

## 馬場目川における鉛直方向の粒度分布変化と 河床変動計算に関する検討\*

秋田大学理工学部 中川 遥  
秋田大学大学院理工学研究科 谷口隼也・渡辺一也・齋藤憲寿

### 1. はじめに

近年、日本では台風や豪雨による洪水被害が頻発しており、河道における河床材料の粒度分布は土砂管理の観点からも重要な指標である。また、粒度分布から得られる平均粒径などは数値計算を用いた河川の特性把握や河道計画にも用いられている。しかし、粒径の考慮は河床表層に関するものが多く、より深い地点での河床材料に関する検討はあまり行われていない。

そこで本研究では、秋田県最大の二級河川である馬場目川<sup>1)</sup>の中流域から河床材料を採取し、鉛直方向における粒度分布の変化を検討した。また、得られた粒度分布から数値計算を行い、一様粒径および混合粒径で比較を行った。

### 2. 現地調査

図-1に土砂の採取および横断測量箇所、図-2に土砂の採取状況を示す。表層、深さ30cm、50cmおよび70cmの4階層から約50cm四方を目安に、各階層から約6,000gの土砂を採取し、乾燥させた土砂の約4,000gを試料とし、JIS A1204<sup>2)</sup>に則りふるい分け試験を行った。



図-1 馬場目川平の下地区（2020年7月撮影）



図-2 土砂の採取状況

### 3. 粒度分析結果

2016年10月、2020年10月および2020年11月に採取した河床表層の粒径加積曲線を図-3に示す。中央粒径(D50)は2016年10月で約11.2mm、2020年10月で約7.8mm、2020年11月で約19.0mmと大きな差が生じた。また、図-4に各ふるいに留まった試料の割合を示した占有率のグラフを示す。占有率のピーク値は2016年10月で19.0mm、2020年10月で14.3mm、2020年11月で23.5mmという結果となった。

\*Study on vertical change of particle size distribution and calculation of river topography at the Babamegawa River by Haruka NAKAGAWA, Junya TANIGUCHI, Kazuya WATANABE and Noritoshi SAITO

図-5、図-6に2020年11月に採取した試料の粒径加積曲線および占有率のグラフを示す。各階層の粒径加積曲線を比較すると、表層の中央粒径値は19 mmであるが、深さ30~70 cmでは約13~14 mmとなり、表層が粗い粒度分布であった。また、深さ30 cm, 50 cm, 70 cmの粒径加積曲線はおおむね同様であった。一方、占有率で比較すると表層は0.85~2 mmの粒径が少なかつたが、占有率のピークはすべての階層で9.5 mm~26.5 mmの間で見られ、表層と同様な結果となった。

深さ30~70 cmの範囲では粒径加積曲線に差が生じなかつたため、深さ30~70 cmは堆積層であり、交換層の厚さは30 cm未満であると考えられる。ここで、交換層の厚さについては現在、力学的に定式化するところまでは至つておらず、礫床河川においては概ね90%粒径D90の3倍程度と考えられている<sup>3)</sup>。本研究で採取した表層のD90は約73 mmであり、上記によると交換層は約22 cm程度となるため、粒度分析から考えられる条件と一致していた。また、一様粒径の数値計算に用いられる代表粒径は50%粒径D50が一般的であるが、表層の粒径加積曲線は採取時期や採取場所などによって大きく変化するため、比較的安定した値が得られる占有率についても考慮するべきではないかと考えられる。

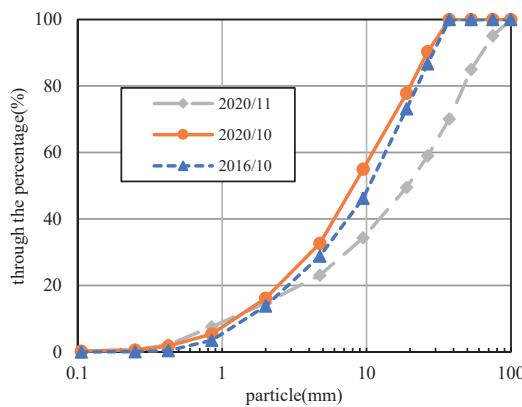


図-3 表層の粒径加積曲線

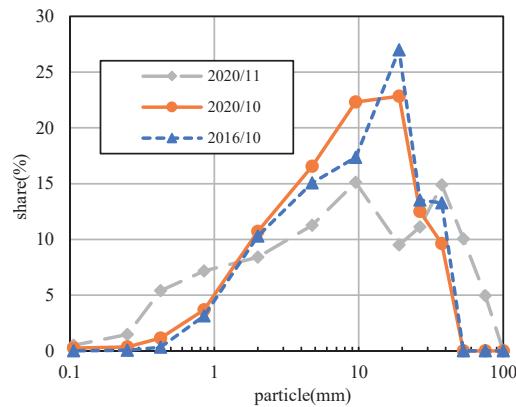


図-4 表層の占有率

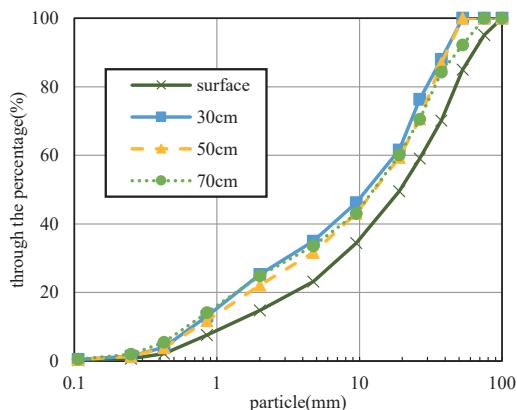


図-5 粒径加積曲線（2020/11 採取）

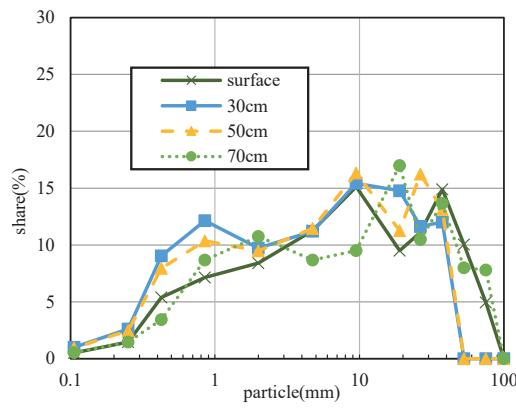


図-6 占有率（2020/11 採取）

#### 4. 数値計算

本研究では、既往研究<sup>4)5)6)</sup>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,  $\tau_x$ ,  $\tau_y$  は  $x$ ,  $y$  方向の河床せん断力,  $D^x$ ,  $D^y$  は  $x$ ,  $y$  方向の拡散項を示している。

得られた粒度分布を用いて表-1に示す4パターンの数値計算を行った。なお、入力する粒径値は、パターンaでは図-3の各中央粒径、パターンbでは図-5を考慮して決定した。図-7は今回設定した河床材料のモデルである。表-2に計算条件、上流端の境界条件として図-8に計算領域の数km下流にある久保観測所における2018/8/24 18:00～2018/8/25 18:00の24時間流量を示す。

表-1 粒径入力パターン

パターン	粒径設定	入力する粒径値 (粒度分布)
a	1	7.8 mm (2020/10)
	2	11.2 mm (2016/10)
	3	19.0 mm (2020/11)
b	1	混合粒径 深さ 50 cm

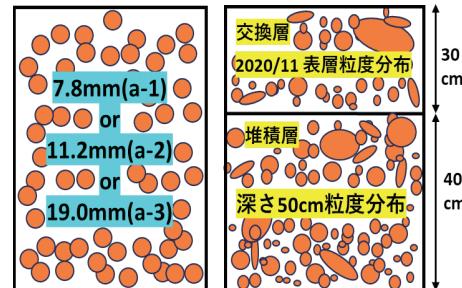


図-7 設定モデル

表-2 計算条件

	一様粒径	混合粒径
マニングの粗度係数	河床 0.03 その他 0.04	河床 0.03 その他 0.04
時間ステップ	0.1 秒	0.1 秒
交換層の厚さ		30 cm
堆積層 1 層の厚さ		40 cm
考慮可能な層厚数		25
計算格子	非正方格子	非正方格子

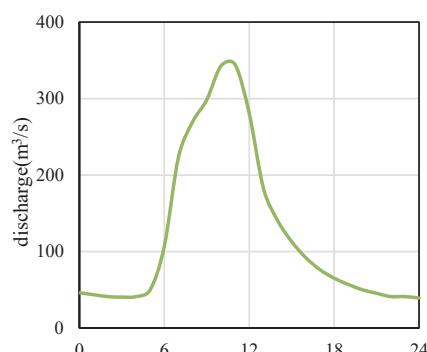


図-8 境界条件

(2018/8/24 18:00～2018/8/25 18:00)

### 5. 計算結果

図-9に流量ピーク時における河床の標高変化を示す。a-1をみると、測線1付近では堆積の傾向が見られず、測線2付近では左岸で大きく堆積、右岸で大きく洗堀された。測線3付近では左岸で洗堀、右岸で若干堆積していた。そして、全体としてパターンaを比較すると、粒径が大きくなるほど河床の変動量が小さくなつたが、粒径に関わらず洗堀および堆積の傾向は同様であった。一方、パターンbでは測線1および2の洗堀、堆積の傾向はパターンaと同様であったが、測線3の右岸は堆積が見られなかつた。また、全体としてパターンaよりも河床変動量は小さくなつた。

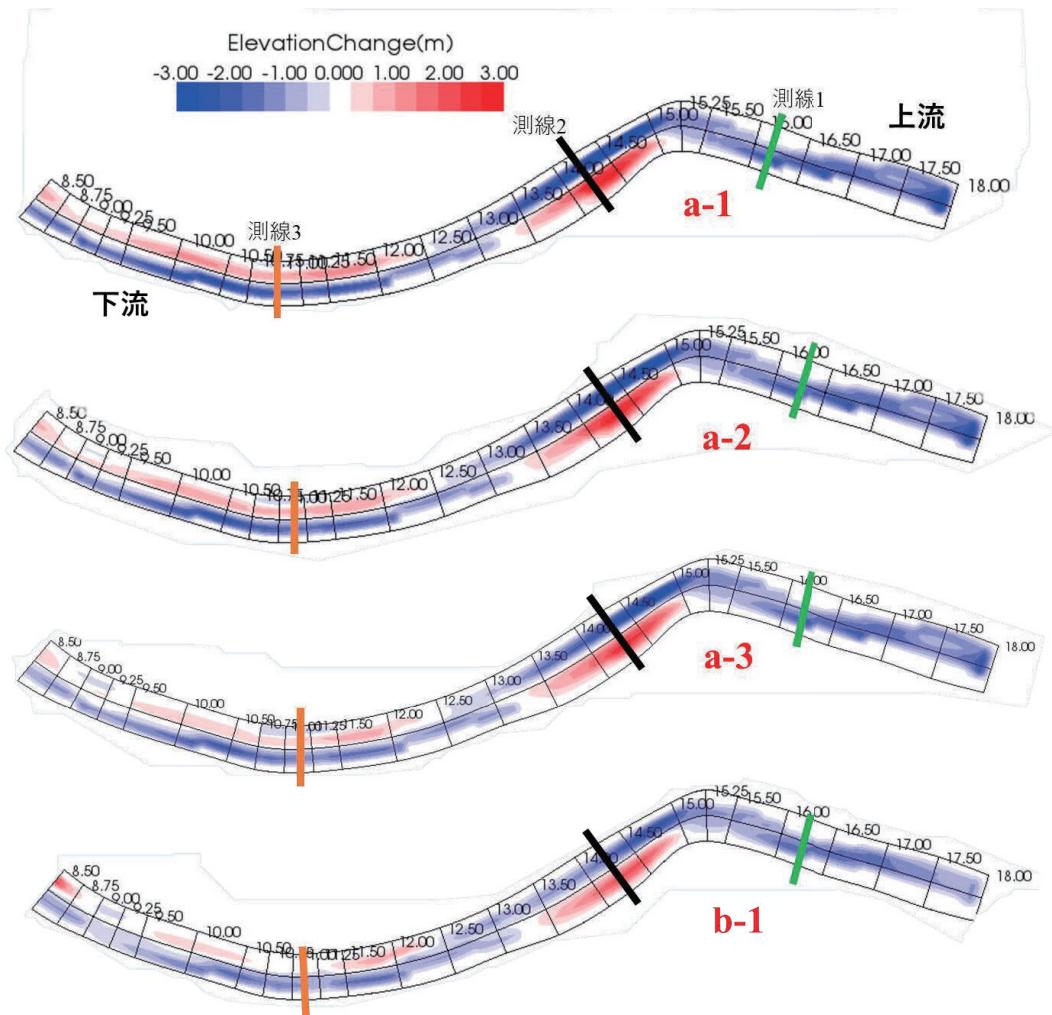


図-9 流量ピーク時の標高変化

ここで、河床変動計算における 24 時間後の測線 1~3 の横断面図と 2016 年から 2020 年の秋季の横断測量結果を比較した。図-10, 11 に示す測線 1 の計算結果および測量結果をみると、計算結果では左岸が洗堀しているのに対し、測量結果では河床に目立った洗堀および堆積は見られなかった。また、図-12, 13 に示す測線 2 の計算結果および測量結果をみると、計算結果では大きく左岸で堆積、右岸で洗堀しているが、測量結果ではやや左岸で堆積は見られるものの、計算結果と比較すると両岸の河床標高に差は見られなかった。さらに、図-14, 15 に示す測線 3 の計算結果および測量結果をみると、パターン a の計算結果では左岸で深く洗堀しているのに対し、パターン b では初期状態と河床の形状は変わらず全体的に河床が低下している。一方、測量結果は洗堀および堆積の傾向は見られず、パターン b とおおむね同様な傾向であった。

混合粒径における数値計算の場合には、河床土砂全体の体積保存則が成り立つだけでなく、粒度分布を構成する各粒径階層の土砂においても体積保存則を満たしている。そのため河川中流域などの粒度分布にばらつきがある場所では、混合粒径の方が変動傾向の再現ができたのではないかと考えられる。

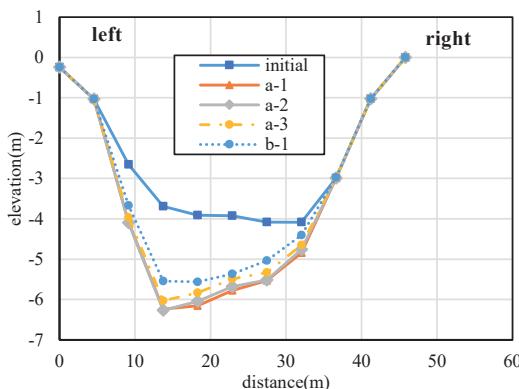


図-10 測線 1 計算結果

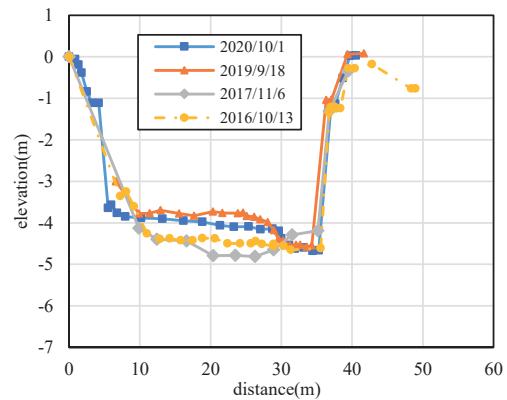


図-11 測線 1 測量結果

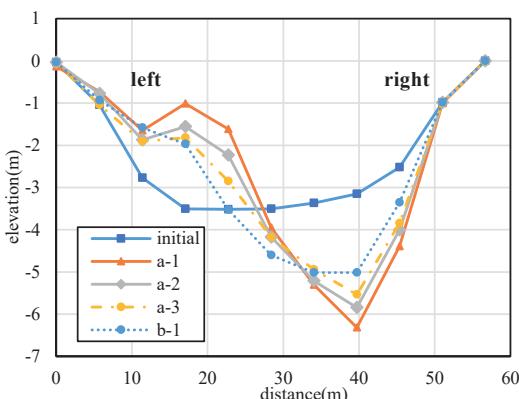


図-12 測線 2 計算結果

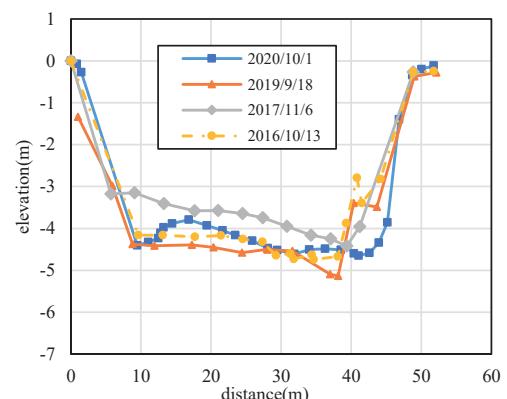


図-13 測線 2 測量結果

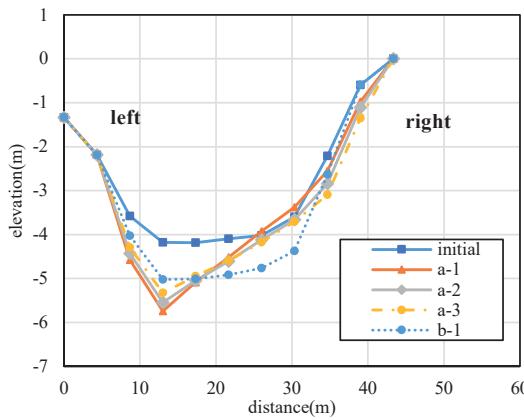


図-14 測線3 計算結果

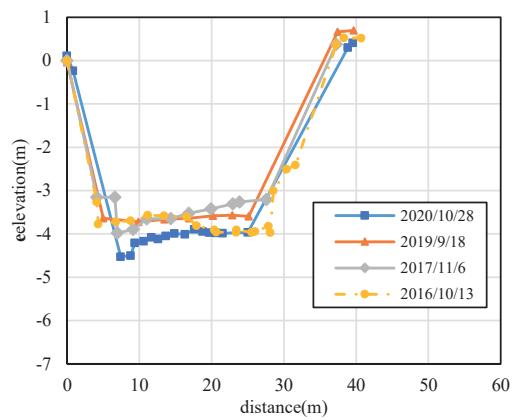


図-15 測線3 測量結果

## 6. おわりに

本研究では、馬場目川中流域の河床材料について鉛直方向における粒度分布の変化を検討した。そして、得られた粒度分布を用いて河床変動計算を行い、混合粒径と一様粒径で比較を行った。その結果、深さ30~70 cmの粒径加積曲線に差は生じず、表層でのみ異なる分布を示したため、交換層の厚さは30 cm未満であると考えられる。これは、現在定式化されていない交換層の厚さが表層の90%粒径(D90)の3倍という一般的な考え方<sup>3)</sup>と一致していた。また、河床の変動計算の結果から河川中流域などの粒度分布にばらつきがある場所では、混合粒径は一様粒径よりも変動傾向の再現ができるのではないかと考えられる。

## 謝辞

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

## 参考文献

- 1) 秋田県:二級河川馬場目川水系 河川整備基本方針, 2007.  
<<http://www.pref.akita.lg.jp/pages/arghive/10601>> (2020/7/5 アクセス)
- 2) 日本産業規格 JIS A1204:2020 土の粒度試験方法 <<https://www.kikakurui.com/a1/A1204-2020-01.html>> (2020/10/5 アクセス)
- 3) 関根正人:移動床流れの水理学, 共立出版株式会社, 161p., 2005.
- 4) 萩原照通, 会田俊介, 風間聰:根固め用袋材が河床変動に及ぼす影響について, 土木学会東北支部技術研究発表会概要, II-5, 2016. (CD-ROM)
- 5) 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)
- 6) 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)