

海底板を有する防波堤の津波抑制効果に関する数値的研究

Numerical Study on Suppression of Tsunami by Breakwater with Seabed Plate

○ 小野瀬 仁, 東理大, 〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1, 4515617@ed.tus.ac.jp
 守 裕也, 東理大, 〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1, mamori@rs.tus.ac.jp
 戸田 和之, 千科大, 〒288-0025 千葉県銚子市潮見町 3, k-toda@cis.ac.jp
 山本 誠, 東理大, 〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1, yamamoto@rs.kagu.tus.ac.jp
 Hitoshi ONOSE, Tokyo University of Science, Niijuku 6-3-1, Katsushika, Tokyo, 125-8585, Japan
 Hiroya MAMORI, Tokyo University of Science, Niijuku 6-3-1, Katsushika, Tokyo, 125-8585, Japan
 Kazuyuki TODA, Chiba Institute of Science, Siomichou 3, Choshi, Chiba, 288-0025, Japan
 Makoto YAMAMOTO, Tokyo University of Science, Niijuku 6-3-1, Katsushika, Tokyo, 125-8585, Japan

A breakwater is designed to break sea waves, while the breakwater can be broken due to huge force in the case of tsunami. In order to improve the tsunami resistance of the breakwater, to install a seabed plate on the shore side of the breakwater is effective. In the present study, we performs numerical simulations of the flow around the breakwater installing a seabed plate. The effect of position and height of the seabed plate are numerically discussed. The computational code in this study shows reasonable agreement with those of experimental data. It is indicated that, as increasing the height of the seabed plate, the wave force acting on the breakwater decreases. Further, it is found that the installation position affects the scouring of the seabed around the breakwater.

1. 緒言

外洋から来る高波を防ぎ湾内の静穏を保つことが、防波堤の役割であったが、東日本大震災以降、湾内の静穏保持に加えて津波に対する減災効果の有効性が見直されている¹⁾。しかし、防波堤による津波の減災効果は、防波堤が完全に壊れてしまえば失われてしまうことが明らかである。震災以前からも様々な防波堤の研究²⁾が行われて来たが、震災以降はより壊れにくい防波堤の研究³⁾が指向されるようになってきている。また、先行研究⁴⁾から、既存防波堤の岸側の海底に板(Fig. 1)を設けることによって、防波堤の減災効果の向上につながる事が分かっている。

本研究は、津波等の災害に防波堤が見舞われたとしても壊れにくい「粘り強い」防波堤の提案を目的として、設置する海底板の位置や高さの変化による防波堤の津波抑制効果を数値計算によって調べたものである。

2. 研究概要

本研究で対象とした防波堤は、最も一般的な混成堤である。その寸法形状を Fig. 1 に示す。混成堤は海底の上に基礎(マウンド)を形成し、その上にケーソンを設置したものである。

津波を自由界面を有する乱流場と仮定し、支配方程式は非圧縮の連続の式と Navier-Stokes 方程式とした。支配方程式の各項は有限差分法に基づき離散化し、時間項に 1 次精度前進差分、対流項は 3 次精度の TVD スキーム、その他の項は 2 次精度の中心差分を適用した。速度と圧力のカップリングには SAMC 法を使用した。乱流モデルには標準型 $k-\epsilon$ モデルを用い、自由界面の捕捉法として MARS 法⁵⁾を用いた。この MARS 法では、水の体積率 f を輸送方程式より求め自由界面を捕捉する。

計算領域を Fig. 2 に示す。計算領域後方にある傾斜は反射波を防ぐ為に設けた。初期条件として流体に静水圧を与え、速度を 0 とし、出口境界において $p=0$ として計算を開始した。入り口の速度、圧力、また出口の速度、界面位置は一次外挿を用いた。出口境界では圧力を固定し、界面境界では速度を外挿して圧力を固定した。壁面上では壁法則を用いた境界条件を課した。

計算は、以下の手順に従って実行した。計算は領域内を水で満たした状態(Fig. 2)から開始し、計算開始と同時に流出境界から水

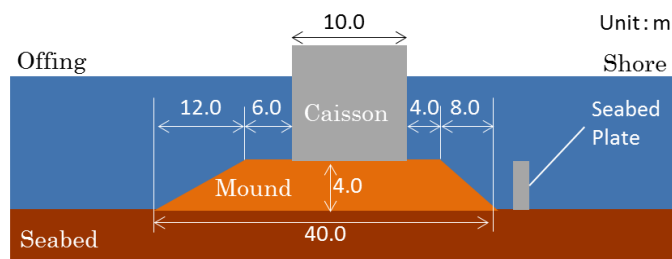


Fig. 1 Breakwater with a seabed plate (side view)

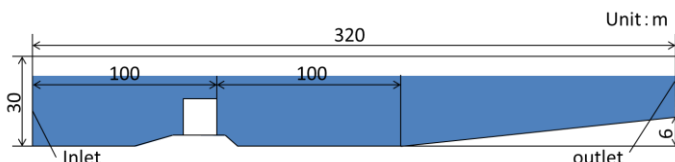


Fig. 2 Computational domain

が流れ出て行くように設定した。過去に行われた先行研究⁴⁾による実験結果との比較を Fig. 3 に示す。横軸は流入口での水位 H_1 を下流(岸側)で静穏状態での水位 H_2 で正規化した値である。縦軸は防波堤に作用する水平波力[N/m]である。黒の実線は静水圧式から求めた防波堤に作用する波力の理論値、青い丸は本計算による結果、赤い四角は実験による結果を示す。この時の計算条件は実験と同じ実スケールの 1/80 縮小スケールで計算を行い、実験条件と同様に流入口の水位を 0.04[m]~0.11[m]に変化させた。Fig.3 から、計算結果と実験結果は同様な傾向を示し、本研究で用いた計算コードは妥当であると判断できる。

海底板の高さおよび設置位置の効果を調べるため、設置する海底板の形状を幅 0.8m とし、高さ 4.0m, 6.0m の 2 通りで、設置位置はケーソンから 12m 離れたマウンドの端部に一つ目を設置し 3.0m ずつ離して 27m まで、それぞれの高さ毎に Case 1~Case 12 とし、計 12 パターンで計算を行った。流体の界面位置は 21.0[m] に固定し、下流の水位をおよそ 13.0[m]になるようにした。津波の高さは気象庁による調査結果⁶⁾を参考に、妥当な津波高さとして 8.0[m]と設定した。初期条件、境界条件は、前記と同様の条件で計算を行った。

3. 結果と考察

本計算の計算開始後 120 秒後の計算結果、速度ベクトル分布を Figs. 4-6 に示す。図の左側は沖側、右側は岸側である。Fig. 4 は海底板を設置していない計算結果である。これらの図から、越流した流れはさらに速くなり、その速い流れは海底にまで届いている。また、界面付近と岸側のマウンド上部に渦が形成されている。

Fig. 5 に海底板の高さが 4m の計算結果を示す。図から、海底板の設置位置に近い Case 1 では、越流した速い流れは海底板の上部を流れ、海底に届かないことがわかる。板を設置していない場合に界面付近で形成されていた渦は、この場合発生せずに跳水した。設置位置を遠ざけた Case 2 では、Case 1 と同様、速い流れは海底に届いていないが、板を設置しない場合と同様に、界面付近で渦が形成され、また湾内への流入角が緩やかになり速度も低下した。

Fig. 6 は海底板の高さが 6m の計算結果である。海底板高さ 4m の時と同様に、設置位置が近い場合では跳水、遠い場合では渦が発生している。また、跳水によって起きる界面の凹凸は海底板が高いほうが小さくなった。さらに、流入角は板の設置位置に関わらず緩やかになった。

計算を行った 12 パターンの防波堤に作用する水平波力の増減率を Fig. 8 に示す。縦軸は、海底板を設置していない時の波力を用いて表した防波堤に作用する波力の増減率、横軸は防波堤ケーソン部からの板の設置位置までの距離である。青のプロット、赤のプロットはそれぞれ、海底板の高さが 4m, 6m の場合を示す。海底板高さ 4m の場合、防波堤に作用する波力は海底板が防波堤から離れるほど概してわずかに減少した。これは、界面付近にできる渦によって水位が上昇したためだと考えられる。海底板高さ 6m の時ではほとんどの場合で波力は低下し、これは板の設置による防波堤下流における水位の上昇によるものと考えられる。また、海底板高さ 6m, 設置位置 27m の時では波力が著しく増加しているが、これは流入した流れが海底板に衝突し、流れが大きく乱れることが原因であると考えられる。

防波堤下流の海底の時間平均摩擦速度を Fig. 8 に示す。縦軸は時間平均した海底における摩擦速度、横軸は防波堤ケーソン部からの距離を示す。黒の実線は海底板無の値、黒い点線は海底の堆積物の粒径が 5mm, 3mm, 1mm の時の限界摩擦速度 U_c である。ここで、限界摩擦速度は岩垣の式⁷⁾を用いて導出した。岩垣の式より、限界摩擦速度を超えた場所で洗掘が始まり、結果として防波堤が損壊することが予想される。赤の点線は海底板高さ 4m の Case 1, 2, 青の点線は海底板高さ 6m の Case 3, 4 の時の防波堤下流の海底の摩擦速度である。摩擦速度は海底板の高さに関わらず防波堤下流において減少し、粒径が 3mm 程度までは洗掘しないことがわかる。これは、海底板を設置することにより、海底に到達するはずだった速い流れが海底板の上部を流れることで海底の摩擦速度が減少したためと考えられる。また、板を設置したことで防波堤を越流する際の流入角が緩やかになることも影響していると考えられる。

4. 結言

本研究では、海底板を有する防波堤周りの数値計算を行った。海底板の高さを 2 通り、設置位置を防波堤のケーソン部から 12m から 3m ずつ離していき、計 12 通りの計算を行った。本研究結果から得られた知見を以下にまとめる。

- 海底板を設置することで防波堤の海底に流れる速い流れを遠ざけることができ、結果的に摩擦速度が低減する。
- 海底板の高さが高くなることで下流の水位が上昇し、防波堤に作用する波力が低減する。
- 海底板の設置位置によって越流後の跳水が起きる。
- 海底板の条件によっては越流する波の流入角が変化する。

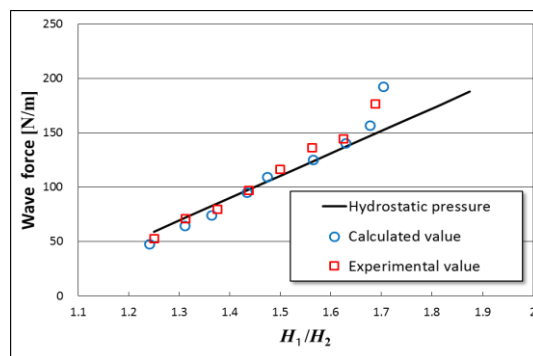


Fig. 3 Comparison of wave force for different H_1/H_2

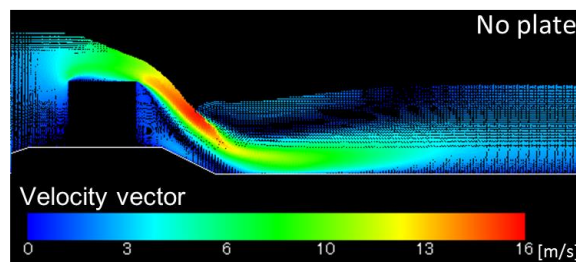


Fig. 4 Instantaneous flow fields (No plate)

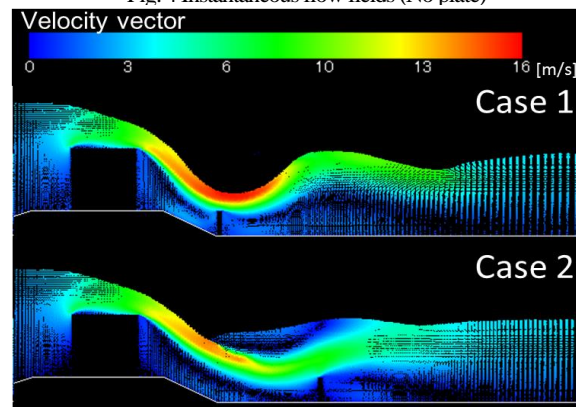


Fig. 5 Instantaneous flow fields (Cases 1, 2)

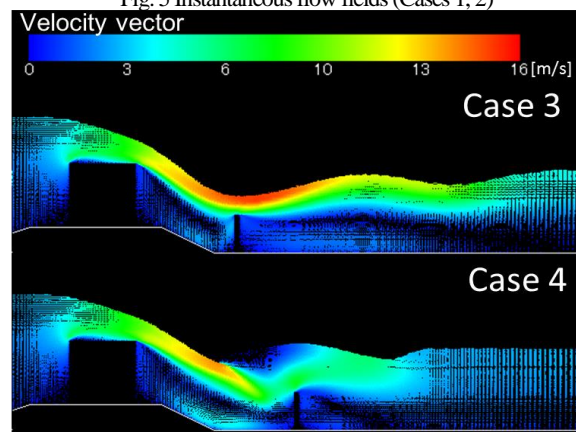


Fig. 6 Instantaneous flow fields (Case 3 and 4)

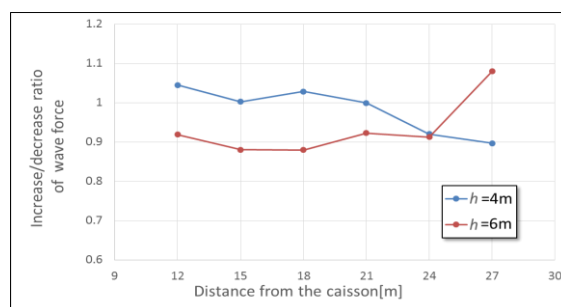


Fig. 7 Increase/decrease rate

参考文献

- (1) 国土交通省, 防波堤の耐津波設計ガイドライン (2013), 35 pp.
- (2) 山根ら, “直立浮上式防波堤の開発,” 海洋開発論文集, 21 (2005), pp. 115-120.
- (3) 奥村ら, “津波の破壊力の消散させる未来型の防波堤「双胴型防波堤」の提案,” ながれ, 30 (2011), pp. 469-473
- (4) 馬淵絢香, “津波耐性を考慮した防波堤形状の数値的実験,” 千葉科学大学 卒業論文 (2013), 50 pp.
- (5) 功刀資彰, “自由界面を含む多相流の直接数値解析手法,” 機論 B, 63 (1997), pp. 88-96.
- (6) 気象庁, “現地調査による津波観測点付近の津波の高さについて,” (2011), 3 pp.
- (7) 岩垣雄一, 限界掃流力に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 41 (1956), pp. 1-21.

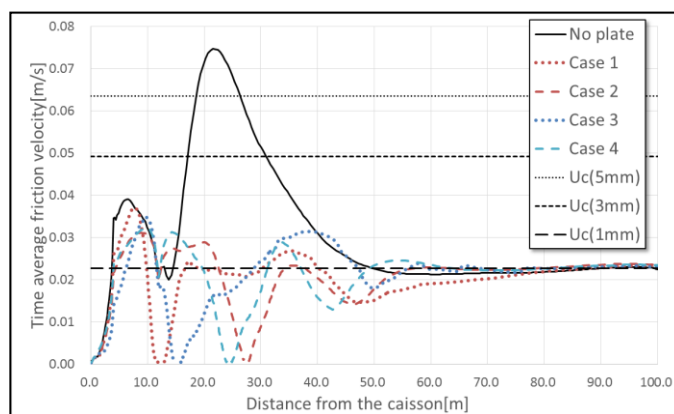


Fig. 8 Friction velocity (Cases 1-4)