

船舶の輻湊する海域でのICT浚渫工事の適用性について

菱ヶ江 優¹

¹関東地方整備局 東京港湾事務所 整備課 (〒136-0082 東京都江東区新木場1-6-25)

国土交通省では、建設現場における生産性の向上、魅力ある建設現場を目指す新しい取り組みの一環としてi-Constructionを進めている。港湾分野では、ICT活用工事を試行工事・モデル工事として、浚渫工・基礎工・ブロック据付工の施工を対象として進めている。

東京港湾事務所では、ICT活用工事として浚渫工を実施しており、本報告では現在事例の少ない船舶の輻湊する海域でのICT浚渫工事の適用性について東京港中央防波堤外側地区航路・泊地の浚渫工を事例として、活用効果及び現時点での課題を把握し、今後の発注者としての対応のあり方に関する考察を行う。

キーワード i-Construction, 生産性の向上, ICT活用工事, 浚渫工

1. はじめに

国土交通省では、陸上工事におけるICT (Information and Communication Technology) 活用が進むなか、港湾分野でも「港湾におけるICT導入検討委員会 (現在は港湾におけるi-Construction推進委員会)」を2016年より毎年開催し、港湾工事に合わせたICT導入に必要な基準類の整備などに取り組んでいる。

港湾工事の特徴としては、陸上工事とは異なり海上や海中での工事が多く、特に海中では工事出来形の確認や作業の進捗状況の把握が困難な場合が多い¹⁾。

ICT活用の一環として、水中部の出来形確認が必須となる浚渫工がICT浚渫工として本格運用が開始されているなか、東京港湾事務所では、東京港中央防波堤外側地区航路・泊地の浚渫工事において、2021年度に初めてICT浚渫工を実施した。

今回施工した場所は、船舶の輻湊する海域でのICT施工となった。船舶の輻湊する海域でのICT浚渫工事の事例は少なく本工事を参考に適用性について整理を行うものとする。

2. ICT浚渫工事について

(1) 実施施工概要

東京港湾事務所では、2021年度より中央防波堤外側地区 (Y3バース) のコンテナターミナル整備に付随する、航路・泊地の浚渫工を実施している。浚渫工施工位置図を図-1に示す。本工事ではコンテナターミナル新設に伴い-14.6mまでの暫定水深の浚渫を実施する。

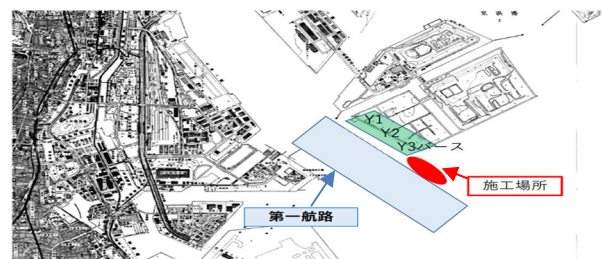


図-1 施工位置図

(2) ICT浚渫工の概要

ICT浚渫工の概要を図-2に示す。主な目的としては、マルチビーム測量による3次元データの作成、測量成果の精度向上、3次元データ活用による施工数量の自動算出、数量算出の効率化、海底面の可視化及び浚渫建設機械の自動制御、水路測量を兼ねた出来形測量の実施、完成状況の可視化による検査書類の削減等があげられる。従来工事からの大きな変化としては、3次元データ利用のためのナローマルチビームによる測量の実施、水路測量と出来形測量を一度の測量で実施することである¹⁾。

なお、出来形測量とは浚渫工完了後の検査のために、既定の水深が確保できているか確認する測量、水路測量は船舶航行安全のための海図を補正するために行う測量であり、海底地形の変更を伴う浚渫工事の後、水路測量業務法により実施する。

本工事においては、完成までの断面ではなく途中段階までの暫定水深の浚渫のため水路測量は実施していない。

3. 従来方法とICT施工の比較

本項では、ICT施工の活用効果の整理を目的とし従来方法とICT施工の比較を行う。

工程に沿って測量から順に比較したものを図-2に示す。

(1) 測量

ICT施工はナローマルチビームと呼ばれる音響測深器を使用することにより、面的なデータの取得が可能となる。ナローマルチビームを用いることで3次元データの作成が可能となり、その後の設計や施工時の精度、時間、労力などに大きな影響を与える。

(2) 設計・施工計画

従来方法では、シングルビームで計測した2次元の数値を確認し設計と比較を行っていた。ICT施工ではナローマルチビームでの測量を実施することにより、3次元モデルでの設計や施工計画を実施することが可能となる。

(3) 施工

従来方法の施工ではGPSのデータをPC上で確認して浚渫位置を決定し浚渫を実施していた。ICT施工では、GPSで施工箇所に加えて、掘削深度をPC上で確認することができる。より精度よく施工を実施することが可能になる。

(4) 検査

ICT建設機械の施工データを活用した検査等により、出来形の書類が削減される。

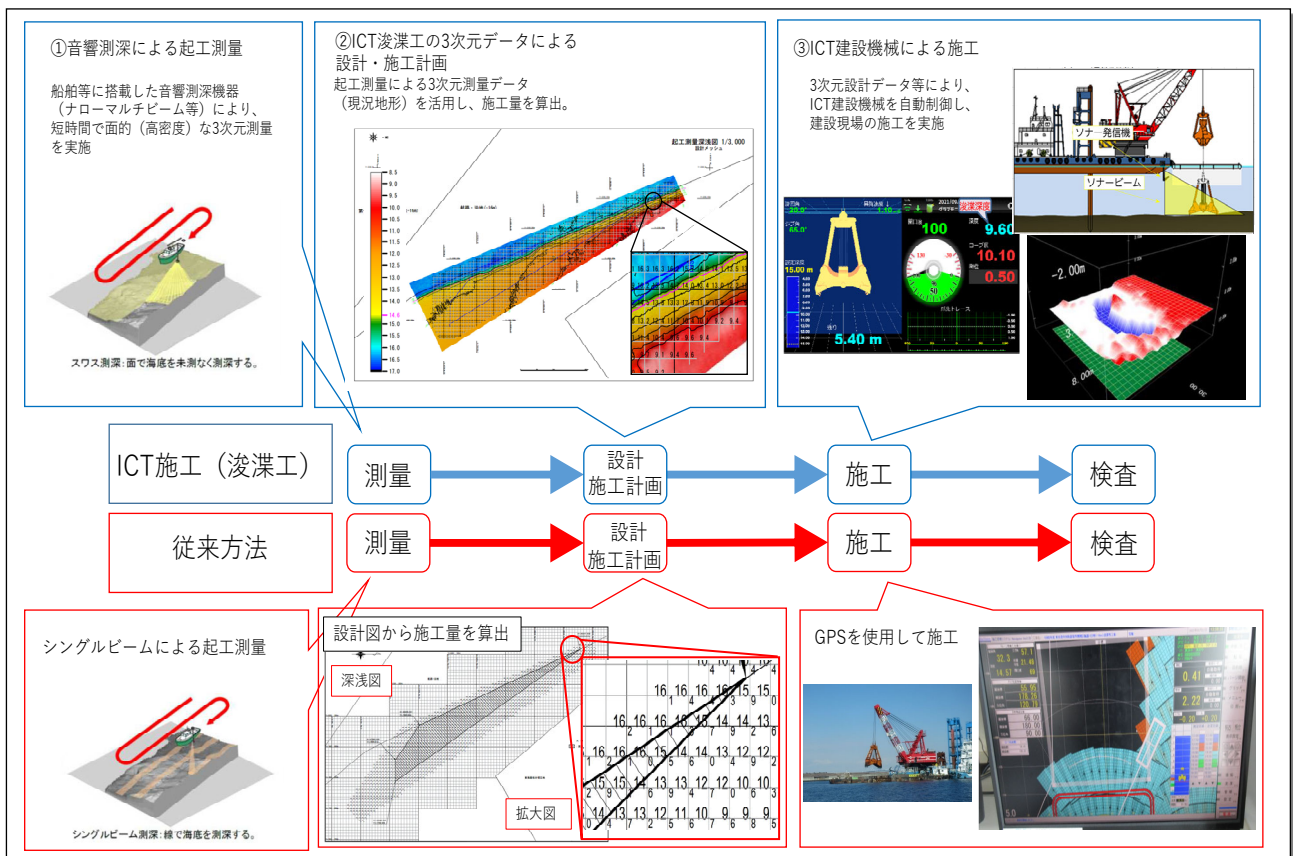


図-2 従来方法とICT施工の概要、比較²⁾

4. 活用効果

今回施工を実施した場所は、東京港第一航路（西航路）および国際海上コンテナターミナルY2バースに隣接しており客船、コンテナ船、貨物船の航行量が非常に多い航路となっている。またプレジャーボートや漁船等の小型船舶も多い海域である。このような条件の基、実際の活用効果について整理を行う。

(1) 作業時間

a) 測量作業

今回の作業について時間の観点から整理を行う。比較を行うと表-1に示す通りになっている。ここでの従来方法（シングルビーム）は、施工者からのヒアリングによる想定の世界設定となっている。

ナローマルチビームはシングルビームに比べ、必要機器が多いため機器の取付やテストに時間を要することの他、解析や数量算出・成果作成にも時間を要する。しかし、マルチビーム測量とシングルビーム測量では、図-3に示す通りその後の成果物、作業に大きく影響を与える。

表-1 従来方法とICT施工の比較表

	シングルビーム	マルチビーム
機装・テスト	0.5時間	6時間
測深	6時間	4時間
解析	3日	7日
数量算出・成果作成	3日	7日

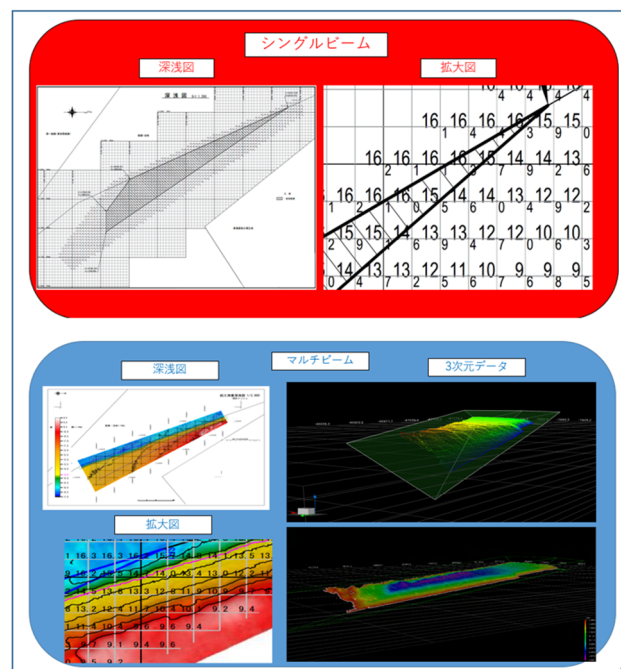


図-3 起工測量のデータ比較
(上段シングルビーム下段マルチビーム)

b) 浚渫作業

浚渫土砂受入先の都合上受入の時間が指定されており、よりタイトなスケジュールになる日もあったが、海底地盤の可視化を活用して、掘削箇所（グラブ船）をこまめに移動させて、土厚の大きい箇所、小さい箇所を組み合わせ施工することにより、効率的に浚渫作業を実施でき、タイトなスケジュールにも慌てることなく対応することができた。

測深の時間や浚渫の期間等、航路付近での作業の時間短縮によって、航路利用者の航行への影響を抑えることが出来たと考える。

(2) 精度

測量精度を管理する上で本施工場所では航行船舶の航跡波の影響を受けやすい。起工測量を実施する際、ナローマルチビームを使用することによりシングルビームに比べ航跡波の影響による測深精度を大幅に向上させられる。更に、未測深幅が無いため、線から面という対象範囲全体を網羅した管理が可能である。面で計測したデータを、3次元点群データ作成の際には、土量計算時には中央値(平均値)、出来形管理時には必要な水深を確実に確保するため最浅値を使用した。

浚渫施工時には、図-4に示すように、起工測量の3次元データを見ることが出来る。浚渫船のオペレーターに確認したところ、可視化が施工者にとっては安心感につながり、より効率的に施工を行えるようになったという。

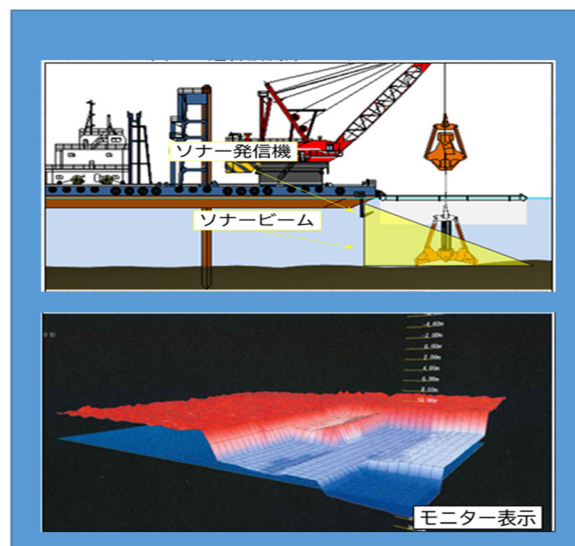


図-4 施工時の可視化

(3) 安全管理

今回の施工は航行船舶の多い航路付近の浚渫という条件下での施工のため、より一層安全管理が求められた。施工者はもちろんのこと航路利用船舶にも心掛けて施工を実施した。

主な対策として、AIS（船舶自動識別装置）やARPA（自動衝突予防援助装置）付レーダー、GNSSによる船舶情報（位置、針路、速度等）を管理PCの画面地図上に表示することにより、浚渫区域周辺の船舶の航行状況を把握した、この情報を基に土運船の押船船長に入出域のタイミングを指示し危険の回避を行った。更に、船団配置計画を行い、浚渫船、土運船、警戒船、補助船等の業務を行う船舶の配置位置の検討を行い、周囲への影響を最小限にする事を考慮したうえで施工を実施した。

これらのシステムや技術を使用することにより、事故無く予定通り工事を終えることが出来た。

(4) 課題

ICT施工の便利な一面が見えてきた中で課題や改善点も見えてきた。はじめにコスト面である。性能の向上と共にコストも上昇している。例えば、マルチビーム機器の初期投資にはシングルビームに比べて10倍程度の費用が必要であったり、測量委託経費はシングルビームに比べて3倍以上かかる。このようにコスト面は大きな課題である。

次に、今後人手不足も起こりうる可能性がある。ICT施工は高度な技術が必要なため、操作技術者が限られ測量業者が多忙な際、必要なタイミングでの業務の実施が出来ない場合が考えられる。

最後に、測量機械が故障した際、精密な機器のため修理に費用と期間がかかるということも課題である。

5. 考察及び今後の課題

従来方法より、作業時間や精度、安全管理等の優位性が確認できた中でいくつかの課題があげられた。本項では考察及び課題について整理を行う。

(1) 航跡波の影響

今回は、船舶が輻湊する海域での浚渫のため、航跡波の影響を受けやすいという懸念があったが、ICT施工(ナローマルチビーム測量)を実施することにより、従来方法より航跡波の影響を抑えることが出来たと考える。

(2) 安全管理

船舶の輻湊する海域でのICT浚渫工事の適用性について、船舶の航行が多い箇所での施工は、周囲の航行船舶状況の確実な把握とその情報を基に各作業船との情報共有や指示が非常に大事である。また航路利用者への影響を第一に考慮する事で、事故なく施工を実施することができると考える。

(3) ICT浚渫

測量機器の性能向上に伴う測量時間の短縮、詳細な海底状況の把握による精度の高い土量計算、3次元データによる土量の自動計算など多くの活用効果が見られた。

その一方で、マルチビーム測深における機器の価格に関しての課題は、今後普及していく中で価格の見直し、効率化を考えた機材の開発等により改善していく内容だと考える。また、操作技術者の養成も必要と考える。

港湾工事の特徴として、海上や海中での工事が多く工事出来形の確認や作業の進捗状況の把握が困難な場合が多いことから、ICTを活用することによりこれらを解決する一歩につながると考える。

6. おわりに

本検討は、船舶の輻湊する海域でのICT浚渫工事の施工の適用性についての検討を実施したものである。

現場では、港湾利用者に影響を与えないよう作業を行うことが重要と考え、発注者としてICT施工を行うことで作業の効率化により海上作業の時間の短縮を図り、港湾利用者への影響の軽減を図っていく。また、周囲の航行船舶の状況を確実に把握しICTを使い情報データを管理し安全面に利用することが有効であると考えた。

最後に、現場監督員として本浚渫工事に携わり、ICT施工として高度な機械・技術を用いることから、測量機械の取付や基準高さ等の基礎・基本的な事項に注意を払った。その結果、精度よく測量、浚渫を行うことが出来たと考える。

今回のICT浚渫工事の事例が今後ICT浚渫工のさらなる利用の向上につながるための参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 宮崎兼治：ICT を活用した浚渫工事における課題と対応について、スキルアップセミナー論文、2019
- 2) 村田恵、井山繁、坂田憲治：ICT 浚渫工の更なる生産性の向上に向けた検討、国土技術政策総合研究所資料、No. 1087、2019

～東北初～

ICTを活用したケーソン据付の効率化施工

○佐藤 悌人¹ ・ 伊藤 毅志²

¹東北地方整備局 塩釜港湾・空港整備事務所 企画調整課 (〒985-0843 宮城県多賀城市明月1-4-6)

²東北地方整備局 塩釜港湾・空港整備事務所 保全課 (〒985-0843 宮城県多賀城市明月1-4-6) .

仙台塩釜港仙台港区では現在、コンテナ貨物量の増加に伴うコンテナ船の沖待ちを解消するため、高砂2号岸壁の延伸や荷さばき地の拡張事業を平成29年度から実施しており、令和5年度末の完成に向け整備を進めている。

当該整備箇所は、多数の大型船舶が航行する航路に近接し、航跡波の影響を受ける海域であることから、岸壁本体の構造物となるケーソンの据付は、安全かつ効率的な施工及び高精度な施工を行う必要があるため、ICT技術を活用し実施したものである。

なお、海上工事におけるICT技術はこれまで浚渫工や基礎工で用いられてきたところであるが、当港において東北管内では初となるケーソン据付において実施したことから、先行事例として報告するものである。

キーワード 岸壁築造 ICTケーソン据付

1. はじめに

仙台塩釜港は、仙台湾に位置し仙台塩釜港仙台港区、塩釜港区、松島港、石巻港が統合した港である。東北地方では唯一“国際拠点港湾”に指定されており、東北地方の経済を支える海上物流拠点として機能している。



図-1 仙台塩釜港位置図

また、仙台塩釜港の港湾取扱貨物量の9割が仙台港区での取扱いであり、フェリー、完成自動車、原油等の輸送拠点であるとともに、国際フィーダーコンテナの取扱個数は全国1位を誇り、国際コンテナ戦略港湾政策を支える重要な役割を果たしている。その海上コンテナを取り扱う高砂埠頭においては、年々コンテナ貨物取扱量が増加しており、コンテナ船の入港数増加に伴う岸壁延長の不足により沖待ちが生じている

ほか、ふ頭用地の不足による横持ちや空コンテナの危険な仮置きなどを強いられてきたため、平成29年度より、ふ頭用地の拡張と、岸壁を延伸する工事を実施している。

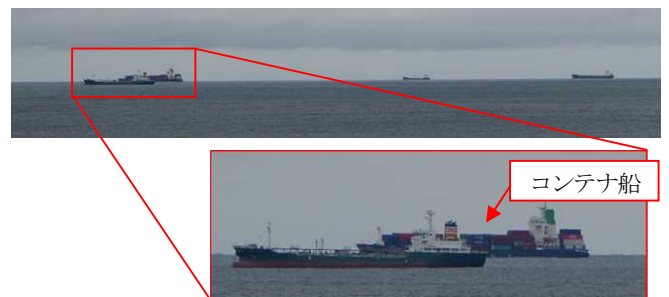


図-2 沖待ちをするコンテナ船



図-3 コンテナ蔵置状況

図-4 風速を監視しながらの高積み



図-5 仮置きによる横持ち(二次輸送)の発生



図-6 トレーラ渋滞(最大2時間待ち)

本発表は、この“岸壁築造工事”において、ケーソン据付にICT技術を活用した事例を紹介するものである。



図-7 高砂コンテナターミナルとふ頭再編改良事業

2. 業務の目的

本工事場所は、防波堤により遮蔽された港の中であり、一般的には海外での防波堤工事などに比べ施工環境は良いと言える。

ただし、この施工場所は港の入口側に位置しており、港内に入り出す船舶のメイン航路が近接していること、コンテナを積んだ大型船が係留され荷役される大型岸壁隣接部の延伸であることなどから、

- ・作業範囲を広くとることができない
- ・航路を大小様々な船舶が頻繁に航行するため、その際に生じる航跡波を受けながらの施工となる
- ・施工期間の制約がある中で、効率的な施工を求められる

等の条件下、約3,000tと、岸壁用としては全国的にも大きいケーソンを精度良く効率的に据付ける必要がある、難易度が高い工事であった。

各種作業の中でも特に難易度の高い“ケーソンの据付”について、モデル工事として、ICT技術を用いることにより、安全かつ精度良く施工することを目指した。

なお、仙台塩釜港は世界三大漁場と呼ばれる三陸沖に位置し、皇室に献上される海苔等がとれる良質な漁場である。

当事務所では、このような地域の特徴に最大限の配慮をしながら港湾工事を実施しているため、施工できる期間が限られており、その期間に確実に施工を完了させる必要があった。そのため、作業効率を向上させることも、ICT技術を活用した理由の一つであった。

航跡波・・・水面を航行する船舶等の物体の下流側水面に生じる波。



図-8 近接する航路を航行する船舶と航跡波

3. 技術の内容

(1) 工事概要

工事件名：

令和2年度

仙台塩釜港仙台港区向洋地区岸壁(-14m)築造工事



図-9 施工場所

工事内容

陸上地盤改良工	薬液注入	1式
基礎工	基礎捨石、捨石均し	1式
本土工	ケーソン据付	4函 他
	(L) 12.5m × (B) 22.3m × (H) 17.2m	約3,000t/函

(2) 従来工法

岸壁の本体部分は、ケーソンと呼ぶ中空の鉄筋コンクリート製の箱(図-10)を陸上で製作・進水し、作業船を用いて所定の場所に据付けて築造する重力式が代表的な構造形式である。

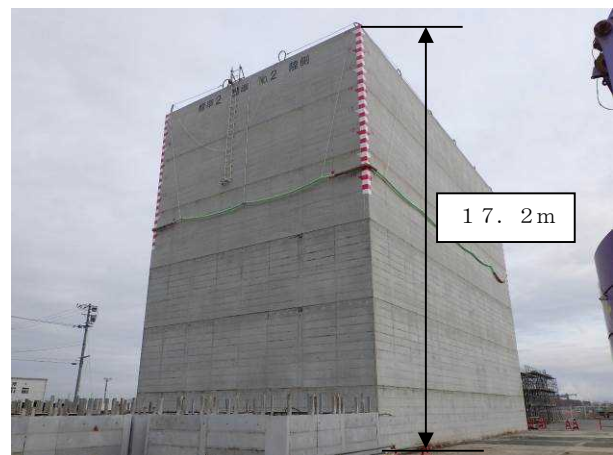


図-10 製作中のケーソン

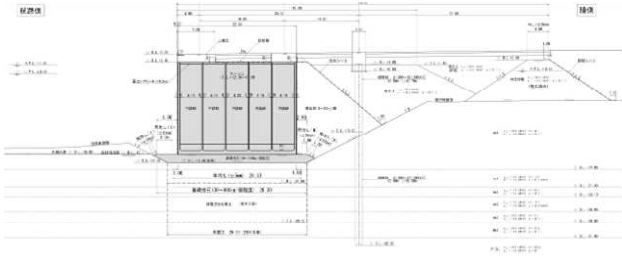


図-1 1 標準断面図

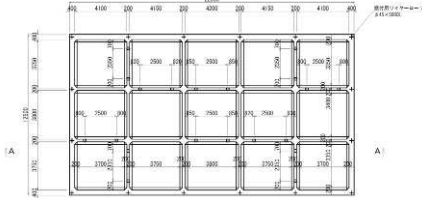


図-1 2 平面図

このケーソン据付は、浮上させたケーソンを引船でえい航(図-3)し、作業指揮者の指示のもと起重機船のウインチにより所定の位置に誘導し、水中ポンプでケーソン内に注水する(図-4)ことにより沈降、据付けるのが一般的な施工方法である。その後、中詰砂の投入や蓋コンクリート、上部コンクリートを打設して完成となる。また、このケーソン据付作業は延べ140名もの作業員により行われる。



図-1 3 ケーソン据付状況(従来工法)

(3) ICT施工

本工事では、従来の据付方法を基本としつつ、ICT施工として、

- ・ケーソン天端に高精度傾斜計を、各マス内に水位センサーを設置し、ケーソンの傾きを考慮しながら注排水ポンプを作動させる自動制御システム。

(図-14)

- ・ケーソンにGNSSアンテナを設置し、設計据付位

置に対しての現在位置をリアルタイムに表示させ、所定の位置に誘導するケーソン据付システム。

(図-17)

によるケーソンの位置誘導・姿勢制御の一元管理を実施。

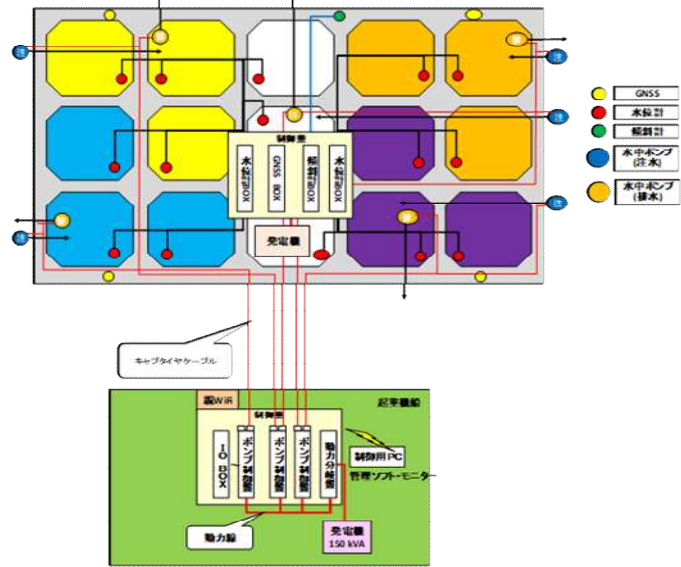


図-1 4 システム構成図

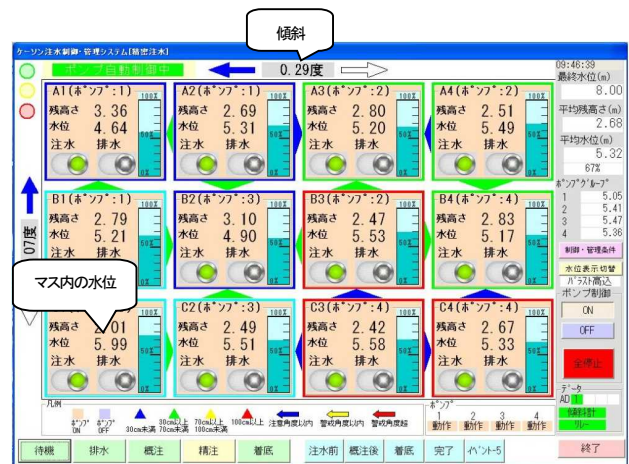


図-1 5 マス内の水位管理



図-1 6 ケーソン据付状況

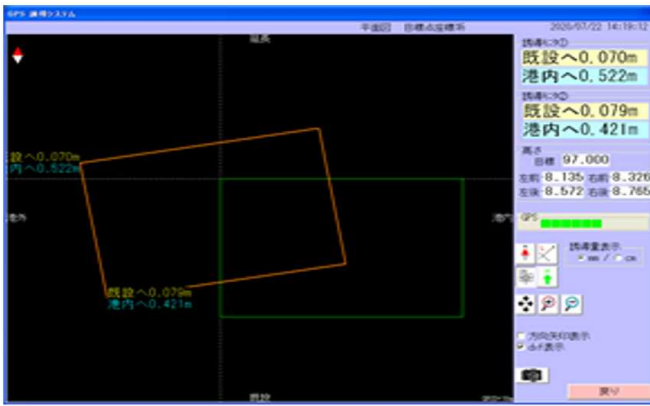


図-17 タブレット、PCで確認できる位置情報



図-18 システム機材設置状況

東北地方整備局港湾空港部において、ケーソン据付にかかるICT施工の実績がなかったことから、当事務所においては、

- ・品質確保調整会議を早めに実施
- ・施工条件、施工手法、安全管理など、こまめに確認しながら密に打ち合わせながら実施
- ・関係機関への事前諸手続など、可能な限り迅速な調整につとめた

などにより、工事そのものにスムーズに入れるよう配慮した。

(3) ICT施工による効果

- ・従来工法で必要であった、ケーソンへの注排水や姿勢制御、ポンプ運転にかかる人員（4名/日）を削減できた。（計140人→124人）
それは、浮遊中のケーソンの上に乗る人員を減らせることであり、落下災害の可能性が低減するため安全性が高まったと言える。

- ・また、浮遊するケーソンに注水することによる姿勢変化、及びその最中に航行船舶の航跡波を受けた際の

姿勢変化と位置制御については、従来は作業指揮者の経験に頼っていたところであるが、システムによる一括制御により効率的に精度良く実施できた。

（工程7日→6日）

（据付精度；許容数値の50%以下）

4. おわりに

ケーソン据付を対象としたICT施工は、令和元年度にモデル工事の実施を目的とした標準仕様と積算要領を策定し、令和2年度からモデル工事として実施したものであり、本事例もその一環である。

また、令和3年度には、このモデル工事の実績等を踏まえ、ケーソン据付システムより取得したデータを活用した出来形管理要領及び出来形管理の監督・検査要領を作成している。

このケーソン据付にかかるICT技術が普及すれば、従来職人の経験に頼っていた部分が自動制御化されることになるため、経験の浅い技術者が配置されたとしても、効率的にかつ安全に精度よく、据付が可能となる可能性があると考えられる。

航跡波を受けながらも精度良く据付できるその技術は、外海に面し、海象条件の厳しい防波堤等の据付にも生かせることができる。

また、これらの技術・資機材が普及することで、費用面が改善されることにより安価に運用できるようになり、それによりさらに普及が促進される可能性を秘めている。他方、我々発注者側も新たな出来形管理要領への対応が求められることとなる。

なお、本工事では他の作業にもICT技術を導入しており、工事全体としては工期を24%短縮、作業人員を23%削減できた。

国土交通省では、建設現場における生産性の向上、魅力ある建設現場を実現するi-constructionを活用した取り組みを推進しているところであるが、港湾分野での取り組みは必ずしも進んでいるとはいえない状況である。我々がこれらの技術を積極的に活用していくことで、今後、さらなるICT技術の普及と発展につながることに期待する。

徳島小松島港 金磯地区岸壁(水深11m)改良工事 におけるICTの取り組みについて

横山 七海¹・山本 道広²

¹四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所 工務課 (〒773-0001 徳島県小松島市小松島町字外開1-11 小松島みなと合同庁舎2階)

²四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所 保全課 (〒773-0001 徳島県小松島市小松島町字外開1-11 小松島みなと合同庁舎2階)

徳島小松島港は、四国東部の紀伊水道沿岸のほぼ中央に開けた港であり、古くから天然の良港として栄えてきた。1970年代より、直轄事業として本格的な港湾整備を進めてきた徳島小松島港は、今日、供用から50年以上が経過し、老朽化が著しい施設も多い。これら施設の機能保全対策の一環として、徳島小松島港金磯地区岸壁(水深11m)においては、2016年度より、リニューアル工事を実施している。本稿では、本事業において令和元年度より導入した、ICTの活用による施工管理業務の高度化と生産性(効率)向上に関する取り組みについて報告する。

キーワード CIM施工管理, Webカメラ, 遠隔臨場, i-Construction

1. はじめに

徳島小松島港は、1964年3月に地方港湾徳島港と重要港湾小松島港とを統合して設立された重要港湾であり、現在は徳島港区と小松島港区に大別される(写真-1)。小松島港区の金磯地区岸壁(水深11m)(写真-2)は、主に原木やPKS(バイオマス発電用燃料)の荷役やクルーズ船の寄港等に利用されている。しかし、老朽化により一部の区画では利用制限がかけられる等、機能が低下している(写真-3)ことから、予防保全事業として老朽化対策を進めているところである。

また、昨今建設業における担い手が不足するなかで、ICTの導入によって建設工事の生産性の向上、及び安全性確保が図られるなど、取り組みが進んでいる。そのような時流の中、本工事ではICTの積極的な活用により、施工管理業務全般の高度化や生産性の向上を実現した。ここでは、主に令和元年度の発注工事に取り組んだ、①CIM施工管理情報プラットフォームによる管理業務全般の効率化 ②CIMとWebカメラの活用による施工および安全管理業務の高度化と効率化について報告する。

2. 工事概要

金磯地区岸壁(水深11m)は、本体工の鋼管杭と上部工の床版ブロック(約20m×約20m)合計20ブロック、付属工で構成される栈橋式構造の岸壁であり、2022年10月

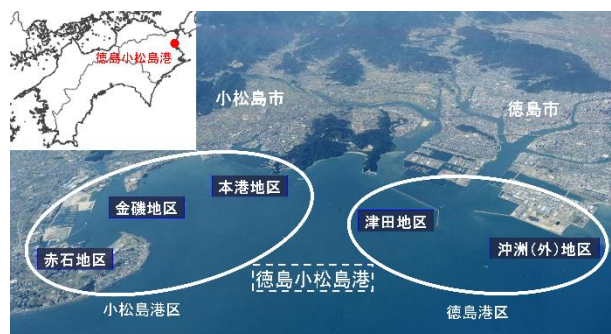


写真-1 徳島小松島港



写真-2 金磯地区岸壁(水深11m)全景(2022.3撮影)



写真-3 上部工(床版下面)の鉄筋露出状況

現在、16ブロックの改良が完了している（図-1）。

本工事は、老朽化した既存上部コンクリートをワイヤーソーにより撤去し、現場打ち等のコンクリートによる新たな上部工の新設、鋼管杭の被覆防食等を行うものである。図-2に施工フローを示す。

3. 施工管理上の課題と解決のための取り組み

(1) 施工管理上の課題

a) 施工管理業務の効率の向上

一般的に施工管理業務は、多岐に渡る施工管理項目（品質、出来形、写真、材料、安全管理等）をそれぞれ分担して管理するが多い。そのため、工種数が多く、複数の工種の管理内容が相互に関係するものが多い本工事では、個別に管理されているデータの確認や共有に多くの時間を要することや、施工上の検討を要する際、複数の担当者が頻りに集合して協議する必要が想定された。以上より、本工事における施工管理データの共有や利活用等、施工管理業務全般の効率の向上が課題となった。

b) 施工および安全管理業務の高度化と効率化

本工事は、多くの工種や作業が輻輳しながら工事を進める必要があることや、潮位の変動を考慮した作業を含むことから綿密な施工計画を検討の上、各施工ステップを正確に把握して効率的に施工する必要があった。また、栈橋下の狭隘なエリアでの施工を含むため、施工ステップ毎のきめ細やかな安全管理が必要であった。しかし、施工計画や安全管理方法検討のための資料は2次元図面のみであり、輻輳の位置関係、当該作業の危険箇所の抽出、それに応じた安全作業手順の検討並びに作業員への周知・説明に多大な時間と労力を要することが想定された。このため、本工事における施工および安全管理業務の高度化と効率の向上が課題となった。

(2) 取り組み内容

a) CIM施工管理情報プラットフォームによる管理業務全般の効率化

国土交通省では、インフラ分野においてBIM/CIMやICT施工により作成される3次元データ、地盤情報、民間建築物等の国土に関する情報をサイバー空間上に再現するプラットフォームの構築を進めているところである。

本工事ではこの取り組みに先駆けて、施工上の課題を整理し、施工管理情報を簡易的にプラットフォーム化することで、管理業務の効率化を図った。

【具体的な取り組み】

設計図書を元に現場の3Dモデルを作成し、施工進捗に応じた施工管理項目（施工状況写真、品質・出来形管理図表等）を属性情報として付与したCIMモデルを構築した（図-3）。なお、このモデル上の管理項目タグをクリックすることにより、施工部位毎に管理の状況および

結果について確認・利用が可能となるよう工夫し、このCIMモデルをプラットフォームとして作業ステップや工種毎に、工事関係者が管理データを一元的に確認・活用することを可能とした。

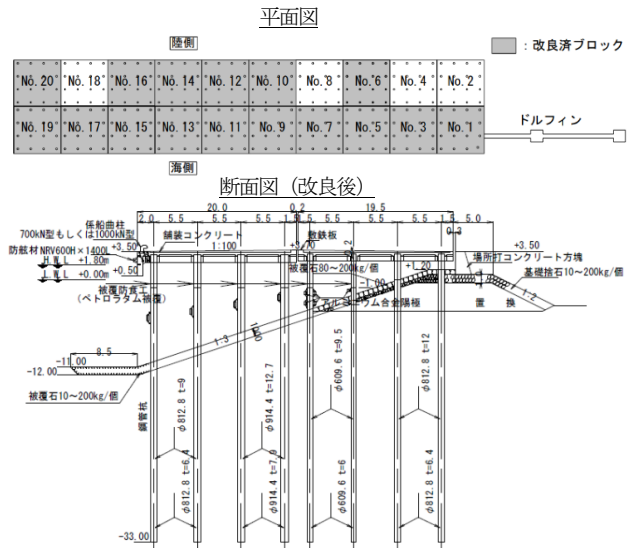


図-1 金磯地区岸壁（水深11m）

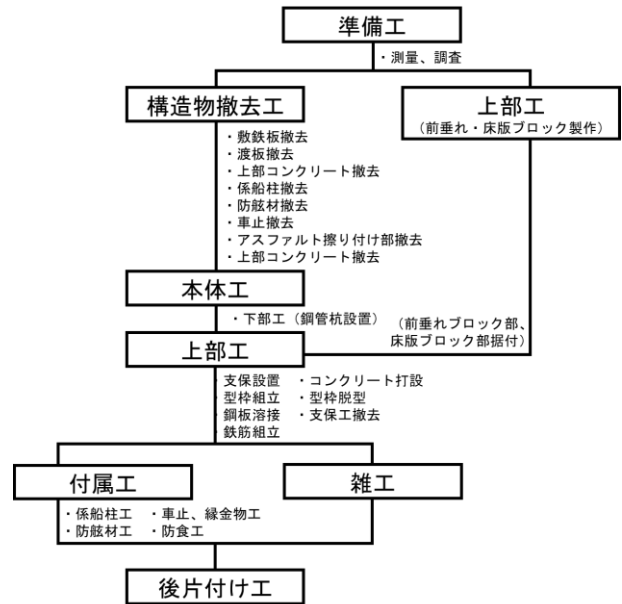


図-2 施工フロー



図-3 施工管理情報プラットフォーム

b) CIMとWebカメラの活用による安全管理業務の高度化と効率化

現在、建設現場において「段階確認」「材料確認」と「立会」を必要とする作業に遠隔臨場を適用して、受発注者の作業効率化を図る取り組みが進められている。また、CIMモデルを用いて構造物を様々な視点から確認することで現場に潜む危険ポイントを把握し、安全管理に活用する取り組みも進められている。

本工事では、当現場の課題を整理したうえでCIMを活用した安全教育や、ウェアラブルのWebカメラを利用した多元的遠隔臨場パトロールにより、安全管理業務の高度化と効率化を図った。

【具体的な取り組み】

CIMモデルを活用して施工過程の各作業ステップ毎に現場を再現し(図-4)、安全施工手順を検討した上で、同画面により高度な作業員教育を実施することで、危険予知の先取と安全意識の高揚を図った(写真-4)。

また、Webカメラ「MET-EYE」を用いて、受注者の本社、支店もオンライン化し、発注者も含め遠隔臨場による多元的安全監視(パトロール)を実施することにより、安全管理の高度化と安全管理業務の効率化を図った(写真-5)。

c) CIMモデルを活用した施工計画検討

本工事は、気象・海象条件の影響を受けやすい現場であるため、施工計画検討業務においてCIMモデルを活用した施工シミュレーションモデルを作成し、施工の効率化を図った。

【具体的な取り組み】

上部工における支保設置や鋼管杭の切断・溶接の際、海象条件により、多大な作業時間を要することが想定された。そこで、CIMを活用した「施工シミュレーションモデル」を作成し(図-5)、潮位の変動を考慮した作業手順の適切性や作業スペースの確認を行うための施工計画の検討を行い、施工の効率化を図った。

4. 本取り組みの成果

今回の主な3つの取り組みは、港湾工事の社会資本整備におけるi-Construction推進、建設業のDXの推進の一助になるものと思われるが、本工事における直接効果、今後の波及効果について、以下に示す。

(1) CIM施工管理情報プラットフォームによる管理業務全般の効率化の成果

今回の取り組みは、国土交通省港湾局が進める「BIM/CIMクラウドを活用した情報プラットフォーム」構築の先駆的な取り組みとして、その有用性を広く確認できた。

a) 本工事における直接効果

- ①施工関係者全員が施工管理情報を共有することにより書類作成時間や検討時間(打ち合わせ時間)を20%~30%削減することができた。
- ②管理データの一元管理により、各種管理データの検索や確認時間の短縮が図れた。
- ③専用ビューワーソフトを用いることで、受注者の各部門関係者(安全、土木、技術部門)や発注者もCIMデータ(施工管理情報)を確認することができた。
- ④竣工検査での出来形管理、品質管理項目の確認をペーパーレスでPC上で効率的に行うことができた。
- ⑤本事業は継続して行われるため、施工手順や工事内容、施工の留意点などを次工事へ適切に引継ぐ事ができた。

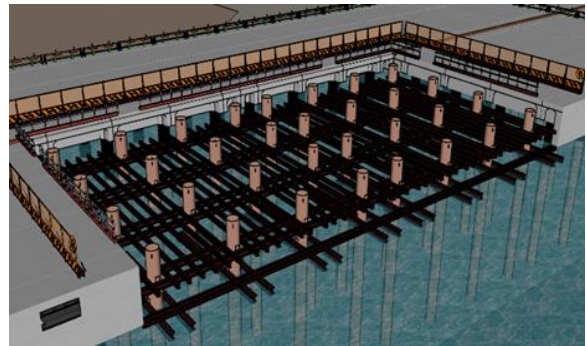


図-4 CIMモデルによる施工ステップ図(支保設置)



写真-4 CIMモデルを活用した安全教育



写真-5 ウェアラブルカメラによる遠隔臨場パトロール

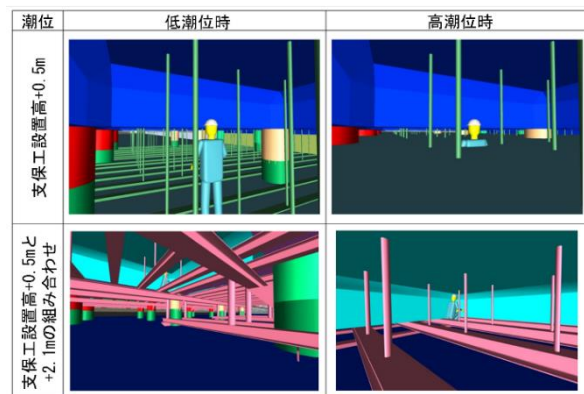


図-5 施工シミュレーションモデル

b) 波及効果

今後、施工管理情報を設計情報、維持管理情報等とリンクさせることで、港湾施設のBIM/CIMクラウドへ発展させ、将来の施設のメンテナンスを含めた生産性向上に寄与できると思われる。

(2) CIMとWebカメラの活用による施工および安全管理業務の高度化と効率化

今回の取り組みは、国土交通省港湾局の進める2023年度からのBIM/CIM本格適用に向けた先駆的な取り組みとなった。なお、Webカメラによる遠隔臨場安全監視は、内閣府の新型コロナウイルス感染症対策本部42回会議（2020年8月28日開催）において、施工現場におけるデジタル化の優良事例として紹介され、その先進性が評価されたところである。

a) 本工事における直接効果

- ①高齢者や経験の浅い技能者の現場理解度が高まり、安全意識の高揚とKY活動の充実が図れた。
- ②安全教育や新規入場者教育で活用することで危険箇所の周知、安全作業手順の習熟を図ることができた。
- ③発注者も含め、受注者の各部門関係者（安全、土木、技術部門）が現地に臨場することなく、各部門からの多面的なパトロール（指導）を行うことできめ細かな安全管理を行うことができた。
- ④パトロールの質を落とすことなく、関係者の移動時間を削減でき、省力化による生産性向上が図れた。
- ⑤ペーパーレスで安全教育を実施することが可能となり、書類を50%程度削減できた。

b) 波及効果

CIM技術の応用は、2次元図面での確認が難しい施工箇所の抽出、施工の工夫検討、クラウド下での設計変更、維持管理の効率化等に広く活用普及することが想定される。Webカメラの活用は、土木作業現場における技能者の高齢化や入職者減少の中で、技術の伝承、オンライン現場見学会、次世代の土木技術者育成等、幅広く活用されるものと考えられる。

5. CIMモデルのその他の活用

3次元データは、工事関係者のみならず、様々な人にも施工状況をイメージしやすいというメリットがある。そこで、本取り組み以外の活用として、施工ステップ図等を用い、港湾利用者等に向けた工事説明や全国の大学生向けのWeb見学会（写真-6）等を行った。

前者については、工事中における岸壁での荷役作業（写真-7）やクルーズ船寄港時の安全性確保等の利用者調整に活用した。後者については、建設業や港湾工事への興味をより深める機会の創出や、建設業における担い手確保の取り組みの一環として活用を行ったものである。

6. 今後の課題

今回の取り組みは、施工管理業務全般の高度化と効率化の向上に大きく寄与したと思われるが、来年度からの直轄港湾工事におけるBIM/CIMの原則全面適用に向けて考慮すべき課題について以下に示す。

(1) 本工事で挙げられた課題

- ①3次元データを扱ったCIM化作業を行うには、高性能のPCスペックが必要となる。
- ②受注者が施工情報として必要な情報と、発注者や管理者が管理する上で必要な情報が異なる場合があるため、CIMとして扱う属性情報の種類と付与方法など統一的なルールや基準が必要となる。
- ③Webカメラや遠隔臨場の利用は、インターネットなどの通信回線を利用して行われるため、通信の安定性は通信環境に依存する。特に山間部や港湾の現場では通信環境が弱い地域もあるため、利用においては事前に機器の通信性能や通信環境の確認が必要である。
- ④Webカメラや遠隔臨場の機器は種類が多く、機能や性能も製品毎に異なり、利用目的や用途によって、使い分ける必要がある。本工事では、安全管理に活用するという目的でハンズフリーで映像のブレが少なく、データがクラウド上に保存できる機種を採用した。



写真-6 Web現場見学会の様子



写真-7 工事中に荷役するPKS船

①③④については、今後の情報通信技術の向上とともに改善されていくものと思われるが、②については発注者においても特段の考慮が必要であると思われる。現在、BIM/CIM関係基準が更新される中で、上述のようなモデル作成段階における課題の他、引継書などを活用しても尚ファイル形式や使用するソフトの違いから、過去データの引継・更新がうまくいかない、といった事象も発生している。クラウドを活用した情報プラットフォームの構築を見据え、作成したBIM/CIMモデルを1業務内だけでなく、調査・設計から維持管理まで、建設生産システム全体で活用するためにこの課題への具体的な対応を検討する必要があると考えられる。

(2) 発注者側における課題

発注者においても、ハードウェアやソフトウェア・通信環境等のBIM/CIMを取り扱う環境整備は重要であるが、それらを扱える人材の育成も喫緊の課題である。研修や講習会への参加を通じ、より多くの人の基礎的な技術・知識の習得を促す必要があると考える。また、作成されたBIM/CIMモデルを将来にわたって利用していくため、単に“導入する”のではなく、作成の目的や活用方法についてあらかじめ明確にする事で“活用する”意識を持って取り組むことが重要と考える。

7. おわりに

本稿では、ICTの現場活用事例として、CIM施工管理情報プラットフォーム構築とWebカメラの活用について報告したが、近年のICTの進歩は目覚ましいものがある。ICTを活用することで、施工の効率化に伴う生産性向上や危険作業の減少、休暇取得率の向上など、建設業の在り方が大きく変わろうとしている。また、若者や女性などの多様な方々が活躍できる環境が整備されてきている。建設業は、地域のインフラ整備やメンテナンスなどの重要な担い手であると同時に、地域経済・雇用を支え、災害時には最前線で地域社会の安全・安心の確保を担う地域の守り手として、国民生活や社会経済を支える大きな役割を担っており、その建設業界を魅力的な業界にしていくことが今後も引き続き取り組んで行くべき課題といえる。ここで報告したICT活用の取り組みは、令和3年度i-Construction大賞（優秀賞）を受賞した。今後も受発注者の中でICTに関する様々な取り組みを進めるとともに、水平展開を図ることで、更なる建設業の発展と次世代の技術者の育成に寄与していくものとする。

謝辞：本稿の作成にあたり、工事の受注業者である東亜建設工業株式会社には多大なご協力を賜りました。この場を借りて御礼申し上げます。

ビッグデータを用いた世界の海運動向の分析

上田剛士¹

¹国土技術政策総合研究所港湾研究部（〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1）

日本の貿易の大部分を担う海運の動向を正確に把握することは、港湾行政にとって非常に重要である。近年は船舶の位置情報を取り扱うAISネットワーク等を用いて船舶動静をまとめたLloyd'sデータや、米国税関の保有情報をデータベース化した北米海上輸出入貨物に関するPIERSデータ等の様々なビッグデータがあり、当研究部ではこれらを活用して政策の企画・立案を支える基礎データを作成している。本稿では、直近の社会情勢（新型コロナウイルスの感染拡大、海運業における脱炭素化等）の影響に着目した分析の結果を報告する。

キーワード 海運、ビッグデータ、貨物輸送量、船舶動静、造船

1. 研究の背景

世界経済の成長に伴い各国の貿易活動が活発化する中で、国際輸送を担う海運業も発展を続けている。海運は日本の貿易の大部分を担っているため、港湾政策を企画・立案する上では、その動向を正確に把握することが非常に重要である。近年は海運ブローカー等の民間企業が提供する様々なビッグデータがあり、これを活用して分析を行うことで、様々な港湾政策の立案・推進に必要な海運や造船の基礎データを得ることができる。

本研究は、上記のビッグデータを用いて、海運及び造船に関する動向について、新型コロナウイルス感染症やカーボンニュートラルなどの最新の社会情勢も踏まえつつ、定量的に分析するものである。なお、詳細については既往の研究成果も参照されたい¹⁾。

2. 海運関係のビッグデータと用語

世界には様々な海運に関するデータが存在するが、港湾研究部では政策の企画・立案・評価等に利用するため、表-1に示すビッグデータを収集し、分析に用いている。

(1) 海運データ

a) PIERSデータ

PIERSデータはS&P Global社が提供するPort Import / Export Reporting Serviceの略で、米国税関の公表情報（船荷証券等）から作成される、米国発着貨物（及び米国を経由するカナダ発着貨物）の量、種類、経路等に関するデータである。北米発着のコンテナ貨物輸送量をはじめ、経路情報を用いて直行率を、HSコードを用いて品目別の内訳を算出することも可能である。

b) Lloyd'sデータ

Lloyd'sデータは、Informa社が提供するLloyd's List Intelligence船舶動静データの略で、世界のAIS（自動識別装置“Automated Identification System”，船舶間の衝突防止等を目的とした国際条約に基づくシステム）ネットワークや海運関係企業からの情報収集によりまとめた、世界の船舶の動静（移動履歴）や船舶の基本的諸元等から成るデータである。港湾毎の寄港回数や寄港船腹量の集計や、船舶の港湾内の滞在時間（停泊時間）の算出等が可能である。

c) Clarksonデータ

Clarksonデータは、Clarksons Research社が提供する世界の船舶のサイズや性能に関するデータである。Lloyd'sデータより細かな情報（例えばメインエンジンの使用燃料、建造中の船舶の船腹量情報など）を含むため、個別船舶の詳細データに基づく分析が可能で、使用燃料や船腹別の建造隻数などを算出することができる。

(2) 海運用語

本節では、後述する分析結果において用いる海運に係る用語（図-1）について述べる。

表-1 海運データのまとめ

データ名 (通称)	PIERS (ピアース)	Lloyd's (ロイズ)	Clarkson (クラークソン)
データ名 (正式名称)	Port Import / Export Reporting Service	Lloyd's List Intelligence 船舶動静データ	World Fleet Register (作成: Clarkson社)
概要	北米発着の海上輸送貨物の量や経路のデータ	船舶の寄港履歴データ	船舶のスペックのデータ
データ量	輸出入データ 約700万件	寄港履歴データ 約400万件	船舶データ 約15万隻
活用方法 (例)	・アジア-北米間の国別 コンテナ輸出入量 ・直行率	・港別の船舶寄港回数 ・港内停泊時間	・船舶の大型化の動向 ・脱炭素燃料船の建造状況

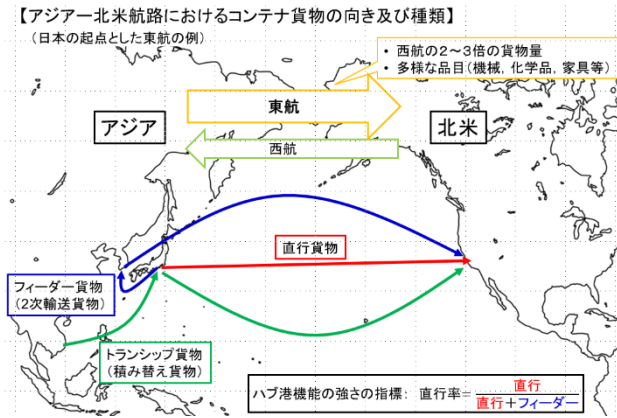


図-1 海運用語の定義

a) 東航／西航

東アジア-北米間の貨物輸送において、太平洋を東向きに輸送される貨物を東航貨物、逆を西航貨物と呼ぶ。両者の量に関しては、製造業が発達している東アジアからの輸出が多く、東航貨物は概ね西航貨物の2~3倍の規模となっており、かつ様々な工業品から成るため分析により得られる情報は多い。

b) 直行／フィーダー／トランシップ貨物

輸送経路に着目すると、コンテナ貨物は3種類に分類することができる。東京港に視点を置いた東京港→ロサンゼルス港間のコンテナ輸送を例にとると、東京からロサンゼルスへ直接向かうものを直行貨物という。また、釜山港のような第三国港湾で積み替え（トランシップ）する場合、東京→釜山間についてはフィーダー貨物と呼ぶ（東京→釜山→ロサンゼルスを経路全体については釜山トランシップ貨物と呼ぶ）。一方で、東京港が発地ではなくベトナムのような第三国が発地であるが、東京港で積み替えてロサンゼルスに向かう貨物をトランシップ貨物という。

また、各国港湾のハブ港としての機能の強さを表す指標として直行率がある。これは、その港湾を発地とする全貨物に対する直行貨物の割合を意味する。

3. 東アジア-北米間のコンテナ貨物流動

国土交通省の主要な政策の一つである国際コンテナ戦略港湾政策は、京浜港及び阪神港のハブ機能を強化するものであるが、日本発着の長距離航路で最も貨物量シェアが大きいのは北米航路であるため、北米発着貨物に関する詳細な情報を含むPIERSデータを用いて、政策検討に資する様々な分析を行った。

(1) コンテナ貨物輸送量

まず、貨物の発着国をベースに、北米コンテナ貨物量

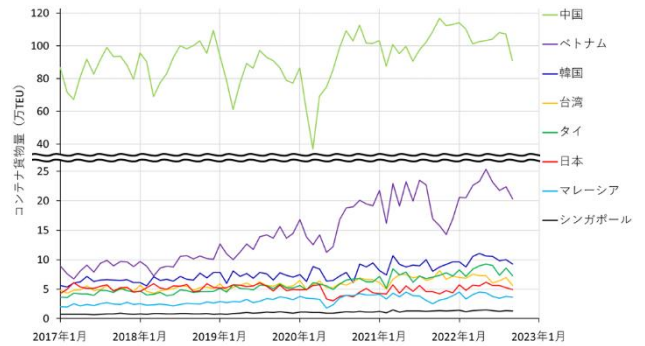


図-2 東アジア-北米間コンテナ貨物量（東航）

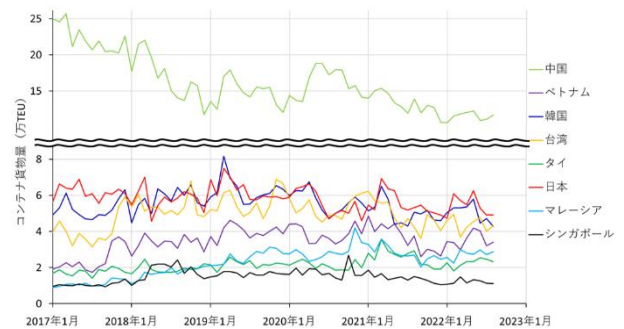


図-3 東アジア-北米間コンテナ貨物量（西航）

（東航及び西航）を集計した結果を図-2及び図-3に示す。

東航は、中国の貨物量が圧倒的に多く、近年急成長しているベトナムが続く。中国やベトナムは貨物重量に比べて容積が大きくなりやすい家具や衣類等の輸出が多いため（日本は自動車部品や建設機械等の輸出が多い）、TEUベースでの貨物量が大きく出やすいと考えられる。家具の輸出については米国での巣ごもり需要の増加とも関連があると考えられる。長期的に見ると、他の東アジア各国を含めて全体的には増加傾向であるが、新型コロナウイルス感染症拡大の影響を受け、2020年上半期にはほとんどの国で一時的な低下が見られる。また、ベトナムでは2021年11月頃にロックダウンによる大きな減少があった。

西航は、東航と比べると貨物量水準ならびにその変動が小さい。北米からアジアへの輸出品には食品や木材等の割合が大きい。また、日本は経済規模に起因する購買力の大きさから西航貨物量は2位であり、中国との差も東航よりは小さくなっている。

(2) 直行率

次に、東航と西航それぞれについて、国別の直行率を集計した結果を図-4及び図-5に示す。同一国内の港湾でトランシップした貨物は直行貨物、他国港湾でトランシップされた場合はフィーダー貨物とみなした。

東航については、国による差が大きく、韓国、中国、台湾、シンガポールは一定の直行率を保持しており、日本がそれに続いていた。しかし、2020年以降はタイ、ベト

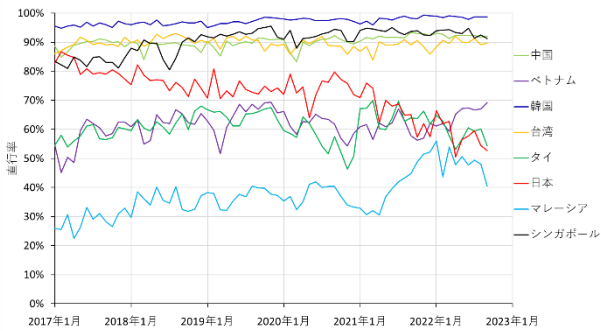


図-4 国別の直行率（東航）

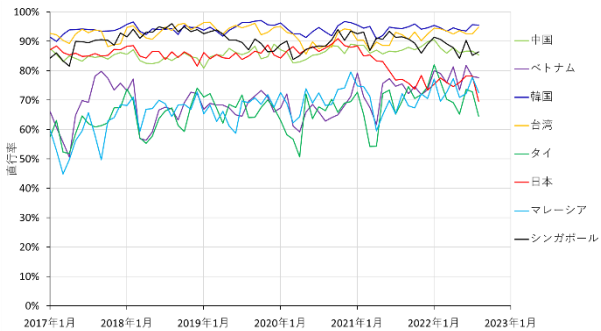


図-5 国別の直行率（西航）

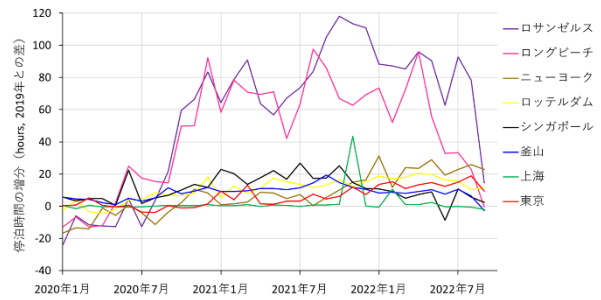


図-6 主要港におけるコンテナ船の停泊時間

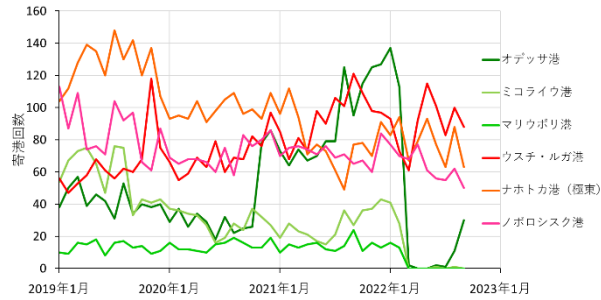


図-7 バルク船の寄港回数

ナム、日本において、コロナ流行をきっかけとした船舶不足や寄港地変更を背景としたサプライチェーンの混乱によるものとみられる変化が生じている。日本においては西航でも同様の変化が見られる。これらの動向は一時的なものであると考えられ、今後も同様の傾向が継続するとは考えにくい。混乱が収束に向かうと予想される今後の推移について継続的な分析が必要である。

4. 世界の船舶動静

前章では貨物量に着目した分析を行ったが、本章では船舶の動静に関するLloyd'sデータを用いて、港湾内での停泊時間や、港湾毎の寄港回数の分析を行う。

(1) コンテナ船の停泊時間

コロナの初期感染拡大後、貨物量の急減少とその後の急回復によるコンテナ物流の混乱が発生した。特に北米西岸港湾においては大規模な輸送遅延が指摘されている。そこで、コンテナ船の遅延の程度を把握するため、世界の主要港におけるコンテナ船の停泊時間の変化を、Lloyd'sデータを用いて分析した。

図-6は、世界の主要港におけるコンテナ船の停泊時間を、Lloyd'sデータの入出港日時情報を用いてまとめたものである。2020年以降の各月の各港におけるコンテナ船の停泊時間の、2019年同月からの増減（差分）を示している。停泊時間の算出には、各月の停泊時間のデータを長い順に並べ、上位四分の一の順位にあるデータを用いた。これは、最大値を用いると一時的に運用を中止している

繋船等の著しく長い停泊時間が現れ、また中央値を用いると沖待ちの影響が現れにくい（寄港船の半数以上が沖待ちしている可能性は低い）と考えられるためである。

結果としては、北米西岸の主要港であるロサンゼルスとロングビーチ港において著しく時間が増加しており、その規模は3~4日、期間は約2年に及んだが、最新データの2022年9月には収束傾向が見られる。他にも、ニューヨーク港やロッテルダム港等において若干の増加が続いており、2022年9月時点では北米西岸港ほど明確な収束傾向は見られない。また、アジアの主要港（東京、上海、釜山）は、長期的には欧米の主要港より変動が小さく、混乱は小規模であったと考えられる。

(2) バルク船の寄港回数

Lloyd'sデータは他船種の動静も含むため、例えばある港へのバルク船の寄港回数を分析することもできる。ここでは、紛争が海運に与える影響としてウクライナ情勢を例にとり、関係国の主要貨物（穀物、石炭）を踏まえ、バルク船（ばら積み船、石炭等の梱包されていない貨物を輸送する）を対象として寄港回数を分析する。

図-7は、バルク貨物を多く取り扱うウクライナとロシアの港湾（位置は図-8を参照）における、2019年以降の1か月毎のバルク船の寄港回数をまとめたものである。2022年2月24日の開戦を受け、3月以降はウクライナの港湾においてはほぼ0になっている。その後、2022年8月に両国が国連の仲介を受けてオデッサ港からの穀物輸出が再開したことにより、8、9月に寄港回数が再上昇している。一方で、ロシアは多くの国から経済制裁を受けているが、各港の寄港回数には目立った変化は見られない。



図-8 バルク船寄港回数分析の対象港湾の位置

5. 造船動向

本章では、港湾の利用者である船舶の建造動向を把握することにより、将来必要とされる港湾の機能に関する情報を収集するため、Clarksonデータを用いた造船動向分析を行う。

(1) LNG焚き船

これまで船舶の燃料は重油が主流であったが、近年は海運業界でも脱炭素化が求められており、国際海事機関が温室効果ガスの排出規制を強化していることから、環境負荷の低い燃料への転換が進んでいる。将来的にはカーボンニュートラルをほぼ達成できるアンモニアや水素が有望であるが、短期的な取り組みとして、温室効果ガスの排出量が比較的少ない液化天然ガスを燃料とする船（LNG焚き船）が注目されている。

図-9はLNG焚き船の累積建造隻数を船種別にまとめたものである。建造隻数の総数は加速度的に増加しており、また、LNGは低温・高圧で保管する必要があるため、従来よりその設備を持つLNG輸送船が先行していることがわかる。

図-10は建造中の船舶のうち、LNG焚きであるものの割合を船種別に示したものである。LNG輸送船は前述のとおりLNG焚き化が先行しているため99.6%となっているが、自動車輸送船も98.6%と高い数値を示している。これは自動車業界が環境に対する意識（サプライチェーン全体での脱炭素化等）が強いことが背景にあると考えられる。一方で、バルク船は6.2%と低く、貨物の重量が大きいためエンジンに高い出力が必要であること等が要因と推測される。また、LNG供給のためのインフラは現在世界で限定的であるが、今後普及した場合にはLNG焚きの船種が多様化することも予想される。

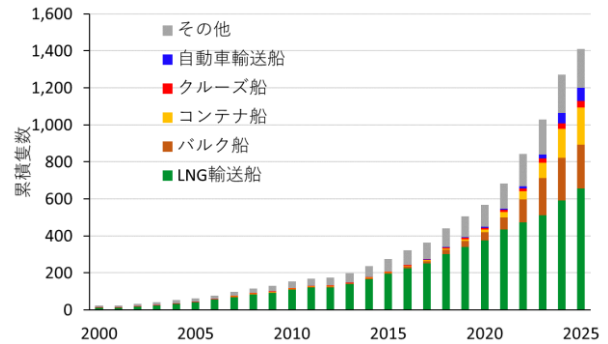


図-9 LNG焚き船の累積建造隻数

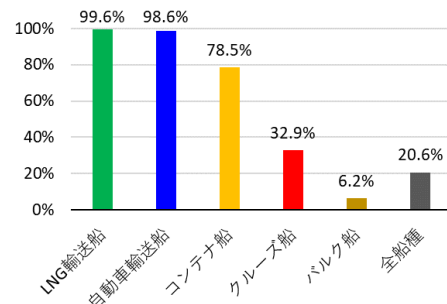


図-10 建造中の船舶のLNG焚き率

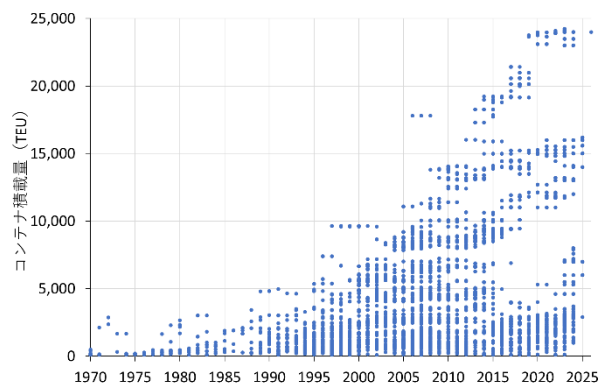


図-11 コンテナ船の建造年と積載量の分布

(2) コンテナ船

係留施設や水域施設をはじめとした港湾施設の規模は、入港しようとする船舶の諸元（満載喫水や全長等）を考慮して計画する必要がある。貨物輸送においてコンテナ化が進展しその重要性が増しており、またコンテナ船は世界貿易の継続的な増加に伴い継続して大型化が進んでいる特徴的な船種である。

そこで、Clarksonデータを用いてこれまで建造されたコンテナ船の建造年とサイズの関係性を分析したものが図-11である。コンテナ輸送が普及し始めた1970年代より、コンテナ船の積載可能コンテナ個数（単位：TEU）が大幅に増えていることが分かる。現在では最大船型が24,000TEUを超えており、今後も同規模の大型コンテナ船の建造が複数予定されており、その隻数やシェアは増加する見込みである。

6. まとめ

各章で述べた分析の結果と、その政策の活用方針について、以下のとおりまとめる。

(1) 東アジア-北米間コンテナ輸送量

・ 東航貨物について、東アジア全体でコロナの影響から回復基調にある。

→増加傾向にある東南アジアの貨物を我が国港湾へ集荷する取り組みを継続することが重要と考えられる。

・ 日本は西航貨物量が多く東アジアにおいて2位であるが、東航貨物が比較的少ない。

→国内の輸出産業の強化が課題（中国等から日本への製造拠点の回帰等を注視）

(2) コンテナ船の停泊時間

・ コロナ発生後の混乱により北米西岸港においてコンテナ船の停泊時間が大幅に増加した（3~4日程度）。

→分析結果を公表することにより今後のサプライチェーン混乱時の関係者による対応に活かす。

(3) バルク船の寄港回数

・ 紛争地域における港湾へのバルク船の寄港回数に大き

な変化が生じた。

→今後、日本の港湾への影響も分析することで、資源調達先の変化等に伴うバルク船動静を把握する。

(4) LNG焚き船の建造動向

・ LNG輸送船と自動車輸送船を中心に、脱炭素化対応のためのLNG燃料化が加速している。

→船の寿命（約20年）とLNG焚きの新造船の割合から、脱炭素燃料への転換に係る動向を予測することができる。

(5) コンテナ船の大型化

・ コンテナ船は過去数十年に渡り継続的な大型化が進展し、近年では積載貨物量24,000TEU級が建造されている。

→将来必要となる港湾施設の規模（岸壁の長さや水深等）を把握するための、コンテナ船の船型変化予測に活用。

参考文献

1) 国総研資料第1172号：新型コロナウイルス感染症による影響を中心とした近年の海事動向に関するデータ分析，令和3年9月，上田・安部

ひび割れパターン分析による道路橋 RC床版の診断補助技術

小沢 拓弥¹，櫻庭 浩樹，角田 貴也，古賀 裕久

¹国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ

(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

近年、既設構造物の老朽化、点検に携わる技術者不足などの背景から、ロボットや AI を活用して、コンクリート構造物に現れたひび割れ等の変状を自動的に抽出・記録する技術が開発されている。一方で、取得したひび割れ図等から、劣化要因を推定するなど構造物の診断に役立つ所見を得る方法は、十分に確立されていない。本研究では、道路橋 RC 床版を対象として、診断や措置を行う際に技術者の参考となる情報を画像から定量的に抽出する手法を検討した。具体的には、RC 床版の疲労で見られるひび割れパターンを画像から定量的に抽出する手法の例示や、AI などの画像解析技術を用いてひび割れ幅を測定する際の留意点を示した。

キーワード RC床版，疲労，定期点検，画像解析

1. はじめに

近年、既設構造物の老朽化、点検に携わる技術者不足などの背景から、ロボットや AI を活用した構造物の点検・診断が着目されている。例えば、ドローンなどで撮影したコンクリート構造物の近接写真から、表面に現れたひび割れ等の変状を AI で自動的に抽出し、三次元的にその位置を記録する技術などの研究・開発が進んでいる¹⁾²⁾。

このような技術を用いることで、点検作業の省力化が期待されているが、得られた情報の活用には、点検技術者や診断技術者の経験や知見が必要である。ドローン等を用いて点検を行う場合、膨大な画像データが取得されることが想定されるが、診断に資する情報（劣化の兆候を捉えるような重要な情報）の抽出に要する時間も増加するため、本来期待した省力化が進まない恐れもある。

今後、点検時に得られた膨大な情報を活用し、かつ、

省力化を進めるためには、点検技術者の経験に基づいて抽出されていた情報の特徴の具体化や定量的な指標の検討も望まれる。そして、画像解析技術による変状抽出を行う上での留意点などを整理し、これらを踏まえて技術を開発する必要があると考える。

本研究では、道路橋鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）を対象として、劣化程度の診断や措置を行う際に診断技術者の参考となる情報を画像から定量的に抽出する手法を検討した。具体的には、点検技術者の経験に基づいて抽出されていた情報を定量化する技術を例示するため、ひび割れパターンに着目した手法を提案した。また、画像から多数点のひび割れ幅を取得しひび割れ幅データの分布を分析することで、AIなどの画像解析技術でひび割れ幅を測定する際の留意点を示した。

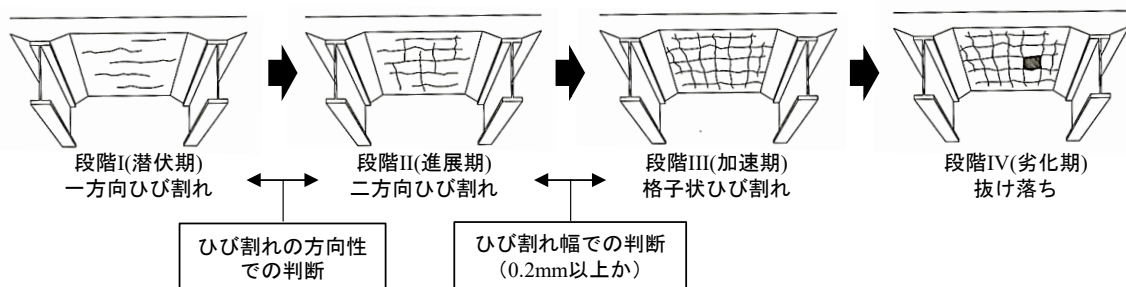
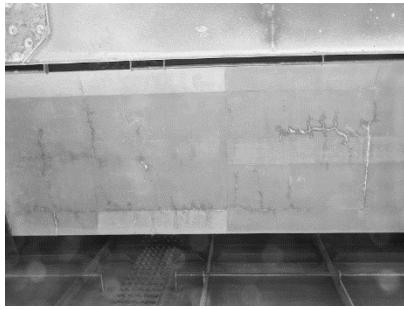


図-1 道路橋 RC 床版の拾う劣化の概念図³⁾とひび割れパターンとの関係



(a)点検技術者によって一方向と評価されたひび割れ



(b)点検技術者によって二方向と評価されたひび割れ
写真-1 方向性の判断が難しいと考えられる事例

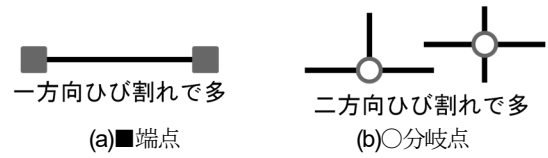


図-2 定義したひび割れの特徴点

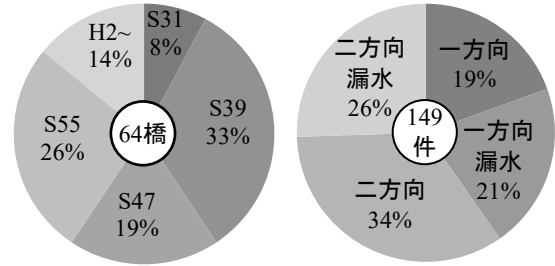


図-3 選定した直轄道路橋と分析画像の諸元

2. 診断技術者の参考となる情報とその定量化

道路橋 RC 床版の劣化要因の一つに疲労がある。新設橋においては、過去の損傷事例や研究を踏まえ、疲労に対して十分な耐久性を有するように設計・施工されているが、既設橋では、疲労による損傷が見られる事例もある。疲労による劣化過程の概念図³⁾とひび割れパターンとの関係を図-1に示す。段階Iでは、乾燥収縮などにより橋軸と直交方向の一方方向ひび割れが発生する。段階IIでは、活荷重による曲げひび割れが発生し、二方向ひび割れへと進展する。段階IIIでは、繰返し荷重によりひび割れ密度が増大し、格子状ひび割れに進展する。段階IVでは、種々の要因によりひび割れが貫通し、押し抜きせん断破壊が生じる³⁾。

このように整理された知見に基づき、熟練した点検技術者は、ひび割れパターンなどのひび割れ特性から経験的に劣化の程度を判断している。一方で、この判断は、点検技術者の主観に頼る部分があるため、ドローン等で自動的に膨大なひび割れの画像データを取得してしまうと、その確認に時間を要する。例えば、ひび割れパターンを画像から抽出可能な指標で表すことにより、点検技術者の知識や経験に依存せず、ひび割れの特徴を機械的に記録することが可能と考えた。ひび割れ幅についても、AIによる画像解析技術でコンクリート表面に生じたひび割れの幅を自動で測定できる技術が提案されているが、近接目視と画像解析技術で得られる情報に乖離が生じた場合、診断の際に誤った判断がなされる可能性がある。このように従来、技術者が目視で捉えていた情報を画像で捉える手法について検討した。

3. ひび割れパターンの定量化

(1) 検討の概要

ひび割れの方向性は、ひび割れの原因や損傷の程度を考える上で重要な情報である。例えば、図-1に示した RC 床版の疲労劣化の場合、その進展の程度を評価する目安となる。また、橋梁定期点検要領⁴⁾においては、ひび割れの方向性を区分し記録する必要がある。ひび割れの方向性で損傷程度の評価が変わる場合もある。しかし、実際に発生するひび割れは、一方方向または二方向に整然とそろっているものとは限らない。一例として、選定した画像の中から方向性の判断が難しいと考えられる事例を写真-1に示す。

(2) ひび割れの幾何形状の分析方法

ここでは、ひび割れの幾何学的な形状の特徴から、方向性を定量的に分類する手法を検討するため、図-2に示すひび割れの特徴点を定義⁵⁾⁶⁾した。ひび割れには必ず始点と終点が存在するため、この始点と終点を端点とし、二方向のひび割れには必ず分岐する箇所が存在するため、この分岐する箇所を分岐点とした。ひび割れが一方方向から二方向に進展すると、図-2(b)で示した分岐点が生じる。したがって、分岐点が多いひび割れは、二方向である可能性が高いと考えられる。

平成 29 年度に定期点検が行われた 64 の直轄道路橋から、149 件の写真を分析画像とした。画像の諸元を図-3に示す。画像は、なるべく RC 床版の区画全体が正対して撮影されたものを選定した。選定した画像は、点検技術者の所見として、ひび割れの方向性が一方方向のものが 60 件、二方向のもの（格子状を含む）が 89 件あった。

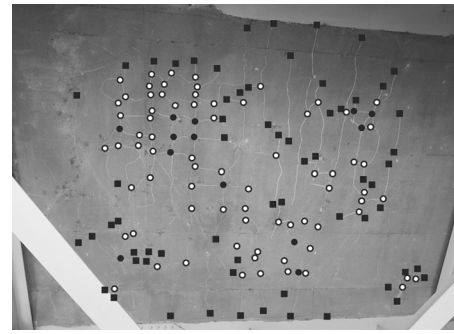
特徴点の抽出は、チョーク線やエフロレッセンスにより強調される場合も含め、画像からひび割れと認識できるものを対象に行った。一例として、特徴点を抽出した事例を図-4に示す。

(3) ひび割れの方向性の評価結果

各画像について、特徴点に占める分岐点の割合に着目して整理した相対度数分布を図-5に示す。階級の数は、スタージェスの公式により算出し、画像数が149に対し8とした。階級の幅は、分岐点の割合の最小値が0%、最大値が93.2%であったことから、区間(12%)が整数で表せる0~96%とした。また、同図の凡例に表記されているひび割れの方向性は、定期点検の結果において、点検技術者が評価したものである。

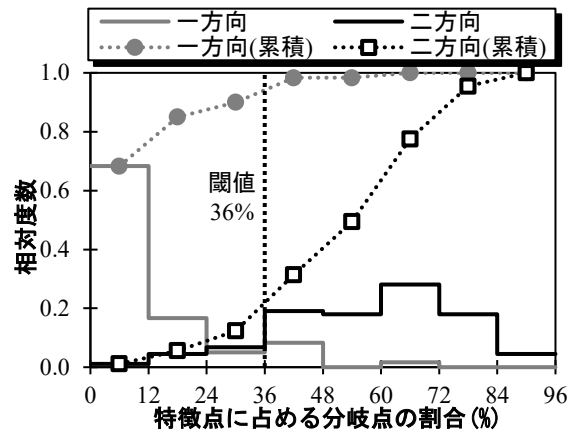
図-5より、点検技術者が一方向と判断したひび割れの分岐点の割合は、0~12%で度数が高く、0~36%で全体の約9割を占めていた。一方で、点検技術者が二方向と判断したひび割れの分岐点の割合は、60~72%で度数が高く、36~96%で全体の約9割を占めていた。

分岐点の割合が36%を閾値とすると、点検技術者によって一方向と評価された画像の60件中54件、二方向と評価された画像の89件中82件を分類できた。このように、本検討の範囲では、特徴点に占める分岐点の割合を指標として36%を閾値にすることで、点検技術者による方向性の評価と約9割が整合することがわかった。



(■端点:63個, ○分岐点:87個)

図-4 特徴点を抽出した分析事例



(定期点検から抽出した149件の分析画像)

図-5 特徴点に占める分岐点の割合

3. 画像解析でひび割れ幅を測定する際の留意点

(1) 検討の概要

ひび割れ幅を測定する技術として、例えば、コンクリート表面を撮影した画像からひび割れを自動で検出し、ひび割れを構成する画素数からひび割れ幅を推定する手法⁷⁾などが提案されている。しかし、得られたデータを整理する手法の標準化はされておらず、手法により生じる誤差や従来の近接目視によるひび割れ幅との関係は明らかではない。

そこで、RC床版供試体(以下、供試体)の下面に生じた個々のひび割れを対象に、対象とするひび割れの幅を多数点で取得できる市販のひび割れ幅測定器⁸⁾を用いてひび割れ幅を測定し、技術者が近接目視により測定したひび割れ幅との関係を整理した⁹⁾。そして、画像解析でひび割れ幅を測定する際の留意点を示した。本検討の概要を図-6に示す。

(2) ひび割れ幅の測定方法

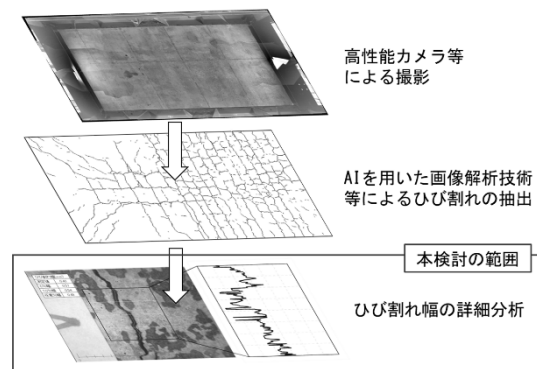


図-6 画像解析技術によるひび割れ測定の概要

a) RC床版供試体

供試体の形状と配筋は、疲労の損傷事例が多く確認されている昭和39道示に準拠している。ひび割れの発生要因は疲労とアルカリシリカ反応(以下、ASR)である。ASRによるひび割れを発生させる部位(図中ではASRcon)には反応性骨材を含むコンクリートを用い、ASRを促進させるために、練混ぜ水中に塩化ナトリウムを混入した。発生させない部位にはJIS A 5308に適合するコンクリート(図中ではNcon)を用いた。

b) ひび割れ導入

製作後の供試体は、ASRを発生させるため、雨掛り

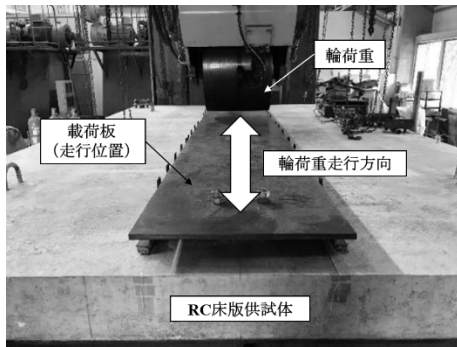


写真-2 輪荷重走行試験の状況

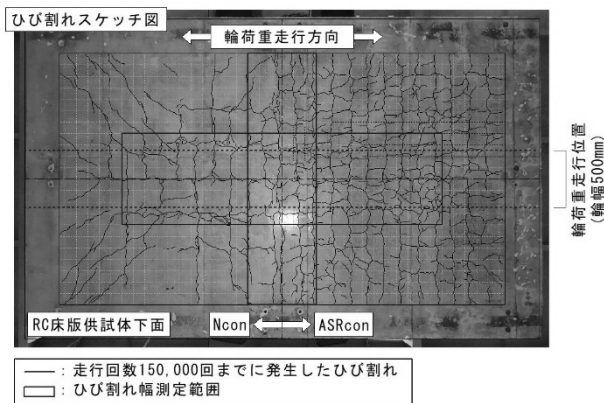


図-7 ひび割れ幅の測定範囲

のある屋外環境に約1年間暴露され、この時点でASRによると見られるひび割れの発生が確認されていた。次に、疲労によるひび割れを発生させるため、写真-2に示す、輪荷重走行試験が実施された。載荷条件は、荷重が157kN一定、走行回数が15万回とした。輪荷重走行試験後、雨掛りのある屋外環境にさらに約1年暴露された。

c) 測定方法

供試体のひび割れスケッチ図とひび割れ幅の測定位置を選定した範囲を図-7に示す。ひび割れ幅の測定位置は、輪荷重が作用する直下の供試体下面で、ランダムに位置を選定し、50点程度の箇所を測定した。

ひび割れ幅の測定方法は、一般的なクラックスケールを用いた近接目視の測定と、市販のひび割れ幅測定器(表-1)を用いた機械的な測定の2種類とした。この機器は、ひび割れを含むカラー画像から2値化処理によりひび割れを抽出し、ひび割れを構成するピクセル数から多数点のひび割れ幅を取得できる。近接目視の測定は、すべての位置で同一の測定者が行っており、ひび割れ幅が比較的均一な(欠け等のない)位置を目視で判断し、選定した。ただし、選定したひび割れに対して、機械的な測定の情報近接目視の測定結果に影響を与えないよう、近接目視の測定を行ったのち機械的な測定を行った。

機械的な測定によるひび割れ幅の取得範囲は、長辺方向では測定器の限界長さ、短辺方向では対象とするひび割れが収まる長さとして、約14mm×7mmとした。こ

表-1 ひび割れ幅測定器の概要

ひび割れ検出範囲	0.05mm~2.0mm
ひび割れ表示	0.01mm単位
ひび割れ検出精度	±0.02mm以下
ひび割れ測定範囲	8×8mm(縦×横)または任意の範囲
撮影センサ	140万画素CCD(Color)撮影範囲:1024×1024画素
カメラ外形寸法	150mm(長さ)×72mm(幅)×60mm(高さ)
カメラ重量	約300g

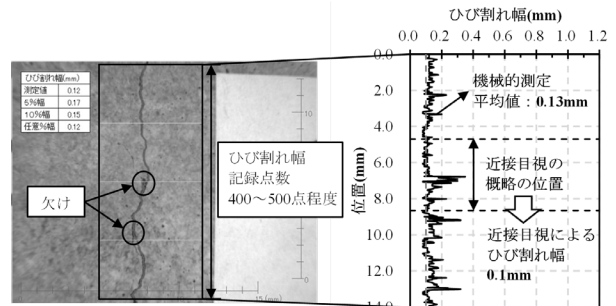


図-8 機械的測定の測定例

の取得範囲から、対象とするひび割れに沿って400~500点程度(約0.025mmピッチ)でひび割れ幅のデータが得られた。図-8に機械的な測定の取得結果の一例を示す。この例では、ひび割れの局所的な欠けにより、機械的に得られた多数点のひび割れ幅の平均値が目視により得られたひび割れ幅よりも大きくなる結果となった。

以降では、近接目視の測定で得られたひび割れ幅を「目視ひび割れ幅」、機械的な測定で得られた多数点のひび割れ幅を「機械ひび割れ幅」と称する。

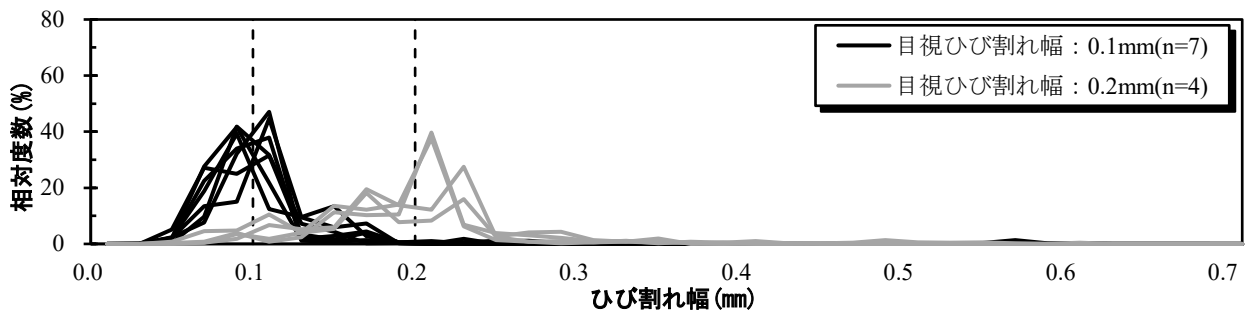
(3) ひび割れ幅の測定結果

a) ひび割れ幅の相対度数分布の特徴

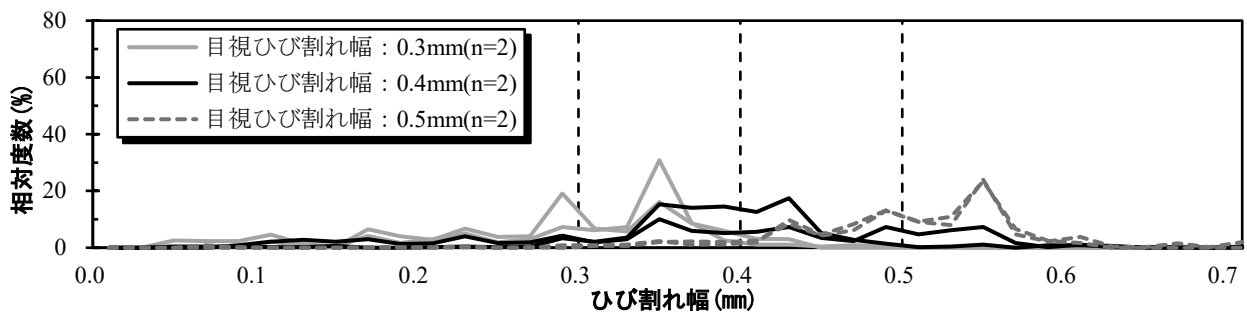
図-9に目視ひび割れ幅ごとの機械ひび割れ幅の相対度数分布を示す。図中には、機械ひび割れ幅の平均値と目視ひび割れ幅の差がない(ひび割れ幅測定器の検出精度である差が±0.02mmの範囲内)ものを示している。

図-9(a)より、目視ひび割れ幅が0.1mm及び、0.2mmと測定された場合に注目すると、目視ひび割れ幅が0.1mmと測定された機械ひび割れ幅の相対度数分布は、0.1mmを軸に概ね左右対称となっており、変動幅も小さく、目視ひび割れ幅が0.2mmと測定されたひび割れと明確に区別できた。

一方で、図-9(b)より、目視ひび割れ幅が0.3mm、0.4mm及び、0.5mmと測定された場合に注目すると、ひび割れ幅が小さい(0.1mm程度)場合に比べてひび割れ幅の相対度数分布が平坦になる傾向が確認された。また、目視ひび割れ幅が0.4mmと測定されたひび割れの機械ひび割れ幅の相対度数分布と、目視ひび割れ幅が0.3mmまたは0.5mmと測定されたひび割れの相対度数分布は重なる範囲も広いことが確認された。



(a)目視ひび割れ幅 0.1mm 及び, 0.2mm



(b)目視ひび割れ幅 0.3mm, 0.4mm 及び, 0.5mm

図-9 機械ひび割れ幅の相対度数分布

したがって、ひび割れ幅が0.4mm程度のひび割れについては、目視でひび割れ幅を測定する測定位置のわずかな違いにより、測定結果が異なりうることが考えられる。そのため、例えばひび割れ幅が0.4mmのひび割れを0.3mmまたは0.5mmのひび割れと区別することは、原理的に容易ではない。

b) 機械ひび割れ幅の代表値

前述のように、機械的に多数点を測定したひび割れ幅の相対度数の分布傾向は、目視ひび割れ幅の大きさによって異なることから、得られたひび割れ幅データの代表値の算出方法によって値が異なると考えられる。そこで、種々の算出方法により、機械ひび割れ幅の代表値を求め、目視ひび割れ幅と比較した。

まず、機械ひび割れ幅の平均値または中央値を算出して得られた代表値から目視ひび割れ幅を減算した値を図-10(a)及び、(b)に示す。図中には、全データ(52点)のうち目視ひび割れ幅と機械ひび割れ幅の代表値が概ね一致(差が $\pm 0.02\text{mm}$ の範囲内)したデータの割合も併記した。この結果、目視ひび割れ幅と機械ひび割れ幅の代表値が一致した割合は、平均値で算出した場合(図-10(a))では44%、中央値で算出した場合(図-10(b))では58%であり、最大で約0.1mmの差異が見られた。

次に、欠け等の局所的な要因を排除するために、上位5~20%順位までのデータを除いた上で、機械ひび割れ幅の平均値または最大値を算出した。得られた機械ひび割れ幅の代表値から目視ひび割れ幅を減算した値を図-10(c)及び、(d)に示す。この場合でも、目視ひび割れ幅と機械ひび割れ幅の代表値は必ずしも一致せず、特に上

位5~20%順位までを除いて最大値を算出した場合(図-10(d))では、機械ひび割れ幅の代表値が大きくなるような傾向が確認でき、最大で約0.2mmの差異が見られた。

以上のように、機械ひび割れ幅の代表値を算出する方法を考察したが、いずれの方法でも約0.1mmの差が生じることがやむを得ないと考えられる。

c) ひび割れ幅の分析結果を踏まえた考察

目視点検では、ひび割れを大局的に見て代表的な箇所を選定し、ひび割れ幅を測定している。しかし、そのように選定した狭い対象範囲(今回の検討では約14mm)でも詳細にひび割れ幅の測定を行うとばらつきがあることから、クラックスケールをあてるわずかな位置の影響もあることが否定できない。また、ひび割れ幅の相対度数分布がひび割れ幅の大きさにより異なること、ひび割れ幅が大きくなるほどわずかな測定位置の違いによるひび割れ幅の変動範囲が広がることから、目視により測定したひび割れ幅と機械的に多数点で測定したひび割れ幅の代表値が整合するような算出方法を一律に決定することは困難であると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) ひび割れの幾何学的な特徴として、端点と分岐点の特徴を捉え、特徴点に占める分岐点の割合に着目することで、点検技術者によるひび割れの方向性の評価を

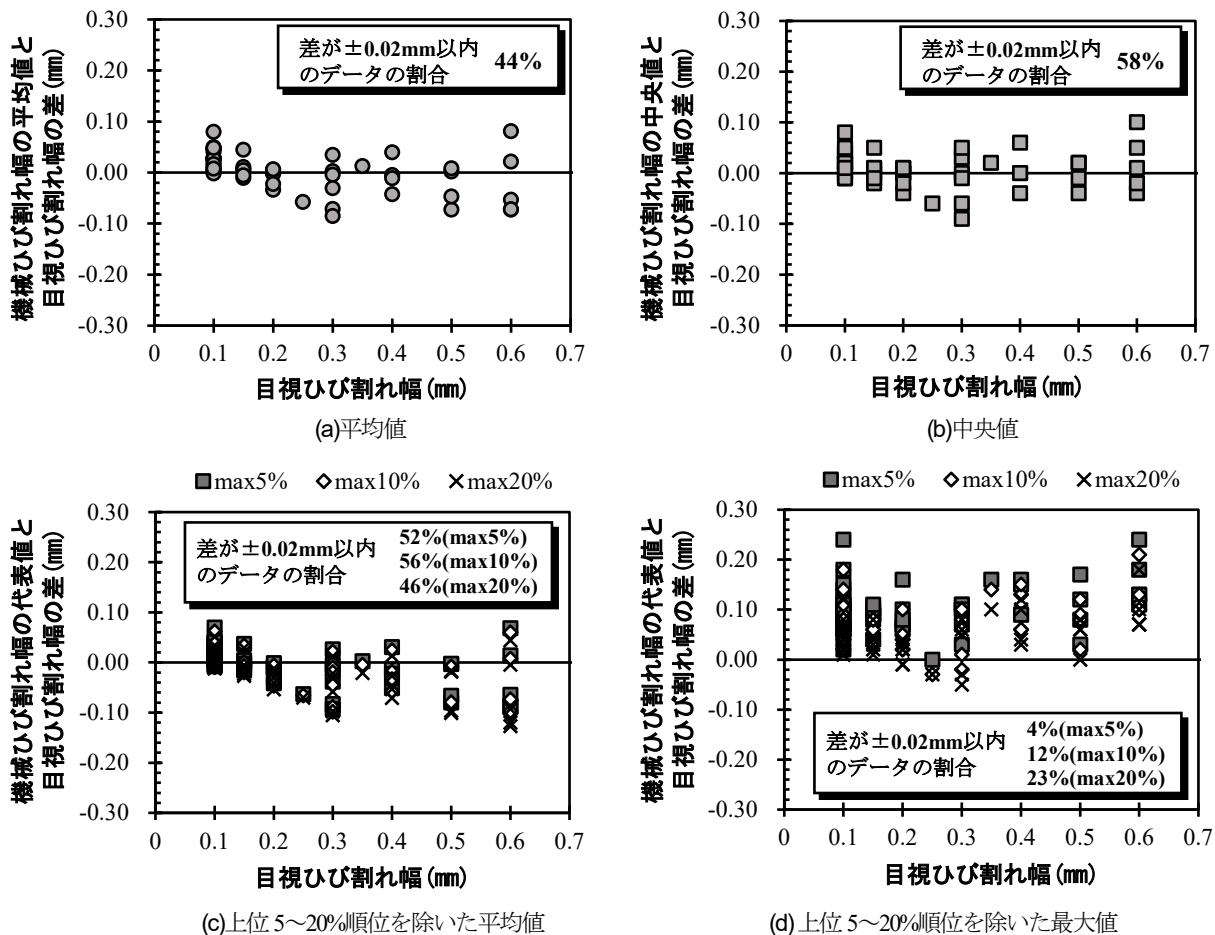


図-10 機械ひび割れ幅の代表値と目視ひび割れ幅の差

約9割模擬できることを示した。

- (2) 機械的に測定したひび割れ幅の相対度数分布を確認した結果、ひび割れの局所的な不均一性（欠け、細り等）により一様とはならず、特にひび割れ幅が一定程度大きいとひび割れは、0.1mm程度以上の変動が生じることも多くあった。すなわち、ひび割れ幅が0.4mmのひび割れを0.3mmまたは0.5mmのひび割れと区別することは、原理的に容易ではない。
- (3) 目視により測定したひび割れ幅と、機械的に多数点で測定したひび割れ幅の代表値が整合する算出方法を一律に決定することは困難であり、ひび割れの特性を踏まえたひび割れ幅の代表値の算出方法が必要であることを示した。

今後は、本稿で示したようなコンクリート表面のひび割れの特性を踏まえた、点検技術の活用提案が必要であると考えられる。なお、本研究は、土木研究所と民間25者の共同研究「AIを活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究」の一環として実施されたものである。

参考文献

- 1) 全邦釘, 片岡望, 三輪知寛, 橋本和明, 大賀水田生: 統計的特徴および幾何学的特徴に着目したコンクリート表

面ひび割れの画像解析による検出, 土木学会論文集F3, Vol.70, No.2, pp.1-1-8, 2014.

- 2) 野村泰稔, 村尾彩希, 阪口幸広, 古田均: 深層畳み込みニューラルネットワークに基づくコンクリート表面のひび割れ検出システム, 土木学会論文集 F6, Vol.73, No.2, pp.1-189-1-198, 2017.
- 3) 松井繁之編著: 道路橋床版設計・施工と維持管理, 森北出版, 2007.
- 4) 国土交通省 道路局: 道路橋定期点検要領, 2019.
- 5) 小沢拓弥, 櫻庭浩樹, 古賀裕久: ひび割れパターン分析による道路橋 RC 床版の劣化形態の評価, コンクリート構造物の補修,補強,アップグレード論文報告集, 第21巻, pp.355-360, 2021.
- 6) 小沢拓弥, 角田貴也, 櫻庭浩樹, 古賀裕久: ひび割れの幾何学的な特徴を用いた道路橋 RC 床版の経時変化の評価, コンクリート構造物の補修,補強,アップグレード論文報告集, 第22巻, pp.291-296, 2022.
- 7) 青柳竜二, 榎原優士, 原徹, 小堀研一: 高精細画像を用いたひび割れ自動検出技術のPC箱桁内部点検への活用事例, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, I-346, 2020.
- 8) 庄野昭, 齋藤淳: コンクリート表面のひび割れ評価方法, ハザマ研究年報, Vol.41, pp.1-6, 2009.
- 9) 角田貴也, 小沢拓弥, 櫻庭浩樹, 古賀裕久: 画像から得られるコンクリート表面のひび割れ幅に関する一考察, コンクリート構造物の補修,補強,アップグレード論文報告集, 第22巻, pp.59-64, 2022.

浦添北道路の橋梁設計における BIM/CIMの適用について

譜久山 誠¹・田崎 盛亮²

¹内閣府沖縄総合事務局 南部国道事務所 調査第二課 (〒900-0001 沖縄県那覇市港町2-8-14)

²内閣府沖縄総合事務局 南部国道事務所 調査第二課 (〒900-0001 沖縄県那覇市港町2-8-14)

国土交通省が提唱する i-Construction の取組においては、BIM/CIM を導入することにより ICT の全面的活用を推進し、BIM/CIM の活用による建設生産・管理システム全体の課題解決および業務効率化を図ることを目的としている。

今回、一般国道 58 号の沖縄西海岸道路の一部である浦添北道路（Ⅱ期線）における牧港大橋に加え、本線延伸部と OFF ランプ橋を含めた広域工区の詳細設計を対象とした BIM/CIM の適用について紹介する。

キーワード BIM/CIM, i-Construction, 3次元モデル活用, 後工程へのデータ連携

1. はじめに

牧港橋梁（Ⅱ期線：上り線）は、沖縄西海岸道路の一部である浦添北道路における、牧港地区の海上を跨ぐ橋梁である。本橋に並走するⅠ期線は、鋼コンクリート複合形式の橋梁にて現在供用中である。Ⅱ期線の橋梁詳細設計が令和 2～3 年度に実施され、その業務内で BIM/CIM 適用に向けた各種要求事項を検討した。

本橋の概要（図-1）を以下に示す。

【橋梁諸元】

路線名：一般国道 58 号 浦添北道路（Ⅱ期線）
 道路規格：第 1 種第 3 級（V=80km/h 完成時）
 上部工：PC4 径間連続ラーメン箱桁橋
 下部工：（A2）逆 T 式橋台、場所打ち杭 φ1200（P6-P8）柱式橋脚、ケーソン基礎
 （P5）張り出し式橋脚、ケーソン基礎
 橋長：上り線（P5-A2）L=430.0m
 総幅員：21.644m～13.300m
 支間長：69.100m+2@140.0m+2@135.0m+84.100m

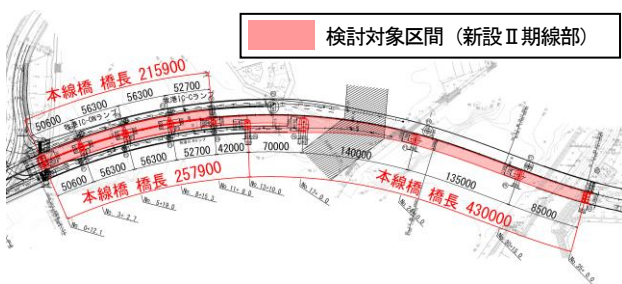


図-1 橋梁概要

2. BIM/CIMについて

国土交通省では、インフラ分野のデジタル化の推進に向け、令和5年度までに小規模を除いて全ての公共工事におけるBIM/CIM原則適用の方針が打ち出されており、今後、BIM/CIMへの更なる推進が求められている。橋梁におけるCIMモデルの作成、更新及び活用については、CIM導入ガイドライン（案）¹（図-2参照）にて体系化されており、地形や地質情報を含む広域統合モデルを活用・応用することで実用的な設計計画が可能となるため、一連の建設生産システムにおける受発注者双方の業務効率化・高度化が期待できる。橋梁の上部工（鋼橋、PC橋）、下部工（RC下部工（橋台、橋脚））を対象に、調査・設計段階でCIMモデルを作成し、作成したCIMモデルを施工段階へ活用、更には調査・設計・施工のCIMモデルを維持管理段階にも活用可能である。BIM/CIM技術の活用範囲・程度は、対象業務の特性を踏まえ、受発注者双方で協議の上、適切に判断する必要がある。

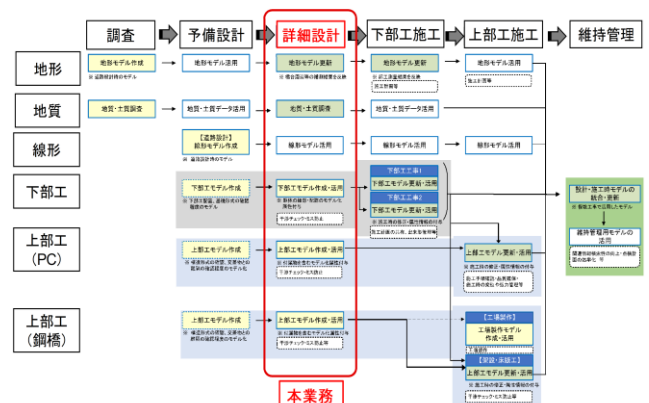


図-2 BIM/CIMモデルの作成・活用・更新の流れの例【橋梁】

3. 浦添北道路でのBIM/CIM活用事例

南部国道事務所では、過去に3次元データの活用やICT等の新技術の導入を加速化する「i-Construction モデル事務所」に指定され、事業の効率化を目指す上で、円滑に事業を推進するために「BIM/CIM活用検討委員会」を立ち上げた背景がある。本委員会では、BIM/CIM活用に向けた方策等について主に検討を行っており、これまでに計5回委員会を開催した。本委員会での審議結果をBIM/CIM活用時のノウハウとして蓄積し、今回報告する浦添北道路の橋梁詳細設計業務の中で応用している。

以上を鑑み、本節では、BIM/CIM技術の活用事例について、牧港橋梁詳細設計業務の成果例を報告する。

(1) BIM/CIMの目的とモデル化範囲

本業務では、施工段階や維持管理段階の後工程における将来的なデータ連携・活用を目的に、設計段階にて属性付与情報等を一元化管理した3次元モデルを作成した。モデル化範囲は、牧港大橋（II期線）に加え、本線延伸部とOFFランプ橋を含めた広域工区を対象とし、終点側橋梁背面土工部も考慮した上で範囲を設定した。作成した3次元モデルは、今後上下部工工事の着手前後で随時モデル更新を行い、維持管理段階までの一連の建設生産サイクルの中で活用することを想定する。（図-3参照）

(2) BIM/CIM適用に向けた要求事項の選択

BIM/CIM活用業務では、受発注者双方で協議の上、複数の要求事項（リクワイヤメント）の中より実用性がある項目を選択する。本業務では、要求事項全9項目のうち、右表5項目について検討した。（表-1参照）

(3) 各要求事項に対する検討結果

(2)で選択した各要求事項について、本業務の検討事項及び結果を以降で報告する。

1) ③後工程における活用を前提とする属性情報の付与

3次元モデルに属性情報の付与を行った。CIM導入ガイドライン（案）の規定項目をベースに、必要な属性情報の対象ごとに「工程」「属性種別」「属性名称」等を付与属性項目一覧表（EXCELでの集計表）として整理し、CIMモデルの各部位に対して設計図面や数量集計表ファイルへのリンク紐づけを行った。（図-4参照）

3次元モデル成果物の対象として、従来の2次元設計成果物の中では、橋梁一般図と構造一般図が該当する。詳細度300の3次元モデルであれば、2次元設計成果物相当の精度で主構造形状が正確にモデル化されるため、情報の集約化が可能となる。ここで、3次元モデル作成時では、モデル側面及び平面方向の各形状は、2次元図面と整合を図ったものである必要があり、3次元モデルから任意断面を切り出した際、3次元座標X、Y、Zは、道路縦断面の縦断線形高と一致しておく必要がある。

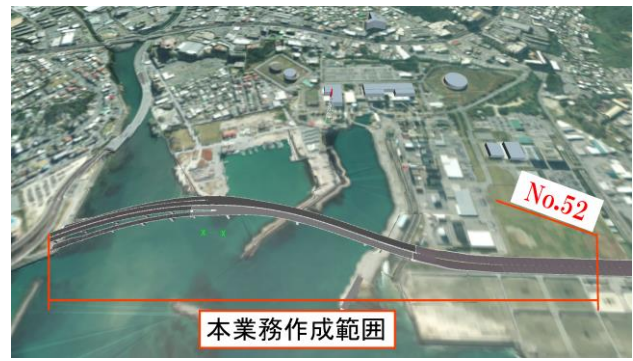
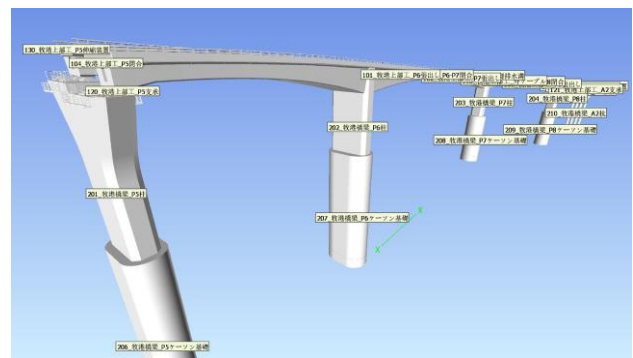


図-3 広域統合モデルの作成範囲【詳細度 橋梁300, 土工200】

表-1 選択した要求事項（リクワイヤメント）

項目	内容
①	段階モデル確認書を活用したCIMモデルの品質確保
②	情報共有システムを活用した関係者間における情報連携
③	後工程における活用を前提とする属性情報の付与
④	工期設定支援システム等と連携した設計工期の検討
⑤	BIM/CIMモデルを活用した自動数量算出
⑥	契約図書としての機能を具備するBIM/CIMモデルの構築
⑦	異なるソフトウェア間で互換性のあるBIM/CIMモデルの作成
⑧	CIMモデルを活用した効率的な照査
⑨	後段階におけるBIM/CIMモデルの効率的な活用方策の検討



図面名	リンク
上部工一般図	図面\上部工\101_F68張出し\00_上部工構造図.pdf
PC鋼材配置図	図面\上部工\101_F68張出し\10_PC鋼材配置図.pdf
PC鋼材形状図	図面\上部工\101_F68張出し\11_PC鋼材形状図.pdf
上部工配筋図①	図面\上部工\101_F68張出し\01_橋桁配筋図(F6柱頭部).pdf
上部工配筋図②	図面\上部工\101_F68張出し\02_F6柱頭部主桁配筋図.pdf
上部工配筋図③	図面\上部工\101_F68張出し\03_F6終点倒ブロック部主桁配筋図.pdf
上部工配筋図④	図面\上部工\101_F68張出し\04_F6終点倒ブロック部主桁配筋図.pdf
上部工配筋図⑤	図面\上部工\101_F68張出し\05_偏向部配筋図.pdf
上部工配筋図⑥	図面\上部工\101_F68張出し\06_定着突起配筋図.pdf
上部工配筋図⑦	図面\上部工\101_F68張出し\07_橋桁配筋図(分岐).pdf
上部工配筋図⑧	図面\上部工\101_F68張出し\08_反力調整用突起配筋図.pdf

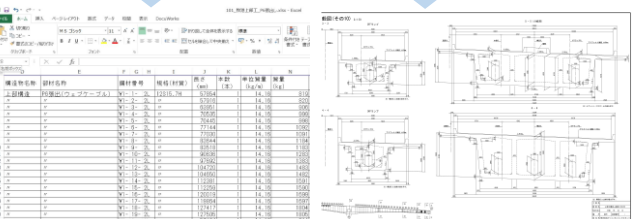


図-4 属性情報の付与

2) ④工期設定支援システム等と連携した設計工期検討

3次元モデルに時間軸情報を加えた4次元モデルを用いた設計-施工間の情報連携を検討し、想定する施工順序等と連動するよう施工ステップ図、及び音声入り施工ステップ動画をそれぞれ作成した。(図-5参照)

複数の工種・工事を有する本橋施工では、施工ステップを細分化して計画する必要が生じる。従来の2次元図面と施工工程表の照らし合わせ確認では、作成資料が多いため、作業効率が悪化する。それに対し、3次元モデルを活用して施工計画を実施した場合、施工条件が複雑な場合でも、周辺の支障物件や重機設置・作業ヤードなどのクリティカルポイントを俯瞰的に広域な視点で確認できるため、全体施工計画の全容を容易に把握しやすく、効率良く最適な施工計画を立案できる。また、広域統合モデルを用いて、受発注者間並びに施工引継ぎに向けたイメージ共有による手戻り防止・前倒し計画(フロントローディング)を目的に、施工計画を3次元モデルで可視化することで、同時施工による工期短縮の提案や関係者間の円滑な合意形成が実現しやすくなるため、有効的な手法であると考えられる。

3) ⑥契約図書としての機能を具備するモデルの構築

契約図書としての要件を備えたCIMモデルを作成することを目的に、3DAモデル(3D Annotated Model)を作成した。(図-6参照)ここで、3DAモデルとは、3次元CADを用いて作成した3次元形状モデルに、構造特性(寸法・注記、数量等)を加えたモデルのことである。3DAモデルは、従来の2次元発注図書の代替データとしての位置づけがあり、2次元形状データを基に、3次元モデルから2次元図面への切り出しが可能である。2次元図面への切り出し有無については、受発注者間で協議の上、適宜対応する必要がある。

4) ⑧CIMモデルを活用した効率的な照査

3次元モデル及び付随する属性情報に基づき照査を実施することで、効率的かつ確実な照査が見込まれるものとして、表-2に示す項目に着目して干渉確認を実施した。

鉄筋・部材干渉確認モデルでは、部材間の接続部構造や配筋情報までを考慮した際に、詳細度400でのモデル化が必要となる。PC上部工では、鉄筋やPC鋼材に加え、シースや定着具の外形形状もモデル化の対象とし、干渉有無のチェックを行う。(図-7参照)

表-2 干渉チェックの対象構造物とチェック項目

対象構造物	干渉チェック項目
P7 橋脚	① 橋脚柱鉄筋-ケーソン基礎鉄筋
	② 橋脚柱鉄筋-上部工鉄筋
P8 橋脚	③ 上部工鉄筋-上部工PC鋼材
	④ 橋脚柱鉄筋-上部工PC鋼材

P7・P8橋脚下部工施工(代表;ピアケーソン沈設時)



P5-P7上部工架設(代表;P6柱頭部施工時、仮橋部分撤去)

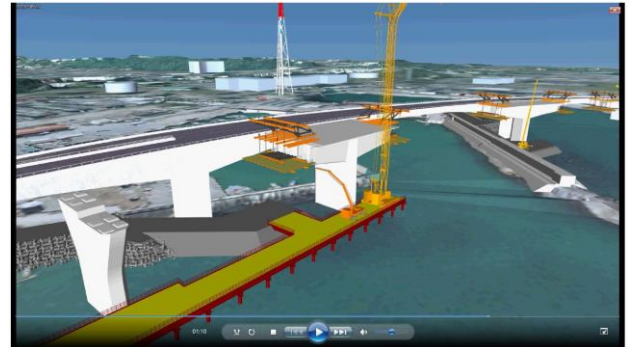


図-5 施工ステップ動画【詳細度300】

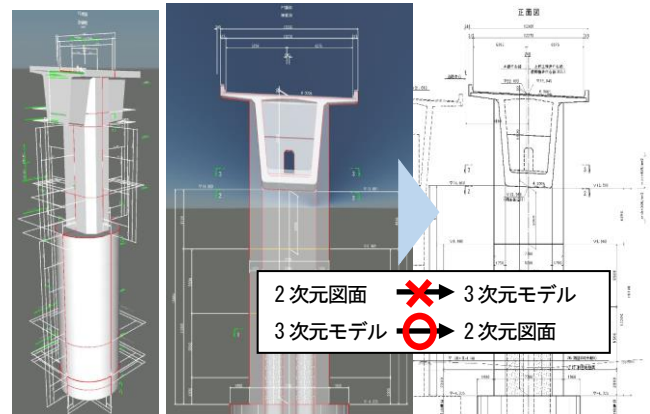


図-6 3DAモデル(代表P7橋脚)【詳細度300】

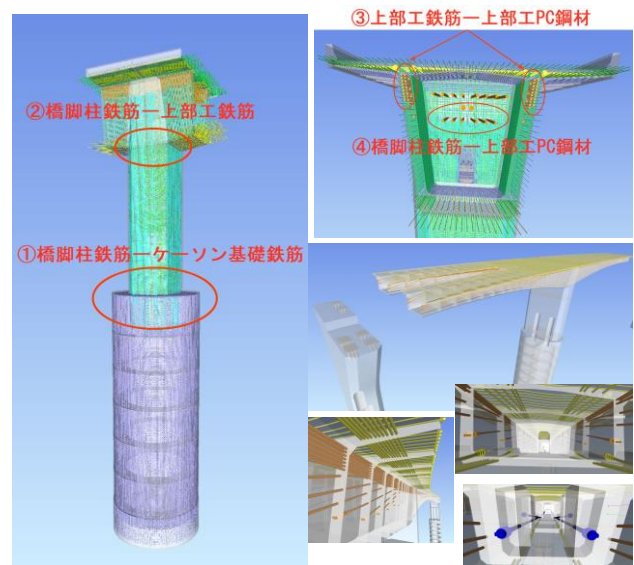


図-7 過密配筋部(柱頭部)の3D配筋モデル【詳細度400】

細部箇所での干渉チェックの一例として、図-8にPC上部工部材と柱鉄筋の干渉確認結果を示す。上下部ラーメン構造の剛結部は、PC鋼材や柱鉄筋等が錯綜する過密配筋部（柱頭部）に該当するため、当該部位とその周囲を対象に3次元モデルによる配筋・部材取り合いにて、干渉該当箇所を視覚的に確認できた。複数の部材が錯綜する剛結合部など、2次元図面の照らし合わせでは確認困難な部位に対して、干渉チェックの照査手法として、CIMモデルの活用は有効的であると考えられる。

また、付属物（支承アンカーバー、伸縮装置、排水装置等）との干渉確認を行う場合でも、本詳細モデルでの検証は有用性があると判断できるため、設計進捗に合わせて、干渉確認モデルを随時更新しながらチェック範囲を拡張して照査する方法で活用可能と考えられる。

5) ⑨後段階におけるCIMモデルの効率的な活用方策

要求事項⑧で使用した詳細モデルの作成範囲を拡張し、上下部工一連の橋梁をすべて詳細度400で構築したモデルを対象に、PC上部工の張り出し架設ステップ毎のPCケーブル配置状況の確認、及び他部材との干渉チェックを実施した。3次元的な構造物の配置関係を視覚的に確認でき、受発注者及びその他関係者間で、施工計画について円滑な合意形成が実現しやすくなるため、有効的な手法であると考えられる。（図-9参照）

また、将来的に本詳細モデルを後工程の施工・維持管理段階にデータ引継ぎを行うことにより、フロントローディングを目的とした施工計画の立案が可能となり、業務効率化へ寄与できると考えられる。

4. まとめ

本業務では、BIM/CIM活用業務として受注者希望型の形式を採用し、受発注者双方で協議の上、様々な要求事項の中より、実用性のある検討項目について選択した。設計段階でのCIMモデル作成は、後工程となる施工及び維持管理段階での活用を想定した試みではあるが、3次元モデルの運用に当たっては、施工者側と管理者側双方にとって有効的な手法となり得るか否かを、作業労力や費用、IT機器の整備状況等の様々な実情も踏まえた上で、総合的に判断する必要があると考えられる。

また、BIM/CIM活用業務を通じて得られた、CIMモデルの利活用に関する可能性や課題は、今後の設計業務の中で、BIM/CIM活用における要求事項や検討時のモデル詳細度の設定時などに活用し、その知見について今後管理者側で厳密に体系化していくことが望まれる。

参考文献

- 1) 国土交通省：CIM導入ガイドライン（案）第5編 橋梁編 令和2年3月

照査例：P7橋脚（橋脚柱鉄筋—上部工PC鋼材）

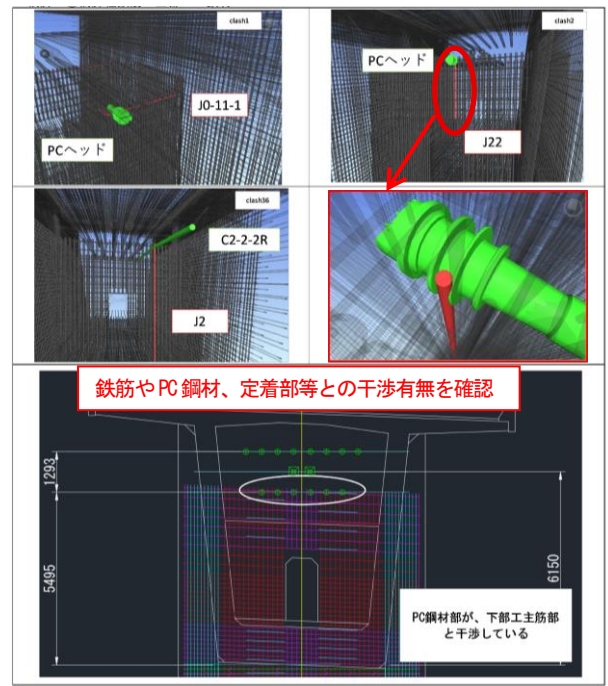


図-8 PC上部工部材と柱鉄筋の干渉確認【詳細度400】

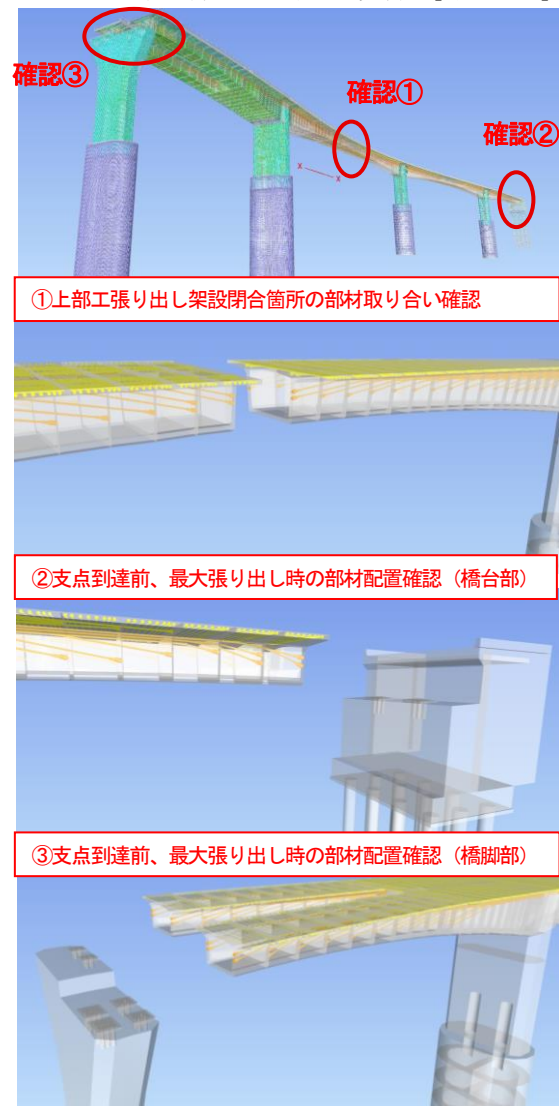


図-9 施工ステップを考慮したPC上部工モデル【詳細度400】

浜松河川国道事務所の BIM/CIMに関する取り組み

小寺 朱華¹

¹中部地方整備局 浜松河川国道事務所 計画課 (〒430-0811静岡県浜松市中区名塚町266)

令和5年度から全ての詳細設計・工事でBIM/CIM原則適用となることから、浜松河川国道事務所では国道474号三遠南信自動車道水窪佐久間道路(平成31年度事業化)をモデルとして、調査段階からBIM/CIMを活用した事業効率化に取り組んでいる。詳細設計で作成したBIM/CIMモデルを工事施工、維持管理にも活用できるように、現在のBIM/CIMに関する各種ガイドラインや3次元モデル成果物作成要領(案)等の課題を把握するとともに、後工程に必要な情報の整理を行い、BIM/CIM設計要領(浜松道路版)を策定する取り組みを実施したことについて報告する。

キーワード BIM/CIMモデル, 属性情報・参照資料, 一貫的な情報管理

1. はじめに 背景と経緯

国土交通省では、i-Constructionの普及拡大により令和8年度までに建設現場の生産性2割向上を目指し、その手法の一つとしてBIM/CIMの導入を推進している。BIM/CIMは初期の工程において後工程で生じそうな仕様の変更等を事前に集中的に検討するフロントローディングによって品質の向上や工期の短縮化を可能にする。例えば設計段階からBIM/CIMモデルを用いてRC構造物の鉄筋干渉のチェックや仮設工法の妥当性検討、施工手順のチェック等、施工サイドからの検討をすることで照査事項の減少や手戻りの防止といった効果が得られる。

浜松河川国道事務所(以下「本事務所」という。)では平成31年度に事業化された国道474号三遠南信自動車道水窪佐久間道路事業(図-1)を「BIM/CIM取り組み推進のモデル事業」として令和3年度の調査、

予備設計段階からBIM/CIMを取り入れ、フロントローディングの実践による効果を最大限に発揮することを目指した。しかしながら、BIM/CIMモデルの作成に関して調査から維持管理に至るまでの共通の仕様がないうこと、また詳細設計段階の作成要領である「3次元モデル成果物作成要領(案)」においても後工程に必要な情報が網羅されていない点や情報の引継ぎに関する仕様が不足している点等の課題が存在していた。そこで本事務所では令和5年度の全ての詳細設計・工事のBIM/CIM原則適用(図-2)に向けて国土交通省が定める「3次元モデル成果物作成要領(案)」をもとにまずは各工程で引き継ぐべき情報を整理し、引継ぎ方法に関して仕様を定めたBIM/CIM設計要領(浜松道路版)(以下「本設計要領」という。)を策定した。本設計要領により、「調査から維持管理に至るまでの一貫的なBIM/CIMモデルの活



図-1 統合BIM/CIMモデル
(水窪佐久間道路, 5-7統合橋完成イメージ)

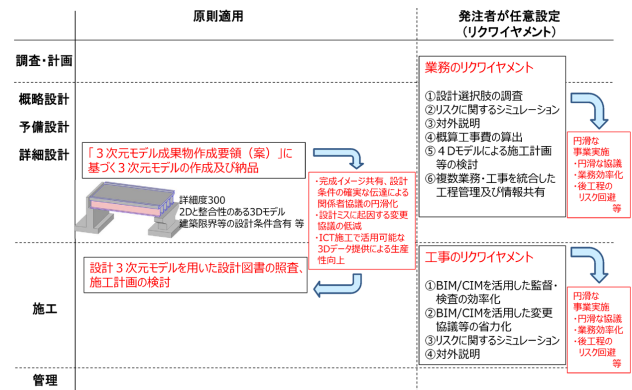


図-2 令和5年度の実現想定¹⁾

用」を目指す。

2. BIM/CIM取り組みの課題と推進の取り組み方針

(1) BIM/CIM取り組みの課題抽出

本事務所の取り組みを検討するために、まずはBIM/CIM導入において想定される課題を抽出した。

a) BIM/CIMモデルの引継ぎに関する課題

基準・要領策定が過渡期であるため、調査から管理に至るBIM/CIMモデルの引継ぎに関する仕様が不十分であり、各社が独自ルールでモデル作成・活用を実施している。そのため、BIM/CIMモデルの引継ぎの際、必要な情報の抜けが生じる点や情報の見逃しによる作業の重複等の問題がみられる。

データの引継ぎに関する共通ルール・標準仕様を策定し、運用していく必要があると考えられる。

b) 3次元設計へのプロセス転換に関する課題

現状は契約図書が2次元図面であることから、2次元で設計・図面化した後に3次元化しているため、BIM/CIMを導入することで作業の負担が増加し、生産性向上につながっていない問題がみられる。

「3次元モデル成果物作成要領(案)」より、BIM/CIMモデルを活用した契約図書(2次元図面)化を基本に、3次元モデルから2次元図面化の推進が必要である。

c) ソフトウェア及びデータ形式に関する課題

ソフトウェア間のデータ互換性が不十分で会社によって使用ソフトウェアが異なることから引継ぎの際にモデルの情報が欠落する問題がみられる。

互換性が不十分な間は当面の措置として互換性を考慮した標準仕様の策定が必要である。

d) 意識改革、理解度・経験値に関する課題

事業全体におけるBIM/CIMの取り組みの効果を認識できていないことから職員や企業ともに人材育成が進んでいない点が問題として考えられる。

各工程におけるBIM/CIMの取り組み状況や課題及び効果の共有・理解、共通認識の醸成が必要である。

(2) 本事務所のBIM/CIM取り組み推進方針

以上、4点の課題を解決していくために本事務所として図-3のロードマップの流れでBIM/CIM取り組みを推進する方針とした。

各工程で策定するBIM/CIMモデル作成要領は前節の課題b)に対しては事務所独自で解決を目指すのが困難であるため、国の要領に準拠し、課題a)、c)に対して事務所独自の仕様を定めた。

課題d)に対しては、定期的な勉強会(意見交換会)の開催する。

3. 令和3年度のBIM/CIM推進の取り組み

令和3年度は令和5年度の原則適用に向けてまずは事務所独自で設計段階のBIM/CIMモデルの作成要領を「3次元成果物作成要領(案)」を参考に策定(図-2)した。本章では本設計要領の策定に向けて実施したアンケート調査、本設計要領の詳細、また勉強会(意見交換会)について述べる。

(1) BIM/CIM設計要領(浜松道路版)策定に向けて

前章で想定したBIM/CIM取り組みに関する課題の妥当性の確認と本設計要領への反映内容を検討するため、アンケート調査を実施した。アンケート調査は本事務所の事業に係る調査・設計・施工・維持管理に関わる受注業者計73名(全54社)、本事務所職員14名の協力を得た。調査項目はBIM/CIM実施内容の課題、BIM/CIMの推進における初期投資や人材育成状況、後工程に引き継ぐべき情報等とした。

a) BIM/CIM取り組みに関する課題の妥当性の確認

アンケート結果では、「後工程での活用を念頭においたBIM/CIMモデル、属性情報とすることが重要」、「ソフトウェアの違いや、タブレット端末の利用など、各工程による利用ケースが違うため、1つのCIMモデルにまとめることは困難である」、「BIM/CIMは発注段階から図面を3次元化することとイメージしている」といった意見があった。これにより、想定していた課題を実際に受注業者も認識していることが確認できた。アンケート結果より、BIM/CIMを扱える業者は約8割、設備投資が不十分と感じる業者は約8割、本事務所職員についても約9割がBIM/CIMを使用したことがないことから、こちらについても想定したようにBIM/CIMの活用により各工程で得られる効果の共有が必要がある。

b) 本設計要領への反映内容

受注業者や本事務所職員へのアンケート結果を踏まえ、後工程へ引き継ぐべき情報と詳細度、一元管理等について検討した。

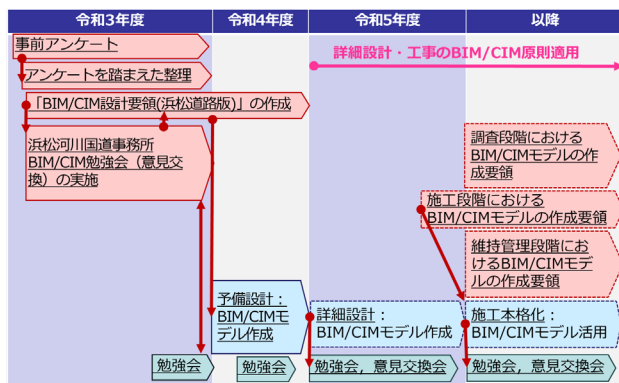


図-3 BIM/CIM推進ロードマップ(浜松道路)²⁾

① 設計条件に関する情報

一般図等の設計条件一覧に整理する事項は、属性情報として、赤枠内の情報を直接入力

プロパティ名	プロパティ名	値 (属性情報) - ATTRIBUTE (参照情報)	プロパティ名	プロパティ名	値 (属性情報) - ATTRIBUTE (参照情報)
階層1	ID	I-1_101	名称	ATTRIBUTEKANKYOU	
オブジェクト分類名			日録	ATTRIBUTEKANKYOU	
特別情報 (名称) 1		一般国道474号 徳久間道路 三連道路	水害	ATTRIBUTEKANKYOU	
特別情報 (名称) 2		本線	洪水・湧水	ATTRIBUTEKANKYOU	
特別情報 (名称) 3		No.○○×○○○×No.○○×○○○	歩道橋	ATTRIBUTEKANKYOU	
1-1属性情報			歩道橋	ATTRIBUTEKANKYOU	
橋名		○○橋	文化財	ATTRIBUTEKANKYOU	
起終点KP		○○,○○KP-△△,△△KP	地元条件法17要項事項	ATTRIBUTEKANKYOU	
起終点の年度		令和○○年○月	有形文化財	ATTRIBUTEKANKYOU	
設計条件			線形情報	ATTRIBUTESEKKEIREPORT	
道路規格		第1種 第3級	設計情報		
設計速度		V=60km/h	現地踏査結果	ATTRIBUTESEKKEIDATA	
設計1:500		B種	有価権取得	ATTRIBUTESEKKEIREPORT	
橋の重要度		B種の橋	設計図書	ATTRIBUTESEKKEIDRAWING	
平面線形		R=○○	設計計算	ATTRIBUTESEKKEIREPORT	
縦断線形		○○,○○	数量計算	ATTRIBUTESEKKEIREPORT	
橋脚形式		○○	次工程の準1:500の事項	ATTRIBUTESEKKEIREPORT	
有効幅員		11.000m	橋脚資料	ATTRIBUTESEKKEIREPORT	
上部工構造形式		○○	測量情報		
橋長		○○.○○m	設計図書	ATTRIBUTEYOUCHINDATA	
桁間		○○.○○m	数量情報		
支間長		○○.○○m	建設の配慮事項	ATTRIBUTESEKKEIKANREPORT	
材料		○○○○	占有物	ATTRIBUTEKANREPORT	
橋脚		○○○○	占有物	ATTRIBUTEKANREPORT	
床版		○○床版	測量物	ATTRIBUTEKANREPORT	
支保条件		○○	測量物	ATTRIBUTEKANREPORT	
下部工構造形式		単柱RC橋脚	施工条件	ATTRIBUTESEKKEIKOKEN	
基礎工構造形式		群柱基礎φ○○○	施工方法	ATTRIBUTESEKKEIKOUREPORT	
道路橋形式システム		※有・無	設計図書	ATTRIBUTESEKKEIKOUREPORT	
伸縮装置		○○○ポイント	数量情報	ATTRIBUTESEKKEIKOUREPORT	
附属物形式		○種	数量計算	ATTRIBUTESEKKEIKOUREPORT	
地盤改良		○種	数量計算	ATTRIBUTESEKKEIKOUREPORT	
地盤の劣化		※有・無	数量計算	ATTRIBUTESEKKEIKOUREPORT	
地盤改良		※有・無	数量計算	ATTRIBUTESEKKEIKOUREPORT	
地盤改良1		群柱基礎φ○○○	数量計算	ATTRIBUTESEKKEIKOUREPORT	
地盤改良2		○○	数量計算	ATTRIBUTESEKKEIKOUREPORT	
設計条件		○○要項 (令和○○年○月)	数量計算	ATTRIBUTESEKKEIKOUREPORT	
1-1の属性情報		●ATTRIBUTE (ATTRIBUTE LIST)	数量計算	ATTRIBUTESEKKEIKOUREPORT	

属性情報を記入した表形式データ (属性情報一覧表: ATTRIBUTE LIST (EXCEL形式)) を参照情報としてモデルに紐づけし、成果品に保存

直接入力できない関連図面、既往資料等は参照情報としてデータの保存場所を表形式データ (属性情報一覧表) に入力

●: 本要領規定 (属性情報)
○: 本要領規定 (参照情報)
○: 本要領規定 (モデルへの直接入力範囲)

図-7 BIM/CIM設計要領 (浜松道路版) の属性情報の記載方法の例⁶⁾

接情報を付与できないことから保存場所のリンクを記載した表形式データによって情報の引継ぎを行うこととした。

表形式データの具体的な記載方法を図-7に示す。設計段階で未確定な項目についても、表形式データ上で項目のみは作成し、後工程で入力可能な形式とした。

c) 各段階で取り組むべき情報の取得時期とモデル編集及び属性・参照情報の登録時期

本設計要領の付録として「BIM/CIMモデル等電子納品要領 (案) 及び同解説」を参考に「BIM/CIM設計要領 (浜松道路版) におけるデータ・情報引継ぎ事項及び課題事項一覧」(表-1)を作成し、「引継ぎ・更新段階のルール」も加えて規定することで誰がどの段階で、何のBIM/CIMモデルを作成するのか明確にした。

(3) 勉強会とBIM/CIM設計要領 (浜松道路版) に対する意見交換会の開催

各社のBIM/CIMの取り組み状況・課題を共有するために勉強会を本設計要領に対する意見交換会も兼ねて実施した。浜松河川国道事務所の事業に係る建設・設計・調査会社の計 50 名 (全 11 社)、事務所職員 10 名より回答を得た。

本設計要領の意見交換会では、施工業者からは「設計から施工へ近接構造物の情報が付与されていると即座に設計照査へ活用できる」といった意見、管理維持業者からは「補修履歴や点検調書だけでなく、点検結果や損傷箇所の情報を予めモデルに付与しておけば再調査の必要がなくなる」といった意見があった。本設計要領で設定した引き継ぐ情報の後工程での活用効果を事業に携わる関係者間で共有することで「事業全体で一貫的なBIM/CIMモデルの活用」という意識を関係者間で醸成することができたと考える。

また、本設計要領の更新に関しては「設計熟度、活用目的・場面に応じた適切な詳細度の設定が必要である」、「上流工程の作業効率化に関しても検討するべきである」といった意見があった。本設計要領更新時には今回得た意見を参考に更新していく必要がある。

4. まとめ

今回の取り組みは「調査から維持管理に至るまでの一貫的なBIM/CIMモデルの活用」を目指して、各工程に携わる受注業者や本事務所職員など幅広い

表-1 「BIM/CIM設計要領」のデータ・情報引き継ぎ事項等の抜粋⁷⁾

担当・段階を明確化		項目・内容・分類・ファイル形式		初期作成段階のルール (格納方法、格納先)		引継ぎ・更新段階のルール (引継ぎ方法、格納方法、格納先等)	
①各段階におけるデータ作成・引継ぎ担当者	②項目 (:) フォルダ名例 XX: 任意の番号	③内容	④分類	⑤ファイル形式・仕様	⑥データ初期作成段階	⑦引継ぎ・更新段階 (浜松独自ルール)	⑧引継ぎ・更新段階 (浜松独自ルール)
調査	維持管理				業務成果	属性情報・参照資料	業務成果
測量	設計				共有システム	作成時期	共有システム
測量	設計				全国仕様	浜松独自仕様	業務成果
○	○	地形モデル (LANDSCAPING)	BIM/CIMモデル	※測量成果に格納 「BIM/CIM_MODEL/LANDSCAPING」フォルダ内	令和4年度以降に仕様を決定	地形測量 除線測量 地形測量	○
○	○	測量情報 (SURVEY)	属性情報	測量成果に格納 「BIM/CIM_MODEL/LANDSCAPING」フォルダ内	令和4年度以降に仕様を決定	測量情報 地形測量 除線測量	○
○	○	基準点・水準点情報 (KITEN_SUIJUN)	属性情報	測量成果に格納 「BIM/CIM_MODEL/LANDSCAPING」フォルダ内	令和4年度以降に仕様を決定	測量情報 地形測量 除線測量	○
○	○	土工モデル (ALIGNMENT GEOMETRY)	BIM/CIMモデル	設計業務成果に格納 「BIM/CIM_MODEL/ALIGNMENT_GEOMETRY」フォルダ内	令和4年度以降に仕様を決定	測量情報 設計 測量情報	○
○	○	構造モデル (STRUCTURAL MODEL)	BIM/CIMモデル	設計業務成果に格納 「BIM/CIM_MODEL/STRUCTURE_MODEL」フォルダ内	令和4年度以降に仕様を決定	測量情報 設計 測量情報	○

凡例: ◎データ作成、●データ更新引継、○更新なし引継、☆属性情報の付与



図-8 施工業者による勉強会(R4. 8. 3)の様子

意見を含んだアンケート調査結果を踏まえて後工程で必要となる情報の抽出や引継ぎの仕様・ルールを定めた。現在予備設計を進めている企業からは本設計要領に関して、「情報引継ぎ事項および課題事項一覧により、入力情報も統一されてデータ作成時に分かり易い」、「業者向けアンケート結果に基づいて、引き継がれるべき情報、データを記載しているためこれに従えば現時点での過不足はなく引継ぎが可能である」という意見があり、業務で実用しやすい点が確認できた。今後は本設計要領を適用したBIM/CIMモデルが引き継がれた際の効果や改善点について意見を得るため、関係者間で意見交換会を実施する必要がある。

加えて、今回は令和5年度の原則適用に向けて「3次元モデル成果物作成要領(案)」を参考に「設計業務」での要領を策定したが、事業全体で運用・管理を行うためには今後、「設計要領」と同様に調査、施工、維持管理段階におけるBIM/CIMモデル作成要領を策定する必要がある。

また、アンケート調査より、受注業者、本事務所職員ともに人材育成が進んでおらず、BIM/CIMを推進する上で大きな阻害要因として考えられるためBIM/CIMの活用効果を伝えるためにも定期的な勉強会の開催は必須である(図-8)。

今回策定したBIM/CIM設計要領はあくまで調査から維持管理に至る、大局を俯瞰した属性情報を補完できる新たなBIM/CIM規格が決定されるまでの暫定的な当面の措置である点を忘れてはならない。しかしながら、幅広い受発注者を含めて実施した本取り組みは関係者の「調査から維持管理に至るまでの一貫的なBIM/CIMモデルの活用」への意識づくりの第一歩になったと考える。今後も本設計要領の更新や新規のBIM/CIMモデル作成要領の策定に向けた取り組みによりこのような意識を定着させ、事業全体で一貫したBIM/CIM活用で生産性向上につなげていく。

謝辞：本取り組みにあたり、ご協力いただきました関係企業の皆様、職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1)国土交通省：第6回BIM/CIM推進委員会資料
- 2)浜松河川国道事務所：BIM/CIM設計要領(浜松道路版), pp. 1-6
- 3)国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン(案)共通編, pp. 8
- 4)浜松河川国道事務所：BIM/CIM設計要領(浜松道路版), pp. 1-14
- 5)浜松河川国道事務所：BIM/CIM設計要領(浜松道路版), pp. 1-9
- 6)浜松河川国道事務所：BIM/CIM設計要領(浜松道路版), pp. 4-11
- 7)浜松河川国道事務所：BIM/CIM設計要領(浜松道路版), pp. 6-13

維持管理BIMとタブレット端末による 公共賃貸住宅の維持保全の効率化の研究

片山 耕治¹

¹国立研究開発法人建築研究所 所付 (〒305-0802 茨城県つくば市立原1)

本研究は、公共賃貸住宅の維持保全情報の活用のために作成したBIM（維持管理BIM）と日常点検時に写真等の維持保全情報の記録にタブレット端末を入することで維持保全の効率化を図ることを目的とする。公共賃貸住宅の維持管理BIMを作成し、併せて維持管理BIMで活用可能な維持保全情報を記録するためにタブレット端末を用いた実証実験を実施した。

キーワード BIM, 公共賃貸住宅, 維持保全, 日常点検, タブレット端末, 空間オブジェクト

1. はじめに

国土交通省はBIM/CIMの普及を目指している中、2019年6月に「建築BIM推進会議¹⁾」が設置され、企画・設計・施工から維持管理・運用段階へのBIM導入の議論が進められている。BIM（コンピュータ上に作成した主に3次元の形状情報に加え、室等の名称・面積、材料・部材の仕様・性能、仕上げ等、建築物の属性情報を併せ持つ建物情報モデルを構築するもの²⁾を維持管理・運用段階に活用する場合の対象は新築時作成したBIMを用いたものばかりではなく、既存住宅を始めとする予めBIMがないものを対象にどのようにBIMを導入するかが課題となっている。

現在、公共賃貸住宅のストックは全国に約300万戸あるが、その多くは築後年数が相当数経過し、適切な点検、修繕等、維持保全の重要度が高まっている。一方、地方公共団体の財務状況の悪化に伴う予算規模の縮小、技術系職員の減少により、公共賃貸住宅の維持保全業務のより一層の合理化、効率化が求められている。

しかし、公共賃貸住宅の維持保全の現場は紙ベースが中心で、日常点検等をタブレット端末等を用いて実施し、記録した維持保全情報をBIMを導入することで利活用し、維持保全の効率化を行う取り組みは、管理戸数が国内有数の地方公共団体等においても見られない。

本研究は、公共賃貸住宅の維持管理・運用段階における日常点検等の維持保全の情報の活用に着目したBIMモデル（以下、「維持管理BIM」という。）を作成し、維持管理BIMで用いる維持保全情報を点検現場で維持保全情報の記録・更新を行うタブレット端末の導入することで維持保全の効率化を図ることを最終的な目的とする。

2. 既往研究と本研究の位置づけ、研究方法

2.1 既往研究と本研究の位置づけ

維持管理・運用段階へのBIM導入については、（公財）日本ファシリティマネジメント協会発行の「ファシリティマネージャーのためのBIM活用ガイドブック」³⁾及び「ファシリティマネジメントのためのBIMガイドライン」⁴⁾において、FMでBIMを活用するための必要な事項がまとめられている。この中で、情報管理インデックスとして、「設備機器の保守や点検、故障の履歴や面積や内装の仕様などは、3次元の位置情報と関連付けて管理することで情報の活用度が高まる。…BIMがあれば最初に場所が特定でき、そこから用意した様々な情報を取り出すことが可能になる。」と維持保全に関わる情報をBIMによる、3次元の位置情報を検索に用いて管理することのメリットと可能性が触れられている。

維持管理・運用段階の情報をBIMによる位置情報を検索に用いることで建築物に関わる様々な情報の管理に活用する研究としては、部屋オブジェクトモデルを用いて室利用状況調査といった情報を紐付けるBIMの提案・作成⁵⁾するものなど、近年、空間オブジェクトを活用し維持保全業務の情報を管理する様々な研究が行われている。

しかし、これらの研究はオフィスビル等の非住宅を対象としたものが中心で、住宅を対象とした研究は少ない。

本研究は、公共賃貸住宅を対象に、情報管理インデックスによる情報管理を実現するために維持管理BIMとタブレット端末を導入することで、維持保全の効率化の可能性について検討する。

2.2 研究方法

維持管理BIM作成するにあたり、独立行政法人都市再生機構（以下、「UR」という。）から、新規に建設を行う公共賃貸住宅の基本設計、実施設計等の図書を入手し、基本設計、実施設計のBIMモデルを作成した。

作成したBIMモデルを用いて、URの維持保全担当者及び協力を得られた地方公共団体、地方住宅供給公社、公共賃貸住宅の管理主体等へのヒアリングを行い、これ

らのモデルを元に、維持保全情報の活用のために維持管理BIMに求められる詳細度や構成等の検討を行った。

更に、既存住宅の維持管理BIMを既存のURの住棟を対象に同様にURから入手した図面をもとに維持管理BIMを作成し、タブレット端末を活用し、現場で点検実施時に維持保全情報をBIMモデルに紐づける形でデータを記録・収集する実証実験を行い、維持保全の効率化の可能性について検討を行った。

3 維持管理BIMモデルの検討

3.1 実施設計段階のBIMモデルから維持管理BIMの作成

公共賃貸住宅事業へのBIM導入の可能性についての検討は、表1のURの公共賃貸住宅の建替事業の基本設計図書・実施設計図書から、意匠・設備等のBIMモデル作成を行った。これら新規建設時の実施設計段階で活用することを想定して作成したBIMモデルは、URの設計実務、建設事業の実務で使える2次元の設計図書等を出力できるレベルのものである。

表1 建物の概要

階数・構造	11階建て・RC造
建設戸数	61戸
延床面積	約3,500㎡
工事期間	平成30年1月～令和元年11月

作成したBIMモデルをURの維持管理部局の担当者及び地方公共団体、地方住宅供給公社、公共賃貸住宅の管理主体等へBIMソフトを用いて3次元、2次元の様々なビューを示すことなどにより、維持保全へのBIM導入の可能性についてヒアリングから維持保全BIMに求められる要素を以下の通り整理する。

- ・現状は、公共賃貸住宅の維持保全では十分なデータによる監理がされていないことが課題であり、データの管理が容易であること。
- ・様々な情報管理レベルの実態に対応可能であること。
- ・点検で得られた維持保全情報に位置情報を付与することで、点検業務から情報の蓄積が自動的に行えること。
- ・BIMモデルの詳細度は簡易なものとし、維持保全情報を活用するためのツールとして位置付ける。

なお、BIMソフト間でのデータ互換性の確保や複数のソフトの導入が難しいことやBIM既存のデータベースとの連携が課題である。

3.2 維持管理BIMの作成

維持保全BIMモデルの詳細度は簡易なモデルが求められていることから、表1の公共賃貸住宅の実実施設計段階で作成したBIMモデルをもとに維持保全情報に3次元の空間的な位置情報を与え、その位置情報を情報の検索に用いて維持保全情報を管理するための維持管理BIMを作成した(図1)。外見は鳥かごのようなイメージで建物の外形が判別できる程度のシンプルな形状のBIMモデルとし、維持保全のために必要な様々なデータを住戸、壁等を単

位とする空間オブジェクトから構成されるBIMモデルとした。

維持管理BIMは、維持保全において、日常点検、定期点検、各種修繕などの点検結果や写真などの情報を取り扱うためのものだが、これらの維持保全情報を新築BIMモデルの部品単位のBIMオブジェクトに紐づけるのではなく、それらの部品を包含する住戸、壁等を単位とする空間オブジェクトに紐づけ、管理する。点検の結果や修繕の必要な箇所、過去の修繕箇所等の位置が住戸単位等で確認できるものとし、必要があれば、詳細な実施設計段階のBIMモデルが参照可能なものとした。

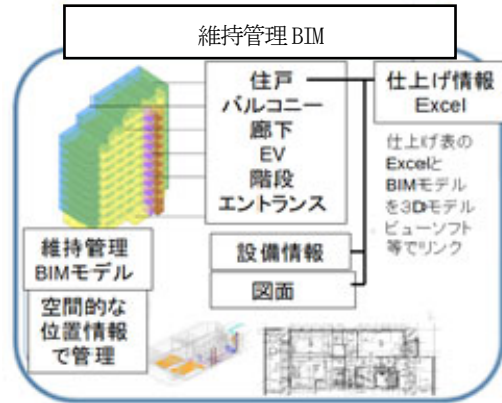


図1 維持管理BIM

維持管理BIMはシンプルな構成としていることから、EVを増設するなどの大規模な形状の変更が生じるような建物の更新が無い限りは、基本的にモデルの形状の変更は生じないことを想定している。従って、情報の閲覧・活用には実施設計等に用いるBIMソフトではなく、モデルに情報を紐づけることが可能な3Dモデルビューア等を活用することを想定している(図2)。

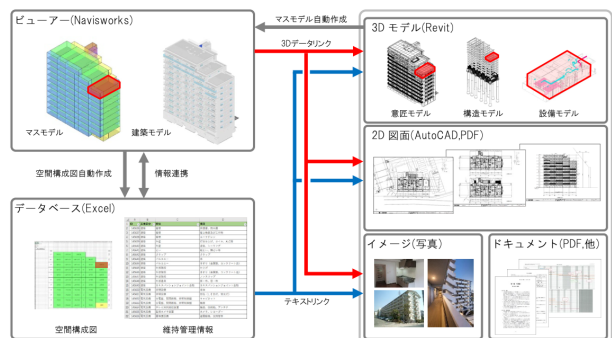


図2 維持管理BIMと3Dモデルビューアを活用した例

課題としては、継続的に参照する詳細な実施設計段階のBIMモデルのデータを活用するためには、BIMモデルを更新を行わなければならないことである。

3.3 既存住宅の維持管理BIMの作成

大量のストックを抱える公共賃貸住宅の維持保全にBIM導入を図るためには、既存住宅を対象に維持管理BIMを大量に作成する必要があるが、維持保全のために新たに実施設計段階のレベルのBIMモデルを新たに作成し、更新し続けることは現実的ではない。

以上を踏まえて、公共賃貸住宅ストックとして典型的な表 2 に示す UR の既存住宅を対象として維持管理 BIM の構成等を以下の通り整理し作成した（図 3）。

表 2 建物の概要

階数・構造	5階建て・RC造
建設戸数	40戸
タイプ	階段室型、EVなし
延床面積	約1,900㎡
設計	昭和45年

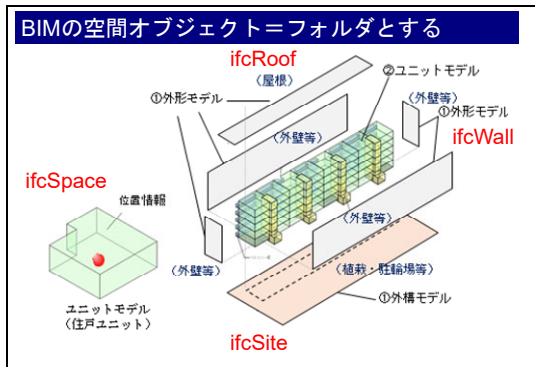


図 3 既存住宅対象の維持管理 BIM

- ① シンプルな空間オブジェクトで構成
 - ・ 実施設計段階などの詳細な BIM モデルは作成せず、空間オブジェクトのみからなるシンプルな構成とし、既存住宅についての作成、適用を容易とする。
 - ・ 空間オブジェクトは、維持保全では住戸単位等とし、点検等の維持保全情報を集約するためにデータを収納するフォルダとして捉え、写真等の点検情報を活用することで詳細なオブジェクトは作成しない。
 - ② 空間オブジェクトに維持保全情報を BIM モデルに紐づけず、別途データベースで管理して連携
 - ・ 空間オブジェクトには絶対座標のみを紐づけ、空間オブジェクト単位での検索と絶対座標による検索を可能とする。
 - ・ 空間オブジェクトに直接維持保全情報を紐づけないことで BIM データの軽量化を行う。
 - ・ 各空間オブジェクトに付与した絶対座標を活用することで既存のデータベース等との連携を容易とする。
- 併せて、維持管理 BIM のデータ構成を図 4 に示す。段階的な維持管理 BIM の導入を想定して、レベル 1 から 5 を設定した。BIM 導入段階の基本的な考え方はレベル 3 を考えており、BIM モデルと維持保全の各種データを紐づけて、維持保全データは BIM によらず、データベースで管理することとしている。

地方公共団体の維持保全情報の管理レベルは様々だが、レベル 1 は、すべての情報が電子化されていること、また、レベル 2 はそれらがデータベースにより維持保全情報を管理されている状態を想定しているが、レベル 1 についても設計図書が電子化されず紙で管理されていることもあり、例えば、日常点検等参照する図面が比較的小ない維持保全の業務から維持保全 BIM の導入を検討する

など状況に応じて段階的に維持管理 BIM を導入することも考えられる。

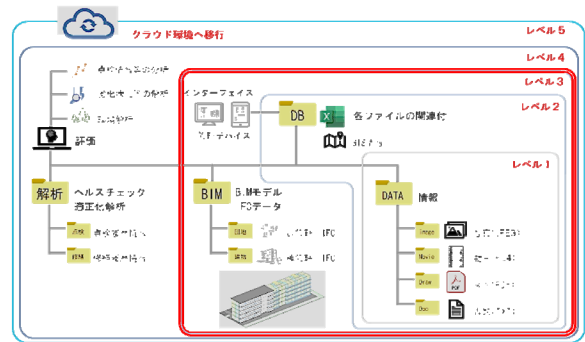


図 4 維持管理 BIM のデータ構成

なお、維持管理 BIM を活用して維持保全を効率的に実施するためには、維持保全の情報を適切に更新をしていくことが重要であり、日常点検等で得られた維持保全情報を迅速にデータベースに反映し、維持管理 BIM で活用できるようにすることが重要である。

日常点検のような現場で得られる維持保全情報の更新を実施するためには、点検にタブレット端末の導入することが、業務の効率化、維持保全情報の更新を容易にすることに繋がると考えられる。

4. 維持保全の効率化を検証するための実証実験

4.1 実証実験の概要

実証実験では、現場でタブレット端末を用いて点検情報を記録することで、点検情報と維持管理 BIM の各空間オブジェクトが紐づいた形の情報を収集する。点検情報の写真やチェックリスト等からなる維持保全情報は、各空間オブジェクトに対応するフォルダを予め用意することで、自動的に位置情報が紐付けることとし、得られたデータから報告書を作成し、併せて、手入力で行った場合に要する時間を計測し、タブレット端末導入で効率化が図られるか検証を行った。

4.2 実験計画

2022 年 12 月に 3.3 節の表 2 に示す UR の住棟を実験対象に日常点検として、Ⅰ建築物周辺、Ⅱ住棟外壁、Ⅲ共用部（階段室）、Ⅳ住戸内部、Ⅴ遊具の 5 つの箇所を点検を設定し、手入力（パターン A）とタブレット端末活用（パターン B）の 2 パターンで実施しタブレット端末を用いた場合の作業の優位性を確認する。作業は建築技術者 2 名でそれぞれ交互に実施。

パターン A：紙のチェックリストに所見の有無を記載、所見有の場合は紙の図面に該当箇所、事象を記録し、該当部位をカメラで撮影する。撮影の際にはホワイトボードを用いて該当箇所を記入して撮影をデジタルカメラと紙で点検を実施し事務所でエクセルを使用して手作業で報告書を作成。

パターン B：予めタブレット端末で既往の建築図面。現場監理アプリを用い、エクセルでチェックリストを収

納し、所見の有無を記入、PDF で取り込んだ図面データ上の該当箇所を紐づけて、事象の記録と撮影を行う。

点検手順や不具合事象のバラつきをなくすため、予め点検ルート、不具合事象及びその箇所を同一とし、点検を実施する(図5)。

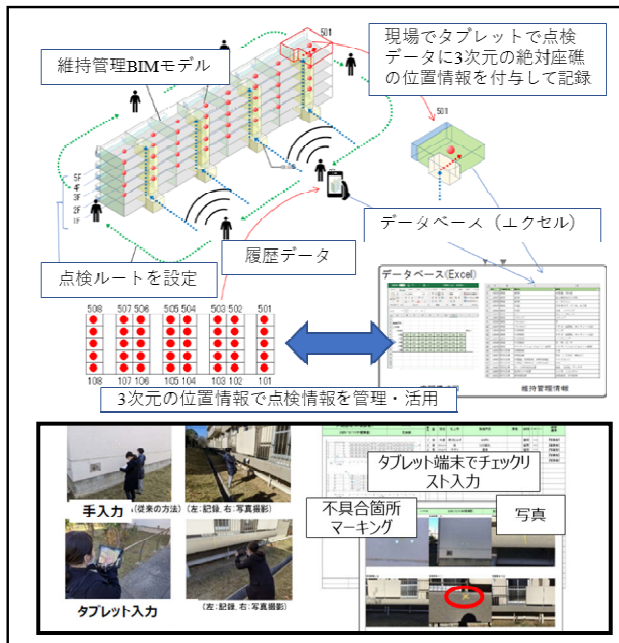


図5 維持管理BIMとタブレット端末を用いた実証実験の概要

4.3 実験結果

(1) 現場での点検に要する時間

現場での点検作業・入力に要する時間はパターンAよりパターンBが短かったが顕著な差はなかった。

パターンBでは点検用具がタブレット端末を活用することで少なくなり、パターンAに比べて作業性が良い。また、外壁や住戸など点検箇所に対応する空間オブジェクトに対応するフォルダにデータを入力していく作業がスムーズに行われることが確認できた。

ただし、パターンBで予め入力のための図面やエクセルシートを準備する時間は考慮していない。

(2) 報告書作成に要する時間

報告書作成時間はパターンAが54分、パターンBが16分とパターンBでは大きく時間短縮ができた(表3)。

表3 報告書作成時間

パターンA	時間(分)	パターンB	時間(分)
作成手順		作成手順	
図面の整理	2	タブレット上での図面の整理	3
手書きした図面のスキャン	2	Excelデータをダウンロード	8
写真の転送	2		
シートの作成	42		
印刷	7	印刷	5
合計	54		16

パターンAは手書きの書類等を元にエクセルに入力、写真を貼り付ける作業が必要で、転記ミス恐れもある。

パターンBでは現場で写真等の点検結果に位置情報を紐づけて記録ができることで、ほぼ自動的に報告書が作成できるためである。

維持管理BIMを作成し、タブレット端末による維持保

全情報の入力を組み合わせることにより点検箇所と点検記録を紐づけることが容易に実現でき、タブレット端末を導入することで転記ミスが排除できデータの信頼性が高まること、点検箇所の建物における位置が維持管理BIMモデルを活用することで参照しやすくなる。

以上から、点検から報告書作成において、維持管理BIMとタブレット端末の導入の実現性、有効性と一定の効率化が図られることが確認出来た。

なお、タブレット端末により得られたデータを維持管理BIMで活用することによる維持保全の効率化については、別途ケーススタディを行い検討していくこととしている。

5. まとめ

公共賃貸住宅の維持保全の効率化を目的に維持管理BIMとタブレット端末の導入の検討を行った。

公共賃貸住宅に導入する維持保全に活用する維持管理BIMは住戸等の空間オブジェクト単位で構成し、それぞれの空間オブジェクトに与えた絶対座標により維持保全情報を管理、活用するための検索・参照方法を導入するためのものとして作成し、外部のデータベースと連携して維持保全に活用することを検討した。

今後は、タブレット端末により得られた維持保全情報を維持管理BIMを用いて利活用することによる、維持保全の効率化について検討していくこととしている。

謝辞

研究の実施に際しては国土技術政策総合研究所及びURに協力をいただき、有識者委員会^{注1)}を設け意見を頂き、公共団体等関係者の皆様からご協力をいただきました。ここに記して深謝します。なお、本研究は、官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)予算を活用した。

注釈

- 1) 芝浦工業大学志手一哉教授、大阪電気通信大学飯島憲一教授、熊本大学大西康伸准教授、東北工業大学許雷教授、JFMA猪里孝司氏で構成。

参考文献

- 1) 国土交通省：建築BIM推進会議。国土交通省ホームページ、<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/kenchikuBIMsuishinkaigi.html> (参照2022-10-25)。
- 2) 国土交通省：「官庁営繕事業におけるBIMモデルの作成及び利用に関するガイドライン」、<https://www.mlit.go.jp/gobuild/content/001473269.pdf> (参照2022-10-25)。
- 3) (公財)日本ファシリティマネジメント協会：ファシリティマネージャーのためのBIM活用ガイドブック,2015
- 4) (公財)日本ファシリティマネジメント協会：ファシリティマネジメントのためのBIMガイドライン,2019
- 5) 木村龍之介,位寄和久,大西康伸,前崎裕子,「複数の維持管理業務を対象とした建築情報モデルの階層構成-キャンパスFM業務モデルに関する研究」,日本建築学会第36回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(DVD),pp19-24,2013.12,東京

TEC-FORCE被災状況調査におけるUAV自律飛行を 活用した3次元データ取得に関する検討 (中間報告)

山田 宏樹¹

¹災害対策マネジメント室（〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44）

TEC-FORCEが行う被災調査は、徒歩による目視点検を基本としている。危険な状況の調査箇所も多く、二次被害の恐れもある。近年は災害調査へのUAV活用が進んでおり、既存研究では対象物の3次元構造を推定するSfM技術とUAVを用いた災害調査の手法も検討されている。そこで、本稿はUAVの自律飛行とSfM技術を活用したTEC-FORCE被災調査の新たな手法を検討した。結果、容易に3次元モデル生成が可能であること、モデル上の計測値が従来手法と同等程度の精度を持つことを確認できた。今後は、飛行実験や精度検証の知見を蓄積していく。

キーワード TEC-FORCE, UAV自律飛行, SfM

1. はじめに

(1) 研究背景

日本は地理的条件から、災害が発生しやすい。諸外国に比べ急勾配な河川、多くの活断層やプレート境界、気候変動なども伴い、近年は激甚な洪水氾濫や土砂災害が頻発している。

国土交通省では、被災地域の早期復旧等に資する技術的支援として、専門知識を有する緊急災害対策派遣隊（以下、TEC-FORCE）を創設。発災直後より被災地域に派遣し、災害対策用ヘリコプター等を活用した被災調査、復旧工法の技術的助言などを実施。その活動規模は、2021年3月時点で延べ約12万8千人に及ぶ。

TEC-FORCEは、土砂崩落や道路の寸断、二次災害の懸念など、立ち入り困難な個所を調査することも多い。広域調査ではヘリコプターによる空撮が有効だが、対象施設の詳細調査を実施する場合、その手法は徒歩による目視点検に頼っているのが現状である。

詳細調査では、ポールや巻尺などを用いた人力による確認を行っている。詳細設計や予備設計時に行う測量機器を用いた現地計測と比較すれば、調査結果の精度は高いとは言えない。

近年、無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle, 以下UAV）が急速に普及した、また、複数の写真から対象物の3次元構造を推定する技術（Structure from Motion, 以下SfM）が開発され、複数分野での応用が進んでいる。画像処理ソフトウェアを用いて3次元モデルが容易に作

成できるため、対象物の計測や任意箇所の断面図作成などが個人PCにて可能となった。既存研究¹⁾では、SfMを災害調査へ活用する検討も進んでいる。近畿地方整備局においても、2011年紀伊半島大水害現場の砂防事業にて、UAVとSfM解析を用いた調査手法が検証²⁾されている。

(2) 研究目的

TEC-FORCEが、被災施設を目視点検にて確認していることは先に述べた。安全対策を十分に行っているにもかかわらず、被災調査を人的労力に頼っている限り、二次被害の危険は常にある。近年は被災調査にUAVも活用しているが、空撮による状況把握に留まっている。

UAVとSfMを被災調査に活用すれば、被災施設の空撮写真から3次元モデルを生成できる。3次元モデル上で対象施設の被災規模を把握することで、浸食等が生じている堤防のり面や土砂崩落などの危険個所に近づく必要がなくなる。UAVとSfMによる3次元モデルの活用は、TEC-FORCE活動の効率化および安全性向上に寄与する手法であると言える。

しかし、一般に3次元モデルを生成する画像処理ソフトウェアは高額である。また、SfM解析に必要な情報量をUAVで撮影するには、操縦者に高い技量が求められる。併せて、TEC-FORCEは限られた時間内に多くの被災施設を調査することも多い。1か所あたりの調査時間が、十分に取れないこともある。被災調査に3次元モデルを活用する手法が、従来の手法に比べ看過できない作業時間の増加を伴う場合、TEC-FORCE活動に適合しない可能性も高い。

以上の課題を踏まえ、本稿では、UAVとSfMによる三次元モデルを活用した被災調査の新たな手法が、TEC-FORCE隊員の効率性および安全性向上に資するものか検証を行う。なお、今回は初期検証として、画像処理ソフトウェアの選定とUAVによる空撮は以下のとおりとした。

a)画像処理ソフトウェア

SfM解析が可能な最低限の機能を満たす低価格品を用いて、解析時間、精度を確認する。併せて、誰でも使用、変更が自由なインターネット上に公開されているオープンソースソフトウェアも用いることとする。

b)UAVによる空撮

操縦者の技量によらず必要な空撮を実施するため、UAV操作は目視内における自律飛行とする。自律飛行は、無料で使用できる専用のアプリケーションから選定する。

2. 検証方法

本章では、UAV自律飛行による対象物の空撮、およびSfM解析による三次元モデル生成の検証方法を述べる。検証にあたり、操作の容易さ、1箇所あたりの調査時間、取得データの精度に着目した。

(1)検証に用いたUAV, ソフトウェア

本稿UAVの諸元、自律飛行および画像処理に用いたソフトウェアを表-1、表-2に示し、以下に概要を記載する。

a) UAV

近畿地方整備局TEC-FORCEの既存装備品である、DJI社製のMAVIC AIR2を使用した。

b) 自律飛行ソフトウェア

UAV製造元のDJI社は、公式HPにて自律飛行をサポート

表-1 使用UAVおよび搭載カメラ


UAV	搭載カメラ	UAV外観
MAVIC AIR2 ³⁾ (DJI社) 重量 570g 最大伝送距離 6km	F値 2.8固定 焦点距離24mm/35mm 有効画素4,800万画素 センサーサイズ 1/2型	

表-2 使用ソフトウェア

名称	使用目的
Drone Harmony (サードパーティ製アプリケーション)	UAV自律飛行の設定, 操作
Metashape Standard (低価格ソフトウェア)	3次元モデル生成
Open Drone Map (オープンソースソフトウェア)	3次元モデル生成

している。しかし、今回使用したUAVは動作対象外に位置づけられている。よって、本稿に必要な機能を満たしつつ、操作性が良い無料アプリケーションソフトウェアから選定した。

c)画像処理ソフトウェア

三次元モデル生成が可能な画像処理ソフトウェアは、一般的に数十万円を超える高機能の物が多い。本稿では、SfM解析に必要な最低限の機能を満たす数万円のソフトウェアを用いた。併せて、誰でも使用および変更が自由なインターネット上のオープンソースソフトウェアでも検証を行った。

(2)検証場所

検証は、大阪府能勢町のノマックドローンフィールドにて行った。約1.3haの野球場であり、フィールド中心部に軽トラックが2台設置されている。TEC-FORCE活動を想定すれば、実際の被災箇所等で検証するのが望ましいが、本稿は2.(1).表-1のUAVによる自律飛行の空撮可否も含めた初期検証である。よって、検証は平坦地で天頂が開けたUAV飛行に好条件の場所にて行った。

(3)検証手順

本稿UAVを用いた自律飛行による撮影、三次元モデル生成、および精度検証の作業手順は、図-1のとおり。

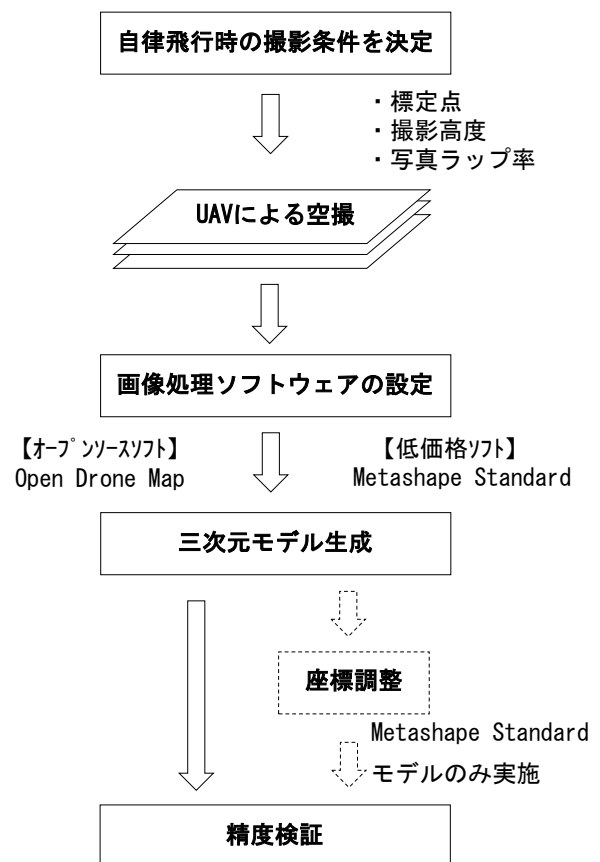


図-1 本稿の検証手順

(4) 自律飛行時の撮影条件

UAVを用いた公共測量⁴⁾⁵⁾では、求める精度に応じて標定点の配置数、地上画素寸法、撮影高度、写真ラップ率などを適切に設定する旨が記載されている。本稿で用いた撮影条件は、表-3のとおり。また、以下に撮影条件の設定方法を簡潔に記載する。

a) 標定点

既存研究⁶⁾では、50m四方の範囲内で標定点を3点から13点まで設置した場合を比較し、5点以上は精度に大きく影響しないことを示しつつ、計測範囲を網羅するように標定点を配置することの重要性が示唆されている。

本稿では、二次被害の懸念等から近接困難な被災箇所、または1箇所あたりの調査時間が限られた状況などを想定している。そのため、標定点は設置せず、現地作業の簡略化、迅速化を図った上で、得られる精度について検証した。

b) 地上画素寸法、撮影高度

UAV出来形管理要領によれば、写真上に投影された1画素に対する地上の寸法（以下、地上画素寸法）は1cm以内、撮影高度は50m程度が推奨されている。本稿は2.(4).a)から標定点を設置しないため、推奨値の50mでも精度が悪くなる可能性が高い。よって、高度は推奨値の50mと、より近接高度での2ケースにて検証を行った。近接高度は、低空飛行による撮影時間の増加、操作員の安全確保などを踏まえ、空撮写真から対象物の詳細がある程度確認できる10mとした。

地上画素寸法は、カメラ諸元と撮影高度で決定される。本稿UAVの場合、高度10mで0.36cm、高度50mで1.80cmとなる。

c) 写真ラップ率

UAV公共測量マニュアルに則り、オーバーラップ率を80%、サイドラップ率を60%とした。

(5) 画像処理ソフトウェアの設定

本稿で用いたソフトウェアは、2.(4).表-3の条件で取得した空撮写真を読み込むことで、ほぼ自動的に三次元モデルを生成できる。その精度、品質については生成時に調整が可能であり、設定を高くするほど処理時間が増加する傾向がある。

TEC-FORCE派遣時は、迅速な被災調査が求められる。ソフトウェアの処理時間は、短い方が望ましい。既存研究⁷⁾によれば、Metashapeは設定を高くするほど高精度になるが、「最高」設定と「中」設定では処理時間に約30倍の差を生じる場合が確認されている。併せて、「中」設定時に出来形管理要領の要求精度を満たす場合も示されているため、本稿ではMetashapeの設定を「中」とした。

Open Drone Mapは、既存研究が少ないこと、Metashapeの「中」設定と比較するため、設定を精度の高い「High Resolution」とした。

(6) 生成モデルの座標調整

土石流現場などの場合、生成した三次元モデルから被災規模を把握するには、比較データとして被災前の標高データ等を読み込む必要がある。当該データは国土地理院が公開している基盤地図情報から取得できるが、データの特徴として現地座標値を持っている（以下、測地座標系データ）。そのため、生成した三次元モデルが測地座標系データではない場合、モデルの座標系を調整する必要がある。

2.(1).表-2のMetashape Standardにて生成したモデルは、現地の座標値を持たないため、測地座標系データへ座標調整を行った。

本稿では、生成した三次元モデルと現地との対応点を図-2のとおり定め、現地の座標値を読み込むことで測地座標系データに変換した。

対応点の座標値は、TEC-FORCE既存装備品のハンディGPSを用いた現地計測値とした。併せて、近接困難地の調査を想定し、対応点の座標値を国土地理院地図⁸⁾から読み取った値も用いた。

Open Drone Mapの場合は、座標調整が不要だった。空撮写真に付与されているGPS情報を読み取り、自動的に三次元モデルを測地座標系データとして作成するためである。

表-3 UAV自律飛行時の撮影条件

項目	設定条件
標定点	無
撮影高度 (地上画素寸法)	10m(0.36cm) 50m(1.80cm)
写真ラップ率	オーバーラップ率80% サイドラップ率60%



図-2 現地と三次元モデル上の対応点

3. 結果

本章では、前章に沿って検証した三次元モデル生成に関して、UAV自律飛行の可否、三次元モデル生成に必要な時間、データ精度などについて述べる。

得られた知見からは、三次元モデル生成は既存装備品と低価格又はオープンソースのソフトウェアにて実現できることが明らかとなった。生成したモデル上で計測した値は、従来の調査手法と同等程度の精度を持つことも判明した。

(1) 自律飛行による空撮

本稿UAVと2. (1). 表-2の自律飛行アプリケーションを用いた結果、問題なく自律飛行を実現できた。また、自律飛行時に2. (4) 表-3の条件にて空撮を行ったところ、三次元モデル生成に必要な写真を短時間で取得できた。空撮に用いた時間は、離着陸を含め30分未満だった。撮影高度ごとの空撮時間を表-4に示す。

(2) 三次元モデル生成

検証の結果、取得した空撮写真を画像処理ソフトウェアに読み込むことで、短時間で三次元モデルが生成できることが分かった。ソフトウェア別の処理時間を、表-5に示した。

表-5から、Metashape Standardの方が短時間で生成できたことが分かる。ただし、本結果は2. (6)の座標調整に用いる時間を含めていない。Open Drone Mapは座標調整が不要なため、全体の作業時間は短くなる可能性がある。図-3は、Open Drone Mapにて生成した三次元モデルを用いて、対象物の延長を測定している画像である。

(3) 精度検証

三次元モデル上の計測値と現地実測値の誤差を確認した。結果、若干の調整が必要だが、従来の調査手法と同等程度の精度を持つモデルであることが確認できた。

表-4 自律飛行による空撮枚数と時間

	撮影高度 10m	撮影高度 50m
空撮枚数	71枚	40枚
空撮時間	15分	10分

表-5 空撮写真から三次元モデルを生成する時間

	撮影高度 10 m (枚数 71枚)	撮影高度 50 m (枚数 40枚)
Metashape Standard	約10分	約5分
Open Drone Map	約25分	約12分

検証にあたり、2. (2)の検証場所に配置されている軽トラック周辺の四辺をABCD、軽トラックの全高をEとし、現地にて実測を行った。図-4は、実測箇所の位置を三次元モデル上に表現している。図-5、図-6は三次元モデルを用いてA~Eを計測した値と、実測値との誤差を示した。

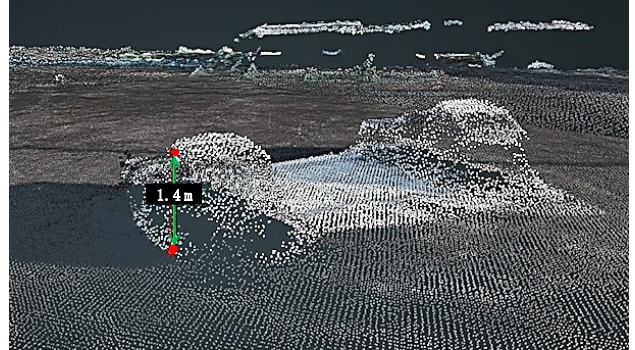


図-3 Open Drone Mapによる三次元モデル

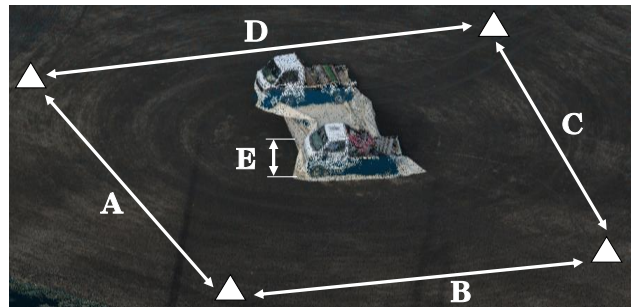


図-4 実測を行った箇所と三次元モデル上の位置関係

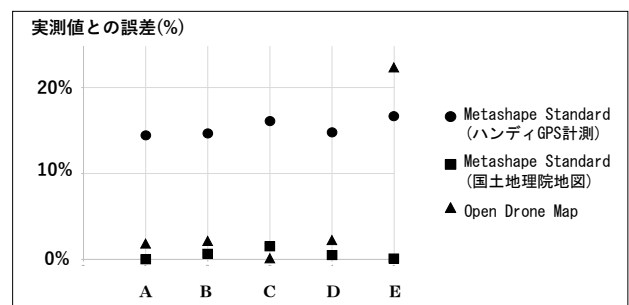


図-5 高度10mの写真で生成した三次元モデルと実測値の誤差

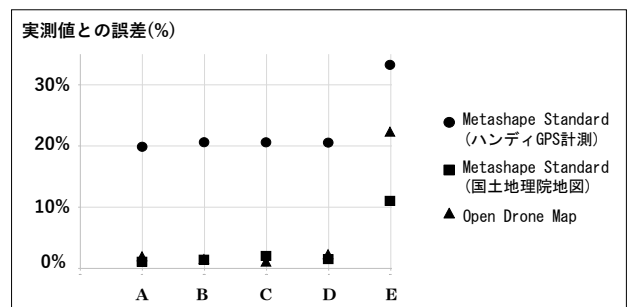


図-6 高度50mの写真で生成した三次元モデルと実測値の誤差

全体の傾向としては、撮影高度10mに比べ、高度50m時は誤差が増加傾向にあると言える。

画像処理ソフトウェア別に見ると、最も誤差が大きかったのはハンディGPSを用いたMetashape Standardモデルであり、高度10mの場合でも15%前後の誤差が生じた。これは、ハンディGPSの計測精度が要因と考えられる。公式HPによると、計測値には10m以内の製品誤差が内包されている。そのため、他の手法と比べ誤差が大きくなったと考えられる。

その他2つのモデルでは、実測値との誤差が2%程度であり、従来手法の精度と比較しても、遜色ない結果が得られた。ただし、軽トラックの全高Eのみ、10%を超える誤差が生じた。既存研究⁹⁾では、斜め撮影画像を追加することで、高さ方向の精度向上が示唆されている。その場合に留意すべきは、モデル生成時に用いる写真を増やすことは、解析時間の増加に直結することである。本稿でも、3. (2). 表-5から撮影枚数40枚に対して、71枚の場合はモデル生成時間が倍以上となった。

4. 考察と今後の展望

(1) 検証結果の考察

本稿では、TEC-FORCE装備品の既存UAVと低価格またはオープンソースのソフトウェアを用いることで、容易に被災調査に活用できる三次元モデル生成が可能であることを示した。

UAV操作検証からは、自律飛行を活用すれば操縦者の技量に寄らず必要な空撮が可能であることを確認した。このことから、最低限のUAV操作が可能なTEC-FORCE隊員であれば、誰でも必要な空撮が可能だと言える。

SfM活用検証からは、被災調査に活用できる三次元モデルが短時間で生成できることを確認した。UAVの空撮時間を加味しても、必要な時間は1時間程度だった。三次元モデルがあれば、従来のスケッチによる被災個所の概要図作成が不要となるため、報告書作成の時間短縮も見込まれる。よって、報告書作成も含めた1ヵ所あたりの被災調査時間で比較すれば、本手法は従来手法と比較しても遜色ないものと考えられる。特に、オープンソースソフトウェアのOpen Drone Mapは、初期投資が不要な公開ソフトウェアであり、座標調整も省略できることから、今後も継続検証していきたい。

三次元モデルの精度検証からは、従来手法の調査結果と同等程度の精度を持つことが確認できた。高さ方向の誤差は今後調整が必要であるが、危険箇所へ近接せずに被災調査が行える利点は大きい。本手法の検討が進めば、より短時間で実施することも可能となり、被災調査の効率化にも寄与するものと考えられる。

以上から、本稿にて検証した新たな手法は、TEC-FORCEの効率性および安全性向上に寄与するものであり、

被災調査に適合する手法だと判断することができた。

(2) 本手法の適用限界

本稿で検証した新たな手法は、三次元モデル生成に必要な写真をUAVにて取得できることが前提である。よって、UAV飛行が困難な条件下では本手法が適用できない。

被災調査時は、悪天候時や非GPS環境下での作業も多い。2. (1). 表-1の既存UAVは、雨天時の飛行に適用しておらず、自律飛行を行うにはGPS情報が必要である。

悪天候時の飛行には、全天候型UAVが適している。しかし、高額であり、本稿UAVに比べ大型になるため携帯性が悪い。今後のUAVの小型化、市場流通による低価格化に期待したい。

非GPS環境下におけるUAV自律飛行の取組として、近年はロボットの自動運転技術などに導入されているVisual SLAMの適用が検討されている。既存研究¹⁰⁾では、UAVにステレオカメラ等の専用機材を搭載することで、自律飛行時に前方対象物との距離を一定に保ちつつ、都市河川の護岸点検に必要な空撮を成功させている。本稿UAVは追加機材を搭載できる機種ではないが、将来的にステレオカメラ機能を持つ全天候型のUAVが低価格で普及されれば、天候等によらず発災直後から迅速な被災調査が可能になると考える。

(3) 今後の検証内容と展望

本稿では、UAV飛行に好条件な場所にて検証を行ったが、今後は被災地等での飛行実験や、様々な撮影条件を設定した場合の精度検証を実施するなど、三次元モデルを用いた効率的な被災調査の知見を蓄積していく必要がある。

TEC-FORCEは、現場経験が豊富な職員で構成されることが多い。平時とは異なる環境下で専門知識を求められるため、経験の浅い若手職員は派遣されることに一抹の不安を感じる場合もある。本稿で検証した手法は、被災調査時の効率性および安全性向上を目的としたものだが、より効果的な運用が可能になれば、現場経験が浅い職員でも被災箇所を定量的に調査することができる。また、高度な技術的判断に直面した場合でも、従来のスケッチによる被災概要図に比べ、三次元モデルは被災箇所の詳細を確認できる。これにより、被災調査の効率化を図るとともに、調査時の安全性向上に寄与できることを期待したい。

今後も継続検証を行い、被災地域の早期復旧支援の一助となるよう推進していきたい。

謝辞: 本研究の遂行にあたり多大なご助言、ご協力をいただいた日本工営（株）の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 内山庄一郎, 井上公, 鈴木比奈子: SfMを用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究, 防災科学技術研究所研究報告, Vol181, 2014年.
- 2) 北本楽, 柴田俊: UAVを用いたレベル3飛行(目視外補助者無し飛行)による河道閉塞および砂防施設の点検・調査活用について, 2021年.
- 3) DJI: MAVIC AIR2, <<https://www.dji.com/jp/mavic-air-2>> (入手2021.1.25)
- 4) 国土交通省国土地理院: UAVを用いた公共測量マニュアル(案), 2017.
- 5) 国土交通省: 空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案), 2020.
- 6) 近津博文, 小高明彦, 柳秀治, 横山大: UAV写真測量における三次元モデリングソフトウェアの性能評価, 写真測量とリモートセンシング, 日本写真測量学会, Vol155, 2016年.
- 7) 櫻井淳, 中村健二, 田中成典: 平常時と災害時におけるUAV写真測量の解析パラメータの決定とその適用に関する研究, 土木学会論文集, Vol173, 2017年.
- 8) 国土地理院: 地理院地図, <<https://maps.gsi.go.jp>> (入手2022.2.28)
- 9) 松岡祐仁, 野末晃, 上原広行: 斜め往復撮影による標定点不要の造成地UAV写真測量手法の開発, 2020年.
- 10) 石井明, 天方匡純, 菅原宏明, 藤井純一郎, 小篠耕平, 六門直哉: 非GPS環境下におけるUAVの自律飛行実験, 建設ロボットシンポジウム論文集, 2019年.

国営越後丘陵公園におけるデジタル技術を活用したクマ侵入対策システムの導入について

笹岡 和幸¹・細井 和生²・安達 久美²

¹国営越後丘陵公園事務所 (〒949-2043 新潟県長岡市宮本東方町字三ツ又1950番1)

²国営越後丘陵公園事務所 調査設計課 (〒949-2043 新潟県長岡市宮本東方町字三ツ又1950番1)

国営越後丘陵公園では、クマ・イノシシ等の大型哺乳類の出没による公園利用者の安全確保及び公園施設の被害軽減を目的とした総合的な獣害対策検討のため、園内に設置した「通信機能付きセンサーカメラ」と「AI解析機能付きクラウド」を組み合わせた「クマ侵入対策システム」を北陸で初めて導入した。この取り組みにより、出没の監視に関する人件費の大幅な削減と迅速な公園管理体制の構築が可能となった。本稿において、その取り組み事例を報告する。

キーワード 国営越後丘陵公園, 獣害対策, 通信機能付きセンサーカメラ, AI解析機能付きクラウド, クマ侵入対策システム

1. はじめに

国営越後丘陵公園（以下、「当公園」という。）は、北陸地方の広域レクリエーション需要に対応するため、全国で13番目、本州日本海側唯一の国営公園として、新潟県長岡市において「天に学び、地に遊び、人と集う、越の里」のテーマのもと平成元年度より事業を進め、約340haを開園している。整備構成は「健康ゾーン」（以下、「健康Z」という。）と「里山フィールドミュージアム」（以下、「里山FM」という。）の2つのエリアからなる（図-1）。

長岡市中心の西側に位置する当公園は十日町市の旧松之山町一帯の山地から連なる東頸城丘陵の末端に位置する丘陵地であり、その北側は西山丘陵に接する。このような地理的条件により、長岡市街に接しながら、豊かな自然にふれあえる位置にある。

丘陵地として森林が連続する一方で、近年、園内へ周辺地域からやってくるツキノワグマ（以下、「クマ」という。）やイノシシなどの大型哺乳類の出没による公園利用者への安全面の懸念や公園施設への被害が顕在化してきており、その対策が緊急の課題となっている。

本稿では、園内の哺乳類の生息状況や獣害とその対策の概略に触れるとともに、令和4年度からデジタル技術を活用した「クマ侵入対策システム」を北陸で初めて導入し、クマの侵入監視に伴う人件費の大幅な削減と迅速な公園管理体制の構築を可能としたことから、これら取り組みの効果や課題について報告するものである。



図-1 国営越後丘陵公園 構成図

2. 獣害対策の概要

(1) 中・大型哺乳類の生息の現状

令和3年度の自動撮影カメラ（以下、「センサーカメラ」という。）による調査では、大型哺乳類としてクマ、イノシシのほか、カモシカとニホンジカが確認されている（表-1）。中型哺乳類としては、ノウサギ、タヌキ、キツネ、テン、イタチ、アナグマ、ハクビシンが確認されている。センサーカメラ（32台）で、R3. 6. 17～12.

3に撮影した個体数ではタヌキが極めて多く確認されており、次いで、ハクビシン、アナグマも確認されている。また外来種のアライグマが園内の痕跡調査により確認されている。

表-1 R3年度自動撮影調査 延べ撮影個体数

科名	種名	エリア		合計
		健康Z	里山FM	
ウサギ科	ノウサギ	52	42	94
リス科	ニホンリス	14	123	137
ネズミ科	ネズミ類	66	140	206
クマ科	ツキノワグマ	5	4	9
イヌ科	タヌキ	1466	1915	3381
	キツネ	112	145	257
イタチ科	テン	168	134	302
	イタチ	3	21	24
	アナグマ	207	289	496
ジャコウネコ科	ハクビシン	266	272	538
ネコ科	ネコ		14	14
イノシシ科	イノシシ	173	272	445
シカ科	ニホンジカ	42	35	77
ウシ科	カモシカ	98	79	177
-	種判別不能	183	199	382
合計		2855	3684	6539

(2) 獣害の発生状況

獣害として、顕在化しているものは、①クマ等大型哺乳類との遭遇による人身被害への懸念、②イノシシによる公園施設内の植生被害である。①は、公園内の森林部に設定されたトレイルランニングコース（以下、「トレランコース」という。）など遭遇の可能性の高い施設が閉鎖になることによる施設の利用制限、安全確認や爆竹による追い払いなどの安全管理のための負担などである。②は、イノシシによる園路沿いのヤマユリの球根への食害、芝生が掘り返されたり（写真-1右）、里山FMの「花の水辺区」や「山の水辺区」などの自然観察施設が荒らされるなどの被害が生じている。



写真-1 左:クマの爪痕(○内)、
右:イノシシにより荒らされた芝生

(3) 獣害対策の概要

当公園では、令和3年度は、センサーカメラによる行動調査や痕跡調査による生息状況の把握を通じて獣害対策を検討し、侵入防止のための物理柵の設置（写真-2左）や朝夕の爆竹を用いた追い払い、園路や遊具周辺の低木

類の刈り払いなどの緩衝帯整備（写真-2右）などの獣害対策を具体的に進めてきた。



写真-2 左:イノシシ侵入防止柵、右:緩衝帯整備

また、当公園で従来から運用している「クマ対策基準」では、公園周辺や、園内のクマの痕跡や撮影を含む目撃情報があった場合、昼夜を問わず速やかに「自然探勝路」「散策路」「トレランコース」の立ち入り禁止措置を講じる等の対策を実施している。

3. クマ侵入対策システムの導入

(1) データ蓄積型センサーカメラによる監視（R3まで）

令和3年度当初のセンサーカメラ調査では、一般的な野生動物調査に使用されている赤外線センサーで動物を感知し撮影を行い、SDカードに画像を保存するタイプのカメラを園内30箇所以上に配置し、概ね1ヶ月毎にデータ回収を実施していた。しかし、7月20日の回収時において園内でのクマの撮影が4箇所ですべて5回確認（撮影日：6月20～22日、7月7日）された（写真-3）ため、当公園クマ対策基準に基づき7月21日より園内一部区間の閉鎖を当面の間実施することとした。



写真-3 令和3年度のクマ撮影画像

公園利用者の安全確保を図るためには、それ以後の回収頻度を上げる必要があり、撮影データを毎週、回収した結果、7月27日、8月3日、8月13日とその後もクマの撮影が確認されたため、園内の一部区間の閉鎖を継続しつつ9月1日まで毎週のデータ回収作業を実施し、8月14日以降約3週間の痕跡情報が無いことを確認した上で専門家の助言を基に9月5日より全面開放を行うに至った（一部閉園期間：46日間）。以降、データ回収の頻度を隔週とし監視を継続した。

(2) 通信機能付きセンサーカメラの導入 (R4から)

前述のとおり、従来のセンサーカメラによるクマの監視では、データ回収作業1回当たり調査員としての技術者2名分の人件費(経費込み約20万円)が発生し、最大で4~5回/月(約100万円)の大きな負担が発生した。

こうした課題を解決するため、比較検討によりデータ回収の必要が無い通信機能付きセンサーカメラ(写真4)に切り替え、令和4年度より20台を導入(7月より更に10台追加し、計30台)することとした。(図2)。

これにより、人件費については電池交換や動作確認に必要な月1回(約20万円)の最低限のメンテナンス費用で済ませることが可能となり最大、従来型の5分の1にコスト削減が図られた。



写真4 通信機能付きセンサーカメラ

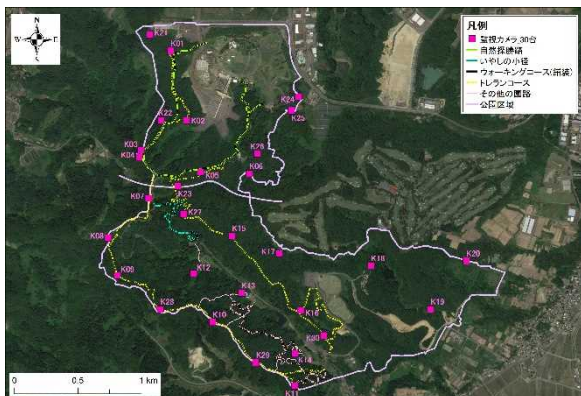


図2 通信機能付きセンサーカメラの設置状況

導入にあたっては、令和3年度中に2台設置し、機能性や誤作動による既定の通信容量を超えてしまうなどの問題が生じないことを確認したほか、携帯電話回線を使用するため、大手3キャリアの携帯電話の電波強度の現地確認を実施した(図3)。

(3) AI解析機能付きクラウドによる監視体制

通信機能付きセンサーカメラは、撮影した画像をメールで送信する方法とクラウドにアップロードし、PC等でクラウドにログインして閲覧する方法(図4)がある。メールの場合、設置台数が多いと画像確認の負担が大きいため、まとめて確認できるクラウドを選択した(図5)。またクラウドはAI(人工知能)による動物種の自

動判別が可能であり、クマと判別されると即時に管理者へメールで自動通知する機能を有しており、クマの侵入を確認してから閉園等の速やかな対応が可能となった。



図3 携帯電波強度の確認

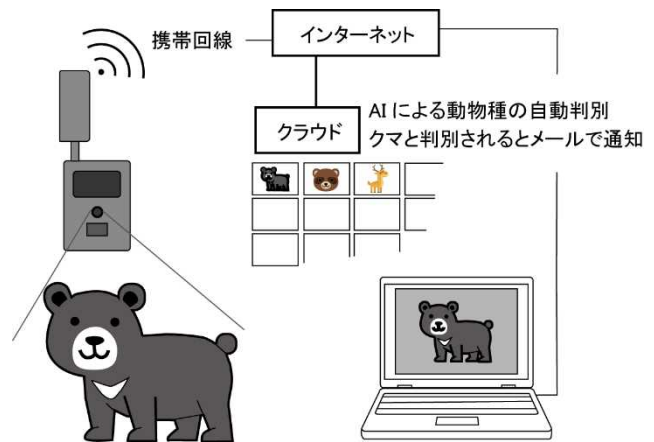


図4 クマ侵入対策システムの監視方法

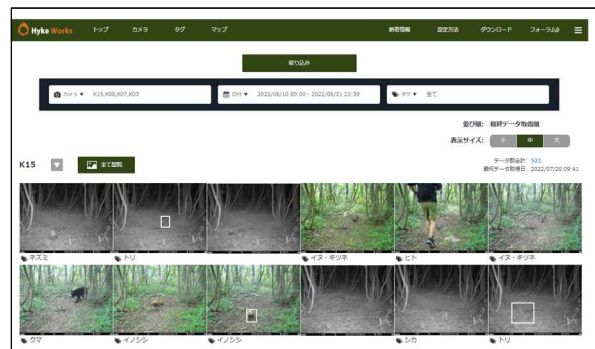


図5 クラウド上での確認画面

4. システム運用の結果

(1) ツキノワグマの撮影状況

通信機能付きセンサーカメラの運用が始まったR4年4月から7月20日までに、5月30日、6月4日、6月16日、6月21日、7月6日及び7月20日の計6回のクマの撮影があった。5月末から6月初めの期間は公園の隣接地域でもクマの目撃情報が始まった時期であり、当公園内に侵入してきたクマを適切に監視・撮影できたものと考えられる。

(2) AIによる解析状況

R4運用開始後のクマ出没時AI判別正答率は、昼間（カラー）2回中1回(50%)、夜間（白黒）3回中1回(33%)であった。夜間は赤外線カメラ撮影（白黒）となり精度が大きく低下する傾向がうかがえる（写真-5）。

参考までにR3年度の自動撮影で撮影されたクマ画像について、当時はAI解析を実施していなかったが、まとめてクラウドシステムにアップロードしてAI判定を実施したところ、正答率はカラー7画像中6画像（86%）、白黒18画像中8画像（44%）であった。



写真-5 令和4年度のクマ撮影画像

一方で、タヌキ・アナグマ等の中型哺乳類を「クマ」判別することが非常に多いということが判明した。特に当公園ではタヌキの撮影頻度が高いために、メールの誤送信が頻発することが課題となっている。

以上のように、AI判別の解析精度に関しては全般的に未だ発展途上であり、今後の運用実績増加によるタヌキ等の中型哺乳類のカテゴリー化及びAI学習機能によるクマ判別の更なる精度向上が望まれる。

5. システム導入の効果

デジタル技術を活用したクマ侵入対策システムによる効果は以下の3点である。

(1) 人件費の削減

これまでのセンサーカメラでは1~2週間間隔でデータ回収していたものが、通信機能によってWEB上のクラウド画面で随時目視確認できるため、データ回収に伴う毎月の人件費が最大で令和3年度の5分の1程度まで削減された。

(2) 迅速な公園管理体制の構築

AI解析によりクマ等の判別が可能となってメール送信によるリアルタイムな情報が得られるとともに、クラウド画面での目視確認の併用によりクマ撮影後24時間以内の園内の一部区間の閉園措置等、迅速な公園管理体制の構築が可能（表-2）となった。

(3) クマ対策基準の見直し

今回のシステム導入と分析により、クマは夜間に出没

するケースがほとんどであることが判明したが、「クマは習性として人の気配や音を避ける」といった獣害被害対策の専門家からの助言を裏付けるものであった。

よって、園内で開園時間外にクマの痕跡や監視カメラによる撮影が確認された場合、公園利用者へのクマ鈴の携行呼びかけや、朝夕のパトロール時の爆竹使用等の安全対策を講じるとともに、比較の見通しが良くクマとの鉢合わせの可能性が低い舗装済みの「自然探勝路・散策路等」は閉鎖の対象外とするなど対策基準の一部緩和を行った（表-3：レベル2）。

今後、クラウドシステムの運用による、リアルタイムでの監視を継続し、クマの出没傾向の分析を重ねつつ専門家の助言を得ながらより良い公園管理体制の構築に向けた更なる対策基準の見直しも可能であると考える。

表-2 クマ侵入対策システムと従来手法との比較

手法	データ回収・メンテナンス	動物種判別	クマ対応
R3まで センサーカメラ	調査員が1~2週間ごとに 現地でSDカードを回収	調査員が回収ごとに 数百~数千枚を 目視	撮影後のタイ ムラグあり
R4から 通信機能付き センサーカメラ	画像がクラウドにアップ ロードされ、回収作業不要 (電池残量等も確認可能)	AIにより自動判別 (クラウド画面で随 時目視確認も可 能)	撮影後、迅速 に対応可能

表-3 国営越後丘陵公園
クマ対策基準（2022年7月現在）

体制	通常	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4
		公園周辺で糞跡 又は目撃情報	公園内で糞跡情報 (フン、足跡、爪痕、 開園時間外の監視カ メラ映像等)	公園内で目撃情報 (開園時間内) 又は部分閉園 (開園時間内の 監視カメラ映像)	公園内で 人身被害
閉園	全面閉園	部分閉園	部分閉園	全面閉園 又は部分閉園	全面閉園
初動対応		①閉園時は速やかに立入 禁止措置区域内の来園者 を避難誘導	①-	①全面閉園（臨時） ②全面閉園（臨時） を閉鎖の上、 来園者を避難誘導	①全面閉園（臨時） ②全面閉園（臨時） を閉鎖の上、 来園者を避難誘導
巡回体制	①雁山FM及び 健康ゾーン巡回 各1名配置 ②AM・PM 各1回巡回 (軽1BOX・ 乗付)	①- ②- ③開園前・閉園時の巡回	①巡回2名配置 ②- ③-	①- ②- ③- ④連携して全面を継続 巡回	①- ②- ③- ④連携して全面を 継続巡回
立入禁止 措置		①未舗装の自然探勝路、 散策路、ハイキングを閉鎖	①- ②糞跡場所などを考慮 して、③に追加舗装取 除などの閉鎖を検討	①全面閉園（臨時） ②全面閉園（臨時） を閉鎖の上、目撃場所を踏 まえず一部閉園（緑の干 渉帯周辺、駐車場、ス チこのあん路辺、あそ びの里）を検討	①全面閉園（臨時）

6. おわりに

野生動物による獣害の増加は全国的にみられる課題となっている。第三期新潟県ツキノワグマ管理計画（新潟県、令和4年3月）によると、新潟県内のクマの生息域は平成19年から平成28年までの10年間で1.5倍に拡大しており、里山地域へ拡大しているとされている。当公園もこうした地域に含まれており、クマの出没は今後とも続く可能性が高いと考えられる。クマの出没増加は人身被害の発生にもつながることから、公園利用者の安全確保のために、クマ侵入の監視体制を充実させるとともに、デジタル通信技術等を活用して迅速なクマ対応を図るためのシステム「クマ出没対応マニュアル（案）」を作成し、運用方法の検証を行いつつ今後の分析状況に合わせて適切に更新していく等の取り組みを一層進めていく必要がある。

UAVを活用した砂防施設及び溪流の点検手法の検討について

平林 千春¹

¹中国地方整備局 広島西部山系砂防事務所 調査課 (〒730-0013 広島県広島市中区八丁堀3-20)

広島西部山系では、住宅地奥の急峻な山裾に砂防施設が連担して存在しており、管内では近年も豪雨により繰り返し土石流が発生している。そのため、地震時や一定規模の降雨後に、対象となる約170溪流の緊急点検を行い、現地状況を迅速に把握することとしている。従来の地上調査では、調査員の安全性確保や調査の迅速性が課題であった。この課題を解決すべく、UAVを活用し、安全な場所から1フライトで複数の溪流を同時に点検することで、安全かつ迅速な緊急点検方法を計画し、モデル箇所において実施検証を行った。本稿はUAVを活用した点検方法の検討及び実施検証と検証結果を踏まえたUAVの高度利活用について報告するものである。

キーワード UAV, 溪流点検, 緊急点検, レベル3飛行 (目視外補助者なし飛行)

1. はじめに

広島西部山系は、平成11年6月29日の土砂災害を契機に平成13年度から直轄砂防事業を開始し、砂防設備の整備を行ってきたが、直轄化された後も、豪雨により平成26年、平成30年、令和3年と繰り返し土砂災害が発生している。

広島市周辺地域は、雨で崩れやすい風化花崗岩の影響や都市化に伴い山麓まで住宅地の開発が進み土石流により甚大な被害が発生する多くの溪流を抱えている。

そのため、地震時や一定規模の降雨後に、事業箇所の約170溪流の緊急点検を行い、現地状況を迅速に把握することとしている。

従来の地上調査では、緊急概略点検に要する時間、溪流間の移動に要する時間、豪雨後すぐに実施するため、調査時の調査員の安全性確保が課題であった。この課題を解決するため、UAVを活用した検討を行うこととした。

本稿では、緊急点検における手動飛行を基本としたUAV活用方針や点検方法の検討、モデル箇所による実施検証、また、その結果を踏まえた緊急点検におけるUAV活用の方法、実施検証の結果、UAV点検の高度化の試行結果について報告する。

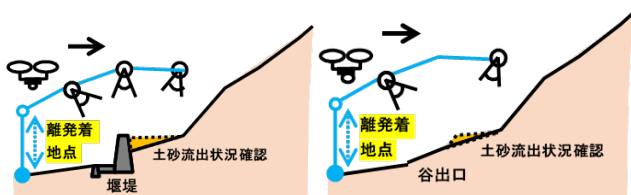


図-1 緊急概略点検 (フェーズ1) の概念図

2. UAVを用いた緊急点検

(1) UAV活用の基本方針

緊急点検におけるUAV活用の基本方針は、点検内容・目的に応じて、緊急概略点検 (フェーズ1) (図-1)、緊急詳細点検 (フェーズ2) (図-2) に分けて策定した。

緊急概略点検 (フェーズ1) は、一定規模以上の気象状況や災害発生時等に、土砂流出状況を把握し、土砂流出の有無について速やかに把握し、緊急詳細点検の必要性を判断する。緊急詳細点検 (フェーズ2) は、緊急概略点検で土砂流出が確認された場合、または事前に土砂流出の情報があった場合に行うものであり、崩壊地の特定及び溪流内の土砂堆積状況の把握を行うことを目的としている。

(2) 点検方法

緊急概略点検 (フェーズ1) では、UAVの離着陸地点は、出水時であっても安全な場所を選定することとした。緊急概略点検 (フェーズ1) は、土砂流出状況等を迅速に把握し、緊急詳細点検の必要性を判断することが目的であるため、UAV点検では、定点での静止画撮影と

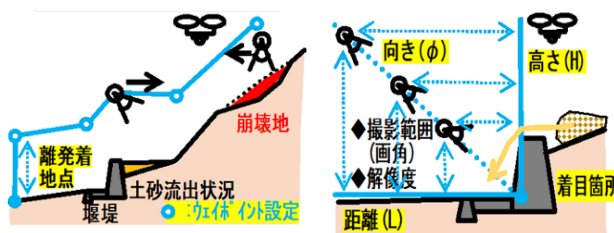


図-2 緊急詳細点検 (フェーズ2) の概念図

UAV点検の利点を活かした全体を俯瞰した撮影を行うことを基本とした。点検箇所は、対象溪流の施設整備状況に応じて設定した。施設が無い溪流は、下流から谷出口付近、施設が整備されている溪流においては、下流から最上流施設までと調査範囲を限定することで、効率的な調査となることを目指した。特に、広島西部山系では、山裾に人家が密集し、溪流が連担している箇所が多く存在するため、調査の効率化を目指し、1回のフライトで複数の溪流を点検する方法とした。機体選定では、複数溪流を複数班で移動しながらの点検となるため、機動性が良く、汎用性の高い機体が条件となる。

緊急詳細点検（フェーズ2）では、二次流出を想定し、UAVの離発着点は、緊急概略点検（フェーズ1）同様、出水時であっても安全な場所を選定することとした。緊急詳細点検（フェーズ2）は、①崩壊地の特定、②溪流内の不安定土砂の堆積状況の把握、③崩壊地・施設変状確認、④流出土砂量等の目的に応じて実施するため、目的に応じたUAV点検方法を設定した。上記の①②については、崩壊地の特定および溪流内の土砂堆積状況を確認する遠望動画撮影を行う。③については、崩壊地・施設の変状を把握するための近接詳細撮影を行う。④については、流域全体の状況把握のためのオルソ画像作成用の撮影や流出土砂量や堰堤堆砂量の計測のためのLP計測を行う。機体選定では、①②では崩壊地の特定等、流域の上流域までの調査が想定されるため、飛行可能時間が長く、視認性の良い機体、③では施設への近接することが想定されるため、障害物（構造物・樹木）を感知するセンサーを搭載し、至近距離での撮影が可能な機体、④では、目的に応じて使用する機器の付替え等が可能な機体が条件となる。

また、点検対象となる溪流は、人家や電線等の支障物が近接する箇所も多数あるため、UAVを利用する調査の実施においては、離着陸地点の有無や支障物等を把握し、UAV利用の可否を確認した上で、飛行計画を立案や点検方法を検討する必要があった。そこで、飛行計画の効率的な計画、品質向上のため、LPデータと2次元図面から、地形モデルと構造物モデルを統合したCIM統合モデル²⁾（図-3）を作成した。統合モデルは、UAVの離着陸地点、周辺の支障物情報、既往点検結果の情報を付与し、3次元的に支障物と機体の位置関係を確認できるモデルとした。

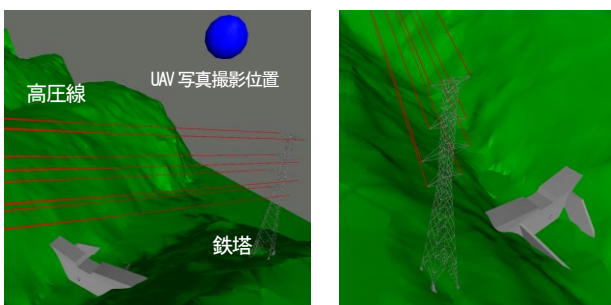


図-3 3次元モデルを活用した飛行計画の確認

3. 実施検証結果

UAVを用いた緊急点検の実施検証は各地区で緊急概略点検及び緊急詳細点検のシナリオを策定し、着目点や評価項目を設定した上で実施検証を行った。

(1) 緊急概略点検（フェーズ1）

緊急概略点検では、手動飛行で静止画撮影により土砂流出状況を確認する飛行を行い、地区の特性に応じた点検方法及び使用機体について検討した。

使用する機体は、機体の性能、品質、汎用性を考慮して、調達が容易で汎用性の高い MAVIC 2 PRO (DJI 社) と飛行時間が長く、視認性に優れた MATRICE 300RTK (DJI 社) の2機体を選定した。

実施検証の結果、安全な場所から1フライトで土砂流出状況を確認することが可能であった。本検討により調査した105溪流の地上点検の平均時間が1溪流あたり約20分であるのに対し、UAV点検の平均時間は約6分と調査時間の短縮となった。また、地上点検からUAV点検とすることにより約8割の溪流で点検時間が50%以上の短縮となることを確認した（図-4）。特に緑井・八木地区では、UAV点検時間が6溪流で12分であり、地上点検と比較すると約70分の大幅な時間短縮ができ、連担する溪流の緊急概略点検におけるUAV調査の有用性が確認できた（図-5）。

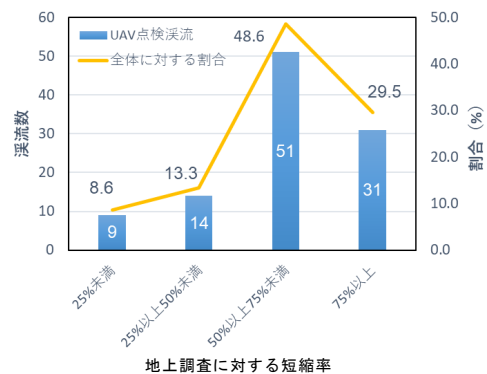


図-4 地上点検に対する点検時間の短縮率



図-5 緊急概略点検の実施検証結果（緑井・八木）

(2) 緊急詳細点検（フェーズ2）

緊急詳細点検では、土砂流出が確認された場合の動画撮影による崩壊地の特定を行う。また、施設整備状況及び現地特性を踏まえ、実施検証で行う点検項目（オルソ作成用の撮影、LP 計測、近接撮影等）を選択し、土砂堆積量や施設変状等を確認した。緊急詳細点検に使用する機体は、飛行時間が長く、様々な計測機器を搭載可能な MATRICE 300RTK（DJI 社）と Visual SLAM 機能搭載で近接撮影が可能な skydio2（skydio 社）の 2 機体を選定した。

実施検証の結果、1 回のフライトで、動画撮影により崩壊地の特定及び溪流内の状況を確認（図-6）した。またオルソ画像、LP 計測により災害前後の状況の変化を全体的に把握できることを確認（図-7）した。さらに砂防堰堤の近接撮影（図-8）を行うことで堰堤天端のひび割れの規模³⁾を確認することができ、施設変状の把握にも活用できることを確認した。



図-6 緊急詳細点検結果（崩壊地の特定）

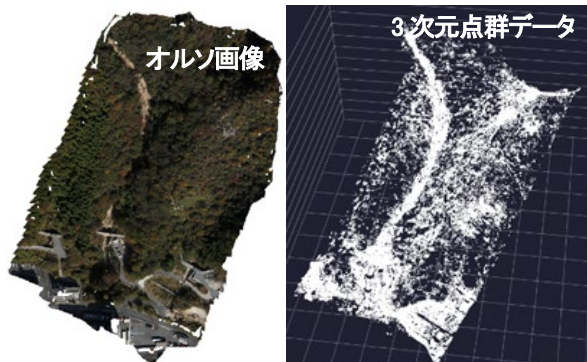


図-7 緊急詳細点検結果
（オルソ画像・3次元点群データ（LP計測））



図-8 緊急詳細点検結果（砂防堰堤の近接撮影）

(3) 実施検証結果のとりまとめ

各地区の緊急点検の実施検証結果を踏まえ、UAVを活用し、点検作業の効率化・迅速化、点検調査員の安全性向上、UAVの高度利活用を目的として「UAVを用いた緊急点検要領（案）」を作成した。点検要領（案）では、安全管理、撮影画角の設定、UAVの関連法令等について記載し、特に実施検証により得られた課題や改善点は留意点として整理した。

UAV点検結果のとりまとめについては、今後の点検結果の利活用の観点から分かりやすくデータ利用していく観点でデータ格納フォルダ（図-9）を設定した。また、飛行計画立案等に用いたCIM統合モデル（図-10）を活用したとりまとめを試行した。これにより、点検結果を視覚的に検索することができた。

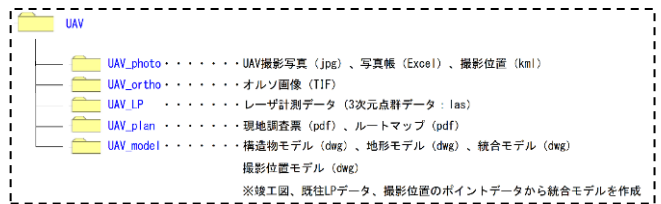


図-9 UAV 点検データ格納フォルダ



図-10 CIM 統合モデルを用いた UAV 点検データの利活用方法

4. UAV点検の高度化に向けた試行

今後の UAV 点検の高度化に向けて、調査結果の迅速な情報伝達や目視外飛行での点検について試行を行った。

(1) 調査結果の迅速な情報伝達

調査結果について、WEB 会議システムを活用した調査映像のリアルタイム配信や SMART SABO との連携試行を行い、迅速な情報伝達（図-11）が行えるかを確認した。また、自律飛行を行いながら撮影写真を解析処理し、リアルタイムでオルソ画像を作成する機能やリアルタイムで3次元点群データが取得できる機能を活用することで、迅速な現地状況の把握（図-12）を行うことが確認できた。



図- 11 UAVを用いた調査の迅速な報告と状況共有

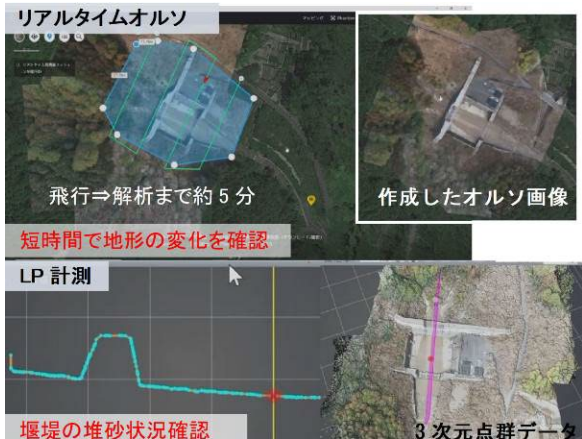


図- 12 新技術を活用した調査の高度化事例

(2) 目視外飛行（レベル3）における緊急点検の実施

山間部で調査範囲が比較的広い宮内・明石地区（廿日市市）（図-14）での調査は、上流域が広く目視外飛行となり、補助者を配置してのUAV点検が難しい。そこで、調査範囲拡大のため、航空局へ「目視外補助者無し飛行（レベル3飛行）」の許可・承認申請を行い、承認を得た上で飛行（図-13）を行った。レベル3飛行の実施には、技術的・法令的な高いハードルをクリアする必要があるが、中国地方では防災事業初の試みであった。また、今後の都市部近郊での目視外飛行（レベル4飛行）実現に向けて、目視外飛行実施の際の許可・承認申請についての知見を得ることができた。



図- 13 UAVのレベル飛行形態

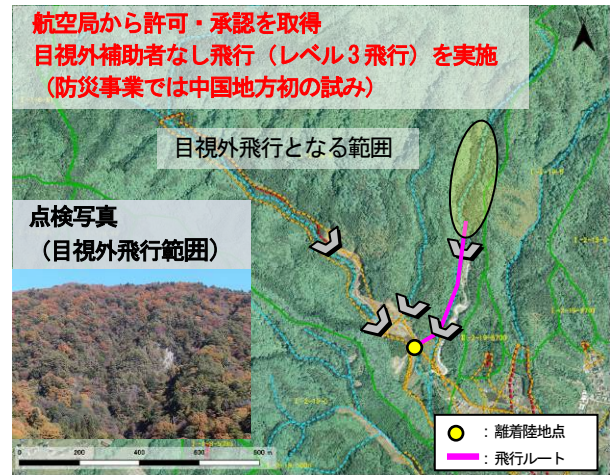


図- 14 レベル3飛行による現地実証

レベル3飛行の試行では、操縦者から機体を目視できない場所での飛行であっても、常にモニターで溪流内の状況を確認することができ、機体制御の電波通信も安定していた。これにより、溪流上流域の機体を目視で視認できない箇所であっても、溪流に立ち入ることなく安全に広範囲の調査が可能となることを確認した。

5. おわりに

本稿において検討した緊急点検時のUAVの高度活用により、1回のフライトで、安全な場所から迅速で効率的に土砂流出状況の把握ができることを確認できた。また、土砂流出が確認された場合の詳細な調査についても、UAV調査の有用性を確認した。

広島西部山系では、都市部近郊で人家が近接する場所での飛行が想定されるため、繰り返しの定期点検での活用も含め、自律飛行での点検手法の検討が今後の課題である。

都市近郊部での自律飛行は、より詳細な飛行ルートの設定が必要となるため、3次元データ等を活用し、自律飛行による安全な点検方法を確立させることが重要である。

また、撮影写真や計測データは、維持管理を行う上での重要な基礎資料となることから、データの蓄積方法やデータの活用方法を検討していくことが必要である。

今後もUAVの高度化利用に向け、溪流内に人が立ち入り不要となるレベル3飛行、さらにレベル4飛行も含めた溪流点検や施設点検への活用等、点検の高度化に取り組んで行く予定である。

参考文献

- 1) BIM/CIM活用ガイドライン（案）第3編 砂防及び地すべり対策編 令和3年3月 国土交通省
- 2) 砂防関係施設点検要領(案) 国土交通省砂防部保全課 R2.3

VR技術を用いた河川水位予測情報の 3次元表示に関する技術開発

諸岡 良優¹・土屋 修一¹・竹下 哲也¹

¹国土技術政策総合研究所 河川研究部 水循環研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

国の調査では、災害の切迫感や臨場感の伝達不足が適切な避難行動の妨げとなることが指摘されている。このため、国土技術政策総合研究所では、迅速な水防活動や避難促進を目的に運用されている「水害リスクライン」の追加機能として、VR技術を活用した河川水位予測情報の3次元表示技術を開発した。開発にあたっては、操作性を高めるために地形データ量を抑える工夫や、災害の切迫感・臨場感を高めるための各種エフェクトの追加を実施した。動作確認等の結果、実用レベルに近いVR表示を開発できたことに加え、自治体ヒアリングの結果、CCTVカメラでは視認が困難な夜間等でも水位情報の視認が可能となる利点等があることが分かった。

キーワード 河川水位予測, 仮想現実 (VR), 3次元画像, 水防活動

1. はじめに

近年、豪雨による洪水災害が全国で頻発しており、減災のためには迅速な水防活動や避難につながる洪水予測情報の提供が重要である。2015年9月関東・東北豪雨災害後の社会資本整備審議会答申¹⁾では「氾濫の切迫度をリアルタイムで伝えることができるような水位情報提供システム等の開発を進めること」が示され、2018年7月西日本豪雨災害後の社会資本整備審議会答申²⁾でも、同システムの必要性が改めて示された。こうした背景を踏まえ、国土技術政策総合研究所(以下、「国総研」と記載)では6時間先までの河川水位予測情報や左右岸別の洪水危険度を提供する洪水予測システムである「水害リスクライン」³⁾の技術開発を行い、2019年から運用されている。

しかし、「自分は災害に遭わないという思い込み(正常性バイアス)」により住民が適切に避難行動をとれていないとの指摘があり⁴⁾、水害リスクラインにおいても、災害の切迫感や臨場感をより分かりやすく市町村や住民に伝えるための洪水予測情報の改善が求められている。

本稿では、今後のDX(デジタル・トランスフォーメーション)に伴う3次元地形データの整備や5Gによる通信環境改善の動向を見据え、災害の切迫感・臨場感をより分かりやすく市町村や住民に伝達することを目的とし、水害リスクラインの追加機能としてのVR(仮想現実)技術を活用した河川水位予測情報の3次元表示(以下、「VR表示」と記載)に関する技術開発を紹介する⁵⁾。

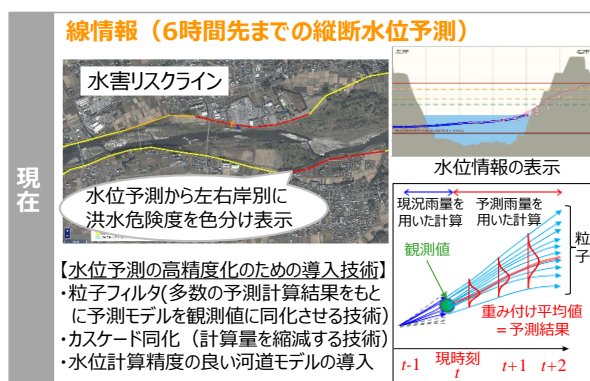


図-1 水害リスクライン(現行)の概要図⁶⁾

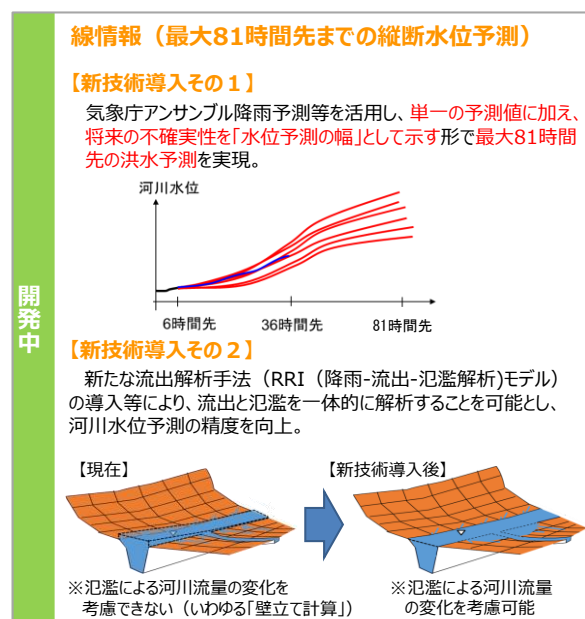


図-2 水害リスクライン(Ver.2.0)の概要図⁷⁾

2. 洪水予測の高精度化・長時間化

(1) 水害リスクラインの概要

水害リスクラインの概要を図-1に示す。水害リスクラインが運用される以前は、「点情報」として市町村向けに水位観測所における水位の実況や予測情報を提供してきたが、上流から下流まで縦断的に洪水の危険度が把握できるよう水害リスクラインでは、「線情報」として河川縦断方向の水位予測と氾濫危険水位等を比較することで左右岸別の洪水危険度を色分け表示している。水害リスクラインの入力データとしては、高精度な実測・予測雨量であるCバンドレーダ雨量や気象庁の高解像度降水ナウキャスト、降水短時間予報、メソ数値予報モデル(MSM)といったメッシュ雨量データを利用し、流出解析には土研分布モデル、河道の洪水流解析には一次元不定流モデルを使用している。さらに、予測精度を高めるため、粒子フィルタを用いて水位の観測値と予測値を同化させる技術や、多地点のデータ同化に伴う計算負荷を軽減するためカスケード同化技術を採用している⁶⁾。

水害リスクラインは、周辺の地図、土地利用図、色別標高図、破堤点毎の洪水浸水想定区域、CCTVカメラ画像等を切り替え表示できる機能を有している。また、新たな表示機能の追加も可能なシステム構成となっている。

(2) 水害リスクライン (Ver2.0) の開発

現在、国総研では、図-2に示すように、流出と氾濫を一体的に解析できるRRIモデルの導入による洪水予測の高精度化や、迅速な避難・水防活動を実現するため、気象庁のアンサンブル予測等の活用による最大81時間先までの洪水予測の長時間化を目指した水害リスクライン(Ver2.0)への改良を実施中であり、2023～2025年度の運用を目指して国土交通本省、地方整備局等と連携して準備を進めている。

3. 河川水位予測情報のVR表示技術の開発

(1) VR表示に関する有効性・実現性の確認

前述の内閣府検討会の報告⁴⁾では、「災害の切迫感や臨場感の伝達不足」等から「避難情報が発令されても、住民が適切に避難行動をとれていないのではないか」との指摘がされている。このため、災害の切迫感・臨場感を伝える手法として河川水位予測情報のVR表示の有効性・実現性について以下のとおり確認を行った。

a) 既往研究・事例のレビュー

災害の切迫感・臨場感を地域住民に伝える取り組みとして、河川等の危険箇所Webカメラを設置して住民がスマートフォン等で確認できるようにした広島県海田町



図-3 3次元管内図 (荒川下流河川事務所HP⁹⁾)

の事例がある⁴⁾。この事例では、2021年8月の大雨の際に、約1万件月のアクセスがあり、災害に関する臨場感あふれる情報を多くの住民へ伝達したことが報告されており、住民が危険箇所の映像を確認したいニーズがあることを確認した。

また、アンケート結果と災害時の不安度モデルの分析から、災害の切迫感・臨場感ある現場状況の視認が住民の不安度を増し、避難行動を促進したと推察している既往研究⁷⁾や、VRを用いた避難実験により、増水の視認に避難誘導効果があることを確認した既往研究⁸⁾がある。これらの既往研究から、河川水位予測情報のVR表示は避難行動促進に繋がる可能性があることが示唆された。

b) 3次元データの収集可能性

河川予測水位情報のVR表示には、3次元地形データや背景画像としての写真画像が必要となるが、これらは2025年度末までに全ての一級水系で整備予定の「3次元管内図」(図-3)や国土交通省が進めるProject PLATEAU¹⁰⁾による3次元都市モデルの有効活用により入手可能となることが期待される。

(2) 開発環境及び対象河川の選定

河川水位予測情報のVR表示を行う上での開発環境の選定にあたり、①操作性(情報表示の迅速さ)、②切迫性・臨場感を高める視覚上の効果(エフェクト)、③アクセシビリティ(様々な機器、OSに対応可能か)の3点に留意した。本技術の開発環境には、3次元情報の処理が容易であり、様々なエフェクトが標準装備されているゲームエンジンであるUnity Technology社のUnityを採用している。Unityで開発した環境をWebGL形式で出力することで、Webブラウザ上でPCやスマートフォンから操作可能なシステムとしている。

対象河川については、協力が得られた一級水系山国川とした。なお、同河川はシステムの開発時点で、3次元管内図や3次元都市モデルがなかったことから、地上カメラ撮影とドローン撮影により写真画像を収集した。

(3) 操作性向上策の検討

操作性の向上には、大容量の3次元地形データの処理

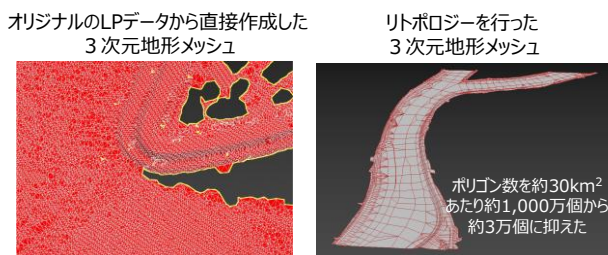


図-4 リトポロジー（形状に合わせた面の貼り直し）⁵⁾

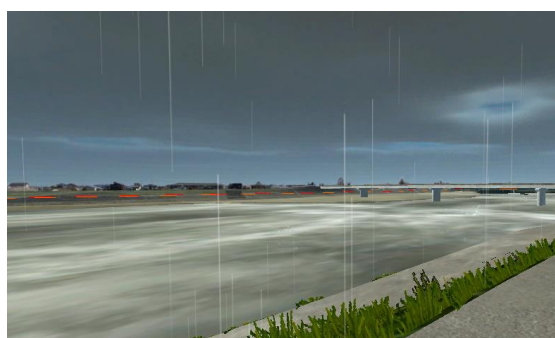


図-5 河川水位予測情報のVR表示画像

が課題となるため、情報処理の工夫を行った。3次元地形モデルは、LP（レーザプロファイラ）データより3次元地形メッシュを生成し、ドローンで撮影した空撮写真をテクスチャとして貼り付けることで作成しているが、本研究では、図-4に示すリトポロジー（形状に合わせた面の張り直し作業）により、複雑な形状の箇所についてはポリゴン数を多く、形状変化の少ない箇所についてはポリゴン数を少なくする工夫をすることで、ポリゴン数を30km²あたり約1000万個から約3万個に抑えた。その結果、LPデータから直接3次元地形メッシュを作成した場合と比較してデータ量（Byte）が1/500程度となり、データ伝送効率と表示効率の両方が向上し、リトポロジー前後で距離標毎の1画面あたりの描画に必要な時間を、1分程度から約0.1秒に短縮できた。これらの工夫から、図-5に示すように、実用レベルの河川水位予測情報のVR表示が可能となった。

(4) 3次元水面モデルの作成及びエフェクトの追加

既往研究のVRによる避難実験結果⁸⁾によると、「河川の濁りが顕著に見られる」ことが視認できる時間帯で避難率が上昇していた。これを参考に、洪水時の臨場感を高めるためのエフェクト（水位に応じて変化する水面の濁り、流速や水しぶき等の水面揺動、曇天、実測・予測雨量に応じて変化する降雨）を追加した。さらに、堤防表面の3次元画像に避難判断水位や氾濫危険水位を重ね合わせて表示することで洪水の切迫感を増す工夫を行った（図-6）。これらのエフェクト追加に要した人件費は、試行錯誤を含め、河川延長1kmあたり約5～8人・日であったが、同方法は他河川に活用できるためコストダウンが可能と考える。

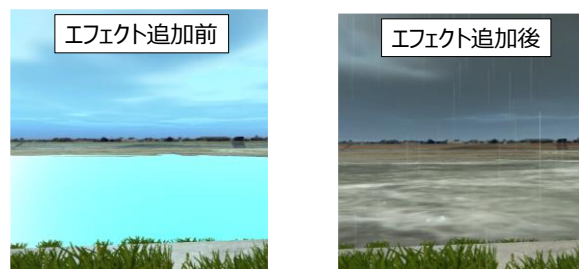


図-6 VR表示のエフェクト追加前後の比較⁵⁾
（左：エフェクト追加前，右：エフェクト追加後）



図-7 開発したVR表示用の操作画面⁵⁾



図-8 夜間同時刻での比較（山国川26.8KP付近）
（左：CCTVカメラ画像，右：VR表示画像）

(5) 操作画面の作成

図-7に示す河川水位予測情報のVR表示用の操作画面を作成した。本操作画面では視点の変更やズームが可能で、現況と予測時間（6時間先まで）の切替え、距離標、左右岸の切替えが可能となっている。なお、洪水予測の長時間化（36時間先まで）に対応できるように表示画面の改良を予定している。

4. 河川水位予測情報のVR表示に関する考察

(1) 災害の切迫感・臨場感伝達以外の利点

図-8は、山国川26.8KP付近における2022年台風14号が九州に接近した夜間の同時刻（2022年9月19日0時）でのCCTVカメラ画像とVR表示画像との比較である。夜間における河川水位の状況視認は、VR表示の方が優位であると推定され、後述する山国川沿川自治体の防災担当者との意見交換でも同様の利点を評価する声があった。さ



図-9 自治体防災担当者との意見交換の様子

らに、風雨によりCCTVカメラ映像の視認が困難な場合でも同様の利点があると推定される。また、CCTVカメラは現況のみの確認であるが、VR表示では6時間先までの予測を表示できることや、CCTVカメラの画角が固定されている場合でもVR表示は自由に画角やズーム変更、カメラ未設置箇所への切替え表示ができる利点があることも確認できた。

(2) エフェクト等に関する課題

現在は洪水時のエフェクトしか作成していないため、平常時においても水面の濁りや荒天の映像が表示されることとなっている。このため、平常時用エフェクト（晴天、水しぶき無し等）を作成し、平常時と洪水時でエフェクトの切り替えが可能となる機能を追加することを予定している。

また、山国川河川事務所の協力の下、山国川沿川自治体の防災担当者や河川協力団体との意見交換を実施しており（図-9）、「『氾濫危険水位まであと〇m』と表示してほしい」、「グラフで見るよりも分かりやすい」、「自治体の防災対策室で表示してほしい」、「防災担当者や住民の関心が高い箇所でもVRを作成してほしい」等の意見が得られた。当該意見を基に、今後のシステムの改良につなげていく予定である。

(3) 予測精度や災害時の情報伝達上の課題

観測値同化等により河川水位の予測精度が向上したとは言え、不確実性のある予測情報をVR表示するため、当該予測情報が実態と大きく乖離した場合における住民への影響や、災害時のアクセス集中によるサーバダウン等の障害を懸念する意見がある。これらについて、より高精度な河道モデルを導入することで予測精度の更なる向上に取り組むとともに、水位観測所付近等の一定の水位予測精度が確認できる区間にVR表示を限定することや、市町村や住民向けに対象箇所を限定し、かつデータ量や映像時間を限定した切り抜き動画を出力できる機能の追加を予定している。

5. おわりに

本報告の結論は以下の通りである。

- 1) 災害の切迫感・臨場感を伝達し住民避難を促進するための手法として、河川水位予測情報のVR表示の有効性が予備調査から示唆された。
- 2) 地形データ量を1/500に抑える工夫や、ゲームエンジンを利用し災害の切迫感・臨場感を高める映像効果により実用レベルの河川水位予測情報のVR表示技術を開発した。
- 3) 動作確認等を行った結果、CCTVカメラによる視認が困難な夜間においても水位情報の視認が可能となる利点等があることが分かった。
- 4) 予測と実態が乖離した場合の住民への影響、アクセス集中によるサーバダウンの懸念があること等の課題への対処が今後必要である。

なお、本研究で得られた成果は、河川水位予測情報のVR表示機能を水害リスクラインのオプション機能として追加できるようにするための仕様書案として取りまとめる予定である。開発したVR表示に関する動画については水循環研究室のWebサイトで閲覧が可能である。

参考文献

- 1) 国土交通省 社会資本整備審議会；大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について～社会意識の変革による「水防災意識社会」の再構築に向けて～答申, p.12, 2015.
- 2) 国土交通省 社会資本整備審議会；大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策のあり方について～複合的な災害にも多層的に備える緊急対策, p.17, 2018.
- 3) 国土交通省：水害リスクライン, <https://frr.river.go.jp>, 2022年10月24日閲覧.
- 4) 内閣府：令和3年7月からの一連の豪雨災害を踏まえた避難のあり方について（報告）, pp.20-21, 2022.
- 5) 諸岡良優, 土屋修一, 銭潮潮, 竹下哲也：VR技術を用いた河川水位予測情報の3次元表示に関する技術開発, 河川技術論文集, 第28巻, pp.37-42, 2022.
- 6) Shuichi Tsuchiya and Masaki Kawasaki: Development of a Practical River Water Level Prediction Method Using Data Assimilation Technique, *Journal of Disaster Research*, Vol.14, No.2, pp.260-268, 2019.
- 7) 柿本竜二, 吉田護：豪雨時の状況認識を考慮した避難意思決定過程のモデル化, 土木学会論文集（土木計画学）, Vol.75, No.6, pp.I_37-I_42, 2020.
- 8) 藤村幸大, 藤見俊夫, 田中歩夢, Mohamed F. N. AULADY：VRを用いた率先避難者の有効性の検討, 土木学会論文集（土木計画学）, Vol.75, No.5, pp.I_61-I_68, 2019.
- 9) 国土交通省 荒川下流河川事務所：荒川3D河川管内図, <https://arage.maps.arcgis.com/apps/webappviewer3d/index.html?id=aad07ecc86dc4a09a547216cca0fa23a>, 2022年10月24日閲覧.
- 10) 国土交通省 ProjectPLATEAU: <https://www.mlit.go.jp/plateau/>, 2022年10月24日閲覧.
- 11) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 水循環研究室: <https://www.nilim.go.jp/lab/fcg/index.htm>, 2022年10月24日閲覧.

仮想世界「メタバース」を用いた 川づくりの合意形成

猪井 知明¹・房前 和朋²・佐藤 隆洋³・中村 圭吾⁴

¹九州地方整備局 インフラDX推進室 係長（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7）

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

³日本工営株式会社 事業戦略本部 DX推進部 部長

⁴リバーフロント研究所 主席研究員

九州地方整備局では、2018年からインフラ分野におけるゲームエンジンを用いたメタバース・デジタルツインの社会実装に向けた技術開発に取り組んできた。2021年7月には、「河川CIM標準化検討小委員会成果報告書」においてゲームエンジンによる川づくりを河川CIMの標準化案の一部として提案した。その後、2021年12月には、山国川の未来の姿をメタバースとして構築し、我が国で初めて社会実装（メタバースを活用した住民説明会を実施）した。

その結果を取りまとめ、インフラ分野のメタバース活用のマニュアル、解説動画及びプログラム等を公表し、国土交通省や学会等が主催する講演会を通じて普及促進に取り組んでいる。

キーワード：メタバース，デジタルツイン，BIM/CIM，ゲームエンジン，Unreal Engine

1. はじめに

メタバースとはニール・スティーヴンスンのSF小説で用いられた「Meta（超越）」と「Universe（宇宙）」を組み合わせた造語である。統一的な定義はないが、ここではメタバースを「ゲームエンジン等を用いてオンライン上に構築された仮想世界に自分の分身であるアバターで参加し様々な活動を行う」ものとする。

Epic Gamesのフォートナイトは、公式Twitterで2020年5月に登録プレイヤー数が3億5000万人を超えたと発表する等、現時点でも大規模なメタバースが運用されている。さらに、2022年1月にはMicrosoftが公式ホームページ等で米ゲーム大手アクティビジョン・ブリザードを687億ドルで買収する意向を発表するなど、多くの企業がメタバース分野に注力、急速に利活用が進んでいる。このメタバースを支える技術群は、ゲーム業界以外にも製造業や映像作成等の多くの分野で活用されている。

土木分野では測量技術が発達しており、LP（Laser Profiler）、MMS（mobile mapping system）等で計測された国土の正確なデジタルデータが大量に蓄積されている。

現実世界のデータをもとに作成されたメタバースはデジタルツインとも呼ばれ、ビジュアライゼーション、シミュレーションなど様々な用途に用いることができるた

め、一品受注生産と呼ばれる建設業などのインフラ分野では特に重要である。

土木分野で蓄積されたデジタルデータは、メタバースで用いられる「ゲームエンジン技術」で扱うことが可能である。一方で、土木分野ではそもそもゲームエンジン技術を活用するという発想に至らず、今までその技術を組み込んだワークフローが検討されていなかったため、活用されることが少なかった。

2. 九州地方整備局の取り組み

九州地方整備局では、2018年6月に九州技術事務所にVR研究室を設置し、インフラ分野におけるゲームエンジンを用いた技術開発を開始した。

2019年5月には国立研究開発法人土木研究所とデジタル技術の開発に関する協定を締結した。

2021年には土木分野のデジタルデータをゲームエンジンで取り扱うことを可能にする技術を開発し、同年7月には「河川CIM標準化検討小委員会成果報告書」で、河川CIMのワークフローを繋ぐ手法の一つとしてゲームエンジンを活用することが提案された。

2021年12月には山国川かわまちづくり（福岡県吉富

町)において、ゲームエンジンを用いて整備後の姿をサイバー空間上に構築し、住民との合意形成を実施した。

2022年2月には、本技術の活用マニュアル、学習用動画、データ変換プログラム及び九州の河川における植物重要種の3Dモデルデータ等を作成しインターネットで公開するとともに、整備局や学会等が主催する講演等で普及促進の取り組みを行っている。

本技術で用いるゲームエンジンのソフトウェアは無料であり、蓄積された国土のデジタルデータが容易に利用可能となったことから、土木分野での急速なメタバース技術の活用や展開が期待される。

3. デジタル技術を用いた川づくりの課題

近年、BIM/CIM等のデジタル技術を用いることで、効率的かつ新たな利点を持った川づくり手法の開発が進められている。このような川づくりにおいて、以下の2つの課題がある。

(1) 完成イメージの共有手法

図面から完成イメージを正確に把握するには、高度な専門知識が必要となる。このため住民等に図面で完成イメージを説明しても正確に伝わらないことが予想される。

基本計画の段階での完成イメージの共有には、イメージパースやフォトモンタージュ、3DCG等が用いられることも多いが、限定された数枚の固定された視点からの映像では、得られる情報が少なく細部については完成イメージ等を類推する必要が生じる。専門知識の大小等によって類推するイメージに齟齬が生まれ、円滑な合意形成を阻害することも予想される。

(2) デジタルデータの不連続性

近年の河川整備事業では、3次元データの活用が進められている。例えば、測量の段階では、LP (Laser Profiler) やALB (Airborne LiDAR Bathymetry) といった手法によって、河道の3次元測量データが取得できるようにな

ってきた。設計の段階では、BIM/CIMの推進により、3次元設計が必須になりつつある。施工の段階ではICT活用工事の中で、施工用の3次元データが作成され、このデータを搭載したICT建機による施工が行われている。

一方で、先に述べたように、基本計画の段階ではパースやフォトモンタージュが用いられることが多い。このため合意形成段階において、デジタルデータからアナログデータ (パースやフォトモンタージュ) を作成する必要があり、意見等を反映した合意形成後では、修正後のアナログデータからデジタルデータを作成することになる。以上により、後工程への設計意図の伝達の点で、技術者の熟度や専門性により受け止め方が異なることが課題であり、さらに、データを引き継げないことによる効率性の低下やコスト高につながってしまう (図-1)。

4. メタバースの活用による課題の解決

前章で述べた課題は、ワークフローにアナログとデジタル作業が混在することによるデータ連携の観点と、完成イメージから想像する空間認識の齟齬によると考えている。そこで、データ連携と空間認識の観点に着目し、メタバース技術を用いて解決した。

(1) メタバースを用いた完成イメージの共有

LP等の測量データや工事の設計データを元にメタバースを作成することで、施工前に施工後の仮想世界を体験することで、極めて正確に完成イメージの共有が可能である。また、自由な位置、自由な角度から完成後のイメージを確認できる他、時間や天候、季節等も自由に設定可能である。

従来は作成した範囲外にはデータが無いため、遠景の景観を考慮できていなかったが、現在ではゲームエンジン用に公開されている地球全域の3Dデータを取り込むことで、作成した範囲外についても仮想世界を広げることができる。このため、遠方の山なみ等も簡単かつ正確に表現可能である。

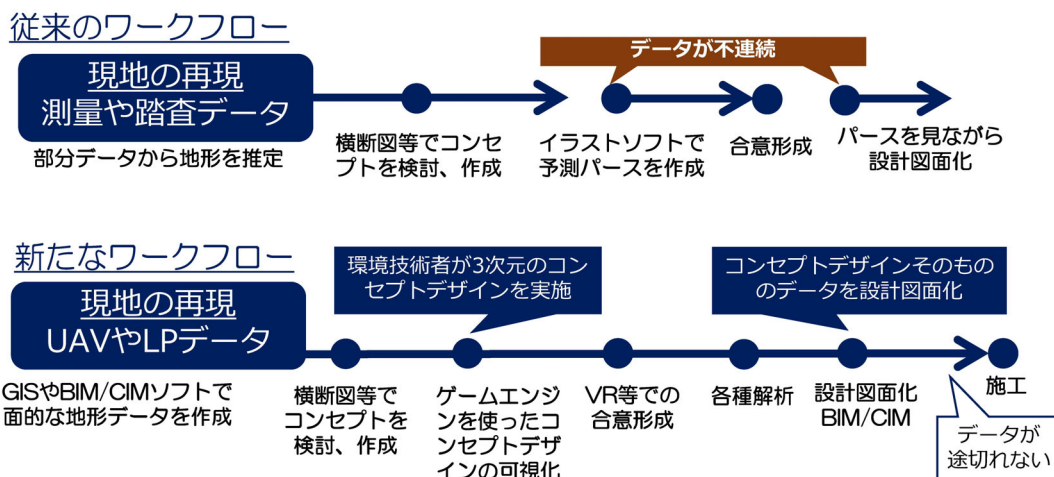


図-1 多自然川づくりの従来のワークフローおよび課題と新たなワークフロー

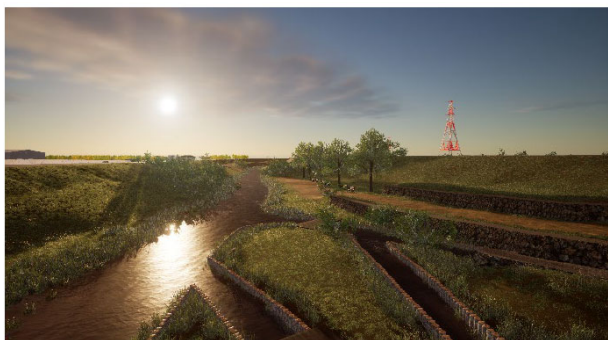


図-2 ゲームエンジンで作成した河川空間例

さらに、ゲームエンジンで用いるリアルタイムレンダリング技術では1秒間に30枚～60枚程度の高画質な3DCGを作成することが可能であり、きわめて高い品質の画をリアルタイムで描画する(図-2)。

ゲームエンジンとしては、Epic GamesのUnreal Engineを使用した。Unreal Engineを選定したのは、映像品質が他のゲームエンジンと比較して優れており建築・製造業向けテンプレートが配布されているためである。

このため質感等を含めたデザインの修正がリアルタイムで反映され、修正結果の確認に要する時間が大きく縮減される。これまでイメージ作成に要していた時間の一部を検討の試行回数を増やすことに使うこともできる。

その他、ゲームエンジンはVR (Virtual Reality) 化することも容易なため、実際の空間が完成する前に、人間の目線で空間の使い勝手や危険箇所の確認をすること、遠隔地のユーザーと仮想世界を介して完成イメージを共有することが可能である。

(2) デジタルデータの連続性の確保

河川CIM標準化検討小委員会においてゲームエンジンの活用が検討され、これまでパースやフォトモンタージュ等が用いられていた計画段階でゲームエンジンを活用することで、前段階の測量や後段階の設計とデータの連続性確保が可能となった。このワークフローを実践するため、測量、計画、設計及び施工の各段階におけるデータのフォーマットについて整理をした。整理結果を図-3に示す。

ワークフローの開始点の測量段階では、LPデータやALBデータ等の3次元点群データが整備されている。一般にこれらはCSV形式等で納品される。次の基本計画の段階では、測量段階のデータをゲームエンジンに読み込ませ、ゲームエンジン中に現況地形を再現する。ゲームエンジン中の地形データは、マウス操作等によって簡単に切土や盛土といった地形の編集が可能である。この機能を用いて河川空間の整備計画やコンセプトの検討を行い、検討した空間で合意形成を実施する。



図-3 ワークフローのデータフォーマット整理

しかし、上記のようにゲームエンジン中で地形を編集するためには、PNG形式のデータから地形を再現する必要がある。よって、測量段階のCSV形式等のデータをGeoTiff形式を介してPNG形式に変換し、これをゲームエンジンに読み込ませて現況地形を再現する。合意形成を終えた後の設計段階では、再びデータをGeoTiff形式に変換して、BIM/CIMソフトへと受け渡し、設計図化を行う。BIM/CIMにおいては、土工データはLandXML形式で納品されることになる。このデータは施工段階のICT活用工事で活用されることになり、測量、計画、設計及び施工の全工程を、すべて連続したデジタルデータで行うことが可能となり、効率性が大幅に向上した。

5. 土木分野におけるメタバースの社会実装

土木分野におけるメタバースの社会実装を、2021年12月に山国川かわまちづくり（福岡県吉富町）における住民との合意形成にて実施した。

説明会には住民約60名が参加した。かわまちづくりの設計を基にゲームエンジンを用いてサイバー空間上に整備後の世界を構築し、大型モニターにて体験した。また一部の方には図-4の様にHMD（ヘッドマウントディスプレイ）を用い、VRで仮想世界に入り整備内容の詳細について体験してもらった。参加者からの主な意見を以下に示す

- ・インフラ整備前に「整備後」を体験できる点が画期的。
- ・詳細まで整備内容を確認できる。
- ・HMDを使用することで立体視が可能となり規模（サイズ）を把握しやすい。
- ・ドッグラン箇所の夏の日影が再現でき、利用時の快適さを確認できた。
- ・子供達が利用する水路の水深や飛び石の間隔、段差など、安全に関する内容の確認が容易。（図-5）
- ・樹木の配置や護岸の形状をその場で変更できるため、修正や比較検討が容易。



図-4 整備後の仮想世界を体験する参加者



図-5 仮想世界の整備内容（せせらぎ水路）

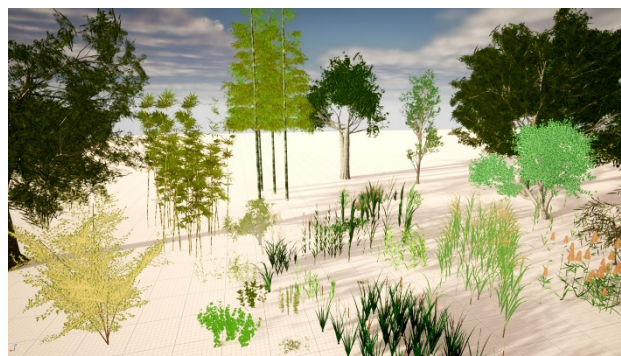


図-6 作成した重要種の3Dモデル

6. 土木分野におけるメタバースの課題

メタバースはゲームエンジンを用いることで比較的容易かつ低コストで作成可能であるが、土木分野においてはゲームエンジンを用いたメタバース等の活用事例は極めて少ない。このため九州地方整備局では2022年2月に「ゲームエンジンを用いたインフラ整備の設計手法のマニュアル（案）」をとりまとめ、14の解説動画、作業を簡略化するプログラム及びデータファイルを合わせて公開した。今後も本技術の普及促進のため情報発信や講演会などを積極的に行う必要があると考える。

またゲームエンジンに標準で使用できる植物モデルは外国のものが多い。このため九州管内の河川周辺に生息する重要種50種類の3Dモデルを作成した。今後も植生や護岸、特徴的な地形などの素材データを作成、公開する必要があると考える。（図-6）

7. まとめ

土木分野においてメタバース技術を活用することで、測量・計画・設計・施工を一貫してデジタルデータで行うことが可能となり、事業の円滑な実施や効率性の向上が期待される。

また、インフラ整備の計画・設計段階で完成後の状態を疑似体験することが可能となった。住民との合意形成等での活用効果が高く、より優れた社会資本整備を推進することが期待できる。

今後は本技術を講演会や様々な掲載紙に掲載するなど普及促進していくとともに、他事業での活用や各種シミュレーション結果等と組み合わせることで、さらなる活用手法の検討を行っていきたい。

参考文献

- 1)河川CIM標準化検討小委員会成果報告書(2021年7月)