

流木が円柱群に作用する流体力と堰上げ効果に関する実験的研究

(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○小木曾 雄平・近藤 淳平

(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 正会員 和田 清

1. はじめに

近年の集中豪雨などにより洪水時には大量に発生した流木が橋脚に集積することで、橋脚部における堰上げや通過流速の増加による局所洗掘、流体力の増大を誘引し、被害を拡大することが懸念されている。従来の研究¹⁾により、流下する流木塊の形状やアスペクト比(流木長／橋脚スパン)が集積率に与える影響などが明らかにされている。本研究では、水理実験を通して流木や草木類が円柱群に衝突し、集積することによる流体力の増大と堰上げ効果、流木群の浮遊形態と集積率の関係などについて明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

本研究では、幅 0.4m、高さ 0.4m の可変勾配水路において、流量 21.45l/s、上流側平均流速 1.03m/s、の水理条件のもと、実験を行った。また、円柱群モデルには直径 3.4cm、高さ 40cm の円柱木材を 3 本(中心間隔 13cm)設置した。さらに、流木モデルには直径 1cm、長さ 15cm、密度 0.61g/cm³ の円柱木材の両端および片側に鉄製のリングを取り付けることで密度を 0.79g/cm³ とし、流木重心を変化させた。このアスペクト比(流木モデル長さ／円柱群間隔)は 1.15 である。計測装置は、図-1 のように円柱群モデルの上流側 40cm および下流側に 40cm の地点に容量式波高計(KENEK 製, CHT4-30)を設置し、円柱群の中心に三分力計(日章電機製, LMC-3520A-50NWP)を取り付けた。このようにして水位変動と円柱群に及ぼす流体力(抗力および揚力)とを同時に計測した。なお、サンプリング周波数 1000Hz で約 30s 間の計測を行った。

流木の流下形態が集積率に与える影響に関する実験として、表-1 のように、リングの取り付け箇所を変えることで流木の重心を変化させ、水平に流下する流木(中心)と斜めに流下する流木(偏心)を用いて 3 つのケースを設定し、円柱群から上流に 3.5m の地点から 10~100 本の流木を同時投下した際の集積率について、同様の実験を 1~6 回、繰り返すことで求めた。なお、流木が円柱に衝突してから 10s 間、円柱群前面に拘束された状態を集積したものとして定義した。

次に、円柱群の流体力に及ぼす浮遊物の影響に関する実験として、同表の通り、浮遊物のモデルとして 2 種類の異なる形状の草木モデルを使用し、4 つのケースを設定した。また、集積率と流体力、水位変動の計測を 1~3 回、繰り返して、50Hz の移動平均により平滑化処理した。

3. 結果および考察

(1) 流木の集積率に与える流下形態の影響

図-2 は流木の流下本数と集積率の関係について示したものである。同図は各ケースにおける変動成分を併記している。まず、caseA(中心)については流下本数を増やすにつれ集積率が徐々に増加する傾向が見られ、中でも流下本数を 40 本にした段階で集積率の増大は顕著に表れた。一方で caseB(偏心)では、流下本数を増加させても集積率の増加には繋がらず、50 本流下させた場合においても集積率は平均 4.0%と caseA(中心)の 73.6%を大きく下回る結果となった。流木が流下する様子を比較すると、caseB(偏心)では caseA(中心)と異なり、偏心しているため円柱群に衝突した際にはリングを支点として回転するような形で下流へと押し流されていたことから流木の重心の位置が集積率に大きく影響を及ぼしている。さらに、caseC(中心+偏心)の場合には、caseA(中心)と caseB(偏心)の間に位置し、集積率については caseA(中心) > caseC(中心+偏心) > caseB(偏心) の順で大きくなっていることが分かる。これより、偏心した流木のみでは流下本数の増加は集積率の増大に繋がりにくいが、他の流木の集積の影響を受けることで集積率の増大に寄与することが分かった。

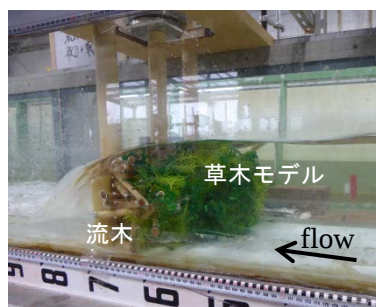
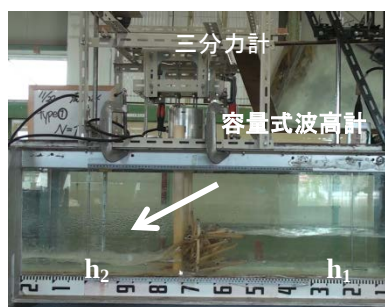


表-1 実験ケース

	流木(中心)	流木(偏心)
caseA	○	
caseB		○
caseC	○	○

	流木	草木モデル1	草木モデル2	平均集積率
case1	○			77
case2	○	○		79
case3	○		○	74
case4	○	○	○	68

図-1 実験状況（流木・草木モデルの集積）

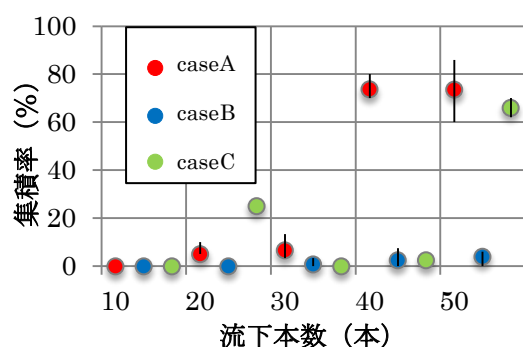


図-2 集積率と流下本数

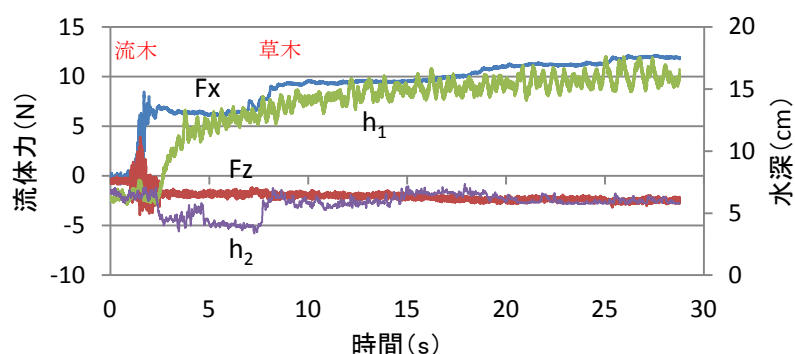


図-3 流木による流体力と水位変動

(2) 円柱群に対する衝撃力に与える浮遊物の影響

図-3 は case4 における円柱群に作用する流体力と水位変動を示したものである。同図より衝突直後の流体力、抗力 F_x 、揚力 F_z とともに瞬間的にスパイク状の流木による衝撃力が円柱群に作用している。また、その直後に円柱群上流では水位の上昇、下流では水位の低下が見られる。ここでスパイク状の流体力と水位変動の時間差は三分力計と容量式波高計の設置位置の違いによるものである。その後、時間の経過とともに、上流(h_1)と下流(h_2)の水位差(Δh)が拡大するので F_x は上昇、 F_z は減少し、円柱群に加わる下流方向への抗力および鉛直下向きの揚力が増大することになる。これは、流木が集積することによる投影面積の増大や水面付近の流速に比べて河床付近の流速が加速されることが起因している。また、case4 では、抗力 F_x が2段階で増加する様子が見られた。これは、流木モデルの集積により抗力が増大した後、集積した流木モデルの隙間に草木モデルが目詰まりすることで再度、抗力を増大させたことが要因である。さらに、流木投下 30s 後には、case1 では上流 h_1 と下流 h_2 の水位差 Δh 10.46cm、抗力 F_x 8.23N(100%)、揚力 F_z -0.60N(100%)であるのに対し、case4 では水位差 Δh 10.97cm と大きな変化は見られないものの抗力 F_x 11.84N(144%)、揚力 F_z -2.60N(433%)と case1 に比べてより大きな流体力が発生していることが示された。

4. おわりに

本研究により、流木が円柱群に作用する際の流体力：抗力の増加と下向きの揚力の発生と、流木が集積することによる堰上げ効果と下流側での流れの加速が確認された。さらに、大量の草木類が集積した流木間に目詰まりすることで、流体力の増大を引き起こすことなどが明らかにされた。また、流木が水平に流下する際に比べ、偏心した流木のみの集積率は大きく低下する一方で、これらの流木を混合して流下させると、他の流木の集積により、偏心した流木も集積率の増大に寄与することが確認された。今後は、流木、草木類に加えて転石による円柱群の流体力の評価について実験的に検討する予定である。

参考文献

- 1) 松本 健作ほか：流木塊の橋脚への堆積に関する研究，水工学論文集，第 45 巻，2001.2.