

京都大学 学生員 ○呉 許劍
 京都大学 正会員 山上路生
 京都大学 正会員 角 哲也

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^{1),2)}。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 の地点のセンターラインに、沈木模型を路床に沈めた。図 2 のように、初期設置ヨー角 ϕ は、水路に平行 ($\phi=0^\circ$) および垂直 ($\phi=90^\circ$) 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

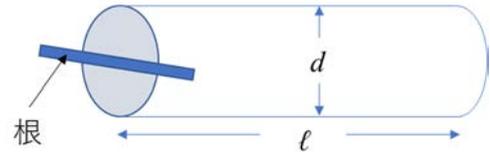


図-1 根付き沈木模型

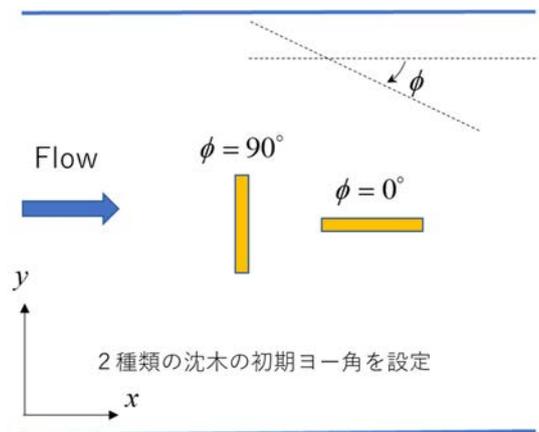


図-2 沈木のヨー角の定義

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。

3. 結と考果察

(1) 沈木模型の流下軌道

図 3 に滑面における根なしの沈木模型の軌道を示す。図 3(a) に示す初期姿勢が水路に平行な場合 ($\phi=0^\circ$)、動き出した直後では主流に沿って流下せずに、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 ($\phi=90^\circ$)、ほぼ全ての試行で主流と平行に転動する (図 3(b))。Web カメラの撮影範囲外まで転動を続け、水路のテ

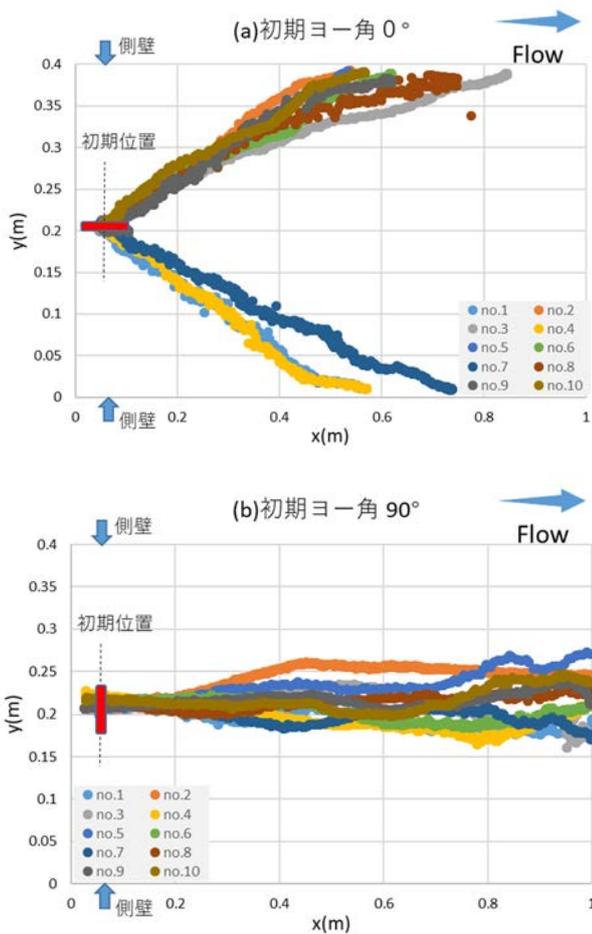


図-3 滑面における初期姿勢の流下軌道への影響, (a) $\phi=0$ (水路に平行), (b) $\phi=90$ (水路に垂直)

ールゲートまで到達する。このように初期姿勢の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 $\phi=0$ 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、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。

(2) 平均移動距離の比較

流下する沈木模型は主に次の2つの要因で停止する。一つは側壁との接触、もう一つはテールゲートの背水に起因する流速低減である。沈木の初期位置と停止位置の主流方向の距離を X_t と定義する。図-4は沈木の長さ和水路幅による無次元停止距離 X_t/B の関係を示す。 X_t は各ケースともに10サンプルの平均値とした。各ケースにおいて流下する沈木が側壁に接触して静止する確率も示した。初期ヨー角が $\phi=90^\circ$ の場合、根なしでは、側壁に接触して静止する確率は比較

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_t/B	6.17	1.6	8.54	3.1
滑動 or 転動	転動	滑動	転動	滑動

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_t/B	0.54	1.43	8.48	3.03
滑動 or 転動	転動	滑動	転動	滑動

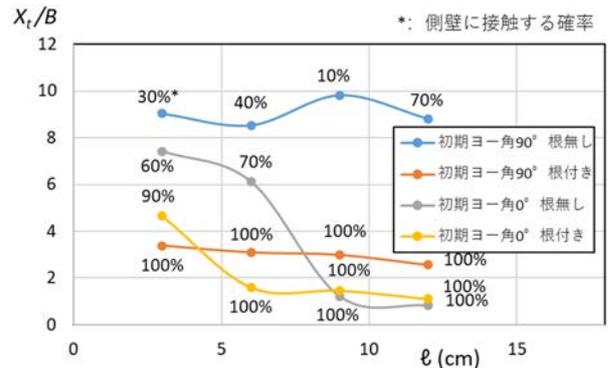


図-4 沈木長さ と 移動距離 の 関係 (ガラスビーズ床)

的小さく、テールゲートの近傍まで水路幅の8倍以上の距離を流下する。初期ヨー角が $\phi=90^\circ$ の根付きでは、横断方向への移動に伴い、全てのサンプルが側壁に接触して静止する。このため根なしに比べて流下距離が小さくなる。

表-1に路床の粗滑が X_t に及ぼす影響をまとめた。これらの結果を表-1にまとめた。なお、表中の B は水路幅($B=40\text{cm}$)である。ここでは $l=6\text{cm}$ について比較した。ガラスビーズ床で $\phi=0$ かつ根なしの場合、側方への転動が滑面床より小さく、流下方向への移動距離が大きく伸びる。さらに、根付きの場合、根が転動を抑制し滑動となる。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。

4. おわりに

水路実験によって沈木の初期角度や長さが流下距離に与える影響を評価した。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.