

洪水時における樹皮剥離過程に関する検討*

秋田大学理工学部 谷口 隼也
 秋田大学大学院理工学研究科 齋藤 憲寿
 秋田大学大学院理工学研究科 渡辺 一也

1. はじめに

大雨による河川流量の増加により、流域の森林から大量の樹木が流木となって流れ出して付近の地域に大きな被害を与えるという事例が全国的に多く報告されている¹⁾。そのため、流木の発生や堆積、挙動²⁾³⁾、樹皮剥離の原因に関する報告⁴⁾等、流木による被害を軽減するための活動が活発に行われている。しかし、流木そのもの、特に流木の樹皮が剥離する過程に関する検討は未だ行われていない。樹皮剥離過程を明らかにすることが出来れば流木の発生源を推定することにつながり、今後の河川管理や森林管理にとって有用である。

そこで本研究では、2016年の台風10号の影響で流木による甚大な被害が発生した小本川を参考にして、平面的に循環する水路を作製した。この水路を用いて、流木モデルを水・砂礫とともに流して樹皮剥離過程や時間を検討し、流木の発生源を推定するための研究を行った。

2. 平面循環水路の作製

(1) 平面循環水路の概要

本検討で作成した平面循環水路の概要を図-1に示す。水路の中心線の一周の長さは280.0 cm、直線部の長さは81.5 cm、曲線部の長さは58.5 cm、水路全体の横幅は129.0 cm、奥行きは49.4 cm、壁の高さは20 cmとした。水は水路内側の排水ポンプから汲み上げ、水路外壁から挿し込んだホースから水を出すことで水流を起こす仕組みにした。なお、吐き出せる流量はホース1本当たり50 L/minである。ホースの位置は曲線の入口付近と出口付近の4箇所があり、底部から5 cmで、15°で入射するようにした。ポンプで水を汲み上げ続けると内部の水位が減少して水が流れなくなったため、曲線部出口に越流堰を設け、水を内部に越流させて水を循環させる仕組みとした。越流堰の高さは、

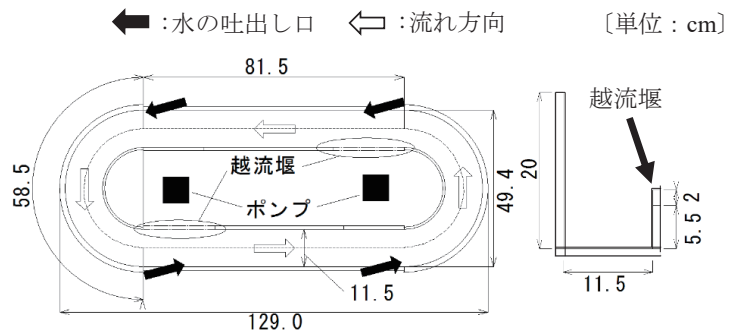


図-1 平面循環水路図

5.52 cm

*Experimental study of stripping driftwoods in a flood by Junya TANIGUCHI, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

5.5 cm, 7.5 cm で変化させることが出来るようにした。水を越流させる際、流木モデルが内側の貯水域に流れ込むことを防ぐため、越流堰に金網を設けた。この水路の縮尺は既往の研究⁵⁾を参考に、小本川の川幅 54 m と水路幅 11.5 cm の比より、フルードの相似則を用いて 1/470 とした。

(2) 使用土砂

使用する土砂は、馬場目川の土砂である。小本川の土砂と馬場目川の土砂の粒径加積曲線を図-2 に示す。図-2 から、この土砂は全て砂と礫で構成されており、礫成分が約 60% を占めていた。この砂礫の最大粒径は 33 mm で、小本川の砂礫の均等係数は 8.17, 馬場目川の砂礫の均等係数は 7.83 であった。

(3) 実験水路内の流速

実験は平面循環水路に流木・清水, または流木・清水・砂礫を投入し、ポンプで水流を起こした。流木・清水を対象とした実験では、水位を 9 cm とし、流木・清水・砂礫を対象とした実験では、砂礫の層厚を約 4 cm とし、水位を 4 cm, 5 cm, 6 cm とした。

各条件における流速をプロペラ流速計を用いて一点法により測定した。得られた流速と実際の縮尺に換算した流速の比較を表-1 に示す。池谷⁶⁾によると、実現象における砂礫型土石流の流速は 3 m/s~10 m/s であるとされている。従って、平面循環水路内で実際の砂礫型土石流の流速を再現出来ていることが確認された。

3. 流木の剥離実験

(1) 流木

実験で用いた流木は杉の枝を実際のもものと仮定して用いた。想定した流木長は 25 cm であり、水路内の縮尺に換算すると 5.5 cm であった。流木の直径は 6 mm を基準とした。本実験では実現象と同様の条件となるように湿潤状態のものを用いた。このときの流木の比重を測定したところ、平均で 0.92 であった。

(2) 実験方法

実験は平面循環水路に流木・清水, または流木・清水・砂礫を投入して、ポンプで水流を起こしてこれらを同時に流して行った。砂礫の層厚は 4 cm とし、水位は表-1 における条件で行った。流木の投入本数は全ての条件で 10 本とした。各条件における水位で水を 120 分間流すと、実際の縮

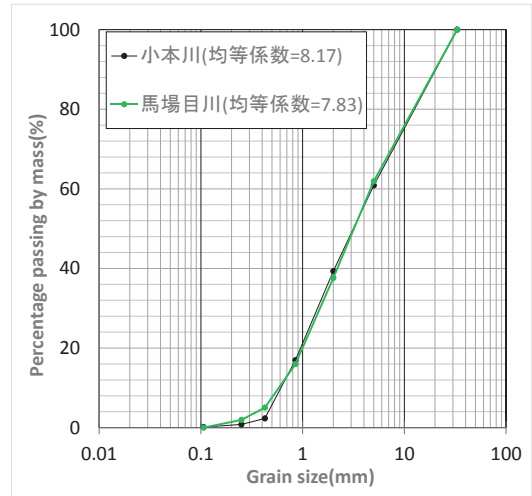


図-2 粒径加積曲線

表-1 水路内流速と換算した流速の比較

	水位(cm)	流速(m/s)	換算流速(m/s)
清水のみ	9	0.49	10.62
砂礫あり (層厚4 cm)	4	0.37	8.02
	5	0.36	7.81
	6	0.33	7.07

尺において小本川の河口付近に到達する程度の距離となったため、流下時間は全ての条件で 120 分とした。

水の流れを 60 分までは 10 分おきに、その後の 60 分は 20 分おきにポンプを止め、流木の表面について観察・検討を行った。樹皮剥離の評価は画像解析で行った。画像解析を行うために、焦点距離を一定とした状態で流木の表面を 90° ずつ、4 方向からカメラで撮影してそれぞれの方向における流木の面積 (pixel) と剥離箇所の面積 (pixel) を求めた。剥離率の評価例を図-3 に示す。図-3 は、ある流木の表面を 1 方向から撮影し、流木の面積と剥離箇所の面積を示したものである。これらを 4 方向分求めて全て合計し、流木の面積に対する剥離箇所の面積の割合として求め、式 (1) に示す剥離率 (%) とした。

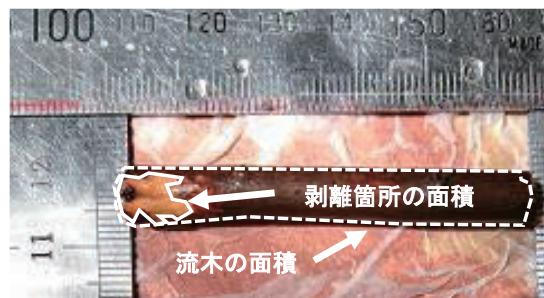


図-3 剥離率の評価例

$$\text{剥離率 (\%)} = \frac{\text{剥離箇所の面積 (pixel) の合計}}{\text{流木の面積 (pixel) の合計}} \times 100 \quad (1)$$

(3) 実験結果および観察

a) 流木の挙動

流木・清水を用いた場合の水路内の様子を図-4 に示す。流してみると、流木は断面を流れの方向に向けて流れる傾向が強いこと、底面付近を流れる傾向が強いことを確認した。

流木・清水・砂礫を投入した場合の水路内の様子を図-5 に示す。流木の挙動に関して流木・清水を用いた場合と同様の傾向が見られ、礫と接触する際は、断面が礫と衝突する場合と側面が礫を擦るように接触する場合が見られた。また、上層の砂礫はあまり流されないか、または流されても水位の変化はあまり見られないため動的平衡が取れていることが分かった。

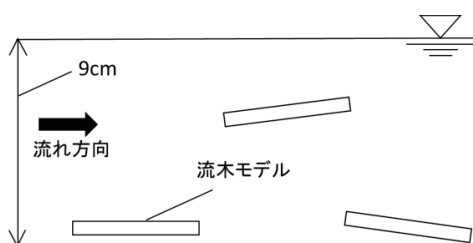


図-4 清水のみ

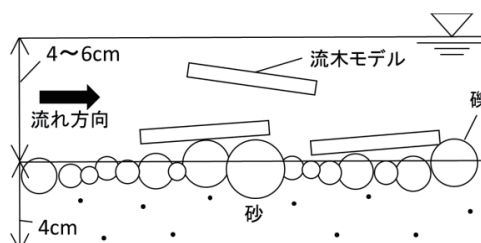


図-5 砂礫あり

b) 剥離率

各条件下で流木を流す実験を行った。清水のみを用いた場合の結果を図-6 に示す。図-6 から 120 分後における剥離率は最大で 0.11 %, 最小で 0.00 % であり、清水のみでは流木の表面はあまり剥

離していないことが分かった。故に流路の壁面や底面、流木同士の衝突による剥離はほぼ無いと考えられる。

砂礫と清水を用いた水位 6 cm の場合の結果を図-7 に示す。図-7 から、120 分後における剥離率は最大で 16.49 %，最小で 0.32 % であった。砂礫を投入した場合、流木が砂層上面の礫に衝突・摩耗することにより、表面が剥離することを確認した。剥離は 0~10 分の間からすでに始まっている流木もあり、剥離率の大きかった 4 本に関して、10~60 分間に剥離率が大きく上昇していた。これらの 60 分後の剥離率を見ると、ゆっくりと剥離が進行したもの、あまり剥離が進行しなかったもの、100 分後から再度剥離率が大きく上昇し始めたものがあり、剥離の進行は様々であった。

砂礫と清水を用いた水位 5 cm の場合の結果を図-8 に示す。図-8 から、120 分後における剥離率は最大で 13.73 %，最小で 1.39 % であった。剥離率は 20~60 分間に大きく上昇している流木があり、これらも剥離の進行は様々であった。しかし、水位 6 cm の場合と比較すると剥離率が 2 % 程度のものが多く、全体的に剥離率は小さくなっており、水位 6 cm の場合よりばらつきは小さかった。

砂礫と清水を用いた水位 4 cm の場合の結果を図-9 に示す。図-9 から、120 分後における剥離率は最大で 20.33 %，最小で 0.44 % であった。剥離率が大きかった 2 本に関して、剥離率は 60 分までの間に大きく上昇しており、その後も上昇し続けた。しかし、その他の流木の剥離率は 1~2 % 程度であり水位 5 cm の場合と同様の傾向になった。

次に、最大剥離率を比較した図を図-10 に示す。図-10 から、砂礫を用いた水位 4 cm の

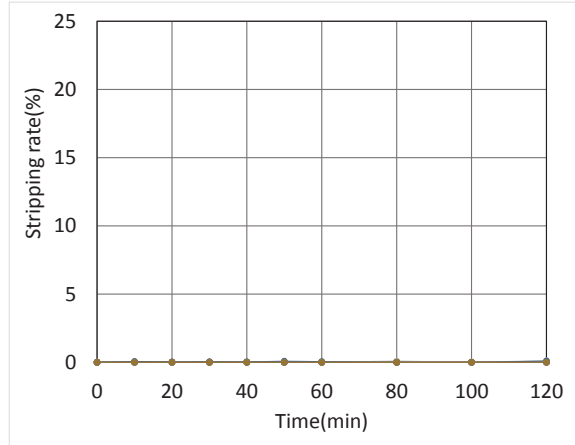


図-6 剥離率の推移(清水のみ, 水位 9 cm)

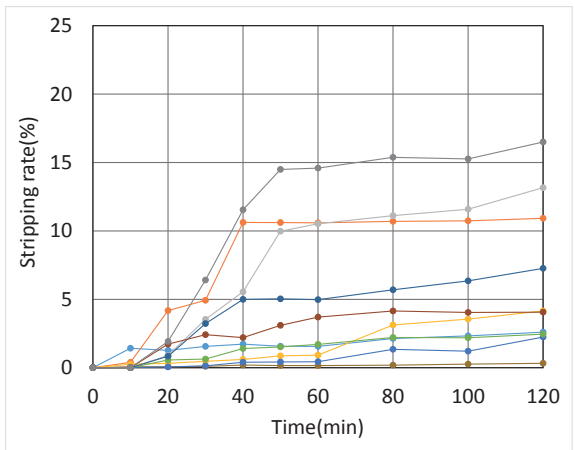


図-7 剥離率の推移(砂礫あり, 水位 6 cm)

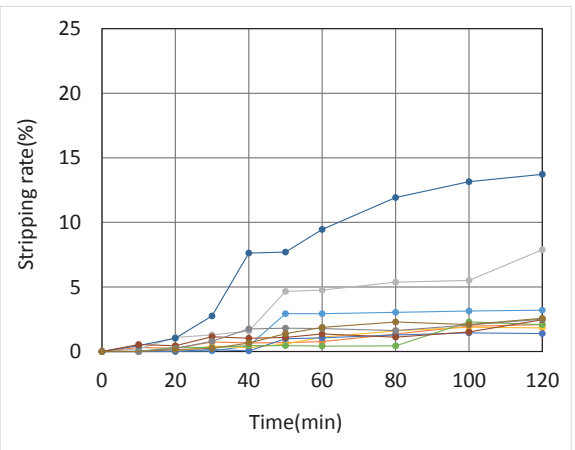


図-8 剥離率の推移(砂礫あり, 水位 5 cm)

場合が最もよく剥離しており、次に砂礫を用いた水位 6 cm の場合がよく剥離していた。これらの結果より、剥離率に特徴的な傾向は見られなかった。この理由として、流木の個体差による影響が大きいと考えられる。

c) 表面観察

さらに、剥離が生じていた流木の表面について観察・検討を行った。

砂礫を用いた水位 4 cm の場合における剥離率が最も大きかった流木を対象として時間ごとの剥離の変化を観察した。この流木表面の剥離過程を図-11 に示す。流木表面に割れや欠け等の損傷は見られなかったが、10 分後の時点では側面が摩耗している様子が確認された。よって、この流木の側面は礫との接触による摩耗が原因となり剥離が生じていることが分かる。これは、礫と流木の側面が擦るように接触していたためと考えられ、剥離は円状に広がることはなく、主に長さ方向に進行した。しかし、剥離は全長の半分程度まで進行した後、剥離の進行は遅くなった。この流木の剥離は図-11 に示した部分のみに生じており、これ以外の箇所での剥離は生じていなかった。

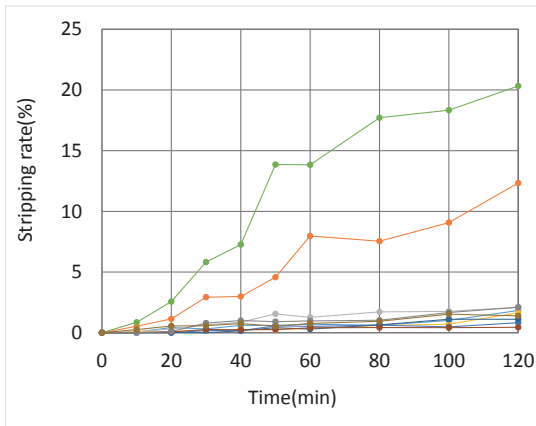


図-9 剥離率の推移(砂礫あり, 水位 4 cm)

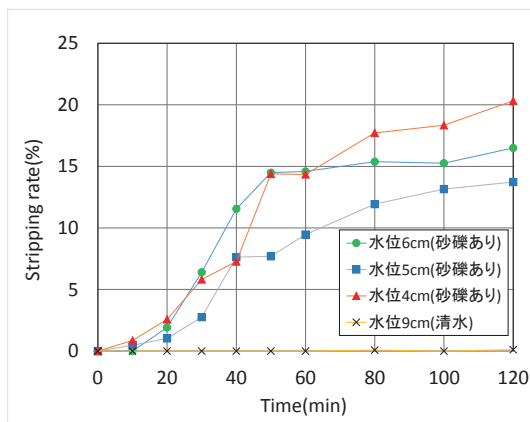


図-10 最大剥離率の比較

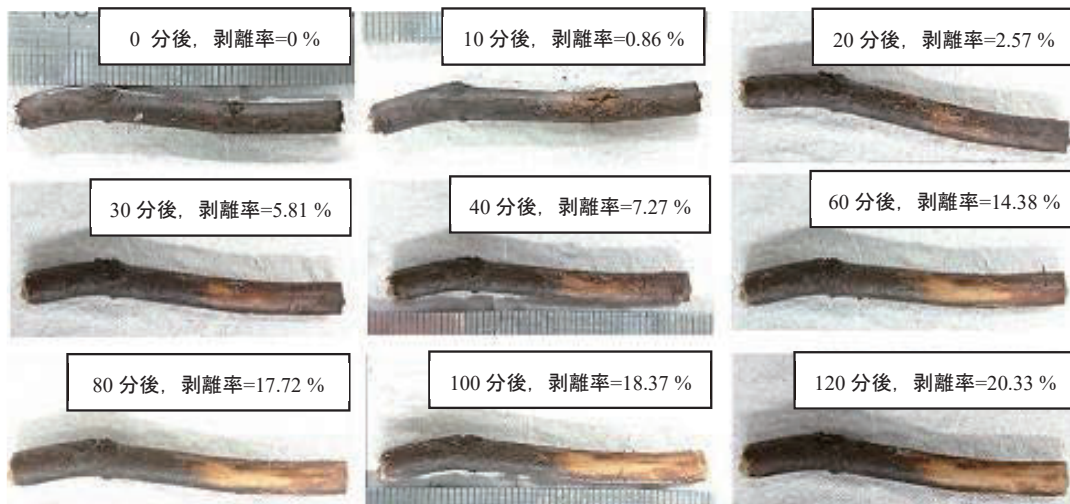


図-11 剥離過程

剥離していた流木全てを観察したところ、図-11 に示した流木と同様に割れや欠け等の損傷ではなく摩耗により剥離が生じており、剥離箇所は主に側面であった。これらは最初に剥離が生じた箇所を中心に周囲へ広がっていくことで剥離が進行していたが、複数箇所から同時に剥離が生じる様子はあまり見られず、2箇所の剥離が確認出来たのは1本のみであった。一方、あまり剥離が生じていない場合は目視による観察において剥離を判断できなかったが、画像解析を行うことにより剥離を確認することができるケースも数多く見られた。

4. おわりに

本研究では、流木の樹皮が剥離する過程や様子を、平面循環水路を用いて検討を行った。この検討により以下の知見が得られた。

- ・ 清水のみを用いて流木を流した場合、流路の壁面や底面、流木同士の衝突による表面の剥離はあまり確認できなかった。
- ・ 剥離は10~60分の間に大きく進行するものが多く、それぞれの剥離の進行は様々であった。この理由として、流木の個体差による影響が大きいと考えられる。
- ・ 剥離が大きく進行している流木は主に側面から剥離が生じており、複数箇所から同時に剥離する傾向はあまり見られなかった。
- ・ 剥離が生じていないように見える流木でも、画像解析を行うことで断面から僅かに剥離が生じていることを分かった。

今後は、流木の本数や土砂の粒径等の条件を変え、剥離の進行に及ぼす影響について検討を進めて行く予定である。

参考文献

- 1) 水原邦夫:土石流に伴う流木による災害とその防止軽減対策に関する考察, 水利科学, No.352, pp.1-46, 2016.
- 2) 立石龍平, 香月智, 石川信隆: 回転円筒実験による水・砂・流木の混合土石流の偏析に関する基礎検討, 構造工学論文集 Vol.62A, pp.1097-1110, 2016.
- 3) Rudolf Miklau, Florian et(砂防地すべりセンター訳): 流木対策一実務入門一, pp.4-49, 砂防地すべりセンター, 2011.
- 4) 中野志郎, 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, Vol.42, No.6, pp.499-505, 2006.
- 5) 西脇遼, 齋藤憲寿, 渡辺一也: 橋梁部における杉の堆積に関する水理模型実験, 東北地域災害科学研究集会, 第55巻, pp.91-96, 2019.
- 6) 池谷浩: 土石流災害, 岩波新書, 221p, 1999.