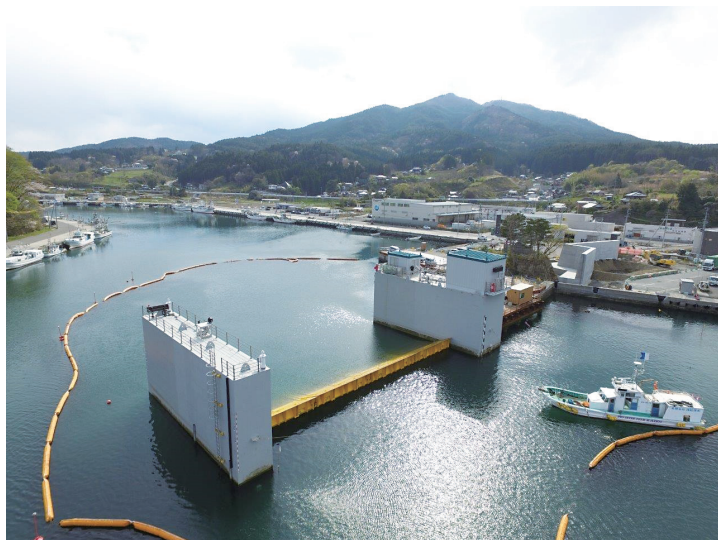


海底設置型フラップゲート式可動防波堤の実工事適用と施工



山 川 善 人 ①
 猿 橋 正 晃 ②
 白 山 幸 治 ③
 仲 保 京 一 ④
 森 井 俊 明 ⑤
 吉 識 竜 太 ⑥
 佐 山 真 一 ⑦

要旨

海底設置型フラップゲート式可動防波堤は、平常時は海底に倒伏して船舶の通行を確保し、津波や高潮が予測される場合には水面上に浮上させ、航路を締め切ることによって背後域への浸水を抑制する。本技術は2011年から3年間の実海域試験を経て、2017年に岩手県が行う津波対策施設に初採用された。詳細設計では特に設備完成後の維持管理性に留意し、現地施工では、困難が予想された水門本体と56本の鋼管杭との現地接合の施工方法の検討に留意した。現地試運転では、実機における扉体の動作特性を確認し、所定の性能を満足することを確認した。本工事は2020年12月に無事に施工を完了した。

キーワード

フラップゲート、津波・高潮、防災・減災

1. はじめに

近年日本では、激甚化する自然災害や切迫する巨大地震への対応として、国土強靱化を目指した防災・減災対策が推進されている。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進められている。

しかし、船舶の航路である湾口や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高むことになる。

これらを解決する一つの手段として、平常時は海底に倒伏して船舶の通行を確保し、非常時にのみ津波や高潮の影響を低減できる可動式防波堤を湾口や港口などに設置する方法が考えられる。

このような背景から、水門メーカーなどで高潮対策とし

て研究されていたフラップゲート式可動防波堤(以下、本設備という。)技術の実用化に向けた共同開発が行われた。2011年2月より約3年間の実海域実証実験を実施し、基本動作(倒伏、浮上、起立)の特性や維持管理性などが確認された^{1) 2)}。これらの実績が認められ、2017年に岩手県大船渡漁港細浦地区における津波対策水門に初採用^{3) 4)}され、2020年12月に工事が完了した。

本稿では、本設備の概要を紹介するとともに、岩手県大船渡漁港での適用内容と一連の工事施工結果について述べる。

2. 本設備の概要

2.1 設備概要

本設備の主要な構成を図1に示す。本設備は扉体、扉体を格納する函体および扉体起立時に扉体上部に作用する荷重を函体に伝達するテンションロッド等を主な部材として構成される。

津波や高潮襲来時における、本設備の作動の様子を図2に示し、各状態における設備の状況を以下に示す。

(1) 平常時

平常時においては、扉体は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。扉体内部には浮上に必要な空気があらかじめ給気・貯留されており、平常時は係留フックにより扉体の浮き上がりを防止してい

① 機械・インフラ事業本部 鉄構・防災ビジネスユニット 建設計画部
 ② 機械・インフラ事業本部 鉄構・防災ビジネスユニット 建設工事部
 ③ 機械・インフラ事業本部 堺工場 生産管理部
 ④ 機械・インフラ事業本部 鉄構・防災ビジネスユニット 水門設計部 技術士(建設部門)
 ⑤ 機械・インフラ事業本部 鉄構・防災ビジネスユニット 水門設計部
 ⑥ 機械・インフラ事業本部 鉄構・防災ビジネスユニット 水門設計部 技術士(機械部門)

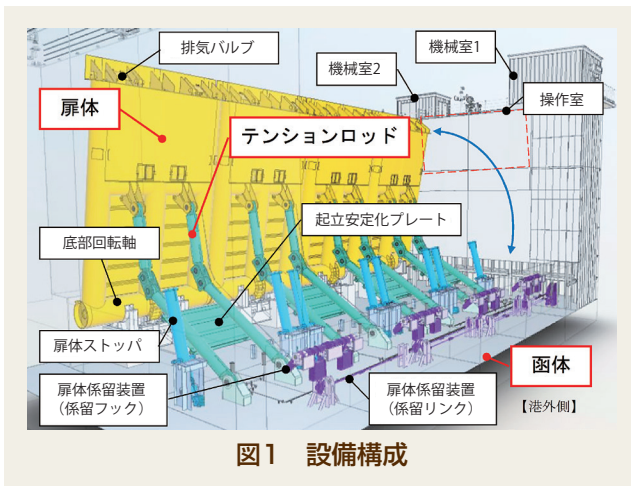


図1 設備構成

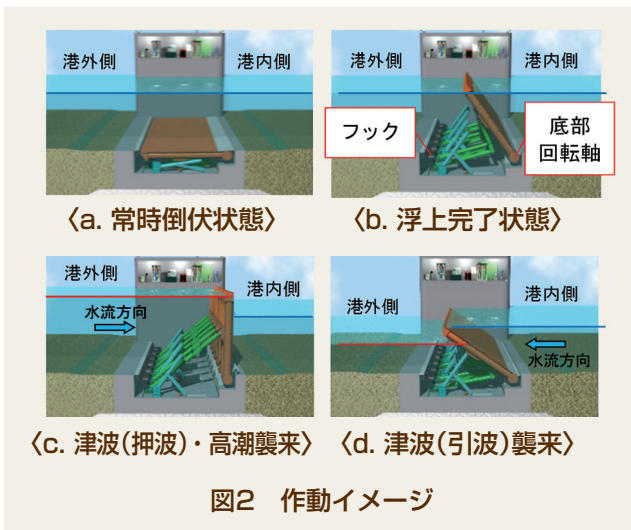


図2 作動イメージ

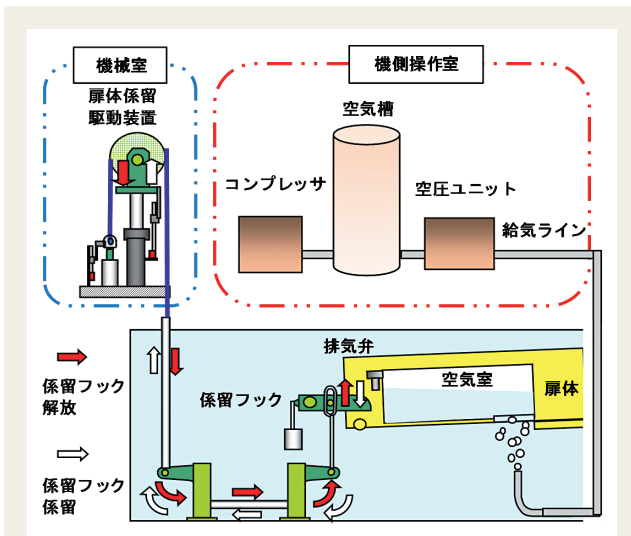


図3 扉体給気および係留システム

る。なお、係留フック解除の指令が出ていない状況で、万が一扉体の浮上が検出された場合には、扉体内部の空気を自動的に排気する自動制御システムが組み込まれている。

(2) 浮上完了時

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には大きな動力は不要で、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。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。

(3) 津波・高潮襲来時

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、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。

2.2 本設備の特徴

本設備は、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

本設備では、扉体を起立させる際、津波等に伴う港内外の水位差を利用する。大型構造物の駆動に電気等の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。

(2) 事前給気による迅速なゲート閉鎖

本設備に採用する扉体給気システムと扉体係留システムを図3に示す。本設備では、ゲート浮上に必要な空気の扉体への給気を、平常時に完了しておく方式を採用する。そのためゲート浮上操作時にはコンプレッサ起動や空圧ユニット内のバルブ操作等を不要にでき、扉体は係留フック解放操作のみで直ちに浮上を開始する。これにより、従来水門形式と比較して、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運転のための非常用電源の省略を可能とする。なお、細浦地区水門では、ゲート浮上1回分に相当する圧縮空気を、扉体空気室とは別に設けた空気槽に貯留しており、ゲート倒伏操作直後に地震が発生した場合においても、直ちにゲートを閉鎖できる。

(3) 一体製作・輸送による工期短縮

本設備は、水門設備の大部分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る。工場製作した設備は、一括で据付を行うため、施工時の航路閉鎖期間も短縮できる。

(4) 確実な稼働のための維持管理性確保

本設備は、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、設備完成後の維持管理は極めて重要であり、常に設備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を把握するが、本設備では、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設備の状態

を把握する。

また、点検・整備をタイムリーに行うには、扉体倒伏状態すなわち航路を確保した状態で、必要な点検・整備作業が行えることが望ましい。そのため、本設備で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し、必要な点検や作業が行えるようにしている。

(5) 景観と海上交通への配慮

本設備では、平常時に扉体が海底面に倒伏しているため、一般的な水門と比較して景観に与える影響が小さく、航行船舶に対する高さ方向の制限もない。

3. 大船渡漁港津波対策水門への適用

3.1 工事概要 本工事は大船渡漁港海岸のうち細浦地区水門工一式の整備を行うものである。水門設



図4 水門設置位置

置位置を図4に示し、本設備の一般図を図5に示す。以下に、工場製作および現地施工について概説する。本工事の施工フローを図6、全体工程表を表1に示す。

3.2 工場製作・輸送 工場製作状況を図7に示す。本体は日立造船堺工場で作成した。工場のクレーン能力を考慮して最大重量100t程度を目安とした小ブロックに分割して製作し、その後、大組立ヤード(2号ドック)に運搬して、工場設備のクレーン等を用いて組立作業を行った。組立完了後、扉体を駆動させるための配管・配線などを行い、函体内水張り調整・試運転までを製作工場内で実施した。

なお、扉体は現地において一旦取外して岸壁に仮置きし、その後、水中にて函体に取り付ける予定であったことから、扉体の函体への取付けおよび水張り調整・試運転の際には、実際に現地施工を行う業者立ち合いの下、組立手順等の情報共有をはかった。

本体の材料は普通鋼を用いており、鋼材の防食は、海中部は被覆防食工法と電気防食工法の併用、海上部(平均干潮面より上部)については被覆防食工法のみにより行った。被覆防食工法の種類は、L.W.L.-1.0mより上部には超厚膜形被覆工法を適用した。

完成した設備は、専用の吊枠を用いて大型起重機船により一体で吊上げ、台船に搭載し、製作工場のある大阪府堺市から据付場所近傍である岩手県大船渡市の永浜岸壁まで引船にて回航(一次曳航)した。

3.3 現地施工 据付場所では、本設備の設置に先立って基礎が構築されるが、本工事の基礎形式は

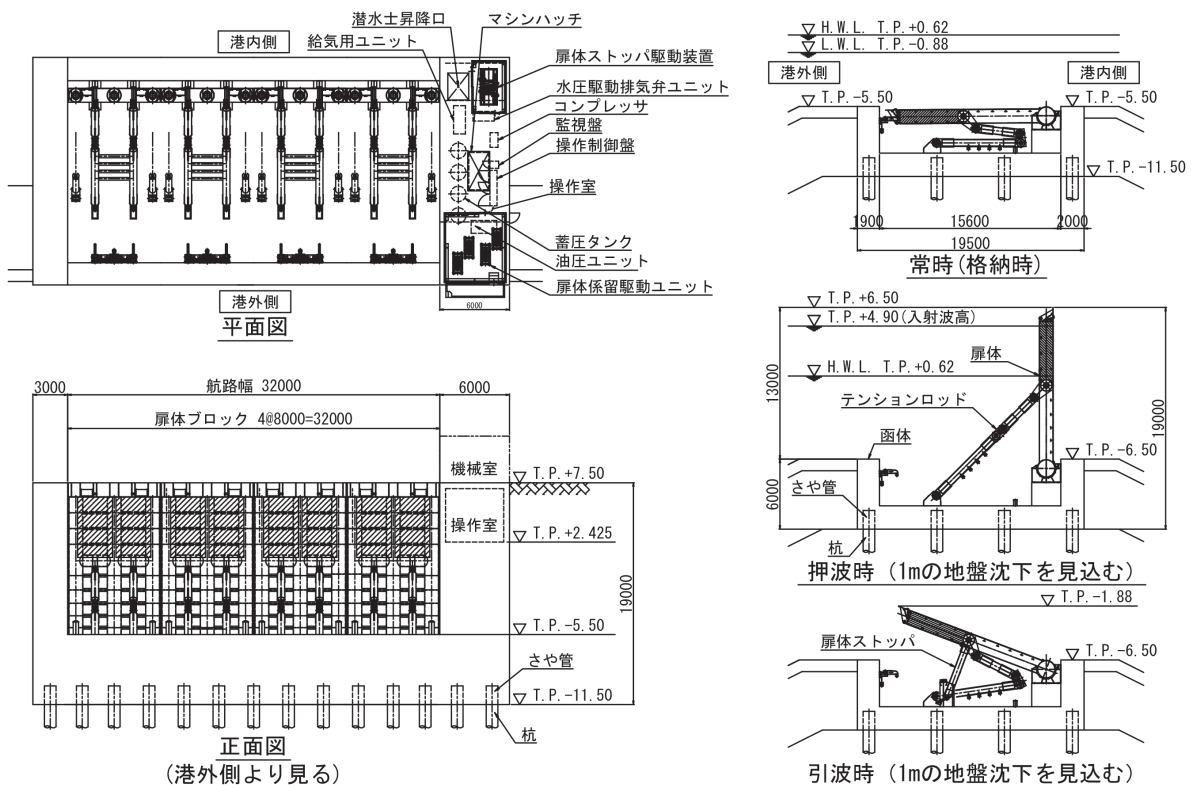


図5 水門設備一般図

杭基礎が採用された。先行工事による杭基礎の施工完了を待って、本体（函体）の設置作業を開始した。

現地における最初の作業は、函体を設置する基面の整正である。基面精度が不十分な場合、施設本体の傾きや高さ不足、片当たり偏荷重による本体損傷の原因になることから、本工事では一般的な本均しの倍の精度（0～+5cm）で基礎碎石の切り下げを行うことで精度を確保するとともに、杭周りにアスファルトマットを設置することで偏荷重の防止をはかった。

基面整正後、本体を据付場所まで運搬（二次曳航）し、起重機船により一体で据付作業を行った。本現地据付の様子を図8に示す。

本体寸法は長さ41m×幅19.5m×高さ19m、重量は約1400tあり、据付場所が狭隘であったことから、沈設時の起重機船は国内最大級（1800t吊）の吊旋回式を採用した。ただし、それでも函体と扉体を一体とすると起重機船吊能力を超過することから、扉体はあらかじめ永浜岸壁にて取外し、仮置きしている。

本体の沈設は、函体側に設けられたさや管に、先行して施工された56本の鋼管杭全てを挿入する必要があった。さや管と杭のクリアランスは設計上165mmであり、函体据付に先立ち、杭の施工記録を逐次入手し、工場製作記録との相関をチェックすると最小クリアランスは56mmであった。現地施工では56本の杭のうち4本をガイド杭として水上に残置し、これを目安にして位置計測情

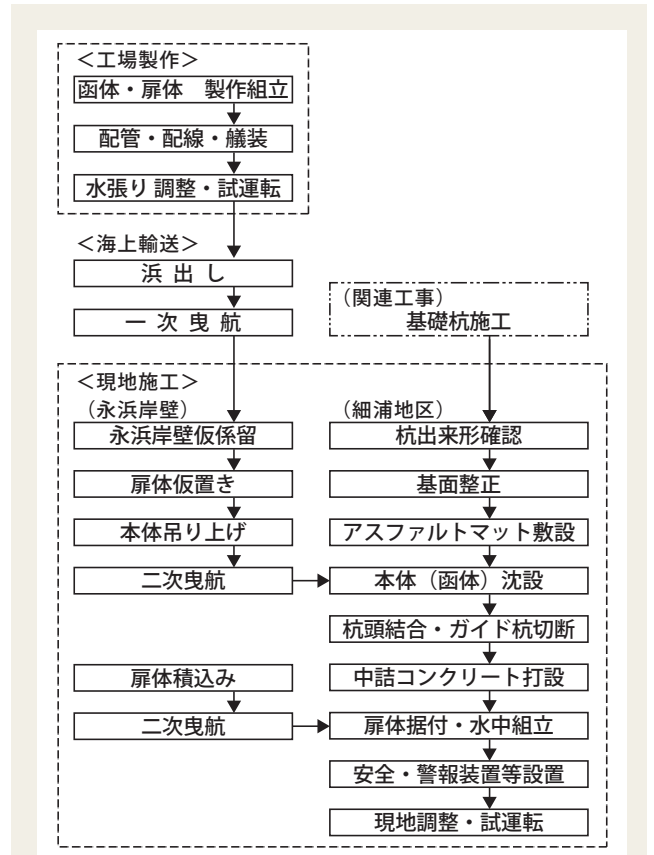


図6 施工フロー

表1 全体工程表

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
1. 詳細設計	[Progress bar from start to end of 2019]			
2. 製作		[Progress bar from start of 2018 to end of 2019]		
調整・試運転			[Progress bar in late 2019]	
3. 輸送(一次曳航)			[Progress bar in late 2019]	
4. 現地工事				[Progress bar in early 2020]
基面整正			[Progress bar in early 2020]	
本体(函体)沈設			[Progress bar in early 2020]	
杭頭結合・ガイド杭切断			[Progress bar in early 2020]	
中詰コンクリート打設			[Progress bar in early 2020]	
扉体据付・水中組立			[Progress bar in early 2020]	
現地調整・試運転				[Progress bar in early 2020]
階段等付属設備設置				[Progress bar in early 2020]



図7 工場製作状況



本体二次曳航

本体据付

扉体現地据付

図8 現地据付状況



図9 調整試運転状況

報を基に誘導するICT技術（函ナビ-VR）を活用して据付を行った。その結果、予定された航路閉鎖期間（2日間）の中で、無事に本体を設置完了することができた。

本体据付後、杭と函体を結合させるため、函体底部に設けたさや管と杭との間に所定の強度を有するグラウトを充填した。その後、函体鋼殻内部に中詰コンクリートを打設し、所要の重量を確保した。なお、グラウト材、中詰めコンクリートともに事前に試験練り、圧送試験を実施した。

関連工事による本体周囲の捨石によるマウンドの形成の後、扉体の据付けを行った。

扉体重量は1基あたり110t程度で、漁船などの航路を確保しながら、水中において高い精度（据付時のクリアランス5cm）で設置を行う必要があったため、スパット式300t吊起重機船により設置した。

起重機船により扉体4基を順次設置した後、水中にて潜水士により位置の微調整ならびにテンションロッド連結軸の挿入の他、各種部品の取り付け等を行った。

3.4 調整試運転 試運転の状況を図9に示す。現地試運転では、まず初めに各扉体単独での動作確認を行い、その後、扉体4基をチェーン連結して一連の動作確認を行うことで、所定の閉鎖性能を満たすことを確認した。

扉体連結後の試運転における扉体挙動の例を図10に示す。ここで、扉体は機械室に近い順からNo.1、No.2、No.3、No.4として表示した。

扉体は、係留フックの解放操作開始から約70秒で、扉体天端が海面上まで浮上し、扉体空気室の排気弁の

開放操作開始から約130秒で全ての扉体が倒伏・着床しており、ゲート開閉操作が極めて短時間のうちに完了することが確認できる。

また、扉体浮上時は図10(a)に示すように、扉体No.1の角度が 5° 程度に達すると、浮上速度が急減している様子が確認できる。これは隣接する扉体同士を連結するチェーンの張力によるもので、扉体間の角度差が約 3° 以内に留まるよう設計されているためであり、扉体連結チェーンが正常に機能を発揮していることが確認できる。

扉体倒伏時は、図10(b)に示すように、いずれの扉体も大きな位相差なく沈降し、扉体格納部に進入する際、格納部内の正圧によって沈降速度が急減し、滑らかに着底の様子が確認できる。また浮上完了時の扉体傾斜角度は約 33° であり、調整試運転時の潮位T.P. +0.03のときの机上計算結果である 31° と概ね一致する結果を示した。

4. おわりに

本稿では、津波防災・減災施設の1つとして、自然の力で作動することを特徴とする、フラップゲート式可動防波堤を紹介した。

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す。本設備単独で全ての津波災害を防げるものではないが、引き

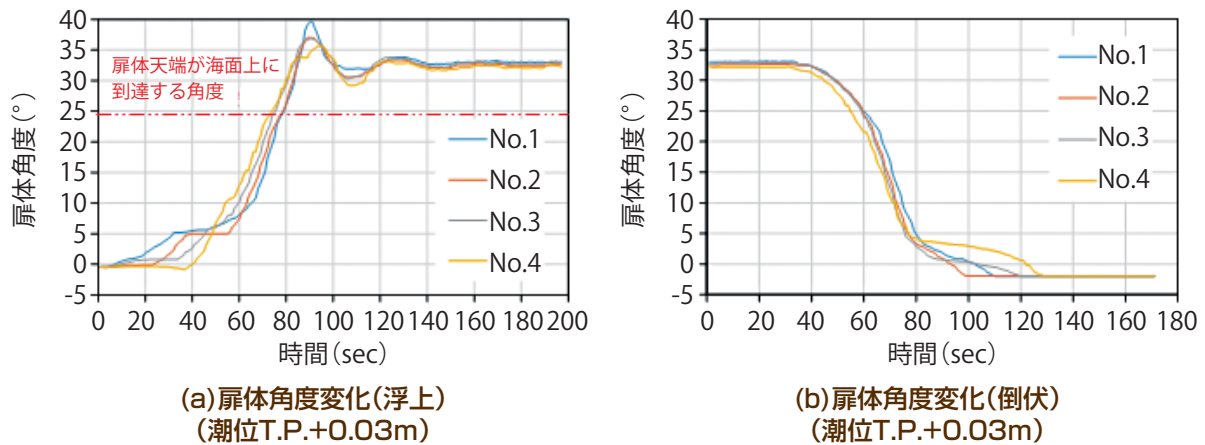


図10 ゲート操作時の扉体の挙動

続き技術の改良に努め、今後の安全・安心社会の構築にわずかでも貢献できれば幸いである。本技術が防災・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。

SDGsに貢献する技術

本技術を通じて、自然災害から人の命と財産を守り、持続可能で強靱なまちづくりに貢献します。

参考文献

- 1) 木村雄一郎ほか、フラップゲート式可動防波堤の実海域試験、土木学会論文集B3、Vol.68、pp.240-245、2012。
- 2) 木村雄一郎ほか、海底に倒伏したフラップゲート式可動防波堤の扉体係留力の検証、土木学会論文集B3、Vol.69、pp.395-400、2013。

- 3) 阿部幸樹ほか、ベネチアモーゼ計画と我が国における海底設置型（フラップ式）防潮堤（岩手県大船渡漁港細浦地区）の実施、平成30年度日本水産工学会学術講演集、pp.5-8、2018。
- 4) 阿部幸樹ほか、海底設置型（フラップ式）防潮堤防の計画と可能性、平成30年度日本水産工学会学術講演集、pp.9-12、2018。

文責者

日立造船株式会社 機械・インフラ事業本部
鉄構・防災ビジネスユニット 建設計画部
山川善人
Tel : 06-6569-7070
E-mail : yamakawa_y@hitachizosen.co.jp

Technology Application in Actual Construction and Installation of Seabed-type Movable Flap-Gate Type Breakwater

Abstract

Hitachi Zosen's seabed-type movable flap-gate type breakwater normally lies flat on the seabed to allow the passage of vessels, and when a tsunami or a storm surge is predicted, it floats above the water surface and closes the route to prevent inundation damage. After three years of actual sea-based tests from 2011, this technology was first adopted in a tsunami countermeasure facility administered by Iwate Prefecture in 2017. In the detailed design, we paid special attention to maintainability after the equipment was completed, and in the on-site construction, to the method of the on-site assembly of the main unit of the gate with the 56 steel pipe piles—a process in which difficulty was expected. Through a field test run, we checked the operating characteristics of the gate in the actual machine and confirmed that it satisfied the specified performance. Construction was completed successfully in December 2020.

Authors

Yoshito Yamakawa (Hitachi Zosen Corporation, E-mail : yamakawa_y@hitachizosen.co.jp)
Masaaki Saruhashi Koji Shiroyama Kyoichi Nakayasu
Toshiaki Morii Ryota Yoshiki Shinichi Sayama