

74 砂防ダムの袖部に衝突する土石流の挙動に関する研究

建設省土木研究所 ○草野慎一 石川芳治 前田昭浩
㈱建設技術研究所 中村淳治

1. はじめに

砂防ダムの袖は、ダム上流の堆砂地内を流下した土石流や土砂流の河幅を規制して、流れを安全に下流の河道内に流下させるためのものである。よって、計画流量を通しうるだけの水通し断面を確保し、余裕高を加えることによりその高さは決定される。しかし、土石流対策用の砂防ダムの場合では、土石流に大きな直進性があるため、少々の高さの袖は乗り越えてしまう恐れがある。さらに、土石流が河道の湾曲部を通過する場合、外湾側へのせり上りを考慮して、袖部の形状を検討する必要がある。そこで今回、土石流が砂防ダムの袖部に衝突した場合の土石流の挙動を、模型実験により検討したので報告する。

2. 実験の内容

2.1 実験の目的

現在の土石流対策ダムの袖の設計においては、想定される土石流の流量と、流下幅から、水通し部における必要断面を算出し、そこから溪岸へ向けて現河床勾配と同じ程度の勾配で上げてゆく方法がとられる。これは基本的に洪水の場合と同じ考え方であり、土石流が、ダムの袖部にあたって、流れは袖に沿って導流され、水通し中央に向かって流れ、水通しを通過して流下することを想定している。しかしながら、土石流は直進性が強く、勾配変化点では土砂堆積が生じやすいため、そのようにうまく導流されるか問題の点も多い。そこで今回、土石流の袖への衝突位置によって、その挙動がどのように変化するか、またその時の砂防ダムの袖高の効果について、模型実験により検討した。また河道が湾曲している部分に設置されるダムについても同様の検討を行った。

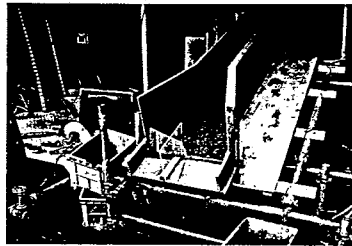


写真-1 直線の場合の水路とダムの模型



写真-2 湾曲部の場合のダムの模型

し、そこから溪岸へ向けて現河床勾配と同じ程度の勾配で上げてゆく方法がとられる。これは基本的に洪水の場合と同じ考え方であり、土石流が、ダムの袖部にあたって、流れは袖に沿って導流され、水通し中央に向かって流れ、水通しを通過して流下することを想定している。しかしながら、土石流は直進性が強く、勾配変化点では土砂堆積が生じやすいため、そのようにうまく導流されるか問題の点も多い。そこで今回、土石流の袖への衝突位置によって、その挙動がどのように変化するか、またその時の砂防ダムの袖高の効果について、模型実験により検討した。また河道が湾曲している部分に設置されるダムについても同様の検討を行った。

2.2 実験装置と材料

実験に用いた水路は長さ9m、幅20cmで、勾配は 18° に設定しており、片側がアクリルの直線水路である(写真-1)。また湾曲部分として、この直線水路の下に、曲率半径 $r_c=100\text{m}$ 、中心角 $\theta=60^\circ$ で幅20cmの木製の水路を設置した(写真-2)。水路床は平均粒径3mmの砂をニス付けした粗面固定床とした。

砂防ダムの模型は、ダム高5cmで、厚さ1.5cmの木製である。水通し部の幅は、土石流の流下幅と同じ20cm、水通し高さは、土石流のピーク流量(6ℓ/s)と、河床面粗度($n=0.03$ とした)から計算し、3.5cmとした。湾曲部に設置したダムでは、これに土石流の偏流による水位上昇分として、0.7cmを加えた、4.2cmを袖高とした。また、袖の高さの効果を見るための模型は各々の2倍の高さの模型

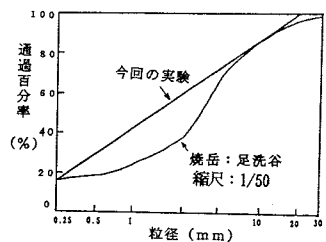


図-1 土石流材料の粒度分布

を用いた。実験に用いた土砂の粒度分布を図-1に示す。これは、焼岳：足洗谷のものを参考にして設定した。模型縮尺は1/50である。また流況撮影のためVTR 2台、35mmモータードライブカメラ2台を用いた。

2. 3 実験条件

①砂防ダムの堆砂状況：砂防ダムの堆砂地は、満砂状態にするために土石流材料と同一の土砂で、勾配12°（水路勾配の2/3）に設定した。②土石流の発生：50ℓの土砂を水路上流に厚さ20cm、長さ120cm、幅20cmで設置して、下流でのピーク流量が6（ℓ/s）になるように給水量を調節して与えた。また給水は、土石流がダム模型に達した時間をはじめとして1分間とした。

③VTRとカメラの設置：VTRカメラ、および35mmモータードライブカメラをそれぞれダム模型の正面および側面に設置した。

2. 4 実験ケース

実験ケースは直線水路で袖高3.5cmの場合について、土石流が水通しと袖の境にあたる場合と、袖の中央付近にあたる場合の2ケース、および同一の条件で袖高7cmのものについて2ケース、計4ケース行った。また湾曲部では、土石流は袖の中央付近にあたる場合で、袖高4.2cmと、8.4cmの2ケース行った。以上合計では6ケースである。

2. 5 測定項目

①模型の下流端で、水通し上を通過した土砂と、袖の上を越流した土砂を採取し、土砂量を計測した。

②VTRおよびカメラから、土石流の波高および流速を読み取った。

3. 実験結果と考察

3. 1 直線部分に砂防ダムを設置した場合

ケース1-4の土石流が袖に衝突してから、流下していく状況を、図-2～5に示す。これは砂防ダムを下流正面から見た図で、0.33秒間隔で衝突から2秒後までのものである。また、表-1

表-1 砂防ダムの袖部を越流した土砂量

ケースNO.	1	2	3	4	5	6
越流量 (cm ³)	70	650	0	100	3200	290

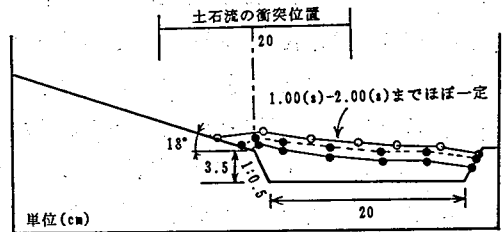


図-2 ダム上の水位の時間変化 (CASE.1)

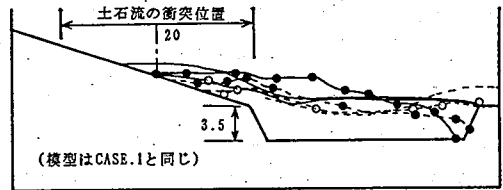


図-3 ダム上の水位の時間変化 (CASE.2)

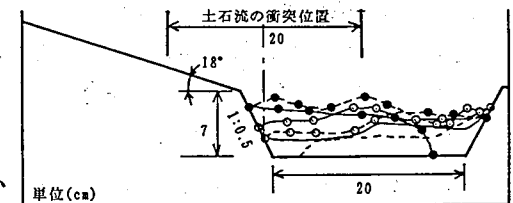


図-4 ダム上の水位の時間変化 (CASE.3)

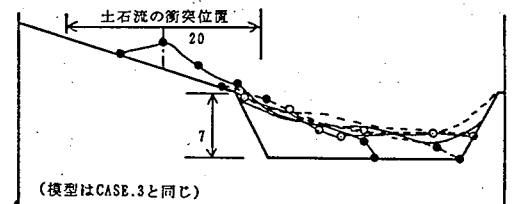


図-5 ダム上の水位の時間変化 (CASE.4)

凡例	経過時間 (SEC)
●—●	0. 33
●---●	0. 66
○—○	1. 00
○---○	1. 32
—	1. 65
---	2. 00

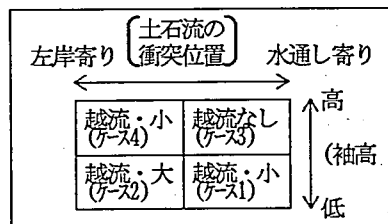


図-6 袖の越流と袖高及び土石流の衝突位置の関係

に、この衝突直後の2秒間の、袖の上を越流した流量を示した。この2秒間に砂防ダムを通過した総土砂量は、約8000cm³である。以下の説明で、土石流が袖に衝突する位置を、水通しと袖の境の位置を原点として、長さd (cm) で表示する。また袖高はh (cm) とする。なお、実験で流下してきた土石流の波高は、VTRから読み取った値で約5cmと、計算値より少し大きかった。よって模型の水通し高3.5cmは、元々多少高さが不足していたことになる。また、砂防ダムにあたる直前での土石流の流速は、4ケースともおよそ40cm/sであった。これらのケースにおける、袖の高さ及び土石流の衝突位置の条件と、袖の上への越流との関係は図-6のようにまとめられる。

実験で観察された土石流の、堆積、越流の過程について、簡単に説明すると以下のようになる。土石流は、かなりの高速で流下してくるが、袖に衝突した時点で、水のような跳ね上がりは起こらず、袖部直上流において堆積と流動が進んでいく。袖に衝突した直後の土石流は、上方及び側方の2方向に進んでいこうとし、側方への流動が停滞しない、すなわち土石流の流向が水平方向にうまく曲がって行ける場合には、上方への堆積はあまり大きくなる。土石流の衝突位置が、水通しに近いケース1,3では主流路が水通し上にすぐに形成されて、袖の上への越流はほとんど生じない。これに対してケース2,4では、土石流の衝突位置が水通しから離れていて、衝突直後の土石流の側方への流動が規制されてしまう。よって土石流は側方へ流動できる高さまで上昇することになり、これよりも袖高が低いと袖部からの越流が起こる(ケース2)。よって、袖に衝突してきた土石流の越流を抑えるためには、土石流をなめらかに水通し部へ導いて、上方への堆積遡上を小さくすること、また直接的な方法としては、土石流が上方に堆積してきた場合でも十分なだけの袖高を確保することである。今回の実験条件においては、ケース3,4の結果から設計値の二倍の高さがあれば、ほぼ越流に対しては安全だといえる。

また、袖の上への越流が起こったケース2,4について、土石流衝突後2秒間の、水通しの高さを基準面とした越流水深の時間変化を図-7に示す。図中に示したエネルギー式というのは、ベルヌーイの式をもとにエネルギーの釣合を考えたものであり、次式のとおりである。

$$H = \frac{\alpha \cdot V^2}{2g} \cdot \cos \theta + h_0 - E_L$$

H: 水位、V: 流速、 θ : 勾配(度)、 h_0 : 等流水深、g: 重力加速度、 E_L : ジャンプによるエネルギーの損失、 α : 係数(高橋らによればダイクスト流体の場合1.7)

これに、VTRから読み取った値、 $V=40(\text{cm/s})$ 、 $h_0=5(\text{cm})$ を用い、 $\theta=18^\circ$ 、 $g=980(\text{cm/s}^2)$ として、 E_L は衝突しジャンプする際に失われるエネルギーであるが、ここでは0として計算すると $H=6.3\text{cm}$ となった。実験結果では、最高で8cm程度まで水深は上昇している。これは実験での土石流は、衝突してジャンプするような形で上昇するだけでなく、袖の上流側に土砂が堆積していき、その上に後続の土石流が乗りあがるような形で上昇していくからである。したがって

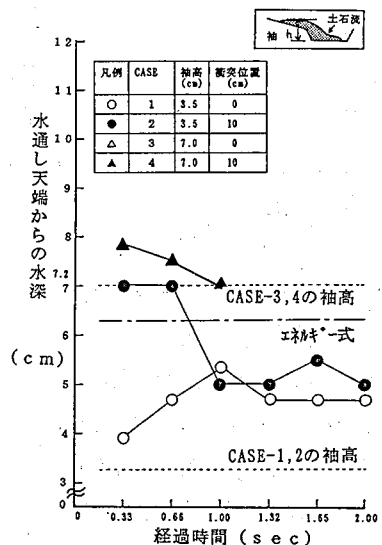


図-7 袖の先端部での水深の時間変化

袖部における土石流の波高の上昇は、一瞬のエネルギーのバランスのみでは説明しきれず、実験結果の方が大きい値になっている。

3. 2 湾局部分に砂防ダムを設置した場合

図-8、図-9にケース5,6の越流状況を示す。①ケース5 ($h=4.2\text{cm}$, $d=10\text{cm}$) : この場合、非常に大きな越流が起こり、2秒間の流量のうちの、ほぼ1/3が越流してしまう。また時間的にも長く続く。②ケース6 ($h=8.4\text{cm}$, $d=10\text{cm}$) : 一部越流するが、時間的にも、量的にも越流は少ない。直線部分の場合とあわせて考えても今回の実験条件では、袖高が設計値の2倍あれば、ほぼ土石流の越流を止めることができる。

図-10,11より、袖部に衝突した土石流の、水路の外湾側での水位上昇は、ケース5で17cm、ケース6で16cmである。これらの結果と、過去に湾曲水路内での水位上昇を検討した結果^{1) 2)}を比較すると、以下のようなものである。水山ら¹⁾の検討は、次式で示されている。

$$h = h_0 + \alpha \cdot \frac{b \cdot V^2}{g \cdot r}$$

ここに、 h : 水深、 h_0 : 等流水深、 b : 流路幅、 V : 平均流速、 g : 重力加速度、 r : 流路中心の曲率半径、 α : 係数である。今回は $\alpha=2$ として、 $h_0=5\text{cm}$ 、 $b=20\text{cm}$ 、 $V=40\text{cm/s}$ 、 $r=100$ を用いると $h=5.7\text{cm}$ となる。

これは、実験の結果と比較すると、かなり小さい値であり、袖に衝突し、堆積するために上昇する今回の現象にはそのまま適用はできないようである。

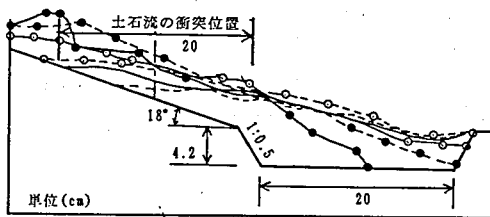


図-8 ダム上の水位の時間変化 (CASE.5)

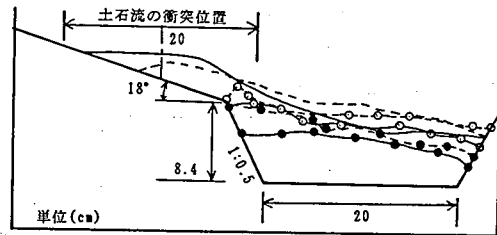


図-9 ダム上の水位の時間変化 (CASE.6)

4. まとめ

今回の実験により、土石流が袖に衝突する際の、土砂堆積、波高上昇過程が観察され、土石流の袖部への衝突位置及び袖高と、袖部の上への越流の関係がある程度明らかになった。また、湾曲部においては、特に土石流の衝突による水位上昇が強いことも認められた。今後は、さらに異なった条件で実験を行い、土石流の発生が予想される溪流での、必要な砂防ダムの袖高の算定方法及び袖部への越流防止手法を提案したいと考える。

参考文献

- 1) 水山、上原：湾曲水路における土石流の挙動；土木技術資料23-5(1981)
- 2) 例えば 池谷、上原：S字型水路における土石流の挙動；土木技術資料24-12 (1982)