

### 3次元数値シミュレーションによる円柱構造物に作用する波力推定に関する一検討

鹿島建設(株) 正会員 ○鈴木一輝 野中沙樹 岩前伸幸

#### 1. 背景および目的

計算機性能向上に伴い、海岸工学分野においてもナビエ・ストークス方程式を基礎式とした数値流体シミュレーションが広く活用されている。従来、数値流体シミュレーションは、現象の把握や理解を目的とした水理模型実験の代替として位置付けられてきたが、海岸・海洋構造物の設計に利用された事例も報告されはじめている<sup>1)2)</sup>。近年では、多くの基礎的な検討がなされた数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D のみならず、オープンソース・ソフトウェアであり気液二相流解析の実施可能な OpenFOAM が海岸工学分野においても広く利用されている。ただし、OpenFOAM については、段波や津波を対象とした検討は多く報告されているものの、波浪場における波力評価への適用性を検討した事例は限られているのが現状である。そこで、本研究では、OpenFOAM の波力評価への適用に関する基礎的な検討を目的とし、海洋構造物の一般的な形状である円柱構造物を対象として、規則波による波力の評価について検討を行った。

#### 2. 解析条件

本研究では、ESI OpenCFD によって開発が進められている3次元流体解析ライブラリ OpenFOAM version 1912 を使用した。解析ソルバは olaFlow<sup>3)</sup> を用い、規則波下での流速分布検討のための断面2次元計算、および円柱構造物に作用する波力検討のための3次元計算をそれぞれ実施した。入射波は、周期  $T=8.0s$ 、波高  $H=5.0m$  とした。その他、主要な解析条件は、表-1 に示すとおりである。

##### 2.1 断面2次元解析

一様水深場 ( $d=18.0m$ ) を対象とし、計算領域左端に造波境界を設定することで規則波を造波した。造波理論は、Fenton<sup>4)</sup>による流れ関数法 (Stream Function Method ; SFM) を用いた。なお、MULES-VOF 法における気液界面の数値拡散抑制に関するパラメータ  $C_\alpha$  を 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 と変化させ、その影響を調べた。

##### 2.2 3次元解析

断面2次元計算と同様に、一様水深場 ( $d=18.0m$ ) を対象とし、計算領域は、図に示すとおりに設定し、 $x=100m$  地点に円柱構造物 (直径  $D=9m$ 、高さ  $28m$ ) を設けた。円柱構造物周りの計算格子は、OpenFOAM の標準ユーティリティである snappyHexMesh を使用して、円柱形状を正確に再現した。円柱周りの計算格子の分割状況は、図-2 に示すとおりである。

#### 3. 結果および考察

断面2次元計算における水位の時系列変化の一例と

キーワード 3次元流体解析, OpenFOAM, 円柱構造物, 波力, モリソン式, 流れ関数法

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 TEL 042-485-1111

表-1 解析条件

計算時間	120 s
時間間隔	自動調整
格子間隔	$\Delta x = \Delta y = 0.5 m$ $\Delta z = 0.5 m \sim 0.125 m$
総格子数	118,500
乱流モデル	使用なし

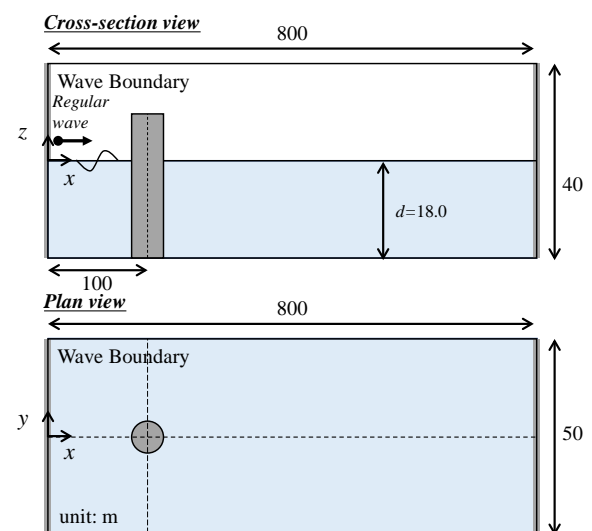


図-1 計算領域

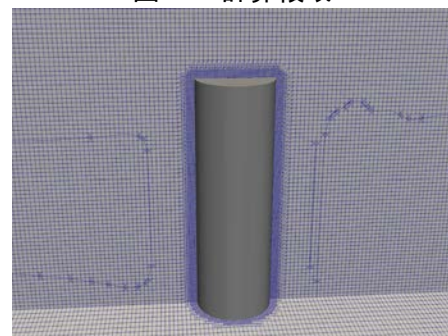
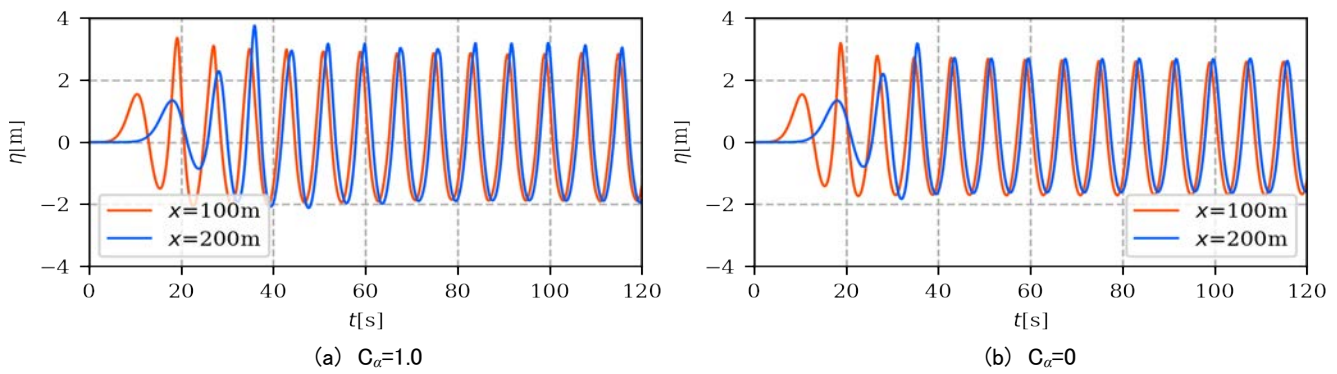


図-2 解析メッシュ

図-3 水位  $\eta$  の時系列変化

して、 $C_\alpha=0$  と  $C_\alpha=1.0$  のケースの結果を図-3 にそれぞれ示す。 $C_\alpha=1.0$  の水位波形をみると、 $x=200\text{m}$  の波峰高は  $x=100\text{m}$  の波峰高と比較して、若干大きくなっている。一方、 $C_\alpha=0$  では地点間で水位波形が概ね一致していることから、 $C_\alpha=0$  とすると安定して波の伝播を計算できることがわかる。

図-4 は、最大水平流速の鉛直分布を示したものである。図からわかるように、水面付近では、ケースによる違いがあるものの、その他の地点では流速の値はほぼ一致している。

3次元解析による円柱構造物に作用する水平波力の時系列変化を図-5 に示す。なお、水平波力は、円柱構造物の表面に位置する全計算格子の圧力値を積分して求めた。各種指針および基準によれば、円柱構造物に作用する波力はモリソン式で評価されることから、図-5 中には、流れ関数法をもとにモリソン式で算定した水平波力を併記した。

OpenFOAM による水平波力と流れ関数法により評価した波力を比較すると、OpenFOAM の値の方が若干小さいものの、同程度の値となっている。この違いは、解析での乱流の取り扱いの影響などが考えられ、今後詳細な検討を行う所存である。

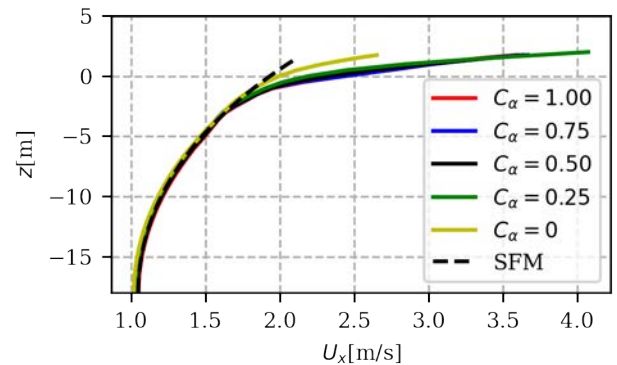


図-4 水平流速の鉛直分布

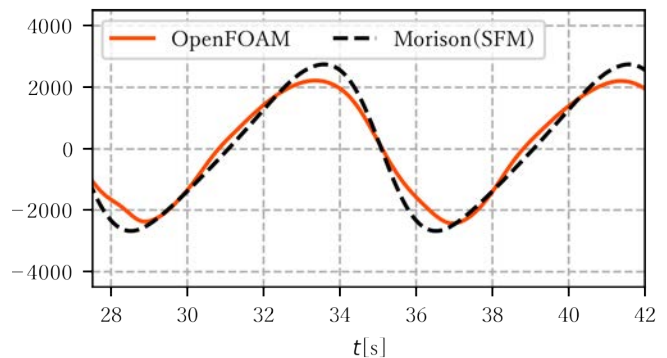


図-5 円柱構造物に作用する水平力の時系列変化

#### 4. まとめ

本研究では、OpenFOAM の波浪現象への適用に関する基礎的な検討として、OpenFOAM による規則波下での流速分布および、円柱構造物に作用する波力に着目して検討を行った。その結果、円柱構造物に作用する波力について、モリソン式による波力と同程度の値となることを確認した。今後は、乱流モデルの利用や、不規則波を対象としたケースや、円柱構造物に砕波力が作用するケースでの解析を実施することにより、3次元数値シミュレーションによる円柱構造物に作用する波力推定の妥当性検証を実施していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 稲垣ら：3次元波浪解析を用いた放水口洗掘防止工の合理的設計，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol. 71, pp. I\_73-I\_78, 2015.
- 2) 長谷部ら：3次元流体解析を用いた放水口の合理的な洗掘防止対策範囲の検討，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol. 76, pp. I\_228-I\_233, 2020.
- 3) Higuera, P. : CFD for waves Software, <https://doi.org/10.5281/zenodo.1297013>, 2017.
- 4) Fenton JD : The numerical solution of steady water wave problems, Computers & geosciences, Vol. 14, pp. 357-368, 1988.