

3次元サイドスキャンソナーを用いた鬼怒川下流部における泥岩・沖積粘性土層露出河床の侵食特性の検討

STUDY ON EROSION CHARACTERISTICS AT EXPOSED RIVER BED ON MUDSTONE/ALLUVIAL COHESIVE SOIL LAYER IN LOWER REACHES OF THE KINUGAWA RIVER USING A HIGH-RESOLUTION SIDE SCAN IMAGING WITH BATHYMETRY

塩見真矢¹・鈴木克尚²・山本晃一³・吉田高樹²・小澤守⁴
Shinya SHIOMI, Katsuhisa SUZUKI, Kouichi YAMAMOTO, Takaki YOSHIDA
and Mamoru OZAWA

¹非会員 (公財) 河川財団 河川総合研究所 (〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9)

²正会員 (公財) 河川財団 河川総合研究所 (同上)

³フェロー 工博 (公財) 河川財団 河川総合研究所 (同上)

⁴非会員 株式会社アーク・ジオ・サポート (〒151-0071 東京都渋谷区本町2-18-14)

Recently unprecedentedly rapid riverbed degradations are observed at several parts of exposed river channels on mudstone/alluvial cohesive soil layer in lower reaches of the Kinugawa River. This has induced various problems upon river management.

In this report, the erosion characteristics of exposed riverbed of mudstone/alluvial cohesive soil layers was studied to elucidate riverbed degradations mechanism at the exposed river channels. Existing periodic cross-sectional survey could not measure the surface topographical structure and substance of the riverbed, therefore a high-resolution side scan imaging bathymetry were applied to enable the measurement in this study.

Key Words : *A high-resolution side scan imaging with bathymetry, Mudstone, Alluvial cohesive soil layers, Riverbed degradation, Erosion characteristics, River bed material*

1. はじめに

鬼怒川下流部(セグメント2-2区間)では, 砂層の砂利採取や流失に伴い, 河道に泥岩・沖積粘性土層が露出する区間が増加した. このような区間の一部では, 通常の沖積河川では見られないような急激な河床低下(数年間で5~6 m)が生じるといった現象が起きている.

泥岩・沖積粘性土層が露出した河道においては, 異状な局所洗掘や河床の溝化により, 護岸や構造物の不安定化, 取水施設への影響等の問題が懸念されている. これら問題へ対応していくため, 泥岩・沖積粘性土層の露出河道の侵食特性を明らかにしていくことが求められており, 小川他(2015)¹⁾によって検討が進められている. しかし, 得られている情報が定期横断測量成果の線情報であり, 検討精度の向上のため, 面的な把握が必要となっている.

また, 木曽川においては, 泥岩・沖積粘性土層の急激な河床低下箇所の侵食は, 比較的広範囲に亘っていることが岩見他(2015)²⁾により報告されており, 鬼怒川でも同様な侵食状況が懸念され, 適正な河川管理を行っていく上で面的に侵食範囲を把握することが課題となっている.

現在, 河床の地形構造の把握においては, 河床を面的に把握する手段として3次元サイドスキャンソナーが活用され始めている^{3,4)}. この3次元サイドスキャンソナーにおいては, 河床の地形構造の把握のみならず, 河床物質の情報も取得可能であり, 河床材料の把握に関しても期待できる.

本報告では, 鬼怒川の河床低下に関する問題に対応するため, かつ, 全国の河川において今後, 鬼怒川と同様に泥岩・沖積粘性土層の露出や侵食が懸念されることを鑑み, 泥岩・沖積粘性土層の露出河床における河床低下の侵食メカニズムの解明に向けて, 定期横断測量では表

現できない面的な河床の地形構造と河床物質の情報を計測可能な3次元サイドスキャンソナーを用いて、河床形状を面的に把握するとともに、河床材料に関する情報も把握した。また、本報告における計測は、2015（平成27）年7月と2016（平成28）年1月に実施した。鬼怒川においては、その間、関東・東北豪雨による観測史上最大規模の出水が生じた。本報告においては、これら大規模な出水後の河床変動状況の把握も踏まえ、泥岩・沖積粘性土層の露出河床の河床変動状況及び侵食特性に関する考察を報告するものである。

2. 計測場所の概要

計測場所の対象区間及び鬼怒川流域における関東・東北豪雨による出水の概要を以下に示す。

(1) 計測場所の対象区間

計測場所は、鬼怒川下流部において河床低下が進行している泥岩・沖積粘性土層露出河道区間として、鬼怒川12.00～13.00 kmの延長約1 km区間（急激な河床低下箇所12.25 km付近を含む）を対象とした（図-1）。対象とする区間は、平均川幅約170 m、河床勾配1/2,500、代表粒径0.5 mmのセグメント2-2区間である。

12.25 km付近の急激な河床低下箇所における特徴は以下に示すとおりである。

- ・河床に粘性土が露出しており、H17～H20で約5.5mの河床低下が生じている（図-2、図-3）。
- ・横断方向、深さ方向において土質構造が異なり互層構造となっている（図-3）。
- ・左岸側に沖積層、右岸側に洪積層が分布している。（図-3）。

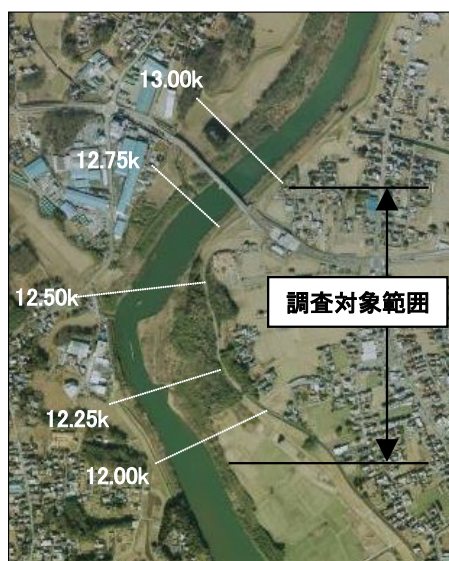


図-1 計測場所

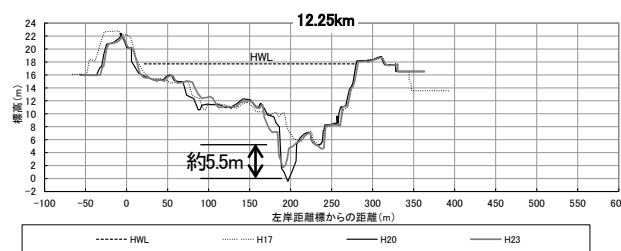


図-2 12.25 km付近における定期横断面図

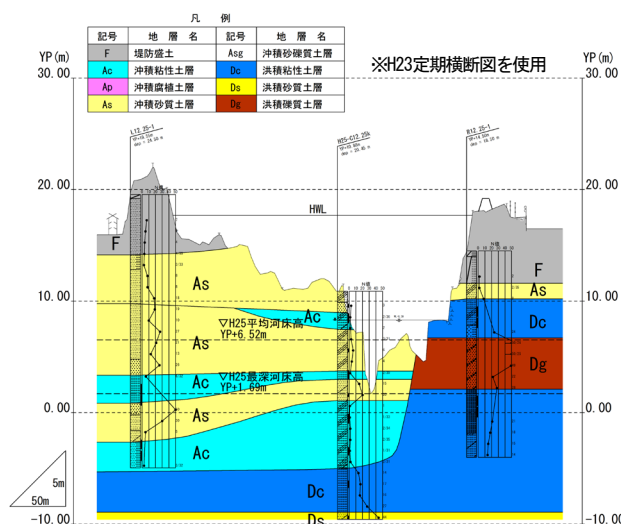


図-3 12.25 km付近における層序断面図と河床の土質図

(2) 関東・東北豪雨による出水の概要

2015（平成27）年9月、鬼怒川流域において関東・東北豪雨による観測史上最大規模の出水が生じた。出水、及び被害の概要は以下に示すとおりである。

a) 出水の概要

2015（平成27）年9月9日から9月10日にかけて、栃木県日光市五十里観測所で、昭和50年の観測開始以来、最多の24時間雨量551 mmを記録するなど、各観測所で観測史上最多雨量を記録した。鬼怒川水海道地点（利根川合流点から約11 km）の水位観測所では、9月10日11時から16時の5時間にわたり計画高水位を最大約0.7 m超過し、観測記録史上第一位の水位を記録した。12.25 k地点では、ピーク流量相当の流速は約2.6 m/sと推算されている。

b) 被害の概要

上記の出水により、鬼怒川では流下能力を上回る洪水となり、茨城県常総市三坂町地先で堤防が決壊するなど、溢水7箇所、漏水23箇所等の被害箇所は97箇所の被害が発生した。



図-4 3次元サイドスキャンソナー

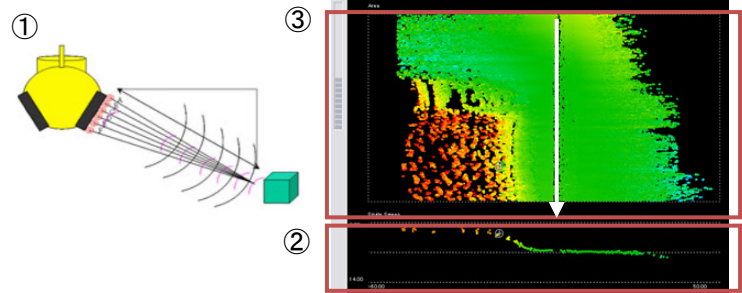


図-5 計測原理の概要図

3. 3次元サイドスキャンソナーによる計測概要

2015（平成27）年7月及び2016（平成28）年1月に計測を実施した。計測方法及び計測原理は以下に示すとおりである。

(1) 計測方法

計測には、サイドスキャン機能を有する測深機（3次元サイドスキャンソナー：Benthos社製、A high-resolution side scan imaging with bathymetry）を使用した。舷側に固定した3次元サイドスキャンソナーを用い、GPSでソナーヘッドの位置と方向角、動揺センサーで3軸の動揺をそれぞれ計測した。計測方向は、基本的に河川の流下方向に平行に行った。また、測線間隔は水深により異なるため、データの収録状況に応じて決定した。

(2) 計測原理

使用する3次元サイドスキャンソナー（図-4）は、片舷に6本の受波部を持っており、発振した音波の位相の差から音波の反射角度と距離を計算により求める（図-5 ①）。これにより1発振で最大2,000点の測深点を得ることができ（図-5 ②）、音響測深機を移動させることで面的に水中の地形を計測することができる（図-5 ③）。

また、測深と同時に反射強度（反射波の強弱を示すもの）の収録ができるため、到来角と距離による音波の減

衰を考慮し、河床からの反射強度としている。

4. 計測結果

出水前後において3次元サイドスキャンソナーを用いて計測を行った結果より、面的な河床の地形構造を把握した。また、その計測結果を比較し、出水による河床変動状況を把握した。

さらに、計測結果より得られた反射強度と地形構造の関連性を把握し、河床低下箇所における河床物質を推定した。

(1) 面的な河床の地形構造

a) 出水前（H27.7）における地形構造

出水前の計測結果を図-6、図-7に示す。特徴的な事項は以下に示すとおりである。

- ・12.25 kの左岸側において、横断方向に最大約25 m、縦断方向に最大約80 m、鉛直方向に最大約YP-2.0 mまで洗掘穴が分布している。河床低下の上流端は、YP+5.0 mからYP+0.0 mに鉛直方向に対しほぼ崖状に洗掘されている（図-7 左）。
- ・12.15 kの右岸側において、横断方向に最大約10 m、縦断方向に最大約40 m、鉛直方向に最大約YP+1.0 mまで洗掘穴が分布している（図-7 左）。

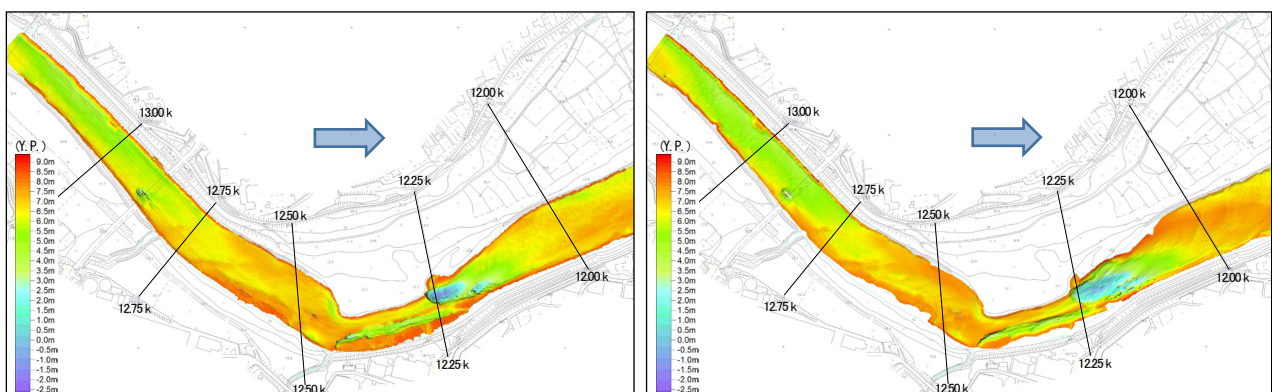


図-6 段彩図（左：出水前（H27.7）、右：出水後（H28.1））

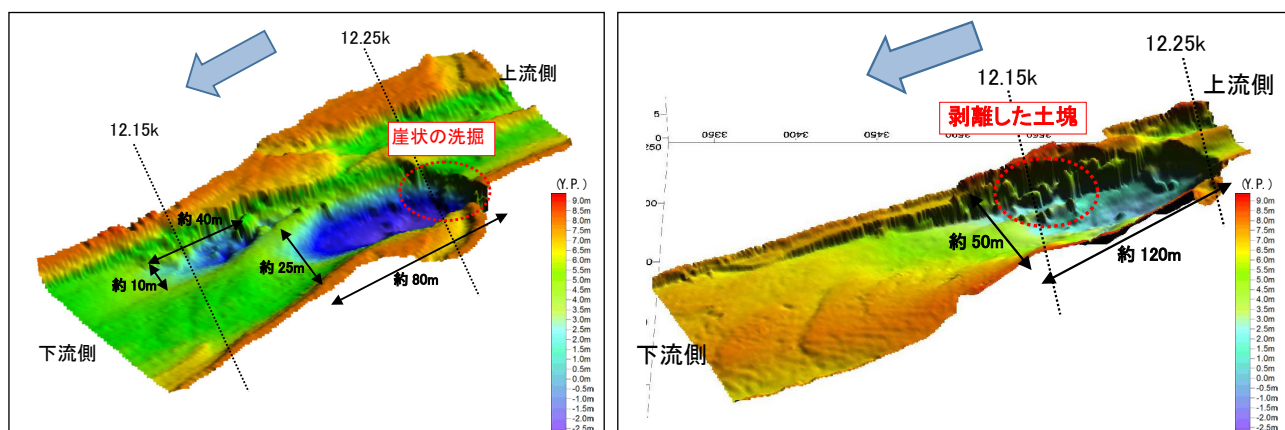


図-7 俯瞰図 (左：出水前 (H27.7)，右：出水後 (H28.1))

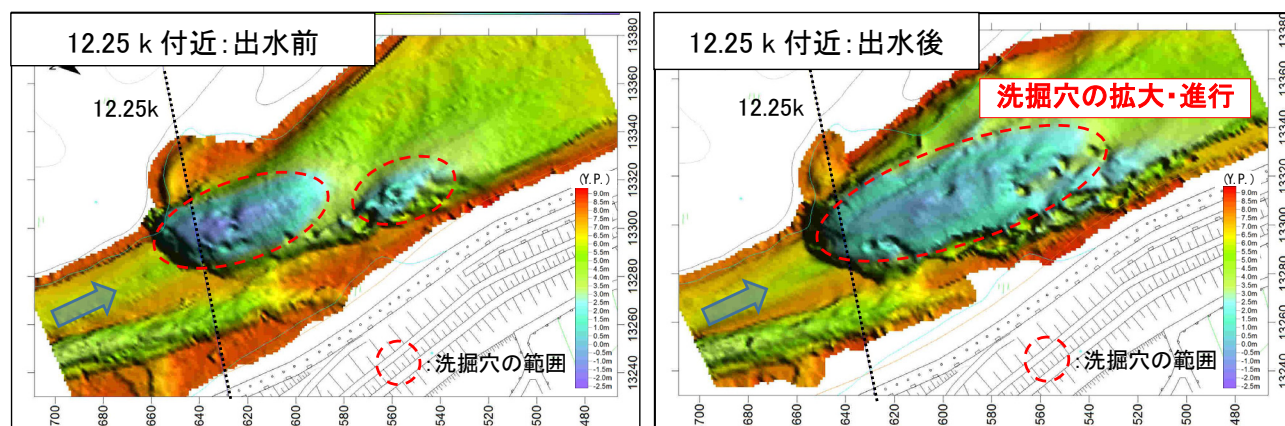


図-8 12.25 k 付近 段彩図 (左：出水前 (H27.7)，右：出水後 (H28.1))

b) 出水後 (H28.1) における地形構造

出水後の計測結果を図-6、図-7に示す。特徴的な事項は以下に示すとおりである。

- ・ 12.25 k 付近において、横断方向に最大約50 m、縦断方向に最大約120 m、鉛直方向に最大約YP+1.0 mまで洗掘穴が分布している。河床低下の上流端は、YP+5.0 m からYP+1.0 m程度に鉛直方向に対しほぼ崖状に洗掘されている (図-7 右)。
- ・ 12.15 k 付近の右岸側及び下流側において、出水により剥離された土塊が確認された。現地において、剥離された土塊を舟艇のオールで突いたところ、比較的固い層であるため、その土塊は右岸側の洪積粘性土層の一部であると推測される (図-7 右)。

(2) 出水における河床変動状況

出水前後の結果を図-8、図-9に示す。出水における河床変動状況に関する特徴的な事項は以下に示すとおりである。

- ・ 12.25 k 付近の段彩図 (図-8) より、出水前の12.25 k 付近において確認された左岸側の河床低下箇所については、洗掘が下流側及び右岸側に拡大し、出水前に確認された右岸側 (12.15 k) の洗掘穴まで分布している。

- ・ 差分図 (図-9) より、12.25 k の標高は、上流側の高水敷等から供給された土砂により、一部上昇 (堆積) しているが、下流側及び右岸側は洗掘穴が拡大・進行している。特に、右岸側の洗掘が著しく、右岸側の洪積粘性土層が剥離し、粘性土層の土塊が散在していることが確認される。

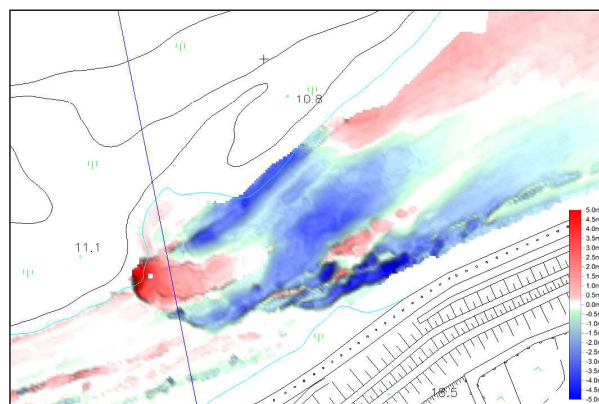


図-9 出水前後における河床高の差分図

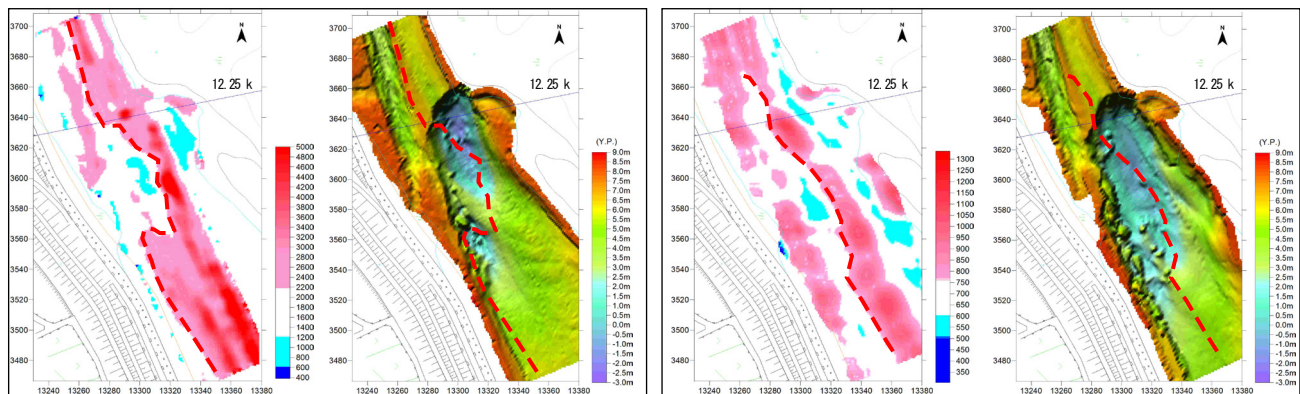


図-10 反射強度分布図及び段彩図（左：出水前（H27.7），右：出水後（H28.1））

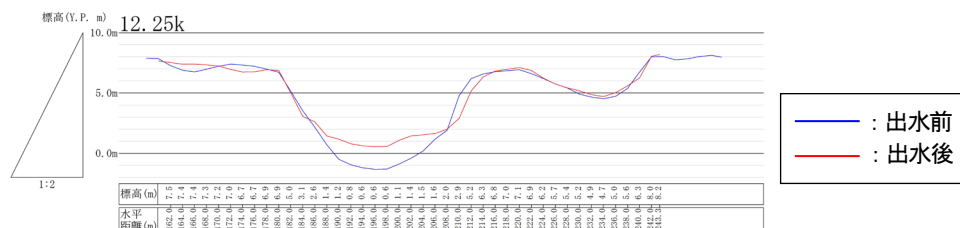


図-11 12.25 k 横断面図（青線：出水前（H27.7），赤線：出水後（H28.1））

(3) 河床低下箇所における河床物質の推定

a) 出水前における反射強度分布図と地形構造の関連性

出水前の結果を図-10 左に示す。出水前の河床低下箇所における河床物質の推定に関する特徴的な事項は以下に示すとおりである。

- ・特異な河床低下箇所周辺の左岸側に反射強度の大きい範囲（赤色）が分布し、河道の中心付近に反射強度の境界線（赤色の点線）が確認される。
- ・反射強度は一般的に、地形と河床材料の材質に起因する。河床地形が斜面地の場合、反射角が小さくなるため、反射強度が大きくなる傾向がある。
- ・図-10、図-11より、河床地形の斜面地に着目すると、斜面地においても反射強度の強弱が確認される。そのため、図-10 左の反射強度は、主に河床材料の違いに反映されていると推測した。

b) 出水前における反射強度分布図と地形構造の関連性

出水後の結果を図-10 右に示す。出水後の河床低下箇所における河床物質の推定に関する特徴的な事項は以下に示すとおりである。

- ・出水前と同様に、特異な河床低下箇所の左岸側に反射強度の大きい範囲（赤色）が分布し、河道の中心付近に反射強度の境界線（赤色の点線）が確認される。
- ・出水後の地形は、出水前に比べて、下流側及び右岸側に12.25 kの洗掘穴が拡大・進行しているため、出水前との地形の違いが確認されるが、反射強度の境界線（赤い点線）は出水前と同様に、河道の中心付近に存在している。
- ・以上を踏まえると、河床地形の違いがあるにも関わらず、反射強度の境界線が確認されることから、この境

界線は、河床材料の境界線を表していると推測した。

5. 河床低下の侵食特性の検討

出水前後における12.25 kの特異な河床低下箇所（左岸側の最大洗掘箇所）において、前述の測定結果を踏まえ、河床低下の侵食特性を以下のとおり、考察した。（図-12）

(1) 出水前における河床低下の侵食特性の推定

12.25 kの特異な河床低下箇所（左岸側の最大洗掘箇所）については、当初、一部侵食抵抗の弱い箇所が洗掘されて、洗掘穴が発生したと想定されている。その後、発生した洗掘穴に水流が落ち込む際に逆向きの渦が生じて、洗掘穴を深掘したと推測する。深掘が進んだ要因の一つとして、発生した洗掘穴の上流端が鉛直方向に対しほぼ崖状となり、水流の落ち込みに落差が生じて、強い水流が発生したと考えられる。また、洗掘穴の上流端（崖状の部分）に比較的固い層（洪積層等）、洗掘穴及びその下流側に比較的柔らかい層（沖積層等）が分布し、固さの異なる層がその洗掘を助長していると推測した。

(2) 出水後における河床低下の侵食特性の推定

出水後においては、大規模出水による影響で、水流が落ち込む際に接触する箇所が洗掘穴のより下流側に変わり、洗掘穴が下流に向かって拡大・進行していると推測した。

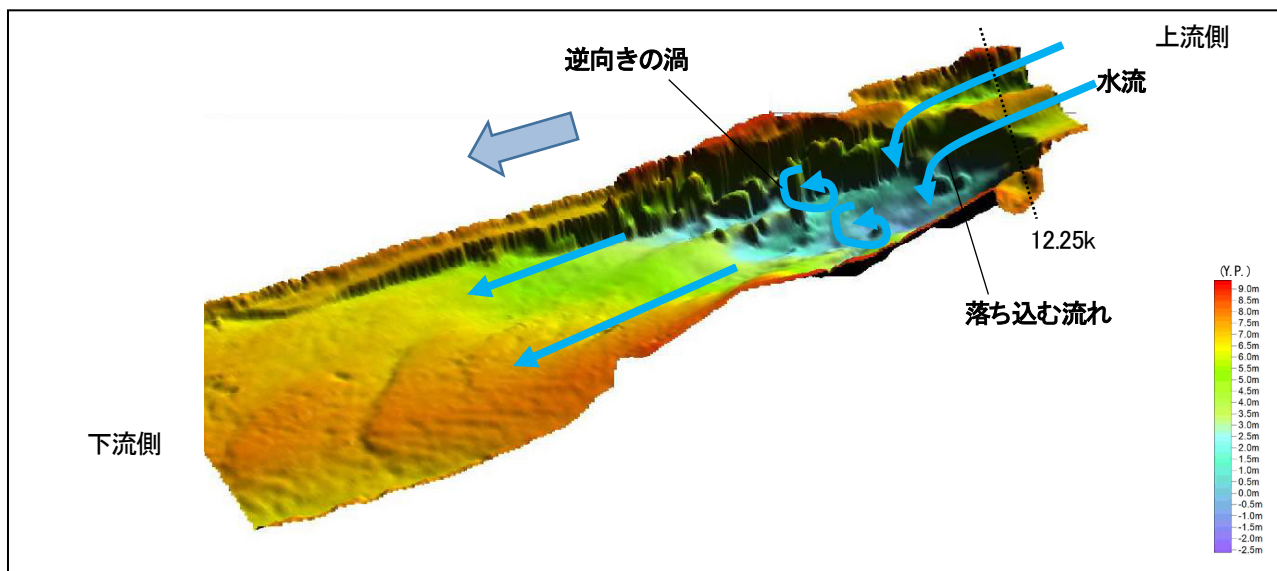


図-12 河床低下の侵食メカニズムの概要図（出水後）

なお、木曽川の報告においては、深掘れ範囲が上流に向かって拡大しており、その主要因は、上流端部付近での深掘れ孔に落ち込む流れで生じる掃流力がもたらす侵食によるものであるとしている²⁾。

本報告では、洗掘穴が下流に向かって拡大しており、その要因もほぼ同様であると考えている。ただし、洗掘穴の拡大状況の違いについて、本報告では、洗掘穴の上流側に固い層が分布し、下流側に柔らかい層が分布していると推測しているため、上流に向かっての洗掘穴の拡大ではなく、下流に向かっての洗掘穴の拡大が進行していると考えている。

6. おわりに

鬼怒川下流部の河床低下が進行している泥岩・沖積粘性土層の露出河道区間において、出水前後の地形構造より、出水前では2箇所の河床低下箇所が分布し、その侵食範囲を把握したこと、出水後では1箇所の河床低下箇所が分布し、その侵食範囲を把握したことから、面的な河床の地形構造を明らかにした。

また、河床低下箇所において、地形構造の計測と同時に計測可能な反射強度を整理した反射強度分布図と地形構造の関連性を整理した結果、出水前後において河道の中心付近に異なる河床物質の境界面が存在することを推測した。

さらに、出水前後の河床地形の変化等を踏まえ、泥岩・沖積粘性土層の露出河床の侵食特性として、洗掘穴の上流端の崖状の形状が要因となり、崖状形状からの水流の落ち込みにより逆向きの渦が生じ、洗掘穴が拡大していることを推測した。

上記より、3次元サイドスキャンソナーについては、面的な河床の地形構造だけではなく、河床物質の推定に

使用し得る反射強度の計測を同時に行えることから、侵食特性を検討するための河床の計測技術としての可能性が示唆された。ただし、どの程度河床材料が変化すると反射強度がどのくらい変わるかなどをより明確にするためには、今後、反射強度によるデータの蓄積を行っていく必要がある。また、これらの蓄積したデータを活用し、更なる泥岩・沖積粘性土層の侵食特性の検討を行い、河床低下の侵食メカニズムの検討精度を向上することが課題である。

謝辞：本報告を実施するにあたり、貴重なデータを提供していただいた国土交通省 関東地方整備局 下館河川事務所 調査課に対し、ここに深く謝意を表します。また、「鬼怒川・小貝川河道管理研究会」の委員の方々には、貴重なご意見・ご指導をいただきました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 小川愛子, 鈴木克尚, 山本晃一：鬼怒川下流部における泥岩・沖積粘性土層の露出河道の侵食特性, 河川技術論文集, 第21巻, 2015.
- 2) 岩見収二, 西澤諒亮, 福岡達信, 福井治, 河邊宏, 笠井良彦, 伊藤嘉, 齋藤正徳：木曽川大規模深掘れにおける渦構造と深掘れ拡大要因の推定, 河川技術論文集, 第21巻, 2015.
- 3) 末次忠司, 佐々木いたる, 川本豪, 渡邊康司, 浅田昭, 韓軍：サイドスキャンソナーによる利根川河床地形の計測, 土木学会第63回年次学術講演会, 2008.
- 4) 菊森佳幹, 末次忠司, 寺崎友巳, 小澤守, 金澤裕勝：3次元サイドスキャンソナーによる中小河川浅水部測量, 土木学会第64回年次学術講演会, 2009.

(2016. 4. 4受付)