混合粒径土砂の堆積・侵食過程に関する基礎的研究

中国電力株式会社 正会員 〇木本 祥太 広島大学 学生会員 林 勇輔 株式会社建設技術研究所 正会員 中島 奈桜

広島大学 正会員 内田 龍彦 広島大学 フェロー会員 河原 能久

1. 序論

平成30年7月豪雨によって、河道に多量の土砂が 供給され, 西日本各地で土砂洪水氾濫が発生した. 原 因の一つとして、河川の堆積土砂が下流への土砂供 給を妨げていることが挙げられる. 計画規模や超過 洪水時の土砂の堆積、侵食過程を適切に評価するた めには混合粒径土砂の河床変動解析法は不可欠であ る. しかし, 交換層を用いた手法 ¹⁾では空隙率の時間 変化と交換層の厚さの評価法が確立されていない課 題がある. 立石ら²⁾は、空隙率の変化を考慮したオイ ラー型粒子充填モデルを提案した. 林ら³⁾は, 混合粒 径土砂を用いた分級作用を伴う体積変化の実験を行 った.しかし,混合粒径土砂を用いた堆積,侵食過程 に関する検証は行われていない. 本研究では, 異なる 粒度分布を堆積させた場合の各粒径の堆積高の変化 特性と侵食過程における混合粒径土砂の堆積土砂量 の変化を明らかにするとともに、それらの解析法を 確立することを目的とする.

2. オイラー型粒子充填モデル

混合粒径土砂の堆積過程は以下の式で表される3).

$$\frac{\partial z_{bi}}{\partial t} = \frac{D_i}{\lambda_i (1 - \lambda_0)}, \frac{\partial P_i}{\partial t} = 0, (P_i = \lambda_i (1 - \lambda_0))$$

$$\frac{\partial z_{bi}}{\partial t} = 0, \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{D_i}{d_i}, P_i < \lambda_i (1 - \lambda_0)$$
(2)

ここに、 \mathbf{z}_{bi} : i粒子の堆積高さ. λ_i : i粒子の利用可能な空隙. λ_0 : 一様粒径の空隙率. D_i : i粒子の堆積速度. d_i : i粒子の粒径. P_i : i粒子の存在率である.

式(1)の充填状態では、表層に粒子の利用可能な空隙が存在せず、表層の上に粒子が充填され河床高が上昇する.式(2)の未充填状態では表層に利用可能な空隙が存在し、空隙に粒子が充填するため河床高の上昇は生じない.図-1に解析方法の概要を示す.全体の解析をするための最大粒径の解析層と、粒径ごとにその粒径と同じサイズの計算格子を用意し、数値

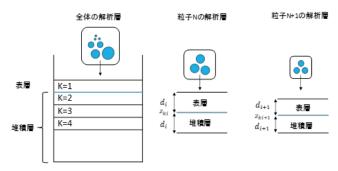


図-1 全体解析層と各粒径の解析

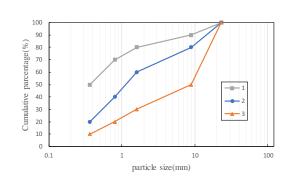


図-2 実験で使用した粒度分布

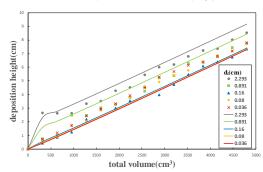


図-3 粒度分布1の体積と各粒径の堆積高の関係解析によって各粒径の堆積高を計算する.全体の解析層においては、粒度分布をインプットデータとして与え、大きな粒子から順に単位面積に微少量ずつ堆積させる.一番上の層には、i粒子が利用可能な空隙が存在しこれを表層と定義する.それよりも下の層には、i粒子が利用可能な空隙が存在せず、これ以下に粒子が堆積することができない層を堆積層と定義する.

キーワード 土砂洪水氾濫 オイラー型粒子充填モデル 堆積過程 侵食過程

連絡先 〒742-1403 山口県熊毛郡上関町大字室津 288-13 中国電力株式会社 上関原子力発電所準備事務所土木・環境部 TEL 0820-62-1111

3. 充填モデルの堆積過程の検証

異なる粒度分布を堆積させた場合の各粒径の堆積 高の変化特性を堆積実験により検討する.5粒径の土 砂を用意し粒度分布は図-2のものを用いた. 5粒径 を1セットとし,500 ml ずつ堆積させる.大きな粒 径から順に堆積させ、1セット投入ごとに、粒度分布 1(Fine packing)はゴムハンマーで側壁を各面 45 回叩 き充填させ、粒度分布 3(Coarse packing)は棒突き充填 を行う. その後, 各粒径の堆積高を上からポイントゲ ージで測定し、各粒径ごとの堆積高の推移を調べる. 粒度分布3では、最大粒径の測定点を増やし、最大、 最小, 平均堆積高を計測する. 実験結果を点のプロッ ト,解析結果を実線で示す. 粒度分布 1.2 においては 概ね実験値と解析値は一致しており、Fine packing 条 件では充填モデルを適用できると言える.しかし,粒 度分布 3 では、平均粒径が 2.3 cm のものは解析値と ずれが生じている. 実験と解析では表層の定義が異 なり,解析では平らな堆積層の上に粒子が堆積して いるが,実験では堆積層表面に凹凸があるため,解析 における表層の定義に課題があることが考えられる.

4. 充填モデルの侵食過程の実験

侵食過程における混合粒径土砂の堆積土砂量の変化を、サイフォンを応用した侵食実験により検討する。平均粒径が3.34 cm,0.36 cmの均一によく混ぜた二粒径土砂を容器に積み、吸い上げ高さを一定にして、容器一面にサイフォンのホースを動かしながら土砂を吸い上げる。各粒子の平均堆積高を測定し、再び計測した小さな粒子の高さから、初期と同じ吸い上げ高さで、一面の吸い上げを行う。Fig.6 は表面粒子の粗粒化と侵食による粒子の沈下量の関係を表している。理論値と実験値を比較すると、理論値と実験値の傾向は概ね一致している。表面の粗粒化が進むにつれて、粗粒子の沈下量が減少する傾向を示している。充填モデルの侵食過程に関する理論式を以下に示す。

$$\frac{\Delta z_f - \Delta z_c}{\Delta z_f} = \frac{P_c}{(1 - \lambda_0)} \tag{3}$$

ここに、 Δz_f , Δz_c :粗粒子、細粒子の沈下量. P_c :粗粒子の存在率である.

5. 結論

粒度分布 1,2 では、実験結果と解析結果は概ね一致 し、堆積過程において粒子充填モデルが適用できる

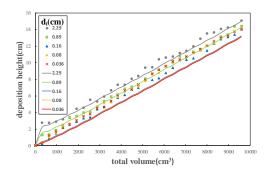


図-4 粒度分布 2 の体積と各粒径の堆積高の関係

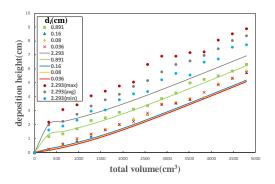


図-5 粒度分布3の体積と各粒径の堆積高の関係

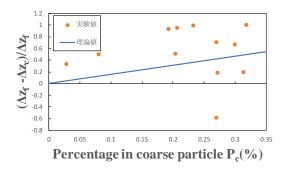


図-6 表面の粗粒化に伴う粒子の沈下量 ことを示した. 粒度分布 3 の Coarse packing 条件では 解析と実験の表層が異なることを示した. 侵食実験 においては,表面粒子の粗粒化と粒子の沈下量には 関係性があり,充填モデルの理論で概ね説明できる ことを明らかにした.

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,第24巻,pp.95-100,2018.
- 3) 林勇輔,内田龍彦,河原能久:分級作用に伴う 混合粒径土砂の空隙率と体積の変化に関する基 礎的研究,土木学会論文集 B1(水工学)Vol.75, No.2, pp. 913-918, 2019.