

勾配急変による土石流の堆積過程

九大工学部 正 橋本晴行・橋本一郎・藤田和夫
前田建設(株) 正 中西隆夫
九大工学部 専 松本正幸・堀池博文

急勾配の渓谷などに発生する土石流は流下して来ると、谷の出口付近などの入衆の存在する勾配急変地点に堆積し、甚大の損害を与えている。そのため、土石流の堆積過程を明らかにすることは土石流の堆積危険範囲を予測する上からも重要なことである。勾配急変による堆積過程についての研究は従来より行われて^{1), 2)}いるが、まだ十分であるとは言えない。従って、本研究は、第一段階として、勾配急変の計を受ける場合の堆積過程について若干の検討を行なったものである。

実験方法

実験では、長さ l が上流側土石流発生水路4.5 m、下流側堆積水路3 mで幅10 cmの、勾配を互いに独立に設定できる両面アクリル製水路を使用し、水路底面には実験砂と同様の粗度が張りつけてある。まずRun1では、上流側勾配を $\theta_u = 20^\circ$ 、下流側勾配を $\theta_d = 3^\circ$ に設定した水路に粒径 $d = 7.0$ mmの均一砂を敷き、最上流端より単位幅流量 $800 \approx 200 \text{ cm}^2/\text{s}$ の水を急激に給水して、土石流を発生、流下させ、勾配急変点に達した地点において、側方より16 mmシネカメラを用いて土石流が堆積する過程を撮影した。さらに、Run2においては、粒径 $d = 4.6$ mmと $d = 8.1$ mmの均一砂を体積比3:1で混合した材料を用いて、上記と同様の条件で土石流の堆積過程に関する実験を行った。

実験結果と考察

1) 堆積形状 Run1において撮影した16 mmフィルムより流動層と未流動層の境界を読みとり、その形状の時間的变化を示したのが図-1である。固定床水路における堆積では、上流側水路を越え上る明確なStepを形成したback sandが存在することが知られて²⁾いるが、流動床水路における堆積では、Stepは形成されずに、堆積の越上が進行している。なお、堆積勾配とは $\gamma = 8^\circ \sim 9^\circ$ の範囲である。

2) 土石流粒子の停止過程

上流側で発生、流下してきた土石流中の粒子が下流側堆積水路に達して停止するまでの過程を模式的に示したのが

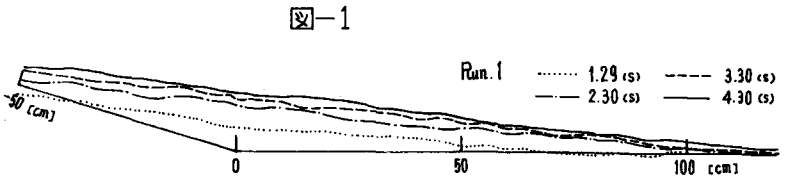
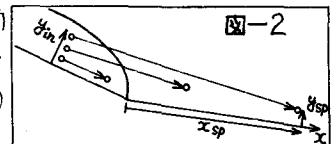


図-2である。また、粒子の勾配変化点直前における原河床からの高さ y_m と停止点の位置(x_{sp} , y_{sp})との関係を示したのが図-3、4である。上流側水路において表面付近を流動してきた粒子は、勾配変化点通過後停止するまでの距離が長く、また、原河床に近い堆積層下層部に分布している。一方、上流側流動層の下層粒子は、勾配変化点より上流の下層部に停止する傾向があり、流動層の中層粒子は両者の中間的傾向を示している。以上のことから、流入する土石流の上層粒子は堆積の下流進行に、中層粒子は堆積高さの増加に、下層粒子は上流への堆積の越上に寄与すると考えられる。



希釈砂の堆積では個々の粒子に働く流体力が重要な役割を果たすのに対して、土石流の堆積では各粒子に周辺粒子群から粒子間力が抵抗力として作用し、重要である。そこで、まず、上流側土石流発生水路において等流状態にある土石流中の単一粒子のつり合い式を求めると、粒子に働く粒子間力(負)と流体力(正)の流れ方向成分をそれぞれ F_{gu} , I_u として、次のようになる。

$$0 = F_{gu} + mg \sin \theta_u + I_u \quad (m: \text{粒子の質量}) \quad (1)$$

さらに、下流側堆積水路に達した瞬間の単一粒子の運動方程式は、粒子間力と流体力の流れ方向成分をそれぞれ F_{gd} , I_d として

$$m(1 + \rho/2\sigma) dv_g/dt = F_{gd} + mg \sin \theta_d + I_d \quad (2)$$

下流側堆積水路に達した瞬間の土石流においては、上流側における流動状態がそのまま保持されているものと仮定し、粒子相互の抵抗のかけ方が上流側における場合と同程度であるとするならば

$$F_{gd} + I_d = (F_{gu} + I_u) \cos(\theta_u - \theta_d) = -mg \sin \theta_u \cos(\theta_u - \theta_d) \quad (3)$$

とおける。したがって(2)式は

$$\frac{dv_g}{dt} = -\frac{g}{1 + \rho/2\sigma} [\sin \theta_u \cos(\theta_u - \theta_d) - \sin \theta_d] = -G \quad (4)$$

となり、初期条件 $t=0$ で $v=v_0$ のもとに与えれば

$$v_g = -Gt + v_0 \quad (5)$$

初期条件 v_0 は勾配変化点直前における粒子速度 v_0 を用いて $v_0 = v_0 \cos(\theta_u - \theta_d)$ 程度であると考えられる。上式を $t=0$ で $x_g=0$ のもとに積分して求めた粒子軌跡 x_g は

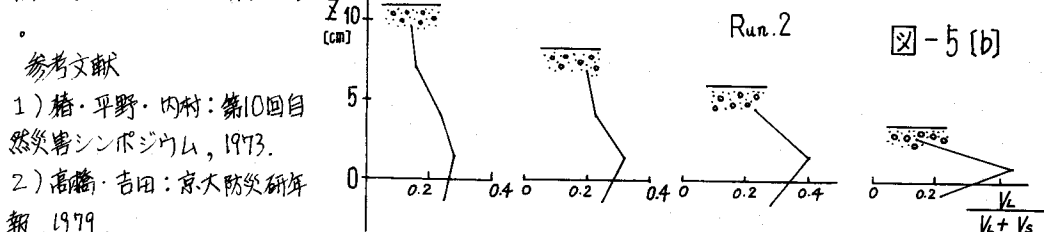
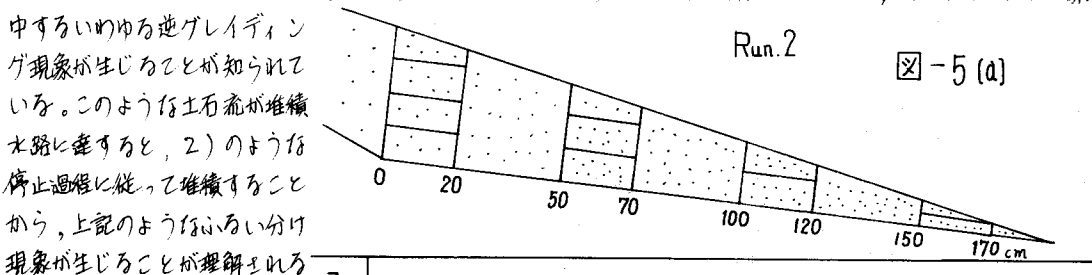
$$x_g = -(G/2)t^2 + v_0 t \quad (6)$$

停止距離 x_{sp} は、 $v_g=0$ となる時間 $t_{sp} = v_0/G$ を(6)式に代入して

$$x_{sp} = v_0^2/(2G) \quad (7)$$

となる。上式によれば、初期速度 v_0 が大きいほど、あるいは上、下流水路の傾斜角度の差の小さいほど停止距離 x_{sp} は長く、逆に、 v_0 が小さいほど、あるいは角度差が大きいほど x_{sp} は短くなること分かる。従って、流入土石流における上層粒子の停止距離が長いのは v_0 が大きいことによると考えられる。

3) 堆積層におけるふるい分け現象 Run 2において、給水停止後の最終堆積層(図-5(a))を図のような地点において、原河床に対して垂直方向に何層かに区分して、採取し、その部分における大粒子の全粒子に対する体積比を求めて、アロットしたのが図-5(b)である。原河床に近い下層ほど大粒子が多く、上層ほど少ない。また流れ方向に関しては下流ほど大粒子が集中している。混合砂土石流の流動層においては、大粒子ほど表面に集中するいわゆる逆グレイディング現象が生じることが知られている。このような土石流が堆積水路に達すると、2) のような停止過程に従って堆積することから、上記のようなふるい分け現象が生じることが理解される。



参考文献

- 1) 椿・平野・内村: 第10回自然災害シンポジウム, 1973.
- 2) 高橋・吉田: 京大防災研究報, 1979.