

水難事故発生個所における簡易な河床形状計測およびトレーサー解析

愛知工業大学 正会員 ○赤堀 良介

1. はじめに

水辺利用に伴う水難事故の発生件数は、河川・湖沼地については近年横ばいの傾向にあり¹⁾、その対策や対応について引き続き改善が求められる状況にある。河川における水難事故については発生がレクリエーション等に利用されやすい特定箇所集中する傾向があり、これら水難事故発生箇所における流れの特性を把握することは、工学的対策や救難時の重要な知見となる。筆者は、東海圏における水難事故多発箇所を対象として、その流れの特性を数値解析により検討しており、瀬から淵にかけての下降流、狭窄部下流の縮流、および狭窄部下流の循環流の存在により、概ねその特徴を示すことが出来た²⁾。このような事故発生個所の例として、愛知県豊田市内を流れる矢作川の池島公園周辺が挙げられ、他と同様に瀬淵の構造と狭窄部が併存した地形的な特徴を有している。ここでは既往研究²⁾においてポール式カメラによる高所撮影画像に Structure from Motion-Multi View Stereo (SfM-MVS) を適用することで水面下を含めた河床形状の把握を行い、数値解析結果から上記に示した流れの特徴を確認した。しかしながら SfM-MVS に使用した画像において水深の深い淵部の河床は透視できておらず、撮影画像から計算処理で形状を把握する SfM-MVS の結果においては、淵部の地形形状の把握が不可であった。このため得られた表面高さモデルである Digital Surface Model (DSM) の淵部にはノイズが含まれた値となっており、地形についての精度検証が必要とされていた。本研究では簡易な測深手法を用いて淵部の形状を把握し、改めて平面 2 次元の数値解析を実施することで既往の成果の検証を行うと共に、トレーサーを流下させた数値解析結果を検討して該当箇所における流れの特徴について考察を行った。

2. 現地観測手法

本研究では、ポール式カメラを利用した高所撮影

画像に対する SfM-MVS を適用した DSM の作成、および市販の魚群探知機を用いた簡易な淵部の測深観測の両者を併用することで、河床の形状データを得た。ポール式カメラは伸縮性ポールに遠隔操作型のカメラを設置することで簡易に高所撮影を実施する手法であり、撮影画像に SfM-MVS 解析を実施することで DSM およびオルソ画像を作成する³⁾。しかしながら撮影画像についてその形状を算出する手法であるため、淵部の様に河床が透視できない場合はその地形を取得できない。本研究では新たに簡易な魚群探知機を用いてこの問題の対処を試みた。使用した魚群探知機 (Deeper Smart Sonar PRO, 以下 Deeper) は釣り竿で目的周辺の水面にキャストし、無線で接続したスマートフォン等で魚群や測深の結果を観察するものである。内部に GPS 機能を有しているが位置精度は十分でないため、GPS についてはその時刻のみ用いるものとした。本研究では以下の手順で測深を実施した。i) 撮影カメラの時計を Deeper 内部の時刻と同期させた。ii) 既に SfM-MVS 解析を実施した対象領域に対して、淵部を中心に Deeper をキャストし、スマートフォンに測深情報を記録した。iii) もう一人の観測者が Deeper の流下状況を上記カメラで撮影した。iv) 撮影された画像を用いて再度 SfM-MVS 解析を実施した。DSM 作成後に、撮影画像において Deeper が見える箇所にマーカーを打つことで、DSM 上に Deeper が存在する推定位置を設置した (Agisoft 社の旧 PhotoScan Professional, Ver.1.2.6 を使用した)。v) マーカーを打った画像の撮影時刻を参照し、同時刻の Deeper による測深結果を DSM 上のマーカーに対し付与した。その後予備の数値解析により得た水面高さから上記の測深結果を差し引いて地盤高とした。

現地観測については、2020 年 11 月 17 日に、河道形状の把握を目的としたポール式カメラによる高所撮影を実施し、2021 年 11 月 21 日に淵部測深のため

キーワード 水難事故, 現地観測, 数値解析, SfM-MVS, 観測技術

連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247

愛知工業大学工学部土木工学科 TEL 0565-48-8121

の Deeper を使用した観測を実施した。

3. 解析手法

ポール式カメラ画像に対する SfM-MVS 解析で得られた DSM を PhotoScan 上で 0.1m 格子のメッシュデータとして処理した後、地理情報システム (GIS, ここでは ESRI 社 ArcGIS Pro) に読み込んだ。一方で Deeper による測深結果を与えられたマーカー位置については、ランダムに分布するポイントデータとして同 GIS 上に取り込んだ。このポイントデータに対して GIS 上で Inverse Distance Weighted (IDW) による内挿を実施し、淵部において 0.4m 格子のメッシュデータとして整理した。得られた 2 種類のメッシュデータを合成し、数値解析における地形データとした。図-1 に上記により得られた河床形状について、Deeper による測深のポイントデータと重ねて陰影図として示す。黒い実線内が IDW 補間の範囲である。

平面 2 次元の流れの解析においては、汎用の解析パッケージである iRIC に含まれる Nays2D 系ソルバー (<https://i-ric.org/ja/>) を利用した。上記の地形情報を利用し、iRIC 上で 0.4m メッシュの矩形の計算格子を作成した。格子数は流下方向に 446、横断方向に 148 とした。既往研究²⁾を参照し、近年の水難事故発生時の流量として百月ダム放流量および矢作第 2 ダムからの発電時放流量の合計値と推測される値 13.5m³/s を用いて、上流端での境界条件とした。

トレーサの計算では、流木輸送モデルで使用した粒子型のモデルを適用した³⁾。これは周辺流速の補間から移動経路を算出するパーティクルトレーサとは異なり、構成粒子に対して運動方程式を解くものである。この際、トレーサのモデルとして長さ 1.0m、質量 50kg、比重 0.95 の円柱状の物体を設定し、一つの円柱を 5 個の粒子で代表させた。これらを左岸の砂州上から複数本散布した。散布位置については、利用者が利用しやすい浅い位置で、かつ離岸方向の流れの影響を受けたとされている位置⁴⁾となる。

4. 解析結果

平面 2 次元の流れの解析の結果、既往研究で示された対象地点の流れを特徴づける以下の要素、a) 早瀬、b) 循環流、c) 縮流が同様に観察され、本研究での結果が淵部の修正を行う前の計算結果と概ね一致した。一方で淵部の水深は Deeper による測深を用い

て補正された地形においては、その最深部の値が明確に小さくなった。

トレーサモデルの軌跡を図-2 に示す。投入箇所から一部は循環流に乗り左岸で対流するが、主流域に運ばれたトレーサに関しては、高い移動速度で下流へと輸送される状況が示された。

参考文献

- 1) 河川財団 Web, No more 水難事故 2022, https://www.kasen.or.jp/Portals/0/pdf_mizube/suinanjiko2022.pdf (最終閲覧日 2023 年 3 月 30 日)
- 2) 赤堀良介, 岡田拓巳, 久志本 陸: 水難事故発生箇所における特徴的な流れの周期性について, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 77 巻 (2 号), 1_433-1_440, 2022.
- 3) 赤堀良介, 初田直彦, 清水康行, 伊藤丹: 水利構造物周辺の流れの構造に対する流木の応答, 水工学論文集, 第 58 巻, pp.1691-1696, 2014.
- 4) Yahoo ニュース記事 (幼い女の子 2 人の命を奪った水難事故 原因はまさかの現象だった 水難事故調レポート), <https://news.yahoo.co.jp/byline/saitohidetoshi/20200501-00176326/> (最終閲覧日 2023 年 3 月 30 日)

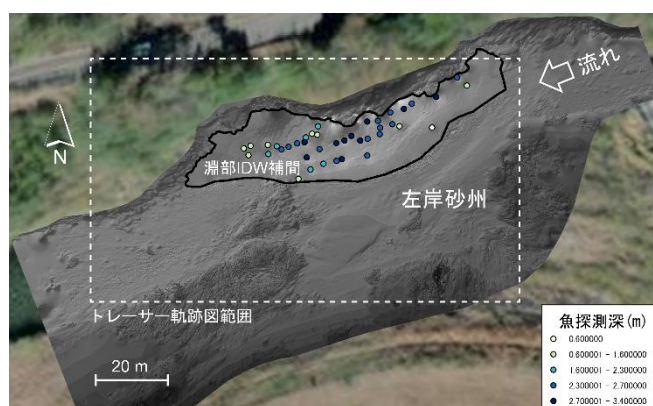


図-1 矢作川池島公園周辺での河床形状データ陰影起伏図および魚探による測深結果を示すマーカー図

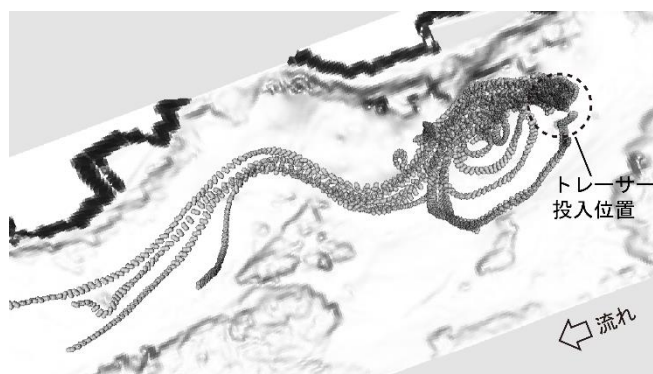


図-2 トレーサ軌跡図