

流木群の曲げ変形を伴う橋脚堆積過程を説明する数値解析法の開発

国立高専機構阿南高専 正会員 ○長田 健吾
群馬大学 正会員 清水 義彦

1. はじめに

流木災害を軽減するために、流木補足工や貯木池などの対策工が計画される。現状では、模型実験により施設設計が行われているが、検討段階で数値解析も併用できれば、検討の幅が広がり、より有効な施設設計を期待できる。既往の流木解析モデルは、流木を剛体（変形なし）として扱う2次元^{1),2)}、3次元³⁾のモデル化が進められてきた。しかし、**図-1**に示すように、実際の堆積でよく見られる状況は、枝・幼木など変形する流木が橋脚に絡むことで、太い流木も巻き込み、堆積物を形成していることが多く、橋脚への堆積過程を説明する上で流木の曲げ変形を無視することは出来ない。本研究では、流木の曲げ変形を考慮した新たな流木解析モデルを開発する。解析法の検証として、杉強度を含む3種類の流木を設定し、橋脚の設置された河道での流下・堆積過程の数値実験を行い、流木強度の違いによる堆積過程（堆積量）の変化を表現できるか検討を行った。

2. 流木解析法の概要

図-2に構築した解析法の過程を示す。流れ場の解析は、清水ら²⁾と同様、河道への適用を考え一般化座標系平面二次元洪水流解析を用いる。流木は、**図-3**左に示すように、4列の球形粒子群を繋ぎ合わせ1本の流木形状を表現した。流木強度は、**図-3**右に示すように3次元拡張個別要素法⁴⁾により算定する。通常の個別要素法が圧縮バネのみで表現されるのに対し、離れようとする粒子間を引き戻す引張バネを併用し、部材の圧縮・引張による変形を表現する。通常の個別要素法では接触している球形粒子間にバネを設定するが、本研究では流木の強度を表現するために**図-4**に示すように、隣接する四方の粒子間に加え、斜め方向の粒子間（接触していない粒子間）にもバネを設定することとした。四方バネのみでは簡単に折れ曲がる構造となり、バネ強さを発揮できないため、バネの強さに応じた変形を表現するためにこのような設定を採用した。他の流木との衝突および流木-橋脚間の衝突は、通常の個別要素法（粒子間に圧縮バネをセット）を用い衝突・反発を計算する。これに加えて、洪水流解析との連成により外力としての流体駆動力も与えられ、流木の時々刻々の挙動を解析する。

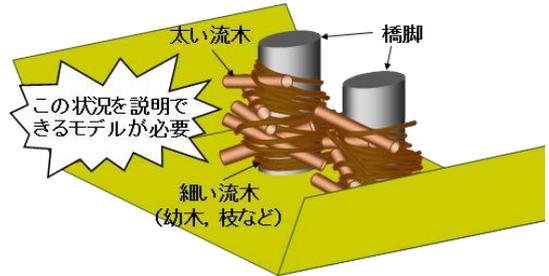


図-1 本研究の流木表現

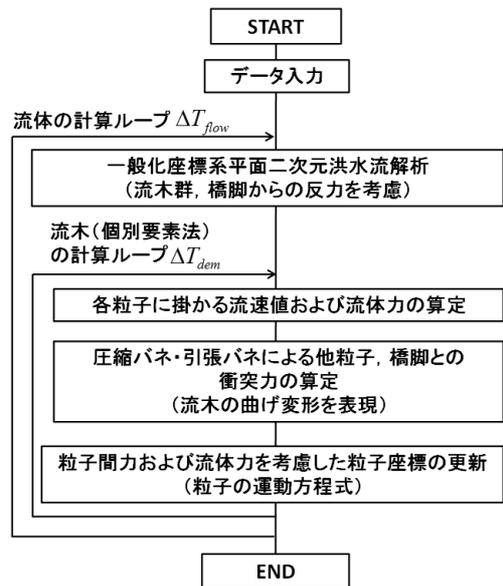


図-2 解析過程

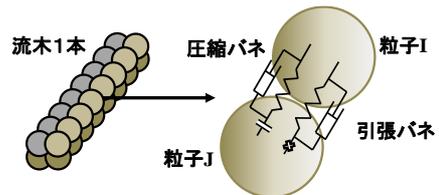


図-3 本研究の流木表現

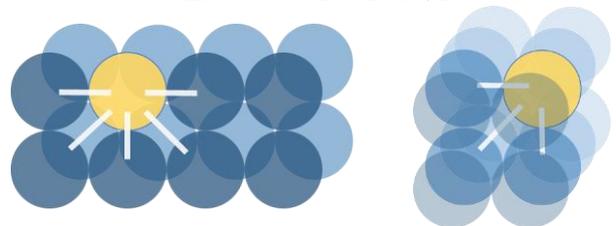


図-4 隣接する粒子間のバネ設定 (白ラインがバネ位置を示す)

キーワード 流木, 曲げ変形, 橋脚堆積, 個別要素法, 数値解析

連絡先 〒774-0017 徳島県阿南市見能林町青木 265 TEL 0884-23-7190

3. 流木群の流下・橋脚への堆積過程に関する数値実験

本解析法により曲げ変形を伴う流木の流下・橋脚堆積過程を再現できるか、簡易な状況において数値実験を実施する。解析対象とする状況を図-5 に示す。区間長 30m, 川幅 10m, 河床勾配 1/250 の直線水路に、幅 0.5m の橋脚を河道中央に設置した。流れは、流量 50m³/s を通水し、水深約 2m, 平均流速約 2.5m となるように設定した。流木は、杉の枝(直径 25mm, 長さ 3m) を想定したものを、橋脚の上流側に 10 本投入した。杉の強度を測定するため、杉の枝(直径 25mm 程度, 長さ 1m) を 5 本準備し、曲げ試験を実施した。試験により得られた応力-ひずみ曲線を図-6 に示す。この結果をもとに 3 つの曲げ強度(図-6 の 3 ケース)を設定した。ケース 1 は、曲げ試験で得られた杉の平均的な強度を表現したもの、ケース 2 は、5 本の試験体の中で他と比べて若干強度が低かった杉を表現したもの、ケース 3 は、ケース 1 の 1/10 の強度の材料を想定したものである。これらの強度に対応するバネ定数を設定し(ただし破断までは設定していない)、図-5 の状況でそれぞれ 10 本ずつ投入し、数値実験を行った。

図-7~図-9 に、各流木強度における流木の流下・堆積過程の計算結果(投入 4~8 秒後)を示す。各ケースとも流木が徐々に橋脚に衝突し、堆積するものと、回転を伴いながら下流へ流下する過程が計算されている。各ケースの堆積状況を比較すると、ケース 1 の結果は、橋脚にほとんど堆積することなく、最終的に 1 本がバランスを保って堆積する結果となった。杉の中でもやや弱いケース 2 の流木は、ケース 1 の流木よりも橋脚に衝突したときの曲がりが大きく、最終的に 3 本が堆積した。ケース 1 の 1/10 強度の材料であるケース 3 は、橋脚の衝突による曲がりが大きく、堆積しやすい状況となり、最終的には 4 本が橋脚に残る結果となった。解析法の基本的な検証のための数値実験であるため、少ない本数の検討で大きな差は出なかったが、本解析法により流木強度(曲げ変形)の違いによる橋脚堆積過程・堆積量の違いを説明できることが明らかとなった。今後、さらに解析法の検証を進め、流木群の橋脚等への堆積過程を再現するモデルとして精度向上を図る予定である。

参考文献

1) 中川, 高橋: 大野川から別府湾に流出した流木群の挙動解析, 水工学論文集, 第 45 巻, 2001. 2) 清水・長田: 流木形状を考慮した個別要素法による橋脚周辺の流木集積過程に関する数値実験, 水工学論文集, 第 51 巻, 2007. 3) 香月ら: 個別要素法による透過型砂防堰堤の流木混じり土石流捕捉解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.1. 69, No.1, 2013. 4) 伯野元彦: 破壊のシミュレーションー拡張個別要素法で破壊を追うー, 森北出版, 1997.

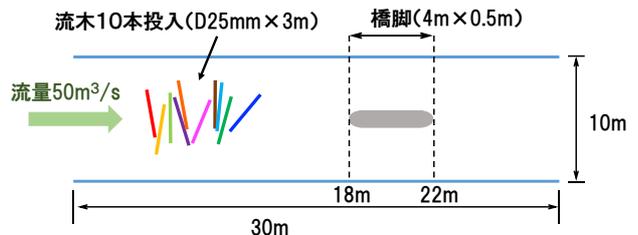


図-5 数値実験の条件

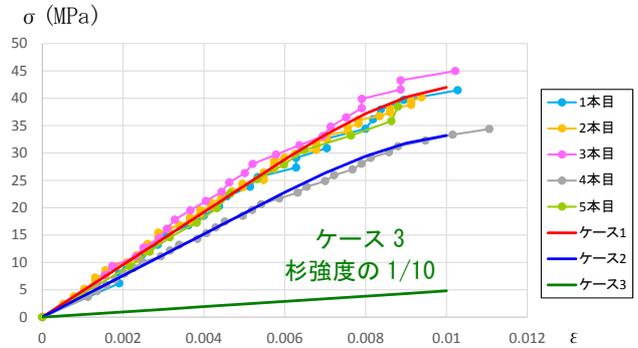


図-6 杉の曲げ試験結果と数値実験に用いた 3 強度

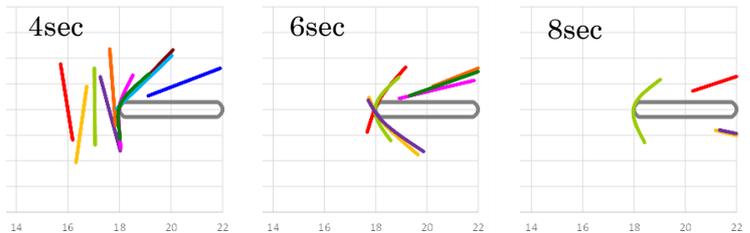


図-7 流木の流下・堆積結果(ケース 1)

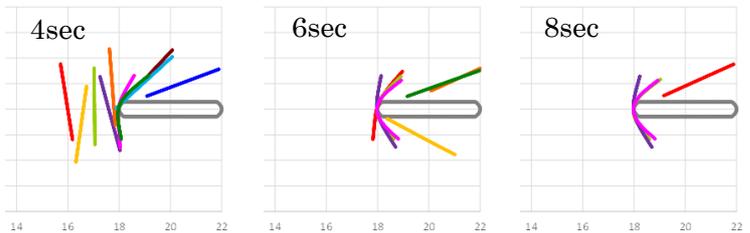


図-8 流木の流下・堆積結果(ケース 2)

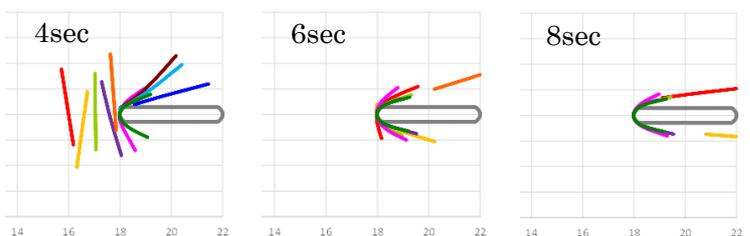


図-9 流木の流下・堆積結果(ケース 3)