

BIM/CIM の VR への活用方法と課題及び将来展望

東洋建設(株) 正会員 ○中嶋 道雄
東洋建設(株) 正会員 前田 庫利

1. 概要

(1) 開発概要

工事における BIM/CIM の取り組みが活発化してきており、施工検討をパソコン内の 3 次元空間でシミュレーションが可能な状態となってきた。施工検討を行ったデータは ICT 機器との連携により自動化施工が始まっている状況であるが、建設機械の運転を含み人力での作業も多く存在する。こういった中、現状での BIM/CIM の検討結果を人に伝達する方法は紙に印刷する方法、ディスプレイやタブレットを用いる方法が中心である。BIM/CIM の利点は工事前のシミュレーションによって施工不可能な箇所の発見や危険箇所を発見・改善する事であり、モデルや確認する方法が現実との乖離が少ないほど、これらが発見する事が可能であると考えられる。ここでは BIM/CIM データを VR によって上記の改善活動を実際に行い、その際に行った開発方法を示す。また現場で実施した中で、現実との乖離が少なくなるようなモデル配置や、仮想空間に必要なオブジェクト等を取りまとめた。またこれらから発見した課題等を示す。

(2) VR の現状

VR の進化は早いですが、我々が VR を開発した時点での VR の現状を以下に示す。VR とは日本語で仮想現実や人工現実感と訳され、現実にはないものを人工的に人間の視覚や聴覚などをもって感知・認識させる事を言う。1968 年にユタ大学でゴーグル型のヘッドマウントディスプレイ(HMD)が開発されてから、主に視覚を利用したものが多く開発されてきた。現在一般的に販売されている主な VR 機器は、機能別に以下の表-1 に分類される。VR 機器は、DoF(Degree of Freedom)と呼ばれる自由度によって人間の状況を機器側で認識する機能が大きく 3DoF と 6DoF に分けられる (図-1 参照)。3DoF とは顔の X,Y,Z 軸周りの角度を認識するも

表-1 VR 機器の主な分類

自由度	3DoF		6DoF	
現実の取込み	-	外周部センサー	HMD カメラ	眼鏡状ディスプレイ利用
形状	HMD	HMD+センサー	HMD	眼鏡状
機能実現概要	一般的な HMD 型	外周部に設置したセンサーで人の位置を検知	HMD 外部のカメラにより現実情報を取込み	眼鏡型ディスプレイを利用する事で現実取込みが大きい
代表的機器名	Oculus Go	HTC VIVE	Oculus Quest	Microsoft HoloLens
写真				

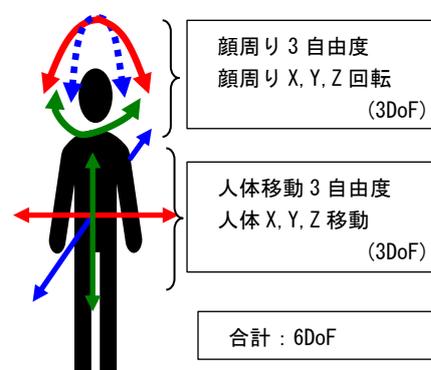


図-1 自由度 (DoF) の概念図

キーワード BIM/CIM, VR, MR, 現場見学

連絡先 〒101-0051 東京都千代田区神田神保町一丁目 105 番地 東洋建設 (株) 土木技術部 TEL03-6361-5464

ので、この事により顔がどの方向を見ているかを機器側で認識するものである。6DoFとは、3DoFに加えて人間が前後、左右、上下に移動したかを認識するものである。この機能はHMDのカメラだけで実現する、周囲のセンサーを利用するかによって、センサー範囲内でしか機能しないものがある。また、近年では手・腕や足などの人間のパーツを認識するものが開発されているために、今後は遠隔地の建設機械操作などに利用されて行くものと考えられる。

2. BIM/CIM データの VR 利用への開発

(1) BIM/CIM の現状

BIM/CIM は、3D モデルによる工事の前段階で施工検討を実施（フロントローディング）する事で工事の作業性や安全性を事前にチェックし、手戻り減少や生産性の向上を目的としている。一方、コンピュータや各種センサーの性能向上や価格下落により現地地形や電柱などの工事施工時に考慮すべき物をコンピュータ上で正確に再現する事が可能となってきた⁴⁾⁵⁾。この事により、コンピュータ上で正確な施工検討を事前に行う事が可能となった。中嶋ら¹⁾²⁾³⁾は、港湾工事においてBIM/CIMを活用し、一定の有効性を示している。図-2はLiDARで電線や周囲の建物をBIM/CIMのモデルに取り込み、電線下を荷物積載トラックが安全に通るかどうかを検討したものであり、現地に行かなくてもこのような検討が可能となった⁹⁾。図-3は、海上における杭頭部の鉄筋溶接検討モデルである⁴⁾。このように作業場所が非常に狭く腹ばい作業の必要があるとともに、足場下が海であり潮位によって作業時間が制限されるため、安全性を確保しつつスムーズな施工手順を確保する必要があった。当初は図-4に示すようなタッチパネル式ノートコンピュータで施工状況の説明を行い、作業姿勢や手順を確認していた。この場面では作業員7名で打合せを行っていたが、特定の人のみがディスプレイを確認できるだけで、十分な検討環境ではなかった。そこで、対策として図-5に示すようなタッチ式の大型ディスプレイを使用した。この事により、タッチ操作で任意の角度や大ききでモデルを切り替えて確認が可能となり、全員が同時に視認し確認可能である状況となった。ただし、いくら大きなディスプレイを用いても、狭窄な現場環境で腹ばい作業する状況は第3者視点からしか確認できず、作業を行う上での危険個所の抽出数は多くなかった。そこで、VRによってこのモデル中に入り込んだ方が、より作業環境が実体験と乖離が無く、危険個所を抽出可能では無いかと考えた。



図-2 電線下の通過検討シミュレーション



図-3 BIM/CIM モデルでの施工性の検討例



図-4 施工検討結果を確認している状況



図-5 大型ディスプレイを使用している確認状況

(2) VR 機器の選定

建設業における VR の利用状況は、あらかじめ決められた開口部がある状況の中を歩行して落下体験が可能な安全教育パッケージソフトなどはあるが、今回の様に現地毎に変化する建設現場を再現し、その中から危険個所を発見して改善するためのソフトウェアは無い状況であった。それらの施工検討を行った 3D モデルはすでにあるため、これらのモデルを有効活用できる方法を考えた。想定する利用状況は、建設現場の事務所において毎日朝や昼に行う打合せの中で、これから行う作業の安全性向上のための作業手順の見直しなどである。

初めに、VR 機器の選定を行った。VR 機器には高性能 PC を利用するものや、人体移動を検知可能なものが存在するが、建設現場事務所等のほこりなどが多い場所で利用可能である事と、ケーブルレスで VR 機器のみで使用可能であり、安価であることから Facebook 社の Oculus GO を採用した。そのため、作業職種別に同時に確認が可能な個数を確保できた。

(3) ソフトウェアの開発

VR 機器はゲームや動画鑑賞が目的で開発されているために、BIM/CIM で作成した 3D モデルがそのまま取り込めるような仕様になっていない。現状では BIM/CIM モデルを取り込んで VR 機器で表示可能なソフトバンク C&S 社の mixpace の様なサービスもあるが、このソフトウェアを開発した 2018 年にはこのようなサービスが無かったため、独自で開発を行った。

Oculus GO は、独自に開発したソフトウェアを実行させることが可能で、ソフトウェア開発の為のミドルウェアも提供している。ミドルウェア使用の選択肢は当時 Unreal Engine 又は Unity を使用する事が可能であったが、筆者が以前使用した事があるために Unity での開発を行った。

a) 人体移動への対応

この VR 機器は人の移動を検知できない 3DoF 形式であるが、建設現場を想定すると、重機と壁の間に人が挟まれるなど典型的な危険個所を知る手段として、人の移動が反映されることが不可欠であった。そこでプログラム側で移動が可能ないようにした。

Oculus GO はコントローラーを 1 基持っており、コントローラーの向きやボタンの状態等の情報をプログラムで利用可能である。またコントローラーの示す先の座標位置を知るための基本的なミドルウェアは開発元の Facebook 社から配布されたものを利用した。通常はコントローラーから RAY と呼ばれるレーザーポインター状の直線が伸びており、RAY の衝突した部分の座標が返ってくる。この状態でトリガーボタンを押すとその場所に移動できるようにプログラムを組んだ。人の移動は実際にはカメラ位置を移動する事により、VR 画像を見ている人はあたかも自分が動いている状況を作り出せる。以下の図-6 にその状況を示す。

表-2 VR 機器の比較選定表

名称	HTC VIVE	Oculus Quest	Oculus Go
イメージ			
自由度	6DoF (顔の方向+人体移動)		3DoF (顔の方向)
スタンドアロン	PC が必要 (ケーブル接続)		スタンドアロン型
価格帯	15 万円程度	6 万円程度	3 万円程度
画質	高	中	低
選択			○

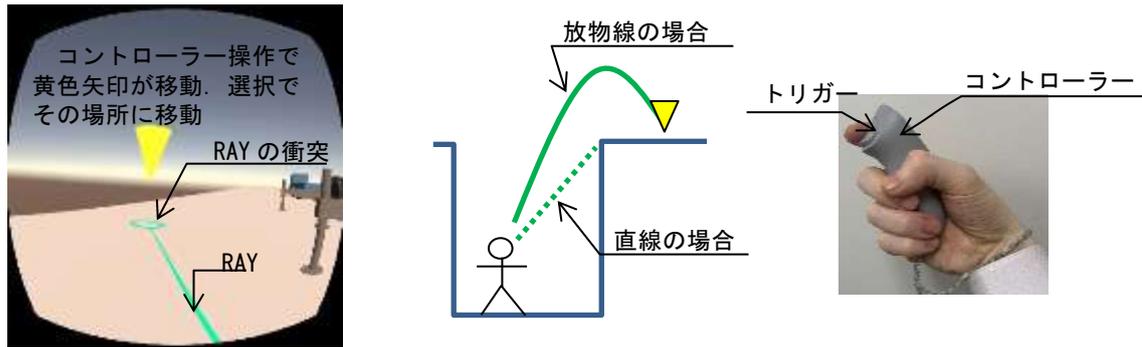


図-6 人移動場所の選択状況

ただし建設現場では例えば地下から地上に上がるときなど大きな上下移動を伴う場合が多いため、図-6 右図の様に直線状の RAY では移動できない場合もある。そのため、上下移動がスムーズに行える様に RAY を放物線状に飛ばして衝突判定を行った。こうする事でモデル内のほぼどこでも自由に動き回れるようになった。VR 機器を装着した人が椅子に座ったまま体験が可能になったため、作業員休憩所等の狭い場所で利用可能になった。また、衝突判定が可能な場所であればどこでも移動可能であるため、例えばクレーンの先端等の通常想定しない危険箇所等にも移動が可能になり、安全確認の他に危険行動の体験も可能である。この事で現場事務所などの狭い場所で椅子に座りながらの体験が可能で、自ら移動しなければいけない 6DoF 機よりも体験時の安全性が向上している。

b) BIM/CIM モデル配布とセキュリティ対策

当初は VR モデルをプログラムに組み込み、インストールされた VR 機器を各現場に送付していた。しかし BIM/CIM が遠隔地で施工検討可能なメリットを活かすためには、プログラム本体と、BIM/CIM モデルを分離する方が良くと考えプログラムの修正を行った。BIM/CIM モデルデータの流れは以下ようになる。

1. 現場事務所または協力業者での BIM/CIM モデルでの施工検討 (ソフトウェア : Navisworks)
2. BIM/CIM モデルを元請会社本社で VR データ化 (ソフトウェア : Unity)
3. 完成した VR モデルを VR 専用サーバーにアップロード
4. 現場事務所または協力会社の VR 機器でダウンロード

現場事務所と本社が遠隔地にある場合を想定し、BIM/CIM モデルはクラウドサービス (Dropbox) を利用し共有を行った。この BIM/CIM モデルを元に本社で作成した VR モデルはクラウド上の VR 専用サーバーにアップロードしておき、体験時には各自 VR 機器でダウンロードして使用する方式とした。これらの流れを以下の図-7 に示す。これにより、今まで VR を見るまでに 1 週間程度かかっていた時間が、約 30 分程度にまでに短縮された。また VR データとプログラムを分離する事によって、事前に VR 機器を協力業者や現場事務所へ送付しておけば、データが完成した段階でダウンロードしてもらうだけで、利用可能となった。この事により準備期間が短縮される。

一方 1 つの専用サーバー上にデータをストックしている状況であることから、データセキュリティと複数の現場に対応する必要がある。この課題に対しては、サーバーからダウンロードする時点での ID、パスワードの入力を行う事で、データセキュリティの確保を行った。また、ダウンロード先のサーバーアドレスや ID、パスワードを変える事で各現場に割り当てられた VR 画像のみ見る事が出来る状態とした。これらを入力している状況を以下の図-8 に示す。

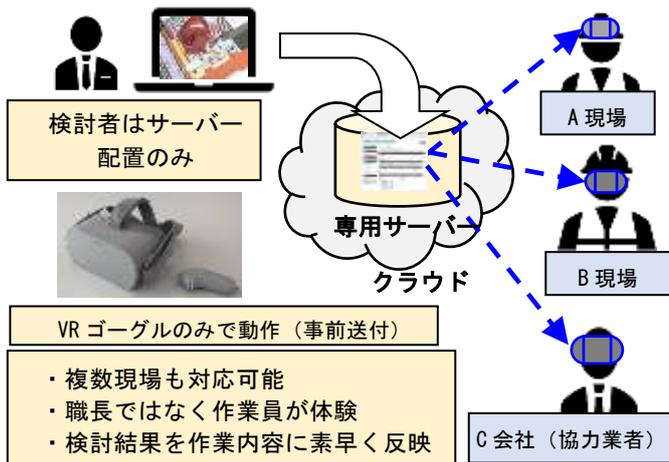


図-7 VRデータの流れ及び利点



図-8 ID、パスワードをVRで入力している状況

3. 利用上の利点及び課題

(1) VRで見ている画面の情報共有

以下の図-9に、現場事務所で施工状況の体験をしている状況写真を示す。VRを体験している状況では、体験者以外は映像が分からないため、複数人の打合せでは情報共有ができない。特に危険個所の共有を目的に行っているため、この課題は解決する必要性が高かった。Oculusには、外部機器に画面を共有する方法が用意されているが、この機能をプログラムで実装するには複雑な部分が多かったために、外部プログラムであるVysorを併用した。VysorはWindows上で動作するプログラムであるが、VR機器とコンピュータを同一Wi-FiでのプライベートIPで通信を行う事でVR機器の表示されている画像をコンピュータ画面に複製させることが可能である。このコンピュータ画面を外部大型ディスプレイに複製表示させている状況を以下の図-10に示す。この対策により危険個所の情報共有や、危険個所のメモを取る事により作業手順の改善や安全施設の変更などに利用可能であった。

(2) 現場確認

建設現場での安全管理は過去の被災事例から行動や設備等を設定される事が多い。ただし、各建設現場は地形や安全設備の違い等、それぞれの置かれている状況が違うため、総合的に判断する必要がある。そのため、近年では被災前状況のヒヤリハットから安全管理を行う様になってきた。各現場では、このヒヤリハットの引き出し策を講じているが、危険作業をしてしまった作業員の心理から事象を聞き出す事は難しく暗黙知となる場合が多い。暗黙知を形式知にするためには、過去に起きたヒヤリハットをその現場状況になるべく近づけることで認識する事が多くなる。建設業では色々な場面でこのヒヤリハットの引き出し策を講じているが、VR機器での体験は、安全な状態での危険個所の引き出しに活用できると考えられる。

図-11に実際に確認したVR画像の例を示す。体験者へのヒアリングの結果、従来の図面や言葉での危険



図-9 VRによる作業員の施工状況体験



図-10 外部ディスプレイによるVR画像の共有



図-11 VRにより確認した画像例

予知活動と違い、建設現場状況や作業機械の配置がイメージしやすくなり、危険であるかどうかを探し出しやすい傾向になる事が分かった。また、自分の過去の経験と照らし合わせて、現場で再現される身体と建設機械の距離感を感じ取ることが可能で、その結果危険と判断しやすく、作業手順検討時には解らなかった危険箇所を発見できる事が分かった。これらの結果から作業手順や安全器具を変えたVR映像を修正し再度見てもらう事によって、安全性向上に寄与できた。VRモデルを構築する際には以下の点が重要である（図-12参照）。

- 手すり等の安全施設や仮設物を再現する（視覚から入る情報量が現地と同等になりやすい）
- 未完成部分と完成部分が混在するような施工途中の状況を再現する事が望ましい
- 周囲の建物や建設機械による圧迫感を再現するためにそれらを正確に再現する
- 大きさの対比をわかりやすくするために作業員（人）等のスケールとなるものを配置する

安全施設や、人、施工途中の状況再現はBIM/CIMで施工検討を行う事で作成されることであり、現場周囲の再現は3DLiDAR等で点群を収集する事によって再現可能である⁵⁾。

VR画像を見るだけであるため、コンピュータの操作などが不要であり、作業員だけでも体験が可能となった。手軽に確認が可能になった事で毎朝実施される朝礼等の短時間でも体験が行える。そのため、前日に次の日実施する作業を見て確認後作業内容をBIM/CIMで修正し、本社でVRに画像変換する事で、翌日朝に手順や安全施設の変更を再度確認して作業を開始する事が可能となった。

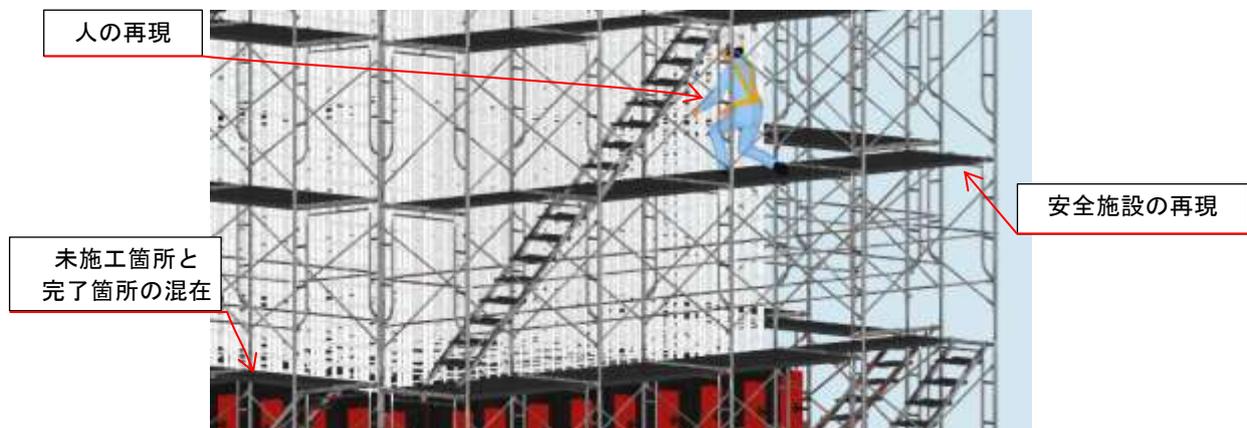


図-12 VRモデル構築時の注意点

(3) 現場見学

このように、通常の BIM/CIM による施工検討を行うだけで容易に VR 画像に変換し現場体験が可能であり、完成された一連の BIM/CIM データや VR 画像をストックしておくことによって、場所や時間に制約なく、また安全に現場見学が可能となる。今後、建設作業に直接従事する人の新規入場者や、元請会社やその施工を行ったことが無い技術者等多様な人々への重要な経験データベースとなると考えられる。また、短期間で様々な現場を体験する事で技術力向上に寄与するものと考えられる。

(4) 課題

これらのシステムの課題は、現状では本社での CIM オペレーターによる BIM/CIM モデルの修正と VR モデルへの変換を必要とする事である。BIM/CIM モデルの修正を現場で行う事が望ましい。VR モデル作成は元請会社本社で変換作業を行っているが、サーバーに BIM/CIM モデルをアップロードすると自動的に変換できるようなシステムとなれば利便性が向上するため、現在サーバーサイド変換システムを検討中である。

今回は、非常に安価で手軽に利用できるシステム構成で VR システムを構成出来た。利用可能な技術進歩は激しいため、より安全に効果的なシステムとなるように今後の研究・開発が必要であると考えられる。

また、従来の建設業のイメージとはかけ離れた VR 等であるが、現状を打破するためには、多角的に利用可能なものは利用する考え方で、安全性や生産性を向上してゆく必要がある。

4. 今後の展望

今回は視界すべてがコンピュータ映像である VR の開発を行ったが、BIM/CIM データを眼鏡型の透過型ディスプレイに投影する事で、現地と重ね合わせを行う事が可能となる。この事によりクレーン作業の場合丁張やトランシット等による誘導が不要な状態で作業が可能であると考えられ、現在試行・開発中である。

建設現場は経験工学であると言われて来たが、作るものが現地受注生産である事、現場地形がそれぞれ違う等、変化に富んだ状況が安全や効率的な作業の数値化を困難にしてきた。BIM/CIM のデータは、建設物の壁、柱や鉄筋などの物体の意味がコンピュータ側で認識が可能であり、カテゴリズやグルーピングが可能である。また今回の様な安全に施工できたと言った認識や事故を起こしたと言う認識を数値化する事で、建設業の安全が数値化可能であると考えられる。例えば BIM/CIM で掘削個所にクレーンを配置するだけで、クレーンの倒壊を予測し配置できないようにするシステムである。

またこういったデータを蓄積する事で AI に情報を学習させて、事前に危険個所を探るなどが可能となって来るものと考えられる。

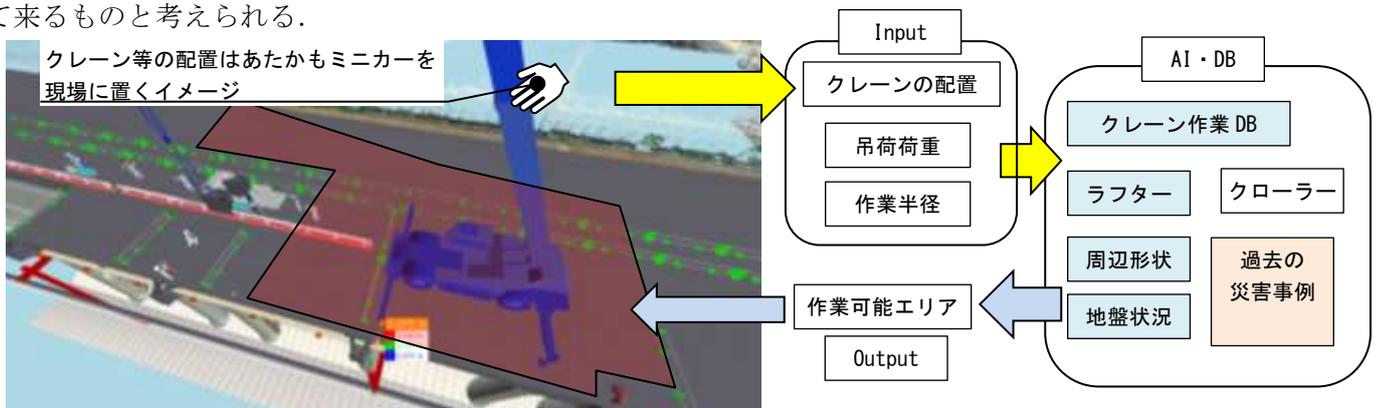


図-13 安全作業の数値化と AI によるフィードバックのイメージ

5. まとめ

(1) 結論

以上までの港湾工事で実際に VR での開発・活用を通じて、以下のことが分かった。

- BIM/CIM での施工検討結果から VR モデルを作成する手順及びシステムを構築した
- これらのシステムはサーバーを介した配布システムであり体験する現場側は VR 機器だけを用意すればよいシステムである
- 各現場に対応しており、見た目のクリアランスなどは今までの経験と対比が出来るため施工の可否判断をしやすい
- 操作方法はコントローラーのみであり非常にわかりやすい。作業員も操作可能であった
- 見ている VR の内容が外部ディスプレイで分かるので全員での打合せにも使用可能
- モデルをストックしておくことで色々な現場体験が可能であり未経験者の技能向上につながる
- VR で現場の施工体験を行う際に危険箇所などを発見しやすくなるモデル配置や必要なオブジェクトなどを示した。

謝辞： VR システム開発にあたりデータ提供にご協力くださった国土交通省 近畿地方整備局 舞鶴港湾事務所の皆様やシステム開発を手伝っていただいた計測ネットサービス株式会社の皆様，また試験にご協力いただいた現場の皆様に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 中嶋道雄：港湾工事における CIM の活用，海洋開発論文集 2019.
- 2) 中嶋道雄，合田和哉，白川隆司，古田圭也：函館港若松地区クルーズ船棧橋における CIM の活用，土木学会土木建設技術発表会，2018.
- 3) 中嶋道雄：港湾工事での CIM の活用，土木施工 2019 年 1 月号，pp.99-102，(株) オフィススペース，2019.
- 4) 安達昭宏，中嶋道雄，前田庫利：港湾における CIM の活用と展望，土木学会第 74 回年次講演会，2019.
- 5) 前田庫利，中嶋道雄，森川敏行，橋本崇志，竹本佑太，新井淳平：舞鶴港第 2 ふ頭地区岸壁における CIM の活用，土木学会土木建設技術発表会，2019.