

平面・鉛直方向における河床材料の粒度分布に関する検討*

秋田大学工学部 自見寿孝

秋田大学大学院理工学研究科 谷口隼也・齋藤憲寿・渡辺一也

1. はじめに

近年、全国で台風などの大雨に伴う河川流量の増加により洪水被害が多発しており、河川計画や土砂流出予測において河床材料の粒度分布の把握は重要な要素¹⁾となっている。そこで、芦田ら²⁾は混合砂からなる蛇行流路の河床変動及び粒度分布の予測に関する数値解析モデルを提案し、江藤ら³⁾は河床変動と土砂収支に関する予測法を検討した。そして、中川ら⁴⁾は土砂の採取場所を1箇所限定し、深さ方向の粒度分布についても検討を行った。しかし、数値計算などで考慮される粒径は表層のみを対象とした場合が多く、深さ方向の検討はあまり行われていない。

本研究では、秋田県の二級河川である馬場目川の中流域を対象とし、砂州上の複数の箇所からの土砂採取を行って粒度分析を行った。そして、分析結果をもとに河床変動計算を行った。

2. 研究対象および粒度分析方法

図1に研究対象を示す。砂州上の St.1~6 から土砂を採取し、深さ 30 cm, 50 cm, 70 cm の土砂を 6,000 g ずつ採取した。そして、JIS A1204⁵⁾に則りふるい分け試験を行った。本研究では粒径加積曲線、占有率、中央粒径 D50 を算出し、横断方向と縦断方向における平面・鉛直方向での検討や 2020 年度の結果と比較を行った。

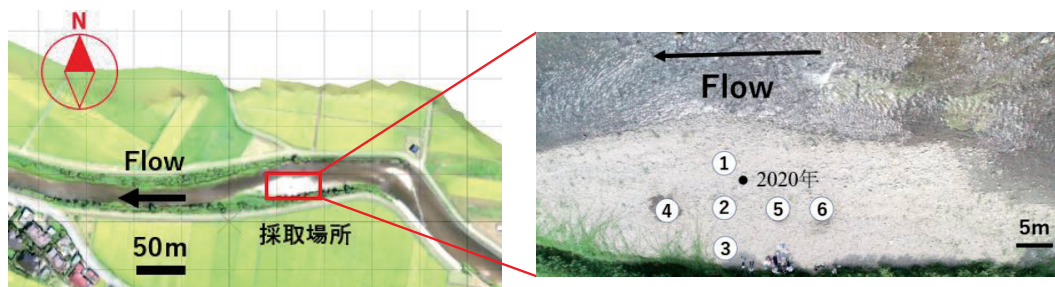


図1 研究対象（馬場目川中流域平の下地区）

3. 粒度分析結果

(1)横断方向

St.1~3 及び 2020 年度の粒径加積曲線を図2に示す。各階層の粒径加積曲線を比較すると、St.1 及び 3 では深さによる傾向は見られなかった。St.2 では深さ 30~70 cm の粒径加積曲線が概ね一

*Study on Grain Size Distribution of Riverbed Materials in the Horizontal and Vertical Direction by Yoshitaka JIKEN, Junya TANIGUCHI, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

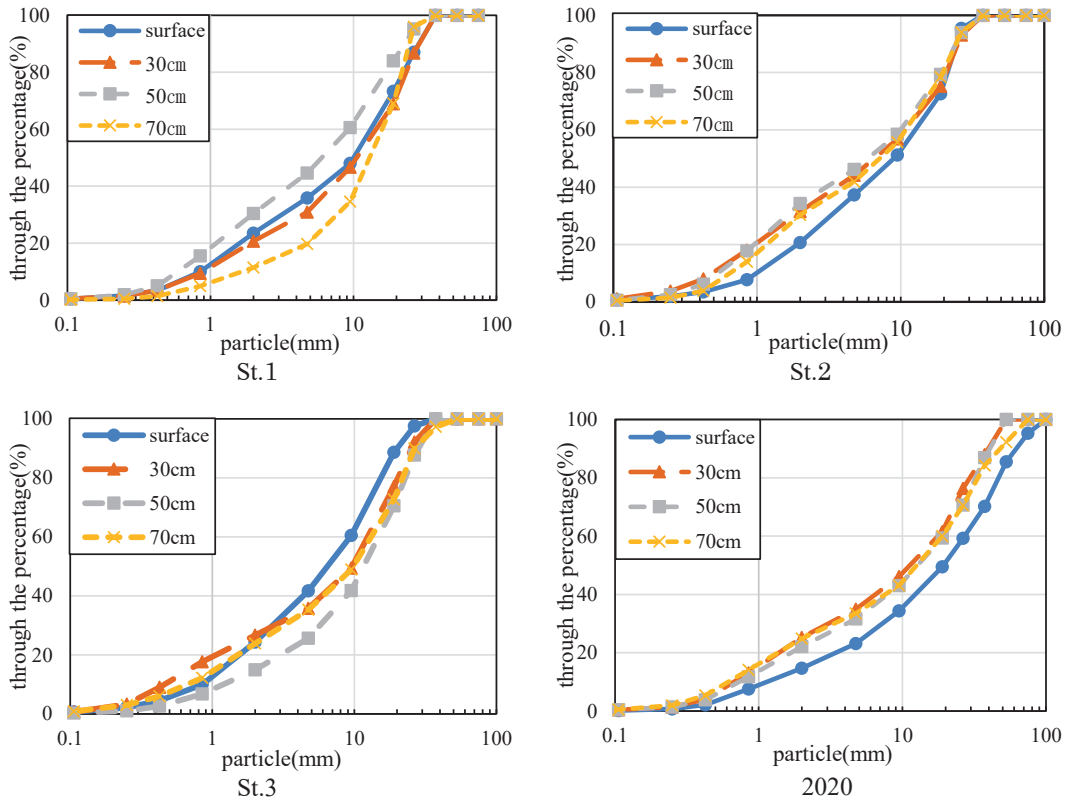


図2 粒径加積曲線

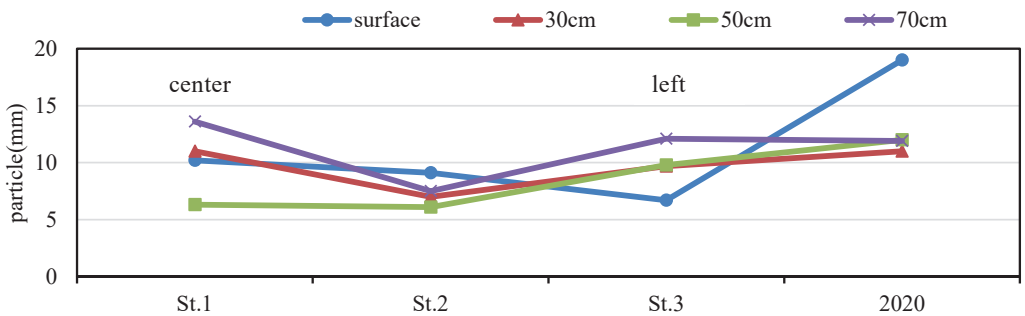


図3 中央粒径 D_{50}

致しており、2020年度の分析結果と同様の傾向であることから、交換層は30 cm未満であると考えられる。ここで、交換層の厚さは礫床河川において D_{90} の3倍程度⁹⁾と考られているが、St.2の D_{90} は約25 mmであり交換層は7.5 cmとなるため、粒度分析から考えられる条件と一致していた。次に中央粒径 D_{50} を示した図3をみると表層において St.2 は最も粒径が粗く、St.3 では最も粒径が細かい結果となった。また、2020年度の表層における粒径は今年度に比べ明らか

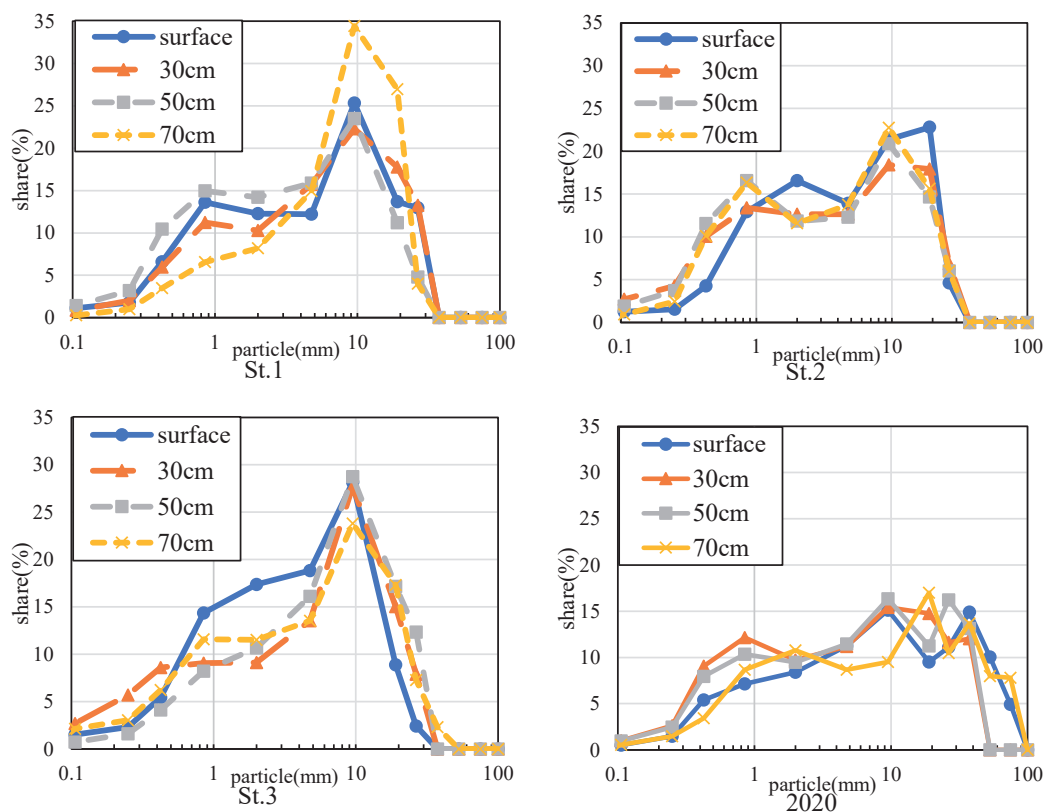


図4 占有率(粒径)

かに大きいことが分かった。

St.1~3 及び 2020 年度の粒径毎の占有率を図4に示す。占有率のピーク値は St.1 で 9.5 mm, St.2 で 9.5~19 mm, St.3 で 9.5 mm であり、どれも階層による違いは見られなかった。また 2020 年度の分析結果を比較すると、占有率のピーク値は 9.5~26.5 mm であり、St.1~3 とほぼ同様の傾向であった。また、St.3 では表層で 0.85~9.5 mm の細かい土砂が多く占められており、最も河道から離れていることから、土砂の交換はほぼ行われていないと考えられる。このことから横断方向では河道から離れるほど表層における土砂が細かいことが分かった。

(2)縦断方向

St.4~6 の粒径加積曲線を図5に示す。St.4 及び 5 では 50 cm 以上、St.6 では 30 cm 以上で同様の概形を示した。中央粒径 D50 を示した図6を見ると、深さ 50 cm 以上の土砂はどの地点でも細かい粒径が見られ、粒径が安定していた。また、St.2 及び St.4~6 の標高を比較すると St.5 が最も低く St.4 が最も高い。そのため、縦断方向でみると St.4 や St.5 など、砂州の下流側でより深く土砂の交換が行われていると考えられる。

St.4~6 の粒径毎の占有率を図7に示す。占有率のピーク値はどれも 0.85~9.5 mm の間であった。St.1~6 の粒径加積曲線を振り返ると、交換層や代表的な粒径を算出出来ない箇所もある。

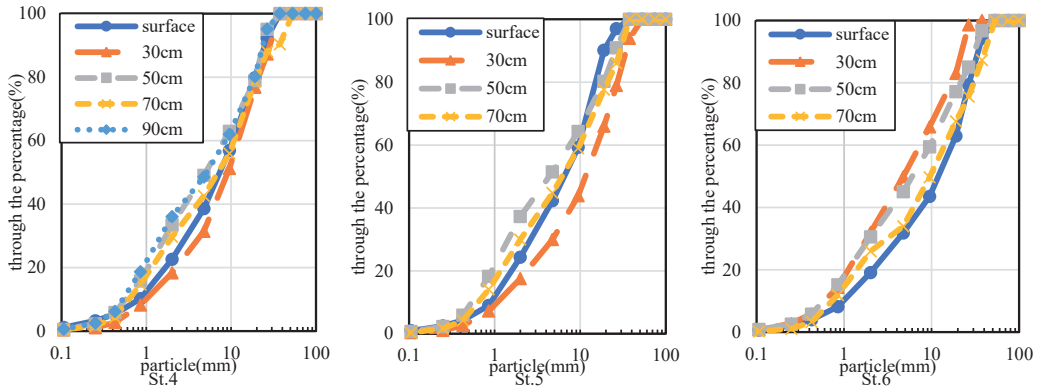


図7 粒径加積曲線

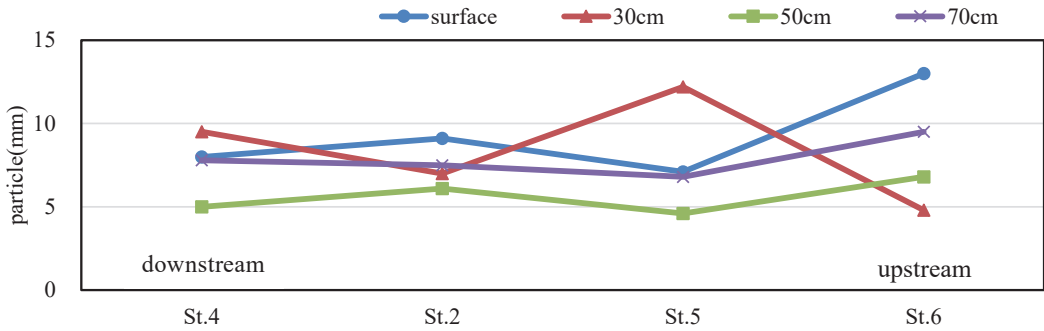


図8 中央粒径 D50

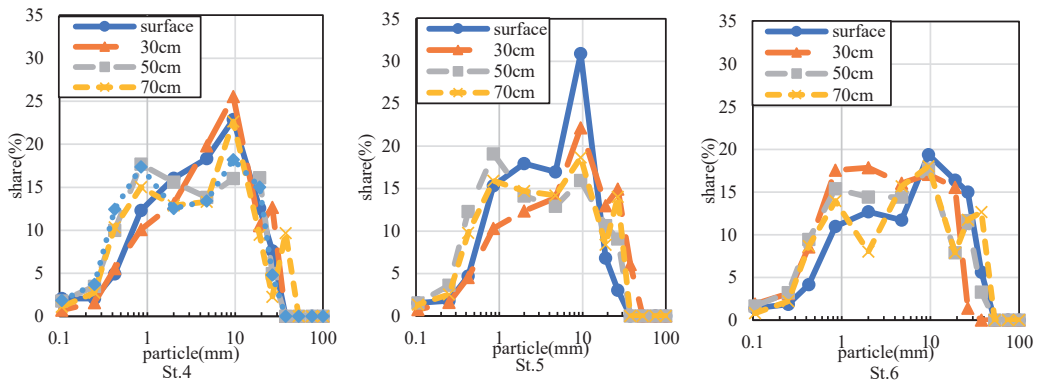


図9 占有率(粒径)

また、図5の中央粒径D50の表層において、他の地点と比べて2020年度の粒径と大きく異なることが分かった。したがって、各階層の粒径加積曲線は採取時期や位置によって大きく異なるため、数値計算で考慮する粒径については比較的安定した粒径値が得られる占有率を適用すべきではないかと考えられる。

4. 数値計算

次に本研究では、既往研究⁷⁾⁸⁾を参考とし平面二次元計算を行った。式(1)~(3)に今回使用した連続式と運動方程式を示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -hg \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + D^x \quad (2)$$

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -hg \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + D^y \quad (3)$$

ここで h は水深, t は時間, u, v は x, y 方向の平均流速, g は重力加速度, H は水位, τ_x, τ_y は x, y 方向の河床せん断力, D^x, D^y は x, y 方向の拡散項を示す。今回は表層のみを考慮した場合について 2020 年度の粒径値と比較した。使用した粒径値は中央粒径で, 2020 年度の表層 19.0 mm と粒径加積曲線が類似していた St.2 の表層 9.1 mm である。表 1 に計算条件, 図 10 に上流端の境界条件を示す。境界条件は調査地点の下流にある久保観測所のデータ(2018/8/24 18:00~2018/8/25 18:00 の 24 時間流量)を使用した。

表 1 計算条件

考慮する層	表層のみ
マンニングの粗度係数	河床 0.03 その他 0.04
時間ステップ	0.1 秒
計算格子	非正方格子

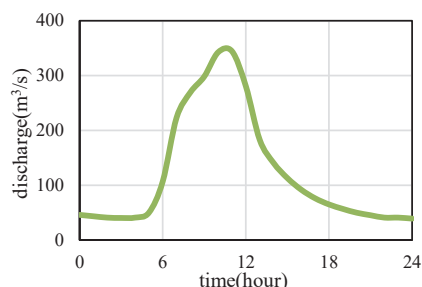


図 10 上流端の境界条件(流量)

5. 計算結果

図 11 に河床の標高変化を示す。図の赤色は堆積, 青色は洗掘を示す。これをみると左岸における砂州地点では河床変動量に違いは見られなかった。洗掘に関しては 2 パターンにおいてほとんど違いは見られず, 上流側で大きく洗掘することが明らかになった。

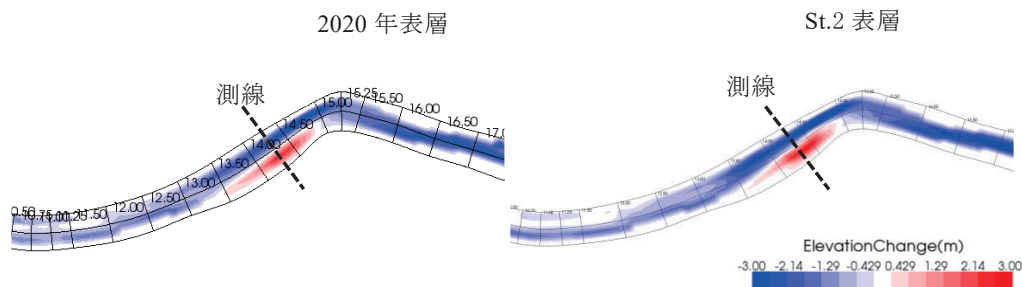


図 11 標高変化

図 12 に 2021 年 8 月 20 日に測量した砂州地点の実測横断面と表層 9.1 mm, 19.0 mm の場合の計算で得られた横断面を示す。計算値は実測値と比べて右岸側でより洗掘し、左岸側でより堆積する傾向であった。そのため、表層のみを考慮した場合における計算では、河床変動が過大評価されていると考えられる。また、粒径による違いは見られなかった。

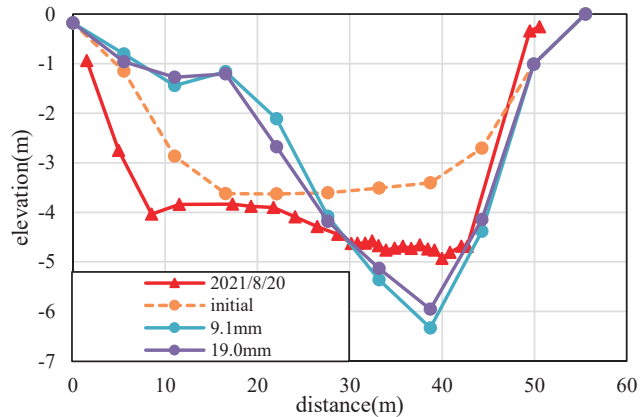


図 12 砂州地点の横断面

6. おわりに

本研究では馬場目川中流域の砂州上の複数の箇所について土砂を採取し、粒度分析を行った。その結果、St.2の粒径加積曲線から交換層は30 cm未満であることから、D90の3倍という考え方と一致していた。また、各階層の粒径加積曲線は採取時期や位置によって大きく異なるため、数値計算で考慮する粒径については比較的安定した値が得られる占有率を適用するべきではないかと考えられる。今後は数値計算による入力値の適正(粒径加積曲線, 占有率)を検討し、実河川の再現性を検討していきたい。

謝辞

本研究を行うにあたり科学研究費補助金(20H00256, 代表: 風間聡)の助成を受けた。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 原田大輔, 知花武花, Agus SANTOSO: 河床材料の粒度分布の特徴とその規定要因について, 土木学会論文集 B1(水工学)Vol. 73, No. 4, I_931-I_936, 2017.
- 2) 芦田和男, 江頭進治, 劉柄義: 蛇行流路における流砂の分級および河床変動に関する数値解析, 水工学論文集 第35巻, pp. 383~390, 1991.
- 3) 江頭進治, 金海生, 竹林洋史, 池田晶, 永田徹: 木津川下流域の河床変動と土砂収支, 水工学論文集, 第44巻, pp. 777~782, 2000.
- 4) 中川遥, 谷口隼也, 齋藤憲寿, 渡辺一也: 鉛直方向粒度分布と河床変動に関する検討, 令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会, II-41, 2020.(CD-ROM)
- 5) 日本産業規格 JISA1204:2020< <http://www.kikakurui.com/a1/A1204-2020-01.html>>(2021/12/21 アクセス)
- 6) 関根正人: 移動床流れの水理学, 共立出版株式会社, 161 p, 2005.
- 7) 池森俊介, 渡辺一也, 萩原照通: 馬場目川における粒径を考慮した変動計算に関する検討, 土木学会東北支部技術研究発表会概要, II-25, 2017.(CD-ROM)
- 8) 植木洸太郎, 渡辺一也: 馬場目川における数値計算を用いた堤防被災に関する検討, 土木学会東北支部技術研究発表会概要, II-49, 2018.(CD-ROM)