

3 次元数値流体力学ツール OpenFOAM による波浪変形解析の妥当性に関する一検討

鹿島建設(株) 正会員 ○鈴木一輝 岩前伸幸 福山貴子 新保裕美 秋山義信

1. はじめに

3 次元数値流体力学ツール OpenFOAM (Open source Field Operation And Manipulation)¹⁾の海岸・水工学分野での利用が急速に広がっている。同モデルは、既存の流体解析モデルと比較して、気液二相流解析が可能であるとともに大規模計算に適するといった特徴があり、津波現象を対象に多くの解析実績を有している。さらに、近年では、波浪解析に必要な造波境界機能、減衰領域機能を OpenFOAM に付加する waves2Foam²⁾が開発され注目を集めている。しかし、波浪変形、砕波、越波現象といった波浪問題に対する検証事例は少なく、精度検証は十分でない。そこで、本稿では、OpenFOAM の波浪現象への適用に向けた基礎的な検討として、waves2Foam を導入した OpenFOAM (ver2.3.0) による規則波の伝播計算および砕波変形計算をについて述べる。

2. 計算条件

2.1 規則波の伝播計算

造波性能の妥当性を確認するために、一様水深場($h=6.0$ m)を対象に、規則波の伝播について断面 2 次元計算を実施した。計算領域を図-1 に示す。計算領域左端($x=0$ m)を造波境界とし、右側($x=35\sim 50$ m)に減衰領域を設置した。主要な計算条件は表-1 に示すとおりであり、造波理論はストークス波第 5 次近似解を用い、周期 $T=0.6$ s、波高 $H=0.6$ m の規則波を入射波とした。なお、乱流モデルは使用せず、気液界面の数値拡散抑制に関するパラメータ C_α は、デフォルト値である $C_\alpha=1$ を用いた。

2.2 砕波変形計算

有川ら³⁾を参考に、一様水深部($h=6.0$ m)と一様海底斜面を有する水路を対象に砕波変形計算を実施し、砕波計算の妥当性を検討した。規則波の伝播計算と同様に、断面 2 次元計算とした。図-2 は計算領域であり、本検討では海底斜面勾配を $1/10$ とした。計算条件は表-2 に示すとおりであり、入射波は規則波とし、換算沖波波高 $H_0'/L_0=0.050, 0.039, 0.031, 0.022, 0.010, 0.002$ となるように波高 H と周期 T を変化させた。乱流モデルおよび気液界面の数値拡散抑制に関するパラメータ C_α の設定は規則波の伝播計算と同じとした。

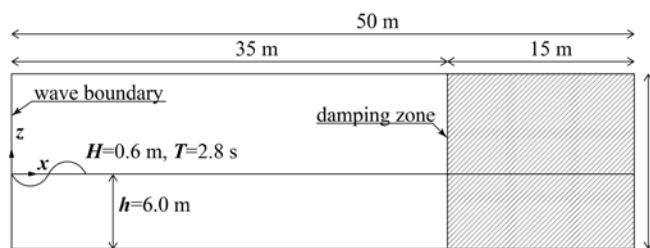


図-1 規則波の伝播計算の計算領域

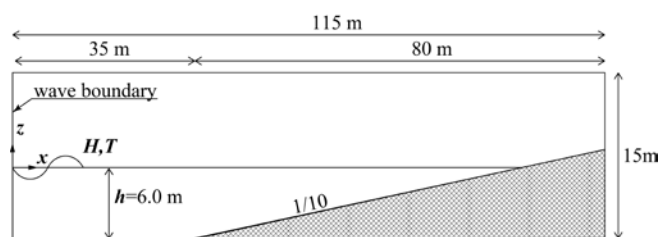


図-2 砕波変形計算の計算領域

表-1 規則波の伝播計算の計算条件

計算時間	50 s
時間時間間隔 Δt	自動調整
y 方向格子間隔 Δx	0.1 m
x 方向格子間隔 Δz	0.05 m~0.1m
総格子数	118,500
乱流モデル	使用なし
気液界面の数値拡散抑制に関するパラメータ C_α	1.0

表-2 砕波変形計算の計算条件

計算時間	90 s
時間時間間隔 Δt	自動調整
y 方向格子間隔 Δx	0.05 m~0.5m
x 方向格子間隔 Δz	0.05 m~0.1m
総格子数	201,894
乱流モデル	使用なし
気液界面の数値拡散抑制に関するパラメータ C_α	1.0

キーワード: OpenFOAM, 砕波変形, 規則波

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-6522

3. 計算結果と考察

3.1 規則波の伝播計算

規則波の伝播計算結果として、図-3に造波境界から2波長($2L=12.4\text{m}$)離れた位置での水位の時系列変化を示す。なお、図中には、理論値を併記した。

図-3より、計算開始より徐々に振幅が増大し、約4周期で理論値とよく一致していることがわかる。それ以降についても安定した波形であることから、本モデルは規則波の造波・伝播を精度よく計算できると判断される。

3.2 碎波変形計算

本計算結果と合田の碎波指標⁴⁾の比較を図-4に示す。碎波点の算出方法は、有川ら³⁾の研究を参考として、岸沖方向の波高の分布を算出し、波高が最大となる位置と定義した。ただし、波高に若干のばらつきがみられたため、有義波高分布をもとに碎波点を算出した。図-4(a)より、碎波水深・換算沖波波高比 h_b/H'_0 は、合田の碎波指標および既往の実験データに比べ若干大きい値を示しており、本計算では既往の結果より沖側で碎波が生じていることがわかる。一方、碎波波高・水深比 H_b/h_b を表す図-4(b)では、計算値は合田の碎波指標の傾向を良く表している。また、本計算結果は、図中に示した有川らによるCADMAS-SURF/3Dの計算結果と同等の精度であることがわかる。以上より、碎波変形計算に対しても、本モデルは一定の有効性を持つと判断される。なお、碎波水深・換算沖波波高比の誤差の原因は、乱流モデル、パラメータ C_a 、格子解像度が考えられ、今後の検討すべき課題である。

4. おわりに

3次元数値流体力学ツールOpenFOAMを用いて、一様水深場の規則波の伝播計算および碎波変形計算を実施し、理論解および既往の結果との比較より、

OpenFOAMが波浪変形解析に一定の有効性をもつことを示した。今後は、計算ケースを増やし、数値拡散抑制に関するパラメータ C_a および格子解像度が計算精度に及ぼす影響について詳細な検討を行う予定である。

参考文献

- 1) OpenFOAM: <https://openfoam.org/>, 参照 2017-02-16.
- 2) N. G. Jacobsen, D. R. Fuhrman, and J. Fredsøe: A wave generation toolbox for the open - source CFD library: OpenFoam®, International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 70, No. 9, pp.1073-1088, 2012.
- 3) 有川太郎, 山野貴司, 秋山 実 (2007): 数値波動水槽における碎波変形計算の高精度化, 海岸工学論文集, Vol. 54, pp.71-75.
- 4) 合田良実 (1984): 碎波指標の整理について, 土木学会論文報告集, 第180号, pp39-49.

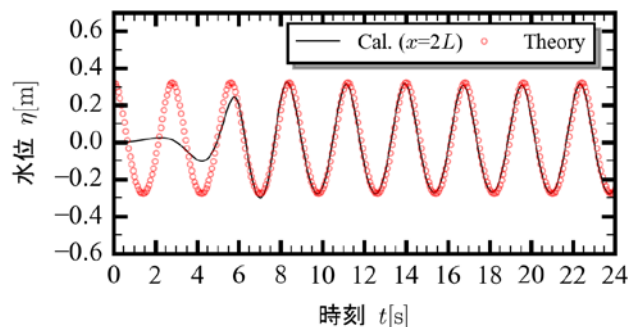
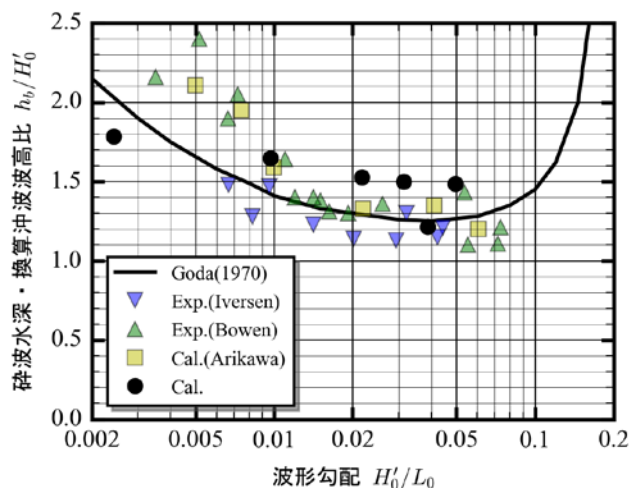
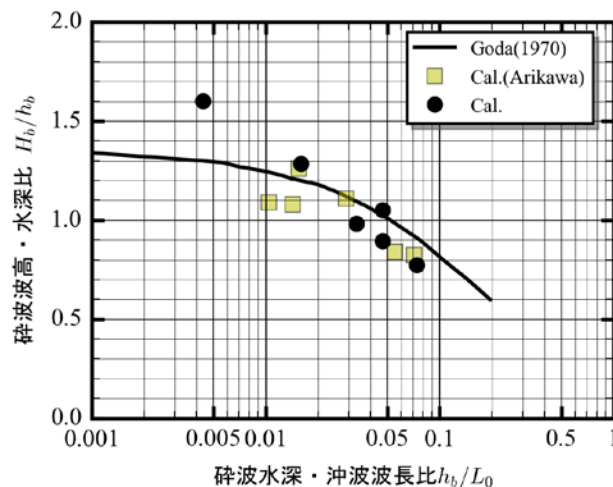


図-3 規則波の伝播計算結果



(a) 碎波水深・換算沖波波高比



(b) 碎波波高・水深比

図-4 合田の碎波指標との比較