったことから、離島の平均海面を基準とする離島独自の原点を設け、そこからの水準測量で求めてきた。

新しく構築した精密重力ジオイドは東京湾の平均海面を仮想的に延長した面であり、離島の平均海面と比べると、南方の離島ではその差は約 80 cm に及び、実生活とのズレが大きい。このため、これらの離島において、衛星測位の楕円体高から標高を求めるには、精密重力ジオイドから求めたジオイド高のほか、離島の基準面補正量を設定し、これを加味して標高を計算する必要がある（図-5）。

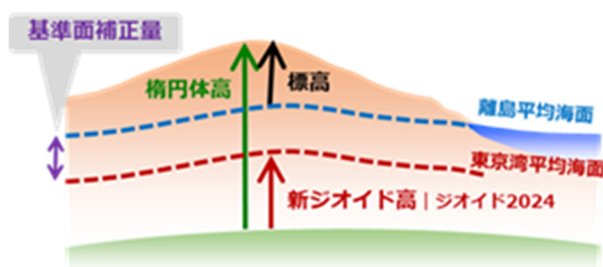


図-5 標高・ジオイド高・楕円体高と離島の基準面補正量の関係

5. 標高成果の改定

国土地理院では、この新しい精密重力ジオイドと衛星測位（電子基準点）を基盤として、電子基準点、三角点、水準点等の基準点の標高成果を 2025 年 4 月 1 日に最新の値に改定する。これにより、長年の地殻変動で累積した標高成果のズレや、水準測量の距離によって累積していた誤差等を解消することができる。標高成果の改定量の試算結果を図-6 に示す⁴⁾。改正量の最大は北海道東部で約 40 cm に及ぶ。

6. GNSS標高測量の導入

全国の標高成果の改定に合わせて、公共測量に「GNSS 標高測量」を導入する。GNSS 標高測量は、新しい精密重力ジオイドを用いて 3 級水準点、4 級水準点、簡易水準点の標高を GNSS 測量により測量する作業方法である。GNSS 標高測量では、現行の GNSS による標高の測量に存在した制限を一部緩和する内容となり、地殻変動の影響を受けない標高の決定等が可能になる。現在、作業方法（案）について GNSS 標高測量マニュアル（案）（注：公共測量への適用はできない）として国土地理院のホームページでも公開しているところであり、2024 年度中にさらなる検討を進めていく。

7. まとめ

衛星測位で迅速かつ容易な標高決定を実現するため、2019 年度から航空重力測量を開始するなどして、新たな標高の基準となる精密重力ジオイドの整備を進めている。また、国土地理院で管理する電子基準点、三角点、水準点等の全国の基準点の標高成果について、この精密重力ジオイドと衛星測位を基盤とする最新の値へ 2025 年 4 月 1 日に改定し、併せて精密重力ジオイドの正式版も公開していく。

これにより、長年の地殻変動で累積した標高成果のズレや、水準測量の距離によって累積していた誤差等を解消するとともに、衛星測位で標高を決定する新しい測量方法「GNSS 標高測量」の導入が可能となり、最新の標高成果を用いた高さ情報の管理や、測量の効率化などが期待される。

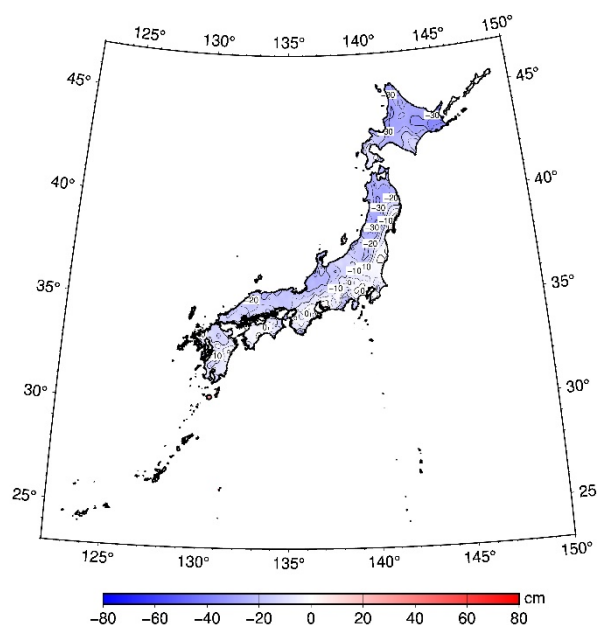


図-6 標高成果の成果の改定量の試算

参考文献

- 1) 吉田ほか（2018）：日本重力基準網2016（JGSN2016）の構築，国土地理院時報集，131集，53-93.
- 2) 兒玉ほか（2014）：ジオイド・モデル「日本のジオイド2011」（Ver.1）の構築，国土地理院時報，126集，67-85.
- 3) Smith et al. (2013)：Confirming regional 1 cm differential geoid accuracy from airborne gravimetry: the Geoid Slope Validation Survey of 2011, Journal of Geodesy, 87, 885-907.
- 4) 古屋ほか（2024）：全国の標高成果の改定に向けた新標高成果の計算，日本測地学会第142回講演会要旨集，57.

堤防草刈機の運転自動化を支援するための 周囲監視装置の開発

山崎 貴志¹・片野 浩司¹

¹国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 技術開発調整監付 寒地機械技術チーム

(〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

国土交通省北海道開発局では建設現場の生産性向上を実現するため、ICTを活用した堤防除草の生産性向上の取組（SMART-Grass）において、堤防草刈機の運転自動化を進めている。そこで我々は、堤防草刈機の運転自動化を安全性向上の面から支援する技術の一つとして、堤防草刈機の周囲を遠隔で監視するとともに障害物等を検出する装置を開発した。本装置は、AI画像認識を利用して監視映像から障害物等の検出を行い遠隔監視者に注意喚起を行うものである。また、河川堤防での動作確認試験により、本装置では検出物が何であるかの特定は正確ではないことがあるものの、様々な物体を検出できることを確認した。

キーワード：堤防草刈機、運転自動化、周囲監視、遠隔監視、AI画像認識

1. はじめに

近年、建設業に限らず多くの業界において労働者の高齢化や労働者不足が深刻化している。このような背景から、国土交通省北海道開発局（以下、「北海道開発局」という。）では建設現場の生産性向上を実現するため、ICTを活用した堤防除草の生産性向上の取組（SMART-Grass¹⁾）において、堤防草刈機の運転自動化を進めている²⁾。そこで我々は、堤防草刈機の運転自動化を安全性向上の面から支援する技術の一つとして、堤防草刈機の周囲を遠隔で監視するとともに障害物等を検出する技術についての調査検討を行った。この検討から、草刈機に設置したカメラからの映像をトリミング等により草刈機の周囲監視に適した画面表示とするとともに、AI画像認識を利用して監視映像から障害物等の物体検出を行い、遠隔で監視を行っている者に対して画面表示により注意喚起をする装置を開発した。また、自動運転試験中の草刈機に本装置を搭載して石狩川河川堤防で動作確認試験を行った。

重要な事項の一つとして、安全性の確保が挙げられる。また、堤防除草では、人や動物の存在、堤防道路の車両通行、不法投棄物など、除草作業の障害になるものがあり、これらへの接触により重大な事故となる恐れがある。このため、堤防草刈機の自動運転における安全性向上に向けて、草刈機の運転箇所とは離れた場所から自動運転中の草刈機の周囲を監視すること、および草刈機の進行方向にある障害物を検知して、遠隔で監視している者へ注意喚起を行う周囲監視装置（以下、「本装置」という。）を検討した。



写真-1 堤防草刈機および周囲監視装置設置状況

2. 周囲監視装置の概要

(1) 周囲監視装置の目的

堤防草刈機に限らず、各種移動体の自動運転において

(2) 装置概要

本装置において、周囲監視や障害物検知はカメラ映像からの物体検出により行うものとしている。また、本装置は導入のしやすさやコスト低減を考慮し、可能な限り

シンプルな構成とすることを意識している。本装置を設置した草刈機の全体像および本装置の草刈機への設置状況を写真-1に示す。

(3) 機器構成

本装置の機器構成を図-1に示す。タブレット PC は Panasonic TOUGHBOOK FZ-G2 (CPU : Core i5 10310U)、魚眼カメラは株式会社ガゾウ USB2.0 ボードカメラ MCM-4350FISH とした。前方撮影用と後方撮影用の 2 台の魚眼カメラを透明アクリルパイプ内に収納した状態で草刈機の上部に設置した。本装置は試験段階では草刈機の運転自動化のシステムとは独立して単独で機能するものとしているため、遠隔監視用の機器として、監視用 PC、Wi-Fi 親機、Wi-Fi アンテナを構成機器としているが、将来的には北海道開発局が進めている運転自動化のシステムに組み込むことも考えられる。その場合には、草刈機と操作者間の通信や電源を運転自動化のシステムと共用することにより、図-1 の監視用 PC、Wi-Fi 親機、Wi-Fi アンテナの機器を不要とすることも可能と考えられる。さらには、カメラやタブレット PC (演算機器) の共用化の可能性も考えられ、その場合にはプログラムのみの構成とすることも可能となる。

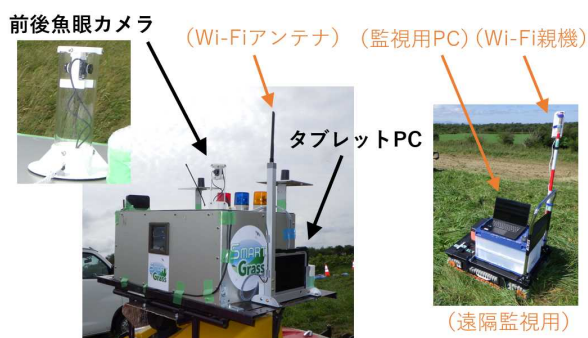


図-1 周囲監視装置の機器構成

3. 周囲監視装置の機能

本装置の主な機能について以下に示す。

(1) 映像トリミングおよび配置

本装置では、前述のとおり導入のしやすさやコスト低減を考慮し、可能な限りシンプルで機器点数が少なくなるような構成とすることを意識している。このため、後述する前後の周囲監視用の映像と前後の障害物検知用の 4 つの映像の取得を 4 台のカメラからではなく、2 台のカメラ映像からのトリミング処理で取得している。前後のカメラには、草刈機全周方向における広範囲な監視用映像を取得するため、画角の大きい魚眼カメラを使用している。

魚眼カメラ映像から、周囲監視用映像と障害物検知用

映像をトリミングするイメージを図-2に示す。周囲監視用映像については、広範囲に周囲を見渡すには水平に見渡すのが感覚的に違和感がないと考え、後述する映像回転処理を行い地平線が表示画面上でおおむね水平になるようにトリミングしている。障害物検知用映像は、主に進行方向の地面に存在する障害物を検知するためのものであるため、映像回転処理は行っていない。このように取得した 4 つの映像を 1 つの画面で確認できるように、図-3に示すように配置して表示している。



図-2 映像トリミング



図-3 映像配置

(2) 周囲監視用映像の回転

映像の回転を行う方法として、当初、タブレット PC 搭載の加速度計から重力方向を算出し、重力方向を基準とした映像回転を行ったが、草刈機のエンジン始動とともに安定した映像回転を行うことができなくなり、左右に大きく回転する状態となった(図-4)。これは、エンジンの振動により発生する加速度がノイズとなり、重力方向の算出ができなくなったことが原因と考えられる。

このため、加速度計を用いない映像回転方法として、映像解析による映像回転方法を検討した。カメラ映像の図-5に示す範囲の青色輝度値を左範囲(図-5 赤色範囲)と右範囲(図-5 紫色範囲)についてそれぞれ積算し、左範囲と右範囲の輝度積算値の差が小さくなるような角度で映像を回転させている。回転させる角度のステ

ップは、細かくするほど計算量が増え映像遅延に影響するため、試験予定地の堤防法面勾配である左右 5.7°と 11.3°および水平の 5 ステップとした。青色輝度のみの積算とした理由は、映像の輝度要素（RGB、赤緑青）のうち、青空の青色や曇り空の白色に多く含まれ、逆に、地面の緑色や茶色には多く含まれない色要素であるためである。例えば、図-5 の状況においては、(d) の状態が最も左範囲と右範囲の青色輝度積算値の差が小さくなるため、映像のトリミング範囲を図-2 のように 5.7°右回転させるようにしている。このような映像回転方法とすることにより、加速度計の必要なくなるため、システム構成の簡素化が図られるというメリットが生じる。



図-4 映像回転不安定状況（左右に大きく回転）

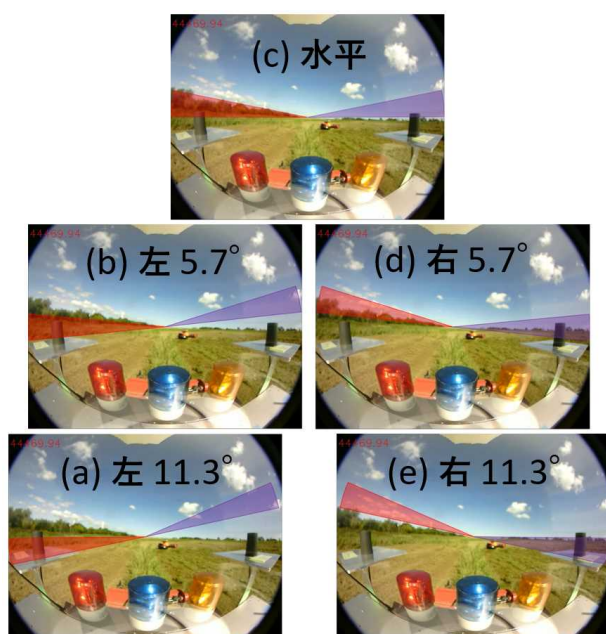


図-5 青色輝度値積算範囲

(3) 前後映像の明るさバランス調整

カメラは前後方向に向けて設置しているため、太陽光による逆光の影響で、前後カメラ映像の明るさに大きな差が生じる。図-6 は前方カメラが逆光の状況であり、このような状態では監視しにくい映像となるため、前後のカメラの露出倍率をそれぞれ自動調整して、前後の映像の明るさのバランスを取っている。調整方法は、前後カメラ映像それぞれについて、図-7 に示す赤枠範囲の画素の輝度値（赤、緑、青）を積算し、積算値の差が前

後のカメラ映像で小さくなるように露出倍率を調整している。また、基準となる露出倍率を手動で設定して、前後の露出倍率調整値をこの基準露出倍率以上で調整するようにしている。

また、前後のカメラ映像の明るさのバランスをとるために、前記の露出バランス調整を行っているが、強い逆光の状況では露出の調整だけでは十分な効果を得られない場合がある。この対策として、カメラに入り込む上空光を制限するため、画面表示に影響のない範囲でカメラ上部のマスキングを行っている（写真-2）。



図-6 前方カメラ逆光状況



図-7 輝度値積算範囲



写真-2 カメラ上部マスキング

(4) 物体検出

前節までの方法で作成した映像から、映像内に存在する障害物等の物体の検出を行う。検出にはオープンソースの AI 物体検出アルゴリズムである YOLOv8³⁾を用いた。YOLOv8 は AGPL-3.0 ライセンス⁴⁾であるため、YOLOv8 を利用した制作物を配布する場合にはそのソースコードの公開義務が生じるなど、いくつかの制約があるが無料で利用することができる。

一般的に AI 物体検出では、検出対象を特定するための教師データを用いて事前に学習させる必要があるが、YOLOv8 では 80 種類の物体を検出する学習済みモデルが公開されているため、本装置ではこの学習済みモデルを使用した。この学習済みモデルでの検出対象となる 80 種類の分類を表-1 に示す。また、YOLOv8 では、ある分類として検出した物体がその分類である確かさを 1～0 で示す信頼度 (1 に近いほど信頼度が高い) を取得できる。YOLOv8 による物体検出の例を図-8 に示す。

検出した物体を画面に表示するか表示しないかの閾値を信頼度とすることで、検出した物体の信頼度が設定した閾値よりも大きい物体のみを画面に表示することができる。このため、信頼度の設定値を低く設定することにより、上記80種類の分類以外のものであっても、「○○かもしれない」ものの検出を行うことができる。堤防除草における障害物にはさまざまなものがあり、何が障害物となりうるかを特定できないため、一般的なAIの教師

表-1 YOLOv8学習済みモデルの検出対象分類

0: person	16: dog	32: sports ball	48: sandwich	64: mouse
1: bicycle	17: horse	33: kite	49: orange	65: remote
2: car	18: sheep	34: baseball bat	50: broccoli	66: keyboard
3: motorcycle	19: cow	35: baseball glove	51: carrot	67: cell phone
4: airplane	20: elephant	36: skateboard	52: hot dog	68: microwave
5: bus	21: bear	37: surfboard	53: pizza	69: oven
6: train	22: zebra	38: tennis racket	54: donut	70: toaster
7: truck	23: giraffe	39: bottle	55: cake	71: sink
8: boat	24: backpack	40: wine glass	56: chair	72: refrigerator
9: traffic light	25: umbrella	41: cup	57: couch	73: book
10: fire hydrant	26: handbag	42: fork	58: potted plant	74: clock
11: stop sign	27: tie	43: knife	59: bed	75: vase
12: parking meter	28: suitcase	44: spoon	60: dining table	76: scissors
13: bench	29: frisbee	45: bowl	61: toilet	77: teddy bear
14: bird	30: skis	46: banana	62: tv	78: hair drier
15: cat	31: snowboard	47: apple	63: laptop	79: toothbrush



図-8 YOLOv8による物体検出例

データを作成することは困難であるが、「○○かもしれない」ものの検出を行う方法により様々なものの検出を行えるようにしている。



図-9 検出枠のみの表示例および各種設定値表示例

(5) 随時設定変更

本装置では、動作環境の違いや使用者の使用感の違いに対応できるように、装置動作中においても、随時、下記項目の設定や調整を行えるようにしている。露出倍率、検出物画面表示の信頼度閾値、推論使用モデルについては表示画面の最下部で確認できるようにしている (図-9)。

a) 障害物検知用映像トリミング範囲の上下位置

前後の障害物検知用映像について、「地平線を映り込ませたい」や「地面を重点的に監視したい」などに対応するため、トリミング範囲を上下に移動できるようにしている。

b) 基準露出倍率

前後カメラの露出のバランスをとるための調整は前記のとおり自動で行われるが、基準となる露出倍率は、周囲環境 (明るさ) や監視者の好みなどに応じて調整できるようにしている。

c) 推論使用モデル

YOLOv8)において公開されている学習済みモデルにはデータ量が大きい順に yolov8x, yolov8l, yolov8m, yolov8s, yolov8n の5段階あり、yolov8xが最も良い精度の検出を行うことができる反面、検出処理に係る計算量が多く処理に時間がかかる。反対に、yolov8nでは検出精度では他のモデルに劣る反面、検出処理に係る計算量が少なく、最も高速な処理が可能である。このため、大きなモデルを使用するほど表示画面は滑らかではなくなるため、使用者の使用感や演算機器の性能に合わせて、使用するモデルを随時変更できるようにしている。

d) 検出物画面表示の信頼度閾値

検出物の画面表示有無の閾値となる信頼度の設定である。閾値の設定により検出物の画面表示の量に変化するため、不要な検出が多い場合や逆に物体を検出し

にくい場合など、現場状況に合わせ調整できるようにしている。

e) 検出枠表示方法および表示有無

YOLOv8での物体検出時の標準の表示には、検出枠とともに検出物の分類と信頼度が表示されるが、実運用時にはこれらの情報は必要なく、何かが検出されたことだけがわかれば良いということも考えられるため、検出枠のみの表示(図-9)を選択できるようにしている。また、物体検出の表示を行わないことも選択できるようにしている。

4. 動作試験

北海道開発局が実施する運転自動化の試験に合わせて、本装置を草刈機に設置して、堤防除草中における動作試験を行った。試験は岩見沢市北村の石狩川たっぷ大橋下流左岸の堤防において、2023年9月11日～10月4日の内の5日間実施した。本装置の設置状況を前出の写真-1に、試験状況を写真-3に、試験結果として得られた映像のキャプチャ画像を図-10～12に示す。

図-10では草刈機本体に設置しているGNSSアンテナを「airplane」として、また、草刈機本体の一部を「bottle」として検出している。映像に映っている物体は何かとして検出される可能性があるので、実運用時には画面内に草刈機本体の部品等が入り込まないようにカメラを配置しなければならない。

図-11では人を「horse」や「zebra」として検出している。検出物体の分類を判断しなければならない状況ではこれらは間違った検出ではあるが、本件のような検出対象物が特定できない中で何らかの物体を検出して注意喚起したいという状況では、「物体検出」自体が有意義であると考えられる。また、図-11では地面とは色合いが異なる背丈の高い草が存在する状況であるが、草を何かの物体として検出しておらず、図-11以外の試験データにおいても、同様に検出したことはなかった。

図-12は信頼度の設定の違いによる画面表示の違いを比較したものである。左は信頼度0.1、右は信頼度0.4に設定したものであり、信頼度0.1の設定では表示されている車や草刈機が、信頼度0.4の設定では表示されていない。この設定値は、低くし過ぎると多くのものが表示されて画面が煩雑化し、高くし過ぎると検出されるべきものが検出され難くなることから、実運用時には使用現場の状況や使用者の使用感に応じて随時調整を行うべきと考える。

推論使用モデルの違いによる画面表示速度の差について、ある15秒間における画面更新回数により比較を行った。yolov8sを使用した場合には1秒間に約2回の画面更新(約2FPS)、yolov8nを使用した場合には約3.4FPS

となり、モデルのデータ量が小さいyolov8nの方が処理速度が速く滑らかな画面表示となった。なお、画面表示速度は常に一定ではなく揺らぎがあったが、これは、PCや通信の状態等の影響によるものと考えられる。また、2FPSや3.4FPS程度の画面表示では滑らかな映像とは言い難いが、草刈機の作業速度は低速(試験段階では4～6km/h)であるため、周囲監視や障害物検知としては許容できるものとする。



写真-3 動作試験状況



図-10 自動車部品の検出状況



図-11 分類違い検出および草の未検出状況



(画面表示設定信頼度: 0.1)

(画面表示設定信頼度: 0.4)

図-12 信頼度設定値の違いによる画面表示の違い

本装置のプログラムについて、pythonで記載したソースコードを北海道開発局に提供した。今後、SMART-Grassで進められる運転自動化のシステムに改良等が加えられ取り入れられる予定である。

5. まとめ

堤防草刈機の運転自動化を安全性向上の面から支援する技術の一つとして、堤防草刈機の周囲を遠隔で監視するとともに、障害物等の存在を遠隔監視者に通知して注意喚起を行う周囲監視装置を開発し、河川堤防での動作試験を実施した。本装置の特徴と動作試験結果について以下に示す。

- 1) 本装置は2台のカメラ映像から4つの映像を切り出して1画面に配置し、この映像からAI画像認識により障害物等を検出するものである。
- 2) 本装置の主要構成機器はカメラと演算機器のみのシ

ンプルなものであり、さらにこれらの機器は運転自動化のシステムとの共用も可能である。

- 3) 検出した物体の分類特定は正確ではないことがあるものの、様々な種類の物体を検出できることを確認した。このことは、障害物の種類を特定できない堤防除草においては有意義であると考ええる。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：SMART-Grass <https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gijyutu/splaat000001xynt.html> (2024年5月20日確認)
- 2) 三浦豪、田中克彦、齊藤成邦：【SMART-Grass】大型遠隔操縦式草刈機による堤防除草の自動化に向けて、第67回(2023年度)北海道開発技術研究発表会、D-17、2024.
- 3) Ultralytics：YOLOv8 <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (2024年5月20日確認)
- 4) Ultralytics：GNU Affero General Public License v3.0 <https://github.com/ultralytics/ultralytics/blob/main/LICENSE> (2024年5月20日確認)