

土石流から掃流砂及び浮遊砂までの連続的な数値計算の試み

国土交通省 国土技術政策総合研究所 蒲原潤一 内田太郎 丹羽諭 倉成亮 (現, 兵庫県)

(株) 建設技術研究所 ○村上正人 西口幸希 田端幸輔 根本徹

1. 背景・目的

山地で生産された土砂が下流に流出するまでの土砂動態を説明できる解析手法の構築は、土砂移動現象の被害範囲推定の高度化を図っていく上で重要な課題である。これまで、著者らは、急勾配区間の河床の侵食堆積過程を非平衡として取り扱うモデルを構築し、魚野川支川登川の平成 23 年 7 月洪水に適用し、急勾配区間の河床変動の再現性を確認している¹⁾。しかし、このモデルは代表粒径による土砂濃度を扱うことから、掃流砂・浮遊砂の土砂輸送及び粒度組成変化といった緩勾配区間の土砂動態の特徴を表現することができず、緩勾配区間に位置する流路工内の洗掘等を十分説明するに至っていない。

一般的に、土石流～土砂流～掃流砂～移行するいわゆる急勾配区間のモデルと、掃流砂+浮遊砂の緩勾配区間のモデルは、粒径、細粒(浮遊)土砂の取扱いの点で連続しない。そのため、本研究では、急勾配区間から緩勾配区間まで連続的に解くため、両者を接続する計算モデルの検討を行ったので報告する。

2. 急勾配・緩勾配河床変動接続モデルの構築

2.1 モデルの仕様

表 1 に、急勾配及び緩勾配区間の解析モデルの仕様を示す。

表 1 解析モデルの仕様

項目	急勾配区間	緩勾配区間
流れの解析	一次元不定流解析手法	
粒径	代表粒径	混合粒径
細粒土砂の扱い	ρ に含まれ、河床変動、流出土砂量には寄与しない	浮遊砂、掃流砂として扱う。河床変動、流出土砂量に影響する
粒度組成	変動なし	時空間的に変動(平野の式 ²⁾)
土砂量	代表粒径による土砂濃度の輸送方程式(侵食、堆積を考慮)	混合粒径による掃流砂量(芦田・高橋・水山式)と、浮遊砂濃度の輸送方程式 ²⁾ (侵食、堆積を考慮)
河床変動	流砂の連続式(侵食・堆積速度を考慮)	流砂の連続式(掃流砂と浮遊砂の沈降・堆積を考慮) ²⁾

2.2 急勾配・緩勾配区間の接続の考え方

図 1 に、急勾配・緩勾配区間の接続点における水理量と土砂の受け渡しイメージを示す。接続点において水と土砂の連続性を確保することに留意し、緩勾配区間上流端には急勾配モデル下流端の流量及び土砂フラックスを

逐次受け渡す。緩勾配区間上流端の掃流砂量には、急勾配区間下流端の土砂濃度フラックスを直接与え、浮遊砂濃度は、間隙水に含まれる細粒分濃度を受け渡すものとする。なお、接続点は、急勾配区間の土砂フラックスと緩勾配区間の掃流砂量が大きく異なると、急激な堆積(土砂フラックス>掃流砂量)や河床低下(土砂フラックス<掃流砂量)が生じるため、両者が概ね同等となる地点とする。

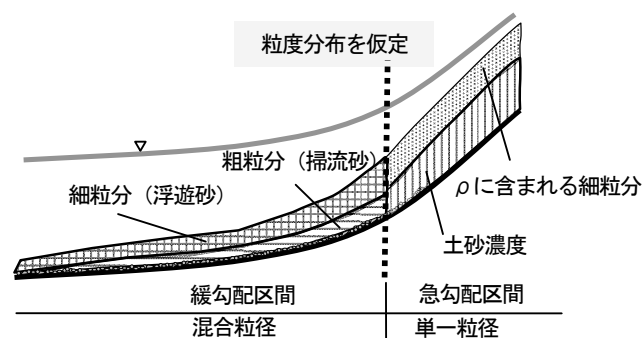


図 1 接続点における水理量・土砂受け渡しのイメージ

2.3 接続点の計算方法

土砂濃度と掃流砂間の受け渡しに関しては、式 1 によって、急勾配モデルにより解析される土砂濃度(単一粒径)を粒径別掃流砂量に変換する。

$$Q_{Bk} = R_k Q C_0 \quad (式 1)$$

ここに、 Q_B は掃流砂量、 Q は流量、 C_0 は急勾配モデルにより解析される土砂濃度、添え字 k は粒径区分である。 R は土砂の粒径別存在割合を示す。

また、間隙水の密度 ρ に含まれる細粒土砂と浮遊砂濃度間の受け渡しに関しては、式 2 によって、間隙水に含まれる細粒分を、粒径別浮遊砂濃度に変換する。

$$c_k = R'_k Q (1 - C_0) C_s \quad (式 2)$$

ここに、 C_k は浮遊砂濃度、 C_s は急勾配モデルの間隙水に含まれる細粒分濃度で、間隙水の密度 ρ 、水の密度 ρ_w 、土粒子密度 σ を用いて以下の式より算出する。

$$C_s = \frac{\rho - \rho_w}{\sigma - \rho_w} \quad (式 3)$$

なお、 R' は土砂の粒径別存在割合で、一般に浮遊砂として扱われる 2mm 以下の粒径で設定する。

2.4 仮想水路における接続モデルの検証

2.4.1 計算条件

表-2 に示す計算条件を用いて、接続モデルの計算を実施し、急勾配区間と緩勾配区間の接続方法の妥当性を検証した。ここで、急勾配・緩勾配区間の接続点は、急勾配モデルと緩勾配モデルによる通過土砂量が概ね一致する 1.8km 地点としている。

表 2 計算条件

項目	急勾配区間	緩勾配区間
水路長・水路幅	2 km, 10m	
河床勾配	1/300~1/20	
流量	30m ³ /s	
間隙水の密度	1.02 g/cm ³	1.0 g/cm ³
河床材料・供給土砂の粒度分布	代表粒径 110mm	0.075~300mm を 6 区分した混合粒径
接続地点	1.8km (2つのモデルの通過土砂量が概ね一致する箇所)	
接続地点の受渡し土砂の粒度構成 (式1中の R_k)	粒径別掃流砂量見合いの割合	

2.4.2 計算結果

図 2 に、河床変動高及び粒径別通過土砂量の縦断分布を示す。粒径別通過土砂量は接続点より下流に向かうにつれて滑らかに低減しており、接続点付近で極端な堆積等は生じていない。接続点上下流の通過土砂量及び堆積厚は、急勾配モデルおよび緩勾配モデルによる解析結果を繋げたような解析結果が得られており、本解析手法により急勾配モデルから緩勾配モデルへ良好に接続できることが分かる。

ただし、課題として、①急勾配モデルと緩勾配モデルによる通過土砂量が一致する適切な接続点がない場合、②受渡し土砂の粒度構成が適切でない場合、及び③間隙水の密度が大きく、浮遊砂濃度と大きく異なる場合には接続点が不連続になることから、今後幅広い条件下で適用する方法を検討する必要がある。

3. 魚野川支川登川平成 23 年 7 月洪水への適用

構築したモデルを用いて登川平成 23 年 7 月洪水の検証計算を行った。図 3 に通過土砂量及び河床変動高の実績値と解析値の比較を示す。

急勾配モデルの場合、通過土砂量は再現できるものの、流路工区間の洗掘が再現できない。緩勾配モデルの場合は、流路工区間の洗掘は再現できるものの、上流区間の通過土砂量が少なくなる結果となる。接続点を 9.2km (登川砂防堰堤) とした接続モデルの場合、通過土砂量及び流路工区間の洗掘の再現が可能となる。

4. 結論

急勾配の土石流モデルと緩勾配の掃流砂・浮遊砂モデルを接続し、緩勾配から急勾配区間の土砂動態を一貫して表現できるモデルを構築した。本手法を登川平成 23 年 7 月洪水に適用した結果、緩勾配から急勾配区間の全体的な河床変動傾向を良好に再現できることを示した。

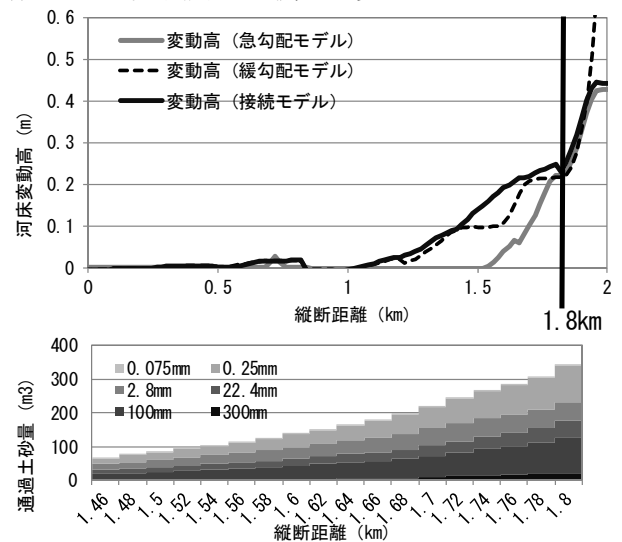


図 2 仮想水路における計算結果

<参考文献>

- 岡本ら：平成 23 年新潟福島豪雨時の登川流域における土砂動態に関する流砂の非平衡性を考慮した河床変動計算，平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集，No.68，2013。
- 河村三郎：土砂水理学 I，森北出版，1982。

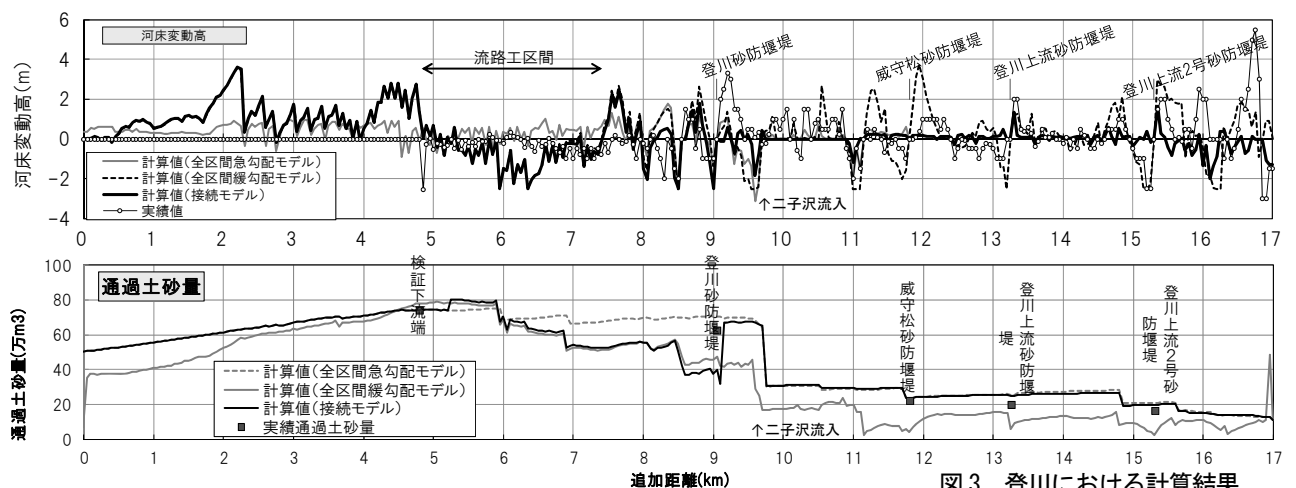


図 3 登川における計算結果