

(財) 砂防・地すべり技術センター 鈴木 宏
 新日本製鐵(株) 建材開発技術部 及川義朗
 日鐵建材工業(株) 製品開発部 ○森田昭宏

1. はじめに

土石流対策の砂防施設として透過型構造の鋼製砂防ダムが各地で施工されてきている。この透過型構造物とは、流下する土石流の貯留または減勢及び水と土砂の分離を図る設備¹⁾と定義されている。既存の透過型鋼製ダムには、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二種類があり夫々特長を持っている。しかしながら、これらのダムには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の問題点が指摘されている。

筆者らは、これらの問題点を解決する新しい透過型鋼製ダムを研究し、そのダムの形状を提案してきた²⁾。本報告は、立案したダムの土石流捕捉効果を調べるための水理実験並びに巨礫の衝突エネルギーに対する塑性解析について、その概要を述べる。

2. ダムの形状

提案したダム形状を図-1に示す。これらのダムは立体フレーム構造の独立体で、各種構造案の中から三次元構造解析を通して絞り込んだ二タイプである。複数のダムを適切な間隔をおいて設置し土石流を捕捉する。満砂した後は、ダムのフレーム内に入り込んだ石

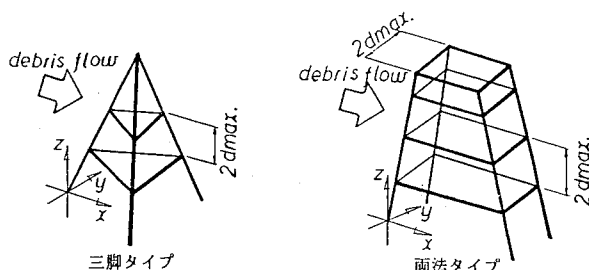


図-1

礫を除去しなくともダム間の土砂を排除することにより、スリットダムのな透過型構造物としての機能は確保できる特長を持つものである。

3. 水理実験

3.1. 実験方法

(1)実験装置：実験に用いた水路は幅50cmの木製の床に高さ50cmの片面ガラス板を取り付けたものである。ダム模型の縮尺は1/100とし、部材は耐水性・加工性を考慮して一辺5mmの正方形断面のABS(アクリル・ポリマ・スチレン)を用い製作した。

(2)土石流材料：土石流材料の粒度特性を表-1に示す。材料Aは礫混りの砂で土石流捕捉効果の実験に用いた。また実験での開口部の設定は $d_{max}=2.0\text{cm}$ とした。

表-1

	最大粒径 $d_{max}\text{mm}$	60%粒径 $d_{60}\text{mm}$	30%粒径 $d_{30}\text{mm}$	10%粒径 $d_{10}\text{mm}$	均等係数 U_c	曲率係数 U_c'
A	19.2	6.4	3.5	2.5	2.56	0.77
B	9.52	4.0	2.8	1.7	2.35	1.15

材料Bは材料Aよりも相対的に粒径の細かい砂で、通常出水の土砂の透過確認に用いた。

(3)土石流の発生方法：水路床に材料を敷き並べ上流より水を供給して土石流を発生させた。(図-2)給水量は予備実験で決定した5l/sで約20秒間通水し、土石流発生水路床勾配は $\theta_f=17.2^\circ$ とした。

3.2. 実験の種類及び測定

実施した実験は次の5種類である。

i. 土石流発生域（ダム設置水路床
勾配 $\theta_2=17.2^\circ$ ）におけるダム配
置と土石流捕捉効果の実験。

ii. 土石流流下域（ダム設置水路床
勾配 $\theta_2=10.0^\circ$ ）におけるダム配置と土石流捕捉効果の実験。

iii. ダム枠内に石礫を中詰めした場合（除石後を想定）の土石流捕捉効果の確認実験。

iv. 土石流中に含まれる流木の捕捉効果の実験。

v. 掃流土砂の透過確認実験。

実験 i、ii ではダム配置を一列、二列、千鳥等変え、またその配置間隔 b も $1.5d_{max}$ 、 $2.0d_{max}$ 、 $2.5d_{max}$ 等変化させながらダムの最適配置を調べた。ここで決定したダム配置を用いて iii、iv、v の実験を行なった。なお、流木は土石流モデル上に径 3mm、長さ10cmの丸棒を 600本 2cmメッシュに設置し流下させた。また、比較のため無施設及びクロズドダムでの実験も行なった。

測定はVTRで土石流の挙動を記録し、実験後解析した。また、流出土砂を採取して土砂濃度の時間変化を調べた。

3.3. 実験結果と考察

(1) 土石流の特性：発生した土石流はすべて一段の正段波型で流下しダムに到達した。また、土石流フロント部には比較的粒子の粗い礫が集まり、細かい砂は後続流により流下し流下後の滞筋上は細かい粒径で覆われていた。土石流の平均流速は $\theta_2=17.2^\circ$ で 86.2cm/s 、 $\theta_2=10.0^\circ$ で 64.1cm/s 、波高は各々 5.4cm及び 4.7cmとなった。

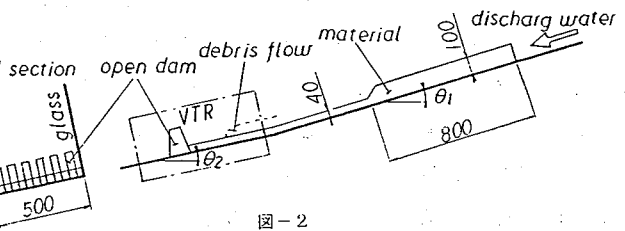


図-2

(2) 土石流捕捉効果：ダム到達後の土石流の挙動の一例（両法タイプ一列、 $b=1.5d_{max}$ ）を図-3に示す。実験の結果より、土石流発生域・流下域に拘らず両法タイプ一列の次式の条件で最も土石流捕捉効果が高い事が判明した。

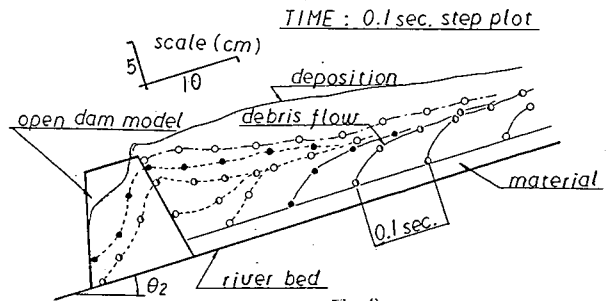


図-3

$$\text{ダムの配置間隔} ; b \leq 1.5 d_{max} \dots (1)$$

三脚タイプは土石流の堰上げ効果が当初見られるものの、後続流によって堆積物が浸食され再度土石流となって下流に流出した。これは、基礎部と天端部の開口部の広さが異なりダムの高い位置では透過型ダムの土石流閉塞条件である³⁾

$$1.5 \leq b/d_{max} < 2.0 \dots (2)$$

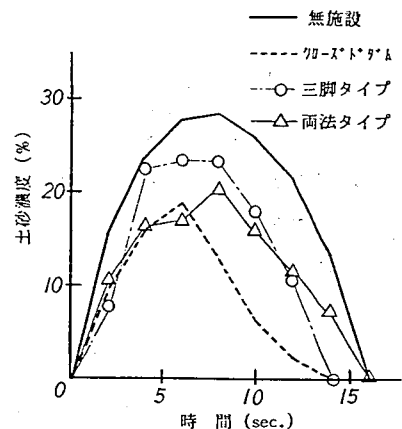


図-4

を満足しなくなるためだと考えられる。図-4に無施設、クローズダム及び三脚タイプ、両法タイプの土砂濃度時間変化の比較を示す。また、(1)式の条件で材料Bを流すと殆ど堆積せず下流に流出し、つまり透過型構造物としての機能を満足する事が確認された。

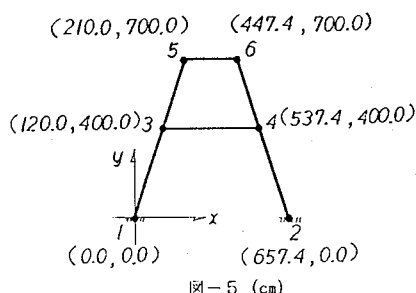
(3)ダム枠内に石礫を中詰めした場合：土石流を捕捉し堆積・満砂した後は次の土石流に備えて除石を行なう必要があるが、ダム枠内に入り込んだ石礫の除去は現地において非常に困難である。従って、ダム間隔のみの除石を実施した場合を想定して実験を行なった結果、中詰め石によってダムの閉塞面積が広がるため土石流を完全に捕捉する事が確認された。

(4)流木の捕捉効果：透過型構造物の場合は土石流中の水と土石を分離し水のみを流出させるため、ダム到達後の跳水や土砂の跳ね上げ、あるいはダム天端からの水の越流が見られない。従って、土石流中に含まれる流木もクローズダムに比べ効果的に捕捉し、流木の捕捉率（捕捉した丸棒の数/全体の本数）はクローズダム82%に対し両法ダムは96.7%であった。

4. 塑性解析

4.1. 構造モデル

水理実験の結果、土石流捕捉効果の高い両法タイプについて構造検討を行なう。構造モデルは図-5に示すように高さ7.0mのダムを設定し、上下流の法勾配は3分とした。図中の番号は節点番号で、その座標値を示す。また、節点はすべて剛結合で支点は固定とする。



4.2. 部材の決定

部材は変位法による構造解析を実施して決定した。なお、設計条件については「鋼製砂防構造物設計便覧¹⁾」に準拠した。各部材の断面形状及び有効断面における断面特性を表-2に示す。

表-2

節点 i-j	部材形状 (mm)	断面積 (cm ²)	I (cm ⁴)	部材長 (cm)	P _y (kg)	M _y (kg·cm)	M _p (kg·cm)	P _{cr} (kg)	P _E (kg)
1-3	φ 609.6×25	364.17	153106	417.61	1165344	16342187	21508448	964106	18195713
3-5	φ 609.6×25	364.17	153106	313.21	1165344	16342187	21508448	1014391	32347418
5-6	φ 609.6×16	203.41	88118	237.40	650912	9405531	12196458	587951	32405788
4-6	φ 609.6×16	241.21	105219	313.21	771872	11156415	14512771	673785	22230116
2-4	φ 609.6×16	241.21	105219	417.61	771872	11156415	14512771	641067	12504640
3-4	φ 609.6×16	241.21	105219	417.40	771872	11156415	14512771	641133	12517225

I ; 有効断面二次モーメント

P_y ; 引張りに対する終局強度

M_y ; 降伏モーメント

M_p ; 塑性モーメント

P_{cr} ; 圧縮に対する終局強度

P_E ; オイラーの座屈強度

4.3. 軸力と曲げモーメントの相関

次に示す Sherman の相関式⁴⁾を用いて、軸力・曲げモーメントの関係を図-6のようにモデル化する。

$$\frac{1}{1 - P/P_E} \cdot \frac{M}{M_P} = \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{P}{P_{cr}} \dots \dots \dots (3)$$

P < (P_E より、P/P_E = 0 とすると

$$\frac{M}{M_P} = \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{P}{P_{cr}} \dots \dots \dots (4)$$

4.4. 吸収エネルギー

天端またはストラット部に荷重 F を増加させた場合の荷重と変位の関係を弾塑性解析プログラム (DRAIN⁵⁾) で求め図-7に示す。 $F-\delta$ 曲線 (非線形) の関数を $F=G(\delta)$ とすると、吸収エネルギー U は式 (5) によって求められその結果を図-8に示す。

$$U = \int G(\delta) \quad \cdots \cdots (5)$$

4.5. 保有耐力

透過型鋼製砂防ダムは、土石流中の巨礫が衝突して構造部材の一部が塑性域に達しても構造が崩壊しない限りその機能を保持する。構造の崩壊をダム高の2%変位¹⁾と仮定すると、このダムのエネルギー吸収能は

$$U(\delta=14\text{cm}) = 24\text{ t}\cdot\text{m} \quad \cdots \cdots (6)$$

となる。巨礫の運動エネルギーは $E = 1/2 \cdot m \cdot v^2$ であり $E=U$ より礫の径を1.5m、比重を2.6とした場合10.1m/sec. までの流速に対して耐力を保有する事になる。

5. おわりに

立案した新しい透過型立体鋼製ダムについて水理実験・塑性解析を通じて、その最適配置及び保有耐力が判明できた。今後は、現地における確性をこなっていくとともに弾塑性解析を三次元モデルで検討したいと考えている。最後に本研究に対しご指導頂いた建設省土木研究所水山室長、また実験にご協力頂いた(財)建設技術研究所古賀課長並びに関係諸氏に謝意を表します。

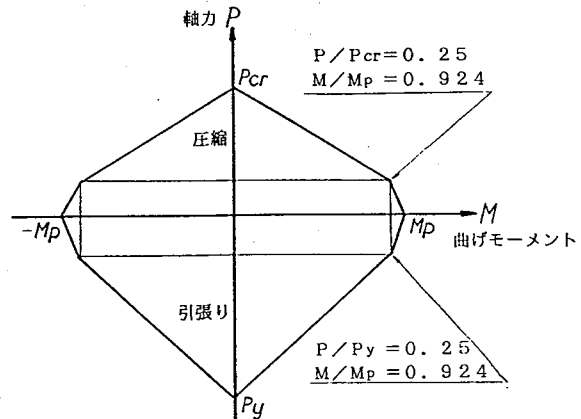


図-6

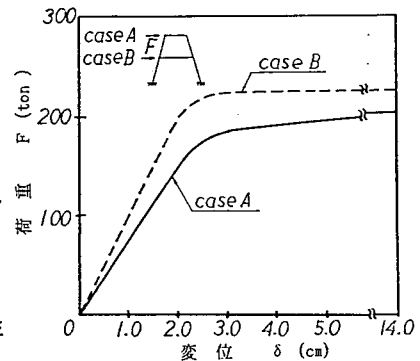


図-7

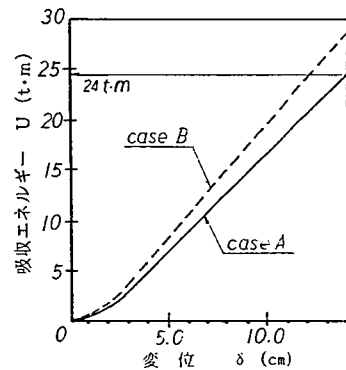


図-8

【参考文献】

- 1) (財) 砂防・地すべり技術センター他；鋼製砂防構造物設計便覧 (昭和62年版)，1987
- 2) 水山、鈴木、及川、森田；透過型砂防ダムに関する実験的研究 (新砂防投稿中)
- 3) 池谷、上原；スリット砂防ダムの土砂調整効果に関する実験的研究，新砂防114, 1980
- 4) Sherman；Inelastic Local Buckling of Circular Tubes，日米海洋構造物セミナー，1981
- 5) Kanaan, Powell；General Purpose Computer Program for Dynamic Analysis of Inelastic Plane Structure，EERC Report, 1973