

第 26 回 国土技術開発賞 入賞

フラップゲート式可動防波堤の開発
～津波・高潮に伴う水位差を利用して起立する防潮水門～

〔受賞者〕 日立造船株式会社／東洋建設株式会社

〔本稿執筆者〕 日立造船株式会社（現力ナデビア株式会社） 木村 きむら 雄一郎 ゆういちろう

以下に、第 26 回 国土技術開発賞で入賞した「フラップゲート式可動防波堤の開発」を紹介します。

1. はじめに

我が国はこれまで、津波・高潮による甚大な被害を繰り返し受けてきた。東北地方太平洋沖地震では未曾有の被害が生じ、近い将来には、東海・東南海・南海地震等による大津波の襲来も危惧される。さらに、地球温暖化による海面上昇や台風等の強大化に伴う高潮に対しても備えが必要となっている。

港口における大型水門は、津波・高潮対策施設として大きな効果が期待できる。一方で、大型船舶が航行するような水域では、耐震性確保や閉鎖時間、操作性等の観点から、従来技術の採用には課題が多かった。

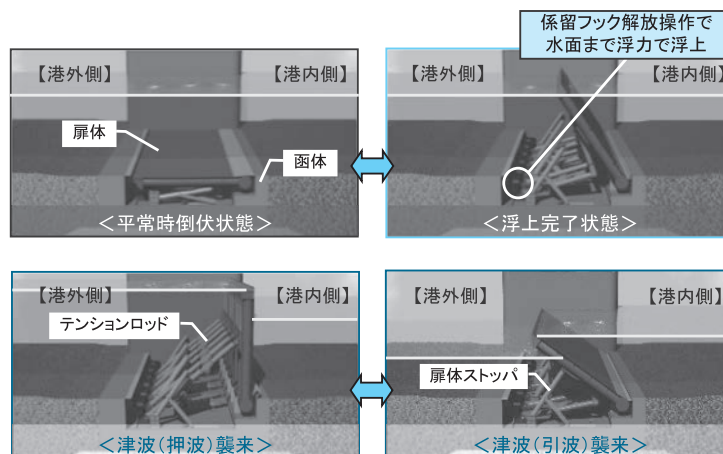
そこで本稿では、従来技術における課題を克服すべく開発されたフラップゲート式可動防波堤（本施設）について紹介する。

2. 開発技術の概要

港口で津波・高潮を防御する大型水門は、大別すると基礎構造、可動構造、駆動装置から構成さ

れる。このうち基礎構造および可動構造には、高潮・津波の作用に伴い非常に大きな外力が加わる。そこで、こうした外力を分散させて効率的に支持する方式の確立を、本開発における一つの着眼点とした。また、重厚な可動構造を作動させる駆動装置は、一般的に建設費だけでなく維持管理に多くの費用を要する。したがって、施設の大型化に伴うライフサイクルコストの増加を軽減するため、開閉荷重低減による駆動装置の小型化を二つ目の着眼点とした。

本施設の作動イメージを図－1 に示す。港口部に一列に並べて配置される扉体は、通常海底に倒伏した状態に保たれ、底部回転軸を中心に旋回起立することで連続した防波堤を形成する。扉体の浮上に必要な浮力は、平常時における扉体空気室内への給気により確保され、函体に設けたフックが扉体先端を係留することで倒伏状態が保持される。津波等の発生が予測された場合には、係留フックの解放操作により扉体は直ちに浮上を開始し、扉体先端が水面に出る高さまで浮上する。係留フックの解放操作は、施設管理者による手動操作のほか、全国瞬時警報システム（Jアラート）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、隣接する扉体同士は先端部で緩く連結され、扉体間の隙間が増幅しないようになっており、異物の挟み込みが生じにくい構造としている。

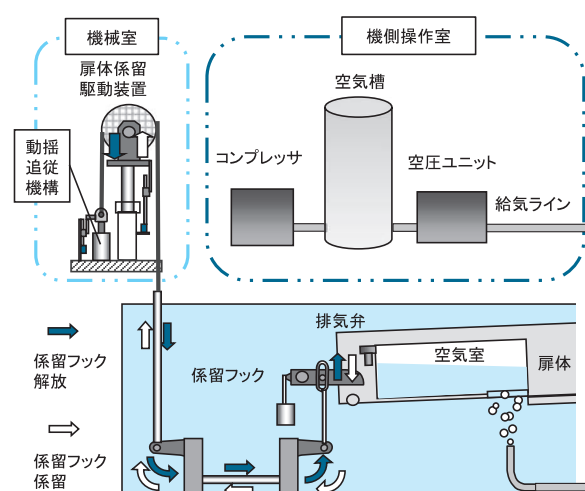
図－１ 作動イメージ¹⁾

浮上操作後には、扉体は津波等による水位上昇に伴う港内外の水位差を利用して、所定の高さ（角度）まで無動力で起立する。水圧によって扉体に作用する水平荷重は、テンションロッドと底部回転軸（扉体上下二点支持）を介して函体に伝達され、地盤から得られる反力により施設の安定性を確保する。引き波を伴う津波による港外側水位の低下時には、扉体ストッパと底部回転軸（扉体上下二点支持）により扉体は所定の角度で支持され、港内水位の異常低下を抑制する。津波等が収束した後は、係留フックの復帰操作、扉体ストッパの倒伏操作を順に行い、扉体内の空気を排出して扉体を倒伏させる。さらに、係留フックに所定の浮力が作用するまで扉体内部に給気し、扉体ストッパをフリー状態に解放することで、平常状態に復帰完了する。

3. 開発技術の特徴

フラップゲート式可動防波堤におけるコア技術は、径間方向と水流方向に広く荷重分散が可能な「上下二点支持式の起伏構造」と、無動力かつ短時間で航路閉鎖するための「扉体係留と給排気による扉体開閉方式」（図－２）である。

「上下二点支持式の起伏構造」により、従来の浮体式起伏（イタリア・ベネチアの高潮対策²⁾で採用）方式で必要であった扉体浮上後の空気量調整操作が不要になるとともに、津波による大荷

図－２ 扉体係留および給排気システム¹⁾

重にも対応可能で、長径間化も容易となった。また、設計超過津波に対しては、港内外の水位差拡大から生じる函体下向き力による滑動抵抗の増大と、函体埋設による受働土圧により粘り強く抵抗する。

次に「扉体係留と給排気による扉体開閉方式」により、コンプレッサ・動力電源等を最小化するとともに、無動力かつ迅速なゲート閉鎖が実現できる。また、電源喪失や電子機器の故障、サイバーテロ等による遠隔操作機能の喪失時にも、港内水位の異常上昇による航路自動閉鎖が可能である。さらに、係留駆動装置には動揺追従機構が付加されており、常時波浪による扉体の自然揺動を活用して可動構造部の固着を防止している。平常時の係留状態や点検操作における駆動装置および

可動構造部の挙動は自動的に記録され、これらをトレンド管理することで、設備状態を把握ならびに診断できる機能も備えている。

さらなる特長として、平常時は扉体が海底面に倒伏し、景観に与える影響が小さいこと、航行船舶の高さ制限がないこと、工場における製品の一体製作から一体輸送、一体据付によって現地での施工期間が短いこと等が挙げられるが、これらの特長については、次章において詳述する。

4. 大船渡漁港における津波対策水門への適用とその効果

本技術は2017年に岩手県大船渡漁港海岸における津波対策水門に初採用され、2020年12月に現地据付工事が完了、2022年度から運用開始されている。2号機は2019年に兵庫県福良港煙島水門にて採用され、2022年3月に現地据付を完了している。

大船渡漁港海岸に整備されたフラップゲート式可動防波堤の設置位置を図-3、設計諸元を表-1、津波作用時における扉体高さの関係を図-4にそれぞれ示す。以降、当該施設の設計、製作・輸送、据付の概要ならびに設置の効果について述べる。

(1) 設 計

本施設は図-4に示すように、津波による外力を基礎杭（鋼管杭）のせん断抵抗を反力として支持するよう設計された。

扉体には現地にて鋼管杭が挿入されるさや管が備えられ、杭外径1000mmに対して片側165mmの施工誤差に対応できるよう、寸法が設定された。これは、鋼管杭とさや管とのグラウト接合強度と施工性を鑑みて設定された寸法であり、ジャケット工法技術マニュアル⁴⁾および漁港漁場関係工事出来形管理基準に準拠している。

扉体格納ピット（図-4）の寸法は、施設の完成後、扉体下側で行われる点検や部品交換等の潜水作業に支障が生じないように設計され、扉体倒伏状態において格納ピット底面の堆積物を扉体外に排出するための堆積物排出管も備えられている。

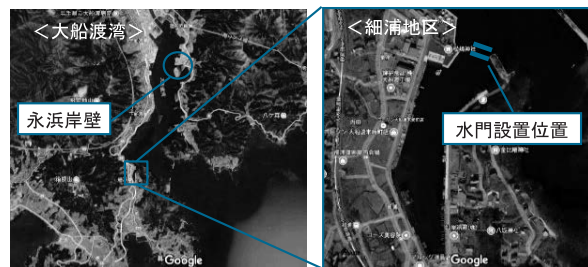


図-3 水門設置位置³⁾

表-1 設計諸元³⁾

仕様項目			水門設備
ゲート形式			起伏式フラップゲート
純径間			32.000 m
有効高			13.000 m
扉体天端高			T.P.+7.500 m
ゲート敷高			T.P.-5.500 m
設計入射波高			T.P.+4.900 m
検討潮位	押波時	港外側	T.P.+0.620 m (H.W.L.)
		港内側	T.P.-6.500 m (1 m の地盤沈下を見込む)
	引波時	港外側	T.P.-6.500 m (1 m の地盤沈下を見込む)
		港内側	T.P.-0.880 m (L.W.L.)
衝突荷重			20 kN/m

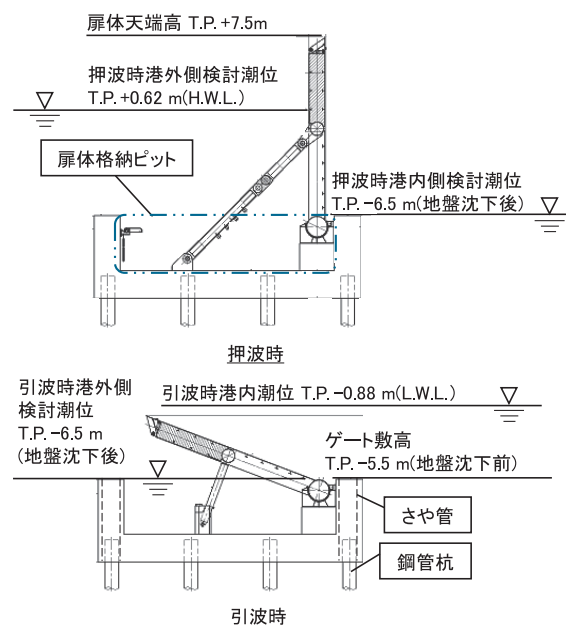


図-4 津波作用時における扉体高さの関係³⁾

可動構造部の設計は、ダム・堰施設技術基準(案)⁵⁾に準拠している。扉体下側への堆積物の落下を抑制する構造が適用されるとともに、将来的な扉体の交換作業も想定した設計が行われている。

る。扉体底部回転軸，テンションロッド，係留ピンにおける軸受構造についても，部品交換時の作業性を鑑み，軸を保持した状態でプッシュのみの交換が行えるよう設計されている。

鋼材の防食については，海中部には被覆防食工法と電気防食工法，海上部(平均干潮面より上側)には被覆防食工法がそれぞれ用いられている。なお，L.W.L.-1.0 m より上側の被覆防食については，超厚膜形被覆工法が適用されている。

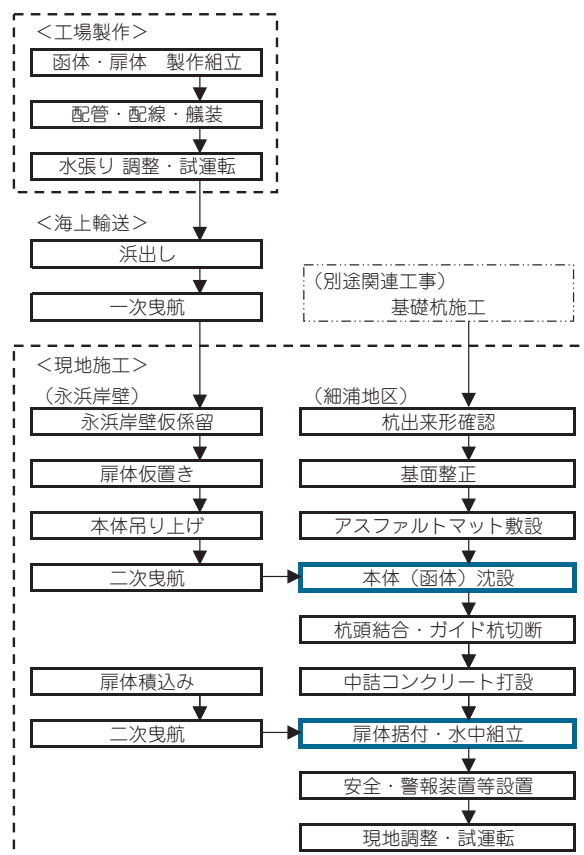
(2) 製作・輸送

工場における製作状況の一例を写真－1に示す。本体鋼構造部は工場内でのハンドリング性を考慮して，最大重量 1000 kN 程度を目安とした小ブロックごとに製作された上で，大組立ヤードに搬送された。さや管位置の寸法精度向上のため，大組立ヤードにて各ブロックを仕上げ切断し，大組立作業が行われた。大組立完了後，扉体を駆動させるための配管・配線等を行い，扉体格納ピットへの水張による可動部の調整，試運転までを工場内で実施した。

完成した設備は，大型起重機船により一体で吊り上げて台船に搭載され，製作工場である大阪府堺市から据付場所付近の岩手県大船渡市永浜岸壁まで引船にて曳航された。

(3) 現地据付

据付場所では，先行工事にて 56 本の鋼管杭が構築され，本施設の設置工事は，同杭の施工完了後に開始された。施工フローを図－5に示す。本工事では，始めに函体を搭載する基面の整正が行われた。基面精度が不十分な場合には，施設本体



図－5 施工フロー³⁾

の傾きや有効高さの不足，偏荷重による構成機器の損傷の原因となる。したがって，本工事では，一般的な本均しの2倍の精度（0～+50 mm）で基礎碎石の切り下げを行うとともに，杭周囲にはアスファルトマットを敷設することで偏荷重の防止を図った。

基面整正後，本体を据付位置まで運搬（二次曳航）し，起重機船により一体で据付作業を行った。なお，起重機船の吊り能力の制約から，現地で事前に扉体を取り外し，函体のみを基面に設置した上で，扉体は海中作業によって函体上に搭載された。現地における据付作業の様子を写真－2



写真－1 工場における製作状況³⁾（左：ブロック製作，中：大組立，右：工場水張り・調整・試運転）



写真-2 現地据付状況³⁾ (左：本体二次曳航，中：本体据付，右：扉体現地据付)

に示す。

鋼管杭とさや管とのクリアランスが165 mmであることを前に述べたが、本工事の実績としての最大偏差は109 mmであった。56本の基礎杭のうち4本をガイド杭として目標位置に誘導するとともに、位置情報（基礎杭とさや管との距離）をリアルタイムで表示するICT技術を活用したことで、予定された航路閉鎖期間（2日間）で設置作業を完了させることができた。

(4) 効果

フラップゲート式可動防波堤は、ゲートの開閉や施設の安定性確保に自然の力を利用すること

で、大型化に伴う設備重量の増大を抑制するとともに、動力および開閉装置を大幅に小型化かつ単純化する。これにより、従来技術では適用困難であった大型船舶の航路となる港口にも津波・高潮対策施設を整備できる可能性が拡大する。

図-6に示すように、本施設を港湾・漁港の港口等に設置することで、海岸線や岸壁に沿って構築される胸壁（防潮堤）の延長を短縮できるとともに、防潮ラインが沖側に移動することで防護エリアが拡大され、背後域における日常生活や産業活動における利便性および安全性が向上する。

大船渡漁港海岸に設置されたフラップゲート式可動防波堤初号機を港内から見た様子を写真-3

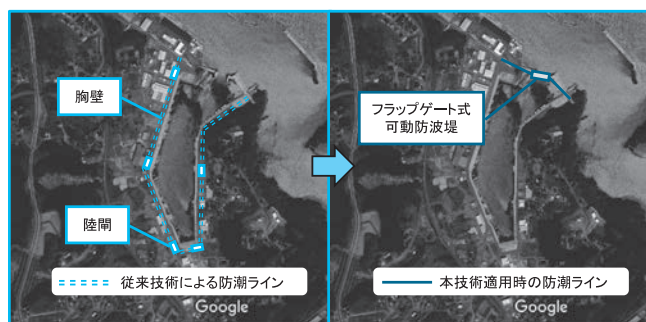


図-6 フラップゲート式可動防波堤の適用イメージ



写真-3 港内から見たフラップゲート式可動防波堤初号機¹⁾

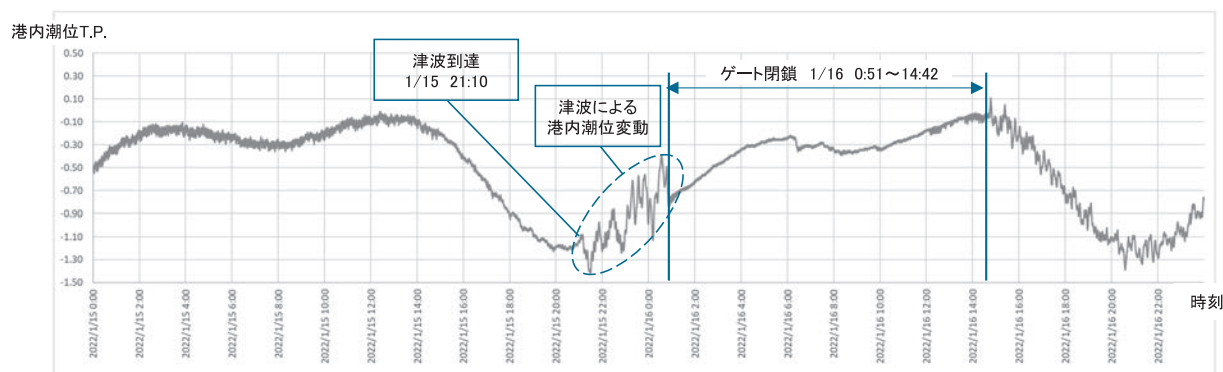


図-7 津波到達の際の港内水位変動の例¹⁾

に示す。

この施設は、2022年のトンガにおける海底火山大規模噴火に伴って発生した津波到達の際も稼働している。当時の港内水位変化を図-7に示す。極めて短時間（1～2分）のうちに航路閉鎖を完了し、ゲート閉鎖により港内側への津波の影響を十分に抑制している様子が確認できる。

5. おわりに

港口などの船舶航行部への津波・高潮対策として、本技術が新たな選択肢として追加されたことで、今後、水域・埋立地を含めた港湾・漁港の全域を防護できる可能性が拡大した。現時点の施工事例では最大開口幅32mであるが、さらなる大型化も可能であり、今後、より大規模かつ合理的な津波・高潮防災・減災施設としての適用が期待される。

最後に、本技術の開発をとおして、長期にわたり数多くの防災関係者の方々から貴重なご意見、ご指導を賜りました。ここに謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 木村雄一郎ら，フラップゲート式防波堤の開発，一般財団法人沿岸技術研究センター，CDIT No.62，pp.31-33，2024.
- 2) 阿部幸樹ら，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会，東京，pp.5-8，2018.
- 3) 仲保京一ら，海底設置型フラップゲート式可動防波堤初号機の詳細設計・施工，土木学会論文集B3，Vol.77（2），pp.97-102，2021.
- 4) 一般財団法人沿岸開発技術研究センター：ジャケット工法技術マニュアル，平成12年1月.
- 5) 一般社団法人ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・マニュアル編），平成28年3月.