

砂を含んだ津波が防潮堤に与える波力変化に関する数値解析
Numerical Analysis of wave force variations on seawalls induced by Tsunamis containing sand

○白皓東・米山望

○Haodong BAI, Nozomu YONEYAMA

This research employs Numerical Simulation to evaluate the impact of a phenomenon termed “Black Tsunami”, wherein a Tsunami wave is combined with materials such as sand and silt carried from seabed, potentially exerting increased force on seawalls due to the enhanced density of the wave. This study considers the Solitary wave originating in a two-dimensional domain which then extends into a three-dimensional domain. Here, it carries the sand or silt on the land contrasting with scenarios involving only water, before ultimately impacting a seawall. The findings indicate that the presence of sand on the ground can cost the energy from the wave which leads to a reduction in the force exerted on the seawall.

1. はじめに

津波が海岸に押し寄せる際には、海底のシルトや砂が巻き込まれることで津波の密度が増加し、被害も広がる可能性がある。実際、東日本大震災では、宮城県などの地域で泥などが巻き込まれた黒い津波の映像が記録された¹⁾。しかし、砂の移動が建築物に与える波力の変化に関する研究はまだ十分に行われていない。本研究では、数値解析を用いて砂を巻き込むによる防潮堤に与える波力の変化を調査し、その結果を考察する。

2. 研究手法

米山らによって開発された 2DH-3D モデルにより沖側から発生した津波が上陸までの津波形状評価が検証され、長周期を有する波による砂移動が波力に与える影響も検討した²⁾。本研究では、2DH-3D モデルを使用して、入射波を孤立波と設定し、砂を巻き込みによる波力への影響を検討する。計算に用いる主な公式は以下の通りである。二次元領域では非線型長波理論を、三次元領域ではNSE (Navier-Stokes 方程式) を採用し、砂移動には Lane-Kalinske(1941)の式や Rubey(1933)の式を組み合わせる。

Robertson らの実験³⁾を参考にして、同じスケールの数値解析領域を設定した。その解析領域の概念図を図-1 で示す。領域全体には初期水深を 2.41m で設置し、二次元領域の沖側境界から波高 $h=1.205\text{m}$ (初期水深の半分高さ) の入射波を発生させる。続いて、波が三次元領域に入り、斜面の

ところで砕波になる。その後、砕波が段波に変わりつつ、水または移動床を構成する砂及びシルトを巻き込む。ここで、水の密度が 1000kg/m^3 であり、砂とシルトの密度は 2650kg/m^3 である。また、砂とシルトの粒径はそれぞれ $200\mu\text{m}$ ($2\times 10^{-4}\text{m}$) と $1\mu\text{m}$ ($1\times 10^{-6}\text{m}$) に設定される。最後に、混合した波が防潮堤にぶつかる。本解析において、水平面上の水位及び砂やシルトの厚さは実験と比較するために 0.05m で設置される。なお、解析のメッシュサイズについては以下にまとめる。奥行については、二次元と三次元の両方で 1 つメッシュが 3.7m である。二次元領域のメッシュ水平方向の間隔が 0.05m であり、三次元領域におけるメッシュサイズが $0.05\text{m}\times 0.05\text{m}$ (横×縦) である。

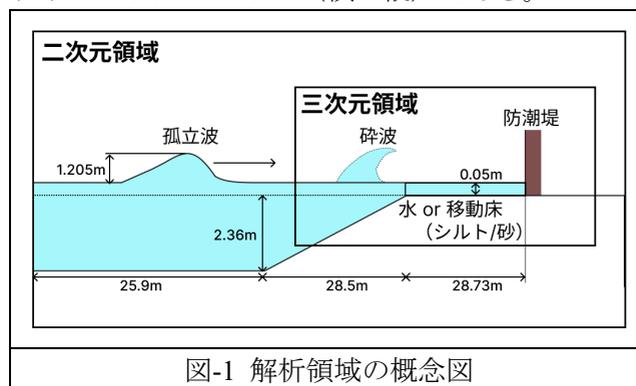


図-1 解析領域の概念図

3. 結果と考察

図-2 と図-3 では、水のケースにおいて防潮堤が受ける波力を示している。実験結果と比較した結果、波力分布において解析結果が若干過大評価になる傾向が見られるが、概ね実験結果と一致して

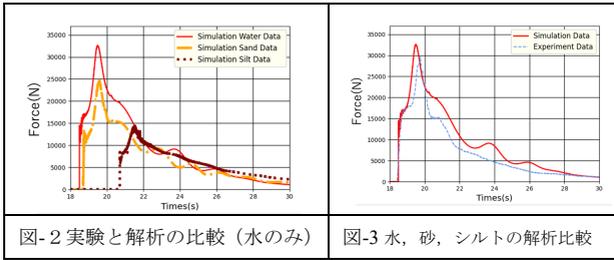


図-2 実験と解析の比較 (水のみ)

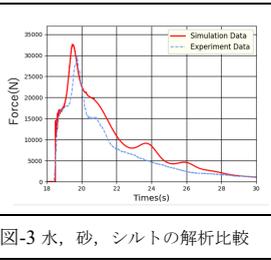


図-3 水, 砂, シルトの解析比較

いることが確認され、本解析条件下で2DH-3Dモデルによる水の波力評価の妥当性を示した。また、砂移動の妥当性について、何らの解析結果に参照する²⁾。次に、解析ケースにおいて、流れが防潮堤にぶつかる直前の断面図を図-4で示す。

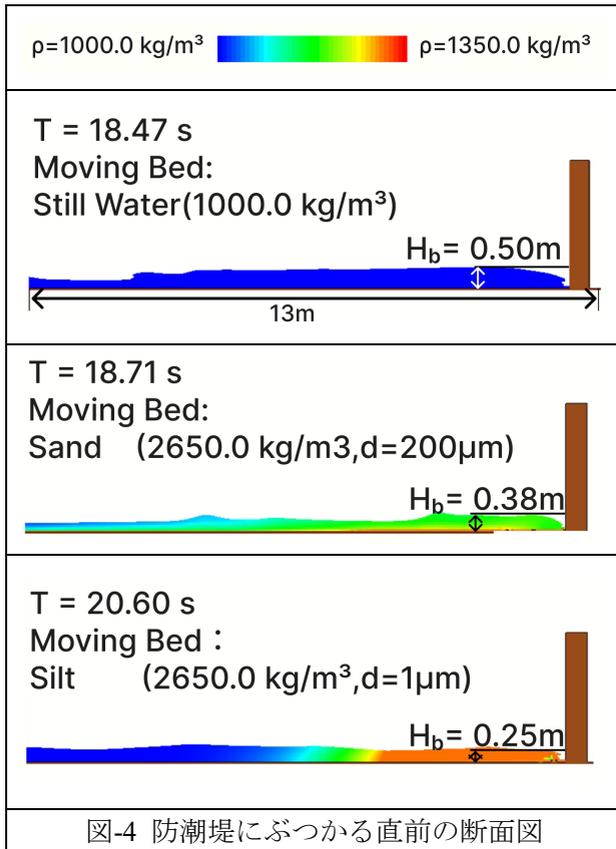


図-4 防潮堤にぶつかる直前の断面図

解析の結果から、以下のような考察が得られる。

(1) 断面図から、全てのケースで防潮堤にぶつかる直前に段波が形成されることが確認された。また、砂のケースにおいては、流れが全体的に密度の上がる傾向と比べ、シルトでは、粒子が前半部分に集中することや、全体的に波により押し出されることが観察された。特にシルトのケースでは、粒子の粒径が小さいため、波による動きがより容易であると考えられる。

(2) 移動床における粒子の粒径が小さいほど、波が防潮堤に到達時間が遅くなるとともに、断面図から波の先端部が低くなり、さらに防潮堤に与

える最大波力も小さくなることが分かる。粒子が小さくなると、波の運動エネルギーや位置エネルギーがより多くの粒子を停止状態から動き始めるまでに必要なエネルギーに消費され、流れ全体の運動エネルギー及び位置エネルギーが減少すると考えられる。

一方、本研究では砂を巻き込むによる波力の上昇が見られなく、砂が巻き込まれる発生場所が陸上にあること及び波の伝播や移動床の特性(例えば、流れの粘性、移動床の空隙率、波の速さなど)が関連している可能性が考えられる。

4. 結果と考察

本研究は、2DH-3D解析手法を用いて、沖側から孤立波を発生させ、上陸しながら砂を巻き込み、防潮堤にぶつかる現象を再現した。その結果や考察を以下にまとめる：

(1) 水のケースにおいて、2DH-3Dモデルの波力評価が概ね良好であることが確認された。

(2) 移動床の粒径を細かくするほど、①波が防潮堤に到達する時間が遅くなること、②最大波力が小さくなること、③防潮堤にぶつかる直前の流れの先端部分が低くなること観察された。これらの結果は、波の運動エネルギーや位置エネルギーが砂の運動により多く消費されることを示唆している。

(3) 解析ケースにおいて、粒子の粒径が $1\mu\text{m}(1 \times 10^{-6}\text{m})$ 程度になると、粒子が岸側に押し出される傾向が見られた。粒子の粒径が小さいため、波による動かされやすいためと考えられる。

一方、砂を巻き込む場所、波及び移動床の特性(粘性、空隙率など)の影響については今後の課題であり、砂移動モデルにおいて固液の相互作用も考慮することが望まれる。

参考文献

- 1) 岩手日報社：岩手の記録，平成の三陸大津波，特別報道写真集，2011
- 2) 何思儀・米山望：砂丘を乗り越えた津波が防潮堤に及ぼす波力に関する数値解析，海岸工学，Vol.78, No.2, 1_241-1_246, 2022
- 3) I. N. Robertson, K. Paczkowski, H. R. Riggs, A. Mohamed: Experimental Investigation of Tsunami Bore Forces on Vertical Walls, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering.2013