

## 14. 水難事故発生集中箇所における水理的状況の検討

赤堀良介

### 1. はじめに

近年、水防および環境保全のどちらの観点からも自然との積極的な関わりが重要であると認識される中で、河辺の利用も盛んに行われている。一方で水難事故件数はこの10年で横ばいであり（公共財団法人河川財団、2015）、その対策は引き続き改善が求められている。また長良川（2003年～2013年で66件）をはじめとした近郊の河川は水難発生件数の上位を占めており（公共財団法人河川財団、2015）、多数の周辺人口と魅力的な河川を有する中部地方においては、水難事故対策が「安全・安心」を守る重要な要素であることが分かる。水難事故に関する発生箇所に着目した研究では、それぞれの河川の特定の場所に発生が集中している状況が示されている（長良川的美濃橋周辺など（宮尾ら、2009））。これには利用状況に依存する要因も存在するが、流速や流向といった水理的要因の影響が強いことが推測される。近年は事故発生箇所における揭示に関し、「どう危ないのか」について積極的に情報を提供する例が見られ（宮尾ら、2009）、水難事故集中箇所における流況の把握は、理由解明および今後の事故防止の重要な情報となる。

河川の地形あるいは水理的要素は空間的、時間的に固有性が高く、水難事故集中箇所における流況が、十分に事例ごと検討される必要がある。特に、先に挙げた長良川的美濃橋周辺の例では、一見穏やかに見える流れが対岸側では流速が速くなっていることが報告されており、橋脚など河道内の構造物周辺に関しては流れの局所性が高く、リーチスケール以下の詳細な空間的特性を見ていく必要がある。このような局所的な流れの解析に関しては、近年、2次元や3次元モデルによる数値解析が一般化しており、これら数値解析を適切な地形情報を用いて検討することで、事故当時の流況の再現が可能である。本研究では、基盤地図情報等の数値地形情報と汎用の数値解析システムを用いることで、中部圏における水難事故発生集中箇所の流況を検討し、水難事故発生の水理的要因を特定し、今後の防災活動のための基礎的知見を得ることを目指した。

### 2. 対象地域

本研究に関しては、事例と地形情報の収集、および現地での視察を優先的に実施し、基礎となる情報の収集を行った。国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所では、水難事故対策のために木曾三川の水難事故多発地帯を示したマップを配布している（木曾三川（上流）水難事故マップ、2016）。前述の長良川美濃橋付近を含め、多くの水難事故発生箇所が記載されているが、そのうちの一つに木曾川本線橋（東海北陸自動車道高架橋）付近がある（図1）。ここでは、2014年6月9日に3名の小中学生が亡くなるという水難事故が発生した。水難事故の報道を基に当時の様子が示された既往文献（大山ら、2015）の情報をもとに、新たに航空写真と地形情報上（国土交通省木曾川上流河川事務所より提供、後述）に発生地点を示したものが図2である。当時の状況から、44.6 km付近の瀬で遊んでいたところ流れに巻き込まれ、下流の淵でおぼれたと推測されている。水文水質データベース（水文水質データベース、2016）の日流量年表からは、川島大橋観測所流量における流量は当時205m<sup>3</sup>/sであったと推測される。この事故後、木曾川上流河川事務所による調査が直ちに行なわれており、流況の確認が行われた。観測は2014年6月16日に実施されており、水文水質データベース（水文水質データベース、2016）の日流量年表からは、川島大橋観測所流量における流量は当時68m<sup>3</sup>/s程度であったとみられる。観測は事故現場周辺の流速や水深を計測することを目的に実査され、Acoustic Doppler Current Profiler（ADCP）が機材として用いられた。

ADCPは音響的なドップラー効果を利用して水中の3次元的流速を計測するものであり、トランスデューサーを船底あるいは船の側面から河床に向けて設置し、調査領域を走査することで、領域全域の空間的な流況を計測することが可能である。また、音響的な測深も並行して実施出来ることから、現地の3次元的な流況と面的な水深の分布が同時に計測可能である。本研究では、このようにして木曾川上流河川事務所の調査により得られた木曾川44.6km付近の流況と測深のデータを提供いただき、以下の検討を行った。

### 3. 研究手法

提供されたADCPデータは、測深による水深のデータと、3次元的な流速の分布を含む。本研究では、測深データにより得られた水深をGIS(ESRI, ARC GIS for Desktop)上に読み込み、Triangulated Irregular Network(TIN)による補間を行うことで、まず水深の平面的な分布を算出した。図3において航空写真上にコンター図として示されたものが水深の分布であり、この領域内がADCPの観測領域と一致する。図3から、橋脚周辺とそのすぐ下流側に、観測当日の水深において7mを超える淵が存在していることが改めて確認される。このようにしてTINにより水深を補間した後、同様に木曾川上流河川事務所から提供された河床の横断標高のデータから周辺の河床勾配を推測し、先に得られた水深データに対して勾配による補正を行うことで、おおよその河床標高を得た。また、同様に得られたADCPによる流速のデータもGIS上に展開し、既往文献(大山ら、2015)で示された検討と同様に水深の中間位置における鉛直方向流速成分の空間分布を算出し、先に得られた地形の情報と比較しながら地形と流況の関連について確認を行った。

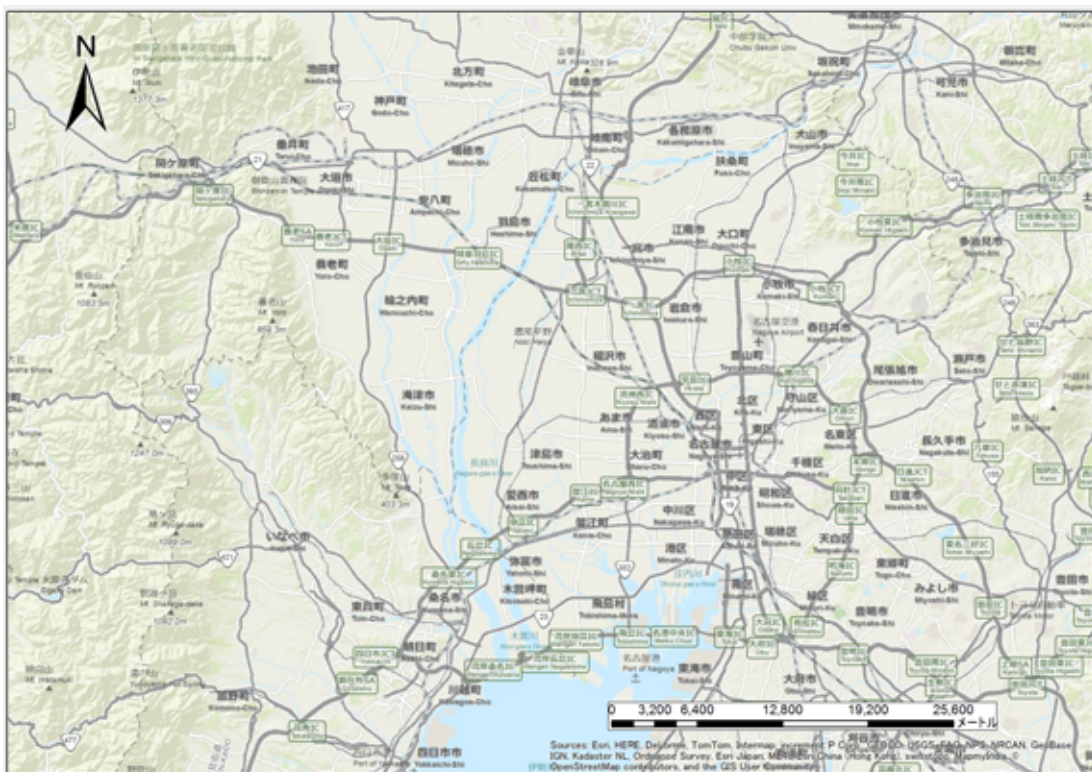


図1：研究対象地域(図中の枠線で示す。木曾川44.6km地点、東海北陸自動車道木曾川本線橋下)

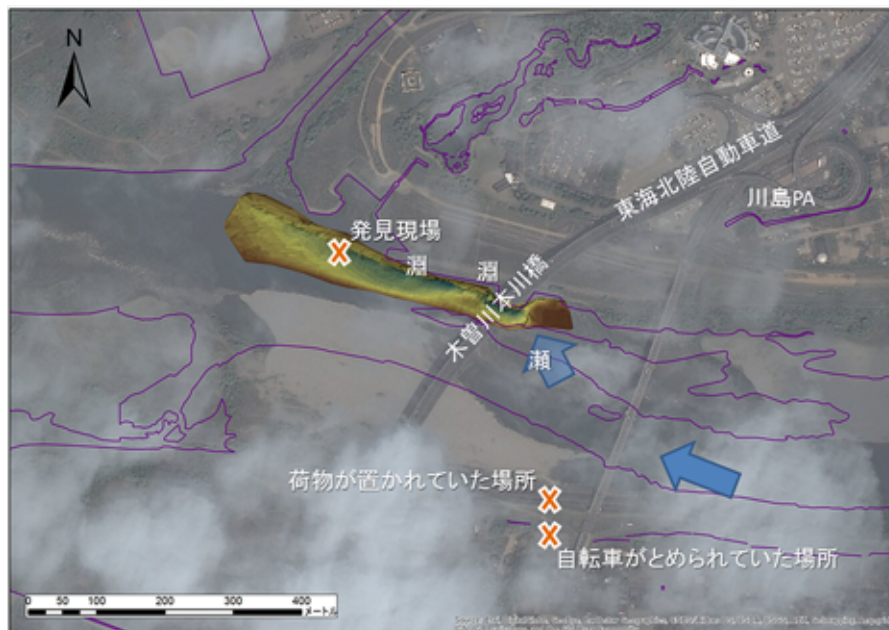


図2：木曾川44.6km付近での2014年6月9日における水難事故の発生状況を示した図。既往文献（大山ら、2015）での考察を基に、後述のADCP観測（木曾川上流河川事務所提供）による水深コンター図と共にGISを用いて再構成した。

上記の手順で得られた河床の地形については、これを元に汎用モデル（iRIC software (iRIC software, 2016)）による平面2次元での流況解析を試みた。この際、iRIC softwareに含まれるNays2D系ソルバーを解析のモデルとして使用した。上記のソルバーは非定常流の解析に実績を有しており、橋脚周辺からの剥離渦の現象のような、空間的にも時間的にも変化が大きく生じている現象の解析に効果を発揮する。ここでは、橋脚そのものよりも、それにより生じた狭窄部の影響と流れ構造の周期性についての検討のために該当ソルバーを使用した。また、流量については、先に述べた2014年6月16日の日流量年表から得た68m<sup>3</sup>/sを計算領域の上流側から与えた（水文水質データベース、2016）。

#### 4. 結果

図4は、ADCPにより観測された水深の中層部における鉛直方向流速成分の分布を、空間的に補完して示したものである。補間手法としてはInverse Distance Weighted (IDW)法を用いた。基本的な結果については同じデータを基とした既報（大山ら、2015）の通りであり、橋脚周辺の狭窄部において、特に強い下降方向の流れが生じていることが確認出来る。既報では、上流側の瀬からこの下降流が存在している淵の付近に流された場合、下方向に引き込まれる流れにより浮上が困難であることを推測している。次に、iRICによる計算結果について、流速ベクトルと流速絶対値のコンター図として示したものが図5となる。ここでは瞬間値の結果を示した。図から明らかであるように、橋脚周辺で高速な流れが生じていることがわかる。この高速流は先に述べた下降流についても影響を与えていることが推測される。また、橋脚周辺からの高速流は平面的には渦的な形状を有しており、動画として表示させた結果からは周期的に放出されていることが確認された。この渦の放出に関しては、6月16日の観測の際にも現地の担当者が目視により存在を確認していることから、現地スケールにおいても大規模な乱流構造として存在していることが推測される。

## 5. まとめ

本研究では、木曽川の水難事故多発箇所を対象として、現地観測されたADCPによる測深データおよび流速データの提供を受け、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数値計算による検討を行った。結果から、対象とした事故多発箇所に存在する橋脚による狭窄部からは、非常に高速な流れが生じていること、またその流れは非定常性が強いことがわかった。ADCPによる観測からは、この部分で下降流が生じていることが確認されており、このような複雑な流況と下降流が相互に影響を与えることで、水難事故において危険な流況が生じていることが推測された。

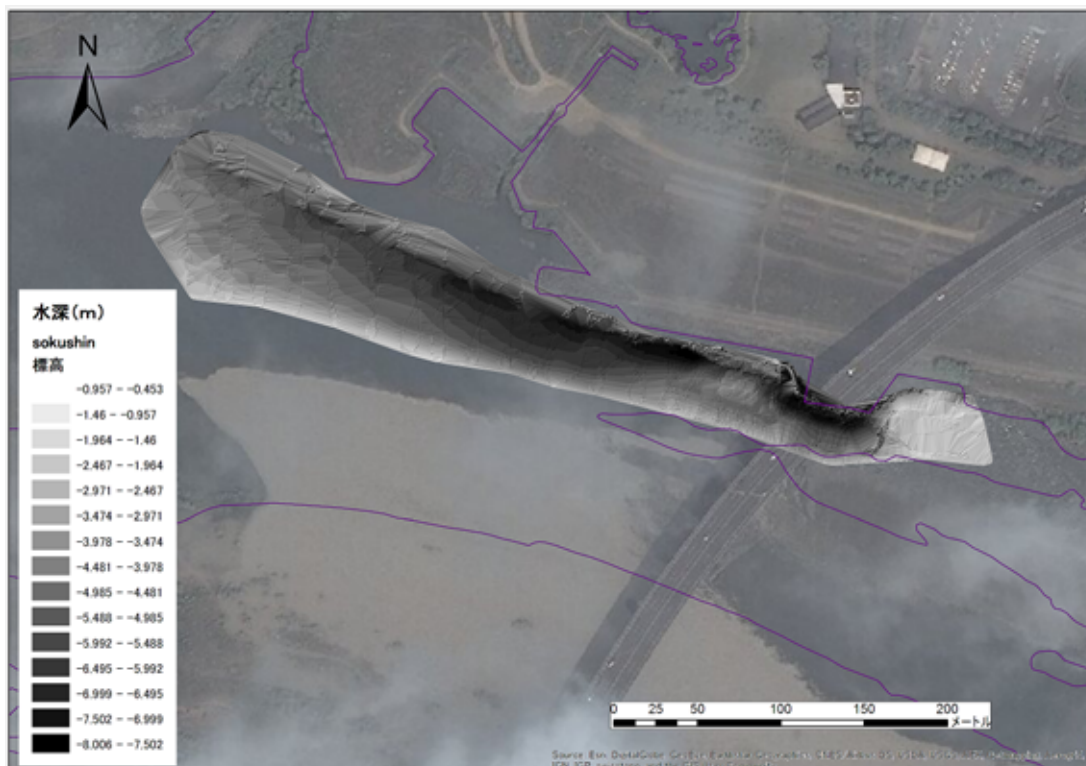


図3：木曽川44.6km付近での2014年6月16日におけるADCP観測による測深結果（木曽川上流河川事務所提供）をTIN法により補間し、水深コンター図として示したもの

## 参考文献

- iRIC software, <http://i-ric.org/ja/>（最終閲覧日：2016年4月29日）
- 大山璃久，河邊宏，鈴木高，：行政的課題に対するADCPの活用方策について，平成27年度中部地方整備局管内事業研究発表会，2015.
- 木曽三川（上流）水難事故マップ，<http://www.cbr.mlit.go.jp/kisojo/garbage/pdf/suinanjiko-maph27.pdf>（最終閲覧日：2016年4月29日）
- 公益財団法人河川財団：No more 水難事故，河川財団News，No.46，pp.4-9，2015.
- 水文水質データベース，<http://www1.river.go.jp/>（最終閲覧日：2016年4月29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.

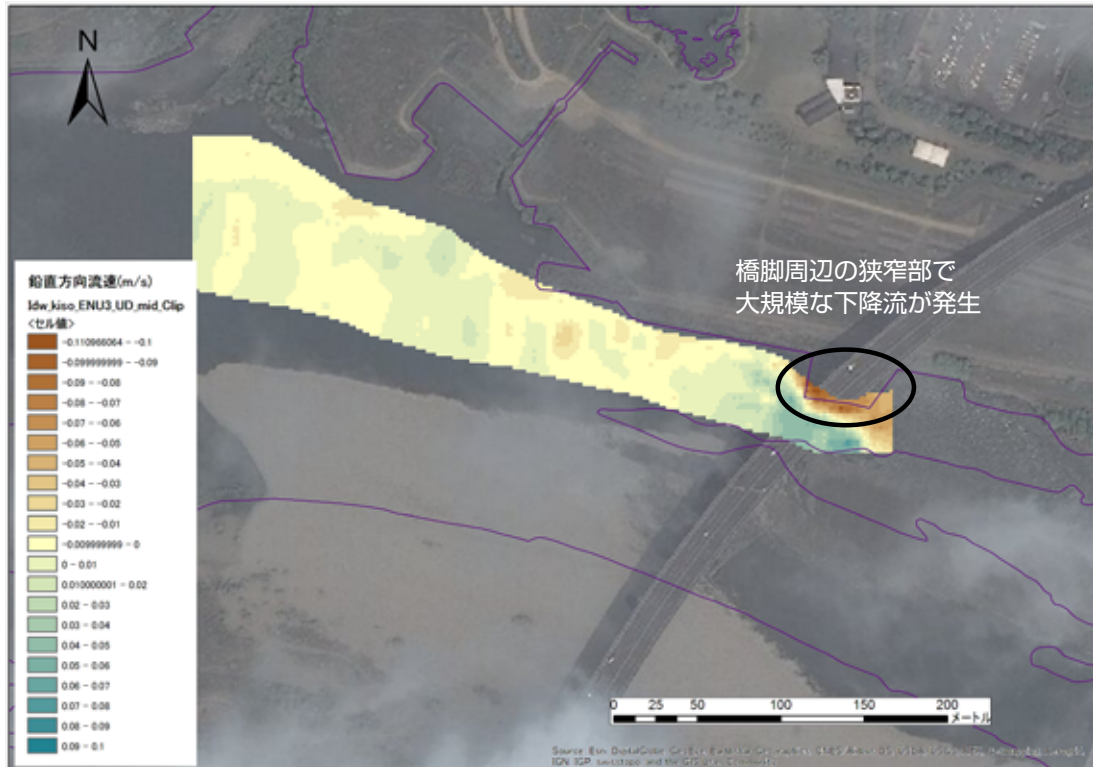


図4：木曾川44.6km付近での2014年6月16日 ADCP観測による3次元流速計測結果（木曾川上流河川事務所提供）における水深中層での鉛直方向流速成分をIDW法により補間し、コンター図として示したもの

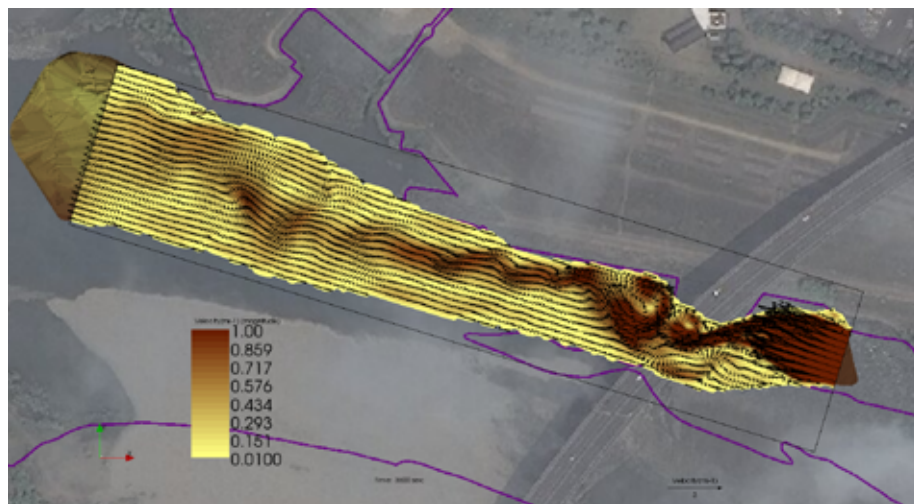


図5：水深データを基に再構成した河床地形データを用いて、木曾川44.6km付近での2014年6月16日における流況を平面2次元流況解析モデル(Nays2Dソルバー(iRIC software, 2016))により計算した結果。流速絶対値のコンター図とベクトル図として、結果の瞬間値を示す。