

## 立木による土砂と流木の捕捉効果を検討する水路実験

岡田康彦<sup>1</sup>・長井齋<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**：流木を含む土砂が流下する現象に対し立木が発揮する効果を検討するために、水路模型を用いた実証的な実験を実施した。飽和させた土砂を全長 2.75m の流走域で加速させ、勾配が 15 度および 10 度の斜面に設定した立木に作用させて行った。実寸大で 15m 及び 7.5m の長さで与えた流木に関して、長さ 7.5m と短い場合に捕捉率が高い傾向が認められた。他方、土砂については立木の条件に依らずほぼ一定の捕捉率に収束した。

**キーワード**：水路実験、立木、流木

## Flume experiments on interactions between standing trees and driftwood/debris

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

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

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

## I はじめに

森林が有する多くの公益的機能の中でも、山地の保全および土砂災害の軽減に対する期待は大きい。極端な集中豪雨等の頻発により毎年のように土砂災害が発生している中、如何にその被害を軽減するのかが重要であり、森林が果たす防災的な機能の定量的な解明は最も重要な課題の一つである。

山腹を流下してくる土石流に対し、立木は抵抗体として機能する。他方、土石流により転倒して流出すれば、流木となり下流域の被害増大につながるケースもある。これまでに、立木単体が発揮する抵抗特性は現地引き倒し実験により求められている(1)。

$$Mc = 2090.3 \times DBH^{2.58}$$

ここで、Mc は現地引き倒し実験より導出した最大抵抗モーメント(kNm)、DBH は胸高直径(m)。

他方、土石流は土砂と流木の混合物であることが一般的であり、流木が複数の立木の間で詰まることにより、その背後に土砂と流木が捕捉されやすくなる効果もある。立木単体のみならず、複数の立木と、流木を含む土砂との相互作用を解明して被害軽減策を講じるためには、水路を用いた実証的な実験を行うと共に、その結果を再現可能な数値シミュレーションモデルを構築して検討を進めることが必要である。本研究は前者に取り組むものである。なお、これまでに類似の実験研究が一部なされてはいるが(2)、ここでは、立木に与える強度特性が過大に設定されていることが問題と考えている。

## II 供試砂と水路実験

供試砂は粒度調整砂(川砂の洗い砂)を用い、平均粒径  $D_{50}$  は 0.6mm で、均等係数  $U_c$  は 3.4、曲率係数  $U_c'$  は 0.66 である。1 回の実験に使用する砂は  $2.0 \times 10^{-2} \text{m}^3$  で、これに  $2.55 \times 10^{-2} \text{m}^3$  の水をゆっくりと供給することにより飽和供試体とした。

水路模型の縮尺は 1/20 とし、流走域は全長 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、幅 0.15m、長さ 1.55m、勾配 30 度の下端を幅 0.15m、長さ 0.80m、勾配 20 度と幅 0.15m、長さ 0.40m、勾配 15 度を連結してあり、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、長さ 0.40m、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。流走域の下流側の堆積域は、長さ 0.91m の 15 度斜面を、さらに長さ 1.51m の 10 度斜面に連結し、この部分に立木を設定する仕様とした。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、土砂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(直径 10mm の丸棒、実寸大では 0.20m)は、土砂が流走域の 15 度勾配部を通過する際に上方から置くように落下させて与えた。流木の長さは、実寸大では 15m (16 本) および 7.5m (32 本) とし、流木量は両者で同じになるようにした。立木を設定した堆積域中、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)。

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 (%)
Case A	15	0.12	2,700	0.305
Case B	15	0.12	1,800	0.203
Case C	15	0.12	1,000	0.113
Case D	15	0.20	1,800	0.565
Case E	15	0.20	1,000	0.314
Case F	15	0.30	1,000	0.707
Case G	7.5	0.12	2,700	0.305
Case H	7.5	0.12	1,800	0.203
Case I	7.5	0.12	1,000	0.113
Case J	7.5	0.20	1,800	0.565
Case K	7.5	0.20	1,000	0.314
Case L	7.5	0.30	1,000	0.707

### III 結果と考察

合計 12 回の実験に対し, 立木面積率(%)での検討を試みる (表-1 参照)。通常, 林分は本数密度 (本/ha) での検討がなされるが, 本数が同じでも立木が太くなれば一定面積内における立木が占める面積は大きくなり, その分を考慮する必要があると推定されるからである。

与えた流木の本数に対して捕捉された数の百分率を流木捕捉率として整理した (図-1)。Case B と E については異なる結果となっているものの, 立木面積率が同じであれば流木長が 7.5m と短い場合に流木捕捉率が大きい傾向が認められた。流木が 15m と長い場合は, 流木自体の慣性も大きく, 立木と衝突したとしても直進的に流下してきた運動が継続されやすく, 従って捕捉されづらいものと推定された。他方, 7.5m の場合は, 流下中に横ブレが生じやすく, その結果立木間で目詰まりを発生させると考えられる。立木面積率が 0.6%あたりで流木捕捉率が比較的良好のように見受けられる。立木が太い場合は単体が発揮する強度は大きい, 立木面積率が小さく立木間隔が大きい場合は流木の目詰まりが生じづらいと推定されるため, 今後は流木長のみならず立木間隔の検討も必要であると考えられる。

他方, 与えた土砂量に対して立木を設定した区間に堆積した量の百分率を土砂捕捉率として整理した (図-2)。この場合は, 立木面積率に依らず, 概ね 70%弱とほぼ一定値に収束した。土砂の流れは, 立木との相互作用はあまり働かず, 斜面勾配の低下に伴って堆積が促進されることが運動を支配していると考えられる。ただし, 流木が目詰まりを起こしてダムアップするようなケースがあれば, その場合は土砂捕捉率も上昇すると考える。今回与えた流木は丸棒で形状抵抗が実物よりも小さく目詰まりは発生しづらかったと推定される。流木が目詰まりによるダムアップなどの現象の確認のためには, 立木に枝を模した部分を取り付け, 形状抵抗を大きくして検証する必要がある。また立木が転倒, 流出した結果の検討も課題として今後取り組む予定である。

### 引用文献

- (1) Y OKADA (2019) Measuring the critical turning moment of the Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) in situ. *JFR* 24(3) : 168-177
- (2) 藤堂千景・山瀬敬太郎・杉山和史・溝口裕也・長井斎 (2017) 引き倒しモーメントを勘案した災害緩衝林水路実験. 平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集 92-93

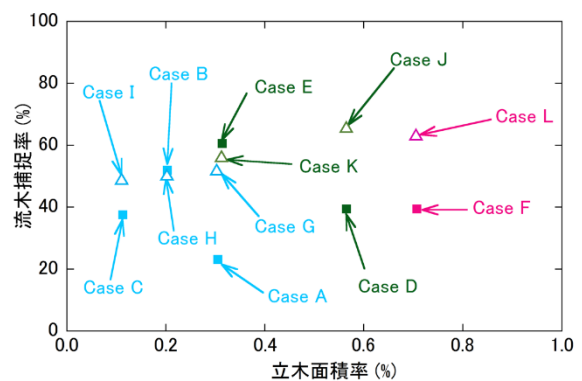


図-1. 立木面積率と流木捕捉率の関係

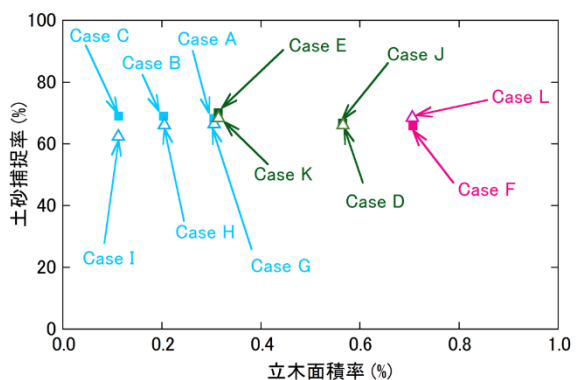


図-2. 立木面積率と土砂捕捉率の関係