

宮城県白石川での2020年中学生溺水事故時の地形および流況の特徴の把握

長岡技術科学大学・環境社会基盤系 犬飼 直之
朝日海洋開発・代表取締役 安倍 淳
長岡技術科学大学・物質生物系 齋藤 秀俊

1. はじめに

2020年8月6日13時すぎに宮城県柴田町の白石川で女子中学生2名が溺水する事故が発生した。図-1に示すように、事故発生場所は、白石川と阿武隈川の合流地点から約660m上流である。ここでは、過去にも水難事故が発生していることから、事故が発生しやすい地形や流れの特徴があると考えられる。しかし、後述のとおり事故発生時には特殊な流況や地形ではなかったと考えられることから、同様な条件下での水難事故は今後新潟県内でも発生する可能性もある。そのため、本研究では、まず事故発生場所の地形や流れの特徴などを把握するとともに、事故の発生要因を考察し、新潟県内の河川を含む河川での今後の事故発生防止のための知見を得ることを試みた。

2. 事故時の気象および河川水位

日本気象協会¹⁾によると、事故日および前日には高気圧が四国南方を東進しており、現地付近では天候は安定していたと考えられる(図-2)。

また、現場河川の上流のAMeDAS白石²⁾によると、事故日および前日に降雨は発生しなかった(図-3)。そのため、現場のすぐ上流の船岡大橋水位観測所³⁾では、事故日は比較的水位が低い状態であったと考えらる。図-3に、現場から約2.2km上流に位置する船岡大橋における水位時間変化を示す。

3. 現地調査

(1) 調査概要

水難学会事故調査委員会では、2021年8月1日および2日に調査を実施した。調査時には国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所にご指導いただくとともに、UAVを用いて流況および地形を把握した。また、事故時に救助活動をおこなった所轄消防署の担当の方に来ていただき、救助活動中の状況などを情報提供していただいた。また報道にも取材に来ていただき、調査活動状況を取材していただいた⁴⁾。

(2) 調査時の天候および河川状況

調査日の2021年8月1日および2日の9時の天気図を図-4に示す。現場近くのAMeDAS白石²⁾によると、調査日は晴天で最高気温は32℃であった。降雨は前日や当日に周辺地域で発生しておらず、船岡大橋水位観測所³⁾での水位は8.02mであった。参考に事故日の水位は8.23mであった。



図-1 事故日現場位置

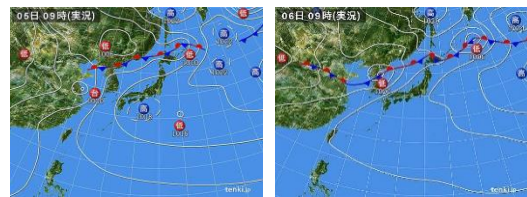


図-2 事故日天気図 (左: 2020年8月5日9時, 右: 6日9時)



図-3 水位時間変化(船岡大橋, 2020年7月23日～8月6日)



図-4 調査日天気図 (左: 2022年8月1日9時, 右: 2日9時)



図-5 白石川河川堤防上から調査場所方向(左: 上流方向, JR東北線白石川橋, 右: 下流方向, 国道白幡橋)

図-5に白石川右岸堤防上から見た領域を示す。図左側のJR橋の下流から河川幅が拡大し、そこへ3本の急流部が現場領域へ流入することで、現場領域は穏やかに見える流況となっている。聞き取り調査によると、事故は左図の丸印の川岸から河川中央方向へ延伸している砂嘴（さし）の先端部付近で発生した。

(3) 主な調査項目および使用機材

調査では、表-1に示す項目で調査を実施した。作業用小型ボートには測深器を装着して水深を把握した。また、着色剤を用いて流れを可視化し、それを国土交通省ドローン情報基盤システム⁵⁾へ登録し且つ住宅密集地上空でも飛行可能な認可を受けた UAV を用いて上空から流れを撮影した。さらに UAV で川岸の地形を飛行撮影し、後に川岸地形のオルソ画像を作成した。

(4) 聞き取り調査

調査時には、事故時に救助活動をおこなった仙南地区広域行政事務組合消防本部大河原消防署および仙台市青葉消防署の担当者に来ていただき、事故発生状況や発見状況などを情報提供していただいた。それによると、入水場所で5名が入水し、うち3名は自力で岸へ戻ったが、2名はそのまま溺水したとのことである。また、最後に目撃された場所および翌日の発見場所などを把握することができた。図-6および図-7に入水場所および最終目撃場所、発見場所などを示す。発見場所は、図-1中の白幡橋の床固の上流側である。

(5) 現地調査状況および結果

図-8に、現地調査から取得した砂嘴先端部の水深変化状況と、透明度の関係を示す。図より、水深1m以深では急勾配となっている。図-9に、砂嘴先端部での作業状況を示す。左図で、手前の調査員の足元では、長靴だけでなく水底の緩勾配の状況や底質の色を確認することができる。しかし、胸下まで沈水した河川中央側の調査員の足元では、透明度や太陽光の屈折の関係で、水底の状況などを確認することは困難である。このように、水深1m程度以深の水底も遠浅の地形が続くように錯覚する可能性が高いことが考えられる。右図では、砂嘴先端部の水底勾配を計測している状況を示す。図中、推定入水場所から図中右方向の河川中央方向へ約2m移動しただけで成人男性の顎上の水深となっている。

図-10に、事故発生場所付近の砂嘴先端部の水底の底質の状況を示す。この場所で底質を採取した。図より、比較的細かい粒径の川砂が傾斜して堆積している。砂嘴先端部で採取した底質の粒径加積曲線を求め、粒度分布および中央粒径を把握した。その結果、この

表-1 調査項目

調査項目	
1.	現場の状況記録のための写真および動画の撮影
2.	所轄消防から事故発生・発見時などの状況聞き取り
3.	現場へ流入する瀬の幅および代表流速の計測
4.	事故発生現場の砂嘴の地形・水深変化状況把握
5.	砂嘴先端部付近の水底状況撮影および底質採取
6.	砂嘴で発生した事故の再現および動画記録
7.	小型ボートおよび測深器を用いた現場水域の水底地形および水深の把握
8.	UAVの航空写真撮影による川岸の地形把握
9.	UAVと着色剤を用いた砂嘴付近の流れの可視化および上空からの動画撮影
10.	着色剤による砂嘴下流部循環流の可視化・把握



図-6 聞き取り調査から把握した事故発生場所および最終目撃場所、発見場所の位置関係

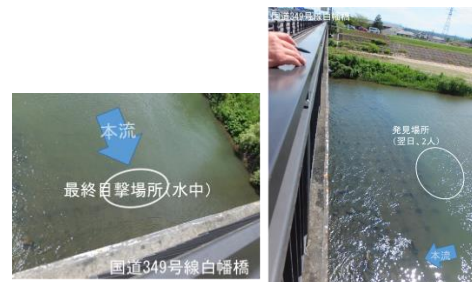


図-7 最終目撃場所（左図）および発見場所（右図）

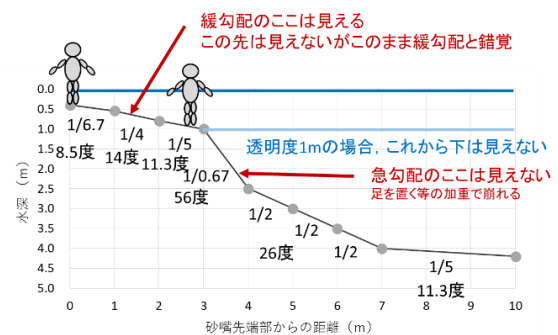


図-8 砂嘴先端部の水深変化状況と、透明度の関係



図-9 砂嘴先端部からの水深変化把握状況

底質の中央粒径は 1.4 mm であった。この粒径での安息角は、 34° 程度となる⁹⁾。これより図-8 の急勾配部は安息角となっており、足を踏み入れただけで崩壊しやすい状況であることがわかる。

事故発生場所である砂嘴の下流部で水平循環流が発生していた。図-11 に、砂嘴の下流部の右岸側の水平循環流の可視化状況を示す。着色剤の平均移動速度を計測したところ、約 3 cm/s であった。水平循環流が生成している要因として、砂嘴の突出による地形効果により流れの剥離が生じたことが原因であると考えられる。

図-12 に砂嘴先端部からの着色剤の拡散状況を示す。図より、砂嘴先端部から本川方向へ流出している。流速は約 0.25 m/s であった。これは前述の水平循環流の影響であると考えられ、砂嘴先端部で転落した人体が砂嘴へ戻ろうとする動きを阻害する力になると考えられる。溺水者は、この流れにより砂嘴先端部へ戻れず、更に水深急増部方向へ流されたと考えられる。

4. 地形情報の作成および地形の特徴把握

UAV で取得した航空写真から、領域のオルソ画像を作成した。図-13 に作成した領域のオルソ画像および作業船の航跡図を示す。

ところで、調査日の地形で作成したオルソ画像は、事故時の地形と異なる可能性がある。ここでは事故発生後 3 か月の 2020 年 11 月 17 日の同領域の衛星画像と比較した。まず、調査日と衛星画像取得日の船岡大橋の水位を比較したところ、2 cm の相違しかなかったことから、水位はほぼ同様であったと考えられる。

次に、白石川の構造物を基準として砂嘴の位置や先端部までの長さや川岸の形状などを比較した。その結果、事故発生時と調査時の地形は大きく変化はしていないと考えられる。

この情報と、作業船に装着した測深器から取得した水深情報(図-14)を用いて 1 m 格子間隔の数値情報を作成した。領域の鳥観図を図-15 に示す。図より、事故発生場所である砂嘴の先端部では水深が急激に増大していることがわかる。また、現場領域上流側の鉄道橋付近では、水深が大きく 4 m 以上であった。その下流方向では、本流付近は水深が 2 m 程度であるが、幅は狭くなり、その両側では 1 m 以浅の浅水域となっていた。

この地形情報を用いた事故時および調査時の流況把握シミュレーションの実施結果は別報で報告する。

5. 事故時および調査時の流量の把握

事故時および調査時の流量を把握するために、国土交通省東北地方整備局仙山河川国道事務所から提供

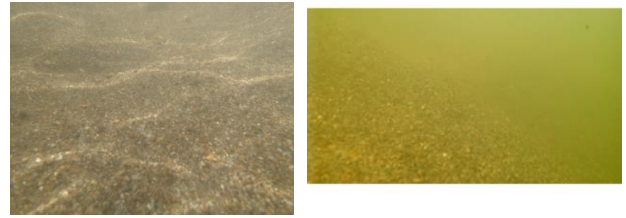


図-10 砂嘴先端部の水底状況

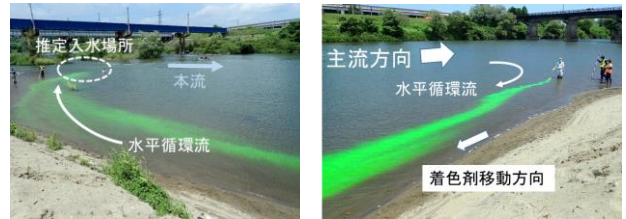


図-11 砂嘴下流部の水平循環流可視化状況



図-12 砂嘴先端部からの着色剤の拡散状況

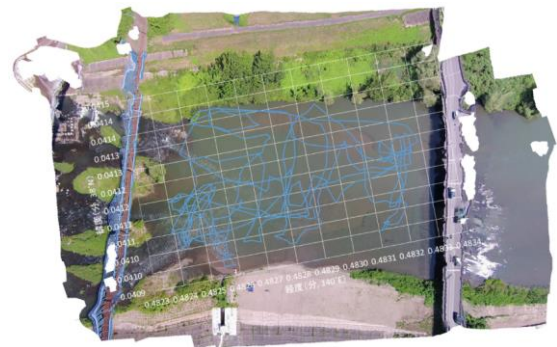


図-13 調査領域のオルソ画像および測量船の航跡

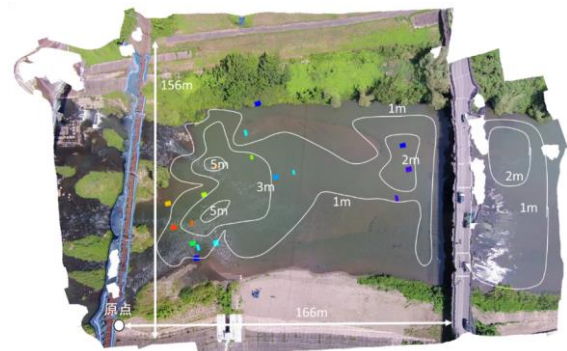


図-14 測量船で取得した水深分布

していただいた船岡大橋における H-Q 式を用いた。その結果、2020 年の事故時の水位は 8.23 m、2021 年の調査時の水位は 8.02 m であったので、推算流量はそれぞれ 33.67 m³/s および 13.88 m³/s となり、事故時には調査時よりも流量が多かったことがわかる。これより、調査時よりも流速は大きかったと考えられる。

6. 事故が発生する要因の考察

砂嘴は川岸から川の中央に向かって延伸する遠浅の砂状の地形であり、水深が急増する砂嘴先端部付近では河川水の透明度の問題で水底の状況を確認することができない。その結果、川岸から見える浅い水深の状態でも川の中央付近までいけると錯覚する形状である。また、砂嘴の先端部では斜面維持の限界勾配である急勾配である事が多い。また、砂嘴は砂が常に供給される堆積場であり、通常よりも更に足場が悪い状態となっている事が多い。このような場所では大きな水深変化と斜面崩壊により 1 歩前進しただけで頭 1 つ分以上の高低差の沈水となり、対応を間違えるとそのまま溺水してしまう。

沈水した場合、足が着底できないくらいに水深となるが、犬飼ら⁷⁸⁾によると、流水場における立ち泳ぎで手漕ぎだけの状態では、流速 0.2 m/s 程度でも避難困難となる。図-11 および図-12 のとおり、砂嘴付近では下流から砂嘴先端部方向への水平循環流が流入していることが多く、この流れは溺水者の人体を更に本川方向へ押し出す方向の流れとなる。図-12 では、砂嘴先端部から本川方向へ流出する速度は約 0.25 m/s であったことから、退避が困難な流速である。

これらの要因により、砂嘴先端部付近では事故が発生しやすいと考えられる。また、この地形は特殊な事例ではなく新潟県内の河川でも生成すると考えられ、今後県内でも同様な調査が必要であると考えられる。

7. まとめ

事故発生を防止するためには、次の内容に注意する必要があると考えられる。川に遠浅に見える地形があっても安易に近づかない。また入水する場合でも膝下よりも深い場所へは行かない。もし、沈水したり、更には流された場合には、それに対処するための背浮きなどのスキルを取得しておく必要があると考えられる。また、溺水者を陸上で見つけても決して追いかけて入水しないことは必要であると考えられる。

謝辞：本研究では、国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所から事故や現場河川に関する情報を提供していただくと共に、調査にあたりいろいろとご指導いただいた。調査時には仙南地区広域行政事務組合

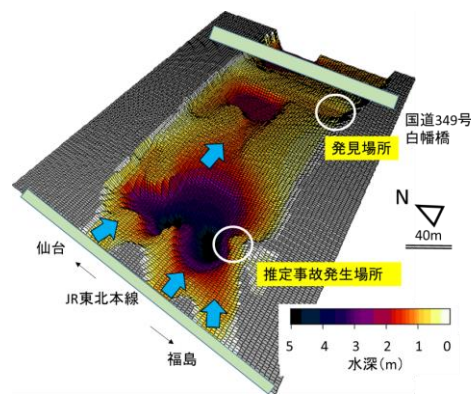


図-15 作成した領域の数値情報

消防本部大河原消防署および仙台市青葉消防署に来ていただき、事故発生状況や発見状況などの情報を提供していただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 日本気象協会：実況天気図，<https://tenki.jp>，参照 2020-8-05 及び 2020-8-06。
- 2) AMeDAS：降雨データ，<http://www.jma.go.jp/jp/amedas/>，気象庁，参照 2020-8-05 及び 2020-8-06。
- 3) 宮城県河川流域情報システム：水位グラフ，<https://www.dobokusogou.pref.miyagi.jp/miyagi/servlet/GamenServlet>，宮城県，参照 2020-7-23 から 8-06。
- 4) 河北新報：2 人水死の白石川で「離岸流」確認 水難学会が現地調査，<https://kahoku.news/articles/20210802khn000022.html>，2021。
- 5) 国土交通省ドローン情報基盤システム：DIPS，<https://www.dips.mlit.go.jp/portal/>。
- 6) 久宝保，“土砂の水中傾斜角について”，土木技術，第 6 巻，第 5 号，pp.2-4，1951。
- 7) 犬飼直之，難波悠太：離岸流場において安全に活動するための流況の把握，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，77 巻，2 号，I_811-I_816，2021。
- 8) 犬飼直之，篠原将也，山本浩，江尻義史，大竹剛史：砂浜を遡上する波浪で水難事故が発生する可能性のある新潟県内の海岸の把握について，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 73，No.2，I_1471-I_1476，2017。