

津波遡上低減効果が期待される没水構造物による波浪変形に関する基礎的研究

Fundamental Study on Wave Deformation Due to Submerged Structures Expected to Reduce Tsunami Run-Up

○丸尾成央<sup>1</sup>, 望月優名<sup>1</sup>, 寺田拓海<sup>2</sup>, 惠藤浩朗<sup>3</sup>

\*Akihiro Maruo<sup>1</sup>, Yuna Mochizuki<sup>1</sup>, Takumi Terada<sup>2</sup>, Hiroaki Eto<sup>3</sup>

Abstract: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake caused the largest tsunami in history. Based on this damage, this study analyzed the expected reduction of tsunami run-up height by submerged structures using the SPH method, one of the particle methods. As a result, it was confirmed that the direction of waves can be controlled by using submerged breakwaters installed below the sea surface. Therefore, a provisional calculation was performed with the expectation of reducing the run-up height at Kamaishi, which was damaged by the tsunami caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震により、三陸地方では津波が発生し、リアス式海岸の特徴が津波遡上高を高める要因となった。そのため津波被害低減を期待し堤防、防波堤の整備が進められているが、この整備による景観の阻害や閉鎖感が地域住民に与える精神的ストレスが問題視されている。そこで本研究では構造物全体が海面下に設置される潜堤により津波の進行方向を制御し、景観の阻害や閉鎖感を回避しつつ、リアス式海岸湾奥の津波遡上低減を目的とした検討を実施する。具体的には粒子法の一つであるSPH法<sup>[1]</sup>に基づく流体解析コードのDualSPHysics ver.5.2<sup>[2]</sup>を用いて潜堤による波浪変形解析を実施した。そして潜堤の形状により波が屈折し構造物背後の波高を抑えられたことから、釜石港を対象として地形モデルを作成し、津波の再現計算を行い、潜堤による津波の変形と浸水範囲・遡上高の減少の確認を目的として研究を実施した。

2. 潜堤による屈折の検討

潜堤による津波被害低減の検討を行う前段階として、潜堤によって実際に波の屈折が確認できるかの水槽規模のシミュレーション解析を行う。

2.1. 解析モデルの概要

Figure 1に潜堤と水槽モデルのイメージを示す。ここでCase 1として $d_2=0.4m$ の着底した潜堤（以下、着底式潜堤）を水底に設置し、Case 2として $d_2=0.1m$ の平板を水面下に配置した潜堤（以下、平板式潜堤）を設置し、両潜堤共に水面下0.1mに配置する。波高の計測点はx座標の4.0~7.6m、y座標の-1.5~1.5mの範囲を0.05m刻みに配置し、またTable 1に計算条件を示す。

2.2. 潜堤による波の屈折効果

Figure 2に本解析により得られた計算時間12sの際

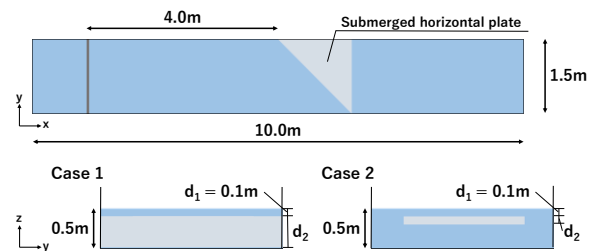
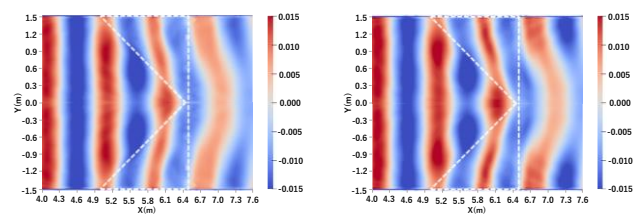


Figure 1 Analytical tank model, Submerged bank model

Table 1 Analysis conditions

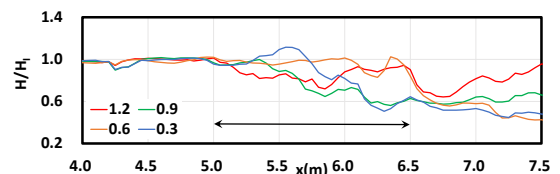
Distance between particles	0.0065m
Total number of particles	24,000,000
Wave height(H)	0.04m
Wave period(T)	0.8s
Computation time	12s



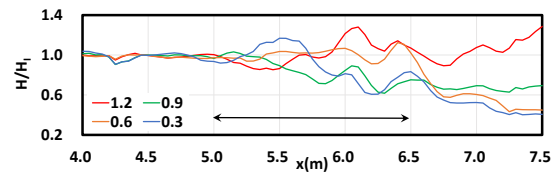
a) Case 1

b) Case 2

Figure 2 Wave height distribution(12s)



a) Case 1



b) Case 2

Figure 3 Wave height ratio

1:日大理工・学部・海建 2:日大理工・院(前)海建 3:日大理工・教員・海建

の水面変動量の平面分布を表す。図中の白い点線は潜堤の形状を表現しており、波は図の左側より入射させている。解析の結果、Figure 2 より、Case 1, 2 のどちらも潜堤により入射波が屈折し、同様な波形になったことが確認できる。このことより、波浪の屈折には潜堤の上面の水深が影響しており中空的な構造でも十分に効果が発揮されることが分かった。また Figure 3 に水槽のy軸が 0.3, 0.6, 0.9, 1.2m の地点でのx軸に沿った波高比 $H/H_1$ を示す。ここで $H/H_1$ は潜堤の設置により得られた水面変動量 $H$ を、潜堤を設置していない状態での水面変動量 $H_1$ で除した値である。潜堤が設置されている範囲を図中に矢印で示す。Figure 3 より、Case 1, 2 のどちらも、潜堤に入射した地点から波高は減衰し、その効果は潜堤の中央に近いほど大きいことが確認でき、最大で波高比 0.4 ほどの値を示した。また Case 1, 2 を比較すると潜堤の中央に近いほど、僅かではあるが Case 2 の方がより大きい減衰効果を示した。

### 3. 津波の遡上高減少の検討

本解析では、2011年東北地方太平洋沖地震の津波被害を対象に三陸海岸の津波の浸水範囲および遡上高の低減について検討を行う前段階として、浸水範囲や遡上高の再現計算を行う。ここで特に大きな津波被害が生じた釜石湾を対象として、実際の津波遡上範囲<sup>[3]</sup>を参考として解析範囲を決定した。そして国土地理院地図<sup>[4]</sup>とみんなの海図<sup>[5]</sup>から得た地形データをもとにRhincerosにより3次元モデルを作成した。その際、対象海域の鉛直方向規模は水平面規模に対し0.05倍程度であることから、本研究では鉛直方向の粒子の挙動を把握できるように鉛直方向のスケールのみ5倍に設定して解析を行うこととした。

#### 3.1. モデルの概要

津波の遡上高の再現計算に使用するモデルを Figure 4 に示す。また水柱寸法は水柱崩壊による津波波形の再現のため200m×4700m×205mに設定した。これは釜石湾奥で2011年に計測された約8mの津波高<sup>[6]</sup>を解析モデルに合わせ、5倍とした約40mの津波高を再現するため、事前に断面二次元解析で調整した値である。また $dp$ は14.0m、総粒子数702万粒子とし、計算時間は津波の波速から水槽最端部までのおよその到達時間を算出し350sに設定した。

#### 3.2. 遡上の確認

Figure 5 に釜石港解析による最も遡上高が高くなった時の遡上の様子を示す。黄色の点線は沿岸線、白線は東日本大震災の津波による実際の浸水範囲<sup>[7]</sup>を表す。

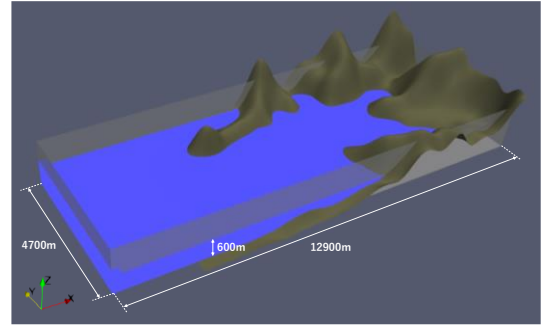


Figure 4 Analytical model of Kamaishi Bay

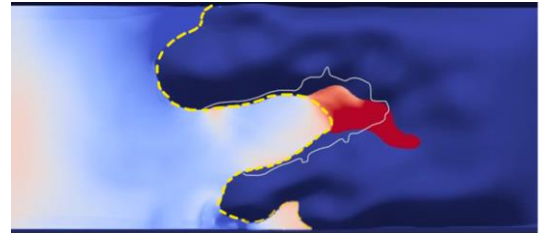


Figure 5 Kamaishi Port analysis of the upwelling

Figure 5 より数値解析による遡上範囲は実現象とやや異なる形状を示したが、津波の遡上現象は再現可能となった。今回の解析では実海域に対して解析モデルの垂直方向規模が異なり、また津波の波長や入射角についても実現象と合わせられていないことが、このような誤差の要因になったと考えられる。

### 4. おわりに

本解析により、潜堤の平面形状により波が屈折されることが確認された。その効果は潜堤の上面の水深が影響しており、平板式潜堤でも十分に効果が発揮されることが分かった。また潜堤中央を通過する波の減衰効果は、平板式潜堤でも着底式潜堤と同様の結果を得たことから、平板式潜堤の有用性があることが分かった。また津波の再現計算では、おおむね遡上現象の再現が確認されたが、津波の波長や入射角を考慮していないことから、実現象の再現性に課題が残る。

#### 参考文献

- [1] 惠藤浩朗, 寺田拓海, 木下龍太郎: 粒子法による没水平板の波浪集 波効果に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) 2024
- [2] Gingold, R.A. and Monaghan, J.J.: Smoothed particle hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars, Mon. Not. R. Astron. Soc., Vol. 181, pp. 375-389, 1977.
- [3] 国土地理院: 10 万分 1 親水範囲外況図, 親水範囲外況図 <http://www.gsi.go.jp/common/000059842.pdf>, 2024.05 参照
- [4] 国土地理院: 国土地理院地 GISMaps: <https://maps.gsi.go.jp/>, 20 24.05 参照
- [5] みんなの海図: <https://mar-nets.com/>, 2024.05 参照
- [6] 釜石市: 東日本大震災検証報告書【災害対策本部編】, 2014 [http://www.city.kamaishi.iwate.jp/docs/2015100900097/file\\_contents/2015100900097\\_www\\_city\\_kamaishi\\_iwate\\_jp\\_fukko\\_joho\\_torikum\\_i\\_shinsai\\_kensyo\\_detail\\_icsFiles\\_afieldfile\\_2015\\_10\\_23\\_26saigai\\_taisakuhonbuh\\_en.pdf](http://www.city.kamaishi.iwate.jp/docs/2015100900097/file_contents/2015100900097_www_city_kamaishi_iwate_jp_fukko_joho_torikum_i_shinsai_kensyo_detail_icsFiles_afieldfile_2015_10_23_26saigai_taisakuhonbuh_en.pdf), 2024.05 参照
- [7] 岩手県: 2011.3.11 東日本大震災の記録, <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8203625>, 2024.07 参照