

湾曲水路を用いた流木挙動の三次元性に関する検討

北海道大学工学院 環境フィールド工学専攻 学生員 北園 和也
北海道大学 大学院工学研究院 正会員 ○木村 一郎

1. はじめに

河川における流木挙動の予測は災害防止や環境問題の観点から非常に重要である。流木は集積や堆積による水位上昇や河床の浸食など様々な影響を及ぼす。流木は水面付近の現象と考えられるが、これには流れの三次元性が寄与する。また、流木が堆積することにより周辺の流れに変化を及ぼし、水位分布に影響を与える。

本研究では流木挙動予測に関する三次元性の影響の解明と、これを考慮した流木予測モデルの精度向上に向けての検討を、水路実験及び同条件の数値解析を通じて実施する。

2. 流木リチャードソン数の影響に関する実験

2.1 流木リチャードソン数の定義

流木は一般に浮力により表面付近を移動すると考えられているが、構造物周辺においては必ずしもそうではない。流況の条件によって、構造物上流側において流木が三次元的な挙動を示すことが確認されている。このような三次元堆積が起きると、構造物上流部において大規模な水深増加につながり、流木抵抗による流れへの影響を無視することができなくなる。このように浮力に対して慣性力が大きい場合、構造物に衝突した流木が浮力に逆らって水中に沈み、他の流木の下を抜けて構造物をすり抜けることや構造物に留まり流れを変えることがある。

この現象を検討するため、浮力と慣性力の比を表すリチャードソン数を流木運動の指標とすることを考える。その指標を流木リチャードソン数 R_{it} と定義し、式(1)に示す。

$$R_{it} = \frac{g \beta \left(-\frac{1}{\rho \beta} \Delta \rho \right) h}{u^2} = -\frac{g \Delta \rho h}{\rho u^2} = -\frac{g \Delta \rho B^2 h^3}{\rho Q^2} \quad (1)$$

ここで、 B は水路幅、 Q は流量、 g は重力加速度、 h は水深、 $\Delta \rho$ は流木と水の密度差である。

2.2 実験概要

実験には図-1 に示すようなサインジェネレイテッドカーブ 1 周期分用いた水路を使用する。水路幅 20cm, 蛇行長 3.4m, 蛇行角 60 度である。この水路の湾曲部において等間隔に 1cm 幅の構造物を配置した。流量は 2.13l/s, 下流端水位を調節することにより流木リチャードソン数を変化させる。流木モデルには長さ 4cm, 直径 5mm, 密度 0.6g/cm³ の木材を用い、これを 110 本同時に水路幅全体に均等になるように供給した。

構造物上流側において堆積する流木数の比率を捕捉率、また堆積した流木のうち水面下に沈みこむものの比率を沈下率と定義した。流木の沈下判定については、図-2 に示すように流木が少しでも水面に触れているものについては沈下していないと判断し、流木全体が水中にあるものについては沈下したと判断した。

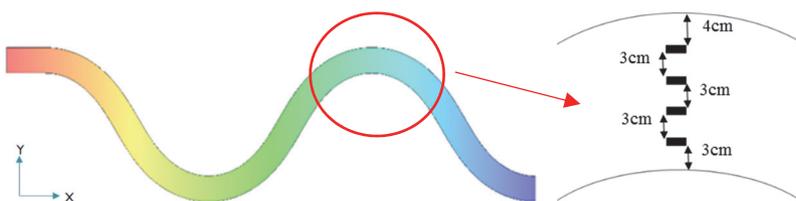


図-1 実験水路 (右：構造物配置)

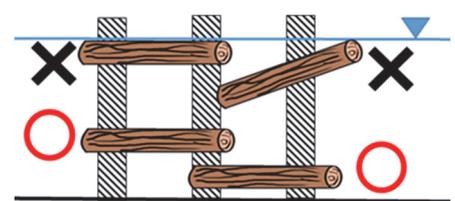


図-2 流木沈下判定概略図

キーワード 流木, 流木リチャードソン数, 三次元流れ

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学 水工水文学研究室 TEL011-706-6199

2.3 実験結果および考察

実験は現象再現性を確認するため各ケース 3 回ずつ行い、最大値、最小値、及びその平均値を求めた。図-3 は沈下率と流木リチャードソン数の関係を示したものである。この図より、流木リチャードソン数が大きいほど沈下率が小さくなることが確認された。流木は水面流速により移動していると考えられている。しかし、今回の実験結果では流木リチャードソン数が小さい場合、構造物周辺の流木挙動にも三次元性が強く出現することが確認され、従来の予測結果と比較して誤差が大きくなることが予想される。図-3 より流木リチャードソン数が 10 以下の場合、このような三次元性の影響は極めて小さいことがわかる。このため、流木を水面付近で平面的に移動させるタイプの数値解析モデルの適用範囲は $Rit > 10$ 程度と考えられる。

図-4 は捕捉率と流木リチャードソン数の関係を示したものである。流木リチャードソン数が大きくなるほど捕捉率が上昇している。この原因としては、流木リチャードソン数が小さいと流木堆積が三次元的となり、流木の下をすり抜ける流木が増加するが、流木リチャードソン数が大きいと、この現象が生じにくく、流木が前の流木の上流側へ順に二次元的に堆積するためと考えられる。実験値にはばらつきがみられる。この理由として、流木堆積プロセスが関係していると考えられる。すなわち、構造物に対して最初に捕捉された流木をきっかけに流木が次々と堆積していく現象が確認されたが、最初の流木がいつどのような形でどこの構造物にスタックするかという極めて不確定性の高い現象が、さらに上流から流れてくる流木の堆積に影響を与えている。このため、値のばらつきが生じると考えられる。

流木を水面付近で平面的に移動させるタイプの数値解析モデルの代表として、流木は表面流速により水面上を二次元的に移動させ、流動計算は三次元的に行う iRIC ソルバー NaysCUBE を用い^{1),2)}、同条件で計算したところ、捕捉率はリチャードソン数の大きさに関わらず 0.9 以上の値となった。前述の沈下率に関する考察では、流木を平面的に追跡する数値解析モデルの適用範囲をおよそ $Rit > 10$ と推測したが、捕捉率に関する本数値解析結果はこれを裏付けるものとなっている。

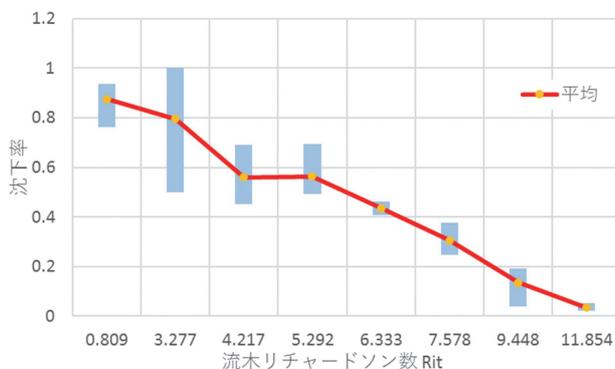


図-3 沈下率と流木リチャードソン数の関係

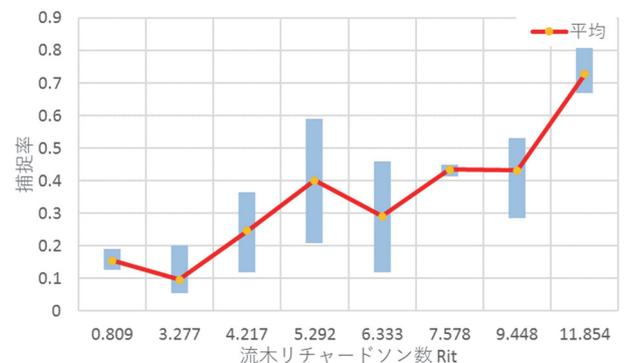


図-4 捕捉率と流木リチャードソン数の関係

3. 結論

構造物周辺の流木沈下に伴う流木挙動の三次元性の必要性について、新たに流木リチャードソン数を定義し検討した。流木リチャードソン数と構造物周辺の流木沈下率の関係性を実験導出し、流木リチャードソン数が約 10 以下では流木挙動の三次元性が顕著となることを確認した。しかし、流木リチャードソン数が 10 以下の場合において流木挙動そのものの三次元性が顕著となるため、その条件下での予測精度向上に向けて、流れだけでなく流木の三次元モデル化が必要である。

参考文献

- 1) Homepage of iRIC Project Changing River Science, <http://i-ric.org/ja/> 2016.
- 2) Kimura, I. and Hosoda, T. 2003. A non-linear k-ε model with reliability for prediction of flows around bluff bodies. International Journal for Numerical Methods in Fluids, (DOI:10.1002/fld.540), pp.813-837.