

OpenFOAM を用いた越波越流量解析の高精度化に関する検討

大成建設（株）技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○千綿 蒔

大成建設（株）技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 織田 幸伸

大成建設（株）技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 橋本 貴之

1. 背景と目的

地球温暖化に伴う高潮災害の甚大化により、高潮による水位が既設の護岸高を超える越流の発生が懸念される。護岸設計のためには、越波と越流の両方を考慮できる越波越流量の評価手法が今後必要になると考えられる。また、数値流体解析（CFD; Computational Fluid Dynamics）の技術が向上する中、設計業務にこれを活用するためには水理模型実験等の信頼性の高いデータとの比較検証が必要である。無料のオープンソース CFD 解析ツールである OpenFOAM の利用が近年進んでいるが、越波越流現象への適用については、水理実験に基づく検証がなされた事例は少ない。著者ら¹⁾は過去に、OpenFOAM を用いて越波越流現象を再現した数値実験と既往の評価方法との比較を行い、一部条件において両者の差異が大きいことを確認した。本研究では、水理模型実験を実施し、その結果に基づき OpenFOAM の越波越流現象への適用性を確認し、越波越流現象に対する数値計算精度について検討を行った。

2. 越波越流量の検討方法

数値実験は OpenFOAM (v1806) の interFoam ソルバーを用いて実施した。解析条件を表-1、解析対象領域を図-1 に示す。1/30 勾配の長水路に対して、断面二次元の計算を実施した。計算の安定化のため、空気相（VOF 値が 0.05 未満で定義）の流速は水相の流速を超えないとする制限を設けた。また、越波越流量は、護岸断面における VOF 値と流速の積によって算出した。

水理実験は数値実験条件に対して 3/100 スケールで行い、越流によって水槽全体の水位が大きく低下することを避けるため、平面水槽に 80 cm 幅で水路壁を設置し、これを実験水路とした。条件によっては越波越流量が集水枳の容量を上回るため、集水枳から水路外部への排水を行うパイプを設けた。この排水パイプにはバルブと流量計を設置し、排水量の調整と計測が可能であり、この排水量と枳の水位を考慮することで越波

越流量を算出した。

数値実験と水理実験はスケールが異なるため、事前に行った入射波検定で求めた換算沖波波高 H'_0 （数値実験 1.5 m、水理実験 60 mm）によって無次元化して比較を行った。検討条件を表-2 に示す。比較パラメタは相対前面水深 5 ケース、相対天端高 8 ケースとした。

3. 越波越流量の比較結果

図-2 に、数値実験と水理実験における越波越流量の比較を示す。越波越流量は、換算沖波波高で無次元化さ

表-1：数値解析条件

計算格子間隔		計算領域図に記載
計算時間間隔		自動調整 最大クーラン数：0.5
動粘性係数	水	$1.00 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
	空気	$1.59 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
密度	水	1000 kg/m^3
	空気	1 kg/m^3
乱流モデル		なし
境界条件	壁面	slip
	上面	大気圧開放
	底面	slip
界面数値拡散抑制係数 c_α		1.0

表-2：検討ケース

相对前面水深 h/H'_0		0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0
相对天端高 h_c/H'_0	越流	-0.1, -0.3, -0.5
	越波	0, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0
冲波波形勾配 H'_0/L_0		0.017

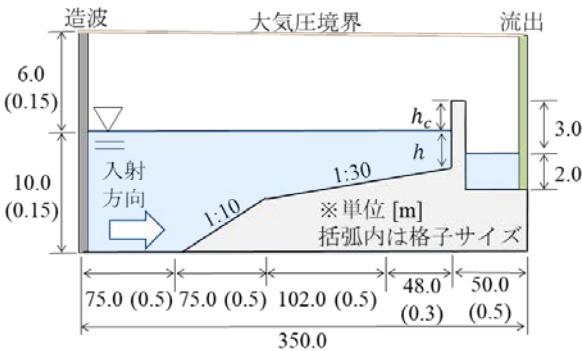


図-1 計算領域

キーワード 地球温暖化、高潮、越波、越流、CFD、OpenFOAM

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 334-1 大成建設（株） TEL 045-814-7234

れた無次元越波流量としている。図は初期状態の相対前面水深 h/H'_0 ごとに示しており、相対天端高が大きくなるほど越波越流量は低減する。 h/H'_0 が 0.5~4.0 のケースでは、数値実験（青○）と水理実験（赤×）の結果はほとんど一致しており、 h/H'_0 が 0.5 以上のケースにおいては、本計算は非常に精度良く実験結果を再現できることが示された。一方で、初期状態において h/H'_0 が 0 のケースでは、OpenFOAM による越波越流量の算定結果が水理実験結果を過大評価している。

OpenFOAM による計算結果の過大評価の原因は解析格子の作成方法である可能性があるため、解析格子の作成方法の変更を試みた。図-3に示すように、当初は斜面に沿って格子を定義していたため、水面と格子端部が不一致であり、これによる不自然な水の動きが一部で確認された。そこで、予め作成した格子に STL ファイルを挿入し、snappyHexMesh 機能によって斜面を設定する方法へと変更し、さらに護岸付近の格子の解像度も上げた。この方法では、底面と水面が離れた地点では初期状態の水面は完全に水平に定義されている（図-3 下図）。計算結果を図-4に示す。解析格子を変更することで、計算精度は若干向上したが、越波ケースにおいては、大きな精度向上はみられなかった。非常に水深が浅い条件では、ラディエーションストレスによる水位上昇や水の遡上を精度良く再現することが求められるが、本計算条件においてはその精度を向上させることができなかったと考えられる。川崎ら²⁾が言及している界面数値拡散抑制係数 c_α の設定方法や、底面の摩擦を考慮した検討等、他のパラメタを検証する必要があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、OpenFOAM による越波越流量解析の妥当性を水理実験との比較によって示した。多くの条件で両者は一致したが、護岸前面水深 0 m の条件では差異が大きくなった。非常に浅い水深条件において解析精度を向上させるためには、解析格子の作成方法以外にも、さらなる検証が必要であることが示された。

参考文献

- 1) 千綿蒔, 羽角華奈子, 織田幸伸, 伊藤一教: 高潮発生時の越波・越流による護岸通過流量に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.76, No.2, pp.I_109-I_114, 2020.
- 2) 川崎浩司, 松浦翔, 坂谷太基: 3次元数値流体力学ツール OpenFOAM における自由表面解析手法の妥当性に関する検討, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.69, No.2, I_748-I_753, 2013.

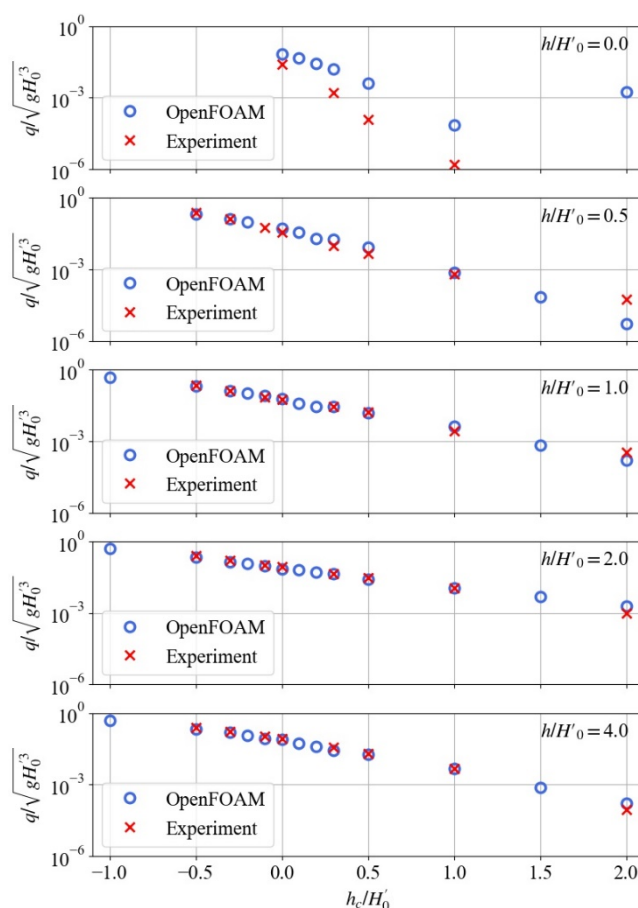


図-2：数値実験と水理実験における越波越流量

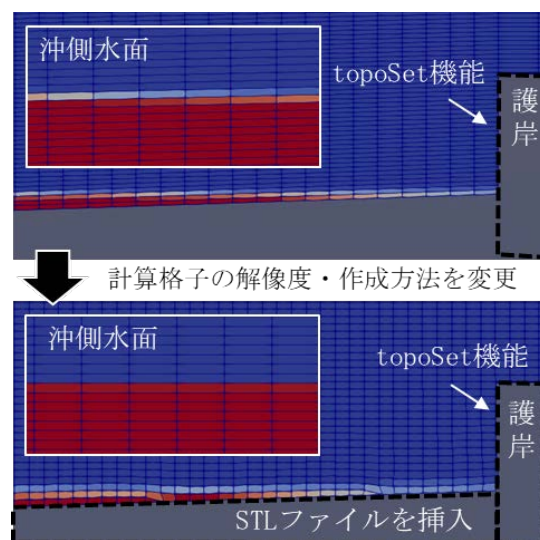


図-3：解析格子作成方法（初期状態）

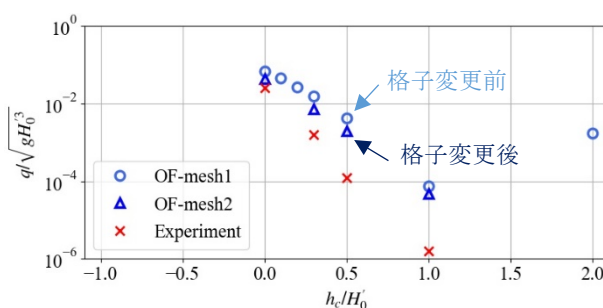


図-4：変更した解析格子による計算結果