

## 豪雨に伴い発生する流木の樹皮剥離に関する水理実験\*

秋田大学理工学部 高谷快斗

秋田大学大学院理工学研究科 自見寿孝・齋藤憲寿・渡辺一也

### 1. はじめに

近年、全国各地で台風などの豪雨に伴い、大量の水や土砂とともに流域の森林から樹木が流木となり流出し周辺地域の家屋や橋梁に被害を与えている<sup>1)2)</sup>。これまで流木の被害を抑えるために、流木の挙動や捕捉工についての研究<sup>3)4)5)</sup>が行われている。流木の樹皮剥離過程を明らかにすることで、流下時間と樹皮剥離の進行度の関係から、流木の発生源を推定することに繋がり今後の森林管理にとって有用である。しかし、流木の樹皮が流下中に剥離する過程についての研究は少ない。既往の研究<sup>6)7)</sup>では杉の枝や杉の樹皮から作製された流木モデルを用いているが、実験のケースが少なかった。

そこで本研究では、樹皮を用いた流木モデルでの実験のケースを増やし流木の樹皮剥離過程を検討した。水路内に流木モデルを固定し、水・砂礫とともに流して流木モデルに衝突させることで生じる樹皮の剥離の観察を行った。

### 2. 実験概要

#### 1) 流木モデル

既往の研究と同様に成木の樹皮を用いて流木モデルを作製した。作製した流木モデルを図1に示す。樹皮の厚さは約0.4cmである。芯材は2.4cm×3.0cmの木材を使用した。芯材の4面に樹皮を接着剤で貼り付け、流木モデルとした。さらに画像解析において樹皮が剥離した部分を区別するため、樹皮表面に白色のアクリスプレーを塗布した。水流に対して正面を上流側として側面1、側面2、下流側と区別した。作製した流木モデルはクランプで上部を挟んで、水路に固定した。

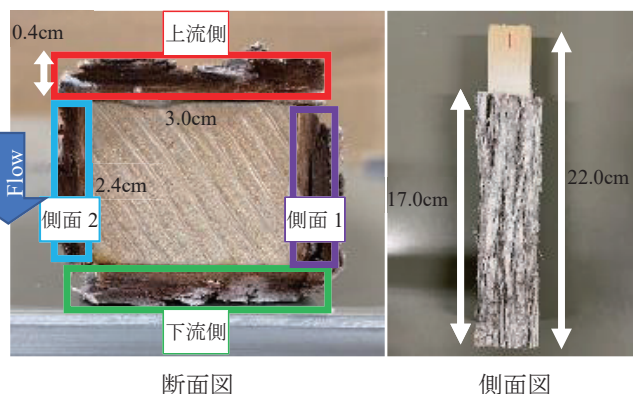


図1 流木モデル

#### 2) 土砂

実験に使用する土砂を図2に示す。秋田県北部を流れる馬場目川から採取されたものを使用した。均等係数は7.79である。土砂の粒径加積曲線を図3に示す。

\*Hydraulic Experiment on the Bark Peeling of Driftwood generated by Heavy Rainfall by Kaito TAKAYA, Yoshitaka JIKEN, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE



図2 水路に敷き詰めた土砂の様子

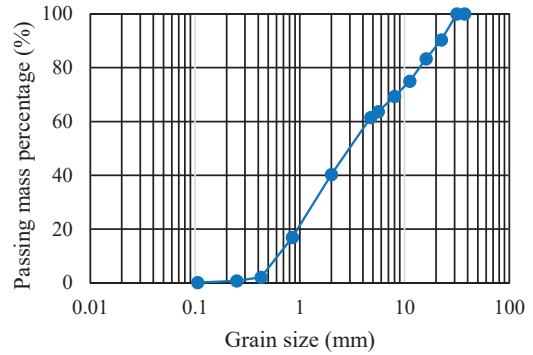


図3 粒径加積曲線

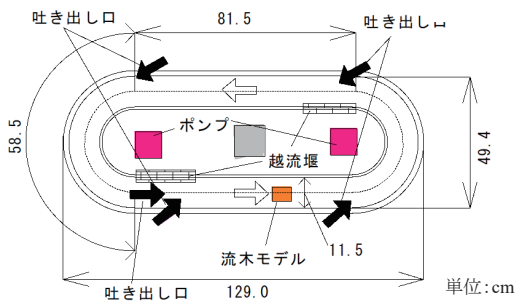


図4 平面循環水路図<sup>3)</sup>

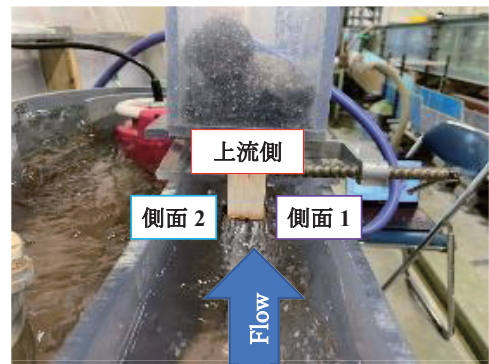


図5 固定した流木モデル(正面図)

### 3) 水路概要

平面循環水路の概要を図4に示す。寸法は、水路全体の横幅129.0 cm、奥行49.4 cm、水路の外周の長さ280.0 cm、直線81.5 cm、曲線58.5 cm、水路幅11.5 cmである。中央のポンプから水路内に水流を発生させており、水路内壁にある4箇所の吐き出し口と、流木モデルの設置位置の直線上に1箇所の計5箇所から水流を発生させている。流速は水路内に浮かべた木の周回時間から0.90 m/sとした。図5に示すようにクランプを用いて水路中央に流木モデルを固定した。土砂の層厚は4.0 cmとし水位は14.0 cmとした。また土砂を常に衝突させるため、流木モデル下流側に堆積した土砂を循環させながら実験を行った。

### 4) 剥離の評価方法

実験時間は480分とし、30分おきにポンプを止め、流木モデルの樹皮部分計4面を撮影し樹皮の剥離の様子を観察した。剥離の評価は画像解析で行い、樹皮全体の面積(pixel)と剥離した箇所の面積(pixel)を求め、以下の式(1)に示す剥離率(%)とした。

$$\text{剥離率(\%)} = \frac{\text{剥離した箇所の面積(pixel)}}{\text{樹皮全体の面積(pixel)}} \times 100 \quad (1)$$

### 3. 実験結果

#### 1) 剥離状況

実験は同様の条件で計3回行った。まず、各面の樹皮が剥離した様子の観察を行った。流木モデルの上流側（Upstream）、側面1（Side1）、下流側（Downstream）それぞれの面で樹皮が剥離していく過程を図6～図8に示す。

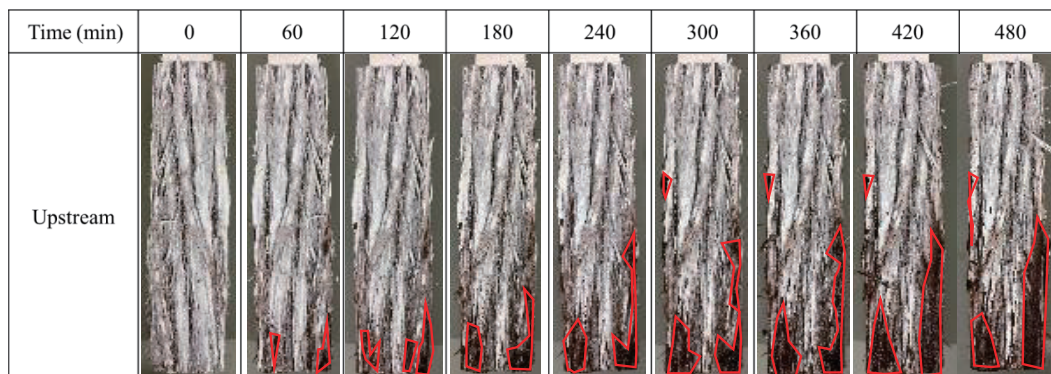


図6 剥離状況（上流側）

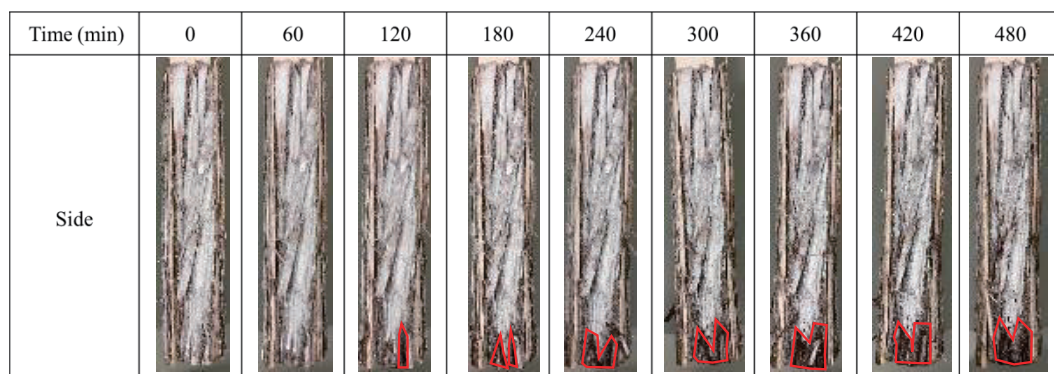


図7 剥離状況（側面1）

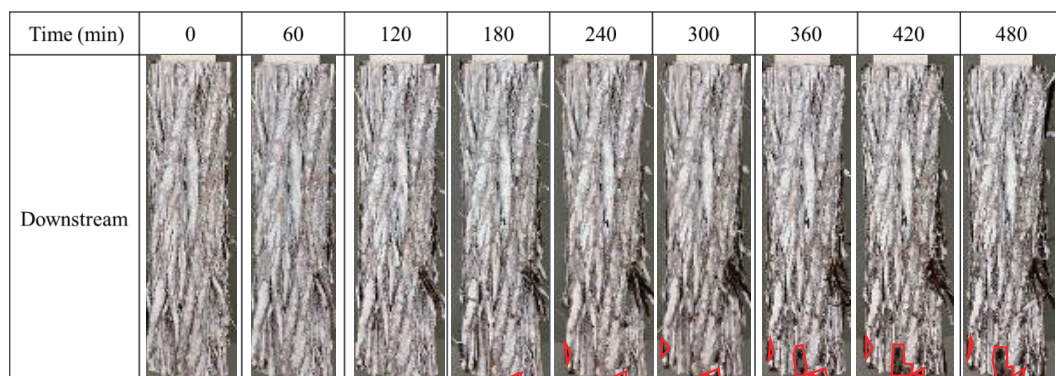


図8 剥離状況（下流側）

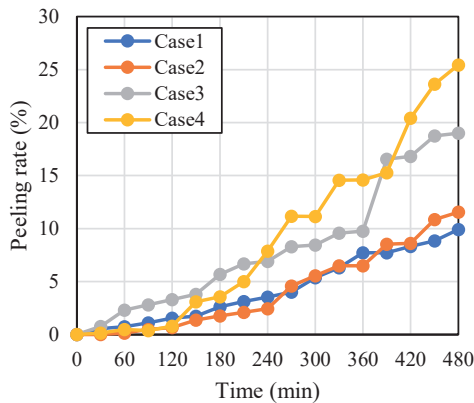


図9 剥離率（上流側）



(a) 側面拡大図

(b) 正面剥離図

図10 390分後において剥離した樹皮の様子

樹皮の剥離状況を観察した結果、上流側が最も剥離が進行していることが分かる。上流側は水流と土砂が衝突しやすいため他の面と比較して剥離が進行したと考えられる。上流側の剥離状況に着目すると、流木モデル下部の剥離を中心に拡大していることが分かる。粒径の大きい土砂は河床を転がりながら流木モデルに衝突することから、下部を中心に剥離が拡大したと考えられる。また実験開始 60 分後に確認できた剥離部分から広がるように剥離している。剥離は最初に生じた部分を中心に広がるように進行することが確認できた。剥離した部分の広がり方について樹皮の横方向には拡大せず樹皮にそって縦方向に拡大していることが分かる。また、側面の剥離状況でも下部に剥離した部分が確認できる。土砂が上流側に衝突後、側面を通り抜けて下流に流下していく過程で、側面に擦るように土砂が当たったことで剥離が生じていると考えられる。下流側に関しては、上流側や側面のような土砂の衝突がほとんど起こっていない。結果として剥離した部分がそれ以上拡大することなく、小さな面積の剥離のみ生じたと考えられる。

## 2) 剥離率

次に時間と剥離率の関係について検討を行った。本実験では同様の条件で実験を3回行った。実験の1回目～3回目をそれぞれ Case1～Case3 とする。さらに既往研究で得られた結果を Case4 とし剥離率の比較を行った。上流側の剥離率の時間変化を図9に示す。4 ケースを比較すると全て 60 分後には剥離の進行がはじまっている。その後、それぞれの上昇率は異なるが、剥離率は 480 分経過まで上昇する傾向が見られた。このことから流下中の流木は土砂の影響により剥離をし続けると考えられる。次に Case3 において 360 分から 390 分にかけて剥離率が 6.8 %ほど急激に上昇していることが確認できる。390 分後における樹皮の表面の様子を図10に示す。画像から大きめの樹皮が1枚剥離したことにより剥離面積が増加したため、剥離率が急激に上がったと考えられる。このように樹皮の塊が剥離した原因として、樹皮の隙間に入り込んだ小さい粒径の土砂の影響がある。樹皮の隙間に土砂が入り込み、その部分へさらに土砂が衝突することで樹皮が塊のまま1枚剥離したと考えられる。また、このような樹皮1枚が剥離したときはそこから剥離が広がる傾向は見られなかった。

側面 1 の剥離率の時間変化を図 11 に、側面 2 の剥離率の時間変化を図 12 に示す。側面については 90 分後には全てのケースで剥離が現れた。また、側面 2 の Case1 の剥離率が他の 3 ケースよりも高くなっている。原因として図 10 に示した現象と同様に Case1 において樹皮の隙間に細かい粒径の土砂が入り込むという現象が生じた。さらにその部分に土砂が衝突することで大きい樹皮が剥離したことが、高い剥離率につながったと考えられる。側面 1 と側面 2 では土砂や水流の衝突具合が同程度であるが剥離率に差が生じたため、樹皮の個体差の影響が考えられる。

下流側の剥離率の時間変化を図 13 に示す。下流側については 3 ケースが 120 分後に最初に剥離が見られ、残り 1 ケースは 240 分後に剥離が見られた。水流や土砂の衝突が起こりにくいことから上流側、側面と比較しても剥離率は低くなっていることが分かる。

最後に、各面の剥離率を平均したものを図 14 に示す。上流側 (Upstream) の剥離率は 16.4 %、側面 1 (Side1) では 5.2 %、側面 2 (Side2) では 9.9 %、下流側 (Downstream) では 2.5 %となった。120 分から 150 分にかけて側面の剥離率が上流側を上回っている。また、各面の剥離率の標準偏差  $\sigma$  をまとめたものを表 1 に示す。剥離率が高い面の順にばらつき具合も大きくなっており剥離率と標準偏差が比例関係にあることが確認できた。また、全面で剥離率が 95 %信頼区間の範囲に入っている。また、95 %信頼区間から上流側の剥離率は最低で 4.1 %から最大 28.8 %

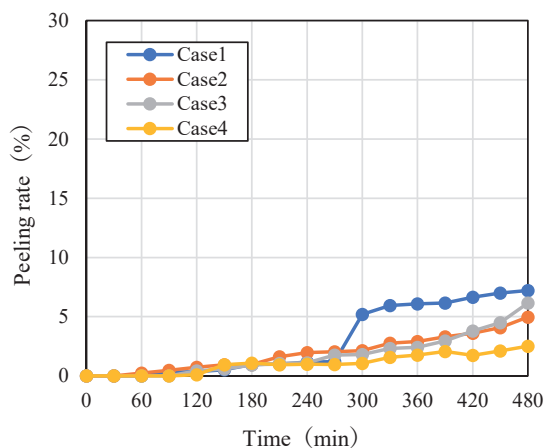


図 11 剥離率 (側面 1)

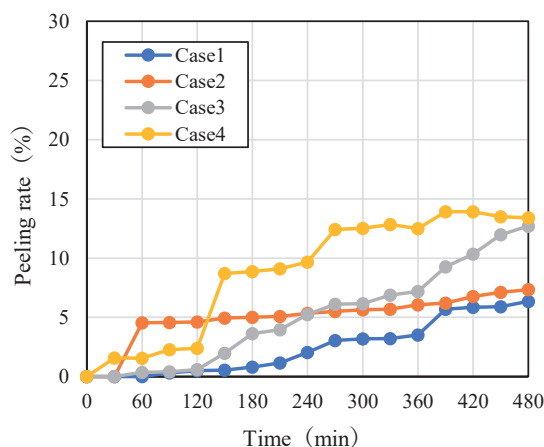


図 12 剥離率 (側面 2)

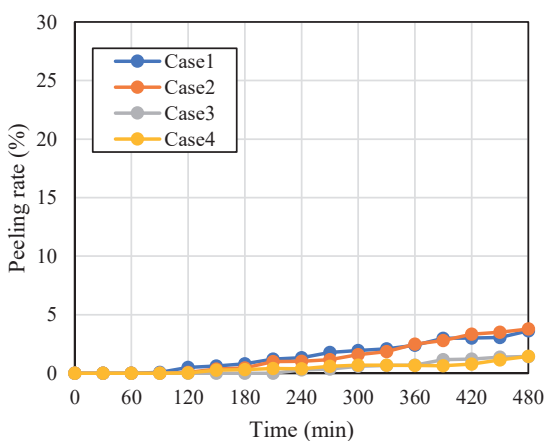


図 13 剥離率 (下流側)

まで上昇する可能性があることが分かった。

#### 4. おわりに

本研究では、平面循環水路を用いて流木モデルの樹皮が剥離する様子を観察した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 面によらず流木モデル下部から剥離が進行している。これより河床を転がる粒径の大きい土砂の衝突が、樹皮の剥離に影響を及ぼしている。
- 2) 粒径の異なる土砂が混在していることで、樹皮の隙間に細かい粒径の土砂が入り込み、剥離を助長しているケースが見られた。
- 3) 剥離率の標準偏差から、剥離率が高くなる程結果のばらつき具合も大きくなる。また、95%信頼区間から最大28.8%の剥離率が得られることが分かった。

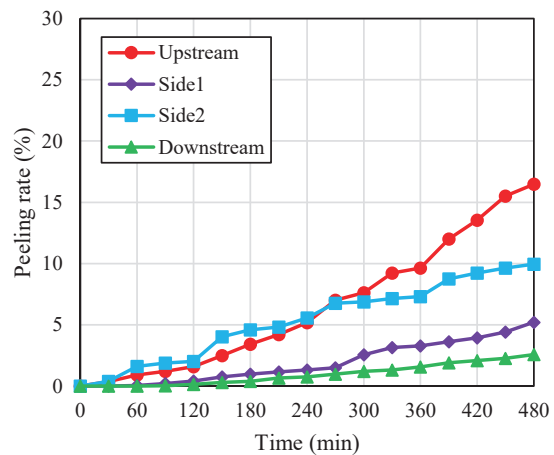


図 14 剥離率 (各面)

表 1 剥離率の標準偏差  $\sigma$  (%)

	120 min	240 min	360 min	480 min
Upstream	1.05	2.26	3.08	6.20
Side1	0.22	0.39	1.66	1.74
Side2	1.67	2.70	3.27	3.13
Downstream	0.20	0.43	0.88	1.13

#### 謝辞

本研究を行うにあたり科学研究費補助金 (20H00256, 代表: 風間 聡) の助成を受けた。ここに記し、謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 石川芳治, 水山高久, 福澤 誠: 土石流に伴う流木の発生及び流下機構, 砂防学会誌, 第 42 巻 3 号, pp.4-10, 1989.
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部: 平成 29 年 7 月九州北部豪雨による土砂災害の概要<速報版> Vol. 6, <[http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h29\\_kyushu\\_gouu/gaiyou.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h29_kyushu_gouu/gaiyou.pdf)>. (2023 年 1 月 12 日閲覧)
- 3) 立石龍平, 堀口俊行, 園田佳巨, 嶋川 理: 回転円筒実験における土石流中の流木偏析現象に対する個別要素解析, 構造工学論文集, 第 65 巻 A, pp. 821-834, 2019.
- 4) 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, 第 57 巻 A, pp.1087-1094, 2011.
- 5) 中屋志郎, 横山俊治, 佐々浩司, 村井政徳: 樹木に残された流下痕跡による阿津江土石流の流下方向の推定, 日本地すべり学会誌, 第 42 巻 6 号, pp.499-505, 2006.
- 6) 谷口隼也, 齋藤憲寿, 渡辺一也: 平面循環水路を用いた樹皮の剥離過程に関する検討, 令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会, II-40, 2020.
- 7) 佐藤 丈, 谷口隼也, 齋藤憲寿, 渡辺一也: 流木モデルを用いた樹皮の剥離過程に関する水理実験, 東北地域災害科学研究集会, 第 57 巻, pp.29-34, 2020.