

泥流型土石流の堆積過程について

名城大学理工学部 新井 宗之

1.はじめに：土砂を高濃度に含む土石流のような流れは含有している土砂礫の径やそれが流動している条件によってその流動機構が異なる。土石流には含有土砂礫の径が水深に比して比較的大きく粒子相互の衝突効果が支配的な石礫型土石流と粒子径が水深に比して比較的小さく流体内の粒子と水が一体とな、た混合の効果が大きい泥流型土石流とがある。ところで、土石流の停止堆積機構については従来、単に土砂と水が一体とな、た流れとして考えられ、どちらかと言えば石礫型土石流を対象にして研究されて来たように思われる。そしてその堆積過程については比較的良好に説明されて来ていると思われる。しかしながら、後者のような粒子径が比較的小さな土石流や泥流と言われている高濃度流れに対する堆積過程についてもそれらの理論が適応するのかがどうかは明らかではない。コロロンビアのネバトデルリス火山の噴火による泥流のアルメロ市の土砂堆積災害を引き合いに出すまでもなく、火山泥流や崩壊土の土石流化による堆積なども必ずしも従来の考え方を十分適応できるとは必らないようである。従、て泥流型土石流の停止堆積機構を明らかにする必要があるが、ここでは従来の考え方を比較的粒径の小さい高濃度流れについて適応しその適応性について考察する。

2.実験条件・方法：実験水路は図-1に示すように水路勾配が途中で変化する可変勾配水路で、幅15cm、上流側水路が6m、下流側が4mである。水路は、また、両側透明アクリルであり、水路床はベッキエ上への滑面である。実験砂は $d_{50} = 0.102 \sim 0.16 \text{ cm}$ 、密度 $\rho = 2.69 \sim 2.79 \text{ g/cm}^3$ 。実験条件は、土砂の体積濃度 $C = 0.2 \sim 0.4$ 、単位幅流下流量 $q_T = 53.3, 80 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、上下流の水路勾配は $\theta_u = 18^\circ$ 、 $\theta_d = 0.57^\circ, 3.1^\circ$ である。実験方法は、水路上流端より土砂と水を供給し流下させ堆積過程を35mmカメラ（モータドライブ駆動）で撮影し解析した。

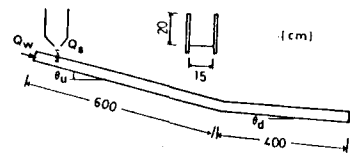


図-1 実験水路

3.考察：1)停止距離：土石流の停止堆積過程の研究には、運動量保存則を用いたもの、土石流中の粒子をラグランジュ的にとらえある確率密度分布に基づいて堆積すると考えるものなどがあるが、ここでは実際の土石流堆積にも適応例のある運動量保存則を用いたものについて考える。高橋¹⁾は土石流先端部の停止距離を水路勾配変化点下流側をコントロールボリュームにして運動量保存則を用いて次のような式を得ている。ここで抗力の項の中で粒子の衝突における Bagnold の分散応力を考慮している。勾配変化点を基準点にし、下流側水路床を x 軸にとると、先端部到達距離 x_L は

$$x_L = V^2 / G \quad \dots (1)$$

$$G = \{ (1-p) \rho C u \cos \theta_d \tan \alpha \} / \{ (1-p) C u + p \} - g \sin \theta_d$$

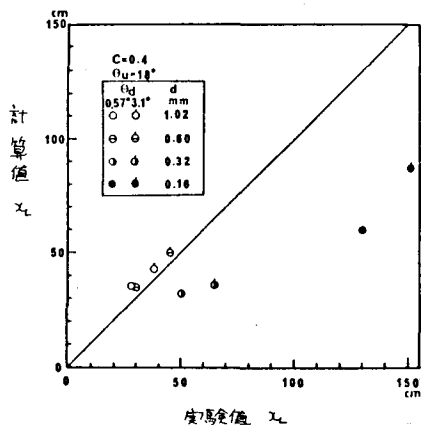


図-2 土石流の先端停止距離

$$V = v_u \cos(\theta_u - \theta_d) [1 + \{C(\alpha - p) C_{du} K_a + p\} \cos \theta_u] / [2 \{(\alpha - p) C_{du} + p\} \cdot g h_u / v_u^2]$$

ここに、 α , p : 土砂、水の密度, C_{du} : 上流側水路での土砂濃度, h_u , v_u : 上流側での水深, 平均流速, θ_u , θ_d : 上, 下流の水路勾配, K_a : 主動土圧係数。式(1)による計算値と実験値とを比較したものが図-2, 図-3である。図-2は土砂濃度を $C=0.4$ とし粒子径を $d_{50}=1.02 \sim 0.16 \text{ mm}$ に変えた結果である。これによると粒子径が比較的大きい $d_{50}=1.02 \text{ mm} \sim 0.6 \text{ mm}$ 程度では式(1)でよく説明されているようであるが、粒径が小さくなると実験値の方が大変大きくなっている。これは粒子径が小さくなると浮遊したまま流下する量が多くなることを示しており、実際には停止先端位置を決めるのも大変難しい点がある。図-3は $d_{50}=1.02 \text{ mm}$ の実験砂において濃度を $C=0.2 \sim 0.4$ に変化させた場合の式(1)との関係を示している。濃度が $C=0.4 \sim 0.3$ 程度と高い場合にはよく適応しているが、 $C=0.2$ 程度になると計算値の方がかなり大きな値となっている。

2) 初期堆積過程: 先端部が停止した後、土石流はそれを超えて堆積するかその堆積過程が次のように導かれて¹⁾いる。

$$X = \sqrt{2 g_T (C_{du} / (C_p A)) \cdot t} \quad \dots (2)$$

$$A = \tan(r - \theta_d) / \{ \tan(r - \theta_d) \tan(\theta_u - \theta_d) + 1 \} + [\tan(r - \theta_d) / \{ \tan(r - \theta_d) \cdot \tan(\theta_u - \theta_d) + 1 \}]^2 / \{ \tan^2 \cos^2(\theta_u - \theta_d) \}$$

$$y = 1 / \cos(\theta_u - \theta_d) \cdot \tan(r - \theta_d) / \{ \tan(r - \theta_d) \tan(\theta_u - \theta_d) + 1 \} \cdot X \quad \dots (3)$$

ここに、 g_T : 単位幅流量, C_p : 土砂の堆積濃度, r : 土砂の安定堆積勾配。図-4, 5は粒径 $d_{50}=1.02 \text{ mm}$ で濃度が $C=0.3$ の実験結果及び式(2)~(3)による計算結果である。破線が計算値で実線が実験結果であり、それぞれ水堆積開始から $t=6.2 \text{ sec}$ 及び $t=4.9 \text{ sec}$ 後の形状を示している。必ずしも計算値と実験値とがよく一致しているとは言えないまでもよく傾向を示していると思われる。しかしながら図-6, 7の粒子径が $d_{50}=0.16 \text{ mm}$ の場合には計算値と実験値とは大きな違いがある。それは上式が導かれる中に水と粒子とは容易に分離し粒子が堆積するという前提があるが、粒子が微細の場合には浮遊し易いためそれが成り立たないからであらう。

参考文献 1) 高橋, 他: 京大防災研年報, 第22号B-2, 1984

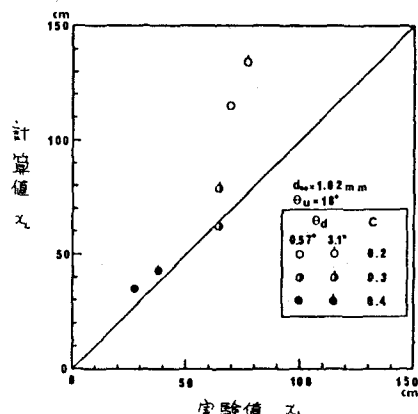


図-3 土石流の先端停止距離

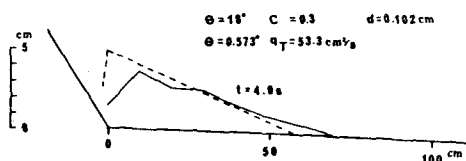


図-4

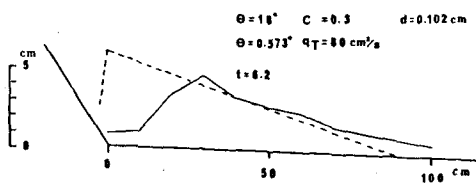


図-5

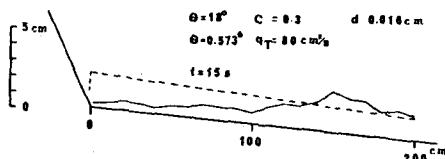


図-6

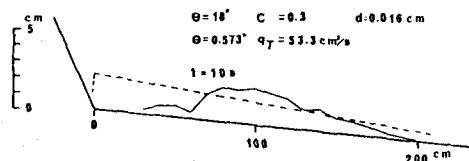


図-7