

東京湾第二海堡における 3次元モデルを用いた維持管理

久田 方輝

関東地方整備局 東京湾口航路事務所 工務課

(〒238-0005 神奈川県横須賀市新港町13番地)

明治から大正時代に造られた人工の要塞「第二海堡」。完成当初より劣化が進みながらも、現在も東京湾内に離れ小島のように浮かんでいる。第二海堡は東京湾中央航路内に含まれており、東京湾口航路事務所により管理されている。島内には多数の軍事遺構があり、職員が常駐していない。このように他の港湾施設にはない特性もあり、管理にあたっての課題も多い。その解決を目的に第二海堡においても維持管理段階から3次元モデルを適用し、島内の砲台や掩蔽壕などの付帯施設も含めて3次元モデル化した。本論文では第二海堡の3次元モデル化の取り組み、そして維持管理のための3次元モデルの利活用法検討の成果を報告する。

キーワード インフラDX, ICT施工, i-Construction, BIM/CIM, 3次元モデル

1. 第二海堡について



図-1 第二海堡 全体図

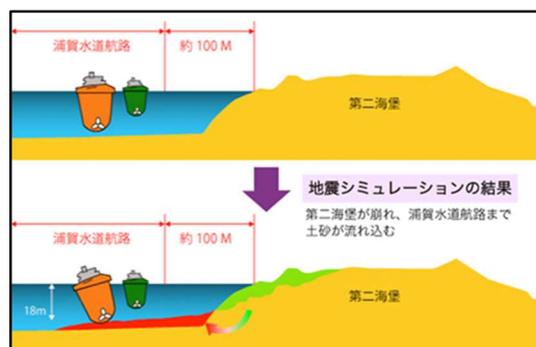


図-2 第二海堡における地震シミュレーション結果

第二海堡(図-1)は、明治から大正にかけて首都防衛のため東京湾の中央付近に建設され、1914年に完成した。そのわずか9年後、関東大震災で被災、更には台風や波浪等の影響により、既存の護岸が崩れて浸食しており、護岸の劣化が徐々に進行していた。この状態を放置すると、大規模地震等の発生時に航路を塞ぐように土砂が流出するシミュレーション結果が出ている(図-2)。東京湾内には国際戦略港湾である東京港、川崎港、横浜港が位置しており、大型船が日々航行しているが、航路を塞がれることにより、船舶の航行に支障が出た場合には国内の産業や国民の生活に甚大な影響を及ぼす。そのため、航路機能を維持するための「予防保全」として、2007年10月より護岸整備工事を行っている。この工事は2024年度中に竣工予定であり、その後は当事務所で引き続き、島内の付帯施設も含めた維持管理を行う予定である。

2. 第二海堡の護岸構造

建造当初は日本の築城技術を活かして、外周の海底部に基礎石を投入した上に間知石を積み上げ、その間に小さな石を詰め、さらにモルタルで固めた構造であったが、震災や波浪の影響により護岸の崩壊が進んできた。その後、図-3のような自立式連続鋼管矢板構造で整備を行ってきた。

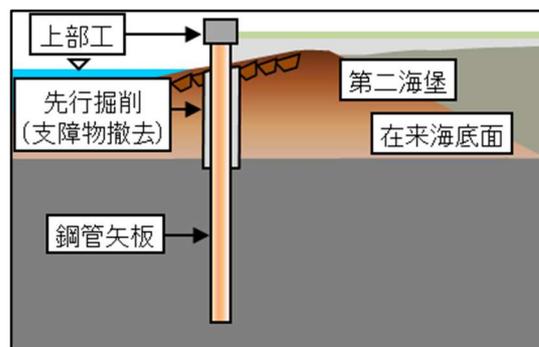


図-3 自立式連続鋼管矢板構造の断面図

3. 第二海堡の維持管理についての課題点

(1) 情報へのアクセス性

第二海堡関連の業務は他の港湾施設とは異なった考え方、手法で行う特殊性があるため、不明な点がある際は過去の業務資料を参考にしますが、それでも解決できない場合は前任者へ確認をすることもあり、現状では業務の効率があまり良いとは言えない。

(2) 設計資料に関して

一部の関係者しか出入りができない第二海堡では遺構を始めとする他に例をみない構造物が数多くある。そのため、図-4のような従来の2次元CADを用いた設計図のみではイメージがつきにくい。施設補修の計画のために関係者間で協議する際には、その分かりにくさを補填するために、細部の解説等の詳細な作りこみが必要であり、資料作成に手間がかかる。

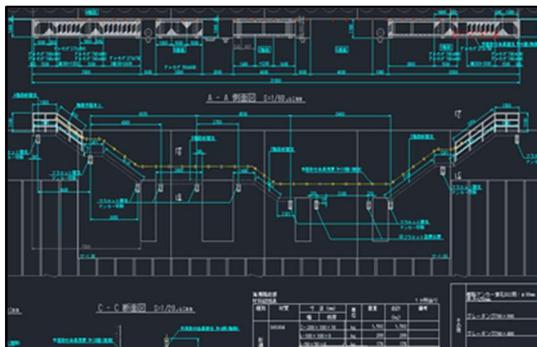


図-4 2次元CADによる付帯施設(階段)の図面

4. 3次元モデルを用いた維持管理のメリット

(1) 情報へのアクセス性向上

図-5のように島内の構造物毎に属性情報を加えることで、細かな情報を一元化でき、情報へのアクセス性が向上する。3次元モデルを用いれば、大量の資料を読み込んだり、現場に出ることなく、手軽に構造物毎の細かな情報を網羅的に確認できる。これにより、業務の効率が大幅に向上する。

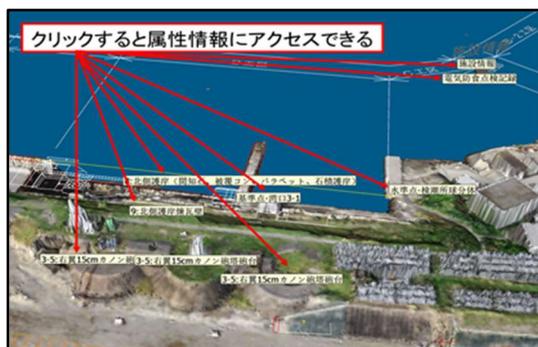


図-5 構造物毎に付与されている属性情報

(2) 設計資料のビジュアル性向上

図-6のように3次元形状データを用いて立体的に表現することで、従来の資料と比べ、一目で構造が分かりやすくなる。これにより、課題であった細部の解説等の詳細な作りこみが必要なくなる。このように資料作成の手間が軽減されるうえ、補修工事計画時に関係者間で協議を行う場面でも、補修必要箇所の現状を容易にイメージさせやすくなるため、共通認識が得やすく、意思決定の迅速化が期待される。

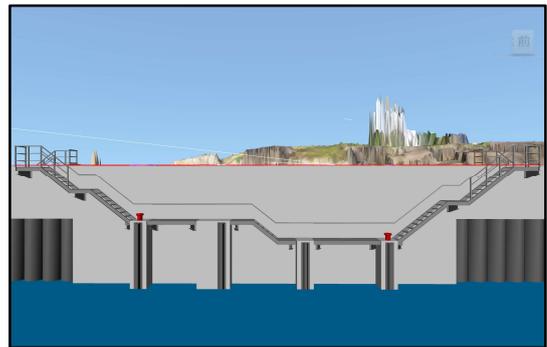


図-6 3次元形状データによる付帯施設(階段)の図面

5. 第二海堡の3次元モデル化に向けた取り組み

BIM/CIM活用業務・工事は、2018年度に設計業務を対象に開始となった。一方、その時点では第二海堡の護岸整備は基本設計が完了しており、設計と施工の段階では3次元モデル化の対象外としていたが、護岸工事完了に向け、維持管理段階に移行する際に、維持管理計画書の作成と併せて護岸、更には島内付帯施設も3次元モデル化することにした(図-7)。



図-7 3次元モデル化した第二海堡

まず、3次元モデル化の準備として2021年度の維持管理計画の検討業務では、ドローンを用いて、第二海堡を空撮し、成果として3次元の点群データを取得した。それに加え、3次元モデル化にあたっての必要情報の整理を行った。陸上や海上の地形については高さや平面座標及び変状履歴がわかる基礎データの蓄積や最新の深淺測量結果から、新設された外周護岸については設計時のCADデータから、島内に残存し

ている軍事遺構物についてはドローンによる空撮により得られた点群データから、それぞれ3次元形状データ化し、更に属性情報や参照資料を組み合わせることで、3次元モデル化が可能であることを示した。

そして、2022年度の業務では3次元モデルを本格適用した。護岸防食工の機能維持を中心とした「予防保全」、構造物の変位・変形、損傷に対する補修を中心とした「事後保全」への活用を前提としており、属性情報として、部材の規格等を直接付与し、点検資料や工事資料等は外部参照方式で格納した(図-8)。



図-8 モデルから外部参照する属性情報

島内の遺構を始めとした現存構造物については、設計図が無く、詳細な構造寸法が不明であること、及び今後の維持管理段階においては外観で明らかな損傷の進行や変形の計測といった形状の管理が主となることから、既存の点群測量データを基に各部分をTINサーフェスとしてモデル化した。これにより、他の構造部との位置関係把握や、今後取得した点群データと重ね合わせをすることで変位・変形の有無、程度の確認に活用できる。陸上や海上の地形についても同様にサーフェスモデルにより再現した。

その一方、護岸構造物については、2007年度以降の施工であるため、施工時の設計図が存在する。そのため、詳細な構造が明らかで構成部材の寸法等が正確に反映されたソリッドモデルで作成する。このように構造物毎に作成したモデルを統合して、第二海堡の統合モデルを作成した。

一級基準点成果・点の記			
点名	新湾口 3		1/25,000 万国名
	1/5 万国名	横綱貫	
所在地	千葉県富津市 第二海堡		
管理者	国土交通省関東地方整備局東京湾口航路事務所		
測標の種類	金属版	埋設法	地上
埋標		埋設者	
観測	令和 03 年 02 月 08 日	観測者	宮坂 正樹
基準点成果表			
m			
B= 35 18 41.6392	X= -76372.117	縮尺係数= 0.999901	
L= 139 44 33.9119	Y= -8236.446	m	
標高= 13.0414m (水準測量による)	座標系= 9 系		
備考 『平成 26 年 4 月 1 日付 標高改定対応済み』 国土地理院の一等海水準点「標 4(3-4) 兼用点」			

図-9 基準点オブジェクトの属性情報「点の記」

また、属性情報として、護岸については点検時の活用を目的として点検スパン毎にモデルを作成した上で、それぞれの点検時期を直接付与、遺構については2019年度の調査結果資料を外部参照方式で格納、基準点オブジェクトについても「基準点および水準点の点の記の情報」が記載されている資料を同じく外部参照方式で格納した(図-9)。

それに続き、2023年度の業務では島内の構造物の調査を更に行い、現在の3次元形状データの属性情報の更なる充実化を図っている。具体的には、工事記録の維持管理への反映を目的として、補修工事前後の状態はドローンなどを用いて点群取得するものと仮定し、その結果を3次元形状データ上の属性情報に直接付与可能とする。更には工法、工事時期、使用材料等についても属性情報として直接付与可能とするモデルの地下を作っている。

また、塔砲台の補修による外観への影響や遺構の価値を低下させない補修材料の配色等についても3次元形状データで表された図面上で補修後の遺構のシミュレーションを複数のパターンで行い、検討する。

6. 3次元モデルの活用にあたっての課題点

(1) 3次元モデル化にあたっての課題点

a) 職員の習熟度について

3次元モデルは単なるモデル作成のみならず、複数のソフトを介してリアルタイムに情報を反映させながら作成するため、従来のCADオペレータだけではなく3次元モデル全体を管理する職員の存在が不可欠である。その一方、内部には十分な知識と技能を有した人材が少ない。そのため、リアルタイムにモデル内の属性情報の更新・活用することが困難であり、効果的にモデルを活用するための十分なノウハウが蓄積されていない課題が生まれている。その解決策として、先行的に3次元モデルを維持管理に活用している他事務所の職員と効果的にノウハウを相互に共有し、習得する機会を設けることが有効と考える。

b) 統一的なルールや基準の整備について

3次元モデル活用の際の要領や決まりごとは国土交通省の「BIM/CIM 活用ガイドライン」で大まかには定められている。だが、今後、幅広く様々な業務場面で展開するために、モデル作成におけるファイル形式や使用ソフト、使用機材の選定、モデルに付与する属性情報の種類及び付与方法についても、全事務所共通の細かなルールや基準が必要である。また、港湾では管理者が地方自治体などである場合も多いため、統一的な規格が必要である。

(2) 3次元モデルを用いた維持管理の課題点

a) 属性情報について

現行の3次元形状データから外部参照する属性情報として格納されているPDFファイルはモデル内に格納される前提で作成されていないため、情報としては不十分な箇所が多い。今後は3次元モデル内に格納する前提での情報整理や資料作成が必須である。

b) 3次元形状データと出来形の差について

第二海堡護岸の3次元形状データは施工段階に作成していないため、出来形ベースとなっておらず、現況の構造物の状態と完全には一致していない。仮に今後の施設補修工事等で細かい設計情報が必要となった際には現行の3次元形状データは使用できない。そのため、過去にサーフェスモデルを作成する過程で得た3次元の点群データを用いて、出来形と一致した3次元形状データを作れるかの検討が必要である。

以上のように3次元モデルを維持管理業務内で活用するためには、属性情報の充実、構造物の状態と3次元形状データの整合性が必須であり、1つの事務所だけではなく、地方自治体等含め汎用的に、3次元モデル活用を念頭に置いた体制づくりが求められる。

7. 今後の展開

(1) 情報へのアクセス性向上の活用

先述の通り、2022年度の業務で3次元モデルの下地は既に完成している。そのため、図-8のように各構造物毎にリアルタイムに属性情報を加えることで、情報が一元化されたモデルが徐々に出来上がっていく。直感的かつスムーズに必要な情報にアクセスできるため、従来の情報管理と比べ、検索性が大幅に改善される。また、今後の工夫次第では日常的な点検で発見した細かなこと、ささいな気付きも属性情報として記録できるため、今まで頻繁に行われていた確認行為も大きく減ることが期待される。これにより、補修工事発注時の検討の際に、3次元モデル内の属性情報に基づいた適切な判断も可能となる。

(2) ビジュアル性向上の活用

設計図のビジュアル性向上により、維持管理の業務内では若手技術者への指導や事業引継時の留意点の確認、認識のすり合わせを行う際に活用できる。また、担当職員が施設点検などで現場に出る前に、見えにくい注意箇所を3次元モデルの閲覧を通して事前確認できる。これにより、業務の効率化や安全性の向上にもつながるため、点検業務へ活用する工夫

も考えられる。更には、市民や学生など外部向けに幅広く第二海堡の特殊な構造を見て、知ってもらうことにも活用できる。例えば、ドローン撮影による現場の動画や写真を取り込んだ3次元モデルを事業説明会や現場見学会等で、効果的に使用すれば、より幅広い層から第二海堡への更なる理解と関心を得ることが期待される。

8. おわりに

総務省統計局の発表している「労働力調査年報」²⁾の建設・採掘従事者の変動を2022年度から過去13年分をまとめると図-10のようになる。

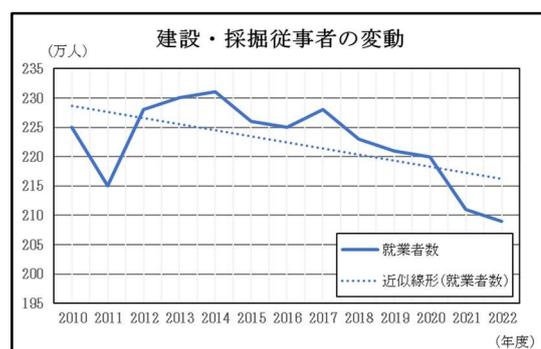


図-10 建設投資、許可業者数及び就業者数の推移

建設業界就労者の明らかな減少傾向が読み取れる。最新のデータも人手不足の深刻さを物語っており、建設業界における業務の効率化は急務である。

今回の検討を通して、第二海堡の維持管理において、3次元モデルを最大限に活かすことで、現状より各業務を大幅に効率化することができ、職員の負担軽減が可能になると思われる。また、設計図面なども分かりやすくなったことから、誰でも第二海堡の構造や形状を理解しやすくなった。情報へのアクセス性向上、設計図面のビジュアル性向上、3次元モデルがもたらすこの2つのメリットを活かした対外的な説明や周辺の学校や講座等での講義を通して、一般市民との交流機会をより生み出す可能性もある。日進月歩で発展するインフラDXの技術、業務効率化や社会問題解決のみならず、使い方によっては生み出した交流機会が人の幸せを生み出すポテンシャルも秘めている。それを創造し、実現することも我々国土交通省の技官としての新たな使命かもしれない。

参考文献

- 1) 国土交通省報道発表資料
「令和5年度のBIM/CIM活用に向けた進め方」
- 2) 総務省統計局 労働力調査年報(令和4年度,平成27年度)
「職業別就業者及び雇用者数」