

巨大津波発生時の流起式可動防波堤挙動に対する
2DH3D Hybrid 流体剛体連成解析手法の適用性検証

Applicability Verification of a 2DH-3D Hybrid Fluid-Structure Coupling Analysis Method for the
Behavior of Hydroplane Tsunami Barriers during Giant Tsunami Events

○梶山 朋香・米山 望

○Tomoka SUGIYAMA, Nozomu YONEYAMA

The main objective of this study is to establish a numerical method to predict the behavior of Hydroplane breakwaters during a giant tsunami. A Hydroplane tsunami breakwater is a movable breakwater powered solely by the hydrodynamic force of a tsunami, and is expected to reduce damage to ports and harbors. Since they are not operated by humans, detailed simulation in a field environment is essential. In this study, the coupled fluid-rigid body analysis method developed by Yoneyama et al. that applies the FAVOR and VOF methods was used to reproduce the behavior of the breakwater. The obtained numerical solutions agreed well with the experimental results. The influence of computational grid size was also evaluated. In the future, we plan to examine the change of wave incidence direction and analyze the behavior in a realistic form(135 words).

1. はじめに

災害時の物資輸送の面で港湾施設の被災軽減は非常に重要である。流起式可動防波堤は、湾口部や河口部の津波対策として複数の実験や解析での検討を経て実用化を目指している。当防波堤は作動に人の手を介さず、流体力のみで回転・起立するため、津波来襲時の流起式可動防波堤の挙動を精緻に予測する手法の確立は重要な課題である。

後藤らは高精度粒子法を用いて東らの模型実験を再現しているが、実地形での適用例は未だ見当たらず、断面二次元流れ場での検討にとどまっている。米山ら^[1]の開発した流体剛体連成解析手法はフラップゲートの挙動予測について実地形への適用実績がある。当手法は波源からの津波伝播には平面二次元解析を、対象物周辺においては三次元解析を適用することで物体の挙動を一元的に、効率的に予測評価することが可能である。

本研究では、当手法を流起式可動防波堤の挙動予測に適用する。フラップゲートに比べ、回転軸が移動すること、円弧形状であることが主な課題である。大村らは同手法を流起式可動防波堤に適用し、東ら^[2]の実験結果との比較から適切に予測評価が行えることを確認した。扉体の運動は、扉体と回転台の接点を中心とした一軸回転運動に限定し、起立角度をもとに回転軸を移動させることによって表現した。また、扉体の形状は円弧に近

い多面体として表現した。本研究ではより広範囲での適用を想定し、格子サイズの影響を検討した。

2. 数値解析手法の概要

本研究では米山らが開発した流体・剛体連成解析手法を用いる。計算セルの空隙率・開口率を通して物体形状が流体解析に反映される。流体挙動の解析は、水面挙動の予測に VOF 法、境界形状の取り扱いに FAVOR 法を用いた非圧縮流体解析手法を用いている。剛体への作用力として重力・水圧・粘性力を考慮し、接点（図 1 の R）を中心とする一軸回転運動をおこなう。回転軸 R は以下の式により起立角度 α をもとに更新される。

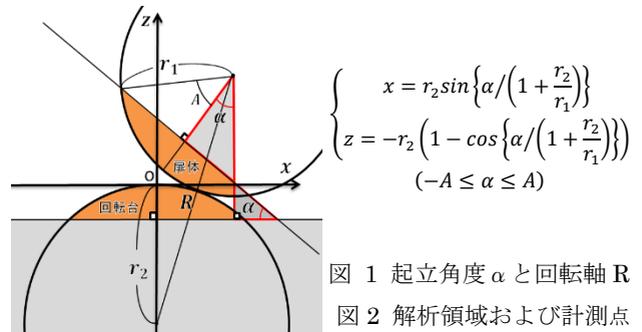
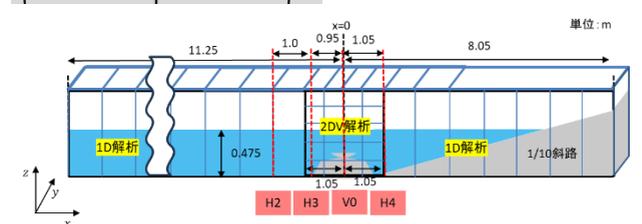


図 1 起立角度 α と回転軸 R

図 2 解析領域および計測点



3. 解析手法の適用性検証

(1) 解析概要

東らがおこなった模型縮尺1/50(扉体長さ43cm)の水利模型実験を検証対象とした解析領域の寸法と計測点の位置を図2に示す。解析は幅方向を単位幅とし、防波堤前後1.05m間を2DV解析、その他の領域で波の進行方向に1D解析を行った。メッシュ幅は1D領域で $dx=2\text{cm}$ 、2DV領域で $dx=dz=1\text{cm}$ である。入射波は孤立波の波高を2.2, 5.4, 10.8, 16.1cmとする4ケースとする。さらに、計算格子サイズの影響を調べるため、 $dx=dz=2.5\text{cm}$ 、 5cm と変えて入射波高16.1cmで解析を行った。

表 1 減衰率と起立の有無

入射波高 (cm)	実大波高 (m)		最大水位変化(cm)		減衰率	扉体の起立
			沖側(H3)	岸側(H4)		
2.2	1.0	実験	2.30	2.30	1.00	×
		解析	2.44	2.52	1.03	×
5.4	2.5	実験	6.00	5.70	0.95	×
		解析	5.92	5.74	0.97	×
10.8	5.0	実験	11.70	11.00	0.94	○
		解析	11.37	10.48	0.92	○
16.1	7.5	実験	16.55	14.92	0.90	○
		解析	16.46	14.48	0.88	○

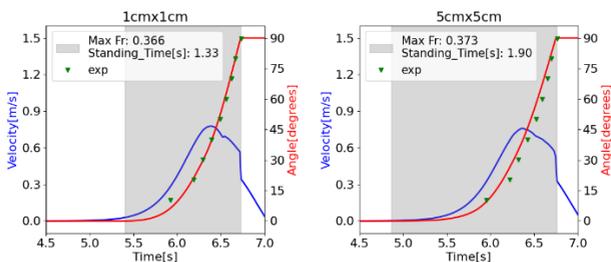


図 3 起立角度と水平流速(V0)の推移
(入射波高 16.1cm, 左:1cm×1cm 右:5cm×5cm)

(2) 解析結果の考察

解析結果と実験結果の比較から手法の適用性を検証する。表1より、扉体が起立する入射波高の条件が実験と解析で一致しており、防波堤前後の水位の減衰率も違いはわずかである。また、図3より入射波高 16.1cm のケースにおいて起立角度の推移が実験と概ね一致していることが確認できる。これより当手法は流起式可動防波堤の挙動解析に適用可能であると判断できる。

続いて格子サイズの影響評価を行う。図3に起立角度の推移、図4に起立過程を示す。5cm格子では起立し始めるのが少し早いことや、6.4s~6.7s付近の起立過程において扉体の下部で剛体の中を水が通過してしまう現象が確認された。水の通過は、格子中央のみで圧力を定めている手法の特性

に起因する。しかし、入射波高 16.1cm のケースにおいては起立過程の推移は 1cm の格子とほぼ一致した。

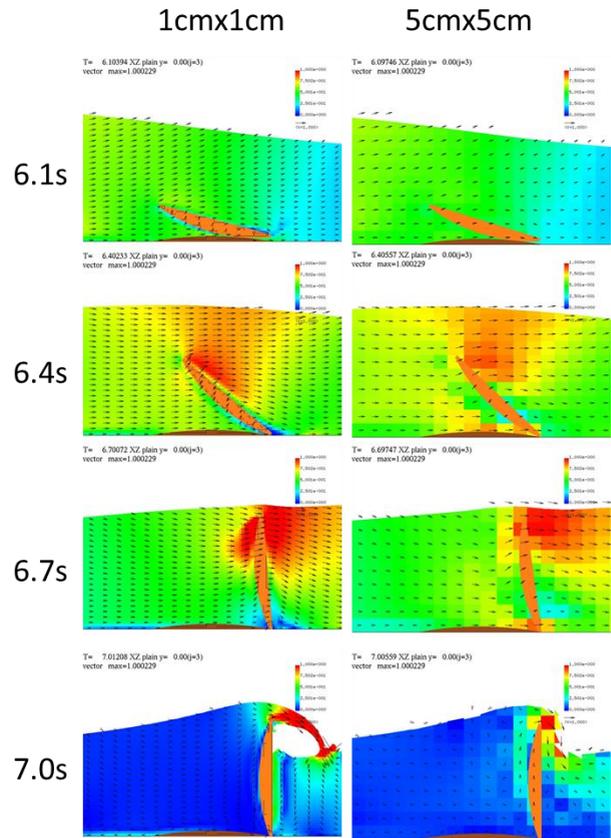


図 4 起立過程(入射波高16.1cm)

4. おわりに

解析結果を水利実験結果と比較し、流体・剛体連成解析手法が流起式可動防波堤の挙動予測に適用可能であることを示した。実地形での挙動予測手法の確立に向け、以下の検討を進める予定である。

- ・入射波高を変えて計算格子の粗い解析を行う。
- ・波の入射方向を変えて解析を行う。
- ・和歌山県冷水漁港などを対象に津波解析と連動した流起式可動防波堤の挙動解析を試みる。

参考文献

[1] 米山望,中島健輔,永島弘士:巨大津波発生時におけるフラップゲート式可動防波堤の挙動予測手法の開発,土木学会論文集 B2(海岸工学),Vol.67,No.2,pp.281-285,2011

[2] 東良慶,伊藤忠男,半田英明,平石哲也,菅野高弘:流起式可動防波堤の津波減勢効果に関する評価実験,土木学会論文集 B2(海岸工学),Vol71,No2,pp.1081-1086,2015