

土 木 研 究 所 資 料

野尻川河口部水理模型実験報告書

昭和60年 3 月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

Copyright © 1985 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。

野尻川河口部水理模型実験報告書

砂防研究室 室長 瀬 尾 克 美
下 東 久 巳

Hydraulic Model Test on the River Mouth of the Nojiri River

Erosion Control Division Katsumi Senoo
Hisami Shimohigashi

要 旨

桜島の野尻川では、火山活動による降灰や山地荒廃により土石流が多発し、河口部付近では流路工内の土砂堆積等が原因で土砂の氾濫が頻発している。そこで、砂防基本計画の基礎資料を得るため、流路工勾配や河口部の条件を変えた水理模型実験を実施し、土砂の氾濫を防止する検討を行った。また、固定床水路における勾配と土砂濃度の関係を調べた結果、1/15から1/25程度の水路勾配で流れうる土砂濃度は30%以下であることが明らかとなった。

キーワード：野尻川，流路工，水理模型実験，土石流，土砂濃度

Synopsis

Many mudflows have occurred in the Nojiri River, Sakurajima Island. Much amount of sediment was deposited and caused disasters at almost every mudflow. Hydraulic model tests were carried out to find the optimum design of the channel which can lead mudflows into the sea without deposition in the channel.

Key Words : Nojiri River, Channel works, Hydraulic model test, Mud-flow, Sediment

は　じ　め　に

九州地方建設局大隅工事事務所管内では、桜島の火山活動の活発化に伴なう降灰や山地の荒廃化により泥流タイプの土石流が高い頻度で発生している。噴火が続いている桜島での土石流対策は、無限性を有した土砂の供給状況や、火山の噴火による危険性のために砂防工事の範囲が制限されるなど、特殊な条件下にあり、砂防事業は困難を極めている。そこで、現在は、比較的土地の高度利用がなされている流域の下流部における流路工の整備等を実施している。しかし、大隅工事事務所管内の土石流発生河川の内、野尻川では土石流堆積物による河口部の閉塞により、土砂が氾濫する等の問題が生じている。

今回は以上のような現況を考慮し、野尻川における砂防基本計画の基礎資料を得る目的で水理模型実験を実施した。本報告はその水理模型実験の結果をとりまとめ、その結果について検討を加えたものである。

昭和60年3月

目 次

はじめに

1. 野尻川の概要	1
1.1 流域の概要	1
1.2 流出土砂の状況	2
1.3 土石流による災害	3
1.4 砂防調査の現状	5
1.5 砂防施設計画の概要	7
2. 実験内容	9
2.1 実験の目的	9
2.2 実験装置	10
2.3 実験条件	15
3. 実験に関する考察と結果	22
3.1 勾配と濃度に関する実験	22
3.2 土砂濃度の相似性に関する実験	33
3.3 基本計画案に関する実験	35
3.4 土石流を直接海域へ流す実験	42
3.5 河口部開削工の形状に関する実験	44
4. ま と め	54
お わ り に	55
参 考 文 献	57
写 真 集	59

1. 野尻川の概要

1.1 流域の概要¹⁾

桜島は、かつては鹿児島湾に浮かぶ島であったが、大正3年の大噴火の際、流出した熔岩が瀬戸海峡を埋めて島の南東端で大隅半島とつながり、現在のような地形をなすに至った。

桜島は、図-1.1に示すように北岳(1,117m)、中岳(1,059m)、南岳(1,011m)、より形成さ

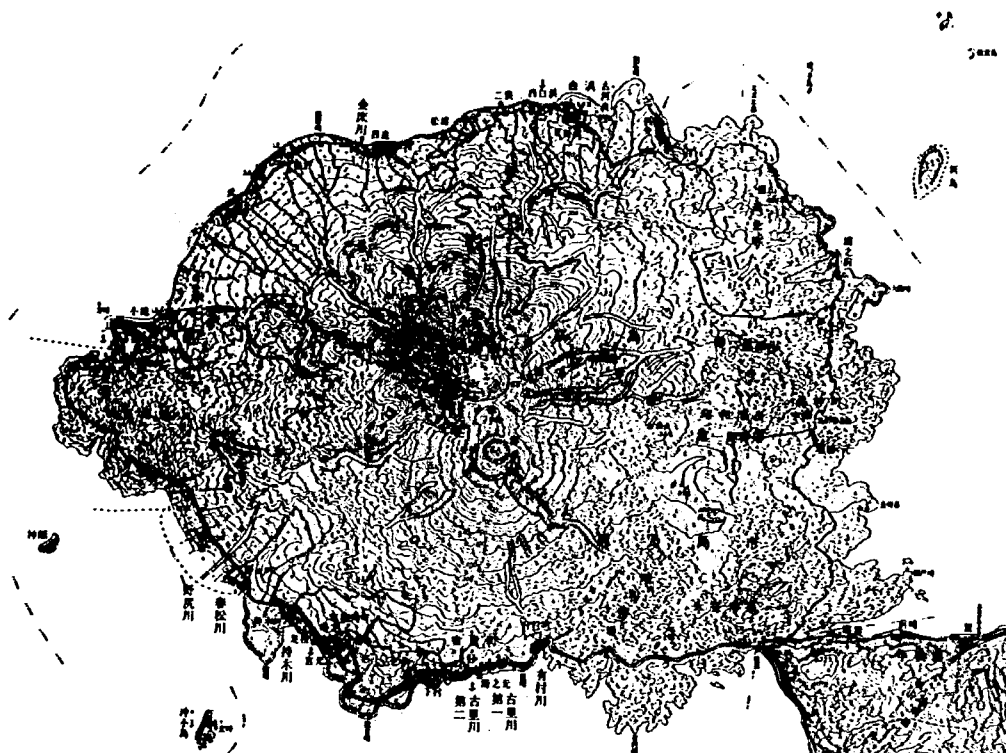


図-1.1 桜島の平面図

れ、約80km²の面積を有している。桜島の標高700~800m以高はほとんど植生のない裸地帯であり、無数の細いガリが発達し、下るにつれて大型の深い谷を形成している。標高400~500m以高は、この三岳を形成する古期の火山噴出物からなり、平均20数度の傾斜をもっている。それから下へ標高100~200mまでは、主に有史以後の噴出物が分布し、平均20°前後の傾斜となっている。この新期噴出物は各所で海岸まで達し、熔岩原となっている。標高100~200m以下の地帯は、10°以下の山麓緩斜面あるいは、扇状地状斜面となっている。桜島は、幾層もの輝石安山岩質熔岩流、同質砕屑物層、軽石層、火山灰層に覆われ、ガリ侵食がごく進行し易い状況にある。

島内では、20km²余の農耕地で柑橘類の果樹園芸や桜島大根を主体とする農業が行われている。また、島の約85%が霧島屋久国立公園に指定されており、農業とともに観光事業が住民の生活の基盤をなしている。

桜島における有史時代の噴火記録は全て南岳に関してのものであり、そのうち最古の記録は和銅元年(708年)に海底火山が隆起したものと伝えられている。その後の噴火は、大正3年の大噴火ま

で31回が記録されている。現在活動している火口は南岳頂上のみであるが、この火山活動は昭和47年から激化し、1年間に100回以上の爆発を数え現在もなお続いている。

桜島には大小15の河川があり山頂を谷頭として錦江湾に注いでいる。各河川上流の山腹斜面ではガリの発達とともに表面侵食が進み、活発な土砂生産が行われている。これらの土砂は降雨により河道内を土石流的な運動形態で流下し、下流域で様々な災害を発生させている。また、各河川は、常時は全くの水無川であり、降雨時には大小の差こそあれ土石流がたびたび発生している。

野尻川は桜島の南西斜面に位置し、流域面積2,99km²、流路延長5.4kmの土石流頻発河川である。野尻川の概略縦断面図を図-1.2に示す。

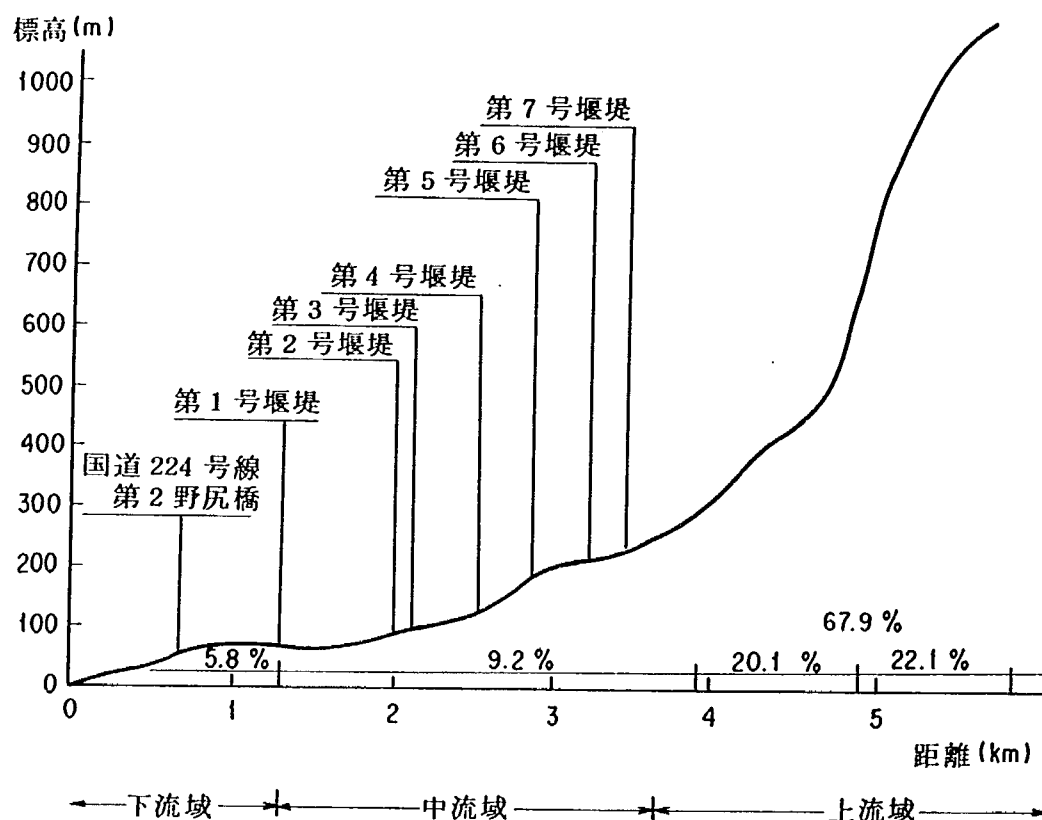


図-1.2 野尻川の縦断面図

1.2 流出土砂の状況

土石流による流出土砂量は、野尻川において膨大な量に上り、土砂処理が緊急課題となっている。野尻川は、下流域の流路工で土石流を氾濫させずに流下させようとしているが、年間の流出土砂量は40万から50万m³と考えられ、そのうち約10万m³は河口デルタのため、流路勾配がとれずに流路工内に土砂が堆積する。このため年数回除石工事を行っている。野尻川における各年の土石流発生回数を表-1.1に示した。

表－ 1.1 野尻川土石流発生回数

年 度	4 8	4 9	5 0	5 1	5 2	5 3	5 4	5 5	5 6	5 7	5 8	5 9
発生回数	1 2	1 6	2 2	2 5	2 2	2 4	1 5	2 2	1 9	1 7	2 5	1 3

昭和 6 0 年 2 月 8 日現在

1.3 土石流による災害

土石流の発生は、降雨量の多い時期であり火山活動の活発な期間でもある 4 月～1 0 月の期間に集中している。野尻川では毎年、流路工及び河口に堆積する土砂の排除工事を非出水期等に行っており、土石流の氾濫防止に努めているが、過去には、大きな災害として下記のような土石流災害が発生している。

昭和 3 9 年 7 月 1 9 日 薪ひろいの老女が鉄砲水に巻きこまれ死亡。

昭和 4 4 年 6 月 3 0 日 土石流が国道付近で大氾濫し、住民が避難。

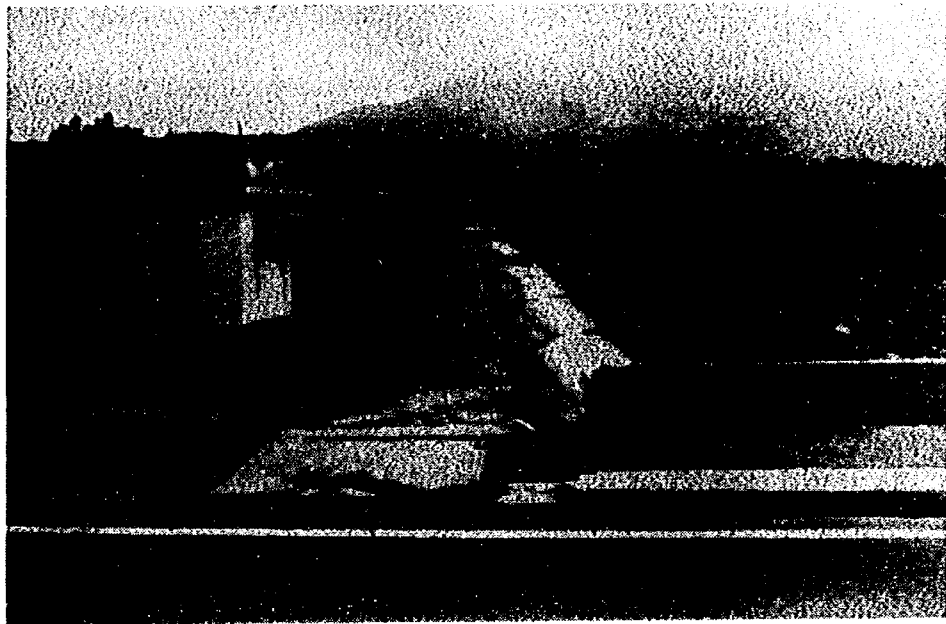
昭和 4 9 年 8 月 9 日 砂防工事中の作業員 4 名と両親の作業を見ていた学生 1 名の計 5 人が土石流に巻きこまれ死亡。

昭和 5 0 年 9 月 1 7 日 土石流が氾濫し国道橋が被災。

昭和 5 1 年 6 月 2 4 日 4 時間 1 5 1 mm の豪雨で土石流が大氾濫。

昭和 5 9 年 8 月 2 5 日 既往最大の土石流が発生し、土石流が大氾濫。

写真－ 1.1 は、野尻橋（国道橋）より野尻川流路工の上流を撮影したものである。右手後方には、



写真－ 1.1 野尻橋より野尻川流路工上流を望む

桜島の南岳が見えている。左手前方の鉄筋コンクリート造りの白い建物は、野尻橋土石流観測所である。この中には、実際に発生した土石流を撮影してその流動機構等を解析し、土石流の性状を把握するた

めのV、T、R装置が設置してある。また、観測所の屋根の上に白く見えているのは野尻川の1号ダムである。

写真-1.2は、野尻橋から写真-1.1とほぼ同じアングルで撮影した写真で、昭和58年8月25



写真-1.2 昭和58年8月25日に発生した土石流により野尻川
流路工内に土砂が堆積している状況

日に発生した土石流により野尻橋付近で土石流が氾濫し、野尻川流路工内にも、直径数メートルの巨礫を含む土砂が多量に堆積している状況である。

写真-1.3は、野尻川で発生した土石流により、直径数10cmの礫を含んだ土砂が、野尻橋付近の

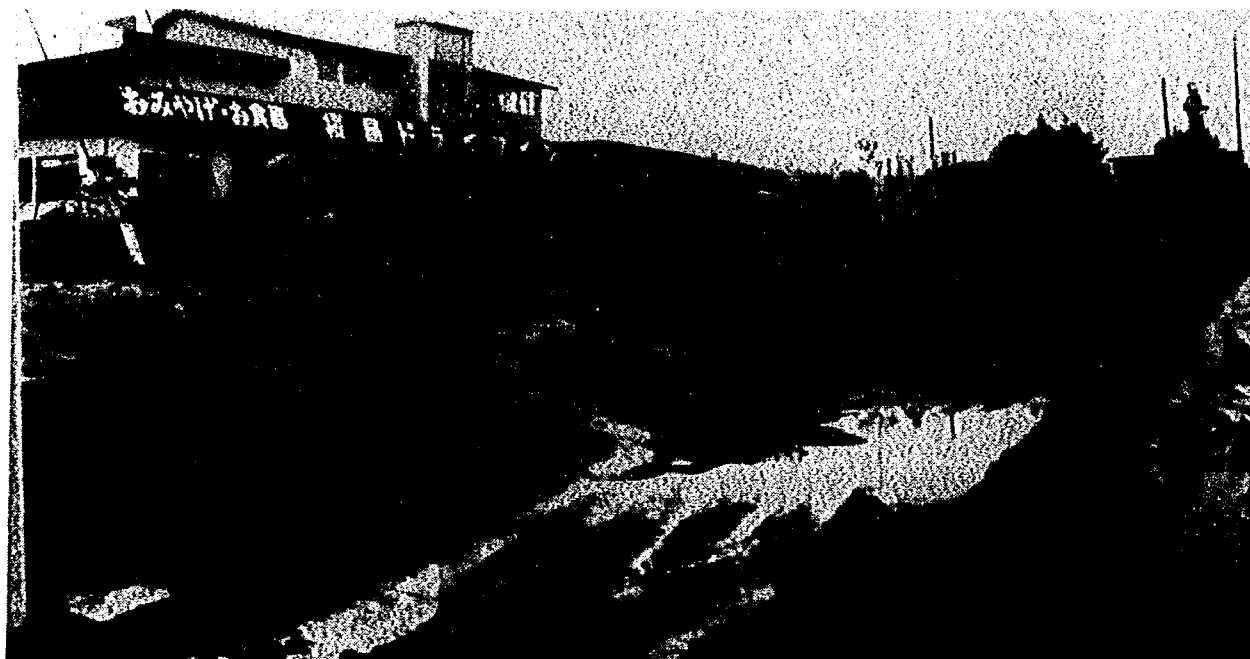


写真-1.3 野尻橋付近で土砂が氾濫堆積している状況

ドライブインの駐車場まで氾濫堆積した状況である。

1.4 砂防調査の現状

桜島の砂防調査は、昭和49年から開始され、昭和50年に設置された「桜島砂防対策委員会」の指導に基づいて調査を行ってきた。これらの成果を踏まえて昭和55年には「桜島技術検討会」で土砂処理計画が検討され、当面の実施案が作成された。

桜島の著しい荒廃の進行と土砂流出防止のため、万全な砂防施設を計画しなければならないが、その計画策定に当っては、(1)膨大な流出土砂量、(2)強大な土石流の破壊力、(3)土石流の発生、流下機構、(4)流域の荒廃の進行状況等に留意しなければならない。しかし、土石流の対策を構じる前に、その水理特性を把握しなければならないが、現在、建設省、諸大学で数多くの技術者、研究者によって鋭意研究され、徐々にその解明が成されてはいるものの、土石流の実態を把握するまでには至らず、またその成果が桜島の現地にあてはまるかの確証も得られていない。このため、現地において土石流の観測及び調査を行い、その解明を行うとともにその成果を砂防施設計画へ適用することが重要な課題となっている。

調査項目は下記の通りである。

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| ① 土石流の活動形態 | ⑧ 構成物質の粒度と運動（採水分析、河床材料） |
| ② 土石流発生と降雨特性 | ⑨ 土石流のエネルギー |
| ③ 土石流ピーク流量を規定する降雨特性 | ⑩ 流出解析 |
| ④ 土石流ピーク流量と粗度係数 | ⑪ 流砂量式の検討 |
| ⑤ 偏流解析 | ⑫ 河床変動調査 |
| ⑥ 降灰量解析 | ⑬ ダム効果調査 |
| ⑦ 火山活動と土石流 | ⑭ 土砂収支解析 |

昭和49年度から56年度までの調査で、(1)野尻川における流出土砂量の把握、(2)V・T・Rテープによる土石流の水理量の解析、(3)土砂収支及び流域の形態変化状況の把握、(4)今後の土砂量計画及び施設計画の立案、(5)土石流危険区域の設定等の成果が得られたが、今後に残された課題として次の項目がある。

① 土石流の発生機構の解明

水理水文資料が、かなり蓄積してはいるが、土石流がどのように発生するのかは解明されておらず、今後、発生要因としての降雨、地形地質、さらに火山活動として噴火、地震降灰等、及び火山活動に伴う生産土砂量等を関連づけて解明しなければならない。

② 土石流の流下機構の解明

現在の観測は主として、下流流路工でなされており、上、中流域での流下機構については不明である。このため、可能であればこれらの地区でも流下拡大、減小、衝撃力等の観測を行い土石流の流下機構を明らかにしていくとともに、土石流が、中、下流域でダムあるいは流路工によって、どのような影響を受けるのかを解明する。

③ 偏 流 解 析

流路弯曲部での水理現象を解明し，施設計画（流路，ダム等）の基礎資料とする。

④ 砂防施設の効果

現在，施工されている砂防施設の効果（生産抑制，調節等）を明らかにし，今後の施設計画に役立てる。

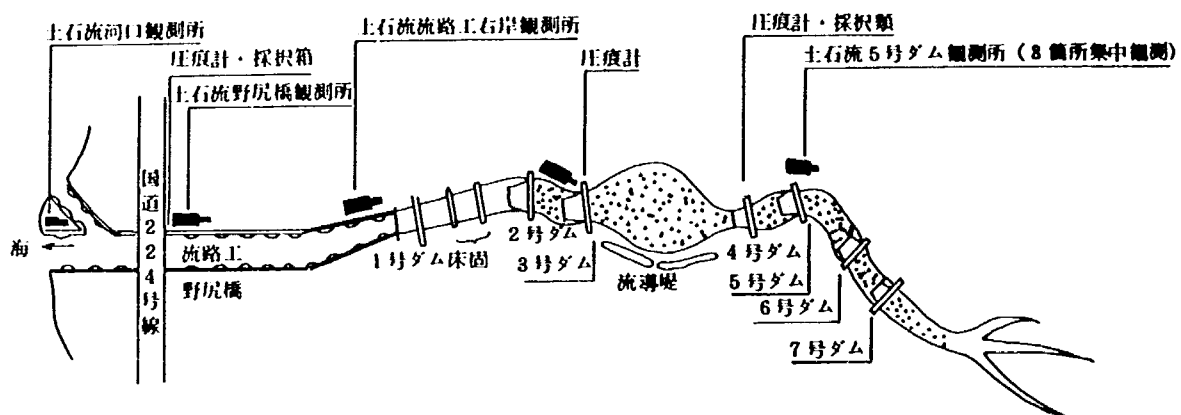
⑤ 土石流対策設計要領の策定

土石流による砂防施設の破損が著しく，施設の補強工法及び，土石流に対する有効な施設配置，設計諸元の検討を行う。

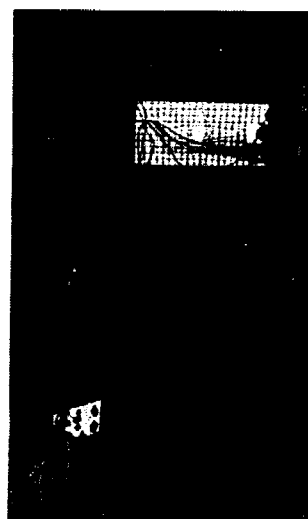
⑥ 予防警報，避難体制の確立

前述の土石流発生機構を解明することにより予防警報の基準設定を行い，さらに，流域の定期調査により，新たな危険溪流を把握し，土地利用計画，防災計画の検討を行う。

図－1.3には野尻川の砂防施設と土石流観測施設の概略図を示した。写真－1.4は実際の土石流を撮影するためのV．T．R．設備である。



図－1.3 野尻川の砂防施設と土石流観測施設の概略図



写真－1.4 土石流観測用のV．T．R．設備

1.5 砂防施設計画の概要

1.5.1 現況と問題点

野尻川では7基の砂防ダムで中流域の土砂生産の抑制及び流出調節を行っているが、抑制、調節能力が不足し、下流域流路工内で堆積土砂の除去、河口デルタの浚渫を絶えず行っている。

現状の問題点は次のようなものである。

上流域は、火山活動が活発なため砂防施設の設置が困難であり、土砂生産の抑制及び流出調節は行われていない。

中流域では、河道の縦浸食が活発で、1号、3号、4号ダムの堆積土砂が浸食を受け、河床勾配が低下している。

特に上記堆砂地上流の3号、4号、5号ダム直下流の深堀れが著しい。

下流域では、河口、デルタ部の土砂堆積容量は、ほぼ飽和状態に達しており、流路工を流下してきた土砂は全て流下できずに流路工内に堆積している。

それで、流路工の除石及び、河口デルタの浚渫は常に行わねばならない。

1.5.2 施設計画の方針

砂防計画は土砂生産の抑制を主体とし、土砂流出の調節及び土砂氾濫防止、除石を対象とする。

① 上 流 域

7号ダムより上流部で、荒廃が著しく進んでおり、現在火山活動が活発なため立ち入り禁止となっている。

将来、火山活動が沈静した状態で工事を行うものとし、砂防ダム、床固工により土砂生産の抑制、土砂流出の調節を行うものとする。

② 中 流 域

1号ダムより、7号ダム区間では河床勾配が低下しており、計画勾配の再検討を行った。

ここでは、床固工により、河床低下の防止を図り、既設ダムに対しては、副ダムを計画し、局処洗堀に対処した。

次に、流域界が不明瞭化している3号ダム堆砂地では、導流堤を計画した。

③ 下 流 域

土砂を無害に流下させるため、流路工の改修と除石、さらに浚渫などによる河口部の処理を計画する。

表－ 1. 2 は以上の計画方針をとりまとめたものである。

表－ 1. 2 砂 防 計 画 方 針

流 域	砂 防 計 画 方 針	砂 防 施 設 等
上流域	・土砂生産の抑制 ・土砂流出の調節	砂防ダム 〃
中流域	・土砂生産の抑制 ・土砂流出の調節 ・土石流の氾濫防止	砂防ダム，床固工 砂防ダム 導流堤の嵩上げ
下流域	・土石流の氾濫防止 流下	流路工の改修 除石

桜島の砂防工事は昭和 2 1 年に始められ，昭和 5 1 年には直轄砂防事業区域に指定され，現在に至っている。砂防施設の現況を表－ 1. 3 に示す。

表－ 1. 3 直 轄 砂 防 施 設

河川名	砂 防 施 設 の 状 況	
	施 設 の 種 類	施設の数及び延長
野 尻 川	ダム・床固工	7 基
	流路工	約 1. 3 Km
	導流堤 護 岸	1 基

2. 実 験 内 容

2.1 実験の目的

桜島の野尻川では、火山活動の活発化に伴ない土石流がたびたび発生し、莫大な土砂が流出してくるため、野尻川の下流域の流路工を含めた河口部付近で土砂が堆積氾濫し、下流域に設けてある国道橋（野尻橋）が破損する等の災害が発生している。野尻川では、火山灰を多量に含んだ流動性の高い土石流が高い濃度を維持したまま、三面張流路工の勾配 $1/20$ 程度以下の緩い地点まで流下することが、V、T、R撮影や採水などの土石流動態観測より報告されている。

そこで、土木研究所では、火山泥流の流動および堆積のメカニズムを把握し、泥流対策のための諸資料を得るため水理模型実験を昭和53年に実施し、以下のようなとりまとめを行っている。²⁾（実験条件等は文献に詳しく記載されている。）

- ① 実験での泥流は流速、段波高、段波形状、単位体積重量、堆積形状、流況などからみて、現地で発生している泥流にほぼ相似していると考えてよい。
- ② 泥流の諸性質（流速係数、流量と流速の関係、先端部の河床洗掘力のないこと、堆積開始点、流出土砂量等）から、野尻川に発生する泥流は流路工計画上、掃流としての取りあつかいが可能であろう。
- ③ 流路工計画上問題となる土砂の堆積基準面は緩勾配（約 $1/40$ よりも緩）が勾配変化を伴って存在する場合、海岸の砂洲、海水位等が考えられる。特に海での拡散は大礫が河口部で停止堆積するためあまり効果を期待できない。
- ④ 堆積基準面をなくし泥流をできるだけ海に流下させようという考えにおいては、流路工部は $4\% \sim 5\%$ の河床勾配で充分であり海水や海岸砂洲との接点を不連続にするため流路工下流末端部に段差をつける工法が有効である。
- ⑤ ④で述べた段差は少ない場合 $3 \sim 5$ 回、多くても 10 回程度の泥流（泥流規模は先端部流量 $100 \sim 250 \text{ m}^3/\text{s}$ 、後続流量平均 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 、継続時間 40 分、土砂濃度 20% 程度）によって、その効果を失なう。
- ⑥ 野尻川流路工にて、年間 10 数回 ~ 20 回も発生する泥流を全て安全無害に流下させるには無理であろう。すなわち、泥流を流下させるという工法としての流路工においても流路内の堆積を防止することは困難であり、流路工内の堆積土砂の排土等、維持管理が必要不可欠の要素となるう。

本実験は、上記の⑥の結論に対して、砂防施設として三面張流路工を用いた場合、発生した土石流により河口閉塞を起こさず、無害に土石流を海域まで流下させることが、流路工の勾配を変えたり、流路工下流端の位置を変えたりすることで、可能かどうかを検討しようとするものである。国道224号線は、桜島が噴火した場合の緊急避難道としての役割を持っており、土石流災害により道路が不通となることは望ましくなく、国道224号線（野尻橋）の付替え工事との絡みにより、砂防基本計画

の確立は急を要するが、本年度の実験は、基本計画の基礎資料を得る目的で実験を行った。

大隅工事事務所では、昭和55年に野尻川の砂防基本計画案を作製したが、河口部計画案の実験的検討は行っていないため、今回基本計画案による河口部の形状に対して、最頻度流量と計画流量を流して土砂の堆積状況を調べた。また、流路工の河床勾配を急にすることで、土石流を安全に海域まで流せる場合において、流路工の天井川化や既設流路工の改修等の問題が考えられる。そこで、現況を基本に、陸上および海中での除石工を念頭においた、最適な河口部開削形状の計画案の資料を得る目的で、河口部の開削工の形状が土石流堆積過程に与える影響を調べる実験を行った。

2.2 実験装置

実験で用いる装置としては、できるだけ模型縮尺を大きくする方が望ましいと考えるが、今回は砂防基本計画の基礎資料を得る目的であるため、模型製作規模を考えて縮尺を $1/100$ とし、野尻川流路工の起点より上流へ 600 m 、海域の方向へ 500 m までを模型として製作した。実験で用いた、水路と海域部の模型の全景を写真-2.1に示す。

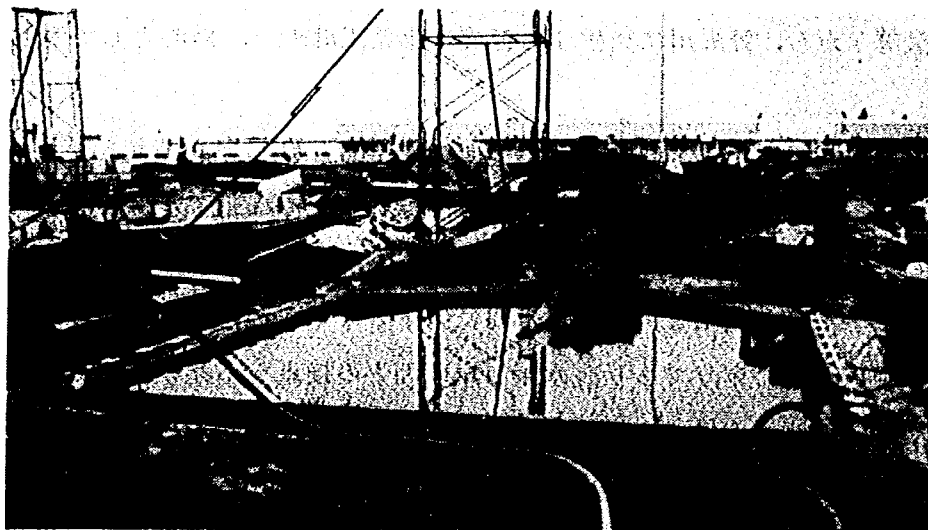


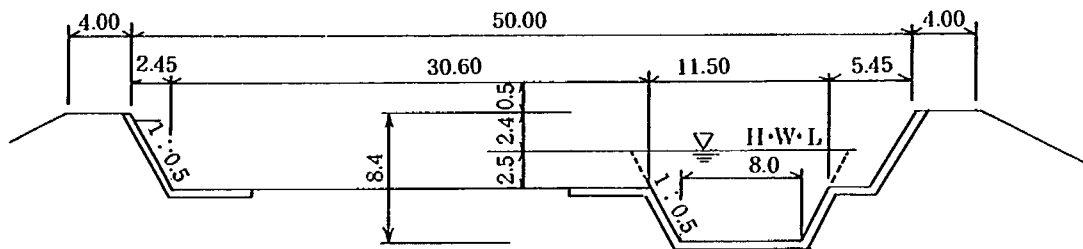
写真-2.1 実験装置の全景

流路工の模型に相当する水路は実験目的に応じて 4 m から 8 m の長さに設定した。野尻川流路工の現地での延長は、下流端の起点より1号ダムまで約 $1,300\text{ m}$ で、1号ダムの下流近辺では流路勾配が $1/13$ 程度となっており、三面張流路工を流下する土石流の流動機構になんらかの影響を与えることも考えられるが、本実験は基礎的資料を得る目的であることを考慮し、土砂の堆積が及ぶと考えられる地点までの水路長を設けた。水路の模型を写真-2.2に示す。



写真－2.2 水路の模型

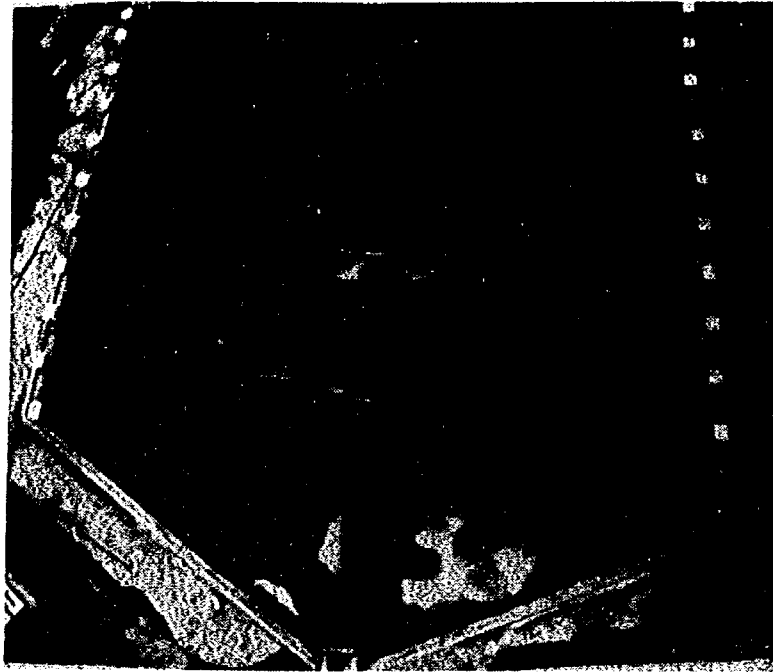
現地における野尻川流路工の標準的な横断面は図－2.1に示すとおりで、低水路はコンクリートの三



図－2.1 野尻川流路工の標準断面図

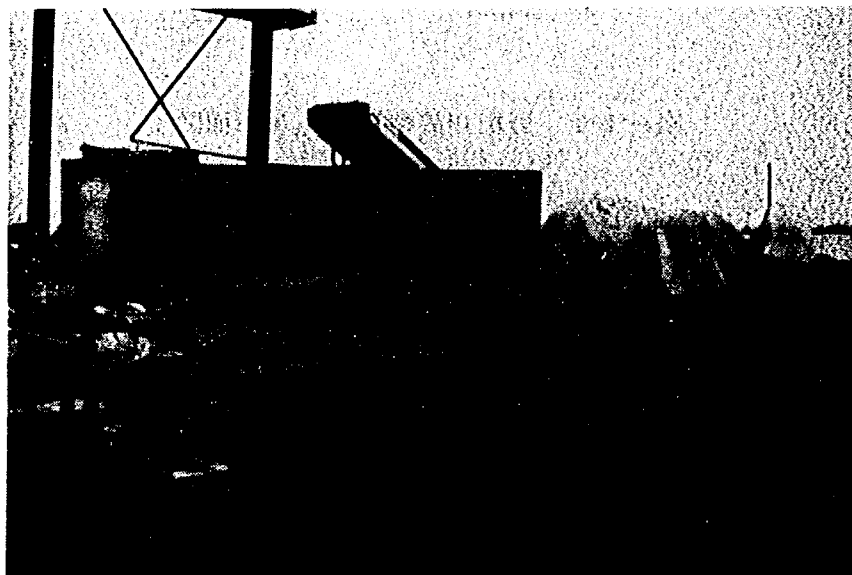
面張の固定床で、高水敷は移動床となっている。また、流路工の粗度係数は、三面張流路工であるので、0.025程度とすると、模型ではフルードの相似則を適用すると、 $0.025 / 2.15 \div 0.012$ となり木材やガラスの粗度係数とほぼ一致する。以上の考え方と実験目的を考慮し、水路の模型は底面と片面の側壁を耐水ラワン合板を用い、片面の側壁は、ビデオ撮影が可能のように透明の亚克力板を用いて、幅10cm(現地で10m相当)の矩形断面で製作した。

海域の模型は、昭和59年2月に実測した野尻川河口深淺図を基に製作した。模型の取り入れ範囲は、昭和53年に実施した実験で、土石流の堆積による影響は400m四方程度と判断しているが、本実験では、細かい土砂の拡がり等を考慮して、横方向600m、流下方向は深淺測量結果のある限界(野尻川流路工起点より500m)までの範囲について模型を製作した。海域の模型を写真－2.3に示す。



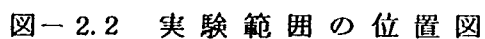
写真－ 2.3 海 域 の 模 型

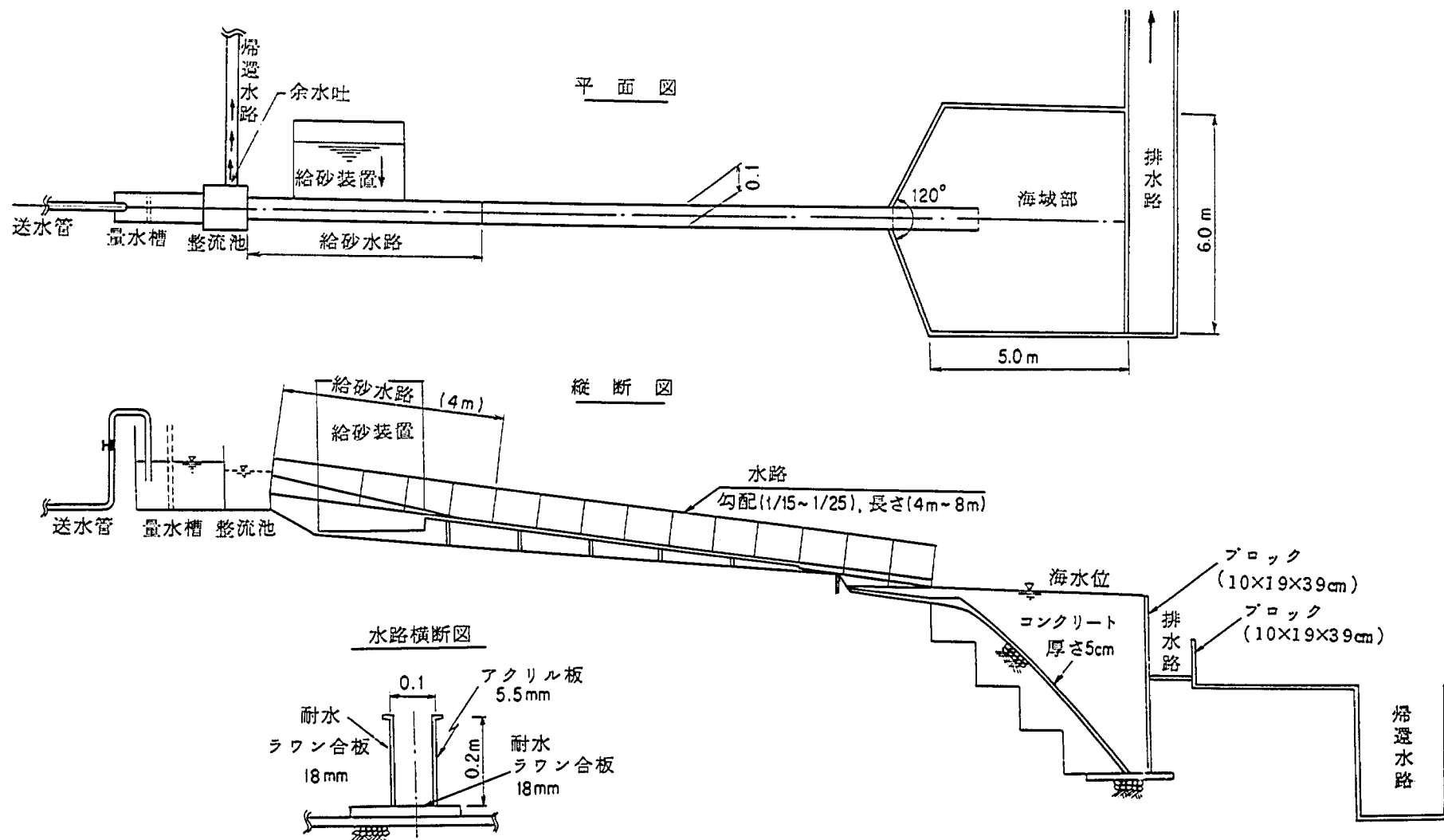
給砂・給水設備を写真－ 2.4 に示す。本実験では土石流発生装置を設けていないため、砂と一諸に



写真－ 2.4 給砂・給水設備

模型に取り入れた範囲を図-2.2に示す。図-2.3は、実験に用いた模型の概略図である。





図— 2.3 実験用模型概略図

2.3 実験条件

2.3.1 実験及び測定方法

野尻川流路工部及び河口部についての実験は、5つの項目に分けて行った。土砂の供給方法は、各項目の実験とも、微細土砂を含む所定量の水と土砂を水路の上流端より与え、規定水路に流入するまでに、土砂と水の混合した流れ（混層流）を形成させることにした。また、土砂の堆積形状は、ハイドロの与え方によって多少変わってくるが、本実験は、模型縮尺が小さく野尻川で観測された最頻度流量を用い、1年間分の年平均流出土砂を供給する方法としたため流量（砂及び微細土砂を含む）の与え方は定流による実験とした。各項目の実験及び測定方法は下記の通りである。

① 勾配と濃度に関する実験

水路勾配（ $1/15$ ， $1/20$ ， $1/25$ ） $\times$ 流量（ 1.0 ， 2.0 ） ℓ/s $\times$ 土砂濃度（ 40 ， 30 ， 20 ， 10 ）％の組み合わせにより勾配と濃度に関する基礎的な実験を行う。実験において測定する項目と測定方法は、まず、水路の下流端で水と土砂の混合物を採取して、水と微細土砂を含む砂の量を測定し、容積濃度を算出する。側面からは透明なアクリル板を通して流動状況をビデオカメラで撮影し、表面流速、水深を読み取る。水路内に堆積した土砂は、その縦断形を測定し、動的平衡勾配を検討する材料とした。

② 土砂濃度の相似性に関する実験

水路勾配等の模型条件は、ほぼ現地の状況として、過去に発生した土石流のハイドログラフ、土砂の堆積形状を実測した縦断図等を利用して、実験を行うことにした。流量は、土石流観測で得られたハイドログラフより読み取った総流出量約 $9\,200\,0\,m^3$ を流出時間 20 分（流量が数 m^3/s 以下のものは除いた）で割った $80\,m^3/s$ （模型で $0.8\ell/s$ ）を定流で流すものとした。各々の土砂濃度（ 50% ， 40% ， 30% ， 20% ）毎の実験終了後に土砂の堆積形状を測定し、現地の実測資料である縦断形状と比較し、より近似しているものを、以降の土砂の流下堆積に関する実験に適用するものとした。

③ 基本計画案に関する実験

昭和55年に検討された図-2.7及び-2.8に示すような野尻川河口部の形状に対して、最頻度流量と計画流量について流量を与える。土砂濃度は、前項の検討結果に基づく。測定する項目は、海域における土砂の堆積状況が主で、海域の模型の上から流況を観察するため $35\,mm$ モータードライブカメラで写真撮影を行う。水路の側面では、表面流速、水深をビデオカメラで撮影した。また土砂の堆積形状を実験終了後に測定する。

④ 土石流を直接海域へ流す実験

海域の模型は現況とし、水路の下流端は、野尻川流路工の起点より海方向へ $200\,m$ の所にセットし、水路勾配を、 $1/25$ とした場合の海域での土砂の堆積状況を調べる。測定項目及び方法は③と同じである。

⑤ 河口部開削工の形状に関する実験

水路は現況とし、野尻川河口部の形状を図－2.7 及び図－2.8 とした場合に、土砂の堆積過程に与える影響を調べる。測定項目及び方法は③と同じである。

2.3.2 模型の相似則

本実験は、微細土砂を多量に含んだ流動体の実験であり、模型縮尺も $1/100$ と小さいため、浮遊砂を含む流れの相似則としては解決されていない問題点を多分に含んでいると考えられるが、今回はとりあえず、運動学的相似律としてフルードの相似則を用い、模型の形状や実験材料については、幾可学的に相似させるものとする。表－2.1 にその関係を示す。

表－2.1 模型諸量の実物に対する縮尺率

	諸 元	次 元	実物値の模型換算	模型値の実物換算
幾可学的な量	長さ・水深	$L \quad n$	$1:0.01$	$1:100$
	面積	$L^2 \quad n^2$	$1:0.0001$	$1:10000$
	体積	$L^3 \quad n^3$	$1:0.000001$	$1:1000000$
	勾配	— 1	$1:1$	$1:1$
運動学的な量	時間	$T \quad n^{\frac{1}{2}}$	$1:0.1$	$1:10$
	流速	$L T^{-1} \quad n^{\frac{1}{2}}$	$1:0.1$	$1:10$
	流量	$L^3 T^{-1} \quad n^{\frac{5}{2}}$	$1:0.000001$	$1:1000000$
	粗度係数	$L^{-\frac{1}{3}} T \quad n^{\frac{1}{6}}$	$1:0.4642$	$1:2.1544$

2.3.3 実験材料

模型実験に用いた材料は、大隅工事事務所が昭和54年10月に実施した、野尻川の河床堆積物の材料調査の資料を基に、現地材料の粒度分布に近似させた。ここで、粒径10mm(模型値で0.1mm)以下の土砂はフライアッシュを用いている。河床材料調査の結果と、実験で用いた材料の粒度分布を図-2.4に示す。

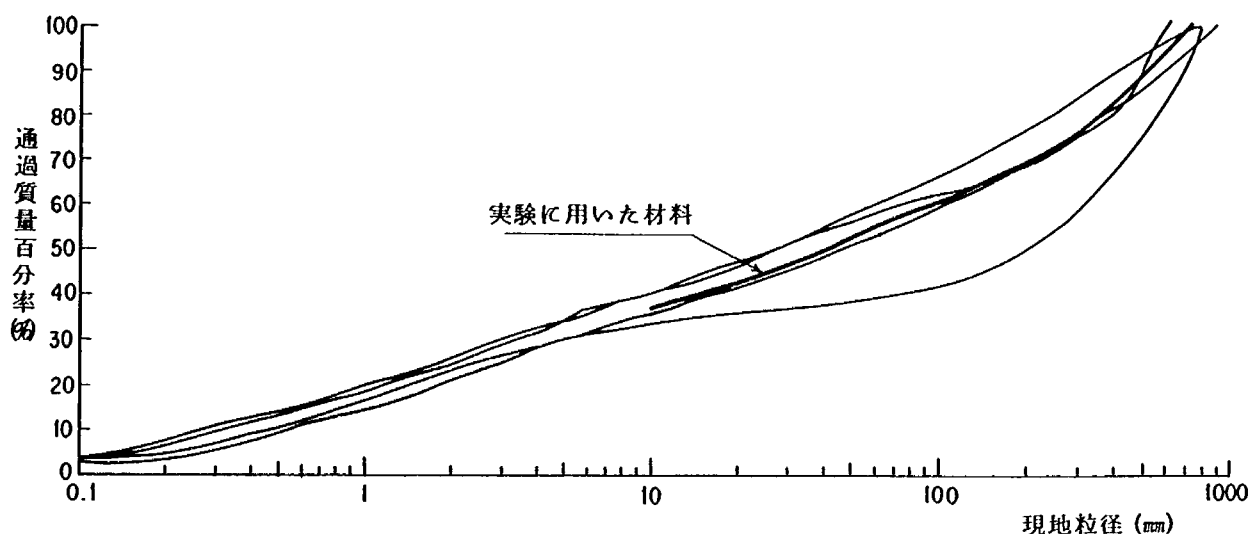
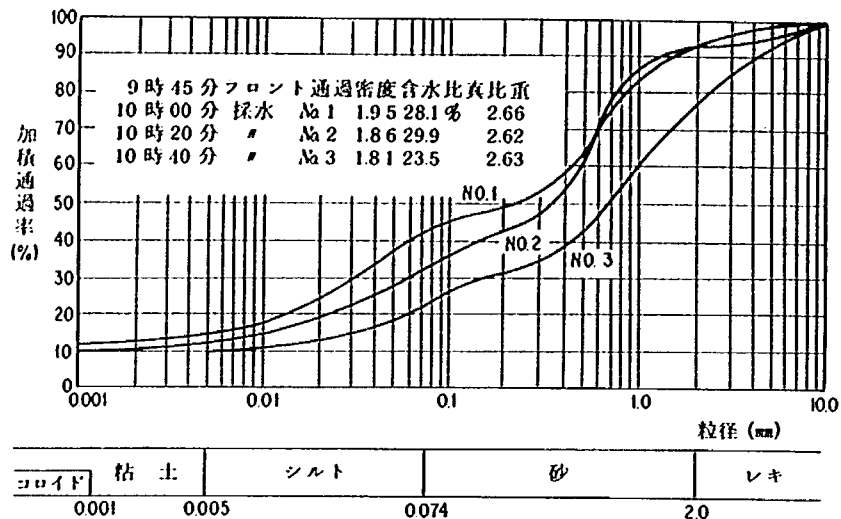


図-2.4 河床材料及び実験材料の粒度分布

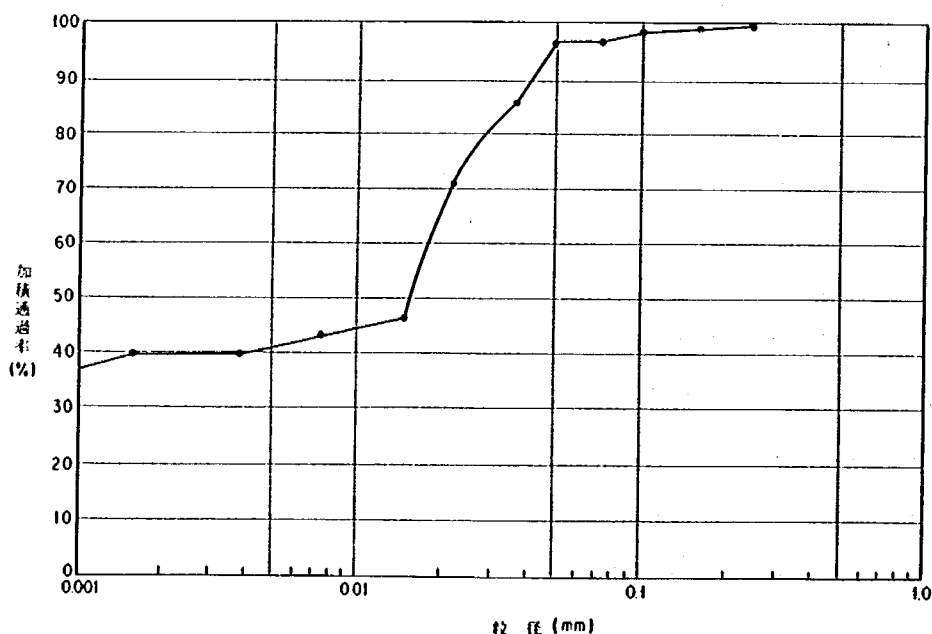
細かい土砂を多く含んでいる実験材料を用いる場合は次の点に注意を要する。

本実験では、前述のように現地で調べた河床堆積物の粒径を幾可的に相似させて、10mm(模型で0.1mm)以下の土砂にフライアッシュを用いた。しかし、粒径0.1mm~0.2mm以下の土砂は水理量とはほぼ無関係に浮遊の状態で流れることを考えると、本実験の目的である堆積形状の検討に大きな影響があると考えられる。図-2.4に示した通り、本実験では、全土砂量に占めるフライアッシュの割合は35%で、河床堆積物材料調査で示される0.1mm以下の土砂が5%程度であることを比べると、大きな差がある。流動している土石流の粒度構成を直接把握できない現状では、堆積した土砂の材料調査は重要な資料であるが、桜島のように粒径の小さい火山灰を多量に含むと考えられる土石流が発生し、下流端での微細土砂の散乱に制限が無い場合は、材料調査資料の細粒分については相当量の割増しが必要と考えられる。そこで、採水器を用いて、流動している土石流の一部を採取し、その粒度組成を調べた結果を図-2.5に示す



図－2.5 土石流採水調査による粒度分布

土石流採水分析は15cm程度以下の比較的細かい土砂を対象としているが、0.1mm程度以下の土砂が30%から45%の高い比率で含まれている。河床堆積物の調査と採水調査の結果を結びつける手立ては現在のところない。野尻川上流部における降灰量と崩壊量の調査によると、土石流材料のうち降灰が約3割を補給していると報告されている。³⁾ 以上より本実験では河床堆積物調査の資料を基に実験材料の粒度構成を決定した。細粒分を表現するために用いたフライアッシュの比重は2.13で、粒度分布は図－2.6に示す。



図－2.6 フライアッシュの粒度分布

2.3.4 実験条件

実験条件の一覧表を表－2.2に示す。また、野尻川河口部の実験条件である平面図及び縦断面図を図－2.7、図－2.8に示す。

表-2.2 実験条件一覧表

実験名称	ケースNo	水路勾配	流量 (ℓ/s)	実験時間(分)	土砂濃度(%)	備考
1. 勾配と濃度に関する実験	1	1/15	1.0	各1.0 合計4.0	(10ピッチ) 40 ~ 10	1. 固定床における水路勾配と土砂濃度の基礎実験を行う。 2. ケース2, 3, 4, 5 及びケース8, 9, 10, 11では動的平衡勾配の検討を加える。
	2	1/20	1.0	15.0	40	
	3	1/20	1.0	15.0	30	
	4	1/20	1.0	15.0	20	
	5	1/20	1.0	15.0	10	
	6	1/25	1.0	各1.0 合計4.0	(10ピッチ) 40 ~ 10	
	7	1/15	2.0	各1.0 合計4.0	(10ピッチ) 40 ~ 10	
	8	1/20	2.0	15.0	40	
	9	1/20	2.0	15.0	30	
	10	1/20	2.0	15.0	20	
	11	1/20	2.0	15.0	10	
	12	1/25	2.0	各1.0 合計4.0	(10ピッチ) 40 ~ 10	
2. 土砂濃度の相似性に関する実験	13	1/20	0.8	各2.0 合計8.0	(10ピッチ) 50 ~ 20	1. 実際に発生した土石流の資料を基に、以後の実験で用いる土砂濃度の検討を行う。 2. ケース14は、ケース13の結果を基に土砂濃度の検証を行う。
	14	1/20	0.8	2.0	Cd χ	
3. 基本計画案に関する実験	15	1/20	1.0	t χ	Cd χ	1. 基本計画案による河口部の形状に対して実験を行う。 $t\chi = \frac{(\text{分}) \text{ 全給砂量}}{10 (\ell/s) \times Cd\chi} \div 60$ 2. ケース16は計画流量1,100 ml/sを仮想洪水波形で流す。
	16	1/20	11.0 ~ 1.0	20分	Cd χ ~ 15	
4. 土石流を直接海城へ流す実験	17	1/25	1.0	t χ	Cd χ	1. 水路の下流端を-200にセットし、土砂の堆積状況について検討する。
5. 河口部開削工の形状に関する実験	18	1/20	1.0	t χ	Cd χ	1. ケース18は、水路の下流端を+100にセットする。
	19	1/20 + 1/200	1.0	t χ	Cd χ	2. ケース19は、水路の下流端を±0にセットする。
	20	1/20 + 1/200	1.0	t χ	Cd χ	3. ケース20は、現況流路工の左岸に沈砂地を設ける。

注1. ケース13以後の実験において、海水位は平均潮位とする。

注2. この他に勾配と濃度に関する予備実験を実施している。

※ 土砂濃度の相似性に関する実験の結果、Cd χ =40%, t χ =10分とした。

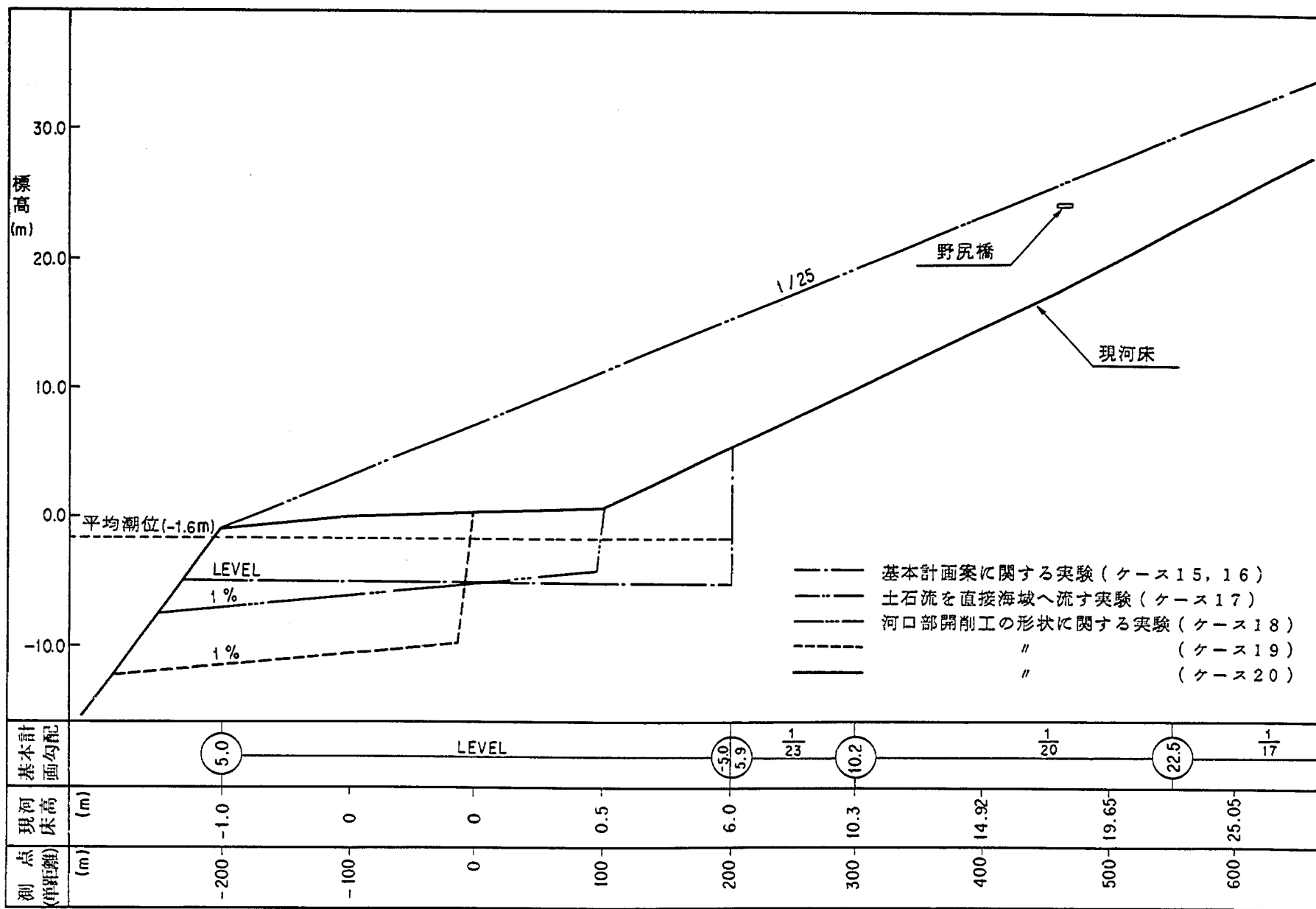


図-2.8 野尻川河口部付近の縦断図

3. 実験に関する考察と結果

3.1 勾配と濃度に関する実験

3.1.1 実験を計画するに至った経緯

表-3.1は、昭和50年から52年の間に実際に発生した土石流の採水調査を行い、含水比(ω)、土石流のみかけの密度(r_t)、間隙比(e)を解析した結果を一覧表にしたものである。ここで、土砂の容積濃度は $1/(1+e)$ で求まる。

解析の結果によると、土砂濃度は23%(昭和51年4月21日)から62%(昭和52年6月2日)と広い範囲を示している。濃度を単純平均すると $\{1/(1+1.10)\} \times 100 = 48\%$ となる。また、土石流観測資料と流出土砂の調査より算出した土砂濃度を表-3.2に示す。

表-3.1 土石流採水調査による解析結果

	発 生 時 刻	ピーク時刻	採取時刻	ω %	r_t	e
ピーク前に採取	S50年 4月 8日 6時29分	6時29分 9秒	6時20分	27.50	1.745	0.92
	S51年 6月 9日 10時27分	10時27分12秒	8時27分	28.86	1.920	0.75
	平 均			28.18	1.833	0.835
ピーク時に採取	S50年 4月 8日 6時29分	6時30分	8時30分	27.5	1.997	0.69
	平 均			27.5	1.997	0.69
ピーク後に採取	S50年 4月17日 9時45分	9時45分	10時00分	28.1	1.995	0.74
	"	"	10時20分	29.9	1.862	0.83
	"	"	10時40分	23.5	1.812	0.70
	S50年 6月20日 14時40分	14時47分	14時50分	25.04	1.767	0.85
	"	"	15時10分	31.13	1.914	0.80
	S52年 3月18日 7時50分	7時55分12秒	8時30分	27.20	1.941	0.691
	"	"	8時30分	26.85	1.840	0.828
	"	"	8時40分	30.67	1.864	0.823
	平 均			28.31	1.894	0.773
ピーク時間不明	S50年 6月19日 15時59分		14時00分	40.3	1.704	1.16
	6月22日 4時00分		4時20分	57.59	1.139	2.48
	"		4時30分	38.64	1.187	2.04
	6月24日 16時41分		11時20分	40.64	1.122	2.19
	6月25日 23時00分	不	23時10分	22.81	1.999	0.63
	9月17日 8時55分		10時00分	30.04	1.918	0.77
	S51年 4月21日 14時56分	明	14時56分	103.12	1.188	3.36
	4月30日 16時09分		16時09分	28.1	1.936	0.74
	9月10日 9時45分		12時55分	36.2	1.357	1.69
	S52年 3月30日 9時23分		不 明	27.19	1.923	0.673
	6月 2日 6時50分		"	28.35	1.936	0.748
	6月 2日 6時50分		"	23.10	2.044	0.601
	平 均		"	38.21	1.654	1.424
平 均						1.100

※ 表-3.1の各項目は次のように定義する。 $\omega = \frac{\text{水の重さ}}{\text{全体の重さ}} \times 100$, $r_t = \frac{\text{全体の重さ}}{\text{全体の体積}}$, $e = \frac{(\text{水+空気})\text{の体積}}{\text{土砂の体積}}$

表-3.2 土砂濃度の算出表

土石流発生日	総流出量	総流出土砂量	(総流出量に占める土砂の割合)
S 5 1. 5. 1 6	5 6, 0 1 2 m ³	3 4, 0 0 0 m ³	6 0. 7 %
5 1. 6. 9	8 6, 0 2 0	3 6, 5 0 0	4 2. 4
5 3. 8. 9	2 7, 8 6 0	2, 6 0 0	9. 3
5 3. 1 0. 2 7	1 3, 2 4 2	3, 0 0 0	2 2. 7
5 4. 6. 1 8	4 9, 1 3 1	3 3, 9 0 0	6 9. 0
(S 5 1. 4. 3 0)	(1 4, 4 1 1)	(2, 0 4 0)	(1 4. 1)
(5 2. 3. 1 7)	(4 1, 9 9 6)	(5, 5 0 0)	(1 3. 1)
(5 3. 9. 2 9)	(3 3, 3 5 4)	(2 0, 0 0 0)	(6 0. 0)

※() は総流出量を水理計算により推算したもので実測ではない。但し流出土砂量は実測

大隅工事事務所の調査結果では、表-3.1 及び表-3.2 のいずれにおいても、非常に高い土砂濃度が報告されている。事務所では、この調査結果に基づき、平均的には土砂濃度50%の土石流が流下すると考えているが、勾配1/20(3°以下)の流路勾配で流動を続けるには濃度が高すぎると思われ、採水調査については、資料採取時に、採取容器内の水分が土石流に含まれる土砂により押し出されたか、あるいは容器回収までに容器内に含まれる水分が石等の衝突により溢れたりして、濃度が高くなったこと等が考えられる。また、調査資料はないが現地では野尻橋付近の緩勾配の地点でも土石流先頭部の停止は見られず、先頭部は全て海域まで達し、その後に堆積の遡上が始始していると言われている。

調査結果の精度の問題は別にしても、V. T. R. で撮影された土石流の状況を見ると、かなり高濃度の土石流が流動しているのは事実であり、従来より研究されている急勾配の流砂量式の考え方では説明できない。

さらに、流路工を計画するときの留意事項の1つに、上流域の土砂整備が十分に行われない時点で流路工を設けた場合、流路工内での土砂堆積が原因となり災害が発生することがある。よって流路工は上流の整備が比較的進んでから計画し、流路工内には土砂が流入してこないのが望ましいという考え方がある。そういった状況の中で、今日まで三面張流路工の流砂量を調べる必要性が殆んど無かったこともあり、固定床水路における流砂量についての研究はあまり行われていないのが現状である。そこで、水山らは、実験により、急勾配で比較的滑らかな固定床を有する水路の掃流砂量の算定方法を明らかにしている。⁴⁾ 流砂量式として次式を提案している。

$$\phi_f = 2.1 \tau_*^{1.5} \left(1 - 0.85 \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - 0.92 \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}}\right) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $\phi_f: q_B / \sqrt{(\sigma/\rho - 1) g d_m^3}$, q_B : 単位幅当り流砂量, σ : 砂礫の密度, ρ : 水の密度, d_m : 砂礫の平均粒径, τ_* : 無次元掃流力, τ_{*c} : 限界掃流力 (0.03 とする) である。
 (1) 式を導くのに用いた実験の結果を勾配と濃度の関係図として示すと図-3.1 の通りとなる。

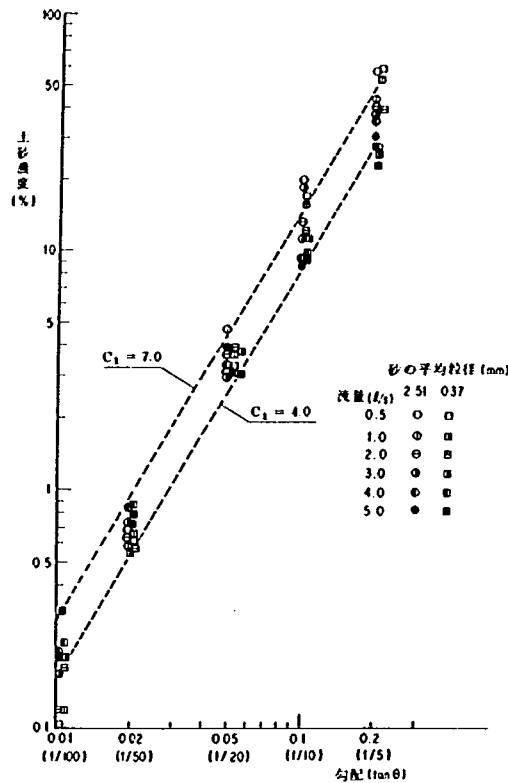


図-3.1 水路勾配による土砂濃度の変化

実験条件としては、流量と、砂礫の平均粒径を変化させている。図-3.1 を見ると、条件を変えたことによる土砂濃度の変化傾向はつかめないが、ほぼ次式の範囲で表されるようである。

$$Cd = C_1 (\tan \theta)^{1.7} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 Cd : 土砂濃度 (砂礫分の全容積に対する割合) C_1 : 係数 (4.0~7.0) である。
 以上は、微細土砂を含まない砂礫の掃流砂量について検討したものであるが、野尻橋付近の流路勾配 (1/20) を (2) 式に代入して土砂濃度を計算すると Cd は 2.5 % ~ 4.3 % となる。

そこで、本実験に入る前に以上の事柄を考慮して水路勾配を 1/20 にセットし、実験材料は本実験と同じものを用いて土砂濃度に関する予備実験を行った。その結果、40 % の高い土砂濃度では、給砂位置で殆どの土砂が堆積してしまった。土砂濃度を 20 % とした場合、多少の土砂は流れるが、かなりの量の土砂が給砂地点及び水路内に堆積した。15 % では、一部の土砂が水路内に堆積するが大半は流れ、10 % にすると殆どの土砂が流れる結果となった。以上は給砂方法を 5 通りほど変えて行つたが、その差は少ないものであった。また、予備実験での表面流速は 0.5 m/s ~ 1.8 m/s と範囲は広いもののフルードの相似則を適用すると、ほぼ実際の土石流と同程度の範囲にあると考えられる。なお、以上の予備実験の結果と、図-3.1 による状況は、微細粒分の土砂を含むか否かによる差であり取り違えのないよう記しておく。

3.1.2 実験結果

① 水路勾配と土砂濃度に関する実験

予備実験の結果を参考に、水路勾配、流量、与える土砂濃度を变化させて、固定床における水路勾配と土砂濃度の関係を調べてみた。実験の結果を表-3.3.1、表-3.3.2に示す。

表-3.3.1 水路勾配と土砂濃度に関する実験結果一覧表

水路勾配	流量 (ℓ/s)	給砂土砂濃度 (%)	採取時間 (sec) or (min)	流出土砂濃度 (%)
1/15	1	40	(sec) 10	(10.80) 19.48
	1	40	30	(16.29) 26.18
	1	40	50	(14.98) 25.22
	1	30	10	(13.02) 20.86
	1	30	30	(13.43) 23.26
	1	30	50	(17.21) 25.51
	1	20	10	(8.72) 11.36
	1	20	30	(12.70) 16.63
	1	20	50	(12.83) 15.85
	1	10	10	(4.06) 6.24
	1	10	30	(4.60) 6.45
	1	10	50	(6.90) 11.17
1/20	1	40	(min) 0	7.17
	1	40	2	12.65
	1	40	5	11.01
	1	40	8	10.65
	1	40	11	29.43
	1	40	14	27.48
	1	30	0	6.98
	1	30	5	9.67
	1	30	9	11.28
	1	30	12	23.59
	1	30	15	15.35
	1	20	0	3.93
	1	20	5	5.07
	1	20	9	6.12
	1	20	14	7.97
	1	10	0	2.88
	1	10	5	6.28
	1	10	9	2.31
	1	10	15	5.35
	1	10	19	5.21
1/25	1	40	(sec) 10	(13.08) 20.13
	1	40	30	(15.41) 22.02
	1	40	50	(16.24) 25.79
	1	30	10	(12.72) 17.68
	1	30	30	(12.87) 21.11
	1	30	50	(12.71) 21.55
	1	20	10	(8.35) 12.47
	1	20	30	(11.31) 15.71
	1	20	50	(9.33) 13.73
	1	10	10	(5.30) 8.98
	1	10	30	(4.05) 6.75
	1	10	50	(5.07) 7.47

※ () は砂のみの濃度

表- 3. 3. 2 水路勾配と土砂濃度に関する実験結果一覧表

水路勾配	流 量 (ℓ/s)	給砂土砂濃度 (‰)	採取時間 $\left(\frac{\text{sec}}{\text{min}}\right)$	流出土砂濃度 (‰)
1/15	2	40	(sec) 0	(8.47) 18.23
	2	40	20	(17.58) 26.92
	2	40	40	(19.31) 27.27
	2	30	10	(11.85) 19.33
	2	30	30	(16.07) 23.67
	2	30	50	(16.30) 24.21
	2	20	10	(13.24) 20.38
	2	20	30	(12.64) 18.81
	2	20	50	(14.11) 20.25
	2	10	10	(7.96) 10.62
	2	10	30	(6.93) 9.91
	2	10	50	(5.82) 8.56
1/20	2	40	(min) 0	23.64
	2	40	2	23.34
	2	40	4	25.96
	2	40	6	32.36
	2	30	0	6.47
	2	30	4	9.64
	2	30	9	10.84
	2	20	0	5.67
	2	20	4	7.72
	2	20	9	9.64
	2	20	14	16.07
	2	10	0	7.00
	2	10	4	8.63
	2	10	9	8.15
	2	10	14	7.61
	2	10	19	6.90
	2	10	24	5.78
	2	10	29	7.80
	2	10	34	4.86
	2	10	39	7.39
	2	10	44	8.01
	2	10	49	6.67
1/25	2	40	(sec) 10	(9.30) 22.30
	2	40	30	(12.20) 26.24
	2	40	50	(14.01) 29.43
	2	30	10	(8.17) 18.62
	2	30	30	(11.17) 21.95
	2	30	50	(10.38) 25.43
	2	20	10	(6.79) 16.11
	2	20	30	(10.11) 18.21
	2	20	50	(9.79) 17.73
	2	10	10	(6.32) 10.05
	2	10	30	(7.62) 11.82
	2	10	50	(8.00) 11.98

※()は砂のみの濃度

図- 3. 2. 1 から図 3. 2. 3 は勾配毎に，与えた土砂濃度と固定床水路で流れた土砂濃度の関係を示したものである。

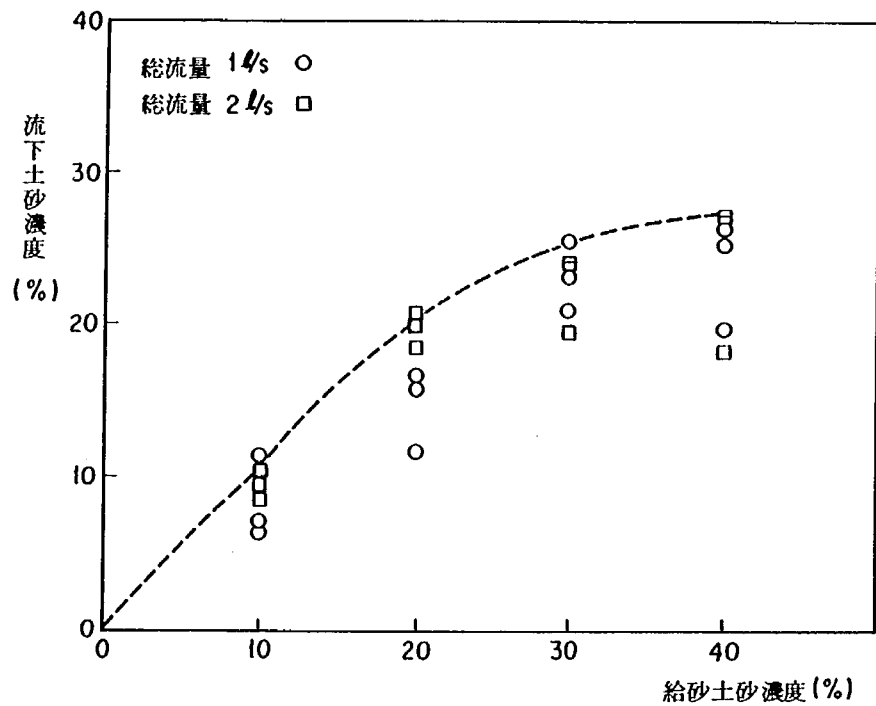


図- 3. 2. 1 水路勾配 1/15 での土砂濃度

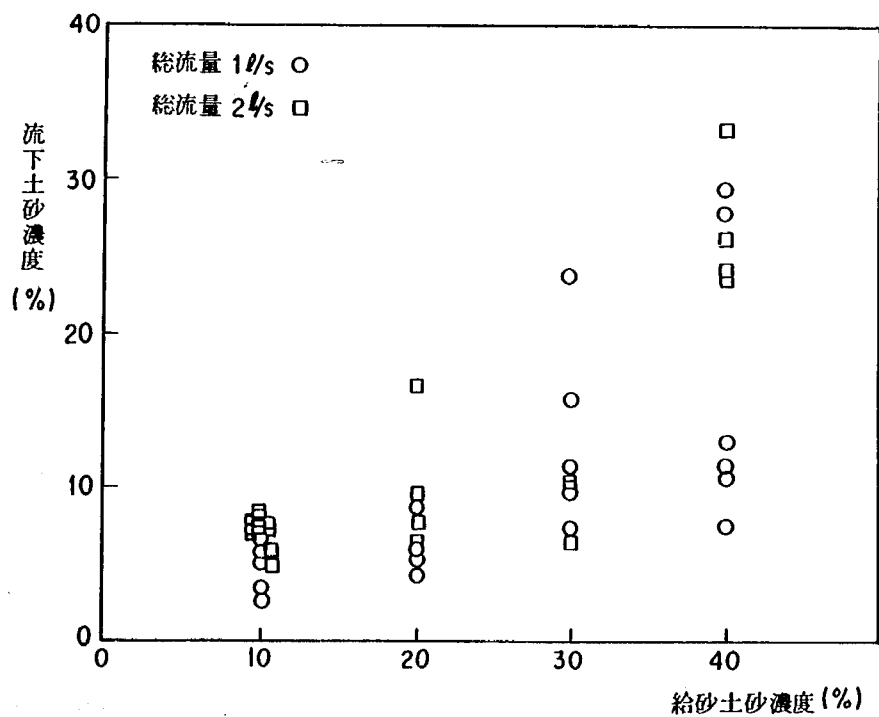


図- 3. 2. 2 水路勾配 1/20 での土砂濃度

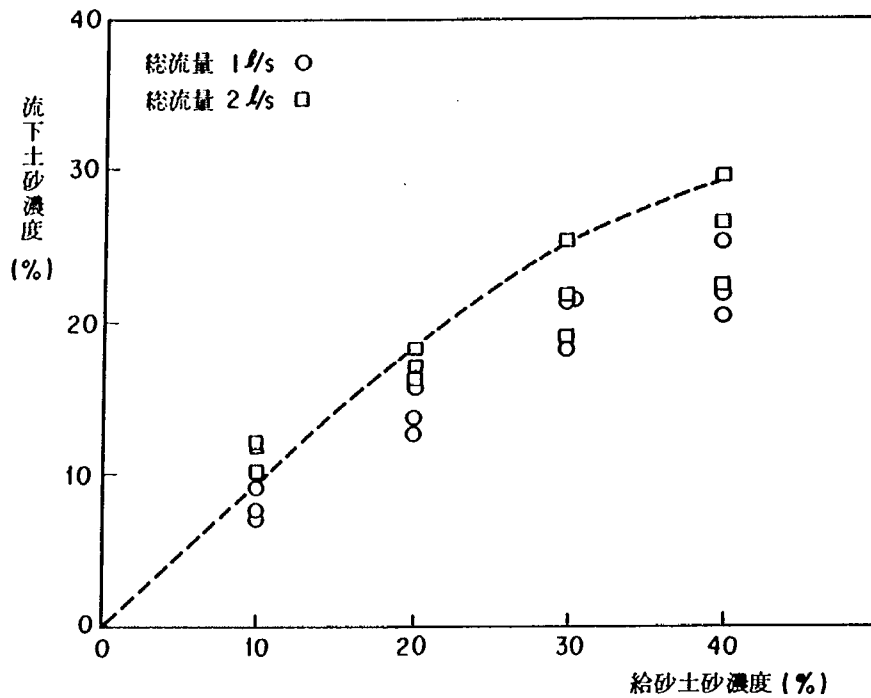


図- 3. 2. 3 水路勾配 1/25 での土砂濃度

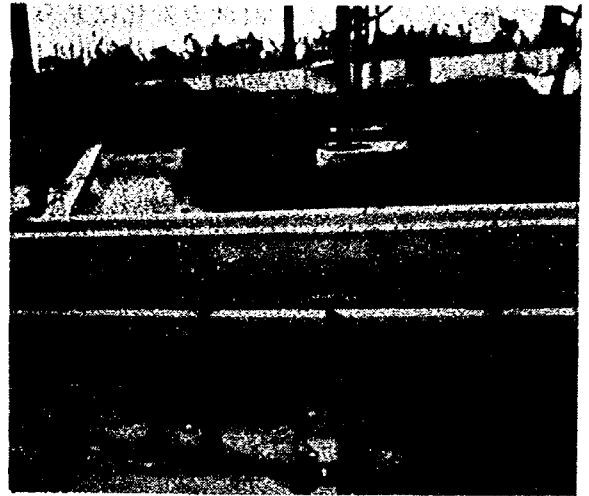
水路勾配を $1/15$, $1/20$, $1/25$ と変えて固定床水路における勾配と土砂濃度の関係調べようとしたが、勾配 $1/20$ の実験では動的平衡勾配を調べる目的を加え、実験時間を長くしたこともあり、水路下流端での土砂採取時間は1回目を先頭流、2回目を2分以後とした。ところが、実験開始後2分を経過すると、水路の上流ではかなり長い区間に土砂が堆積する状況となり、純粋な固定床水路の条件となっていない。つまり、水路の下流は4 m程度の固定床があるものの、その上流には同程度の移動床があり土砂を堆積させているため、下流の固定床には供給されるべき土砂濃度が与えられていない。そのため、水路勾配 $1/20$ の実験で得られた流下土砂濃度は図- 3. 2. 2 の通りかなり小さい値を示す結果となった。そこで、固定床水路における水路勾配と土砂濃度の関係については、水路勾配 $1/15$ 及び $1/25$ の実験結果を用いることにする。

図- 3. 2. 1 (勾配 $1/15$) によると、与えた土砂濃度が20%程度までは、ほぼ供給状態の土砂濃度を維持したまま固定床水路を流下している。給砂土砂濃度を30%から40%とすると、もはや与えた土砂濃度を維持することはできず、給砂土砂濃度30%の場合で流下土砂濃度(与えられた勾配で流れうる土砂濃度)は最高で26%程度、40%の場合で27%程度となっている。

なお、流下土砂濃度で極端に小さい値を示しているのは流れの先頭部分を採取したもので、実験条件としては不安定な状況にあり、実験結果としては参考程度の資料と考える。

図- 3. 2. 3 (勾配 $1/25$) によると、与えた土砂濃度が10%程度までは、ほぼ給砂土砂濃度と同じ状態である。給砂土砂濃度を20%にすると、水路下流端で採取される土砂濃度は15%から18%

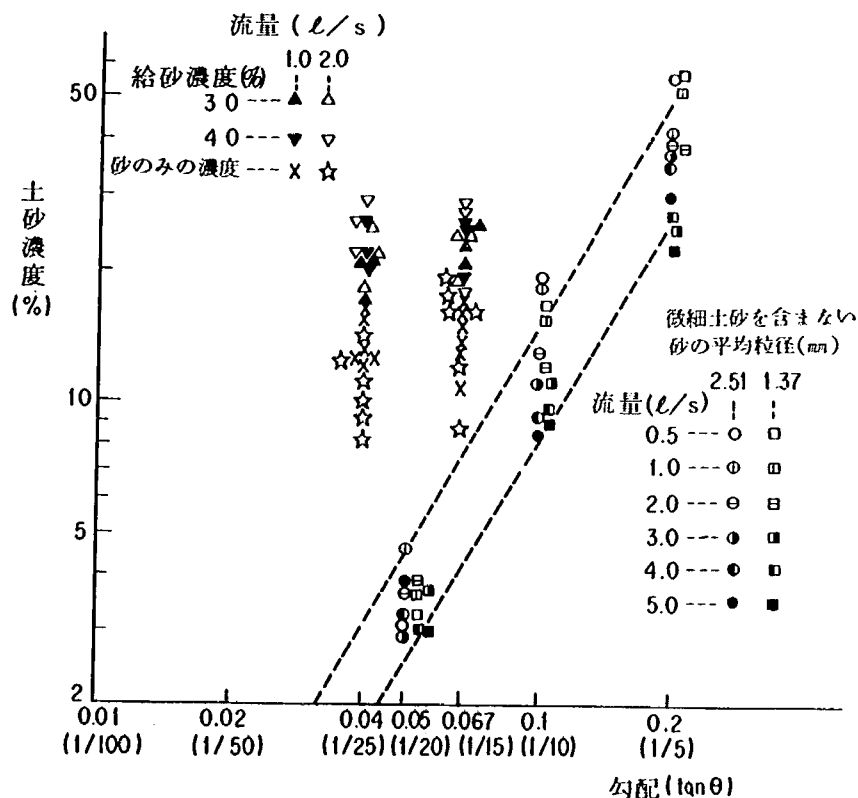
程度と多少濃度が小さくなる傾向を示している。与える土砂濃度が30%の場合、流下土砂濃度は最高25%程度、40%の場合は29%程度となっている。水路勾配が1/25の場合は給砂土砂濃度を高くすると、データに多少のバラツキが見られる結果となっている。これは、土砂濃度が高くなると固定床水路のある地点で偶然的要素を含んだ土砂の堆積が発生するが、比較的短時間で偶然的に再び流れ出すという現象が見られる（写真－3.1参照）。そのため、一時的に小さい段波のようなものが形成されることがある。図－3.2.3に示すデータのバラツキは、そのような現象のために発生したものと考えられる。



写真－3.1 水路内での一時的な土砂堆積

以上をまとめると、水路勾配1/15と1/25の結果を比較すると、勾配1/25の実験では給砂土砂濃度20%ですでに流下土砂濃度が小さくなっている傾向が見られるものの、与える土砂濃度を30%から40%と高くすると、水路勾配1/15の場合とほぼ同程度の流下土砂濃度の値を示す結果となっている。全体的に見ても勾配を変えたことによる流下土砂濃度の大きな差は見られないようである。すなわち、固定床水路において、この程度の水路勾配では、25%から29%程度、つまり30%以下の土砂濃度（微細土砂を含む）しか無害に流せる能力がないということである。

図－3.3には土砂濃度と水路勾配の関係を示した。



図－3.3 土砂濃度と水路勾配

図-3.3において、○印及び□印は、急勾配の水路で比較的滑らかな固定床における掃流砂量の算定方法を明らかにすべく実施した、微細な土砂を含まない砂礫のみを用いた実験のデータである。

本実験は、勾配の変化範囲が小さかったため、勾配の変化による土砂濃度の変化傾向はつかめず、図-3.3によると、それぞれの勾配とも土砂濃度20%から30%の範囲にデータが存在し流量の差による土砂濃度の変化は見られない。

図-3.3で示す本実験の結果と、微細土砂を含まない砂を用いた実験の結果について考察を加える。砂のみを用いた実験において、勾配1/15, 1/25のときの土砂濃度は、それぞれ4%~7%, 2%~3%である。本実験では、それぞれ18%~27%, 18%~29%であるが、これは微細土砂を含んだものであり、微細土砂を含まない砂のみの濃度はそれぞれ8%~19%, 8%~16%となっている。ここで、与えた微細土砂の濃度を計算すると、与える土砂の内、微細土砂の占める割合は35%であるので、 $30\% \times 0.35 = 10.5\%$ から $40\% \times 0.35 = 14\%$ となり、これは、微細土砂のみの流出土砂濃度とほぼ一致するもので、微細土砂は殆ど流出している状況が立証される。さて、砂のみを用いた実験結果に対し、本実験の砂のみの土砂濃度は2~5倍の高い濃度を示している。これは、水山ら⁵⁾が調べているように、微細土砂の影響による水のみかけ密度が増加することで砂礫の水中比重が減少すること等によるものと考えられる。

② 動的平衡勾配に関する実験

固定床水路に土砂を堆積させ、水路内に移動床を形成させて動的平衡勾配を調べた。

実験の結果を表-3.4に示す。

表-3.4 動的平衡勾配に関する実験結果

流量(ℓ/s)	給砂土砂濃度(%)	採取時間(分)	堆砂勾配	流量(ℓ/s)	給砂土砂濃度(%)	採取時間(分)	堆砂勾配
1	40	0		2	40	0	
	"	2	1/11		"	2	1/12
	"	5	1/10		"	4	1/10
	"	8	1/11		"	6	1/10
	"	11	1/11		30	0	
	"	14	1/11		"	4	1/13
	30	0			"	9	1/11
	"	5	1/13		20	0	
	"	9	1/11		"	4	1/14
	"	12	1/12		"	9	1/13
	"	15	1/12		"	14	1/12
	20	0			10	0	
	"	5	1/14		"	4	1/20
	"	9	1/11		"	9	1/18
	"	14	1/13		"	14	1/15
	10	0			"	19	1/17
	"	5	1/19		"	24	1/16
	"	9	1/16		"	29	1/16
	"	15	1/17		"	34	1/16
	"	19	1/15		"	39	1/17
					"	44	1/17
					"	49	1/17

図-3.4には、水路勾配 $1/20$ 、土砂濃度 10% の条件で、動的平衡勾配を調べるため、 50 分間の実験を実施したときの縦断面図を示す。

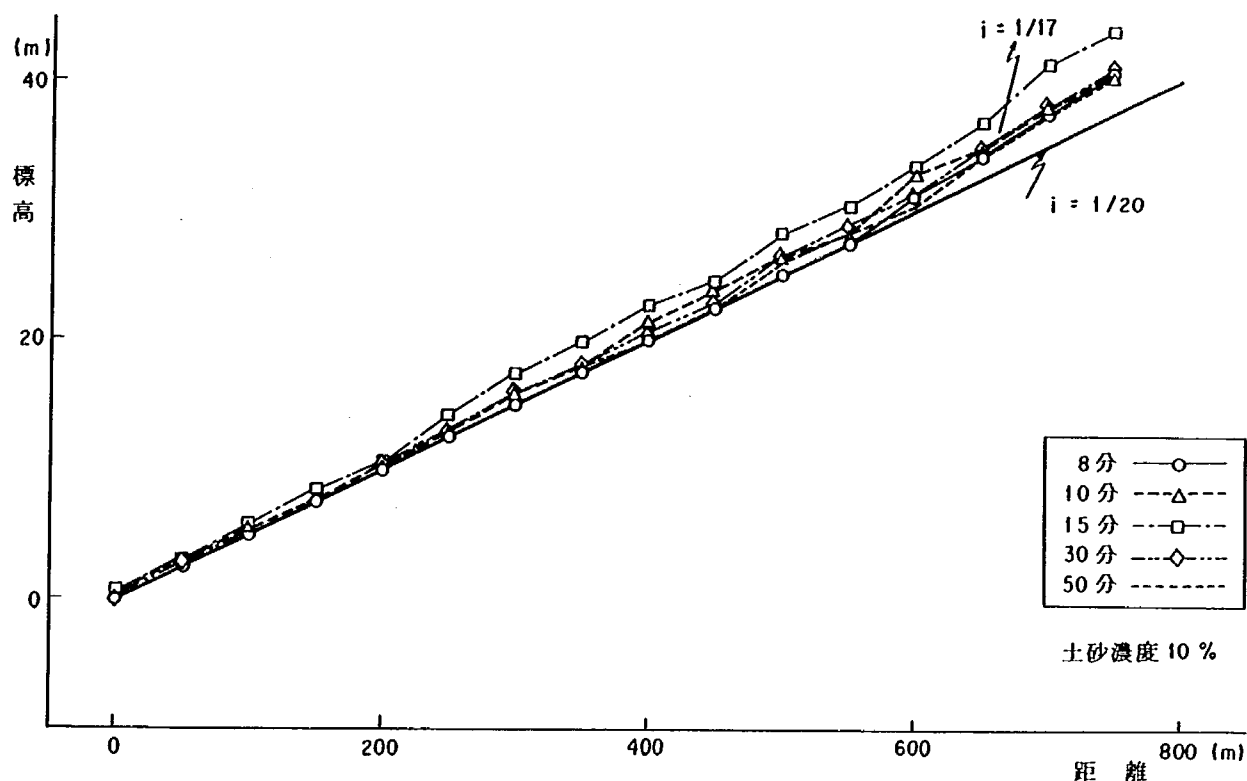


図-3.4 動的平衡勾配に関する実験の縦断

表-3.4によると、給砂土砂濃度が比較的高い場合、堆砂勾配（堆積土砂の平均勾配）は 10 分程度でほぼ一定の値を示すように思われるが、実験時間が長くないため、傾向を述べるには多少無理があるかもしれない。これは、勾配 $1/20$ の実験で流出土砂量がかなり小さくなっている状況からも想像される。そこで、流量 2 l/s 、給砂土砂濃度 10% （砂のみの土砂濃度 6.5% ）の実験では実験時間を 50 分とした。表-3.4 及び図-3.4 を見ると 20 分位より堆砂勾配はほぼ安定しており、この条件下における動的平衡勾配は $1/17$ 程度であると言えそうである。

水路内での土砂の堆積状況を写真－ 3.2 に示す。ほぼ均一な勾配で堆積している状況が見られる。



写真－ 3.2 水路内の土砂の堆積状況

移動床における動的平衡勾配を従来より研究されている式に適用して計算すると下記のようになる。適用する式は土砂濃度と勾配について表した(3)式及び(4)式である。

高橋の土石流濃度の式
$$Cd = \frac{\tan \theta}{(\sigma/\rho - 1)(\tan \phi - \tan \theta)} \dots\dots\dots (3)$$

水山の土砂流濃度の式
$$Cd = \frac{C_1 \tan^2 \theta / (\sigma/\rho - 1)^2}{1 + C_1 \tan^2 \theta / (\sigma/\rho - 1)^2} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 ϕ ：砂礫の内部摩擦角， C_1 ：実験定数（ ρ が1.0の場合2.0， ρ が1.0より大きい場合2.5）である。計算条件としては， $\sigma = 2.60$ ， $\rho = 1.15$ ， $\tan \phi = 0.8$ ， $C_1 = 2.5$ として，ある土砂濃度に対する動的平衡勾配を計算した結果を表－ 3.5 に示す。

表－ 3.5 動的平衡勾配の計算

砂礫分のみの土砂濃度(%)	高橋の式による勾配($\tan \theta$)	水山の式による勾配($\tan \theta$)
40	0.268 (1/3.7)	0.206 (1/4.9)
30	0.220 (1/4.5)	0.165 (1/6.1)
20	0.161 (1/6.2)	0.126 (1/7.9)
10	0.089 (1/11.2)	0.084 (1/11.9)
5	0.047 (1/21.3)	0.058 (1/17.9)

砂礫分のみの土砂濃度に対する動的に安定した勾配は計算によると表-3.5の通りとなる。実験では、最大で $40\% \times 0.65 = 26\%$ の濃度を与えており、その時の安定したと思われる勾配は $1/10$ 程度であった。表-3.5では濃度 20% で $1/6 \sim 1/8$ 程度であり、先ほど述べた実験時間の長さ等について課題が残された。また、実験時間を十分に取ったケースでは、砂礫分の土砂濃度 $10\% \times 0.65 = 6.5\%$ で動的平衡勾配は、ほぼ $1/17$ であるという結果が出ているがこれは、表-3.5による、濃度 5% で安定する勾配は $1/17 \sim 1/21$ 程度であるという計算結果とほぼ一致している。

以上より、流路工を移動床として（流路工内に堆積した土砂を排除せずに、発生した土石流を全て流すことを想定）土砂を氾濫させずに流下させるには、表-3.5に示す勾配が必要と考えられる。

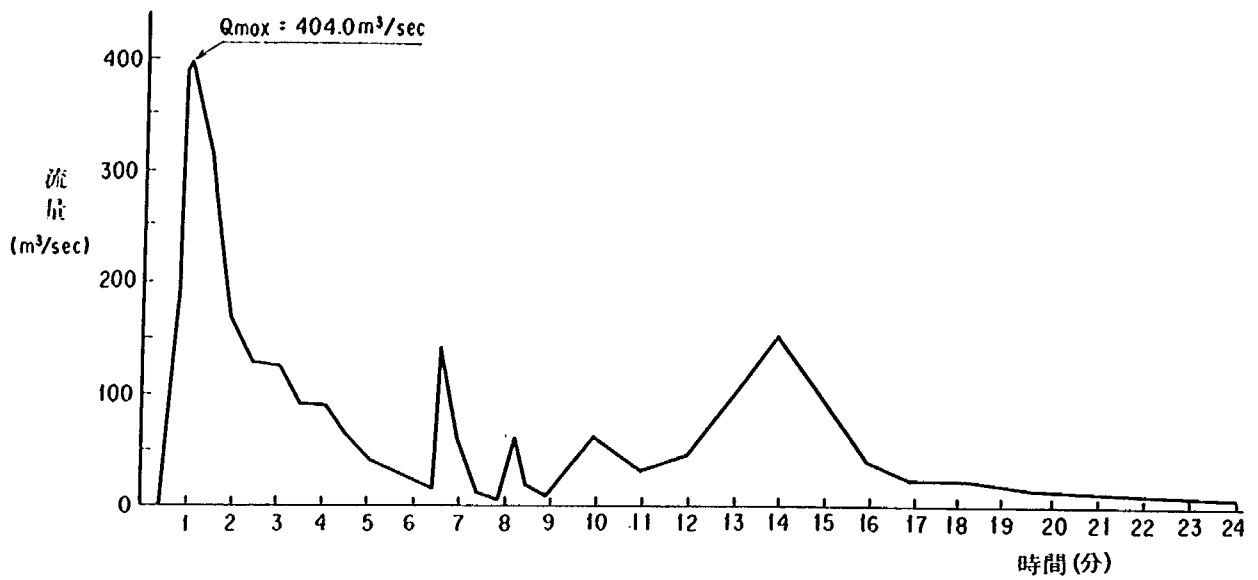
3.2 土砂濃度の相似性に関する実験

3.2.1 泥流の相似性の問題点

微細土砂（浮遊砂）を多量に含む泥流の流砂量式は不明であり、実験における水と土砂の混合物をどのように評価するのかが重要な問題である。そこで、当初は、昭和53年に実施された野尻川流路工水理模型実験における実件条件と近似していることから、相似性については、土石流の流速、水深、段波形状を現地の資料及び昭和53年の実験資料と比較検討することで確認を行う予定であった。ところが、昭和53年に実施した土砂濃度の 25% を流すと、本実験では水路の途中で土砂堆積が観察され、濃度の考え方が問題となった。本実験は基礎的資料を得る目的であり、給水及び給砂方法を単純化しているため、実際の現象に対して厳密に濃度を一致させる必要はない。そこで、泥流機構に関しては多少目を瞑り、本実験で検討しようとしている土砂の堆積形状が実験結果として意味を持つような方法を取ることにした。

3.2.2 相似性を検討するのに用いた資料

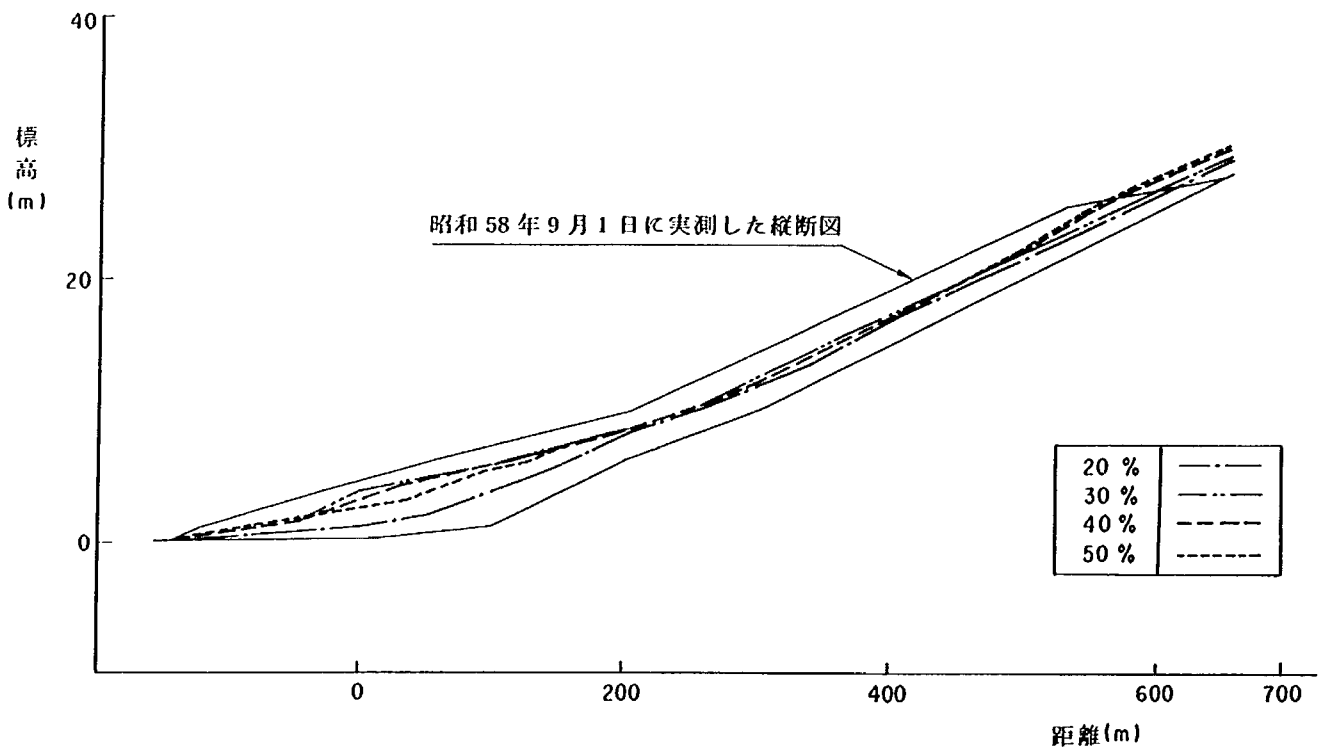
土砂の堆積形状を相似させる方法としては、実際に発生した土石流の調査資料に対して、実験条件を変えながら現地での実測縦断形に近付けることにした。相似性を検討するには、ハイドログラフ、総流出量、総流出土砂量、実測縦断図の資料が必要であるが、年に数10回発生する土石流に対して、土砂の堆積状況等は毎回測定されておらず、精度の高い資料が入手できなかった。そこで、実測縦断図には、それ以前に堆積した土砂が多少含まれているが、比較検討の資料としては、昭和58年9月1日に野尻橋で観測されたものを用いた。そのハイドログラフを図-3.5に示す。



図－ 3.5 昭和58年9月1日に野尻川で発生した土石流のハイドログラフ

3.2.3 実験結果

水路及び河口部の模型は現況として、与える泥流の土砂濃度を50%から20%まで変化させて実験を行い、実験終了後に堆積形状を測定した。その結果を図－3.6に示す。



図－ 3.6 土砂の堆積状況縦断面図

実験の結果は、実測の縦断面図と比較すると堆積厚がかなり小さくなっているが、これは先にも述べたように、実測の縦断面図には、確認しがたい要素が多分に含まれており必ずしも信頼できる資料ではない。よって、この程度の堆積形状の差は予想された。そこで、実験の結果は、実測の縦断面図に最も近似しているのはどの状態であるかによって評価することにした。

実験結果によると、平均土砂濃度を変えたことによる土砂の堆積形状の差は、あまり大きくない。ただし、土砂濃度が20%の場合は、河口部での堆積厚は小さくなっている。図-3.6に示す状況は、実験時間を実測によるハイドロより想定した2分間としており、土砂濃度を変化させたことによる総流出土砂量に差がある。そこで土砂濃度20%の実験時間を5分、30%の実験時間を4分として追加実験を行ったが、多少の堆積厚の増加は見られたものの、図-3.6の状況と大きな差は見られなかった。また、土砂濃度40%で5分間通水した実験を実施したところ、測点200より上流の部分で、現地の実測縦断面図にかなり近づく状況が観察されたが、測点600より上流においては全く違う結果となっている。

以上より、以後の実験条件としての土砂濃度については、実験の遣り安さから考えると、できるだけ土砂濃度の低い方が望ましいが、土石流観測資料など現地の状況に近似させることを考慮すると、より土砂濃度の高い方が実験条件として適当と考える。そこで、土砂濃度50%では、図-3.6に示すように測点600より上流で土砂が堆積しすぎ、河口部付近では逆に堆積厚さが小さくなる傾向が見られるため、以後の実験条件として、土砂濃度は40%とすることに決定した。写真-3.3はそのときの実験状況である。

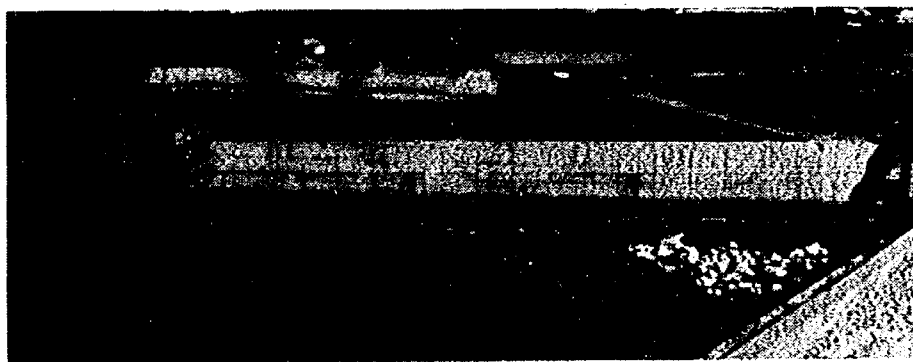


写真-3.3 水路下流部での土砂の堆積状況

3.3 基本計画案に関する実験

3.3.1 計画案に関する実験の必要性

野尻川の砂防基本計画案は昭和55年に机上で製作されたが、その妥当性は検証されていない。そこで、前項までの結果に基づき、最頻度流量と計画流量を与えて、実験的に計画案の検討を行った。

3.3.2 計画流量の考え方

野尻川では100年確率の計画流量を $1,100\text{m}^3/\text{s}$ とし、同計画流出土砂量を $690,000\text{m}^3/1$ 洪水としている。これを、予備実験として平均土砂濃度を15%程度とし、定流実験を行ったが、土砂は海域に噴出するような状況で堆積する結果となった。そこで、計画流量を流す実験についてはハイドログラフを図-3.8のように設定して実験を行った。また、図-3.7は実際に発生した土石流のハイドログラフを示したものであるが、流量の多いピーク部は大体10分程度で、それ以降は波高も急激に低下し、約60分程度で流出は終了している。図-3.8はこの資料を参考に設定したもので、数値の根拠は特にない。

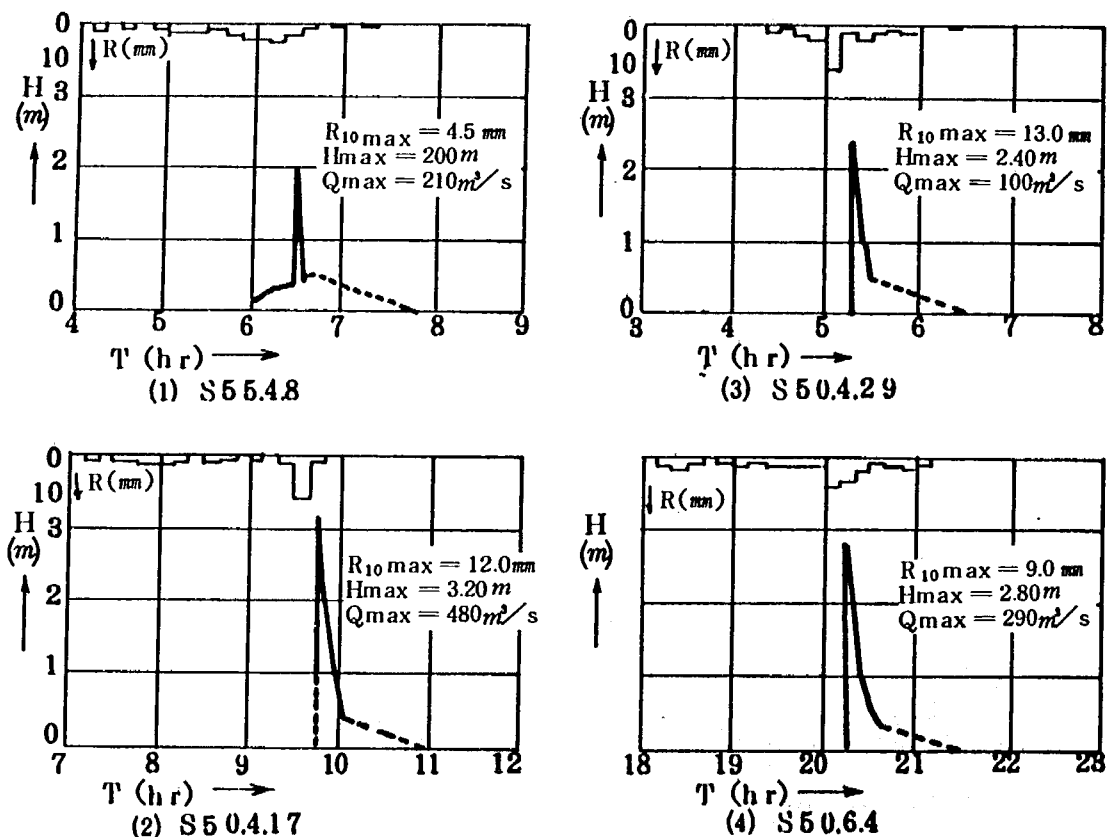


図-3.7 野尻川で観測された土石流のハイドログラフ

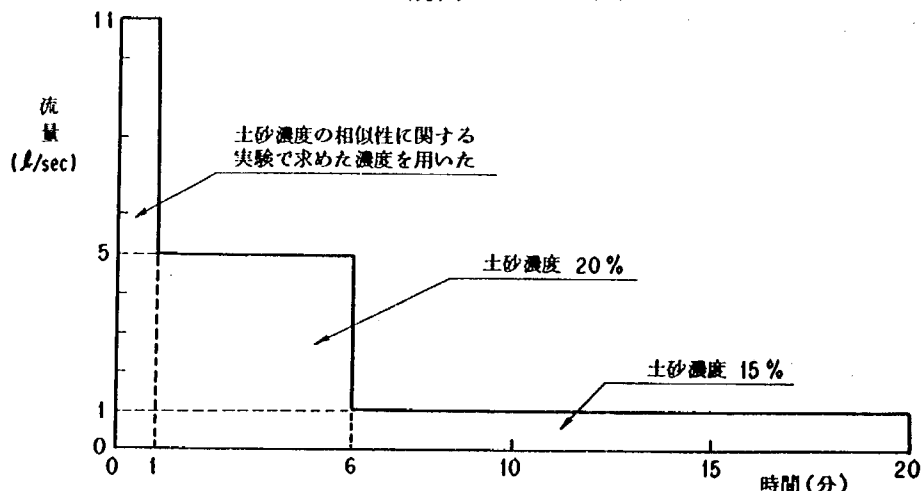


図-3.8 計画流量を流す実験で用いたハイドログラフ

3.3.3 最頻度流量による実験の土砂量の根拠

昭和46年より昭和53年までの7年間の航空写真による土砂収支解析結果より7年間の平均年流出土砂量と既設工作物による抑制量を加えたものを計画年平均流出（生産）土砂量とした。

表-3.6 計画年平均諸土砂量

① 計 画 流 量 (m^3/s)	② 既往流出土 砂量(7年間) ($10^3 m^3$)	③ 計 画 年 平 均 流 出 土 砂 量 ($10^3 m^3/year$)	④ 計 画 年 平 均 抑 制 土 砂 量 ($10^3 m^3/year$)
1,100	2,155	329	97

野尻川の砂防計画（表-3.6）によると，下流の流路工に流入してくる年平均土砂量は， $329 \times 10^3 - 97 \times 10^3 = 232 \times 10^3 m^3$ となる。よって，実験では，1年間分の流出土砂量を $240 \times 10^3 m^3$ （模型では $0.24 m^3$ ）とし最頻度流量を定流で流すものとした。

3.3.4 実験結果

野尻川の砂防基本計画による河口部の形状に対して行った土砂の堆積に関する実験結果を以下に述べる。

① 平均的規模の流量 $100 m^3/sec$ （模型で $1l/sec$ ）による実験（ケース15）

測点+200まで流下してきた微細土砂を除く土砂は，かなりの量が河口部で堆積してしまい，河口部の角度を 120° 設けたことによる拡散効果はあまり期待できないことが本実験の結果より想像される。また，時間の経過とともに土砂の堆積は上流へ遡上し，水路内には，相当量の土砂が堆積する結果となった。土砂の堆積状況を図-3.9に示す。海域及び水路内の土砂堆積状況を写真-3.4から写真-3.6に示す。また，海域部での平面的な土砂の堆積状況は写真集に示す。

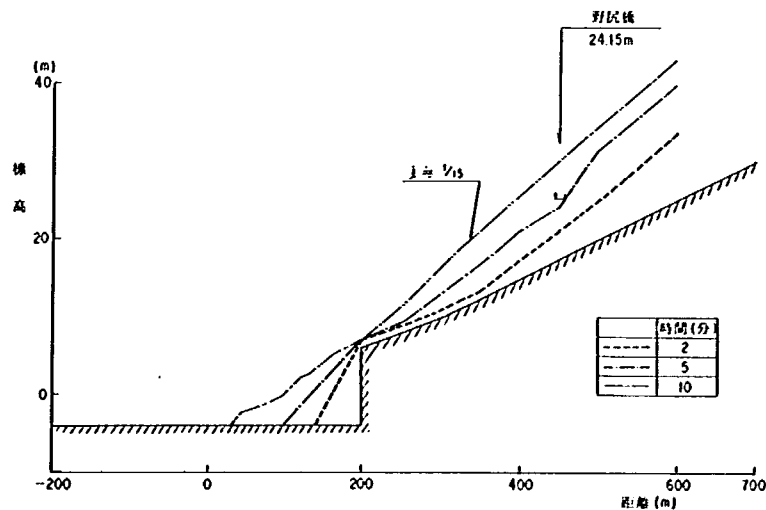


図-3.9 河床高縦断図（ケース15）

2分及び5分の縦断形状は流動している状態を測定した結果で，海域は堆積先端部と水路下流端部を結んだ推定線である。

② 計画高水流量 $1,100 \text{ m}^3/\text{s}$ による実験(ケース16)

実験を図-3.8に示す洪水波形で実施した結果、以下のような状況が観察された。

$Q = 1,100 \text{ m}^3/\text{s}$ を1分間連続して与えると、堆積土砂は、測点-100付近まで達する。
 $Q = 1,100 \text{ m}^3/\text{s}$ 流下時には水路内への遡上は生じない。次に $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ を5分間連続して与えると、通水終了直前に水路内への遡上が始まった。さらに、後続流の意味で濃度を小さくして $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ を与えたが、すでに水路は移動床となっていたために水路内では土砂が著しく堆積する状況となる。

図-3.10は土砂の堆積縦断図である。洪水波形の先頭部の流下堆積状況を写真-3.7から写真-3.9に、後続流の状況を写真-3.10から写真-3.12に示す。

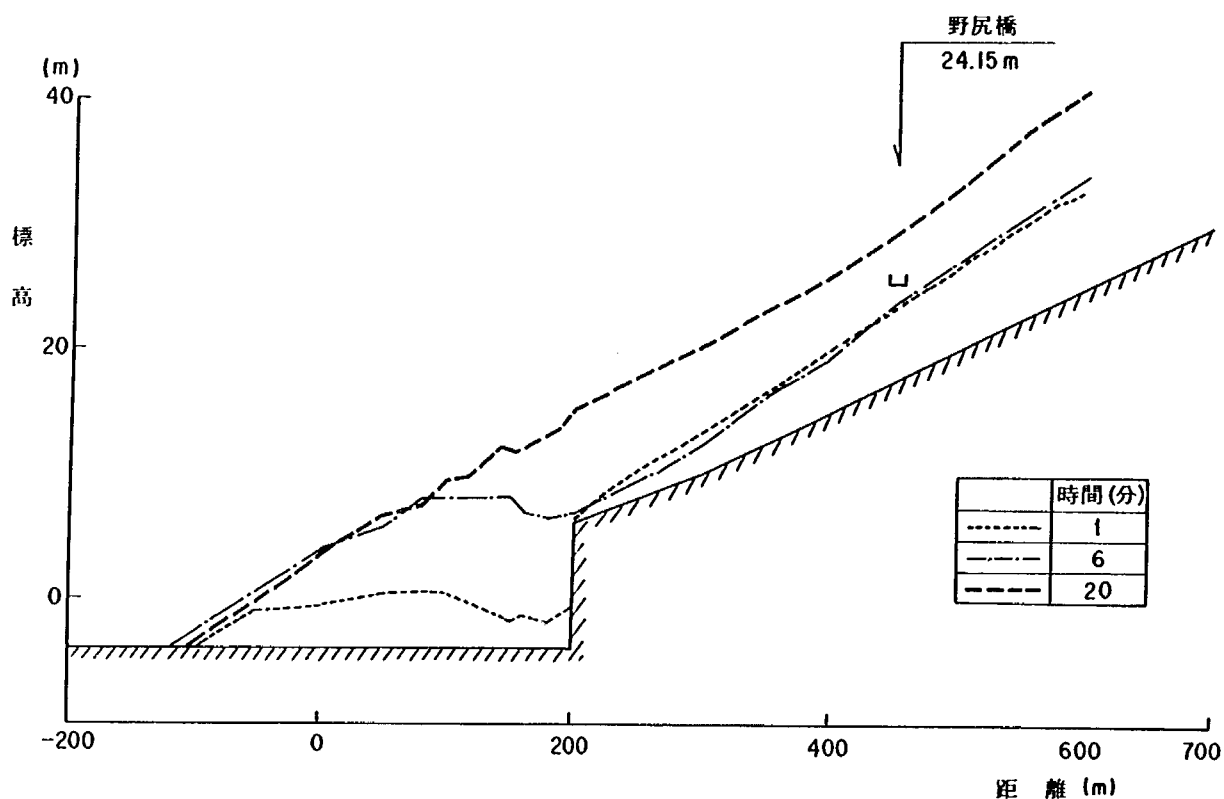


図-3.10 河床高縦断図(ケース16)

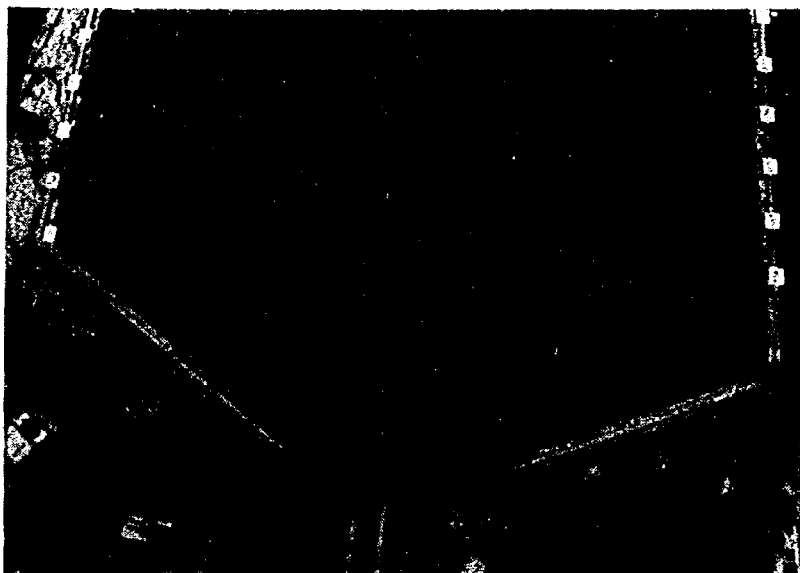


写真-3・4

(ケース 15)

海域部での土砂の堆積状況を示す。

土砂堆積の先端は、
+30m付近まで達している。



写真-3・5

(ケース 15)

海域部では、扇状地の形成と同じく同心円状に堆積が進む。

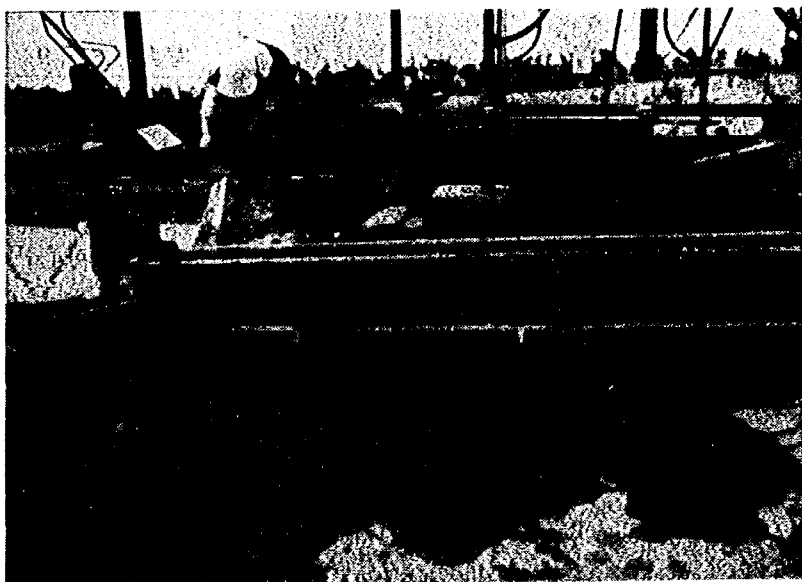


写真-3・6

(ケース 15)

水路での堆積状況を示す。

堆積勾配は約 1/15
である。

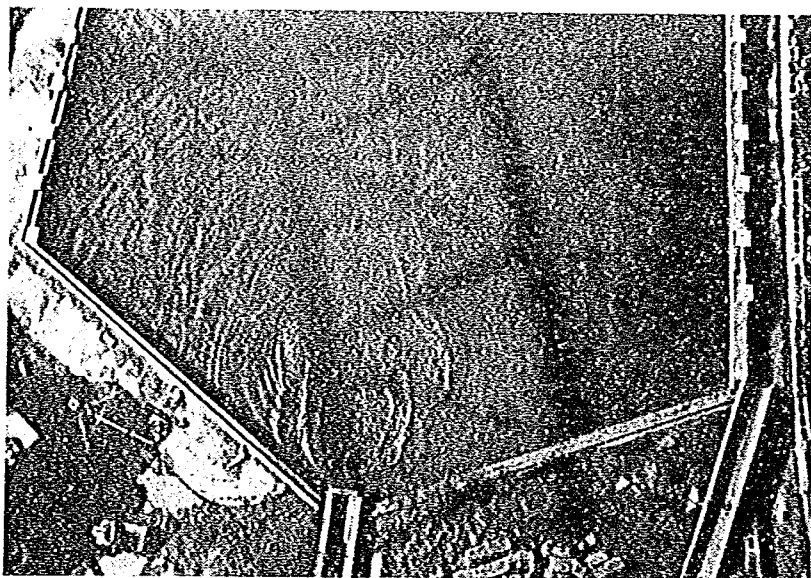


写真-3・7

(ケース 16)

計画高水流量 $Q =$

$1,100 \text{ m}^3/\text{s}$

($C_d = 40\%$)

を与えた場合の海域部の流下状況を示す。

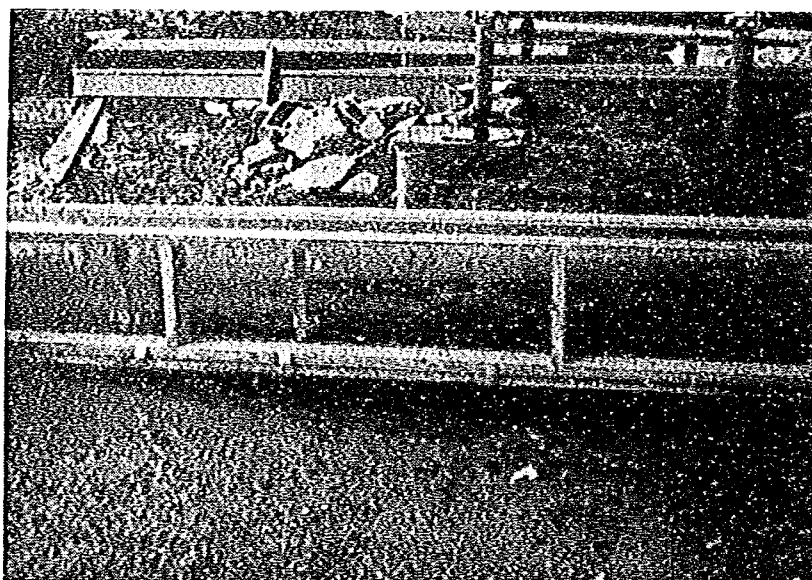


写真-3・8

(ケース 16)

計画高水流量 $Q =$

$1,100 \text{ m}^3/\text{s}$ を与え

た場合の水路内の流下状況を示す。

水路内を $3 \sim 6 \text{ m}$ の水深で流下する。

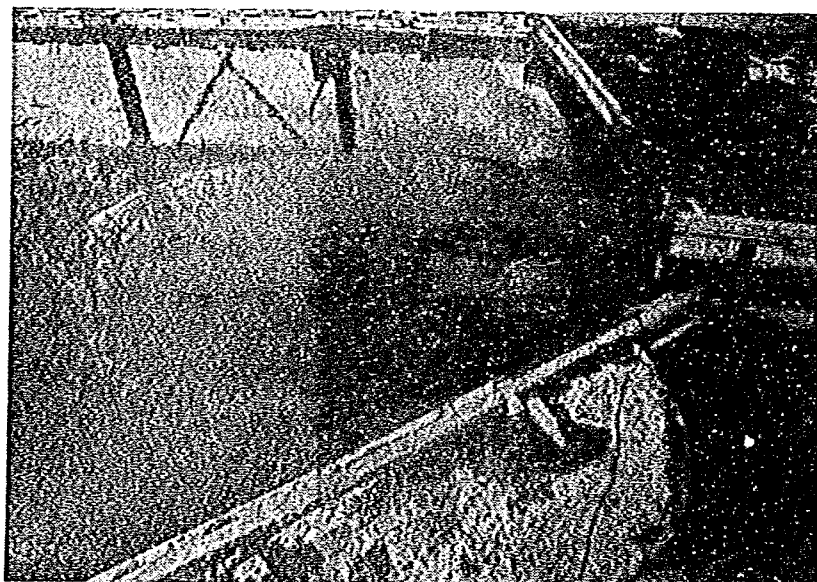


写真-3・9

(ケース 16)

海域部での土砂の堆積状況は扇状地の形成と同じく同心円状に拡がり堆積する。

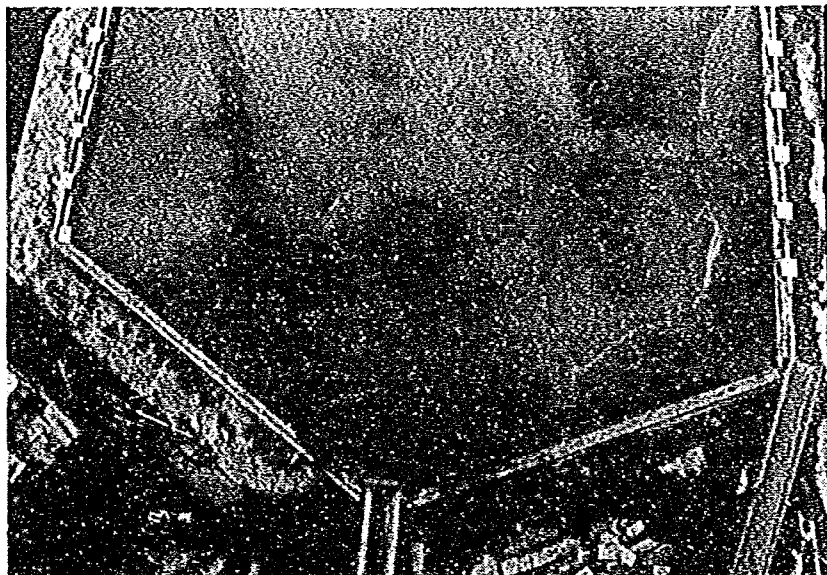


写真- 3・10

(ケース 1 6)

$Q = 500 m^3/s$ を与えた場合の海域部での流下堆積状況を示す。

土砂堆積の先端は - 200 付近まで達している。



写真- 3・11

(ケース 1 6)

$Q = 500 m^3/s$ を与えた場合、水路内では 2 ~ 4 m の水深で流下する。



写真- 3・12

(ケース 1 6)

通水終了後 (20 分 : 模型) の海域部の堆積状況を示す。

3.4 土石流を直接海域へ流す実験

3.4.1 実験の実施理由

一般的には流路工の河床高を高くして天井川にすると災害ポテンシャルが高まり、流路工計画としては好ましくない。

ところが、野尻川では多量の砂礫を含んだ流れであるにも拘らず、勾配 $1/20$ 程度でも流動するという非常に流動性の高い泥流が観測されている。

そこで、野尻川河口部の流路勾配を急にすることで河口部の閉塞を起こさないようにすれば、野尻川における三面張流路工の天井川化は逆に災害ポテンシャルが低くなるのではないかという考え方があり、その検討を行うため基礎的な実験を実施したものである。

3.4.2 実験結果

実験では海域へ流出した土砂は全て海域で拡散するような状況で堆積し、海面を堆積基準面と考えた場合の流路内への土砂の堆積翹上は発生しなかった。これは、与えた土石流の濃度が高かったため水路上流での土砂の堆積が発達しすぎる結果となり、水路の出口まで到達する土砂の量が著しく少なくなったものと考えられる。本実験は模型縮尺が $1/100$ でさらに流量が少ない割には給砂量が多いため、給砂のタイミングの微妙な違いでも実験結果に大きく影響してしまうという現象が現れたものと思われる。海部での土砂の堆積状況を図-3.11に示した。実験状況は写真-3.13から写真-3.15に示した。

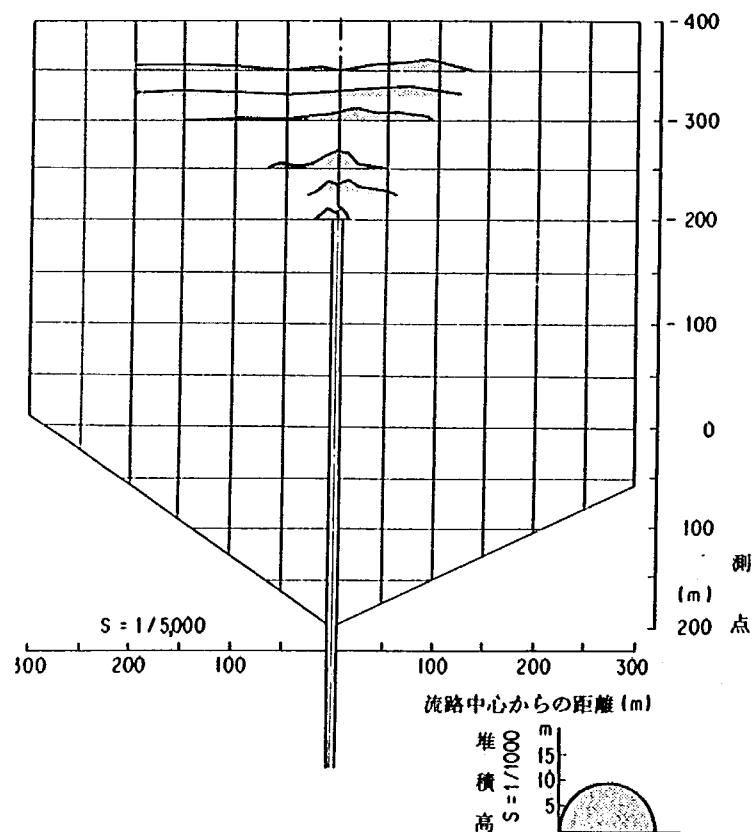


図-3.11 土砂堆積状況図(ケース17)

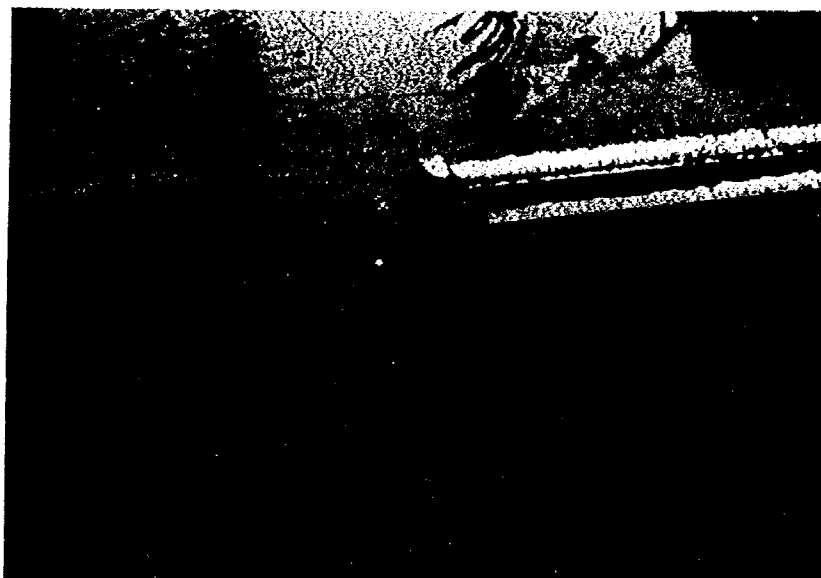


写真-3・13

(ケース 17)

$$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$$

($C_d = 40\%$)

を与えた場合の海域
部での流下状況を示
す。(実験前半)

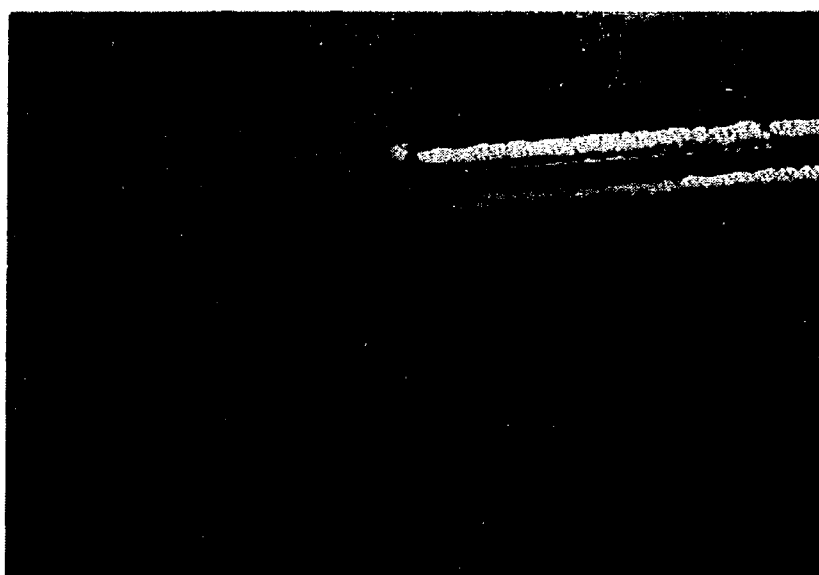


写真-3・14

(ケース 17)

海域部での流下堆積
状況を示す。

水路内への遡上は見
られなかった。(実
験後半)

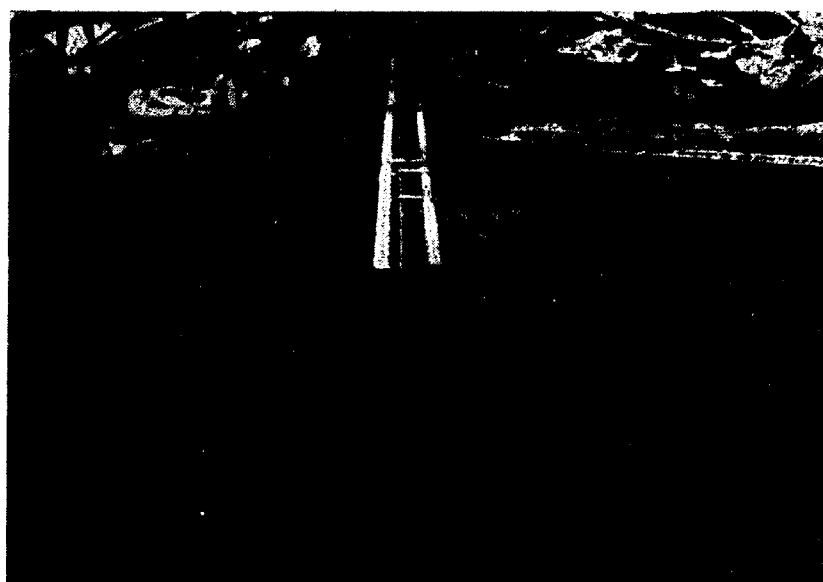


写真-3・15

(ケース 17)

$$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$$

10分間(模型)与
えた場合の海域での
堆積状況

3.5 河口部開削工の形状に関する実験

3.5.1 実験の実施理由

桜島の火山活動が沈静化する見通しのない現状では、河口部における土砂の排除等は考慮せざるを得ない。

そこで、数回の土石流により効果を失ってしまうが、河口部の堆砂容量を大きくすることにより危険な出水期を避けて、計画的な除石工事を行えることが望ましいという考えに基づき、河口部の開削形状を変えて最適な除石工計画を検討するために実験を行ったものである。また現下流部流路工の左岸高水敷を沈砂地に改修し、積極的に陸上での除石を行う計画案があり、その基礎的実験も併せて実施した。

3.5.2 実験結果

① 水路の下流端を+100にセットした実験(ケース18)

土砂の堆積状況を観察した結果、細かい土砂は海域まで流出するが、比較的大きい土砂が河口部付近で堆積するため水路内への堆積の遡上が実験開始後4分より始まる。堆積土砂は測点-200まで達する。堆積の方向は流路の出口の方向に規制されるような状況が見られるものの、当初期待された左岸寄りへの土砂の拡散は多少期待できると考えられる。この傾向は流量 $500\text{ m}^3/\text{s}$ 土砂濃度20%の予備実験の結果とも一致するものであった。

土砂の堆積状況の平面図(傾向が顕著に現れている予備実験の結果を示す)を図-3.12に、縦断面図を図-3.13に示す。写真-3.16から写真-3.18には実験状況を示す。

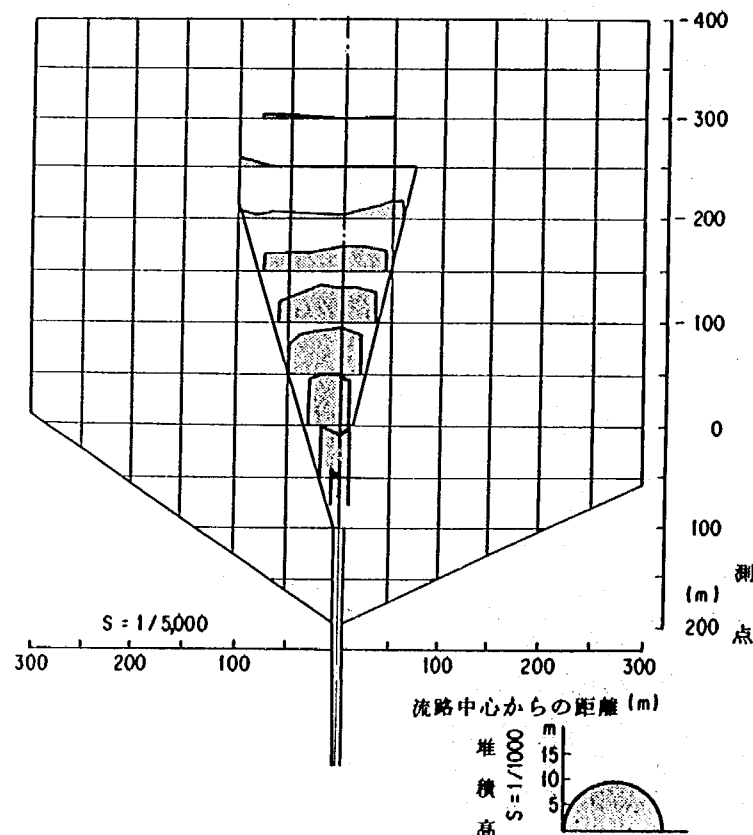


図-3.12 土砂堆積状況図(ケース18)

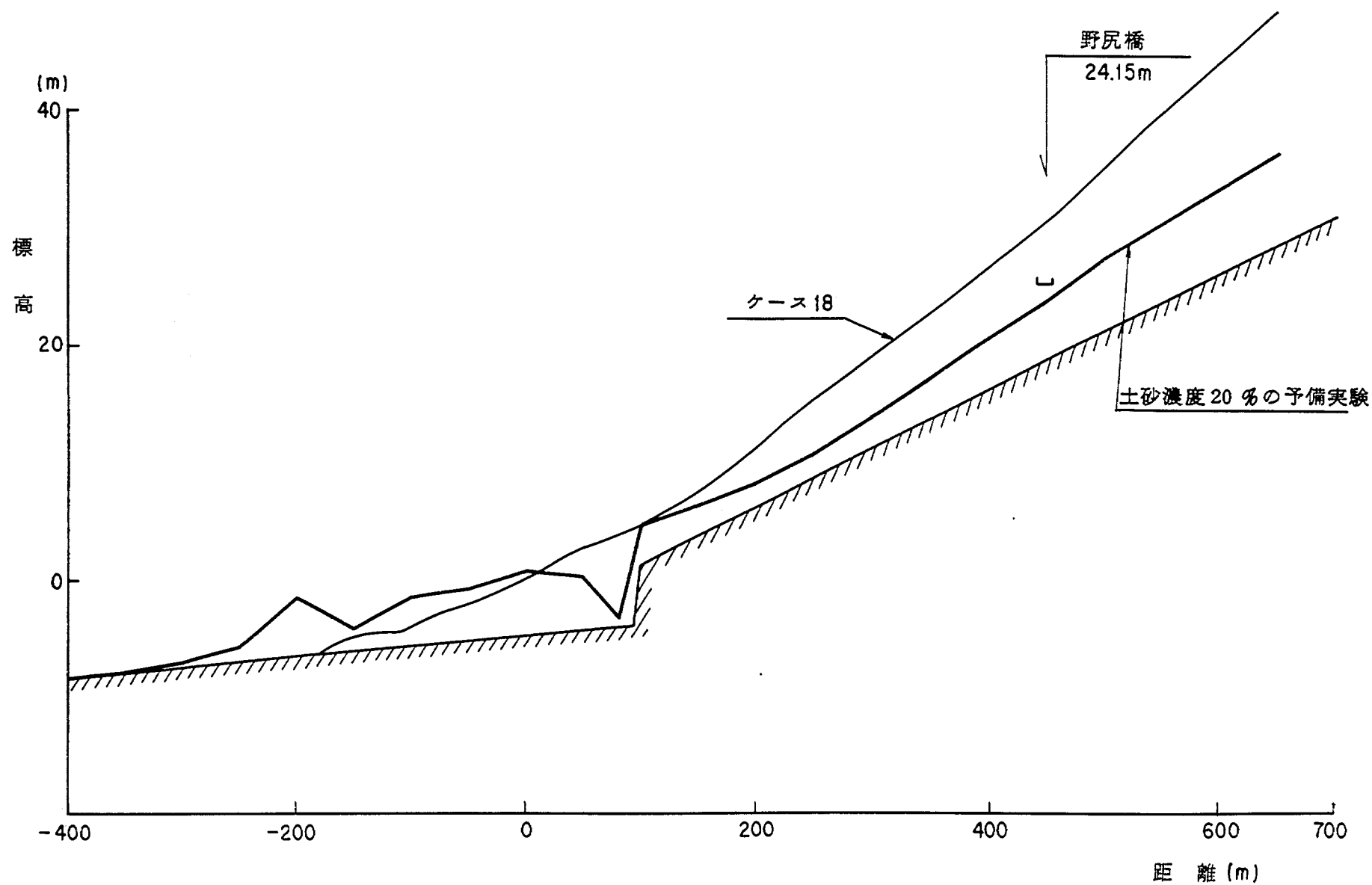


図 - 3. 1 3 河 床 高 縦 断 図 (ケース 1 8)

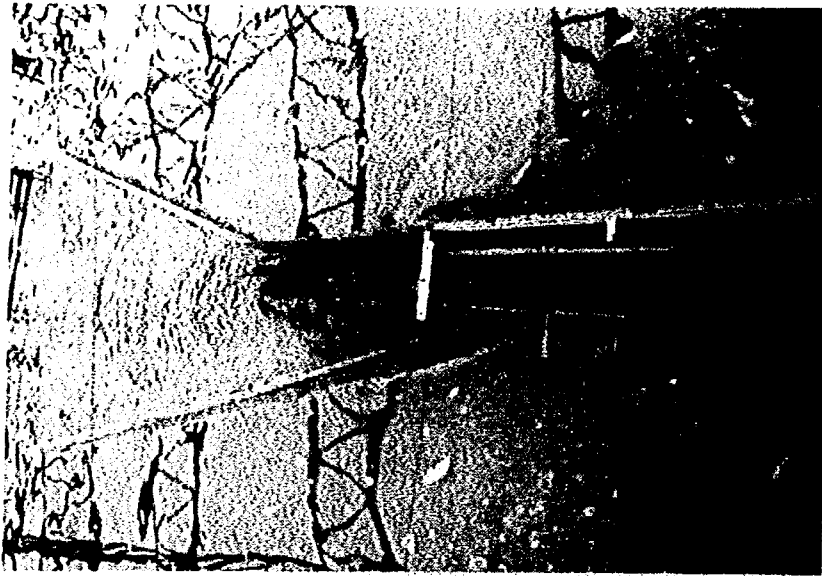


写真-3・16

(ケース 18)

$$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$$

($C_d = 40\%$)

を与えた場合の水路
及び海域での流下状
況を示す。



写真-3・17

(ケース 18)

$$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$$

($C_d = 40\%$)

を 10 分間連続して
与えた場合の実験終
了後の沈砂地での堆
積状況。



写真-3・18

(ケース 18)

水路内への遡上が始
まっている状況を示
す。

② 水路の下流端を測点±0まで延長した場合（ケース19）

大隅工事事務所では、計画的な除石を行うために水中堀削機械の開発を計画しており、その作業能力は、非出水期のみ作動するとした1年間の掘削可能量は約10万 m^3 とされている。ケース18及びケース19では、その量に相当する開削工の形状を設定した。実験の結果、測点+100の勾配変化点で土砂の堆積が観察され、その影響と考えられるが土砂堆積の遡上現象が測定できなかった。これに関して同じ桜島内で泥流の発生をみながら河口部流路工内に異常堆積を生じていない長谷川について縦断勾配を調べてみると国道橋上流部約100m区間では約1/16であり、橋の下流の40m区間は約1/30である。発生した土石流の特性は定かでないが、勾配的には野尻川より緩勾配を有しながらも流路工内に土砂の異常堆積がなかったということは野尻川河口部にみられる緩勾配部がなかったこと等によることが考えられる。

ケース18とケース19を比較すると表-3.7に示すように、ケース19の形状の方がより多くの土砂を流路工外へ運ぶ傾向が見られる。これは水路末端部と堆積域の段差が有効に働いたものと考えられ、開削工の形状は浅く広くするより深くする方が効果的であると思われる。しかし、実験条件の妥当性を別にすると、海域部への流出土砂量に比べて流路工内の堆積土砂量は約5倍程度となっており、いずれにしても根本的な土砂処理の対策方法とは言えないようである。土砂の堆積状況の平面図を図-3.14に、縦断図を図-3.15に示す。実験状況を写真-3.19から写真-3.21に示す。

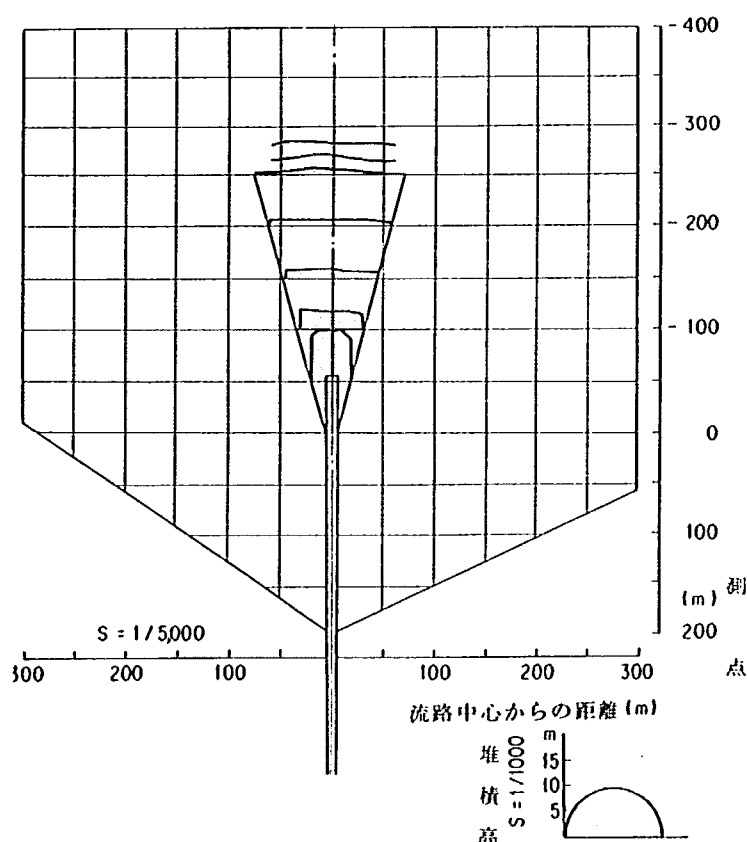


図-3.14 土砂堆積状況図（ケース19）

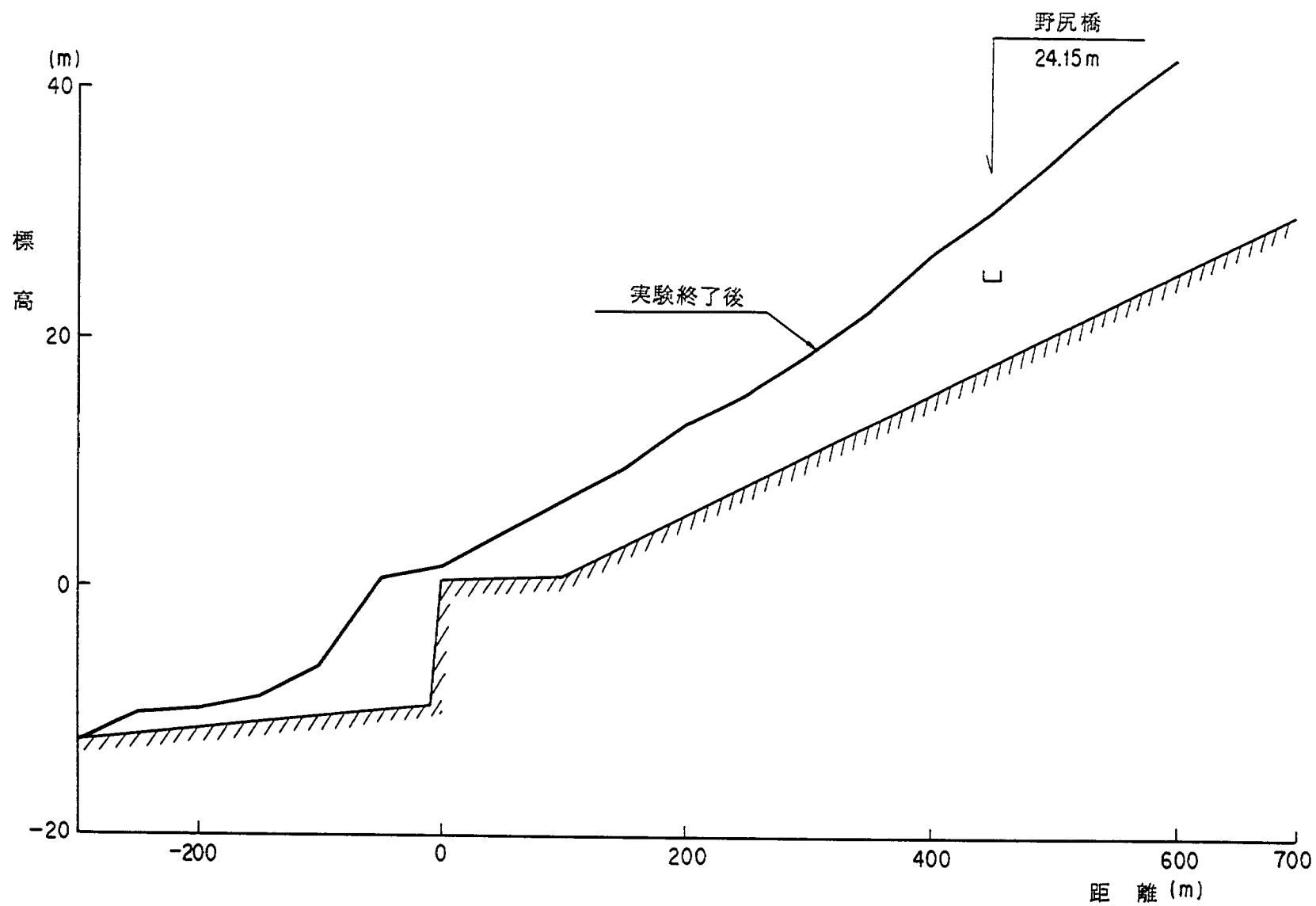


図 - 3.15 河 床 高 縦 断 図 (ケ ー ス 1 9)



写真-3・19

(ケース 19)

$$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$$

($C_d = 40\%$)

を与えた場合の流下
状況。

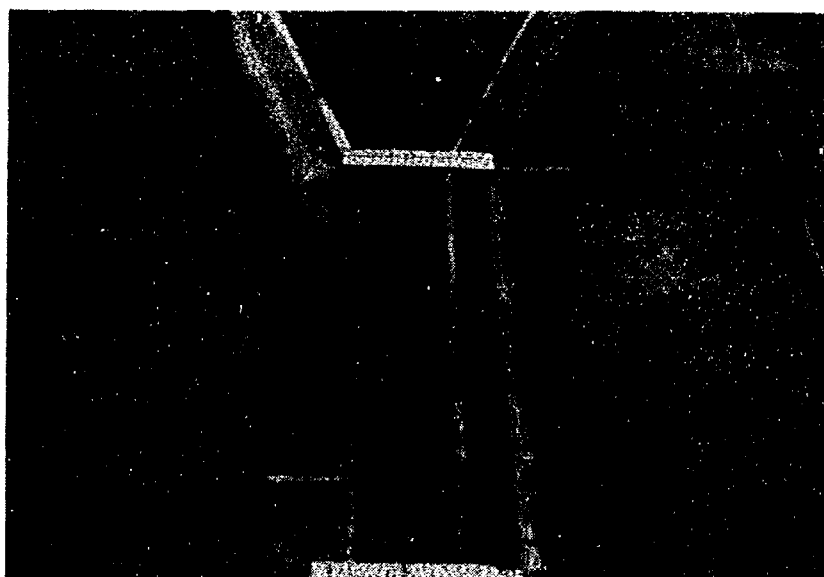


写真-3・20

(ケース 19)

$$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$$

($C_d = 40\%$)

を与えた場合の水路
末端付近の流下状況。

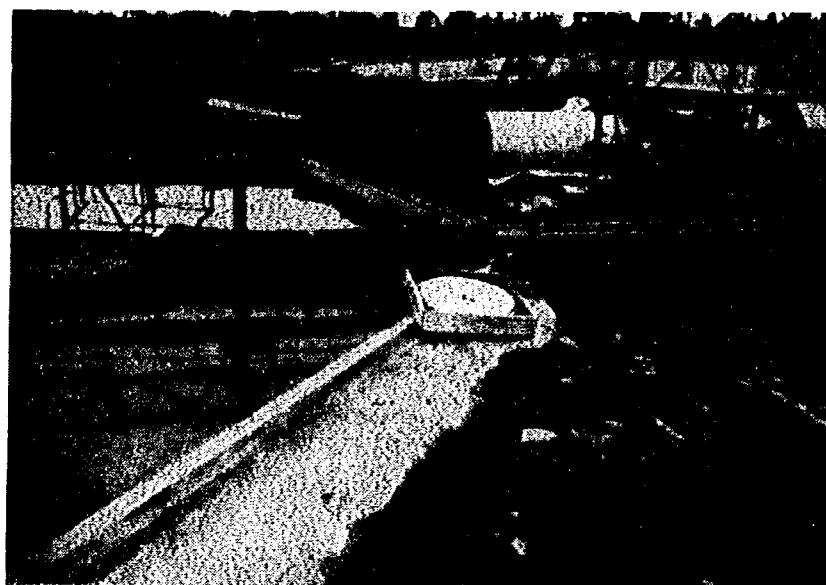


写真-3・21

(ケース 19)

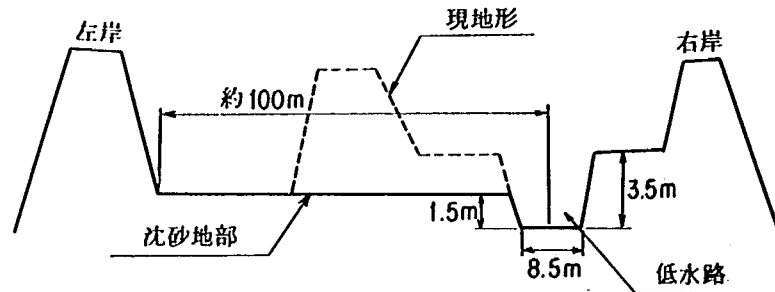
通水終了後の水路内
の堆積状況。

河床勾配は $1/15$ 程
度である。

③ 現流路工の左岸に沈砂地を設けた実験（ケース 20）

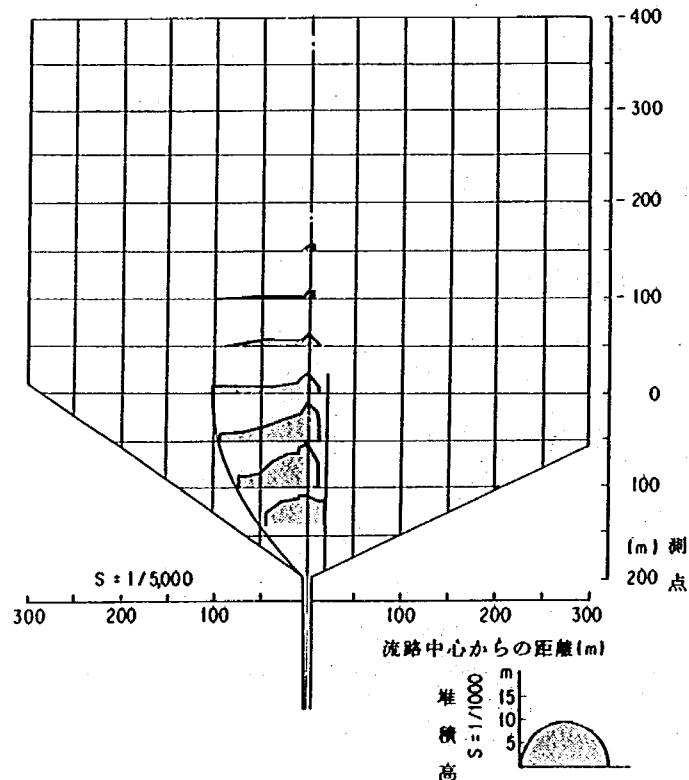
現在の流路工を利用し，下流部の左岸高水敷を拡幅し，低水護岸の左岸部を低くすることで沈砂地を設け，積極的に陸上部での除石を行う計画案に対して実験を実施した。

沈砂地部の標準的な断面は，図－3.16 に示す通である。



図－3.16 標準的断面の略図

計画案によると土石流フロントは海中へ流出させ，後続流は，左岸高水敷に堆積させることを考えていたが，実験の結果，低水護岸の左岸高が低いため，土石流の先頭部は，流路出口の拡幅部で土砂が堆積し，フロントと後続流の制御は困難であることが観察された。そのため，上流流路工への土砂堆積の遡上は防止できず，沈砂地部では土砂が横方向へ拡がりきらずに沈砂地としての機能が有効に発揮されない状況も予想される。しかし，表－3.7によると他のケースと比べると流路工内の堆積土砂量はかなり少なくなっており，土石流の条件によっては沈砂地の効果が発揮される場合があると思われる。土砂の堆積状況を図－3.17，図－3.18及び写真－3.22～3.24に示す。



図－3.17 土砂堆積状況（ケース 20）

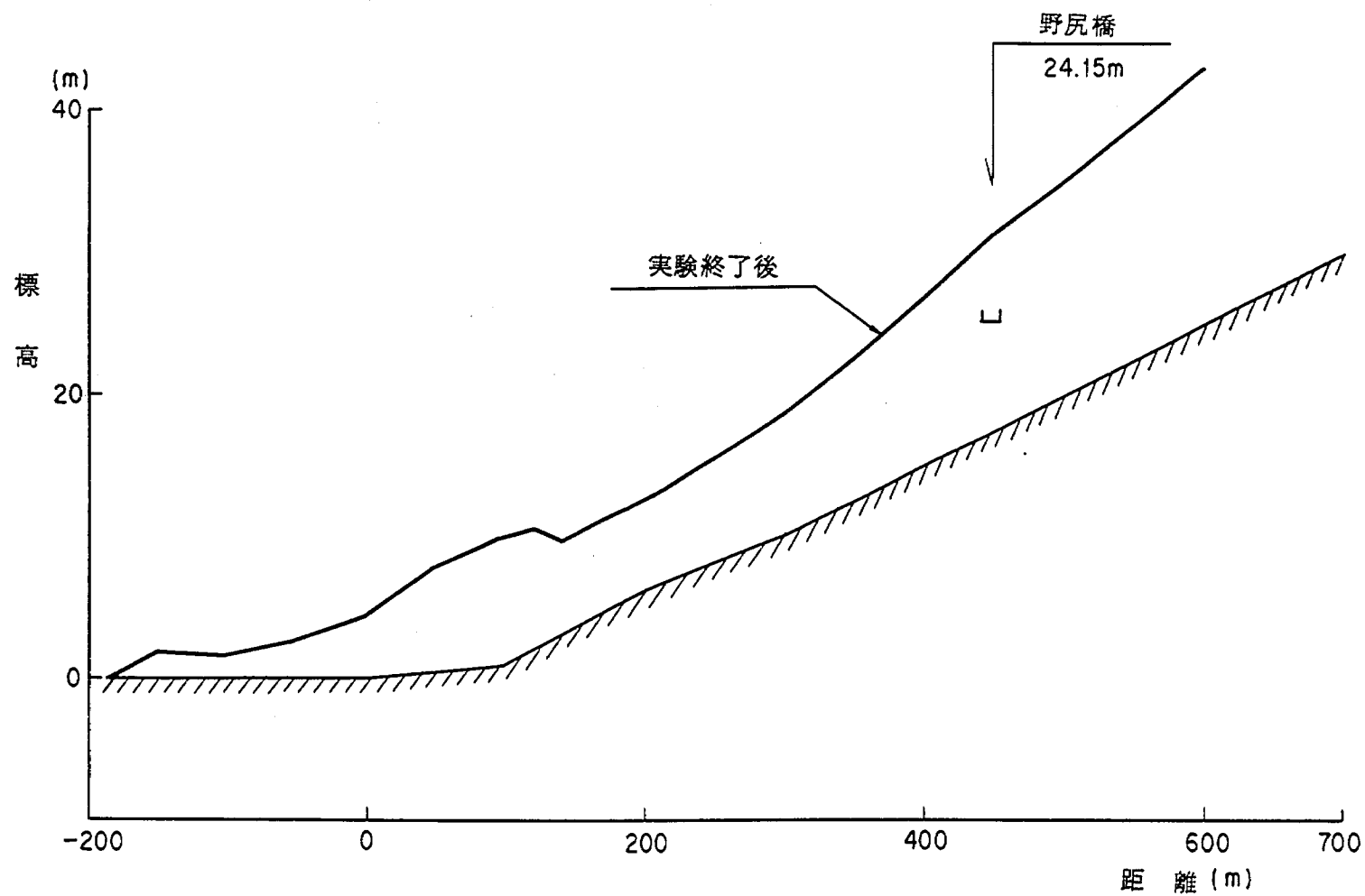


図 - 3.18 河床高縦断面図 (ケース20)

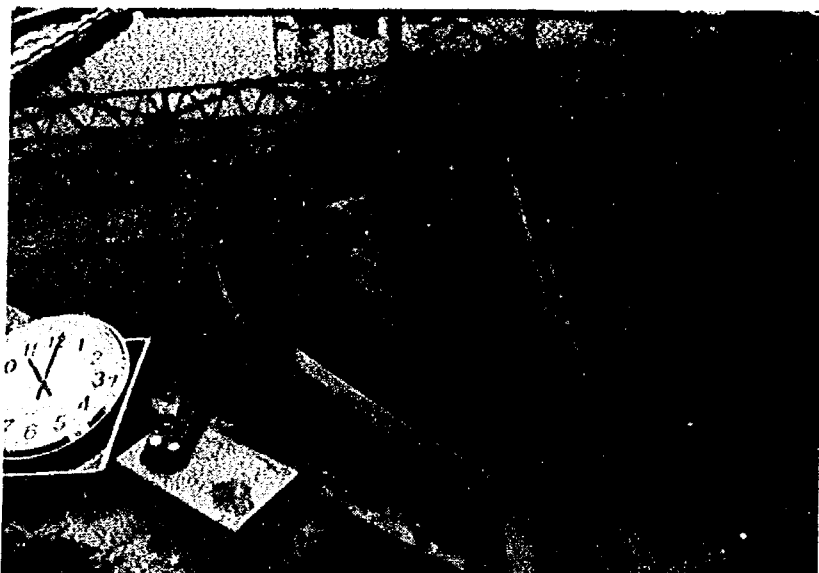


写真-3・22

(ケース 20)

$$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$$

($C_d = 40\%$)

を与えた場合の実験
開始より40秒後、
低水路より左岸方向
への土砂の沈着状況
を示す。

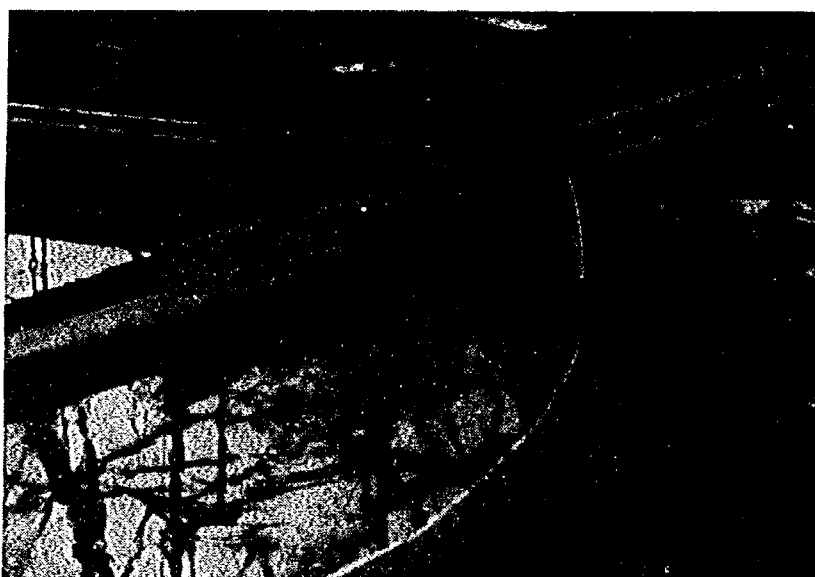


写真-3・23

(ケース 20)

3分経過後の沈砂地
での堆積状況を示す。
水路内への遡上開始
時刻は2分30秒。

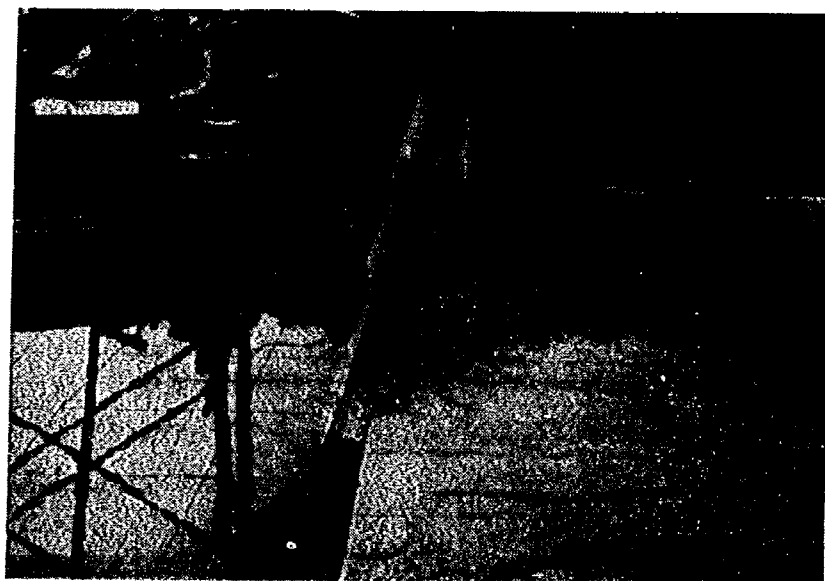


写真-3・24

(ケース 20)

$$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$$

($C_d = 40\%$)

流下時の沈砂地内で
の流下状況を示す。

表 - 3. 7 土 砂 収 支 一 覧 表

CASE No	遡上開始 時刻	総給砂量 (m^3)	通 水 終 了 後				備 考
			沈砂地内の 堆積量 (m^3) (A)	流路工内の 堆積量 (m^3) (B)	A / B	野尻橋地点の 堆積高 (m)	
15	8 分	240,000	49,000	191,000	0.25	13.0	$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ $Cd = 40 \%$ $Tm = 10 \text{ min}$
16	6 分	690,000	388,000	302,000	1.28	12.5	洪水波形
17	遡上なし	240,000	40,000	200,000	0.20	11.0	$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ $Cd = 40 \%$ $Tm = 10 \text{ min}$
18	4 分	240,000	39,000	210,000	0.18	12.5	$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ $Cd = 40 \%$ $Tm = 10 \text{ min}$
18'	3分30秒	240,000	138,000	102,000	1.35	5.0	$Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ $Cd = 20 \%$ $Tm = 4 \text{ min}$
19	—	240,000	52,000	188,000	0.28	12.5	$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ $Cd = 40 \%$ $Tm = 10 \text{ min}$
20	2分30秒	240,000	76,000	164,000	0.46	13.5	$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ $Cd = 40 \%$ $Tm = 10 \text{ min}$

4. ま と め

- ① 固定床水路における水路勾配と土砂濃度の関係を調べた結果、 $1/15$ から $1/25$ 程度の勾配でほぼ完全に流せる土砂濃度（微細土砂を含む）は 30% 以下であることが明らかとなった。しかし、 $1/15$ から $1/25$ と水路勾配を変化させても土砂濃度の範囲はほぼ同じで、水路勾配に対する土砂濃度の変化傾向を知ることはできず、一般的な関係は得られなかった。

的な関係式は得られなかった。

- ② 動的平衡勾配は、従来より示されている土石流及び土砂流の濃度の式と、実験結果より考察を加えたが、ほぼ従来濃度と勾配に関する式で表せることを示した。
- ③ 実験で用いる泥流の濃度の相似性について検討した。検証を行うための資料が十分でなかったため、実験の結果に対する評価に問題が残っているものの、土砂濃度を変化させても大きな堆積形状の差は見られなかったため、できるだけ土砂濃度を高くする方向で、以後の土砂濃度の条件を 40% とした。
- ④ 堆積域の条件を変化させた土砂の堆積実験を 5 ケースについて行った結果、本実験で用いた土石流条件のもとで、一般的な傾向を知ることができた。しかし、いずれの場合も流路工内での土砂の異常堆積が観察され、土砂処理計画の根本的な対応策を提案するまでには至らなかった。

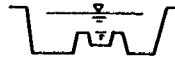
おわりに

桜島の野尻川の砂防計画は、暫定計画「火山活動期砂防基本計画」と基本計画「火山休止期（鎮静後）砂防基本計画」に分けて考えられている。本実験は暫定計画における基本的資料を得る目的で実験を行ったものであり、十分でない点も多々指適されようが一応の成果を得ることができたと考える。野尻川における砂防計画の一助になれば幸いである。

また、本川流路工部と河口部の改良について、今後の対策の基本的事項が近年以下の通り提案されている。

- ① 流路工内に土砂堆積が生じにくい対策・構造を計画する。
 - ② 土石流の大部分は河口掘削（浚渫）の必要がない沖合に流出させる工法を検討する。
 - ③ 河口部堆積土砂のうち、除去しうるものは陸上掘削で処理して成果を期待する。
 - ④ 付替橋梁の計画高（ $0/400 + 25$ 地点、桁下標高 27.60 m ）と、土石流処理のための流路工勾配あるいは堆積土砂の遡上限界などの関連で、実施の可能性と処理方法の具体的提案を行う。
- そして、具体的な工法の提案が表-5の通り行われており、野尻川の土石流対策が今後期待される。

表－５ 流路工部と河口部の改良案

案 項目	１－（１）	１－（２）	２	３－（１）	３－（２）	４
対 策 概 要	○現流路工を利用 ○流路工末端を 0/-300 ○3.00mの段差 （海面上） ○下流勾配1= 1/25	○現流路工を利用 ○流路工末端を 0/-50 ○5.00mの段差 ○1=1/25	○流路口付替（右 岸側） ○河口部は20m 程度沖出し ○7.00mの段差 （海面上） ○1=1/22.1	○現流路工を利用 ○0/375付近から 下流左岸部高水 敷を拡幅 ○現河床面、勾配 の変更なし（上 流一部変更） ○流路左岸高を低 くする。 	○現流路位置で、 断面、勾配を変 更 ○0/375付近から 下流兩岸を拡幅 ○流路は断面を小 さくし、末端は 3.00mの段差 	○現流路工利用 ○流路工末端を 0/250～ 0/375 ○段差3.10～ ～4.50m ○下流兩岸に25° 程度の開きで沈 砂地
特 長	○当分の間除石工 が不必要（海中 ・陸上共） ○潮流による拡散 効果も期待でき る。	○当分の間除石工 が不必要 （近い将来海中 掘削を要する）	○海中掘削・陸上 除石ともに長期 間不必要 ○施工の安全性高 い ○潮流による拡散 効果有り	○土石流フロント は海中へ ○後続流は左岸高 水敷に堆砂させ る。 ○陸上除石 ○橋梁付替に対応 可 ○工費廉価 ○施工安全	○土石流フロント は海中へ ○後続流は兩岸へ 堆砂 ○陸上除石 ○水中掘削軽減 ○橋梁付替に対応 可	○積極的に堆砂さ せる。 ○陸上除石 ○現状の変更がわ ずか ○橋梁付替に対応 可
問 題 点	○天井川化が著し い ○河川敷幅が広大 ○国道橋位置での 河床高が3.30 mとなり国道の トンネル化が必 要 ○施工困難	○天井川となる ○国道橋位置での 河床高が2.5m となり高架橋 ○施工困難	○大天井川（保全 対象に近い）と なる。 ○国道トンネル化 ○用地、環境対策 ○工期、工費が大 ○土工量多	○フロントと後続 流の制御が困難 ○遡上の防止が疑 問 ○除石が必要 ○除石断面少 ○新たな土捨場の 確保	○期待どおりの機 能をもっている か不明 ○右岸側（現土捨 場）の土工量が 大きい ○施工中の安全対 策 ○除石量大、手戻 り ○新たな土捨場の 確保	○従来、海中へ堆 積していた分も 除石必要 （除石量増大） ○施工が危険 ○堆積高と遡上に 問題が残る。

参 考 文 献

- 1.) 大隅工事事務所；桜島土石流調査成果報告書，桜島砂防技術資料，昭和57年3月
- 2.) 建設省土木研究所；桜島野尻川流路工水理模型実験報告書，土木研究所資料1442号，

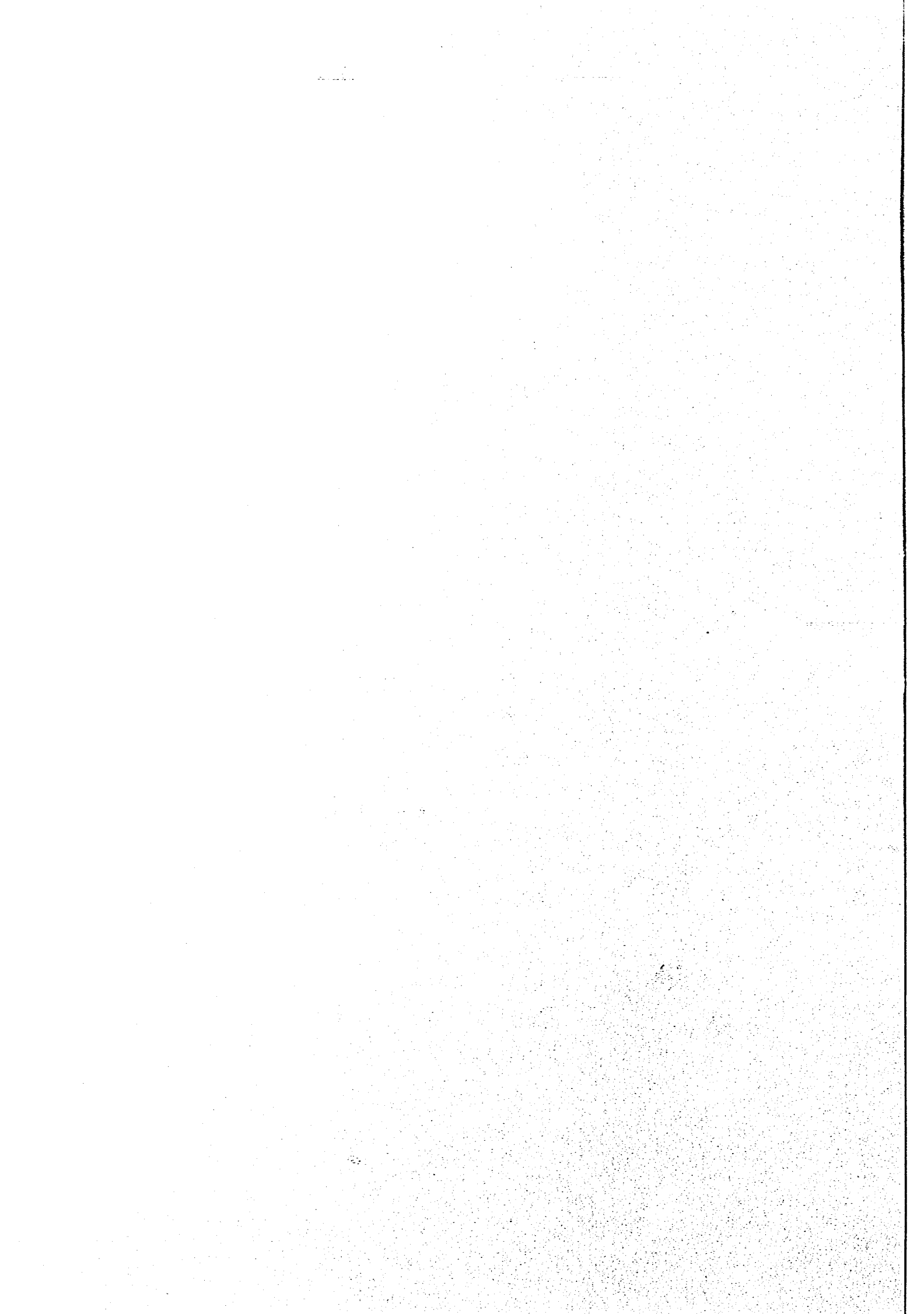
昭和53年12月

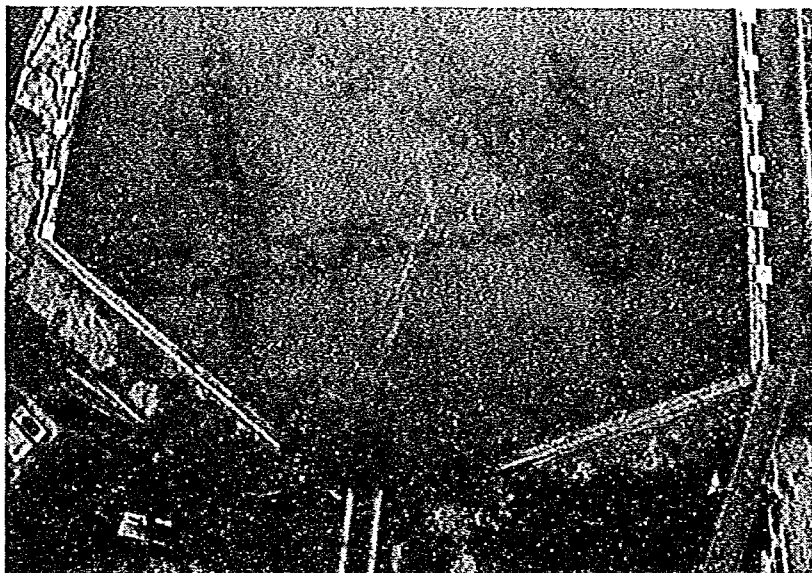
- 3.) 田 原 正 清；桜島の土砂流出の特性，第23回水理講演会論文集，1979
- 4.) 水山高久，上原信司；急勾配固定床水路における掃流砂量の算定方法，土木技術資料25-8，

1983

- 5.) 水山高久，下東久巳；微細土砂濃度が流砂量に与える影響，土木技術資料27-1，1985

写真集



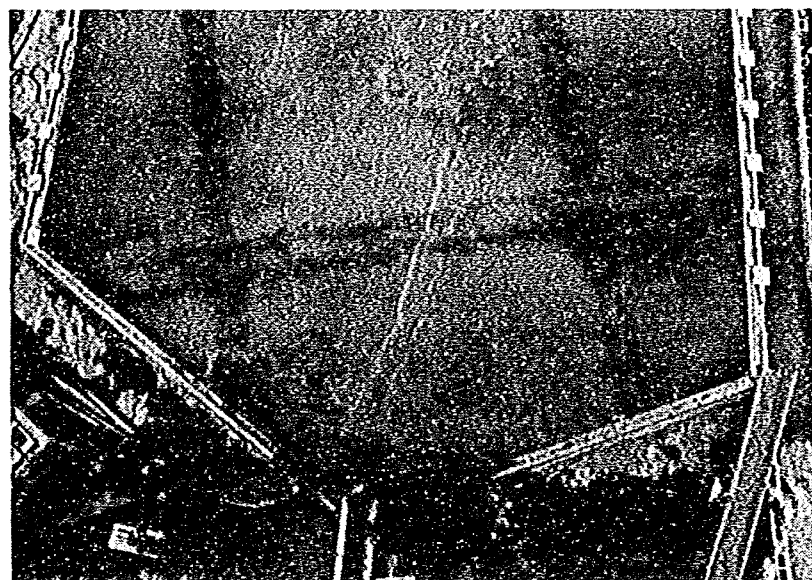


基本計画案
 (ケース 15)
 $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$
 $I = 1/20$
 $C_d = 40\%$

10 秒



1 分



2 分



(ケース 1 5)

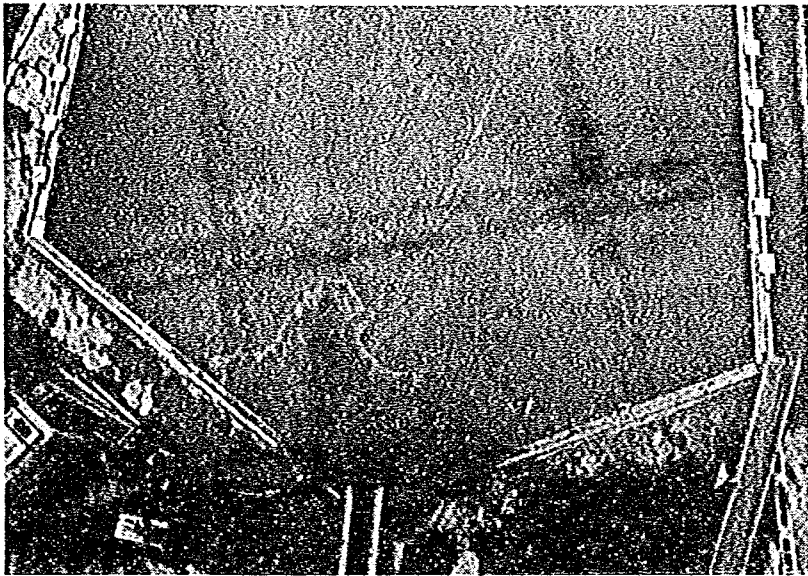
3 分



4 分

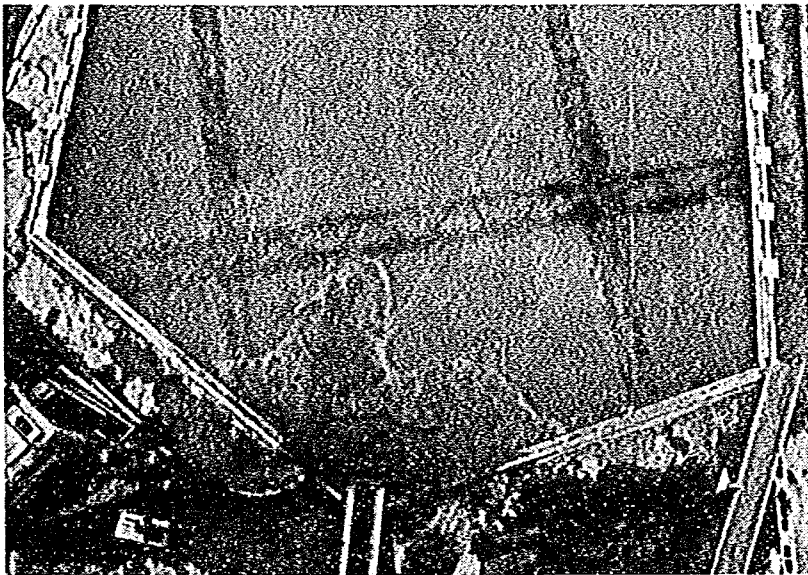


5 分



(ケース 1 5)

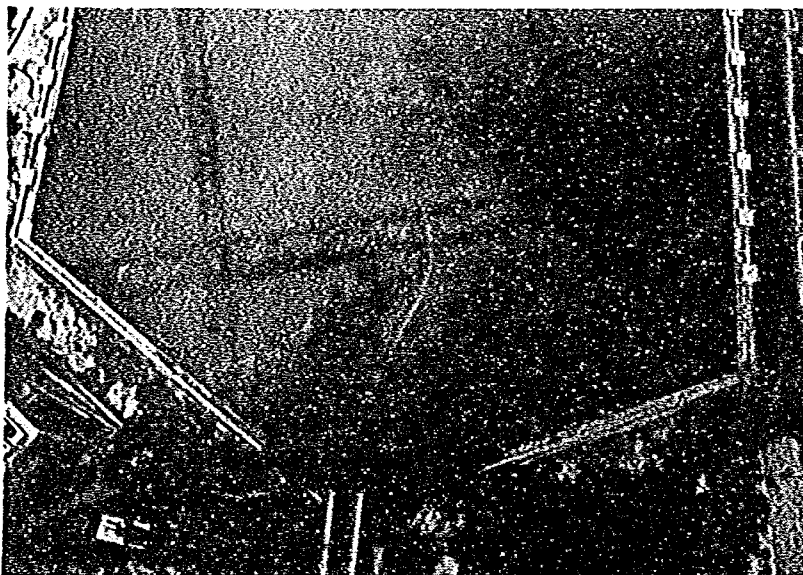
6 分



7 分

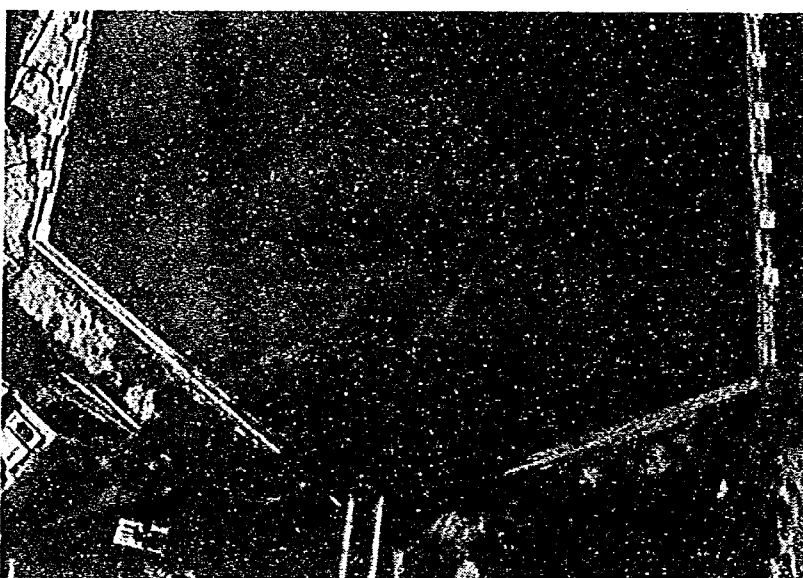


8 分



(ケース 1 5)

9 分



1 0 分



基本計画案

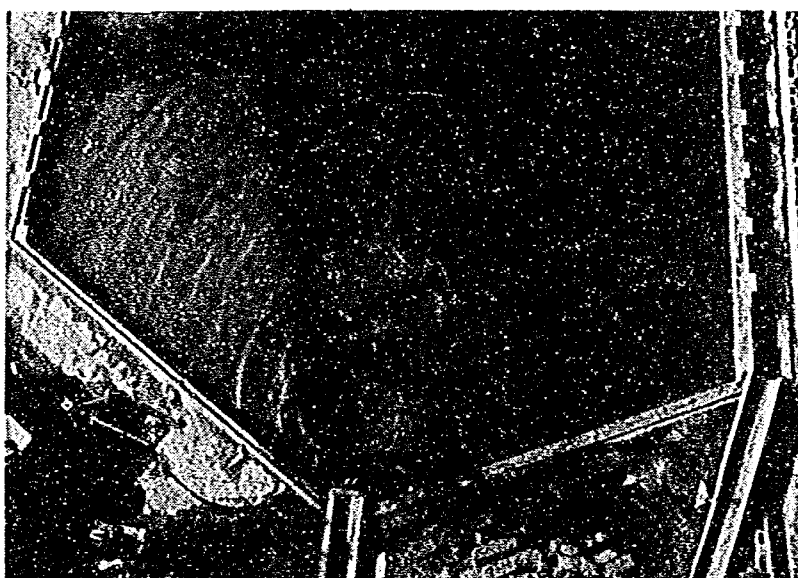
(ケース 16)

$$Q = 1100 m^3/s$$

$$I = 1/20$$

$$Cd = 40\%$$

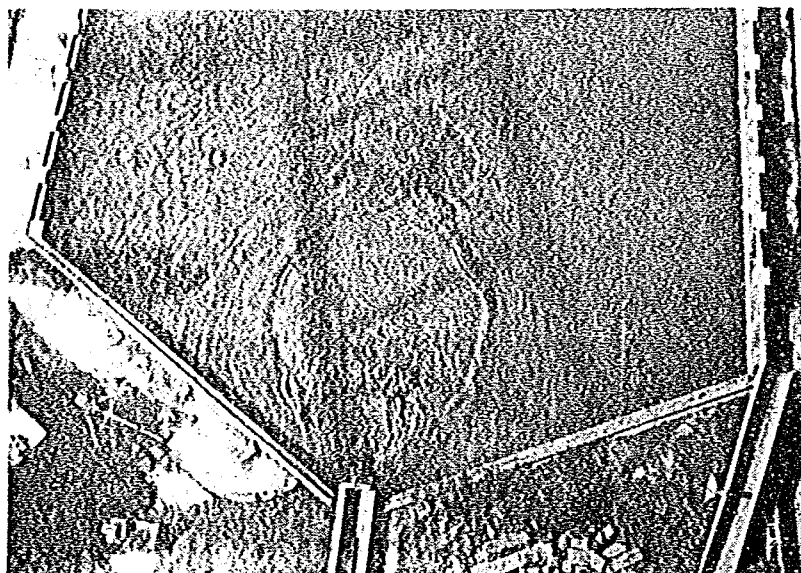
0 秒



10 秒

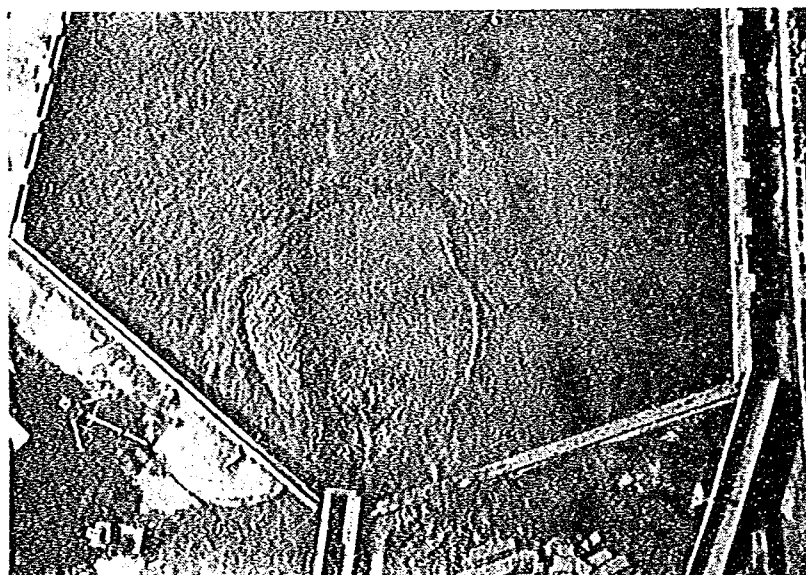


20 秒

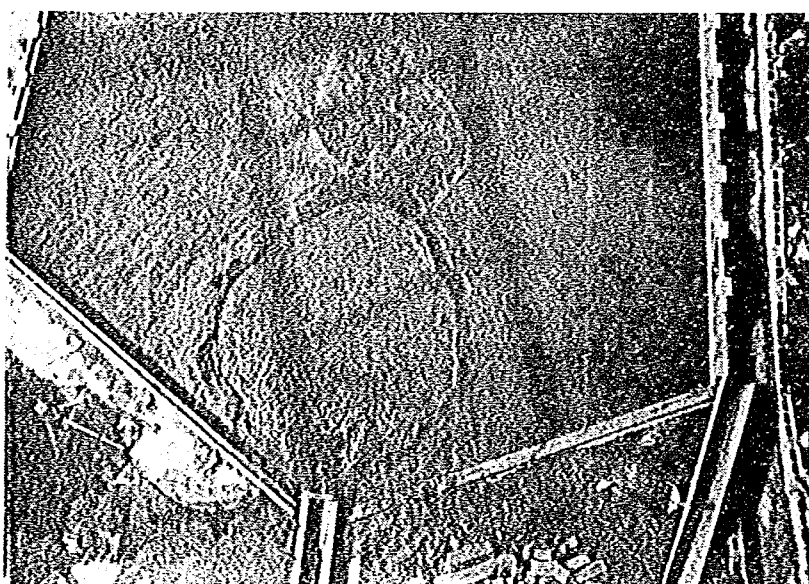


(ケース 16)

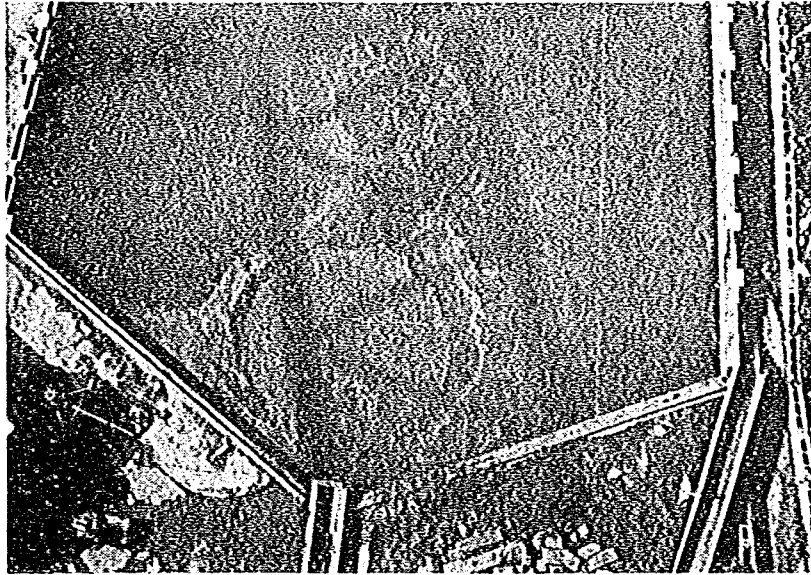
3 0 秒



4 0 秒

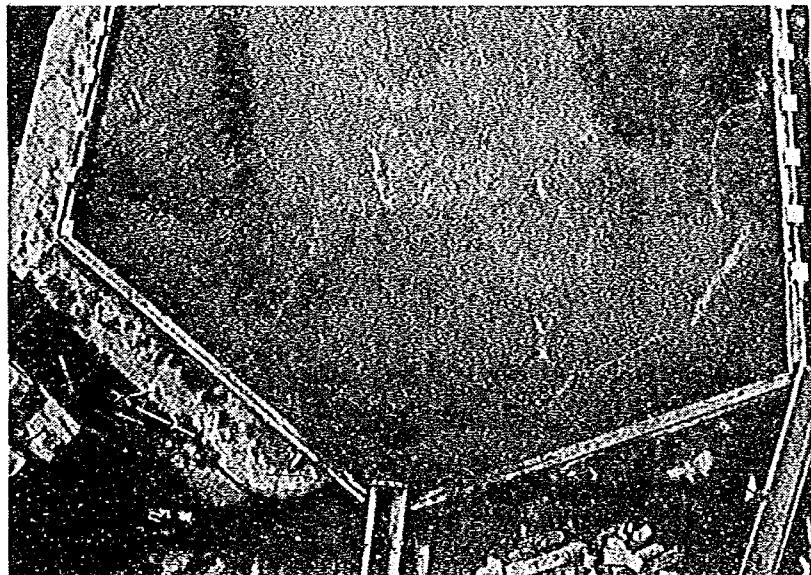


5 0 秒

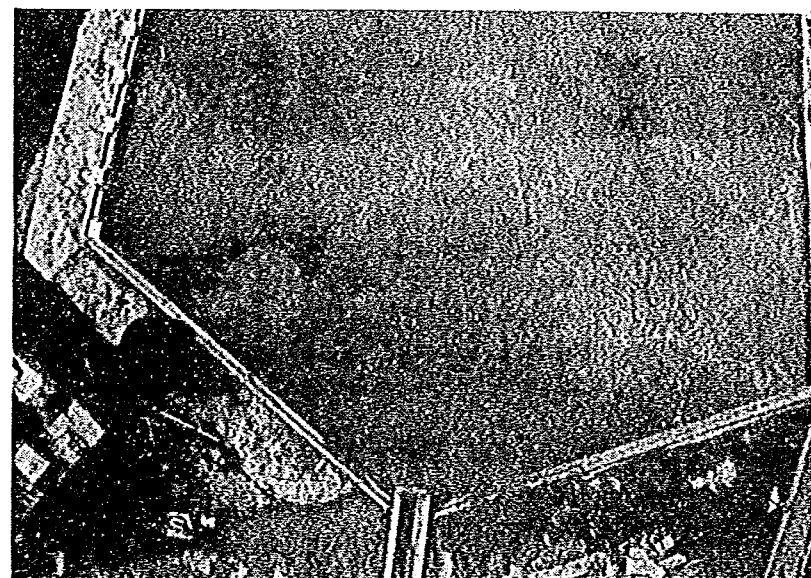


(ケース 16)

1 分



3 分



5 分



(ケース 16)

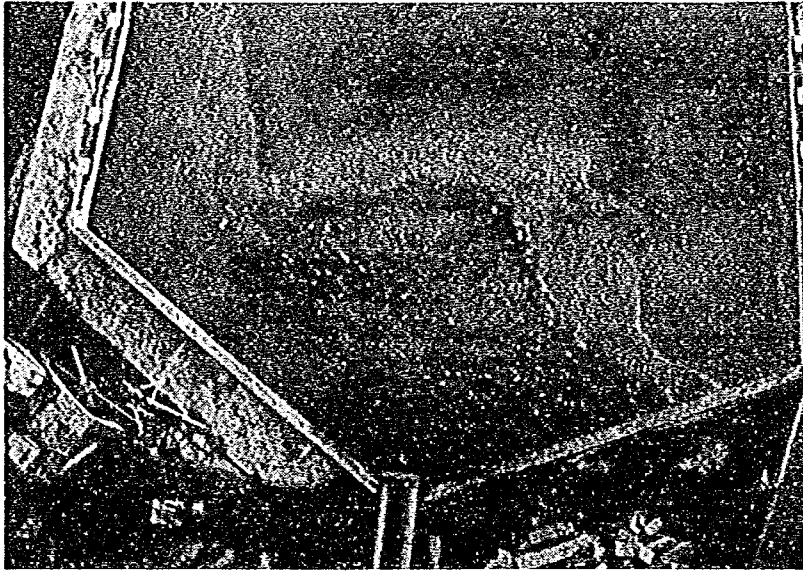
7 分



9 分

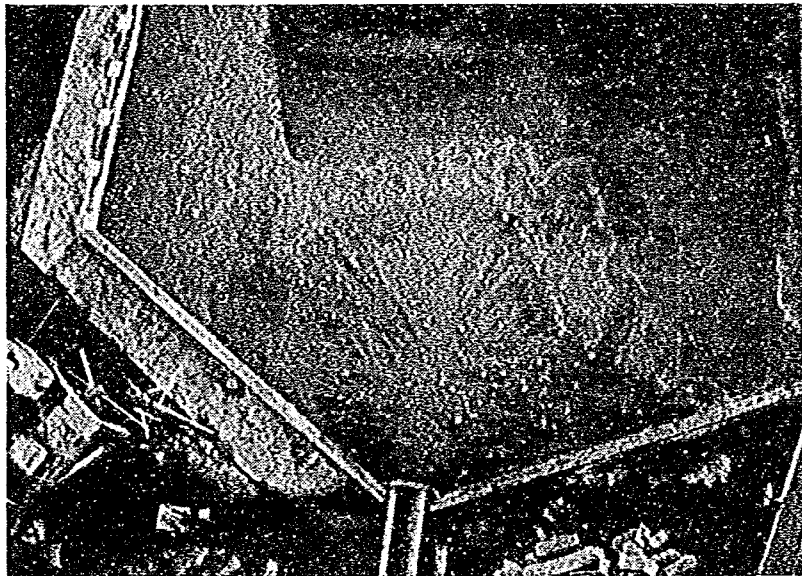


11 分

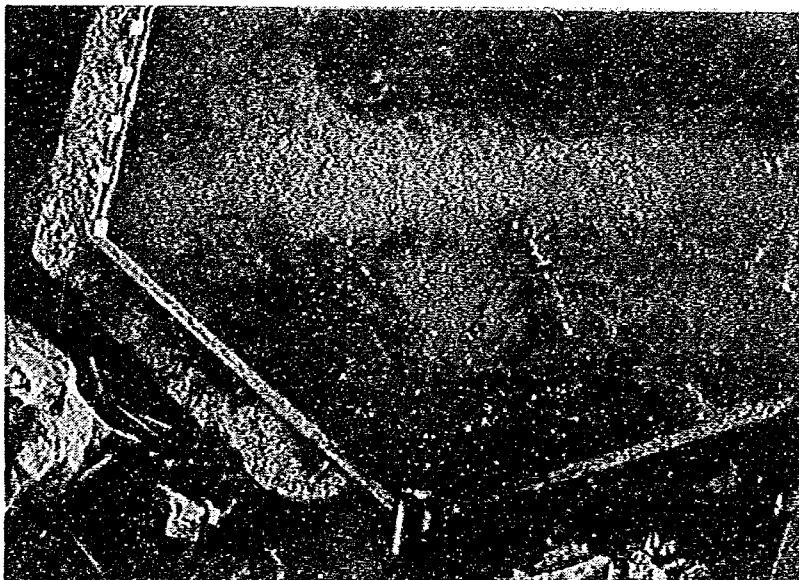


(ケース 16)

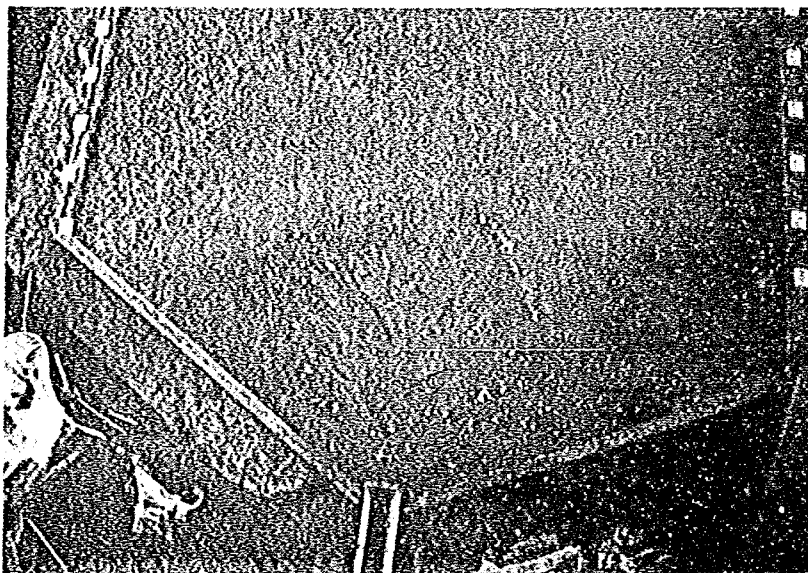
1 3 分



1 5 分

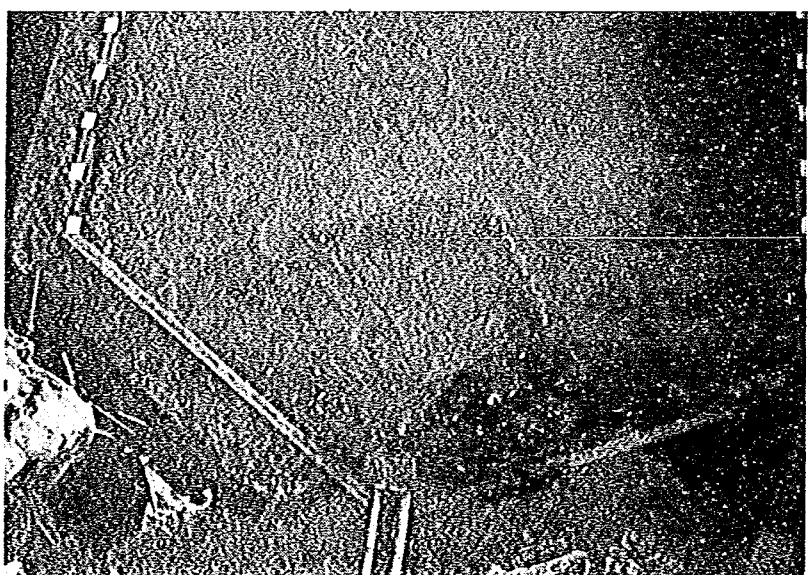


1 7 分

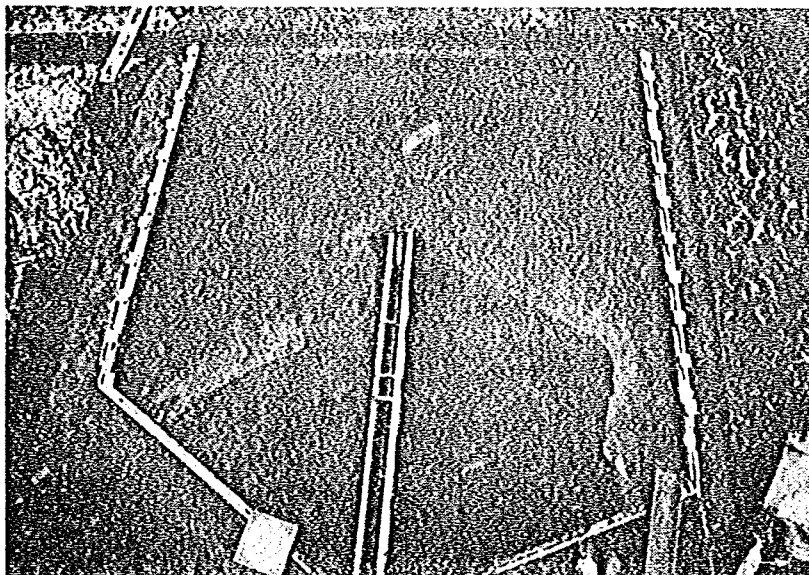


(ケース 1 6)

1 9 分



2 0 分



土石流を直接
海域へ流す案

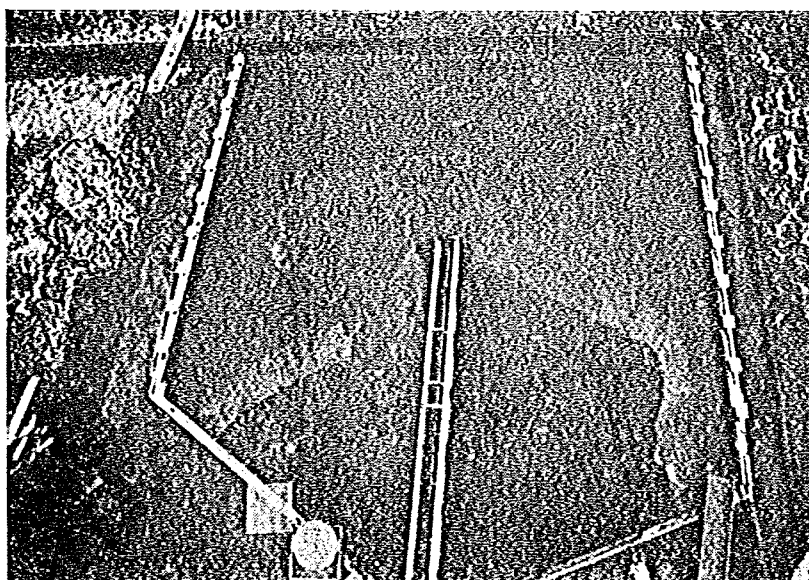
(ケース 17)

$Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$

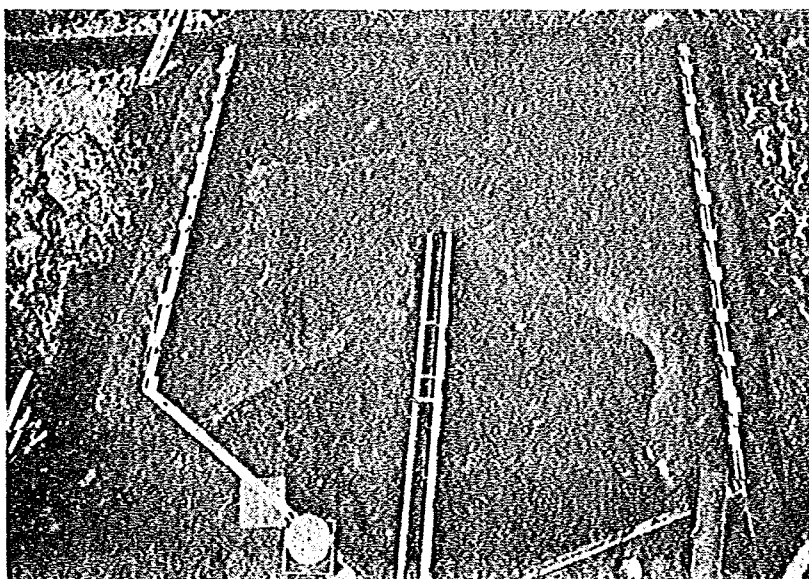
$I = 1/25$

$Cd = 40\%$

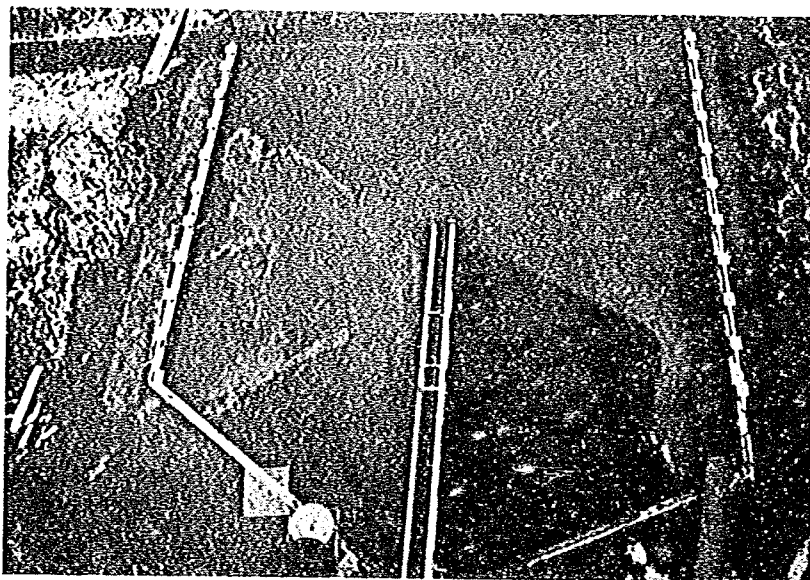
0 分



1 分

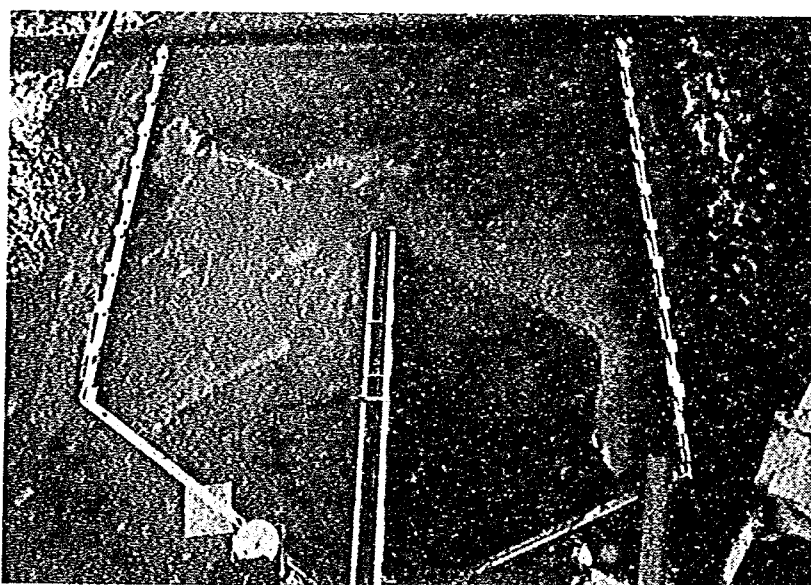


2 分

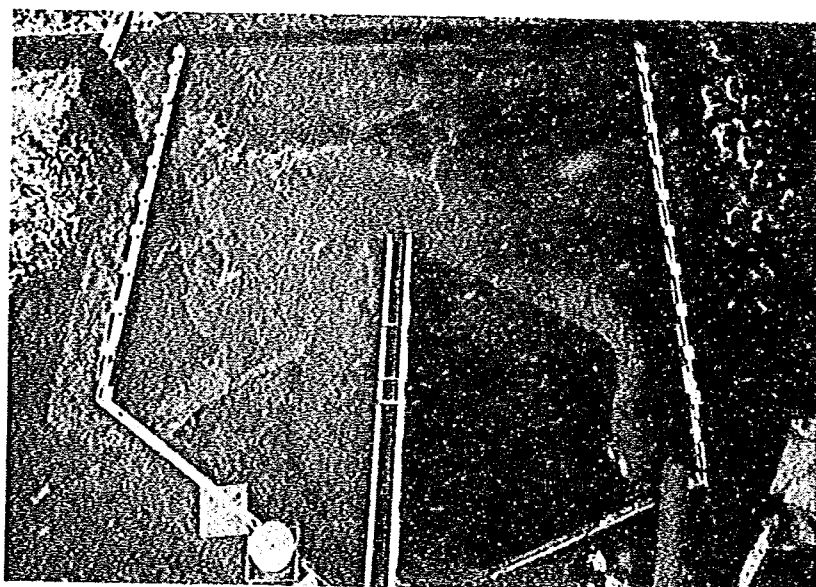


(ケース 17)

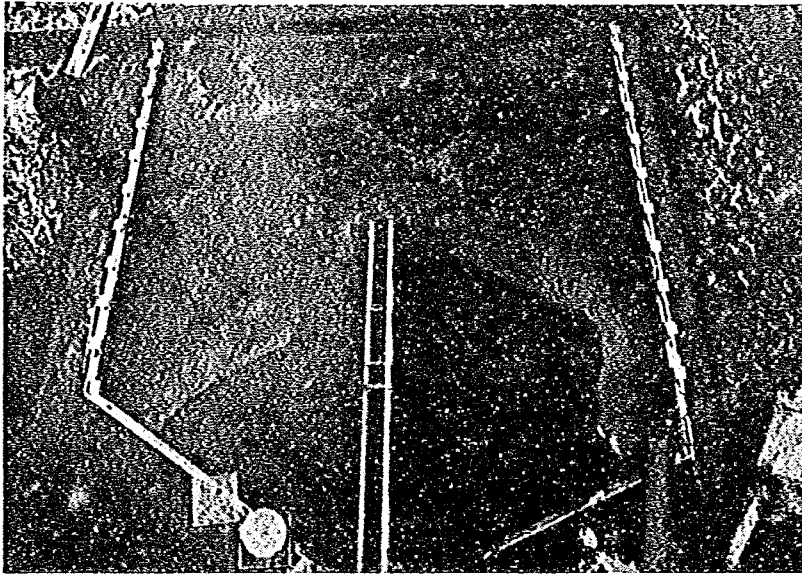
3 分



4 分

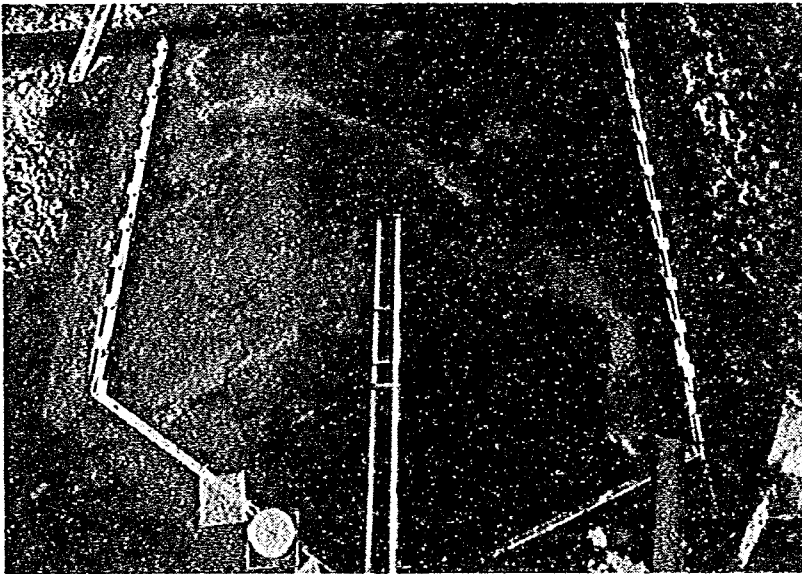


5 分

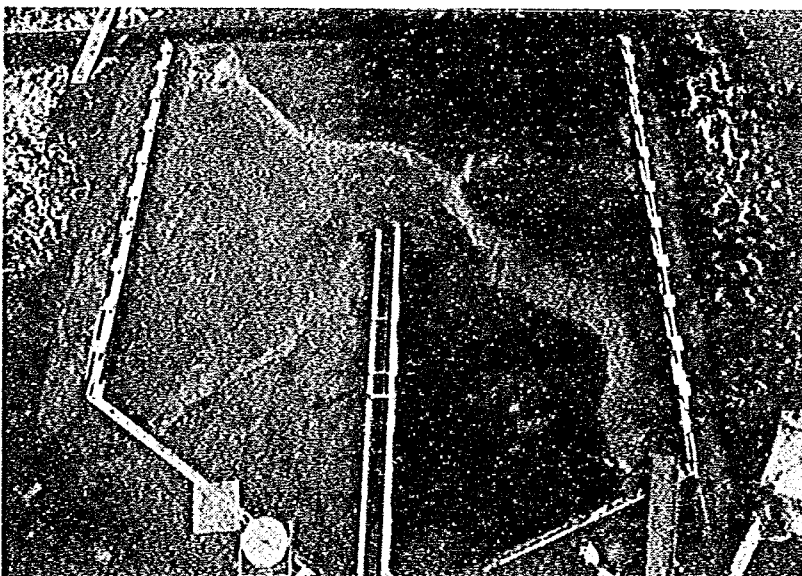


(ケース 17)

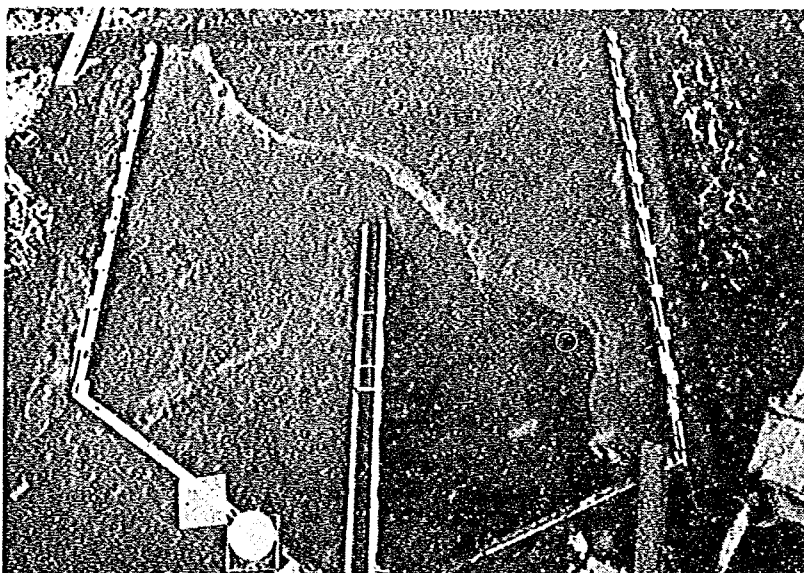
6 分



7 分

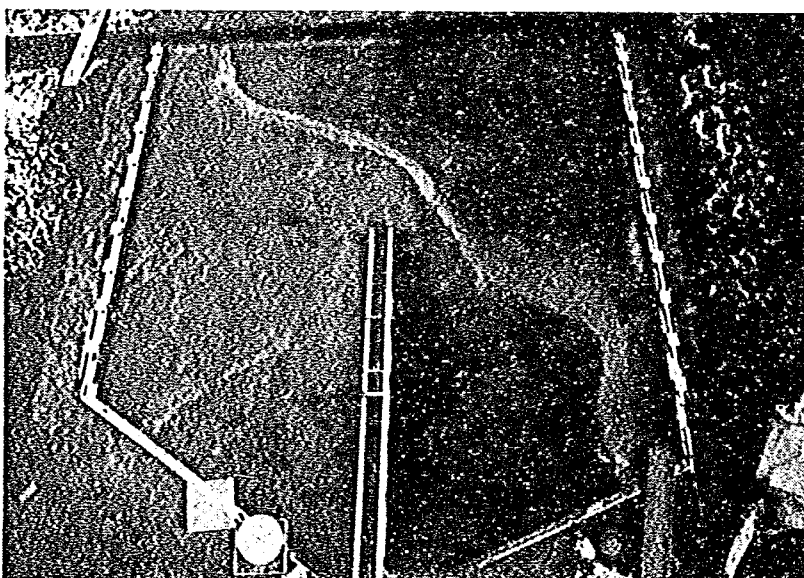


8 分

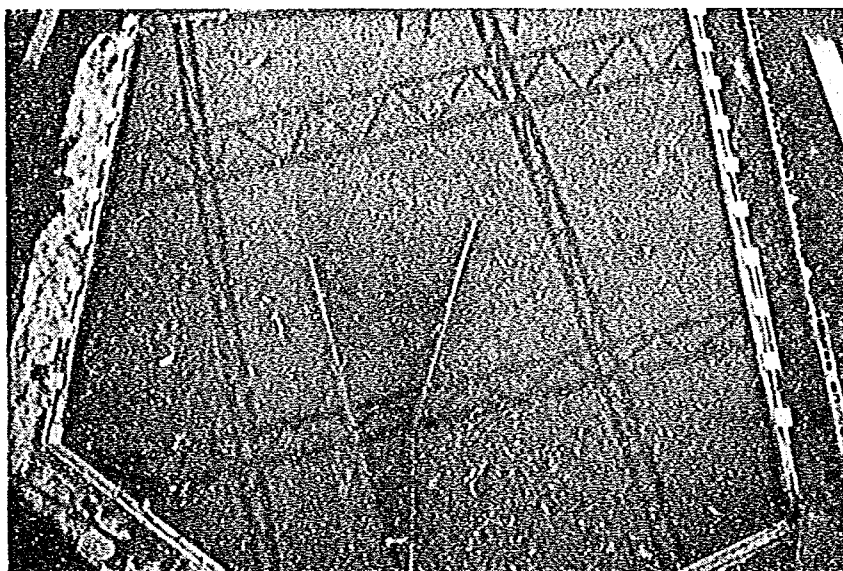


(ケース 17)

9 分



10 分



河口部開削工の
形状に関する案

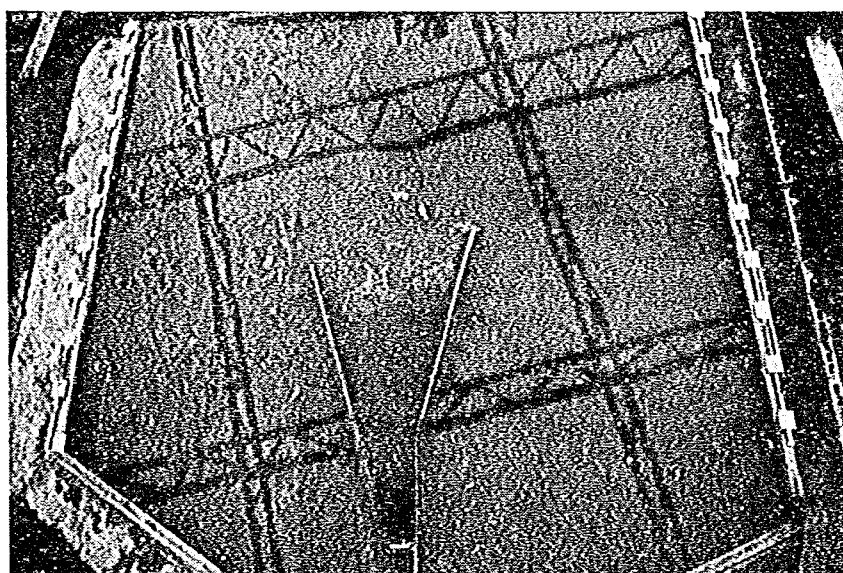
(ケース 18)

$Q = 100 m^3/s$

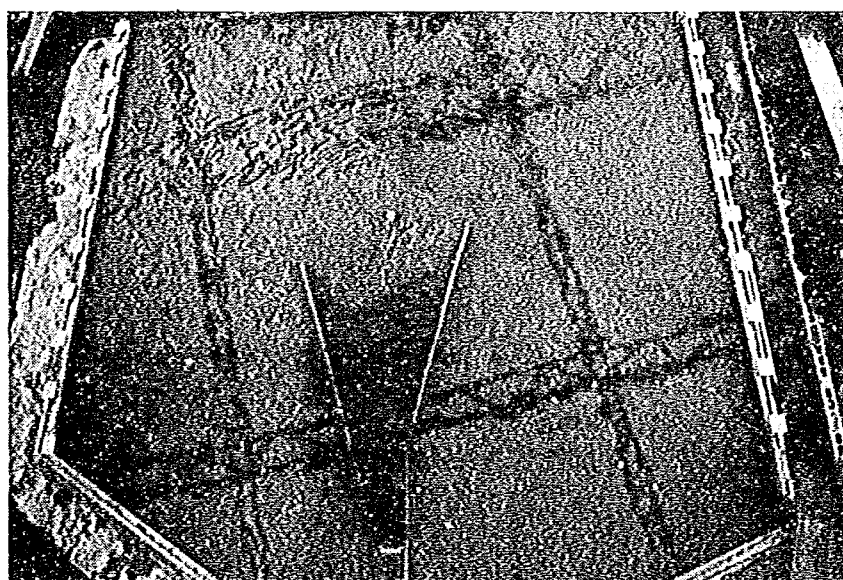
$I = 1/20$

$Cd = 40\%$

0 秒



1 分

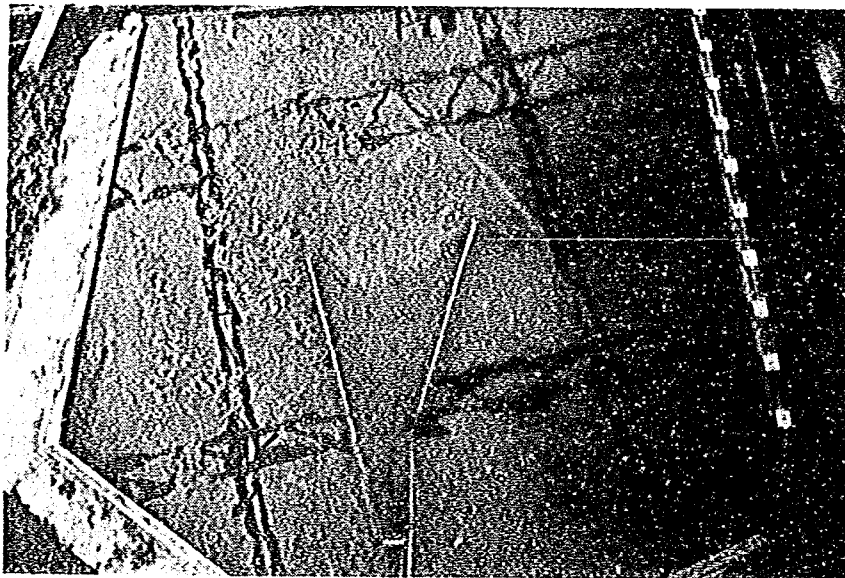


2 分



(ケース 18)

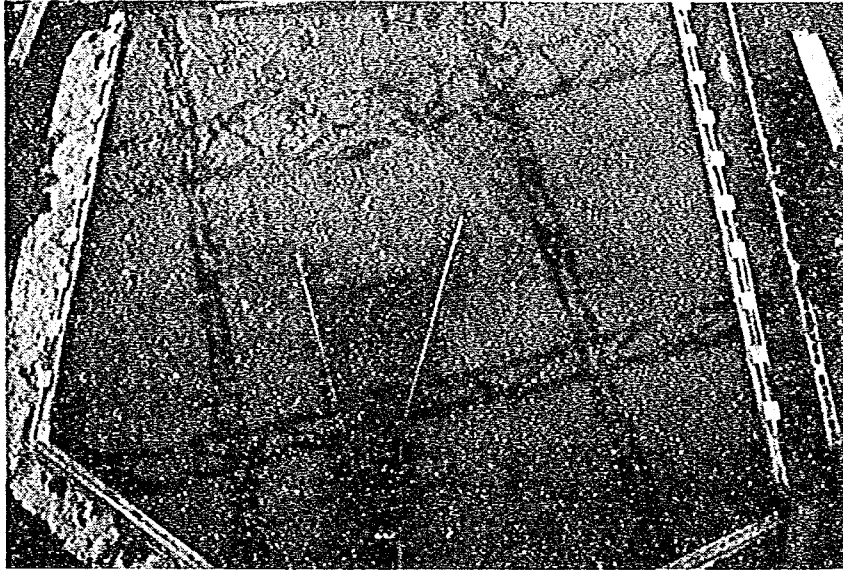
3 分



4 分

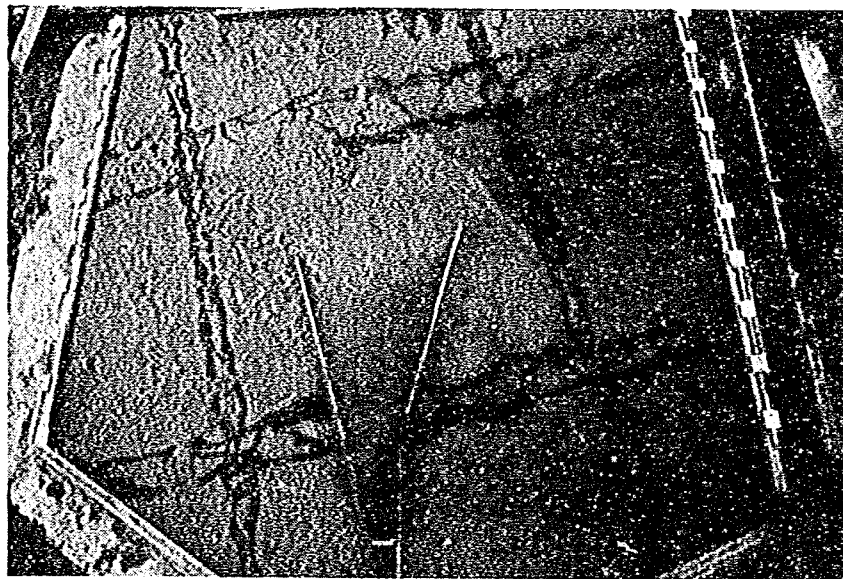


5 分

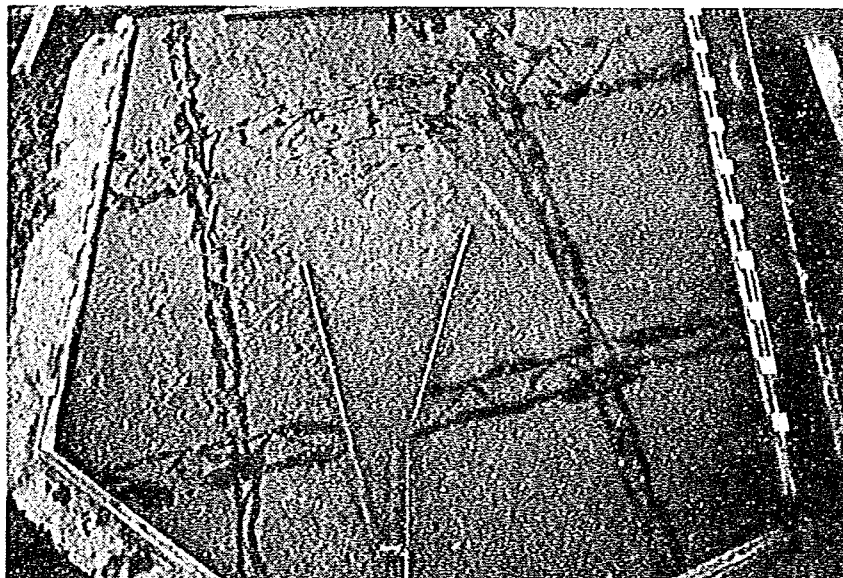


(ケース 18)

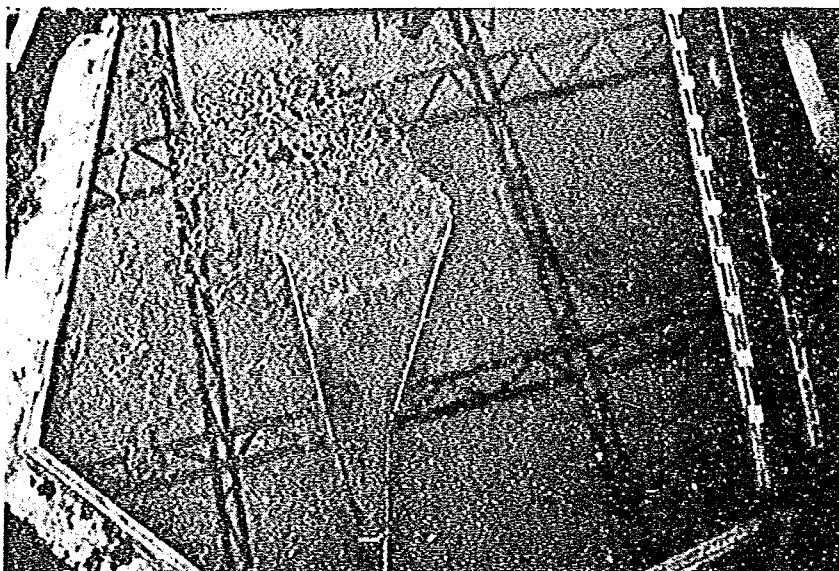
6 分



7 分

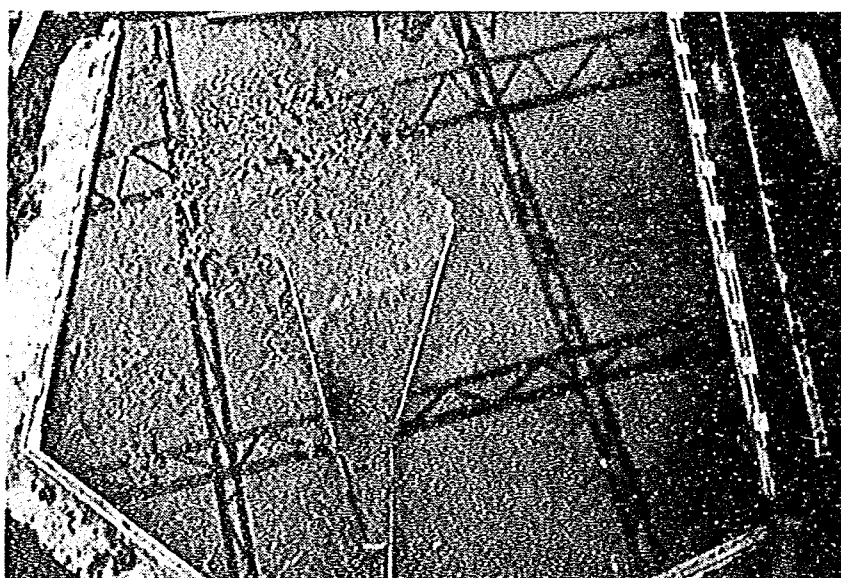


8 分

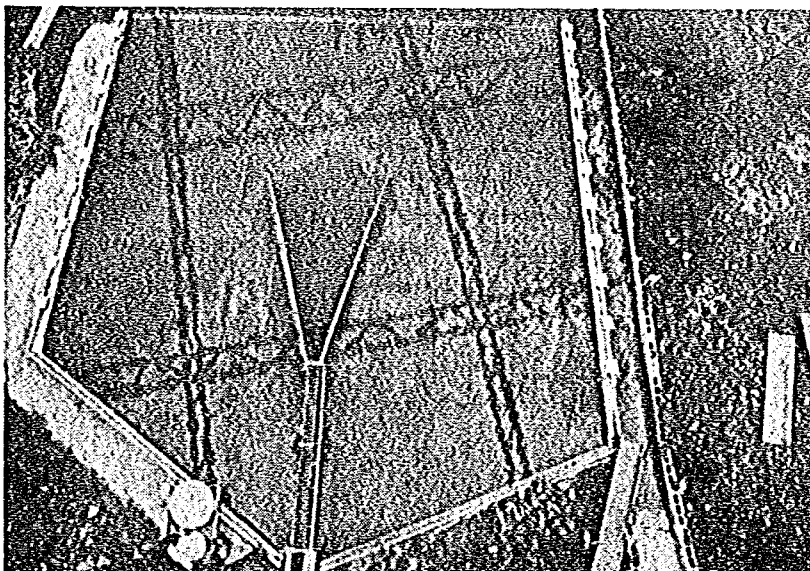


(ケース 18)

9 分



1 0 分



河口部開削工の
形状に関する案

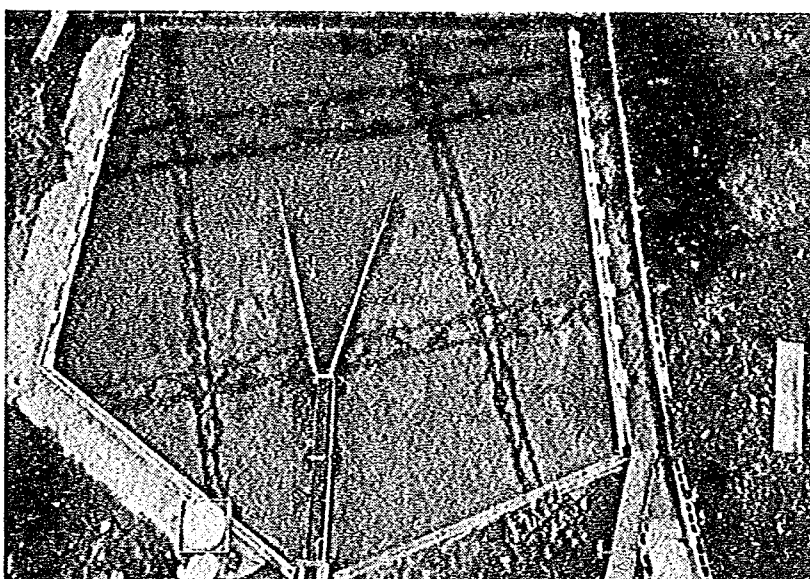
(ケース 19)

$$Q = 100 m^3/s$$

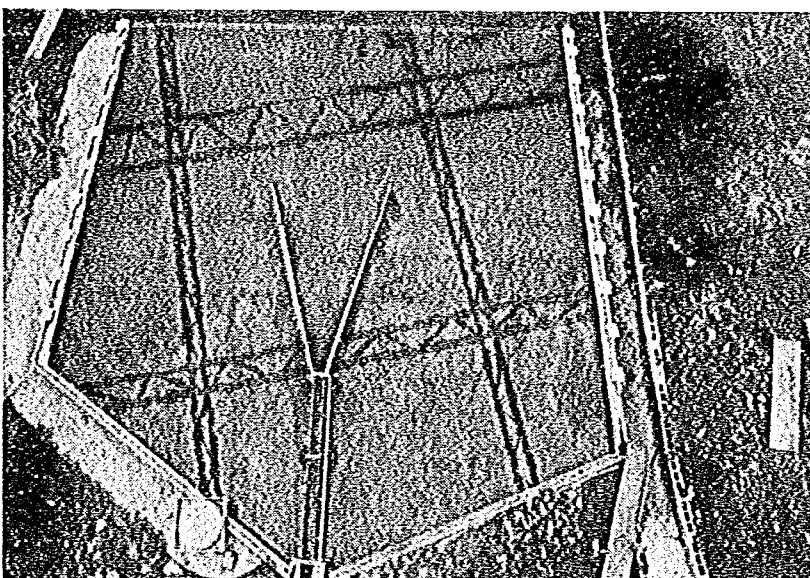
$$I = 1/20 + 1/200$$

$$Cd = 40 \%$$

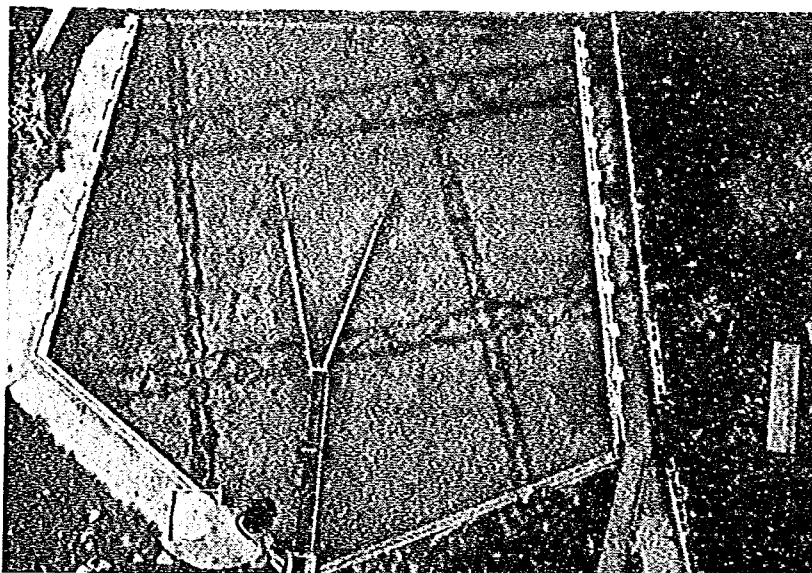
0 分



1 分



2 分

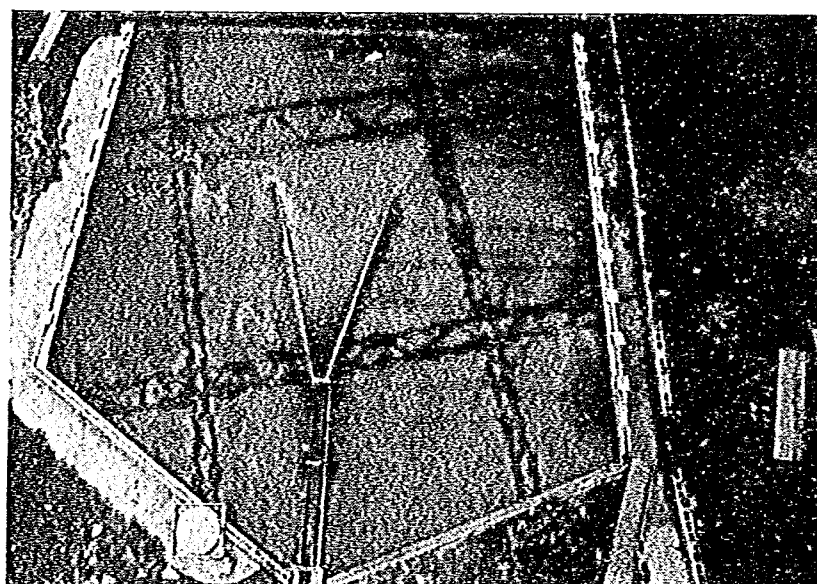


(ケース 19)

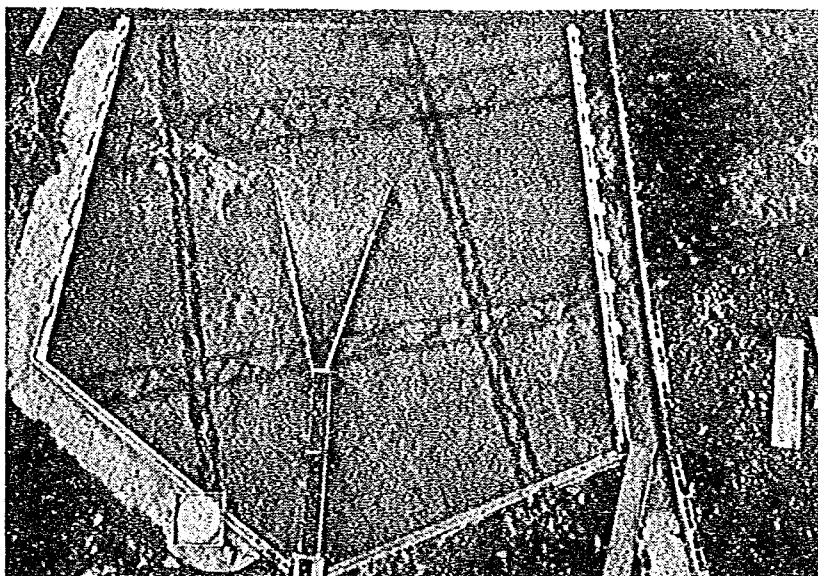
3 分



4 分

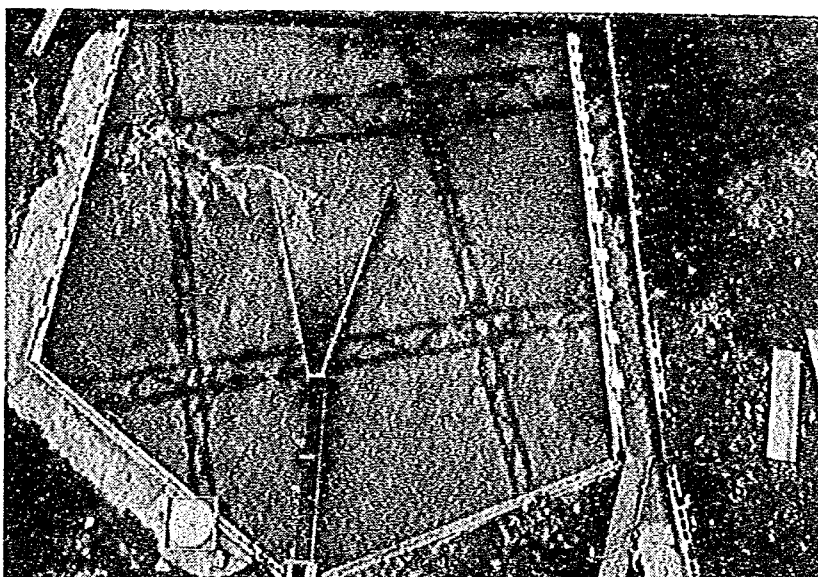


5 分

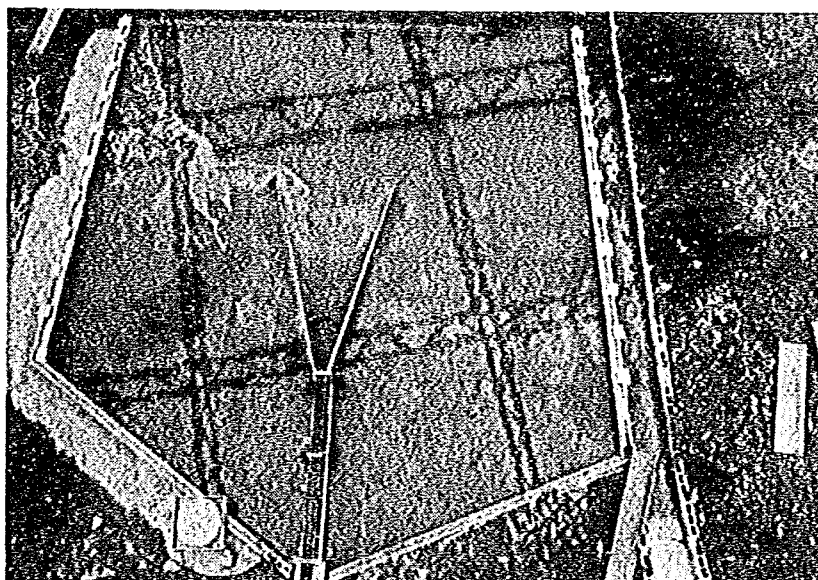


(ケース 19)

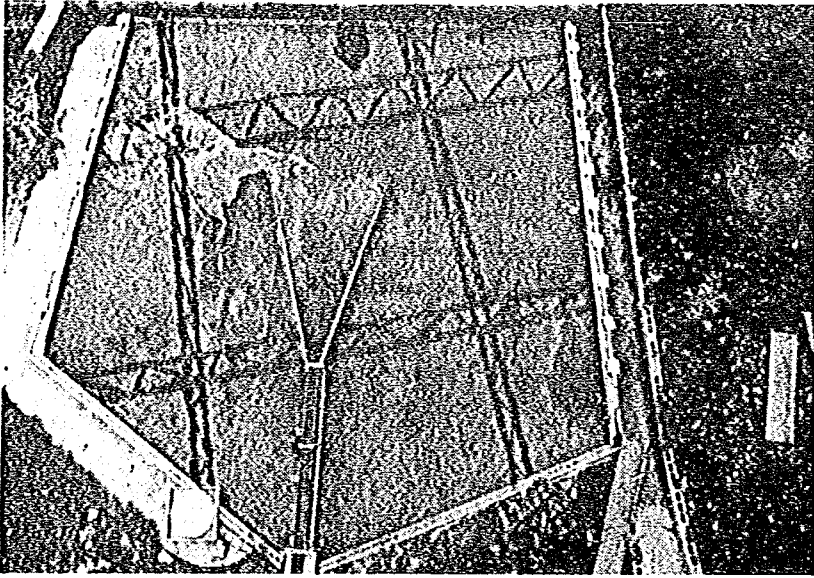
6 分



7 分

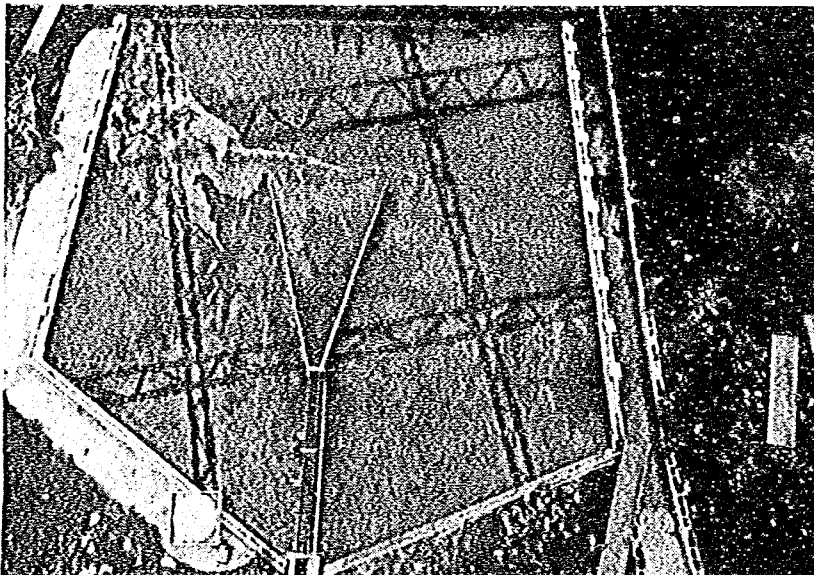


8 分

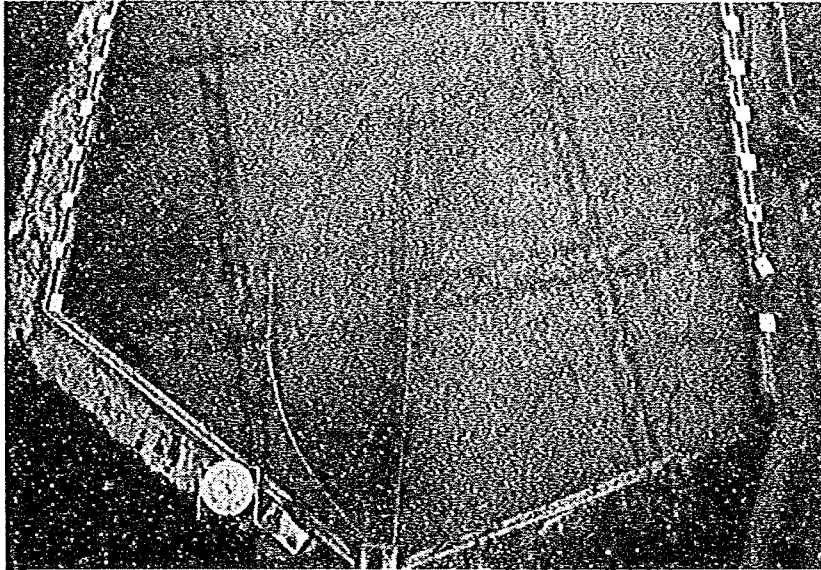


(ケース 1 9)

9 分



1 0 分



河口部開削工の
形状に関する案

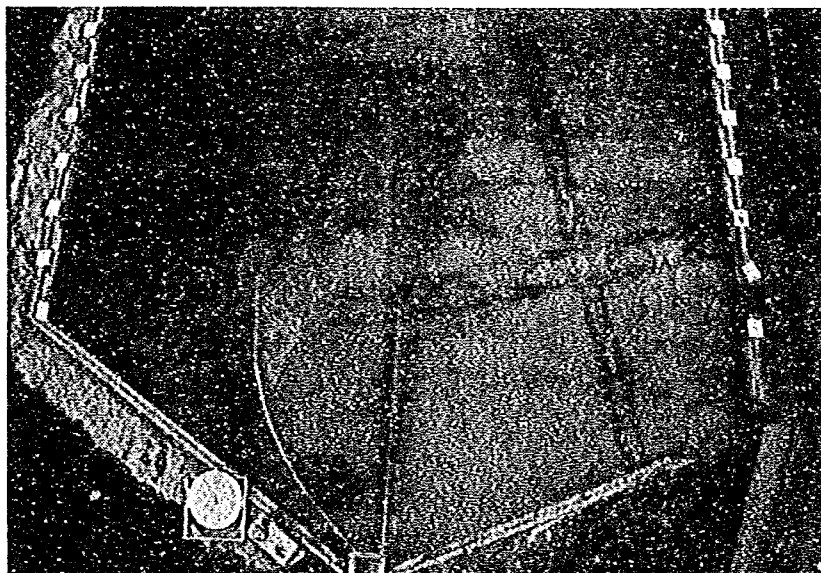
(ケース 20)

$$Q = 100 m^3/s$$

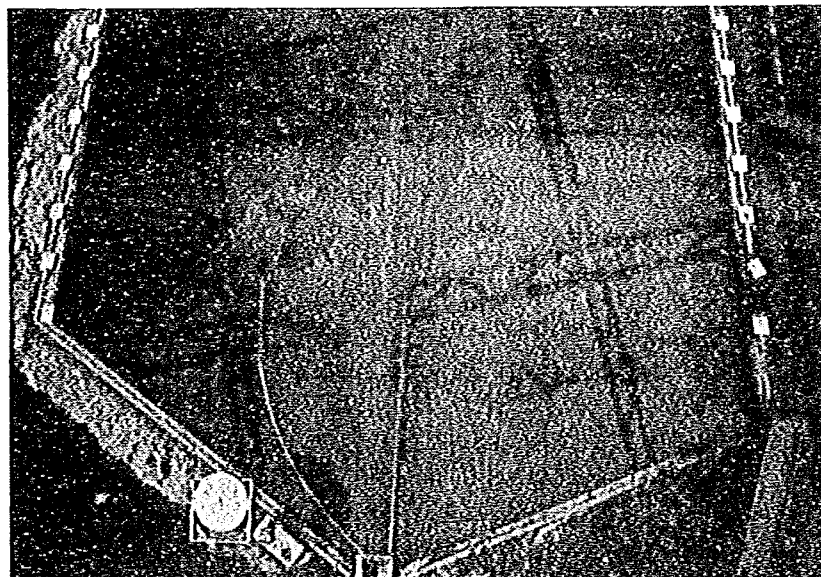
$$I = 1/20 + 1/200$$

$$Cd = 40\%$$

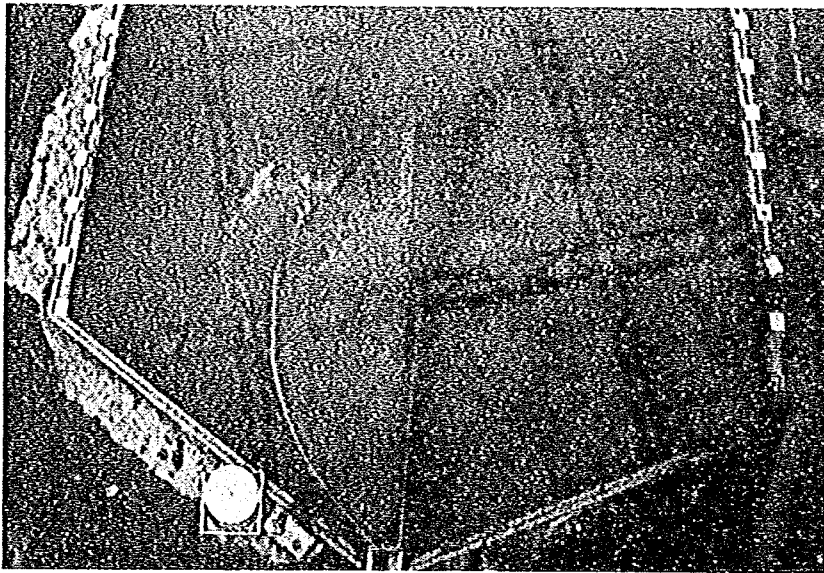
0 分



1 分

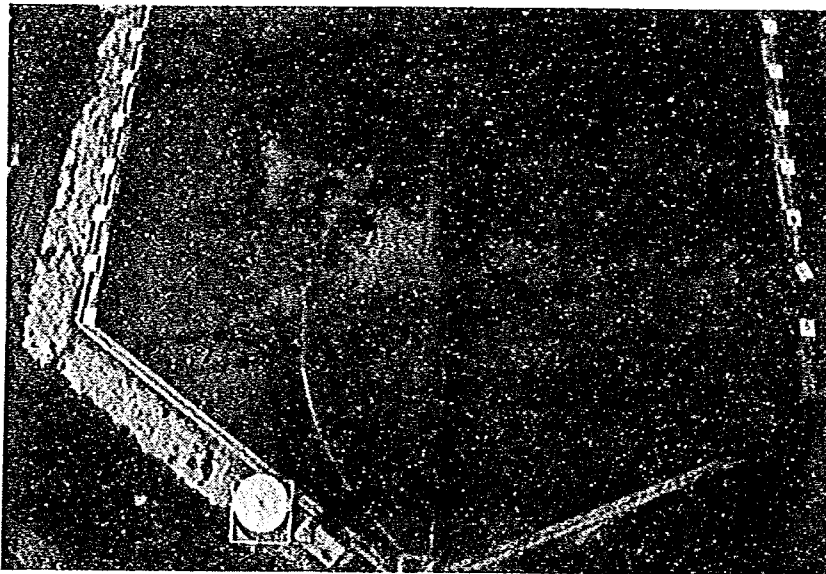


2 分



(ケース 20)

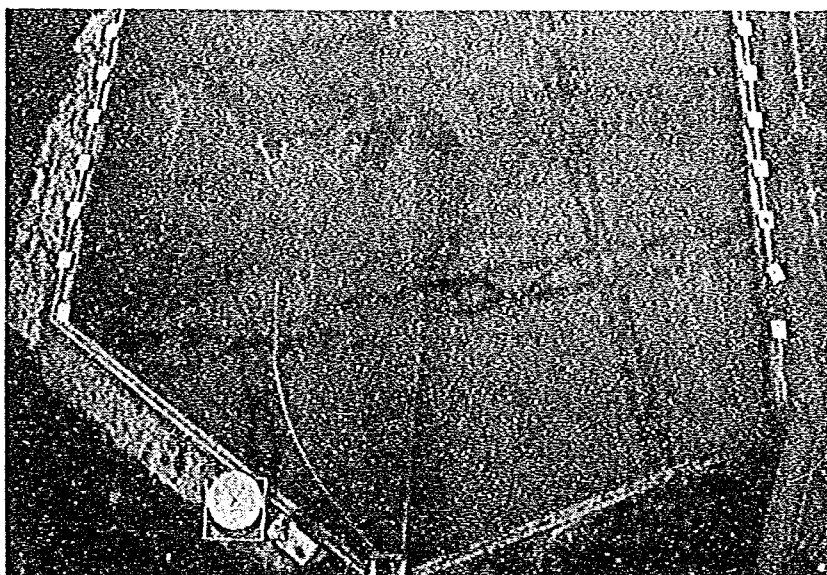
3 分



4 分

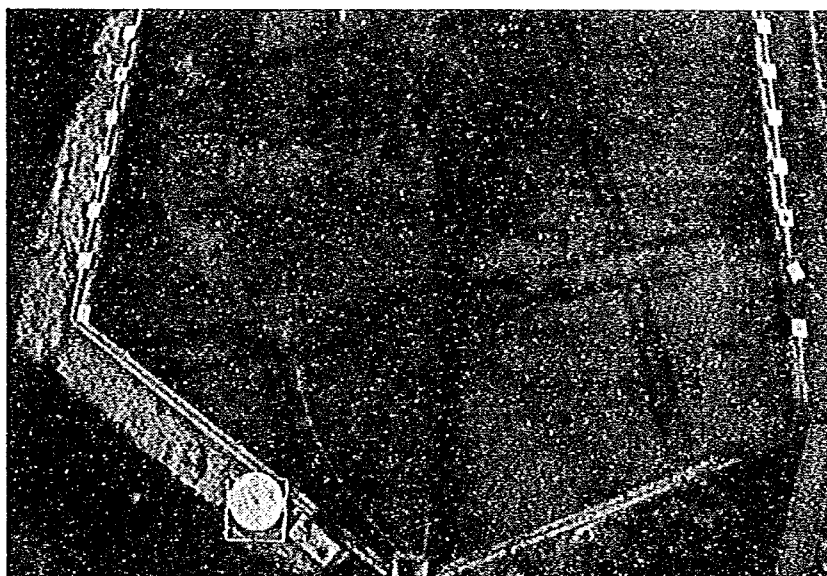


5 分

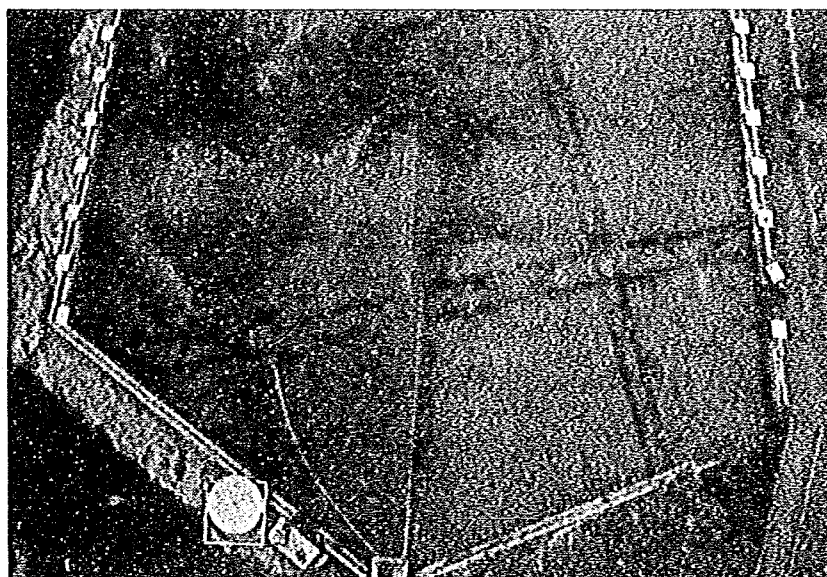


(ケース 2 0)

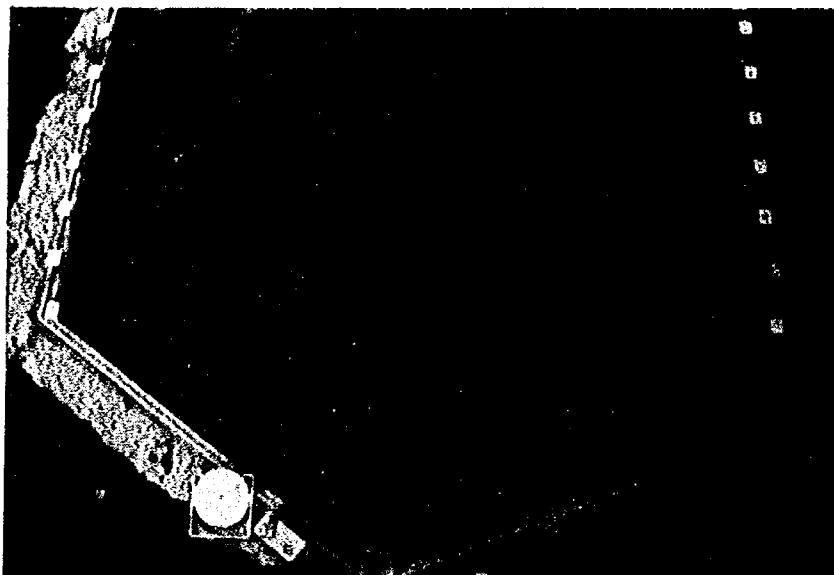
6 分



7 分

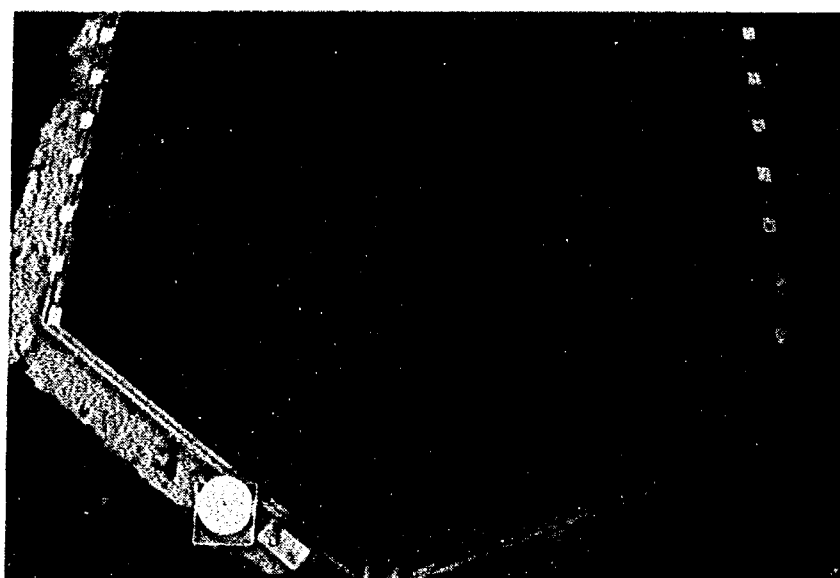


8 分



(ケース 2 0)

9 分



10 分

野尻川河口部水理模型
実験報告書

ISSN 0386-5878
土研資料 第2218号
昭和60年3月 (1985)
建設省土木研究所砂防研究室
瀬尾 克美

キーワード：野尻川，流路工，水理模型実験，土石流，土砂濃度

要旨 桜島の野尻川に発生する土石流を無害に海域まで
流下させる目的で，基礎的実験及び現状の対応策に
関する実験を行ったものである。



郵便はがき

305-□□

40円切手
をはいて
下さい。

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

砂防部砂防研究室御中

No. _____

No. _____

土研資料第2218号

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第 2218 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

⑩

