

独立行政法人土木研究所 ○浅井 健一, 寺田 秀樹  
アジア航測(株) 中島 達也, 福住 真仁

### 1. はじめに

待受擁壁等のかげ崩れ対策工の計画・設計を効率的に行うため、また、より精度の高い危険区域の設定を行うためには、崩土の到達距離や衝撃力等をより適切に考慮する必要がある。

崩土の到達距離及び衝撃力を推定するためには崩土の状態とともに流下速度を精度よく算定することが重要である。土木研究所においては従来から、崩土の流動機構の解明、崩土を連続体の流れとして扱った流下・堆積モデル及びプログラム（以下「崩土プログラム」という）構築についての研究を行っているが、これをさらに進め、崩土の衝撃力の推定手法の確立を図るため、勾配変化点において生じている土砂の堆積とそれを乗り越えた土砂の移動、堆積した土砂の侵食等の挙動を考慮したモデルの検討を行ってプログラムを作成し、実崩壊事例に対する再現計算を行って適用性を検討した（福住ほか, 2001）。本発表はそのうちモデルの検討について概要を紹介するものである。

### 2. 崩土の流下・堆積モデル

これまでに構築した崩土の流下・堆積モデル（以下、「従来モデル」という、図-1）は、乾燥崩土及び水を含んだ崩土（飽和状態）を想定し、流動中の崩土の土砂濃度が一定という条件で、崩土を連続体として扱っている。乾燥崩土と水を含んだ崩土（飽和状態）のモデル上の違いは、乾燥崩土の場合は土粒子間が空隙であるのに対し、水を含んだ崩土（飽和状態）の場合は空隙が水あるいは泥水で満たされていることであり、両者の基礎方程式（運動方程式、連続式）は基本的に同じものである。以下に本モデルにおけるX方向の運動方程式を示す。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial}{\partial x}(u_m M) + \beta \frac{\partial}{\partial y}(v_m M) = -g h \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{0x}}{\rho_t} \quad (1)$$

$u_m$  : 平均流速のx方向成分     $v_m$  : 平均流速のy方向成分     $g$  : 重力加速度     $H$  : 流動表面標高

$\beta$  : 運動量補正係数 (=1.25)     $\rho_t$  : 流れのみかけ密度     $\tau_{0x}$  : x方向せん断応力

式(1)のうち、流れの見かけの密度 $\rho_t$ は乾燥の場合は式(2)、飽和の場合は式(3)で表される。

$$\rho_t = c \sigma \quad (2)$$

$$\rho_t = c \sigma + (1-c) \rho \quad (3)$$

$c$  : 土粒子の体積濃度     $\sigma$  : 土粒子の密度     $\rho$  : 間隙水の密度

乾燥崩土におけるX方向せん断応力 $\tau_{0x}$ は、式(4)のように表すことができる。

$$\tau_{0x} = \tau_s + \tau_f \quad (4)$$

$\tau_s$  : 土粒子間摩擦に伴う降伏応力     $\tau_f$  : 粒子の非弾性衝突に起因するせん断応力

一方、水と土粒子の混合物からなる2次元単純せん断流の場合、流れのせん断力は間隙流体のせん断に伴う応力 $\tau_f$ を追加した式(5)で示される（芦田ほか, 1988）。

$$\tau_{0x} = \tau_s + \tau_f + \tau_f \quad (5)$$

### 3. 勾配変化点での土砂の堆積・侵食を考慮したモデルの検討

勾配変化点において生じている土砂の堆積とそれを乗り越えた土砂の移動、堆積した土砂の侵食等の挙動を考慮する方法として、以下の2つの考えに基づく1次元プログラムを作成した。

1つは、土石流の数値解析法で用いられている江頭ほか(1988)による侵食速度式の利用である。これは、流動層を流下速度で移動する座標系から見たとき、その河床勾配が流動層の土砂濃度から計算される平衡勾配を満たそうとして流れるものとして導かれたもので、侵食速度は式(6)(7)で示される。

$$s_T = v \cdot \tan(\theta - \theta_c) \quad (6)$$

$$\tan \theta_c = \frac{(\sigma/\rho - 1) \cdot c}{(\sigma/\rho - 1) \cdot c + 1} \cdot \tan \phi \quad (7)$$

$s_T$  : 侵食速度（侵食する方向を正、堆積は負となる）     $v$  : 流れの速度     $\theta$  : 河床勾配     $\theta_c$  : 平衡勾配

$\sigma$  : 礫の密度     $\rho$  : 間隙水の密度     $c$  : 流動中の土砂濃度     $\phi$  : 礫の内部摩擦角

ここでは式(6)(7)に従って計算メッシュ内での堆積土砂量を求め、堆積土砂の上面を河床として残りの土砂が流動を続け、また、停止後の堆積土砂についても式(6)(7)によって求められる堆積・侵食量に応じて再流動することにより河床が変化する

るモデル（以下「堆積・侵食モデル」という、図-2）とした。本モデルの場合、土砂の停止は式(6)(7)による計算の結果、流動土砂がなくなることによって表現される。

もう1つは、従来モデルの停止条件（クーロン摩擦応力を流体力が下回った時に停止する）を前提としながら、河床の変化について、上記の停止条件に従って停止した土砂を堆積土砂として扱い、堆積土砂の上を河床として残りの土砂が流動するモデル（以下「河床変動モデル」という、図-3）としたものである。本モデルにおける停止後の堆積土砂については、流量フラックスが流動している土砂量を上回る場合に、堆積していた土砂のうちその差分に相当する量が流動土砂に含まれて再流動し、その結果河床が変化するものとした。

以上のモデルの適用性について、作成したプログラムにより実崩壊事例の再現計算を行い、従来モデルを含めた比較検討を行った。その結果は福住ほか(2001)のとおりであり、そこで検討を行った実崩壊事例に

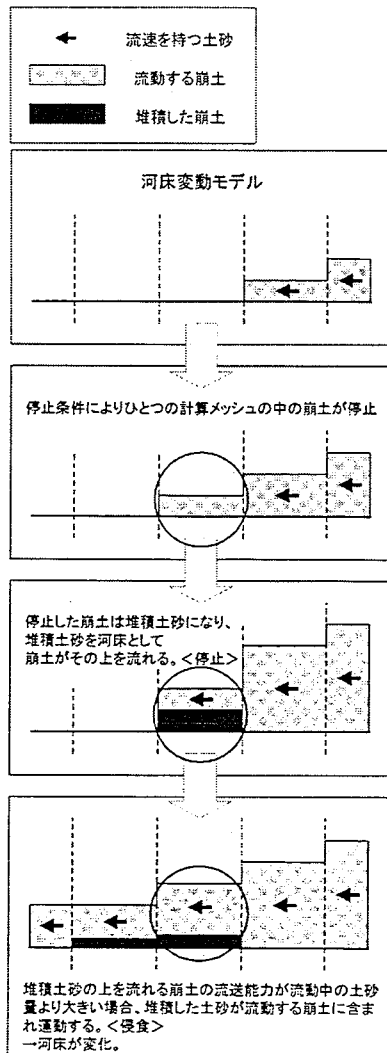


図-3 河床変動モデルによるプログラム計算の概念図

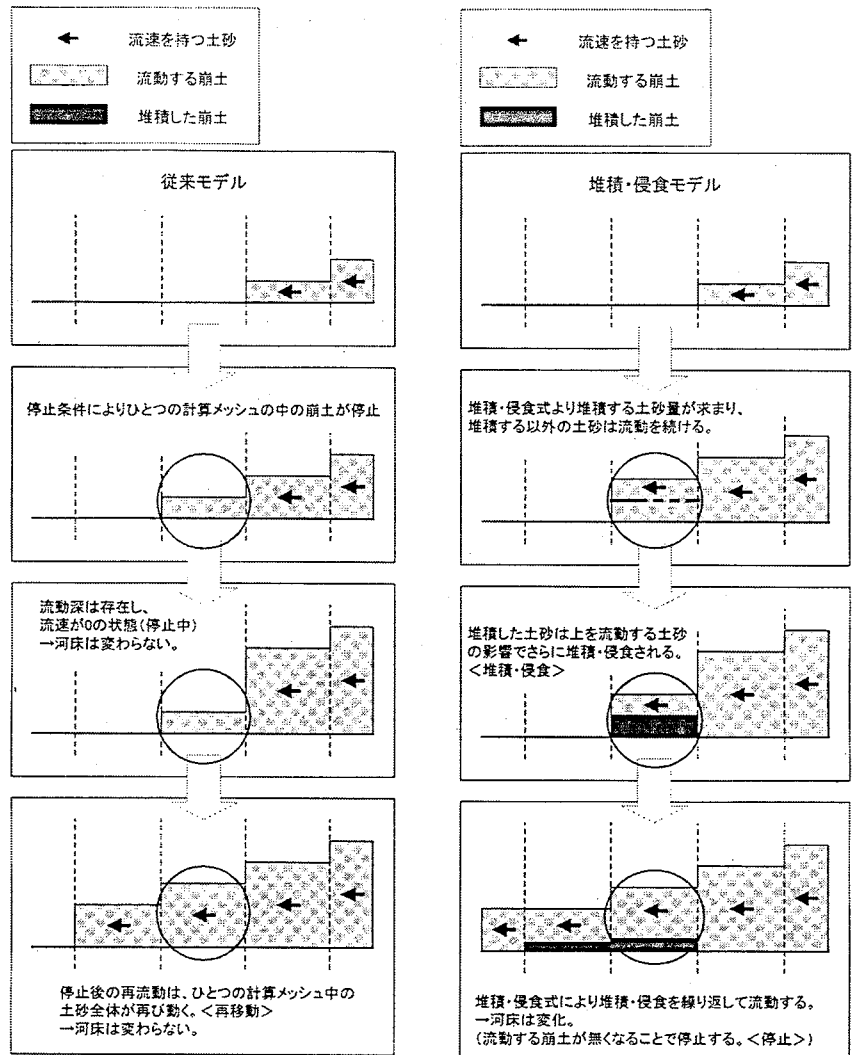


図-1 従来モデルによるプログラム計算の概念図

図-2 堆積・侵食モデルによるプログラム計算の概念図

対しては江頭ほか(1988)による堆積・侵食モデルの計算がよく合っている結果となった。今後、実験及び崩壊事例を対象に各モデルの適用性の検討をさらに進めていく必要がある。

## 5. まとめ

勾配変化点での崩土の挙動（土砂の堆積とそれを乗り越えた土砂の移動、堆積した土砂の侵食等）に対応した崩土の流下・堆積モデルについて検討を行い、1次元プログラムを作成した。今後、実験及び崩壊事例を対象に適用性の検証をさらに進めていく予定である。

## 引用文献

- 芦田和男・江頭進治・矢島啓(1988)：土石流の流動・堆積機構。京都大学防災研究所年報，第31号，B-2，pp.411-422。  
江頭進治・芦田和男・佐々木浩(1988)：土石流の流動機構。水理講演会論文集，pp.485-490。  
福住真仁・中島達也・寺田秀樹・浅井健一(2001)：崩土の流下・堆積モデルを用いた斜面崩壊現象事例の数値計算。平成13年度(社)砂防学会研究発表会概要集（本概要集）。