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

岐阜工業高等専門学校 正会員 ○ 菊 雅美 名古屋大学 正会員 中村友昭

1. 研究の背景および目的:2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震津波では、大量のがれきが海域に流出した.津波や高潮によって海域に流出した物体が海域を漂流すると、船舶の航行に支障をきたすなど、災害復旧の妨げとなる.そのため、海域に流出した漂流物の挙動を把握することは重要である.一方、海域を漂流する物体には、波のみならず、海上風も作用するため、著者ら¹⁾は波と風の両方を考慮した漂流挙動解析の必要性を指摘している.波と風の同時作用下における物体の漂流挙動のような複雑な現象を取り扱う方法として、数値計算が挙げられる.多くの研究者と技術者によって共同開発された断面2次元数値波動水路CADMAS-SURF

(以下, CS) は、これまでに砕波や越波など様々な現象に対する精度検証が行われており、実務での適用実績 が高い. CS を 3 次元に拡張した 3 次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D (以下, CS/3D) も提案されており、 今後広く利用されることが期待される.本研究では、移動物体解析手法と風外力が導入された CS/3D を用い て、風と波の同時作用下における物体の漂流挙動解析を行い、漂流特性について検討することを目的とする. 2.移動物体解析手法および風外力を導入した数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D による解析:著者ら³はこれ までに、体積力型埋め込み境界法に基づく移動物体解析手法を導入した CS/3D を提案し、その妥当性につい て明らかにしている.一方、CS/3D は単相流モデルであるため、気相を取り扱うことができない.そこで、本 研究では、川崎・菊³が提案した風外力を 3 次元に拡張し、移動物体を解析可能な CS/3D に導入した.具体的 には、風応力によって生じる流速をモデル化し、数値計算における自由表面に流速として付加した.x方向に おける風応力_xと風応力を付加した自由表面流速u_kをそれぞれ式(1)および式(2)に示す.

$$\tau_{x} = \rho_{a} C_{DO} U_{x_{10}}^{2} \qquad (1) \qquad u_{k} = u_{z_{w}} + \frac{\Delta z_{w}}{\mu_{a}} \tau_{x} \qquad (2)$$

ここに、 ρ_a は空気の密度、 C_{DO} は海面抵抗係数、 $U_{x_{10}}$ は高度 10m での風速である.また、 μ_{e_w} は Δz_w 間における 粘性係数、 u_{z_w} は $z = z_w$ での流速である.本研究では、式(1)および式(2)をy方向にも拡張した.

表-1 および図-1 に,計算条件と計算領域をそれぞれ示す.本検討では,浮遊する物体を想定し,比重 1.0 の 直方体を水中に設置した.計算の安定化を図るため,風外力の作用範囲を*x* = 0.5~15.0mとした.そして,*x* = 0.0 mに設定した造波境界から,波高*H* = 0.02 m,周期*T* = 1.0 sの規則波を入射させた.

	表-1	計算条件	Plane View
計算領域 x×y×z		15.0 m×0.92 m×1.0 m	
格子間隔 $\Delta x \times \Delta y \times \Delta z$		0.02 m \times 0.02 m \times 0.005 \sim 0.02 m	$\nabla = \begin{bmatrix} y \\ 0 \end{bmatrix}$ Wind Area
計算終了時間 t _{END}		18 s	$\downarrow \circ \rightarrow x \rightarrow \overline{4} \rightarrow 10$
計算時間間隔 Δt		$10^{-4} \sim 10^{-2}$ s	
風速	x 方向 U_x	3.0 m/s	
	y方向 U _y	0.0 m/s	2.5 Unit: m
海面抵抗係数 C _{DO}		0.00062	
風の影響範囲		0.01 m	Elevation View
風作用範囲	x方向	$0.5 \text{ m} \le x \le 15.0 \text{ m}$	$\begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \end{array} \\ \\ \end{array} \\ \\ \\ \end{array} \\ \\ \\ \\ $
	y方向	$-0.46 \text{ m} \le y \le 0.46 \text{ m}$	
物体の 初期重心位置	x方向 x _o	2.55 m	0.10^{-10}
	y方向 y _o	0.0 m	
	z方向 zo	-0.25 m	← 15.0
物体の密度 <i>ρ_o</i>		1000 kg/m ³	図-1 計算領域の概略図

キーワード 数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D,体積力型埋め込み境界法,風外力,漂流物体 連絡先 〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑 2236-2 / Tel: 058-320-1324 / E-mail: kiku@gifu-nct.ac.jp



3. 風外力が物体の漂流挙動に及ぼす影響:図-2 は、物体漂流の様子であり、自由表面およびy = 0.0 mの断面をx方向流速uのコンターで示す.同図(c)は、波のみを作用させた場合であり、波峰では正方向の流速u,波谷では負方向の流速uが卓越しており、規則波波動場が正しく計算されているといえる.一方、風外力を作用させた場合は、同図(a)に示すように、波峰や波谷に関わらず、正方向の流速uが卓越しており、その大きさは造波境界から離れるほど大きいことがわかる.さらに、時間経過によるx方向流速uの発達が同図(b)から確認できる.このような自由表面付近における流速の発達は、y = 0.0 m断面における合成流速Vの空間分布を示した図-3 からも判断できる.これは、吹送距離および吹送時間が大きくなるほど風波が発達する様子と一致しており、本研究で導入した風外力の妥当性が確認された.図-4 に、物体重心位置の初期値からの時系列変化を示す.同図から、x方向およびz方向ともに、波が到達したt = 2.0 s以降において物体の重心位置が変化しており、物体の移動が確認できる.さらに、波のみの場合と波と風が作用した場合では、t = 5.0 s以降の物体の漂流挙動が異なっており、波と風の同時作用下における挙動の方が大きな変化を示している.したがって、浮遊する物体の漂流挙動に及ぼす風外力の影響は大きいといえる.

4. おわりに:本研究では、風外力と移動物体解析手法が導入された3次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D を用いて、海域を漂流する物体の挙動に及ぼす風外力の影響について検討した.その結果、海域を浮遊する物体の漂流挙動を検討する際には、波のみならず、風の作用も考慮することが必要であることを明らかにした. また、その検討に、本研究にて提案した CS/3D が有用であることを示した.

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) 菊 雅美,中村友昭,水谷法美:風と波の同時作用下における漂流物の挙動に関する一考察,平成25 年度土木学会中部支部研究 発表会講演概要集,II-007, pp.79-80, 2014. 2) 菊 雅美,中村友昭,川崎浩司,水谷法美:3 次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D への移動 物体計算手法の導入,土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 70, No. 1, pp. 33-43, 2014. 3) 川崎浩司,菊 雅美: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.