

CADMAS-SURF/3Dを用いた波・流れ共存場における波高変化

東亜建設工業（株） 正会員 ○AIN NATASHA BALQIS, 正会員 原 知聡
 正会員 倉原 義之介, 正会員 武田 将英, 正会員 間瀬 肇

1. はじめに

日本では、複雑な形状を有する港湾・海岸構造物の越波・波力を算定する際などに、数値波動水路CADMAS-SURF¹⁾を用いることが一般的になってきている。これらの検討は、波単独で実施されることが多いが、洋上風力発電におけるモノパイル基礎周りの局所洗掘や海底地盤応答などでは波と流れの両方の影響を取り扱う必要がある²⁾。しかし、CADMAS-SURFを用いた波・流れ共存場の計算事例はほとんどない。そこで、本研究では、数値波動水槽CADMAS-SURF/3D³⁾(以下、CS3d)を用いた、3次元計算のための一様流速の波・流れ共存場を生成する計算モデルについて検討した。そして、流れによる波の波高変化を、水理実験や一様流速下における波高変化比と比較した。

2. 研究内容

(1) 計算モデル

Park and Lee⁴⁾は、2次元版CADMAS-SURFを用いて波・流れ共存場を作成している。それは、水路両端に減衰帯を配置し、沖側の減衰帯と造波領域との間に水位差を設けて流れを生成し、造波領域内で造波ソースを用いて波を生成する方法である。しかし、水位差を設ける機能は、CS3dには付与されていない。

そこで、以下のようにして、波・流れ共存場をモデル化した。(1) 水路両端を開境界とし、減衰帯は配置しない。(2) 流体領域全体に初期流速を与える。(3) 造波領域内で造波ソースを用いて波を生成する。

今回の計算で使用した計算領域を図-1に示す。本研究

では断面2次元として取り扱い、奥行1格子の計算モデルとした。全長 60 mの開水路内に、水深が変化した水位も求められるよう1/20の斜面とそれに続く水平床を設けた。造波水深は $h=0.35$ m, 水平床上の水深は $h=0.20$ mである。格子寸法は、 $\Delta x=\Delta z=0.01$ mとした。乱流モデルは用いず、壁面の境界を流速・圧力ともにスリップ条件とした。水路両端を開境界とし、流体領域全体に0.08 m/sの初期流速を与えた。水平床上の平均流速は $u=0.1$ m/sである。図-1に示す造波ソースから周期 $T=1.4$ s, 指示波高 $H=0.05$ mの規則波を入射させた。図-1のWG1, WG2, WG3で水位の測定を行った。

また、検証のため、計算モデルと同様の水理実験を行った。実験に用いた水路の寸法は、長さ30 m, 幅0.3 m, 高さ0.6 mで、詳細はAinら⁵⁾を参照されたい。

(2) 一様流速下における波高変化比

間瀬ら⁶⁾によると、流れの中の波の分散関係式とエネルギー保存式は、以下の式で表される。

$$(\omega - k \cdot u)^2 = gk \tanh kh \quad (1)$$

$$\left(\frac{E}{\omega - k \cdot u} \right) \cdot (C_g + u) = \text{const} \quad (2)$$

ここで、 ω : 絶対角振動数 $2\pi/T$, k : 波数ベクトル, g : 重力加速度, E : 波のエネルギー, C_g : 群速度である。式(1)~(2)から、同じ地点における一様流速下における波高変化比 K_s を式(3)に導いた。下付き添字 0 は波単独, 1 は波・流れの共存場における値である。

$$K_s = \frac{H_1}{H_0} = \sqrt{\frac{C_{g0} + u_0}{C_{g1} + u_1} \cdot \frac{\omega - k_1 u_1}{\omega - k_0 u_0}} \quad (3)$$

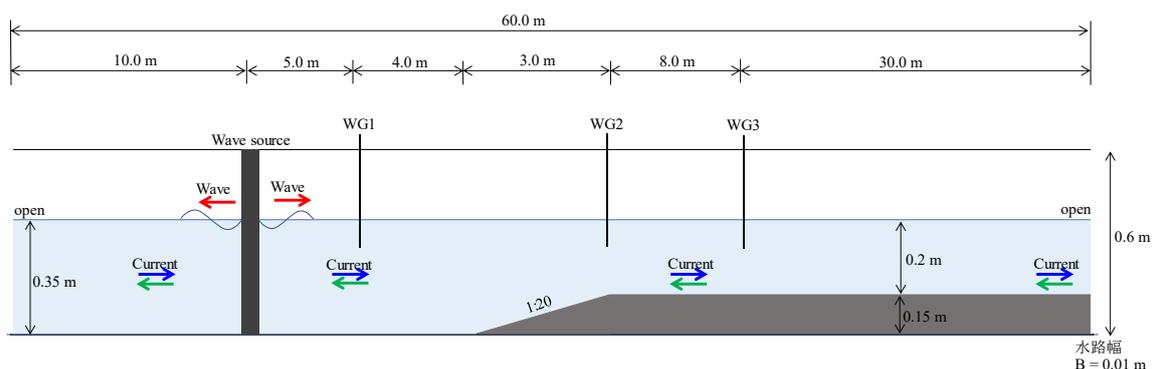


図-1 計算モデル(CS3d)

キーワード CADMAS-SURF/3D, 波・流れ共存場, 計算モデル, 波高変化

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1-3 東亜建設工業（株）技術研究開発センター TEL 045-503-3741

3. 結果と考察

波・流れ共存場(順流)と波・流れ共存場(逆流)における水位変動を図-2, 図-3に示す. 図には, 順流(青), 逆流(赤)に加え, 波単独(黒)の結果も含めており, 実線がCS3d, 破線が水理実験を示す. また, 視認しやすいよう, 最初の波峰の位置を合わせている. また, WG1~WG3における波高変化比を表-1に示す.

表-1 波・流れ共存場における波高変化比

流れ 手法	順流			逆流		
	式(3)	CS3d	実験	式(3)	CS3d	実験
K_s (WG1)	0.94	0.94	0.92	1.06	1.06	1.06
K_s (WG2)	0.91	0.91	0.88	1.11	1.08	1.08
K_s (WG3)	0.91	0.91	0.83	1.11	1.08	1.06

波・流れ共存場では, 順流のときには, 波単独よりも波高は小さくなり, 逆流のときには, 波単独よりも波高は大きくなる. 図-2, 図-3よりCS3dでも同様の結果が得られた. このことは, 表-1の K_s からも理解することができ, 式(3)とCS3dとはほぼ等しい結果が得られている. ただし, 逆流の場合は, 造波ソースからの距離が大きいWG2, WG3において, 式(3)と比べてCS3dの波高がやや小さくなる傾向が見られた. z 方向の格子寸法をより小さくするなどの必要があったかもしれず, 今後の課題である. また, 水理実験の K_s は, CS3dと比べて, やや小さかった. 実際の水路では, 底面摩擦の影響が排除できないためである. そのため, 実験を再現する場合は, 乱流モデルを用いて, 壁境界の壁面粗度を適切に評価する必要があると考える. 最後に, CS3dで得られた波の周期は, 順流, 逆流ともに $T=1.4$ sと一定で, 実験と同様であった. 以上より, 本モデル化は, 一様流速の波・流れ共存場を精度よく再現することが分かった.

なお, 今回の計算条件では, 波単独のときに30 s以上経過すると平均水位が上昇しはじめた. この平均水位の上昇は, 波・流れ共存場では見られなかった. CS3dにもCADMAS-SURFと同様の総水量補正機能の実装が望まれる.

4. おわりに

本研究では, CADMAS-SURF/3Dを用いた波・流れ共存場を生成する計算モデルについて検討し, 流れによる波の波高変化を, 実験および一様流速下における波高変化比と比較した. 水路両端を開境界とし初期流速を与え, 減衰帯を設けず造波ソースを用いるモデル化により, 一様流れの波・流れ共存場における波高変化を

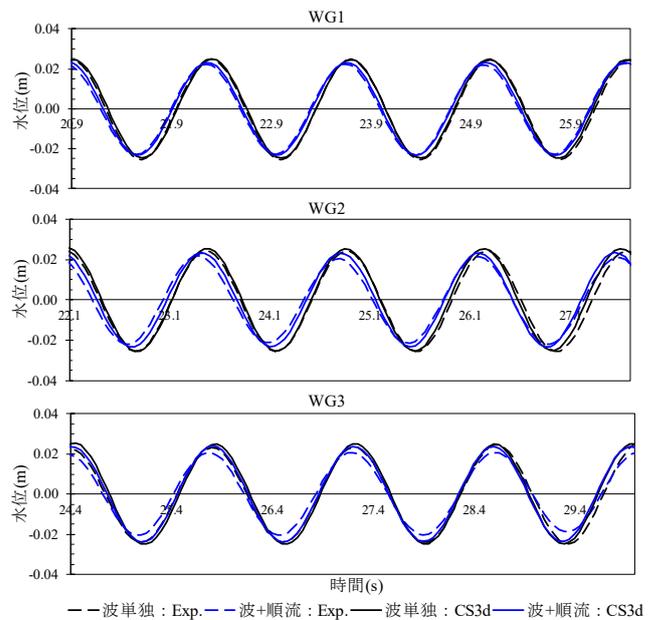


図-2 波・流れ共存場(順流)における水位変動

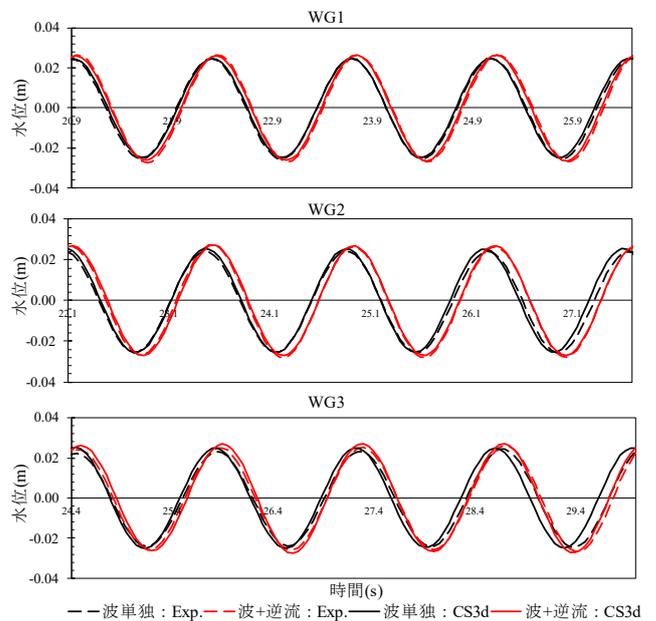


図-3 波・流れ共存場(逆流)における水位変動

精度よく再現することができた.

参考文献

- 財)沿岸技術研究センター: 数値波動水路の研究・開発, 沿岸開発技術ライブラリー, No.12, 2001.
- Sumer, B.M. and Fredsøe, J.: Scour around pile in combined waves and current, *J. Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol.127, No.5, pp.403-411, 2001.
- 財)沿岸技術研究センター: CADMAS-SURF/3D数値波動水槽の研究開発, 沿岸技術ライブラリー, No.39, 2010.
- Park, S. H., & Lee, J. H.: Nonlinear Interaction among Wave, Current and Submerged Breakwater. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol.36, No. 6, pp.1037-1048, 2016.
- Ain Natasha Balqis, 倉原義之介, 原知聡, 武田将英, 梶川勇樹, 黒岩正光: 局所洗掘実験における超高解像度地形計測手法, 土木学会論文集B3(海洋開発), 2021.(投稿中)
- 間瀬肇, 由比政年, 雨森洋司, 高山知司: 波・流れ共存場における砕波および回折効果を考慮した位相平均波浪変形予測モデルの構築, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.6-10, 2004.