土石流ブレーカーによる土石流の制御に関する数値解析 Numerical Analysis on Debris Flow Control by Debris Flow Brake

○平塚俊祐・中川一・川池健司○Shunsuke HIRATSUKA、 Hajime NAKAGAWA、 Kenji KAWAIKE

A debris flow brake is an open-type sabo structure designed to control debris flow. It is thought that two phenomena occur on the debris flow brake when debris flow reaches the brake: 1) the pore-water pressure near the brake decrease because surface of the brake is open to the air. 2) pore-water and small sediment in debris flow pass through the brake. In previous research, some researchers have already proposed a numerical model to express the behavior of debris flow on the debris flow brake, but these models fail to include the effect of sediment passing through the brake. Therefore, the objective of this research is to develop a new 2D numerical model that considers the effect of decrease in pore-water pressure and sediment runoff through the debris flow brake.

1. はじめに

土石流ブレーカー(底面水抜きスクリーン)と は河床にスノコ状のスクリーンを設置し、スクリ ーン上で流下してきた土石流の運動エネルギーを 減少させ、土石流を停止・堆積させる透過型の砂 防構造物の一種である。

既往の研究で、Gonda (2009) は土石流ブレーカ ー上で土石流に働く効果について、①土石流中の 固相と液相の分離、②ブレーカー近傍での間隙水 圧減少による浮力の低下の二つを挙げ、一次元モ デルの開発を行っている。

またKim (2012) は模型実験の結果をもとにブレ ーカー上での間隙水圧減少効果を考慮した二次元 堆積モデルの開発を行った。しかし、両者とも土 石流ブレーカーを透過する土砂(固相)の影響を 考慮できておらず、この点で問題が残る。

そこで本研究では、土石流ブレーカー上での間 隙水圧の減少効果に加え、ブレーカーからの液相 及び固相の流出過程を表現するため、大小2種類 の異なる粒径を考慮した数値シミュレーションモ デルを開発し、数値解析を行った。

2. 数値解析モデル

2.1 ブレーカー上での間隙水圧の減少効果

土石流ブレーカー近傍では河床が開口部を通じ て大気に触れているため間隙水圧の減少が生じる (Fig. 1)。本研究ではブレーカー上での間隙水圧 の減少率をγとし式(1)を用いて計算を行った。

$$\gamma = 1 - \left[\frac{K_s}{K_d} \times \left\{1 - 2K_s \left(1 - K_s\right)\right\}\right]^{0.3} \tag{1}$$

ここで K_s は計算メッシュの透過率、 K_d はブレーカ 一近傍での土砂の空隙率 (K_d =0.341) である。

2.2 ブレーカーからの液相及び固相の透過

土石流ブレーカー上では開口部から液相、固相 の透過が起こる (Fig. 1)。固相の透過に関しては、 透過を許さない大粒径粒子 (粒子 1) と透過を許 す小粒径粒子 (粒子 2) の二つを考慮し、解析を 行った。液相及び固相 (粒子 2) の流出速度 w、 w_{L2}[cm/s]は式 (2)、式 (3) で表される。

$$w = 0.5 \times K_S \times \sqrt{2g(1 - C_L)h} \times \exp\left(-\frac{5z_b}{D_1}\right)$$
(2)

$$w_{L2} = 0.5 \times \frac{l_o}{D_m} \times \sqrt{2gC_{L2}h} \times \exp\left(-\frac{5z_b}{D_1}\right)$$
(3)

$$D_m = \frac{C_{L1}D_1 + C_{L2}D_2}{C_{L1} + C_{L2}} \tag{4}$$

ここでhは流深[cm]、 z_b は堆積層厚[cm]、 D_1 、 D_2 は粒子 1、2の粒径[cm]、 C_{L1} 、 C_{L2} は粒子 1、2の 土砂濃度($C_L=C_{L1}+C_{L2}$)、 l_o は開口部幅[cm]である。



Fig. 1 Debris flow brake

2.3 基礎方程式

土石流ブレーカー上での堆積過程を計算するた め水深方向に平均化した二次元モデルを採用する。 上述の間隙水圧の減少効果、液相及び固相の透過 を考慮した運動量方程式、連続式を以下に示す。 x方向(流下方向)の運動量方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \beta \frac{\partial (vM)}{\partial y} = gh \sin \theta_{bx0} - gh \cos \theta_{bx0} \frac{\partial (z_b + h)}{\partial x}$$

$$- (gh - \gamma gh \left(\sin \theta_{bx0} - \cos \theta_{bx0} \frac{\partial z_b}{\partial x} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho_T}$$
(5)

全容積の連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = i_b - w - w_{L2} \tag{6}$$

粒子1の連続式

$$\frac{\partial (C_{L1}h)}{\partial t} + \frac{\partial (C_{L1}M)}{\partial x} + \frac{\partial (C_{L1}N)}{\partial y} = \begin{cases} F_1 \times i_b C_{*L} & (i_b \ge 0, \{ \emptyset \}) \\ C_{L1} \\ C_{L1} + C_{L2} \\ \end{array} \times i_b C_{*DL} & (i_b < 0, \pm t_{\{ 1 \}}) \end{cases}$$
(7)

粒子2の連続式

$$\frac{\partial (C_{L2}h)}{\partial t} + \frac{\partial (C_{L2}M)}{\partial x} + \frac{\partial (C_{L2}N)}{\partial y} = \begin{cases} F_2 \times i_b C_{*L} - w_{L2} & (i_b \ge 0, \textcircled{e}_b) \\ C_{L2} \\ C_{L1} + C_{L2} \\ \end{array} \times i_b C_{*DL} - w_{L2} & (i_b < 0, \# \eth) \end{cases}$$
(8)

液相の連続式

$$\frac{\partial \{(\mathbf{l} - C_L)(\mathbf{l} - C_F)h\}}{\partial t} + \frac{\partial \{(\mathbf{l} - C_L)(\mathbf{l} - C_F)M\}}{\partial x} + \frac{\partial \{(\mathbf{l} - C_L)(\mathbf{l} - C_F)N\}}{\partial y} \quad (9)$$
$$= \begin{cases} i_b (\mathbf{l} - C_{*L})(\mathbf{l} - C_{*F}) - w & (i_b \ge 0, \notin \mathfrak{K}) \\ i_b (\mathbf{l} - C_{*DL})(\mathbf{l} - C_F) - w & (i_b < 0, \# \eth \end{pmatrix} \end{cases}$$

ここで *F*₁、*F*₂は河床表層での粒子 1、2 の存在比 率(*F*₁+*F*₂=1.0)である。なお詳細は紙面の都合 上割愛する。Kim(2012)の論文を参考にされたい。

3. 解析結果

解析に用いた各種条件をFig. 2に示す。土石流 ブレーカー上での堆積過程を再現するため上流端 に高さ 8cm、長さ 150cm で土砂を敷き詰め、上流 端より 300cm³/s の水を 10 秒間供給し流動域にて 土石流を発生させた。初期堆積土砂の条件は粒子 1 の粒径 D_1 を 1.0cm、粒子 2 の粒径 D_2 を 0.061cm とした。また土石流ブレーカーの形状は開口部幅 l_o を 0.4cm、部材幅 l_b を 1.0cm とし、50 秒間計算 を行った。計算方法にはスタッガードスキームに よるリープフロッグ法を採用した。

解析の結果を Fig. 3、Fig. 4 に示す。Fig. 3 は土石流ブレーカー上での土石流の堆積形状を示 しており、上図は縦断方向の断面図、下図は堆積 層厚のコンター図を表している。また Fig. 4 は A ~D の各断面での横断形状を示した図である。解 析の結果より流下方向(x 方向)~最大で42cm前 方へと到達し、最大の堆積層厚は土石流ブレーカ 一流入点での4.36cmとなった。



4. まとめ

今回、土石流ブレーカー上での間隙水圧の減少 効果、液相及び固相の透過の影響を考慮した解析 モデルを開発し、ブレーカー上での停止・堆積過 程の数値解析を行った。これにより従来の解析モ デルに比べて、実現象に近い条件を考慮した解析 が可能となり、今後土石流ブレーカーの定量的な 評価の一助になると考えている。なお実験値との 比較については発表当日に紹介する予定である。

参考文献

- Gonda, Y. (2009): Function of a debris-flow brake, International Journal of Erosion Control Engineering, Vol. 2, No. 1, pp. 15-21.
- Kim, Y. (2012): Numerical and Experimental Study on Debris-flow breaker, Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 55 B, pp. 471-481.