

REEF3D による円柱構造物の波浪応答を対象とした模型実験の再現解析

豊橋技術科学大学 学生会員 白倉 大葵, 鈴木 陸斗, 竹野 史哉
 豊橋技術科学大学 正会員 松田 達也, 内藤 直人, 三浦 均也

1. 緒言

我が国では洋上風力発電設備の基礎として、モノパイル基礎の導入に向けた検討が盛んに行われている。現状では基礎周りの洗掘対策が課題として挙げられており、特に波浪外力が支持地盤に与える影響を分析・評価し、対策工法を検討する必要がある。

本研究では、REEF3D¹⁾を用いた数値実験による土砂動態を明らかとすることを目的とし、鈴木(2020)²⁾による円柱周りの土砂移動実験をもとに、数値実験における再現性を検討した。特に、波浪応答の妥当性を分析し、土砂移動現象の予測を行った。

2. REEF3D で用いられる数値計算手法

REEF3D の CFD モデルにおける支配方程式は、非圧縮性のレイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式 (RANS 方程式) と連続式である。

ナビエ・ストークス方程式に基づく波動伝播の計算では波動の減衰が生じる可能性があるため、高精度な離散化を行う必要がある。流速の離散化手法として、5次 WENO スキームを用いている。このスキームでは滑らかな関数全てに重み付けを行い、平均化することで高精度を維持している。また、二相流を扱う REEF3D では、気液境界面を表現する手法としてレベルセット法を用いている。二相の境界相を基準界面とし、境界内外を距離関数として定義する。タイムステップごとに再初期化を行うことで距離関数の性質の回復を図り、領域界面を鮮明に捉えることを可能にしている。

3. 解析条件

本解析では長さ 10 m, 幅 1.2 m, 高さ 1.0 m の境界領域を設定し、領域左端の境界から波を発生させる。水理条件は鈴木(2020)²⁾の実験条件と同様に水深 0.5m, 周期 1.6s とし、反射波による減衰が生じないように、領域右端から 3.0m の減衰領域を設定した。また、移動床実験との比較を行うため、直径 0.2m の円柱を設置した。本解析における波浪条件の設定には

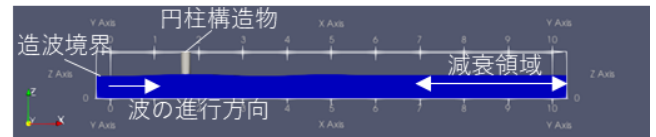


図-1 解析領域 (Case2) : 円柱あり

表-1 解析条件

	Case1	Case2
KC 数	0.3	0.6
円柱径 D (m)	0.2	0.2
波高 H (m), 円柱なし	0.03454	0.07136
波高 H (m), 円柱あり	0.03861	0.07807
周期 T (s)	1.6	1.6
減衰領域(m)	3.0	3.0
メッシュサイズ(m)	0.02	0.02
計算時のタイムステップ(s)	0.01	0.01

KC 数により決定した。本稿では紙面の都合上、KC=0.6 の結果のみを記載する。

時系列データの整理方法として、松田³⁾による研究で用いられた波の周期をもとにした位相角によるデータ整理を行う。位相角 $\theta=0^\circ$ を実験における各計測器位置の波の峰とし、解析結果での最大値から 1 周期分の平均値を示している。

解析結果は実験で設置した計測機器の位置に最も近い位置のメッシュや格子から得られたデータを抽出し、比較している。

4. 解析結果

4.1. 固定床における通過波の検討

図-2, 3 にそれぞれ KC=0.6 での波高, 流速変化における実験と解析の比較を示す。波高は解析と実験で概ね重なっており、解析の再現性が確認できる。流速は実験結果が若干大きく出ていることが確認できる。これは実験で用いた計測器の前方に設置しているスロープの影響、または壁面からの反射波の影響

を受けている可能性が考えられる。

4.2. 固定床における円柱構造物周りの波浪応答の検討

図-4 に $KC=0.6$ での流速を示す。比較の結果、4.1. の通過波の検討と同様に実験値が過大となり、4.1. で示した流速の約 1.5 倍であった。一方で、構造物周りの波圧も比較したが、波圧においては解析結果が過大となった。比較した実験は移動床実験である。また、実験では解析領域の半断面で実施しており、設置した半円柱構造物による水路幅の減少や進行波に対する反射波の影響が考えられ、また、計測機器に起因した過剰な増幅が考えられる。今後は実験条件や計測方法を変えながら、より詳細な分析が必要である。

4.3. 円柱構造物周りの流速ベクトル及び土砂移動の予測

図-5 に $KC=0.6$ での円柱構造物近傍における底面から $1.0 \times 10^{-4} \text{ m}$ の位置の流速ベクトルの平面分布を可視化した図を示す。波の進行方向を正とし、ベクトルに色付けを行っている。特に円柱沖側を 0° とした時、 $30^\circ \sim 135^\circ$ 付近で正、負のベクトルが大きく出しており、局所的な洗堀が生じると考えられる。また、円柱に沿うような流速ベクトルの分布であるため、 0° 、 180° 付近で砂の堆積が発生すると予測される。一方で、実験は $45^\circ \sim 135^\circ$ 付近で時間経過とともに洗堀が発生したが、 0° 、 180° 付近での砂の堆積は確認できなかった。

5. 結論

REEF3D による数値実験を実施したところ、模型円柱を設置していない条件では概ね模型実験の再現性が確認された。円柱の設置に伴い、流速は実験結果、波圧は解析結果が過大となり、再現性に課題を残した。円柱 $30^\circ \sim 135^\circ$ にかけて流速ベクトルが大きく出しており、局所的な洗堀、 0° 、 180° 付近での砂の堆積の発生が示唆された。実験では $45^\circ \sim 135^\circ$ 付近で洗堀が発生したが、 0° 、 180° 付近で堆積する傾向はみられなかったため、洗堀により掘れた砂は波に流され、不規則に堆積すると考えられる。

参考文献：1) Hans Bihs, Arun Kamath, Weizhi Wang, Ronja Ehlers, Ahmet Soydan, Csaba Pakozdi: “REEF3D – WordPress.com” <https://reef3d.wordpress.com>, (参照

2022-11-8). 2) 鈴木陸斗 (2020): 豊橋技術科学大学卒業研究論文. 3) 松田達也ら (2017): 土木学会論文集 B2 (海洋工学), Vol.73, No.2, pp.I_1117-I_1122.

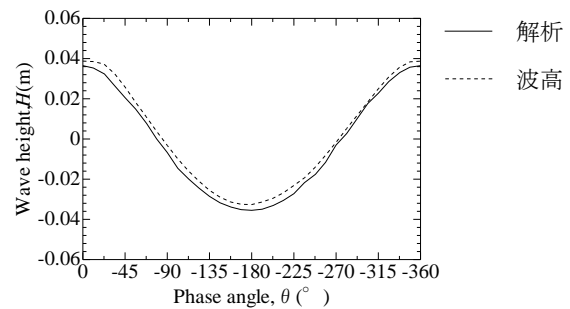


図-2 波高変化 1 波長 (Case2) 比較

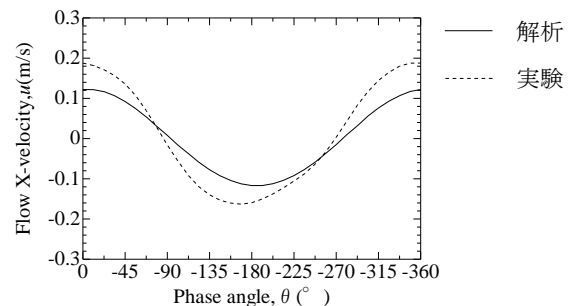


図-3 流速変化 1 波長 (Case2) 比較

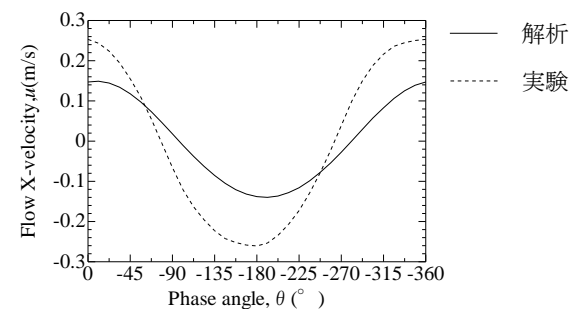


図-4 流速変化 1 波長 (Case2) 比較

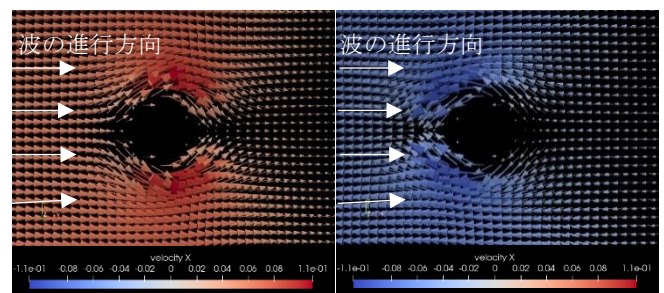


図-5 $\theta=0^\circ$ (左) と $\theta=180^\circ$ (右) における円柱構造物周りの流速ベクトルの分布