

I S S N 0386—5878

土 研 資 料 第 2034号

土 木 研 究 所 資 料

スリットを有する砂防ダムの水理模型実験報告書

昭 和 59 年 1 月

建設省土木研究所
砂 防 研 究 室

Copyright ©1984 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

は　じ　め　に

北陸地方建設局飯豊山系砂防工事事務所管内では、大規模な土砂流出の頻度が低く、砂防ダムが満砂するまでの間に流木等が水抜き暗渠を閉塞し水質の悪化をひきおこしている。事務所では毎年、流木等の除去作業を実施しているがかなり高い水圧のかかった閉塞物を取り除くことは容易ではない。そこで大きな水抜きまたはスリットを砂防ダムに設けて流木がひっかからないようにするという案が考え出された。この種の大暗渠を有する砂防ダムは昭和20年代後半から数ヶ所に施工されたことがある。それらは平時の無害の土砂は下流に流出させ、大きな礫を含む大規模な土砂流出時にはこれが閉塞して土砂を堆積させることを期待したものである。それらの多くは、機能や問題点が十分追跡調査されることが無く、流木の閉塞や土砂の噴出事故の恐れがあって暗渠部が埋められてしまったものもある。スリットを有する砂防ダムには過去に期待されたような積極的な土砂調節効果が期待できるのでこれも評価したい。そこで現地に計画されている砂防ダムの模型を製作して実験的に検討することにした。検討した項目はスリットから流出する水の流況、スリットに流木のひっかかる程度、堆砂過程、強制的に暗渠を閉塞した後の排砂過程および洪水波形を与えた時の土砂調節効果である。コンクリート砂防ダムの中央部にスリットを有する砂防ダムはヨーロッパアルプス周辺に多くの事例があるようで特に構造上の問題は無いと考えられるが、本実験では構造力学的な検討は加えていないことを付記しておく。

昭和 59 年 1 月

建設省土木研究所砂防部砂防研究室

主任研究員	水	山	高	久
技 官	下	東	久	巳

目 次

は じ め に

1. 実 験 内 容	1
1. 1 実験の目的	1
1. 2 実験条件	1
1. 3 実験ケース	5
2. 実 験 結 果	10
2. 1 流況の実験	10
2. 2 流木の実験	26
2. 3 土砂動態に関する実験	31
3. ま と め	66

1. 実験内容

1.1 実験の目的

土砂流出頻度の低い流域では不透過型のコンクリート砂防ダムでは、その水抜暗渠が流木によって閉塞し、無害な砂粒土砂が堆積し、滞留した水が腐る等の害が発生することもある。

そこで、砂防ダムの水抜暗渠を大きくして流木等がひっかからないようにする事が考えられる。しかし、水抜暗渠が大きくなると、大きな土砂流出の際、土砂が十分捕捉されないことや、一時的に暗渠が閉塞しこれが偶然抜けると、多量の水と土砂が下流に流出し災害をひき起こすことが懸念される。

そこで、大暗渠の一型式として溝（スリット）をコンクリート製砂防ダムに設けた場合の

- (1) 流況（特に、ダム下流部の流れ）
- (2) 流木（流木によるスリットの閉塞）
- (3) 土砂動態

(3)－1 堆砂過程

(3)－2 強制満砂後の土砂の流出過程

(3)－3 土砂調節効果

に関する実験を行い、スリットの形状（幅）に対する検討を行った。

1.2 実験条件

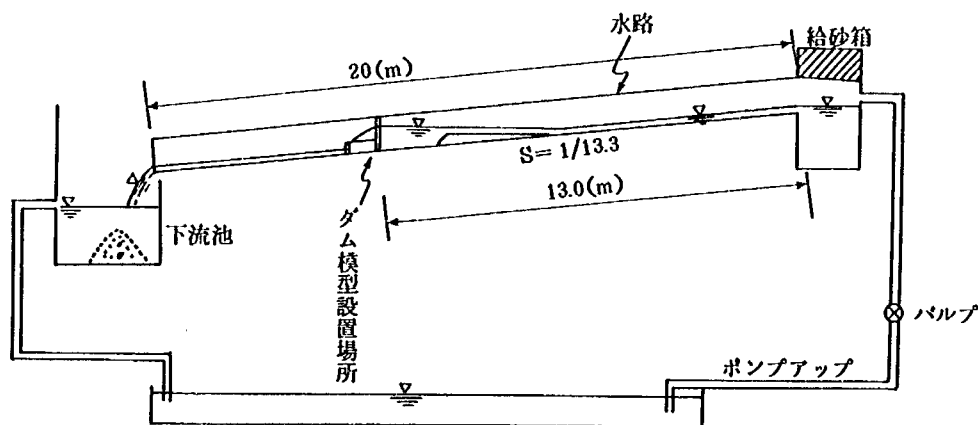
1.2.1 水路条件

実験は、図－1.2.1の建設省土木研究所水理実験共同棟内急勾配実験水路で実施した。

その諸元は、

水路幅	1.5 (m)
水路長	20.0 (m)
水路勾配	1/13.3

である。



図－1.2.1 使用実験水路の概略図

1. 2. 2 スリットダムの模型

スリットダムの模型は、図－ 1. 2. 2 , 図－ 1. 2. 3 の通りである。

1. 2. 3 流 量

基準となる流量は、

- (1) スリット、水抜きにふたをした状態で越流水深が 10 (cm) となる 29 (ℓ/s)
- (2) スリット、水抜きにふたをした状態で越流水深が 5 (cm) となる 11 (ℓ/s)

を用いたが、他実験の内容に応じて流量を設定している。

1. 2. 4 河床材料と流木

(1) 河床材料

本実験で使用した河床材料は、現地の粒度分布を 1/20 に縮小した図－ 1. 2. 5 のような最大粒径 20mm , 平均粒径 8.3 mm の混合砂礫である。

(2) 流 木

流木は直径 6 mm および 10mm , 長さ 15 cm および 30 cm の木を用いた。

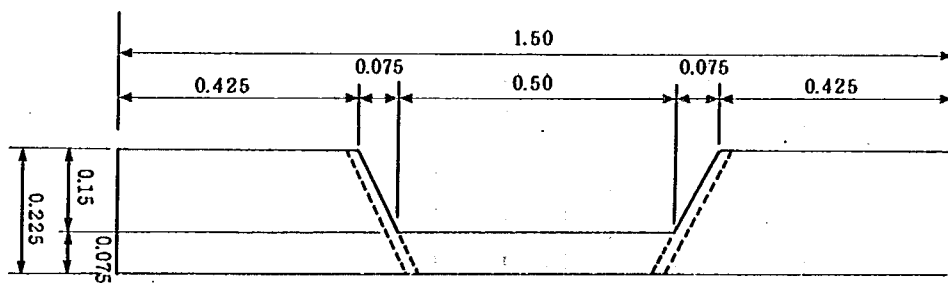
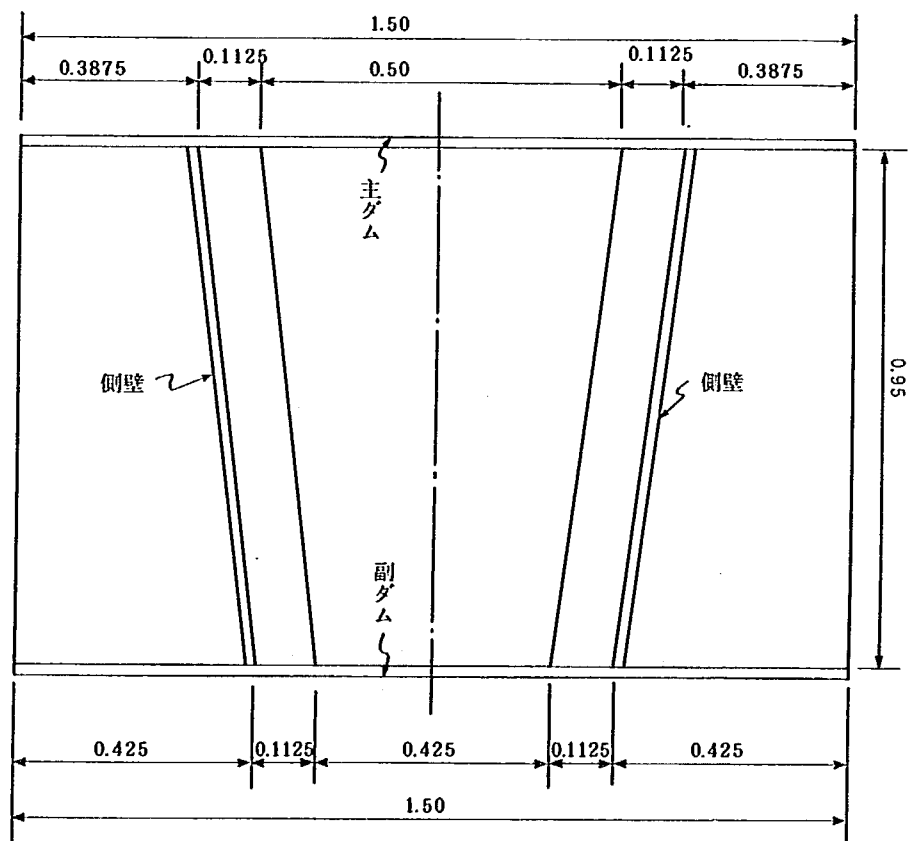
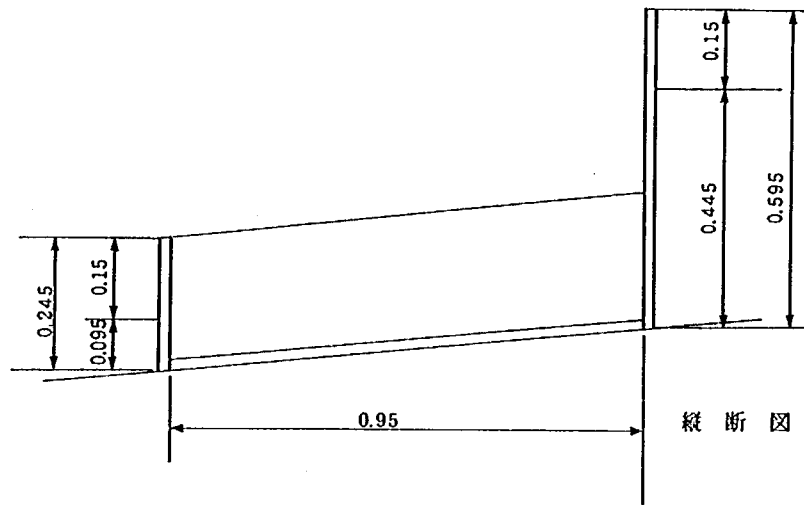
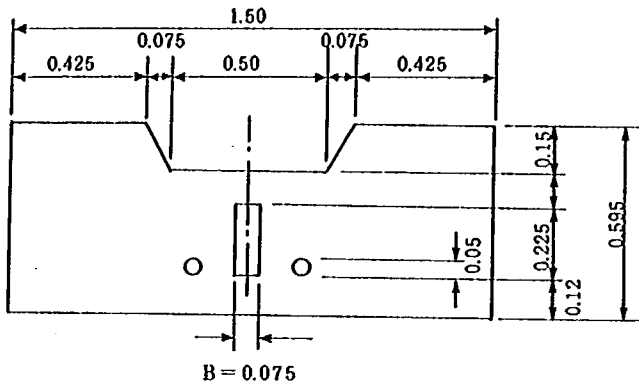
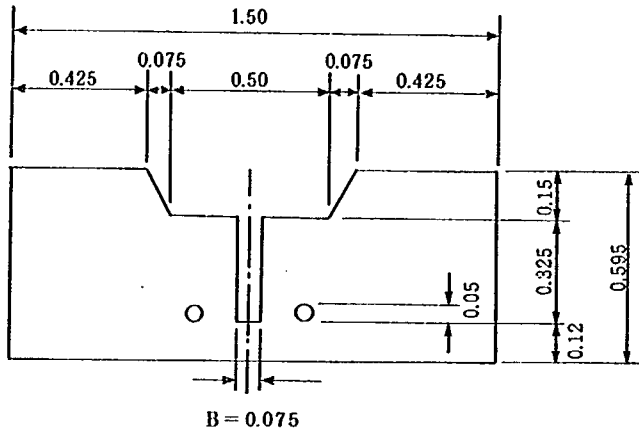


図-1.2.2 スリットダム模型の縦断，平面，副ダム上流面

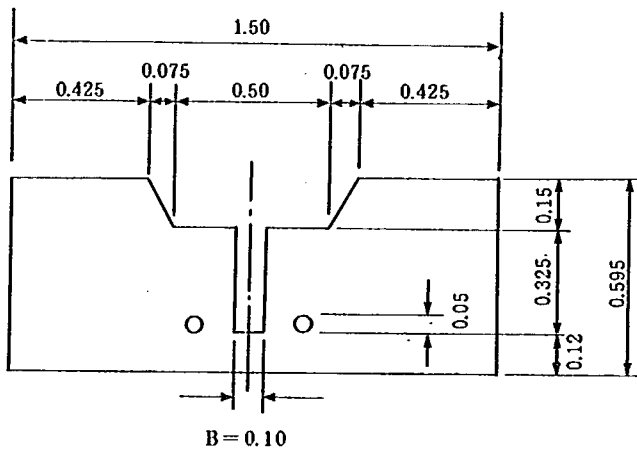


〔略 称〕

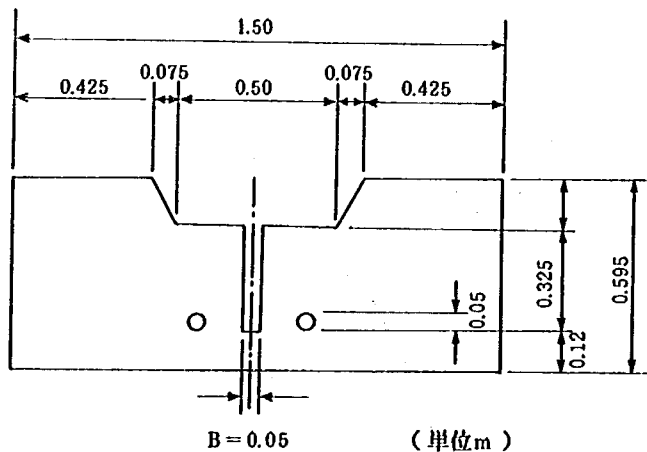
天端接続： $B = 7.5$ (cm)



天端開放： $B = 7.5$ (cm)

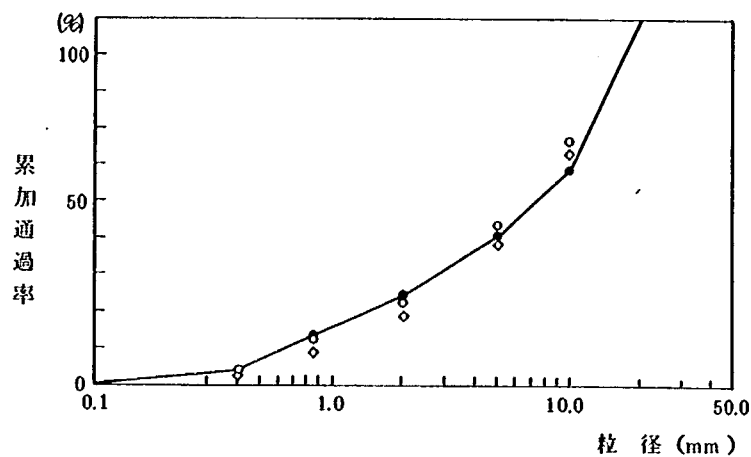


天端開放： $B = 10.0$ (cm)



天端開放： $B = 5.0$ (cm)

図一 1. 2. 3 スリットダム模型の上流面とスリット形状による略称



図－ 1. 2. 4 実験に使用した河床材料

1. 3 実験ケース

1. 3. 1 流 況

1 ケースの実験で行った作業は、以下に示すとおりである。各実験ケースの内容を表－ 1. 3. 1 に示す。

- (1) 写真撮影
- (2) 流況測定

図－ 1. 3. 1 に示した流況の目安となる値を測定した。図中の記号は次の内容を意味する。

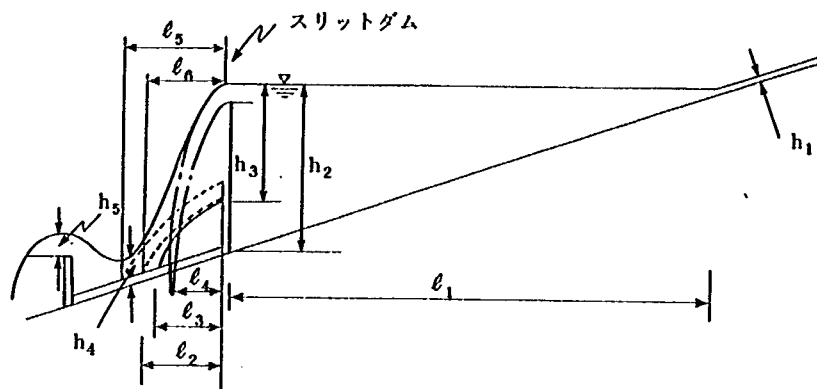
ℓ_1 : 背水域の距離

ℓ_2 : スリットから流出水の到達距離 (下流側)

ℓ_3 : 同 上 (上流側)

表－ 1. 3. 1 流況の実験ケース

ケース・名	スリットダム種別		流 量	備 考
	スリット型	スリット幅		
なし	スリット, 水抜にふた		29 ℓ /s, 11 ℓ /s	
ケース. 1	天端接類	B = 7.5 (cm)	29 ℓ /s	
ケース. 4	同上	B = 7.5	11	
ケース. 7	天端開放	B = 7.5	29	
ケース. 10	同上	B = 7.5	11	
ケース. 13	同上	B = 10.0	29	
ケース. 16	同上	B = 5.0	11	



図－ 1. 3. 1 流況の測定内容

- ℓ_4 越流水の到達距離
- ℓ_5 水抜きからの流出水の到達距離（下流側）
- ℓ_6 同 上 （上流側）
- h_1 射流域の等流水深
- h_2 スリットダムから 0.5 (m) の水位（水位は、スリットダム底を基点とする）
- h_3 スリットダム地点のスリット底からの距離
- h_4 減勢池の水深
- h_5 副ダムの越流水深

(3) 流速分布の測定

流速分布は、水路の中心部を縦断方向に 3 断面測定した。測定はプロペラ流速計によった。

1. 3. 2 流木の実験

流木の実験は、スリットに流木が閉塞するかどうかを主眼に行うので、スリットダム側のパラメータとしては、スリット幅のみが問題となる。

つまり、“天端接続： $B = 7.5$ (cm)” のスリットダムと“天端開放： $B = 7.5$ (cm)” のスリットダムとは、流木に対しては、水理的に同条件と考えることができる。

そこで流木の実験のケース区分は、表－ 1. 3. 2 のようにし、ケース・2，ケース・5，ケース・8，ケース・11 を同一ケースとして実験を行った。

1 ケースに当り行う実験の内容は次のとおりである。

(1) 流 量

流量は次の 3 つを対象とする。

20 (ℓ/s)

11 (ℓ/s)

6 (ℓ/s)

(2) 流木の投下

流木の投下は、上記の各流量に対して下記の通り行った。

- ① $\phi = 6.0(\text{mm})$, $\ell = 15(\text{cm})$ の流木を 20 本ずつバラバラに投下する。
- ② $\phi = 10.0(\text{mm})$, $\ell = 15(\text{cm})$ の流木を 同 上
- ③ $\phi = 6.0(\text{mm})$, $\ell = 30(\text{cm})$ の流木を 同 上
- ④ $\phi = 10.0(\text{mm})$, $\ell = 30(\text{cm})$ の流木を 同 上
- ⑤ $\phi = 6.0(\text{mm})$, $\ell = 15(\text{cm})$ の流木を 10 本ずつまとめて 2 回 (計 20 本) 投下する。
- ⑥ $\phi = 10.0(\text{mm})$, $\ell = 15(\text{cm})$ の流木を 同 上
- ⑦ $\phi = 6.0(\text{mm})$, $\ell = 30(\text{cm})$ の流木を 同 上
- ⑧ $\phi = 10.0(\text{mm})$, $\ell = 30(\text{cm})$ の流木を 同 上

表-1.3.2 流木の実験

スリット幅	ケース・名	投下のべ流木本数		
		20 ℓ/s	11 ℓ/s	6 ℓ/s
7.5	ケース・2, ケース・5 ケース・8, ケース・11	160 本	160 本	160 本
10.0	ケース・14	160 本	160 本	160 本
5.0	ケース・17	160 本	160 本	160 本

1.3.3 土砂動態に関する実験

土砂動態に関する実験の目的は次の 3 点である。

- ① スリットが閉塞しない状態での堆砂過程をスリットから土砂が流出するまで観察する。
- ② スリットが閉塞した場合を想定して、スリット、水抜きにふたをして強制的に満砂させ、スリットのふたをとり、無給砂で通水して土砂のスリットからの流出状況 (排砂状況) を観察する。
- ③ ハイドログラフを想定し、土砂の貯留過程 (堆砂過程) 及びスリットからの土砂の流出状況を観察、測定し、スリットダム of 土砂調節効果について検討する。

表-1.3.3 に土砂動態に関する実験ケースの分類を示した。各ケースごと "段階" という作業上の区分を設けているのは、

- 河床高 (堆砂形状) の変化の中途段階を測定するのに通水中では、河床が時間的に変化するため、測定 (測定に 20 分 ~ 30 分を要する) ができず、水を止めて測定する必要がある。
- 給砂箱の容量が約 1 (m^3) 程度で、給砂箱に砂を上げるのに 20 分 ~ 30 分を要する。
- また、通水中では河床形状を水の反射 p にごりのため、写真にとらえられない。

等の理由により、通水 → 止水 → 測定の一連の作業を 1 "段階" としている。

表－1.3.3 に示したケース・3，ケース・6～ケース・18 の段階(1)から段階(3)の実験は，①の内容を目的としており，段階(4)～段階(5)の実験及びケース・20，ケース・21 の実験は②の内容を目的としている。

また，ケース・19 の実験は③の内容を目的としたものである。

②及び③の実験では，スリットからの流出流砂量を減勢池下流で網で受けることにより測定した。また，②で行った排砂状況の実験において，スリットのふたをとった直後の土砂の流出量を測定した。ふたをとった直後減勢池に土砂が堆積するが，その分は上記の流出流砂量に含まれないので，注意が必要である。

表-1.3.3 土砂動態の実験ケースと内容

ケース・名	スリット型 スリット幅	段階	流 量 (ℓ/s)	通水時間 (分)	実 験 内 容
ケース・3	天 端 接 続 $B = 7.5$ (cm)	(1)	29	15	堆 砂 過 程
		(2)	↓	15	
		(3)	↓	27	
		(4)	↓	約 60	排 砂 状 況
		(5)	↓	45	
ケース・6	天 端 接 続 $B = 7.5$ (cm)	(1)	11	25	堆 砂 過 程
		(2)	↓	35	
		(3)	↓	15	
		(4)	約 30	約 60	排 砂 状 況
		(5)	11	45	
ケース・9	天 端 開 放 $B = 7.5$ (cm)	(1)	29	15	堆 砂 状 況
		(2)	↓	15	
		(3)	↓	17	
		(4)	↓	約 60	排 砂 状 況
		(5)	↓	45	
ケース・12	天 端 開 放 $B = 7.5$ (cm)	(1)	11	25	堆 砂 過 程
		(2)	↓	35	
		(3)	↓	16	
		(4)	↓	約 60	排 砂 状 況
		(5)	11	45	
ケース・15	天 端 開 放 $B = 10.0$ (cm)	(1)	29	15	堆 砂 過 程
		(2)	↓	15	
		(3)	↓	11	
		(4)	約 30	約 60	排 砂 状 況
		(5)	11	45	
ケース・18	天 端 開 放 $B = 5.0$ (cm)	(1)	29	15	堆 砂 過 程
		(2)	↓	15	
		(3)	↓	26	
		(4)	約 30	約 60	排 砂 状 況
		(5)	11	45	
ケース・19	天 端 開 放 $B = 7.5$ (cm)	(1)	11	30	ハイドログラフに対す る土砂の貯留過程, ス リットからの土砂の流 出状況
		(2)	20	20	
		(3)	29	10	
		(4)	29	10	
		(5)	20	45	
		(6)	11	60	
ケース・20	天 端 開 放 $B = 10.0$ (cm)	(1)	約 30	約 60	排 砂 状 況
		(2)	29	45	
ケース・21	天 端 開 放 $B = 10.0$ (cm)	(1)	約 30	約 60	排 砂 状 況
		(2)	15	45	

2. 実験結果

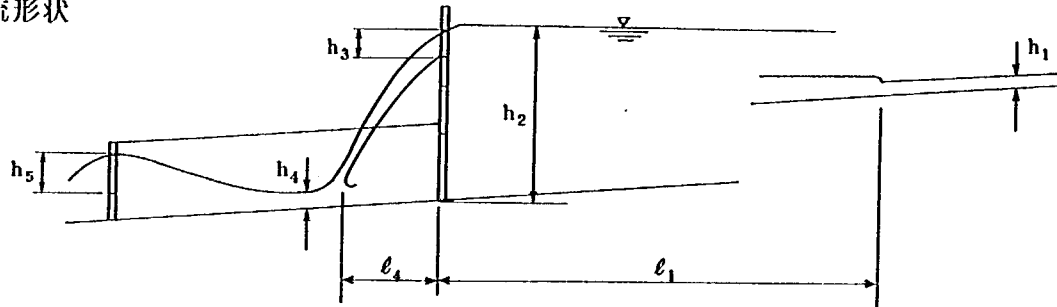
2.1 流況の実験

2.1.1 砂防ダム上・下流の流況

(1) スリット、水抜きのない場合

(1.1) スリット、水抜きがない状態で越流水経が 10(cm) となる流量 29 ℓ/s を流下させた時の水流形状及び流速分戸を図-2.1.1 に示す。

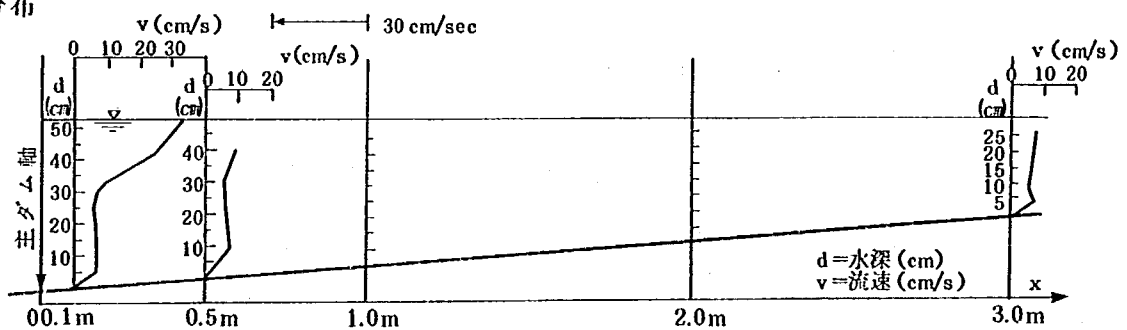
水流形状



スリット	Q ℓ/s	水流形状 (cm)										
		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	ℓ_1	ℓ_2	ℓ_3	ℓ_4	ℓ_5	ℓ_6
閉	29	12	54.5	8.0 8.5	13	右 5~10 左 11~15	中央 620 両側 650	—	—	30	—	—

減勢池の跳水状況 自ら水しぶきとなり副ダム下流へ放出される。

流速分布

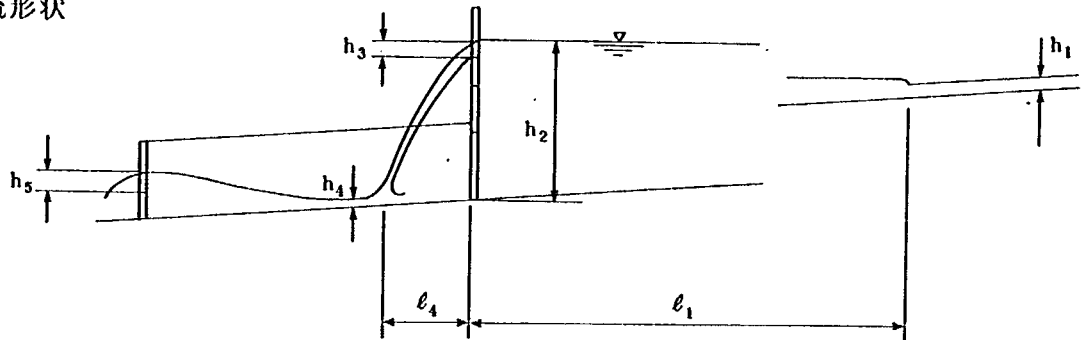


底面からの高さ (cm)	x = 0.1 m	x = 0.5 m	x = 1.0 m	x = 2.0 m	x = 3.0 m
5	6.14	7.80			5.95
10	7.55	6.01			5.76
15	7.92	5.09			6.10
20	7.57	9.25			6.61
25	6.71				8.75
30	9.68				
35	13.39				
40	25.62				
45	33.88				
50					

図-2.1.1 スリット、水抜きがない状態で $Q=29 \ell/s$ の流況

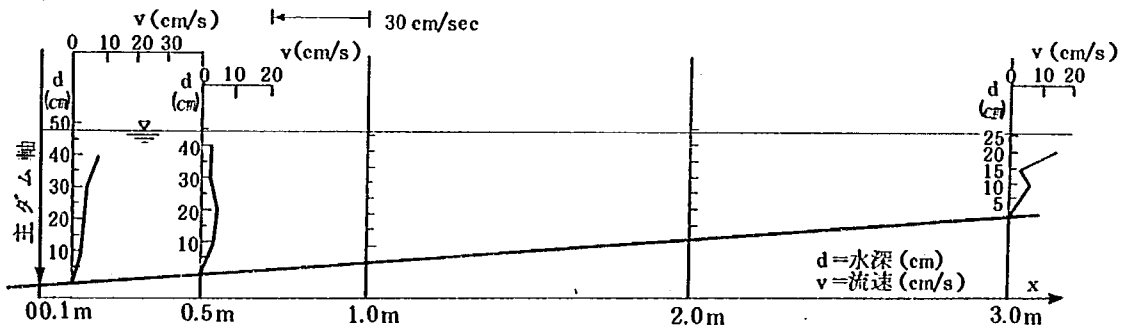
(1.2) スリット，水抜きがない状態で越流水深が5 (cm) となる流量 11 (ℓ/s) を流下させた時の水面形状及び流速分布を図- 2. 1. 2 に示す。

水流形状



スリット	Q ℓ/s	水 流 形 状 (cm)										
		h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	ℓ ₁	ℓ ₂	ℓ ₃	ℓ ₄	ℓ ₅	ℓ ₆
閉	11	0.7 ℓ 0.8	49.5	4.0 ℓ 4.5	1.0	5 ℓ 6	中央 610 ℓ 両側 630	—	—	25	—	—
減勢池の跳水状況		不完全な跳水										

流速分布



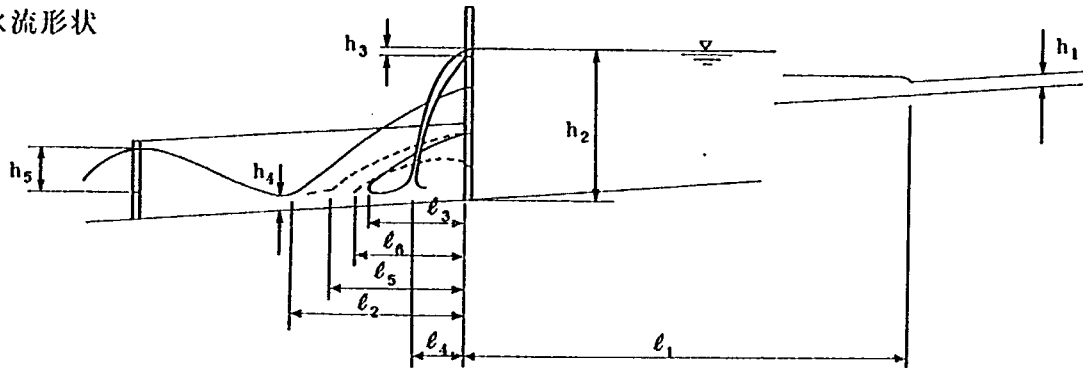
底面からの高さ (cm)	x = 0.1 m	x = 0.5 m	x = 1.0 m	x = 2.0 m	x = 3.0 m
5					4.12
10	2.50	4.30			6.15
15					2.83
20	3.89	5.09			1.47
25					
30	4.56	3.15			
35					
40	8.45	3.59			
45					
50					

図- 2. 1. 2 スリット・水抜きがない状態で $Q = 11 \ell/s$ 時の流況

(2) 天端接続でスリット幅 $B = 7.5 \text{ (cm)}$ のスリットダム

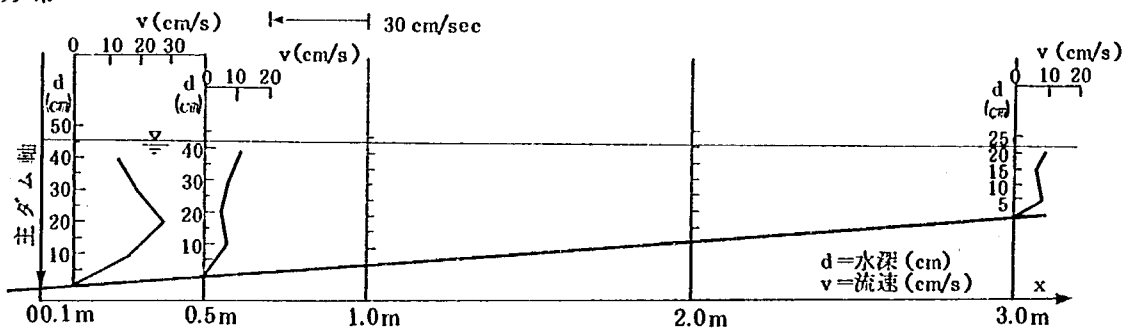
(2.1) 流量 29 l/s を流した時の水流形状及び流速分布について図-2.1, 3 に示す。

水流形状



スリット	Q ℓ/s	水 流 形 状 (cm)										
		h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	ℓ ₁	ℓ ₂	ℓ ₃	ℓ ₄	ℓ ₅	ℓ ₆
A 型 B=7.5 cm	29	1.2	47.3	2.3	3 1 5	右 6~10 左 11~14	520 1 540	50	30	15	40 1 45	35
減勢池の跳水状況		白い水しぶきとなり副ダム下流へ放出される。										

流速分布

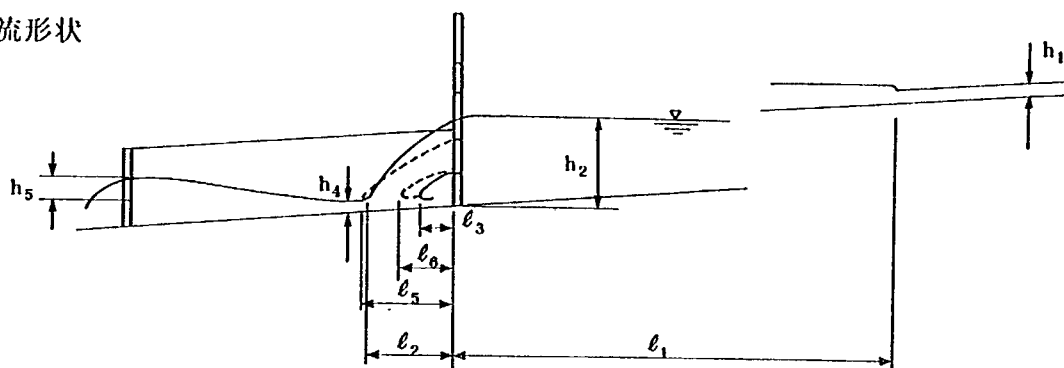


底面からの高さ (cm)	$x = 0.1 \text{ m}$	$x = 0.5 \text{ m}$	$x = 1.0 \text{ m}$	$x = 2.0 \text{ m}$	$x = 3.0 \text{ m}$
5	(cm/s)				8.19
10	16.4	6.54			7.22
15					6.92
20	28.1	5.30			9.54
25					
30	19.5	7.80			
35					
40	13.4	11.84			
45					
50					

図-2.1.3 天端接続で $B = 7.5 \text{ cm}$ のスリットダムの流況 $Q = 29 \text{ l/s}$

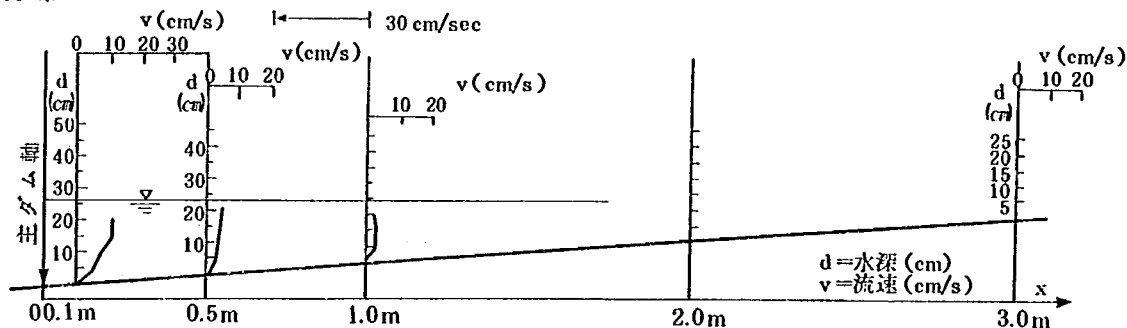
(2.2) 流量が 11 l/s の時の水流形状及び流速分布を図-2.1.4に示す。

水流形状



スリット	Q ℓ/s	水流形状 (cm)										
		h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	ℓ ₁	ℓ ₂	ℓ ₃	ℓ ₄	ℓ ₅	ℓ ₆
A 型 B=7.5 cm	11	0.7 0.8	28.9	—	1.4	右 4.0 左 6.0	320	25	10	—	26	18
減勢池の跳水状況		完全跳水										

流速分布



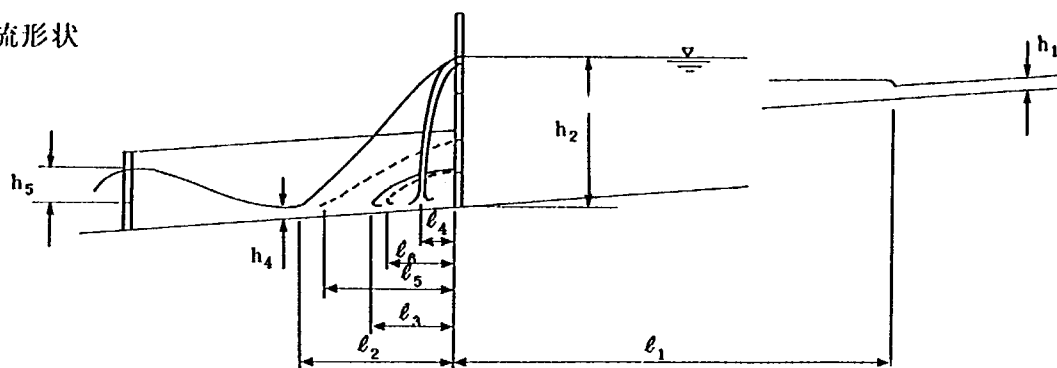
底面からの高さ (cm)	x = 0.1 m	x = 0.5 m	x = 1.0 m	x = 2.0 m	x = 3.0 m
5	5.48	2.62	2.88		
10	8.10	3.44	2.68		
15	11.13	3.89	2.85		
20	11.13	4.92			
25					
30					
35					
40					
45					
50					

図-2.1.4. 天端接続で $B=7.5 \text{ (cm)}$ のスリットダムの流況 $Q=11 \text{ l/s}$

(3) 天端開放でスリット幅 $B=7.5$ (cm) のスリットダムの流況

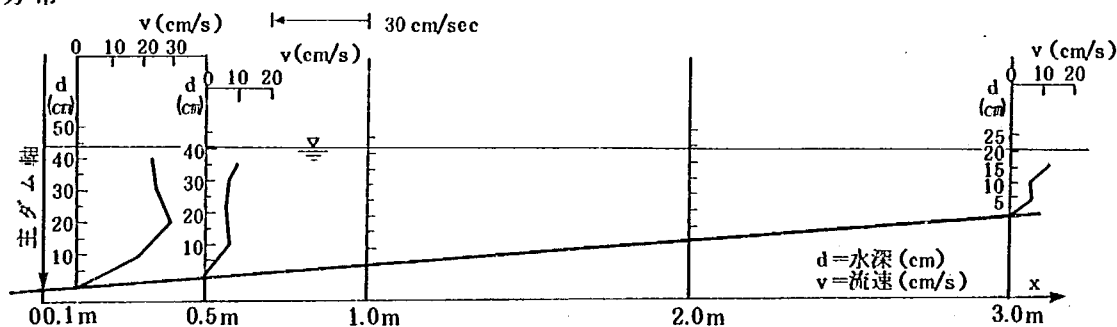
(3.1) 流量 $29 \ell/s$ を流した時の水流形状及び流速分布について図-2.1.5 に示す。

水流形状



スリット	Q ℓ/s	水流形状 (cm)										
		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	ℓ_1	ℓ_2	ℓ_3	ℓ_4	ℓ_5	ℓ_6
B 型 $B=7.5$ cm	29	1.2	45.6	0.9	3.0	右 8~10 左 9~11	490 520	1.5	2.5	1.0	4.0	2.2
減勢池の跳水状況		白い水しぶきとなり副ダム下流へ放出される。										

流速分布

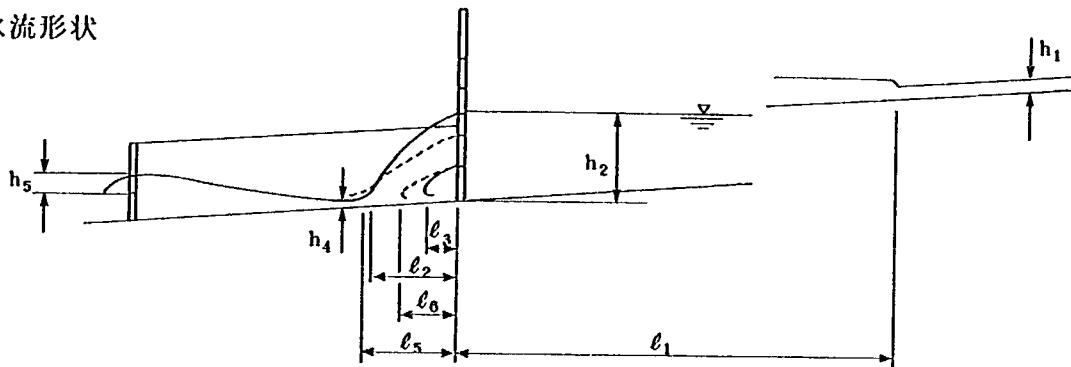


底面からの高さ (cm)	$x = 0.1$ m	$x = 0.5$ m	$x = 1.0$ m	$x = 2.0$ m	$x = 3.0$ m
5					6.33
10	18.44	7.10			5.80
15					11.93
20	28.25	6.10			
25					
30	23.78	7.48			
35		9.99			
40	22.30				
45					
50					

図-2.1.5 天端開放で $B=7.5$ (cm) のスリットダムの流況 $Q=29 \ell/s$

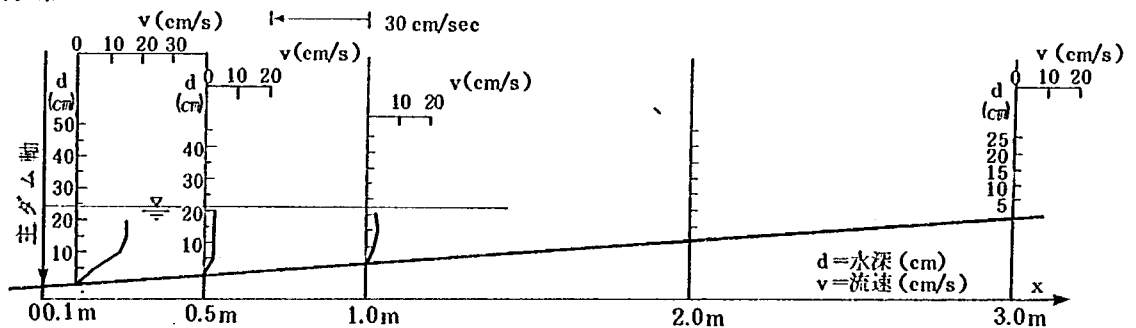
(3.2) 流量 $11 \ell/s$ の時の水流形状及び流速分布について図-2.1.6 に示す。

水流形状



スリット	Q ℓ/s	水流形状 (cm)										
		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	ℓ_1	ℓ_2	ℓ_3	ℓ_4	ℓ_5	ℓ_6
B 型 B=7.5 cm	11	0.7 0.8	28.1	—	1.4	右 4.0 左 6.0	—	25	10	—	26	18
減勢池の跳水状況		完全跳水										

流速分布



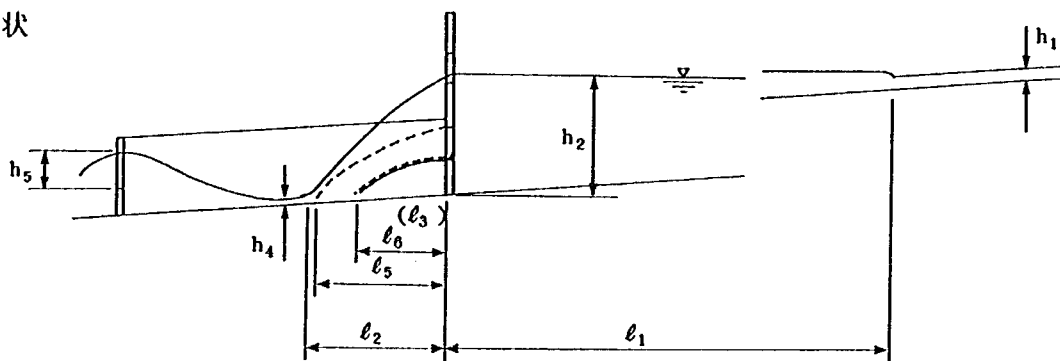
底面からの高さ (cm)	x = 0.1 m	x = 0.5 m	x = 1.0 m	x = 2.0 m	x = 3.0 m
5	5.62	2.47	2.14		
10	13.90	2.83	3.26		
15	16.09	2.29	2.41		
20	15.70	2.85			
25	(cm/s)				
30					
35					
40					
45					
50					

図-2.1.6 天端開放で B=7.5 (cm) のスリットダムの流況 $Q=11 \ell/s$

(4) 天端開放でスリット幅が10(cm)のスリットダムの流況

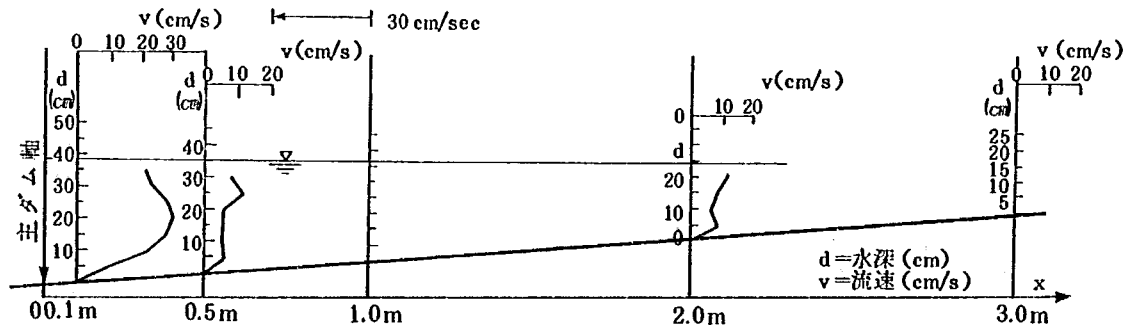
(4.1) 流量29ℓ/sを流した時の水流形状及び流速分布を図-2.1.7に示した。

水流形状



スリット	Q ℓ/s	水流形状 (cm)										
		h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	ℓ ₁	ℓ ₂	ℓ ₃	ℓ ₄	ℓ ₅	ℓ ₆
C 型 B=10.0 cm	29	1.2	40.2	—	2.0 3.0	右 10~11 左 8~9	410 440	40	30	—	35	30
減勢池の跳水状況		不完全な跳水										

流速分布

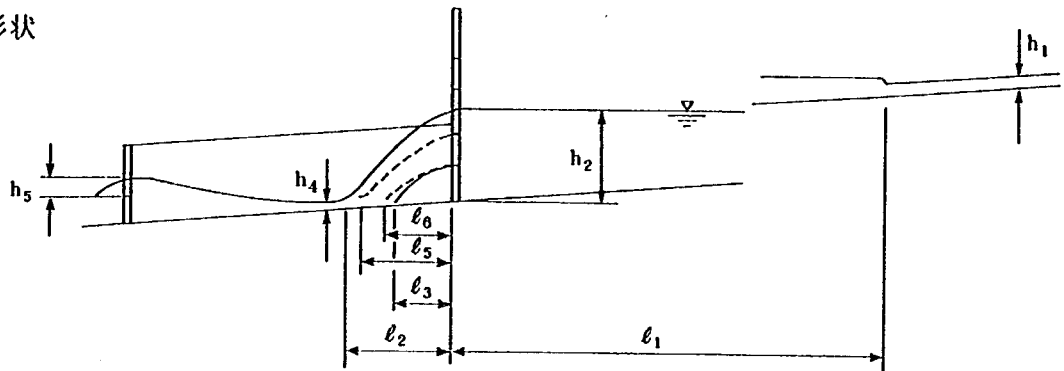


底面からの高さ (cm)	x = 0.1 m	x = 0.5 m	x = 1.0 m	x = 2.0 m	x = 3.0 m
5	9.54	6.10		7.45	
10	22.69	5.06		6.04	
15	29.85	5.33		7.95	
20	30.23	5.98		10.13	
25	28.70	11.22			
30	23.27	8.66			
35	21.21				
40					
45					
50					

図-2.1.7 天端開放でスリット幅が10cmのスリットダムの流況 Q=29ℓ/s

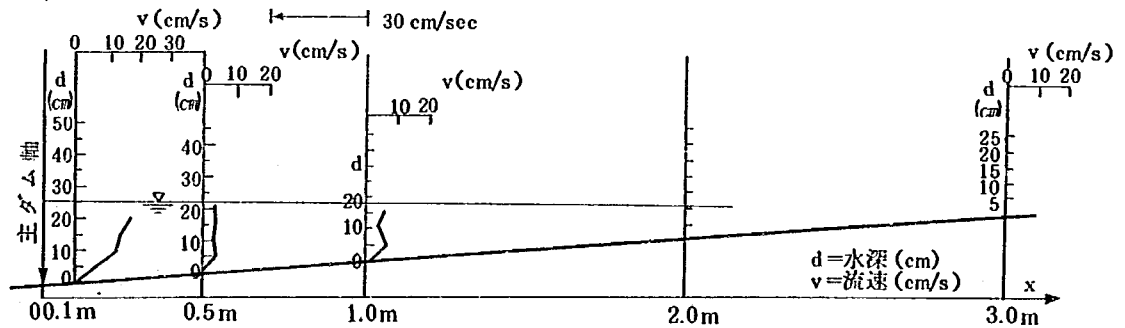
(4.2) 流量が $11 \ell/s$ の場合の水流形状及び流速分布を図-2.1.8に示す。

水流形状



スリット	Q ℓ/s	水 流 形 状 (cm)										
		h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	ℓ ₁	ℓ ₂	ℓ ₃	ℓ ₄	ℓ ₅	ℓ ₆
C 型 B=10.0cm	11	0.7 ℓ 0.8	25.5	—	1.0	4 ℓ 5	300	30	18	—	2.0	20
減勢池の跳水状況		完 全 跳 水										

流速分布



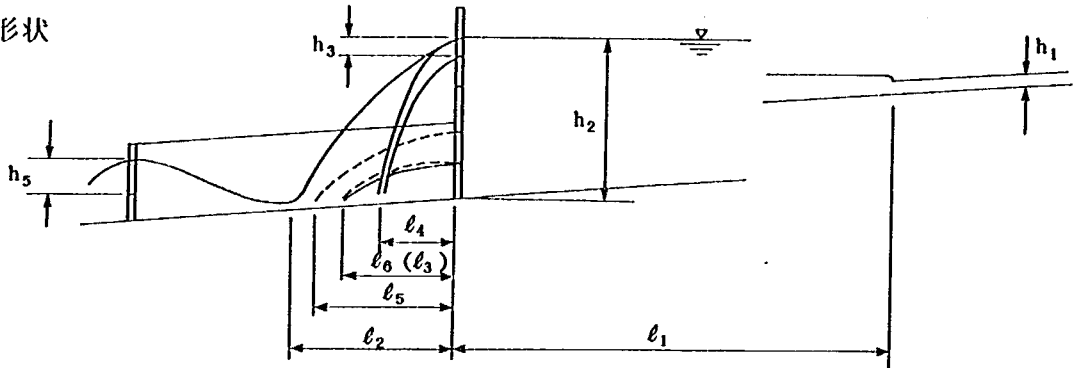
底面からの高さ (cm)	x = 0.1 m	x = 0.5 m	x = 1.0 m	x = 2.0 m	x = 3.0 m
5	6.63	2.56	6.45		
10	17.08	2.47	4.30		
15	14.02	3.24	5.45		
20	16.97	2.68			
25					
30					
35					
40					
45					
50					

図-2.1.8 天端開放でスリット幅が 10 cm のスリットダムの流況 $Q=11 \ell/s$

(5) 天端開放でスリット幅が5 (cm) のスリットダムの流況

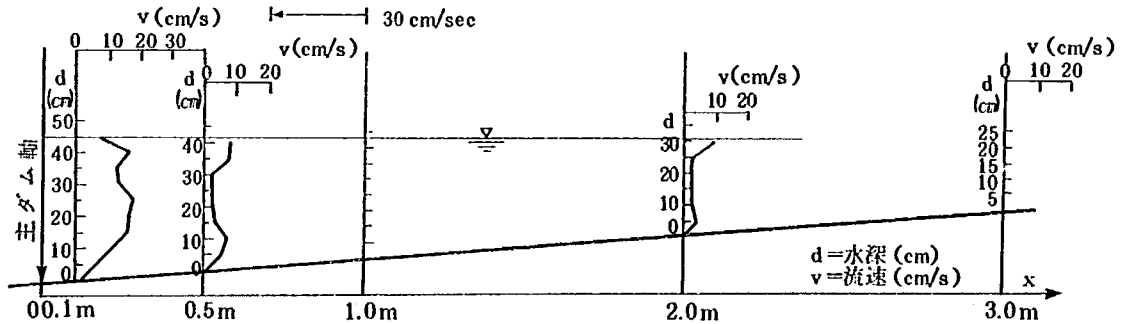
(5.1) 流量 $29 \ell/s$ を流した時の水流形状及び流速分布を図-2.1.9 に示した。

水流形状



スリット	Q ℓ/s	水流形状 (cm)										
		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	ℓ_1	ℓ_2	ℓ_3	ℓ_4	ℓ_5	ℓ_6
D 型 B=5.0 cm	29	1.2	47.9	3.0	4.0	右 10~11 左 9~10	530 540	45	35	20	40	35
減勢池の跳水状況		白い水しぶきとなり副ダム下流へ放出										

流速分布

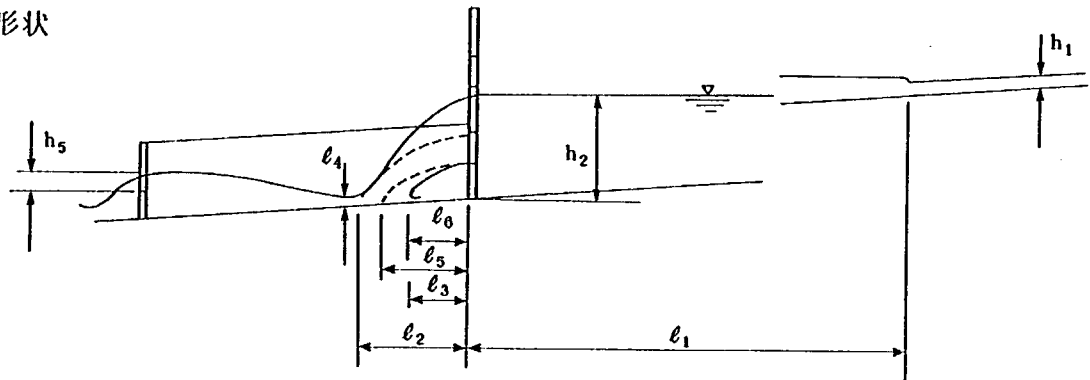


底面からの高さ (cm)	x = 0.1 m	x = 0.5 m	x = 1.0 m	x = 2.0 m	x = 3.0 m
5	6.27	5.65		3.47	
10	10.93	7.27		2.24	
15	16.00	3.11		2.27	
20	16.11	2.0		2.15	
25	17.68	2.0		2	
30	13.23	2.0		9.87	
35	12.64	7.89			
40	16.73	7.66			
45	4.59				
50					

図-2.1.9 天端開放でスリット幅 5.0 cm のスリットダムの流況 $Q=29 \ell/s$

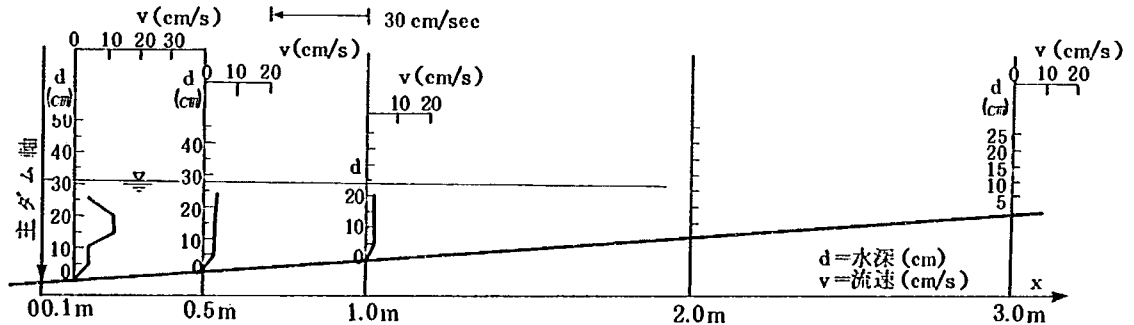
(5.2) 流量が $11 \ell/s$ の場合の水流形状及び流速分布を図-2.1.10に示す。

水流形状



スリット	Q ℓ/s	水流形状 (cm)										
		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6
D 型 B=5.0 cm	11	0.7	32.5	—	2.0	左 5~5.5 右 3.5~4	350 360	30	20	—	30	25
減勢池の跳水状況		完全跳水										

流速分布



底面からの高さ (cm)	x = 0.1 m	x = 0.5 m	x = 1.0 m	x = 2.0 m	x = 3.0 m
5	4.77	3.47	2.15		
10	4.59	3.47	2		
15	12.90	3.09	2		
20	12.25	4.56	2		
25	4.36	4.68			
30					
35					
40					
45					
50					

図-2.1.10 天端開放でスリット幅 5.0 cm のスリットダムの流況 $Q=11 \ell/s$

2. 1. 2 減勢池の流況

水通しからの越流水およびスリットからの放流水の水堀池での減勢状況から下記の結論が得られた。

- ① $Q = 29 \ell/s$ の場合は水堀池における完全跳水は発生していない。すなわち、十分に放流水の減勢が行なわれていない。
- ② $Q = 29 \ell/s$ の場合で、スリットのある場合とスリットの無い場合の減勢状況を観察結果から比較すると、スリット巾 $B = 10 \text{ cm}$ の場合は前者の方が減勢効果大きい。スリット巾 $B = 5 \text{ cm}$ 、 7.5 cm の場合は両者の差が少ない。
- ③ $Q = 29 \ell/s$ の場合でスリットの形状の相異による減勢効果は、スリット巾が広い方が効果大きい。
- ④ ②③の減勢効果の差は測定値（副ダム越流水深放流水脈の最長距離）では明確でない。
- ⑤ $Q = 11 \ell/s$ の場合はスリットの形状に関係なく完全跳水を発生している。

表－2. 1. 1 減 勢 池 の 流 況

ケース No.	実 験 条 件				減 勢 状 況			ダム上 流水位 h_2 (cm)
	スリット の 種 類	スリット の天端 の条件	スリット巾 B (cm)	流 量 Q (ℓ/s)	副ダム越流 水深 h_5 (cm)	水脈の最長 飛 距 離 (cm)	減 勢 の 状 況	
	—	—	—	29	5 ~ 15	30	白い水しぶきとなり放出	54.5
1	A	接 続	7.5	"	6 ~ 14	50	"	47.3
7	B	開 放	"	"	8 ~ 11	45	"	45.6
13	C	"	10	"	8 ~ 11	40	不完全な跳水	40.2
16	D	"	5	"	9 ~ 11	45	白い水しぶきとなり放出	47.9
	—	—	—	11	5 ~ 6	25	不完全な跳水	49.5
4	A	接 続	7.5	"	4 ~ 6	26	完全な跳水	28.9
10	B	開 放	"	"	4 ~ 6	26	"	28.1
13	C	"	10	"	4 ~ 5	30	"	25.5
16	D	"	5	"	3.5 ~ 5.5	30	"	32.5

2. 1. 3 減勢効果に関する考察

(1) 水通し越流水の減勢

実験結果より、 $Q = 29 \ell/s$ の場合には水通しからの越流水は減勢池で完全跳水を発生していない。 $Q = 11 \ell/s$ の場合は不完全ながら跳水を発生していると判断される。ここでは2種の公式による跳水対応水深、跳水距離を求め本実験の結果と比較した。

① 河川砂防技術基準による方法

砂防ダム減勢工の設計に関して河川砂防技術基準では下記の式より水褥池の水深、本副ダム間の距離を求めるものとしている。

$$L \geq \ell_w + X + b_2 \dots\dots\dots (2.1.1)$$

ℓ_w : 水脈飛距離 (m)

$$\ell_w = V_0 \left(\frac{2(H_1 + \frac{1}{2}h_3)}{g} \right)^{\frac{1}{2}}$$

V_0 : 本ダム越流部流速 (m/sec)

$$V_0 = q_0 / h_3$$

q_0 : 本ダム越流部単位幅当たり流量 (m^3/sec)

h_3 : 本ダムの越流水深 (m)

H_1 : 水叩き天端、又は基礎岩盤面からの本ダムの高さ (m)

g : 重力の加速度 ($9.8 m/sec^2$)

X : 跳水の距離 (m)

$$X = \beta \cdot h_j$$

β : 係数 (4.5 ~ 5.0)

h_j : 水叩き天端、又は基礎岩盤面から副ダム越流水面までの高さ (m)

$$h_j = \frac{h_1}{2} (\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1)$$

h_1 : 水脈落下地点の跳水前の射流水深 (m)

$$h_1 = q_1 / V_1$$

q_1 : 水脈落下地点の単位幅当たり流量 (m^3/sec)

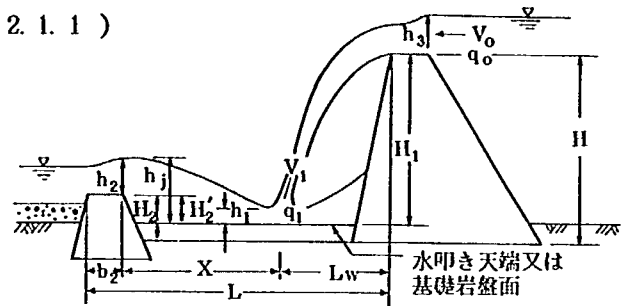
V_1 : 水脈落下地点流速 (m/sec)

$$V_1 = \sqrt{2g(H_1 + h_3)}$$

F_1 : 水脈落下地点の跳水前の射流フルード数

$$F_1 = V_1 / \sqrt{g \cdot h_1}$$

b_2 : 副ダムの天端幅 (m)



を示している。本模型においてこれらの値および、跳水を発生させるのに必要な水褥池長 $\ell_w + X$ を求める。

$Q = 29 \ell/s$ の場合

$$q_0 = 0.058 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m} = q_1$$

$$H_1 = 0.425 \text{ m}$$

$$h_3 = 0.1 \text{ m} \text{ (実験結果より)}$$

$$\ell_w = 0.181 \text{ m}$$

$$V_1 = 3.208 \text{ m/s}, q_1 = q_0, F_1 = 7.617$$

$$h_1 = 0.0181 \text{ m}, h_j = 0.186 \text{ m}$$

$$X = 0.837 \sim 0.93 \text{ m}$$

$$\ell_w + X = 1.02 \sim 1.11 \text{ m}$$

$Q = 11 \ell/s$ の場合

$$q_0 = 0.022 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m} = q_1$$

$$H_1 = 0.425 \text{ m}$$

$$h_3 = 0.05 \text{ m}$$

$$\ell_w = 0.1333 \text{ m}$$

$$V_1 = 3.051 \text{ m/s}, F_1 = 11.48$$

$$h_1 = 0.00721 \text{ m}, h_j = 0.1135 \text{ m}$$

$$X = 0.511 \sim 0.568 \text{ m}$$

$$\ell_w + X = 0.64 \sim 0.70 \text{ m}$$

② Rand の式

Rand の式は高段落水路における自由落下水脈の跳水現象を示す式である。

Rand (ランド) の式

$$\frac{h_1}{W} = 0.54 D^{0.425}$$

$$\frac{h_2}{W} = 1.66 D^{0.27}$$

$$\frac{h_s}{W} = 1.00 D^{0.22}$$

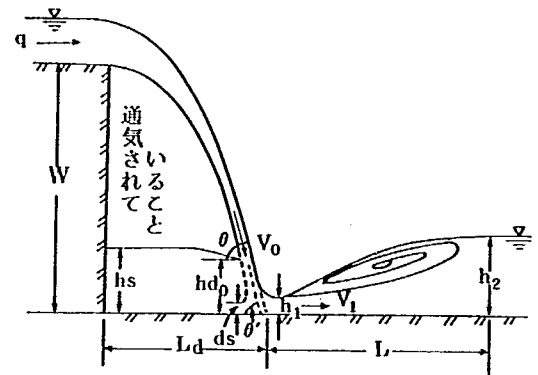
$$\frac{L_d}{W} = 4.30 D^{0.27}$$

ここに $D = q^2/gW^3$: 落下指数 (Drop

Number), q : 単位幅当りの流量, W : 落

下高, L_d : 飛距離, h_3 : 水脈落下点の上流側に形成される水深, h_1 : 落下地点の射流深,

h_2 : 跳水対応水深



$Q = 29 \ell/s$

$$D = 0.0047$$

$$h_1 = 0.0230 \text{ m}, h_2 = 0.164 \text{ m}$$

$$L_d = 0.424 \text{ m}, L = 4.5 h_2 = 0.738 \text{ m}$$

$$L + L_d = 1.16 \text{ m}$$

$Q = 11 \ell/s$

$$D = 0.000643$$

$$h_1 = 0.0101 \text{ m}, h_2 = 0.097 \text{ m}$$

$$L_d = 0.251 \text{ m}, L = 4.5 h_2 = 0.437 \text{ m}$$

$$L + L_d = 0.69 \text{ m}$$

①②の計算結果と実験結果を比較すると表-2.1.2のようになる。

表-2.1.2 から, 現設計では跳水対応水深が不足しているため跳水を発生しないと判断される。跳水に必要な水褥池長も少し不足している。

$Q = 11 \ell/s$ の場合には不完全ながら跳水を起していることから判断して, 河川砂防技術基準の実験式に従い水褥池長, 副ダム高を定めれば完全跳水を発生させることができると推測される。

表-2.1.2 水褥池の設計と実験結果

流量 ℓ/s	区 分	水 脈 の 飛 距 離 cm	跳水に必要な水褥池長 cm	跳 水 対 応 水 深 cm
29	① 砂防技術基準	18	102	19
	② Rand の式	42	116	16
	③ 実 験 *	30	95	10
11	① 砂防技術基準	13	64	11
	② Rand の式	25	69	10
	③ 実 験 **	25	95	5

* 跳水は発生していない

** 不完全な跳水

(2) スリットからの放流水の減勢

$Q = 29 \ell/s$ の場合はスリットから放流される流水は完全跳水を発生していない。ただし、ケース 13 (スリット C, $B = 10 \text{ cm}$, $Q = 29 \ell/s$) の場合は不完全ながら跳水を発生していることがみとめられる。

(1) で検討したのと同様に 2 つの公式と実験結果を比較する。

① 河川砂防基準による計算

この場合、水通し巾としてスリット巾をとる。なぜなら、水通しからの越流量はきわめて少なく無視できる。

また減勢池での水流の巾は実験の観測結果 (落水直前の水脈巾) によった。越流水深も表-2.1.1 に示す実験結果を用いた。

スリット巾 10 cm 、流量 $29 \ell/s$ の時の跳水に必要な水褥池長を求める計算結果は下記の通りである。

$$\begin{aligned}
 q_0 &= 0.29 \text{ m}^3/\text{sec} & h_1 &= 0.027 \text{ m} \\
 V_0 &= 1.028 \text{ m/sec} & F_1 &= 5.319 \\
 \ell_w &= 0.228 \text{ m} & h_j &= 0.190 \text{ m} \\
 q_1 &= 0.073 \text{ m}^3/\text{sec} & X &= 0.855 \sim 0.950 \text{ m} \\
 V_1 &= 2.736 \text{ m/sec} & L &= 1.083 \sim 1.178 \text{ m}
 \end{aligned}$$

表-2.1.3 スリット放流水の減勢

流量 (ℓ/s)	スリット巾	水叩上面から スリット底 までの高さ	減 勢 池 の 水 脈 巾	水脈の飛距離 (cm)	跳水に必要な 水 褥 池 長 (cm)	跳水対応水深 (cm)
29	B = 5 cm	10 cm	20 cm	39	162	27
	B = 7.5 "	"	30 "	24	120	21
	B = 10 "	"	40 "	23	108	19

② Rand の式による計算

表-2.1.4 スリット放流水の減勢

流量 (ℓ/s)	スリット巾	水叩上面から スリット底 までの高さ	減勢池の 水脈巾	水脈の飛距離 (cm)	跳水に必要な 水罨池長 (cm)	跳水対応水深 (cm)
29	B= 5 cm	10 cm	20 cm	53	145	20
	B= 7.5 "	"	30 "	43	116	16
	B= 10 "	"	40 "	36	99	14

スリットからの放流水の減勢状況は表-2.1.1に示しているが、B = 10 cmの場合は不完全ながら跳水現象がみられる。B = 5 cm, 7.5 cmの場合は白い水しぶきとなり下流へ放出している。

現設計は水罨池長 95 cm であり、B = 10 cm の場合の必要水罨池長 108 cm に対しては少し不足している。しかし、不完全ながら跳水現象がみられることから判断して、河川砂防技術基準に若干の修正を加えるとスリットからの放流水の減勢工の設計が可能であると考ええる。

スリットからの水脈飛距離長が実験値と計算値で違っているのは、流速の評価に問題があると考えられる。そこで本ダム越流部流速については $V_0 = C\sqrt{2gh_3}$ で求めるものとする。ここで h_3 はスリット底面から測った水深で、流量係数 C は 0.6 とする。

結果は表-2.1.5の通りで、ほぼ同じ値となっている。よってスリットを有する砂防ダムでは、河川砂防技術基準の本ダム越流部流速を $V_0 = C\sqrt{2gh_3}$ と修正して用いるものとする。

表-2.1.5 スリット放流水の飛距離長

流 量 Q (ℓ/sec)	スリット巾 B (cm)	越流水深 h_3 (m)	落下高 H_1 (m)	本ダム越流部 流速 V_0 (m/sec)	$\left(2\left(H_1 + \frac{1}{2}h_3\right)\right)^{\frac{1}{2}}$ g (sec)	計 算 値 ℓ_w (cm)	実験平均値 ℓ_w (cm)
29	7.5	0.336	0.12	1.540	0.242	37	35
11	7.5	0.161	0.12	1.066	0.202	22	18
29	10.0	0.282	0.12	1.411	0.231	33	35
11	10.0	0.135	0.12	0.976	0.196	19	24
29	5.0	0.359	0.12	1.592	0.247	39	40
11	5.0	0.205	0.12	1.203	0.213	26	25

※ H_1 は $\ell_w = 30$ cm 程度となると想定して、水路傾斜による $\Delta h = 0.3 / 13.3 \approx 0.02$ m を加えた。



写真-1 スリット幅 2.5 cm 流量 29 l/s での流況
水褥池による減勢効果が全く見られない状況

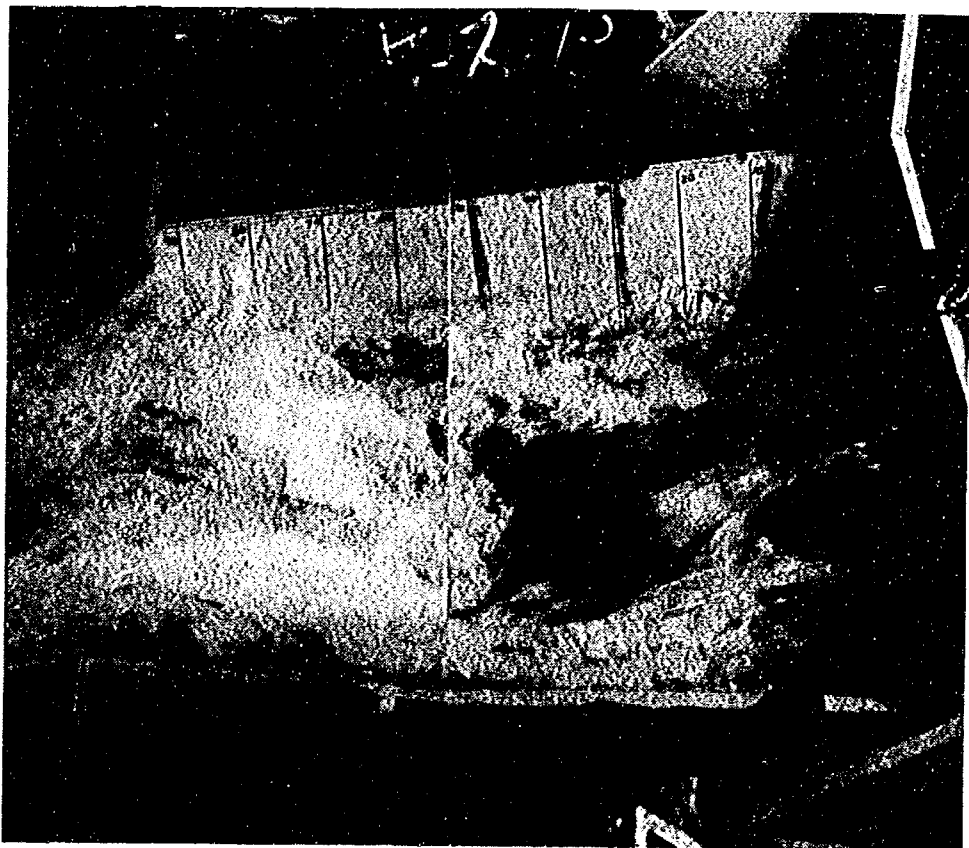


写真-2 スリット幅 10 cm 流量 29 l/s での流況
跳水現象が見られ減勢効果が期待できる状況

2.2 流木の実験

2.2.1 閉塞率

流木の閉塞率を下記のパラメーターを変えて計測した。

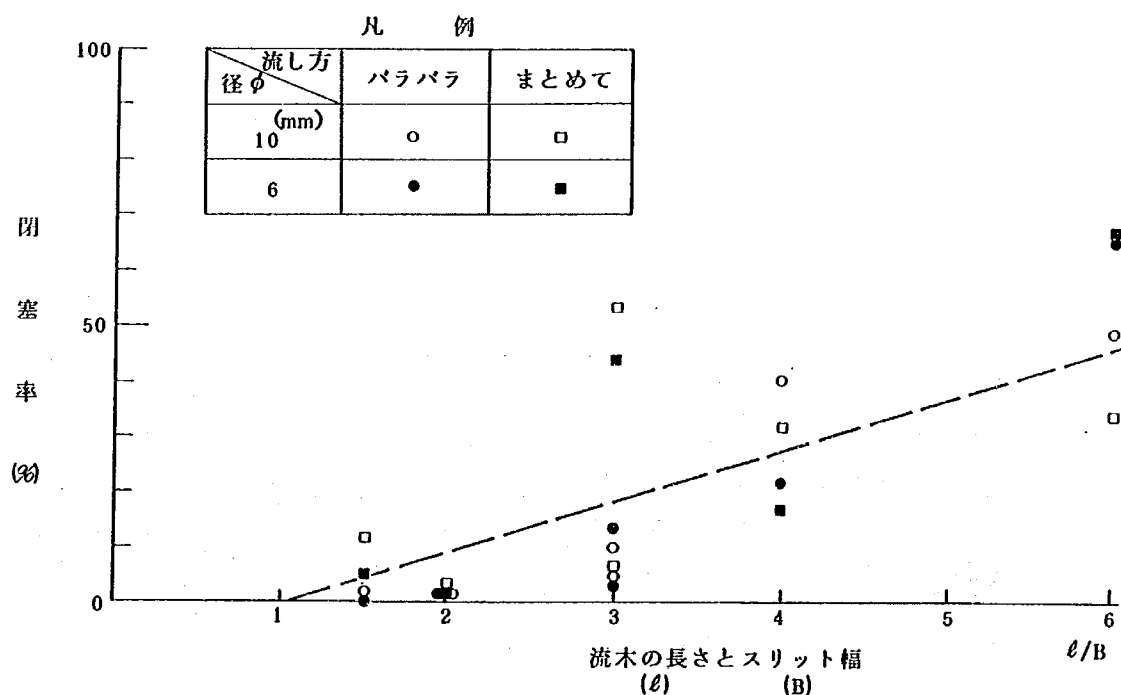
スリット巾： B ，流木長： ℓ ，流量： Q ，流木直径 ϕ ，流下間隔 T

計測の結果，流木の閉塞率と相関の認められるのが B ， ℓ である。その他のパラメーターと閉塞率は相関が認められない。

ℓ/B と流木の閉塞率を図－2.2.1に示した。 $\ell/B > 2$ において流木の閉塞率が多くなっている。

流木の実験の結果を表－2.2.1～表－2.2.3に示す。

表－2.2.4には流量と閉塞率との関係を示したが両者に相関はないようである。



図－2.2.1 閉塞率と ℓ/B （流木の長さスリット幅との比）との関係

表-2.2.1 スリット幅 $B = 7.5$ (cm) の流木実験結果

①	②	③	④	⑤	⑥	⑥/⑤×100(%)
流木長 ℓ	流木の 流し方	流木径 ϕ	流 量	流下本数	閉塞本数	閉 塞 率
(cm)	—	(mm)	(ℓ/s)	(本)	(本)	(%)
15	1本ずつ バラバラ に流す	10	20	20	0	0
			11		0	0
			6		1	5
			計	60	1	T 1.7
		6	20	20	0	0
			11		1	5
			6		0	0
			計	60	1	T 1.7
	10本単位 でまとめ て流す	10	20	20	0	0
			11		1	5
			6		1	5
			計	60	2	T 3.3
		6	20	20	0	0
			11		1	5
			6		0	0
			計	60	1	T 1.7
30	1本ずつ バラバラ に流す	10	20	20	12	60
			11		11	55
			6		1	5
			計	60	24	T 40
		6	20	20	4	20
			11		2	10
			6		7	35
			計	60	13	T 21.7
	10本単位 でまとめ て流す	10	20	20	1	5
			11		16	80
			6		2	10
			計	60	19	T 31.7
		6	20	20	8	40
			11		0	0
			6		2	10
			計	60	10	T 16.7

*1) ℓ/B はスリット幅 B に対する流木の長さの比

表-2.2.2 スリット幅 $B = 10.0$ (cm) の流木実験結果

①	②	③	④	⑤	⑥	⑥/⑤×100(%)
流木長 ℓ	流木の 流し方	流木径 ϕ	流 量	流下本数	閉塞本数	閉 塞 率
(cm)	—	(mm)	(ℓ/s)	(本)	(本)	(%)
15	1本ずつ バラバラ に流す	10	20	20	1	5
			11		0	0
			6		0	0
			計	60	1	T 1.7
		6	20	20	0	0
			11		0	0
			6		0	0
			計	60	0	T 0
	$\ell/B =$ 10本単位 でまとめ て流す	10	20	20	0	0
			11		3	15
			6		4	20
			計	60	7	T 11.7
		6	20	20	0	0
			11		1	5
			6		0	0
			計	60	1	T 1.7
30	1本ずつ バラバラ に流す	10	20	20	1	5
			11		4	20
			6		1	5
			計	60	6	T 10
		6	20	20	2	10
			11		2	10
			6		4	20
			計	60	8	T 13.3
	$\ell/B =$ 10本単位 でまとめ て流す	10	20	20	18	90
			11		6	30
			6		8	40
			計	60	32	T 53.3
		6	20	20	6	30
			11		7	35
			6		13	65
			計	60	26	T 43.3

* 1) ℓ/B はスリット幅 B に対する流木の長さの比

表-2.2.3 スリット幅 $B = 5.0$ (cm) の流木実験結果

①	②	③	④	⑤	⑥	⑥/⑤×100(%)
流木長 ℓ	流木の 流し方	流木径 ϕ	流 量	流下本数	閉塞本数	閉 塞 率
(cm)	—	(mm)	(ℓ/s)	(本)	(本)	(%)
15	1本ずつ バラバラ に流す	10	20	20	0	0
			11		0	0
			6		3	15
			計	60	3	T 5
		6	20	20	1	5
			11		1	5
			6		0	0
			計	60	2	T 3.3
	10本単位 でまとめ て流す	10	20	20	0	0
			11		1	5
			6		3	15
			計	60	4	T 6.7
		6	20	20	0	0
			11		4	20
			6		0	0
			計	60	4	T 6.7
30	1本ずつ バラバラ に流す	10	20	20	15	75
			11		11	55
			6		3	15
			計	60	29	T 48.3
		6	20	20	10	50
			11		18	90
			6		11	55
			計	60	39	T 65
	10本単位 でまとめ て流す	10	20	20	19	95
			11		0	0
			6		1	5
			計	60	20	T 33.3
		6	20	20	8	40
			11		18	90
			6		14	70
			計	60	40	T 66.7

*1) ℓ/B はスリット幅 B に対する流木の長さの比

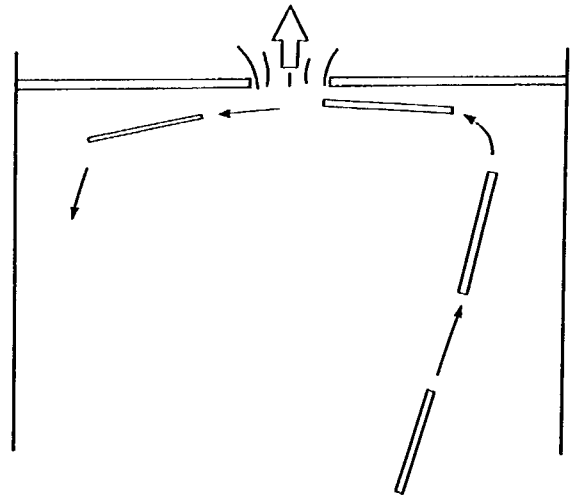
表－ 2. 2. 4 流量と閉塞率

流 量 \ スリット幅	5 (cm)	7. 5 (cm)	10. 0 (cm)
20 (ℓ/s)	33. 1	15. 6	17. 7
11 (ℓ/s)	34. 4	20. 0	14. 4
6	21. 9	8. 75	18. 8

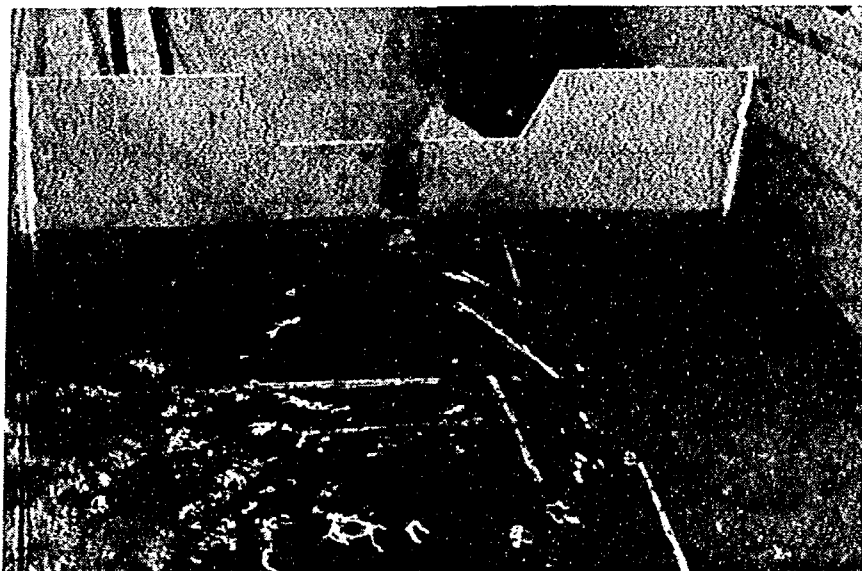
2. 2. 2 流木の流下状況の観察事項

流木の閉塞に関して観察された事項を列記する。

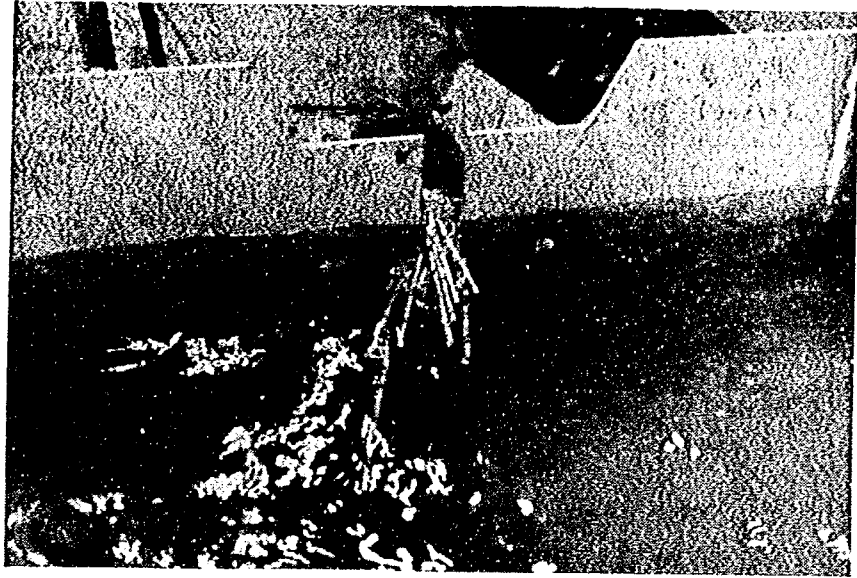
- (1) 流木は堆砂池内で滞留した後スリットに達する（通過又は閉塞）ものと、滞留しないでスリットに達するものがある。流木が堆砂池内で滞留する時の流木の移動軌跡は図－2. 2. 2 に示すものが多い。
- (2) 一度スリットと閉塞した流木の中で越流面から下方に沈みこんだ流木は非常に安定した状態でスリットを閉塞し抜け出すことはない。
- (3) 3 ～ 4 本が閉塞すると後続の流木も閉塞しやすい。
- (4) 流木は表面を流下するので、水通しを越流するときにはスリット部を閉塞することはない。
- (5) (2) に対して、水の表面近くでスリットを閉塞している流木は、水面の波等の影響によって抜け出ることがある。



図－ 2. 2. 2 流木の移動



写真－ 3 スリット幅 7. 5 cm , 流量 11 ℓ/s での流木の流下・閉塞状況



写真－４ 条件は写真－３と同じ。３～４本が閉塞すると、後続の流木が流出しない率が高くなっている状況。

2.3 土砂動態に関する実験

土砂動態に関する実験のケース区分、実験条件ならびに実験結果の一覧を表－2.3.1に示す。

以下、表－2.3.1に示した実験ケース順に実験内容及び実験結果について記した。

2.3.1 ケース・3（天端接続： $B = 7.5 \text{ cm}$ ： $Q = 29 \text{ } \ell/\text{s}$ ）

(1) 実験内容

スリットおよび水抜きに蓋をして、越流水深が 10 (cm) となる流量 $29 \text{ (} \ell/\text{s)}$ を下記の手順で流下させ、ダム背水域の土砂の堆積過程ならびにスリットからの土砂の流出状況を観察、測定したものである。

一、実験手順

段階(1)：最初8分間給砂しその後7分間無給砂で通水した後、水を止め堆砂形状を測定した。通水時間の合計は15分間。

段階(2)：段階(1)と同様である。

段階(3)：スリットから土砂が流出するまで、通水した。最初10分間は給砂し、残り17分間は無給砂で通水した。通水時間計27分で土砂はスリットから流出し始めたので、水を止めて堆砂形状を測定した。

段階(4)：スリットおよび水抜きに蓋をして、通水開始後10分間土砂を給砂した後26分間無給砂で通水した。この時、土砂が天端より流出し始めた。通水時間は、計36分間である。

水を止めて、堆砂形状を測定した。

次に、さらに無給砂で通水しつつ水流が偏流しないように堆砂の横断形を整形した。

段階(5)：この実験は、閉塞されたスリットが急に流木等が抜け落ちる等のため開成され

表-2.3.1 土砂動態の実験ケースと実験結果

ケース	段 階	流 量 (ℓ/sec)	通 水 時 間 分			給 砂 量 ① (m³)	堆 砂 量 ② (m³)	堆砂増加量 (m³)	流出土砂量 ③ (m³)	
			給 砂	水のみ	計					
3 天端接続 B = 7.5	(1)	29	8	7	15	0.83	0.85	0.85	1.01	
	(2)	"	8	7	15	1.05	1.64	0.79		
	(3)	"	10	17	27	1.06	2.55	0.91		
	(4)	"	—			約 60	0.83	3.23		0.68
	(5)	"	0	45	45	0	2.58	-0.65		
6 天端接続 B = 7.5	(1)	11	15	10	25	0.89	0.78	0.78	1.31	
	(2)	"	25	10	35	0.83	1.61	0.83		
	(3)	"	15	0	15	0.61	1.96	0.35		
	(4)	29	—			約 60	1.14	3.17		1.21
	(5)	11	0	45	45	0	2.20	-0.97		
9 B = 7.5	(1)	29	8	7	15	0.83	0.84	0.84	0.9	
	(2)	"	8	7	15	0.93	1.61	0.77		
	(3)	"	10	7	17	0.87	2.28	0.67		
	(4)	"	—			約 60	0.83	2.99		0.71
	(5)	"	0	45	45	0	2.36	-0.63		
12 B = 7.5	(1)	11	15	10	25	0.83	0.81	0.81	1.23	
	(2)	"	25	10	35	0.83	1.62	0.81		
	(3)	"	16	0	16	0.37	1.98	0.36		
	(4)	29	—			約 60	1.27	3.15		1.17
	(5)	11	0	45	45	0	2.14	-1.01		
15 B=10.0	(1)	29	8	7	15	0.90	0.90	0.90	1.37	
	(2)	"	8	7	15	0.83	1.66	0.70		
	(3)	"	11	0	11	0.83	2.26	0.60		
	(4)	"	—			約 60	0.83	3.02		0.76
	(5)	11	0	45	45	0	1.83	-1.19		
18 B = 5.0	(1)	29	8	7	15	0.83	0.85	0.85	0.85	
	(2)	"	8	7	15	0.94	1.69	0.84		
	(3)	"	8	18	26	0.87	2.56	0.87		
	(4)	"	—			約 60	0.83	3.33		0.77
	(5)	11	0	45	45	0	2.63	-0.70		
19 B = 7.5	(1)	11	20	10	30	0.87	0.87	0.87		
	(2)	20	15	5	20	0.83	1.68	0.81		
	(3)	29	9	1	10	0.83	2.39	0.71		
	(4)	29	9	1	10	0.83	3.03	0.64		
	(5)	20	15	30	45	0.92	2.99	-0.04		
	(6)	11	0	60	60	0	1.97	-1.02		
20 B=10.0	(1)	29	—			約 60		3.25	3.25	
	(2)	29	0	45	45		2.17	-1.08		
21 B=10.0	(1)	29	—			約 60		3.28	3.28	
	(2)	15	0	45	45		1.89	-1.39		

注) ①及び③の土砂量はバケツに入れたゆるんだ状態での体積を測定。②は、堆砂形状から平均断面法により算出した堆砂量で水流により密な状態となっている。

た時、土砂の流出状況がどのようになるかを観察したものである。29 ℓ/s の流量を流し、スリットをとり、無給砂で45分間通水した場合の土砂の流出状況を観察した。通水後、堆砂形状を測定し、土砂流出中はスリット開放後0分、5分、10分、30分後の4回スリットからの流砂量を測定した。

(2) 実験結果

ケース・3（天端接続：B = 7.5 cm；Q = 29 ℓ/s）の堆砂縦断形を図-2.3.1に示した。

実験の経緯、コメント等を段階ごとに記述する。

段階(1)：通水開始後約8分間土砂を給砂し、その後7分間無給砂で通水した。見かけの給砂量は、約0.8 (m³)であり、15分間の平均流砂量は0.58 (ℓ/s)、容積濃度で約2 (%)程度である。

通水後、土砂の流れは、跳水部分（スリットから約6.5 m）を通過後、掃流力の減少のため緩慢となって、背水域に三角形状（側面から見た時）の堆砂デルタを形成する。堆砂は横断的に均一に進行していった訳ではない。

これは、当該流量29 ℓ/sの流水幅は河幅満杯をとっているが、河幅全域に流砂が存在することがなく、流砂の横断的分布が時間的に異なってくるためであると思われる。この流量時の流砂幅は、目視によると約50 cm～120 cm程度であったが、レジューム則の河幅

$$B = (3.0 \sim 7.0) \times Q^{1/2}$$

によれば、Q = 29 ℓ/s に対して、

$$B = 50 \text{ cm} \sim 120 \text{ cm}$$

程度であり、流量が堆砂過程に及ぼす影響は大きいことが推察される。

段階(1)終了後の堆砂勾配は、図-2.3.1の縦断によれば、堆砂肩の上流で約1/20である。

段階(2)：通水開始後約8分間土砂を給砂し、その後7分間無給砂で通水した。見かけの給砂量は約1 (m³)で、流砂量は通水時間平均で0.7 ℓ/s、容積濃度で約2.4 (%)程度である。

下流の舌状の堆砂は通水開始時の流量によって下流に土石流的に流送されたものである。

段階(2)終了後の堆砂勾配は、堆砂肩の上流で約1/30程度である。

段階(3)：本段階は、見かけの容積で約1.0 (m³)の土砂を通水開始後約10分間で給砂し、あとはスリットから土砂が流出するまで無給砂で通水した。通水開始後27分で土砂がスリットから流出し始めた。

流出は、ほぼ中央の堆砂肩及び右岸側の堆砂肩から生じた。

段階(3)の終了後の堆砂勾配は約1/30である。

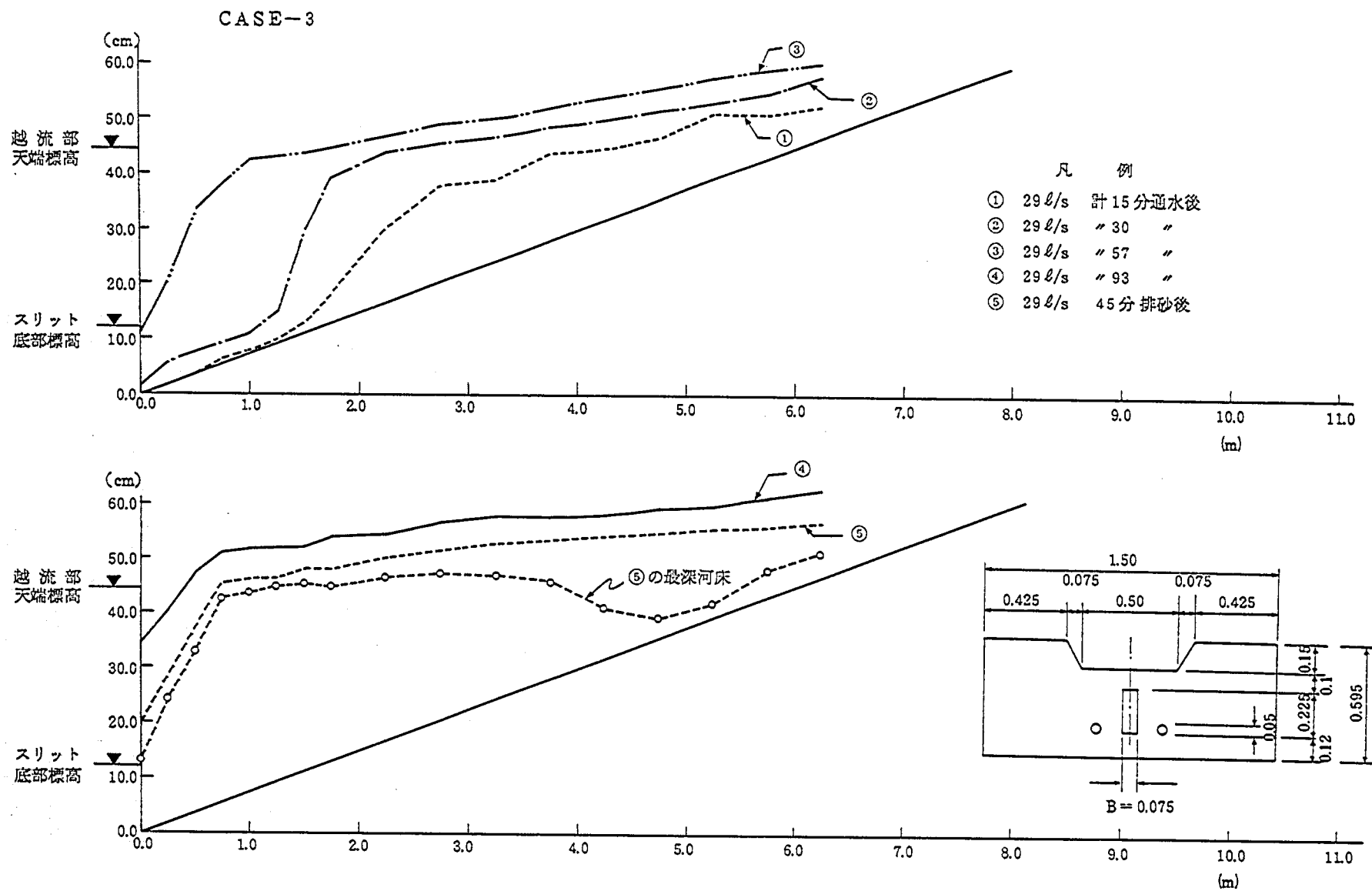


図-2.3.1 ケース・3 (天端接続: $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 29 \text{ l/s}$) の堆砂縦断形

段階(4)：スリット，水抜きに蓋をして通常の砂防ダムと同様の条件で堆砂過程を追った。

通水 36 分後に土砂が天端から流出し始めた。

堆砂勾配は約 1/50 程度である。

段階(5)：本段階は，急にスリットを閉塞していた流木等が抜け落ち土砂が急激に流出した場合を想定している。

スリット開放直後は，スリット周辺の土砂が地這りのように崩れ，流下しスリットから噴出するように流下した。副ダム～主ダム間はほぼ土砂で埋まり，激しい土砂流出が続く。

スリット上流部は半円状のくぼみが生じ，その半円の大きさは，序々に大きくなり，この場合，半径が約 80 (cm) 程度となったあとは円の拡大は止まり，上流を浸食した土砂がこの付近に堆積して，ある程度たまと滑落しスリットを通して下流に流下していく。

その過程で上流側右岸側の堆砂は幅 50 (cm) ～ 100 (cm) 程度浸食され，左岸に砂州がとり残された。最も河幅の狭いところは，スリットから約 4.8 m 付近であり，図-2.3.1 からわかるように激しく深掘れしている。

2.3.2 ケース・6 (天端接続：B = 7.5 cm : Q = 11 ℓ/s)

(1) 実験内容

スリット及び水抜きに蓋をして，越流水深が 5 (cm) となる流量 11 (ℓ/s) を下記の手順で流下させ，ダム背水域の土砂の堆積過程ならびにスリットからの土砂の流出状況を観察，測定したものである。

一、実験手順

段階(1)：最初 15 分間給砂し，その後 10 分間無給砂で通水した後，水を止め堆砂形状を測定した。通水時間の合計は 25 分である。

段階(2)：最初 25 分間給砂し，その後 10 分間無給砂で通水した後，水を止め堆砂形状を測定した。

段階(3)：スリットから土砂が流出するまで通水した。約 15 分で土砂は流出し始めた。水を止めて堆砂形状を測定した。

段階(4)：スリットおよび水抜きに蓋をして，約 30 ℓ/s 程度の水を通水しつつ，強制的に満砂させた。

段階(5)：この実験は，閉塞されたスリットが急に流木等が抜け落ちる等のため開放された時，土砂の流出状況がどのようなになるかを観察したものである。

11 ℓ/s の流量を流し，スリットをとり，無給砂で 45 分間通水した。

通水終了後の堆砂形状を測定し，土砂流出中はスリット開放後 0 分，5 分，10 分，30 分後の 4 回スリットからの流砂量を測定した。

(2) 実験結果

ケース・6 (天端接続：B = 7.5 cm : Q = 11 ℓ/s) の堆砂縦断形を図-2.3.2 に示

CASE-6

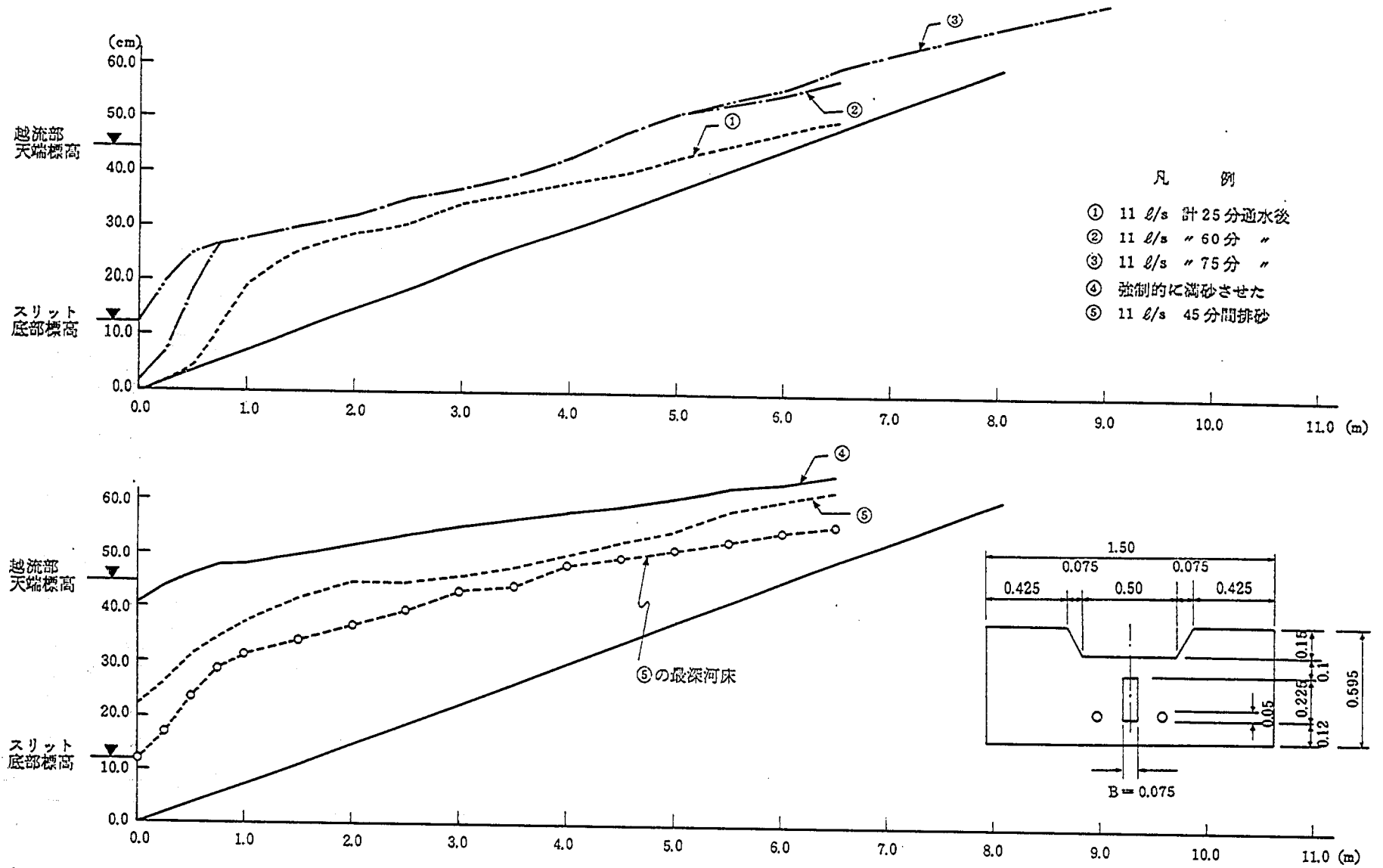


図-2.3.2 ケース・6 (天端接続: $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 11 \ell/s$) の堆砂縦断形

した。

以下、段階を追って、経緯、コメントを記述する。

段階(1)：通水開始後約 15 分は土砂を給砂し、その後無給砂で通水した。実験当初からの流量 $Q = 11 \text{ l/s}$ では、河幅 1.5 m 満杯に水流が起こることなく水面幅が約 1 (m) 程度のところもあった。

流砂が生じている河幅は、最大でも 50 (cm) 程度であった。堆砂の機制的には、ケース・3 (天端接続： $B = 7.5 \text{ cm}$ ； $Q = 29 \text{ l/s}$) で述べたものと同様である。

堆砂勾配は、図-2.3.2 の堆砂縦断形からもわかるように約 1/20 である。

段階(2)：通水開始後 25 分は土砂を給砂し、残り 10 分間は無給砂で通水した。給砂時間が段階(1)よりも 10 分伸びているのは、給砂地点まで堆砂が遡上し、堆砂末端の浸食状況に応じて土砂を給砂したためである。

堆砂勾配は、堆砂肩下流で約 1/4、堆砂肩上流で約 1/20 である。

段階(3)：通水開始して約 15 分で土砂が流出し始めた。

このときの堆砂量は $2.0 \text{ (m}^3\text{)}$ であり、ケース・3 (天端接続： $B = 7.5 \text{ (cm)}$ ； $Q = 29 \text{ (l/m}^3\text{)}$) の約 78 % である。貯水容量は、ケース・3 (天端接続： $B = 7.5 \text{ cm}$ ； $Q = 29 \text{ l/s}$) の 35 % 程度になっているのと比較すると、水の容量ほどには堆砂量 (スリットオープンで満砂した時の量) は減っていない。

段階(4)：堆砂の状態は図-2.3.3 の堆砂縦断形状に示す。堆砂勾配は約 1/30 程度、元水路勾配の約 1/2 である。

段階(5)： $Q = 11 \text{ l/s}$ の水を通水して、スリットの蓋をとった。すると、スリットのまわりが地氾りの、さらには土石流的に崩れるように流れ出し、スリット下流の減勢池を埋め尽くした。浸食は、上流に進行して行き、河幅にして約 50 cm ~ 100 cm の部分が下流から上流に向けて浸食された。

浸食は、スリット開放後は、中央部が主であったが、しだいに流れは蛇行し、上流部で右岸が主流、下流部で左岸が主流となった。左岸の州は、通水終了後時点ではかなり浸食され、通水終了時ではわずかに形をとどめる程度となっている。

2.3.3 ケース・9 (天端開放： $B = 7.5 \text{ cm}$ ； $Q = 29 \text{ l/s}$)

(1) 実験内容

スリットおよび水抜きに蓋をして、越流水深が 10 (cm) となる流量 29 (l/s) を下記の手順で流下させ、ダム背水域の土砂の堆積過程ならびにスリットからの土砂の流出状況を観察、測定したものである。

一、実験手順

段階(1)：ケース・3 (天端接続： $B = 7.5 \text{ cm}$ ； $Q = 29 \text{ l/s}$) と同様である。

段階(2)：段階(1)と同様である。

段階(3)：スリットから土砂が流出し始めるまで通水した。約 10 分給砂した後 7 分間無

給砂で通水すると土砂が流出した。通水時間の合計は 17 分。水を止め堆砂形状を測定した。

段階(4)：スリット、水抜きに蓋をして、強制的に満砂させた。堆砂形状を測定。

段階(5)：この実験は閉塞されたスリットが急に流木等が抜け落ちる等のため開放された時、土砂の流出状況がどのようになるかを観察したものである。29 ℓ/s の流量を流し、スリットをとり、無給砂で 45 分間通水した場合の土砂の流出状況を観察した。通水後、堆砂形状を測定し、土砂流出中はスリット開放後 0 分、5 分、10 分、30 分後の 4 回スリットからの流砂量を測定した。

(2) 実験結果

ケース・9（天端開放： $B = 7.5 \text{ cm}$ ； $Q = 29 \text{ ℓ/s}$ ）の堆砂形状を図－2.3.3に示した。

実験の経緯、コメント等を段階ごとに記述する。

段階(1)：ケース・3（天端開放： $B = 7.5 \text{ cm}$ ； $Q = 29 \text{ ℓ/s}$ ）の場合の結果、堆砂形状が異なる。条件的には、本ケース（天端開放）の越流水深が約 1（cm）、ケース・3（天端接続）の場合が約 3（cm）で背水位が低い他はすべて同一条件である。

しかも、流砂幅に関してはケース・9の兩岸合わせたものとケース・3のものと殆んど同じであり、給砂条件の微妙な差が両ケースの差を生じさせたものと推察される。

堆砂勾配は、堆砂肩下流で約 1/3.7（約 15°）、堆砂肩の上流で約 1/30 である。

段階(2)：堆砂の進行過程はおおむね段階(1)と同様である。図－2.3.3に示すように堆砂勾配に大きな変化はない。

段階(3)：通水時間 17（分）（累計通水時間：47（分））にして土砂がスリットから下流に流れ出した。

時間的には、ケース・3（天端接続： $B = 7.5 \text{ cm}$ ； $Q = 29 \text{ ℓ/s}$ ）の場合（累計通水時間 57（分））より 10 分程土砂の流出が早い。これは、ケース・3とケース・9の背水位の差が約 2（cm）あることに起因していると思われる。

段階(4)：スリット、水抜きに蓋をして、満砂させたものである。

段階(5)：29 ℓ/sの水を通水し、段階(4)で閉じたスリットを開放した。

開放後は、スリット周辺に半円状のくずれ（地じり的）が生じ、上流へ進行するが半円の半径が 80 cm 程度になったところで半円の進行はとまる。

あとは、上流の浸食が進んだ訳であるが、ケース・3（天端接続： $B = 7.5 \text{ cm}$ ； $Q = 29 \text{ ℓ/s}$ ）の場合、幅 50 cm ～ 100 cm の浸食域が限定されたのに対し、ケース・9の場合はほぼ横断的にフラットに浸食が進行している。

また、表層の土砂もケース・3の場合よりもケース・9の方が全体的に粗粒化している。

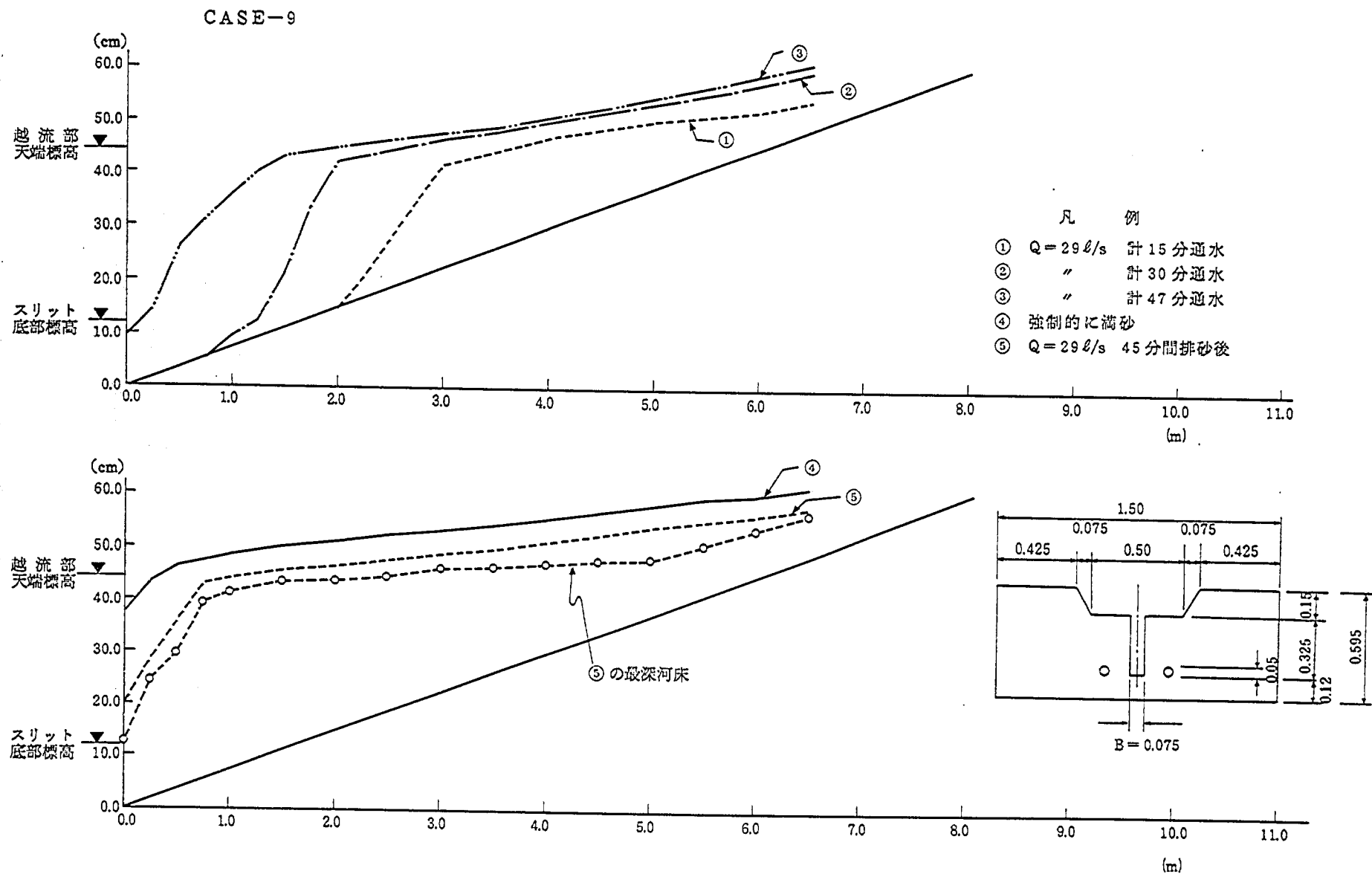


図-2.3.3 ケース・9 (天端開放: $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 29 \ell/s$) の堆砂縦断形

2.3.4 ケース・12 (天端開放 : $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 11 \text{ l/s}$)

(1) 実験内容

スリットおよび水抜きに蓋をして、越流水深が 5 (cm) となる流量 11 (l/s) を下記の手順で流下させ、ダム背水域の土砂の堆積過程ならびにスリットからの土砂の流出状況を観察、測定したものである。

一、実験手順

段階(1) : ケース・6 (天端接続 : $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 11 \text{ l/s}$) と同様である。

段階(2) : 段階(1)に同じ。

段階(3) : スリットから土砂が流出するまで $Q = 11 \text{ l/s}$ の水を流す。

段階(4) : スリット・水抜きにふたをして、強制的に満砂させた。

段階(5) : ケース・6 (天端接続 : $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 11 \text{ l/s}$) に同じである。

(2) 実験結果

ケース・12 (天端開放 : $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 11 \text{ l/s}$) の堆砂縦断形を図-2.3.4 に示した。

実験の経緯、コメント等を実験段階ごとに記述する。

一、段階(1)~段階(3) : この段階は、ケース・6 (天端接続 : $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 11 \text{ l/s}$) と水理的には同じである。ケース・6 (天端接続 : $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 11 \text{ l/s}$) とケース・12 (天端開放 : $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 11 \text{ l/s}$) との差は、段階(1)、段階(2)終了後は殆んどない。堆砂の平面形状も似ている。

段階(3)では、ケース・12の方が土砂の下流への流送は進んでいる。なお、堆砂量は双方約 $3.2 \text{ (m}^3\text{)}$ で同じである。

この原因は、断定できないが給砂を人力でやっているため、微妙な給砂量の時間的バラツキが影響しているものと思われる。

一、段階(4) : スリット及び水抜きが流木等で閉塞した状態を想定して、ふたをして、強制的に満砂させた。

一、段階(5) : ケース・6 と土砂の流送過程はほぼ同じである。

2.3.5 ケース・15 (天端開放 : $B = 10.0 \text{ cm}$: $Q = 29 \text{ l/s} \rightarrow 11 \text{ l/s}$)

(1) 実験内容

スリットおよび水抜きに蓋をして、越流水深が 10 (cm) となる流量 29 (l/s) を流下させ、当該スリットダムに対してダム背水域の土砂の堆積過程を観察する。

続いて、スリット・水抜きに蓋をして強制的に満砂させ、スリット・水抜きを蓋をして越流水深 5 (cm) となる流量 11 (l/s) を流し、スリットのふたをぬいた後の土砂の流出状況を観察した。

一、実験手順

段階(1) : ケース・3 (天端接続 : $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 29 \text{ l/s}$), ケース・9 (天端開放

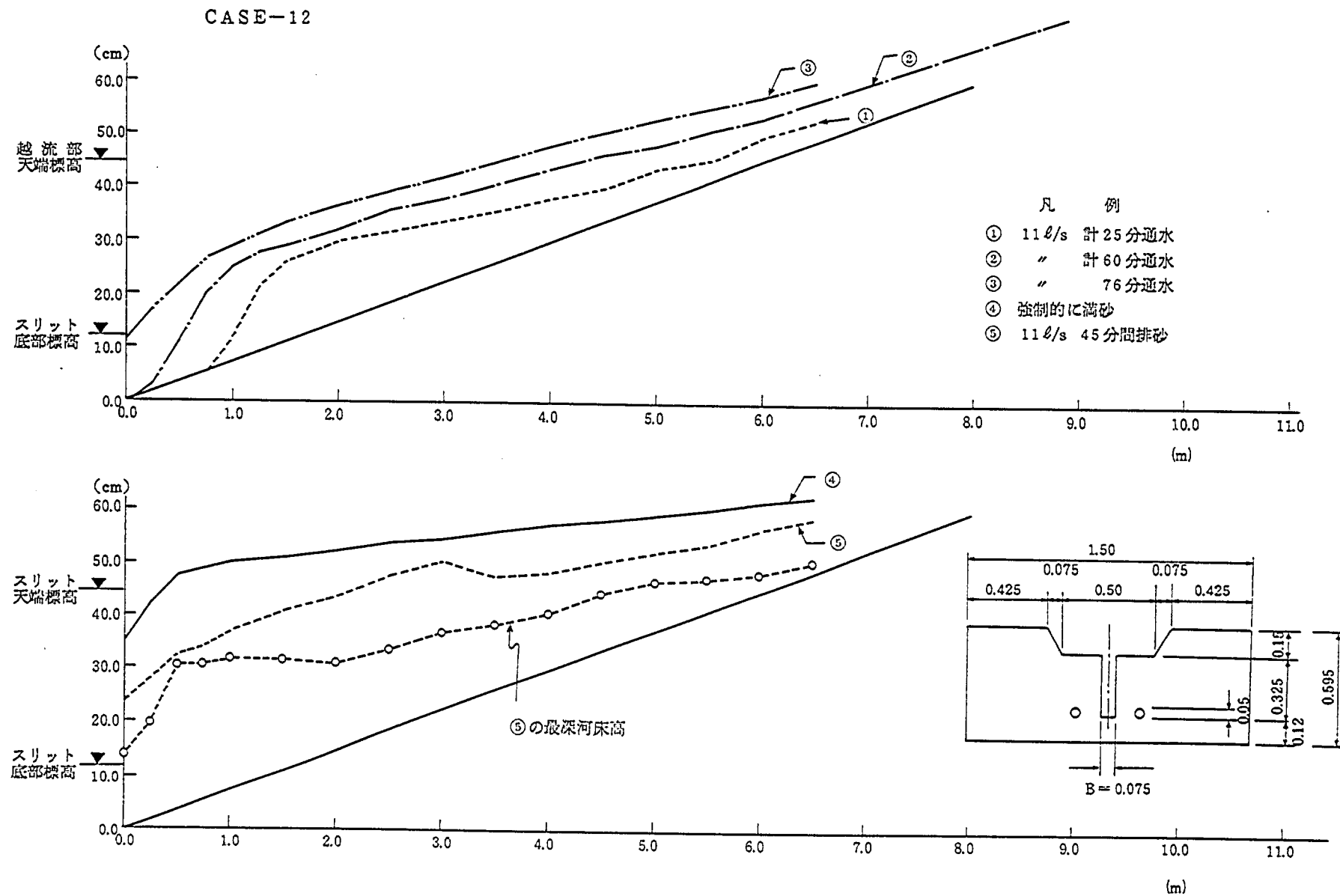


図-2.3.4 ケース・12 (天端開放: $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 11 \ell/s$) の堆砂縦断形

： $B = 7.5 \text{ cm}$ ： $Q = 29 \text{ l/s}$) に同じである。

段階(2)：段階(1)に同じ。

段階(3)：土砂がスリットから流出するまで通水した。通水 11 分にして土砂がスリットから流出し始めた。

段階(4)：スリット，水抜きにふたをして，強制的に満砂させる。

段階(5)：ケース・6（天端接続： $B = 7.5 \text{ cm}$ ： $Q = 11 \text{ l/s}$ ），ケース・12（天端開放： $B = 7.5 \text{ cm}$ ： $Q = 11 \text{ l/s}$ ）と同様。流量 $Q = 11 \text{ l/s}$ を通水してスリットの蓋をとる。スリット開放後 45 分間通水する。

(2) 実験結果

ケース・15（天端開放： $B = 10.0 \text{ cm}$ ： $Q = 29 \text{ l/s} \rightarrow 11 \text{ l/s}$ ）の堆砂縦断形を図 2.3.5 に示した。

実験結果を段階ごとに記述する。

段階(1)：ケース・3（天端接続： $B = 7.5 \text{ cm}$ ： $Q = 29 \text{ l/s}$ ），ケース・9（天端開放： $B = 7.5 \text{ cm}$ ： $Q = 29 \text{ l/s}$ ）と比べると，ケース・3 に近い堆砂過程を示している。

段階(2)：堆砂の勾配は，肩上流が約 $1/30$ ，肩下流が約 $1/2.5$ である。

段階(3)：通水後 11 分で土砂が流出し始め，通水を中止した。

段階(4)：スリット，水抜きに蓋をして，強制的に満砂させた。

段階(5)：スリット開放後，土砂は急激に下流にくずれ落ちるように流下する。すると，スリット周辺に半円状のくぼみができ，その部分が水位低下によりさらに浸食され，それが上流へ波及していった。

しかし，流砂幅は，約 50 (cm) 程度であり，本ケースの場合は，当初は右岸に流路が片寄っていたが，序々に左岸方向へ移動し，45 分経過後にはスリットダム上流は，ダムから約 2.5 (m) にかけて元河床から約 20 (cm) 以上も浸食された。

しかし，スリットダムから $3.0 \text{ m} \sim 7.0 \text{ m}$ にかけては，砂州が残された。

CASE-15

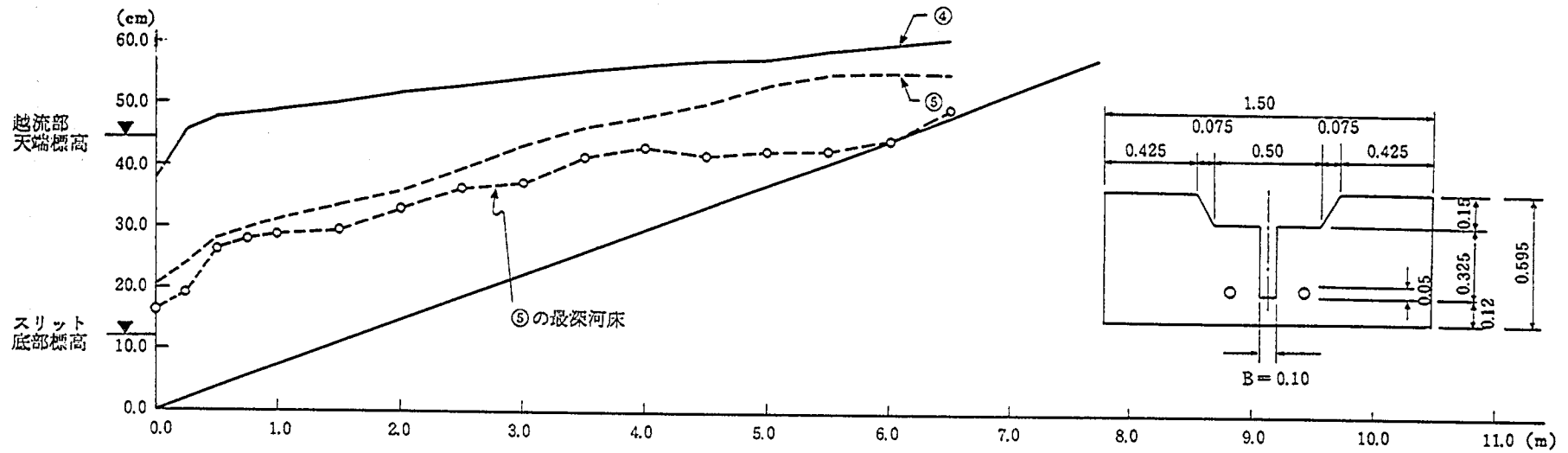
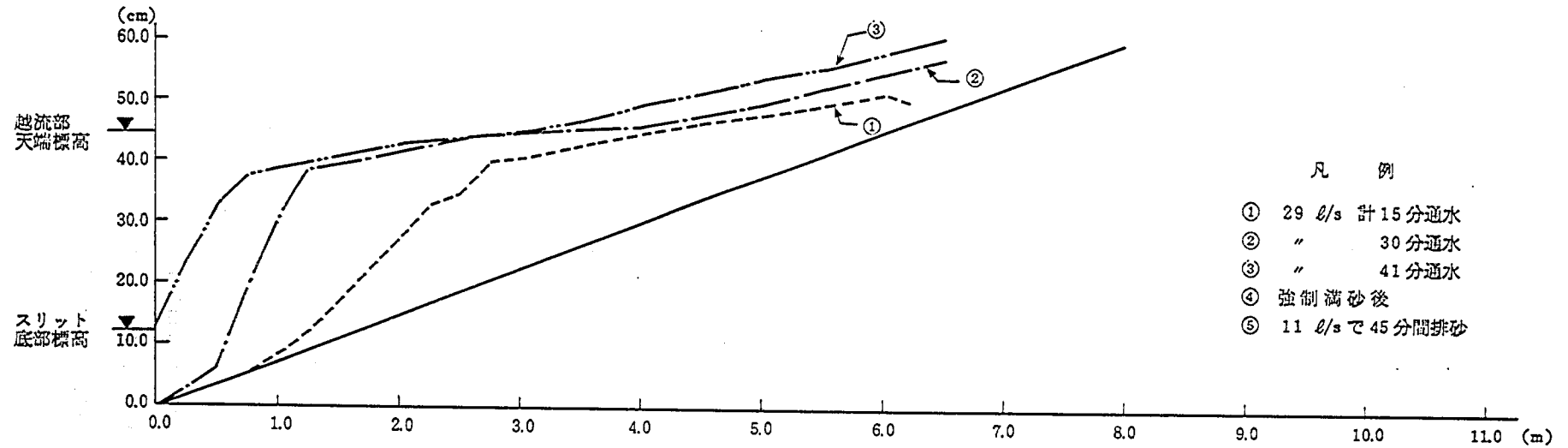


図-2.3.5 ケース・15 (天端開放: $B = 10.0 \text{ cm}$: $Q = 29 \ell/s \rightarrow 11 \ell/s$) の堆砂縦断形

2.3.6 ケース・18 (天端開放: $B = 5.0 \text{ cm}$: $Q = 29 \text{ l/s} \rightarrow 11 \text{ l/s}$)

(1) 実験内容

スリットおよび水抜きに蓋をして、越流水深が 10 (cm) となる流量 29 (l/s) を流下させ、当該スリットダムに対してダム背水域の土砂の堆積過程を観察する。

続いて、スリット、水抜きに蓋をして強制的に満砂させ、スリット、水抜きを蓋をして越流水深 5 (cm) となる流量 11 (l/s) を流し、スリットの蓋を抜いた後の土砂の流出状況を観察した。

① 実験手順

段階(1): ケース・3 (天端接続: $B = 7.5 \text{ (cm)}$: $Q = 29 \text{ l/s}$), ケース・9 (天端開放: $B = 7.5 \text{ (cm)}$: $Q = 29 \text{ l/s}$) に同じである。

段階(2): 段階(1)に同じ

段階(3): 土砂がスリットから流出するまで通水した。通水 26 分にして土砂がスリットから流出し始めた。

段階(4): スリット、水抜きに蓋をして強制的に満砂させる。

段階(5): ケース・6 (天端接続: $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 11 \text{ l/s}$), ケース・12 (天端開放: $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 11 \text{ l/s}$) と同様、流量 $Q = 11 \text{ l/s}$ を通水してスリットの蓋を取る。スリット開放後 45 分間通水する。

(2) 実験結果

ケース・18 (天端開放: $B = 5.0 \text{ (cm)}$: $Q = 29 \text{ l/s} \rightarrow 11 \text{ l/s}$) の堆砂縦断形を図 2.3.6 に示した。

実験結果を段階ごとに記述する。

段階(1): 堆砂の状況は、ケース・3 (天端接続: $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = 29 \text{ l/s}$) のものに非常に似ている。

段階(2): 堆砂肩は段階(1)の終了時からほぼ平行に下流へ約 1 (m) 程度移動 (堆砂が進行) した。

段階(3): 通水時間は、26 分であり、ケース・3 (天端接続: $B = 5.0 \text{ (cm)}$: $Q = 29 \text{ l/s}$) にほぼ同じである。

段階(4): スリット、水抜きに蓋をして強制的に満砂させた。

段階(5): スリット開放後、スリット周辺の土砂はくずれ出し半円状のくぼみを形成する。さらに、くぼみの肩の部分が土石流的に流れくぼみが広がっていった。3 分後には、上記の写真にある右岸側流路の幅 20 (cm) 程度に拡がり、左岸は約 30 (cm) 程度になった。しかし、左岸はその後、流砂がなくなる。

スリット周辺のくぼみの肩の高さが、水位の低下をとともに下がるので、それにつれて浸食は上流へ波及していく。

CASE-18

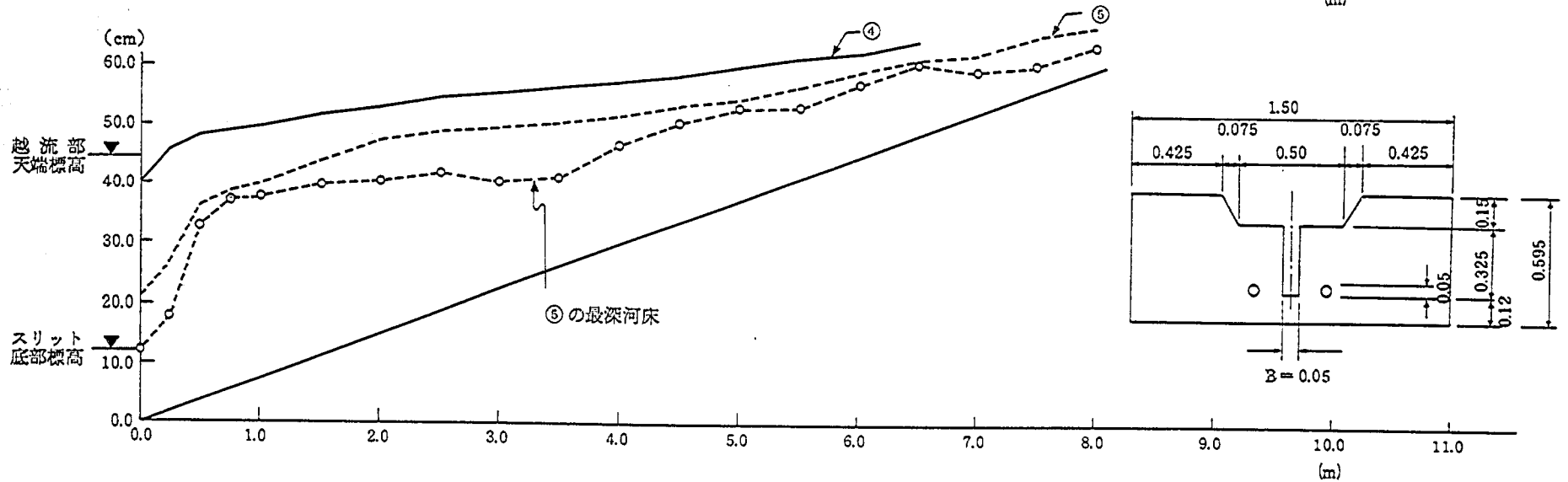
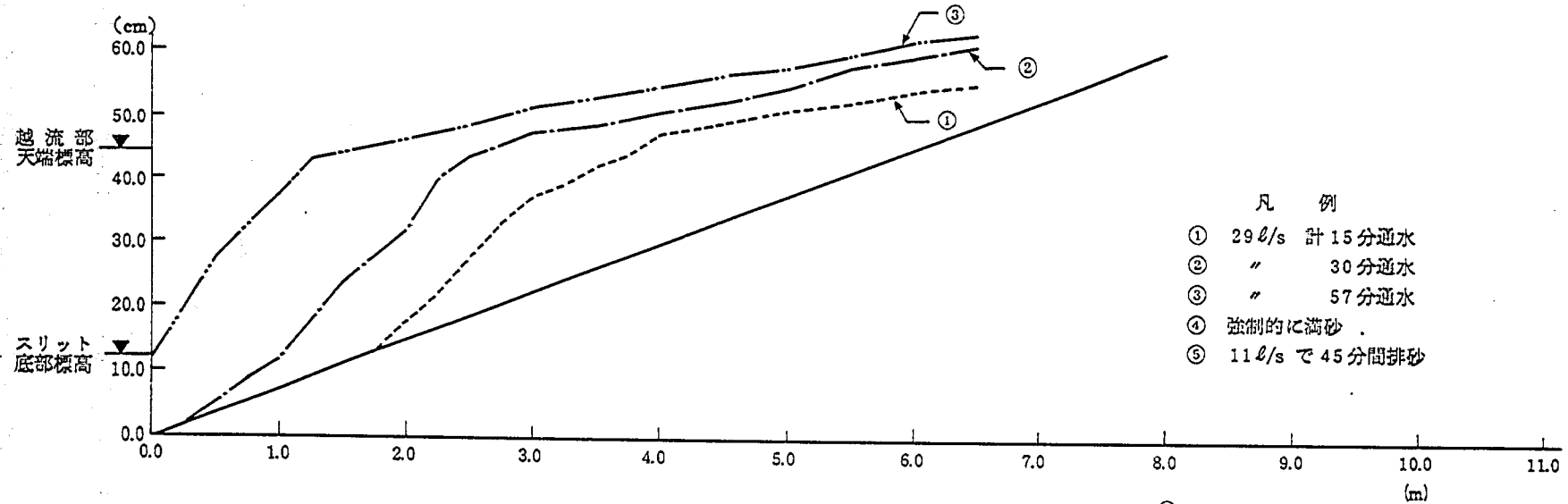


図-2.3.6 ケース・18 (天端開放: $B = 5 \text{ cm}$: $Q = 29 \ell/s \rightarrow 11 \ell/s$) の堆砂縦断形

2.3.7 ケース・19 (天端開放: $B = 7.5$ (cm); 想定ハイドロ)

(1) 実験内容

図-2.3.7のようなハイドログラフを想定して、スリットが閉塞しない場合の堆砂過程ならびに土砂の流出状況を観察、測定した。

スリットからの流砂量は、スリットから土砂が流出し始めてから、1～2分間隔で測定した。

$Q = 29$ (ℓ/s) 時の実験は、給砂箱の容量の関係から、2段階 (10分ずつ計20分) に分けて実験を行った。

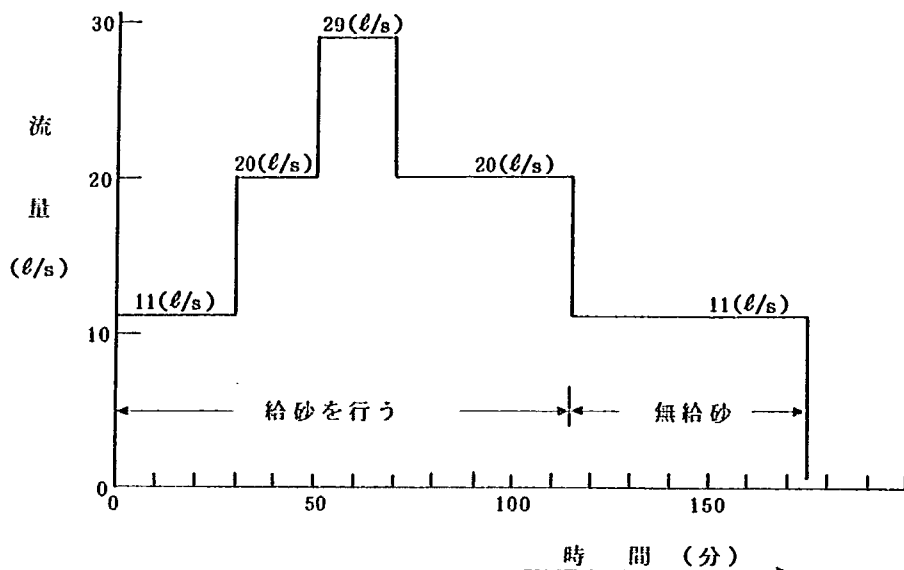


図-2.3.7 ケース・19の想定ハイドログラフ

(2) 実験結果

堆砂縦断形を図-2.3.8に示した。

実験段階ごとに実験結果を記す。

段階(1): 右岸側の堆砂肩が左岸のそれより、より下流に進行している。

通水当初から約15分は、右岸側の堆砂の進行が活発であったが、それ以後は水流も左岸から左岸へ蛇行した。

堆砂の勾配は、堆砂肩の上流で約 $1/25$ 、堆砂肩の下流で約 $1/2.5$ (約 20°) である。

段階(2): 段階(1)のときは流量が 11 (ℓ/s)、スリットダム地点の水位が 38.1 (cm) であったが、段階(2)ではそれぞれ 20 (ℓ/s)、 28.9 (cm) であり、背水位に約 9 (cm) の水位差がある。

そのため、堆砂の進行も水位上昇の影響を受け、段階(1)の堆砂上で堆砂が進むことになる。

この段階も、通水当初から約7分間は右岸側の堆砂の進行が激しく、比較的粗

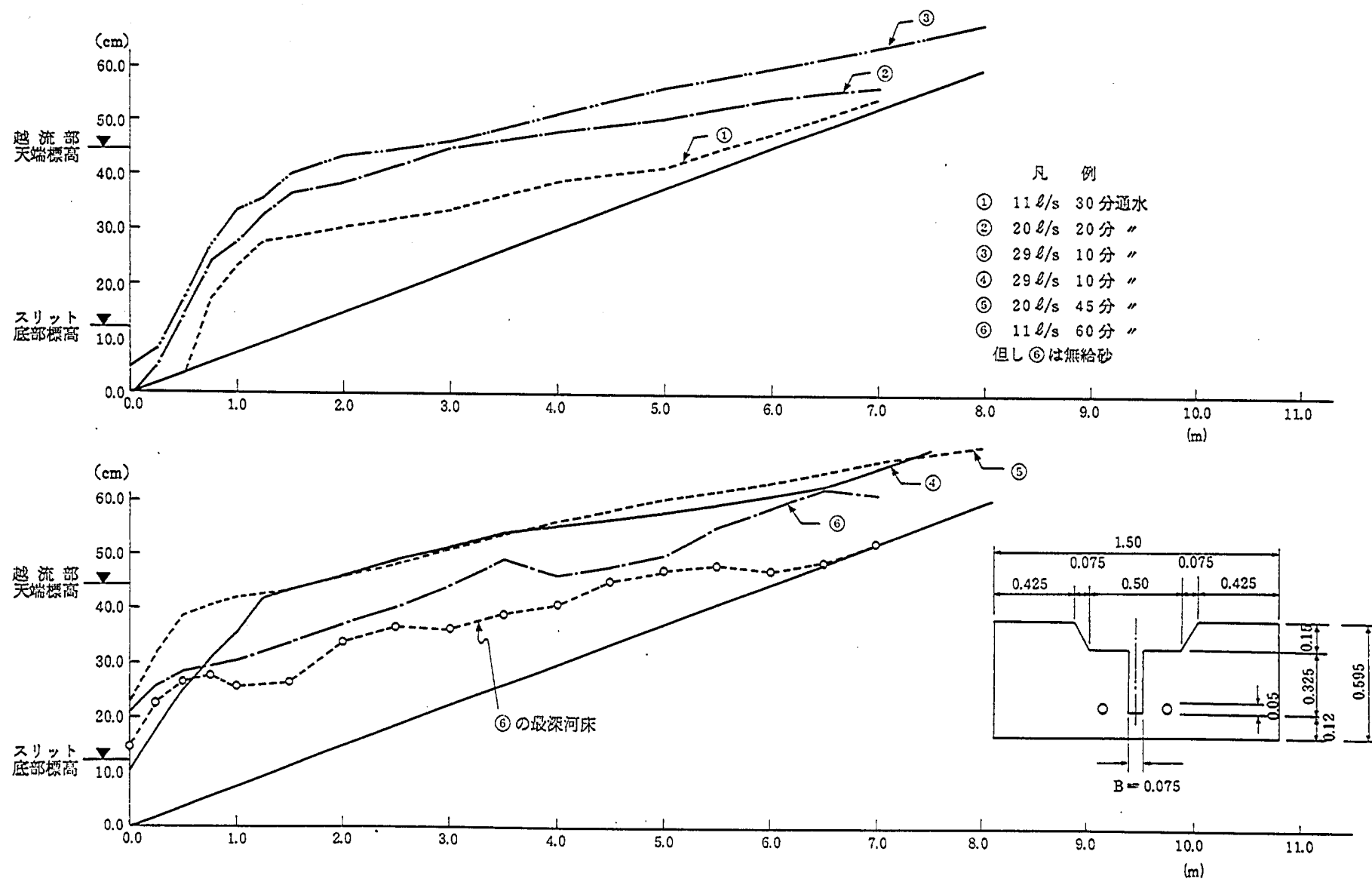


図-2.3.8 ケース・19 (天端開放: $B = 7.5 \text{ cm}$: $Q = \text{ハイドログラフ}$) の堆砂縦断形状

粒の堆砂が進行していった。

その後、通水開始から約 8 分程度が経過すると、左岸側の堆砂が進行していった。

図-2.3.8 の堆砂縦断面形からも、段階(1)終了後の堆砂の上にかぶるように段階(2)の堆砂形状が形成されている。

段階(3)、段階(4) この両段階は、段階(2)よりも流量が $9(\ell/s)$ 、スリットダム地点水位が約 $9(\text{cm})$ 増加するので、段階(1) [$Q = 11 \ell/s$] から段階(2) [$Q = 20 \ell/s$] との関係と段階(2) [$Q = 20 \ell/s$] から段階(3)、段階(4) [$Q = 29 \ell/s$] と関係とがほぼ似ており、堆砂が前段階で作られた堆砂の上に形成されるという結果となった。

図-2.3.8 の堆砂縦断面形も、段階(1)の堆砂に段階(2)の堆砂がかぶさるようになっているのと同様、段階(2)の堆砂に段階(3)、段階(4)の堆砂がおおっている。

また、段階(4)通水 2 分後に土砂は、スリットから流出し始めた。通水 3 分後から流砂量を測定している。

段階(5)： 図-2.3.8 の堆砂縦断面形をみると、この段階終了後の堆砂形状は、段階(4) $Q = 29(\ell/s)$ 終了後の形状とスリットダムから $1.0(\text{m}) \sim 4.0(\text{m})$ 間は、ほとんど差がなく、堆砂肩が下流に約 75 cm 程度進行していること、堆砂末端が浸食されていることから上記の区間が下記に示す流路の変遷はあったものの動的に平衡な河床となっていたことが推察される。

段階(6)： 本段階は $Q = 11 \ell/s$ と 60 分間無給砂で通水したもので、洪水終了時に土砂の供給がなくなったとき、どのように背水池の堆砂が浸食されるかを観察したものである。

流路は通水初期から較べるとスリットダムから $3(\text{m}) \sim 4(\text{m})$ 地点はあまり変化がないが、それより上流、下流ともに右岸から左岸にかけて堆積土砂を浸食しながら変遷していった。

流出流砂量を図-2.3.9 及び表-2.3.2 に示した。

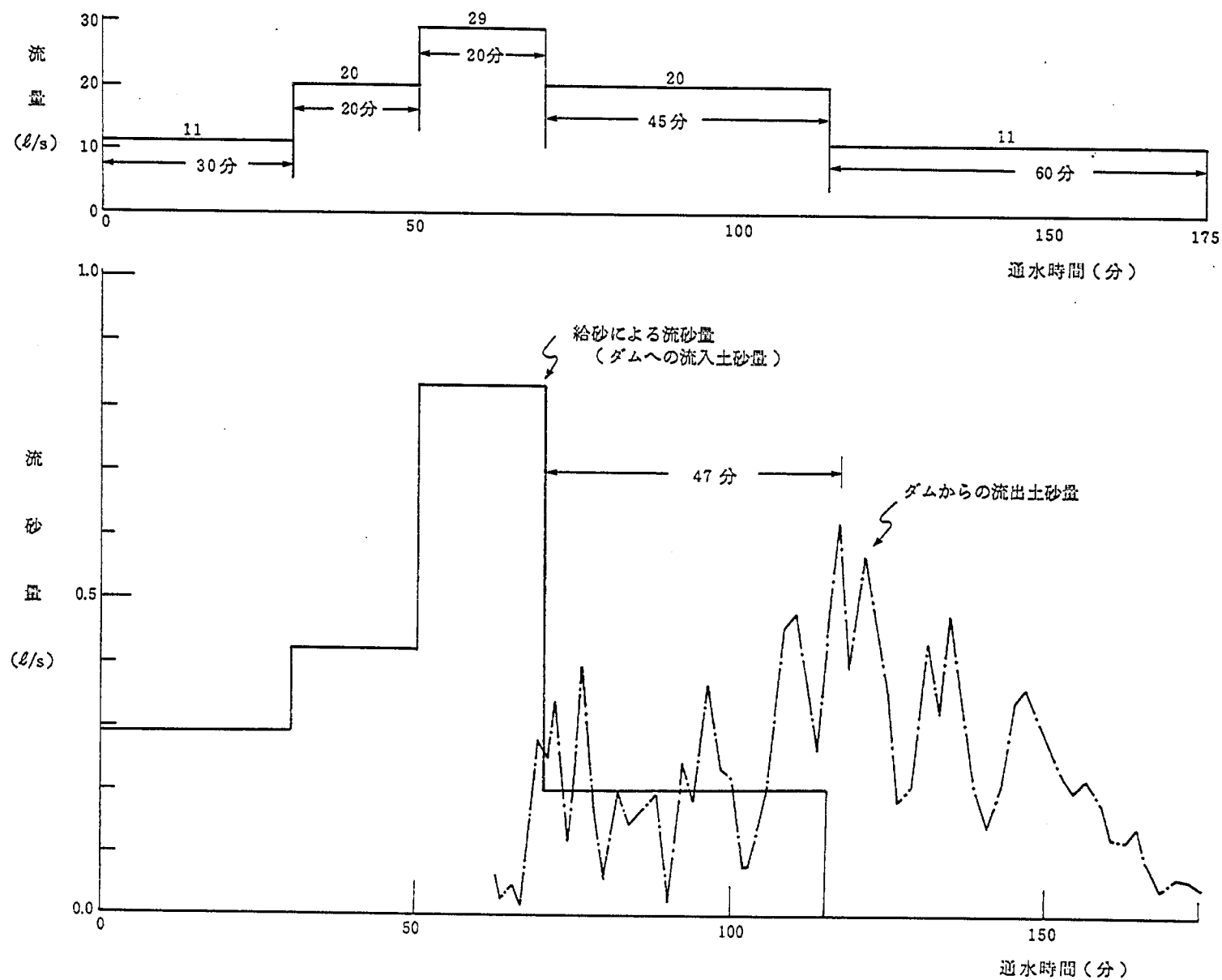


図 - 2. 3. 9 給砂量と流出土砂量との関係

表 - 2. 3. 2 ケース・19 の流出土砂量の時間変化

段階(4)29 ℓ/sec 通水中			段階(4)2 ℓ/sec 通水中			段階(6)11 ℓ/sec 通水中		
経過時間	5 秒間の流出土砂量	流砂量 (ℓ/sec)	経過時間	5 秒間の流出土砂量	流砂量 (ℓ/sec)	経過時間	5 秒間の流出土砂量	流砂量 (ℓ/sec)
(分)	(kg)		(分)	(kg)		(分)	(kg)	
3	0.85	0.064	1	3.2	0.242	0	3.25	0.245
4	0.30	0.023	2	4.5	0.340	2	8.20	0.619
			3	2.9	0.219	4	5.10	0.385
6	0.60	0.045	4	1.5	0.113	6	7.50	0.566
			5	2.3	0.174	8	5.75	0.434
7	0.15	0.011	6	5.25	0.396	10	4.75	0.358
			8	2.45	0.185	12	2.35	0.177
9	3.70	0.079	10	0.75	0.057	14	2.70	0.204
			12	2.65	0.200	16	5.70	0.430
			14	1.95	0.147	18	4.17	0.315
*1) 流出土砂量 27.8 (ℓ)			16	2.20	0.166	20	6.25	0.472
*2) 堆砂量に換算 0.05 (m ²)			18	2.55	0.192	22	4.35	0.328
			20	0.25	0.019	24	2.85	0.215
			22	3.25	0.245	26	1.85	0.140
			24	2.35	0.177	28	2.80	0.211
			26	4.85	0.366	30	4.45	0.336
			28	3.10	0.234	32	4.80	0.362
			30	2.85	0.215	34	4.20	0.317
			32	0.95	0.072	36	3.50	0.264
			34	1.65	0.125	38	2.85	0.215
			36	2.85	0.215	40	2.55	0.192
			38	5.10	0.445	42	2.90	0.219
			40	6.25	0.472	44	2.45	0.185
			44	-3.55	0.268	46	1.55	0.117
						48	1.50	0.113
						50	1.80	0.136
						52	1.00	0.075
						54	0.45	0.034
						56	0.75	0.057
						58	0.75	0.057
						60	0.60	0.045

*1) 流出土砂量 921 (ℓ)

*2) 堆砂量に換算 1.5 (m²)

*1) 経過時間と流砂量との関係から求めた流出土砂量 (礫実質分の体積)

*2) 堆砂の空隙 $\lambda = 0.4$ を考慮して堆砂量に換算したもの。

2. 3. 8 ケース・20 (天端開放 : $B = 10.0 \text{ (cm)}$: $Q = 29 \text{ ℓ/s}$ 排出のみ)

ケース・21 (天端開放 : $B = 10.0 \text{ (cm)}$: $Q = 15 \text{ ℓ/s}$ 排出のみ)

(1) 実験内容

ケース・20 及びケース・21 では次の実験を行った。

段階(1) : スリット, 水抜きに蓋をして強制的に満砂させる。

段階(2) : ケース・20 では 29 (ℓ/s) を, ケース・21 では 15 (ℓ/s) を通水し, スリットの蓋を取り, 土砂の流出状況を観察する。

通水時間は, 45 分間であり, 2 ~ 3 分間隔にスリットからの流砂量を測定した。

(2) 実験結果

ケース・20 (天端開放 : $B = 10.0 \text{ (cm)}$: $Q = 29 \text{ ℓ/s}$ 排出のみ) とケース・21 (天端開放 : $B = 10.0 \text{ (cm)}$: $Q = 15 \text{ ℓ/s}$ 排出のみ) の堆砂縦断形を図 - 2. 3. 10 に示す。

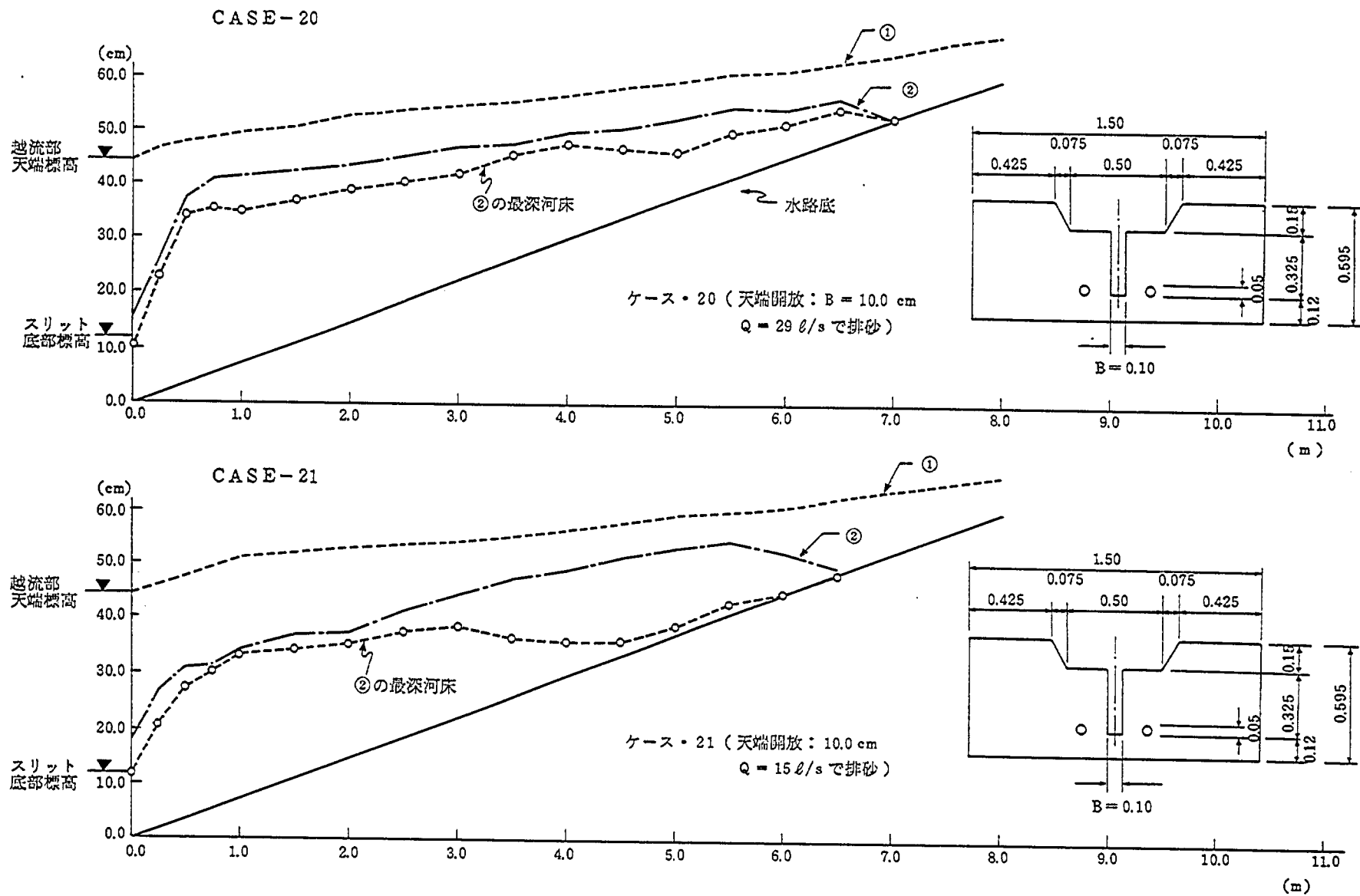


図-2.3.10 ケース・20 とケース・21 の堆砂縦断形状

2.3.9 堆砂過程

(1) 流量 29 ℓ/s に対する堆砂過程

図-2.3.11には、流量 29 ℓ/s に対する土砂の堆砂過程を今回の実験で対象としたすべてのスリットダム地点の水位が高いについて比較した。

図には上から、15分通水後、計30分通水後、及びスリットから土砂が流出し始めた後の堆砂形状を砂防ダムの種別ごとに示した。表-㉔は、採用した実験ケースと砂防ダムの種別の関係を表-㉕は、段階(1)終了時(15分通水後)の堆砂量とケースごとの線種別の凡例を、表-㉖は、段階(2)終了時(計30分通水後)の堆砂量とケースごとのスリットダム地点の水位(スリットダム底を基点)を、そして表-㉗はケースごとの段階(3)終了時点での合計通水時間とその時の堆砂量を各々示している。

図-2.3.11からわかる事項を列挙すると、以下のとおりである。

- 堆砂肩上流の堆砂勾配は約 $1/30$ 程度である。
- 堆砂肩下流の勾配は段階(2)、段階(3)終了後のもので、 $1/2 \sim 1/3.5$ ($16^\circ \sim 26^\circ$) 程度である。段階(1)でケース・3、ケース・15のものが、緩勾配となっているのは、この段階終了時では必ずしも、横断的に均一に堆砂が進んでいるのではなく左岸、右岸で堆砂の進行状況に差があり、平均河床高にならずと図のように緩勾配となっているにすぎない。

つまり、堆砂肩下流は、土石流発生限界勾配 ($14^\circ \sim 16^\circ$) から水中安息角 ($26^\circ \sim 30^\circ$) 程度の勾配までを示すようである。

- 堆砂の進行はケース・15(天端開放: $B = 10.0$ cm)のものが、最も速く、通水時間計41分でスリットから土砂が流出し、ケース・3(天端接続: $B = 7.5$ cm)、ケース・18(天端開放: $B = 5.0$ cm)のものと較べると16分早く土砂が流出している。

これは、ケース・3、ケース・18と比較してケース・15は水位が表-㉖のように約7 cm程度低く、同流量に対しては流積が小さくなる→流速が大きくなる→掃流力が大きくなるためである。

- その逆にスリットダム地点の水位の最も高いケース・18(天端接続: $B = 5.0$ cm)が最も堆砂の進行が遅い。
- 堆砂の堆積深は、スリットダム地点の水位が高いほど大きい。
- ケース・18とケース・15とを比較すると水位差は7.6 (cm) に対し堆積深の差は、3 cm $\sim$ 7 cm程度であり、ほぼ水位差に対応している。

(2) 流量 11 ℓ/s に対する堆砂過程

図-2.3.12には、流量 11 ℓ/s で堆砂過程を実験したケース・6及びケース・12の実験結果を示した。

両ケースは、共にスリット幅 $B = 7.5$ (cm) のスリットダムを用い、ケース・6の場合天端接続であるが $Q = 11 \ell/s$ では天端の影響を受けないため水理的に同条件の実験である。

しかし、堆砂形状は若干の相違を示している。これは、給砂を人力で行っており、給砂のバラツキが影響しているものと思われる。

本実験では、ダムが満砂（スリットから土砂が流出）するまで約 75 分、 $Q = 29 \text{ l/s}$ の場合より 20 分～30 分より長く通水する必要があった。

堆砂肩は水位に対応しているが、 $Q = 29 \text{ l/s}$ の場合よりも、細長い縦断形（堆砂末端のスリットダムからの距離が長い）を示しており、堆砂量は満砂時で約 $2 (\text{m}^3)$ である。

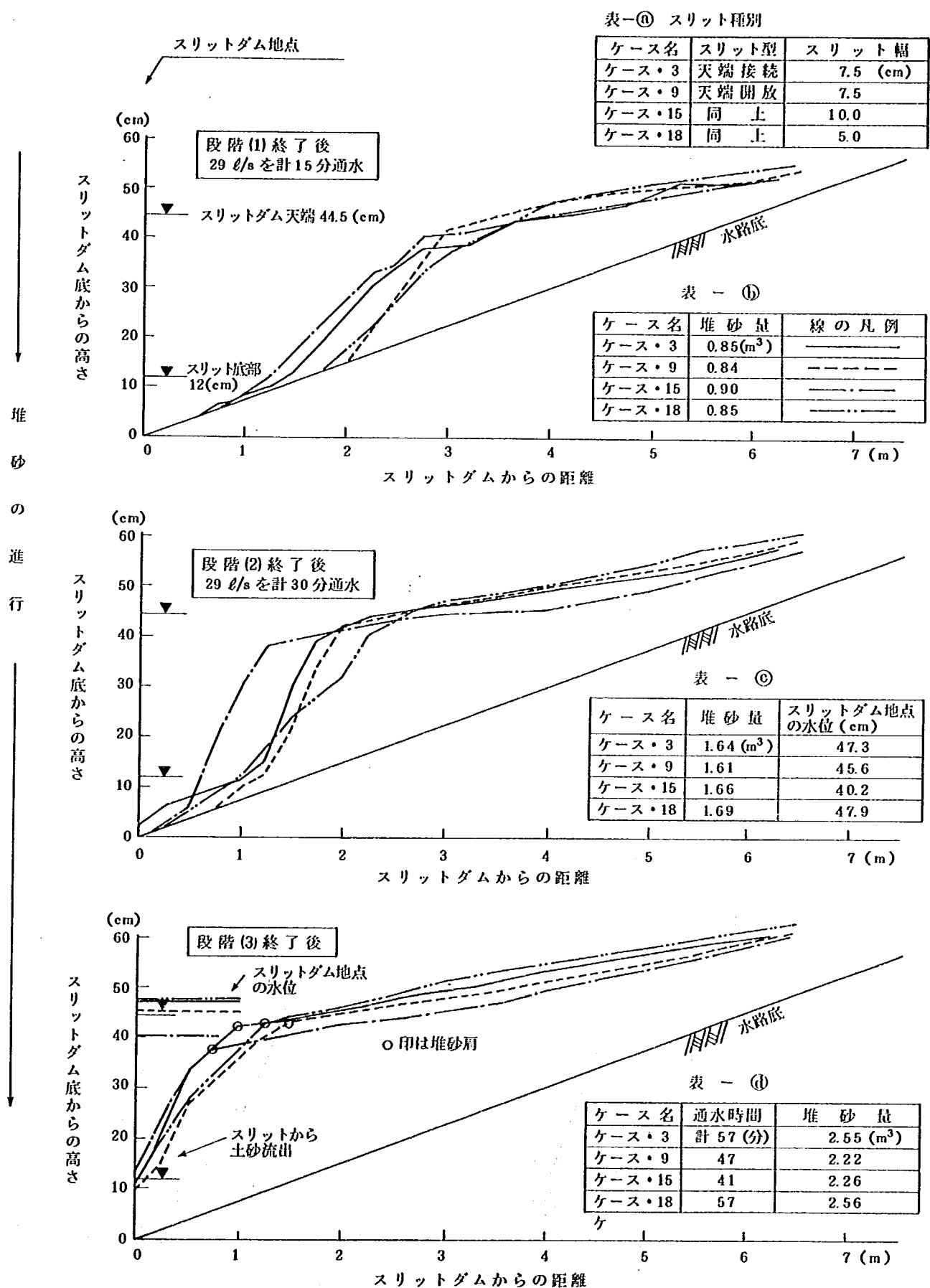


図-2.3.11 同一流量(29 ℓ/s)に対する堆砂過程
(堆砂形状はすべて平均河床高により表示)

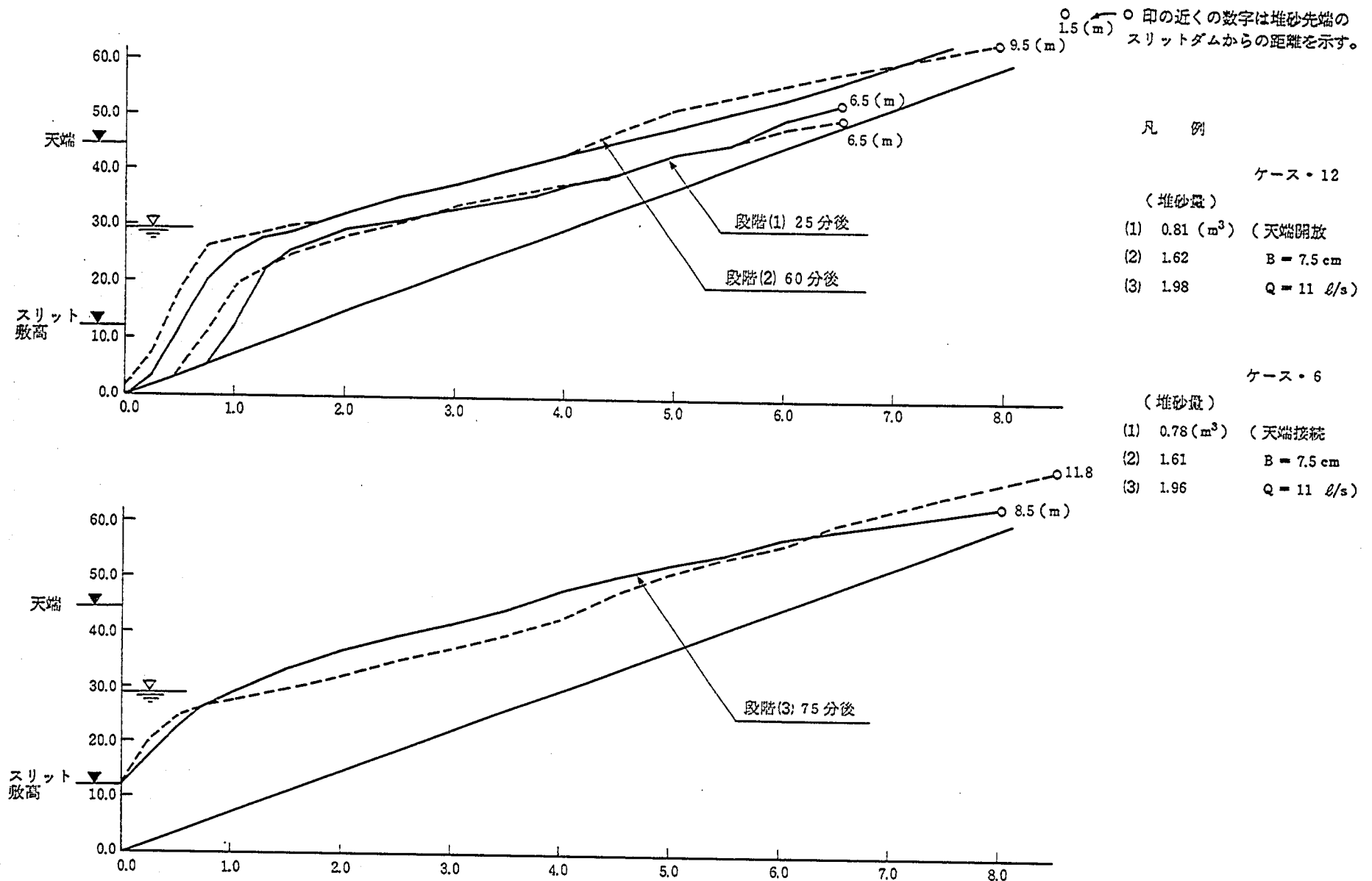


図 - 2.3.12 ケース・6 とケース・12 の堆砂過程

2.3.10 満砂後の排砂状況

(1) 同一流量 11 ℓ/s に対するスリット形状による排砂状況の相違

図-2.3.13.には、同一流量 11 (ℓ/s) に対するスリット形状(スリットダム種別)による排砂状況の相違を示した。

また、図-2.3.14.には、その時のスリットから流砂量の時間変化を示した。

土砂はスリットの蓋をとると、地這りの流送→土石流的流送→掃流による流送、その浸食の上流への伝播といった過程をとって池内の堆砂を下流へ流送する。

流出率(45分間の流出土砂量の排砂前の満砂時堆砂量に対する割合)とスリット幅との関係を図-2.3.15(b)に示したが、図のようにスリット幅と流出率とが、この実験範囲では、ほぼ比例関係にあり、スリット幅が大きいほど流出率が高い。

図-2.3.15(c)には、スリットの蓋をとった直後の流砂量とスリット幅との関係を示した。天端開放のものだけ比較するとスリット幅 7.5 cm のものは、同スリット幅の天端開放のものよりかなり流砂量が大きく特異な値となっているが、流量が $Q = 29 \ell/s$ の場合逆に天端接続の方が小さくなっており、この2通りの実験のみでは、その原因を判断することができない。

図-2.3.15.によると同流量においては、スリットダム地点の水位が低いほど流出率及びスリットの蓋をとった直後の流砂量が多い。

全ケースとも掃流によりダム地点水位より高いところは、浸食され浸食は上流へ遡上していく。浸食河幅は、ほぼレジューム則によるところの、河幅にはほぼ一致している。

$$Q = 11 \ell/s \text{ の場合, } B = (3 \sim 7) Q^{\frac{1}{2}} = 30 (\text{cm}) \sim 70 (\text{cm})$$

(2) 同一スリットダムに対する流量による排砂状況の相違

図-2.3.17.に同一スリットダム(天端開放: $B = 10.0 (\text{cm})$)に対する流量による排砂状況の相違を河床形状で示し、図-2.3.18.は流砂量の時間変化で示した。

ケース・15とケース・21は対象流量が 11 (ℓ/s), 15 (ℓ/s) とほぼ同じであることを考慮すると、流量が大きいと背水位が上昇するので浸食の下限標高が高くなり、流量が小さい方がかえって流出土砂量を大きくする。

他のスリットダムに対しても図-2.3.16.のように流量が小さい方がより多くの土砂が流出する。

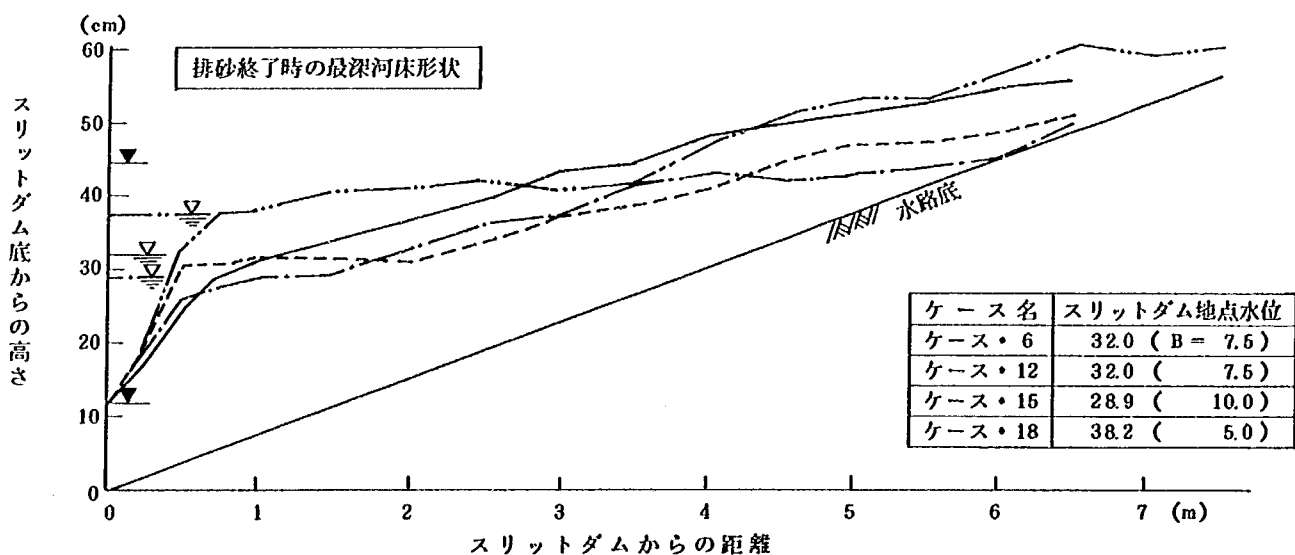
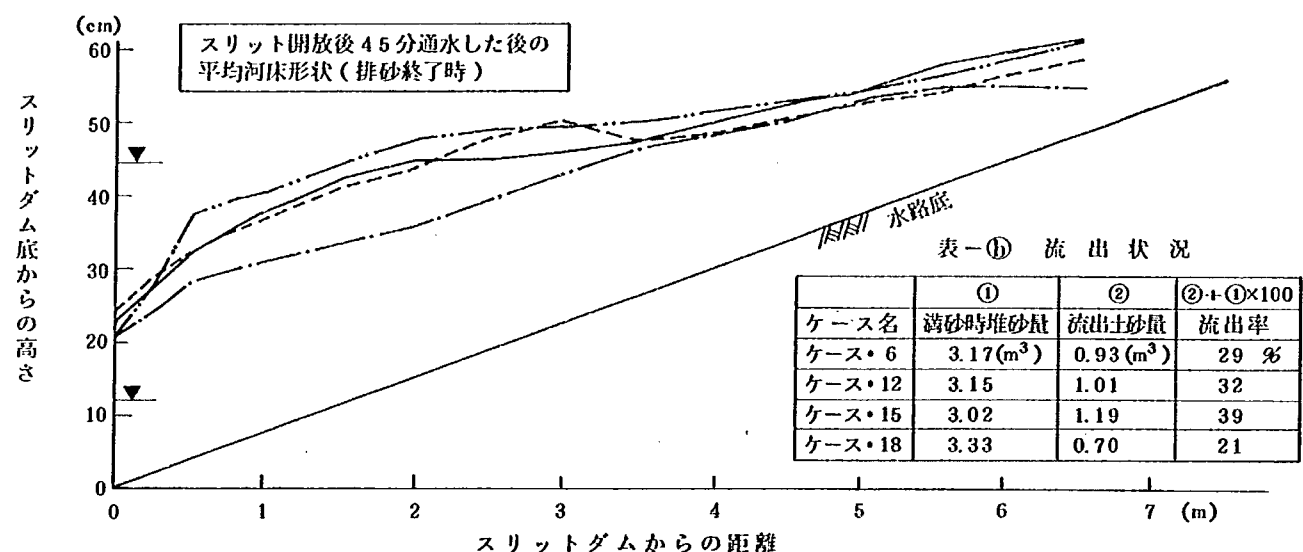
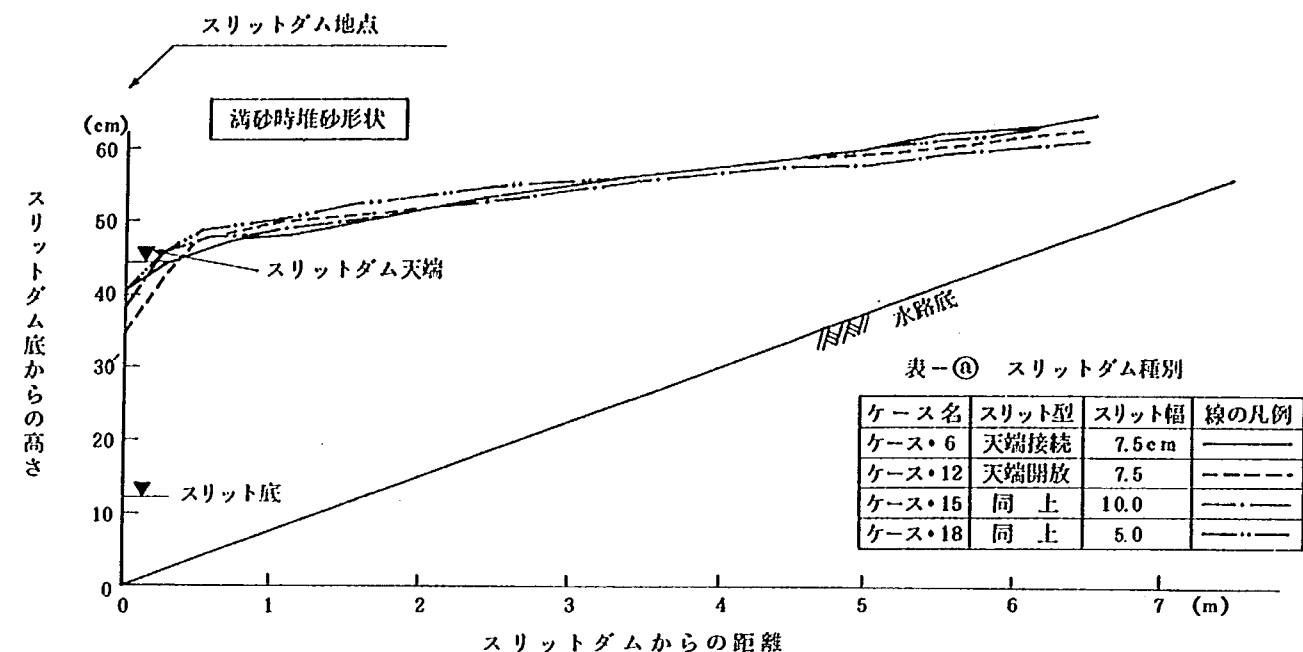


図-2.3.13 同一流量 11 l/s に対するスリット形状による排砂状況の相違

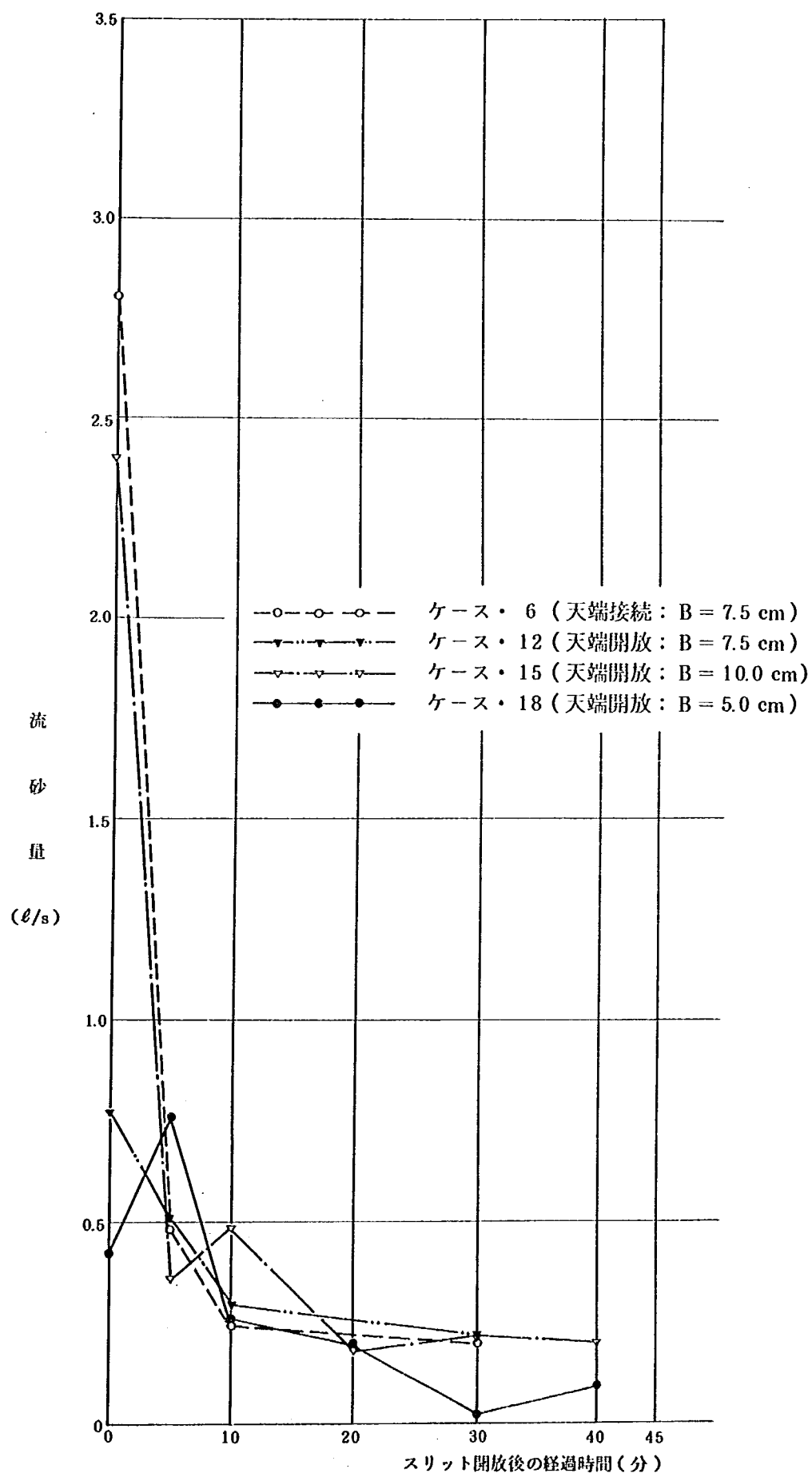
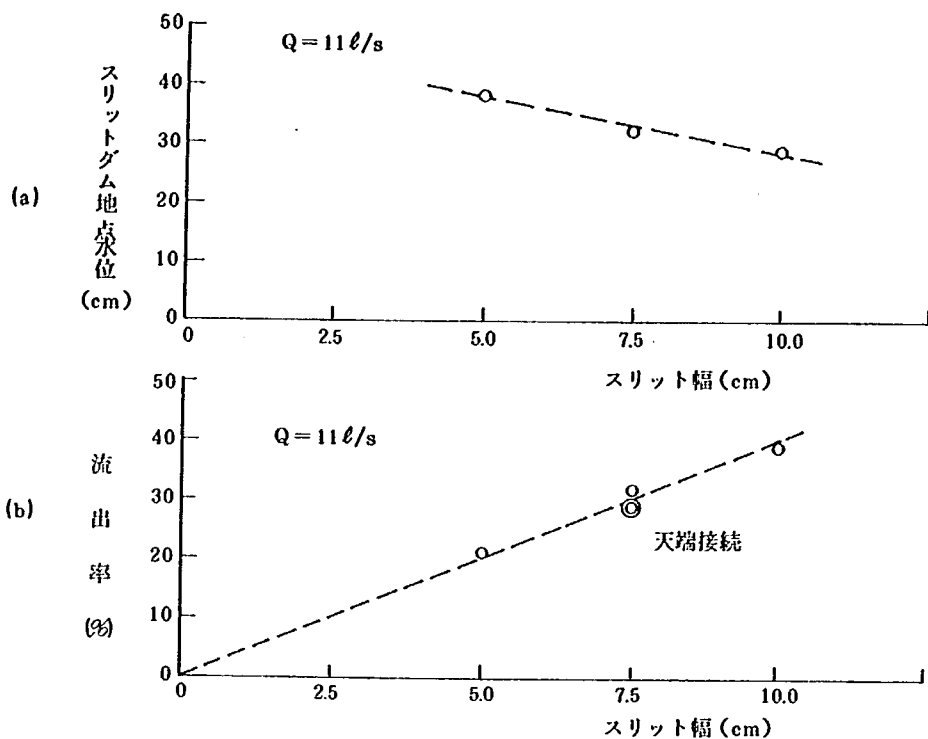


図-2.3.14 流量 11 ℓ/s で排砂したケースの流出流砂量の時間変化



注) 流出率は下記のように定義している。

$$\text{流出率} = \frac{\text{45 分間の流出土砂量 (m}^3\text{)}}{\text{排砂前満砂時堆砂量 (m}^3\text{)}}$$

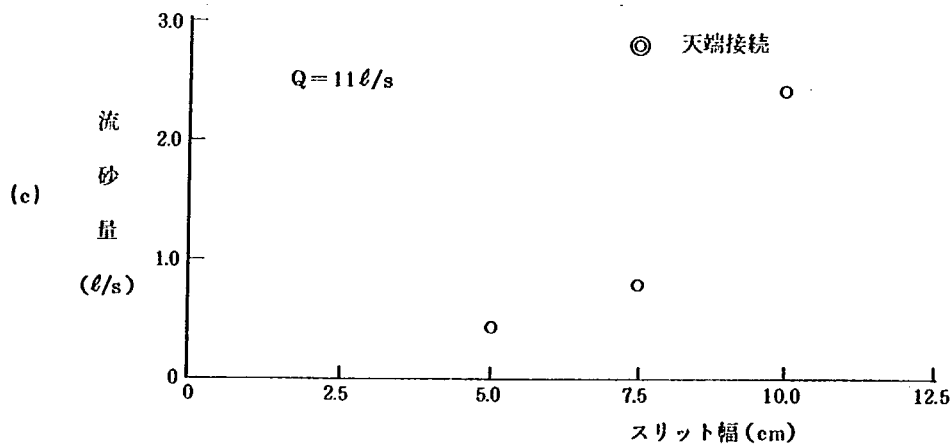


図-2.3.15 スリット幅と水位、流出率、流砂量との関係
(流量 $Q = 11 \text{ l/s}$ で排砂した場合)

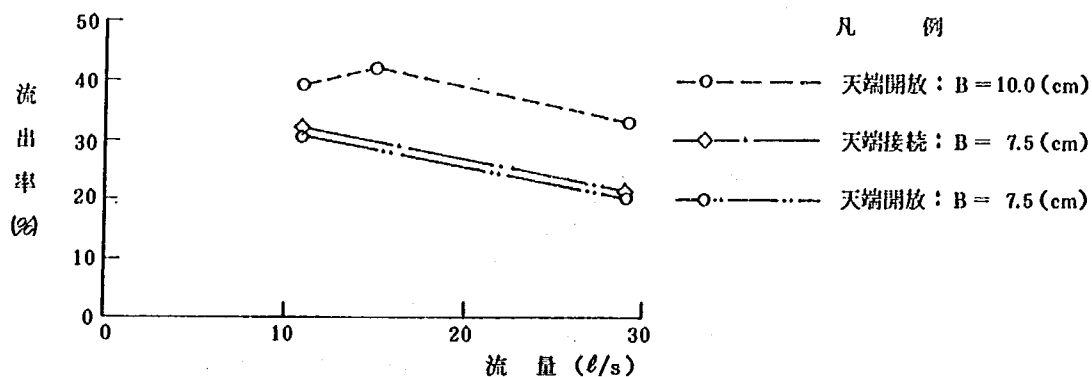


図-2.3.16 流量と土砂流出との関係

○ 排砂終了後の堆砂肩下流の河床勾配は、 $1/3.5 (15^\circ)$ から $1/2 (26^\circ)$ 程度とする。

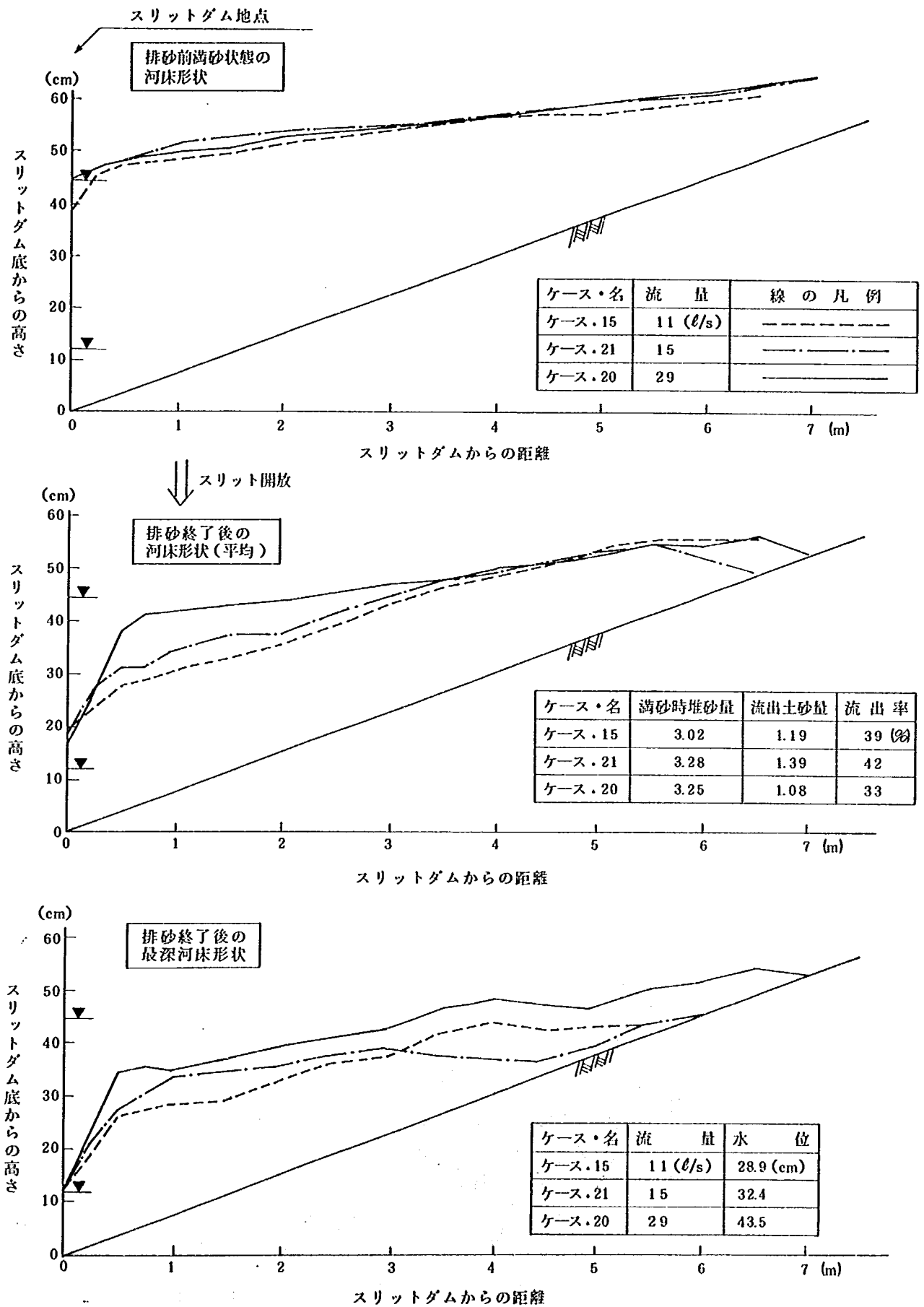


図-2.3.17 同一スリットダム(天端開放: $B = 10.0$ (cm))に対する流量による排砂状況の相違

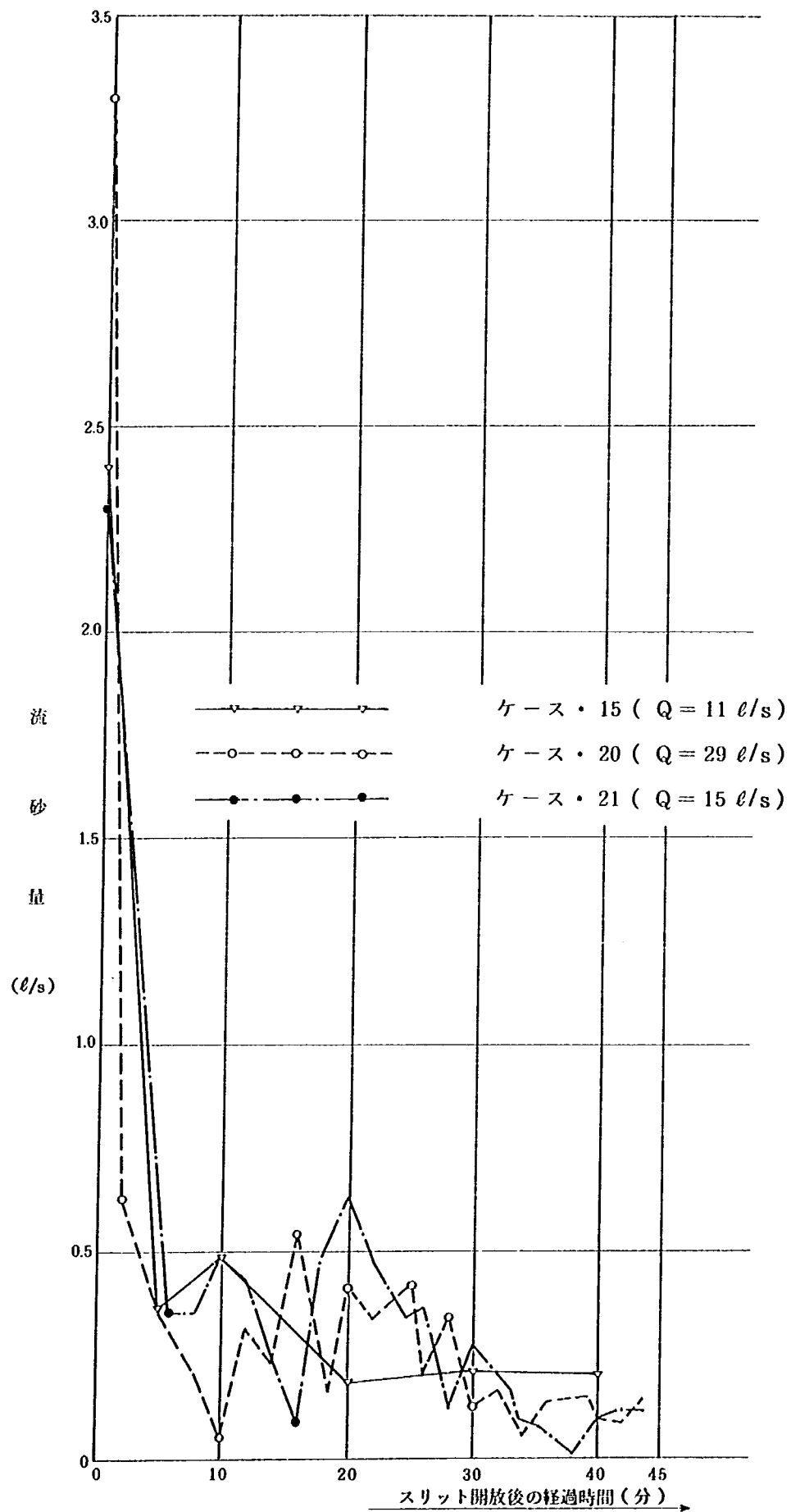


図- 2.3.18 同一スリットダム (天端開放: $B = 10.0 \text{ (cm)}$) を対象として実験ケースの流砂量の時間変化

2.3.11 スリットが閉塞しない場合の土砂調節効果

ハイドログラフを想定して天端開放：スリット幅 $B = 7.5 \text{ (cm)}$ のスリットダムを対象に実験を行った。

(1) 堆砂過程

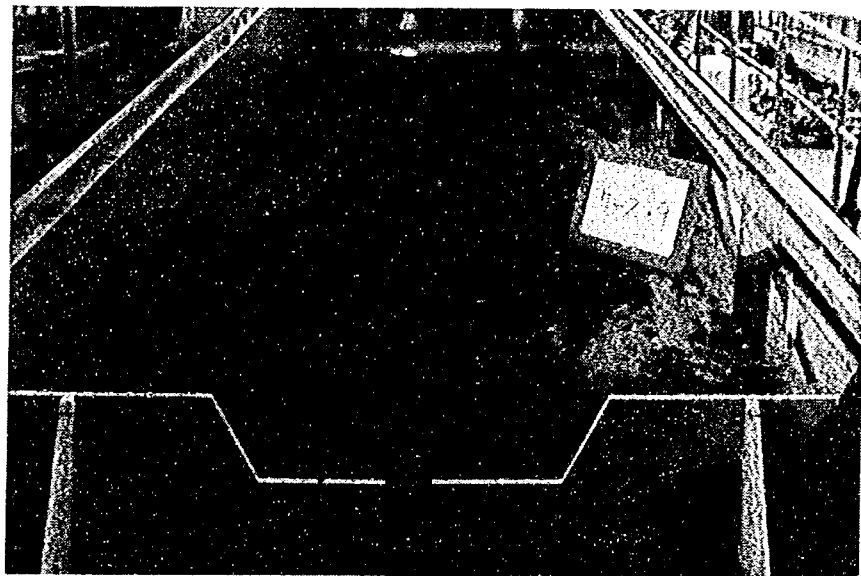
流量増加時の堆砂は小流量時の堆砂上をより大流量時の堆砂が新たに進行していく。これは、大流量になればなるほど背水位が上昇するからである。

後続の堆砂が先行の堆砂を追い抜いた状態で、小流量の堆砂形状に大流量時の堆砂がかぶさる様な形態で堆砂が形成されている。

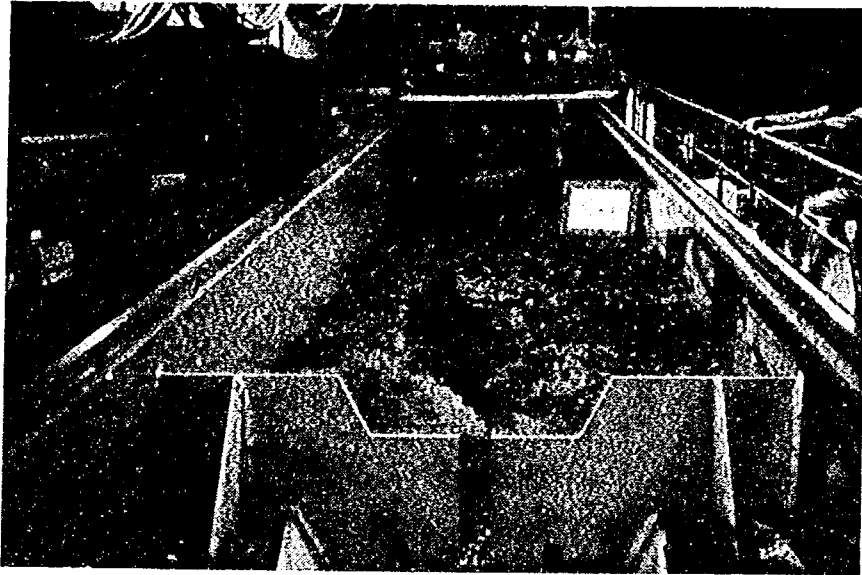
(2) 給砂流砂量と排砂流砂量

給砂による流砂量のピークが $0.83 \text{ (}\ell/\text{s)}$ であるのに対し、ダムからの流出流砂量のピークは $0.63 \text{ (}\ell/\text{s)}$ であり、約 75 % に流砂量のピークを調節している。

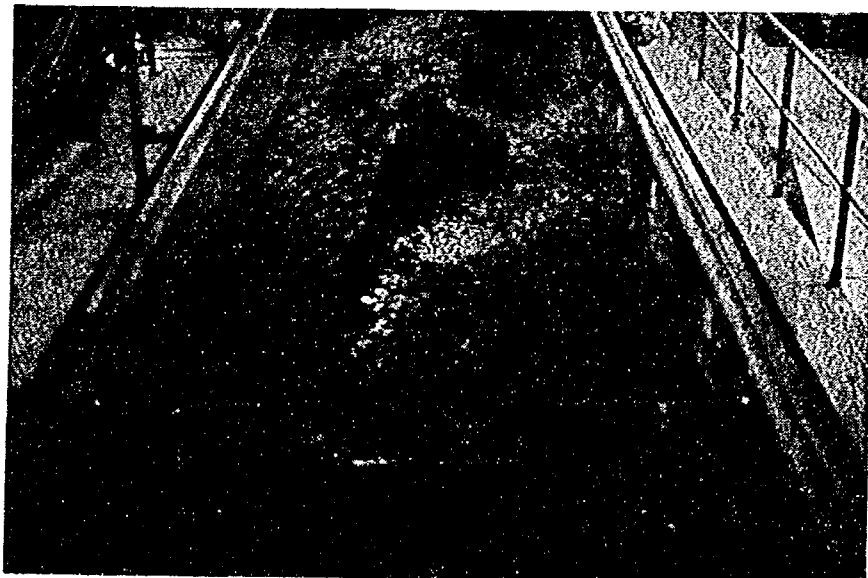
時間的に、本実験では約 50～60 分程度土砂の流出を遅らせることができるようである。しかも、満砂時で約 $3 \text{ (m}^3\text{)}$ 堆積していた土砂が、通水終了時には、約 $2 \text{ (m}^3\text{)}$ となり、約 $1 \text{ (m}^3\text{)}$ の土砂を洪水減水期に排出できている。



写真－5 スリット幅 7.5 cm 、流量 $29 \ell/\text{s}$ で土砂動態に関する実験を行った結果
砂防ダム直上流は、半円状の地じりの崩れを示しており、上流の河床高は、水位に規制されて高い位置を保っている状況



写真－6 スリット幅 7.5 cm, 流量 11 ℓ /s で土砂動態に関する実験を行った結果
砂防ダム地点での水位が低い位置で規制されているため, 河床の浸食
が上流へ遡上していき, ほぼレジューム則によるところの河幅となっ
ていった状況



写真－7 ケース・19 でハイドログラフによる実験, 流量 29 ℓ /s で給砂を行っ
ている段階である少量の土砂流出はあるが, 上流は横断的に高低差の
少ない堆積が進んでいる状況である。



写真-8 ケース・19で、流量を11 ℓ/s に落して、無給砂の状態にしたもので、土砂の流出が多くなり、上流では、蛇行を伴った河床低下が進んでいる状況である。

3. ま と め

(1) 流 況 に つ い て

- スリット・水抜きに蓋をして越流水深が 10 (cm) となる流量 29 ℓ/s に対しては、減勢池における完全跳水は、どのスリットダムに対しても生じておらず、十分な減勢が行われていない。これは副ダム高の不足および水褥池長の不足が原因と考えられる。
- 流量一定の場合、スリット幅が広い方が狭い方よりも落水の落差が小さくなること、水褥池での流水幅が広くなることの理由から減勢効果は大きい。
- スリットからの放流水の減勢は下記の方法で設計することができる。
 - ：基本式は河川砂防技術基準に従う。ただし、本ダム越流部流速は $V_0 = C\sqrt{2gh_3}$ を用いる。ここで h_3 はスリット底面から測った水深とする。
 - ：流水幅は、スリットから放流される水脈の落水直前の流水幅とする。
 - ：スリットからの水脈の落水直前の流水幅は、本実験の範囲では大体スリット幅の 4 倍となっているので、本模型に関する限りこの値を用いることができる。

(2) 流 木 に つ い て

- 流木の閉塞率は、流木の長さ ℓ とスリット幅 B との比 (ℓ/B) が大きくなるほど大きくなる。
- 流木の閉塞率と流量との間には相関は認められなかった。

(3) 土 砂 動 態 に つ い て

- 下流端（スリットダム地点）の水位が高いほど堆砂肩が高くなり、貯砂能力が大きくなる。そのため、貯砂量を増やすためには、スリット幅が小さいあるいはスリットがない方がよい。
- 満砂後、スリットを開けて、一時的に流出する土砂のピーク流出土砂量は、スリット幅が大きいほど大きい。土砂流出はスリット周辺の地回り現象、谷頭浸食の上流への伝播、堆砂の下流への進行の 3 過程を経て、平衡状態に近づいていく。
- スリットが閉塞されない堆砂の進行及び土砂の流出状況についてハイドログラフを想定して実験した。

この場合、ピーク流出土砂量はピーク流入土砂量よりも小さくなり、土砂流出開始が遅くなって土砂調節効果が確認された。
- 土砂の流れはスリット部に集中するので、コンクリートの摩耗はさけられない。ゴム板、鉄板等の耐摩耗材の採用やスリット底面を下流副ダムの高さより低くする等の配慮が必要となろう。

スリットを有する砂防ダ
ムの水理模型実験報告書

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第 2034 号
昭和 59 年 1 月 (1984)

キーワード：砂防ダム、スリット、土砂調節効果

要 旨

土砂流出の少ない流域では水抜き暗渠に流木がひっかかり水質が悪
化するという問題が生じている。

この問題を解決し、さらに、土砂調節効果を増加させるためスリッ
トを有する砂防ダムの水理模型実験を実施した。



郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所
砂防研究室
御中

No. _____

土研資料第 2034 号

No. _____

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第2034号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印

