

土 木 研 究 所 資 料

天然ダムの形成と破壊に関する 基礎的実験報告書

昭和63年2月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

Copyright ©(1988)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。

天然ダムの形成と破壊に関する 基礎的実験報告書

砂防研究室 室長 水山 高久
研究員 原 義文*
福本 晃久

要 旨

地震または豪雨によって大規模な崩壊が発生し、天然ダムが形成され、これが破壊される時大きな災害を引き起こすことがある。このような災害に対応するための基礎的研究として、天然ダムの形成と破壊について基礎的実験を行った。崩壊土砂の到達距離、堆積形状、天然ダムの破壊形態、破壊過程に関する基礎的情報が得られた。

キーワード：天然ダム，崩壊土砂，実験的研究

*現 新庄工事事務所

Technical Memorandum

of P. W. R. I. No. 2606

Feb. 1988

A Basic Experimental Study on the Formation and Destruction of Landslide Dams

Sabo Division Head : Takahisa MIZUYAMA

Researcher : Yoshifumi HARA

Akihisa FUKUMOTO

Synopsis

Landslide dams are formed after the occurrence of massive collapses due to earthquakes or heavy rainfall. Big damages may be incurred when these landslide dams are ruined. An experiment on the formation and destruction of landslide dams was performed as a basic study to cope with this kind of disasters. Data concerning the travelling distance of collapsed sediments from the foot of slope, their shape of deposition, the breaking form and breaking process of landslide dams have been obtained.

KEY WORDS : Landslide dams, collapsed sediments, experimental study.

は　じ　め　に

地震、豪雨などによって大規模な崩壊が発生すると、いわゆる天然ダム (landslide dam) を形成することがある。この天然ダムが破壊されると下流に段波が押し寄せ、洪水を引き起こすことがある。また、多量の土砂が短時間に輸送されて急激に河床を上昇させ、大きな土砂災害が発生させる。最近の天然ダム形成の例としては1984年(昭和59年)長野県西部地震による御岳崩れによるものがある¹⁾。また過去に大きな災害が発生させた天然ダムとしては、1889年(明治22年)8月の十津川水害²⁾、1953年(昭和28年)有田川災害³⁾がある。この種の災害は過去においては突発的災害であったかもしれないが、現在では、豪雨や地震直後にヘリコプター等を使用して状況を把握することが可能となり、大型の土木機械によってかなり対策が可能となってきた。それでも大規模崩壊の発生に伴って天然ダムが形成され、これが破壊されることがあれば下流に大きな影響を与えることは確実で、その発生機構、破壊機構を研究し、下流への影響の予測方法を研究することは、天然ダム発生時の対応を検討する上で必要不可欠である。

本研究は中部地方建設局天竜川上流工事事務所の依頼により実施しているもので、昭和61年度は大規模な崩壊の発生原因の一つであり、砂防工事の1つである護岸工事で対応可能な河道湾曲部の溪岸侵食と溪岸崩壊について基礎的な研究と、昭和36年に崩壊した天竜川の大西山の模型による実験を行った⁴⁾。本年度は、崩壊土砂が河道を埋塞し天然ダムを形成する過程と、天然ダムが破壊する過程について基礎的な実験を行った。本報告書はこれらの実験結果をとりまとめたもので、次年度に予定している下流への影響の評価を含めた総合的な解析の基礎資料となるものである。

なお、天然ダムについては最近、中部地方建設局河川計画課が内外の事例をとりまとめられており⁵⁾、また米国土木学会(ASCE)からも出版物⁶⁾があるので合わせて参考にされることをお勧めする。

昭和63年2月

はじめに

1. 天然ガムの形成に関する基礎的実験	1
1.1 実験の概要	1
1.1.1 実験目的	1
1.1.2 実験内容	1
1.2 実験結果と考察	5
1.3 ま と め	12
2. 天然ガムの破壊過程に関する基礎的実験	13
2.1 実験の概要	13
2.1.1 実験目的	13
2.1.2 実験内容と実験方法	13
2.1.3 予 備 実 験	16
2.1.4 実験ケースと材料	16
2.2 実験結果と考察	19
2.2.1 透水性が良い場合	19
2.2.2 透水性が悪い場合	25
2.3 ま と め	40

1. 天然ダムの形成に関する基礎的実験

1.1 実験の概要

1.1.1 実験目的

崩壊によって生じた土砂が渓流に達し、天然ダムを形成する過程及び堆積形状を、模型実験を行って検討する。

1.1.2 実験内容

幅20cm長さ5.5mの斜面と水平な面を準備し、斜面の勾配を 30° 、 40° 、 50° 、崩土の落下高さを変化させ、水平面上にどのように堆積するかを観察する。

崩土を落下させる方法としては、ゲート上部に土砂を置いて急に運動を開始させる方法（自然崩壊実験）と、長さ60cmの車の付いた台上に土砂を置いて落下させる方法（台車による崩壊実験）の2種類とした。図-1.1に実験装置を、図-1.2に土砂の整形形状を示す。土砂は、図-1.3に示すような粒度分布を持つ3種類、含水比（W）は0%と3%の2種類とした。実験条件の一覧表を表-1.1に示す。崩壊土砂の運動はビデオカメラで観察し、速度、移動砂層厚を判読した。

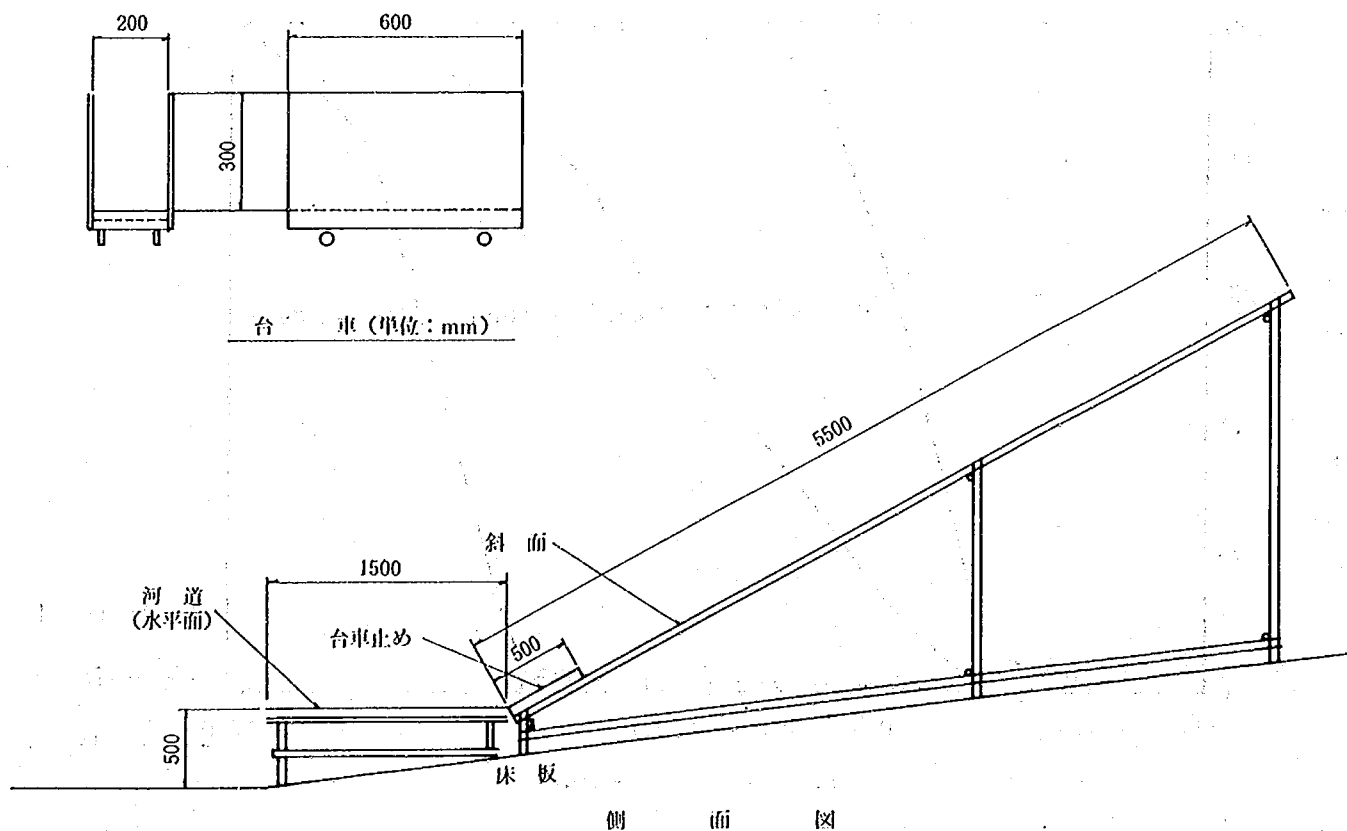


図-1.1 実験装置の概要（台車による実験）

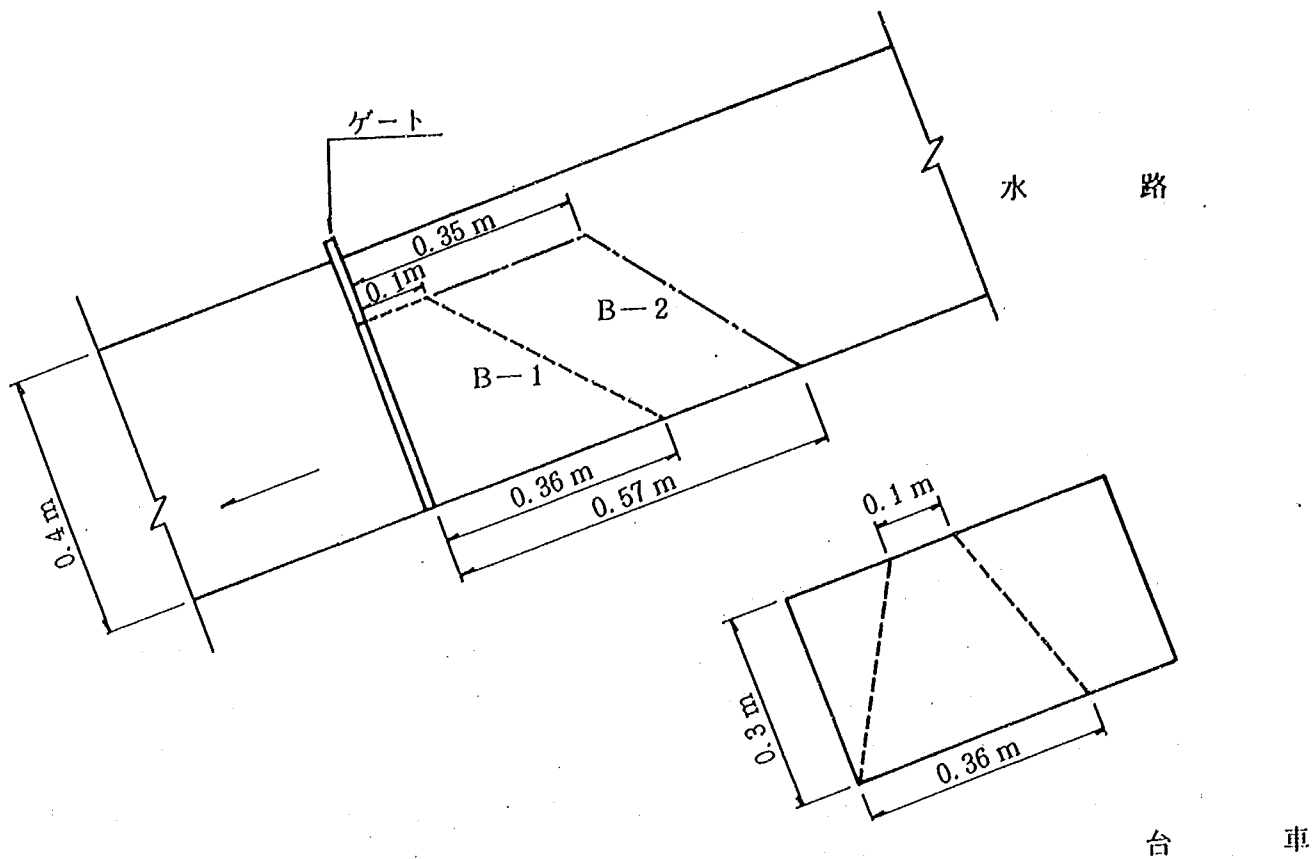


図 - 1.2 崩壊土砂整形状況

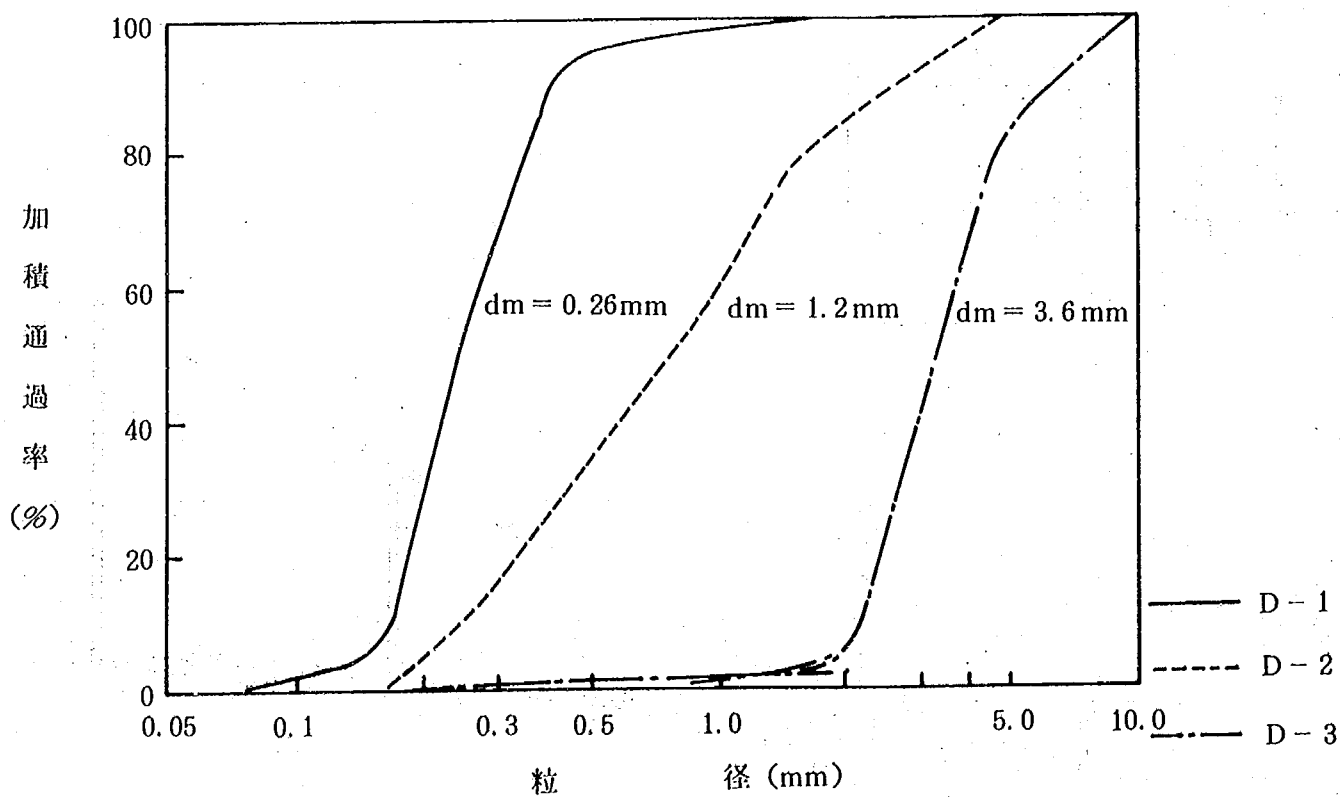


図 - 1.3 実験使用砂粒度分布図

表-1.1(1) 実験条件一覧表 (自然崩壊実験)

CASE	勾配	落差	土量	粒径	含水比	溪岸の位置
1	50°	2.2m	B-1	D-1	0%	無
2	"	2.2	B-1	D-2	0	50cm
3	"	2.2	B-1	D-1	0	無
4	"	2.2	B-1	D-2	0	70cm
5	"	2.2	B-2	D-1	0	無
6	"	2.2	B-2	D-1	0	60cm
7	"	4.4	B-1	D-1	0	無
8	"	4.4	B-1	D-1	0	70cm
9	"	2.2	B-1	D-1	3	無
10	"	2.2	B-1	D-1	3	40cm
11	40°	2.2	B-1	D-1	0	無
12	"	2.2	B-1	D-1	0	40cm
13	"	2.2	B-1	D-2	0	無
14	"	2.2	B-1	D-2	0	60cm
15	"	2.2	B-2	D-1	0	無
16	"	2.2	B-2	D-1	0	40cm
17	"	4.4	B-1	D-1	0	無
18	"	4.4	B-1	D-1	0	50cm
19	"	2.2	B-1	D-1	3	無
20	"	2.2	B-1	D-1	3	30cm
21	30°	2.2	B-1	D-2	0	無
22	"	2.2	B-1	D-2	0	40cm
23	"	2.2	B-2	D-2	0	無
24	"	2.2	B-2	D-2	0	40cm
25	"	3.3	B-2	D-2	0	無
26	"	3.3	B-2	D-2	0	40cm
27	"	3.3	B-2	D-3	0	無
28	"	3.3	B-2	D-3	0	40cm
29	"	4.4	B-2	D-3	0	無
30	"	4.4	B-2	D-3	0	40cm
31	"	4.4	B-1	D-3	0	無
32	"	2.2	B-2	D-3	0	無
33	"	4.4	B-1* $\frac{1}{2}$	D-3	0	無

表-1.1(2) 実験条件一覧表(台車による崩壊実験)

CASE	勾配	落差	土量	粒径	含水比	溪岸の位置
1	30°	2.2 m	B-1	D-1	3%	60 cm
2	"	2.2	B-1	D-1	3	無
3	"	3.3	B-1	D-1	3	60 cm
4	"	3.3	B-1	D-1	3	無
5	"	1.5	B-1	D-1	3	60 cm
6	"	1.5	B-1	D-1	3	無
7	40°	1.5	B-1	D-1	3	60 cm
8	"	1.5	B-1	D-1	3	無
9	"	2.2	B-1	D-1	3	60 cm
10	"	2.3	B-1	D-1	3	無
11	"	3.3	B-1	D-1	3	60 cm
12	"	3.3	B-1	D-1	3	無
13	50°	1.5	B-1	D-1	3	60 cm
14	"	1.5	B-1	D-1	3	無
15	"	2.2	B-1	D-1	3	60 cm
16	"	2.2	B-1	D-1	3	無
17	"	3.3	B-1	D-1	3	60 cm
18	"	3.3	B-1	D-1	3	無

1.2 実験結果と考察

1) 形成状況

斜面勾配による天然ダムの形成状況の違いを図-1.4に示す。斜面勾配が緩いと堆積地での広がり小さく、斜面へ遡上する傾向がある。斜面上を土砂が流下した場合と、台車に土砂を乗せた場合について比較して図-1.5に示す。斜面上を土砂が流下した場合には、先頭が最も到達距離が長く、後続の土砂が先頭を乗り越えることはない。台車に土砂を乗せた場合は、土砂が勾配変化点を通過すると崩れ始め、水平面上に堆積する。

2) 落下高と斜面からの飛び出し速度の関係

図-1.6に斜面からの飛び出し速度 V_0 と落下高 H の関係を示す。斜面を流下させた場合のほうが、台車に乗せて落とした場合よりも斜面の抵抗が大きくなるため、斜面からの飛び出し速度は小さくなる傾向がある。

3) 斜面からの飛び出し速度と水平面上の速度の関係

図-1.7に斜面からの飛び出し速度 V_0 と水平面上の速度 V_1 の関係を示す。水平面上の速度は、溪岸に衝突する速度である。斜面を流下させた場合のほうが勾配変化の影響を大きく受けている。速度の平均の低下率は、斜面を流下させた場合が0.67、台車に乗せて落とした場合が0.94である。

4) 水平面上の速度と到達距離の関係

図-1.8に水平面上の速度 V_1 と崩土の到達距離 L の関係を示す。砂の粒径による差はみられない。

図-1.9に崩壊土砂量と到達距離の関係を示す。崩壊土砂量が変化しても到達距離に与える影響は小さいようである。

5) 溪岸の影響

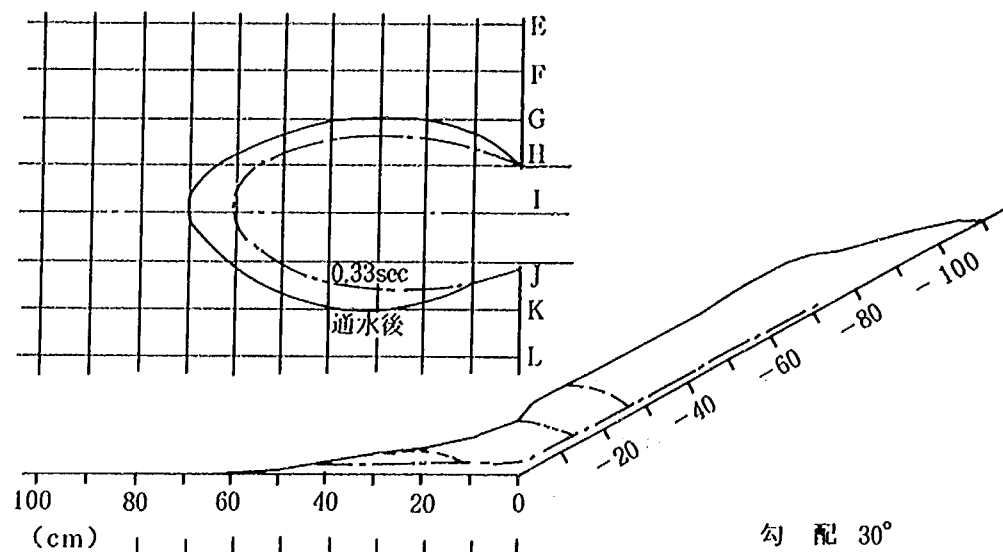
図-1.10に溪岸がある場合の堆積過程について示す。溪岸の位置は、溪岸がない場合の最大堆積幅が生じた位置とした。斜面を流下させた場合は、溪岸に衝突後して飛び上がるがその量はわずかである。飛び上がり高と最終の堆積深はほとんど同じである。台車に乗せて落とした場合は、飛び上がり高が大きく、最終の堆積深より高く飛び上がっている。図-1.11に溪岸の有無による最大堆積幅の関係を示す。溪岸の有無による差はみられない。

6) 溪岸への衝突速度と飛び上がり高の関係

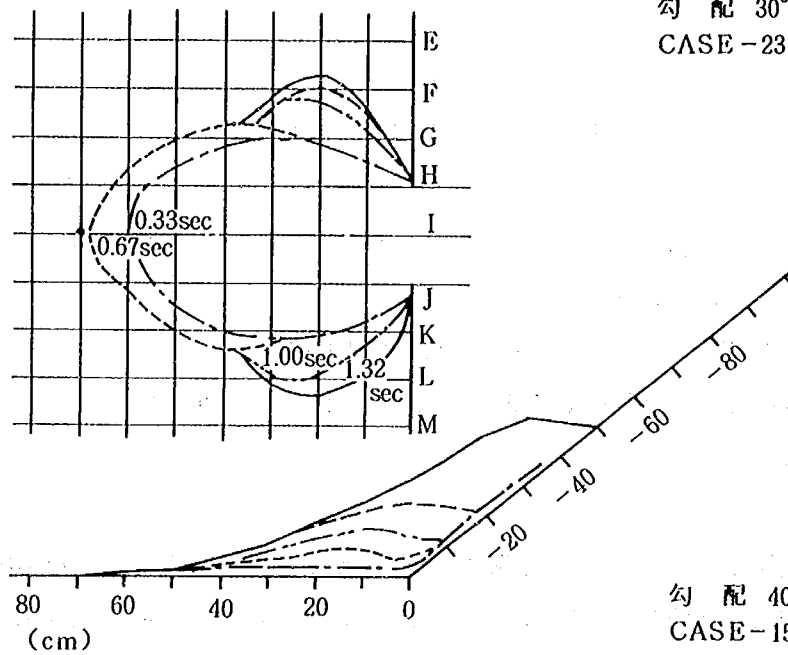
図-1.12に溪岸への衝突速度 V_1 と飛び上がり高 Z の関係を示す。衝突速度が大きくなると飛び上がり高も大きくなる。

7) 実験条件が違う場合との比較

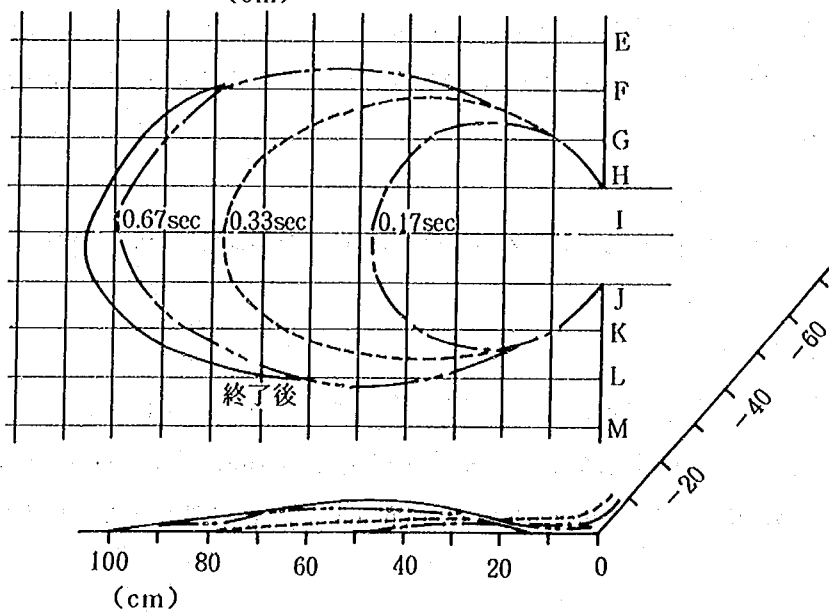
急傾斜地崩壊研究室で行った実験⁷⁾の結果と、今回の実験結果について併記して図-1.13に示す。急傾斜地崩壊研究室で行った実験は、崩壊土量を 1m^3 、落下高4.95m、7.15mとし、土砂を流下させて行ったものである。図-1.13より崩壊土量や斜面の飛び出し速度が変わっても適用できることがわかる。



勾配 30°
CASE-23



勾配 40°
CASE-15



勾配 50°
CASE-3

図-1.4 水路勾配の違いによる堆積状況

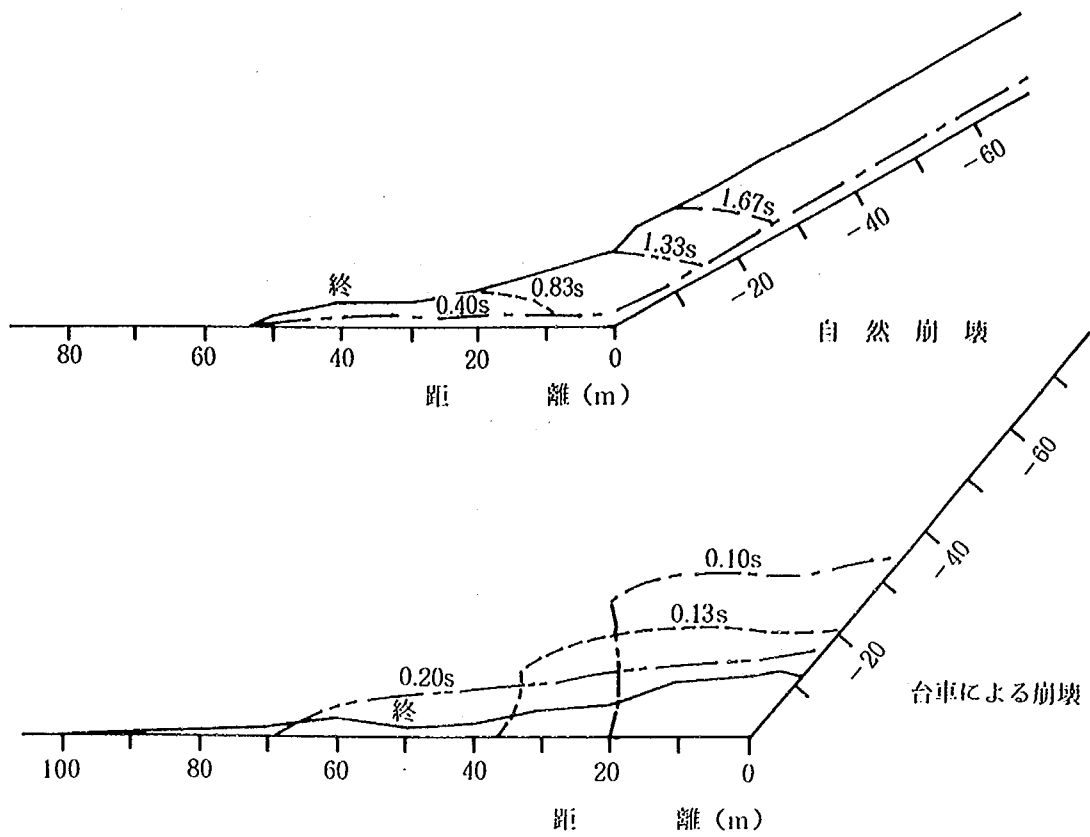


図-1.5 堆積過程側面図

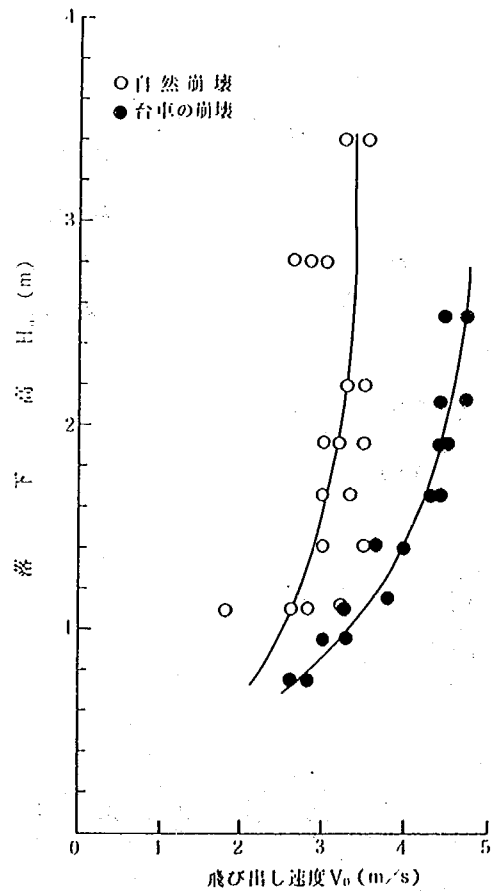
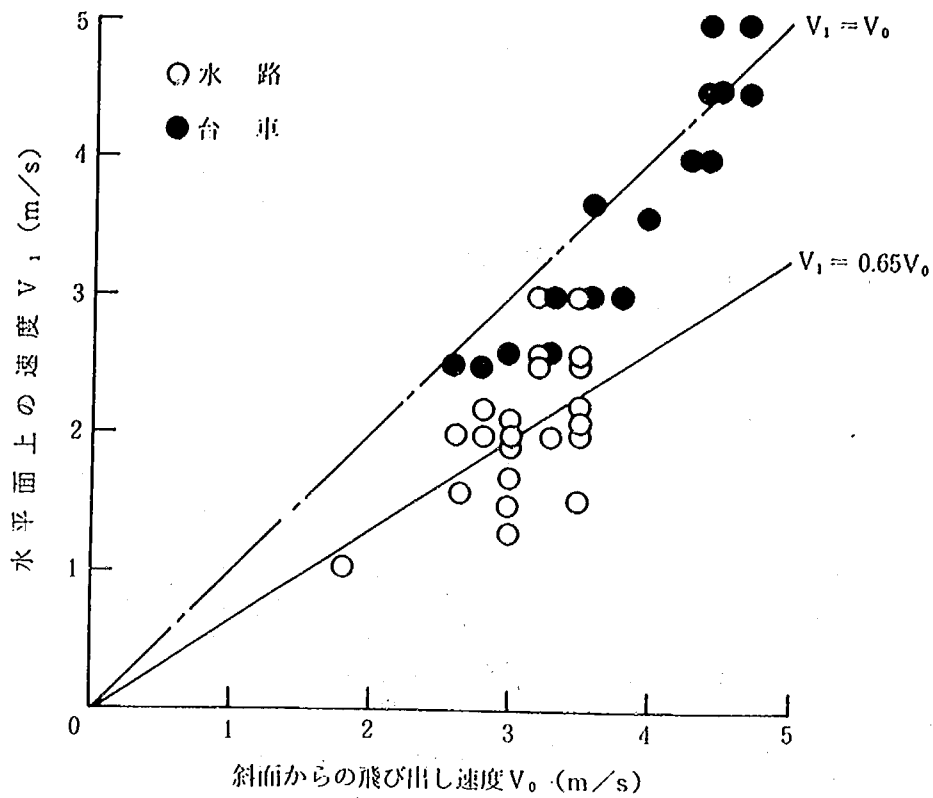
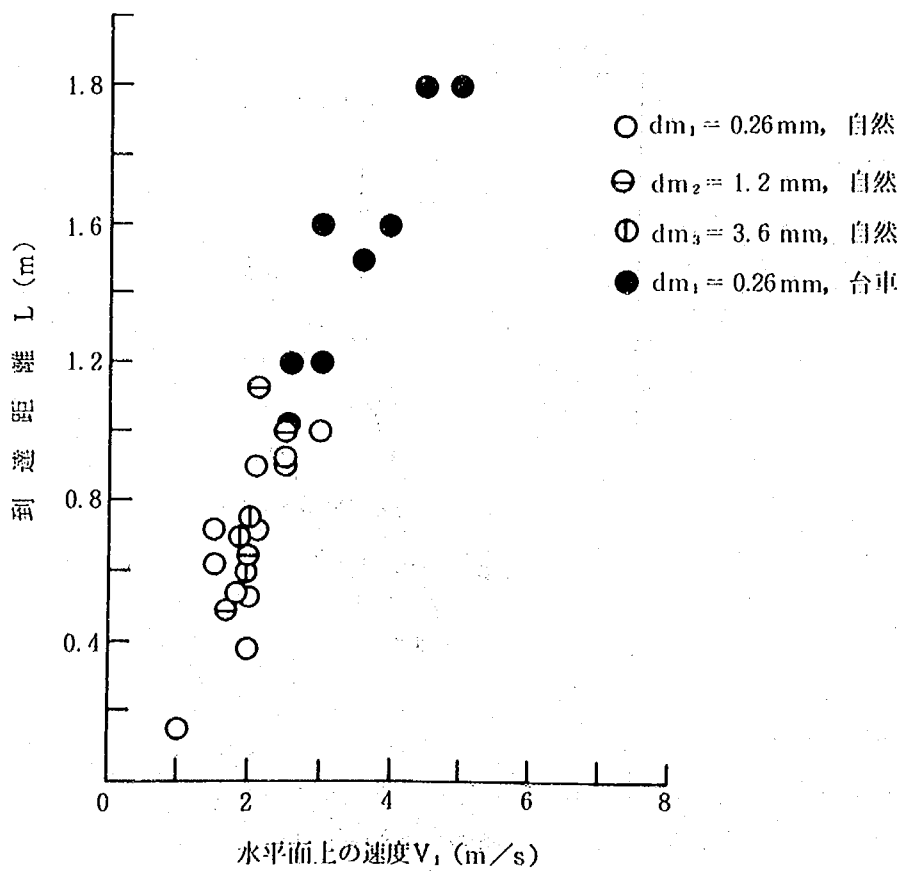


図-1.6 飛び出し速度と落下高の関係



図一 1.7 斜面からの飛び出し速度と水平面上の速度の関係



図一 1.8 飛び出し速度と到達距離の関係

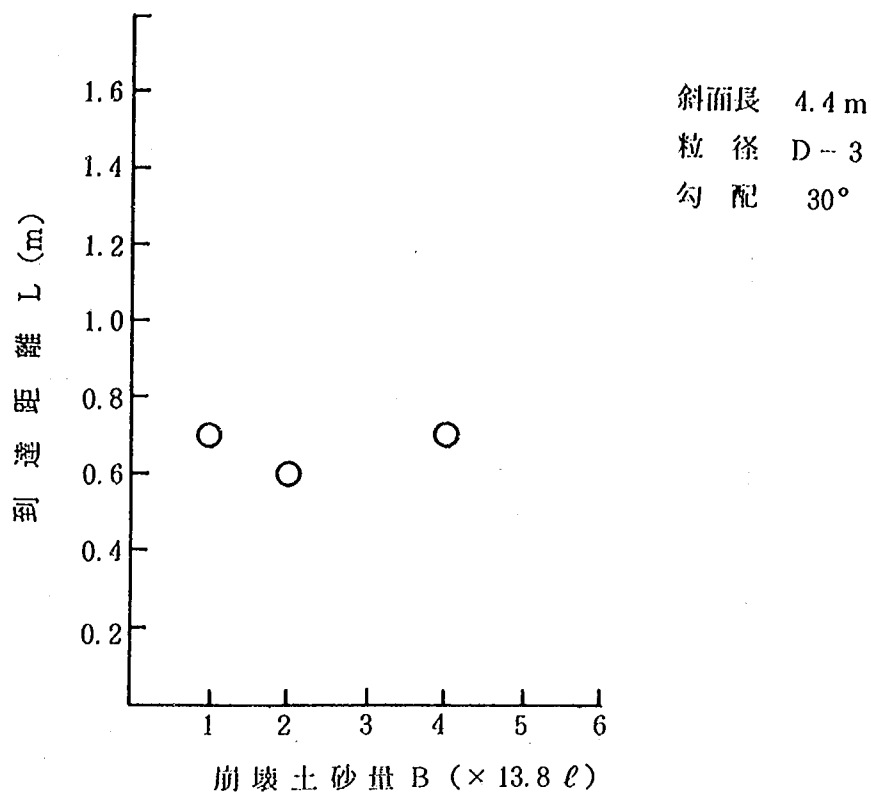


図 - 1.9 崩壊土砂量と到達距離

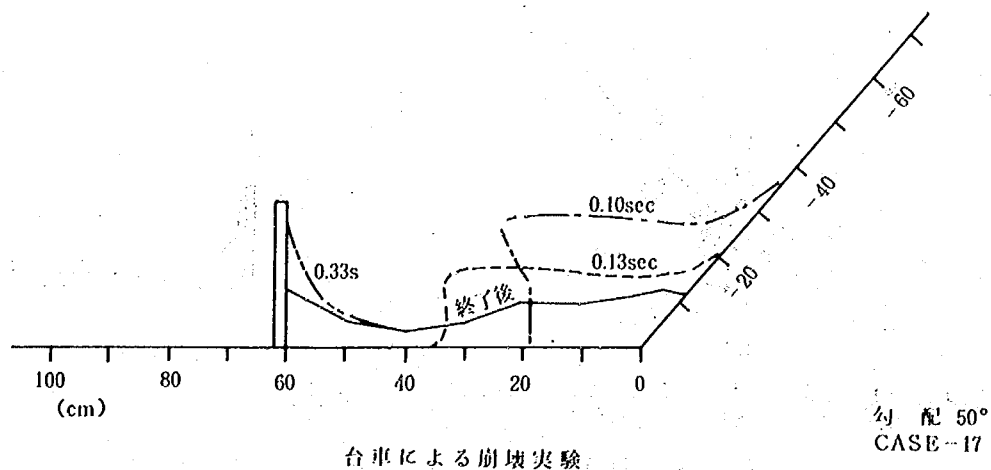
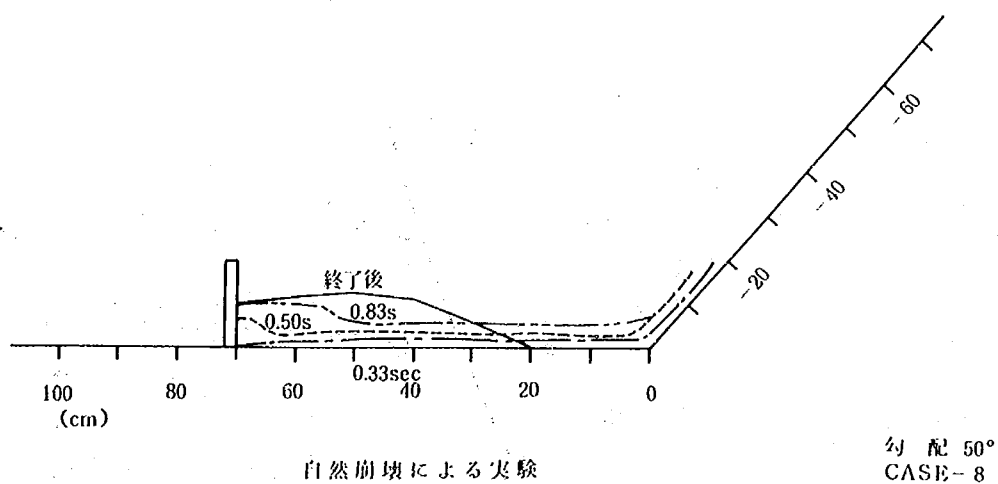


図 - 1.10 溪岸がある場合の堆積状況

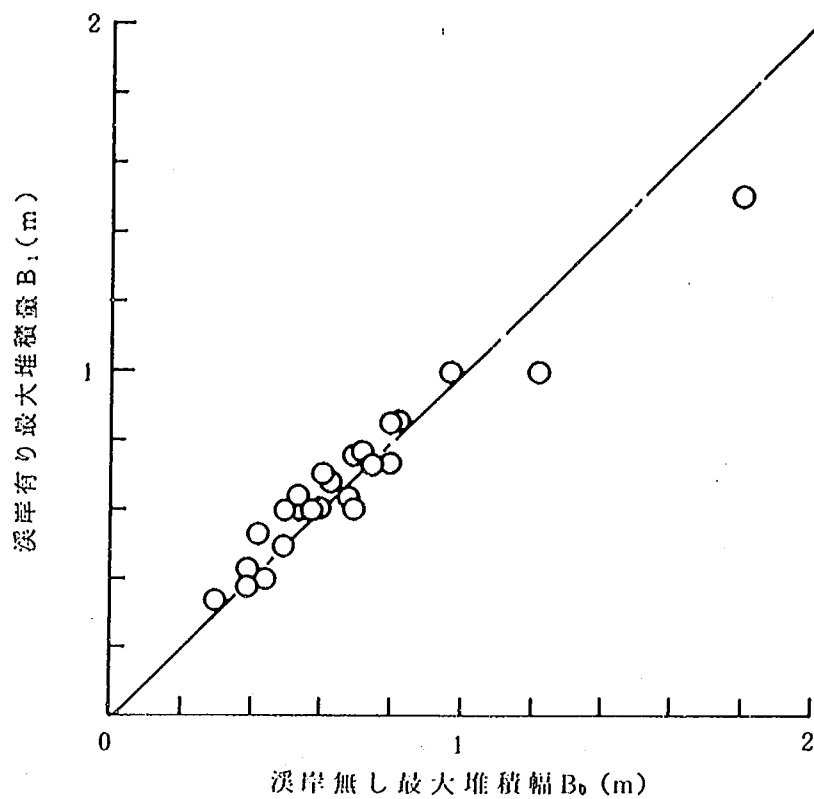


図-1.11 溪岸の有無による最大堆積幅の関係

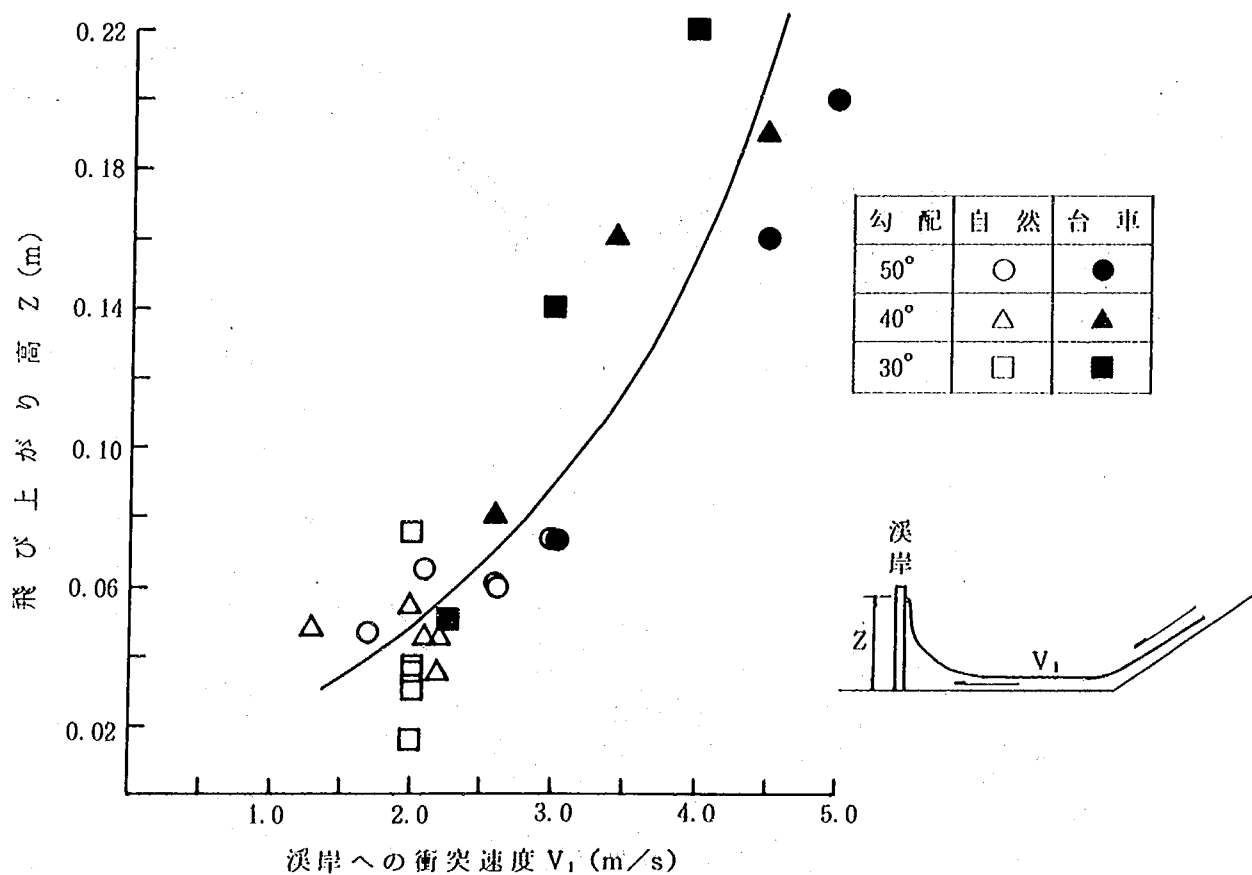
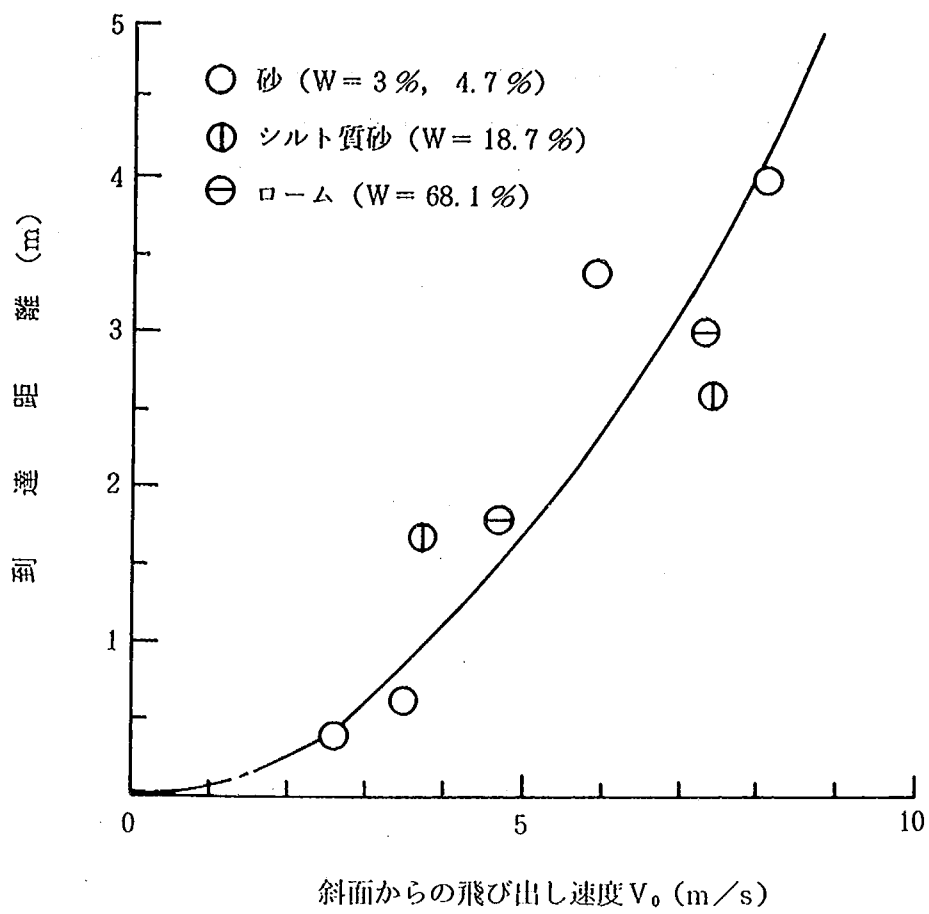


図-1.12 溪岸への衝突速度と飛び上がり高との関係



図一 1.13 斜面からの飛び出し速度と到達距離の関係

1.3 ま と め

崩壊した土砂の到達距離は、溪床での速度に関係することがわかった。溪床での速度は、斜面の勾配、落下高さ、斜面との摩擦による抵抗に関係して決まる。崩壊土砂がブロック状であれば、斜面との摩擦や、勾配変化による影響は小さく、落下高さが大きく影響すると考えられる。また、堆積形状は、対岸の位置等によっても変化する。今後は、斜面の摩擦による抵抗や、対岸の位置による堆積形状の違いについて検討していく必要がある。

2. 天然ダムの破壊過程に関する基礎的実験

2.1 実験の概要

2.1.1 実験目的

天然ダムの決壊は、発生すると大きな災害となる可能性がある。天然ダムの決壊過程について、とくに定量的な評価についてはまだ明らかでない。本実験では、二次元水路に台形断面の天然ダムを設置し、天然ダムの破壊、侵食、流出機構を把握することを目的とする。

2.1.2 実験内容と実験方法

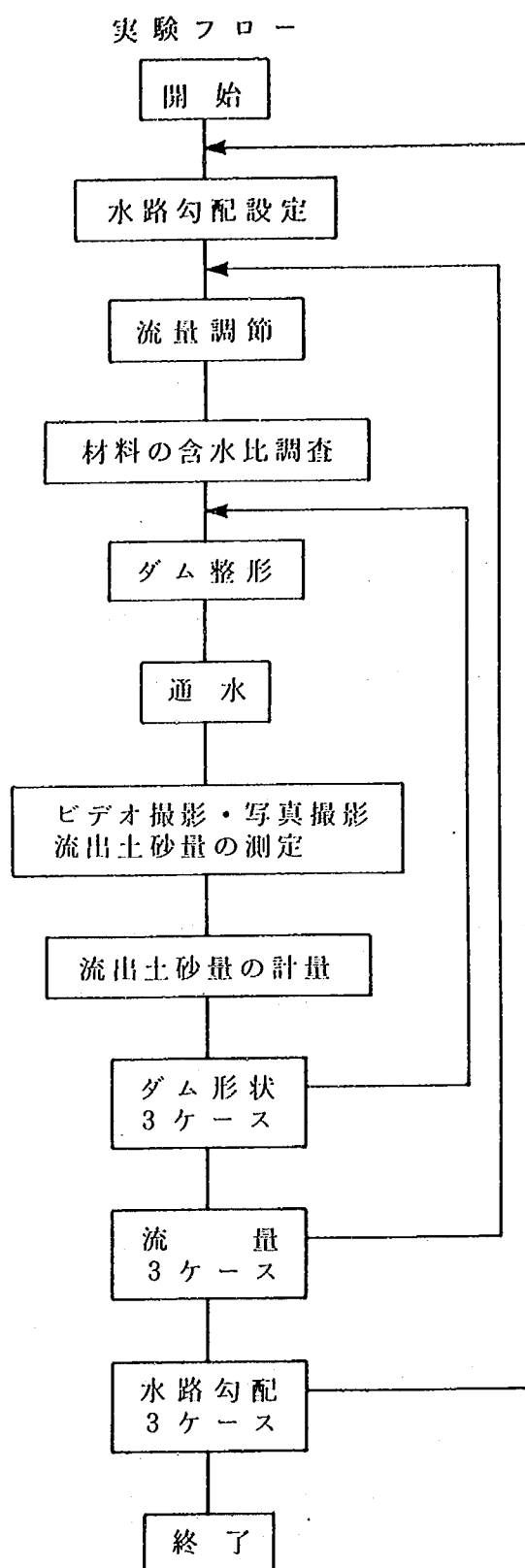
(1) 実験内容

天然ダムの破壊を、(a)ダム材料の透水性が良く、流水のダム内への浸潤が先行してダム下流法面から崩壊する場合と、(b)材料の透水性が悪く、天然ダム上流面の水位上昇が先行してダム表面の洗掘により破壊する場合の2通りを想定して行った。

実験は、図－2.1に示す幅20cm、長さ5mの二次元水路に天然ダムを設置し、ダム上流より所定の流量を供給し、天然ダムの侵食、破壊等を再現する。水路側面からビデオで撮影し解析する。

(2) 実験方法

実験方法は以下の通りである。



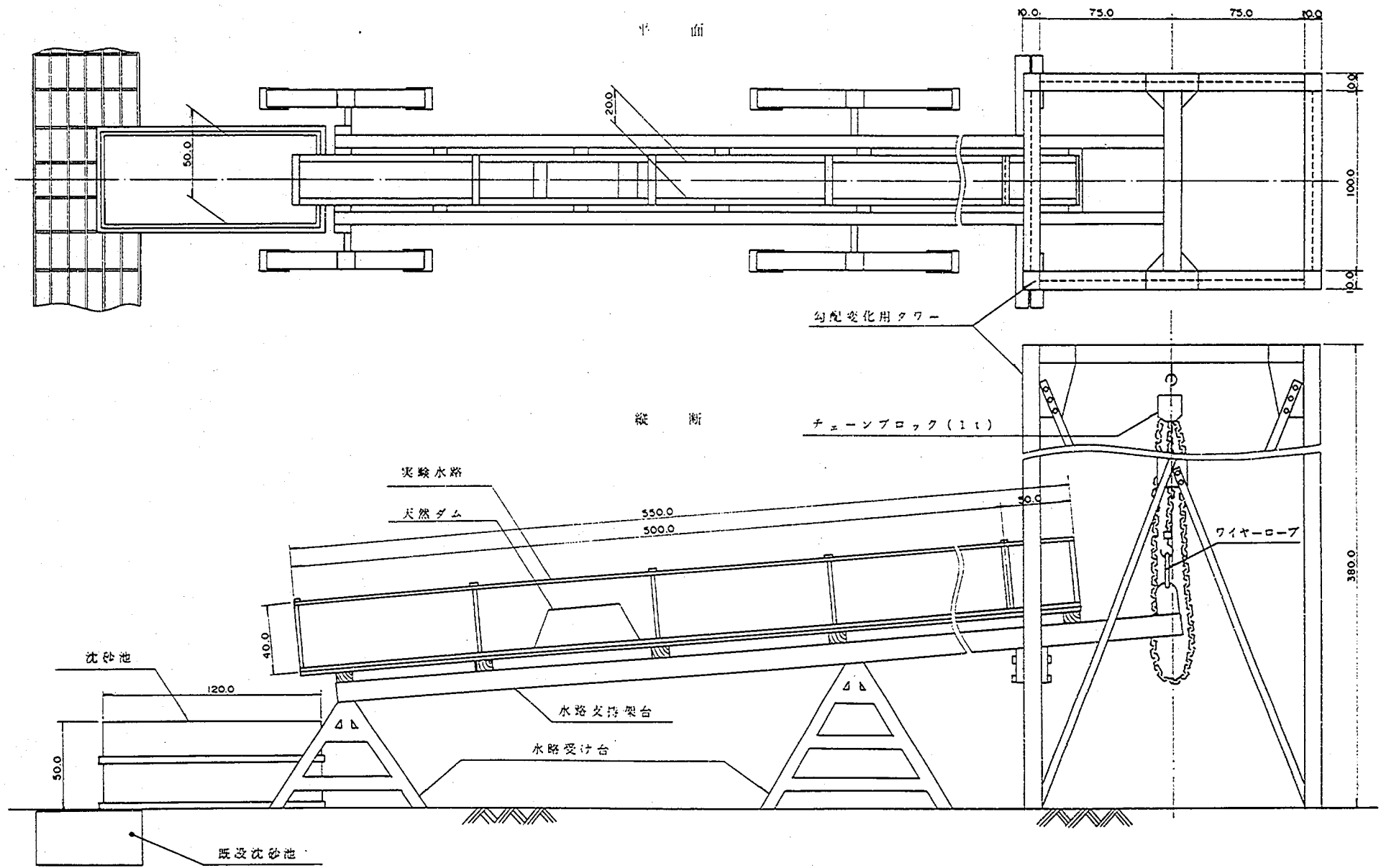


図 - 2.1 実験模型概要

2.1.3 予備実験

(1) 実験内容

本実験の条件を決定するために、材料、流量を変えた予備実験を行った。実験は、水路斜面上に図-2.2に示すB1の形状で天然ダムを整形し、上流より給水して破壊させる。なお、浸透状況をわかりやすくするため、水に着色した。

計測は、ビデオカメラにより、流水の浸透または越水状況、天然ダムの破壊状況を撮影した。

(2) 実験結果

平均粒径 $d_m = 1.14 \text{ mm}$ の材料について、流量 50 cc/sec 、 100 cc/sec を与えた結果、透水性が良く浸透によってダム下流の法尻が破壊する条件として流量 50 cc/sec を選んだ。

つぎに、透水性の悪い平均粒径 $d_m = 0.19 \text{ mm}$ の材料について、 500 cc/sec 、 1000 cc/sec 、 1800 cc/sec の流量を与えた結果、越流水による下流法の侵食（洗掘）が二次元的に進行する 1000 cc/sec 、 1800 cc/sec を本実験の条件とした。

2.1.4 実験ケースと材料

予備実験の結果より、実験ケースは表-2.1に示すとうりとする。使用した材料の粒度分布を図-2.3に示す。

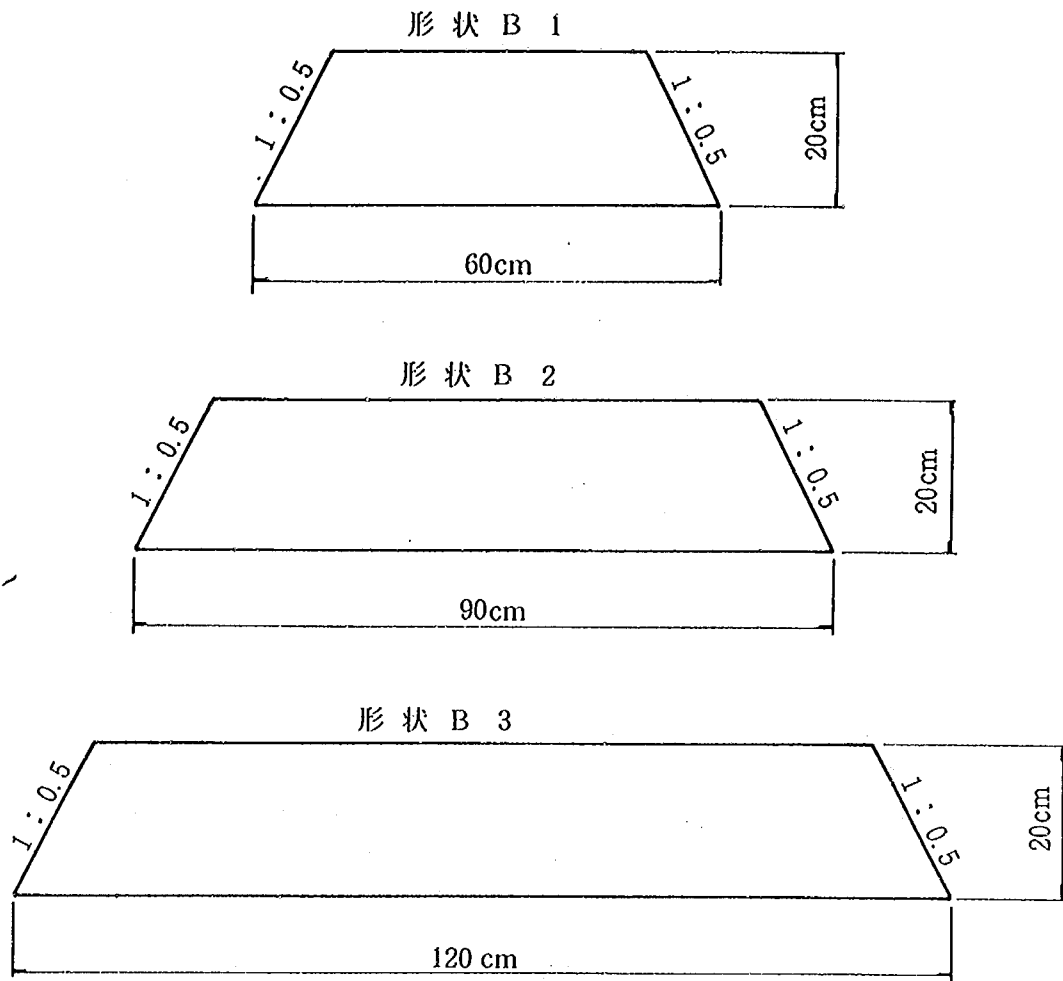


図 - 2.2 ダム 形 状

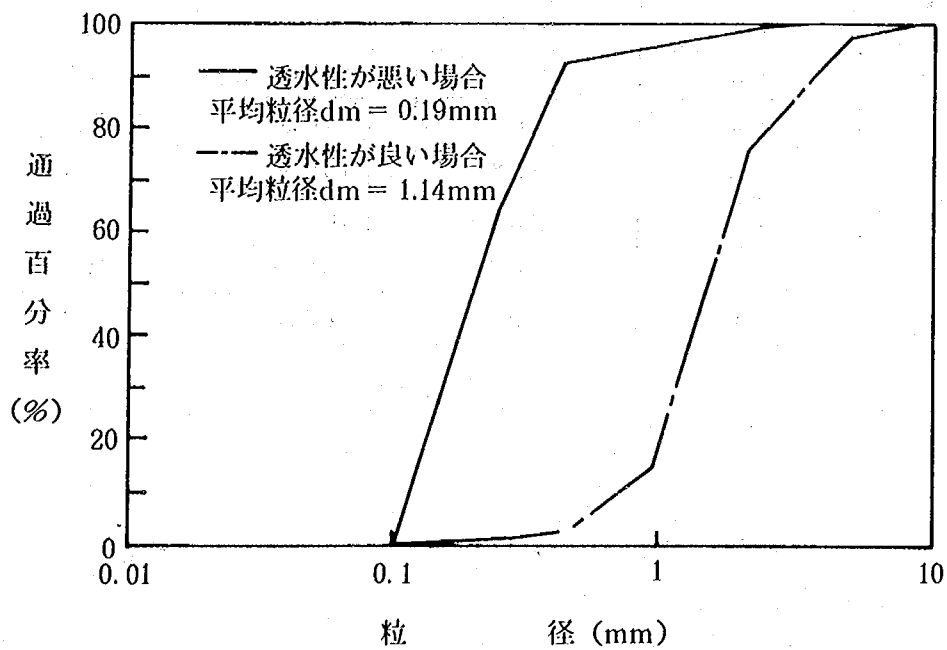


図 - 2.3 実験材料の粒度分布

表-2.1 本実験の実験ケース一覧表

	C A S E	水路勾配	流 量	ダム形状
透水性が良い場合	1	5°	50 cc/s	B 1
	2	5°	50 cc/s	B 2
	3	5°	50 cc/s	B 3
	4	10°	50 cc/s	B 1
	5	10°	50 cc/s	B 2
	6	10°	50 cc/s	B 3
	7	20°	50 cc/s	B 1
	8	20°	50 cc/s	B 2
	9	20°	50 cc/s	B 3
透水性が悪い場合	1	5°	1000 cc/s	B 1
	2	5°	1000 cc/s	B 2
	3	5°	1000 cc/s	B 3
	4	5°	1800 cc/s	B 1
	5	5°	1800 cc/s	B 2
	6	5°	1800 cc/s	B 3
	7	10°	1000 cc/s	B 1
	8	10°	1000 cc/s	B 2
	9	10°	1000 cc/s	B 3
	10	10°	1800 cc/s	B 1
	11	10°	1800 cc/s	B 2
	12	10°	1800 cc/s	B 3
	13	20°	1000 cc/s	B 1
	14	20°	1000 cc/s	B 2
	15	20°	1000 cc/s	B 3
	16	20°	1800 cc/s	B 1
	17	20°	1800 cc/s	B 2
	18	20°	1800 cc/s	B 3

2.2 実験結果と考察

実験は、a) 材料の透水性が良く、流水のダム内への浸潤が先行してダム下流側法面から崩壊する場合
b) 材料の透水性が悪く、ダム上流面の水位上昇が先行してダム表面の洗堀により破壊する場合の、2通りを想定して行なった。

2.2.1 透水性がよい場合

(1) 崩壊状況

1) CASE-1 (水路勾配: 5° , ダム形状: B1)

ダム上流水位16cm (満水位20cm) で、第1回目の崩壊がダム下流面で生じた。このとき、浸潤面はすでに下流端に達し、材料と模型底面の摩擦による抵抗力と材料の支持力が弱まり、ダム下流面勾配とほぼ平行に滑動した。崩壊は4回程で安定した。

2) CASE-2 (水路勾配: 5° , ダム形状: B2)

ダム上流水位17cm付近で第1回目の崩壊が生じた。崩壊は2回生じ、その後安定した。崩壊面は、ダム下流面勾配とほぼ平行である。

3) CASE-3 (水路勾配: 5° , ダム形状: B3)

ダム上流水位15cmで、第1回目の崩壊が生じた。崩壊は5回生じ、その後安定した。崩壊面は、ダム下流面勾配とほぼ平行である。

4) CASE-4 (水路勾配: 10° , ダム形状: B1)

ダム上流水位13cmで、第1回目の崩壊が生じた。崩壊は3回生じ、その後安定した。崩壊面は、ダム下流勾配とほぼ平行である。

5) CASE-5 (水路勾配: 10° , ダム形状: B2)

ダム上流水位14cmで、第1回目の崩壊が生じた。崩壊は3回生じ、その後安定した。

6) CASE-6 (水路勾配: 10° , ダム形状: B3)

ダム上流水位13cmで、第1回目の崩壊が生じた。崩壊は5回生じた。崩壊面は、ダム下流面勾配とほぼ平行である。崩壊長さは、上面で20cm (全体の2割) である。

7) CASE-7 (水路勾配: 20° , ダム形状: B1)

ダム上流水位10cmで、第1回目の崩壊が生じた。崩壊は5回生じた。崩壊面は、ダム下流面勾配とほぼ平行である。崩壊長さは、上面で35cm (全体の約9割) であり、ほとんどが崩壊された。

8) CASE-8 (水路勾配: 20° , ダム形状: B2)

上流水位11cmで、第1回目の崩壊が生じた。崩壊は9回繰り返された。崩壊長さは、上面で55cm (全体の約8割) であった。

9) CASE-9 (水路勾配: 20° , ダム形状: B3)

ダム上流水位11cmで、第1回目の崩壊が生じた。崩壊は13回繰り返され、ほぼ全長にわたり崩壊した。

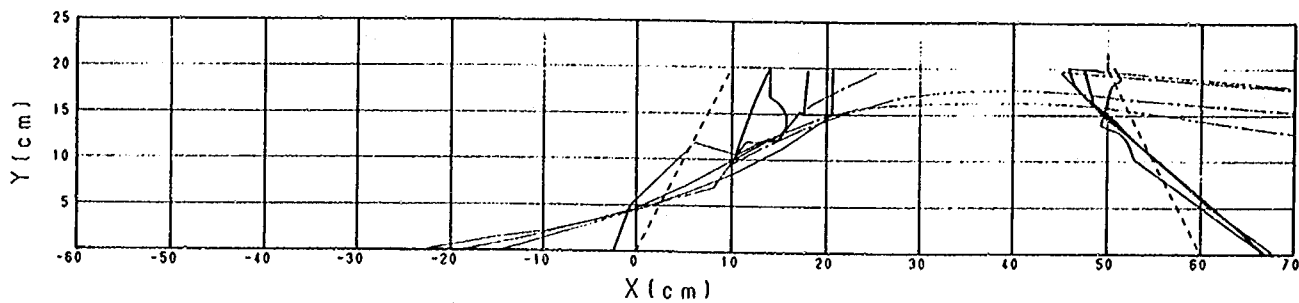


図-2.4 天然ダムの破壊過程
透水性が良い場合 (CASE-1)
(水路勾配: 5° , 流量: 50cc/s , ダム形状: B1)

凡例
 初期形状
 水面形状
 —— 破壊形状

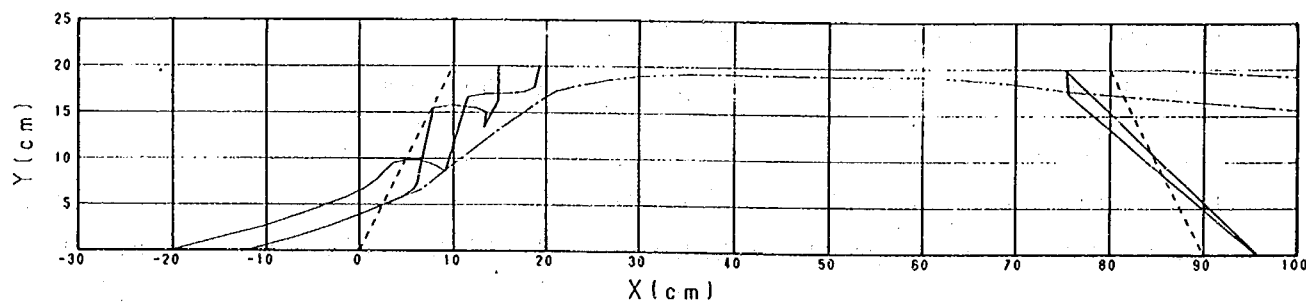


図-2.5 天然ダムの破壊過程
透水性が良い場合 (CASE-2)
(水路勾配: 5° , 流量: 50cc/s , ダム形状: B2)

凡例
 初期形状
 水面形状
 —— 破壊形状

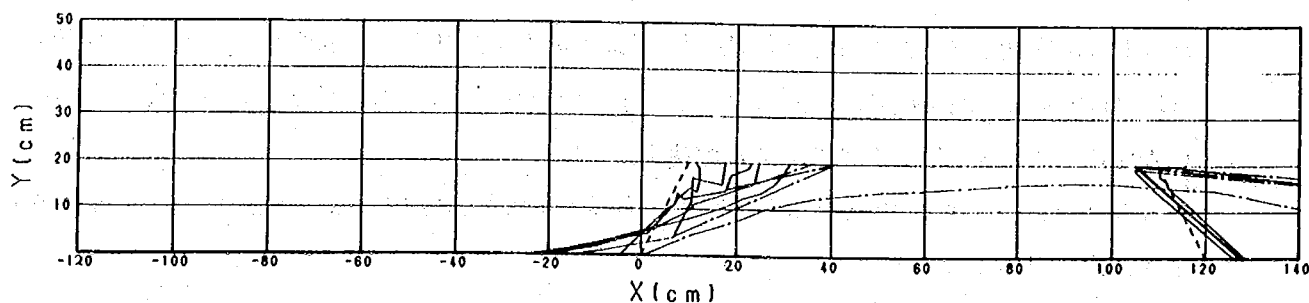


図-2.6 天然ダムの破壊過程
透水性が良い場合 (CASE-3)
(水路勾配: 5° , 流量: 50cc/s , ダム形状: B3)

凡例
 初期形状
 水面形状
 —— 破壊形状

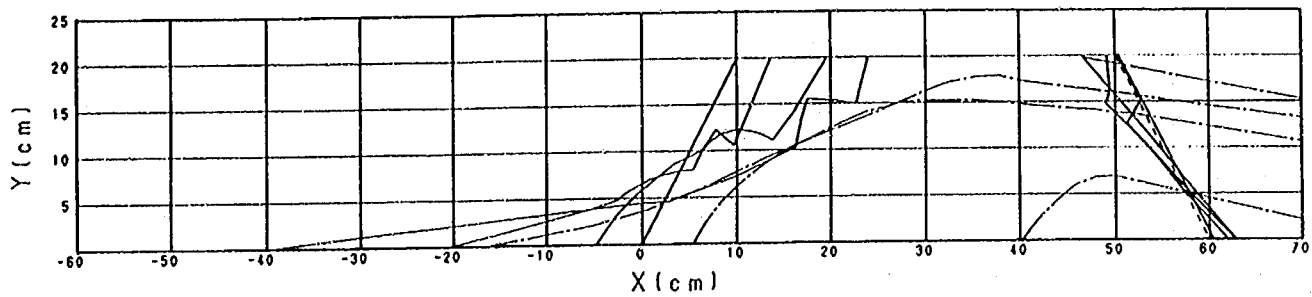


図-2.7 天然ダムの破壊過程
透水性が良い場合 (CASE-4)
(水路勾配: 10° , 流量: 50cc/s , ダム形状: B1)

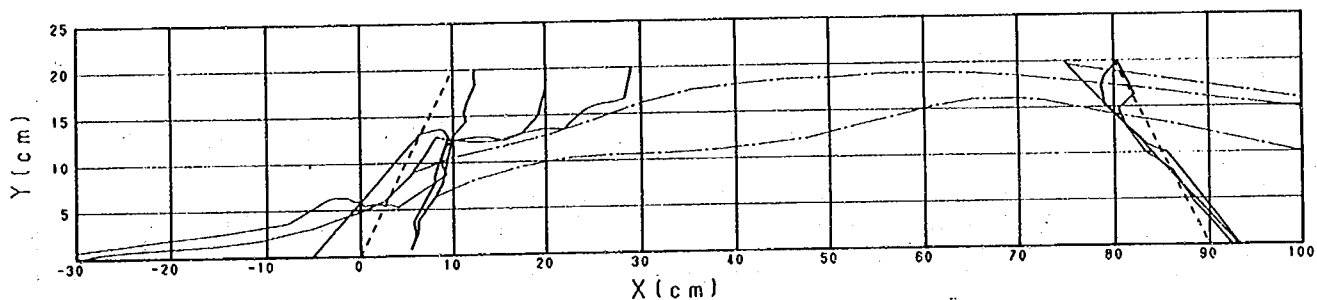


図-2.8 天然ダムの破壊過程
透水性が良い場合 (CASE-5)
(水路勾配: 10° , 流量: 50cc/s , ダム形状: B2)

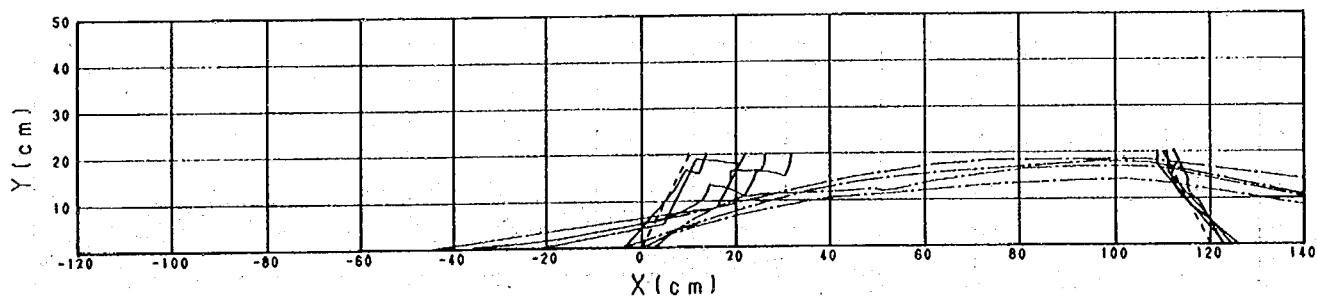


図-2.9 天然ダムの破壊過程
透水性が良い場合 (CASE-6)
(水路勾配: 10° , 流量: 50cc/s , ダム形状: B3)

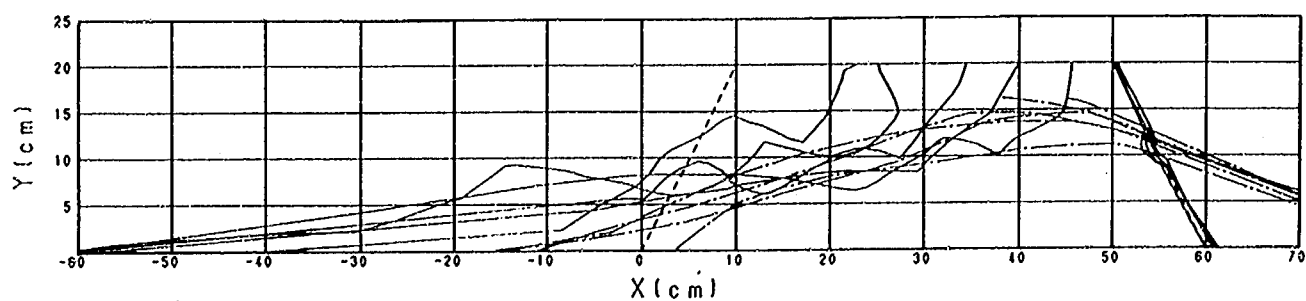


図- 2.10 天然ダムの破壊過程
透水性が良い場合 (CASE-7)
(水路勾配: 20° , 流量: 50cc/s , ダム形状: B1)

凡例
 初期形状
 - · - · - 水面形状
 ——— 破壊形状

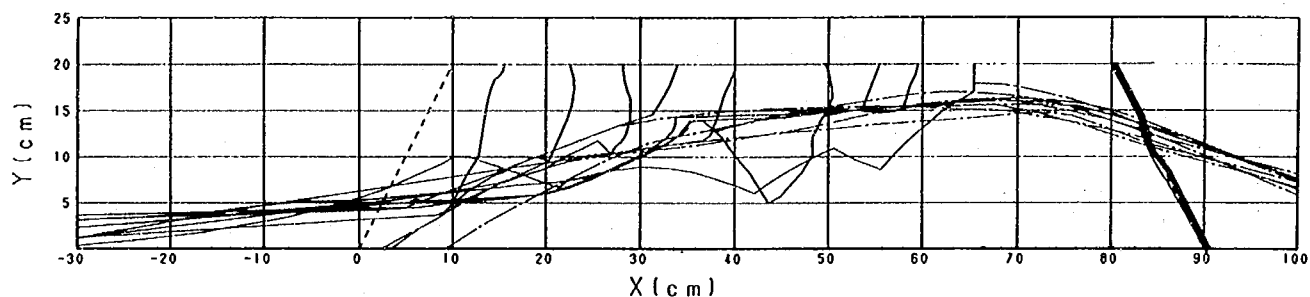


図- 2.11 天然ダムの破壊過程
透水性が良い場合 (CASE-8)
(水路勾配: 20° , 流量: 50cc/s , ダム形状: B2)

凡例
 初期形状
 - · - · - 水面形状
 ——— 破壊形状

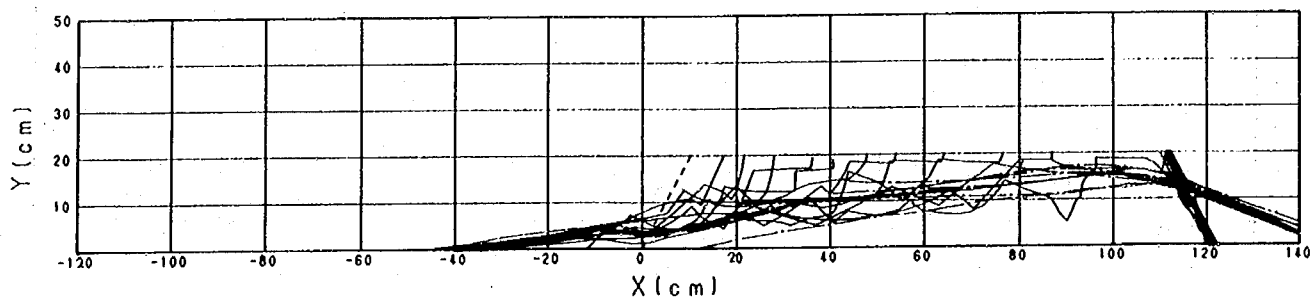


図- 2.12 天然ダムの破壊過程
透水性が良い場合 (CASE-9)
(水路勾配: 20° , 流量: 50cc/s , ダム形状: B3)

凡例
 初期形状
 - · - · - 水面形状
 ——— 破壊形状

(2) 浸透速度

実験結果より、流水のダム内の浸透速度を求めた。水路勾配 5° の時のダム内の浸透速度は $0.07 \sim 0.1 \text{ cm/sec}$ 、水路勾配 10° の時のダム内の浸透速度は $0.14 \sim 0.39 \text{ cm/sec}$ 、水路勾配 20° の時のダム内の浸透速度は $0.55 \sim 0.7 \text{ cm/sec}$ であり、透水係数は 2 cm/sec 程度である。

(3) 崩壊時間

表-2.2 に透水性が良い場合の崩壊時間を示した。

(4) 流出水量

図-2.13 に時間と流出水量の関係を示した。

なお、CASE-8, CASE-9 は、浸透によりダムが破壊した後、ダム上流側に貯水した水流が一気にダムを越流する時の土砂濃度を測定したもので、この時の土砂濃度は 0.7 前後となった。

表-2.2 透水性が良い場合の崩壊時間

CASE	崩 壊 時 間 (sec)								
	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	平 均
予備実験-1	136 0	194 58							58
予備実験-2	283 0	390 107	512 122	646 134	858 212	983 125	1365 382		180
CASE-1	689 0	944 255	2404 1460	2420 16					577
CASE-2	1266 0	2246 980							980
CASE-3	1264 0	2732 1468	2764 32	3123 359	3517 394				563
CASE-4	288 0	462 174	1353 891						532
CASE-5	363 0	626 263	1830 1204						733
CASE-6	310 0	486 176	626 140	961 335					217
CASE-7	70 0	107 37	136 29	150 14	164 14	174 10			21
CASE-8	154 0	194 40	212 18	215 3	234 19	251 15	252 1	254 2	
	272 16								14
CASE-9	164 0	218 54	250 32	266 16	270 4	291 21	307 16	318 11	
	329 11	337 8	351 14	363 12					18

注) 上段は崩壊時間, 下段は時間間隔

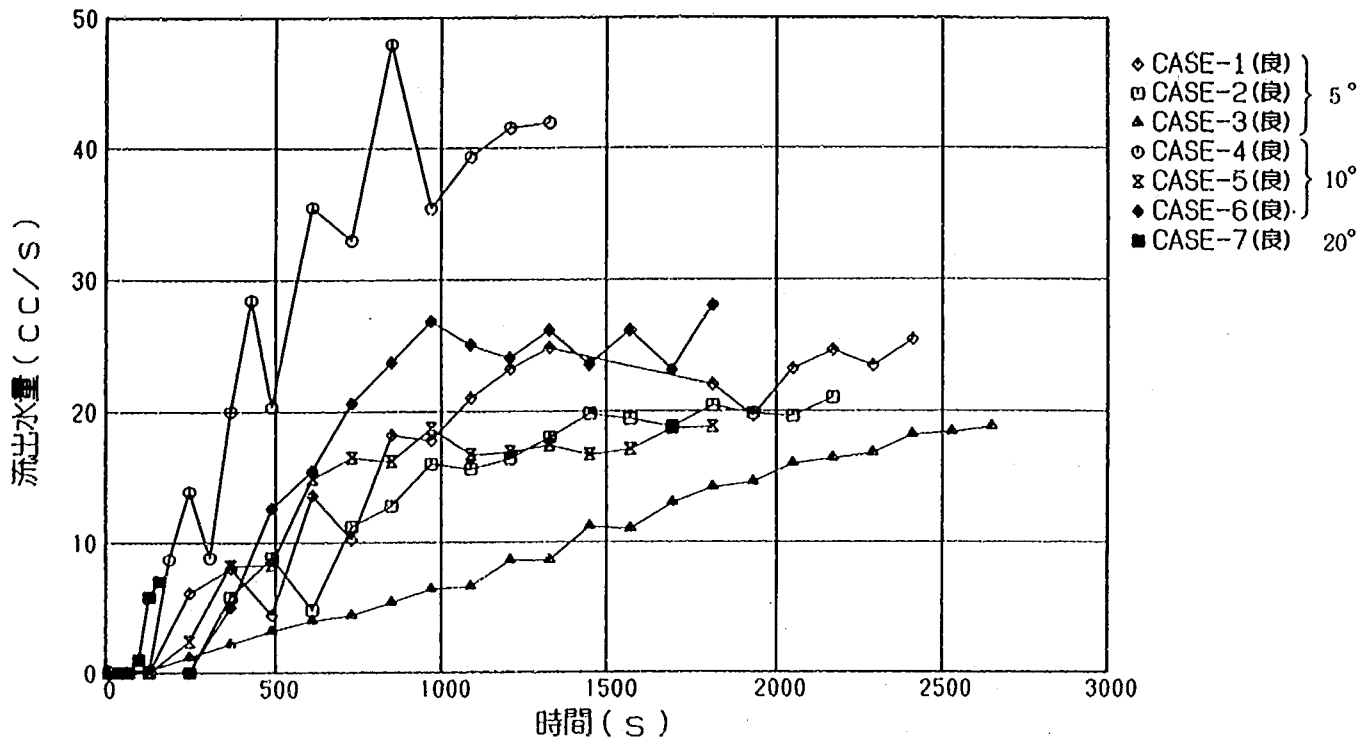


図- 2.13 時間と流出水量の関係
透水性が良い場合（流量：50cc/s）

2.2.2 透水性が悪い場合

ダム材料の透水性が悪く、天然ダム上流面の水位上昇が先行して、ダム表面の洗堀により破壊する場合を次に示す。

(1) 透水性が悪い場合の崩壊状況

図- 2.14～図- 2.31 に透水性が悪い場合の崩壊状況を示す。各ケース毎の崩壊状況は次の通りである。

1) CASE-1（水路勾配：5°，流量：1000cc/s，ダム形状：B1）

ダム材料の透水性が悪く、天然ダム上流側の水位上昇が先行して、ダム表面の洗堀により破壊する。ダムを越流した水流により、ダム下流側から上流に向かって急速に崩壊していく。

2) CASE-2（水路勾配：5°，流量：1000cc/s，ダム形状：B2）

ダム天端は、中央部が凹形を呈し、更にダム下流面は水流が強く巻き込み、ダムは変形する。

3) CASE-3（水路勾配：5°，流量：1000cc/s，ダム形状：B3）

ダム天端は、2ヶ所が凹形を呈す様になる。

4) CASE-4（水路勾配：5°，流量：1800cc/s，ダム形状：B1）

ダム天端は、2ヶ所が幾分凹形となる。

- 5) CASE-5 (水路勾配: 5° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B2)
ダム天端は, 1ヶ所が大きく凹形となる。
- 6) CASE-6 (水路勾配: 5° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B3)
ダム天端は, 2ヶ所が凹形となる。
- 7) CASE-7 (水路勾配: 10° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B1)
ダム天端は, 中央部が凹形となる。
- 8) CASE-8 (水路勾配: 10° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B2)
ダム天端は, 2ヶ所が凹形となり, 上流側の先端が深く洗掘される。
- 9) CASE-9 (水路勾配: 10° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B3)
ダム天端は, 上流側が深く洗掘され凹形となる。その後崩壊は下流側に移り, ダム下流面から急速に洗掘される。
- 10) CASE-10 (水路勾配: 10° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B1)
ダム天端は, 中央部が幾分凹形となる。
- 11) CASE-11 (水路勾配: 10° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B2)
ダム天端は, 中央よりやや上流側が激しく洗掘され凹形となる。その後ダムは2分される。
- 12) CASE-12 (水路勾配: 10° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B3)
ダム天端は, 上流側が激しく洗掘され凹形となる。その後ダムは2分されて上流側のダムが先に崩壊し消失した。
- 13) CASE-13 (水路勾配: 20° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B1)
ダム天端は, 中央部が洗掘され凹形となり, 更にダムは2分され, 下流側のダムが先に崩壊し消失した。
- 14) CASE-14 (水路勾配: 20° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B2)
ダム天端は, 中央部よりやや上流が洗掘され凹形となり, ダムは2分され, 上流のダムが先に崩壊し消失した。
- 15) CASE-15 (水路勾配: 20° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B3)
ダム天端は, 2ヶ所が凹形となる。上流側が激しく洗掘されてダムは2分され, 上流側のダムが先に崩壊し消失した。
- 16) CASE-16 (水路勾配: 20° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B1)
ダム天端は, 中央部が洗掘され凹形となり, 更にダムは2分され, 下流側のダムが先に崩壊し消失した。
- 17) CASE-17 (水路勾配: 20° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B2)
ダム天端は, 上流部が局所的に洗掘されダムは2分され, 上流側のダムが先に崩壊し消失した。
- 18) CASE-18 (水路勾配: 20° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B3)
ダム天端は, 上流部が局所的に洗掘されたためダムは2分され, 上流側のダムが先に崩壊し消失した。

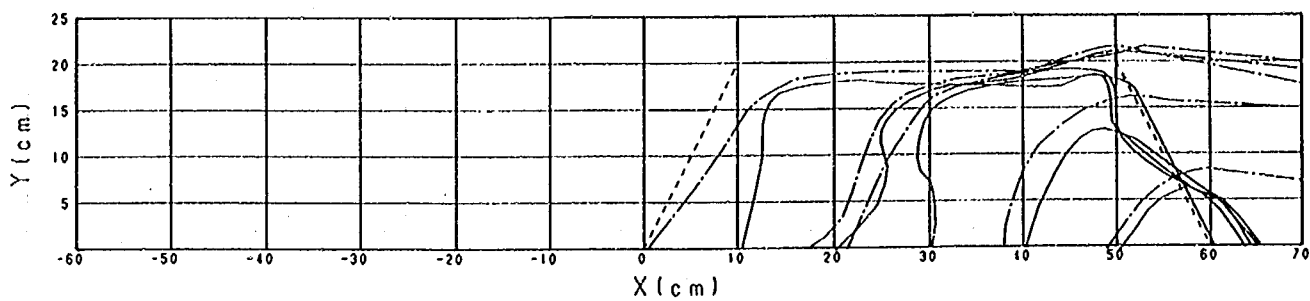


図-2.14 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-1)
(水路勾配: 5° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B1)

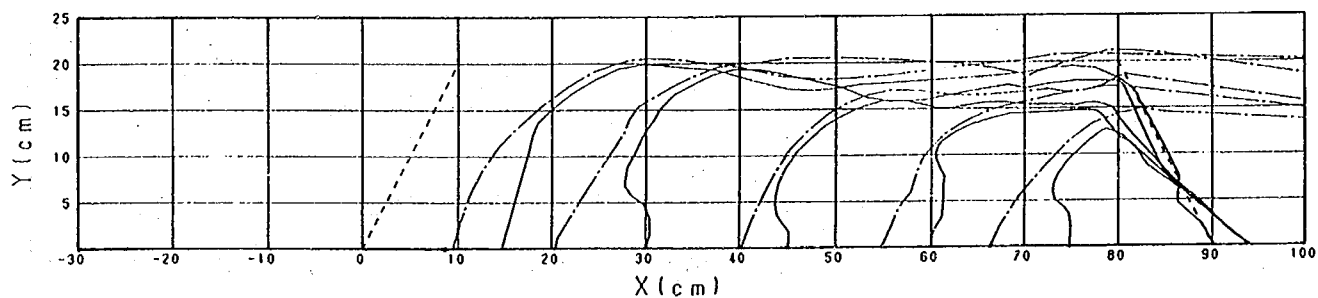


図-2.15 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-2)
(水路勾配: 5° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B2)

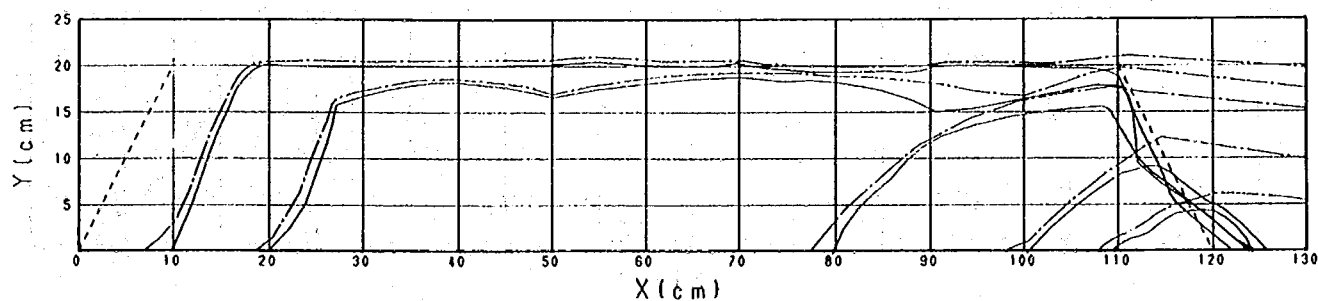


図-2.16 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-3)
(水路勾配: 5° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B3)

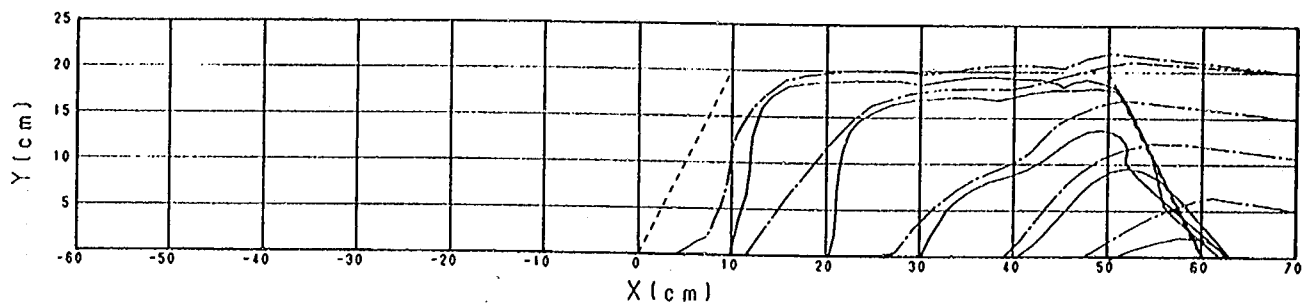


図-2.17 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-4)
(水路勾配: 5° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B1)

凡例
 初期形状
 - · - · - 水面形状
 ——— 破壊形状

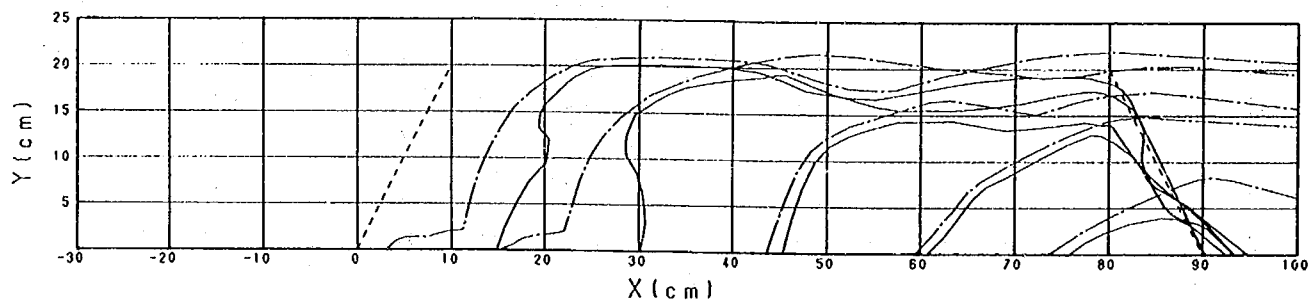


図-2.18 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-5)
(水路勾配: 5° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B2)

凡例
 初期形状
 - · - · - 水面形状
 ——— 破壊形状

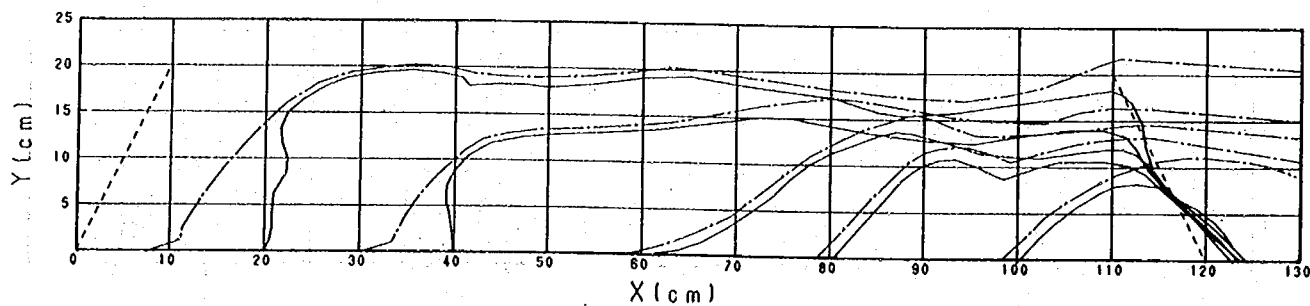


図-2.19 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-6)
(水路勾配: 5° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B3)

凡例
 初期形状
 - · - · - 水面形状
 ——— 破壊形状

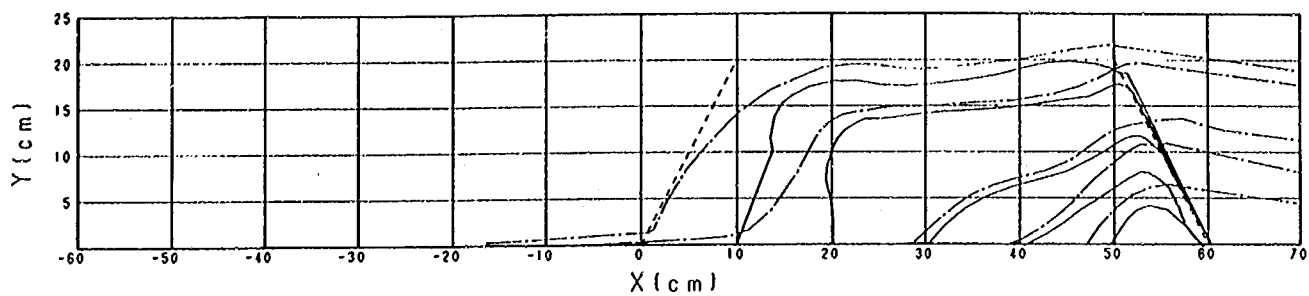


図-2.20 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-7)
(水路勾配: 10° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B1)

凡例
 初期形状
 - · - · - 水面形状
 ——— 破壊形状

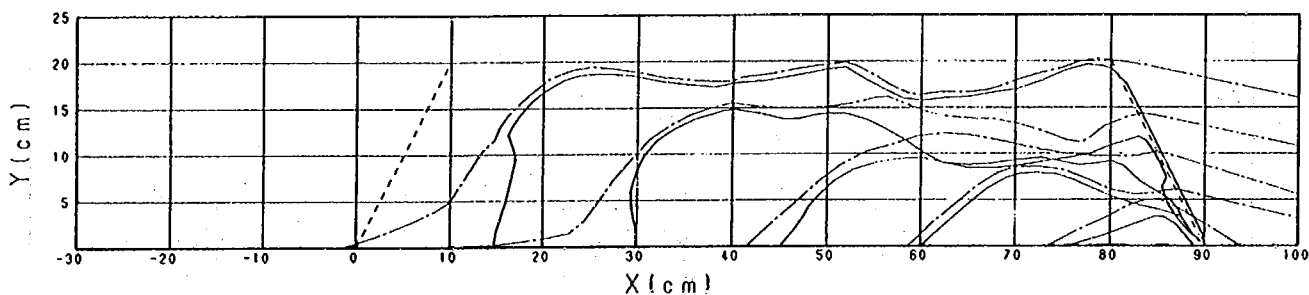


図-2.21 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-8)
(水路勾配: 10° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B2)

凡例
 初期形状
 - · - · - 水面形状
 ——— 破壊形状

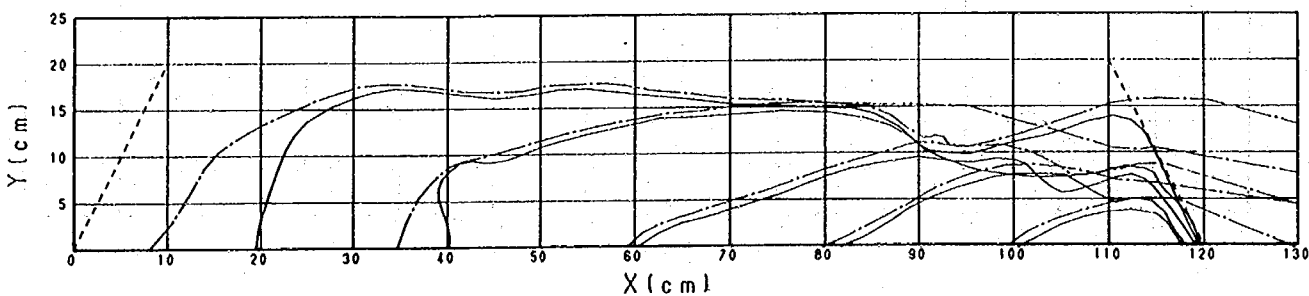


図-2.22 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-9)
(水路勾配: 10° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B3)

凡例
 初期形状
 - · - · - 水面形状
 ——— 破壊形状

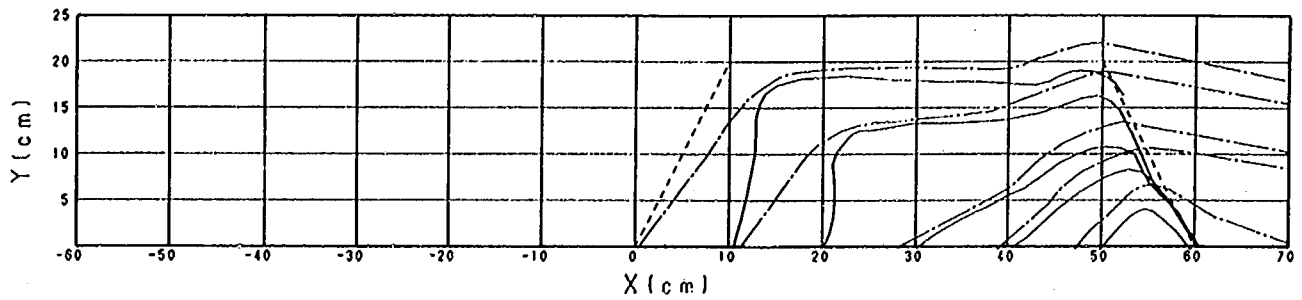


図-2.23 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-10)
(水路勾配: 10° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B1)

凡例
 初期形状
 - · - · - 水面形状
 ——— 破壊形状

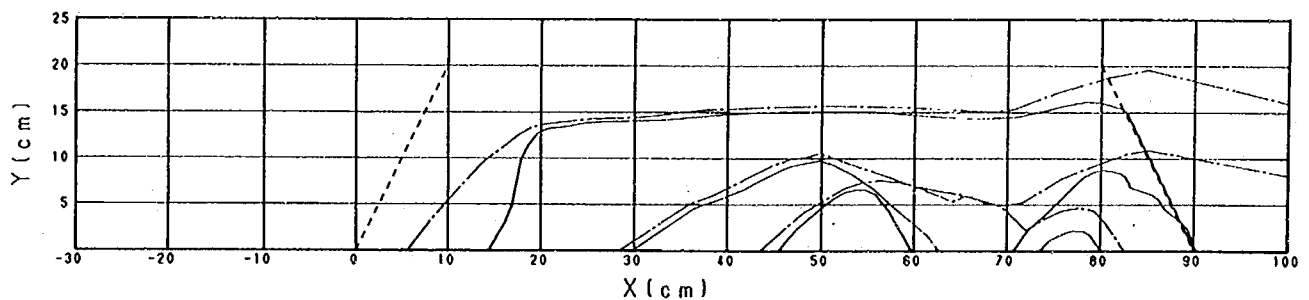


図-2.24 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-11)
(水路勾配: 10° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B2)

凡例
 初期形状
 - · - · - 水面形状
 ——— 破壊形状

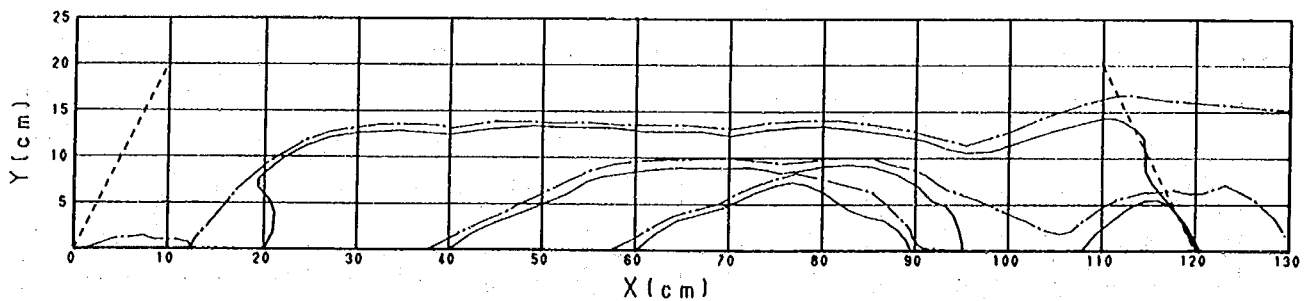


図-2.25 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-12)
(水路勾配: 10° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B3)

凡例
 初期形状
 - · - · - 水面形状
 ——— 破壊形状

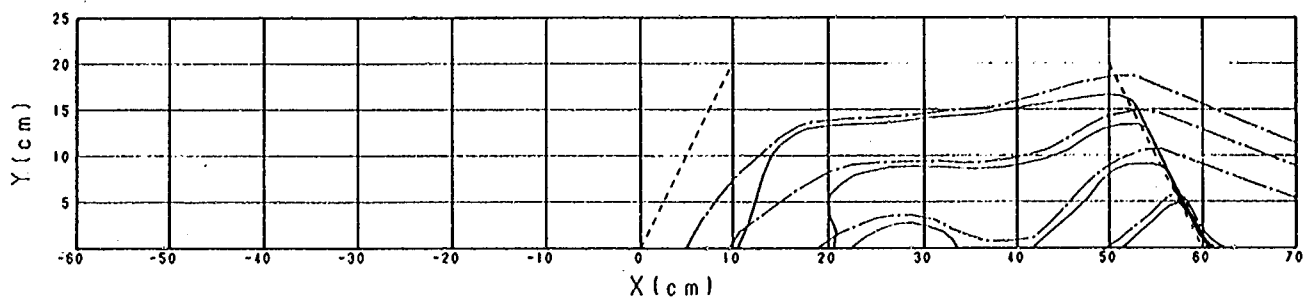


図- 2.26 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE - 13)
(水路勾配: 20° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B 1)

凡例
 初期形状
 水面形状
 ——— 破壊形状

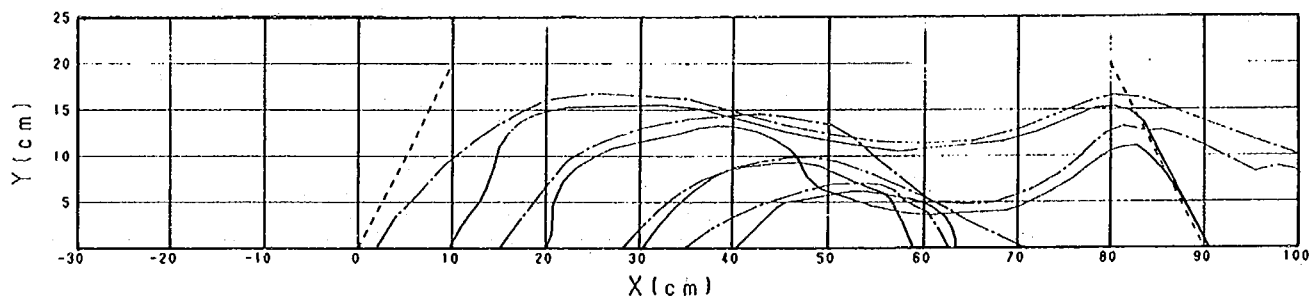


図- 2.27 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE - 14)
(水路勾配: 20° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B 2)

凡例
 初期形状
 水面形状
 ——— 破壊形状

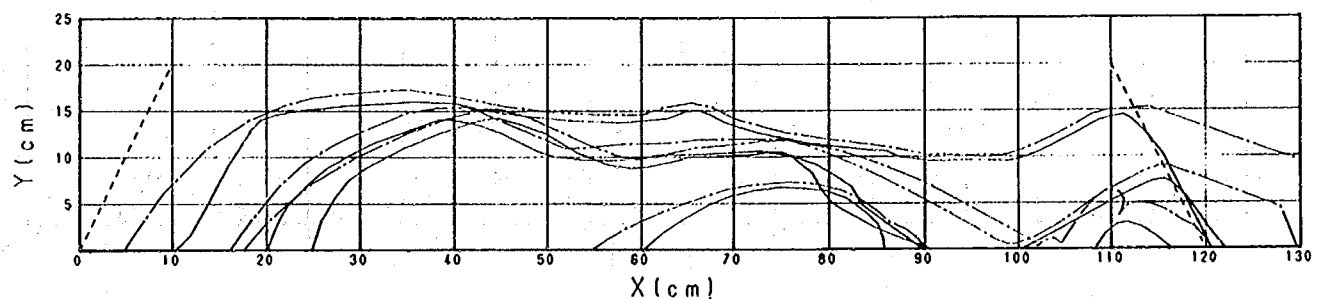


図- 2.28 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE - 15)
(水路勾配: 20° , 流量: 1000cc/s , ダム形状: B 3)

凡例
 初期形状
 水面形状
 ——— 破壊形状

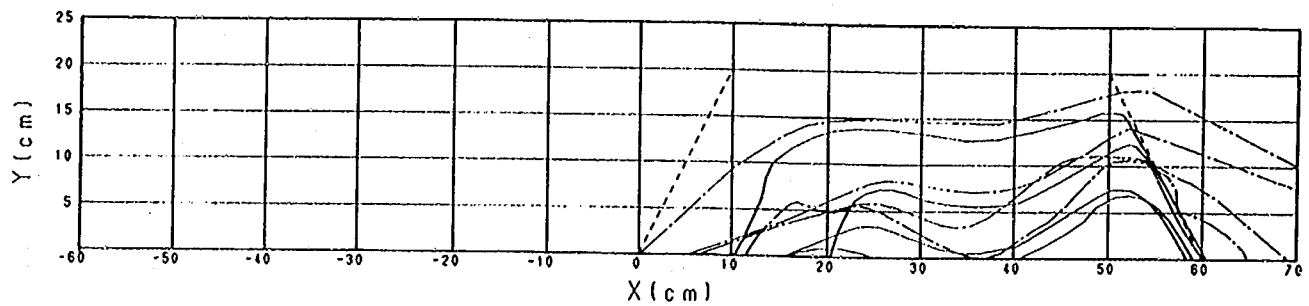


図-2.29 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-16)
(水路勾配: 20° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B1)

凡例
 初期形状
 水面形状
 ——— 破壊形状

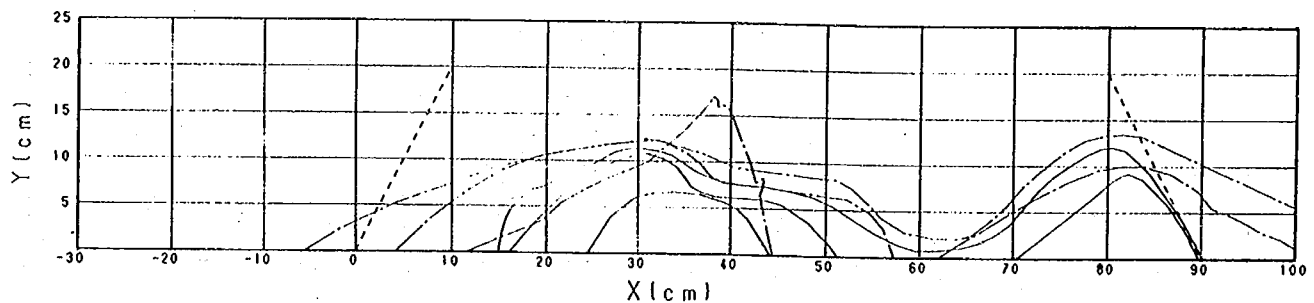


図-2.30 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-17)
(水路勾配: 20° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B2)

凡例
 初期形状
 水面形状
 ——— 破壊形状

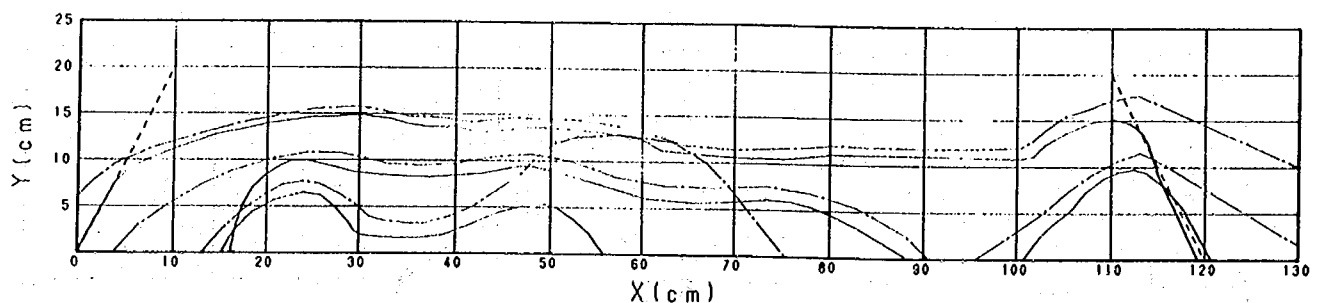


図-2.31 天然ダムの破壊過程
透水性が悪い場合 (CASE-18)
(水路勾配: 20° , 流量: 1800cc/s , ダム形状: B3)

凡例
 初期形状
 水面形状
 ——— 破壊形状

(2) 崩壊速度

表-2.3及び図-2.32～2.34に崩壊速度を示した。この結果より、崩壊は、平均すれば $0.5\text{ cm/sec} \sim 2\text{ cm/sec}$ の速度で進行している。水路勾配 5° と 10° においては、平均値は、 $0.5\text{ cm/sec} \sim 1.0\text{ cm/sec}$ 程度であり、流量、ダム形状に関わらず大きな差異は認められない。水路勾配 20° では、平均値は、 $1.0\text{ cm/sec} \sim 3.0\text{ cm/sec}$ と顕著に速くなる。

(3) 流出土砂濃度

水路下流端において、流出土砂量を計測し、時間と土砂濃度（流出土砂量 cm^3 /全流出量 cm^3 ）の関係を得た。図-2.35～2.37に結果を示す。

(4) 最大流量

流量の時間変化を図-2.38と図-2.39に示す。 $1,000\text{ cc/sec}$ の給水に対して最大流量は2.7倍に達している。天然ダムが小規模なほど最大流量は大きくなる。河床勾配による差はみられない。 $1,800\text{ cc/sec}$ を与えた場合、最大は1.7倍である。供給流量が小さいほど倍率は大きくなると考えられる。

（図-2.40）

表-2.3 透水性が悪い場合の崩壊速度

CASE	崩 壊 速 度 (cm/sec)					
	第 1 回	第 2 回	第 3 回	第 4 回	第 5 回	平 均
予備実験-3	16 0.63	14 0.71	21 0.48	21 0.48	8 1.25	0.71
予備実験-4	27 0.37	16 0.63	19 0.53	21 0.48	13 0.38	0.48
予備実験-5	19 0.53	21 0.48	19 0.53	5 2.00	9 1.11	0.93
CASE-1	19 0.53	11 0.91	6 1.67	20 0.50	20 0.50	0.82
CASE-2	26 0.58	19 0.79	22 0.68	19 0.79	16 0.94	0.76
CASE-3	24 0.42	23 0.43	64 0.94	31 0.65	15 0.67	0.62
CASE-4	13 0.77	14 0.71	29 0.34	16 0.63	22 0.45	0.58
CASE-5	24 0.63	17 0.88	29 0.52	31 0.48	26 0.58	0.62
CASE-6	33 0.60	37 0.54	30 0.67	16 1.35	35 0.57	0.73
CASE-7	15 0.67	16 0.63	24 0.42	20 1.00	8 1.25	0.79
CASE-8	26 0.58	26 0.58	29 0.52	23 0.65	26 0.58	0.58
CASE-9	47 0.43	32 0.63	41 0.49	18 1.11	21 0.95	0.72
CASE-10	13 0.77	19 0.53	21 0.48	8 1.25	12 0.83	0.77
CASE-11	29 0.52	31 0.83	16 1.81			1.05
CASE-12	41 0.49	34 0.97	17 2.24			1.23
CASE-13	19 0.53	14 0.71	11 1.09	10 2.00		1.08
CASE-14	25 0.40	15 0.67	17 2.12	12 1.25		1.11
CASE-15	29 0.34	16 1.25	8 2.25	15 3.13		1.74
CASE-16	20 0.50	18 0.56	9 -	2 8.00		3.02
CASE-17	38 0.39	5 4.00	10 3.70			3.70
CASE-18	26 0.0	17 1.65	10 5.30			2.32

注) 上段は崩壊時間 (sec), 下段は崩壊速度 (cm/sec)

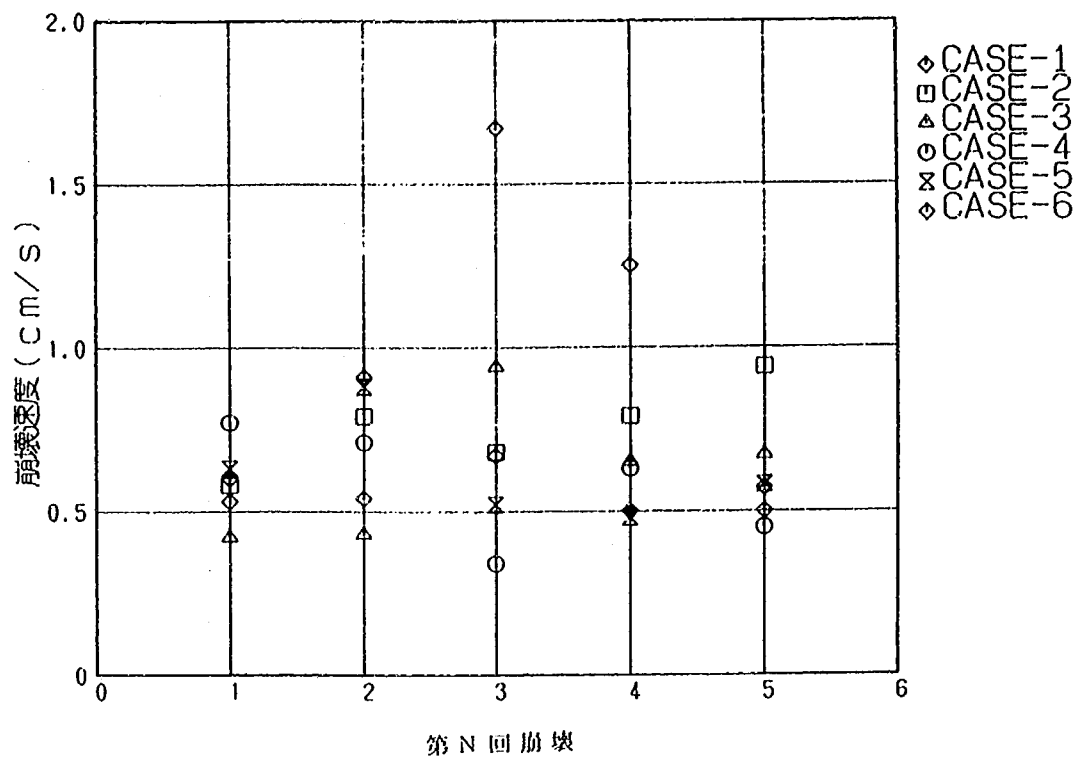


图-2.32 崩塌速度 (水路勾配: 5°)

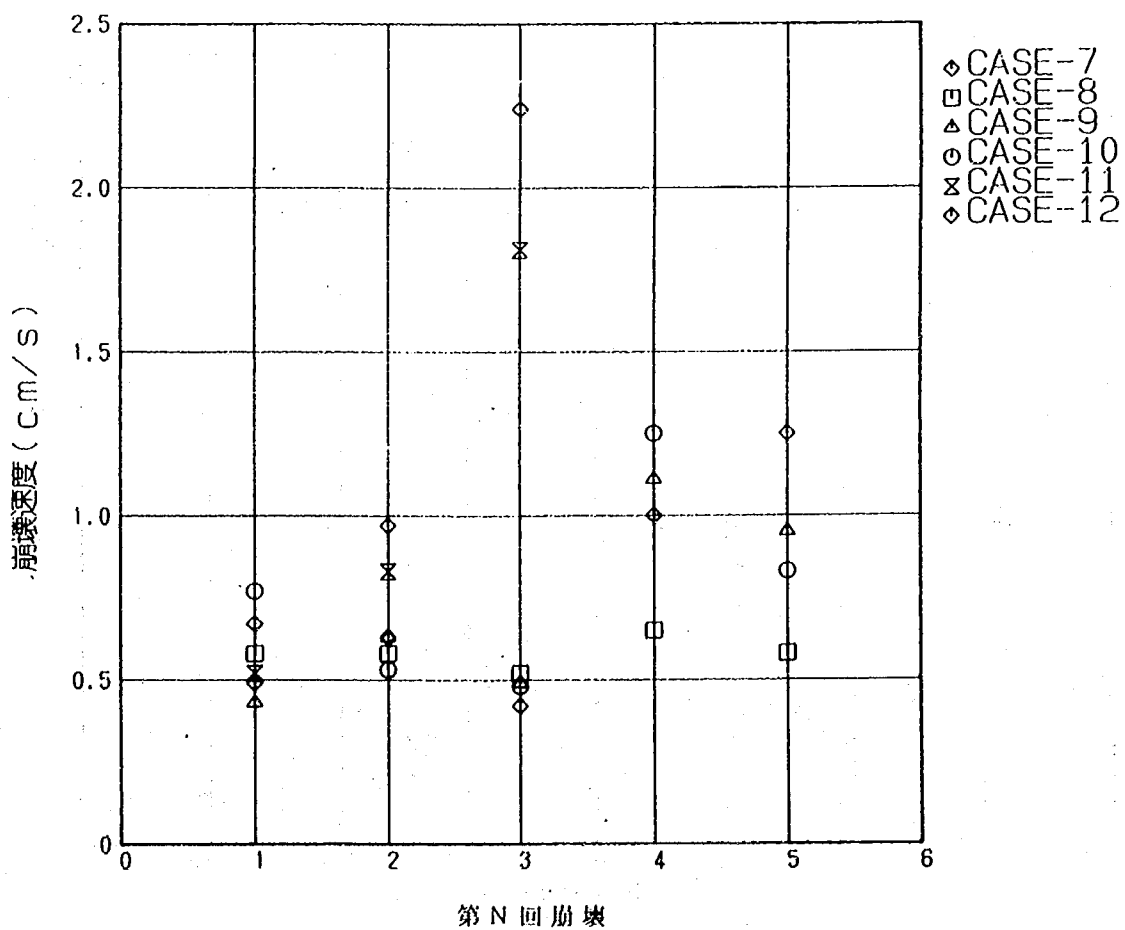


图-2.33 崩塌速度 (水路勾配: 10°)

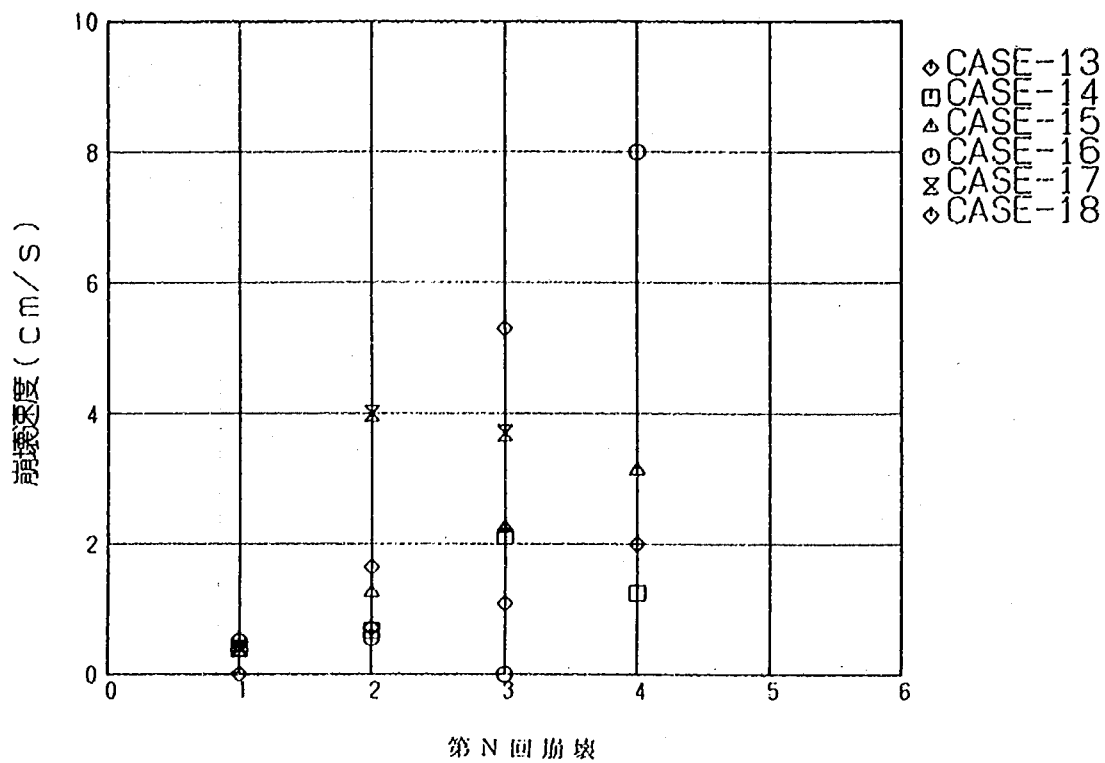


図-2.34 崩壊速度 (水路勾配: 20°)

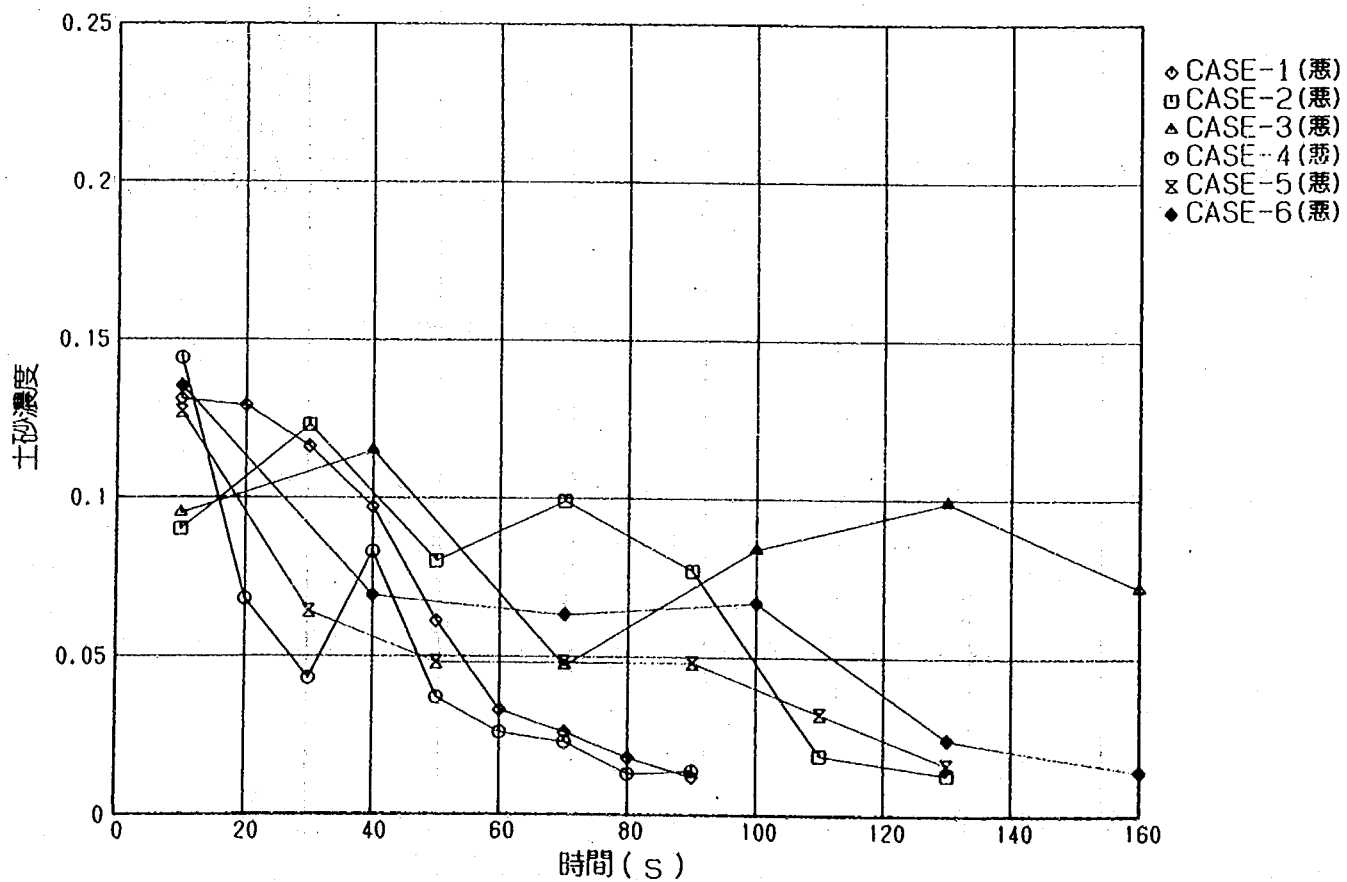


図-2.35 時間と土砂濃度の関係
透水性が悪い場合 (水路勾配: 5°)

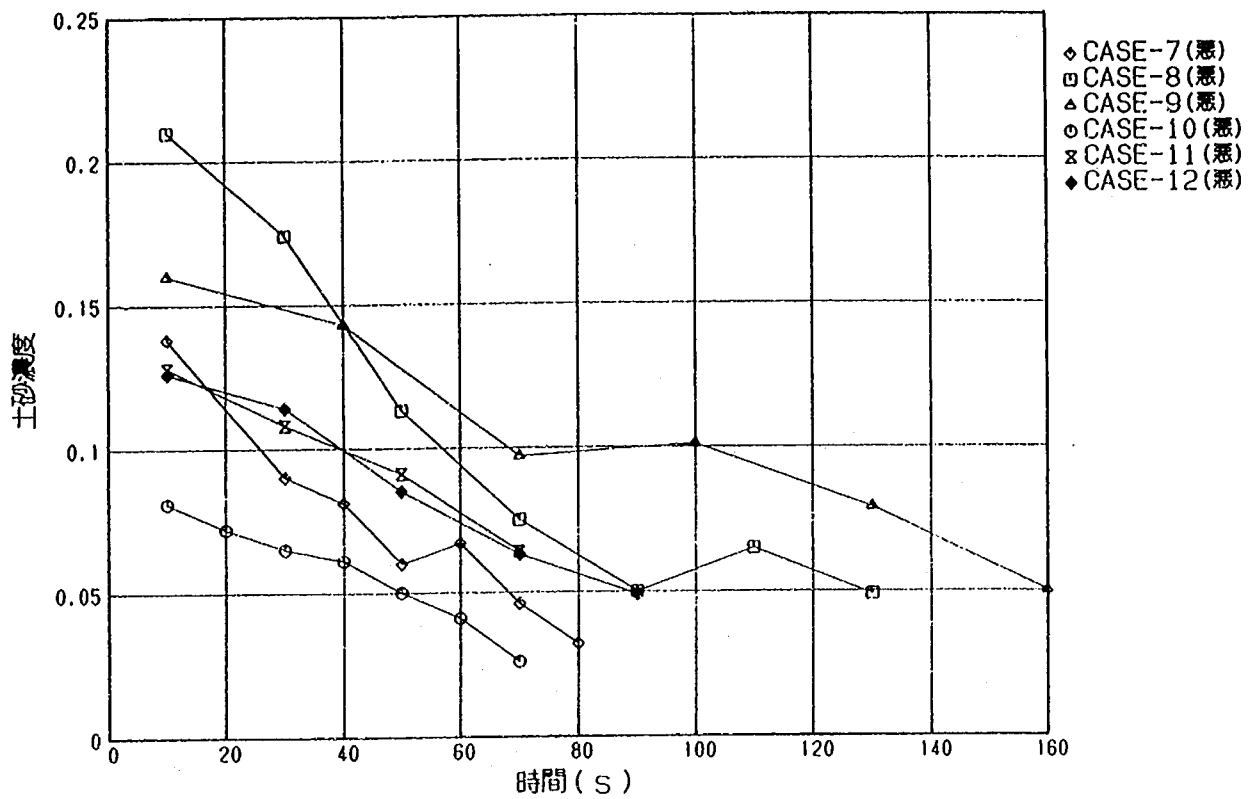


図-2.36 時間と土砂濃度の関係
透水性が悪い場合（水路勾配：10°）

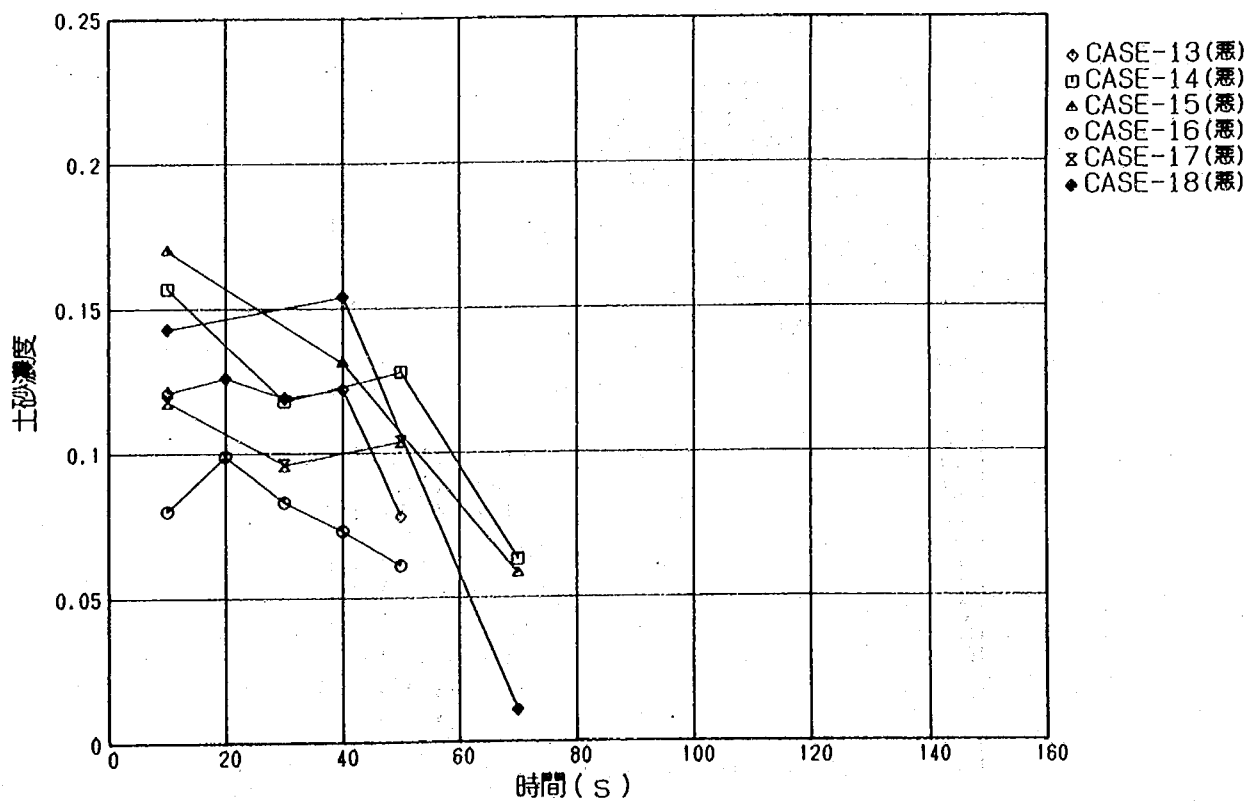


図-2.37 時間と土砂濃度の関係
透水性が悪い場合（水路勾配：20°）

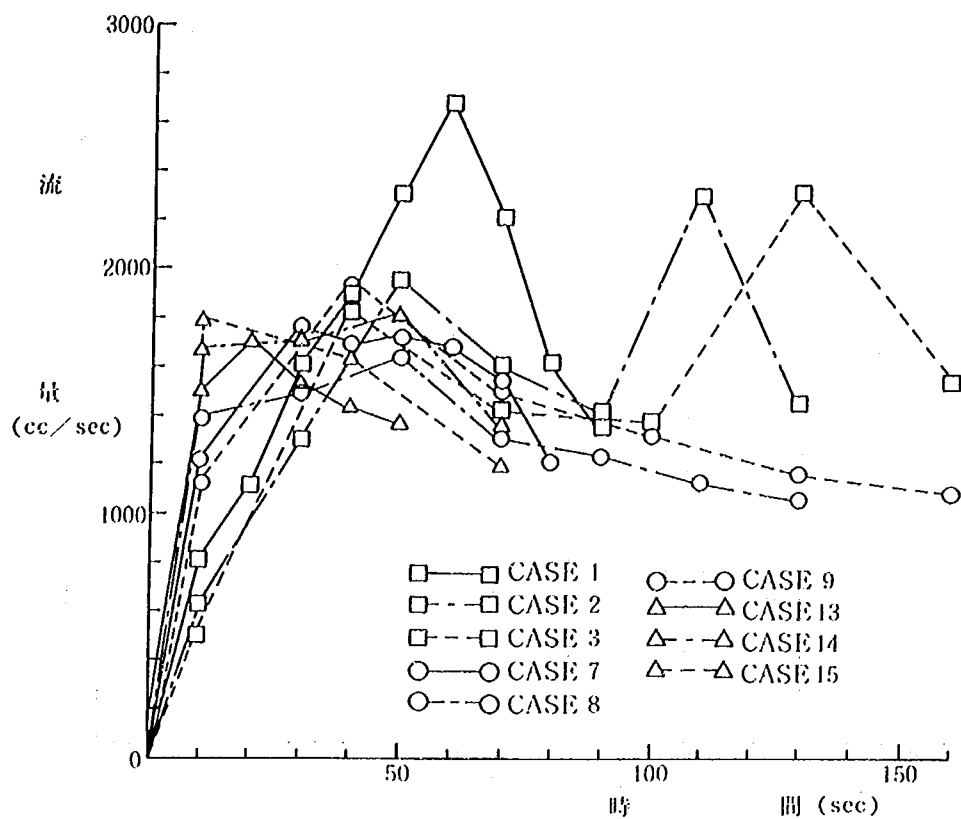


図-2.38 流量の変化 (1000 cc/sec)

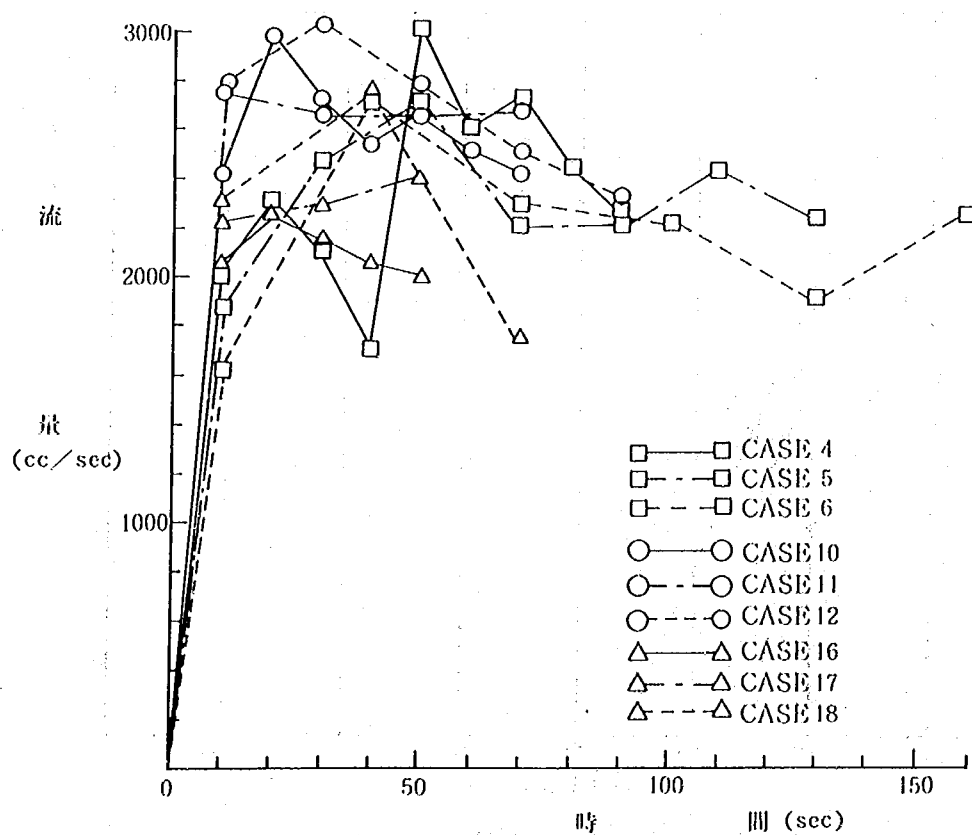


図-2.39 流量の変化 (1800 cc/sec)

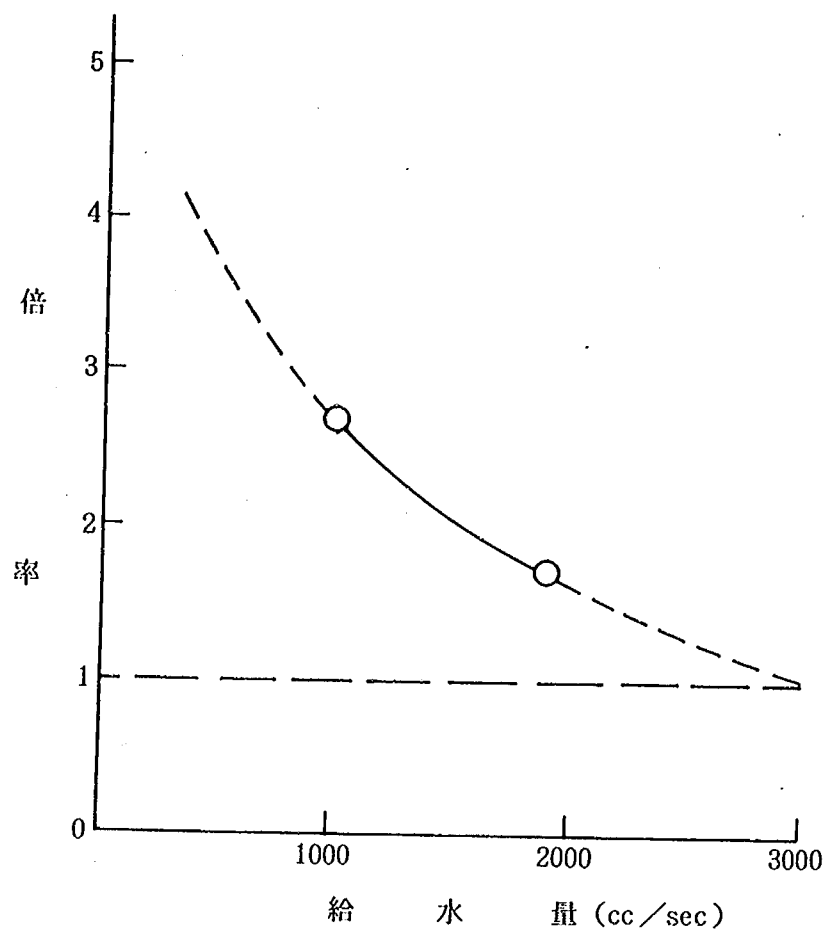


図-2.40 最大流量の概念図

2.3 ま と め

大規模な崩壊が発生して天然ダムが形成されると、その天然ダムが形成された河床の勾配、天然ダムの形状、天然ダムの土質、土量、河川の流量によって、天然ダムが破壊されるかどうか、破壊される場合には、浸透水によるパイピング等によるものか、越水による急激な侵食によるかが決まる。ここでは、浸透水による破壊と越流水による破壊の過程を実験水路内で観察し、今後行う解析の資料を得た。なお、観察を容易にするため越流する場合には大きい流量を与えたが、実際には徐々に越流水量は増加する。また天然ダムの頂部も凹凸があるので水みちを形成して洗掘が進むことになる。

参 考 文 献

- 1) 北沢秋司：長野県西部地震における河道埋塞等の事例，二次災害の予知と対策No 1，(社)全国防災協会，
pp. 33 ～ 62，1986
- 2) 芦田和男：河道埋塞に関する事例研究— 1889年（明治22年）十津川水害について—，二次災害の予知
と対策No 2，(社)全国防災協会，pp. 37 ～ 45，1987
- 3) 武居有恒：昭和28年有田川災害，二次災害の予知と対策，No 2，(社)全国防災協会，pp. 47 ～ 71，
1987
- 4) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室：湾曲部の溪岸侵食と溪岸崩壊に関する基礎実験報告書，土木研究
所資料第2433号，昭和62年2月
- 5) 中部地方建設局河川計画課：天然ダム調査事例集，昭和62年2月
- 6) Landslide dams : Processes, risk and mitigation, Edited by R. L. Schuster, Geotechnical
Special Publication No 3, ASCE, 1986
- 7) 建設省土木研究所：崩土の衝撃力実験（Ⅶ）報告書，昭和62年2月

天然ダムの形成と破壊に関する
基礎的実験報告書

I S S N 0386-5878

土研資料 第2606号

昭和63年2月 (1988)

建設省土木研究所砂防研究室

水山高久, 原義文

福本晃久

要旨 地震または豪雨によって大規模な崩壊が発生し、天然ダムが形成され、これが破壊される時大きな災害を引き起こすことがある。このような災害に対応するための基礎的研究として、天然ダムの形成と破壊について基礎的実験を行った。崩壊土砂の到達距離、堆積形状、天然ダムの破壊形態、破壊過程に関する基礎的情報が得られた。

キーワード：天然ダム、崩壊土砂、実験的研究

郵便はがき

郵便切手
はって下さ
い

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

砂防部砂防研究室

御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2606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2606号