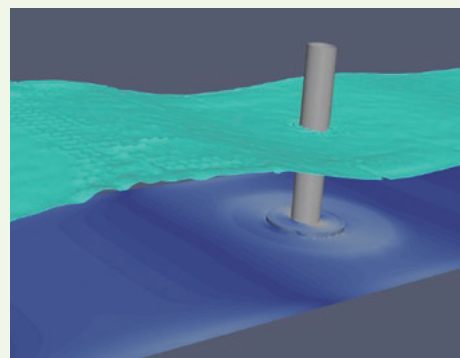


最適化計算を用いた着床式洋上風車基礎周りの洗掘解析

大規模な洋上ウインドファームの計画が各国で進められており、当面は、主に着床式風車の導入が続く見込みである。着床式洋上風車の資本費に占める基礎構造物の製造ならびに設置費用は、およそ20% 前後と言われ、さらなる低コスト化が期待されている。

本洗掘解析は、着床式洋上風車基礎構造物の低コスト化に貢献する技術の一つであり、数値流体解析と最適化計算を組み合わせることで、基礎構造物の周囲に生じる洗掘形状を比較的短時間で評価できる。洗掘は、波浪や潮流による底質の流送により生じ、簡易的な計算が難しかった。ここでは、本解析技術について紹介する。



キーワード

数値流体解析, 洗掘, 着床式洋上風車, サクション基礎, モノパイル基礎

■ 目的

2030年までに10GW、2040年までに30GW～45GWの洋上風力発電の案件形成が政府目標として掲げられている。当面は、着床式の基礎構造物を用いたウインドファームが先行して整備されるとみられ、モノパイルに代表される着床式基礎構造物を適用した施設的设计ならびに事業性検討が各機関で進められている。また、近年の欧州では、着床式基礎構造物の低コスト化を目的としたサクション基礎が開発され、10MWを超える洋上風車を搭載した実績もみられる。代表的な着床式の風車基礎構造物を図1に示す。

堆積層に構築される基礎形式については、波浪や潮流によって基礎構造物周りに生じる洗掘を適切に評価し、抑制することが重要な設計要件である。したがって、ブロックや袋詰め根固め材等による洗掘防止が施されるが、洋上風車基礎を対象とした洗掘現象を長期的に観測したデータは不足しており、洗掘防止の材料や範囲を過不足なく設計することは容易でない。

本洗掘解析は、洗掘防止工の最適化を目的とした、数値流体解析（Computational Fluid Dynamics；以

降CFDと呼称）による洗掘評価の新しい技術である。本来、底質の流送に関わる物理モデルを考慮して海底地形変化をCFDで直接表現することは、計算負荷が非常に高い。他方、海底地形の変化を考慮せず、基礎周りの底面せん断応力や渦度等の物理量から簡略的に洗掘の位置や形状を推定する手法もあるが、洗掘による流況変化を考慮できない。そこで、低い計算負荷で、かつ地形変化も考慮できるシミュレーション技術を構築することを目標とし、CFDと最適化計算を連成させる洗掘解析技術を開発した。

■ 技術の概要

本解析技術では、CFDにおけるリメッシング（解析格子の再配置）と最適化計算とを連成させることで解析領域を流況に応じて変化させ、反復計算により収束解としての洗掘形状を得る。

具体的には、まず、基礎周囲のCFD結果より、水底面近傍のせん断応力からなるシールズ数（底質の移動のしやすさを示す無次元数；図2参照）を取得し、洗掘が生じる限界シールズ数と比較する。前者が後者を上回れば水底面の形状を変化させ、再度CFDを行う。解析領域全体にわたって、水底面近傍のシールズ数と限界シールズ数との差で定義される目的関数を最適化計算によって最小化することで、収束的な洗掘深さが得られる。本解析におけるフローを図3に示す。ここでは、洗掘に関わるパラメータ数を低減し、洗掘形状を平滑的に捉えるため、洗掘穴の形状は円形と規定している。

本解析技術は、任意の基礎形状に対応して流体領域を再生成できるため、サクション基礎やジャケット基礎（鋼管をトラス状に組み合わせた構造物）など、形状の複雑な基礎形式にも対応できる。さらに、非定常解析にも対応するため、波浪下での洗掘評価も行える。

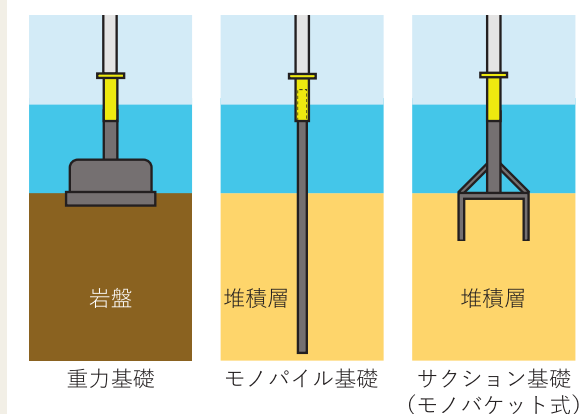


図1 代表的な着床式の風車基礎構造物

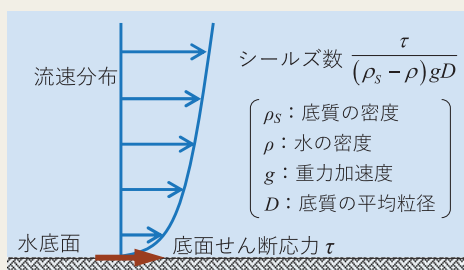
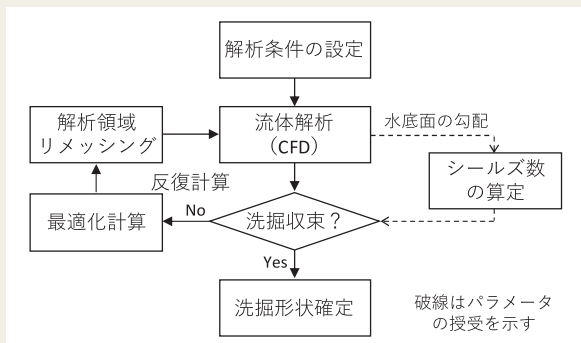


図2 水底面のせん断応力から算定されるシールズ数

図3 CFDと最適化計算との連成フロー¹⁾

■ 計算事例および精度検証

本解析技術において用いた流体解析領域の一例を図4に示す。入口境界にて波浪や流れを発生させ、基礎構造物に作用させる。基礎構造物周囲の水底面には、形状変化を許容する領域（これ以外の水底面は形状変化が生じない設定としている）を設けており、図3に示すフローに沿って反復計算を行い、収束的な洗掘形状が得られる。図5に洗掘された水底地形の一例を示す。この図より、基礎周囲において、波浪や流れに対してやや後流側に偏った位置に洗掘穴が形成されている様子が確認できる。

本解析技術の精度を検証するため、水理模型実験を行った。水理模型実験と数値解析における基礎周囲の洗掘深さ s を図6に比較する。横軸は実験値、縦軸は解

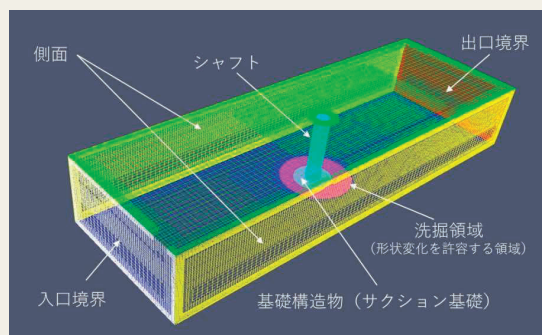
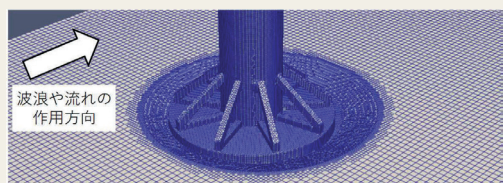
図4 流体解析領域の一例¹⁾

図5 基礎周囲（サクシオン基礎）の洗掘形状の一例

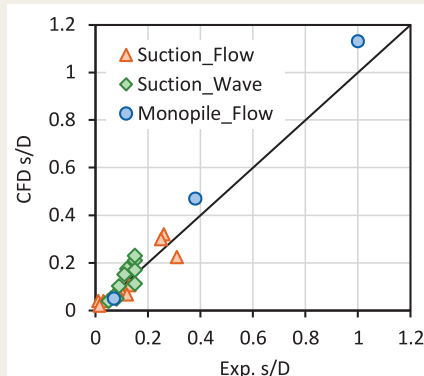


図6 水理模型実験による解析精度の検証

析値を示し、いずれもシャフト径 D で無次元化している。これらの結果は、複数の流速条件の一樣流（Flow）あるいは複数の波高条件の不規則波（Wave）を対象としたものであるが、いずれのプロットも、実験値と解析値が一致する直線上付近に分布していることがわかる。

また、これらの計算1ケースに要する時間は、8Core 3.2GHzのCPUを有する計算機において2日程度であり、従来の洗掘解析と比較して、短時間で結果が得られる。本洗掘解析の計算が収束する様子の一例を図7に示す。

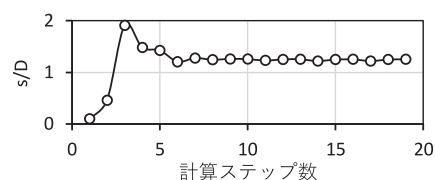


図7 計算の進展に伴う洗掘深さの変化

■ おわりに

CFDにおけるリメッシングと最適化計算を連成させることで、着床式の洋上風車基礎の周囲に生じる洗掘形状を短時間で評価する解析技術を開発した。水理模型実験との比較により、本解析技術は良好な解析精度を有していることが確認された。引き続き、実機における洗掘形状の実測値との比較を行い、本解析技術の実環境への適用性を確認する。

また、実際の洋上風車基礎周囲には、洗掘を抑制するために、ブロック等の洗掘防止工が敷設される。洗掘防止材料の設計最適化に向けて、材料毎の流体特性の違いの考慮など、本解析技術のさらなる高度化を進める。

参考文献

- 1) Thaw Tar, 木村雄一郎, 基礎構造物周りの洗掘形状を探索する流体解析手法の提案, 土木学会論文集特集号（海洋開発）, 80巻, 2024（編纂中）.

【問い合わせ先】

カナデビア株式会社 開発本部 技術研究所
 基盤技術研究センター 流体グループ
 Tel: 06-6551-9128
 E-mail: hitzgiho001@kanadevia.com