

粗面開水路流れにおいて高濃度土砂が乱流構造に与える影響

熊本大学 学生会員 川口 裕輔 安達 幹治 正会員 大本 照憲

1. はじめに

シルトや粘土などの微細土砂を大量に含有する高濃度土砂は世界中の様々な場所で確認されており、その動力学的特性は粘性や密度の増大に伴い乱れの強さ、土砂の濃度分布、流れの抵抗特性および土砂輸送能力の変質が予想されるが、流れの計測が困難であることからその流動機構については不明な点が多い。河川の治水安全度を評価するうえで基本となるものは流れの抵抗則の確立であり、粗度係数の予測精度が重要である。実河川における流れの抵抗特性を境界条件から数理的、演繹的に粗度係数を算定することは困難であるため、現在では経験的に得られた見かけの粗度係数によって判断される。従来の研究から抵抗則は粗度の形状、配列、大きさ、流れの条件に依存していることが明らかになっている。しかしながら、清水流における抵抗則については十分な研究は行われているが、高濃度土砂流における抵抗則の研究は十分に行われていない。

Bradley&McCutcheon¹⁾は、体積濃度が20%以下では密度や粘性への影響が小さい標準的な水流とし、20%以上でその特徴が現れ、粘土やシルトの体積濃度が5%以上の土砂流では非ニュートン流体特性を示すことが指摘されている。高濃度土砂流の抵抗特性についての実験的研究においてZ.Wang²⁾は、滑面、礫床および巨礫床においてカオリン懸濁流体積土砂濃度を0-9%の範囲で変化させ、抵抗係数は、礫床および巨礫床においては体積土砂濃度が3-9%の範囲では土砂体積濃度の増大に伴い明瞭な減少傾向、滑面においては微増することを示した。

本研究においては礫床流れを自然石を用いて再現し、礫床開水路流れにおける土砂濃度と抵抗特性の関係、および乱流構造に与える影響に関して清水流との比較において検討した。

2. 実験装置および実験方法

実験に用いた水路は、長さ10m、幅39.5cm、高さ20cmの可変勾配型の循環式直線水路である。水路床及び側壁はアクリル樹脂製となっており、側壁からのカメラ撮影、レーザー光が照射可能となっている。座

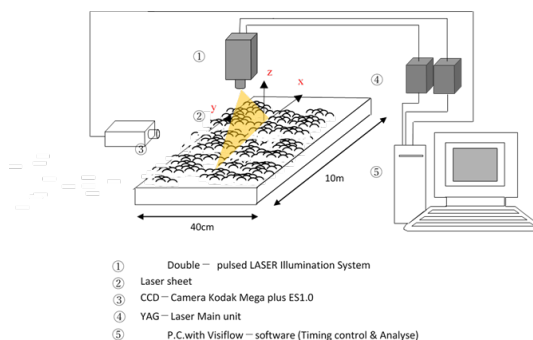


図-1 流れの計測システム

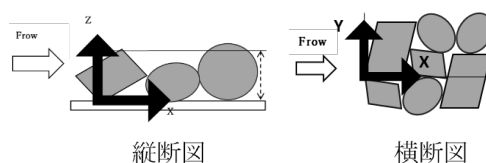


図-2 水路床の境界条件

表-1 流速計測の実験条件

	Case-1	Case-2	Case-3
PSA concentration C_w (mg/l)	0	500	1200
Discharge Q (l/s)	4	4	4
Flow depth H (cm)	4.79	4.10	5.26
Mean flow velocity U_m (cm/s)	21.36	24.86	15.87
Friction flow velocity U_* (cm/s)	3.96	3.66	4.14
Froude number Fr	0.312	0.392	0.221
Channel slope I_0	1/300	1/300	1/300
Drag coefficient C_f	0.0686	0.0433	0.1364

標系は流下方向をx軸、水路横断方向をy軸、鉛直上向きをz軸とし、それぞれに対応した時間平均流速成分をU, V, W、変動成分 u' , v' , w' とする。本研究では、流れの計測には非接触型の代表的な画像処理法であるPIV(Particle-Image Velocimetry)法を用い、撮影位置は上流端より4.7mの等流場で行った。光源には空冷式のパルスレーザーを用い、シート光の厚さを1mm、パルス間隔を200 μ sに設定し水路上方から底面に向かって垂直下向きに照射した。レーザー光による可視化画像はレーザー発生装置と同期させたハイスピ

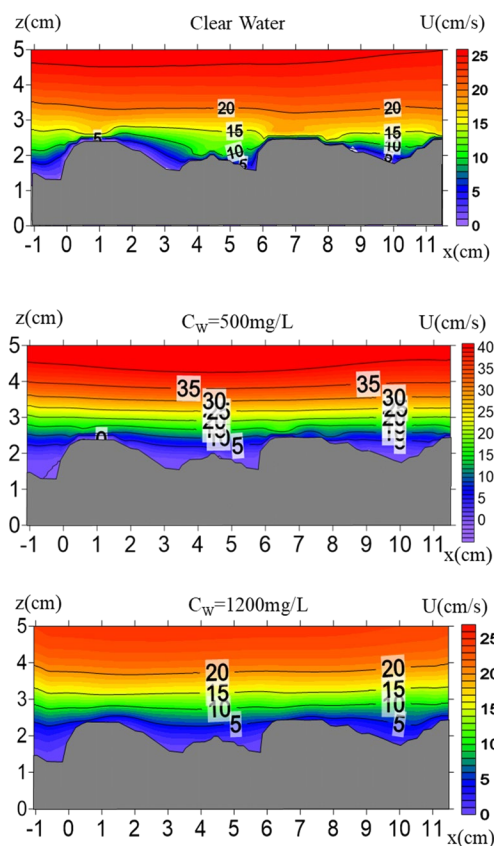


図-3 主流速のコンター

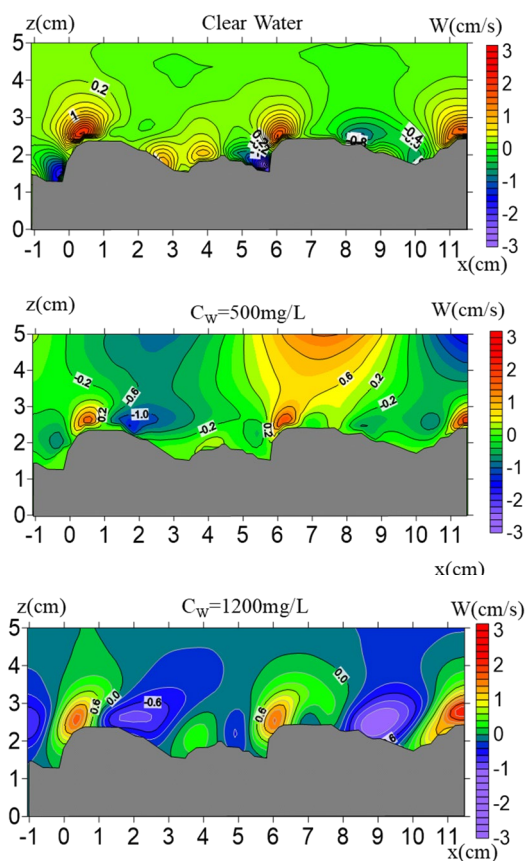


図-4 鉛直流速成分のコンター

ードカメラ(PHOTRON 製 FASTCAM SA3)によって撮影された画像は 125fps(frame per second), 1024×1024(pixel)のモノクロビデオ画像としてコンピュータのハードディスクに記録され, PIV 法により画像処理された。

粗度材料は中央粒径 30mm の白川で採取した自然石を使用し, 水路床に重ならないよう, 一様に敷き並べた。水路床は, 水路上流端から水路下流端に 10m の長さに亘って配置した。高濃度土砂流の模擬流体として無色透明であるポリアクリル酸ソーダ(PSA)溶液を用いた。計測システムの概要を図-1, 粗度の縦列配列, 横断配列を図-2 に示す。

流れは所定の流量を通水し下流端の堰を操作することにより等流場を形成し, ポイントゲージを用いることで等流水深を計測した。水深は撮影部の自然石の平均高さから水面までと定義した。表-1 に流れの計測における各実験条件と抵抗係数と濃度の関係を示す。

3. 実験結果

図-3 は清水流, PSA 溶液濃度 $C_w=500\text{mg/l}$ および $C_w=1200\text{mg/l}$ における時間平均流の主流速成分, 図-4 は鉛直流速成分のカラーコンター図を示す。図-3 より主流速の大小関係は $U(1200\text{mg/l}) < U(C_w) < U(500\text{mg/l})$, 主流速は濃度の増加に伴い下層域での速度勾配が穏やかになっている。

図-4 より鉛直速度成分は粗度頂部より上流側で上昇流, 粗度頂部より下流側で下降流が発生している。また清水流では PSA 溶液濃度 $C_w=500\text{mg/l}$ および $C_w=1200\text{mg/l}$ と比べ, 小規模かつ多数の上昇流, 下降流が形成され, 濃度が増大するに伴い鉛直流速成分は規則的な傾向を示している。これは濃度の増加に伴い乱れが抑制されたためと考えられる。

参考文献

- 1) Bradley, J.B. and McCutcheon, S.C : The effects of high sediment concentration on transport processes and flow phenomena, proc. Conf. Erosion, Debris prevention, Japan. 1985
- 2) Z.Y. Wang: RESISTANCE AND DRAG REDUCTION OF FLOWS OF CLAY SUSPENSIONS. Journal of Hydraulic Engineering, pp.41-49, 1998