

風外力を導入した 3 次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D の妥当性の検証に関する一考察

岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○ 服部 聖也
岐阜工業高等専門学校 正 会 員 菊 雅美

1. はじめに

津波や高潮により海域に流出した物体は災害復旧の妨げになることから、物体の漂流挙動を事前に把握しておくことは重要といえる。菊ら¹⁾は、風洞水槽を用いた水理模型実験により、海域を漂流する物体には、波のみならず海上風も作用することから、波と風の同時作用下における漂流挙動解析の必要性を指摘している。ただし、フルードの相似則に基づく水理模型実験において作用させた風速を実スケールに換算する方法は確立されていない。そこで、実スケールでの検討が可能な数値計算において、波と風が同時に作用する波動場を考慮できるようになれば、大変有用といえる。近年では、液相のみならず、気相も考慮する 2 相流モデルも開発・提案されているものの、これらのモデルでは多大な計算コストを必要とする。そこで、菊・中村²⁾は、単相流モデルである 3 次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D (以下、CS/3D) に風外力を導入し、波と風の同時作用下における物体の漂流挙動解析を行った。ただし、導入した風外力に対する妥当性の検証は行われていない。そこで、本研究では、送風装置付き断面水路を用いた水理模型実験の再現計算を行い、CS/3D に導入された風外力の妥当性を検証することを目的とする。

2. 水理模型実験の概要

岐阜工業高等専門学校環境都市工学科の送風装置付き断面 2 次元造波水路（長さ 25.0 m、幅 0.7 m、高さ 1.0 m）を用いて水理模型実験を行った。実験水槽の概略を図-1 に示す。水深 h は 0.4 m の一定とし、造波板から 17.6 m 離れた位置に直立護岸を設けた。実験水路には、可動式の送風機と排気口が設置されており、実験条件に応じた設置場所の変更が可能である。本実験では、風による波浪場の変化を計測するため、造波板から 5.2 m 離れた位置に送風装置を設置した。そして、送風口付近の水面上 0.255 m に設置した風速計により、作用風速を計測した。その結果、作用させた風速は $U = 3.7$ m/s であった。また、図-1 に示す 3 地点にて、容量式波高計により水面変動量を測定した。

3. 風外力を導入した 3 次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D による再現計算

CS/3D に導入された風外力の妥当性を検証するため、実験の再現計算を行った。なお、導入した風外力の詳細は、菊・中村¹⁾を参照されたい。計算条件の概要を表-1 に示す。本計算では、計算コスト削減のため、 x 方向の計算領域は護岸設置位置までとした。また、水理模型実験では $x = 5.2$ m の地点から風を吹かせていることから、本計算においても同様に、風外力の計算を行う範囲を $x = 5.2$ m から護岸までとした。前述のように、水理模型実験では、水面上 0.255 m の風速を代表風速としている。CS/3D に導入している風外力は、平均風速の鉛直分布は対数分布であると仮定していることから、水面から 0.255 m 上の風速と 10m 上の風速 U_{10} は同じとみなせるものとし、数値計算では水理模型実験と同じ風速を入力値とした。そして、風速に応じて Donelan et al.³⁾に基づく海面抵抗係数 C_{D0} を設定した。

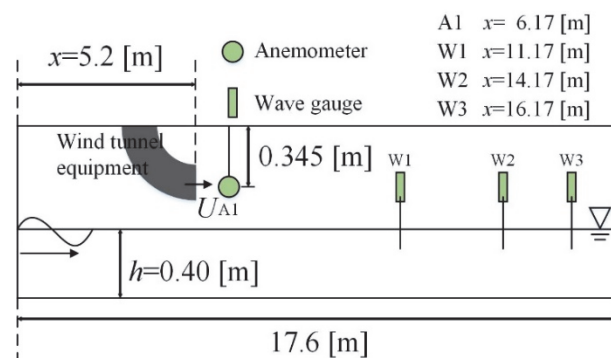
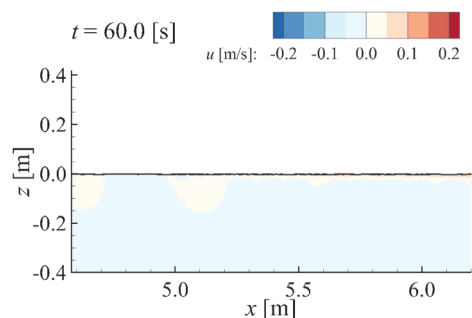


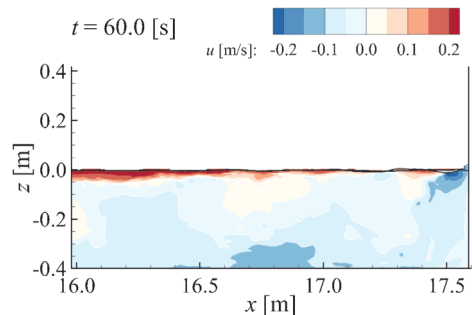
図-1 実験水路および実験装置の概要

表-1 CS/3D による計算条件

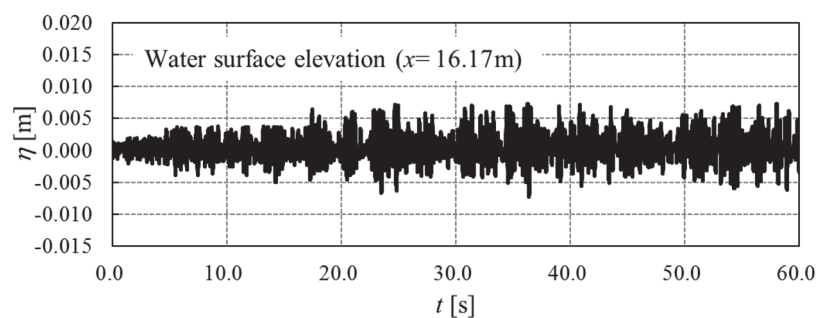
計算領域	x 方向	17.6 m
	y 方向	0.7 m
	z 方向	1.0 m
水深 h		0.4 m
風速 U		3.7 m/s
風作用範囲	x 方向	$5.2 \text{ m} \leq x \leq 17.6 \text{ m}$
	y 方向	$-0.35 \text{ m} \leq y \leq 0.35 \text{ m}$
風応力の影響範囲 Δz_w		0.01 m



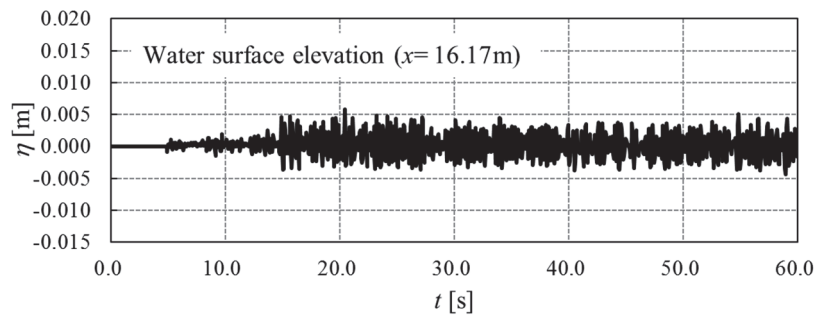
(a) 送風口付近



(b) 護岸付近

図-2 x 方向流速の空間分布 ($t = 60.0$ s)

(a) 水理模型実験



(b) CS/3D による数値計算

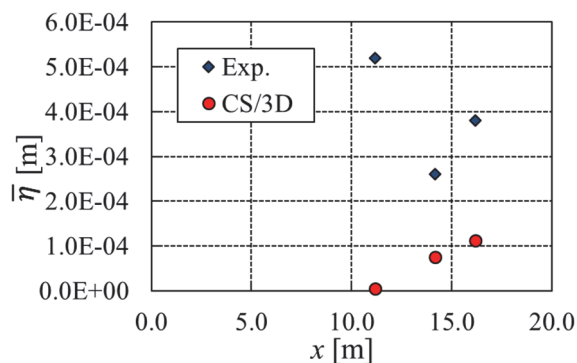
図-3 水位の時系列変化 ($x = 16.17$ m)

図-4 平均水位の比較

4. 風のみを作用させた場合の波動場に対する CS/3D の妥当性

図-2 に、CS/3D によって計算された $t = 60.0$ s における x 方向流速の空間分布を示す。同図より、 x 方向の流速は、吹送距離が長くなるほど大きいことがわかる。また、同図(b)より、水面付近では正方向の x 方向流速が卓越するのに対し、その補償流として底面付近では負方向の x 方向流速が発達していることがわかる。 $x = 16.17$ m における水位の時系列変化を図-3 に示す。同図より、数値計算結果は水理模型実験結果に比べて変動量がやや小さくなっている。このような差により、3 点における平均水位を示した図-4 においても、数値計算結果は水理模型実験を過小評価している。ただし、護岸前面において平均水位が上昇する $x =$

14.17m および $x = 16.17$ m における傾向を概ね計算できているといえる。

5. おわりに

本研究では、送風装置付き断面水路によって風のみを作用させた水理模型実験の再現計算から、3 次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D に導入した風外力の妥当性を検証した。その結果、数値計算は水理模型実験結果の傾向を概ね再現できるものの、過小評価することがわかった。今後は、対象時間を長くするとともに、水面変動量のスペクトル解析により、風波の発達の再現性についてさらに詳細な検証をしていく。また、風と波を同時に作用させた場合の検証も行う予定である。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金・若手研究

(A) (研究代表者：岐阜工業高等専門学校・菊 雅美、課題番号：26709035) の助成を受けたことをここに付記し、感謝の意を表する。

参考文献：1) 川崎・菊：風外力を考慮した護岸越波解析のための数値波動水路の提案，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol.67，No.2，pp.I_58-I_63，2011. 2) 菊・中村：風外力と体積力型埋め込み境界法を導入した数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D による海域を漂流する物体の挙動解析，土木学会第 71 回年次学術講演会，II-189，pp. 377-378，2016. 3) Donelan, et al.: On the limiting aerodynamic roughness of the ocean in very strong winds, Geophys. Res. Lett., Vol. 31, L18306, 2004.