

# 津波・高潮対策施設 フラップゲート式可動防波堤

水谷 征治<sup>1</sup> 加藤 直幸<sup>1</sup> 泉田 城史<sup>2</sup> 前田 庫利<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東洋建設株式会社 土木事業本部 土木技術部

<sup>2</sup>東洋建設株式会社 東北支店 土木部

フラップゲート式可動防波堤は、津波・高潮対策用の可動式防波堤で、平常時は、扉体が海底に沈んでいるが、津波や高潮来襲時に発生する水位上昇の力を利用して浮上し、ゲートを閉鎖する。景観への影響が少なく、ゲートの開閉装置も縮小できるため、建設や維持管理コストの削減が可能となる。同施設は、2010年度より日立造船（株）、東洋建設（株）、五洋建設（株）にて共同開発を行っており、2017年に岩手県大船渡漁港で岩手県にて初採用された。

本稿では、本施設の技術概要を紹介するとともに、同施設の現場施工においてICTを活用した事例について紹介する。

キーワード：津波、高潮、可動式防波堤、据付システム、VR

## 1. はじめに

先に発生した東日本大震災においては、津波災害により多くの尊い命や財産が失われた。今後予想される巨大地震や近年頻発する大型台風への対応として、沿岸地域においては津波や高潮から人命や財産を守る防波堤や防潮堤の整備が求められている。

しかし、船舶の航路である港口などにおいては、従来型の固定式防波堤を設置することができず、当該部分から浸入する津波や高潮の影響を低減することが困難であった。また、水際線の長い港や湾などにおいては、水際線沿いに防護ラインを設定した場合、その建設費（補強費）やその後の維持管理費が嵩むことになる。

これらを解決する一つ的手段として、日立造船（株）、東洋建設（株）、五洋建設（株）の3社は、平常時は海底に収納されて船舶の航行を阻害せず、非常時にのみ津波や高潮の影響を低減できるフラップゲート式可動防波堤を共同開発している。

フラップゲート式可動防波堤の開発コンセプトは、東日本大震災で学んだことなどを教訓とし、以下の4つを掲げている。

- 1)津波発生時に確実に機能（作動）する
- 2)操作に危険を伴わない
- 3)日常生活の支障とならない
- 4)維持管理の負担が過大とならない

なお、共同開発グループでは、これまでに実海域における実証試験などを実施しており、これらの実績が評価され、2017年に岩手県大船渡漁港で岩手県にて初採用、工事発注された。同工事は、共同開発グループの日立造

船（株）が受注し、東洋建設（株）は協力会社として据付工事を担当した。現在、本体施設の設置が完了しており、同工事ではICTを活用した施工を実施した。

本稿は、フラップゲート式可動防波堤の技術概要を紹介するとともに、初号機の現地施工でのICT活用事例についても紹介する。

## 2. 本施設の概要

本施設の主要な構成を図-1に示す。本施設は①扉体、②テンションロッド、③函体（基礎）を主な部材として構成される。なお、④扉体ストッパは、津波の引き波時に港内水位が一定水位より下がらないようにする場合に

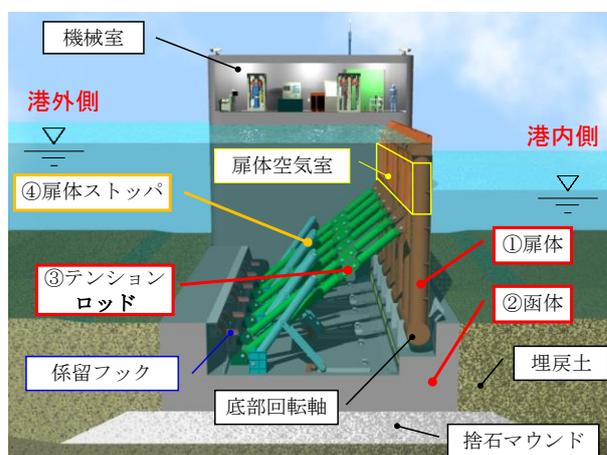


図-1 フラップゲート式可動防波堤構造図

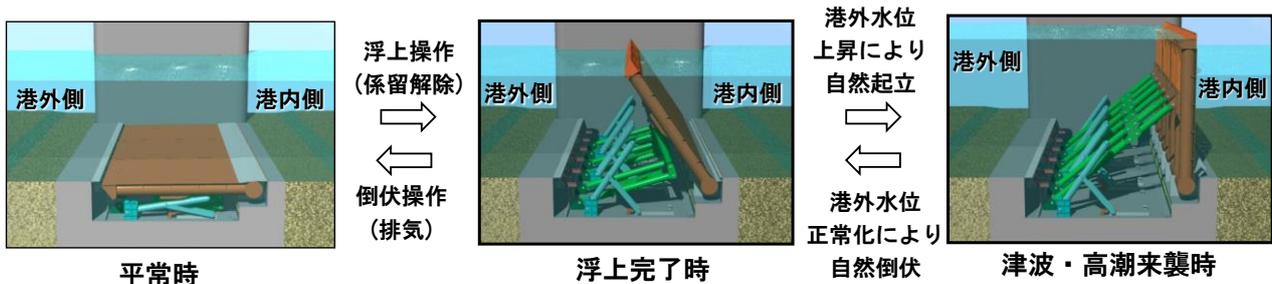


図-2 フラップゲート式可動防波堤の作動ステップ

設けられる。

また、本施設の作動の様子を図-2に示す。

平常時においては、扉体は海底地盤下に埋設される函体に格納されており、その上を船舶が通行することが可能である。なお、浮上に必要な浮力は常時扉体空気室内に給気して確保しており、係留フックにより扉体の浮き上がりを防止している。

津波・高潮の襲来が予測された際には、係留フックの解放操作により、扉体が水面上まで浮力で浮き上がり、待機状態となる。係留フックの解放操作は、施設管理者による手動操作の他、全国瞬時警報システム（通称：J-ALERT）や、港内側潮位の異常上昇をトリガーとする自動操作にも対応する。

その後、津波（押し波）・高潮が襲来すると、扉体は津波・高潮による港内外の水位差によって最大約 90 度まで立ち上がり、港内側の水位上昇を抑制する。

津波（引き波）作用時には港外側に倒伏する。なお、港内の水位低下を避けたい場合は、扉体ストoppaを設けることで、港外側の水位が低下しても扉体が所定の角度に保持され、港内水位の異常低下を抑制する。

### 3. 施設の特長

本施設は、以下に示す優れた特徴を有している。

- 1)自然の力活用による動力の小型化
- 2)事前給気による迅速なゲート閉鎖
- 3)一体製作・輸送による工期短縮
- 4)確実な施設稼働のための維持管理性確保
- 5)景観と海上交通への配慮

以下に、各特徴について概説する。

#### (1) 自然の力活用による動力の小型化

本施設では、扉体を起立させる際、津波・高潮に伴う港内外の水位差を利用する。大型建造物の駆動に人工的な動力源を使用しない方式とすることで、機械装置ならびに電源装置の小型化を実現する。

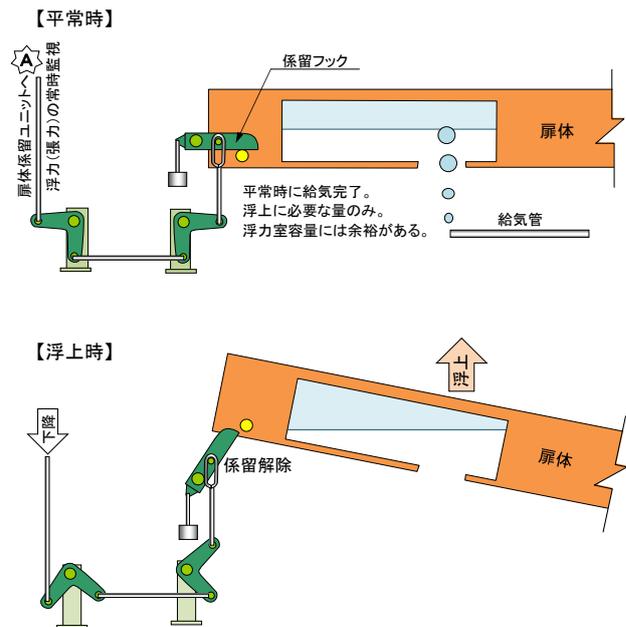


図-3 扉体の浮上機構

#### (2) 事前給気による迅速なゲート閉鎖

本施設の扉体浮上機構を図-3に示す。本施設では、ゲート浮上に必要な空気の扉体への給気を、平常時に完了する方式を採用している。本方式により、ゲート閉操作時にはコンプレッサー起動や給気のためのバルブ操作を不要にでき、係留フック解放操作のみで扉体は直ちに浮上を開始する。このため、本施設は従来水門形式に比較して、極めて短時間のうちにゲート閉鎖を完了できるとともに、信頼性確保のための給気システムの2重化や商用電源停電時におけるコンプレッサー運転のための非常用電源の省略を可能とする。

なお、扉体の浮上は、設置水深などによって異なるが、係留フック解放操作開始から概ね数分以内に完了する。

また上記の他、本施設では、扉体空気室とは別に設けた蓄圧タンク内にゲート浮上1回分に相当する圧縮空気を貯留する。これにより、ゲート倒伏操作直後に地震が発生した場合にも、直ちにゲート閉鎖を行うことが可能である。

### (3) 一体製作・輸送による工期短縮

本施設は、そのほとんどを工場にて製作完了できるため、現地施工の場合と比較して施工性が良く、良好な施工品質を確保しやすい。また、工場製作と現地基礎工事を並行作業できることから、全体工期を短縮でき、かつ工場製作した設備は、一括で起重機船による吊下ろし、もしくは曳航・沈設方式により据付を行うため、施工時の航路閉鎖期間も短縮可能となる。

### (4) 確実な施設稼働のための維持管理性確保

本施設は、平常時には航路を確保するとともに、有事には確実に浮上して背後域への浸水を抑制することが求められる。そのため、施設完成後の維持管理は極めて重要であり、常に施設の状態を正しく把握するとともに、必要な点検・整備がタイムリーに実施できなければならない。

一般に平常時に稼働しない水門は、巡視による目視点検や管理運転により、設備状態の把握を行うが、本施設では、扉体係留力や扉体揺動量等を常時監視する状態監視システムにより、自動的かつ定量的に施設の状態を把握する。なお、状態監視システムは機側操作室内に配置されるが、遠隔通信システムを利用することで、遠方でもリアルタイムに施設の状態を把握することが可能である。

また、本施設は、機械室および操作室を配置する管理塔側にダイバー通用口ならびに機材搬出入口を設け、航路制限を行うことなく、ダイバーが管理塔天端から直接扉体の下側にアクセスでき、必要な点検・整備をタイムリーに行うことが可能である。

### (5) 景観と海上交通への配慮

平常時に扉体は海底面に倒伏しているため、海面上には側部戸当りおよび機械室が露出するのみである。

図4にローラーゲートを設置した場合と本施設を設置した場合の景観の違いを示す。図からも明らかなように、本施設では日常の景観への影響が少なく、航行船舶に対する高さ方向の制限もない。



図4 従来型との景観の違い（上：ローラーゲート，下：フラップゲート）

建設、五洋建設の3社による共同研究を開始している。同共同研究では、2011年2月より静岡県焼津市において実海域実証試験を約3年に渡り行っている。同試験においては、浮上・倒伏などの基本動作の特性把握や操作性、維持管理性の確認などを行い、実海域において確実に動作すること、状態監視の有効性や保守作業の作業性が確保されていることを実証している。<sup>1)</sup>

これらの実績を受けて、2017年に岩手県大船渡漁港で岩手県にて初採用された。現在までに、本体施設の設置が完了し、浮上や倒伏動作など確実に作動することを確認している。

## 4. フラップゲート式可動防波堤の開発経緯

本施設の開発は、2002年度に港湾空港技術研究所において、高潮対策の大型水門として現在の形式と同様のフラップゲート式水門の基礎的な研究が実施されたことが契機となっている。また、早稲田大学及び水門メーカー7社によるフラップゲート研究会と港湾空港技術研究所との共同研究により、2006年度まで水理模型実験などの研究開発が継続された。

その後、2010年度より実用化に向けて日立造船、東洋

## 5. 据付工事におけるICTの活用

### (1) 工事概要

日立造船株式会社が岩手県より受注した大船渡漁港（細浦地区）の水門工事（水門製作、据付工事）のうち、据付工事を東洋建設株式会社が施工協力会社として担当した。以下に、東洋建設請負工事の概要を示す。

工事名：細浦地区水門等据付工事

工期：2019年7月1日～2020年3月18日（当初）

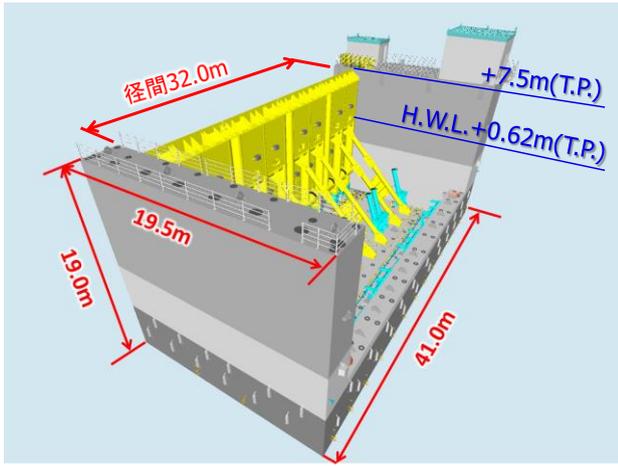


図-5 施設の主要寸法

主な施工数量：FG本体据付 1基  
 (当初) 中詰コンクリート打設 2,224m<sup>3</sup>  
 扉体据付工 4基

主要寸法：図-5参照

(2) 施工フロー

本工事の施工フローを図-6に示す。

(3) 函体据付時の課題と解決策

本施設の基礎杭となる56本の鋼管杭は別件工事にて打設されており、函体の据付は、函体に設けられたさや管に挿入する必要がある。なお、海面上に突出している4本のガイド杭を除いた52本は水中に没している。

据付は、海面上に突出しているガイド杭を目安に函体位置を誘導し、起重機船にて吊下ろす。ガイド杭に挿入後も杭の出来形の相対誤差もあるため、残りの52本杭がさや管に収まらない可能性がある。このため水中部に没している52本の基礎杭と函体のさや管が干渉しないように確認しながら沈設していく必要がある。ただし、水中部での函体のさや管と基礎杭との位置関係は直接目視による確認が不可能である。

そこで、本工事においては、函体位置をリアルタイムにモニタ表示可能な当社開発のケーソン据付システム「函ナビ」の機能を拡張した「函ナビVR」を新規開発し、リアルタイムに函体（さや管）と基礎杭の位置関係が確認できる据付システムを導入した。

(4) 函ナビVR

函ナビVRは、従来の函ナビ同様に、据付構造物に事前設置した全方位プリズムを自動追尾機能搭載のトータルステーションで視準して得られた測量データと傾斜計のデータをパソコン上に転送、演算をすることでモニター上に目標位置までの距離や据付構造物の傾斜角度などがリアルタイムに表示される。さらに、VR機能が追加

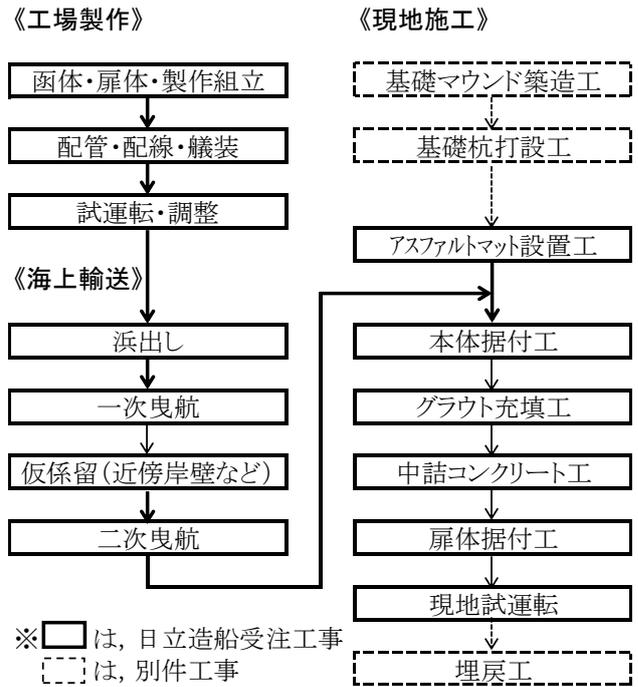


図-6 施工フロー

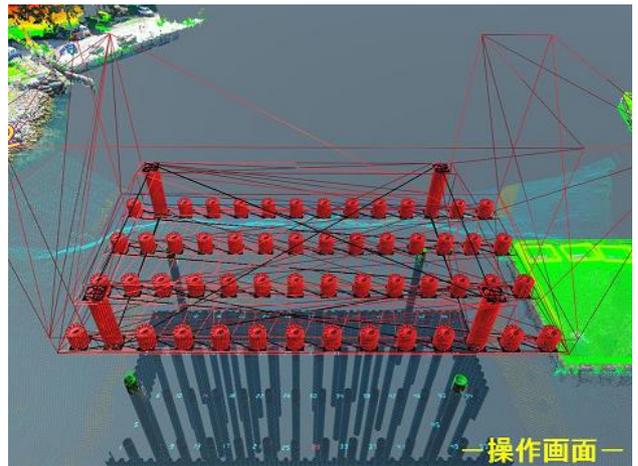


図-7 「函ナビVR」のシステム画面の例

されたことにより、疑似空間内で自由な視点移動が可能のため、直接目視できない水中部などを確認しながら構造物を誘導することができる。この機能により、函体のさや管と基礎杭との位置関係が自由な方向から確認することが可能となり、さや管と基礎杭の干渉を事前に回避できる。据付システム画面の一例を図-7に示す。

また、同システムは、予め基礎杭の出来形実測値と函体の形状を3次元データとして入力しているため、事前に函体をシステム上で動かすことでシミュレーションも可能である。この機能を用いて、職員および協力会社を集め、据付手順や誘導方向の周知・確認などを実施した。

その結果、据付当日は、計画通りのタイムスケジュールで精度良く据付を完了させることができた。

#### (4) その他のICT活用

本工事においては、据付システムの導入以外にも、様々な場面において、3次元データを活用した施工を実施している。

現地工事に先立ち、ドローンによる3次元測量およびナローマルチビーム測量による既設構造物および海底地形の状況を正確に把握し、3次元データの作成を行った。このことにより、函体の運搬・据付作業に使用した大型作業船の入出港時の周辺構造物との離隔等を確認（図-8参照）し、船体の入出港計画に活用している。

また、本工事で設置するフラップゲート式可動水門についても3次元データ化し、各工種の作業要領図の作成や仮設計画にも活用した。本工事の現地施工は、工場で製作された構造物を設置し、多くの作業が水中作業となる。このため、職員および協力会社の作業員が設置される構造物が把握しづらい工事であったが、3次元データの活用により、構造物の形状や部材などの配置の把握がしやすく、作業要領もイメージしやすくなり、現地施工をスムーズに実施することができた。作業要領図の例を図-9に示す。

さらに、函体内部に打設する中詰コンクリートは、必要重量の確保のためのコンクリートであり、鋼板で閉鎖された空間に打設した数量を把握する必要がある。しかし、充填されたコンクリートの全体形状を直接計測することが不可能であるため、一部計測可能な寸法と3次元データを活用して数量算出を行っている。中詰コンクリートの数量算定例を図-10に示す。

このように、本工事においては、計画から施工・出来形確認まで3次元データを有効に活用し、施工の効率化

および品質の確保を実現した。

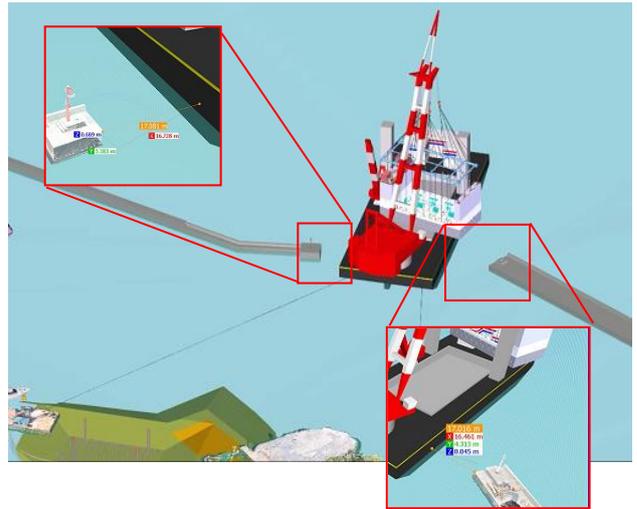


図-8 起重機船入域時の防波堤の離隔確認

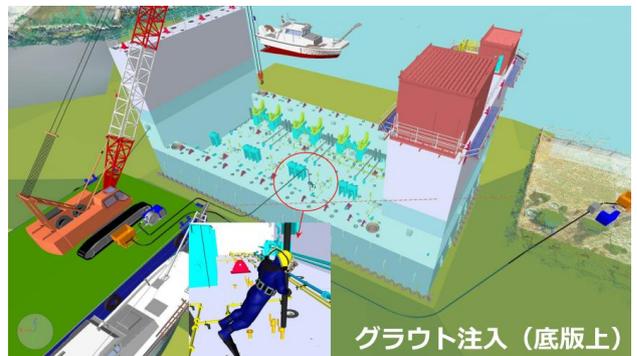


図-9 施工要領図の例（グラウト充填工）

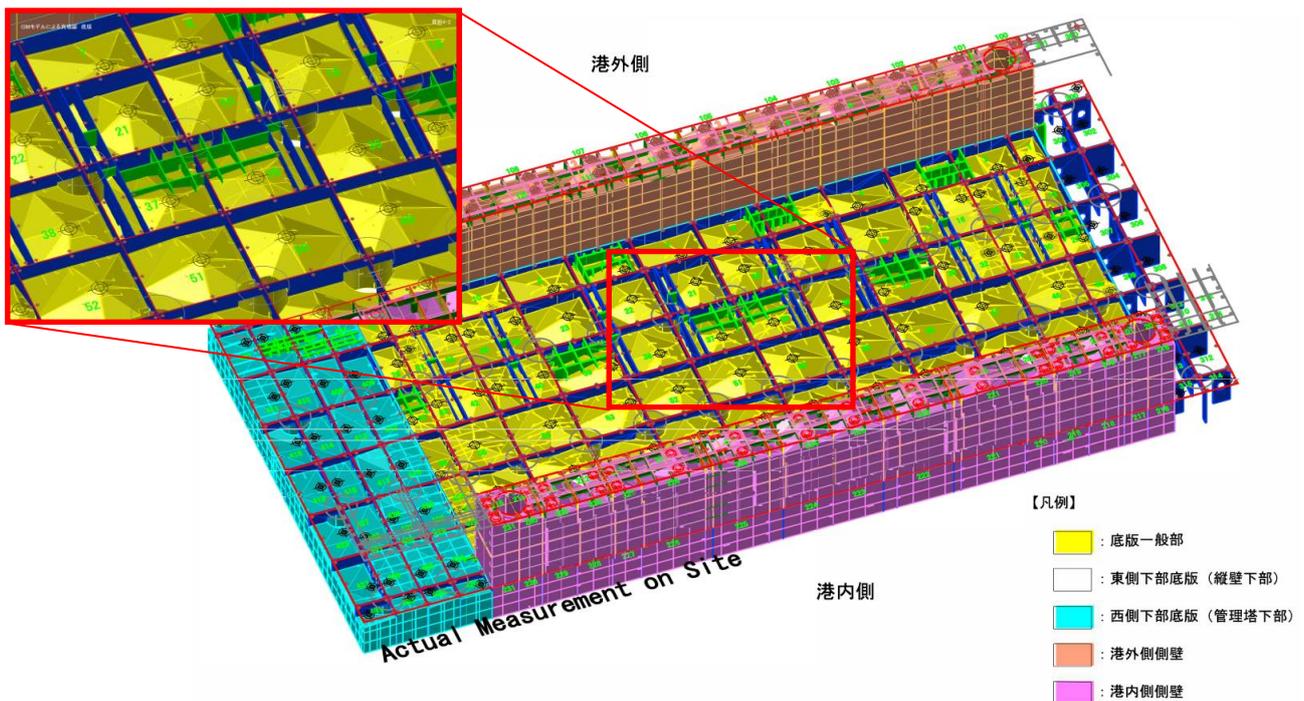


図-10 中詰コンクリートの数量算定図

## 6. おわりに

フラップゲート式可動防波堤は、これまで対策が困難であった湾口や港口から浸入する高潮や津波の影響を低減する有効な手段として開発を進め、初号機がまもなく供用を開始する段階まできている。今後もさらに機能向上、製作・施工性の向上、経済性の向上を目指し、開発を進める所存である。

本施設が防災・減災対策として広く活用され、沿岸地域で暮らす人々の人命や財産を守り、安全・安心の社会の実現に寄与できることを期待する。

また、初号機の施工においては、3次元データを有効に活用して、施工の効率化および品質確保を実現することができた。本施設の施工だけでなく、様々な工事において、今後も積極的にICTの導入に取り組む所存である。

**謝辞：**本稿に記載の技術は、フラップゲート式可動防波堤開発グループが進めている研究開発で得られた知見やフラップゲート式可動防波堤初号機の工事における実績に基づき記載している。本施設の開発並びに施工においては、開発グループである日立造船株式会社様並びに五洋建設株式会社様に多大なるご協力並びにご指導を賜りました。ここに、深謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) フラップゲート式可動防波堤開発グループ：フラップゲート式可動防波堤実海域試験最終報告書，2013.9.