

ダム湖底の沈木の限界掃流力に関する実験的研究
Experimental Study on Critical Tractive Force of Submerged Wood in Dam Reservoir

○山上路生・角哲也・岡本隆明・長坂香織・相澤航

○Michio SANJOU, Tetsuya SUMI, Takaaki OKAMOTO, Kaori, NAGASAKA, Wataru AIZAWA

It is reported that submerged woods in a dam lake induce gate blockage accidents. However, there remain uncertainties about how the submerged woods are produced and conveyed downstream. Hence the present study focuses on quantitative evaluation of critical tractive force. We measured the critical tractive force of the submerged wood in the laboratory flume varying systematically the size and density of the wood model. It results in that the normalized critical tractive force could be expressed by universal function of Reynolds stress introducing a correction function.

1. はじめに

流木による河道の災害は、橋梁集積だけでなくダム貯水池においても顕著となっている。その一例として、長野県裾花ダムにおいて常用洪水吐き2門のうち1門のコンジットゲートが閉塞した事例があげられる。開閉操作時に流出した土砂及び堆砂面上の沈木がゲート開口部を閉塞させたと考えられている¹⁾。

一方で、沈木の河道やダム貯水池における分布状況、発生要因および掃流機構などについてはほとんど未解明で、これらの研究は急務である。そこで本研究では特に流木の限界掃流力に着目し、その基礎知見を得るために水路試験を行った。

2. 実験方法

水中における沈木の挙動を調べるため、室内水路に沈木模型を設置し、流量・流木条件を変化させて限界掃流力を求めた。流木模型はアクリル円柱で作成し、長さや直径、密度を変化させた。実験水路は水路幅20cm、長さ4m、底板(アルミ)が平坦な直線水路を使用した。①固定床と②移動床の2種類の路床条件を設定した。いずれの実験も流速を徐々に大きくし、沈木模型が動き始める時の流速を記録した。この時、等流を保つように下流堰と水路勾配 θ を微調整した。また沈木模型の初期設置角度 ϕ を図-1(a)のように 0° 、 45° 、 90° に変化させた。図-1(b)に沈木模型の初期配置に関する座標系を示す。

(1) 固定床ケース

沈木模型の形状と密度を変化させて行った。形状変化では、模型の比重 σ/ρ を1.12とし、長さ l を3, 6, 9cm、直径 d を0.3, 0.6, 1.0, 1.5, 2.0cmに変化させた。また密度変化では長さ6.0cm、直径1.0cmの中空アクリル棒の中身に微小な金属球を詰めて重さを調整し、比重を1.08, 1.12, 1.31, 1.35, 1.51に変化させた。

(2) 移動床ケース

上流から3m地点における水路床の一部に3cm深さ、20cm四方の直方体の凹部を作った。その中に1mm径のガラスビーズを敷き詰めて移動床とした。また、沈木模型を路床に平行に埋没させておいた。初期埋没深さ e と直径の比 e/d を0, 0.25, 0.50に変化させた。

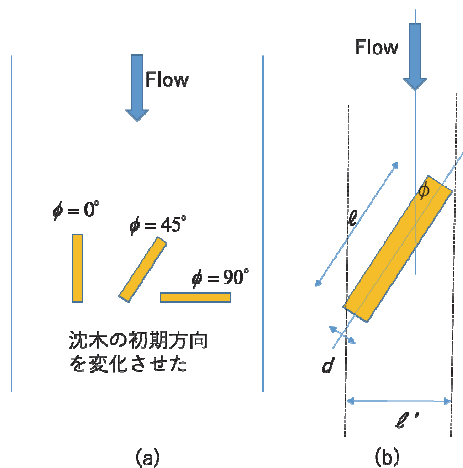


図-1 沈木模型の初期設置角度と座標系

3. 結果と考察

(1) 固定床ケース

図2に流木の長さおよび初期配置角と式(1)で算出した限界掃流力 τ_c の関係を $d = 1.0 \text{ cm}$ ケースについて示す。

$$\tau_c = \rho g l R = \rho g h \sin \theta \quad (1)$$

直径変化と限界掃流力の関係及び流木の長さ変化と限界掃流力の関係を表す。初期アングルが水路と平行時 0° に τ_c は最も大きくなり、 45° と 90° ではほぼ同じ値をとる。流木長と τ_c には明確な相関関係が見られなかった。また紙面の都合上割愛するが、密度が大きいほど τ_c も大きくなった。

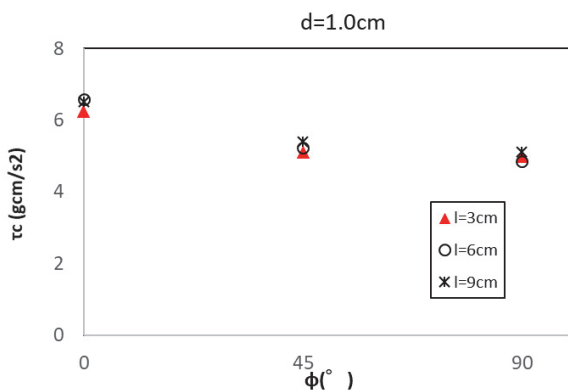


図-2 初期配置角度と限界掃流力 τ_c の関係

(2) 移動床ケース

図-3は固定床と移動床(埋没ゼロ)の τ_c の関係を表す。ここで、 l' は主流方向への沈木の投影長さである(図-1(b))。流れの断面に投影した沈木長である。固定床に比べ移動床で τ_c は小さくなる。図-4は埋没深さ/流木直径(e/d)と τ_c の関係を表す。 e/d が大きくなるほど τ_c は大きくなる。また、 $e/d = 0.25, 0.50$ においては流木よりも先に周囲のガラスビーズが掃流することが確認できた。

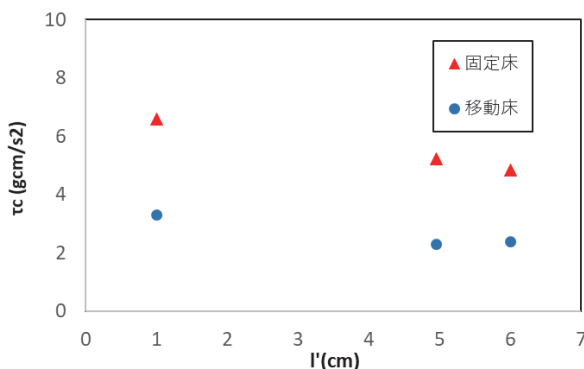


図-3 固定床と移動床(埋没ゼロ)における τ_c の比較

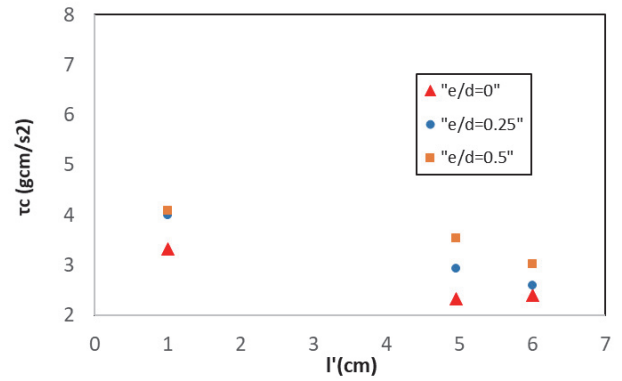


図-4 埋没深さ/沈木直径と τ_c の関係

(3) 沈木の無次元限界掃流力

掃流砂を参考に沈木の限界掃流力の無次元表示を考える。無次元限界掃流力 τ_c^* は沈木に作用する路床抵抗力に対する流体力の比と定義する。

$$\tau_c^* = \frac{F_D}{F_\mu} = \frac{\rho d l' U_*^2}{\mu(\sigma - \rho) g d^2 l \cos \theta} \quad (2)$$

ここで、流体力は $F_D = 1/2 \times \rho C_D A U_b^2 \sim \rho d l' U_*^2$ 、抵抗力 $F_\mu = \cos \theta \times \mu(\sigma - \rho) V g \sim \mu(\sigma - \rho) g d^2 l \cos \theta$ とした。なお摩擦速度 $U_* \propto U_b$ (底面近傍速度)とした。 l' を代表長さスケールとし、レイノルズ数 $Re \equiv U_* l' / \nu$ を考えて、 τ_c^* との関係を調べたところ、有意な相関がみられなかった。詳細は検討中だが流体力にせん断力の影響が十分に考慮されなかったことが一因かもしれない。せん断力は流木の側面積 $\sim \pi d l'$ に作用する。そこで、この影響を考慮し補正関数 $f = dl' / l'^2$ を考える。 $\tau_c^* f$ と Re の関係を図-5に示す。固定床、移動床各々についてスケール依存しない τ_c^* に関する普遍曲線が得られた。

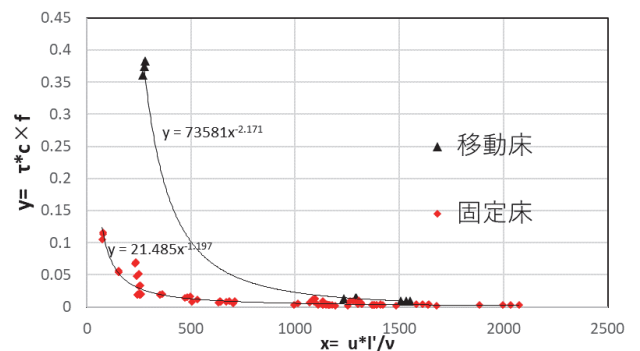


図-5 補正した無次元限界掃流力と Re 数の関係

参考文献

1) 高田・角, 京大防災研年報, 62(B), 671-678, 2019.