

天然ダムの形成について

京都大学防災研究所 正員 高橋 保

京都大学大学院 学生員 ○匡 尚富

1. まえがき： 天然ダムの決壊による土石流規模を予測するにはまず、天然ダムの形成形状及び規模を明らかにする必要がある。本研究では一定体積の崩壊土砂が斜面からある幅をもって幅の狭い溪床に落下してきた場合、天然ダムの形成機構を究明し、その形成形状と規模の予測手法を提案しようとするものである。

2. 理論的考察： 簡単のために溪流の幅は狭く、片側の斜面から供給された土砂は溪流の横断方向には均等に堆積するものと仮定する。天然ダムがFig.1(a), (b)のようなプロセスで形成されると考える。すなわち、崩壊幅 W 、体積 V の斜面崩壊土砂が一つのブロックとして溪床に落ちてきて、図に示したような長方形から四辺形へ変形し、さらに、(b)のように安息角より急な部分が崩落して台形あるいは三角形の天然ダムを形成する。土砂が十分多い場合三角形、少ない場合台形のダムが形成される。台形ダムの基部長 L_B 、頂部長 L_T がそれぞれ式(1)、(2)によって求められる。

$$L_B = \frac{W}{\cos \theta} + \frac{2BW}{V \cos \theta} K \quad (1)$$

$$L_T = \frac{W}{\cos \theta} - \frac{2BW}{V \cos \theta} K \quad (2)$$

$$K = \frac{\cos \theta}{\tan(\phi + \theta)} + \sin \theta + \frac{\sin(90^\circ + \phi)}{\sin(\phi - \theta)} \quad (3)$$

ここに B ：水路幅、 θ ：水路勾配、 ϕ ：崩壊土砂の安息角、 K ：式(3)より ϕ が一定の場合、 θ の関数である。 B 、 θ 、 ϕ を既知量として崩壊幅 W 、土砂体積 V がわかれば、式(1)、(2)から台形ダムの基部長 L_B 、頂部長 L_T が求められる。さらに、三角ダムの形成条件は $L_T = 0$ であるから式(2)より三角ダム形成の限界土砂体積 V_{sc} が式(4)のようになる。

$$V_{sc} = 2 \left(\frac{W}{\cos \theta} \right)^2 \frac{B}{V_{sc} \sin \theta} K \quad (4)$$

$$L_{Bsc} = \frac{W}{\cos \theta} + \frac{2BW}{2BV_{sc}} K \quad (5)$$

ここに L_{Bsc} ：三角ダムが形成されるとき限界基部長である。 $V > V_{sc}$ の場合、Fig.1(c)のように安息角とほぼ等しい両法面勾配をもつ三角ダムが形成される。基部長 L_B が式(6)で表わされる。

$$L_B = \left(\frac{V}{V_{sc}} \right)^{(1/2)} L_{Bsc} \quad (6)$$

また、 $V < V_{sc}$ の場合、実際にはFig.1(d)の実線で表わしている台形ダムであるが、簡単のため、点線のような三角ダムとして取り扱って求められた上、下流側法面勾配 ψ_u 、 ψ_d は式(7)と(8)である。

$$\psi_u = \arctan \left(\frac{4\alpha \cos^2 \theta}{K + 2\alpha M} \right) - \theta \quad (7)$$

$$\psi_d = \arctan \left(\frac{4\alpha \cos^2 \theta}{K + 2\alpha N} \right) + \theta \quad (8)$$

$$\alpha = V/V_{sc}; \quad M = \frac{\cos \theta}{\tan(\phi + \theta)} - \sin \theta$$

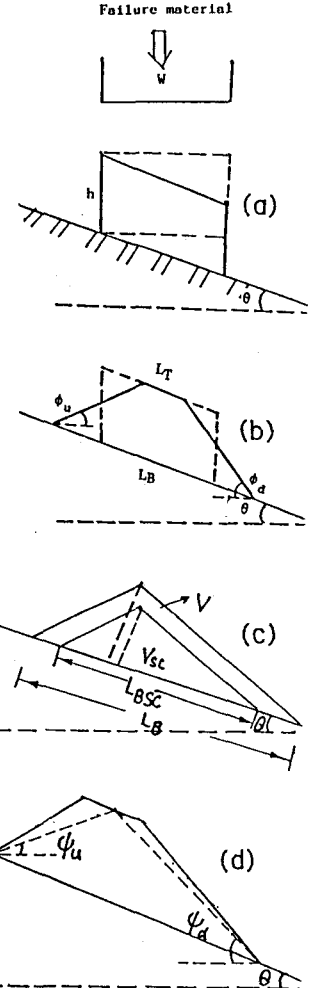


Fig. 1 天然ダム形成の概念図

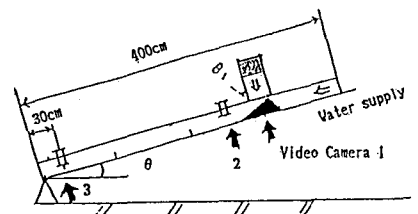


Fig. 2 実験水路

$$N = \frac{\sin(90^\circ + \phi)}{\sin(\phi - \theta)} + 2 \sin \theta$$

3. 実験結果と計算結果との比較考察: Fig.2のような水路で実験を行なったが実験によれば天然ダムが形成される場合、渓流の水の流量は天然ダムの形状、規模に顕著な影響を与えないが、崩壊土量があまりにも小さい場合には殆ど瞬間的に流されてしまい、天然ダムは形成されない。天然ダム形成の限界値を実験的に求めた結果はFig.3のようである。また、ダム形状に関する実験結果と計算結果との比較がそれぞれFig.4, Fig.5, Fig.6に示している。図よりわかるようにダム基部長は両者がよく一致している。上流側法面勾配と下流側法面勾配の実験値と計算値の一致の程度はあまりよくない。その原因としては理論式を導くとき台形ダムを三角ダムに単純化していること、安息角の値が適当ではないことや、実験解析の誤差によるものが考えられる。しかし、計算値と実験値の変化傾向はよく一致しており、ここで考えたような機構によって天然ダムが形成されていると判断される。上記の理論式から L_b/W と V/V_{sc} の関係は殆ど水路勾配に依存しないことになり、Fig.7のような関係がある。当然のことながら、 V が大きいとダム基底長が W の数倍となる。

$$\frac{q}{g^{1/2} \frac{V}{BL}^{1/2}} = 45 \times 10^{-4} z^2$$

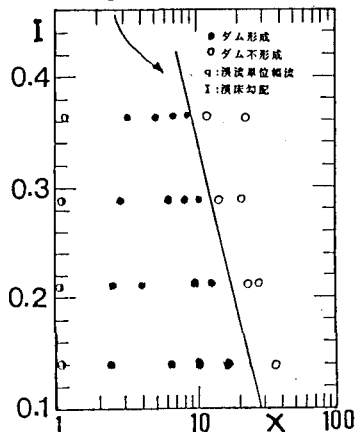


Fig. 3 天然ダムの形成条件

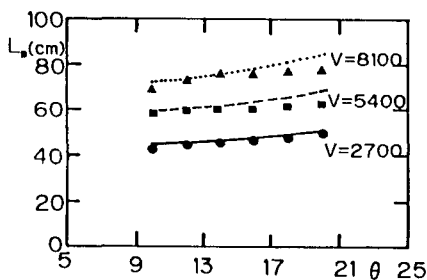


Fig. 4 ダム基底長さの計算結果と実験結果との比較

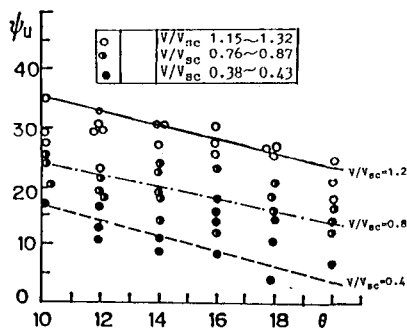


Fig. 5 上流法面勾配の計算結果と実験結果との比較

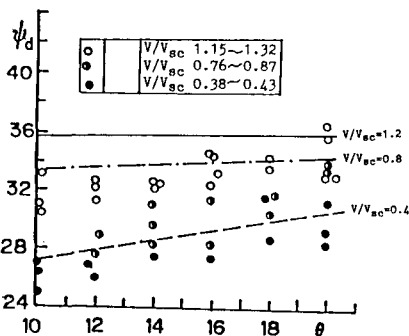


Fig. 6 下流法面勾配の計算結果と実験結果との比較

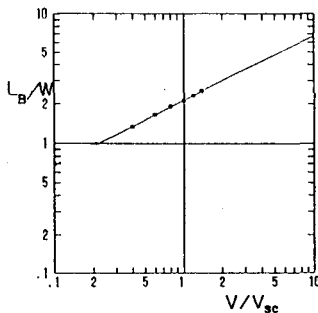


Fig. 7 L_b/W と V/V_{sc} との関係

4. あとかき: 本研究は渓流幅が狭くて、崩壊土砂が渓床の横断方向に均等に堆積する場合の天然ダムの形成形状の予測式を提案した。今後は渓床幅が広くて横方向に均等に堆積しない場合、また斜面からの崩壊土砂がある程度の流動性を持って渓床に落ちてきて落下地点ですくにはとまらず、下流へある距離を移動して堆積する場合、等の堆積過程及び形状を究明する必要があるであろう。