

Rouse 分布を用いた瀬戸石ダムの土砂輸送量の算定と通砂・排砂運用の評価

日本大学工学部 学生会員 ○高地 咲  
 日本大学工学部 正会員 朝岡 良浩  
 流砂観測技術研究所, 日本大学工学部 正会員 古川 仁志

1. はじめに

熊本県の球磨川に位置する発電用ダムの瀬戸石ダムでは土砂の堆砂が問題となっている。ダム調整池に土砂が堆積すると、河床の上昇による氾濫リスクの増加、河口付近の干潟の変化、生態系への悪影響等の問題を引き起こす恐れがある。これらの懸案事項により、瀬戸石ダムは地元住民から撤去の要望も出ている。そのため瀬戸石ダムでは堆砂の対策を必要としている。

現在、ダム管理者は堆砂の対策として通砂・排砂の運用を検討している。しかし通砂・排砂による下流部への影響も危惧されている。そのため土砂輸送量を粒径別に連続観測をして、通砂・排砂時の土砂輸送量の実態を解明し、通砂・排砂の下流への影響を評価する必要がある。

古川ら（2019a）はフローセル型超音波減衰スペクトル計<sup>2)</sup>を用いて瀬戸石ダムの粒径区分別土砂輸送量を推定した。観測装置を瀬戸石ダムから上流側へ 200m、標高 43m の左岸側に設置した。2018 年 7 月豪雨時に採水を行い、採水地点での粒径区分別土砂濃度を計測、これらのデータをもとに流速分布と Rouse 分布を用いて粒径区分別土砂輸送量の鉛直分布を推定した。この推定では観測高度が水中内の 1 高度のみのため Rouse 分布が適用可能か、また Rouse 分布の係数に関する検討が不十分であった。本研究は、2019 年 9 月の洪水時のデータから Rouse 分布を用いた土砂輸送量の鉛直分布の推定の精緻化を目指し、粒径区分と Rouse 係数に着目して、Rouse 分布の適用性を検討する。また 2019 年 7 月の洪水時の通砂・排砂時の土砂輸送量を評価する。

2. 対象地域

本研究は熊本県球磨郡球磨村神瀬の球磨川水系球磨川に位置する瀬戸石ダム（北緯 32 度 21 分 31 秒，東経 130 度 38 分 26 秒）を研究対象地域とする（図-1）。瀬戸石ダムが位置する球磨川は、幹川流路延長 115 km，流域面積 1,880 km<sup>2</sup>の一級河川である。瀬戸石ダムは電源開発株式会社が所有する、流域面積 1629.3km<sup>2</sup>（全て直接流域）、計画総貯水量 9930,000m<sup>3</sup>，計画有効貯水量 2230,000m<sup>3</sup>の発電専用の重力式コンクリートダムである。

3. 研究方法

本研究は古川ら（2019b）が開発したフローセル型超音波減衰スペクトル計を使用する。フローセル型超音波減衰スペクトル計は、粒度分布と粒径別の土砂濃度の同時観測が可能であり、高濃度を測定可能、さらにリアルタイムでの連続観測ができる。

瀬戸石ダムの調整池の同一地点の 2 高度（標高 36m と標高 42m）の土砂濃度を観測した。36m 地点では従来通りフローセル型超音波減衰スペクトル計を用い常時観測をする。また大雨の出水

時のときに 36m 地点と 42m 地点で採水し、レーザー粒度計による計測を行う。粒径区分は 10 区分とする（表-1）。

キーワード 球磨川，粒径区分別浮遊砂量，超音波減衰スペクトル法，Rouse 係数

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定中河原 1 日本大学工学部土木工学科 TEL 024-956-8732

表-1 粒径区分

粒径範囲	名称	境界粒径 (mm)
S1	極粗粒砂	2.0>d>1.0
S2	粗粒砂	1.0>d>0.5
S3	中粒砂	0.5>d>0.25
S4	細粒砂	0.25>d>0.125
S5	極細粒砂	0.125>d>0.0625
S6	粗粒シルト	0.0625>d>0.0312
S7	中粒シルト	0.0312>d>0.0156
S8	細粒シルト	0.0156>d>0.0078
S9	極細粒シルト	0.0078>d>0.0039
S10	粘土	0.0039 以下



図-1 対象地域

粒径区分毎の土砂輸送量の鉛直分布を流速分布と Rouse 分布を用いて算出した。流速分布を以下の式により算出できる。

$$\frac{u(y)}{\bar{U}} = 1 + \frac{2.5}{\varphi} \left(1 + \ln \frac{y}{h}\right) \quad (1)$$

ここに、 $u(y)$ ：高度ごとの流速（m/s）， $\bar{U}$ ：平均流速（m/s）， $h$ ：水深（m）， $y$ ：河床からの距離（m）， $\varphi (= \frac{\bar{U}}{u_*})$ ：係数， $u_* (= \sqrt{ghI})$ ：摩擦速度（m/s）， $I (= (\frac{\bar{U} \cdot n}{R^{2/3}})^2)$ ：エネルギー勾配， $R$ ：径深（m）， $n (=0.04)$ ：粗度係数である。

また粒径区分別土砂濃度は Rouse 分布を用いて算出した。以下の式により求めることができる。

$$\frac{C(y)}{Ca} = \left(\frac{h-y}{y} \frac{a}{h-a}\right)^z \quad (2)$$

ここに、 $C(y)$ ：高度ごとの土砂濃度（kg/m<sup>3</sup>）， $Ca$ ：基準面濃度（kg/m<sup>3</sup>）， $a$ ：基準面高度（m）， $z$ ：Rouse 係数である。また Rouse 係数は、以下の式により求める。

$$Z = \frac{\omega^0}{\beta k u_*} \quad (3)$$

ここに、 $\omega^0$ ：粒子の沈降速度（m/s）（Rubey の式）， $\beta$ ：砂の拡散係数と渦動粘性係数との比， $k$ ：Kármán 定数（ $k \approx 4$ ）である。

#### 4. 結果および考察

レーザー粒度計で測定した 2019 年 9 月 22 日 14:00 の高度 36m と高度 42m で土砂濃度  $C(y)$  の比を真値と仮定して、Rouse 分布から推定した 2 高度の濃度比を検証した。10 区分（表-1）の粒径分布で濃度比を検証した結果を図-2 に示す。粒径区分 S1（極粗粒砂）から S4（細粒砂）は測定値の値が小さく計測が困難であったため検証の対象から除いた。また S5（極細粒砂）から S10（粘土）の粒径区分に関しては Rouse 係数  $\beta$  を 1.0~1.4 の範囲で変化させても精度への影響は小さいことが明らかになった。また粒径区分を S5~S7, S8~S9 を一括することにより、土砂濃度の精度向上が示された。

通砂・排砂が行われた 2019 年 7 月 14 日 00:00（流量 3200 m<sup>3</sup>/s）の堤体より上部（標高 36m 以上）を通過した土砂輸送量は 1 時間あたり S5~S7 が 10605t, S8~S9 が 9656t, S10 が 5315t で合計 25577t の土砂がダム下流に輸送されたと考えられる。全体の輸送量は 27953t であったためダムを通過した土砂輸送量は全体の 91% であり、S5~S7 は 41%，S8~S9 は 38%，S10 が 21% であった。

#### 謝辞

本研究は電源開発株式会社よりデータ提供を受けた。ここに記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 古川仁志, 福重裕史, 奥村裕史, 朝岡良浩, 長林久夫 (2019a) : 球磨川・瀬戸石ダムの通砂/排砂運用期間中の粒径区分別浮遊砂輸送量の観測, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.75, No.2, pp.I\_853-I\_858.
- 2) 古川仁志, 福重裕史, 河下重和, 朝岡良浩, 長林久夫 (2019b) : フローセル型超音波減衰スペクトル計による洪水時の粒径区分別浮遊砂輸送量の連続観測, 河川技術論文集, 25, pp.I\_163-I\_168.

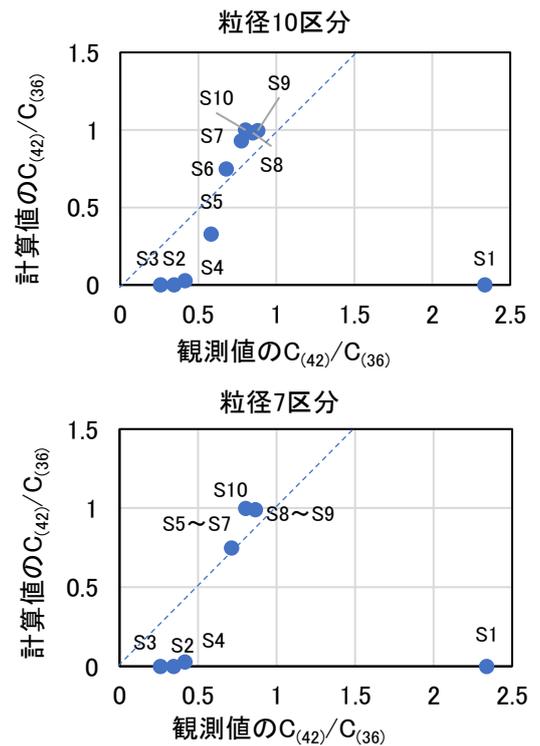


図-2 2019/9/22 14:00 の観測値と計算値の濃度比 (C<sub>(42)</sub>/C<sub>(36)</sub>)