

樋門改築工事におけるBIM/CIM技術の有効活用事例と課題について

—旧千歳川樋門改築工事の取組事例—

札幌開発建設部 千歳川河川事務所 第2工務課 ○早澤 華怜
大塚 康平
橋内 英治

千歳川流域は洪水時に石狩川本川の高い水位の影響を受けることから治水対策として堤防整備が進められており、これに伴い樋門等の河川構造物の改築を多数実施している。昨年度に実施した旧千歳川樋門改築工事では、複雑な樋門形状の早期把握や施工計画への検討等に活用するため、3次元モデルを用いた施工を実施した。したがって本論文では、当該工事におけるBIM/CIMの取組概要及びその効果、今後の課題について報告する。

キーワード：BIM/CIM、施工計画、3次元モデル、i-Construction

1. はじめに

近年我が国においては人口減少や高齢化が指摘されている。建設業においても同様であり、建設業の就業者数はピークであった平成9年から今日に至るまで減少傾向にある¹⁾。人手不足に加えて高齢化も著しく全産業と比較しても建設業は特に高齢化が進行している。29歳以下の就業者の割合は1割程度しかおらず²⁾、人材の確保と育成が喫緊の課題となっている。一方で、働き方改革関連法の施行により2019年4月から時間外労働時間の上限規制が設けられ、適用猶予5年を経て建設業においても2024年度から時間外労働規制の対象となり、就労者一人あたりの生産性の向上が求められている。

このような背景を踏まえ、建設業では生産性向上の取組としてデジタル技術の活用が進められている。国土交通省では平成28年から「国土交通省生産性革命プロジェクト²⁾」を行っており、その一環として、ICT等の新技術を積極的に活用するi-Constructionを推進しており、2025年度までに建設現場の生産性を2割向上させることを目標に掲げている。このようなi-Constructionの取組の中にBIM/CIM (Building / Construction Information Modeling、Management) がある。BIM/CIMとは建設事業をデジタル化することにより受発注者のデータ活用・共有を容易にし、建設事業全体における一連の建設生産・管理システムの効率化を図ることであり、情報共有の手段として3次元モデル等を用いる。BIM/CIMの活用推進は従前より進められてきているところではあるが、国土交通省では令和5年度から直轄工事におけるBIM/CIM適用に関する実施方針として小規模なものや緊急性を要するものを除く全ての業務・工事でBIM/CIMを原則適用することとし

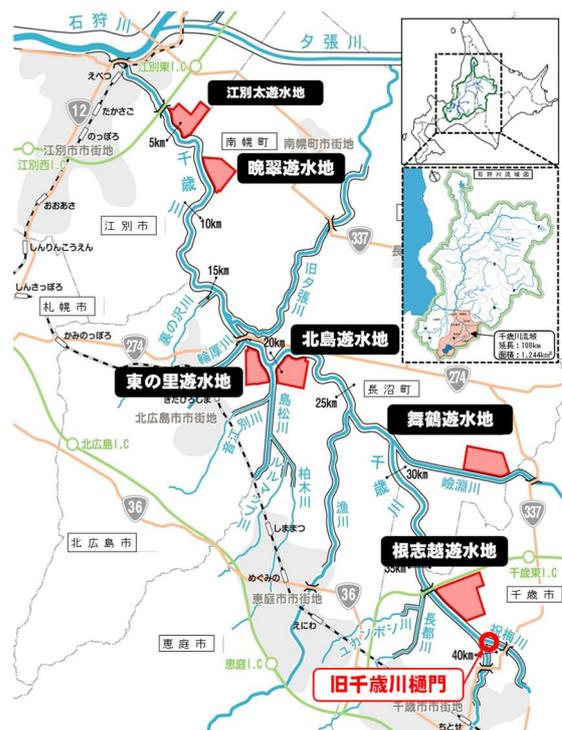


図-1 千歳川流域と工事箇所的位置図

ている。しかし、3次元モデルの活用方法は業務や工事の内容によって異なっており、各業者によって様々な取組が模索されている。このように、現在はi-Construction推進の過渡期にあり、今後さらなる業務効率化を実現するためには様々な取組の中から利点や課題を抽出し、改善していくことが求められる。したがって本論文では、今後のBIM/CIM活用推進並びに業務効率化の一環となるよう、当該工事におけるBIM/CIM活用の取組と課題を報告する。

2. 千歳川河川整備計画の概要

千歳川は石狩川の支川であり、支笏湖を源とする幹線流路延長108km、石狩川流域の約1割である1,244km²の流域面積をもつ一級河川である。中流域から下流域は低平地を約7,000分の1の河床勾配で流れており、現在の河川整備計画の対象降雨である戦後最高水位となった昭和56年8月の洪水では長期間・長区間に亘り石狩川の高い水位の影響を受け、千歳川流域の複数箇所で漏水等の堤防被害が発生した他、広範囲での内水氾濫の発生など甚大な被害を生じた³⁾。

図-1は千歳川流域を示しているが、千歳川流域では平成27年に「石狩川水系千歳川河川整備計画(変更)」を策定し、石狩川の高い水位の影響を受けることに対応した整備が進められている。その具体的な対策として堤防整備や遊水地群の整備等が位置づけられ、特に堤防は石狩川と同程度の堤防高と天端幅を確保した整備を行うこととしているほか、このような特性から令和5年8月には特定都市河川にも指定され一層の整備が進められている。このため、堤防整備に伴い、支障となる河川占用構造物や河川管理施設である樋門等の改築を多数実施している。本論文では、その一つである旧千歳川樋門改築工事でのBIM/CIM活用事例について紹介する。

3. 旧千歳川樋門改築工事におけるBIM/CIM概要

(1) 工事概要

図-1に工事箇所である旧千歳川樋門の位置、樋門の諸元を表-1に示す。旧千歳川樋門は昭和52年に千歳川と祝梅川の合流点付近である祝梅川の左岸0.39kpに設置された。樋門の流域は概ね農耕地であり、祝梅川に直交する方向で農業排水が樋門に流入する。樋門の背後地には内水排除施設が位置している。

千歳川河川整備計画に基づき、その支川である祝梅川においても千歳川と同様の堤防整備を行うこととなっている。このため、堤防整備に伴う樋門の躯体長不足により全面改築が必要となった。樋門の改築位置としては、上流には新祝梅橋、下流は湾曲部となっているため、これらを避けた位置で検討を行い、施工性や経済性の観点から旧樋門の約15m下流に新樋門を設置することとした。

工事内容は樋門の全面改築であり、旧樋門の撤去及び新樋門の設置を行った。新設する樋門の一般図を図-2に示す。

(2) モデル概要

本工事のBIM/CIM活用において作成した3次元モデルは樋門本体(図-3)、護岸ブロック、土工形状である。3次元モデルの作成仕様を表-2に示す。モデルの詳細度は200程度、属性情報としては構造モデルで一部コンクリートや土といった構成要素を付与し、基準点は工事に

表-1 旧千歳川樋門の諸元

項目	諸元
水系・河川名	石狩川水系 祝梅川
完成年	1977(昭和52)年
排水面積	0.41km ²
函体全長	30.0m
函体断面	1.2m×1.2m

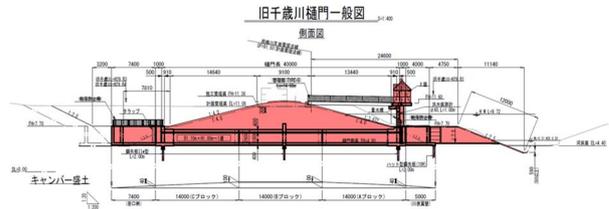


図-2 旧千歳川樋門一般図



図-3 工事で作成した3次元モデル(樋門本体)

表-2 3次元モデルの作成仕様

項目	諸元
作成範囲	樋門本体・護岸ブロック・土工形状
モデルの詳細度	200程度
属性情報	構造モデル(一部構成要素)
基準点	工事基準点を使用
貸与資料	なし

表-3 BIM/CIMモデル作成における使用ソフト一覧

モデル種別	使用ソフト
地形モデル	TREND-POINT
土工形状モデル	TREND-CORE
構造物モデル	TREND-CORE
統合モデル	TREND-CORE

における基準点を使用した。なお、旧千歳川樋門の詳細設計は、大規模構造物の詳細設計におけるBIM/CIMの原則適用以前に実施しており、発注時に詳細設計業務の成果として3次元モデルの貸与ができなかった。そのため樋門形状の3次元モデルは本工事で一から作成した。なお、表-3に示すように3次元モデルの作成はモデルに応じて福井コンピュータ(株)のTREND-POINTもしくはTREND-COREを用いて作成した。

4. BIM/CIM活用事例

(1) 施工計画・施工管理における活用事例

前章で述べたように本工事は旧樋門の撤去から新樋門の改築までを行う樋門の全面改築工事である。樋門改築の際に堤防の開削を伴うことから非出水期である11月から3月までの5ヶ月間に堤防の開削から、旧樋門の撤去及び新樋門の改築、開削箇所の堤防の盛土ならびに法覆護岸工の完了までを行う必要があった。このため限られた期間で多種多様な工種を行わなければならない、工期内での施工完了のためには綿密な工程管理が必要とされた。したがって、3次元モデルを用いて現場条件の把握を行った。

図-4は、施工内容の順序を示す動画の一部を切り取った画像であるが、この図に示すように3次元モデルを用いて施工ステップを可視化した。作成には福井コンピュータのTREND-COREの3DCAD機能を用いた。現場作業員との日々の打合せの際など、2次元図面を3次元で表現、説明することで現場状況の共有、作業内容の理解向上を図り、円滑な合意形成に役立ち、結果、業務の効率化を実現した。

また、施工計画の検討にも3次元モデルを活用した(図-5及び写真-1)。具体的には、複数業者が作業する場合の施工順序や施工スペース確保の確認である。樋門本体工の施工では施工数量や現場条件により、ブロック毎に細かく分割してコンクリート打設を行った。打設にあたっては足場や鉄筋、型枠の組み立て、コンクリート打設や養生、土工と多数の専門業者が随所で作業を行う。施工順序が前後すると作業スペースや運搬ルートの確保が困難になる可能性もあり、全体工程に影響を及ぼす恐れがある。このため限られた期間での施工を求められる本工事において施工順序の検討や業者間における共有、施工スペースの確保は非常に重要な問題であった。一方で2次元図面だと各専門業者の経験に応じた理解度に左右され、全体における考え方の共有は難しい。このため、3次元モデルを用いて施工順序の確認と共有、また作業箇所や資材置き場等の重複の有無を検討し、結果として複数作業を円滑に進めることができた。

さらに本工事独自の取組として、作成した3次元モデルから3Dプリンターを使用して樋門本体の3次元模型を作成した。3Dプリンターでの3次元模型作成に際しては、多少のデータ調整は必要なものの、作成した3次元データを使用することができるため、新たに作り直す必要はない。

今回使用した3Dプリンターでは1回で約25cm四方の模型を作成することが可能であるが、作成する模型が大きいほど作成に時間を要すほか、熱によるたわみが発生しやすくなる。したがって、本工事では樋門の施工延長が長く、呑口柵等の接続形状も複雑であることを鑑み、

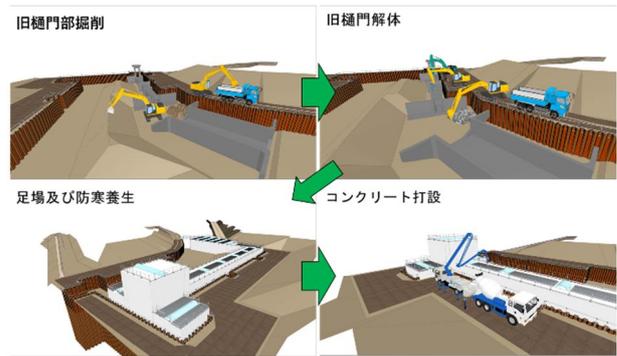


図-4 施工ステップの可視化の一例



図-5 3次元モデルから作成した3D模型



写真-1 施工計画検討の様子

モデル全体を2分割にした150分の1スケールの3次元模型を作成した。

作成した模型は元請け業者と下請け業者との日々の施工内容の打合せで使用した。打ち合わせは通常2次元の平面図を用いて行われるが、樋門は複雑な形状を有しているため2次元図面を用いた場合には、技術者の経験年数や知識量に理解度が左右される場合もある。しかし、3次元模型を用いて打合せを行うことで経験年数や知識量に関係なく現場状況を明確にイメージすることができ、円滑な合意形成に役立った。また、3次元モデルだけではなく3次元模型を使用する利点として、準備の手間がないことが挙げられる。3次元モデルをデータで表示する場合にはパソコンでソフトを起動させる必要があるた

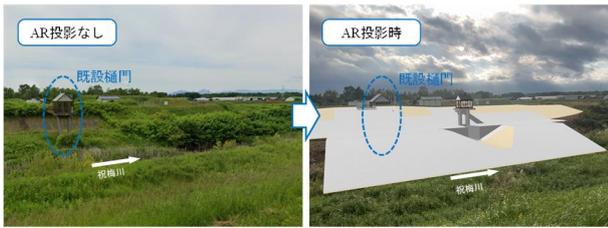


図-6 ARやVRを活用した安全管理



図-7 ハンディスキャナを用いた出来形計測の様子

め準備に時間がかかってしまい、突発的な打ち合わせ事項が生じた際の瞬間的な対応は難しい。一方で模型は常に形としてあるため、準備の時間がなく、3次元モデルと比較しても日々の打合せの効率化を実現できる。

(2) 安全管理における活用事例

作成した3次元モデルは安全衛生教育等にも活用した。福井コンピュータのTREND-COREにて作成したモデルをSB C&S株式会社のmixpace用に拡張子を変えて出力し、タブレット端末を用いて図-6のような3次元的なARやVRを表示する。これを安全教育に使用し、擬似的に現場を体験することで、単調になりがちな安全教育において新鮮さをもって現場状況を再認識することができ、危険箇所や遵守事項の確実な共有、危険意識醸成につながった。その結果、限られた期間における施工であったが、無災害で工事を終えることができた。また、ARは

近隣住民や現場見学会での現場説明にも使用し、全く工事経験のない方や土木に詳しくない方が工事内容を把握するためのイメージを共有に役立った。

(3) 出来形管理における活用事例

a) ICT建機の施工データとしての利用

BIM/CIMの活用とともにICT建機による情報化施工を行った。作成した3次元モデルのデータを施工データとしてICT建機に利用し、土工においては施工履歴による出来形管理を組み合わせることにより、施工と同時に出来形の計測を行った。これにより施工完了時の出来形計測が不要になるため、工期や人員の削減につながった。また、ドローン等での出来形管理では降雪等との影響を受けやすいが、施工履歴による出来形管理はバックホウのバケットの軌跡を記録するため降雪等の天候の影響を受けず、施工直後の点群データを記録でき、工程管理にも役立った。

b) 出来形計測・数量算出データとしての利用

本工事では樋門の施工延長が約80mと長く、形状も複雑であることから構造物の出来形管理としてハンディレーザースキャナを用いて出来形計測を行った。ICTを用いた出来形計測の方法としては地上型レーザースキャナを用いるのが一般的であり、本工事においても旧樋門撤去の際には地上型レーザースキャナを用いて点群データを取得した。地上型レーザースキャナは開けた場所での計測には適しているが、狭い場所や遮蔽物がある場所では一度に見通せる範囲が限られてしまうため何度も据え付け直して計測を行う必要がある。本工事では樋門本体と鋼矢板による土留めの間に数十cmの隙間しかない場所もあり、地上型レーザースキャナを用いた計測では何度も据え付けを行わなければならない計測に時間を要してしまった。そこで新樋門の出来形計測にはハンディレーザースキャナを用いたデータ取得を試みた。ハンディレーザースキャナは地上型レーザースキャナと比較し、狭い場所や複雑な形状でも移動しながら簡単に計測が可能であるという利点がある。ハンディレーザースキャナの計測方法は、まず事前に現場を囲むように評定点を4点以上設置する。次に設置した標定点からハンディスキャナの位置を計測し、図-7に示すように計測機械を持ちながら該当箇所を歩くことでデータを取得できる。歩行速度によって取得できる点群データの密度は変化するが、本工事の計測においては早歩き程度の速さでも十分な点群データを取得することができ、出来形計測における効率化の実現につながった。ハンディレーザースキャナの課題としては、取得したデータを現地では確認することが出来ず一度パソコンでデータを取り込む必要があること、樋門の函体のように一面コンクリートで色が同じ場合、移動したときの変化を捉えにくく、位置情報を取得しづらいということがあがる。また、計測時間は削減できるがデータ整理等の後続

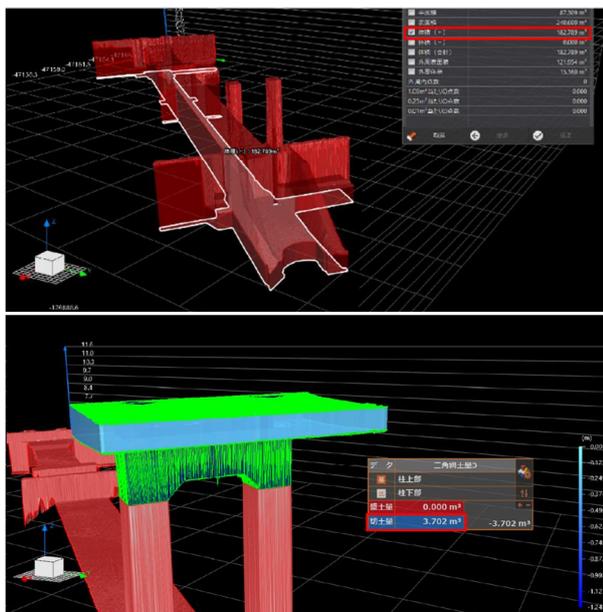


図-8 3次元モデルと点群データを組み合わせたコンクリート体積の算出（旧樋門撤去）

作業の時間が削減できるとは限らないため、状況に応じてどのような計測方法が適しているのか施工内容に応じて適切に判断する必要がある。

取得した点群データは3次元モデルと組み合わせて数量算出を行った。施工開始前にはドローン、旧樋門の撤去前には地上型レーザースキャナ、新樋門の完成時にはハンディレーザースキャナでそれぞれ取得した点群データと3次元モデルの面的なデータとの差異を比較することで掘削や盛土量の算出、図-8に示すように旧樋門で撤去するコンクリートの体積の計算を行った。従来、コンクリートの体積算出には外寸や内寸をテープ等で一箇所ずつ計測する必要があったが、点群データと3次元モデルを組み合わせることにより、これらの作業は不要となり大幅な計測時間の短縮となった。

また、データはソフト上で計算されるため、数量算出のための資料作成の時間や人員の削減につながった。全体を通した作業時間としては機器等の経験年数に左右される場合もあり必ずしも短くなるとは限らないが、一方で、3次元モデルを組み合わせた数量算出方法では人為的なミスが排除されるため従来の方法よりも精度のよい結果が得られるという利点がある。

5. ヒアリング結果と課題の抽出

本工事においてBIM/CIMを導入して感じた効果と課題について受発注者にそれぞれヒアリングを行った。その結果を以下にまとめる。

(1) ヒアリング結果（受注者）

【BIM/CIM活用の効果を感じられた点】

- ・意思疎通の精度向上

従来、2次元の平面図等を用いて工事関係者間の日々の打合せを行ってきたが、3次元モデルや模型を用いることで、現場条件を視覚化し、全体イメージの共有を図ることで意思疎通の精度向上につながった。また、打合せは毎日行っており使用頻度も高いことから3次元モデルや3次元模型を用いた利便性の効果を実感しやすかった。

・数量算出の精度向上と横断測量等の現場作業の省力化

開けた場所の計測には地上型レーザースキャナ、狭隘箇所ではハンディレーザースキャナを用いて点群データを取得し、これらと3次元モデルを組み合わせ、ソフト上で数量の算出を行うことで現場での計測作業を短縮することができた。また、人為的な計算過程が排除されるため、計算ミス等のリスクがなくなり数量算出の精度向上につながった。

・安全教育での活用による危険意識の醸成

作成した3次元モデルを変換してARやVRで表示し、擬似的に現場を体験することで単調になりがちな安全教育において新鮮さをもって現場状況を再認識することができ、危険箇所や遵守事項の確実な共有、危険意識醸成につながった。

【BIM/CIM活用の課題点】

・詳細設計業務からの3次元モデルの引継

本工事では、詳細設計をBIM/CIMの本格活用が開始以前に行われていたことから、詳細設計業務での3次元モデルの作成を行っていなかった。このため工事受注後に一からモデル作成を行わなければならないと多大な時間と労力を要してしまった。仮に、詳細設計時に作成した3次元データを貸与されていた場合、BIM/CIM活用の義務項目の部分に関しては設計時のデータを打ち合わせ等で閲覧するのみのため大幅な時間削減につながると考えられる。一方で、推奨項目に関しては、受注者によって施工方法や施工順序が異なる可能性があり、例えば詳細設計で施工サイクル等が作成されていたとしても、モデルの精度や変更点の有無にもよるが、現場に応じた修正作業が発生すると考えられる。

・大容量データに対応した納品システムの整備

オンライン電子納品の際にASP上で1 Gを超えるデータが納品できないという問題が発生した。データ容量が大きくアップロードにも時間を要するため、手戻りが発生すると大きな時間のロスとなる。

(2) ヒアリング結果（発注者）

【BIM/CIM活用の効果を感じられた点】

・工事内容の確実な把握や人材育成への寄与

近年、樋門の改築工事は道内でもあまり事例がなく、貴重な工事現場であるため現場見学会開催の協力をいただく場合もある。見学会では、工事経験が浅かったり、河川以外の別の分野や工事以外の業務を担当したりしている技術者が参加者となることが多い。経験の浅い技術

者にとって施工中であれば現在の作業内容、また、完成時には形や大きさ、高さがどうなるのかを現場で2次元の平面図や標準図を見ただけでは想像することは難しい。しかし、3次元モデルやAR等を用いた説明では経験を問わず同じイメージを共有出来るため、工事内容や施工方法に対する理解度向上につながり人材育成に寄与出来る。

【BIM/CIM活用の課題点】

・大容量データに対応したデータ共有システムの整備

ASP等をデータの受渡し、電子納品に用いる場合には、大容量のデータ納品に対応しているか事前に確認し、対応可能なシステムを整備しておく必要がある。また、国土交通省では令和5年3月からインフラ分野のDX推進に向けて、受発注者のBIM/CIM活用促進、関係者間での情報共有等のため、DXデータセンターの本格運用を開始しており⁴⁾、今後は、DXデータセンターに基づいた3次元データの保管・活用も期待されている。このため、受発注者でこれらのシステムの利用方法を理解し試験的に活用していくことも必要と考えられる。

(3) BIM/CIM導入に対する今後改善すべき課題

BIM/CIMの導入に際しては前章までで述べたように様々な効果がある一方で課題も多く見つかった。本工事での取り組みで見つかった今後改善すべきBIM/CIM活用に対する課題を以下に述べる。

・3次元モデルの確実な引継ぎ

今後は詳細設計で作成したデータを工事業者に渡し、さらに維持管理業者へ渡すというように複数の業者間でデータを引継いで使用することになっていくと考えられる。業者ごとに異なるソフトを用いているため、データの互換性を保つことは重要であるが、データの手直しを防ぐ上では、作成されたファイルが誰でも同条件に、かつ作成者の意図どおりに使用可能であるかも重要である。

このため、テキストや点群データ等の3次元データ作成のソースとなるデータも一緒に引継ぐと作成者の意図どおりに受け渡せるためデータを引継いだ場合の手直しの手間が省力化できる可能性がある。ただし、これらのデータを同時に受け渡しする場合、データ容量も大きくなってしまいうため、大容量のデータの受け渡しに対応したシステムの整備が必要である。

・設計や工事から維持管理へのデータの利用

建設業全体における生産性向上のために、今後は設計や工事で利用した3次元モデルを維持管理につなげていく必要がある。そのためには、土工であれば盛土に用いた材料の種類や透水係数、構造物であればコンクリートの種類やスランプなどの属性情報の付与が必要となる。しかし、これらの情報を付与するためには別のソフトが

必要だったり、情報量が増えるにつれデータ容量もより大きくなったりするという課題がある。また、千歳川の流域のように軟弱地盤上での盛土施工の場合、1次盛土や2次盛土で受注者が変わったり、時間が経過したりすると沈下が進行してしまうため、データを引き継いだとしても施工完了時からの変化が生じてしまい、また新たに測量し、データを作り直す必要が出てくることもある。このため今後はBIM/CIM活用により、どのような効果を期待できるのかを状況や目的ごとに整理し、様々な条件に応じた活用を推進していく必要がある。

6. まとめ

本論文では旧千歳川樋門改築工事におけるBIM/CIMの取組概要及びその効果、今後の課題について紹介した。以下にまとめを示す。

施工計画・施工管理においては、3次元モデルや3次元モデルを施工ステップの可視化や施工スペース確保等の施工計画の検討、業者間における日々の打合せで使用した。これにより経験年数や知識量によらず現場状況を明確にイメージすることができ、円滑な合意形成に役立った。安全管理においては安全衛生教育に3次元モデルを活用し、ARやVRで擬似的に現場を体験することで危険箇所や遵守事項の確実な共有、危険意識醸成につながった。出来形管理においては、取得した点群データと3次元モデルの面的なデータとの差異を比較することで体積算出を行い、出来形資料の精度向上につながった。ただし、現場での計測時間は短くなる一方、データ整理の時間を要す等、全体の作業時間が必ずしも短くなるとは限らないため、状況に応じてどのような計測方法が適しているのか施工内容に応じて適切に判断する必要がある。

謝辞：本論文の執筆にあたり、北土建設株式会社の皆様並びに株式会社岩崎の皆様はじめ多くの皆様にご意見とご協力を賜りました。この場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：第25回基本問題小委員会_資料1_建設業を巡る現状と課題（2023年5月）
- 2) 国土交通省：生産性革命プロジェクト
- 3) 国土交通省北海道開発局：石狩川水系千歳川河川整備計画【変更】（平成27年3月）
- 4) 大臣官房技術調査課：事務連絡「DXデータセンターの本格運用の開始について（周知）」（令和5年3月7日）