

水平梁構造の流木捕捉工実験の再現シミュレーション

防衛大学校 正会員 ○堀口俊行

三重大学 非会員 古川真由子 正会員 堤 大三

森林研究・整備機構 非会員 鈴木拓郎

筑波大学 非会員 内田太郎

1 緒 言

近年の土砂災害において、大量の流木が河川を流下し、被害を拡大している事例が見られる。2017年の九州北部豪雨災害において、多くの河川での流木発生事例や、2018年の西日本豪雨災害において広島市や呉市の住宅地を流れる小規模河川を土砂とともに流木が移動し、多くの橋梁を閉塞した事例などが挙げられる¹⁾。この状況に対して、流木対策における指針に従い、透過型砂防堰堤における捕捉、既存の砂防ダムや堆積工への流木捕捉工の設置などの対策が実施されている。また、柔性構造物や不透過型砂防堰堤との複合化された構造物等の研究開発が進められている²⁾。

しかし、近年の流木による被害を見ると砂防構造物が整備されていない小河川において発生する例や、既存の不透過型砂防堰堤で捕捉しきれなかった流木が下流に流下する例など、現状の流木捕捉対策は十分とは言えない。そのため、効率的に流木対策を進めるためには、設置個所の状況や目的に応じた対策が望ましいと考えられる。そのために、様々なタイプの施設が準備され、対象箇所に適した構造物が望まれる。

そこで提案している構造物は、図-1に示すように従来の透過型砂防堰堤のように直接土石流を受け止めるのではなく、河川縦断方向に水平に設置し、流木のみを捕捉することを主としているものである。土砂とともに流下した流木が、この水平部に乗り上げ、土砂・水と鉛直方向に分離されることで捕捉されるものである。

そこで本研究は、基礎的段階として流木のみを捕捉実験を行い、捕捉されたケースを基に個別要素法を用いて捕捉景況を再現することで、捕捉効果における検証解析を試みたものである。その際、流木長における影響や流下形態における影響について整理する。

2 実験の概要

2.1 実験要領

図-2に、実験水路を示す。水路長は、長さ3.0 m、水深0.1 m、幅0.1 mの直線水路である。側壁はアクリル製、底面にはサンドペーパーがひかれている。水路傾斜角は可変であるが、本研究では掃流区間～土石流区間として5度に固定した。

図-3は、捕捉工を実験水路に設置した様子である。捕捉工はアルミ製のロッドで、下流側末端を木材に挿入し、水路下流端から0.3 m、高さが河床面から5.0 cmの位置になるように固定し、捕捉工が水平となるように設置した。ロッド3本の場合は、ロッド間隔 33 mmで壁面とロ



図-1 提案構造物

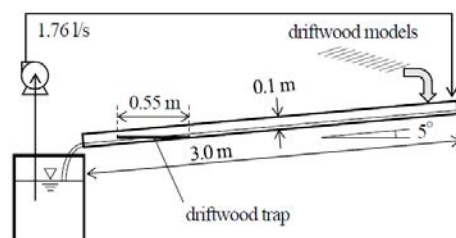


図-2 実験水路



図-3 捕捉工

ッドの間隔は17 mm、5本の場合はロッド間隔20 mmとなる。

2.2 流木モデル

ここでは、2種類の流木モデルを用いる。直線系で均一形状のモデルであり、それぞれ直径2 mm、長さ6 cm、10 cmである。比重は0.97である。なお、流木モデルはベルトコンベアーを一定速度で作動させて投入した。

2.3 流木捕捉率

流木捕捉率は、 R_t は、以下の式により求めた。

$$R_t = \frac{n_t}{n}$$

ここで、それぞれ投入した流木モデル本数と捕捉工によって捕捉された流木モデル本数である。

捕捉工による流木の捕捉率は常に一定とはならず、ばらつきが生じる。そのことを考慮して、同じ条件の実験を10回繰り返し、捕捉率の平均値を求めた。

2.4 投入方法

2種類の投入方法で検証した。投入区間一定法（本数変化）は、ベルトコンベアーの一定区間（10cm）に流木モデルを設定本数（10, 20, 30, 40, 50本）並べ、ベルトコンベアーで流木モデルを投入した。これから投入本数と投入速度の影響を検証するものである。次に、投入本数一定法（区間変化）は、50本の流木モデルをベルトコンベアー上の設定区間（10, 20, 30, 40, 50 cm）に並べ、ベルトコンベアーで流木モデルを投入した。ベルトコンベアー上に並べる区間の変化とともに、投入速度を変化させる方法である。これは、投入速度の影響について検証するものである。

2.5 実験ケース

表-1に、実験ケースを示す。二つの流木供給方法で、供給本数とベルトコンベアー上での設置範囲の組み合

わせと、捕捉工の2種類、流木モデル2種類の組み合わせとした。各ケースの実験を10回繰り返している。

なお、水理条件としては、ポンプによる供給流量1.76 L/sと水路幅0.1 m、実験時の水深0.02 mより、平均流速は0.88 m/s、フルード数 $F_r=1.99$ である。また、フルード相似則より、実際の水路幅が5.0 mである場合の流速は、およそ6.0 m/sと想定される。

2. 6 実験結果の概要

図-4に、実験ケースごとの捕捉率について示す。なお、ここでは、解析の再現性について投入区間一定法を行っているため、その要領のみを示している。その結果、傾向として流下してくる流木数と流木長の影響によって捕捉率に影響を与えている。また、実験の繰り返しでのばらつきはあるが、全体的に流木投入本数が多いほど、捕捉率も高い傾向がみられた。しかし、ロッド間隔に対する流木の相対値が小さい場合は、投入本数が多くてもほとんど捕捉されずに、捕捉率は小さいままであった。さらに、捕捉工のロッド間隔に対する流木長の相対長さによって捕捉効果は異なり、相対値が大きい場合に、捕捉率が高くなる傾向がみられた。

流木の投入方法（投入本数一定法）の影響は、全体的に投入速度の上昇とともに捕捉率の増加する傾向を確認した。

3 再現解析シミュレーション

3. 1 解析の概要

文献3)を参考に、個別要素法における実験の再現性について実施する。解析モデルや解析の諸元は、実験のデータをそのまま使用した。投入方法は、投入の際に流木の姿勢がランダムに決定されると考えられることから、初期配置時に落下法を用いて配置することとした。その際、本来の水路長より後方に配置されることとなる。また、水理諸元についてはほぼ実験で計測されているものを用いている。

3. 2 解析結果

図-5は、投入区間一定法における実験と解析の時系列を比較している。流下している時系列について、実験と解析を比較するとほぼ同じように流下している。しかし、捕捉後の状態を見ると実験では流木間で複雑に絡み合っているが、解析では平面的に流木が敷き詰められて並んでいることが分かる。これは、水面における波については本モデルでは再現していないため、流木が堰堤に捕捉されてから、流下してくる水が水面付近で波を起こしたりする現象を再現できていないことによるものと考えられる。なお、解析結果は捕捉されていないケースや本数が少ないケースにおいてはほぼ再現できていることを確認している。

図-6は、流木長における影響を比較している。実験における景況を表現できている。また、やや捕捉率に違いが出ているが、流木の本数からすると2~5本程度あるため、今後解析モデルを向上させる必要がある。

4 結論

本研究における成果を以下のように示す。

- 1) 流木の本数が多くなるほど、捕捉率が大きくなる傾向がある。さらに、ロッドの本数の影響によって、流木が絡みやすくなることから捕捉率が向上する。
- 2) 流木が、捕捉されるにはロッドとの接触時における流木の姿勢に大きく影響するため、流木の流れ方によって

表-1 実験ケース

供給要領	流木本数	設置距離	回数
投入区間一定法	10~50	10 cm	10
投入本数一定法	50	10~50 cm	

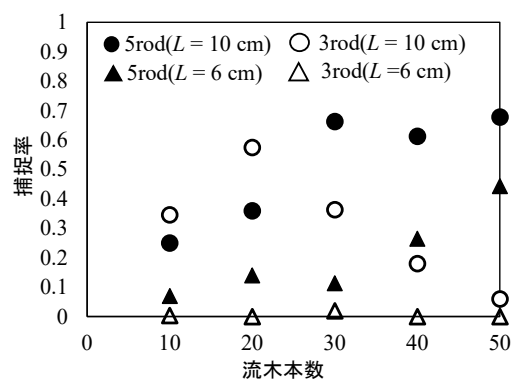


図-4 実験結果

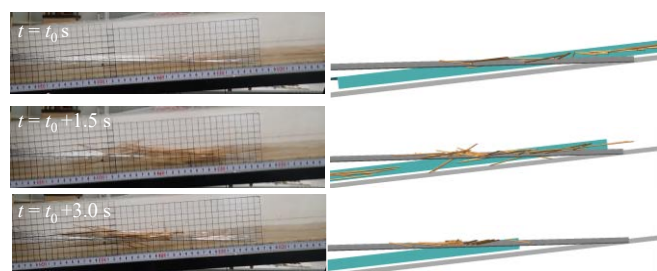


図-5 解析と実験の比較（投入区間一定法：流木50本）

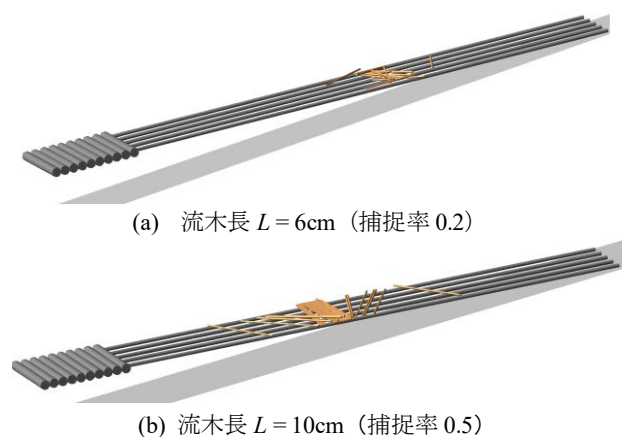


図-6 投入区間一定法の俯角図（解析）

捕捉の有無が明瞭に分かれる。

今後は、流木の形状や根付における影響が大きく影響されると考えられるため、検討を進めていく。

参考文献

- 1) 海堀ら：平成30年7月豪雨により広島県で発生した土砂災害，砂防学会誌，Vol.71(4)，pp.41-60，2018
- 2) 吉田ら：既設コンクリート堰堤への流木捕捉機能追加に関する実験的研究，砂防学会研究発表会概要集，pp.119-120，2018
- 3) Horiguchi, T et al. : A Basic Study on Protective Steel Structures against Woody Debris Hazards, International Journal of Protective Structure, Vol.6, Number 2, pp.191-215, 2015