

流木形状が捕捉工の閉塞過程に及ぼす影響に関する解析的検討

防衛大学校 学生会員 ○渋谷一 堀口俊行 正会員 香月 智
砂防鋼構造物研究会 非会員 大隅 久 フェロー 石川信隆

1 緒 言

流木捕捉工の設計は、捕捉工の純間隔 W と最大流木長 $\ell_{\max}$ の比 $W/\ell_{\max}$ が 1/2 以下となるよう設計することと指針¹⁾により定められている。しかし、実際に流下する流木は、写真-1に示すように、根の付いていない円柱状の流木に加え、根付きの流木も散見される。しかし、このような流木形状の影響は、指針を含め、既往の研究においてもほとんど考慮されていないのが現状である。

そこで本研究は、流木形状が捕捉工の捕捉効果に与える影響について個別要素法を用いた捕捉シミュレーションを行い、別途行った模型実験²⁾と比較・検討したものである。

2 解析手法

2.1 解析手法の概要

本解析では、個別要素法に円柱形要素を導入し、これらの要素を図-1のように剛結することで根付き流木をモデル化し、流木捕捉工付近における根付き流木の流下・捕捉に関する挙動解析を試みた。本解析における剛結要素（集合体）の運動方程式の解法は文献³⁾のとおりである。また、水の流れは流速分布モデル⁴⁾を用いて表現した。この流速分布モデルにより、根の付いていない流木の挙動については、良好にシミュレートできることがわかっている。

2.2 流体力モデル

流木の捕捉時においては、捕捉工および捕捉された流木により堰上げが生じる。文献⁴⁾における根なし流木の捕捉では、流木同士が密に詰まって捕捉されるため、捕捉された流木が流水をせき止める面積（閉塞率）が大きい。一方、後述する図-3(a)に示すように、根付き流木は根同士が絡み合うことにより、その捕捉流木の体積が大きくなるとともに、流路閉塞率は根なし流木に比して小さくなる。この効果を反映させるため、根なし流木の解析パラメータを調整し、流木捕捉による水深 h' は次式により算定するものとした。

$$h' = \frac{H - h_0}{3.8} \left(\frac{\sum A_{di}}{A_0} - 0.2 \right) + h_0 \quad (1)$$

ここで、 H ：捕捉工高さ、 h_0 ：初期水深、 $\sum A_{di}$ ：捕捉された流木の投影面積の総和、 A_0 ：流路断面積 ($A_0 = WH$)。

2.3 解析条件

表-1に、解析で用いた主要なパラメータを示す。本解析では、模型実験²⁾の流木長が一樣なケースについて、解析を行った。



写真-1 平成22年7月16日の広島県庄原豪雨災害



(a) 実験で用いた根付き流木モデル



(b) 解析でモデル化した根付き流木モデル

表-1 解析パラメータ

項 目		値
流水	初期流速 U_0	0.8 m/s
	初期水深 h_0	8 mm
	抗力係数 C_D	1.0
要素間 ばね	法線方向ばね定数 K_n	1.0×10^6 N/m
	接線方向ばね定数 K_s	1.5×10^5 N/m
	減衰定数 h	0.2
	粘着力 c	0 N
	摩擦角 $\tan\phi$	0.404
計算条件	時間刻み Δt	1.0×10^{-7} s

3 シミュレーション結果

3.1 捕捉状況の比較

図-2および図-3に、流木長 $\ell=12$ cm のケースにおける流木捕捉後の堆積状況を、実験結果と比較して示す。なお、図-2は根なし流木、図-3は根付き流木の解析結果をそれぞれ示している。

これより、まず図-2(a)に示す実験結果では、捕捉工間隔比 W/ℓ の増加に伴い捕捉される本数が減少しており、 $W/\ell=3/4$ ではほとんど捕捉されていない。一方、図-2(b)に示す解析結果では、実験結果と同様に、捕捉工間隔比 W/ℓ の増加に伴い捕捉される本数が減少している。また、流木の堆積した形状や流木同士の絡み合いも全体的に良く似たものとなっている。

キーワード 個別要素法, 集合体要素, 根付き流木, 流木捕捉工

連絡先 〒239-8686 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

E-mail : ed10006@nda.ac.jp

次に、図-3(a)に示す実験結果では、捕捉された流木が根によって全体的に絡まって捕捉されている。特に、捕捉工柱部材の間から流下しそうな流木が、その根が後続の流木と絡み合うことで捕捉されている様子がわかる。また、捕捉工間隔比 W/ℓ の増加に伴い捕捉される本数がやや減少している。一方、図-3(b)に示す解析結果でも、捕捉されている根付き流木の全体的な堆積状況や、1本では捕捉工を通過しそうな流木が、後続の流木と絡み合うことで捕捉されている様子が、よく再現できている。また、捕捉工間隔比 W/ℓ の増加に伴い捕捉される本数が少なくなる様子も再現できている。

図-2と図-3を比較すると、まず根なし流木では、捕捉工間隔比 W/ℓ の増加に伴い捕捉される本数が著しく減少しており、 $W/\ell=3/4$ ではほとんどが流出している。一方、根付き流木を見ると、捕捉工間隔比 W/ℓ の増加に伴い捕捉本数がやや減少しているものの、根なし流木に比して減少傾向は小さい。また、根付き流木の捕捉された塊は、その体積が大きくなっている。これは、根なし流木は円柱であるために、互いのすべり抵抗が小さく、密に詰まった塊を形成できるが、根付き流木の場合は、互いのすべり抵抗があるだけでなく、根が絡まることにより連結部で曲げモーメントが伝達できる構造が形成され、流水の圧力に耐えうる構造となり、堆積塊が大きくなるためである。

3.2 捕捉率による比較

図-4に、流木捕捉率と捕捉工間隔比 W/ℓ の関係を実験結果と比較して示す。なお、グラフには3回行った実験・解析の結果の平均値である。なお、図-4(a)は根なし流木、図-4(b)は根付き流木の実験・解析結果をそれぞれ示している。

まず、図-4(a)に示す根なし流木では、 W/ℓ の増加に伴い実験結果と同様の捕捉率の低下傾向が見受けられ、流木長 $\ell=12$ および 18cm の捕捉率と W/ℓ の関係に比して、 $\ell=6\text{cm}$ では全体的に低捕捉率となることも含めて再現できている。

次に、図-4(b)に示す根付き流木を見ると、まず実験結果では流木長 $\ell=6\text{cm}$ では捕捉工間隔比 W/ℓ の増加に伴う捕捉率の減少傾向が顕著にみられるが、流木長 $\ell=12, 18\text{cm}$ では捕捉率の減少傾向が小さい。また、同じ捕捉工間隔比であっても、流木長が長くなるほど捕捉率が上昇する傾向があることがわかる。一方、解析結果についても、捕捉工間隔比 W/ℓ の増加に伴い捕捉率が減少する傾向や、同じ捕捉工間隔比であっても、流木長が長くなるほど捕捉率が上昇する傾向があることが、概ね再現できている。

参考文献

- 1) 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, 2007.11
- 2) 渋谷一, 香月智, 大隅久, 石川信隆: 根付き流木モデルによる流木捕捉工の捕捉効果に関する実験的検討, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.1087-1094, 2011.3

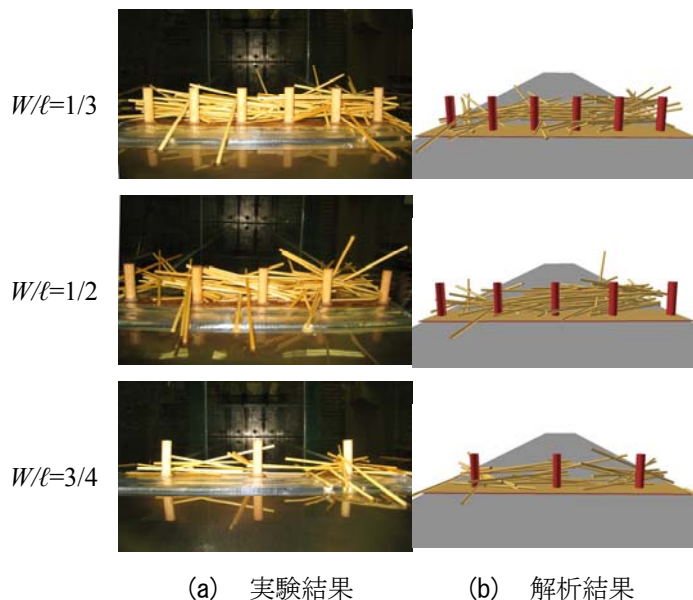


図-2 根なし流木の捕捉状況の比較

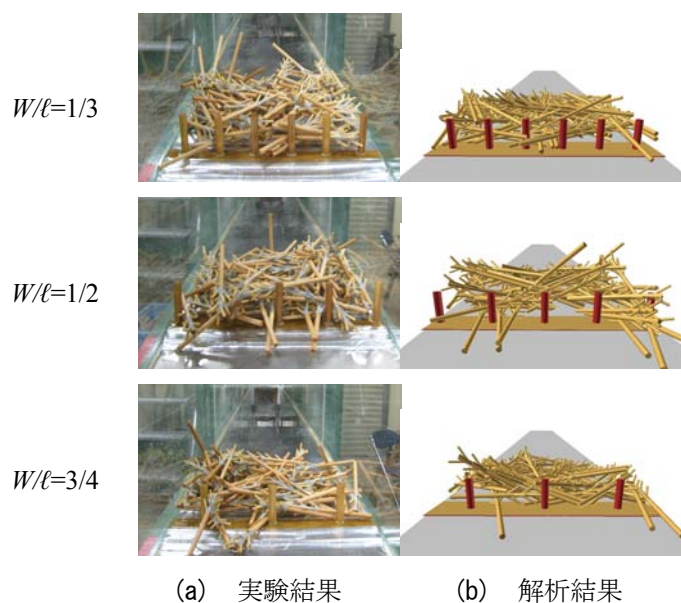


図-3 根付き流木の捕捉状況の比較

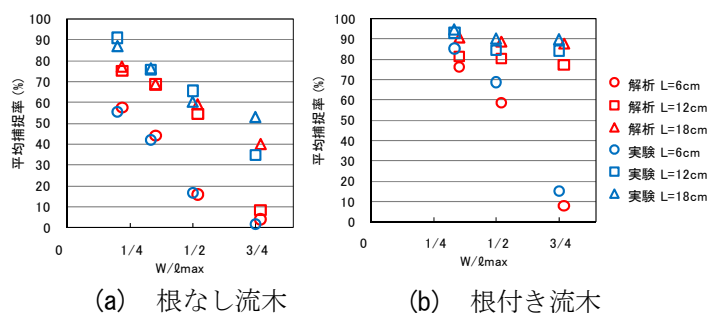


図-4 捕捉率と捕捉工間隔比 W/ℓ の関係

- 3) 堀口俊行, 渋谷一, 香月智: 集合体要素の形状特性が安息角形成に与える影響に関する解析的検討, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.136-146, 2011.3
- 4) 渋谷一, 香月智, 大隅久, 石川信隆: 3D-DEMによる流木捕捉工の捕捉シミュレーション解析, 砂防学会誌, Vol.63, No.6, pp.13-22, 2011.3