

10. 矢作川平戸橋周辺における水難事故発生時の流れの構造の検討

赤堀良介

1. はじめに

河川における遊泳時の水難事故の発生は、特定の地点に集中していることが知られている（宮尾ら、2009）。都市部からのアクセスなど社会的な要因のほかに、蛇行や縮流、瀬淵の構造がもたらす循環流や下降流といった、特有の水理的特徴の存在が指摘されてきた（赤堀ら、2021）。代表者のグループでは近郊河川の矢作川における事故多発箇所である池島公園周辺を対象として、写真測量的手法であるStructure from Motion Multi View Trereo（SfM-MVS）により作成したデジタル標高モデルDigital Surface Model（DSM）を元に流れの数値解析を行うことで、上記に示した流れの物理的特徴と事故の発生要因の関連について検討してきた。池島公園周辺は山間部に位置し川幅も限られることから、7 m長の伸縮ポール設置型のカメラなどの簡易な高所撮影でSfM用の画像取得が可能であったが、矢作川の他の事故多発箇所である平戸橋周辺など対岸までの距離が大きい場合は俯角の影響で地形の再現性が低下し、同手法には汎用性について問題が存在した。本研究では、検討の重要性の高い平戸橋周辺を対象とし、高所撮影手法として一般的なUnmanned Aerial Vehicle（UAV）による撮影を実施することで、陸域および透視可能な浅水部のDSMをSfMにより作成し、透視不可な淵部については簡易な魚群探知機により水深情報を付与することで河道形状モデルを作成した。これを用いて2次元数値解析を実施し、平戸橋周辺での流れの構造を把握し、事故発生要因の検討や救助活動時の参照情報としての知見を提供することを目的とした。

2. 対象地域

本研究では矢作川の愛知県豊田市内の区間である平戸橋付近を対象とした（図-1）。



図-1：研究対象地域（矢作川平戸橋周辺）

平戸橋周辺は越戸ダムの下流に位置し、右岸側にはアクセスが容易で良好な景観を有する河川敷が存在している。しかしながら、近年も水難事故が発生しており、矢作川流域では池島公園周辺と並んで水難事故発生 の 要 注 意 箇 所 の 一 つ で あ る 。 平 戸 橋 の 直 下 は 露 岩 し た 河 床 に よ り 瀬 が 構 成 さ れ て お り 、 そ こ か ら 水 深 が 急 速 に 増 加 し 、 数 十 メ ー ト ル 下 流 側 で は 淵 と な っ て い る (図 - 2) 。 他 の 水 難 事 故 多 発 箇 所 と 同 様 (赤 堀 ら , 2021) 、 上 流 側 に 瀬 、 下 流 側 に 淵 が 存 在 す る 瀬 淵 の 構 造 を 有 し て お り 、 か つ 右 岸 側 か ら は 一 部 の 露 岩 が 突 出 し 狭 窄 部 を 構 成 し て い る 。 こ の こ と か ら 、 平 戸 橋 周 辺 が 水 難 事 故 多 発 箇 所 に 典 型 的 に 観 察 さ れ る いく つ か の 地 形 的 要 因 を 有 し て い る こ と が 確 認 で き る 。



図-2：研究対象地域（矢作川平戸橋周辺）の観測領域のオルソ画像（UAV画像にSfM-MVSを適用して作成、後述）

3. 研究手法

本研究は、河道地形を把握するために実施した現地観測と、観測の結果得られた地形データを利用して実施された数値解析との、2段の構成によって実施された。以下にそれぞれの手法について詳細を示す。

3.1 現地観測

これまでの予備検討により、透視度の高い時期の低水時の状況であれば、河道内水面下の比較的浅い領域については透視可能であるため、SfMによりDSMの作成が可能と推測された。本研究では秋季の撮影に好適な条件を選んでUAVによる高所撮影を実施し、GNSSによる標定点情報と併用することで矢作川平戸橋周辺での河道DSMを作成した。その際、透視が出来ない淵部の河床地形に関しては、豊田市消防本部の協力の元、同地点でのボート操船訓練時に簡易な魚群探知機 (Deeper PRO+) による測深を実施することで淵部の水深を取得した。以下に詳細を示す。

現地観測は2023年11月6日と、2023年11月23日の2回実施された。前者の2023年11月6日の観測では、豊田市消防本部の操船訓練のボートに同乗し、簡易な魚探と低価格の2周波RTK-GPS機器を使用した淵部の河道形状の把握を目的とした。この観測では、市販の投げ込み型の魚探 (Deeper Smart Sonar PRO+、以下Deeper) を

使用することで、淵部の形状の概略の把握を試みた。Deeperは小型のフロート型の機材で、釣り竿でキャストする方式の市販の魚群探知機であり、本体に測深機能とGPSを内蔵し、WiFi接続されたスマートフォンアプリにより操作を行うものである。しかしながら、本体内蔵のGPSについては精度が十分に得られないことから、低価格の2周波RTK-GPS機器（Drogger, DG-PRO1RWS パッケージ）を水平方向の座標値の取得に用いた。現地では、操船訓練中のゴムボートに同乗し、短い竿の先端に付けたDeeperによる測深を行いつつ、同様にDG-PRO1RWSを別途スマートフォンアプリにより操作し、1sごとの平面座標値のトラッキングを実施した。両者の機材はGPS時刻で同期されており、この時刻情報を元に水深と座標情報をマージした。また、操船訓練中のボートは順流による自然流下とモーターによる遡上を反復し、時間内に可能な限り多く反復することで淵部の走査を試みた。なお、この間は流下時のみ測深を実施した。観測実施後は、上記の方法で水平の座標値を与えた測深結果のポイントデータを地理情報システム（ESRI, Arc GIS Pro）上に展開し、当日の水際線標高から水深を差し引くことで、各ポイントにおける河床の標高を算出した（図-3i）。



図-3 : i) Deeperによる測深結果にDG-PRO1RWSにより得られた水平座標を付与しポイントデータで示したもの、ii) UAV画像にSfMを実施して得られたDSM標高データを陰影図で示したもの（図中のハッチは透視不可で地形情報にノイズを含んだエリア）

2023年11月23日の観測では、UAVによる高所撮影を実施し、GNSSによる標定点情報と併用することで矢作川平戸橋周辺での河道について、水面上と浅水部を含んだDSMを作成した。この際、UAV操作と高所撮影実施については、精度確保のため外部の専門業者による作業を委託した。また標定点の設置については、別途レンタルした高精度RTK-GNSS（Sokkia, GCX3）によりその位置情報を取得した。撮影枚数は約500枚程度であった。撮影した画像はSfM-MVSによって処理され、その際には市販のアプリケーション（Agisoft, Metashape）を用いてオルソ画像および表面高さモデルであるDSMを作成した（図-3ii）。

前述の通り、UAVにより撮影された高所画像から作成したDSMについては、浅水部については妥当な形状が把握可能であったが、淵部の透視が不可である箇所についてはノイズを含んだ精度の低い情報となった。この部分について、GIS上で魚探による測深データを用いた補間を行った。具体的には、DSMにおいてノイズの大きい箇所（図-3iiにおけるハッチ部）を除去した後、Deeperにより得られた淵部河床標高のポイントデータに対し

てTriangulated Irregular Network (TIN) 補間により面的なデータに変換したものを与え、両者をマージすることで河道地形のデジタルデータを作成した。その際、数値計算用の河道形状を1 mメッシュの格子データとして整理した。

3.2 平面2次元流れの数値解析

平面2次元流れ解析においては、汎用の解析パッケージであるiRIC (iRIC software、2024)に含まれるNays2Dソルバー)を利用した。3.1に示した方法で河床の地形を作成し、計算格子を作成する際の元の地形データとした。計算格子サイズは流下方向、横断方向ともに1 mとし、格子数はそれぞれ334×186とした。この際、計算格子の座標としては境界適合座標によるものではなく矩形格子を用いた。河道の平面形は河岸の標高値の変化により考慮した。河床の粗度を0.03で与え、平水時の流量の推測値を40m³/sとし、上流端での境界条件とした。計算時間刻みを0.02sとして、1300sの助走計算を経た後の300s (5分間)の結果を使用して考察を行った。

4. 結果

図-4 iは平面2次元流れの解析結果の時刻1600sの瞬間値について、水深をコンター図で示したものである。図中の瀬、淵の位置関係は、図-3に示されたものと対応しており、淵部の水深が7 m程度となった。この淵部の水深が魚探の示す水深と概ね一致していることが確認されたほか、水際線が11月6日および23日の観測時の水際位置と概ね一致した。また、流路中の最も深くなる箇所である滯筋が、平戸大橋直上流で右岸側に寄ることが確認された。図-4 iiは同様に平面2次元流れの解析結果の時刻1600sの瞬間値について、流速の絶対値をコンター図として描画し、その上に流速ベクトルを記載したものである。上流側岩場の瀬からの高速流が左岸に振れた後に、滯筋に合わせて右岸側に寄る際に、岩場の下流側で循環流が発生している様子が確認されたほか、高速流自体も蛇行する様子が確認された。その後、平戸大橋直上流で全体に水深が一律になり高速流が消失する様子が見られた。

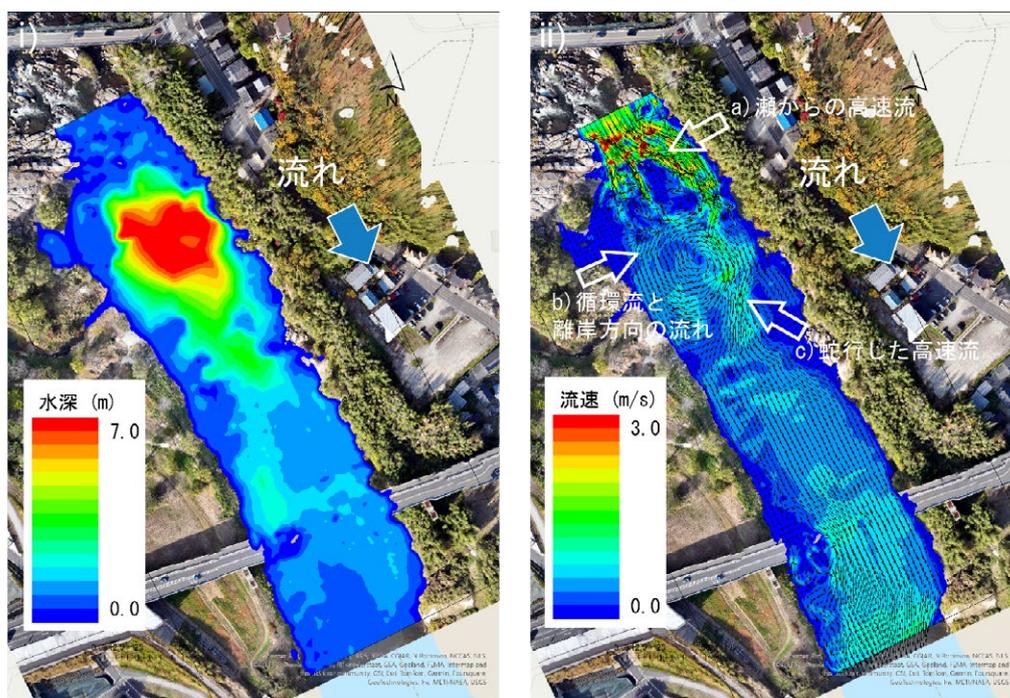


図-4 : i) 平面2次元数値解析結果の水深 (時刻1600s) をコンター図で示したもの、ii) 同計算結果を流速の絶対値のおコンター図とベクトル図で示したもの

上記に特徴として挙げられる要素を示すと、まず a) 早瀬部分からの高速流が存在し、これが右岸からの露岩部による狭窄を経て蛇行した c) の高速流となった。また、この高速流が狭窄部下流で右岸に向かい接岸し、接岸点と狭窄部の間で、b) 狭窄部の下流の循環流を形成した。これら a) から c) の要素は筆者らの既往研究（例えば、赤堀ら、2021）で示された木曾川本川橋や長良川美濃橋付近における流れ、さらに同じ矢作川の池島公園周辺で見られた流れの特徴と一致した。

5. まとめ

本研究では、矢作川の水難事故注意箇所である平戸橋周辺を対象として、UAV撮影とボート操船により得た簡易な魚探による測深結果を合成し、河道の地形を作成した。この地形を用いて水難事故が発生した状況における水理的な特性について2次元数値計算による検討を行った。結果から、瀬から淵に掛けて、右岸からの露岩突出部で構成された狭窄部から生じた蛇行した高速流が再び右岸で接岸し、接岸点と狭窄部の間で循環流を発生させることが示された。また、この循環流が滞筋部の本流に還流する際に、離岸方向の流れが生じていることが示された。これらの流れの見せる特徴は既往研究に示されたものと一致した。

参考文献

- 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A 2 (応用力学), 77巻 (2号), I_433-I_440, 2021.
- iRIC software, <http://i-ric.org/ja/> (最終閲覧日: 2024年5月18日).
- 宮尾博一, 清水晃, 吉野英夫, 並木和弘, 土井康義: 水難事故防止策に関する研究～最新の動向を踏まえた手法と対策例～, 河川環境総合研究所報告, 第15号, pp.13-23, 2009.