

粒子法を用いた陸上構造物に対する遡上津波の評価

15T0292W 稲木 真奈美
指導教員：丸山 喜久

1. 研究目的と背景

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震によって発生した津波により、太平洋沿岸の土木構造物が倒壊し、多くの人的被害、経済的被害が発生した。その原因としては、防波堤に強い水平力が作用し、津波が越流し、防波堤背後で基礎マウンドや海底地盤を洗掘して防波堤の安定性を低下させたことが挙げられる。これによって、侵入する津波の減災効果を十分に発揮できなかった。これを受け、「交通政策審議会港湾分科会防災部会」が 2011 年 5 月 2 日に設置され、2012 年 6 月 13 日に「港湾における地震・津波対策のあり方（答申）」が取りまとめられた。これらを踏まえ、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」が取りまとめられたが、防波堤の耐津波設計については十分に解明されていない点も多く、防波堤に作用する津波の水平力については汎用的に適用できる波力式はない。そのため、安定性照査手法も確立されておらず、水理模型実験や数値解析の結果などを用いて評価する必要がある。

そこで、本研究では、遡上津波の水位、速度、陸上構造物の水平力について粒子法を用いた数値解析を行う。現在、津波などによる構造物への影響評価は水理模型実験と VOF 法における数値解析が行われることが多く、既往研究を粒子法で再現することにより優位性、妥当性の検証を行う。

2. 粒子法の概要

粒子法は、粒子を用いた連続体の解析手法であり、格子法に比べて離散化式が相対的に簡単かつ格子間や接点間の関係性が不要で、大変形を前提とする解析に優位であるため、近年流体の解析に多く用いられている。²⁾ 建築・土木分野では、主に構造物に対する津波の波圧、洗掘、斜面崩壊や地すべり、衝突などの解析に用いられているが、粒子法の有効性、妥当性の検証が十分に行われていない。また、津波解析などは格子法的一种である VOF 法で検証されることも多いが、飛沫や水塊の分裂・合体の再現を考慮すると粒子法の方が優位である。

3. 解析条件

(1) 解析モデル

解析モデルは、水理模型実験³⁾と VOF 法による結果を比較している既往論文⁴⁾のモデルをベースに

AutoCAD で作成した。水理模型実験では 100 m 程度、VOF 法の既往論文では 70 m 程度の長さの水路を使用している。しかし、本研究においては、計算時間短縮の為に沖側を短くした 9 m のモデルを作成した。(図-1a)。なお、遡上水位の計測地点は既往研究の地点と同一箇所になっている(図 1b)。

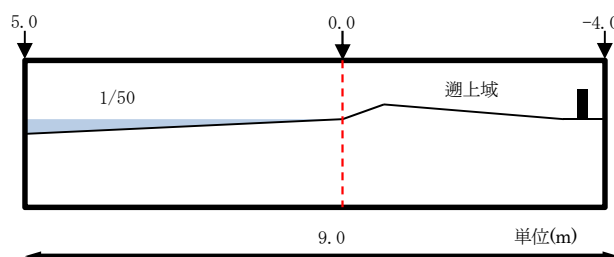


図-1a 水路モデルの概略図(奥行 0.04m)

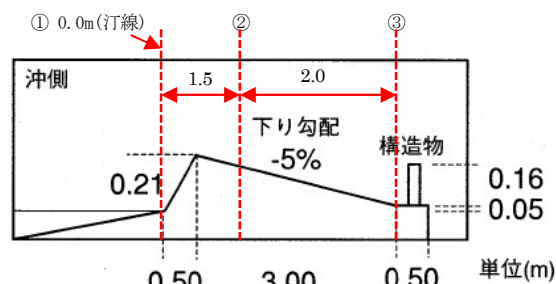


図-1b 計測地点の概略図²⁾

(2) 粒子径および時間刻みの設定

奥行きが 40mm のモデルであることから、解析開始時に粒子を 3 列以上配置できるように粒子径は 10mm とした。解析時間は、構造物に対する波の到達時間と上り勾配の反射波による影響を考慮して 17 秒(刻み 0.005 秒)とした。

(3) 流入速度

流入速度の設定は、既往論文の結果から推測していくつかのものを作成した。表-1 に流入速度を、図-2 に流入速度の波形を示す。

表-1 流入速度

ケース名	速度(m/s)	最高速度(m/s)
ケース 1	$0.05 \times s$	2.0
ケース 2	$0.04 \times s$	1.6
ケース 3	$2 \times \sin(s/80 \times \pi)$	2.0
ケース 4	$1.2 \times \sin((s/46)\pi - 0.5\pi) + 1.2$	2.4

s : 流入開始を 2 秒、1 ステップを 0.1[s] として計算(s=1, 2, 3, …)

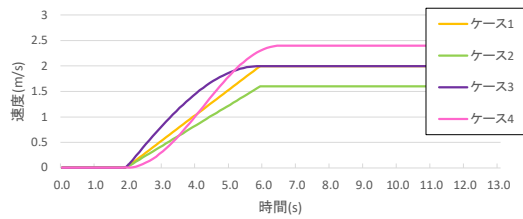


図-2 流入速度波形

4.解析結果

図-3 にそれぞれの地点での水位を、図 4 に構造物に対する作用力を、図 5 に汀線からの距離と流速の比較を示す。

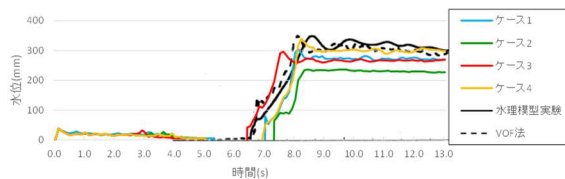


図-3a ①0.0m(汀線)における水位

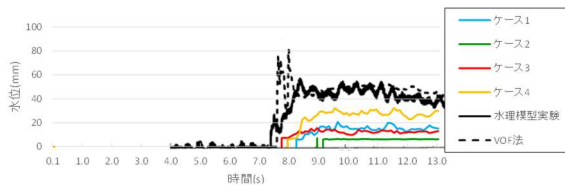


図-3b ②-1.5mにおける水位

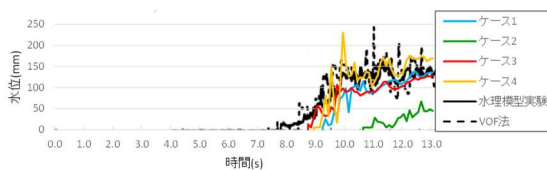


図-3c ③-3.5mにおける水位

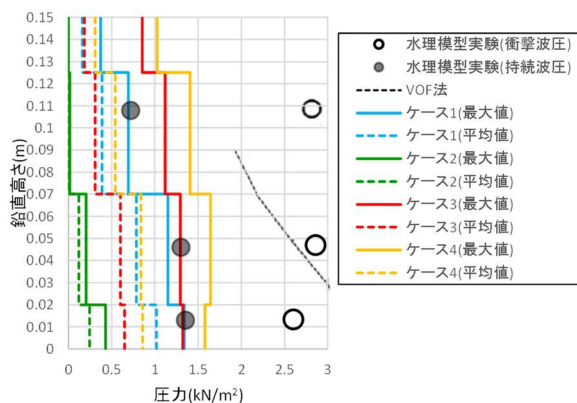


図-4 構造物に対する圧力

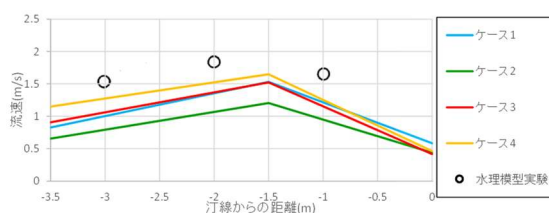


図-5 各地点における流速の比較

水位は、①の地点においてはケース 2 を除いて傾きは概ね良好である。最大値についてはケース 4 の値に近いが、波形から実験値よりも VOF 法の値に近いことが分かる。②の地点においては、すべてのケースにおいて実験値や VOF 法の値より小さくなっており、最大水位であるケース 4 でも実験値の半分程度の値になっている。また、②地点への流入開始時刻は 0.5 秒程遅れている。③の地点においては、ケース 4 の水位が実験値と近い値を示しているが、流入開始時刻は 1 秒程遅れている。

構造物に対する圧力については、最大となったケース 4(最大値)は水理模型実験(衝撃波圧)に対しては 50%の値となり、ケース 4(平均値)は水理模型実験(持続波圧)の値と比べて、高さ 0.11(m)付近で 75%程度、0.05(m)付近で 60%程度の値を示した。

流速については、最大であるケース 4 においても実験値よりも 15%程度小さい値となった。しかし、汀線からの距離と速度の変化については、実験結果と同一の傾向がみられる。

以上から、解析の流入速度の設定が適切でなかったものと考えられるが、各地点における水位波形から波形については実験に近い状態になっているといえる。また、構造物に対する圧力の関係については、高さ方向と圧力の傾向が VOF 法より実験値に近い状態にある。

5.まとめ

本研究では、流入速度を変化させることにより既往研究との比較を行った。実験結果よりも圧力や流速は小さかったが、水位波形、高さによる波圧分布の傾向や、汀線からの距離と流速の関係については実験値と同じ傾向が見られた。今後は、流速と波圧の関係をより精度を高く再現するために、流入速度などを変更しながら精度を向上させる必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン，2013.
- 2) 塚越誠一，柴田和也，室谷浩平：粒子法入門，丸善，2014.
- 3) 富田孝史，有川太郎，安田誠宏，今村文彦，河田恵昭：インド洋大津波のスリランカ南西部における津波実態・被害調査報告，海岸工学論文集，Vol. 52, pp. 1406-1410, 2005.
- 4) 有川太郎，山田文則，秋山実：3 次元数値波動水槽における津波波力に関する適用性の検討，海岸工学論文集，Vol. 52, pp. 46-50, 2005.