

土木研究所資料

大きな水抜き暗渠を有する砂防ダムの 土砂調節効果に関する水理模型実験報告書

昭和59年 2 月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

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。

ま え が き

昭和57年8月の台風10号により関東地方建設局富士川砂防工事事務所管内には釜無川で430 mm, 早川で505 mmの昭和34年の災害時と同程度の大雨が降り多量の土砂流出を見た。釜無川の小武川と大武川には比較的大きな水抜暗渠を持つ小武川1号砂防ダム(高さ23 m, 長さ113 m, 昭和39年2月完成)と石空(いしうとう)川ダム(高さ15 m, 長さ79 m, 昭和37年12月完成)があり, いずれも出水後の調査ではかなり高い位置に堆砂の痕跡を残して多量の土砂が再流出していた。大きな水抜暗渠に期待されていた土砂の調節効果, すなわちピーク流出土砂量を減少させ, ピーク流出土砂量の出現時刻を遅らせる効果を発揮したと推察されるが, その過程は観察されなかったので不明である。調節効果が十分大きいのであれば今後建設される砂防ダムに積極的に取り入れることも考えられるが, その時には最適な暗渠の大きさを与える必要がある。また, 他の地域で見られたような流木による閉塞や, 土砂の噴出事故についても十分な検討が必要である。そこで富士川砂防工事事務所の依頼によって, 小武川1号砂防ダムの模型を実験水路に設置して, 土砂の調節効果, 暗渠の大きさによる調節効果の変化を調べることになった。その結果最大礫径によって閉塞せず, かつ水をせき上げる大きさの大暗渠を有する砂防ダムにはある程度の土砂調節効果が期待できることがわかり, 任意の流量, 流出土砂量に対して堆砂, 排砂過程を追跡する方法を得た。ただし, 流木による暗渠の閉塞や, 多量の土砂が特定暗渠に集中することによる閉塞の発生は十分予想され, 偶然そのかみ合わせがはずれる時には土砂の噴出事故が発生することも考えられるので, この種の砂防ダムの採用は下流河道について十分安全であることを確認した上でなされるべきである。

昭和59年2月

土木研究所砂防部砂防研究室

主任研究員 水 山 高 久

福 本 晃 久

目 次

まえがき

1. 現 地 調 査	1
1.1 小武川第1砂防ダム	1
1.2 石空川砂防ダム	3
2. 水理模型実験	14
2.1 実験の概要	14
2.1.1 実験目的	14
2.1.2 実験施設	14
2.1.3 砂防ダム模型	14
2.1.4 相 似 則	15
2.2 実験条件	18
2.2.1 実験ケース	18
2.2.2 河床材料	19
2.2.3 流 量	19
2.2.4 給砂方法	20
2.2.5 実験時間	20
2.2.6 初期河床形状	20
2.2.7 測 定	22
2.3 実験結果	22
2.3.1 固定床実験	22
2.3.2 移動床現況模型実験 (G - 3 3)	25
2.3.3 第1回模型改造 (K - 3 3)	27
2.3.4 第2回模型改造 (K - 5 0)	30
2.3.5 第3回模型改造 (K - 6 6)	37
2.3.6 給砂無しの場合の比較	40
2.3.7 給砂有りの場合の比較	43
2.3.8 閉 塞	48
2.3.9 C A S E 1 7 の再実験	48
2.3.10 流木による水抜き閉塞	50
2.4 ま と め	53
2.4.1 ダム堆砂	53
2.4.2 流出土砂量	53
2.4.3 土砂調節効果	56
3. 結 論	57

1. 現 地 調 査

1.1 小武川第1砂防ダム

昭和57年の10号, 18号の2つの台風の後に現地を調査した。台風10号の直後にすでに同様の状況であったという話であるが, 写真1-1に見られるように砂防ダム上流の兩岸に

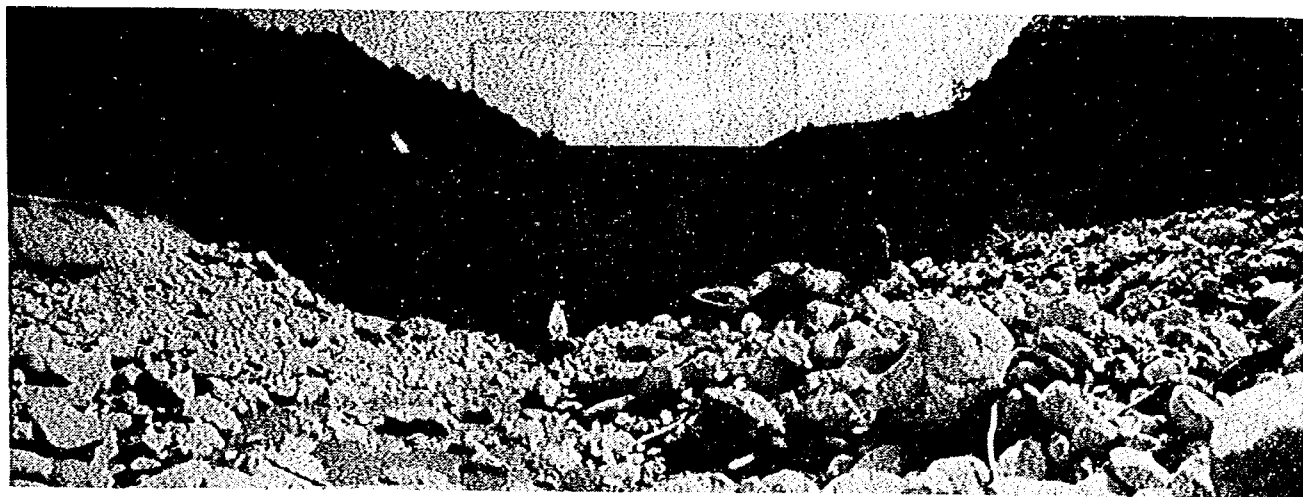


写真1-1 砂防ダム上流の状況

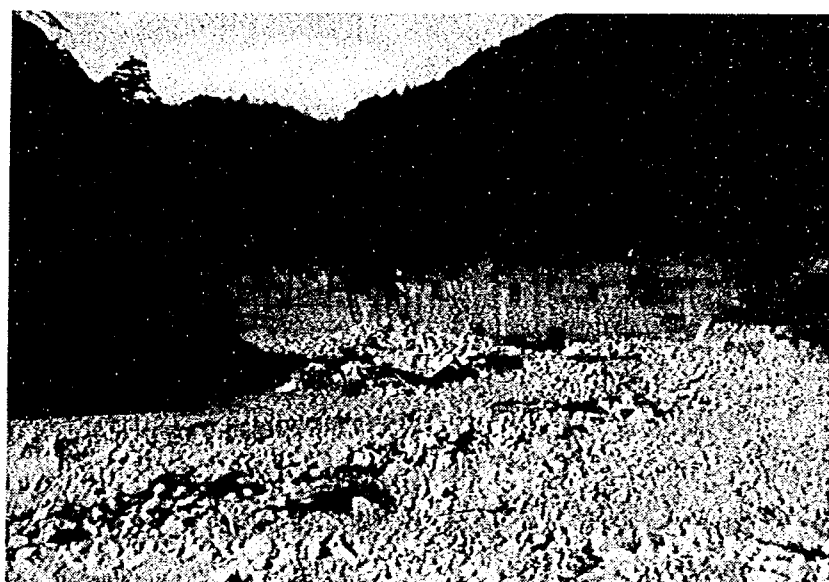


写真1-2 小武川第1砂防ダム(下流より)

粒径2~3mmの砂がダム天端下約2mの高さまで堆積しており河道中央部は洪水後半に浸食されたと推察される。

図1-1に示すように小武川第1砂防ダムには2m×2mの水抜暗渠が3つ設けられており, これがいわゆる土砂調節効果を発揮したものと思われる。

3つの暗渠の内、右岸側の暗渠は、土砂が噴出した形で閉塞している。(写真1-2, 1-3)

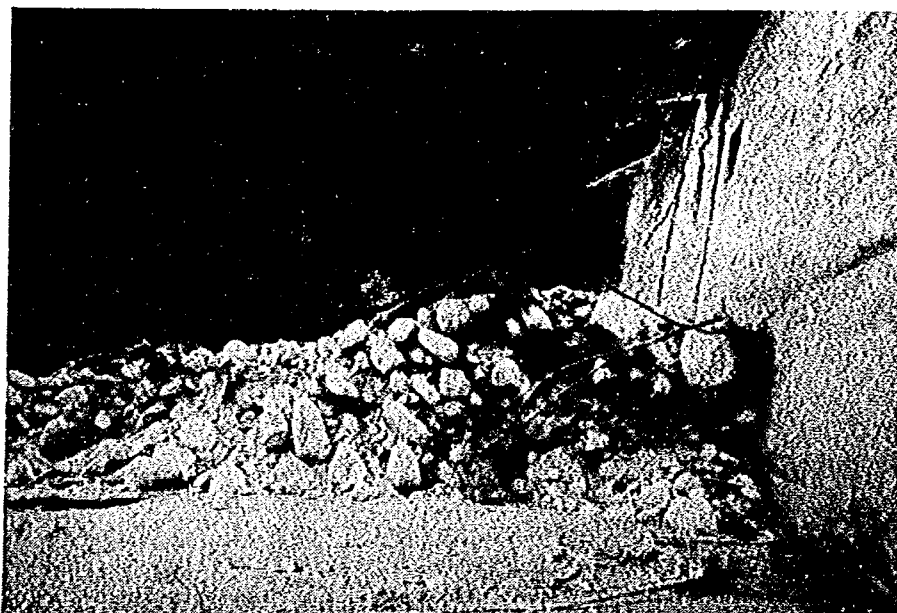


写真1-3 右岸側暗渠の推積状況(下流側)

左岸側の暗渠の上流側(写真1-4), および下流側(写真1-5)は1m程度底面が浸食されている。これは洪水後半に砂礫が集中して暗渠部を通過するためである。暗渠底面の高さを最初から下流の水面の高さとは一致させるか、摩耗に耐える材料を暗渠底面に使用する等の改良が必要と考えられる。

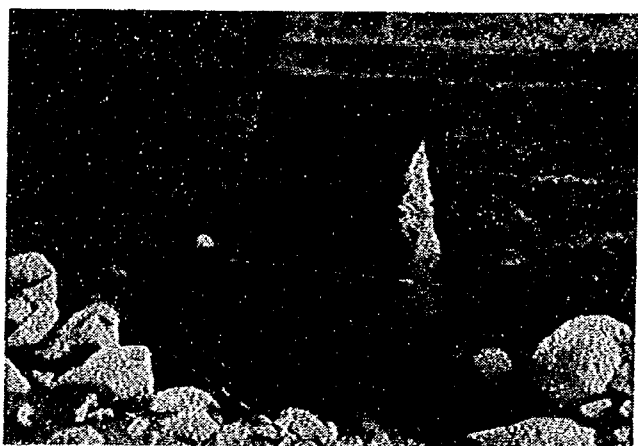


写真1-4 左岸の暗渠(上流側)



写真1-5 左岸の暗渠(下流側)

写真1-6, 1-7は、それぞれ中央の暗渠の上流および下流の状況である。流水がこの暗渠に向かった時間が短かったためであろう、底面の洗掘は左岸のものよりは少ない。

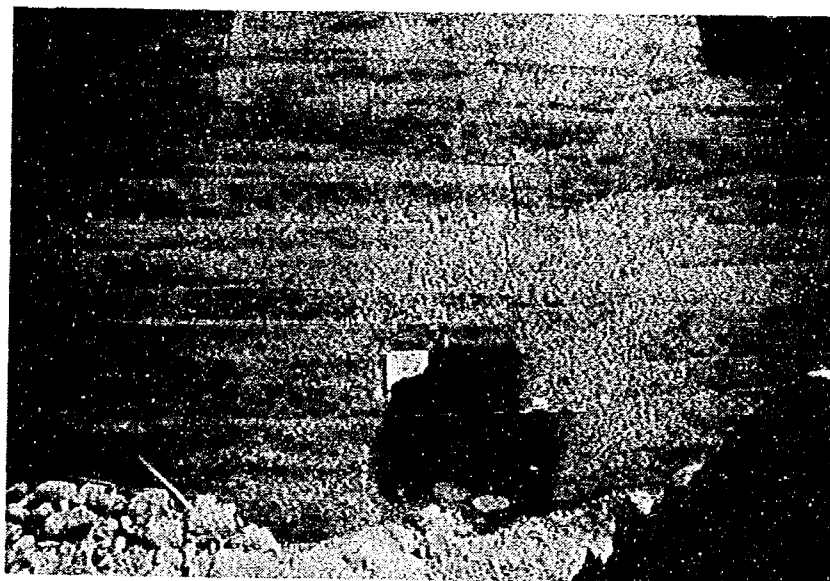


写真1-6 中央の暗渠（上流より）



写真1-7 中央の暗渠（下流より）

砂防ダム上流の堆積状況からは、出水中には、ほぼ水平にダム天端下2 m程度まで堆砂し、洪水後半に流量が減少し始めると流れは天端を越えなくなって暗渠からのみ流出するようになり、水位の低下につれてダム上流の堆積土砂が侵食されて下流に流出したと想象される。

（写真1-8, 1-9）

1.2 石空川砂防ダム

大武川の右支川にある石空川砂防ダムも1.5 m×1.5 mの比較的大きな水抜き暗渠を有する砂防ダムである。写真1-10に見られるように上流部兩岸沿いに砂の堆積が見られ、中央部は

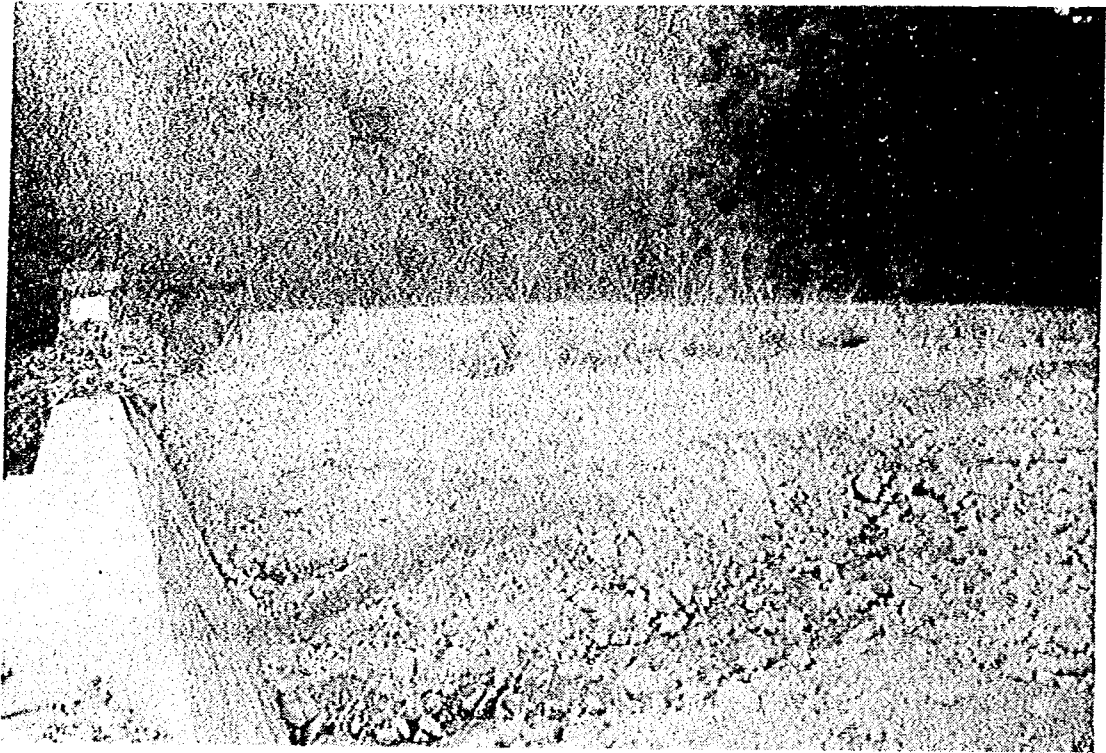


写真1-8 砂防ダムの堆砂状況

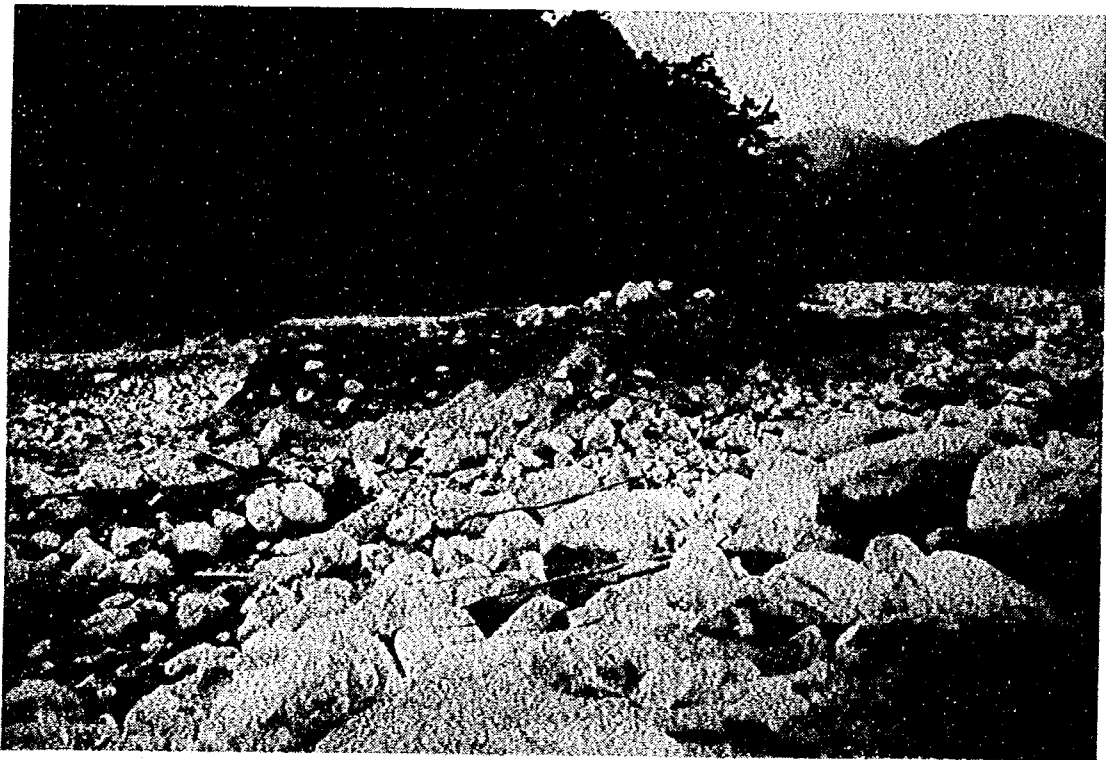


写真1-9 砂防ダム上流の堆砂状況

小武川第一ダム

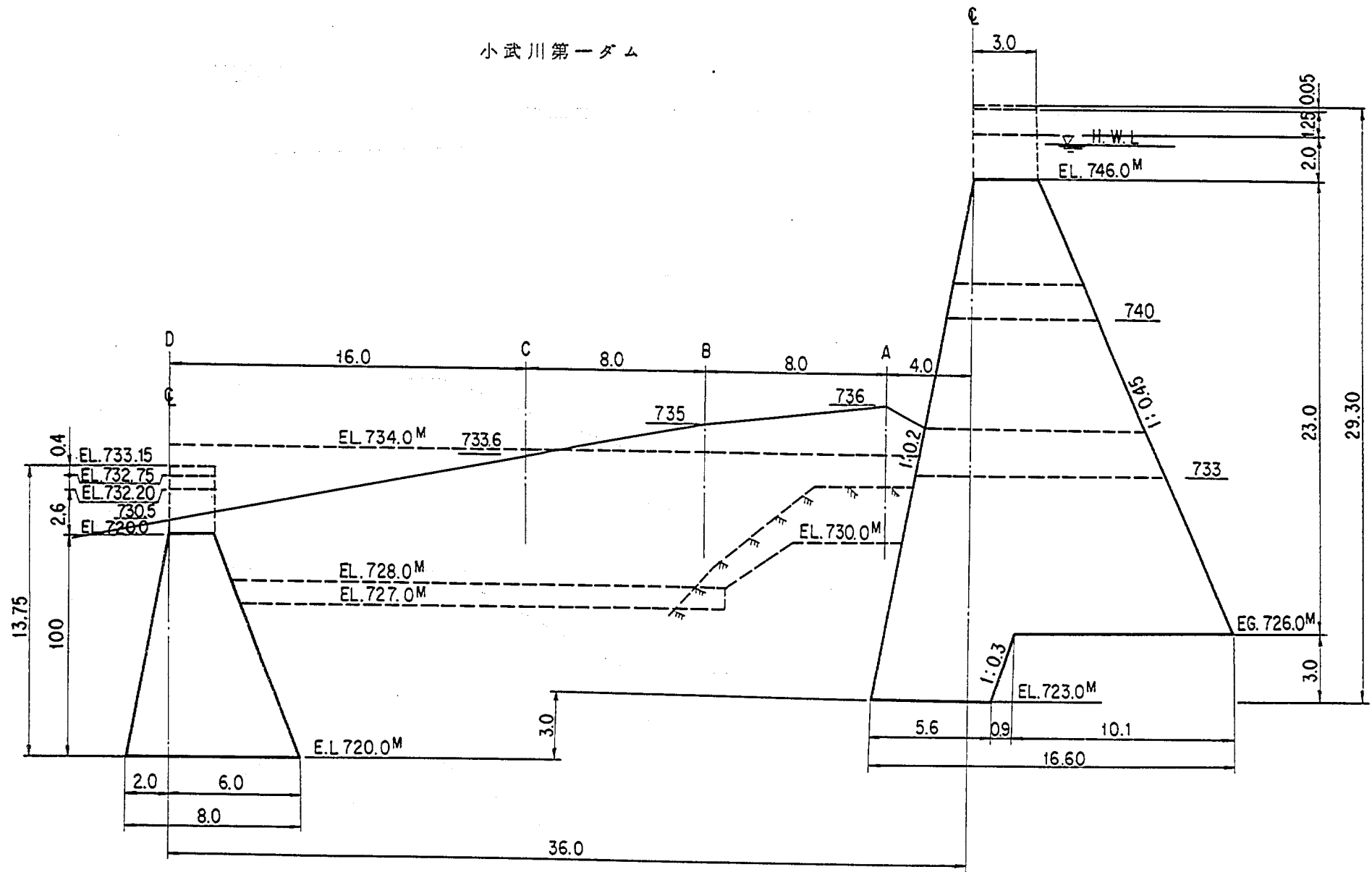


図1-1(2) 本副堰堤間標準断面図

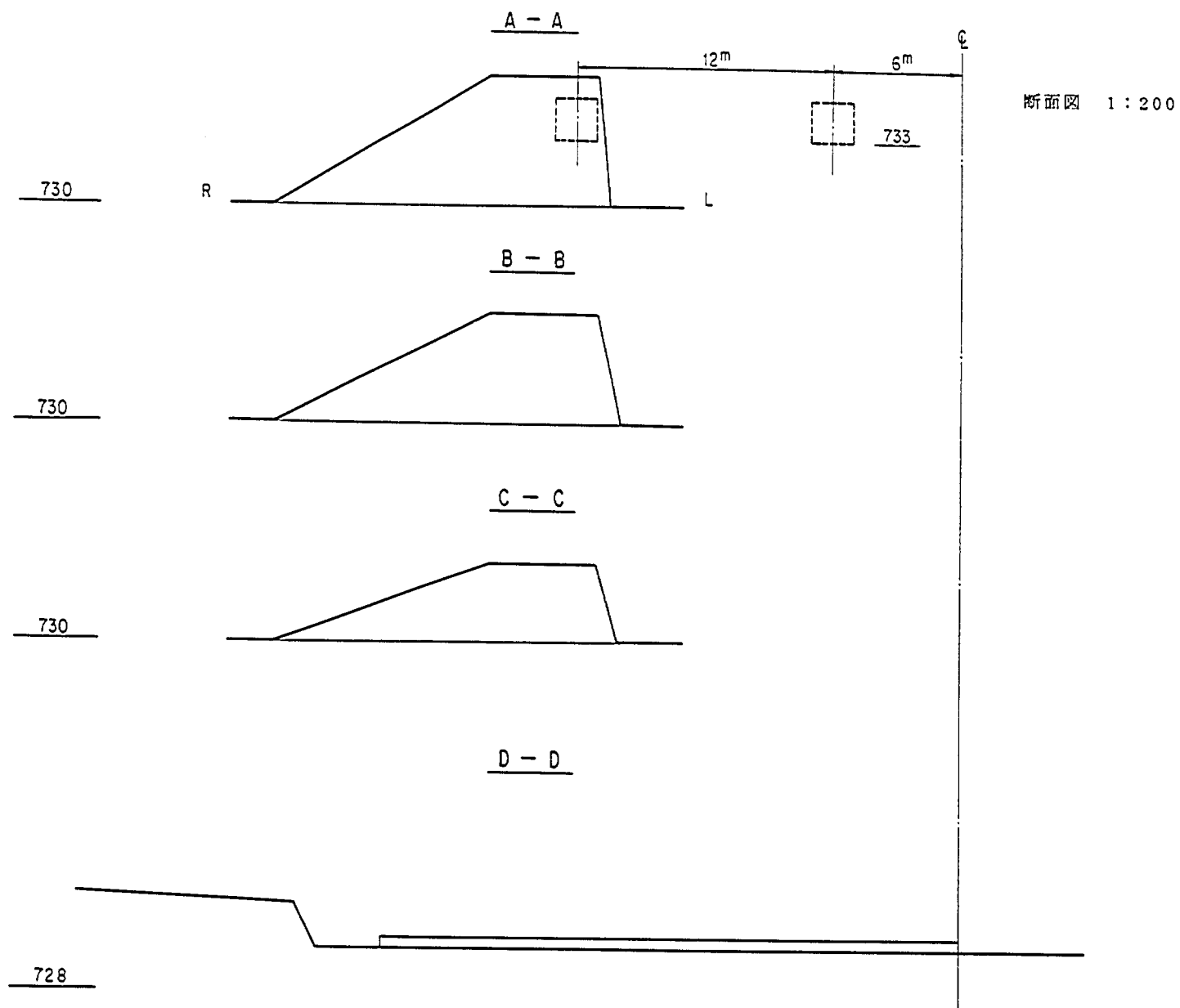


图 1 - 1 (3) 断 面 图

浸食されて下流の河床高と連続している。

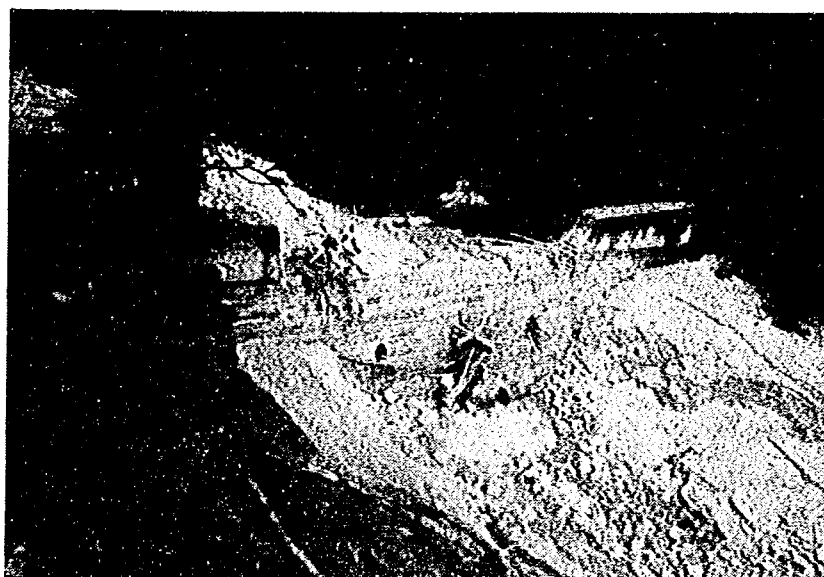


写真 1-10 石空川ダム（上流より）

3つある下位の暗渠の内、左岸側の2つは閉塞している（写真 1-11）、中央の暗渠は、前述の小武川第1号砂防ダム同様下流の水面の高さまで洗掘されている。（写真 1-12）



写真 1-11 石空川砂防ダム（下流より）



写真 1-12 暗渠の洗掘状況（下流より）



写真 1-13 石空川砂防ダム 上流部の状況

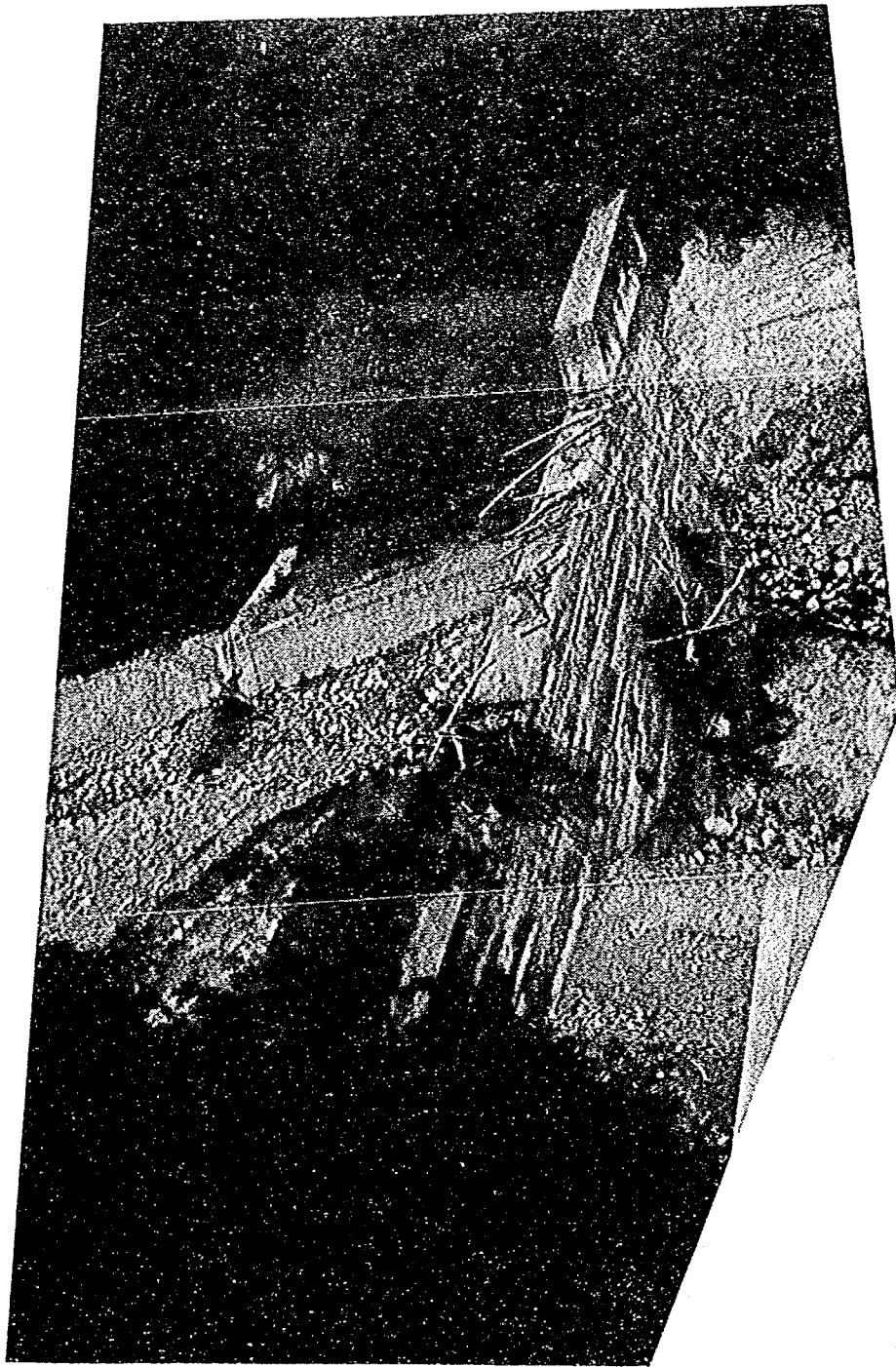


写真1-14 石空川砂防ダム，流木による上部暗渠の閉塞状況

石空川ダムも出水中一度は天端近くまで堆砂し，出水後半に流路は蛇行しながら堆積土砂を侵食したように見える。流路中央部には，50 cm径以上の石が見え，上部の暗渠は，多数の流木で閉塞されている。（写真1-13，1-14）。

2. 水理模型実験

2.1 実験の概要

2.1.1 実験目的

大きな水抜きを有する砂防ダム周辺の流れ，堆砂，排砂状況，土砂調節効果を，小武川第1砂防ダムの $\frac{1}{60}$ の模型を用いて明らかにする。

2.1.2 実験施設

実験に用いた施設は，建設省土木研究所水理共同実験棟内の急勾配実験水路で，全長20 m，幅1.5 m，高さ60 cmの鋼製片面ガラス張り水路である。勾配は勾配可変装置により，現地河床勾配の $\frac{1}{18.4}$ に設定した。（写真2-1）。

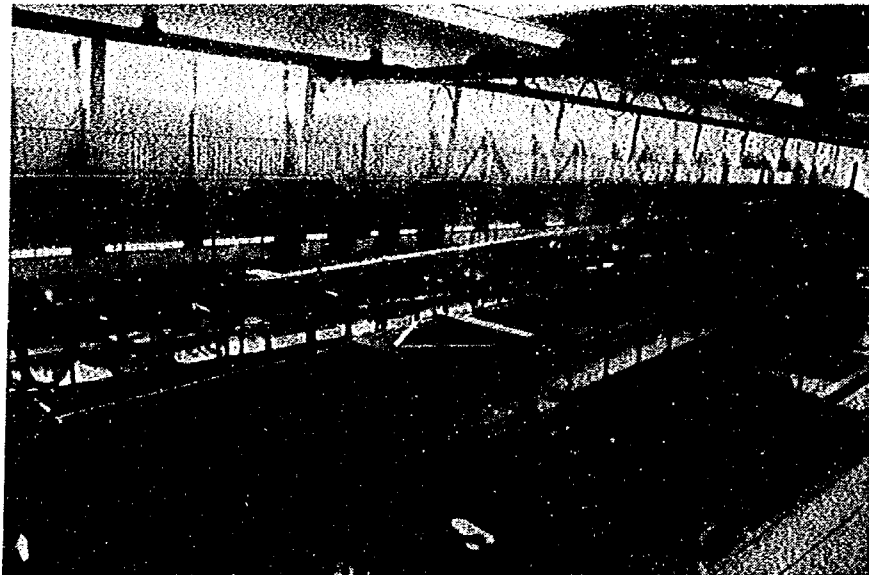


写真 2 - 1 急勾配実験水路

2.1.3 砂防ダム模型

現況模型は，主ダム，副ダムを製作し，移動床実験時には，副ダムを撤去した。（図2-1-1）
模型の改造を3回行い，下部水抜きを大きくて土砂調節効果の変化を調べた。（図2-1-2～4）。

模型は，ラウン合板（18 mm厚）で製作し，設置は水路上流端より14 mの位置とした。（写真2-2）

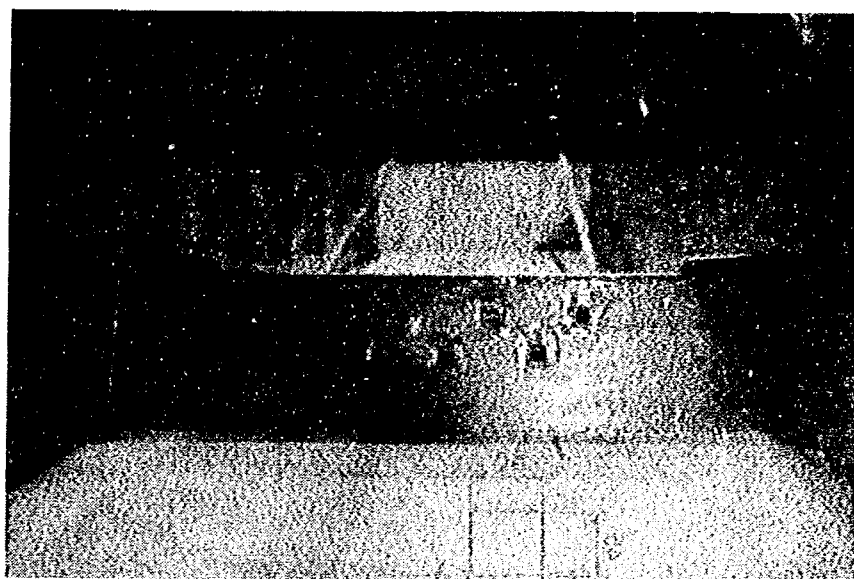


写真 2 - 2 砂防ダム模型 (G 3 3)

2.1.4 相 似 則

流水に関する相似律は，フルードの相似則を適用した。実物値の縮尺比は次の通りである。

長さの縮尺比	$L_P/L_m = L_r = 60$
面積 "	$A_P/A_m = A_r = L_r^2 = 3600$
流速 "	$V_P/V_m = V_r = L_r^{1/2} = 7.75$
時間 "	$T_P/T_m = T_r = L_r^{1/2} = 7.75$
流量 "	$Q_P/Q_m = Q_r = L_r^{5/2} = 27885$
粗度係数 "	$n_P/n_m = n_r = L_r^{1/6} = 1.98$
掃流力 "	$\tau_P/\tau_m = \tau_r = L_r = 60$

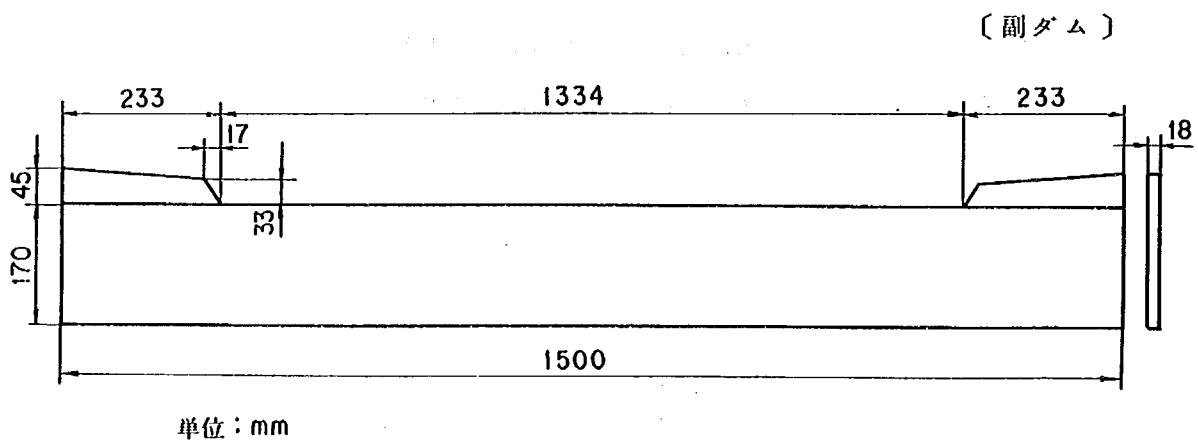
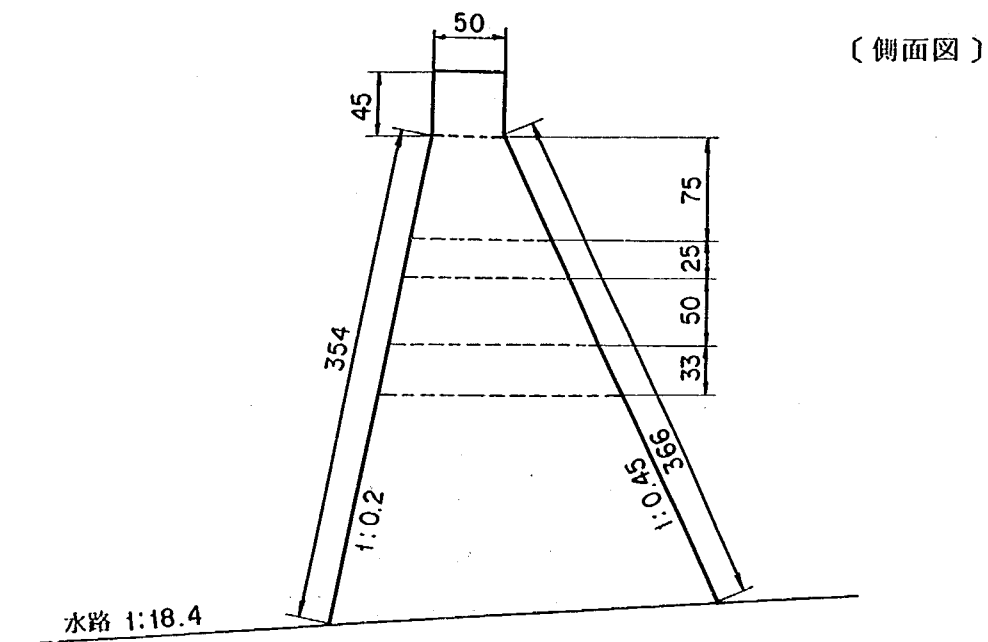
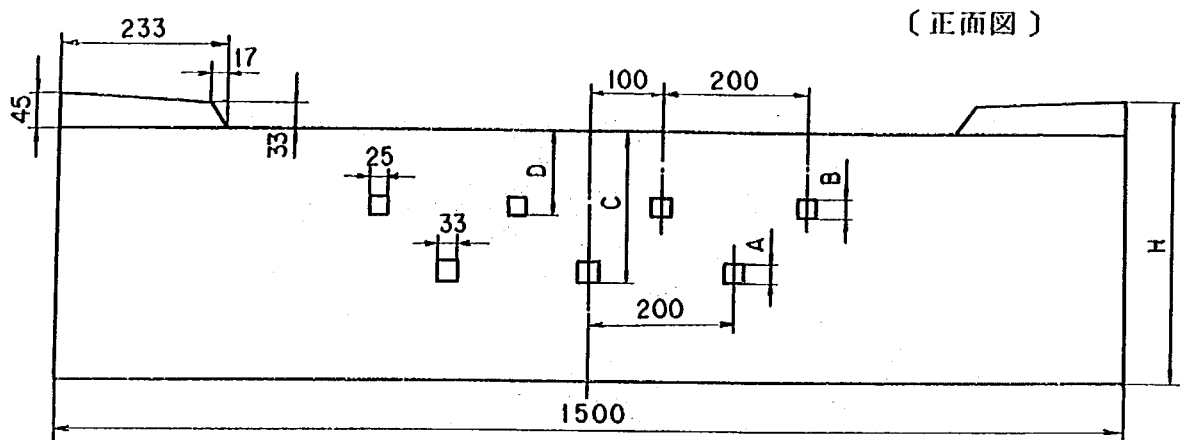


図 2 - 1 - 1 模型一般図 (現況模型 G 3 3・主ダム)

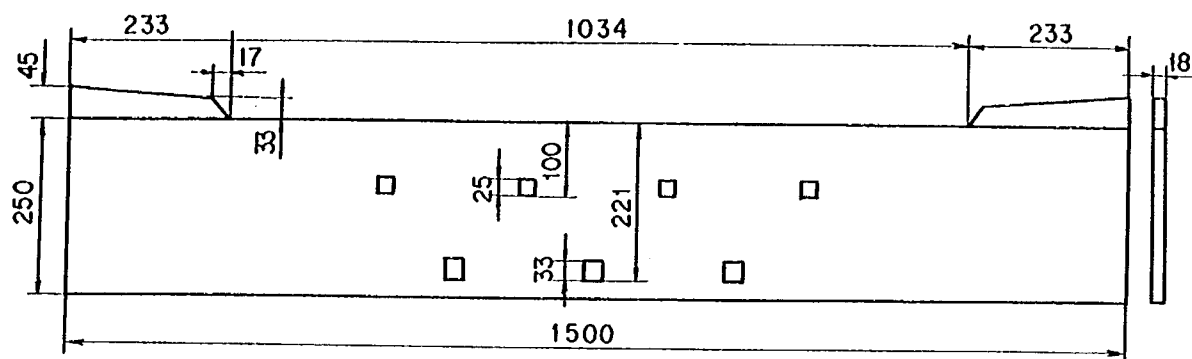


图 2 - 1 - 2 模型一般图 (第 1 回模型改造 K 3 3)

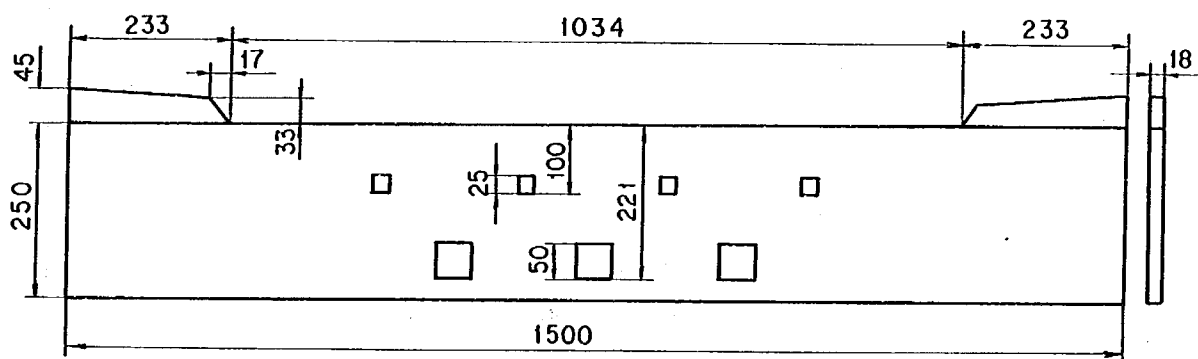


图 2 - 1 - 3 模型一般图 (第 2 回模型改造 K 5 0)

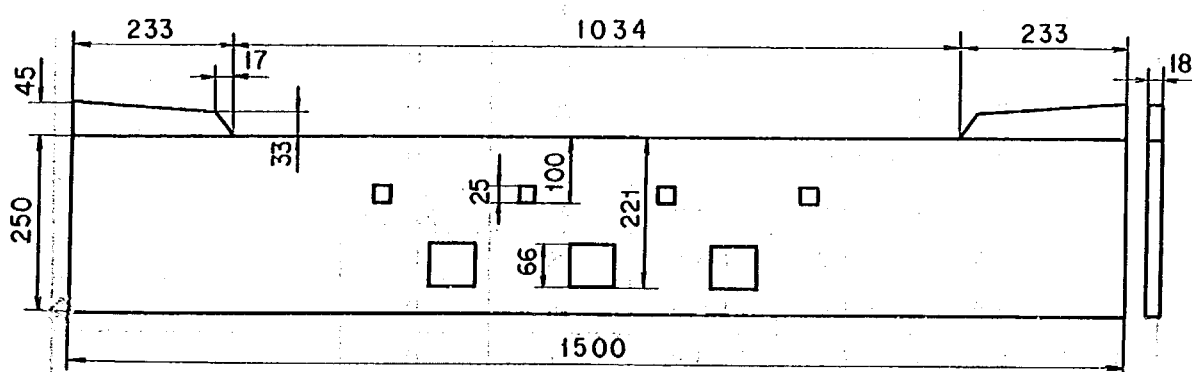


图 2 - 1 - 4 模型一般图 (第 3 回模型改造 K 6 6)

2.2 実験条件

2.2.1 実験ケース

実験ケースは、模型改造、流量、給砂の有無等の組み合わせにより、固定床実験5ケース、移動床定流実験21ケース、移動床不定流実験3ケースを行った。

表 2 - 1 実験ケース一覧表

模 改 型 造	ケ ー ス	流量(L/S)	通 水 時 間(分)	給 砂	初期河床 形 状		
現況模型 (固定床)	1	3.6	30	無			
	2	7.2	30	"			
	3	10.8	30	"			
	4	14.4	30	"			
	5	18.8	30	"			
現況模型 (移動床)	6	7.2	470	有	TYPE-A		
	7	7.2					
	8	10.8	90	有	B		
	9	14.4	90	有	B		
	10	18.0	90	有	B		
	11	18.0	120	無	B		
第一回模型改造	12	14.4	90	有	C		
	13	14.4	90	無	D		
	14	18.0	90	有	C		
	15	18.0	90	無	D		
	16	7.2	90	無	D		
	17	洪水波形	120		D		
第二回模型改造	18	14.4	90	有	C		
	19	14.4	90	無	D		
	20	18.0	90	有	C		
	21	18.0	90	無	D		
	22	7.2	90	無	D		
	23	洪水波形	120		D		
	24	3.6	60	無	ケース21に 重ね合せ		
	25	7.2	180	無	D		
	26	14.4	180	無	D		
第三回模型改造	27	7.2	30	有	D		
	28	洪水波形	120		ケース21に 重ね合せ		
	29	3.6	60	無	ケース28に 重ね合せ		

2.3.2 河床材料

図2-2-1に示す河床材料を用いて実験を行なった。

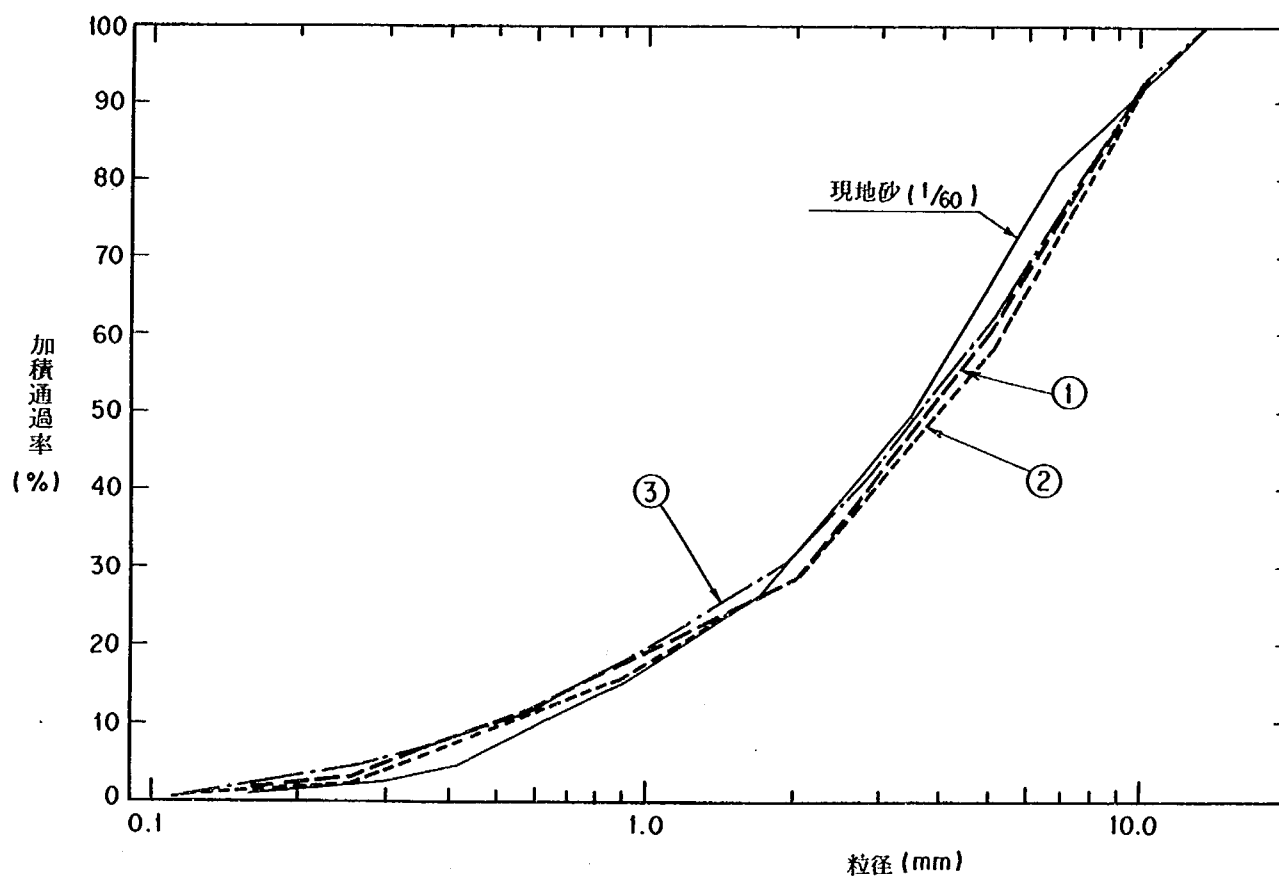


図2-2-1 粒径加積曲線

2.2.3 流量

流量は、模型流量で、 3.6 l/s 、 7.2 l/s 、 10.8 l/s 、 14.4 l/s 、 18.0 l/s について実施した。

模型流量 (Q_m) と現地流量 (Q_p) との関係は、

$$Q_m / Q_p = Q_p / Q_r = L_r^{5/2} = 27885$$

となる。

模型流量 (l/s)	現地流量 (m ³ /s)
3.6	100.4
7.2	200.8
10.8	301.2
14.4	401.6
18.0	501.9

洪水波形流量については図2-2-2に示すものを用いた。

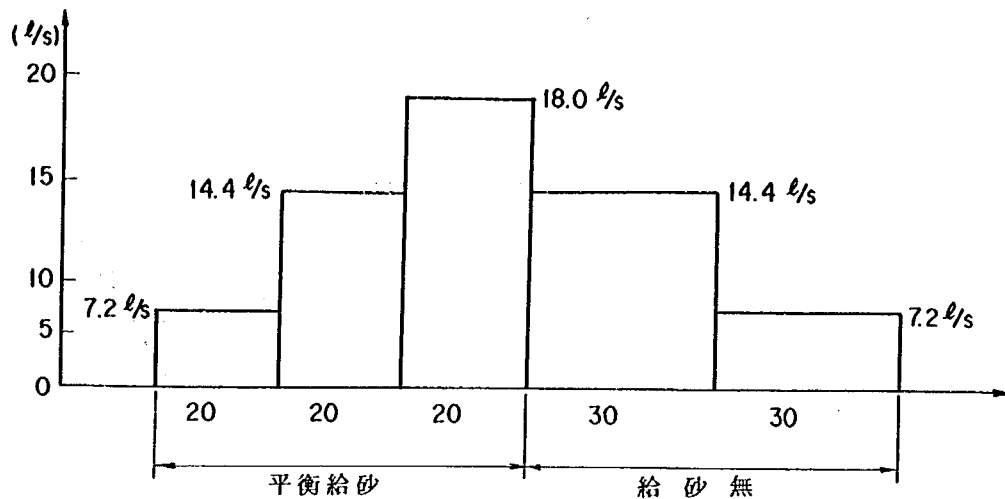


図 2-2-2 洪水波形

2.2.4 給砂方法

給砂方法は、平衡給砂とした。

給砂位置は、ダム上流 5.7 m とし、この地点の河床が変動しないように給砂を行なった。

※) ケース 6～11 では、給砂は、水路最上流端に設置してある給砂台から行なったが、ダムまでの距離が 14 m と遠いため、土砂がダムまで到達しなかった。

2.2.5 実験時間

通水時間は、原則として、定流 90 分、

洪水波形流量 120 分とした。

模型時間 (T_m) と現地時間 (T_p) の関

係は右記の通りである。

模型時間 (分)	現地時間 (時間)
90	11.6
120	15.5

2.2.6 初期河床形状

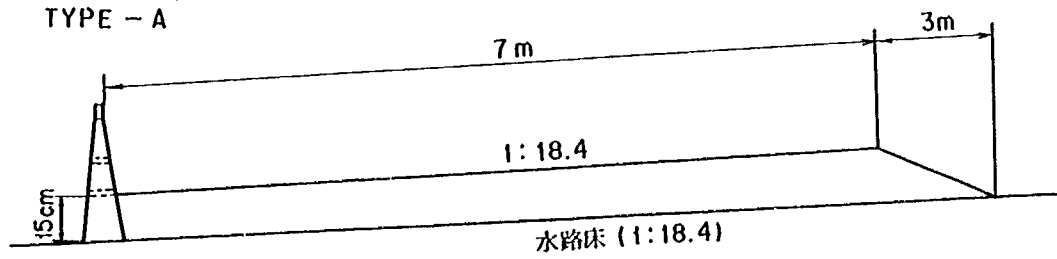
初期河床形状は、水抜き暗渠を閉塞して始める実験では、水路床の 1/2 勾配 (1/36.8) とした。又、ケース 6, 7 は、水路床と同一勾配 (1/18.4) に整形した。

図 2-2-3 に各ケース毎の初期河床形状を示す。

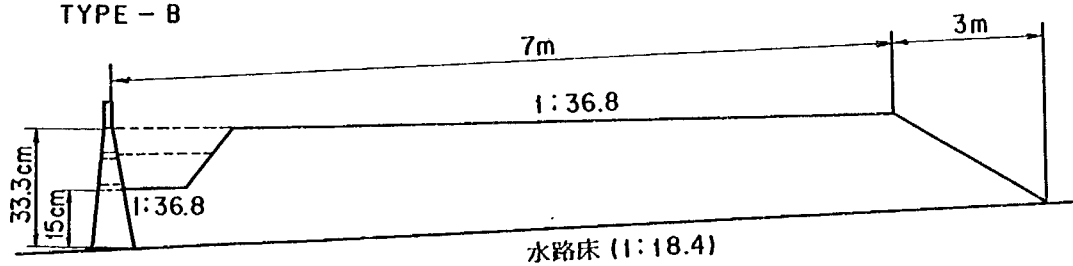
又、重ね合わせて行なった実験を以下に示す。

- ① ケース 23 (洪水波形) は、ケース 22 ($Q = 7.2 \text{ l/s}$) に重ね合わせて実験を行なった。
- ② ケース 24 ($Q = 3.6 \text{ l/s}$, 給砂無) は、ケース 21 ($Q = 18.0 \text{ l/s}$, 給砂無) に重ね合わせて行なった。
- ③ ケース 27 ($Q = 7.2 \text{ l/s}$, 給砂有), ケース 28 (洪水波形), ケース 29 ($Q = 3.6 \text{ l/s}$, 給砂無) は、ケース 27, 28, 29 の順番に重ね合わせて行なった。

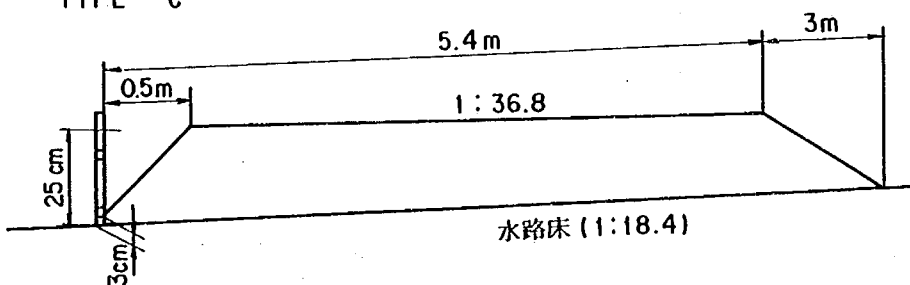
(ケース 6, 7)
TYPE - A



(ケース 8 ~ 11)
TYPE - B



(ケース 12, 14, 17, 18, 20, 27)
TYPE - C



(ケース 13, 15, 16, 19, 21, 22, 25, 26)
TYPE - D

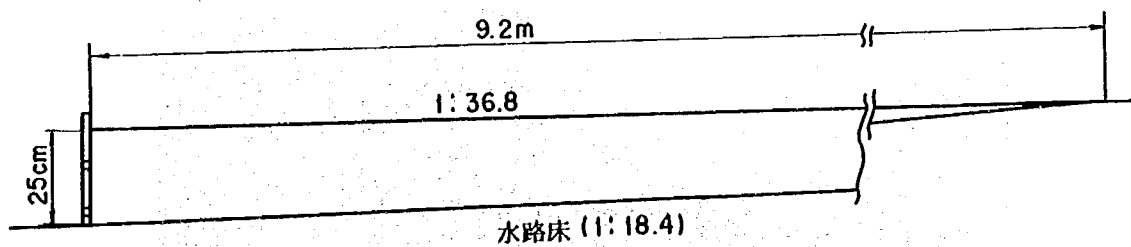


図 2 - 2 - 3 初期河床形状図

2.3.7 測 定

移動床実験は、通水後、ダム附近の流水が安定した時点を開始とした。

測定は、流況観察を主とし、写真、スケッチ等によって堆積、洗掘、土砂の流出状況等を観察した。水位、河床高の測定は、ダムの堆砂形状、水面形が描ける様に行なった。

① 流 況 観 察

流況観察は、染料を流し、写真撮影を行なった。

② 水位・河床高測定

水位・河床高の測定は、水路横断方向に水系を張り、1 mm目盛のスタッフによって読みとった。測定した値は、基準点（ダム水通部）からの高さに換算した。

③ 流出土砂の採取

流出土砂は、水抜き及びダム越流部からの流水を採取、乾燥後にその重量を測定した。流出土砂量の計算は、空隙率を含む値で求めた。

尚、土砂採取間隔を5分とし、採取時間は、3～30秒とした。

2.3 実 験 結 果

2.3.1 固定床実験

実験の結果より、ダム水通し部、越流水深と流量の関係を図2-3-1に示す。この図より、ダム水通し部を越流する流量は5.5 ℓ/s 以上である。

水抜きからの水脈の飛距離と越流水深の関係を図2-3-2に示す。この図より、越流水深が大きくなると、上部水抜きからの水脈の飛距離は、小さくなっている。これは、水通し部からの越流水落下による影響と考えられる。(写真2-3)

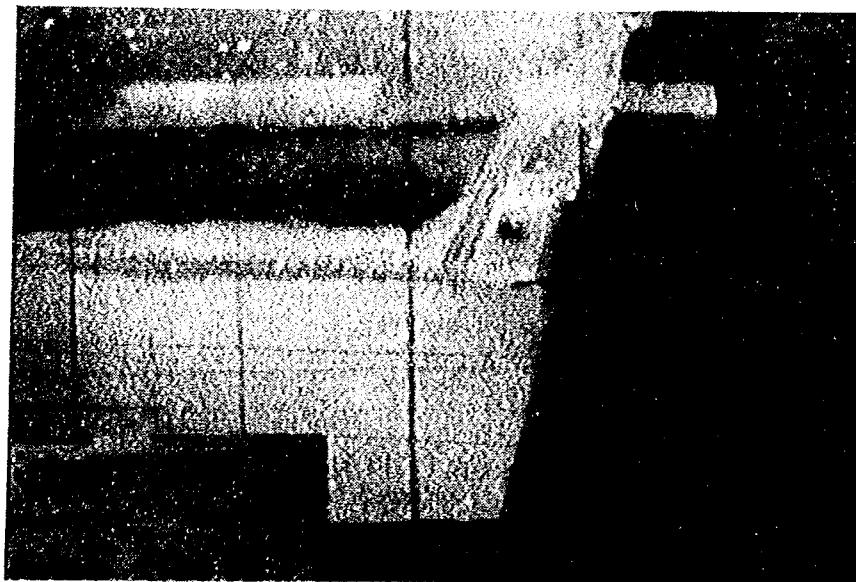


写真2-3 砂防ダムの越流水 ($Q=18 \ell/s$)

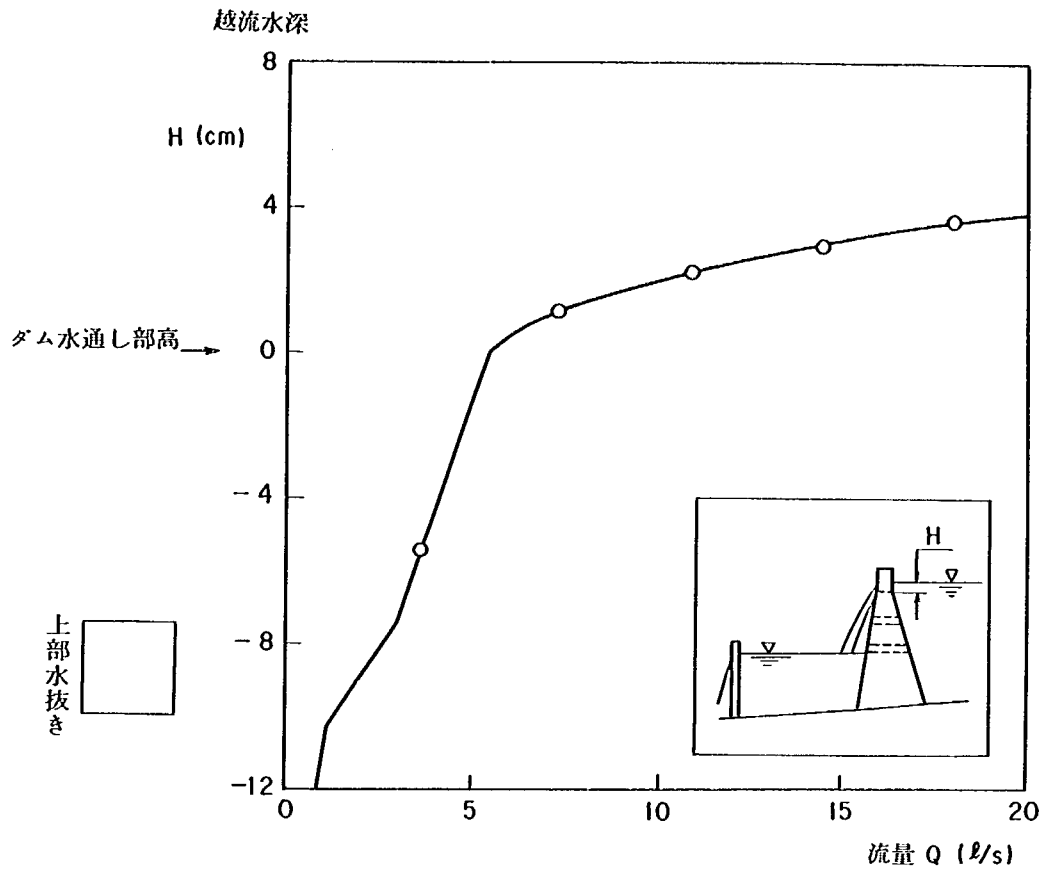


図 2 - 3 - 1 流量 - 越流水深関係図

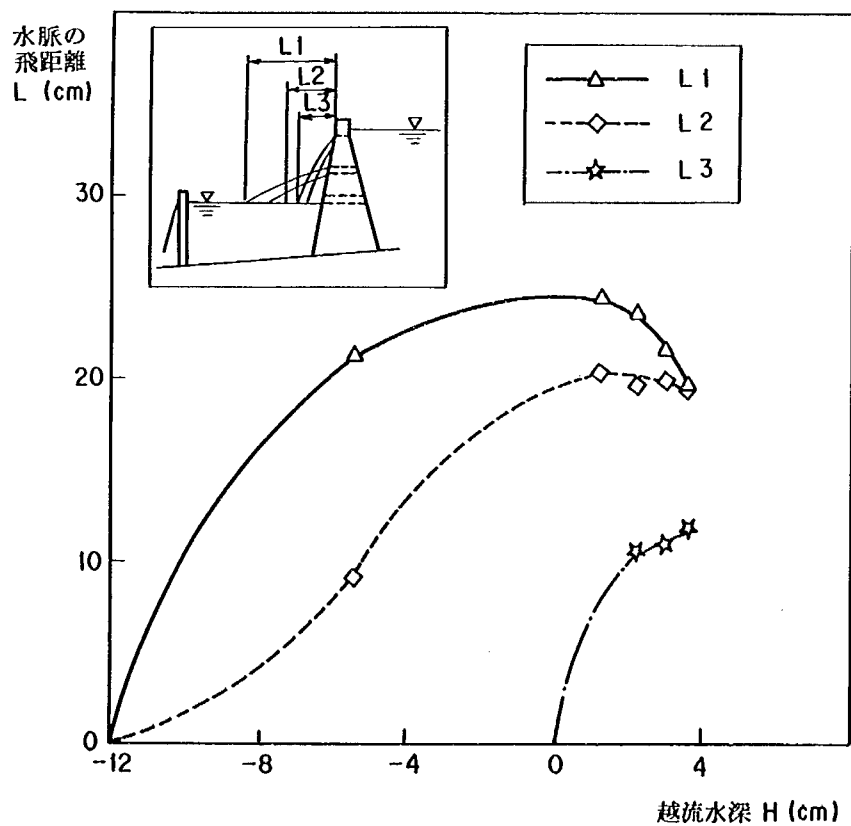
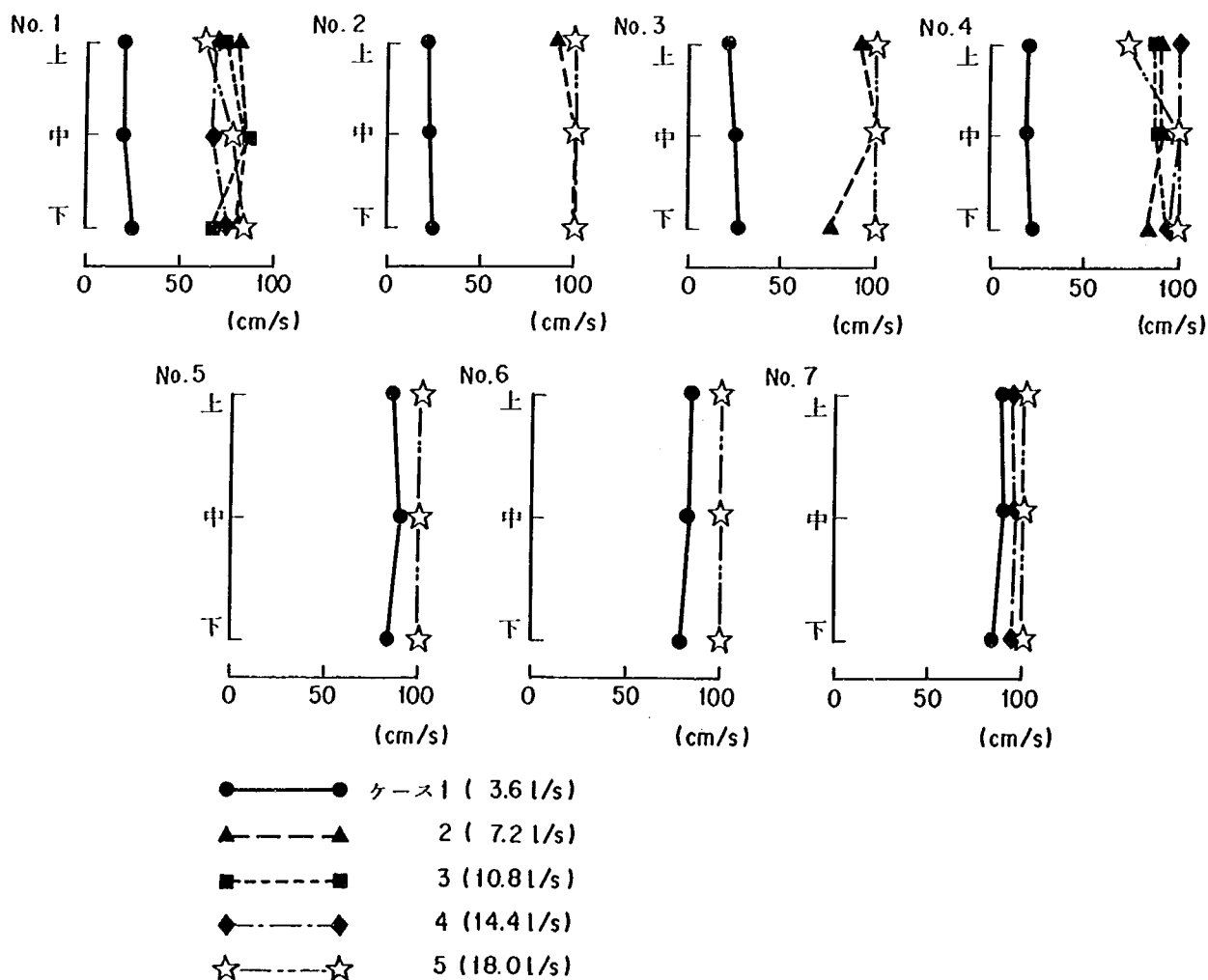
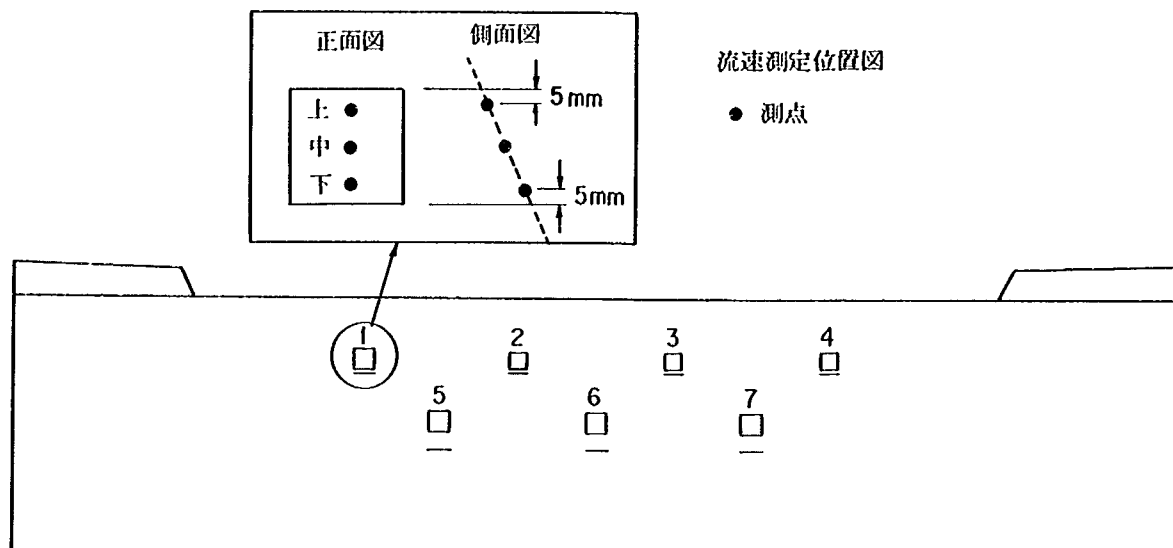


図 2 - 3 - 2 越流水深 - 水脈の飛距離関係図



白ヌキは、流速 100 cm/s 以上

図 2-3-3 水抜き上流流速測定結果図

ダム上流側水抜き付近の流速測定結果を図2-3-3に示すが、下部水抜きでの流速は、ほとんど 100 m/s 以上となり、流速測定限界を越えている。

2.3.2 移動床現況模型実験 (Q 3 3)

砂防ダムへの堆砂過程であるが、ケース 6, 7 ($Q = 7.2 \text{ l/s}$) より、ダム水通し部を越流する場合についてみると、図2-3-4に示す結果となる。ダムの堰上げの影響を受けないダム上流 1.5 m 付近までの砂堆の移動速度は、約 2 cm/min であるが、ダム上流 1.5 m より下流では、ダムの堰上げの影響で、水深が深くなり (18 cm) 移動速度は約 0.5 cm/min と小さくなる。

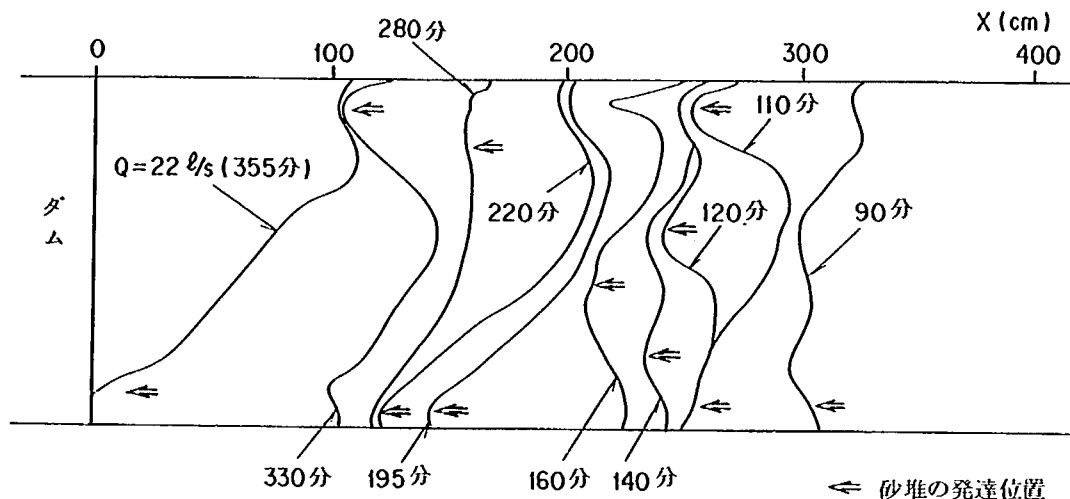


図 2 - 3 - 4 堆 砂 過 程

ケース 6, 7 とケース 10 について水位及び砂堆肩の高さの最終の河床について図2-3-5に示す。流量が大きくなり、水位が高くなると、砂堆肩の高さも、同様に高くなる。

砂堆の傾斜角 (図2-3-6, 写真 2 - 4) は、砂堆が到達しなければ約 10° になり到達すると約 27° となる。(表 2 - 3 参照)

ダム堆砂域の流況は、図2-3-7に示すように流水が集中する傾向がある。

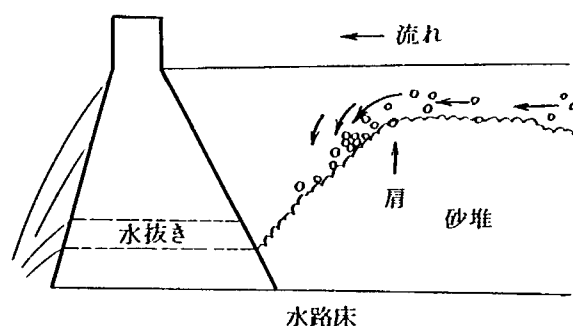


図 2 - 3 - 6 砂堆の傾斜角

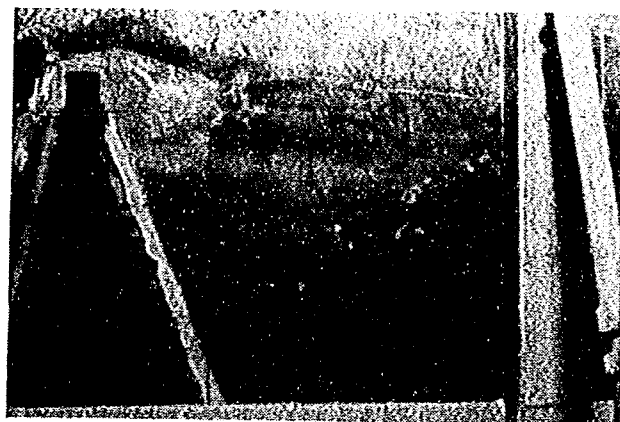


写真 2 - 4 砂堆の傾斜角

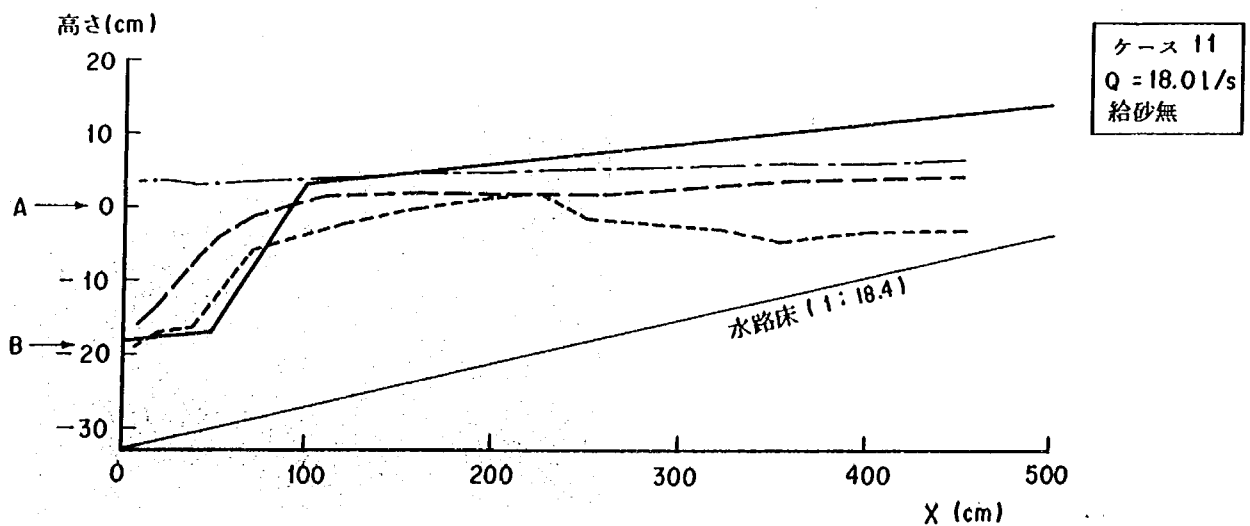
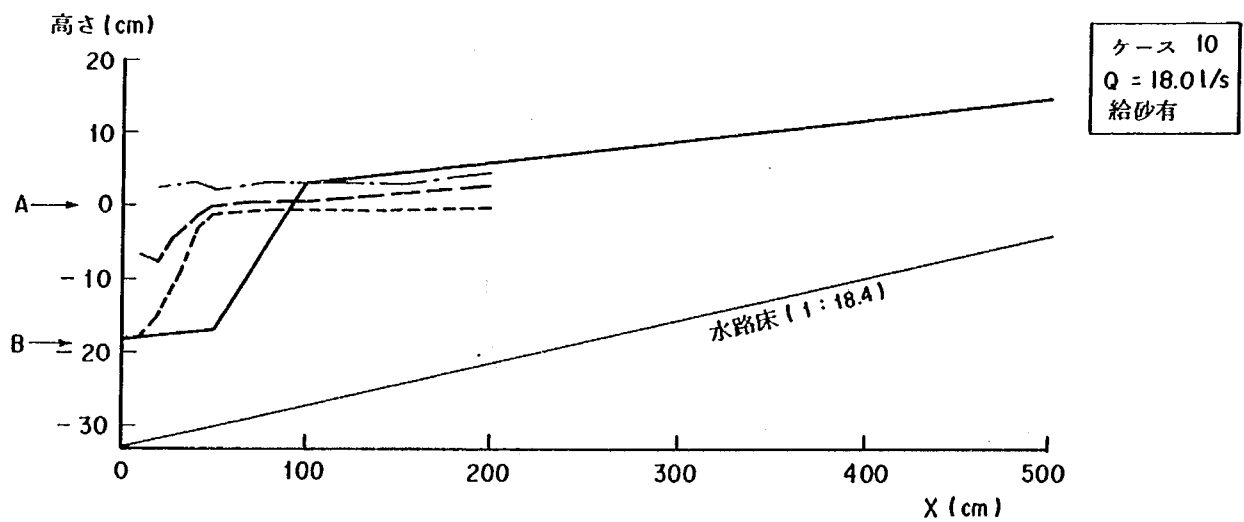
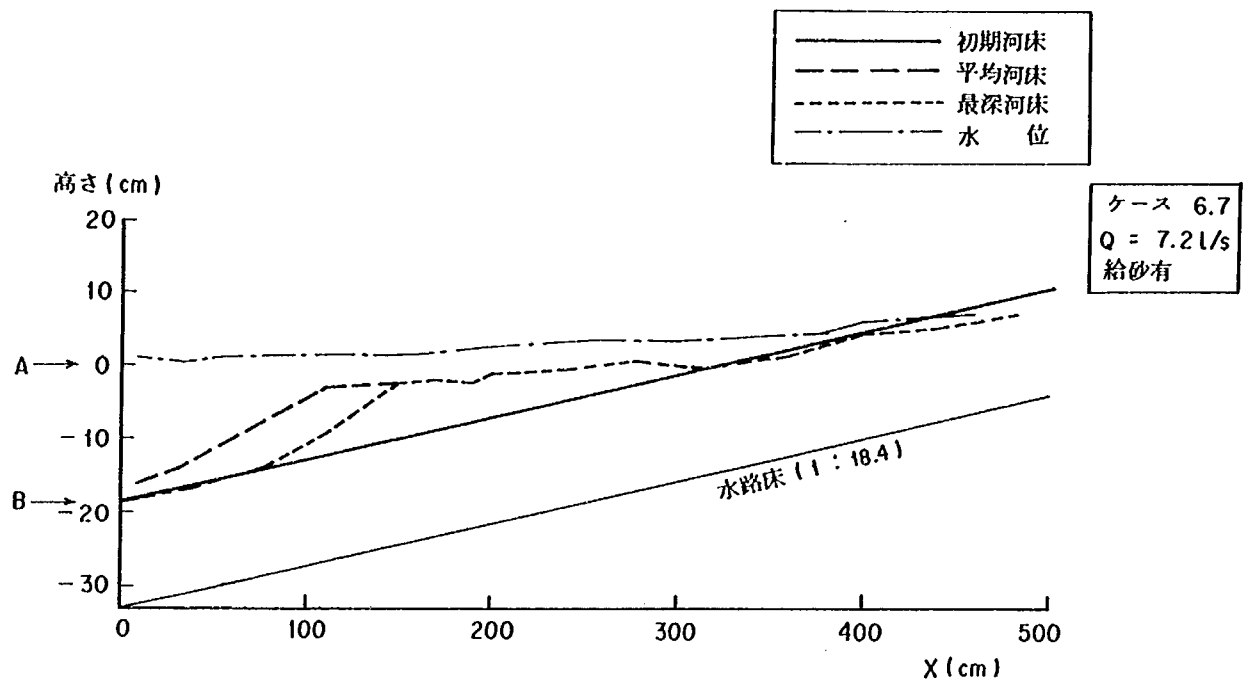


図 2-3-5 水位・河床高測定図

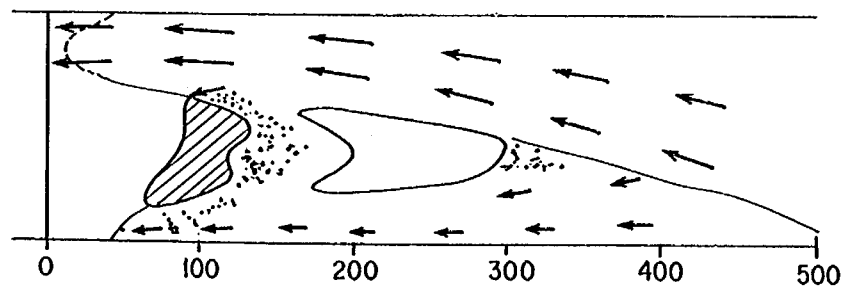


図 2-3-7 ダム堆砂域の流況 (ケース 9)

各ケースとも、流出土砂量は、ほとんど見られない (表 2-2 参照)

2.3.3 第 1 回模型改造・ (K-33)

ケース 17 の流況の変化を図 2-3-8 に示す。兩岸に流水が集中し、図 2-3-9 に示すように、

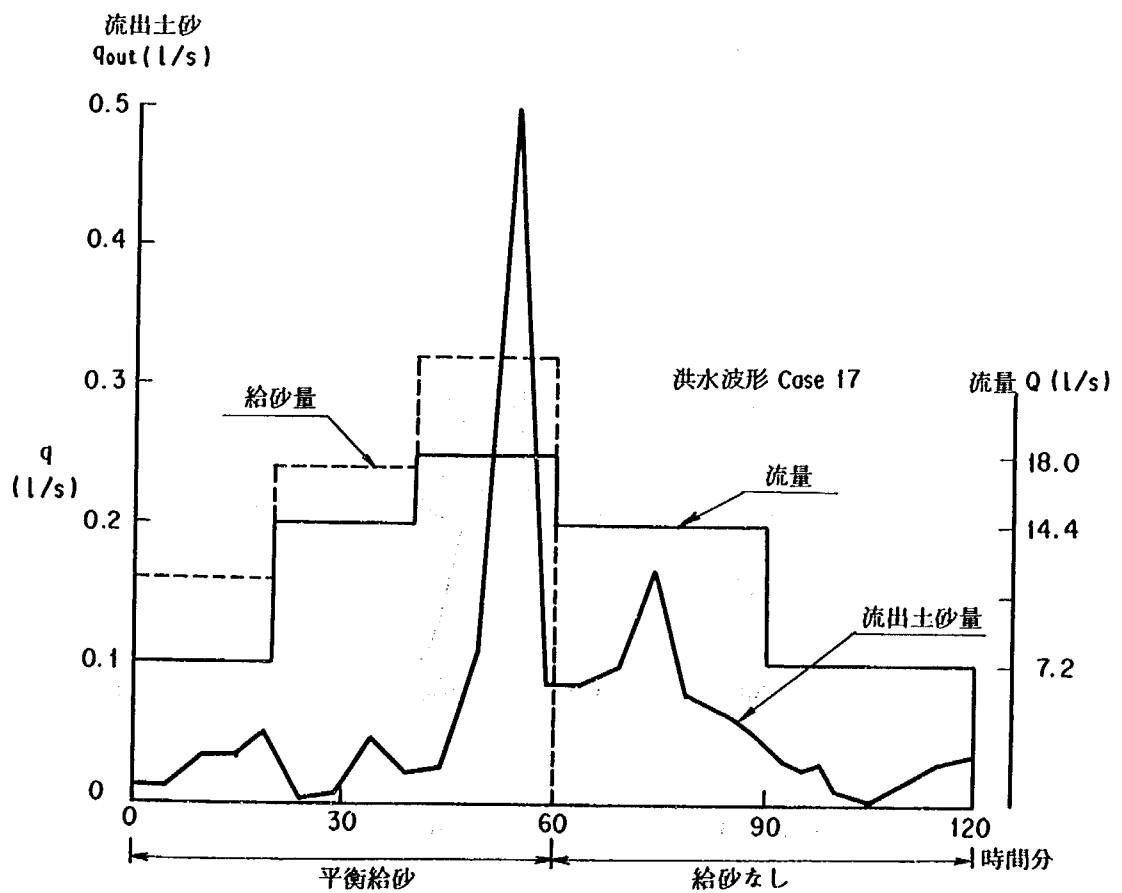
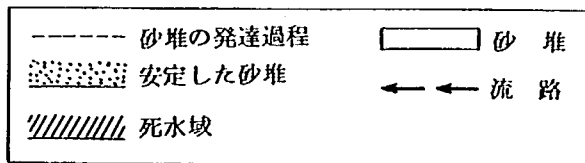
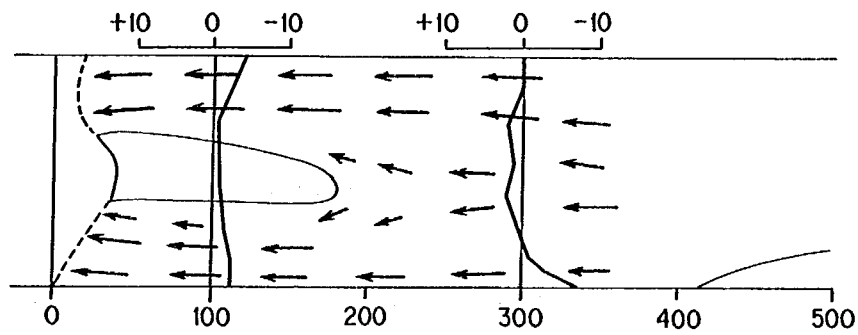


図 2-3-9 流出土砂量時間変化図 (CASE 17)

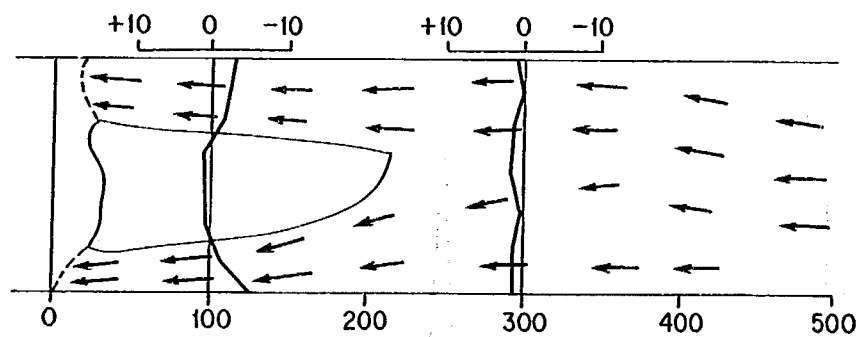
凡例



(t = 37 分)



(t = 58 分)



(t = 84 分)

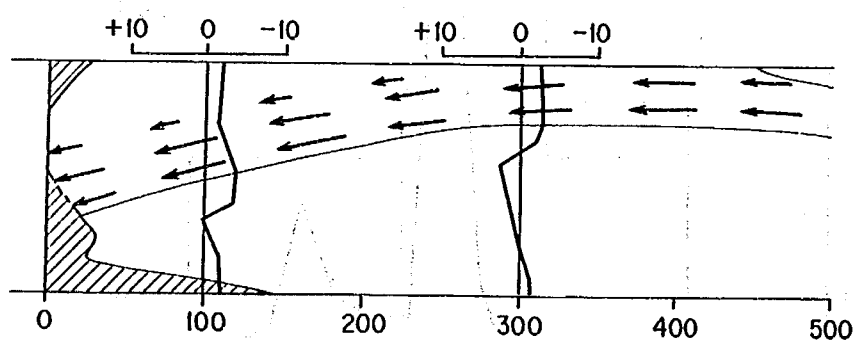


図 2-3-8 流 況 変 化 図

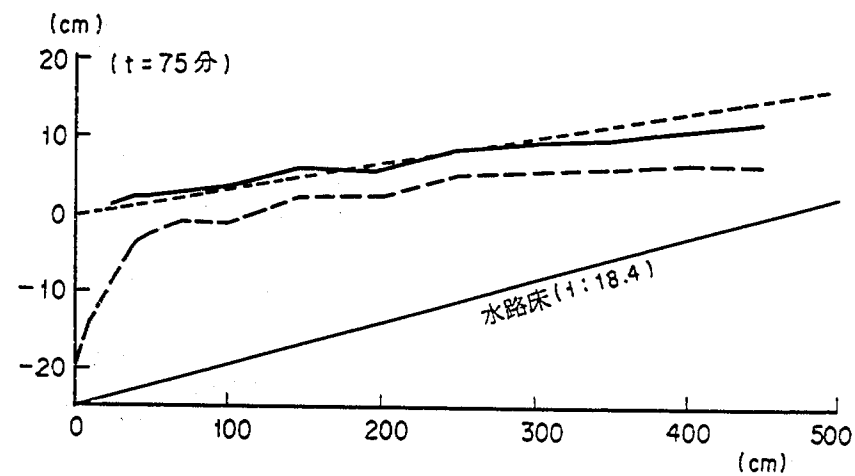
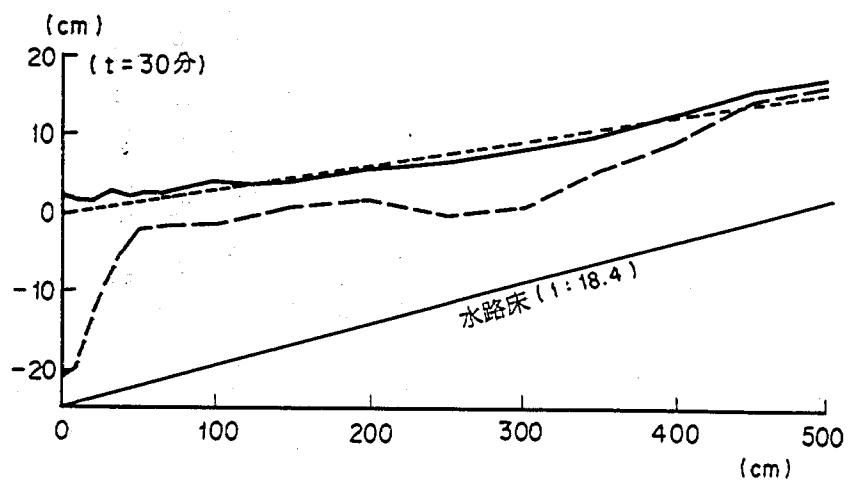
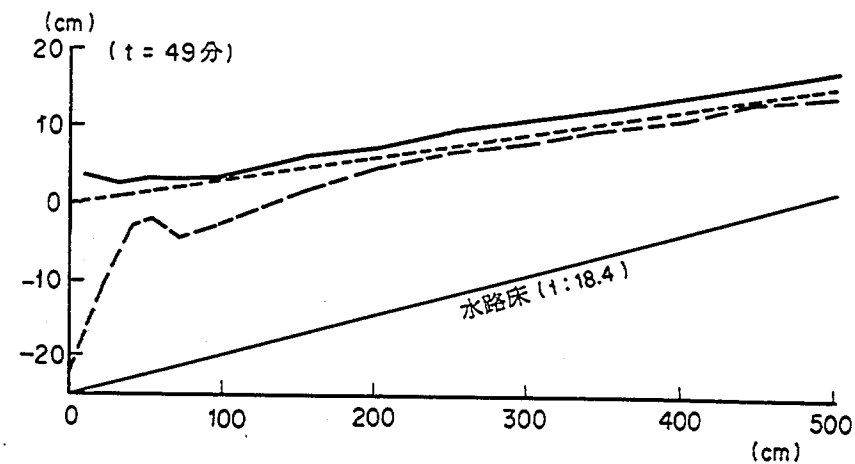
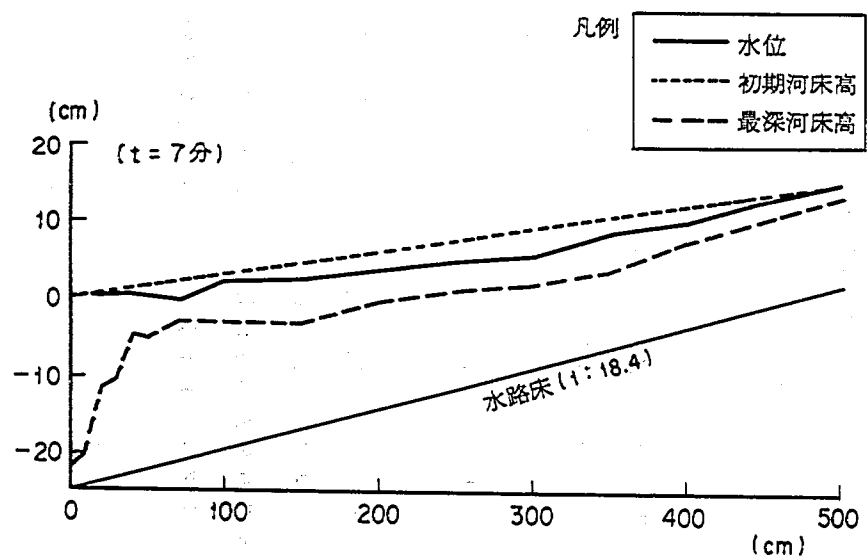


図 2 - 3 - 1 0 水 位 及 び 河 床 変 動 図

通水後 54 分には、給砂量を上回る流出土砂量が測定された。また、このケースでは、減水時に水抜きが閉塞が起きている。閉塞状況は、69 分に右岸側下部水抜きが閉塞、79 分には、下部中央及び上部水抜き右岸側 2 つが閉塞した。

水抜きが閉塞した場合には、ダム水通し部からの流出土砂が観察できた（写真 2-5）。

また、流量の変化ごとの水位及び河床変動図を図 2-3-10 に示す。

定流実験における流出土砂量の測定結果を図 2-3-11 に示す。ケース 12 については、流出土砂量が増していく傾向にあり、ケース 14 については、ほぼ一定の流出土砂量が測定された。給砂が無い場合には、流出土砂量は、減少していく傾向にある。

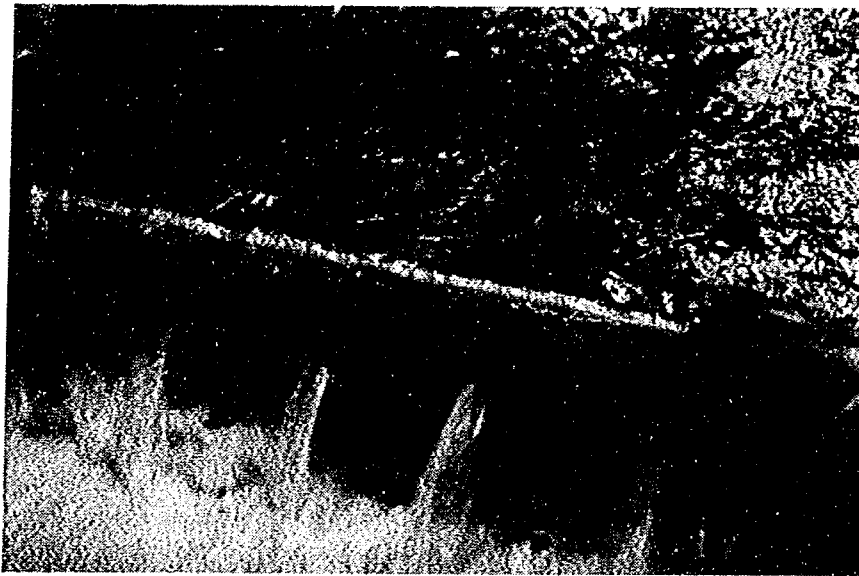


写真 2-5 水抜きの閉塞状況（ケース 17）

2.3.4 第 2 回模型改造（K-50）

流量ごとの水位・河床高の測定図を図 2-3-12(1),(2),(3)に示す。 $Q = 7.2 \text{ l/s}$ では、ダム水通し部からの越水はない。ダムの堰上げを受ける $Q = 14.4 \text{ l/s}$ と、 18.0 l/s では砂堆の肩の位置の差は、あまりみられないが、給砂が有る無しでは、約 1 cm の差を生じている。また河床勾配も給砂がない場合には、差を生じた。（表 2-3 参照）

流出土砂量の変化図を図 2-3-13 に示す。

給砂が有る場合には、ほぼ流出量は一定しているが、給砂無の場合には、土砂量が低下していく傾向にある。また、ケース 23 では、ケース 22 に重ね合せたものであるため、初期の河床は、図 2-3-12 に示すものである。また 30 分から 50 分の間にほとんど流出土砂がみられないが、流水が河床全面を流れている（図 3-14）ためであり、堆砂域の流況により流出土砂量が変化すると考えられる。

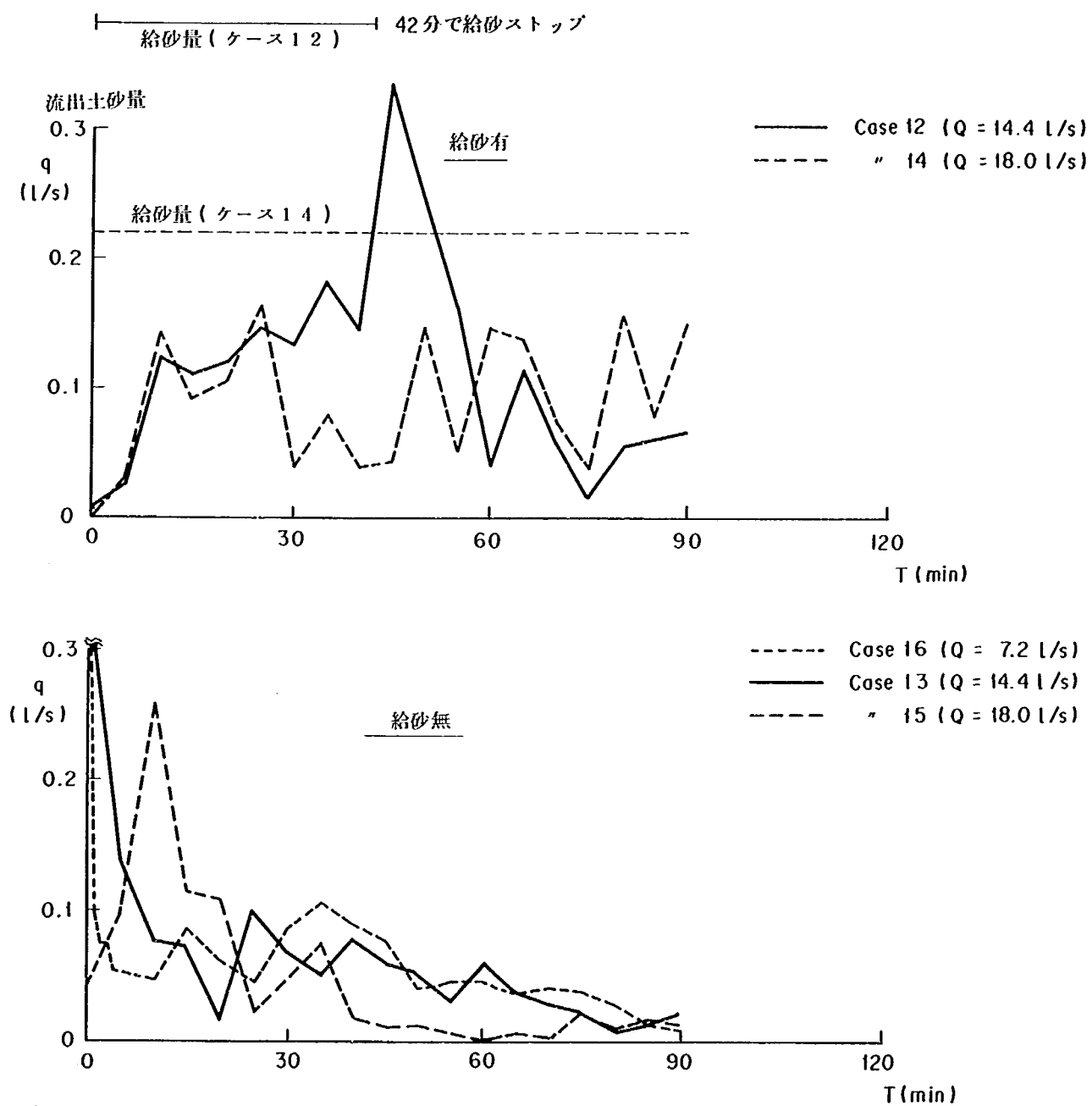


図 2 - 3 - 1 1 流 出 土 砂 量 変 化 図

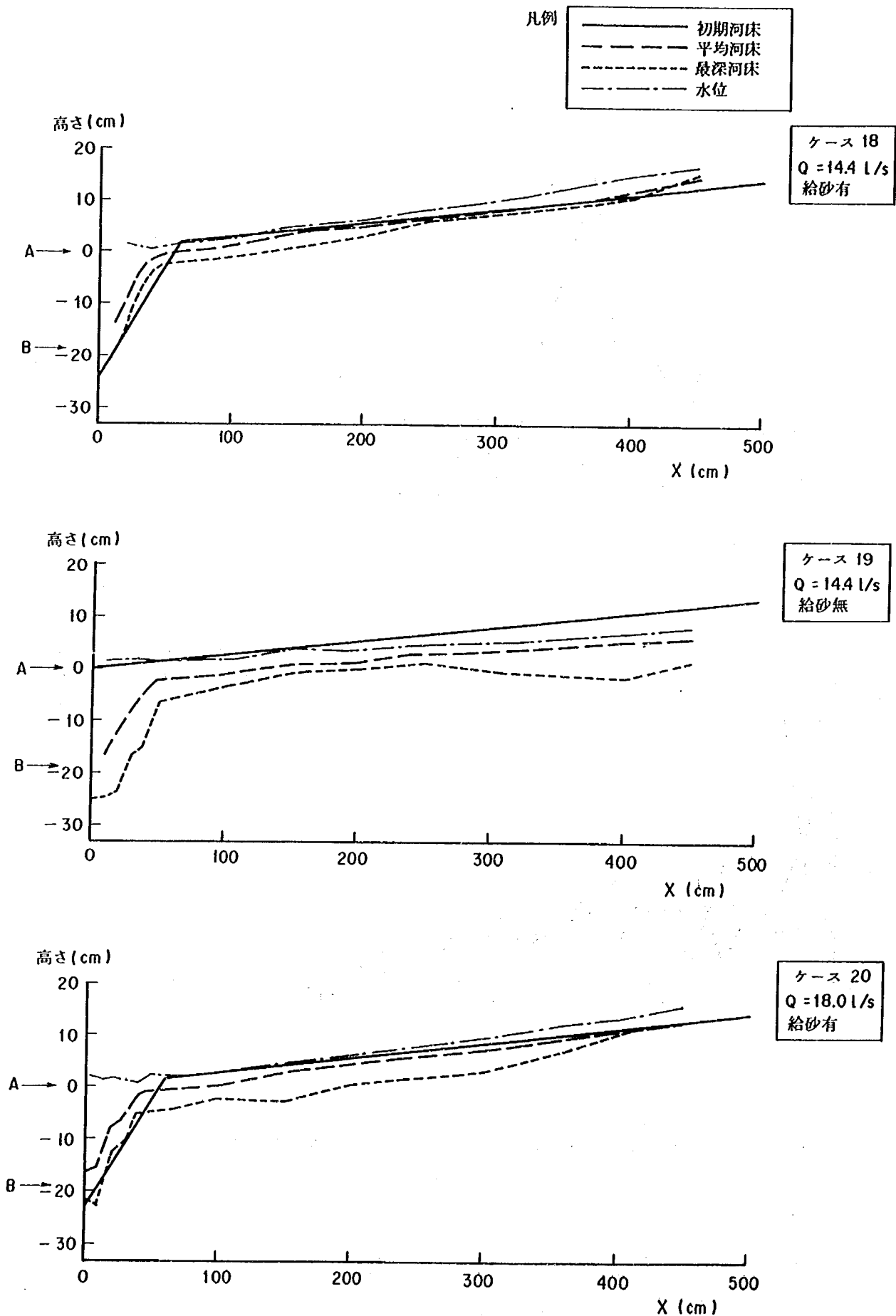


図 2-3-12 (1) 水位・河床高測定図

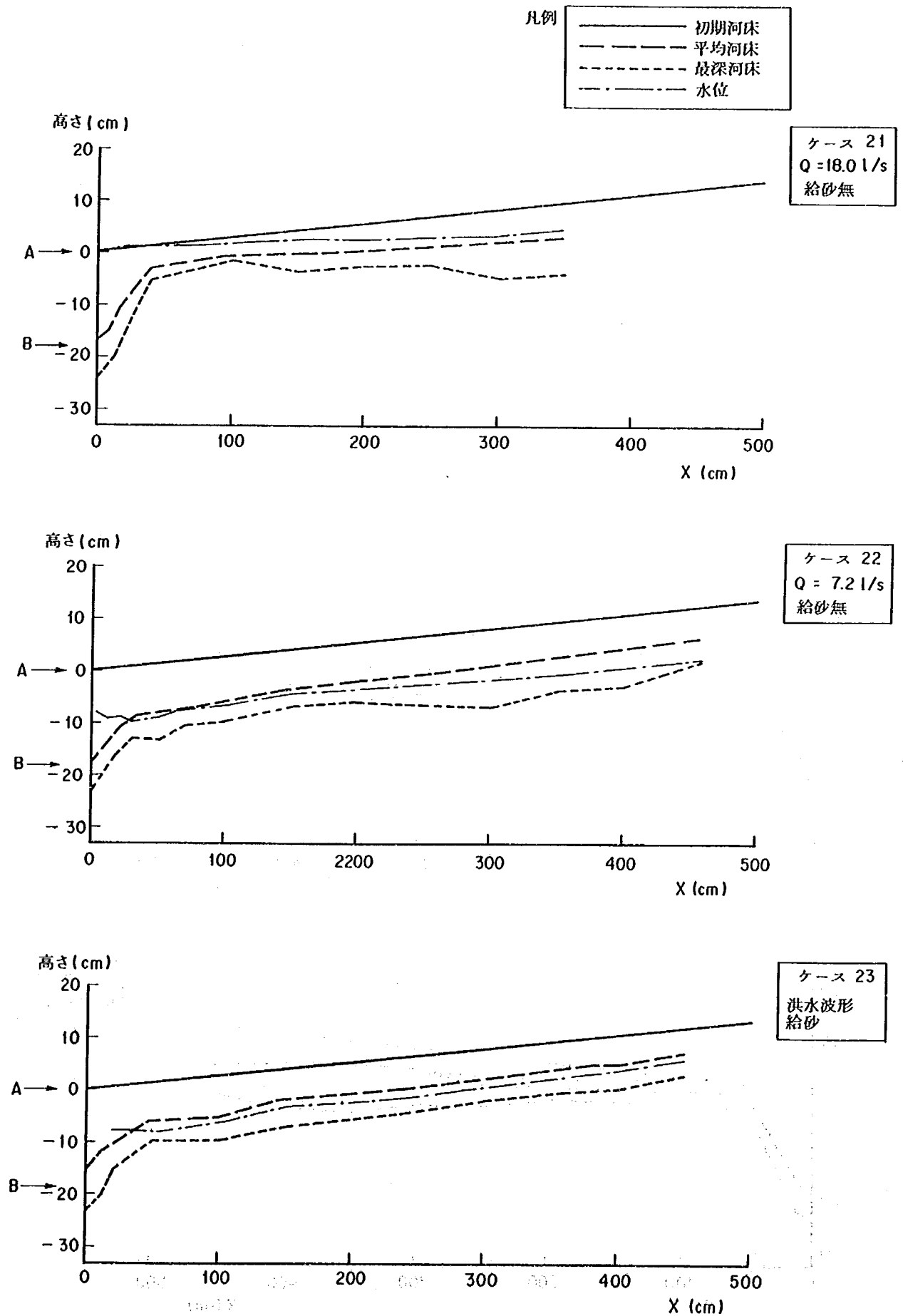


図 2-3-12(2) 水位、河床高測定図

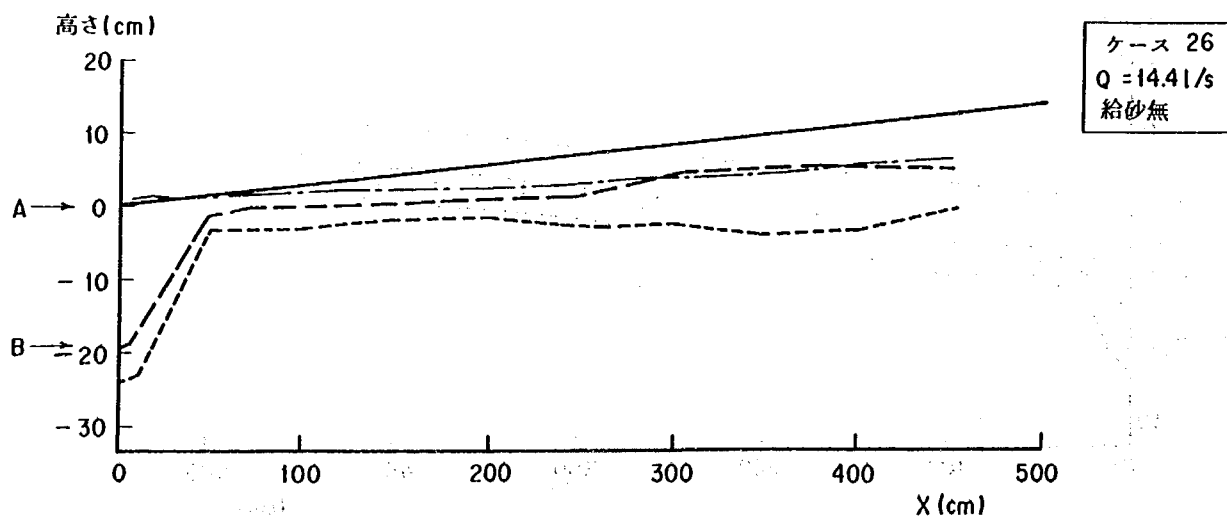
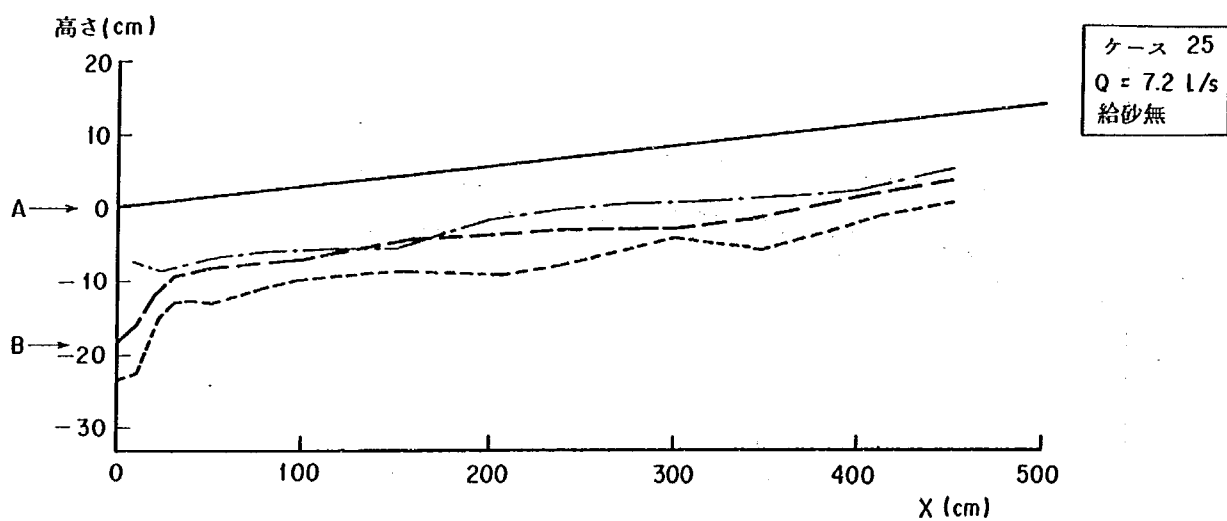
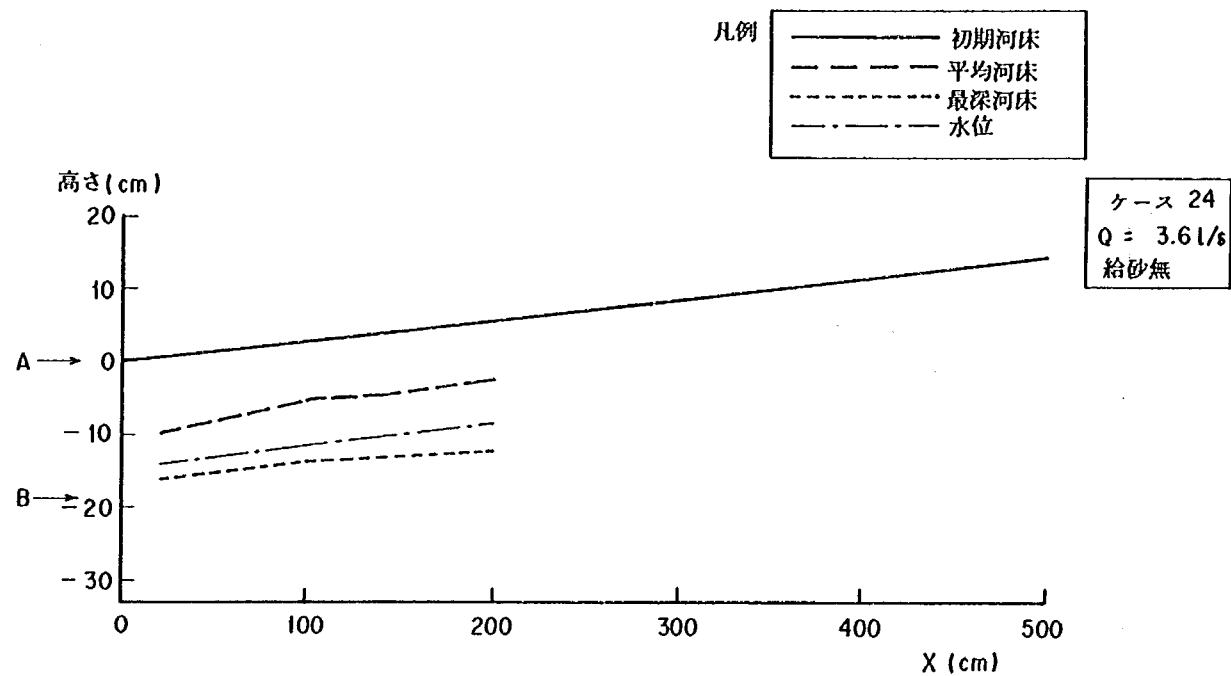


図 2-3-1 2 (3) 水位、河床高測定図

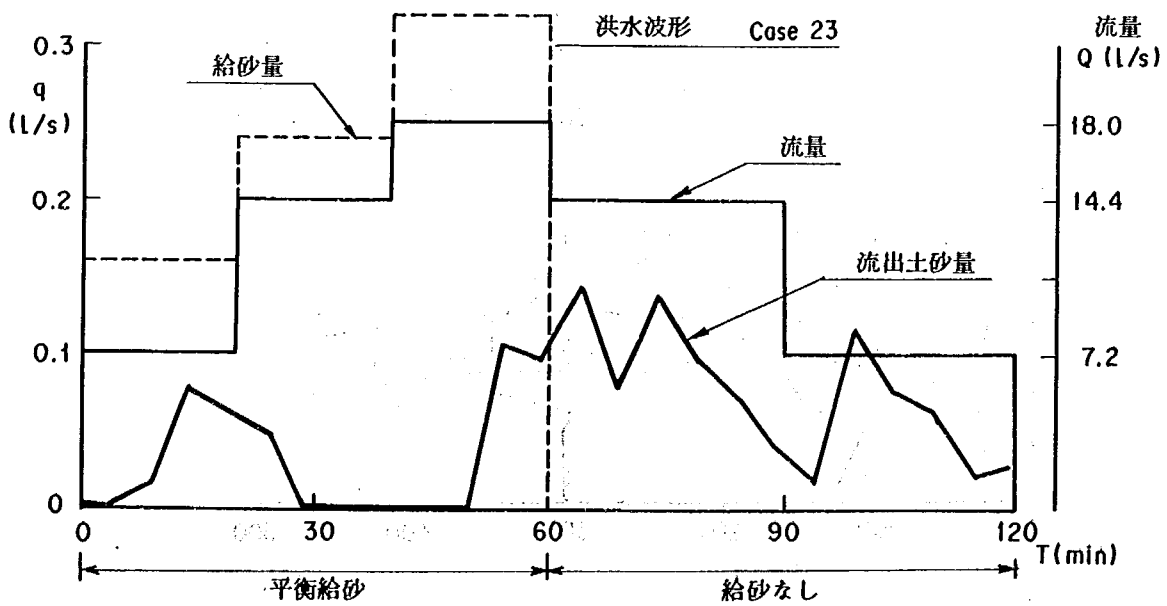
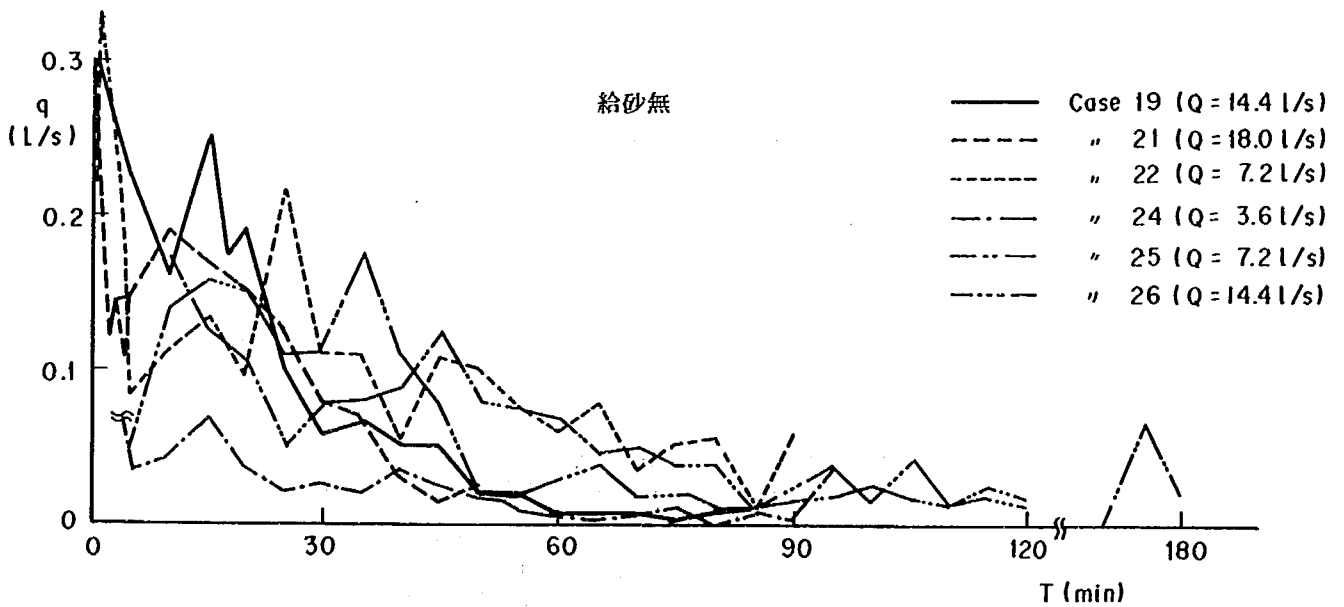
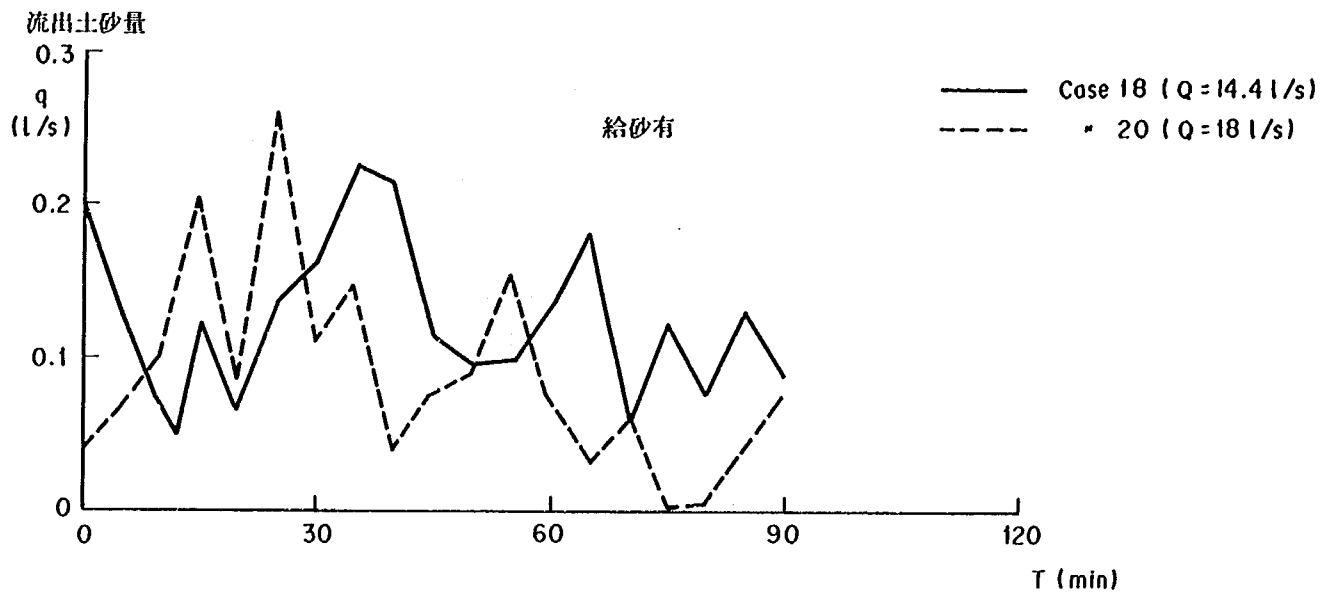


図 2-3-13 流出土砂時間変化図

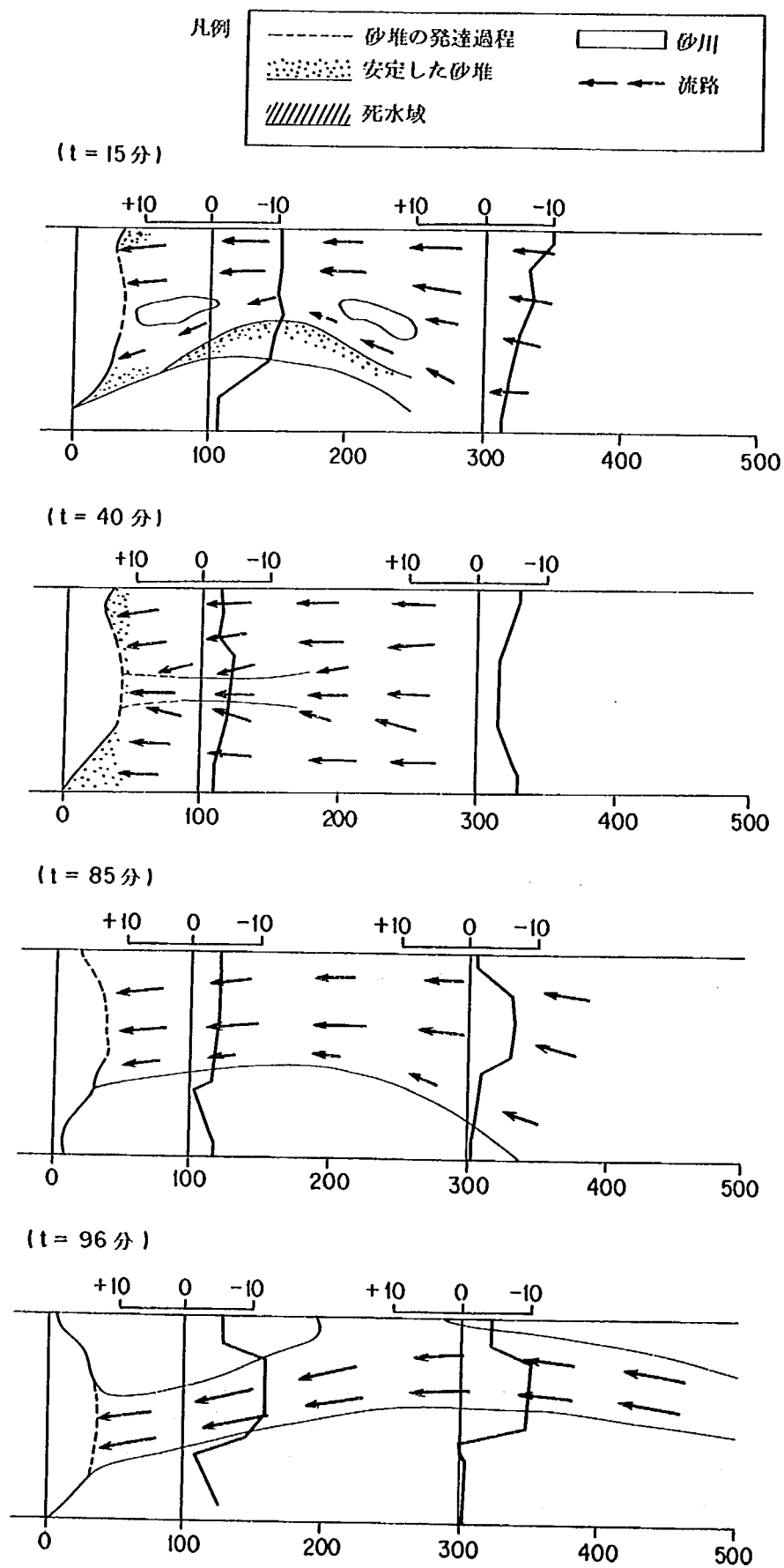


図 2 - 3 - 1 4 流 況 変 化 図 (ケ ー ス 2 3)

2.3.5 第3回模型改造(K-66)

図2-3-15・図2-3-16にケース18の流況観察結果及び水位・河床高側定図を示す，流量が 7.2 l/s では，河床が全体に低下し， 18 l/s に流量がふえると，ダム堰上げの影響で土砂堆積が進む。給砂が無くなれば流水は集中し，段丘状に浸食される。(写真2-6)

流出土砂量は，図2-3-17に示すように，洪水後半に大きくなっている。

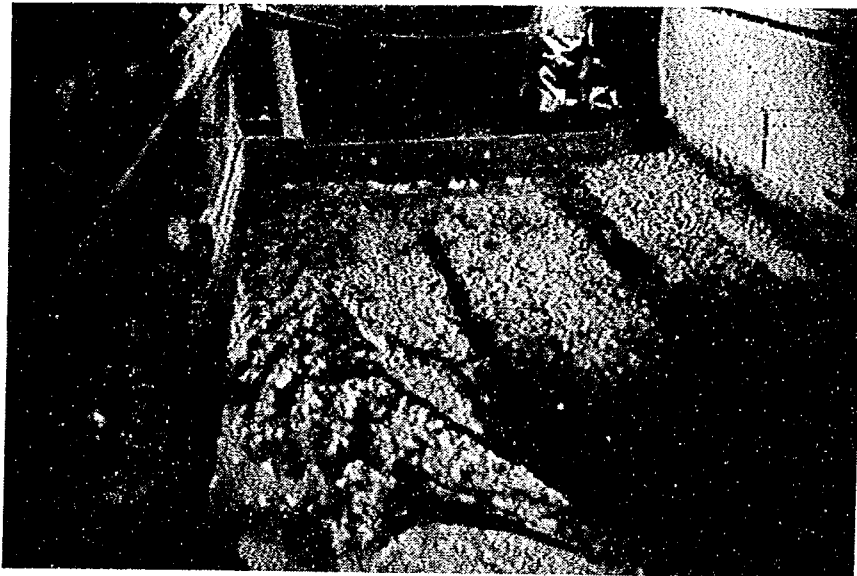


写真2-6 砂防ダム堆砂域の河床低下状況

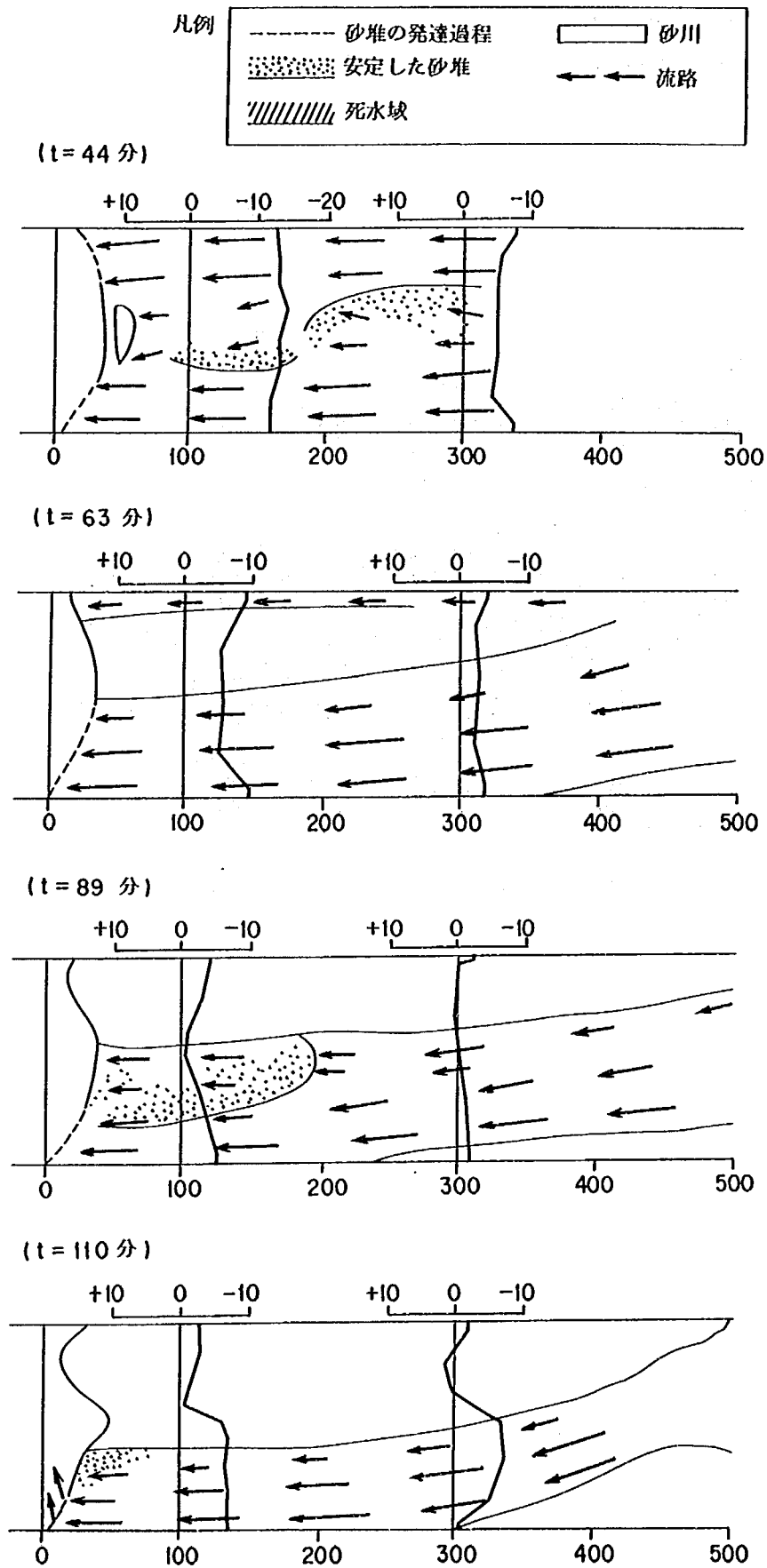


図 2 - 3 - 1 5 流況変化図 (ケース 2 8)

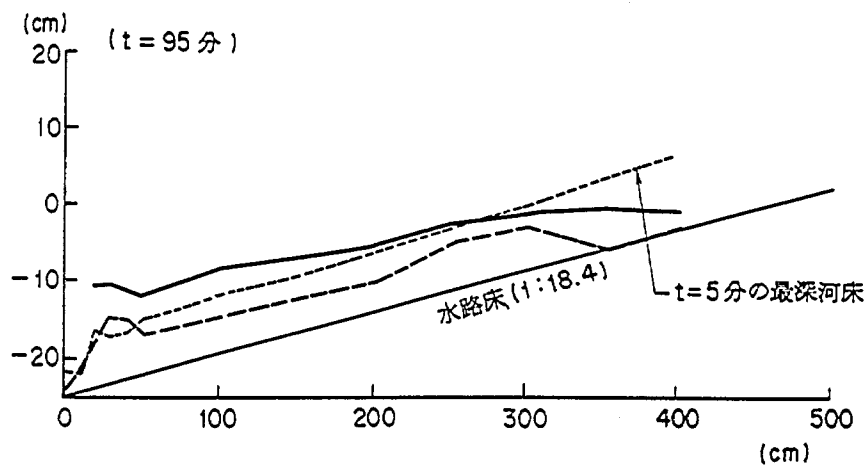
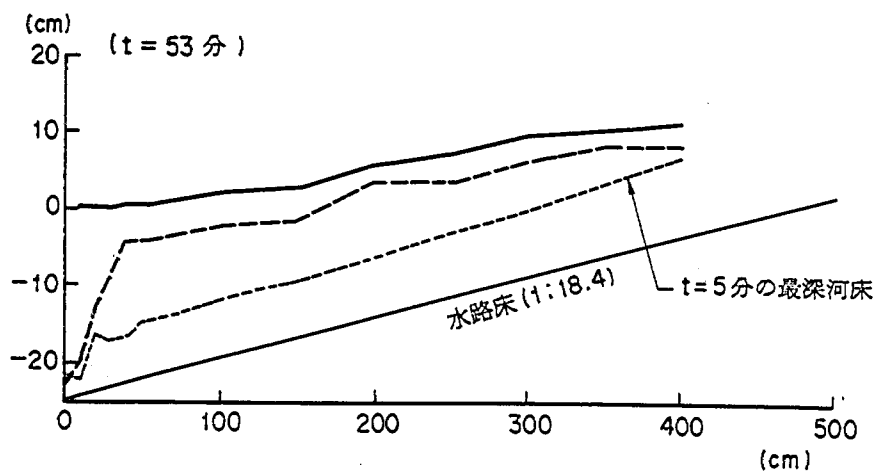
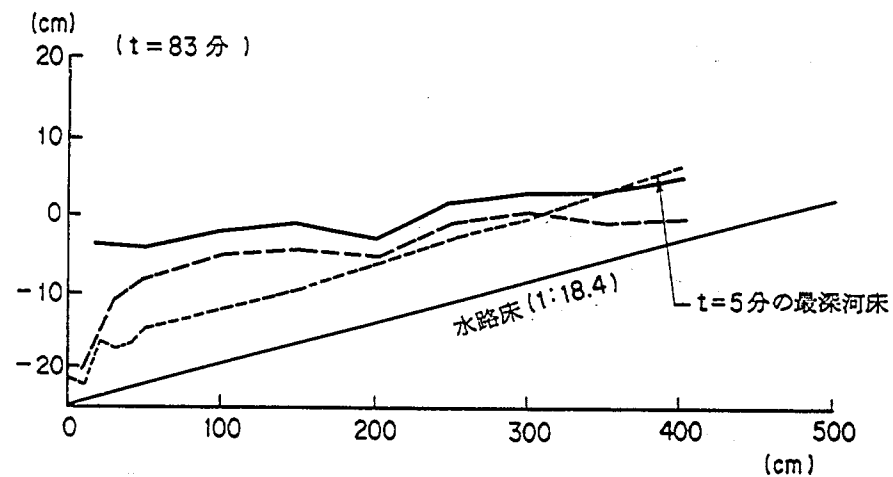
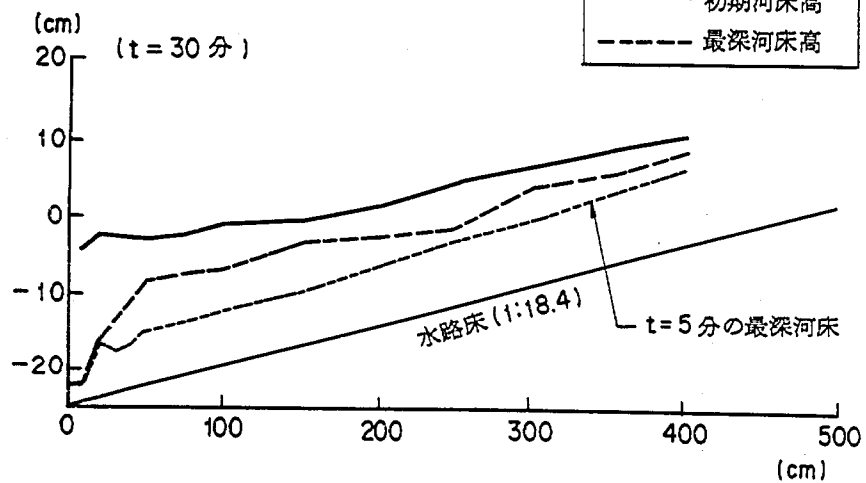
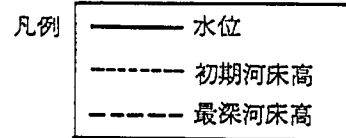


図 2-3-16 水位・河床変動図 (ケース 28)

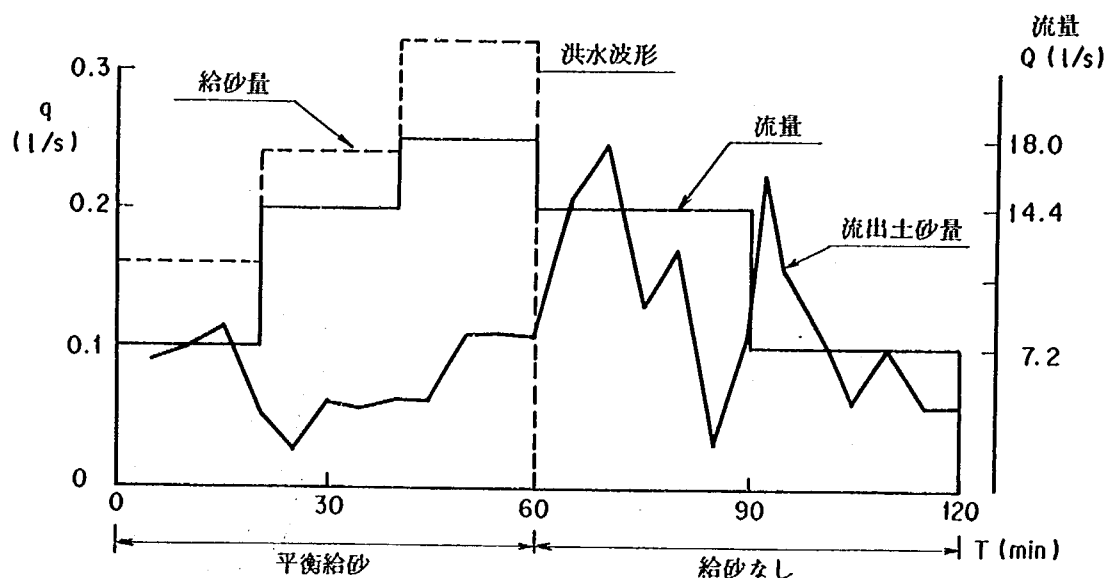


図 2-3-17 流出土砂量変化図

2.3.6 給砂無しの場合の比較

流量が 3.6 l/s では、K-50 模型と K-66 模型では、河床勾配・流出土砂量ともに差はみられない。

流量が 7.2 l/s の場合、図 2-3-18 に示すように、K-33 模型はダムによる堰上げの影響を受け、K-50 模型は堰上げの影響を受けず、水位及び河床高に大きな差を生ずる。また図 2-3-19 に示すように流出土砂量にも差がある。

$Q=14.4 \text{ l/s}$ 、 18 l/s の場合、K-33 模型と K-50 模型の、水位、河床高には大きな差はない。流出土砂量については、図 2-3-19 に示すように、 $Q=18 \text{ l/s}$ については、大きな差がみられないが、 $Q=14.4 \text{ l/s}$ については、初期の土砂量に差がみられる。

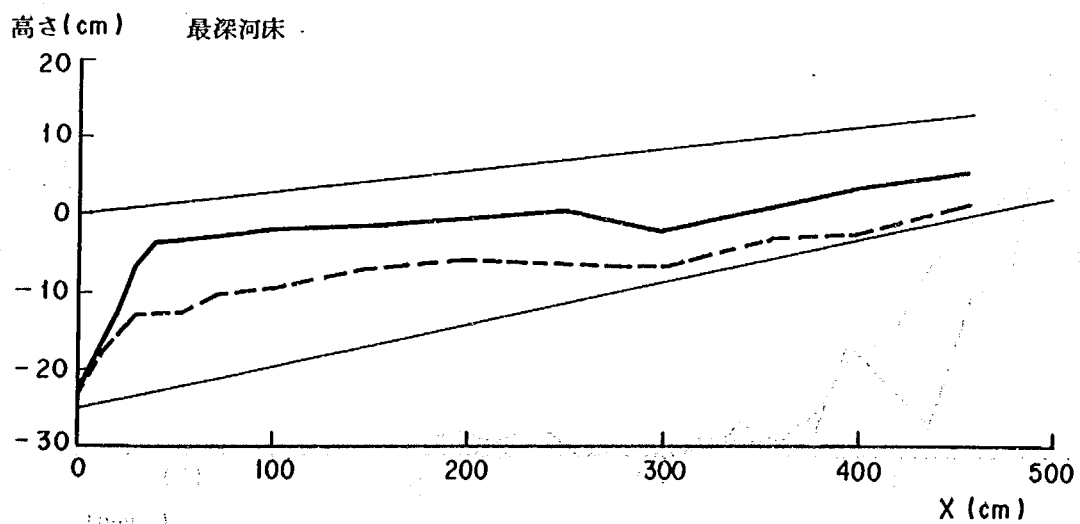
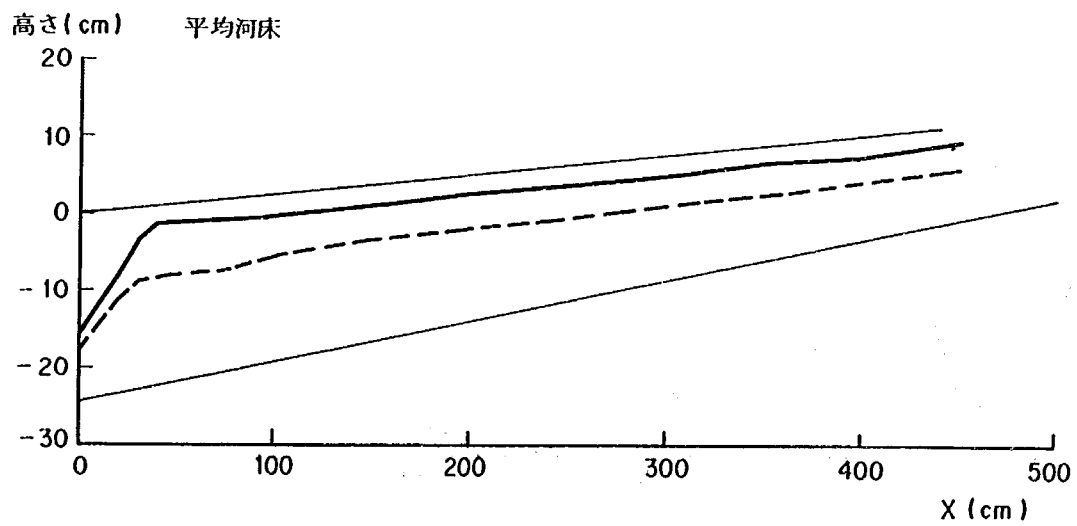
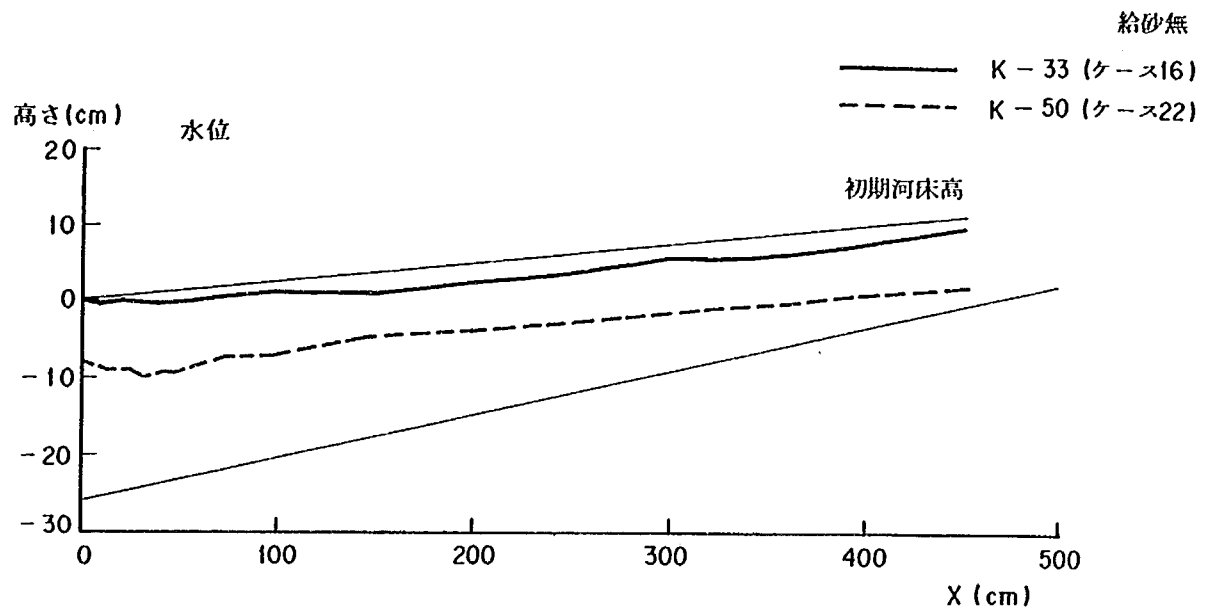


図 2-3-18 最終形状比較図

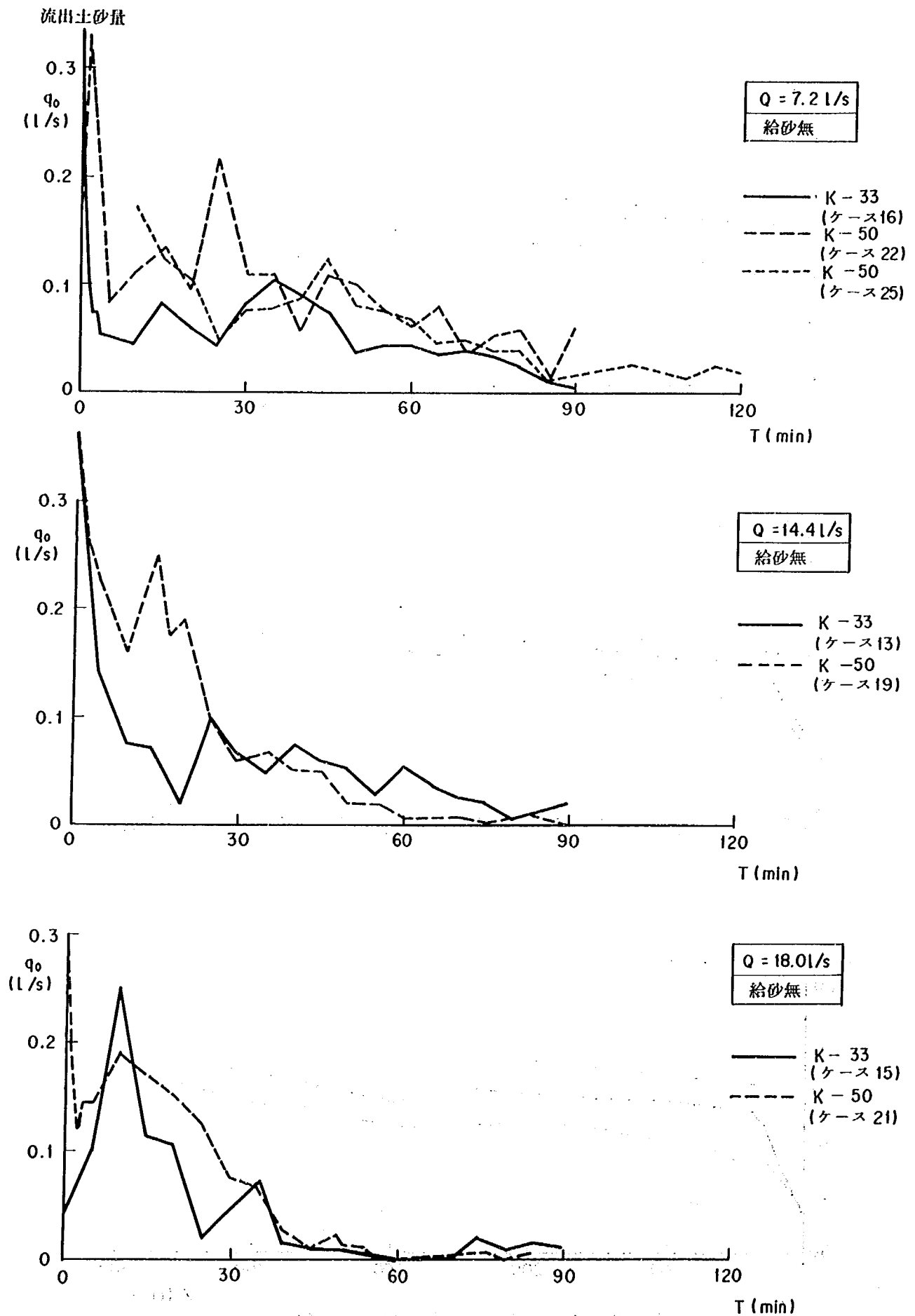


図 2-3-19 流出土砂量時間変化図

2.3.7 給砂有りの場合の比較

給砂が有る場合については、図2-3-20に、水位河床高比較図を示すが水抜きの大きさによる差はみられない。

また、流出土砂量の比較図も、図2-3-21に示すが、これもまた大きな差はみられない。
(表2-3)

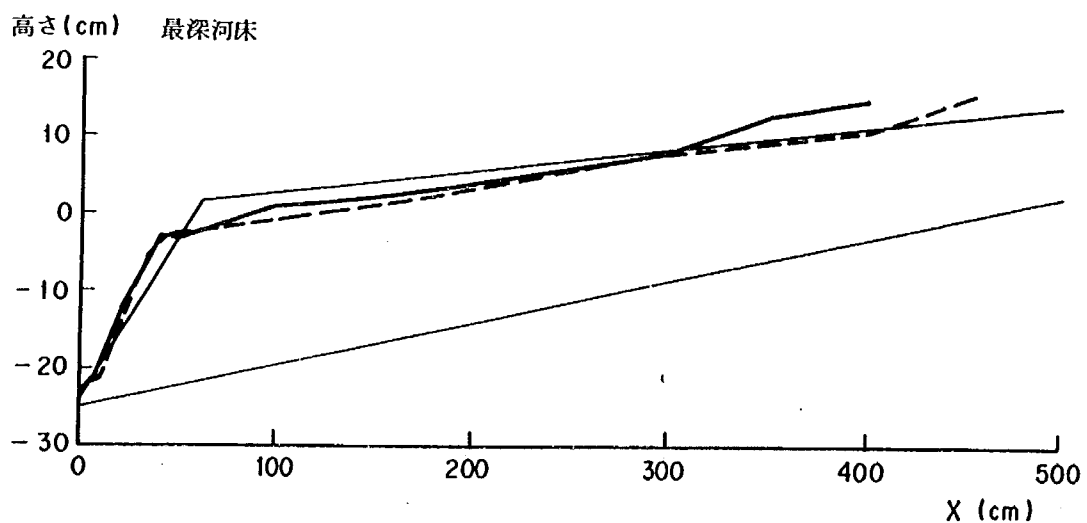
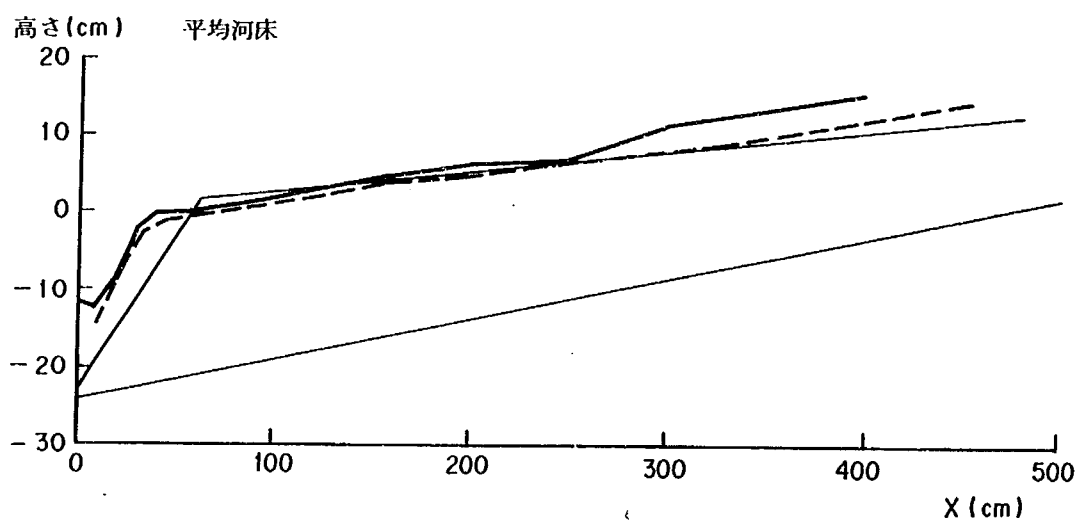
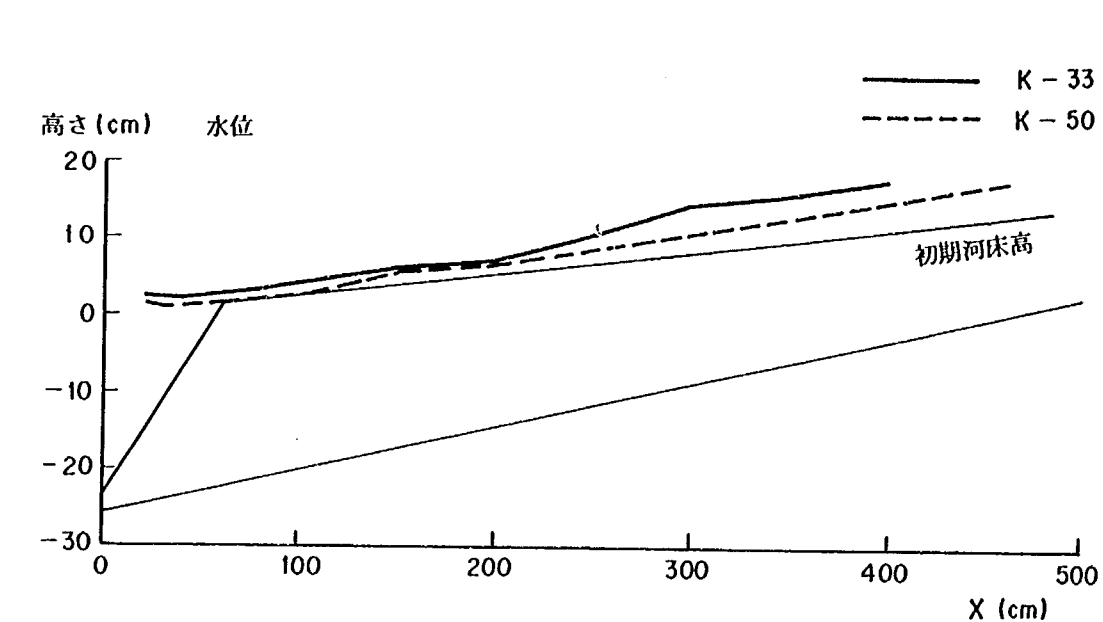


図 2-3-20 最終形状比較図

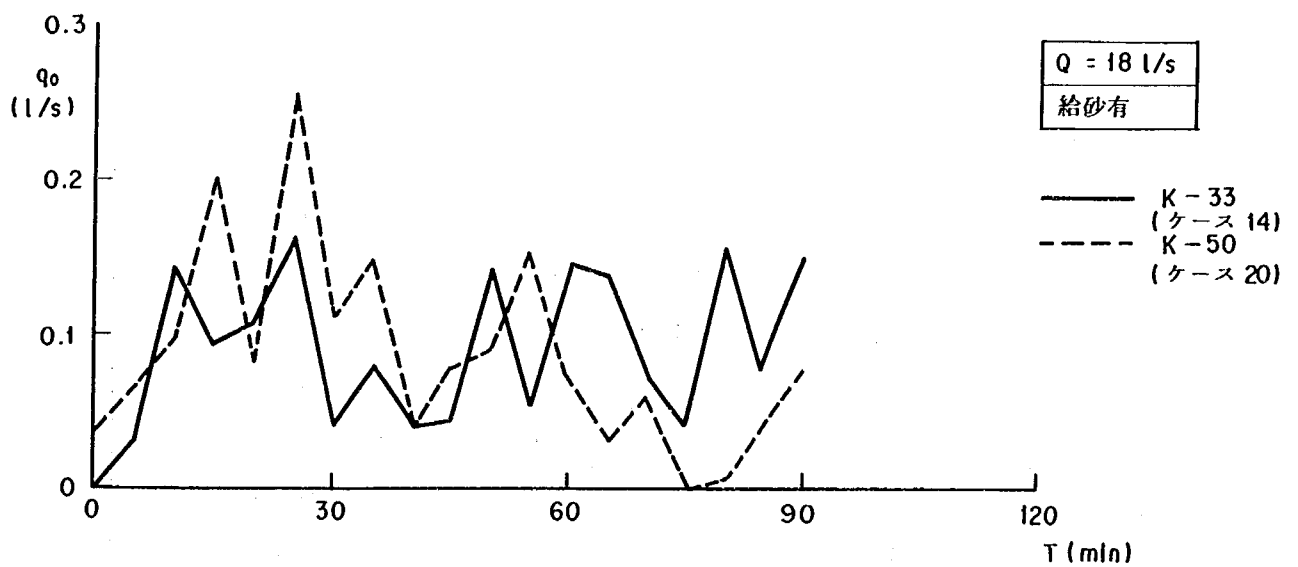
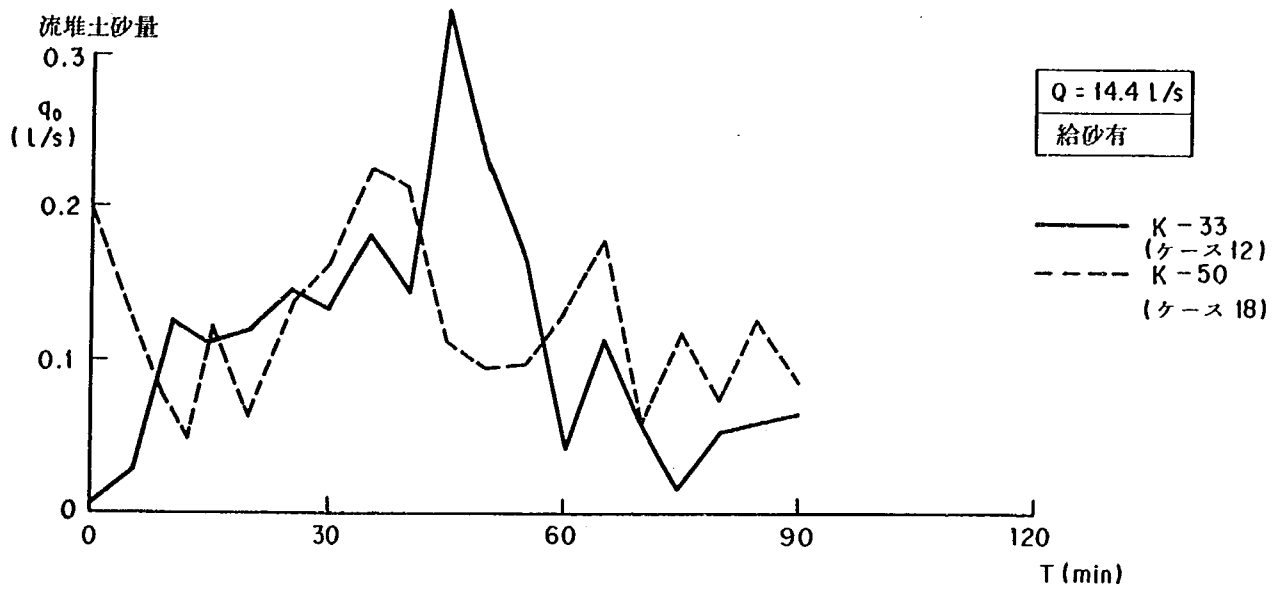


図 2-3-21 流出土砂量時間変化図

表 2-2 実 験 結 果 一 覧 表

模 型 改 造	ケース	流 量 (ℓ/S)	給 砂	総給砂量 Σq_i (ℓ)	給 砂 量 q_i (ℓ/S)	総流出砂量 Σq_o (ℓ)	流出土砂量 q_d (ℓ/S)	$\Sigma q_o / \Sigma q_i$
現況模型 (固定床) G-33	1	3.6	—	—	—	—	—	—
	2	7.2	—	—	—	—	—	—
	3	10.8	—	—	—	—	—	—
	4	14.4	—	—	—	—	—	—
	5	18.8	—	—	—	—	—	—
現況模型 (移動床) G-33	6	7.2	有	180	0.006	4.7	0.003 (25分間)	0.026
	7	7.2						
	8	10.8	有	630	0.117	0.0	0.000	0.024
	9	14.4	有	1200	0.222	15.2	0.003	0.013
	10	18.0	有	1600	0.296	82.8	0.015	0.052
	11	18.0	無	—	—	1.7	0.000	—
第一回模型 改造 K-33	12	44.4	有	960	0.177	631.5	0.117	0.658
	13	14.4	無	—	—	376.7	0.068	—
	14	18.0	有	1180	0.219	492.9	0.091	0.418
	15	18.0	無	—	—	264.7	0.049	—
	16	7.2	無	—	—	311.5	0.058	—
	17	洪水波形	有(60分)	800	0.222	478.8	0.067	0.599
第二回模型 改造 K-50	18	14.4	有	1310	0.243	695.0	0.129	0.531
	19	14.4	無	—	—	473.8	0.088	—
	20	18.0	有	1810	0.335	515.4	0.095	0.285
	21	18.0	無	—	—	429.5	0.080	—
	22	7.2	無	—	—	543.2	0.010	—
	23	洪水波形	有(60分)	800	0.222	396.4	0.055	0.496
	24	3.6	無	—	—	190.3	0.053	—
	25	7.2	無	—	—	556.2	0.052	—
	26	14.4	無	—	—	533.7	0.049	—
第三回 模型改造 K-66	27	7.2	有	1,300	0.241	330.8	0.184	— 0.892
	28	洪水波形	有(60分)			736.6	0.102	
	29	3.6	無	—	—	91.8	0.026	—

表 2-3 実 験 結 果 一 覧 表

模型改造	ケース	流 量 (L/S)	給 砂	越流水深 (cm)	砂 堆 の 傾斜角 θ°	砂堆高さ (最深河) cm	平均河床勾配 (最終)	砂堆最深 河床高(cm)
現況模型 (固定床) Q-33	1	3.6	—	— 4.7	—	—	—	—
	2	7.2	—	0.6	—	—	—	—
	3	10.8	—	1.1	—	—	—	—
	4	14.4	—	1.5	—	—	—	—
	5	18.8	—	1.8	—	—	—	—
現況模型 (移動床) Q-33	6	7.2	有	0.9	7	— 1.8	1/38.0	-18.9
	7	7.2						
	8	10.8	有	1.9	10	— 7.2	1/40	-19.0
	9	14.4	有	3.2	11	— 2.5	1/44	-19.5
	10	18.0	有	3.4	27	— 0.6	1/73	-17.9
	11	18.0	無	3.2	12	— 5.7	1/130	-18.9
第一回模型改造 K-33	12	14.4	有	2.6	30	— 4.5	1/25	-21.9
	13	14.4	無	2.7	28	— 4.9	1/70	-22.0
	14	18.0	有	2.6	29	— 2.4	1/36	-22.4
	15	18.0	無	2.5	28	— 3.6	1/58	-22.4
	16	7.2	無	0.2	29	— 2.4	1/38	-22.9
	17	洪水波形	有(60分)				1/39	
第二回模型改造 K-50	18	14.4	有	1.0	29	— 2.4	1/27	-21.1
	19	14.4	無	1.4	28	— 6.4	1/52	-25.1
	20	18.0	有	1.6	28	— 4.9	1/29	-21.3
	21	18.0	無	1.0	27	— 5.0	1/95	-23.9
	22	7.2	無	-6.4	20	約-10.	1/30	-23.6
	23	洪水波形	有(60分)					
	24	3.6	無	-14.0	—	-16.3	1/18	-21.4
	25	7.2	無	— 7.5	23	-13.1	1/36	-23.1
	26	14.4	無	1.4	27	— 3.2	1/57	-23.1
第三回模型改造 K-66	27	7.2	有	-12.0	10	—	1/17	-22.5
	28	洪水波形	有(60分)				1/33	
	29	3.6	無	-15.0	17	-16.8	1/24	-24.1

2.3.8 閉 塞

今回の水理模型実験において、水拔きの閉塞が起きた模型は K-33 模型である。今回使用した河床材料の最大粒径は図2-2-1に示すように 1.4 mm であり、水拔きの大きさの半分以下の大きさである。流況の観察結果より、水路内の流れが側壁沿いに強くなり(図2-3-22)砂堆の移動が活発化すると、砂堆がダムに到達した時点で水拔きの閉塞が起きている。

(写真2-5)

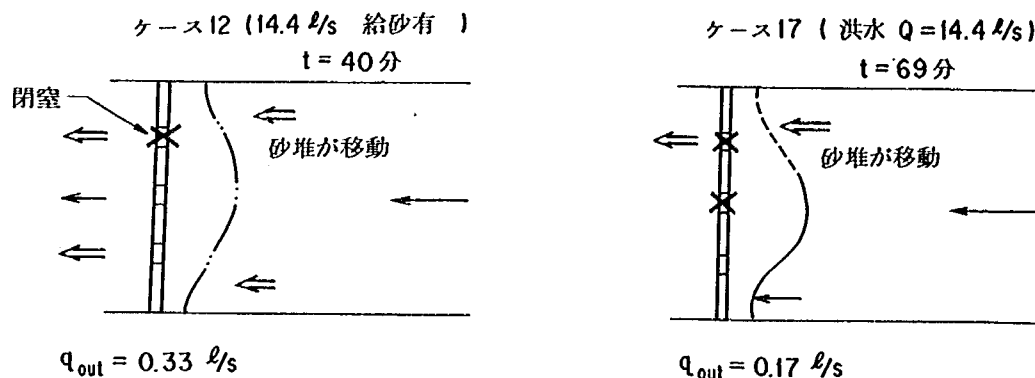


図2-3-22 閉塞時の流況

水拔きが閉塞した時の流出土砂量をみると、ケース17では、流出が1つの水拔きのみで $0.17 \ell/s$ 、ケース12は、2つの水拔きからの流出で $0.33 \ell/s$ であった。

この2つのケースの結果から、水拔きの大きさが 3.3 cm 最大粒径が 1.4 cm では、1つの水拔きからの流出土砂の流出限界が約 $0.17 \ell/s$ であると推定できる。(写真2-5参照)

2.3.9 CASE17の再実験

CASE17の実験(図2-3-9)では給砂量よりも大きな流出土砂量が測定された。そこで、再度おなじ実験を行ないその結果を検証した。なお、実験条件は、CASE17とすべておなじである。

図2-3-23に水位、平均河床、最深河床高時間変化図を示す。

図からCASE17の実験と大きなちがいはみられず、おなじ傾向を示している。

図2-3-24に流出土砂量変化図を示す。

CASE17でみられた大きな流出はみられなかったが、無給砂状態になり、流量が減っても、大きな流出はみられないのはおなじ傾向である。流量が変化して流出土砂が減少するのは水拔きの閉塞によるものであり、土砂はダム天端からの流出が主である。また、74分に大きな流出がどちらともあるが、これは堆砂域の流況の変化により、閉塞していない水拔きからの土砂流出が始まったからである。59分に左岸側及び中央の下水拔き、89分に右岸下の水拔きが閉塞した。89分に閉塞した水拔きは、流出土砂量が小さいのにおこっているが、これは、偶然まぎれ込んだ針金によるものと考えられる。

CASE17の再実験を行ない、異常流出の原因を考えようとしたが、上記の結果からは、はっきりとしたものはわからなかった。

第1回模型改造

Case	17
洪水波形	
給砂	

——— 10分
 - - - 29分
 - - - 47分
 - - - 74分
 - - - 102分
 ——— 初期河床

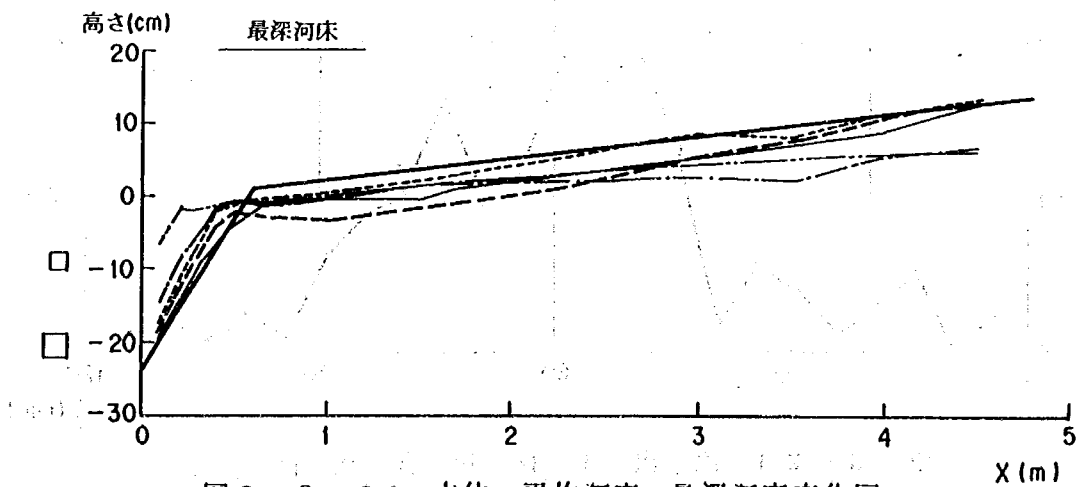
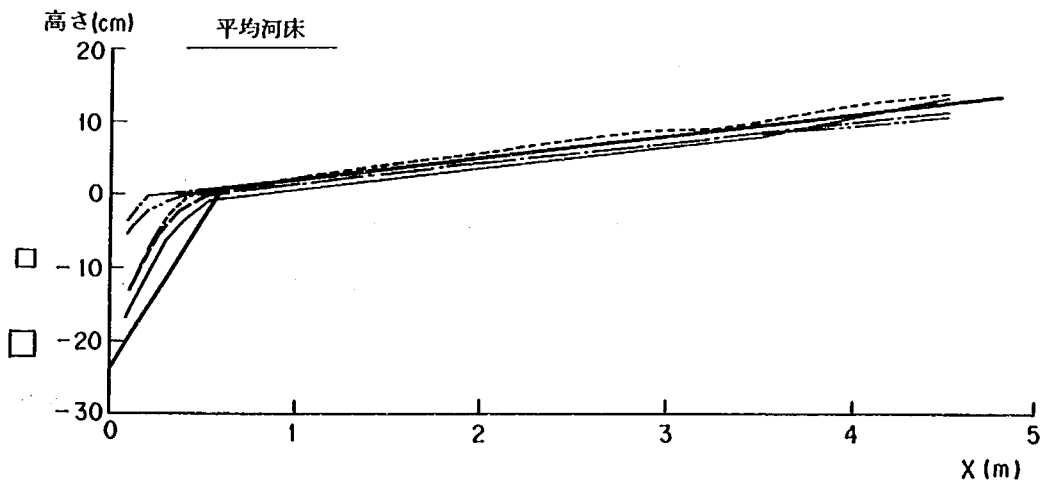
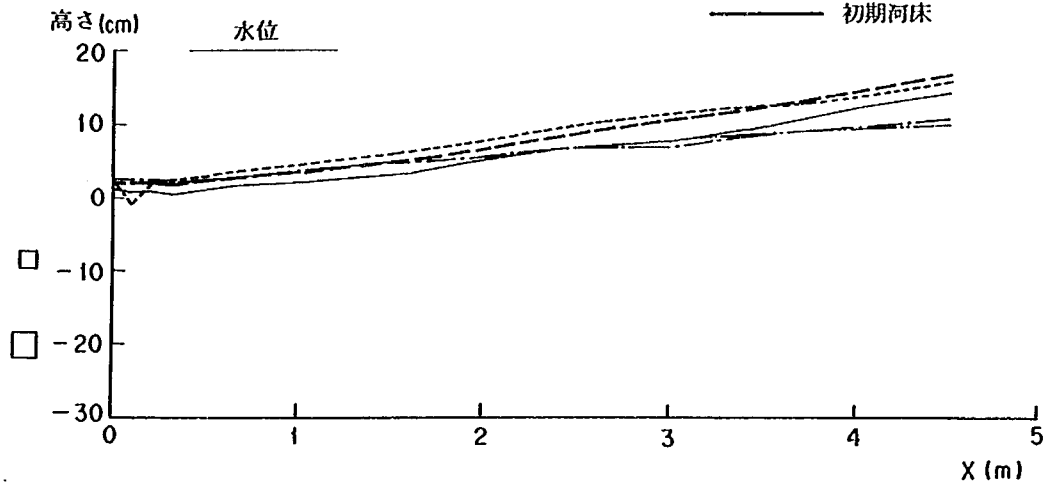


図 2 - 3 - 2 3 水位・平均河床・最深河床変化図

流況の観察より、堆砂域の砂堆の影響によるものと考えられるが、はっきりとした資料は得られなかった。

2.3.10 流木による水抜きをの閉塞

流木の流出により、水抜きが閉塞する状況が現地で見られたため、流木が、水抜きに与える影響を観察した。

実験条件としては、固定床で水位を図2-3-25に示すように設定し、上流より流木の模型を流し、その状況を観察した。

流木の模型は15cmと30cmの物を使用した。

① 水抜きの大きさが6.6cmの場合

。流木が15cmのものはすべて流出したが、30cmの流木については、ダムと平行になって水抜きを閉塞してしまう。

② 水抜きの大きさが5.0cmの場合

流木15cmものでも、ダムと平行なるととまるものがいくつかみられた。30cmについては水抜きまででとまってしまふ。

③ 水抜きの大きさが3.3cmの場合

流木は、すべて水抜きを閉塞してまてしまった。15cmの流木については、水抜きの途中で止まてしまふ流出していくことはない。

④ 閉塞状況

この結果より、水抜きの大ききの約3倍以上の流木については、水抜きを通過せず、閉塞させてしまふと考えられる。流木による水抜きの閉塞状況は、現地でもみられるようにダムと、垂直になて止まてしまふ。よて減水時に水位が低下すると流木が、水抜きを閉塞してしまふと考えられる。(写真2-7)

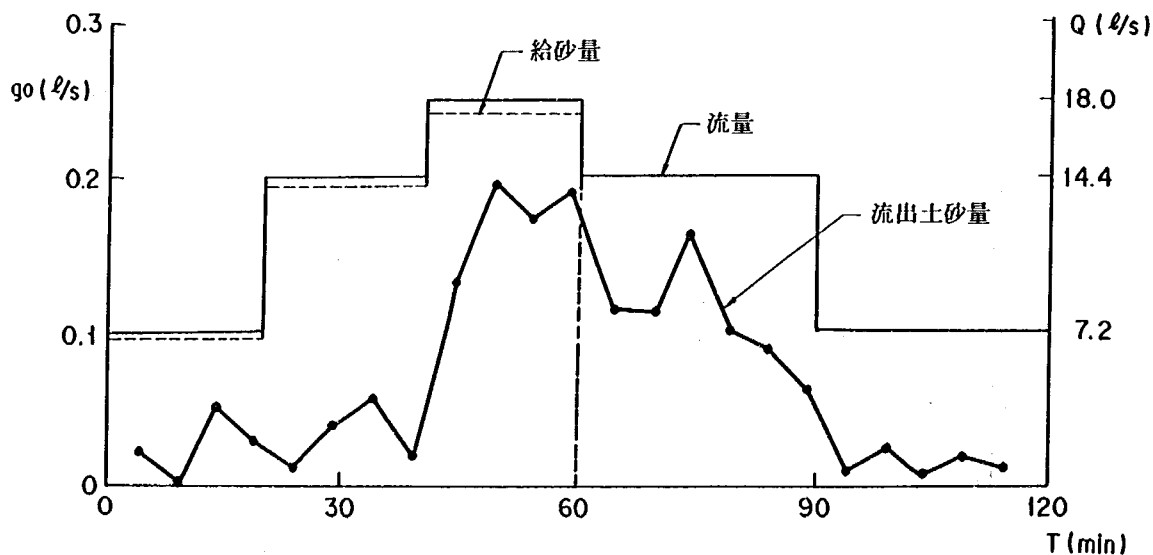


図2-3-24 流出土砂量変化図

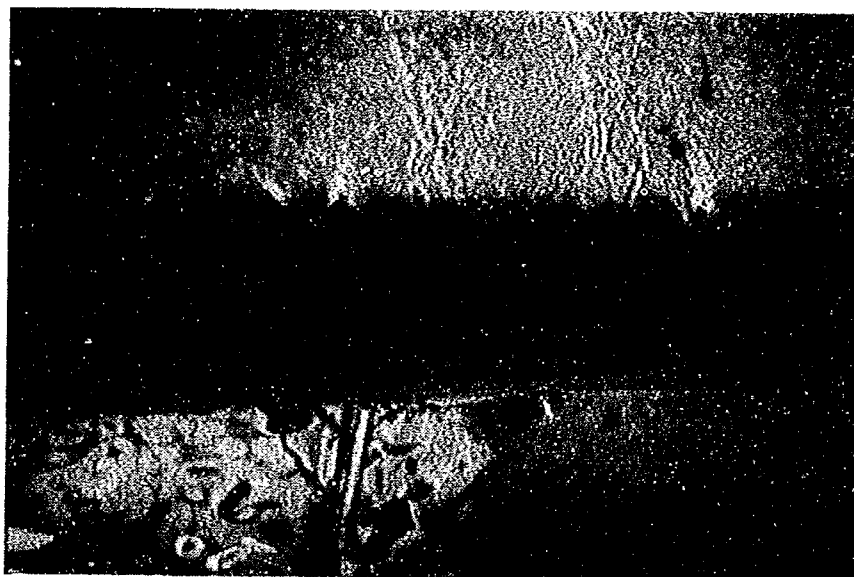
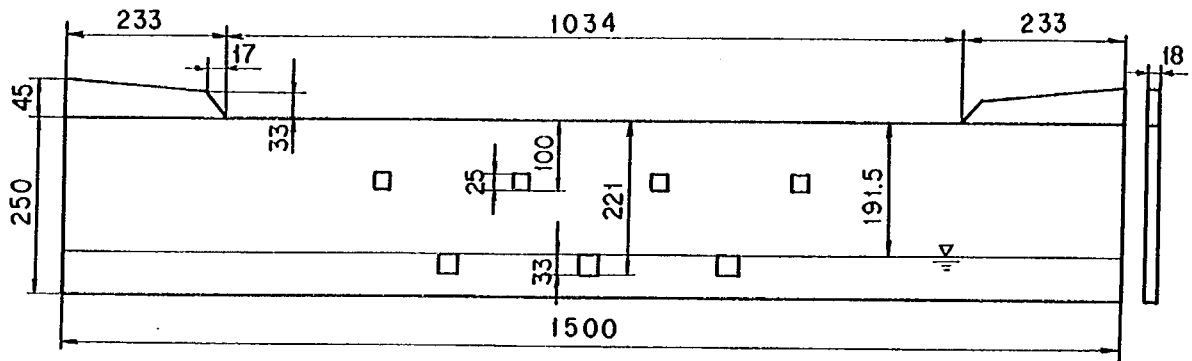


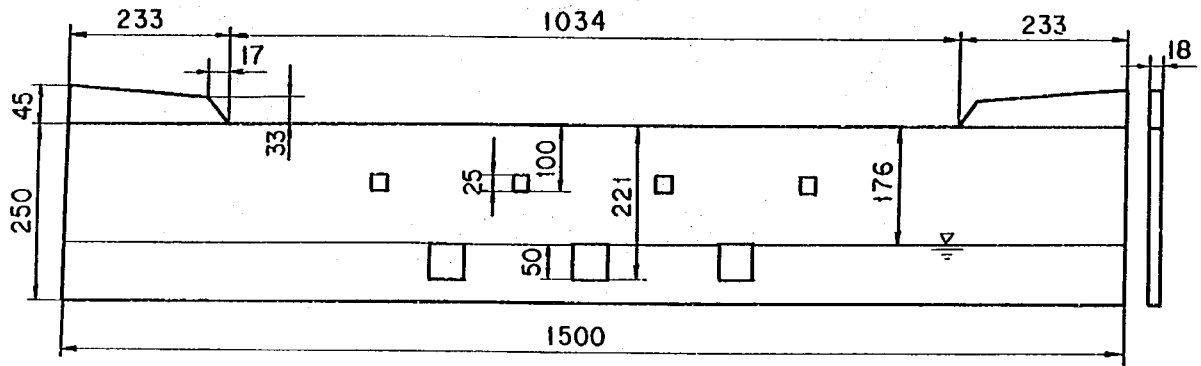
写真 2 - 7 流木による水抜きの閉塞状況

模型一般図（第1回模型改造）



単位 mm

模型一般図（第2回模型改造）



模型一般図（第3回模型改造）

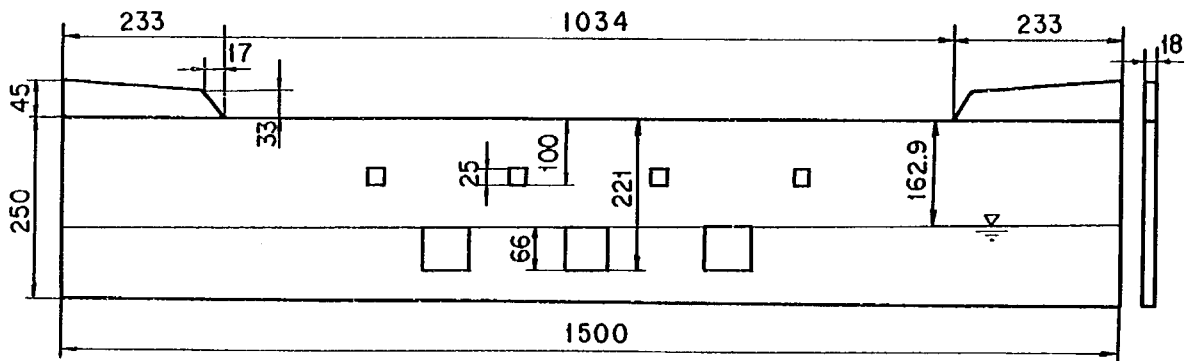


図2-3-25 流水実験条件

2.4 ま と め

2.4.1 ダ ム 堆 砂

ダム堆砂は、ダムによる堰上げの影響により大きく変化することが、今回の実験によりわかった。

ダムの堰上げによる影響を受ける場合には、砂堆の傾斜角(θ)は、約 $27\sim 29^\circ$ となり、影響を受けない場合には約 20° となる。(図2-4-1)また、砂堆の肩の位置もダムの堰上げを受ける場合には、満砂状態に近くなり、影響を受けない場合には、水位の低下に伴って河床も低下してしまう。このことより、ダム天端を越流する流量であれば、堰上げの影響を受け土砂は堆砂し、水抜きからすべて流出する流量であればダムの堰上げの影響が弱まり、ダム堆砂の量も小さくなる。よって、流量の変化により、ダムの堆砂量の変化し、土砂流出を調節する効果があると考えられる。

堆砂勾配であるが、上流からの給砂がある場合には、動的安定勾配に達するまで河床は上昇し、流出土砂量も大きくなるものと考えられる。また、上流からの給砂がなくなれば堆砂勾配は緩くなり、静的安定勾配に達し、流出土砂量も低下すると考えられる。(図2-4-2)。

ただし、給砂を行なっている実験においては、初期河床高を維持するように、給砂を行っているために、その傾向はあまり見られない。

2.4.2 流 出 土 砂 量

無給砂の場合は、図2-4-3に示すように、流量のちがいににより、流出土砂量にもちがいが見られる。流量が大きくなると初期の流出土砂量も大きくなり短時間で安定してしまう。これは、流量が大きくなることにより掃流力が増すためと考えられる。また、総流出土砂量では表2-4に示すように、流量が低下すると総流出土砂量(90分間)は大きくなる。これは、ダムの堰上げの影響を受けない場合には、河床がダム水通部より低下してしまうためであり、このことから砂防ダムの堰上げによる土砂調節の効果がみられる。土砂調節の効果は、水抜きの大きさによるちがいもみられる。(図2-4-2)。水抜きが大きくなれば、流出土砂量も大きくなる。これは、水抜きからの流出する流量が増すためと考えられる。

表2-4 総 流 出 土 砂 量

下部水抜き 大 (mm)	流 量 (L/s)	ダム付近 水 (cm)	総流出土砂量(kg)	
			0~90分	0~30分
(K-33) 33	18.0	2.5	265	198
	14.4	2.0	377	231
	7.2	0.2	312	127
(K-50) 50	18.0	1.5	431	399
	14.4	1.5	474	362
	7.2	-9.0	543	268

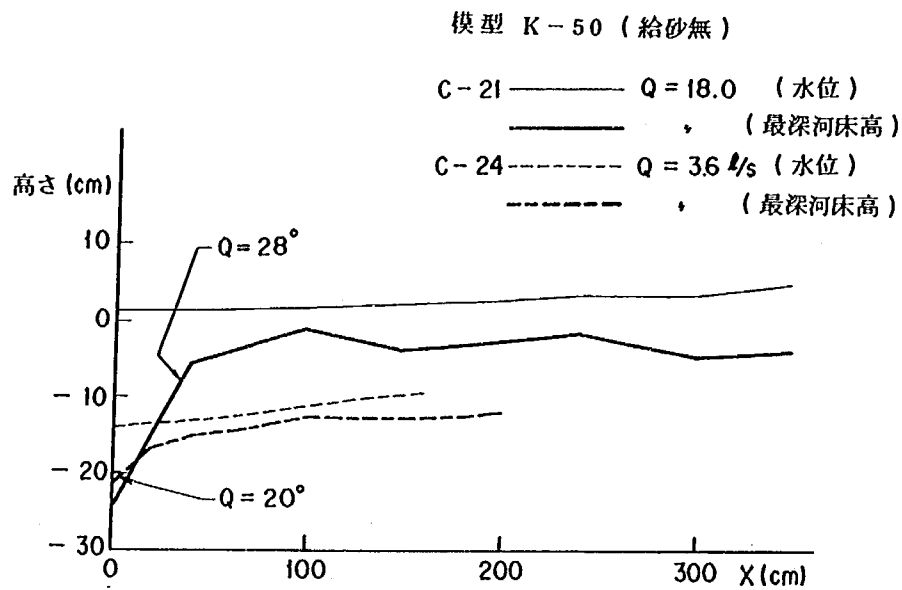


図 2-4-1 砂堆の傾斜角比較図

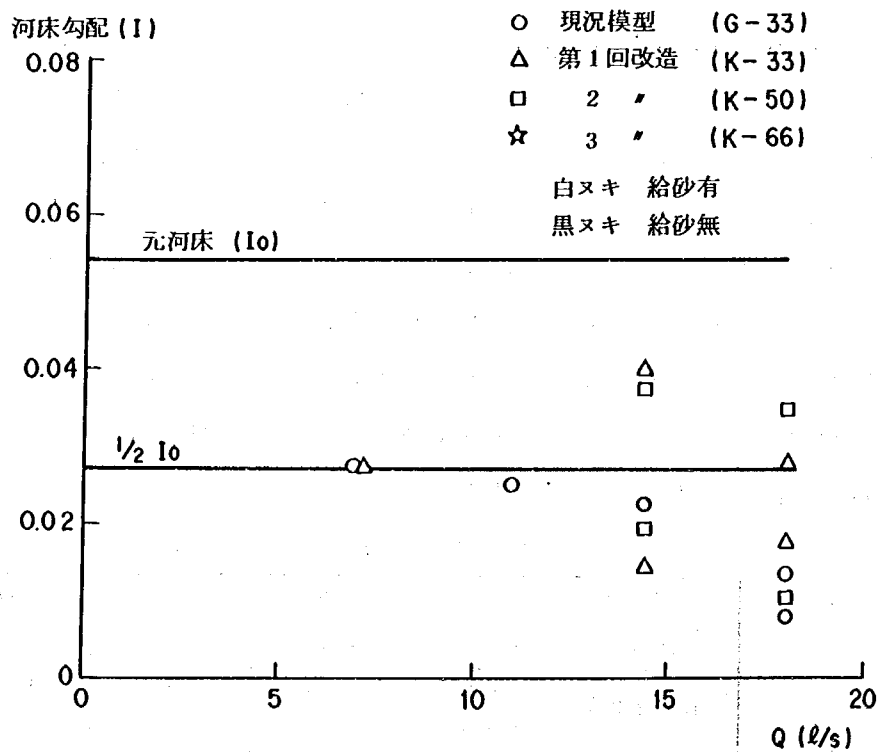


図 2-4-2 河床勾配-流量関係図 (越流水深 > 0 cm)

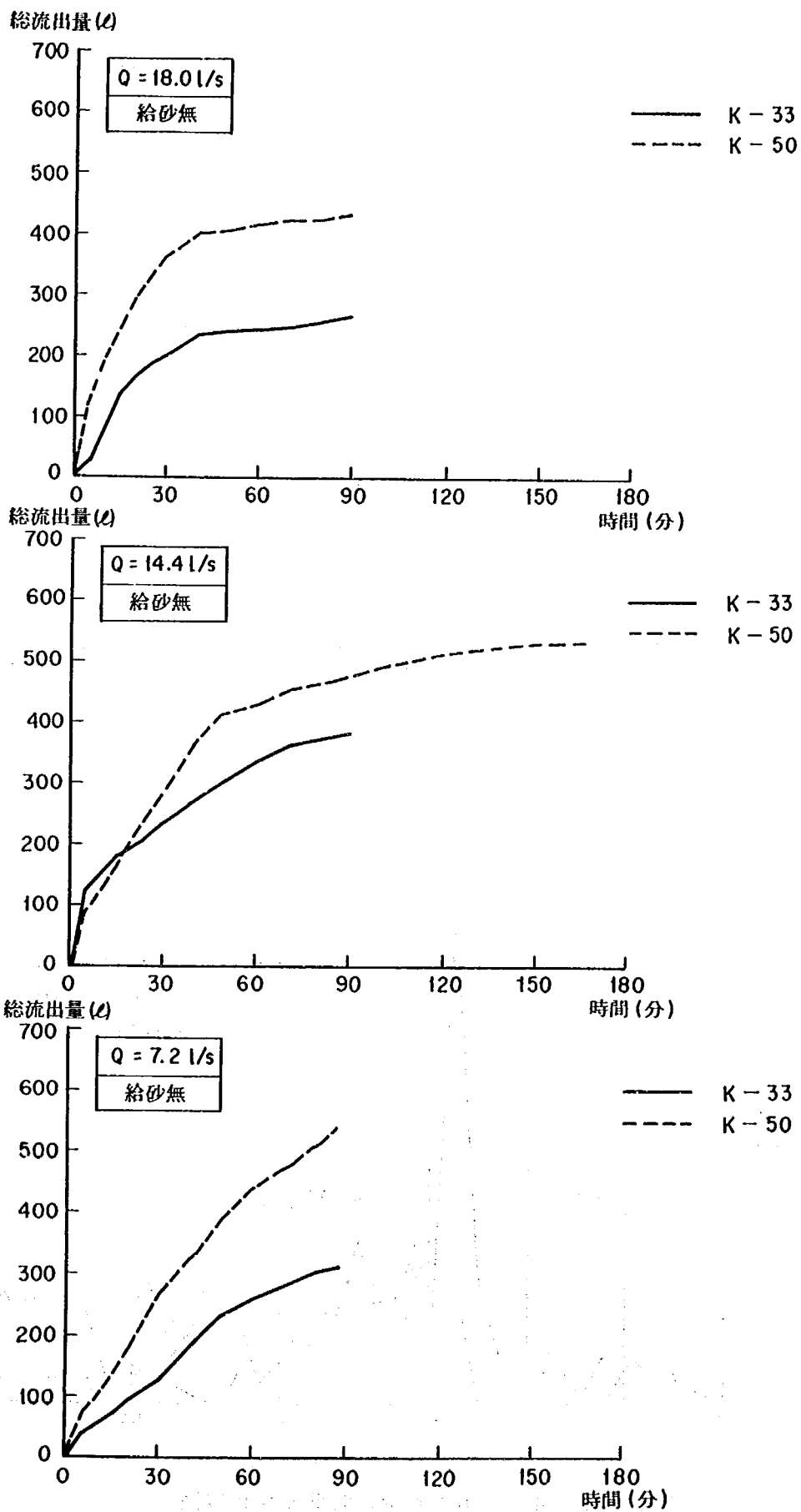


図 2 - 4 - 3 総流出量 - 時間変化図

2.4.3 土砂調節効果（洪水波形流量より）

図2-4-4、表2-5より、水抜きの大さきの違いによる流出土砂量の違いがわかる。表の値より洪水前半の流出土砂量にはそう大差ない（K-50 は、洪水波形の前に無給砂実験を行っている）が、洪水後半（減水時）には、水抜きが大きくなると、流出土砂量も大きくなっている。このことより、水抜きが大きくなれば、砂防ダムの堆砂域における土砂調節量は、大きくなると考えられる。

表 2-5 洪水波形・土砂収支結果表

模 型 (ケース)	通水時間	A 総給砂量	B) 流 出 土 砂 量			C=A-B 貯 砂 量
			B1 洪水前半	B2 洪水後半	B=B1+B2 合 計	
K-33 (ケース17)	120分	800	266	213	479	321
K-33	120分	800	116	280	396	404
(ケース17)	210分	800	659	280	939	-139
K-66 (ケース 27~29)	120分	(800)* ²	285	449	734	(66)
	210分	1300	616	541	1157	143

* 1 K-50, K-66は、上段が、K-33と同じ洪水時間。

下段は、重ね合せを含む。

* 2 K-66の給砂量(800ℓ)は、測定値がなく、K-33, K-50と同じとした。

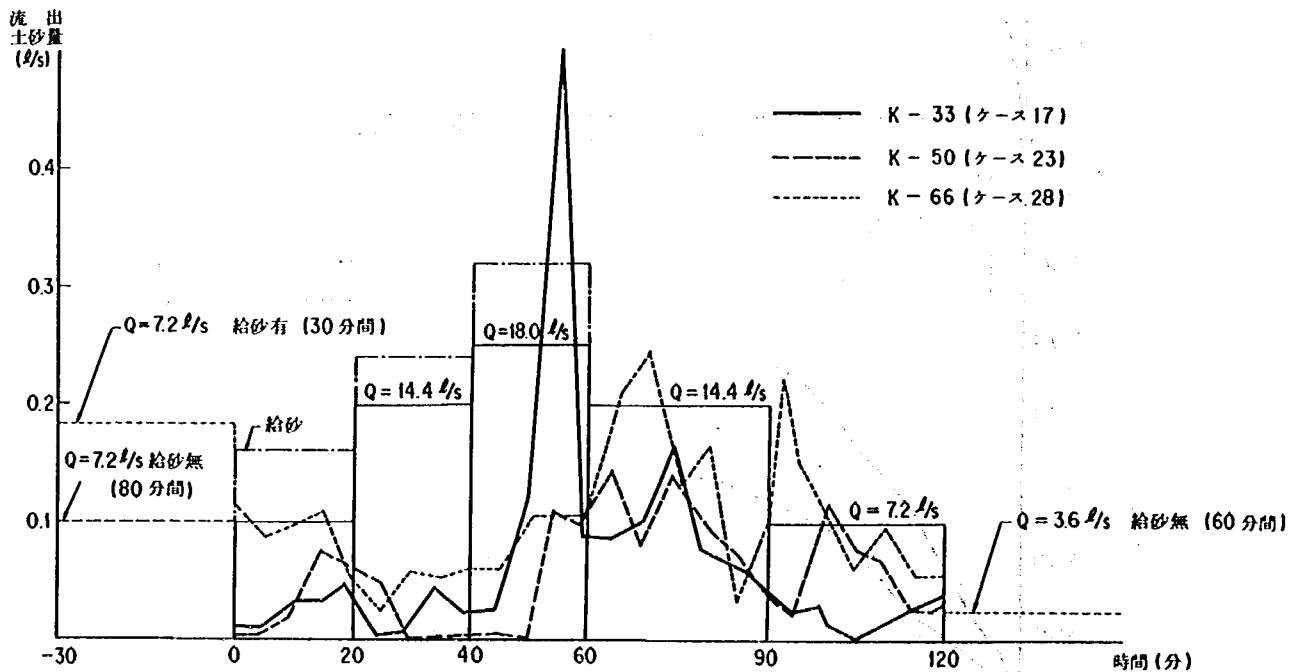


図 2-4-4 流出土砂量，時間変化比較図

3 結 論

大きな水抜き暗渠を有する砂防ダムの土砂調節効果に関する水理模型実験により以下の事が明らかとなった。

- ① 水抜き暗渠は多少大きくても、一般にせき上げが発生し、通常の堆砂と同様の過程を示す。
したがって大規模な土砂流出の際に、暗渠が閉塞する確率は低い。洪水後半、流量の減少とともに堆砂地内の堆積土砂が暗渠を通して下流に流出する。
- ② 未満砂の大きな水抜き暗渠を有する砂防ダムに多量の土砂が流入してきた場合、ダムで堆砂することにより、ダムからの土砂流出を時間的に遅らすことができる。ピーク流出土砂量も一般には減少させることができるが、暗渠の閉塞、噴出が発生すると、1時的に大きなピーク流出を示すことがあった。
- ③ 暗渠が偶然閉塞した状態を想定した実験では、初期に非常に土砂濃度の高い土砂流出が観察された。
- ④ 暗渠の大きさは最大粒径の2倍以上で、従来の研究では閉塞しない条件であるが、流出土砂量が極端に大きくなるときまた平時でもゴミなどにより閉塞することがあった。
- ⑤ 流木は水抜き周辺で流線と平行になって流れる傾向があり短かい場合は水抜きを通過するが、長い場合には、水抜きに留まり、他の流木とからまって水抜きを閉塞する。

今回の実験結果に基づいて、大きな水抜き暗渠を有する砂防ダムの土砂調節効果を評価するためのフローチャートは図3-1に示す。初期河床形状、上流からの流入土砂量及び流量を与え、水抜き形状を考慮して砂防ダムの越流水深を求め、これを下流側の境界条件として水面形を計算し、堆砂計算を行う。

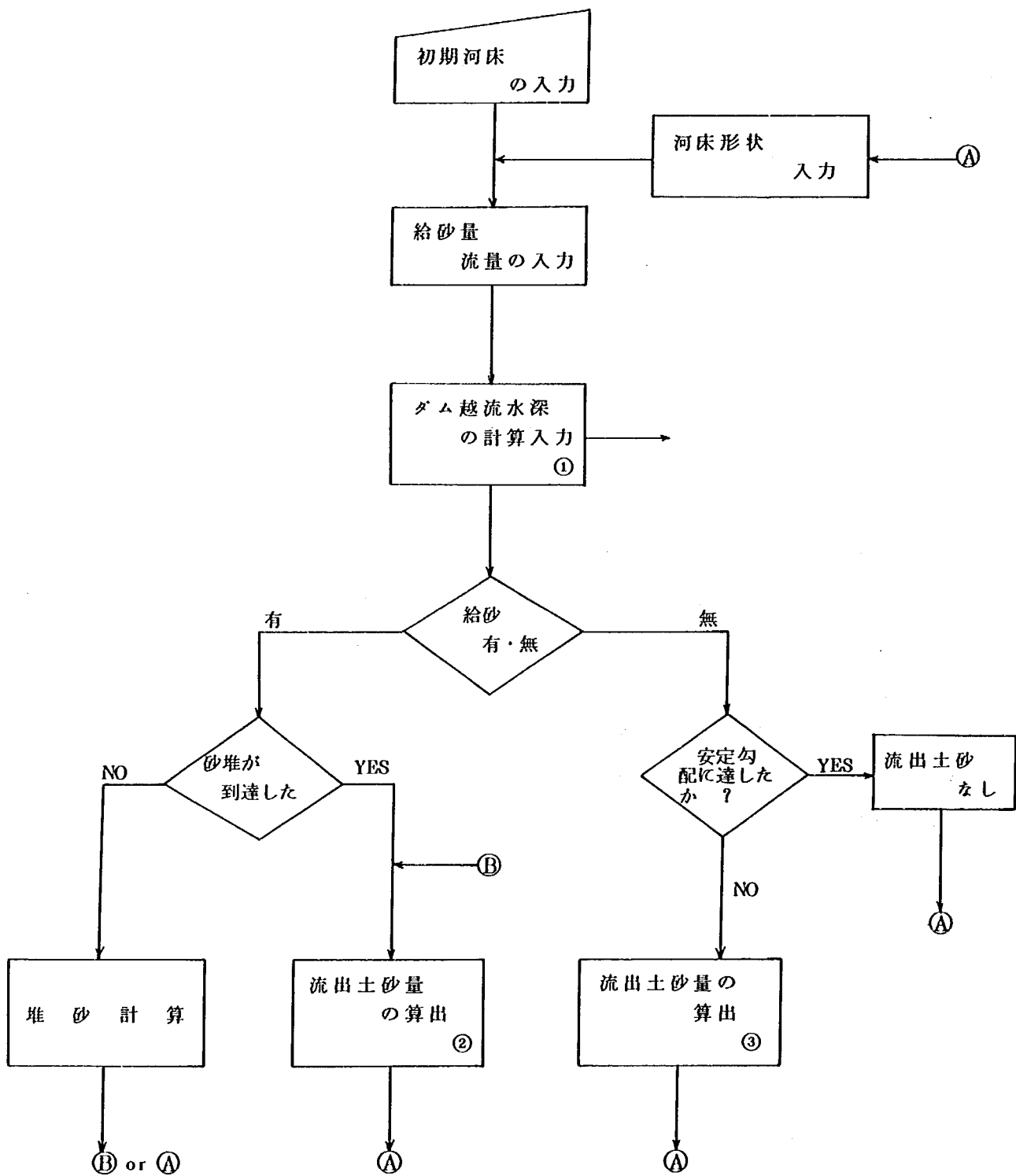


図 3 - 1 堆砂・排砂・流出土砂算出フローチャート

① ダム越流水深の入力決定

今回の実験に使用した模型より，計算で，越流水深－流量関係図（図 3－2）を作成した。
この図より，与えられた流量，水抜きの高さより，越流水深を求めることができる。

② 堆砂計算

元河床の $1/2$ 勾配で堆砂するとし，砂堆がダムに到達するまで流出土砂はないとする。

③ 流出土砂量の算出（給砂有）

流出土砂量は，水深，河床勾配等によって変わるため，流量～流出土砂量の関係を河床勾配別に求めておく必要がある。

④ 流出土砂量の算出（給砂無）

静的安定勾配に達するまでの河床低下量を流出土砂量とする。

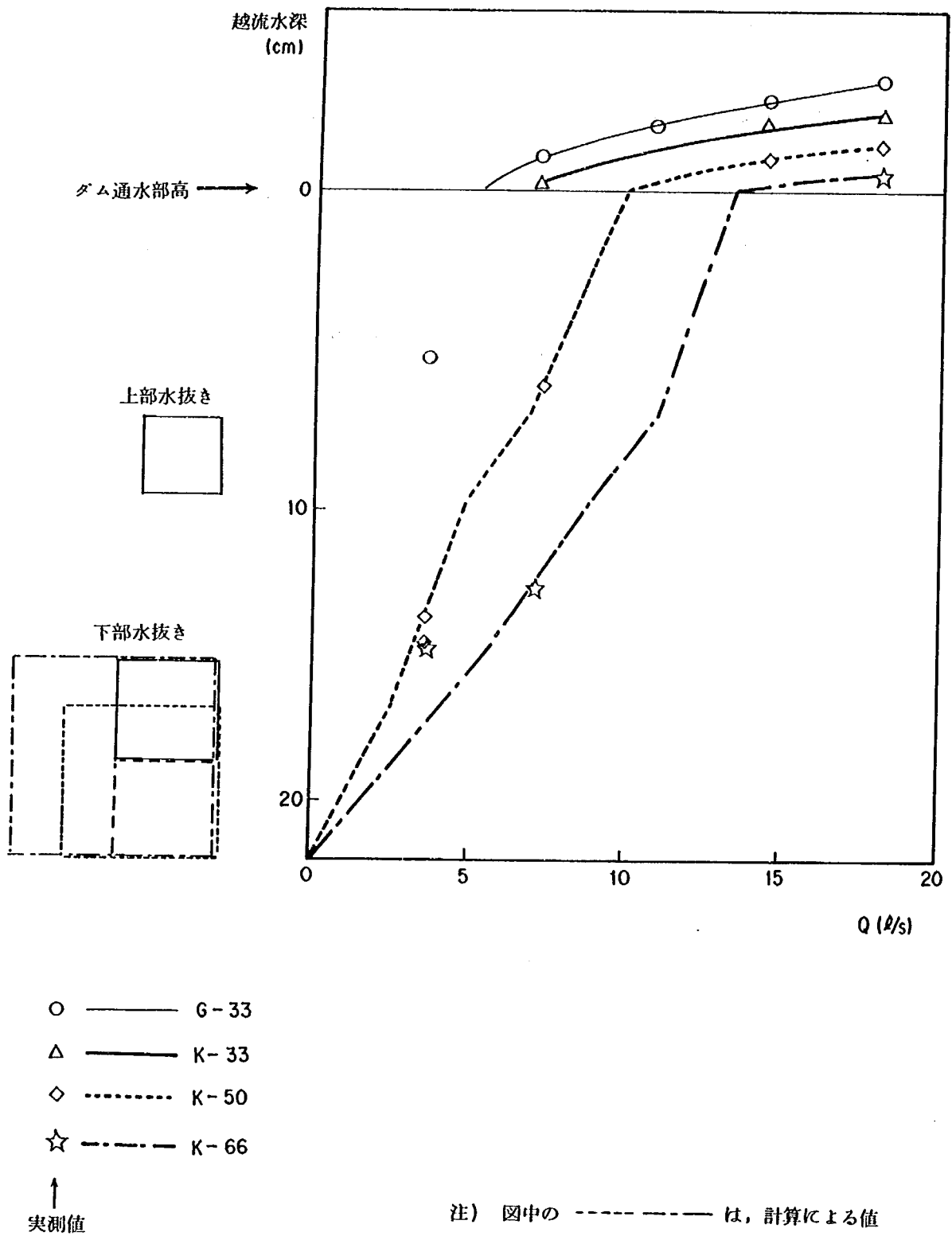


図 3-2 水抜きを有する砂防ダム・H～Q関係図

大きな水抜き暗渠を有する砂防ダムの
土砂調節効果に関する水理模型実験報
告書

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2066号
昭和59年2月(1984)

キーワード：砂防ダム，大暗渠，土砂調節効果

要旨

大きな水抜き暗渠を有する砂防ダムである富士川砂防
工事事務所管内の小武川第1砂防ダムについて，流
況，堆砂および排砂過程，土砂調節効果を実験的に
検討した。



郵便はがき

305-□□

40円切手
をはって
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2066号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

