

個別要素法による実流木災害事例のシミュレーション解析

防衛大学校 学生会員 ○渋谷 一 正会員 香月 智
砂防鋼構造物研究会 フェロー 石川信隆
(株)防災技術コンサルタント 正会員 舘澤 寛

1 緒言

近年、豪雨時の流木災害が頻発している。このため著者らは、流木捕捉工の捕捉性能を予測するため、円柱形要素を導入した個別要素法による流木捕捉シミュレーション解析法の開発を行ってきた¹⁾。本研究は、この手法を拡張し、平成22年7月に広島県庄原市において実際に生じた、写真-1に示すような流木による橋梁閉塞事例²⁾に関するシミュレーションを行い、その適用性について検討するものである。

2 解析手法

2.1 解析手法の概要

本研究で用いる個別要素法は計算負担が大きく、山地源頭部から対象地域までのすべてを解析するには莫大な計算時間が必要となる。そこで、山地源頭部から閉塞シミュレーションを行う橋梁の直上流付近までは、従来から用いられている流体計算法に基づく、計算負担の比較的小さい連続体解析手法により解き、橋梁直上流部での流量や流速についての概略値を得た。ここでは、砂防分野において多用されている土石流シミュレータ kanako³⁾を用いた。

2.2 流入流量の算定

まず対象流量は、指針⁴⁾に示す流量の算定方法を参考に、流域面積と雨量データより $110 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。

図-1に、解析対象地点である丈伝橋を流下方向距離の原点(0m)とした縦断面図と、土石流シミュレータ kanako による計算における観測点の関係を示す。また図-2に、入力した供給ハイドログラフと、kanako による解析から得られた各観測点における流量と時間の関係を示す。これより、各観測点における流量と時間の関係は、供給ハイドログラフに対して流下距離に応じた時間遅れを伴うものの、最終的には最大流量と同一の流量が流入することがわかる。このため、丈伝橋付近における個別要素法解析においても、流量 $110 \text{ m}^3/\text{s}$ を与えるものとした。

この流量を基に、マニング式と連続の式および水路断面形状を連立することで、流速・水深を算定した。

2.3 解析条件

解析ケースは、水深の変化が橋梁閉塞に与える影響について観察するため、 $110 \text{ m}^3/\text{s}$ を基準に、2割増減させた 88 および $132 \text{ m}^3/\text{s}$ の3ケースについて解析を行った。また、流下密度の影響についても考察するため



(a) 上流側から撮影 (b) 下流側から撮影
写真-1 平成22年7月の広島県庄原豪雨災害

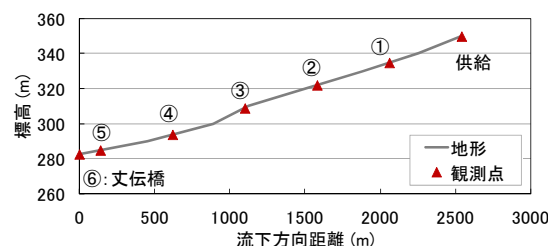


図-1 縦断面図と流量解析の観測点

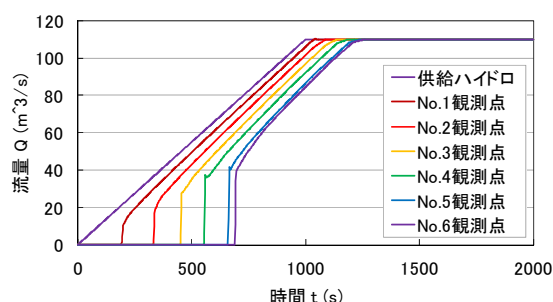


図-2 供給ハイドログラフと各観測点での計算結果

2.8 本/s を基準に、 5.6 本/s 、 1.4 本/s 、 0.7 本/s の4ケース、計12ケースについて解析した。さらに、流木の初期配列の違いが橋梁閉塞に与える影響についても検討するため、同一ケースにつき各5回ずつ、一様乱数を用いて初期配列の異なる解析を行った。

3 解析結果の考察

3.1 橋梁閉塞状況の比較

図-3に、流量 $110 \text{ m}^3/\text{s}$ 、流下密度 2.8 本/s のケースのシミュレーション結果を示す。まず写真-1に示す被災事例では、流木が小橋梁の上流側の河道を閉塞するとともに、橋梁上に覆いかぶさるように堆積している。また、小橋梁より上流側へはあまり堆積していない。一方、図-3に示す解析結果は、小橋梁の上流側の河道を閉塞するとともに、後続の流木が上流側に向かって堆積している。これは、実河川における流木の河道閉

キーワード 流木災害、橋梁閉塞、個別要素法、円柱形要素

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL : 046-841-3810 (内 3518)

塞・堆積過程は、まず流木が橋梁に絡まることにより河道が閉塞され、閉塞地点からあふれ出る複雑な流れによって流木が氾濫し、下流域に流れ出ていると考えられる。しかし、本解析ではそのような複雑な流れを解くことなく、流下方向を一意に定めた解析を行っているため、堆積形状を忠実には再現できていない。ただし、上流部での橋梁では閉塞せず、下流部の小橋梁では閉塞する現象については予測できている。

3.2 流量や流下密度が橋梁閉塞に与える影響

表-1 に、各ケース 5 回分の解析結果のうち、橋梁閉塞を生じた回数を示す。流量 110 および 132 m^3/s では 5 回全ての解析で橋梁閉塞が生じているものの、流量 88 m^3/s では 5 回中 1 回しか閉塞が生じていない。一方、今回の解析範囲では流下密度の影響は表れていない。

この流量による結果の違いを観察すると、まず流量 110, 132 m^3/s では、流下途中の流木が小橋梁の下端に接することにより流木の堆積が助長されている。一方、流量 88 m^3/s では、橋梁の下端に流木の根などが接することがあるものの、ほとんどの場合で堆積することなく全て流下している。

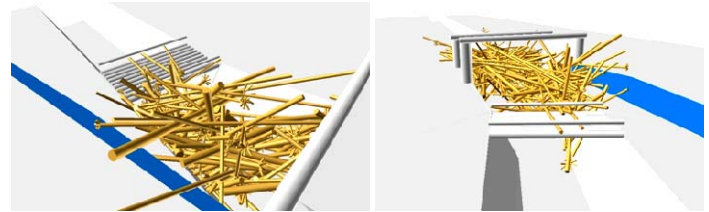
3.3 橋梁下端のクリアランスと樹根部の半径

ここで、流量設定がシミュレーション結果に及ぼす影響について、図-4 に示すクリアランス、すなわち水面から橋梁下部までの高さ、流木の樹根部における半径の頻度分布との関係をもとに考察する。

図-5 に、樹根部の半径の頻度分布と橋梁下端のクリアランスを比較して示す。流量 110 m^3/s ではクリアランスが 10cm しかないため、全ての根付き流木が橋梁と接触することがわかる。また流量 132 m^3/s ではクリアランスがないため、根の有無にかかわらず全ての流木が橋梁と接触する。一方、流量 88 m^3/s ではクリアランスが 50cm あり、根付き流木のうちの半分程度しか接触の可能性がないことがわかる。このように、橋梁と水面が作るクリアランスと流木との関係に起因する接触のしやすさが、橋梁閉塞に大きな影響を与えていることがシミュレーションで明らかとなった。また、流木の初期配列、すなわち流下順序の影響は、今回の解析における流量 88 m^3/s のように、接触の可能性が半分程度のところにおいて大きな影響を与えることがわかる。

4 結 言

本解析は、流木捕捉に関する解析法を実際の流木災害に適用して、橋梁閉塞に関するシミュレーションを行い、実規模解析の適用性について検討したものである。これより、本解析では流下方向を一意に定めた解析を行っているため、最終堆積形状の再現が難しいものの、河道の閉塞・氾濫が生じるかどうかについては検証できる可能性を示した。



(a) 上流側から観察 (b) 下流側から観察

図-3 解析による橋梁閉塞結果

(流量 110 m^3/s , 流下密度 2.8 本/s)

表-1 閉塞シミュレーション結果

(同一ケース 5 回の解析のうち、橋梁閉塞を生じた回数)

	流下密度			
	0.7 本/s	1.4 本/s	2.8 本/s	5.6 本/s
88 m^3/s	1 回	1 回	1 回	1 回
110 m^3/s	5 回	5 回	5 回	5 回
132 m^3/s	5 回	5 回	5 回	5 回

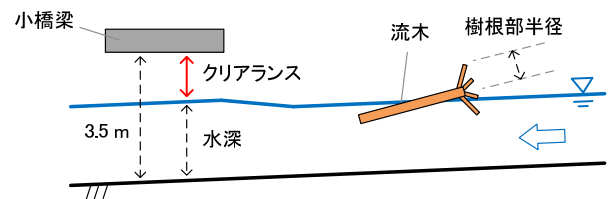


図-4 橋梁下端のクリアランス

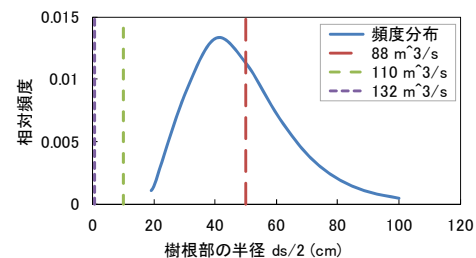


図-5 樹根部半径の頻度分布とクリアランスの比較

謝 辞

本解析を行うにあたり、広島県砂防課の皆様は河川等の基礎データをご提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 渋谷一, 堀口俊行, 香月智, 大隅久, 石川信隆: 円柱形集合体要素を用いた個別要素法による根付き流木の捕捉シミュレーション, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.67, No.2, pp.1_323-1_334, 2011.8
- 2) 渋谷一, 香月智, 大隅久, 國領ひろし: 平成 22 年 7 月 16 日に広島県庄原市で発生した豪雨災害における流木実態調査, 砂防学会誌, Vol.64, No.1, pp.34-39, 2011.5
- 3) 中谷加奈, 里深好文, 水山高久: GUI を実装した土石流一次元シミュレータ開発, 砂防学会誌, Vol.61, No.2, pp.41-16, 2008.7
- 4) 国土交通省砂防部, 国土交通省国土技術政策総合研究所: 土石流・流木対策設計技術指針及び同解説, 社団法人全国治水砂防協会, 2007.11