

## 津波エネルギー低減効果に与える防潮堤勾配の影響 Influence of tidewalls slope on tsunami energy reduction effect

橋本 憲二 (八工大) 小笠原 亮介 (八工大) 高瀬 慎介 (八工大) 金子 賢治 (八工大) 加藤 雅也 (釧路高専)

Kenji HASHIMOTO, Hachinohe Institute of Technology  
Ryosuke OGASAWARA, Hachinohe Institute of Technology  
Shinsuke TAKASE, Hachinohe Institute of Technology  
Kenji KANEKO, Hachinohe Institute of Technology  
Masaya KATO, National Institute of Technology, Kushiro College  
E-mail: m19303@hi-tech.ac.jp

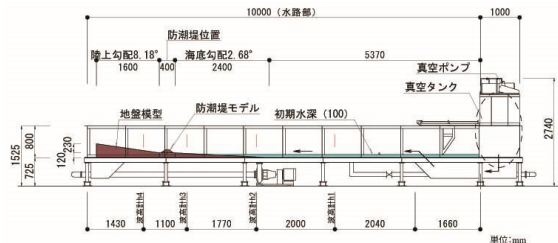
In the wake of the 2011 the Great East Japan Earthquake, research on toughness dike structures has been done. In previous studies at, it has been clarified that steep tidewalls have a great reduction effect on tsunami energy transmission to the hinterland. Additionally, Study on scouring measures of Landside toe of slope and dike structures using geosynthetics materials to realize steep banking, obtained the knowledge of toughness resistance to long time overflow by designing using submerged unit weight. However, there are cases of collapse despite satisfying stability, and the flow of water in the foundation ground is considered. In this research, numerical analysis of the tsunami energy reduction effect is performed, including the cases that have not been implemented in the experiment.

### 1. はじめに

東日本大震災を契機に粘り強い堤防構造に関する研究が進められている。防潮堤の高さのみで津波を防ぐことは非現実的であるため、越流しても粘り強い防潮堤が必要となる。また、津波エネルギーを低減し、背後の被害を低減できることが重要である。既往の研究では防潮堤の海側・陸側勾配の違いに着目した実験的な検討が行われ、どちらの勾配も鉛直に近づけた場合に最も津波エネルギーを低減する結果が得られている。しかし、津波エネルギー低減効果およびそのメカニズムについては、定性的な考察のみとなっている<sup>1)</sup>。本研究では、OpenFOAM<sup>2)</sup> を利用し、既往の研究における水理実験を対象とした再現と実験では検討されていない形状についての数値解析を実施し分析を行った。

### 2. 解析条件

本研究では、有限体積法を離散化手法とし、VOF 法による気液二相混相流解析であり、気体・液体共に非圧縮性流体とする。物性値は、重力加速度  $9.81\text{m/s}^2$ 、液体の密度・動粘性係数はそれぞれ  $1000\text{kg/m}^3$ 、 $1.0 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ 、気体は  $1\text{kg/m}^3$ 、 $1.48 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$  としている。図-1 に使用された水路と再現した水路の概要を示す。格子間隔は水路流れ方向  $x$  と深さ方向  $y$  に分割し、約  $0.01\text{m}$  である。水路奥行き方向  $z$  は  $0.01\text{m}$  とし、分割数を 1 にすることで二次元解析としている。水路は、海底勾配は  $1/20$  ( $2.86^\circ$ ) の傾斜を設け、背後には  $0.4\text{m}$  の平場、そして、陸側には  $8.18^\circ$  の傾斜を設けている。実際の水路は真空タンクに吸い上げることで、段波を発生させているが、真空タンクの構造は複雑であるため、真空タンク下部を流入面として、層流と乱流モデル (標準  $k-\varepsilon$  モデル)、流入速度を変更パラメータとし、防潮堤を設置しない場合の波高と遡上高を検討した。流入は、流入面の法線方向からとし、時刻歴を図-2 に示す。同図 (1) は実際に真空タンクから 1 秒ごとに落下する速度、(2) は測定されたものを基に流入速度を線形にしたものである。主な境界条件を表-1 に示す。支配方程式は、非圧縮性流体の連続の式、ナビエ・ストークス方程式である。表-2 に各条件での遡上高を示し、図-3 には実験と時刻歴 (2) における乱流モデルの波高を示す。層流では、どちらの時刻歴においても作用波が水路側面にまで達したため、計測できなかった。乱流モデルにおける時刻歴 (2) の条件



(a) 実験で使用された水路



(b) 再現した水路

図-1 水路概要

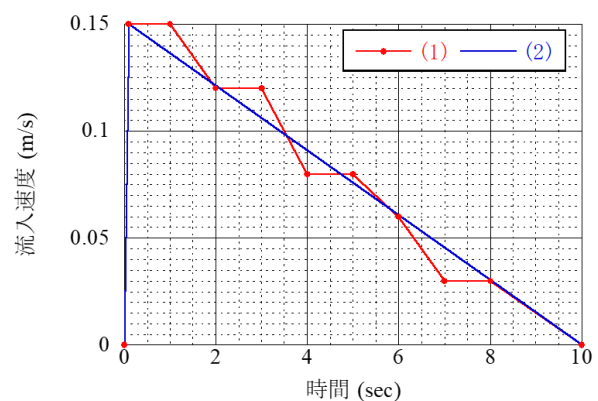


図-2 流入速度 (時刻歴)

では遡上高は実験値と近い値を示した。波高は海側にある波高計  $h_1$  と陸側に設置している  $h_4$  で同程度の波高となった。そのため、時刻歴 (2) と乱流モデルを用いて、陸側  $90^\circ$  として海側勾配を変化させた形状について解析を実施する。

表-1 境界条件

|      |            |
|------|------------|
| 水路底面 | non-Slip 壁 |
| 水路上面 | 大気開放       |

表-2 遡上高比較

|             |    | 層流   |     | 乱流   |      |
|-------------|----|------|-----|------|------|
|             |    | (1)  | (2) | (1)  | (2)  |
| 遡上高<br>(cm) | 解析 | -    | -   | 25.6 | 23.3 |
|             | 実験 | 23.6 |     |      |      |

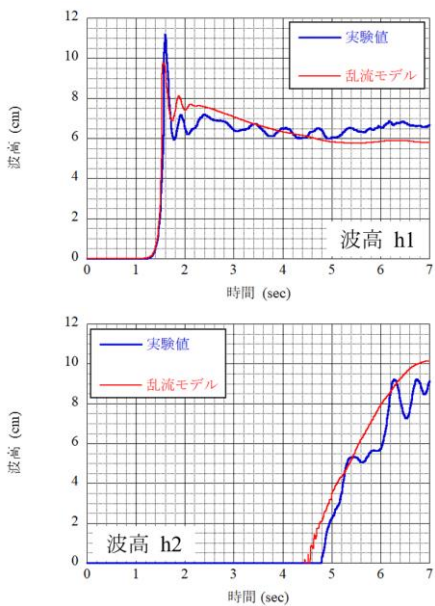


図-3 波高の比較

3. 結果の整理と考察

解析結果から、実験と同様に遡上高を測定し、津波エネルギーの透過率<sup>3)</sup>として $H_n/H_0\times100$ により表した。ここで $H_n$ は各防潮堤を設置した場合の遡上高、 $H_0$ は防潮堤を設置しない場合の遡上高である。図-4には実験と解析結果のエネルギー透過率と海側の各勾配の関係を示す。海側勾配が $31.6^\circ$ から $48.81^\circ$ までは背後地に伝わるエネルギーが減少する傾向である。図-5に、エネルギー透過率が増加した海側 $60^\circ$ と最も減少した $90^\circ$ の衝突時から0.5sまでの流速分布を示す。衝突時には両ケースとも流速は減少していないことがわかる。 $60^\circ$ の0.5s後の様子は、海側では流速の低下があまり見られないが、 $90^\circ$ の場合には波の反射に伴って防潮堤海側で大きく流速が低下していることがわかる。 $60^\circ$ では、0.5s後では波の反射が少ないが、 $90^\circ$ では反射波が大きく、海側へ向かって流れている。作用波の運動エネルギーは、防潮堤に衝突する前には同じであるため、流速の低下はエネルギーを減衰させる大きな要因となる。急勾配の場合には、背後地に伝わる津波エネルギーを低減させる有効な防潮堤となると考えられる。本研究では、陸側を $90^\circ$ における海側の形状の違いによる津波エネルギー低減効果に関する検討を行った。鉛直の防潮堤の場合には、作用波を大きく反射させ、海側での流速が著

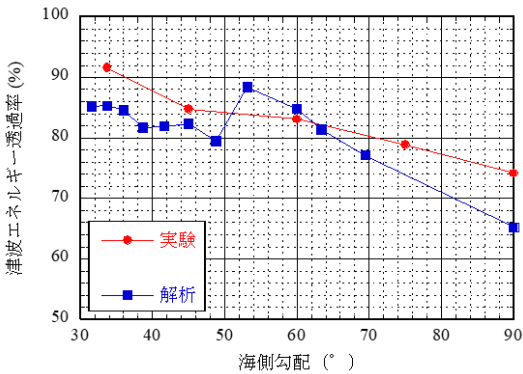


図-4 各海側形状と津波エネルギー透過率の関係

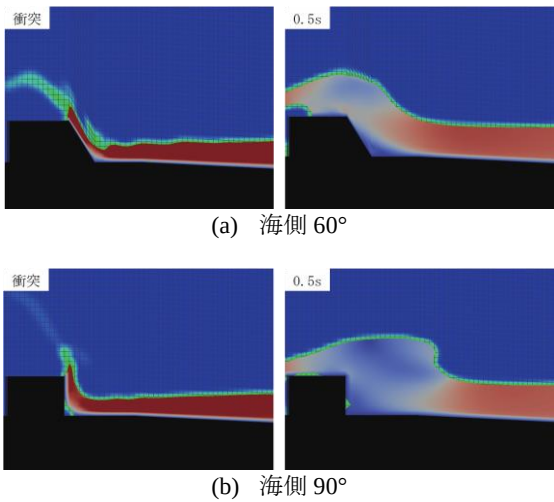


図-5 流速分布

しく低下することでエネルギーが減衰することが明らかとなった。今後は陸側勾配の違いに着目したエネルギー低減効果に関する検討を行う予定である。

4. おわりに

本研究では、陸側 $90^\circ$ における海側の形状の違いによる津波エネルギー低減効果に関する検討を行った。鉛直の防潮堤の場合には、作用波を大きく反射させ、海側での流速が著しく低下することでエネルギーが減衰することが明らかとなった。今後は陸側勾配の違いに着目したエネルギー低減効果に関する検討を行う予定である。

参考文献

1) 橋詰豊, 小山直輝, 野添重晃, 金子賢治: ジオテキスタイル補強防潮堤の基礎的津波水理実験, ジオシンセティックス論文集, Vol. 28, pp. 237-244, 2013.  
2) 一般社団法人オープン CAE 学会: OpenFOAM による熱移動と流れの数値解析, 2016.  
3) 多田毅, 新井昭浩, 宮田喜壽: 防潮堤の津波越流時のエネルギー減衰効果に関する水路実験と数値解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.71, No.2, I, pp. 757-764, 2015.