

黒い津波が防潮堤に与える波力に関する数値解析

Numerical simulation of the influence about variation of density of Tsunami on wave force applied on breakwater

○白皓東・米山 望

○Koutou HAKU, Nozomu YONEYAMA

The Black Tsunami which is tsunami carrying sand or silt happened in Miyagi prefecture was recorded. Also, it is said that the increase of force of black tsunami applied on breakwater is bigger than the increase of density of the fluid. However, the research of this kind of tsunami isn't enough and the mechanism of this phenomenon isn't clear nowadays. This paper makes the simulation of this kind of tsunami and it analyzes the variation of force and pressure applied on the breakwater in different density or different initial water level cases. Then, it focused on the nose shape of the wave when the wave nearly strikes the breakwater. It showed that for water cases the nose shape of the wave is steadier than cases of silt. This is considered to result the big variation of force and pressure in silt cases while almost the same value of force and pressure in water cases. At last, the effect of viscosity should be discussed for future work.

1. 研究の背景

東日本大震災では、宮城県などで「黒い津波」と呼ばれる津波の映像が記録されていた。専門家によると、その正体は海底の泥やヘドロを巻き上げた津波と考えられている。黒い津波が沿岸部に押し寄せる際に、海中や海底の泥や土砂などを巻き込み、海水の見かけの密度を増加させ、密度の増加した黒い津波は、泥や土砂などを巻き込まない津波と比べ、沿岸部設置された防潮堤などに衝突した際の波力が大きくなることが懸念される。

木瀬・有川は土砂・シルトを含んだ津波の波力に関する実験を行っている。また、土木学会原子力土木委員会の津波評価小委員会は2021年8月から「土砂を含む津波の波力評価技術の高度化に関する研究」を開始し、実験による検討を行っている。しかし、現時点では、黒い津波あるいは土砂を含んだ津波の波力の検討に対して数値解析を適用した研究例は少ない。本研究では、数値解析により、黒い津波の挙動を再現し、流れの特徴を分析・検討した。

2. 解析手法の概要

本研究は米山らが開発した自由液面解析コードH-Freshを用いた三次元津波挙動解析を行い、段波がシルト層または水層を巻き上げ、防潮堤と衝突することで、防潮堤が受ける波力の特徴を分析する。さらに、防潮堤にぶつかる直前の先端形状が波

力に及ぼす影響を検討する。

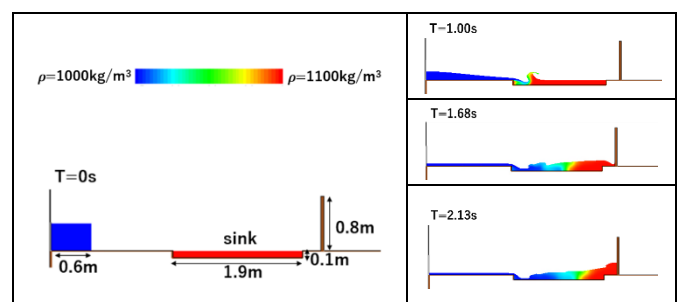


図.1 解析断面図（左）と解析過程（右）

図-1の解析断面図のように、初期水位 H [m]、幅 0.6 [m]の水塊(密度 1000 [kg/m^3])を設置し、深さ 0.1 [m]、長さ 1.9 [m]の水槽をシルトで満たす。本研究の初期水位では $40, 45, 50, 55, 60$ cmで5つのパターンとして設定される。

水槽内のシルトの密度は、木瀬・有川の実験^[1]でシルトの密度を約 1100 [kg/m^3]としているため、本研究では 1100 [kg/m^3]のケース (Silt 2) と水の密度との中央値 1050 [kg/m^3]のケース (Silt 1) の2ケースのシルト密度を設定した。なお、水の解析を「W+初期水位」の形で呼び、シルト1、シルト2の解析をそれぞれ「Si+初期水位」と「St+初期水位」の形で呼ぶ。また、波力や波圧を計測するため高さ 0.8 [m]の防潮堤を設定し、防潮堤底部から

0.5[cm]のところで最大波圧を計測して、防潮堤全体が受ける波圧を積分して波力を算定する.解析メッシュサイズは, 流下方向, 鉛直方向を 0.01[m]とし, 奥行き方向は1メッシュ(4[m])とした.

3. 解析結果と考察

図.1のように, 水槽の水またはシルトは発生した段波に押し出されることがわかる. したがって, 本研究では, 防潮堤にぶつかる流れの密度を水槽内の液体の密度とほぼ同じと見なせる. また, 図.1における, 防潮堤から受けた波圧が最大になる時が $T=1.68[s]$ であり, 防潮堤から受けた波力が最大になる時が $T=2.13[s]$ である.

(1) 波圧と波力の検討

波圧や波力の関しては有川・大家²⁾を参考に衝撃段波波圧(1st peak pressure)と持続波圧(2nd peak pressure)の値に分けて検討を行う. 本稿では衝撃段波波圧(波力)についてのみ示す.

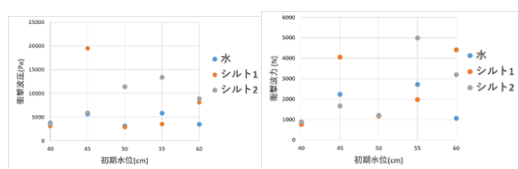


図.2 衝撃段波波圧(左)や波力(右)

図.2に防潮堤の底面から0.5[cm]の高さにおける衝撃段波波圧(左)や防潮堤全体から受ける波力(右)を示す. 図.2より, Si45, St50, St55において波圧が大きくなっており, Si45, St55, Si60において波力が大きくなっている. 一方, 水の解析では, シルト1および2ほどの大きな波圧や波力が見られていない.

(2) 先端形状の検討

段波が防潮堤にぶつかる直前の瞬間形状を図.3に示す. なお, カラーコンターは密度を示し, 図.1と共通である. シルトで大きな波圧を示したケース(Si45, St50, St55)及び大きな波力を示したケース(Si45, St50, Si60)では, 段波が防潮堤とぶつかる直前の先端形状が防潮堤に並行している様子が見られた. その一方で, 水のケースでは, 表示したいずれのケースでも防潮堤に平行する様子が見られない. 以上から, 水槽内の液体をシルトに変更すると津波先端が防潮堤に平行するケースが生じ, その場合に波圧や波力が大きくなる可能性(Si45の先端形状が防潮堤に並行しているけど,

そのケースの波力が大きくではない)が高いことが解析で確認された.

一方, どのような条件で先端形状が防潮堤に平行になるのか, そのメカニズムについては現段階では十分理解しておらず, 今後, 粘性等も考慮して検討していく.

また, ケース Si55, St55 では, 波の先端形に空気が入っている様子が見られ, 今後よりその妥当性と形成条件と影響について詳細に調べ, メカニズムを解明したい.



図.3 防潮堤にぶつかる直前の先端形状の断面図

4. 結論

本研究では, 三次元数値解析手法 H-Fresh を用いて段波を発生させ, 異なる密度の液体の混合により, 黒い津波の挙動を再現して, 防潮堤に与える波圧と波力の特徴を分析した. その結果, 以下の点が確認された.

- 水槽の液体にシルトを用いると津波先端が防潮堤に平行するケースが生じることが分かった.
- 津波先端が防潮堤に平行する場合に防潮堤の底面から0.5cmの高さの波圧や波力が大きくなる可能性が高いことが解析で確認された.
- 水槽の液体にシルトを用いると大きい波圧や波力の出現傾向が見られた.

水槽の液体に同じシルトを用いても, 初期水位により津波先端が防潮堤に平行しない場合も見られたため, その原因を本稿で触れなかった粘性の効果を考慮して今後検討していく予定である.

参考文献

- [1] 木瀬晃周, 有川太郎, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 76, No. 2, I_385-I_390, 2020
- [2] 有川太郎, 大家隆行, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 70, No. 2, pp. I_806-I_810, 2014