

津波の流れ全体の密度増加に伴う防潮堤に作用する波力変動に関する解析的検討 Analytical Study on the Variation of Wave Force Acting on a Seawall Due to the Increase of Overall Fluid Density of Tsunami

○白 皓東・米山 望

○Haodong BAI, Nozomu Yoneyama

The “black tsunami” phenomenon was observed during the 2011 Tohoku tsunami, which was caused by a normal tsunami carrying silt or sand around the seabed. When the tsunami mixes with the sand or silt, its density increases. This phenomenon raises concerns that such kind a tsunami may exert a larger force on the structure like seawall or breakwaters compared to a normal tsunami impact. However, based on previous experimental research, the results vary. In this study, we employed numerical simulation to establish a relationship between the density increment and force increment. Firstly, we validated the analytical model by comparing its results with experiment data. Subsequently, we discovered that the force increment generally ranges from 0.85 to 1.25 times the density increment of the tsunami.

1. はじめに

東日本大震災において発生した「黒い津波」の現象に関する調査では、この液体の密度が 1.1g/cm^3 に達していることが確認された¹⁾。さらに、既存の研究では、津波の密度が最大で 1.2g/cm^3 に達していることが示されている²⁾。どちらの結果においても、津波の密度が水の密度 0.997g/cm^3 (標準大気圧、 3.98°C) より $10\%\sim 20\%$ 上回っていることが明らかとなった。しかし、津波の密度増加が防潮堤に作用する波力に与える影響については、まだ十分に解明されていない。そこで、本研究では数値解析モデルを用いて津波の全体密度の上昇が波力に与える影響を検討した。

2. 解析領域・解析手法

本研究では、Robertson ら³⁾の実験に合わせて、

解析領域を設定した(図-1)。同図に示したように、斜面の上端を原点Oと設定し、原点Oからx方向(岸方向)に向かって28.73mに鉛直壁を設定し、鉛直壁が受ける波力を算出する。また、複数の地点で断面平均流速や水深を算出し、その中で結果が安定した地点Gの水深や流速を実験と比較する。

本研究の解析手法は、Pringle らが開発した非線形長波理論に基づく平面二次元解析手法とナビエーストークス方程式にベースとした三次元数値解析手法を組み合わせたモデル⁴⁾を用いる。解析された流れの概要図を図-1に示す。同図のように、計算時間を短縮できる二次元領域内で波高Hの孤立波を発生させ、斜面下端まで伝播させる。続いて、波が三次元領域に入ると、浅水過程により波が高くなり、砕波が発生する。その後、段波となって鉛直壁と衝突する。なお、メッシュサイズは、

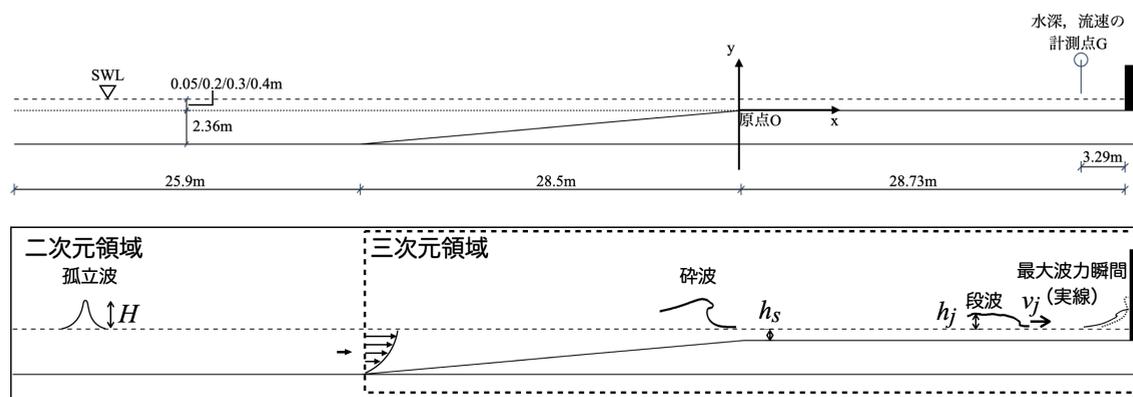


図-1 解析領域 (上)・解析流れの概要図 (下)

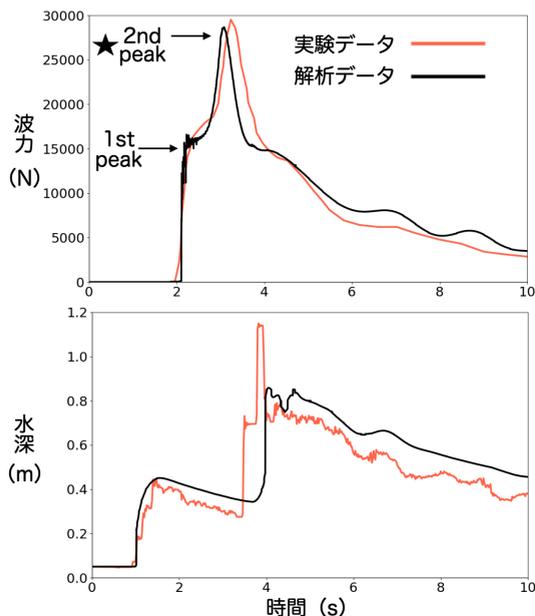


図-2 実験との比較：波力時系列（上）・計測点Gの水深時系列（下）

二次元領域においては横 5cm、奥行き 3.7 m（一メッシュ）、三次元領域においては横 5cm、縦 5cm、奥行き 3.7m（一メッシュ）とする。

3. 解析結果

(1) 実験との比較

Robertsonらの実験データ³⁾を参考に、解析において同じ初期水位で同程度の波高を発生させた。鉛直壁が受ける波力時系列と鉛直壁の手前の計測点Gでの水深の時系列をそれぞれ図-2に示す。各ケースにおいて、G点での水深が上昇し始めた頃を0秒として設定する。同図から、波力の変化について、二つの波力ピークが得られている。本研究では第二ピークの波力を対象とする。

図-2より水位の変化について、流れが鉛直壁にぶつかる前の第一ピーク、壁から戻った後の第二ピークやその後の減少する傾向がうまく再現されていることが確認された。また、本研究の考察においては点Gで計測された第一ピーク水深を用いることとする。

(2) 密度の影響考察

図-3には波力の増加率と密度の増加率の関係を示している。同図において、横軸は解析から得られた清水（密度 1000 kg/m³）の波力にそれぞれのケースの密度の増加率を掛けた結果になっており、縦軸は解析から得られた密度が 1.5 倍および 2.0 倍のケースの波力を示している。同図から、津波

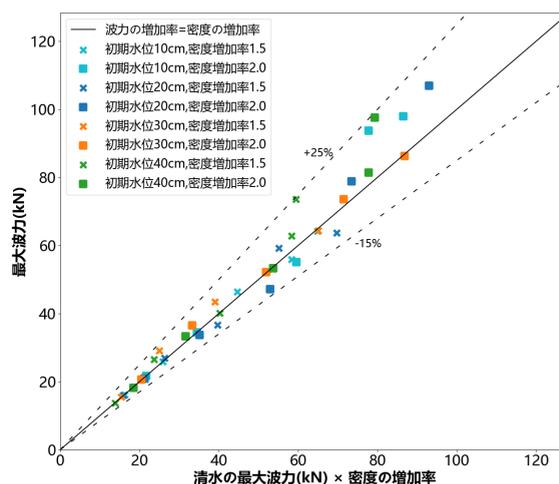


図-3 波力の増加率と密度の増加率の関係

全体の密度が増加すると、波力の増加率が密度の増加率の 0.85~1.25 倍の範囲内になっていることが確認され、波力増加率が密度増加率以上になる傾向が示された。

4. 結論

本研究は、数値解析を用いて黒い津波の現象を再現し、その波力の影響を考察した。得られた結果は以下の通りである：

(1) 既往実験と比較し、本研究で使用したモデルの妥当性を示した。

(2) 津波全体の密度が増加すると、波力増加率が密度の増加率の 0.85~1.25 にたことが確認された。

これらの結果は、黒い津波の波力と密度および粘性の関係性を理解するため解析面から知見を提供し、今後の防災対策や構造物設計に役立つと考えられる。

参考文献

- 1) 木瀬晃周, 有川太郎: 土砂・シルトを含んだ津波の波力に関する実験的研究、海岸工学、2020
- 2) 松富英夫, 川島峻: 津波氾濫流の密度に関する基礎実験、海岸工学 2015
- 3) Robertson, I. N., Paczkowski, K., Riggs, H. R. and Mohamed, A.: Experimental investigation of tsunami bore forces on vertical walls, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 2013
- 4) Pringle, W., Yoneyama and N., Mori, N.: Two-way coupled long wave-RANS model: Solitary wave transformation and breaking on a plane beach, Coastal Engineering, 2016.