

## 流木混じりの土石流に対する立木の効果を検討する水路実験

岡田康彦<sup>1</sup>・長井斎<sup>2</sup>・玉井幸治<sup>1</sup>

- 1 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所  
2 株式会社建設技術研究所

**要旨**：立木が発揮する防災機能の内、流木混じりの土石流に対する効果を検討するため、模型水路を用いた実験を実施した。全長 2.75m の流走域で加速させた飽和土砂を、15 度および 10 度斜面上に設置した立木に衝突させてその際の挙動を調べた。立木の転倒および流出に関しては、流木（実寸大で長さ 7.5m）の枝/根の有無の影響はほとんど認められなかった。他方、条件として与えた流木の捕捉率については、枝/根がある場合に著しく増大するケースが認められ、流木の効果を定量化する場合、枝や根を与えた効果検証が重要であることがわかった。

**キーワード**：流木、水路実験、転倒抵抗モーメント

### Flume experiments to mobilise driftwood/debris upon standing trees

Yasuhiko OKADA<sup>1</sup>, Hitoshi NAGAI<sup>2</sup>, Koji TAMAI<sup>1</sup>

Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba Ibaraki 305-8687 1

CTI Eng. Co., Ltd. Tsukuba Ibaraki 300-2651 2

#### I はじめに

毎年のように集中豪雨が発生し、そのたびに斜面崩壊や土石流に伴う被害が生じている。森林は山地を保全し土砂災害の軽減に寄与しており国民の期待も大きい、甚大な流木被害が発生することもあり、森林が果たす防災機能の定量的な解明は重要課題の一つである。

急勾配の森林斜面では、崩壊が発生すると樹木は流木となり被害を及ぼす因子となる。他方、山腹を流下してくる流木混じりの土石流に対して、立木は抵抗体として機能する。しかし、土石流に巻き込まれて転倒、流出すれば、流木となり下流域の被災増大につながるケースもあり、その評価は容易ではない。

立木単体が土石流に対して発揮する抵抗特性は、現地斜面における引き倒し実験を通じ胸高直径と転倒抵抗モーメントの関係が整理されている(1)。しかし、流木混じりの土石流を森林が捕捉する機能を解明するためには、複数の立木との相互作用を調べる必要があり、種々の本数密度、胸高直径（従って転倒抵抗モーメント）を与えた条件での実証的な実験実施が必要である。本稿では、水路実験（縮尺は 1/20）で得られた結果の内、流木捕捉と立木転倒および流出について報告する。

#### II 材料と方法

**1. 供試砂** 川砂を洗って粒度調整した試料を供試砂とした（平均粒径  $D_{50}$  は 0.6mm, 均等係数  $U_c$  は 3.4, 曲率係数  $U_c'$  は 0.66）。実験 1 回につき  $2.0 \times 10^2 \text{ m}^3$  を使用

し、これに水  $2.55 \times 10^2 \text{ m}^3$  をゆっくりと供給して飽和させてから一気に流下させた。

**2. 流木** 既往研究(2)では丸棒（直径 10mm, 長さ 375mm）を流木としていたが、枝として直径 1.5mm, 長さ 100mm のナイロン 16 本, 根として直径 1.0mm, 長さ 50mm のナイロン 8 本を丸棒に放射状に均等に付加して、実物の形状により近い条件を与えた。枝や根については、本数や形状の複雑さ、表面摩擦力など多くの項目があり正確な再現は容易ではないが、ナイロン自体の曲げ剛性は実物の 5 倍程度の大きさである。

**3. 水路実験** 縮尺 1/20 の水路模型は、流走域の全長 2.75m（実寸大では 55.0m）、堆積域は同 2.42m（同 48.4m）で与えた。流走域 2.75m は、上流側から勾配 30 度（幅 0.15m, 長さ 1.55m）、勾配 20 度（幅 0.15m, 長さ 0.80m）、勾配 15 度（幅 0.15m, 長さ 0.40m）を連結してあり、最上端部に止水ゲートを設けその背後に供試体を作製した。この流走域中、勾配 15 度の部分では、高さ 0.01m, 長さ 0.01m, 幅 0.15m の瓦棧を 0.1m 間隔で設置して粗度調整を行うと共に  $4.0 \times 10^3 \text{ m}^3$  の砂を水路底面に敷き詰めた。流走域より下流に位置する堆積域 2.42m は、勾配 15 度（長さ 0.91m）、勾配 10 度（長さ 1.51m）を連結してあり、この部分に立木を所定の密度で設置する仕様とした。実験は、流走域の下端部を土砂が通過する時を初期条件として、土石流フロント部の波高および流速が概ね 0.07m（実寸大では 1.4m）、1.1m/s（同 4.9m/s）になるように調整して実施した。なお、流木は、土砂が流走域の

表-1. 水路実験の諸元

	流木長 (m)	立木直 径 (m)	立木本 数密度 (本/ha)	立木面 積率 (%)	枝/根 の有 無
Ex-A	7.5	0.12	1,000	0.113	無
Ex-B	7.5	0.12	1,800	0.203	無
Ex-C	7.5	0.12	2,700	0.305	無
Ex-D	7.5	0.20	1,000	0.314	無
Ex-E	7.5	0.20	1,800	0.565	無
Ex-F	7.5	0.30	1,000	0.707	無
Ex-G	7.5	0.12	1,000	0.113	有
Ex-H	7.5	0.12	1,800	0.203	有
Ex-I	7.5	0.12	2,700	0.305	有
Ex-J	7.5	0.20	1,000	0.314	有
Ex-K	7.5	0.20	1,800	0.565	有
Ex-L	7.5	0.30	1,000	0.707	有

15 度勾配部を通過する際に上方から根が下流側を向くように置くように落下させて与えた。立木を設置した堆積域中、15 度勾配部の幅は、上流側が 0.6m、下流側が 1.2m で、10 度勾配部は幅 1.2m で一定である。

現地引き倒し実験で導出した最大抵抗モーメントに対し、立木の設置条件に関する予備実験を実施して、フルード則に従って強度を発揮するように粘土材料と根入れ深さを決定した。立木の胸高直径(m)は、実寸大では 0.12, 0.20, 0.30 とし、立木本数密度(本/ha)を 2,700, 1,800, 1,000 とした (表-1)。

### III 結果と考察

通常、林分は本数密度を用いて検討されるが、本数が同じでも立木が太くなれば一定面積内に占める立木の面積が大きくなり、その影響を考慮するため、合計 12 条件の実験結果を立木面積率により評価を試みる。

与えた流木の本数に対して立木により捕捉された百分率を流木捕捉率として整理すると、いずれの実験でも立木面積率が大きくなると捕捉される率も高まる傾向が認められた (図-1)。ただし、枝/根無しの実験では、概ね単調増加した一方、枝/根有りの実験については、立木本数密度が 1,000 本/ha の場合、捕捉率が他条件と較べて低下する傾向が認められた。特に立木直径が 0.12m および 0.20m の Ex-G および Ex-J では、枝/根無しの結果と同等程度まで捕捉率が下がる結果となった。流木の捕捉には立木間隔の影響が寄与し、1,000 本/ha では間隔が大き過ぎることが示唆された。

立木の転倒もしくは流出に着目すると、直径が 0.20m

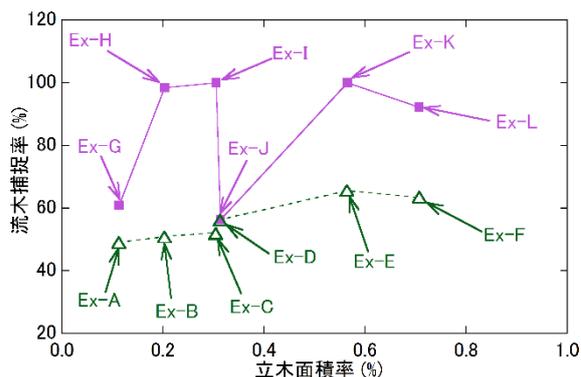


図-1. 立木面積率と流木捕捉率の関係

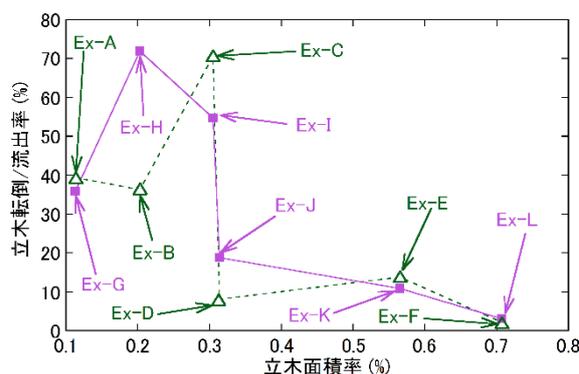


図-2. 立木面積率と立木の転倒/流出率の関係

および 0.30m まで太くなると、流木の枝/根の有無にかかわらず、立木面積率に依らずに転倒/流出率は 20%程度以下の小さな値に収束する結果が得られた (図-2)。他方、直径が 0.12m の場合は強度が不足し、太い立木に比べて発生率が高まる結果が得られた。ばらつきが大きいものの、本数密度が大きく、従って沢山の立木が位置している場合は、より立木の転倒/流出が発生することが示唆された。

立木の転倒/流出については、流木の枝/根の有無の影響はあまり認められなかったが、流木の捕捉については枝/根の影響が大きかった。流木混じりの土石流の捕捉に関する実証実験においては、枝/根を考慮した流木を検討材料にして研究を進めることが極めて重要であることがわかった。

### 引用文献

- (1) YOKADA (2019) Measuring the critical turning moment of the Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) in situ. JFR 24(3):168-177
- (2) 岡田康彦・長井斎・玉井幸治 (2020) 立木による土砂と流木の捕捉効果を検討する水路実験. 関東森林研究 71(1):185-186