

中小河川の蛇行部の通砂能力と過剰な土砂供給に対する応答

広島県 正会員 ○仲井 瑠菜
 広島大学 正会員 内田 龍彦
 広島大学 正会員 嶋野 美佐子

1. 背景と目的

平成30年7月豪雨では多くの中小河川において土砂・洪水氾濫が発生し、甚大な被害をもたらした。これを未然に防ぐには、上流域の川幅水深比が小さい中小河川での通砂能力の評価が求められる。

川幅水深比が小さな河川では流れの三次元性が大きく、蛇行・湾曲部での通砂能力の評価には、これを適切に考慮することが重要である。しかし、蛇行・湾曲部に関する研究の多くは河床形状やその発達過程に着目しており、通砂能力については十分に検討されていない。

本研究では単断面蛇行水路において、川幅水深比を小さくし三次元的な流れの作用を高めた条件下で過剰給砂を伴う実験を行い、直線との比較を行った上でその通砂能力を明らかにすることを目的とする。

2. 通砂能力に関する実験

水路実験による通砂能力の評価のため、直線、蛇行水路を用いた移動床での実験を行った。実験条件を表-1に示す。通水後、下流端に設けた堰堤から越流し、上流水位が安定した時間を実験開始とし、移動床の上流端において給砂を始めた。

図-1に(a)直線水路と(b)蛇行水路における、通水前後の河床形状を示す。図-1中の上流付近の破線は、水流により下流へとずれた後の実質的な給砂位置を表す。一定の給砂により水路全体に堆砂し、通水後の河床に勾配がついたことが分かる。河床勾配は(a)直線、(b)蛇行ともに水路全体で様ではなく、上流の堆砂最高点付近で大きく、中下流の等流区間ではやや小さい。ここで、本研究における通砂能力の評価には、等流区間の勾配を用いる。

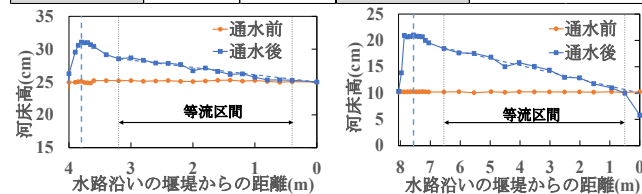
図-2に(a)直線水路と(b)蛇行水路における、河床勾配の時間変化の実験値と一次元等流計算による計算値の比較を示す。計算値には、(a)直線水路の実験結果に合わせて粗度係数等のパラメータ調整をした一次元等流計算を用いており、移動床長さ、幅、初期河床高を変えて(b)蛇行水路にも適用している。(a)について、17~30分にかけての計算値と実験値は±5%の誤差精度で一致した。(b)より、最終的な河床勾配は蛇行が直線を上回ることが分かる。本実験で得られた最終河床勾配の実験値を比較すると、蛇行は0.0131、直線は0.0111であり、蛇行水路での勾配は直線でのそれより大きかった。

3. 実験の解析と考察

蛇行部での土砂輸送について考察するため、表-2の条件で固定床計算による平衡河床における流れの

表-1 実験条件

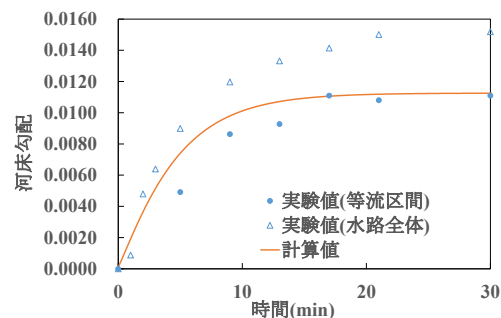
	直線	蛇行		直線	蛇行
幅	0.18 m	0.39 m	単位幅流量	0.05 m ² /s/m	
初期河床長	4 m	8.06 m (1蛇行分)	単位幅給砂量	361 g/s/m	
初期河床高	0.25 m	0.10 m	川幅水深比 B/H	6.3	
初期河床勾配	0		限界水深	0.0634 m	
上流端条件	水中安息角(30°)		通水時間	30 mins	2 hours
蛇行度	—	1.25	土砂粒径	1.55 mm	



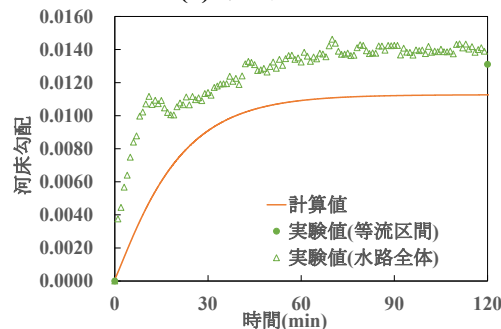
(a) 直線水路

(b) 蛇行水路

図-1 通水前後の河床形状



(a) 直線水路



(b) 蛇行水路

図-2 河床勾配の比較

表-2 解析条件

		直線	蛇行
解析方法	—	平面二次元解析法	一般底面流速解析法 ²⁾
単位幅流量	m ² /s/m	0.05	
土砂粒径	mm	1.55	
メッシュの大きさ	m	dx=dy=0.0396	dx=0.0806, dy=0.0650
刻み時間dt	sec	0.01	
相当粗度	mm	3.1	
下流端水深	m	0.0419 (実験観測水位)	0.0634
河床データ	—	実験での最終河床形状	

キーワード 川幅水深比, 中小河川, 通砂能力, 過剰給砂

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1 広島大学工学部 社会基盤環境工学専攻 事務室
 TEL 082-424-7819

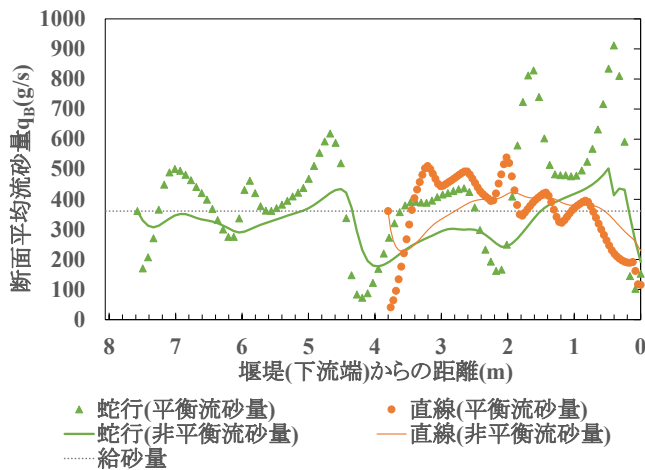


図-3 断面平均流砂量の縦断分布

解析を行った。蛇行の解析に用いた一般底面流速解析法²⁾(GBVC法)は、水平方向渦度や鉛直方向流速を水深平均水平方向流速場と連立して解くことで、流れの三次元性を考慮できる解析法である。直線では上流1m、蛇行では上流2m、下流2.5mほどの助走区間を設けた。

図-3に断面平均流砂量の解析値の縦断分布を示す。本実験においては、流砂の非平衡性が大きく、平衡流砂量式による評価では不十分であったため、非平衡流砂量式を用いることにより、平滑化した流砂量分布を求めた。非平衡流砂量式を下に示す。

$$\frac{\partial q_B}{\partial x} = \frac{q_{Be} - q_B}{L_e} \quad (1)$$

ここで、 q_B : 非平衡流砂量、 q_{Be} : 平衡流砂量、 L_e : 平衡状態での土粒子の平均移動距離である。上流端境界条件には実験の給砂量を与えた。また、平衡流砂量は芦田・道上式により算出し、その係数は本直線実験での水路平均流砂量を給砂量に一致させるようにして定めた。解析値を用いて計算した流砂量の平均値は蛇行水路で328 g/secであり、給砂量の91%であった。そのため、この流砂量式による評価では本蛇行実験における流砂量を適切に評価できないと言える。

水路壁に沿った断面平均的な流砂量式で本蛇行実験での流砂量を適切に評価できなかった要因として、流れの三次元性による土砂の移動経路の変化を考える。図-4に二次流の分布と底面流速ベクトル、図-5に河床面における有効摩擦速度の分布と流線を示す。図-4に関して、二次流とは流れの三次元性を高める要素の一つであり、主流に対して回転方向に発生する流れである。二次流の評価には次式を用いた。ただし、主流方向に対して右回りを正、左回りを負で表す。

$$h_D = \frac{(U_x \Omega_x + V_y \Omega_y)h}{\sqrt{U_x^2 + V_y^2}} \quad (2)$$

ここで、 h_D : Helicity Density(二次流強度を表す指標)、 U_x, V_y : x, y 方向水深平均流速、 Ω_x, Ω_y : x, y 方向水

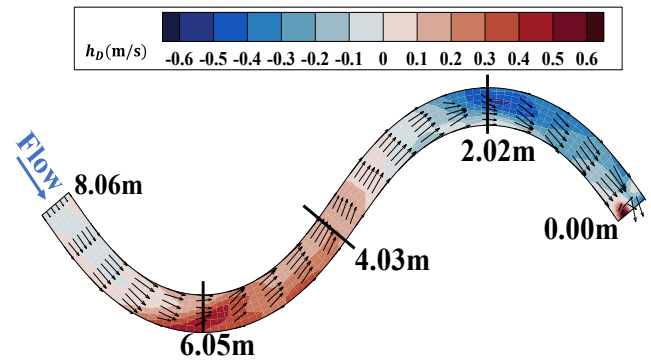


図-4 二次流と底面流速ベクトル

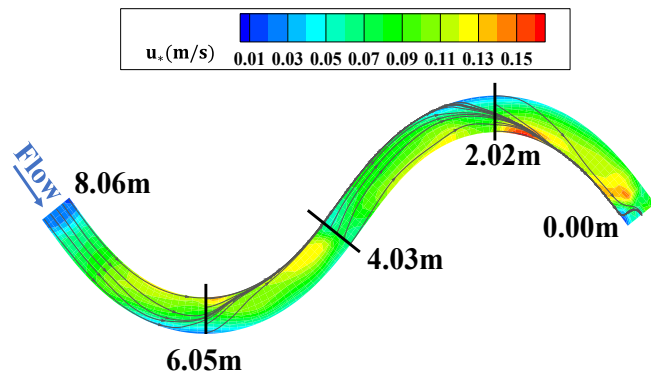


図-5 有効摩擦速度と河床近傍の流線

深平均渦度、 h : 水深である。図-4から、偏角0の断面を中心に水路全体に二次流が分布していることが分かる。また、底面流速ベクトルは二次流の影響により湾曲部で内岸を向き、湾曲部下流の内岸において集中し、二次流による上昇流が発生していると考えられる。さらに図-5より、湾曲内岸では有効掃流力が大きく、河床近傍の流線が集まっていることから、上昇流により巻き上げられた土砂は河床近傍の流線に沿って、選択的に掃流力の大きな経路を通りながら、堆積することなく下流へ流れると考える。このため、蛇行水路における通砂能力の評価には流砂の非平衡性と三次元流れによる土砂の移動経路を考慮する必要があると考えられる。

4. 結論

本実験より、最終河床勾配を比較すると直線は蛇行の0.85倍であり、水路に沿った勾配を用いたとしても、蛇行部は直線部より通砂能力が小さいことが明らかになった。また、本実験の解析から、蛇行水路においては二次流に伴う土砂の移動経路の変化が大きく、適切な流砂量の評価を行うには、流砂の非平衡性と合わせてそれを考慮する必要があることが分かった。

参考文献

- 1) 富永晃宏, 長尾正志, 千葉茂樹: 幅水深比の小さな長方形断面開水路の湾曲部流れ構造に関する実験的研究, 土木学会論文集, 607号, pp.19-28, 1998.
- 2) 内田龍彦, 福岡捷二: 浅水流の仮定を用いない水深積分モデルによる底面流速の解析法, 土木学会論文集, 68巻4号, I_1225-I_1230, 2012.