

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

名古屋大学大学院工学研究科 正会員 ○ 菊 雅美
 名古屋大学高等研究院 正会員 中村友昭
 名古屋大学大学院工学研究科 フェロー 水谷法美

1. はじめに: 台風 0918 号による高潮発生時の三河港や 2011 年東北地方太平洋沖地震による津波発生時の仙台港において、コンテナが流出する被害が発生した。このうち、海域に流出したコンテナは、高潮や津波により漂流した後、風と波により漂流したものと考えられる。このように海上を漂流したコンテナは船舶の航行の障害となることから、流出したコンテナの早期の発見と回収が望まれる。そこで、コンテナの効率的な回収に有用と考えられるコンテナ位置の予測システムの確立に向け、これまでに風と流れや、風とそれに伴う風波による漂流現象を対象とした研究が現地実験 (Daniel ら, 2002), 水理実験 (熊谷・鈴木, 2010), 数値計算 (中村・水谷, 2013) の観点から行われている。しかし、風と波の同時作用下における物体の漂流現象を取り扱った研究は見受けられない。本研究では、風洞水槽を用いた水理実験により、風と波の同時作用下における物体の漂流挙動を、風のみや波のみによる漂流挙動との比較を通じて考究することを目的とする。

2. 実験方法の概要: 岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻の断面 2 次元風洞水槽 (長さ 15.4m, 幅 0.4m, 高さ 1.0m) を用いて水理模型実験を行った。実験装置の概略を図-1 に示す。本実験では、静水深を 0.4m の一様とし、港内の岸壁を模した直立護岸を造波板から 9.84m の位置に設けた。また、図-1 に示す位置に風速計、容量式波高計、電磁流速計をそれぞれ設置し、風速、水位および流速の時系列変化を記録した。さらに、水槽側面にカメラを設置し、約 90cm の範囲を対象に漂流物体の挙動を撮影した。実験条件は、表-1 に示すとおり、風のみ (Case 1), 波のみ (Case 2), 波と風 (Case 3) の 3 種類を対象とした。漂流物はアクリル製の直方体 (長さ 30.0cm, 幅 10.0cm, 高さ 6.0cm, 喫水 1.2cm) とし、造波板から約 5m の位置に、模型長軸が造波板に対して 90 度を向くように水面に浮遊させた。なお、本実験では物体を拘束せず、自由状態で漂流させることとし、各条件において 2 回以上の計測を行い、漂流挙動の再現性を確認した。図-2 は風洞水槽内における風速の時系列変化であり、風を作用させた Case 1 と Case 3 において発生風速の再現性が確認された。また、同図から、発生風速の特性として、風洞内の風速は緩やかに増加し、送風開始から 15.0s 後以降に最大風速となったことがわかる。

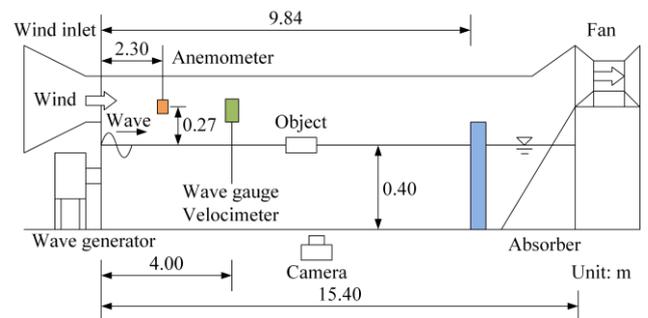


図-1 実験装置の概要

表-1 実験条件

Case	波高 H	周期 T	最大風速 U_{max}
1	0.0 cm	0.0 s	3.0 m/s
2	5.0 cm	1.0 s	0.0 m/s
3	5.0 cm	1.0 s	3.0 m/s*

*造波開始 15s 後から送風開始

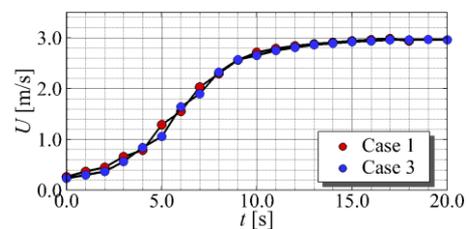


図-2 風洞水槽内の風速の時系列変化

3. 漂流物の挙動特性: 図-3 に、風のみ (Case 1) を作用させたときの物体漂流の様子を示す。なお、 $t = 0.0s$ は漂流物が動き出した時点とした。同図から、風のみを作用させた場合、動画の撮影範囲内を 10s 以内に移動する様子が認められ、図-2 との比較により、最大風速となる前に漂流物が撮影範囲外へ移動したことがわかる。一方、風の有無による波作用下



図-3 風のみが作用した場合の漂流挙動

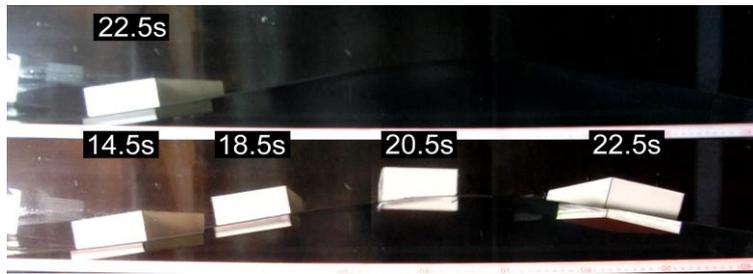


図-4 風作用の有無による漂流挙動の違い（上段：Case 2，下段：Case 3）

での漂流挙動の違いを示した図-4 から、Case 3 では風の作用により、 $t=22.5s$ での漂流物の位置が波のみの場合と比べて大きく異なっている。

ビデオ画像から漂流物の風下側上端の位置を読み取った結果を図-5 に示す。同図から、波のみを作用させた Case 2 では、波の影響を受けて周期的に沖と岸への移動を繰り返していることがわかる。さらに、質量輸送によって $t=15.5s$ までは物体が岸側へと輸送され、その後は護岸からの反射波により沖側へと輸送されている様子が認められる。Case 3 においても、風作用前までは Case 2 と同様の漂流挙動を示している。しかし、風の作用とともにその挙動に変化がみられ、 $t=15.0s$ 以降は波の作用を受けながらも、風の影響を大きく受けて岸側へと漂流していくことがわかる。したがって、本実験で対象とした物体の漂流挙動に対して風の影響は大きいといえる。

図-6 は漂流物の移動速度の時間変化であり、Case 3 では風洞内風速の増加とともに、正方向の移動速度が次第に卓越していくことがわかる。ただし、 $t=20.2s$ では風作用下にもかかわらず、物体の移動速度は Case 2 とほぼ同じとなっている。Case 3 における漂流物と波形の関係に着目すると、図-7(a) に示すように、 $t=20.2s$ のとき物体は波谷から波峰に向かっている。したがって、物体への風の作用が風上側にある波によって遮られ、風による岸向きへの速度がほとんど生じなかったと考えられる。さらに、 $t=20.6s$ 以降は速度の時系列変化が Case 2 と逆位相となっている。図-7(b) から、 $t=20.6s$ では物体が波峰に位置していることから、風の影響を大きく受けて岸向き方向の速度が卓越し、波による沖向きへの速度を打ち消したことが逆位相発生の要因になったと考えられる。以上より、波による物体の漂流現象に与える風の影響は物体とその周囲の水面形によって変化することから、風と波の相互作用を考慮して物体の漂流を解析する必要があるといえる。

4. おわりに：本研究では、海域を漂流している物体に作用する波と風の影響について、風洞水槽を用いた水理模型実験により検討を行った。今後は、風外力と移動物体計算手法を導入した数値波動水槽を開発し、数値計算と実験の両面からさらなる検討を行う予定である。

謝辞：本研究を実施するにあたり、風洞水槽を快くお貸し頂いた岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻の小林智尚教授に厚く御礼いたします。また、本研究の一部は、科学研究費補助金・研究活動スタート支援（研究代表者：菊雅美，課題番号：25889031）と科学技術人材育成費補助金（研究代表者：菊雅美，課題番号：27-M2-M010）の助成を受けたことをここに付記し、感謝の意を表す。

参考文献：[1] 熊谷兼太郎，鈴木 武(2010)：海洋開発論文集，第 26 巻，pp. 951-956. [2] 中村友昭，水谷法美(2013)：土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol. 69, No. 2, pp. I_1162-I_1167. [3] Daniel, P., Jan, G., Cabioch, F., Landau, Y., and Loiseau, E. (2002): Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 7, No. 5-6, pp. 279-288.

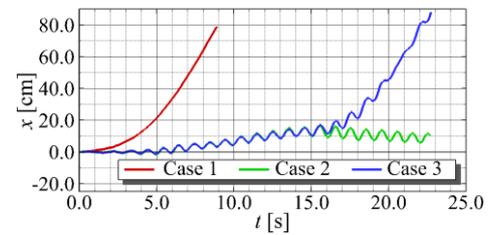


図-5 漂流物の風下側上端位置の時間的变化

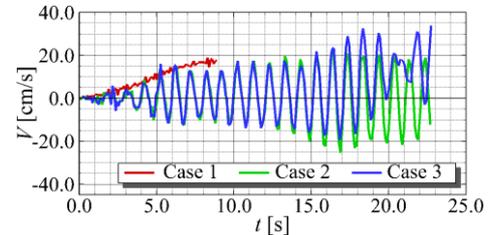


図-6 漂流物体の移動速度の時系列変化



(a) $t=20.2s$



(b) $t=20.6s$

図-7 Case 3 における漂流物と波形の関係