

粒度分布幅の広い河床材料の河床変動モデルの開発

(独) 土木研究所 正会員 ○石神 孝之
 (独) 土木研究所 正会員 宮川 仁
 (独) 土木研究所 正会員 坂野 章
 (独) 土木研究所 正会員 箱石 憲昭

1. はじめに

近年、ダム貯水池の堆砂問題や総合土砂管理の視点からダムからの排砂、置土等の土砂供給が多く実施されてきており、この土砂供給に対して下流河道にとって必要とされる量と質を決定する方法が求められている。このため、本検討では、ダム周辺の粒度分布幅の広い多様な河床材料で構成されている河川を対象として、水理実験から得られた個々の粒径集団の役割を考慮する河床変動モデルを開発することを目的として実施したものである。

2. 河床変動モデルの概要

河床変動モデルは、櫻井ら¹⁾が開発した直交格子の平面2次元河床変動モデルを元に水理実験等の結果を考慮して流砂量式の見直し等の改良を行った。

改良前のモデルにおいて流砂量算定に使用している基礎式の内、主なものを以下に示す。

掃流砂量の算定式には混合粒径の河床変動計算でよく使用される芦田・道上の流砂量式²⁾を採用している。粒径別単位幅掃流砂量 q_{Bk} は芦田・道上によれば次式で表される。

$$u_* > u_{*ck} : \frac{q_{Bk}}{P_{sek} u_{*e} d_k} = 17 \tau_{*ek} \left(1 - \frac{\tau_{*ck}}{\tau_{*k}} \right) \left(1 - \frac{u_{*ck}}{u_*} \right), \quad u_* \leq u_{*ck} : q_{Bk} = 0 \tag{1}$$

ここに、 u_{*e} : 有効摩擦速度(m/s), d_k : k番目の代表粒径(m), P_{sek} : 粒径 d_k の材料の占める割合, τ_{*ek} : 無次元有効掃流力, τ_{*ck} : 無次元限界掃流力, u_{*ck} : 限界摩擦速度(m/s), u_* : 摩擦速度(m/s), τ_{*k} : 無次元掃流力を表す。 u_{*e} は芦田・道上²⁾の提案した次式から求められる。

$$\frac{u}{u_{*e}} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \left\{ \frac{R}{d_m (1 + 2\tau_{*m})} \right\} \tag{2}$$

u_{*ck} は混合砂礫床における粒径別限界摩擦力であり、ここでは Egiazaroff によって提案された式を芦田・道上²⁾が一部修正した修正 Egiazaroff 式を用いた。

$$\frac{d_k}{d_m} \geq 0.4 : \frac{\tau_{*ck}}{\tau_{*cm}} = \left\{ \frac{\log_{10} 19}{\log_{10} (19 d_k / d_m)} \right\}^2, \quad \frac{d_k}{d_m} < 0.4 : \frac{\tau_{*ck}}{\tau_{*cm}} = 0.85 \left(\frac{d_m}{d_k} \right) \tag{3}$$

ここに、 τ_{*cm} : 粒径 d_m の無次元限界掃流力を表し、以下に示す岩垣による一様粒径の実験式³⁾から求めた。

$$\left. \begin{array}{l} 671.0 \leq R_* \quad ; \tau_{*cm} = 0.05 \\ 162.7 \leq R_* \leq 671.0 ; \tau_{*cm} = 0.00849 R_*^{3/11} \\ 54.2 \leq R_* \leq 162.7 ; \tau_{*cm} = 0.034 \\ 2.14 \leq R_* \leq 54.2 ; \tau_{*cm} = 0.195 R_*^{-7/16} \\ R_* \leq 2.14 \quad ; \tau_{*cm} = 0.14 \end{array} \right\} \text{ここで,} \quad R_* = \frac{\sqrt{(\sigma/\rho - 1) g d_m^3}}{v} \tag{4}$$

改良後のモデルについて、以下に示す。

水理実験の結果から流砂の粒径範囲は河床材料の粒径範囲より小さくなり、また、流量毎に流砂の最大粒径を特定できることを踏まえ、まず、河床材料の粒度範囲を区分し各粒径区分内の代表粒径 d_k に対する無次元限界掃流力 τ_{*ck} を式

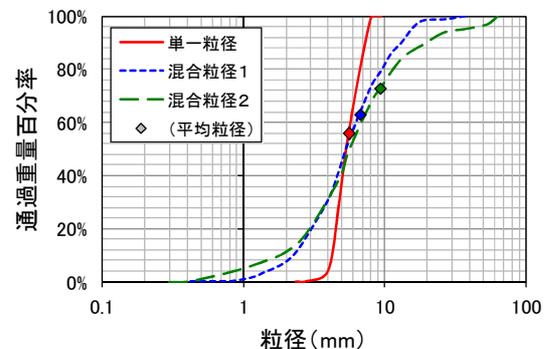


図1 河床材料粒度分布

キーワード 河床変動モデル, 粒径別流砂量, 平均粒径

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所水工研究G TEL 029-879-6783

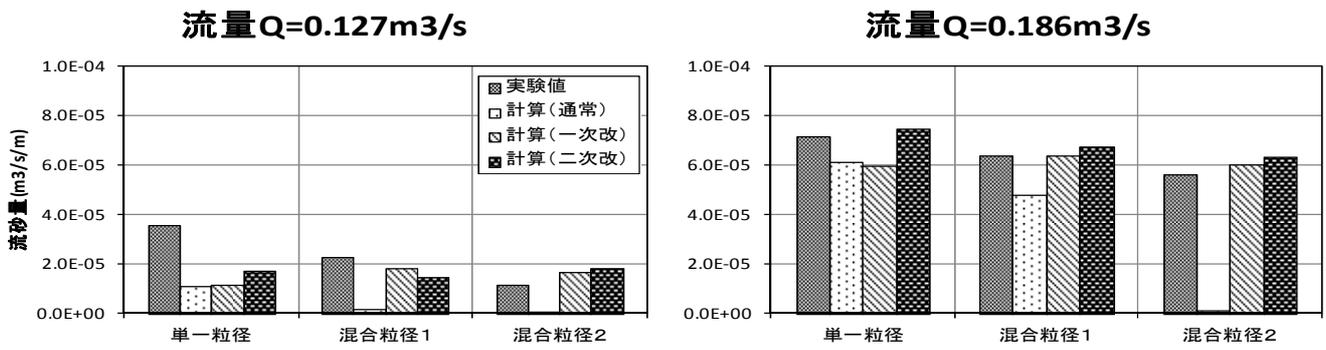


図1 流砂量(沈砂池)の実験値と計算値との比較

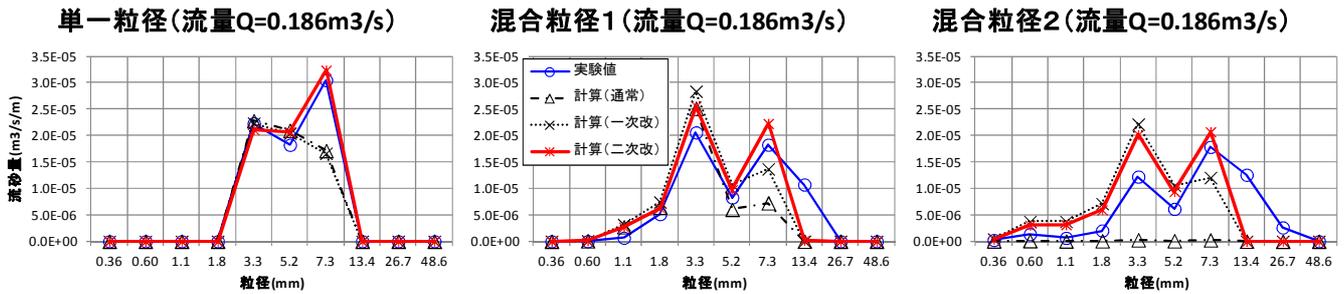


図2 粒径別流砂量(沈砂池)の実験値と計算値との比較

(4)の岩垣式により求める．ここで τ_{*cik} が無次元掃流力 τ_{*k} 以下となる平均粒径 d_m' を次式により与える．

$$d_m' = \frac{\sum p_{sek} d_k}{\sum p_{sek}} \quad (\tau_{*cik} \leq \tau_{*k} \text{ となる粒径 } d_k \text{ を集計}) \quad (5)$$

一次改良として、この式(5)で算定された平均粒径 d_m' を通常平均粒径 d_m に変えて ($d_m = d_m'$ として) 式(1)～(4)に適用し、二次改良として、粒径集団が一体的に流下する仮定を考え、式(5)の算定の際に対象となった各粒径 d_k を $d_m' = \text{一定}$ として式(1)～(4)に適用 (ただし、式(1)の P_{sek} については粒径 d_k の値を適用) し、流砂量を算定するものとした。

本モデルでの計算は、図1に示す河床材料を使用して坂野ら⁴⁾が実施した長さ60m、幅2m、勾配1/100の直線実験水路での移動床水路実験の結果を対象に実施した。計算格子は流下方向に0.4m×150個(延長60m)、横断方向に0.1m×20個(幅2m)で実験水路を再現し、流入流量、通水時間は、実験とほぼ同じとし、水理量(水深等)が実験値にほぼ合うように粗度係数、下流端水位等のパラメータを一部調整して計算を行った。

3. 計算結果

水路実験における沈砂池の単位時間・単位幅当たりの流砂量について比較検討を行い、図3に全流砂量の比較、図4に粒径別流砂量の比較結果を示す。通常計算において粒度分布幅が広い場合には、流砂量の再現性が非常に合わないところであるが、今回の改良により、一次改良(計算上の平均粒径を小さく見積もる)では全流砂量については、かなり実験値に近い値となった。さらに二次改良では、粒径別流砂量も実験値に近くなり、流砂として動きうる粒径集団が一体的に流下することが粒径別流砂量を推定する上で有効であることが確認された。

参考文献

- 1) T. Sakurai & N. Hakoishi: Numerical simulation of sediment supply from dam reservoirs to downstream by the placed sediment, Advances in River Sediment Research—Fukuoka et al. (eds), pp.1193-1199, 2013
- 2) 芦田和男・道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp.59-69, 1972.
- 3) 岩垣雄一: 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集, 第41号, pp.1-21, 1956.
- 4) 坂野章ほか: 河床材料の粒度分布の幅が中規模河床形態に及ぼす影響についての実験的検討, 土木学会第67回年次学術講演会, II-001, 2012.9