

土石流の流動と砂防ダムの効果に関する研究

建設省土木研究所・水山高久
建設省 砂防課 米沢谷誠悦

1. 緒言 土石流災害を防止，軽減する砂防施設として，①土石流となる水成勾配以上の河床堆積物を床固等でおさえる方法，②流動を開始した土石流を，通常の砂防ダムやスリットダム等で停止または減勢させる方法，③堆積域の中，下流部に比較的高い通常の砂防ダムを設けて貯砂する方法，④無害な地域に導流する方法などが考えられる。土石流をその材料および流動特性によって mudflow と debris-flow に分けるとすれば，前者に対しては③および④，後者に対しては①②③が効果があると期待される。本報告は，debris-flow (砂礫型の土石流) の流動特性とそれに対する砂防ダムの効果について実験的に検討したものである。なお，この種の土石流については高橋¹⁾によって研究が進められており，その結果を参考にしながら議論を進める。

2. 実験の概要 水路は長さ8m，幅0.2mの片面アクリルの木製水路で，上流1mを固定床，上流側4mを厚さ10cmの移動床，下流3mを厚さ3cmの移動床とした。(図-1)材料は2.3mmと10mmの礫を2:1で混合したもので，給水は浸透流(0.138%/sec)を与え，河床砂がほぼ飽和した後，上流端のタンク底からの自然流出によった。実験条件は，勾配(15°および20°)，砂防ダムとしての板(高さ15cm)の有無，満砂，未満砂，堆積水路(勾配4°，幅20cm，60cm)の有無の組み合わせとした。測定は主に8mmおよび35mmカメラによった。

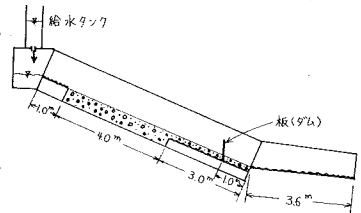


図-1 実験水路

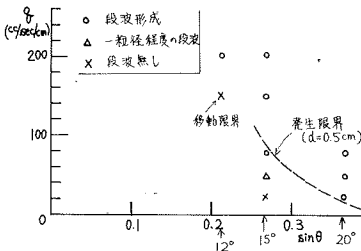


図-2 流動形態

3. 土石流の流動に関する実験結果

3.1 土石流発生限界 勾配と単位幅当りのピーク流量に対する流動形態は図-2のようになる。これと高橋による土石流発生限界式

$$\tan \theta = \frac{C_* (\sigma - \rho)}{C_* (\sigma - \rho) + \rho (1 + h_0/d)} \tan \varphi \quad \dots \dots \dots (1)$$

とを比較すると， $\tan \varphi = 0.78$ とし， d として平均粒径の5.0mmを与

ると図-2の点線のようになり；実験結果をよく説明する。ここに， θ ；河床勾配， h_0 ；表面流水深， q ；単位幅流量， d ；代表粒径， σ ， ρ ；礫および水の密度， C_* ；河床砂礫の体積濃度である。

3.2 土砂濃度 平均およびピークの体積土砂濃度(Cd)の実験値は表-1のようになり，高橋による濃度式

$$Cd = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \alpha - \tan \theta)} \quad \dots \dots \dots (2)$$

において内部摩擦角 α に36~38°を与えるとほぼ一致する。なおピークの水量は，表-2のようになり，20°では給水ピーク流量よりはるかに大きく，15°ではほぼ等しいか小さくなっている。フロントは粗粒化しほとんど大粒子からなる。

表-1 土砂濃度の実験値

勾配	平均	ピーク	(2)式 $\alpha = 36^\circ$
20°	0.52~0.54	0.598	0.608
15°	0.37~0.42	0.467	0.354

表-2 ピークの水量

勾配	給水ピーク 流量	流出水量	採砂時間
20°	0.5%/sec	1.69%/sec	3 sec
	1.0	2.32	3
15°	1.5	1.71	5
	3.0	1.99	5

3.3 フロントの移動速度とフロント付近の粒子の移動状況 フロントの移動速度は20°では、 $v_s/u_x = 0.2 \sim 0.8$, 15°では $v_s/u_x = 0.74 \sim 1.24$ が得られた。フロント付近は移動開始と同時に粗粒化が進み、ほとんど粗粒子で構成されるようになる。フロント付近の粒子の状況は例えば図-3のようになりフロント表面の礫は河床面に落ちても流れにとり込まれにくい、内部は全体として循環するような運動をすることがわかる。

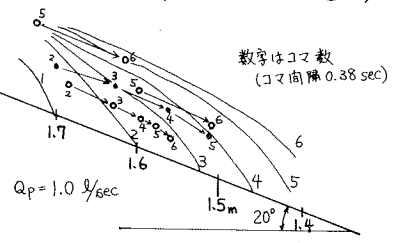


図-3 フロント粒子の移動状況

3.4 波高 フロントの波高と給水流量の関係は図-4のようになり、高橋の実験値とともに、 $(h_s/d_m) / (\frac{q_p^2}{g d_m^3})^{0.2} = 77.5 (\sin \theta)^{4.5}$ (3) なる実験式を得る。ここに、 d_m : 平均粒径, q_p : 単位幅流量。

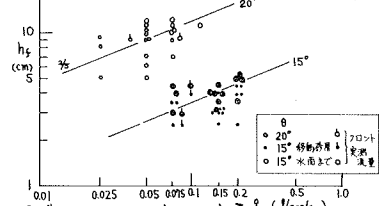


図-4 フロントの波高

3.5 勾配急変点での堆積 20°→4°, 15°→4°のように土石流の流動勾配から停止勾配へ急変させた場合、フロント粒子は勾配変化点に停止し、停止が上流に伝わりながら、停止部分をのり越えて下流に堆積が進む。(図-5) 最終堆積長さ(λ)と堆積勾配(θ')は表-3のようになる。

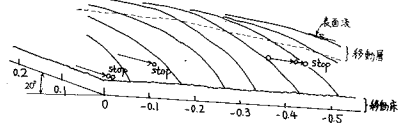


図-5 勾配急変点での堆積

4. 砂防ダム周辺の土石流の挙動と砂防ダムの効果

4.1 未満砂の場合 本実験では供給水流量が水路内の土砂量に対して十分でないので、せき板でフロントが停止し、上流に停止が伝わりて全体が停止した。(図-6)供給水が十分多い場合について追加実験を行なうと一度停止した後、さらに供給される水によって上流より再侵食された。したがって、砂防ダムの土石流に対する効果は、流入する土砂と水の量の時間的变化によって大きく変化することになる。堆積勾配は20°では17~20°, 15°では14~16°であった。

表-3 堆積長と堆積勾配

堆積部幅	上流部勾配 20°		15°	
	ピーク流量	堆積長	ピーク流量	堆積長
20 cm	1.0 l/sec	60 cm	3.0 l/sec	40 cm
	1.5	150	4.0	70
60 cm	1.0	30	3.0	30
	1.5	75	4.0	30

4.2 満砂している場合 満砂した状態を想定して、20°に対して16.5°, 15°に対して12°の堆砂面を準備した。20°の場合、波高の変化はほとんどなく流速の減少が見られた。(図7)15°の場合、波高が減少し水だけが流出する場合もあった。

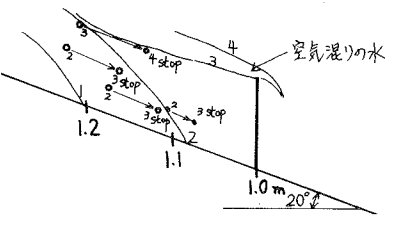


図-6 砂防ダムでの堆砂例

5. 結語 以上、砂礫型の土石流の流動特性と砂防ダムの効果について第1段階の実験を行なった。本実験では勾配の変化や砂防ダムが土石流に対して十分効果のある結果となったが、土石流のタイプや給水条件によってはほとんど効果のない場合も予想される。また堆積域の砂防ダムについては、砂礫は堆積しても、抜け出る水量が多くダム下流での洗掘が心配される。これを防止するためには、十分な断面を有する流路工等の対策を合わせて計画する必要がある。

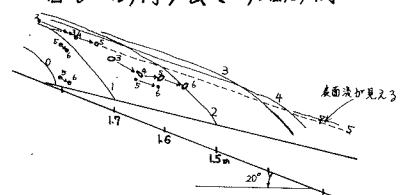


図-7 砂防ダム堆砂面での移動例

(参考文献)

1) 高橋保; 土石流の発生と流動に関する研究, 京大防災研年報第20号B-2, 昭52.4, pp. 405~435