

土 木 研 究 所 資 料

土石流ブレーカー (底面水抜きスクリーン)に関する 実験的研究

昭和61年4月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

Copyright © (1986) by P.W. R. I .

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土石流ブレーカー (底面水抜きスクリーン)に関する 実験的研究

砂防研究室 室 長 矢澤昭夫
主任研究員 水山高久
部外研究員 森田昭宏

要 旨

土石流を制御する各種の構造物が考案され、現地にも試験的に設置されている。この中で、底面水抜きスクリーンは、土石流を減速し停止させる効果が確認され、注目を集めている。本研究では、底面水抜きスクリーンの最適諸元を検討した。まず、2次元水路を用いてモデル実験を行い、土石流捕捉効果を調べた。次に、底面水抜きスクリーンの最適諸元を解析し現地への適用を試みた。

この結果、スクリーンに到達した土石流は一定の加速度で減速・停止し、スクリーン上に土石流材料の安息角に近い勾配で堆積することがわかり、必要スクリーン長を与える式を得た。また、土石流材料を変え、泥流型土石流についても検討した。

キーワード：土石流，土石流ブレーカー，底面水抜きスクリーン。

Experiments and Analysis on "Debris Flow Braker" screen.

Sabo (Erosion Control) Division Akio Yazawa

Takahisa Mizuyama

Akihiro Morita

Synopsis

Some sabo structures have been proposed to control debris flow. Some of them have been devised and constructed for test. "Debris Flow Braker" screen among them is like a drain board. It has been confirmed that debris flow was reduced its velocity and stopped on the screen. As "Debris Flow Braker" screen is very simple structure, light weight and economical, it attracts many attention now.

We studied to find the best design condition of "Debris Flow Braker" screen in this research. Firstly, screen effects to stop and catch debris flow was investigated through model experiments. Secondly, we analyzed the best screen condition from these experiments and tried to apply it to the field.

It was found that debris flow arriving at the screen was reduced its velocity by constant deceleration and deposited at a reposed angle of the material on the screen. Its effectiveness was also checked for mud flow.

Key Words : Debris flow, Debris Flow Braker, Drain board screen

目 次

は じ め に

1. 研究の目的	1
2. 実験場所と期間	2
2.1 実験場所	2
2.2 実験期間	2
3. 供 試 体	3
4. 実験方法	4
4.1 土石流材料	4
4.2 実験装置	4
5. 実験結果	6
5.1 実験の種類	6
5.2 フロント流下距離の変化	7
5.3 流出土砂量及び堆砂形状	14
6. 実験の解析及び考察	16
6.1 スクリーン長の検討	16
6.2 スクリーン間隔の検討	18
6.3 堆砂形状の検討	19
6.4 異なる土石流材料による検討	21
6.5 現地への適用	22
7. ま と め	25
お わ り に	26
参 考 文 献	27
資 料 集	29

は じ め に

土石流対策の構造物として代表的な重力式コンクリートダム他に、各種のスリットダムや格子ダム、バイル林、底面水抜きスクリーン、側面水抜きスクリーン等が考案され、その土石流捕捉効果が室内実験によって確認されている。また、これらのいくつかは、試験的に現地に設置され、現在、実際の土石流に対する効果について調査を行なっている。

この中で底面水抜きスクリーンは、中部地方建設局富士砂防工事事務所管内の大沢川岩樋と北陸地方建設局松本砂防工事事務所管内の焼岳上々堀沢の2ヶ所に試験施工され、その観測を実施している。

底面水抜きスクリーンとは、スノコ状のデッキを河床に設置し、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し、土石流の流速を減速させ、停止・堆積させるものであり、スクリーンの構造は非常に単純で、通常のダムに比べ施工性・経済性に優れている。

昭和60年7月21日に焼岳上々堀沢に発生した土石流は、この底面水抜きスクリーン上で、フロント部が減速・停止した。その様子は、VTRに記録され、この年、日本で開催された「砂防学会国際シンポジウム」に集まった各国の砂防研究者の間でも“Debris Flow Braker”として注目を集めた。

本研究は、底面水抜きスクリーンの最適諸元について、模型実験と現地試験の結果から検討を行なったもので、一応の設計案を決定することができた。また、泥流型土石流のスクリーン上における挙動についても検討した。

昭和61年4月

砂防部砂防研究室

室 長 矢 澤 昭 夫
主任研究員 水 山 高 久
部外研究員 森 田 昭 宏

1. 研究の目的

底面水抜きスクリーン（以下スクリーンと呼ぶ）は、その土石流捕捉効果が室内実験により確認され、^{1) 2)}試験施工として中部地方建設局富士砂防工事事務所管内の大沢川岩樋と北陸地方建設局松本防砂工事事務所管内の焼岳上々堀沢に設置されている。しかしながら、この現地試験によって実際の土石流のスクリーンによる捕捉効果は、ある程度確認できたものの、^{3) 4)} スクリーンの長さ、間隔、勾配等の設計方法は判っていない。また、流速が速く比較的粒径の小さい泥流型土石流におけるスクリーン効果も問題点として残っている。

本研究は、実験水路内に土石流を発生させ、スクリーンによる捕捉効果を解析する事により、スクリーンの最適諸元を検討し現地における設計方法を提案することを目的とする。また、土石流材料を変えて泥流型土石流についても検討した。

2. 実験場所と期間

2.1 実験場所

建設省土木研究所土質共同実験棟山地崩壊実験室

2.2 実験期間

昭和60年7月～昭和61年1月

3. 供 試 体

実験に用いたスクリーンの形状を図-1に示す。幅20cm、長さ60cm、高さ3cmのフレーム枠の上に予めスペーサーによって間隔を決めたスクリーンを載せネジで固定したもので、部材の材質はすべて真ちゅうである。スペーサーは8mm、12mm、16mm、20mmの4種類を用い、スクリーン間隔を設定する。スクリーンの断面は、縦10mm、横4mmの長方形で長さは、60cm、45cm、30cm、15cmの4種類を用いた。

また、フレーム本体の角度を任意に調整できるサポートを用いる事により、スクリーン勾配が設定できる。スクリーンは流下しないように、フレームに取り付け治具をつけて、水路床に固定した。

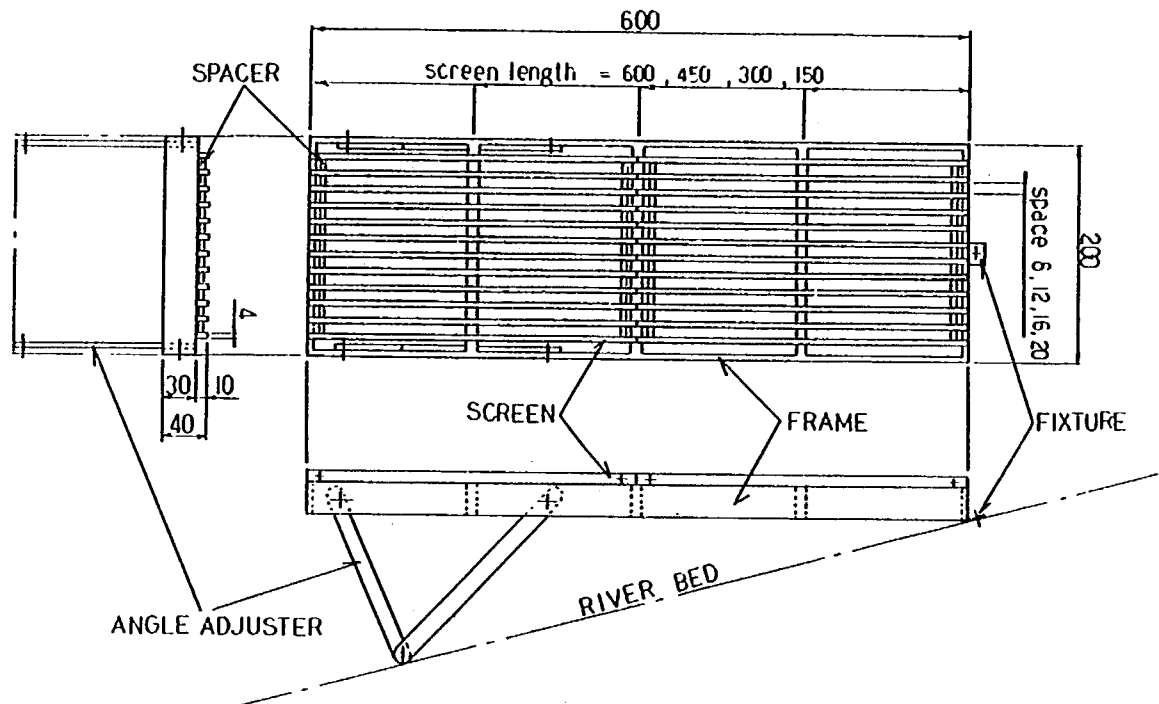


図-1 スクリーン模型の形状

4. 実験方法

4.1 土石流材料

実験に用いた土石流材料の粒度分布を図-2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を用いた。スクリーン間隔と粒径との関係を表-1に示す。材料Bは、材料Aより相対的に粒径の細かい砂である。また、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。

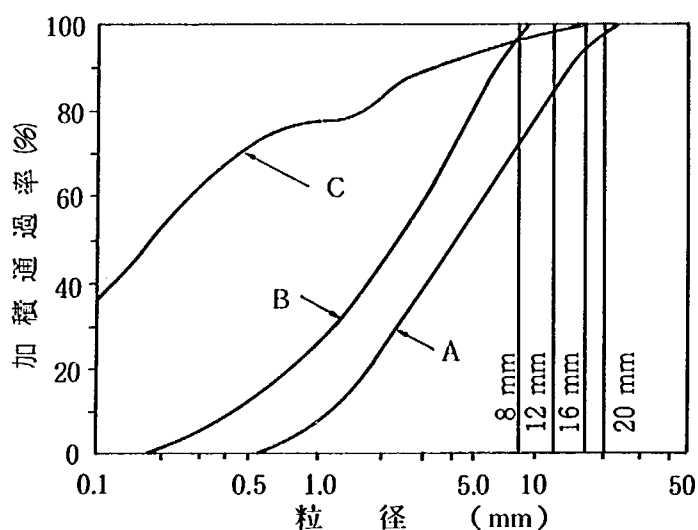


図-2 土石流材料の粒度分布

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
スクリーン間隔 S (mm)	8	70 % 粒径	—	97 % 粒径
	12	82 % "	1.3 * d max	—
	16	92 % "	1.7 * d max	—
	20	98 % "	2.1 * d max	—

4.2 実験装置

実験に用いた水路は、幅20cmの木製の床に両面高さ40cmの亚克力板を取り付けた2次元水路である。(写真-1)

水路の長さは6mで、水路勾配は任意の角度に設定することができる。

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、上流より貯水槽からポンプアップした水を給水して発生させる。また、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。

実験の測定はVTRカメラと1/100秒カウントできるタイマーを用いてビデオテープ（ β II）に記録し、実験後解析を行なう。また、スクリーン下流に流出した土砂量を測定した。

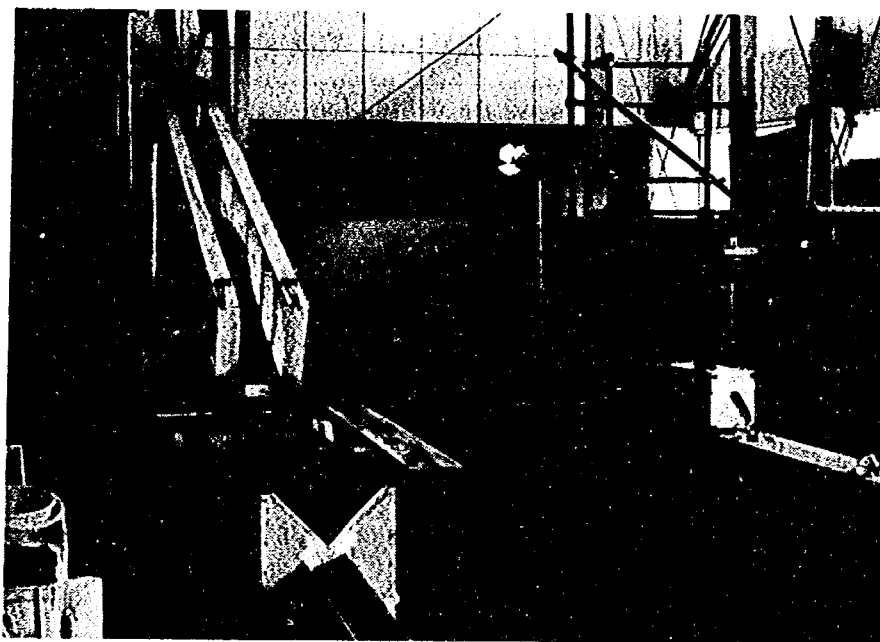


写真-1 土石流発生装置

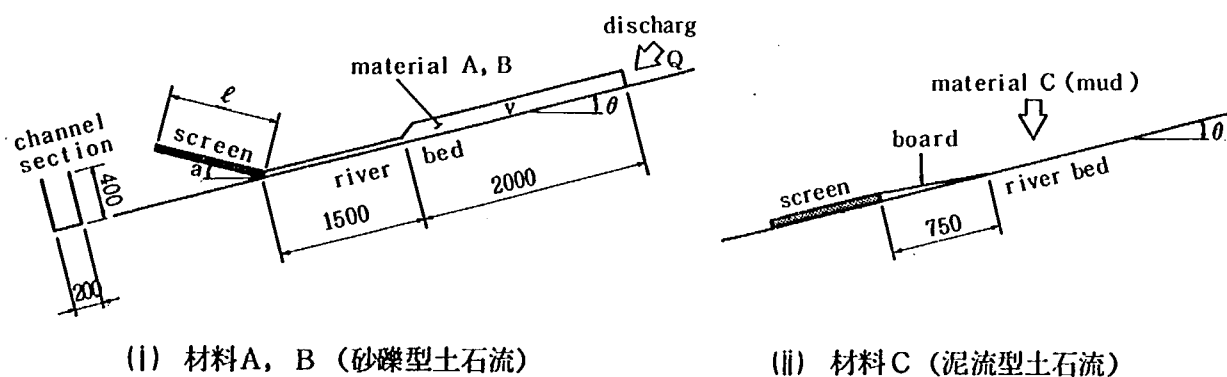


図-3 土石流の発生方法

5. 実験結果

5.1 実験の種類

実験は、全部で26ケースになった。実験条件を表-2に示す。

表-2 実験条件一覧表

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 a (deg)	length ℓ (cm)	space s (mm)
1	17.6	A	2.16	67.3	5.15	—	—	—
2	↓	↓	↓	67.3	4.00	$-\theta$	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	↓	↓	16
7	↓	↓	↓	73.8	4.17	0	30	8
8	↓	↓	↓	50.0	5.42	↓	15	↓
9	↓	↓	↓	63.9	5.20	↓	30	12
10	↓	↓	↓	59.6	6.00	↓	↓	16
11	↓	↓	↓	62.5	5.60	↓	↓	20
12	↓	↓	↓	50.0	4.80	θ	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	3.81	—	—	—
17	↓	↓	↓	47.3	3.45	$-\theta$	45	8
18	↓	↓	↓	53.6	3.30	0	30	↓
19	↓	↓	↓	46.2	3.30	θ	15	↓
20	14.9	B	1.95	54.5	2.68	$-\theta$	45	12
21	↓	↓	↓	39.0	3.57	0	30	16
22	↓	↓	↓	53.6	2.62	θ	15	20
23	16.1	C	(50.4)*	7.3	2.00	$-\theta$	60	8
24	↓	↓	(58.8)	6.9	2.00	↓	↓	↓
25	↓	↓	()	89.8	1.92	↓	↓	↓
26	↓	↓	(67.2)	96.5	2.27	↓	↓	↓

* moisture ratio %

№1～№15は、水路勾配 $\theta = 17.6^\circ$ ，給水量 $Q = 2.16$ ℓ/sec，材料Aで行なった実験である。№1は比較のため無施設で土石流を流した。№2～№6は、スクリーン勾配を水路床勾配と平行に ($a = -\theta$)，№7～№11は、水平に ($a = 0$)，№12～№15は水路床勾配と逆勾配に ($a = \theta$) 設置し、

スクリーン長、スクリーン間隔を変化させ実験を行なった。

Na16～Na19は、水路勾配 $\theta = 16.1^\circ$ ，給水量 $Q = 1.70 \text{ l/sec}$ に変えて土石流の流速を下げた場合の実験を行なった。

Na20～Na22は材料B，Na23～Na26は材料Cにおける実験である。

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。Na23は，含水比50.4%とし，当初スクリーン上流3.5 m先から投入したが，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。Na24は，含水比58.8%で3.5 m先から投入し，Na25は，同じ含水比で，1.0 m先から投入したものである。また，Na26は含水比67.2%でスクリーン上流3.5 mから投入した。

5.2 フロント流下距離の変化

VTRから読み取った土石流フロント部先端の流下距離の時間的变化を図-4～図-29に示す。原点はスクリーンの上流端で，土石流がスクリーン到達した時間を0とする。

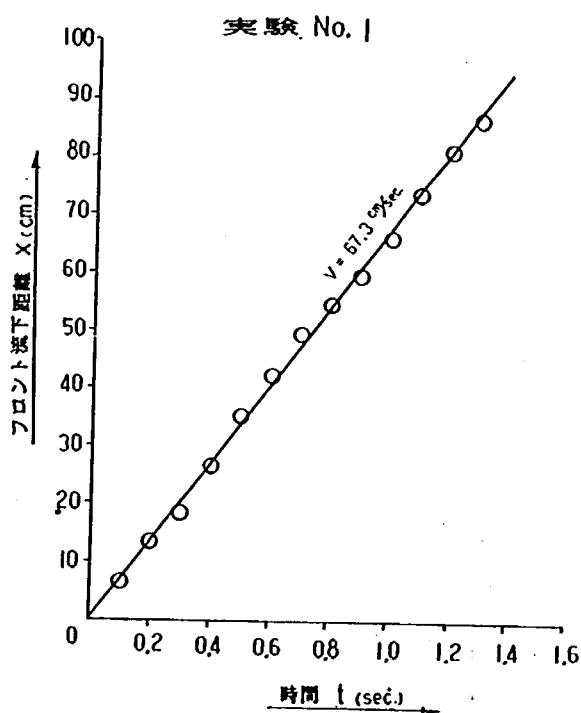


図-4

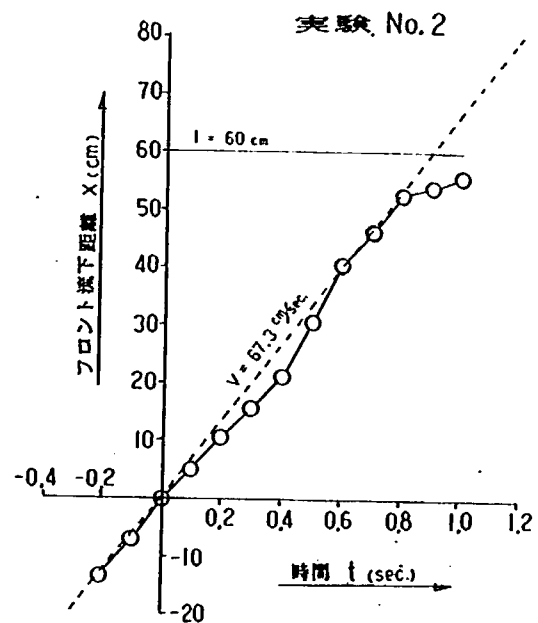


図-5

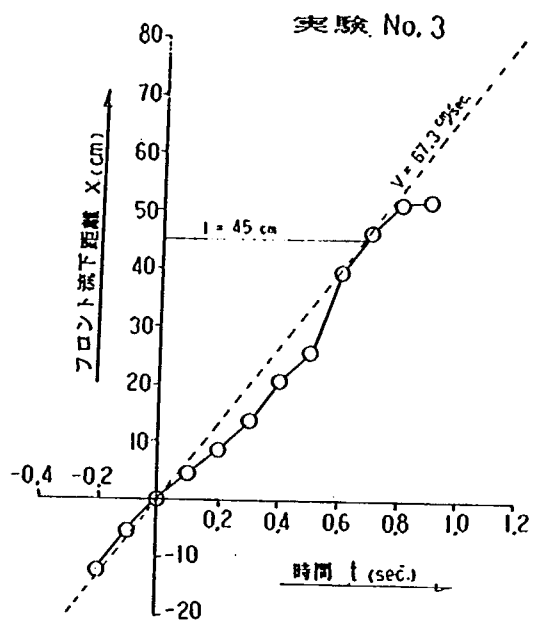


図-6

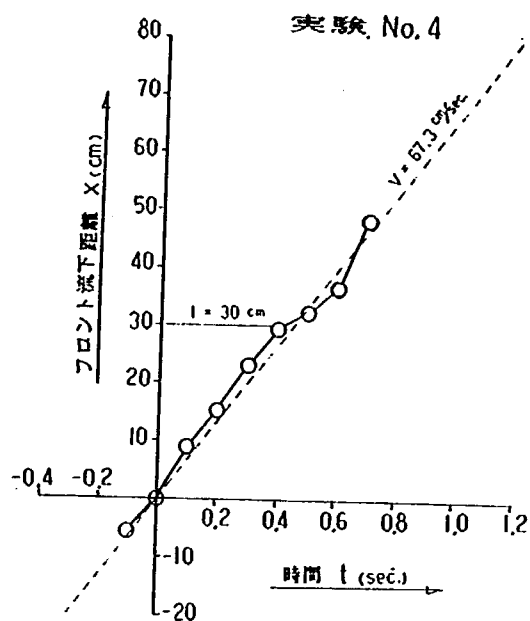


図-7

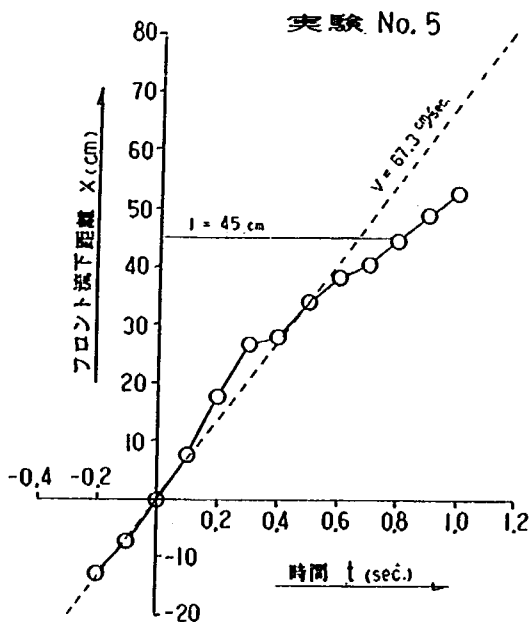


図-8

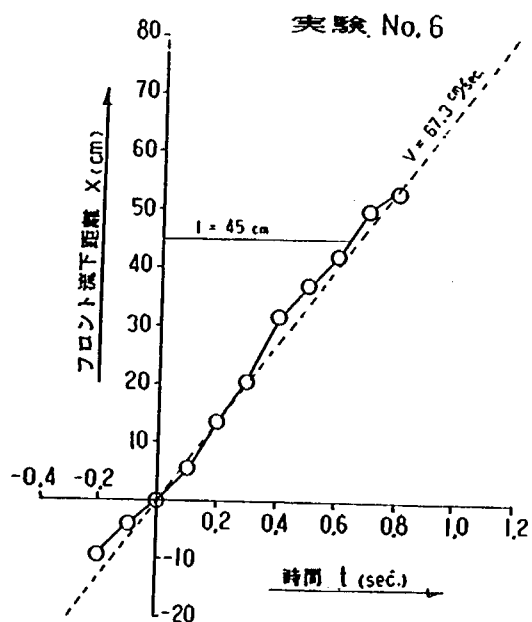


図-9

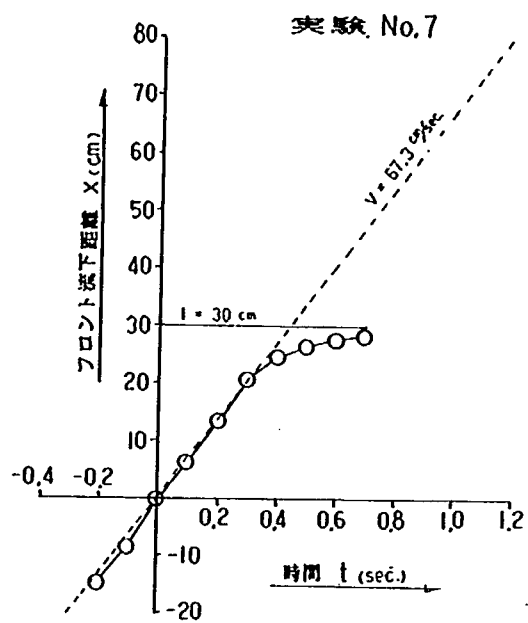


図-10

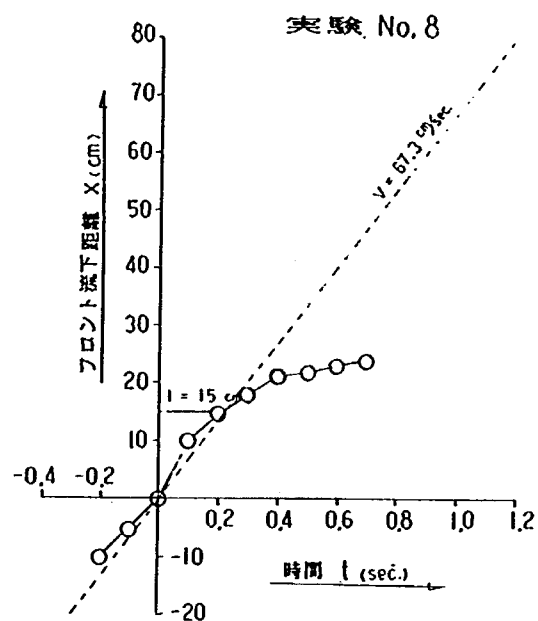


図-11

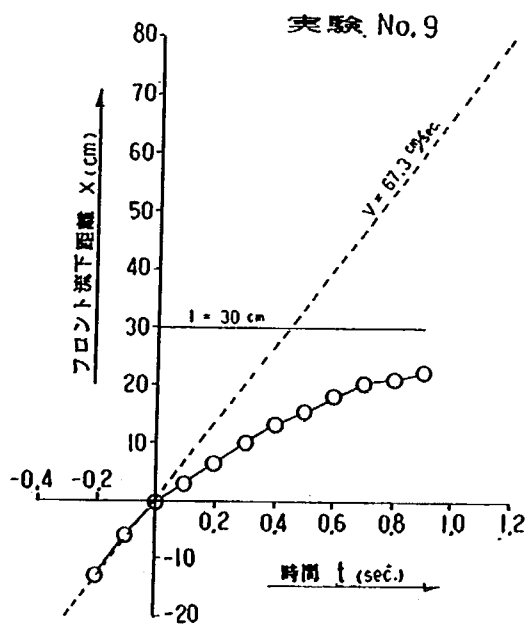


図-12

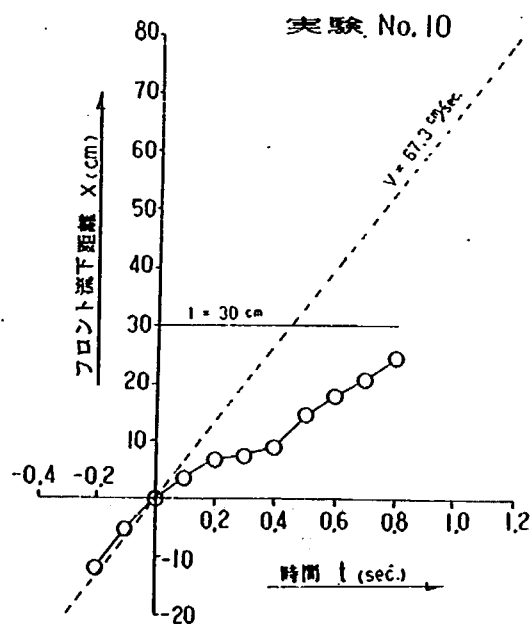


図-13

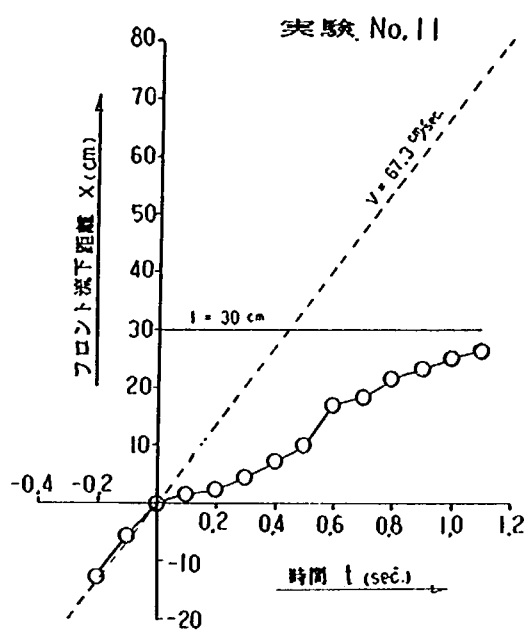


図-14

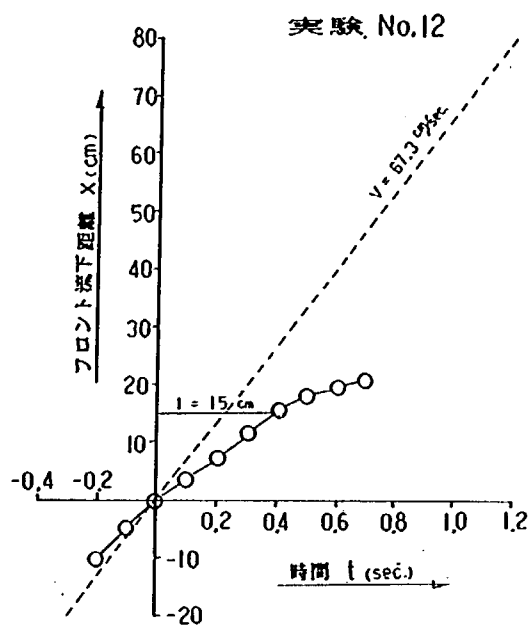


図-15

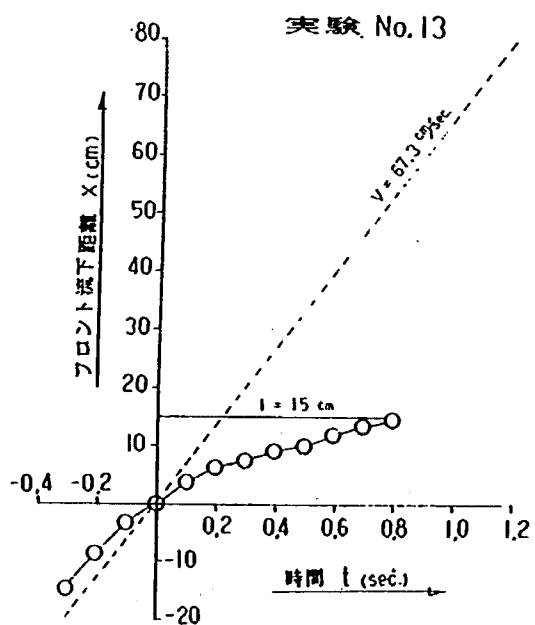


図-16

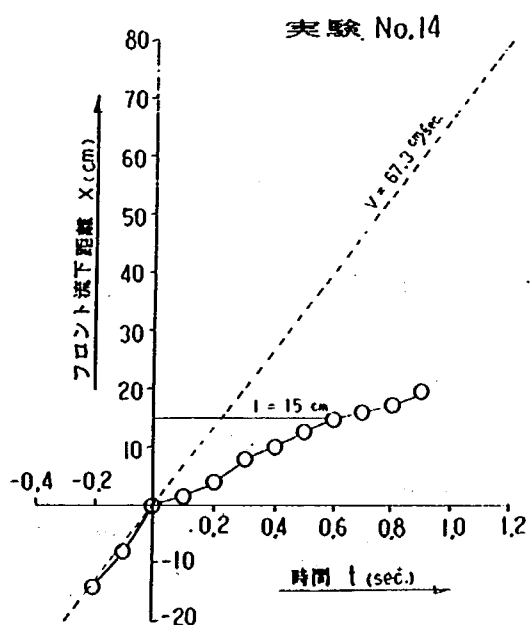


図-17

実験 No.15

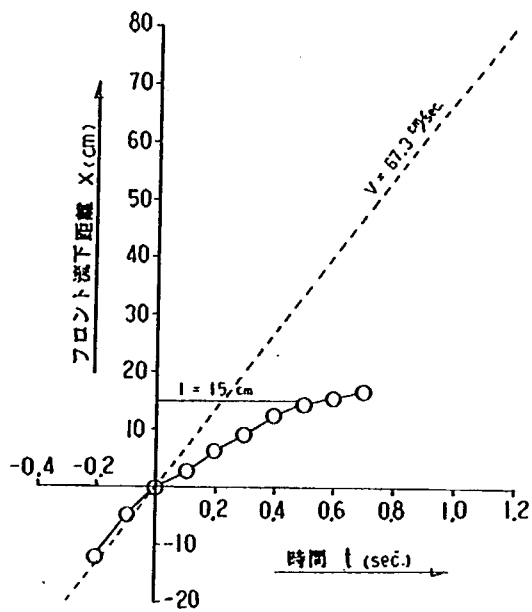


図-18

実験 No.16

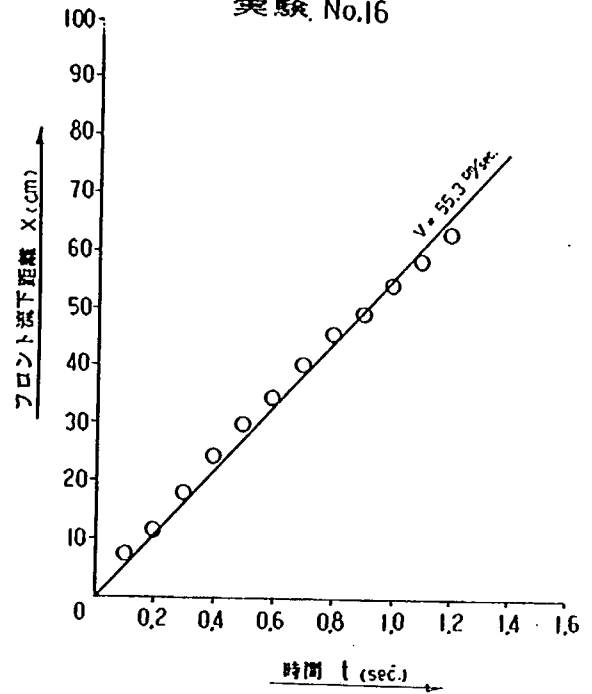


図-19

実験 No.17

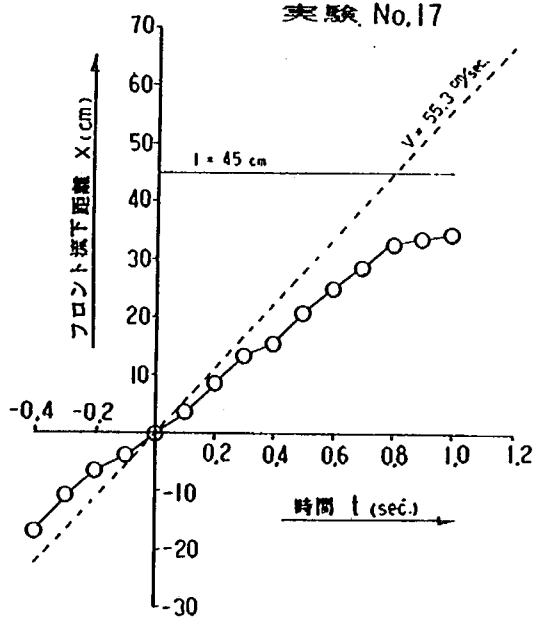


図-20

実験 No.18

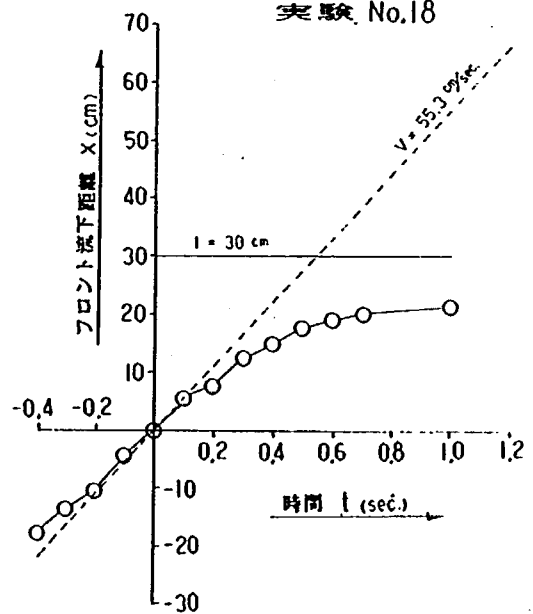


図-21

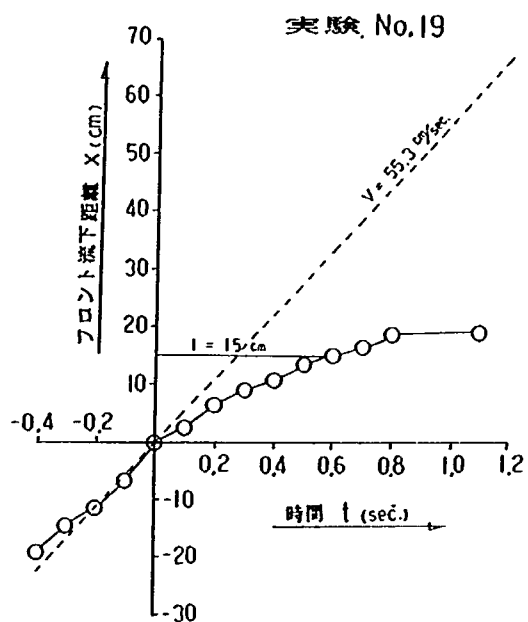


図-22

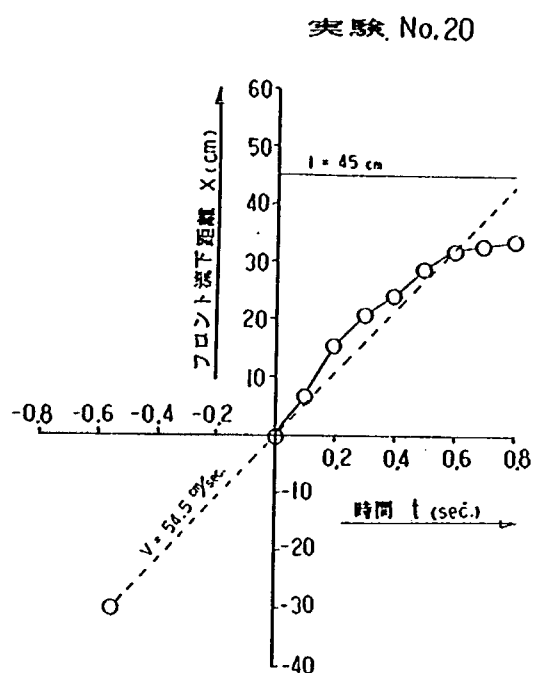


図-23

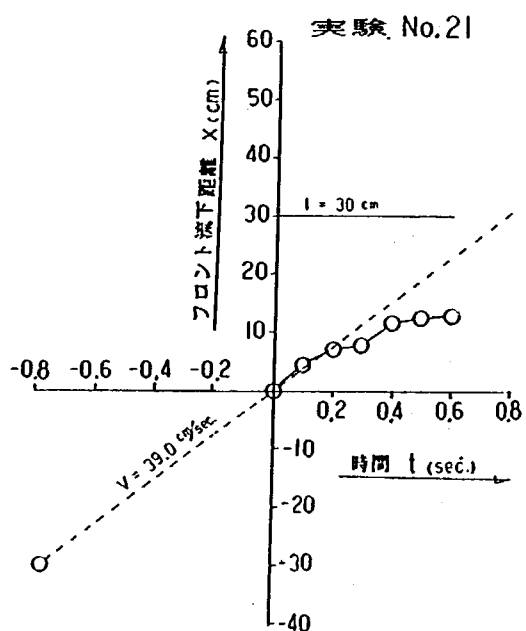


図-24

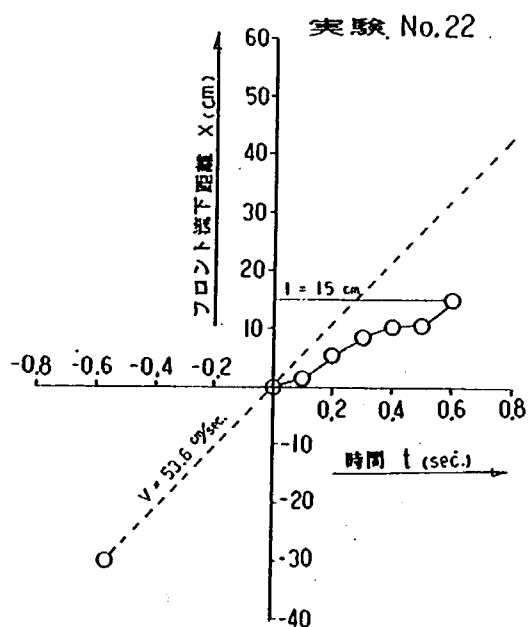


図-25

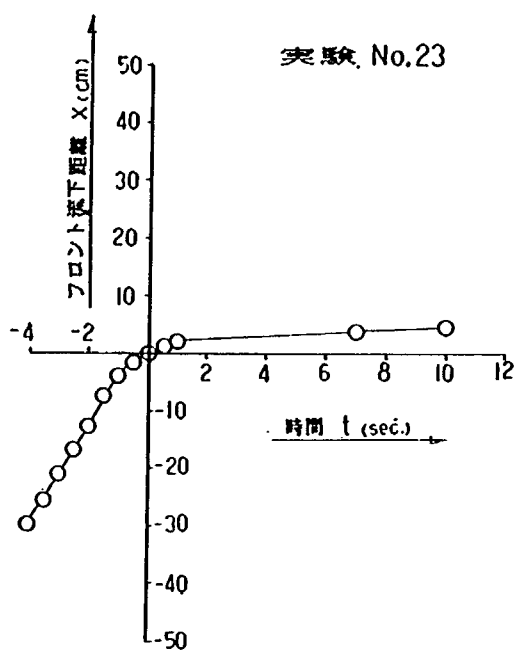


図 - 26

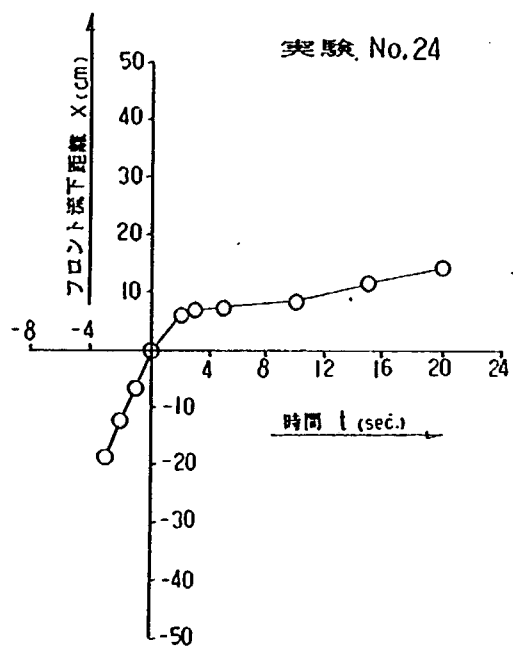


図 - 27

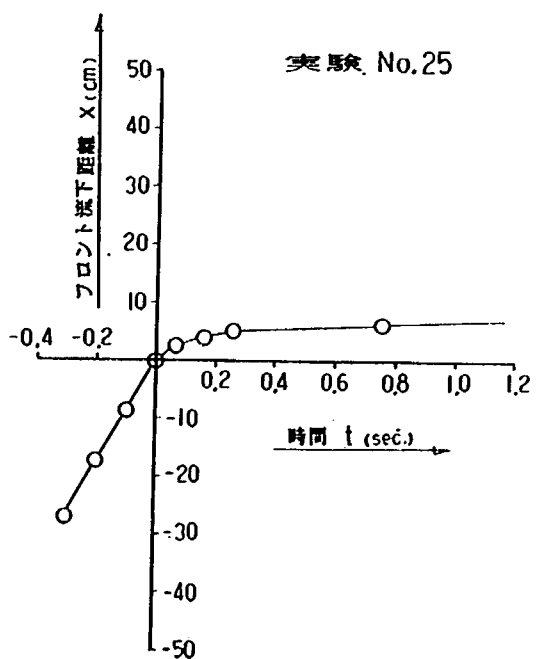


図 - 28

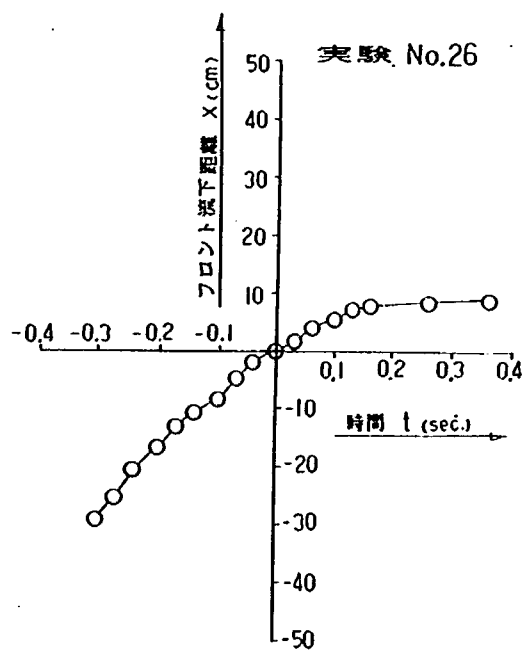


図 - 29

図-4 (実験No1) は無施設の場合で、図より土石流は等速運動をしているとみなせるので、最小2乗法で流速 v を求める。

$$x = v \cdot t \text{ より}$$

$$v = \frac{\sum x_i t_i}{\sum t_i^2} \quad \text{————— (1)}$$

(1)式より、No1の土石流の流速は $v = 67.3 \text{ cm/sec}$ である。

同様に図-19 (No16) から土石流の流速を求めると、 $v = 55.3 \text{ cm/sec}$ である。その他の土石流の流速は、スクリーン到達前の平均流速を求め、表-2に示した。

また、図中の ℓ の数値は、実験に用いたスクリーンの長さを示し、この横軸を越えた場合は、土石流がスクリーンの下流端を乗り越えたことを意味している。

5.3 流出土砂量及び堆砂形状

スクリーンを越えて、あるいはスクリーン間隔を抜けて下流に流出した土砂量を測定した。また、最終的に堆積した土砂の最大厚さ、及び堆砂勾配を測定し、その結果を表-3に示す。

材料AにおけるNo4, 6, 8, 11は、土砂のほとんどがスクリーン下流に流出したため堆砂厚・堆砂勾配は測定していない。No20～22の材料Bの実験では、土砂はすべてスクリーン下流に流れた。また、泥流の流出土砂量は測定しなかった。

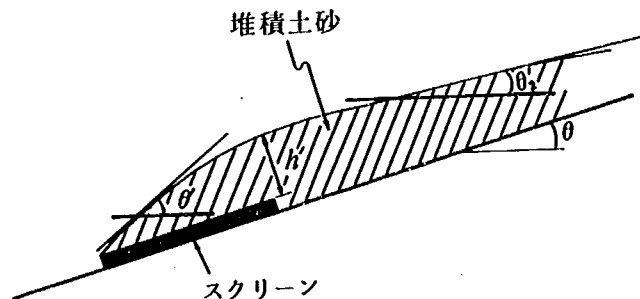


図-30 堆砂形状の測定

表-3 流出土砂量・堆砂形状

No	流出土砂量 q (cm ³)	堆 砂 厚 h' (cm)	堆 砂 勾 配 (deg)	
			スクリーン上 θ'_1	上 流 側 θ'_2
1	all	—	—	—
2	100	11.2	28	10
3	600	12.6	29	11
4	5,000	—	—	—
5	700	11.7	30	15
6	15,000	—	—	—
7	100	12.5	22	15
8	7,400	—	—	—
9	300	14.4	30	10
10	900	13.6	35	15
11	13,000	—	—	—
12	100	14.8	40	10
13	100	13.1	35	10
14	200	16.3	35	12
15	2,000	13.5	25	10
16	all	—	—	—
17	0	10.0	40	14
18	0	10.6	35	15
19	500	11.2	35	5
20	all	—	—	—
21	all	—	—	—
22	all	—	—	—
23	—	2.7	45	15
24	—	4.3	45	10
25	—	2.6	40	15
26	—	3.0	50	15

6. 実験の解析及び考察

6.1 スクリーン長の検討

水路床勾配 $\theta = 17.6^\circ$ ，給水量 $Q = 2.16 \text{ } \ell/\text{sec}$ ，材料Aなる条件下における土石流の流速を v_0 ，波高を h_0 として，No.1～No.15の流速 v ，波高 h の平均値とする。

$$v_0 = \frac{\sum_{i=1}^{15} v_{No.i}}{15} = 60.0 \text{ cm/sec}$$

$$h_0 = \frac{\sum_{i=1}^{15} h_{No.i}}{15} = 5.3 \text{ cm}$$

スクリーンを水路床と平行に設置した場合，つまり，スクリーン勾配 $a = -\theta$ の時の時間と土石流フロント流下距離の関係を図-31に示す。スクリーン間隔は， $S = 8 \text{ mm}$ であるが，実験結果の $t-x$ グラフから明らかなように，スクリーン間隔を広げても，フロント流下距離に大きな変化は見られない。

同様に，スクリーンを水平に設置した場合 ($a = 0$)，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-32に示す。

また，スクリーン長と，スクリーンを越えて流出した土砂量の関係を図-33に示す。

(1) スクリーンが水路床と平行な場合

スクリーン長は，60cm，45cm，30cmの3ケースの実験を行なった。図-31から，土石流がスクリーンに到達後0.8 sec 間（距離にして約50cm）は，ほとんど土石流の減速は見られないが，その後，急速に停止する。また，流出土砂量を見ると，スクリーン長45cmで $q = 600 \text{ cm}^3$ と，全体土砂量の僅か2.4%である。以上の結果から判断すると，必要なスクリーン長は，50cm前後と考えられる。

(2) スクリーンを水平に設置した場合

スクリーン長30cmでは完全に土石流を捕捉するが，15cmにすると土砂の3割近くがスクリーン下流に流出する。また，図-32から急激に減速・停止する距離を求めると $x = 25 \text{ cm}$ である。よって必要なスクリーン長は，25cm程度である。

(3) スクリーンを水路床と逆勾配に設置した場合

実験はスクリーン長15cmの1ケースのみであるが，土石流を確実に捕捉しスクリーン下流への流出土砂量は1%にも満たない。つまり，スクリーン長は15cmで良い。

(4) 土石流の流速を下げた場合

水路床勾配 $\theta = 16.1^\circ$ ，給水量 $Q = 1.7 \text{ } \ell/\text{sec}$ に下げて，同じ材料Aを用いて土石流を発生させた。この場合の流速及び波高を，No.16～No.19の平均から求めると

$$v_0 = \frac{\sum_{i=16}^{19} v_{No.i}}{4} = 50.6 \text{ cm/sec}$$

$$h_0 = \frac{\sum_{i=16}^{19} h_{No.i}}{4} = 3.5 \text{ cm}$$

となる。

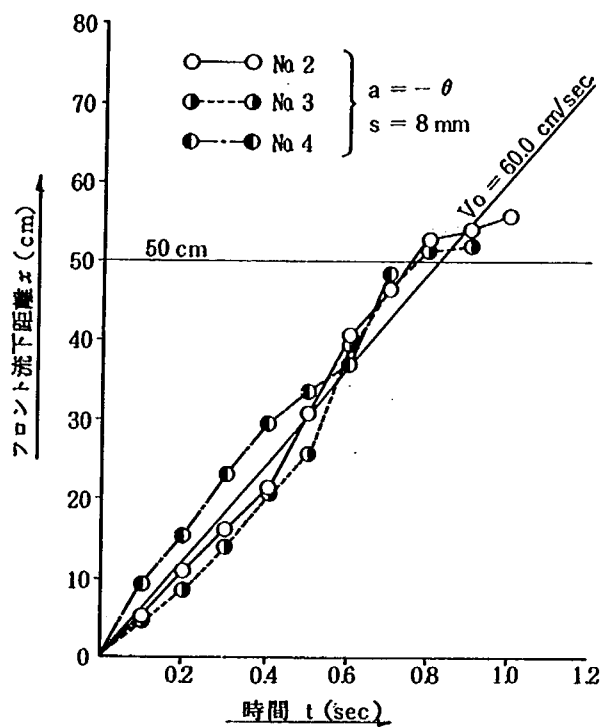


図-31 スクリーンを水路床に平行に設置した場合の時間と土石流フロント流下距離の関係 (流速 $v_0 = 60.0 \text{ cm/sec}$ 波高 $h_0 = 5.3 \text{ cm}$)

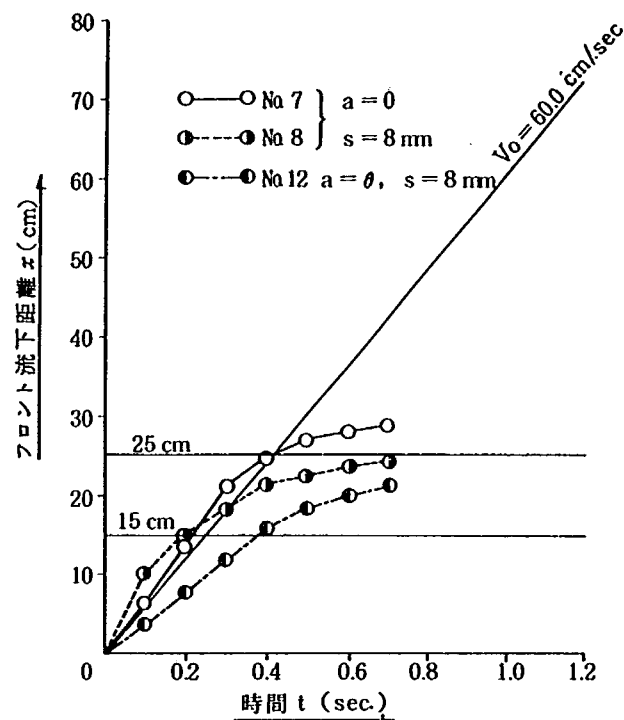


図-32 スクリーンを水平及び逆勾配に設置した場合の時間と土石流フロント流下距離の関係

これも同様に、時間と土石流フロント流下距離の関係を求め図-34に示す。スクリーンを水路床と平行に設置した場合はスクリーン長45cm、水平にした場合は30cm、逆勾配の場合は15cmで実験を行なったが、いずれの場合も、土石流を完全に捕捉しスクリーンから流出した土砂量は、ほとんど無かった。

図-34から必要なスクリーン長を求めぬと、スクリーンを水路床と平行に設置した場合35cm、水平に設置した場合20cm、逆勾配に設置した場合15cmである。

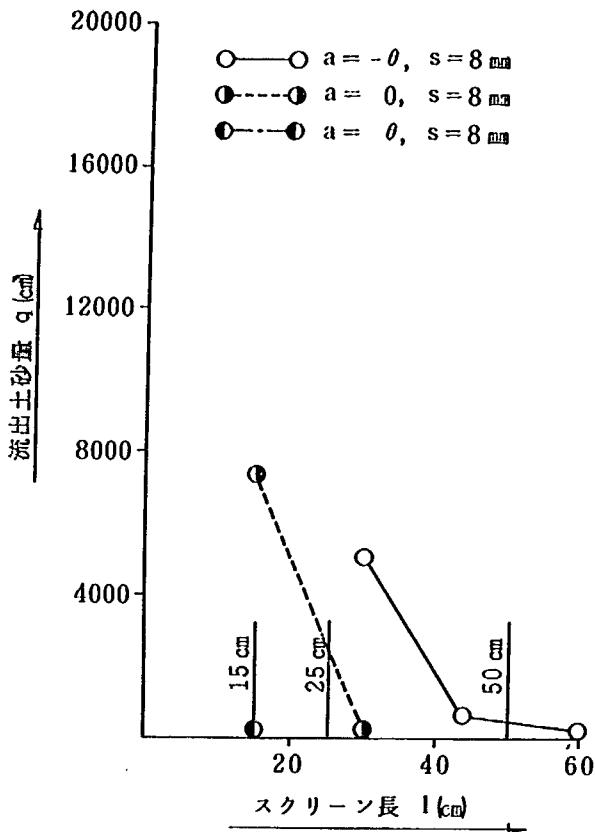


図-33 スクリーン長とスクリーンからの流出土砂量の関係

6.2 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による土砂の通過を考えるとスクリーン間隔はなるべく広い方が良い。そこで、スクリーン間隔を変化させた実験を行ない、スクリーンを通り抜けた土砂量を測定した。

図-35に、スクリーン間隔とスクリーン下流への流出土砂量の関係を示す。

スクリーンを水路床と平行に置いた場合、スクリーン間隔12mm迄はほとんど土砂は流出しないが、16mmに広げると、大半が流出する。12mmは土砂材料の80%程度の粒径である。また、スクリーンを水平に設置するとスクリーン間隔16mm迄は土石流を完全に捕捉する。これは、土砂材料の90%粒径程度である。同様にスクリーンを逆勾配にすると、土砂材料の最大粒径に近

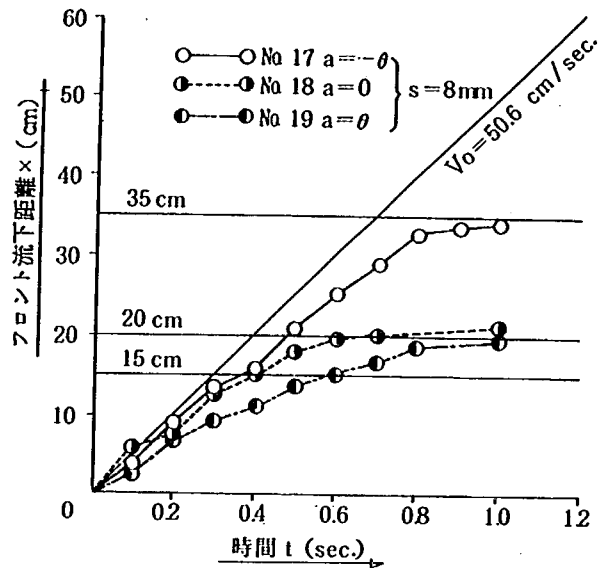


図-34 流速 $v_0 = 50.6 \text{ cm/sec}$ 、波高 3.5 cm の土石流による時間と土石流フロント流下距離の関係

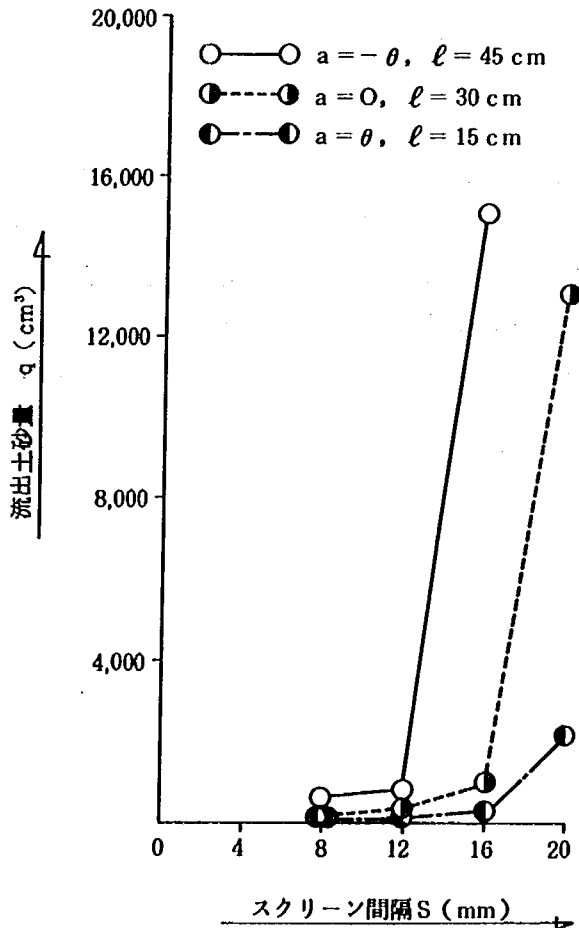


図-35 スクリーン間隔と流出土砂量の関係

いスクリーン間隔 (20mm) でも、下流への流出土砂量は $q = 2,000 \text{ cm}^3$ で全体土砂量の僅か 8% である。

図-36に示すように、土石流フロント部は粗粒化しているため、土石流がスクリーンに到達後、初めは粗い礫がスクリーン間隔を塞ぎ、後続流の細かい土砂がその上流に堆積を始めると考えると、スクリーン勾配を上げることによりスクリーン長が短くなるため、スクリーン間隔より大きな粒径の材料の割合が減っていく理由が説明できる。

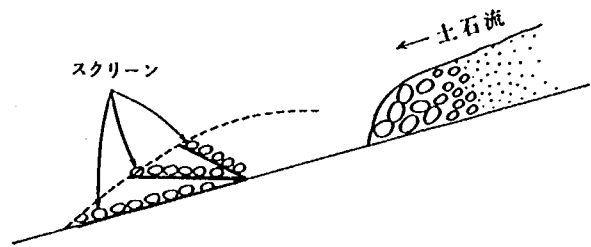


図-36 土石流捕捉の概念図

また、逆勾配にすると、スリットダムの効果のように、フロント部の粗い礫がスクリーン間隔にからみ合い目詰まりを起こすため、土砂材料の最大粒径程度のスクリーン間隔でもスクリーンを通り抜ける土砂は少ないものと思われる。

6.3 堆砂形状の検討

スクリーンによって捕捉された土石流の堆砂形状の例を図-37に示す。(詳細は巻末資料参照)

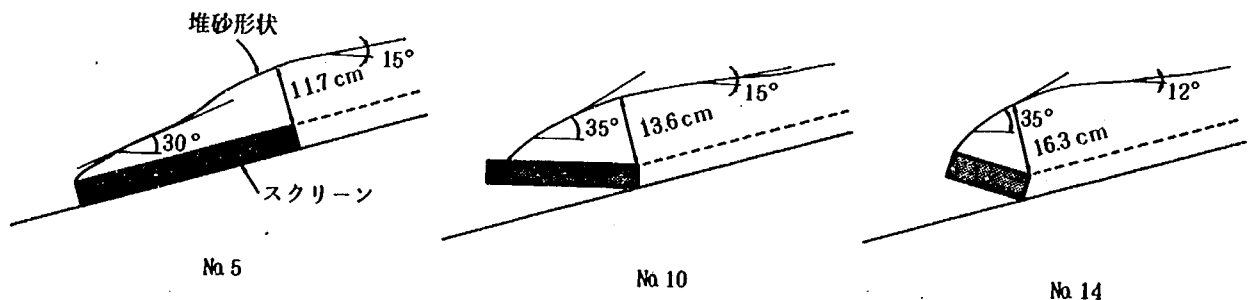
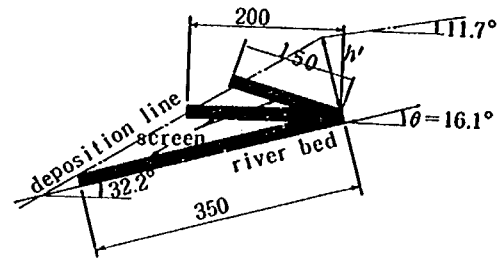
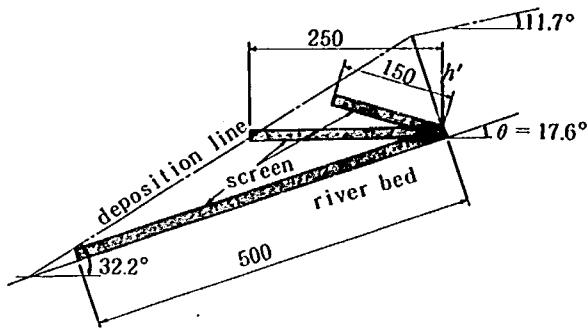


図-37 土流の堆砂形状

堆砂勾配を測定すると、スクリーン上では $28^\circ \sim 40^\circ$ の高角度で、その上流側は $10^\circ \sim 15^\circ$ の範囲で堆積している。表-3よりその平均勾配を求めると、スクリーン上は 32.2° 、スクリーン上流側は、 11.7° である。つまり、スクリーン上は、土石流材料の安息角に近い角度で、またスクリーン上流側では通常のダムと同じような角度で堆積する。スクリーン勾配が低いとスクリーン上の堆砂勾配が低いですが、これは、土石流流量の関係で流量を多少増せば、安息角に近づくとと思われる。しかし、流量が増え過ぎると、一旦堆積した土砂の上を後続流が流れるため、堆積土砂を再び侵食し、下流に流出する。

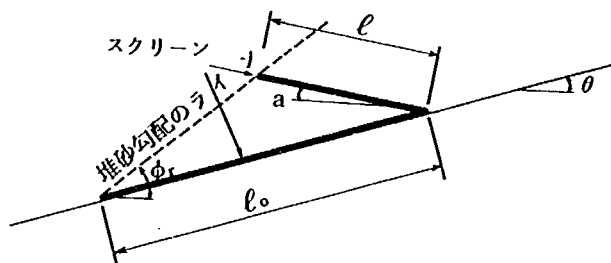
スクリーン上の堆砂勾配と、6.1で求めたスクリーン長の関係を図示したものを図-38に示す。図から水路床勾配と平行に設置したスクリーン上に捕捉・堆積された土石流の堆砂勾配のラインに沿って、勾配を変えたスクリーンの長さが決定できるようである。つまり、水路床勾配 θ に平行なスクリーンに必要な長さを ℓ_0 、土石流材料の安息角を ϕ 、とすると、 a の勾配を持つスクリーンに必要な長さ ℓ は(2)式で表わされる。但し、スクリーン勾配 a は、大きくなるとスリットダムの構造になるため、その範囲があると思われるので、ここでは実施した実験条件内に設定した。



(i) $v_0 = 60.0 \text{ cm/sec}$, $h_0 = 5.3$ の場合

(ii) $v_0 = 50.6 \text{ cm/sec}$, $h_0 = 3.5 \text{ cm}$ の場合

図-38 スクリーン上の堆砂勾配とスクリーン長の関係



$$l \cdot \sin(\phi_r + a) = l_0 \cdot \sin(\phi_r - \theta)$$

$$\therefore l = l_0 \cdot \frac{\sin(\phi_r - \theta)}{\sin(\phi_r + a)} \quad (2)$$

$$(-\theta \leq a \leq \theta)$$

実験値と(2)式を用いた計算値との比較を図-39に示す。

また最大堆砂厚 h' は、実験値(表-3)の平均から求めると

水路勾配 $\theta = 17.6^\circ$ の時 $h' = 13.4 \text{ cm}$

“ $\theta = 16.1^\circ$ の時 $h' = 10.6 \text{ cm}$

である。図-37の堆砂モデルから(3)式で計算を行なうと、 $\theta = 17.6^\circ$ で $h' = 13.0 \text{ cm}$, $\theta = 16.1^\circ$ で $h' = 10.1 \text{ cm}$ と近い値を示している。

$$h' = l_0 \cdot \tan(\phi_r - \theta) \quad (3)$$

6.4 異なる土石流材料による検討

(1) 材料Bの場合

中小出水時の土砂や掃流状態で流れる土砂についてのスクリーン効果について検討した。土砂は、土石流材料Aよりも相対的に粒径の小さい材料Bを用い、スクリーン長 ℓ とスクリーン間隔 S は、材料Aにおける実験で求めた値を用いた。スクリーン間隔は、表-1に示す通り、最大粒径より広い値であり、スクリーンを水路床に平行に置いた場合で、最大粒径の1.3倍、水平し設置した場合で1.7倍、逆勾配の場合で2.1倍である。

水路勾配 $\theta = 14.9^\circ$ ，給水量 $Q = 1.95 \ell / \text{sec}$ で土砂を流した結果平均流速は 49.0 cm/sec ，平均波高は 3.0 cm であった。

スクリーンに到達した土砂は、いずれの場合もスクリーン間隔の隙間から通り抜け、すべての土砂が流出した。また、図-23～図-25から明らかなように、土砂はすべてスクリーン上で通り抜け、スクリーンの先から乗り越えたものはなかった。

スクリーンを土石流対策工として用いる場合は、通常の土砂は流下させ、常にスクリーン上を空の状態にしてスクリーン間隔を保つ必要があるが、それには、ある程度のスクリーン間隔を要する。つまり、発生が予想される土石流材料の粒度分布を調べて6.2に示したスクリーン間隔を用いれば良いことが明らかになった。

(2) 材料Cの場合

泥流型土石流によるスクリーン効果について検討する。材料は、砂礫とベントナントを混合したものに水を加えかき混ぜたものを用いた。材料の30%程度は、シルト以下の微粒子である。

材料の含水比は、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、容易には流下しなかった。58.8%の場合も粘性はあるが、スクリーン上流1.0 mから投入すると、スクリーンに流速 89.8 cm/sec で到達した。さらに、水を加え67.2%にすると、流れは一定となり比較的速い流速で 96.5 cm/sec である。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。

スクリーン間隔は 8 mm とし、水路床と平行に設置した。スクリーンに到達した泥流型土石流は図-26～29から判るように、急激に減速し停止する。また、スクリーン下流には、礫を含まない泥が流出した。これは、スクリーン上に残った礫によってスクリーン間隔が詰まった後は、透水性の低い後続泥流を堆積させ、また土石流の流速が速いため、短い時間で土石流が捕捉されたためだと考えられる。すなわち、粘性が低い泥流型土石流は、その流速は速いが、スクリーン間隔から抜ける量も多いため、スクリーン長はそれ程長い距離を必要としない。逆に、含水比を下げ粘性を高めると、流下しなく

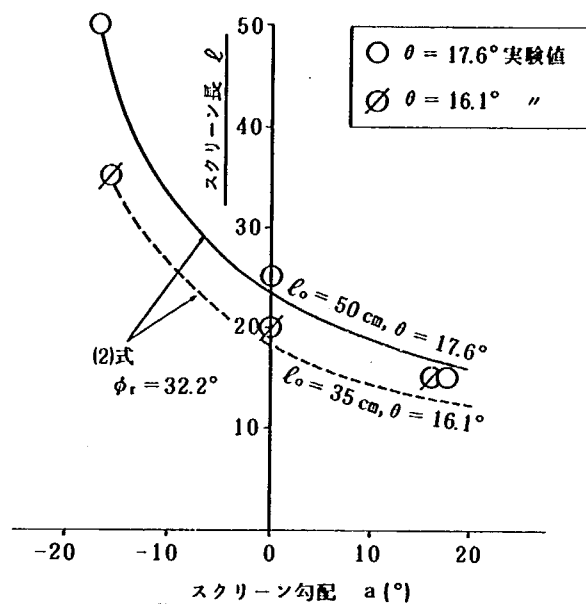


図-39 スクリーン勾配とスクリーン長の関係

なる。

材料Aのような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材料を捕捉する効果よりは、泥と礫とを分離するフルイ分け効果が期待できそうである。また、スクリーン間隔の検討は行なっていないが、土石流材料のフルイ分けを行なうため、少なくとも最大粒径より小さく、スクリーン下流へ流出する礫径を考慮して決定する必要がある。

6.5 現地への適用

スクリーン勾配に対するスクリーン長は(2)式で表わされる事を示したが、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、本研究の実験結果と昭和60年7月21日松本防砂工事事務所管内の焼岳上々堀沢に発生した土石流の測定結果⁴⁾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-4に示す。

表-4 土石流とスクリーン条件

		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 ^{*1})	60.0	50.6	420
	波 高 (cm)	5.3	3.5	350
スクリーン	長 さ (cm)	50	35	2,000 ^{*2}
	間 隔 (mm)	8, 12 (70, 80%粒径)	8 (70%粒径)	200 (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)

* 1 流速は土石流先端、波高は最大値

* 2 スクリーン長20 mで土石流フロント部が多少乗り越えた。

ここで、次図に示すような簡単なモデルで流速とスクリーン長の関係を考える。

v_0 の速度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。

t 秒後の流速 v_t は、(4)式で表わせる。

$$v_t = v_0 - \alpha \cdot t \quad (4)$$

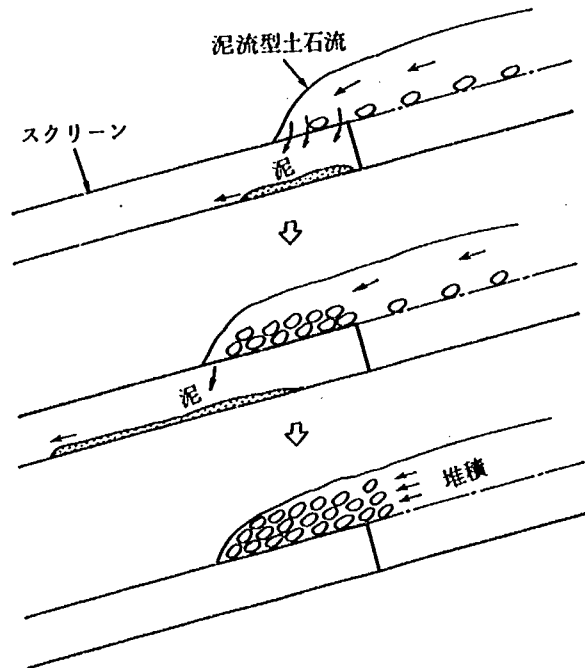


図-40 泥流型土石流に対するスクリーン効果のイメージ

また、その時の土石流移動距離 x は、

$$x = \int_0^t v_t dt = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2 \quad (5)$$

(4)式において、 $v_t = 0$ なる時間、つまり、土石流が停止する時間を T とすると、

$$0 = v_0 - \alpha \cdot T$$

$$\therefore T = \frac{v_0}{\alpha} \quad (6)$$

よって、土石流を停止させるのに必要なスクリーン長 ℓ_0 は、(5)式において $t = T$ を代入する事によって求められる。

$$\begin{aligned} \ell_0 = x_{v_t=0} &= v_0 \cdot T - \frac{1}{2} \alpha \cdot T^2 \\ &= \frac{v_0^2}{\alpha} - \frac{v_0^2}{2\alpha} \\ \therefore \ell_0 &= \frac{1}{2\alpha} v_0^2 \quad (7) \end{aligned}$$

図-41に、土石流先端の流速と、河床勾配と平行に設置したスクリーンに必要な長さの実験値及び焼岳上々堀沢における測定値を両対数グラフに表わす。

(7)式で表わした理論解と対比させると、

$$\ell_0 \div 0.014 \cdot v_0^2 \quad (8)$$

なる関係式が成り立つ。ここで、 ℓ_0 : 河床勾配と平行に設置した場合のスクリーン長 (cm), v_0 : 土石流先端の流速 (cm/sec), 0.014 は、加速度の2倍の逆数で、加速度を求めると $\alpha \div 35.7 \text{ cm/sec}^2$ である。加速度 α は、土石流の材料や透水性、あるいは土石流とスクリーンの摩擦係数等によって異なると考えられるが、砂礫型土石流と鋼製スクリーンの場合は、図-41に示す通り、それらに関係なく $1/2 \alpha = 0.014 \text{ (sec}^2/\text{cm)}$ で現地にも適用できるものと思われる。

なお、土石流の土砂総量について、 $V' = 12,500 \text{ cm}^3$ ($1/2 V$) 及び $50,000 \text{ cm}^3$ ($2 V$) の実験を追加したが、その結果も停止距離については(8)式で表現されることが確かめられ、土石流総量(規模)の影響は受けないようである。

(8)式を(2)式に代入すると、スクリーンに必要な長さが求められる。

$$\ell = 0.014 v_0^2 \frac{\sin(\phi_r - \theta)}{\sin(\phi_r + \alpha)} \quad (9)$$

または、

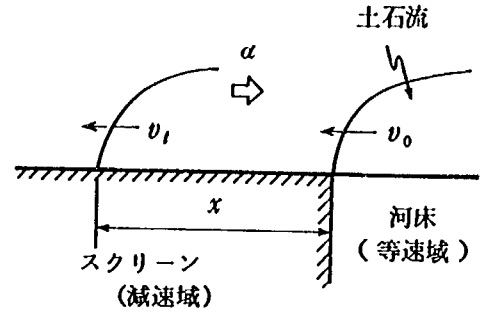
$$L = 1.4 U^2 \frac{\sin(\phi_r - \theta)}{\sin(\phi_r + \alpha)} \quad (10)$$

ここに、(10)式において

L : スクリーン長 (m)

U : 土石流流速 (m/sec)

ϕ_r : 土石流材料の安息角 ($^\circ$)



θ : 河床勾配 ($^{\circ}$)

α : スクリーン勾配 ($^{\circ}$)

($-\theta \leq \alpha \leq \theta$)

現地において(10)式からスクリーン長の決定が行なえるが、土石流の流速は過去の調査結果や実験式・理論式から推定する必要がある。また、(10)式を用いて焼岳上々堀沢のスクリーン長を計算すると、 $U = 4.2 \text{ m/sec}$ で $L \div 25 \text{ m}$ となり、昭和60年7月21日の土石流フロントがスクリーン長20mで多少乗り越え落下した事実も説明できる。

また、焼岳上々堀沢の実績により、スクリーンを河床と平行に設置する場合 ($\alpha = \theta$ の時) は、スクリーン部材の構造設計に土石流衝撃力を考慮する必要はなく、堆積土砂の上載荷重で設計する。スクリーン上の最大堆砂厚は、(8)式を(3)式に代入して次式で表わされる。

$$H = 1.4 U^2 \tan(\phi_r - \theta) \quad \text{——— (11)}$$

ここに H : 最大堆砂厚 (m)

ところが、土石流の流速が速い場合は、非常に長いスクリーンが必要となり、スクリーンを水平あるいは逆勾配に設置することになるが、この場合は、土石流の衝撃を受けることになるのでその検討が必要である。

本研究における実験は2次元水路を用いているため、土石流の横方向の広がりには考慮していないが現地における施工時には、スクリーンの両岸の処理が必要となる。また、通常の掃流土砂やスクリーン間隔を通り抜けた泥は下流に流すため、スクリーンの下部はなるべく広いスペースを設け、勾配を急にして土砂の疎通をはからなければならない。

流下してきた土石流は、スクリーン上でそのフロント部が減速・停止し後続流を堆積させるが、土石流の土砂総量が多い場合は、一旦スクリーン上で堆積した土砂の上を後続流が通過し、堆積物を侵食しながら流下することが追加実験から得られている。つまり、土石流規模が大きい場合は、スクリーンの堆砂容量を越えた土砂が、再度土石流となって下流に流出する恐れがあるため、下流にさらにスクリーンを設け、2段・3段にするか、あるいは減勢された土砂を溜める砂防ダムの設置が必要となろう。

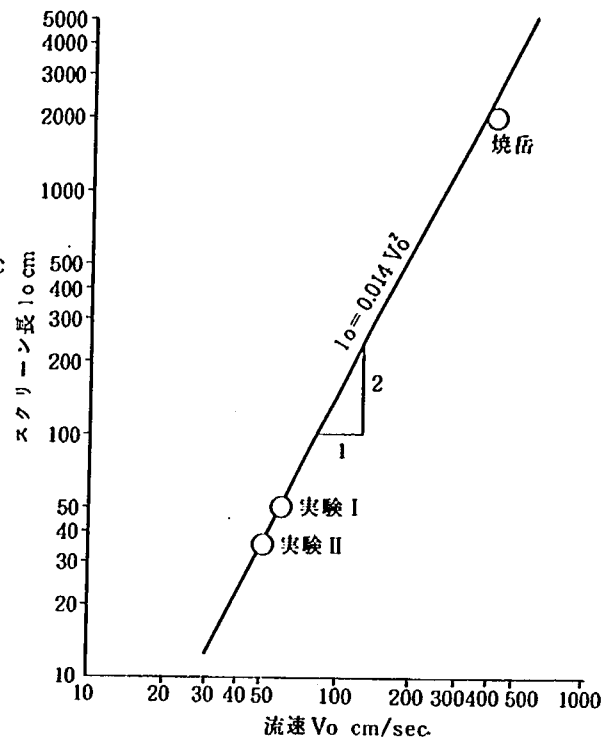


図-41 土石流流速とスクリーン長の関係

7. ま と め

本研究により、土石流ブレーカー（底面水抜きスクリーン）に関し、次の事項が明らかになった。

- (1) 底面水抜きスクリーンに到達した土石流は、一定の負の加速度で減速・停止し、スクリーンに必要な長さは次式より求められる。

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

ここに、 L : スクリーン長 (m)

U : 土石流流速 (m/sec)

ϕ_r : 土石流材料の安息角 (°)

θ : 河床勾配 (°)

a : スクリーン勾配 (°) $-\theta \leq a \leq \theta$

- (2) 最適スクリーン間隔は次の通りである。

i) 河床勾配と平行 ($a = -\theta$) に設置する場合 $S = d_{80}$

ii) 水平 ($a = 0$) に設置する場合 $S = d_{90}$

iii) 逆勾配 ($a = \theta$) に設置する場合 $S = d_{max}$

ここに、 S : スクリーン間隔

d_{80} , d_{90} , d_{max} : 土石流材料の 80%, 90%, 最大粒径

- (3) 掃流状態の土砂は、上記スクリーン間隔ではスクリーンを通り抜け、下流に流出する。

- (4) 底面水抜きスクリーンで捕捉された土石流は、スクリーン上では安息角で堆積し、その最大堆砂厚は、次式により求められる。

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

ここに、 H : 最大堆砂厚 (m)

- (5) 泥流型土石流に対しては、底面水抜きスクリーンは巨礫と泥のフルイ分けを行なう。つまり、下流に流出する土石流の質的变化が期待できる。この場合、スクリーン下部の疎通能力は、スクリーンから抜ける泥流の流量を上回る必要がある。

お わ り に

底面水抜きスクリーンは、その単純な構造にもかかわらず、室内実験や現地試験によって、土石流フロント部を効果的に減速・停止させ、土石流の巨大なエネルギーを減殺することが確認され、アイディアの段階から実用的なものへと変わりつつある。底面水抜きスクリーンの利用として、土石流を完全に捕捉する効果以外にも、土石流フロント部の巨礫だけ停止させ後続流はさらに流下させる効果や、扇頂部に設置し土石流の分散及び堆積を促進させる効果などが考えられる。しかし、底面水抜きスクリーンを土石流対策の有力な工法の一つとして位置付けをするためには、今後とも現地試験を通じて、問題点を整理し改良を加える必要があろう。

本研究によって現地に底面水抜きスクリーンを設置する場合の設計方法、特に、必要なスクリーン長を提案することができた。今後の現地試験等により、更に精度の高い修正がなされていくものと思われるが、当面の設計方法として一助になれば幸いである。

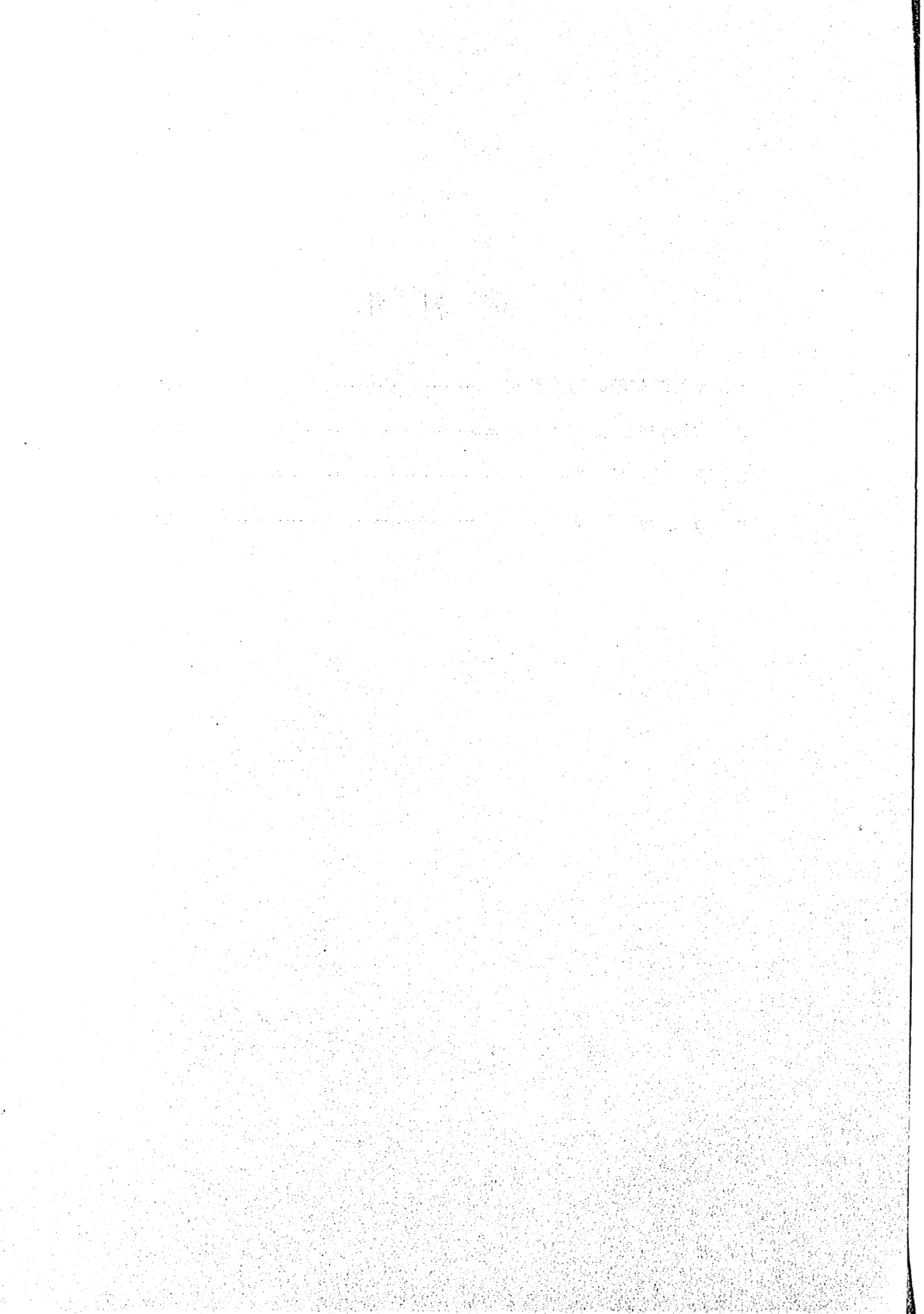
最後に、実験等で御協力を頂いた、砂防部砂防研究室の鈴木浩之技官、大場章技官及び関係諸氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 渡辺正幸, 水山高久, 上原信司, 鈴木浩之; 土石流対策砂防施設に関する実験, 土木技術資料 Vol.22 No.2 1980, pp 8 - 14
- 2) 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
- 3) 泉岩男, 渡辺正幸, 竹村具美, 水山高久; 底面水抜きスクリーンの試験施工, 新砂防122号, 昭和57年1月, pp 45 - 50
- 4) 松本砂防工事事務所; 焼岳上々堀沢における底面水抜きスクリーンの試験施工とその効果, 北陸技報第29号, 1986.1, pp 53 ~ 59

資 料 集

1. 土石流材料の粒度分布.....31～33
2. 水路勾配, 流量の測定結果.....34～35
3. 実 験 結 果.....36～61
4. 写 真 集.....62～65



JIS A 1204	土の粒度試験結果	報告用紙
------------	----------	------

調査名・調査地点 A 試験年月日 年 月 日

試験者

粒度加積曲線を図示するのに用いた粒径とその粒径より小さな土粒子重量の百分率との関係表

試料番号・深さ: Na

(m ~ m)

比重

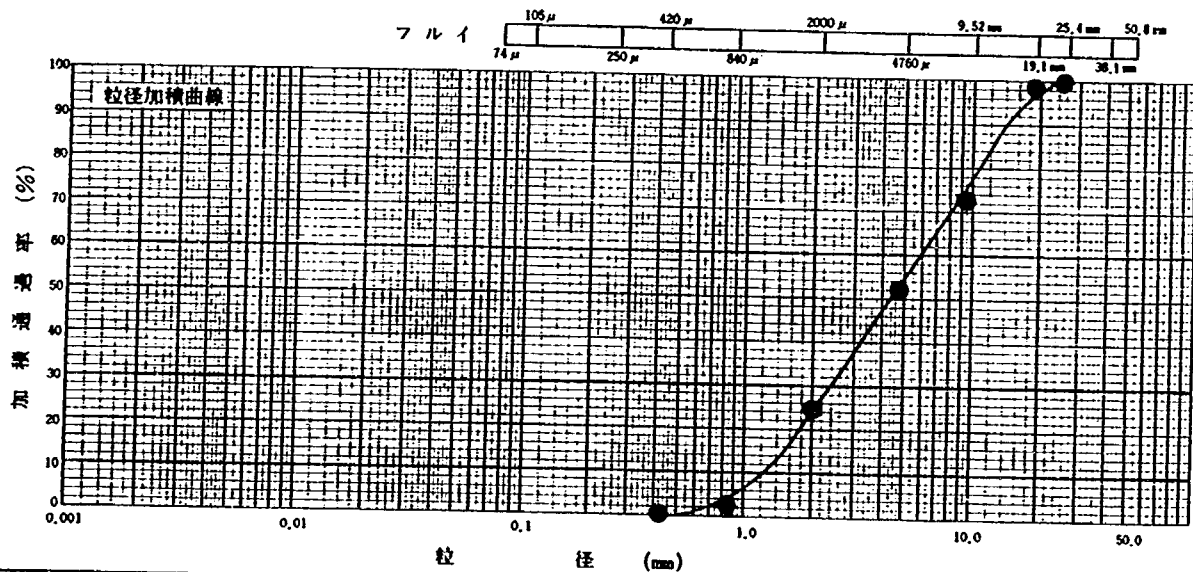
フルイ	粒径 mm	50.8	38.1	25.4	19.1	9.52	4.76	2.00	0.84	0.42	0.25	0.105	0.074
	重量百分率%			100	98.6	72.5	51.9	24.3	2.2	0			
フルイ	粒径 mm												
	重量百分率%												

試料番号・深さ: Na

(m ~ m)

比重

フルイ	粒径 mm	50.8	38.1	25.4	19.1	9.52	4.76	2.00	0.84	0.42	0.25	0.105	0.074
	重量百分率%												
フルイ	粒径 mm												
	重量百分率%												



コロイド	粘土	シルト	砂	レキ
0.001	0.005	0.074	2.0	

試料番号 深さ	Na	Na	試料番号 深さ	Na	Na
	m ~ m	m ~ m		m ~ m	m ~ m
4.76mm以上の粒子	%	%	最大粒径	25.4 mm	mm
4.76~2 mmの粒子	%	%	60 % 粒径	6.0 mm	mm
2~0.42 mmの粒子	%	%	30 % 粒径	2.4 mm	mm
0.42~0.074mmの粒子	%	%	10 % 粒径	1.2 mm	mm
0.074~0.005mmのシルト分	%	%	均等係数	5.0	
0.005mm以下の粘土分	%	%	曲率係数	0.8	
0.001mm以下のコロイド分	%	%	フルイを通過する 試料の分散性		
2000μフルイ通過重量百分率	%	%	粗な土粒子の形状 および堅さ		
420μフルイ通過重量百分率	%	%			
74μフルイ通過重量百分率	%	%			

JIS A 1204	土の粒度試験結果	報告用紙
------------	----------	------

調査名・調査地点 B 試験年月日 年 月 日

試験者

粒径加積曲線を図示するのに用いた粒径とその粒径より小さな土粒子重量の百分率との関係表

試料番号・深さ: Na

(m ~ m)

比重

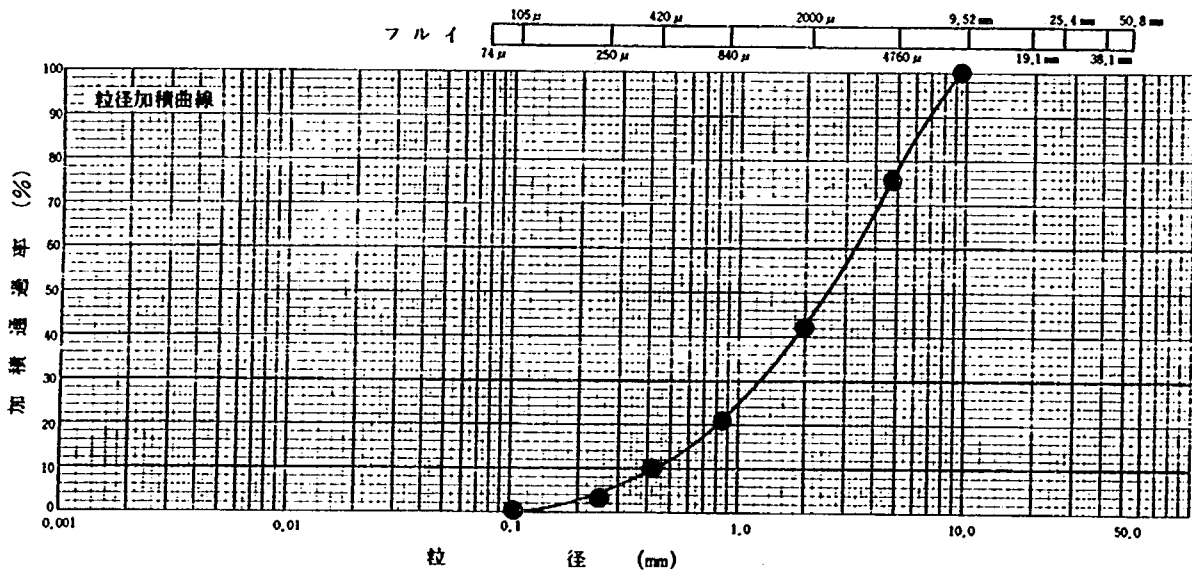
フルイ	粒径 mm	50.8	38.1	25.4	19.1	9.52	4.76	2.00	0.84	0.42	0.25	0.105	0.074
	重量百分率%					100	75.6	41.8	20.4	10.0	3.1	0	
比沖 土の 重	粒径 mm												
	重量百分率%												

試料番号・深さ: Na

(m ~ m)

比重

フルイ	粒径 mm	50.8	38.1	25.4	19.1	9.52	4.76	2.00	0.84	0.42	0.25	0.105	0.074
	重量百分率%												
比沖 土の 重	粒径 mm												
	重量百分率%												



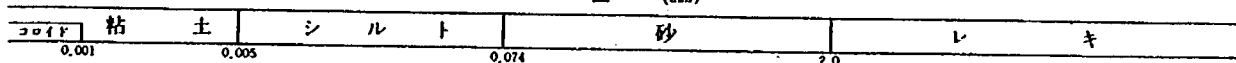
コロイド	粘土	シルト	砂	レキ
0.001	0.005	0.074	2.0	

試料番号 深さ	Na	Na	試料番号 深さ	Na	Na
	m ~	m		m ~	m
4.76mm以上の粒子		%	最大粒径	9.52	mm
4.76~2 mmの粒子		%	60 % 粒径	3.3	mm
2~0.42 mmの粒子		%	30 % 粒径	1.2	mm
0.42~0.074mmの粒子		%	10 % 粒径	0.42	mm
0.074~0.005mmのシルト分		%	均等係数	7.86	
0.005mm以下の粘土分		%	曲率係数	1.04	
0.001mm以下のコロイド分		%	フルイを通過する 試料の分散性		
2000μフルイ通過重量百分率		%	粗な土粒子の形状 および堅さ		
420μフルイ通過重量百分率		%			
75μフルイ通過重量百分率		%			

試料番号・深さ: Na (m ~ m) 比重

試料番号・深さ: Na (m ~ m) 比重

105 μ 420 μ 300 μ



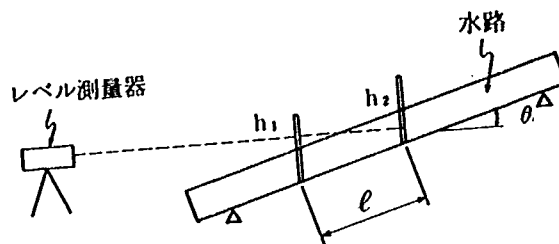
— 33 —

・水路勾配の測定結果

水路勾配 θ は、右図のようにレベル測量を行ない、次式で求めた。

$$\theta = \sin^{-1} \frac{h_1 - h_2}{\ell}$$

測定結果を下表に示す。



水路勾配の測定結果

	h_1 (mm)	h_2 (mm)	ℓ (mm)	θ (deg)
Na 1 ~ Na 15	359	56	1,000	17.64
Na 16 ~ Na 19	233	150	300	16.06
Na 20 ~ Na 22	445	188	1,000	14.89
Na 23 ~ Na 26	401	290	400	16.11

・給水量の測定結果

流量 Q は、貯水槽からポンプアップした水を暫く流し続け、重量 w_1 の容器に T なる時間で捕捉し、全体の重量 w_2 を測定する事により求める。水の単位重量を 1.0 g/cc とすると、次式が成り立つ。

$$Q = \frac{w_2 - w_1}{T}$$

流量の測定結果

	T (sec)	w_1 (g)	w_2 (g)	Q (cc/sec)
Na 1 ~ Na 15	3.45	1,686	9,142	2,161
Na 16 ~ Na 19	2.35	300	4,300	1,702
Na 20 ~ Na 22	6.40	1,575	14,060	1,951

・泥流の含水比の測定結果

泥流の場合は、材料C（砂礫とベントナイトの混合物）の乾燥単位体積重量 r_d を求め、水の単位重量を 1 g/cc とし、材料と水の体積比から換算した。

$$r_d = 8,530 \text{ g} / 5,000 \text{ cc} \div 1.7 \text{ g/cc}$$

材料Cの体積 V_c 、水の体積 V_w とすると、含水比 w は、

$$w = \frac{V_w}{1.7 \cdot V_c} \times 100$$

である。

含水比の測定結果

	V_w (cc)	V_c (cc)	w (%)
Na 23	6,000	7,000	50.4
Na 24 , 25	8,000	8,000	58.8
Na 26	8,000	7,000	67.2

実験No 1

土砂材料 A

河床勾配 $\theta = 17.6^\circ$

流量 $Q = 2.16 \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = \text{—}$

長さ $l = \text{— cm}$ 間隔 $S = \text{— mm}$

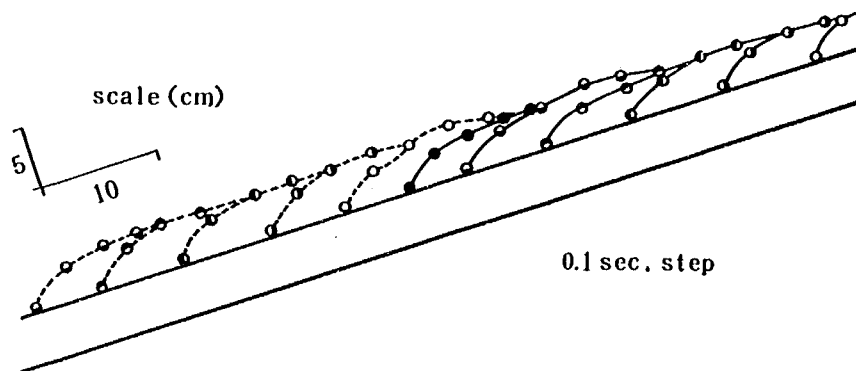
波高 5.15 cm

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
0	0			
0.1	6.67	0.1	6.67	66.7
0.2	13.33	0.1	6.66	66.6
0.3	18.67	0.1	5.34	53.4
0.4	26.67	0.1	8.00	80.0
0.5	35.00	0.1	8.33	83.3
0.6	42.33	0.1	7.33	73.3
0.7	49.33	0.1	7.00	70.0
0.8	54.33	0.1	5.00	50.0
0.9	59.67	0.1	5.34	53.4
1.0	66.00	0.1	6.33	63.3
1.1	73.67	0.1	7.67	76.7
1.2	81.00	0.1	7.33	73.3
1.3	86.67	0.1	5.67	56.7

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : \text{—}$

堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : \text{—}$

堆砂勾配 $\theta' (^\circ) : \text{—}$



実験No.3

土砂材料 A

河床勾配 $\theta = 17.6^\circ$

流量 $Q = 2.16 \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = -\theta$

長さ $l = 45 \text{ cm}$ 間隔 $S = 8 \text{ mm}$

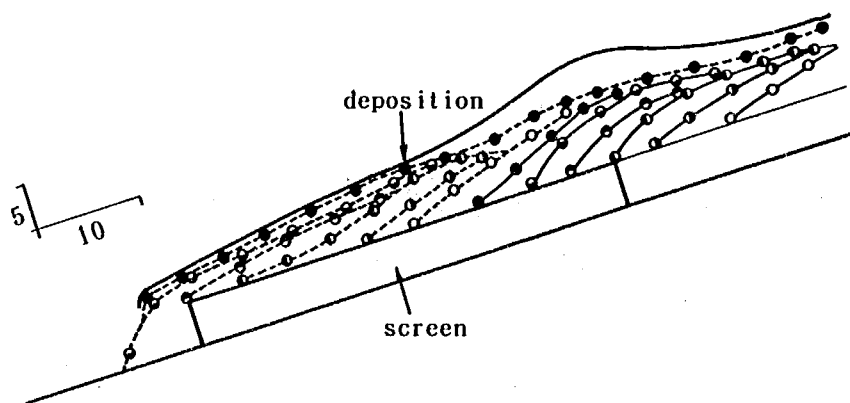
波高 6.09 cm

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
-0.2	-12.30			
-0.1	-5.77	0.1	6.53	65.3
0	0	0.1	5.77	57.7
0.1	4.62	0.1	4.62	46.2
0.2	8.46	0.1	3.84	38.4
0.3	13.85	0.1	5.39	53.9
0.4	20.38	0.1	6.53	65.3
0.5	25.38	0.1	5.00	50.0
0.6	39.62	0.1	14.24	142.4
0.7	46.15	0.1	6.53	65.3
0.8	51.15	0.1	5.00	50.0
0.9	51.92	0.1	0.77	7.7

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : 600$

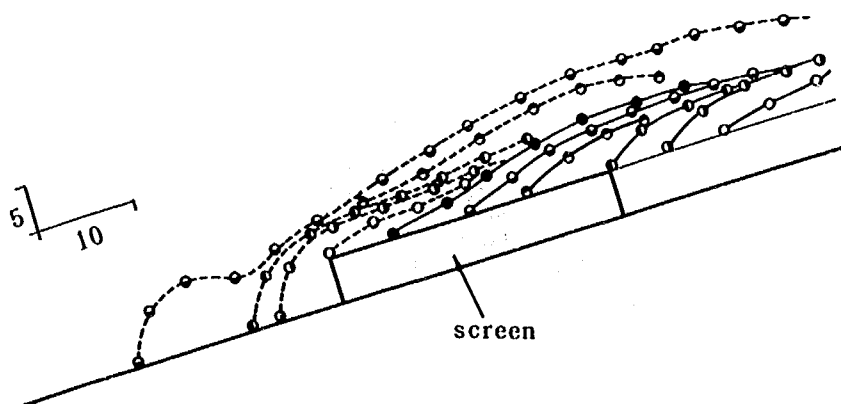
堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : 12.6$

堆砂勾配 $\theta' \text{ (}^\circ\text{)} : 29-11$



土砂材料 A

流量 $Q = 2.16 \text{ l/s}$

長さ $l = 30 \text{ cm}$ 間隔 $S = 8 \text{ mm}$ [illegible]堆砂厚 h' (cm) : —堆砂勾配 $\theta' (^{\circ})$: —

実験No 5

土砂材料 A

河床勾配 $\theta = 17.6^\circ$

流量 $Q = 2.16 \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = -\theta$

長さ $l = 45 \text{ cm}$ 間隔 $S = 12 \text{ mm}$

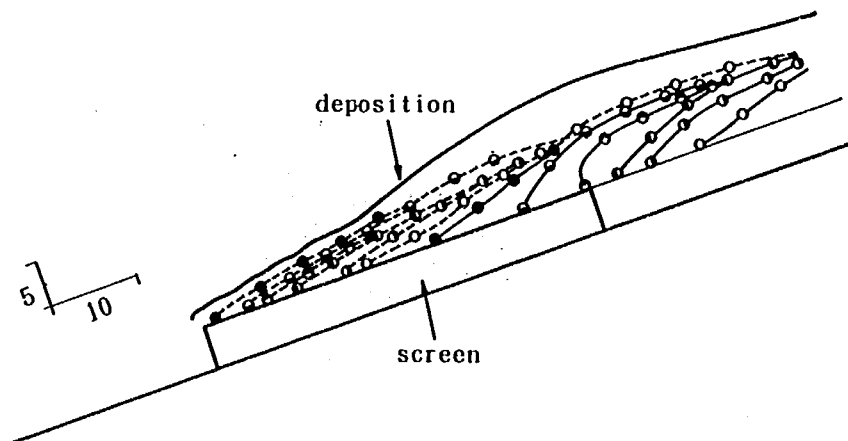
波高 5.42 cm

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
-0.2	-12.77			
-0.1	-7.23	0.1	5.54	55.4
0	0	0.1	7.23	72.3
0.1	7.66	0.1	7.66	76.6
0.2	17.87	0.1	10.21	102.1
0.3	26.81	0.1	8.94	89.4
0.4	28.09	0.1	1.28	12.8
0.5	34.04	0.1	5.95	59.5
0.6	38.30	0.1	4.26	42.6
0.7	40.43	0.1	2.13	21.3
0.8	44.26	0.1	3.83	38.3
0.9	48.94	0.1	4.68	46.8
1.0	52.77	0.1	3.83	38.3

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : 700$

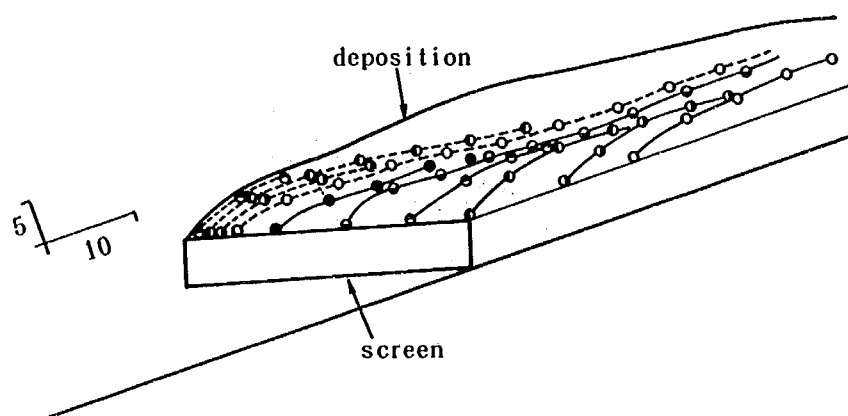
堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : 11.7$

堆砂勾配 $\theta' \text{ (}^\circ\text{)} : 30 - 15$



土砂材料 A

流量 $Q = 2.16 \text{ l/s}$

長さ $l = 30 \text{ cm}$ 間隔 $S = 8 \text{ mm}$ [illegible]堆砂厚 h' (cm) : 12.5堆砂勾配 $\theta' (^{\circ})$: 22-15

実験No. 8

土砂材料 A

河床勾配 $\theta = 17.6^\circ$

流量 $Q = 2.16 \text{ l/s}$

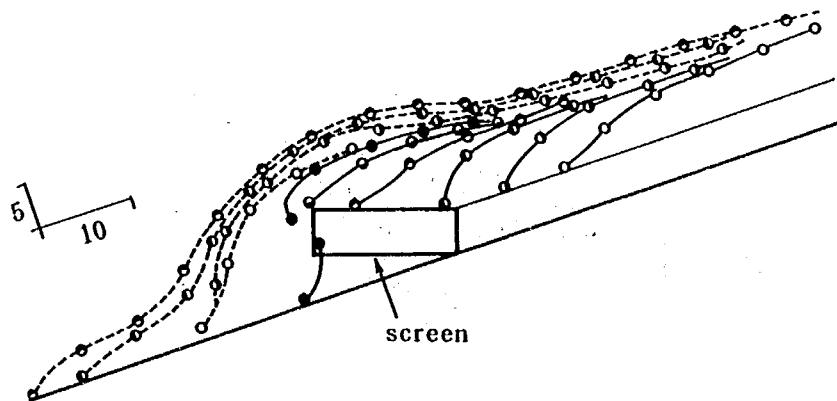
スクリーン条件 勾配 $a = 0$

長さ $l = 15 \text{ cm}$ 間隔 $S = 8 \text{ mm}$

波高 5.42 cm

[illegible]

流出土砂量 q (cm^3) : 7,400

堆砂厚 h' (cm) : —堆砂勾配 $\theta' (^\circ)$: —

実験No 9

土砂材料 A

河床勾配 $\theta = 17.6^\circ$

流量 $Q = 2.16 \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = 0$

長さ $l = 30 \text{ cm}$ 間隔 $S = 12 \text{ mm}$

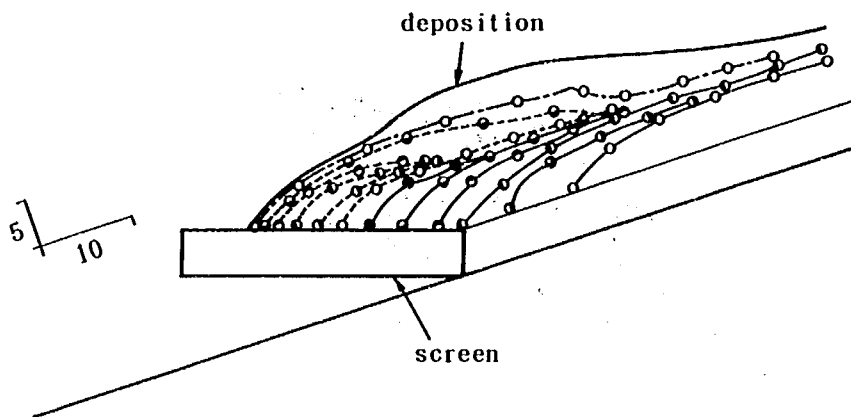
波高 5.20 cm

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
-0.2	-12.77			
-0.1	-5.96	0.1	6.81	68.1
0	0	0.1	5.96	59.6
0.1	2.98	0.1	2.98	29.8
0.2	6.38	0.1	3.40	34.0
0.3	10.21	0.1	3.83	38.3
0.4	13.19	0.1	2.98	29.8
0.5	15.74	0.1	2.55	25.5
0.6	18.30	0.1	2.56	25.6
0.7	20.43	0.1	2.13	21.3
0.8	21.28	0.1	0.85	8.5
0.9	22.55	0.1	1.27	12.7

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : 300$

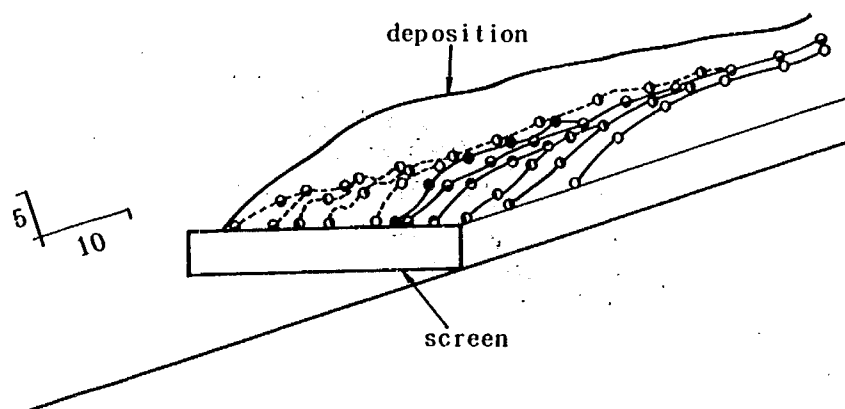
堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : 14.4$

堆砂勾配 $\theta' \text{ (}^\circ\text{)} : 30 - 10$



土砂材料 A

流量 $Q = 2.16 \text{ l/s}$

長さ $l = 30 \text{ cm}$ 間隔 $S = 16 \text{ mm}$ [illegible]堆砂厚 h' (cm) : 13.6堆砂勾配 $\theta' (^{\circ})$: 35-15

実験No11

土砂材料 A

河床勾配 $\theta = 17.6^\circ$

流量 $Q = 2.16 \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = 0$

長さ $l = 30 \text{ cm}$ 間隔 $S = 20 \text{ mm}$

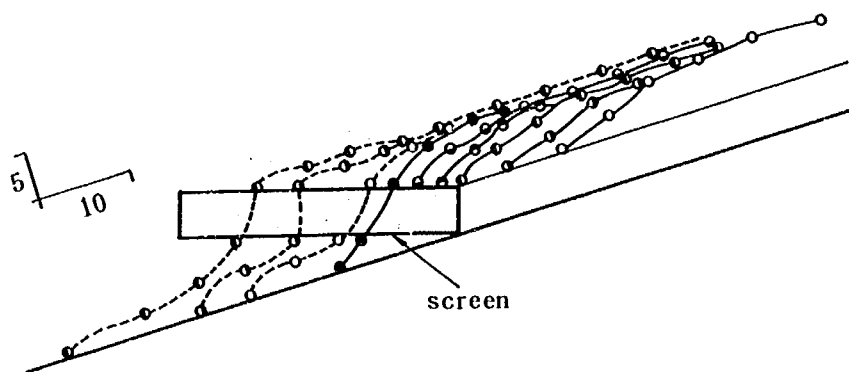
波高 5.60 cm

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
-0.2	-12.50			
-0.1	-5.83	0.1	6.67	66.7
0	0	0.1	5.83	58.3
0.1	1.25	0.1	1.25	12.5
0.2	2.08	0.1	0.83	8.3
0.3	4.58	0.1	2.50	25.0
0.4	7.08	0.1	2.50	25.0
0.5	10.00	0.1	2.92	29.2
0.6	17.08	0.1	7.08	70.8
0.7	18.33	0.1	1.25	12.5
0.8	21.67	0.1	3.34	33.4
0.9	23.33	0.1	1.66	16.6
1.0	25.00	0.1	1.67	16.7
1.1	26.25	0.1	1.25	12.5

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : 13,000$

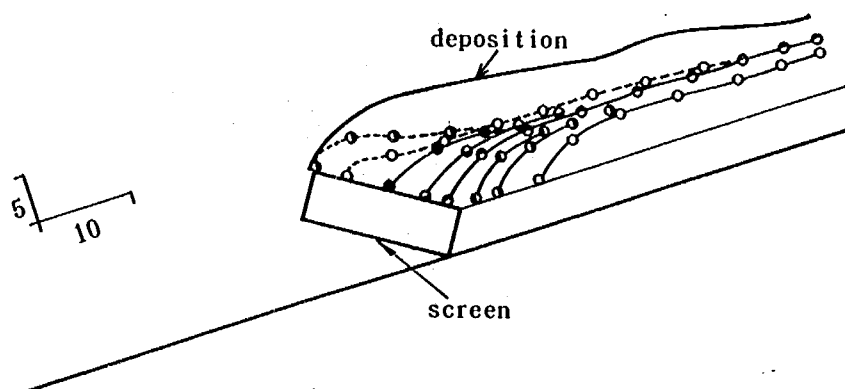
堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : \text{—}$

堆砂勾配 $\theta' \text{ (}^\circ\text{)} : \text{—}$



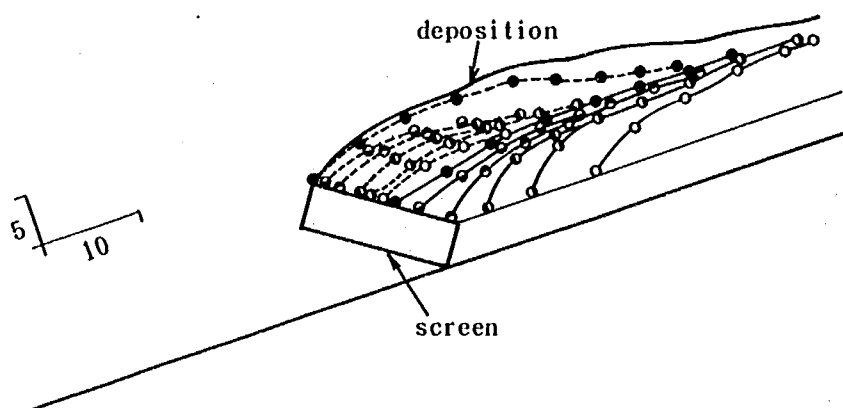
土砂材料 A

流量 $Q = 2.16 \text{ l/s}$

長さ $l = 15 \text{ cm}$ 間隔 $S = 8 \text{ mm}$ [illegible]堆砂勾配 $\theta' (^\circ) : 40-10$ 

土砂材料 A

流量 $Q = 2.16 \text{ l/s}$

長さ $l = 15 \text{ cm}$ 間隔 $S = 12 \text{ mm}$ [illegible]堆砂勾配 $\theta' (^\circ)$: 35-10

実験Na 15

土砂材料 A

河床勾配 $\theta = 17.6^\circ$

流量 $Q = 2.16 \text{ l/s}$

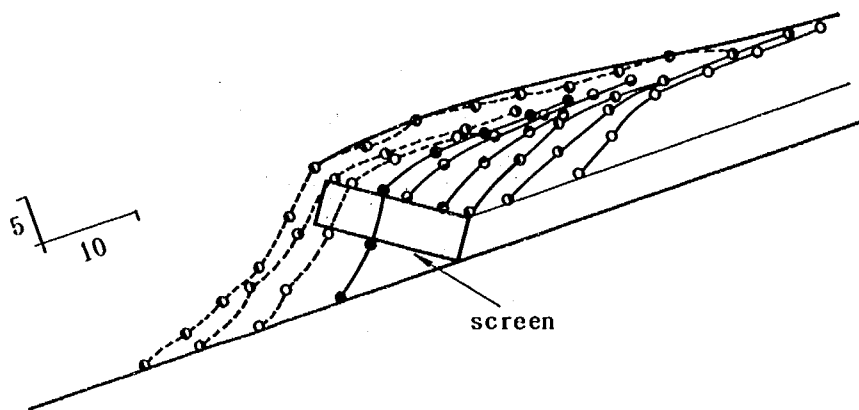
スクリーン条件 勾配 $a = 0$

長さ $l = 15 \text{ cm}$ 間隔 $S = 20 \text{ mm}$

波高 5.38 cm

[illegible]

流出土砂量 q (cm³) : 2,000

堆砂厚 h' (cm) : 13.5堆砂勾配 $\theta' (^\circ)$: 25-10

実験No.16

土砂材料 A

河床勾配 $\theta = 16.1^\circ$

流量 $Q = 1.70 \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = \text{—}$

長さ $l = \text{— cm}$ 間隔 $S = \text{— mm}$

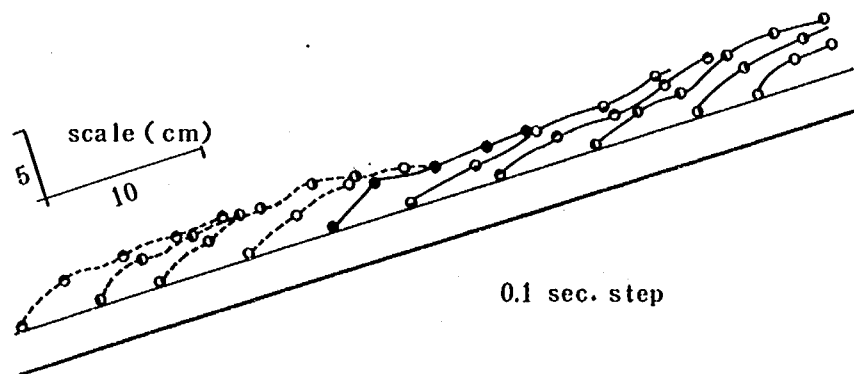
波高 3.81 cm

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
0	0			
0.1	7.62	0.1	7.62	76.2
0.2	11.67	0.1	4.05	40.5
0.3	18.10	0.1	6.43	64.3
0.4	24.29	0.1	6.19	61.9
0.5	30.00	0.1	5.71	57.1
0.6	34.76	0.1	4.76	47.6
0.7	40.48	0.1	5.72	57.2
0.8	45.95	0.1	5.47	54.7
0.9	49.52	0.1	3.57	35.7
1.0	54.76	0.1	5.24	52.4
1.1	58.81	0.1	4.05	40.5
1.2	63.33	0.1	4.52	45.2

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : \text{—}$

堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : \text{—}$

堆砂勾配 $\theta' \text{ (}^\circ\text{)} : \text{—}$



実験No.17

土砂材料 A

河床勾配 $\theta = 16.1^\circ$

流量 $Q = 1.70 \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = -\theta$

長さ $l = 45 \text{ cm}$ 間隔 $S = 8 \text{ mm}$

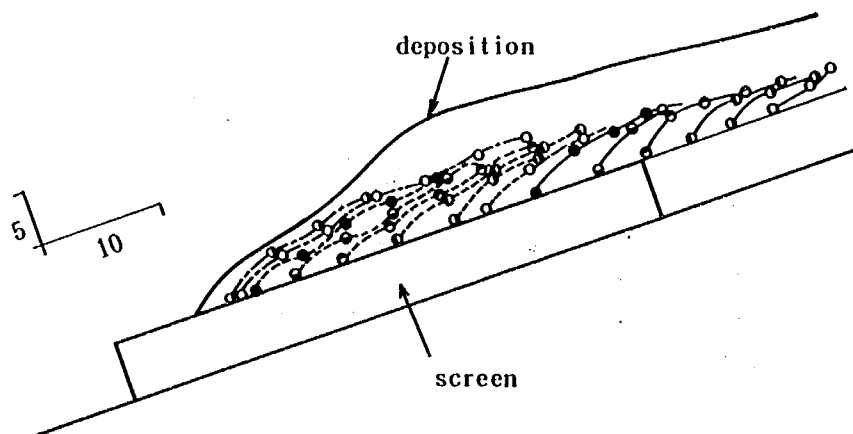
波高 3.45 cm

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
-0.7	-33.13			
-0.6	-28.44	0.1	4.69	46.9
-0.5	-23.44	0.1	4.00	40.0
-0.4	-16.88	0.1	6.56	65.6
-0.3	-10.63	0.1	6.25	62.5
-0.2	-6.56	0.1	4.07	40.7
-0.1	-3.75	0.1	2.81	28.1
0	0	0.1	3.75	37.5
0.1	3.75	0.1	3.75	37.5
0.2	8.75	0.1	5.00	50.0
0.3	13.13	0.1	4.38	43.8
0.4	15.63	0.1	2.50	25.0
0.5	20.94	0.1	5.31	53.1
0.6	25.00	0.1	4.06	40.6
0.7	28.75	0.1	3.75	37.5
0.8	32.50	0.1	3.75	37.5
0.9	33.44	0.1	0.94	9.4
1.0	34.38	0.1	0.94	9.4
1.3	36.25	0.1	1.87	6.2
1.6	37.19	0.1	0.94	3.1
1.9	38.44	0.1	1.25	4.2

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : 0$

堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : 10.0$

堆砂勾配 $\theta' (^\circ) : 40 \sim 14$



実験No.18

土砂材料 A

河床勾配 $\theta = 16.1^\circ$

流量 $Q = 1.70 \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = 0$

長さ $l = 30 \text{ cm}$ 間隔 $S = 8 \text{ mm}$

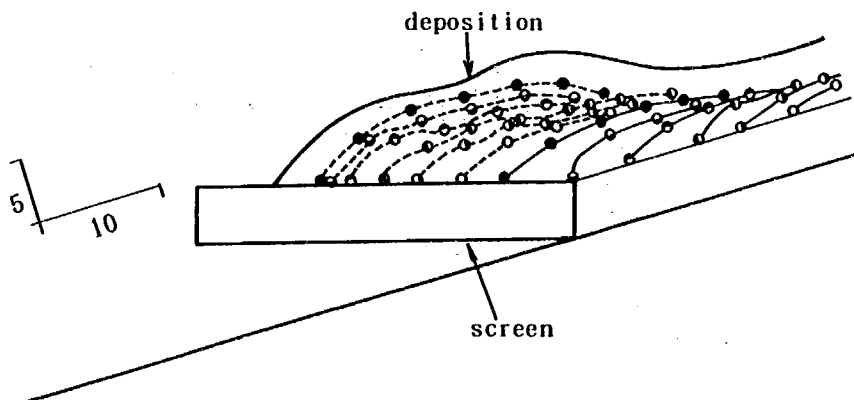
波高 3.30 cm

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
-0.7	-37.50			
-0.6	-30.94	0.1	6.56	65.6
-0.5	-24.06	0.1	6.88	68.8
-0.4	-17.81	0.1	6.25	62.5
-0.3	-13.75	0.1	4.06	40.6
-0.2	-10.31	0.1	3.44	34.4
-0.1	-4.69	0.1	5.62	56.2
0	0	0.1	4.69	46.9
0.1	5.63	0.1	5.63	56.3
0.2	7.50	0.1	1.87	18.7
0.3	12.50	0.1	5.00	50.0
0.4	15.00	0.1	2.50	25.0
0.5	17.81	0.1	2.81	28.1
0.6	19.06	0.1	1.25	12.5
0.7	20.00	0.1	0.94	9.4
1.0	21.25	0.3	1.25	4.2
1.3	24.06	0.3	2.81	9.4

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : 0$

堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : 10.6$

堆砂勾配 $\theta' (^\circ) : 35 - 15$



実験No.19

土砂材料 A

河床勾配 $\theta = 16.1^\circ$

流量 $Q = 1.70 \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = \theta$

長さ $l = 15 \text{ cm}$ 間隔 $S = 8 \text{ mm}$

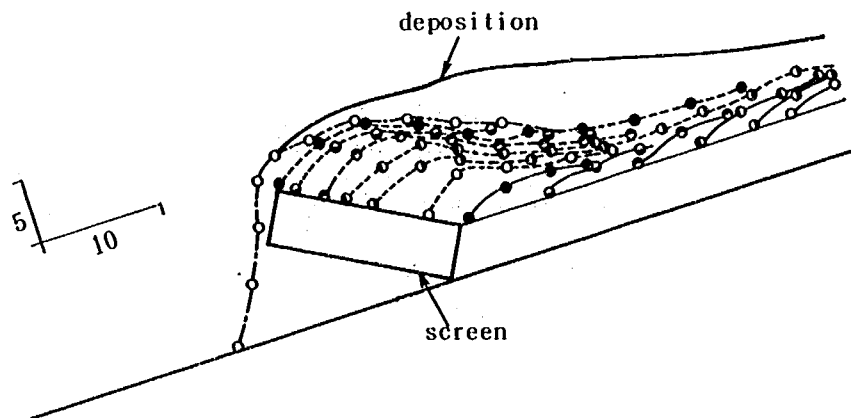
波高 3.30 cm

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
-0.9	-41.56			
-0.8	-35.63	0.1	5.93	59.3
-0.7	-31.88	0.1	3.75	37.5
-0.6	-27.50	0.1	4.38	43.8
-0.5	-24.06	0.1	3.44	34.4
-0.4	-18.75	0.1	5.31	53.1
-0.3	-14.38	0.1	4.37	43.7
-0.2	-11.25	0.1	3.13	31.3
-0.1	-6.88	0.1	4.37	43.7
0	0	0.1	6.88	68.8
0.1	2.50	0.1	2.50	25.0
0.2	6.56	0.1	4.06	40.6
0.3	9.06	0.1	2.50	25.0
0.4	10.94	0.1	1.88	18.8
0.5	13.44	0.1	2.50	25.0
0.6	15.00	0.1	1.56	15.6
0.7	16.56	0.1	1.56	15.6
0.8	18.75	0.1	2.19	21.9
1.1	19.69	0.3	0.94	3.1

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : 500$

堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : 11.2$

堆砂勾配 $\theta' \text{ (}^\circ\text{)} : 35-5$



実験No.20

土砂材料 B

河床勾配 $\theta = 14.9^\circ$

流量 $Q = 1.95 \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = -\theta$

長さ $l = 45 \text{ cm}$ 間隔 $S = 12 \text{ mm}$

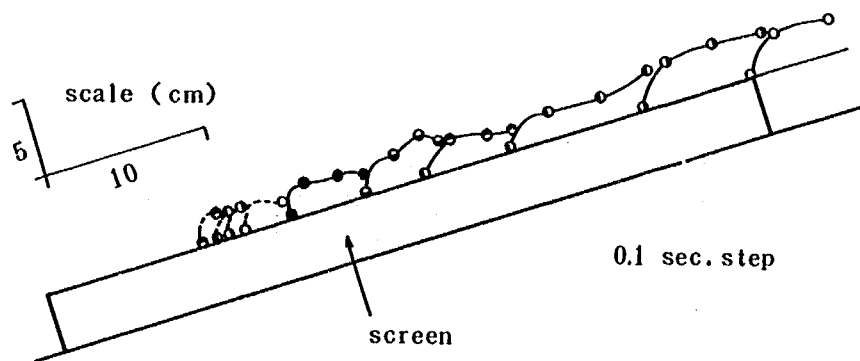
波高 2.68 cm

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
-0.55	-30.0			
0	0	0.55	32.0	54.5
0.1	6.82	0.1	6.82	68.2
0.2	15.29	0.1	8.47	84.7
0.3	20.71	0.1	5.42	54.2
0.4	24.24	0.1	3.53	35.3
0.5	28.94	0.1	4.70	47.0
0.6	32.00	0.1	3.06	30.6
0.7	32.94	0.1	0.94	9.4
0.8	33.65	0.1	0.71	7.1
0.9	34.59	0.1	0.94	9.4
1.0	37.88	0.1	3.29	32.9
1.1	38.82	0.1	0.94	9.4
1.2	39.53	0.1	0.71	7.1

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : \text{---}$

堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : \text{---}$

堆砂勾配 $\theta' \text{ (}^\circ\text{)} : \text{---}$



実験Na21

土砂材料 B

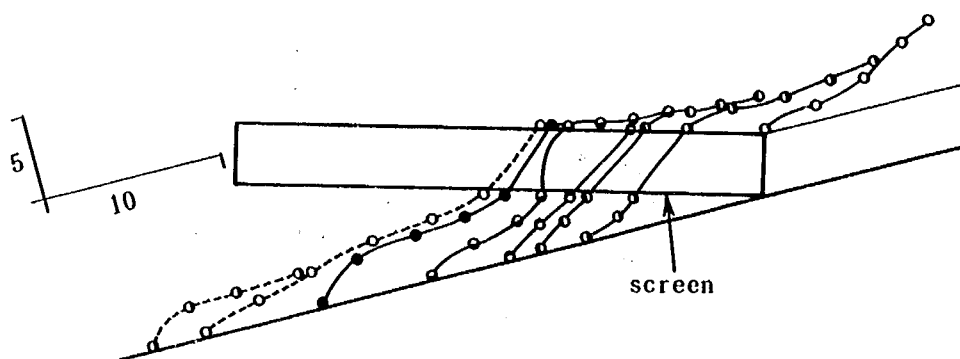
河床勾配 $\theta = 14.9^\circ$

流量 $Q = 1.95 \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = 0$

長さ $l = 30 \text{ cm}$ 間隔 $S = 16 \text{ mm}$

波高 3.57 cm

[illegible]流出土砂量 q (cm³): —堆砂厚 h' (cm): —堆砂勾配 $\theta'(^{\circ})$: —

実験No 22

土砂材料 B

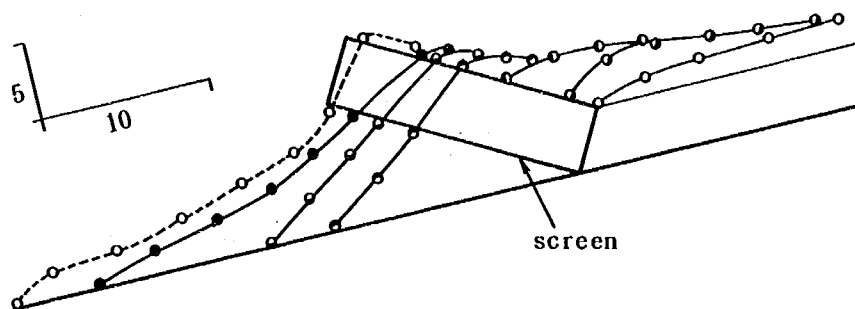
河床勾配 $\theta = 14.9^\circ$

流量 $Q = 1.95 \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = \theta$

長さ $l = 15 \text{ cm}$ 間隔 $S = 20 \text{ mm}$

波高 2.62 cm

[illegible]流出土砂量 q (cm³): —堆砂厚 h' (cm) : —堆砂勾配 $\theta' (^\circ)$: —

実験No.23

土砂材料 C

河床勾配 $\theta = 16.1^\circ$

流量 $Q = \text{---} \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = -\theta$

長さ $l = 60 \text{ cm}$

間隔 $S = 8 \text{ mm}$

波高 2.00 cm

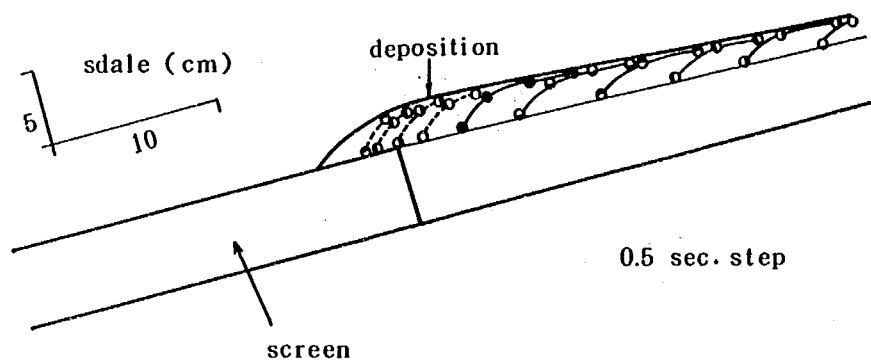
$W = 50.4\%$

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
-4.0	-29.07			
-3.5	-25.35	0.5	3.72	7.4
-3.0	-20.93	0.5	4.42	8.8
-2.5	-16.74	0.5	4.19	8.4
-2.0	-12.33	0.5	4.41	8.8
-1.5	-7.44	0.5	4.89	9.8
-1.0	-3.95	0.5	3.49	7.0
-0.5	-1.16	0.5	2.79	5.6
0	0	0.5	1.16	2.3
0.5	1.16	0.5	1.16	2.3
1.0	1.86	0.5	0.70	1.4
7.0	3.72	6.0	1.86	0.3
10.0	4.65	4.0	0.93	0.2

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : \text{---}$

堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : 2.7$

堆砂勾配 $\theta' (^\circ) : 45-15$



実験No24

土砂材料 C

河床勾配 $\theta = 16.1^\circ$

流量 $Q = \text{---} \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = -\theta$

長さ $l = 60 \text{ cm}$ 間隔 $S = 8 \text{ mm}$

波高 2.00 cm

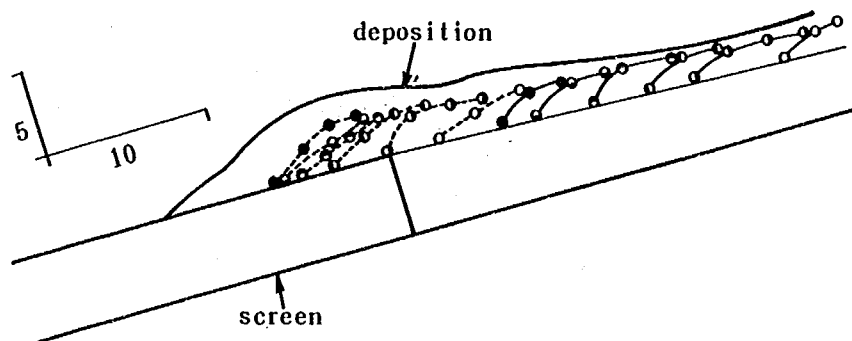
$W = 58.8\%$

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
-3.5	-24.24			
-3.0	-18.59	0.5	5.65	11.3
-2.5	-15.76	0.5	2.83	5.7
-2.0	-12.47	0.5	3.29	6.6
-1.5	- 8.94	0.5	3.53	7.1
-1.0	- 6.82	0.5	2.12	4.2
-0.5	- 3.06	0.5	3.76	7.5
0	0	0.5	3.06	6.2
0.5	0.94	0.5	0.94	1.9
1.5	3.53	1.0	2.59	2.6
2.0	5.88	0.5	2.35	4.7
3.0	6.59	1.0	0.71	0.7
5.0	7.29	2.0	0.70	0.4
10.0	8.24	5.0	0.95	0.2
15.0	11.76	5.0	3.52	0.7
20.0	14.35	5.0	2.59	0.5

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : \text{---}$

堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : 4.3$

堆砂勾配 $\theta' (^\circ) : 45 - 10$



実験No25

土砂材料 C

河床勾配 $\theta = 16.1^\circ$

流量 $Q = \text{---} \text{ l/s}$

スクリーン条件 勾配 $a = -\theta$

長さ $l = 60 \text{ cm}$ 間隔 $S = 8 \text{ mm}$

波高 1.92 cm

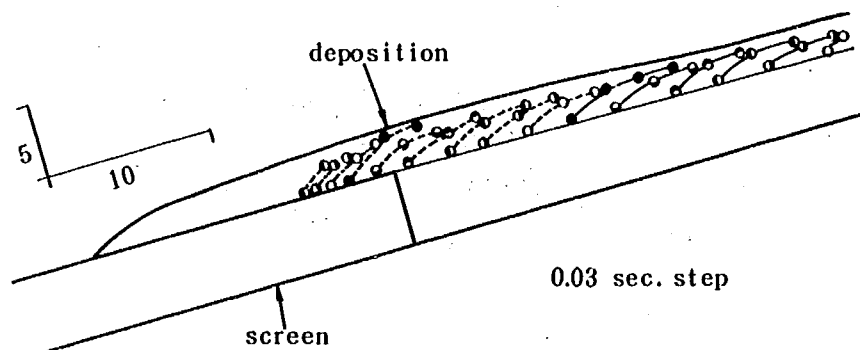
$W = 58.8\%$

時 間 $t \text{ (sec)}$	フロント流下 距離 $X \text{ (cm)}$	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t \text{ (cm/s)}$
-0.33	-29.65			
-0.30	-26.82	0.03	2.83	94.3
-0.26	-23.06	0.04	3.76	94.0
-0.23	-20.00	0.03	3.06	102.0
-0.20	-17.18	0.03	2.82	94.0
-0.16	-13.65	0.04	3.53	88.3
-0.13	-11.06	0.03	2.59	86.3
-0.10	-8.24	0.03	2.82	94.0
-0.06	-5.65	0.04	2.59	64.8
-0.03	-3.06	0.03	2.59	86.3
0	0	0.03	3.06	102.0
0.03	1.65	0.03	1.65	55.0
0.06	2.82	0.03	1.17	39.0
0.16	4.00	0.10	1.18	11.8
0.26	5.18	0.10	1.18	11.8
0.76	6.35	0.50	1.17	2.3
1.26	7.76	0.50	1.41	2.8
1.76	10.82	0.50	3.06	6.1
2.26	13.88	0.50	3.06	6.1
2.76	15.76	0.50	1.88	3.8
3.26	18.12	0.50	2.36	4.7

流出土砂量 $q \text{ (cm}^3\text{)} : \text{---}$

堆砂厚 $h' \text{ (cm)} : 2.6$

堆砂勾配 $\theta' \text{ (}^\circ\text{)} : 40-15$



実験No.26

土砂材料 C

河床勾配 $\theta = 16.1^\circ$

流量 $Q = \text{---}$ l/s

スクリーン条件 勾配 $a = -\theta$

長さ $l = 60$ cm 間隔 $S = 8$ mm

波高 2.27 cm

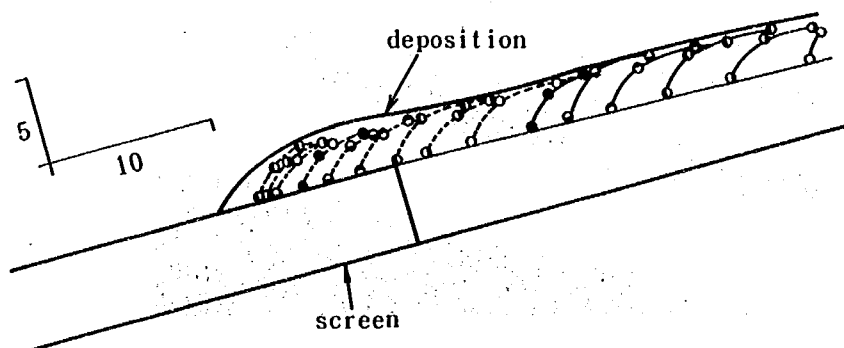
$W = 67.2\%$

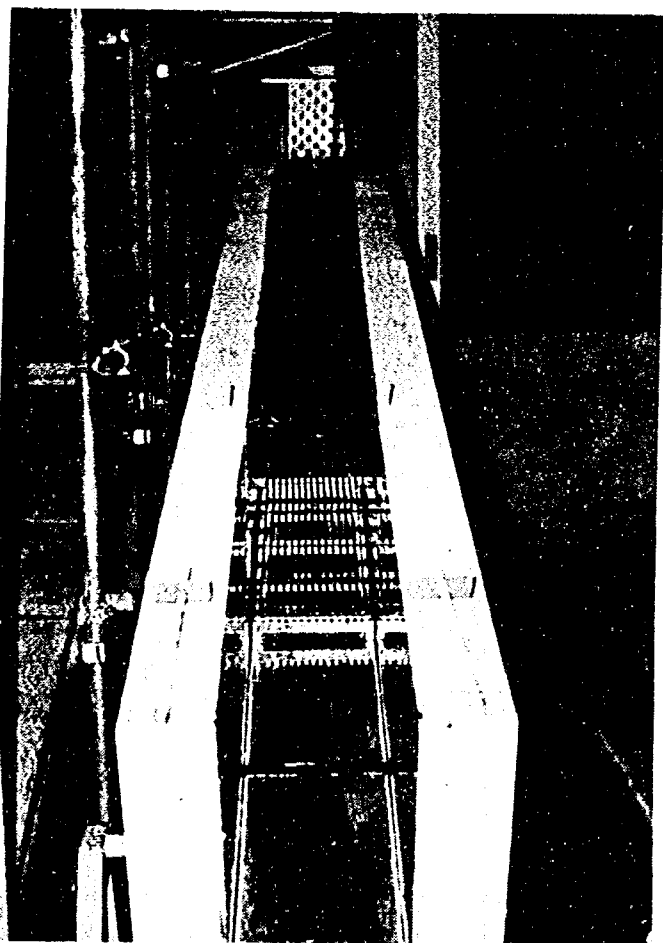
時 間 t (sec)	フロント流下 距離 X (cm)	Δt (sec)	ΔX (cm)	流 速 $V = \Delta X / \Delta t$ (cm/s)
-0.30	-28.94			
-0.27	-25.18	0.03	3.76	125.3
-0.24	-20.47	0.03	4.71	157.0
-0.20	-16.47	0.04	4.00	100.0
-0.17	-13.18	0.03	3.29	109.7
-0.14	-10.35	0.03	2.83	94.3
-0.10	-8.24	0.04	2.11	52.8
-0.07	-4.47	0.03	3.77	125.7
-0.04	-1.65	0.03	2.82	94.0
0	0	0.04	1.65	41.3
0.03	1.88	0.03	1.88	62.7
0.06	4.00	0.03	2.12	70.7
0.10	5.65	0.04	1.65	41.3
0.13	7.29	0.03	1.64	54.7
0.16	8.00	0.03	0.71	23.7
0.26	8.47	0.10	0.47	4.7
0.36	8.94	0.10	0.47	4.7

流出土砂量 q (cm³) : —

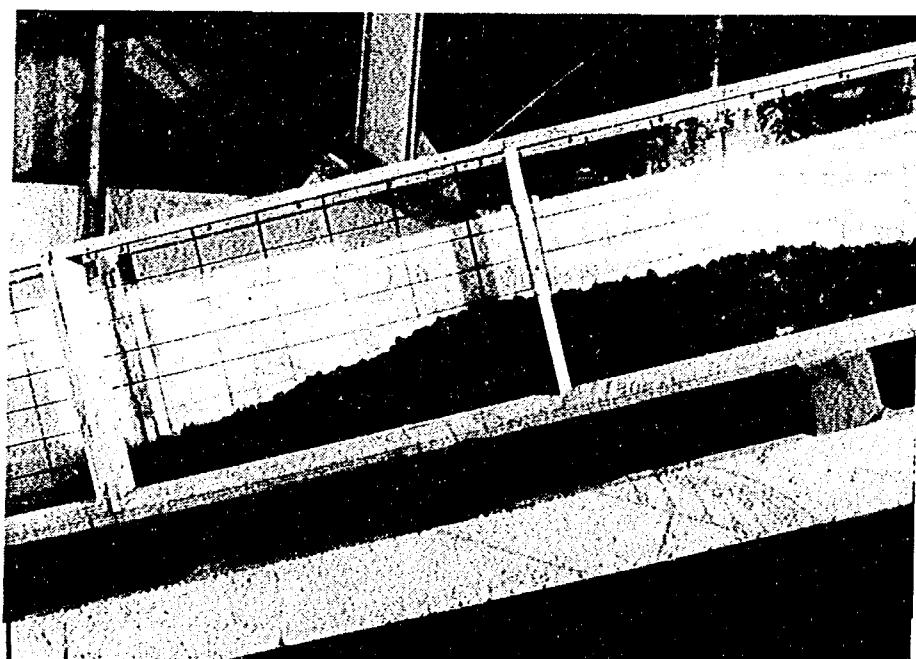
堆砂厚 h' (cm) : 3.0

堆砂勾配 θ' (°) : 50-15

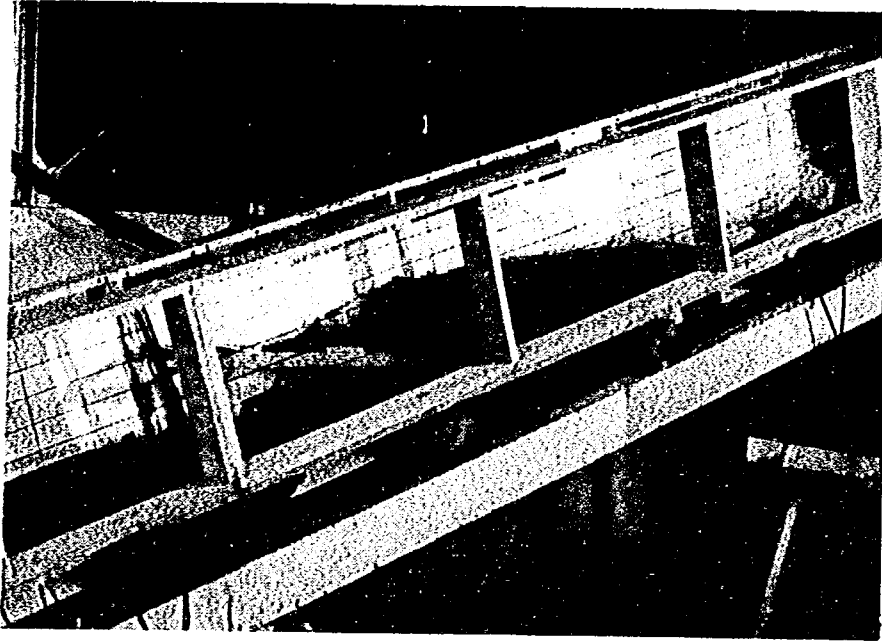




実験水路内にセットした底面水抜きスクリーンの供試体。材料Aによる実験でスクリーン上流に土砂を敷き、給水して土石流を発生させ、スクリーンによる土石流捕捉効果を調べる。

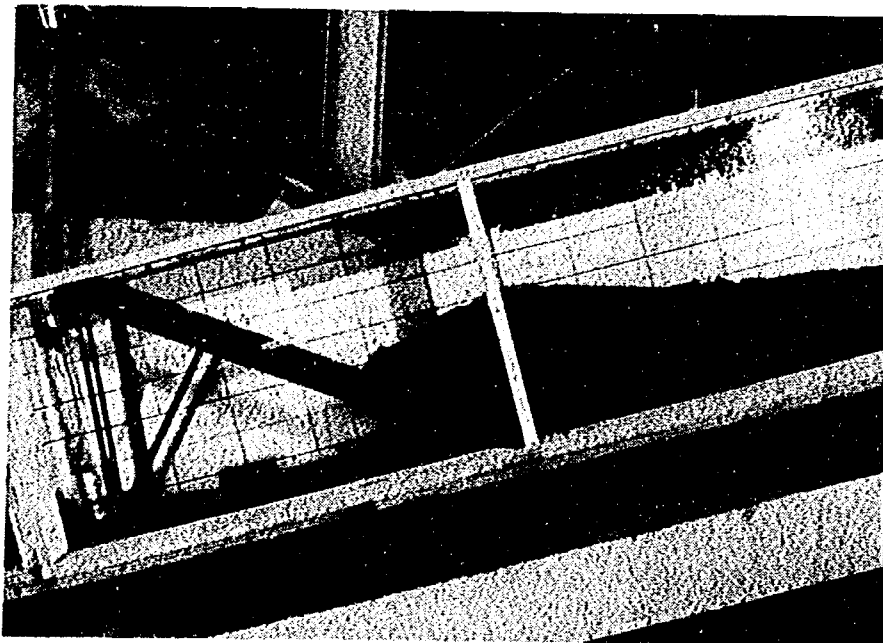


スクリーンを水路床勾配と平行に設置した場合の土石流の捕捉、堆砂形状の一例。
(実験No. 2)



スクリーンを平行に
設置した場合（実験No
9）

土砂流を捕捉した瞬
間で、後続の水の多く
は、堆積物の上を流れ
ている。



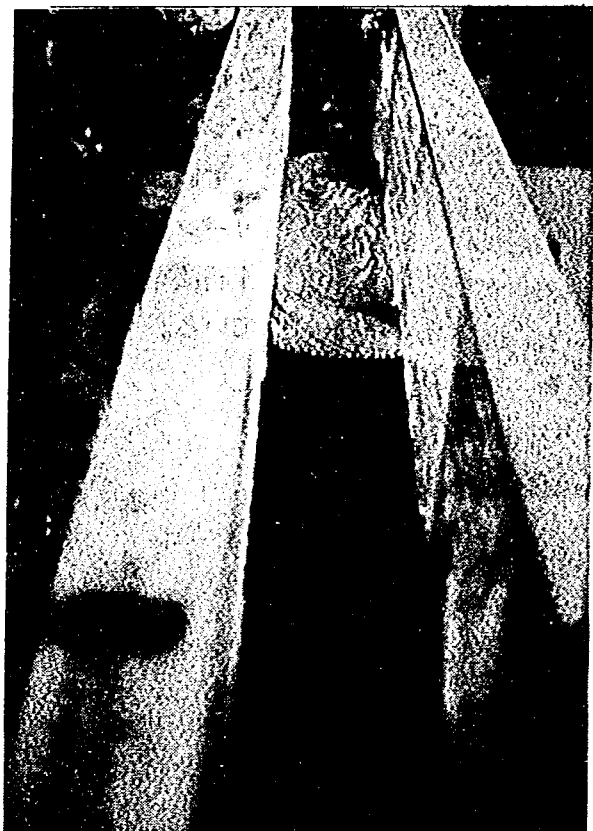
スクリーンを逆勾配
に設置した場合（実験
No 14）

堆砂勾配は、スクリ
ーン上で高い角度にな
っている。また、スク
リーン長は短かいが、
土石流を完全に捕捉し
ている。



泥流型土石流で粘性が高い場合（実験No.23,
 $w = 50.4\%$ ）

流速は非常に遅く、この場合は、スクリー
 ン効果は明確ではない。



含水比を上げ粘性を低くすると、同じ土砂
 材料でも流速が速い泥流型土石流となる。

スクリーン上には、スクリーン間隔より粒
 径の大きな礫が残り、透水性の低い後続流を
 堆積させている。また、下流には泥だけが
 流出し、底面水抜きスクリーンで土石流の質
 的变化（フルイ分け）を起こしている。

（実験No.26, $w = 67.2\%$ ）



中部地方建設局富士砂防工事事務
所管内大沢川岩樋の底面水抜きスク
リーン、幅10m、長さ20m、スクリ
ーン間隔15cm、スクリーン部材は、
L-200×200。

昭和60年6月20日の小規模の土石
流を捕捉している。



北陸地方建設局松本砂防工事事務
所管内焼岳上々堀決の底面水抜きス
クリーン。

幅10m、長さ20m、スクリーン間
隔20cm、スクリーン部材は、
□-200×200。

昭和60年7月21日の土石流フロン
ト部を減速・停止させた。



オーストリアのケルンテン工事局ヴァイセンステ
イン溪流（Kärnten Sektion, Weißenstein）にある
底面水抜きスクリーン。

幅5m、長さ10m、スクリーン間隔20cm、スクリ
ーン部材は古レールを逆に使用したもの。

土石流ブレーカー（底面水抜き
スクリーン）に関する実験的研究 ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2374号
昭和61年4月(1986)
砂防研究室 室長 矢澤昭夫
主任研究員 水山高久
部外研究員 森田昭宏

要 旨 土石流を制御する各種の構造物が考案され、現地にも試験的に設置されている。この中で、底面水抜きスクリーンは、土石流を減速し停止させる効果が確認され、注目を集めている。本研究では、底面水抜きスクリーンの最適諸元を検討した。まず、2次元水路を用いてモデル実験を行い、土石流捕捉効果を調べた。次に、底面水抜きスクリーンの最適諸元を解析し現地への適用を試みた。

この結果、スクリーンに到達した土石流は一定の加速度で減速・停止し、スクリーン上に土石流材料の安息角に近い勾配で堆積することがわかり、必要スクリーン長を与える式を得た。また、土石流材料を変え、泥流型土石流についても検討した。

キーワード：土石流，土石流ブレーカー，底面水抜きスクリーン。

郵便はがき

いは40
って円
下手を
さ

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
砂防研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土石流ブレーカー(底面水抜きスクリーン)
に関する実験的研究

土木研究所資料第2374号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印