

## 沈木の流下特性に関する実験的研究 Experimental Study on Motion Characteristics of Submerged Wood

○山上路生・呉許劍・角哲也  
○Michio SANJOU, Xujian WU, Tetsuya SUMI

Landslides and floods caused by heavy rains produce large amounts of driftwood. Some of them have been found to sink to the bottom of the river. If another large flood event occurs, the submerged wood is expected to be transported again and damage river structures as gates and weirs. However, the motion characteristics of submerged wood are often unknown due to the light specific density and directional shape compared to the general bed load. Therefore, in this study, we try to measure the dynamic friction coefficient by a hydraulic experiment.

### 1. はじめに

流木が一定時間吸水したり、枝根に土砂が付着して比重が増加すると、川底や湖底に沈降する。このようなものを沈木とよぶ。球状近似できる砂礫と比べて、姿勢によって水流から受ける流体力が変化するため、沈木の輸送機構は複雑になる。著者らはこれまで、静止している沈木が再掃流される条件を実験的に検討した<sup>1),2)</sup>。沈木の初期姿勢や床面への埋没深さが限界掃流力に及ぼす影響や、路床構成材料との関係を調べた。

本研究ではこれを発展させて、一旦動きだした沈木がどのように流下するか注目する。実験水路で、沈木模型の挙動をトラッキングし、枝根の有無と初期姿勢が、流下挙動に及ぼす影響を調べた。さらに実験結果と1次元の運動方程式を用いて、動摩擦係数を解析した。

### 2. 実験方法

沈木模型は径  $d=1\text{cm}$ 、長さ  $l=6\text{cm}$ 、比重 1.12 のアクリル円柱を用いた。図1に示す通り、側面に長さ 2cm、幅 0.5cm、厚さ 0.1cm のアクリル材を接着した根付き模型も用意し、転動を抑制する根の影響を調べた。幅 40cm、長さ 10m の直線水路で実験を行った。固定平坦床と移動床の2種類の路床状態を扱った。移動床実験では、水路上流より 6.5m からテールゲートまでの区間において、1mm のガラスビーズを 1cm 厚さで敷いた。

水深 9.8cm、断面平均流速 13.6cm/s の等流を発生させた状態で、水路上流から 6.5m の地点のセンサーラインに、沈木模型を路床に沈めた。初期設置ヨー角  $\varphi$  は、水路に平行 ( $\varphi=0^\circ$ ) および垂直

( $\varphi=90^\circ$ ) の2ケース扱った。この状態で流木模型が動き始めるまで、流量を徐々に増加させた。流下する模型の動きを、水路上方に設置した Web カメラで撮影した。カラートラッキング法によって、赤色に土塗装した沈木模型の瞬時位置と姿勢(ヨー角)を計測した。画像解析より沈木模型の軌道と速度を計測した。なお同一条件の実験を 10 回繰り返した。



図-1 根付きの沈木模型

### 3. 結果と考察

#### (1) 沈木模型の流下軌道

図2に滑面における根なしの沈木模型の軌道を示す。図2(a)に示す初期姿勢が水路に平行な場合 ( $\varphi=0^\circ$ )、動き出した直後では主流に沿って流下せず、水路側方に転動する傾向がみられる。側壁に到達して静止するものや、一旦、主流と平行に転動した後に側壁で静止するものがみられる。このケースでは沈木の移動距離は水路幅に依存すると考えられる。

一方で、初期姿勢が水路に垂直な場合 ( $\varphi=90^\circ$ )、ほぼ全ての試行で主流と平行に転動する(図2(b))。Web カメラの撮影範囲外まで転動を続け、水路のテールゲートまで到達する。このように初期姿勢による移動距離への影響は大きいことがわかる。

また移動床状態で  $\varphi=0^\circ$ かつ根なしの場合、側方への転動の傾向が滑面より小さく、流下方向への移動距離はやや伸びる。さらに、根付きの場合、

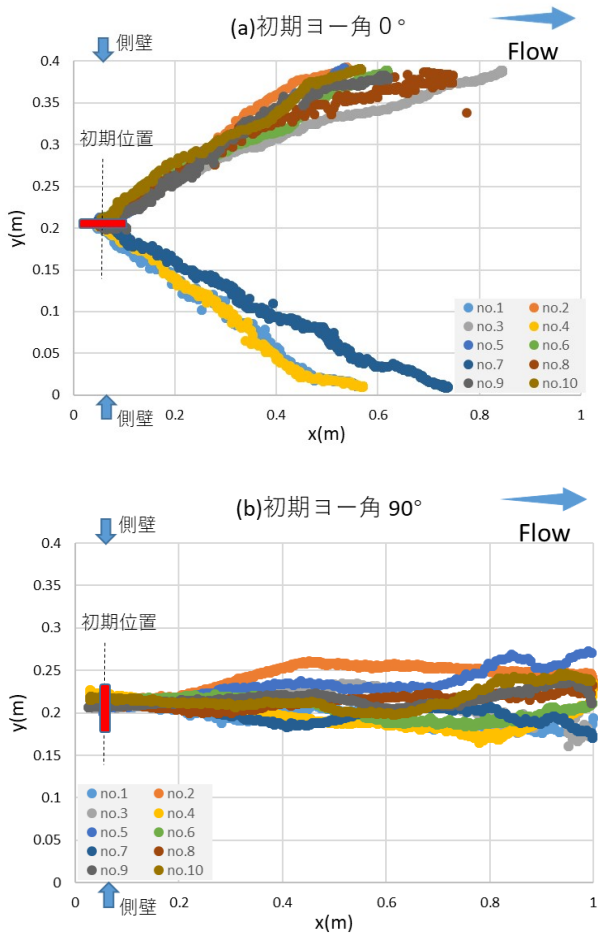


図-2 滑面における初期姿勢の流下軌道への影響，  
(a)  $\phi=0$  (水路に平行)，(b)  $\phi=90$  (水路に垂直)

根が転動を抑制し滑動しやすい。このため主流方向の摩擦が増加し、全体的に根なしに比べて流下方向の移動距離は小さい。これらの結果を表-1にまとめた。なお、表中の  $B$  は水路幅である。

## (2) 動摩擦係数の算定

沈木の動態を数値計算する際には、動摩擦係数が必要となる。ここでは簡単な場合として、ヨー角が  $90$  度で一定の円柱体の水流中における1次元運動を考える。路床勾配をとすると、円柱は図-3のように、重力、浮力、摩擦力、底面からの抗力、流体力  $F_x$  を受ける。ここで  $x, y$  はそれぞれ流下方向および底面の法線方向である。流体力の  $y$  成分は微小と仮定して無視する。 $\rho, \rho_s$  をそれぞれ、水と沈木の密度、 $V$  を沈木の体積、 $\mu'$  を動摩擦係数とすると、 $x$  方向の運動方程式は、

$$\rho_s V \ddot{x} = (\rho_s - \rho) V g \sin \alpha - \mu' (\rho_s - \rho) V g \cos \alpha + F_x \quad (1)$$

とかける。 $\mu'$  を転がり摩擦係数と読み替えれば、式(1)は転動の並進運動を表す。沈木が等速運動の場合には、式(1)より式(2)が得られる。

表-1 路床条件、根の有無と流下距離の関係

ガラスビーズ	初期 $\phi=0$ (流れに平行)		初期 $\phi=90$ (流れに垂直)	
	根なし	根付き	根なし	根付き
平均移動距離 $x/B$	6.17	1.67	8.54	3.10
滑動 or 転動	転動	滑動+転動	転動	滑動+転動

滑面	初期 $\phi=0$ (流れに平行)		初期 $\phi=90$ (流れに垂直)	
	根なし	根付き	根なし	根付き
平均移動距離 $x/B$	0.54	1.43	8.49	3.48
滑動 or 転動	転動	滑動	転動	滑動

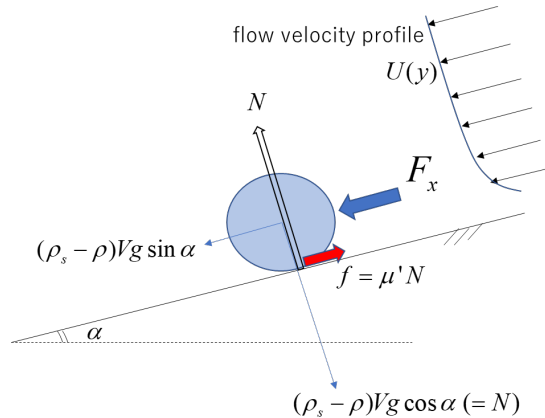


図-3 流下する沈木に作用する力の定義

$\mu' = \sin \alpha / \cos \alpha + F_x / (\rho_s - \rho) V g \cos \alpha \quad (2)$   
 $F_x$  は、流れ方向への沈木の投影面積  $A = dl$ 、沈木速度  $U_s$ 、沈木高さ ( $y = d/2$ ) の水流速  $U(d/2)$  を用いて次式で計算した。

$$F_x = \frac{1}{2} \rho C_D A \{U_s - U(d/2)\}^2 \quad (3)$$

なお円柱の抗力係数  $C_D = 0.74$  を与えた<sup>3)</sup>。水流速の分布に  $1/7$  則を仮定して、 $U(d/2)$  を水路流量から求めた断面平均流速より計算した。

一例として移動床における  $\phi=90$  度の根ありと根なしを考える。各々について、1 試行ずつ選び、主流と平行に等速流下する区間から  $U_s$  を計算して  $\mu'$  を評価した。その結果、根あり (滑動) では  $0.205$ 、根なし (転動) では  $0.038$  となった。このように転動の場合、滑動よりも 1 オーダー程度小さくなり、沈木の動的予測の際には注意を要する。

## 4. おわりに

水路実験によって沈木の動摩擦係数を評価した。今後、実験条件を増やして、CFD のベンチマークや物理モデルのためのデータベースを構築する。

## 参考文献

- 1) 山上・角ら，水工学論文集，66，I\_823-828，2021.
- 2) 山上・角ら，水工学論文集，67，I\_589-594，2022.
- 3) Mohammed et al. Herpetological Review 47(4), 586-591, 2016.