

可動式津波低減設備“防波扉”の実用化に関する研究
 Research on Practical Application of Movable Tsunami Mitigation Facility "Anti-Tsunami Door"

○飯干歩・平石哲也

○Ayumu IIBOSHI, Tetsuya HIRAISHI

The Anti-Tsunami Door is a foldable movable seawall, which is composed from several wood panels. It is compact in normal times and stands up using the buoyancy of the body and the wave lift force of the tsunami. The purpose of this study is to examine the tsunami mitigation effect and analyze the strength of the main body by hydraulic model experiment, and to establish a new numerical analysis method. The final goal is proposing a proper model for installing the Anti-Tsunami Door on site. In the experiment, solitary wave collided with the model and the wave height data were employed to confirm tsunami mitigation effect by the Doors. In addition, a numerical analysis model was implemented using OpenFOAM, and its validity was evaluated by comparing it with the wave pressure distribution acting on the seawall. The wave pressure and wave force were calculated using a numerical model and the installation conditions for the Anti-Tsunami Door were examined. (158 words)

1. 序論

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では巨大な津波が引き起こされ、沿岸地域に甚大な被害をもたらした。我が国では今後発生が想定される南海トラフ地震など大規模な災害に伴う大津波に備えて、防災・減災のための効果的なハード整備が求められている。また、東南アジア地域のように、度々津波が来襲する地域でも適用可能な津波対策を検討する必要がある。

一般的に建設されるコンクリート製防潮堤は多額の建設費用や生活環境の改変、視界の寸断といった課題を抱える。これらを解決するために、コンパクトに設置し、津波発生時のみ動作する特徴を持った可動式防潮堤の開発が進められている。本研究では、防波扉（図-1）と呼ばれる新たな可動式津波低減設備に関して検討を行う。

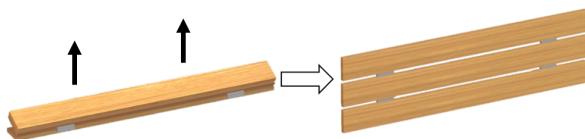


図-1 防波扉

防波扉は折りたたみ式の木製構造物で、材料費や建設費を削減して設置できる。平常時は折りたたまれた状態だが、津波による浸水が始まると、

本体の浮力と津波の波力を利用して起立し、後続の波の浸入を防ぐ役割を果たす。

これまでに小型模型を用いた水理実験が実施されているが、本体の耐久性について検討されておらず、津波で破壊される危険性がある。本研究では水理模型実験により、津波低減効果の検討と本体の強度分析を行う。また、新たに数値解析手法を確立し、より低コストでの検討を進める。最終的に、防波扉の現場設置モデルを提案し、実用化の可能性を検討することを目的とする。

2. 防波扉模型の水理実験

防波扉の津波低減効果の評価と動作確認を目的として、防波扉模型を水路に設置し、孤立波を衝突させる実験を実施した。本研究では京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーの津波再現水槽を用いて、ピストン型造波機による造波を行った。水路の概略及び波高計の設置状況を図-2に示す。防波扉は高さ15cmの板を3段結合して起立時高さを45cmとした。幅は182cm、198cmの二種類を用意し、それぞれ2台横に並べて設置した。防波扉模型は折りたたんだ状態、予め立ち上げて固定した状態に加え、代わりに木製で隙間のない固定式防潮堤を設置した状態、すべて取り外したブランク実験の4つの設置条件を設定した。各実

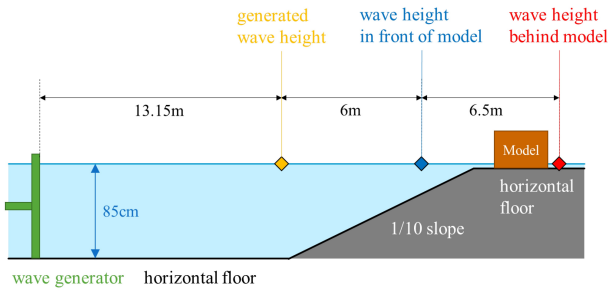


図-2 実験水路の概略

験条件につき3ケースずつ実験を行った。

本研究では、以下に示す浜田ら(2016)による津波低減効率(TME)の計算式を用いて評価を行った。

$$TME = \frac{\Delta h}{h_f - \Delta h_0} = \frac{h_f - (h_{f0} - h_{r0}) - h_r}{h_f - (h_{f0} - h_{r0})}$$

Δh は防波扉による波高低下、 h_f は模型の沖側、 h_r は岸側で計測した波高を示す。 Δh_0 , h_{f0} , h_{r0} はブランク実験時のデータを示し、水路特性による波高低下の影響を除いて評価することを意味する。

防波扉(幅182cm)の実験結果を図-3に示す。

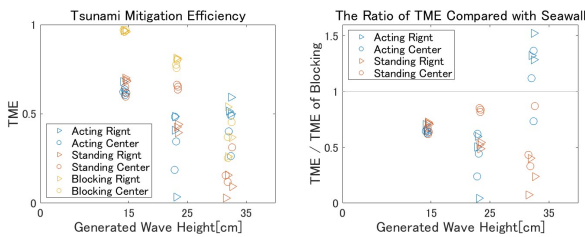


図-3 津波低減効率の実験結果

ケースごとに計測した発生波高と計算した値を、条件ごとにマーカーの色、形状を区別しプロットしている。左図では津波低減効率、右図では固定式防潮堤の津波低減効率の平均値を1としたときの、防波扉の各ケースの津波低減効率の割合を示している。これらより、設定波高が15cmの時は固定式防潮堤と比較して60%以上の効果を発揮するといえる。設定波高が25cm、35cmの時はケースによるばらつきが大きくなり、特に折りたたんだ状態で顕著である。また、設定波高35cmでは、防波扉を初期に折りたたんだ状態で固定式防潮堤よりも大きな津波低減効果を有することがわかった。

3. 数値解析による津波再現水槽モデルの構築

水理模型実験、流体数値力学の両面から結果の整合性を検証するため、水理実験モデルを数値解析手法により再現した。本研究ではオープンソー

スのCFDツールボックスであるOpenFOAMを用いてモデルを構築した。気液二相流、非圧縮性流体の非定常流解析に対応したソルバーとしてInterIsoFoamを使用し、各セルの体積割合を計算するVOF法に基づいて水面を取り扱った。

計算領域は津波再現水槽と同じ寸法で設定し、ピストン式造波機は移動メッシュを設定して津波再現水槽の造波板位置指令に基づいて動作させることで、孤立波の造波を再現した。また、計算格子を粗くしたもの(低精度)と細かくしたもの(高精度)の2種類を計算し比較した。

津波再現水槽の水路に防潮堤を設置したケースの実験及び解析を実施し、波高12.5cmの孤立波の衝突で生じる鉛直波圧分布を比較することでモデルの妥当性を評価した。図-4の左に衝撃段波波圧、右に最大持続波圧の分布を示す。

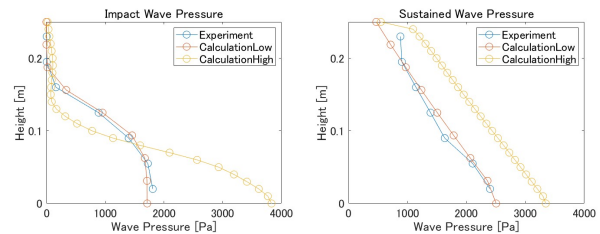


図-4 鉛直波圧分布の比較

低精度の計算結果の方が実験値により近い値を示す結果となった。水面形状は高精度計算の方がより鮮明に再現できていたため、以下では高精度計算を採用して検討を行った。

4. 計算モデルによる防波扉の解析

津波再現水槽数値モデルに実験と同様の防波扉模型を設定し、防波扉が予め起立した状態で孤立波が衝突する条件の数値解析を実施した。防波扉の隙間から波が通過する様子を図-5に示す。



図-5 数値解析モデルの様子

防波扉本体の強度を分析するため、前面に作用する波圧、及び波力について検討した。これらの結果について考察し、防波扉の設計条件の検討や現場設置モデルの提案を目指した。