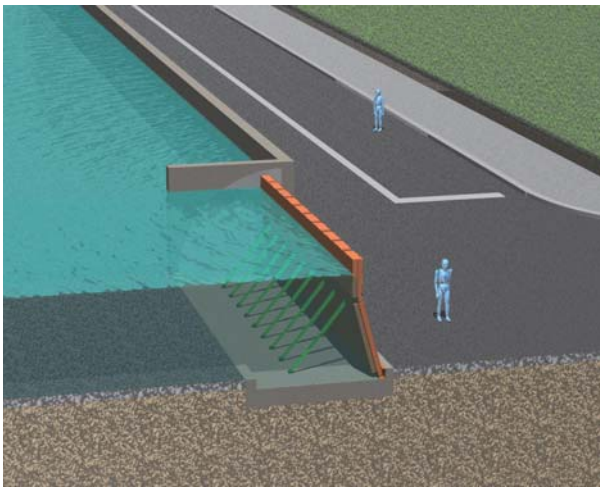


陸上設置型フラップゲート(neo RiSe)の水理特性の把握

Examination of the Hydraulic Characteristics of Flap Gate-type Rising Seawall (neo RiSe)



山 川 善 人	Yoshito Yamakawa	①
仲 保 京 一	Kyoichi Nakayasu	②
木 村 雄 一 郎	Yuichiro Kimura	③
乾 真 規	Masaki Inui	④
森 井 俊 明	Toshiaki Morii	①
吉 識 竜 太	Ryota Yoshiki	①
板 垣 暢	Toru Itagaki	①

あ ら ま し

当社は津波や高潮等による浸水被害を防災・減災するのに効果的な設備として、陸上設置型フラップゲート (neo RiSe) を開発した。それは海岸線防潮堤の開口などに設置され、津波や高潮等により浸水が発生した際、水位の上昇に追従して無動力かつ人為操作なしに開口部を閉鎖する。本設備は適用箇所が多岐にわたり、作用する浸水の形態も多様で、設備設計に際し、各条件下における設備の水理特性を把握する必要があった。本稿においては、陸上設置型フラップゲートの構造および特長について紹介し、各種水理模型実験の結果を示したうえで、本設備の水理特性についてまとめる。

Abstract

This report introduces the newly developed flap gate-type rising seawall “neo RiSe,” which is excellent for the prevention or mitigation of flooding due to tsunami and high tides. The neo RiSe is installed between seawalls on the coastline and automatically, with no motors or manual operation, closes the gaps using the power of inundation flow. The design process involved research into the product’s hydraulic characteristics under various conditions, because of the wide variety of installation locations and flooding damage. Here we explain the mechanisms and features of the neo RiSe and present its hydraulic characteristics through the results of model tests.

1. はじめに

2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震により生じた大津波により、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たにも関わらず、正常性バイアスや情報伝達のまずさにより、避難の初動が遅れ、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。

今回の震災を通して、我々は今後この規模の津波に対して、防災ハード対策のみで防御することが困難である

ことを改めて認識させられた。今後の津波防災においては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る。防御施設においては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も重要な性能の1つになるであろう。

当社ではこのような条件を満たす津波防災・減災施設の一つとして、陸上設置型フラップゲートを開発した。本稿では本設備の構造ならびに特長について紹介するとともに、その水理特性について報告を行う。

2. 陸上設置型フラップゲートの概要

陸上設置型フラップゲート (以下、本設備という。) の設置イメージを図1に示す。本設備は、扉体、側部戸当り、床版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部材として構成される。開口部を

① Hitz日立造船(株) 機械・インフラ本部 社会インフラ事業部
 ② Hitz日立造船(株) 機械・インフラ本部 社会インフラ事業部 技術士(建設)
 ③ Hitz日立造船(株) 事業・製品開発本部 技術研究所 博士(工学)
 ④ Hitz日立造船(株) 事業・製品開発本部 技術研究所

横断する方向に一直線に並べて配置される扉体は、隣接する扉体同士が連結・水密されており、底部回転軸を中心に旋回起立することで連続した防潮堤を形成する。浸水が始まれば、扉体は自身の浮力により浮上を開始し、水位上昇に伴って所定の高さ(角度)まで無動力で起立する。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、通信設備を完全に無くすことや、従来どおり駆動装置を設置して遠隔操作不能となった場合のバックアップとして利用することもできる。

3. 模型実験による水理特性把握

本設備は、防潮堤開口部や地下街入口、高架道路との交差点等、適用場所が多岐にわたり、作用する外力



図1 設置イメージ

も静水圧のみとは限らず、津波や高潮、波浪等が想定される。本設備はその使用条件や要求性能、設備規模等により、扉体構造を最適化しているが、水の力を利用して扉体を作動させる点は共通であり、浸水の形態により扉体の挙動は異なるものとなる。

本設備における主な扉体構造と動作フローを図2に示す。扉体構造は一体型(a)と浸水初期の浮上力増大を可能とした先端先行起立型(b)、水位変化に対する追従性を高めた浮体連結型(c)がある。

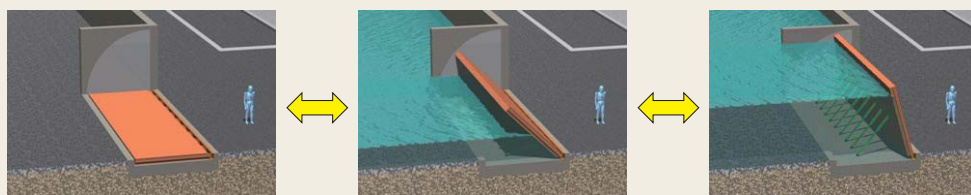
本設備の開発に際しては、様々な条件における扉体の挙動を把握することを目的として、各種水理模型実験を実施した。本稿では、これまでに実施した以下の水理模型実験についてその概要を紹介する。

- ①平面水槽による水位追従性能確認実験
- ②二次元水槽による波浪応答実験
- ③段波津波に対する越流量評価実験

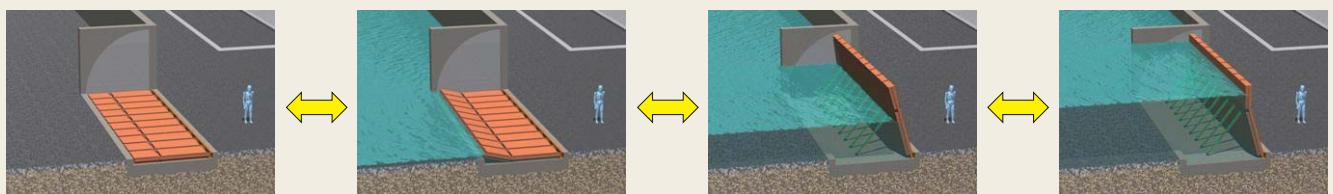
3.1 平面水槽による水位追従性能確認実験¹⁾

(1) 目的 連結浮体により構成される扉体構造に関して、津波を模擬した水位変化に対する浮上・倒伏動作の現実性を検証することを目的として、平面水槽を用いた水理模型実験を実施した。

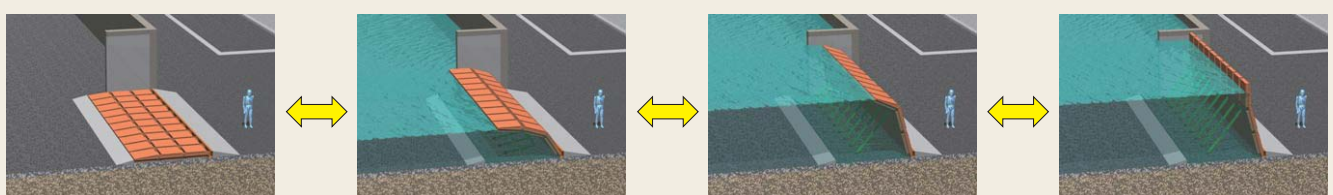
(2) 実験方法 実験は、図3の実験装置概略図に示すようなL:4m×W:3m×H:1mの凸型の平面水槽を用いて、模型縮尺1/4で実施した。模型の起立時の高さは0.77m、幅は1.5m(0.25m幅扉体6体)であり、一体型、先端の浮体を先行起立させる先端先行起立型および高さ方向に3分割した浮体連結型の3形式の扉体構造を模擬できる。実験模型の写真を図4に示す。実験模型は水槽の凸部に設置され、水槽の模型側の側壁および扉体



(a) 扉体一体型



(b) 先端先行起立型



(c) 浮体連結型

図2 各種扉体構造と動作フロー

模型によって防潮ラインが再現される。水槽の他の3側面には津波流れ造流装置が設けられており、模型の前方

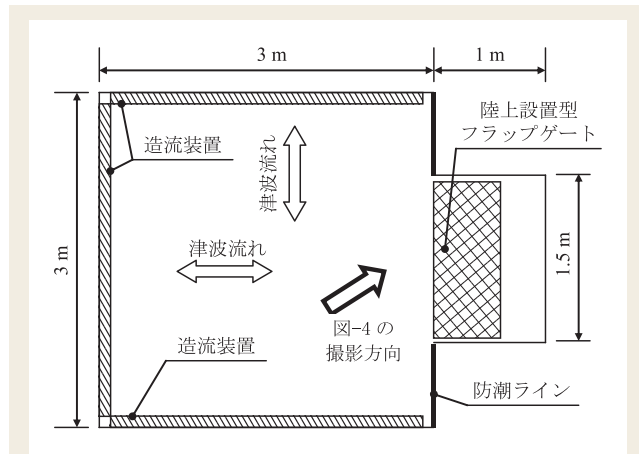


図3 平面水槽実験装置の概略図

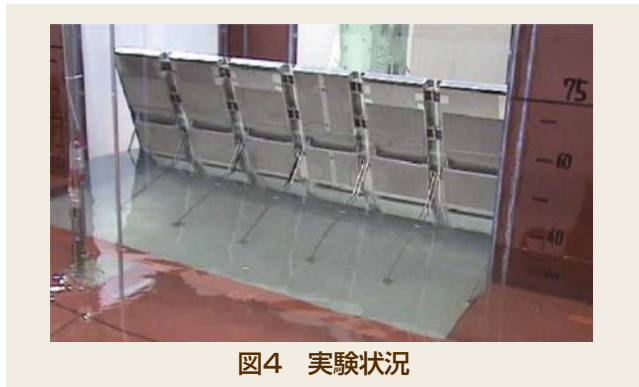


図4 実験状況

および側方から到来する流れを発生させることができる。実験では水深を0mから0.75mまで上昇させた後0mまで低下させることで、押波津波による水位変化を模擬した(実機換算水位変化: 0m→3m→0m)。

(3) 実験結果 扉体模型の前方から津波流れを作用させた実験ケースに関して、水位、扉体角度およびテンションロッドへの作用荷重の時間変化を図5、図6および図7に示す。各図において(a)は一体型模型、(b)は浮体連結型模型の計測値を示す。図5～図7は、模型ベースで0.15m/min.の水位変化を与えた実験ケースによるものである。

図5より、模型前面の水位は、時間に対して線形的に変化している様子が確認できる。図6(a)より、一体型の扉体は水位上昇時には水位に応じて徐々に起立したが、水位低下時にはある水位に達した時点で急激に倒伏した。このとき、図5(a)において、扉体の倒伏によって水面に乱れが発生しているのがわかる。一方、図5(b)および図6(b)に示されるように、浮体連結型の扉体においては、先端の浮体が倒伏した際に水面に乱れが生じたものの、その変動量は小さかった。これより、浮体連結型の扉体は、一体型と比較して、水位変化に対する追従性が高く、起立あるいは倒伏時における扉体な急激な動作を抑制できることが確認された。

その他、津波流れを側方から作用させたケースにおいても、扉体は水位変化に追従し動作することが確認でき、いずれの実験ケースにおいても、本設備の十分な止水効果が示された。

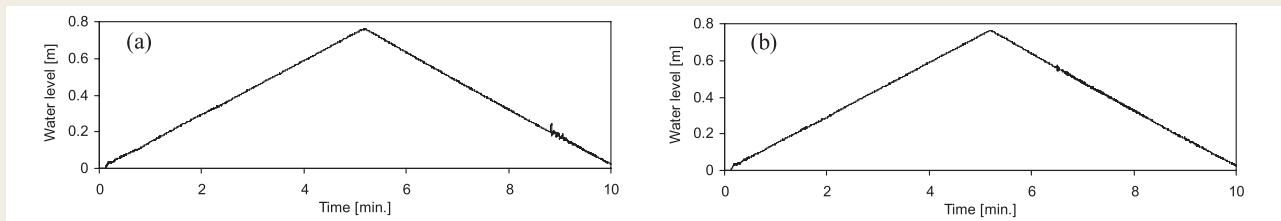


図5 水位の時間変化

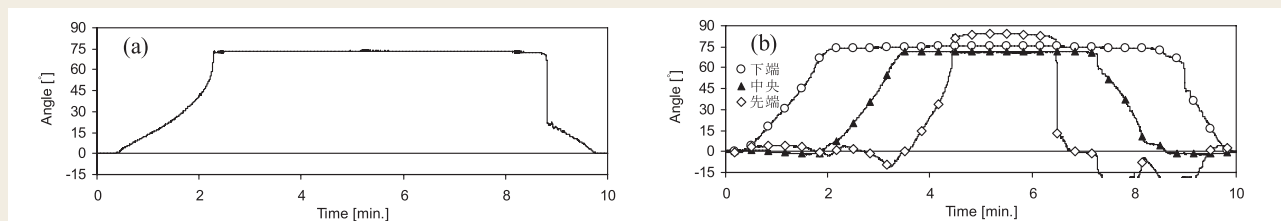


図6 扉体角度の時間変化

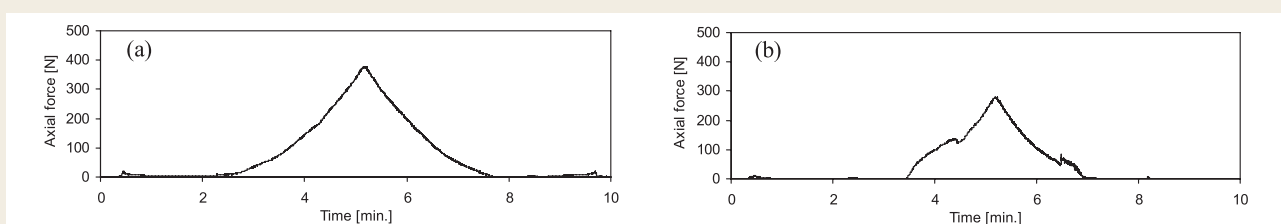


図7 テンションロッドに作用する荷重の時間変化

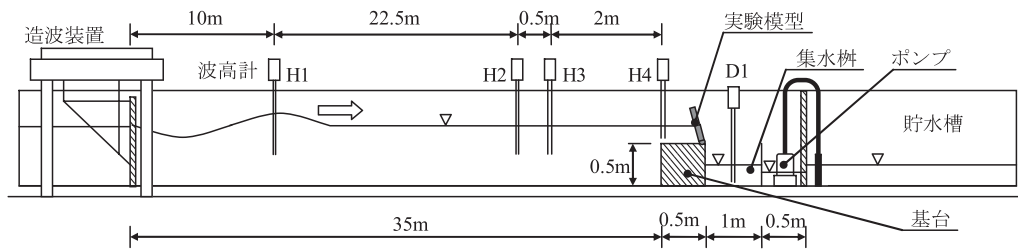


図8 波浪応答特性評価実験装置の概略図

3.2 二次元水槽による波浪応答実験¹⁾

(1) 目的 高潮対策として本設備を適用する場合には、水位上昇と高波の同時作用が考えられる。波浪応答に対する特性を確認するために二次元造波水槽を用いた水理模型実験を行った。

(2) 実験方法 実験装置の概略図を図8に示す。造波水槽 (L:45m×W:1m×H:1.2m) 内には護岸を模擬した基台を構築し、その天端上に扉体有効高30cmの実験模型 (縮尺比1/10) を設置した。本実験では、先端先行起立型の扉体構造を対象とした。

実験模型の先端浮体および扉体には動揺量を測定するための傾斜角センサを設置した。波高計は、沖合から護岸周辺までの水位変動測定用として沖側に4本、越波量測定用として集水桝内に1本設置した。実験条件を表1、実験模型の写真を図9に示す。扉体前方の水位 h は、護岸天端面を基準として0.5, 10, 15, 20, 25cmに設定した。作用波の条件は、港内の護岸に台風時に作用する高波を想定して決定している。

(3) 実験結果 規則波実験の一例として、波周期 $T=3.80$ s、波高 $H=10.0$ cmにおける先端浮体および扉体角度の時間変化1周期分を図10に示す。 $h=0$ cmでは、作用波により倒伏状態から先端浮体が先行して浮上した後に、本体が扉体前面の水位にあわせて浮上することを確認した。 $h=5$ cmおよび 10 cmでは、作用波による水位変動により、扉体の動揺量が大きくなる傾向が確認された。ここでは示していないが、 $h>15$ cmでは、扉体を起立状態に維持するために必要な水位を超えるため、扉体は安定した起立状態となった。

図11に規則波を作用させた際の各条件下における越波量を示す。ここで、縦軸 q は単位幅、単位時間あたりの越波量を表している。 $h<15$ cmの条件では越波が発生し、特に $h=5$ cm、 $T=1.90$ sおよび 2.53 sの条件で越波量が多くなっている。扉体の動揺により扉体前方の水位変化への追従が遅れが生じることにより、越波が発生するものと考えられる。 $h=10$ cmでは、波周期と扉体の動揺周期の組み合わせにより、越波が発生する条件と、扉体が所定の角度まで起立するため越波が発生しない条件が混在した。 $h\geq 15$ cmでは、扉体が起立状態となり越波はほとんど発生しなかった。

これら結果より、波浪作用に追従する動揺を抑止するために、一旦扉体が起伏動作すれば、倒伏方向への動作を制限し、その姿勢を保持する機構が有効であると示唆された。

表1 実験条件

	規則波	不規則波
前方水位 h (cm)	0, 5, 10, 15, 20, 25	5, 10
波周期 T (s)	1.27, 1.90, 2.53, 3.16, 3.80	1.90, 3.16
波高 H (cm)	2.5, 5.0, 7.5, 10.0	



図9 実験状況

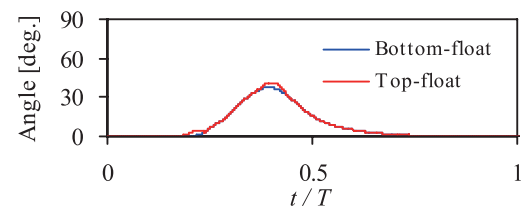
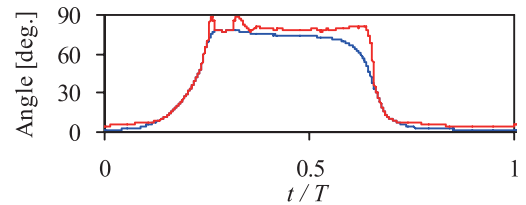
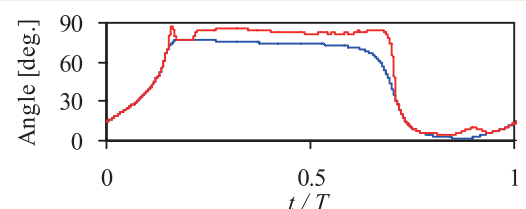
(a) $h=0$ cm(b) $h=5$ cm(c) $h=10$ cm

図10 扉体角度の時間変化

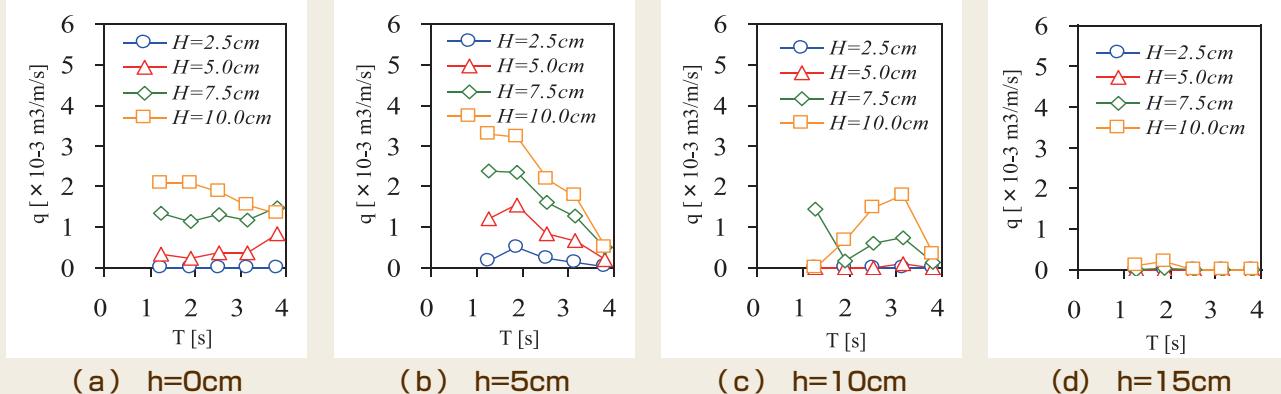


図11 規則波作用時の越流量

3.3 段波津波に対する越流量評価²⁾

(1) 目的 段波津波のように速い流れをとまなう波作用に対しては、扉体の初期浮上動作が遅れることが懸念される。そのため、初期浮上動作の遅れによって、背後域にどの程度越流が発生するのかを把握する必要がある。ここでは、二次元造波水槽を用いた模型実験により、段波津波が作用した場合の越流量評価を実施した。

(2) 実験方法 実験装置を図12に示す。造波水槽(L:50m×W:1m×H:1.5m)内に海底地形を模した勾配を設け、地上部に1/10縮尺の模型(扉体高さ45cm、扉体厚さ3cm)を設置した。模型は、先端先行起立型と一体型の2種類の扉体構造を対象とした。模型には扉体の起立動作補助と起立状態保持を目的とした起立姿勢保持装置を模型化したもの付属している。本装置の錘の重量を変更することで起立動作の補助力を変更できる。実験条件を表2に示す。起立姿勢保持装置の補助力は扉体全体でのみかけ比重 d_{all} に換算している。実験では、波高、段波流速、越流量、先端浮体および扉体角度に

表2 実験条件

設定段波高 H(cm)	5, 10, 15, 20
模型扉体型式	先端先行起立型, 一体型
みかけ比重 d_{all}	0.533, 0.579, 0.651, 0.724, 0.796

ついて計測した。

(3) 実験結果

実験結果の一例として、図13にH=10cmにおける $d_{all}=0.533$ の先端先行起立型扉体での扉体前方の水位変化hと先端浮体の起立角度 θ_a および扉体本体の起立角度 θ_b の時間変化を示す。図14にその条件での先端浮体の起立開始から0.2秒後の実験写真を示す。図13では、先端浮体が起立開始した時間を0秒としている。段波が襲来した後、扉体下面が浸水した時点で先端浮体から起立し、その後に扉体本体が所定の角度まで起立した。越流は、段波襲来から扉体先端が段波高と同じ高さまで起立するまでの0.2～0.4秒間に発生した。図15に $d_{all}=0.533$ の先端先行起立型扉体での段波高 H_b と単位幅あたりの越流量qの関係を示す。 H_b は、模型直前の波高計H5で実測した段波高である。 H_b の増加に伴いqも増加した。これらの実験結果をもとに、最小二乗法により $q=AH_b^2+C$ の2次の近似曲線を作成した。ここで、A、Cは係数で、Aが大きいほど越流量が大きくなる。図16に先端先行起立型と一体型扉体の d_{all} とAの関係を示す。図中の直線は、各条件において最小二乗法により作成した近似直線である。ばらつきはあるが、 d_{all} の増加に伴いAが増加していることがわかる。また、一体型よりも初期浮上力の増大を可能とした先端先行起立型のほうがAの値が小さく、越流量を低減できることが確認された。

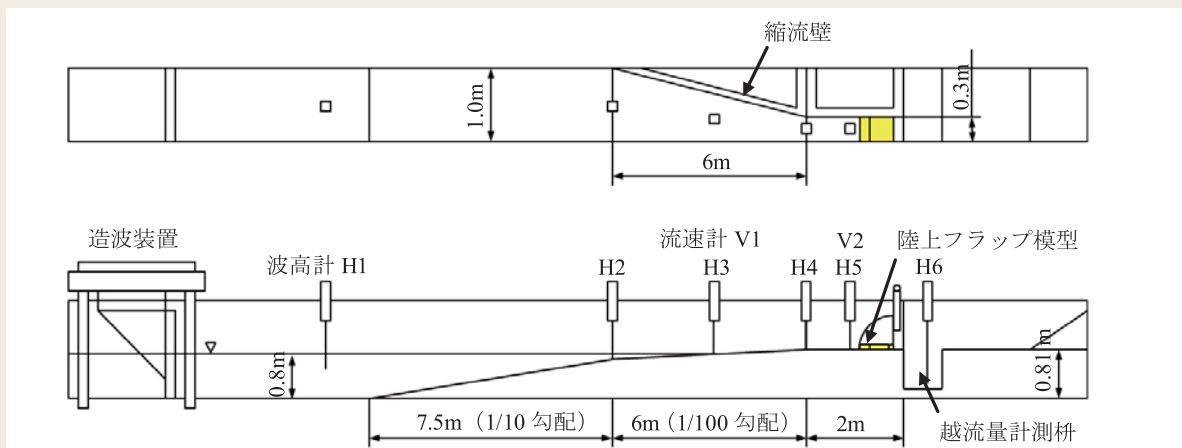


図12 段波津波時越流量評価実験装置の概略図

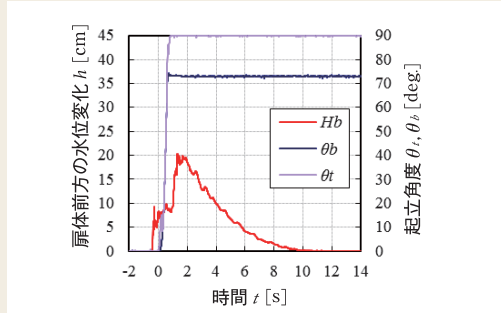


図13 水位と扉体角度の時間変化



図14 実験状況

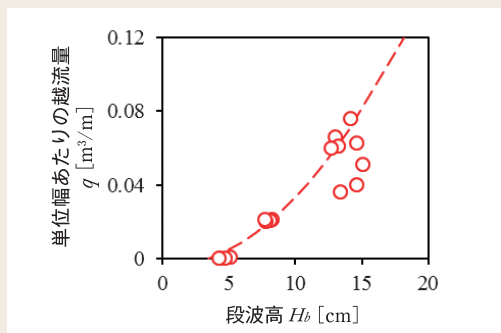
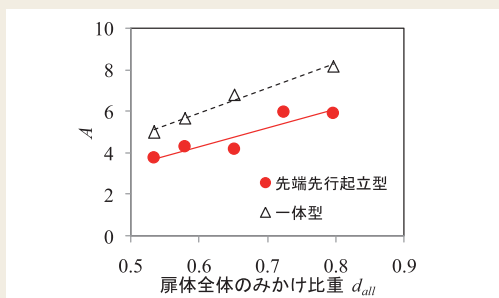


図15 段波高と越流量の関係

図16 d_{all} とAの関係

4. おわりに

本稿では、津波防災・減災施設の一つとして、自然の力で作動することを特長とする、陸上設置型フラップゲートの水理特性について報告した。本設備はその特長を活かし、地震直後に津波の来襲が予想される地域や避難路として津波が到達する直前まで開けておきたい通路など、従来設備では対応が困難な場所への活用が期待できる。さらに従来設備による対応が可能でも、維持管理の負担が過大となるような場合には、有効な代替手段としての利用が期待できる。もちろん、本設備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であろう日常生活や施設維持管理への負担が少ない防御設備として採用されることにより、少しでも豊かな未来に貢献できれば幸いである。

参考文献

- 1) Kimura, Y. et al.: Rising Sea Wall for Prevention of Tsunami and Storm Surge, Proceedings of the Sixth International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2011), 2011, 1575-1582.
- 2) 乾真規ほか：陸上設置型フラップゲートの段波津波に対する越流量特性，平成24年度土木学会全国大会第67回年次学術講演会，2012，II-219.

【文責者連絡先】

Hitachi日立造船(株) 機械・インフラ本部
 社会インフラ事業部 産業機械ビジネスユニット 水門部
 山川 善人
 Tel : 072-243-6829 Fax : 072-243-6794
 e-mail : yamakawa_y@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
 Machinery & Infrastructure Headquarters
 Social Infrastructure Division
 Industrial Machinery Business Unit
 Hydraulic Gates Execution Department
 Yoshito Yamakawa
 Tel : +81-72-243-6829 Fax : +81-72-243-6794
 e-mail : yamakawa_y@hitachizosen.co.jp



山川 善人



仲保 京一



木村 雄一郎



乾 真規



森井 俊明



吉識 竜太



板垣 暢