

流木の挙動安定性と橋梁閉塞に関する研究

Relationship between Stability Characteristics of Driftwood and Bridge Blockage Property

○山上路生・岡本隆明

○Michio SANJOU, Takaaki OKAMOTO

Large amounts of driftwood appear in rivers aggravate the flood events during heavy rainfall. Large driftwood blocks the river, which lead to a decreased discharge capacity and increased water levels. To predict precisely driftwood tracks, we should reveal pitching and yawing moment stability of driftwood. In the present study, three kinds of flume experiments (1. Drag force and Lift force measurement, 2. Pitching moment and Yawing moment measurement, 3. Driftwood accumulation experiment) were conducted. Examination of the effect of the gravity center position on the directional stability of driftwood are also conducted. Small increase in angle of attack caused a significant increase of the projected area of driftwood. This results in that the blocking probability of driftwood at bridge decks and backwater rise due to driftwood accumulation depend on the projected area of driftwood.

1. はじめに

開水路における流木の漂流挙動に注目し、水路模型実験から流木の揚抗力特性と静的および動的安定性を解析する。さらに既往研究を参考に流木モデルの投入試験を行い、前半で得られた重心位置と回転による安定性の観点から橋梁の流木捕捉特性を考察する。さらに河道閉塞の進行にともなう水位増加についても定量的に評価する。

本研究の知見は、流木による橋梁災害対策へ活用されるだけでなく、数値シミュレーションのベンチマークテストとしての役割を担うことも期待される。

2. 実験装置の概要

本研究では流木に作用する揚抗力の計測を全長10m、幅40cm、高さ50cmの変換勾配型直線水路にて実施した。本研究の座標系は、 x 、 y および z はそれぞれ、流下方向、鉛直方向および横断方向の座標軸である。 H は水深である。流木を中心とした相対流速を考える。主流に向かって頭上げを正とする角度 α を迎角とよぶ。模型は流木模型として防水塗装を施した円柱木材を使用した。 l は流木模型の長さ、 d は流木模型の直径である。

図-1は流木に作用するピッチングモーメントの計測システムである。流木模型として均一比重0.5のものを用いた。常に半水没状態を保つように金属シャフトを上下方向に微調整可能としている。流木の重心位置と迎角 α を変化させて計測した。いずれの

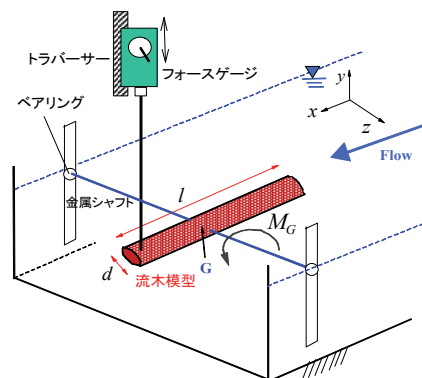


図-1 モーメント測定装置と水路座標系

重心も流木の主流方向に沿う中心軸上にあるものとする。図のように3mm径の金属シャフトを回転軸として貫通させた点を模倣的に流木模型の重心(ピッチングモーメントの回転中心)とし、上流側、中心、下流側と位置を変化させている。水路側壁には軸受け用のベアリングを装着した金属プレートをセットしここに金属シャフトを通した。さらに主流方向の中心軸上の重心とは異なる点を水路上部にあるトラバーサーに取り付けたフォースゲージに接続された金属棒で支持する。トラバーサーによってフォースゲージの主流方向および鉛直方向の位置調整が可能である。この2次元位置調整により、流木模型の迎角 α を 1° 単位で微調整できる。フォースゲージの計測値と模型支持点/重心間の距離を用いればピッチングモーメント M_G が計算できる。ヒンジの抵抗

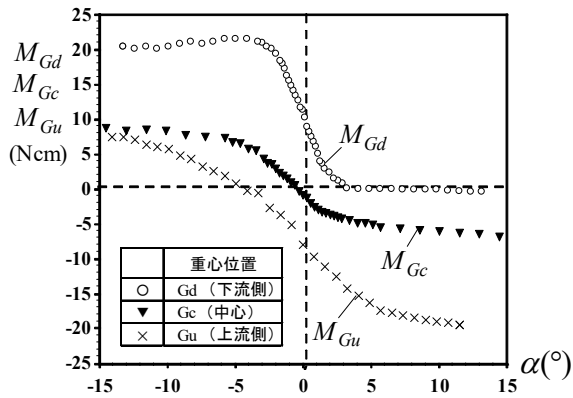


図-2 ピッチングモーメントと迎角の関係

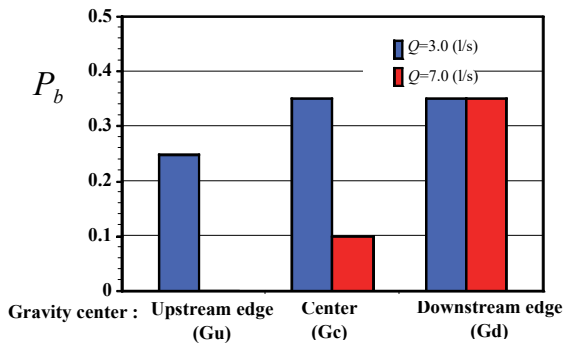


図-3 橋梁捕捉率(流木の重心位置による比較)

の影響を考慮するため、既知の力を作用させてフォースゲージのキャリブレーションを行った。

流木の揚抗力計測とモーメント計測実験では断面平均流速は $U_m=50\text{cm/s}$ で水深は $H=15\text{cm}$ とした。全ケースで迎角 α は最小 1.0° 刻みで -20° から 20° まで変化させた。モーメント計測実験の流木模型の重心位置は流木模型の上流側(Gu: 点 O から $1/8l$)、中心(Gc: 点 O から $1/2l$)、下流側(Gd: 点 O から $7/8l$)の3パターンを設定した。

橋梁による流木捕捉実験では流木投入前の断面平均流速は $U_m=20, 47\text{cm/s}$ で主流域(Main-channel)の水深は $H_f=7.5\text{cm} (< D_R = D_L=10\text{cm})$ とした。すなわち初期流況は単断面の等流である。

3. 結果と考察

図-2 は $d=2.0\text{ cm} (l/d=20)$ ケースの重心位置が上流側(Gu)、中央(Gc)、下流側(Gd)に一致する場合のピッチングモーメントと迎角の関係である。迎角が増加してピッチングモーメントが減少する(復元力が作用する)状態は静安定、迎角が増加してピッチングモーメントが緩やかに減少する状態は弱安定とされる。これに対して、迎角が増加し

てピッチングモーメントがゼロまたは増加する(復元力が作用しない)状態は不安定である。

中心ケース(Gc)の重心まわりのピッチングモーメント M_{Gc} はゼロ迎角付近でゼロとなり、迎角 $\alpha > 0^\circ$ のときは M_{Gc} が負、迎角 $\alpha < 0^\circ$ のときは M_{Gc} が正になっている。これは流木が流れに対して頭上げあるいは頭下げ状態になる際に、流木がゼロ迎角の状態に戻るよう復元モーメントが作用することを示している。

上流側ケース(Gu)の重心まわりのピッチングモーメント M_{Gu} は負の迎角($\alpha=-4.1^\circ$)でゼロとなっている。ほぼ全域で迎角の増加とともにモーメント M_{Gu} が減少する。すなわち、迎角の増加する向きとは反対に復元モーメントが発生し、このケースは静安定といえる。

一方で、下流側ケース(Gd)の重心まわりのピッチングモーメント M_{Gd} は $-4^\circ < \alpha < 3.2^\circ$ で迎角の増加とともに減少する(静安定)。正の迎角($\alpha=3.2^\circ$)で M_{Gd} がゼロとなり、 $\alpha > 3.2^\circ$ では α が増加しても M_{Gd} はあまり増加せずにゼロに近い値をもつ(不安定)。同様に $-4^\circ > \alpha$ でもモーメントの変化は小さく復元力が期待できる不安定といえる。すなわち何らかの外乱によって 3.2° 以上(頭上げ)あるいは -4° 以上(頭下げ)傾けば、流木が回転、倒立して複雑な挙動状態に移る可能性がある。

図-3 は流木投入実験より得られた流木の橋梁捕捉率 P_b の変化を示したものである。流速の小さな $Q=3.0\text{ l/s}$ ケース(フルード相似則より実河川スケールでは断面平均流速 1.3m/s に対応)ではヨーイングモーメントが小さいため P_b に差はなく、重心位置の影響は小さい。これに対して流速の大きな $Q=7.0\text{ l/s}$ ケース(実河川スケールでは 3.0m/s に対応)では、重心位置の影響が顕著にみられた。上流側ケース(Gu)では $P_b = 0$ となる。偏揺角のぶれがヨーイングモーメントによって補正されるため重心側が上流を向き流向と平行な状態で流下する。その結果、橋脚部への接触や捕捉が生じにくくなる。下流側ケース(Gd)についてはヨーイングモーメントが作用して流木が大きく回転するため、 P_b が大きくなる。何らかの外乱により流木の重心が下流側に向くと、不安定になり捕捉率が増加することがわかる。中央ケース(Gc)ではヨーイングモーメントによる偏揺角の補正が期待できず擾乱の影響を受けやすい。このため上流側ケース(Gu)よりも捕捉率が大きい。