

津波・高潮防災のための技術開発

フラップゲート式可動防波堤の開発

仲 保 京 一

今後の津波・高潮等防災対策のあるべき姿を考えると、ハード対策である防護施設には、長期にわたりその役割を果たすことが求められ、津波発生時に確実に機能するのはもちろんのこと、日常生活や産業活動の支障とならないことや、維持管理の負担が過大とならないことが重要な性能の1つになる。本稿では、これらの性能を高いレベルで満たすべく開発した、フラップゲート式可動防波堤の適用例とその構造および特長、ならびに最新の開発状況について報告する。

キーワード：防災，減災，無動力，防波堤，陸閘

1. はじめに

2011年3月11日、宮城県沖を震源とする東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震により生じた大津波によって、北海道、東北地方および関東地方太平洋岸の広い地域が甚大な被害に見舞われた。この地震は昼間に発生しており、津波来襲までに比較的逃げる時間があっても関わらず、正常性バイアスや十分な情報伝達ができなかったために初動が遅れ、津波に巻き込まれる人が少なからず存在した。一方で津波の危険を認識しながら、水門や陸閘の閉鎖のために海に向かい、結果的に被災された方も少なくなかった。本来、人命を助けるための施設が、逆に被災原因となってしまった今回の事例は、今後の防災施設を考える上で大きな反省点になるであろう。

この震災を通して、我々は今後この規模の津波に対して、防災ハードのみで防護することが困難であることを改めて認識させられることとなった。そして、2012年8月には内閣府から、素早い避難は最も有効かつ重要な津波対策であり、そのハード対策やソフト対策は素早い避難の確保を後押しする対策として位置づけるべきとの方針が示された。今後の津波・高潮等防災対策のあるべき姿を考えると、100%ハード対策に頼るのではなく、ソフト対策と一体となって効果的に人命を救うことが求められ、ハード対策である防護施設は、長期にわたりその役割を果たすため、津波発生時に確実に機能するのはもちろんのこと、日常生活や産業活動の支障とならないことや、維持管理の負担が過大とならないことが重要な性能の1つになるで

あろう。

本稿では、津波・高潮防災施設の1つとして開発したフラップゲート式可動防波堤の適用例とその構造および特長、ならびに最新の開発状況について報告する。

2. フラップゲート式可動防波堤の概要

従来防災施設である防波堤や水門、陸閘には、船舶航行の障害や、海水交換の阻害、多大な建設費用や維持管理費用等の改善すべき課題が残されている。フラップゲート式可動防波堤とは、これらの課題を解決することを目的として、既往の水門として十分実績のある、フラップゲートと起伏式ゲートを融合することにより開発された可動式の構造物である。フラップゲートとは、図-1に示すように扉体の上部にヒンジが設けられ、上下流の水位差により自動的に扉体が開閉することで、一方向流量制御を行う設備である。また、起伏ゲートとは、図-2に示すように扉体の下部にヒンジが設けられ、駆動装置により扉体角度を

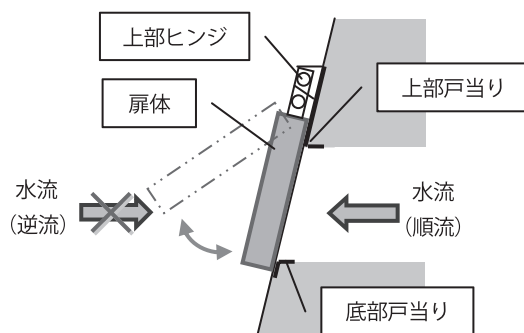
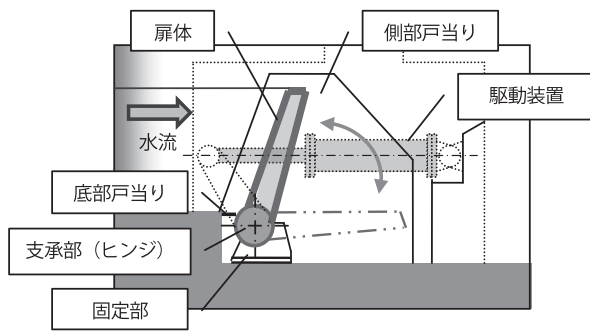


図-1 フラップゲート概要図



図一 2 起伏ゲート概要図

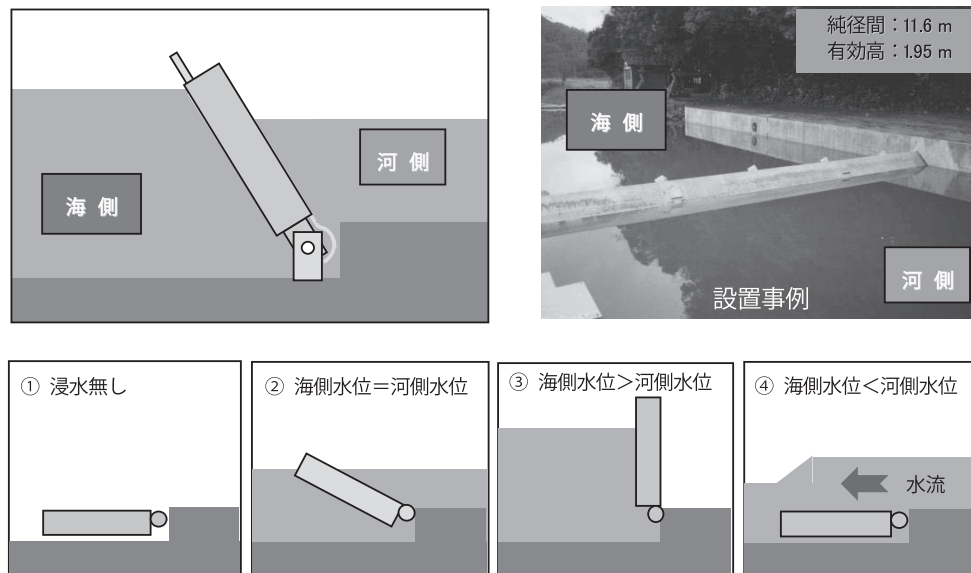
調整することで、流量制御を行う設備である。さらに、これらを組み合わせた方式で、海水の河川への逆流防止を目的とした浮体式起伏ゲートの作動原理を図一 3 に示す。浮体式起伏ゲートは、文字通り扉体自体が浮体構造となっており、ヒンジを扉体下部に配置するこ

とで、無水状態では扉体は河床に倒伏し、有水状態では扉体の先端が水面から露出した姿勢でバランスする。そして、津波・高潮等により海側水位が上昇すれば、上下流の水位差により扉体は自然に起立して、海水が河川に逆流するのを防止する。一方、降雨等により河側水位が上昇すれば、扉体は自然に倒伏して安全に洪水を海に放流する。フラップゲート式可動防波堤は、これら既存の水門技術を基本とし、その用途や要求性能に合わせて最適化を図った防災・減災施設である。

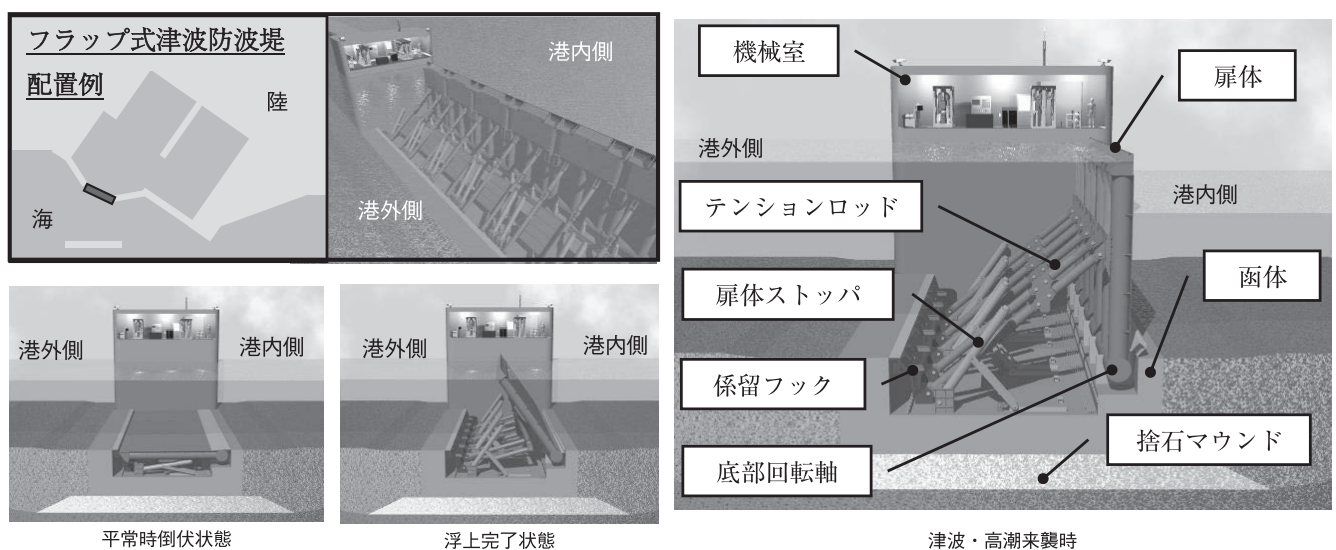
3. 津波・高潮防波堤への適用

(1) 施設概要

フラップゲート式津波・高潮防波堤の設置イメージを図一 4 に示す。本施設は、扉体、扉体を格納する函



図一 3 浮体式起伏ゲートの作動原理



図一 4 フラップ式津波・高潮防波堤設置イメージ

体および扉体起立時に扉体上部荷重を函体に伝達するテンションロッドを主な部材として構成される。開口部を横断する方向に一列に並べて配置される扉体は、隣接する扉体同士が先端部にて緩く連結されており、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。扉体は常時海底に倒伏した状態にしておく必要があるが、浮上に必要な浮力は平常時に扉体空気室内へ給気しておくことにより確保しておき、常時は扉体が浮上しないよう、函体に設けたフックにより扉体先端を係留している。津波・高潮の発生が予想されるとき、遠隔操作により係留フックを解放することで、扉体を自身の浮力により先端が水面に出る高さまで浮上させることを基本とするが、地震の影響により遠隔操作不能となることも想定されるため、水位の異常上昇を利用して自動的にフックを開放する機能を装備する。その後、扉体は津波・高潮による潮位上昇に伴う水位差を利用して、所定の高さ（角度）まで無動力で起立する。扉体に作用する荷重は、テンションロッドと底部回転軸を介し函体基礎に伝達され、函体と捨石マウンドとの摩擦抵抗等により施設の安定性が保持される。

(2) 施設の特長

本施設の開発コンセプトは“その場にある自然の力を最大限に利用することで、安心かつ安価な防護施設を追求すること”であり、本施設は次に示す特長を有している。

- ①浮上操作は、予め扉体内部に貯めた空気の浮力を利用して行うため、いざというときに無動力かつ短時間で航路を閉鎖できる。
- ②従来水門（ローラゲートやスライドゲート等）のように津波等による外力が扉体動作の抵抗とならないため、水位の異常上昇により係留を解除する仕組みを追加できる。これにより、万が一、航路閉鎖指令が遅れた場合や、通信インフラ被災により遠隔操作不能状態に陥った場合にも防災・減災機能を発揮する。
- ③係留部材に作用する力を常時監視することにより、いつでも浮上可能な状態であることを容易に確認できる。
- ④航路閉鎖を行わずに実施できる海底面以下での寸動操作と、機械室から扉体下側に直通するダイバー通用孔の設置により、設備状態の定量評価と水中点検が容易となり、合理的な予防保全を実現できる。

(3) 開発経緯と最新の開発状況

(a) 開発経緯

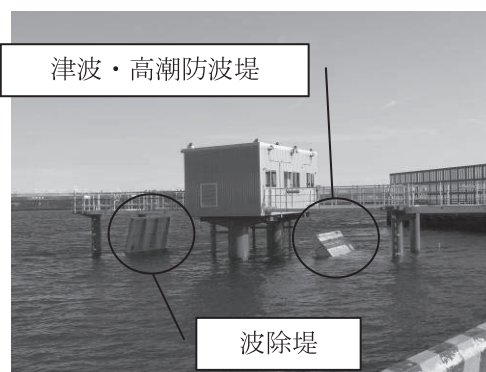
フラップゲート式津波・高潮防波堤の開発は、「新世紀港湾ビジョン」（2000年度・国土交通省発表）を受けて発足した、沿岸技術研究センターを事務局とする「沿岸域水門研究会」（2001年度～2002年度）への構造提案をきっかけに開始された。その後、2003年度から本格的な研究・開発を開始し、各種実験等により基本性能の把握ならびに性能の向上をはかり、2009年度までに実用化に必要な室内実験^{1)～4)}を概ね完了している。2010年度からは、開発の最終段階である実海域試験による当該施設の基本機能および信頼性の検証を行った。

また、東日本大震災では多くの海岸構造物が津波により被災したことを踏まえ、2013年度には本施設の粘り強さを検証することを目的とした水槽実験を実施しており、結果については2014年6月に開催された第39回海洋開発シンポジウムで発表している。

(b) 実海域試験の結果

実海域試験は、静岡県のご厚意により新焼津漁港内にて水域をお借りして実施した。試験装置の設置状況写真—1に示す。試験期間は当初2011年2月から2012年3月までの予定で開始したが、東日本大震災の影響もあり期間を1年延長して実施した。試験では、主に①浮上動作と倒伏動作の確実性、②倒伏状態での安定性、③保守管理の確実性と安全性の検証を行った。2年間にわたる実海域試験の結果は以下に示すとおりであり、基本機能および信頼性について期待どおりの結果が得られた。

- ・2年間で151回の浮上倒伏操作と14ヶ月間の長期倒伏試験（海水中で倒伏したまま静置）により、動作の確実性や倒伏状態の安定性を確認した。
- ・試験期間中は設備状態の常時監視と各種操作に関するデータの蓄積を行うとともに、ダイバーによる定



波除堤(左)と津波・高潮防波堤(右)

写真—1 実海域試験装置設置状況

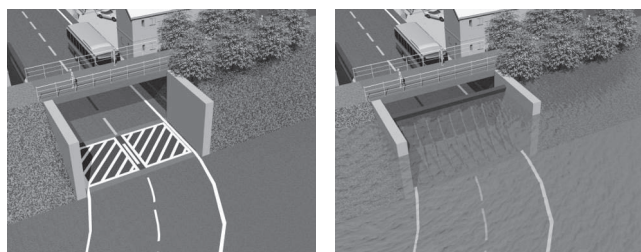
期観測や水中での部品交換作業を行い、保守管理の確実性と安全性を確認した。

なお、日立造船(株)・東洋建設(株)・五洋建設(株)からなる開発グループでは、2013年10月に実海域試験の結果を公表⁵⁾している。

4. 陸閘ゲートへの適用

(1) 施設概要

フラップゲート式可動防波堤を陸閘に適用した場合の設置イメージを図—5に示す。構造概要は基本的に海底設置型と同様であるが、常時は扉体周囲に水はないため、通常、係留機構や給・排気装置は不要である。陸上に設置される従来防潮設備の代表的な形式として、横引ゲートやスイングゲート等が挙げられるが、これらは元来高潮対応の設備であり、地震直後における駆動装置や制御・通信設備、電源設備まで含めた信頼性を担保するには困難が伴う。扉体に作用する浮力および水位差により扉体を駆動するフラップゲートであれば、駆動装置や制御装置、電源設備、通信設備を完全に不要とすることが可能である。



図—5 陸上設置用フラップゲート式防潮堤設置イメージ
平常時(左)と浸水時(右)

(2) 施設の特長

本施設はゲートを動かすための動力源として、浸水に伴う水圧を利用するため、次に示す特長を有する。

- ・無動力かつ人為操作なしに開口部を閉鎖できるため、ゲート操作のための逃げ遅れが生じない。
- ・津波の到達直前まで開口を確保できるため、避難行動の妨げとならない。

- ・周辺の人々の安全を確保するため、扉体の急激な起立動作・倒伏動作を防止している。
- ・扉体内部に特殊充填材を配置することで、扉体上を走行する車両等に対して、十分な強度・耐久性を確保している。
- ・極めてシンプルな機器構成で故障しにくく、メンテナンスも容易である。

(3) 開発経緯と最新の開発状況

陸閘タイプの開発は、2009年10月“動力のみならず人による操作も無くしたい”というある顧客からの相談をきっかけに開始され、2010年3月までに基本構造の決定および平面水槽実験による基本特性の把握を行った⁶⁾。その後、2011年度に陸閘タイプの基本形を完成させ、1/1スケールの実証機による実フィールドでの耐久試験ならびに水流発生水槽での作動確認を完了した。写真—2に実フィールド試験の状況を示し、写真—3に流水中における作動確認状況を示す。流水中の作動確認試験では、これまでに漂流物影響や堆砂による影響等の確認も実施している。なお、流水作動状況の視察を希望される方も多く、2012年1月から現在までに数百回にわたり、繰り返し作動確認を実施しているが、これまでに浮上しないという事象は一度も発生していない。また、2014年4月に実証実験という位置づけではあるが、公共施設への設置としては初となる徳島県日和佐港への設置が完了し、5月に海水注水により問題なく浮上起立することを確認



写真—2 実フィールド試験状況



写真—3 流水(濁流)作動確認状況



施工前



設置完了



車両走行確認

写真—4 施工前後の施設全景

している。写真—4に施工前後の施設全景を示す。本施設は現地工事の最小化を目的とし、既存横引きゲートは残置したままとするともに、扉体厚を抑えて路面搭載型とすることで扉体格納ピットを不要としたことを特徴としている。

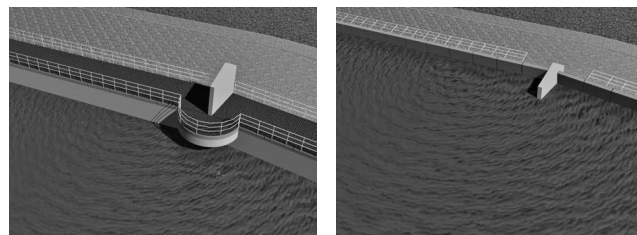
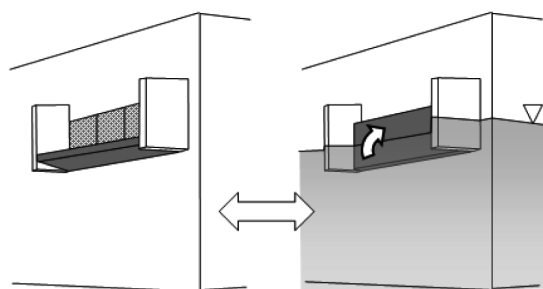
また、2014年3月には3種類の実機相当設備が流水により作動する様子や実際のメンテナンスを直接体験できる施設が完成しており、2014年6月から一般への公開も開始している。

5. その他施設への適用状況

フラップゲート式可動防波堤は、①平常時に日常生活や産業活動等の支障とならず、②浸水時には無動力かつ人の操作も必要とせず止水でき、③維持管理が容易で故障もしにくいという特長が評価され、前述の用途以外にも適用検討が進められている。実用化事例として、空調ダクトの途中に設置し、それ以降への浸水拡大を防止する“ダクト設置タイプ”が挙げられる。また、その他にも図—6、7に示すような防潮堤そのものを可動式にするという“超長径間タイプ”や、空調用給・排気口からの浸水を防ぐ“建屋壁面設置タイプ”の実用化に向けた検討が進められている。

6. 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提案した。本施設単独で全ての津波災害を防げるものではないが、今後整備が進められる防護施設が、日常生活や産業活動の邪魔にならず、維持管理の負担が小さくなることに寄与することで、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。

図—6 超長径間タイプ設置イメージ
平常時(左)と浸水時(右)図—7 建屋壁面開口部設置イメージ
平常時(左)と浸水時(右)

J C M A

《参考文献》

- 1) フラップ式構造物の波浪および津波に対する水理特性、港湾空港技術研究所資料、No.1155、June 2007、下迫健一郎ほか
- 2) 倒伏状態の津波・高潮対応フラップ式可動ゲートの係留特性に関する実験的研究、海洋開発論文集、第25巻、2009、pp.93-98、木村雄一郎ほか
- 3) フラップゲート式可動防波堤の波圧応答特性に関する実験的研究、海岸工学論文集、第56巻、2009、pp.806-810、木村雄一郎ほか
- 4) 波浪中フラップゲート式可動防波堤の平面水槽実験、海岸工学論文集、第56巻、2009、pp.851-855、新里英幸ほか
- 5) <http://www.hitachizosen.co.jp/products/products026.html>
- 6) 陸上設置型フラップゲートの津波追従性能に関する検証実験、H22年度土木学会全国大会第65回年次学術講演会、II-065、木村雄一郎ほか
- 7) <http://www.hitachizosen.co.jp/>

【筆者紹介】

仲保 京一（なかやす きょういち）
日立造船(株)
機械・インフラ部 フラップゲート部
部長

