

BIM/CIM技術を活用した 新たな広報手法について

伊川 諒¹・佐々木 隆行²

¹近畿地方整備局 紀の川ダム統合管理事務所 猿谷ダム管理支所

(〒637-0408奈良県五條市大塔町辻堂1-3)

²橿原市役所 都市マネジメント部 道路河川課 (〒634-8586奈良県橿原市八木町1-1-18) .

BIM/CIMは2012年度の試行開始以降、2023年度からの原則適用により導入が拡大し、現在は受発注者間の業務効率化や関係機関・地元協議など幅広い場面で活用されている。しかし、その活用は関係者間に留まっているのが現状である。本論文では、BIM/CIMを単なる設計・施工の効率化ツールとして捉えるのではなく、「社会とのコミュニケーションツール」として位置づけ、道路事業の統合モデルを活用した新たな広報手法を検討・試行した結果について、京奈和自動車道大和北道路（以下、「大和北道路」という）を対象事業として報告するものである。

キーワード BIM/CIM, AR・VR, 広報, 統合モデル, データプラットフォーム

1. はじめに

大和北道路は、奈良市・大和郡山市内を南北に縦断する延長約12.4kmの道路である。2009年（平成21年）3月に奈良IC（仮称）～郡山下ツ道JCT間（延長6.3km）が事業化され、2018年（平成30年）4月には奈良北IC（仮称）～奈良IC（仮称）間（延長6.1km）が事業化されている。また、全線事業化に合わせて全区間において、公共事業と有料道路事業との合併施行方式が導入されている。（図-1）

このような大規模な公共事業を円滑に進めるためには、地域住民をはじめとする多くの方のご理解とご協力を得ることが不可欠である。特に本事業のように市街地を通過する路線では、工事に伴う長期間の交通規制や道路の切り回し、さらには施工時の騒音・振動の発生など、地域住民の方々の日常生活に様々な影響を及ぼすことが想定される。

従来、こうした事業を進めるにあたっての理解促進活動は、パンフレットの配布や説明会において2D設計図面を用いて行われてきた。しかし、専門的な内容が多く、事業の全体像や完成後のイメージを地域住民の方々に直感的に伝えることには限界があった。これは公共事業が広く抱える課題の一つである。

こうした社会的背景のもと、建設業界では国土交通省主導により、生産性向上を目的としたBIM/CIMの導入が強力に推進されている。BIM/CIMは、3Dモデルに様々な情報を統合することで「可視化」を促進し、受発注者間

や関係機関、地域住民との合意形成を円滑化するツールとして活用されている。

本稿では、このBIM/CIMを関係者間の合意形成ツールとしてだけでなく、広く一般の方々への情報提供や理解促進を図る「社会とのコミュニケーションツール」として活用する新たな広報手法について検討・試行した結果を報告する。



図-1 大和北道路の概要

2. BIM/CIM活用の現状と課題

BIM/CIMは2012年度の試行導入以降、2023年度からの原則適用により、公共事業における活用が急速に拡大している。しかしながら、その活用実態を見ると、いくつかの課題が明らかとなった。

まず、BIM/CIMの活用が3Dモデルによる「可視化」に留まっているケースが多く、モデルが持つ豊富な属性情報や空間情報が十分に活用されていない現状がある。3Dモデルを作成すること自体が目的となってしまう、その先の具体的な活用方法が限定的となっている。

次に、作成されたBIM/CIMモデルが業務ごとに完結してしまい、次工程への円滑な引き継ぎが行われていないという課題がある。例えば、設計段階で作成したモデルが施工段階において有効活用されていない、複数の業務にまたがるデータの形式や詳細度が統一されていないなど、モデルの統合・連携が困難となっているケースが見受けられる。

これらの課題により、BIM/CIMが本来持つポテンシャルが十分に発揮されておらず、事業全体を通じたデータの一元管理・活用という観点からは、いまだ発展途上にあると言わざるを得ない。BIM/CIMを真に有効なツールとして機能させるためには、可視化に留まらない幅広い活用方法の検討と、業務横断的なデータ連携の仕組みづくりが急務となっている。

3. 大和北道路事業での活用事例の紹介

本章では、大和北道路事業において実際に作成・活用したBIM/CIMの事例について、その目的と共に紹介する。

(1) 橋脚梁部施工時の特殊支保工走行イメージの作成

大和北道路専用部P19～P21橋脚の梁部の施工において、国道24号の車道を跨ぐ特殊支保工の設置が必要であった。特殊支保工の設置にあたっては、視認性の悪化による交通阻害が懸念されたため、視認性の確認を目的としてVRを作成し、悪影響が無いことを確認した。(図-2)

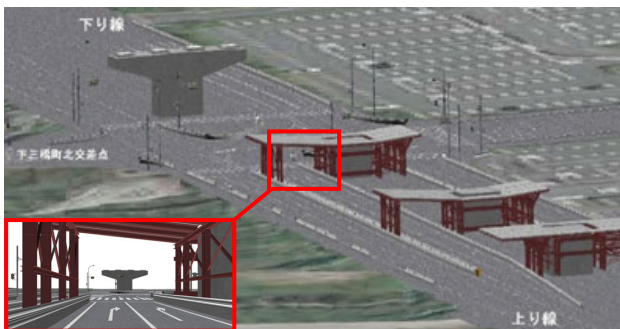


図-2 P19～P21 橋脚特殊支保工・走行イメージ

(2) 八条地区における市道・函渠の完成イメージの作成

国道24号と並行する奈良市道は、大和北道路の整備に伴う国道24号八条高架橋P7橋脚の改築により、市道の切り直し設計が必要であった。設計にあたっては、視認性の確認を目的としてVRを作成し、死角となる箇所を排除した線形の検討を行った。(図-3)

また、大和北道路専用部を横断する函渠において、既存の踏切から専用部下を通る際に縦断勾配による視距への影響が懸念されたため、視認性の確認を目的としてVRを作成し、悪影響が無いことを確認した。(図-4)

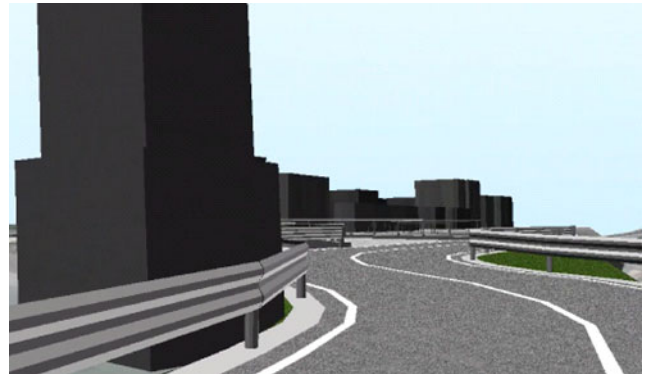


図-3 切り直し市道における線形見直し



図-4 函渠の視認性確認

(3) 上部工架設時の施工イメージの作成

西九条町南交差点部の上部工架設において、監督職員への説明をより視覚的・直感的に行うため、架設工法を再現したARを作成した。事務所での2D設計図面による机上説明に加え、現地にてARを活用し、多軸台車やクレーンの規模・配置、落とし込み架設の延長、交差する県道への影響（通行止め範囲）などを立体的に可視化し、監督職員とともに現地確認を行った。（図-5）



図-5 ARによる架設工法の確認

(4) 大和北道路専用部P14橋脚施工時のイメージの作成

大和北道路専用部P14橋脚施工時に歩道の切り回しや民地の借地が必要であり、地権者の方へ施工時の現場状況を視覚的に理解していただくことを目的にARを作成した。（図-6）

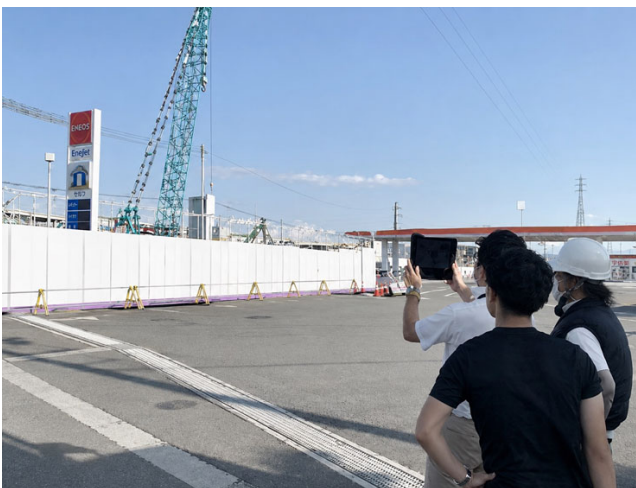


図-6 ARによる施工時現場状況の確認

4. 統合モデル作成の検討

本章では、BIM/CIMモデルが持つポテンシャルをさらに発揮させるべく、大和北道路の八条町～下三橋町付近（以下、「直轄施工区間」という）を対象として、路線全体の完成形を表現した統合モデルの作成を試みた。（図-7）

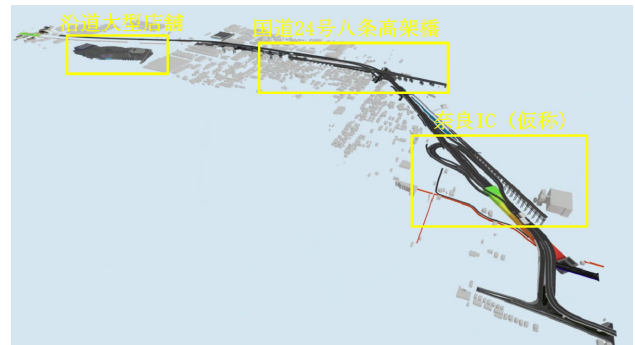


図-7 統合モデル（八条町～下三橋町付近）

本検討は、業務ごとに完結していたBIM/CIMモデルを統合モデルとして整理することで、事業の全体像を把握することを目的とした。また、事業の完成イメージを視覚的かつ直感的に伝えるべく、統合モデルをベースに、実際に車両が走行する様子を再現した走行シミュレーションの作成も試みた。（図-8）



図-8 走行シミュレーション

統合モデルの作成にあたっては、複数の業務にまたがるデータを一元的に統合する必要があることから、いくつかの課題が明らかとなった。具体的には、3Dモデルが整備されていない区間が存在すること、各業務から納品されるデータの形式や構成が統一されていないこと、さらには作成データの詳細度（LOD）に差異があることなどが挙げられる。これらの課題を一つひとつ整理・解決しながら、統合モデルの構築を進めた。

統合モデル作成にあたっての具体的な対応策を次頁に示す。

(1) 3Dモデル未整備区間への対応

直轄施工区間のうち、本線の一部の工区や構造物において3Dモデルが未整備の区間が存在し、統合モデルとして路線全体を表現するうえで支障となった。この未整備区間については、既存の2D設計図面（CADデータ）をもとに新たに3Dモデルを作成することで対応した。3Dモデル化にあたっては、平面図・縦断面図・横断面図を組み合わせて形状を復元し、路線全体として連続したモデルとなるよう整合を図った。

(2) 本線と現道国道24号との交差部（八条高架橋）のモデル化

本線と交差する現道国道24号の八条高架橋については、既設構造物であるため3Dモデルが存在しなかった。そこで、既存の2D設計図面（紙図面から復元したCADデータ）をもとに、橋脚や橋桁といった主要な構造形状を再現した3Dモデルを別途作成することで対応した。本モデルは走行シミュレーションにおける可視化を主目的としたものであり、詳細な構造情報の再現よりも外観形状の整合を優先させた。これにより、新規事業区間と既存構造物との取り合いを視覚的に確認できるようになった。

(3) 沿道の建物・店舗等の取り込み

走行シミュレーションにおいてリアリティのある完成イメージを表現するためには、道路本体のモデル化だけでなく、沿道の建物や店舗等の周辺環境を再現することが重要である。沿道の建物については、国土地理院が提供する基盤地図情報から建物外周線データを取得し、航空写真・衛星画像および現地写真をもとに簡易的な建物モデルを作成・活用することで、周辺環境を含めた統合モデルとして整備した。これにより、走行シミュレーションにおいて実際の沿道景観に近い、没入感の高い視覚的表現が可能となった。

(4) 使用ソフトウェア・データ形式の違いへの対応

本事業では、複数のコンサルタントがそれぞれ異なるソフトウェア（Autodesk Civil 3D、V-nasClair等）を使用して設計を行っていた。このため、各データを一つの統合モデルに集約するにあたり、データ形式の相違が統合の障壁となった。この問題に対しては、BIM/CIMの標準フォーマットとして広く普及しているIFC形式への変換を活用することで、異なるソフトウェア間のデータ互換性を確保した。変換にあたっては、形状データの欠損や座標系のずれが生じないように、変換後のデータをその都度確認しながら統合作業を進めた。

(5) 詳細度（LOD）の差異への対応

各業務で作成されたモデルの詳細度はLOD200からLOD400まで様々であり、統合モデルとして一体的に表

現するうえで視覚的な不整合が生じることが懸念された。本統合モデルの主目的が走行シミュレーションによる完成イメージの可視化であることを踏まえ、詳細度の高いモデルについてはそのまま活用しつつ、詳細度の低いモデルについては外観形状を補完する形で簡易的なモデルを追加作成し、全体として視覚的に統一感のある統合モデルとなるよう整備した。一方で、ドライバー視点から重要となる路面標示、壁高欄、ガードレール、料金所といった要素は、LOD400レベルで意図的に作り込みを行い、より高い視覚的リアリティを持つ走行シミュレーションの実現を目指した。

5. 統合モデル活用による事例紹介

前章において作成した走行シミュレーションは、事業の完成イメージを視覚的かつ直感的に伝える広報ツールとして作成したが、さらに多くの方に事業内容等を認知していただけるよう、実際に操作できる体験型コンテンツに発展させた。

この体験型コンテンツは3Dモデルを「見る」だけでなく、実際に操作して「感じる」ことができるドライブシミュレータとし、様々な世代の方に興味を持っていただき、事業を認知していただくきっかけを作ることを目的として作成した。

このドライブシミュレータは、2026年2月にイオンモール橿原にて開催した「未来を変えるDX土木技術体験イベント」において活用し、合計300名以上の方々にご体験いただき、大好評を博した。（図-9）



図-9 イベント来場者がドライブシミュレータを体験している様子

来場者からは「大和北道路の完成イメージが分かりやすく、国がどのような道路を造っているかよく理解できた。」、「大和北道路と周辺の建物がとてもリアルに再現されていて、技術力の高さに驚いた。」などの感想をいただいた。

このように、本イベントにおいて、ドライブシミュレータやVRをはじめとするDX技術を活用した結果、「楽

しさ」や「驚き」といった直感的な体験を通じて、事業を知ってもらうきっかけを作ることができた。

また、これら技術を活用することで土木分野の魅力を発信することもでき、次世代を担う若者などが土木分野へ興味をもつ強力なツールになり得ることも確認した。

6. おわりに

本稿では、BIM/CIMを「社会とのコミュニケーションツール」として位置づけ、大和北道路事業における一連の取り組みを報告した。統合モデルの構築から、それを応用した体験型ドライブシミュレータによる広報イベントの実践を通じて、BIM/CIMが関係者間の合意形成に留まらず、一般の方々、特に次世代への事業理解促進と土木分野の魅力発信に極めて有効な手段となり得ることを実証した。この広報手法への展開とその有効性については、本稿で一定の成果として示すことができたものと考ええる。

一方で、本稿で示した広報活用は、BIM/CIMが有する多面的な価値の一端に過ぎない。広報目的で構築した統合モデルは、単なるビジュアルツールに留まらず、事業のライフサイクル全体を貫く「データプラットフォーム」の基盤となるポテンシャルを秘めている。

現状の公共事業では、設計・施工といった各フェーズで作成されたBIM/CIMデータが分断され、後工程へ価値ある情報として十分に連携されていないという構造的課題が存在する。この課題を克服するためには、発注者、設計者、施工者といった全関係者が、単一のプラットフォーム上でデータを共有し、協働でモデルを構築していく新たなワークフローの確立が不可欠である。これにより、設計初期段階の情報を施工段階においても継続的に活用するフロントローディングが促進され、手戻りのない効率的かつ合理的な事業推進が可能となる。事業の川上から川下までデータが一気通貫で連携され、各段階において更新・拡充されながら活用され続けることこそが、BIM/CIM本来の目指すべき姿である。

今回作成した統合モデルは、「BIM/CIM適用に関する実施方針」に準拠しており、データプラットフォームの

基盤としての要件を満たしている。現在は骨格となる構造物モデルが中心であるが、今後はこれに属性情報を付与するとともに、国土地理院の地図データや地質・地盤データといった広域情報を重ね合わせる事が可能である。さらに将来的には、高架橋下の国道24号の道路データや電線共同溝・埋設管といった地下インフラのデータを統合し、地上から地下までを包含する都市空間全体のデジタルツインへと拡張していく構想を描いている。

このような基盤が整備されれば、データ活用の可能性は飛躍的に拡大する。目的やニーズに応じた多様なアウトプットの創出が可能となり、AR（拡張現実）やVR（仮想現実）を用いた一般向け広報コンテンツの充実はもとより、AIによる施工計画の最適化、交通シミュレーションや災害リスク分析、完成後の交通量予測や構造物の健全度評価など、これまで困難であった高度な分析・検討が実現する。将来的には、道路ネットワーク全体のデジタルツイン構築へと発展させることも視野に入ってくる。ライフサイクル全体を通じたシームレスなデータ連携は、インフラマネジメントを最適化するデジタル変革（DX）そのものである。

本稿は、この将来像の実現に向けた中間報告と位置づけられる。今回提示した広報活用という一つの成果を足がかりに、今後はデータプラットフォームの構築と、そこから生まれる新たな価値創造に向けた検討をさらに深化させていく必要がある。本稿で示した取り組みが、BIM/CIMの新たな可能性を切り拓く一助となり、今後の公共事業における「データとデジタル技術を基盤とした事業マネジメント」の議論を加速させることを期待し、本稿の締めくくりとしたい。

※本稿の内容は、前所属である奈良国道事務所工務課での事業成果である。

謝辞：本論文の執筆にあたり、株式会社近代設計の関係者には多大なるご協力を賜りましたことをお礼申し上げます。

RAGを用いた都市整備部版生成Aiの開発とその取組について

森本 政哉

大阪府 都市整備部 事業調整室事業企画課 (〒540-0008大阪府大阪市中央区大手前3-2-12別館4階)

都市整備部では、土木職をはじめとする技術職のうち、50代のベテラン職員が全体の約4割を占めており、今後、多数の退職が見込まれます。

主な業務である道路・河川の維持管理、許認可業務、設計・積算・施工管理、点検などの業務では、基準書・要綱・手引き等に基づき遂行しており、参照すべき資料は膨大で内容も高度なため、細部の理解には多くの時間を要します。

このようななか、生成Ai（LLM）の利用において、こうした課題を解決する鍵としてRAG（検索拡張生成）環境の構築を検討しており、膨大な資料を全てに精通することなく、業務経験の浅い職員の技術力をサポートできるような環境づくりを検討しておりますので、報告します。

キーワード RAG, 生成Ai, 自治体DX, 若手職員支援, 業務効率化, Aiガバナンス

1. 序論

都市整備部の業務は、道路・河川の維持管理、許認可、設計、積算、施工管理、点検など、住民生活や社会基盤に直結する専門性の高い業務で構成されている。これらの業務では、基準書、要綱、手引き、マニュアル、関係法令、過去の取扱いなど、多様かつ高度な資料を参照しながら判断を行う必要がある。

一方で、都市整備部では、土木職をはじめとする技術職のうち、50代のベテラン職員が全体の約4割を占めており、今後、多数の退職が見込まれる。ベテラン職員は、単に資料の所在を知っているだけではない。資料の読み方、複数資料の関係、例外的な取扱い、過去の判断経緯、現場条件に応じた留意点、関係機関との調整経験など、実務上重要な知識を有している。こうした知識が十分に継承されない場合、業務経験の浅い職員の育成、判断の迅速性、業務品質の維持に影響が生じる可能性がある。

この課題に対し、都市整備部では、生成Aiを用いた業務支援環境の構築を検討している。大阪府では、Azure OpenAiを活用した生成Aiの導入が進められ、Teams環境下で一般的な知識に回答する「質問ナビ」や、府独自の知識に回答する「府庁ナビ」の運用が開始されている。さらに都市整備部では、部特有の情報を活用して回答するRAG、検索拡張生成、技術の開発検討を進めている。

RAGとは、生成Aiがあらかじめ登録された文書を検索し、その検索結果を参照しながら回答を生成する仕組み

である。通常の生成Aiが一般的な知識に基づいて回答するのにに対し、RAGを用いることで、組織固有の基準書、要綱、手引き、マニュアル等に基づいた回答を得やすくなる。

本稿において、都整AIとは、都市整備部向けに構築を検討している個別の生成Aiシステムを指す。一方、RAG型生成Aiとは、都整AIが業務資料を検索・参照し、その内容に基づいて回答を生成するために用いる技術方式を指す。

本取組の目的は、生成Aiに職員の判断を代替させることではなく、膨大な基準書・要綱・手引き等へのアクセスを容易にし、業務経験の浅い職員が根拠を確認しながら学習・判断できる環境を整備することにある。本稿では、都市整備部版生成Ai、以下「都整Ai」という、のトライアル結果をもとに、RAG型生成Aiが技術継承と業務支援にどのように寄与し得るのかを分析する。

2. 研究背景

(1) 技術継承における課題

都市整備部の業務では、判断の根拠となる資料が多岐にわたる。道路・河川の維持管理、許認可、設計・積算、施工管理、点検などの業務では、それぞれ異なる基準書、要綱、手引き、マニュアルを参照する必要がある。業務経験の浅い職員にとっては、どの資料を参照すべきか、

資料のどの箇所が判断に関係するのか、複数の資料をどのように読み合わせるべきかを把握すること自体が大きな負担となる。

また、ベテラン職員が有する経験は、すべてが文書化されているわけではない。過去の工事事例、現場条件に応じた判断、関係機関との調整、住民対応上の留意点などは、業務経験を通じて蓄積される実践的な知識である。従来は、OJTや日常的な相談を通じてこれらの知識が継承されてきた。しかし、ベテラン職員の退職が進む中では、従来型の継承方法だけでは限界が生じる可能性がある。

したがって、今後は、ベテラン職員が持つ実務知識のうち、文書化できるものは形式知として整理し、業務経験の浅い職員が必要ときに参照できる仕組みを整える必要がある。

(2) RAG型生成Aiの意義

RAGが直接支援できるのは、基準書、要綱、手引き、マニュアル、FAQ、過去事例など、文書化された形式知へのアクセスである。一方、ベテラン職員が有する現場判断、例外処理、関係機関との調整経験などの暗黙知については、RAGだけで完全に継承できるものではない。

しかし、過去の質疑応答、判断事例、研修資料、FAQ、よくある誤解、確認すべき論点などを文書化し、RAG環境に登録することで、暗黙知の一部を形式知化し、職員が参照可能な知識として活用できる可能性がある。つまり、RAG型生成Aiは、ベテラン職員の経験を直接置き換えるものではないが、文書化された知識へのアクセスを支援し、技術継承の補助基盤となり得る。

3. 取組の概要

都市整備部では、2025年度に都整Aiのトライアルを実施した。2025年7月25日に都市整備部全職員へ働き方改革ニュースメールを送付し、2026年度の本格導入を見据えたトライアル参加者を有志で募集した。その結果、有志職員約90名が参加し、検証環境に約80点の対象資料を格納したうえで、2025年8月下旬からトライアルを開始した。

参加職員はTeamsチャネル「都市整備部版生成Ai導入テスト」に所属し、利用方法や改善点について情報共有を行った。トライアルでは、参加者が質問を行い、回答内容について有識者がGoodまたはBadを確認する方法、無作為抽出した質問を有識者が再確認する方法、Bad理由が分からない回答についてヒアリングを行う方法が採用された。

また、評価結果を踏まえ、内部的に2度のプロンプトチューニングが実施された。これにより、簡素な質問に対して限定的な回答であったものが、より網羅的で親切

な回答が得られるよう改善が図られた。2026年5月13日時点での質問数は1,336件であり、一定規模の利用実績が蓄積されている。

このように、本取組は単なる構想段階ではなく、実際の利用、評価、改善を伴う検証として進められている点に特徴がある。

4. 研究方法

本稿では、都整Aiのトライアルに関する取組資料、働き方改革ニュースメール、導入テスト後アンケートを用いて分析を行う。分析対象とする主な観点は、次の5点である。

第一に、RAG型生成Aiが業務経験の浅い職員の資料検索や理解をどの程度支援し得るかである。第二に、利用者が都整Aiにどの程度満足しているかである。第三に、他業務への展開可能性である。第四に、回答品質、根拠表示、操作性などの改善点である。第五に、誤回答、過信、情報管理、説明責任に関するAiガバナンス上の課題である。

アンケートは23件の回答をもとに整理し、全体満足度、他業務への活用意向、追加説明・補足の必要性、不安・懸念、操作性について定量的に確認する。さらに、自由記述の内容を踏まえ、なぜそのような結果になったのかを都市整備部の業務特性と関連づけて考察する。

5. 分析

(1) 利用実績に基づく評価

都整Aiのトライアルでは、有志職員約90名が参加し、約80点の資料が検証環境に格納された。また、2026年5月13日時点で質問数は1,336件に達している。このことから、都整Aiは単なる試作段階のシステムではなく、一定程度実務上の利用が行われた検証環境であると評価できる。

また、Good・Bad評価、有識者による再確認、Bad理由のヒアリング、プロンプトチューニングが実施されており、利用結果を踏まえた改善サイクルが形成されつつある。RAG型生成Aiは、導入時点で完成するものではなく、利用ログ、誤回答、改善要望、対象資料の追加によって継続的に精度を高めていく必要がある。その意味で、本取組は、現場参加型の改善プロセスを含む実践的な取組である。

(2) 全体満足度

アンケート23件のうち、都整Aiの全体満足度について

は、「非常に満足」が1件、「満足」が11件、「普通」が10件、「不満」が1件であった。肯定的評価は12件であり、全体の約52.2%である。一方、「普通」は10件、約43.5%を占めている。

この結果から、都整Aiは半数を超える利用者から一定の満足を得ているものの、多くの利用者が十分な満足に至っているわけではないことが分かる。すなわち、実務支援ツールとしての可能性は確認された一方で、回答精度、根拠表示、操作性、対象資料の拡充などに改善余地があるといえる。

(3) 他業務への活用意向

「都整Aiを積算、施工管理、用地取得等及び道路河川等管理以外の業務にも活用したいか」という設問では、「強く思う」が10件、「やや思う」が9件であり、計19件、約82.6%が肯定的であった。

この結果は、利用者が都整Aiを特定業務に限定したツールではなく、部内の幅広い業務に応用可能な知識検索・業務支援基盤として認識していることを示している。都市整備部の業務は、業務内容こそ異なるものの、基準書、要綱、手引き、過去資料を参照しながら判断するという共通構造を持っている。そのため、利用者はRAG型生成Aiを複数業務に横展開できる仕組みとして期待したと考えられる。

(4) 回答品質と根拠表示の課題

回答に追加説明や補足が必要と感じた利用者は、「頻繁にあった」が7件、「時々あった」が13件であり、計20件、約87.0%にのぼった。この結果は、生成Aiの回答が一定の有用性を持つ一方で、回答内容のみでは実務判断に十分でない場面が多いことを示している。

自由記述においても、「出典を分かりやすくしてほしい」「根拠資料へのリンクが表示されるとよい」「正確性を確保してほしい」「質問した回答の根拠が分かりにくい」といった意見が確認された。

このような結果となった理由として、都市整備部の業務判断は、単一資料の単純な引用だけでは完結しないことが挙げられる。実務では、複数の基準、現場条件、過去の取扱い、関係機関との調整状況を踏まえて判断する必要がある。そのため、Aiが一見もっともらしい回答を生成しても、利用者は「どの資料のどの記述に基づくのか」「他の関連資料との整合性はどうか」「例外条件はないのか」を確認する必要がある。

したがって、本格導入に向けては、回答文の生成だけでなく、出典、参照箇所、関連資料、確認すべき論点を提示する機能の整備が重要である。

(5) 不安・懸念とAiガバナンス

利用にあたり不安や懸念を感じた利用者は、「多く感じた」が3件、「やや感じた」が9件であり、計12件、約

52.2%であった。一方で、「ほとんど感じなかった」が9件、「全く感じなかった」が2件であり、一定数の利用者は大きな不安を感じていない。

自由記述では、「免責を記載する必要がある」「使い手のリテラシーが必要である」「Aiの検索結果を過信しないことが重要である」「根拠の確認・意思決定は技術者自ら行うべきである」といった意見が示された。

この結果は、利用者が生成Aiの利便性を認識する一方で、誤回答や過信のリスクも現実的に捉えていることを示している。都市整備部の業務は、道路・河川等の公共インフラ、許認可、設計・積算、施工管理など、住民生活や事業者活動に影響を与える判断を含む。そのため、生成Aiの回答が便利であっても、根拠確認なしに利用することへの懸念が生じたと考えられる。

以上から、都整Aiの本格導入にあたっては、Aiの回答は参考情報であり、最終判断は職員が行うという原則を明確にする必要がある。また、免責表示、利用ルール、機密情報の入力制限、出典確認の徹底、誤回答時の対応フローを整備することが求められる。

(6) 操作性と利用定着

操作性については、「非常に使いやすい」が4件、「使いやすい」が6件、「普通」が8件、「使いにくい」が5件であった。肯定的評価は10件、約43.5%である一方、使いにくいとの回答も5件、約21.7%確認された。

自由記述では、ログインの手間、出典リンク表示、Excel出力、複数資料の一括読み込み、資料の追加、プロンプト作成の難しさなどに関する改善要望が示された。これは、利用者が都整Aiを単なる試行的なチャットツールではなく、日常業務の中で継続的に使える実務支援ツールとして期待していることを示している。

どれほど回答精度が高くても、利用までの手間が大きければ、日常業務には定着しにくい。したがって、本格導入に向けては、回答精度だけでなく、ログイン負担の軽減、画面導線の改善、出典リンクの表示、資料投入の容易化、Excel等への出力機能など、実務上の使いやすさを高める必要がある。

6. 考察

(1) なぜ他業務への活用意向が高かったのか

他業務への活用意向が約82.6%と高かった理由として、都市整備部の多くの業務が、共通して基準書、要綱、手引き、過去資料の参照を必要とする構造を持っていることが考えられる。積算、施工管理、用地取得、道路河川等管理は業務内容こそ異なるが、いずれも膨大な文書を確認しながら判断する点では共通している。

そのため、利用者は都整Aiを個別業務専用のシステム

ではなく、部内業務全般に応用可能な資料検索・理解支援ツールとして認識したと考えられる。この点において、RAG型生成Aiは、特定の担当者や所属に閉じた知識を、部内で共有可能な形に近づける可能性を有している。

(2) なぜ追加説明や補足の必要性が高かったのか

追加説明や補足が必要と感じた利用者が約87.0%にのぼった理由として、都市整備部の業務判断が単純な情報検索だけでは完結しないことが挙げられる。実務では、基準書に書かれた文言を確認するだけでなく、その文言を現場条件や過去の取扱いにどのように適用するかを判断する必要がある。

そのため、Aiの回答には、単に結論を示すだけでなく、根拠資料、該当箇所、関連する基準、判断上の留意点を示すことが求められる。特に業務経験の浅い職員にとっては、回答文そのものよりも、「どの資料を確認すべきか」「どの論点に注意すべきか」を知ることが学習上重要である。

このことから、都整Aiは、単なる回答生成ツールではなく、資料検索、根拠確認、論点整理を支援する仕組みとして設計する必要がある。

(3) なぜ不安や懸念が半数程度あったのか

不安や懸念を感じた利用者が約52.2%存在した理由として、行政実務における判断責任の重さが考えられる。都市整備部の業務は、公共インフラ、許認可、設計・積算、施工管理など、住民や事業者に影響を与える判断を含む。そのため、生成Aiの回答をそのまま利用することには、心理的にも実務的にも慎重になりやすい。

この結果は、生成Aiの利用に消極的であることを示すものではなく、むしろ利用者がAiの限界を認識し、責任ある活用の必要性を理解していることを示している。したがって、本格導入に向けては、「Aiの回答は参考情報であり、根拠確認と最終判断は職員が行う」という原則を明文化することが重要である。

(4) RAG型生成Aiによる技術継承の可能性と限界

RAG型生成Aiは、基準書、要綱、手引き、マニュアル等の文書化された知識へのアクセスを支援する点で、技術継承に一定の効果を持つ。業務経験の浅い職員が、必要な情報に効率的にアクセスし、根拠を確認しながら理解を深めることができれば、初期学習の負担軽減や業務品質の底上げにつながる。

一方で、RAG型生成Aiは、ベテラン職員の判断経験そのものを直接継承するものではない。現場条件に応じた判断、例外処理、関係者調整、住民対応などは、文書だけでは十分に伝えきれない場合がある。したがって、ベテラン職員の経験を活用するためには、過去の質疑応答、判断事例、FAQ、研修資料、失敗事例、注意点などを整理し、RAGに登録可能な形式知として蓄積する必要がある。

ある。

この意味で、都整Aiの開発は、Aiシステムの構築であると同時に、都市整備部内の知識を整理し、将来に向けて活用可能な形に再構成する取組でもある。

7. 改善点

分析および考察を踏まえると、本格導入に向けた改善点は以下のとおりである。

第一に、回答の根拠表示を強化する必要がある。具体的には、参照した資料名、該当箇所、関連ページ、根拠リンクを表示し、職員が容易に確認できるようにすることである。

第二に、対象資料の拡充と更新管理が必要である。アンケートでは、資料追加や学習資料の増加を求める意見が複数見られた。RAGの回答品質は登録資料の質と量に左右されるため、資料の選定、更新、廃止、版管理を行う体制が不可欠である。

第三に、操作性の改善が必要である。ログイン負担、画面導線、資料投入、出力形式、Excel出力、複数資料の一括読み込みなど、日常業務で使いやすい環境を整える必要がある。

第四に、Aiリテラシー研修が必要である。職員には、適切な質問文を作成する力、回答の根拠を確認する力、誤回答を見抜く力、機密情報を入力しない判断力が求められる。

第五に、Aiガバナンスの整備が必要である。免責、利用ルール、入力禁止情報、根拠確認、最終判断者の責任、誤回答時の対応フローを明確にする必要がある。

8. 改善点

本稿では、RAGを用いた都市整備部版生成Aiの開発と技術継承支援に関する取組について、トライアル結果およびアンケート結果をもとに分析した。

第一に、都整Aiは、膨大な基準書・要綱・手引き等へのアクセスを支援し、業務経験の浅い職員が根拠を確認しながら学習・判断するための環境として一定の可能性を有する。約90名の有志職員が参加し、約80点の資料を格納し、1,336件の質問が行われたことから、実利用に基づく検証が進められていると評価できる。

第二に、アンケート結果では、全体満足度における肯定的評価が約52.2%、他業務への活用意向が約82.6%であり、利用者が都整Aiの有用性を一定程度認識していることが示された。特に、他業務への活用意向が高いことは、都市整備部の多くの業務が資料参照型の業務構造を

持っているため、RAG型生成Aiが横展開可能な業務支援基盤として期待されていることを示している。

第三に、追加説明や補足を必要とする回答が約87.0%にのぼり、不安や懸念を感じた利用者也約52.2%存在した。このことから、都整Aiの本格導入に向けては、回答精度の向上に加え、出典表示、参照箇所の明示、関連資料の提示、操作性の改善、利用ルールの整備、Aiリテラシー研修が不可欠である。

結論として、RAGを用いた都市整備部版生成Aiは、単なる業務効率化ツールではなく、技術継承と業務支援を支えるDX基盤となり得る。ただし、その実現には、Aiに判断を委ねるのではなく、職員が根拠を確認し、最終判断を行うという原則を明確にしたうえで、継続的に改善する運用体制を構築することが必要である。

道路空間を活用したEV路上カーシェアリング 社会実験における効果検証

辻 優希¹・石田 翔吾²

¹近畿地方整備局 大阪国道事務所 地域調整課 (〒536-0004 大阪府大阪市城東区今福西2丁目12-35)

²近畿地方整備局 滋賀国道事務所 管理第二課 (〒520-0803 滋賀県大津市竜が丘4番5号)

大阪国道事務所では、道路分野におけるカーボンニュートラルの取り組みとして、全国初となる道路空間を活用したEV車両によるカーシェアリング社会実験を実施している。本稿は、社会実験Ⅰ期（2024年10月1日～2025年12月31日）の社会実験内容と効果検証結果について報告するものである。

キーワード 道路空間の有効活用、カーボンニュートラル、カーシェアリング、GX、MX

1. はじめに

(1) 背景

道路は我が国の経済成長を支え安全安心な暮らしを確保する重要な社会基盤であるが、国内CO₂排出量の約18%を占めている¹⁾。2050年カーボンニュートラルの実現に向け、CO₂排出量の削減は重要な政策課題となっており、道路管理者としても脱炭素に関わる役割と責任を積極的に果たしていく必要がある。その中で、自動車による輸送を代替できる部分については、鉄道等の低炭素な公共交通への転換の促進が求められている。また、自動車による移動が必要な場面においても、ガソリン車による利用から、環境に配慮した自動車であるEV車両の利用が注目されている。さらに近年は自動車を個人で保有せず、必要な時に自動車を借りて利用する「カーシェアリング」が広く普及しているところである。

以上の背景を念頭に、環境に配慮しつつ公共交通による移動を補完する役割を担える手段として、EV車両を用いたカーシェアリングの有効性について検証するための実証実験を実施している。また、EV車両を借りる拠点であるカーシェアリングステーションは、公共交通とのアクセス性に注目し、鉄道駅付近の国道の路上に設置した。本稿では「京阪神都市圏での水平展開」を見据えた「道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験」の取り組みについて報告する。

(2) 社会実験の目的

本社会実験は、JR大阪駅など鉄道駅周辺の国道1号及び国道2号の路上にEVカーシェアリングステーション（以降、ステーションはSTとする）を5箇所（①大阪西

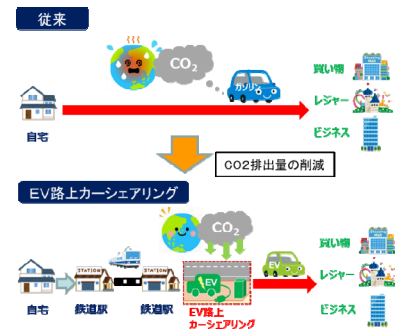


図1 鉄道とEV路上カーシェアリングの組み合わせ



図2 ST位置図

梅田、②福島出入橋西、③福島浄正橋東、④福島浄正橋西、⑤東天満）設置し、鉄道とEVカーシェアリングの組み合わせによるCO₂排出量の削減や、交通利便性の向上、災害時の有効活用等の検証を行うことを目的とする。

(3) 期待する効果

自宅等から目的地（買い物、レジャー、ビジネス）への移動に自家用車（ガソリン車）を利用していた方が、鉄道とEV路上カーシェアリングを組み合わせた移動に転換することでCO₂排出量の削減（GX）が期待できる。また、EV路上カーシェアリングという新たな移動手段

の提供により、利用者が交通手段を選択しやすい環境の構築（MX）により、交通利便性の向上が期待される。

(4) 実験概要

大阪国道事務所は、道路分野におけるカーボンニュートラルの取り組みとして、「道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験」（以下、社会実験）を2024年10月1日より開始した。なお、EV車両を活用した路上カーシェアリングは全国初の取り組みである。

実験概要を図3に示す。社会実験期間について、実験開始当初は2024年10月1日～2025年12月31日までを予定していたが、後述する効果検証項目（表1）のうち、「⑥災害時の活用」に関するサンプルが取得できなかった（大規模な鉄道運休が発生しなかった）ため、2026年3月31日まで延長することとなった。なお、当初の社会実験期間を「社会実験Ⅰ期」、延伸後の社会実験期間を「社会実験Ⅱ期」として定義する。

○実験期間：（Ⅰ期）2024年10月1日～2025年12月31日 （Ⅱ期）2026年1月1日～2027年3月31日
○実験箇所：大阪府大阪市北区梅田・東天満・福島区福島（国道1,2号の道路上5箇所）
○運営車両：日産サクラ（EV車）
○運営方式：ラウンドトリップ方式（車を借りた場所と返す場所が同じ方式）
○運営時間：0:00～24:00（24時間）
○実験主体：道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験協議会
○実験参加者：タイムズモビリティ株式会社
○カーシェアリング利用方法： タイムズモビリティ株式会社が運用する「タイムズカー」にて予約し、利用。

図3 実験概要

2. 社会実験の運営体制

(1) 実験参加者

社会実験の実験参加者は、公募の結果よりタイムズモビリティ株式会社（以下、実験参加者）が選定された。実験参加者はカーシェアリングサービス「タイムズカー」を運営している。実験参加者はEV車両を用意し保守点検及び清掃を行うほか、カーシェアの運営管理（利用者対応業務、利用料金等の徴収等）及び充電設備・チェーンゲートの電気料金の支払いを行っている。

(2) 車両

実験用に日産サクラ（EV車）5台を、5箇所のSTに各1台配備した。サクラは定員4名の軽自動車である。



図4 ST外観

(3) 協議会

「道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験協議会」で社会実験の運営・効果検証を実施²⁾。

なお、大阪国道事務所地域調整課が事務局となり、実験参加者の協力のもと、社会実験の利用実績報告、安全性及び車道の走行円滑性への影響検証（車両の出入りに伴う交通支障）、道路上へのST設置による利用実態の変化と効果検証を実施した。

国土交通省近畿地方整備局道路部・大阪国道事務所、大阪府警察本部、大阪市環境局・計画調整局・建設局、梅田2丁目振興町会、西阪神社橋商店会、福島連合町会、東天満1・2丁目振興町会、実験参加者

図5 協議会構成組織

3. 効果検証内容

(1) 効果検証の実施概要

効果検証として、表1に示す①～⑥の6つの視点で分析を行った。各分析項目に関する調査手法を表1に示す。具体的には、アンケート調査、インタビュー調査、ビデオ調査、ETC2.0調査、実験参加者提供データを組み合わせながら効果検証を行った。

表1 効果検証項目

分析等の視点	手法
①利用者属性・行動特性等の把握	・アンケート調査 ・実験参加者提供データ
②カーボンニュートラル、交通利便性向上の機能（公共交通機関との連携）	・アンケート調査 ・実験参加者提供データ
③道路上へ設置することの有効性	・アンケート調査 ・実験参加者提供データ
④STの安全性・快適性	・アンケート調査 ・インタビュー調査 ・ビデオ調査・ETC2.0調査
⑤STに設置した設備・施設等の妥当性	・アンケート調査
⑥利用者の拡大、路上STの継続性、災害時の活用	・アンケート調査 ・インタビュー調査 ・実験参加者提供データ

(2) 調査方法

a) アンケート調査

EV路上カーシェアリング利用者、沿道利用者等を対象に、3つの手法でアンケート調査を実施した（表2）。

表2 アンケート調査概要

調査方法	調査対象	調査手法	票数 (2025.12.31時点)
現地QRコード	EV路上カーシェアリング利用者 または 沿道利用者	STに設置したQRコードを読み取り	98票
タイムズ会員へのメール配信	EV路上カーシェアリング利用者	1か月に1回メール配信 (利用の翌月に配信)	77票
	タイムズカーシェア会員	3か月に1回、タイムズカーシェア会員メールマガジンで配信	10,223票 ※12月末までに利用した方の回答数
一般の方へのWEBアンケート	京阪神都市圏在住の方	3か月に1回、WEBモニターへメール配信	1,500票 ※1回あたり300票回収、計5回実施

b) インタビュー調査

EV路上カーシェアリング利用者を対象に、インタビュー調査を実施した。

表 3 インタビュー調査概要

調査項目	調査対象	調査時期	調査手法	票数
安全性評価	EV路上カーシェアリング利用者	平常時	EV路上カーシェアリングの返却時にお声掛け	12票 ・1回目調査：4票 (2024.12.13・2024.12.14) ・2回目調査：8票 (2025.3.19・2025.3.22)
災害時利用		災害時 (鉄道運休時等)	災害発生後に利用者にヒアリング予定	・今後実施予定

c) ビデオ調査

ST内にビデオカメラを設置し、以下の3項目について検証した(図6)。

- ST内の車両挙動
- ST入出庫に伴う車道の走行性の変化
- 歩行者動線の阻害有無

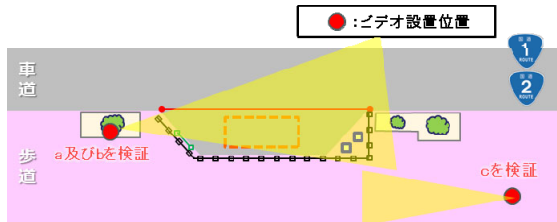


図 6 ビデオ調査（設置イメージ・撮影範囲）

d) ETC2.0調査

ETC2.0プローブデータを活用し、旅行速度、急挙動発生状況からST入出庫に伴う車道の走行性の変化を評価した。なお分析期間は、2024年10月～2025年12月とした。

e) 実験参加者提供データ

実験参加事業者からの提供データ（利用者数、移動履歴、移動距離等）を用いて、利用実態等进行分析した。なお、分析期間は、2024年10月～2025年12月とした。

4. 効果検証結果

(1) 視点①：利用者属性・行動特性等の把握

2024年10月～2025年12月までの利用回数は、合計2,763件であった。1日当たりの利用回数は、概ね1回以上となっており、福島区の3箇所（箇所②③④）の利用が、他の2箇所（箇所①⑤）と比較して多い。複数箇所を巡る利用が、全体の6割以上を占めている。

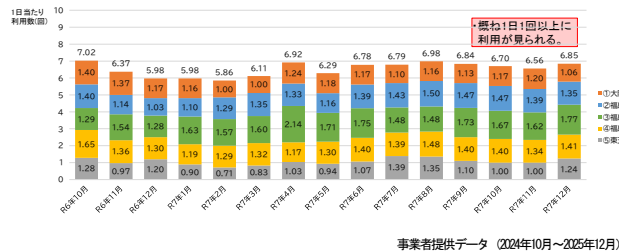


図 7 1日平均利用数（月別推移）

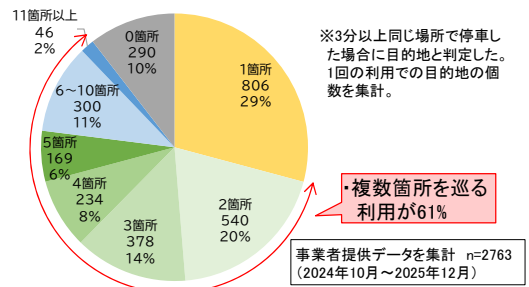


図 8 利用1回での目的地数

(2) 視点②：カーボンニュートラル、交通利便性向上の機能（GXの観点）

EV路上カーシェアリング利用者へのアンケートより、EV路上カーシェアリング利用者の13.2%は、社会実験前の自動車（カーシェアまたは自家用車）利用から、社会実験中にEV路上カーシェアリングと鉄道を組み合わせた移動に転換していることを確認した(図9)。

また、ガソリン車からEV車に転換したことによるCO₂削減量を試算した結果は10.4t/年、自動車から鉄道へ交通手段を変更したことによるCO₂削減量の試算結果は0.13t/年となった。上記を合計して、本社会実験によるCO₂削減量の試算結果は約10.5t/年となった(図10)。このCO₂削減量は、約1.20ha（阪神甲子園球場約2.7個分）の森林が年間に吸収するCO₂に相当する（阪神甲子園球場の総面積を約38,500m²として換算）³⁾。都市部の限られた道路空間を活用した実験であっても、交通手段の転換とEVを組み合わせることで一定の環境効果が期待できることが確認された。

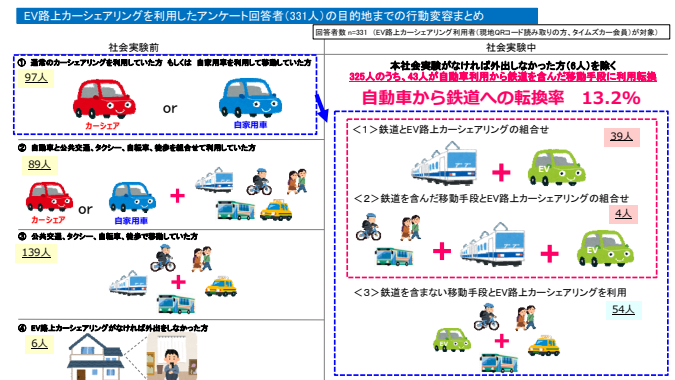


図 9 自動車からの転換率

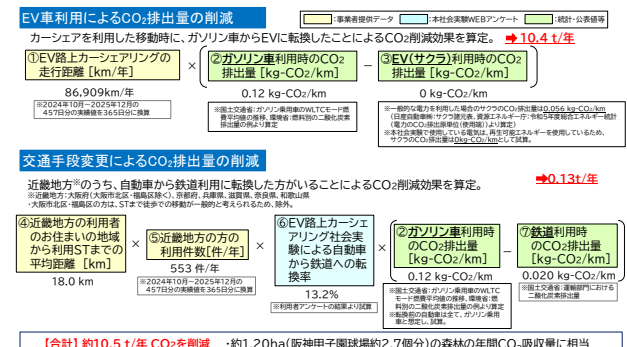


図 10 CO₂削減量の試算

(3) 視点③：道路上へ設置することの有効性

a) 交通手段を選択しやすい環境の構築及び交通利便性向上の強化（MXの観点）

「EV路上カーシェアリングの普及により、交通手段の選択肢が増えたと思うか」との設問では、「新たな選択肢が増えたと思う」との回答が約80%を占めた。また、「路上STが増えたら、公共交通に乗ってからカーシェアリングを利用する可能性が増えると思うか」との設問では、「増えると思う」との回答が約64%を占めた（図11）。EV路上カーシェアリングが、公共交通機関と組み合わせた新たな交通手段として受容されていることが確認された。また「公共交通との乗換は便利だったか」との設問では、「便利だった」との回答が約74%を占めており、公共交通機関との乗換利便性が高く評価されている（図12）。以上より、EV路上カーシェアリングの普及により新たな交通手段が増えることが期待される。

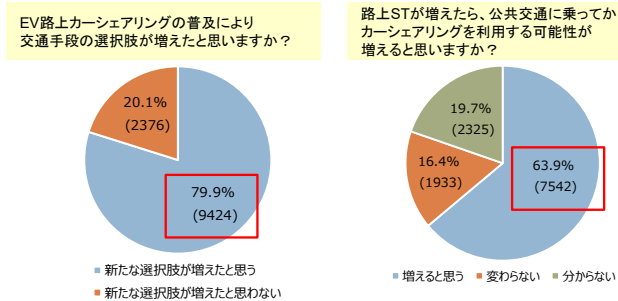


図11 交通手段としての評価

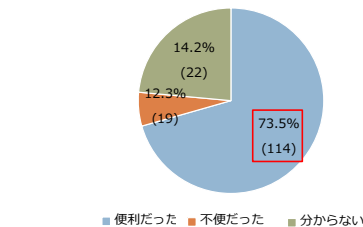


図12 公共交通機関との乗換利便性の評価

b) 鉄道との組み合わせ利用

EV路上STは、鉄道との組み合わせ利用を促進するために、JR大阪駅周辺（箇所①／大阪市北区）、JR福島駅周辺（箇所②、箇所③、箇所④／大阪市福島区）、JR大阪天満宮駅周辺（箇所⑤／大阪市北区）に設置している。

箇所①～④について、EV路上カーシェアリング利用者は、大阪市北区・福島区（EV路上カーシェアリング設置地域）以外に在住する利用者が50～70%を占めており、周辺の路外ST（一般的な駐車場に設置されているST）と比較して高い傾向となっている（図13）。一方、箇所⑤については箇所①～④と異なる傾向が見られ、大阪市北区・福島区以外利用者が約40%と路外STとほぼ同様の割合となっており、遠方からの利用者が少ない傾向となった。

自宅、会社等からSTまでの交通手段については、約50%の方が鉄道を組み合わせた手段を利用しており、そのほとんどが大阪市北区・福島区以外利用であった（図14）。鉄道駅近くに路上STを設置したことにより、鉄道と組み合わせた利用が喚起されていると考えられる。

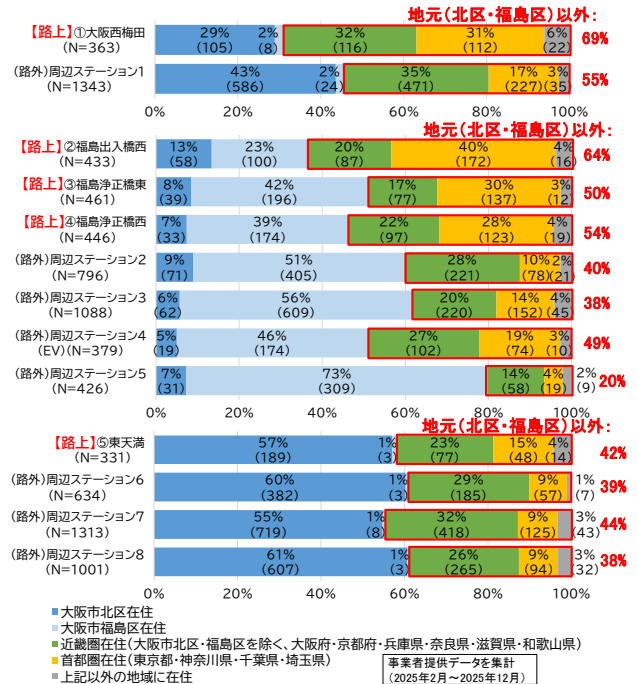


図13 利用者の住所（周辺の路外STとの比較）

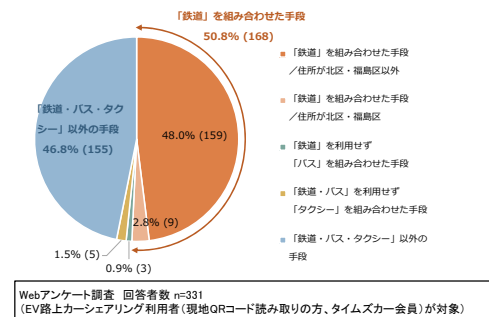


図14 自宅・会社等からSTまでの交通手段

(4) 視点④：STの安全性・快適性

a) ST入出庫時の安全性

利用者へのアンケートでは、ST入庫時にスムーズ・安全に入出庫できたとの回答が約8割を占める。一方、インタビュー調査からは、路上駐車による影響や夜間の入出庫の際の安全確認に課題があるとの意見があった。

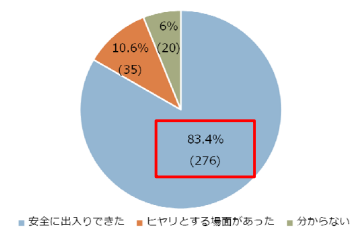


図15 ST入出庫の際、安全に入出庫できたか

【インタビュー調査結果】

・ST入出庫の際は、12名中2名がヒヤリ経験有と回答。
 <ヒヤリ経験内容>

①「路上駐車かいて、入りにくいときがある」

②「夜間だったので特に入庫時は後続車に追突されないか怖かった。入庫時に、後続車や車道を走る自転車が気になり何度もバックミラーを見た」

※第1回調査 n=4 (2024年12月13日~14日)

第2回調査 n=8 (2025年3月19日, 3月22日)

図 16 インタビュー調査結果

ST内の安全性について、東京国道管内で先行して設置された路上ステーションで、中間にチェーンゲート支柱があり接触が発生していたことを踏まえ、本社会実験では長スパンのチェーンゲートを採用した(図 17)。STの中間にチェーンゲート支柱が無いいため、社会実験中にST内での接触事故は発生しておらず、スムーズな入出庫が可能であった。



図 17 STのチェーンゲート設置状況

b) 国道を走行している車両への影響

ST付近に設置したビデオカメラより、STへのカーシェア車両入出庫時にステーション側(第一車線)を走行する車両の挙動を分析した。安全性の観点で、返却時に後続車がブレーキを踏み車線内の右側を走行する挙動が22.4%(撮影期間中に返却があった76件中17件)で発生していることを確認した。これは、STに車両を返却する際、車内のリモコンでチェーンゲートを操作するために路上で停止することが要因と考えられる(図 18)。

渋滞への影響の観点で、昼間12時間の旅行速度平均値をST入出庫がある時間帯・ない時間帯別で集計・比較したところ、全てのSTで速度低下なし(ST入出庫なしと比較して、ST入出庫ありの旅行速度の低下が1km/h以下)との結果となった。この結果より、EV路上カーシェアリングST設置による交通渋滞への影響は特に無いと考えられる(図 19)。

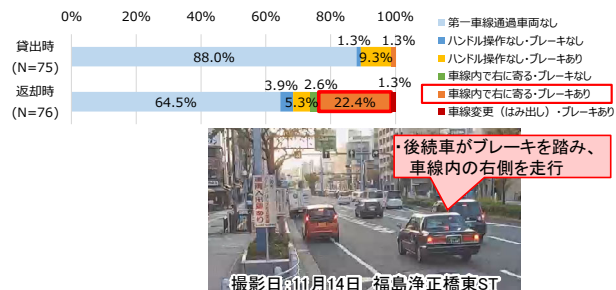
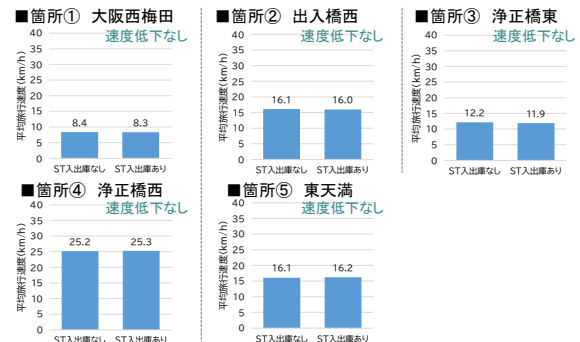


図 18 車道ビデオ調査



※ST入出庫なしと比較して、ST入出庫ありの旅行速度の低下が1km/h以下の箇所を速度低下なしと判断
 出典:ETC2.0プローブデータ(2024年10月~2025年12月平日) ※2025年12月は速報値、それ以外の期間は確定値。

図 19 ST入出庫あり・なしの平均旅行速度の比較

c) 歩行者・自転車への影響

ビデオ調査より、STに設置に伴う歩道幅員の縮小が、歩行者や自転車の通行に及ぼす影響について確認した。具体的には、歩行者・自転車が対向者回避等のために減速・停止した回数をST設置前後で比較した。箇所①②③⑤では減速・停止回数に大きな差は見られなかったが、箇所④にて大幅に増加した(図 20)。箇所④の前のコンビニ出入口に立ち止まる人によって歩道が塞がることがあり、歩行者・自転車の通行阻害が生じていることが確認された。対策として自転車速度の注意喚起路面シールを設置した。

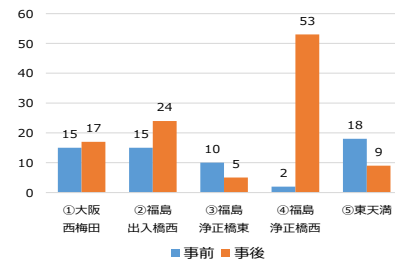


図 20 歩行者・自転車等が対向者回避のために減速・停止した回数(ST設置前後の比較)

(5) 視点⑤: STに設置した設備・施設等の妥当性

使用車両(日産サクラ)の充電口位置を考慮し、充電器を車両後方に設置した。また、充電コードが道路敷地内にはみ出さないようにするため、自動巻き付け機能を有する充電器を採用した。充電器の設置位置やコードの長さについて肯定的な意見が多数となっており、利便性の高いものになっていると考えられる(図 21)。

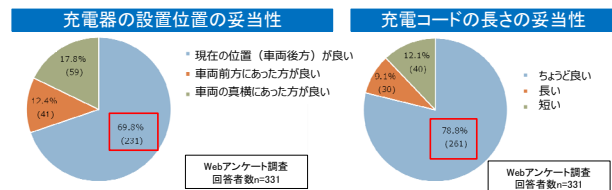


図 21 STに設置した設備・施設等の妥当性

(6) 視点⑥：利用者の拡大，路上STの継続性，災害時の利用

利用者の拡大について，STの認知度は1.5割と低い状況である。周知方法としては，ST付近を通行しない方にはタイムズカーアプリが有効であると考えられる。また，EV車が停まっているのを見て実際に利用したという方も約2割を占めており，人目につきやすい場所に設置していることも利用促進につながっていることが読み取れる（図 22）。

路上ST特有の事象として返却場所間違い（利用者が貸出STと異なるSTに車両を返却する事象）が実験当初に多発した。特に，福島地区では路上STが近接して立地するとともに，STの構造や外観が類似していたことから，利用者が返却先を誤認しやすい状況にあった。ST内及び車内にST名・箇所番号を掲示する対策（図 23）を取ったことで，同様のトラブルが大幅に減少した。

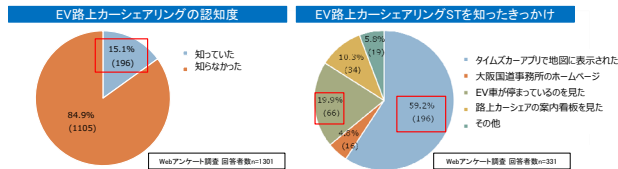


図 22 利用者の拡大



図 23 ST名・箇所番号の掲示

5. まとめと今後の方針

社会実験の目的であった，「鉄道とEV路上カーシェアリングの組み合わせによるCO₂排出の削減（GX）」や「交通手段を選択しやすい環境の構築（MX）及び交通利便性向上」については，一定の効果が確認された。また，EV路上カーシェアリングは，路外STと比較した際に遠方からの利用者が多く，鉄道等の公共交通機関との組み合わせによる利用が多いことから，STを「道路上」かつ「鉄道駅周辺」に設置したことによる一定の効果が確認された。ただし，遠方利用率が低い鉄道駅も存在するため，新たにEV路上カーシェアリングを設置する場合には，遠方利用が多く想定される鉄道駅の周辺に設置する必要がある。

道路空間の再編に伴うEV路上カーシェアリングST設置による道路利用者への影響は軽微であったが，新たにEV路上カーシェアリングを設置する場合には，路肩が狭い箇所にSTを設置する場合は国道を走行している後続車への影響を考慮した対策を行う必要があり，また，コンビニ近くにST設置する場合は歩行者・自転車への影響を考慮した対策を行う必要がある。

また，路外カーシェアリング（ガソリン車）との比較からは，EV路上カーシェアリングの利用件数が少ないという課題が明らかとなった（図 24）。その要因として，EV車両の充電時間確保の影響による予約機会の減少や，EV車両に不慣れな利用者が利用を敬遠している可能性が考えられる。これら利用促進に向けた課題に加え，未検証である災害時の活用についても，社会実験Ⅱ期で実施するアンケート調査を通じて検証を行う（表 4）。

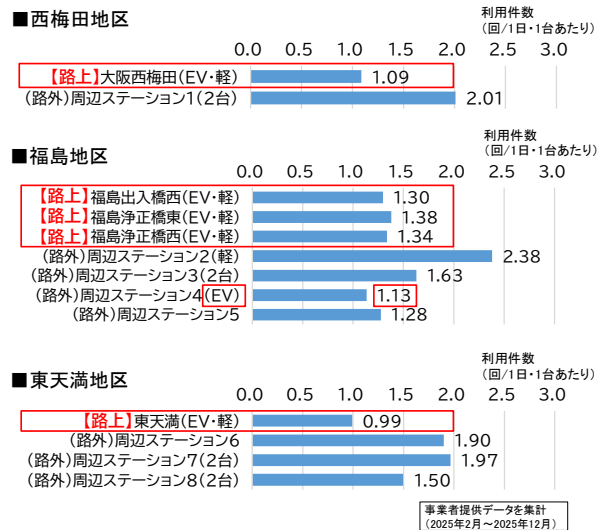


図 24 利用件数（1日1台あたり）

表 4 社会実験Ⅱ期アンケートにおける主な改修内容

改修方針	具体的な内容
① 「利用者がEV車両を選択しない理由」に関する設問の追加	・ EVを選択したくない（ガソリン車を好んで利用する）方が一定数いると仮定し，原因を探るための設問を追加
② 災害時活用に関する設問の追加	・ 社会実験延長の理由である，災害時（鉄道運休等）の利用に関する設問を追加 ・ また，本設問の追加に伴い，回答者属性（カーシェアの利用頻度やテレワークの活用可否等）に関する設問を追加

参考文献

- 国土交通省：道路分野の脱炭素化政策集 Ver1.0
(<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/datutansoka/collv1.pdf>)
- 道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験ホームページ
(<https://www.kkr.mlit.go.jp/osaka/works/jikken/carsharing/>)
- 阪神甲子園球場ホームページ：よくあるご質問
(<https://koshien.hanshin.co.jp/qa/answer01.html>)

効率的な地下埋設物の管理に向けた 検討について

川端 聡一郎¹

¹奈良県 県土マネジメント部 高田土木事務所 計画調整課 (〒635-0065奈良県大和高田市東中2-2-1).

掘削を伴う道路工事を施工する際、設計図書どおりに構造物が埋設されていない事例が多く、試掘により既設の地下埋設物の位置・深さ・大きさ等の調査を都度実施している現状がある。

この現状に対する提案として、モバイルデバイスとMMS計測データを用いた地下埋設物の位置情報を取得する手法を本検討にて実施した。本検討では、提案する手法の手順及び効果検討を従来手法と比較し、その結果を取りまとめたものである。

キーワード ICT技術、コスト縮減、効率化

1. はじめに

近年、ICT技術の進展により、スマートフォン等のモバイルデバイスで3次元データを取得する技術が登場し、土木建設分野においてもこれらの技術を活用する動きがみられる。そこで、本稿では正確な位置情報の把握が必要となる地下埋設物に対して、前述している技術の活用を検討するものである。

2. 背景と課題

掘削を伴う道路工事を施工する際、設計図書どおりに構造物が埋設されていない事例が多く、試掘により既設の地下埋設物の位置・深さ・大きさ等の調査を都度実施している。これらの試掘で得られた地下埋設物の情報を蓄積し台帳等に整備できれば、効率的な地下埋設物の管理に繋がると考えられているが、現地の的確な位置情報把握などに手間がかかるため、データとしての蓄積及び整備が出来ていない現状がある。

このように、道路管理者として占用物件の台帳が整備されていないため、不明管が出てきた場合や、緊急工事の施工時において、その都度、関係機関との立会調整等に時間を要する可能性がある。

本県内でも図-1に示すように、アスファルトカッター使用時に、埋設されていた水道管が露出する等の案件が発生している事例もあり、道路管理者は地下埋設物を含む道路占用物件の適正な管理がこれまで以上に求められている。

また、昨今の物価の高騰等により、事業費が上昇する一方で予算に制限があること、建設業界全体で

働き手の減少に伴う働き方改革が求められていることから、安価で効率的かつ効果的な取り組みが求められている。



図-1 アスファルトカッター使用時に
水道管が露出した際の写真

3. 目的

本検討では、スマートフォン等のモバイルデバイスを活用した地下埋設物の効率的かつ効果的な管理に向けた検討、および今後の課題の整理を行うことを目的とする。

4. 手法

これまでの地下埋設物の維持管理は、図面等によって2次元で管理されていた。しかし、効率化・高度

化を図るためには、まずは地下埋設物を3次元で管理することが求められる。従前の手法であれば、測量業務を工事現場で実施し、時間を要するため、現場作業を中断してしまうこともあり、促進がされなかった。

そこで、従来の測量に比べ精度は劣るが、安価で誰もが手軽に行え、かつ、3次元データを取得できる手法として、一部のスマートフォンに付属しているLiDARセンサに着目した。このLiDARとは、レーザ光を照射して、その反射光の情報をもとに対象物までの距離や形などを測量する技術である。

本検討では、現在、電線共同溝の整備を進めている一般国道168号 香芝王寺道路(起点：香芝市北今市、終点：北葛城郡王寺町畠田4丁目)をフィールドとし、以下の手順で地下埋設管の3次元点群データ(以下、点群データ)を取得した。

手順1) 掘削工事前にカメラやレーザースキャナを搭載した車両で道路を走行し測量するシステム(モバイルマッピングシステム(以下、MMS))を用いた車載写真レーザ測量を実施し、工事箇所の点群データと画像データを取得する。

手順2) 掘削工事時にスマートフォンによる点群データを取得する。点群データの取得は道路掘削後、地下埋設管が敷設され、埋め戻される前の状態で実施する。

なお、本検討ではデータ集約委託業者の立会及び助言の元、LiDARセンサ付きのスマートフォン(本検討ではApple iPhone 15 Pro)を用いて実施した。

手順3) 取得した点群データとMMS点群データとの位置合わせを実施する。

手順4) 両方のデータを確認できるように、既製の管

理システムにセットアップする。

これらの一連の流れを踏まえ、工事業者とデータ集約委託業者の役割分担等、効率的かつ効果的な地下埋設物の維持管理に向けた検討を実施した。

5. 結果

スマートフォン撮影の点群データをMMS点群データに位置合わせしたデータを図-2に示す。地下埋設管工事中のスマートフォンによる点群データ取得にかかった時間は、延長約50.7mの掘削区間でおおよそ5分、データ容量は62.5MBであった。

さらに既設管の点群データも取得できており、既存施設との位置関係を把握することも可能である。これらのデータ取得を測量業務として発注した場合と比較すると、表-1(次頁に掲載)に示すように、精度以外の項目において効果的であることが分かった。

6. 考察

図-2に示したように、MMS点群データと地下埋設物の点群データの両方を取得し、管理システムにデータを重畳させてセットアップすることで、2次元の図面では分かりづらかった地上地物と地下埋設物の3次元的位置関係を、視覚的に分かりやすく把握することができる。

加えて、スマートフォン撮影の点群データは、MMS点群データに位置合わせをすることで、点群データの1点1点に座標値が付与されるため、管理システム上で埋設管の長さや深さ等の計測が可能である。

範囲内の測点について、工事による出来形が $H=0.65\text{m}$ であったが、管理システム上で埋設深さを計測すると、最大で $H=0.67\text{m}$ 、誤差が $+2\text{cm}$ であった。道路施工管理基準における、管路工の埋設深の規格値

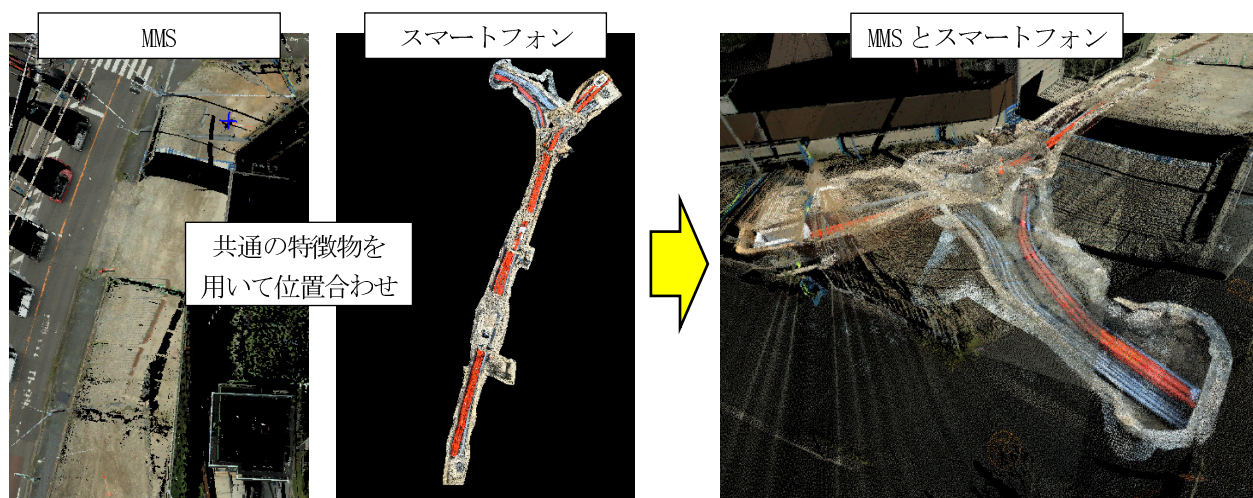


図-2 MMS 点群データとスマートフォン撮影点群データの重畳

は±0～+5cmの範囲内であるため、道路管理上、問題ないことが証明できる結果と言える。

また、図-3に示すように、スマートフォンを利用すれば手軽に点群データを取得することができ、工事箇所周辺の路面標示の白線の角と言った、MMS点群データとの位置合わせに必要な共通の特徴物さえ取得すれば、誰でも簡単に地下埋設物の位置情報を取得することができる。さらに、スマートフォンによる撮影は、取得中の点群データをリアルタイムに画面上で確認できるため、データの取得漏れを防ぐことが可能である。

本検討では、データ集約委託業者による簡単な指導を受けた後、工事業者単独でのデータ取得を実施し、問題なく地下埋設物の点群データを取得できることが確認できた。工事業者へのヒアリングでは、データ取得のための工事中断時間も短く、手軽に点群データを取得できる点が高評価であった。

そこで、点群データを活用した効率的かつ効果的な地下埋設物管理を、以下のとおりまとめた。

まず、地下埋設工事時のモバイルデバイスによる点群データ取得は、工事業者自らが実施し、取得したデータをデータ集約委託業者へ送付する。次に、データ集約委託業者は、道路管理者の指示に従い、当該箇所のMMS点群データを新規で取得、もしくは、道路台帳更新業務等で取得された既存のMMSデータの有無を確認し整理する。

その後、工事業者より受領した地下埋設物の点群データとMMS点群データとの位置合わせを実施し、各データを道路管理者の所有する管理システムへセットアップする。

このように、安価で誰もが手軽に地下埋設物の点

群データを取得できる本手法は、地下埋設物の管理の効率化・高度化、さらに現場の効率化という観点からも効果的と考える



図-3 実際の点群データ取得風景

7. おわりに

今回は新たな効率的な地下埋設物の管理に向けたモデル事業として、スモールスタートで、国道168号香芝王寺道路の地下埋設工事区間を対象に、地下埋設管のデータを取得した。

本検討では、管理システムに取得した点群データをセットアップしたが、さらにその地下埋設管の点群データをGISデータ化・3Dモデル化することで、地下埋設管の種類や敷設日といった情報を、データの属性に付与することができ、工事資料等の紐づけによって、さらなる地下埋設物の高度管理を実現することが可能である。加えて、地下埋設物を3次元管理することで、道路以外の分野、例えば上下水道管の

表-1 測量業務と本手法との効果比較

項目	測量業務※	スマートフォン撮影
費用	82,300 円(1日の工事範囲あたり・測量技師1名・測量補助員1名) 約250,000 円(オートレベル、スタッフ等)	52,700 円(1日の工事範囲あたり・測量技師1名)→18,605 円(軽作業員1名) 約160,000 円(スマートフォン) 約800 円/週(ソフトウェア)
作業時間	30 分	5 分
労力	器械手に測量技術が必要	スマートフォンのため測量技術は不要
精度	mm 単位の計測が可能	cm 単位の計測が可能
取得情報	管の標高、掘削深さ	管の標高、掘削深さ 管の敷設状況、形状、関連施設の位置関係

※水準測量実施の場合

管理等、堆積土砂や植樹帯の情報の蓄積や監視に今後活用できる可能性がある。

また、管理システムをクラウド化することで、事務所だけでなく、工事現場等の出張先でも、タブレット等を用いてデータを確認することが可能である。現場で撮影した写真等は、その場で管理システムにアップロードすることができ、一元的に地下埋設物関連の資料やデータを管理することができる。

一方で、本検討で用いたスマートフォンの場合、点群データが取得できる距離がおおよそ5m以内に限られること、長時間計測を継続すると歪みが蓄積され、誤差が大きくなってしまう傾向があるなど、ハード面の制約が少なからずあるが、外付けのLiDARセンサーを取り付けることで、データ取得範囲が広がり、精度面も向上することが見込まれる。

このように、スマートフォン等のモバイルデバイスを用いて、埋設工事時に点群データを取得・蓄積することで、地下埋設物の効率的かつ効果的な維持管理を実現できることが確認できた。今後、敷設される地下埋設物についても同様に、道路管理者・工事業者・データ集約委託業者の三者が分担・協業することで、地下埋設物の3次元管理を促進し、工事故の削減、適正な維持管理に繋がることに期待したい。

謝辞：本稿作成にあたり、工事業者様、並びにデータ集約委託業者様には、多大な御協力をいただきましたことを、この場を借りて感謝の意を申し上げます。

事業マネジメントのDX化

中村 虎太郎¹

¹和歌山河川国道事務所 計画課 (〒640-8227 和歌山市西汀丁 1 6)

本稿では、道路事業マネジメント手法の改善を目的としてバーチャルツアーとBIM/CIMを融合させたデジタルツイン技術を用いたマネジメント手法について報告する。BIM/CIMによる三次元モデルとVR技術を組み合わせることで、設計・施工段階における可視化の高度化や合意形成の迅速化といった効果が期待される。

キーワード 情報技術, インフラDX, I-Construction, バーチャルツアー

1. 冷水拡幅・有田海南道路事業の概要

冷水拡幅事業は、海南市冷水から藤白までの延長約 1.1km の区間において、令和 7 年 6 月 7 日に開通した現道拡幅事業である。また、有田海南道路は、有田市野から海南市冷水までを結ぶ延長約 9.4km の事業である。さらに、現道である国道 42 号では交通渋滞に加え、沿線の学校周辺では歩行者と車両が混在するなど交通安全上の課題を抱えている。加えて、南海トラフ巨大地震発生時には津波による道路寸断も想定されており、緊急輸送道路としての機能確保が期待されていることから、本事業は地域の安全・安心を支える重要な役割を担っている。



図1 冷水拡幅・有田海南道路事業進捗図

2. 事業マネジメントの流れ

(1) 従来の手法

従来の道路事業マネジメントにおいて、事業の進捗管理や関係者間の協議、課題の共有および対応策の検討は、主に平面図、縦断図、横断図、構造物一般図、二次元の紙資料や課題の整理表、予算関係資料などの膨大な紙資

料をベースに行われてきた。図1に示す事業進捗図は、事業の進捗状況を可視化し、関係機関や地域住民との合意形成を図る際に用いられてきた代表的な説明資料の例である。しかしながら、これらの従来手法には、実務上の運用面およびステークホルダー間のコミュニケーションにおいて、主に3つの顕著な課題が存在した。

第一に、情報伝達および合意形成における非効率性である。二次元の紙図面から、現場の複雑な地形条件や交差物との三次元的な取り扱い、施工ステップごとの動的な現場状況を正確に読み解くには、高度な専門知識と経験則が不可欠であった。そのため、発注者や施工者、関係機関といった技術者間においても、完成形状や施工リスクに対する認識の相違が生じやすく、手戻りや協議の長期化を招く要因となっていた。また、専門知識を持たない地域住民を対象とした事業説明や用地交渉等においても、完成後の景観や周辺環境への影響、工事期間中の生活動線の変化を直感的に理解してもらうことが難しく、事業に対する理解醸成や不安の払拭に多大な時間と労力を要していた。

第二に、合理的な工事発注ロット（発注区間・規模）の立案における困難さである。長大な路線を整備する道路事業では、全体を複数の工事に分割して発注する必要がある。しかし従来の二次元図面では、地形の起伏に伴う土量配分（切土・盛土のバランス）や、工事用道路の確保、隣接する工区境界部での空間的な干渉を面的かつ立体的に把握することが困難であった。そのため、手作業による土量計算や担当者の経験則に基づく推測に頼らざるを得ず、工期やコストを最小化し、かつ施工時の手戻りを防ぐための最適な発注ロットを立案することに極めて高いハードルが存在した。

第三に、膨大な紙資料の管理・更新に伴う業務負荷である。前述の進捗図や工事図面など、膨大な資料に依存したマネジメント体制では、設計変更や現場状況の変化

が生じるたびに多数の図面を手作業で修正・印刷する必要があった。情報のタイムラグが発生しやすく、最新状態の一元的な把握が困難であったことは、プロジェクト全体における迅速かつ的確な意思決定を阻害する一因となっていた。



図2 従来のPM会議の様子

(2) 従来の手法からの新たな手法

前述した従来手法の課題を解決する新たなアプローチとして、現実空間のデータと仮想空間上のBIM/CIM統合モデルを融合させた「バーチャルツアー」を用いた事業マネジメントを導入した。これは、和歌山県が公開している点群データ（現況の三次元地形データ）を基に、計画・設計段階で作成された完成形状のBIM/CIMモデルを重ねさせる手法である（次章で作成手法を説明する）。これにより、関係者はWebブラウザ等を通じて、あたかも実際の現場に立っているかのような視点で事業全体を俯瞰・操作することが可能となる。

この現実空間と仮想空間を統合したマネジメント手法は、従来の課題に対して以下のような改善効果が期待される。

第一に、関係者間の直感的な空間共有と合意形成の円滑化である。専門知識を持たない一般住民であっても、現在の風景（現実空間）に完成後の道路構造物（仮想空間）が合成されたバーチャルツアーを閲覧することで、完成時の景観やスケール感、周辺環境への影響を容易かつ正確に把握することができる。これにより、二次元図面では困難であった「完成イメージの共有」が容易となり、住民説明や用地交渉における理解醸成の迅速化に大きく寄与する。

第二に、施工計画の高度化および合理的な発注ロットの立案である。BIM/CIM統合モデルを活用することで、発注者や設計者は実際の複雑な地形制約のなかで、構造物の取り合いや土量バランス、工事用道路の配置などを三次元的にシミュレーションすることが可能となる。これにより、担当者の経験則に依存していた従来手法から

脱却し、切盛土の最適化や隣接工区との干渉回避、地区ごとの課題・懸案事項の俯瞰的な共有など、データに基づく合理的な工事区間の分割（発注ロットの設定）や施工ステップの策定が実現する。

第三に、場所や時間にとらわれない情報共有とマネジメントの効率化である。バーチャルツアーはWebサーバーを介して提供されるため、膨大な紙資料を持ち歩くことなく、発注者、施工者、関係機関がそれぞれのPCやタブレットから同一の最新モデル（Single Source of Truth：信頼できる唯一の情報源）にアクセスできる。これにより、現場確認のための移動時間の削減や、設計変更時の迅速な情報更新が可能となり、プロジェクト全体の意思決定の迅速化および管理業務の効率化が期待される。

なお、本取り組みは令和7年度から本格運用を開始した段階であり、会議時間の短縮や現地確認回数の削減などの定量的な効果測定については、現時点では十分なデータが蓄積されていない。一方で、工務・用地・管理担当者が同一の三次元空間を共有しながら協議できる環境を構築したことで、完成形状や事業進捗に関する認識の統一が可能となり、実務上の有効性を確認している。今後は、会議時間や現地確認回数等を指標とした定量評価を行い、マネジメント改善効果を検証する予定である。



図3 バーチャルツアーを用いたPM会議の様子

3. バーチャルツアーの概要

(1) バーチャルツアーの作成手順

a) BIM/CIMモデルの作成

事業全体の統合モデルを地形モデル・線形モデル・構造物モデル・統合モデルの順に作成した。全体のBIM/CIMモデルの詳細度として、関係者間における形状把握および情報共有を目的として、モデル詳細度はLOD（Level of Detail）300程度とした。

地形モデルは、和歌山県地理情報システムより公開されている点群データを活用した。該当地区の点群データ

から地形サーフェスに変換し、UAV撮影画像および国土地理院によるオルソ画像をサーフェスに貼り付け、現況地形の再現性を向上させた。

線形モデルは、平面・縦断・横断面図から本線道路および側道、交差道路に関する情報を全て付与したBIM/CIMモデルを作成した。

構造物モデルは、道路土工・橋梁・トンネルを対象に設計図面および工事図面からBIM/CIMモデルを作成した。また、道路照明や標識、電気施設、道の駅などのBIM/CIMモデルも作成することで、現地状況を高い精度で再現した。

統合モデルは、地形モデル・線形モデル・構造物モデルを統合し、後工程である仮想空間の作成に必要な基礎データを構築した。

b) 仮想空間の作成

作成された統合モデルをゲームエンジンへ読み込み、没入感のある三次元仮想空間を構築した。ゲームエンジンを活用することで、BIM/CIMモデル作成ソフトウェアでは困難な高品質な映像表現が可能となる。リアルな水面やライティング、影、反射、天候などを考慮することで、現実世界に近い仮想空間の実現を図った。

c) バーチャルツアー構築プロセス

バーチャルツアーの作成には、専用ソフトである「VRTourMaker」を使用した。現地における360°写真や仮想空間から出力した360°写真を「VRTourMaker」に読み込み、実際の工事状況と完成イメージを瞬時に切り替えることができるよう設定している。また、現地の360°写真は、地上からのGoProカメラによる撮影とUAVによる上空からの撮影の2パターンを地区ごとに実施し、専用ソフトへ読み込んでいる。仮想空間の360°写真は、ゲームエンジン上で任意のカメラ位置を設定し、施工中や未施工の工事箇所の完成イメージを出力している。さらに、従来の紙ベースによる工事進捗図を取り込み、位置図と各地点の360°写真をリンクさせることで、現地の状況を把握していない者でも、容易かつ迅速に情報を共有することができる。

(2) バーチャルツアーの操作要領

a) 現地状況と完成イメージの比較

UAV（ドローン）またはGoProで撮影した現地状況の写真と、仮想空間上の完成イメージをリアルタイムで並べて比較することができる。

b) 視点の切り替え・拡大操作

必要に応じて、以下の操作により任意の視点で確認することができる。

- ・視点の切り替え：ボタン（または操作パネル）により、任意の方向・角度に切り替える。
- ・拡大表示：確認したい箇所をピンチイン・アウト（またはスクロール操作）により拡大・縮小する。

c) 工事進捗図による位置確認

画面左下に表示される工事進捗図には位置情報が付与されている。確認したい箇所を進捗図上でタップ（またはクリック）することで、当該箇所の映像・画像に瞬時に移動することができる。



図4 現実空間（上空）



図5 仮想空間（上空）



図6 現実空間（地上）



図7 仮想空間（地上）

4. 効果と課題

(1) 効果

a) マネジメント業務における活用効果

本バーチャルツアーは、PM会議をはじめとする事業マネジメントの場において活用した。従来は平面図や縦横断図、工事進捗図など複数の資料を用いて情報共有を行っていたが、バーチャルツアーの導入により、工務・用地・管理担当者が同一の三次元空間を共有しながら協議することが可能となった。これにより、地形条件や構造物の取り合い、事業進捗状況を直感的に把握できるようになり、課題箇所や完成イメージに対する認識共有の円滑化が図られた。また、Web環境を通じて最新情報へアクセスできるため、場所や時間に制約されない情報共有ツールとして有効であることが確認された。なお、会議時間の短縮や現地確認回数の削減などの定量的な効果については、今後の継続運用の中で検証を進める予定である。

b) 視覚的な効果

図面では把握しにくい複雑な現場状況や完成イメージを、Webサイト上のバーチャルツアーを通じて直感的に確認できる環境を構築した。実際の現場風景とBIM/CIMモデルが統合されているため、空間的なミスマッチがなくなり、設計意図の正確な伝達や手戻りの防止に寄与するものと考えられる。定性的な効果として、現場経験の浅い技術者であっても、VR空間上で現況と完成形を同時に確認することで、道路全体の構造や施工条件を短時間で把握することが可能となる。このことから、本技術は経験年数にかかわらず、共通認識の形成を支援する有効な手段であると考えられる。

c) トラフィックシェアによる継続的な利用効果

バーチャルツアーは事務所ホームページ上で一般公開され、高い広報・PI効果が定量的に確認された。公開およびプレス発表を実施した3月には878アクセス（事務所全体5,325アクセス）、広報活動を実施していない4月には403アクセス（全体5,956アクセス）、5月には271アクセス（全体5,651アクセス）、6月には293アクセス（全体6,879アクセス）を獲得した。注目すべき点として、公開からの4か月間における事務所全体トラフィックに対する本バーチャルツアー単体のアクセス占有率（シェア）が、平均して約8%（1,845アクセス/23,811アクセス）に達していることが挙げられる。通常、和歌山河川国道事務所のHPは入札情報や道路規制、防災情報など多岐にわたる必須情報が集約されるため、一つの事業ページへのアクセスは相対的に埋没しやすい。その中で、対象者が沿線住民等に限定される単一事業コンテンツが約8%の平均シェアを獲得している。また、広報活動を実施していない期間においても一定のアクセス数を維持していることから、本コンテンツは公開時の一過性の注目にとどまらず、継続的な閲覧需要を有していることが確認された。さらに、SNS（約8,000フォロワー）からの継続的な流入効果も相まって、住民や関係者の関心維持および事業理解の促進に寄与しているものと考えられる。

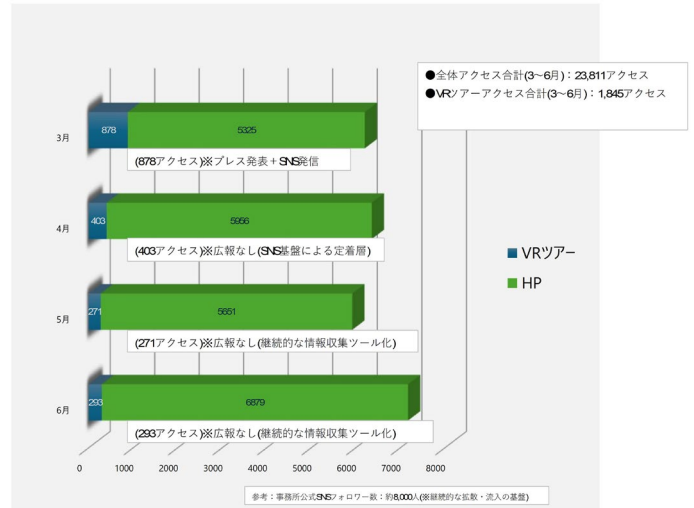


図8 バーチャルツアーと事務所HP全体のアクセス比較

(2) 課題

a) 労力の課題

仮想空間の作成・維持および現場状況の月次更新のため、ドローンを用いた定期的な現地調査と写真撮影が必要となる。そのため、継続的な時間と労力を要する。今後は、撮影手順やデータ更新方法の標準化に加え、クラウドサービスや自動同期機能を活用することで、更新作業の効率化を図る必要があると考える。

b) コストの課題

専用ソフトウェアのライセンス費用が高額であることに加え、高性能PCなどのハードウェア投資も必要である。

c) データ容量の課題

バーチャルツアーをWebサイトに掲載する際、データ容量が増大するため、掲載可能な写真等のデータ量が制限される場合がある。今後は通信環境や端末性能に左右されず、多くの利用者が快適に利用できるシステムへの発展が望まれる。

5. 今後の展望

本バーチャルツアーは、事業マネジメントへの活用にとどまらず、専門知識を持たない一般市民にも理解しやすいという特性を活かし、住民説明会において道路の完成イメージを視覚的に伝えることで、地域住民との合意形成を円滑に進めることが期待される。また、このような情報基盤は、平常時の事業マネジメントだけでなく、南海トラフ巨大地震や津波、豪雨災害などの大規模災害時にも情報共有の迅速化などに寄与する可能性がある。具体的には、被災状況や道路構造、緊急輸送ルートなどの情報を迅速に共有することで、応急復旧計画や緊急輸送道路の確保を支援し、より迅速な災害対応につながることを期待される。また、関係機関（県・市町）などと

連携し、観光地などのスポット情報を加えることで、道路の整備効果（必要性）や県市町の活性化など地域発展に寄与できる情報提供ツールの発展も期待される。今後は、こうした多様な活用場面を見据えながら、前述の課題解決に向けた取り組みを継続していく必要がある。

く感謝申し上げます。

参考文献

国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン（案）令和6年3月

6. まとめ

国土交通省では、全事業におけるBIM/CIMの原則適用が進み、三次元データの構築が標準化されつつある現在、作成されたデータを単なる設計・施工の確認ツールにとどめず、いかに事業プロセス全体で有効活用していくかが重要なテーマとなっている。本稿では、その実践例として、国道42号冷水拡幅・有田海南道路事業における、現実空間（360°パノラマ写真等）と仮想空間（BIM/CIM統合モデル）を融合させた「バーチャルツアー」を活用した事業マネジメントの取り組みについて報告した。

本技術をWeb上で公開・運用することにより、従来の二次元資料では困難であった関係者間の直感的な空間把握が容易となり、受発注者間の協議時の情報共有の円滑化や合理的な発注計画の立案を支援するなど、「内部マネジメントの高度化」に寄与する可能性が示された。

また同時に、専門知識を持たない一般市民に対しても、事業効果や完成後の景観を分かりやすく伝える「広報・コミュニケーションツール」として有効に機能することが期待できる。

一方で、本手法をマネジメントツールとして本格的に運用・定着させていく上では、実務的な課題も浮き彫りとなった。第一に、工事の進捗状況を正確に反映させるための定期的な現地撮影やデータ更新に伴う人的・時間的な負荷である。第二に、モデルの構築・編集に要求される専用ソフトウェアや高性能PCに係るコスト、さらにはWebサイトへ掲載・公開する際のデータ容量の肥大化や閲覧環境への配慮といったインフラ面の制約が存在している。

今後、本手法をより多くの事務所やプロジェクトにおける標準的なマネジメントツールとして普及・展開させるためには、クラウド技術の活用や簡易な更新フローの構築など、これらの課題解決に向けた継続的な取り組みが不可欠である。BIM/CIM原則適用により各事業において三次元データの整備が前提となる中、本手法の課題が解消されれば、初期投資を抑えつつデータを横展開することが容易になる。これにより、対面での住民説明会における対話型ツールとしての活用など幅広い展開が実現し、道路事業全体のさらなる生産性向上と円滑な社会的合意形成に大きく寄与するものと期待される。

謝辞

本稿の執筆および本取り組みの実施にあたり、多大なご指導・ご助言を賜り、貴重なデータや参考資料をご提供いただきました関係者の皆様に、この場を借りて深

ICTとモバイルコンストラクションクレーンを 使用した橋梁上部工事の生産性向上

小野 稔和¹・米原 大吾²

¹前田建設工業(株)関西支店 出庭高架橋作業所長 (〒541-8529大阪市中央区久太郎町2-5-30)

²前田建設工業(株)関西支店 土木部 ユニットディレクター (〒541-8529大阪市中央区久太郎町2-5-30)

野洲栗東バイパス出庭高架橋(A1～P2)PC上部工事は、国道8号の野洲市から栗東市間の交通混雑の緩和、交通安全の確保等を目的として整備が進められている延長約4.7kmのバイパス事業のうち、出庭(でば)地区にPC2径間連続箱桁橋(L=95.7m)を構築する工事である。

本稿は、生産性向上を目的としてICT構造物工(橋梁上部)とBIM/CIMを活用し、土木工事では稀有なモバイルコンストラクションクレーン(以下、モコクレーン)を使用したPC上部工事の施工実績について、その内容を詳細に報告するものである。

キーワード ICT構造物工(橋梁上部)、BIM/CIM、モバイルコンストラクションクレーン

1. 工事概要

本工事は野洲川の西側(左岸側)で野洲栗東バイパスのほぼ中央付近に位置し、滋賀県守山市と栗東市に跨る。市境には普通河川吉身川が流れ、起点側(A1側)が守山市、終点側(P2側)が栗東市である(図-1、図-3)。

施工ステップは、終点側の第1施工区間を先に施工し、続いて起点側の第2施工区間を施工する(図-2)。

本橋はICランプ部にあたるため、道路幅員が広く、連続的に変化(W=25m～33m)することが特徴である。また、本橋の西側離隔約30mには東海道新幹線が並走している。

そのため、施工計画を立案するにあたり、品質確保と安全性、及び施工性(生産性向上)に焦点を置き、ICTの活用と利用頻度が高いクレーンについて入念に検討した。

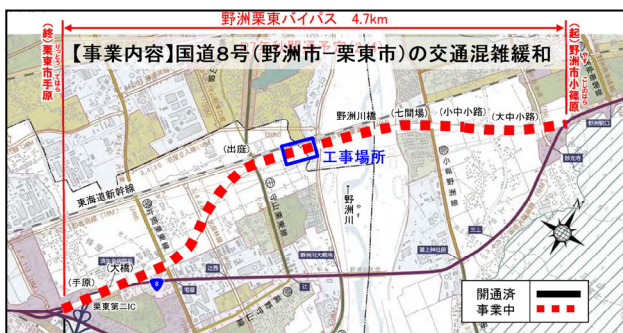


図-1 野洲栗東バイパス事業内容と工事場所位置図

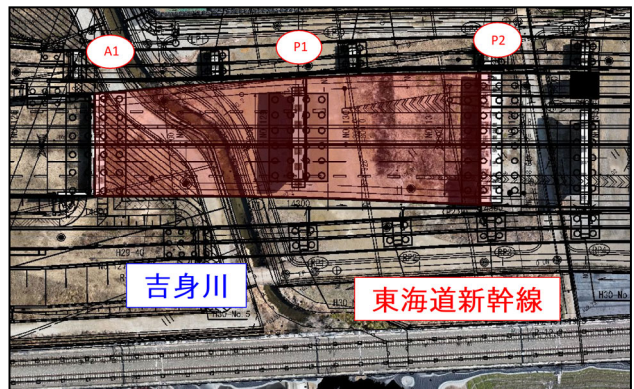


図-3 平面図

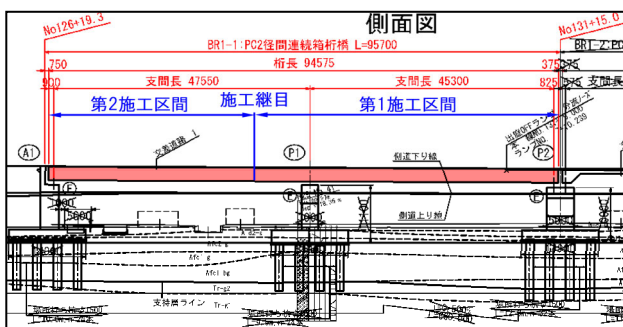


図-2 側面図

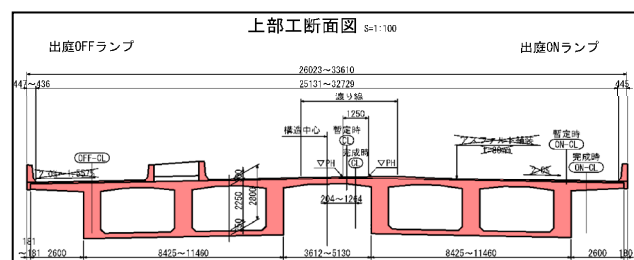


図-4 断面図

2. ICT構造物工(橋梁上部)

施工計画に先立ち、現地状況把握と設計図書の照査を目的にICT構造物工(橋梁上部)の適用を提案・協議した。具体的には、既設下部工の出来形や架設支保工の地盤高、及び吉身川の現況等を3次元起工測量で確認した。また、貸与された2Dの平面図、縦断図、横断図等の設計図書をもとに3次元設計データを作成し、設計照査を行った。

(1) 3次元起工測量

3次元起工測量は地上型レーザースキャナーを用いた起工測量(以下、TLS測量)と空中写真測量(無人航空機)を用いた起工測量(以下、UAV測量)を併用した。

施工前で足場等が無いため、地上は主にTLS測量で、下部工天端や高低差のある周辺構造物等はUAV測量で、点群データを取得・補填し、現況3Dモデルを作成した。

a) TLS測量

TLS測量には、FARO社製 Focus Premium LaserScannerを使用した。当該器械(写真-1)の計測範囲は鉛直角 300° 、水平角 360° 、計測時間は15分/器械点かつGPS受信機の搭載と広範囲(最大330m)で高精度なスキャニングにより、計測及び後処理にかかる労力を削減した。

各スキャンデータの合成には基準点(X, Y, Z)が必要となるため、基準球(写真-2)を設置して観測を行った。(基準球はどの方向から計測しても中心が同じとなり、各器械点の計測結果を容易かつ高精度に合成できる。)

点群データ編集には、以下のソフトウェアを使用した。

【TREND-POINT(福井コンピュータ株式会社)】

b) UAV測量

UAV測量には、DJI社製 MATRICE 300 RTKを使用した。

運用にあたり、航空法に則り適正に運用するとともに、作業場所の飛行カテゴリーに応じた許可承認申請を行い、飛行高度の確認等を現地確認した後に飛行計画を行った。なお、飛行計画は「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」に準じた(図-5)。

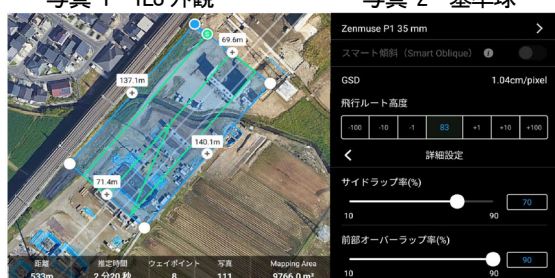


図-5 UAV 測量の飛行計画

(2) 3次元設計データ作成

3次元設計データ作成の趣旨は3次元起工測量の結果を用い、3次元出来形管理対象箇所の3次元座標の入力を行い、工事目的物となる躯体を3D化することである。これにより、平面図、縦断図、横断図等と線形計算書等の不整合、あるいは現地状況との不整合が顕在化する。

当該3Dデータを活用することで、設計照査において、視覚的な理解が深まり、受発注者双方の意思疎通が迅速かつ円滑に進められた。

そして今回3次元設計データを作成した最大の目的は、次章で詳述するBIM/CIM適用とともに、施工計画の詳細策定にあった。コンセプトは「誰もが分かる施工計画」。

管理する元請や実際に施工する専門業者はもとより、例えば学生にでも理解できる説明をしたいと考えた時、視覚に訴えかける3次元の図面は必要不可欠だった。

データ作成には、以下のソフトウェアを使用した。

【TREND-CORE(福井コンピュータ株式会社)】

また、作成した大容量の3次元モデルを(統合して)、施工検討や設計データ検証等の分析に活用するために、以下のソフトウェアを使用した。

【Navisworks(Autodesk)】

図-6、図-7に作成した躯体3Dモデルを示す。

余談だが、UAV測量のオルソ画像は、工事進捗管理やクレーン等の作業計画にも利用している(図-8)。



図-6 躯体3Dモデル(起点から終点を臨む)



図-7 躯体3Dモデル(終点から起点を臨む)

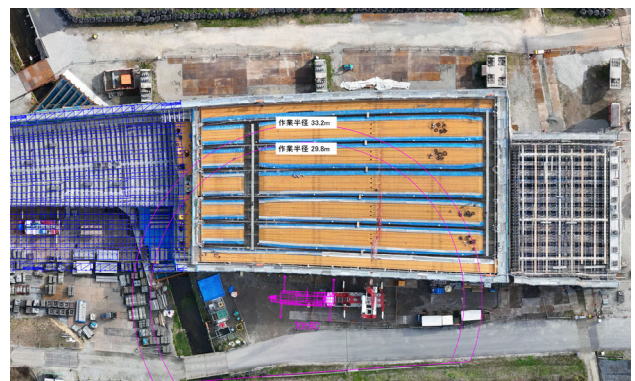


図-8 クレーン作業計画

3. BIM/CIM

本工事はBIM/CIM適用工事(発注者指定型)ではあるが、以下の活用内容を目的に、その適用を提案・協議した。

- (1)重ね合わせによる確認
- (2)現場条件の確認
- (3)施工ステップの確認

(1) 重ね合わせによる確認

前述の通り、本橋は道路幅員が連続的に変化するため、断面図(断面変化点)に表れていない区間において、鉄筋、PCケーブル、支承アンカーボルト等が干渉する恐れがある。3D図面で重ね合わせによる確認を行った結果、実に50%以上の鉄筋の干渉が判明した(図-9、図-10)。

なお、本件は設計照査及び設計変更協議を発議したが、設計照査の回答で、鉄筋の現地合わせでの曲げ直し及び配筋をずらして組み直す手間は「承諾の対象」となった。ただ、事前に干渉する鉄筋が分かっていたため、配筋後に例えば、PCケーブル(のシース管)を設置する際に、該当する鉄筋を一時的に外しやすくする対策ができた。(手順として、まず設計図通り鉄筋を組み、シース管を所定の位置に配置しながら干渉する鉄筋を一度外して、干渉しないよう曲げて組み直すというものである。)

(2) 現場条件の確認

本工事着手前にTLS測量とUAV測量を行い、現場条件の確認を行った。当該測量結果にBIM/CIMで作成した3Dモデルを反映させたところ、以下の不整合が判明した。ここでは、当該不整合とその対策について記載する。

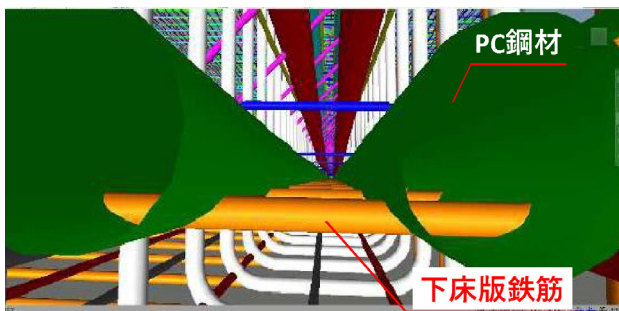


図-9 下床版上面鉄筋とPC鋼材の干渉

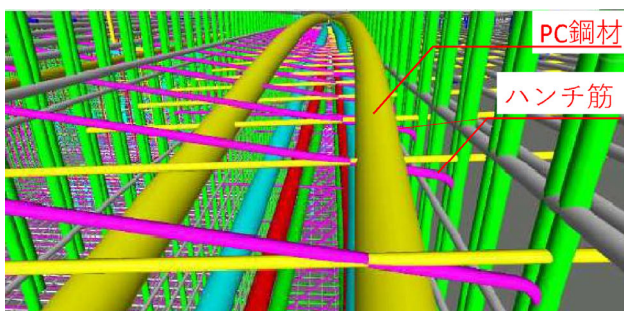


図-10 ハンチ鉄筋とPC鋼材の干渉

a) 支承アンカーボルトと躯体の干渉

下部工の支承箱抜き精度が悪く、設計通り支承を製作すると、支承のアンカーボルトが箱抜き内に収まらないことが判明した(図-11、図-12)。

設計照査にて、支承製作時にアンカーボルトの位置をずらすことで対応した(A1橋台：4か所、P2橋脚：6か所)。

b) 吉身川の形状変更

当該箱桁橋の支承形式は架設支承工により、施工中の荷重を地面から支える設計である。第2施工区間の下方には吉身川が流れており、当該河川を跨ぐようにH鋼材を用いた構台とその基礎コンクリートが計画されていた。

ところが吉身川は三面水路に改修されており、設計時とは川幅及び水深が変わっていたため、計画通りの構台寸法では河川の建築限界を侵すことが判明した。

そこで設計照査にて、建築限界を満たすよう構台寸法の変更を提案し、設計変更として協議した。

(3) 施工ステップの確認

上記(2)同様、測量結果から施工ステップを確認し、施工計画に反映させた項目を以下に示す。

a) 道路管理者や河川管理者との占用協議

箱桁橋の施工上、市道の迂回や道路占用、及び河川の法定外公物占用・工作物設置許可が必要となるため、設計図面を確認した。ところが、図面は設計当初のものであり、現況の道路形状や河川形状が反映されていないため、現地測量結果のオルソ画像を貼り合わせて、当該管理者に説明した。これにより、認識の齟齬が発生せず、迅速な合意形成を得ることができた。

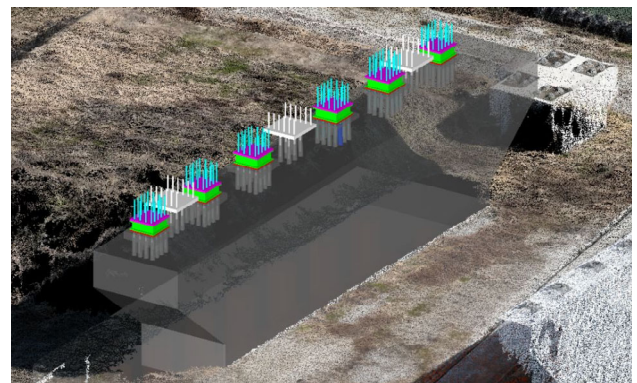


図-11 支承・落橋防止装置と箱抜き出来形の重ね合わせ

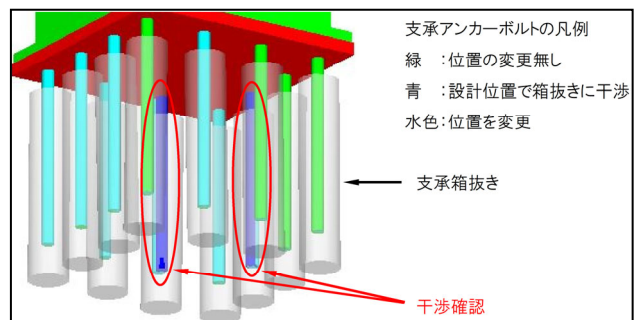


図-12 支承アンカーボルトと箱抜き(躯体)の干渉確認

b) JR東海との東海道新幹線の近接協議

前述の通り、本橋の西側離隔約30mに東海道新幹線が並走しているため、特にクレーン作業については事前にJR東海と近接協議を行う必要があった。

その際に、設計図面とオルソ画像を貼り合わせ実際の東海道新幹線までの離隔の確認や、機種毎のクレーンの詳細な施工計画立案に活用した(図-13, 図-14)。特に、次章で詳述するモコクレーンは、作業半径の大きさから旋回制限を設ける範囲(角度)を算出してコンピューター制御するため及び、作業者への周知のために活用できた。

c) 関西電力(株)との高圧線近接協議

A1橋台起点側に関西電力(株)の高圧線が架空しており、特にラフテレーンクレーン(以下、RC)を使用する作業は事前に関西電力(株)と近接協議を行う必要があった。

b)と同様に設計図面とオルソ画像を貼り合わせ実際の高圧線の位置を確認した。協議にあたり関西電力(株)の現地立会のもと施工基面から高圧線までの高さ(34m)や必要離隔(4m)の位置を図面と現地に反映し相互に理解を深めた(図-15)。また、作業者への周知にも活用できた。

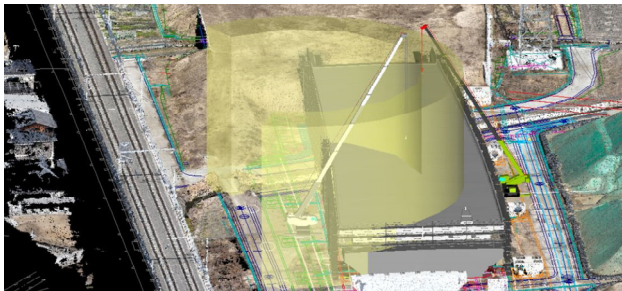


図-13 東海道新幹線と70tRCの旋回制限

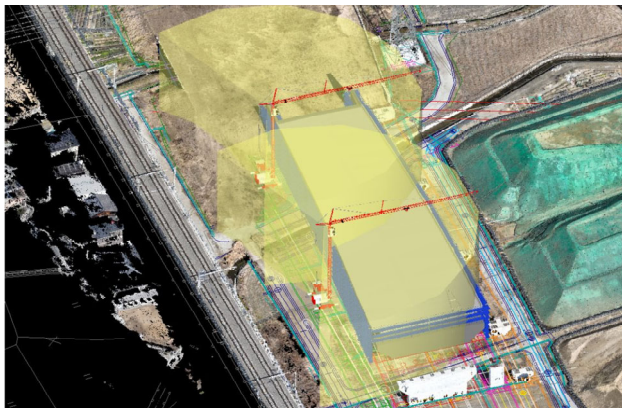


図-14 東海道新幹線とモコクレーンの旋回制限

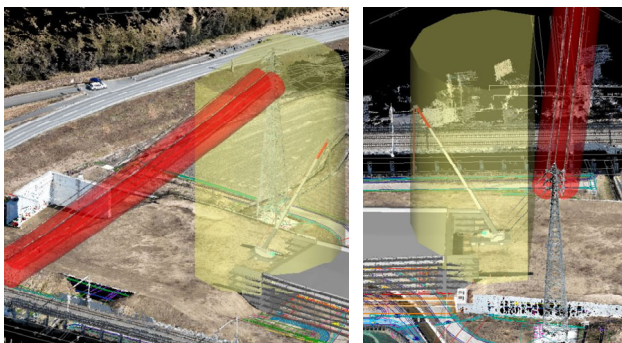


図-15 高圧線(離隔4m)と60tRCの旋回制限

d) 労働基準監督署との建設工事計画届に関する協議

労働安全衛生法第88条第3項には、以下の対象工事を開始する際、14日前までに建設工事計画届を提出する旨の記載がある。

『最大支間30m以上50m未満の橋梁の上部構造の建設、改造、解体又は破壊(人口集中地域で道路・軌道上又は隣接した場所に限る)』

当現場が本記載の『道路に隣接した場所』かどうかを2D図面を持参して説明しても判断できなかったため、労働基準監督署の安全専門官に3Dの施工図で説明し、理解された上で必要と結論づけることができた(図-16)。

(4) 3Dモデル作成

3Dモデルは以下のモデルを各々作成して統合させた。

- a) 線形モデル・構造物モデル
- b) 鉄筋モデル
- c) PCケーブルモデル
- d) 支承・落橋防止装置モデル

統合した最終的な3Dモデルを図-17, 図-18に示す。

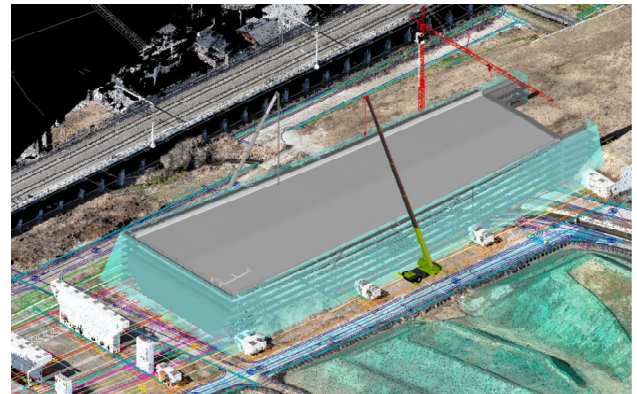


図-16 周辺道路と足場から俯角75°の範囲図

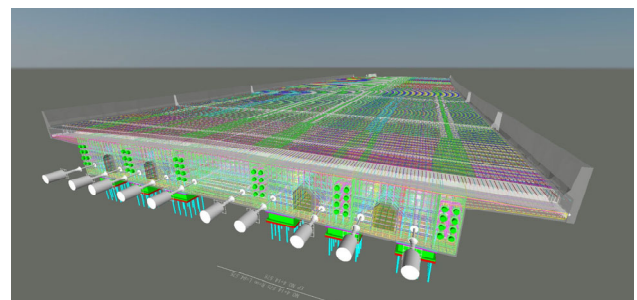


図-17 統合モデル(起点から終点を臨む)

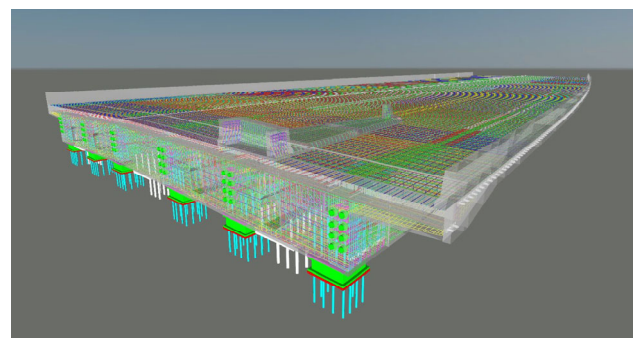


図-18 統合モデル(終点から起点を臨む)

4. モバイルコンストラクションクレーン

本工事におけるPC箱桁橋の施工区分を図-19に示す。前述の通り、本橋は道路幅員が広いため、当初計画では箱桁橋両側に70tRCと25tRCの配置を計画していた(図-20)。しかし、隣工区(P2-P4)PC上部工事の施工時期が重複するため、資機材置場を確保する必要があった。

そこで、1台のクレーンで施工が出来ないか検討した。候補には、①25tRCと同等のアウトリガー張り出し幅でベースマシンが100t級、移動式のモコクレーン、それと②70tクロークレーン(以下、CC)が挙げた。これに、③70tRCと25tRCの併用案を含めた3案について、施工性、安全性、経済性の観点で総合的に判断し①案を採用した。

モコクレーンのクレーン計画図を図-21に示す。

(1) 施工性について

モコクレーンは最大作業半径45mで吊上荷重が2.0tであり、幅員が広く延長が長い第1施工区間においても、片側から全作業範囲を網羅できる。さらに反対側の資材も揚重可能であり、狭いヤードを効率的に利用できた。

本工事で2025年9月から2026年3月まで稼働し、鉄筋工、型枠工、PC工、コンクリート工の重複作業において、その機能性の高さを大いに発揮した。

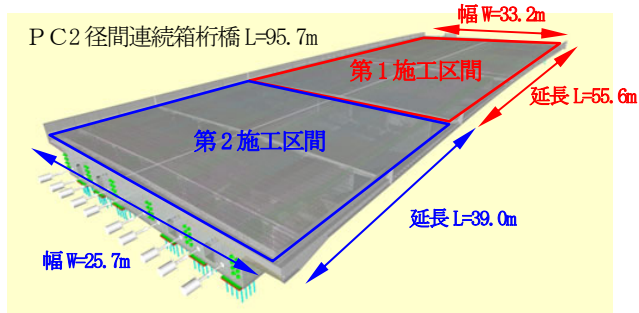


図-19 施工区分図(3D統合モデル)

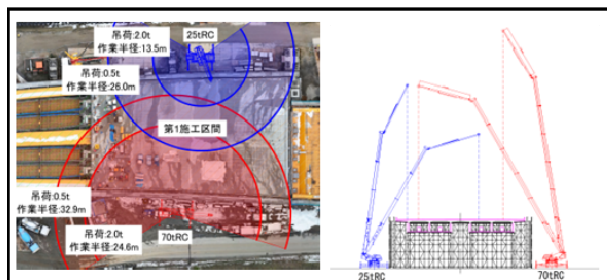


図-20 クレーン計画図(70tRCと25tRCの併用)

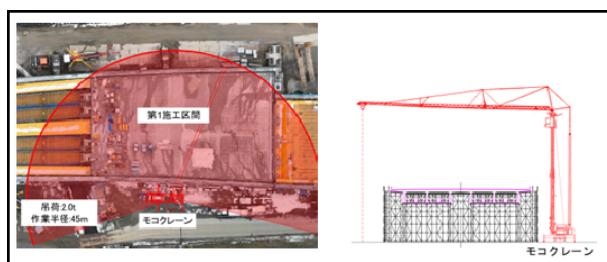


図-21 クレーン計画図(モコクレーン)

タワークレーンを展開し作業姿勢に入るまでの組立作業はコントローラーのレバー操作1つ、11分間で完了する。昇降式運転席に着座した運転手は足場の上方まで昇り、スラブ上の作業を目視確認して旋回とトロリーと呼ばれる横行装置の移動、及びフックの上げ下げのみで揚重作業を行うことができる。当該作業は通常の移動式クレーンに多い油圧を駆動源とするのではなく、静粛性の高い電気駆動式であり、スムーズかつスピーディーな動きが特徴的である。

後述する電磁波障害によってメンテナンスと対策を施した際に、当初計画である70tRCと25tRCの2台体制で施工した。表-1に各クレーンの準備・片付けの所要時間と稼働日に占める割合の比較を示し、表-2に当該期間に施工していた鉄筋工の施工歩掛りの比較を示す。表-3は地上から橋面への荷上げに要する平均所要時間を工種毎に比較した結果を示す。

ここで、長尺物の荷上げにおいてはモコクレーンより25tRCの方が早い結果だが、それ以外の材料の荷上げはモコクレーンの方が早い結果となった。これは、単純にモコクレーンの方が作業半径が大きいこと、長尺物ほど安全のため大きく旋回させるため、荷振れ抑制の目的で旋回速度を抑えていることが要因と考えられる。

しかしながら、25tRCは吊荷重と作業半径の関係からクレーンの据替が必要であり、70tRCはジブの準備等に相当の時間を要するため、モコクレーンが有用といえる。

表-1 各クレーンの準備・片付け所要時間

使用クレーン	所要時間(分)	稼働日(147日)に占める時間(日)	延稼働日に占める割合
モコクレーン	$11 \times 2 = 22$	$22/60 \times 147/7 \approx 7.7$	$7.7/147 \approx 5\%$
70tRC(ジブ有)	$40 \times 2 = 80$	$80/60 \times 147/2/7 \approx 14$	$(14+3.5+8.8+3.5)/(147 \times 2) \approx 10\%$
70tRC(ジブ無)	$10 \times 2 = 20$	$20/60 \times 147/2/7 \approx 3.5$	
25tRC(ジブ有)	$25 \times 2 = 50$	$50/60 \times 147/2/7 \approx 8.8$	
25tRC(ジブ無)	$10 \times 2 = 20$	$20/60 \times 147/2/7 \approx 3.5$	

表-2 施工歩掛比較

鉄筋組立	※各4日間集計		施工数量
	作業人員	施工数量	
	(人)	(t)	(t/人・日)
モコクレーン	29	22.7	0.78
70tRC+25tRC	40	22.2	0.56

表-3 地上から橋面への荷上げに要する平均時間の比較

吊荷	クレーン	荷姿	吊荷重	所要時間
型枠材	モコクレーン	バラ	500kg	3分
	25tRC	〃	〃	5分
鉄筋材	モコクレーン	長尺物(最大12m)	1,800kg	4分
	25tRC	〃	〃	3分
PCケーブル(横締め用)	モコクレーン	長尺物(最大34m)	140kg	5分
	25tRC	〃	〃	4分
PCケーブル(内ケーブル)	モコクレーン	ロール状	1,500kg	3分
	25tRC	〃	〃	4分

(2) 電磁波障害について

2025 年 9 月 1 日の稼働から 4 日後、何らかの原因で不具合(故障、電流漏れ等)が発生し、CAN エラーによる制御装置機能停止状態に陥った。安全装置の作動により誤作動を引き起こすことは無いが、作業姿勢のまま停止状態となり、ブームの折りたたみも出来ない状態だった。メーカー(リープヘル・ジャパン(株))による調査の結果、モコクレーンの離隔 25m の位置を走行する東海道新幹線の電磁誘導により、ケーブルやセンサー電気回路に影響を及ぼしたと推定された。

対策として、ケーブルのアースラインを強化(2系統でアースを接地)し、ケーブルを導電性の金属フィルムで覆って電磁波を遮断する処置を行った。処置後、稼働を再開したが当該不具合は発生しなくなった(写真-4, 5)。

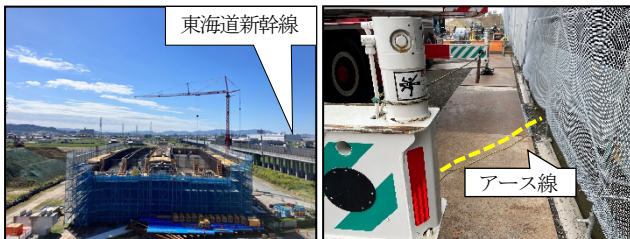


写真-3 モコクレーン稼働状況

写真-4 アース接地状況



写真-5 ケーブルへの電磁波遮断対策

(3) 安全性について

モコクレーンの採用により以下の安全性が向上した。

- ①運転席を昇降させることで施工箇所を目視確認できるため、吊荷との接触や挟まれ災害の防止に寄与できた。
- ②上部旋回体を分解することなく公道を走行できるため、クレーン組立解体時の災害リスクが発生しない。
- ③タワーやジブの展開に使用されるワイヤーロープは、素線切れがストランドの外側に現れるより方を採用しており、日常点検で不具合等を見落とすリスクが少ない。
- ④タワーやジブの展開収納はコンピュータプログラムによって自動制御されているため、運転手は地上障害物の有無等の安全確認に専念することができる。
- ⑤ジブがオフセット角度にある時、水平維持機能を使用して吊荷の高さを変えずに作業半径を変化させることができるため、ジブの起伏と吊荷の上げ下げを同時に行う必要が無い。つまり、ジブの起伏角度を変えずに水平と同じく吊荷を水平に保った状態で移動することができる(図-22, 図-23)。

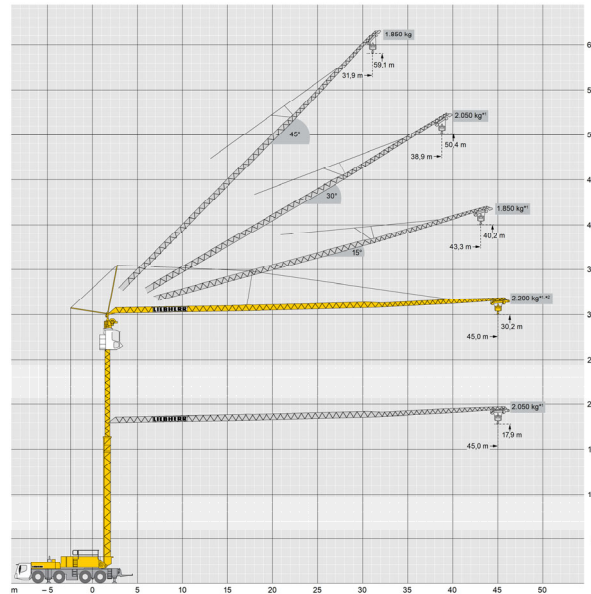


図-22 モコクレーンの揚程図



図-23 水平維持機能の説明図

(4) 環境への配慮

本工事では、モコクレーン専用の電気系統を増設し、本機に搭載された発電機だけでなく、商用電力 400V を使用してクレーンを稼働させた。従来通り、発電機にてモコクレーンを稼働した場合、1 か月で約 400L の軽油を必要としていた。一方、商用電力により稼働した場合、燃料は不要で、1 か月の消費電力は約 420kWh であった。商用電力を用いて稼働することで静粛性がさらに向上し、排ガスを発生させず環境に配慮した施工が可能となった。

5. 結論

ICTで施工前に工事の問題点を洗い出し、事前に対策を講じることで、手戻り手直しを無くすことができた。

周辺環境を含めたクレーン等の仮設計画を詳細に立て、関係機関と事前に調整を行うことができたため、大幅な計画変更等が生じることなく工事を進めることができた。

本工事はモコクレーンの使用が最適な施工環境だったこともあり、生産性が大いに向上し工程短縮に寄与した。

謝辞：末筆ながら、本工事にこれまでご尽力いただいた全ての関係者の皆様へ感謝の意を表す。

UAVやAIを活用した 砂防施設点検の省力化の試み

瀧 駿佑¹・吉原 遼²

滋賀県 県土整備部 技術管理課

滋賀県 東近江土木事務所 河川砂防課

滋賀県東近江土木事務所管内では、砂防堰堤約135基、溪流保全工93箇所（総延長80km以上）の砂防施設を管理している。

これまで基本的に、施設の点検は委託業務を発注し実施してきたが、緊急点検や予算の都合により、当所では一部の施設を職員直営で実施したところ、外業の過酷さ、施設損傷具合の判定の難しさ、職員の拘束時間など想定以上に労力を要した。

こうした経緯から、少しでも省力化できる手立てが無いかを考え、その中でUAVや学習型AIの活用を試みた。

本稿では、その結果や課題について報告する。

キーワード 砂防施設点検、UAV点検、3Dモデル、学習型AI

1. はじめに

砂防施設は土砂災害の防止・軽減に不可欠な社会基盤であり、老朽化への対応として長寿命化計画に基づく予防保全が全国的に重要視されている。本県でもこれを受け、「滋賀県砂防関係施設長寿命化計画」（令和3年3月策定）を策定し、同計画および「滋賀県砂防関係施設点検要領」（以下、点検要領）に基づき、各施設を状況に応じて5年または10年ごとに点検することが義務付けられている。

従来、調査や点検については建設コンサルタントへ委託してきたが、近年、災害対応の緊急性や予算上の都合から、職員による直営点検の機会が増えてきており、今後もこの傾向が続くと予想される。このため、緊急時に職員で対応できるよう、東近江土木事務所管内では2024年度より一部施設の直営点検を試みている。

2. 砂防施設点検の現状と課題

これまで委託が主であった点検業務について、職員自ら実施することにより多様な課題に直面した。

(1) 点検作業における安全性と効率性の課題

砂防施設は広範囲に分散し、多くが山間部の急峻な地形や高所に設置されている。そのため、施設間の移動や点検作業に多大な時間を要し、効率の悪さが課題として

顕在化した。堰堤天端や急斜面での近接目視点検（写真-1）は、落石、滑落、危険生物との遭遇といった事故の可能性を伴う高所での作業であり、作業員の身体的・精神的な負担が大きく、安全面への不安も感じた。施設が安全に点検できる形で設計・施工されていない点も点検という行為について懸念を抱かせる要素になっている。

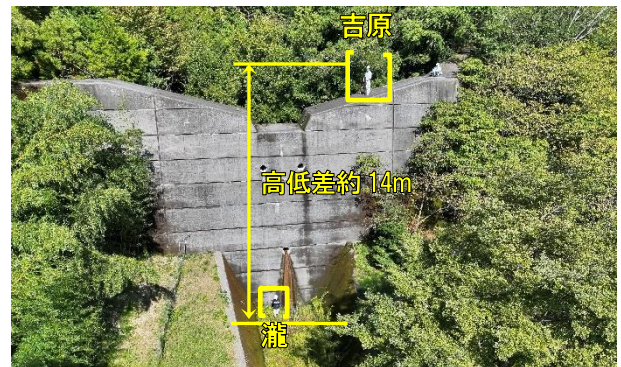


写真-1 点検状況

(2) 点検結果の評価とデータ管理における課題

点検によって得られる施設の状態把握は、職員個々の経験や知見に依存する傾向が強く、判定に担当者間の個人差が生じ、統一した基準が不足していると感じた。また、点検結果の記録や写真データの整理、台帳の管理などの事務処理も多くの労力を要した。

(3) 人材育成・技術継承と組織体制における課題

職員が砂防施設の点検業務を行う中で、組織体制と人材育成に関する課題が顕現された。点検従事者には、森林・山地での移動能力、動植物に関する知識、専門的技能、高所作業における危険回避能力など、多岐にわたる専門知識や実務能力が求められる。しかし、これらの専門性や適格性の確保、および継続的な育成については不足が懸念される状況であった。適切な適性確認や訓練が不十分なまま業務に従事した場合、作業の確実性に対する懸念が生じるケースも存在した。また、熟練技術者の退職が進む中で専門知識やノウハウの継承が滞り、点検判断に個人差が生じる傾向が見られた。加えて、点検作業は多忙な通常業務に加え、精神的・肉体的な負担を伴うため、職員の業務負担を高め、働き方改革にも逆行する側面がある。近接施設を効率よく点検できたとしても、現場作業は半日で3基程度が限界であり、内業も考慮すると、係の人員配置では時間的にも実施体制が整っていないと感じた。このような状況下では、限られた人員で膨大な業務量を処理することが困難であると強く感じた。

現状と課題を踏まえると、客観的な点検結果を最小限の労力で得るための点検手法の確立が喫緊の課題であり、業務の合理化、すなわち省力化が不可欠である。従来の点検が業務委託主体であったことを踏まえると、相対的に減少傾向にある土木職員の負担を軽減するため、無人化を目指すような省力化策の導入は避けて通れない。現場の撮影、測量、判定、図面化といった個々の分野で無人技術の存在は示されており、国土交通省がUAV（無人航空機）の「自律飛行」に着目している点からも、その可能性は高いと判断される。

上記背景から、本研究では、従来の点検要領に準拠しつつも、省力化手法を模索する中で、国土交通省によるUAV活用や、砂防学会におけるAIによる健全度判定の研究といった近年の取り組みに注目した。これらを踏まえ、本研究は砂防施設点検の省力化に向けた手法の一端として、UAVとAIの活用を試みた。

3. UAVによる施設点検について

(1). UAV点検の実施概要

本章ではUAVを活用した点検に関して報告する。

まず、点検に使用したUAVであるが、2025年度に各土木事務所に支給されたDJI Matrice 4T(写真-2)を使用した。本機は写真測量が可能であり、これらのデータから3次元モデルを作成することができる。当機の活用によって、地形や立地状況を現場に行かずとも状況を把握することで、現場への立入りを避け、従来の点検における外業負担の軽減に繋がると考えた。



写真-2 DJI Matrice 4T

UAV点検方法は、滋賀県内の点検要領にUAVに関する明確な記載がないことから、国土交通省が公表する砂防関係施設点検要領（案）や砂防現場におけるUAV自律飛行点検マニュアルを参考とした。点検においては、UAVによる空撮だけでなく、従来の徒歩点検で撮影するアングルも併用し、UAVで取得したデータとの比較検証を行った。点検対象は砂防堰堤と溪流保全工とし、必要な箇所をUAVで撮影した。取得した画像データは、統合管理プラットフォーム『DJI FlightHub2』を活用し、3Dモデル上で任意のアングルからスクリーンショットを撮影できる機能を用いることで、点検写真の管理を試みた。溪流保全工においては、UAVの飛行ルートを設定し、次回以降の自動撮影が適用可能かについても検証した。

(2). UAV点検の成果

UAV点検を通じ、点検業務の省力化と安全性向上において、以下の成果があった。

まず、UAVの活用により、外業の負担軽減を図ることができた。従来、作業員が直接足を踏み入れることが困難であった堰堤の急峻な斜面や高所の点検が可能となり、砂防堰堤天端など高所への昇降を回避でき、職員の危険を直接的に軽減できたと認識している(写真-3)。

次に、点検作業の効率化も図れた。従来、半日を要した特定の砂防堰堤の点検が、UAVによるデータ取得では1時間にまで短縮できた。延長が長く、目視点検に多くの労力を要する流路工や護岸工といった箇所においても、空撮により点検時間の短縮を図れた。



写真-3 UAV点検状況

(草木繁茂により天端への昇降が困難なため、UAV使用している状況)

さらに、3Dモデルや撮影データの利活用性も確認できた。UAVで作成した3Dモデルや撮影写真を通じ、一部の現場においては直接立ち入ることなく状況を確認できた。水位のない箇所、構造物が明確に撮影できる箇所においては、Lasデータ(点群データ)をCAD(V-nasClear)で読み込み、点群間での長さや断面を計測することで、洗掘深度や大きなひび割れなどの損傷状況について概ねの寸法計測を行うこともでき、スケール棒を用いることなく損傷具合を把握できた(写真-4、写真-5)。



写真-4. 点検した堰堤及び溪流保全工の3Dモデル

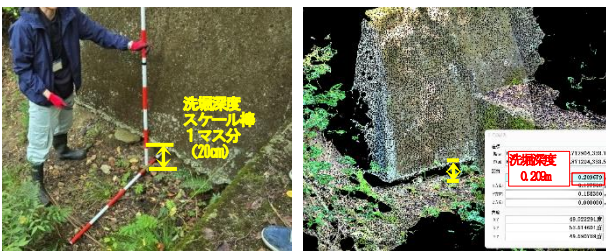


写真-5 損傷を計測した例(袖部土留壁の洗堀)
(左:実際の計測写真 右:点群データの計測状況)

(3) UAV点検の課題と考察

UAV点検の利点をもたらす一方、運用における課題として、3Dモデルでの微細な変状判読、吸出し深さの推定や水溜まりがある箇所の損傷状況の判断は、UAVデータのみでの確認は難しい側面が見られた。草木繁茂が激しい箇所や狭隘な場所ではUAVが安全に接近して撮影できる範囲に制約があり、目視確認の死角となる部分も存在した(写真-6)。また、飛行ルートの設定による自動撮影については、草木繁茂や狭隘な場所ではUAVの接近範囲に限りがあり、次年度も確実に利用できる保証がない箇所が多いことも明らかになった。3Dモデル作成時の撮影条件(撮影の距離や角度、枚数不足など)によっては、データにずれが生じる場合もあった(写真-7)。

そのほか、運用上の留意点として、UAVの飛行に伴う羽音により周辺住民から問い合わせを受けるケースがあり、特に民家近くの溪流においては事前の周知徹底が必要であることを痛感した。また、徒歩点検以上に、降雨や風などの気象条件が厳しく、実施時期に制約があると感じた。



写真-6 3Dモデルで把握できない側壁護岸の吸出し状況
(左:3Dモデル 右:徒歩点検の写真 UAVで護岸裏面が撮影できない現場であり、損傷を把握できない)

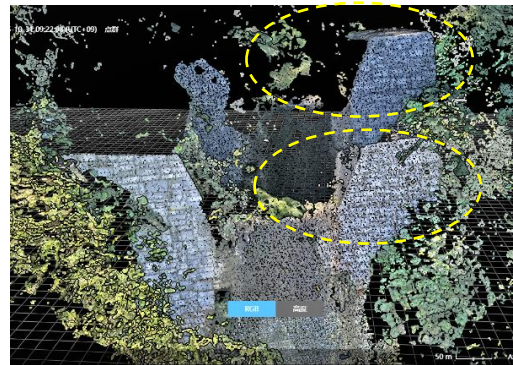


写真-7 ずれの生じた点群データ
(堤体の点群データがずれて2重になっている)

総括として、微細な変状の判読や現場での詳細な状況確認、草木繁茂による死角箇所など、UAV単独では網羅しきれない点検項目が存在するため、現状では完全にUAVのみで点検業務を代替することは難しいと考える。

また、点群データ取得にあたっては、草木が生い茂る中、撮影アングルや撮影間隔に配慮して点群データを取得する必要がある、UAVの操作技術の習熟も求められると感じた。

4. AIによる施設の変状レベルの判定について

(1) AI活用の経緯

本章では、AIを活用した施設の変状レベル(損傷度合い)の判定に関する試みについて報告する。

砂防施設点検要領においては、施設の変状レベル(損傷度合い)を、健全な状態をa、中程度の変状をb(経過観察程度)、重度な変状をc(要対策)とする3段階で評価することが定められている(図-1)。

変 状 レ ベ ル	a:当該部位に損傷等は発生していないか、軽微な損傷が発生しているものの、当該部位の性能の劣化が認められない状態
	b:当該部位に損傷等が発生しているものの、現状では対策を講じる必要はないが、今後の損傷等の進行を確認するため、定期点検や臨時点検等により、経過を観察する必要がある状態
	c:当該部位に損傷等が発生しており、当該部位の性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態

図-1 変状レベルの考え方

しかし、点検要領で施設の損傷状況に関する考え方が整理されているものの、2. (2)で述べた課題のように、点検者によっては変状レベルの判定にばらつきが生じる事例が見受けられる。初めて砂防事業を担当する職員が損傷状況を正確に判断することが困難な場合も想定される。これらの現状から、客観的に変状レベルを判断できる仕組みを構築できないかと考え、その解決策としてAIの活用に着目した。

近年、土木事務所においても「設計図書整合性チェックシステム」などAIの活用に向けた動きが進んでいる。この「設計図書整合性チェックシステム」は、利用者が入力したデータを蓄積し、そこから学習することで精度を高めていく学習型AIであり、本研究における変状レベル推定モデルの構築において、そのデータ蓄積と学習のメカニズムから着想を得た。このシステムを参考に、損傷状況の写真をAIに学習させ、変状レベル推定モデルの作成を試みた。

当初、高精度な自動学習機能を持つツールを検討したが、基本的にそれらにはプログラミング能力が求められることが判明した。今回の試行は職員の判断を補助する位置づけとし、操作性、日本語対応を重視し、複数のAIツールを比較検討して、ノーコードでモデル構築が可能で、パソコン操作に疎くても扱えるGoogleのTeachable Machineを採用することとした。

(2) 変状レベル判定モデルの作成

Teachable Machineは、ユーザーが任意のクラスを設定し、それぞれのクラスに対応する画像や音声などのデータを学習させてモデルを作成し、入力されたデータがどのクラスに最も近いかを百分率（確率）で出力できるAIツールである。

本研究では、この仕組みを活用し、砂防施設の変状レベルをabcの3段階で判定するモデルを試作した（写真-8）。



写真-8 モデル試作状況

試作モデルの学習には、東近江管内における点検結果の画像データを用い、他の管内のデータを入力して変状レベルの判定を行った。その結果をもとに、AIによる判定と人間による目視判定がどの程度一致するかを確認した。

AIの判定では、入力画像に対して各クラス（a・b・c）の所属確率が算出され、そのうち最も確率の高いクラスをAIの最終判定結果とした。この判定結果が人間の判定結果と一致している場合を「一致」とみなし、それ以外を「不一致」として整理した（写真-9）。



写真-9（左：堰堤が洗堀しており、人間の判定で変状レベルcとした画像
右：モデル判定結果、変状レベルcの割合が最も高いため、この場合は「一致」とみなす）

また、モデル作成においては、学習データ数が不足するという課題に直面した。既存の研究では、一般的に1,000枚程度の学習データで75%程度の識別率が達成可能と報告されている⁹⁾。しかし、本研究で初期に利用可能な画像データは約250枚と限定されており、特に変状レベルbおよびcに該当する写真が少ない状況であった。このデータ不足を補うため、既存画像を明暗調整および左右反転させるデータ拡張処理を適用した。これにより、総データ数を約1,000枚に増加させた。ただし、このデータ拡張はあくまでデータの量を補うものであり、新たな情報量が付加されたわけではない（写真-10）。



写真-10 堰堤のひび割れ(変状レベルc)の学習データの例

(3) 結果と考察

当所以外の施設点検の成果写真277枚（a：161枚，b：61枚，c：55枚）の写真について、試作したモデルについて変状レベル判定を実施した結果、各変状レベルの一致率は以下の通りであった（図-2）。

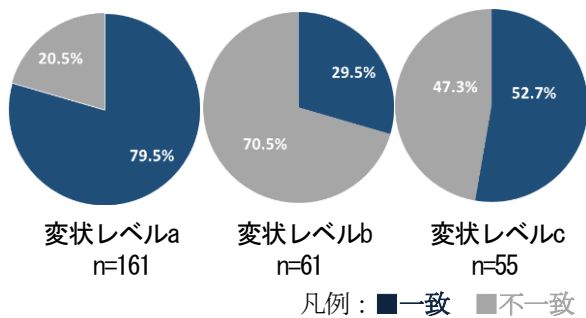


図-2 AIモデルの一致率

変状レベルaの一致率は79.5%であり、最も高い割合を示した。これは健全な状態のデータ数が豊富であり、かつ特徴も比較的均一であったことが要因ではないかと考察している。

対照的に変状レベルbは29.5%、変状レベルcは52.7%と、これらのレベルはaと比較して一致率が低い結果となった。これら中・重度変状に共通する主な要因として、学習データの量が限られていることに加え、ひび割れや剥離といった変状の種類が多岐にわたり、AIが特徴を正確に捉えることが困難であったことが挙げられる。特に、変状レベルbの一致率が最も低かった背景には、軽微な変状であるため健全な状態や重度な変状との境界が曖昧であり、特徴の識別がモデルにとって特に難しい傾向にあることが考えられる。さらに、人間による「経過観察」という判定自体が主観的要素を含みやすく、モデルが明確なパターンを学習しにくかった可能性も否定できない。

以上の結果から、AIモデルの判別能力は、学習データの量と質、および各変状レベルにおける損傷状況の明確さに影響を受けることが考えられる。特に、AIが誤判別した画像の中には、人間にとっても判別が困難な画像や、撮影時の条件（草木繁茂や日当たり具合）により特徴が不明瞭な画像が散見された。このような状況から、AIモデルの判別能力は学習データの質に大きく左右されることを改めて認識した。

また、AIの判定結果の傾向として、特定のひび割れ、例えばアルカリ骨材反応に起因するひび割れを正しく認識することが困難であった事例が確認された。具体的な例として、石灰成分が流出して白く変色したひび割れに対して、変状レベルaや変状レベルbと判定する結果が見られた（写真-11）。これは、学習データ内に変状レベルaの画像として打継目からの遊離石灰が生じている堰堤の画像が含まれており、AIが遊離石灰の画像を健全な状態の特徴として学習してしまった可能性が考えられる。さらに、同一施設の損傷画像であっても、撮影アングル

や明暗の違い、遠近の差によって判定結果が変動する結果が見られた。



写真-11 誤った判定事例

（左：アルカリ骨材反応のひび割れにより、人間の判定は変状レベルcと判定した画像

右：モデル判定結果、変状レベルaの割合が高い）

これらの課題を踏まえ、今後のモデルの判別能力向上と将来的な活用に向けては、学習データの質と量の両面からの改善が重要であると考えられる。

まず、データ品質の均一化が求められる。今回の研究で学習に使用した画像データは、自身が健全度を判定・分類したものであり、その判断が100%正しいとは断言できない側面がある。このため、客観的な判定基準の統一が必要であると考えられる。また、アングル、明暗、撮影範囲などを統一した収集ルールを設けることで、データ自体の信頼性を高めることが望ましい。

次に、学習データの量的拡充も重要となる。全事務所の過去から現在に至るまでの広範なデータを学習させることで、モデルの汎用性および判別能力の向上につながると思われる。

今回のモデルは試作段階であるものの、学習内容の通りに損傷度合いを判定した事例も確かにあった。このことから、上記のような適切な画像データを継続的に学習させることで、将来的に職員の知識や経験を強力にサポートする有効なモデルを構築できる可能性を感じた。

5. 最後に

今回の研究を通じ、砂防施設点検でUAVやAIの活用によって、従来の点検業務が抱える安全性への不安や現場・事務作業の負担、評価のばらつきといった課題を肌で感じた。一方で、これらの技術が砂防施設の点検においてなぜ活用が進められているのか、そして省力化に役立つ可能性も感じることができ、点検実務の現状課題への理解も一層深めることができた。

UAVは、高所作業を避けられることで安全性の向上が期待でき、点検時間の短縮にもつながった。AIの試作モデルからは、画像判定の傾向を知ることができ、職員の判断補助や客観性確保の可能性を感じた。外業負担の軽減や変状レベルの判断補助における具体的な利点も経験でき、今後の技術活用を考える上で貴重な体験となった。

しかしながら、UAVやAIの活用についての理解を深める一方で、本研究を通して、本県の施設点検要領（案）については改善すべき点があると感じた。例えば、「3.

UAVによる施設点検について」でも触れたが、本県においてはUAV点検に対する考え方が整理されていない。本県が管理する砂防施設は国管理の砂防施設と比べると、狭く、目視外飛行が求められる現場が多く、管理施設数も多い。したがって、本県の現場の特徴を取り入れた独自の運用ルールを整理することが望ましいと考える。

また、施設の変状レベル判定では、経験や主観による判定のばらつきが出ることから、点検要領における事例の充実や、判定基準を更に明確化することが望ましい。点検帳票の作成負担についても、河川巡視点検で使われているような、現場で入力した点検結果や位置情報を常にサーバーへ共有できるシステムがあれば、作業負担はかなり減らせるだろう。

砂防施設の点検は、土砂災害対策やメンテナンス工事を進める上で、重要な調査である。今回の試みが、今後も効率的で質の高い点検が続けられる体制や環境を整える一助となることを、心から願う。

付録

試作した変状レベル判定モデル



※古いスマートフォンやiphoneではカメラが作動しない場合があります。

参考文献

- 1) 村上智哉・山野亨・秦雅之・荒木義則・河井恵美 (2023)：AIを用いたUAV砂防巡視点検結果からの変状箇所の自動抽出（砂防学会研究発表会概要集）
- 2) 石田哲也・後藤 健・宮島邦康・黒崎 弘(2021)：UAVによる砂防施設点検(土木技術資料 2021年63巻3号)
- 3) 長山孝彦・藤田正治・水山高久・本田尚正・池田暁彦・三池力・村松広久・中野雅章, 伊藤隆郭(2019)：砂防堰堤の損傷特性に及ぼす流域諸元の影響（砂防学会研究発表会概要集）
- 4) 馬場基樹・橋本康平(2023)：令和インフラDXを利用した市町への技術支援および活用方法の提案について
- 5) 令和7年4月国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課：砂防現場におけるUAV自律飛行点検マニュアル（案）令和7年4月
- 6) 国土交通省砂防部保全課：砂防関係施設点検要領（案）（令和7年4月改定）
- 7) 滋賀県土木交通部流域政策局砂防室：滋賀県砂防関係施設長寿命化計画(令和8年3月)
- 8) 滋賀県土木交通部流域政策局砂防室：滋賀県砂防関係施設点検要領(案)（令和8年3月）
- 9) DJI FlightHub2
<https://enterprise.dji.com/jp/flighthub-2>
- 10) Teachable Machine
<https://teachablemachine.withgoogle.com/train/image>

コンクリート・バイオ燃料・建設機械の 統合的脱炭素化アプローチ

小沼 亮太¹・東川 克志²

¹近畿地方整備局 浪速国道事務所 大阪湾岸道路西伸部出張所 (〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30)

²株式会社 香山組 工事部 工事課 (〒660-0892兵庫県尼崎市東難波町5丁目31番20号)

建設業界におけるカーボンニュートラルの実現は喫緊の課題であり、2025年4月21日に国土交通省が公表した「土木工事の脱炭素アクションプラン」では、(1)建設機械の脱炭素化、(2)コンクリートの脱炭素化、(3)その他建設技術の脱炭素化の3施策が示された。本工事で、近畿地方整備局直轄工事として、同プランに基づく7技術を統合的に適用し、その削減効果・品質保証・費用対効果を実証的に評価した。特に、基礎工事への高炉セメントC種（スラグ置換率65%以上）の適用可能性を、室内配合試験・バーンせん断試験・一軸圧縮試験・六価クロム溶出試験・外部技術士評価により実証した。本成果は、他直轄工事への水平展開における技術選定の定量的根拠を提供するものである。

キーワード カーボンニュートラル，GX，脱炭素，電動バックホウ，高炉セメントC種

1. はじめに

日本全体のCO₂排出量のうち、インフラ等の整備が約13%を占め、建設機械からの排出や、主要資材の製造や輸送による排出が主要因とされている（図-1）。

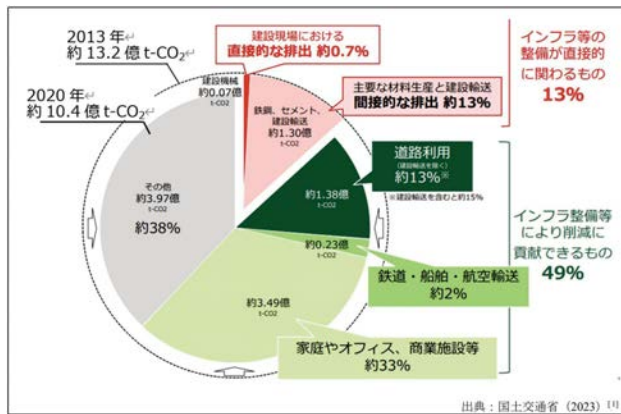


図-1 日本におけるCO₂排出量の内訳

2050年カーボンニュートラル実現に向け、国土交通省は2025年4月21日に「土木工事の脱炭素アクションプラン」を発表し、(1)建設機械、(2)コンクリート、(3)その他建設技術の脱炭素化に関する3施策を示した（図-2）。しかし現状では、カーボンニュートラルへの取組が建設業全体に浸透しているとは言い難い。「コストが高い」「取組効果が見えない」という声が現場では多く聞かれ、複数技術を統合的に適用した実工事の実証データは少なく、定量的評価の蓄積が求められている。

カーボンニュートラルに向けたリーディング施策

国土交通省

リーディング施策	2030年	2040年	2050年
①建設機械の脱炭素化	エネルギー効率向上 燃費向上 電動建機の普及・導入促進 次世代燃料の使用促進 効率的な施工の推進（ICT施工、ICT施工StageⅡ、新たな施工技術）	使用原則化・更なる燃費向上 電動建機の電力消費性能向上 普及促進	
②コンクリートの脱炭素化	低炭素型コンクリートの使用原則化 CO ₂ 固定化・吸収コンクリート等研究開発（産）	排出削減割合を順次引上げ 費用対効果が優れた技術の使用原則化	
③その他建設技術の脱炭素化	建設分野の材料・製品等の脱炭素化に向けた研究開発（産） 導入環境整備（評価制度等）	費用対効果が優れた材料・製品の普及促進	

図-2 「土木工事の脱炭素アクションプラン」3つの施策

2. 工事概要と脱炭素化の枠組み

本工事（表-1）は、大阪湾岸道路西伸部の六甲アイランド西ランプを支える橋台基礎工事であり、鋼管ソイルセメント杭工がメイン工種の工事である。本工事はカーボンニュートラル対応試行モデル工事には指定されていないが、建設業において脱炭素化の取組を広げていくにあたって、そのデータとプロセスを蓄積したいという受発注者相互の思いが合致したことから、受発注者協働で本取組を行うこととなった。

表-1 工事概要

項目	内容
工事名	大阪湾道路路西伸部六甲アイランド西ランプ橋台基礎工事
発注者	国土交通省 近畿地方整備局 浪速国道事務所
受注者	株式会社香山組
工事期間	R7年4月～11月(約7ヶ月)
工事場所	神戸市東灘区向洋町
主な施工内容	鋼管ソイルセメント杭
コンクリート 使用量	W=約599.77t (高炉セメントC種適用)

脱炭素化への取組については北海道開発局が先行している。北海道開発局、北海道、札幌市、NEXCO東日本北海道支社等が共同で実施する「北海道インフラゼロカーボン試行工事」の枠組みを以下に示す(図-3)。

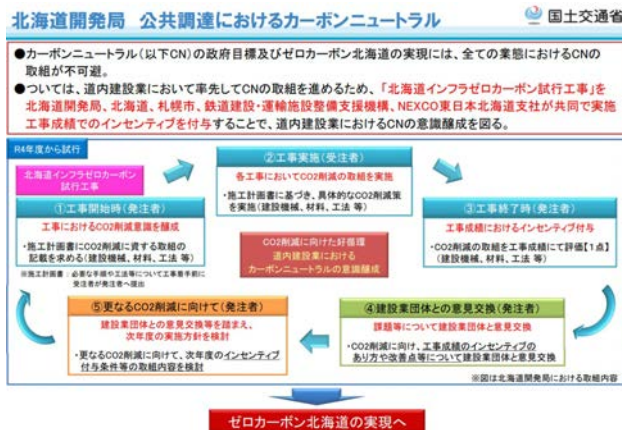


図-3 公共調達におけるカーボンニュートラル(北海道開発局)

中でも北海道庁は「北海道インフラゼロカーボン試行工事」の実施要領を策定しており、これを参考に、国交省土木工事の脱炭素アクションプランの3施策と組み合わせることで実施した。技術の選定にあたっては、「国交省アクションプランの3施策を全て網羅すること」「追加コストの異なる複数の技術を組み合わせること」「削減量の多寡を問わず、実施可能な取組から着実に積み上げること」を基本方針とした。この方針は、予算規模や施工体制が異なる他工事でも参考にできる汎用的なアプローチであり、本研究の再現性を担保する骨格でもある。

3. 高炉セメントC種の適用実証

(1) B種からC種への変更経緯

当初設計は高炉セメントB種(JIS R5211, スラグ置換率30～60%)であったが、2025年4月21日の国交省アクションプラン公表を機に、より置換率の高いC種(スラグ置換率65%以上)に変更した。C種はCO₂削減効果が大きい(普通ポルトランドセメントに対し約60%削減)反面、初期強度発現の遅延が懸念されたため、事前に段階的な品質検証を実施した。

(2) 室内配合試験と強度検証

現地ボーリングで採取した砂質土・粘性土の2土質について、高炉セメントC種(添加量300～350 kg/m³)による室内配合試験を添加量・土質ごとに計24種類実施した。試験結果(表-2)より、特記仕様書に記載されている杭一般部の目標強度(砂質土:1.00 N/mm², 粘性土:0.75 N/mm²)を満足することを確認し、経済性の観点から両土質ともセメント量300 kg/m³を採用した。

表-2 一軸圧縮試験結果(高炉セメントC種, 室内配合試験)

土質	配合 No.	固化材 種類	固化材量 (kg/m3)	W/(C+B) (%)	T/C (%)	B/C (%)	1軸圧縮強さ(N/mm2)		目標強度 (N/mm2)	判定
							材齢7日 平均	材齢28日 平均		
砂質土	3	高炉 セメント C種	300	100	3.0	0	4.77	8.80	> 1.00	－
	10					4.63	8.73	> 1.00	採用	
粘性土	11					0	4.40	7.33	> 0.75	－
	12					10	4.03	7.43	> 0.75	採用

またC種はスラグ置換率(65%以上)がB種(30～60%)より高いため、初期強度の発現はB種に比べて緩やかとなる。一方、スラグの潜在水硬性・水和反応は長期にわたり継続するため、スラグ量がB種より多いC種では硬化体組織がより緻密化され、材齢91日時点でB種と同等以上の圧縮強度を発現し、さらに長期材齢ではこれを上回る傾向がある。この特性はJIS A 6206(コンクリート用高炉スラグ微粉末)における活性度指数として規格化されており、C種は耐久性・水密性・化学的抵抗性の面においてもB種以上の性能が期待できる。

(3) ベーンせん断試験による初期強度確認

鋼管ソイルセメント杭への建込みには、練り混ぜ直後からの初期強度確保(せん断強さ2 kN/m²以上)が必要である。ベーンせん断試験を練り混ぜ直後～8時間後まで1時間ごとに実施し、杭保持に必要なせん断強さの達成時間を確認した。採用配合(砂質土:配合4, 粘性土:配合12)はいずれも施工要件を満足した。

表-3 ベーンせん断試験結果(採用配合の経時変化)

測定時刻	練混ぜ直後(kN/m ²)	1時間後(kN/m ²)	2時間後(kN/m ²)	4時間後(kN/m ²)	6時間後(kN/m ²)	8時間後(kN/m ²)
砂質土 配合4	0.4	0.8	1.3	2.6 (達成)	4.1	5.8
粘性土 配合12	0.3	0.7	1.2	2.3 (達成)	3.7	5.2

(4) 六価クロム溶出試験と環境安全性確認

高炉セメント使用に伴う六価クロム溶出の懸念に対し、JIS A 1481-2(建設汚泥再生路盤材等からの六価クロム溶出試験)に準拠した溶出試験を実施した。全配合において環境基準値(0.05 mg/L)を大幅に下回り、環境安全性を確認した。

(5) 外部技術士による第三者品質評価

高炉セメントC種の品質実証の信頼性を高めるため、本工事では外部機関（技術士・建設部門 大沢悟 氏）による品質証明業務を実施した（表4）。同技術士は全試験成績書を精査の上、C種の品質適合性・環境安全性・施工性を総合的に評価し、他工事への水平展開に耐え得る実証性を有すると判断した。

表4 外部技術士評価コメント

外部技術士評価コメント（2025年10月1日）
・高炉セメントC種はB種より製造時CO₂ 排出量が少なく、2025年の国交省アクションプランが目指す方向と整合する ・28日圧縮強度はB種とほぼ同程度であり、目標強度（砂質土1.47 N/mm²、粘性土1.97 N/mm²）を確実に満足する ・施工性（逸水防止・流動性・硬化遅延性）が良好であり、鋼管ソイルセメント杭への適用上の問題は認められない ・六価クロム溶出試験結果：全配合で環境基準値（0.05 mg/L）を大幅に下回り、環境安全性を確認した ・本工事の品質管理・脱炭素取組は、今後の直轄工事への横展開における先行事例として十分な実証性を有する

CO₂ 削減効果の比較として、本工事で使用したコンクリートW=599.77 tに対し、高炉セメントC種（原単位270.1 kg-CO₂ /t、スラグ置換率65%）はB種（同424.4 kg-CO₂ /t、スラグ置換率45%）に比べて154.3 kg-CO₂ /tの削減効果を有し、製造時に約92.5t-CO₂ の追加削減（B種比約36%減）が実現できた。

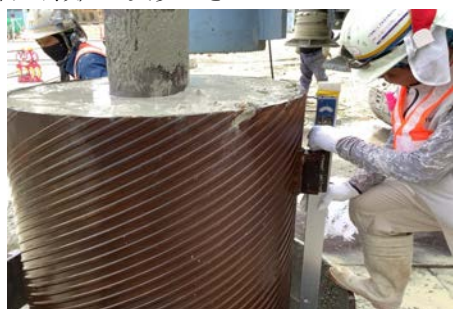


図4 高炉セメントC種充填施工（鋼管ソイルセメント杭）

4. RD燃料（HVO）の適用

(1) RD燃料（HVO）の概要

RD（リニューアブルディーゼル）燃料は、廃食油・植物油・廃動物油を原料とする HVO（水素化植物油）であり、原料植物が CO₂ を成長過程で吸収するためカーボンニュートラルな燃料とみなされる。（表5）に RD 燃料と軽油の比較を示す。

表-5 RD燃料（IRD）と軽油の比較

比較項目	RD燃料（HVO）	軽油（化石燃料）
原料	廃食油・植物油・廃動物油等（バイオマス由来）	原油（化石由来）
CO ₂ 排出量係数	RD100%の場合、省エネ法・温対法上でCO ₂ 排出量報告対象外の為、軽油比でCO ₂ 排出量を100%ゼロで報告可能	2.62 kg-CO ₂ /L
エンジン改造	不要（既存機械に無改造適用）	—
外観・臭い	淡黄色～透明・ほぼ無臭	黄褐色・特有の石油臭
認証規格	欧州EN規格（EN15940:2016）・ISCC EU 認証取得	JIS K 2204
事例掲載	「近畿地方整備局道路脱炭素化推進計画」事例掲載	—

(2) 本工事での適用方法と削減効果

RD 燃料最大の特長は、RD100%の場合、バイオ起源の燃料であるため省エネ法・温対法上の報告対象外となり、軽油対比で CO₂ を 100%削減でき、CO₂ 排出量ゼロで報告が可能な点である。これは、将来の技術開発や新たな計測・認証体系の整備を待つことなく、現行の法定報告制度の枠内でそのまま活用できることを意味し、他の脱炭素化技術と比較しても即時性・確実性に優れる特徴といえる。本工事では全建設機械・発電機に対してパトロール給油（ミニローリーによる現場直接補給）で適用した。実使用量 10,570 L に対し、軽油 CO₂ 排出係数 2.62 kg-CO₂ /L を基準とした削減量は 27.70 t-CO₂ であった。



図-5 RD 燃料使用の明示

(3) コストと普及見通し

現状の価格（約600円/L）は軽油の約4～5倍であり、本工事では約500万円の追加コストが発生した（費用対効果：約180,500円/t-CO₂）。この水準は高炉セメントC種（約19,500円/t-CO₂）と比べてコスト高であるが、廃食油をはじめとする原料の国内調達ルートの拡大、精製技術の向上、需要拡大に伴うスケールメリットの発現により、中長期的な価格低下が見込まれており、段階的導入技術として位置付けられる。また、エンジン改造が不要という汎用性の高さから、価格低下が進んだ段階での普及スピードは速いと予想される。

5. 電動バックホウ活用による諸効果

国土交通省「GX建設機械認定制度」の充電式バッテリー駆動の電動ミニショベルは、稼働時の排気ガスなし・騒音・振動極小という特性を持つ（表-6）。本工事の補助作業（掘削・整地・小運搬）に適用し、同等クラスのディーゼル機械からの代替によりCO₂削減効果を得た。



図-6 電動バックホウの稼働状況

表-6 電動バックホウと同等クラスのディーゼル機の比較

比較項目	電動バックホウ（TB20e）	同等クラスディーゼル機
駆動方式	充電式バッテリー（リチウムイオン）	ディーゼルエンジン
稼働時排気ガス	なし	あり（NOx・PM等）
騒音・振動	極小	あり
充電時間	約4～5時間（100V/200V対応）	給油：数分
CO ₂ 削減量 ※ 本工事の結果	0.17t-CO ₂ （ディーゼル機との差分）	基準
主な適用作業	補助作業（掘削・整地・小運搬）	同上
事例掲載	「近畿地方整備局道路脱炭素化推進計画」事例掲載	—

本工事での稼働時間に基づくCO₂削減量は0.17 t-CO₂であり、全体削減量に占める割合は0.1%と小さい。ただし、この数値だけで電動バックホウの価値を評価することは適切でない。周辺地域への騒音・振動・排気ガス影響の軽減という施工環境改善効果は、削減量の数値には現れない実質的な貢献である。

6. その他建設技術の脱炭素化

「その他建設技術の脱炭素化」として、以下の4技術（表-7）を適用した。個別の削減量は小さいが、調達・仕様変更のみで適用可能なものが多く、追加コストが低い点が特徴である。④ソーラー監視カメラ（図-7、8）・⑤ソーラー休憩所（図-9、10）は、発電機（化石燃料）を太陽光発電で代替することで削減と同時にランニ

ングコストの削減も実現した。⑥ソーラー休憩所（図-11、12）の照明・扇風機等の基本設備は自家発電で賄えたが、エアコン等の大電力を要する設備はRD燃料対応の発電機で補う必要があり、電力の全量自家賄いには至らず、課題の残る結果となった。⑦紙媒体ゼロの取組（図-13、14）は、現場の月平均出力枚数を76%削減し、脱炭素と省人化を同時に達成した取組である。

表-7 その他建設技術4技術の概要と削減量

No.	技術名	概要・特徴	削減量（t-CO ₂ ）	選定理由
④	BTTカラーコーン	バイオマス素材使用の保安資材。通常品と外観・強度は同等	0.03	調達先変更のみで適用可能・追加コストほぼゼロ
⑤	ソーラー監視カメラ	太陽光発電で動作。発電機（化石燃料）を代替	4.20	発電機代替でランニングコスト削減と脱炭素を両立
⑥	ソーラー休憩所（3棟）	太陽光パネル搭載休憩所。照明・扇風機を自家発電で賄う	5.00	作業員の休憩所として選定したが、電力不足が課題
⑦	紙媒体ゼロの取組	工事書類を完全電子化。印刷・輸送CO ₂ をゼロ	0.05	書類管理工数削減と脱炭素の同時達成
合計	その他建設技術の脱炭素化		9.28	削減量は小さいが3施策網羅に寄与



図-7 ④BTTカラーコーン



図-8 ④BTTカラーコーン設置状況



図-9 ⑤監視カメラ



図-10 ⑤ソーラーパネル



図-11 ⑥ソーラー休憩所



図-12 ⑥ソーラーパネル(天井)



図-13 ⑦デジタルホワイトボード 図-14 ⑦デジタル安全掲示板

7. 適用技術におけるCO₂ 削減量の概要

(1) CO₂ 削減量の算出について

第3～6章で紹介した各取組の削減量を集約したものが以下（表-8）である。各技術の削減量は、北海道インフラゼロカーボン試行工事の事例（図-15）および、CO₂ 排出量試算シート（18技術対応版（図-16））を参考として算定した。今回は代表的な3技術（電動BH、RD燃料、高炉セメントC種）について試算条件を記載する。



図-15 北海道インフラゼロカーボン試行工事の事例

CO ₂ 排出量試算シート		
取組事例： バイオ燃料(B5)の使用		
⑧		
入力値（任意で設定可能）		単 位
燃料消費量	10	L/h
稼働日数	130	日
燃料消費量	10,400	L
係 数		
バイオ燃料のBDF相当量	5	kg-CO ₂ /L
CO ₂ 排出量係数（軽油）	2.62	kg-CO ₂ /L
導入前（通常軽油）のCO ₂ 排出量	27,248	kg-CO ₂
導入後（B5混合軽油のBDF相当量）のCO ₂ 排出量	1,362	kg-CO ₂
削減されるCO ₂ 排出量	1,362	kg-CO ₂
CO ₂ 排出削減量：	1,362	kg-CO ₂
■係数の出典		
注1： 燃料の納入証明書		
注2： 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧（環境省）		

図-16 CO₂排出量試算シート

(2) 主要3技術のCO₂ 削減量算出結果

a) 「電動BH」…稼働台数1台、16 hの稼働

- ・導入前（標準機）：1×16×4.5=72.0L
- ・導入後（電動BH）：1×16×0=0L
- ・削減される燃料使用量=72.0L

太字：数量
斜体：個別の係数
下線：共通の係数

- ・72.0L×2.62 kg-CO₂/L=約 167.68 kg-CO₂ 排出量削減
- ※削減量は、電力分のCO₂ 排出量を含んでいない

【入力値】

稼働時間：16 h

標準機の燃料使用量：4.5 L/h

電動バックホウの燃料使用量：0 L/h

【係数】2.62 kg-CO₂/L：軽油のCO₂ 排出係数

※係数の出展：算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧（環境省）

表-8 本工事で採用した脱炭素化技術とその効果

No.	脱炭素アクションプラン 施策	技術名	削減量 (t-CO ₂)	従来技術との 経済比較	総合評価
①	(1)建設機械の脱炭素化	電動バックホウ	0.17 (0.1%)	約 4 倍	排気ゼロ・低騒音の効果
②		RD 燃料	27.7 (21.4%)	約 5 倍(軽油比較)	重機や発電機の主燃料
③	(2)コンクリートの脱炭素化	高炉セメント C 種	92.5 (71.3%)	約 1.2 倍(BB 比較)	製造時の CO ₂ 最大削減
④	(3)その他建設技術の脱炭素化	BTT カラーコーン	0.03 (0.02%)	約 3 倍	あらゆる現場で導入可能
⑤		ソーラー監視カメラ	4.2 (3.2%)	約 1.5 倍	発電機不要で設置可能
⑥		ソーラーハウス	5.0 (3.9%)	約 20 倍	ソーラーでは電力不足
⑦		紙媒体ゼロ化の取組	0.05 (0.04%)	－	脱炭素効果より省人化に寄与
合 計 (7 技術・工事期間 7 ヶ月)			129.65 t-CO ₂ (一般家庭(1 世帯)が排出する CO ₂ 約 52 年分)		

b) 「RD 燃料」…工事期間中の燃料消費量が **10,570L**

- ・導入前(通常軽油)： $10,570 \times 2.62 = 27,693\text{kg-CO}_2$
- ・導入後(RD 燃料)： $10,570 \times 0 \times 2.62 = 0\text{kg-CO}_2$
=約 27, 7t-CO₂ の排出量削減

【入力値】

稼働条件：RD 燃料の使用料＝**10,570L**

・RD 燃料は燃焼時に CO₂ を排出しますが、原料の植物が成長過程で CO₂ を吸収するため、軽油対比での CO₂ 排出量は実質ゼロと見なされるカーボンニュートラルな燃料＝0

【係数】 $2.62\text{kg-CO}_2/\text{L}$ ：軽油の CO₂ 排出係数

※係数の出典：算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧（環境省）

c) 「高炉セメントC種」…セメント使用量が **599.77t**

- ・B種からC種へのCO₂ 削減量：154.3kg-CO₂
- ・製造時削減されるCO₂： $599.77\text{t} \times 154.3\text{kg-CO}_2$
=約 92.5 t-CO₂ の排出量削減

【入力値】

使用条件：ポルトランドセメント1tあたりのCO₂ 排出量：771.7kg

各セメントのslag比率は高炉セメントB種＝**45%**、高炉セメントC種＝**65%**

- ・高炉セメントB種1tあたりのCO₂ 排出量： $771.7 \times 45\% = 424.4\text{kg}$
- 高炉セメントB種1tあたりのCO₂ 削減量： $771.7 - 424.4\text{kg} = 347.3\text{kg}$
- ・高炉セメントC種1tあたりのCO₂ 排出量： $771.7 \times 65\% = 270.1\text{kg}$
- 高炉セメントC種1tあたりのCO₂ 削減量： $771.7 - 270.1\text{kg} = 501.6\text{kg}$
- ・B種からC種へのCO₂ 削減量： $501.6\text{kg} - 347.3\text{kg} = 154.3\text{kg-CO}_2$

CO₂ を試算した結果、高炉セメントC種が71.3%、RD燃料が21.4%を占め、資材選択2技術で全体の92.7%を担う。この結果は、脱炭素化の初期段階においては、建設機械や現場運用の脱炭素化（面的な対策）よりも、使用資材そのものをより低炭素なものへ転換する対策の方が、投入労力に対して大きな削減効果を生むことを示している。

8. おわりに

本工事では、国交省「土木工事の脱炭素アクションプラン」の3施策に対応する7技術を統合的に適用し、工事期間7ヶ月で総CO₂ 削減量129.65 t-CO₂（一般家庭（1世帯）が排出するCO₂ の約52年分相当）を達成した。特に、基礎工事への高炉セメントC種の適用を、室内配合試験・ベーンせん断試験・六価クロム溶出試験・外部技術士評価という4段階の検証プロセスにより実証したこと

は、他工事への水平展開に耐え得る信頼性を持つ先行事例として意義深い。費用対効果の観点では、高炉セメントC種（約19,500円/t-CO₂）が最も優れ、まず何から始めるかという点については、どのような工種でも設置が可能なBITカラーコーン・ソーラー監視カメラから着手し、最終的にRD燃料や電動建設機械へと段階的に取組を拡大するロードマップを本工事の経験として提案できる。本工事はカーボンニュートラル対応試行モデル工事に指定されていない、いわば「普通の工事」である。それでも受発注者が協働で自発的に7技術を統合適用し、具体的な成果を達成できたことが最大の教訓であり、「カーボンニュートラルはあらゆる工事に取り組めるものである」という認識の転換を示している。本取組は、2026年3月に策定された「近畿地方整備局道路脱炭素化推進計画」に第3～5章の技術が脱炭素化の先行事例として掲載（図-17）された。



図-17 「近畿地方整備局：道路脱炭素化推進計画」掲載

本論文の内容は、建設業各社が取組む際の再現可能な実践マニュアルとして、また、今後脱炭素化推進計画のロードマップに沿って低炭素コンクリートや電動建設機械の使用が推進されていく中で、本取組が積み上げたデータとプロセスが活用され、脱炭素化の取組が他工事に広がっていくことを期待し、その先行事例として紹介するものである。

謝辞：外部品質証明担当の大沢悟技術士、および北海道インフラゼロカーボン試行工事の先行取組を公開された北海道開発局に深く感謝する。

参考文献

- 1) 国土交通省：土木工事の脱炭素アクションプラン，2025年4月21日
- 2) 北海道開発局：北海道インフラゼロカーボン試行工事，https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gi_jyutu/slo5pa000000g6mu.html
- 3) 北海道（建設政策局建設管理課）：「北海道インフラゼロカーボン試行工事」実施要領，2023年1月改定版
- 4) 近畿地方整備局：道路脱炭素化推進計画，2026年3月30日
- 5) 国土交通省：新技術情報提供システム（NETIS），リニューアブルディーゼル（RD）：登録番号KT-260011-A

ROVの大水深作業への応用

伊藤 宏臣¹・岩松 裕二²

¹独立行政法人水資源機構 琵琶湖総合管理所 設備課 (〒520-0243滋賀県大津市堅田2-1-10)

²独立行政法人水資源機構 ダム事業部 管理業務課 (〒330-6008埼玉県さいたま市中央区新都心11-2)

琵琶湖総合管理所において維持管理を行っている安曇川沖総合自動観測所は平成4年3月に完成し琵琶湖北部の水象、気象、水質を24時間365日観測している。令和5年9月に安曇川沖観測所の水質計昇降用ガイドワイヤ2本の内1本の張力がないことが確認され、水中カメラによる調査でガイドワイヤを支持する下部金具の腐食による損傷が判明した。当該箇所は水深60m付近に位置しており、潜水土による作業であれば飽和潜水または送気式潜水が必要になり多大な費用と作業日数を要するため、ROV (Remotely Operated Vehicle: 水中ドローン) をガイドワイヤの復旧に応用することとした。本論文は、水中部構造物の復旧工法の検討とROVの応用について報告する。

キーワード ROV、水中ドローン、自動観測所、飽和潜水

1. 施設概要

琵琶湖総合管理所（以下「琵琶湖総管」という。）では、琵琶湖北部の安曇川沖総合自動観測所（以下「安曇川沖観測所」という。）と、琵琶湖南部の「雄琴沖総合自動観測所」により、琵琶湖の水象、気象、水質データを自動観測している。

安曇川沖観測所は図-1に示すとおり、琵琶湖の北部（北湖）の中央に位置しており、平成4年3月に完成して以来、24時間365日琵琶湖の水象・水質・気象を自動観測し、観測データは外部に公表している。安曇川沖観測所の構造は図-2に示すとおり、上部から観測所局舎、浮体部、係留索部、支持リング部、シンカーからなる。観測所局舎には水質観測装置、気象観測装置、水位・波高観測装置、テレメータ装置が設置されている。

観測所は浮体部により観測所局舎の浮力を確保し、観測所が風や波により移動しないように、錘の役割をはたすシンカーと観測所局舎間を係留索部により連結することで琵琶湖の定められた位置において観測を行っている。

水質観測装置は湖の中を昇降する水質計により決められた時間と水深で水質の測定を行っている。例を挙げると水温や濁度、クロロフィルの項目は、6時間に1回の頻度で水深5, 10, 15, 20, 40, 60mにおいて測定する。そのため水質計は水面から水深60mまでを1日に4回往復している。

琵琶湖は湖流があるため水質計が漂流すると正しい水深で計測できないことから、定められた水深に確実に移動させるためにガイドワイヤ2本に沿うように昇降する

構造となっている。ガイドワイヤは観測所局舎と支持リング上のグレーチング間に連結されており、グレーチングは支持リング上に溶接されている。観測所局舎が風で回転するとガイドワイヤがねじれてしまい水質計の昇降に影響を及ぼすため、支持リングを支持ワイヤで吊り下げ観測所局舎と支持リングが共回りすることでガイドワイヤのねじれを防止している。そのため、観測所局舎と支持リング部の間は支持ワイヤ2本とガイドワイヤ（支持リング上のグレーチングに連結）2本の計4本で繋いでいる。

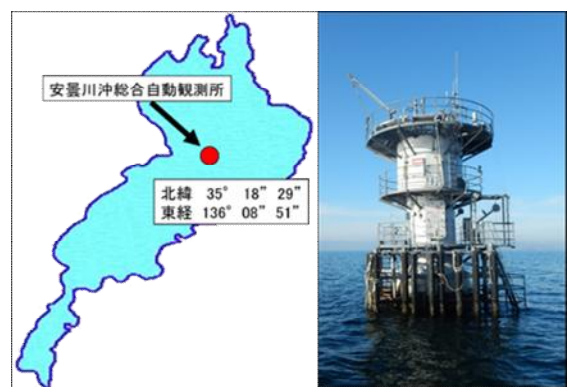


図-1 安曇川沖観測所の位置

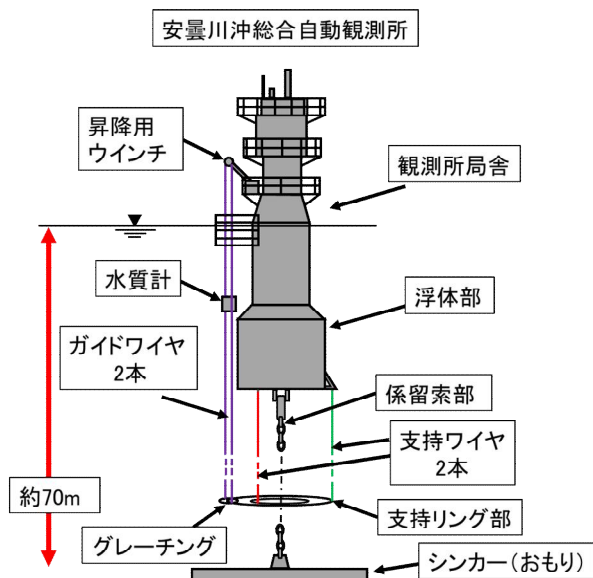


図-2 安曇川沖観測所の構造

2. 事象概要

前述のとおり安曇川沖観測所は、設置されてから令和8年現在で34年が経過している。令和5年9月に行った安曇川沖観測所の点検時に、水質計の昇降用ガイドワイヤ2本のうち1本に張力がないことが確認された。水中カメラでガイドワイヤの状況を調査したところ、ガイドワイヤの下部金具が腐食により損傷しておりガイドワイヤとグレーチングが連結されていない状態であることが判明した。図-3に損傷した下部金具の状況を示す。ガイドワイヤ2本のうち1本が支持されていない状態であり、水質計は他方の1本のガイドワイヤを保持しながら昇降している状況であった。1本でも保持していれば水質計自体の昇降に支障はなく測定を続けることができていた。しかし、調査時に他方のガイドワイヤの下部金具取付部を確認したところ、同様に腐食していることが判明した。ガイドワイヤが2本とも機能しない状態であると水質計の昇降ができなくなり、水質測定が不可能となるため、下部金具が損傷して機能しなくなったガイドワイヤの復旧を優先して行うこととした。

また、支持ワイヤ1本についても観測所局舎に固定している上部金具が腐食により損傷し脱落していることが確認され、支持リングが傾斜し湖底に着床している状態であった。支持リングと各ワイヤの状態を図-4に示す。



図-3 損傷した下部金具取付部の状況

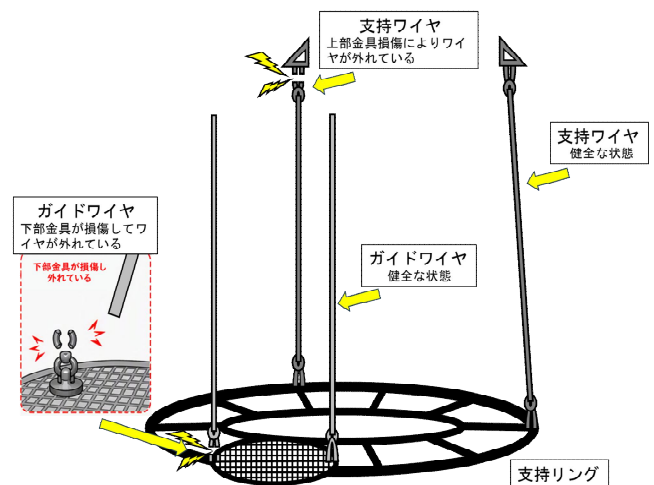


図-4 各ワイヤの状態

3. 復旧工法の検討

安曇川沖観測所は前述の通り水質に関するデータを24時間365日観測しており、水質計の昇降に影響を及ぼさないようにするために早期の復旧が必要であった。復旧にあたり、以下の施工条件がともなう。

○水質関連データの欠測期間を最小限とすること。

○水深60～70mにおける水中作業であること。

一般的に水深が深い場所での作業は安全のために飽和潜水または送気式潜水を用いることが多い。

飽和潜水とは潜水士が高圧状況下で一定期間生活し、あらかじめ身体を高圧環境に慣れさせることで、高水圧下においても安全に作業ができる方法である。浮上にかかる時間が短縮できるため水中での作業時間が伸び、作業効率の向上に繋がる。しかし、飽和潜水に用いる設備

が非常に大がかりとなることから莫大な費用と準備日数が必要となる。

送気式潜水は、作業ごとに潜水士が地上から作業水深まで潜水し作業を行い、終了後に浮上してくる方法である。飽和潜水と異なり、潜水士が大気圧下から高水压下の間を短時間で行き来するため、減圧症などを発症するリスクが高い。安全確保のために時間をかけて降下、浮上する必要があるため、作業時間を短くせざるをえない。しかしながら、高圧下の生活環境を作る必要がないことから、飽和潜水と比較するとコストは抑えられる。

今回の復旧対象は、下部金具が損傷しているガイドワイヤ1本としているため、作業内容が単純なものとなる。よって、今回は大掛かりな準備が必要な飽和潜水ではなく、送気式潜水による工法とROVによる工法と計2つを比較検討することとした。

(1) 潜水士による工法

潜水作業による復旧の場合、人が現地で作業を行うため、予定している復旧作業のみならず現地状況に応じて臨機応変な対応が可能である。前述のとおり送気式潜水は飽和潜水に比べると、特に水深40m以上では減圧症を発症する可能性が高く、それを防ぐために短時間での潜水作業かつ時間をかけて浮上する必要がある。そのため交代要員を多数確保、または数日かけて作業を実施する必要がある。また、水深50～60mでの作業となるため危険が伴い、急病に備えた再圧タンク設備などの準備が大がかりとなる上に、湖上での作業になることから大きな設置スペースを確保するための台船も必要となる。陸上のものではあるが潜水設備（大水深用）の例を図-5に示す。

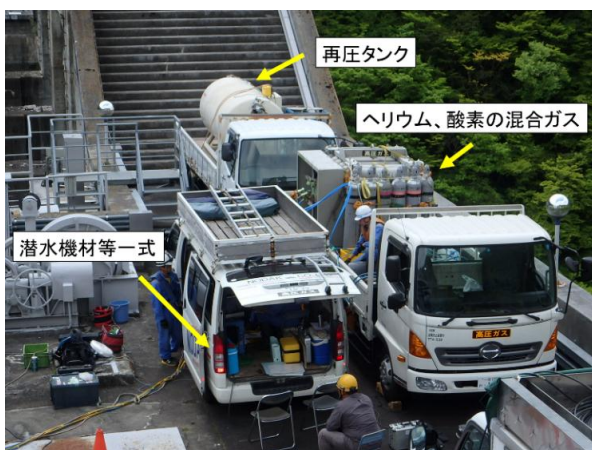


図-5 潜水設備の例（大水深用）

(2) ROV による工法

ROV による復旧は、作業に応じた装備をあらかじめ用

意するため、予定外の作業に対応できないことから、作業性には一定の制約がある。また、水中では湖流や水棲生物、漂流物などの影響を受けやすく、また反力がとりづらいため、ロボットアームでの作業の実施にあたり不確実性が高い。そのため、熟練した操縦者が必要となる。その一方でロボットによる作業なので潜水士を必要とせず、水深 50～60m においても安全に作業を実施できる上に潜水士と異なり作業時間の制約もない。さらに潜水士による工法と比較して ROV のレンタル費用及び諸経費とオペレータのみで済むことから安価に作業を実施することができる。安全性と経済性を比較し、今回は ROV により復旧を行う方針とし、可能な施工作業を検討した。今回使用する ROV は一般的な構造のもので、本体にはアームがついており小さい力ではあるが物を掴んだり、離したりすることができる。

4. ROV応用に向けた実験

(1) 検討

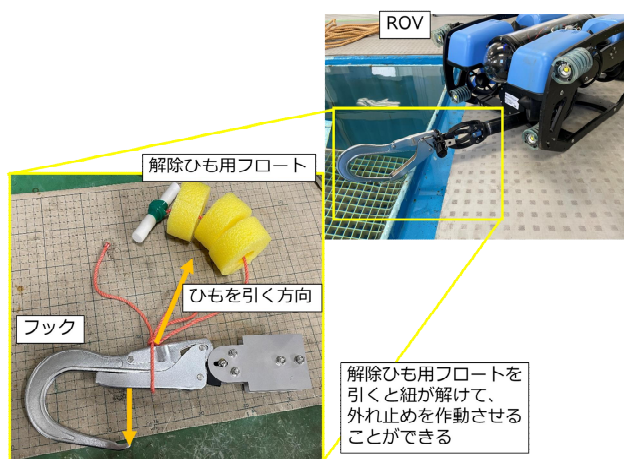
先にも述べたが、ROVによる作業は周辺環境による影響があり作業の不確実性が高い。今回の復旧内容は損傷が確認されたガイドワイヤの下部金具取付部付近に新たなガイドワイヤを接続することであり、下部金具と支持リング上のグレーチングにガイドワイヤを連結する作業が中心となる。そこで確実な作業を実施するために、使用する下部金具と固定方法を検討した。

(2) 検討結果

ROVでは既設のような下部金具取付部を支持リング上のグレーチングに溶接して取り付けることは不可能である。ROVのロボットアームの特性上、人間のような繊細な作業が行えないため、下部金具はグレーチングに簡単に取り付けられる必要がある。また、コストを抑えることを考慮し、下部金具として既製品の外れ止め付フックを用いることとした。今回の製品は安全帯のフックと同じ構造の外れ止め付きであり、握力等で外れ止めに引くことで開放し放すと自動的に閉じる。

フックをグレーチングに連結するためには、繊細な操作によりフックをグレーチングの隙間に通した後、フックの外れ止めに動作させるほどの荷重をかけて固定する必要がある。

しかし、ROV本体は浮遊しているため支点がなく、大きな荷重をかけることのできるほどの推進力もない。そこで、フックの外れ止めにあらかじめ開放した状態で固定したままグレーチングに掛けることとした。そうすることにより、ROVを介して行う作業がフックをグレーチングに掛けることと外れ止めを解除することに限定される。図-6にROV本体と装備の構成を示す。



フックの外れ止めを開放状態にするために、紐で結び固定する。外れ止めを動作させるときには紐をアームで掴み、浮上するだけで紐の結び目を解くことができ、固定が解除される。また、紐にフロートをつけることにより、アームで掴みやすくなるため、作業性を向上させることができる。これによりフックが外れなくなり、ガイドワイヤの連結が完了すると考えた。

(3) 実験

この工法で実際に施工することが可能かどうかを、試験用水槽にて複数回実験を行った。その結果、本工法を用いることでROVにより問題なく施工できることを確認した。その際に撮影した写真を図-7に示す

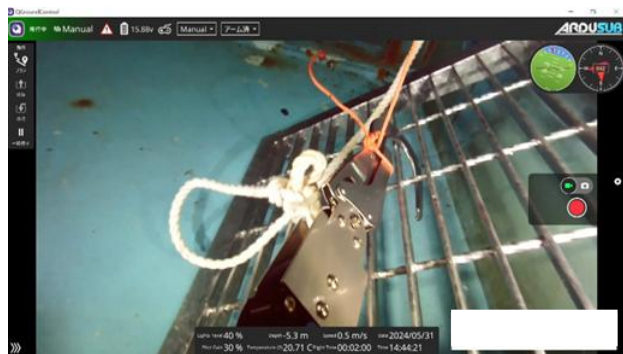


図-7 実験の様子

5. 復旧作業

実際の復旧作業は令和6年9月12日から13日にかけて実施した。期間中は天候に恵まれ、琵琶湖の湖流が穏やかだったことから作業は順調に進み、一回の作業でグレーチングに下部金具を連結することに成功した。復旧手順は次のとおりである。

○新規ガイドワイヤを上部金具に仮止めする。

○ガイドワイヤ下端に下部金具を取付け、ROVを用いて下部金具を水深60m地点にある支持リング付近まで運搬する。

○支持リング上のグレーチングに下部金具であるフックを掛ける。

○フックがかかったことを確認し、解除ひものフロートを掴み浮上することで、外れ止めが解除され、フックの固定が完了する。

○復旧したガイドワイヤと他方のガイドワイヤを均等な張力になるよう上部金具へ固定し、水質計の昇降テストを実施する。

○昇降の動作が問題なく行われ、再度水中カメラにて下部金具の連結を確認し復旧完了となる。

図-8にフックの取付作業が完了した際に撮影した画像を示す。

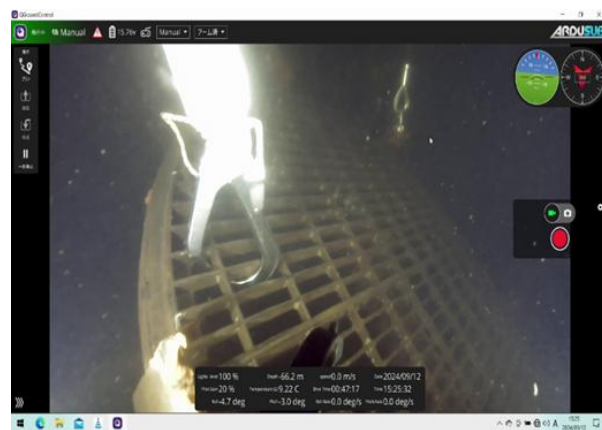


図-8 フック取付作業の様子

6. 結果及びコストの比較

本作業によりガイドワイヤ2本のうち1本の更新が完了した。今回の作業に要した費用は、材料費、ROVのレンタル費用、オペレータ等の人件費および諸経費を合計して約110万円であった。空気送気式の潜水作業による場合、およそ2500万円かかるという試算と比較して約25分の1の費用でガイドワイヤの復旧作業を実施することができた。

7. 結論

本論文では、ROVによる大水深下での作業の応用例を紹介した。ROVにより安全かつ確実に水中でのワイヤ張り替え作業が可能であることを確認した。

なお、令和7年度には同様の施工方法で2本の支持ワイヤと1本のガイドワイヤの計3本についても更新作業を完了している。

令和8年度近畿地方整備局研究発表会 国土交通データプラットフォームデータ利活用 検討

～国土交通データプラットフォームのデータを活用した
熱中症リスク情報提供に関する社会実装実験～

近畿技術事務所 技術活用・人材育成課 大里 裕太¹
都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合 橘 伸也²

¹近畿地方整備局 近畿技術事務所 技術活用・人材育成課

(〒573-0166大阪府枚方市山田池北町1-1-1)

²都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合

(〒657-0013兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1-1)

本稿は内閣府の施策、戦略的イノベーション創造プログラム（以下SIPという）第3期の一環として国土交通データプラットフォーム（以下IDPという）を活用した防災情報の提供内容及び情報配信方法について検討を行い実際のフィールドで社会実装実験を行った。さらに今後IDPに実装することで防災情報提供に役立つデータの検討を行った。本稿では、本検討により得られた効果の可能性や課題等について報告する。

キーワード 国土交通データプラットフォーム、熱中症、デジタルツイン、SIP、社会実装実験

1. はじめに

近年、国土に関する3Dデータの整備が進み、IDPを通じた分野横断的なデータの検索・連携・活用が進められている¹。これらのインフラデータをさらに効率的に利用するためのシステム開発や研究が実施されており、その技術的成果の一つに「データ自動変換・統合技術」と呼ばれるDPP（Data Processing Platform）²がある。DPPは、種々のデジタルモデルから科学計算に用いる数値モデル等を自動的に作成する技術である。

また民間等が保有するデータベースやシミュレーターが多数存在しており、これらのデータ、シミュレーター、DPP等を組み合わせて新たなサービスを国民に提供すべく、実現可能なサービスの検討を行った。

2. 提供する防災情報の検討

我が国の代表的な災害である地震や津波といった自然災害は、規模は大きいがまれに起こる現象（非日常）である。そのため、防災情報発信において、情報を受ける側が適切に行動を起こさず、防災の効果が上がらないことも考えられる。そこで、本検討では、比較的「日常」

に発生する災害として、「熱中症」を取り上げ、これに対する注意情報となる指標を、科学的なシミュレーションにより計算し、先導的な情報提供を試みる方針とした。

併せて、シミュレーションに基づく災害の指標について広く周知するための情報提供の具体的方法を検討するとともに、地震や風水害など、他の自然災害の物理シミュレーションの実施に横展開するための国土交通データプラットフォームの活用方法の検討を行った。

3. 提供内容の検討

a) 方針

熱中症のリスク評価にはWBGTが用いられる。WBGTは、気温、湿度、日射、風速など複数の要素を統合した指標であり、人体への熱ストレスを総合的に評価することができる。環境省等からの実況値および予測値が提供されている³。一方、一般的な予測は観測地点を中心とした情報である。都市内のWBGTは、建物、樹木、地表面の熱的特性、日射および風の影響を受けて局所的に変化する。このため、多数の来場者が滞在する大規模イベントの安全管理では、地点情報に加えて、面的かつ時系列的な予測情報を事前に把握することが有用と考えられる。本検討では、WBGTを単一点ではなく面的に算出するため、微気象解析モデル（以下MSSGという）を導入する

事で、建物配置や舗装種類の違いによる局所的な温熱環境の違いを把握可能を確認することとした。特に都市環境では、日陰・日向の差や風の流れの影響が大きく、空間分布としての評価が不可欠であることが想定されるため、PLATEAU⁴⁾（IDP と連携有り）より取得出来る建物高さ、土地利用、舗装特性（遮熱性・保水性など）を反映したデジタルツインを構築することとした。これにより、現実の都市環境を高精度に再現したモデルを作成し、作成されたデジタルツインに対し MSSG による詳細な気象解析を実施することとした。本検討における各要素の役割を示す。

要素	基本的な役割	本検討での使用方法
IDP	分野横断的なデータ連携基盤	解析に必要なデータを連携し活用するための基盤として位置づけた
PLATEAU	都市空間を表現する 3D 都市モデル	建物等を含む都市デジタルツインの基盤データとして使用した
DPP	データ変換・統合技術	CityGML, DXF 等を統合し、MSSG 用 5m 格子データへ変換した
MSSG	微気象解析モデル	建物、地表面、樹木を考慮した微気象解析と WBGT 分布算出に用いた

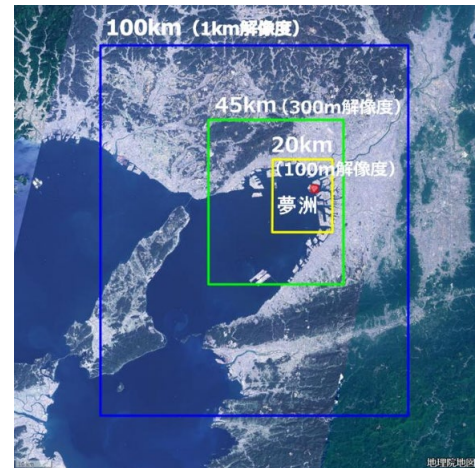
b) 提供エリア

提供する防災情報（熱中症）の活用効果、活用方法等の確認を行う上でこれらの情報を得やすい大型イベントを対象とすることとした。検討を開始した R 4 時点で最も大きく、国際的イベント『大阪万博』を控える“夢洲”があり、本検討では、フィールドとして夢洲を第一に考えることとし、大阪市沿岸部を適用拡大のフィールドとして視野に入れることとした。

c) 提供情報の詳細度

提供する情報の詳細度を高くすると、建物や舗装等による局所的な違いを表現できる一方、シミュレーションに要する費用と時間が増加する。このため、本検討では、対象エリアに対して効果的な計算領域とメッシュ解像度を検討した。MSSG は全球から都市スケールまでを扱うマルチスケール大気海洋結合モデルであり、建物や樹冠の 3 次元形状を考慮した数 m 解像度の解析が可能である⁵⁾、⁶⁾。本検討では、気象庁メソ数値予報モデルの格子点値を初期値・境界値とし、1km、300m、100m の 3 段階の気象計算を経て、北緯 34.650 度、東経 135.386 度を中心とする東西 3.20km、南北 2.25km の領域を 5m 四方の解像度で計算し、10 秒毎に算出することとした。それを用いて熱中症指標の WBGT を算出できることを確認し、提供する情報の時間範囲、予測計算にかかる時間の確認を行い、提供する情報の計算は前日 12 時から自動計算を開始し当日 6 時に、11 時から 15 時までの熱中症分布を自動配信することとした。本検討における気象計算領域、建物解像気象計算領域および WBGT 予測結果

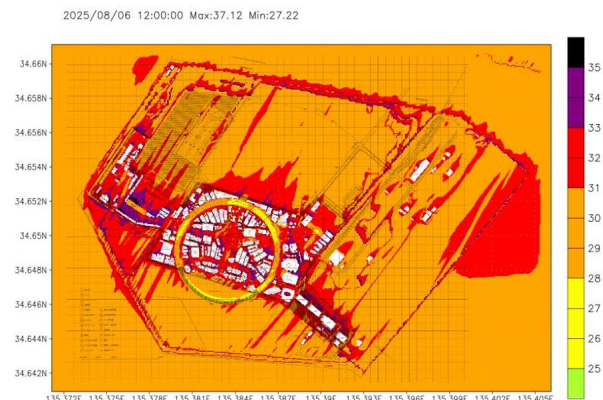
の例を以下に示す



MSSG 気象計算の領域



建物気象計算の領域

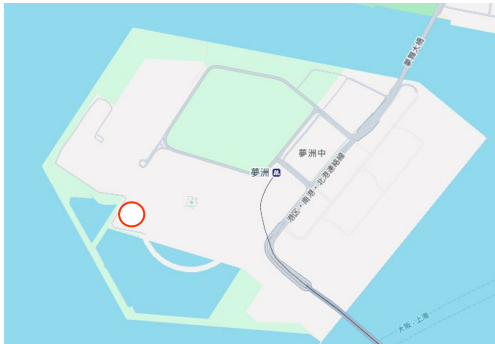


WBGT 予測結果例

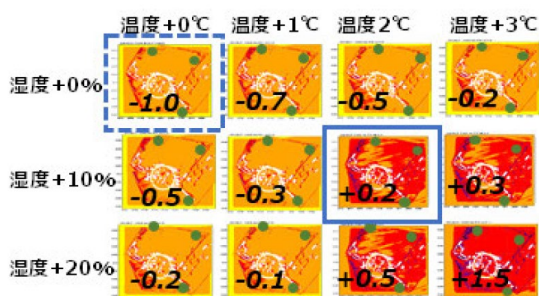
d) 提供内容

提供内容は2025年7月1日から8月31日までの当日 6 時までに算出した 11 時から 15 時の 10 分間隔の WBGT 分布、会場全体表示と各エリア（5 エリア）の表示とした。さらに地上から 0.5m、1.5m の WBGT 分布を選択できるようにすることで大人に加え、こども、車椅子・ベビーカー利用者等に近い高さの暑熱環境を比較できるようにした。また前日 12 時から開始するので、その時に用いた気象予報が当日とずれることがあり、このため予測が実測を下回る場合がある。このような場合、実際を下回る情報提供を避けるため、11 時に計測された 3 地

点のWBGTの平均値が予測値を1度上回った場合には、提供するWBGT分布のパターン（事前計算）を、理論的に温度と湿度を適切にかさ上げ計算したパターンと差し替えることとした。



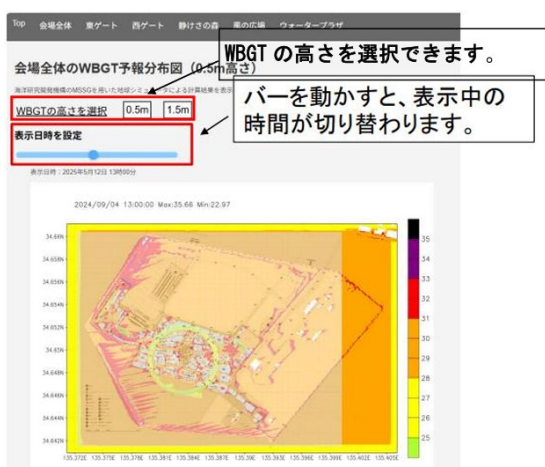
計測地点



事前計算パターン

4. 提供方法の検討

博覧会協会への情報提供は当日6時を基本とし、別途専用のアプリケーション等を作成することなく提供できるWebブラウザ方式とした。予測結果はパスワードで保護した民間Webサーバ上に掲載し、博覧会協会の管理されたネットワーク環境から閲覧できるようにした。画面には時刻スライダー、高さ選択およびエリア選択機能を設け、面的・時系列的な変化を確認できる構成とした。



なお、予測結果は民間Webサーバを介して博覧会協会に提供しており、IDPを成果の公開基盤として用いたものではなく提供方法の一例である。

5. 精度の確認

気象情報として博覧会協会から日本気象（株）で観測されたデータが提供されており、これと予測の比較を行った。

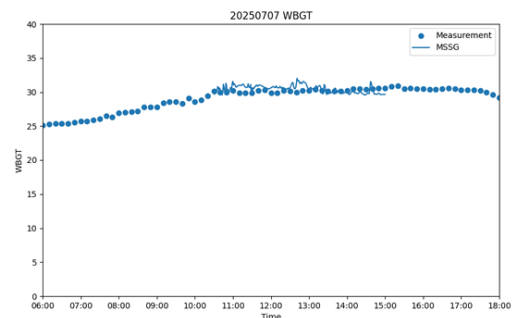
ほぼ晴天で風が弱く(2m/s~3.5m/s)、風向きも比較的安定した日の予測は、計測と対応が良いと言えた一方、前日の気象予報が当日と乖離すると、前日の気象予報を用いて計算している予測結果も乖離する結果となる。つまり、風況の変化が激しかったり、急に曇天になったりすると、予測と計測の乖離が生じやすいと言える。また、風速が低い場所ではWBGTが相対的に上昇しやすいという関係性が妥当性を持って裏付けられた。

以上より、MSSGによる予測の精度が担保される適用範囲として

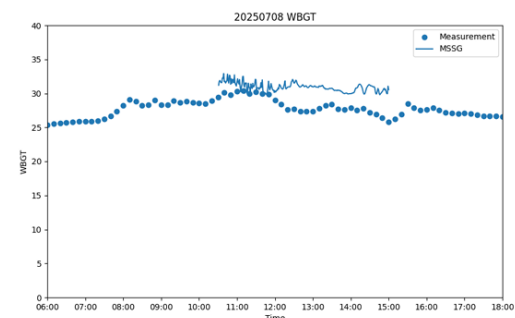
- ・前日の天気予報と当日の天気予報、特に曇天になるタイミングと風向・風速の急変のタイミングに差がないこと
- ・観測値と比較する場合には、計測高さ、日射条件および周辺構造物等の条件を整合させること

が上げられる。ただし、本稿では期間全体を対象とした統計的評価を実施していないため、代表日の一致のみから得られた一例である。

代表日におけるWBGT予測値と観測値の比較を以下に示す。



予測と観測が概ね対応した 2025 年 7 月 7 日



午後に乖離した2025年7月8日

6. 活用結果

a) 熱中症シミュレーションの特徴

今回対象となったフィールドは海陸風の影響により午前中に風が弱まることでWBGTが上昇する現象が確認された。これは従来の単純な気温評価では捉えにくい現象で

あり重要な知見である。またWBGTは午前中にピークとなる場合が多い、風速が弱いとWBGTが上昇しやすい、建物の影や風の通り道により局所差が大きい、といった傾向が確認された。これらは、建物、舗装、日射および風を考慮した面的な解析によって得られる情報である。ただし、期間中のすべての日に共通する傾向と断定するものではなく、代表事例としての確認結果である。

b) 行動の変化

上記の結果を踏まえ博覧会協会に対しヒアリングを行い、どのような対応が出来るか確認を行った。

以下に主な意見を示す。

- ・朝礼でスタッフへ当日のリスクが高い場所について注意喚起できる。
- ・予測分布を踏まえて、スポットエアコンの冷風方向を工夫することが考えられる。
- ・人工芝のExpoアリーナにおいて、来場者の並べ方を検討する際の参考データになり得る。
- ・熱中症リスクの高い場所で昼食を取っている来場者に対し提供した情報に基づき、近くの高リスクの低い地帯（例えばリング下等）へ移動するよう促すことができる。
- ・患者早期発見のため警備員の巡回計画を修正することが可能になる。具体的には巡回回数を増やす、ルートを変更することが考えられる、警備員が高リスクの場所を一定の時間以上通過することを避けるシフトを計画することができる。
- ・相対的に気温が高くなる場所の自販機の入替え回数を増やす等の会場内飲料補給間隔の目安になる。
- ・通常よりも危険な状態が予測された場合、地上に近いWBGTの影響が強い来場者（子供、車いす利用者）へ、特別に注意喚起する目安になる。
- ・場所ごとに、WBGTと患者の数の関係についてデータが蓄積しておけば、当日何名くらいの患者が出そうか予測し、その数に応じた救護体制を準備しておくことができる。
- ・予測結果を蓄積しておけば会場内の熱中症指標の傾向がパターン化でき、会場内で熱中症指標が高くなる場所、低くなる場所の傾向を整理しておける。

以上の意見をみるに、様々な行動の変化を促す指標となることがわかった。また予測結果を蓄積する事で対象フィールドの傾向を把握することが重要であるといえる。

WBGT分布は風向・風速に依存し、時系列の変化に対応する視覚情報の提供は、博覧会協会の気象予報士資格者からも評価のコメントを得ている。情報提供の結果、熱中症の危険地帯と安全地帯の把握がより正確になったと考えられる。なお、本検討で確認できたのは、博覧会協会が提供情報を閲覧し、朝のミーティングにおける注意箇所の共有に用いたことであり、来場者や職員の行動変容まで実証したものではない。

7. 本社会実装実験の課題

a) 課題

① 計算負荷の高さ

スーパーコンピュータ（地球シミュレータ）を用いて解析を行う必要がある為、時間とコストが大きい

② 配信遅延、停止

配信期間中に配信停止が3回、配信遅延が30回（6時を過ぎた）、途中までの時間までしか配信できず12回が発生した

③ 予測精度の限界

前日予報と当日の気象が乖離する場合や、局所的な観測条件が異なる場合に、予測値と観測値が乖離する

b) 対策案

上記の課題を解決するためにサロゲートモデルの導入が有効であると考えられる。サロゲートモデルとは、事前に多数のシミュレーション結果を蓄積し、当日の気象条件に近い結果を迅速に選択または補間する手法であり、計算時間の短縮と最新気象の反映が期待できる。これにより以下の効果が期待される。

- ・計算時間の大幅短縮による計算コスト削減
- ・リアルタイム性の向上
- ・予測精度の向上（最新気象を反映可能）

サロゲートモデルの作成については事前に多数のシミュレーション結果を蓄積する必要があるため一度は今回のシミュレーションを行い、対象地域と気象条件を十分に包含する学習データ、適用範囲の判定および精度検証の必要はあるものの継続して利用する場合の効果は高いと想定される。

8. IDP に実装、関連づけが望まれるデータの検討

今回の熱中症シミュレーションを実施する際、建物解像気象解析を行う上で必要なデータは建物（位置、形状、種類）、地表面（標高、土地利用属性）、樹木（位置、形状、種類）である。IDP 内に実装されていないのは樹木の形状、種類であった。特に樹木は、日射遮蔽と風環境の双方に影響する一方、実装範囲が限定的であり、位置・形状・種類の不足が解析モデルの不確実性となる。データ連携に当たっては、空間解像度、座標参照系、取得・更新日、精度、ライセンスおよび欠損範囲をメタデータとして明示する必要がある。また、対象となるフィールドによってはそもそもデータが存在していなかったり部分的に情報がない場合が多いため、施設管理者が保有する BIM・CIM・CAD・点群データを個別に取得して補完することも有効である。現在 IDP では一部の都市のみ 3D 化されており、データの充実化が進んでいる。今回のシミュレーションを行う上で IDP から取得できなかった場合の代替公開データを示す。

建物	位置	国土地理院データ ⁷⁾
		航空写真
	形状	※
	種類 (RC/木造他)	※
地表面	標高	国土地理院データ
	土地利用属性	高解像度土地利用被覆図 ⁸⁾
		Open Street Map
		航空写真
		Landsat 地表面観測データ
樹木	位置	HighResolution 1m Global Canopy Height Maps
		航空写真
	形状	HighResolution 1m Global Canopy Height Maps
	種類	—

※については航空写真等により仮定とする

以上のデータを IDP に実装することが出来れば IDP から建物解像気象解析に必要なデータを収集することが可能となる（航空写真は実装済み）。

9. 本社会実装実験と今後の展望

本社会実装実験により、熱中症リスクの空間的可視化と情報提供の実用性が確認された。これにより、イベント会場や都市空間における安全管理の高度化が期待される。今後の展望としては以下が挙げられる。

- ・他地域への展開
- ・リアルタイム予測（サロゲートモデルの活用）
- ・データ連携基盤の整備
- ・低コスト化の実現

これらの取り組みにより、熱中症リスクマネジメントの高度化（対象エリア特有リスクの可視化）と防災の社会実装がさらに進展することが期待される。

10. IDP の今後について

IDP については2019年5月30日に「国土交通データプラットフォーム整備計画」⁹⁾が発出されている。今後国土に関するデータをサイバー空間に再現するため、国土地理院の3次元地形データをベースに、3次元地図上に点群データ等の構造物の3次元データや地盤の情報を表示することや、国、地方自治体の持つ電子成果品の連携、維持管理情報の連携、さらには民間企業の保有するビルや住宅など、民間建築物に関する3次元データの連携を目指す事が述べられている。こういったデータや本社会実装実験の知見を活用し、例えば破堤による浸水エリア、浸水速度、浸水経路などで、既存のシミュレーションをより詳細かつ視覚的に提供できる事ができると考えられる。また構造物の3次元データ、電子成果品、維持管理情報が IDP 上で確認できるようになると効率的な維持管理につながる事が期待できる。

11. まとめ

本社会実装実験では、大阪・夢洲を対象として、IDPを活用したデジタルツインを構築し、MSSG による建物解像気象解析を用いて WBGT 分布情報の提供を行った。その結果、熱中症リスクを空間的かつ時系列に可視化出来ることを確認するとともに、警備計画の最適化や来場者への注意喚起、熱中症対策への活用の可能性を示した。また、本実験を通じて、建物配置や風環境の違いが WBGT 分布に大きく影響することが明らかとなり、従来の地点観測を中心とした情報提供では把握が困難な局所的なリスク評価が可能であることを確認した。一方で、スーパーコンピュータを用いた解析に伴う計算コストや運用時の配信安定性、気象予報に依存する予測精度等の課題も明らかとなった。

今後は、サロゲートモデルの導入によるリアルタイム性の向上および低コスト化を図るとともに、IDP とのさらなるデータ連携を進めることで、熱中症対策のみならず、浸水、津波、地震等の防災分野への展開が期待される。また、本実験で得られた知見は、デジタルツインを活用した防災情報サービスの高度化と社会実装の推進に寄与するものと考えられ、今後の検討として実証箇所を増やし、精度確認及び精度向上をはかる必要がある。

本論文は従前の所属である近畿技術事務所の所掌業務の内容である。

謝辞：本社会実装実験にご協力頂きました博覧会協会をはじめとする都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合の方々には、様々なご指導、資料提供やご意見を賜りましたおかげで、社会実装実験を実施できましたことを、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通データプラットフォーム、<https://data-platform.mlit.go.jp/>.
- 2) 大谷英之：記述形式の自動変換に基づく異種データ連携における型定義の自動化に関する研究，地理情報システム学会講演論文集，No.28，F-5-4，2019.
- 3) 環境省：熱中症予防情報サイト，<https://www.wbgt.env.go.jp/>.
- 4) 国土交通省：PLATEAU 3D都市モデル，<https://www.mlit.go.jp/plateau/>.
- 5) Takahashi, K. et al.: Challenge toward the prediction of typhoon behavior and down pour, Journal of Physics: Conference Series, Vol.454, 012072, 2013.
- 6) Matsuda, K., Onishi, R. and Takahashi, K.: Tree-crown-resolving large-eddy simulation coupled with three-dimensional radiative transfer model, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, Vol.173, pp.53-66, 2018.
- 7) 国土地理院：基盤地図情報，<https://www.gsi.go.jp/kiban/>.
- 8) 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター：高解像度土地利用土地被覆図
- 9) 国土交通省：国土交通データプラットフォーム整備計画