

分級作用に伴う混合粒径土砂の空隙率と体積変化

広島大学	学生会員	○林 勇輔
広島大学	正会員	内田 龍彦
広島大学	正会員	河原 能久

1. 背景と目的

貯水池の堆砂、排砂機構や排砂された土砂が下流河道に与える影響について適切に評価できる混合粒径土砂の河床変動解析法は不可欠である。しかし従来の混合粒径土砂の河床変動解析法¹⁾は、交換層や空隙率の時間変化の評価法が確立されていない課題がある。立石ら²⁾は、広い粒度分布を持つ河床材料の空隙率を計算できる、粒子充填モデルを提案したが、分級を伴う土砂の堆積機構については検討が不十分であった。本研究では、現地堆積土砂を用いて水路実験を行ない、粒子充填モデルの検討を行なうとともに、貯水池における水流での土砂分級作用による堆積土砂の空隙率と体積の変化を明らかにする。

2. 実験方法と解析方法

実験には幅 0.50m、長さ 16m、深さ 0.65m の平坦水路を用いた。水路上流端から 3m の位置から 10m の区間の右岸壁はアクリル板の透明な側壁となっている (Fig.1)。下流端水深を 0.56m まで上げた状態で流量 0.020m³/s を流し静水状態にし、土砂を上流から 4m の位置に縦断方向に変化がないように設置する。粒度分布は野呂川ダム上流の粒度分布を参考に作成した (Fig.2)。この土砂を滑らかな凸形状に設置し (Fig.3 初期値参照)、締固めを行なった。土砂を設置後、初期体積 $V_0(0.123\text{m}^3)$ の堆積形状を超音波式河床計測器で縦断方向に 2cm、横断方向に左右から 0.5m、0.15m、0.25m、0.35m、0.45m の 5 点で計測を行なった。下流端水深は Fig.3 に示すように初期 0.56m から段階的に下げてその間、下流端水位は、静的安定状態となるまで一定に保ち通水した。各下流端水位の静的安定後の形状は横断方向に 5 点で、縦断方向に 0.10m で計測したが、崩れ始めと終わり等の変化については縦断方向に 0.20m 間隔で細かく計測した。実験終了後は下流端水深 0.13m の形状測定後、堆積部分について 0.20m ごとに土砂を

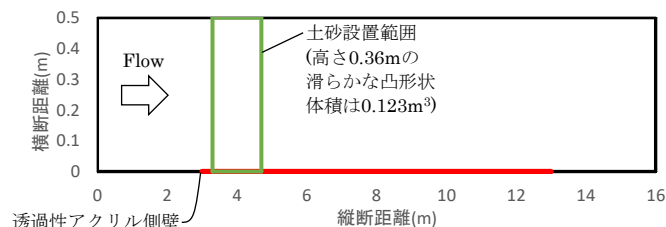


Fig.1 平面図と土砂設置範囲

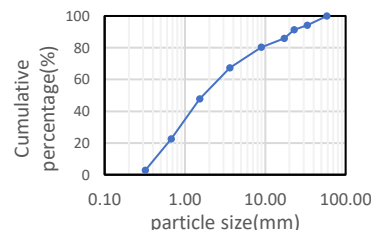


Fig.2 実験土砂の粒度分布

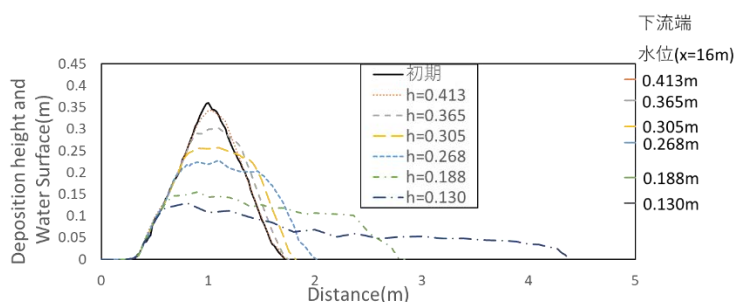


Fig.3 堆積形状と水面

取り出し、乾燥体積を測定し、空隙率を求めた。さらに粒度分布を計測し、式(1)~(5)に示す多粒径粒子充填モデル²⁾の計算値と比較を行なった。

$$\lambda = 1 - \sum_{i=1}^k P_i \quad (1)$$

$$\lambda_i = 1 - \sum_{j=i+1}^k \alpha_{ij} P_j \quad (2)$$

$$\alpha_{ij} = 1 + \frac{\lambda_0}{1-\lambda_0} \gamma_{ij}^n (1 - \beta_{ij})^m \quad (3)$$

$$\beta_{ij} = (1 - \gamma_{ij}) \left\{ 1 - \frac{P_j}{(1-\lambda_0)} \right\} \quad (4)$$

$$\gamma_{ij} = \min \left(\frac{d_i}{d_j}, 1 \right) \quad (5)$$

i 粒子< j 粒子, λ_i : i 粒子が充填できる j 粒子群の空隙, λ_0 : 一様粒径空隙率, d_i, d_j : i, j 粒子粒径, P_j : j 粒子の占める存

キーワード 粒子充填モデル, 空隙率, 混合粒径土砂, 河床変動解析

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 水工学研究室

T E L 082-424-7819

在率, β :空隙の大きさ, γ :粒径比, $a=2, m=1, n=0.5$:任意定数, k :粒径数である.

粒子充填モデルでは, 各層の高さを最大粒径で定義し, 解析層に分けて計算を行なう(Fig.4). 全体の解析層はある粒子よりも大きな粒子が侵入可能な空隙を表わす表層と, 各粒子の存在割合が計算される任意の数の堆積層で表される. 全体の解析層の粒子存在率を計算するために, 各粒径粒子で解析層を考え, 粒子 N よりも大きな粒子のデータをもとに式(2)の λ_i を評価し, 表面, 堆積層の粒子 N の占有率を計算している.

3. 実験結果

Fig.5 に堆積変化の関係を示す. 初期形状と各段階の安定形状を比較し, 体積が減少した量を E , 下流で堆積した量を D とし, ΔE , ΔD は各段階の E , D の変化率としている. 初期の変化では土砂堆積量は侵食量の2倍以上であるがその後は急激に減少し, 最終的に堆積土砂量は侵食土砂量の約 1.1 倍に収束した. 最初の変化では堆積土砂から砂が流出し堆積するが, 大きな礫は動かずその場にとどまり, 空隙が大きくなるため, 見かけの侵食土砂体積量は小さくなる. 次の段階では水深が下がることで砂と合わせて露出した礫が流送され, 砂が堆積した下流斜面を崩しながら堆積した. 減少した体積分は, その礫が斜面上に堆積するので変化量としてはほぼ変わらず, 流出する砂の影響のみを受けると考えられる. 以降この現象が繰り返され, 砂の流出以外にも礫が上流から供給され堆積することで下流も表面の粗粒化が進み, 侵食量に対する堆積量の割合が一定となった. 最終堆積形状について, 初期体積から土砂が堆積した区間の粒度分布をとり, 堆積層の空隙率を計測した結果を Fig.6 に示す. 分級作用により下流へいくにつれて粒度分布は狭くなっていき一様粒径に近づくことで流下方向に空隙率は大きくなる. 自然堆積での空隙率と概ね一致し, 粒子充填モデルで捉えられるといえる.

Fig.7 に堆積高の関係を示す. ZBL(0)は解析による表層上面の高さ, ZBL(1)は解析による堆積層上面の高さを表わす. 表層は粒度分布が変動する層のため, 最大粒径 d_{max} で定義される層は粒子で満たされず, 空隙が大きく計算される. そこで表層の空隙率を λ_s , 表層直下の堆積層($k=2$)の空隙率を λ_d とし以下の式で求めた計算河床高 z_{bcal} は自然堆積高と概ね一致した.

$$z_{bcal} = d_{max}(1 - \lambda_s)/1 - \lambda_d \quad (6)$$

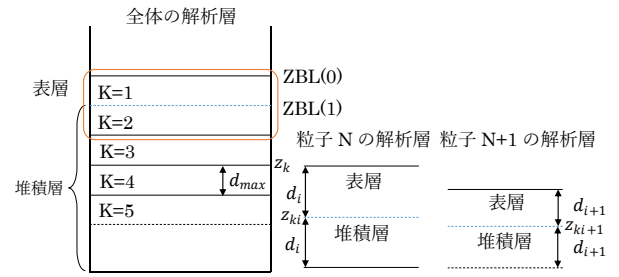


Fig.4 解析層の説明

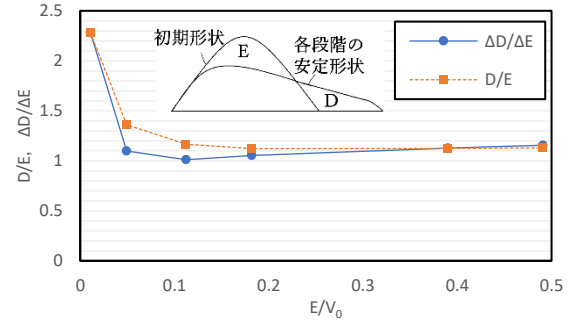


Fig.5 堆積変化の関係

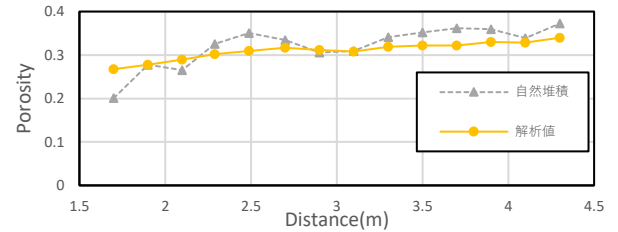


Fig.6 空隙率の計測値と解析値の比較

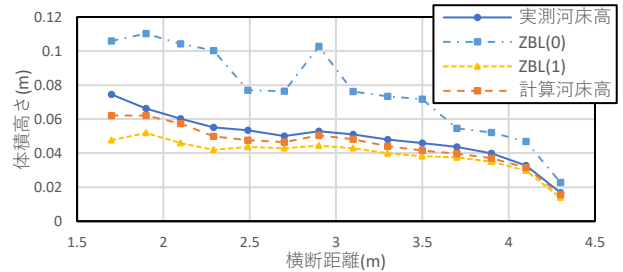


Fig.7 自然堆積と解析値の堆積高の関係

4. 結論

混合粒径土砂の流れに伴う体積変化は, 初期に侵食量に対して堆積量が 2 倍以上と大きくなるがその後は急激に減少し, 最終的に堆積土砂量は侵食土砂量の約 1.1 倍に収束した. 空隙率は流下方向に大きくなり, 粒子充填モデル式により解析できることを示した. さらにこのモデルを用いた河床高の精度良い計算法を示し, その妥当性を確認した.

5. 参考文献

- 1) 平野宗夫:Armoring をともなう河床低下について, 土木学会論文報告集, No.195, pp.55-65, 1971.
- 2) 立石彩乃, 内田龍彦, 河原能久:礫床河川における広い粒度分布をもつ河床材料の空隙率と土砂堆積高の解析法, 河川技術論文集, 24, pp.95-100, 2018.