

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。

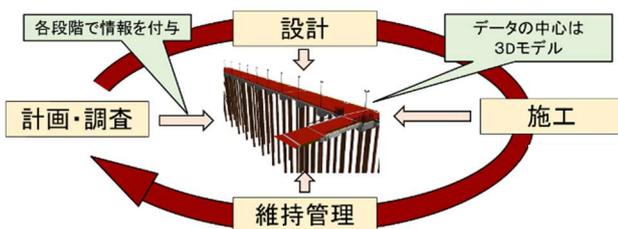


図-1 CIMの概念図

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

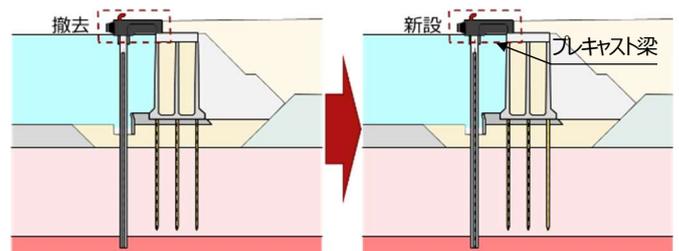


図-3 工事概要図



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、本體工）を重ね合わせた図を示す。（図-5 参照）

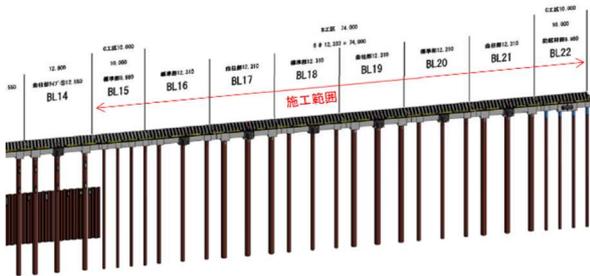


図-5 更新した構造物モデル

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）

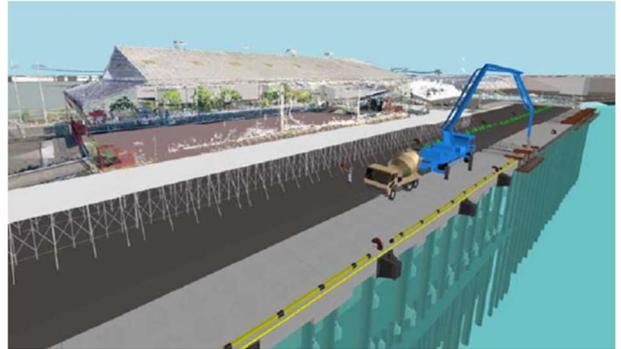


図-8 クルーズ船旅客通路設置時作業状況

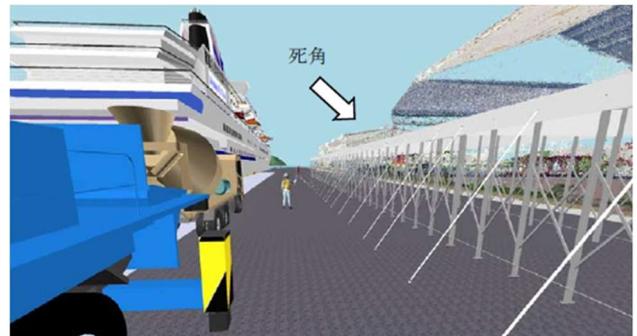


図-9 作業場所から見た通行経路

(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

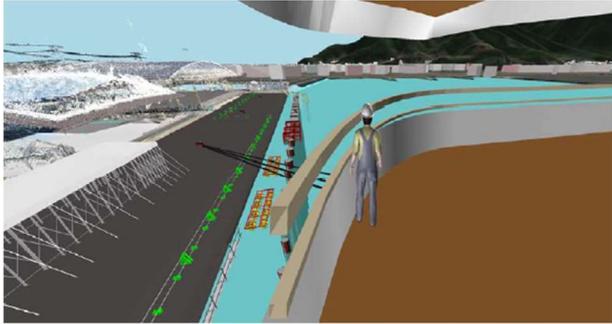


図- 11 クルーズ船から見た現場養生状

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。

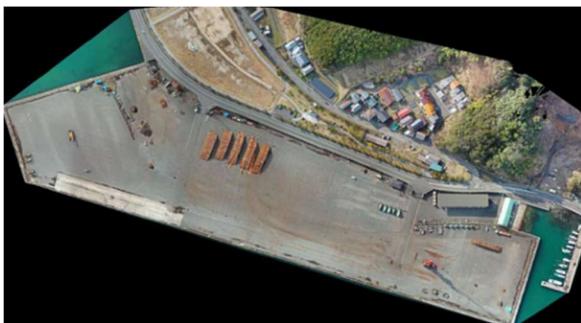


図- 12 航空写真(喜多ふ頭)

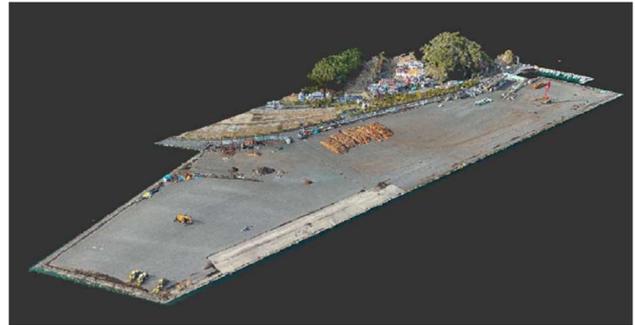


図- 13 点群データ(喜多ふ頭)

(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）

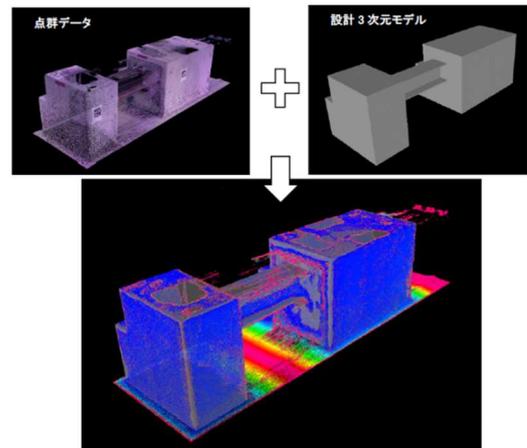


図- 22 比較機能によるヒートマップ (c I 梁)

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。

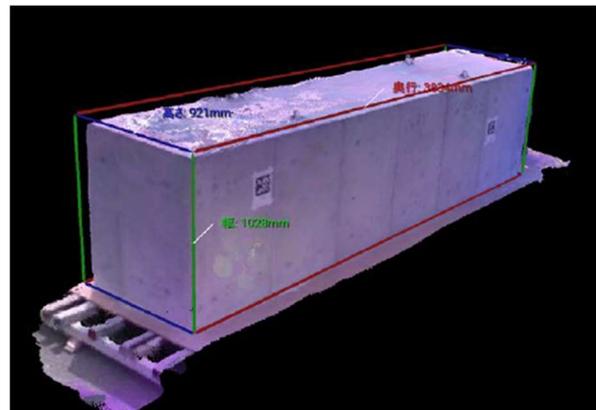


図- 23 境界寸法測定機能 (CI 梁)

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。