

風によって流木が受ける抗力と漂流速度に関する基礎研究 FUNDAMENTAL STUDY ON DRIFT SPEED AND DRAG FORCE OF FLOATING LOG

○金子 峻・山上 路生・岡本 隆明

○Shun KANEKO, Michio SANJOU, Takaaki OKAMOTO

In this study, flume experiments were conducted to reveal the change of floating log motions in wind blowing. We measured the drifting velocity of model logs by changing the model log diameter, specific gravity and wind speed to examine the effect of wind drag forces on drifting velocity of logs. In addition, the drag coefficient of wind drag forces could be evaluated with direct drag force measurements. Results suggest that acceleration by wind drag forces plays important roles in drifting velocity of logs, and that the effect of wind drag forces depends significantly on the diameter and specific gravity.

1. はじめに

近年，集中豪雨時に流木によって洪水被害が甚大化しており，河道内の流木挙動を予測することは防災上重要である．流木は水表面を流れるため風波の影響を受けるが，多くの流木研究において風波の影響は考慮されていない．高い山があると強風の影響を受けるケースがみられ，平成30年豪雨の出水時には伊吹山方面からの強い西風によって木曽川左岸に流木が吹き寄せられ堆積した．

風が吹いている条件での流木の漂流速度や風による流木の抗力係数は，風による漂流を予測するための重要パラメータであるが，実験例はなく未解明点が多い．そのため本研究では，まず流木の直径・比重，風速を系統変化させて流木の漂流速度の変化を調べた．次に，風存在下で抗力計測を行い，流木に作用する抗力の変化を明らかにした．

2. 実験方法

(1) 流木流下実験

本実験には風洞付きマルチフェイズ循環式水槽を用いた．図-1のように，流下方向1.0 m，横断方向0.40 mの計測領域の上流端から上流4.0 mの位置に流木模型を投下した．さらに水路上方のWEBカメラで計測領域を撮影し，カラートラッキングシステム¹⁾により流木流下速度を算出した．

流木模型は，長さは $L=30$ cm，直径は $d=2.0\sim 5.0$ cmの4種類とした．さらに流木の喫水による違いを調べるため， $d=4.0$ cmの模型に関しては通常の模型(比重 $\gamma_d=0.500$)に加え，比重を大きくした模型($\gamma_d=0.725$)を用意した．

実験条件は，静水深は $h=10$ cm，無風時の断面

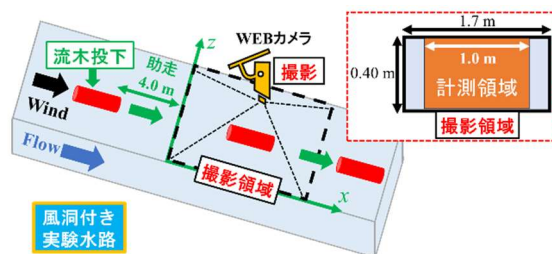


図-1 流木流下実験システム図

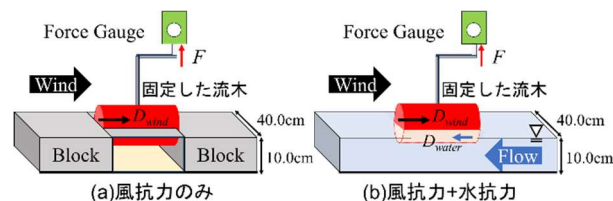


図-2 抗力計測実験の概要

平均流速を $U_m=0.30$ m/s とし，断面内の最大風速 U_a を $0\sim 6.49$ m/s の範囲で系統変化させ実験を行った．また流木が流れに平行に流下する場合のデータを抽出し，各ケースで5つデータを取得して結果にはその平均を用いた．また，無風時の水面平均主流速 U_{s0} ，各ケースの水面平均主流速 U_s を電磁流速計で計測し，結果に用いた．

(2) 抗力計測

本実験では流木を固定し，風・水抗力の計測を行った．図-2のように流木模型を支持し，鉛直下向きに設置したフォースゲージに計測される力を用い，抗力および抗力係数を算出した．30秒平均値を5回計測し，結果にはその平均を用いた．風抗力は，水路から水を抜き，流木に風抗力のみが作用する条件で計測した．実験条件は流木流下実験と同様の物理条件になるように設定した．

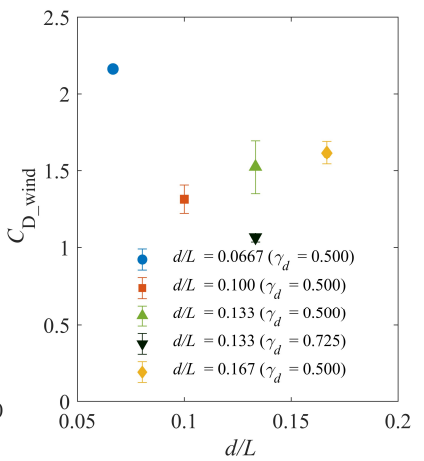
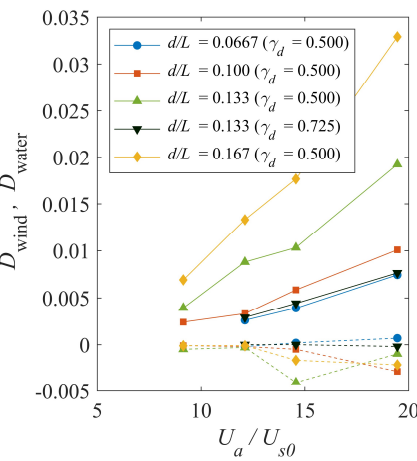
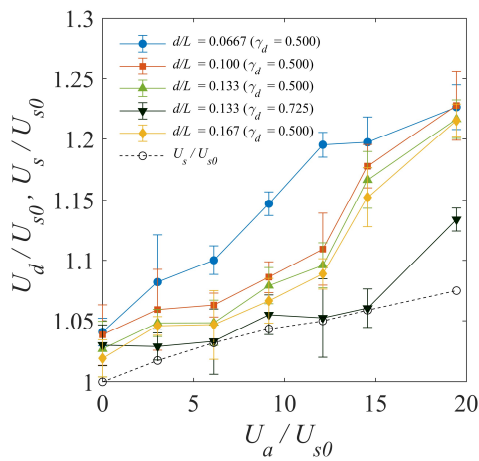


図-3 風速と流木流速・水面流速の関係 図-4 風速と風・水抗力の関係 図-5 d/L と風抗力係数の関係

3. 実験結果と考察

(1) 流木流下実験

風速と流木流速、水面流速の関係を図-3 に示す。まず直径に着目すると、 $U_a/U_{s0}=3.03\sim14.6$ のケースでは $d/L = 0.0667$ の流木が特に大きい流速を示した。この原因として、 $d/L = 0.0667$ の流木は喫水が最小で、風により加速された水面近傍の流速の影響を大きく受け加速されやすく、助走領域で流木が十分加速されたことが考えられる。一方、 $U_a/U_{s0} = 19.5$ では違いはあまり無かった。この原因として、比重が同じ場合終端速度が一致することが考えられる。運動方程式から、終端速度は風・水抗力の投影面積比と抗力係数比に依存し²⁾、抗力係数比が同程度なら投影面積比、すなわち比重が同じ流木では終端速度は概ね一致すると考えられる。したがってこの高風速のケースでは、どの直径の流木も計測領域進入時点で終端速度に近い速度に加速されていたことで速度差が生じなかった可能性がある。しかし直径によって抗力係数比が異なる可能性もあり、今後検討が必要である。

次に比重に着目すると、比重が大きい $d/L = 0.133(\gamma_d = 0.725)$ の流木流速は、 $d/L = 0.133(\gamma_d = 0.500)$ より小さくなった。これは風抗力が作用する投影面積が小さく、風抗力の流木加速効果が小さいことが原因と考えられ、比重は流木加速に大きな影響を与えるといえる。さらに高風速ケースでも比重による違いは依然顕著であり、流木流速には直径よりも比重の方が大きく影響する可能性がある。

(2) 抗力計測

風速と風抗力および水抗力の関係を図-4 に示す。風抗力を実線、水抗力を点線で示している。どの流木も風速増加に伴い風抗力も増加した。また、

$d/L = 0.133(\gamma_d = 0.725)$ の風抗力は $d/L = 0.133(\gamma_d = 0.500)$ より小さくなり、この結果からも流木運動における比重の重要性が確認できる。

水抗力に関しては、流木流速が水流速よりも大きいことから概ね負値となった。ただ微小スケールのため、計測精度には再検証の余地がある。

d/L と風抗力係数の関係を図-5 に示す。各流木の抗力係数は、各風速ケースで算出した抗力係数の平均値とした。まず直径に着目すると、 $d/L = 0.0667$ の流木は他に比べ風抗力係数が大きく、風による加速効果が大きい可能性がある。これは流木流下実験結果に合致するといえる。次に比重に着目すると、 $d/L = 0.133(\gamma_d = 0.725)$ は $d/L = 0.133(\gamma_d = 0.500)$ より風抗力係数が小さくなった。比重が異なると風抗力が作用する投影部形状が異なることで抗力係数に相違が生じたと考えられ、比重が大きいと風抗力の作用を受けにくいといえる。

4. おわりに

本研究では、風存在下で流木漂流実験と抗力計測を実施した。本実験結果より、流木漂流において風抗力による加速が重要な役割を担い、風抗力の効果に対して流木直径と比重の相違が大きく影響することが示唆された。

参考文献

- 金子峻, 山上路生, 岡本隆明: 風を伴う開水路流れにおける浮子の流下特性:, 土木学会論文集(特集号, 水工学), Vol. 80, No. 16, 23-16164, 2024.
- Sanjou, M., Kato, K., Aizawa, W. and Okamoto, T.: Development of drone-type float for surface-velocity measurement in rivers, *Environmental Fluid Mechanics*, Vol. 22, No. 4, 955-969, 2022.