

建設省土木研究所 ○森田 昭宏
 建設省土木研究所 矢澤 昭夫
 建設省土木研究所 水山 高久

はじめに

土石流ブレイカー（底面水抜きスクリーン）とは、スノコ状のスクリーンを溪流河床に設置し、流下してくる土石流をスクリーン上で土石と水とに分離することにより、土石流の流速を減速し停止・堆積させるものである¹⁾。本研究は、この土石流ブレイカーの最適諸元を求めめるため、実験的に検討したものである。また、泥流型土石流におけるスクリーン効果についても検討した。

1. 実験概要

実験に用いた土石流ブレイカーの形状を図-1に示す。この模型を用いてスクリーン長、スクリーン間隔、スクリーン勾配を変化させて実験を行なった。土石流材料の粒度分布を図-2、スクリーン間隔と粒径の関係を表-1に示す。材料Aは礫混りの砂で、スクリーンの最適諸元の検討に用いた。材料Bは材料Aより相対的に粒径の細かい砂、材料Cは砂礫とベントナイトを混合したもので泥流型土石流の材料として用いた。

実験水路は、幅20cmの木製の床に高さ40cmのアクリル板を両面に取り付けた2次元水路である。水路の長さは6mで水路床勾配 θ は任意に設定することができる。また、土石流は図-3に示すように、材料A、Bの場合は水路床に材料を敷き、上流から水を供給して発生させる。材料Cの場合は予め適当な水と材料をかき混ぜて泥を作り、水路に直接投入した。

2. 実験条件

実験条件を表-2に示す。No. 1~No.15は水路床勾配 $\theta = 17.6^\circ$ 給水量 $Q = 2.16 \text{ l/sec}$ 材料Aで行なった実験で、スクリーンの長さ、間隔、勾配を変えた。

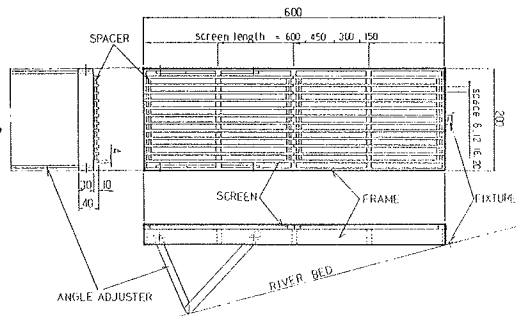


図-1 土石流ブレイカー模型の形状

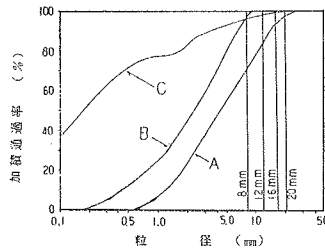


図-2 土石流材料の粒度分布

表-1 スクリーン間隔と粒径との関係

土石流材料	A	B	C
d_{max} (mm)	25.4	9.52	19.1
d_{60} (mm)	6.0	3.3	0.26
間隔	70%粒径	—	97%粒径
8	82% -	$1.3 \cdot d_{max}$	—
12	82% -	$1.7 \cdot d_{max}$	—
16	92% -	$2.1 \cdot d_{max}$	—
20	98% -	—	—

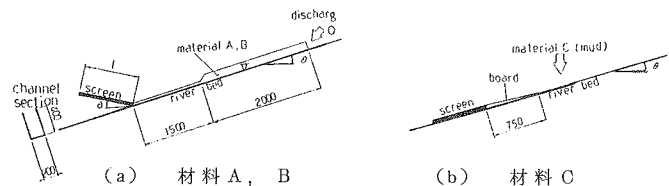


図-3 土石流の発生方法

No.16～No.19は水路床勾配 $\theta = 16.1^\circ$

表 - 2 実験条件一覧

給水量 $Q = 1.70 \text{ l/sec}$ として土石流の流速を下げた場合の実験を行なった。また、No.20～No.22は材料 B, No.23～No.26は材料 C による実験である。

材料 A, B の土砂量は $V = 25,000 \text{ cm}^3$ で給水時間は約30秒である。また、材料 C は水と混ぜて $V = 15,000 \text{ cm}^3$ 程度にした。No.23 は含水比 50.4% とし当初スクリーン上流 3.5 m から投入したが、粘性が高くスクリーンに到達しなかったため 1.0 m 先から投入した。No.24 は含水比 58.8% で 3.5 m 先から投入し、No.25 は同じ含水比で

Run No.	River bed gradient θ (deg)	Condition of the debris flow				Condition of the screen		
		material	discharge Q (l/sec)	velocity v (cm/sec)	wave height h (cm)	angle α (deg)	length l (cm)	space S (mm)
1	17.6	A	2.16	67.3	5.15	—	—	—
2	↓	↓	↓	67.3	4.00	—	60	8
3	↓	↓	↓	61.5	6.09	—	45	↓
4	↓	↓	↓	54.9	6.25	—	30	↓
5	↓	↓	↓	63.9	5.42	—	45	12
6	↓	↓	↓	47.0	5.38	—	30	16
7	↓	↓	↓	73.8	4.17	—	30	8
8	↓	↓	↓	50.0	5.42	—	15	↓
9	↓	↓	↓	63.9	5.20	—	30	12
10	↓	↓	↓	59.6	6.00	—	15	16
11	↓	↓	↓	62.5	5.60	—	30	20
12	↓	↓	↓	50.0	4.80	—	15	8
13	↓	↓	↓	48.7	6.15	—	↓	12
14	↓	↓	↓	70.0	5.00	—	↓	16
15	↓	↓	↓	60.0	5.38	—	↓	20
16	16.1	↓	1.70	55.3	3.61	—	—	—
17	↓	↓	↓	47.3	3.45	—	45	8
18	↓	↓	↓	53.6	3.30	—	30	↓
19	↓	↓	↓	46.2	3.30	—	15	↓
20	14.9	B	1.95	54.5	2.68	—	45	12
21	↓	↓	↓	39.0	3.57	—	30	16
22	↓	↓	↓	53.6	2.62	—	15	20
23	16.1	C	(50.4) [*]	7.3	2.00	—	60	8
24	↓	↓	(58.8)	6.9	2.00	—	↓	↓
25	↓	↓	()	89.8	1.92	—	↓	↓
26	↓	↓	(67.2)	96.5	2.27	—	↓	↓

* moisture ratio %

1.0 m 先から投入した。No.26 は含水比 67.2% でスクリーン上流 3.5 m から投入した。土石流の挙動は VTR で記録し、実験後解析した。

3. 実験結果の解析

3.1 スクリーン長の検討

水路床勾配 $\theta = 17.6^\circ$ 給水量 $Q = 2.16 \text{ l/sec}$ 材料 A の条件における土石流の流速、波高を実験の平均値で求めると、それぞれ $v_0 = 60.0 \text{ cm/sec}$ $h_0 = 5.3 \text{ cm}$ となる。

スクリーンを水路床と平行に設置した場合の土石流フロント部流下距離の時間的変化を図-4に、スクリーンを水平に、あるいは逆勾配に設置した場合の時間とフロント流下距離の関係を図-5に示す。図中の原点はスクリーン上流端である。また、スクリーン間隔は $S = 8 \text{ mm}$ であるが、スクリーン間隔を変えてもフロント流下距離に大きな変化は見られなかった。

また、スクリーン長とスクリーンを乗り越えて下流に流出した土砂量の関係を図-6に示す。図-4～図-6から必要なスクリーン長は次の通り判断される。i) スクリーンが水路床と平行 ($\alpha = -\theta$) な場合: $l = 50 \text{ cm}$, ii) スクリーンを水平 ($\alpha = 0$) に設置した場合: $l = 25 \text{ cm}$, iii) スクリーンを逆勾配 ($\alpha = \theta$) に設置した場合: $l = 15 \text{ cm}$ 。水路床勾配 $\theta = 16.1^\circ$ 給水量 $Q = 1.70 \text{ l/sec}$ に下げると土石流

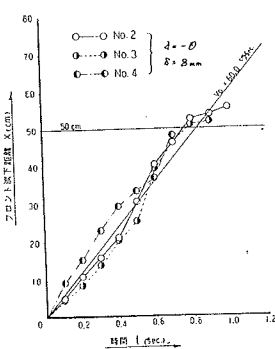


図 - 4

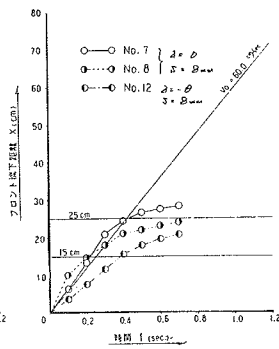


図 - 5

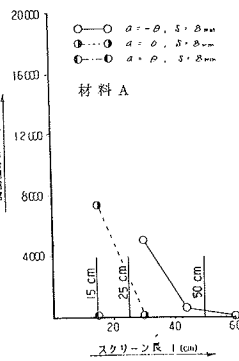


図 - 6

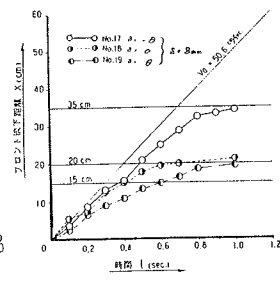


図 - 7

の流速及び波高は、それぞれ50.6 cm/sec, 3.5 cmに下がった。これも同様に時間と土石流フロント流下距離の関係の求め図-7に示す。図-7から必要なスクリーン長を求めると、スクリーンを水路床と平行 ($a = -\theta$) な場合35 cm, 水平 ($a = 0$) に設置した場合20 cm, 逆勾配 ($a = \theta$) に設置した場合15 cmである。

3.2 スクリーン間隔の検討

スクリーン上における土石流の透水性や通常出水時には土砂を通過させることを考えると、スクリーン間隔はなるべく広い方が良い。図-8にスクリーン間隔とスクリーンを通り抜け下流に流出した土砂量の関係を示す。図からスクリーンの最適間隔は次のように判断される。i) スクリーンが水路床と平行 ($a = -\theta$) な場合: $S = 12$ mm, ii) スクリーンを水平 ($a = 0$) に設置した場合: $S = 16$ mm, iii) スクリーンを逆勾配 ($a = \theta$) に設置した場合: $S = 20$ mm。これらの値は表-1より、それぞれ80%粒径, 90%粒径, 最大粒径に相当する。このスクリーン間隔で材料Bの土砂を流すと、すべての土砂がスクリーンを通り抜けた。

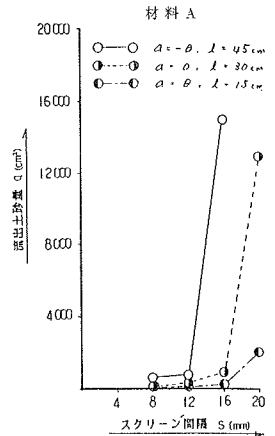


図-8

3.3 堆砂勾配の検討

スクリーンによって捕捉された土砂は、図-9に示すようにスクリーン上で安息角に近い高角度で堆積した。その平均を求めると $\phi_r = 32.2^\circ$ である。図-10に3.1で求めたスクリーン長と堆砂勾配の線との関係を示す。図より水路床と平行に設置したスクリーン長 l_0 と、 a なる勾配を持つスクリーンの必要な長さ l の間に次式が成り立つ。

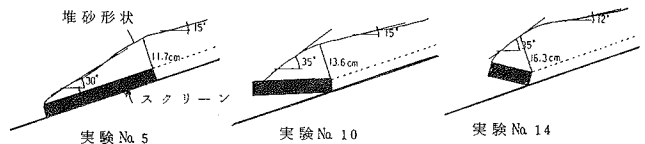
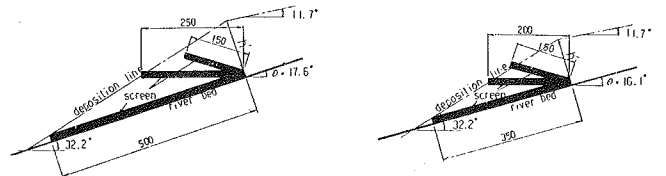


図-9 土石流堆砂形状の例



(a) $v_0 = 60.0$ cm/sec $h_0 = 5.3$ cm (b) $v_0 = 50.6$ cm/sec $h_0 = 3.5$ cm

図-10 スクリーン上の堆砂勾配とスクリーン長

$$l = l_0 \frac{\sin(\phi_r - \theta)}{\sin(\phi_r + a)} \quad \text{但し } -\theta \leq a \leq \theta \quad \dots\dots (1)$$

実験値と(1)式を用いた計算値との比較を図-11に示す。

3.4 泥流型土石流の検討

泥流型土石流におけるスクリーン効果について検討した。材料は砂礫とベントナイトを混合したものに水を加えかき混ぜたもので、材料の30%程度はシルト以下の微粒子である。含水比は50.4%, 58.8%, 67.2%の3種類であるが流動の性質は全く異なり、50.4%では粘性が高く容易には流下せず、58.8%に上げると粘性が下がり、スクリーン上流1.0 mから投入すると流速89.8 cm/secでスクリーンに到達した。さらに水を加え含水比を67.2%

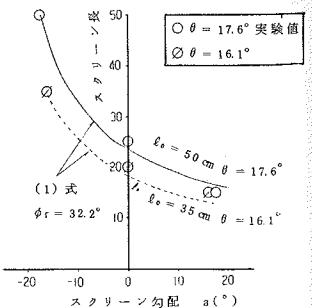


図-11 スクリーン勾配とスクリーン長との関係

にすると流れは一定となり、比較的速い流速（96.5 cm/sec）になった。また、土石流はフロント部の粗粒化を起こさず一様に流れていた。

スクリーンは水路床と平行に設置し、スクリーン間隔は8 mmとした。泥流型土石流の挙動を観察すると、スクリーン到達後急速に停止し、スクリーン下流には礫を含まない泥が流出した。これは、図-12に示すように最初は土石流の泥を通過させ礫をスクリーン上に残すフルイ分けが行なわれ、スクリーン上に残った礫によってスクリーンが詰まった後は、透水性の低い後続泥流が堆積したものと考えられる。つまり、砂礫型土石流と違って泥流型土石流では、スクリーンで土石流を捕捉する効果よりは、土石流を泥と礫とに分離し質的变化させるフルイ分け効果が期待できる。

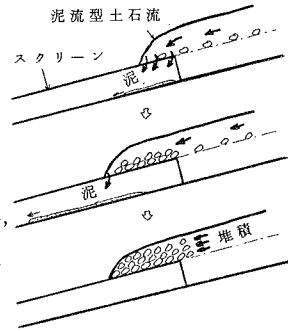


図-12 泥流型土石流のスクリーン効果

4. 現地設計への適用

スクリーン勾配に対するスクリーン長は(1)式で表わされることを示したが、この式を現地で用いるためには、河床勾配と平行に設置したスクリーンに必要な長さ l_0 を求めなければならない。そこで、今回の実験結果と焼岳上々堀沢に昭和60年7月21日発生した土石流の測定結果を用いて解析を行なった。実験と焼岳上々堀沢に発生した土石流の流速・波高及びスクリーン規模を表-3に示す。

ここで図-13に示すようなモデルで土石流の流速とスクリーン長の関係を考える。 v_0 の流速で流下してきた土石流がスクリーン上で α なる一定の負の加速度で減速し停止するものと仮定する。この場合、スクリーンに必要な長さ l_0 は、

$$l_0 = \frac{1}{2\alpha} v_0^2 \quad \dots\dots (2)$$

で表わされる。図-14に、実験値と焼岳の測定値を比較すると

$$l_0 = 0.014 v_0^2 \quad \dots\dots (3)$$

なる関係が見出される。よって、(1)、(3) (減速域) (等速域) 式より、現地でのスクリーン長 L (m)は、

$$L = 1.4U^2 \frac{\sin(\phi_r - \theta)}{\sin(\phi_r + a)} \quad \dots\dots (4)$$

で与えられる。ただし、 U ：土石流流速（m/sec）である。

また、最大堆砂厚 H (m)は幾何学的に求めると、次式となる。

$$H = 1.4U^2 \tan(\phi_r - \theta) \quad \dots\dots (5)$$

土砂量 V を変え（ $V = 50,000 \text{ cm}^3$, $12,500 \text{ cm}^3$ ）追加実験を行なった

ところ、土砂量に関係なく(4)、(5)式が適用できることが確認できた。図-14 土石流流速とスクリーン長との関係

参 考 文 献

- 1) 渡辺正幸, 水山高久, 上原信司; 土石流対策砂防施設に関する検討, 新砂防115号, 昭和55年5月, PP.40~45

表-3 土石流とスクリーン規模

		実験 I (No.1~No.15)	実験 II (No.16~No.19)	焼岳上々堀沢
土石流	河床勾配(°)	17.6	16.1	4.1
	流速(cm/sec)	60.0	50.6	420
	波高 (cm)	5.3	3.5	350
スクリーン	長さ (cm)	50	35	2000
	間隔 (mm)	8, 12	8	200
		(70, 80%粒径)	(70%粒径)	(50%粒径)
	勾配 (°)	17.6 (河床と平行)	16.1 (河床と平行)	4.1 (河床と平行)

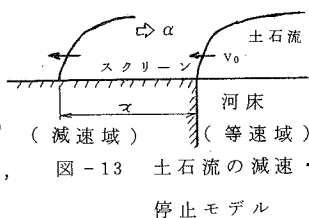


図-13 土石流の減速・停止モデル

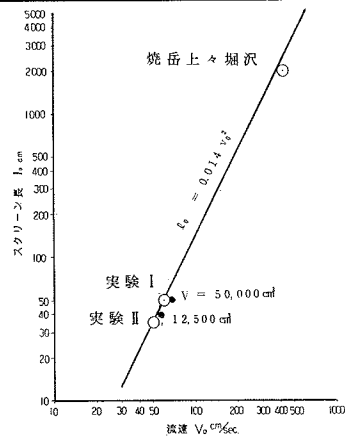


図-14 土石流流速とスクリーン長との関係