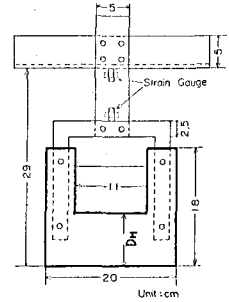


砂防ダムにおける土石流の堆積過程

京都大学防災研究所 正 員 高橋 保
 建設省 正 員 ○吉田 等
 奥 村 組 正 員 有井孝典

まえがき 土石流災害の直接防護工として砂防ダムが用いられているが、その機能は定量的には明らかになっていない。本研究は砂防ダムによる土石流の堆積過程について、実験的、理論的に検討し、砂防ダムの効果の定量的評価の基礎とするものである。

1. 実験の概要 幅20cm、高さ30cmの勾配可変水路に、図-1のような砂防ダムのモデルを設置した。なお、ダム支柱にひずみゲージをはりつけ、作用荷重の測定も行ったが省略する。浸透流によって予め飽和状態にした河床材料($d_m=5.05\text{ mm}$, $d_{84}/d_{16}=1.73$, $C_u=0.7$, $\phi=36^\circ$, $\sigma=2.65$)を、長さ4m(ダム上流3.5m~7.5m)厚さ10cmで敷き、表-1のようにダム切欠部までの高さ D_H 、水路勾配 θ および供給水量 Q_0 を変化させ、計8ケースの実験を行った。



2. 実験結果と考察 堆積形状の時間的変化を調べた結果、砂防ダムにおける土石流の堆積過程は、ほぼつぎの2つに大別されることがわかった。

表-1. 実験条件

Run No.	Dam Height D_H (cm)	Slope θ ($^\circ$)	Supply Q_0 (l/s)
1	15	17	2.07
2	"	"	1.04
3	"	20	1.97
4	"	"	0.97
5	8	17	2.06
6	"	"	1.04
7	"	20	2.05
8	"	"	1.07

i) Type I. 土石流が砂防ダムに達すると波高が急激に増大し、わずかの間に波高がダム天端より高くなるもの。このTypeの特徴は、①顕著なジャンプを生じながら堆積が進行してゆくこと、②ジャンプ高さはほぼ一定で、水路に平行に堆積してゆくことなどである。

ii) Type II. 土石流が砂防ダムに達しても波高が急激には増大せず、徐々に堆積が進行してゆくもの。このTypeの特徴は、①顕著なジャンプを生じないこと、②砂防ダム付近で一定の堆積勾配(約 14°)を形成しながら、堆積が進行してゆくことなどである。

土石流先端部が砂防ダムに衝突して停止する瞬間のジャンプ高さが、エネルギー線の高さに等しいとして得た理論値 H_{cal} と、実測値 H_{exp} を比較したのが、表-2である。

H_{cal} の方が H_{exp} よりも大きくなる傾向があるが、これは、堆砂面上に乗り上げた土石流はすぐ停止することなく、いくらかの速度水頭を持っていることや、ジャンプの際のエネルギー損失などを考慮していないからであろう。また、Type Iの方が H_{cal} 、 H_{exp} とも大きな値となるようである。したがって、Type IとIIは、まず、土石流先端部の持つエネルギーと、砂防ダム天端の高さの大小によって区別できようであろう。その他に、堆積層内の浸透流が大きく影響するものと考えられるが、これは後の考察でふれる。

表-2. ジャンプ高さの比較

Run No.	V_0 (cm/s)	h_0 (cm)	H_{cal} (cm)	H_{exp} (cm)	Type
1	113	3.5	14.1	11.3	II
2	58	3.0	5.8	5.5	II
3	135	5.0	20.8	18.0	I
4	50	2.3	4.4	5.5	II
5	137	3.0	19.3	13.8	I
6	90	2.5	9.2	6.3	I
7	170	5.0	30.1	18.5	I
8	117	4.9	16.8	15.0	I

3. 堆積過程のモデル化 以上のような観察事実をもとに、Type I, II のそれぞれについて、堆積過程のモデル化を行う。

i) Type I のモデル 土石流が定常的に流下してくる場合、堆積勾配は元河床勾配にほぼ平行であり、ダム天端からたえず砂れきを流出させながら、堆積が進行してゆく。堆積層表面の勾配が元河床勾配に等しいことから、砂防ダムを流出してゆく土石流の濃度は、流下してくる土石流の濃度 C_d に等しいはずである。

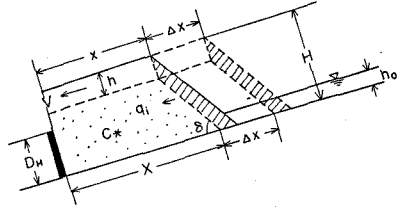


図-2. Type I のモデル

これらの条件を満たすモデルとして、図-2のモデルを考えた。砂れきと水の保存則より
砂れき: $C_d(H-h)\Delta X + (h-r_0)C_d\Delta X = q_r C_d \Delta t - r v C_d \Delta t$

水: $(1-C_d)(H-h)\Delta X + (h-r_0)(1-C_d)\Delta X = q_r(1-C_d)\Delta t - r v(1-C_d)\Delta t - q_i \Delta t$

ここに、 q_r は土石流の流量、 q_i は浸透流量である。

両式より、堆積層上の流動層厚 r に関して、次式を得る。

$$r = H - \frac{C_d}{C_d - C_d} \cdot \frac{q_i}{q_r} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta X}$$

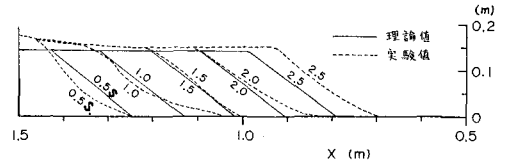


図-3. モデルと実験値の比較 (Run 7)

したがって $q_i = 0$ ならば $r = H$ となって、現実には起り得ない解となり、ダムは局所的な障害物として作用するのみで、堆積を生じないことになる。さて、浸透流量に Darcy 則を適用すると、フジのようになる。

$$q_i = k(H-r)\sin\theta \quad (k: \text{透水係数})$$

このモデルによる理論値と実測値の比較が図-3であり、両者はかなりよく一致していることがわかる。

ii) Type II のモデル 堆積勾配 θ が、いずれの場合も土石流形態をとる限界勾配の約 14° 程度の一定値をとることから、図-4に示すモデルを考えた。微小項を無視して砂れきの保存則をたてると、次式を得る。

$$C_d \{ 2x \tan(\theta - \gamma) + H \} \Delta X = q_r C_d \Delta t$$

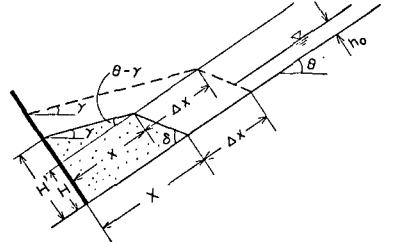


図-4. Type II のモデル

このモデルによる理論値と実測値の比較が図-5であり、妥当なモデルであることがわかる。

なお、理論値を求める際に、いずれの場合も H , δ , k の値は実測値を用いていることからこれらのモデル含まれる物理量を合理的にみつめることが、今後の課題である。

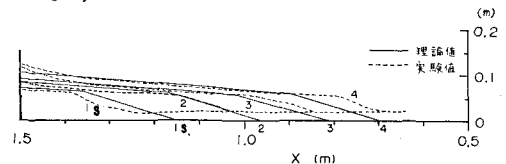


図-5. モデルと実験値の比較 (Run 6)

おすび 砂防ダムにおける土石流の堆積実験によって、堆積過程の初期に2つのタイプがあることがわかり、それぞれの過程についての考察を行った。一般に、高い砂防ダムでは、Type II で堆積が進むが、堆積面が天端に達した後は、堆積勾配はしだいに急となり、元河床勾配に近づいてゆくものと解される。