

個別要素法による根付き流木の捕捉に関する解析的検討

防衛大学校 ○渋谷 一, 堀口俊行, 香月 智
砂防鋼構造物研究会 大隅 久, 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 $l_{\max}$ の比 $W/l_{\max}$ 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.

$$h' = \frac{H - h_0}{2.3} \left(\frac{\sum A_{di}}{A_0} - 0.2 \right) + h_0 \quad (1)$$

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.

3 シミュレーション結果

3.1 流下状況の比較

図-2 に, 先頭の流木が流木捕捉工に到達したときの



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



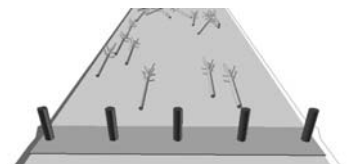
(b) 解析でモデル化した根付き流木モデル

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



(a) 実験時



(b) 解析結果

図-2 流下状況の比較(下流から)

流下状況について下流から観察した図を, 実験の流下状況と比較して示す. ここで, 図-2(a)に示す実験時の流下状況の図では, 流水により流木が見えにくくなっているため, 流木の位置を強調して描き加えている. これより, まず実験では, 根付き流木は捕捉工に対し,

根の付いていない方の端部を先頭に、ほぼまっすぐに流下してきていることがわかる。一方、図-2(b)に示す解析結果についても実験結果と同様に、捕捉工に対して根付き流木がまっすぐに流れてきている。これは、根付き部分の直径に対して水深が浅いため、流体力が流木全体にかかるのに対し、水路底面に接触する根の先端に摩擦力が生じ、根付き部分が流れの後方に引っ張られるためである。試みに、水路底面の摩擦力を無くして流下させると、まっすぐに流下する現象は見られなくなり、むしろ流体力を多く受ける根の部分の方が流下方向に先行する傾向が見受けられた。

3.2 捕捉状況の比較

図-3 に、流木長 $\ell=12\text{cm}$ 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。これより、まず図-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、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。

3.3 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・解析の結果を全てプロットしている。

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。

4 結 言

本解析では、集合体要素を用いた個別要素法を用いて根付き流木の形状を表現することで、流木捕捉時の流木の複雑な動きや絡み合いを、概ねシミュレートすることができた。なお、実験では流木長が混在する流木群の捕捉実験についても考察しているが、本解析では未検討である。また、本解析で用いた流速分布モデルは、主として実験観察に基づき与えたものであるもので、現地情報などを踏まえた適用性も含めて今後も検討が必要である。

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,

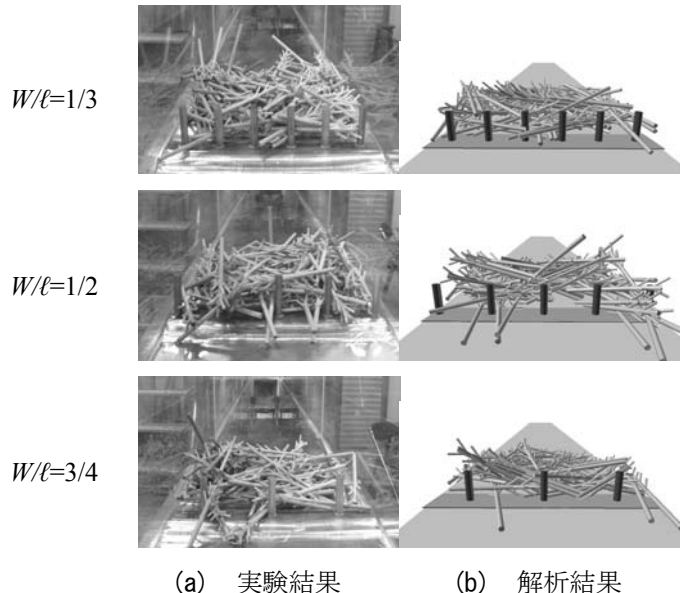


図-3 捕捉状況の比較 ($\ell=12\text{cm}$, 下流から)

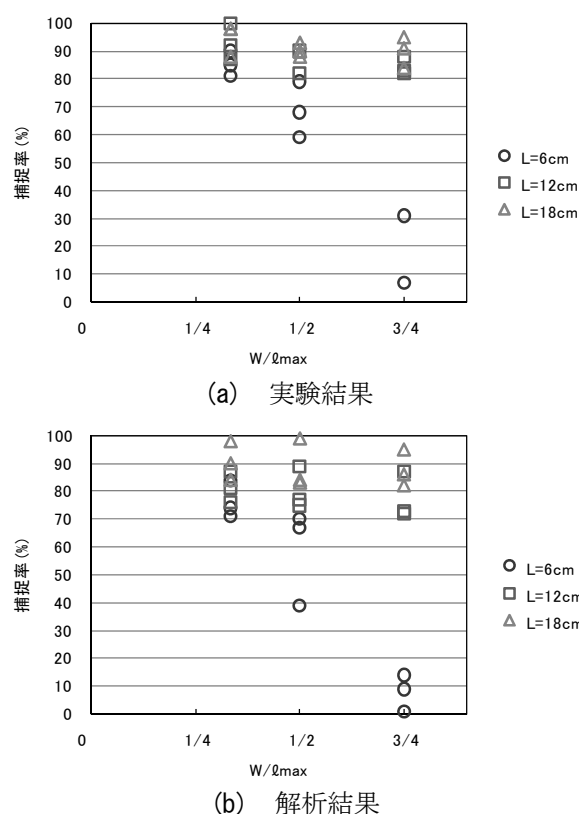


図-4 捕捉率と捕捉工間隔比 W/ℓ の関係

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
- 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