

新潟大学災害・復興科学研究所  
共同研究報告書

## 北陸の急流河川における流木及び土砂災害の減災に資する基盤技術の構築

研究代表者 竜田 尚希<sup>1)</sup>  
研究分担者 木村 一郎<sup>1)</sup> 酒井 英男<sup>1)</sup> 安田 浩保<sup>2)</sup>

1) 所属 富山大学 2) 所属 新潟大学 災害・復興科学研究所

### 研究要旨

北陸地方の河川は急峻な地形と湿潤な気候を背景に、水・土砂・流木の三者が複雑に関わる複合災害に悩まされ続けてきた。水単独の災害に比べて、水・土砂災害、さらにこれに流木の加わった災害は、一般に時間変化が急激で、人命に関わる確率が極めて高く、喫緊な課題といえる。このような災害の減災計画立案に資する基盤技術を最新の数値解析技術と実験計測技術を駆使して構築し、構築した手法についてケーススタディを通してその妥当性を検証する。

### A. 研究目的

北陸地方の河川は急峻な地形、湿潤な気候と豊富な流量、活発な土砂輸送等に特性付けられる。このような河川の水・土砂・流木からなる複合災害に対し、予測および減災対策の立案に資する基盤技術を改良し、実用に資するツールへの高度化を図る。水単独の災害に比べて水と土砂、さらに流木の加わった災害は、一般に時間変化が急激で、人命に関わる確率が高く、その解決は喫緊な課題である。こうした災害の減災計画立案に資する基盤技術を最新の数値解析技術と実験計測技術を用いて構築することを目的とする。

本研究は、水路実験装置を用いる実験とシミュレーションおよび河川の現地での探査からなる。ここでは、実験を中心に報告する。

課題は、土砂輸送・河川地形変遷モデルの急流河川への適用性の検証である。

### B. 研究方法

既往の平面二次元型土砂輸送、河床地形変遷シミュレーションモデルを、急流河川を模擬した水理模型実験に適用し、洗掘などの河床変動動態の再現性を実験結果と比較する。実験結果は、三次元スキャナで計測した。これにより、実験前後の河床変動の精度良い差分の導出も容易に行える。

富山大学水理実験室に設置された、可傾斜アクリル製循環型開水路実験装置(幅 15cm, 長さ 4m)

で行った。水路中に幅 2cm, 長さ 3cm のスチロール製角柱を設置し、橋脚モデルとし、河床には比重 1.3 のカラー粒子を 2cm 厚で敷設した。同粒子の使用は、現象の視認性向上と共に、比重を下げることによって、小規模装置による実河川現象の模擬が容易となるためである。

実験での流量は 7.0ℓ/min の一定とし、水深は角柱直上流側で 8.4mm とした。実験では現象がほぼ平衡状態に達する 3min 間の通水を行ったのち、河床に影響を及ぼさないように時間を十分かけて流量を絞り、カラー粒子中の水分が十分に流出した時点で実験完了とした。

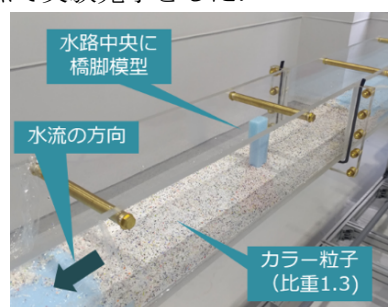


図1. 実験装置の角柱周辺の様子

### C. 研究結果

図2は、実験後の河床の様子撮影写真である。右側は角柱付近の拡大写真で、線で囲まれた範囲が主な河床低下領域（洗掘域）である。洗掘域は角柱の直上流から下流に向けて、釣鐘状形状で生じている。これは、この洗掘が馬蹄渦により形成

されたものであることを示唆している。

洗掘の様子により定量的な考察のため、実験前後で3D スキャナを用いて河床高の計測を行い、さらにその差分を求めて河床変動量の平面的分布を導出した。図3に、描かれた河床変動量の差分の分布を示す。青色部が洗掘の卓越部で、図2(写真)の位置とほぼ一致し、馬蹄形の洗掘領域となった。一方、角柱下流側では赤色の堆積域が広がったが、馬蹄渦で洗掘された土砂が、角柱から少し離れた下流側で堆積するためと考えられる。

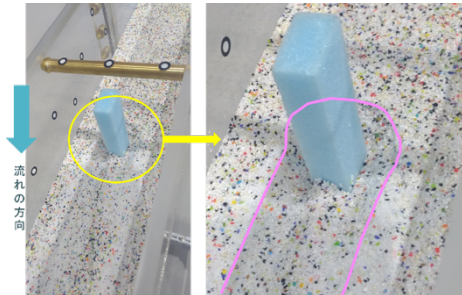


図2. 実験後の河床の様子 (t=3min)

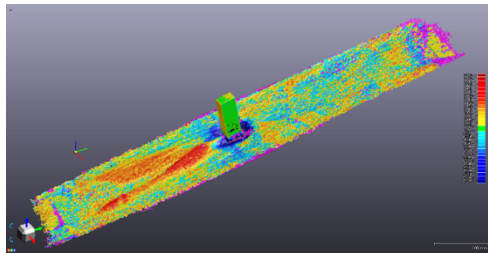


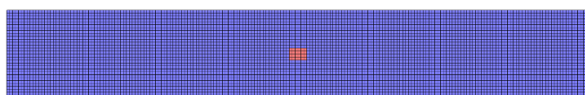
図3. 3D スキャナによる実験前後の河床変動の差分値の分布

### <数値シミュレーションモデル>

#### (1) 平面二次元モデルの適用

実験で示された河床変動を、数値解析による再現を目指し、まず河川の実用計算で多用される平面二次元モデルによる再現計算を試みた。

図4は、平面二次元モデルの解析に用いた計算格子の様子である。格子サイズは5mm×5mmの正方形とし、格子セル数は6000セル(200×30)とした。



計算格子(5mm×5mm格子セル) 格子数200×30=6000セル

図4. 計算格子の様子 (平面二次元モデル)

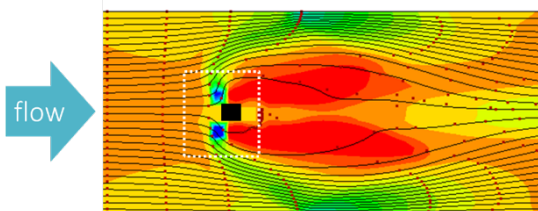


図5. 平面二次元モデルによる計算結果 (コンターは河床変動量、実線は流線を表す.)

平面二次元モデルは、河川解析国際共通プラットフォーム iRIC 上の Nays2DH とした。このモデルでは、移流項の計算に CIP 法が、乱流モデルには標準型  $k-\epsilon$  モデルが採用されている。

計算結果(図5)では、角柱周辺の局所洗掘は再現されているが、角柱直上流の洗掘は再現されておらず(図の破線左側)、実験結果と異なる結果となった。理由として、平面二次元モデルでは馬蹄渦が再現されず、角柱上流端から下方に潜り込む流れが砂粒を上流側に掻き出す現象を再現できなかったことが考えられる。

#### (2) 三次元モデルによる計算

平面二次元モデルの結果から、角柱周辺の局所洗掘は、馬蹄渦の影響が大きいとわかった。そこで、馬蹄渦を再現できる三次元数値解析モデルで実験の再現を試みた。三次元モデルは iRIC 上の NaysCUBE であり、乱流モデルとして非線形  $k-\epsilon$  モデルが、移流項の離散化には三次精度の TVD-Musc1 法が採用されている。

図6は三次元計算での河床変動の様子を鳥観図で見ている。角柱の直上流側でも洗掘が再現され、実験結果と類似の形状の洗掘孔が生じており、二次元計算と大きく異なる結果となった。図7には、水路中心軸上の鉛直断面での計算結果を示す(コンターは横断方向の渦度、矢印は流速ベクトル)。角柱の上流側の洗掘孔上部に時計回りの渦構造があり、これが馬蹄渦に相当する。場英渦構

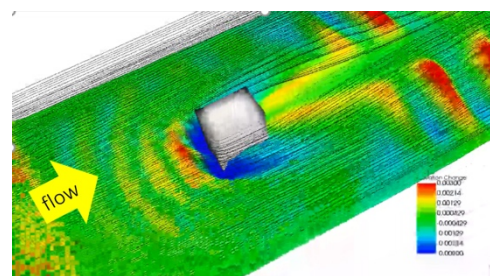


図6 三次元モデルによる河床変動の再現

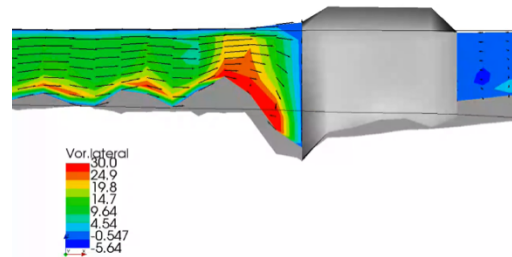


図7. 水路中心軸上の流れ場(流速ベクトル)、渦度、河床変動の様子(流れは左から右)

造と洗堀孔の形状から、渦によりカラー粒子が吐き出される効果が再現され、実験と類似のメカニズムで洗堀孔が形成されたと考えられる。

#### D. 考察

実験結果では、馬蹄渦による河床の局所洗堀が示された。比重の小さいカラー粒子を用いることで、比較的小規模な水路でも明瞭な洗堀形状が出現するとわかった。また3D スキャナは、実験室スケールの河床変動を定量的に計測する上で極めて有用なツールとなることも示された。

数値解析モデルについて、橋脚周辺の形状を精度よく再現するには、三次元モデルを用いる必要があることが示された。河川解析でモデルの選択が議論となる場合が多いが、今回の結果はそれに対する一つの指針を与える結果と考えられる。

#### <磁化探査による河川堆積物の調査>

我々は、河川において、洪水等により運ばれた土砂の分布・量の研究の為に、電磁気調査の有用性を検討している。電気、レーザ等の探査は水の影響を受けるので、河川流域での異なる時期の探査結果の比較や、流域を通じた探査は容易でない。

一方、磁気物性は水の影響を受けない。そこで、磁気(磁場)探査の利用を考え、今回は黒部川において実施した。特に、現地の磁場が、礫の磁化が作る磁場に影響を受けるかどうか、そして河原の礫の量を反映する可能性を研究した。

磁場測定にはセム磁気計を使用し、図8に示す上流・中流・下流の各流域に調査箇所を設定した。

図9に、黒部川の上流域での探査結果を示す。探査は、河原で川に直交する測線で行い、川からの距離を横軸にとり、各測定点での磁場強度を縦



図8 磁気探査を行った黒部川流域の上流・中流・下流の場所

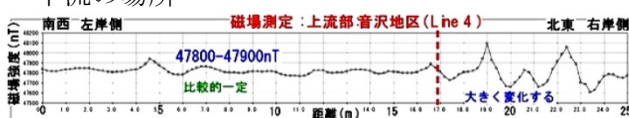


図9. 上流域での磁気探査(磁場測定)の結果

軸に示している。

距離 18m 付近までの磁場は、47800-47900nT のほぼ同じ値であった。現在の黒部市での地磁気は約 48070nT の強度である(国土地理院)。その値との差は、礫の磁化が作る磁場の影響を示していると考えられる。そこで、各流域の結果を比較すると、上流域<中流域<下流域の順に、磁場は強くなっていった。これは、上流ほど礫が多く、地磁気を「シールド」する効果が高くなっているためと考えられ、磁場測定値の差は、地中の礫量の違いを示している可能性が高い。

また図9の磁場強度は、川から 18m 付近を境に、大きく変化する様相を示した。中流域の結果でも、川からの距離 25m 地点より離れると、変動を示した。これは、河原に残る過去の氾濫域と関係があるのではと考えている。

洪水等で一旦削られた河床は、その後に運ばれる土砂で埋まるため、表層調査ではわからないので、河床・河原での地中の調査が必要になる。磁場探査は、礫・土壌の磁気物性の研究と共に、河川領域では殆ど行われていないが、新たな有効な調査法になる可能性がある。

#### E. 結論

急流河川における橋脚周辺の局所洗堀現象を実験室で再現し、計測方法を構築した。

平面二次元モデルの数値解析では橋脚周辺の洗堀現象を大局的には再現できたが、橋脚直上流の掘れを再現できなかった。これは馬蹄渦を再現できないことが原因と考えられた。三次元モデルの数値解析では、馬蹄渦が再現されるとともに、橋脚直上流の洗堀も再現された。

黒部川における磁場探査から、磁場探査による河床堆積物調査の可能性を示すことができた。

#### F. 研究発表

##### 1. 論文発表

1.I. Kimura: Computations on driftwood jamming around obstacles with a 3D-3D model, River Flow 2020 – Uijtewaal et al (eds) © 2020 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-367-62773-7, pp.1-7, 2020.7.

2.酒井, 境, 竜田, 丹保, 杉本: 立山カルデラ内で掘削されたボーリングコアの磁化研究による深層崩壊堆積物の検討, 富山県立山カルデラ研究紀要第 16 号, pp.13-19. 2020.