

波・流れ共存場における円柱周辺の三次元流況に関する数値解析

鳥取大学大学院 学生会員 ○森山 諒也
 元鳥取大学 非会員 上阪 龍太郎
 鳥取大学 正会員 梶川 勇樹
 鳥取大学 正会員 黒岩 正光

1. はじめに

今後日本での普及も見込まれている洋上風力発電施設の中でも、着床式の洋上風力発電施設の基部では、波浪や潮流の影響により局所的な洗掘現象が発生し、構造物の安定性を低下させ、倒壊に繋がる恐れがある。そのため、洗掘対策を講じる上でも、当構造物周辺の流れや洗掘現象を高精度に予測することは極めて重要となる。従来、洋上風車のような円柱構造物周辺における流れ及び洗掘予測に関する研究は、実験・解析ともに数多く行われてきた。しかしながら、解析的研究において、一様流場や波浪場を個別に対象とした研究は行われているものの、共存場を対象とした研究は殆ど見られない。そこで本研究では、波・流れ共存場における円柱周辺の局所洗掘現象を高精度に予測できる数値解析モデルの開発を最終目的とし、まず、波・流れ共存場の三次元流況を再現出来る数値解析モデルの開発を行った。

2. 数値モデルの概要と計算条件

本数値モデルでは、座標系にデカルト座標系を採用し、座標系に沿わない円柱形状等でも適切に境界条件を課すため、基礎方程式には FAVOR 法¹⁾を導入した。渦動粘性係数の評価における乱流モデルについては、一様流場において円柱周辺流況の再現性が確認されている SST (Shear Stress Transport) $k-\omega$ モデルを採用した。波・流れ共存場の作成として、造波境界における水平方向流速に、ストークス波第 5 近似解と対数則のそれぞれから求まる流速の合算を行った。

本数値モデルでは、計算領域下流に 5 割勾配 (=11.3°)の斜面を設置することで波の無反射を実現した。計算領域の概要を図-1 に示す。斜面上を越流した流れは、下流端から自由流出させた。表-1 に計算条件を示す。本研究では静水深 h_0 が得られるように斜面高さ z_h の調整を行っている。この点は容易に z_h を決定できず、また斜面を設けていることから流れが波向きとは逆流となる条件での解析が困難なことを意味する。したがって、より汎用的な無反射条件の導入が今後の課題となる。

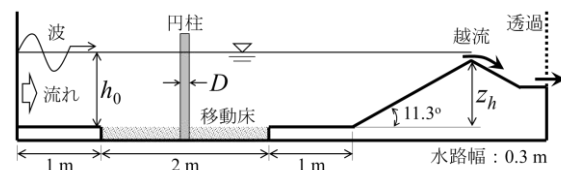


図-1 計算領域の概要図

表-1 計算条件

円柱直径 D (m)	0.05	計算時間間隔 Δt (s)	0.001
静水深 h_0 (m)	0.20	水平格子 $\Delta x, \Delta y$ (m)	0.00625
平均流速 u_c (m/s)	0.10	鉛直格子 Δz (m)	0.005
波	波高 H (m)	0.05	粗度係数 n
	周期 T (m)	1.40	斜面高さ z_h (m)
砂粒子 d (mm)	0.10	波のみ	0.1950
		波・流れ	0.1475

3. 計算結果と考察

本数値モデルにおける造波性能の検証として図-2 に波単独及び波・流れ共存場における水位の時間変化をそれぞれ示す。図-2 より、計算値は近似解⁶⁾および実験値とほぼ一致しているものの、波・流れ共存場では計算波高が実験値より若干大きい。

キーワード 円柱、波・流れ共存場、造波性能、三次元流況

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4 丁目 101 鳥取大学工学部社会システム土木系学科

TEL 0857-31-5300

しかしながら、計算値は流れによる波高の減少傾向を再現しており、本数値モデルの造波性能は良好であると考えられる。

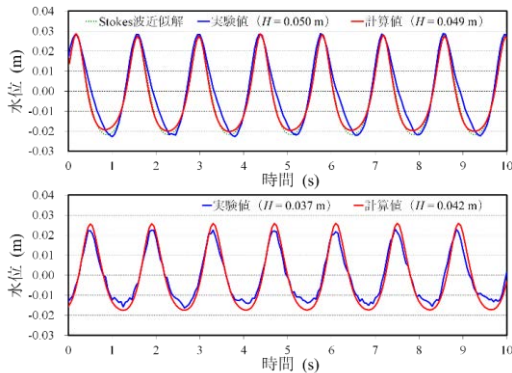


図-2 水位の時間変化の比較
(上：波単独，下：波・流れ共存場)

円柱周辺での流況の検討として図-3 および図-4 に、波単独及び波・流れ共存場における円柱位置での峰および谷通過時の水深平均流況を示す。図-3 の波単独では、流況に大きな乱れは無いが、図-4 の波・流れ共存場では、峰通過時に円柱後方で発生する伴流が乱れ、谷通過時で後流渦が左右非対称で流下する極めて複雑な流況となった。また、図-5 および図-6 に、波単独及び波・流れ共存場における鉛直断面流況を示す。平面流況と同様、図-5 の波単独では、鉛直断面においても流況の乱れは無いが、図-6 の波・流れ共存場では、峰通過時に水平方向の伴流の乱れにより鉛直方向にも振動する流況が発生し、谷通過時には小規模な多数の鉛直渦が不規則に発生した。この様に、対象の条件下での波・流れ共存場の円柱周辺流況は極めて複雑な様相を呈していたことが明らかになった。

4. おわりに

本研究では、波・流れ共存場における円柱周辺の流況を予測できる数値解析モデルの開発を目的とし、開発した三次元数値モデルの妥当性等について検証を行った。その結果、本数値モデルは波単独及び波・流れ共存場の水位変動を精度よく再現出来た。また、本研究での計算条件下において、波・流れ共存場の円柱周辺での流況は、波単独に比べて極めて複雑な三次元流況が発生していることを示した。今後は、本文中に記載した汎用的な無反射境界の導入および計算速度の向上が課題である。

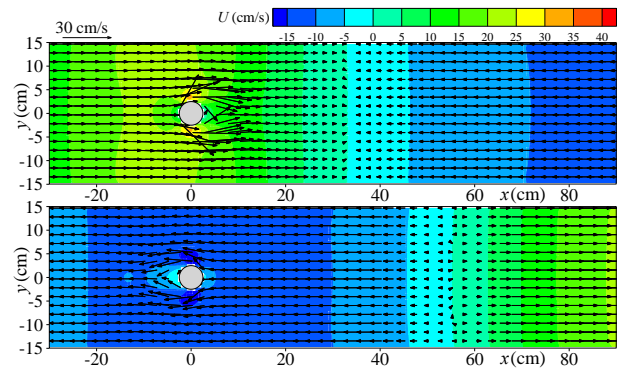


図-3 波単独による平面流況（上：峰通過時，下：谷通過時）

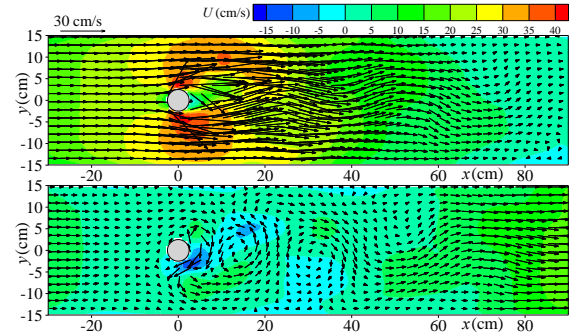


図-4 波・流れ共存場による平面流況
(上：峰通過時，下：谷通過時)

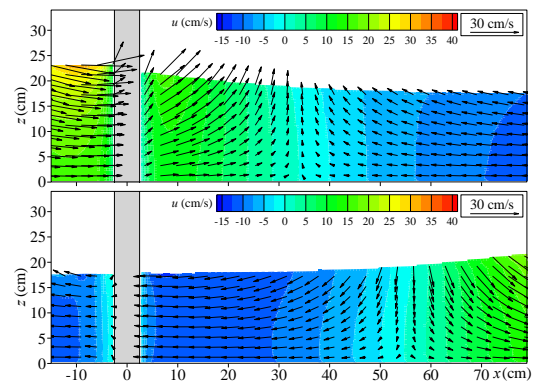


図-5 波単独による鉛直流況（上：峰通過時，下：谷通過時）

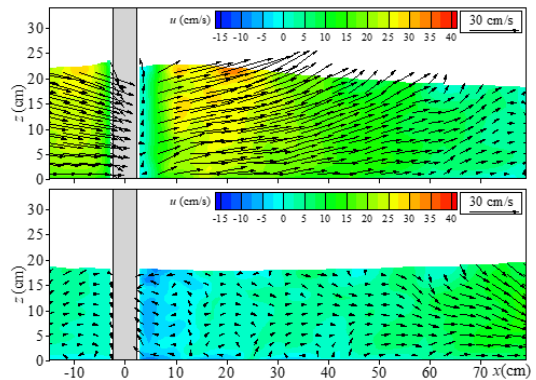


図-6 波・流れ共存場による鉛直流況
(上：峰通過時，下：谷通過時)

参考文献

- 1) 梶川勇樹, 森山諒也, 黒岩正光, 武田将英, Ain Natasha Balqis : RANSに基づく種々の乱流モデルを用いた円柱周辺の流れと局所洗掘解析, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 第77巻, 2号, pp.I_295-I_300, 2021.