

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：33903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820231

研究課題名(和文) 河道形状に基づく流木集積危険度の空間的評価

研究課題名(英文) Risk assessment of woody-debris accumulation based on spatial characteristics of channel shape

研究代表者

赤堀 良介 (AKAHORI, Ryosuke)

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50452503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、流れに対する流木の挙動に着目し、河道に応じた流木流下傾向を把握する手法の構築を目指した。水路実験と個別粒子的手法による解析から、流木は慣性により渦の強い領域からはじき出され一部に集中化すること、また流木長が長いほど流木への流れの影響が平均化され、前述の効果が緩和される事が確認された。さらに実河川を対象に既存の流木観測結果の再検討と解析を行い、実現象でも流況と流木長の変化に応じて流木挙動が異なることが示された。以上より、流れの空間構造と流木の挙動に関して、流木の慣性と、流木長などスケールの影響が重要であることが示された。また上記計算手法が流木挙動の再現に有効であることが示された。

研究成果の概要(英文)：In this study, mechanisms of woody debris transport by flows that are influenced by spatial structures of flows and channel geometries were investigated in order to develop a numerical technique which can be applied to the risk assessment of the debris accumulation in river channels. The study was performed by flume experiments and image analyses, numerical calculations using particle based woody debris models, and field observations on an existing river. The results of the flume experiments show that the woody debris concentrated to the regions where the vorticity was relatively low, and this tendency of concentration was more mitigated when the debris length is longer. The calculation results imply that the mitigation of the debris concentration was caused by the filter effect yield by their spatial dimensions. The results of the field observation show that locations of highly concentrated areas of woody debris vary widely in response to the discharge and the debris size.

研究分野：水工学

キーワード：流木 流れの構造 画像解析 数値解析 現地観測

1. 研究開始当初の背景

河道内の流木集積は、堰上げによる氾濫や構造物の破壊といった重大な被害を及ぼすことが知られている。2003年の北海道沙流川水系の出水では、流木の堆積による橋桁の流失、流路閉塞による氾濫等の被害が生じた。近年、樹林化の急速な進行が問題となっているが、これは流木の生産源の一つである河畔林面積の急拡大を意味し、流木災害への対応は緊急の課題であると言える。

流木対策にあたっては、その発生・輸送・集積に関する機構の解明が必要である。発生に関しては、斜面崩壊による流木発生量の評価や、流木の形状的特性から見た再移動条件の検討が進展しており、集積に関しては、河道内堆積状況の検討や、Lagrange 的視点に基づく流木の集積過程を対象とした数値的検討などを中心に研究が進展してきた。特に局所的な集積の検討に関しては、流木長と径間長の比や、流木径と水深の比を通しての理解が進展しており、流木の発生/流下状況が条件として設定可能であれば、集積や堰上げ、流体力等の再現計算が可能な段階に達していると言える。一方で、その前提条件たる流木輸送機構そのものの解明に関しては検討例が少なく、単純な流れ場における拡散の検討などの先駆的な例は存在するものの、その知見を工学的に応用可能な段階には至っていない。これは、観測や実験における技術上の困難さから、これまで現実的な流れ場と流木流下状況の関連が空間的、定量的に捉えられていないことに由来する。

集積に関する研究の進展の一方、橋脚や取水口の移設や改修は困難であり、集積箇所での工学的対策は容易ではない。このため河川管理の立場からの流木対策（特に山地渓流域を除く中下流域において）は、河道改修や河畔林伐開等を手段として、いかに流木の大量発生と集積を抑制し無害な状況で河岸に補足し得るか、すなわち流木災害に対しいかに適切な流れ場を生み出す河道を管理し得るか、という点に集約できる。このような要求に対し、既往研究の進展状況は、発生源と集積箇所という端点に対する興味を集中を反映しており、両者を結ぶ線である流れ場と流木挙動の関連性に対する理解を欠く状況であった。

この問題に対し、代表者は流れ構造と流木挙動の関連の検討を行ってきた。PTV 等の画像解析を用いた面的計測を複断面蛇行流路上の実験に適用し、流れ場と流木模型の双方に関してベクトルを計測したところ、流木がせん断による渦度の高い領域を避けて流路中央に集中していく様子が観察された。これは流れの構造の空間的/時間的な急変に対して、慣性力を有する流木の追従性が十分でないことに由来すると考えられた。この結果に対し、連結した球状要素で流木を数値モデル化し慣性力を含んだ挙動を解析したところ、流木の挙動は慣性力のみでなく、流木長に応

じた拡散状況の変化に強く影響を受けることが示唆された。拡散状況が「流れの空間構造と流木長の相対的スケール比」に基づくと仮定し、それを定量化できた場合、流下時の流木挙動を代表的粒子の運動に対し拡散を与えるモデルで記述することが可能である。これにより流れ場に依じた流木の集積状況を、実用的スケール（たとえばセグメントからリーチスケール）で評価可能ではないかと考えられた。

2. 研究の目的

本研究では、流れの構造に応じた流木の挙動に着目し、その物理的機構を解明することで、河道形状に応じた流木集積傾向を空間的に把握する手法を構築することを目的とした。これによりセグメントからリーチスケールでの流木集積危険度の評価が可能となり、河道管理における流木対策の高精度化が期待された。ここでは上記の目的のための具体的な目標を以下の2点に絞った。

(1) 流れの構造と流木の形状的特性に応じた拡散機構の解明：実験/計算/観測により流れの空間構造と流木流下時の状況を比較、検討する。これにより流れの空間構造と流木長の相対的スケール比が流木の拡散機構に与える影響を解明し、その定量化を行う。また wavelet 解析を用いた実河川流れ構造の解析手法を確立し上記知見の実河川での有効性を評価する。

(2) 河道形状に応じた流木集積危険度の定量的評価手法の確立：流木の移動と拡散に関する数値モデルを構築する。統計的に処理された計算結果と既往の2次元流モデルおよび局所的集積に関する知見と融合することで、河道形状に応じた流木集積危険度に関する定量的評価手法の確立を試みる。

3. 研究の方法

本研究では、対象を以下の4項目の要素に還元し、順次実施した。

(1) 流れの構造と流木のスケール比に対する流下特性の検討：代表者による既往研究から、流木の集中化に対しては流木長などの形状的特性が影響を与えることが示唆されていた。この検証を目的として、水路実験（図-1）と数値実験の両面から検討を行った。

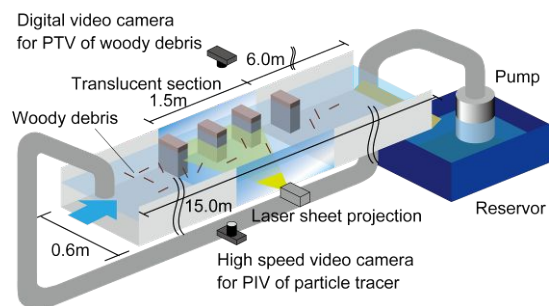


図-1 本研究での水路実験の概念図

先行する研究の結果から、不透水制群を有する流れ場に対しては非定常構造が詳細に検討されており、剥離渦とリブで構成された空間構造の推測が容易である。このような水制群を有する流路を土木研究所寒地土木研究所が有する実験水路に構築し、流木モデルのスケールを変化させながら、流下時の集中度合いを検討した。実験では画像解析（主として PTV）を応用した流木密度の空間的分布を指標とした検討を行った。同時に、連結球状要素に対する運動方程式を基礎とした既往の流木輸送数値モデルにより数値実験を行い、流木の挙動に対する各要因の寄与について、詳細に検討を行った。この際、流木モデルに適用するための流れの情報を得るにあたり、平面 2 次元流れの数値解析結果のみでなく、水路実験で PIV により時空間的に得られた実測の結果を用いることで、より実現象に近い流木挙動の解析を行うことを試みた。

(2) 流木モデルの修正：当初は流れ場と流木のスケール比に応じた拡散係数の導出から、流木輸送モデルを random-walk 型モデルへと展開することを想定していた。しかしながら、「4. 研究成果」に後述するように流木長が長いことにより生じる流下特性の変化に関しては、「拡散」よりも空間フィルタ効果による「集中化の緩和」として捕らえたほうが現象に近いことが判明したため、上記のモデルの変更は実施せず、流れ場の空間解像度に対する依存度の検討に労力を割いた。

(3) 水理実験および現地河川を対象とした流れ場の空間構造の抽出：流木流下機構の検討に際しては流れの空間構造の把握が重要であるが、代表者の数値解析による既往研究より、流速成分の 1 次元空間分布に wavelet 解析を適用すると特徴的な流れ場の瞬間構造を抽出可能であることが確認されていた。本研究では単一水制を有する水路を別途構築し、画像解析で得られた流れ場に対して同手法を適用することで、実測値に対する有効性を確認した。また、当初は現地河川においても H-ADCP など得られた時空間の流れのデータに wavelet 解析を適用することを想定していたが、同種の観測の実施が研究体制上困難であったため、現地河川における面的な流れの計測手法の検討に主眼を置いた。ここでは国土交通省により実施された札内川での試験出水を対象とし、東京工業大学理工学研究科の稲垣厚至助教の協力のもと、サーモカメラを用いて表面流協を撮影し、熱画像流速測定法（Thermal Image Velocimetry、TIV）を実施した。

(4) 実河川を対象とした流れ場と流木輸送機構に対する解析手法の確立：
 既往研究における実河川での流木流下モニタリング画像を検討した上で、周辺での流れ場を上記手法で数値解析することで、実河川における流木輸送メカニズムを検討し、(1)～(2)の知見の現地での有効性を確認した。対象河川は、流木流下画像の蓄積があり、か

つ周辺砂州による狭窄が大規模な流れ構造を有している沙流川水系額平川のアップストエナイ橋周辺とした。対象地域周辺の高解像度 LP データが存在し、流木観測当時の横断測量結果も存在することから、詳細な流れ場の数値解析が可能であり、流木モデルの数値解析結果の適用が可能であった。

4. 研究成果

(1) 流れの構造と流木のスケール比に対する流下特性の検討：実験では乱流の大規模構造を周期的に供給するために、水制群を設置した開水路を用いた。同質量で長さの異なる流木モデルを流下させ、流木に対しては PTV を、流れに対しては PIV を適用し、解析を行った。また PIV により得られた流速ベクトルに対して、個別の球状要素を剛体として連結した流木モデルを適用し、個々の流木の挙動を検討し、流下時の流木本数濃度の分布として示した（図-2、図-3）。実験、数値計算ともに、同じ質量でも流木の長さが長くなるにつれて、preferential motion（慣性を有する粒子が渦にはじかれ渦度の高い領域を避けるように移動）に由来すると考えられる集中化が緩和され、拡散が進行していく状況が確認された。この理由の検討のため、流れ場の解析結果の横断方向流速成分の変動と、流木の数値モデルの横断方向速度変動との、両者に対して FFT によるスペクトル解析を行った。

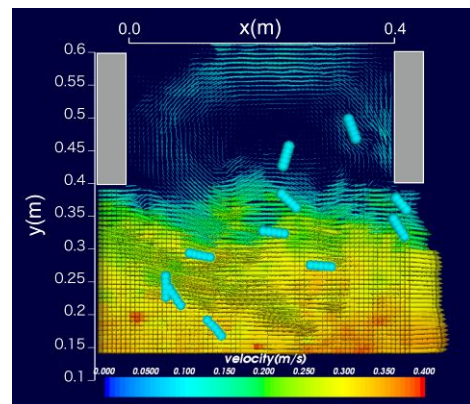


図-2 PIV による流れ場の実測値に流木モデルを適用し流下状況を計算した例

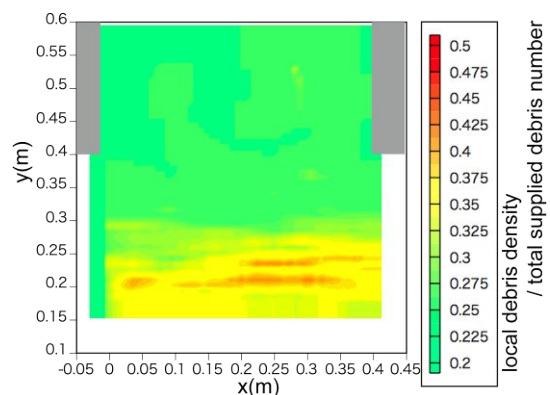


図-3 上記により得られた流木挙動を流下本数密度の空間分布として示した例

この結果、短い流木モデルの移動に関しては流れの持つ周波数特性と同様な傾向を有していたのに対し、長い流木モデルの結果では、特定の周波数域で大きなスペクトルの減衰が見られ、流れとのスペクトルの乖離が著しことが分かった。これにより、流木長が長くなると、流れの有する高周波の変動成分からの影響がキャンセルされる機構が生じていると考えられた。すなわち流木の長さという要因が、流木自身が周辺の流れ場からの影響を受ける際に、何らかのローパスフィルタ的な作用を与えている事が推測された。

(2) 流木モデルの修正：上記の(1)に示されたように、流木長が長くなると、周辺の流れ場からの影響に対して空間フィルタ的な働きが強くなることが推測された。この確認のため、単一の粒子で代表させた流木の移動を運動方程式により計算させる際に、実際の流れ場の空間解像度よりも大きいサイズ（流木長に順ずる）で流れの情報をフィルタ処理したものを、粒子輸送の計算に利用した。結果から、空間解像度が高い状態での流れ場に連結粒子の流木モデルを適用した場合と、流木長と同じサイズの空間フィルタをかけることで解像度を低くした流れ場に単一粒子のモデルを適用した場合とで、非常に近い流木密度の分布の傾向が見られた。このことから、流木モデルの適用に際しては流れの計算の空間解像度が大きく影響するが、流木長以下の格子解像度による流れ場の情報に関しては、流木自身による空間フィルタの影響が大きく、適切な空間解像度の設定が重要であることが示された。

(3) 水理実験および現地河川を対象とした流れ場の空間構造の抽出：単一水制を有する実験水路での流況を PIV により解析し、その結果に対して wavelet 解析を適用する事で、これまで数値解析的に推測された流れの構造そのものを実験的に再検討した。結果として、水制周辺では横断方向流速成分の変動と鉛直方向流速成分の変動のどちらもが時間を経るにつれ下流側に移流していく事が示され、これらをもたらし特徴的構造の存在が実測からも確認された。また、流れ場の空間的構造に対して面的計測を用いた検討を 2014 年 6 月に実施された札内川の試験出水を対象として行った。サーモカメラにより水面流況を撮影し、前述の TIV を適用した（図-4）。

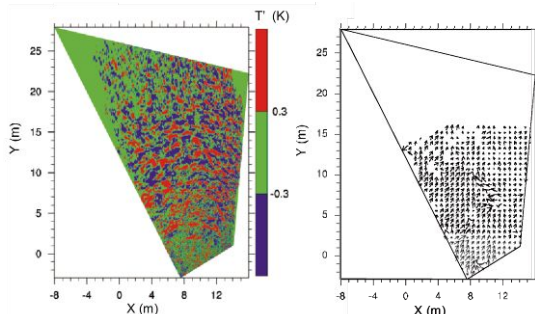


図-4 TIV による札内川表面流況解析（サーモカメラ赤外画像から表面ベクトルを算出）

精度に関する検討が必要ではあるものの、表面流況に対して空間的なベクトル分布を得ることに成功した。

(4) 実河川を対象とした流れ場と流木輸送機構に対する解析手法の確立：実河川での既存の流木観測データの再検討を行い、流れおよび流木の数値解析の結果と比較検討を行った。対象地域は、2010 年観測の流木計測データが入手可能である沙流川水系額平川アブシトエナイ橋周辺とした（図-5）。観測の再検討からは、流量と流木のサイズの変化に応じて、流木が集中する領域が異なることが示された。流況解析と前述の流木モデルによる数値解析結果からは、流木が過度の高い領域を避ける傾向にあることが改めて確認された。

研究期間を通して、流れの空間構造と流木の挙動に関して、流木の慣性と、流木長に代表されるスケールの影響が重要であることが示された。また本研究により提案された数値解析手法が実際の河川での流木集積挙動を検討する際に有効であることが確認された。

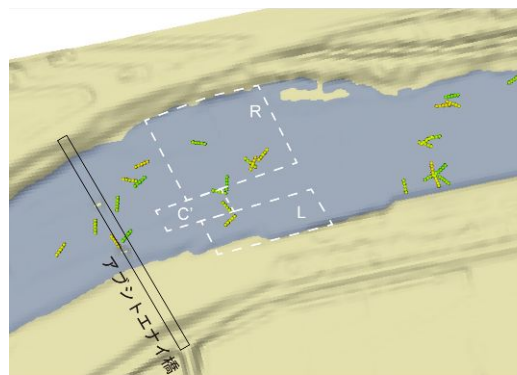


図-5 額平川アブシトエナイ橋周辺を対象とした流木モデルによる流下計算の例

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

赤堀良介、川村里実、土田宏一、白井博彰、実河川における流木観測データを用いた流れの空間構造と流木流下機構の検討、河川技術論文集、査読有、第 21 巻、2015、印刷中
赤堀良介、初田直彦、清水康行、伊藤 丹、水理構造物周辺の流れの構造に対する流木の応答、土木学会論文集 B1（水工学）、査読有、Vol.70、No.4、2014、691-696

〔学会発表〕（計 3 件）

赤堀良介、森山湧也、一色隆平、川村里実、実河川における流木観測データの空間的特性から見た流下機構の検討、平成 26 年度土木学会中部支部研究発表会、2015 年 3 月 6 日、豊橋技術科学大学（愛知県、豊橋市）

赤堀良介、水制周辺における3次元的な流れの構造に対する面的計測およびwavelet解析による検討、公益法人土木学会第69回年次学術講演会、2014年9月10日、大阪大学豊中キャンパス（大阪府、豊中市）

赤堀良介、初田直彦、清水康行、伊藤 丹、水理構造物周辺の流れの構造に対する流木の応答、第58回水工学講演会、2014年3月5日、神戸大学工学研究科キャンパス（兵庫県、神戸市）

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤堀 良介 (AKAHORI Ryosuke)
愛知工業大学・工学部・准教授
研究者番号：50452503

(2) 研究分担者

()

研究者番号：