

鳥取大学工学部 道上 正規
 鳥取大学地域共同研究センター 宮本 邦明
 鳥取大学大学院 ○福住 真仁
 立命館大学理工学部 江頭 進治
 大阪府立工業高等専門学校建設工学科 本田 尚正

1. はじめに 1996.12.6 蒲原沢土石流は、これまで一般に知られている土石流とはかなり特性を異にしている。今後も同様な災害が発生する可能性は否定できず、より有効な土砂災害対策を推進するためにも、実体の解明が重要である。本研究では、1996.12.6 蒲原沢土石流災害¹⁾について、崩壊土塊の運動と土石流の流下機構を数値解析に基づき検討していく。

2. 構成方程式 江頭・宮本ら²⁾は砂礫粒子を高濃度に含む流れの応力を、粒子間の摩擦・非弾性衝突・粒子間の空隙水の乱れによるエネルギー散逸を考慮して、特に粒子間の摩擦が重要な役割を果たすことを示し、表1の構成方程式を得ている。

3. 崩壊土塊の運動に関する数値解析 崩壊し滑動する土砂は、変化はするもののその体積は保存され、したがって土砂濃度も一定で、材料特性も変化しない。すなわち、先程述べた構成方程式を用いると飽和した崩壊土塊の運動は、土砂濃度を一定とおいた固定床上の流れで表現することができる。

土塊の運動が停止する際、固体摩擦応力 τ_s はその方向や大きさが変化する。1次元解析では、差分時間内に停止をむかえると計算上時刻 t と $t+\Delta t$ のフラックスの積が負となる。また、一旦停止した後の運動は図1に示すように停止状態での力の釣り合いから求める。

表2の計算条件による計算結果、図3~6より崩壊土塊の運動は、粒径が小さいほど、また空隙流体の密度が高いほど、先端の流速は速く到達距離も長くなる。標高 1,300m 付近で発生した崩壊土砂は条件によっては国界橋まで到達しているものもあるが、到達している土砂量は崩壊土砂の土砂量と比較してはるかに小さい。したがって、崩壊土砂が直接土石流となって流下していったと考えるのは難しい。

4. 崩壊土塊の土石流化 上述の結果より、崩壊土砂は一旦溪床に堆積した後、水の供給を受けて流動化し、土石流を形成したと考えられる。既往の調査¹⁾によれば、流下過程において河道浸食が起り流下土砂量は拡大したと見込まれている。これらのことを考慮し計算条件として、崩壊土砂を崩壊斜面直下の溪床に厚さ 11m、幅 12m、長さ 120m にわたって堆積したものとして取り扱い、元の河床の侵食可能な土砂の分布を、河床勾配が 22 度以上の領域は露出しているものとして、それより緩い勾配の領域に対して、最大侵食可能深 4.0m を設定した。その他のパラメータは空隙水の密度 $\rho=1.5 \text{ g/cm}^3$ 、砂礫の密度 $\sigma=2.65 \text{ g/cm}^3$ 、砂礫の内部摩擦角 $\phi=33^\circ$ 、土石流の平均粒径は土石流堆積物より $d=10 \text{ cm}$ として土石流化のプロセスを計算した。なお、土石流では侵食・堆積が生じるので土砂濃度は変化する。そのため、連続式は流れ全体の体積の保存則を表す連続式と、砂礫の保存則を表す流砂の連続式を別に与える。計算から得られる各地点におけるハイドログラフを図7に示す。

表1 構成方程式

$$p = p_s + p_d + p_f, \quad \tau = \tau_s + \tau_d + \tau_f, \quad \tau_s = p_s \tan \phi_s, \quad p_s = \alpha(p_s + p_d), \quad \alpha = (c/c_s)^{1/5}$$

$$p_d = k_g e^2 c^3 \sigma d^2 \left(\frac{du}{dz}\right)^2, \quad \tau_d = k_g (1-e^2) c^3 \sigma d^2 \left(\frac{du}{dz}\right)^2, \quad \tau_f = k_f \rho d \frac{(1-c)^{5/3}}{c^3} \left(\frac{du}{dz}\right)^2$$

ここに、 p ；流れの圧力、 τ ；せん断応力、 p_s ；粒子間応力、 τ_s ；固体摩擦応力、 p_d ；粒子の衝突による圧力、 τ_d ；粒子の衝突によるせん断力、 p_f ；空隙流体の圧力で静水圧で近似される、 τ_f ；空隙流体によるせん断力、 ϕ_s ；砂礫の内部摩擦角、 c ；土砂濃度、 c_s ；静止体積層の土砂濃度、 σ ；砂礫の密度、 ρ ；空隙流体の密度、 d ；粒径、 e ；反発係数、 k_f, k_g ；定数（それぞれ、 $k_f=0.25, k_g=0.0828$ ）である。

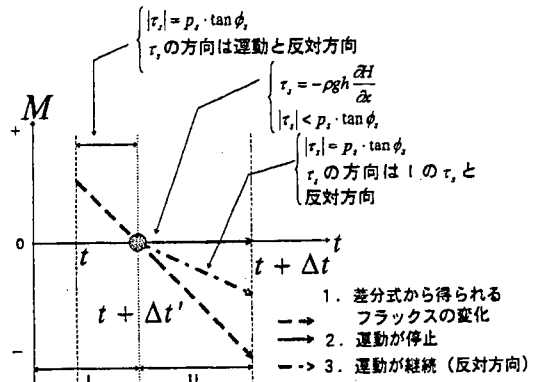


図1 停止条件

表2 崩壊土塊運動の計算条件

Case	砂の内部摩擦角 $\tan \phi$	堆積土砂濃度 c	砂礫の密度 σ	流体の密度 ρ	粒径 (m)	到達距離 (m)
1-1	0.75	0.6	2.65	1.0	0.20	2200
1-3	0.75	0.6	2.65	1.2	0.20	2680
1-5	0.75	0.6	2.65	1.5	0.20	2680
2-1	0.75	0.6	2.65	1.0	0.10	2680
3-1	0.75	0.6	2.65	1.0	0.50	1640

5. 土石流氾濫の数値解析 ρ, σ など土石流の材料特性を表すパラメータは土石流化の計算に用いた値と同じ値を用い、また、土石流のハイドログラフとして、図7の解析対象区間の上流端に最も近い場所(2600m地点)のものを与える。

図8, 9より、砂防ダムから姫川まで到達するのは約60secかかっている。土石流は基本的には流路工に沿って流れているが、砂防ダム直下流では、堆積した土砂が流路工を埋め、一部は扇状地に氾濫している。実態調査による堆積土砂量との比較¹⁾を表3に示す。この結果よりほぼ再現できていると考える。

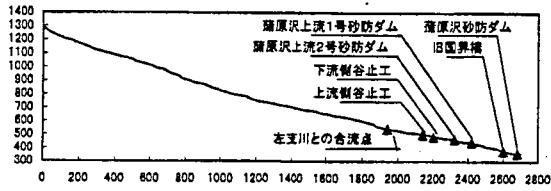


図2 蒲原沢河床縦断面図

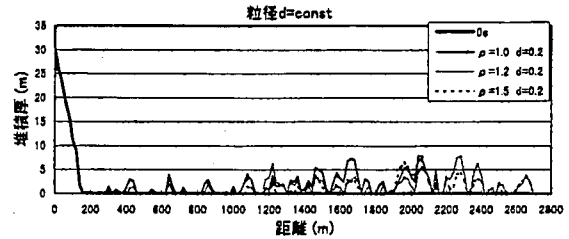


図5 崩壊土塊の最終形状と到達距離(1)

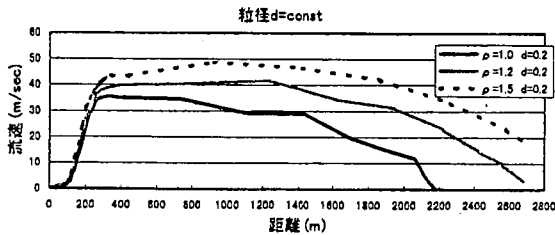


図3 先端部流速と到達距離(1)

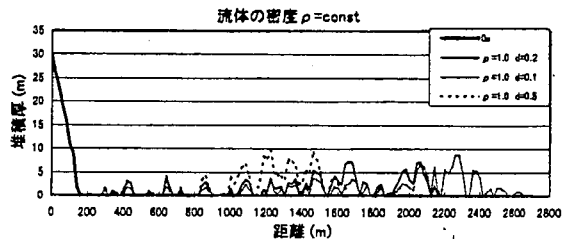


図6 崩壊土塊の最終形状と到達距離(2)

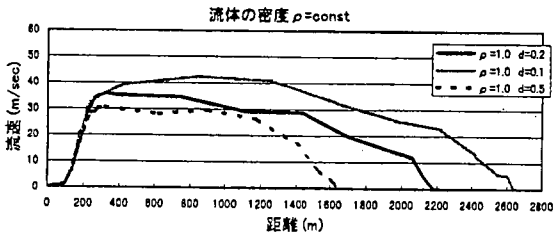


図4 先端部流速と到達距離(2)

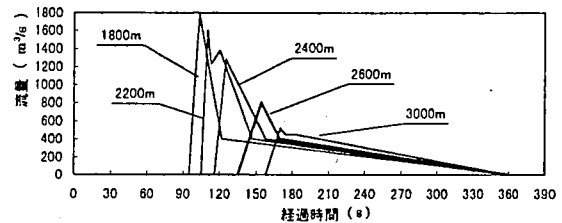


図7 流量(水+土砂)の時間的变化

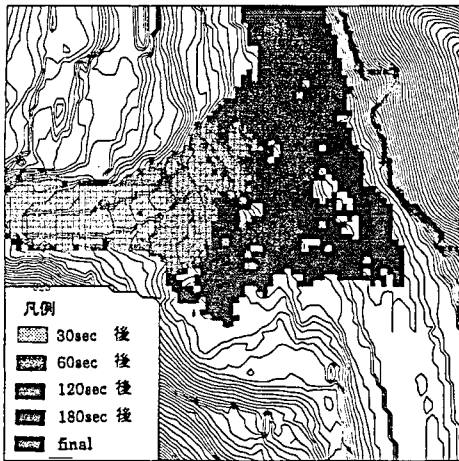


図8 氾濫範囲の時間的变化

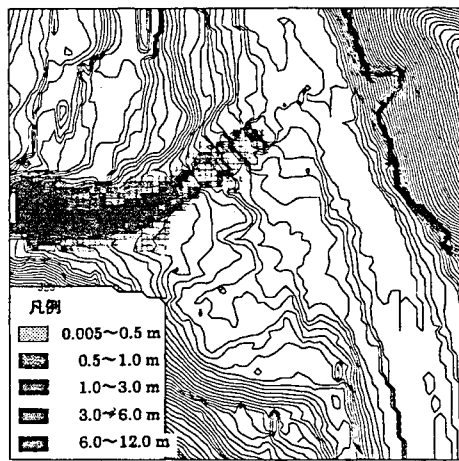


図9 最終堆積土砂分布

表3 堆積土砂量の比較

	解析結果	空中写真判読
流路工	11,412 m ³	8,000 m ³
姫川流出	52,562 m ³	40,000 m ³

6. おわりに 崩壊土塊の運動や土石流の堆積に関するシミュレーションによる再現計算からは、1996.12.6 蒲原沢土石流は、崩壊土砂が直接土石流となったのではなく一旦堆積もしくは移動中さらに水の供給を受けて土石流化し流下していったものと考えられる。また、この結果は実体をよく説明しており、その妥当性が示されているものと考えている。

参考文献 1) (社) 砂防学会: 12.6 蒲原沢土石流災害調査報告書, pp.1,2,27,32, 46, 1997

2) 江頭 進治・宮本 邦明・伊藤 隆郭: 掃流砂量に関する力学的解釈, 水工学論文集, 第41巻, pp.789-794, 1997