

流域治水に活用可能な 流木解析技術の開発の一例

はしもとけんじ わたべはるき き さ ひろし まきのたかひさ いたうたかひろ
橋本憲二¹・渡部春樹¹・木佐洋志¹・牧野孝久¹・伊藤隆郭¹

¹日本工営株式会社 中央研究所（〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304）

流域治水の検討において、河床変動に大きく影響する流木に着目した山間部での砂防と林野（治山）の連携、扇状地での砂防と河川の連携が着目されている。通常、流砂と流木の挙動とこれらの相互作用に関する基礎資料を得るため、現地調査、それに基づいた土砂・氾濫解析等の数値解析が行われる。しかしながら、現地の流木には、浮く針葉樹と沈む広葉樹があり、この課題解決には、流木の特性（比重の違いで浮く流木と沈む流木）を考慮した解析法が有効で、論文等で提案済みである。さらには、扇頂部の複雑な河道地形の条件では、解析だけでは難しい場合も多く、解析に加えて水理模型実験が有効となる。本稿では流木に関連した一連の数値解析技術、水理模型実験技術の開発と取り組みについて報告する。

Key Words : 水理模型実験, 流木解析法, 土砂・流木移動, 針葉樹, 広葉樹

1. はじめに

土砂・洪水氾濫による被害が多数発生している。例えば、平成29年7月の九州北部豪雨では、筑後川の支川である赤谷川や乙石川および小河内川において、大量の土砂や流木が流下・堆積し、住宅地等の保全対象に対して被害をもたらした。その後、河川砂防技術基準の計画編においても、土砂・洪水氾濫対策計画が設定されるなど、当現象への対策は急務である。土砂・洪水氾濫対策の一例として、遊砂地等の整備が挙げられ、当社でも土砂および流木を含む流れに対する遊砂地工の効果検証を行ってきた¹⁾。

平成25年の伊豆大島の土石流災害では、崩壊や土石流流下に伴い、大量に生産された流木が流下・堆積し、集落への直接的な被害や橋梁等への流木閉塞による氾濫被害が拡大した。これを契機に、平成28年には、流木対策に対して、砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説および土石流・流木対策設計技術指針解説が改訂されるなど、土砂・洪水以外にも流木対策が求められることになった。その後、H28年8月北海道戸蔭別での災害でも流木の流下・堆積による被害が生じた。

令和元年東日本台風での豪雨災害を経て、海岸・河川・ダム・砂防・治山等のあらゆる関係者により流域全体で行う流域治水の考え方（図-1）が国土交通省水管理・国土保全局より示された²⁾。砂防分野では、氾濫防止対策として、砂防堰堤や遊砂地が挙



図-1 流域治水の模式図

（国土交通省，流域治水の推進，2023，
<https://www.mlit.go.jp/river/kasen/suisin/index.html>，（参照 2023-7-11）に加筆）

げられると共に、林野と連携した一体的な流木対策の事例もみられる³⁾。

このように、砂防分野では水・土砂以外に流木への関心が高まっており、流域全体での流木対策の必要性が叫ばれている。流域全体での流木生産ポテンシャルの評価や、下流域での流木の集積・閉塞の危険性等に関する調査・検討がされるようになってきた。最近では、流域治水の観点から、従来の土砂移動に加え、河床変動に大きく影響する流木に関連した山間部での砂防と林野（治山）の連携、扇状地で

の河川と砂防の連携が重要となっている。

また、扇頂部付近では、河床勾配や川幅の変化や流路変動が土砂・流木移動に及ぼす影響が大きい。土砂移動に伴う流路変動が生じ、側岸での水衝部での河岸侵食が発生しやすく、治水安全上の危険性の一因となり得る。流木災害が頻発すると、豪雨時に生産された流木は出水時に土砂と共に河道を流下し、河道の狭窄部や弯曲部等での堆積となる。このように、流砂と流木の縦断的な連続性を考慮した土砂・洪水氾濫対策の一環として、新たな技術課題としての流木の流下・堆積メカニズムの把握、モデル化を目的とした検討が必要となっている。ここでは、水理模型実験による結果を通じ、樹種の違いに伴う土砂・洪水や流木の挙動に関する違いを示す。

2. 流木の流下における重要事項

(1) 流木の特性

流木は、樹種の違いによって、針葉樹は比重が小さく水に浮き、広葉樹は水に沈むが土砂には浮くといった性質がある。水に浮く流木（針葉樹）は、水面近くの流速の影響を受けて流下し、水に沈む流木（広葉樹）は、河床近くの流砂の影響を受けて流下する（図-2）。そのため、針葉樹と広葉樹では、流木の流下速度や流下形態が異なるほか、砂防堰堤や橋梁など構造物周辺における挙動が全く異なる。

(2) 既往の知見

針葉樹だけでなく、比重の重い広葉樹を含む水・土砂・流木の混合流れに関する水理実験を行い、比重の異なる流木の挙動を示してきた⁴⁾⁻⁷⁾。図-3は、針葉樹と広葉樹の流木の偏走角（流向からみた流木の角度）の頻度分布を示している。これによれば、針葉樹は流れに対して偏走角が広く分布するため、水面上を左右に振って流下することが分かる。一方、広葉樹は、偏走角の分布が小さく、流向に沿って流下しやすいことが分かる。図-4は、流木群の軌跡から得た拡散係数を示している。針葉樹や広葉樹群の平面的な拡がり異なり、広葉樹では拡散が小さいことが分かる。

模型実験や数値解析において、水に浮く針葉樹の

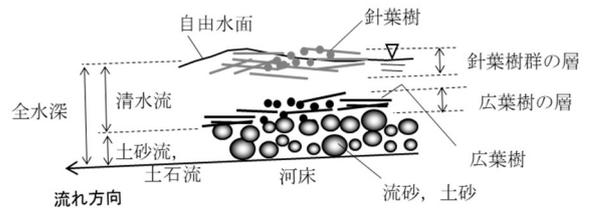


図-2 比重の異なる流木を含む水・土砂の混合流れ (Itoh et. al, 2010に一部加筆)

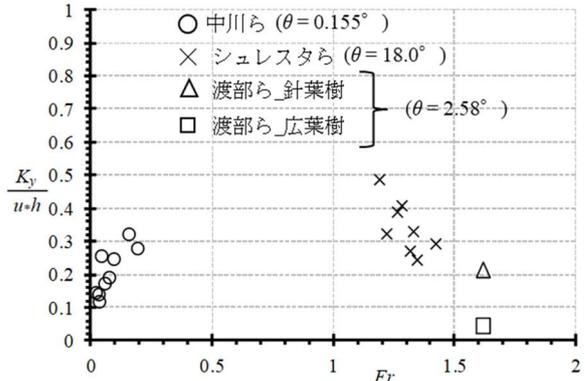


図-3 流木群の拡散係数の一例

みを取り扱う解析方法では、流木の氾濫範囲や集積、土砂・流木対策施設の効果、並びにトラブルスポット等を見誤る可能性がある。当社では、この問題に対して「流木を含む土石流の解析装置及び解析方法」を開発（特許第5309002号，2013年取得）し、山地域から河川域における流木を含む流れに対して、比重の違いに着目した流木モデルを用いて、高精度な模型実験・数値解析が行えるようになっている。

3. 流木を含む土砂・洪水氾濫解析

流木災害における費用便益評価も踏まえ、流木と土砂の堆積や両者の相互作用等について土砂・洪水氾濫計算を行った。計算では流木の影響が施設に及ぼす影響もみるために、現況と施設完成時のパターンを想定した。計算結果は100年確率規模の流量規模での結果である。

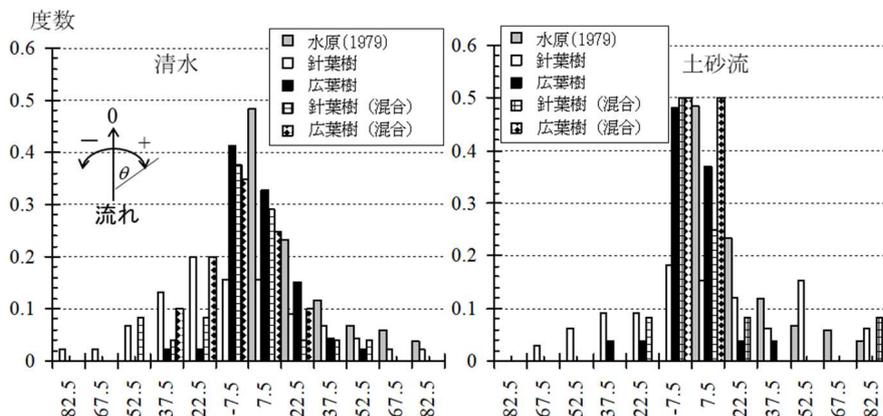


図-4 流木の偏走角の違いの一例 (左：清水流と流木，右：土砂流と流木)

(1) 流木のモデル化

河床に堆積する樹木は河床侵食により生産され、流下する流木は土砂の堆積と共に堆積し、水深に対しては、水深と流木直径の比が1.0を下回った場合に堆積させる扱い⁸⁾をする。また、解析モデルは、流木の生成・貯留過程を土砂の侵食堆積率で表現し、流木は流木濃度の移流拡散・貯留による式系で解く方法⁹⁾を改良したモデルである。なお、対象流域の植生は、針葉樹が多くの割合を占めており、浮く流木が主体となる。

(2) 流木の堆積と今後の取り組み

現況時の最終堆積深および最大流動深の空間分布を図-5、現況時の流木堆積量の空間分布を図-6に示す。図-6に示す流木堆積量0.01 mは、10 mメッシュで、直径30 cm、長さ15 mの流木1本の堆積を現す。

流木は、河道沿いや段丘面上、本川支川の合流点に多く堆積し、流木堆積は最大流動深が0 m程度で生じる。河道沿いや段丘面等の河道よりも標高が高い箇所では水深が小さくなり流木が堆積し易くなる。

最大堆積深および流木堆積量の空間分布をみると、現況および完成時ともに、土砂堆積と流木堆積は独立して発生し、両者の相互作用は殆ど見られない。浮く流木を主体としたため、流木は水面上で浮き、かつ、小さい水深の発生する領域で堆積する。そのため、河床堆積や施設の事業進捗が流木堆積に及ぼす影響が小さくなる。

水に浮く流木と水・土砂の相互作用や、2章で示したような拡散係数の導入によって、浮く流木と土砂堆積や施設に及ぼす影響を解決できるような取り組みを行う予定である。さらに、2章に示した拡散係数の違いも含めて、樹種の違いを明瞭に表すことができるモデルの実装により汎用性のあるツール化の整備に努めたい。

4. 樹種に着目した水理模型実験

3章で示したように、現状の流木解析モデルでは土砂と流木の相互作用が十分に反映されないままである。当社の流木解析法（特願2009-268579）の適用により樹種の違いによる解析は提案済みであるが、例えば、対象とする現地地形や現象が複雑な場合、解析だけでは再現できず水理模型実験が有用な手法となる。ここでは、その取り組み例を紹介する。

(1) 対象とした現地、水理条件および実験ケース

大規模な土砂移動後の川幅の広い急流を対象とし、流木を含む河床土砂の移動や河道に堆積した流木が流路変動や分岐に与える影響を実験的に検討するために、比較的、現地のデータが取得されているH28年8月北海道戸蔭別での土砂・流木災害を参考とした。実験ケース等は、表-1に示す。

表-1 実施ケース実験での水理条件等

項目	内容
実験ケース	<ul style="list-style-type: none"> ・流路変動実験：大規模出水を想定し、土砂と流木を与えた実験。 ・流路分岐実験：中規模出水を想定し、流路変動の実験後に給砂のみを与え堆積流木の影響を見る実験。
流量	<ul style="list-style-type: none"> ・流路変動実験：河床材料の最大粒径（400 mm）の移動限界流量の定常流量650 m³/s ・流路分岐実験：20年超過確率相当の定常流量500 m³/s
実験砂	<ul style="list-style-type: none"> ・現地河床材料を用いた設定：95%粒径、60%粒径は、285 mm、70 mm
流木模型（現地調査成果で設定）	<ul style="list-style-type: none"> ・流木量：頻度分布の最大値と50%の2種類の流木長（16.1 m、8.0 m）を1:1に設定。 ・直径：平均胸高直径（0.3 m）、樹種：針葉樹と広葉樹を1:9の割合で混合。
給砂・給木	<ul style="list-style-type: none"> ・土砂量：対象区間の平均勾配に対する平衡土砂輸送濃度（0.003）を通水時間に上流端から与えた。 ・流木：5,000本程度とし、出水時を想定し上流端と側岸から掃流力見合いで与えた。
模型縮尺	1/70

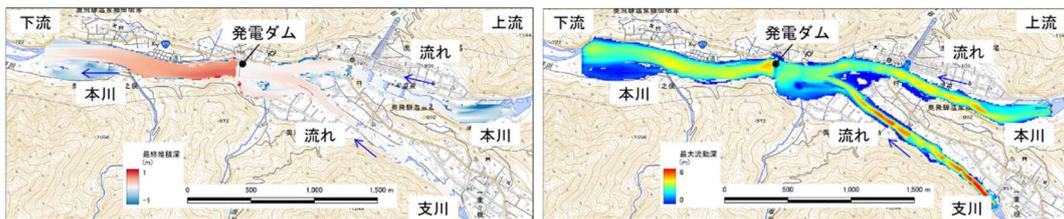


図-5 左：最終堆積深（土砂と流木の堆積深の合計値）の空間分布、右：最大流動深の空間分布（いずれも現況100年規模）

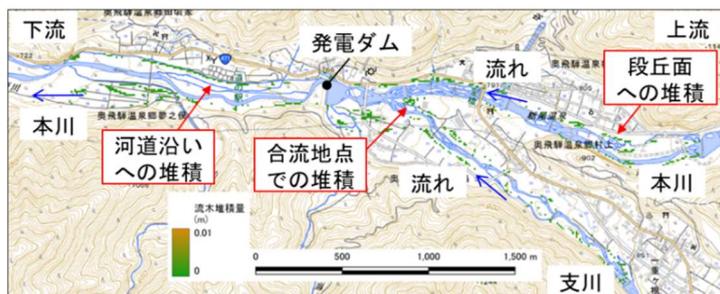


図-6 流木堆積量の空間分布（現況100年規模）

流木の樹種の違いは比重の違いで表し、針葉樹と広葉樹は、それぞれ、ポリエチレン（オレンジ色で着色）、アクリル（黄色で着色）の丸棒で再現した。

(2) 結果と考察

図-7は、流路の変動に関する実験での通水後の平面写真である。同図には、各箇所が生じた特徴的な現象も示し、現地調査での写真⁹⁾との比較検証も行った。地形の拡幅や弯曲部では、流速の小さい領域に水に沈む広葉樹が多く堆積し、水の流れを規定するような働きがある。一方、広い川幅の領域では、河道内に堆積した広葉樹により、流路の分岐を生じさせる働きがある。さらに、流路の分岐は、土砂と広葉樹の堆積により上流に移動し、流路分岐を空間的に固定させない挙動をする。これは、河道側岸からみると、水衝部が固定されにくいことを示し、今後の河道計画に新たな知見を与えている。

5. おわりに

流木を含む水と土砂の氾濫解析の現状と水理模型実験を用いた樹種の違いが及ぼす土砂・流木挙動の影響の一例を示した。氾濫解析の対象地は水に浮く針葉樹が多く、従前の解析で対象とされる流木である。一方、実験での対象現地の流木の多くは、水に沈む広葉樹であり、流木のうち広葉樹は河床変動に及ぼす影響が大きい。河道地形の影響や樹種の違いを簡易的に再現可能な模型実験により、出水後の流木の堆積等の影響が再現された。これにより山地から種々の流木が扇状地に流下する場合、比重の違いを考慮した流木を想定した河川管理が必要となる一例が示された。更に、解析と必要に応じた実験により、流域治水で最近特に顕在化している課題である、流木を考慮した氾濫、洗堀の把握に有効で、かつ、新たな流木対策手法を示した。今後、更なる検証を行いたい。

謝辞：本研究の一部は、北見工業大学（渡邊 教授）および愛知工業大学（赤堀 教授）の協力を得て進めている。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 渡部春樹, 川合康之, 梅本武史, 北本楽, 田方智, 湯澤樹, 伊藤隆郭: 横棧型シャッターと大暗渠堰堤の組み合わせによる遊砂地の土砂調節と流木捕捉, 令和3年度砂防学会研究発表会概要集, p.45-46, 2021.
- 2) 国土交通省, "流域治水の推進", 2023, <https://www.mlit.go.jp/river/kasen/suisin/index.html>, (参照 2023-7-11).
- 3) 国土交通省, "流域治水施策集", 2023, https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/kasen/gaiyou/pamf/sesaku/index.html, (参照 2023-7-11).
- 4) 小川和彦, 西村茂樹, 倉岡千郎, 伊藤隆郭: 流木の比重に着目した土砂流と流木の混物流れの実験的研究(その1), 平成21年度砂防学会研究発表会概要集, p. p-131, 2009.
- 5) 渡部春樹, 貝塚和彦, 伊藤隆郭, 西村茂樹: 樹種の異なる流木を伴う流れの拡散特性に関する実験的研究, 砂防学会, p.574-575, 2012.
- 6) Itoh, T., Ogawa, K., Nishimura, S. and Kuraoka, S.: Preliminary experimental studies on debris flow with woods focusing on difference of specific weight of tree species, International Journal of Erosion Control Engineering, Vol.3, No.1, p.9-19, 2010.
- 7) Watabe, H., Itoh, T., Kaitsuka, K. and Nishimura, S., Experimental Studies on Debris Flow with Logs Focusing on Specific Weight Difference of Log Species, Journal of Mountain Science, Vol.10, No.2, p.315-325, 2013.
- 8) 山崎祐介, 江頭進治: 豪雨に伴う土砂・流木の生産と流下過程に関する研究, 河川技術論文集, 第24巻, p.71-76, 2018.
- 9) 工藤拓也, 永野統宏, 松岡暁, 早川智也, 上條孝徳, 松山洋平, 小山内信智, 笠井美青: 平成28年8月豪雨による北海道戸蔭別川流域の流木実態と流木量の推定, 砂防学会誌, Vol. 73, No. 6, p.3-11, 2021.



図-7 流路の変動・分岐実験と現地踏査⁹⁾の比較