

(8) 港湾栈橋工事における CIM の運用手法確立

山中 哲志¹・石田 仁²・勝田 哲史³

¹正会員 五洋建設株式会社 技術研究所（〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1）

E-mail: satoshi.yamanaka@mail.penta-ocean.co.jp

²正会員 五洋建設株式会社 技術研究所（〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1）

E-mail: hitoshi.ishida@mail.penta-ocean.co.jp

³正会員 五洋建設株式会社 東北支店（〒980-8605 宮城県仙台市青葉区二日町 16-20）

E-mail: satoshi.katsuta@mail.penta-ocean.co.jp

建設生産プロセスでの情報通信技術（以下，ICT）活用として Construction Information Modeling/Management（以下，CIM）が提唱され，建設分野への3次元モデル利活用が進められており，属性情報が付与された3次元モデルが建設工事のライフサイクルを通じて使用されることによる生産性向上が期待される．平成24年から試行工事が国土交通省の各地方整備局にて発注され，活用効果等について多くの検証がされてきた．しかし，CIMの試行工事はすべて陸上工事であり，現状は港湾工事におけるCIMの本格的な導入事例は無く実施方法を含めた検証が進んでいない．そこで本研究では，港湾工事における栈橋工事を対象としてCIMを導入し運用手法，実施項目を確立するための検証を実施した．

Key Words: construction information modeling, 3D model, port

1. はじめに

国土交通省が提唱したCIMの試行工事が平成24年度から開始され，モデル事業を通してインフラの設計業務や建設現場における3次元モデルを用いた可視化による品質向上や，関係者間での共通認識の強化，安全管理の向上等の効果を確認してきた．平成29年の3月には，導入ガイドラインが発行され，さらなるCIMの運用が推進されることが期待される．しかしながら，CIMを取り入れている工事はすべて陸上工事であり，港湾工事での本格的な導入事例は無く，各工種でCIMが効果を発揮する項目についても検証が進んでいない現状である．そこで，筆者らは，港湾工事のうち基礎工からコンクリート工まで複数の工種がある栈橋を対象としてCIMを活用する工事のマネジメントを通じた検証を行い，港湾工事でのCIM運用手法の確立に向けた検討を行った．本稿ではその内容について報告する．

2. 工事概要

CIMを導入した工事の概要は，表-1の通りである．本工事は，設計施工案件であったが設計側から2次元図

表-1 CIMを試行した工事の概要

工事概要	
工事名称	相馬LNG基地建設工事のうちLNGパース建設工事
発注者	石油資源開発株式会社
受注者	五洋・新日鉄住金エンジニアリング特定建設工事共同企業体
工期	平成26年8月1日～平成29年9月30日
工事内容	鋼管杭工：128本（φ700～1,600mm） ジャケット設置工：13基 上部工：13基 橋梁設置工：22基 法面保護工：500m（被覆石 100～200kg/個） 他付帯設備

面のみ施工者へ渡される現状の発注体系での運用を想定して施工段階からモデル作成を実施した．

3. 実施内容

(1) 構造物モデルの作成

本工事では設計が終了した後，本体構造物着工までの期間が短かったため，モデルを2段階に分けて作成した．最初に工事の全体像把握，全体工程の吟味するために概略のモデルをLOD200で作成した．LODとは，Level of Developmentの略で3次元モデルの詳細さを表す基準として，米国のAIA(American Institute of Architects)によって定

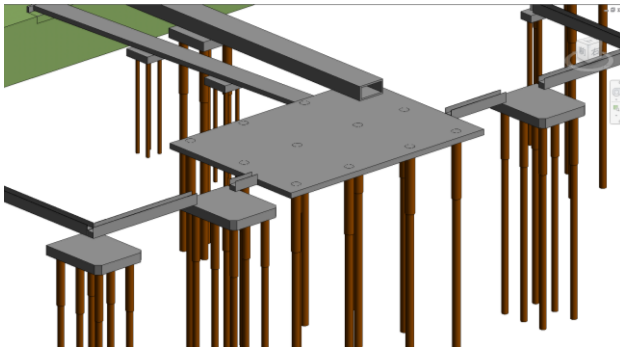


図-1 LOD200 概略モデル

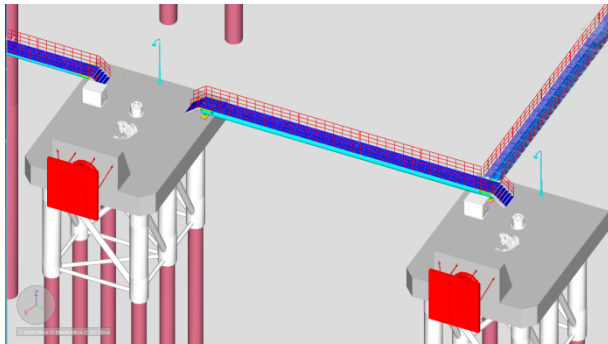


図-2 LOD400 詳細モデル

義されたものである。作成に使用したソフトウェアは、Revit (Autodesk 社) を利用して作成した。施工が進むにつれて付帯設備の詳細な構造も確認する必要があるため、当該モデルは LOD400 で順次作成し、前記概略モデルに追加していった。この際のモデリングは地形データ等を含むため、AutoCAD Civil3D および AutoCAD (Autodesk 社) を使用してモデリングを行った。初期の概略モデルを図-1、詳細モデルを追加した状況を図-2 に示す。現場の運用を考慮するとこのように必要な時期に応じて詳細度を上げながらモデリングを実施することは、有効と考える。

(2) 4D シミュレーション

工事開始前に作成した工程表を用いてモデルに時間情報を付与した 4D シミュレーションを実施し、施工順序に不整合が生じていないかチェックした。施工開始段階でのおおまかな工程を作成しておくことで施工中は随時修正や工程の進捗を確認することができた。また、港湾工事では、作業船の姿勢安定を図るためアンカーワイヤーを広く展開する必要があるが、当該ワイヤーが航路に張出してしまうと一般航行船舶の航行に影響を及ぼす恐れがある。モデリングの際は、アンカーワイヤーの展開が明確に目視確認でき、航路との位置関係が把握できるように注意を払った。

港湾工事で行う 4D シミュレーションは、作業順序の確認を行うだけでなく、近隣工区や一般船舶への影響を

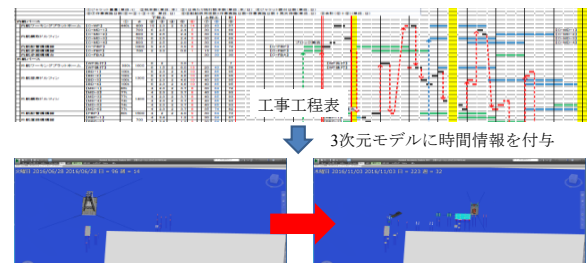


図-3 4D シミュレーション

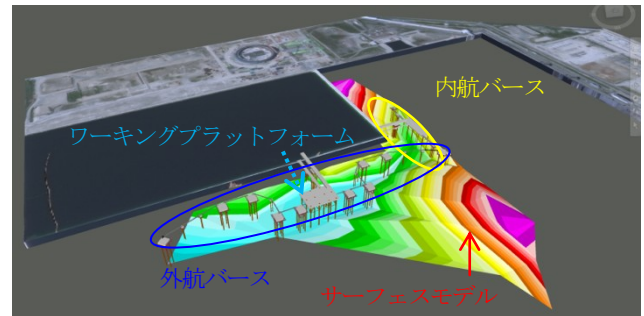


図-4 支持層サーフェスモデル

確認するためにも、作業船の配置については、アンカリングを含めて詳細に表すと効果が期待できる。

(3) 支持層サーフェスの自動生成システムの構築

鋼管杭の打設において杭を支持層へ確実に到達させて根入れを確保することは、構造物の品質を確保するために重要な事項である。本工事では、事前のボーリングデータより支持層の勾配が急な箇所を確認しており、杭の根入れが不足することが懸念されたため、まずボーリングデータを利用して支持層のサーフェスモデルを作成することで面的に支持層の形成を確認し、根入れ不足が生じる可能性がある箇所を限定した。さらに、鋼管杭打設時には、使用するパイプロハンマから得た抵抗値をもとに算出した推定の支持層高さのデータを結果の CSV データとしてサーフェスモデルに自動的に反映されるようにシステムを構築した。使用したソフトウェアは AutoCAD Civil3D である。システムで作成した支持層モデルの俯瞰図を図-4 に示す。

次工程の打設検討に利用できるため、支持層含めた地盤情報の可視化は有効である。

(4) 配筋やジャケット据付け時を想定した干渉確認

本工事において部材間の干渉が懸念される事項として①ドルフィン上に設置する付帯設備の配管およびその架台と鉄筋の干渉、②打設した鋼管杭とジャケットレグとの干渉の 2 点があったため、3 次元モデルを利用して確認を実施した。使用したソフトウェアは、Navisworks (Autodesk 社) である。

a) 付帯設備の配管と配筋との干渉チェック

ドルフィンの上部工上には係留設備であるクイックリ

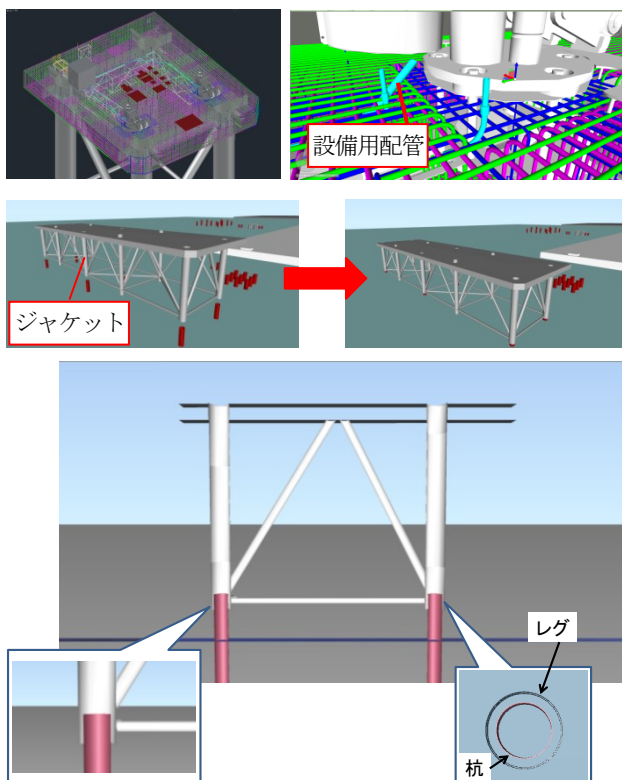


図-5 干渉をチェックしたモデル

リースフック等が設置される。当該設備に接続する電気および油圧配管は上部コンクリート打設時にあらかじめ設置しておく必要があった。しかし、そのような設備用部材と鉄筋は互いの隙間を利用するため過密な配置となってしまう2次元の図面のみでは、組立時に干渉する可能性が高まる。そこで、配管設備が配置される上筋付近を中心にモデルを作成し、干渉の確認を行った。Navisworks による自動チェックおよび目視による確認を行った。結果としては、配筋に大きな影響を与える干渉は無く、無事コンクリートを打設することができた。

配筋するすべての箇所をモデリングすることは膨大な手間と時間が必要となるため、部材同士が過密配置となる部分に限定して実施することで、フロントローディングによる施工の手戻りを防ぐことが期待できる。

b) 鋼管杭とジャケットレグとの干渉チェック

鋼管杭とジャケットレグが干渉すると最悪の場合、ジャケットを据付けことが不可能となるため、現場での出来形測量に加えてモデル上に鋼管杭出来形を反映させ干渉の有無を自動および目視において確認を実施した。この際、モデル上でのジャケット位置は、設計値とした。結果は、干渉せずに据付が可能ということが確認でき、実際の施工も問題なく行うことができた。

従来は2次元の平面、断面図を作り同様のチェックを実施しているケースもあることから3次元モデルを利用することでより詳細な確認ができるため、CIMの実施事項としては必要といえる。

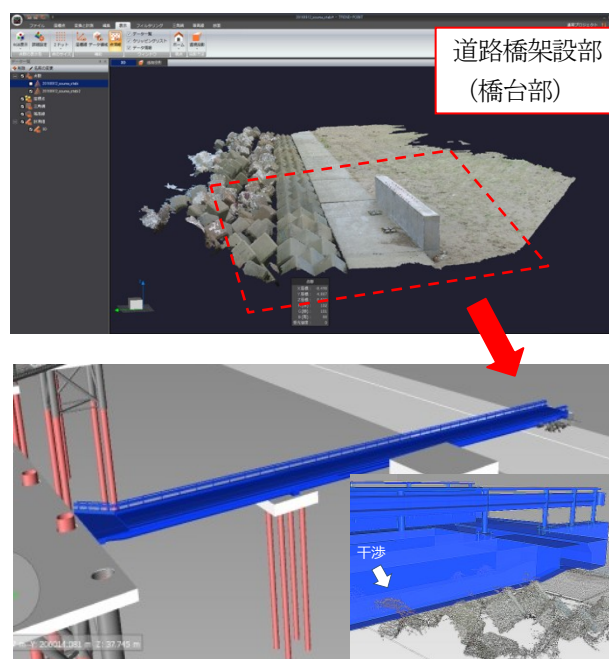


図-6 現況点群データと3次元モデルを用いた施工検討

(5) 写真から作成した現況モデルを用いた施工検討

本工事では、外航バースのワーキングプラットフォームから岸壁までを道路橋で接続する設計となっている。岸壁前面には既設消波ブロックが配置され道路橋設置の際に干渉することが想定され、当該ブロックの撤去が必要であった。通常は撤去範囲を設定し、光波測距儀や水準器により対象となる可能性があるブロックの位置および高さを測っていた。しかし、消波ブロックは形状が複雑な上に乱積み部分が存在するため、現況を包括的に測量するには安全上の観点からも難しかった。そこで通常の測量に加えて写真を用いた3次元形状復元技術である Structure from Motion (以下、SfM) にて対象箇所を3次元モデル化し、机上にて干渉するブロックの位置確認を実施した。SfM ソフトウェアには、Photoscan(Agisoft 社)を用いて点群を生成し、ノイズ除去を TREND-POINT (福井コンピュータ社)、Navisworks を用いて道路橋モデルとの統合を行った。なお、点群データを Navisworks に読み込むための変換ソフトとして Recap (Autodesk 社) を利用した。

上記手法を利用したことにより、測量結果の照査および関係者への説明に利用することができ、干渉なく道路橋を据付けことができた。

港湾構造物には、上記のように面的な測量をしなければ形状の把握が困難な場所が存在するため、SfM 技術を用いた現況測量は、検討の迅速性確保が期待できる。

(6) 3DPDF を利用した施工計画書の作成

CIM を導入する際に課題となっている事項として発注者を含めた関係者の多くがモデルを閲覧するための

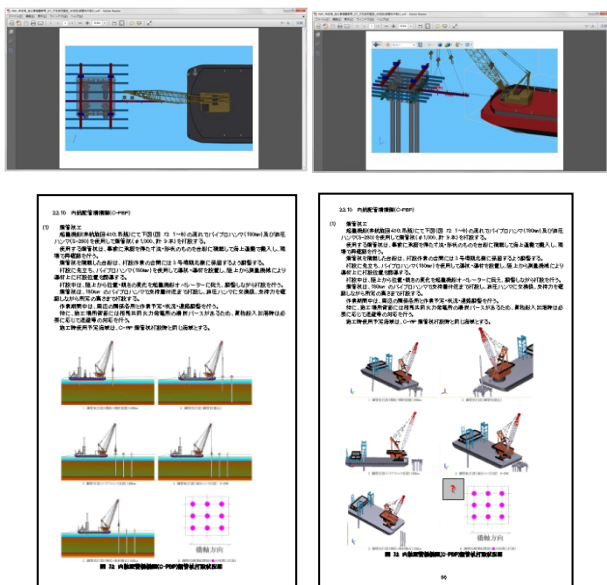


図-7 3DPDFを用いた3次元施工計画書の作成

CIM ソフトウェアを保有していないことが挙げられる。そこで、本工事では、無償で入手することができる PDF ビューアの AdobeReader でも 3 次元モデルを閲覧することが可能な 3DPDF を作成した。3DPDF の出力には、Bentley View V8i(Bentley 社)、図の大きさ調整を Adobe Acrobat Reader(Adobe 社)を利用した。図-7 のように施工場面を切り出したモデルを使用したり、電子ファイルでの閲覧が前提であるが、図-7 のように 2 次元の平面、断面で表していた施工計画書の図を 3 次元で示すことでより施工方法の理解が容易になると考える。しかしながら、3DPDF に出力するモデル自体のファイルでのサイズが大きいと出力した PDF のサイズも大きくなってしまったため、モデルはサーフェスを避けソリッドで作成する等のモデリングに注意が必要である。さらに、Viewer として特化した仕様にはなっていないため、現場全体のモデルを出力するより、場面毎を切り出した狭域の表示に適していると考えられる。

また、属性情報を閲覧する機能が無いため、形状の確認のみしか使用できないことに注意する必要がある。

(7) 円滑なモデル作成の体制構築

遠隔地の部署と協働してモデリングを行い、データの受け渡しを行う必要がある際、通常ではクラウドサーバ等のインターネット上にあるストレージを介してデータの共有を図っているケースが多い。しかし、モデルを編集した者がデータをアップロードし、確認の依頼先がデータをダウンロードしてからモデル変更点等についてやり取りをしては、お互いに待ちの時間があるため、作業を効率的に進めることができない。本工事では、お互いがリアルタイムに同じモデルを同じ画面で見ながら

編集操作を双方で可能にするために、シンククライアントを導入して円滑にモデル作成を行える体制を構築した。

シンククライアントの特徴は、高額なワークステーションやソフトウェアを双方で用意せずとも一方の拠点にモデリング用資源を配置し、遠隔操作でその資源へアクセスすることでまるで自分自身の事務所に PC を導入したかのような操作感覚で利用可能な仕組みである。ハードウェアおよびソフトウェアを複数組導入する必要が無く、データも一方のセキュアなサーバへ保存することができる。CIM 導入開始当初は、データのやり取りに時間を要することとデータが散在することがあったが、機構を構築することで円滑なモデル作成の体制となった。社内でのモデリングスキルの伝達にもこの仕組みは十分に役立つ。

4. おわりに

港湾工事における栈橋工事を対象に CIM の運用手法確立に向けた検討を実施した。工事の段階に応じた詳細度のモデル作成および工程のシミュレーションを実施する有効性を示し、港湾工事特有の安全に注目したシミュレーションも必要であることを述べた。鉄筋組立時に過密となる部分やジャケット据付け時の干渉をチェックすることで施工の確実性を上げることができると考える。さらに、消波ブロックのような形状が複雑な部材が配置されている港湾構造物の現況地形を写真から点群データを生成する SIF を利用してモデル化し、施工検討に利用できることやソフトウェアを保有していないユーザーのモデル閲覧に 3DPDF が利用できることを提案した。また、モデリング手法のみならず関係者間の円滑なモデリング体制を構築するためにシンククライアントを利用して作業を効率化できることがわかった。

今回検討した事項を実施することで港湾工事でも有効な CIM の運用が可能になると考える。

参考文献

- 1) 国土交通省：CIM 導入ガイドライン（案）,2017.
- 2) CIM 技術検討会：CIM 技術検討会 平成 27 年度報告,2016.
- 3) 一般社団法人全国地質調査業務協会、一般社団法人日本建設情報総合センター：三次元地盤モデル作成の手引き,2015.
- 4) 一般社団法人日本建設業連合会：2017CIM 事例集,2017.
- 5) 石田仁、山中哲志、勝田哲史：港湾構造物への CIM の適用、土木学会代 71 回年次学術講演会、VI-796, pp. 1591-1592, 2016.
- 6) BIM Forum：Level of Development Specification, pp. 20-202,2016.