

土砂仮置き場返還における BIM/CIMの活用について

笹田 英¹・古賀 裕英²

¹近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 福知山出張所 (〒620-0875福知山市字堀小字蛇ヶ端)

²近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 (〒620-0875京都府福知山市堀小字今岡2459-14)

福知山河川国道事務所管内、由良川中流部に位置する京都府福知山市川北地区には、由良川の河道掘削等で大量に発生する土砂を築堤材等に利用するための土砂置き場（川北ストックヤード）がある。由良川の河川改修が概ね進んだことからこの土砂置き場をH24当時の地盤高さに復旧した上で地元住民へ借地返還することとなり、その際の土砂量の算出や地盤高の概略検討、およびその住民説明のため、BIM/CIMを活用した。

本稿は施工だけではなく、計画・検討で活躍するBIM/CIMの活用事例について説明するものである。

キーワード 由良川, BIM/CIM, CIMモデル, スtockヤード, 造成計画, 土量計算

1.概要

今回、発表する京都府北部に位置する「由良川」は、その源を三国岳（標高959m）に発し、途中、土師川を合流し日本海に注ぐ、流域面積1,880km²、幹線流路延長146km、流域関係市町人口約32万人の一級河川である。

(図-1)

その中流部に位置する、京都府福知山市川北地区には、由良川の河道掘削等で大量に発生する土砂を築堤材等に利用するための土砂置き場（川北ストックヤード）がある。(図-2) (図-3) 平成24年（2012年）に農地、林地が借地され、現在に至るまで多くの土砂が川北ストックヤードに運び込まれてきた。由良川の河川改修が概ね進む中、令和4年度（2022年度）から川北ストックヤードの借地返還が地元住民へ行われることから、今回、返還計画の検討をCIMを活用し行う事となった。検討内容は大きく分けて以下の2つとなる。

① スtock土砂量の算出

② 返還後の地盤高の概略検討と地元への説明方法

本論文では、上記の2つについて、CIM活用事例を紹介する。



図-1 由良川位置図



図-2 川北ストックヤード位置図



図3 川北ストックヤード航空写真

2. 川北ストックヤードの残土量算出について

川北ストックヤードには連日多くの土砂が運び込まれ、築堤材への土砂混合作業等が行われているため、借地当時の地盤高と現況の地盤高の差が不明であった。今回、ストックヤード内にある土量及び現況の地盤高を算出するに当たって、現況の計測が必要となったが、10ヘクタール以上あるストックヤードを、通常の平面縦横断測量で行うと現地作業に1ヶ月以上の時間がかかり、工事発注の遅れる等に繋がるリスクがあった。また、土量算出自体についても2次元図面で行った場合、各横断の土量算出を行った後、数量計算を実施する必要があるため、こちらも時間と費用に課題がある。

そのため、現在のストックヤードの地盤高計測にはUAV写真測量(図4)を用い、土量算出では測量成果と平成24年時点の借地前のLPデータを用いる事とした。

通常の方法では1か月以上かかる事が想定された測量作業は、UAV写真測量では半日で完了した。また、重機が行き交うストックヤード内に立ち入る必要がなかったため、完了まで安全に作業を行うことができた。写真測量のデータは3次元モデルに変換し、H24年の地盤高との差分を求めることで土量を算出。土量を算出する作業は、通常の2次元図面を用いた算出方法であればおよそ2週間以上の作業時間となるところであったが、数日の作業で土量の算出、平面縦横断図の作成までおこなうことが可能であった。

また、今回採用したソフト(Autodesk Civil3D)では、高さ情報を着色したヒートマップ(図5)で表示する機能があったことから、3次元モデルを用いたことで、より視覚的で伝わりやすい説明資料を作成することができた。

表-1 CIMモデルと従来方法での比較対象

	測量	土量算出
CIM	<ul style="list-style-type: none"> UAV写真測量で半日 重機が行き交うヤードでも安全に作業可能。 <p style="text-align: center;">◎</p>	<ul style="list-style-type: none"> 2つの地盤高データの比較で数時間で算出可能 平面縦横断図作成を加えても数日で完了 <p style="text-align: center;">◎</p>
従来方法	<ul style="list-style-type: none"> 縦横断測量で約1ヶ月必要 重機が行き交うヤードに入るとの作業のため不安全 <p style="text-align: center;">△</p>	<ul style="list-style-type: none"> 多くの断面図を作成、断面積を計測し、計算する 作業に2週間以上かかる <p style="text-align: center;">△</p>

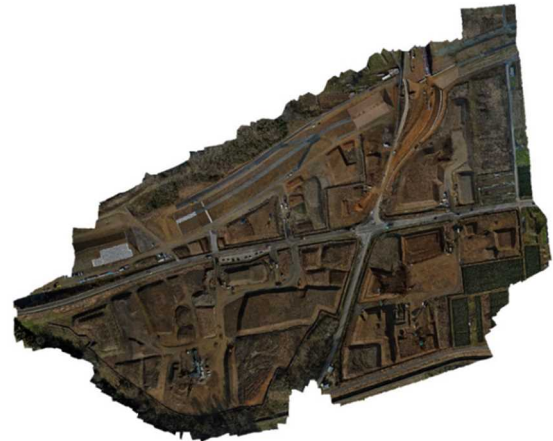


図4 UAV測量写真

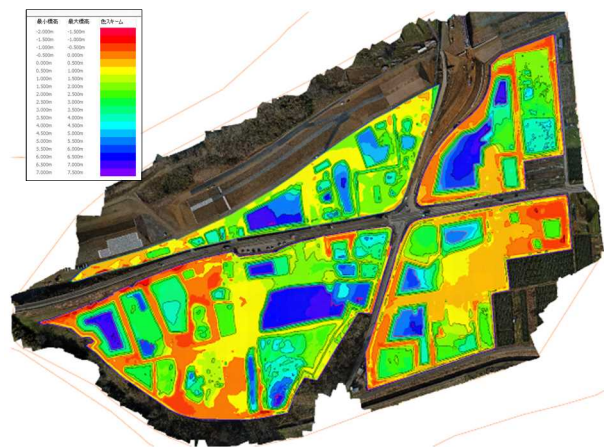


図5 標高ヒートマップ図

3. 返還後の地盤高の概略検討について

川北ストックヤードは、令和4年度（2022年度）からの借地返還のため、返還後の地盤高返還後の地盤高さを早急に計画・検討する必要があった。返還方法としては、現況復旧が基本方針であるが、返還前の地盤高は一様なものではなく、箇所によって起伏が多くあり、H24年の高さ通りに戻すことが施工管理上難しい。そのため、返還後の地盤高をなるべく一様な面、一様な勾配で返還できるように、返還地盤高の検討をCIMで行うこととした。

検討を行う際には、H24年のLPデータの地盤高をもとに、計画高さの検討を行い、返還エリア外周に発生する高低差と法面の状況を確認した。検討方法は、使用したソフトには「自動で地盤高を現況に近い形で、かつ一様な形で設定する」様な機能は無いため、地盤高の設定→現況地盤との差の確認を複数回トライアルして決定した。

計画面の検討手法としては、エリアを包括し、固定した端点を持ったサーフェス（面）を作成し、現地盤と近い形で端点の高さを調整する方法を選択。調整の際には、断面図を作成して現地盤との差を確認し、より差が少ない計画高を検討した。

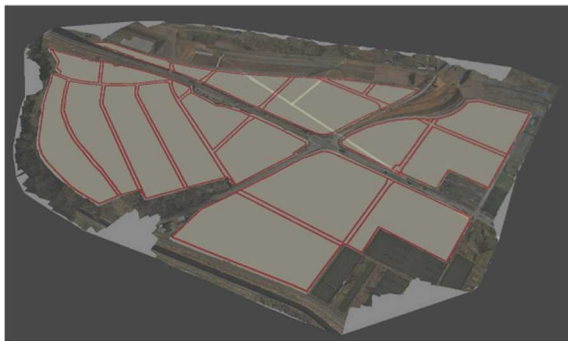


図-6 作成された造成計画3次元モデル

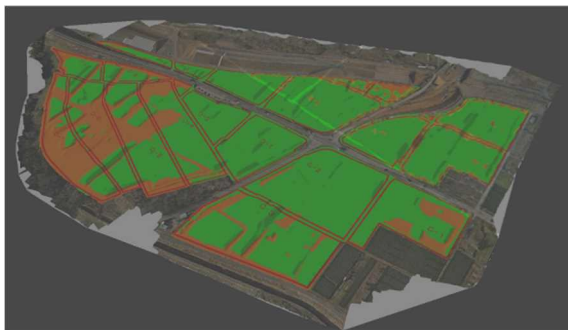


図-7 標高ヒートマップ図

4. 地元説明への対応

作成した3次元モデルは、検討だけでなく地元説明においても使用した。地元説明の場で3次元モデルを動かしながら要望に合わせた図を示すことができるため、主に説明のわかりやすさの点で好評を得ることができた。



図-8 地元説明会でのCIMモデルを用いた説明

5. CIMを活用することのメリットと注意点

今回CIMを活用しながら測量、土量計算、検討を行う中で、「UAVを用いた安全な測量」「3次元モデル化までできれば非常に容易な土量計算」「わかりやすい検討・説明用図の作成」等の多くのメリットを得ることができた。だが一方で、CIMを活用したためのミスも発生していた。耕地の返還のため、ストックヤードとして使用する前に剥がしていた元の耕土を耕起した土の上に戻す必要がある(図-9)のだが、土量計算時に誤って耕起した面の上面を基準として設定してしまったため、耕土分が数量に計上できていない誤った土量計算を行ってしまったのだ(図-10)。

3次元モデルは、一度作成してしまえばソフト上でいろいろな角度から情報を簡単に確認でき、多くのデータ算出を行うことができる。だが、確かめるべき箇所と知らなくても結果だけ算出できてしまうということでもあるため、従来手法とはまた別の視点での注意が必要になることを、作成する側だけでなく、成果を確認する側も認識しておかなければならない。

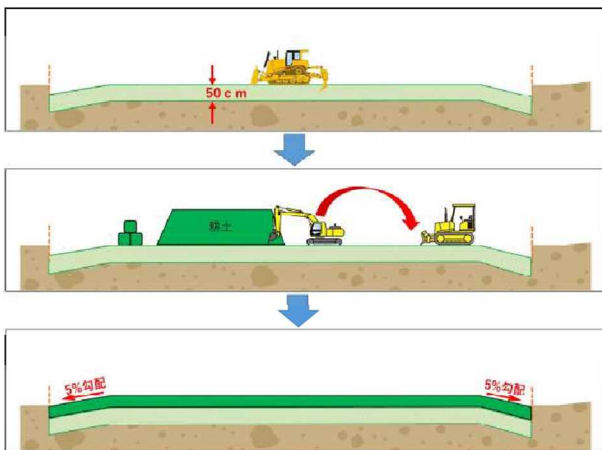


図-9 耕地返還時の手順

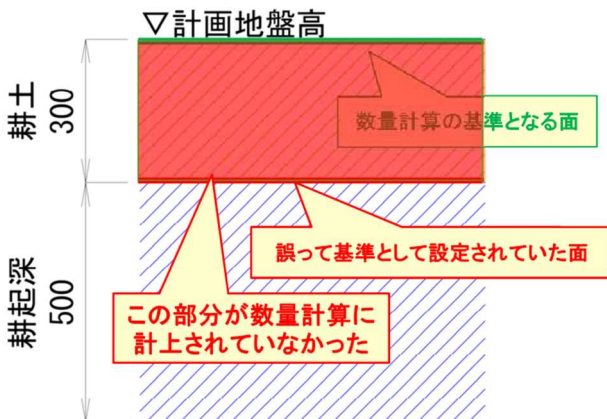


図-10 誤って設定していた面

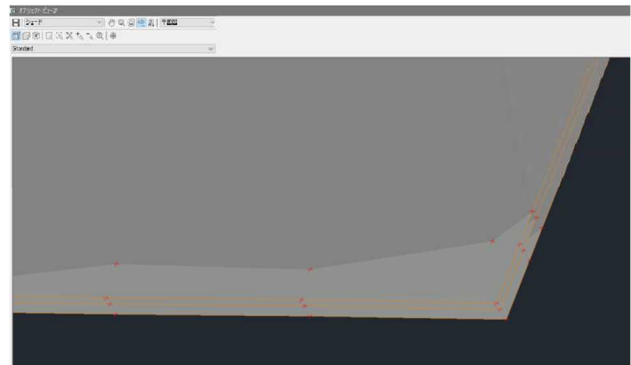


図-11 ミス発生箇所のモデルビューアソフト上での表示

6. まとめ

今回本稿で触れた土砂仮置き場の返還は、ドローンでの3次元モデル作成、3次元モデルでの検討と地元説明など、条件がBIM/CIMに適しており、もし使用せずに進めていれば受注者も発注者も苦勞するであろう現場であった。このような現場があると言うことを発注者として認識し、日々の業務の中で発見、提案することができれば、業務の効率化を進めることができるだろう。

また課題としては、今回発生したミスは、十分なノウハウがあれば事前に回避できるものであったことを意識する必要があるだろう。従来技術のノウハウと同じように、実際に携わり、ミスを経験・共有して対策することで対策できるミスだ。であるならばこそ、BIM/CIMをどこか遠くの技術だと距離を置かず、気軽に新技術に触れられるよう、大規模なものだけでなく、小規模で部分的、かつ簡単な技術の活用機会を増やしていくことが必要になるのではないだろうかと考えられる。

謝辞：本論文作成にあたり多大なる御協力を頂きました皆様に感謝を申し上げます。

ECI発注方式による 赤谷3号堰堤工事の取り組みについて

中村 龍太郎

和歌山河川国道事務所 工務第一課 (〒640-8227和歌山県和歌山市西汀丁16)

紀伊山系砂防事務所では、2011年の紀伊半島大水害により奈良県五條市大塔町の赤谷地区で発生した大規模崩壊斜面箇所を砂防事業を実施している。大規模崩壊斜面直下で実施する危険な現場条件下で安全に施工するため、技術提案交渉方式のECI発注方式を採用し、技術協力・施工タイプを活用することで、発注者・設計者・施工者が技術的な課題を解決し、施工に向け取り組んだ内容と成果について報告する。

キーワード 自動化施工, 災害, 安全管理対策

1. はじめに

(1) 本稿の目的

本稿では、ECI発注方式を赤谷3号砂防堰堤工事に用いたことで得られた取り組み、及び今後発注する際の評価点・改善点を挙げることを目的として記述する。

(2) 赤谷地区の概要

2011年(平成23年)9月に発生した台風第12号(紀伊半島大水害)は、紀伊半島(奈良県・和歌山県・三重県)では総降水量1800mmを超える記録的豪雨をもたらし、3000箇所を超える斜面崩壊が発生した。奈良県・和歌山県では大規模斜面崩壊により河道閉塞が17箇所発生し、同時多発的に土石流が発生するなど、紀伊山地を中心に甚大な被害をもたらした。奈良県五條市大塔町に位置する赤谷地区では、崩壊土砂量約1138万 m^3 にのぼる深層崩壊が発生し、河道閉塞が形成された。現在では湛水池の埋め戻しが完了しており、越流・決壊等のおそれは低下したが、河道閉塞部の堆積土や崩壊地内の不安定土砂の二次移動により、下流地区に甚大な被害を及ぼす可能性がある。このため、本地区では継続して下流への土砂流出を防止する工事を実施している。



図-1 赤谷地区崩壊斜面

赤谷地区では、計画していた3つの砂防堰堤が完成している。3つの砂防堰堤の内、1つ目の砂防堰堤に当たる赤谷2号砂防堰堤(2016年完成)では、3度の再崩落により、配置位置の変更及び施工段階では袖部の破損が発生するなどの状況に陥った。



図-2 再崩落による赤谷2号砂防堰堤の損壊
(2014年8月)



図-4 立入規制範囲区域



図-3 出水後の赤谷2号砂防堰堤の損壊状況
(2014年8月)

今回の「赤谷3号砂防堰堤工事」では、上記の背景を踏まえて河道閉塞部の安定を図る事を目的とし、大規模崩壊斜面直下で基幹となる、赤谷地区で最後の砂防堰堤工の施工を実施した工事である。

(3) ECI発注方式の適用

度重なる再崩落により、施工期間中の安全確保の観点から、出水期間中（6月15日～10月31日）の立入規制区域を定めた。立入規制区域の詳細な範囲は下記の図-4の通りである。

出水期間中に再崩落の危険性がある中で、安全を確保しながら立入規制期間中でも施工可能、且つ堰堤の通年施工を実現するとともに、出水期間中の作業効率の向上を課題に掲げ、施工期間の短縮を目標とし、赤谷3号砂防堰堤工事は「遠隔操作による施工」を検討した。本工事を発注するためには、度重なる出水により現場条件が変わる中で、設計・施工条件が確定出来なく、最適な施工方法を発注者側では決めることが出来ないことから、設計の段階から施工者の独自で高度な技術及び優れた経験を設計段階から反映する「技術提案・交渉方式」を導入した。

「技術提案・交渉方式」の契約タイプの選定に際しては、課題事項に対する最適な工法が発注者側で確定できないことから、施工者の技術・経験に基づく目的物の品質・性能が発注者にとって過剰な品質で高価格となる恐れがある。このため、設計者（コンサルタント）の「技術・経験」を活用し的確な判断が出来る体制を確保し、参加者から提出される技術提案を設計に反映させ、施工方法を決める設計施工条件を確定した後に、契約額に収まるように交渉を行い施工の契約を締結する「技術協力・施工タイプ（ECI）」を適用することが妥当とした。

なお、契約額については、「土木工事標準積算基準」及び、過年度工事で実施した砂防工事の遠隔操作施工を目安として「遠隔操作施工の積算基準（案）」（建設遠隔操作施工協会）に準じた費用を砂防土工及び堰堤本体工で計上し15億円程度（税込み）とした。

2. 赤谷3号砂防堰堤工事に係る契約者の選定経緯

(1) ECI発注方式の発注フロー及び選定体制

本工事の契約者の選定に至るまでの選定経緯は下記の図-5の通りである。

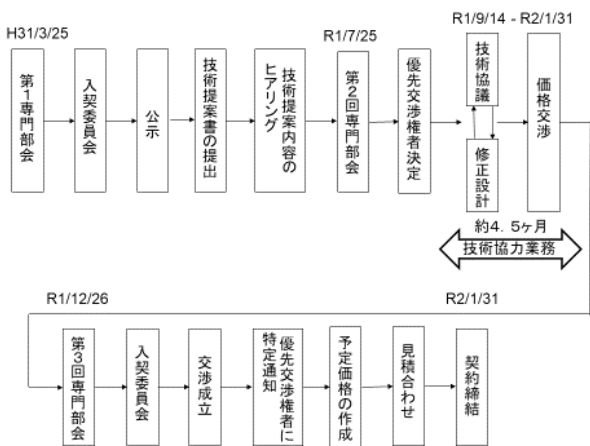


図-5 赤谷3号砂防堰堤工事における発注フロー

技術提案書の内容の審査・評価及び価格等交渉の評価等は、近畿地方整備局の入札・契約手続運営委員会にて実施した。本委員会は、近畿地方整備局総合評価委員会の定めるところにより、表-1に示す各技術分野を専門とする学識経験者4名を中心に「赤谷3号砂防堰堤工事における技術提案・交渉方式の専門部会」（以下、「専門部会」という。）を設置し、技術提案項目について意見徴収を行った。

表-1 赤谷3号砂防堰堤工事における技術提案・交渉方式の専門部会

氏名(五十音順)	所属・役職	分野
大西 有三	京都大学 名誉教授 (近畿地方整備局 総合評価委員長)	地盤工学
田中 茂信	京都大学 防災研究所教授 (近畿地方整備局 総合評価委員)	河川
深川 良一	立命館大学 理工学部教授	機械施工
松四 雄崎	京都大学 防災研究所准教授	山地災害

(3)技術提案

技術提案については、技術提案評価項目（テーマ）を第1回専門部会で確認し、下記の表-2に示すとおり項目となった。

表-2 技術評価項目内容

技術評価項目
① 技術協力業務の実施に関する提案
② 不安定な崩壊斜面直下での工事となることから、落石・流石環境下において、「無人化施工」「自動化施工」(材料・構造変更含む)による砂防堰堤施工の提案能力
③ リスクを想定した現場管理における提案能力

技術提案のテーマ②③を「提案能力」としているのは、本発注方式は、施工方法を決定する設計・施工条件の確定が困難であることから、具体的な対応策が重要ではなく課題に対する対応策を論理的に示す能力が重要であると考え、評価基準を記載についてもそのような表現としている。

(4)技術提案概要

上記の評価内容について技術提案を募った結果、1者から提案書を受領した。主な提案内容としては下記の通りである。

- 1, 砂防堰堤の背面型枠を土砂型枠で遠隔操作施工
 - 2, 砂防堰堤のソイルセメントの敷均、転圧及びブロックの据え付け作業を自動化施工
 - 3, 出水等によるリスク管理のためのライブカメラ配置・警報伝送システムの設置
 - 4, 降雨や土砂流出による洗掘防止のため、堰堤本体の前面基礎部分を改良土（ソイルセメント）で被覆
- 以上の内容を主に技術提案の提出をされた。

(5)技術審査結果

提出があった1者に対して上記の内容についてヒアリングを行い、技術提案内容及び前提条件、適用条件、検証内容等を第2回専門部会にて確認し、課題に対して提案内容が妥当であるとの結果となった。審査結果、技術提案書を提出した1者を優先交渉権者として通知し、技術協力業務の契約を締結した。

なお、工事の工法の確定に必要な技術協力業務はプロポーザル方式に準じた形で契約した。

3. 技術協力業務

(1)技術協力業務の実施体制

技術協力業務の工期は、令和元年9月14日から令和2年1月31日まで（約4.5ヶ月）とし、工期内で優先交渉権者の技術提案、発注者・設計者・優先交渉権者（以下「3者」という。）による合同会議で提案された追加技術提案を踏まえた修正設計、価格等交渉の工事費の積算を行った。技術協力業務を円滑に進めるためには、複数の関係者間での情報共有と協働体制の構築が重要となる。このため、優先交渉権者と契約締結後直ちに、3者で合同現地確認を行い、現地条件と課題の共有を図った。技術協力業務を通して優先交渉権者が果たす役割については初回打合せ時に議論し、下記の表のとおり3者の役割分担を議事録にて確認し、合意を図った。

また、設計及び施工上の課題に関する協議事項や設計スケジュールを定期的に把握するため、発注者、設計者、優先交渉権者で調整会議を開催し、課題について議論し方針を確認することとした。なお、3者の役割分担については下記の表-3の通りである。

表-3 3者の役割分担

項目	発注者	優先交渉権者	設計者
優先交渉権者の技術提案	・技術提案の適用可否の判断及び設計者への指示	・技術提案のフォローアップ ・評価した技術提案に関する技術情報(競合・採録・適用条件・コスト情報等)の提出 ・技術提案部を念めた設計の確定・確定・調整・留意点の整理及び改善に向けた追加提案	・技術提案の当該工事への検討
設計の実施	・設計条件の提示 ・施工期間の安全確保への配慮検討	・施工計画、工程計画の作成 ・概算設計 ・コスト削減提案に対する施工の実現可能性の検討(案検を前提)	・技術提案の設計への反映 ・コスト削減提案 ・設計計算、設計図作成 ・数量計算の実施 ・施工計画と設計の整合性確認
工事費用の管理	・優先交渉権者への見積依頼 ・見積の検証(見積根拠の妥当性確認、積算基準との比較等) ・全体工事費の確認	・見積り・見積条件・根拠の作成 ・全体工事費の算定	・見積条件と設計の整合確認 ・見積り・全体工事費の把握
事業工程の検討	・全体事業工程の作成・管理	・死守要求を踏まえた工事工程の検討(遠隔・自動化)	・工事契約を見据えた修正設計の工程管理
関係機関協議	・関係機関との調整	・打合せ・協議への参加、必要資料作成	・協議への参加、必要資料作成
専門部会	・専門部会資料の作成	-	・専門部会資料の作成補助

(2) 技術提案内容の設計適用

当該砂防堰堤工事の施工にあたり、技術提案で提出された内容を設計に反映し、遠隔操作施工・自動化施工に対応したコンクリートブロックの割付等の修正設計を行った。修正内容については、手戻りが生じないよう施工方法等が決まった段階で各者と相談しながら進め、優先交渉権者と施工段階での課題を協議しつつ検討を進めた。

(3) 技術協議・価格交渉の概要

技術協議は、施工方法等の確認結果を踏まえて、近畿地方整備局において土木工事標準積算基準及び建設遠隔操作施工協会の積算基準(案)等に基づき、優先交渉権者から提出された工事費算出の根拠となる資料を用いて構造・施工方法の内容、工事費内訳書における施工上の検討等を精査し、双方の積算条件を確認した。

技術協議を通じて、工事費内訳書の内容を変更する場合は、適宜その時点の工事費算出の根拠となる資料の提出を依頼した。

価格等交渉に向けた積算段階では、設計者の設計成果と優先交渉権者の施工計画成果に関する整合確認を漏れなく行うことで、積算の考え方について円滑に合意することが出来た。

なお、優先交渉権者から袖部のコンクリート構造への変更、堤体水抜き暗渠の削減、施工時の埋戻しの削減、前庭保護工の構造変更などの工事費を抑制するための提案があり、3者で合意形成を図り、採用することとなった。

(4) 技術協議及び価格等交渉結果の確認

上記の協議・交渉内容を専門部会に報告し、意見徴収を行った。専門部会での確認結果を踏まえ、入札・契約手続運営委員会において交渉結果が妥当であることを確認し、合意した積算条件に基づき工事価格を算出した。上記の工程を経て優先交渉権者と、砂防土工(遠隔操作施工含む)、地盤改良工、法面工、遠隔操作施工・自動化施工設備工、及び砂防堰堤工についての出水期間中の遠隔操作施工・自動化施工による堰堤本体工部分の当初工事契約を締結した。

4. ECI発注方式による現場への適用効果

(1) 従来の発注方式とECI発注方式との比較

ECI発注方式で契約したことで、従来の発注方式と比べ、技術協力業務によって行った修正設計により、工事中の設計の修正や協議等を省略できたことから、契約締結後から現場着手までの期間を約1週間に短縮できた。

本発注方式を実施したことで、堰堤の通年施工を実現するとともに、出水期間中の作業効率が向上し、工事期間の短縮が図られ、赤谷地区の特性である出水等による被災リスクを抑制することができた。

(2) 遠隔操作施工・自動化施工の効果

ECI発注方式で本工事を発注したことで、全国で初となる災害現場での自動化施工に取り組む事が出来た。

着手時、技術提案で提案された、遠隔操作施工・自動化施工は出水期間中順調に施工を実施した。各施工の範囲及び現場の状況は下記の図-6,7の通りである。

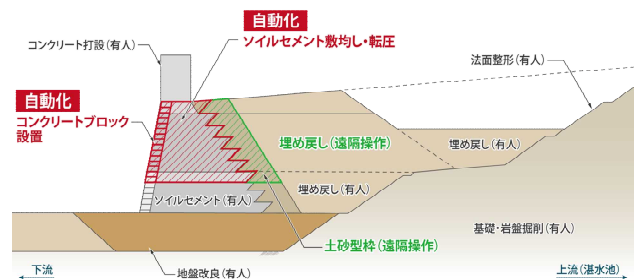


図-6 遠隔操作・自動化の施工箇所 (提供：鹿島建設)



図-7 遠隔操作・自動化の施工風景

施工時間を要したブロックの据え付け、敷均し及び転圧

を自動化施工とした。その結果、転圧作業は有人施工と比較して10%の効率上昇が確認されたが、それ以外の据え付け、敷均作業は10%から20%程効率が低い結果となった。一方で、ブロックの据え付けは遠隔操作施工と比較して25%効率が上昇し、敷均しは30%、転圧は60%の効率の上昇が確認された。また、敷均し及び転圧の一連の作業の自動化施工は、一連を通して遠隔操作施工より40%の効率化され、有人化で施工した場合とほぼ同じ施工効率であることが下記の図-8のとおり確認された。



図-10 施工状況 (2022年4月時点)

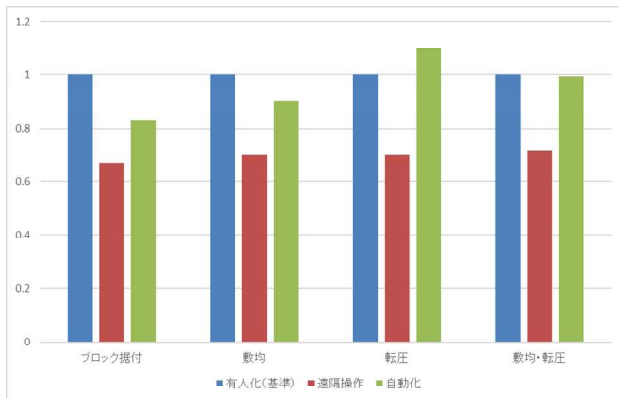


図-8 有人施工に対する遠隔操作施工・自動化施工の比較

(3) 施工開始から約1年が経過して

工事契約後、着工から約1年が経過し、下記の図-9,10の写真のとおり砂防堰堤本体が完成した。工事の進捗状況としては、当初計画していた工程に収まっている状況となっている。

現在、赤谷2号砂防堰堤と3号砂防堰堤をつなぐ前庭保護工を施工中で9月頃に完成予定である。



図-9 着手前 (2021年4月時点)

(4) 施工者の観点によるのECI発注方式による適用効果

本契約方式を採用したことで施工者より下記のような感想をいただいた。

- ・技術協力業務の進め方については、施工者独自の知見を設計段階に反映させることが出来たので、工事中の設計の修正や協議等が省略出来、結果として工事期間の短縮を図る事が出来た。
- ・工事費を抑制するために、技術提案した内容を精査し、費用対効果が高い提案内容を3者で合意形成し、設計図書に反映させた
- ・工事着工までの期間を短く設定することができた
- ・国内初の砂防堰堤自動化施工という新たな技術開発に取り組むするきっかけとなった。

5. まとめ

当初予定工事内容に技術提案を反映することで、工事条件（遠隔操作施工及び自動化施工）を達成させながら工事費の抑制を図る価格交渉を行うことで工事契約が出来たことはECI発注方式の取り組みの結果であると言える。

また、今後の発注においては、技術協力業務の履行期間の延長・人員の拡充などの体制の見直し及び、工事内容や技術協力業務成果に応じて、予算措置の制約を緩和することで、提案内容を最大限に反映した工事が可能になると考えられる。

なお、本論文は従前の所属である紀伊山系砂防事務所工務課の所掌業務の内容である。

謝辞： 本論文の執筆にあたり、参考資料の提供及び助言等いただきました関係者の皆様に感謝の意をここに述べさせていただきます。

AI（人工知能）技術を活用した河川監視の高度化に向けた取り組みについて（完了報告）

吉井 貴弘¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 調査課（〒573-1191 大阪府枚方市新町2-2-10）

淀川河川事務所管内の各河川では、多様な河川利用形態が見られる一方、一部利用者によるごみの投棄や車両侵入などの迷惑・不法行為が散見され、河川管理上の負担となっている。

淀川河川事務所では、令和2年度よりAI（人工知能）による画像認識技術を活用した河川管理の負担軽減や迷惑・不法行為の網羅的な把握に取り組んできた。本稿は、令和2年度に構築した迷惑・不法行為検知AIモデルを最新技術動向を踏まえたものに改良し、実際にシステムを稼働させての検証結果を報告するとともに、より高度な河川管理の実現に向け、車載カメラやドローンなどの移動カメラの検知結果についても報告するものである。

キーワード AI、河川監視、車載カメラ、ドローン、河川管理の高度化

1. 淀川河川事務所における河川管理上の課題

貴重な自然が残る河川空間は、自然との触れ合いの場や地域住民の憩いの場として重要な公共空間である。一方で、2020年の新型コロナウイルス感染拡大以降に増加しているキャンプごみの不法投棄¹⁾など、河川空間の利用を妨げる迷惑・不法行為が問題となっている。これらの取締り活動が河川管理の負担となっており、早期の現状復旧の実現と管理業務の省力化を図る必要がある。管理対象である淀川水系の4河川（淀川・宇治川・桂川・木津川）において、2017年4月～2020年8月に報告された迷惑・不法行為の件数を図-1に示す。淀川では約3年間で約2万件の迷惑・不法行為が報告されており、取締り活動の実施とその効率化は必須の課題である。

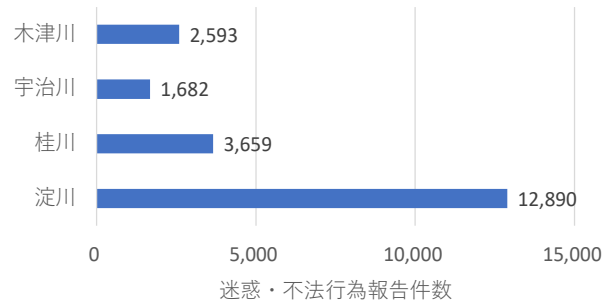


図-1 淀川管内の迷惑・不法行為件数(2017.4～2020.8)

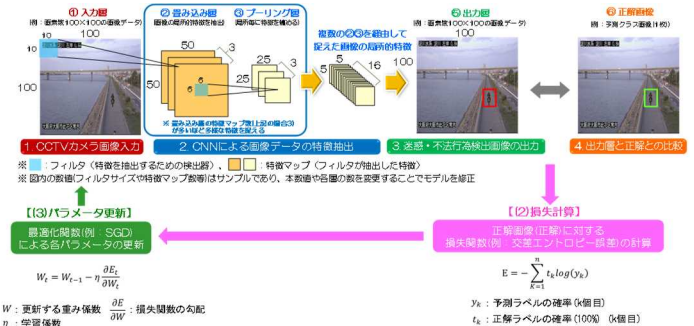


図-2 CNNを用いたモデルの概要

2. 迷惑・不法行為検知モデルの概要

(1) 昨年度構築した迷惑・不法行為の概要

a) 検知モデルの概要

上述の目的を達成するため、令和2年度より、深層学習の一種であり、高度な画像解析能力²⁾を持つ畳込みニューラルネットワーク(以下CNN)を活用し、迷惑・不法行為を検知するモデルを開発³⁾している。その概要を図-2に示す。

b) 検知対象とした迷惑・不法行為

河川管理者へのヒアリングを通じ、表-1に示す4種類の迷惑・不法行為をモデルの検知対象として選定した。

表-1 検知対象の迷惑・不法行為

No.	迷惑・不法行為	概要
1	ごみの不法投棄	ごみの不法投棄を行う人、及び道路橋から不法投棄された落下ごみ
2	ゴルフ行為	禁止場所においてゴルフクラブを持ってスイングする人
3	不法侵入車両	走行が禁止されている河道内を走行する車両
4	火	草地火災やキャンプ時のたき火など

c) 教師データ

モデルの教師データには、図-3のような、河川維持管理データベースシステム (RiMaDIS : River Management Data Intelligent System) (以下、RiMaDIS) に登録されている不法投棄ごみの画像、画像蓄積装置に保存されている CCTV カメラ映像、Web 上で公開されている人や車などのモデル教師用オープンデータを用いた。

d) 夜間映像鮮明化

画像処理技術のひとつである「ガンマ (γ) 補正」をモデルに組み込み、夜間における検知精度向上を図っている (図-4)。

e) 迷惑・不法行為の判定基準

カメラ映像内の各瞬間で迷惑・不法行為を検知する場合、ごみを持ち帰る人を誤検知するなどの問題が生じやすい。正確な検知のためには、ごみや人などの、検知対象の時系列特性を考慮することが重要となる。そこで、表-2に示すように、人間と同様の経験則に基づく判定基準を設定し、迷惑・不法行為の検知を実施する。

(2) 迷惑・不法行為検知モデルの改良内容

a) 最新モデルの適用

CNNモデルについては、世界中の企業や研究機関において次々と最新モデルが開発されている。昨年度構築



図-3 使用した教師データの一例



図-4 γ補正の効果 (左:補正前 右:補正後)

表-2 迷惑・不法行為の判定基準

No.	検知対象	着眼点	判定基準
1	ごみの不法投棄	ごみ放置後の人との距離	ごみを持って 1分 以上存在する人が、ごみを放置してその場から 5m 以上離れた場合
		粗大ごみの持ち運び	人と比較して 30~20% と大きなサイズのごみを持つ人が、 1分 以上存在する場合
		夜間のごみ持ち歩き	深夜・早朝の時間帯 (2000~0600)にごみを持つ人が、 1分 以上存在する場合
		道路橋からの落下ごみ(松尾橋)	道路橋から不法投棄した落下ごみが、 1秒 以上存在する場合
2	不法侵入車両	滞在時間	不法侵入エリアに存在し、検知対象外車両ではない車両が、 5秒 以上存在した場合
3	ゴルフ行為	ゴルフスイングの回数	ゴルフスイングを 2回 以上行う人が存在した場合
4	火	検知時間	火が 3秒 以上存在した場合

した検知モデルは、2018年に開発されたYOLOv3を適用した。しかしながら、2020年後半には、より検知精度と計算速度が向上したYOLOv5が新たに誕生し、翌年にかけて画像解析技術開発の現場で利用され始めた。以上の点を背景に、実証実験に先立ち、YOLOv5をベースとした検知モデルを構築した。

昨年度検証に用いた映像データを用いて、新旧の検知モデルを検証した結果、新モデルの検知精度が5~8%向上し、計算時間も約1/5に短縮することができた。

b) ゴルフ行為誤検知抑制に向けたモデル改良

構築したモデルでは、「野球のバットスイング」や「屈んだ姿勢で犬を撫でる」などの行為をゴルフ行為と誤検知する事象が散見された。そのため、ゴルフ行為の明確な特徴である「スイングする腕の形状」と「ゴルフクラブ」をモデルに学習させ、検知精度の向上を図った。

c) 落下ごみの検知モデルの追加

松尾橋では、道路渋滞時などに橋の上からのごみの不法投棄が発生している。その検知も重要であるため、表-2に示す判定基準をモデルに実装し、図-5に示すように画面の上から下へと移動する物体を検知できるように改良した。

3. 迷惑・不法行為検知の実証実験

(1) 実験内容

2021年8月23日(月)~2022年2月28日(月)の約半年間において、構築したモデルによる迷惑・不法行為検知の実証実験を実施した。対象か所については、RiMaDIS登録情報

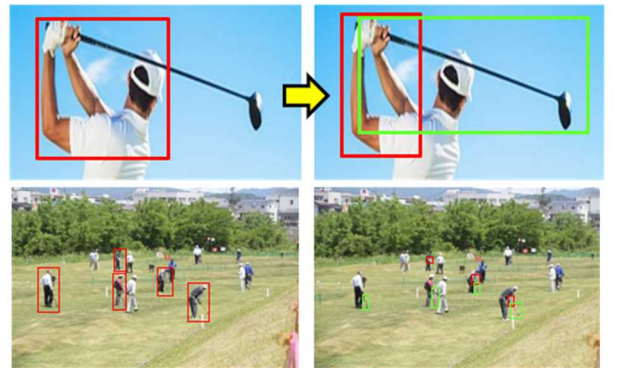


図-5 検知モデルに学習させたゴルフ行為の特徴 (改善前 (ゴルフポーズ (頭部含む)) (改善後 (ゴルフポーズ(頭部含まない)+ゴルフクラブ))

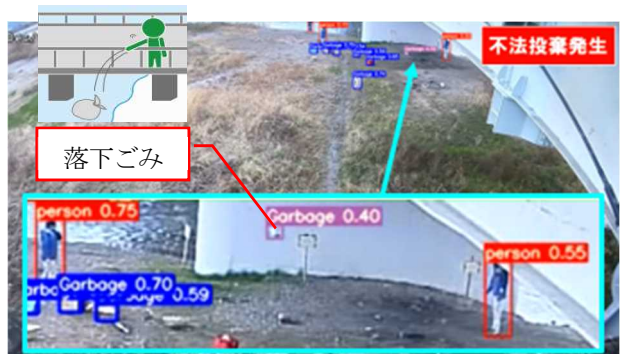


図-6 落下ごみの検知結果の例

報の分析や河川管理者へのヒアリングを通じ、迷惑・不法行為が特に問題となっている図-7に示す4か所を選定した。

なお、実験対象か所のうち、長柄中と岩田松原には、既設 CCTV カメラから国交省光回線を通じて淀川河川事務所へと伝送される映像での検知を実施した。また、松尾橋及び槇島については、迷惑・不法行為多発か所近傍に CCTV カメラ、映像伝送用の光ケーブル、カメラへの給電線が無い場所であった。そのため、表-3に示す市販のネットワークカメラや映像伝送のための携帯電話回線ルータ、太陽光発電パネルとバッテリーなどで構成される仮設型設備による迷惑・不法行為が可能であるかを検証すべく、必要な機器を調達、現地に設置(図-8)して実験を行った。

(2) カメラ映像解析・警告発報システム

図-9に示すように構築した実証実験システムにより、リアルタイムに4か所のカメラ映像を解析するシステムを淀川河川事務所に設置した。さらに、長柄中、岩田松原の2か所において、検知結果に基づく警告発報設備を設置した。ただし、モデルの誤検知による警告発報により、河川利用者に不快感を抱かせないようにするため、警告音声は「河川の適切な利用にご協力をお願いします。」のように、検知対象者を直接的に警告する内容とせず、日中(8:00~18:00)のみを対象に警告発報を実施した。

表-3 設置した仮設型設備

	
ネットワークカメラ(短距離用)	ネットワークカメラ(長距離用)
	
太陽光パネル	カメラ用バッテリー (1500Wh)
	
携帯電話事業者回線用ルータ (通信環境不安定な場所用)	携帯電話事業者回線用ルータ (通信環境が良好な場所用)



No.	対象箇所	河川	出張所名	検知対象の迷惑・不法行為
1	長柄中	淀川	毛馬出張所	ごみの不法投棄、ゴルフ行為、火
2	岩田松原	木津川	木津川出張所	不法侵入車両、火
3	松尾橋	桂川	桂川出張所	ごみの不法投棄、火
4	槇島	宇治川	伏見出張所	ごみの不法投棄、火

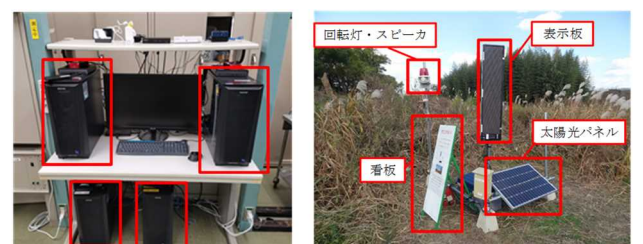
図-7 迷惑・不法行為検知の実証実験対象箇所



図-8 ネットワークカメラ設置状況(槇島)



No.	機能名称	No.	機能名称
(1)	検知結果画像の表示	(4)	検知結果ログの表示
(2)	検知件数の表示	(5)	検知結果の編集
(3)	検知結果のCSV出力	(6)	警告発報の緊急停止



カメラ映像解析システム (1か所につき1台)

警告発報システム (岩田松原)

図-9 カメラ映像解析・警告発報システム

(4) 実証実験結果

a) 迷惑・不法行為検知モデルの精度

実証実験結果として、モデルの迷惑・不法行為検知精度と検知時のカメラ画像を表4、表5、図-10に示す。モデルの精度評価指標については、下記の(1)(2)式に示すように、適合率と再現率を使用した。なお、再現率については、大型連休(シルバーウィーク(以下、SW)・正月連休)、模擬実験(発生確率が低いごみの不法投棄を対象)実施日などの29日間のカメラ映像を目視確認した結果で検証した。

結果として、実証実験対象の全4か所において、未検知は少ないが誤検知が多い結果となった。特に、不法侵入車両、火については高精度に検知できているが、視認性が低いゴルフ行為とごみの不法投棄の誤検知が非常に多くなった。一方で、誤検知を含むがほとんどの迷惑・不法行為を見逃さず検知していることが確認できた。

$$\text{適合率} = \frac{\text{AIによる迷惑・不法行為検知数(正解のみ)}}{\text{AIによる迷惑・不法行為検知数(正解・不正解両方含む)}} \quad (1)$$

$$\text{再現率} = \frac{\text{AIによる迷惑・不法行為検知数(正解のみ)}}{\text{実際の迷惑・不法行為数}} \quad (2)$$

表4 迷惑・不法行為検知モデルの検知結果_適合率

検知対象の迷惑・不法行為	1.長柄中	2.岩田松原	3.松尾橋	4.横島
ごみの不法投棄	13.8% (7/51)	-	13.1% (8/61)	33.3% (3/9)
ゴルフ行為	34.2% (156/456)	-	-	-
不法侵入車両	-*	97.9% (2,122/2,168)	86.7% (13/15)	-
火	- (事例なし)	89.5% (43/49)	86.7% (13/15)	31.0% (4/13)
ごみの不法投棄(落下ごみ)	-	-	0.02% (1/59)	-

* - : 検知対象外

表5 迷惑・不法行為検知モデルの検知結果_再現率

検知対象の迷惑・不法行為	1.長柄中	2.岩田松原	3.松尾橋	4.横島
ごみの不法投棄	77.8% (7/9)	-	100.0% (8/8)	100.0% (3/3)
ゴルフ行為	92.3% (121/131)	-	-	-
不法侵入車両	-	99.2% (557/562)	86.7% (13/15)	-
火	- (事例なし)	100.0% (43/43)	100.0% (13/13)	100.0% (4/4)
ごみの不法投棄(落下ごみ)	-	-	100.0% (1/1)	-

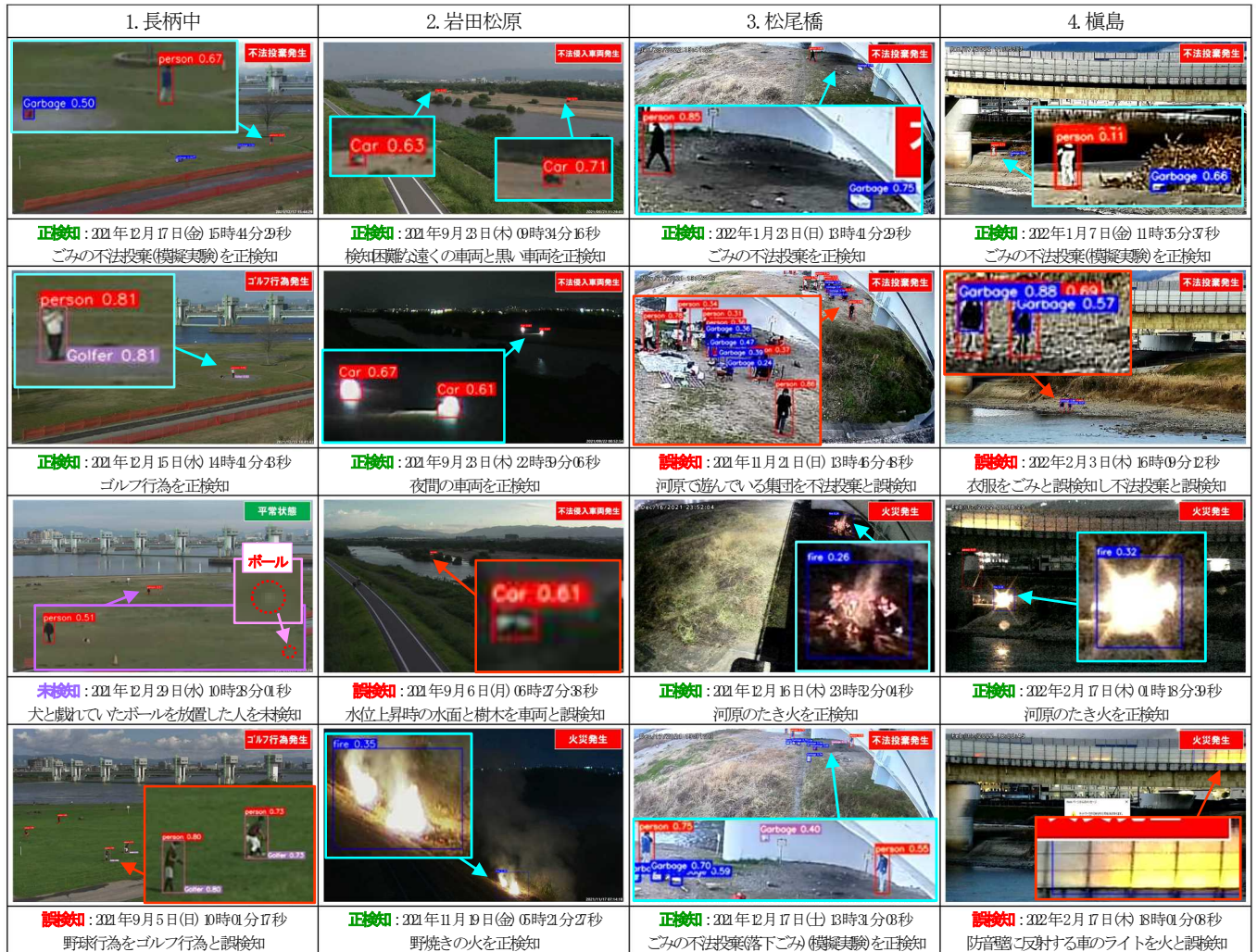


図-10 実証実験時における迷惑・不法行為検知結果の一例

b) 警告発報効果の検証

実証実験において、警告発報設備を設置した 2021 年 11 月 17 日(水)前後の迷惑・不法行為数の変化を比較し、警告発報効果を検証した。比較に当たり、SW(設備設置前の 9/18~9/20, 9/23)と正月連休(設備設置後の 12/25~翌 1/3)における迷惑・不法行為数の整理結果を表-6に示す。

結論として、長柄中のゴルフ行為にはほとんど効果が無かったと考えられる。また、岩田松原の不法侵入車両は減少しており、一定の効果があつたように見える。しかし、冬期で河川利用者数が減少した結果かもしれないため、今後は季節の影響も精査する必要がある。さらに、今後更なる効果を得るためには、警告発報装置の設置か所の精査・音量調整、放送内容変更、並びに警報局・河川情報板の設置などが必要と考える。

一方、モニタによる検証結果からは、検知した・記録した・禁止行為であるといった強い放送内容が有効であること、合成音声ではなく人の声のほうが効果があるといった有益な意見が得られた。

5. 移動カメラによる迷惑・不法行為の検知

(1) 検討の背景

実証実験を通じて、CCTV カメラ及び仮設カメラによる迷惑・不法行為の検知は、実現可能であることを確認した。しかし、固定カメラでの検知は、リアルタイム性は高いが、画角内のみが対象となり、面的な広がりには欠けるという欠点がある。

その解決策として、近年様々な場面で利用されている車載カメラとドローンによる移動カメラ映像についても、構築したモデルにより迷惑・不法行為を検知できるか検証した。

(2) 検討結果

a) 車載カメラより撮影した映像での検知結果

車両正面、左右側面 3 台の車載カメラで撮影した映像で検証した結果、図-11, 12 に示すとおり、ごみを精度よく検知できることが確認できた。

b) ドローンより撮影した映像での検知結果

図-13, 14 は、高度 30~50m で飛行しているドローンから撮影した映像での検知結果である。図に示すとおり、上空からの映像でもごみ及びゴルフ行為を検知できることがわかる。

表-6 実際の迷惑・不法行為数の比較結果(SWと正月連休)

No.	検知対象	1.長柄中		2.岩田松原	
		SW	正月連休	SW	正月連休
1	ごみの不法投棄	0	0	-	-
2	ゴルフ行為	0	26	-	-
3	不法侵入車両	-	-	98	29
4	火	0	0	1	0

6. まとめ

(1) 本取り組みの成果

AI モデルによる迷惑・不法行為の検知は、非常に小さく映っている迷惑・不法行為に対し、固定カメラ映像のみならず、移動カメラ映像でも実現できることを確認した。また、今回構築したモデルの教師データは、公開されているオープンデータを利用している。そのため、淀川水系特化型ではなく、他水系への展開も可能な汎用的なモデルとなっている。



図-11 車載カメラ(正面)映像での検知結果例(不法投棄ごみ)



図-12 車載カメラ(側面)映像での検知結果例(不法投棄ごみ)



図-13 ドローン映像での検知結果の例(不法投棄ごみ)



図-14 ドローン映像での検知結果の例(ゴルフ行為)

さらに、ネットワークカメラや携帯事業者回線用ルータなどを用いた仮設型設備でも、CCTVカメラと同などの精度で検知可能であることを確認できた。これは、常時、迷惑・不法行為が多発する場所だけでなく、特定の時期にCCTVカメラが設置されていない場所で多発する迷惑・不法行為を検知し、警告発報が可能であることを示す結果となった。

加えて、車載カメラやドローンなどの移動カメラ映像による検知も可能であった。これまでは、迷惑・不法行為の発見と指導やRiMaDISへの登録などは、人的作業で行っている。パトロール車の自動運転やドローンの自律飛行が実現した暁には、すべて自動化され、河川管理業務の効率化が実現できる技術であると考えられる。また、迷惑・不法行為の検知だけでなく、ダム放流時における河川内立ち入り者への避難指示などにも適用可能な技術である（図-15）。

(2) 今後の課題

今後の取り組みに際して、さらなる検討が必要である課題は、以下のとおりである。

a) 迷惑・不法行為の未検知と誤検知のバランス

迷惑・不法行為の判定閾値を高くすると未検知が多発し、低くすると誤検知が増えるという、トレードオフの関係が存在する。今後、未検知と誤検知の両方を低下させる閾値調整が必要である。

b) 迷惑・不法行為検知に必要な機器

今回の実験では、対象か所ごとにモデルを実装した高性能PCを準備し、リアルタイムカメラ映像を対象に検知を実施した。今後は、より少ない設備で複数か所の検知が可能となるよう、大型モニタに映像を循環表示させる映像回覧装置の導入効果検証などが必要である。



図-15 ドローンと検知モデル（人）を用いた河川パトロールのイメージ

c) 警告発報システムの改良

本実験で設置した警告発報設備は、市販品や工事現場で使用されるレンタル機器を用いている。そのため、迷惑・不法行為の抑止、防止のためには、音量や表示する文字の大きさなどが不足していた。今後は、対応優先度の高い迷惑・不法行為多発か所について放流警報局や河川情報板に近い仕様の設備を設置する必要がある。

(3) さいごに

本取り組みの成果は、図-16に示すような、河川管理業務の高度化・省力化に向けた貴重な情報になるとともに、他の河川での適用に向けた重要な指針となるものと期待している。

また、本取り組みを通じて得られた知見が国土交通省が進める「インフラ分野のDXアクションプラン」実現の一助となれば幸いである。

謝辞：本取り組み及び本稿をまとめるにあたりご指導・ご協力頂いた全ての方に感謝致します。

参考文献

- 1) 京都新聞：川にレジャー客押し寄せキャンプや BBQ、ごみ放置や住民に暴言も_河川敷への市道を通行止め に、 <https://www.kyoto-np.co.jp/articles/-/557194>, (2021.5.2).
- 2) 独立行政法人情報処理推進機構(IPA)：DX 白書 2021 日米比較調査にみる DX の戦略, 人材, 技術, pp. 249-275, 独立行政法人情報処理推進機構(IPA), 2021.
- 3) 漆谷晃樹, 中田隆史, 江尻佳弘, 山脇正嗣, 米森一貴, 平山岳弥, 木村颯希：深層学習による河川空間内での迷惑・不法行為の検知に関する研究, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol. 46, pp. 77-80, 2021.

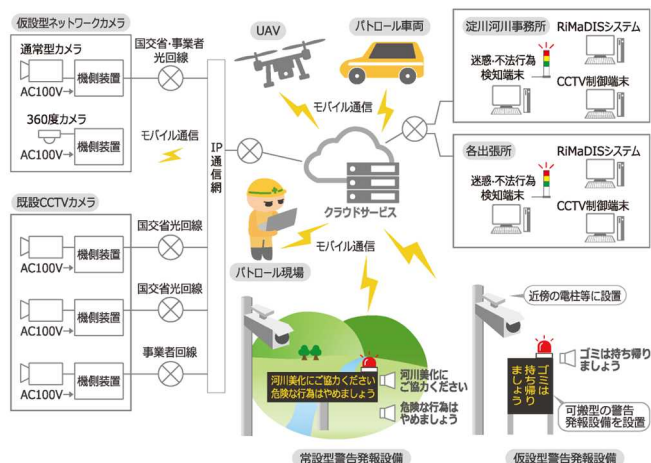


図-16 将来的な迷惑・不法行為システムの運用イメージ図

淀川大堰閘門事業における インフラDXの取組について

藤本 将太¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 高槻出張所 (〒569-0034大阪府高槻市大塚町4-28-1)

インフラDX（インフラデジタルトランスフォーメーション）は、インフラ分野において、データとデジタル技術を活用して国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや、組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現させることを目的としている。淀川河川事務所では、淀川大堰閘門事業の調査設計から施工までの一連をBIM/CIMを活用して貫徹した事例である。

本稿では、実際の設計、施工にあたってどのようにBIM/CIMが活用されたか、設計者や施工業者へのヒアリング結果をもとに事例の紹介ならびにBIM/CIMの導入にあたって得られる効果や課題を考察する。

キーワード インフラDX, 生産性向上, 効率化

1. はじめに

淀川大堰閘門事業は災害時の舟運を利用した物資輸送や災害復旧等での活用、公共事業での活用、また大阪から京都までの航路がつながることで、舟運の利用による淀川沿川自治体のにぎわいづくりや、2025年大阪・関西万博の会場である夢洲までの航路としての活用が期待されている事業であり、令和3年度から着手し、2025年大阪・関西万博までの竣工を目指し事業を進めている。

(図-1, 図-2)

一方で、施工箇所は狭隘で、工程上また施工上さまざまな制約があり、これらの課題を克服しながら事業を進める必要がある。本事業ではBIM/CIMを活用し目的に応じた3次元データの利活用を図ることで、事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産システムの効率化・高度化を目指すことで、課題を克服しながら事業を進めている。

建設業においては、BIM/CIMの活用などのインフラDXの取組を進めることにより設計、施工、維持・管理など様々な場面において生産性を向上させることで、働き手不足などによる1人1人への負担を緩和させるといった働き方改革を推進している。



図-1 淀川大堰閘門事業概要-1

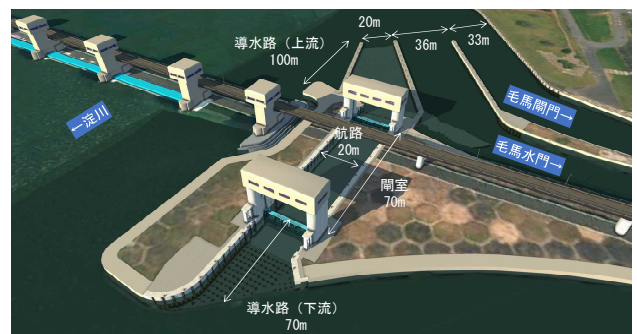


図-2 淀川大堰閘門事業概要-2 (完成イメージパース)

2. BIM/CIM活用設計における3Dモデルを用いた、干渉チェックや施工ステップの作成

淀川大堰閘門の設計にあたって、3Dモデルを作成し、属性情報や2次元図面等の参照資料を与えることでBIM/CIMモデルとし、構造物の干渉チェック（図-3、図-4）ならびに施工ステップの検討（図-5）を行っている。図-3については、閘門の堰柱・門柱を立ち上げていくための仮設の枠組足場が架台等の仮設構造物に干渉してしまうことが設計段階において判明し、単管足場に変更することで仮設構造物同士が干渉するという課題を解消した事例である。図-4については、閘門の堰柱部であり、鋼矢板を打設し掘削した後に切梁等を設置しながらコンクリート躯体を築造していく工程としていたが、切梁の一部がコンクリート躯体に干渉することがわかり、設計段階で工程を見直すことができた事例である。図-5については、施工ステップの検討にあたって、施工順序の他に施工ヤードや重機の配置を含めたステップ図を作成し、限られたスペースでの施工を安全に進めるための検討を行った。3次元で設計を行うことにより、2次元の設計では現場着手後にしか分からなかったような各工程間の干渉等の問題が設計段階で判明し、工法や施工順序の変更などの解決策を検討することが可能になることで手戻りや現場が止まる原因を回避することができ、確実な工程を確保するといった現場の効率化につながることを期待される。実際に設計者からは、設計対象を視覚的に把握することができるため、社内の打合せや発注者との協議、対外説明などにも活用でき、設計方針の意思決定がスムーズになる。時間軸を考慮した施工計画の検討ができ、大堰閘門のように複数の工事が輻輳する場合にその工事の実現性を検証しやすいといったメリットが挙げられた。一方で、2次元設計から3次元設計に移行する過渡期であるため、両方の作成作業を並行して進めることになり、どちらかに修正が出るたびにオペレーター間の調整が必要になり、その調整に労力を要する。関連するマニュアルが毎年のように多く更新されるため、最新の知見を確認・反映するという点に手間がかかるといった課題が挙げられた。

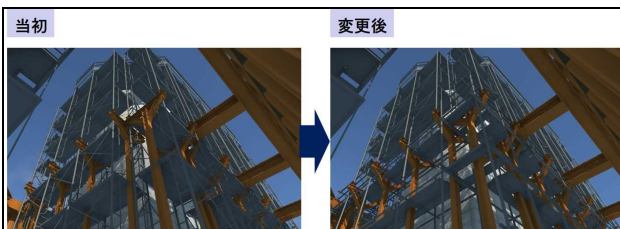


図-3 構造物の干渉チェック-1

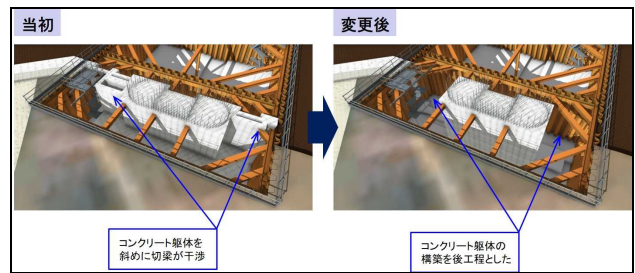


図-4 構造物の干渉チェック-2

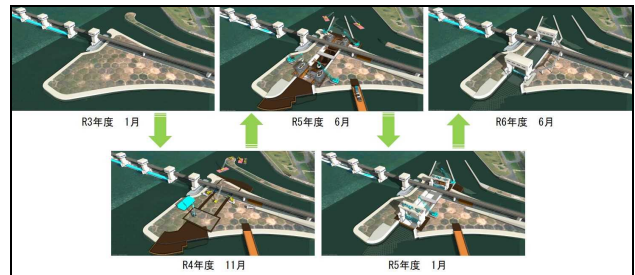


図-5 施工ステップ図作成イメージ

3. BIM/CIM活用工事における、4DシミュレーションやVR・ARを活用した安全教育

淀川大堰閘門の工事を受注した会社の取り組みとしてBIM/CIMデータに時間軸を与えた4Dシミュレーションや、VR・ARを活用した現場臨場を行っている。受注者の取組内容として、以下の内容が挙げられる。BIM/CIMデータを用いた4Dシミュレーションとしては、本工事が出水期施工を行う工事となっているため出水期対策として、出水時の避難計画の作成を行っている。出水期間の資機材の配置から警報発令時の退避体制や避難順序、経路を想定し、出水時4Dシミュレーションを作成することにより効率的に避難することが可能となる。VRを用いた現場臨場としては、現場条件や使用機械によって変化する様々な危険ポイントをBIM/CIMで検討した施工状況を確認した上で、当該現場ならではの危険箇所を抽出し、VR化することによって安全教育に活用している。（図-6）従来の安全教育は、会社独自の各作業における危険箇所を集約したデータベースから工事ごとに作成した危険源登録台帳や過去の災害事例を用いてその日の作業ごとに想定される危険箇所を朝礼やKY活動などで作業員全員に周知徹底を行っていた。BIM/CIMモデルを活用することにより、クレーンの操作など実際には資格が必要で体験することができない立場からの見え方を体験できるなどあらゆる立場からの危険予測を行うことができる。また、安全教育の中で出た対策をデータとして反映することでよりリアルなBIM/CIMモデルとなり、安全教育の質の向上につながる。また、ARを用いた現場臨場としては、検討

中の仮設構造物の配置計画などを着手前の現場に反映させることで干渉物の有無などの不具合がないかを事前に確認することにより現場着手後の手戻りを減少させることができる。(図-7)

しかし一方で、BIM/CIMモデルを活用するにはVRゴーグルやソフトウェアなどの準備が必要となる。また、VRを用いた安全教育に取り組み始めたところであり、重大災害を引き起こすような場合を優先的に整備するため、既存の方法と併用しながらの安全教育となる。慣れないうちは車酔いのようにVR酔いする人がいるといった課題が挙げられた。以上より、課題はあるものの導入メリットが大きいと、会社単位ではなく、建設業として情報を共有しながら安全かつ円滑に工事を進められるよう協力できれば、建設業のさらなる発展につながるのではないかと考える。



図-6 VRを用いた現場臨場 (安全教育)



図-7 ARを用いた現場臨場 (仮設配置確認)
(左：仮設スロープ、右：仮栈橋)

4. 工事監督におけるARを活用した遠隔臨場の実施

ARを用いた現場臨場は、細部の干渉チェックだけではなく、現場を映すタブレットを用いて実際の現場とARによって表示される完成イメージとを重ね合わせた遠隔臨場による検査にも活用されている。また、web会議システムを併用することで音声による指示を行うこともでき

る。(図-8) これらにより、実際の施工が設計に対してどれだけ近いものできているか確認しやすくなり、構造物として品質のよりよいものができるのではないかと考える。また、発注者との検査においても同様の方法で遠隔臨場による検査が可能となり、受発注者ともに移動や準備の時間を省くことができ、働き方改革につながる事が期待される。

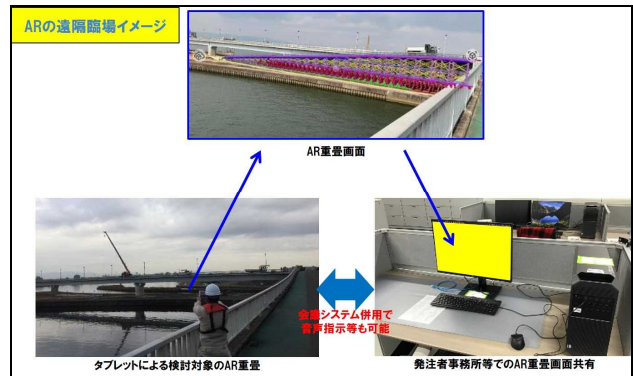


図-8 ARを用いた遠隔臨場による検査

5. CM業務における4DCIMを用いた工事間調整

淀川大堰開門事業にあたっては、限られた施工ヤード内に複数の工事が重複することから工程や施工ヤード等の調整を行うCM業務を発注している。本業務においては、3Dモデルで作成した施工ステップに時間軸を与え、工程表とリンクさせることで4次的に工事間調整や時期毎の施工ヤードの状況を想定している。(図-9) また、BIM/CIMの活用においては、事業の各段階を跨いで3Dモデルを効率的に伝達することで後工程での生産性向上を図っていくことを目的としているが、これまで設計～施工間での情報連携がなされた事例はほとんどないのが現状である。施工者にとって有用な情報の一つとして、設計時に検討する施工計画があり3Dモデルでわかりやすく表現された施工計画を提供することで、設計意図に則した施工計画の立案や受発注者間の協議を円滑に行うことが可能となる。本事業においては4DCIMを活用した施工計画を作成し、受発注者間協議に活用している。(図-10、図-11) 本協議において、後続工事が始まった後の現契約工事の施工ヤードや導線の確認を行い、施工者から重機の配置や資材の置き場について想定どおり行うことが不可能である旨の指摘があり、次期工事が参入する前の現段階において施工ヤード等の見直しが行われた。限られた施工ヤード内での工事となるため、時間ごとの施工ヤードや導線が可視化されることで工事間の円滑な調整を進める上でとても有効であると考えられる。

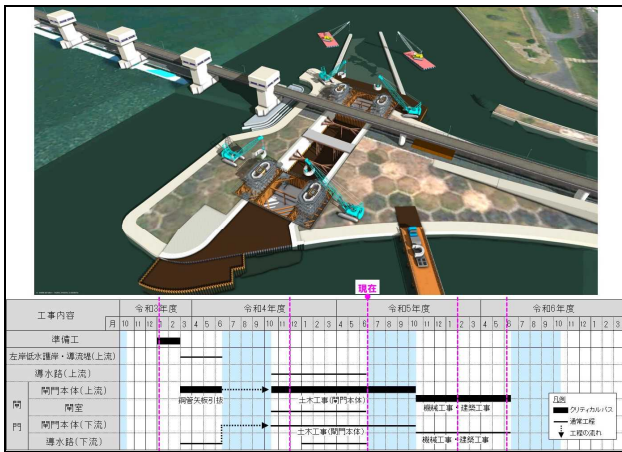


図-9 4DBIM/CIMを用いた工事間調整

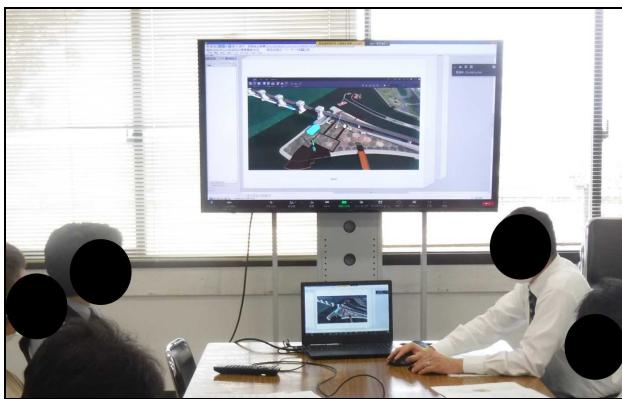


図-10 4DBIM/CIMを用いた施工調整会議の様子-1

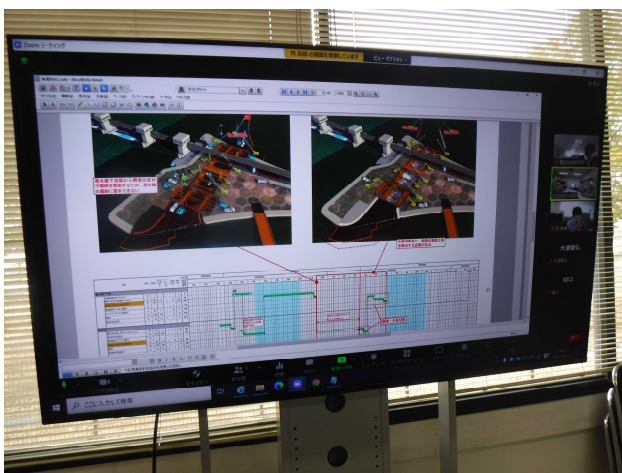


図-11 4DBIM/CIMを用いた施工調整会議の様子-2

6. 広報における、VRを用いた閘門通過体験

淀川大堰閘門事業の広報として、BIM/CIMモデルで作成した淀川大堰閘門をVRゴーグルと専用のコントローラーを用いて実際の完成イメージパスを元にした閘門通過体験ができるVRを作成している。(図-12) これにより、淀川大堰閘門が完成するまでの間にも閘門がどのようなものなのか、淀川大堰閘門がどのように完成するのか想像してもらうことができる。また、建設現場で用いられるVRとはどのようなものなのかということが建設業に携わる人にもイメージしてもらいやすくなることにより、他の現場においてもBIM/CIMモデルやVRを活用するきっかけになることが期待される。また、VRやARを体験できるということで淀川大堰閘門事業を知らない人でも興味を持って見学に来てくれることも想定され、淀川大堰閘門事業を幅広く多くの方に知っていただく機会が増えるのではないかと考える。

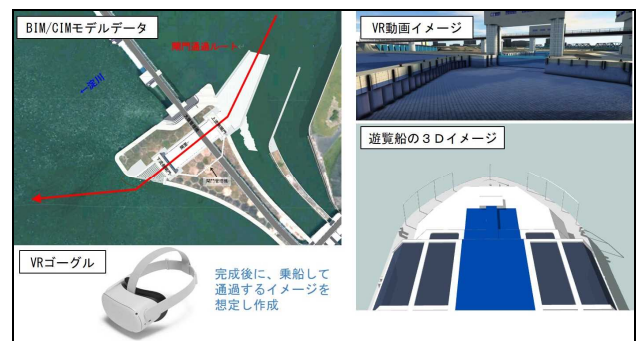


図-12 VRを用いた閘門通過体験

7. 研修の実施による、人材育成の取組

BIM/CIMを活用したインフラ事業として淀川大堰閘門事業を通してインフラDXの取組について学ぶための研修施設の設置ならびに研修会の開催を予定している。研修施設は管轄する毛馬出張所の敷地内にインフォメーションセンターを設置し、本事業のDXの取組などが分かる展示スペース、ARによる現場臨場、360°プロジェクターやVRによる閘門通過体験ができる。(図-13) また、研修施設には屋上があり、目の前で実際に施工している様子を見ることも可能である。これらにより、難しく分かりにくい印象があるインフラDXやBIM/CIMをもっと身近に感じ、理解し、他の場面においても活用するきっかけになるのではないかと考える。本研修は職員が講師となって説明を行うためインフラDXやBIM/CIMについて学び、研修会の講師を目標とした若手職員の育成を行っている。



図-13 インフォメーションセンターの概要

8. まとめ

本稿では、実際に活用事業を事例にしてBIM/CIMの導入内容を紹介してきたが、BIM/CIMを導入することにより、設計段階においては干渉チェックや4次元な施工ステップの把握、施工段階においては安全教育や施工計画の立案など、どの段階においても作業の安全性や確実

性が向上することが期待される。また、設計から施工、維持管理までの情報が1つに集約され、作業の手戻りが削減されることにより、作業の効率化につながり、働き方改革に貢献する。現時点では、設計から施工までを一貫してBIM/CIMを導入された事業は少ないが、本事業を事例として、様々な場面でBIM/CIMを導入し、建設現場の作業の効率化が図られることに期待する。

今後の課題として、電気設備や機械設備を構築していくにあたって今回作成したBIM/CIMモデルをどのような状態で引き渡すか、完成後の維持管理をしていく上でどのようなデータを登録して残していくかが明確にならず、今回土木施設を主体にした構築モデルを完成後の維持管理にも反映できるように情報媒体の連携方法について考えていく必要がある。

一方で、施工段階における品質管理等の属性情報を与えることで点検などの維持管理の際には施工時の情報の取得が容易になり、点検結果を追加登録していくことで情報を集約化でき、情報の閲覧や過去の点検結果との比較などにおいて作業の効率化が図られるのではないかと考える。

※本稿は著者が淀川河川事務所沿川整備課所属時の業務内容である。

木津川上流河川事務所における BIM/CIMの取組みと工事への活用について

渡邊 智大¹

¹木津川上流河川事務所 工務課 (〒518-0723 三重県名張市木屋町812-1)

木津川上流河川事務所では、令和3年度から詳細設計（橋梁・樋門・堤防等）及び工事（名張大橋迂回路工事）においてBIM/CIMを活用している。三次元モデルは視覚的に分かりやすく、構造物の表面から内部の構造まで見ることが出来、関係機関協議等においては有用な資料となる一方、多くの課題もみられ、所内勉強会ではBIM/CIM活用対象業務の現状について様々な意見が指摘された。木津川上流河川事務所ではBIM/CIMを推進する中で、担当職員の実践的な技術力向上が必要と感じられたことから、若手職員と設計業務受注者による三次元CADソフトを使った勉強会を行った。

三次元モデルの作成を通じて課題を確認し、その改善および対応策について中間報告するものである。

キーワード BIM/CIM, 3次元CAD, i-Construction

1. はじめに

木津川上流河川事務所では、令和3年度から詳細設計（橋梁・樋門・堤防等）及び工事（名張大橋迂回路工事）においてBIM/CIMを活用している。三次元モデルは視覚的に分かりやすく、構造物の表面から内部の構造まで見ることが出来、関係機関協議等においては有用な資料となる。一方で、多くの課題もみられ、所内勉強会ではBIM/CIM活用対象業務の現状について様々な意見が指摘された。

2. 各種概要

(1) 木津川上流河川事務所で開催した取り組み

①BIM/CIM勉強会

木津川上流河川事務所では、『発注者が最低限理解すべき内容、業務発注等で必要となるBIM/CIMに関する基礎的な知識・情報等を学ぶことを目的とする。』といったテーマのもと、BIM/CIM勉強会を実施した。

表—1に内容を示す。

表—1 BIM/CIM勉強会の内容

BIM/CIM勉強会の内容	
第1回	BIM/CIMとは
第2回	BIM/CIM活用業務の対応
第3回	詳細設計におけるCIM活用の紹介
第4回	BIM/CIM活用測量業務と施工管理におけるCIM活用の紹介
第5回	総括

②三次元CADソフト操作訓練

担当技術者の実践的な技術力向上が必要と感じられたことから、若手職員と設計業務受注者による三次元CADソフトを使った勉強会を行った。利用した三次元CADソフトは川田テクノシステムのV-nasClair2020である。

3. 実際の取り組み内容

(1)BIM/CIM勉強会

①BIM/CIMを活用した詳細設計業務

BIM/CIM勉強会の第3回では、詳細設計の受注者による業務でのBIM/CIMの取り組み事例や実施するうえでのメリット、課題の説明を大きなテーマとした。対象となった業務は名張川朝日南町地区引堤詳細設計他業務、伊賀上野橋延伸詳細設計業務、名張川朝日町・南町地区樋門詳細設計業務である。



図—1 築堤詳細設計業務で挙げた導入メリット



図-2 橋梁詳細設計業務で挙げた導入メリット

②BIM/CIM導入のメリット

名張川朝日南町地区引堤詳細設計他業務のBIM/CIM導入メリットを図-1に示す。築堤詳細設計では法線検討の精度向上、地元住民説明への活用、上記のことがメリットとして挙げられた。



図-3 樋門詳細設計業務で挙げた導入メリット

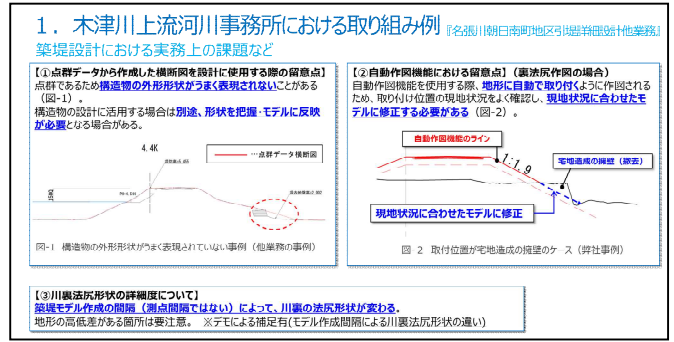


図-4 築堤詳細設計業務で挙げた課題

伊賀上野橋延伸詳細設計業務のBIM/CIM導入メリットを図-2に示す。橋梁詳細設計では設計協議・施工協議での合意形成の円滑化、立案した施工計画の妥当性を検証可能、所内での計画説明や地元説明などにも”目に見える”資料として活用可能、安全対策の要否を設計段階で検証可能、次工程（施工段階）に向けた安全管理の意思伝達、上記のことがメリットとして挙げられた。

名張川朝日町・南町地区樋門詳細設計業務のBIM/CIM導入メリットを図-3に示す。樋門詳細設計業務では受発注者間の齟齬の解消、設計協議の合理化・効率化、事務所内でのBIM/CIMモデルによる情報連携、関係機関との齟齬の解消、正確性向上、当初計画となる施工計画の妥当性の向上、上記のことがメリットとして挙げられた。

③BIM/CIM導入の課題

名張川朝日南町地区引堤詳細設計他業務のBIM/CIM導入の課題を図-4に示す。築堤詳細設計では点群であるため構造物の外形形状がうまく表現されないことがある。構造物の設計に活用する場合は別途形状を把握・モデルに反映が必要となる場合がある。自動作図機能を使用する際に地形に自動で取り付くように作図されるため取り付け位置の現地状況をよく確認し現地状況に合わせたモデルに修正する必要がある。築堤モデル作成の間隔（測点間隔ではない）によって川裏の法尻形状が変わる。上記のことが課題として挙げられた。

伊賀上野橋延伸詳細設計業務のBIM/CIM導入の課題を図-5に示す。埋設物等の位置情報の正確な図面がないと詳細把握が困難。現時点においては、従来の設計(2D



図-5 橋梁詳細設計業務で挙げた課題

3. 木津川上流河川事務所における取り組み例	
■BIM/CIM業務に関する課題。	
課題	対応
・2DCADと3DCADの未連携 ソフトウェアの制約上、2D設計を完了させ、3D起こしする手順、2D図面を修正しても3Dは変わらない。	・2DCADと3DCADの未連携 →コンサル単体の努力では限りがありソフトウェアの開発が必要。
・数量自動算出 2D発注基準である土工区分（表層A,B,C等）に未対応。 自動算出数量を作成しても活用性が低い。	・数量自動算出 →3D工事発注の基準整備。（本省の基準WGの成果を活用。）
・3Dモデルの事務所内共有 複数の業務成果（点群データ、3Dモデル）を統合することが有効。	・3Dモデルの事務所内共有 →ASP強化。 （国総研のDXセンターや本PPTのKOLC+が有効。）

図一6 樋門詳細設計業務で挙げた課題

設計)を踏まえたうえで、CIMモデルを作成するという二度手間が発生している。3D図面を作成する際の寸法記入などが市販されているソフトウェアは互換性やできることの範囲が異なる。上記のことが課題として挙げられた。

名張川朝日町・南町地区樋門詳細設計業務のBIM/CIM導入の課題を図一3、図一6に示す。樋門詳細設計では発注者はBIM/CIMモデルを自ら思うように触れることができない。発注課以外がCIMモデルを介して情報を得たい時に得る機会が少ない。ソフトウェアの制約上2D設計から3D設計の手順であり、BIM/CIMモデルが完成するのは業務終盤のため活用場面を逸しており活用性が低い。2DCADと3DCADが未連携でソフトウェアの制約上、2D設計を完了させ、3D起こしする手順があり2D図面を修正しても3Dは変わらない。2D発注基準である土工区分に未対応で自動算出数量を作成しても活用性が低い。複数の業務成果（点群データ、3Dモデル）を統合することが有効。上記のことが課題として挙げられた。

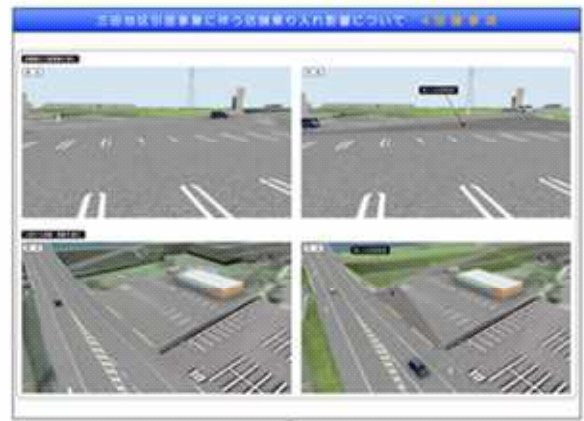
④勉強会内の意見交換の意見

勉強会の質問や意見交換での意見を記載する。

過去の埋設物が2Dの古い図面しかないため復元に時間がかかる。DXといった観点で見るとBIM/CIMモデルのみがDXではなく受発注者間のデータ関係のやり方もあてはまると考える。3DCADソフトが無くても使えるモデルも活用出来ると良い。特記仕様書で示されるようなBIM/CIMモデルは作成の開始が業務終盤となるため関係機関協議での活用が難しい。そのため、図一4に示すような作成時間が短い3D化ソフトを利用しスピード重視で3Dモデルを作成し、関係機関協議で活用することもDXだと考えている。特記仕様書の土工形状の3次元モデルや統合モデル等といった記載はオートデスク社のソフトウェアに内容に沿った物になっていて弊害がある。例をあげるとV-nasClairでつくったモデルは特記仕様書に従うと作成した後に3Dモデルの分解の作業をする必要がある。

⑤BIM/CIM勉強会の結果

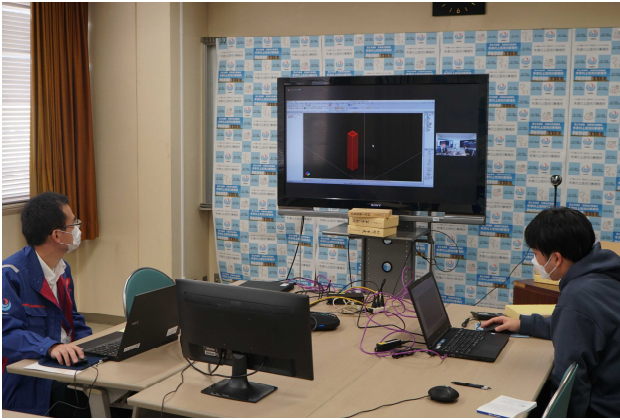
各業務で挙げられたメリットに着目する。まず、3つの業務全てで地元住民や関係機関協議で有効とされた。



図一7 3Dモデルを用いた地元説明資料

視覚的に分かりやすいからこそ挙げられたメリットである。実際にこれらの業務を遂行する上で3Dモデルが地元の方への説明や関係機関での合意形成に有効に働いた事例がある。例を挙げる。図一7のような資料を地元の方の説明資料として利用したところ、地元の方に平面図と異なり一目で見れるため分かりやすいと伝えられた。これは、3Dモデルを活用する大きな意義であると考えられる。次に着目するメリットは施工計画の妥当性の向上である。3Dモデルとすることで平面図では見えない箇所を可視化出来る。これによって平面図では気付くことができない施工不可箇所を見つけることが出来る。このことは、工事の円滑化に良い作用をすると考える。

各業務で挙げられた課題に着目する。3Dモデルを作成する上で2Dの設計が必要であると言う点に着目する。業務を遂行していくうえで終盤により早くCIMモデルの作成に取りかかれることはCIMモデルを利用する上で大きな弊害となる。特に、メリットであげた地元への説明や関係機関協議での活用にとって弊害となる。意見交換で出た作成時間が短い3D化ソフトが解決する一つの手段であり、DXの目的とする物の一つであると考えられる。詳細なBIM/CIMモデル作成のみをDXと捉えるのではなく作成時間が短い3D化ソフトのような実態に合うものを活用していくことがDXを更に促進する上で有効に作用すると考える。もう一つの課題に着目する。意見交換で提示された、特記仕様書に記載された内容がオートデスク社のソフトウェアの内容に沿った物になっていて弊害がある点である。国土交通省ではV-nasClairを推奨しているが特記仕様書はオートデスク社のソフトに沿っており、一体性が無い。これは発注者と受注者の双方に良くない。受注者が特記仕様書の内容に沿ってV-nasClairで3Dモデルを作成した場合は分解するという必要の無い作業が発生する。また、受注者が当初からオートデスク社のソフトで3Dモデルを作成した場合はとV-nasClairでは互換性がなく見ることが出来ない。この問題は、BIM/CIMが浸透していない現時点では解決は困難であると考えられる。しかし、この勉強会でこの問題が把握できた



図—8 訓練の様子

ように多くの意見交換を蓄積して実態に適応する内容に変化させて行くことが今後のBIM/CIMを促進していくために必要であると考え。

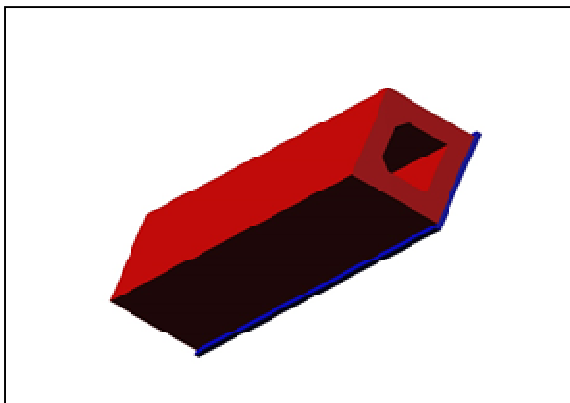
(2) 三次元CADソフト操作訓練

① 操作訓練の内容

川田テクノシステムのV-nasClair2020を用いて若手職員と詳細設計業務の受注者WEBを用いた操作訓練を行った。訓練の様子を図—8に示す。訓練はまず、BIM/CIMデータ作成の全体の工程を学んだ。次に、樋門の管渠部を平面で作図した。その後、平面図に高さの情報を加えることで3次元図面とした。最後に作成した3D図面をPDFとして出力した。作成した3D図面を図—9に示す。

② 訓練の感想

訓練の感想を表—2に示す。一般図や構造図が必要な都合上作業に入るまでに時間がかかるのではないかと感じたといったBIM/CIMの作業に関する質問や既存の平面図を読み込んで、LPデータ、オルソ画像、測量座標の読み込み、断面で切るなどの実践的な勉強会を希望しますといった更なる技術を求めた感想、システムを使ったことがなかったので大変勉強になりましたといった発注者の現状の3DCADソフトへの理解を把握できる回答が



図—9 作成した樋門の管渠部

表—2 訓練の感想

・ 出力したPDFはJustPDFでは開けなかった。
・ 一般図や構造図が必要な都合上作業に入るまでに時間がかかるのではないかと感じた。
・ 断面図と平面図があれば図面に書かれた寸法を3Dモデルの寸法に利用できた。
・ 今回は白紙の状態から構造物を3D化し、それをエクスポートするまで行いましたが次回があるなら既存の平面図を読み込んで、LPデータ、オルソ画像、測量座標の読み込み、断面で切るなど実践的な勉強会を希望します。
・ 実際の業務・工事で悩みポイントがあれば、発注者がV-nasClearでどのまで操作を覚えておけばよいのか、感覚が掴めるかと思いました。
・ システムの操作が難しくWebでは少しやりにくさを感じました。
・ システムを使ったことがなかったので大変勉強になりました。

得られた。

③ 操作訓練を実施したうえで判明した課題

操作訓練では当初、受注者が作成した3Dモデルも用いて訓練も行う予定であった。しかし、受注者が作成した3Dモデルを発注者が開くことが出来なかったため実施することが出来なかった。確認したところ、受注者がV-nasClair2020のver2021で3Dモデルで作成しており発注者の利用していたのはV-nasClair2020ver2020と最新の状態にアップデート出来ていなかったため開けないといった理由であった。

(3) 名張大橋迂回路仮橋設置工事での活用事例

木津川上流河川事務所では名張大橋迂回路仮橋設置工事でBIM/CIMを活用している。活用内容を紹介する。1つ目がBIM/CIMを情報共有システムの「3次元データ等表示機能」等を活用した監督・検査の効率化である。2つ目がBIM/CIMを活用した変更協議等の省力化である。3つ目がリスクに関するシミュレーションである。4つ目が対外説明（関係者協議、住民説明、広報等）である。

4. 結論

BIM/CIMは活用することが出来れば工事や業務の円滑化に繋がる可能性がある。事実として木津川上流河川事務所でも活用したBIM/CIMは地元への説明や関係機関協議で有効に作用した。

これまで記載した通り、発注者がBIM/CIMを理解したうえで意見を集め実態に合う形での活用を促進していくことは重要である。また、この勉強会のように受注者とも協力して意見交換をすることで判明することもある。様々な意見や考え方、技術を取り入れることで実態に合った有効なBIM/CIM活用の促進を達成することができる。と考える。

但馬地域におけるBIM/CIMの普及促進に向けた取り組みについて

野上 梨乃¹・大橋 幸一郎²

¹近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 八鹿国道維持出張所
(〒667-0044兵庫県養父市八鹿町国木字東下タイ134-1)

²近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 工務第二課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3) .

豊岡河川国道事務所(以下、「事務所」という)は、2019年3月に決定したi-Constructionの取組をリードするモデル事務所であり、BIM/CIM (Building /Construction Information Modeling, Management) 活用による建設プロセスの改善に向けた取組を実施している。その取組の中で但馬地域のBIM/CIMに関する地域のニーズを把握し、地域の実情に即した勉強会等の普及促進に向けた取組を実施した。本稿では、得られた効果や課題等について報告する。

キーワード i-Construction, BIM/CIM, 建設プロセス, 普及促進, 技術力向上

1. はじめに

(1) 事務所の概要

我が国の人口減少に伴う高齢化の進展により、建設業界でも労働力の大幅な減少が懸念されるとともに、休日や職務内容などの労働環境も他産業に比べ厳しく、若手が入職・定着しづらい状況にある。

国土交通省では、このような現状を踏まえ、労働者の減少を上回る生産性向上を目的とした生産性革命を行う『i-Construction』を促進している。その中で、事務所は3次元データ等を活用した取組をリードする「i-Constructionモデル事務所¹⁾」であり、業界内におけるBIM/CIM技術の拡大・利活用を先導している。事務所の施工段階にある「円山川中郷遊水地整備事業」と「北近畿豊岡自動車道豊岡道路事業」を3次元情報活用モデル事業として、設計・施工・維持管理段階におけるBIM/CIMモデルを作成・活用し、事業の品質向上・効率化を図ることを目的に検討を進めている。

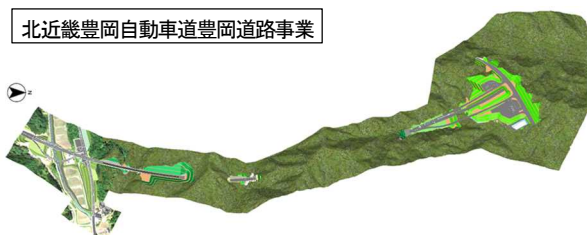


図-1 3次元情報活用モデル事業

(2) BIM/CIMに取り組むことの必要性

BIM/CIM導入が推進される背景は前述の通り、我が国の人口減少に伴う建設分野における高齢化や、建設機械オペレータをはじめとする建設事業の担い手不足の深刻化など、建設現場の生産性向上は重要な課題である。そのため、計画、調査、設計段階から3次元モデルを導入することにより、その後の施工、維持管理の各段階においても3次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化、それに伴う副次的な効果として働き方改革や新産業の創出が期待される。また、2023年度から小規模を除く全ての公共工事でBIM/CIM原則適用となる動向であることも踏まえて、BIM/CIMの促進は急務である。

しかし、BIM/CIMがまだまだ普及していない中、過去に、事務所や出張所の職員をはじめとした河川・道路管理者や民間業者等を対象に実施したBIM/CIMに関する現状についてのアンケート結果では、BIM/CIM導入による生産性の向上や働き方改革への期待の声が多

一方で、発注者側からはBIM/CIMで何ができるのかわからない、そのためどのように業者と調整すればいいかわからないといった意見が得られた。さらに、BIM/CIM活用業務・工事の発注形式として「受注者希望型」の場合では、成績評定へのインセンティブが明確になっていないことも一因となり、受注者の積極的な取り組みに至っていないといった意見も得られた。

また、但馬地域の建設分野における実態として、但馬地域に本店または支店があるC・Dランク業者(中小企業)が全体の約98%を占めている。地場企業の方からは、BIM/CIMでどのようなことができるのか不明瞭、メリットがわからない状態で設備投資するのは厳しいといった意見があった。

よって、BIM/CIMの普及促進には、発注者・地場企業の個別の諸課題や対策方針、今後のスケジュールなどについて両者に的確な情報を提供し、技術力を向上させることが重要である。

2. BIM/CIMの普及促進・技術力向上

事務所では、2019年度から但馬地域におけるBIM/CIMの普及促進および技術力向上支援を目的に、勉強会を実施している。それだけでなく、広報イベントや座談会を開催し、地元の子供や学生を始め住民へICT技術の説明や関心を持ってもらうための活動を推進している。

(1) 勉強会を通じた普及促進および技術力向上支援

a) 2019年度、2020年度における勉強会の概要

これまで事務所では、2019年度から但馬地域の地方公共団体や民間企業、設計・工事業務の受注者を対象に勉強会を実施してきた。

2019年度の第1回勉強会では、計92名の参加者のうち46名が民間事業者(施工業者、測量・コンサルタント)と地場の中小企業における参加が多く、活用促進に大きく貢献した勉強会であった。一方で、勉強会の事後アンケートにおいては、BIM/CIMを活用するにあたっての問題・課題として「機器の導入費用」「人材育成」「やり方がわからない」の3点に関する意見が多くみられた。

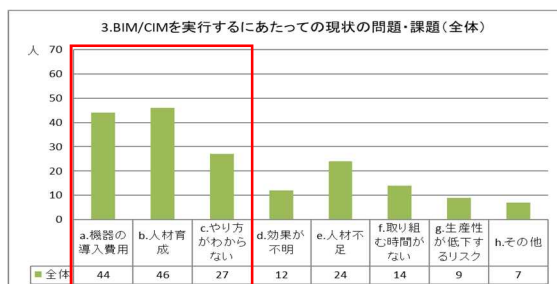


図-2 2019年度アンケートにおける現状の問題・課題

これを受けて2020年度では、BIM/CIMに関する全体論と「BIM/CIMの導入」を公演内容に追加し、導入にあたっての疑問解決を目的にソフトウェアベンダーと協働のうえ勉強会を開催した。また、新型コロナウイルスの影響を考慮し、勉強会はWeb会議を活用するとともに、ビデオマニュアルを整備した。

参加者は計125名と第1回の勉強会から増加がみられ、特に民間事業者が第1回の46名から86名へ大幅な増加が見られたことから、但馬地域におけるBIM/CIMに対する意識が変革していることが確認できた。

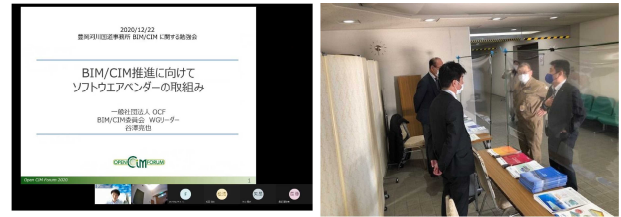


図-3 Web会議を併用した講習会、ベンダーブースの設置

b) 2021年度における勉強会の開催

2020年度までの勉強会では、主にBIM/CIMの概要説明や取り組み・事例紹介を行っていたが、事後アンケート結果では、実際の操作・作業手順や活用事例の充実化、所属により活用方法が違うことから個別の説明や取り組み方・事例の紹介等、より実務に向けた具体的な内容に関する要望が多く挙がった。例えば、発注者としては、BIM/CIMを取り巻く基準や制度の内容、BIM/CIMを活用した事業の進め方をより詳細に知りたいといった意見が多かった。測量・設計者としては、BIM/CIMモデルの作り方をより詳細に知りたいといった意見が多かった。施工者としては、どのように現場で活用していくか実際の事例からもっと知りたいといった意見が多かった。

その結果を踏まえ、2021年度の勉強会の内容を検討するにあたり、それぞれの担当に必要となる情報が異なると考えられたことから、2022年度の勉強会では全体を通じた共通パートの他に、地方公共団体(発注者)、施工業者、測量・コンサルタントと対象者別の講演内容で実施した。



図-4 勉強会の様子

講演内容は表-1に示す通り、インフラDXの推進をはじめ、対象者別にBIM/CIM実施に向けた実践的な内容とした。

表-1 講演内容

	共通パート	発注者対象
1	インフラDXの推進・BIM/CIMの概要	BIM/CIM推進事業について
2	近畿インフラDX推進センターの概要	基準書の紹介
3	BIM/CIMの事例紹介	3次元モデル成果物作成要領(案)の解説
4	BIM/CIMの導入にあたって	段階モデル確認書の運用・リクワイアメントの設定
5	BIM/CIM推進に向けたソフトウェアベンダーの取組み	3次元道路台帳の活用方法
6	i-Constructionと地域の企業について	

	施工業者対象	測量・コンサルタント対象
1	BIM/CIMを活用したICT施工の活用事例・効果	測量・設計における活用事例・効果
2	BIM/CIMの施工現場での活用事例	点群データの所得から設計への展開
3	ICT施工のシームレス化	3次元モデル作成の実演
4	ICT・BIM/CIMを導入した会社への質疑応答	BIM/CIMモデルを活用した橋梁設計業務の事例紹介

共通パートではWebを利用した遠隔での近畿DX推進センター施設内の紹介、事務所におけるBIM/CIMの活用事例紹介、ソフトウェアベンダーの取組紹介等を実施した。事務所での活用事例としては、北近畿豊岡自動車道豊岡道路事業のトンネル工事において、狭小エリアにおける効率的な仮設設備の配置計画や4Kカメラによる3次元切羽画像の作成、3次元モデルと現場でのMR技術の導入によるトンネル内作業での事故リスク回避の紹介等を実施した。



図-5 狭小エリアにおける仮設設備の配置計画

対象者別の講義において、発注者パートでは円滑な業務・工事の遂行や発注者・受注者等の関係者間での円滑な情報交換に役立てることを目的とし、BIM/CIM関連事業の各段階において適用または参照する基準・要領等の紹介、段階モデル確認書の運用・リクワイアメントの設定についての講演等を実施した。施工業者パートでは施工時の活用方法やBIM/CIM活用のメリットの理解を目的に、より具体的な現場での活用事例として「円山川中郷遊水池下池越流堤下流部整備工事」での活用方法の紹介、設計段階の3次元データをICT施工等で効率的に活用するためのデータの受渡し方法や活用方法の紹介等を実施した。測量・コンサルタントパートでは、測量・設計における活用事例や効果の紹介、3次元モデル作成の実演等を実施した。



図-6 3次元モデル作成の実演

また、講演だけでなく、BIM/CIMに取り組んでいる設計・施工業者から実務での活用状況を聞いたり、機器の導入等を相談できるベンダーブースを設置した。

さらに、本勉強会は但馬地域に関連する企業・地方公共団体を対象としたものであるため、遠方であったり、参加が叶わなかった人のために、事務所のホームページ（とよおかBIM/CIMポータル）に当日の講演動画および配布資料を掲載し、誰でも閲覧できるようにしている。

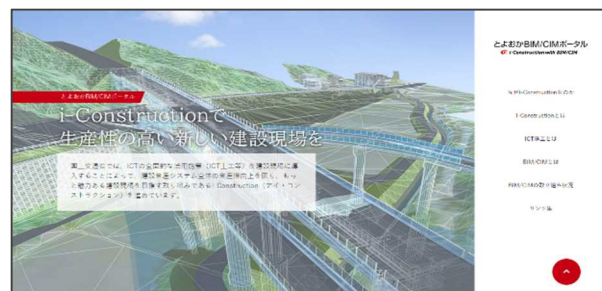


図-7 とよおかBIM/CIMポータルサイト

c) 効果・課題

勉強会参加者に対して、勉強会の満足度やBIM/CIMの導入にあたっての懸念・期待事項についてアンケートを実施した。

2021年度の勉強会の内容に関するアンケート結果では、いずれの所属（役所、建設会社、測量・コンサルタント）においても9割以上の方が満足・やや満足となっており、高い満足度が得られた。

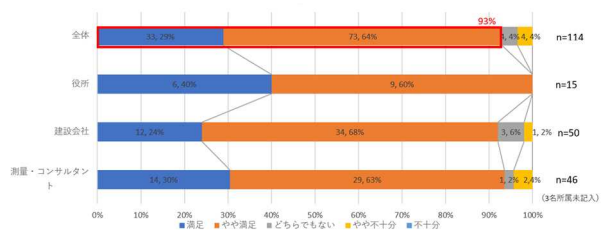
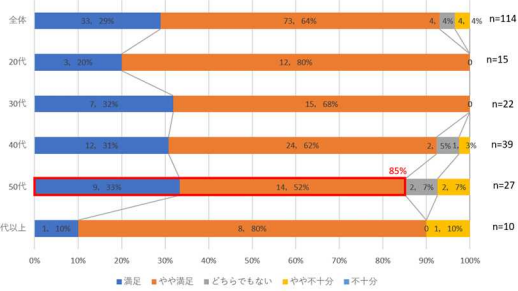


図-8 勉強会の満足度（所属別）

年代別のアンケート結果でも同様に各年代で約9割が勉強会に満足している。特に50代について、前回のア

アンケート結果では、勉強会に満足した人が約7割であったが、2021年度の結果では約9割と大幅に向上した。

【2021年度】



【2020年度】

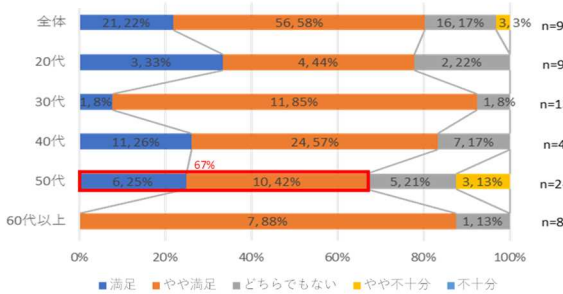


図-9 勉強会の満足度 (年代別)

今後BIM/CIMを導入するにあたり、不安を感じる点に関するアンケート結果ではいずれの所属においても「機器の導入」「人材育成」に対する不安が多く、それに加えて、発注者と施工業者では「やり方がわからない」「取り組む時間がない」の割合も比較的高くなっている。

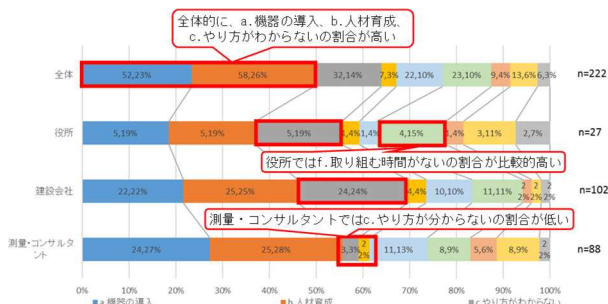


図-10 BIM/CIM導入への懸念事項 (所屬別)

BIM/CIMを導入するにあたり、期待する点に関するアンケート結果ではいずれの所属においても「生産性・経済性の向上」が最も多く、次いで発注者と施工業者では「働き方改革」、測量・コンサルタントでは「業界の魅力向上」に期待する人の割合が高くなっている。

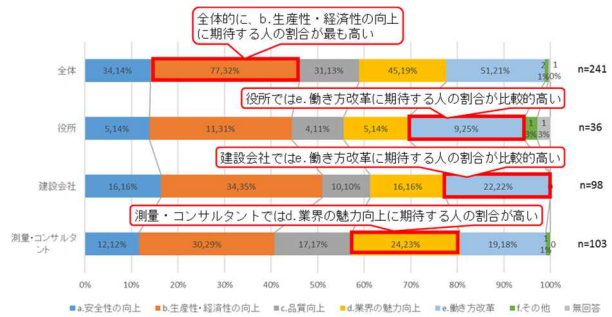


図-11 BIM/CIM導入への期待事項 (所屬別)

また、自由意見として「取組内容・活用方法が参考になった」「効果・意義が理解できた」「実内容が参考になった」等の意見があげられた。一方で、今後の勉強会への要望における問いでは、勉強会の回数・時間の増加や実操作・作業、活用事例や予算事例の充実、活用シーン(対象者)や基礎から応用までのレベルを区別した勉強会の開催に関する要望が多く挙げられた。

(2) イベント開催による普及促進

事務所では、「あたらしいどぼくのせかい」と題して11月18日の土曜日に実際の工事現場で地元の子供や住民を対象に、最新の土木技術に触れて関心を持ってもらうきっかけづくりとしてイベントを開催している。BIM/CIMに関しては、3Dプリンターにより作成した模型(施工計画を体験する3次元パズル、鉄筋まで再現した橋脚)の展示や複合現実(MR)による仮想体験、ドライビングシミュレータによる3次元モデルの走行体験、こども向けのパネルを用いたBIM/CIM技術の説明等を行っている。



図-12 2021年度「あたらしいどぼくのせかい」

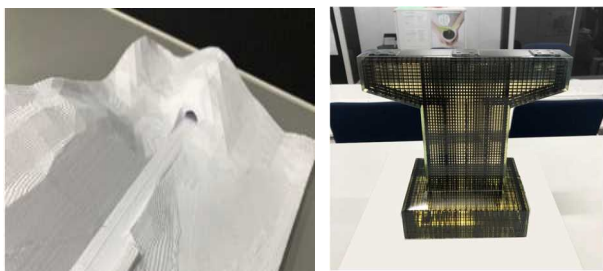


図-13 BIM/CIMモデルから3Dプリンターで作成した模型

2021年度に開催したイベント参加者に対して、アンケートを実施した。

来場者数に関するアンケート結果では、2020年度の一般来場者17名、総数150名に対して、2021年度では一般来場者55名、総数173名と大幅に増加した。

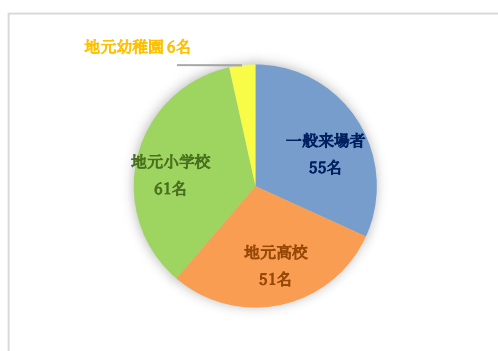


図-14 イベント来場者数

アンケート結果の中では、「普段体験できないことを体験できたので良かった」「土木の細かい所が見れた」等の意見を頂くなど、普及促進や担い手確保に繋がる期待を得ることができた。一方で、「パネルだけの説明ではなく動画等を用いた方が更なる理解に繋がるのではないか」という意見もいただき、今後の改善点も確認できた。

(3) 高校生との座談会による普及促進

事務所では、建設業の新3K（給与・休暇・希望）の実現、将来の但馬地域を支える技術者確保・育成・支援を目的として、地元の高校生を対象に最新の土木技術に触れてもらうきっかけづくりとして、新規採用職員や高校OBの職員による高校生の疑問や土木の魅力について語る座談会を開催した。BIM/CIMに関しては、実際にレーザースキャナーを用いた座談会会場の点群データ取得の実演や会場とトンネル現場をリモートで繋ぎMRを用いた品質確認の実演を実施した。



図-15 点群データ取得の実演

3. 今後の課題・まとめ

建設分野における高齢化や担い手不足、生産性向上等の課題改善のための効率化・高度化、働き方改革や新産業の創出が期待されるBIM/CIMを普及促進してきたが、勉強会の参加者の増加や活用利点・効果を理解できたという意見があるように発注者・地場産業への普及は進んだ。しかし、過年度のアンケート結果からもわかるように機器の導入や人材育成に対する懸念、作業手順がわからないといった現状から発注者においても未だ導入は敬遠される傾向にある。さらに、3次元モデルを作成するソフトウェアについても発展途上の段階にあることから、受発注者ともにBIM/CIM導入が進んでいないことが課題として挙げられる。一方、BIM/CIMを活用することで、生産性の向上や働き方改革への期待や関心が高いことを踏まえると、受発注者ともに積極的に取り組んでいくことが重要である。

また、地域の学生や住民に対してもBIM/CIM活用の取組について積極的に示すことで、将来の担い手確保や事業理解に寄与出来ることが期待できる。

今後は、分野別勉強会の拡充や3次元モデルの実体験、施工現場との中継を行う遠隔臨場も有効であると考えられる。また、BIM/CIM導入効果の明確化に関するための議論の場を設けることでより理解を深めることが可能であると考えられる。今後も但馬地域におけるBIM/CIMの普及促進に向けて、地域の実態に即した勉強会の開催を継続する。

受発注者ともに積極的にBIM/CIM導入できるよう、事務所では但馬地域における技術力の底上げをこれからも実施していく。そして、但馬地域全体での普及促進・技術力向上に寄与するとともに、さらなる課題の抽出を行い、改善検討を積み重ね、有用なBIM/CIM活用検討に引き続き取り組み、「i-Constructionモデル事務所」としての責務をしっかりと果たしていきたい。

参考文献

1)国土交通省：第7回BIM/CIM推進委員会 令和4年2月

すさみ串本道路事業におけるDXの取組み ～鉄筋出来形自動検測、遠隔臨場～

松本 卓馬¹・高島 佑樹²

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務第三課 (〒646-0003和歌山県田辺市中万呂 142) .

²本省 都市局 市街地整備課 (〒100-8918東京都千代田区霞が関2-1-3)

国土交通省では、建設現場の生産性向上を図るi-Constructionの取組をより深化させるため、インフラ分野のDXを推進しており、紀南河川国道事務所管内の改築事業である一般国道42号すさみ串本道路事業においても、積極的に導入に取り組んでいる。

本稿は、すさみ串本道路工事現場で取り組んでいる各種取組み（鉄筋出来形自動検測システム、遠隔臨場システム等）を試行し得られた知見・今後の改善が求められる点等について考察をおこない、今後の方向性について提示をおこなう点で、今後の近畿地方整備局及び国土交通省における公共事業の効率化の参考となるものである。

キーワード 鉄筋出来形自動検測システム、遠隔臨場、i-Construction、インフラDX

1. はじめに

紀南河川国道事務所では、令和7年春の開通を目標にすさみ串本道路（図-1）の建設に取り組んでいる。すさみ串本道路は、和歌山県すさみ町のすさみ南ICから和歌山県串本町の串本IC（仮）を結ぶ全長19.2kmの自動車専用道路であり、異常気象時通行規制区間の解消、防災・災害時の代替路確保等を主な目的として整備が行われている。

本稿では、令和3年度に工事が実施された「すさみ串本道路和深川橋P3下部他工事」においての各種取組を中心に得られた知見・今後の改善が求められる点等について考察をおこない、今後の方向性について述べることで今後の近畿地方整備局及び国土交通省における公共事業の効率化の参考となるものとする。



図-1 すさみ串本道路位置図

2. 国土交通省におけるDXの取組について

国土交通省では、様々な施策において建設業等の生産性向上や働き方を変革させる取組を実施している。その中でも、インフラ分野について、災害対策やインフラの老朽化対策が高まる一方で、今後人手不足や建設業就業者の高齢化が進むことが懸念され国土交通省では ICT 技術の活用等による建設現場の生産性向上を目指す i-Construction を推進してきた。

また新型コロナウイルス感染症の流行により、公共工事の現場においても非接触・リモート型の働き方に転換するなど、感染症リスクにおいても強靱な経済構造の構築を加速することが喫緊の課題である。

こうした状況を踏まえ、社会経済状況の激しい変化に対応し、インフラ分野においてもデータとデジタル技術を活用して、国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや、組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現すべく、インフラ分野のDXを推進している。

3. 鉄筋出来形自動検測システム¹⁾

(1) 建設工事における鉄筋出来形計測作業と課題

鉄筋を用いる工事においては鉄筋出来形計測が必要で



図-2 従来の鉄筋出来形計測作業で密になる様子



図-3 組み立てた鉄筋上での作業

ある。鉄筋出来形計測のフローは、鉄筋径・配筋間隔の計測→計測結果の記録→立会検査→写真撮影→帳票作成という流れである。計測から帳票作成までの作業が非常に煩雑なため、作業の省力化のニーズが高い。

従来管理手法(図-2)の課題として、1つ目に鉄筋は目印等を付けなければ写真上で対象となる鉄筋の判別が困難なため、写真撮影用に行う検尺ロッドや目印となるマーカーの取付に手間がかかること。2つ目に写真撮影時は撮影者を含め人手が必要であり、コロナ禍においては密状体を作る条件にもなること。3つ目に写真撮影用に仮設通路等が必要な場合もあり、足場外や組み立てた鉄筋上で作業(図-3)が必要となり危険なことなどが挙げられる。

(2) デプスカメラを用いた鉄筋出来形自動検測システム

鉄筋出来形自動検測システムは、デプスカメラを用いて配筋状況を3次的に把握し、鉄筋の本数・鉄筋径・鉄筋ピッチを自動的に計測することで作業の効率化を実現するシステムである。デプスカメラ(図-4)とは2つの赤外カメラでステレオ視する事により、物体までの距離

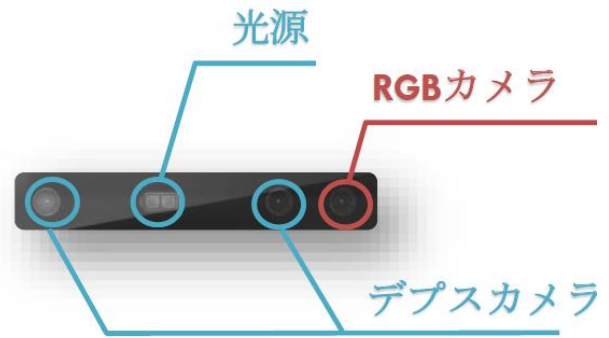


図-4 デプスカメラ仕様



図-5 デプスカメラ画像



図-6 RGBカメラ画像

離や形状を認識できるカメラである。

計測の仕組みは、カメラからの距離を画像化したデプスカメラ画像(図-5)と、デプスカメラ画像と重なるRGB画像(図-6)を同時に取得する。デプスカメラではノイズで鉄筋の縁を正確に検出することは難しいため、デプスカメラ画像とRGB画像を重ねた図から画像処理を利用して鉄筋部分を抽出する。対象物までの距離と画角の情報から画像上での3次元座標値を求める事ができ、長さの計測も可能になる。

(3) 鉄筋出来形自動検測システムの効果

鉄筋出来形自動検測システムを導入することにより以下の効果がある。

- a) 出来形管理対象範囲を直接撮影可能
ステレオカメラにより対象となる鉄筋を抽出することで、出来形管理対象範囲を下準備なしで直接撮影が可能になる。
- b) 1人で出来形計測が可能
人手が必要無いため写真撮影者のみで出来形計測がかわりになり、コロナ禍における密回避にも効果的である。
- c) 安全な位置から作業可能
出来形計測に伴う仮設作業等を省略でき、対象箇所が撮影できる足場内等安全な位置から作業が可能である。
- d) 省力化
従来は準備・計測・立会検査・片付け・調書作成と時間のかかる作業であったが、準備・片付け・調書作成等の時間が短縮され、約1/3の時間への省力化ができる。



図-7 ウェアラブルカメラ

4. 遠隔臨場システム

(1) 遠隔臨場システムの概要

遠隔臨場とは、ウェアラブルカメラ（図-7）等の動画撮影用のカメラにより撮影した映像と音声を Web 会議システム等を利用して「段階確認」、「材料確認」と「立会」を行うものである。（図-8）

国土交通省より令和3年3月に建設現場の遠隔臨場に関する試行要領（案）²が発行された。直轄工事以外でも地方自治体の工事においても導入が増えてきている。

(2) 遠隔臨場システムの効果

遠隔臨場システムを導入することにより以下の効果がある。

- a) 現場への移動時間の削減
当該工事の場合では、発注者事務所から現場への移動所要時間が30分であり、往復1時間の短縮されることになり業務効率がアップした。
- b) 安全性の向上
離れた場所から現場の様子を映像と音声で確認できるため、危険な現場への臨場を回避することが出来る。また移動時間が無くなることで臨場の機会を増やせるため、異常やトラブルをいち早く検知し対応する事が出来る。
- c) 新型コロナウイルス感染予防
作業現場における検査や会議時等に、密になるのを回避できる。
- d) データを残し活用
現地画像の保存により、現地エビデンスとして活用したり、検査状況や作業状況の動画を残し、その動画を用いて若手への指導に活用できる。
- e) 休憩時間・休日の確保
日々の業務を効率化することで、休憩時間や休日の確保につなげることが出来る。

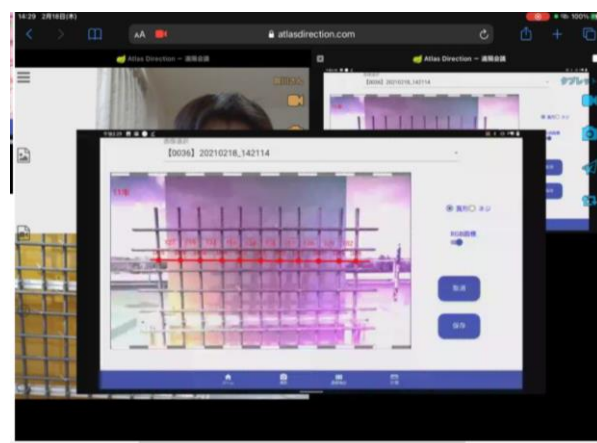


図-8 遠隔臨場システムの工事における活用

5. まとめ

本稿では、令和3年度に工事が実施された「すさみ串本道路和深川橋P3下部他工事」においての取り組まれた、鉄筋出来形自動検測システムと遠隔臨場システムについてまとめた。

建設業界では今後人手不足や高齢化が懸念され、新型コロナウイルスの感染拡大を契機に、感染症リスクにおいても強靱な経済構造の構築を加速することが喫緊の課題となり、インフラ分野のDXが推進されている中で、鉄筋出来形自動検測システムでは、従来複数名で行っていた作業が一人で可能になり、作業にかかる時間も大幅に短くなる。また遠隔臨場システムでは、移動時間が削

減されデータを残すことで人材育成にも活用できるようになる。

さらに鉄筋出来形自動検測システムと遠隔臨場を組み合わせることで、現場での検測係とその様子を実況する係の2名で画面に鉄筋検測の画面を共有しながら、発注者への説明を同時に実施でき、受発注者双方の業務の効率化、生産性向上を図ることが出来た。

6. 今後の課題

今後は、鉄筋出来形自動検測システムでは電子黒板への対応や、かぶりや継手鉄筋の長さの計測が機能として追加されることが課題である。

また遠隔臨場システムでは、動画撮影用のカメラの使用は意識が対象物に集中し、足下への注意が薄れ事故につながる場合があり、安全対策が必要になる。またプライバシーを侵害する音声配信される場合や、施工現場外が映り込む場合があるため留意が必要である。

どちらのシステムにおいても、今後試行を通じた効果の検証や課題の抽出について、施工者や監督者にアンケートを取りながらよりよいシステムを作り上げていくことが大切である。

今回紹介した鉄筋出来形自動検測システムと遠隔臨場システムによって、作業時間が想定していた以上に短くする事が出来た。このことから、工事において鉄筋出来形計測以外の作業についても、ICT技術を活用する事で建設業の革新を実現出来ると考えられる。

参考文献

- 1) 株式会社日立ソリューションズ：鉄筋出来形自動検測システムのご紹介
- 2) 国土交通省：建設現場の遠隔臨場に関する試行要領令和3年3月

串本太地道路におけるB I M / C I M活用の 成果と課題

佐藤 正明¹・藤田 和志¹

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務第三課 (〒646-0003和歌山県田辺市中万呂142)

紀南河川国道事務所が実施する串本太地道路は平成30年度に事業化され、早期開通に向けて令和3年度に(仮称)太地I Cから工事着手したところである。串本太地道路のB I M / C I M活用業務においては、各設計の内容に応じたリクワイヤメントに取り組んでいる。

本稿は、串本太地道路の建設生産・管理システム全体の効率化に資するC I Mモデル活用のうち、設計業務の効率化について報告すると共に、今後の取り組み(案)について報告するものである。

キーワード 串本太地道路, B I M / C I M活用, 遠隔臨場, 複合現実(MR)

1. 取り組み概要

(1) 串本太地道路の事業概要

串本太地道路は災害に対する道路ネットワークの確保や医療機関へのアクセス改善, 観光振興を目的に2018年度に事業化された自動車専用道路である。

当該道路が建設される地域の幹線道路は国道42号のみであり, 当該区間は越波や大雨による交通規制が発生しており, 南海トラフ巨大地震の発生時には津波浸水により通行不可能になることが予想されている。そのため, 串本太地道路の全区間が南海トラフ巨大地震で予想される津波の高さ以上の場所に建設され, 国道42号の代替路として安全性や信頼性を確保する道路となっている。



図-1 串本太地道路 位置図

本事業では早期に用地を確保する上で, 分かりやすい説明が重要であるため, 3Dモデルによる高度な検討が可能であり, かつ設計業務の効率化を図ることが可能なB I M / C I Mを活用することとした。

(2) B I M / C I M活用業務での取り組み

橋梁予備設計においては, 各施工ステップのC I Mモデルを作成することにより, 数量・工事費の算出もれの照査, 工期算出に活用した。また交差道路との建築限界確保照査に活用した。

道路設計においては, ダイヤモンド型I C交差点付近の視認性の確認のため, ドライブシミュレーションによる設計照査, 運転手目線の資料提示による警察協議の合意形成円滑化にC I Mモデルを活用した。



図-2 C I Mモデル(ダイヤモンド型I C)

また, B I M / C I M活用業務を進めるにあたり, 事務所, 事業推進PPP室, 業務受注者の3者が合同で出席する勉強会を開催し, 事業に関わる全ての者が, 当事者意識をもってB I M / C I Mについての理解を深める機会とした。特に属性情報については, 生産・管理にかかわる事項として理解を図った。

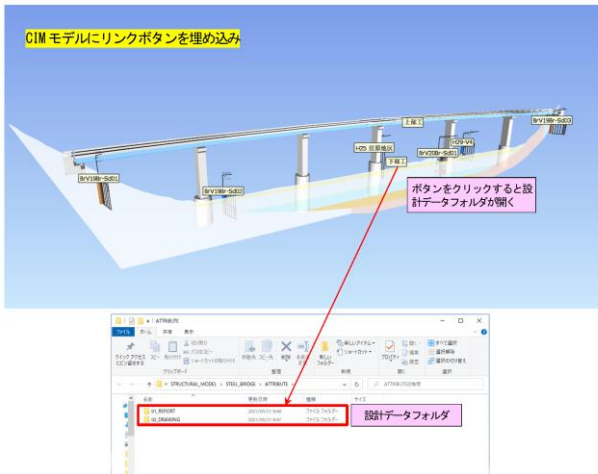


図-3 CIMモデルと属性情報の紐づけイメージ（橋梁）

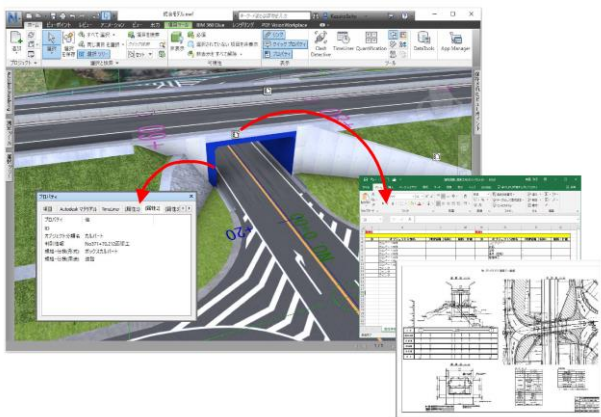


図-4 CIMモデルと属性情報の紐づけイメージ（道路）

2. 設計業務における課題と対策

(1) 施工計画の効率化

施工計画においては、各施工ステップ間の干渉の有無確認、漏れのない数量・工事費算出、必要な工期算出を行うにあたり、様々な工種を設計図面において確認するため、時間と経験を要する。

各施工ステップのCIMモデルを作成することにより、視覚的に各工種の干渉の有無、施工性など確認の効率化を図る。

(2) 照査の効率化

設計照査について、2次元設計図では各種図面の整合確認が必要であり、照査に時間を要する。

CIMモデルを照査に活用することにより、視覚的に不整合の確認を行い、効率的かつ確実な照査を図る。また、モデル内に付与された属性情報から、必要な設計情報等を容易に確認することが可能となる。

(3) 対外説明の効率化

2次元設計図では、停止線位置や走行時の視認性、構

造物との位置関係について、数多くのパース図を準備するなど、わかりやすい説明資料作成に時間を要する。

CIMモデルを説明用資料に活用することにより、任意の視点でのパース図作成が可能となり、効率的な協議資料を作成することが可能となる。

3. CIMモデルの活用事例

(1) 施工計画の効率化への活用

CIMモデルを各施工ステップ毎に作成し、各施工ステップに時間軸を付与することで、時間軸と施工状況の可視化を行った。これにより、施工方法及び工程等の妥当性の確認が容易となり、施工計画検討、照査の効率化が図れた。

これらの確認・照査の結果が反映され、数量・工事費、工期算出の効率化にも寄与した。

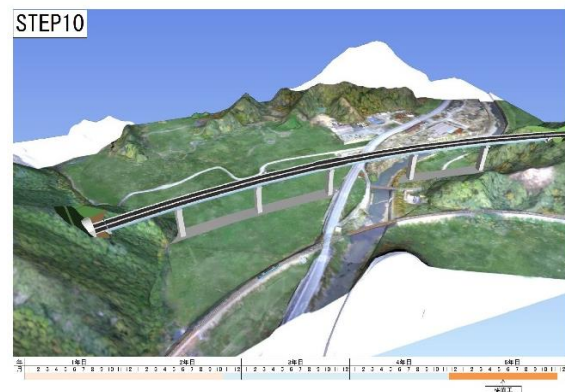
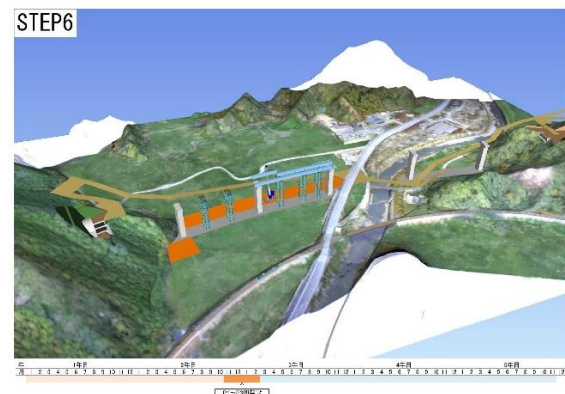


図-5 CIMモデルを用いた施工ステップイメージ(抜粋)

(2) 効率的な照査への活用

CIMモデルを用いて、橋梁の橋桁と交差道路との建築限界・干渉チェックを視覚的に照査した。

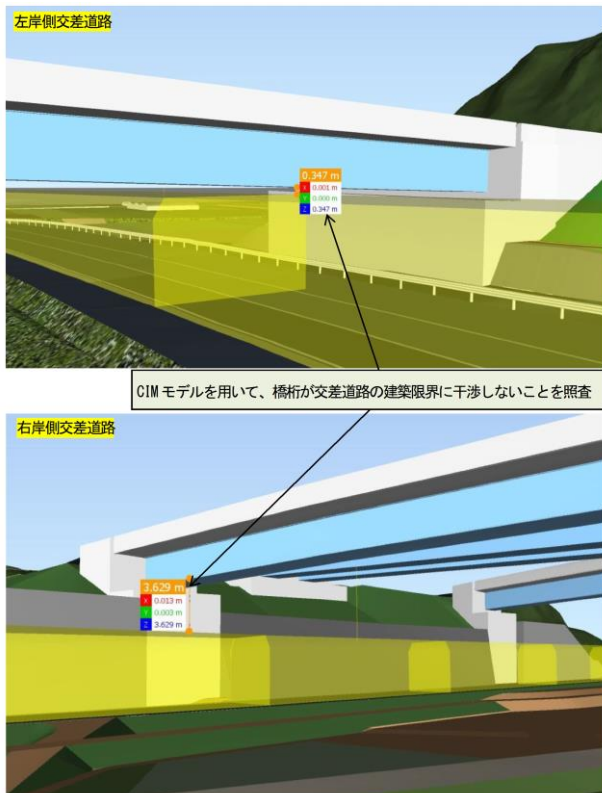


図-6 CIMモデルを用いた照査イメージ

従来の照査では、複数の図面での確認が必要であったが、CIMモデルを参照することで、交差道路との建築限界や干渉が明確になり、照査の効率化が図れた。

(3) CIMモデルによる対外説明への活用

警察協議において、CIMモデルを用いて協議用資料を作成し、円滑かつ確実な合意形成を図った。

(仮称)太地ICでは、ダイヤモンド型ICの交差点付近の視距・視認性を考慮して、停止線位置、函渠周り土留め擁壁構造を計画している。警察協議の説明資料として、交差点付近の視認性を示すための運転手目線のイメージ図をCIMモデルから抜き出して作成することで、イメージ図作成の効率化が図れた。

また、計画時点ではCIMモデルを活用した運転手目線の走行イメージ動画を確認することにより、計画の妥当性の再照査に活用した。



図-7 交差点付近の視認性のイメージ図

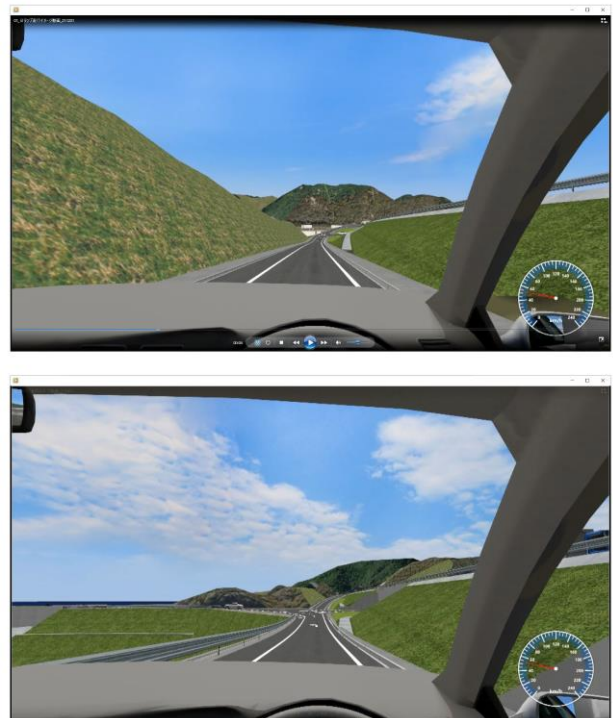


図 3.4(3) 説明用モデルのイメージ図(走行動画)

図-8 運転手目線の走行イメージ(走行動画)

4. 今後の取り組み（案）

(1) 「MR遠隔臨場」への取り組み

WEBカメラとWEB会議システムを活用し、現場に行かずとも離れた場所（事務所等）から臨場を行う『建設現場における「遠隔臨場」』は、「材料確認」「立会」等への活用が令和4年度から本格的に実施されている。

CIMモデルの更なる活用策として、現地WEBカメラの3次元空間にCIMモデルによる3次元情報を重ね合わせる「複合現実」（MR：Mixed Reality）技術の併用により、現地映像にCIMモデルを重ねた「MR遠隔臨場」が可能となる。

「MR遠隔臨場」は、事務所に居ながら現地状況や計画構造を確認でき、移動時間の排除による効率化が図れる。



図-9 MR遠隔臨場（WEB動画へのCIMモデル合成）

(2) 「MR設計協議」への取り組み

MR技術を活用し、机の上にCIMモデルを投影し、これをスマートフォンの画面越しに自由な視点から見る事が可能となる。

設計協議、関係機関協議や地元説明等で活用することで、合意形成の円滑化が期待される。



図-10 MR設計協議（机上へのCIMモデル投影）

参考文献

- 1) 国土交通省：建設現場の遠隔臨場に関する試行要領（案）
- 2) 国土交通省：建設現場の遠隔臨場 事例集

老朽化した供用中の岸壁改良工事における CIMの取り組みについて

三枝 和貴 岩崎 嵩史¹

¹近畿地方整備局 舞鶴港湾事務所 沿岸防災対策室 (〒624-0946 京都府舞鶴市字下福井910番地)

国土交通省ではICTの活用による生産性向上を目指す「i-construction」に取り組んでいるところである。京都府舞鶴港の第2ふ頭における栈橋式岸壁の老朽化対策事業において、国土交通省の港湾工事で発注者指定型では全国初となるCIMモデルを活用した試行工事を行い工事が完成したことを受け、その効果や課題等を検討した。

キーワード CIM, 出来形計測, プレキャスト梁, 施工計画, 点群データ, クルーズ船

1. 港湾へのCIM導入

CIMとは、計画、調査、設計段階から3次元モデルを導入することにより、その後の施工、維持管理においても3次元モデルを連携させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図ることを目的としている。(図-1 参照)

本工事では、「属性情報の付与」、「照査の実施」、「施工段階」においてBIM/CIMモデルを活用し、BIM/CIM活用工事として、BIM/CIMモデルを用いた出来形計測、整合性確認や施工検討、岸壁利用者との調整、安全管理等を実施し、その効果を確認する。

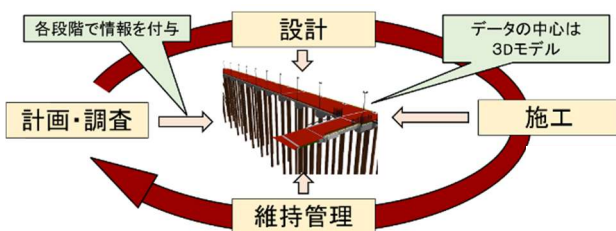


図-1 CIMの概念図

2. 施工場所の概要

今回事例紹介する現場は、舞鶴港第2ふ頭地区岸壁(-10 m)の改良工事である。(図-2 参照)

工事内容は、老朽化した鋼管杭式の既存栈橋について鋼管杭を流用し上部工のみ撤去、改良するものである。上部工は杭頭と舗装コンクリートを除く他の部材がプレ

キャスト部材で構成されている。(図-3、図-4 参照)



図-2 施工位置図

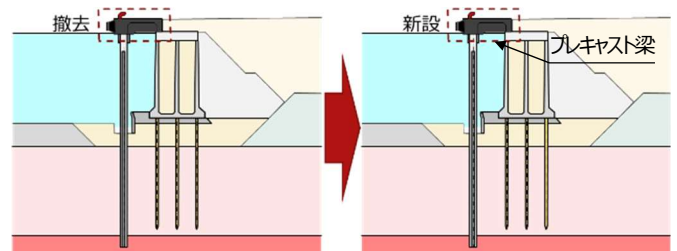


図-3 工事概要図



図-4 現地状況写真

3. 構造物モデルの作成・更新

構造物モデルについては、本工事における施工範囲のBL15からBL22とした。以下に付属工（防舷材、車止め、縁金物、被覆防食）とその他の構造物モデル（上部工、舗装工、本土工）を重ね合わせた図を示す。（図-5 参照）

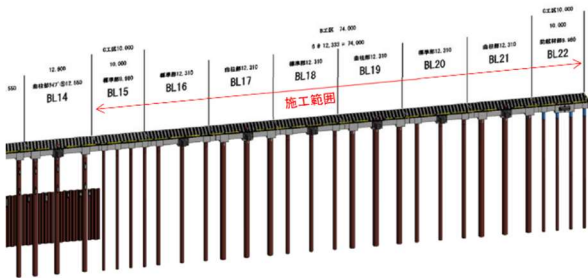


図-5 更新した構造物モデル

4. クルーズ船着岸時の施工検討への活用

(1) 岸壁利用者への説明

構造物撤去作業中にクルーズ船の入港があり、その際に受注者が発注者・京都府港湾局・港湾利用者（飯野港運・舞鶴倉庫・日本通運・アイビックス等関係者）に対して、入港時における現場状況を3次元図を用いて説明を行った。

(2) 上部コンクリート打設時の通路幅確認

クルーズ船入港時には下船口から旅客ターミナルまで仮設の屋根付き通路が岸壁に設置される。クルーズ船着岸前後の通路設置状態における、施工への影響がないかを検討した。以下に仮設屋根付き通路を示す。（図-7 参照）



図-7 クルーズ船仮設屋根付き通路の設置状況

a) 上部コンクリート打設の作業スペースおよび資機材搬出入経路の確保

施工中にクルーズ船の入港と上部コンクリートの打設日程が重なることがあった。この際に3次元図を使用してクルーズ船関連の設備と、現場の状況を把握することにより、屋根付き通路によりミキサー車の通行経路、道路状況が見えづらくなるなど問題点の抽出に利用できた。以下に作業状況および現場からの視野を示す。（図-8、図-9 参照）

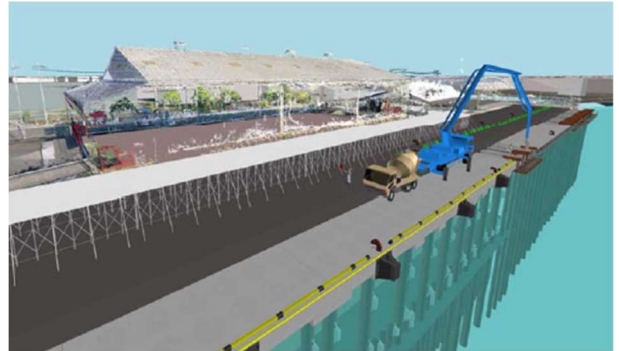


図-8 クルーズ船旅客通路設置時作業状況

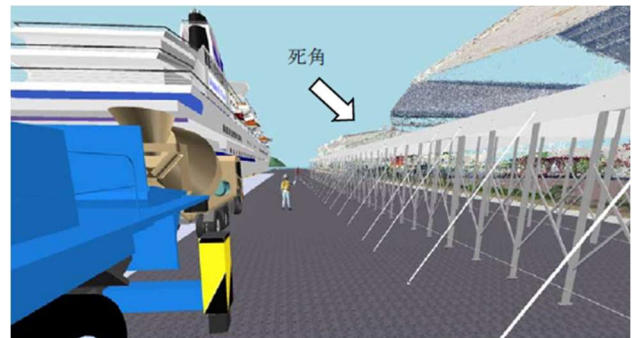


図-9 作業場所から見た通行経路

(3) クルーズ船着岸時の現場状況

3次元図を使用することにより、クルーズ船の停泊位置、係船柱使用場所、旅客通路位置及び入港当日の現場の状況を、各自の視点から説明することが可能となり、入港時の安全対策について理解度の向上を図ることができた。（図-10、図-11 参照）



図-10 クルーズ船着岸時現場状況

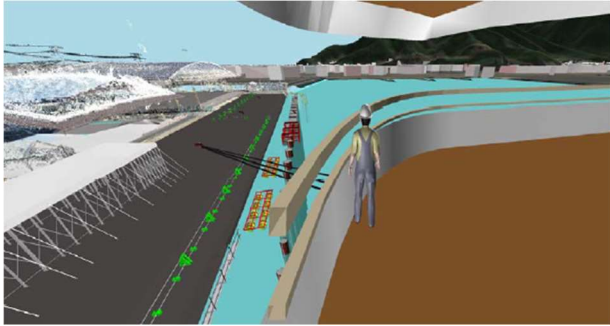


図- 11 クルーズ船から見た現場養生状

表- 1 点群データ収集機器の比較

機器名		計測誤差	適用	判定
ドローン	MAVIC2Pro	±5cm	航空写真と同時にデータを得られ、点群データに色情報が付与される	○
ハンディ型	ステンシル2	±3cm	手にもって現地を動き回れるため計測時間が短い、点群データに色情報はない(黒色のみ)	△
据置型	FARO X330	±0.2cm	精度は良いが、据置型のため現地計測では8 回程度の据え直しが必要であり計測時間が長い	△

5. 点群データによる出来形計測への活用

(1) 施工箇所にかかわる点群データ

供用中の喜多ふ頭をプレキャストブロック製作ヤードとして使用するにあたり、ヤードの利用状況および支障物件を把握することを目的にドローンによる航空写真撮影を実施した。撮影した複数枚の航空写真から、対象の形状を復元するSfM (Structure from Motion)を使用した写真解析ソフトPIX4Dmapperにより点群データを生成した。点群データを生成するための解析に3 時間程度要したものの、写真から生成しており点群データに色情報を付与することが可能であったため、どのような構造物が存在するかの判別が容易であった。この解析により航空写真のオルソ画像(図 12)と点群データを同時に得ることができる。また、精度については全体で3 点以上の地上既知点を網羅して撮影することにより施工検討に使用可能な誤差(大型トラック走行範囲内に支障物がないか等の判定が可能な精度)となった。表 1 に点群データの収集機器の比較を、図 13 に喜多ふ頭の点群データを示す。



図- 12 航空写真(喜多ふ頭)



図- 13 点群データ(喜多ふ頭)

(2) 測定機器や測定方法の検討

梁PCa ブロック製作出来形測定方法について検討した。機器選択の前提条件として全国で調達可能な普及機とした。

- ・据置型 3 次元レーザースキャナー(TLS)の特徴として、レーザー到達距離が300 m 程度とロングレンジであり、かつ一度の測定で多数点を収集可能、測定精度も高いことが挙げられるが、遮蔽物平面は計測されないため複数回の計測に伴う据替えおよび点群の結合が必要であり計測に時間を要する。(図-14 参照)
- ・ハンディ型 3 次元スキャナー(Stencil)は手軽に短時間で移動しながら計測できるものの、出来形規格値と同様な測定精度(±30 mm)であり、合否判定に使用できない。また、色情報を取得できないため位置の特定が困難である。(図-15 参照)
- ・ウェアラブルレーザースキャナー(HERON)は機器を背中に装着し、計測対象周囲を歩行することにより周囲を計測可能であり、タブレット端末でリアルタイムに計測状況を確認可能であるが、ステンシルと同様に出来形規格値と同様な測定精度(±20 mm)ため合否判定に使用できない。また、色情報の取得も不可能である。(図-15 参照)
- ・ハンディ型 3 次元スキャナーDPI-10SG は±0.6 mm~10 mm の精度であり小型で取り扱いがしやすく、カラー点群を得られるため、実用的な出来形データの取得と出来形計測時間の短縮が見込まれた。(図-14 参照)

b) 計測当日の現場状況

梁 PCa ブロックの脱枠後のタイミングで計測を行った。図 17 に現地の状況写真を示す。特徴点（ソフトウェアにて写真解析する際に同一点として認識）を明示するため梁 PCa ブロックコンクリート表面にターゲットシートを事前に複数枚貼付けた。（図-18 参照）



据置型 3 次元レーザースキャナー FARO (左)
 ハンディ型 3 次元スキャナー DPI-10SG (右)
 図- 14 計測イメージ①



図- 17 計測時現場状況



ハンディ型レーザースキャナー Stencil (左)
 ウェアラブルレーザースキャナーHERON (右)
 図- 15 計測イメージ②

a) 点群データによる出来形検証

点群データを活用した出来形検査の検討を行った。測定機器や測定方法の検討の結果、選定したハンディ型 3 次元スキャナー DPI-10SG で点群を収集し、梁 PCa ブロック出来形寸法を設計値と比較し、ヒートマップ等で表示する事により検査が可能かどうかを検討した。ハンディ型 3 次元スキャナー DPI-10SG による点群データ収集対象物は製作完了後の梁 PCa ブロックとした。測定後点群データを処理ソフト Dot3D にて取り込み、出来形規格値内に収まっているかの確認を行った。（図-16 参照）



図- 18 計測時梁ブロック



図- 16 点群データ収集対象物（梁 PCa ブロック）

c) 計測方法

計測器を両手で保持し、タブレット PC に表示される計測対象構造物および点群取得状況を確認しながら計測範囲を歩行により移動した。表 2、図 19 に使用機械およびソフト一覧を示す。図 20、図 21 に計測状況写真を示す。

表- 2 使用器械およびソフト

	名称	メーカー	用途
ハンディ型 3 次元 スキャナー	DPI-10SG	DotProduct	点群データの収集
点群処理ソフト	Dot3D	DotProduct	点群データの生成 点群処理、解析



図- 19 ハンディ型 3 次元スキャナーDPI-10SG



図- 20 3 次元スキャナーによる計測状況

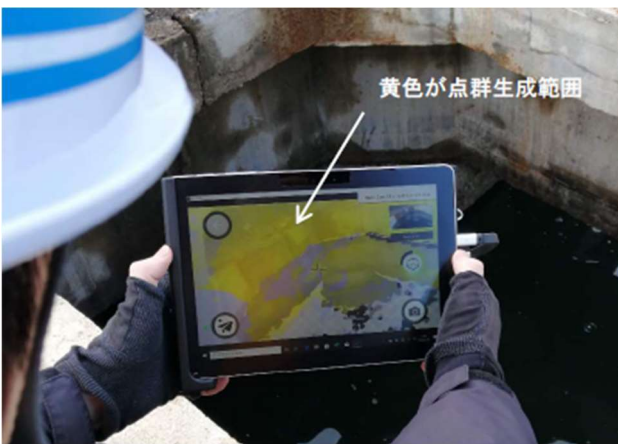


図- 21 3 次元スキャナー計測中画面例

(3) 出来形計測

a) 合否判定方法

合否判定については、点群処理ソフトDot3D Pro の「比較」機能を使用した。ハンディ型3次元スキャナーで得た点群と設計形状の3次元モデルを重畳表示させ、その差異をヒートマップで表示させるものである。ヒートマップの色表示は、差異が小さい場合は青、大きい場合は赤という仕様だが、出来形規格値+2 cm、-1 cmに合わせて表示設定することは不可となっている。

b) 検証結果

計測・解析結果を以下に示す。張出し鉄筋部は比較モデルにはないため全面赤色表示となっている。また、上に置いてあった鋼材（点群欠損部）が矩形のノイズとして赤色表示されている。コンクリート部は概ね規格値を満たしていることは認識できるが、乱反射によるノイズが散在しており、これをもって合格判定することはできなかった。また、スキャナーの仕様により角部点群は丸みを帯びるため正確な形状判断も難しい状態となった。（図-22 参照）

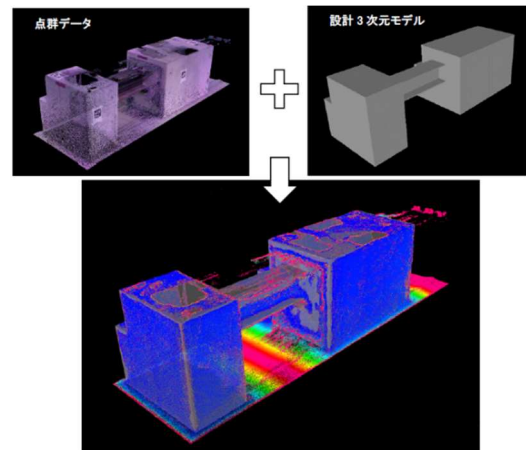


図- 22 比較機能によるヒートマップ (c I 梁)

c) その他の機能

点群処理ソフトDot3D Pro には他に寸法測定機能がある。一つ目は「境界寸法測定」であり任意の一面を指定すると、自動的に点群立方体を認識し、幅、奥行き、高さ、体積を表示するものである。これは図 23 に示す通り、認識精度が低く不正確な値となった。二つ目は「距離測定」である。これは点群を直接測定でき、測定結果の保存も可能である。こちらは近似値だが、1 辺ずつ計測し保存する時間は実際にメジャーを当てて計測する時間と変わらない。

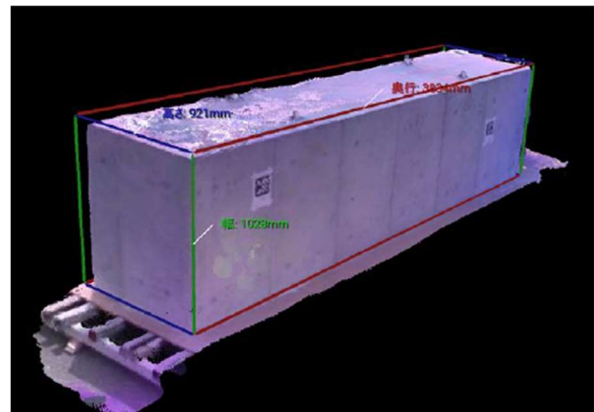


図- 23 境界寸法測定機能 (CI 梁)

6. CIMモデル導入の課題

ブロック据付等への活用については、自動追尾トータルステーションなど現有機器で対応可能であるため、3Dスキャナによる据付誘導システムへの組み込みは難しいと考える。今回の工事は既設鋼管杭を流用するため、梁PCaブロック製作に先立ち、位置関係を3Dスキャナで把握できないか検討したが、杭頭はつり完了後でなければ計測できないということ、解析できるものが限定されることから、結果的に自動追尾トータルステーションを用いた従来の方法で測量した2Dデータを基とした。水中部や、水面ギリギリの状態では、測定誤差も大きく使用できないのが現状である。

また、今回使用したハンディ型3次元スキャナーによる計測を行うためには、特徴点を捉えて空間認識するためのターゲットシートを事前に対象物に複数枚貼り付ける必要がある。コンクリートなど完成後の港湾構造物は表面が平滑なものが多く特徴点を得られにくいため、取得点群精度低下の要因にもなるためである。精度向上のためには特徴点を捉えるためのターゲットシートの数を増やすくらいしかないが、それでも現在の機器精度では出来形管理に活用することは難しい。

点群データの精度については取得距離により幅がある(±0.6 mm~10 mm)ため実用的とは言い難い(出来形規格値+20 mm, -10 mm)が、極力短い距離で取得することにより精度を向上させることができる。また、太陽光の影響でコンクリート表面に生じる光の乱反射を捉えてしまい、実際の表面から浮いたようなノイズが生じることがある。

7. 考察とまとめ

上部工撤去時にクルーズ船入港があり、特に既設鋼管杭・はつり足場の位置と、クルーズ船の係留ロープとの位置関係を把握する必要があったため、3次元モデルを作成した。この際入港したクルーズ船「飛鳥II」は船の長さが長く、現地作業している箇所の手前まで船尾が来ることが想定されたため協議検討したが、3次元モデルを活用することで岸壁利用者から理解を得ることができ、供用中の岸壁において無事故で施工ができた。特に外国船乗組員や工事を知らない人への説明にも有効であったため、今後の活用にも期待できると感じた。

過年度施工時に同機器を使用し現地岸壁で計測試行を実施したが、ハンディ型3次元スキャナーは広範囲の計測には不向きであった。当工事では製作ブロックがあったことから出来形管理に利用して管理効率化に結び付かないかを検証した。

今回使用したハンディ型3次元スキャナーは、計測カメラとタブレットPCが一体化したスキャナーであるため、点群計測後に即座にデータを確認、解析することが

できる。また、点群データの収集範囲・密度がモニターにリアルタイムで表示されるため部分的な収集忘れを防止できる。加えて点群データで出来形計測を行うため、より複雑な形状測定や足場等がなく近寄れない対象物などに対しては特に有効と考えられる。一方で3次元スキャナーDPI-10SGによる出来形計測歩掛は、従来方法によるもので30人・分、3次元スキャナーで18人・分となり省力化が図られたが、今回使用した点群処理ソフトウェアの機能・精度に関しては、現状では実用的でない。ヒートマップの色表示設定機能が貧弱であることやノイズ処理の困難さ、対象物の角部分が丸みを帯びることなど正確な合否判定への適用は困難であった。ただ設計モデルとのヒートマップによる比較機能、立方体の自動認識・計測機能、点群直接計測機能などは現場において即座に出来形検証できるため、着眼点は建設DXの指向と同調しており機能改善・向上により実用性が高まることを期待したい。

謝辞：最後に、本論文を執筆するうえで当工事の実施にあたりご協力をいただきました東洋建設株式会社様に対し厚く御礼を申し上げます。

「見えない岩盤を見て掘る」砕岩浚渫について ～日高港泊地浚渫～

藤本 瑛治¹

¹近畿地方整備局 和歌山港湾事務所 海岸課 (〒640-8404和歌山市湊薬種畑の坪1334)

和歌山県の日高港では、海底地形探知ソナー施工管理システムを活用した砕岩浚渫を行っている。砕岩浚渫は砕岩と浚渫を繰り返すため非常に時間がかかり、かつ海底面が岩盤であるため精度の高い出来形の確保が困難である。本システムにより海底面付近の岩盤の掘跡及び海底地形をリアルタイムに確認しながら施工を行ったことで、効率よく施工することができ、また精度の高い出来形を確保することができた。本稿ではICTを活用した砕岩浚渫の実施状況を紹介します。活用による効果及び今後の課題を考察する。

キーワード 日高港、砕岩浚渫、海底地形探知ソナー施工管理システム、ICT浚渫

1. はじめに

和歌山県御坊市と美浜町に位置する日高港では、地域産業の発展のため3万トン級の大型の外貿船が直接入港できるよう、平成21年度より泊地の増深（水深10m（暫定）→水深12m）を行っている（図-1）。令和3年度においても日高港泊地の浚渫を行った。

日高港泊地の土層構成としては粘性土、砂質土、礫質土及び岩盤（軟質、中質、硬質）（図-2）であり、近畿地方では事例が少ない岩盤（硬質）の砕岩浚渫を行っている。

浚渫の施工手順は、起工測量後に硬土盤グラブを用いて粘性土、砂質土、礫質土、岩盤（軟質、中質）を浚渫する。岩盤（中質）までの浚渫が完了し硬土盤グラブで浚渫ができなくなった後、砕岩棒を海底面に自由落下させ海底の岩盤（硬質）を破碎し、硬土盤グラブによる砕岩後浚渫を実施する（図-3）。令和3年度の浚渫工事においては、スパット式グラブ浚渫船（硬土盤用、ヘビー級9m3級）及び砕岩棒（重量50t）を使用した（図-4）。

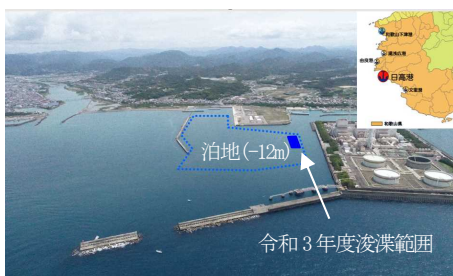


図-1 日高港上空写真

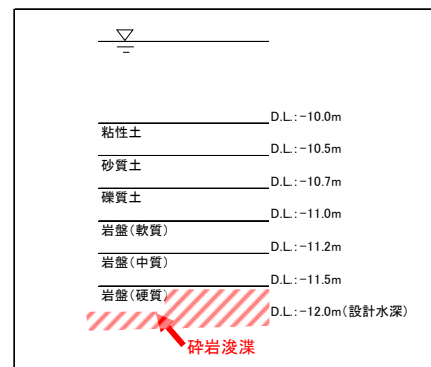


図-2 日高港の土層構成模式図

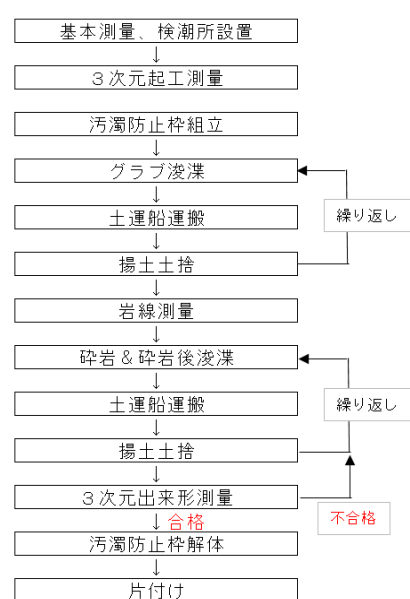


図-3 浚渫工事の施工フロー

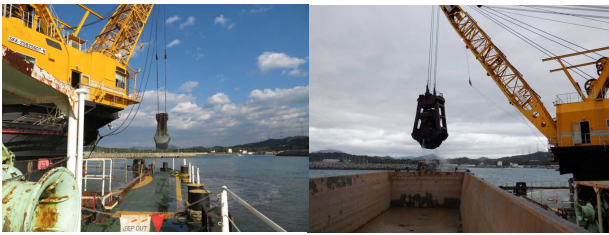


図4 砕岩（左）と砕岩後浚渫（右）の状況

砕岩浚渫においては、岩盤（硬質）の砕岩作業及び砕岩棒と硬土盤グラブの付け替えに時間がかかるなど、実作業以外の部分で工程遅延の原因となる作業を含んでいる。また、砕岩した岩盤（硬質）は1つ1つが大きな岩塊となることから、設計水深に対する精度の高い出来形の確保が難しい（図-5）。そのため、海底状況を常に確認し計画的かつ効率的に浚渫することが、工程遅延の防止及び出来形精度の確保において重要となる。

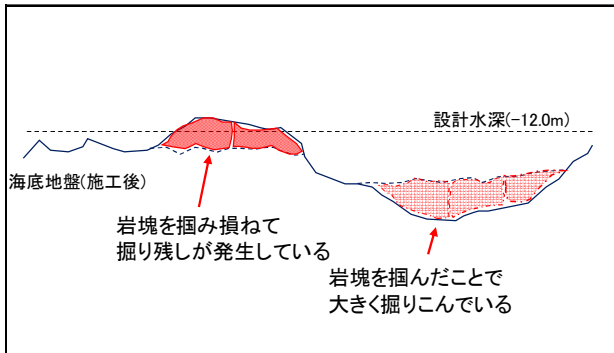


図-5 砕岩浚渫における出来形確保に対する課題

2. 砕岩浚渫におけるICTの活用

近年、国土交通省では土木の建設現場での働き方改革や今後のさらなる労働力不足に対し、生産性の向上や企業の経営環境の改善、安全性の確保を図るため、「ICTの全面的な活用」に向けてICTを建設現場へ円滑に導入し、その普及を図るための取り組みを推進している。そのうち、浚渫工事においてもICTの全面的な活用を進めているところである¹⁾。

日高港泊地浚渫においては砕岩浚渫の施工効率化を目的として、ICTの1つである海底地形探知ソナー施工管理システムを使用した。海底地形探知ソナー施工管理システムとは、港湾や河川の浚渫（床掘）工事におけるグラブ浚渫（床掘）工において、マルチビームソナー（送受波器）を活用することで海底形状を測深し、浚渫（床掘）精度を上げることを目的とする施工管理システムである（図-6）。従来はレッドを用いて1点

ごとに施工中の海底水深を確認していたが、本システムを用いることによって、浚渫作業中に作業範囲内の海底地盤の形状を面的に確認することが可能となる。また、操舵室にGPS施工管理装置も装備されているため、マルチビームソナーによる測深結果と同時に船体位置や掘削位置を確認することが可能である。

本システムの適用範囲を表-1に示す。浚渫船に装備する形式であり、船底あるいは船首に送受波器を設置し、送受波器の設置位置から計測画面を表示するブリッジ（操舵室）等に、電気信号を伝送するケーブルを敷設することで使用することが可能となる²⁾（図-7）。

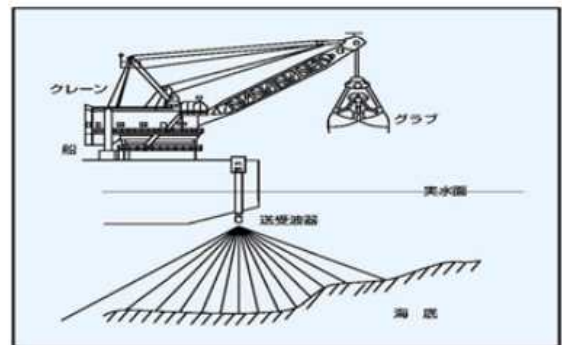


図-6 海底地形探知ソナー施工管理システムのイメージ

表-1 海底地形探知ソナー施工管理システムの適用範囲

①適用可能な範囲
グラブ浚渫船等において、送受波器の装備位置から水深3m～30m
送受波器を装備した位置から、俯仰（垂直方向） ± 90 度、旋回（水平方向） ± 120 度の範囲方向に障害物がないこと。
送受波器の装備位置にて、水圧 5気圧以下であること。
②特に効果の高い適用範囲
測深の距離分解能1cmであるため、浚渫（床掘）工における測深精度が期待できるため、高い深度管理を求められる工事。
水温計による音速補正をリアルタイムで実施するため、水温変化のある水域での工事。
③適用できない範囲
気泡及び濁り濃度の高い水域での作業。
上記以外の水深における測深。
送受波器の装備箇所が振動、衝撃のひどい場所。

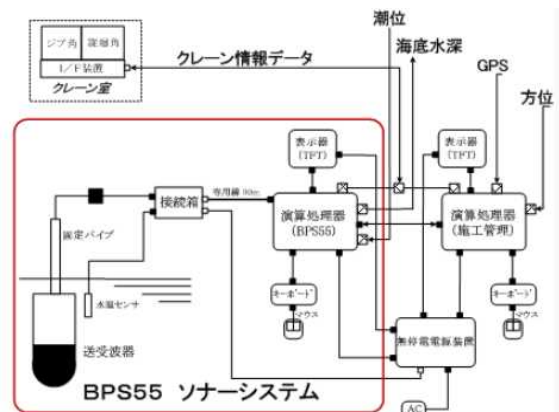


図-7 ソナーシステム図

3. ICTの活用による効果

海底地形探知ソナー施工管理システムを用いて設計水深(-12m)付近の浚渫掘跡及び水深を常に確認しながら施工を行ったところ、砕岩浚渫時の法面部の砕岩及び仕上げ掘りにおいて顕著に効果を発揮することが確認された。

(1) 仕上げ掘り施工における効率化

水深(-12m)付近の岩盤(硬質)の仕上げ掘りを行う際の、海底地形探知ソナー施工管理システムの画面表示を図-8に示す。送受波器の位置を中心に浚渫作業範囲の海底地盤面が赤く表示される。また、マルチビームソナーから発射される音波の俯仰角及び旋回角を、施工者の操作により自由に変えることが可能であり、海底地盤の各地点を自由に確認することができる。また、設計水深や余掘水深、グラブ位置を同一画面上に表示することが可能である。

広い施工範囲において計画水深-12mを確保するために、砕岩後の硬岩の大きさ(砕岩により浚渫した硬岩は大きいもので1辺1m程(図-9))や硬土盤グラブの爪長(約40cm)等を考慮し、本浚渫では目標水深-12.5mと設定し浚渫を行った。

また、浚渫時の掘跡履歴状況の画面表示を図-10に示す。施工範囲や現在の浚渫船・汚濁防止枠・グラブの位置、クレーンの旋回角度に加え、以前に掘削した箇所を日ごとに表示し確認することができる。

底面の砕岩については、過年度工事での施工実績から、砕岩棒の落下地点がおおよそ2~3mピッチとなるよう計画を立て、落下地点を画面上に表示し確認しながら砕岩を行った。



図-9 岩盤(硬質)の揚土状況

加えて、グラブバケットを閉じる際にワイヤーを自動で調整し掘り跡を平坦に仕上げる「水平制御掘削機能」を使用し、余掘り土量を減らすよう努めた。

これらの結果、計画的に砕岩及び浚渫を行うことが可能となり、設計水深に対して過剰な余掘りが発生させることなく、かつ本システムの画面上で掘り残し箇所を随時確認したことにより、水路測量(出来形深淺測量)後の手戻り(再浚渫)を防止することができた。特に海底地盤が岩盤の場合は、硬土盤グラブが付近の岩塊を引き起こすことで海底面に起伏を生じる場合があり、しばしば出来形測量後に再浚渫が必要となる場合があるが、本システムにより海底地盤をリアルタイムで可視化・確認して施工することで、手戻りの防止を図ることができた等、底面部の仕上げ掘りにおいてICTを活用するメリットは非常に大きかったといえる。

一方で、マルチビームソナーから発射される音波の俯仰角及び旋回角を施工者の手動で操作しており、施工の効率化に対して改善の余地があると考えられる。

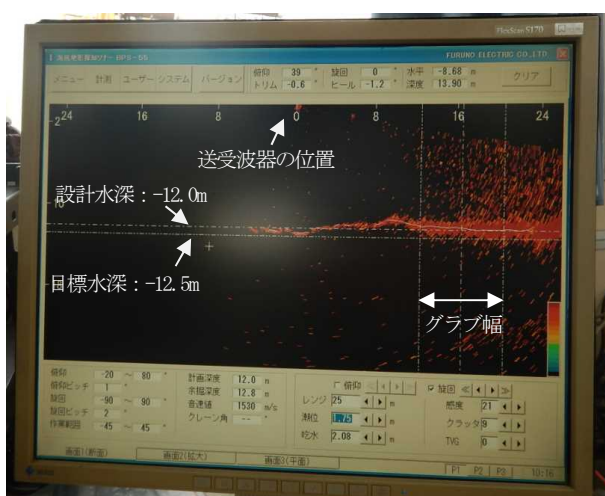


図-8 仕上げ掘り状況

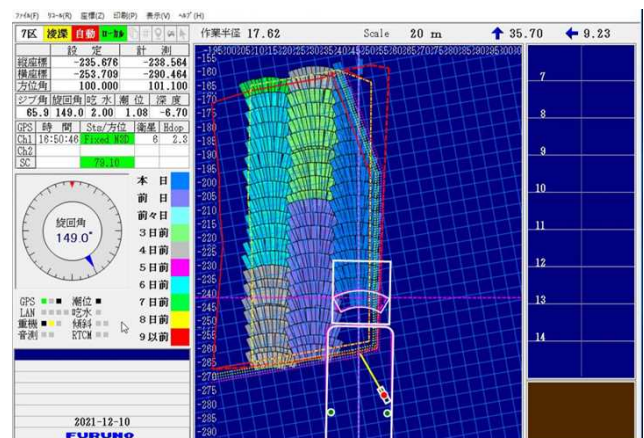


図-10 浚渫の掘跡履歴

(2) 法面の砕岩における効率化

施工箇所の法面（岩盤の法面勾配 1:1）の施工では、砕岩棒の幅（約 1.5m）を考慮し、1~1.5m ピッチで砕岩するよう砕岩棒の落下地点の計画を立てた（図-11）。その後、法尻から法肩に向けて砕岩を行った。底面の砕岩については、砕岩の状況をシステムの画面で判断することができず、砕岩棒の落下直後のワイヤーの緩み等から施工者が主観的に判断していたが、法面については、砕いた岩盤が法尻側に転がり、その状況をシステムの画面上で視覚的に確認することができた（図-12）。本システムを使用し、砕岩棒の落下位置及び法面の砕岩状況を視覚的に把握することにより、手戻りのない施工及び精度の高い法面部の砕岩を実施することができた（図-13）。

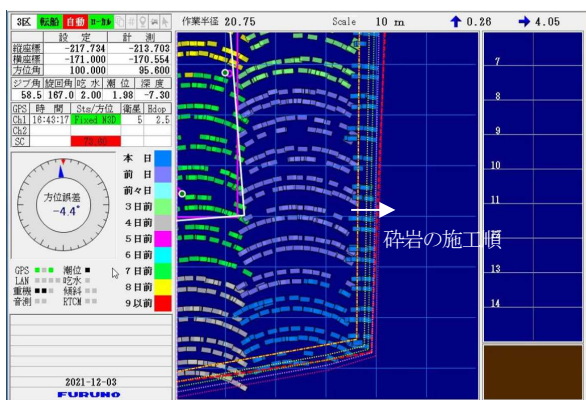


図-11 砕岩棒の落下履歴

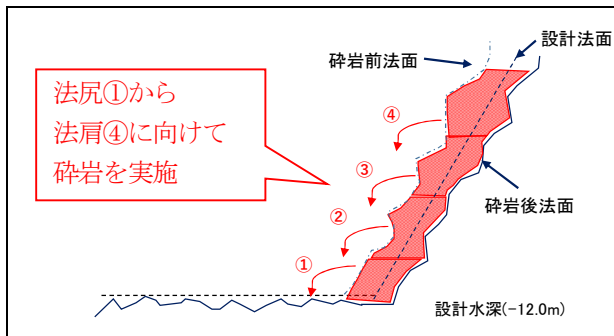


図-12 砕岩の施工順序

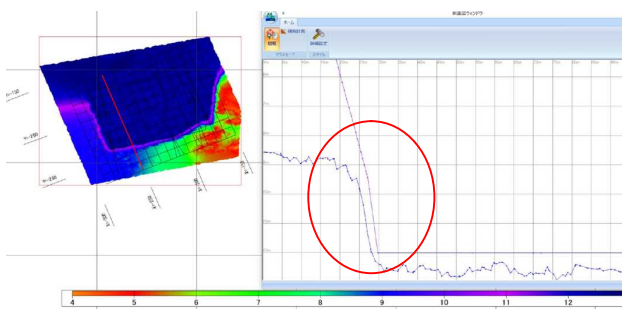


図-13 法面の出来形 (X=250)

加えて、日高港の過年度工事では1度の砕岩でおよそ1mの層厚を砕くことができていた実績から、層厚約1mごとに砕岩し浚渫を行った。施工範囲の岩線測量後の最浅値は7.6mであり、硬岩の層厚が最大4.4mであったため、計画では5回のサイクルでの施工を想定していたが、実際はグラブと砕岩棒の付け替えは4回（4回のサイクル）に抑えられた。計画より少ないサイクルで施工できたことは、本システムにより各サイクルごとに海底地盤を随時確認し、計画的に砕岩及び砕岩後浚渫を行ったことによる結果であると考えられる。

(3) 浚渫工事の出来形

令和3年度の浚渫工事における施工範囲の出来形測量結果を図-14に示す。出来形管理基準が-12.0mに対し、出来形の水路測量結果は-12.22mであり（図-15），設計浚渫土量に対する浚渫土砂処分量の比率は1.19であった。砕岩後浚渫における底面余掘りの標準的な層厚0.5mに比べ、本施工においては大きく掘りこむことなく精度よく浚渫することができた。本システムにより海底地盤をリアルタイムで確認して施工したこと及び水平制御掘削機能を活用したことによる効果といえる。

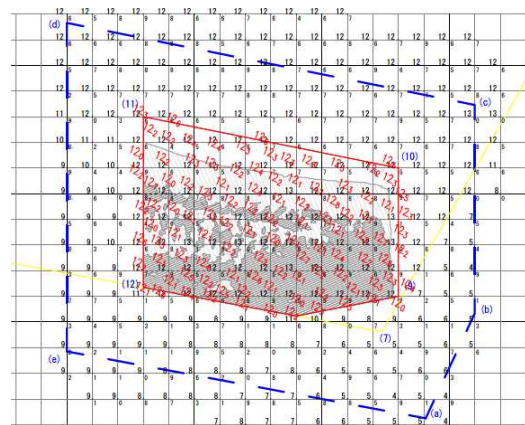


図-14 施工範囲の出来形測量結果（最浅値）（令和3年12月）

データの個数	71
平均値 (m)	-12.22
最大値 (m)	-12.00
最小値 (m)	-12.6
標準偏差	0.136

深浅値 (m)	度数 (個)	出現率 (%)	累計 (%)
-12.0	6	8.45%	8.45%
-12.1	16	22.54%	30.99%
-12.2	24	33.80%	64.79%
-12.3	15	21.13%	85.92%
-12.4	5	7.04%	92.96%
-12.5	3	4.23%	97.18%
-12.6	2	2.82%	100.00%
-12.7	0	0.00%	100.00%
-12.8	0	0.00%	100.00%
合計	71		

図-15 出来形測量深浅値管理結果

(4) 施工実績に基づくICTの活用に伴う施工の効率化

海底地形探知ソナー施工管理システムの活用による効果を定量的に検証するため、本システムを使用した令和3年度工事の実績能力を積算基準等に基づく標準的な能力と比較した。実績能力については、施工者の作業記録から硬岩浚渫にかかった作業時間と日々の浚渫土量を集計し、1日（運転時間8時間）当り能力に換算した。

施工能力の比較の結果を表-2に示す。また令和3年度工事の砕岩後浚渫の作業実績を表-3に示す。標準的な能力と比較し、仕上げ掘りを含む砕岩後浚渫能力は下回り、仕上げ掘りを含まない能力は上回る結果となった。

表-2 砕岩後浚渫の施工能力の比較

	標準的な能力	令和3年度施工実績		
		仕上げ掘りを含む能力	仕上げ掘りを含まない能力	仕上げ掘りのみの能力
1日当り浚渫 (m3/日)	669	487.8	728.4	411.4

表-3 砕岩後浚渫の作業実績 (令和3年)

砕岩後浚渫		
	浚渫量 (m3)	時間 (h)
11月12日	502	5
11月12日	919	2.5
11月15日		8
11月16日	357	3
11月17日	436	6.5
11月19日	630	4.5
11月19日	372	1
11月20日		4
11月20日	596	4.5
11月24日	150	4
12月3日	431	2.5
12月4日		8
12月6日	449	3
12月6日	398	5
12月7日		3.5
12月9日	383	8
12月10日	338	3
12月13日	481	8.5
12月14日		6
12月15日		6.5
12月10日	666	8
12月11日		2.5
12月16日		2.5
12月16日	361	3.5
12月19日		3.5
12月20日		5.5

※ハッチングは仕上げ掘り

本工事の施工範囲は岩盤の平均層厚が約1mと薄くかつ広範囲に分布していたため、仕上げ掘り（設計水深-12.0m付近の浚渫）（表-3のハッチング）の日数が多くなった。したがって仕上げ掘りを含む砕岩後浚渫能力は標準的な能力に比べ小さくなったと考える。

硬岩の固さや岩盤の厚さ、岩盤の分布状況や深度、砕岩棒やグラブの規格、揚土場所までの距離や揚土条件等、様々な条件により実施工における能力は異なるため、積算基準等に基づく標準的な能力との単純な比較はできない。しかし、本工事は4週8休を確保し工期に余裕を持って施工することができた。これは本システムを用いて海底状況を確認しながら計画的に施工した結果といえる。

4. まとめ

砕岩浚渫は、岩盤（硬質）の砕岩作業や砕岩棒と硬土盤グラブの付け替えに時間を要するため、計画的かつ効率的に作業を進めないと工程遅延を招く恐れがある。また、砕岩した岩盤（硬質）は1つ1つが大きな岩塊であることから掘り残しが発生しやすく、設計水深に対する精度の高い出来形の確保も難しい。

そこで日高港の砕岩浚渫においては、ICTの1つである海底地形探知ソナー施工管理システムを活用し、海底地盤をリアルタイムに確認しながら施工を行った。

本システムは仕上げ掘り及び法面の砕岩作業において特に効果を発揮した。その結果、4週8休を確保することができ、かつ精度の高い出来形を得ることができた。

一方で、砕岩棒による底面部の砕岩においては、砕岩棒の落下後のワイヤーの緩みや動き方を見て、砕岩状況を施工者が主観的に判断しており、法面の砕岩とは異なり本システムで砕岩状況を視覚的に確認できていない点が課題として挙げられる。また、マルチソナーの俯仰角や旋回角は施工者が手動で操作する必要があり、これらの効率化についても課題である。

これらの解決策として、砕岩時のワイヤーの緩みを自動で検知し岩盤がどれだけ砕けたかを自動判定するシステムや、水中赤外線カメラを用いて砕岩状況を常に検知するシステムの構築が挙げられる。海底面の砕岩状況を確認することができれば、効率的に砕岩浚渫を行うことができると考える。また、設計水深に満たない箇所を自動的に検出し、自動で角度を調整する仕組みを海底地形探知ソナー施工管理システムに搭載できれば、仕上げ掘り時の掘り残しをさらに減らすことができ、オペレータの作業時間を低減できると考える。

さらに、起工測量の3次元データを本システムに取り込み、施工範囲における最適な浚渫手順を自動で判断し、施工も自動で行うシステムの構築を図ることで、さらなる効率化・省力化につながると考える。

今後、生産年齢人口がますます減少することが予想されており、建設現場の生産性の向上が課題となる中、岩盤浚渫工事においてもこれらの課題を解決しさらなる生産性の向上を追求すべきである。

謝辞：本論文作成にあたり多大なる御協力を頂きました皆様にご感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：建設施工・建設機械：ICTの全面的な活用
- 2) 国土交通省：NETIS
- 3) 新技術情報提供システム

神戸三宮におけるICTを活用した 新バスターミナル設計の進め方

安藤 翔¹・田畑 至啓²

¹近畿地方整備局 兵庫国道事務所 計画課 (〒650-0042兵庫県神戸市中央区波止場町3-11)

²近畿地方整備局 道路部 道路管理課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

全国のバスタプロジェクトに先駆けて、市街地再開発事業においてバスターミナル施設整備等を行う「一般国道2号 神戸三宮駅交通ターミナル整備」が、2020年に直轄道路事業として事業化された。バス走行の円滑性や安全性を確保したバスターミナルの実現に向けては、バスターミナル設計に対するバス事業者や再開発会社との合意形成を図る必要がある。

本稿では、本事業における仮想現実（VR）、ドローンといったICTを活用したバスターミナル設計の進め方の紹介を通して、バス事業者や再開発会社等の関係者とイメージ共有を図りつつ、バスターミナルの設計を効果的かつ効率的に進めていくための方法について提案する。

キーワード バスタプロジェクト、バスターミナル設計、VR、ドローン

1. はじめに

神戸三宮駅周辺は、6つの鉄道駅が立地し、さらに1日約1,700便（2020年4月時点）の中・長距離バスが発着する市内最大の交通ターミナルである。このうち、中・長距離バスにおいては、兵庫県内だけでなく東京などの主要都市と神戸を結ぶ路線のほか、四国地方や淡路島方面を中心とする西日本へ向かう高速バスのゲートウェイとして機能している。しかし、鉄道駅と中・長距離バス停が分散しているため、乗換の利便性が低い、バス待合空間が不十分である、路上のバス停に起因する後続車の走行阻害が発生しているなどの課題を抱えている。

これらの課題を解消するため、国土交通省と神戸市は、2020年3月に新たな中・長距離バスターミナル等の整備を位置付けた「国道2号等 神戸三宮駅前空間の事業計画」を策定し、2020年4月には、新たな中・長距離バスターミナル（Ⅰ期）の整備と国道2号空間整備を行う「一般国道2号 神戸三宮駅交通ターミナル整備」が直轄道路事業として事業化された。これは、道路事業として整備するバスターミナルが、市街地再開発事業と一体で計画される全国初のケースとなるものである。

本稿では、本事業の概要とともに、仮想現実（以下、「VR」）を用いた意見交換と、ドローンを活用したバス実走実験といった、ICTを活用したバスターミナル設計の進め方を紹介する。そして、事業化から現在までの市街地再開発事業との相互調整や道路法改正等を踏まえ

たバスターミナル設計検討で得られた知見から、バス事業者や再開発会社等の関係者とイメージ共有を図りながら、効果的かつ効率的なバスターミナル設計の進め方について提案する。

2. 事業の概要

(1) 施設配置及びバスターミナル計画

本事業は、図-1に示すとおり、中・長距離バスを対象とした新バスターミナル（Ⅰ期）の整備と、バスターミナルの前面に位置する国道2号の車線運用の見直し等の空間整備を対象とするものである。また、これらと並行して、神戸市において、駅前道路を人と公共交通優先の空間に転換する「三宮クロススクエア」の段階的な整備、及び鉄道駅と新バスターミナルをつなぐ歩行者デッキの整備が予定されている。さらに、新バスターミナル（Ⅱ期）についても検討を進めつつあり、Ⅰ期完成時には5バース、Ⅱ期完成時には12バースを確保するとともに、複合ビル（ミント神戸）の1階に位置する既存の三宮バスターミナルとの一体的な運用を行うことで、神戸三宮駅周辺に分散しているすべての中・長距離バス停を段階的に集約する計画である。

新バスターミナル（Ⅰ期）は、雲井通5丁目再開発株

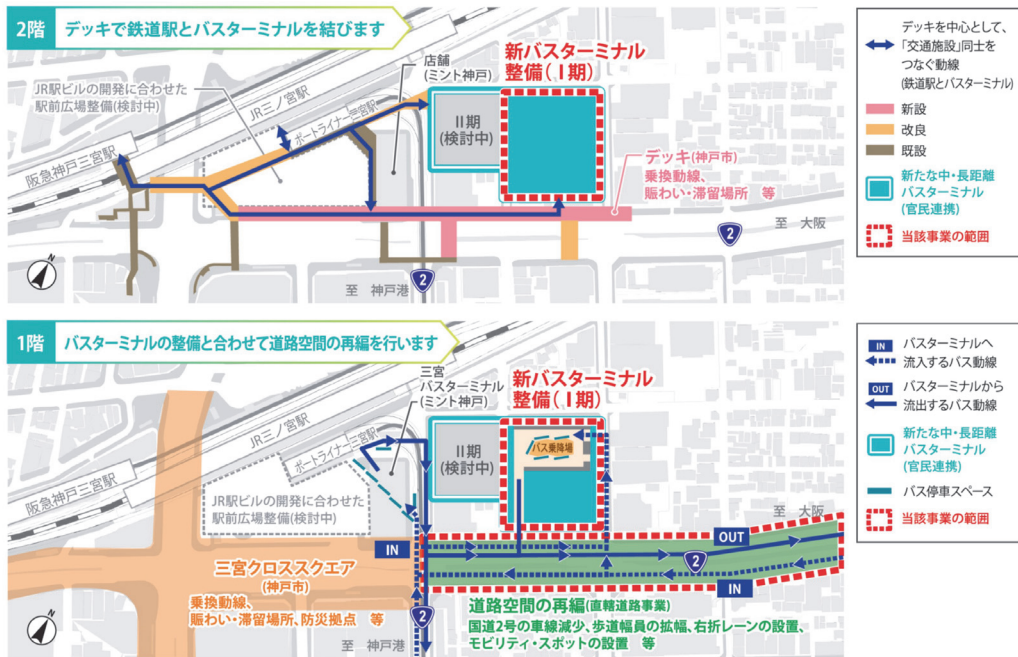


図-1 神戸三宮駅前空間の施設配置計画

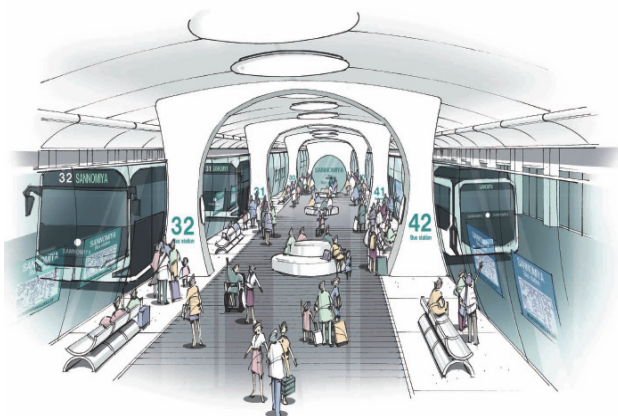


図-2 バス乗降空間のイメージ

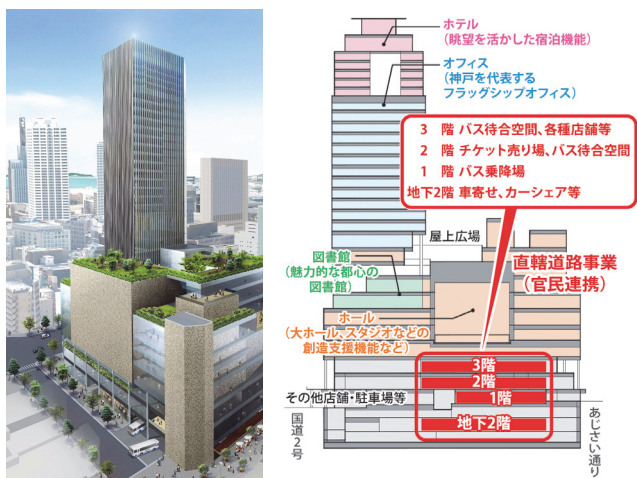


図-3 雲井通5丁目再開発ビルイメージ図

式会社（以下、「再開発会社」）が実施する「神戸三宮雲井通5丁目地区第一種市街地再開発事業」（以下、「再開発事業」）により整備される再開発ビル内に設けられる。具体的には、必要面積分の床を国が区分所有として取得し、道路区域を立体的に設定した上で、1階にバス乗降場、2階及び3階に待合空間を整備する（図-2、図-3参照）。

(2) 再開発事業

よりスピード感をもって事業進捗を図るため、再開発事業は民間のノウハウを採り入れながら進められている。2018年5月に地元地権者の出資により再開発会社が設立され、その後、再開発会社により選定された事業協力者グループの協力のもと、2019年9月に都市計画提案を行い、2020年3月には都市再生特別地区と第一種市街地再開発事業の都市計画が決定された。そして、その後に選定された再開発ビルの保留床を取得する「特定事業参加者」と再開発ビルの工事等を行う「特定業務代行者」の協力のもとで再開発事業を対象とした事業計画を策定し、2021年2月に施工認可申請を提出、同年3月に神戸市から施行認可を取得した。再開発ビルには、従前の地権者らの権利床として商業施設や図書館が整備され、新たに生み出される保留床にはバスターミナルをはじめオフィスやホテル、大規模ホール等が導入される予定である（図-3参照）。

(3) 待合空間整備

待合空間は、吹き抜けを持つ開放的な空間として、再開発ビルの2階・3階に設置する計画としている。ここでは、“神戸らしさが演出された充実した待合空間”



図4 待合空間イメージ (2階・3階の吹き抜け)

というコンセプトのもと、再開発ビル全体と交通ターミナルとの内装意匠の調和や、飲食・物販をはじめとした導入するサービス機能の収益性に留意しながら、魅力的で付帯施設の充実した空間を整備する(図4参照)。

(4) 国道2号空間整備

神戸三宮駅前の国道2号では、隣接する三宮クロススクエアによる車線減少によって交通量の若干の減少が見込まれる一方で、新たな中・長距離バスターミナルや再開発ビルに関連した交通が新たに発生・集中することが予想されている。そこで、交通負荷のかかる国道2号中央区役所前交差点における右折レーンの改良を行う等、適切にバス交通の処理ができるように検討を行う。また、隣接する三宮クロススクエア整備により余裕が生まれる道路空間の有効活用に向けた検討を行うこととしている。

3. ICTを活用したバスターミナルの設計

(1) バス実走実験

市街地再開発事業において施設整備を行う本事業においては、再開発会社が行う再開発ビルの実施設計に対して道路法改正等を踏まえた交通ターミナルの基準等の諸



図5 新バスターミナル設計検討の経緯

条件を的確に反映できるよう、再開発ビルの検討進捗とあわせて相互に調整を行う必要がある。

現在、特定業務代行者において、再開発ビルの実施設計(工事施工に必要な詳細設計)が進められているが、駅前広場などのオープンスペースに整備されるバスターミナルとは異なり、建築物内に整備されるバスターミナルでは限られた空間内で建築物を支える柱や壁面、権利床や共用スペースとの調整が求められる。これらはバスの走行に影響を与えることから、特に車路が整備される1階バス乗降場の設計にあたっては、交通ターミナルの設計基準を満足するだけでなく、バスが円滑に走行できるかどうかをバス運転手によって実際に確認してもらい、バス事業者と合意形成を図った上で実施設計を確定する必要がある。

そこで、バス事業者及び各機関に協力いただき、暫定の設計図面を基に空き地に仮設で車路を再現した上で、バスの実走実験を行った。実走実験の実施に際しては、バス事業者との協議を踏まえて設定したパターンに従って、出発・到着・走行に関する検証を実施した。なお、限られた建築物の空間でバス事業者の意見を十分に許容するバス車路の空間を確保することは容易ではなく、課題の優先度を踏まえたバス事業者及び各機関との調整が必要である。そこで、走行実験のとりまとめ結果を用いてバス事業者及び各機関との意見交換会を実施し、設計面の課題と対応の方向性について協議を行った。

本事業では、図5に示すとおり事業化前より実走実験を行い、再開発会社が行う基本設計、実施設計の進捗に合わせ合計3回の実走実験を行ってきた。

(2) 実走実験(第1回)で得られた課題

1回目の実走実験は、基本設計の妥当性を検証することを目的として、事業化前に神戸市が主体となって実施した。そこでは、単管パイプで柱を再現するとともに、カラーコーンで壁面位置を明示した。また、実験後における検証結果の振り返りや、バス事業者との意見交換での活用を目的として、走行風景を地上部からの動画で記録した。

実走実験の結果、バス事業者も一緒になって事業化の機運が高まったものの、特に転回部付近を中心として、机上による車両軌跡の検証では走行可能と思われていた箇所が、実走では走行困難であることが少なからず判明した。車両軌跡が机上と実走で異なった理由としては、バス運転手の運転方法の多様性やバスのスペックの違い等が挙げられ、実際の車両軌跡を考慮した上での設計の必要性が明らかとなった。

また、壁面がないことで、バス運転手にとっては圧迫感や視界の遮断を伴わない走行が可能となっていた。これによって、実際よりも壁面ギリギリまで幅寄せを行っての走行が可能となっていたことなどから、四方を壁面で囲まれた新バスターミナル設計の走行性を検証する上



写真1 バス実走実験の様子 (第3回)



写真3 VRを用いた走行体験の様子



写真2 ドローンによる走行軌跡撮影



写真4 VR映像のキャプチャ (一例)

では、壁面の圧迫感の再現が必要性であることが明らかとなった。

(3) ICTを活用したバスターミナル設計

a) ドローンを活用したバスターミナル設計

1回目の実走実験で明らかとなった設計課題を踏まえて修正した設計を基に、2回目の走行実験では、地上での撮影に加えてドローンによる空撮を実施し、モーションキャプチャを用いてバスの実際の走行軌跡を視覚化した(写真-2参照)。結果的に、依然として転回部では円滑な走行に課題が残されていること、また新たに設置した待機バースへの正着が困難であることなどが判明したものの、ドローンによる空撮映像からのモーションキャプチャを用いることで、車両軌跡と重ねてバスターミナル設計の課題を明らかにすることが可能となった。また、車両軌跡を用いた検証では、実際の車両軌跡と言えるモーションキャプチャを参照しながら机上での車両軌跡を当てることで、これまでよりも実態に即した条件での設計の見直し、机上検証が可能となった。

なお、2回目の実走実験では、前回の実走実験で特に課題が大きかった転回部において、メッシュシートを用いた壁面の圧迫感の再現を試みたが、実験当日は強風によりメッシュシートを設置できず、壁面は単管パイプで組んだ骨組みのみでの再現となったため、視覚的な制約や圧迫感を十分には再現できなかった。

b) VRを活用したバスターミナル設計検証

第1回及び第2回のバス実走実験では、バス事業者及び各機関で課題を共有し、今後のバスターミナル設計の精度を高めるための有用な情報を得ることができた。し

かしながら、実走実験の仮設車路では、天井や硬質な壁を再現することができないため、建築物内に設置される乗降場でバスを運転する際の空間的な圧迫感を十分に感じ取ることができないとの懸念が、バス事業者から少なからず挙げられた。

一方、バス実走実験は非常に有用な方法であるが、多くのコストと労力を要するため、繰り返すことは現実的ではない。そのため、できるだけ実走実験の実施前に設計の精度を高めておく必要がある。

そこで、第3回目のバス走行実験に先立ち、第2回バス実走実験で指摘のあった課題を踏まえて修正した設計図面を基にVRに車路を再現し、ヘッドマウントディスプレイを用いて、バス事業者に運転手目線からの走行を体験してもらった。ここでは、柱・壁面・天井といった構造物とあわせて、バス運転状況の再現性をできるだけ高めるべく、バス実走実験で収集したドローンによる車両軌跡を参考にバスターミナル内の机上での車両軌跡を再現するとともに、サイドミラーからの見え方についても再現した。なお、バスはあらかじめ設定されたとおりに走行し、ハンドル操作はできないが、体験者が頭を動かすことで360度全ての範囲を立体的に見渡すことが可能である。

因みに、筆者らもヘッドマウントディスプレイを装着してVRを体験したが、実際に自分がハンドルを握って運転しているかのような錯覚を伴いながら、設計中のバスターミナル車路での運転を疑似体験することができた。

バス運転手にVRを体験いただいた結果、バス事業者と天井と壁面で囲まれたバス乗降場の車路を走行するイメージを共有することができ、バス事業者からの圧迫感についての懸念も払拭することができた。その上で、改

めて意見交換を実施して、3回目の実走実験に向けたバスターミナル設計の課題及びチェックポイントを確認した。

ここで、VRでのバスターミナル車路の走行再現性について確認するため、実際に走行体験したバス運転手3名にアンケートを実施した。本来であれば、設計を基に再現したVRと実際の建物を比較することで再現性について評価できるが、未施工のため、バス運転手にはバス実走実験や類似のバスターミナルでの走行経験を踏まえて回答いただいた。結果として、VRの運転風景は概ね再現できており、車路の壁面や停車バスとの距離感等もあり、VRは設計のイメージをつかむためのツールとして有効であるとの肯定的な意見を得ることができている。

2回の実走実験結果を受けてバスターミナル設計を大きく見直すこととなったが、ドローンを活用したバスターミナル設計及びVRを活用したバスターミナル設計検証を経た3回目の実走実験では、概ね設計が問題ないことを関係者間で確認し、バス事業者及び再開発会社との合意形成を図ることができた。

e) ICTを活用したバスターミナル設計の進め方の提案

これまでの検討で得られた知見から、バスターミナルの設計を効果的かつ効率的に進めていく方法として、図-6を提案する。バス実走実験は、非常に有用な方法である一方、多くのコストと労力を要するため繰り返し行うことは現実的ではない。

そこで類似事例で得られた実際の走行軌跡を踏まえた設計やVRを用いた事前検証を行うことで、バス実走実験の回数を減らしつつ、多くの関係者との円滑なイメージ共有や合意形成の実現が期待できる。

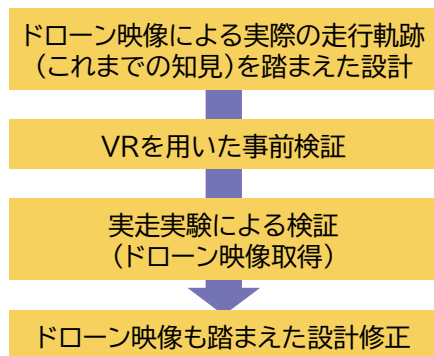


図-6 ICTを活用したバスターミナル設計の進め方

9. おわりに

これまでの検討で得られた知見から、本事業のような建築物内に整備されるバスターミナルでは、机上による車両軌跡の検証だけでは、バス運転手の運転方法の多様性やバスのスペックの違いを反映することができず、不十分であることが明らかとなり、実際の車両軌跡を考慮した上での設計が必要であることが判明した。そこで、VRやドローンなどのICTを活用することで、関係者とイメージ共有を図りながら、バスターミナルの設計を効果的かつ効率的に進めていくことが可能であることが分かった。

一方、本事業で得られた知見や蓄積されたデータは、本事業の制約条件のもとでの結果に過ぎない。今後は、ドローン映像等を用いたバス走行軌跡に関する情報をより蓄積し、それを軌跡図の作成条件として整理していくことが求められる。

また、バスターミナル設計におけるVRの有効性についても、設計を基に再現したVRと施工後の車路を複数のバス運転手に走行してもらい比較することで、より詳細かつ定量的に有効性を検証することが可能となり、バスターミナル設計での活用の幅も広がると考えられる。

本事業は全国のバスタプロジェクトに先駆けて検討を進めているものであり、試行錯誤しながらバス事業者や再開発会社、神戸市等の多くの関係者と一緒に検討を進めている。今後は、バスターミナルの設計だけでなく、効果的かつ効率的なバスターミナルの管理運営についても、さらに多くの関係者と連携して、地域の顔となる賑わいのある交通拠点として質の高い空間づくりを進めていきたい。

参考文献

- 1)国土交通省道路局「交通拠点の機能強化に関する計画ガイドライン」2021年
- 2)雲井通5丁目再開発株式会社HP：<https://kumoi-redevelopment.jp/>
- 3)「神戸三宮駅における交通ターミナル整備の進捗と今後の展開」月刊誌 道路 2021.9

橋脚設置工事におけるBIM/CIM 活用事例について

太田 奈津江¹

¹近畿地方整備局 滋賀国道事務所 計画課 (〒520-0803 滋賀県大津市竜が丘4-5)

国道9号園部大橋にてRC橋脚を施工するにあたり、コンクリート構造物の3D点群の取得及び出来形管理においてBIM/CIMを活用した事例を紹介する。今回のRC橋脚の施工においては段階的にコンクリートを打設し打設毎に埋め戻しが必要であったことから、段階毎に3Dデータを取得する必要があった。また、仮設迂回路の桁下のTLS及びUAV計測が出来ない箇所においては、動画撮影型地上写真測量（以降、動画撮影型という）を行い、SfM解析による点群を取得してTLSの点群データと合成を行い、RC橋脚全体の3D点群データを作成し、2D設計図書から作成したRC橋脚3Dモデルとを比較する事で、出来形評価を行い、今後のBIM/CIM活用における有効性の確認と課題の検討を行った事例について紹介する。

キーワード 園部大橋, BIM/CIM, 動画撮影型地上写真測量, 3次元出来ばえ評価

1. はじめに

(1) 園部大橋架換事業の概要

国道9号園部大橋は、南丹市を流れる園部川に架かる橋梁で、1932年に架設され老朽化が進んでいる。また、園部大橋周辺は、南丹市役所や警察署、小学校があり南丹市の中心部であるが、歩道が狭く、通学児童の安全が確保されず危険な状況となっており、安全で安心な歩行空間を確保するため、歩道整備と併せて園部大橋の架け替え工事を行っている。



図-1 事業位置図

これまでに、下流側に迂回路橋の設置、既設側歩道橋の撤去、作業構台の施工を行っており、令和3年度に既設車道橋の撤去を含め新設橋脚の施工を行っている。



図-2 事業現況写真

(2) 国道9号園部大橋橋脚設置他工事の概要

今回施工した橋脚は、将来の河川整備計画による計画河床高を考慮した設計となっているため、施工後は現況河床高に戻すこととなっており、躯体の施工に関しては、段階的にコンクリートの打設を行い、打設毎に埋め戻しを行う工程となっている。また、橋脚の一部が、先行して下流側に設置した迂回路橋下での施工となっている。このような施工条件の中で今回の橋脚の出来形管理を行うにあたってBIM/CIMを利用し、それぞれ段階毎の3D点群データを取得し、また、迂回路下のTLSやUAVでの測定が困難な箇所は、動画撮影型を用いて3D点群データを合成することで埋め戻し前の躯体状況を再現し、

2D設計図書から作成したRC橋脚3Dモデルとの比較にて出来形評価を試みる事で、今後のBIM/CIM活用における有効性の確認及び課題の検討を行った。

2. TLSによる測定

測定対象物である新設P1橋脚の3次元測量は、TLSによる計測を実施した。TLSは、FARO Focus S 360を使用し、【地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領(土工編)(案)令和2年3月 国土交通省】に準じて測定を行った。



図-3 使用TLS FARO Focus S360

(1) 測定実施計画

P1橋脚の施工工程としては、基礎部から柱②部までは打設完了後埋戻が行われるため、各箇所足場解体直後の埋戻し前のタイミングでTLS計測を実施する事とした。しかし、台座支承部及び橋脚天端部については、足場解体前に計測する必要があるため、TLSで計測するには不安定な足場上での器械設置となるため、測定時は遠隔操作で測定を行い足場全体を立入禁止としたが、精度確保が難しく、また、下流側が迂回路の直下になり上方向からの測定が出来ないため、TLSでの測定は梁部の側面までとし、動画撮影型による写真測量を応用した3D点群取得を試みる事とした。

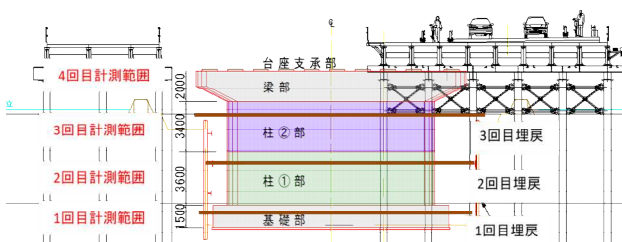


図-4 TLS測定範囲図

(2) 標定点設置

各測定に関しては、標定点を設置し解析の基準座標とした。標定点は、計測対象箇所の最外周部に3箇所以上設置し、その計測は現場監職員より指示を受けた基準点及び工事基準点より、TSを用いて行った。標定点としては、(スフィア)型(LS計測専用φ139mmの白色球体の中心座標)を使用した。

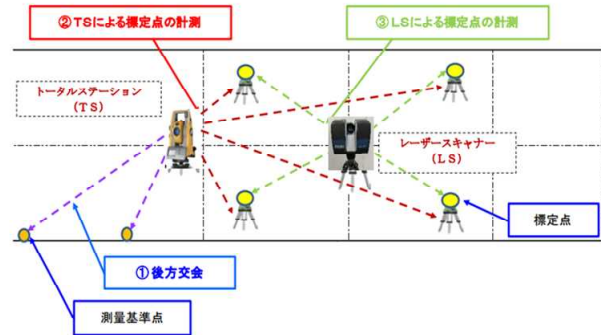


図-5 標定点設置要領図

(4) 点群解析

計測した点群データは、FARO専用点群処理ソフトSCENEN 2.0.20.2351にて解析を行い、標定点の公共座標にて点群に座標を与えた。各打設部位ごとに同じ工事基準点で計測した標定点を使用し観測しているため同一座標上での合成が可能となる。3次元座標に変換された点群は、点群処理ソフト内(福井コンピューターTrendPoint)に取込、結果をひとつの点群に合成した。

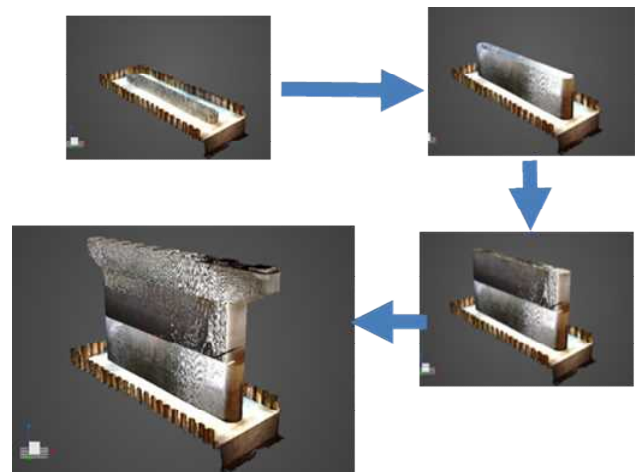


図-6 進捗合成橋脚点群データ

(5) 精度確認

精度確認は、TLSの精度確認試験実施手順書(案)に準じて実施した結果は、最大4mm最小1mmとなった。下記一覧表より、較差7mm以下で構造物出来形要求精度7mm以下が確保できている事が確認できた。

測定箇所	TLS計測結果による点間距離(L)	TSによる座標値計測距離(L)	計測値較差
基礎部	11.219	11.222	3
柱①部	10.576	10.572	4
柱②部	9.707	9.708	1
梁部	12.445	12.446	1

図-7 TLS精度確認結果一覧表

測定項目	規格値	要求精度	
基準高 ∇	± 20	7mm 以下	
厚さ t	-20		
天端幅 w 1	-20	16mm 以下	
敷幅 w 2	-50		
高さ h	-50		
天端長 $\phi 1$	-50		
敷長 $\phi 2$	-50		
支間長及び中心線の変位	± 50	10mm 以下	
橋脚中心間距離 ℓ	± 30		
支承部アンカーボルトの箱抜き規格値	計画高	+10~-20	+3~-7mm 以下
	平面位置	± 20 mm	7mm 以下

図-10¹⁾ 構造物要求精度表

3. 動画撮影型地上写真測量による計測

(1) 動画撮影型による計測

前項では、BIM/CIM活用するにあたって橋脚の各施工段階でTLSによる3次元点群の取得を実施した。しかし橋脚天端は、不安定な足場からの計測となり、TLSでは少し距離を置いた仮設栈橋上若しくは、迂回路橋上からでないと測定できず、特に迂回路下の直下部の台座G8、G9、G10においては、迂回路桁下との離隔が30cm程度しかなかったため、動画撮影型での測定手法にて構造物3次元点群データの取得を実施した。

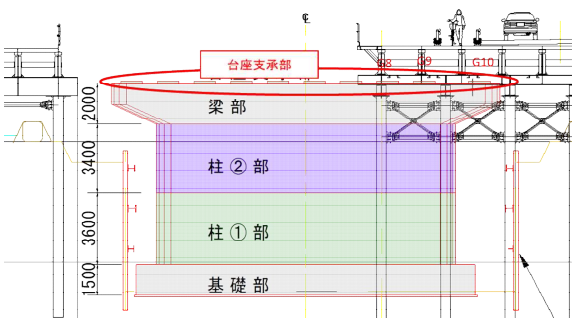



図-8 動画撮影型計測範囲図

(2) 測定実施計画

動画撮影に使用する機材としては、GoPro HERO9 Black CHDX-901-FWを使用した。

	画素数	3840×2160
	カメラセンサー	フルサイズ型
	焦点距離	16.0mm
	撮影範囲	1.38m×2.45m

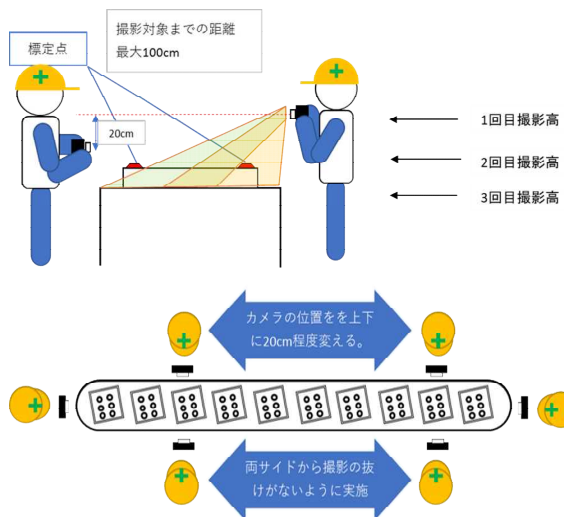
撮影対象までの距離を1mとした場合

図-9 動画撮影機材GoPro HERO9 Black CHDX-901-FW

撮影及びSEM解析に関しては、構造物（橋脚躯体工）の出来形評価データにおける要求精度7mm以下を満たすべく、UAVで計測する時と同じようにラップ率と画素寸法を考慮する必要がある。

また、動画撮影機材使用者が撮影対象物に沿うように対象物から1.0m程度の距離を保持しながら横移動して動画撮影を行い、その撮影をサイドラップ率の確保のために高さを20cm程度変えながら3段で撮影を行った。

図-11 動画撮影イメージ



また計測時での注意点としては、撮影画像での解析エラーの原因要素を無くす撮影をする事で、横移動撮影の最初と最後に必ず構造物の角が映るように撮影を行い、画像解析に必要な特徴点抽出ができるようにし、移動は低速度で行い、動画撮影時にオートフォーカス機能を常に有効にし、画像の品質を保ち、また、撮影対象への距離が1m以上の差がある場合、分割して撮影を行う事とした。

(3) 標定点設置

G1~G7範囲では養生テープによる標定点明示、G8からG10は少し薄暗かったため、撮影画像での認識がしやすいように測量用明示板を標定点の代わりに明示し、橋脚天端部に設置した。



図-12 標定点設置状況

標定点同士の距離は50cm程の離隔で設置しTSを用いて測量を行った。その中で検証点を設け点群の精度確認に使用する点とした。

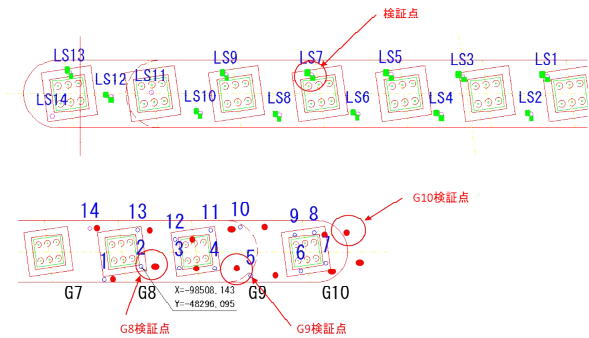


図-13 標定点及び検証点配置図

(4) 点群解析

動画抽出画像でオーバーラップ率の確保として、使用したGoPro9は30FPS(1秒間に30枚撮影)なので、15FPSに1枚づつ(1秒間に2枚)の画像を抽出し、抽出した画像にピントずれ等の不明瞭画像がないか確認した。SfM解析はAgisoft Metashapeで行い、公共座標を付与し点群処理ソフト内(福井コンピューターTrendPoint)に取込んで合成を行った。

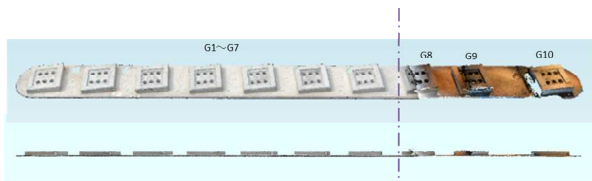


図-14 動画撮影による合成計測点群

解析結果として、地上解像度が最大で0.038cm/pixとなり、この結果から実質撮影距離は60cmである事が確認できた。よって今回の撮影での動画撮影時における撮影範囲は、0.830m×1.470mであることが算出でき、ラップ率の確認を行ったところ、オーバーラップ率90%、サイドラップ率75%という結果が出た。撮影時に明るさが十分なG1からG8に関してはノイズがないが、明るさが足りないG8, G9, G10の点群データはノイズが多く発生していた。

(5) 精度確認

精度確認は、座標較差で行った、結果は最大4mm最小2mmとなり出来形評価に使用できる点群要求精度7mmを確保出来た。今回は、精度も満足出来る結果となったが、計測時間が施工工程上少なかったため、今後対象物との距離及び動画からの抽出法など条件を変えてエビデンスをとる必要があると感じた。

測定箇所	検証点点群座標値	TS座標値	較差ΔXYZ(mm)
G1-G7	X	-98512.873	-98512.873
	Y	-48302.601	-48302.601
	Z	129.215	129.218
G8	X	-98507.545	-98507.545
	Y	-48295.355	-48295.354
	Z	129.229	129.232
G9	X	-98506.956	-98506.957
	Y	-48294.689	-48294.689
	Z	129.231	129.233
G10	X	-98505.588	-98505.588
	Y	-48293.029	-48293.029
	Z	129.231	129.227

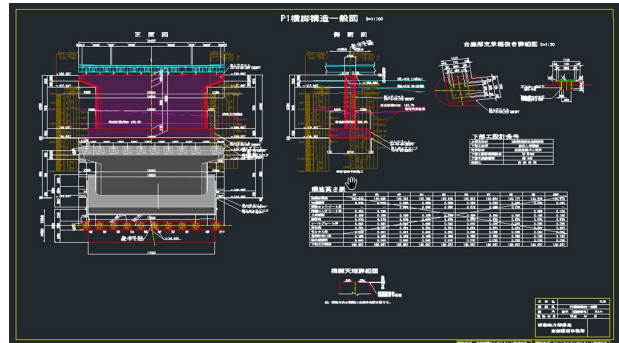
図-15 動画撮影点群精度結果

4. 設計3Dモデルの作成

(1) 2D設計図より3Dモデルの作成

設計図面は従来通りの2次元図面であり、取得した橋脚点群と設計モデルを比較することで出来形評価の試行を行うために設計3Dモデルの作成を行った。まず2次元図面と3Dモデルを共存させた図面を作成し、そのモデルから出来形評価用である3次元設計データの要素データ(設計LXML)の作成を行う。

図-16 P1橋脚構造一般図を用いた3D図面



(2) 要素データ(設計LXML)の作成

出来形評価用LXMLデータを、先に作成した設計3Dモデルに座標を付与し作成した。構造物を構成する端点の座標値をもとに、ワイヤフレームで作成した。ワイヤフレームは直線のみになるので、曲線部の設計データは22.5度の直線で表現する事とし、R750の中央縦距が14mmで規格値20mmの80%以内になるようにした。

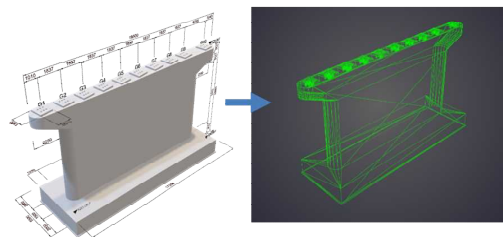


図-17 出来形評価用LXML

5. 出来形管理への活用

(1) 3Dモデルによる出来形管理

作成した3D点群モデルを活用して【3次元計測技術を用いた出来形管理要領（構造物工編）（試行案）令和3年3月 国土交通省】に準じてRC橋脚躯体出来形を評価する事とした。ただし、動画撮影型3D点群データに関しては、出来形計測性能確認として試行検証とした。これまでの流れをイメージ図に記す。

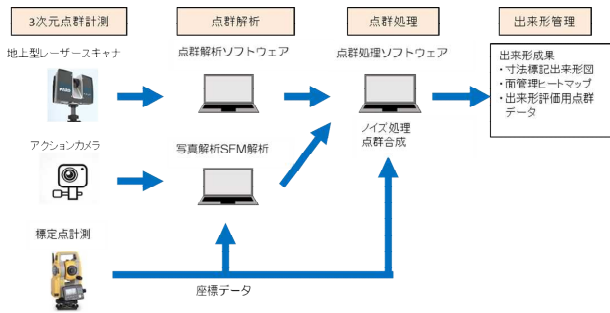


図-18 作業工程イメージ図

(2) 3D点群による出来形図

まず最初の管理手法としては、従来出来形図のように3Dモデルアノテーションに設計値、実測値、点群間接計測値を表記する。点群による間接計測は、外側にアノテーション表記し易いように、構造物ライン相当する点群に補助線を用い計測する手法で実施した。

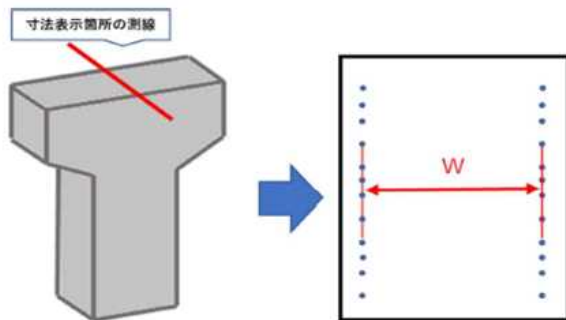


図-19 点群寸法計測手法イメージ図

上記手法にて3次元データを現行2次元出来形図表記で作成した出来形図を記す。

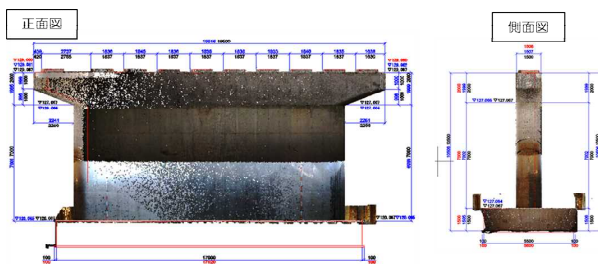


図-20 3次元出来形図 正面図 側面図(現行2次元表記)

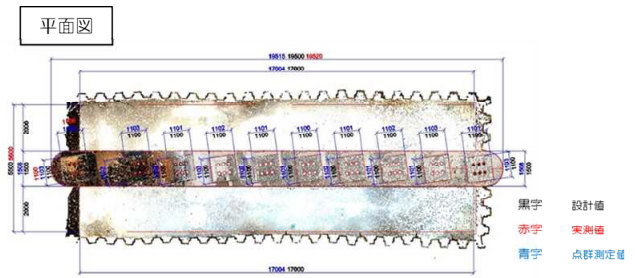


図-21 3次元出来形図 平面図(現行2次元表記)

次に3次元データを立体的に表記する。

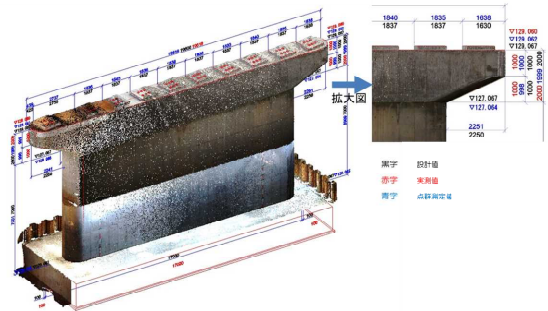


図-22 3次元出来形図(3次元表記)

測定結果としては、最大で6mm程度の較差があった。これは実測誤差及び点群の推定エッジラインの抽出による測定誤差を考慮すると、実用可能であると考えられる。また今回は、施工前段階において設計3Dモデルの作成を実施していたので、全体像を可視化することができ、構造物の全体のボリューム感等を確認しながら、各施工段階での説明や検討等にも活用できた。

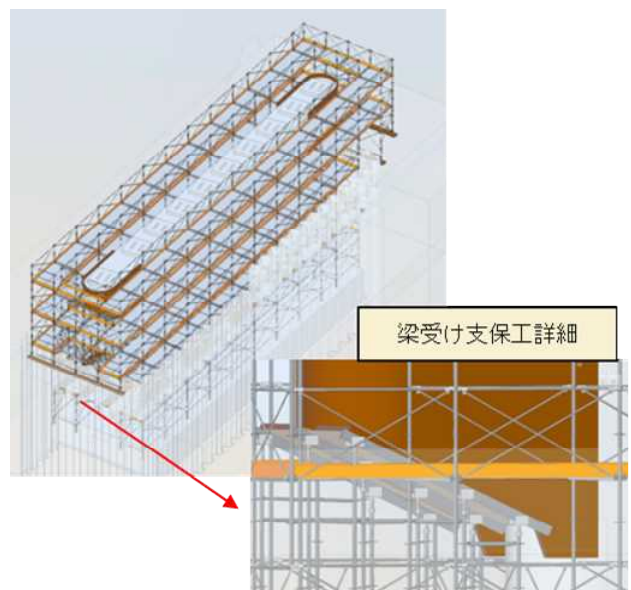


図-23 足場型枠施工における設計3Dデータ活用事例

(3) 面管理による出来形管理手法

【3次元計測技術を用いた出来形管理要領（構造物工編）（試行案）令和3年3月 国土交通省】第2章5-2出来ばえ評価に準じて3次元設計データの各面に垂直な方向で出来形評価用点群データと各面の離れの差を算出するヒートマップ評価を、ICT土工で使用しているソフトである「TrendPoint」の新機能で構造物の出来形評価を試行した。

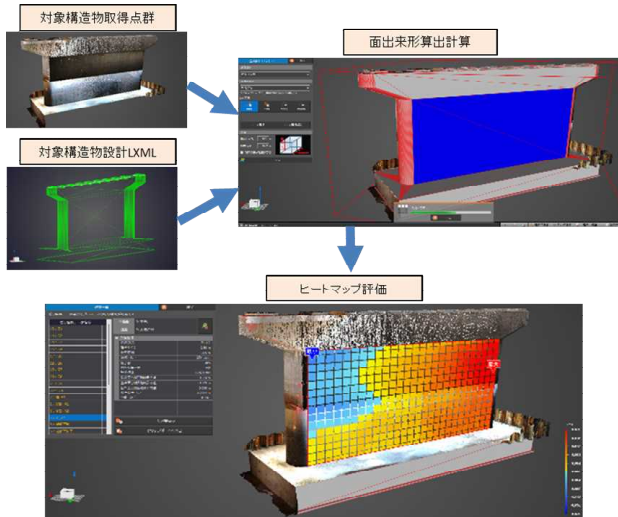


図-24 出来形評価までの流れ

今回動画撮影型で取得した点群が構造物評価にあたる要求精度を満たしているのが確認ができたので、TSL取得点群との合成を行った。以下に動画撮影型で計測した部分における評価結果を下記に記す。

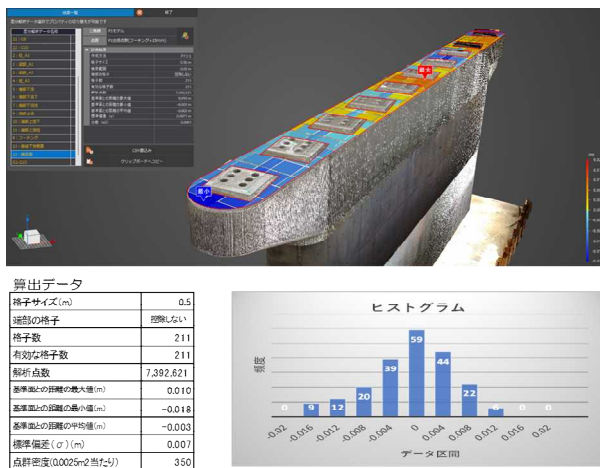


図-25 動画撮影型点群面による出来形評価(梁天端部)



算出データ	
格子サイズ (m)	0.1
端部の格子	強制しない
格子数	1378
有効な格子数	1378
解析点数	2,827,386
基準面との距離の最大値 (m)	0.010
基準面との距離の最小値 (m)	-0.001
基準面との距離の平均値 (m)	-0.001
標準偏差 (σ) (m)	0.004
点群密度 (0.0025m ² 当たり)	512

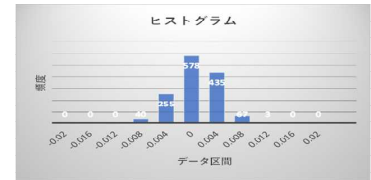


図-26 動画撮影型点群面による出来形評価(台座部)

6. まとめ

今回の検証では、動画撮影型で計測した3D点群データで出来形評価における要求精度を満たす事が認められた。しかしこれは、撮影方法等の工夫を加えた結果であり、今後構造物の出来形で評価するには確実に要求精度満たす撮影手法を確立する必要がある。また同じ計測方法または、違う計測方法による点群の合成においても、それぞれの精度が満たしていれば座標による合成で一つの構造物として評価できる事が確認できた。今後このような計測で3D点群データを取得する事で出来形管理に使用できれば計測の効率化が図れる。今回は、従来管理とBIM/CIM活用での管理との比較では約30%の効率化が認められ、また、危険箇所での計測が省略される事で、事故のリスクが大幅に下がると考えられる。構造物の管理も現行の出来形管理のように個別測定を必要としない面管理方法 (ICT土工面的評価と同じ) で評価できる事も評価作業の効率化につながり、利用した3Dデータが施工中の現場のみならず、後施工にあたる維持管理業務にも利用できる仕組みを確立して、さらなる効率化を目指す試みが必要と感じた。

謝辞：

本論文作成にあたり、本工事を施工し、本資料を取りまとめて頂きました、株式会社第一土木の皆様及び関係者の皆様に深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形管理要領（構造物工編）（試行案）令和3年3月 国土交通省

コロナ・働き方改革時代の災害対応を目指して ～ICTを利用して今までよりも 高度に、迅速に、誰でも～

小谷 周平

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

2020年度に記録的な降雪を経験した福井河川国道事務所における雪害対応について、従来のツールや運用では上手く対応する事が出来なかった「迅速な判断に繋がる情報収集」「各機関・現場との密な情報共有」「現場・地域への的確な情報発信」という課題をICTの力で誰でも一律的かつ高度に災対本部職員は現場にいるように、現場職員は災対本部にいるように対応が出来る解決を目指した2021年度の取り組みを報告するものです。また、本取り組みはコロナ・働き方改革時代における、三密回避としての本部機能の分散化やリモート対応、人的リソース確保が難しい中での対応にも有効である事を確認出来たので具体事例を持って紹介します。

キーワード 誰でも簡単に、リアルタイムドライブレコーダー、
無料アプリ、庁内無線LAN、動画編集

1. はじめに

2020年度に記録的な降雪を経験した福井県において2021年1月7日から10日にかけての3日間で福井市で約110cm、大野市で140cmの降雪を記録し、北陸自動車道で大型車両のスタックを契機とした約66時間1,600台の滞留が発生、国道8号で北陸自動車道の通行止めを原因とした交通集中による渋滞やスタック車両を契機とした約25時間に渡る最大15kmの交通障害が発生、中部縦貫自動車道でトレーラ等の複数スタックによる通行止め約95時間、点在滞留車両約40台が発生するなど福井河川国道事務所を含めた関係機関で雪害対応を行ったが、従来の対応では情報収集や情報共有、情報発信について課題が残る結果となったため、課題解決に向けて2021年度に取り組んだ内容を紹介します。タイムライン見直しや出控えの呼びかけ等のソフト的な対応及びチェーン着脱場の整備やカメラや電光掲示板の増設、除雪車両の強化等のハード的な対応等、様々な角度からの対策を並行して行った所であるがそれらは別稿に譲り今回は情報の収集、共有、発信に係る改善について主に説明していきたいと思う。

2. 2020年度の雪害対応における課題及び解決に向けて目指すべき目標



写真-1 国道8号の渋滞状況 写真-2 北陸自動車道の滞留

2020年度の雪害対応では管内205台の道路CCTVカメラ（別途河川CCTVカメラは90台）や気象観測設備による気温や路温、積雪深などの情報及び現場巡回パトロールからの電話やメールによる情報をもとに除雪車両の運行管理やスタック対応が必要な箇所への牽引車などの派遣を行った所であるが、CCTVカメラの死角箇所の積雪確認や現地気象状況の面的な把握が難しかったり、携帯電話にて本部や現場、除雪業者、他事務所応援職員などとのやり取りを行っていたため、通話中で上手く繋がらなかったり、通話内容のホワイトボード等への書き込みが不十分で情報共有に抜け漏れが生じるなど最新情報の共有管理に問題を抱える状況であった。また、収集した情報の現場や関係機関への発信も人手不足から不十分になるなど一般の利用者に向けた情報発信を強化する以前の改善が必要な状況であった。また、マスコミや本局からの電話対応などで対策部長や対策副部長などの指揮者が拘束されたり不在となった場合は現場などへの指示が停滞してしまうなど情報共有や発信における課題が散見された。

そのような状況で幹部や災対本部職員は本部に空白期間を作らないように長期に渡り対応が必要になるなど人的な疲弊が著しく、現場対応している職員や業者等についてもロジスティックを行う上での現場状況が分からないため、交替要員の手配が遅れ上手く引き継ぐ事が出来ず帰着までの時間が大幅に遅れるなど要員確保に係る悪循環へと繋がる状況となっていた。また、現地班に共有される情報が十分ではないため渋滞車両への缶詰やカンパンなどの食料配布の際に一般の利用者に状況を問われても回答が出来なかったり、情報を収集するために閲覧すべき情報発信ソースなどもHPなど限られた物しか紹介する事が出来なかった。本局や他事務所、県などからの応援要員についても、待機時にリモートワーク環境などが整っていなかったので情報収集や内業などを行う事が出来ず仮設ハウスに拘束される状況が続き、効果的な人的リソースの活用が出来たとは言えない状況であった。

これらの反省を踏まえ、2021年度に課題解決に向けた目標として①判断に直結しリアルタイムかつ面的な情報収集、②役割や部署、活動拠点や機関を超えて今を一つに繋ぐ情報共有、③必要とする全ての人に向けた情報発信を目指して職員や関係者にとって容易で効果的なツールや運用を整備し雪害対応を高度かつ迅速化した。

3. 具体事例① モバイルIP (リアルタイムドライブレコーダー)

(1) 概要

リアルタイムドライブレコーダーのような映像をボタン操作1回で事務所職員及び本局、本省職員も含めた全職員で視聴出来る環境を整備した。これにより、パトロール車の巡回状況などのリアルタイム同時視聴が可能となり、既存のCCTVカメラでは死角になる部分の補完や路面状況の具体かつ鮮明な状況確認が可能となった。機器構成としては、電源起動数十秒で伝送容量の小さい携帯回線でも低遅延かつ高速に映像などのデータを送信できるモバイルIPという装置にてビデオカメラの映像を事務所に送信し、映像情報共有化システム(国交省が管理する2万台以上のCCTVカメラ及び自治体や道路会社など関係機関の映像を全職員自席のPCから視聴可能な既存システム)に直接配信出来るように事務所の映像配信設備を簡潔に構築し直した。携帯回線としてドコモ、au、ソフトバンクの3種類のSIMを接続しており、受信状況の良い物を優先して通信するため、地震等の災害時に携帯基地局等に被害があった際の冗長性も高い構成となっている。また、モバイルIPは持ち運びを想定した装置であるため、カメラと合わせ車外に持ち出すことにより車上では見れない具体箇所の状況も報告が可能となった。接続可能な機器はビデオカメラやデジカメ、アクションカメラ(GoPro等)、ドローンのリモコン操作ディスプレイ、



図-1 モバイルIPイメージ



写真-3 現地映像の配信状況

タブレットの表示画面などHDMIケーブル(映像と音声を入出力するごく一般的な仕様規格のケーブル)での入出力が可能な機器であればどのような機器でも利用可能である。映像は3日間自動録画され、後からの映像確認も可能となっている。モバイルIPエンコーダの略として通称モバイルIPと呼んでいるが、株式会社ソリトンシステムが提供する製品で正式名称は「Smart-telecaster Zaoシリーズ」。Zaoは工場が位置する山形県の蔵王から来ている。送信装置の価格は約60万~90万円。

(2) 運用

2020年度の大雪の際の課題であった、CCTVカメラの整備されていない死角にある積雪の状況確認や「湿潤、積雪あり、わだち、おろし、シャーベット、圧雪」という文言報告及び携帯の写メールなどの一部画角の静止画情報での報告(タイミング時差や個人の主観の入った状況報告であった)の改善のため、パトロール車のダッシュボードにモバイルIPとビデオカメラを置き、シガーソケットから常に充電しながら利用する事で路面状況の判断に必要な現地映像を除雪パト巡回時に全てのルートについて常時高画質の動画でリアルタイムに確認する事が出来るように運用した。これにより、パト車巡回中は所有する4台のモバイルIPの映像を常時本部でも把握でき、路面状況などを現地にいるように把握する事が可能となり、除雪車の出動の判断材料や車外調査報告、通行止め規制等の現地対応における高度遠隔支援などに活用した。また、映像を確認する事で現地班がどこでどのような対応を行っているかリアルタイムに把握できる事となったので、帰着時期の予測によるロジスティック班業務の改善や渋滞に捕まっているなどの状況把握が可能となり支援体制の改善に活用した。機器の操作も電源ボタンを押してカメラと本体をケーブルで繋げるだけで全てが完結するように整備・設定し、デジタル機器に不慣れた事務系職員や他事務所からの応援職員など職種や世代によらず誰でも簡単に即時利用が可能な運用となるようにこだわりを持って整備した。

(3) 検証における所見(課題・留意事項など)

雪害対応では見られなかったが、夏場の巡回時に利用した際にアクションカメラ(GoPro)が暑さによる熱で再起動がかかる(2時間以上連続使用)ケースが見られたので、ビデオカメラでの利用を推奨する。また、電

源（バッテリー）管理について出勤前に充電を行う事はもちろんであるが持ち運び利用時にはモバイルIPだけでは約4時間が最大使用時間になるので、車内のシガーソケットで常に充電しながらの運用とし節電するかキャンプなどで利用の多くなってきたポータブルのバッテリーをオプションとして持っていく等すると良いと思われる。ポータブルバッテリーとの組合せでカメラの充電分も含めて24時間以上の連続利用が可能な事は検証済みである。また、防水カバーがあるので雨天時の利用も問題は感じなかったが、ケーブル接続部などの防水対策も考慮しておく必要があると思われる。

4. 具体事例② 無料アプリ等の活用（ビデオ会議アプリ、ビジネスチャットアプリ、表計算アプリ）

(1) 概要

一般に流通している民生品及び無料のアプリを活用して情報共有や情報発信の改善を安価かつ誰でも汎用的に利用出来るよう環境整備した。具体的には各課、出張所に1台程度（合計32台）の防災用ipadを整備しビデオ会議アプリ（ZoomやMicrosoft teams）、ビジネスチャットアプリ（Microsoft teamsやslack）、表計算アプリ（Googleスプレッドシート）などのアプリを災害対応に活用した。これらは民生品であるため即時に調達ができ、専門システムとしての作り込みをしない事で他事務所で転用性や他機関など外部機関との歩調を合わせた連携性を意識した形での運用整理とした。

(2) 運用

各種アプリを各々災害対応に特化した形で運用整理する事でデジタル機器などに不慣れな職員にも抵抗感なく利用してもらえらる形での運用を行った。防災用ipadは主に本部や除雪パトロールにおける巡回班、各除雪基地などで現場を統制する班長、広報班などに各1台程度所持してもらい災害対応への活用を行った。

a) ビデオ会議アプリ

ZoomやMicrosoft teamsを活用して他機関とのビデオ会議や現場からの現地状況の報告、高度遠隔支援、各機関とのweb常駐に活用した。web常駐とは従来、注意強化体制以上の体制時に福井河川国道事務所に設営される福井県冬期道路情報連絡室に常駐していた福井県、福井県警、NEXCO中日本、福井気象台などの他機関職員の常駐を各機関との24時間常時のビデオ会議接続に置き換え、何か共有したい事項が生じた場合のみマイクをONにして参加者に呼びかけを行い情報共有を図る事とし人員の配置をオンライン化する取り組みである。（web常駐により事務所への人員配置はゼロとなった。）



写真4 オンライン化された閑散とした本部説明会



図-2 Microsoft teamsのスマホ表示画面

2020年当時はビデオ会議自体に対応出来ていない機関や職員もいたため、定例会議時は各班長のみ会議に出席し連絡網的な形で班員への説明を行うなど二度手間や情報の欠落、情報共有の漏れが発生していたが、ビデオ会議での説明会とする事で各自自席や防災用ipadで当日の対応状況の説明を視聴する形となっており、自宅や出張所、出先の車内からも一律に情報共有が可能となり書類の印刷労力も削減された。また、ビデオ会議による高度遠隔支援などにも活用しており、非番の際にトラブルがあっても自宅からフォローが可能になる等の安心感もあった。web常駐についても従来窓口担当の電話伝言であった情報共有が直接各組織の対策室同士で会話出来るようになったため、電話での取次ぎ情報の抜け漏れがなくなり、待機時には本来組織での業務を継続出来るなど人的リソースの有効活用が可能となった。

b) ビジネスチャットアプリ

Line等の個人チャットアプリが有名ではあるが、情報流失の懸念による政府機関での利用が制限されている状況を踏まえ、Microsoft teamsやSlackといったビジネスチャットアプリを活用して参加グループ内のメンバー全員に同時に文字情報や写真情報の共有を行った。従来の携帯メールや電話による連絡網報告では通話中で上手く繋がらなかったり、転送や伝言の手間が必要となっていたが情報を常に同時に共有する形に改善する事で情報共有におけるボトルネックを解消した。副次的効果として他班の報告状況も確認出来るため、報告内容が精練されていくなどベテラン職員のノウハウを学ぶ教材としても機能したり、SNSに掲載するための写真報告など若手職員からの躍動的な活動報告が増大した。運用の留意としては1つのチャンネルだけで全てのやり取りの運用を行ってしまいがちではあるが、内容が煩雑になるのでチャンネルを複数に分け全てのチャンネルの内容を全メンバーが見れる形での報告グループにする必要（全チャンネル全職員が登録されている状態）を感じた。例えば、「災対本部」や「〇〇巡回班」「配車班」「ロジ班」「広報班」「事務連絡」「緊急連絡」などのグループを事前に作成しておき、情報が煩雑にならないようにする事で、結果クロノロとしての機能を持ったり、情報の読み飛ばしや抜け漏れ、後からの検索手間が発生しない事にも繋がる。Microsoft teamsは全職員にアカウントが付与されている地整も増えており導入は容易と考えられる。

c) 表計算アプリ

Excelなどの表計算ソフトのアプリ版としてGoogleスプレッドシートを利用する事で、自席のPC以外にも防災用ipadや個人の端末、他機関とも同時、多接続での表計算データの更新が可能となり、除雪車の運行管理シートの更新や他機関との情報共有（掲示板やホワイトボードのような利用）、各種報告様式の更新、弁当の申込み登録などへの活用ができ、どこからでもリアルタイムの情報を閲覧する事が可能となった。このアプリを利用する事で今まで各機関や現場からメールやFAX（電話での受領確認込み）で集約していた様式の定期的なとりまとめ作業も労力が不要となった。

(3) 検証における所見（課題・留意事項など）

情報共有や発信の高度化への活用という事で整理を行ったが、全員が漏れなく一律的に利用参加してもらわなければ成り立たない側面もあるので、運用に当たっては丁寧な説明が必要である。市販のマニュアル等の配布だけではハレーションが起こる可能性もあるので整備担当はきちんとした知識と理解、親切心を持って導入を行う必要がある。幸いではあるが、福井河川国道事務所での導入においては導入前の反対はあったが全てのツールについて、職種や年代、他機関などの外部職員も含めて導入後のトラブルもほぼなく想像以上にすぐに順応していただき高い評価を得る結果となった。

5. 具体事例③ 個人スマホからの管内設備のweb監視システム（リモートDB）

(1) 概要

URLを入力するだけで個人のスマホを含めた端末でどこからでも福井河川国道事務所管内のカメラ（福井県や福井県警、NEXCO等も含めたカメラ）や気象情報（雨量、気温、路温、積雪深）、管内規制情報、道路情報板の表示内容、雨量レーダー情報、除雪車位置、光ケーブル破断情報、河川の水位、鳴鹿大堰の情報などを国土地理院のGIS地図上に旗揚げされたアイコンとして確認が可能なりモートDB（福井河川国道事務所管内全ての電気通信設備に係る諸元をどこからでも確認出来るシステム）を整備し、誰でもいつでもどこからでも管内設備の状態を監視する事を可能にした。現在は諸元の確認や状態監視しか行っていないが、今後は点検報告や故障履歴の登録の入力フォームとしての機能も持たせデータベースやアセットマネジメントとしての活用も準備している。

(2) 運用

個人のスマホで自宅にしながら現在の管内の状況を簡易に把握する事を可能にした。カメラのサムネイル一覧表示で各路線の舗装が黒いか白いか容易に確認したり、



図3 スマートDBイメージ

図4 無線LAN活用イメージ

積雪や気温・路温の一元的情報及び除雪車のGPSによる稼働位置のリアルタイム表示にて除雪車出動の判断にも活用。道路情報室で得られる情報とほぼ同等の情報が得られるので自宅や出先でも様々な判断が可能となった。

(3) 検証における所見（課題・留意事項など）

近畿の他事務所や北海道開発局などでも同様のシステムの導入が行われており広く活用が認められている所であるが、今後は路線や河川毎の表示の並びやアイコン、除雪車の軌跡ルートの表現など運用する側を意識した最適な見え方の配置や標記をより工夫して整理していきたい。また、現在県とは協定を結んでおり相互に画像等のデータを活用する連携をしているが市町との連携はまだなので、連携協議の調整を行い市町での災害対応の参考に活用いただいたり、市町が所有するカメラ等の情報を福井河川国道事務所でも見れるような追加を行う予定。

6. 具体事例④ 庁舎内全フロア無線LAN化

(1) 概要

福井河川国道事務所の庁舎内全フロアに一般のNTT回線を使用した無線LAN環境を構築する事で他機関が応援で常駐に来た際のネットワーク環境の提供を行ったり、テレワーク用のUSB形式のツールであるマジックコネクと個人のPC又は貸し出しモバイルPC（福井事務所には12台配備）を併用する事で事務所内どこにいてもテレワークが可能な状況を整備した。働く場所を自席に限定せず図書館のように好きな席で仕事をする考え方であるフリーアドレスと呼ばれるような業務を庁内のどこでも行う事が可能となり、コロナ過での三密回避として災害対策本部の人員の分散化を行ったり、紙印刷した資料での会議参加ではなく各々のモバイルPCでの資料閲覧とする事で情報共有時の紙資源の削減をする事が可能となった。また、事務所長室や別フロアへの報告の際などPC上の画面を見て判断を受けたい際にケーブル接続されていないので、そのままPCを持ち運び説明が出来るので意図が伝わりやすくなるなどの効果があった。

(2) 運用

従来、道路情報室に災害対策本部の立ち上げがされた場合、対策要員は普段使用しているPCとは違うPCでの作業を行う必要があったため、個人メールに送付されて

きた資料などは紙印刷により持参したり、一度自席に戻り確認しないといけない等の手間があったが、道路情報室にモバイルPCを持って来る事で普段と変わらない環境で業務が行える状況を整備したのでそういった課題が解消された。また、各除雪基地にて常駐する班長にモバイルPCとポケットwifiを配備する事でweb常駐的な環境を作り情報をリアルタイムに共有した。

(3) 検証における所見（課題・留意事項など）

除雪基地や出張所など無線LAN環境が未整備な箇所や道路巡回車の車内などはポケットwifiなどで対応していたが、ポケットwifiだと一月に20ギガしか定額料金内のデータ通信が出来ないため、各拠点にも無線LAN環境を整備していく必要があると認識した。無線LANの接続方法について、他機関用（接続の容易性を重視して定期的にパスワードを変更する程度の方式）と職員用（メールやUSBにてファイルデータを受領した端末のみ無線LAN接続される方式）と接続の入口を分ける事でセキュリティにも考慮したが、他機関用については一般公衆wifi程度の運用である事を認識してもらう配慮が必要。行政LANや防災LANと呼ばれる国交省ネットワークに直接接続出来るような高度な無線LAN設備の導入を検討しがちではあるが、テレワークでマジックコネクトの利用に慣れた職員が多い現在では通常NTT回線で構築の方がネットワークが分離されセキュリティリスクも低く、余計な設備導入コストも掛からず、利用も簡便になるので整備時には参考にされたい。

7. 具体事例⑤ プロジェクターによる全壁面スクリーンモニター

(1) 概要

従来、大型バックライトディスプレイや60型程度のディスプレイを8枚程度連結して構成する事が多かった災害対策室などの監視モニタをプロジェクターによるスクリーンへの映像投影方式にて実現する事で壁一面全ての面積を有効活用したカメラ映像等の表示を実現した。これにより同サイズでのディスプレイ表示より安価に構築する事が可能となり、従来では出来なかった1枚表示のシネマスクリーンのような映像表示が可能となった。また、カメラ映像の多画面表示数も8枚ディスプレイ構成時の最大32画面から最大81画面の同時出力へと大幅に機能向上した。

(2) 運用

同時出力出来る画面が増えた事で数秒ごとに画面が切り替わるシーケンシャル巡回間の見逃しも少なくなり、一部固定画面にしておく等の活用性も向上した。また、1枚物の画像として利用する事でマップデータやRICOH

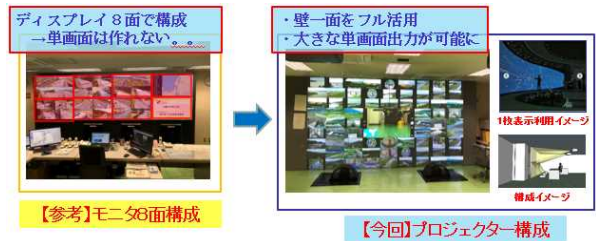


図5 プロジェクタースクリーン方式イメージ

THETAで撮影した360°カメラ画像を表示しながら対応を議論するなど大きな絵としての表示活用も可能になった。また、背景画面として利用する事で広報用の動画配信時などニュースや気象予報の指し棒解説のような利用の仕方も可能になったので、そのような解説映像を庁内の天吊りモニタ等に配信する事で災害対応における情報を事務所内全体に展開するなどの活用も可能となった。

(3) 検証における所見（課題・留意事項など）

今回プロジェクター方式を導入してみて画質も良く導入効果はとても高かったと思う。現在ではカメラ画像の巡回表示だけでなく、動画配信時の背景画像としての利用やZoomやyoutube等の講演会や説明会などの放映会場としての利用も出来るなど用途の幅が広がった。また、スクリーンが薄いので背面スペースも有効活用が可能で書類や機材の倉庫としての活用もでき、災害対策室がスッキリとし人流の動線が大幅に改善した。

8. 具体事例⑥ スマートマイクによるカメラ映像の音声切替え操作

(1) 概要

音声認識技術としてAmazon Alexa等のスマートスピーカーやGooglePixel等の文字起こし機能の精度が実運用レベルまで達している状況を踏まえ、災害対策室におけるカメラ映像の切替え操作をキーボードやマウスからマイク入力による音声操作へ置き換える実証試験を行った。音声のみでカメラ選択が出来るので誰でも簡単に必要な画面を呼び出す事が可能となった。

(2) 運用

試行段階のため大画面モニターとは別ディスプレイにて音声によるカメラ映像のキーワード呼び出し表示を行った。異動直後や応援で派遣された土地勘のない要員の地域名等に関する知識不足の補完やカメラ画像表示の迅速性の改善、カメラ操作人員の削減等の効果が得られた。

(3) 検証における所見（課題・留意事項など）

音声によるカメラ映像の呼び出しという事で音声認識精度が重要となってくるが、認識精度はとても高く支障を

感じなかったため、今後は呼び出すだけではなく「〇〇番モニタに□□の映像を映す」や「震源地半径△△km以内のカメラ」などの操作が行えるように改良する予定である。また、表示ディスプレイやマイク等の入出力装置を小型のスマホのようになり、道の駅などで導入されているロボホンと呼ばれる携帯電話に人型の見た目を持たせ対話型で親近感のある入力を行えるような音声入力装置に置き換えるなどして使用時の抵抗感をなくしていきたいと考えている。ロボホンはタブレットと連携してパワポ資料を読み上げたり、受付など秘書的業務の代理ロボとしての役割を担ってくれるのでそういった機能も活用していきたい。



図-6 スマートマイク実機 図-7 ロボホン 図-8 PR動画の配信

術を習得していく。特にiphone Proのシネマモードで映画のような映像を製作したり、奥行き撮影が可能なLiDER機能を利用して3Dスキャンコンテンツ等を作成する予定である。

9. 具体事例⑦ 動画編集ソフトやSNSを活用した情報発信

(1) 概要

SNSが持つ発信力を有効活用するため、各種SNS (Twitter、Instagram、Facebook、YouTube) で通行止め情報や除雪車の稼働状況写真、路面状態の定期提供などを行った。また、若手職員自ら撮影及び動画編集した動画を道の駅の情報表示端末に毎月映像発信するなど福井河川国道事務所の取り組みを理解してもらい地域との接点作りにも力を入れた。

(2) 運用

広報班にて各種SNS (Twitter、Instagram、Facebook、YouTube) を利用して雪害情報の発信を行った。また、FinalcutProやLumafusion、DaVinciResolveといった動画編集ソフトを使い、若手を中心に10名程度のクリエイターで動画制作を行い、道の駅などの情報表示端末で15分程度の動画を毎月発信した。ほぼ初心者の集まりであったが、楽しみながら思った以上の出来映えに自信を持ち編集知識や機材知識、撮影技術を身につけている状況である。配信動画については視聴者の方からも、過去のデータの提供を求められる等、好評を得ているので今後は現場のロケを増やしたり、機材のバリエーションを増やしてより良い映像を制作していきたいと考えている。

(3) 検証における所見 (課題・留意事項など)

現在、河川も含めた事務所全体の取り組みとして広報に力を入れており、2022年度からは本格的に広報委員会を立ち上げ「全国事務所3番目のTwitterフォロワー数1万人突破 (2022年05月20日時点 約8,800人)」と「より簡潔で分かりやすいコンテンツの作成及び動画編集スキルの向上」を目標に活動していく予定である。今後は様々な機材を使いこなせるように勉強会を開きながら技

10. 終わりに (今回の取り組みで感じたこと)

当初の目的である情報の収集及び共有、発信を高度かつ迅速に誰でも行えるようにする事については、ある程度の成果を得られたのではないと思うが、今回の取り組みを通して感じた事は新しい設備やツールの導入を行う際は、ただ調達するだけではなく誰もが容易に普段から使用してもらえるように利用場面を明確に想定して、ツールの操作性や説明資料、運用におけるフォローに至るまで丁寧に導入を行わなければいけないという事である。今回は機器の色や付属品などのアクセサリ、細かい設定や見栄えまでこだわって調達の努力をしたが、使用者のストレスのない導入を行う事は今後続く課題であるのでこれからも丁寧に展開をしていきたい。

11. 今後の展開

2022年度の取り組みとしては、①カメラ画像に直近箇所の気温や積雪深などの気象データを文字情報として付与し閾値を超えた物にカラーフレームを付ける仕組みの実証試験、②モバイルIPと接続するUAV (ドローン) の運用に係るルール整理、③路線毎の動画 (360°カメラ) を作成し、再生時間を距離標のように利用して、土地勘のない人と位置情報を共有出来るようなコンテンツの作成、④サーマルカメラを活用した積雪深の把握や冠水把握などの実証試験、⑤ロボホンによるプッシュ型のアラート発報などを実現して行きたいと考えている。

12. その他

2021年度当時は福井河川国道事務所 防災課に所属

国道8号敦賀防災事業における トンネル3D設計について

渡辺 朝晴

福井河川国道事務所 工務第二課（〒918-8015福井県福井市花堂南2-14-7）

本発表は、敦賀防災トンネル詳細設計において、CIMモデルの作成・活用により主構造のトンネルを重点的にモデル化し、敦賀防災 BIM/CIM における独自の取り組みとして、坑口間の土工を含めた路線全体の統合モデル作成を行い留意すべき区間を可視化するなどの工夫を行うことによりCIMモデルを施工段階でも活用することが可能となった。地質縦断面図をモデル化に加えたことにより変状発生時等にフィードバックや原因究明に活用が可能である。

キーワード BIM/CIM、トンネル、CIM モデル

1. はじめに

国土交通省では、建設生産システムの効率化・高度化を目的として、CIM（Construction Information Modeling/Management）の導入を推進している。令和4年4月現在、福井河川国道事務所では、一般国道8号敦賀防災（図1）の建設が進められており、事業目的を達成するための企画のひとつとしてBIM/CIM活用目的を設定している。ガイドラインでは、CIMモデルの活用例は紹介しているものの、事務所作業における動作環境や使用方法まで言及していない。また、設計の次の段階である工事発注において、ソフトウェアの互換性の問題等により、発注者および工事受発注者がCIMモデルを十分に活用できない場合がある。そこで本稿では、4つあるトンネル詳細設計を対象にCIMモデルの作成を行い、主構造のトンネルを重点的にモデル化し事業全体の統合モデルの作成を行った。当詳細設計業務におけるCIMモデルの活用状況を整理し、日常業務や施工中・供用後の安全管理でより一層活用されるために必要な活用方法を考察する。

2. 敦賀防災の概要

一般国道8号敦賀防災は福井県敦賀市拳野～同市田結との間を結ぶ延長3.8kmの道路であり2018（平成30）年度に事業化された。国道8号の福井県越前市～福井県敦賀市間においては、急峻な地形であるため、道路幅員が狭く、急カーブや急勾配が続く区間である。特に冬期には、多量の降雪・積雪及び厳冬による路面凍結のため、通行止めや交通渋滞が発生し、円滑な交通の妨げとなっている。また、福井県南越前町大谷～福井県敦賀市赤崎間は、異常気象時における通行規制区間となっている。

そのため、敦賀防災では災害時の代替性の確保、安全で快適な走行の確保、積雪時の円滑な交通の確保を目的に整備が行われている。



図1 敦賀防災の概要¹⁾

3. BIM/CIMの活用状況

敦賀防災では、以下の7項目についてモデル化を行ったのでそれぞれの活用方法を述べる。

1) 路線全体の統合モデル作成

トンネル単体でモデル化を行っても連続性がなく、トンネルが連続して地形も複雑であり、また、毎年降雪もあり雪害対応にも力を入れているため、第一トンネル～第四トンネルの4トンネル、およびトンネル坑口間の土工区間を含めた路線全体をモデル化（図2）。設計段階から施工、維持管理に至るまで活用可能なBIM/CIMモデルを構築することにより、各事業段階における生産性向上が期待できる。



図2 路線全体の統合モデル

2) 支保構造のモデル化と属性情報付与

支保パターン毎に外形をモデル化・着色を行い(図3)、支保構造・補助工法を属性情報として付与した。これらにより、施工段階において留意すべき区間(剛な支保構造や補助工法が必要となる区間)等を可視化する事が可能となった。本土工(図4)・支保構造・補助工法等に留意すべき区間を一見で確認可能で、設計段階と大きく異なる地山性状が確認された区間の抽出が容易になる。維持管理段階において施工時に施工段階の属性を付与することで維持管理段階でも変状発生時のフィードバックや原因究明に活用可能である。

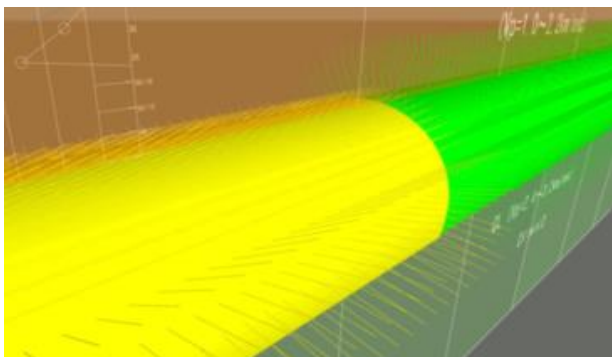


図3 構造物(支保・補助工法)モデル

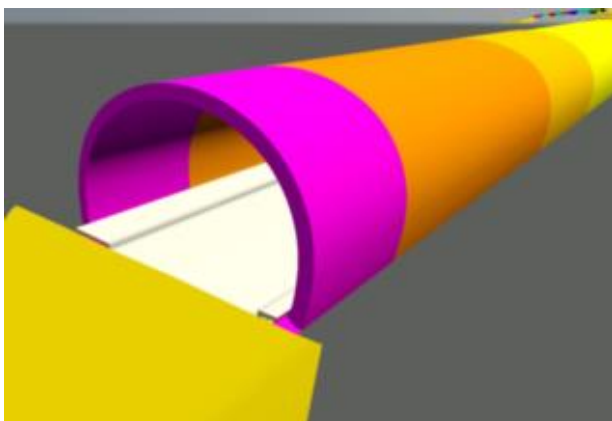


図4 構造物(本土工)モデル

3) 地質縦断図のモデル化

トンネル線形を境界面として地質縦断図を用いた準三次元モデルとして地質をモデル化(図5)。また、地質縦断図に補助工法範囲を明示し分かりやすく整理した。

施工段階では本モデルに切羽観察モデルを統合することにより最終的な地質情報を三次元的に捉えることが可能となり、その後の維持管理段階においても活用可能となる。また、施工時前方探査結果との相違により補助工法の妥当性検証(図6)や要否判定に活用可能である。

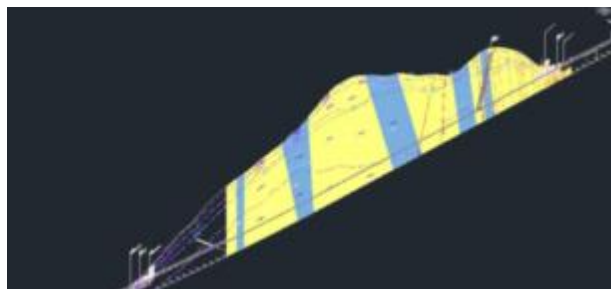


図5 地質・土工モデル(準三次元)

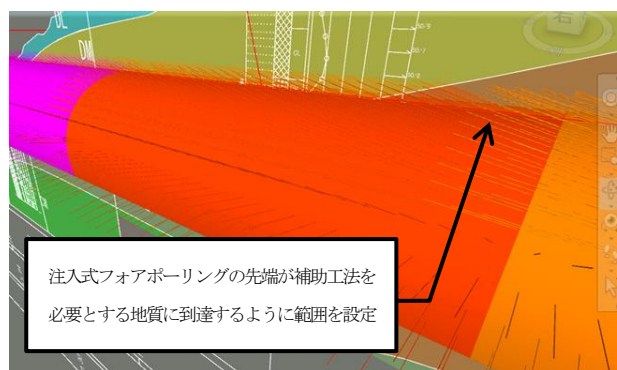


図6 補助工法範囲の妥当性検証

4) 用地幅杭のモデル化

土工部や坑口付近の用地範囲をモデル化。路線全体の用地範囲をモデル化することにより、重要な施工条件を可視化し、手戻りを防止することができる(図7)。



図7 用地幅杭のモデル

5) 坑口近傍のモデル化

各トンネル坑口部について支持部(置換基礎や地盤改良)も含めてモデル化(図8).

トンネルの坑口は何れの坑口も支持層が深く比較的規模の大きい置換基礎や地盤改良が必要となる. 本箇所を三次元化することにより, 深度, 必要範囲等を可視化. 施工段階において, 地形図と実際の地形とのズレ, 設計時想定支持層線とのズレなど坑門工形状の精査に活用可能である(図9).

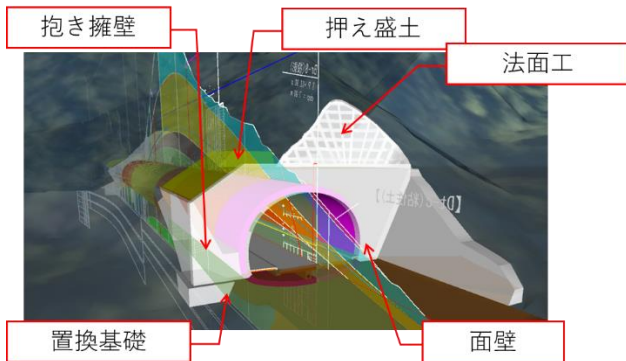


図8 坑口近傍のモデル1)

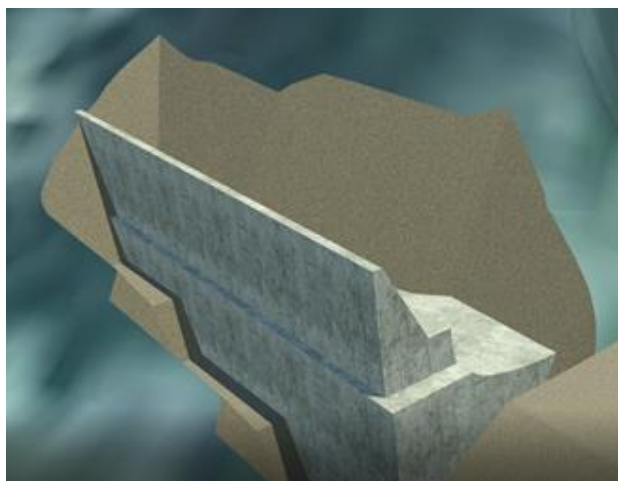


図9 坑口近傍のモデル2)

6) 小土被り部のモデル化

小土被り部地形とトンネルとの三次元的な位置関係を可視化(図10). 三次元モデルを構築することで, 小土被り部の確認が必要となる箇所の抽出や, 本モデルから二次元切り取りによる図面作成や確認が可能である(図11).

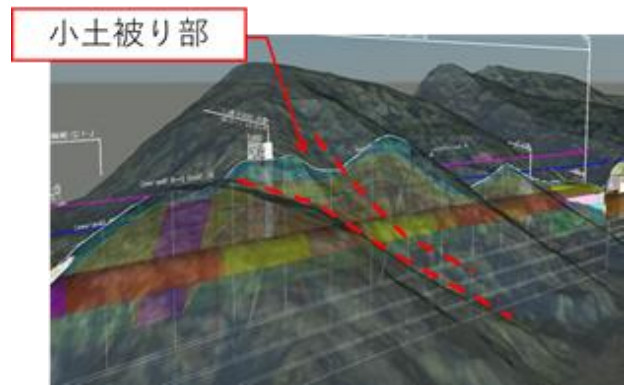


図10 少土被り部のモデル1)

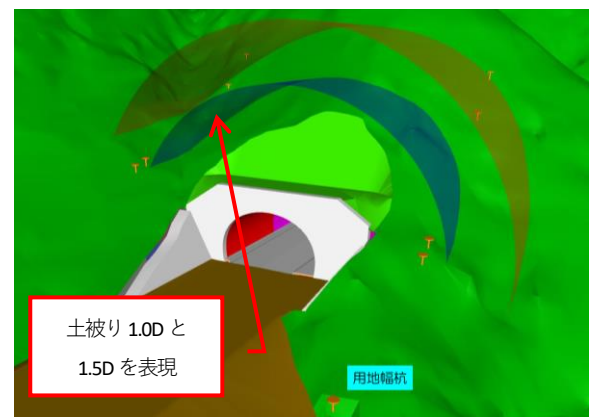


図11 少土被り部のモデル2)

7) 全体工事工程をBIM/CIMモデルにより表現

事業工程を踏まえた路線全体の事業ステップをモデル化. 路線全体の事業ステップをモデルで表現し, 設計条件(前提とする施工条件等)や設計意図(周辺環境への影響, 施工時の留意点等)を施工者に伝達し, 関係者協議等の後工程で活用を図る(図12).

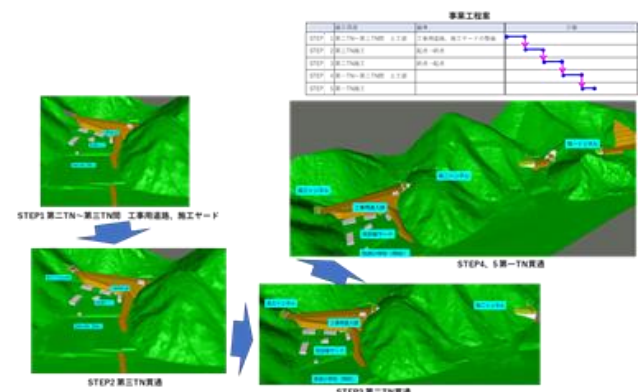


図12 全体工事工程

8) 走行シミュレート動画の作成

国道8号敦賀防災全線を走行するシミュレート動画を作成し, 完成時のイメージを施工者に伝達可能である. また, PR動画としての活用を図る(図13).

9) 敦賀防災における独自の取り組み

今回独自の取り組みをおこなったのは, 1) 路線全体の統合モデル作成, 5) 用地幅杭のモデル化, 6) 小土被り部のモデル化の3項目である. 特に用地境界については, 施工時に民地境界を侵さないよう細心の注意

が必要となることを踏まえ、モデル化を行い一目で分かるように配慮した。設計担当者だけではなく、設計から施工、維持管理まで一連で情報を共有できるものとなった。

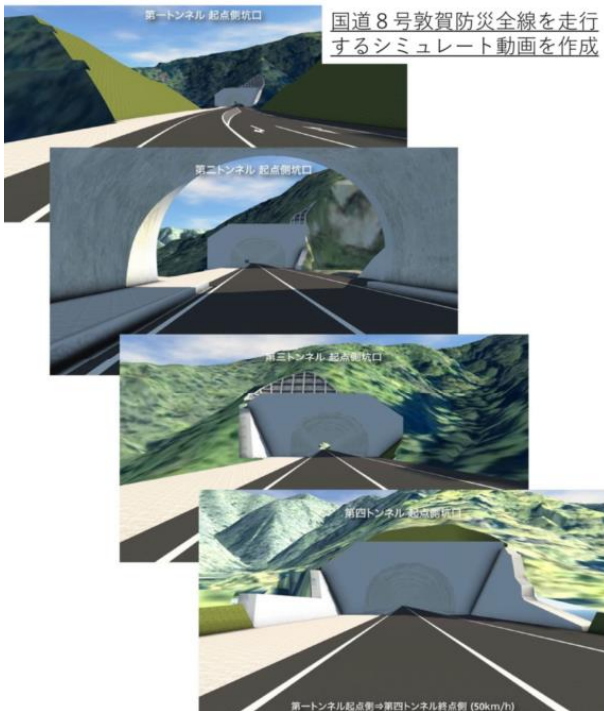


図13 走行シミュレート

4. BIM/CIM 活用の課題

今回の詳細設計では詳細度(表1) 300~400としモデル化を行った(表2)。CIMを用いた鉄筋干渉照査には、詳細度400以上のCIMモデルが必要であり、CIMモデルの作成に多大な労力を要する。

敦賀防災ではトンネル詳細設計を対象にCIMモデル対応としていることから、トンネル線形を境界面として地質縦断図を用いた準三次モデルとして地質をモデル化し反映させ、明かり部の土工区間のみを反映させて路線全体の統合モデルの作成を行っている。

地元説明会用のCG作成や景観検討時には少ない労力で資料作成が行える一方、明かり区間では施工に必要なCIMモデル化まではされていないのが現状である。

施工時のCIMモデルの活用としては、支保構造のモデル化と属性情報付与や坑口近傍のモデル化を行っており、CIMを活かした調査や検討・施工がスムーズに行われることを期待するが、一連で活用できるように工夫が必要である。コンクリート打設日のような属性情報を書き込んでいくのは可能であるが、CIMモデルの特徴である付与された属性データに関して更なる活用の余地があると考えられる。

表2 敦賀防災CIMモデルの詳細度

実施内容	詳細度
1)路線全体の統合モデル作成	300
2)支保構造のモデル化と属性情報付与	300~400
3)地質縦断図のモデル化	300
4)坑口近傍のモデル化	300~400
5)用地幅杭のモデル化	300
6)小土被り部のモデル化	300
7)全体工事工程をBIM/CIMモデルにより表現	300

5. 今後の有効活用方策

BIM/CIMモデルの今後の更なる有効活用方策として、施工時における出来方管理への活用、施工情報の一元管理、維持管理段階におけるプラットフォームとしての活用が考えられる。

施工管理としては、レーザースキャナーを用いた出来方管理への活用である。面的な管理や任意断面の出来方確認が可能となることや、トンネル切羽などの高さ計測に必要な高所作業車等が不要となり、計測作業が効率化、安全性も向上すると考えられる。施工情報の一元管理では、設計時の地質情報やトンネル掘削部の切羽状況、および計測結果を三次元的に可視化し、一元管理することで、トンネル施工状況を見える化が出来ると考えられる。

また維持管理においては、プラットフォームとしての活用が考えられ、三次元モデルに紐付けてデータ管理(一元管理)することでデータを探す負担を軽減(効率化)。日常管理、災害対応、雪害対応、清掃・植栽、道路の点検・修繕などのあらゆる分野で今後活用が可能であると考えられる。

6. まとめ

5章までを総括すると、CIMを日常業務や施工中・供用後の維持管理で一層活用するためには、常にデータ更新、情報の共有が必要であると考えられる。また、絶えず変化するデジタル技術をしっかりと捉えて情報の収集・分析することが必要であると考えられる。

謝辞: 本稿の執筆に本論文を作成するにあたり、多大なるご協力をいただきました関係者の方々に深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1)敦賀防災事業パンフレット【事業の概要】

土工3次元モデルを用いた設計～施工段階の BIM/CIMデータ連携におけるJ-LandXML活用に関する考察

藤野 明

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

BIM/CIMは、計画・調査・設計段階から施工、維持管理の建設生産・管理システムの各段階において、BIM/CIMデータ（3次元モデル）を連携・発展させ、あわせて建設プロセス全体に携わる関係者間でデータ連携を行うことにより、建設生産・管理システムにおける品質確保と受発注者双方の業務効率化・高度化を図るものであるが、土工工事における、3次元モデル交換標準として定められた、J-LandXML形式により納品された設計データが施工段階において活用されず、新たに施工用の3次元データが作成され、データ連携が行えていない事例があることから、その原因及び対応策を検討し、J-LandXML形式の活用方法を報告するものである。

キーワード BIM/CIM, 3次元モデル交換標準, J-LandXML形式, データ連携

1. はじめに

(1) 取組の背景

a)インフラ分野におけるDXの取組

2020年の新型コロナウイルスの感染拡大を契機として、デジタル技術を活用したテレワーク・オンライン会議等が急速に浸透したほか、公共工事の現場においても非接触・リモート型の働き方に転換するなど、感染症リスクに対して短期間のうちに社会全体で生活様式が大きく変容している。

インフラ分野においても、社会経済状況の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや、組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現すべく、国土交通省では2020年7月に「国土交通省インフラ分野のDX推進本部」を設置し、同本部において、インフラ分野のDXの全体像の整理や各種施策の進捗状況の確認を進めてきたところである。

b)BIM/CIMの活用

インフラ分野におけるDXの取組の一環である「情報の高度化とその活用」として、関係者間において正確でリアルな情報共有が行える、3次元モデルによるコミュニケーションを推進するため、3次元モデル（BIM/CIM）の活用に取り組んでいる。

BIM/CIM（Building/ Construction Information Modeling Management）とは、計画・調査・設計段階から3次元モデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても、情報を充実させながらこれを活用し、あわせて建設プロセス全体にわたる関係者間で情報を共有することにより、一連の建設生産・管理システムにおける品質確保と共に受発注者双方の業務効率化・高度化を図るものである。

国土交通省ではBIM/CIMを令和5年度には小規模を除く全ての詳細設計・工事に原則適用するために、適用業務・工事の拡大に取り組んでいるところである。

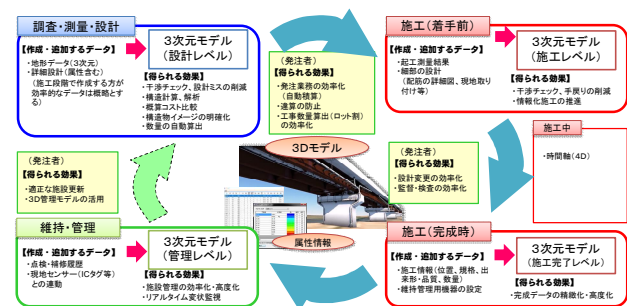


図-1 3次元モデルの連携・段階的構築

一方で、各段階で使用される異なるソフトウェア間のオリジナル形式のデータ同士では、各ソフトウェアで適切にデータ連携出来るとは限らないことから『BIM/CIMモデル等電子納品要領（案）及び同解説』では、3次元モデル交換標準として、J-LandXML形式およびIFC形式

が定められており、今回、検討の対象とした土工モデルではJ-LandXML形式によりデータ連携を行うこととしている。

しかし、現状ではJ-LandXML形式により納品された土工モデルの設計成果が、施工段階において適切にデータ連携できず、施工段階において、再度3次元モデルを作成している事例が確認されている。

表-1 各BIM/CIMモデルの納品ファイル形式

BIM/CIMモデル	納品ファイル形式
地形モデル	J-LandXML及びオリジナルファイル
地質・土質モデル	オリジナルファイル
線形モデル	J-LandXML及びオリジナルファイル
土工形状モデル	J-LandXML及びオリジナルファイル
構造物モデル	IFC2x3及びオリジナルファイル
統合モデル	オリジナルファイル

(2) 取組の目的

今回、検討の対象とした土工の施工では、ICT施工や無人化施工の取組が進んでおり、設計段階で作成された土工3次元モデルを施工段階へデータ連携が可能になれば、施工の効率化や省力化が期待される。

しかし、J-LandXML形式により納品された土工モデル設計成果が、上手く連携できていない現状に対して、詳細設計において作成された土工3次元モデルを「そのまま」又は「ソフトで対応できる変換」によりICT建機で活用できるBIM/CIMデータの連携を目的として、実際に設計業務で納品されたJ-LandXML形式の3次元モデルを対象に検証を行い、データ連携できない要因の確認及び対応方法の検討を行った。

2. BIM/CIMデータ連携に向けた課題

(1) J-LandXML形式の位置付け

土木分野における3次元モデルの形式として、設計・測量データのオープンなデータ標準を目指し、米国において策定された「LandXML1.2」があり、国内外で多数のCADやソフトウェアに対応されている。

一方で、LandXML1.2では、例えば道路設計において求められるクロソイド曲線パラメータ、片勾配すり付けの特別なパターン、累加距離標など、国内で適用する際に必要となる情報が不足しており、国内ではそのまま適用できないという課題がある。

そのため、日本における道路事業、河川事業の設計及び工事において、BIM/CIMやi-Constructionで必要となる3次元設計データをLandXML1.2に準拠した形式で標記することを目的として、国土技術政策総合研究所において、国内で適用する際に必要となる内容やデータ形式を定めた『LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準(案)』(以下、「交換標準」という)を策定しており、

交換標準に基づき作成された3次元モデルをJ-LandXML形式としている。



図-2 LandXML1.2とJ-LandXMLの関係

(2) J-LandXML形式の概要¹⁾

J-LandXML形式では、LandXML1.2に必要とされる要素のうち、主な要素として、Units (単位)、Coordinatesystem (座標系)、Project (プロジェクトの説明)、Application (アプリケーション名)、CgPoints (座標点)、Alignments (中心線形及び横断形状)、Roadways (道路構成要素の集合)、Surfaces (サーフェスモデル) を利用している。

表-2 LandXML1.2の主な要素とJ-LandXMLの関係

No.	要素名	内容
1	Units	単位 (長さ、面積、体積、角度など)
2	Coordinatesystem	座標系
3	Project	プロジェクト名と説明
4	Application	アプリケーション名、バージョン
5	CgPoints	座標点の集合
6	Alignments	中心線形 (平面線形、縦断線形) 及び横断形状
7	GradeModel	勾配モデル
8	Roadways	道路構成要素の集合
9	Surfaces	サーフェスモデルデータ
10	Amendment	改定履歴
11	Monuments	基準点情報
12	Parcels	区画データ
13	PlanFeatures	計画機能
14	PipeNetworks	配管網
15	Survey	測量データ
16	FeatureDictionary	拡張したフィーチャ辞書

※網かけは、LandXML1.2のうちJ-LandXMLで使用している要素

J-LandXMLでは、上記の要素を踏まえ、図-3に示すようにAlignmentsを構成する子要素である中心線形 (平面線形、縦断線形) と横断形状とを組み合わせてモデル化を行っている。

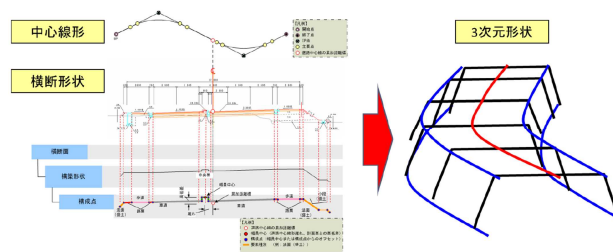
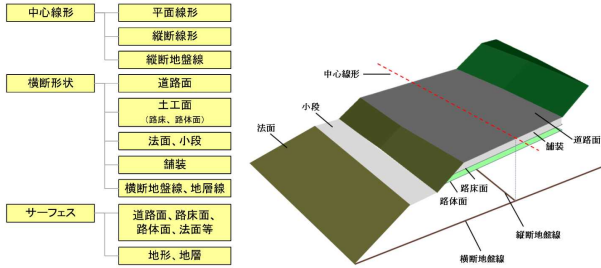


図-3 中心線形と横断形状とを組み合わせたスケルトンモデルのイメージ図

また、J-LandXML形式において、道路分野と河川分野で対象とする要素は原則として同じであるが、一部異なる要素もある。道路分野、河川分野で対象とする要素は、

次のとおり定められている。

道路分野で必要となる要素は、「中心線形（平面線形、縦断線形、縦断地盤線）」「横断形状（道路面、土工面、横断地盤線等）」「サーフェス（道路面、路床面、路体面、法面等や地形、地層）」がある。また、道路分野独自の要素として、路体、路床と舗装情報が必要となる。



道路分野で対象とする要素とイメージを図-4に示す。

図-4 道路分野のJ-LandXMLで対象とする要素

河川分野で必要となる要素は、「堤防法線（平面線形、縦断線形、縦断地盤線）」「横断形状（堤防天端、土工面、法面、小段、横断地形線）」「サーフェス（河川堤防、護岸等や地形、地層）」となる。なお、河川堤防・護岸を対象としており、河床部は対象としていない。

河川分野で対象とする要素とイメージを図-5に示す。

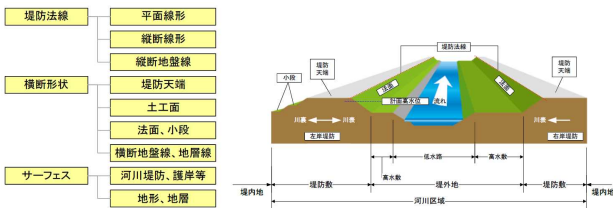


図-5 河川分野のJ-LandXMLで対象とする要素

(3) J-LandXML形式により作成された3次元モデルの事例

J-LandXML形式により作成された道路構造物の3次元モデルの事例を図-6に示す。

道路構造物で対象とされる要素「中心線形（平面線形、縦断線形、縦断地盤線）」「横断形状（道路面、土工面、

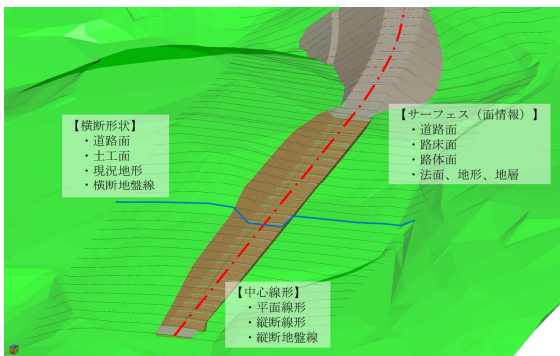


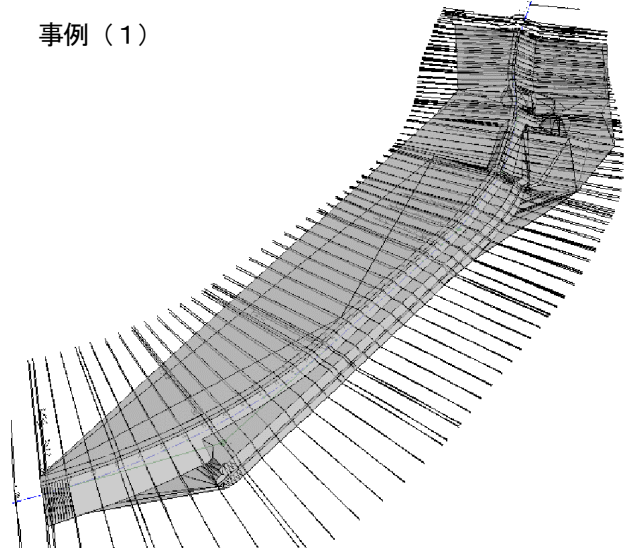
図-6 J-LandXML形式により作成された3次元モデル

横断地盤線等）」「サーフェス（道路面、路床面、路体面、法面等や地形、地層）」が全て含まれている。

(4) J-LandXML形式で納品された詳細設計成果の状況

実際に詳細設計成果として納品されたJ-LandXML形式による3次元モデルの事例を図-7、図-8に示す。

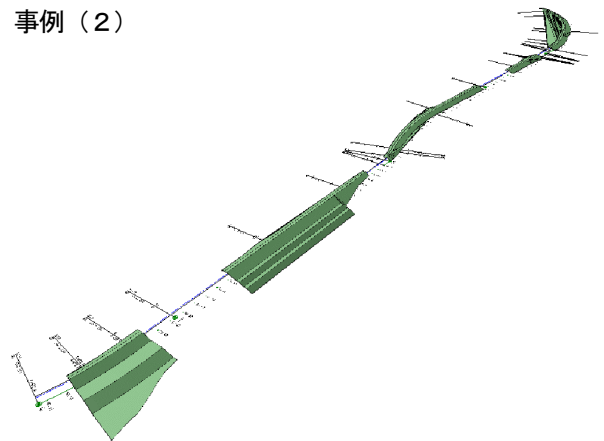
事例（1）



(問題点)
 ・河川堤防に適用する情報が不足
 ・堤防計画高（縦断）が定義されていない。
 ・現況縦断が作成されていない。
 ・計画と現況横断が、横断地形として作成されている。（堤防天端や法面といった情報が取得できない）
 ・計画サーフェスは作成されているが、地形サーフェスが作成されていない。

図-7 詳細設計成果の事例（1）

事例（2）



(問題点)
 ・J-LandXMLで作成されていない。
 ・計画と現況横断が定義されていない。（堤防天端や法面といった情報が取得できない）
 ・計画サーフェスのようなものが作成されているが、地形サーフェスが作成されていない。また、サーフェスに属性が付いていないため、その他要素として取り込まれている。

図-8 詳細設計成果の事例（2）

(5) BIM/CIMデータ連携における課題

現状、詳細設計成果として納品された3次元モデルがJ-LandXML形式に求められる要素を十分に満たしていない場合、施工段階であらためて2次元図面(契約図)から3次元モデルを作成する必要が生じ、作成に要する時間と費用が施工者における負担となっている。そのため、設計段階におけるデータ連携が確実に可能となる3次元モデルの作成が求められている。

3. 対応策の検討

詳細設計で作成された3次元モデルを施工段階で活用するために設計・施工の各段階で使用される以下の3つの3次元CADソフトを対象としてソフト間のBIM/CIM連携について以下の確認・検討を行った。

ソフトA：J-LandXML形式の出力に対応し、近畿地方整備局で導入している3次元CADソフト(V-nasClair)

ソフトB：ICT施工において、ICT建機で使用される3次元CADソフト

ソフトC：J-LandXML形式の出力には対応していないが、建設コンサルタント会社において広く利用されているCADソフト

(1) ソフトAで作成した3次元モデルとソフトB間のデータ連携の確認

現在、J-LandXML形式での出力に対応した3次元CADソフトは限られているが、J-LandXML形式の出力に対応したソフトAで作成されたサンプルデータをソフトBへ受け渡し、データ連携が行えるかを確認した。

その結果、単線形の単純な計画であれば、J-LandXML形式による設計成果をICT建機へ受け渡すことが可能であることが分かった。

一方でJ-LandXML形式に準拠していない3次元モデルの場合でも計画のサーフェース(面情報)があれば、施工段階における3次元モデルの作成の省力化につながるが、2.(4)で紹介した納品データでは情報が不完全であり、そのままでは施工に活用できない状況である。

また、施工者の立場からは完全な互換性がない場合でも、おおまかに施工できる範囲をICT施工に任せ、細かい作業をオペレーターにて施工を行うことで、施工の幅が広がるという意見があり、一定の互換性がある3次元モデルによるデータ連携が望まれていることが判明した。

(2) 詳細設計成果がJ-LandXML形式に対応していない要因の検討

2.(4)で紹介した納品データを対象として、J-LandXML形式に対応していない要因を検討した。

3次元モデルにJ-LandXML形式の出力に対応出来てい

ないソフトCで作成されており、オリジナルファイルでは問題なく3次元モデルの作成が行われているが、その後の工程で、オリジナルファイルをJ-LandXML形式に変換する際に適切な変換が行われていないことが判明した。

ソフトCによりJ-LandXML形式に対応した形式で出力する手順を以下に示す。

- ①3次元CADソフトで3次元モデルを作成する際に、交換標準に定められた要素を踏まえてモデルを作成
- ②①で作成された3次元モデルをXML形式で出力
- ③J-LandXML形式として必要となる中間点や片勾配の情報をCSV形式で出力
- ④電子納品用データ変換ソフトで②③で出力したXMLデータとCSVデータを合成(XMLデータに中間点や片勾配の情報を付加)
- ⑤再度XML形式として出力(J-LandXML形式)



図-11 ソフトCでJ-LandXML形式を作成するフロー

ソフトCのJ-LandXML形式への変換について、一般社団法人建設コンサルタンツ協会近畿支部へ聞き取りした結果、多くの建設コンサルタント会社において、上記のJ-LandXML形式での出力方法を十分に認識できておらず、②で出力したXMLデータをJ-LandXML形式として納品されている状況もあることが確認出来た。

J-LandXML形式への適切な変換が行われていない要因としては、設計段階で広く使用されているソフトCをはじめ国内で利用されている多くの3次元CADソフトではCADソフトの機能としてLandXML1.2に対応したXML形式での出力は可能であるが、J-LandXML形式の要素を満たした形式では出力できないことの認識が不足していることが考えられる。

また、現状ではBIM/CIMに関連する基準類が毎年見直しが行われており、ソフトメーカーでのソフト改修がJ-LandXML形式の改定に追いつけていないことも要因であると考えられる。



図-10 要因検討結果のイメージ

4. 設計～施工段階のBIM/CIMデータ連携に向けた今後の対応

今回の検討により、J-LandXML形式に対応した3次元モデルが詳細設計段階で正確に作成されていれば、施工段階へシームレスにデータ連携が行えることが分かった。

また、3次元CADソフトがBIM/CIM基準に対応していない環境のなか、J-LandXML形式での3次元モデル作成方法が十分に浸透していない状況にあり、J-LandXML形式での設計成果が正確に作成されていない現状が確認出来た。

このような現状において、設計～施工段階のBIM/CIMデータ連携におけるJ-LandXML活用を推進するため、設計業務受注者、発注者双方の立場でそれぞれ、以下のとおり対応を行っていくこととする。

(1) 設計段階におけるJ-LandXML形式に対応した3次元モデルの作成

建設コンサルタント業界においても、これまで3次元CADソフトによるXML出力で、J-LandXML形式に対応した3次元モデルが作成出来ると誤認されていることが判明した。

そのため、3. (2)において確認されたJ-LandXML形式の作成手順を一般社団法人建設コンサルタンツ協会においてとりまとめ、会員企業に対して周知を行う。

(2) 発注者による納品データの確認

これまでの2次元設計の成果品は紙資料により内容確認が可能であったため、成果品の不備がある場合、その場で確認出来たが、3次元モデルの納品データは3次元CADソフトやビューワソフトでの確認が必要となる。

一方で、発注者側の職員においても3次元CADソフトの操作方法に精通した職員は限られており、納品データの確認が十分に実施できていない現状がある。

そのため、3次元CADソフトの操作方法を習得した人材育成に向けて、BIM/CIM研修やBIM/CIM説明会の開催に取り組んで行く。

また、近畿地方整備局で導入している3次元CADソフト『V-nasClair』ではXMLデータがJ-LandXML形式に対応しているかのチェック機能があることから、このチェック機能についても研修やBIM/CIM説明会の場を通じて、引き続き周知を行っていく。

図-12 V-nasClairによるXMLファイルチェック結果

(3) J-LandXML形式で作成した3次元モデルの実施工による検証

これまでに検討したデータ連携は全て3次元CADソフト間での互換性の確認であり、実際にJ-LandXML形式で作成した3次元モデルがICT建機とシームレスにデータ連携が行えるかは検証できていない。

また、令和5年度以降の工事へのBIM/CIM原則適用に向けて、設計受注者、発注者だけでなく、工事施工者側でのBIM/CIMに精通した人材育成も必要となる。

そのため、令和4年度に近畿技術事務所内のフィールドを活用し、測量・設計段階からJ-LandXML形式により作成した3次元モデルを施工段階に連携させ、ICT建機が動作可能か検証を行う予定である。

謝辞：今回の検討にあたり、3次元モデルの内容確認や課題の検討にご協力いただきました一般社団法人建設コンサルタンツ協会近畿支部ICT研究委員会並びに川田テクノシステム株式会社、福井コンピューター株式会社の関係者の皆様に対して、この場をお借りして、御礼申し上げます。

参考文献

- 国土交通省大臣官房技術調査課：LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準の運用ガイドライン（案）Ver.1.4

吹付法枠工におけるICT技術の活用について

板倉 勇介

兵庫県 土木部 総合治水課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

近年、工事現場での生産性向上や品質確保を目的としたICT活用工事が幅広い分野で取り組まれており、兵庫県では2020年7月からICT法面工（吹付法枠工）を導入している。しかし、現状現地合わせによる施工を行っている法枠工の3次元設計データを作成することは難しく、3次元起工測量に基づく設計値は、従来通りの巻き尺計測による2次元図面によって定めている。

本論文では、起伏の多い自然法面对策を行った急傾斜地崩壊防止工事（朝来市和田山町寺谷地内）の吹付法枠工において、法枠工のさらなるICT化に向けた第一歩として、3次元法枠モデルを作成した取組について報告し、3次元設計データ作成への有用性について検討する。

キーワード ICT法面工（吹付法枠工）、3次元法枠モデル

1. はじめに

吹付法枠工は工種の性質上、ほとんどが急な斜面上での作業となり、ICT法面工（吹付法枠工）（以下、ICT法枠工）導入以前は、全ての工程を作業員による手作業で行っていたため、転落や滑落等、常に危険と隣り合わせの工法であった。こうした背景から、作業効率の向上や災害リスクの低減を目的にICT化が進められている。

しかし、現地法面の凹凸に合わせて施工する吹付法枠工では、法枠形状の3次元設計データを作成することが難しく、「3次元計測技術を用いた出来形計測要領（案）¹⁾」においても、「法枠工の出来形計測時に用いる設計値は従来通りとし、3次元設計データの作成は必須としない（P.18）」とされている。

そこで本論文では、近年開発が進んでいる「法枠計画支援ソフト²⁾」を応用し、法枠工の3次元設計及び出来形管理への先駆けとして、3次元法枠モデルの有用性や今後の展望について述べる。

2. ICT法枠工の現状と課題

現在、法枠工におけるICT技術は、主に起工測量と出来形測量で活用されている。（表-1、①⑥）具体的には施工前にドローン（以下、UAV）等による3次元起工測量を行い、設計図との整合を照査する。そして施工後の完成した構造物に対し、UAVや地上型レーザースキャナー（以下、TLS）測量により3次元点群データを取得し、PC

表-1 取組概要

項目	通常 (ICT法枠工)	今回 (ICT法枠工)
①起工測量	<ul style="list-style-type: none"> UAV等による3次元起工測量。 	
②割付検計 測量・計測	<ul style="list-style-type: none"> ロープによる芯出し。 巻き尺による計測。 	<ul style="list-style-type: none"> ロープによる芯出し。 TLS測量により点群データを取得。 
③施工図作成	<ul style="list-style-type: none"> 2次元図面の作成。 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元法枠モデルの作成。 モデルを施工図として活用。
④監督員立会 割付確認	<ul style="list-style-type: none"> 現地でロープ位置を確認。 必要に応じて巻き尺計測。 斜面周辺からの目視確認。 	<ul style="list-style-type: none"> 目視確認できない場所も3次元モデルにより確認。 任意箇所をPC上で計測可能。
⑤施工	<ul style="list-style-type: none"> 手作業による施工。 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元点群データ（UAV、TLS等）をPC上で確認。 
⑥出来形測量 出来形確認		
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 従来からの施工図作成方法であり、多数の実績がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工図作成時の法面作業が不要。 施工前に3次元の完成イメージが持てる。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 法面計測作業が必要。 施工時に2次元図面から3次元形状を予測する必要があり、理解に個人差が生まれる。 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元モデルに関する専門知識の習得や専用ソフトの購入が必要。

上で出来形確認を行う。これらのICT機器を用いた測量により、斜面上での計測作業が減り、安全性の向上に繋がっている。しかし、起工測量後の現地法面に合わせた施工用図面（以下、施工図）は、従来どおり作業員がロープにぶら下がりながら危険の伴う巻き尺計測により2次元図面を作成しており、ICT技術を活用できていない。

(表-1, 通常②③) また, 最新の「法枠計画支援ソフト」を用いて3次元モデルを作成した場合においても, 完成イメージの共有や概算数量の算出はある程度可能であるが, 実施工における施工図としては現地との乖離が大きく, まだ活用できていないのが現状である。

3次元法枠モデルは, 単に芯出しを行ったロープを立体的に表現した訳ではなく, ロープ位置を目安に設計条件と現況地形に合わせたモデリングを行った。

今回の場合, 枠断面300×300(mm), 枠スパン1,500×1,500(mm)を基本とし, 法枠交点は地山と接するよう作成した。

3. 吹付法枠工における3次元法枠モデルの作成

(1) 今回の取組概要

今回ICT法枠工を実施するにあたり, これまでICT技術を活用できていなかった施工図作成において, ICT機器による測量を試みた。さらに, 取得した3次元点群データを基に「法枠計画支援ソフト」を応用し, より詳細な3次元法枠モデルの作成に試行的に取り組み, 施工図及び出来形管理を行うための設計データとして活用可能か検証した。今回は, 受注者及び下請け測量業者協力のもと, 急傾斜地崩壊防止工事の吹付法枠工A=166m²を対象に検証を行った。

通常の ICT 法枠工と今回の取組概要を表-1 に示す。起工測量 (①) と出来形測量 (⑥) については, 通常取り組まれている ICT 機器を用いた測量を実施した。割付検討 (②) についても, 今回は3次元法枠モデルの作り込みに重点を置いたため, 従来通りロープ等を用いて設計条件に基づく概ねの法枠配置位置を斜面上に明示 (以下, 芯出し) した。相違点としては, 通常であればその後, ロープ間隔や梁の位置などを巻き尺により手作業で計測し, 2次元展開図等の施工図を作成するが, 今回は巻き尺による計測は行わず, TLS 測量を実施し3次元法枠モデルを作成した。そして, その3次元法枠モデルを施工図として実際に施工を行い, 梁の割付確認や材料発注などの施工管理に活用した。

(2) 3次元法枠モデルの作成方法

3次元法枠モデルの作成は, 以下の手順により行った。

- ①ロープによる芯出しまで行った斜面に対してTLS測量を実施し, 3次元点群データを取得する。
↓
- ②取得した点群データからロープ位置をトレースし, 法枠配置位置を決定する。(図-1)
↓
- ③トレース線から法枠の交点位置を抽出し, 交点のポイントと地山の点群をすり合わせ, 交点間を繋いだ枠形状を作成する。(図-2)
↓
- ④平面図、横断図、展開図間で設計条件との整合を図りながら, 梁1本1本を調整し, 現況地形に合わせた3次元法枠モデルに仕上げる。(図-3)



図-1 ロープ位置トレース図

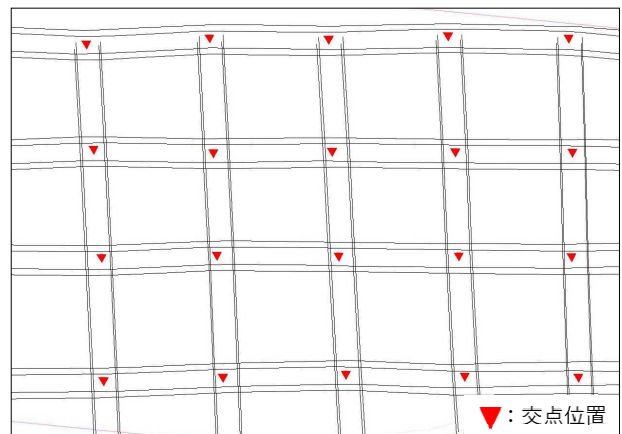


図-2 交点位置抽出図



図-3 3次元法枠モデル

(3) 3次元法枠モデルと出来形点群データとの比較

作成した3次元法枠モデルの現地との整合を確かめるため, 出来形点群データとの比較を行った。3次元法枠

モデル（薄い灰色）と出来形点群データ（濃い灰色）を座標により重ね合わせた合成図を図-4 に示す。両者の重なり具合から、一部斜面の凹凸が大きかった区間で差異が見られたものの、全体的な法枠配置位置や梁の延長、端部の施工状況に関しては概ね一致していた。各全体数量で比較しても、表-2 のとおり大きな開きはなかった。特に、写真-1 のような斜面の勾配変化が少ない区間では、交点位置のずれが 10cm 程度であり、法枠工枠中心間隔の出来形管理基準が±10cm であることを踏まえると十分現地と整合がとれているといえる。（図-5）一方、実際の施工において、現場状況から枠厚さを 300(mm) 以上確保した場所や交点間で地山に沿って折れを設けた箇所については差異が生じた。（図-6）

原因としては、モデル作成時に交点間を直線で繋いだことや、枠断面、枠スパン等の設計条件を反映させることにこだわりすぎたため、現場合わせによる施工とのずれが大きくなったと考えられる。起伏の多い自然斜面の場合、どうしても写真-2 のような法枠の屈曲・湾曲部が生じ、3 次元法枠モデルと完成した法枠は完全には一致しなかったが、交点間の梁 1 本 1 本を調整しモデルを作成したことで、概ね現地との整合が図れており、3 次元法枠モデルを施工図として活用することは十分可能であった。

表-2 数量比較表

項目	3次元モデル	出来形	差
面積 (m ²)	162.4	168.1	+5.7
外周枠長 (m)	75.6	74.6	-1.0
横枠長 (m)	98.1	95.7	-2.4
縦枠長 (m)	118.9	114.4	-4.5

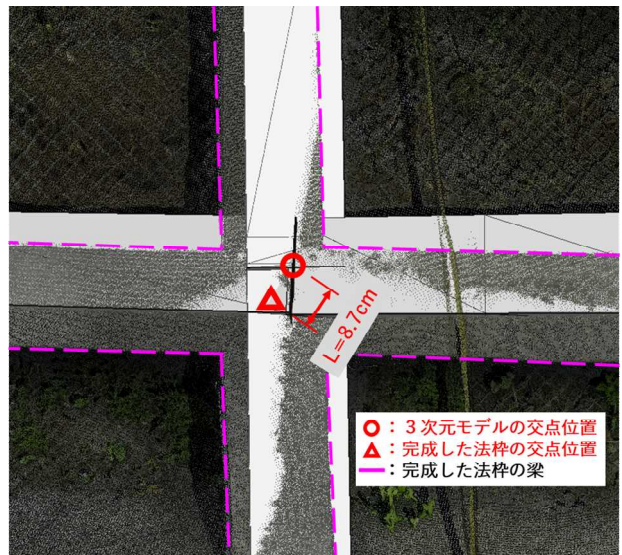


図-5 交点位置ずれ計測図

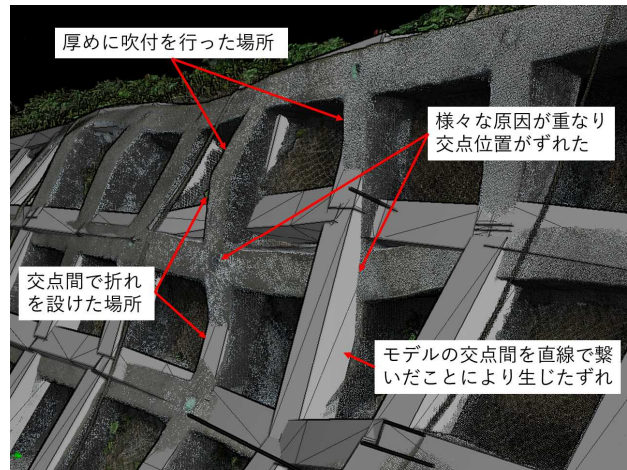


図-6 ずれ原因概要図

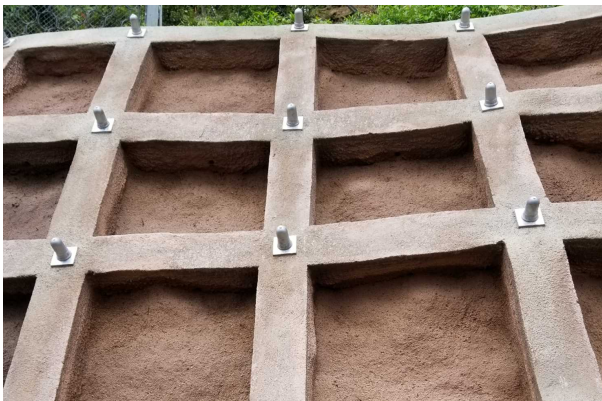


写真-1 法枠直線部



写真-2 法枠屈曲・湾曲部

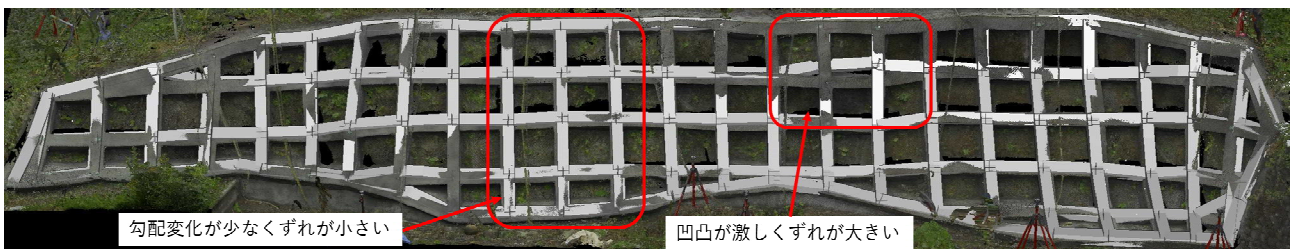


図-4 3次元法枠モデル出来形合成図

4. 3次元設計データへの有用性

(1) 3次元設計データとしての活用

3次元設計データは、設計図書を基に作成し、出来形の良否判定の基準となるものである。今回は、施工管理基準に定められた項目及び全ての枠延長の設計データとして3次元法枠モデルの活用を試みた。結果は前述のとおり、芯出し作業後のロープ位置を目安にしたにも関わらず、3次元モデルと出来形で数メートル程度の差異が生じたため、従来通り出来形を最終の設計値に反映させることとなった。以上より、今回の方法では、3次元法枠モデルを最終の設計値（3次元設計データ）として3次元出来形管理を行うことは困難であった。

(2) 施工管理への対応

今後、3次元法枠モデルを設計値として施工管理を行うためには、以下のような課題を解決する必要がある。

a) 斜面の凹凸、法枠の屈曲・湾曲

現況地形に沿った梁の屈曲、湾曲部への対応として、今回使用した「法枠計画支援ソフト」では、交点間を直線で繋ぐことで梁1本1本の調整を可能としたが、今後は、斜面の凹凸も踏まえて湾曲形状で微調整ができるよう機能を改善する必要がある。

今回は図-7に示すとおり、交点位置が地山と接するよう調整したが、斜面の凹凸により特に梁の中間部において現地との乖離が大きく生じた。現時点での対応策としては、地山の点群データの凹凸に合わせて、調整が可能な短い直線モデルを繋ぐことで、より起伏を反映した3次元法枠モデルが作成可能と考える。

b) 吹付厚さ

今回は、法枠の吹付厚さを全て設計値の300(mm)として3次元モデルを作成したが、実際の施工においては、縦梁と横梁の枠スパンの調整により梁を厚めに吹付けた箇所が存在したため、3次元法枠モデルとの間に差異が生じた。

今後は、図-8に示すように交点位置を調整するため、部分的に任意で吹付厚さを設定できるようソフトの機能改良も含めて対応する必要がある。

(3) 今後の展望

上記の課題を改善し、3次元法枠モデルの詳細な作り込みが可能となれば、3次元モデルに各施工段階の3次元データを重ね合わせることで、視覚的に法枠位置のずれなどが判断でき、法枠工の出来栄向上に繋がるのが期待できる。また、今回斜面の勾配変化が少ない区間では、出来形とのずれが小さかったことから、図-9に示すような切土法面への法枠工においては、3次元モデルでの設計、出来形管理が実現可能であり、将来的にはICT土工と関連づけ、最新のICTツールを応用することで、ロープによる芯出し作業の簡素化が可能と考える。

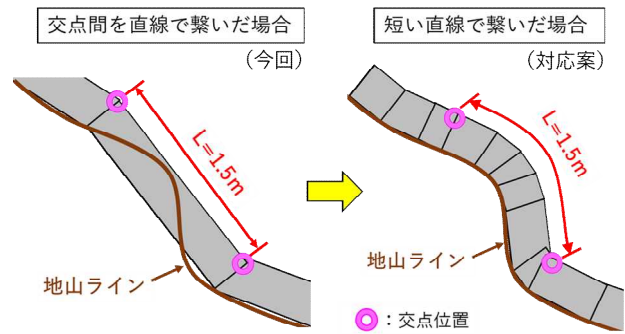


図-7 屈曲・湾曲部法枠モデル模式図

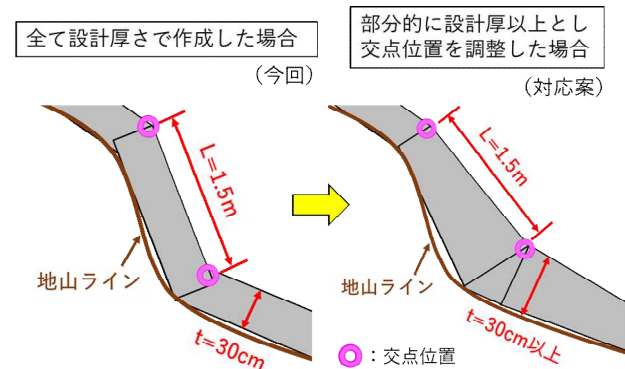


図-8 吹付厚さ法枠モデル模式図

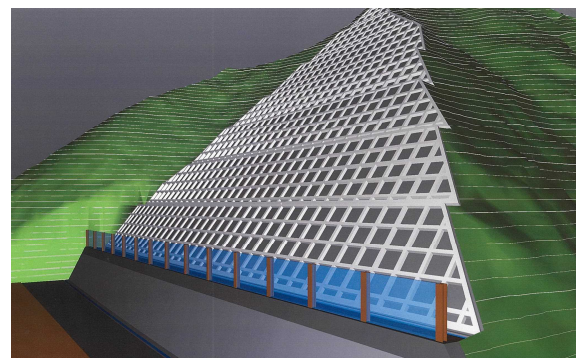


図-9 切土法面の3次元法枠モデルの例

5. おわりに

今回の取組は、現状難しいとされていた自然法面対策における法枠工の3次元設計データ作成に対し、試行的に3次元モデリングに挑戦したものである。本論文においても多くの課題が浮き彫りとなったが、今後の技術発展の一助となるよう努めていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形計測要領（案）（令和2年3月）
- 2) 3次元モデルを利用したBIM/CIMコミュニケーションシステム TREND-CORE 法枠計画支援プログラム（オプション）

※本論文の内容は、従前の所属である兵庫県但馬県民局養父土木事務所河川砂防第2課における業務に基づくものである。

3次元モデルを活用したトンネル坑口部の設計について

杉 陽生

兵庫県 丹波県民局 丹波土木事務所 道路第1課 (〒669-3309兵庫県丹波市柏原町柏原688)

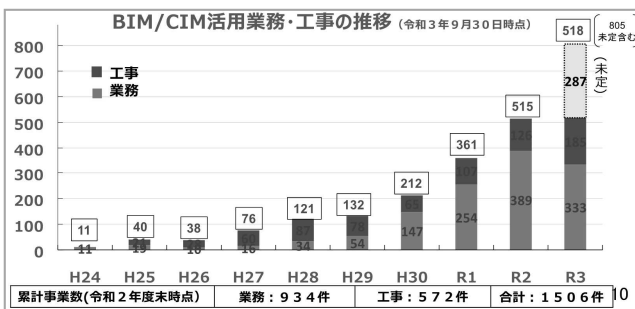
本論は、兵庫県と京都府の境に位置する(国)429号榎峠のバイパス道路整備(トンネル化)において、今後のBIM/CIMの本格運用に向けた実践的な知見を得ることを目的として、試行的に実施した3次元モデルを活用したトンネル坑口部の検討事例を紹介するとともに、効果と課題および取組み結果から得られた知見を報告するものである。

キーワード BIM/CIM, 3次元モデル, トンネル設計

1. はじめに

人口減少や高齢化が進む中、建設業界全体として生産性向上は喫緊の課題である。加えて、新型コロナウイルスの感染拡大を契機として、テレワークの活用等のリモート化・デジタル化の重要性が認識され、生産性の向上とともに、感染リスクの低減の観点からもデジタル DXの推進が一層求められている。

国土交通省では、i-Construction の取組みとして、ICT 施工については 2016(H28)年度を生産性革命元年と位置づけ、これまでに基準類の整備や適用工種拡大を進めてきている。また、BIM/CIM(3次元設計)については、2012(H24)年度から試行を始め、2021(R3)年3月までに累計934件を実施し、活用を拡大させている<図-1>。



<図-1> 国土交通省のBIM/CIM活用の推移¹⁾

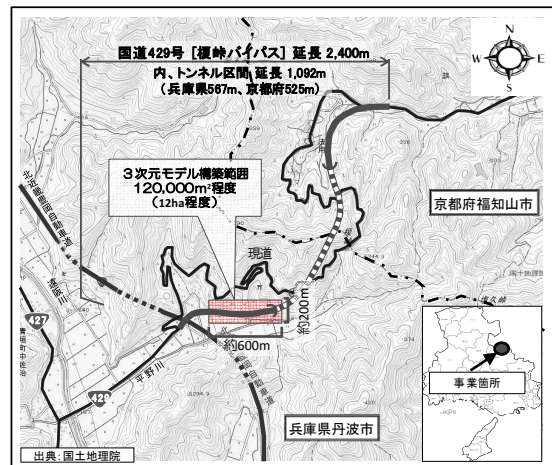
本県においては、2017(H29)年度より ICT 活用工事をスタートさせ、実施件数を拡大させている一方で、設計段階でのBIM/CIMの活用は2020(R2)年度から試行着手したところであり(2020(R2)年度:4件、2021(R3)年度:1件)、生産性向上や維持管理の効率化のために普及拡大が必要な状況にある。

本稿では、今後のBIM/CIMの本格運用に向けた実践的な知見を得ることを目的として、2020(R2)~2021(R3)年度に実施した(国)429号榎峠トンネル(仮称)設計において実施した3次元モデルを活用した坑口部の検討事例を紹介するとともに、効果と課題の検証結果を報告する。

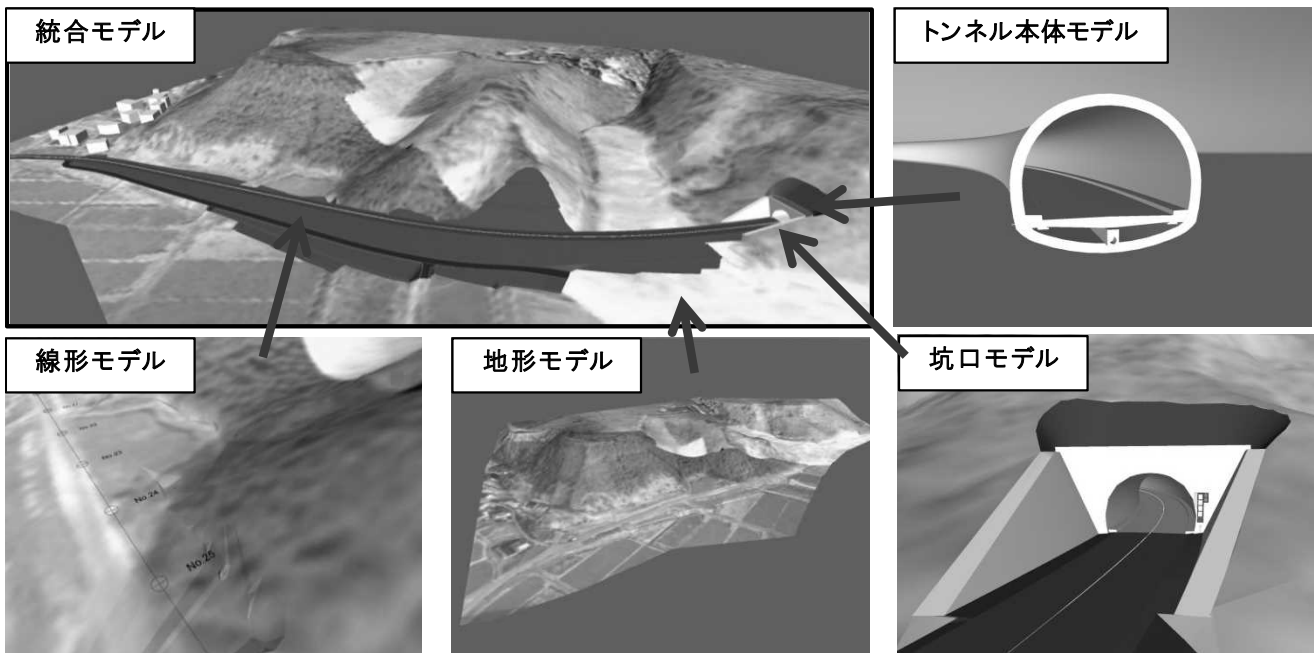
2. 検討事例

(1) 目的

(国)429号榎峠〔兵庫県丹波市青垣町と京都府福知山市との府県境〕は幅員狭小で急カーブが連続する未改良区間である。榎峠バイパス整備事業は、安全・安心な交通確保および地域間の交流促進を目的として2020(R2)年度に事業化し、全長1,092mのトンネル区間を有する<図-2>。坑門工の最適な位置と構造を比較検討するため、兵庫県側坑口部において3次元モデルを用いて検討する。



<図-2> 位置図



〈図-3〉 3次元モデル

(2) 3次元モデル作成

一般に坑門工の設計は坑口部において精度の高い細部測量(S=1/250)が必要であり、今回は3次元点群測量(地上LS)により地形データを取得した。

3次元モデルは操作性、作成時間の観点から、いたずらに詳細に構築するのではなく、活用目的を達成するために必要な作り込みレベル(範囲、詳細度)で作成した〈表-1、図-3〉。また、作成に用いたソフトウェアは、活用目的、市場性、操作性等を考慮し、選定した〈表-1〉。

〈表-1〉 3次元モデルの諸元

階層	内容	種類	詳細度	ソフトウェア
統合モデル	各構造モデルを統合したモデル	NavisWorks (サーフィス+ソリッド)	詳細度 300 (一部 400)	NavisWorks Manage 2018
構造モデル	①線形モデル	道路中心線形 XML	—	Civil3D2018 (Landxml1.2 対応)
	②地形モデル	サーフィス	最小 10m メッシュ (周辺建物 200)	Civil3D2018
	③トンネル本体モデル	ソリッド	詳細度 300	Civil3D2018
	④坑口(コンクリート)モデル	ソリッド	詳細度 300 (一部 400)	Civil3D2018
	⑤坑口(土工)モデル	サーフィス	5m メッシュ程度	Civil3D2018

※) 詳細度は、LevelOfDetail(形状の詳細度)のほか、LevelOfInformation(情報の詳細度)、LevelOfDevelopment(展開度)等の考え方があり、BIM/CIMモデルの活用にあたってはいずれも重要である。本稿での詳細度はLevelOfDetail(形状の詳細度)を指している。

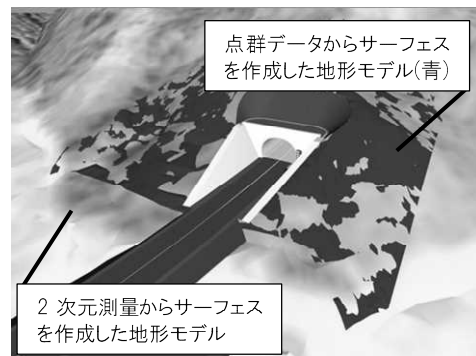
地形モデルのうち、坑口部は坑門工検討のため3次元点群測量(地上LS)データを使用した。明かり部は構造物の詳細な配置を照査する目的ではないため(後述する騒音対策の要否判断および警報表示板配置の比較選定のため)、2次元測量からの等高線を3次元化した。

統合モデルは、地形モデル、線形モデル、構造物モデル等のそれぞれのモデルを組み合わせて、モデル全体を把握できるようにしたモデルである〈図-3〉。今回は坑門工

の配置検討を主目的としてモデルを作成したため、明かり部では小構造物は未反映、法尻端部等の処理を精緻に構築しないこととし、また地質・土質モデルの作成は省略した。なお、地質・土質モデルはBIM/CIMによりトンネル本体設計を実施する場合には重要なモデルとなる。

(3) 2次元測量データから作成した3次元モデル(地形モデル)の精度確認

坑口部において3次元点群測量と2次元測量とのそれぞれから作成した地形モデルを比較し、2次元測量からのモデル精度を検証した。それぞれのモデルはサーフェス(面)の作り方・取り方が異なるため、完全に一致することとはなく、重ね合わせるとそれぞれのモデルの面の高さ位置が各地点で上位、下位に位置することでまだらな見栄えとなる〈図-4〉。このまだらな分布が概ね半分程度(50%程度)であれば、それぞれの地形モデルの形状が概ね一致していると判断できる。ソフトの性能上、分布の割合を定量的に表示することは出来ないため、あくまで視覚的な評価となるが、今回モデルでは大きく精度は変わらないと判断した。



〈図-4〉 地形モデルの比較

ただし、一般的にはサーフェスを作成する接点数が多い3次元点群データの方が高精度となる。今回は、地形が比較的単純（複雑な凹凸や勾配変化点がない斜面）であったことで2次元測量から作成した地形モデルであっても一定の精度が確保されたと考えられる。

(4) 3次元モデルの活用

今回は、今後のBIM/CIM活用を見据えて、主目的である**a)** 坑門工の比較検討に加えて、3次元モデルの有用性を幅広く検証するため**b)** ~**d)** の検討も実施した。なお、いずれの検討も国土交通省が示すリクワイヤメント（要求事項）に該当するものから選定した。（リクワイヤメントを【】内に記載）

a) 坑門工の比較検討

【R3:設計選択肢の調査(配置計画案の比較)】

3次元モデルを用いて視覚化し、構造イメージの理解促進、景観への配慮、設計照査の効率化等を図るため、3案の坑口構造をモデル化し、坑門工の構造比較検討および照査を実施した<図-5>。

比較案	第1案 面壁型 背掘切土無し No.30+10.0 (基準案)	第2案 面壁型 背掘切土1段(安定勾配1:1.2) No.30+18.0 (-8.0m) <標準案>	第3案 面壁型 背掘切土1段(法种併用1:0.8) No.30+1.0 (-11.0m)
平面図			
断面図			
掘削現場イメージ			
掘削現場イメージ(トンネル)			

<図-5> 坑門工比較表

b) 騒音対策の要否判断

【R3:リスクに関するシミュレーション(騒音)】

3次元モデルを活用した3次元騒音解析により、▽坑口の施工仮設備騒音、▽発破騒音、▽発破低周波音について、それぞれ昼間・夜間の計6ケースの騒音対策工の検討および照査を実施した<図-6>。

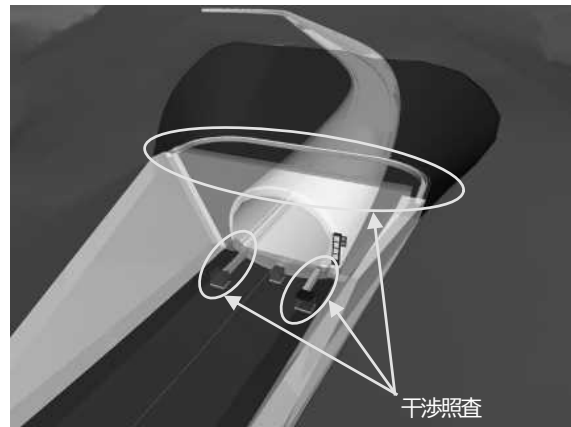


<図-6> 3次元騒音解析結果（発破騒音・昼間/無対策）

c) 配管と構造物の干渉照査

【R2:BIM/CIMモデルを活用した効率的な照査】

トンネル本体、および設備設計にて計画した配管類を3次元化し、3次元モデル(構造物モデル)へ統合することで、面壁、坑口前面擁壁工、および坑口上部の法枠工との位置関係、干渉の有無を照査した<図-7>。

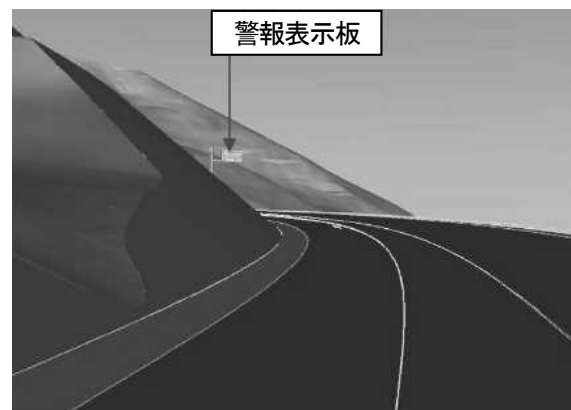


<図-7> 構造物の干渉照査

d) 警報表示板配置の比較選定

【R3:対外説明(関係者協議)】

トンネル設備設計でのトンネル警報表示板の配置検討において、3次元モデルを活用して各案の視認性、補助表示板の必要性判断要素である警報表示板と坑口との同時視認の可否を照査し<図-8>、その結果を関係機関(警察・消防)協議で活用した。



<図-8> 警報表示板の配置照査

3. 効果と課題

各取組みの効果と課題を以下にまとめる。

(1) 3次元モデル作成

a) 効果

- ・3次元サーフェス作成後に電子国土基本図（オルソ画像）を貼り付けることで、景観との調和の確認に役立つ

つ結果が得られた。

b) 課題

- ・3次元データは容量が大きく（今回モデル 152MB）、実務上の運用（操作性、受発注者間の情報共有）を見据えてファイルサイズを意識する必要がある。
- ・実際にビューワーソフトへのモデル取り込みに時間を要するなど作業性が悪かったため、職員用パソコンのスペックのアップグレードが望まれる。

(2) 坑門工の比較検討

a) 効果

- ・複雑な構造となる坑門工の比較検討段階において、3次元で視覚化することで、各案の構造イメージが短時間で理解できた。
- ・周辺地形を含めモデル化することで、景観との調和の確認に役立つ結果が得られた。

b) 課題

- ・坑門工と周辺地形との擦り付けのモデル化は難易度が高いため、モデル作成に時間を要した。

(3) 騒音対策の要否判断

a) 効果

- ・3次元モデルを活用した3次元騒音解析により、通常の2次元騒音解析では考慮できない周辺地形の反射や複合音を反映することができ、解析の高度化が図れた。
- ・解析結果を視覚的に表現することで、対策の要否、および対策工の有用性について一括で確認でき、照査の高度化・効率化が図れた。

b) 課題

- ・3次元騒音解析結果の3次元モデルへの取り込みは、使用するソフトウェアが異なることから自動では出来ないため、解析結果と3次元モデルの統合に手間を要した。
- ・上記手間に関連して、ヒューマンエラーのリスクが生じる可能性がある。

(4) 配管と構造物の干渉照査

a) 効果

- ・3次元モデルを活用することにより、これまで平面図、縦断図、横断図を見比べて確認していた配管と構造物の干渉の有無を立体的に一括で確認することができ、干渉照査の高度化・効率化が図れた。

b) 課題

- ・関連業務（明かり部道路設計、トンネル設備設計）の検討を待って、その結果を3次元モデル化するため、照査のタイミングが関連業務の検討工程に左右される。
- ・モデル化には土木・設備の知識とモデル作成のスキルを合わせ持った専門技術者が必要となることから、業界として人材育成が求められる。

(5) 警報表示板配置の比較選定

a) 効果

- ・3次元モデルを活用することにより、運転者視点からの警報表示板の視認性を現実に近い形で容易に把握することが可能となり、関係者間の合意形成が円滑に行えた。
- ・各配置案の比較、妥当性の判断段階において、視点ごとの視認性を段階的に確認することが可能となり、照査の高度化・効率化が図れた。

b) 課題

- ・関連業務（明かり部道路設計、トンネル設備設計）の検討を待って、その結果を3次元モデル化するため、照査のタイミングが関連業務の検討工程に左右される。
- ・モデル化には土木・設備の知識とモデル作成のスキルを合わせ持った専門技術者が必要となることから、業界として人材育成が求められる。

4. まとめ

今回の試行的な取組みの結果、以下の知見が得られた。

取組み結果		知見
3次元モデルを用いて視覚化することで、構造イメージの理解向上、景観との調和の確認、関係者との合意形成の円滑化、設計照査の効率化が図れる。	⇒	3次元モデルは設計の品質・生産効率を高めるツールとして使いこなすことで、大きな武器となる。
地形・地物等の現場条件によっては、3次元点群測量データにより作成した3次元モデルと、2次元測量データにより作成した3次元モデルとでは、サーフェスは概ね一致する（大きく精度が変わらない）場合がある。	⇒	3次元モデルの作成において3次元点群測量データが必ずしも必要ではなく、生産性が左右されるため（3次元点群測量データは容量がかなり大きい）、3次元モデルの活用目的に応じて使用する測量データを判断する必要がある。
詳細度 300（国土交通省が定める3次元モデル成果物納品要領（案）において基本とされる詳細度）は、今回の取組みで設定したリクワイアメントを十分に満足するものであり、現段階で想定される3次元モデルの活用において詳細度 300は国土交通省が示す概ねのリク	⇒	3次元モデルは、作成に時間を要し、精緻にするほど非効率となる場合があるため、活用目的に応じて作り込みレベル（範囲、詳細度）を見極める必要がある。

ワイヤメントに適合すると思われる。		
リクワイヤメント（目的）に応じた3次元モデルの利活用を図ることで効果的な成果が得られる。	⇒	3次元化は手段であり目的ではないことを認識する必要がある。 さらにその認識は、建設生産システム全体において各工程で目的意識を持って効果的に使いこなす視点が重要となる。

県レベルでは利活用が普及していないのではないだろうか。その要因の一つとして、筆者は3次元モデルをどのように活用するか（できるか）のノウハウが乏しいためではないかと考えている。そこで、都道府県や市町への普及拡大に向けて、国等においては講習会や担い手育成を目指した技術普及、BIM/CIM 利活用により得られる利点（成果）のPR等の強化を図るとともに、都道府県は積極的な試行的取組みの推進や組織・職員の意識改革が求められる。

本県では2025(R7)年度から測量設計の原則3次元化を目指しているが、現状を鑑みるにその実現に向けた道りは遠いと感じている。本取組みが今後の推進の一助となり、本県の全土木事務所で展開されるように、私自身はBIM/CIMの推進、普及（定着）に向けて、これからも邁進する所存である。

5. おわりに

BIM/CIMは3次元化モデルを導入することで、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化が図れる。それにもかかわらず、本県でもそうであるように、都道府

参考文献

- 1) 国土交通省：第7回 BIM/CIM推進委員会 資料1

ICT・AI を活用した道路交通分析について

山下 佳穂里

近畿地方整備局 道路部 地域道路課 (〒540-8586 大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

京都国道事務所では、ICT・AI技術を活用した交通分析や予測技術の確立に向けて取り組んでいる。「観光交通イノベーション地域」に選定された京都市の主要観光地の一つである東山地区において、平成30年よりモニタリングを開始している。カメラ映像をAI画像解析結果を活用し、通過・滞在交通の把握や、高速道路料金所のETCデータ等を組み合わせることで、広域的な交通流動の把握など、交通分析を実施したほか、ETC2.0やその他のビッグデータを活用した分析も行い、東山地区の東大路通、五条通の交通特性の把握を行った。

キーワード ETC2.0 AI画像解析技術 ETCデータ

1. はじめに

「観光交通イノベーション地域」に選定された京都市の主要観光地の一つである東山地区において、交通流動を把握するため2018年度にカメラ7台及びETC2.0可搬型路側機を設置しモニタリングを開始した。また、五条坂の交通実態やコロナ禍による非混雑時の交通状態を把握するため、2021年3月にカメラを4台追加し、図-1のとおりとなっている。

また、東山地区は、秋の観光シーズンに京都市が複数の交通対策を実施しているが、ICT・AIを活用し、分析や効果検証を高度化することで、より効果的な対策を検討することとした。さらに、緊急事態宣言発出下の2021年5月では市内全体の交通量が減少し、渋滞が緩和されていることを踏まえ、交通の質の変化を把握し、交通対策に反映することを目標としてモニタリング結果の活用を行った。

本稿では、これらの目標に向けて、各種ICT・AI技術を用い、交通分析を行ったものである。

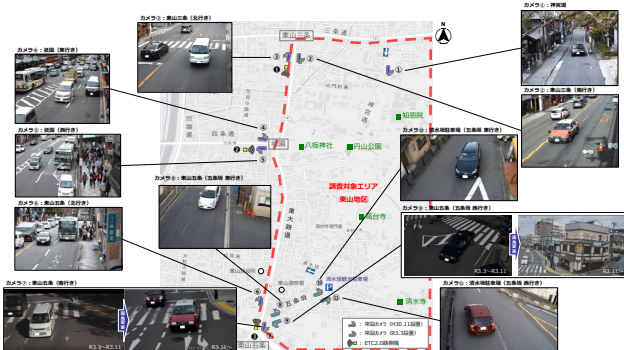


図-1 対象エリアとカメラ配置

2. 分析手法

京都市の交通対策は、①出発前対策として公共交通の利用を促進すること、②経路途中対策としてP&Rや迂回誘導による流入抑制、③東山地区内に流入した車に対する臨時規制や警備員による誘導の3段階で行われた。

これらの対策効果を詳細に分析するため、2018年度に実施したAIによる東山地区の流入・流出するカメラ映像のナンバープレート（以下、NPと記す）解析に加え、それらの解析結果と高速料金所のETCデータ（NP情報）とマッチングすることで広域的な流動解析を行うこと（図-2）や、今年度新たに1台のカメラによる方向別交通量の解析を行った（図-3）。

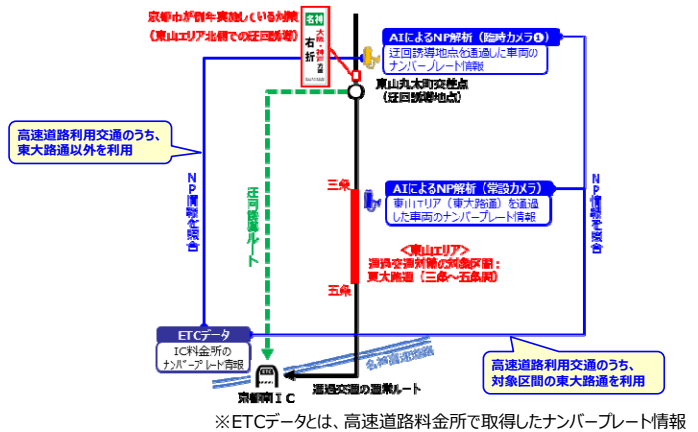


図-2 NPとETCデータを活用した広域流動解析イメージ

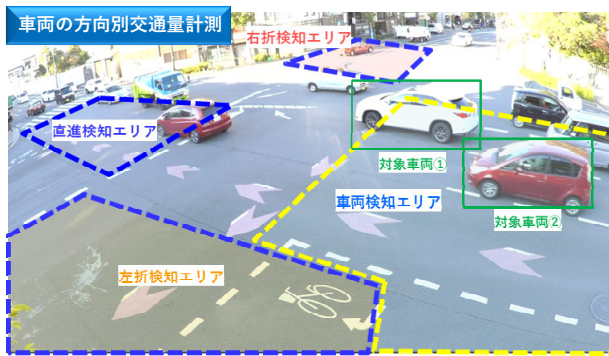


図-3 方向別交通量計測イメージ

3. 交通対策の効果検証

(1) 既往の交通対策の概要

京都市では、東山エリアへの自家用車の流入抑制と安全・快適な歩行空間を確保するため、秋の観光シーズンにおいて交通対策を実施している。2021年度はコロナ禍の影響により観光客が著しく減少していることを踏まえ、一部対策は例年実施している内容を変更して実施された。広域及び東山エリア周辺では、以下の事前広報やP&R、迂回誘導による公共交通の利用促進及び自家用車の流入抑制の対策が実施された。

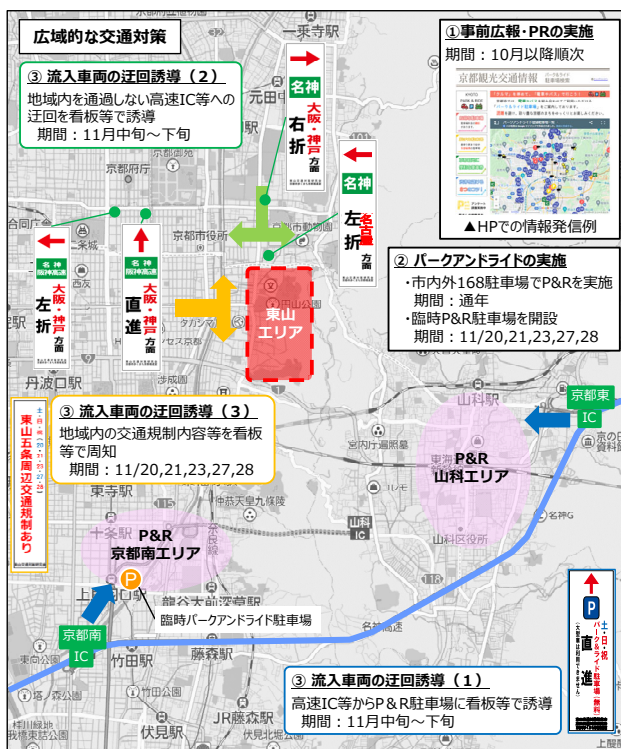


図-4 秋の観光シーズンの交通対策 (2021年秋)

(2) 広域的な対策の効果検証

a) 東山エリア流入交通の抑制対策

東山エリアに流入する自家用車の多くは一般道利用で

あることが確認できたことから、観光期と観光ピーク期における人流データならびに交通量、車種構成を比較した。人流データにはクロスロケーション(株)がサービス提供している人流推計データを活用することにより、京都市や東山エリアの滞在者数を把握することができ、日別推移、滞在者の属性、内訳、時間帯別の滞在者数などが分析できる対象エリアを設定し、指定エリアに5分以上滞在したサンプルの集計を行った。

交通量、車種構成の分析には東山三条、祇園、東山五条ならびに三条神宮道に設置しているカメラによる画像解析を行い、各方向から流入する交通量ならびに、車種構成の分析を行った。車種構成の分析にはNP解析を使用し、レンタカー、貨物系、タクシー、路線バス、観光バス、自家用車の6分類にわけた。結果として人流が158百人/日から249百人/日と約9000人増したことにに対し、7時~17時の10時間の流入交通量は100台減となっていた(図-5)。多くの来訪が公共交通を利用していることが推測され、流入抑制の効果がみられる。

しかし車種構成(図-6)としては、半数以上が自家用車であり、ETC2.0データから旅行速度を算出したところ観光期、観光ピーク期の平均旅行速度は、ほぼ変わらず、京都市内で渋滞の定義の1つとなっている15 km/h未満を下回る結果となった。

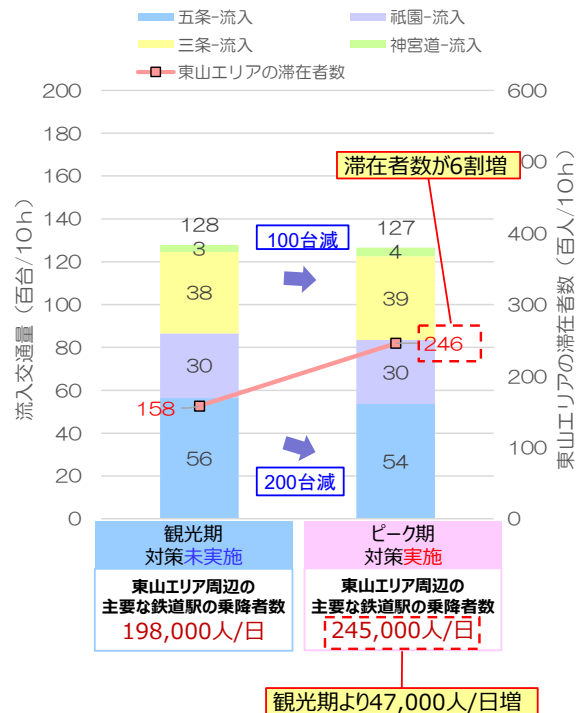


図-5 東山エリアの流入交通量

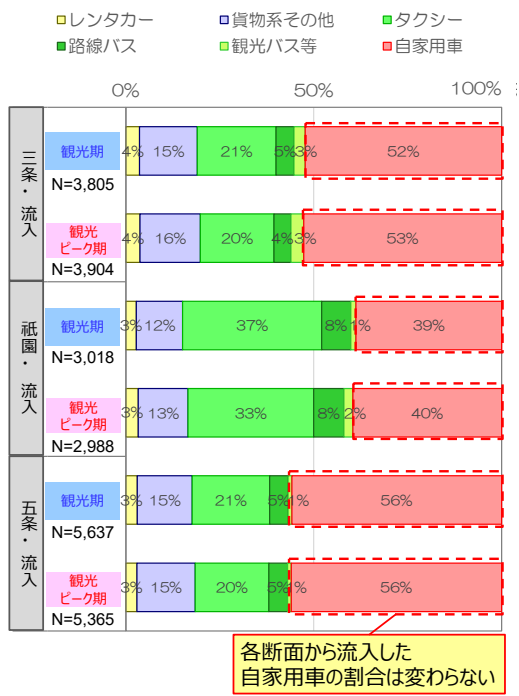


図6 東山エリアの流入交通量の車種構成

b) 迂回誘導対策

京都市が東山交通対策研究会で設定している観光ピーク期11月20日、21日、23日、27日、28日についての交通状況を把握するため、東山丸太町交差点に設置したカメラで読み取ったNP情報を周辺の5つのIC (①京都南IC,②京都東IC,③上烏羽IC,④鴨川東IC,⑤鴨川西IC,⑥城南宮南IC) のETCデータとのマッチングを行った。ここで観光ピーク期との比較を行うために、その1週間前の土、日曜日の13日、14日を観光期と設定した。

結果としては、両期間において高速道路利用に大きな変化はみられず、東山丸太町交差点(北側流入)の交通量のうち的高速道路利用車は13~14%程度であった。

特にマッチング分析により、東山エリアに流入する交通は京都東IC利用が多いことがわかった。

さらに経路についてカメラで分析したところ、京都東ICに向かう車の多くは東大路通を通過していないが、鴨川西IC、京都南ICへ向かう車両の多くは渋滞が発生している東大路通を通過していることがわかった。Googleマップの案内と一致しており、多くの人がナビ通りに経路を選択していることが想定された。

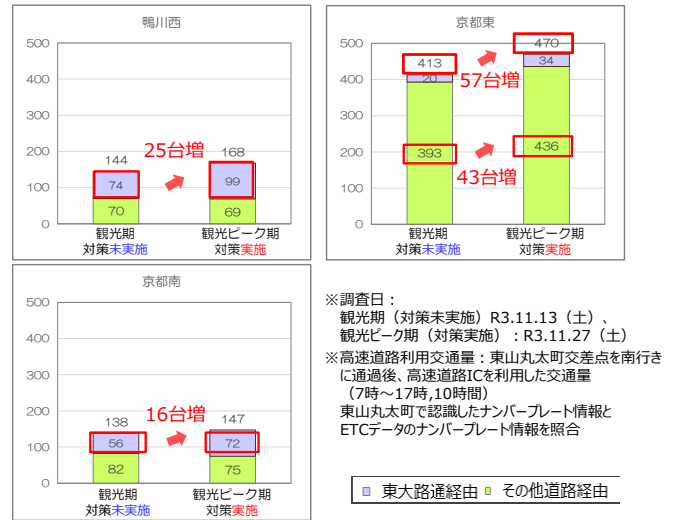
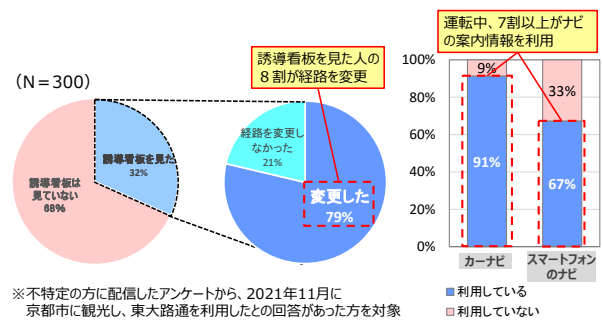


図7 高速ICまでの経路



4. コロナ禍における東大路通の交通量と旅行速度の推移について

3.の結果により、2021年度11月においては交通抑制の効果があったにもかかわらず、渋滞していることが確認できた。

そこで祇園交差点から東山五条間のETC2.0から算出した平均旅行速度、車両検知器データから算出した交通量をコロナ禍前の2019年からの推移を把握した。

結果として2021年6月以降は交通量が回復していたが、7月~9月においては旅行速度が低下していないことが確認できた。また、渋滞している11月の全体の交通量が3241台で平均旅行速度が7.9 km/hであり、非渋滞期の9月では交通量が3554台であったにもかかわらず、平均旅行速度は15.1 km/hとなっており、交通量以外にも速度低下要因があると想定される。東山五条のカメラを使って車種分類について確認したところ、9月と11月では自家用車が36台/4h増加しており、他は減少していたため自家用車を更に分析した。NP解析をした結果、9月は11月と比較して京都府外のナンバーが多いことがわかり、11月では約32%府外交通量が増えていることがわかった。

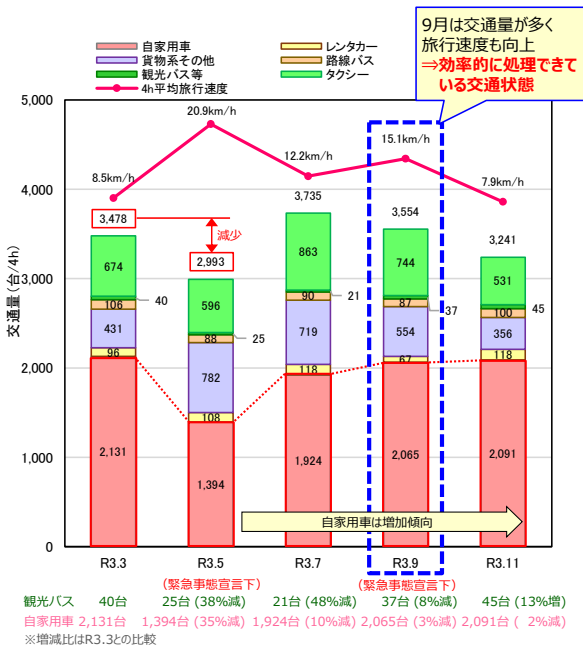


図-9 2021年(休日)の交通量推移

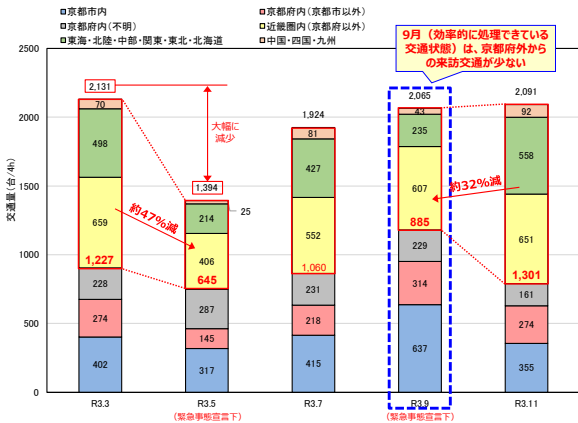
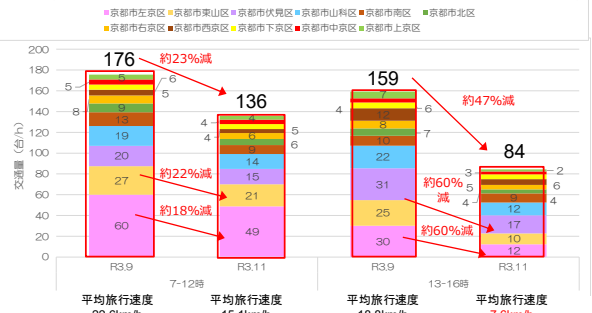


図-10 2021年(休日)の自家用車の車籍地推移

5. 東大路通の2021年9月と11月の交通状況について

4. で確認できた内容について定量的に確認するため、2021年9月と11月の交通について以下のとおり分析を行った。午前(7-12)と午後(13-16)において東山五条から流出する車の数自体に大幅な増減はなく、車籍地分類を行ったところ、9月は京都市ナンバーが多く、11月は京都府外ナンバーの割合が多かった。一方で平均旅行速度については、9月午前中は22.6 km/h午後は18.8 km/hとなっていたにもかかわらず、11月の午前中は15.1 km/h午後は7.6 km/hと旅行速度が大きく低下していた。

■東山五条から流出する京都市内の自家用車の車籍地(行政区)構成



■東山五条から流出する京都府外の自家用車の車籍地構成

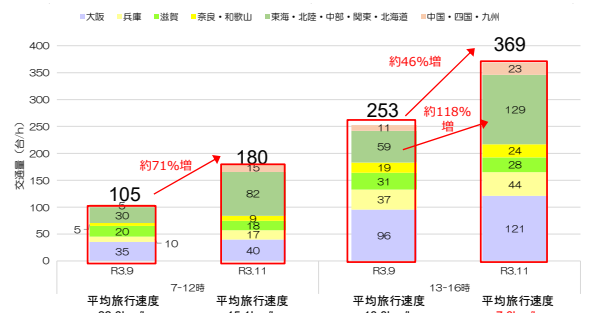


図-11 自家用車の利用状況の比較

京都府外ナンバーの割合が多い時に速度低下している要因を定量的に分析するため、非渋滞発生日のグループ①と渋滞発生日のグループ②、観光ピークでかつ渋滞発生日のグループ③に分けて分析を行った。車種構成には大きな差がなかったため、グループ①②を東山三条の流入交通と東山五条の流出交通を確認し、通過交通と滞在交通を分類したところ、グループ②の方が滞在交通の割合が高かった。グループ①③について車種構成割合を確認したところ、グループ③では自家用車の割合が高かったことから、車籍地分類を行った。その結果、京都府外からの交通が多いことが分かった。また、旅行速度変化を目的関数とし、車種構成や車籍地割合等を説明変数とする重回帰分析も合わせて実施したところ、「京都市外の割合」が旅行速度と一定の関係を有することが確認できた。

6. 結論と今後の課題について

今回の画像解析技術やETC2.0、高速料金所のETCデータ等を組み合わせた交通分析を通じて、京都市が例年実施している観光交通対策は一定の流入抑制効果がみられたものの、依然として自家用車の流入が多く、東大路通が渋滞していることから、自家用車の更なる流入抑制が必要であることがわかった。

迂回誘導対策についても、京都東ICに向かう車に対しては一定の効果がみられたものの、東大路通を經由して鴨川西ICや京都南ICに向かう車は観光ピーク期に増加している。その要因としてはナビが東大路通利用を推奨することが要因の1つと推定されることから、情報提供方法も含めた効果的な迂回誘導対策の検討が必要であ

る。

また渋滞が著しい東大路通南行きに着目して交通の質を分析すると、混雑する時期や渋滞時間帯で京都市外と京都府外の自家用車の割合に違いがあることが明らかとなった。そのことから、京都市内の自家用車は東大路通の混雑を認知しており、渋滞時間帯を避けて移動していると想定され、京都府外の自家用車についても京都市内の自家用車と同様に混雑を周知することができれば、R3.9 のような効率的に処理できている交通状態を再現できると推察される。

以上のことから、流入抑制対策と迂回誘導対策の高度化として ICT・AI を活用した新たな観光渋滞対策の提案を行い、観光客の行動変容を促す訴求力のある情報発信の仕組み等の社会実験に向けた検討を進めていく。

謝辞：東山エリアの課題に対するICT・AI等を活用した分析結果等については「京都エリア観光渋滞対策実験協議会」を4回開催し、報告をおこなっている。協議会運営にあたり、協議会の委員長である宇野教授をはじめ、宗田教授ならびに山田教授には多大なご助言をいただきました。また本稿を執筆するにあたり、(株)建設技術研究所のご担当者様をはじめ、関係者の皆様にはご指導いただきました。記して深くお礼を申し上げます。

川上ダム本体建設工事における高速施工の実施

松尾 昂祐¹・冨 行穂²

¹ (独) 総合技術センター 施工監理グループ (前川上ダム建設所 工事課)
(〒338-0812埼玉県さいたま市桜区大字神田936)

² (独) 池田総合管理所 早明浦ダム・高知分水管理所 所長 (前川上ダム建設所 工事課長)
(〒781-3521高知県土佐郡土佐町田井6591-5) .

建設業界では将来の担い手確保や熟練技能労働者の減少が深刻な課題となっており、施工の効率化・省力化が急務である。特に型枠作業では、複雑な構造部の施工のスピードが熟練工に依存し、工程遅延につながる恐れがある。川上ダム本体建設工事では、前述した型枠作業での工程遅延のリスク解消と各種施工の平準化が課題となるが、施工CIMの構築によるプレキャスト部材の積極採用やDXの本格導入によりこれらの課題を解決し、品質を確保しながら、非常に短い期間で本体コンクリート打設を完了した。本稿では、川上ダム本体建設工事において実施された高速施工の実現に向けた工夫やDXの本格導入に関する取り組みについて報告する。

キーワード コンクリートダム、プレキャスト、CIM、高速施工、DX

1. はじめに

昨今の気象災害の激甚化に伴い、ダム事業をはじめとした治水対策の早期実現が求められている。一方で、建設業界では将来の担い手確保や熟練技能労働者の減少が深刻となっており、ダム事業においては、これらの相反する2つの課題を対処しながら事業の進捗を図る必要がある。

このような状況を踏まえて、川上ダム本体建設工事では、土木工事のCIMに機械・電気設備工事のCIMを統合した高詳細度のCIM（以下、施工CIMという。）を構築することで、プレキャスト（以下、PCaという。）部材の積極的な採用をはじめとした様々な工夫を行うとともに、DXを施工の各所に本格採用し、施工管理の効率化及び省力化を実現した。

これらの取り組みにより、堤高84m、堤体積約473万m³（減勢工を含む。）の本体コンクリート打設を、約19ヶ月という非常に短い期間で完了することができ、品質を確保しながらもハイペースでの施工を行うことに成功した。

本稿では、施工CIMの構築やPCa部材の積極活用などの高速施工実現に向けて行われた工夫や、川上ダムにおいて本格的に導入されたDXに関する取り組みについて報告する。

2. 施工上の課題

川上ダム本体建設工事の施工においては、以下の2点が課題として挙げられる。

加えて川上ダムは1ヶ月で約3リフト（4.5m）を打設する高速施工となっていることから、工種間や関連工事との錯綜による作業の手戻りが工程に及ぼす影響が大きい。工程調整についてはより一層の注意を払う必要がある。

(1) 型枠作業の効率化・省力化

複雑な構造部分における型枠作業では、施工のスピードが労働者の熟練度に依存するため、熟練技能労働者の減少が課題とされている昨今においては、工程遅延につながる恐れがある。型枠作業に起因する工程遅延のリスクを低減するためには、作業の効率化や省力化に取り組む必要がある。

(2) 工事の平準化

川上ダムの本体コンクリートの材料には購入骨材が用いられており、骨材の運搬車両台数には1日最大180台の制約がある。コンクリートの打設量が購入骨材の運搬量に依存することを防ぐため、工事の平準化を図る必要がある。

3. 高速施工への取り組み

(1) 施工CIMの活用

a) 施工CIMの概要

ダム工事では、本体工事と並行して複数の機械設備工事が施工される。円滑な事業進捗のためには、工事の調整を行いながら施工する必要がある。とりわけ、異業種の工事干渉部では、各工事の図面を早期に共有し、綿密な調整が求められる。本工事では、高詳細度の施工CIMを構築・活用することで、各工事の完成形を可視化・共有し、業種の垣根を越えた施工管理を行った。

施工CIMは複数の設計業務の成果品を統合して運用している。設計で使用しているソフトウェアは各業種により異なるため、詳細度を500（表-1）に保ったままそれぞれのモデルを一つのソフトウェアに統合することは難しい。本工事では、複数のモデルを統合するソフトウェアを使用することで施工CIMを構築した。このソフトウェアを使用した場合、施工CIMは閲覧に特化したものとなるものの、詳細度を保ちながら各モデルを統合することができた。施工CIMの構築イメージを図-1に示す。

本工事では、施工CIMをPCa部材の適用検討やDXの取組みに活用し、課題解決や施工管理の省力化に取り組んだ。

b) 施工CIMを活用したPCa部材の適用検討

型枠作業の遅れによる工程遅延や、特定標高における施工速度の低下が懸念される部分を対象として、施工CIMによるPCa部材の適用検討を行うことで、前節で挙げた課題の解決を図った。

①下位標高部

下位標高部では基礎通廊や上流面、バケットカーブの型枠作業が同時期に発生するが、それぞれバラ型枠の製作作業等が求められるため、型枠作業の負担が増大し、施工速度の低下が懸念される。とりわけ、基礎通廊部では、排水ピットやエレベーターシャフトなどの拡張形状の異型部分での複雑な型枠作業が連続する（写真-1）。

②特殊構造部

通常、ダム上下流面ではスライド型枠を活用している。一方で本体下流面の勾配変化部、上位標高部の張出部分などのスライド型枠が使用できない箇所（以下、特殊構造部という。）では、現場に応じたバラ型枠の製作・組立が必要があるため型枠作業の負担が増大する。

③機械設備周辺

機械設備周辺では、堤体の構造鉄筋や機械設備の設置架台が錯綜する。複数の作業が連続するうえ、機械工事と調整しながら施工する必要があることから、一つの作業の遅れが全体工程に影響する恐れがある。ここでは型枠のPCa化を検討し、工程遅延のリスク低減を図った。PCa部材の適用検討を行う際には、設置するPCa部材と機械設備との干渉を考慮する必要がある。

表-1 土木分野における各工種統一的な詳細度の定義(案)

詳細度	共通定義
100	対象を記号や線，単純な形状でその位置を示したモデル。
200	対象の構造形式がわかる程度のモデル。標準横断で切土・盛土を表現，または各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスイープさせて作成する程度の表現。
300	付帯工等の細部構造，接続部構造を除き，対象の外形形状を正確に表現したモデル。
400	詳細度 300 に加えて，付帯工，接続構造などの細部構造及び配筋も含めて，正確に表現したモデル。
500	対象の現実の形状を正確に表現したモデル。

出典：土木分野におけるモデル詳細度標準(案)¹⁾

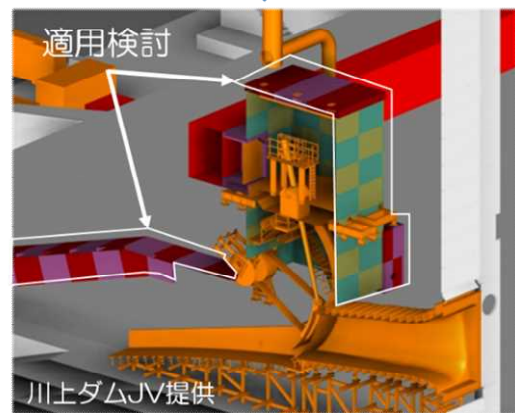
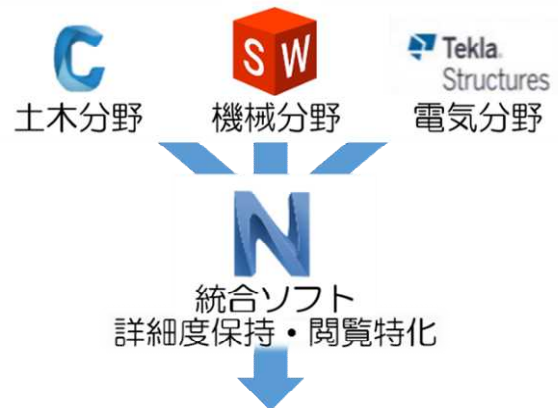


図-1 施工CIMの構築イメージ



写真-1 下位標高部

施工の錯綜箇所の例として、取水設備における施工 CIM 画面を図-2 に示す。

(2) プレキャスト部材の全面展開

施工CIMによるPCa部材の適用検討によって得られた結果を基に、施工の各所にPCa部材を全面展開した。ここでは、本工事において行われたPCa部材の管理・運用や活用事例について紹介する。

a) プレキャスト部材の管理・運用

全面展開したことにより PCa 部材が膨大な数となった。円滑に施工を進めるためには、PCa 部材を計画的に納入・ストックし、効率的に管理・運用することが肝要となる。

①PCa 部材の管理

施工CIM上でPCa部材に番号を割り付けてPCa部材の設置作業の管理を行った。また、PCa部材の製造時や施工時の品質データを施工CIMに紐付けることで、各部材のトレーサビリティを詳細に管理することが可能となった。

図-3 に施工 CIM を用いた PCa 部材管理の一例を示す。

②PCa部材の運用

本工事では運搬設備として 25t タワークレーンを活用している。PCa 部材を運用する際には、大断面部材を地組してから運搬し、一括設置することが可能である。クレーンの能力を最大限活用し、納入した PCa 部材のストックや地組から運搬・設置までの一連の作業の効率化を目的として、クレーンのサービスエリア内にストックヤードを整備した。ストックヤードにはアスファルトを舗装することで、PCa 部材の組立精度の確保と泥などの付着による汚損防止を図った。これにより、PCa 部材の組立精度を確保したまま、運搬回数や据付時間を大幅に削減することができた。

ストックヤードを写真-2 に示す。なお、本工事で使用しているタワークレーンには自立構台を用いている。一般に、タワークレーンは自立高さに応じて支持金具を取り付ける作業が必要となるが、自立構台を用いることで支持金具による設備の補強作業を省略し、タワークレーンの休止時間を削減している。タワークレーンの運用状況を写真-3 に示す。

b) 監査廊のフルプレキャスト化

監査廊をフルPCa化により、型枠作業の労務軽減を図った。とりわけ、基礎通廊部においては、拡幅形状部での複雑な型枠作業を全て省略することで、懸念されていた下位標高部における施工速度低下の防止に寄与した。

PCa部材の据付作業においては、溝形鋼をPCa部材の設置方向に対してレール状に配置することで、位置や高さを適宜調整しながら据付架台を設置した。このような据付架台を使用した場合、PCa下部へのコンクリートの充填が課題となるが、ブリーディングが最小となるような現場示方配合の高流動コンクリートを打設して、狭隘な据付架台周辺も確実に充填した。PCa部材の据付状況を

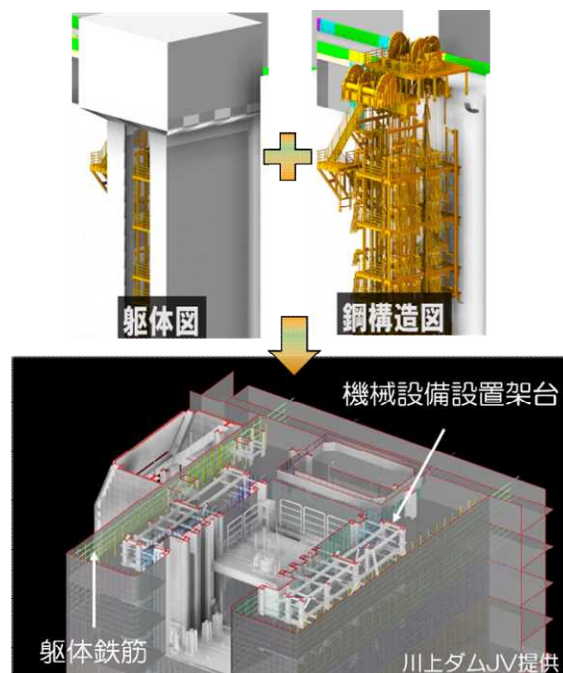


図-2 機械設備における施工 CIM (取水設備)

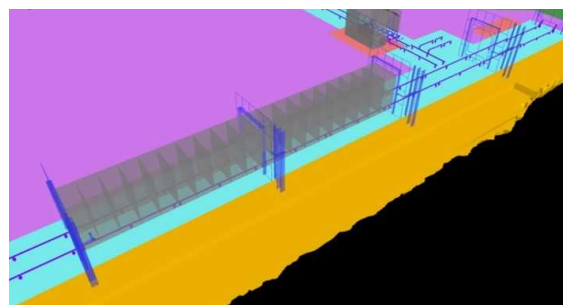


図-3 施工 CIM による PCa 部材管理 (基礎通廊)



写真-2 PCa 部材ストックヤード



写真-3 タワークレーン運用状況

写真4に示す。

これらの取組みにより、監査廊の施工においても品質を損なうことなく、施工の効率化・省力化を実現することができた。

c) プレキャスト型枠の活用

スライド型枠が使用できない特殊構造部においては、PCa部材を型枠代わりに活用することで、バラ型枠の製作をはじめとした型枠作業を省略し、労務量を大幅に軽減した。副次的には、堤体より外側における脱型作業等が削減されるため、作業の安全性も向上した。PCa型枠設置の施工例として、下流勾配変化点及び堤頂張出部分（取水設備）をそれぞれ写真5及び写真6示す。

d) 複合構造部材の活用

PCa 部材に別途機械設備工事で設置するアンカー部材を先行埋設した部材（以下、複合構造部材という。）を活用することによって、機械設備周辺の複雑な構造を簡略化しつつ、機械設備工事でのアンカー部材の設置作業を削減し、本工事における工程遅延のリスクを低減した。また、通常施工時に必要となる脱型作業や足場の解体作業を省略することで、後に控える機械工事の早期着手につながった。複合構造部材の検討例を図4に示す。

4. DXへの取り組み

本工事では、DXに関して以下の取り組みを行い、施工管理の省力化に寄与した。

○ダムコンクリート打設管理システム

ダムコンクリートの製造データや運搬・荷卸し、締固めなどの情報をクラウドで一元管理した。集約した情報を施工CIMに取り込むことで、ダムコンクリートのトレーサビリティを時間や場所を限定されずに確認することが可能となった。

○タワークレーン自動運転施工モデル

熟練技能労働者による定点間の運搬を記憶させ、各設備に設置したセンサーにより、バケット位置や荷振れの検知・確認し、バケットの位置が目標に収まるように自動で運転制御するタワークレーン自動運転の施工モデルを作成した。

○パイバック締固め判定装置

これまで熟練技能労働者の経験に依存していたコンクリートの締固め判定を、加速度センサーにより定量的に判断し、締固め判定結果を音声や回転灯によりオペレーターに通知する締固め判定装置を活用した。



写真4 PCa 部材の据付状況



写真6 PCa型枠設置状況(取水設備)



写真5 PCa 型枠設置状況(下流面勾配変化点)

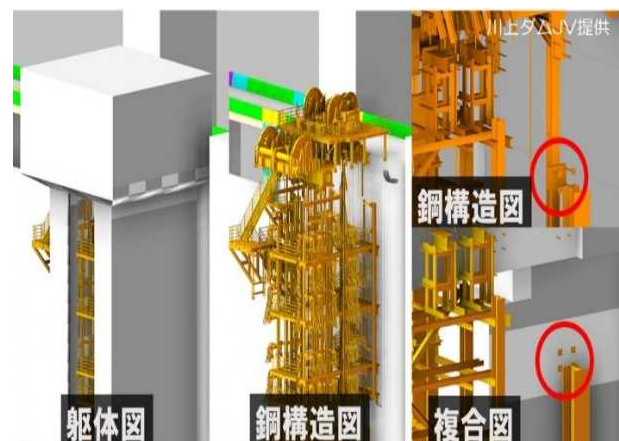


図4 複合構造部材の検討例

○丁張りレス土工

基礎掘削において、ドローンによる空中写真測量の結果を取り込んだ施工CIMを基にして、ICT建機による丁張りレス施工を実施した。

○自動スライド型枠

上流面型枠の一部に自動スライド型枠を活用した。自動スライド型枠は固定ユニットと型枠足場ユニットからなり、それぞれを油圧ジャッキで交互にクライミングアップすることで、ダム用型枠のスライド作業に要する人工の削減することができる。

○グリーンカットマシン自動運転システム

グリーンカットマシンに姿勢制御用センサーやブラシの押付け力や回転数、トルクを測定可能な応力センサーを搭載し、グリーンカットマシン自動運転システムを構築した。コンクリート打設後のグリーンカット作業の仕上がりシステムが判断するため、オペレーターの熟練度に依存せずに施工することができる。グリーンカットマシンの活用状況を写真-7に示す。

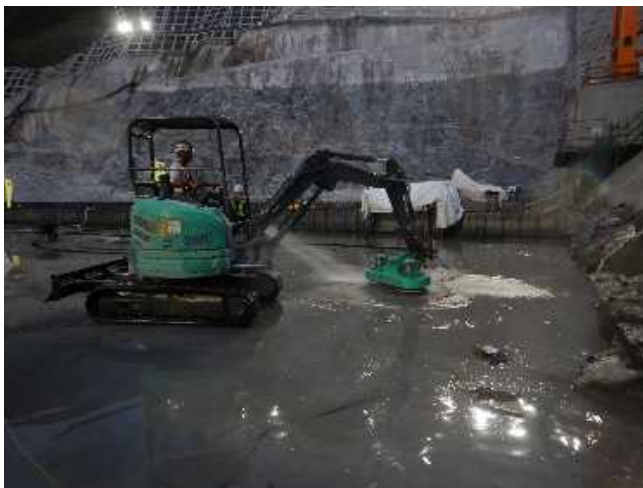


写真-7 グリーンカットマシンの活用状況

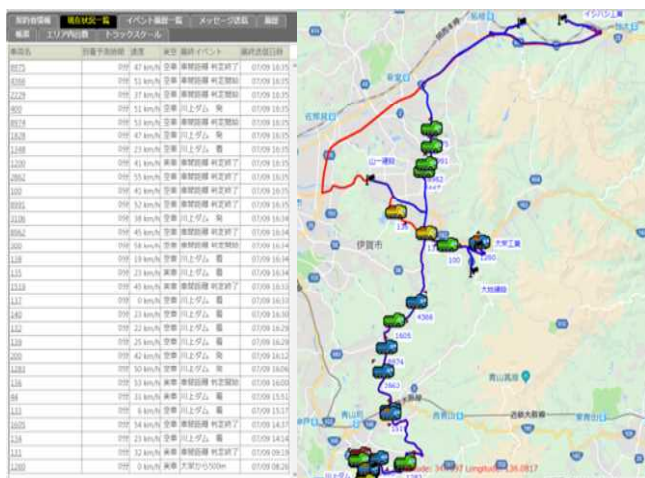


図-5 車両管理システム

○車両管理システム

GPS 機能付きタブレット端末を全車両に搭載することで、走行場所や速度などの情報を一元的に管理する、車両の走行情報をリアルタイムで確認することができる車両管理システム (図-5) を活用した。

○グラウト管理システム

基礎処理工において、グラウト管理システムを活用した。このシステムには、基礎処理のリアルタイムでの施工状況や過去の施工データの閲覧機能、Web カメラを用いた遠隔臨場機能が一元的に集約されている。遠隔臨場での立会・段階確認の実施状況を写真-8に示す。

○監査廊検の自動化

自律飛行 UAV による監査廊点検の自動化に取り組んでいる。

○試験ヤードの提供

ダンプトラックの自動運転や5G回線を使用による重機の遠隔操縦に関する取組みについて試験ヤードを提供した。



写真-8 遠隔臨場の実施状況



5. 本工事における取り組みの成果

(1) 工事の平準化

本工事における月間打設量を図-6 に示す。打設開始後、わずか3ヶ月で打設のトップスピードに至り、打設期間の約2/3の期間にわたって施工速度を維持した。

実績月最大打設量を実績月平均打設量で除した値（以下、平準化度という。）により工事の平準化を評価する。ダム施工機械設備設計指針（案）²⁾に記載された44ダムについて、平準化度の比較を行った。比較の結果を図-7 に示す。川上ダムの平準化度は、柱状工法やRCD工法を含めて比較しても最小であった。

工事の平準化の要因として、以下の2点が挙げられる。
 ○監査廊のフルPCa化により、下位標高部での型枠作業を効率化し、速やかに施工のトップスピードに至った。
 ○PCa部材や複合構造部材の使用により、複雑な型枠作業の工場化に成功した。これにより現場での型枠の製作・組立作業の削減につながり、ハイペースを維持したまま施工することができた。

(2) 施工の効率化・省力化

1ヶ月当たりのコンクリート打設量（以下、月平均打設量という。）と1ヶ月当たりの打設高さ（以下、打設速度という。）により施工の効率化・省力化を評価する。コンクリートダムの施工³⁾に記載された43ダムについて、月平均打設量及び打設速度と施工規模との相関を比較した。各ダムの月平均打設量と堤体積の相関を図-8に、打設速度と堤高の相関を図-9にそれぞれ示す。川上ダムは、ELCMで施工したダムにおいて、最も優れた月平均打設量及び打設速度を記録した。

6. おわりに

川上ダム本体建設工事では、施工 CIM の構築によるPCa部材の積極的な採用やDXの施工現場への本格導入により、品質を確保しながら優れた施工速度を記録することに成功した。

本工事における取り組みが、労働力の確保が課題となっている建設業において、課題解決の端緒となるとともに働き方改革促進の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 社会基盤情報標準化委員会特別委員会.2017.土木分野におけるモデル詳細度標準（案）.p5.
- 2) 財団法人ダム技術センター.2005.ダム施工機械設備設計指針（案）.p63
- 3)一般財団法人日本ダム協会.2015.コンクリートダムの施工.p50.

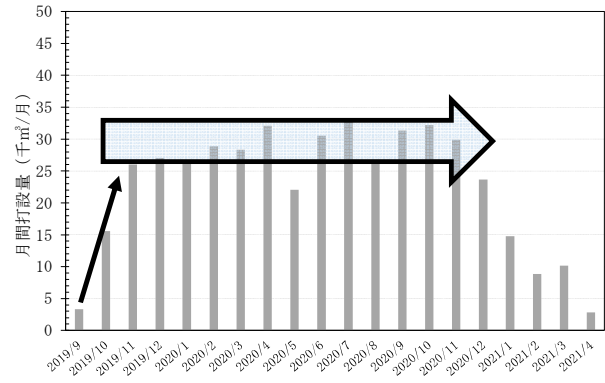


図-6 川上ダムにおける月間打設量

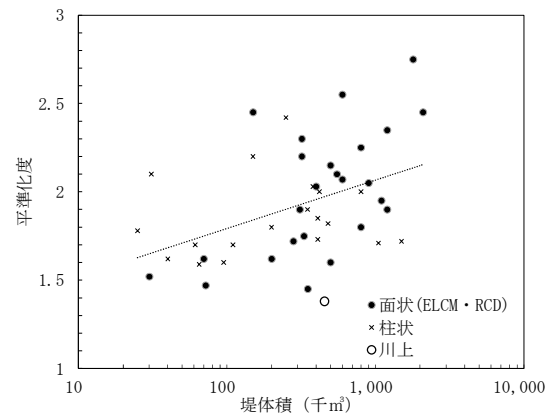


図-7 平準化度の比較

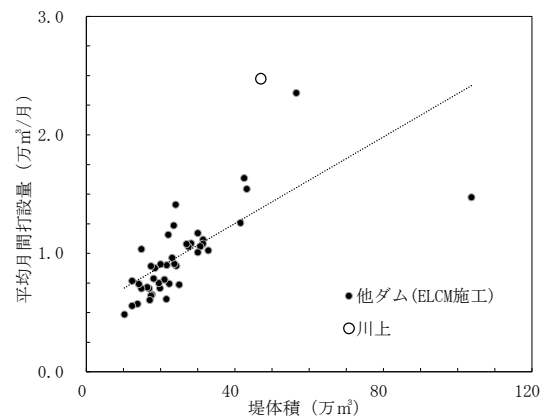


図-8 月平均打設量-堤体積

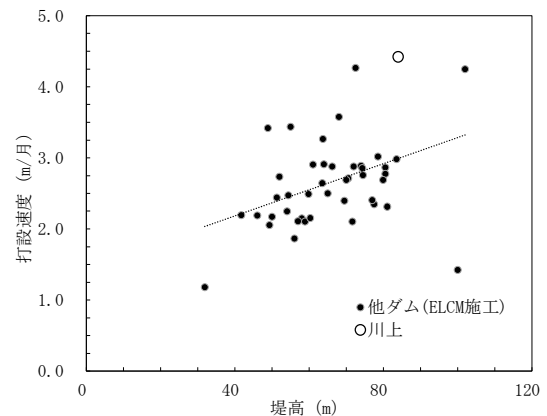


図-9 打設速度-堤高

冷水斜面对策他工事におけるICT法面の活用について

今西 裕昭¹・

¹松塚建設株式会社 (〒633-0204奈良県宇陀市榛原福地610-1)

土木工事の現場では数々の機械化やプレキャスト製品の開発等により、生産性向上が進められているが、法面工事においては未だ人力作業に頼っている状況である。本稿では、法面工事においても少人数で通常と同じ施工量を確保すべく、数々の最先端技術を活用した法面工事の報告を行う。

キーワード 生産性向上, 省人力化, ICT

1. はじめに

当該工事は平成23年9月の台風12号の記録的な大雨により、甚大な被害があった奈良県吉野郡天川村の冷水地区における災害復旧関連工事であり、大規模斜面崩壊部の安定化を図るための斜面对策工事である。

施工箇所は急峻狭隘かつ長大な法面での作業となるため、施工方法や作業員の人数、使用機器が限定されることから、作業員の安全を確保しつつ、省人力化を図り生産性向上に繋げる必要があった。また、風化した脆い砂礫から成る地質のため、土砂崩壊災害に対する安全性の確保も課題となった。

これらの問題を踏まえ、工事従事者の安全を確保すべく、当作業所で実施したICT等の技術について紹介する。

2. 工事概要

斜面对策

砂防土工	
法面整形工	1,230m ²
法面工	
植生工	650m ²
法枠工	1,233m ²
鉄筋挿入工	548本
山腹水路工	
山腹集水路・排水路工	650m ²
地下水排除工	
集排水ボーリング工	1,140m



図-1 全体概要図



写真-1 施工前状況

施工箇所の東側は施工済みであったが、施工箇所及び西側斜面は崩壊当時のままの姿で、不安定な状態であった。そこで不安定な高所法面に立ち入ることなく、正確な面的計測が可能な3次元データを活用したICT活用工事として受注者希望型で実施した。

3. ICT法面の活用

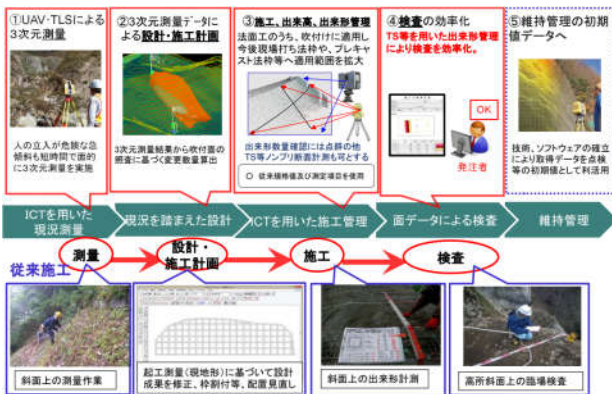


図2 ICT法面 (法枠) 概要

国土交通省では、平成28年4月より建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す新しい取組であるi-Constructionを進めており、ICT土工等15の新基準を設け、展開している。令和2年4月からは新たに工種が拡大され、ICT法面が追加された。

(1) ICT法面の概要

法面工における施工プロセスの各段階において、以下に示すICT施工技術を活用する。

- 1) 3次元起工測量
- 2) 3次元設計データ作成
- 3) ICT建設機械による施工 (法面工では該当なし)
- 4) 3次元出来形管理等の施工管理
- 5) 3次元データの納品

(2) 今回工事の使用機器

- 1) 3次元起工測量
 - ・ 地上型レーザースキャナ (TOPCON社製)
 - ・ TLS解析ソフト (TOPCON社製)
 - ・ 点群処理ソフトウェア (福井コンピュータ社製)



写真2 施工箇所

- 2) 3次元設計データ作成
 - ・ 3次元設計データ作成ソフトウェア (福井コンピュータ社製)



図2 設計データの3Dモデル

- 3) ICT建設機械による施工
 - ・ 法面工では該当なし
- 4) 3次元出来形管理等の施工管理
 - ・ 空中写真測量 (無人航空機UAV : DJI社製)
 - ・ 写真解析ソフトウェア (Pix4D社製)
 - ・ 出来形処理ソフトウェア (福井コンピュータ社製)

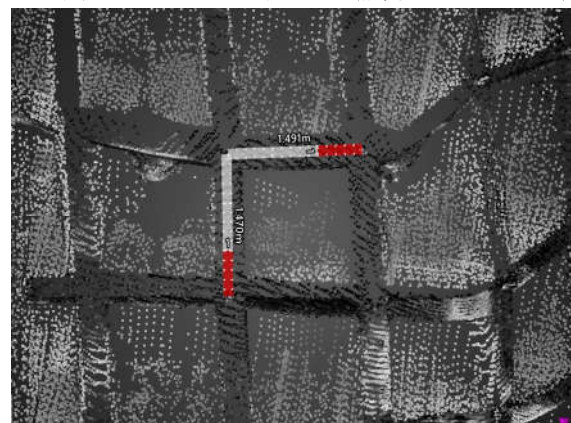


図3 出来形データの3Dモデル

- 5) 3次元データの納品
 - ・ 出来形帳票作成ソフトウェア (福井コンピュータ社製)

(3) ICT法面の効果と考察

1) 3次元起工測量

今回工事では施工前の起工測量及び法面整形完了後の現況測量の2回に渡り、3次元測量を実施した。通常は1回の起工測量で済むが、今回工事では法面整形により凹凸部を整形し、転石を除去する必要があり、起工測量時と形状が変わる事が予想されたため、法面整形完了後にも3次元測量を実施した。

施工前の起工測量に地上型レーザースキャナを用いて3次元測量を実施することで、現況地山の情報を入手し、不安定な浮石や岩塊の有無や位置、現況勾配等、法面整形前の危険要因の洗い出しに活用でき、法面整形に先立ち現地を設置する親網の事前準備にも有効活用できた。

法面整形完了後にも3次元測量を実施することで、法枠工施工前の正確な施工基面の取得ができ、その後に実施する3次元設計データ作成時の精度確保に役立った。

2) 3次元設計データ作成

地上型レーザースキャナで取得した施工基面を基に、3次元設計データを作成した。

3次元モデルを作成し、いくつかの法枠の配置パターンを計画することで、発注者との協議においても計画イメージが湧きやすく、発注者・受注者双方で施工形状のイメージを共有することができた。

計画検討の段階で面積や数量を算出できたため、施工前に必要な発注数量の予測が可能となり、設計変更へのアプローチもスムーズに行えた。

法面に凹凸が多く、一部オーバーハングしている箇所があったため、思うような法枠の配置ができず調整に時間を要した。また今回施工した法枠工の東側部分は施工済みの法枠があったため、既設法枠と整合する必要があるためでも時間を要した。凹凸部の多い法面でも対応できるソフトウェアの開発が進み、もう少し簡単に3次元モデルの作成が可能となれば、ICT法面の活用も広がるのではと思われる。

3) 3次元測量による出来形管理

法枠工完了後、空中写真測量（無人航空機UAV）を用いて出来形測量を行った。

従来の面積計測では、複数の作業員を法面上に配置し、巻尺で計測を行い、図化・面積計算を行っていた。法肩から法尻まで巻尺を長く伸ばし、それを張った状態で計測するため、法面の形状に合った計測が難しかったが、3次元測量により、法面の凹凸を反映した計測が可能となり、より現場の形状に則した面積の算出ができた。

今回工事のような災害復旧現場においては、設計の平面図や展開図等は正確な資料が乏しく、施工範囲や数量の確定に時間を要する事が少なくない。3次元測量により、施工範囲や面積の確定がスムーズに行えると考える。

法枠工の出来形管理基準¹⁾の規格値は、幅及び高さ $\pm 30\text{mm}$ 、枠中心間隔が $\pm 100\text{mm}$ 、法長が $\pm 200\text{mm}$ ($L=10\text{m}$ 以上)となっている。法枠工の3次元計測の計測性能²⁾は、計測密度が1点以上/ 0.0025m^2 ($50\text{mm} \times 50\text{mm}$ メッシュ)となり、測定精度は規格値 200mm 及び 100mm の場合は $\pm 30\text{mm}$ 以内、規格値 30mm の場合は $\pm 10\text{mm}$ 以内となっている。今回工事では全ての項目で規格値を下回ることはなく、良好な値となった。また社内規格値を設け、規格値の50%以内と厳しい値を設定したが、全ての項目において社内規格値を満足することができた。上記より法枠工の規格値や計測精度については、適用可能で問題ないと判断できる。

法枠工の出来形測量において、法枠内面の形状取得が必要となる。地上型レーザースキャナでは取得できない箇所（法枠梁の影になる箇所）があり、スキャナの設置回数が多くなるため、空中写真測量（無人航空機UAV）を用いた。今回工事の法枠工は崩壊斜面に施工しているため、法面勾配や法面方向が一定ではない。無人航空機

を用いても、要求精度を満たすために、オーバーラップ率や飛行高度、飛行速度等を試行錯誤しながらの独自の手法が必要となった。凹凸の激しい今回のような法面でも容易に測定できる技術開発が急がれる。



写真3 施工した法枠

4. CIMモデルの活用

CIMモデルの活用は一般的には、「測量・調査、設計、施工、維持管理・更新の各段階において、一連の建設生産・管理システム全体の効率化・高度化を図ることを目的とする」となっている。3次元データと各種データを結びつけて利活用した建設生産管理システムの品質確保、受発注者双方の生産性向上に大きく寄与することができる。

(1) 今回工事 CIMの概要

施工前の3次元設計データ作成時に地形や地質データ、法枠工の配筋等の構造、鉄筋挿入工の構造等の情報を組み込んだものを構築した。

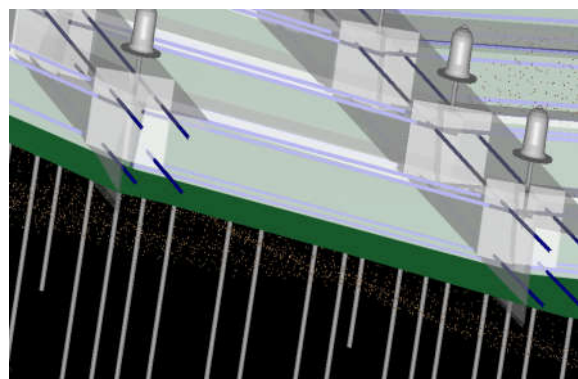


図4 CIMモデル

(2) CIMモデルの効果と考察

法枠工施工前にCIMモデルを作成することにより、凹凸部や折れ部で隣り合う鉄筋挿入工の干渉が無いかの事

前確認に用いたり、鉄筋の継手を同一箇所に配置しないようにする対策にも役立って。鉄筋の材料入荷においても、従来の方法では設計数量から経験と勘で割増を決め、材料を注文し、現場に入荷していた。CIMモデルを活用し鉄筋の継手位置の事前検討をすることで現場合わせが減少し、鉄筋の使用ロスも大幅に減少した。

今回工事のような急峻狭隘かつ長大な法面では、CIMモデルを活用することで、完成形の可視化が行え、現場従事者全員が同じイメージを共有することができた。また鉄筋の干渉や現場合わせといった現場作業での不具合及び工数を減らすことにより、生産性向上はもとより安全性の向上にも大きく役立った。

今回施工した法面は、法枠工（W=300mm）と鉄筋挿入工（L=5.0m）と小型で短尺な構造物であったため、既設構造物との干渉等は生じなかったが、2次元図面と3次元モデルを比較した時の不整合が生じやすい、長尺なアンカー工や形状が複雑な砂防堰堤等には大きなメリットが期待できる。

CIMモデルのデータは点群データの容量が非常に大きいので、ハイスペックなPCが必要となる。そのため、通常使用しているPCでも使用可能なCIMモデルの処理技術の開発やCIMモデル化する範囲の確定等が重要となる。

5. MR技術の活用

MRとはMixed Realityの略語で、複合現実と呼ばれており、現実世界に仮想モデルを映し出す技術である。バーチャルな設計図や3Dモデルと現実空間を同一空間上に重ね合わせるものである。

(1) 今回工事のMR技術の概要

今回使用したMR技術は鉄筋挿入工施工時、削孔機にセットした削孔ロッドを作業員が装着したMRデバイスに表示された半透明の円柱形ホログラムに合わせることで削孔機の据え付けを行う技術である。今回施工した鉄筋挿入工は法枠に直交方向に施工する必要があった。

(2) MR技術の効果と考察

通常は削孔機を操作するオペレーターと手元作業員の2～3人で行っていた作業が、この技術を活用することにより、機械オペレーターが1人でも削孔機を正確に据え付けることが可能となった。法面上での作業が減少することで、省人力化と安全性の向上が図れた。

今回使用したMRデバイスは炎天下や天候によっては、MRデバイスに表示される円柱形ホログラムが見づらくなるといった現象や雨天時等は使用できないといった課題があった。



図-5 MRデバイス表示状況



写真4 MRデバイス装着状況

6. おわりに

今回工事では、法面工事においてICT法面やCIMモデル、MR技術等の活用を行った結果、種々の課題が見つかった。しかし、法面工事等の作業環境の厳しい現場こそ前述の最先端技術を活用するべきであると考えます。

砂防現場における法面工事は、作業の性質上どうしても手作業が多く存在し、平地での作業に比べて危険因子が多く、効率が悪いのが現状である。しかし今回様々な技術を活用して思うことは、「安全性が向上すれば施工性・生産性も向上する」ということである。従来からある技術と最先端の技術を組み合わせることで、現場に即した、より安全で施工性に優れた職場環境が構築できると考える。今後もさらなる向上心を持って現場の安全性及び生産性向上を進めていきたい。

謝辞：発注者の皆様をはじめ本論文を作成するにあたりご指導いただいた関係者各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局：土木工事施工管理基準及び規格値（案）（令和3年4月）
- 2) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）（令和3年3月）

3次元点群データを活用した業務効率化の取り組み

上野 広顕

香芝市 都市創造部 土木課 (〒639-0292奈良県香芝市本町1397番地)

近年、3次元データの取得・活用があらゆる分野で活発に行われている。土木分野では、国土交通省のi-Construction¹⁾が推進され、施工段階を中心に3次元データが活用されている。香芝市においても、土木分野を中心に3次元データを有効的に活用する取り組みを実施している。

本稿では、その取り組み事例として、序章では、3次元点群データの計測とオープンデータについて、次章では、中小規模自治体の道路改良事業での活用検証であるオープンデータの業務活用への取り組み、最終章では、デジタルツイン環境における新たな利活用技術の取り組みを詳述する。

キーワード 香芝RID、3次元点群データ、MMS、現況測量、デジタルツイン

1. はじめに

香芝市道の3次元点群データ及び沿道の地形データを取得・整備した。

(1)3次元点群データの計測

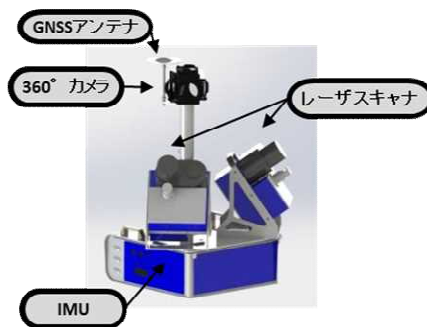
香芝市では、市道の路面性状調査業務にてMobile Mapping System²⁾ (以下、MMSとする)を採用し、市内全域の3次元点群データも同時に整備した。本業務にて活用した図-1に示すMMSでは、路面カメラによる路面性状調査と同時に、レーザースキャナによる沿道の点群データ、GNSSアンテナによる位置情報、全方位カメラによる360°画像を取得できる。これらを搭載した移動車両にて、香芝市道総延長L=約270kmを走行することで、

(2)3次元点群データのオープンデータ化

香芝市では、取得・整備した3次元点群データの新たな活用方法を模索するため、市道の道路空間全体をデジタル化したデジタルツイン環境を事業者や市民へ広く公開し、まちづくり等への関心を高めて意見を広く募集する試みを実施している。その取り組みの一環として、3次元点群データをオープンデータとして公開するデジタルツイン環境「香芝Road Infrastructure Database³⁾ (以下、香



車載状況



機器構成

搭載機器規格

<レーザー>

測定範囲: 360° (回転ミラー式)

有効計測距離: 119m

最大計測点数: 25~100万点/秒 × 2台

走査レート: 200回転/秒

スキャナ精度: 1mm以下

<カメラ>

全周囲カメラ(Ladybug5): 1台

図-1 MMSの全体像

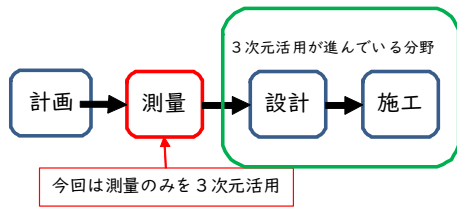


図 - 2 活用段階イメージ図

芝RIDとする)」を構築した。市内全域の道路を網羅した3次元点群データの一般公開は、国内初である。(参考：県外では静岡県のVIRTURAL SHIZUOKAプロジェクトの「Shizuoka Point Cloud DB」⁴⁾のような部分単位でのデータ公開の事例はある。)

2. デジタルツイン環境「香芝RID」の業務活用の可能性検証

(1)検証目的

現在、土木分野における3次元データを活用した事例は多く報告されているが、『計画、測量、設計、施工』の各段階の中では、設計、施工、設計・施工にまたがる段階や全体を通した活用事例がほとんどである。

本市が実施するような市街地の小規模な道路改良事業では、現地状況に適合しにくい等の事情から、3次元設計・施工は検討せず、従来方式により実施していた。

本市も大規模工事のみで3次元施工を行っていた。

今回、本市は取得済みである3次元点群データを活用し、現地測量に替えて現況平面図を作成し、従来方式で設計する場合に、業務効率化となるかの検証を行った。

(以下『提案手法』とする。)

活用段階のイメージ図を図 - 2 に示す。

(2) 業務内容

市内3か所(以下、A、B、C路線とする)の道路改良設計業務において、デジタルツイン環境「香芝RID」にて公開されている3次元点群データの活用を試行した。現況平面図及び縦横断図の作成では、現地測量の代替として、香芝RIDの3次元点群データから2次元図面を作成した。各業務の路線延長・面積を表 - 1 に示す。

表 - 1 道路改良設計業務の路線延長と面積

路線名	A 路線	B 路線	C 路線
延長 (m)	28.5	117.0	20.0
面積 (㎡)	800	900	350

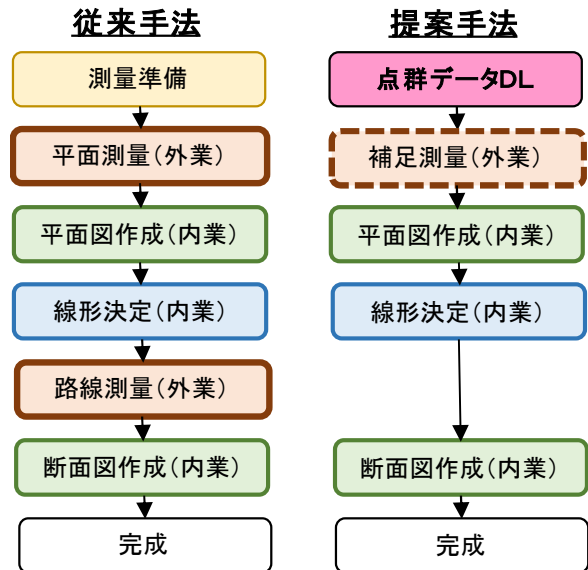


図 - 3 手業手順フロー図

(3) 作業手順の比較

従来、これらの規模の路線を単独で発注すると事業費ベースでは割高となるため、複数路線を1業務として、組み合わせて発注することで事業費を抑制してきた。本取り組みでは、さらなる効率化策として、3次元点群データを活用した道路改良設計を試行した。平面図及び縦横断図作成に関わる従来の手順(設計業務標準積算基準書⁵⁾に準拠した手法、以下『従来手法』とする)と、提案手法を用いた手順を図 - 3 に示す。なお、図 - 3 の「補足測量」には、現地踏査時に実施が必要な『MMSの点群欠落箇所の形状等確認』、『側溝、水路深等のコンベックス等による寸法計測』、『マンホールの種別確認』があり、加えて、TS等の機材を必要とした『道路境界、歩車道境界等の確認』、『植栽等の影となった箇所の測量』等があった。

(4)検証結果と考察

提案方法を用いて平面図及び縦横断図作成をした結果、10.3人で実施できた。一方、従来手法を用いた場合は7.2人が必要な業務量であった。提案手法には、従来にない補足的な測量等の追加作業も含まれているが、約

表 - 2 デジタルツインの活用による平面図作成人工数

提案手法 (3次元点群データ利用)							従来手法 (積算基準書)	
	作業項目/ 作業箇所	単位	① L=0.02km	② L=0.11km	③ L=0.02km	計	作業項目/ 作業箇所	合計
平面図	数値図化	人	0.5	0.6	0.6	1.7	作業計画	0.2
	現地踏査	人	0.3	0.3	0.4	1.0	細部測量	9.3
	補完測量	人	1.0	2.3	1.0	4.3	数値編集	1.7
							数値データ 作成	0.9
	合計	人	1.8	3.2	2.0	7.0	合計	12.2
断面図	数値図化	人	0.5	0.1	0.5	1.1	観測	3.4
	補完測量	人	0.5	0.2	0.5	1.2	横断面作成	1.1
	合計	人	1.0	0.3	1.0	2.3	点検整理	0.5
							合計	5.0
合計							9.3	17.2

40%の業務効率化が図れた。本検証では、作業人員の資格・経験年数等を考慮していないため、事業費ベースでの単純比較はできないが、デジタルツイン環境が整備された路線の道路改良事業の場合、現況測量及び路線測量に関する事業費削減の可能性があることが明らかになった。

詳細な、従来手法と提案手法の作業人員の比較を表-2に示す。

(5) 3次元点群データを用いた図面作成に関わる課題

本検証にて、提案手法を用いた平面図及び縦横断面図作

表 - 3 3次元点群データを用いた平面図及び縦横断面図作成における課題と対応策

カテゴリ	課題	対応策
計測時期	MMS によるデータ取得時期と設計への活用時期にタイムラグがあること	香芝市では路面性状調査の周期が5年程度であるため、対応策として、市が発注している工事や届出のある民間工事の記録により補足することで、部分的ではあるが解決できる。
点群データの特性 (図-3)	側溝や水路床、地下埋設物等のレーザの照射不可能な地物があること	側溝や水路床高の多くは、現地踏査時のコンバックス計測で対応できるが、排水経路等が複雑な現場で排水系統の見直しが含まれるような場所では、地表面のみの点群データをそのまま適用することは難しい。よって、地下埋設物の情報は、MMS で得られるマンホール位置情報から他事業（下水道事業等）の既往情報を重畳することにより、対応できる。
	道路に面する範囲のみのデータであること	道路拡幅工事では民地の用地協力を必要とする場合が多く、用地協力を要請する際に、道路に面した民地内に存するデータが取得できていない場合は、用地取得費用や工事の概算費用の不確実性が高くなる。その場合は従来の用地測量や補償算定業務を併用することで対応が可能と考えられる。
測量基準点	現地測量を実施する場合に基準点等が新たに必要なこと	事業の既往資料を共有することにより、既に設置されている基準点等を活用できる可能性がある。

表 - 4 デジタルツイン環境「香芝RID」のその他の利活用事例

カテゴリ	取り組み名
デジタルツイン環境	香芝 RID
取り組み事例	観光資源での利活用
	産学官による公共構造物デジタルツインの開発
	i-Construction の試行
	災害復旧における査定支援技術の開発

成をした結果、計測時期、点群データの特性と測量基準点に関して表 - 3に示す課題が確認された。

(6)提案手法のメリット

今回の取り組みで特筆すべき点は、テレワークとの相性が良好で、オンラインによる打合せにより、点群データによる現地地形や撮影画像の両面共有等による合意形成が迅速かつ確実に実施できたことである。コロナ過において急速に進む社会構造変化に対して、今後、ますます親和性の高い事業手法となり得ると考えられる。また、近年のGNSSの精度向上やICT機器の性能向上により、高度化・効率化が可能な領域が広がると考えられる。

加えて、近年の土木分野における人材不足に対しても、解決策の1つとなる可能性がある。デジタルツイン空間を活用した図化作業などは、高校・大学等で土木分野を専攻していないものであっても、VR技術を活用したゲームなどに触れて育った世代にとっては、ゲーム感覚で興味を持つ可能性がある。そういった層に対して、就職先の選択肢として提案すれば、人材確保が可能となる。

3 香芝市が実施している3次元点群データに関する取り組み

(1)デジタルツイン環境

香芝市におけるデジタルツイン環境は、前章でも述べた「香芝RID」を基盤に展開している。その他の事業者や市民での活用以外に、香芝市として表 - 4に示す取り組みも行っている。

(2)観光資源での利活用

香芝市と上の太子町（大阪府）の境界に、名勝『どんづるぼう』（奈良県指定天然記念物：1945年11月1日指定）が存在する。香芝市では、このどんづるぼうを地表面の凝灰岩質風景を楽しめる観光資源として捉え、遊歩道整備等の事業を実施している。加えて、どんづるぼうのもう一つの魅力として、地下部分にある地下壕の利活用を検討している。地下壕は、太平洋戦争末期に建設されたとされている。デジタルツイン環境で再現したどんづるぼうの一部を図 - 4に示す。

しかし、どんづるぼうは、地表面では、人の往来の増加および経年劣化にともない、将来的に地表面の補修措置および一部または全区間の立ち入り禁止措置を講ずる必要性が生じている。

また、地下壕に関しても大部分は築造当時のままで保護工等が整備されておらず崩落等の危険性がある。そのため、地表面・地下壕どちらも自由解放には課題がある。

そこで、仮想空間上を自由に散策できる3次元点群データを用いたデジタルツインの活用が考えられる。

このような背景から、民間企業の協力を得てどんづるぼうのデジタルツイン環境の構築のために、地表面をドローン、地下壕内をウェアラブル型計測器を活用して地表と地下壕を一体として計測した。

(3)計測手法に関する挑戦

本稿においては、余談となるがウェアラブル型計測器にはSLAM技術(Simultaneous Localization and Mapping)が

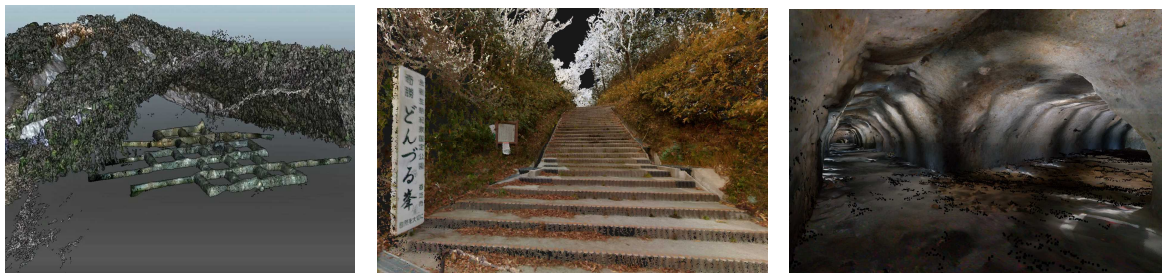


図 - 4 デジタルツイン環境で再現したどんづるぼう
左：全景、中央：整備済散策路、右：地下壕

利用されている。地上において人工衛星と通信できる環境においては、近年GNSSに関連する技術が急速に進んでいる。それに伴い、地上での測量方法等への新技術導入が進んでいる。

今後は、地下でも地上と同程度の精度管理が可能な技術開発が求められると推測される。GNSSとの同程度の精度が確保できて地下に対応できる技術は、今のところSLAMが最有力と考えられる。

そこで、今回は一つのデジタルツイン環境の構築において、GNSSに基づくドローンとSLAMに基づくウェアラブル型計測器の2つの手法により取得したデータを融合することにも挑戦している。

(4)産学官による公共構造物デジタルツインの開発

本市は、産（(株)日本インシーク、日本工営(株)、ダイナミックマップ基盤(株)、Intelligent Style(株)）、学（法政大学、大阪経済大学、摂南大学、関西大学、大阪電気通信大学）、官（静岡県、静岡市、伊豆の国市、裾野市、掛川市、大阪市、埼玉県）の共同研究『3次元点群データを用いた公共構造物デジタルツインの成長型AI基盤モデルの開発?』の産学官テーマ推進委員会に参画している。現在は、デジタルツイン現場における利活用の可能性評価を担当しており、香芝市にて実施しているデジタルツイン環境「香芝RID」の紹介や、今後の連携可能性について討議する予定である。なお、この取組は、当初2020年度から2021年度の2年間の予定であったが、参加メンバーを拡大しながら、継続して本年度も研究を継続している。

4. おわりに

本業務では、3次元点群データを設計業務に活用することで作業効率化ができることがわかった。昨今の土木・建築分野の人材不足解消への寄与が期待される。一方、全ての設計業務・工事施工に活用するには、課題があることも明らかとなった。ただし、その課題の多くは、ICTの活用によりデータ連携させることや、事業間でのデータ共有により解決できるものであった。

今後、技術革新が進展することにより、さらに高度化・効率化が進められる可能性や、社会構造の変化との親和性が高いことも明らかになった。それらを業務着手時に選別・組み合わせを選択することで、3次元点群データが市の活性化に役立つことが期待できることを確信し、業務着手に際しては、自分の担当分野のみならず、様々な技術分野に広く興味を持っておっことが望ましいと考える。

謝辞：本発表にあたり、株式会社日本インシーク、法政大学 今井龍一教授、大阪経済大学 中村健二教授、摂南大学 塚田義典准教授ならびに「3次元点群データを用いた公共構造物デジタルツインの成長AIモデル基盤の開発」検討委員会の関係者には資料の提供や貴重なご意見を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction (2021.7)
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/gosei_constplan_tk_oo0031.html
- 2) (株)日本インシーク：Mobile Mapping System (2021.7)
<https://www.insiek.co.jp/business/technology/jct/mme.html>
- 3) 香芝市：香芝Road Infrastructure Database (2020.4)
<https://www.insiek.co.jp/ksb-rid/>
- 4) 静岡県：Shizuok Point Cloud DB (2020.12)
<https://pointcloud.pref.shizuoka.jp/>
- 5) 国土交通省：設計業務等標準積算基準書 (2021.5)
https://www.mlit.go.jp/tec/gvoumu_sekisan.html
- 6) 香芝市：どんずるぼう (2021.7)
<https://www.city.kashiba.lg.jp/kanko/0000001976.html>
- 7) 国土交通省：3次元点群データを用いた公共構造物デジタルツインの成長型AI基盤モデルの開発 (2021.7)
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001366128.pdf>