

侵食速度式を変えた急勾配区間での河床変動計算についての一考察

国土交通省 中部地方整備局 富士砂防事務所 光永 健男^{*1}、加藤 隼平^{*2}、前田 和祐^{*3}、船橋 良太^{*4}
 八千代エンジニアリング株式会社 ○高瀬 蔵、目 晋一、篠原 雄人、當仲 花夏
^{*1} 令和8年3月31日時点、^{*2} 現 中部地方整備局 多治見砂防国道事務所
^{*3} 現 中部地方整備局 沼津河川国道事務所、^{*4} 現 中部地方整備局 河川部

1. はじめに

一次元の河床変動計算における計算区間は、計算結果の妥当性確保の観点から、計算河道の河床勾配が概ね10度程度（土石流流下区間の下端となる勾配）となる地点を上限とし設定している事例が多い傾向にある。

一方で、河床勾配が10度を超える計算区間の設定事例は多くなく、急峻な地形を有する地域での一次元河床変動計算の妥当性は明確に確保されていない。

そこで、本稿では河床勾配が10度を超える区間において、一次元河床変動計算で用いる平衡土砂濃度算出方法を変更したことによる土石流流下時の土砂移動状況への影響を、以後の参考として報告する。

2. 一次元河床変動計算に用いる計算モデル

2.1 計算モデル

本検討では、国総研資料第1048号に準拠した一次元河床変動計算の計算モデルを用いることを基本とした。なお、河床勾配が10度を超える区間での計算実施に向けて、土石流の平衡土砂濃度について2種類の算出方法を用いて検討を行った。

1つ目の算出方法では、高橋・匠(1986)、高橋ら(1991)が提案した堆積速度式（以下、「高橋式」とする）を用いた。高橋式（式1、式2）においては、土石流にかかる外力と底面摩擦力のつり合いを考慮している。なお、高橋式は国総研資料第1048号においても用いられる式である。

$$E = \begin{cases} -\delta_{De} \frac{C_{D\infty} - C_L}{C_* - C_{D\infty}} \frac{q_T}{d_L} (C_{D\infty} > C_L) \\ -\delta_{Dd} \frac{C_{D\infty} - C_L}{C_* - C_{D\infty}} \frac{q_T}{d_L} (C_{D\infty} < C_L) \end{cases} \dots \text{式1}$$

$$C_{D\infty} = \frac{\rho_m \tan \varphi}{(\sigma - \rho_m)(\tan \varphi - \tan \theta)} \dots \text{式2}$$

ここで、 δ_{De} 、 δ_{Dd} ：侵食速度係数、堆積速度係数、 C_L ：粗粒分の土砂濃度、 $C_{D\infty}$ ：土石流の体積濃度、 ρ_m ：間隙流体密度、 σ ：土砂の密度、 θ ：溪床勾配、 φ ：土砂の内部摩擦角である。

2つ目の算出方法では、江頭ら(1993)が提案した堆積速度式（以下、「江頭式」とする）を用いた。江頭式（式3、式）においては、ある土石流の断面平均濃度の条件下で、侵食と堆積のどちらも起こらない平衡勾配を用いて侵食速度を与えている。

$$\tan \theta_e = \frac{\bar{c}(\sigma / \rho_m - 1)}{\bar{c}(\sigma / \rho_m - 1) + 1} \tan \varphi_s \dots \text{式3}$$

$$E = u \tan(\theta - \theta_e) \dots \text{式4}$$

ここで、 ρ_m ：間隙流体密度、 σ ：土砂の密度、 θ_e ：平衡勾配、 θ ：溪床勾配、 φ ：土砂の内部摩擦角である。

2.2 計算区間

本検討では、富士山西斜面に位置する大沢崩れを源に源頭部・峡谷部・中流部・岩樋部・扇状地を流下

する「大沢川（図1）」において計算区間を設定した。扇状地へは約150万 m^3 の土砂が流下するとされており、下流域での土砂災害防止を目的に、源頭部対策（中流部～源頭部での発生源対策）や扇状地対策が行われている。そこで、扇状地対策での効果設定に資するため、岩樋部で抑制可能な土砂量を確認した。大沢川の岩樋部より上流における縦断勾配の状況は図2に示す通りであり、中流部までは平均勾配が10度以下となっている。そこで、本検討においては、岩樋部～峡谷部の区間のうち、平均勾配が15度程度となる区間を対象とした。

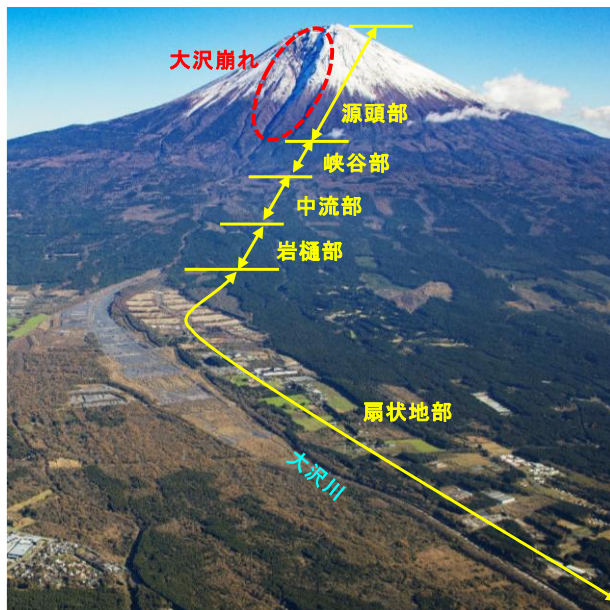


図1 大沢川の概況

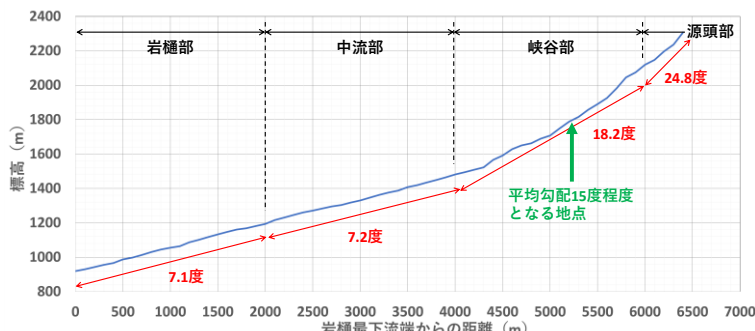


図2 岩樋部より上流の状況

2.3 計算条件

地形モデルは、令和4年度に取得されたLPデータ（航空レーザプロファイラデータ）を用いた。

水と土砂は、計画規模の土石流波形に基づき、土石流が発生すると考えられる区間に供給させた。水と土砂の供給地点・区間及び水と土砂の供給例を図3、図4に示す。また、粒度分布においては、対象とした区間の近辺で行われている調査結果を基本とし、細粒分（2mm以下の浮遊砂、Washroad）の割合の合計が20%程度となる粒度分布を採用した。採用した粒度分布を図5に示す。

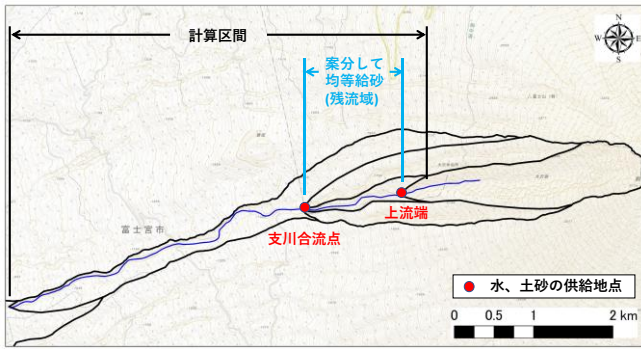


図 3 水、土砂の供給地点・区間

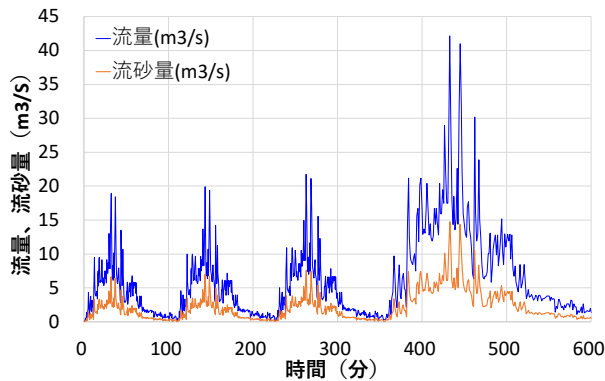


図 4 水、土砂の供給例 (図 3の残流域)

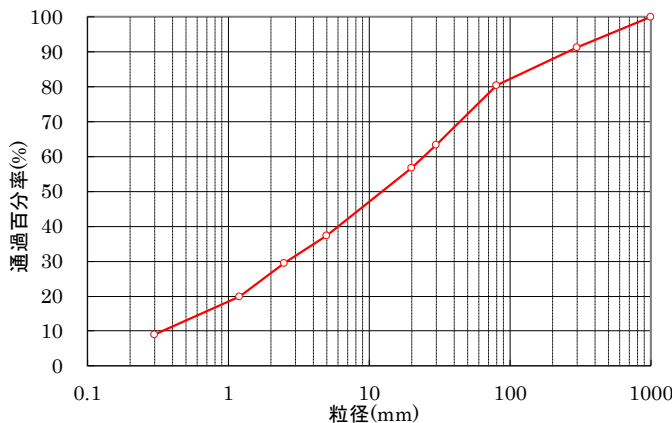


図 5 計算に用いる粒度分布

なお、粗度係数、堆積土砂濃度、土粒子の密度、水の密度、内部摩擦係数、侵食速度係数、堆積速度係数については表1に示す通り設定した。

表 1 計算で用いるパラメータ

項目	値
粗度係数	0.04
堆積土砂濃度C	0.6
土粒子の密度 σ	2.6
水の密度 ρ	1.0
内部摩擦係数	35度
侵食速度係数 δD_e	7×10^{-4}
堆積速度係数 δD_d	1×10^{-4}

3. 計算ケースの設定

本検討では、岩樋部で抑制可能な土砂量を確認するため、計算区間に砂防施設(透過型堰堤、不透過型堰堤)を配置した場合と配置しない場合(現況時)を想定した。計算ケースについては、Case1を現況時で高橋式を用いるケース、Case2を現況時で江頭式を用いるケース、Case3を透過型堰堤配置時で高橋式を用いるケース、

Case4を透過型堰堤配置時で江頭式を用いるケース、Case5を不透過型堰堤配置時で高橋式を用いるケース、Case6を不透過型堰堤配置時で江頭式を用いるケースとした。なお、砂防施設は2基配置し、下流堰堤の有効高は8.0m、上流堰堤の有効高は9.0mとした。

4. 計算結果

計算区間下流端からの流出土砂量及び砂防施設での捕捉土砂量を表2、表3に示す。

計算結果から、平衡濃度式による影響は小さく、本計算区間においては国総研資料第1048号で用いられている高橋式を用いることで土砂移動状況の評価が可能であることが示された。

また、砂防施設での捕捉土砂量について、扇状地への流出土砂量の約150万 m^3 に対して限定的な効果となった。

表 2 計算区間下流端からの流出土砂量 (m^3)

計算ケース	総量	浮遊砂	掃流砂
Case1	1,844,504	204,805	1,472,127
Case2	1,844,442	204,765	1,472,139
Case3	1,657,224	341,050	1,316,174
Case4	1,659,697	342,964	1,316,733
Case5	1,794,763	361,972	1,432,790
Case6	1,794,803	361,953	1,432,850

表 3 砂防施設での捕捉土砂量 (m^3)

計算ケース	捕捉量	流入土砂量	流出土砂量	
Case3	下流堰堤	72,482	1,730,266	1,657,784
	上流堰堤	108,388	1,838,374	1,729,986
Case4	下流堰堤	66,157	1,727,134	1,660,977
	上流堰堤	111,036	1,838,126	1,727,090
Case5	下流堰堤	14,125	1,809,394	1,795,269
	上流堰堤	29,210	1,838,271	1,809,061
Case6	下流堰堤	14,089	1,809,370	1,795,281
	上流堰堤	29,053	1,838,066	1,809,013

5. まとめ

本稿で検討対象とした計算区間(大沢川岩樋部～峡谷部)では、高橋式による土砂移動状況の評価が可能である結果が示された。一方で、計算区間の河床勾配は15度程度であり、より急勾配な区間での計算実施には至っていない。また、高橋式と江頭式ではいずれも速度を用いて平衡濃度を算出している。このため、今後は河床勾配15以上の区間での計算の試行や、速度に依らない計算モデルの活用等により急勾配区間での一次元河床変動計算の精度向上に資することが望ましいと考える。

参考文献:

- 1) 国総研資料 第1048号(河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き(案))
- 2) 高橋・匡(1986):変勾配流路における土石流の形成、京都大学防災研究所年報、第29号B-2、p.343-359
- 3) 高橋ら(1991):混合粒径材料からなる土石流扇状地の形成とその侵食、京都大学防災研究所年報、第34号B-2、p.355-372
- 4) 江頭進治:土石流の停止・堆積のメカニズム(2)、新砂防、Vol.47、No.2(187)、pp.51-56(1993)