

複断面蛇行流路における流木の挙動に対する面的計測

独立行政法人 寒地土木研究所 正会員 赤堀良介
北見工業大学教授 社会環境工学科 正会員 渡邊康玄

1. はじめに

河道内を流下する流木は、橋脚や取水施設等へ集積し、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。これら問題の対策に関し、これまで河道内における堆積状況に関する検討や¹⁾、Lagrange 的視点に基づく個々の流木の輸送過程を対象としたアプローチなど²⁾を中心に研究が進められてきた。一方で、リーチスケールの流れ場の構造に対する流木の挙動など両者の中間的なスケールの現象に主眼を置いた研究例は少なく、これまでのところ現象が十分に解明されたとは言い難い。本研究では、特に流下中の流木が集中化する機構の解明を目的として、実河川を模擬した蛇行水路において流木流下実験を行った。実験では、水面の追跡粒子と流木模型の双方に二値化相関解析による Particle Tracking Velocimetry (PTV) を適用することで、流れ場と流木輸送の面的な構造を明らかとし、両者の関連について検討を行った。

2. 実験概要

実験水路は可傾斜台上に設置された、長さ 30m、幅 1m の直線水路である。河床に粒径 0.76mm の砂を敷き詰めて蛇行した低水路を事前に形成した後、低水路満杯流量での予備通水（単列砂州の形成を目的とし既往実験の値を参照、直線部勾配 1/150 に設定）によって河床に砂州を形成させた。この河床表面をセメントにより硬化させ固定床とし、本実験を行った。低水路からの初期河岸高は 15mm、低水路幅は 0.35m とし、線形に関しては波長 6m、振幅 0.5m の sin-curve としている。またいくつかのケースにおいて高水敷の低水路前縁に直径 1mm の模擬植生を 24mm 間隔で千鳥状に設置した。植生帯の横断方向幅は 0.16m 程度である。この際、前縁全体にわたり植生を設置するケース、上流側のみ設置するケース、下流側のみ設置するケースと分布を変えている。計測範囲は下流端から 12.7m - 15.7m の半波長の範囲とし、レーザー砂面計による河床高と水面高の測定、および後述する流況撮影を行った。なお撮影範囲は計測範囲の上下流に 0.5m ほど余裕を持たせている。図-1 に予備通水後の測定範囲に置ける河床形状を示す。

流況および流木流下状況の解析には、画像解析手法の一種である PTV を用いた。解析画像には、水路上空から鉛直に見下ろす形でデジタル一眼レフカメラにより撮影された動画（30fps）を用いた。水面流況を代表させる追跡粒子としては直径 3mm の発泡スチロール球を用い、流木の模型としては直径 1mm の木材を 40mm

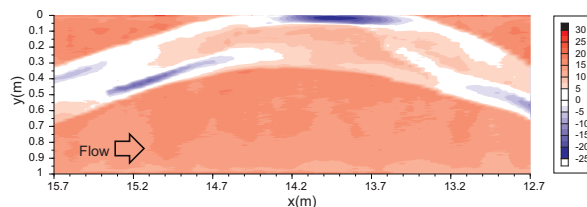


図-1 予備通水後の測定範囲内における河床形状、初期低水路床高さを 0mm とする

表-1 実験ケース

Case No.	Vegetation	Discharge (l/s)
1-1	Non	2.50
1-2	Non	1.88
1-3	Non	1.33
2-1	Full	2.50
2-2	Full	1.88
3-1	Upper-half	2.50
4-1	Lower-half	2.50

の長さで切り揃えた物を用いた。粒子と流木模型は観測区間の直上流からランダムに散布した。当初は流況トレーサーと流木模型の同時解析を試みたが、RGB 情報に基づく両者の分離が困難であったため、粒子と流木模型の撮影は個々に行った。また、計測範囲内における流木の捕捉数を、ケースごとに算定した。

実験は、様々な水理条件下に置ける挙動の把握を目的とし、流量、水位、勾配、模擬植生の配置を変更しつつ、計 16 ケースを行った。ここでは Froude 数の大きいケース (Fr : 約 0.8, 直線水路全体の傾き: 1/230) の水理量等の設定を表-1 に示す。流量が最小のときに低水路満杯となり、最大の時に高水敷上に 10mm 程度越流する。

3. 解析の概要

撮影した動画を 1 フレームごとに BMP ファイルとして取り出し、PTV 解析を行った。解析には市販のアプリケーション (Ditect 社製, Dipp-Flow) を用いており、各時刻ごと粒子のピクセル位置と前時刻からのピクセル移動量を CSV 形式のファイルで書き出した。この CSV ファイル群に対して自作の Fortran プログラムによる後処理を行い、デカルト座標系上の情報に展開し、検討の材料とした。解析では、アンサンブル平均による流れ場の流速およびレイノルズ応力の分布や、平均流上の渦度の分布、流木の流下時の濃度分布（単位面積あたりの流木本数）を算出した。

Key Words: 流木, 蛇行, 複断面, 水理実験, PTV

〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 TEL011-841-1639

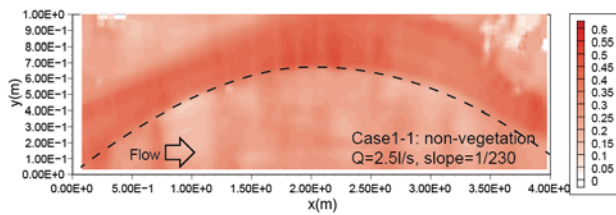


図-2 Case1-1 の流速の合成成分の強さ (m/s), 破線は低水路右岸側の前縁

表-2 流木捕捉状況 (1000 本投入)

Catchment reg.			
Case	Vegetated	Non-vege.	Outflow
1-1	-	70	930
2-1	20	18	962
3-1	19	40	932
4-1	63	68	869

4. 実験結果

以下, 実験ケース中の Case1-1, 1-3, 2-1, 3-1, 4-1 を代表して取り上げる。図-2 は Case1-1 における流速の合成成分の絶対値をコンター図としたもの, 図-3 は Case1-1, 2-1, 4-1 における流木が通過する際の濃度 (単位面積あたりの流木本数の移動平均) に関し, 各時刻ごとデータが存在する領域のみ積算し, アンサンブル平均としたもの) を示したものである。実験時の流下状況を目視する限りでは, 流木は流速が最大となる領域をトレースするように集中しているよう見受けられたが, 図-2 と図-3 の比較では, 厳密には両者は一致しないことが分かる。ここで, 平均流速の分布から得られた渦度の分布を図-4 に示す。この図-3 と図-4 の比較から, 流木の濃度が高い領域は, 渦度の大きい領域と排他的に存在しており, 流木はせん断の強い領域を避けるように流路内で集中化していることが推測される。実際に, 上流側の植生のために高水敷で一層の流速低下が生じ, 主流域と強いせん断が生じている Case2-1 では, 前縁上流部の植生による水捌けの影響を受けない領域でも流木が低水路内に集中することで高水敷上にほとんど流下しておらず, 流木の捕捉を目的とした植生の存在が, 却って流木を捕捉域から遠ざける要因となっているように見受けられる。表-2 に示す流木の捕捉数で比較した場合も, 植生が存在せず高水敷の地形的要因のみに捕捉効果を依存している Case1-1 の捕捉数に対し, 植生を有する Case2-1 での捕捉数が同程度か寧ろ悪化していることが分かる。唯一, 植生を高水敷の下流側にのみ設置した Case4-1 では, 上流側での流木の低水路内への集中化を免れており, 捕捉域としての高水敷への流木の導入がスムーズに行われている。捕捉数で比較した場合も, Case4-1 が最大の効果を示している。

5. まとめ

本研究では, 蛇行した実験水路上における流木流下実験を行い, PTV による面的解析を行うことで, 流れ

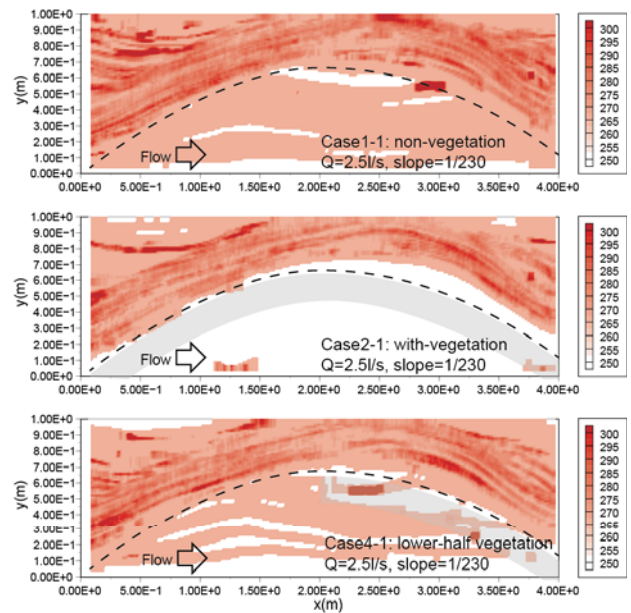


図-3 流木流下時の単位面積あたりの本数 (本/m²), グレーの部分は模擬植生を示す

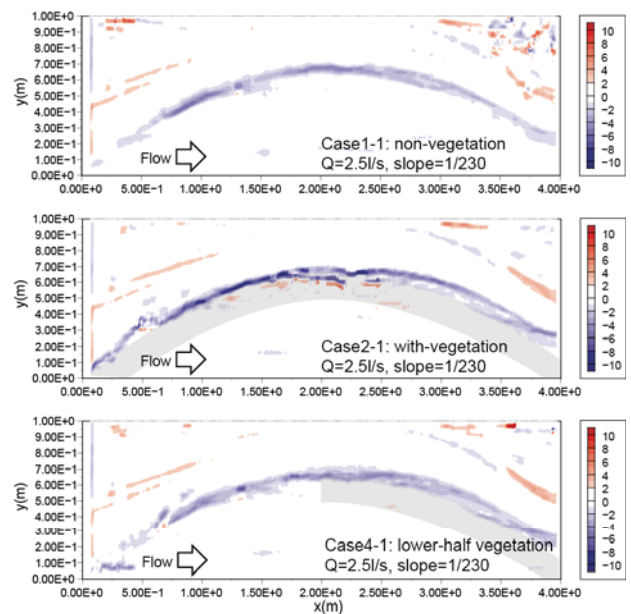


図-4 平均流速分布から算定した渦度 (1/m)

場の空間的構造と流下流木の集中化との関連を検討した。結果から, 流木は流路内に置いてせん断の強い領域を避けるように集中化し, 高水敷上の植生による流速低下がその集中化を助長させる状況も存在し得ることが確認された。

参考文献

- 福岡捷二・新井田 浩: 流木類の流下・堆積とそれらの河道設計への利用, 土木学会論文集, No. 479/II-25, pp.51-60, 1993.
- 中川 一・井上和也・池口正晃: 流木群の流動に関する研究 (3) -流木の回転運動を考慮した解析-, 京都大学防災研究所年報, 第 37 号 B-2, pp.459-473, 1994.