

舞鶴港第2ふ頭地区岸壁におけるCIMの活用

東洋建設（株）	正会員	○前田 庫利	東洋建設（株）	正会員	中嶋 道雄
東洋建設（株）		森川 敏行	東洋建設（株）	正会員	橋本 崇志
東洋建設（株）		竹本 佑太	東洋建設（株）		新井 淳平

1. 概要

国土交通省の生産性向上施策である i-Construction の取組において、BIM/CIM の推進・適用工種拡大が図られているが、CIM 導入ガイドライン（港湾編）は 2019 年 3 月に策定されたところであり、港湾工事での活用はまだ十分とは言えない状況である。こういった中で、国土交通省の港湾工事で初となる CIM 活用工事（発注者指定型）「舞鶴港第2ふ頭地区岸壁(-10m)改良等工事」（国土交通省 近畿地方整備局発注）を実施した。CIM 活用に係る具体例を示すとともに、活用時に現出した利点や課題を検討した。

当該工事の施工位置を以下の図-1 に示す。工事内容は老朽化したコンクリートウェル式の既存栈橋を撤去し鋼管杭式の栈橋に更新するとともに、係留ドルフィンを1基築造するものである。図-2 に工事の概要図を示す。栈橋の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。

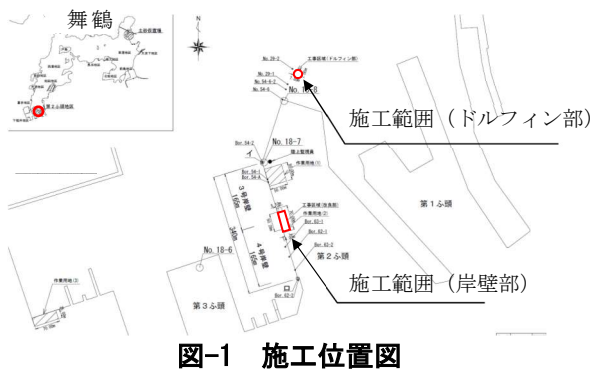


図-1 施工位置図

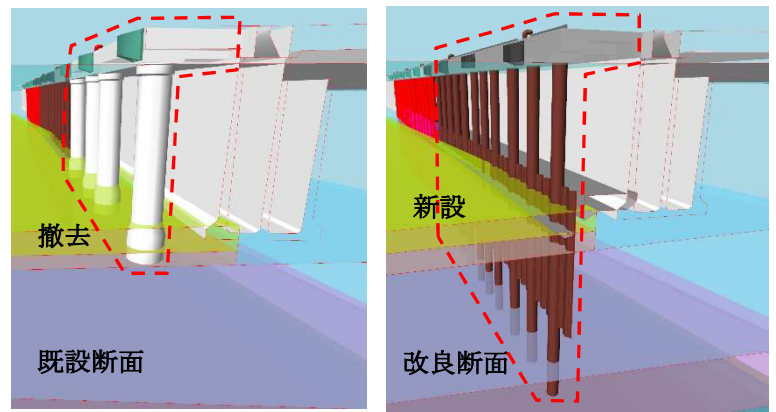


図-2 工事概要図

2. CIM とは

CIM (Construction Information Modeling /Management) は、建築で使用されている BIM を元に 2012 年に国土交通省が提唱したものであり日本固有の呼称である。2018 年より BIM/CIM と名称を変更しているが、建築が主の BIM と区分するためにここでは CIM と記載している。図-3 に CIM の概念図を示す。

CIM とは、建設事業における調査、設計、施工、維持管理の各段階で共通して 3 次元モデルを用いて一元的にデータを蓄積・活用するためのモデル構築方法及び管理方法である¹⁾。3 次元モデルの各部材ごとに属性情報が付随しており、この情報が整然とモデルに付加されていれば事業の関係者において情報の検索や閲覧により情報共有が容易となる。ひいては建設事業の高度化・効率化を図ることを目的としている²⁾。

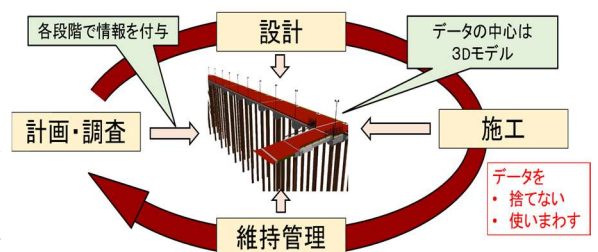


図-3 CIM 概念図¹⁾

キーワード BIM/CIM, 3 次元モデル, 3 次元スキャナー, 属性情報

連絡先 〒101-0051 東京都千代田区神田神保町 1-105 東洋建設株式会社土木事業本部土木技術部 TEL03-6361-5464

3. CIM モデルの作成

発注者より貸与された CIM モデルは、構造物および地盤情報や既存岸壁構造物の一部がモデル化されていた。これに、施工検討に必要な防舷材や犠牲陽極を作図して補完した。施工検討や安全性に関わる検討に CIM モデルを活用するには地形や周辺構造物が必要である。広域地形については国土地理院 HP から航空写真と標高データ等を取得可能であるが、航空写真は撮影年度が古かったため、第2ふ頭周辺をドローンにより撮影した。また、周辺構造物についてはハンディ型 3 次元スキャナーを使用して歩行しながら計測し点群データを収集した。写真-1 にデータ収集状況を示す。

ドローンによる航空写真計測の所要時間は 30 分程度であったが、本現場のような飛行禁止空域については事前に航空局への飛行許可申請や管理者の承諾が必要となる。3 次元スキャナーによる点群計測の所要時間は、現地での計測は 30 分程度であった。現地作業後には、航空写真解析や点群データのノイズ除去やデータ統合など 2～3 時間のコンピューター上での作業が必要であった。

以上までの各データを統合し、コンピューター内で施工現場の仮想的な 3 次元空間モデルを構築した。図-4 にデータ統合の概念図を示す。この空間内で施工計画の立案、施工ステップ図の作成等を行うことが可能となる。ただし周辺構造物のデータは 3 次元点群データ計測機器の精度が±3cm 程度であるため、データ統合時の誤差を合わせて±5cm 程度の誤差を含んでいる。



写真-1 点群及び航空写真収集

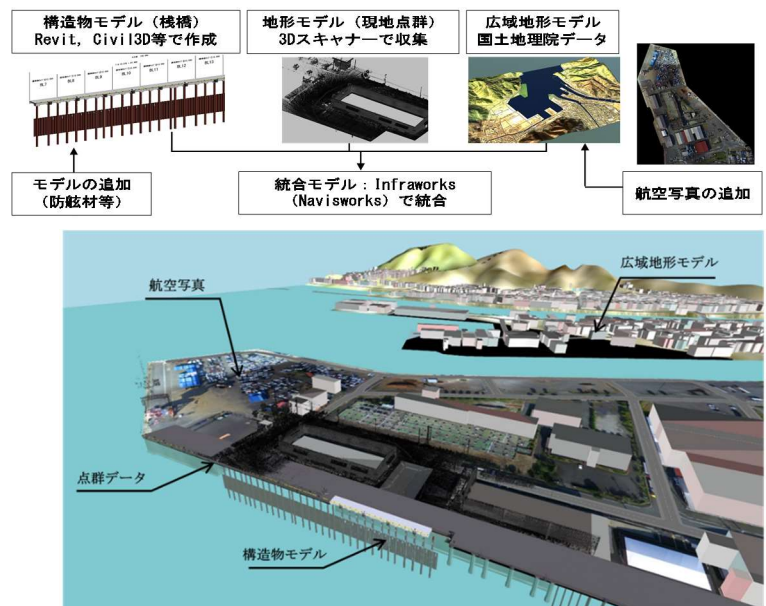


図-4 データ統合概念図及び統合モデル

4. CIM の活用事例

(1) 施工計画および安全性に関わる検討

CIM モデルにより施工前に 3 次元の施工ステップ図を作成し俯瞰的に現場状況を把握することで、問題点や課題を明確にする施工シミュレーションを実施した。施工ステップ図は 3 次元モデルの各部材に施工機械や車両，作業船を配置して作成した。

従来の検討では不明点が生じる度に現場へ赴いて確認するということが行われるが、コンピューター内に仮想的な現場が構築されているためその必要がなくなる。また、遠隔地である支店、本社においても施工検討を行うことができるようになる。これにより現場状況、検討内容について現場、支店、本社間で共有し、効率的な意見集約が可能となった。

a) 周辺構造物との離隔確認

プレキャストブロック運搬に使用するトラックが、設定した走行経路内で電線や看板など周辺の既存構造物と接触しないか確認した。その結果、架空線との離隔はトラック上端から 4.5m 以上となり、看板との離隔は内輪差を考慮しても 2.0m 確保できることを確認した。これにより、試験走行などの現地確認が不要になった。

以下の図-5 にトラックと架空線、看板との離隔確認状況を示す。



図-5 トラックと周辺構造物との離隔確認



図-6 生コン車のルート選定

b) 運搬車両のルート選定

ドルフィン上部工コンクリート打設のため、荷役業者利用区域における生コン車の走行ルートを検討した。走行ルートを図-6 に示す。ドローンにより撮影した最新の航空写真を CIM モデルに合成することにより立入制限区域内の荷役業者利用状況を把握できたため、生コン車の走行ルート選定を迅速に行うことができた。

c) 構造物の干渉検討

栈橋上部工の現場打ち部に設置する防舷材取付アンカーと鉄筋との干渉チェックを行ったところ、梁ブロック張出し鉄筋と干渉していた。防舷材取付アンカーの位置は変更できないことから、梁ブロック張出し鉄筋を上方に曲げ加工することにより干渉を解消した。図-7 に干渉チェック結果および対策モデルを示す。太径である張出し鉄筋は、現場での曲げ加工が困難であるため、設置後に干渉が判明すると一時撤去して工場へ運搬し加工する必要があるが生じるが、梁ブロック設置前に干渉を確認することにより手戻りを防止できた。

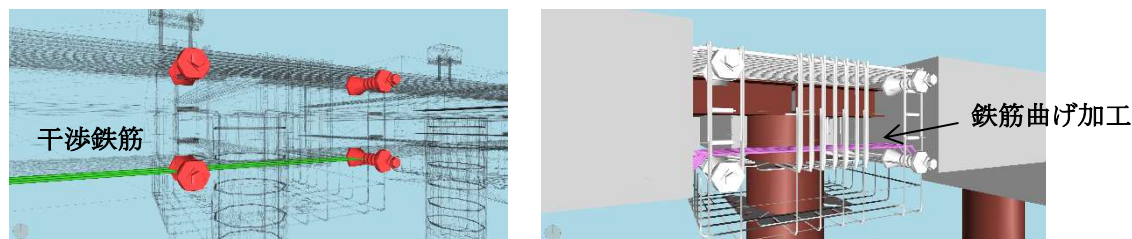


図-7 防舷材アンカーと鉄筋の干渉と対策モデル

従来の 2 次元図面では鉄筋が線で表現されている上、配筋図と付属工の図面が別々に描画されているため、干渉に気づきにくい。3 次元モデルでは太径鉄筋の重なりや付属工の干渉チェックが容易である。一方で干渉を解消した鉄筋は mm 単位での配筋精度の確保が必要となる場合が多く現場管理が煩雑となる。

d) 仮設構造物の検討

プレキャスト栈橋杭頭の現場打ちコンクリート部は足場兼用型枠支保工を使用した。支保工は陸上において大組みし、クレーンによってプレキャスト梁ブロック上に設置する予定であった。

図-8 に示すように既設岸壁との境界部では、梁に被せて吊り下げる形式の型枠支保工は設置できないため、支保工の構造を井桁馬状に変更した。従来の仮設計画においては標準部位以外の取り付け部については見落とされがちであるが、3 次元モデルを使用することで、明確に施工不可能な状況が表現されるため、経験の浅い職員や作業員においても見落としを未然に防止して対策を行うことが可能となる。図-9 に対策 CIM モデルおよび現場写真を示す。

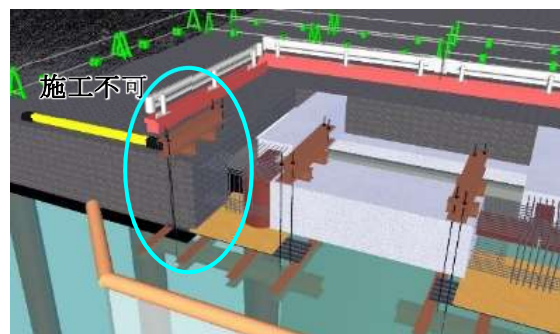


図-8 既設岸壁との境界部の検討



図-9 対策 CIM モデルと現場写真

e) 作業性の検討

上部工係船柱設置位置の現場打ちコンクリート部において、係船柱のアンカーボルトは係船柱本体の設置前に配置しておく必要がある。アンカーボルトの設置空間は梁ブロックの張出し鉄筋や杭頭接続プレートが密集しており作業スペースが狭隘となっている。この場所において作業員が 1 本当りの重量が 14kg のアンカーボルトを手で支えて設置できるような体勢がとれるかどうかについて作業員モデルを配置して検討した。担当する作業員がコンピューター上の CIM モデルをあらゆる角度から見ることで、妥当な姿勢を保持して作業が可能かどうかや困難さを確認し作業イメージが共有された。そのため、事前に小柄な体型の作業員を指名して複数人で作業する、など詳細な対策を検討することができた。図-4 に検討状況を示す。このような疑似体験により実際の作業イメージや現実性の向上を図った。ただし現場で CIM モデルを確認する場合には、耐久性を有したタブレット PC が必要となる。



図-4 CIM モデルによる作業スペースの事前確認

f) 施工手順の周知（上部工現場打部の施工手順）

プレキャスト栈橋の杭頭部は図-5 に示すように、梁ブロックの結合、鉄筋組立、現場打ちコンクリートの打設、これに伴う足場兼用型枠支保工の設置・解体など煩雑な施工手順となる。クレーンオペレーターや陸側岸壁上の作業員、海側栈橋上の作業員間の連携が重要となるため、事前に施工手順の動画を作成し、現場作業所に設置した大型ディスプレイによる説明、周知を行った。写真-2 に施工手順の周知状況を示す。複雑な配筋手順など不確実性が残存する場合は試験施工として実物を用いた現地での仮組確認を行うが、今回は CIM モデルにより手順や部材の収まりを確認することができた。作業内容の確実な周知により現地での手戻りがなくなるとともに、手順を考慮した資材配置、人員配置の工夫により効率化を図れた。ただし、説明用の機材として事務所に大型ディスプレイの設置や、前項と同様に現場での再確認用にタブレット PC が必要となる。

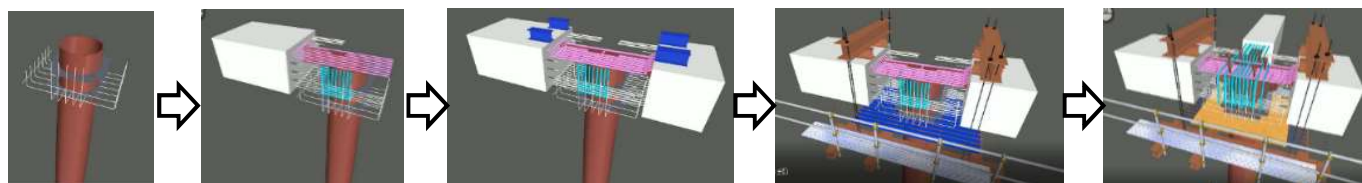


図-5 足場兼用型枠支保工設置手順



写真-2 作業手順周知会



図-6 CIM モデルを使用した危険予知活動

g) 施工対象の可視化による危険予知活動

CIM モデルの施工ステップ図をもとに注意点を記入し、それを大型ディスプレイに表示させて危険予知活動を実施した。大型ディスプレイは朝礼広場に設置し作業員が一斉に見ることができる状態にした。図-6 に危険予知活動の実施状況を示す。従来の危険予知活動では、作業員が実際の現場での機械配置や材料の動線などを頭の中で組み立て、自らの現場体験等をもとに予想される事故形態や予防対策を発言するというを行っているが、発言内容のレベル・詳細度合いは、経験年数や入場日数に伴う習熟度に左右されるため個人差が大きい。そのため、どの現場にもあてはまるような一般的な内容となり危険予知活動の形骸化の要因となる。一方、3次元モデルによる作業状況を見ながら危険予知活動を行う場合、参加者は発言しやすく内容が具体的になる。さらにCIMモデルを使用した危険予知シートや重機車両作業計画書等の安全書類は、CIMモデルの施工ステップ図を流用できるため安全書類作成の省力化・迅速化にもつながる。但し、CIMモデルを使用した危険予知活動を行うためには大型ディスプレイなど設備面を充実する必要がある。

(2) 関係者への説明

施工範囲では地元企業が日常的に荷役作業を行っていることから、工事内容と工事による影響についてCIMモデルを用いた説明を行った。写真-3 に説明状況を示す。施工ステップについて段階を追って説明し、一般船舶にとって視認しづらい施工途中の現地状況や、夜間に点滅灯を配置した状況のCIMモデルを示した。

2次元図面と比較してわかりやすいため、地元企業社内における説明や荷役作業員への説明、外国船舶乗組員への説明など二次利用における資料として、理解が得やすく有用との意見を得た。一方で説明相手先に対してはプロジェクターやモニター等の機器の電源確保を依頼する必要がある。また、CIMモデルによる説明はペーパーレスであるため、説明を受けた側が、説明内容を後日再確認するための配布物も必要であると考えられる。その代替としてWEBページへの公開など工夫が必要となる。



写真-3 地元企業（荷役業者）への説明

(3) 施工管理への活用（属性情報）

杭打設後の杭頭位置や高さなどの出来形、鋼管杭のミルシートなどの品質管理記録等の属性情報についてはCIM情報一元管理システムを開発しCIMモデルへ入力・付与を行った。従来の施工管理方法によると、現場では出来形・品質計測値を野帳に記載し、作業終了後に現場事務所で野帳に記載した計測値をPCに入力、管理表を作成する手順を踏み、その後CIMモデルに属性情報として入力、関連付けを行う。これらの作業フローを改善し、CIMモデルへ属性情報を付与するためにシステムを開発した。概念を図-7に示す。現場監督員が出来形・品質計測値を現場でタブレットなどを利用して入力、または電子小黒板を伴った写真を撮影すると、クラウド上に計測値を含む出来形・品質管理表が作成されこのデータがCIMモデルへ付与される。ミルシートなどの紙情報についてはタブレットを利用してPDFファイルに変換することにより一元管理システムを利用し施工管理データとして付与することができる。

クラウドを使用して現場にて属性付与を行うことが可能となるため事務所と現場間の移動回数が減少した。また、CIMモデルの部材毎に属性を確認できるため計測忘れを防止できた。属性データはクラウド上にあるため支店や本社など遠隔地においても閲覧でき、多重チェックを行うことが可能となった。一方で複数のモデル部材をまとめてグループとして設定していない場合は、多数の部材一つ一つに属性情報を付与することになり作業量が膨大となる。また、試験成績表など紙情報しか流通していないものはPDFへの変換作業が煩雑となるため、発行機関における紙情報の電子化が課題である。

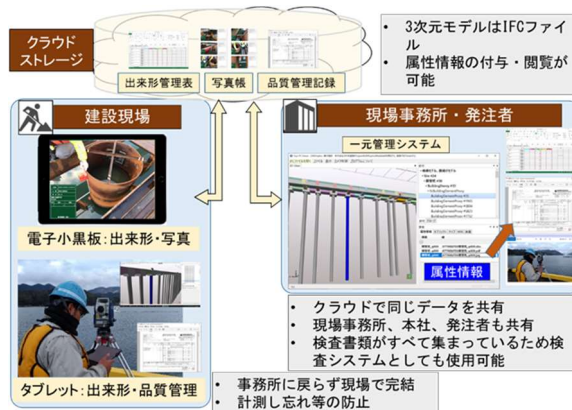


図-7 属性情報の CIM への反映概念図

(4) 出来形検査への応用

岸壁法線、天端高の出来形検査において、据置型 3 次元スキャナーにより取得した点群データが活用可能か検証した。

計測時期が施工中であったため、岸壁法線については表層コンクリートの型枠を計測した。その後、点群処理ソフトを使用して岸壁法線規格値である $\pm 3\text{cm}$ の平面を描画し、測定した型枠点群がその平面内に収まっているかを確認した。図-8 に点群の計測結果および規格値について示す。

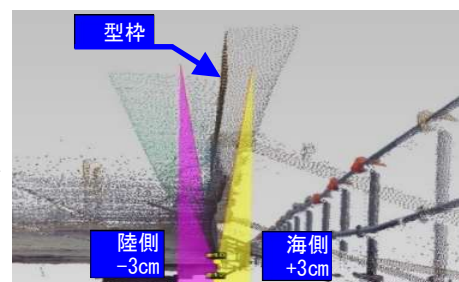


図-8 岸壁法線計測結果

型枠点群は規格値内に収まっていることを確認できたが、完成形状では岸壁陸側に 3 次元スキャナーを設置せざるを得ないため車止めや係船柱などの影になる部分は計測不可能となり出来形検査には使用できない。図-9 に計測時の計測不可能範囲を示す。代替方法として対岸からの計測も試行したが、点群密度は距離が広がると粗になるため形状確認が不可能であった。図-10 に計測結果を示す。海側への張出し足場なども考えられるがコスト、工程増にならない方法とする必要がある。

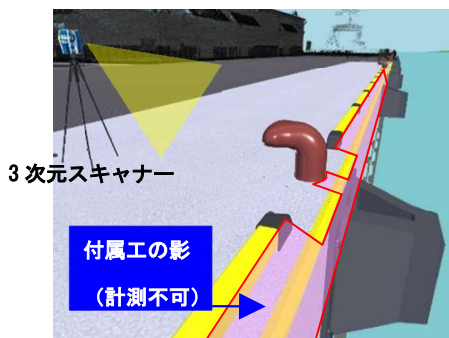


図-9 完成後の岸壁法線計測



図-10 対岸からの岸壁法線計測結果

天端高については取得した点群データを点群処理ソフトにてヒートマップ（段彩図）で表示させた。標高規格値 $\pm 2\text{cm}$ の範囲内のデータを緑、 $+2\text{cm}$ 以上を赤、 -2cm 以下を青で色分けした。係船柱や車止めアンカー、脱枠前の型枠は赤で表示されているが、ほかは全て緑となっており表層コンクリート天端高は規格値内にいることが確認できた。広範囲に及ぶ対象物の管理値の合否判断が即座に行えるため出来形検査の効率化が図られる。図-17 に天端高の点群ヒートマップを示す。

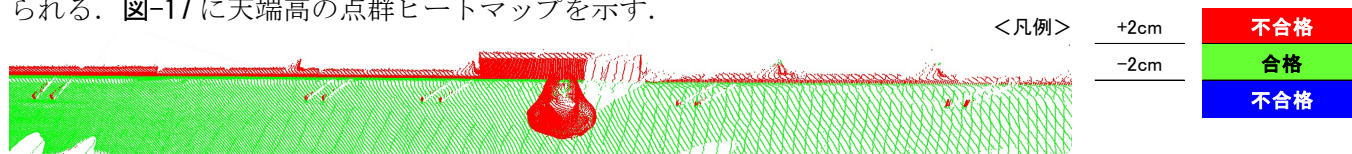


図-17 表層コンクリート天端高のヒートマップ（段彩図）

(5) CIM を活用した電子監督検査

CIM モデルに付与された属性情報を確認することにより、監督検査が実施可能か検証した。実施方法は CIM 情報一元管理システムを使用して CIM モデルを表示させ、監督官が指定した部材における出来形成果表、品質管理記録などを確認することとした。

この方法では国土交通省が指定する構造物のファイル形式である IFC ファイルの 3 次元モデルが表示されることに加え、部材に付与された属性情報が一覧で確認できるため必要な情報を得るまでの時間を短縮可能であり有用であるとの意見を得た。

写真-4 に電子監督検査の実施状況を示す。また、一元管理システムはタブレットでも動作するため現地においても閲覧が可能であることから、点検等の維持管理においても活用できる。



写真-4 CIM を活用した電子監督検査の試行状況

5. 今後の展望

これら CIM 活用の実施・検討の結果、施工計画段階での施工検討の高度化、施工中の情報共有による意思統一、監督検査の効率化において有益であったと考えられる。課題については大型ディスプレイの手配やタブレット PC の耐久性など設備面が挙げられるが、ICT 機器の性能向上により順次解決されるものと考えられる。

CIM モデルは施工検討が可能な精度を有しており、現実との乖離が非常に少なく、仮想空間上において施工機械の移動・回転などによる施工シミュレーションが可能であるため、今後は CIM モデルと連携した施工機械の自動化が進むものと考えられる。同時に立会、検査においても自動化・効率化が図られると考えられる。

また、VR・AR などの ICT との親和性を向上させることで活用の多様化も期待される。

VR ゴーグルは、CIM モデルと連携させることにより、施工現場、周辺状況の事前確認に活用することが可能である。図-18 に示すような VR ゴーグル単体でクラウドサーバーから CIM モデルを読み込み、現場 VR 体験を行うシステムを開発・試行済みであり、協力会社との事前打合せや安全教育に活用を広げていく予定である。現場への移動コスト低減や関係者のスケジュール調整の省略につなげ、さらなる業務の効率化を図る。

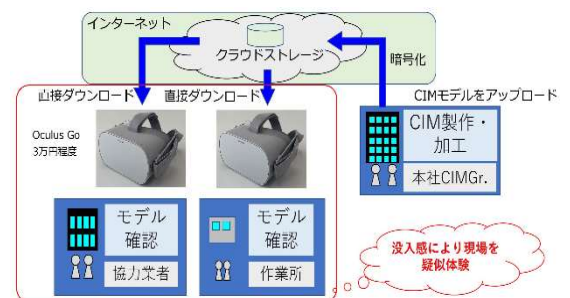


図-18 VR による施工シミュレーター

一方で従来の 2 次元設計図面は構造物の形状・大きさだけを示しているわけではなく、設計思想や施工手順、現地合わせの部分等施工に関わる必要な項目を網羅し表現しており、建設技術者の共通言語というべきものである。このような表現が 3 次元でも可能となるように、ソフトウェアやファイル構造および表記標準・ガイドライン等基準類の充実・改善を図る必要がある。

謝辞

本論文執筆にあたり国土交通省近畿地方整備局舞鶴港湾事務所にはデータ使用の許諾及びデータ提供をしていただいた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 中嶋道雄, 港湾工事における CIM の活用, 海洋開発シンポジウム, 2019
- 2) 国土交通省, CIM 導入ガイドライン (案) 第 1 編共通編, 2019