第 II 部門　　風が河川流木の漂流速度に及ぼす影響

京都大学大学院工学研究科　学生員　○金子　峻
京都大学防災研究所　正会員　山上　路生
名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科　正会員　岡本　隆明

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，河道内の流木の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，多くの研究において流木の挙動を予測する際に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，人工わんどに堆積した．

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．しかし，風による流木の漂流速度や流木の抗力に関する実験例はなく，特に風による流木の抗力係数は未解明点が多い．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増加について調べた．次に，風存在下で抗力計測を行い，流木にかかる風抗力の増加量を明らかにした．

2. 実験方法

(1) 流木流下実験

本実験には，水路幅 40 cm，長さ 16 m の風洞付きマルチフェイズ循環式水槽を用いた．計測は，水路上流端から約 9.5 m 下流で行った．**図-1** のように，流下方向 1.0m，横断方向 0.40m の計測領域を設け，計測領域の上流端から上流 3.0 m の位置に流木模型を投下した．さらに水路上方に設置した WEB カメラで計測領域を撮影し，撮影画像内で物体の輝度を追跡するカラートラッキングシステム [1]により，流下する流木の位置を記録して流木流速 U_d を算定した．

流木模型は，長さは L = 30 cm，直径は d = 2.0 ~ 5.0 cm の 4 種類とした．さらに，流木の空中露出部と喫水部の面積比(以下，投影面積比)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 0.500)に加え，比重を大きくした模型(比重 0.725)を用意した．

実験条件については，静水深は h = 10 cm，無風時の

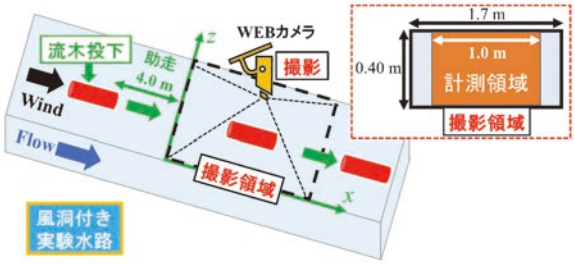

図-1　流木流下実験システム図

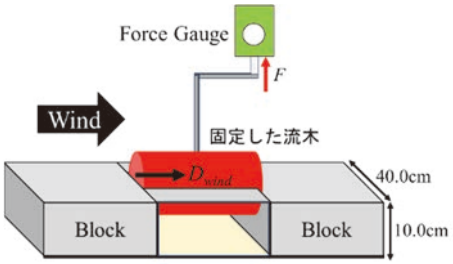

図-2　抗力計測実験の概要

断面平均流速を U_m = 0.30 m/s とし，断面内の最大風速 U_a を 1.01 ~ 6.49 m/s の範囲で系統変化させ実験を行った．また，流木のヨー角・位置に関する制限を設け，流木が直線的に流下する場合のデータを抽出した．各ケースで 5 つデータを取得し，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，流木を固定し風抗力の計測を行った．流木模型に金属棒を取り付けて**図-2** のように流木模型を支持し，水路上方に鉛直下向きに設置したフォースゲージにより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．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を行った．実験条件は，流木流下実験と同様の風速に設定した．

3. 実験結果と考察

(1) 流木流下実験

風速と流木流速，および水面流速の関係を**図-3** に示

Shun KANEKO, Michio SANJOU, Taka-aki OKAMOTO
kaneko.shun.64n@st.kyoto-u.ac.jp

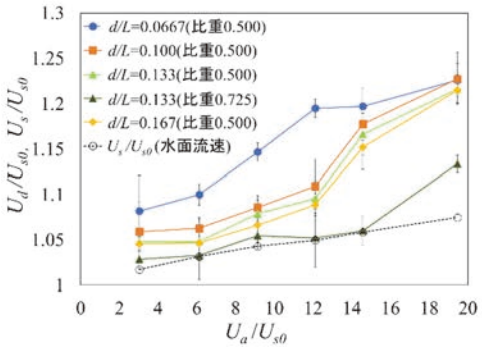

図-3　風速と流木流速・水面流速の関係

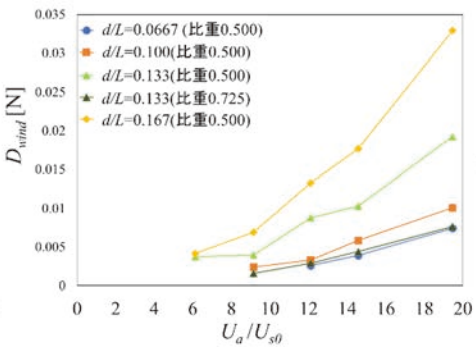

図-4　風速と風抗力の関係

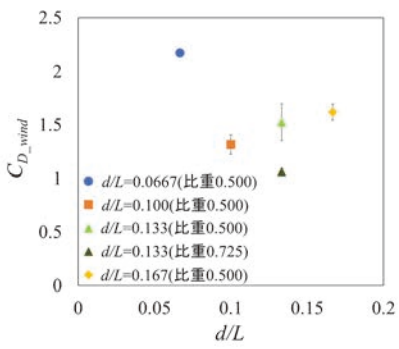

図-5　*d/L* と風抗力係数の関係

す．これより，風が吹いている場合流木が風抗力を受け加速され，水面流速より速く流れることが示唆された．

まず直径に着目すると，U_a/U_{s0} =3.03~14.6 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 の流木は水面下の喫水が最も小さく，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て加速されやすいことが挙げられる．すなわち，助走領域で流木が十分に加速した状態で計測領域に進入したと考えられる．一方，U_a/U_{s0} = 19.5 では直径による違いはあまり無かった．この原因として，投影面積比が同じ場合，終端速度が一致することが考えられる．風存在時の流木運動を風抗力と水抗力によるものと捉えて運動方程式を解くと，終端速度は投影面積比と抗力係数比に依存する形となり [2]，抗力係数比が同程度なら，投影面積比が同じ流木では直径によらず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，どの直径の流木に関しても，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，直径による速度差があまり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大きく異なる可能性もあり，今後詳細に検討する必要がある．

次に比重に着目すると，比重が大きい d/L = 0.133(比重 0.725)の流木流速は，d/L = 0.133(比重 0.500)の流木流速に比べ小さくなった．これは，比重 0.500 の流木よりも空中露出部が小さく風抗力が作用する投影面積が小さいことで，風抗力による流木加速効果も小さいことが原因と考えられる．比重は流木加速に大きな影響を与えるといえる．さらに，直径による違いがあまり無かった高風速ケースでも，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示唆された．

(2)　抗力計測

風速と風抗力の関係を**図-4** に示す．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(比重 0.725)の風抗力は d/L = 0.133(比重 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いことが原因で，比重による流木流速の相違を裏付ける結果である．流木運動における比重の重要性が確認できる．

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て示す．まず直径に着目すると，d/L = 0.0667 の流木は他の流木に比べ風抗力係数が大きくなったことから，風抗力の作用を受けやすく，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も合致しているといえる．次に比重による違いに着目すると，d/L = 0.133(比重 0.725)は d/L = 0.133(比重 0.500)に比べ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空中露出部の形状が異なり，抗力係数の値に相違が生じたと考えられる．この結果より，比重が大きいと風抗力の作用を受けにくいといえる．比重は風抗力による加速効果にも影響を及ぼす可能性がある．

4.　おわりに

本研究では，直径が最小の流木は水面近傍流速の影響を受けやすいこと・風抗力の作用が大きいことにより加速されやすい可能性，比重が大きい流木は風抗力を受ける投影面積が小さいこと・風抗力の作用を受けにくいことにより加速されにくい可能性が明らかになった．したがって，流木運動においては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

1) 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.

2) 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.