

ISSN 0386—5878

土木研究所資料第2731号

土木研究所資料

山岳道路の土石流による災害防止に関する 研究報告書

平成元年2月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

Copyright © (1989) 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、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

山岳道路の土石流による災害防止に関する 研究報告書

砂防研究室 室 長 水山高久
主任研究員 石川芳治
福澤 誠

要 旨

山岳道路の土石流による災害防止に関連して土石流による盛土道路の被災過程、土石流対策工としての土石流覆工及びカルバート閉塞防止のためのスクリーン工の土石流制御効果について水理模型実験を行い、その結果を考察し、とりまとめた。

キーワード：山岳道路，土石流，模型実験，土石流覆工，カルバート，スクリーン

A study on the countermeasure against debris flows on Mountain roads

Sabo Division, Sabo Department

Head of Division: Takahisa MIZUYAMA

**Senior Researcher: Yoshiharu ISHIKAWA
Makoto FUKUZAWA**

Synopsis

In order to prevent disaster against debris flow, we conducted hydroulic model experiments with processes of disaster on banking roads by debris flows, debris flow shead against debris flow and check screen for prevention of blockade of culvert the results of the model tests were analyzed and examined.

KEY WORDS : Mountain road, debris flow, model test, debris flow shead, culvert, screen,

は　じ　め　に

山岳地帯を通過する道路が土石流により被災する例は昭和43年の飛騨川でのバス転落事故を始めとして近年多く発生してきており特に昭和57年の長崎災害、昭和58年の島根災害では主要な道路が土石流により大きな被害を受け、各地で道路の不通箇所が生じ、被災者の救助や災害復旧に大きな支障となった。

本研究はこのような山岳道路における土石流災害の発生過程を明らかにするとともに、効果的な土石流対策工法を検討し、山岳道路における土石流対策の基本的な方針を提案することを目的として昭和61～63年度にかけて実施したものである。

本研究では主として①土石流による道路の被災過程②土石流対策工として、洗越及び土石流覆工の形状と機能③カルバート閉塞防止のための底面スクリーン工について水理模型実験を主体として検討を行いその結果を考察してとりまとめた。

本研究の成果が今後の山岳道路の計画設計、維持管理にとり入れられ、土石流による道路の被害が減少する一助になることを期待します。

目 次

はじめに

1. 土石流による道路の被災形態と対策工法	1
1.1 土石流による道路の被災形態	1
1.2 道路における土石流対策工法及びその選定	6
2. 土石流による盛土道路の被災過程（昭和61年度）	9
2.1 概 要	9
2.2 実験条件	11
2.3 被災形態と災害発生過程の分類	13
2.4 盛土の代表的な被害発生過程	15
2.5 カルバートの疎通能力	17
2.6 洗越の状況	19
2.7 考 察	21
3. 盛土道路のバイピング破壊防止及び土石流覆工に関する検討（昭和62年度）	22
3.1 盛土道路のバイピング破壊防止	22
3.1.1 実験目的	22
3.1.2 実験条件	22
3.1.3 実験結果と考察	23
3.2 土石流覆工を通過する土石流の動態	27
3.2.1 実験目的	27
3.2.2 実験条件	27
3.2.3 実験結果と考察	29
3.3 土石流覆工にかかる荷重	33
3.3.1 実験目的	33
3.3.2 実験条件	33
3.3.3 実験結果と考察	38
4. カルバート閉塞防止スクリーン工（昭和63年度）	43
4.1 実験目的	43
4.2 実験概要	43
4.3 実験結果	49
4.3.1 土石流流量及び流出土砂濃度	49
4.3.2 スクリーンによる土石流先頭部の減速	56
4.3.3 スクリーン形状と最高水位、土砂流出率の関係	62
4.4 考 察	64
5. まとめと今後の課題	65

1. 土石流による道路の被災形態と対策工法

1.1 土石流による道路の被災形態

道路が土石流危険渓流を横過する場合にはまず土石流に対する安全性を検討する必要がある。すなわち道路が十分な断面の余裕を持った橋梁等で渓流を横過している場合には渓流で土石流が発生、流下しても通路には被害がない訳であるから土石流の発生・流下に対しては危険がないと言える。一方道路が十分な断面のないカルバート等で横過する場合にはカルバートが土石流により閉塞して、堆積、氾濫し最悪の場合には路体の流出をも招く場合もある。このような道路の被災形態を明らかにすることは土石流対策の方法（通行止等のソフトな対策または土石流対策ダム等のハードな対策）、対策工法、優先度等を検討する上で重要である。

道路の土石流による被災形態¹⁾としては

- ① 上流河道の屈曲等による渓流横過部上流部での土石流の氾濫、堆積（図－1.1）
- ② 横過構造物（カルバート、橋梁等）の閉塞による道路上流側渓流部への土砂の堆積（図－1.2）及びそれに伴う道路盛土部のパイピング破壊
- ③ 横過構造物（カルバート、橋梁等）の閉塞による路面への土砂の流出、氾濫（図－1.3, 1.4）
- ④ 横過構造物（カルバート、橋梁等）の閉塞による路面への土砂の越流とそれに伴う路体の侵食、破壊（図－1.5）
- ⑤ 横過構造物（カルバート、橋梁等）あるいは路体への土石流の衝突による横過構造物、路体の破壊と流出（図－1.6）
- ⑥ 横過地点上流部への土砂の堆積による路体を含む地すべりの発生等が考えられる。

これらの被災形態のうち最も事例が多くまたは可能性が高いものは②～⑤の横過構造物（特にカルバート等）の閉塞に伴う被害である。

本研究ではこれらの被災過程と被災機構を明らかにし、その対策を考察するために土石流による盛土道路の被災過程に関する水理模型実験を行った。その結果及び考察を第2章に示す。

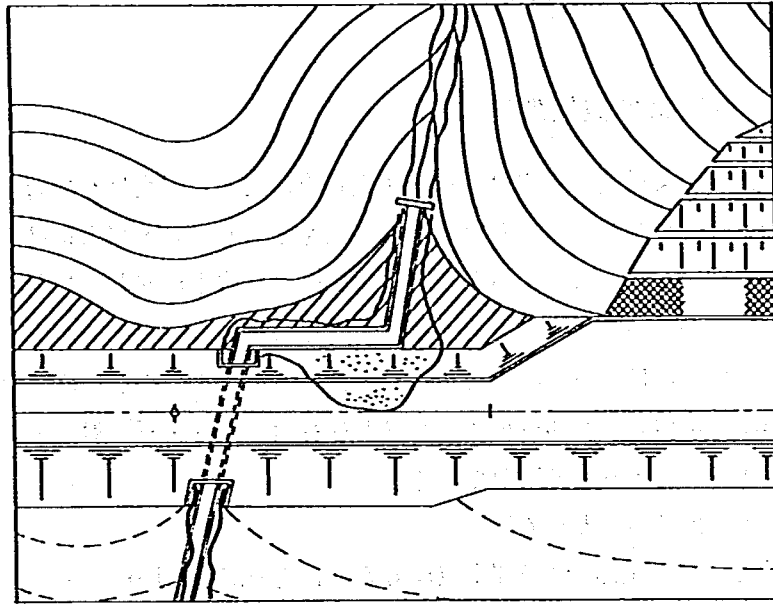


図-1.1 極端に屈曲した流路

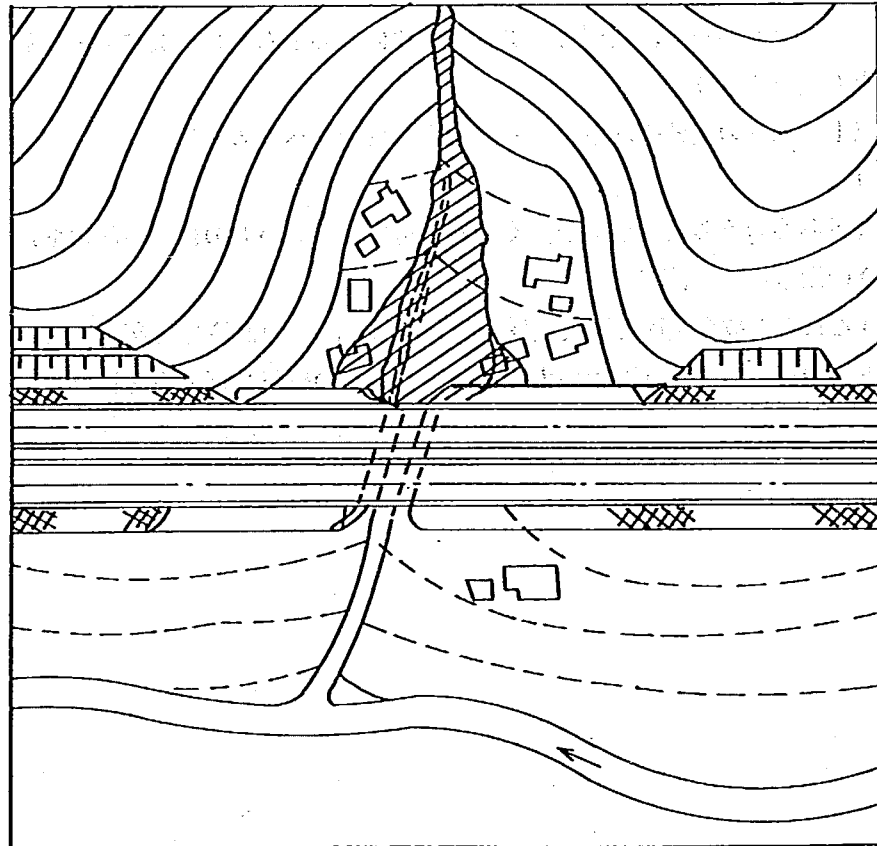
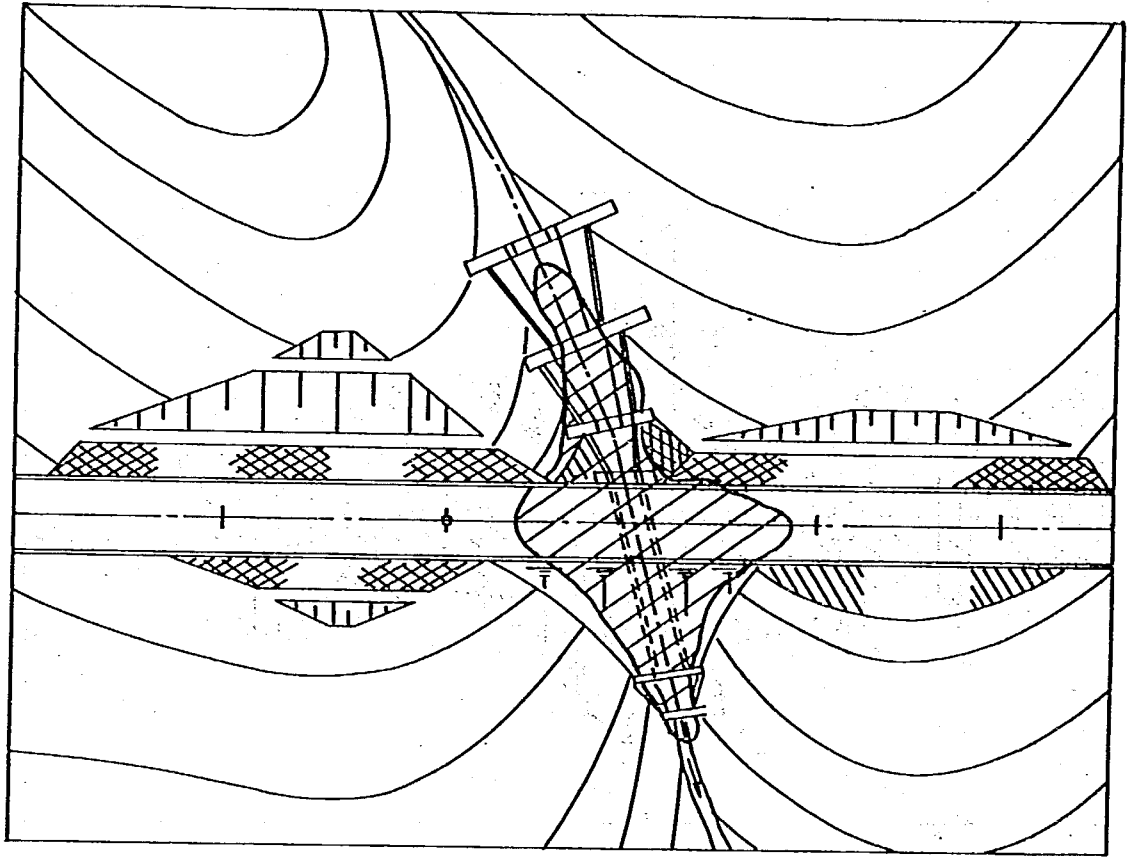
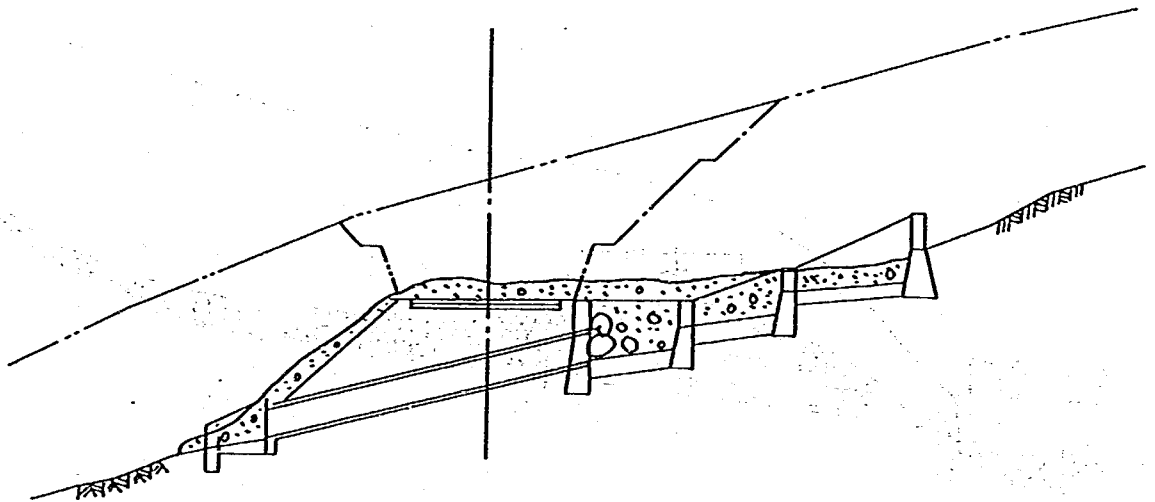


図-1.2 横過構造物の閉塞による道路上流側溪流部への土砂の堆積

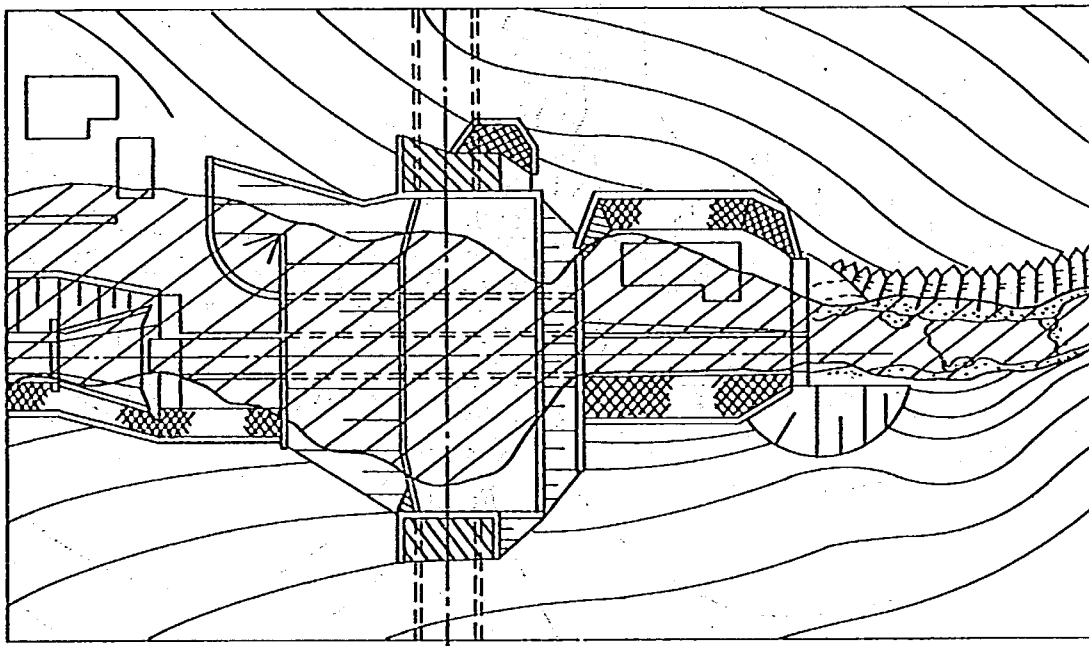


平面図

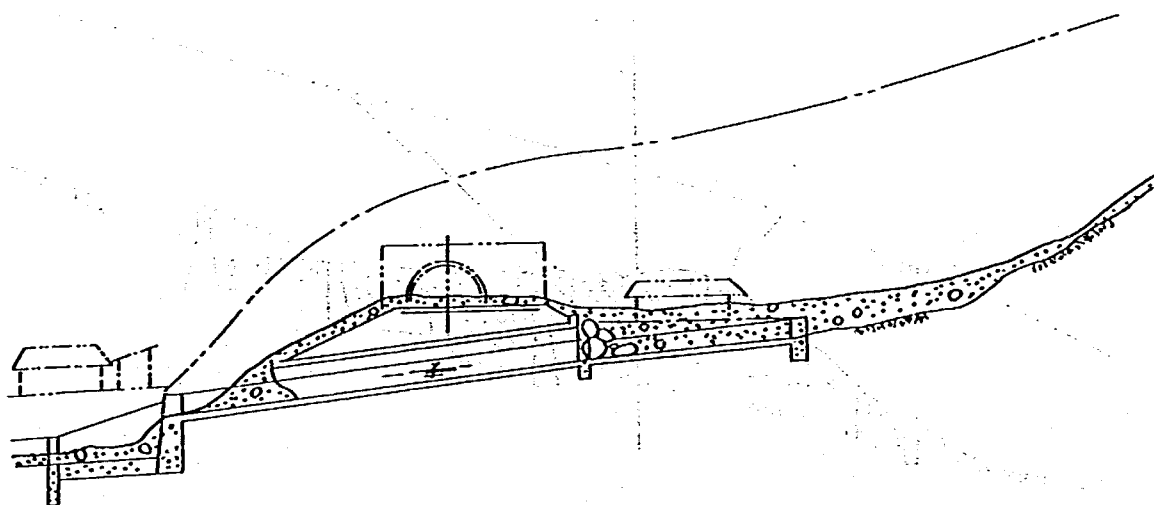


横断図

図-1.3 横過地点上流に十分な堆砂空間がない場合



平面図



横断図

図－1.4 横過地点上流への土石流の堆積による被害の例

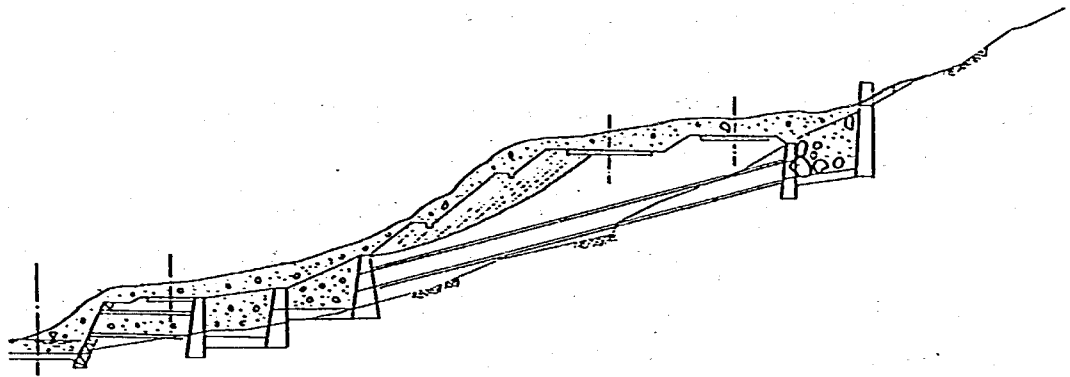


図-1.5 道路の下流側のり面への土石流、土砂流、流水の越水、流下による下流側のり面の侵食による路体の崩壊例

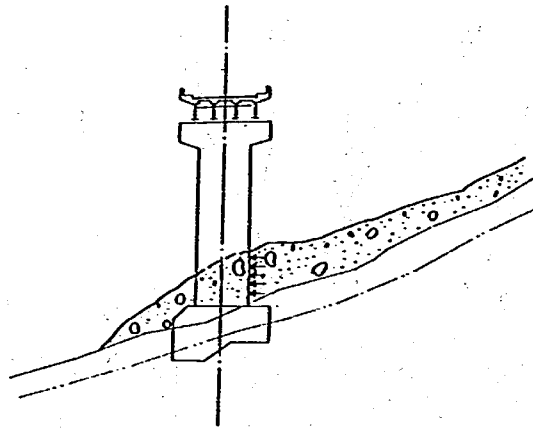


図-1.6 ピアに働く土石流の衝撃力

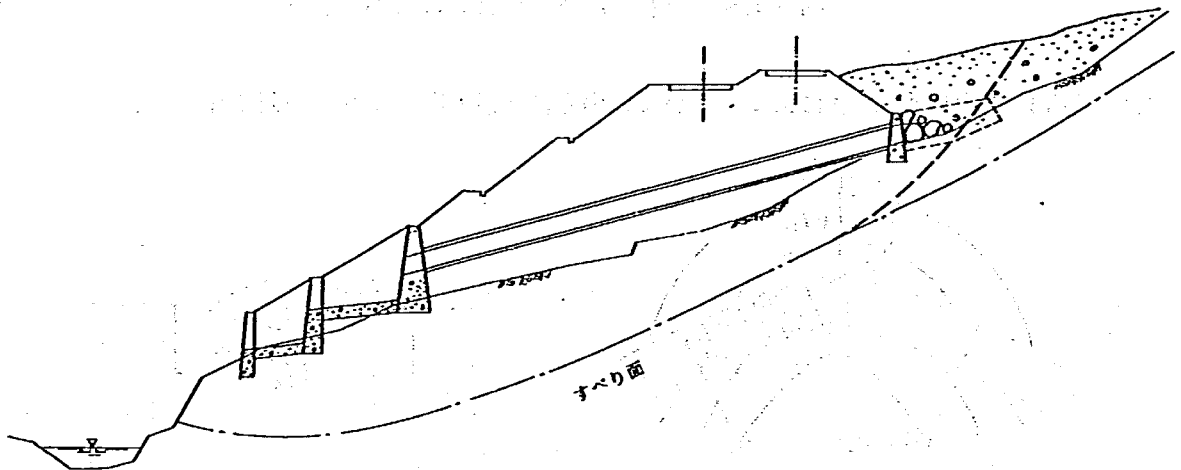


図-1.7 横過地点上流への土砂の堆積による路体を含む地すべり発生例

1.2 道路における土石流対策工法及びその選定

道路土工指針（のり面工，斜面安定工指針²⁾）によれば道路における土石流対策工法およびその選定については以下のように述べられている。

土石流対策は，土石流の種類（高速の汚流型土石流か砂礫型土石流），および土石流の発生頻度によって異なる。火山山麓などで高速の汚流型土石流の発生が予想される渓流や，土石流発生頻度の高い（数年に1度以上）渓流では，土石流発生区域，流下区域では十分なクリアランスを持つ橋梁，または土石流覆工，トンネルで横断することを原則とする。

一般の土石流発生予想渓流では土石流発生区域，流下区域にあっては十分な断面を持つカルバートや十分なクリアランスを持つ橋梁で横断することを原則とする。土石流堆積区域上流部（勾配3度以上）は土石流の発生に伴う渓床の変動が激しいのでできるだけ避け，上流または下流に路線をシフトし，これも十分なクリアランスを持つ橋梁によって横断することを原則とする（図-1.8）

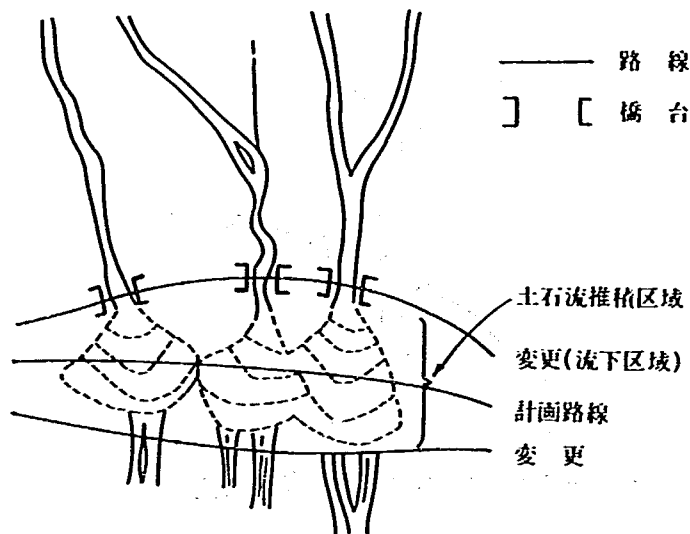


図-1.8 土石流堆積区域における小シフト

(a) 道路面と渓床面の高さにあまり差がない場合は洗越（図-1.9）で対応することも検討する。

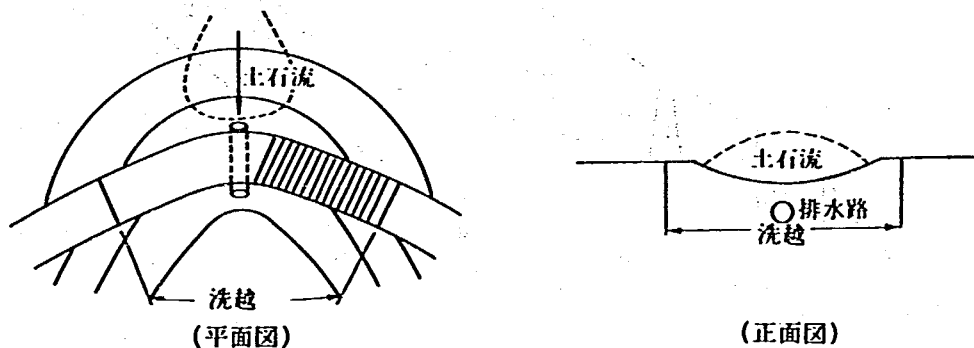
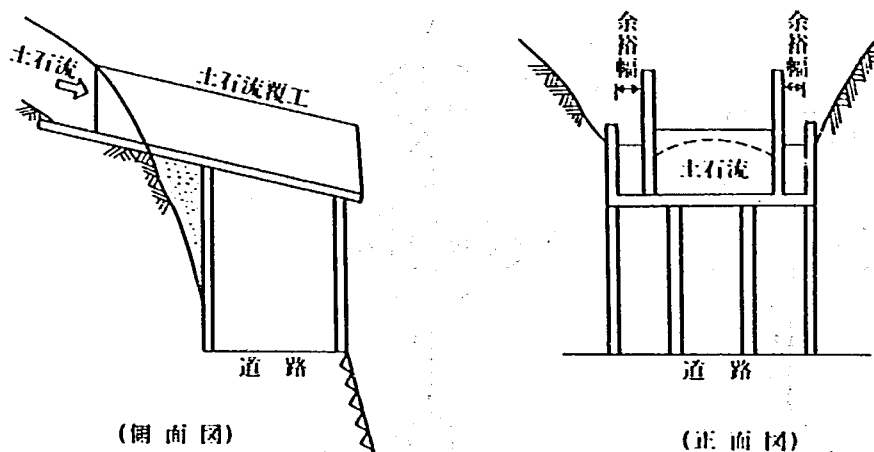


図-1.9 洗越

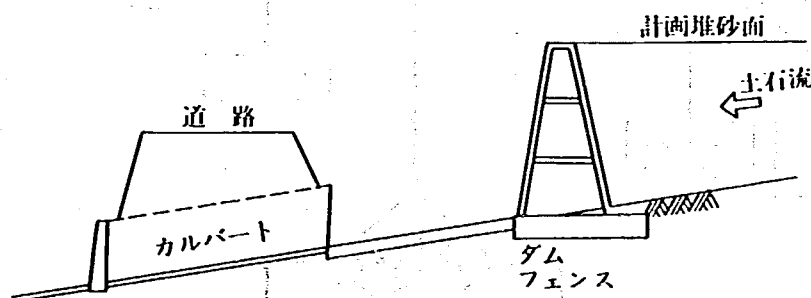
(b) 溪床高に対して道路面の低い場合には土石流覆工（図－1.10）を検討する。



図－1.10 土石流覆工

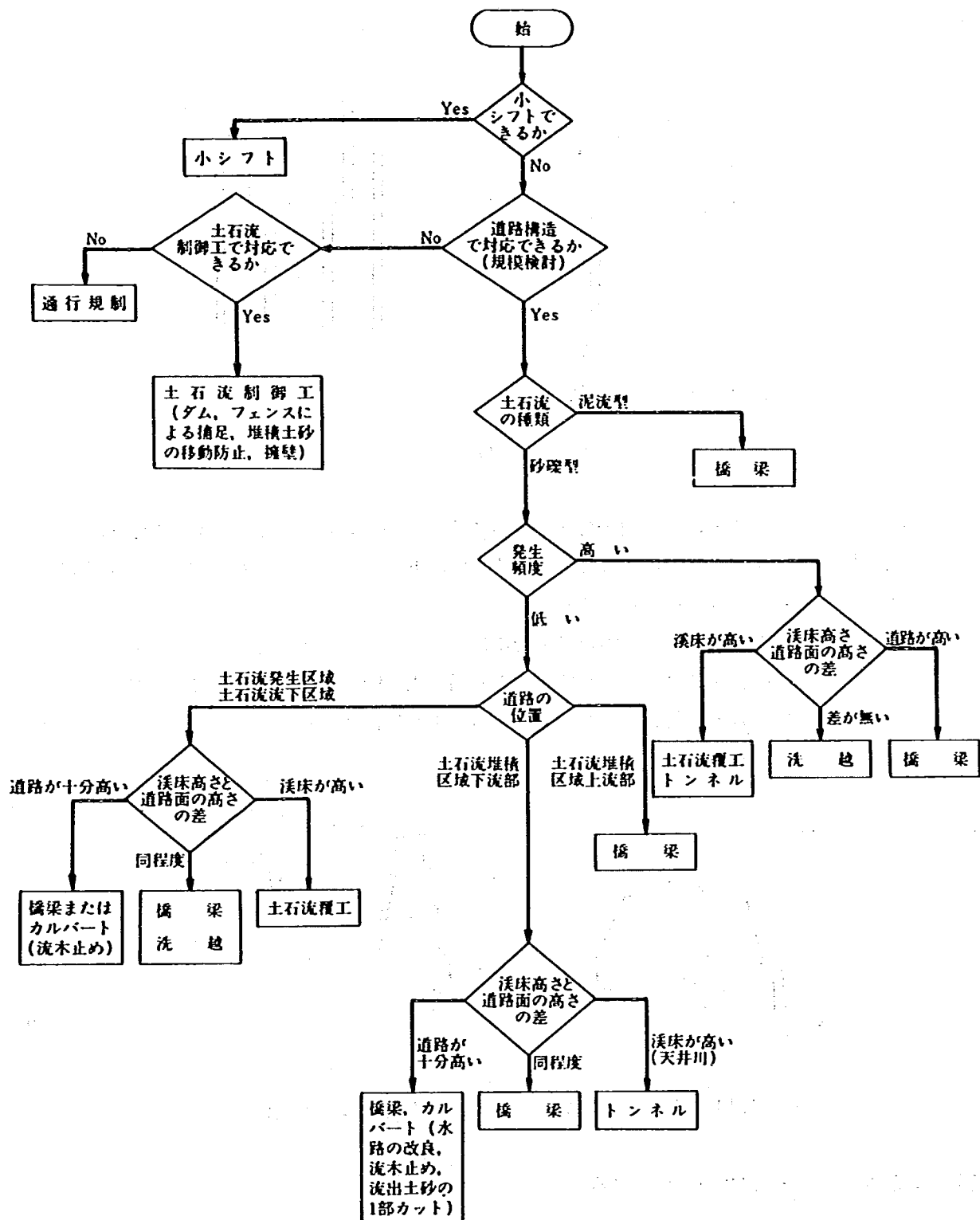
(c) 土石流堆積区域で、すでに扇状地の河床が周辺に比べて高い天井川となっている場合には、トンネルで河川の下を通過させることも考えられる。なお下流で堆積が起こりその影響が上流に及ぶことが予想される場合はこれを考慮する。

(d) 道路自体の改良などによる対応が困難な場合には、次のような対策を行う。①ダムなどによって、流出する土石流の全部または一部を捕捉する（図－1.11）。②土石流として流出することが予想される溪床堆積土砂の移動を低いダムで抑える。または、③土石流として流出することが予想される土砂をあらかじめ排土する。



図－1.11 ダムまたはフェンスによる流出土砂の捕捉例

以上をまとめると図－1.12のようになる。



図－1.12 土石流対策工選定のフローチャート

本研究では対策工の機能と設計に関して①カルバートの疎通能力，②洗越の形状と機能，③道路盛土のパイピング破壊防止，④土石流覆工形状と覆工にかかる荷負，⑤カルバート閉塞防止のためのスクリーン工について水理模型実験を主体として検討を行った。

それらの実験結果及び考察を第2章～第4章に示す。

2. 土石流による盛土道路の被災過程

2.1 概 要

山岳道路が土石流の発生・流下する危険性のある溪流を横切する場合、道路の位置（溪谷内、扇状地上端、扇状地下端、扇状地中央等）、排水路の形状（カルバート、橋梁、洗越等）などにより、土石流発生時に受ける被害の形態は異なる。本実験は盛土道路災害の発生過程を実際に土石流が発生した地域の模型を用いて調べたものである。

山岳道路の例として、昭和57年長崎豪雨災害で被害を受けた長崎県芒塚町を流れる4の沢を取りあげた。災害後の状況を写真－2.1に示す。模型の製作範囲は、芒塚町4の沢を横切る国道34号線



写真－2.1 災害直後の状況（長崎県芒塚町4の沢）

より下流約260m、上流約130mの延長約390mの区間である。模型範囲の平面図及び溪流の縦断面図を図－2.1と図－2.2に示す。模型ではモデル地の上流部（土石流の発生・流下した溪谷部）が、平均勾配約15.8度、幅8～10mのほぼ直線に近い形をしていることから、二次元水路とした。扇状地部は、最大幅約270m、最上流部の幅約15mで、平均勾配は約 $\frac{1}{8}$ （約8度）である。河床はモルタル製の固定床とし、土石流によって崩壊した道路盛土部分のみを、土石流と同一の材料で製作し、盛土天端の道路部分をベントナイト（実際にはアスファルト）で被覆した。

図－2.3に模型の概要を示す。

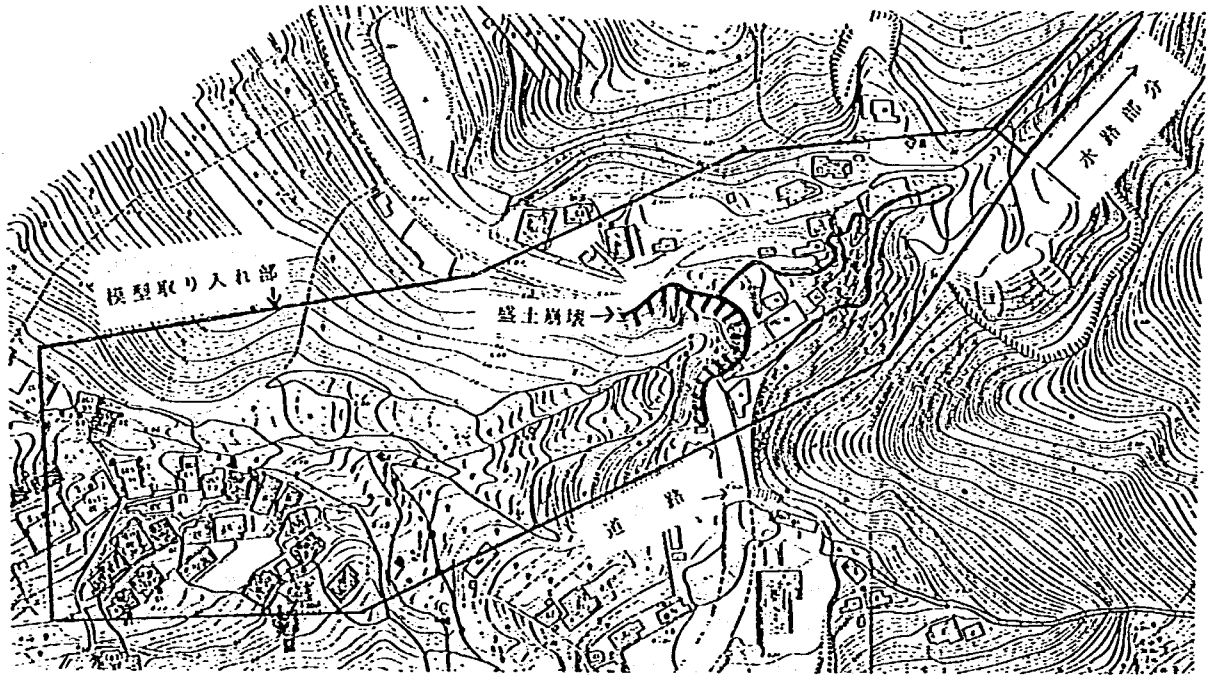


図-2.1 模型製作範囲

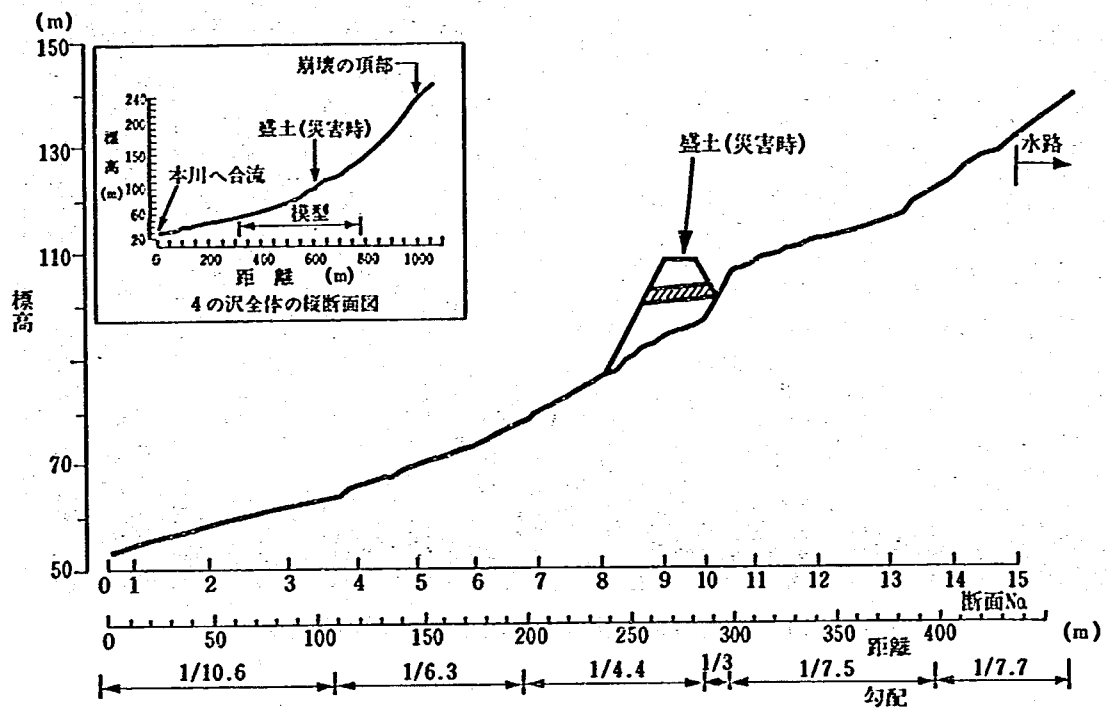


図-2.2 模型の縦断面図

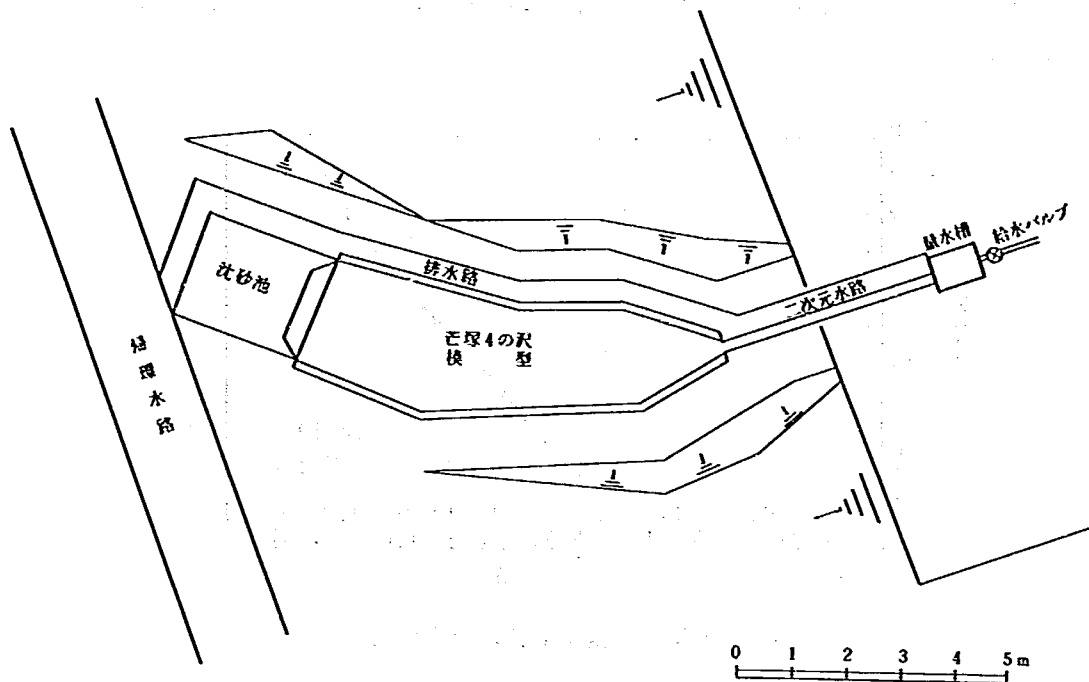


図-2.3 模型概要図 (S=1/100)

2.2 実験条件

流量は、4の沢の土石流発生時刻が不明のため、1の沢の土石流発生時刻の10分間雨量 (40 mm/10 min) を用いて計算した。道路より上流の流域面積は $A = 0.1215 \text{ km}^2$ で、 $G_p = 1/3.6 \times f \cdot A \cdot R_i$ より、 $Q_p = 8.1 \text{ m}^3/\text{s}$ となる。

土砂量は、長崎災害の報告書から³⁾、空ゲキ込みの量 $V_0 = 2,047 \text{ m}^3$ を用いた (模型で約 14 l)。図-2.4 に土砂収支図を示す。

芒塚地区では河床材料のフルイ分け試験はなされていないが、現地調査結果により最大粒径 d_{max}

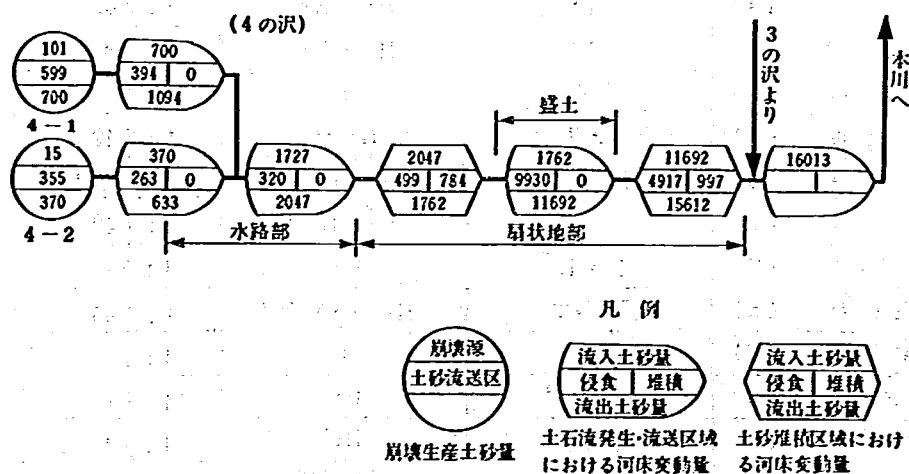


図-2.4 土砂収支図

= 1.5 m, 平均粒径 $d_m = 0.5\text{mm}$ が求められており, この値を基に図 2.5 のような粒度分布の実験に用いる砂を調合した。

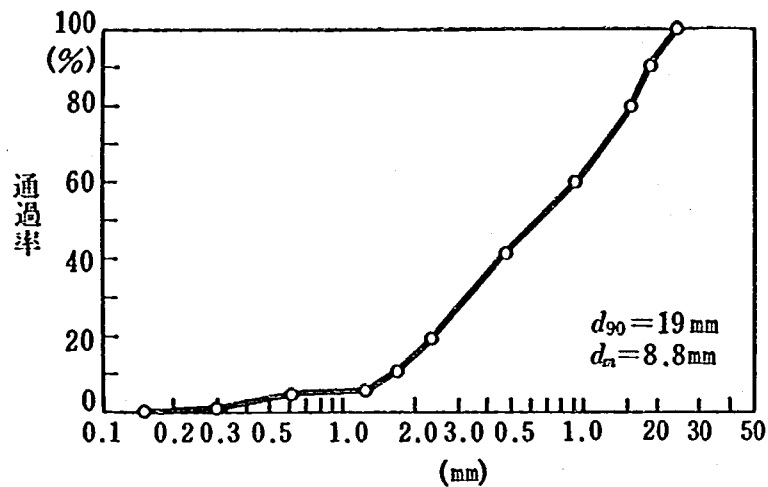


図- 2.5 実験使用砂の粒度分布

土石流によって崩壊した道路盛土の土砂量は, 報告書より, $V_f = 9930\text{ m}^3$ (模型で約 60 l) とした。³⁾
 模型の縮尺は, 土石流のフロント部が清水のピーク流量の数倍から数十倍になることを考慮し, 清水の 3, 6, 9 倍の流量がそれぞれ, 模型上で 1, 2, 3 l/s に近くなるような縮尺 1/55 とした。⁴⁾ なお, 模型の諸量は, フルードの相似則に従って計算した (表- 2.1)。

表- 2.1 フルード相似則による諸量の縮率

諸 量		次 元	縮 率	
		(L - F - T)	比	縮 尺
幾 可 学 的 な 量	水 平 成 分 (X)	L	X _r	1 : 55
	鉛 直 成 分 (h)	L	H _r	1 : 55
	勾 配 (h/X)	——	H _r · X _r ⁻¹	1 : 1
	面 積 (A)	L ²	H _r · X _r	1 : 3,025
	体 積 (V ₀)	L ³	H _r · X _r ²	1 : 166,375
水 理 学 的 な 諸 量	フルード数 (Fr)	——	1	1 : 1
	流 速 (V)	L · T ⁻¹	H _r ^{1/2}	1 : 7.42
	流 量 (Q)	L ³ · T ⁻¹	X _r · H _r ^{3/2}	1 : 22,434
	時 間 (T)	T	X _r · H _r ^{-1/2}	1 : 7.42
	圧力の強さ (P)	F · L ⁻²	H _r	1 : 55
	粗度係数 (n)	L ^{-1/3} · T	H _r ^{2/3} · X _r ^{-1/2}	1 : 1.95
	流量係数 (C)		1	1 : 1
	掃 流 力 (τ)	F · L ⁻²	H _r	1 : 55
	エネルギー (E)	F · L	H _r ⁴	1 : 9,150,625
	運 動 量 (m·V)	F · T	H _r ^{7/2}	1 : 1,233,870

発生させた土石流と波高を水路の出口付近でビデオカメラにより撮影した。図-2.6に示すように、発生した土石流の波高と流速は、給水量の増加につれて直線的に大きくなる。図-2.7は、土石流の流速と波高から計算した土石流の流量と給水量の関係を示したものである。図から、発生した土石流は、給水量のほぼ3倍になっていることが分かる。

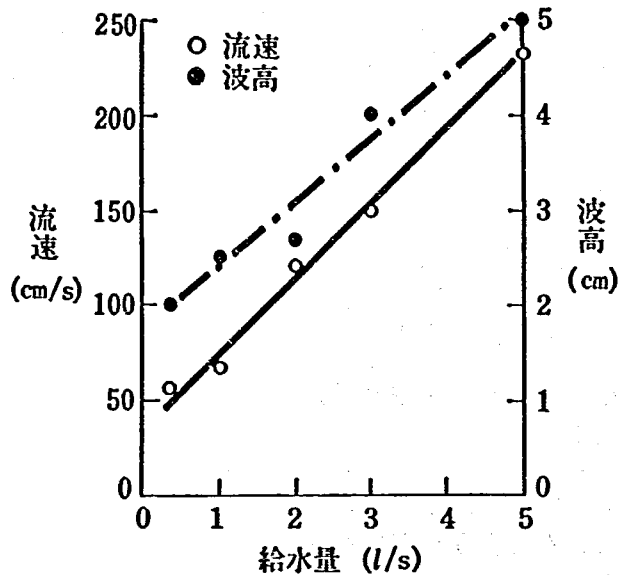


図-2.6 給水量と流速、波高の関係

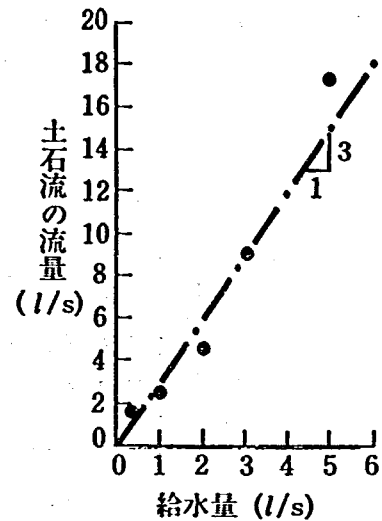


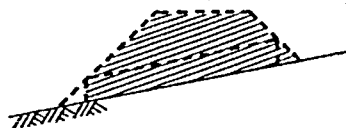
図-2.7 土石流の流量と給水量の関係

2.3 被害形態と災害の発生過程の分類

(1) 盛土の被害形態の分類

昭和58年の島根豪雨災害調査では盛土の被害形態は、図2.8のように6つのタイプに分類されている。⁵⁾ 今回の実験ではこの6つの被害形態のうち、カルバートを一体として製作しており継目のないこ

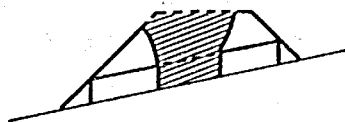
(a) 完全流失



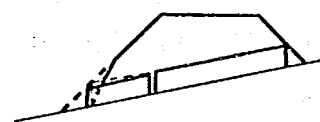
(b) 法面の崩壊



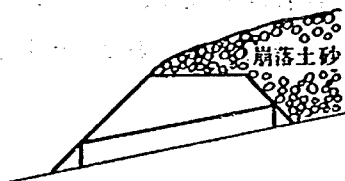
(c) カルバート破損による崩壊



(d) 裏込め土砂の洗掘及びカルバートの変形



(e) 土砂による路面埋没



(f) 土砂によるカルバート埋塞

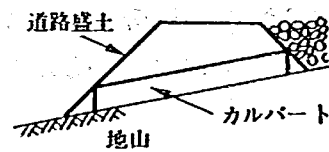


図-2.8 盛土の被害形態の分類

から、③と④の被害形態を除く4つの被害形態が観察された。

(2) 災害の発生過程の分類

図-2.8は災害後に盛土の状態を観察して分類したもので出水中の被害の発生過程を表したものではない。災害発生過程を観察より表-2.2のように6つに分類した。但し、分類(a)は実験では生じなかった。発生過程と被害形態の実験結果は表-2.3のようになった。実験では、ほとんどの災害発生過程が(c)となっており、実験終了後の被害形態は、ほとんどのケースが盛土の完全流失(図-2.8のa)となっている。このような結果になった原因は次のように考えられる。

表 2.2 被害の発生過程の分類

番 号	被 害 の 発 生 過 程
(a)	土石流の流体力が直接盛土を破壊する
(b)	土石流により流下した土砂が盛土を乗り越え、盛土の下流法面を洗掘する
(c)	土石流により流下した土砂は、直接盛土まで達するが、盛土がアースダムのような形になり、上流面が湛水して流水のみが盛土を乗り越え、盛土の下流法面を洗掘して破壊する
(d)	盛土がアースダムのような形になり、盛土の上流面に堆積した土砂及び水の堆砂(水圧により盛土全体が滑動又は崩壊する)
(e)	盛土の浸透能よりも土石流の流量が少ないために、流水の越流は発生しないが、浸透水により盛土下端より崩壊する
(f)	盛土およびカルバートの破壊は発生していないが、土砂によって埋没する

まず、災害発生過程が(c)になるのは、谷の出口での流路幅の変化(水路約16度、模型上端約7度)の影響で土石流の流速が急激に減少して土砂と水とが分離し、水のみが先に盛土に達して湛水し、この湛水が盛土の上流側の土砂堆積を促進し、土砂が盛土を乗り越える以前に流水のみが盛土を乗り越え、下流法を洗掘するためである。

つぎに、被害形態が完全流失となるのは、盛土に使用した土砂の粒径が粗く、粘着性に乏しく崩れ易いために、わずかな量の越流水でも洗掘され崩壊することと、今回の実験では、雨から計算された流量の3倍及び6倍の多量の水を与えたため、また、河床をモルタルで製作しており、盛土と河床の境界で滑りが生じ易かったことが考えられる。

表-2.3 実験結果一覧表

実験 No	流 量	模 型 条 件	道路の位置	カルバート形態	過 程	形 態
1	1.0	盛土+カルバート	災害前地形	d 3 cm, b 2 cm	(c)	①
2	3.0	"	"	"	(c)	①
3	5.0	"	"	"	(c)	①
4	0.36	"	"	"	(c)	※1
5	1.0	"	上流へ25m	"	(c)	①
6	2.0	"	"	"	(c)	①
7	1.0	"	上流へ50m	"	(c)	①
8	2.0	"	"	"	(c)	①
9	2.0	盛土+カルバート	被災前位置	d 4.5, b 3 cm	(c)	①
10	2.0	"	"	d 6, b 3 cm	(c)	①
11	2.0	"	"	d 9, b 4.5 cm	※2	—

※1: バイピングによって法先が崩壊した。

※2: カルバートの疎通能力が大きく、盛土に被害が発生しなかった。

2.4 盛土の代表的な被害発生過程

災害の発生過程は、土砂が盛土を乗り越える以前に流水のみが盛土を乗り越え、下流法を洗掘するものが多い。代表例を図-2.9に示し、被害の発生状況を説明する。

図-2.9は、給水量 $1\ell/s$ 、高さ 3 cm、幅 2 cm のカルバート、盛土は実際の災害時と同じ位置にある場合である。

土石流は水路の出口を通過すると、河床勾配の減少・川幅の増加等の影響によりその流速と波高を減ずる。また、土石流がかなり濃度の低い流れとなり、土石流（土砂）が盛土に達する以前に盛土の上流側に湛水を生じる。この湛水の影響により、砂防ダム上流のような堆砂形状となる（図-2.9(a) 6～9秒）このとき、カルバートは閉塞しておらず、水は流れている。

流水の越流は10秒頃から発生し、盛土の下流法を侵食する。また、図-2.9の例では盛土の透水性がよいため、浸透水が湧出する法先付近からも崩壊が発生する。この法先の崩壊は、越流水による下流法の洗掘が発生する1～2秒前に発生しているが、越流水による洗掘が顕著になると区別できなくなる。

次に、盛土が完全に被壊されるまで（10秒～20秒）の状況について解説する。まず10秒では、路面の一部欠損が生じるものの、まだ盛土は土石流発生以前の高さを維持している。その後、12秒頃になると、盛土自体が高さを減じ、路面の下を水が流れる。その後、更に洗掘が進み路面も崩れ落ち、盛土の洗掘につれて徐々に下流に押し流される。カルバートは約20秒頃までは元の位置に有るが、カルバートの下の土砂が半分程度洗掘されると河床に沿って徐々に下流に押し流される。（写真2.2）その後、約25秒までに盛土は完全に流失してしまう。

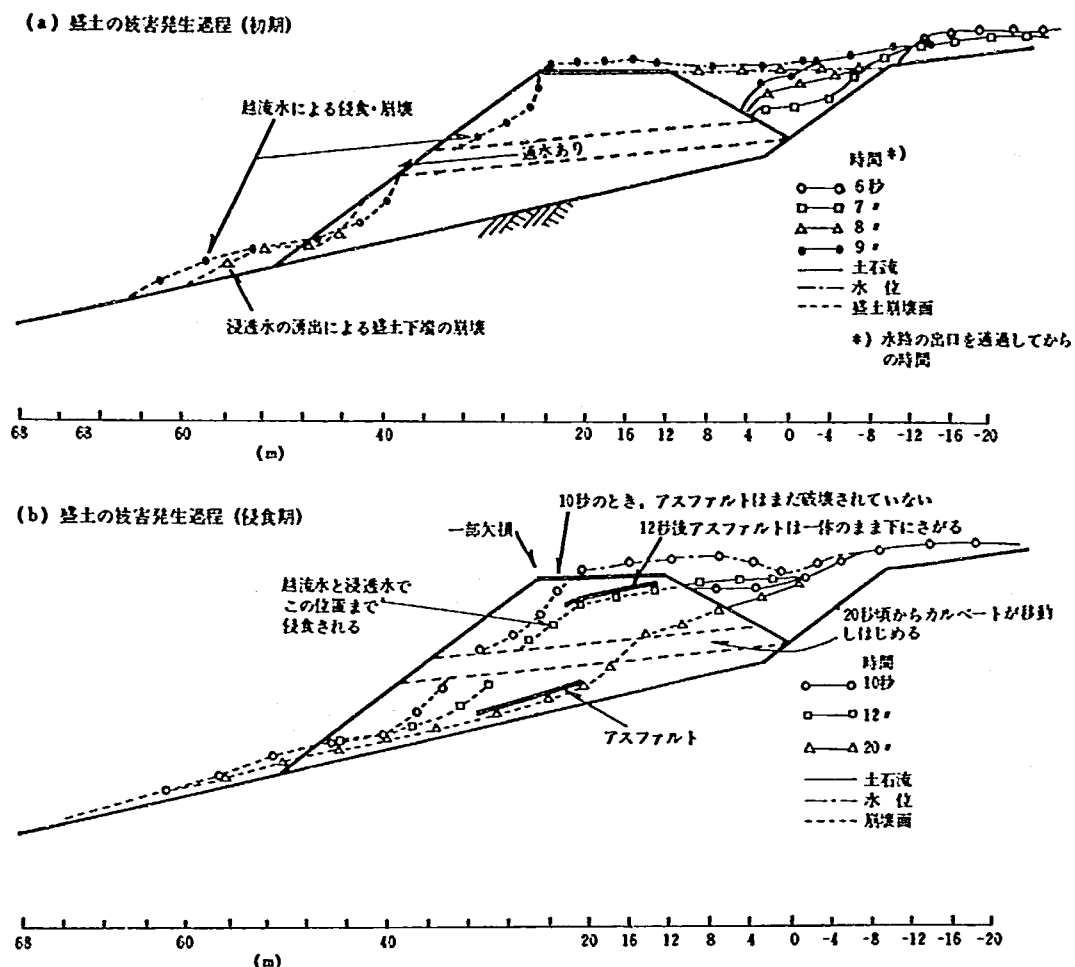


図-2.9 盛土の被害発生過程の例 ($Q = 1\text{ l/s}$)



写真-2.2 パイピングによる道路左岸側の崩壊

2.5 カルバートの疎通能力

盛土が十分に強く、上流面を不透水性の材料で被覆した場合、流下してくる土石流に対し、その疎通能力が十分で有れば、ケースNo 11の例で見るように盛土が破壊されることはないと考えられる。そこで、実験に用いたカルバートにどの程度の疎通能力があるかを、越流の発生しなかったケースNo 11を例に試算した。

カルバートの流水は6つのタイプに分類される⁶⁾

図-2.10にタイプ毎の概念図を示す。本実験はタイプ3（オリフィスと同様のカルバート）に分類される。そこで、流量はオリフィスの計算に従って算出する。

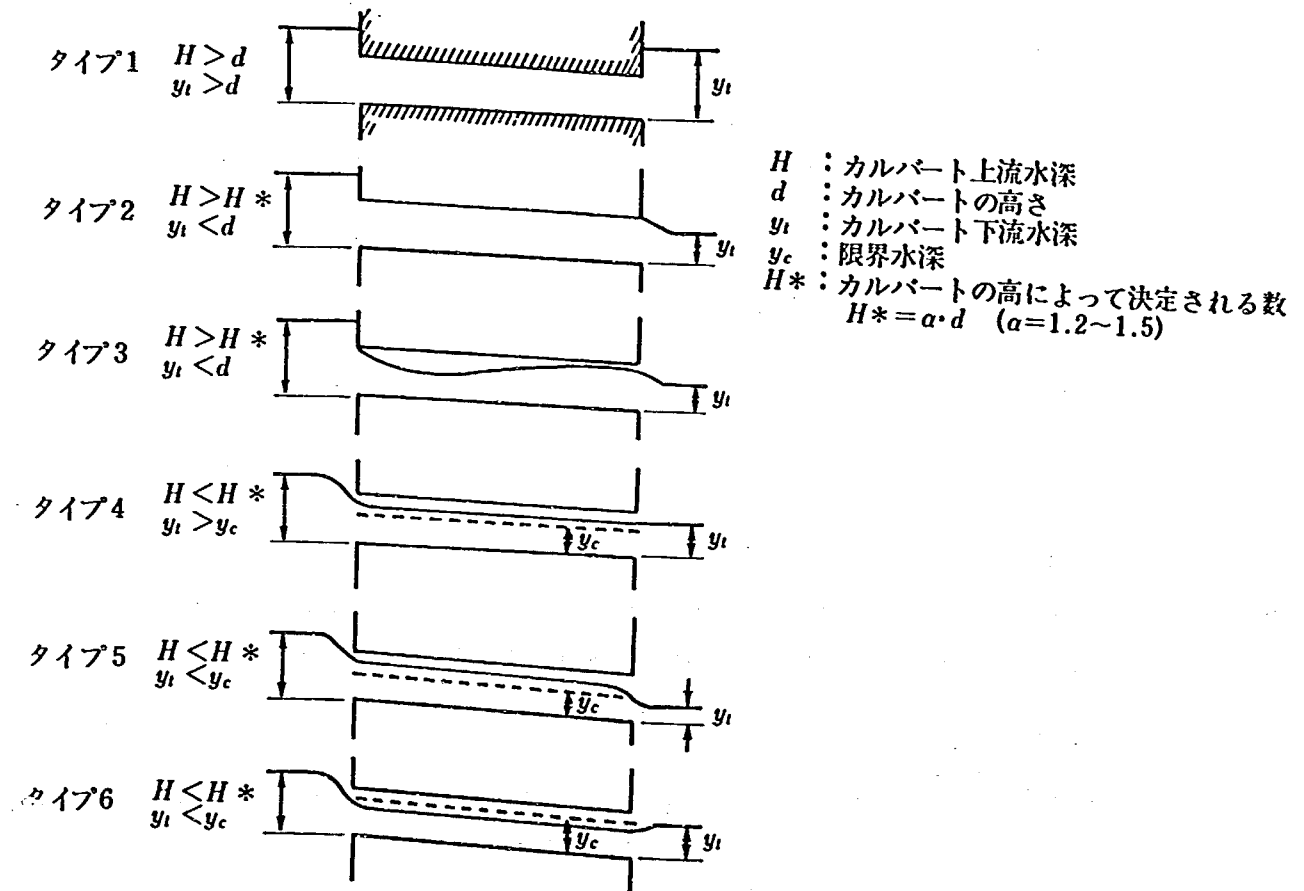


図-2.10 カルバートの流れの概念図

本実験に用いたカルバートは長方形断面を有しており、長方形大オリフィスとして考える。但し、盛土の上流面は湛水しており、流入する水の接近流速の影響は無視するものとする。

オリフィスから流出する水の流速は、

$$v = \sqrt{2gH} \quad \text{..... (1)}$$

v : オリフィスから流出する水の流速

g : 重力の加速度

H : オリフィスの中心深さ

となり、理論流量 Q_0 は、

$$Q = \sum_{H_1}^{H_2} v \cdot \Delta a = \sum_{H_1}^{H_2} \sqrt{2gH} \cdot \Delta H \cdot b \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 Δa : 微小面積

ΔH : 微小水深

B : オリフィスの幅

H_1 : 水面からオリフィスの上端までの深さ

H_2 : 水面からオリフィスの下端までの深さ

b : オリフィスの幅

d : オリフィスの高さ

H : 水面から Δa の中心までの深さ

式(2)に、係数 C を付加し、長方形オリフィスのため b が一定であることから、

$$Q = 2/3 \cdot C \cdot b \cdot \sqrt{2g} (H_2^{3/2} - H_1^{3/2}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。式(3)を今回の実験に適用すると、

$$Q = 2/3 \cdot C \cdot b \cdot \sqrt{2g} (H^{3/2} - (H-d)^{3/2}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。ここに、 Q : カルバートを通過する流量、 C : 係数、 b : カルバートの幅、 g : 重力の加速度、 H : カルバート上流面の水深、 d : カルバートの高さである。なお、係数 C の値は、通常 0.45~0.75 の範囲にある。⁶⁾

ここで、式(4)は鉛直オリフィスの場合の流量の式であり、本実験のように、カルバート（オリフィス）の上流面が鉛直より θ 度で傾斜している場合は流量を補正する必要がある、

$$Q_0 = Q \cdot \sec \theta \quad \dots\dots\dots (5)$$

で表される。ここに、 Q_0 : θ 度で傾斜したオリフィスの流量、 Q : 傾斜したオリフィスと H_1 、 H_2 が等しい鉛直オリフィスの流量、 θ : オリフィスの傾斜角度である。

長方形標準オリフィスの係数 C の標準値は、ほぼ 0.63 であり、この値を用いて式(5)によってカルバートの疎通能力を計算した結果を図-2.11に示す。実際に実験上で越流が発生しなかった場合の実測値（図中○印）と、計算値はほぼ等しくなっていることから式(5)でカルバートの流量が計算できることが分かる。

また、図-2.11中のカルバートの高さ $d = 6$ cm、幅 $b = 4$ cm のものでは、盛土の上流側の水位が盛土高さと同じまで達したとすれば、計算上は、給水量（2ℓ/sec）よりも疎通能力（2.2ℓ/sec）が大きくなる。しかし、実際には越流が発生して盛土が破壊された。これは、カルバートの入口付近に土砂の堆積が生じ、カルバートを通過する流量が減少したためと考えられる。このように、カルバートの上流に土砂堆積が発生した場合はカルバートへの流入量が減少し、越流が発生する可能性がある。

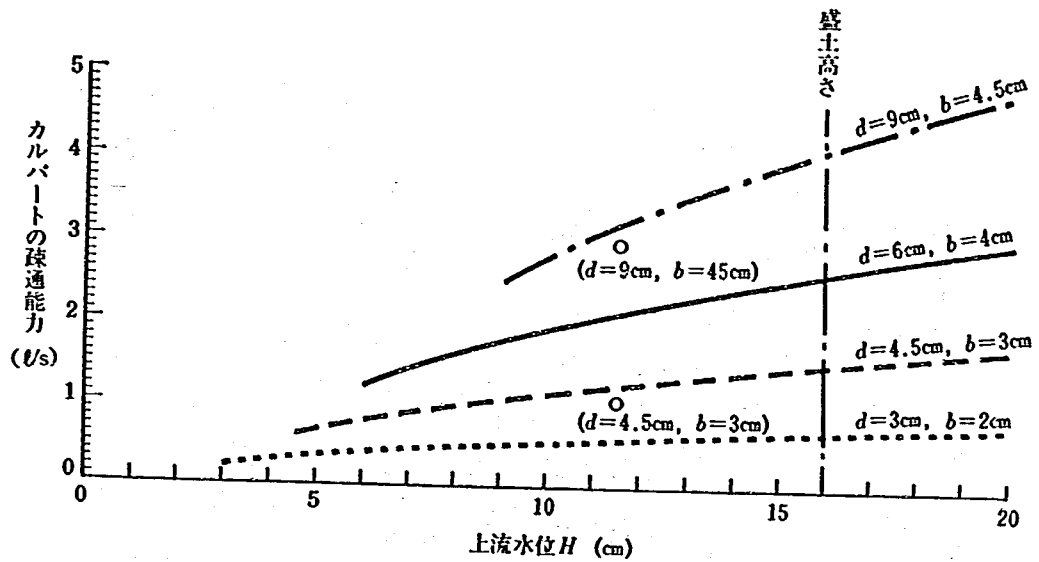


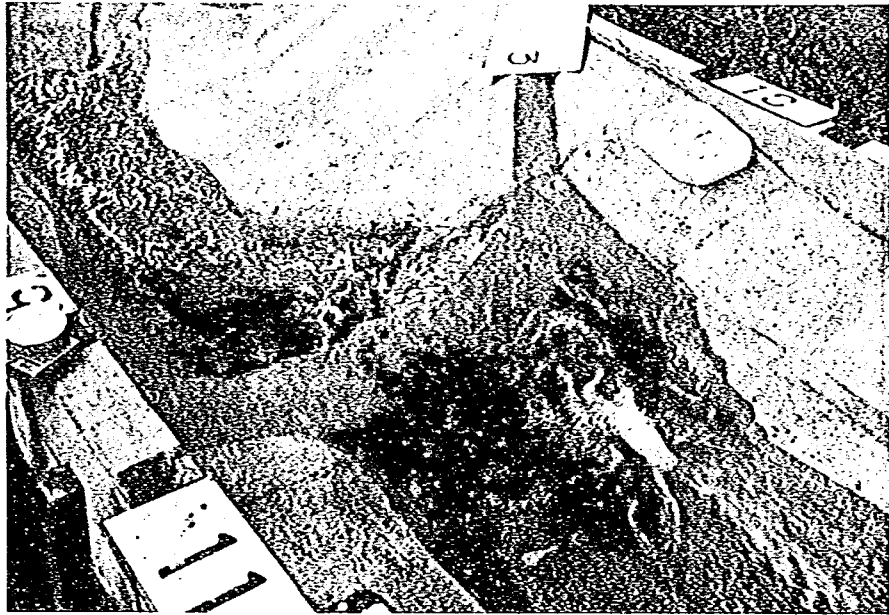
図-2.11 上流水位とカルバートの疎通能力の関係 ($C = 0.63$)

2.6 洗越の状況

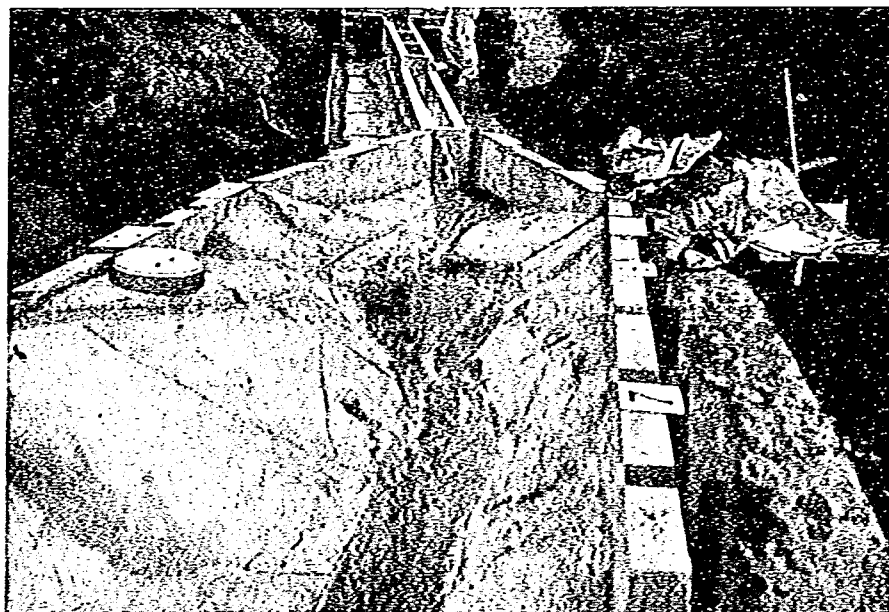
土石流が発生する危険性のある溪流を横断する方法として、ここまで述べてきたような盛土+カルバードの他に、橋梁、洗越がある。ここでは、洗越で溪流を横断する道路について、同じ模型を用いて検討した。

洗越を、土石流の流下部（水路出口付近）、流下域から堆積域への遷移域、堆積域にそれぞれ設置した。洗越の高さは河床より 5.5 cm（実物で約 3 m）とし、ベントナイトと細砂を混合したものをを用いて製作した。

水路の出口付近に洗越を設置した場合、土石流によって運搬された土砂が堆積し、洗越は埋没する。道路面上の土砂は、後続流により洗い流される。写真-2.4 に $Q = 2 \text{ l/s}$ の実験結果を示す。また、洗越は土石流によって破壊されることなく、土石流通過後も道路としての機能は十分有している。洗越を災害発生時に道路のあった位置に設置した場合と土石流堆積域に設置した場合では、流水が先行して洗越に達し、土砂の到達時間が下流ほど遅れるものの、洗越が一旦土砂で埋まり、後続流で洗い出されるという状況は上流に設置した場合と同様である。このように、洗越はその強度が十分ならば、土石流によっても破壊されることなく、道路としての機能は維持されるものと期待できる。ただし、今回の実験では河床をモルタルで製作しており、洗越下流の洗掘は考慮されていない。実際には、越流水により洗越の下流がかなり洗掘されることが考えられる。



写真－ 2.3 道路の越流および下流法面の洗堆状況（実験№ 3）



写真－ 2.4 洗越を土砂が越流している状況

2.7 考 察

盛土道路の被災過程は次のような形態に分かれる。

- ① 土石流流体力による完全流出
- ② 越水による法面崩壊
- ③ カルバート破損による崩壊
- ④ 裏込め土砂の洗掘及びカルバートの変形
- ⑤ 土砂による路面埋没
- ⑥ 土砂によるカルバート埋塞

土石流が発生・流下する危険性のある溪流を山岳道路が横断する場合、カルバートでは、以下に示すような3つの対策が考えられる。

- ① 大断面のカルバートを採用する。
- ② 下流法面を保護し、越水しても洗掘されないようにする。
- ③ 盛土への浸透を抑え、パイピングによる法先の破壊を防ぐ。
- ④ 大礫、流水によるカルバートの閉塞を防ぐため簡易なダムやフェンスを上流に設ける。

簡易なダムやフェンスを上流に設けることは、越水を発生させず、一度堆積した土石流を後続流で洗い流させるために有効と考えられる。

また、溪床と道路面の比高が小さい場合、特に山岳地域の小規模な道路では、洗越が積極的に採用されたように思われる。

3. 盛土道路のパイピング破壊防止及び土石流覆工に関する検討

3.1 盛土道路のパイピング破壊防止

3.1.1 実験目的

第2章でも述べたように盛土の被災過程の1つに、カルバート等の排水施設が土石流によって閉塞したり流下能力が低下することにより盛土上流の水位が上がり盛土部への浸透水により盛土下端にパイピング現象が起こり道路盛土部の崩壊が発生する場合がある。

本実験は、盛土材料にローム土及び砂礫を用い、また、浸透防止のための止水工として盛土上流を全面止水及び部分止水し、パイピングの発生と盛土部の崩壊形態およびその対策工について水理模型実験を行ったものである。

3.1.2 実験条件

実験には“1.土石流による盛土道路の被災過程”の実験と同じ模型(図-2.2, 2.3)及び土砂を用いた。

実験ケースを表-3.1に示す。盛土模型の概要図を図-3.1~3.3に示す。

表-3.1 実験ケース一覧

実験 ケース	実験条件*			模型形状
	流量	通水時間	土砂量	
1	0.36 l/s	300 sec	14 l	ローム盛土
2	1.0 l/s	180 sec	14 l	ローム盛土
3	0.36 l/s	360 sec	14 l	砂礫盛土, 上流面止水
4	1.0 l/s	90 sec	14 l	砂礫盛土, 上流面止水
5	0.36 l/s	180 sec	14 l	砂礫盛土, 部分止水
6	1.0 l/s	90 sec	14 l	砂礫盛土, 部分止水

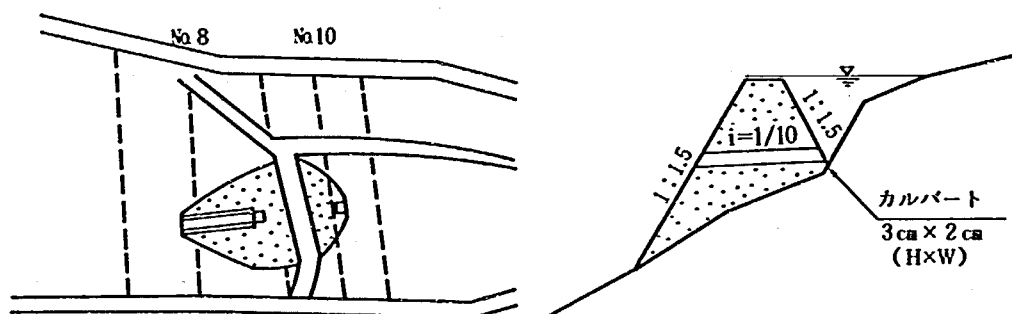


図-3.1 ローム盛土模型概要図

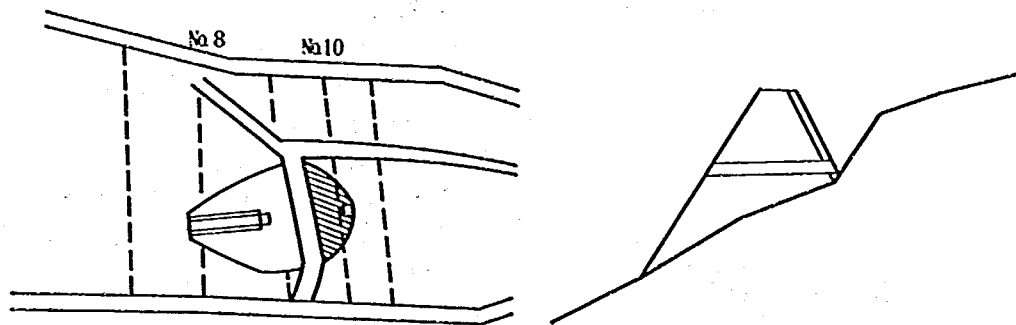


図-3.2 砂礫盛土模型（上流面止水）概要図

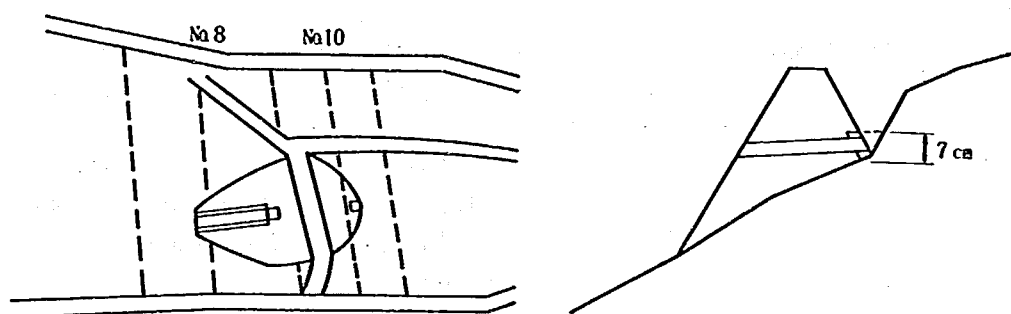


図-3.3 砂礫盛土模型（部分止水）概要図

3.1.3 実験結果と考察

流況の時系列的変化を各実験ケースごとに表-3.2に示す。盛土の被災形態を表-3.3に示す。

表 3.2 (1) 流況の時系列的変化

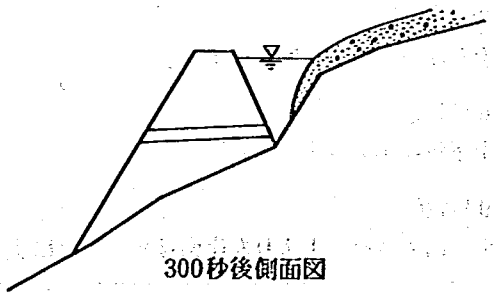
case - 1  300秒後側面図	① 土石流は、54秒後に盛土上流側に到達する。しかしながら、フロント№12断面付近で停止、盛土に達するのはわずかである。 ② 60秒後 盛土上流面で上昇していた水位は、安定し左岸道路天端より約2 cm下で一定となる。 ③ 120秒後 上流で堆積していた土砂は流れて除々に下流へ輸送される。 ④ 180秒後 水位は一定しており、移動を続けている土砂は、盛土上流面に堆積する。 また、盛土内でのパイピング等の現象は見られない ⑤ 300秒後 土砂の移動はほとんど無くなる。
---	---

表-3.2(2) 流況の時系列的変化

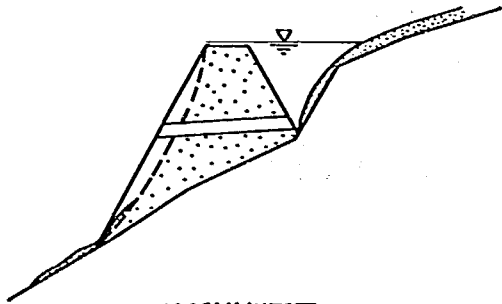
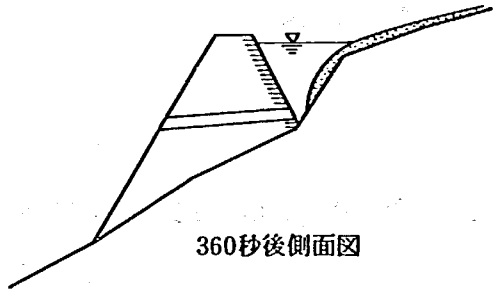
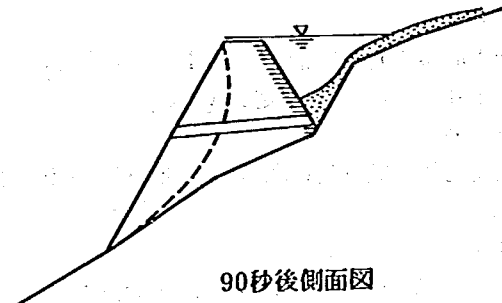
case - 2  180秒後側面図	また、暗渠も閉塞せず、水位は安定している。 ① 土石流は、4秒後に盛土上流側に到達する。 ② 盛土上流の水位は上昇を続け、30秒後に左岸側道路天端より越水する。なお、暗渠は閉塞しない。 ③ 90秒後 越水した流水により左岸盛土は除々に洗掘される。暗渠は閉塞しない。 ④ 120秒後 暗渠からの流水量は極端に少なくなり、暗渠は閉塞したものと考えられる。 ⑤ 180秒後 土砂はほとんど盛土上流面に堆積する。また、盛土下流面左岸側が約$\frac{1}{2}$流出する。
case - 3  360秒後側面図	① 土石流は、5秒後に盛土上流側に到達する。しかしながら、フロントはNo.12断面付近で停止し、盛土に達するのはわずかである。 ② 60秒後 盛土上流面で上昇を続けていた水位は、左岸側道路天端より約2cm下がった高さで安定する。また、盛土上流面での堆積土砂は少なく、大部分は上流河道に堆積している。 ③ 210秒後 上記と同様、水位は一定している。上流の土砂は除々に移動し、3割程度盛土上流面に堆積する。また、土砂の移動は左岸側に集中する。 ④ 360秒後 水位は一定しており、盛土上流の土砂移動はほとんどみられなくなる。また、上流面暗渠の手前で土砂は止っており暗渠は閉塞しない。
case - 4  90秒後側面図	① 土石流は、3秒後に盛土上流面に到達する。 ② 17秒後 盛土上流の水位は上昇し、盛土左岸から越水する。 ③ 30秒後 盛土左岸下流は$\frac{1}{2}$程度流出する。 ④ 60秒後 盛土下流は半分流出する。 ⑤ 90秒後 盛土下流カルバートより左岸側はすべて流出する

表-3.2(3) 流況の時系列的変化

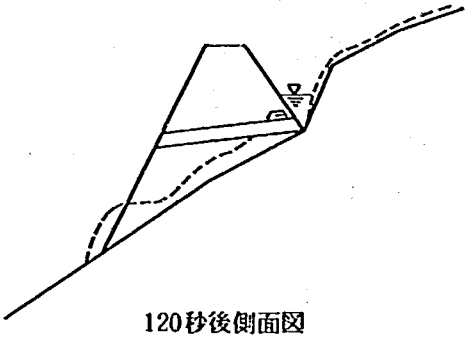
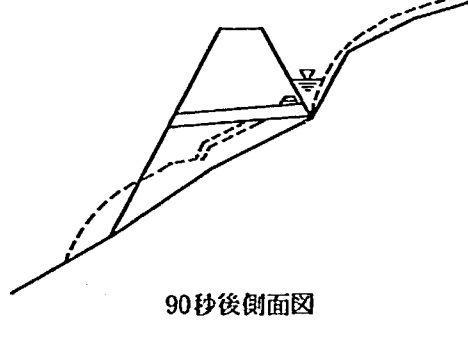
case - 5  120秒後側面図	① 土石流は、5秒後に盛土上流側に到達する。 ② 60秒後 水位は安定しており暗渠は閉塞しない。 ③ 90秒後 パイピングによって左岸下流盛土は流出し始める。 ④ 100秒後 下流盛土流出によって、道路崩壊が始まる。 ⑤ 120秒後 道路が崩壊、流出する。
case - 6  90秒後側面図	① 土石流は、3秒後に盛土上流面に到達する。 ② 35秒後 盛土上流の水位は上昇し、盛土左岸より越水する。 ③ 60秒後 越水した流水によって盛土下流の左岸側約1/2が流出する。 ④ 85秒後 道路崩壊が始まる。 ⑤ 90秒後 左岸道路は崩壊する。

表-3.3 実験結果一覧表（パイピング破壊対策）

実験 ケース	実験条件			模 型 形 状	破 壊		破 壊 過 程	パイ ピング の有 無	最終 破 壊 形 態
	流 量 l/s	通水時間 sec	土砂量 l		過 程 *	形 態			
1	0.36	300	14	ローム盛土	—	—	上流湛水 水はよく通過	な し	破壊なし
2	1.0	180	14	ローム盛土	越 水 (c)	流 面 ②	越水による 下流法侵食	な し	下 流 溪 流 出
3	0.36	360	14	砂礫盛土, 上流面止水	—	—	上流湛水 水はよく通過	な し	破壊なし
4	1.0	90	14	砂礫盛土, 上流面止水	(c)	②	越水による 下流法侵食	な し	下 流 溪 流 出
5	0.36	180	14	砂礫盛土, 部分止水	パイ ピング (e)	完全流出 ①	パイピング により破壊	あ り	路体1/2流出
6	1.0	90	14	砂礫盛土, 部分止水	(c), (e)	①	越水による 下流法侵食	あ り	路体1/2流出

* : 破壊過程については図-2.8を参照のこと。

以上の実験結果からパイピングによる道路盛土の破壊防止対策としては以下の方法が考えられる。

- ① パイピングによる破壊の有無は路体の盛土材料に左右される。パイピングの発生は路体の盛土材料を難透水性にすることにより防止できる。
- ② 路体が透水性の良いものでできている場合上流湛水に備えて盛土上流面を完全にコンクリート等で覆っておくとパイピングによる破壊を防止できる。なお部分的にコンクリートで覆ってもあまり効果はない。
- ③ 盛土のパイピングによる破壊を防止するには、a.十分な疎通能力のあるカルバートあるいは橋を作るかb.盛土全体をコンクリート等で覆い、止水するのが効果的である。

3.2 土石流覆工を通過する土石流の動態

3.2.1 実験目的

実験は、土石流が土石流覆工上を通過する際の問題点を整理するため、2種類の覆工模型を用いて行った。

3.2.2 実験条件

模型は、前述の盛土道路の被災過程に関する実験及び道路盛土のパイピング破壊防止に関する実験で用いたと同じ三次元水路（図-2.2, 2.3）及び土砂を使用した。実験ケースを表-3.4に示めす。また土石流覆工の模型としては、図-3.4に示す長さ1.0m、高さ15cm、幅10cmの水路状の覆工（A型）と図-3.5に示す渓流を横切る道路全面を覆う土石流覆工を用いた。

表-3.4 実験ケース一覧

実験 ケース	実験条件*			模型形状	覆工 勾配
	流量	通水時間	土砂量		
1	1.0 ℓ/s	90 sec	14 ℓ	土石流覆工矩形（A型）	1/7.5
2	2.0 ℓ/s	30 sec	14 ℓ	土石流覆工矩形（A型）	1/7.5
3	1.0 ℓ/s	60 sec	14 ℓ	"	1/15
4	2.0 ℓ/s	30 sec	14 ℓ	"	1/15
5	1.0 ℓ/s	90 sec	14 ℓ	土石流覆工全面（B型）	1/7.5
6	2.0 ℓ/s	60 sec	14 ℓ	"	1/7.5
7	1.0 ℓ/s	120 sec	14 ℓ	"	1/15
8	2.0 ℓ/s	90 sec	14 ℓ	"	1/15

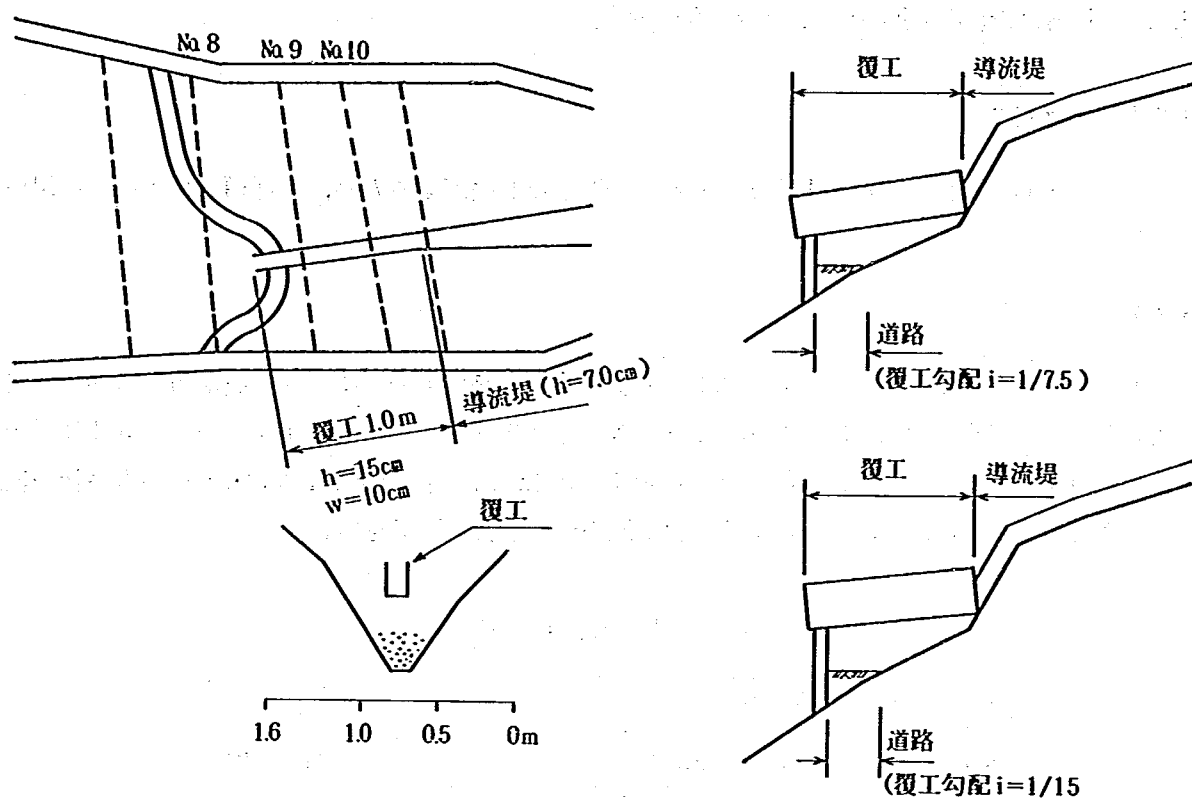


图-3.4 土石流覆工矩形模型(A型)概要图

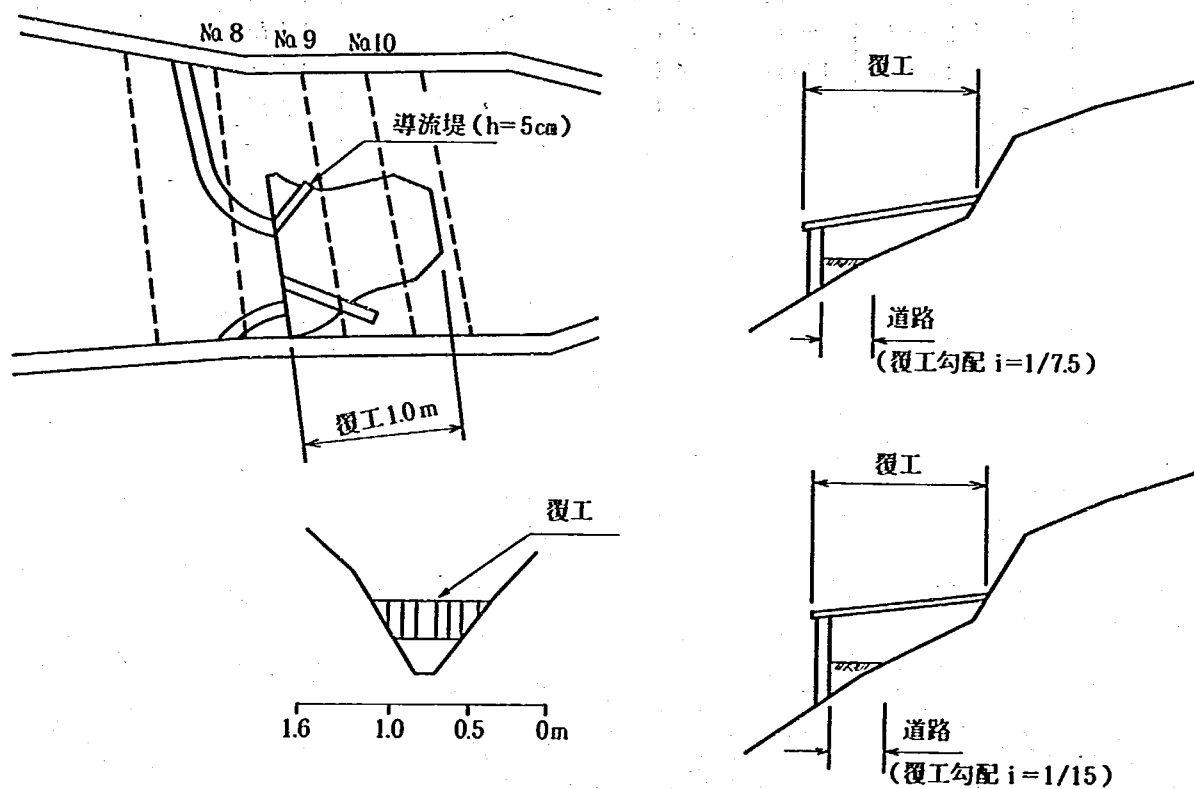


图-3.5 土石流覆工矩形模型(B型)概要图

3.2.3 実験結果と考察

流況の時系列的変化を各実験ケースごとに表-3.5に示す、土石流が覆工を通過形態の一覧を表-3.6に示す。

表-3.5(1) 流況の時系列的変化

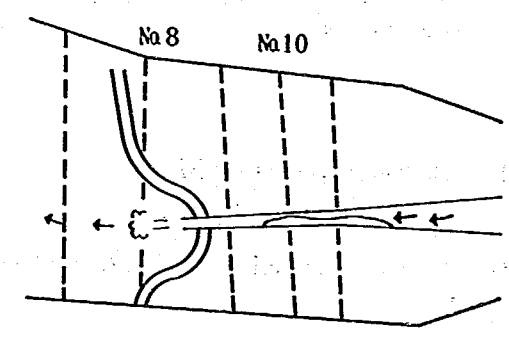
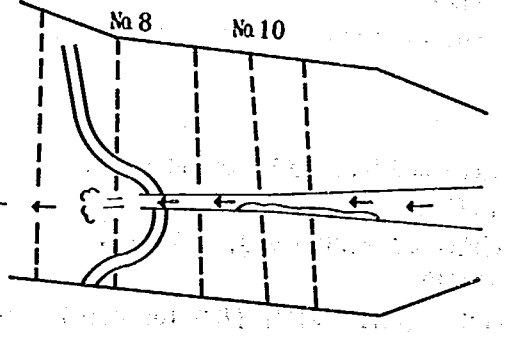
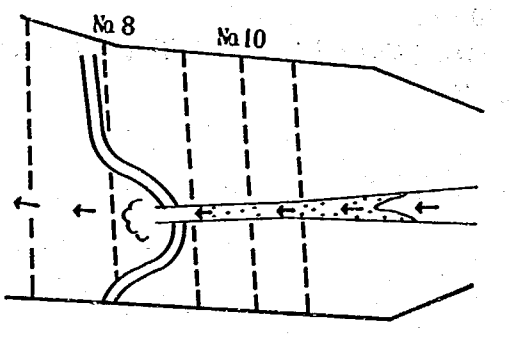
case - 1 80秒後 	① 土石流は3秒後に覆工上流端に達する。 覆工内は流速1.0m/secで流下する。 ② 30秒後 土砂はNo.11~12にかけて堆積、移動をくり返し、 流下して行く。なお、覆工内はスムーズに流下する。 ③ 60秒後 右岸に沿って流れ左岸側は土砂が堆積し停止している。 ④ 80秒後 左岸に残された土砂は移動し、90秒後には覆工上を すべて通過する。
case - 2 25秒後 	① 土石流は2秒後に覆工上流端に達する。 覆工内は流速1.2m/secで流下する。 ② 4秒後 土石流流下後の後続流が、呑みきれず、No.12付近 の右岸で越水する。 ③ 10秒後 土石流は、道流堤及び覆工内を全幅で流れ、片寄る ことなく流下する。 ④ 25秒後 No.12より下流の左岸側で流下する土砂は、30秒後 にはすべて覆工を通過する。
case - 3 60秒後 	① 土石流は3秒後に覆工上流端に達する。 覆工内は、流速0.8m/secで流下する。 ② 15秒後 土石流は、導流堤内を右岸に沿って流れる。 ③ 30秒後 右岸での堆積が進み、流れは左岸に片寄る。 ④ 60秒後 土砂のほとんどは流出し、導流堤No.13断面上流で は土砂は残らない。

表 - 3.5 (2) 流況の時系列的変化

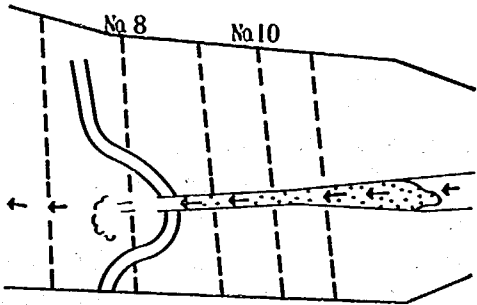
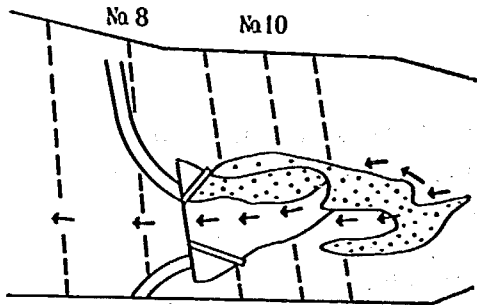
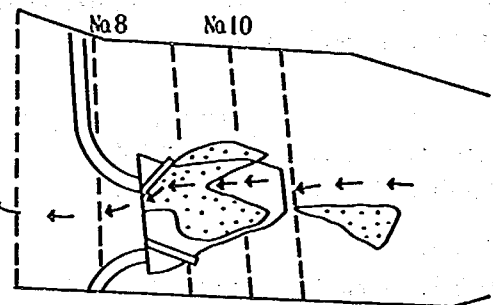
case - 4 30秒後 	① 土石流は2秒後に覆工上流端に達する。 覆工内は、流速1.2m/secで流下する。 ② 10秒後 土石流は、導流堤内を左岸に沿って流れる。 ③ 20秒後 No 11~12間の右岸側で流送土砂が呑みきれず越水する。 ④ 30秒後 No 13より上流の土砂はすべて流出し、通水後は覆工上に若干残る程度である。
case - 5 90秒後 	① 土石流は3秒後に覆工上に到達する。 ② 10秒後 土石流は覆工直上流で停止し、流水と若干の土砂が流出する。 ③ 30秒後 流水は左岸に集中し、覆工右岸沿いに堆積する。従って覆工右岸導流堤より流水は越水する。 ④ 90秒後 覆工右岸上に堆積した土砂は移動しなくなる。
case - 6 40秒後 	① 土砂流は2秒後に覆工上流端に達する。 ② 10秒後 土石流は河道全体に広がり、覆工に達する。 ③ 20秒後 土砂及び流水は右岸に片寄りNo 10断面右岸が水衝部となって覆工上右岸導流堤を越水する。 ④ 40秒後 覆工上の土砂が下流へ流下するにつれて覆工上の右岸導流堤からの越水は無くなる。 ⑤ 60秒後 大部分の土砂は流出し、覆工上右岸側に若干残る程度となる。

表-3.5(3) 流況の時系列的変化

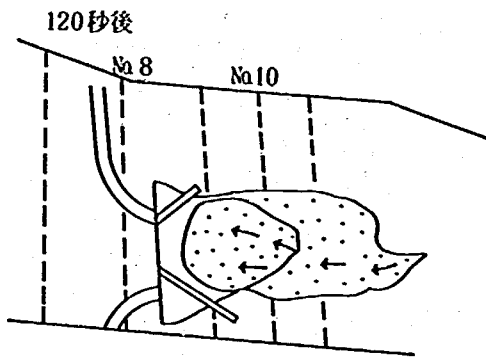
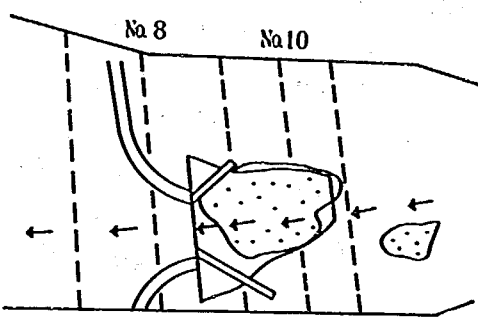
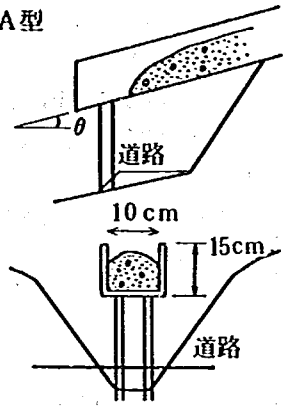
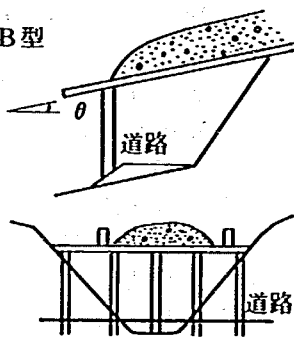
case - 7 	① 土石流は3秒後No.12付近に堆積し、流水のみ覆工上を通過する。 ② 30秒後 土砂は覆工上流右岸からNo.12にかけて堆積遡上する。 ③ 60秒後 No.11から覆工上にかけて流水は拡散し覆工上にも土砂は堆積し始める。 ④ 90秒後 土砂は徐々に移動を続け覆工上に堆積していく。 ⑤ 120秒後 No.12から覆工上にかけて土砂は広がり動きが止まる。
case - 8 	① 土石流は2秒後に覆工板上に到達する。ただし流水が先行し、フロントは約1秒遅れて到達する。 ② 15秒後 流水は右岸に片寄り土砂もNo.13～覆工上右岸にかけて堆積する。 ③ 30秒後 上流に堆積した土砂は二次移動によって下流覆工上に広がって行く。 ④ 60秒後 土砂は覆工全面に広がって行く。 ⑤ 90秒後 土砂は覆工上全面に広がり流水は中央に集中する。

表-3.6 実験結果(土石流覆工の効果と形状)

実験 ケース	実験条件			覆工		納期の 土砂流 通過状況	覆工内 土砂堆積	土砂の 最終状態
	流量 l/s	通水 時間 sec	土砂量 l	形状	勾配			
1	1	90	14		上流と 同じ	スムーズに 通過	60秒頃左岸 側に堆積	通過
2	2	30	14		1/7.5	4秒頃導流 堤右岸で越 水	なし	通過
3	1	60	14		1/15	スムーズに 通過	30秒頃右 岸側に堆積	通過
4	2	30	14			26秒頃導 流堤右岸で 越水	10秒頃左 岸側に堆積	通過
5	1	90	14		上流と 同じ	水のみ流下	右岸に堆積 40秒後に 導流堤を越 水	右岸に堆積
6	2	60	14		1/7.5	スムーズに 通過する	右岸に堆積 20秒後に 右岸導流堤 を越水	大部分通過
7	1	120	14		1/15	水のみ流下	右岸に堆積	ほぼ全面に 堆積
8	2	90	14			スムーズに 通過する	右岸に堆積	ほぼ全面に 堆積

以上の実験結果をまとめると以下のとおりである。

- ① 土石流のピーク流量を十分に通過できる断面を確保すれば道路の土石流対策として用いることが可能である。
- ② 覆工の通水断面に比べて流量が多いと覆工より土石流がこぼれるのでこの場合は通行中の自動車にとって危険となる。上流で越水するよりも路面上で越水した方がより危険である。
- ③ Aタイプの場合は、覆工の勾配を $\frac{1}{2}$ にしても効果は変わらない、Bタイプの場合は覆工の勾配 $\frac{1}{2}$ にすると、土砂堆積が残り、維持管理に検討を要する。BタイプはAタイプより越水に対して安全であるが建設費が高くなる場合が多いと考えられる。
- ④ 土石流の偏流や一時的な土砂堆積を考慮して断面は余裕をとる必要がある。また導流堤の必要な高さ、曲率等を検討する。

3.3 土石流覆工にかかる荷重

3.3.1 実験目的

土石流覆工を設計する場合に必要な土石流が覆工におよぼす荷重を設定するための基礎資料を得るために行った。

3.3.2 実験条件

実験図は、図-3.6、3.7に示す長さ8 m、幅50 cm、高さ50 cmの2次元模型水路先端に、垂直方向と水平方向の荷重が同時に測定可能な荷重計を設置した。荷重計は、道路を覆う土石流覆工にみなし、荷重計上何も設置しない場合、盛土模型として荷重計上に板を90°、29°に設置した場合、砂礎で盛土を作った場合について実験を行った。また、粗度を荷重計上及びその上流1 mに付けた。実験ケースを表-3.7に示す。また、模型縦断面図を、図-3.8～3.15に示す。また、実験に用いた土砂の粒度分布を図-3.16に示す。

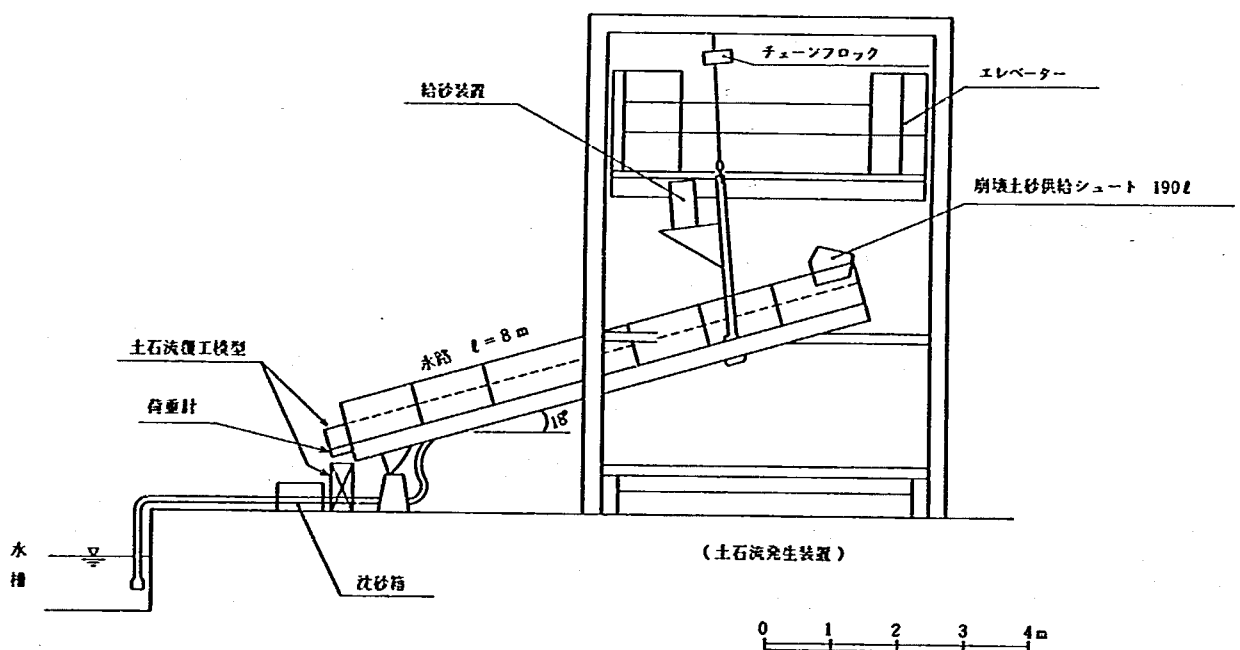
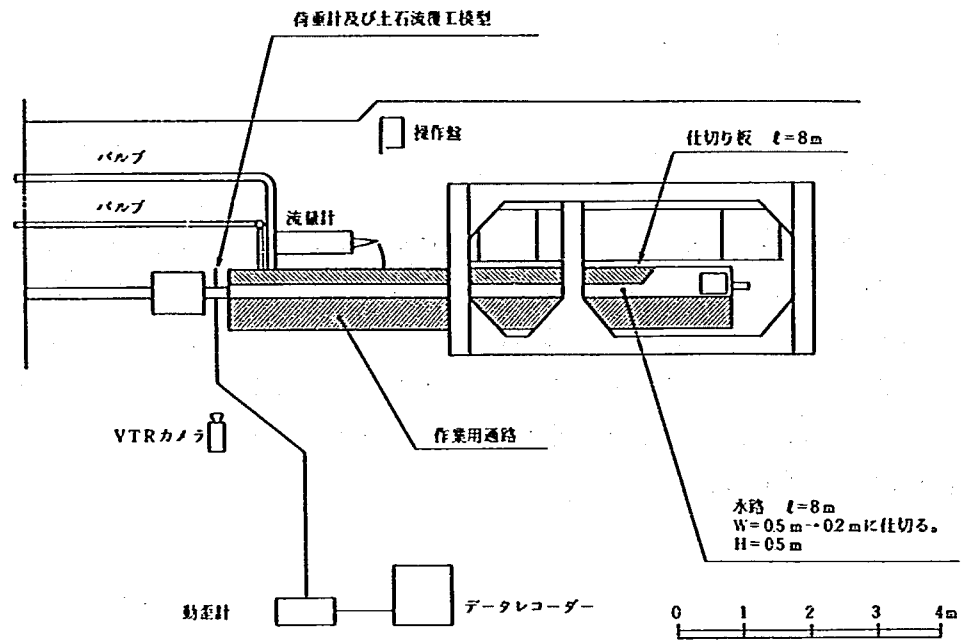


図-3.6 2次元模型水路側面図



図－3.7 2次元模型水路平面図

表-3.7 実験ケース一覧(水路模型)

実験 ケース	実験条件*			模型形状	覆工勾配
	流量	土石流	粗度**		
1	1.5ℓ/s	50ℓ	dm	土石流覆工のみ	1/3
2	2.5ℓ/s	"	dm	"	1/3
3	1.5ℓ/s	"	dm	"	1/15
4	2.5ℓ/s	"	dm	"	1/15
5	1.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/3
6	2.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/3
7	1.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/15
8	2.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/15
9	1.5ℓ/s	"	dm	盛土(板90度)	1/3
10	2.5ℓ/s	"	dm	"	1/3
11	1.5ℓ/s	"	dm	"	1/15
12	2.5ℓ/s	"	dm	"	1/15
13	1.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/3
14	2.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/3
15	1.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/15
16	2.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/15
17	1.5ℓ/s	"	dm	盛土(板29度)	1/3
18	2.5ℓ/s	"	dm	"	1/3
19	1.5ℓ/s	"	dm	"	1/15
20	2.5ℓ/s	"	dm	"	1/15
21	1.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/3
22	2.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/3
23	1.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/15
24	2.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/15
25	1.5ℓ/s	"	dm	盛土(砂 礫)	1/3
26	2.5ℓ/s	"	dm	"	1/3
27	1.5ℓ/s	"	dm	"	1/15
28	2.5ℓ/s	"	dm	"	1/15
29	1.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/3
30	2.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/3
31	1.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/15
32	2.5ℓ/s	"	1/2dm	"	1/15

*は模型値

**のdmは土石流の平均粒径

1/2dmは平均粒径の1/2の粗度

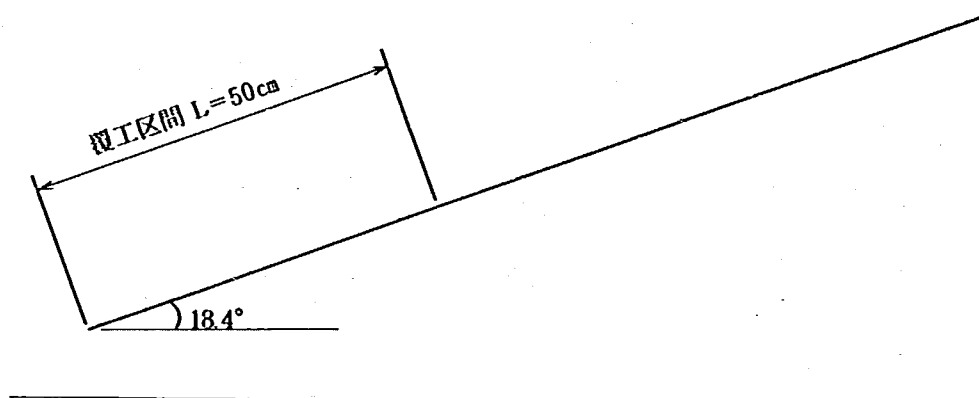


図-3.8 覆工水路模型縦断面図 (CASE-1,2,5,6,)

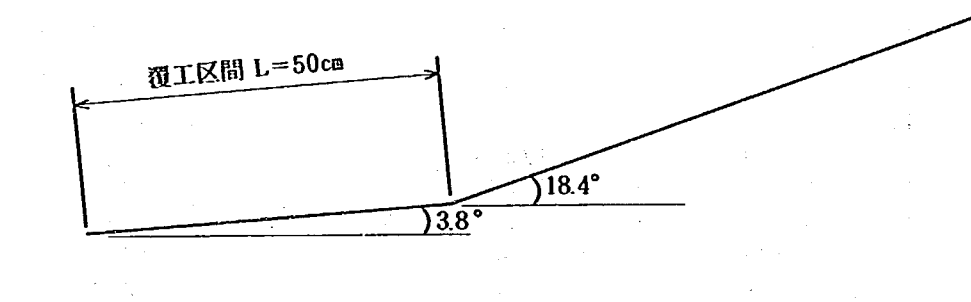


図-3.9 覆工水路模型縦断面図 (CASE-3,4,7,8,)

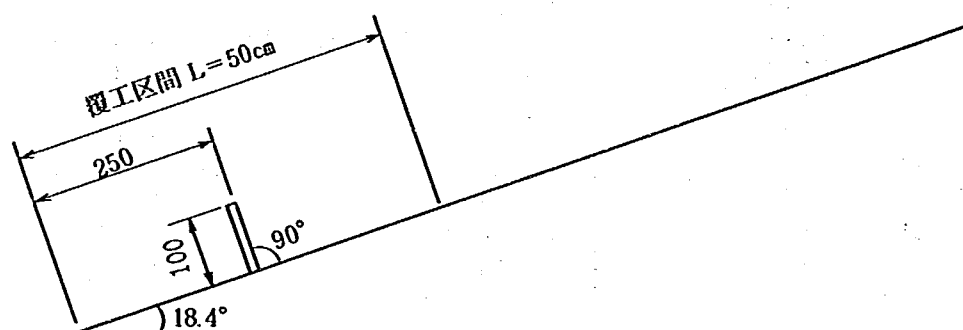


図-3.10 盛土板(90°)模型縦断面図 (CASE-9,10,13,14,)

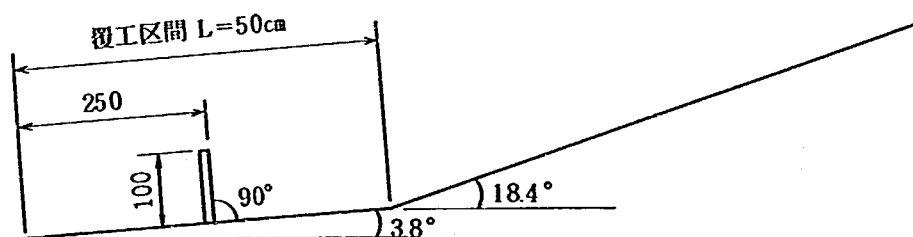


図 3.11 盛土板(90°)模型縦断面図 (CASE-11,12,15,16,)

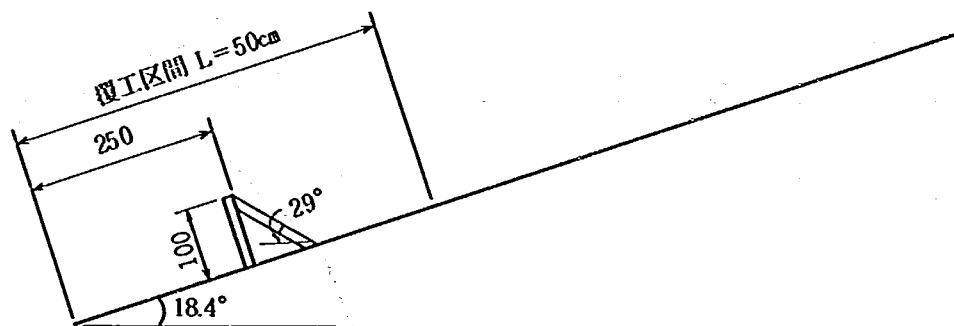


図-3.12 盛土板(29°)模型縦断面図(CASE-17, 18, 21, 22)

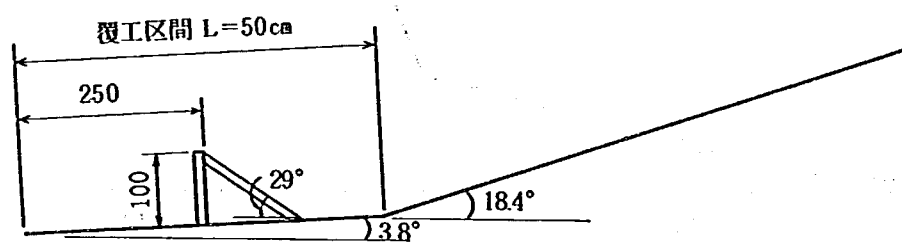


図-3.13 盛土板(29°)模型縦断面図(CASE-19, 20, 23, 24)

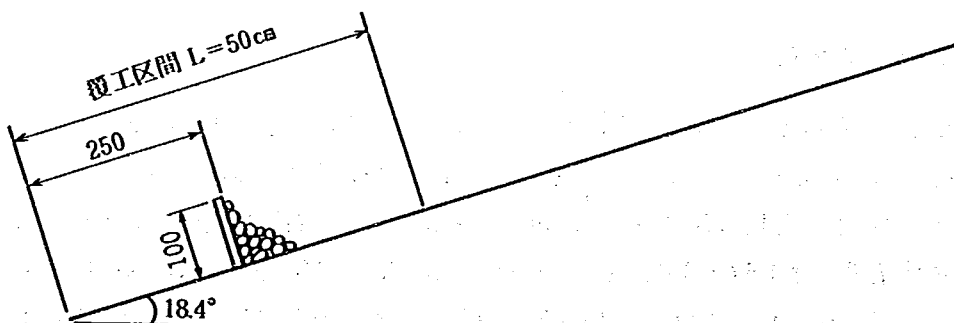


図-3.14 盛土(砂礫)模型縦断面図(CASE-25, 26, 29, 30)

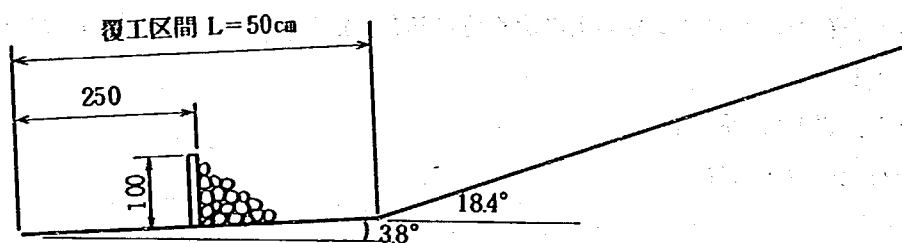


図-3.15 盛土(砂礫)模型縦断面図(CASE-27, 28, 31, 32)

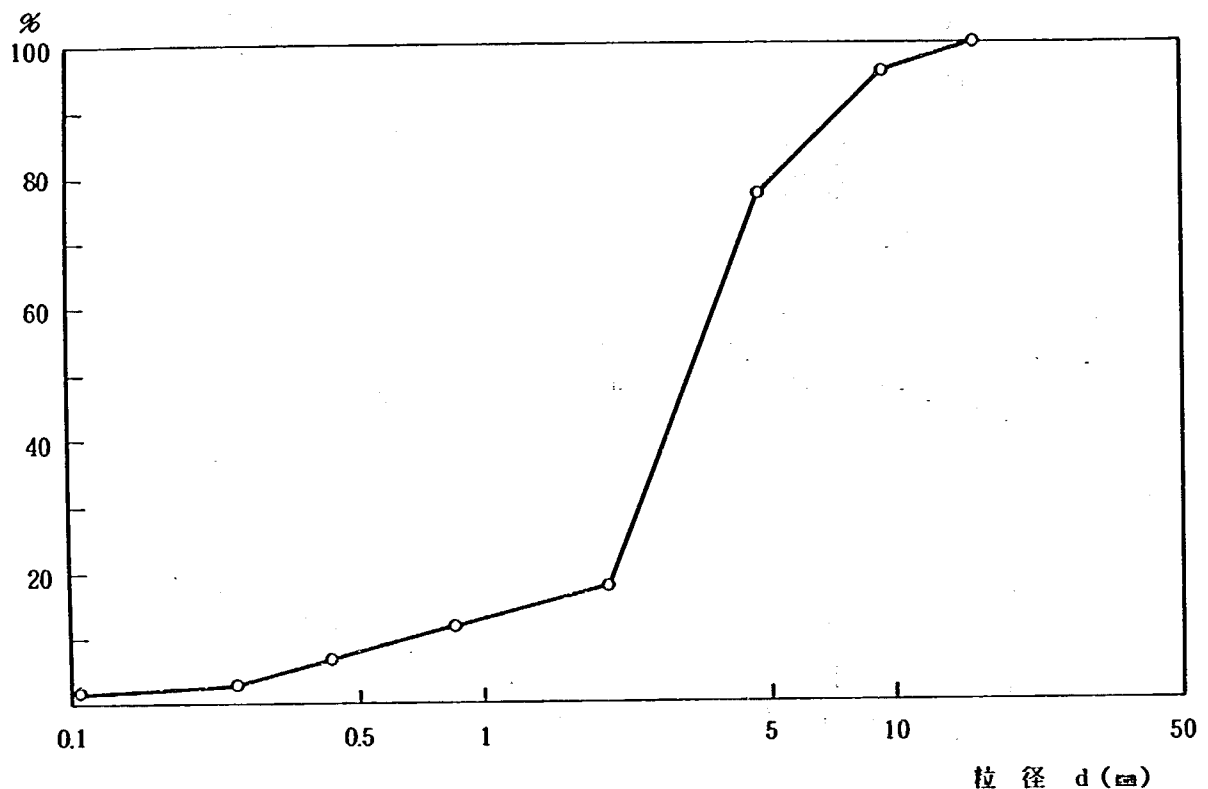


図-3.16 粒径加積曲線

3.3.3 実験結果と考察

覆工流入時の土石流の流速及び波高は表-3.8に示すように給水量 1.5 ℓ/sec の場合流速 80 cm/sec では流速 130 cm/sec で、波高はいずれも約 7 cm で、粗度及び覆工勾配の違いによる流速及び波高への影響はほとんど見られなかった。各ケースを通じて土石流の先頭部の容積土砂濃度は 0.62～0.66、単位体積重量は 1.87～1.88 gf/cm³ であったが、覆工勾配(θ)・水路床の粗度・流量の変化による土石流の容積土砂濃度の顕著な違いは見られなかった。土石流が通過したとき覆工上において河床に垂直な方向と平行な方向に働く荷重(YおよびX)を測定した。その結果を表-3.9に示す。その結果覆工河床面に平行に働くせん断力(Δτ)は覆工河床面に垂直に働く荷重(Y)の約 15～23 %であった(図-3.17)。

また、道路盛土に土石流が衝突したときに働く荷重を推定するために流路内に板及び砂礫で盛土模型を作成して土石流の衝突により盛土に働く荷重(P)を測定し、それと流体力の式から計算で得られる荷重(F)と比較した。

その結果を表 3.10 に示す。

なお、土石流の流体力は

$$F = \alpha \frac{\rho_s}{g} h U^2$$

で求める。ここに、F：単位幅当りの土石流の流体力(t・f/m)，U：ダム地点における土石流の

表 - 3.8 実験結果一覧表 (水路実験)

突ケ 1 験ス	模型形状	突 験 条 件					突 験 結 果								備 考
		流 量	土石流	通時 時間	覆勾 工配	粗 度	流 速	波 高	盛土上 最大波高	盛土上 波高	通水後 堆積長	通水後最高河床高			
1	盛土板 90°	1.5ℓ/s	50 ℓ	30sec	1/3	dm	80cm/s	7 cm	17 cm	-20~0区間	15 cm	位置 80	-20 cm	8.7	
2	"	2.5	"	10	"	"	130	"	20	"	"	145	0	9.4	
3	"	1.5	"	"	1/15	"	80	"	15	-10~10	20	195	10	17.1	
4	"	2.5	"	"	"	"	130	"	18	-10~20	20	160	0	15.6	
5	"	1.5	"	"	1/3	1/2dm	80	"	22	-20~40	15	125	0	10.8	
6	"	2.5	"	"	"	"	130	"	19	-20~10	15	125	0	9.8	
7	"	1.5	"	"	1/15	"	80	"	23	0~40	20	175	10	16.1	
8	"	2.5	"	"	"	"	130	"	17	-10~30	20	125	0	15.6	
9	盛土板 29°	1.5	"	25	1/3	dm	80	"	16	-20~40	15	50	-25	7.9	
10	"	2.5	"	10	"	"	130	"	15	-20~0	15	115	-25	8.6	
11	"	1.5	"	"	1/15	"	80	"	15	-20~0	15	195	20	15.6	
12	"	2.5	"	"	"	"	130	"	23	0~30	20	195	0	15.2	
13	"	1.5	"	"	1/3	1/2dm	80	"	15	-20~40	15	145	20	9.9	
14	"	2.5	"	"	"	"	130	"	15	-20~20	15	140	0	10.4	
15	"	1.5	"	"	1/15	"	80	"	20	10~30	20	165	20	15.5	
16	"	2.5	"	"	"	"	130	"	23	0~20	18	120	0	14.6	
17	盛土(砂礫)	1.5	"	15	1/3	dm	80	"	15	-20~10	20	125	0	14.6	
18	"	2.5	"	10	"	"	130	"	15	-20~0	15	145	0	8.5	
19	"	1.5	"	"	1/15	"	80	"	15	-10~20	20	195	20	16.1	
20	"	2.5	"	"	"	"	130	"	20	-10~20	20	145	0	14.7	
21	"	1.5	"	"	1/3	1/2dm	80	"	15	-20~40	15	175	30	9.8	
22	"	2.5	"	"	"	"	130	"	15	-20~0	15	125	0	9.8	
23	"	1.5	"	"	1/15	"	80	"	20	0~20	20	185	10	15.9	
24	"	2.5	"	"	"	"	130	"	20	-10~30	20	135	0	14.7	

表 - 3.9 覆工に働く荷重

実験 ケース	流 量 ℓ/s	実 験 土砂量 ℓ	粗 度	模型形状	覆 工 勾 配 何 の 分 1	ch2	ch3	ch4	ch5	実 験 ケース	垂 直	平 行	分 力	垂直分力	剪 断 力	剪断/ 垂直	平行/ 垂直	前断力/ 流体力
						垂 直 下 kg f	垂 直 上 kg f	平 行 下 kg f	平 行 上 kg f		Y kg f	X kg f	tan θ	Y tan θ	X-Yt	T/Y	X/Y	(X-Yt) / F
1	1.5	50	dm	覆工のみ	3	5.1	3.4	1.5	2.8	15	8.5	4.3	0.333	2.8305	1.4695	0.173	0.506	
2	2.5	50	dm		3	機械不調				16	0	0	0.333	0	0	0.000	0.000	
3	1.5	50	dm		15	8.4	9.6	0.1	4.7	17	18	4.8	0.0667	1.2006	3.5994	0.200	0.267	
4	2.5	50	dm		15	8.2	8.3	0	4.7	18	16.5	4.7	0.0667	1.10055	3.59945	0.218	0.285	
5	1.5	50	0.5dm	板 90度	3	6	4.5	1.5	3.6	19	10.5	5.1	0.333	3.4965	1.6035	0.153	0.486	
6	2.5	50	0.5dm		3	4.8	4.3	1.9	2.6	20	9.1	4.5	0.333	3.0303	1.4697	0.162	0.495	
7	1.5	50	0.5dm		15	9.3	10.1	0.5	4.5	21	19.4	5	0.0667	1.29398	3.70602	0.191	0.258	
8	2.5	50	0.5dm		15	8.5	7.9	0.2	4.7	22	16.4	4.9	0.0667	1.09388	3.80617	0.232	0.299	
9	1.5	50	dm		3	8.3	6.7	4.3	6.6	23	15	10.9	0.333	4.995	5.905	0.394	0.727	2.594
10	2.5	50	dm		3	8.5	6	3.5	5.2	24	14.5	8.7	0.333	4.8285	3.8715	0.267	0.600	
11	1.5	50	dm		15	7.5	9.4	0.8	4.6	25	16.9	5.4	0.0667	1.12723	4.27277	0.253	0.320	0.149
12	2.5	50	dm		15	9	10.3	1	6.7	26	19.3	7.7	0.0667	1.22728	6.41269	0.332	0.399	0.623
13	1.5	50	0.5 dm		3	7.9	6.5	3.1	6.3	27	14.4	9.4	0.333	4.4955	4.6048	0.320	0.653	1.755
14	2.5	50	0.5 dm		3	8.3	5.6	3.6	4.9	28	13.9	8.5	0.333	4.8295	3.8713	0.279	0.612	0.532
15	1.5	50	0.5 dm	板 29度	15	7.5	9.4	1.1	5.2	29	14.4	6.3	0.0667	1.08054	5.17277	0.306	0.373	0.858
16	2.5	50	0.5 dm		15	8.3	10.1	1.1	5.5	30	18.4	6.6	0.0667	1.0627	5.37272	0.292	0.359	0.347
17	1.5	50	dm		3	7.3	6.2	3.8	6.2	31	13.5	10	0.333	4.2624	5.5045	0.408	0.741	2.360
18	2.5	50	dm		3	6.8	4.7	2.8	3.6	32	11.5	6.4	0.333	4.329	2.5705	0.224	0.557	
19	1.5	50	dm		15	7.5	8.7	0.9	4.7	33	16.2	5.6	0.0667	0.99383	4.51946	0.279	0.346	0.538
20	2.5	50	dm		15	7.2	8.8	0.3	4.9	34	16	5.2	0.0667	1.18059	4.1328	0.258	0.325	0.118
21	1.5	50	0.5 dm		3	7.1	5.7	3.3	5.2	35	12.8	8.5	0.333	4.3956	4.2376	0.331	0.664	1.541
22	2.5	50	0.5 dm		3	7.4	5.6	3.2	4.8	36	13	8	0.333	4.2624	3.671	0.282	0.615	0.488
23	1.5	50	0.5 dm		15	6.5	8.4	1.3	5.1	37	14.9	6.4	0.0667	1.0005	5.40617	0.363	0.430	0.994
24	2.5	50	0.5 dm		15	7.9	9.8	0.5	4.9	38	17.7	5.4	0.0667	1.1339	4.21941	0.238	0.305	0.092
25	1.5	50	dm	砂 盛 土	3	6.9	6.3	3.9	6.1	39	13.2	10	0.333	4.5954	5.6044	0.425	0.758	0.418
26	2.5	50	dm		3	7.4	5.4	2.9	4.5	40	12.8	7.4	0.333	4.0293	3.1376	0.245	0.578	
27	1.5	50	dm		15	6.5	8.5	1.2	4.3	41	15	5.5	0.0667	1.0005	4.4995	0.300	0.367	0.526
28	2.5	50	dm		15	7.2	9.8	0.2	5.3	42	17	5.5	0.0667	1.1339	4.3661	0.257	0.324	0.170
29	1.5	50	0.5 dm		3	7.9	5.9	4.3	5.5	43	13.8	9.8	0.333	4.5954	5.2046	0.377	0.710	0.416
30	2.5	50	0.5 dm		3	7	5.1	2.8	4.2	44	12.1	7	0.333	4.0293	2.9707	0.246	0.579	0.332
31	1.5	50	0.5 dm		15	6.4	8.1	0.8	4.5	45	14.5	5.3	0.0667	0.96715	3.96715	0.299	0.366	0.367
32	2.5	50	0.5 dm		15	7.1	8.9	0.5	4.5	46	16	5	0.0667	1.0672	3.9328	0.246	0.313	0.028
33	1.5	50	dm		3	5.4	2.8	2.1	2.6	1	8.2	4.7	0.333	2.7306	1.9694	0.240	0.573	
34	1.5	50	dm		3	5.3	3.2	1.7	2.9	2	8.5	4.6	0.333	2.8305	1.7695	0.208	0.541	
35	1.5	60	dm		3	5.7	3	2	3.1	3	8.7	5.1	0.333	2.8972	2.2029	0.253	0.586	
36	1.5		dm		3	5.8	4.1	1.6	3.6	4	9.9	5.2	0.333	3.2967	1.9033	0.192	0.525	
37	1.5	50	n		3	4	2	1.3	2.6	5	6	3.9	0.333	1.998	1.902	0.317	0.650	
38			n		3	5.1	3	2.5	4	6	8.1	6.5	0.333	2.6973	3.8027	0.469	0.802	
合計											507.1	237.8	8.3932	97.20297	140.59703	10.288	18.2879	

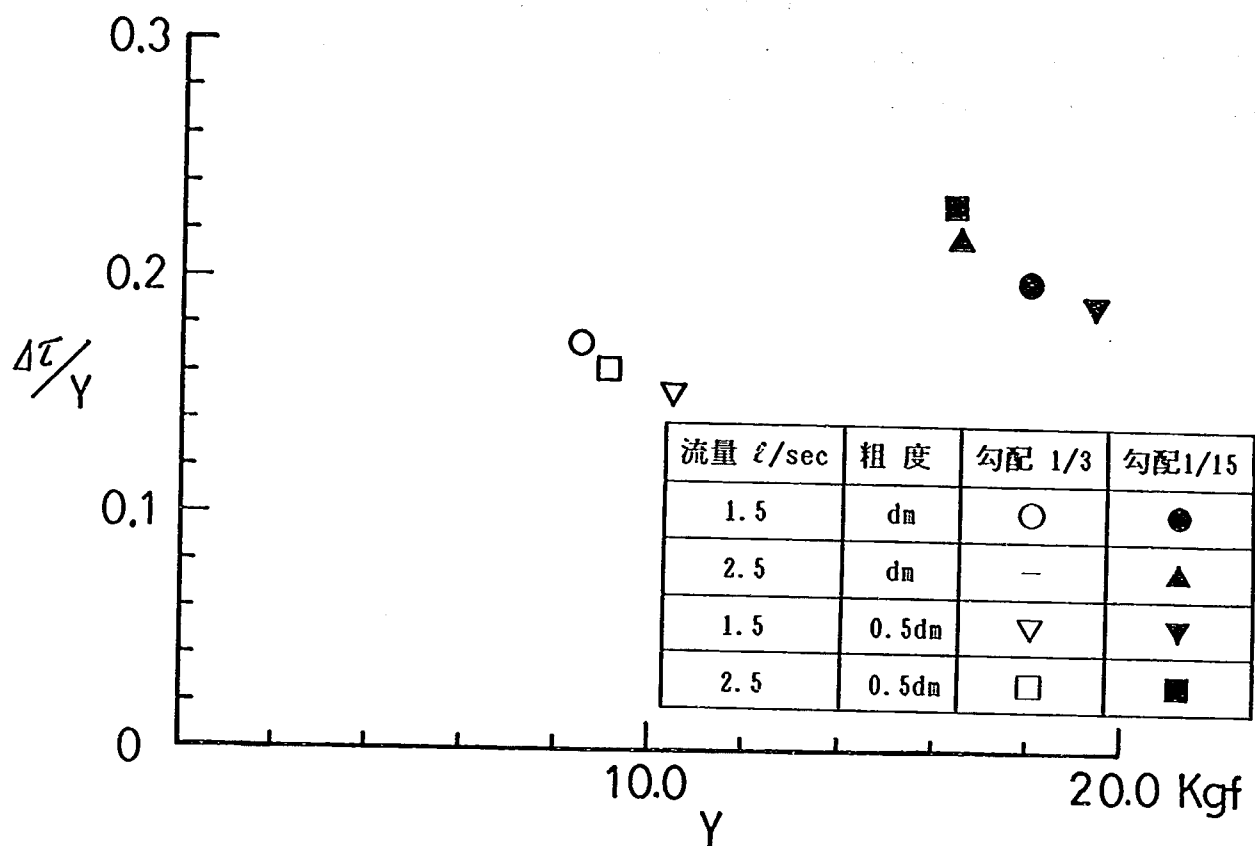


図-3.17 覆工河床面に働く垂直荷重(Y)とせん断力(Δτ)の比

表-3.10 土石流の衝突力と流体力の比(P/F)

流 量	粗 度	勾 配	板 9 0 °	板 2 9 °	砂礫盛土
1.5	d m	1/3	2.594	2.360	2.418
2.5	"	—	—	—	—
1.5	"	1/15	0.394	0.538	0.526
2.5	"	"	0.623	0.118	0.170
1.5	0.5 d m	1/3	1.755	1.541	2.106
2.5	"	"	0.532	0.488	0.332
1.5	"	1/15	0.858	0.994	0.367
2.5	"	"	0.347	0.092	0.028

平均流速 (m/s), h : 土石流対策施設計画 2.5 (3) の設計土石流水深の値(m), g : 重力の加速度 (9.8 m/s²), α : 係数 (1.0 とする), ρ_s : 土石流の単位体重量 (t/m³) である。

土石流流体力は $h/2$ の位置に、水平に作用させる。

計算は $\alpha = 1.0$, $\rho_s = 1.87 \text{ t/m}^3$, $h = 0.07 \text{ m}$, $U = 0.8 \text{ m}$ で行った。

その結果、流量が大きくなる程、また河床勾配が緩くなるほど P/F が小さくなる傾向が見られた
 が測定方法も含めて今後の検討が必要である。

河床勾配	流量	河床勾配	流量	河床勾配	流量
0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013
0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017
0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023
0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029
0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036
0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037
0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038
0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039
0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041
0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042
0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044
0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045
0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046
0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049
0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
0.052	0.052	0.052	0.052	0.052	0.052
0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053
0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056
0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058
0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059
0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062
0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063
0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064
0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065
0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068
0.069	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069
0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070
0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071
0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072
0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073
0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074
0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076
0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077
0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078
0.079	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079
0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081
0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082
0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083
0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084
0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085
0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086
0.087	0.087	0.087	0.087	0.087	0.087
0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088
0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089
0.090	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091
0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093
0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094
0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095
0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096
0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097
0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098
0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099
0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100

4. カルバート閉塞防止スクリーン工

4.1 実験目的

溪流を横切る盛土道路には排水対策として、また土石流対策のひとつとしてしばしばカルバートが用いられている。土石流の流下が予想される溪流ではそのカルバートの断面は計画流量に流出土砂量を加えて決めることになっている。しかしながら土石流の流下の危険性のあるすべての溪流で土石流流量に対応した断面が用いられているわけではなく、しばしばカルバートが閉塞されて土石流の流下により道路盛土部に被害が生じている。カルバートの主な土石流被災過程は大量の土砂や流木が短時間に流下するためカルバートの断面が不足したり土砂や流木により閉塞されて、流水や土砂が盛土天端を越流し路面や盛土に被害が生じたものである。¹⁾

実験者は道路盛土部に用いられるカルバートの閉塞防止対策の一つとして、盛土上流にスクリーンを設置した場合の流出土砂のピークのカットや土石流減速効果等を室内模型水路を用いて行い検討した。

4.2 実験概要

実験に用いた水路は、図-3.6, 3.7に示した2次元模型水路を用いた。水路勾配は 18° とした。

盛土模型は、図-4.1に示すように水路下流端に設置した。材料は厚さ5mmの亚克力板で製作し道路の天端幅は20cm、法面の勾配を1:1.5としカルバートの断面は幅4cm、高さ6cm、勾配 10° とした。スクリーン模型も亚克力製で、盛土上流側に、水平な底面スクリーンと、それに接続する盛土法面と平行なスクリーン（以下斜面スクリーンと言う）を設置し実験を行った。

実験に用いた土砂は最大粒径19.1mm、平均粒径5.5mmの砂（図-4.2, 以下A砂と言う）及び最大粒径25.4mm、平均粒径8.0mm、の砂（図-4.3, 以下B砂という）である。砂の量は25ℓで上流端からスクリーン上流1mまでの範囲に厚さ10cmで敷均した。流量は2ℓ/s, 1ℓ/sで2分間与えた。また土石流に流木を加えた実験も行った。流木模型は長さ10cm、直径8mmとし、100本を水路の上流部2mの範囲の土砂の上に等間隔で立てた。土石流及び流木の流下・堆積及び流出状況は水路の上方からビデオカメラにより、また水路の側方からビデオカメラと35mmモータードライブカメラにより撮影し記録した。

実験は表-4.1に示すように計56ケース用なった。実験における測定項目とそれらの目的は次の3つに分けられる。

- ① スクリーンによる土石流流量のピークおよび土砂濃度を低下させる効果について検討するためスクリーンを通過する土石流の流出土砂量及び土砂濃度の測定する。またスクリーン下流のカルバートを通過した土砂濃度を測定する。
- ② スクリーンによる土石流流量のピークおよび土砂濃度の低下とスクリーン上での土石流の速度の低下の関連について検討するため土石流の流速を側面からの連続写真から読み取りスクリーン上での土石流の減速状況を測定する。
- ③ 土石流を安全に通過させるためには盛土上流側の水位は低いほど良く、水位が上昇すればつい

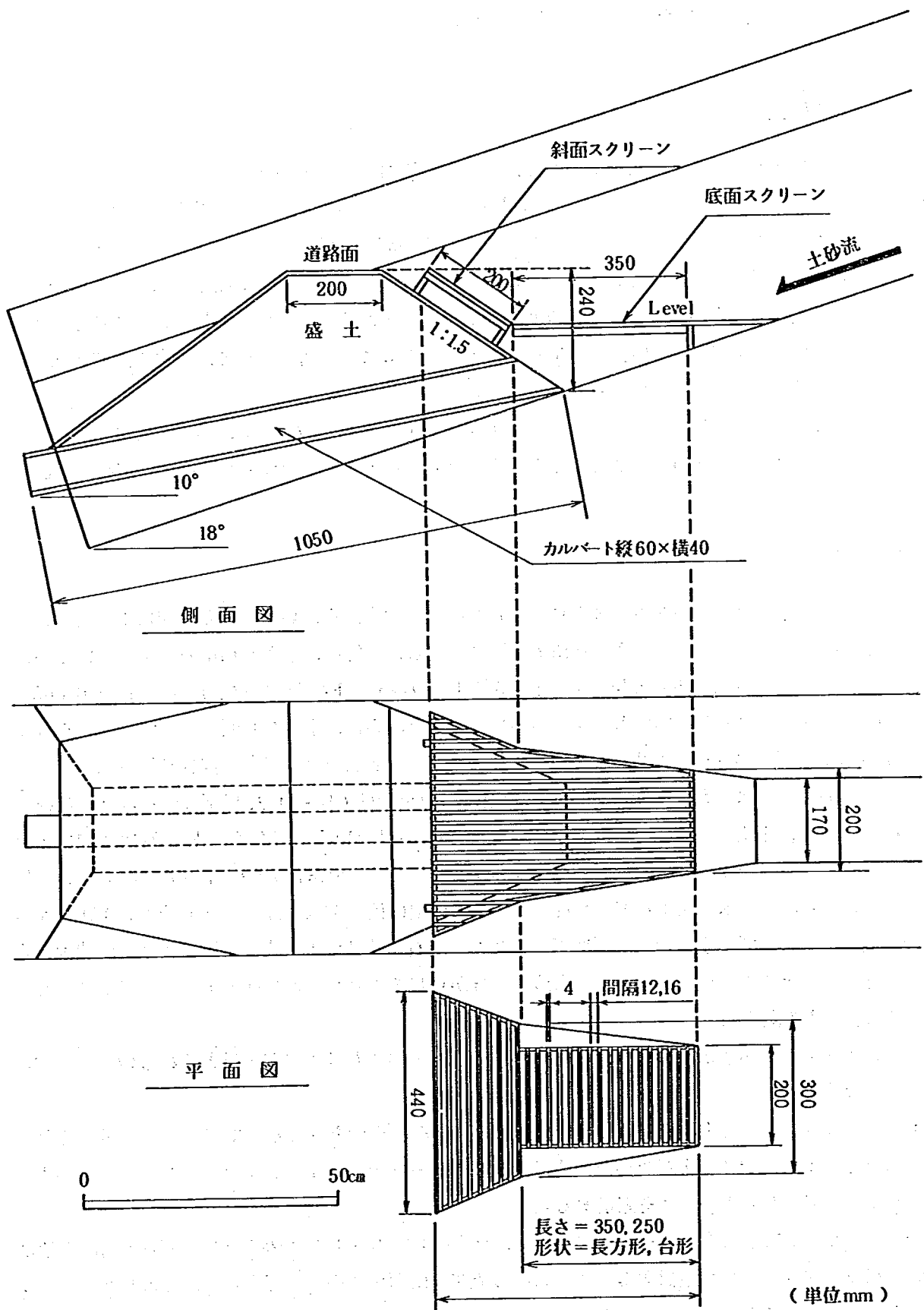
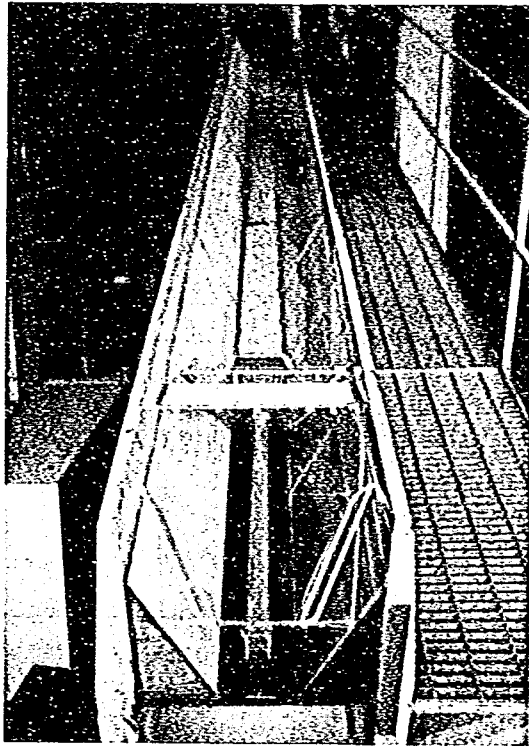
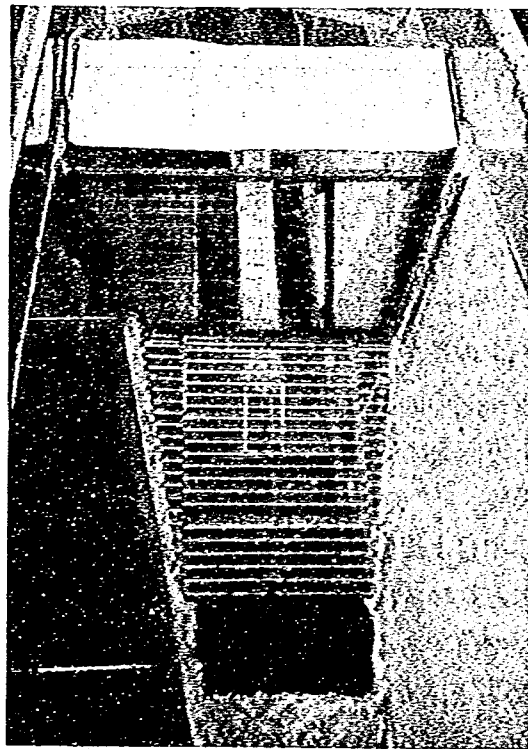


図-4.1 盛土およびスクリーンの模型



写真－4.1 実験に用いた水路及び盛土概要



写真－4.2 盛土上流面のスクリーン及び斜面スクリーンの設置状況

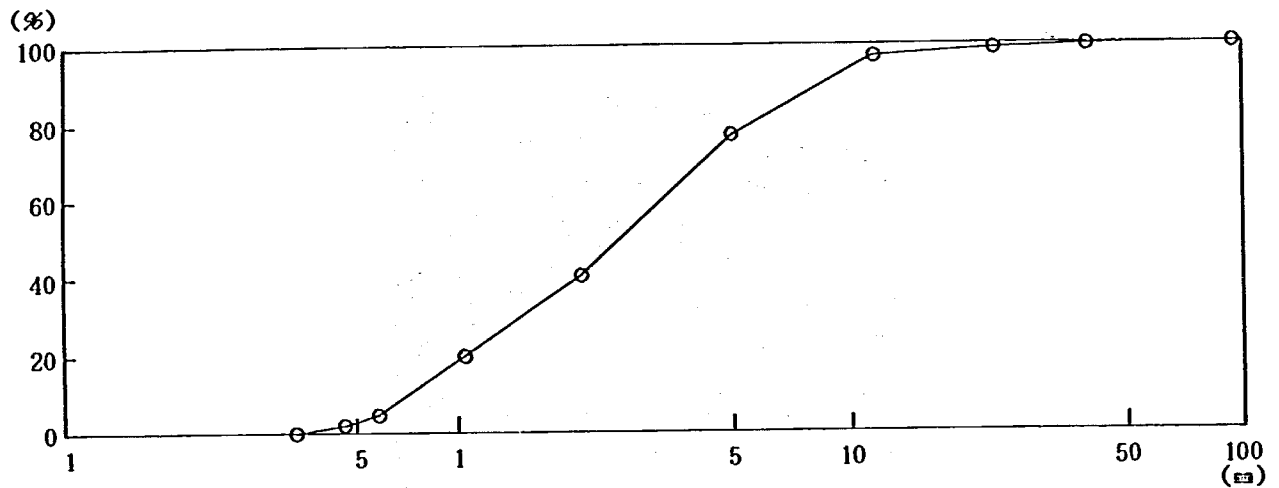


図-4.2 粒径加積曲線 (A砂)

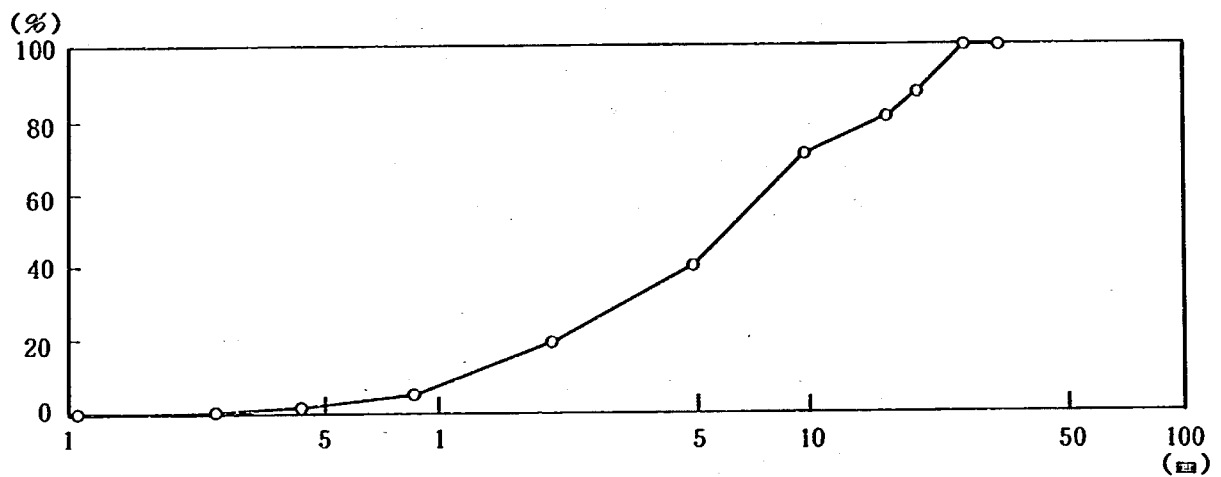


図-4.3 粒径加積曲線 (B砂)

には越水する。このためスクリーン形状による盛土上流の最高水位とカルバート下流への土砂流出率の変化を測定する。スクリーンの形状は底面スクリーンに斜面スクリーンを加えた場合と加えない場合、底面スクリーンの長さを 25 cm, 35 cm および両岸もスクリーンとして取り込み台形スクリーンにしてスクリーンの面積変えた場合 (表-4.2), スリット間隔を 16mm 及び 12 mm とした場合, スリット方向を流向方向および横断方向とした場合のそれぞれを組合せ計 24 種類のスクリーンを用いる。

本実験に用いたカルバート模型は上流側が湛水し下流水深がカルバート高より低いという条件を想定したため、オリフィスと同様と見なされ 2.5 で示した式(4)を用いた。

係数 C は長形オリフィスの標準値である 0.63 を用い、カルバート幅を 4 cm, 流量を 2 ℓ/s , 盛土高さ 24 cm として式に当てはめると、カルバートの高さは 3.81 cm 以上必要である。このため本実験では幅 4 cm, 高さ 6 cm のカルバートを用いた。

表-4.1(1) 実験ケース一覧表

実験 No	勾 配	流 量 ℓ/s	粒 径 土砂量 (25,000 cm ²)	流 木	斜面スク リ ー ン	底 面 ス ク リ ー ン			盛土道路
						フレーム方向	間隔(mm)	形状(cm)	
1	18°	1.0	A	なし	なし	なし	なし	なし	有
2	↓	2.0	B	↓	↓	↓	↓	↓	↓
3	↓	↓	A	↓	↓	↓	↓	↓	↓
4	↓	1.0	↓	有	↓	↓	↓	↓	↓
5	↓	↓	A	なし	↓	↓	↓	↓	なし
6	↓	↓	B	↓	↓	↓	↓	↓	↓
7	↓	↓	A	↓	↓	流 向	16	長方形 35	↓
8	↓	↓	B	↓	↓	↓	↓	↓	↓
9	↓	↓	A	↓	有	↓	↓	↓	↓
10	↓	↓	B	↓	↓	↓	↓	↓	↓
11	↓	2.0	A	↓	なし	↓	12	25	有
12	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	35	↓
13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
14	↓	↓	↓	↓	↓	↓	16	長方形 25	↓
15	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	35	↓
16	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
17	↓	↓	↓	↓	↓	横 断	12	長方形 25	↓
18	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	35	↓
19	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	16	長方形 25	↓
21	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	35	↓
22	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
23	↓	↓	↓	有	↓	流 向	12	長方形 25	↓
24	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
25	↓	↓	↓	↓	↓	↓	16	長方形 35	↓
26	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
27	↓	↓	↓	↓	↓	横 断	12	長方形 35	↓
28	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
29	↓	↓	↓	↓	↓	↓	16	長方形 35	↓
30	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 25	↓
31	↓	1.0	↓	なし	↓	流 向	12	長方形 35	↓
32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	16	35	↓
33	↓	↓	↓	有	↓	↓	12	35	↓
34	↓	↓	↓	↓	↓	↓	16	35	↓

表-4.1(2) 実験ケース一覧表

実験 No	勾 配	流 量 t/s	粒 径 土砂量 (25,000 cm ³)	流 木	斜面スク リ ー ン	底 面 ス ク リ ー ン			盛土道路
						フレーム方向	間隔(mm)	形状(cm)	
35	18°	2.0	A	有	な し	流 向	16	長方形 35	有
36	↓	↓	↓	↓	有	横 断	↓	35	↓
37	↓	↓	↓	↓	な し	流 向	↓	35	↓
38	↓	↓	↓	↓	有	横 断	↓	35	↓
39	↓	↓	B	な し	な し	流 向	12	25	↓
40	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	35	↓
41	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
42	↓	↓	↓	↓	↓	↓	16	長方形 25	↓
43	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	35	↓
44	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
45	↓	↓	↓	↓	↓	横 断	12	長方形 35	↓
46	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
47	↓	↓	↓	↓	↓	↓	16	長方形 35	↓
48	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
49	↓	↓	↓	↓	有	流 向	12	長方形 35	↓
50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
51	↓	↓	↓	↓	↓	↓	16	長方形 35	↓
52	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
53	↓	↓	↓	↓	↓	横 断	12	長方形 35	↓
54	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓
55	↓	↓	↓	↓	↓	↓	16	長方形 35	↓
56	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形 35	↓

表-4.2 スクリーン形状

位 置	スクリーン形状	長 さ cm	幅 cm	面積 cm ²
底面スクリーン	長 方 形	25	20	500
	長 方 形	35	20	700
	台 形	35	上辺 20 下辺 30	875
斜面スクリーン	台 形	20	上辺 30 下辺 44	740

4.3 実験結果

4.3.1 土石流流量及び流出土砂濃度

土石流のピーク流量は表-4.3, 図-4.4, 4.5に示すようにA砂で4.3 ℓ/s であったが底面スクリーンを設置すると3.1 ℓ/s に減少し, 斜面スクリーンを加えると流出量の最大値は2.0 ℓ/s となり明確なピークは現れなくなった。B砂でも土石流のピーク流量が3.5 ℓ/s であるのに対し底面スクリーンを設置すると2.5 ℓ/s , 斜面スクリーンを加えるとA砂と同様にピークは明確でなくなり流出量の最大値は2.3 ℓ/s になった。すなわち土石流のピーク流量はスクリーンを設置していないよりも底面スクリーンを設置したほうが低く, さらに斜面スクリーンを設置するとより低下した。また最大流量の発生時刻も底面スクリーンを設置すると遅くなり斜面スクリーンを加えるとさらに遅くなった。

土砂濃度は図-4.6, 4.7に示すようにA砂の場合土石流の濃度のピークが58%であったのに対し底面スクリーンを設置すると27%となり, さらに斜面スクリーンを加えると21%に減少した。また流出土砂量については斜面スクリーンを設置するとスクリーン上に土砂が堆積し下流への流出土砂量は少なくなった。B砂の場合も底面スクリーンの設置, さらに斜面スクリーンを加える順にピーク土砂濃度は減少した。

流出流量と最高水位の関係を図-4.8に土砂濃度と最高水位の関係を図-4.9に, また測定結果を表-4.4に示す。これらの図よりピーク流量, 平均流量が減少するほど最高水位も減少しピーク流量約2 ℓ/s 以下では越水が起こらなくなった。またピーク土砂濃度, 平均土砂濃度が減少すると最高水位も減少し土砂濃度のピークが約20%以下になると越水しなくなった。

表-4.3 スクリーンによる流出土砂調整 (ℓ/s)

時刻 (秒)	スクリーンなし						底面スクリーン						斜面スクリーン+底面スクリーン					
	A砂(ケース5)			B砂(ケース6)			A砂(ケース7)			B砂(ケース8)			A砂(ケース9)			B砂(ケース10)		
	流量	水	土砂	流量	水	土砂	流量	水	土砂	流量	水	土砂	流量	水	土砂	流量	水	土砂
2	2.25	1.3	0.95	3.5	1.8	1.7	0.88	0.65	0.23	0.83	0.8	0.03	0.95	0.75	0.2	1.1	0.95	0.15
4	4.3	1.8	2.5	3.5	1.4	2.1	1.65	1.25	0.4	2.0	1.5	0.5	1.15	1.1	0.05	1.1	1.0	0.1
6	2.5	1.6	0.9	3.0	2.15	0.85	1.5	1.1	0.4	1.75	1.25	0.5	1.8	1.55	0.25	1.15	1.0	0.15
8	2.0	1.85	0.15	2.75	2.73	0.02	2.1	1.65	0.45	1.75	1.55	0.2	1.1	1.25	0.2	1.75	1.0	0.15
10	1.75	1.75	0	2.25	2.25	0	3.1	2.4	0.7	2.2	1.75	0.25	1.45	1.8	0.15	2.1	2.0	0.1
12	1.75	1.75	0	2.35	2.35	0	2.3	2.15	0.15	2.5	2.3	0.2	1.1	1.7	0.1	2.1	1.9	0.2
14	2.0	2.0	0	2.0	2.0	0	2.1	1.8	0.3	2.3	2.1	0.2	1.7	1.6	0.1	1.5	1.4	0.1
20	2.0	2.0	0	2.0	2.0	0	2.0	1.75	0.25	1.85	1.75	0.1	2.0	1.95	0.05	2.3	2.1	0.2
30	2.0	2.0	0	2.0	2.0	0	2.5	2.2	0.3	2.5	2.3	0.2	2.0	1.95	0.05	2.1	2.05	0.05

表 - 4.4 (1) 実験結果

実 験 条 件									実 験 結 果							備 考
ゲ ー ス No	流 量 (ℓ/s)	土 砂	盛 土 道 路	流 木	斜 面 スク リ ン	底面スクリーン			土 砂 量		水 位			カルバート閉塞		
						方 向	間 隔 (mm)	形 状	スク リ ン 上 の 堆 砂 量 (cm ²)	下流流 出土砂 率 (%)	越 時 刻	水 時間(秒)	最 高 水 位	時 刻	時 間 (秒)	
1	1.0	A砂	有	なし	なし	なし	なし	なし	6473	75	18	9	越水	5	27	スクリーンなし
2	2.0	B砂	↓	↓	↓	↓	↓	↓	4261	83	13	実験終了 ま	↓	1	実験終了 ま	
3		A砂	↓	↓有	↓	↓	↓	↓	515	98	5	50	↓	4	44	
4		↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	236	99	8	29	↓	4	25	
5		A砂	なし	なし	なし	なし	なし	なし	-	-	-	-	-	-	-	盛土道路なし
6		B砂	↓	↓	↓	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	-	-	
7		A砂	↓	↓	↓	↓	↓16	長方形35	-	-	-	-	-	-	-	
8		B砂	↓	↓	↓	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	-	-	
9		A砂	↓	↓	↓有	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	-	-	
10		B砂	↓	↓	↓	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	-	-	
11		A砂	有	↓	なし	流向	12	長方形25	2218	92	13	6	越水	-	-	A 砂
12		↓	↓	↓	↓	↓	↓	長方形35	2521	90	10	2	↓	-	-	
13		↓	↓	↓	↓	↓	↓16	台 形35	2945	89	12	4	↓	-	-	
14		↓	↓	↓	↓	↓	↓16	長方形25	2279	89	14	2	↓	-	-	
15		↓	↓	↓	↓	↓	↓	長方形35	2400	91	13	5	↓	-	-	
16		↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	2291	91	13	6	↓	-	-	
17		↓	↓	↓	↓	↓横断	↓12	長方形25	2339	91	13	5	↓	-	-	
18		↓	↓	↓	↓	↓	↓	長方形35	3188	88	17	1	↓	-	-	
19	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	2339	91	20	1	↓	-	-	

表 4. 4 (2) 実験結果

実 験 条 件									実 験 結 果							備 考
ケ ー ス No	流 量 (ℓ/s)	土 砂	盛 土 道 路	流 木	斜 面 ス ク リ ー ン	底面スクリーン			土 砂 量		水 位		カルバート閉塞			
						方 向	間 隔 (mm)	形 状	スクリー ン上の 堆砂量 (m ²)	下流流 出土砂 率 (%)	越 時 刻	水 時 間 (秒)	最 高 水 位	時 刻	時 間 (秒)	
20	2.0	A砂	有	なし	なし	横断	16	長方形25	2006	92	10	30	越水	7	26	A 砂
21	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	長方形35	2976	88	10	8	↓	7	6	
22	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	2691	90	10	17	↓	9	7	
23	↓	↓	↓	↓	有	流向	12	長方形25	9721	62	—	—	15	—	—	
24	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	7915	69	—	—	11	—	—	
25	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	長方形35	6315	75	—	—	19	—	—	
26	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	5667	78	—	—	18	—	—	
27	↓	↓	↓	↓	↓	横断	12	長方形35	8170	68	—	—	17	—	—	
28	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	4121	84	—	—	18	—	—	
29	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	長方形35	6770	73	—	—	18	—	—	
30	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	5570	78	—	—	18	—	—	
31	1.0	↓	↓	↓	なし	流向	12	長方形35	4673	82	—	—	8	—	—	1 (ℓ/s)
32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	16	↓	1533	94	—	—	9	—	—	
33	↓	↓	↓	↓	有	↓	12	↓	4109	84	—	—	7	—	—	
34	↓	↓	↓	↓	↓	↓	16	↓	6073	76	—	—	7	—	—	
35	2.0	↓	↓	有	なし	流向	16	長方形35	1612	94	10	11	越水	8	6	流 木
36	↓	↓	↓	↓	有	横断	↓	↓	6345	75	—	—	16	—	—	
37	↓	↓	↓	↓	なし	流向	↓	↓	1370	95	—	—	10	—	—	
38	↓	↓	↓	↓	有	横断	↓	↓	4618	82	—	—	18	—	—	

表 - 4. 4 (3) 実験結果

実 験 条 件									実 験 結 果								備 考
ケース No	流 量 (ℓ/s)	土 砂	盛 土 道 路	流 木	斜面 スクリーン	底面スクリーン			土 砂 量		水 位			カルバート閉塞			
						方 向	間 隔 (mm)	形 状	スクリー ン 上 の 堆 砂 量 (m³)	下流流 出土砂 率 (%)	越 時 刻	水 時間 (秒)	最 高 水 位	時 刻	時 間 (秒)		
39	2.0	B砂	有	なし	なし	流向	12	長方形25	4588	82	—	—	19	—	—	B 砂	
40	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	長方形35	4497	83	—	—	17	—	—		
41	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	7170	72	—	—	12	—	—		
42	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓ 16	長方形25	3836	85	—	—	18	—	—		
43	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	長方形35	3485	83	—	—	17	—	—		
44	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	7170	72	—	—	10	—	—		
45	↓	↓	↓	↓	↓	↓ 横断	↓ 12	長方形35	4291	83	—	—	17	—	—		
46	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	9291	63	—	—	10	—	—		
47	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓ 16	長方形35	3588	86	—	—	15	—	—		
48	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	3321	87	—	—	10	—	—		
49	↓	↓	↓	↓	↓ 有	↓ 流向	↓ 12	長方形35	13497	47	—	—	5	—	—		
50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	13552	46	—	—	7	—	—		
51	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓ 16	長方形35	11267	55	—	—	8	—	—		
52	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	11782	53	—	—	9	—	—		
53	↓	↓	↓	↓	↓	↓ 横断	↓ 12	長方形35	14152	44	—	—	8	—	—		
54	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	13330	47	—	—	7	—	—		
55	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓ 16	長方形35	15818	37	—	—	7	—	—		
56	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	台 形35	12418	51	—	—	8	—	—		

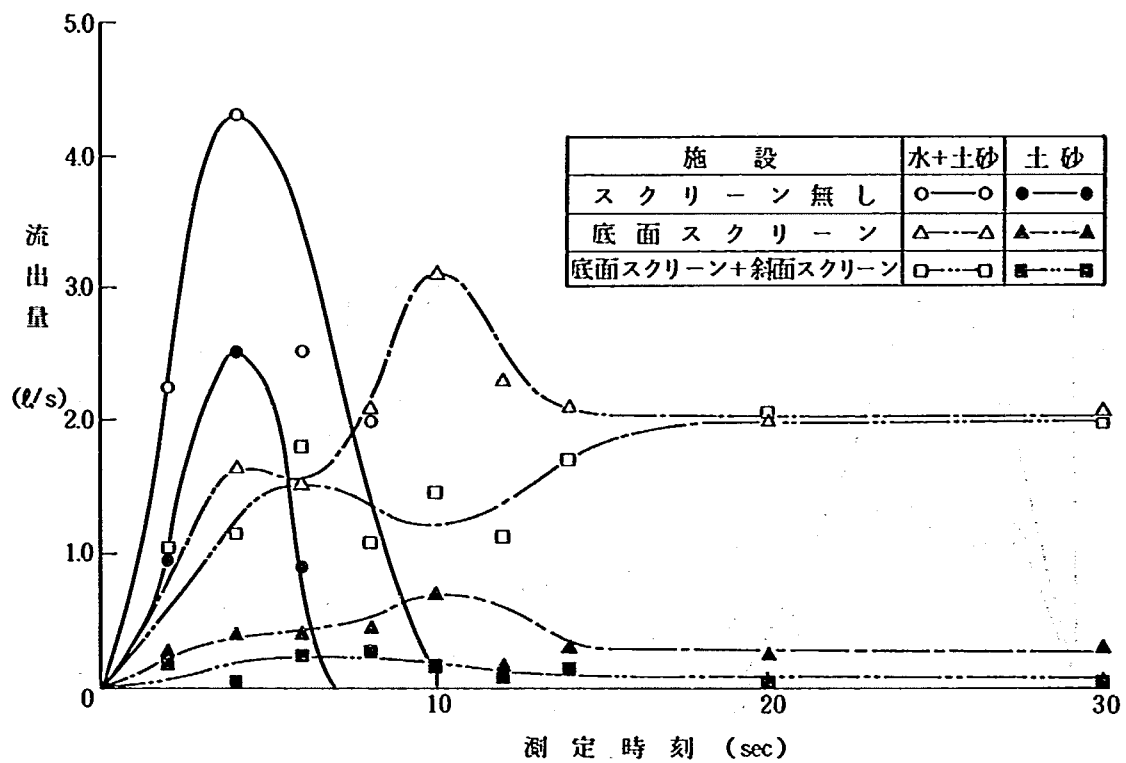


図-4.4 スクリーンを通過する土石流の流出量 (A砂)

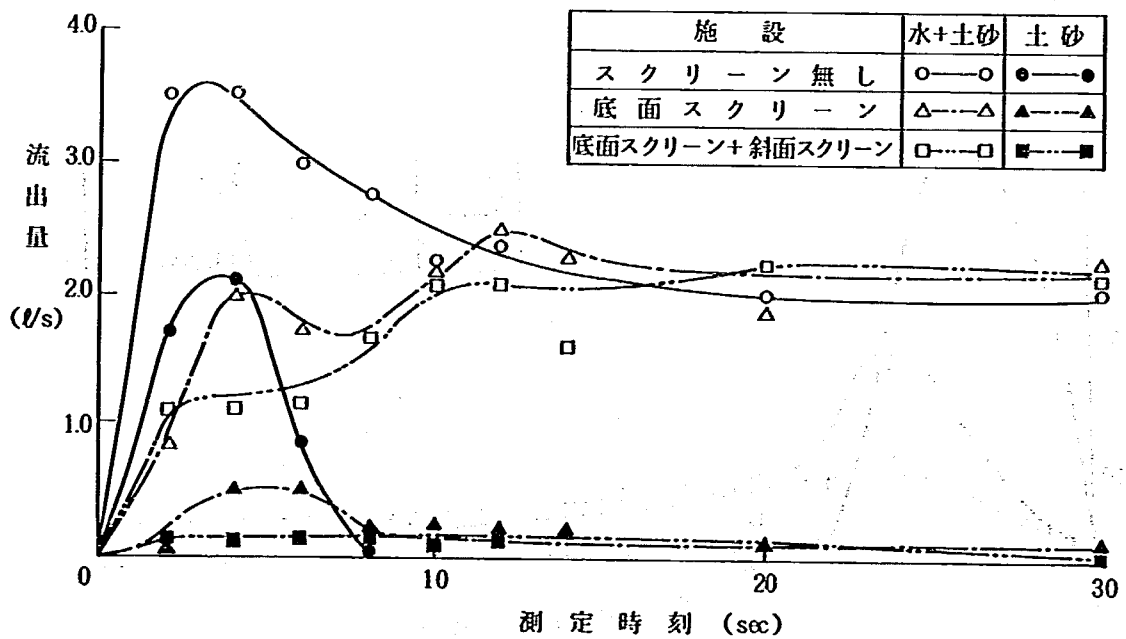


図-4.5 スクリーンを通過する土石流の流出量 (B砂)

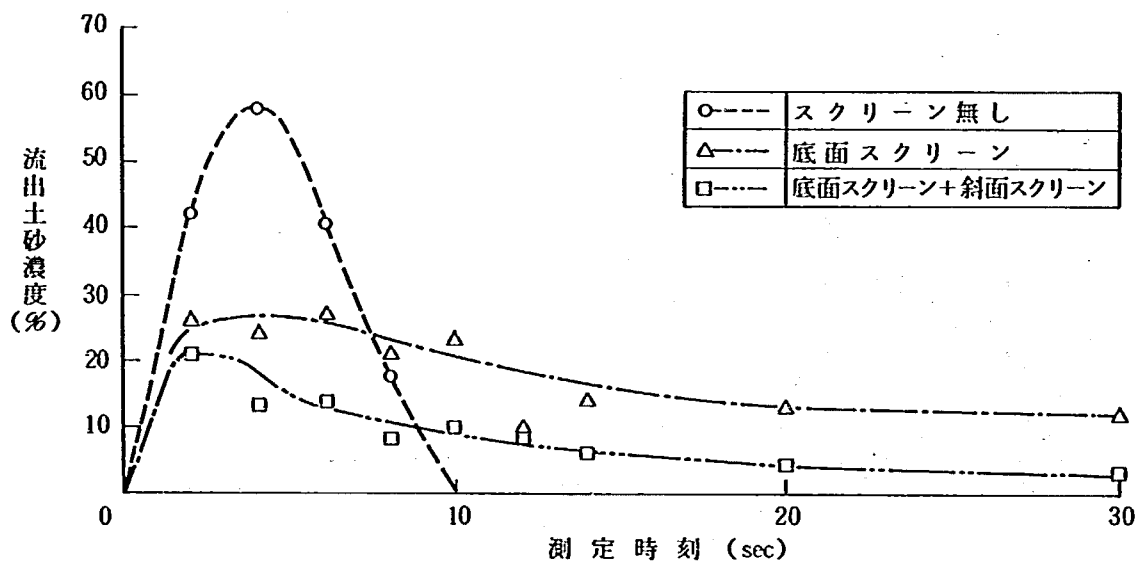


図-4.6 スクリーンを通過する土石流の濃度 (A砂)

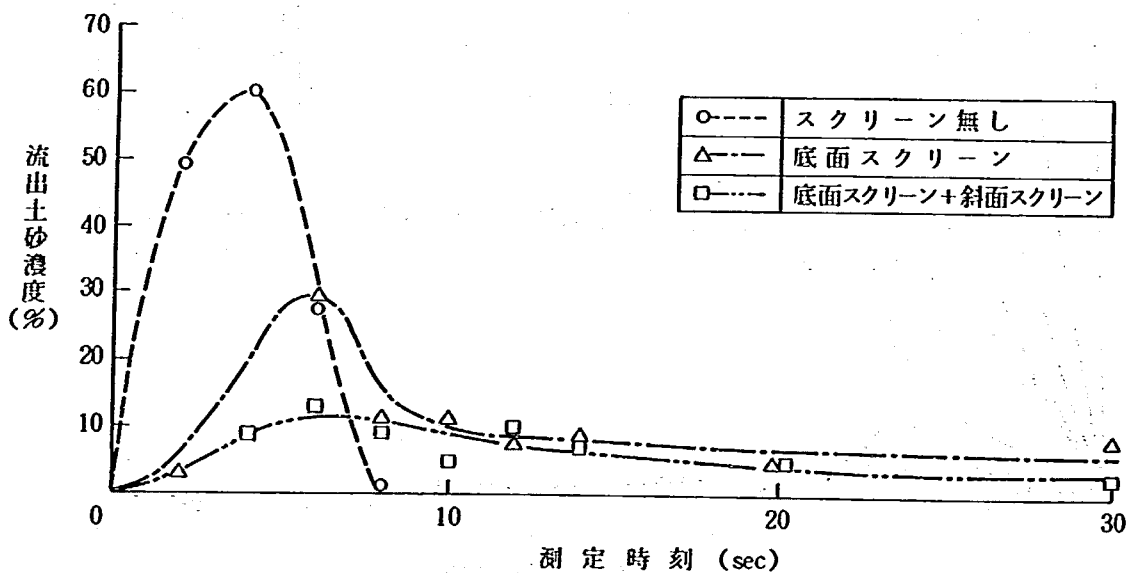


図-4.7 スクリーンを通過する土石流の濃度 (B砂)

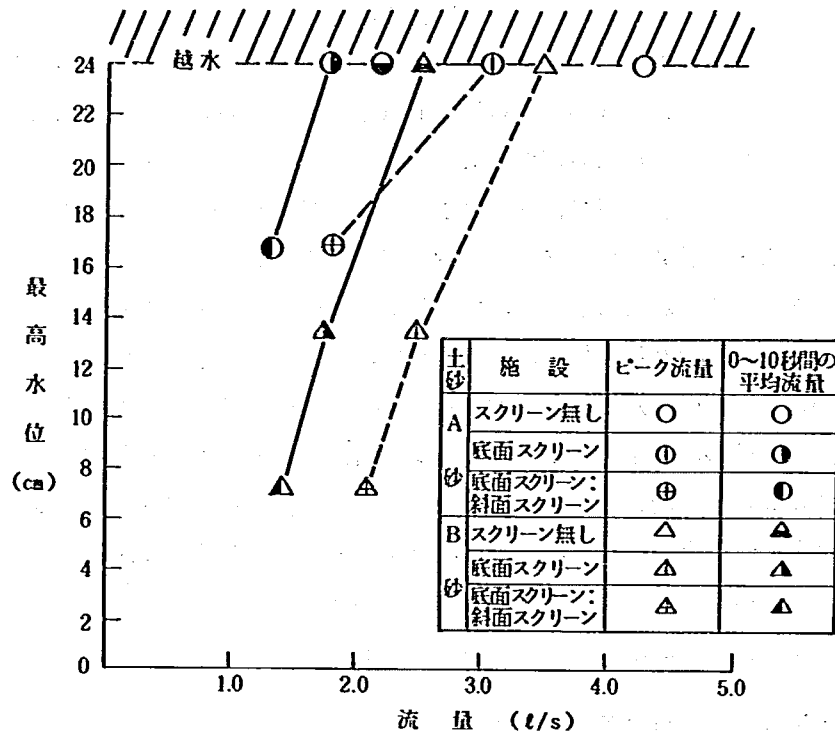


図-4.8 ピーク流量及び0～10秒間の平均流量と最高水位の関係

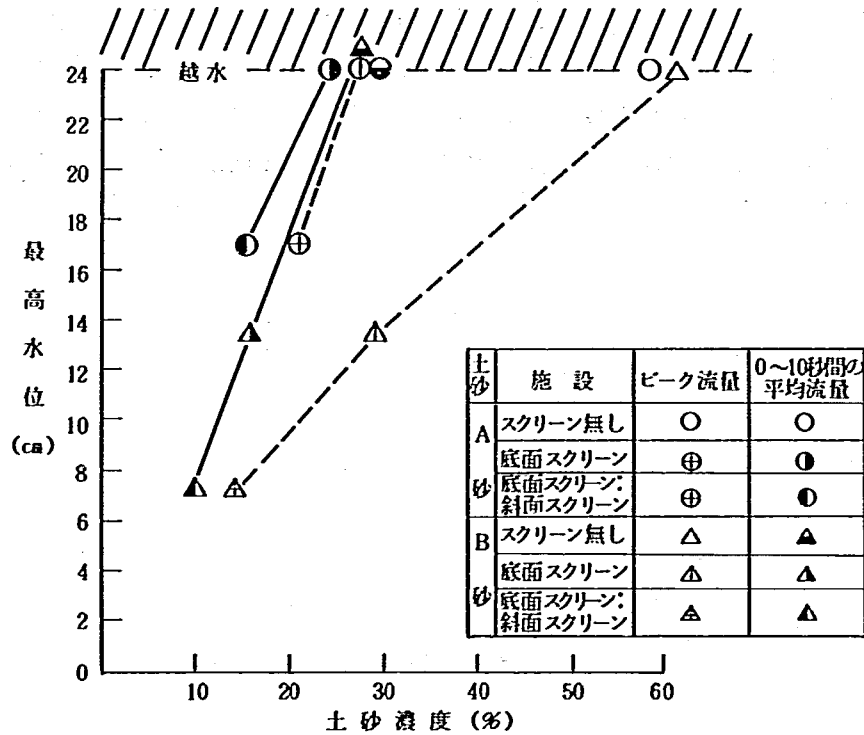


図-4.9 ピーク土砂濃度及び0～10秒間の平均土砂濃度と最高水位の関係

次にカルバート通過後の流出土砂濃度を図-4.10, 4.11に示す。A砂の場合土石流の濃度のピークは58%だったがカルバートを通過すると43%になりカルバートにより土砂が調節されたことにより土砂濃度のピークが低下した。また無施設の場合4秒でカルバートは閉塞し5秒後に越水した。底面スクリーンを設置した場合も5秒以降カルバート内の土砂の流下能力が落ち10秒後に越水した。斜面スクリーンを設置した場合、カルバートは閉塞しなかった。B砂についてもA砂と同様、カルバートにより土砂が調節されたことにより濃度のピークは60%から35%に低下した。カルバートが閉塞し越水したのは無施設の場合だけで、底面スクリーンだけの場合でもA砂のときのような閉塞は起こらなかった。以上A・B砂共に斜面スクリーンを設置した場合は閉塞及び越水は起こらず閉塞防止に効果あることが認められた。次に土石流に含まれる土砂の粒度分布によるスクリーンの効果の違いについては、底面スクリーンだけの場合図-4.12に示すように最大粒径19.1mmのA砂では流下能力が低下し越水が起こったのに対し、最大粒径が25.4mmのB砂では流下能力の低下や閉塞は起こらなかった。それはA砂の場合土石流がスクリーン上流端に達して2秒程度でスクリーンを通過しカルバートに短時間の間に流下能力以上の土砂が流入したため、B砂ではスクリーンを通過するのに8秒かかり、土石流先端部がカルバートにいちどに流入することがなく土砂が徐々に流入したためカルバートを土砂がスムーズに流下した。このことより底面スクリーンによる土石流流量および土砂濃度の低下は土石流速度の低下に関連することが考えられる。

4.3.2 スクリーンによる土石流先端部の減速

長さ35cm、スリット間隔が12mm・16mm、スリット方向が流向及び横断方向について各2回、A・B砂各8ケースについてスクリーン上での土石流の先端部の流速を測定した。その結果表-4.5図-4.13に示すようにA、B砂共にほぼ一定の負の加速度で減速している。加速度はA砂が約 -22 cm/s^2 、B砂は約 -13 cm/s^2 であった。また、比較のため昭和60年7月に長野県焼岳で発生した土石流のスクリーン上での流速⁷⁾の変化を2秒毎に撮影された連続写真から読み取った結果を図-4.13に示す。焼岳の土石流の加速度は約 -100 cm/s^2 だった。なお、底面スクリーン上での土石流の減速を等加速直線運動とした場合の底面スクリーンと土石流の摩擦係数はA砂で0.022、B砂で0.013、焼岳では0.102となった。

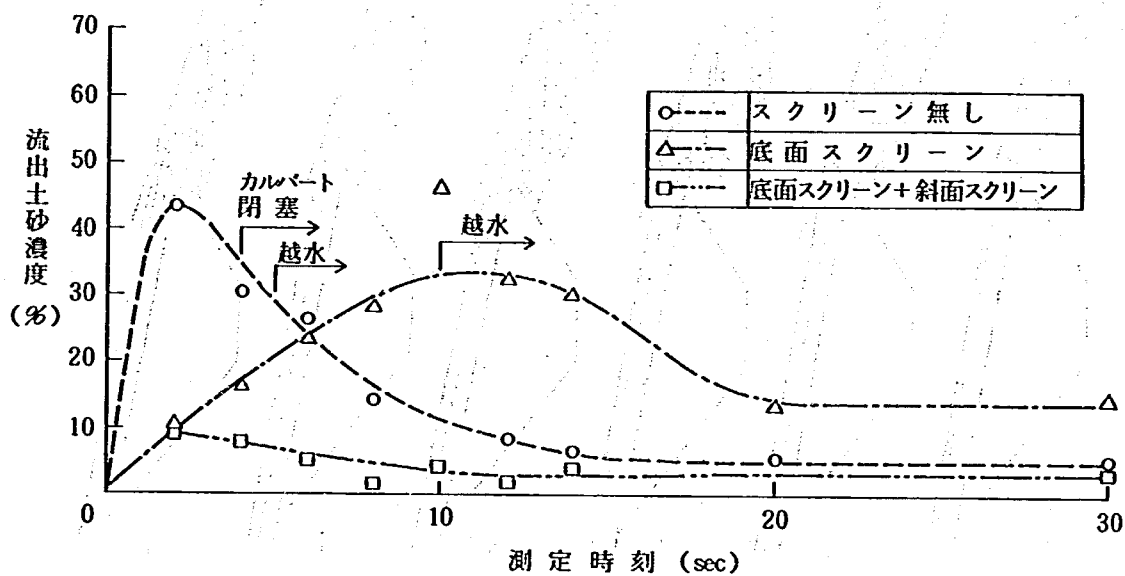


図-4.10 カルバート通過後の流出土砂濃度 (A砂)

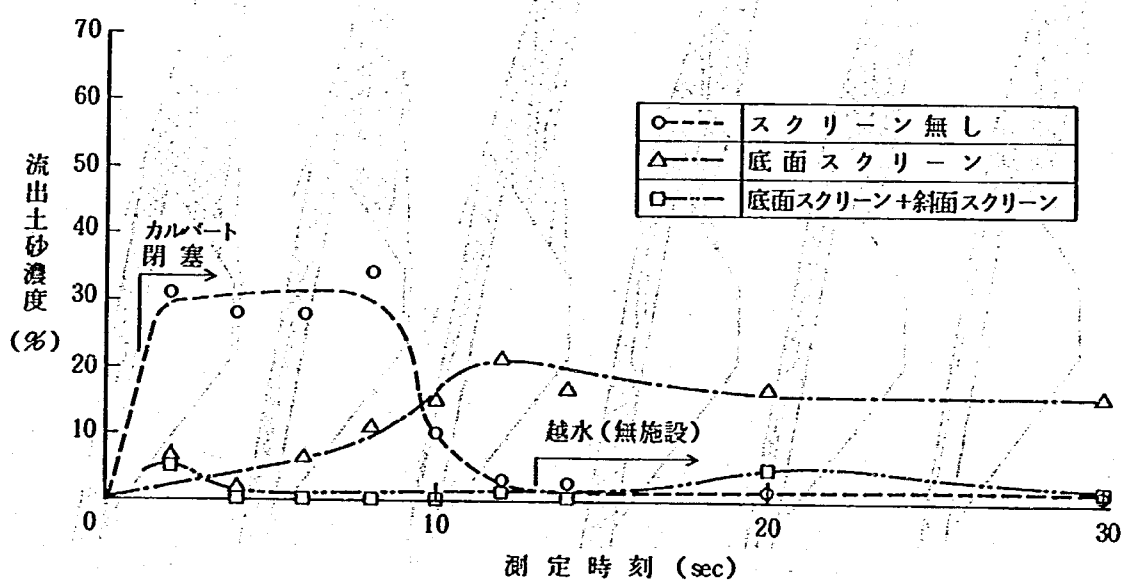


図-4.11 カルバート通過後の流出土砂濃度 (B砂)

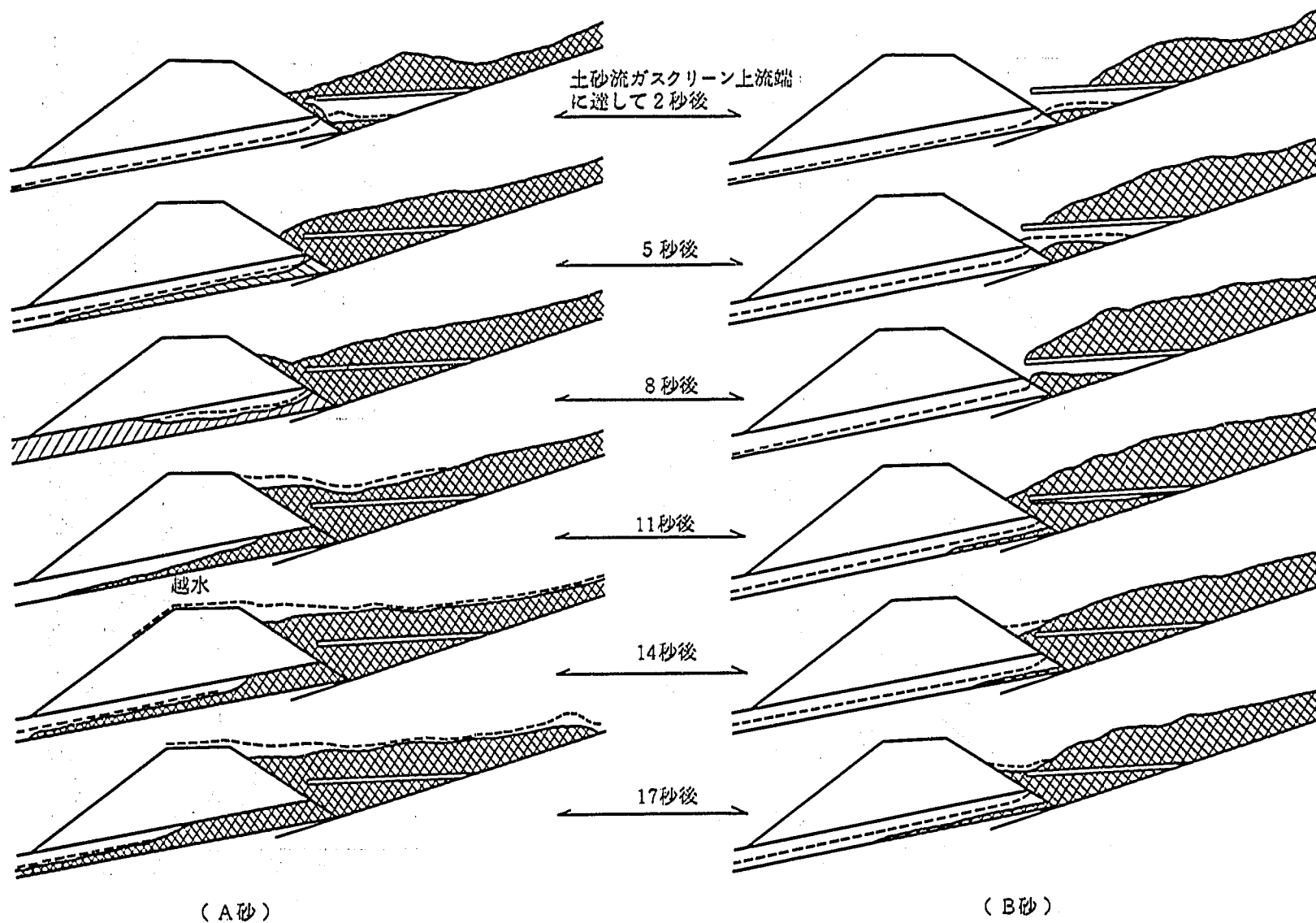
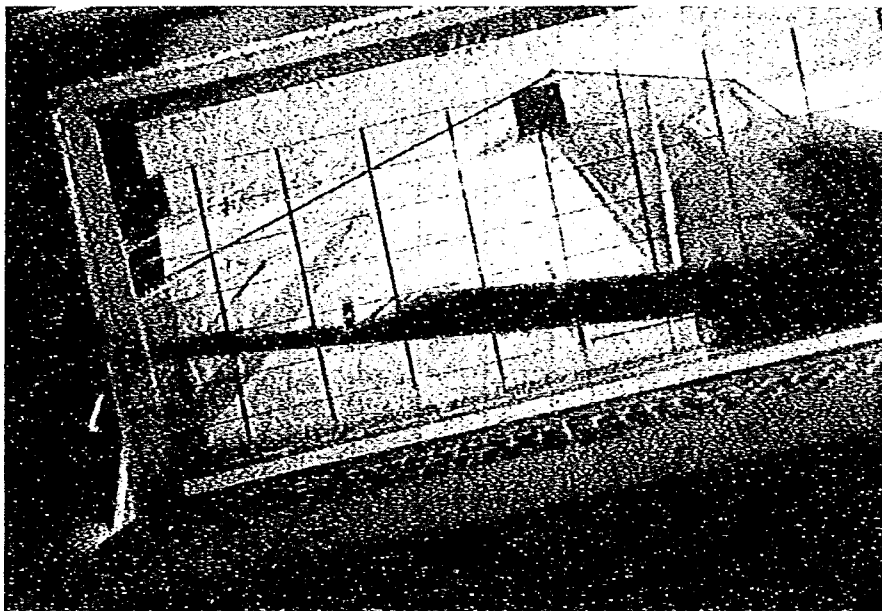
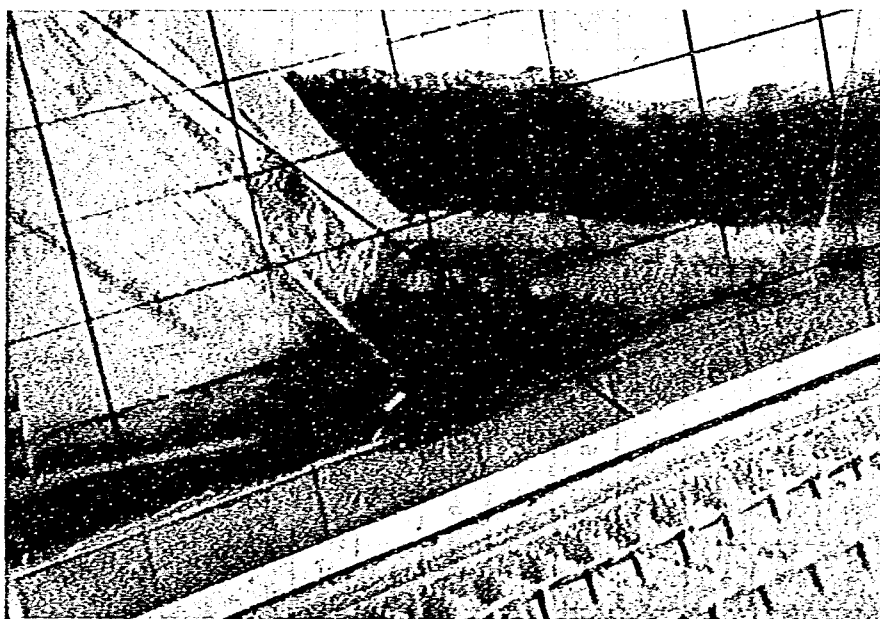


図-4.12 盛土上流での土石流の動き (——土砂, ----水)



写真－4.3 カルバート内で土砂の流下能力が落ちている状況



写真－4.4 カルバートへの土砂の流入状況

図-4.5(1) スクリーン上 (L = 35 cm) での土石流の移動距離 (A 砂)

ケース No	流量 (ℓ/s)	土砂	方向	間隔 (mm)	スクリー ン流入 速度 (cm/s)	移動距離																																									
						0.5 秒	1.0 秒	1.5 秒	2.0 秒	2.5 秒	3.0 秒	3.5 秒	4.0 秒	4.5 秒	5.0 秒	5.5 秒	6.0 秒	6.5 秒	7.0 秒	7.5 秒	8.0 秒	8.5 秒	9.0 秒	9.5 秒	10.0 秒	10.5 秒	11.0 秒	11.5 秒	12.0 秒	12.5 秒	13.0 秒	13.5 秒	14.0 秒	14.5 秒	15.0 秒	15.5 秒	16.0 秒	16.5 秒	17.0 秒	17.5 秒							
6	2.0	A	流向	12	40	14	9	(7)																																							
17			"	"	52	16	7	5	(7)																																						
9			"	16	50	15	2	12	(6)																																						
19			"	"	42	16	8	2	(9)																																						
12			横断	12	54	18	8	6	(3)																																						
21			"	"	52	15	7	(10)																																							
15			"	16	52	15	11	(4)																																							
23			"	"	54	17	8	(5)																																							
平均					49	16	8	6	3																																						

()内：スクリーンを通過

表-4.5(2) スクリーン上(L=35 cm)での土石流の移動距離(B砂)

ケース No	流量 (ℓ/s)	土砂	方向	間隔 (mm)	スクリー ン流入 速度 (cm/s)	移動距離																																					
						0.5 秒	1.0 秒	1.5 秒	2.0 秒	2.5 秒	3.0 秒	3.5 秒	4.0 秒	4.5 秒	5.0 秒	5.5 秒	6.0 秒	6.5 秒	7.0 秒	7.5 秒	8.0 秒	8.5 秒	9.0 秒	9.5 秒	10.0 秒	10.5 秒	11.0 秒	11.5 秒	12.0 秒	12.5 秒	13.0 秒	13.5 秒	14.0 秒	14.5 秒	15.0 秒	15.5 秒	16.0 秒	16.5 秒	17.0 秒	17.5 秒			
34	2.0	B 砂	流向	12	32	13	3	0	0	0	8	0	5	3	1	6																											
43			〃	〃	30	6	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10	(7)					
37			〃	16	24	13	5	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	6																			
45			〃	〃	22	2	1	0	1	0	12	0	0	8	7	4																											
39			横断	12	24	8	13	1	1	1	2	2	8	0	0	7																											
47			〃	〃	12	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	6	6	5		
41			〃	16	32	6	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	4	0	1	0	2	7							
49			〃	〃	30	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	2	5	3	8	0	1	1																
平均					26	7	5	1	0																																		

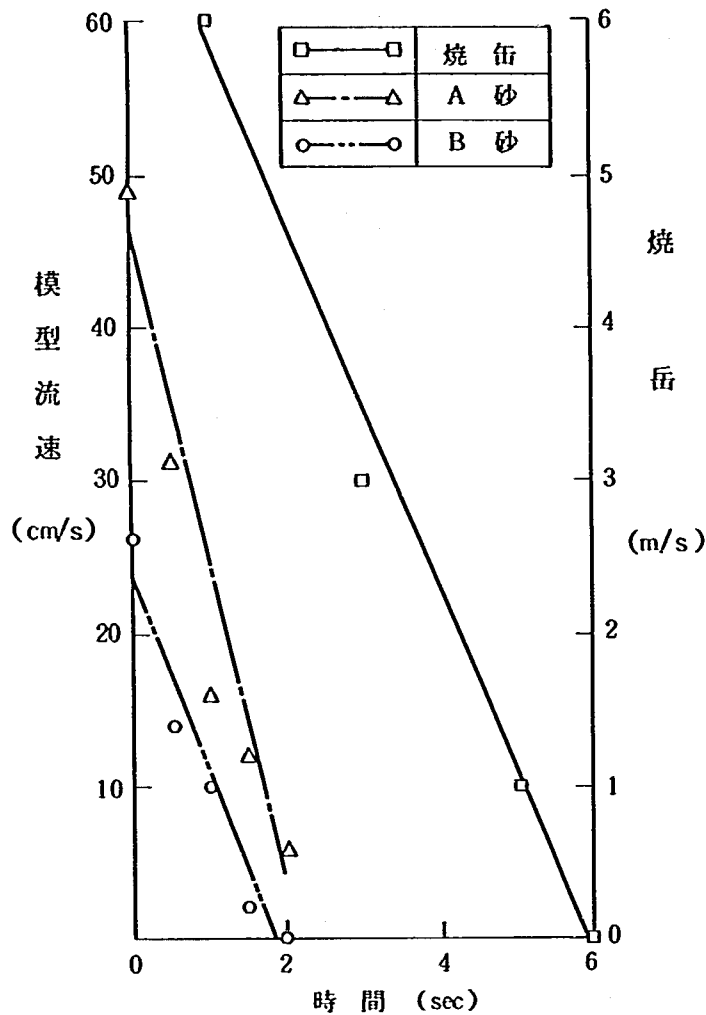


図-4.13 スクリーン上での土石流の流速

4.3.3 スクリーン形状と最高水位・土砂流出率の関係

各スクリーンの形状ごとの土砂流出率と最高水位を図-4.14, 4.15に示す。A砂の場合流量2 ℓ/s で斜面スクリーンがないときほとんどの実験ケースで越水が起こった。越水がスクリーンと盛土との間からカルバートへ一度に流れ込んだためカルバートが一時的に閉塞したため生じ。底面スクリーンに斜面スクリーンを接続した場合、土砂流出率は下がり最高水位は18 cmで越水は起こらなかった。B砂の場合、いずれのケースでも越水は起こらなかった。A砂の場合と同様斜面スクリーンを設置すると土砂流出率は40～60%に低下し最高水位も5～9 cm低くなった。水のみを2 ℓ/s 流した場合水位は8 cmであることから斜面スクリーンを設置すると土砂による水位の上昇はほとんど無くなるといえる。

スクリーン面積を変えるとB砂で底面スクリーンだけの場合スクリーンの長さが25 cmのとき最高水位は18～19 cmに達し長さを35 cmにすると15～17 cmになり、さらに合形にすると10～12 cmとなってスクリーン面積が広いほど最高水位は低くなった。A砂の場合面積を変えても最高水位に明確な差は見られなかった。

スクリーン間隔及びスリット方向を変えてみたが流出土砂量・流出土砂濃度及び土石流先端部の減

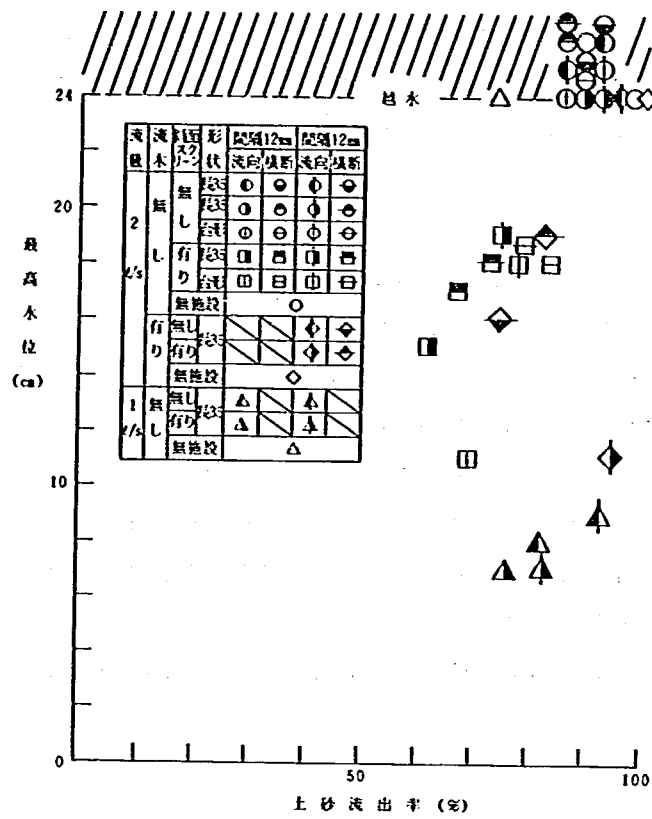


図-4.14 最高水位と土砂流出率の関係 (A砂)

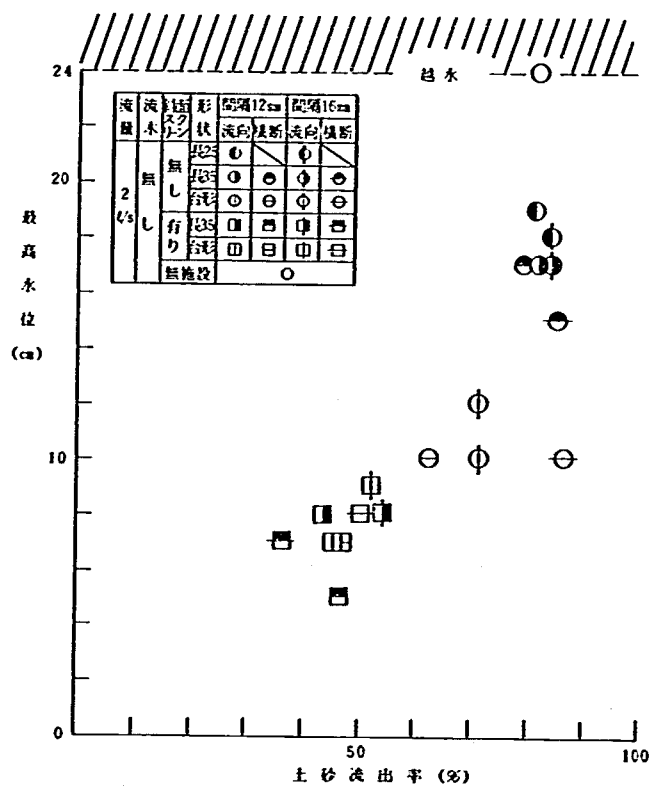


図-4.15 最高水位と土砂流出率の関係 (B砂)

速に明確な差は見られなかった。流量が1 l/sの場合でも土砂流出率が高いほど、すなわちカルバート内に流入する土砂が多いほど最高水位は高くなった。また流木を含んだ実験では流出土砂量、流出土濃度に関して流木を含まない実験とほぼ同じ傾向であったが、A砂で斜面スクリーンを設置していない場合カルバートが流木により閉塞されて越水する現象が認められた。

4.4 考 察

- ① 土石流の土砂濃度及びピーク流量が一定値以上になるとカルバートが閉塞したり、排水量が不足して道路盛土に越水が起きることを確認した。
- ② 底面及び斜面スクリーンは土石流のピーク流量及び土砂濃度を低下させカルバートへの土砂の集中を防ぎ閉塞防止に効果があることが分かった。
- ③ 底面スクリーンによる土石流流量及び土砂濃度の低下は土石流速度の低下と関連することが分かった。スクリーン上を土石流はほぼ一定の負の加速度を受けて減速した。
- ④ 斜面スクリーンを設置すると盛土上流の最高水位は低下しカルバートの閉塞及び道路盛土の越水防止に効果があることが確認された。
- ⑤ スクリーン面積は広いほど最高水位は低下しカルバートの閉塞防止効果が高まる。

5. まとめと今後の課題

5.1 土石流による盛土道路の被災過程

土石流が発生・流下する危険性のある溪流を山岳道路が横断する場合、盛土道路の被災形態は次のように分類される。

- ① 土石流の衝突による盛土の破壊・流出
- ② 越水による法面侵食・破壊
- ③ カルバート破損による崩壊
- ④ カルバートの裏込め土砂の洗掘およびカルバートの変形
- ⑤ 土砂による路面埋没
- ⑥ 土砂によるカルバート埋塞

またカルバートによって排水を行う盛土道路の被災対策には次の方法が考えられる。

- ① 大断面のカルバートを採用する（土石流を安全に通過させる）
- ② 下流法面を保護し、越水しても洗掘されないようにする。
- ③ 盛土への浸透を抑え、パイピングによる法先の破壊を防ぐ。
- ④ 大礫、流木によるカルバートの閉塞を防ぐため簡易なダムやフェンスを上流に設ける。

簡易なダムやフェンスを上流に設けることは越水を発生させず、一度堆積した土石流を後続流で洗い流させることもできるため有効と考えられる。また、溪床と道路面の比高が小さい場合、特に山岳地域の小規模な道路では、洗越が積極的に採用されても良いように思われる。

5.2 盛土道路のパイピング破壊防止及び土石流覆工に関する検討

5.2.1 盛土道路のパイピング破壊防止

- ① パイピングによる破壊の有無は路体の盛土材料に左右される。パイピングの発生は路体の盛土材料を難透水性にすることにより防止できる。
- ② 路体が透水性の良いものでできている場合上流満水に備えて盛土上流面を完全にコンクリート等で覆っておくとパイピングによる破壊を防止できる。なお、部分的にコンクリートで覆ってもあまり効果がない。
- ③ 道路のパイピングによる被災を防止するには a. 十分な疎通能力のあるカルバートあるいは橋を作るか、b. 盛土全体をコンクリート等で覆い、止水するのが効果的である。

5.2.2 土石流覆工を通過する土石流の動態

- ① 土石流のピーク流量を十分通過できる断面を確保すれば覆工は道路の土石流対策として用いることが可能である。
- ② 覆工の通水断面に比べて流量が多いと覆工より土石流がこぼれるのでこの場合通行中の自動車にとって危険となる。上流で越水するよりも路面で越水した方がより危険である。

- ③ 土石流の偏流や一時的な土砂堆積を考慮して断面は余裕をとる必要がある。また導流堤の必要な高さ、曲率等を検討する必要がある。

5.2.3 土石流覆工にかかる荷重

土石流が通過したとき覆工上において河床に垂直な方向と平行な方向に働く荷重を測定した結果、覆工河床面に平行に働くせん断力は、覆工河床面に垂直に働く荷重の約15～23%であった。

また、盛土道路に土石流が衝突したときに働く荷重を堆定するために、土石流の衝突により盛土に働く荷重(P)測定し、それと流体力の式から計算で得られる荷重(F)を比較した。その結果、流量が大きくなる程、また河床勾配が緩くなるほど、 P/F が小さくなる傾向が見られたが測定方法も含めて今後の検討が必要である。

5.3 カルバート閉塞防止スクリーン

- ① 土石流の土砂濃度及びピーク流量が一定値以上になるとカルバートが閉塞したり、排水量が不足して道路盛土部に越水が起きることを確認した。
- ② 底面及び斜面スクリーンは土石流のピーク流量及び土砂濃度を低下させカルバートへの土砂の集中を防ぎ閉塞防止に効果があることが分かった。
- ③ 底面スクリーンによる土石流流量及び土砂濃度の低下は土石流速度の低下と関連することが分かった。スクリーン上では土石流はほぼ一定の負の加速度を受けて減速した。
- ④ 斜面スクリーンを設置すると盛土上流の最高水位は低下しカルバートの閉塞及び盛土道路の越水防止に効果があることが確認された。
- ⑤ スクリーン面積は広いほど最高水位は低下し、カルバートの閉塞防止効果が高まる。

5.4 今後の課題

土石流が発生する危険性のある溪流を横過する道路の土石流対策に関して、①盛土道路の被災過程と対策 ②土石流覆工の効果 ③土石流覆工に作用する荷重 ④横過部上流に設置するスクリーン工の効果について基礎的な検討を実施した。今後はこれらの対策施設の計画、設計法を作成するとともに現地へ適用を進める必要がある。

参 考 文 献

- 1) 財・砂防・地すべり技術センター(日本道路公団委託):自動車道に係る土石流災害の予知及びその対応に関する研究(その2)報告書,昭和62年2月
- 2) 社・日本道路協会:道路土工指針 のり面工・斜面安定工指針,昭和61年11月
- 3) 瀬尾克美,水山高久,万膳英彦:昭和57年7月長崎豪雨による土砂災害調査報告,土木研究所資料第2107号,1984年3月
- 4) 上原信司,水山高久:土石流動態観測に基づく土石流ピーク流量の検討,新砂防 Vol.37, No 3 (1984. 9)
- 5) 村上順雄ほか:昭和58年7月豪雨(島根)によるカルバート被害の調査,土木技術資料 Vol. 28, No 6 (1986) pp. 20~25
- 6) Ven Te Chow: Open - Channel Hydraulics, Mc Grawhil Kogakusha, Ltd (1959), pp. 492~498
- 7) 清野雅雄,宮越英紀,上原信司,水山高久:底面水抜きスクリーンの現地試験,新砂防第146号, Vol. 39, No 3 昭和61年9月, pp 15~19

山岳道路の土石流による災害
防止に関する研究報告書

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2731号
平成元年2月(1989)

砂防部 砂防研究室 室長 水山高久
主任研究員 石川芳治 福澤 誠

要 旨 山岳道路の土石流による災害防止に関連して、土石流による盛土道路の被災過程、土石流対策工としての土石流覆工及びカルバート閉塞防止のためのスクリーン工の土石流制御効果について水理模型実験を行い、その結果を考察しとりまとめた。

キーワード：山岳道路、土石流、模型実験、土石流覆工、カルバート、スクリーン

郵便はがき

41円切手を
はいて
下さ

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
砂防研究室 御中

No. _____

No. _____

土木研究所資料第2731号

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2731号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

土木研究所資料第2731号