

維持管理に着目した既存港湾施設の3次元モデルの 要件設定及び簡易作成手法

辰巳大介*・里村大樹**・川上司***

要 旨

新設の港湾施設で導入が進められているBIM/CIMは、点検診断結果の検索性の向上や性能低下度・劣化度の視覚的把握など、維持管理においても生産性向上が期待される技術であるが、既存港湾施設の3次元モデルの作成や維持管理におけるBIM/CIMの活用は、未だほとんど行われていない。

BIM/CIMに関する現行の基準類は、主に新設の港湾施設を対象としていることから、本研究は、直杭式横桟橋を事例として、維持管理に着目した既存港湾施設の3次元モデルの要件を検討した。検討の結果、維持管理における特定の利用用途を想定することにより、3次元形状データの詳細度は、対象の構造形式が分かる程度（詳細度200）で問題無いことが分かった。また、維持管理計画書及び一般定期点検診断報告書を利用することを想定し、維持管理で特に重要な属性情報をテキストデータで直接付与し、それ以外の属性情報は参照情報を外部参照する方針で、維持管理段階の属性情報の要件を提案した。

さらに、新たな計測作業や専門技術者によるモデル作成作業を可能な限り省略し、経済的に3次元モデルを作成するため、パラメトリックモデリングによる既存港湾施設の3次元モデル作成手法を開発した。開発した手法は、維持管理計画書や一般定期点検診断結果などの既存資料から、特別なソフトウェアを用いずに3次元形状データを作成し、3次元モデルに属性情報を付与するものである。

キーワード：BIM/CIM, 3次元モデル, 3次元形状データ, 属性情報, 維持管理

* 港湾情報化支援センター 港湾業務情報化研究室長

** 港湾情報化支援センター 主任研究官

*** 管理調整部 企画調整課長（元 港湾情報化支援センター 主任研究官）

目 次

1. はじめに	1
1.1 背景と目的	1
1.2 既往研究	2
1.3 用語の定義	3
2. 既存港湾施設の3次元モデルの要件設定	3
2.1 要件設定の検討方法	3
2.2 要件設定の検討結果	5
2.3 要件設定に関する考察	8
3. パラメトリックモデリングによる3次元モデルの簡易作成手法の開発	9
3.1 3次元モデルの簡易作成手法の開発	9
3.2 3次元モデルの簡易作成手法の試行結果	13
3.3 3次元モデルの簡易作成手法に関する考察	17
4. おわりに	17
4.1 主要な結論	17
4.2 今後の課題	18
参考文献	18

1. はじめに

1.1 背景と目的

我が国では、今後さらなる生産年齢人口の減少及び高齢化が想定されており、国民生活及び経済活動の基盤となるインフラの整備・維持管理を持続的に行うためには、建設産業の生産性向上が必要である。生産性向上の一環として、2023年度から、国土交通省が発注する直轄土木業務・工事では、BIM/CIMへの取り組みが原則化されている¹⁾。BIM/CIMは”Building / Construction Information Modeling, Management”の略称であり、「測量、調査、設計段階から3次元モデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても3次元モデルに連携・発展させ、あわせて事業全体にわたる関係者間で情報を共有することにより、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図るもの」と定義されている²⁾。

港湾分野の直轄事業においても、他の直轄土木事業と同様に、2023年度からBIM/CIMの原則適用が開始された。BIM/CIMの原則適用のため、取扱要領²⁾、活用ガイドライン³⁾、電子納品要領⁴⁾等の基準類が策定されている。また、港湾分野におけるBIM/CIMの導入効果は事例集⁵⁾の形で整理されており、例えば、関係者間での情報連携、数量の算出、取り合い・鉄筋干渉・支障物件等の照査、施工手順・施工計画の可視化等が報告されている。国土交通省港湾局では、BIM/CIMの効果及び活用目的について、義務項目（表-1）・推奨項目（表-2）の例を公表している⁶⁾。

さらに、BIM/CIMは維持管理においても有用であり、維持管理におけるBIM/CIMの導入効果として、例えば表-3のとおり、資料検索の効率化、劣化・損傷原因の究明と対策工の選定の適切な判断、施設の更新や拡張時の各種協議の円滑化、教育や引継の円滑化、適切な水深の管理、点検診断・維持管理計画作成及び更新時の効率化等が挙げられている。また、BIM/CIMは、日常的な維持管理に加えて、事故や自然災害の発生時においても、事故発生時の類似部材・工種検索の効率化、被災後調査における情報確認等の導入効果が考えられる³⁾。

表-1 BIM/CIMの義務項目（例）⁶⁾

効果	活用目的
視覚化による効果	出来上がり全体イメージの確認
	特定部の確認や情報伝達（2次元図面の確認補助）
	2次元図面の理解補助
	施工計画の検討補助
	現場作業員等への説明

表-2 BIM/CIMの推奨項目（例）⁶⁾

効果	活用目的
視覚化による効果	視認性の確認
	点検スペース等の確認
	重ね合わせによる取り合いの確認
	鉄筋の干渉チェック
	現場条件の確認
	後工程での3次元地質モデルの活用
	施工ステップの確認
	事業計画の検討
	広報での活用
省力化・省人化	概算数量算出
	施工数量算出
	施工管理での活用
	ICT浚渫工での活用
精度の向上	3次元モデルを利用した解析・シミュレーション
情報収集等の容易化	維持管理データへのデータ引継
	不可視部の3次元モデル化

表-3 維持管理におけるBIM/CIMの導入効果（例）³⁾

導入効果	概要
資料検索の効率化	発注者が日常的に維持管理に必要な各種情報を、3次元モデルの対象部材をクリックして表示される情報リストから選ぶことができ、検索性が向上する。
劣化・損傷原因の究明と対策工の選定の適切な判断	3次元モデル上に損傷状況を表現する事で、その原因が判断しやすくなる。さらに原因を的確に把握することで、必要な補修・補強方法の選定を適切に行うことができる。
施設の更新や拡張時の各種協議の円滑化	港湾施設の更新や拡張を行う際の関係者との協議に3次元モデルを用いることで各種協議において共通認識が得やすく、意思決定の迅速化が期待される。
教育や引継の円滑化	岸壁等の港湾施設において、若年技術者への指導や事業引継時の留意点の確認などを行う際に3次元モデルを用いることで効率化が期待される。
適切な水深の管理	マルチビームによって得た3次元海底地形データと設計・施工時の3次元モデルを重ねることで、課題点の抽出や対応策を講じることが可能となり、維持管理の高度化に寄与する。
点検診断・維持管理計画作成及び更新時の効率化	設計・施工履歴、変状履歴、調査記録や評価が確認できるので、作業の効率化が期待される。
事故発生時の類似部材・工種検索の効率化	発注者は、3次元モデルに関連情報を付与しておけば、他で発生した事故の原因となった類似部材・工種・設計年度等を容易に検索することができる。
被災後調査における情報確認	発注者が、地震・台風等によって被災した港湾施設の損傷原因を検証する際に必要となる、構造計算データ・材料データ等が容易に収集できる。

しかし、BIM/CIMの原則適用の対象は、新規に建設する港湾施設の調査・設計業務及び工事であり、既存の港湾施設の維持管理においてBIM/CIMが活用されている事例は非常に限られている。

既存港湾施設の維持管理においてBIM/CIMの導入が進んでいない要因の一つとして、BIM/CIMで重要な役割を果たす、3次元モデルの作成が負担であることが考えられる。さらに、3次元モデルの作成が負担になる要因としては、①維持管理段階の3次元モデルの要件（形状データや属性情報が満たすべき条件）が十分に整理・検討されていないことと、②既存港湾施設の3次元モデルの効率的な作成手法が確立されていないこと、の2点が考えられる。

3次元モデルの要件及び作成手法は、現行の取扱要領、活用ガイドライン、電子納品要領等の基準類に規定されているが、その対象は主として、新規に建設される港湾施設である。また現行の基準類は、設計業務において専門技術者が3次元モデルを作成することを想定している。このため現行の基準類は、維持管理段階でのみ利用される既存港湾施設の3次元モデルとしては、過大な要件となっている可能性が考えられる。さらに、既存港湾施設の3次元モデルの作成を、業務発注して専門技術者へ委託することは経済的に負担であり、港湾施設の管理者等が直営で簡便に3次元モデルを作成できる手法の確立が必要である。

以上をふまえ、本研究は、維持管理に着目した既存港湾施設の3次元モデルの要件を設定することと、既存港湾施設の3次元モデルの簡便な作成手法を開発することを目的とする。

なお、本資料は、著者らによる発表論文^{7), 8)}の内容に加筆・補足をして作成したものである。

1.2 既往研究

(1) 維持管理におけるBIM/CIMの活用

港湾分野では、例えば吉田・井山⁹⁾が、一般社団法人港湾技術コンサルタンツ協会、一般社団法人日本埋立浚渫協会、海洋・港湾構造物維持管理士会にアンケート調査を行い、維持管理におけるBIM/CIMの導入効果、施工と維持管理における工区・区間割の違い、3次元モデルの要件、設計業務及び工事からの3次元モデルの引継等を検討している。吉田・井山の成果の一部は、活用ガイドライン³⁾へ反映されている。

港湾分野以外における、維持管理でのBIM/CIMの活用については、例えば清水ら¹⁰⁾が鉄道構造物を対象に、また川野ら¹¹⁾が道路構造物・河川構造物を対象に、それぞ

れ検討を実施している。清水らは、次節で詳述するパラメトリックモデリングにより、鉄道の高架橋及び桁橋の3次元モデルを作成し、点検診断で撮影した写真データを3次元モデルの該当位置に配置・関連付けるシステムを開発した。開発したシステムでは、ひび割れ等の変状を3次元モデルで入力・記録すると、2次元の展開図が自動的に作成される。川野らは、WebGISで道路構造物・河川構造物の3次元モデルを検索・表示し、点検業務の受注者等が図面や点検結果等を3次元モデルに入力できる情報連携プラットフォームを開発した。

港湾分野では、既存港湾施設の維持管理を目的とするBIM/CIMの検討はほとんど行われていないと考えられる。また、港湾分野以外では、既設の土木構造物の維持管理を目的とするBIM/CIMの検討は行われているが、港湾施設とその他の土木構造物では点検診断・維持管理の実施内容が必ずしも同一ではないため、港湾分野以外で検討した結果や得られた知見を、港湾分野にそのまま適用できるか見極める必要がある。

(2) 既設構造物の3次元モデルの作成手法

港湾施設以外の土木構造物まで含めると、既設構造物の3次元モデルの作成手法に関しては、パラメトリックモデリング、建設時の2次元CADデータを利用する手法、点群データを利用する手法等が研究されている。

パラメトリックモデリングとは、予め標準的な形状の3次元形状データを作成しておく、主要な構造諸元をパラメータとして与えることにより、標準的な形状の3次元形状データを拡張・縮小して、3次元モデルを作成する手法である。例えば、清水ら¹⁰⁾は鉄道橋梁を対象として、また、山崎¹²⁾は下水道を対象として、パラメトリックモデリングによる3次元モデル作成手法を開発している。

建設時の2次元CADデータを利用する手法とは、DWG形式等の2次元CADデータから、ケーソンの高さ・幅・奥行等の3次元形状データの作成に必要な情報を自動抽出して、3次元モデルを作成する手法である。例えば、伊藤・大谷¹³⁾は港湾施設を対象として、建設時の2次元CADデータを利用した3次元モデル作成手法を開発している。

点群データを利用する手法とは、レーザスキャナ・UAV等によるレーザー計測又は写真測量で取得した点群データから、断面・輪郭・軸線等の形状を抽出して、3次元モデルを作成する手法である。例えば、日高¹⁴⁾は土木分野における点群データ処理アルゴリズムの研究開発状況を総括しており、塙田ら¹⁵⁾は点群データとパラメトリッ

クモデリングを組み合わせて橋脚の3次元モデル作成手法を開発している。

上記に示す3次元モデル作成手法はそれぞれ一長一短があるが、既存港湾施設の場合は、2次元CADデータが存在しない古い施設も相当数存在すること、また、桟橋上部工の下面や水中部等において点群データの計測・取得が難しいことから、パラメトリックモデリングが有用な手法と考えられる。

パラメトリックモデリングを利用した3次元モデル作成手法に関する先行研究は、線状構造物等の比較的単純な形状の構造物を対象としているものが多い。港湾施設の点検診断では係船柱・防舷材等の付属工も対象となるため、本研究では、付属工も含めた3次元モデル作成手法の検討が必要である。さらに、先行研究では、3次元形状データの作成は検討しているが、劣化度等の属性情報の付与までは十分に検討されていない。本研究では、3次元形状データの作成と属性情報の付与の両方を対象として、3次元モデル作成手法を検討する必要がある。

1.3 用語の定義

本資料で使用する用語の定義は、BIM/CIMの取扱要領²⁾、活用ガイドライン³⁾、電子納品要領⁴⁾等の基準類に従う。本節では、本資料の内容と密接に関係する用語の説明を行う。

(1) 3次元モデル

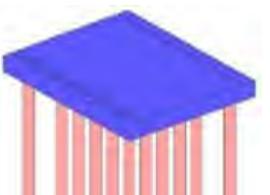
「3次元モデル」とは、構造物等の形状を3次元で表現する「3次元形状データ」に、構造物の部材等の規格情報・設計情報・数量情報等の「属性情報」を付与したモデルのことである。なお、機械判読できない補足的な資料である「参照情報」を、外部参照することがある。

(2) 3次元形状データの詳細度

「3次元形状データの詳細度」とは、対象物の3次元形状をどこまで詳細に作成するかを示す数値のことであり、「LoD (Level of Detail)」と略される。LoDは、表-4のとおり100から500まで5段階あり、新設の港湾施設の3次元形状データは、LoD300で作成することが標準である。

なお、「属性情報の詳細度」は別途定義されており、「LoI (Level of Information)」と略される。「3次元形状データの詳細度」と「属性情報の詳細度」を混同しないように留意する必要がある。

表-4 3次元形状データのLoD²⁾

LoD	定義	杭式桟橋を例としたイメージ
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。標準横断で切土・盛土を表現、または各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスイープさせて作成する程度の表現。	
300	附帯工等の細部構造、接続構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデル。	
400	LoD300に加えて、附帯工、接続構造などの細部構造及び配筋も含めて、正確に表現したモデル。	
500	対象の現実の形状を表現したモデル（設計・施工段階で活用したモデルに完成形状を反映したモデル）。	(イメージ省略)

2. 既存港湾施設の3次元モデルの要件設定

2.1 要件設定の検討方法

(1) 概要

本研究では、はじめに、BIM/CIMの取扱要領²⁾、活用ガイドライン³⁾、電子納品要領⁴⁾等の現行の基準類に従い、新設の港湾施設と同様の要件を満たすように、既存の港湾施設の3次元モデルを作成する。次に、3次元モデルの対象とした港湾施設の関係者（施設所有者、施設借受者、点検診断業務の実施者）にヒアリング調査を行い、作成した3次元モデルの要件について検討を行う。

(2) 要件設定の検討に使用する3次元モデルの作成手法

既存港湾施設の3次元モデルの作成手法は、1.2節に記載したとおり様々な手法が考えられるが、本研究では、新たな計測作業を必要とせず、どのような港湾施設にも適用できる高い汎用性を重視する。既存港湾施設につい

ては、基本的に維持管理計画書が作成されており、維持管理計画書には標準断面図及び平面図が通常含まれているので、維持管理計画書の標準断面図及び平面図から3次元形状データを作成する方法を採用する。

維持管理計画書に掲載されている標準断面図及び平面図はCADデータではなく、PDF形式の画像データであるため、まず、標準断面図及び平面図の画像データから構造諸元等の必要な情報を読み取る。次に、読み取った構造諸元等から2次元CADデータを作成し、2次元CADデータから3次元形状データを作成する。標準断面図及び平面図の画像データから直接3次元形状データを作成しない理由は、要件設定の検討のための3次元モデル作成においては、中途に2次元CADデータを作成する方が、作業効率が良いためである。

また、3次元モデルの属性情報は、維持管理計画書及び直近の一般定期点検診断報告書から必要な情報を付与する。維持管理においては、維持管理計画の目標、維持管理の基本的な考え方、維持管理上の諸条件、維持管理レベル、点検診断結果等が必要な情報であり¹⁶⁾、維持管理計画書及び点検診断報告書に記録・保存されている。属性情報の付与は、付与する情報の内容に応じて、直接付与もしくは参照情報を外部参照する間接付与とする。直接付与とは、属性情報をテキストデータで3次元モデルに入力すること、一方、間接付与とは、参照情報の保存先のリンク（パス名）を3次元モデルに入力することである。

なお、要件設定の検討のための3次元モデル作成では、3次元形状データの作成・属性情報の付与・モデルの統合において、3次元モデル作成の専用ソフトウェアを使用する。

（3）検討対象施設

本研究では、港湾施設のうち直杭式横桟橋を対象とする。直杭式横桟橋は、コンクリート構造の上部工、鋼管杭、土留護岸等から構成される港湾施設であり、矢板式、重力式等の他の構造形式よりも複雑であるため、本研究の対象に選んだ。直杭式横桟橋を対象とした3次元モデルの要件設定の検討結果は、その他の構造形式の港湾施設にも適用可能であると考えられる。

検討対象に選んだ、既存の直杭式横桟橋の基本情報を表-5に示す。

表-5 検討対象施設の基本情報

項目	構造諸元等
水深	15m
延長	350m
天端高	D.L.+4.5m
エプロン幅	150m（桟橋部40m、荷捌き地110m）
エプロン勾配	1/100
上部工	鉄筋コンクリート12ブロック
下部工	鋼管杭300本
附帯設備	防舷材24基、係船柱12基、車止め96基、はしご3基
使用開始	2002年

（4）3次元モデルの階層分け及び作成単位

3次元モデルを効率的に作成し、また、モデルごとの3次元形状データ及び属性情報のばらつきを少なくして互換性を高めるため、3次元モデルは階層に区分して作成する。成果物作成要領¹⁷⁾では4段階の階層を定義していて、階層1が構造全体（構造物の分類）、階層2が構造体（工種に相当）、階層3が構成要素（主部材等に相当）、階層4が部材（個別の部材、部品等に相当）である。

本研究では、成果物作成要領を参考にして、表-6に示す階層分け及びモデル作成単位を採用する。階層1は施設単位なので1項目（直杭式横桟橋）、階層2は工種単位なので4項目（上部工、本体工、付属工、海底地盤）、階層3はブロック単位なので12種類の構成要素ごとに12項目（12ブロック）を作成する。ただし、「はしご」は施設全体で3基しか設置されていないので、階層3の「はしご」はブロック単位ではなく、設置基数単位の3項目を作成する。

表-6 3次元モデルの階層分け及び作成単位

施設の構成要素	階層1 施設単位	階層2 工種単位	階層3 ブロック単位
上部工	直杭式横桟橋	上部工	上部コンクリート
鋼管杭		本体工	鋼管杭
土留護岸		上部工	上部コンクリート
係船柱		本体工	ケーソン
防舷材		付属工	係船柱
はしご		付属工	防舷材
車止め		付属工	はしご
電気防食		付属工	車止め
被覆防食		付属工	電気防食
渡版		付属工	被覆防食
海底地盤		付属工	渡版
		海底地盤	海底地盤

港湾の施設の点検診断ガイドライン¹⁸⁾において、点検診断の結果はブロック単位で劣化度を評価し、ブロック単位の劣化度を集計して、施設全体の性能低下度を評価することが標準となっているため、個別の部材単位に相当する階層4は作成しない。成果物作成要領においても、階層1～階層3の作成は必須であるが、階層4の作成は任意とされている。

なお、1ブロックに複数の本数が設置される鋼管杭や、スラブ・梁・ハンチ（杭頭部）に細分化できる上部コンクリートは、階層4に相当する個別の部材単位でも劣化度を評価している。階層4は作成しないが、階層3の参照情報として各ブロックの点検診断報告書を外部参照するので、個別の部材単位の劣化度は点検診断報告書から参照することが可能である。

(5) 3次元形状データのLoD

1.3で説明したとおり、現行の基準類では、新設の港湾施設の3次元形状データをLoD300で作成することが標準とされている。このため、要件設定の検討のための3次元モデル作成においても、検討対象である既存の直杭式横桟橋の3次元形状データをLoD300で作成する。

なお、維持管理計画書に掲載されている標準断面図及び平面図から3次元形状データを作成するため、利用できる図面の種類が限られている。標準断面図及び平面図からは、上部工下面のハンチの形状、鋼管杭の上部工への埋め込み長等が読み取れないため、3次元モデルの一部は外形形状を正確に再現できず、LoD300未満の精度の部分も存在する。上記手法で作成する3次元形状データのLoDは、厳密に表現すると300ではなく、「300相当」となる。

(6) 3次元モデルの属性情報

現行の基準類は、主に新設の港湾施設を対象としているため、設計段階の属性情報に施工段階及び維持管理段階の属性情報が逐次追記することを前提にしている。しかし、既存港湾施設では、設計段階及び施工段階の属性情報が存在しない状態で、維持管理段階から属性情報を付与する点に注意する必要がある。

本研究では、利用可能な情報が維持管理計画書及び直近の一般定期点検診断報告書であること、また、維持管理で特に重要な属性情報をテキストデータで直接付与し、それ以外の属性情報は参照情報を外部参照する形で間接付与することを基本的な方針として、表-7～表-9のとおり属性情報を付与する。表-7は階層1の属性情報、表-8は階層2の属性情報、表-9は階層3の属性情報をそれぞ

れ示す。

表-7 3次元モデルの属性情報の付与方法（階層1）

項目	説明・記載例	付与方法
分類名	施設の種類（例：桟橋）	直接付与
判別情報1	施設の名称	直接付与
判別情報2	港湾名、港区名	直接付与
施設の性能低下度	点検年、性能低下度（A～D）	直接付与
性能低下度の評価理由	性能低下度の評価理由（ただしAの場合のみ）	直接付与
評価・判定一覧	点検診断報告書（ブロック別の劣化度判定の一覧表）	外部参照
維持管理計画書	維持管理計画書	外部参照

表-8 3次元モデルの属性情報の付与方法（階層2）

項目	説明・記載例	付与方法
分類名	工種（例：本体工）	直接付与
種類・形式	構造形式（例：ケーソン式）	直接付与
規格・仕様	主部材の規格・仕様（例：杭径、使用鋼材、肉厚）	直接付与
工種（点検項目）単位の性能低下度	点検年、性能低下度（A～D）	直接付与
性能低下度の評価理由	性能低下度の評価理由（ただしAの場合のみ）	直接付与

表-9 3次元モデルの属性情報の付与方法（階層3）

項目	説明・記載例	付与方法
分類名	主部材の種類（例：杭）	直接付与
判別情報1	ブロックの名称	直接付与
判別情報2	主部材の番号	直接付与
種類・形式	主部材の形式（例：鋼管杭）	直接付与
規格・仕様	主部材の規格・仕様（例：杭径、使用鋼材、肉厚）	直接付与
劣化度判定	点検年、劣化度（a～d）	直接付与
劣化度の判定理由	劣化度の判定理由（ただしaの場合のみ）	直接付与
点検結果	点検診断報告書（対象主部材の点検診断記録表）	外部参照
補修・補強履歴	補修・補強履歴の情報	直接付与

2.2 要件設定の検討結果

(1) 要件設定の検討のための3次元モデル

2.1節で説明した方法により、要件設定の検討のために作成した3次元モデルを、図-1・図-2に示す。図-1は桟橋を上方から俯瞰した図、図-2は桟橋を正面下方から見た図である。3次元形状データのLoDは300相当であるため、桟橋上部工下面の梁及びスラブの形状、鋼管杭の被覆防

食及び電気防食の設置位置、防舷材の設置位置等が、3次元モデルで再現されている。

なお、図中の色分けは、階層3の属性情報として保存されたブロック別の主部材の劣化度を表す。赤色が劣化度a、

黄色が劣化度b、緑色が劣化度c、白色が劣化度dをそれぞれ表している。劣化度を色別に表示することにより、どのブロックのどの主部材が劣化度aであるか、視覚的に把握することが可能となる。

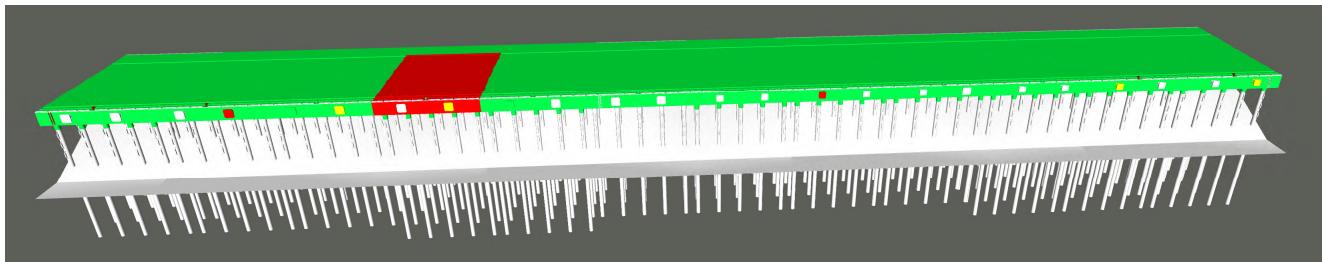


図-1 要件設定の検討のための3次元モデル（1）

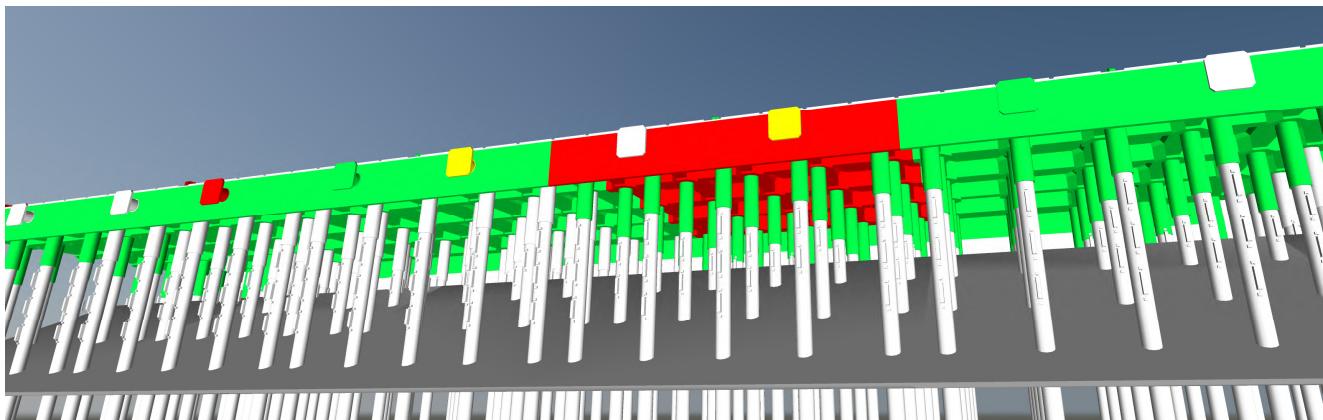


図-2 要件設定の検討のための3次元モデル（2）

（2）施設関係者へのヒアリング調査の結果

現行の基準類をふまえ、新設の港湾施設と同程度の要件で作成した前項の3次元モデルを使用して、維持管理に必要となる3次元モデルの最小限の要件を検討するためのヒアリング調査を実施した。

ヒアリング調査の対象者は、3次元モデルを作成した直杭式横桟橋の施設所有者、施設借受者、点検診断業務の実施者の3者とし、2022年12月～2023年2月に個別に1回ずつ対面形式で実施した。ヒアリング調査では、前節で作成した要件設定の検討のための3次元モデルを提示しながら、維持管理における3次元モデルの利活用について、自由意見をいただいた。

ヒアリング調査で得られた主な意見を以下に示す。

①設計段階で作成した3次元モデルを引き継いで維持管理段階で使用することは有用であると思うが、既存港湾施設の3次元モデルを維持管理段階で作成することは、メリットよりもモデル作成の負担の方が大きいと思う。

②点検診断結果等を3次元モデルへ逐次追記することになるので、有償ソフトウェアを使用しないで編集可能な3次元モデルが必要であると思う。

③過去の点検診断結果は、施設やブロック単位ではなく、発注業務・工事の報告書単位で保存している場合もある。3次元モデルで点検診断結果を外部参照できることにより、点検診断結果の検索が効率的に行えると思う。

④3次元形状データのLoDは、杭の本数等が分かれば十分であり、必ずしも外形形状を正確に再現する必要は無いと思う。

⑤3次元モデルの性能低下度や劣化度の色分け表示は、文字で見るよりも分かりやすいと思う。

⑥属性情報の直接付与は負担が大きいので、特に頻繁に更新する属性情報は、直接付与するよりも外部参照の方が良いと思う。

⑦桟橋の点検診断業務では、杭1本ごとの番号で現場写真等の管理を行っているので、杭1本ごとに杭番号を付与・表示する方が使い勝手が良いと思う。

⑧点検業務における現場写真の保存ルールが明確になつていないので、属性情報として現場写真を外部参照するならば、現場写真の保存ルールを明確にする必要があると思う。

⑨3次元モデルは視点を自由に動かせるので、点検時と同じ見え方を再現できる。点検業務に慣れていない初心者の教育にも利用できると思う。

意見③・⑤・⑨は、維持管理における3次元モデルの利活用に関する意見である。一方、意見①・②・④・⑥・⑦・⑧は、維持管理における3次元モデルの課題もしくは改良に関する意見である。

意見③・⑤・⑨から、3次元モデルは、点検診断結果の検索性の向上、性能低下度及び劣化度の視覚的把握、点検業務の初心者教育に効果的であることが示唆される。また、意見①と意見④に着目すると、3次元モデルの作成作業の負担が課題であり、3次元形状データのLoDの絞り込みによって、モデル作成の負担を軽減することが有用であると考えられる。

なお、本研究で実施したヒアリング調査は調査対象者が限られており、また、3次元モデルを点検業務の現場で実際に使用した結果に基づくものではないことに留意する必要がある。

(3) 既存港湾施設の3次元モデルの要件設定の検討結果

前項に示したヒアリング調査の結果のとおり、維持管理での限られた利用用途を前提にすれば、杭の本数等が分かれば十分であり、必ずしも外形形状を正確に再現する必要は無いことが示唆された。

1.3で説明したとおり、3次元形状データのLoDは、300が外形形状を正確に再現する精度、200が構造形式を確認できる程度の精度、100が対象構造物の位置を確認できる程度の精度である。維持管理では、階層3を作成して、主部材ごとにブロック単位で劣化度等の属性情報を付与する必要があるため、LoD100では不十分であり、LoD200は必要であると考えられる。以上の検討をふまえ、維持管理に着目した3次元形状データのLoDは200へ設定することを提案する。

なお、属性情報については、本研究において、維持管理で特に重要な属性情報をテキストデータで直接付与し、それ以外の属性情報は参照情報を外部参照する形で間接付与することを基本的な方針とし、表-7～表-9のとおり提案した。ヒアリング調査の結果をふまえても、属性情報に関する追加の検討は必要ないと考えられ、属性情報の付与は表-7～表-9で十分であると判断した。

(4) LoDの異なる3次元モデルの比較結果

図-3は、現行の基準類をふまえ、新設の港湾施設と同程度の要件で作成したLoD300相当の3次元モデルと、本研究で提案するLoD200の3次元モデルの一部を並べて図示したものである。左から桟橋上部工、係船柱、桟橋全体の3次元モデルを示しており、上段がLoD300相当、下段がLoD200の3次元モデルである。

桟橋上部工に着目すると、LoD200では、杭の埋込部等の形状が省略・簡素化されている。また、係船柱に着目すると、LoD200では、係船柱の3次元形状は再現せず、2次元断面をスイープ（押し出し）した形状となっている。また、係船柱を固定するボルトは、LoD200では省略されている。

しかし、桟橋全体で見ると、LoD300相当とLoD200の間で顕著な違いは見られない。LoD200の3次元モデルでも、点検診断結果の検索性の向上、性能低下度及び劣化度の視覚的把握、点検業務の初心者教育等の用途には十分利用でき、維持管理で有用なものと評価できる。

表-10は、同一の技術者がLoD300相当の3次元モデルとLoD200の3次元モデルを作成するのに要した作業時間整理・比較したものである。LoD300相当の3次元モデルの作成には43.0時間かかったが、LoD200の3次元モデルの作成は19.5時間で完了しており、3次元モデルの作成時間を約半分に低減した。

作業時間の内訳に示すとおり、3次元形状データの詳細度をLoD300からLoD200へ絞り込むことにより、特に複雑な細部を有する上部工において、構造図作成の時間を4.0時間から1.0時間へ、また、3次元モデル作成の時間を12.0時間から0.5時間へ低減した。

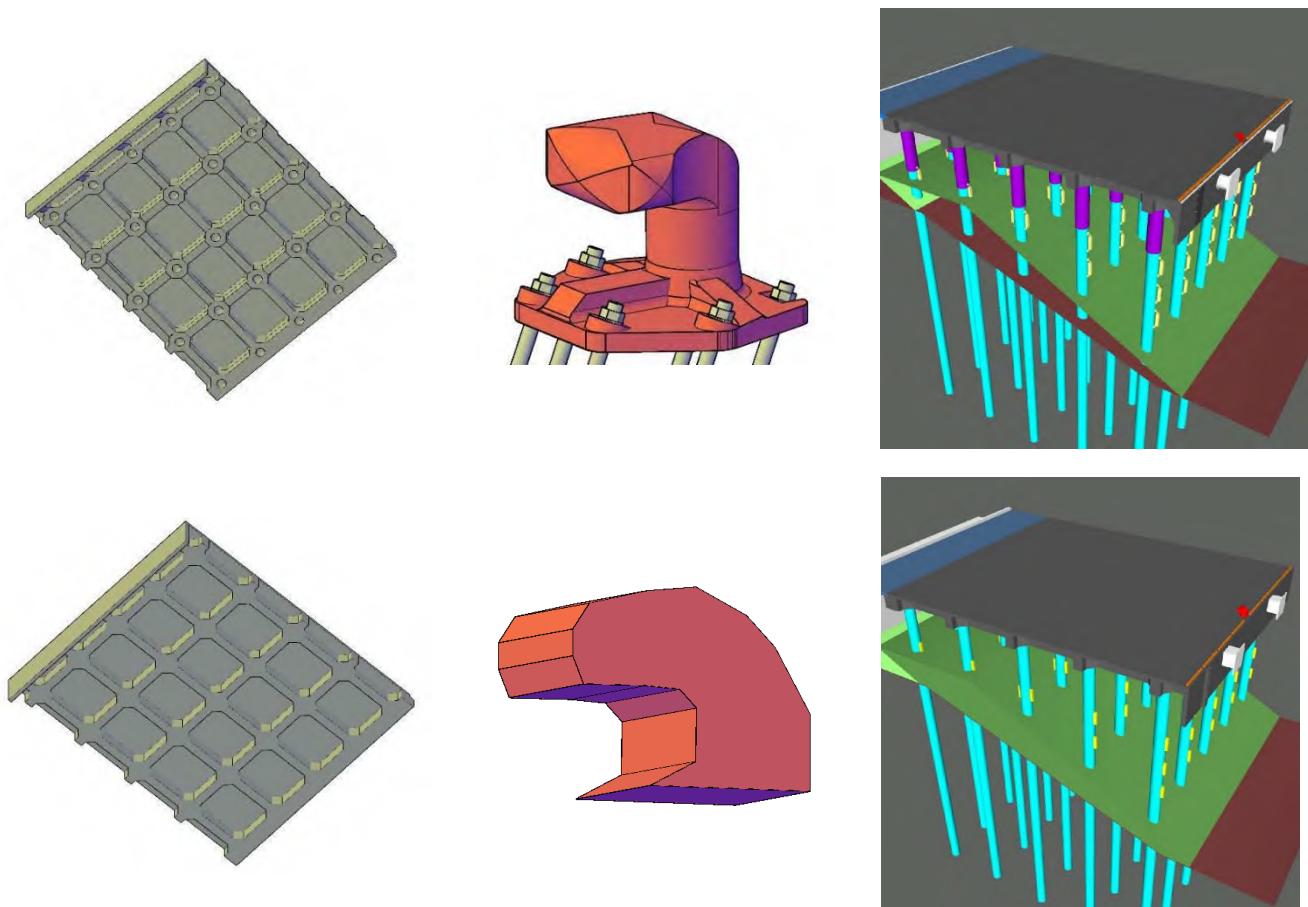


図-3 LoD の異なる 3 次元モデルの比較結果（上段：LoD300 相当、下段：LoD200）

表-10 LoD の異なる 3 次元モデルの作成時間の比較結果

作業内容	LoD300 作成時間 (時間)	LoD200 作成時間 (時間)
図面の情報整理	5.0	5.0
2 次元図面作成	施設全体図	5.0
	標準断面図	1.0
	上部工構造図	4.0
3 次元形状データ作成	上部工	12.0
	鋼管杭	1.0
	土留護岸	1.0
	係船柱	1.0
	防舷材	1.0
	はしご	0.5
	車止め	0.5
	電気防食	0.5
	被覆防食	0.5
	渡版	0.5
	海底地盤	0.5
その他	統合モデル作成	4.0
	属性付与・色分け	5.0
合計	43.0	19.5

2.3 要件設定に関する考察

3次元形状データの詳細度を、新設の港湾施設と同水準のLoD300相当からLoD200に絞り込んでも、点検診断結果の検索性の向上、性能低下度及び劣化度の視覚的把握、点検業務の初心者教育等の用途には十分利用できるものと考えられる。

ただし、3次元形状データの詳細度が300未満のため、正確な外形形状を再現することはできない。このため、点検作業で撮影した写真やひび割れ等のスケッチを、3次元モデル上に正確に位置付けることは難しい。また、3次元モデルを維持補修工事で使用し、周辺構造物や建設機械との干渉を確認することも困難である。

本研究で提案した3次元モデルの要件は、3次元モデルの作成時間の短縮を図るため、維持管理における3次元モデルの利用用途を一部制限したものになっていることに留意する必要がある。

3. パラメトリックモデリングによる3次元モデルの簡易作成手法の開発

3.1 3次元モデルの簡易作成手法の開発

(1) 概要

既存港湾施設の3次元モデルの作成手法は、1.2節に記載したとおり、パラメトリックモデリング、建設時の2次元CADデータを利用する手法、点群データを利用する手法等が研究されている。

既存港湾施設の場合は、2次元CADデータが存在しない古い施設も相当数存在すること、また、桟橋上部工の下面や水中部等において点群データの計測・取得が難しいことから、本研究ではパラメトリックモデリングを採用する。図-4は、本研究で開発する3次元モデル簡易作成手法の概要を示す。

モデル作成のための計測作業を省略するため、3次元形状データは、維持管理計画書に掲載されている標準断面図及び平面図から作成する。PDF形式の標準断面図及び平面図から構造諸元等の必要な情報を人間が読み取り、パラメトリックモデリングを用いて3次元形状データを作成する。

属性情報は、一般定期点検診断報告書から主部材の劣化度等の必要な情報を抽出し、3次元モデルへ付与する。国土交通省港湾局が運用・管理する港湾施設維持管理情報データベースへ効率的に登録するため、一般定期点検診断の主要な結果はExcel形式の点検診断シートに集約することができる。本研究では、点検診断シートから3次元モデルへ属性情報を付与する。

3次元モデル簡易作成手法の開発では、2.2節の結果をふまえ、専門技術者によるモデル作成作業を可能な限り省略し、経済的に作成できることが重要である。また、点検診断結果等は、3次元モデルへ逐次追記することが

想定される。したがって、施設所有者の職員等が特別なソフトウェアを使用せず、自ら3次元モデルを作成・修正することが求められる。

このため、3次元モデルは、汎用的なファイル形式であるIFC形式(IFC 2x3)で作成するものとする。IFC形式は、建築物や土木構造物を対象とする、特定のソフトウェアに依存しないデータ記述形式であり、様々なソフトウェア間のデータ連携で活用され、国際標準として承認されている。なお、IFCの最新版はIFC 4.3であるが、IFC 4.3は2024年に国際標準化されたばかりで未だ対応していないソフトウェアも存在すること、2024年度までの要領・ガイドラインではIFC 2x3が標準であったことから、本研究ではIFC 2x3を採用する。

また、3次元モデルの作成は、Pythonで記述したプログラムを使用する。なお、本研究では、IFC形式の3次元モデルのビューアーとしてBIMvisionを、IFC形式の3次元モデルの各種ファイル処理のライブラリとしてIFC Open Shellを使用する。

(2) 3次元モデルの構成要素の設定

既存港湾施設の3次元モデルは維持管理で利用されるため、港湾の施設の点検診断ガイドライン¹⁸⁾において標準的な点検診断項目として規定されている部位・部材をふまえて、3次元モデルの構成要素を設定する。

図-5及び図-6は、本研究で設定した、直杭式横桟橋の3次元モデルの構成要素を示す。本体構造物は桟橋上部工・渡版・上部工・本体工・鋼管杭の5種類、土工は原地盤・基礎工・裏込工・被覆工の4種類、付属工は係船柱・防舷材・車止め・コーナー保護材・梯子・電気防食の6種類である。なお、被覆防食は3次元モデルを作成せず、鋼管杭の一部として取り扱う。

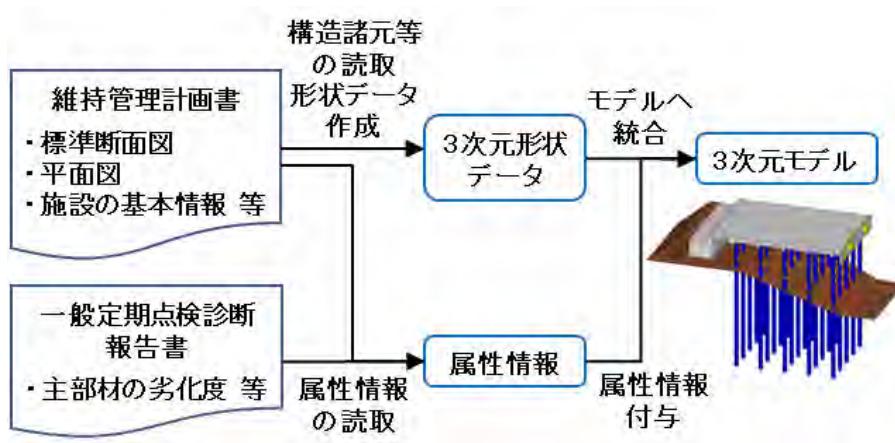


図-4 開発する3次元モデル簡易作成手法の概要

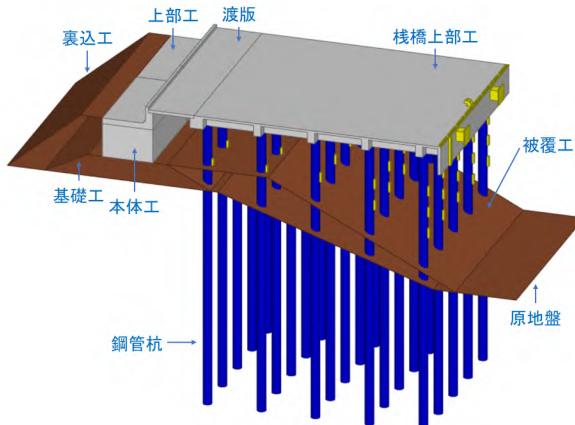


図-5 直杭式横桟橋の構成要素

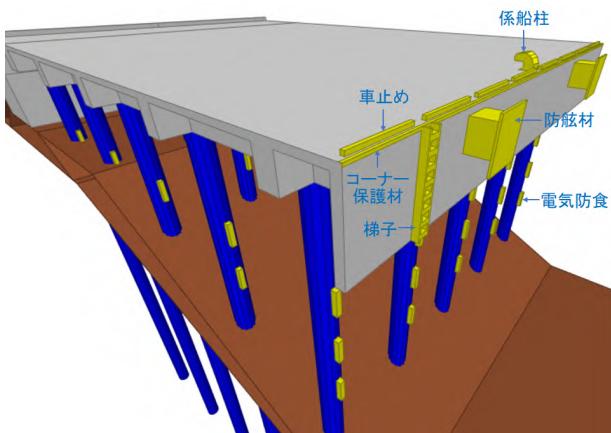


図-6 直杭式横桟橋の構成要素（付属工の拡大図）

(3) 3次元モデルの IFC 形式のファイル構造

直杭式横桟橋の3次元モデルを対象に、IFC形式によるファイル構造を図-7に示す。ブロックはIfcBuilding、桟橋上部工等の各構成要素はIfcBuildingElementProxyで表現する。

2. 1 節で説明した階層分けでは、階層 1 が構造全体（構造物の分類）、階層 2 が構造体（工種に相当）、階層 3 が構成要素（主部材等に相当）となる設定を提案した。IFC 形式のファイル構造（図-7）に基づくと、階層 1 は Ifc Site、階層 3 は Ifc Building Element Proxy に対応する。Ifc Building はブロックに対応するため、階層 2 に対応する構成要素は作成されない。階層 2 の属性情報は、便宜的に Ifc Site（階層 1）へ入力する。

また、Ifc Building Element Proxy の幾何形状の表現方法は、本体構造物と付属工は Ifc Faceted Brep（多面体を境界面の集合体で定義）、土工は Ifc Shell Based Surface Model（表面形状を境界面の集合体で定義）を使用する。土工は通常 J-LandXML 形式で作成されることが多いが、本研究では、本体構造物・付属工・土工を一つの IFC 形

式のファイルとして取り扱えるようにするために、Ifc Shell Based Surface Model で表現する手法を採用する。

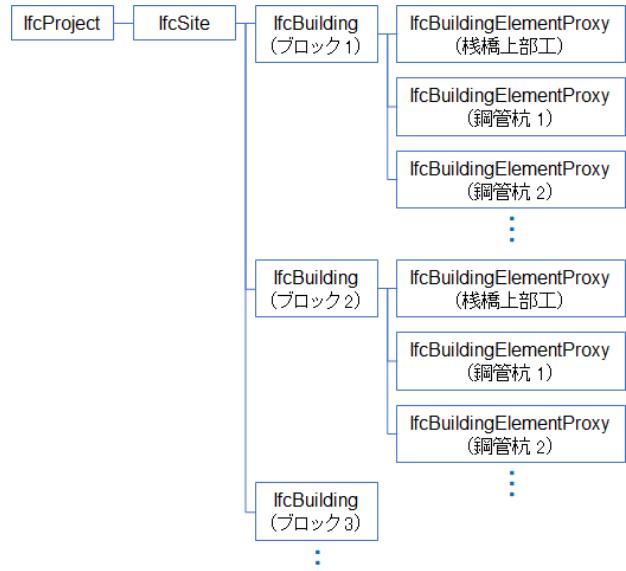


図-7 直杭式横桟橋の3次元モデルのIFC形式のファイル構造

(4) 構成要素のパラメトリックモデリング

直杭式横桟橋の構成要素の IFC 形式の 3 次元形状データは、多面体又は表面形状を境界面の集合体として表現している。各構成要素の作成に必要な頂点及び面の数を、表-11 に示す。例えば、渡版・車止め・電気防食は直方体であるため、頂点の数は 8 個、面の数は 6 枚である。

構成要素は、多面体又は表面形状を境界面の集合体として表現しているので、全ての頂点の3次元座標を設定すれば、3次元形状データを作成することができる。しかし、全ての頂点の3次元座標を計算・設定することは煩雑であるため、ブロック数、棧橋上部工の幅・奥行・高さ等の代表的な構造諸元をパラメータとして与え、頂点の3次元座標を自動計算し、3次元形状データを作成する手法が必要である。

代表的な構造諸元をパラメータとして設定するため、最初に、直杭式横桟橋の各構成要素に関し、1 ブロックあたりの個数が 1 個に固定されるか可変であるか検討した。表-11 の「1 ブロックあたりの個数」の列に示すとおり、桟橋上部工・渡版・土工・コーナー保護材は 1 ブロックあたり 1 個しか存在しないと考えられるが、その他の構成要素は 1 ブロックあたりの個数を設定できるようになる。なお、ブロック数は、別途設定可能である。

表-11 直杭式横桟橋の構成要素のパラメトリックモデリング（表中の a～j の位置は図-8 に記載）

		頂点の数	面の数	1 ブロックあたりの個数	形状	備考
本体構造物	桟橋上部工	※	※	1 個	可変	幅・奥行・高さ・梁（本数・幅・高さ）は可変 頂点の個数・面の数は梁の本数によって決定 渡版が架かる箇所は、距離 $ab = 0.4m$ 、距離 $bc = 0.6m$ に固定
	渡版	8	6	1 個	可変	高さ（距離 ab 及び ef ）0.4m 幅・奥行（距離 af 及び be ）は可変
	上部工	18	11	可変	可変	高さ（上端 $g \cdot h$ と下端 j の高低差）3.2m、幅・奥行は可変 距離 $de = 0.6m$ 、距離 $eg = 0.8m$ 、距離 $gh = 0.4m$ 、距離 $jj = 0.8m$ に固定
	本体工	8	6	可変	可変	幅・奥行・下端位置（基礎工天端高）は可変 上端位置は桟橋天端-2.8m
	鋼管杭	48	26	可変	可変	杭径・杭長・肉厚は可変、12 角柱で近似 最も陸側の梁にも鋼管杭があるため、鋼管杭の数は、法線方向の梁の数に法線直交方向の梁の数を乗じた数となる
土工	原地盤	8	3	1 個	可変	幅・原地盤高・計画水深は可変 法肩と基礎工法尻の離隔 1m、法尻と桟橋法線の離隔 1m
	基礎工	8	3	1 個	可変	幅・天端高・原地盤高は可変 法肩と本体工の離隔 2m、法面勾配 1:2
	裏込工	6	2	1 個	可変	幅・原地盤高は可変 上端位置は桟橋天端-2m、上端奥行 3m、法面勾配 1:1.2
	被覆工	6	2	1 個	可変	幅・天端高・計画水深は可変、法面勾配 1:2 法尻と桟橋法線の離隔 2m
付属工	係船柱	30	17	可変	固定	幅 0.8m、高さ 0.77m、奥行 0.97m
	防舷材	16	11	可変	固定	（防衝板）幅 2.2m、高さ 2.3m、厚さ 0.1m (ゴム部分) 幅 1.4m、高さ 1.4m、厚さ 1.2m
	車止め	8	6	可変	固定	幅 3m、高さ 0.15m、奥行 0.15m、
	コーナー保護材	12	8	1 個	可変	高さ 0.1m、奥行 0.1m、厚さ 0.01m、幅は可変
	梯子	80	42	可変	固定	幅 0.6m、高さ 4m、奥行 0.3m、8 段
	電気防食	8	6	可変	固定	幅 0.28m、高さ 1.4m、奥行 0.28m、設置間隔 1.6m

次に、直杭式横桟橋の各構成要素の形状が固定もしくは可変であるか検討した。表-11 の「形状」の列に示すとおり、既存港湾施設の 3 次元形状データの詳細度は LoD200 に設定するため、付属工の一部（係船柱、防舷材、車止め、梯子、電気防食）は形状を固定し、個数のみ設定する。形状を固定した付属工の 3 次元形状データは、2.1 節で使用した実際の既存港湾施設に基づき、表-11 の備考のとおり設定する。また、維持管理に特化すれば、付属工の正確な取付位置は不要であり、個数のみが把握できれば十分であると考え、付属工の取付位置の入力は省略し、1 ブロックあたりの設置個数を入力すると、均等間隔で配置するように設定する。ただし、電気防食のみは、設置位置の上端となる平均干潮面を入力する必要がある。

さらに、構成要素の形状が可変の場合は、構成要素の 3 次元形状データを作成するために必要なパラメータを検討した。パラメータリストの一覧を表-12 に、各パラ

メータの内容を図-8 及び図-9 に、それぞれ示す。パラメータを増やせば 3 次元形状データの再現性は高くなるが、一方で、パラメータの入力作業の負担が増える。このため、表-11 に示すとおり、渡版や上部工の高さ、土工の法面勾配等のパラメータは、2.1 節で使用した実際の既存港湾施設を参考に固定の数値を使用する。

なお、座標系は桟橋法線方向を X 座標、法線直交方向を Y 座標、鉛直方向を Z 座標とする。起点の X 座標は海側から見て桟橋左端の位置、Y 座標は桟橋法線の位置、Z 座標は桟橋天端面の位置とする。

表-12 3次元形状データ作成に必要なパラメータリスト

名称	単位
ブロック数	個
起点座標 (X, Y, Z)	m
起点から隅の鋼管杭までの距離 (図-6の dx, dy)	m
桟橋上部工の幅・奥行・高さ	m
梁の幅・高さ	m
梁の本数 (法線方向・法線直交方向)	本
鋼管杭の杭径・杭長・肉厚	m
渡版の長さ	m
本体工の奥行	m
ブロックあたりの上部工・本体工の個数	個
計画水深, 原地盤高, 基礎工天端高	m
ブロックあたりの車止め, 係船柱, 防舷材, 梯子の個数	個
平均干潮面	m
杭1本あたりの電気防食の個数	個

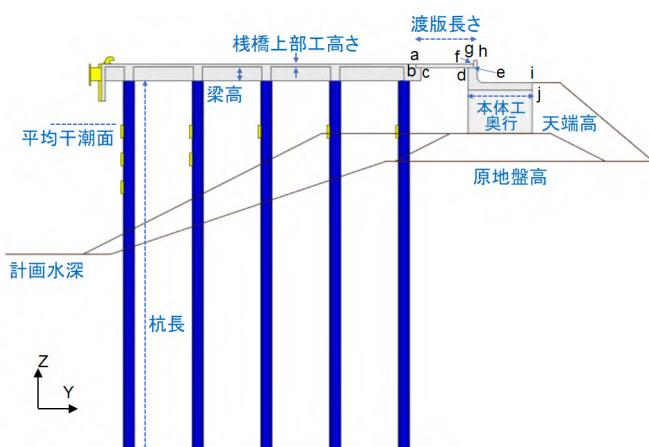


図-8 パラメータの図示 (断面図)

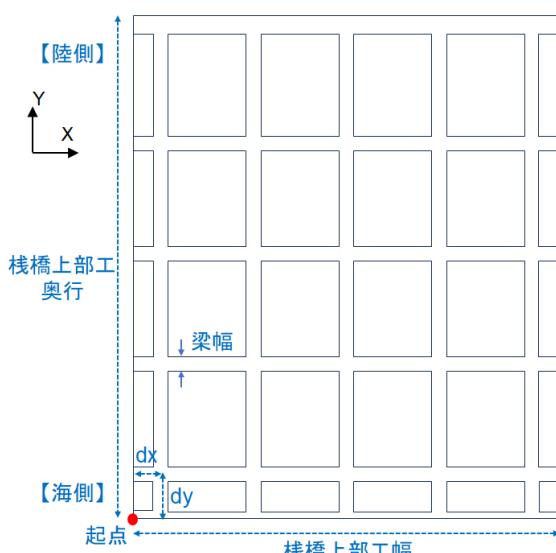


図-9 パラメータの図示 (平面図)

(5) 属性情報の付与方法

2.2節の検討結果をふまえ、維持管理計画書及び一般定期点検診断報告書から主部材の劣化度等の必要な情報を抽出し、3次元モデルへ属性情報を付与する。本研究では、属性情報を効率的に付与するため、Excel形式の点検診断シートから3次元モデルへ属性情報を付与する手法を開発する。

表-13は、直杭式横桟橋の点検診断シートの様式を示す。港湾の施設の点検診断ガイドライン¹⁸⁾に基づき、点検診断項目ごとに、分類（I類～III類）、ブロック別の劣化度判定結果（a～d）、点検診断項目の性能低下度判定結果（A～D）、施設の性能低下度判定結果（A～D）が記録・保存されている。

表-13 直杭式横桟橋の点検診断シートの様式

点検診断項目	分類	劣化度判定結果			性能低下度
		BL1	BL2	...	
桟橋法線	I類				点検診断項目ごとに、ブロック（BL）別の劣化度判定結果をa～dで記入
桟橋上部工（下面）	II類				
桟橋上部工（上・側面）	II類				
鋼管杭	I類				
鋼管杭（被覆防食）	II類				
鋼管杭（電気防食）	II類				
土留護岸（ケーツン、L型ブロック）	I類				
渡版	II類				
係船柱	III類				
防衝設備	III類				
車止め	III類				
梯子	III類				
所見		点検診断結果を総合的に評価し、施設の性能低下度をA～Dで評価			

IFC形式の3次元モデルでは、Ifc Property Setで各構成要素の属性情報全体を表現し、個別の属性情報は、Ifc Property Single Valueで記述する。本研究では、IFC形式の3次元モデルとExcel形式の点検診断シートを読み込み、3次元モデルに属性情報を付与できる補助的なツールを作成する。

図-10に、属性情報を付与する補助的なツールの操作画面のイメージを示す。左側にIFC形式の3次元モデルの階層構造が表示され、選択した構成要素の属性情報が右側に表示される。中央にはExcel形式の点検診断シートから読み込んだ劣化度判定結果が表示されるので、選択した劣化度判定結果を、指定する構成要素の属性情報へ転記（コピー）できる。ブロック別の劣化度判定結果

は階層 3 に相当する Ifc Building Element Proxy へ、施設の性能低下度判定結果は階層 1 に相当する Ifc Site へ、それぞれ転記すれば良い。また、(3)項で説明したとおり、IFC 形式では階層 2 に相当する構成要素が作成されないため、点検診断項目ごとの性能低下度判定結果は、階層 1 に相当する Ifc Site へ転記する。

ただし、3 次元モデルの構成要素と点検診断シートの点検診断項目・ブロック番号が関連付けられていないため、点検診断シートから劣化度判定結果を転記する宛先の 3 次元モデルの構成要素は、手動で選択する必要がある。また、点検診断シートには、ブロック別の劣化度判定結果や点検診断項目ごとの性能低下度判定結果しか記録・保存されていないため、主部材の形式や規格・仕様等の属性情報は、別途手動で入力する必要がある。

(6) 劣化度判定結果の可視化

既存港湾施設の 3 次元モデルの利用用途の一つに、劣化度の視覚的把握が想定される。このため本研究では、劣化度を各構成要素に付与した 3 次元モデルを読み込み、劣化度に応じて各構成要素の色分けを実行するプログラムを開発する。

IFC 形式の 3 次元モデルでは、Ifc Surface Style Shading で境界面の色を表現することができる。したがって、各構成要素に付与された劣化度に応じて、Ifc Surface Style Shading の RGB 値を変更する。本研究では、劣化度 a の構成要素を赤色、劣化度 b の構成要素を黄色、劣化度 c の構成要素を緑色、劣化度 d の構成要素を灰色で色分けする。

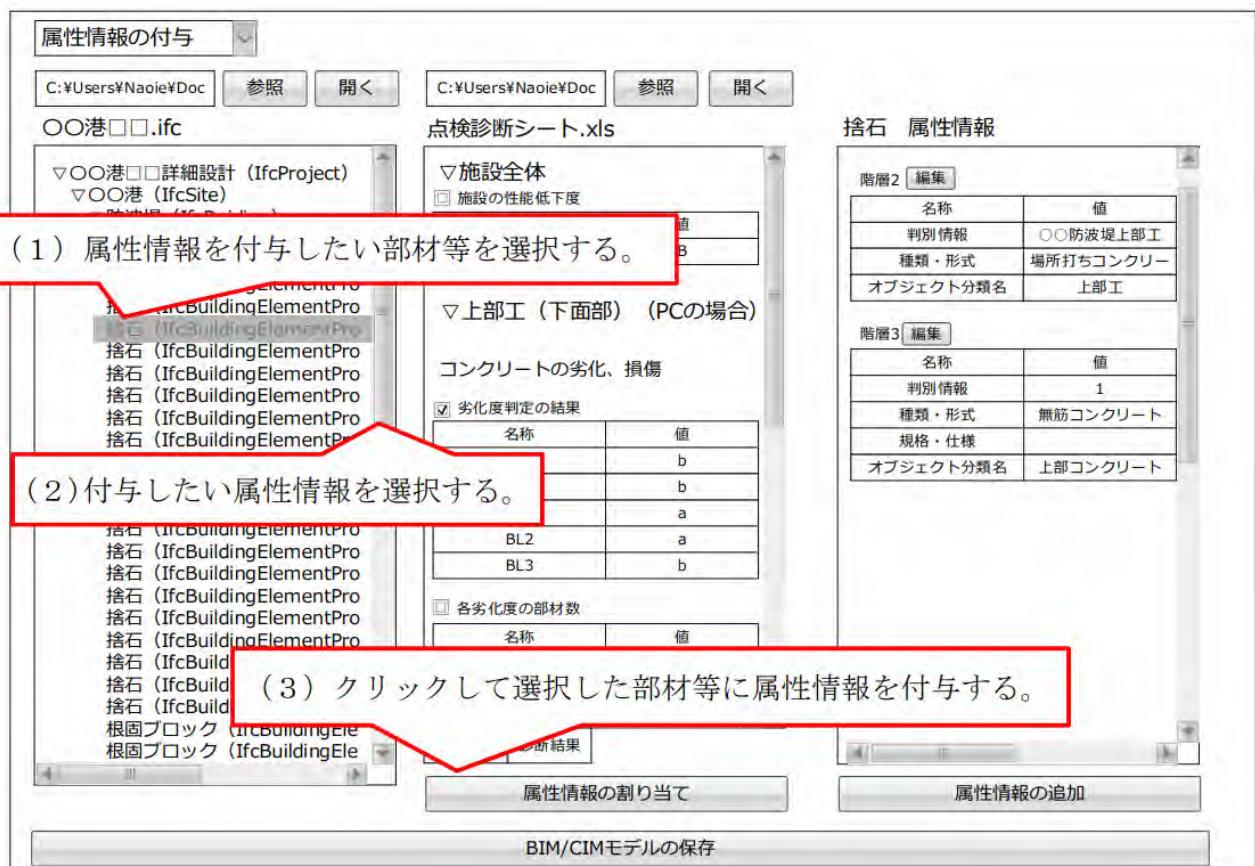


図-10 属性情報を付与する補助的なツールの操作画面のイメージ

3.2 3次元モデルの簡易作成手法の試行結果

(1) 試行条件

- 2.1節で検討対象とした既存の直杭式横桟橋について、
- 3.1節で開発した3次元モデル簡易作成手法を適用した。維持管理計画書の標準断面図及び平面図から読み取った、3次元モデルの構成要素のためのパラメータリストを、表

-14に示す。

(2) 試行結果

3次元モデルの作成結果を、図-11に示す。表-14に示すパラメータリストのとおり、12ブロックから構成される直杭式横桟橋の3次元モデルが作成された。また、各構成

要素の個数や形状も、パラメータリストのとおり作成された。

属性情報は、点検診断シートから劣化度を付与した。

図-11から分かるとおり、桟橋上部工は劣化度c（緑色）が多く、左から4番目のブロックは劣化度a（赤色）である。また、1番目のブロックの梯子と2番目のブロックの右側の防舷材も劣化度aである。

図-12は、図-11よりも下側の視点から、3次元モデルの作成結果を拡大した図である。任意の視点で3次元モデルの拡大・縮小を行えることは、点検業務の初心者教育などで有用であると考えられる。

なお、本研究では、1種類のビューアーで3次元モデルの表示を確認した。しかし、IFCファイルが複数のビューアや環境で正確に読み込まれることを担保するためには、IFCファイルが正しく規格に準拠して作成されているかどうか、専門機関による検定を受ける必要がある。

表-14 パラメータリストの入力値

名称	単位	設定値
ブロック数	個	12
起点座標 (X, Y, Z)	m	x = 0.0 y = 0.0 z = 4.5
起点から隅の鋼管杭までの距離（図-9のdx, dy）	m	dx = 1.88 dy = 3.0
桟橋上部工の幅・奥行・高さ	m	幅 29.17 奥行 34.85 高さ 0.3
梁の幅・高さ	m	幅 1.0 高さ 1.5
梁の本数（法線方向・法線直交方向）	本	法線方向 5 直交方向 5
鋼管杭の杭径・杭長・肉厚	m	杭径 1.2 杭長 39.9 肉厚 0.012
渡版の長さ	m	6.3
本体工の奥行	m	7.0
ブロックあたりの上部工・本体工の個数	個	2
計画水深、原地盤高、基礎工天端高	m	計画水深 -16.0 原地盤高 -6.0 天端高 -3.0
ブロックあたりの車止め、係船柱、防舷材、梯子の個数	個	車止め 8 係船柱 1 防舷材 2 梯子 1
平均干潮面	m	-2.1
杭1本あたりの電気防食の個数	個	1列目 3 2列目 2 3~5列目 1

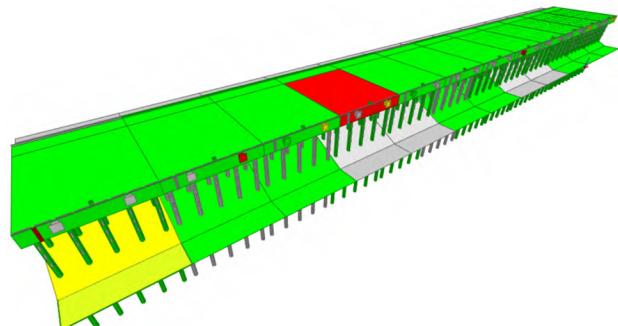


図-11 3次元モデルの作成結果（赤色：劣化度a、黄色：劣化度b、緑色：劣化度c、灰色：劣化度d）

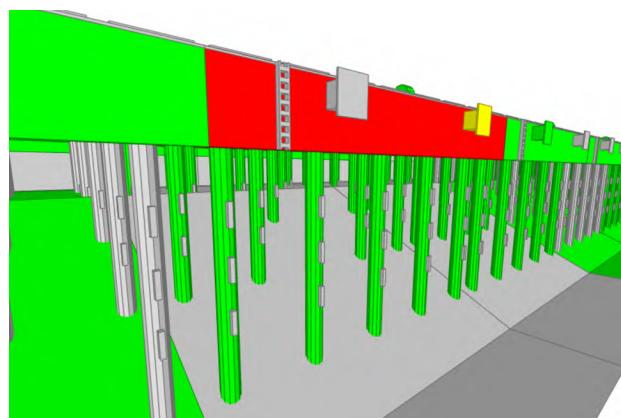


図-12 3次元モデルの作成結果（拡大図）

(3) パラメトリックモデリングによる任意の3次元形状データ作成の試行結果

パラメトリックモデリングによる任意の3次元形状データの作成に関し、検証を行った。検証は、表-14のパラメータリストの入力値を比較対象の基準として、表-15のとおり、パラメータの入力値を一部変更し3次元形状データを作成した。

ケース①は、杭の本数を25本（法線方向5列×法線直交方向5列）から9本（法線方向3列×法線直交方向3列）へ減らした。また、係船柱を1個から2個へ、防舷材を2個から4個へ増やし、梯子を1個から0個へ減らした。一方、ケース②は、桟橋上部工の幅を40mへ長くし、奥行を20mへ短くした。また、計画水深を-10mへ、原地盤高を-4mへ浅くし、基礎工の天端位置を-2mへ変更した。さらに、設置水深が浅くなったことに対応し、電気防食の設置位置（平均干潮面）と設置個数を変更した。なお、ケース①及びケース②は、パラメトリックモデリングの検証のための設定であり、構造物の設計としての合理性は考慮していない。

パラメトリックモデリングによる任意の3次元形状データ

ータ作成の試行結果を、図-13に示す。図-13は、基準となるケース・ケース①・ケース②の3つのケースについて、それぞれパラメトリックモデリングで作成した3次元形状データの側面図、正面図、上方からの俯瞰図を示している。鋼管杭の杭長は全てのケースで同一(39.9m)であり、3つのケースはほぼ同じ縮尺で描画されている。

図-13を確認すると、ケース①は、基準となるケースから杭の本数や付属工の設置個数を変更しており、パラメータリストの設定値どおり、3次元形状データが作成されている。また、ケース②は、桟橋上部工の幅・奥行や設置水深を変更しており、基準ケースと比較して、意図したとおりに3次元形状データが作成されている。

表-15 パラメータリストの入力値

名称	単位	基準ケースの設定値	ケース①の設定値	ケース②の設定値
ブロック数	個	1	基準ケースと同じ	基準ケースと同じ
起点座標 (X, Y, Z)	m	x = 0.0 y = 0.0 z = 4.5	基準ケースと同じ	基準ケースと同じ
起点から隅の鋼管杭までの距離 (図-9 の dx, dy)	m	dx = 1.88 dy = 3.0	基準ケースと同じ	基準ケースと同じ
桟橋上部工の幅・奥行・高さ	m	幅 29.17 奥行 34.85 高さ 0.3	基準ケースと同じ	幅 40.0 奥行 20.0 高さ 0.3
梁の幅・高さ	m	幅 1.0 高さ 1.5	基準ケースと同じ	基準ケースと同じ
梁の本数 (法線方向・法線直交方向)	本	法線方向 5 直交方向 5	法線方向 3 直交方向 3	基準ケースと同じ
鋼管杭の杭径・杭長・肉厚	m	杭径 1.2 杭長 39.9 肉厚 0.012	基準ケースと同じ	基準ケースと同じ
渡版の長さ	m	6.3	基準ケースと同じ	基準ケースと同じ
本体工の奥行	m	7.0	基準ケースと同じ	基準ケースと同じ
ブロックあたりの上部工・本体工の個数	個	2	基準ケースと同じ	基準ケースと同じ
計画水深、原地盤高、基礎工天端高	m	計画水深 -16.0 原地盤高 -6.0 天端高 -3.0	基準ケースと同じ	計画水深 -10.0 原地盤高 -4.0 天端高 -2.0
ブロックあたりの車止め、係船柱、防舷材、梯子の個数	個	車止め 8 係船柱 1 防舷材 2 梯子 1	車止め 8 係船柱 2 防舷材 4 梯子 0	基準ケースと同じ
平均干潮面	m	-2.1	基準ケースと同じ	-1.5
杭1本あたりの電気防食の個数	個	1列目 3 2列目 2 3~5列目 1	1列目 3 2列目 2 3列目 1	1列目 2 2~5列目 1

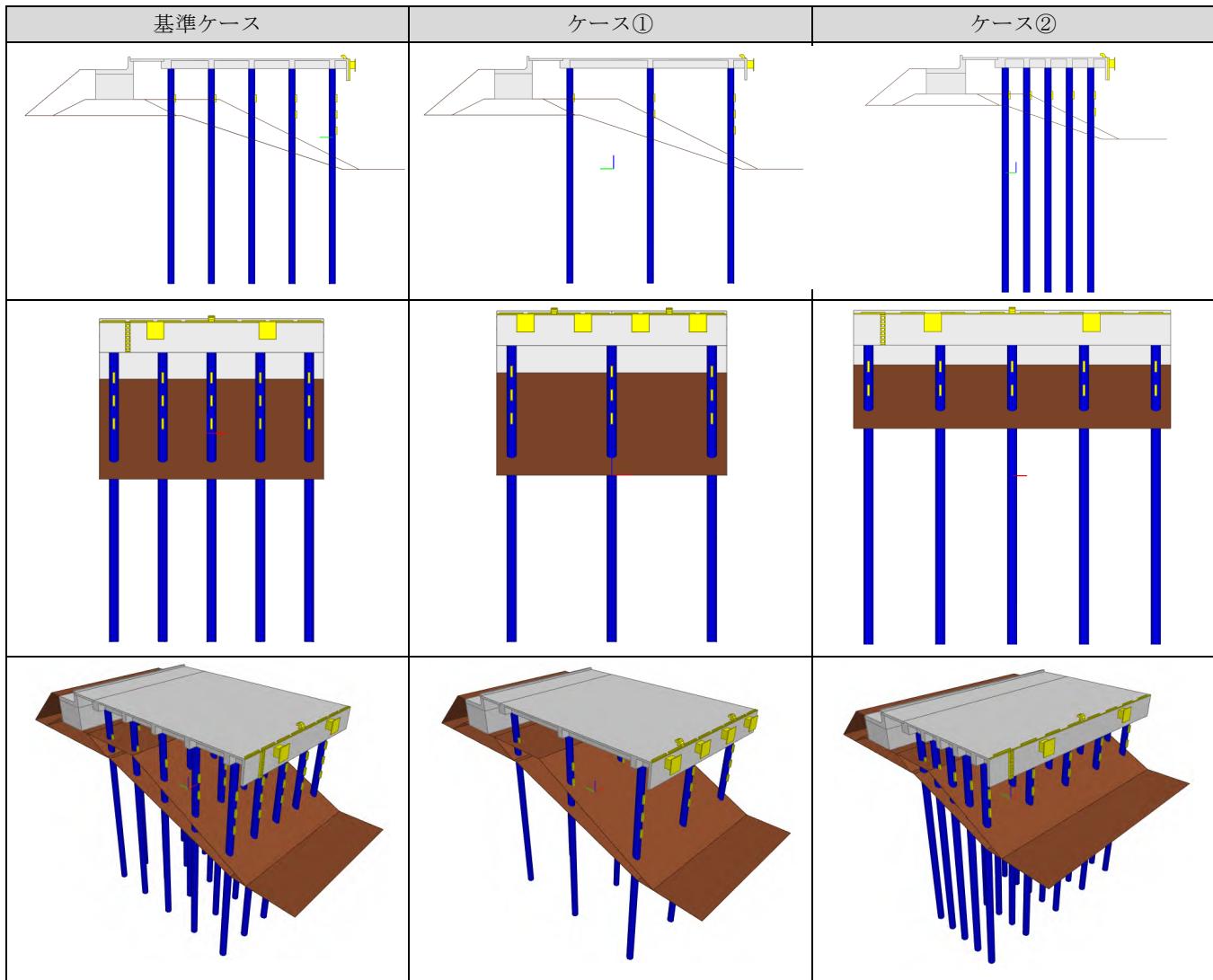


図-13 パラメトリックモデリングによる任意の3次元形状データ作成の試行結果

(4) 施設関係者へのヒアリング調査の結果

3次元モデルの簡易作成手法の開発方針について、ヒアリング調査を実施した。ヒアリング調査の対象者は、2.2節と同じ、3次元モデルを作成した直杭式横桟橋の施設所有者と施設借受者である。ただし、点検診断業務の実施者には、ヒアリング調査を実施できなかった。

ヒアリング調査は、2025年2月に、個別に1回ずつ対面形式で実施した。ヒアリング調査では、3次元モデルの簡易作成手法の開発方針を説明し、維持管理における3次元モデルの作成及び利活用について、自由意見をいただいた。なお、実施時期の都合により、ヒアリング時点では3次元モデルの簡易作成手法は完成しておらず、開発方針のみを説明した点に注意が必要である。

ヒアリング調査で得られた主な意見を以下に示す。

①点検診断シートから属性情報を付与するツールは、部材を一つずつ選択して、点検診断シートから属性情報を

転記することが手間であるし、間違いも起こりやすいと思う。ワンクリックで、点検診断シートの情報を属性情報へ自動入力できると理想的である。

②点検診断シートから属性情報を付与するツールは、文字情報だけではなく、3次元モデルから部材を選択できる方が良いと思う。

③維持管理計画書や点検診断報告書を外部参照する際、PDFファイルにリンクを貼るだけでは、必要な情報を探し出すのに手間がかかる。関係するページにしおりを挟むなどの工夫があると良いと思う。

④一般定期点検診断を業務発注せず、直営で実施する港湾管理者もいる。また、国土交通省港湾局が運用・管理する港湾施設維持管理情報データベースを使用しない場合もある。Excel形式の点検診断シート以外でも入力できるようにした方が良いと思う。

⑤維持管理は、施設単位ではなくターミナル単位で考え

ているので、隣接する施設も一緒に3次元モデルが作成されていると分かりやすいと思う。

⑥年度ごとに業務・工事発注のフォルダが作成されているが、一つの業務・工事で複数の施設の点検・補修を行っている場合があり、年度ごとの業務・工事件名と各施設の補修履歴が紐づけられていない。3次元モデル上で、各施設の点検・補修の成果品がリンクされていると有用であると思う。

⑦補修工事において、2次元図面だけでは分かりづらい場合もあるので、3次元モデルが有用な場合もあると思う。意見①・②は、点検診断シートから属性情報を付与するツールのユーザーインターフェイスの改良に関するものである。また、意見③・④・⑤は、維持管理における3次元モデルの作成に関して、機能の追加・見直しを求めるものである。意見⑥・⑦は、維持管理における3次元モデルの利活用に関するものである。

3.3 3次元モデルの簡易作成手法に関する考察

本研究で開発した3次元モデル簡易作成手法により、維持管理の特定の用途を想定した、3次元モデルが作成できることを確認した。ヒアリング調査の結果等をふまえ、3次元モデル簡易作成手法の更なる利便性向上のためには、次に示す3つの観点で検討することが重要である。

第1の観点は、3次元モデルの構成要素と点検診断シートの点検診断項目・ブロック番号が関連付けられていないため、点検診断シートの転記先となる3次元モデルの構成要素を、手動で選択しなければならない点である。この課題を解決する方策としては、各構成要素の属性情報をブロック番号・主部材の番号を付与し、点検診断シートのブロックごとの点検診断項目と一対一の対応が取れるように定義すること等が考えられる。

第2の観点は、一般定期点検診断は標準で5年に1回実施されるため、複数回の点検診断結果を逐次追記・表示できるようにする点である。港湾施設の変状の経過を把握するため、点検診断結果は最新のものだけではなく、過去に実施したものも重要である。この課題を解決する方策としては、3次元モデルの属性情報をレイヤーのような形式で整理し、特定の年度の点検診断結果を簡単に抽出・表示できること等が考えられる。

第3の観点は、本研究の3次元モデル作成手法は単一の港湾施設を対象としており、周囲の港湾施設との位置関係が分かりづらい点である。複数の港湾施設をまとめて管理する場合が多いことをふまえると、単一の港湾施設のみを表示するよりも、周囲の港湾施設も合わせて表示し、周囲の港湾施設の維持管理状況などを同時に表示・

検索できる方が有用である。この課題を解決する方策としては、港湾計画図等の広域の施設配置が分かる図と港湾施設の3次元モデルを関連付けること等が考えられる。

なお、本研究では、1種類のビューアーで3次元モデルの表示の確認を実施した。より汎用的な3次元モデルの検証を行うためには、専門機関による検定が必要である。

4. おわりに

4.1 主要な結論

本研究では、BIM/CIMによる維持管理の生産性向上を目標として、直杭式横桟橋を事例に、既存港湾施設の3次元モデルの効率的な作成手法を開発した。

(1) 3次元モデルの要件設定

3次元モデルの要件設定のうち、3次元形状データの詳細度に関しては、まず、新設の港湾施設を対象とする現行の基準類に基づき、LoD300相当の既存港湾施設の3次元形状データを作成した。次に、施設関係者へヒアリング調査を実施した。ヒアリング調査の結果をふまえると、点検診断結果の検索性の向上、性能低下度及び劣化度の視覚的把握、点検業務の初心者教育等の用途に限定すれば、3次元形状データの詳細度は、LoD200で問題無いものと分かった。さらに、3次元形状データの詳細度をLoD300相当からLoD200へ絞り込むことにより、3次元モデルの作成時間が約半分に縮減できることを確認した。

3次元モデルの属性情報の要件設定に関しては、現行の基準類が、設計段階の属性情報に施工段階及び維持管理段階の属性情報を逐次追記することを前提としており、既存港湾施設にそのまま適用することは難しいと判断した。このため、利用可能な情報が維持管理計画書及び直近の一般定期点検診断報告書であること、また、維持管理で特に重要な属性情報をテキストデータで直接付与し、それ以外の属性情報は参照情報を外部参照する形で間接付与することを基本的な方針として、維持管理段階の属性情報の要件を提案した。

(2) パラメトリックモデリングによる3次元モデルの簡易作成手法の開発

既存港湾施設の3次元モデルを経済的に作成するため、パラメトリックモデリングを用いて3次元形状データを作成する手法と、3次元モデルに劣化度等の属性情報を付与する手法を開発した。

3次元モデルの3次元形状データに関しては、維持管理

計画書に掲載されている標準断面図・平面図から、3次元モデル作成に必要なパラメータを抽出し、パラメトリックモデリングで作成する手法を開発した。既存港湾施設は、基本的に維持管理計画書が作成されているため、2次元CADデータを使用するよりも汎用性が高く、また、新たな現地計測作業も不要である。さらに、3次元モデルは汎用的なファイル形式であるIFC形式で作成するものとし、特別なソフトウェアを使用しなくても作成できるように配慮した。

3次元モデルの属性情報に関しては、一般定期点検診断報告書から主部材の劣化度等の必要な情報を抽出し、3次元モデルへ付与する手法を開発した。属性情報を効率的に付与するため、Excel形式の点検診断シートからIFC形式の3次元モデルへ属性情報を転記（コピー）する補助的なツールを作成した。

開発した3次元モデル簡易作成手法を、既設の直杭式横桟橋で試行し、3次元モデルが問題無く作成できることを確認した。

4.2 今後の課題

(1) 3次元モデルの要件設定

本研究では、点検診断結果の検索性の向上、性能低下度及び劣化度の視覚的把握、点検業務の初心者教育等の用途に限定すれば、3次元形状データの詳細度はLoD200で問題無いものと判断した。

しかし、LoD200では、正確な外形形状が再現されないため、点検作業で撮影した写真やひび割れ等のスケッチを、3次元モデル上に正確に位置付けることは難しい。また、3次元モデルを維持補修工事で使用し、周辺構造物や建設機械との干渉を確認することも困難である。維持管理段階における3次元モデルの利用用途の拡大に応じて、3次元モデルの新たな要件設定が必要である。

(2) パラメトリックモデリングによる3次元モデルの簡易作成手法

本研究で開発した3次元モデル簡易作成手法の今後の課題として、まず、3次元モデルの構成要素と点検診断シートの点検診断項目・ブロック番号が関連付けられておらず、点検診断シートの転記先となる3次元モデルの構成要素を、手動で選択しなければならない点が考えられる。

次に、一般定期点検診断は標準で5年に1回実施されるため、複数回の点検診断結果を逐次追記・表示できるようになることが求められる。

さらに、本研究の3次元モデル簡易作成手法は单一の港湾施設を対象としており、周囲の港湾施設との位置関係

が分かりづらいため、隣接する港湾施設も合わせて3次元モデルを作成できる手法が必要である。

(2025年8月28日受付)

謝辞

本研究の実施にあたっては、検討対象とした直杭式横桟橋の関係者から維持管理に係る情報を提供していただき、ヒアリング調査にご協力いただいた。ここに記して、深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction 2.0～建設現場のオートメーション化～， 20p., 2024, <https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf> (最終閲覧日2025年8月28日)
- 2) 国土交通省港湾局：BIM/CIM取扱要領港湾編, 37p., 2025, <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001898516.pdf> (最終閲覧日2025年8月28日)
- 3) 国土交通省港湾局：BIM/CIM活用ガイドライン（案）第8編港湾編, 58p., 2022, <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001475834.pdf> (最終閲覧日2025年8月28日)
- 4) 国土交通省港湾局：BIM/CIMモデル等電子納品要領（案）および同解説港湾編, 34p., 2024, <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001745266.pdf> (最終閲覧日2025年8月28日)
- 5) 国土交通省港湾局：BIM/CIM事例集ver.3港湾編, 29p., 2025, <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001898307.pdf> (最終閲覧日2025年8月28日)
- 6) 国土交通省港湾局：港湾分野BIM/CIM原則適用「義務項目、推奨項目（例）一覧」, 4p., <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001880033.pdf> (最終閲覧日2025年8月28日)
- 7) 辰巳大介、川上司：維持管理に着目した既存港湾施設のBIM/CIM用3次元モデルの効率的な作成方法、土木学会論文集, Vol.80, No.18, 24-18118, 2024.
- 8) 辰巳大介、里村大樹：パラメトリックモデリングによる既設港湾構造物の3次元モデル簡易作成手法、土木学会論文集, Vol.81, No.23, 2025.
- 9) 吉田英治、井山繁：港湾分野における CIM 導入促進に向けた検討、国土技術政策総合研究所資料, No.1067, 110p., 2019.
- 10) 清水智弘、吉川眞、瀧浪秀元、御崎哲一、高橋康将、中山忠雄、内田修、近藤健一：3D モデルを用いた

- 橋梁維持管理システムの開発, 土木学会論文集 F3,
Vol.69, No.2, pp.I_45-I_53, 2013.
- 11) 川野浩平, 青山憲明, 寺口敏生, 関谷浩孝: 維持管理段階に適した CIM モデルの情報連携プラットフォームの開発, 土木学会論文集 F3, Vol.73, No.2, pp.I_134-I_140, 2017.
- 12) 山崎俊夫: 札幌市公共下水道施設の 3 次元モデル化に関する検討, 第 55 回土木計画学研究発表会講演集, 29-05, 2017.
- 13) 伊藤輝, 大谷英之: データ変換・統合技術を用いた港湾構造物図面の 3 次元化技術, 土木学会論文集, Vol.79, No.18, 23-18070, 2023.
- 14) 日高奈緒: 点群データ処理アルゴリズムの総括および土木分野での活用事例と展望, 土木学会 AI・データサイエンス論文集, Vol.4, No.3, pp.301-309, 2023.
- 15) 塚田義典, 中原匡哉, 梅原喜政, 田中成典, 武内克樹, 中井瑞基: 橋梁点群データからのエッジ推定によるパラメトリックモデルの生成に関する研究, 土木学会論文集, Vol.80, No.22, 23-22015, 2024.
- 16) 国土交通省港湾局: 港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン第 1 部総論, 175p., 2023, <https://www.mlit.go.jp/common/001597608.pdf> (最終閲覧日 2025 年 8 月 28 日)
- 17) 国土交通省港湾局: 3 次元モデル成果物作成要領 (案) 港湾編 (令和 4 年 4 月版), 81p., 2022, <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001475838.pdf> (最終閲覧日 2025 年 8 月 28 日)
- 18) 国土交通省港湾局: 港湾の施設の点検診断ガイドライン第 2 部実施要領, 221p., 2021, <https://www.mlit.go.jp/common/001597610.pdf> (最終閲覧日 2025 年 8 月 28 日)