

# 急勾配水路における落差工と橋桁の位置関係が流木の集積状況に与える影響

埼玉大学大学院 学生会員 ○宮原 海

埼玉大学大学院（兼）埼玉大学研究機構レジリエント社会研究センター 正会員 田中 規夫

## 1. 研究背景と目的

2013年の伊豆大島災害は、同地域特有の地質構造のため、溪流以外の箇所も含む広い範囲において、多量の流木群を含む泥流が発生し、堆積工よりも下流部において流路に進入した。そして、生産された流木の約47%が元町橋およびその上流側に堆積した。元町橋付近においては流木の集積により河道閉塞による水位の急激な上昇を伴う氾濫が発生したと想定される。それに加え、周辺地域に流木および泥流が流れ込むことで、さらなる被害拡大へと繋がった<sup>1)</sup>。

渋谷ら<sup>2)</sup>は、根鉢付き流木の捕捉効果について実験による検討も行っており、根による絡まりあいにより堆積塊が大きくなることや、根鉢があることで捕捉率が增大することを示した。このように流木の形状は流木捕捉に影響を与えることから、幹のみではなく根鉢や枝葉を考慮した実験を行う必要性が示されている。

流木対策工の研究として、小松ら<sup>3)</sup>は斜板を橋桁前面部に設置した形式の流木堆積防止装置を用いて橋桁下方向の流れをつくることで、流木の堆積を防ぐことが可能であることを実験により示した。

伊豆大島災害で大量の流木が集積した元町橋地点においては、図-1にみられるような落差工が設置されている。このような構造は山地河川等において、勾配を緩やかにするために効果的である。洪水災害時には水面形や流木の挙動に影響を与えることで堆積対策工のような作用を及ぼす可能性がある。その一方で、水位によっては橋桁に集積する可能性もあるため、橋桁部で流木捕捉率が増減する可能性が考えられる。そこで、本研究では、河川橋桁の直前および直下の落差工が流木の集積状況に与える影響を水理実験により把握することを目的として研究を行った。

## 2. 流木集積実験の概要

### (1) 実験水路の概要

実験装置ならびに実験方法の模式図を図-2に示す。本研究では定常流実験と非定常流実験の2種類の実験を行った。定常流実験では幅0.2mの循環式開水路を用いた。伊豆大島災害で大量の流木集積が確認された元町橋周辺の勾配は8/100である。また、水路内には落差工が設置されていることから、現地における水路床勾配はその周辺地域の勾配に対してやや緩やかである。以上より、実験水路の勾配は4/100とし、定常流条件の水深は7cm、流速は1.19m/s、フルード数は約1.4と設定し実験を行った。上流（ゲート急開装置の位置：定常実験では使用せず）から1.8mの位置に木製の橋桁モデル（厚さ2.4cm）を設置した。橋桁モデルの下端は底面から7cmとした。



図-1 研究対象地点の落差工の状況

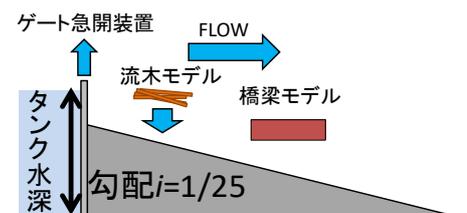


図-2 非定常実験の概要

キーワード 流木 集積 落差工 根鉢モデル 急勾配河川

連絡先〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学 TEL048-858-3564 E-mail: tanaka01@mail.saitama-u.ac.jp

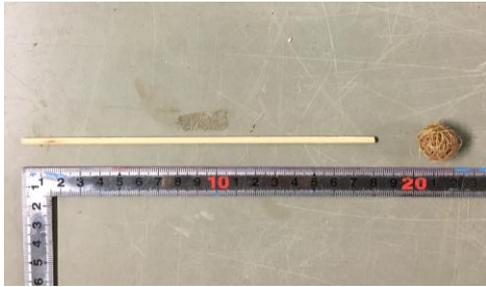


図-3 流木および根鉢モデル

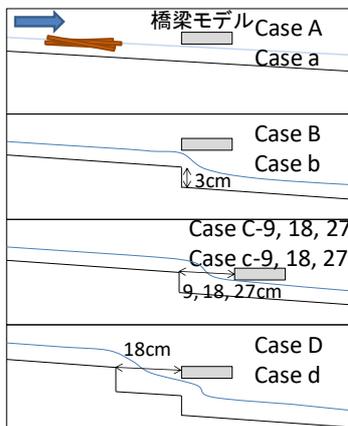


図-4 流木集積実験の模式図

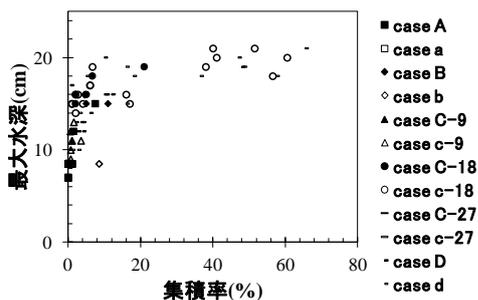


図-5 橋桁部の最大水深と集積率の関係

実験の入射波の最大水深は8.5cm、流速は1.88m/s、最大フルード数は約2.1と設定した。その時、水路上流に設置された貯水槽におけるタンク水深（空圧式ゲート部における貯留水深）は25cmであった。

橋桁下端から底面の距離は入射波の最大水深と同じ8.5cmとした。最大水深および入射波先端の流速については、橋桁を設置しない予備実験において橋桁の上流端位置に相当する値を使用した。

流木モデルは長辺を流下方向と平行にし、ゲートから0.5mの位置よりまとめて投下した。

非定常実験においては、より危険な状況を模擬するため、橋桁モデル設置位置における水深が8.5cm（流木なしでの最大水深）となるタイミングで、流木モデルが橋梁モデルを通過するように調整した。

流木の橋桁部への閉塞状況を評価するために、集

積率（％）を用いた。ここで集積率とは、橋桁モデルで一時的にでも運動を停止した流木の本数を投入本数で除したものである。流木の集積本数は実験動画を詳細に確認して求めた。

## (2) 流木モデルの概要

流木モデルと根鉢モデルを図-3に示す。流木モデルは直径0.3cm、長さ18cm、流木の比重は生木の比重（0.9-1.0程度）と同様の値になるよう、実験開始前に約1時間水つけて調整した。実験には100、150、200本の流木を使用した。

根鉢モデルは直径2cmである程度の柔軟性を有するココヤシ繊維を使用した。香月ら<sup>4)</sup>は、模型実験より根鉢と流木が分離して流下することで、土砂の捕捉効果が高まることを示した。また伊豆大島災害では、生産された流木が山の斜面を流下し家屋群を破壊した後、流路工へ流れ込み、橋桁部で大量に溢れ近隣の建物周辺に堆積した。この際、流木と根鉢は流下する過程で適度に分離した状態であったと推測される。よって、本実験では根鉢モデルと流木モデルを接合せず、それぞれ分離した状態についてモデリングした。

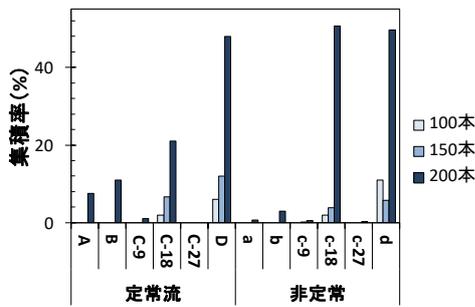
## (3) 流木集積実験におけるケースの概要

「流木モデルのみ」と「流木モデルと根鉢モデル」について実験を行った。流木の投下本数は、100、150、200本の3ケースであり、いずれのケースにおいても、全本数の流木モデルを一度に投下した。また落差工と橋桁の位置関係による影響を検討するため、図-4に示す6パターンについて、それぞれ定常（A、B、C、Dのように大文字で記載）・非定常（a、b、c、dのように小文字で記載）の条件下で実験を行った。ここで落差工モデルの段差は3cmで、case B（およびcase b）では橋桁の直下に、case D（およびcase d）では橋桁の直下と18cm前に、case C-9、18、27（およびcase c-9、18、27）ではそれぞれ橋桁の9、18、27cm前に設置した。

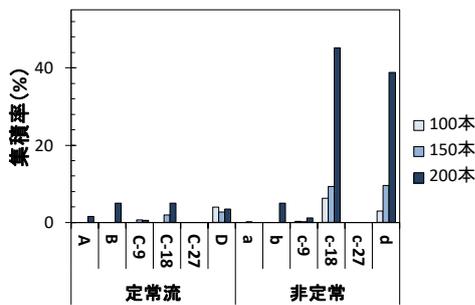
## 3. 実験の結果と考察

### (1) 流木の集積率と最大水深の関係について

図-5に流木の集積率と橋桁モデル前面における最



(a)



(b)

図-6 定常・非定常実験における集積率の相違

(a)根鉢あり, (b)根鉢なし

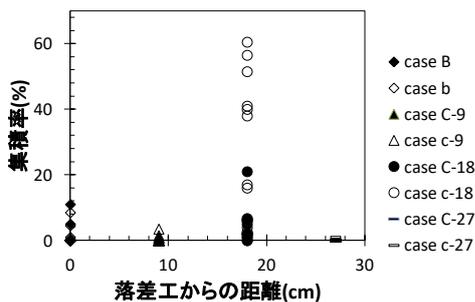


図-7 落差工と橋桁間の距離と集積率の関係

大水深の関係について示す。これより流木の集積率が上がるにつれて最大水深も大きくなる傾向がみられ、特に集積率が小さいものにおいて顕著に表れている。これは橋桁に流木モデルが引っかかることで閉塞状況が発生し、橋桁モデル前面における水深が急激に変化したためであると考えられる。また流木なしでの最大水深と橋桁モデル下部の高さが同値であるため、流木モデルがごく僅かでも引っかかると水流が橋桁モデルに達してしまい流路を大幅に遮蔽する。よって、流木の捕捉効果と合わさって、集積率が小さい場合でも最大水深が大きくなったと考える。

これに対して、集積率が大きいものに注目すると、横軸の増減に関わらずほぼ同様の値を示している。流木モデルが橋桁モデル前面において一時的に集積

するのに伴い、最大水深が急激に上昇し、流れに鉛直上方向の力が作用したことで流木モデルが橋桁モデル上部に載りあげた後、流下するという現象が生じたためと考える。これにより瞬間的な集積率は高くなるが、水深が上がりきる前に流木は流下してしまい、橋桁部での閉塞状態がある程度緩和されることで最大水深が一定の値を示したものである。

(2) 根鉢を考慮することでの集積率の変化状況

図-6(a)および(b)にそれぞれ根鉢あり・根鉢なしでの橋桁における流木の集積率を示す。根鉢ありの場合における流木の集積率は根鉢なしの場合と比較し、全体で1.3倍も増大した。特に定常流条件下においては最大で13.7倍もの値を示した。定常流実験では流れが安定しているため、根鉢なしの場合では流木モデルが整列した状態のまま流下する様子が見られた。

しかし、根鉢ありの場合においては流木モデルおよび根鉢モデルが絡み合い、塊のような状態で流れることで橋桁モデルにおける捕捉効果が高くなり、集積率の増大に繋がったと考える。

これに対して非定常条件下では、集積率が最大で5.0倍増大した。この値は根鉢を考慮することの重要性を示すものであるが、定常流条件下と比較すると上がり幅がやや小さい。非定常では根鉢なしの場合においても、流木モデルが整列せず、ある程度はばらになって流下したことが原因であると考えられる。

(3) 落差工と橋桁モデルの組み合わせによる変化状況

case A では落差工を設置していないため、他のケースと比べて流木モデルがスムーズに流下した。そのため、ほぼ全ての実験において集積率が非常に小さかった。図-7に落差工と橋桁間の距離と集積率の関係を示す。case B および case C-9 でも case A と同様に低い集積率を示した。この2ケースにおいては、流木モデルを橋桁モデル下部へと導く流れが観測され、これにより流木の載り越し防止装置<sup>3)</sup>と同じような作用を引き起こしたと考えられる。

落差工と橋桁の距離が流木長さの1.5倍の case C-27 においては投下した流木のほとんどが集積せず

にそのまま橋桁部を通過した。これは落差工と橋桁の距離が落差工の影響を受けない程度に遠いため、落差工のない case A と同様の挙動を示したことが原因であると考えられる。

これに対して、落差工と橋桁間の距離が流木モデルの長さと同様である case C-18 では、根鉢の有無にかかわらず、定常・非定常条件下において高い集積率を示した。また落差工が橋桁モデル直前および直下にある case D においても case C-18 と同じく高い集積率を示し、最大で 65.5% と投下量の半数以上の流木モデルが捕捉されたという結果を得た。橋桁モデル直前に落差工がある場合、流木モデルが慣性力で橋桁方向に飛び出しやすいことに加え、流木モデルに流下方向に対して縦の回転運動が加わり、橋桁に衝突・集積しやすくなったと考えられる。また根鉢モデルにも同様の慣性力が作用すると考えられるが、流木モデルほどの差異は明確には確認できなかった。

以上の考察より、落差工が橋桁直前、特に流木の長さと同程度の位置にある場合は流木の集積率を大きく増大させるが、橋桁直下および流木の長さの 0.5 倍程度に位置する落差工は載り越し防止装置<sup>9)</sup>と同じような特徴を示し、水面形および流木の挙動と集積率に影響を与えると考える。よって急勾配河川において落差工を設置する際は、橋桁などの構造物との位置関係に留意する必要がある。

#### 4. 結論

本研究で得られた主な結論は以下の通りである。

- 1) 落差工が流木集積率に与える影響は大きく、特に落差工と橋桁間の距離が流木の長さと同じである場合の集積率は最大で 65.5% を示した。これは、流木に慣性力や鉛直方向の回転力が作用することで、橋桁部分に流木が衝突しやすくなったことに起因していると考えられる。
- 2) 落差工が橋桁の直下および流木長さの 0.5 倍の

距離にある場合は、流木集積率は小さく、載り越し防止装置と類似の効果を示した。

- 3) 根鉢がある場合の集積率は、流木モデルのみ投下したケースと比較すると、定常流で最大約 13.7 倍、非定常流で最大約 5.0 倍、全体としては 1.3 倍の値を示した。よって、流木モデルを用いた水理実験を行う際には、根鉢をモデル化する必要がある。

本研究により、橋桁上流側にある落差工は橋桁までの距離が流木サイズと類似した値の場合に、集積率に影響を与えることが明らかとなった。本研究では落差工の段差の高さについては変化をさせなかったが、これによる集積率の変化を明確にすることは極めて重要であることから、今後の研究課題とする。

**謝辞** 本研究には、河川砂防技術研究開発制度 砂防技術分野「火山地域における水文・土砂流出メカニズムの解明と土砂災害防止事業支援のための数値シミュレーション法の開発（土木研究所 G 代表：江頭進治）」の予算を使用した。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 田中規夫：流木の生産・流出特性，土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会・平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団 最終報告書，pp.34-43，2014.
- 2) 渋谷一，香月智，大隈久，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，Vol. 57A，pp.1087-1094，2011.
- 3) 小松利光：流木と災害-発生から処理まで-，pp.189-193，技報堂出版，2009.
- 4) 香月智，立石龍平，堀口俊之，石川信隆：透過型砂防堰堤による樹根と土砂の捕捉に関する検討，土木学会第 71 回年次学術講演会，II-078(CD-ROM)，pp.155-156，2016.