様々な乱流モデルを用いた円柱周辺の流況解析

<u>1. はじめに</u>

2019年の再エネ海域利用法の施行により,今後よ り一層の普及が見込まれる洋上風力発電施設ではあ るが,その基部では流れや波により局所的な洗掘が 発生し,構造物の安定性が低下する恐れがある.一 方,当該施設のような円柱構造物周辺の流れと洗掘 予測については,従来より非常に数多くの研究が行 われており,様々な乱流モデルによる解析がなされ ている.しかしながら,円柱構造物周辺で発生する局 所的な現象を適切に再現出来る乱流モデルについて, 十分明らかにされているとは言い難い.そこで,本研 究では,円柱周辺の流れを適切に再現できる乱流モ デルを明らかにすることを目的とし,一様流を対象 に,乱流モデルと円柱の解像度(円柱表現格子数)を 変えて流況解析を行った.

2. 数値計算モデルの概要

本研究では、デカルト座標系において基礎式に FAVOR 法を導入した非静水圧 3 次元モデルを使用 した¹⁾. 計算格子にはコロケート格子を使用し、運動 方程式の移流項の差分化には 5 次精度 WENO 法を適 用した.また、流速・圧力の収束計算には C-HSMAC 法を適用した.乱流モデルには標準型 *k-e*、RNG *k-e*、 標準型 *k-w*、及び SST *k-w* の 4 つのモデルを採用し、 解像度には円柱直径方向の格子数として 5、10、15、 及び 20 メッシュの 4 つ格子幅について検討した.

3. 対象とした水理模型実験及び計算条件

本研究では、宇民(1976)²⁾ によって行われた水理 模型実験を対象とした.図-1 に実験の概要を示す. 実験では、長さ12m,幅0.4mの直線水路が用いら れ、水路中央の円柱設置区間は長さ2.8mの三方が 透明アクリル樹脂となっている.計算条件を表-1に

鳥取大学大学院	学生会員	○森山	諒也
鳥取大学	正会員	梶川	勇樹
鳥取大学	正会員	黒岩	正光



図-1 宇民(1976)の概要図

表-1 計算条件

解像度 (円柱表現格子数)	離散間隔	値	
5メッシュ	計算時間間隔 Δt (s)	0.002	
	計算格子幅 $\Delta x = \Delta y$ (m)	0.016	
10メッシュ	計算時間間隔 Δt (s)	0.002	
	計算格子幅 $\Delta x = \Delta y$ (m)	0.008	
15メッシュ	計算時間間隔 Δt (s)	0.001	
	計算格子幅 $\Delta x = \Delta y$ (m)	0.08/15(≒0.0053)	
20メッシュ	計算時間間隔 Δt (s)	0.001	
	計算格子幅 $\Delta x = \Delta y$ (m)	0.004	

示す.鉛直方向の計算格子幅は,全パターンとも Δz=0.003 m で固定した.

<u>4.計算結果と考察</u>

(1) 瞬間値による水深平均流速ベクトルの比較

図-2 は, (a)標準型 k-ɛ, (b)RNG k-ɛ, (c)標準型 k- ω および(d)SST k- ω モデルによる解像度 10 および 15 メッシュでの水深平均流速ベクトル (瞬間値) を示し ている.本研究で対象とした宇民の実験では, Reynolds 数は約26,000 となり円柱の背後にカルマン 渦列が乱れた伴流が形成される条件となっている. 図より,解像度 10 メッシュから RNG k-ɛ および SST k- ω で円柱背後に伴流が形成され始め, 15 メッシュ では標準型 k-ɛ でも伴流が形成されている.一方,標 準型 k- ω では解像度を上げても伴流が形成されなか った.

キーワード 一様流,円柱,流況解析,乱流モデル,解像度 連絡先 〒680-0945 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101 鳥取大学工学部海岸工学研究室 TEL 0857-31-5300





(2) 円柱前面における鉛直流況の比較

図-3 は解像度 15 メッシュでの(a)RNG k-ε および (b)SST k-ω による円柱前面の縦断流速ベクトルを示 している.両者ともにほぼ同様の結果となったが、底 面近傍での馬蹄形渦による逆流は、SST k-ωモデルの 方が若干強いことが確認できる.

図−4 は各解像度での円柱前面における底面から (a)h/2 および(b)h/8 の高さでの鉛直方向流速の比較し たものである.ここで,解像度20メッシュにおいて, 標準型 k-ω モデルは粘性が卓越し,表-1 に示した条 件では、計算が発散したため図示していない. 図か ら, h/2 ではモデル間の差は殆どないものの, h/8 で は解像度 10 メッシュから RNG k-ε と SST k-ω の結果 が他のモデルより実験値に近い結果を見せている. また、解像度 15 と 20 メッシュの結果は、底面から の高さに関係なくほぼ同様の結果となった.

(3) 底面近傍における流況の比較

底面から 0.002m 上での流況について、図-5 に宇



円柱前面における鉛直方向流速の比較 図-4

民による実験結果を,図-6に解析(解像度 15 メッシ ユ)をそれぞれ示す.両図の比較から標準型 k-ω を除 く他の3つの乱流モデルにおいて、実験結果に示さ れる流速値および分布形状を概ね再現出来ているこ とが確認できる. 特に, SST k-ω では, 円柱前面の x=-6cm 付近における us=5cm/s の領域が他の乱流モデル よりも若干大きくなり、実験結果の再現性が良い.

以上より対象とした実験の流況解析では、乱流モ デルとして SST k- ω モデル, 続いて RNG k- ε モデル の適用性が良く、また、解像度としては円柱直径方 向の表現に少なくとも十数メッシュ程度が必要であ ると考えられる.



図-5 実験による円柱前面の底面流況[宇民²⁾, 1976]

<u>5. おわりに</u>

本研究では、円柱周辺の流れを適切に再現出来る 乱流モデルを明らかにすることを目的とし、様々な 乱流モデルと水平方向の解像度を変えた流況解析を 行った.その結果、宇民の固定床実験を対象とした 流況解析から乱流モデルとして SST *k-ω、続いて* RNG *k-ε*モデルの適用性が良く、また、解像度とし ては、本研究で対象とした実験のスケールにおい て、円柱直径方向の表現に最低十数メッシュ程度必 要であることを示した.



図-6 解析(解像度15メッシュ)による円柱前面の底面

参考文献

- 1) Kajikawa, Y. and Kuroiwa, M.: Numerical Simulation of 3D Flow and Topography Change in Harbor caused by Tsunami, *Proc.10th Int. Conf. APAC*, pp.183-190,2019.
- 宇民正:円柱橋脚前方における局所流の研究, 土木学会論文報告集,第247号,pp.61-69,1976.