

住友金属工業(株) ○小国 嘉之 高瀬 幸紀

(財)砂防・地すべり技術センター 松村 和樹

1. はじめに

鋼製砂防ダムは昭和43年頃から開発され始め、現在までに試験施工も含めてかなりの実績報告¹⁾がなされている。これら鋼製砂防ダムのうち透過型のもは、部材に鋼管を用いた立体格子形状のものと平面フレーム形状の2種類である。しかしながら、満砂後の除石が困難、あるいは面外荷重に対する強度不足など問題点も残されており、近年ではこれら問題点を解決する新しいタイプの鋼製ダムの開発報告²⁾が種々なされている。

著者らも新タイプの透過型鋼製砂防ダムとして鋼製アーチ式スリット砂防ダムを開発し、土石流捕捉効果調査のための水理模型実験を実施した。本報告はその概要を述べたものである。

2. 鋼製アーチ式スリット砂防ダム

鋼製アーチ式スリット砂防ダム(図1)は、予め曲げ加工された鋼管を必要なピッチで水平アーチ状に複数段配置し、それらを上下方向のスリット材の機能を有する鉛直材で連結させたアーチ状の平面格子を有する鋼製ダムである。本ダムは、アーチアクション効果を利用して比較的少量の鋼材で大きな耐力を発揮すること、一面構

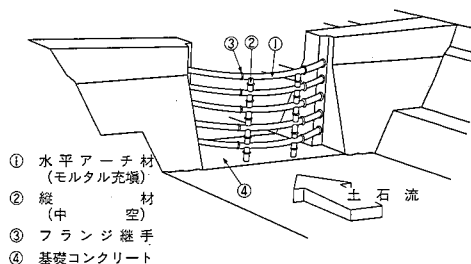


図1 鋼製アーチ式スリット砂防ダムイメージ図

造のため組立及び維持管理が容易であるなどの特徴を有する。

3. 水理模型実験

3.1 実験水路と材料

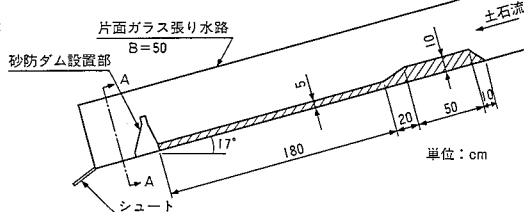
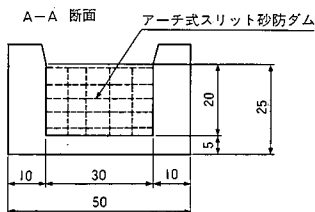


図2 実験水路図

実験に用いた水路は、片面ガラス張り可変水路

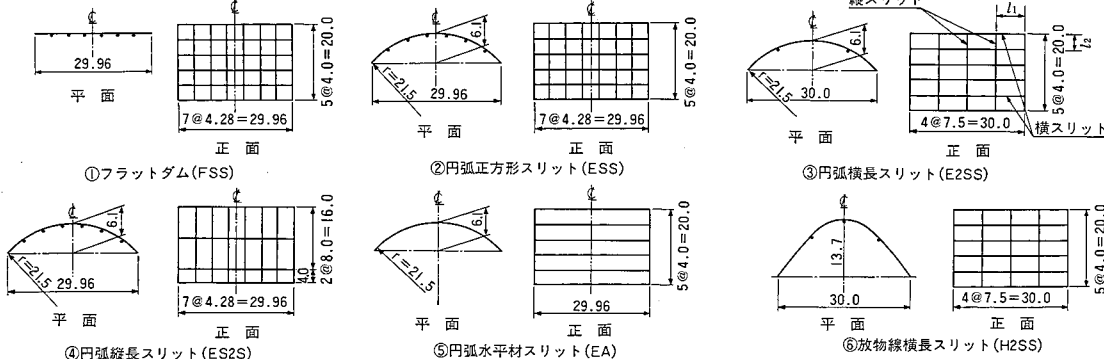


図3 鋼製アーチ式スリット砂防ダム模型

(幅50cm、高さ50cm、長さ8m)である(図2)。河床材料は、ダム模型(図3)における水平アーチ材間隔と材料の最大粒径との比がおおよそ1.2、1.5、2.0³⁾となるような3種類の粒調材料を用いた(図4)。

3.2 実験方法と手順

水路床に材料を敷均し、散水して十分に飽和させた後、上流より水を供給して土石流を発生させた。給水は、予備実験結果から5.1/secで約26秒間の通水とした。水路勾配は17度である。測定は、通水中の流下状況を水路側面と上面に設置した2台のカメラで流下特性を記録し、実験後解析した。また、水路端で流出土砂を採取して土砂濃度の時間的な変化を調べた。

4. 実験結果と考察

4.1 土石流の特性

本実験のVTR解析結果ならびに流出土砂濃度測定結果を表1に示す。表より、土石流の平均流速は60.5cm/sec、平均波高は4.1cmと算出された。

図5に、土石流中の土粒子の軌跡をフラットダム(FSS-28)と円弧水平材スリット(EA-28)とについて示す。土石流フロント部の個別粒子に着目して軌跡を図化することは困難であったが識別できる限りで図化したものである。図より、前者では土粒子が直進性の強い動きを示すのに対し、後者ではアーチ格子の形状に沿ってゆるやかに偏流する土粒子の動きがうかがえる。

図6は、円弧水平材スリット(EA-28)において、通水後のダム直上流部(左右岸、中央部)と流出土砂についてのふるい分け試験結果を示したものである。図より明らかなように、ダム下流へ流出した土砂は与えられた土石流材料の粒度分布とほぼ同一であったが、ダム直上流部には土石流材料の90%粒径以上の粗粒分が約50%捕捉されていることがわかる。また、ダムスリット直上流部では採取場所の違いによる差はあまり見られない。これらより、鋼

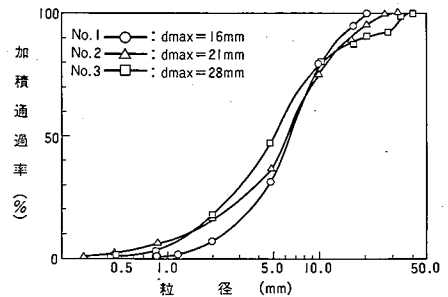


図4 実験に使用した河床材料の粒径加積曲線

表1 実験結果一覧表

番号	実験名	呼び名	スリット間隔 e1, e2	土石流 速度 (cm/s)	土石流 波高 (cm)	最大 土砂濃度 (%)	平均 土砂濃度 (%)	流出 土砂量 (cm ³)	備考
1	無施設	WD-16	—	—	—	60.2	33.2	43,550	河床材料No.1 dmax=16mm
2	フラットダム	FSS-16	2.15, 2.00	68.4	3.6	38.4	12.0	15,700	
3	円弧正方形スリット	ESS-16	2.15, 2.00	—	—	58.4	9.0	11,740	
4	円弧横長スリット	E2SS-16	4.09, 2.00	62.5	3.5	52.9	23.2	30,400	
5	円弧縦長スリット	ES2S-16	2.15, 4.50	66.1	3.0	53.6	11.1	14,510	
6	無施設	WD-21	—	67.5	3.8	62.2	32.1	42,085	河床材料No.2 dmax=21mm
7	フラットダム	FSS-21	1.64, 1.52	62.5	5.0	27.7	1.7	2,180	
8	円弧正方形スリット	ESS-21	1.64, 1.52	65.1	4.6	23.4	1.3	1,700	
9	円弧横長スリット	E2SS-21	3.12, 1.52	58.9	4.0	28.1	6.6	8,680	
10	円弧縦長スリット	ES2S-21	1.64, 3.43	61.9	4.3	48.9	15.7	20,560	
11	無施設	WD-28	—	50.0	4.8	65.5	32.6	42,695	河床材料No.3 dmax=28mm
12	フラットダム	FSS-28	1.23, 1.14	57.5	3.8	28.4	1.8	2,410	
13	円弧横長スリット	E2SS-28	2.34, 1.14	51.3	4.5	32.7	2.1	2,800	
14	円弧水平材スリット	EA-28	10.5, 1.14	53.8	4.5	33.3	3.4	4,480	
15	放物線横長スリット	H2SS-28	2.34, 1.14	54.7	4.5	42.4	4.6	5,970	

① dmax: 粒径加積曲線より読み取ったd₉₀の粒径

② e1: li/dmax, e2: ls/dmax

ここにli: 縦スリットの間隔, ls: 横スリットの間隔

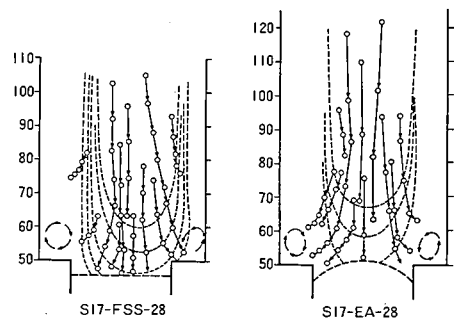
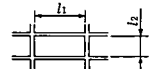


図5 砂防ダム付近の流況図(0.2秒間隔)

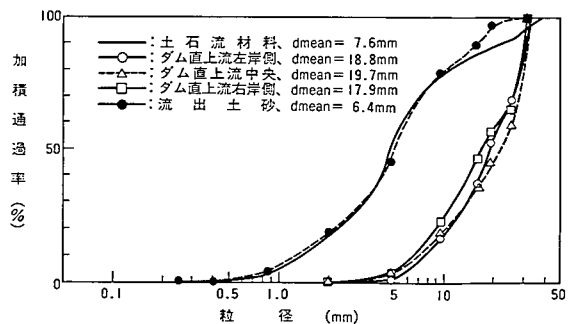


図6 通水後の河床材料の粒径加積曲線(EA-28)

製アーチ式スリット砂防ダムでは土石流を谷の幅方向に均一に堆積させる機能があると推定できる。

4.2 土石流捕捉効果

実験に使用した河床材料別の流出土砂濃度の時間変化を図7～9にそれぞれ示す。図7は、河床材料No.1使用時で、横スリットの最小間隔 ϵ_2 と最大粒径 d_{max} の比 $\epsilon_2/d_{max}=2.0$ の場合に相当する。図より、無施設時の流出土砂濃度曲線に対してピークカット効果が顕著に現れているのはフラットダム（FSS）であり、アーチ形状のものはほとんど無施設時と同様の変化を示していることがわかる。これは、アーチ格子の有する曲率のために平面格子に比べて土粒子の噛み合いが生じにくく、その結果ピークカット効果が現れなかったものと思われる。一方、総流出土砂量の減少効果については、円弧縦長スリット（E2SS）を除いて無施設時の約1/3～1/4（表1参照）となっており、流出土砂量抑制効果のあることが確認される。また、供給される水量によって異なるが、後続流による土砂流出がみられることから透過型砂防ダムとしての効果も確認される。

図8は、河床材料No.2使用時で $\epsilon_2/d_{max}=1.5$ に相当する。図から、円弧縦長スリット（E2SS）を除いて、約50%のピークカット効果が確認されるとともに、土石流の流出も約15秒までに終了しているのがわかる。また、正方形スリット（FSS, ESS）と縦長スリット（E2SS）の間には、ピークカット効果にはほとんど有意な差異はみられない。これは、土石流先端部の粗粒分が、アーチ状の平面格子間で十分な噛み合いを生じた結果、貯砂型の砂防ダムとして機能したことを示していると考えられる。一方、流出土砂量を表1から比較すると縦長スリット（E2SS）が横長スリット（E2SS）の約2.4倍であることがわかる。これらより、流出土砂濃度及び流出土砂量の抑制効果という観点からは、アーチ型砂防ダムの場合には縦スリットの間隔よりも横スリットのそれが支配的であることが推定できる。

図9は、河床材料No.3使用時で、 $\epsilon_2/d_{max}=1.2$ に相当する。本ケースでは円弧水平材スリット（EA）と放物線横長スリット（H2SS）を新タイプとして追加し、前項の結果を踏まえて横スリット間隔を固定して、縦スリット間隔を種々変化させて土石流の捕捉効果を検討した。図より、放物線横長スリット（H2SS）でややピークカット効果が低いものの、その他のケースでは約50%のピークカット効果が現

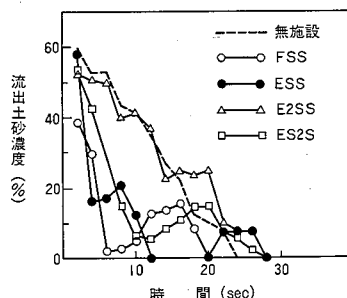


図7 流出土砂濃度曲線
($d_{max}=16\text{mm}$, $\epsilon_2=2.0$)

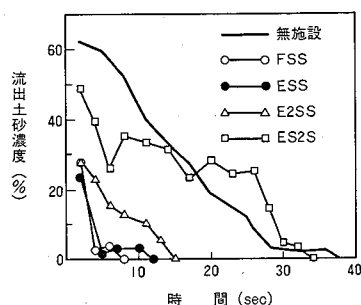


図8 流出土砂濃度曲線
($d_{max}=21\text{mm}$, $\epsilon_2=1.52$)

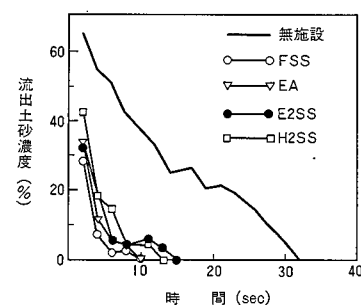


図9 流出土砂濃度曲線
($d_{max}=28\text{mm}$, $\epsilon_2=1.14$)

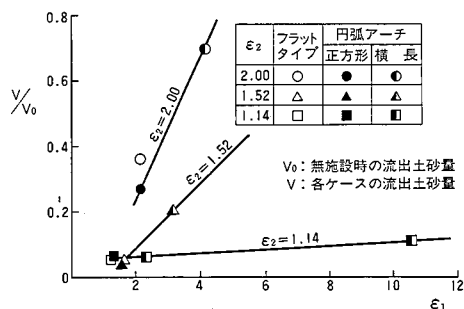


図10 縦スリット間隔と流出土砂量の関係

れ、後続流による流出状況もほとんど同じ傾向であった。図8と比較しても、流出土砂濃度曲線にはほとんど差の無いことから、鈴木・及川・森田²⁾らと同様にアーチ式スリット砂防ダムの場合に有効と思われるピークカット効果を発揮するのは $d/d_{max} \leq 1.5$ であると考えられる。また、本ダムの土石流捕捉機構は、土石流フロント部の粗粒分が水平アーチ材間で噛み合いを生じ、それが契機となって後続の土石流を捕捉していると考えられる。したがって、粗粒分の噛み合いが生ずるまでの間は流出土砂濃度は高く、捕捉効果が発揮され始めると顕著に流出土砂濃度は低下することが確認される。

次に、流出土砂量の抑制という観点から実験結果を整理してみる。図10は横軸に縦スリットの間隔と最大粒径の比を、縦軸に V/V_0 (V_0 : 無施設時の流出土砂量、 V : 各ケースの流出土砂量)をとって、横スリット間隔と最大粒径の比をパラメータとして整理したもので、鋼製アーチ式スリット砂防ダムの流出土砂量制御に対する適正なスリットの配置を検討したものである。

図より、横スリット間隔をピークカット効果の確認された $1.5d_{max}$ 程度まで狭くすると、縦スリットの設置間隔によって流出土砂量が10%~50%の範囲で変動していることがわかる。十分なデータの揃っていない段階で大胆な仮定ではあるが、これらは、有効なピークカット効果を持ち、かつ縦スリットの設置間隔により完全捕捉からおよそ50%捕捉の範囲で流出土砂量を制御可能ならしめる砂防ダムの設計が可能であることを示唆していると考えられる。

5. まとめ

新しく開発した鋼製アーチ式スリット砂防ダムに関する水理実験を行い、限られた条件ではあるが以下の水理特性が明らかになった。

- (1) 鋼製アーチ式スリット砂防ダムの土石流捕捉効果には、ピークカットと流出土砂量を平滑化させる効果がある。また、土石流を谷の幅方向に振り分ける機能を有する。
- (2) 土石流のピークカット効果を支配するのは横スリットの間隔であり、その効果を発揮するのは、横スリット間隔が最大粒径の1.5倍以下の場合である。一方、流出土砂量の制御は、縦スリットの配置に依存していると思われる。現地へ適用する場合、その設置目的、用途、構造強度を満足するような配置を考えることが肝要である。
- (3) 鋼製アーチ式スリット砂防ダムの土石流捕捉機構は、横スリット間に土石粒子の粗粒分が噛み合っており、それ以降の土石流の流化を妨げることによるものである。

今後は、流出土砂量制御、及び砂防ダム用途とアーチ格子を形成するスリットの適正配置とについて検討したいと考える。

最後に、本研究を進めるに当たって御指導頂いた、建設省土木研究所・水山室長、同・鈴木技官、(財)砂防・地すべり技術センター・鈴木理事、実験に御協力頂いた(財)建設技術研究所・古賀課長並びに関係諸氏の方々に深謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 阿部宗平; 土石流(V)-土石流対策の実例一, 土木技術資料, Vol.23, No.10, 1981.
- 2) 例えば 鈴木・及川・森田; 透過型鋼製ダムの水理実験及び塑性解析, 昭和63年度砂防学会研究発表会概要集, PP.139-142, 1988.
- 3) 渡辺・水山・上原; 土石流対策砂防施設に関する検討, 新砂防, Vol.115, PP.40-45, 1980.5.