

土 木 研 究 所 資 料

砂防ダムの粒径調節効果に 関する研究報告書

平成3年8月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

「Copyright © (1991) 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。」

砂防ダムの粒径調節効果に 関する研究報告書

砂防研究室 室 長 石 川 芳 治
主任研究員 井良沢 道 也
福 本 晃 久

要 旨

砂防ダムは、流出土砂を量的に調節するだけでなく、質的に変化させる粒径調節効果（ふるい分け効果）も有していると言われてきている。しかし、砂防ダムの粒径調節効果に関しては、不明な点が多くこれまで砂防計画に十分に反映されていないのが実状である。そこで、本研究は水理実験及び河床変動計算により、砂防ダムの粒径調節効果について検討し、砂防ダムの機能を把握する上での基礎資料とすることを目的として行った。

キーワード：砂防ダム，粒径調節，河床変動計算，水理模型実験

STUDY ON SABO DAMS' PARTICLE-SIZE CONTROL FUNCTION

Sabo Division, Sabo Department
Head of Division: Yoshiharu ISHIKAWA
Senior Researcher: Michiya IRASAWA
Akihisa FUKUMOTO

Synopsis

Sabo dams are supposed to have a particle-size control function (sieving function) of not only controlling sediment outflow quantitatively but changing it qualitatively. However, this function has not been involved in many sabo plans so far because it still contains many undefined factors.

Thus, sabo dams' particle-size control function was investigated by means of hydraulic experiments and river bed variation calculation, the findings of which were to be utilized as basic data for grasping the functions of sabo dams.

Key Words: sabo dam, hydraulic model experiment, particle-size control function
river bed variation calculation

は じ め に

砂防ダムは有害な流出土砂を量的に調節するだけでなく、粗い粒子を堆積させ細かい粒子を流出させる質的な調節効果も有していると言われてきている。しかし、こうした粒径調節効果については不明な点も多く、砂防計画に反映させるに至っていない。そこで水理模型実験並びに数値解析により砂防ダムの粒径調節効果について検討を行った。なお、本研究は、平成元年度及び2年度に東北地方建設局新庄工事事務所の依頼により実施したものである。

平成元年度は、掃流区間にある砂防ダムを想定して二次元水路による水理実験と粒径別一次元河床変動計算による砂防ダムの形状の違いによる粒径調節効果について検討を行った。平成2年度は、砂防ダムの有り無しによる粒径調節効果の違いについて元年度と同じく二次元水路による水理実験により検討を行った。

目 次

はじめに

1. 目 的	1
2. 砂防ダムによる粒径調節効果	2
2.1 実験の概要	2
2.1.1 実験条件	2
2.1.2 水理模型実験の概要	4
2.2 実験結果	4
2.2.1 河床の縦断変化	4
2.2.2 流砂量の時間変化	5
2.2.3 流砂の平均粒径の時間変化	6
2.2.4 堆積土砂の平均粒径の時間変化	11
2.3 実験結果の考察	12
3. 砂防ダムの形状による粒径調節効果	14
3.1 実験及び計算の概要	14
3.1.1 実験及び計算条件	14
3.1.2 水理模型実験の内容	15
3.1.3 一次元河床変動計算の内容	18
3.2 実験結果	19
3.2.1 ダム近傍の状況	19
3.2.2 堆砂縦断形	25
3.2.3 流出土砂量の変化	29
3.2.4 堆積土砂の平均粒径の変化	30
3.2.5 堆積土砂の粒度分布の変化	31
3.2.6 流出土砂の平均粒径の変化	31
3.2.7 流出土砂の粒度分布の変化	31
3.3 河床変動計算結果と実験結果の比較	35
3.3.1 表層堆積土砂の粒度分布の比較	35
3.3.2 流出土砂の粒度分布の比較	35
4. まとめと今後の課題	37
参考文献	38

1. 目 的

砂防ダムの粒径調節効果（ふるい分け効果）の研究としては、これまで、スリットダムのような土石流対策ダムについて実験的研究¹⁾が行われており、先端部に大きな礫が集まるような土石流では、砂防ダムに貯留することにより大粒径をカットする効果があることが示されている。しかし、掃流域における砂防ダムの粒径調節効果については、ほとんど研究されていないのが現状である。そこで水理模型実験及び一次元河床変動計算により、掃流域（本研究では河床勾配 1/30）における砂防ダムの粒径調節効果について検討を行い、その機能を明らかにする。さらに、砂防ダムの形状の違いによる粒径調節効果についても検討する。

2. 砂防ダムによる粒径調節効果

2.1 実験の概要

2.1.1 実験条件

実験条件は、流路幅20cm、流路長18m、河床勾配1/30とした。砂防ダムの粒径調節効果については、砂防ダムがある場合とない場合についてそれぞれ図-2.1に示す洪水波形を何回か通水し比較することにより検討するものとした。給砂及び最初に河床に敷いた砂礫の粒度分布を図-2.2に示す。砂礫の平均粒径は3.5mmである。初期河床条件は、流量2.2ℓ/secで給砂を行いながら2時間通水した後を初期河床とした。砂防ダムがない場合の実験は、図-2.1に示す洪水波形を4回繰り返して与え、砂防ダムがある場合は8回繰り返して与えた。なお、砂防ダムは初期河床状態で図-2.3に示す形状のものを水路下流端に設置した。給砂は、水路下流端より上流18m地点で全時間を通じて行った。給砂量は、予備実験により1/30の勾配で河床変動があまり生じない量を各流量毎に求めた。給砂量は表-2.1に示すとおりである。

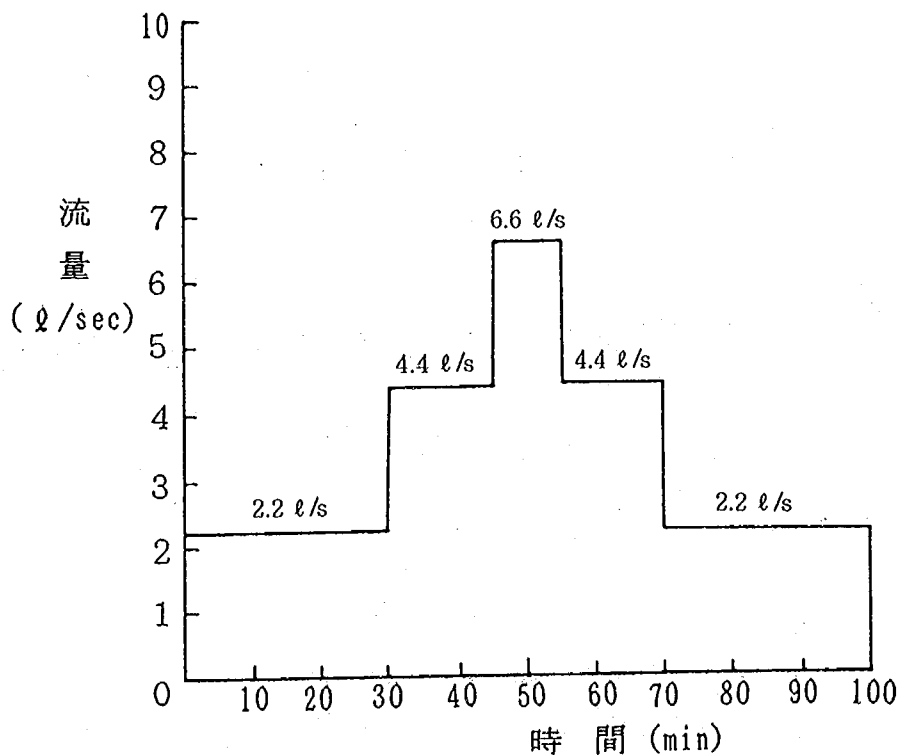


図-2.1 実験に用いた洪水波形

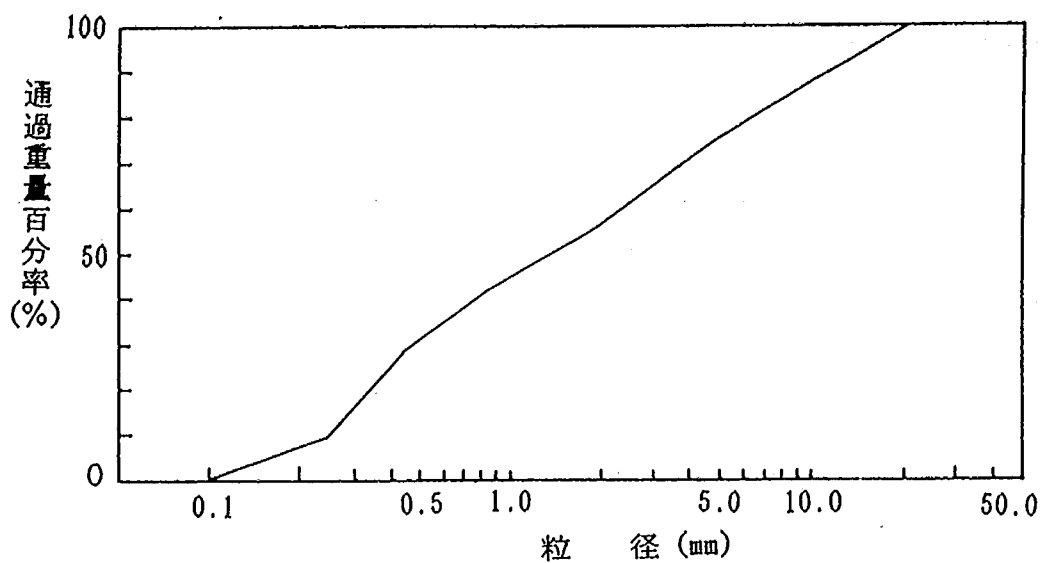


図-2.2 実験に用いた河床材料

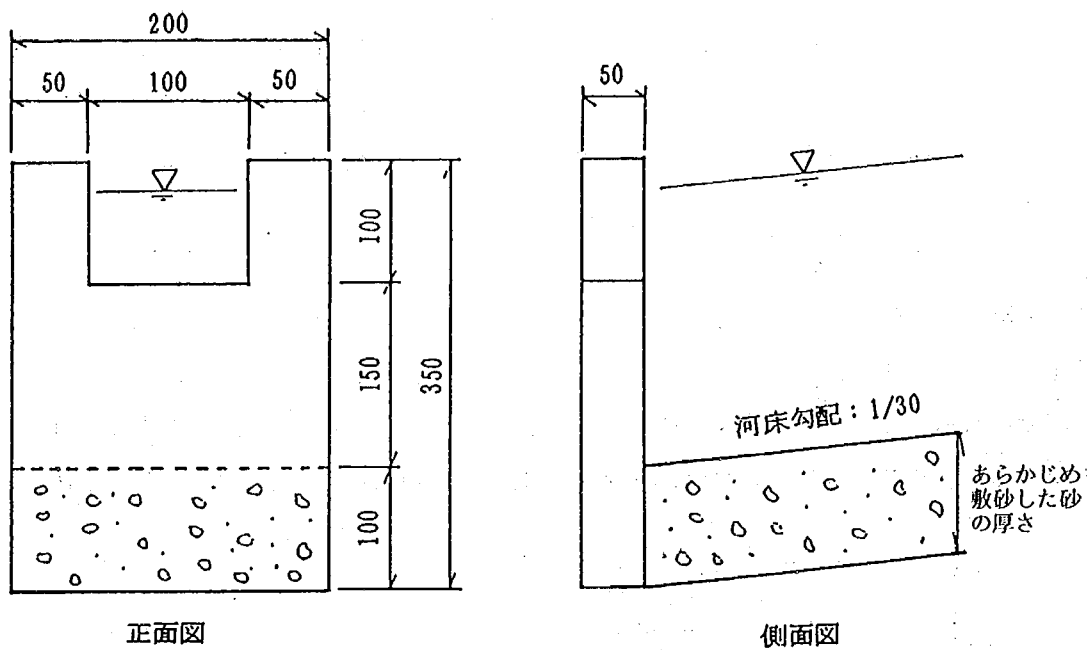


図-2.3 砂防ダムの形状 (単位: mm)

注; 砂防ダムが無いケースは幅20 cm, 高さ10 cm, 厚さ5 cmの板を水路下流端に設置した。

表-2.1 給砂量

流量 (ℓ/sec)	給砂量 (ℓ/sec)	土砂濃度 (%)
2.2	0.0297	1.33
4.4	0.0882	1.97
6.6	0.1512	2.24

2.1.2 水理模型実験の概要

(1) 実験内容

実験水路は、水理共同実験棟内にある急勾配水路（幅 1.5 m，全長 20 m）を幅 20 cm に狭めて使用した。流量は、水路上流に量水槽を設けて三角堰により所定の流量を設定した。給砂は、水路下流端より上流 18 m 地点において行った。

(2) 測定内容

① 水位・河床高測定

水位・河床高の測定は、原則として各流量の変化する直前の水位と河床高を縦断方向に 50 cm 間隔で、水路中央 1 点を測定した。

② 流出土砂量及び粒度分布の測定

水路下流端において原則として各流量の変化する直前の流出土砂を 10 ～ 30 秒間採取し、その量及び粒度分布を測定した。

③ 堆積土砂の粒度分布の測定

1 つの洪水波形通水後に水を止め、堆積している土砂の粒径を水路下流端から 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 m 地点において採取し、それぞれの粒度分布を測定した。採取量は、幅を水路幅（20 cm）とし、縦断的には 1 ケ所につき約 30 cm，厚さは 3 cm として採取した。採取した土砂は粒度分布測定後に再び同じ箇所に埋めもどした。

2.2 実験結果

2.2.1 河床の縦断変化

河床の縦断変化を図-2.4 及び図-2.5 に示す。図に示す河床高は、各洪水終了直前に測定したものである。砂防ダムを設置しない図-2.4 では、若干河床が上昇傾向にあるが、全体としてはほとん

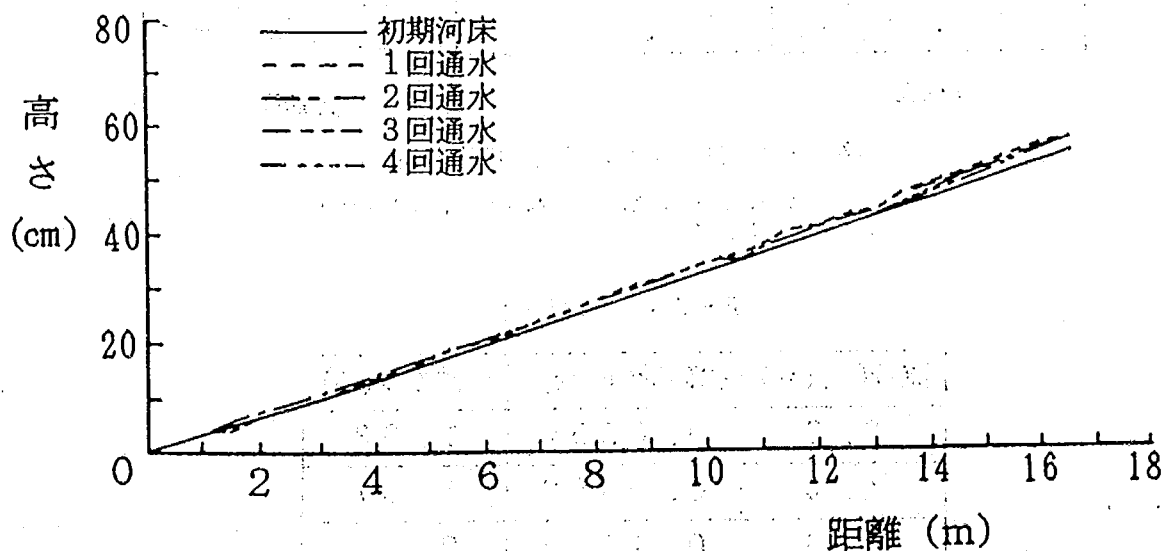


図-2.4 河床の縦断変化（砂防ダム無）

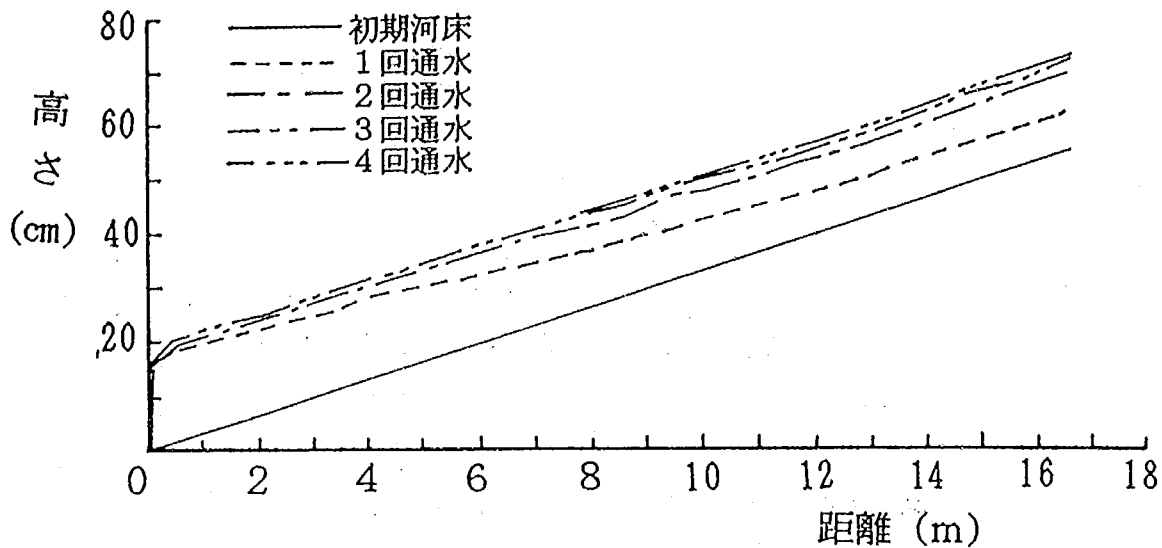


図-2.5(1) 河床の縦断変化 (砂防ダム有)

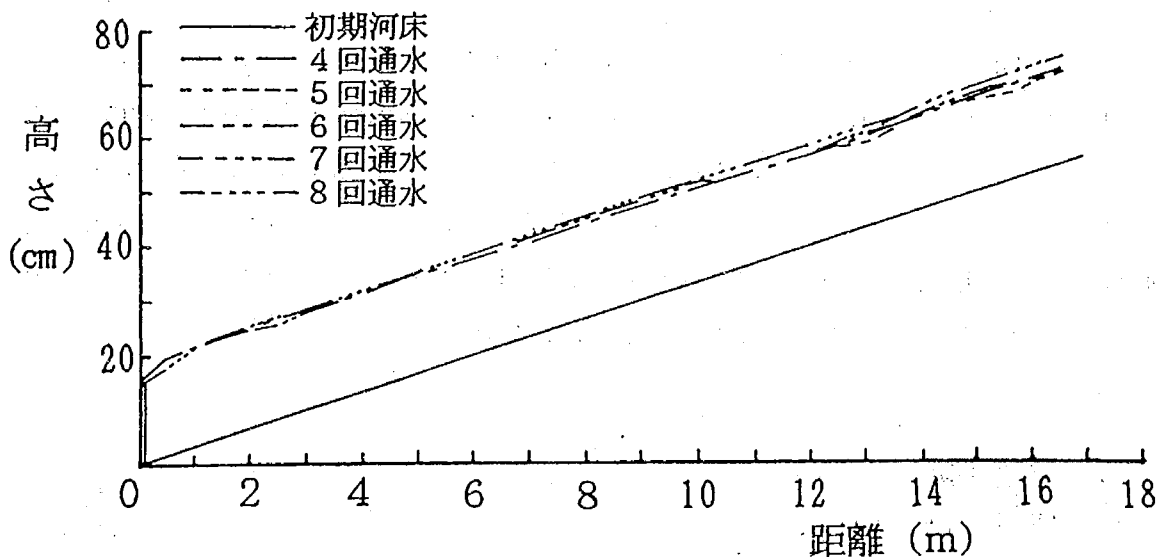


図-2.5(2) 河床の縦断変化 (砂防ダム有)

ど変化していない。図-2.5(1)は砂防ダムを設置して洪水を4回通水した後の河床の変化である。洪水1回で満砂状態となりこの時の河床勾配は1/50程度となっている。その後徐々に上昇し、洪水4回目ではほぼ1/30の河床勾配となっている。図-2.5(2)は、その後の河床の変化を示したものであるが河床はほとんど変動していない。

2.2.2 流砂量の時間変化

水路下流端で測定した流砂量の時間変化を図-2.6に示す。なお、流砂量の採取は、流量変化に合わせて10～30秒間とした。砂防ダムがない場合には流量の増大とともに土砂量も増え、洪水の後半では供給量を上回る流出量もみられる。また、清水と土砂の流出の時間差が認められる。砂防ダムを設置した場合には、実験開始80分頃に満砂し土砂が流出し始め、勾配の増加とともに流出量が増大する。また、測定結果では、給砂量を上回る流出はみられない。

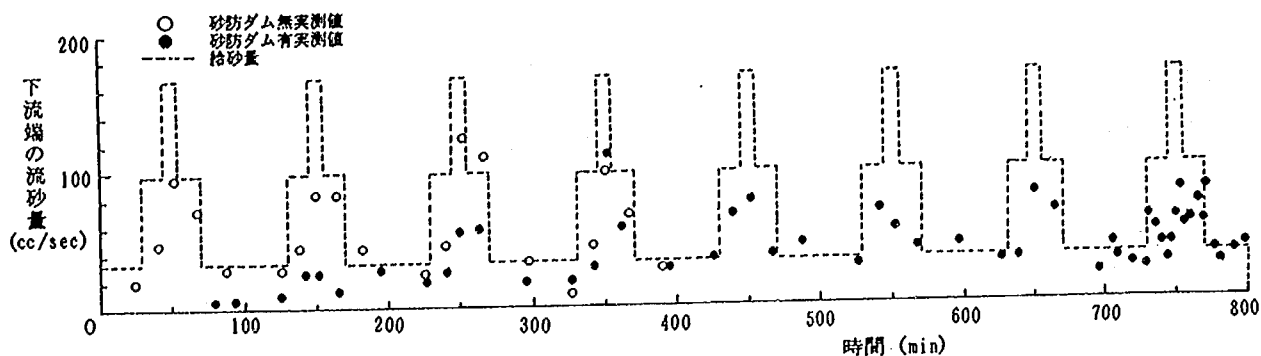


図-2.6 水路下流端の流砂量の時間変化

2.2.3 流砂の平均粒径の時間変化

水路下流端で測定した流砂の平均粒径の時間変化を図-2.7に示す。流出土砂の平均粒径の時間変化をみると、砂防ダムを設置しない場合には、2回通水前半までの流砂の粒径は供給土砂に比べて小さい。その後は、供給土砂の粒径にほぼ等しいか大きくなるが、洪水前半の2.2 ℓ/sec では極端に粒径の小さなものが流出している。砂防ダムを設置した場合については、5回目洪水波形通水中を除いて、洪水のピーク付近で供給土砂の粒径より大きくなる傾向にある。また、給砂の粒度を20%づつに分割し、その時間変化について整理したものを図-2.8に示す。

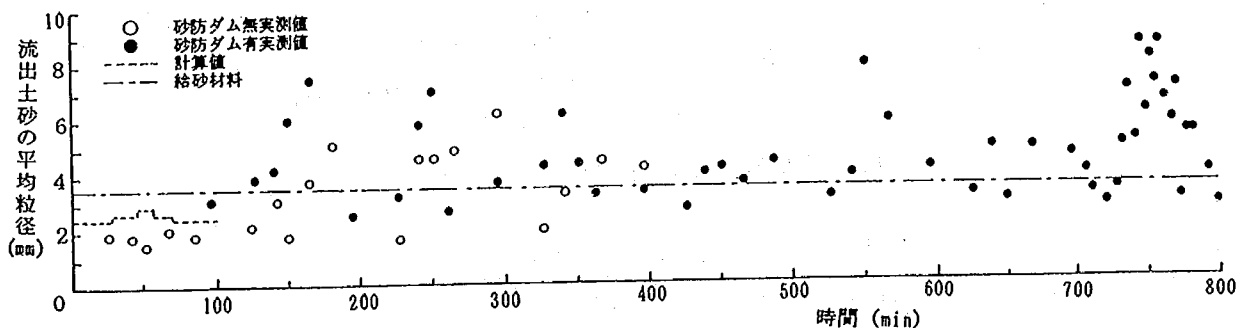


図-2.7 流砂の平均粒径の時間変化

(計算値は、各流量の平衡状態の水深を用いて、芦田・高橋・水山式により求めたものである。)

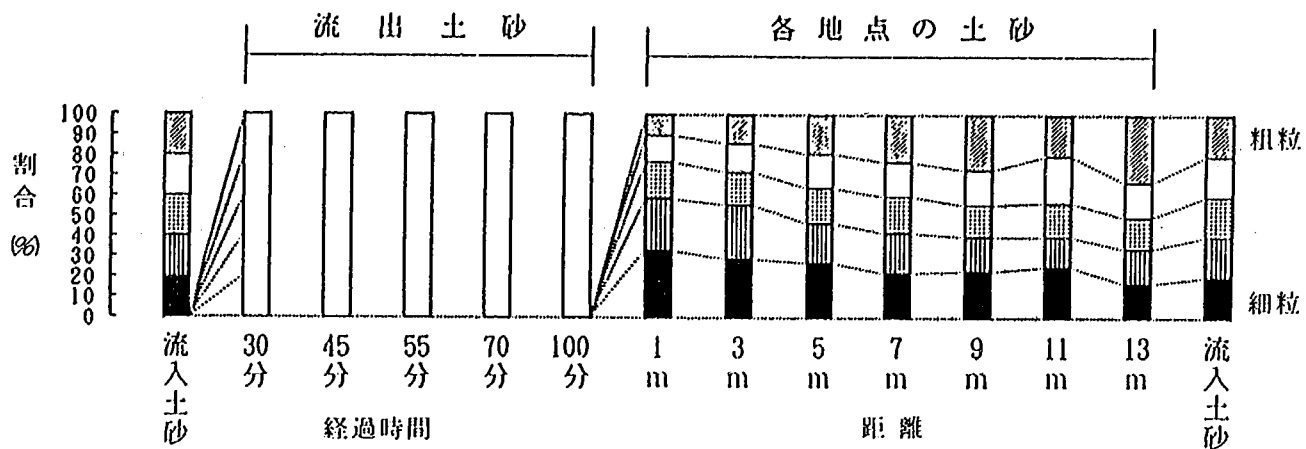


図-2.8(1) 粒度分布の組成変化 砂防ダム無 (初期河床)

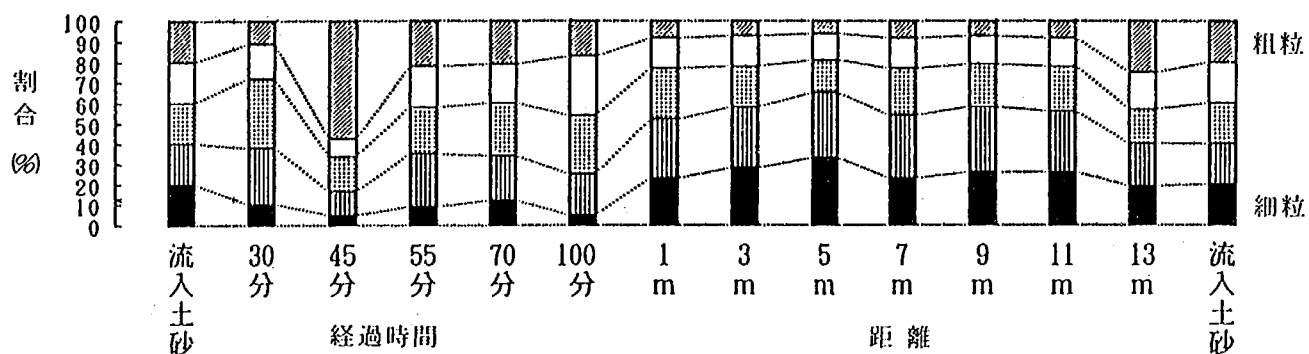


図-2.8(2) 粒度分布の組成変化 砂防ダム無 (1洪水通水後)

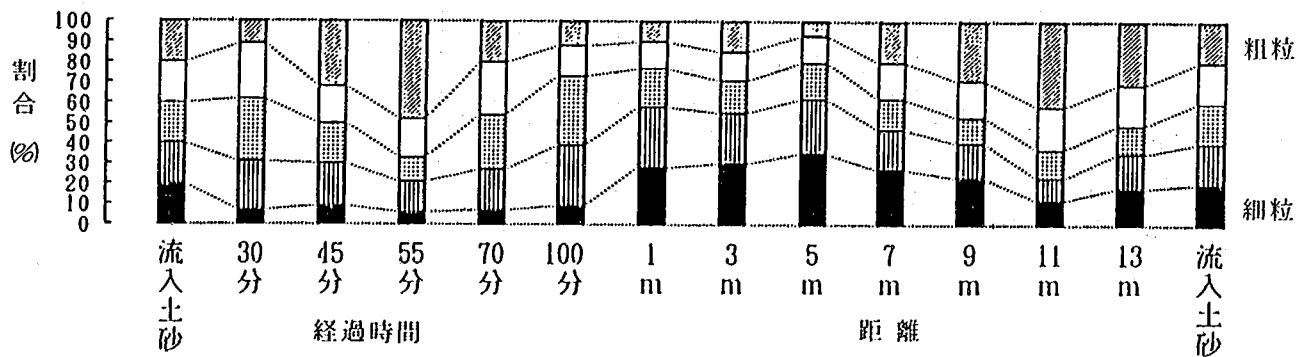


図-2.8(3) 粒度分布の組成変化 砂防ダム無 (2洪水通水後)

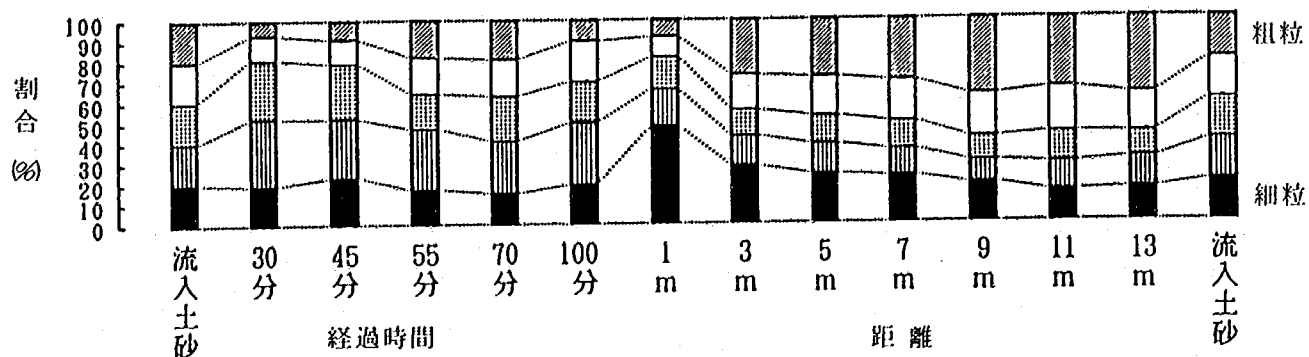


図-2.8(4) 粒度分布の組成変化 砂防ダム無 (3洪水通水後)

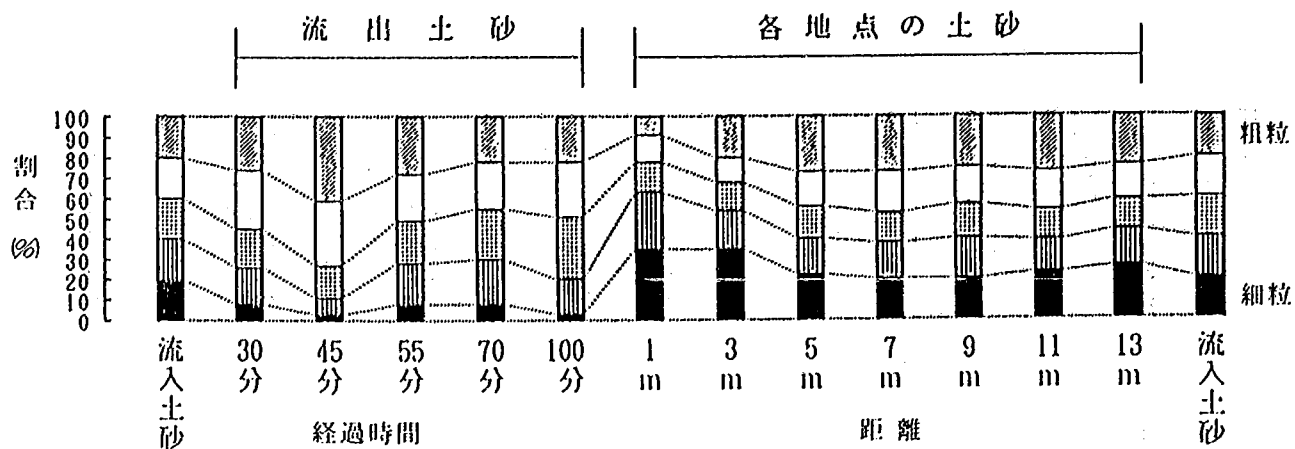


図-2.8(5) 粒度分布の組成変化 砂防ダム無 (4洪水通水後)

	粒径 (mm)	平均径(mm)
	9.5~25.4	15.534
	4.4~ 9.5	6.465
	2.3~ 4.4	3.181
	1.0~ 2.3	1.517
	0.1~ 1.0	0.316

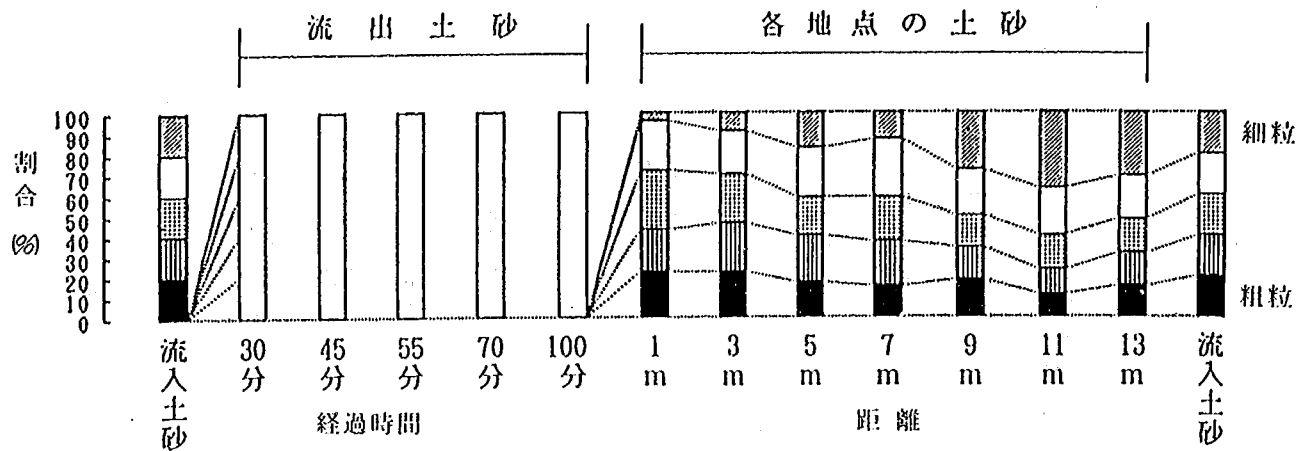


図-2.8(6) 粒度分布の組成変化 砂防ダム有 (初期河床)

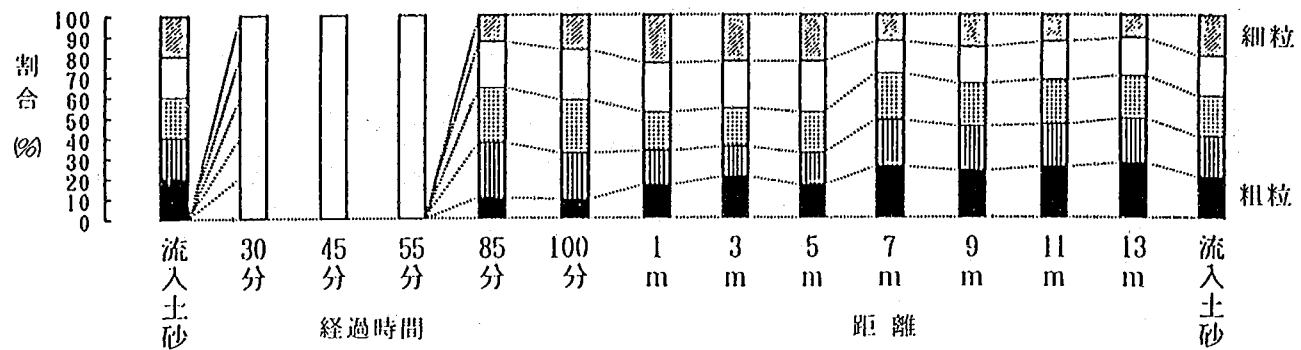


図-2.8(7) 粒度分布の組成変化 砂防ダム有 (1洪水通水後)

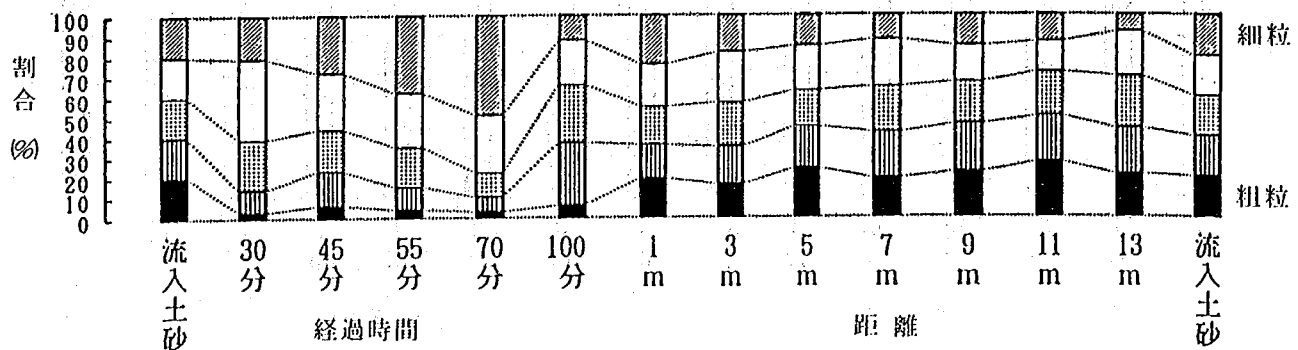


図-2.8(8) 粒度分布の組成変化 砂防ダム有 (2洪水通水後)

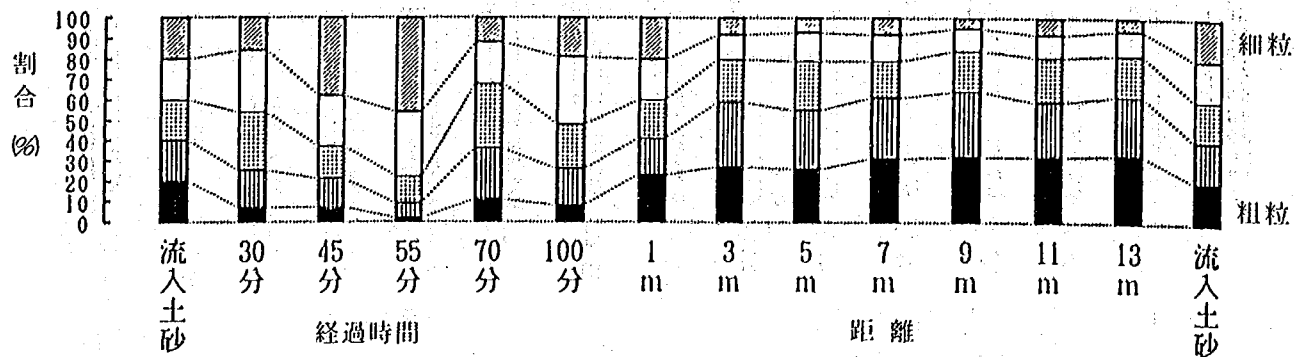


図-2.8(9) 粒度分布の組成変化 砂防ダム有 (3洪水通水後)

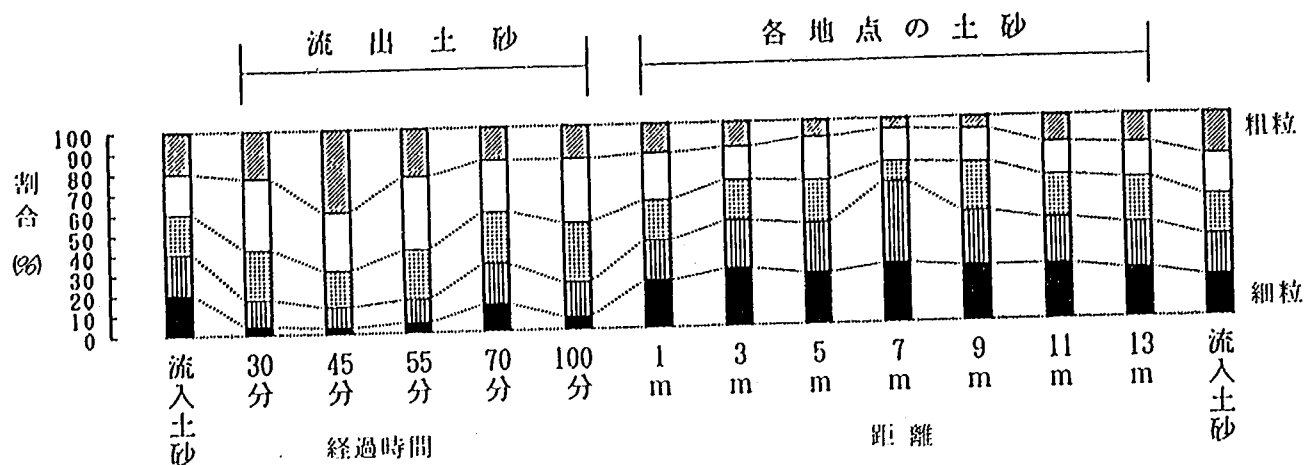


図-2.8 (10) 粒度分布の組成変化 砂防ダム有 (4洪水通水後)

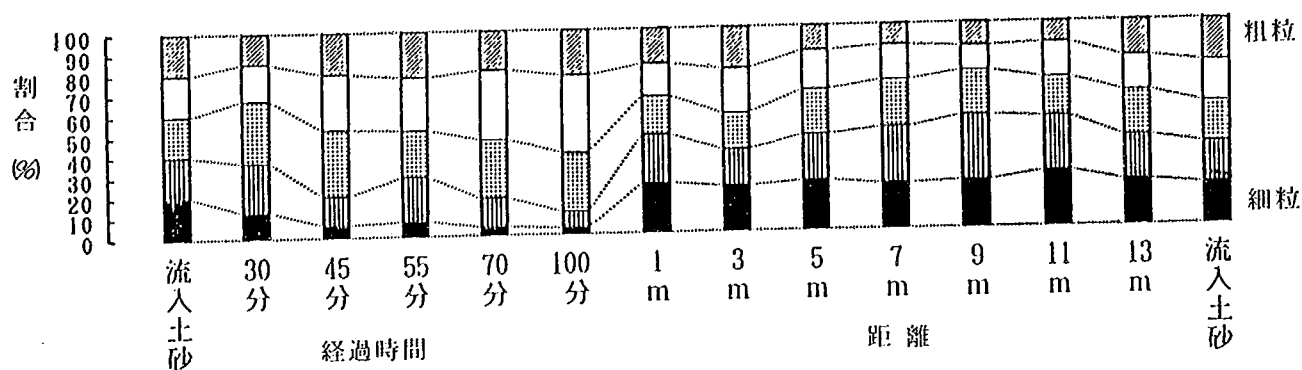


図-2.8 (11) 粒度分布の組成変化 砂防ダム有 (5洪水通水後)

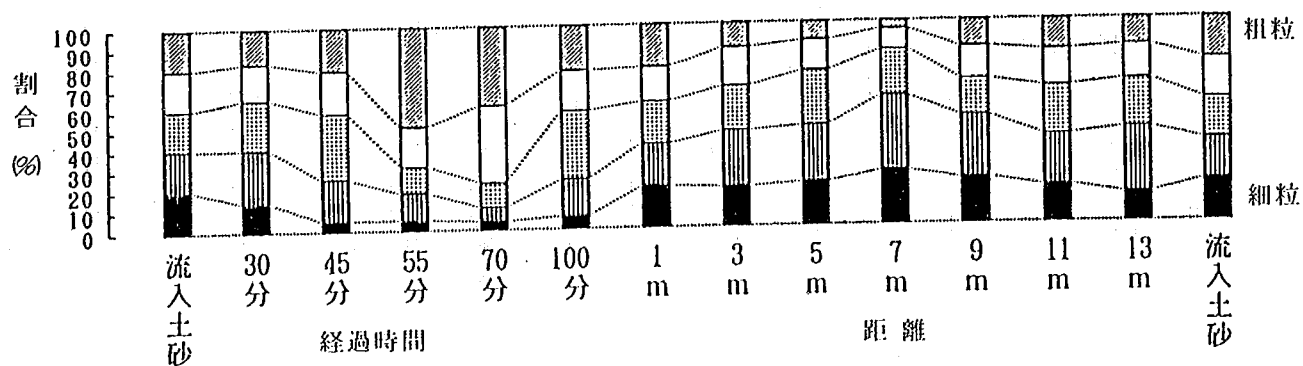


図-2.8 (12) 粒度分布の組成変化 砂防ダム有 (6洪水通水後)

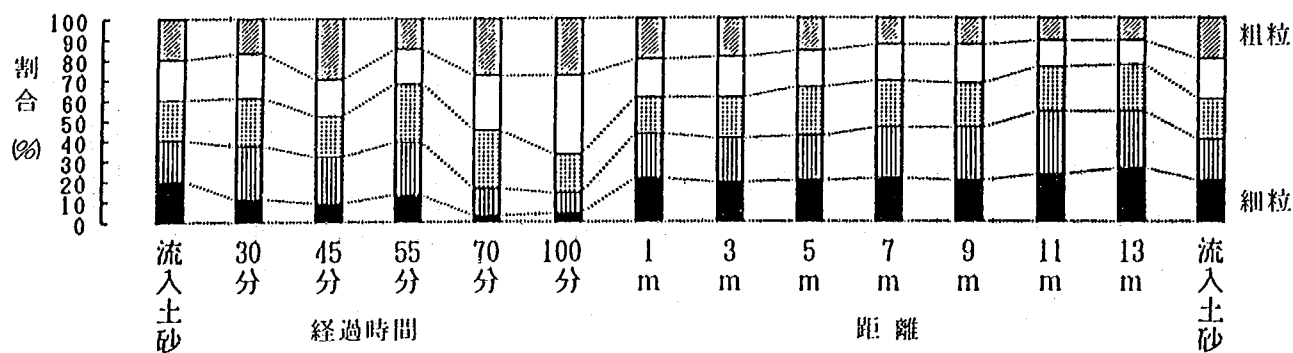


図-2.8 (13) 粒度分布の組成変化 砂防ダム有 (7洪水通水後)

2.2.4 堆積土砂の平均粒径の時間変化

堆積土砂の平均粒径の時間変化を図-2.9及び図-2.10に示す。なお、堆積土砂の採取は厚さ3cmで行った。流量2.2 l/secを2時間通水した後の河床（初期河床）は、上流ほど粗粒化している。図-2.9に示す砂防ダムを設置しない場合、洪水波形を1回通水した後は、河床は全体的に細粒化する

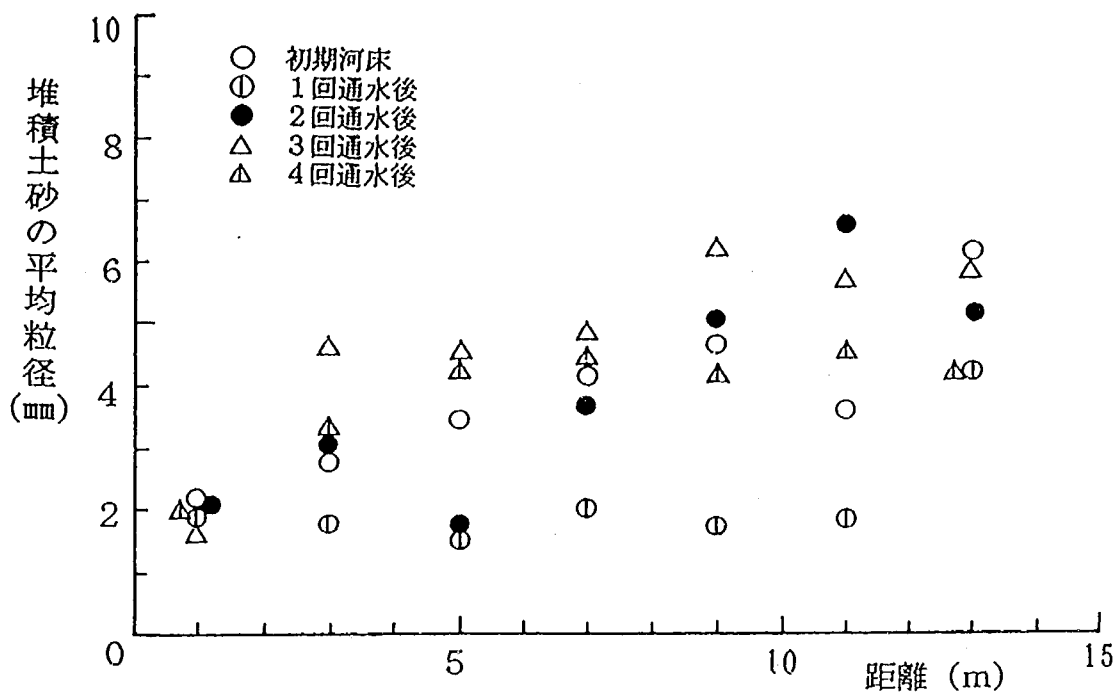


図-2.9 堆積土砂の平均粒径の変化（砂防ダム無）

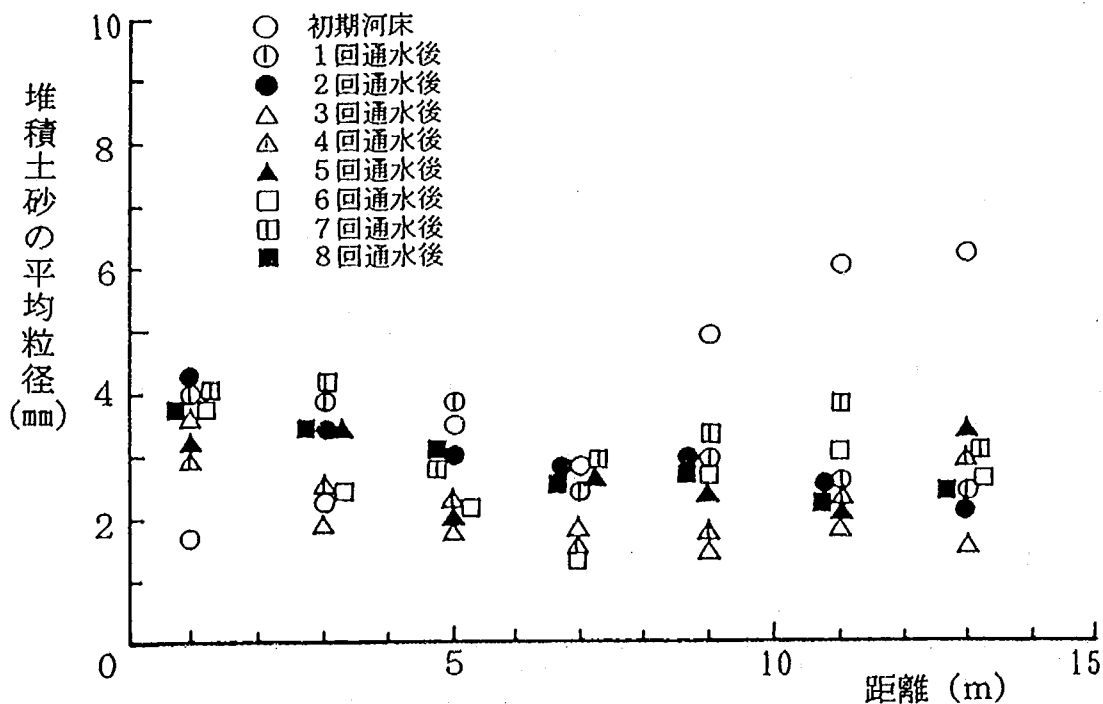


図-2.10 堆積土砂の平均粒径の変化（砂防ダム有）

が、その後初期河床と同じような粒径となり粗粒化する。また、水路下流端より上流 1 m の地点の粒径はほとんど変化していない。図-2.10 に示す砂防ダムを設置した場合には、各地点における粒径は、洪水を重ねるごとに変化し、供給土砂の粒径にほぼ等しいかまたは小さい粒径となっており、粗粒化する傾向はみられない。また、給砂の粒度を 20% づつに分割し、その時間変化について図-2.8 に示す。

2.3 実験結果の考察

砂防ダムがない場合についてみると、図-2.7 及び図-2.9 にみられるように洪水 1 回では、供給土砂より細粒化した土砂が下流に流出し河床も細粒化している。その後、粗い粒径の土砂が流出し、河床は粗粒化する傾向にある。図-2.7 中には、芦田・高橋・水山式²⁾により計算される粒径別流量から求めた平均粒径を併記している。なお、計算値は各流量での平衡状態での水深を用いて計算したものである。実測値は計算値よりも小さくなっているが、供給土砂の粒径より小さくなるのが計算においても示されている。このことより、通水初期の水路下流部に供給された土砂は供給部下流に堆積し、細流分は下流に流送されて河床の粒径を変化させる。その後、徐々に上流から粗流径分も含めた土砂が流送されることにより河床及び流砂の粒径が更に変化するものと考えられる。次に、砂防ダムを設置した場合についてみると図-2.10 に示されるように砂防ダムに堆積した土砂は、供給される土砂の粒径と同程度か小さいものとなっている。また、図-2.7 に示されるように洪水時の流量が大きいときに粗粒径の土砂が流出する結果となっている。砂防ダムを設置した場合においても通水初期に供給された土砂は、供給部下流に堆積し、細粒分のみが下流に流送され堆積する結果になり、砂防ダムの堆砂域の河床は細粒化された土砂で形成されることになる。このように、砂防ダムが設置されたことにより、ダム上流の河床履歴が変化する。図-2.11 及び図-2.12 の摩擦速度 u_* (cm/sec) の

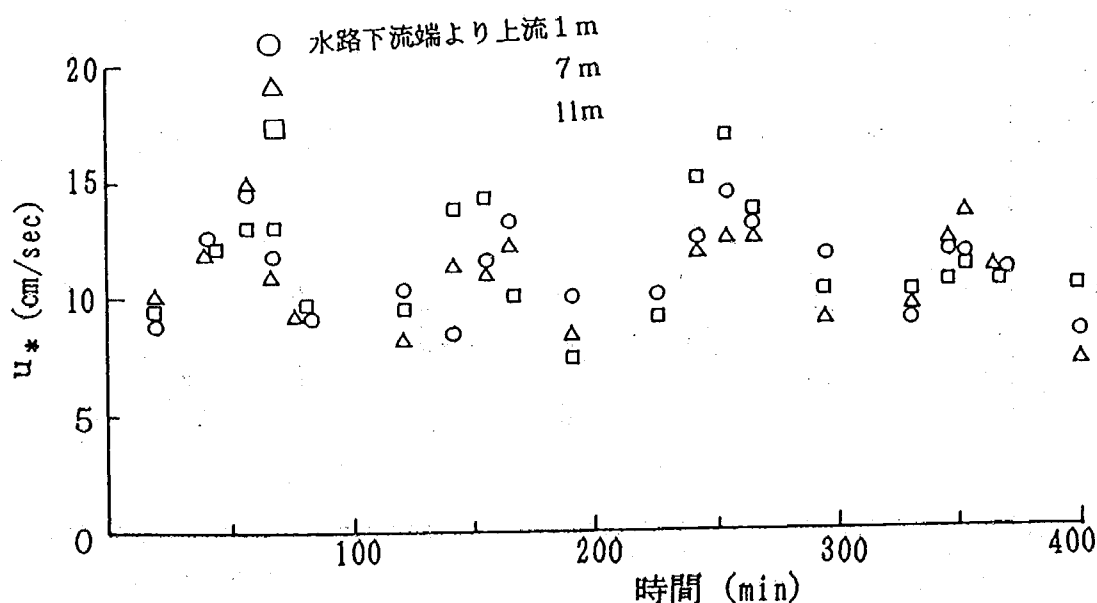


図-2.11 摩擦速度の時間変化 (砂防ダム無)

時間変化を示す。流量の変化にともない摩擦速度も変化し、流量が多いときには流送能力が大きくなっていることを示している。また、砂防ダムの有無による差をみると、砂防ダムがある場合の方が摩擦速度はわずかに小さくなっており、粗度の低下による水深の減少が認められ、流砂の粒径に大きく影響を与えることがわかる。図-2.12をみるとピーク流量の6.6 l/secでの摩擦速度は、11~14 cm/sec、2.2 l/secで5.5~9 cm/secである。ここで、移動限界の摩擦速度 u_{*c} を d_m 、 d_{90} について求める²⁾と、5.3 cm/sec、6.6 cm/secとなり、2.2 l/sec時の摩擦速度は d_{90} に対する移動限界程度であり、このことから、2.2 l/secでは最大粒径程度の土砂はあまり流送されず上流部に堆積するが、その後の流量の増大とともに流送されて下流に流出するものと考えられる。

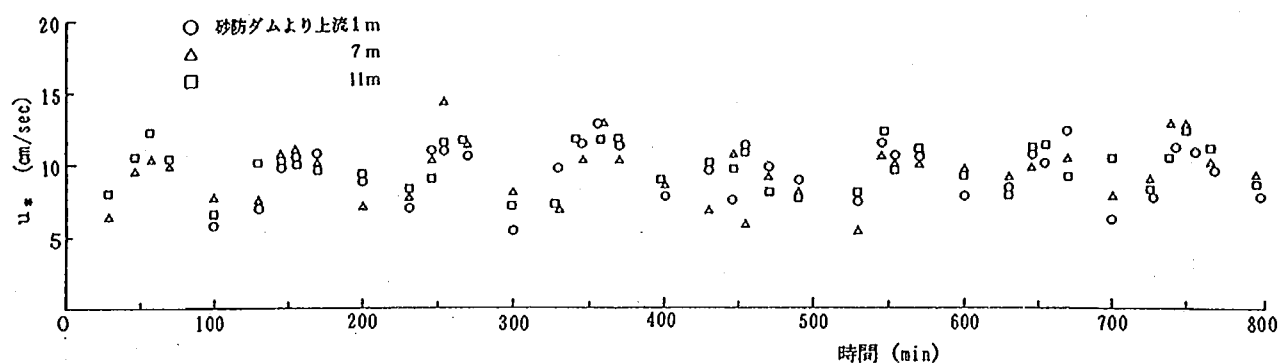


図-2.12 摩擦速度の時間変化 (砂防ダム有)

3. 砂防ダムの形状による粒径調節効果

ここでは、砂防ダムの形状の違いが粒径調節効果に与える影響を把握するために水理実験を行った。また、一次元河床変動計算を実験条件と同一の条件で行い比較した。

3.1 実験及び計算の概要

3.1.1 実験及び計算条件

実験及び計算における条件は、流路幅が30cm、流量、給砂条件が2種類、砂防ダムの形状が4種類、河床材料1種類である。実験及び計算条件の一覧表を表-3.1に示す。表に示すように、前半は洪水時の状態を想定した給砂通水とその後の減水期を想定した無給砂通水とに分けられる。給砂材料は、

表-3.1 実験及び計算条件

	ダムタイプ	前 半			後 半		
		流 量	継続時間	給 砂 量	流 量	継続時間	給 砂 量
CASE-1	A 型	4 ℓ/s	40 分	21.3 cc/s	2 ℓ/s	20 分	無給砂
CASE-2	B 型	"	"	"	"	"	"
CASE-3	C 型	"	"	"	"	"	"
CASE-4	D 型	"	"	"	"	"	"
CASE-5	A 型	8 ℓ/s	30 分	42.6 cc/s	4 ℓ/s	30 分	無給砂
CASE-6	B 型	"	"	"	"	"	"
CASE-7	C 型	"	"	"	"	"	"
CASE-8	D 型	"	"	"	"	"	"

河床材料と同一とし、給砂の土砂濃度は流量4ℓ/s、8ℓ/s共に0.53%である。河床材料及び給砂材料の粒度分布を図-3.1に示す。平均粒径は $d_m = 0.56\text{ mm}$ で、最大粒径は $d_{max} = 2.54\text{ mm}$ である。初期河床はダム天端より水路勾配と同一(1/30)とする。下流端に設置したダムの形状を図-3.2に示す。D型は縦にスリットのあるダムであり、A型は水通しに袖部のないタイプとした。給砂位置は、ダム

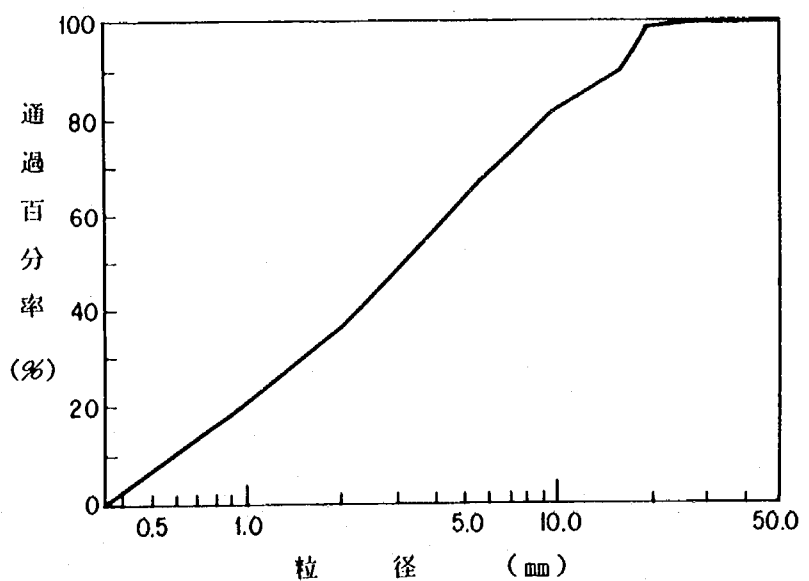


図-3.1 実験砂の粒度分布

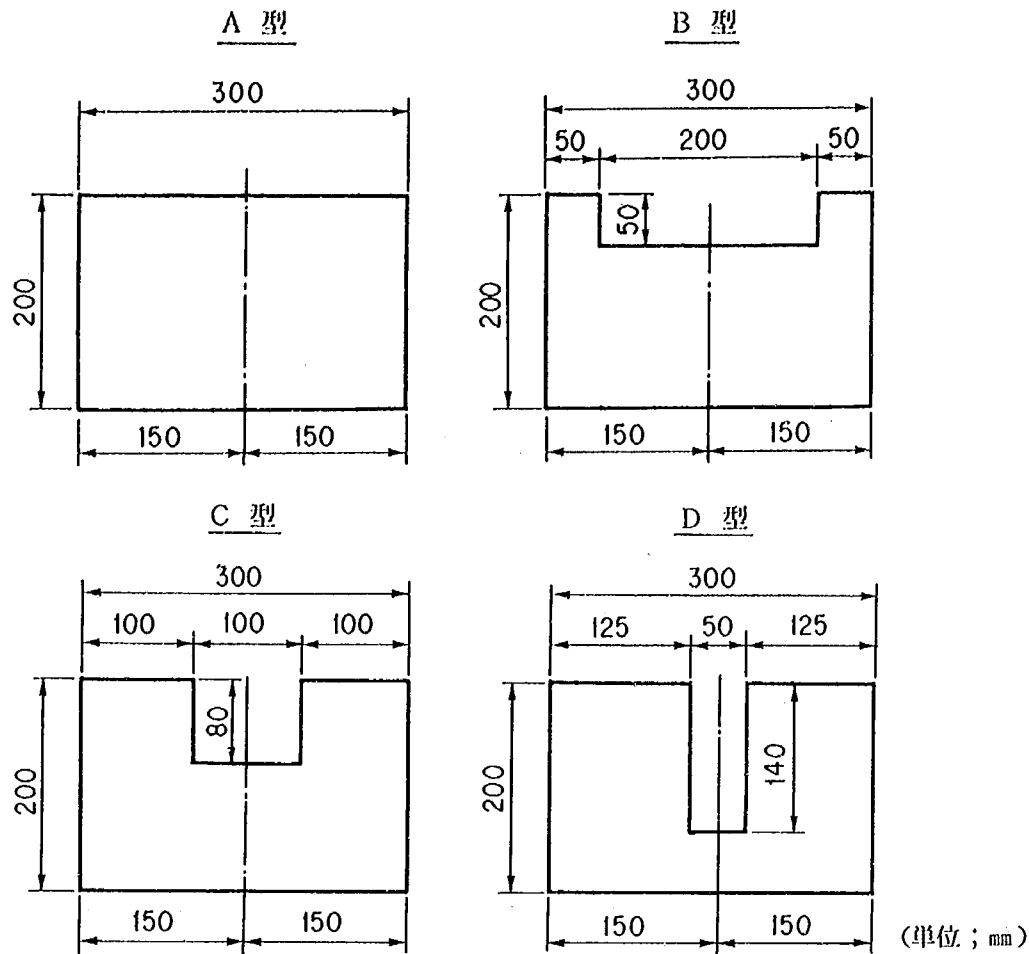


図- 3. 2 砂防ダムの形状

より上流 2.9m 地点とした。

3. 1. 2 水理模型実験の内容

(1) 実験内容

実験水路の概略図を図- 3. 3 に示す。実験水路は、地すべり実験棟内の土石流発生水路（幅 50cm）を 30cm に狭めて使用した。水路勾配は 1/30 とした。砂防ダムは、厚さ 15mm のラワン合板により製作し、水路下流端に図- 3. 4 に示すように設置した。実験施設全体の模式図を図- 3. 5 に示す。なお給砂は、人力により行った。

実験内容は、表- 3. 2 に示す通りであり、RUN- 9 ~ 12 は、通水中の堆積土砂の粒度分布を測定するために行った。

(2) 測定内容

① ビデオカメラによる観察

全ケースにおいて側面から図- 3. 6 に示すようにビデオカメラ 2 台を設置し観察を行った。また、実験開始から 5 分間ごとの河床と水位を縦断方向に 10cm ごとに読みとった。測定結果より、水位及び河床変動を読みとった。なお、ビデオに収めきれない 2.4 m 上流までの河床は直接計測

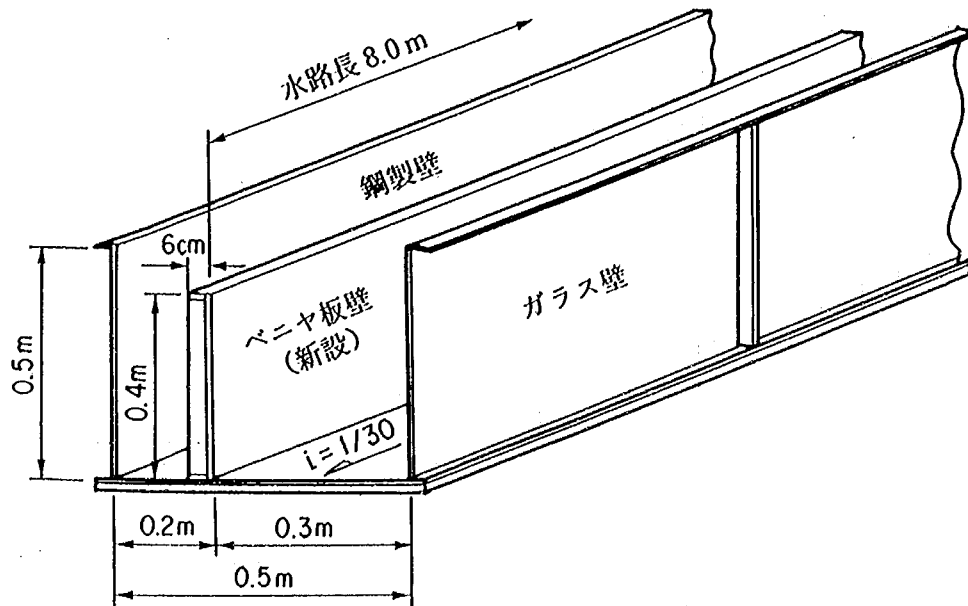


図-3.3 実験水路

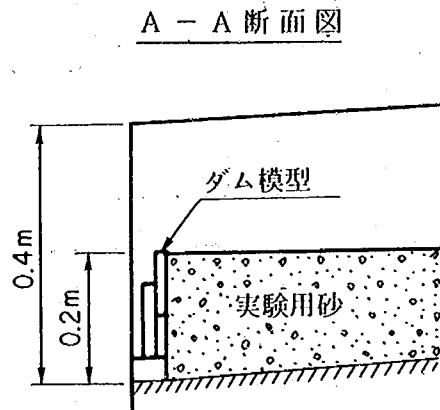
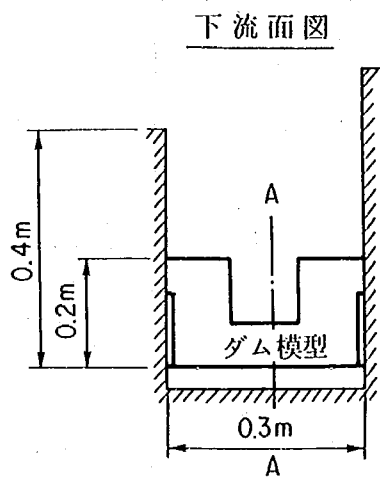


図-3.4 砂防ダムの設置状況

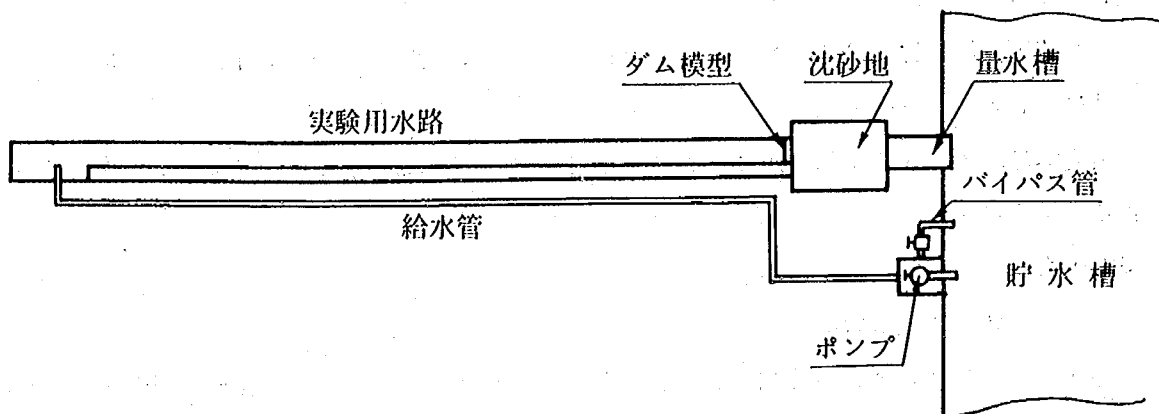


図-3.5 実験施設の模式平面図

表-3.2 実験ケースの一覧表

RUN	流量	ダム種類	通水時間	給砂	測定内容
1	4 l/sec 2 l/sec	A	40分 20分	有 無	○ビデオカメラ撮影 ○流出土砂の測定
2	"	B	"	"	○流況観察
3	"	C	"	"	
4	"	D	"	"	
5	8 l/sec 4 l/sec	A	30分 30分	"	○ビデオカメラ撮影 ○流出土砂の測定
6	"	B	"	"	○堆積土砂の粒度試験
7	"	C	"	"	○流況観察
8	"	D	"	"	
9	8 l/sec	A	30分	有	○ビデオカメラ撮影
10	"	B	"	有	○堆積土砂の粒度試験
11	"	C	"	有	○流況観察
12	"	D	"	有	

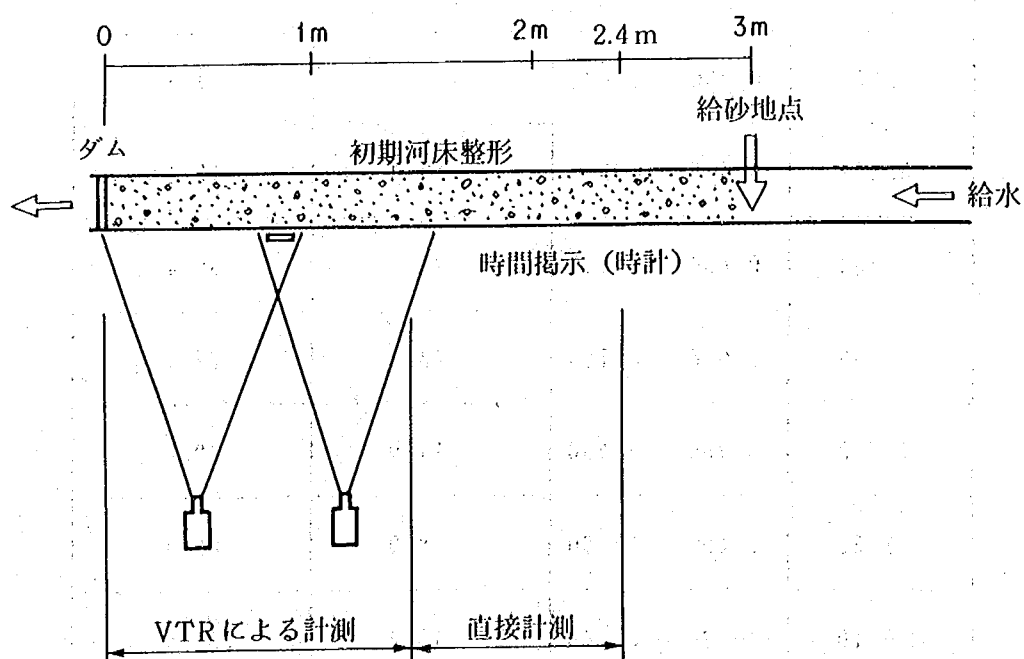


図-3.6 ビデオカメラによる撮影状況

した。

② 流出土砂の測定

水路下流端で流出土砂を採取し土砂濃度の測定を行った。測定は、任意の時刻に1ケースにつき4回行った。また、粒度試験を行い、流出土砂の粒径の変化を測定した。

③ 堆積土砂の粒度試験

通水終了後、ダム上流 0.35 m, 1.15 m, 2.15 m 及び 2.8 m の地点の4ヶ所の土砂を採取し粒度試験を行った。

④ 流況観察

砂防ダム堆砂域における流況を観察し、写真撮影及びスケッチを行った。また、堆砂域上流の河床高の測定を通水開始後30分及び60分に行った。

3.1.3 一次元河床変動計算の内容

(1) 計算ケース

計算の内容は、表-3.1に示す通りである。給水、給砂条件は実験と同一とした。

(2) 河床材料の粒度分布のモデル化

実験に用いた河床材料をモデル化して表-3.3に示す。

表-3.3 計算に用いた河床材料のモデル

代表粒径 (mm)	粒径階 mm mm	含有率 (%)	累加 含有率 (%)
0.136	- 0.250	1.2	1.2
0.326	0.250 - 0.425	3.3	4.5
0.601	0.425 - 0.850	10.9	15.4
1.304	0.850 - 2.000	21.0	36.4
3.082	2.000 - 4.750	26.2	62.6
6.718	4.750 - 9.500	17.9	80.5
12.29	9.500 - 15.90	8.9	89.4
20.10	15.90 - 25.40	10.6	100.0
		平均粒径	5.6mm

(3) 計算条件

計算手法の概要は、土木研究所資料第2943号³⁾と同じであるのでそちらを参照していただきたい。
ただし今回の計算においては、掃流砂量式を芦田・高橋・水山の式²⁾に換えて次式の芦田・道上の式⁴⁾を用いている。

$$\frac{q_{Bi}}{f_0(d_i) \cdot u_{*c} \cdot d_i} = 17 \tau_{*ci} \cdot \left(1 - \frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*i}}\right) \cdot \left(1 - \frac{u_{*ci}}{u_*}\right) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\frac{u_*}{u_{*c}} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{R}{d(1 + 2\tau_*)} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

ここに、 q_{Bi} : 粒径 d_i の砂礫の流砂量

$f_0(d_i)$: 粒径 d_i の砂礫が河床において占める割合

τ_{*i} : $u_*^2 / (\sigma/\rho - 1) \cdot g \cdot d_i$ 粒径 d_i に対する無次元掃流力

τ_{*ci} : $u_{*ci}^2 / (\sigma/\rho - 1) \cdot g \cdot d_i$ 粒径 d_i に対する無次元限界掃流力

u : 断面平均流速

d : 代表粒径

u_* : 摩擦速度

u_{*c} : 有効摩擦速度

σ : 砂礫の密度

ρ : 水の密度

g : 重力加速度

u_{*ci} : 粒径 d_i に対する限界摩擦速度

粒径 d_i に関する限界掃流力は、次の修正エギアザロフ式を用いる。

$$\begin{aligned} d_i/d_m < 0.4 \quad \frac{\tau_{ci}}{\tau_{cm}} &= 0.85 \\ d_i/d_m \geq 0.4 \quad \frac{\tau_{ci}}{\tau_{cm}} &= \frac{(\log 19)^2}{\{\log(19 \cdot \frac{d_i}{d_m})\}^2} \cdot \frac{d_i}{d_m} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

ただし、 $\tau_{cm} / (\sigma - \rho) \cdot g \cdot d_m = 0.05$

ここに、 d_i : 各粒径

d_m : 平均粒径

τ_{ci}, τ_{cm} : それぞれ d_i, d_m に対する限界掃流力

3.2 実験結果

3.2.1 ダム近傍の状況

ダム近傍の状況について、流況観察の結果を含めて図-3.7～3.9に示す。

堆砂肩はスリットタイプのD型の砂防ダムで、通水直後の2～3分後に形成される。水通し袖部の

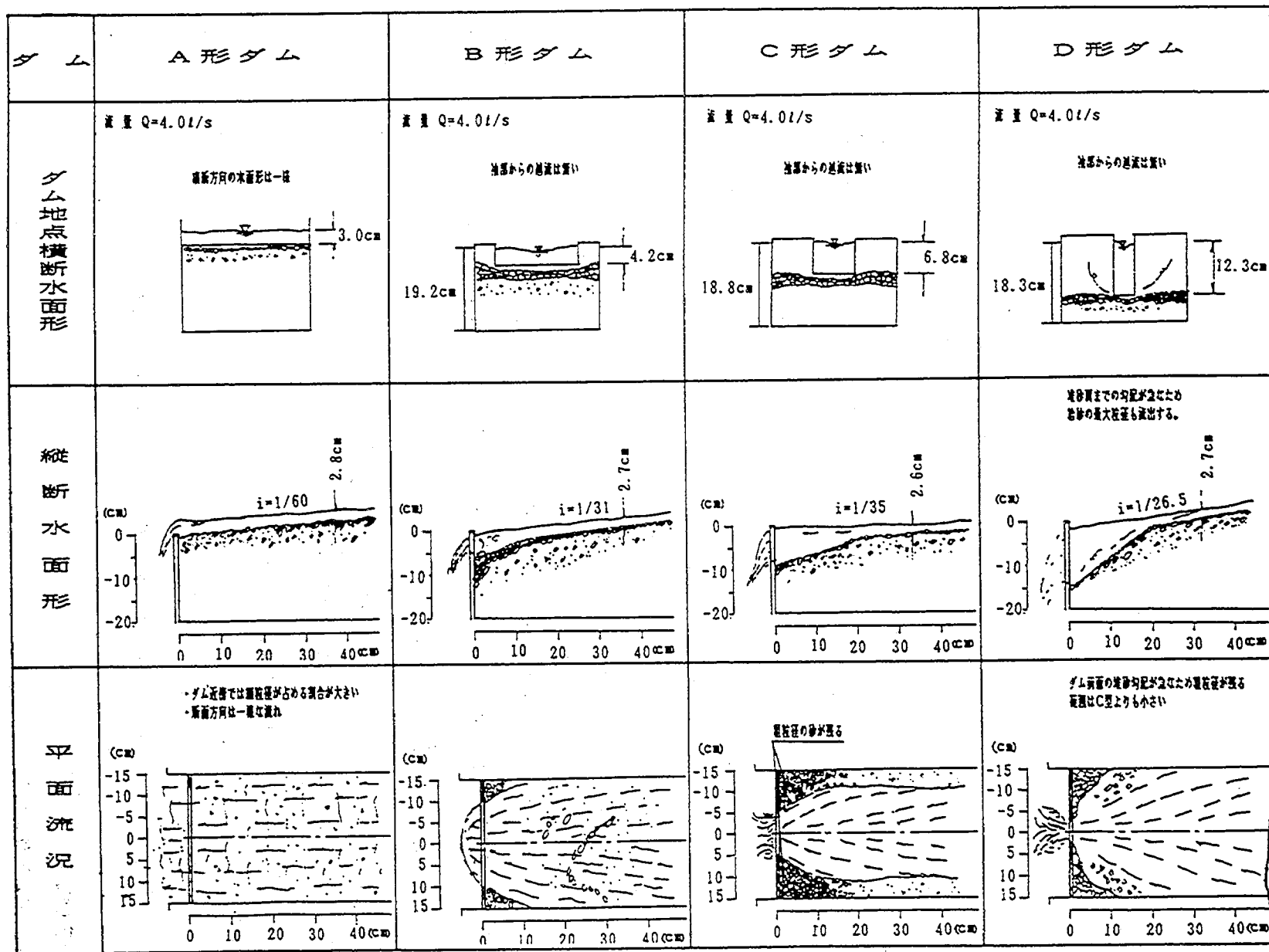


図-3.7(1) ダム近傍の流況 (RUN 1 ~ 4 25分経過時点)

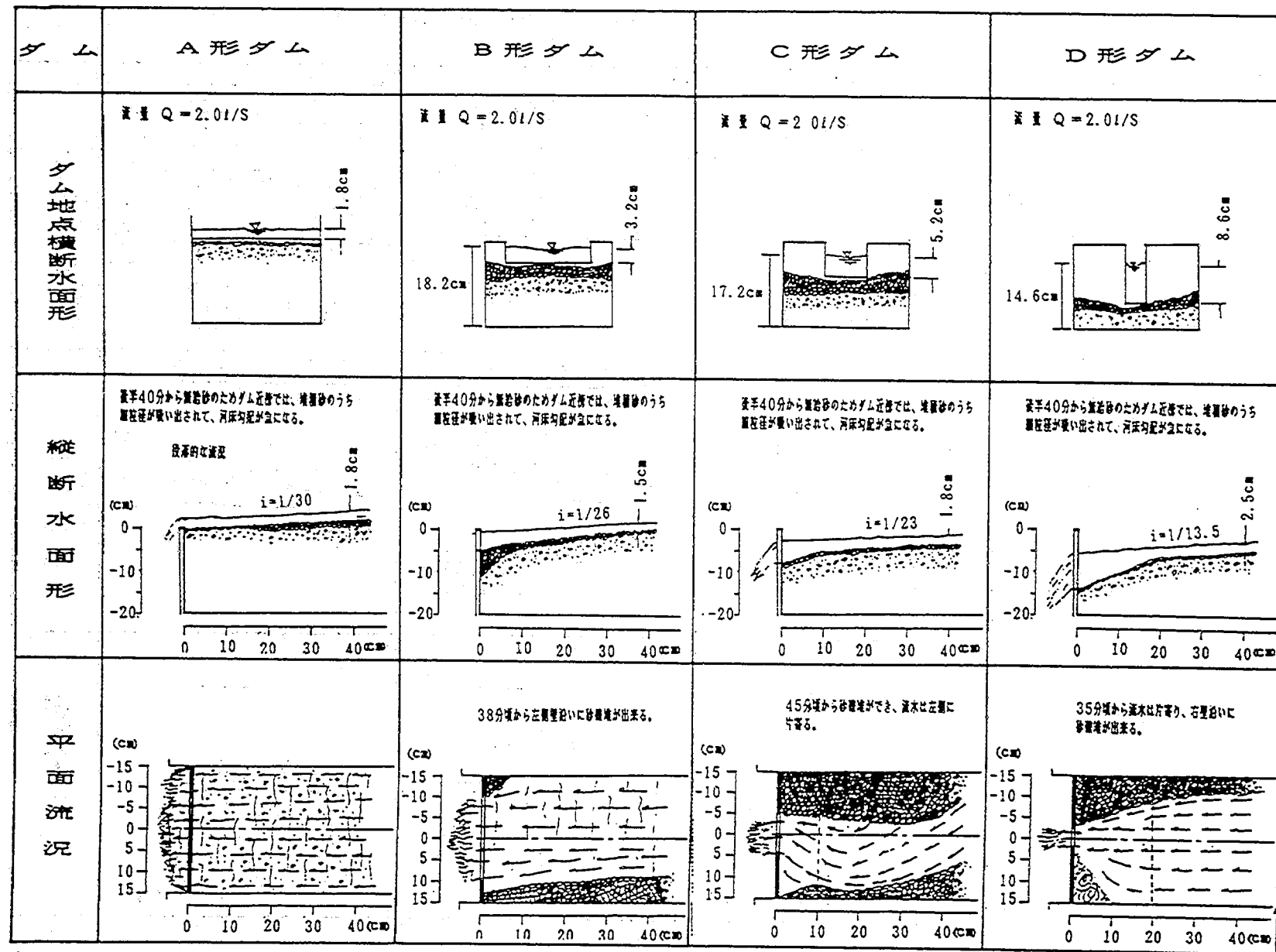


図-3.7(2) ダム近傍の流況 (RUN 1 ~ 4 55分経過時点)

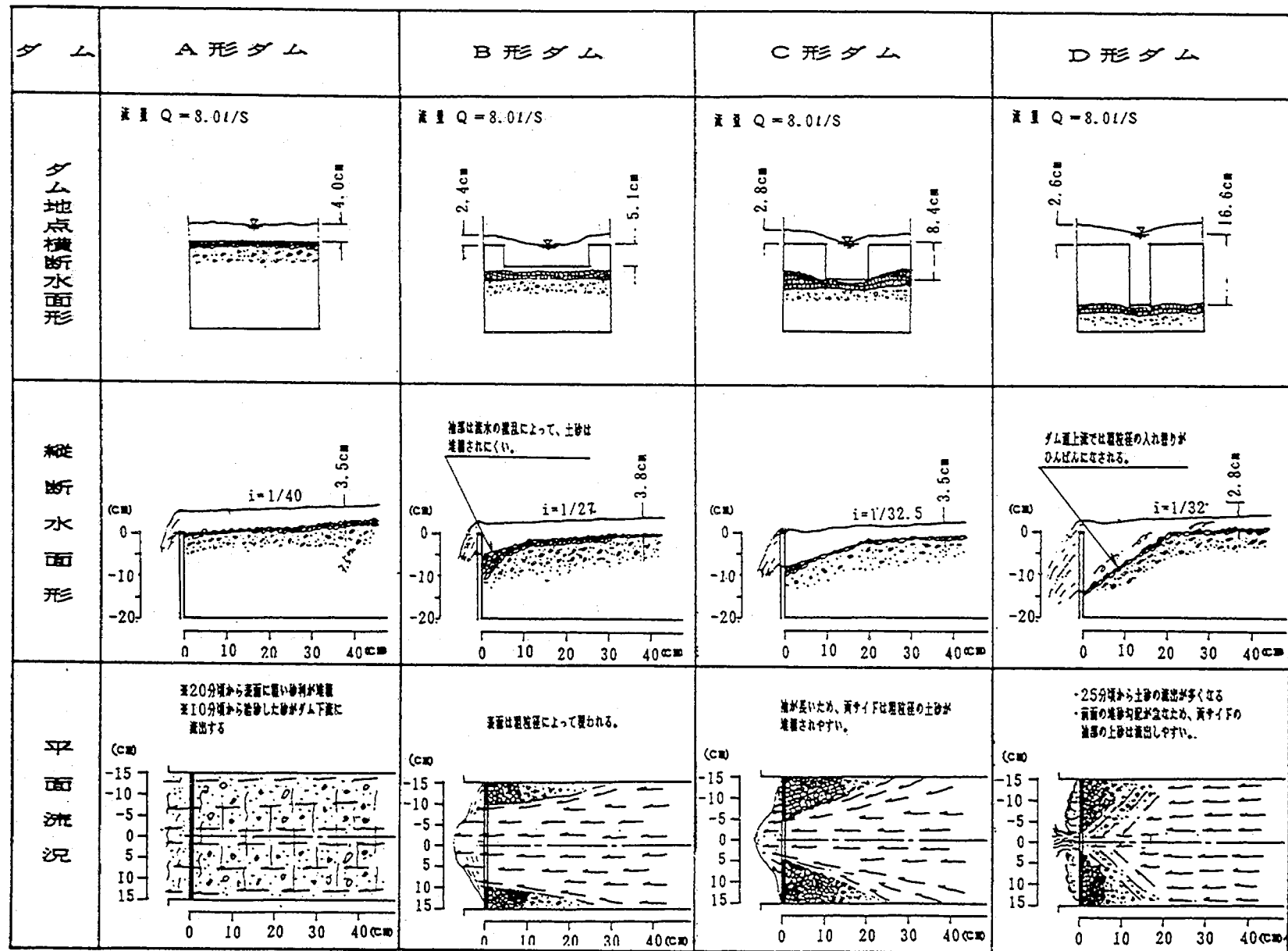


図-3.8(1) ダム近傍の流況 (RUN5～8……25分経過時点)

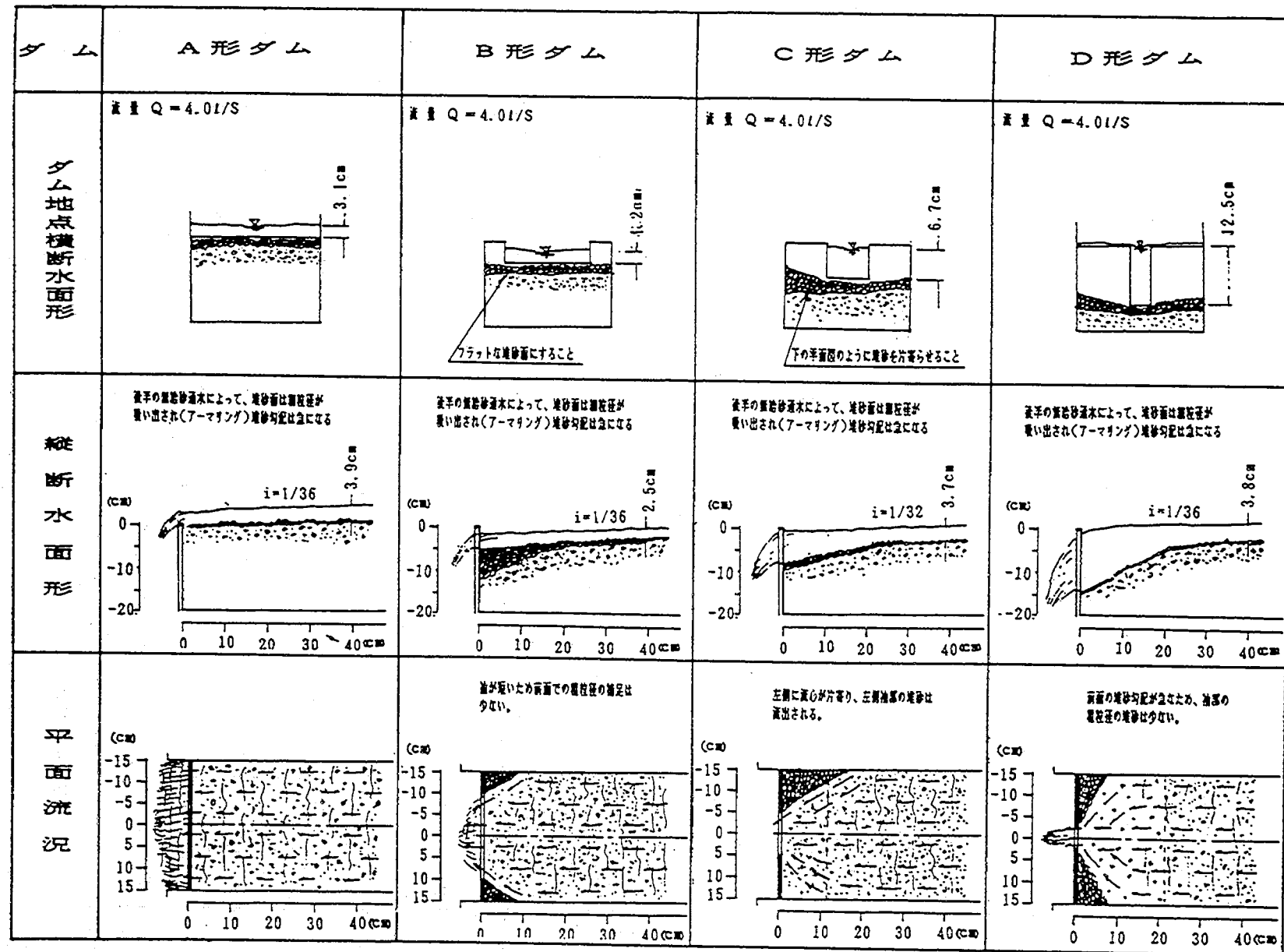


図-3.8(2) ダム近傍の流況 (RUN5 ~ 8 55分経過時点)

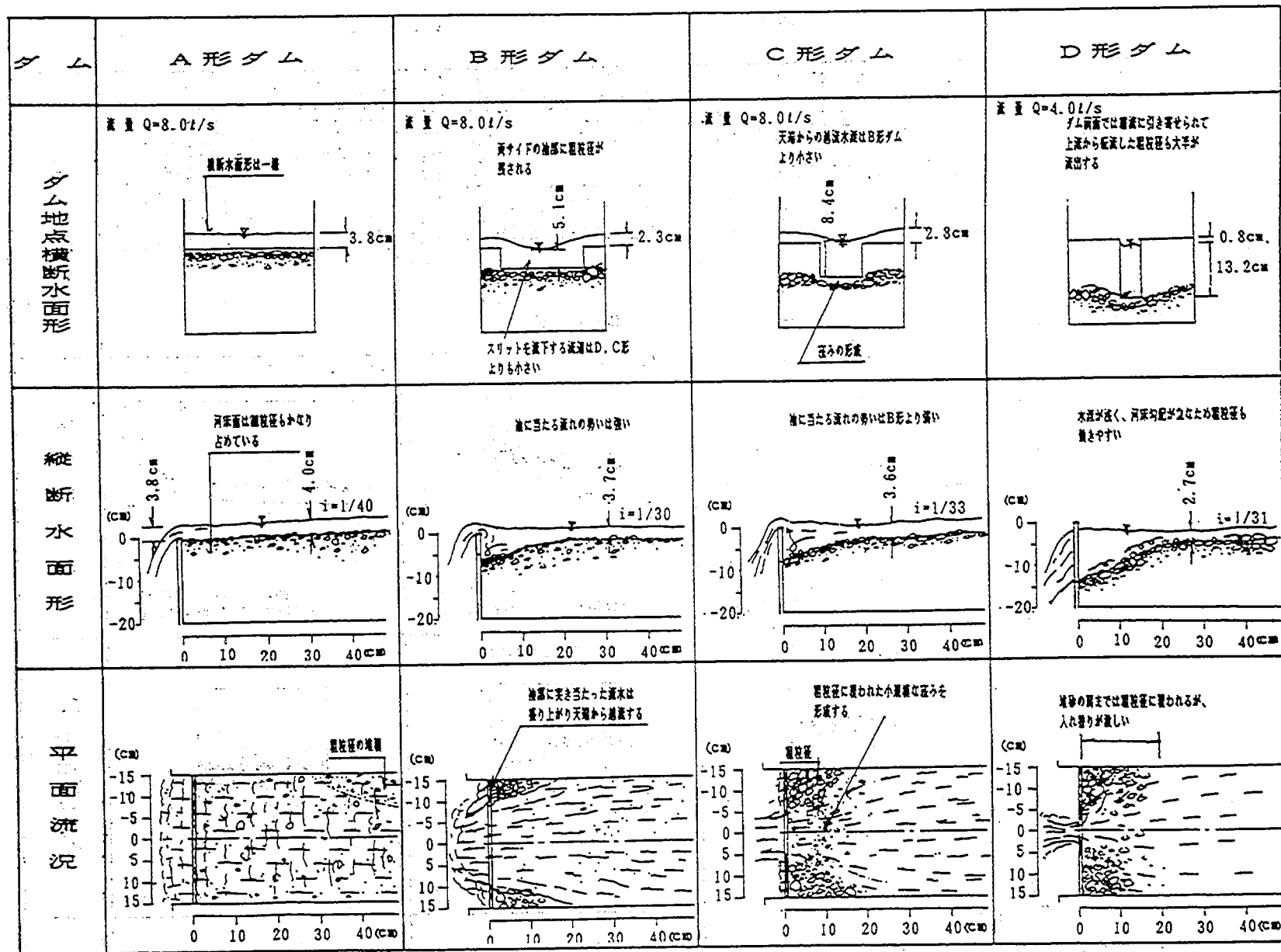


図-3.9 ダム近傍の流況 (RUN 9 ~ 12 25分経過時点)

ないA型タイプは堆砂肩が形成されない。水通し直上流の横断形状もD型では凹型の形状を示すのに
 対し、A型はフラットな形状となっている。水面及び河床勾配は全ての実験ケースを通じA型が最も
 ゆるい。

3.2.2 堆砂縦断形

図-3.10～3.17に各ケースの堆砂縦断形の時間変化を示す。堆砂形状は、CASE-1ではダム天
 端からはほぼ直線的に堆砂するのに対し、スリットを有したCASE-4は水通しより30cm上流付近に堆
 砂肩が形成される。通水の後半では、流量の変化によりそれまで上昇していた堆砂面の低下がみられ

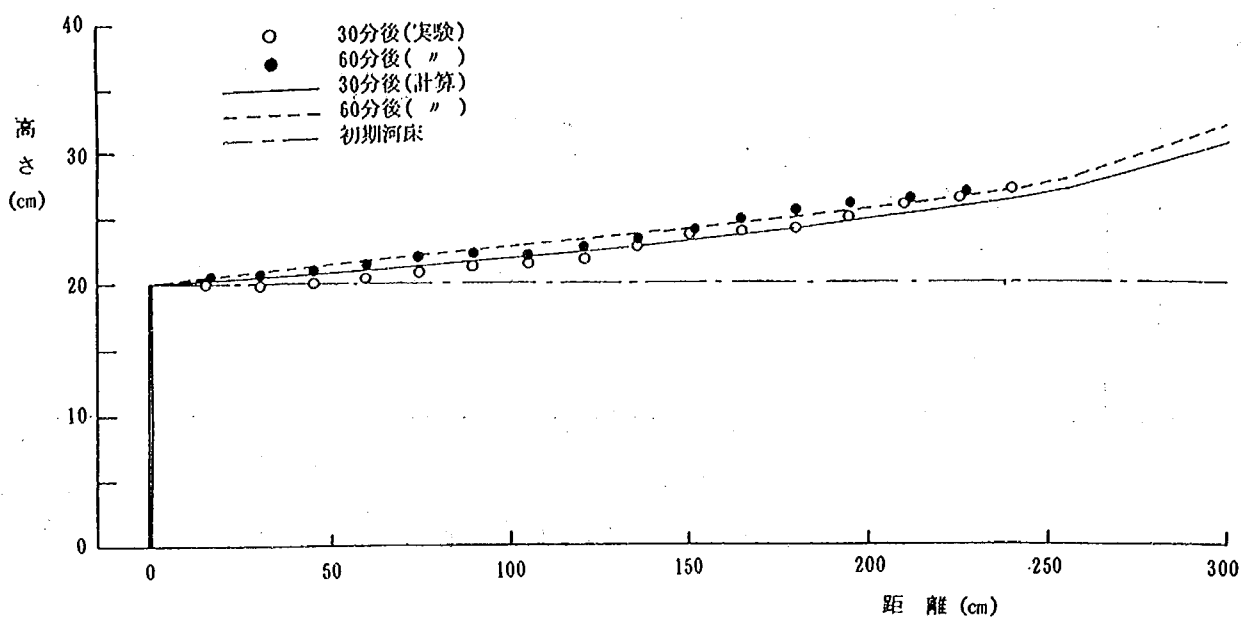


図-3.10 縦断変化図 (CASE-1)

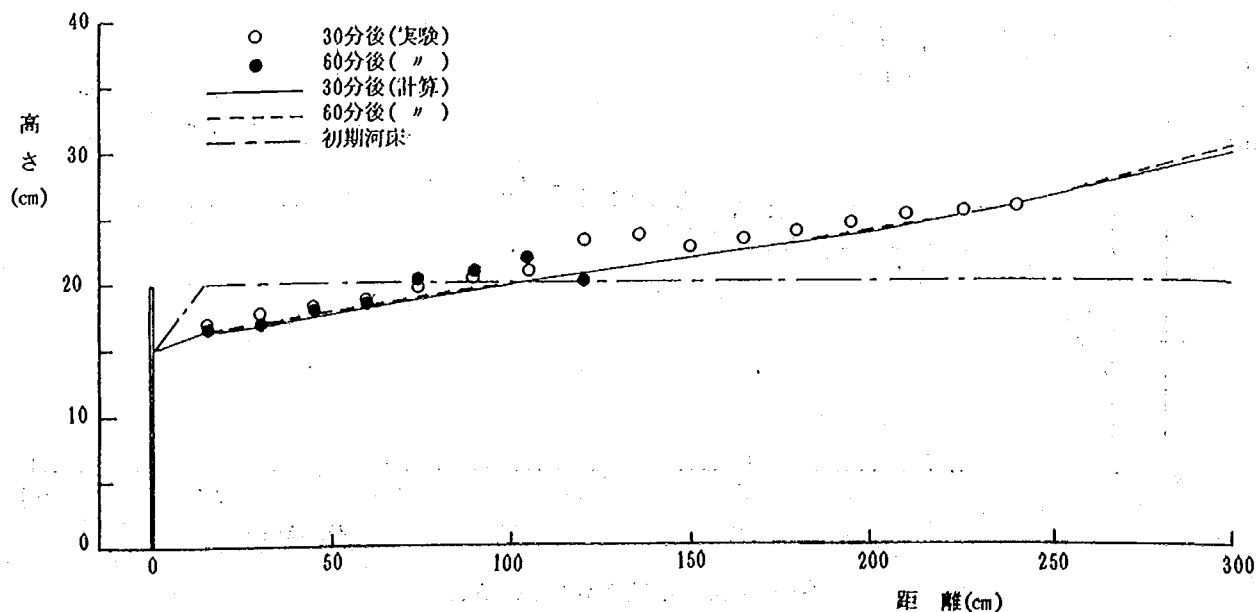


図-3.11 縦断変化図 (CASE-2)

る。特にスリットタイプの CASE-4・CASE-8 では堆砂肩が流量変化時に急に崩れ、その後徐々に低下し、例えば CASE-4 では堆砂肩から上流の勾配は通水後30分の勾配 $1/26.5$ から通水終了時には $1/13.5$ に変化する。

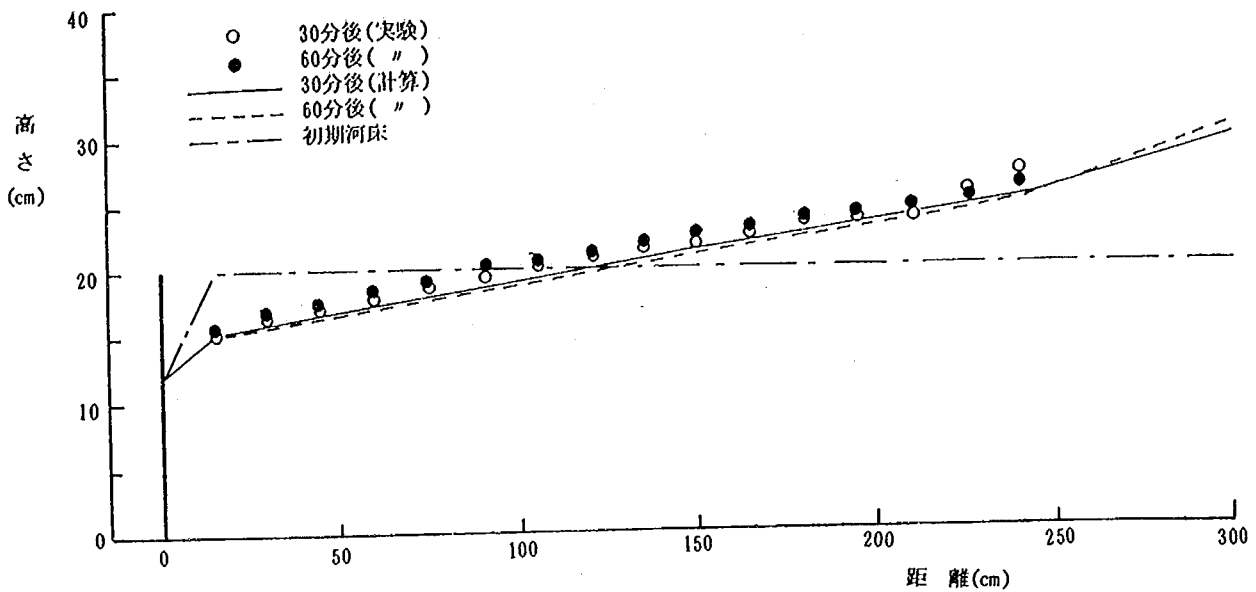


図-3.12 縦断変化図 (CASE-3)

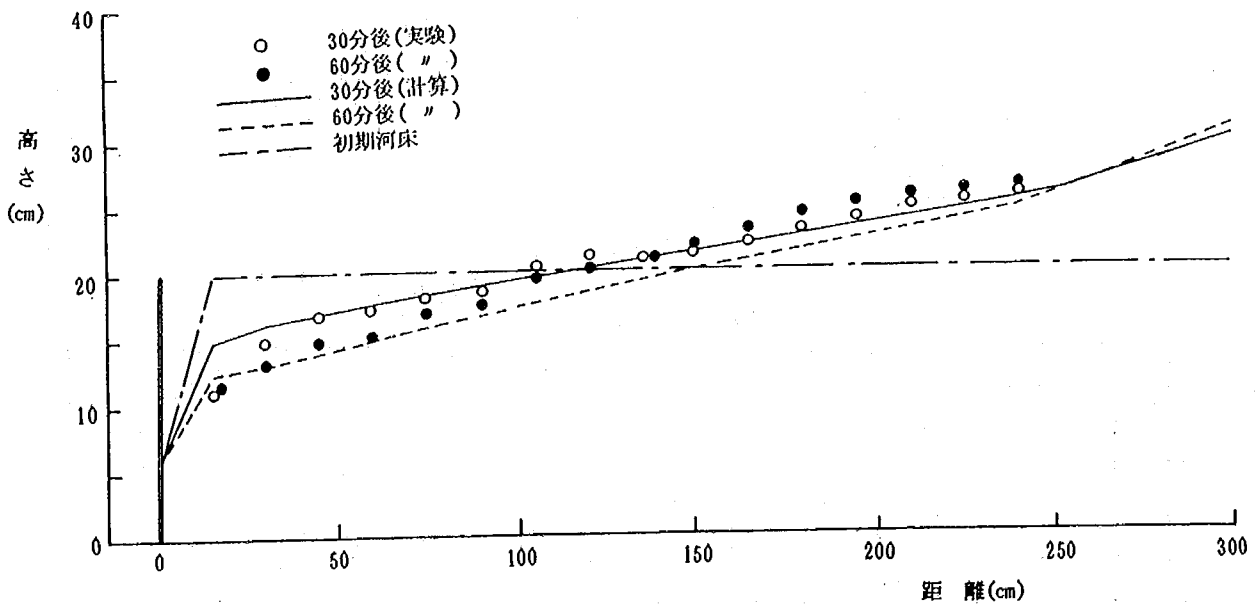


図-3.13 縦断変化図 (CASE-4)

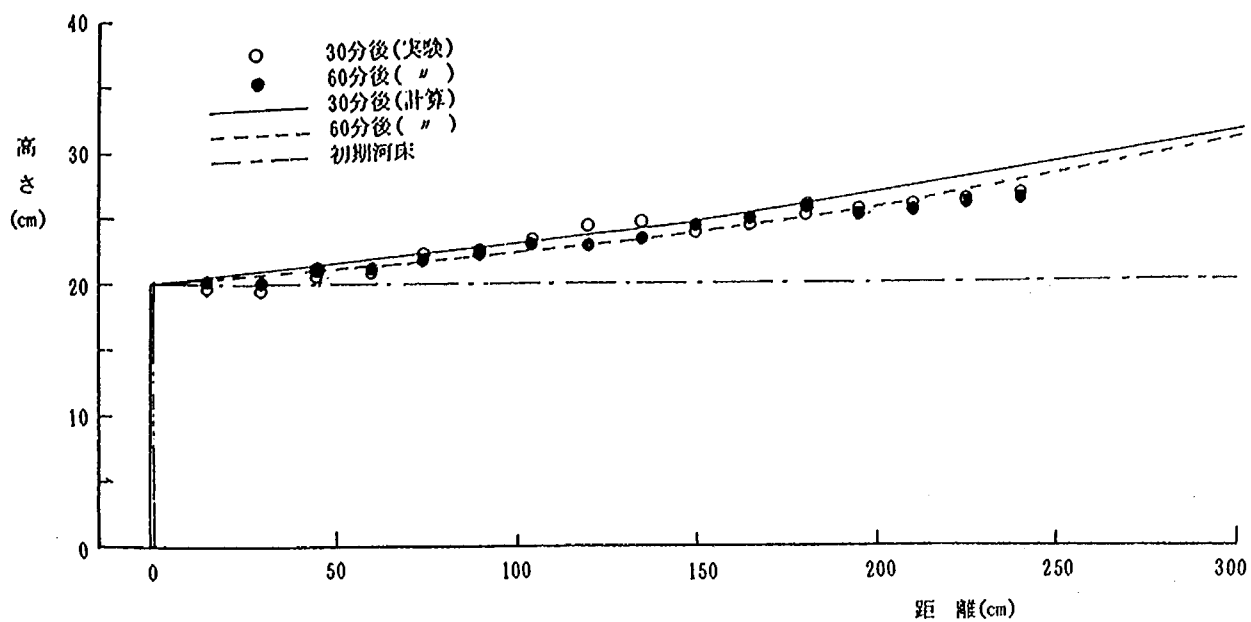


図- 3.14 縦断変化図 (CASE- 5)

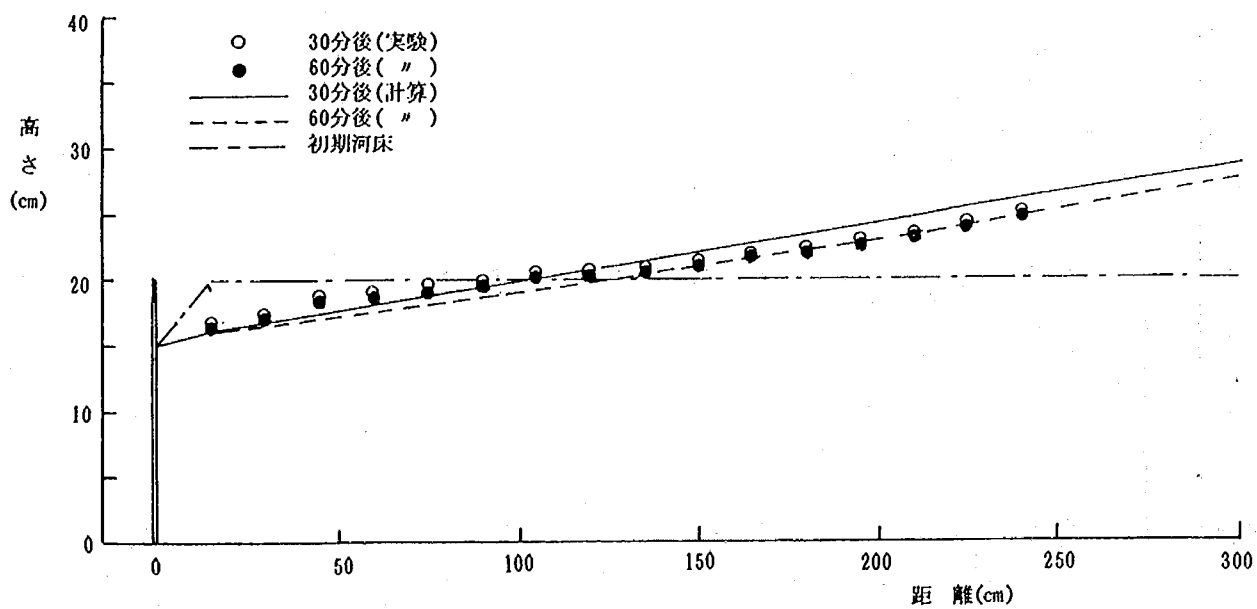


図- 3.15 縦断変化図 (CASE- 6)

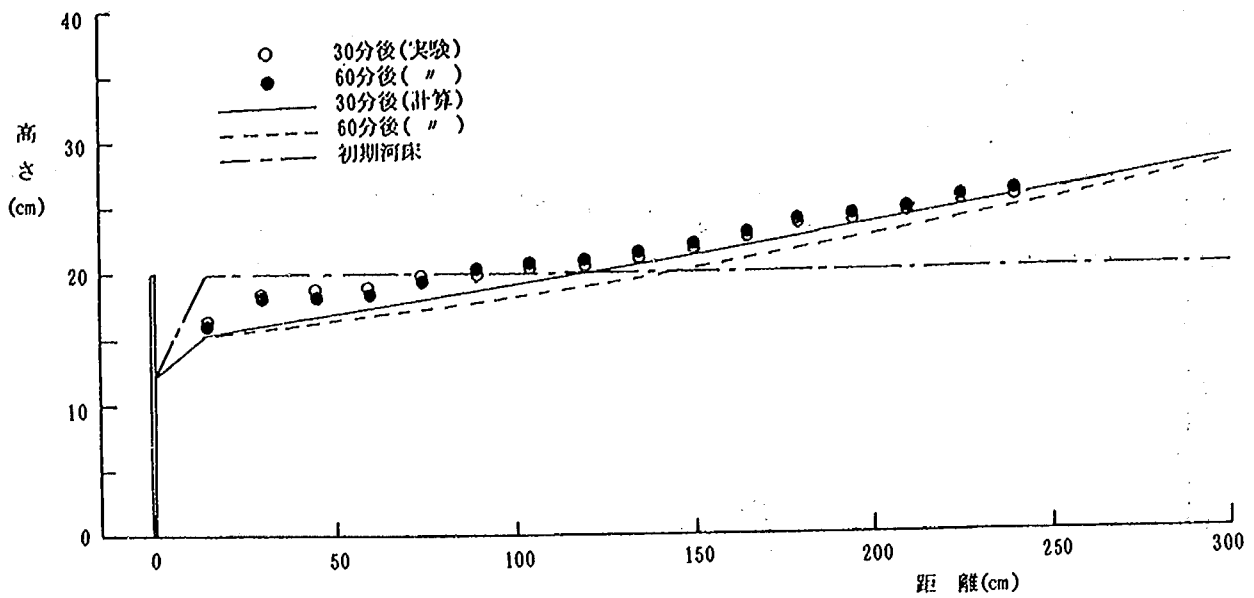


図- 3.16 縦断変化図 (CASE-7)

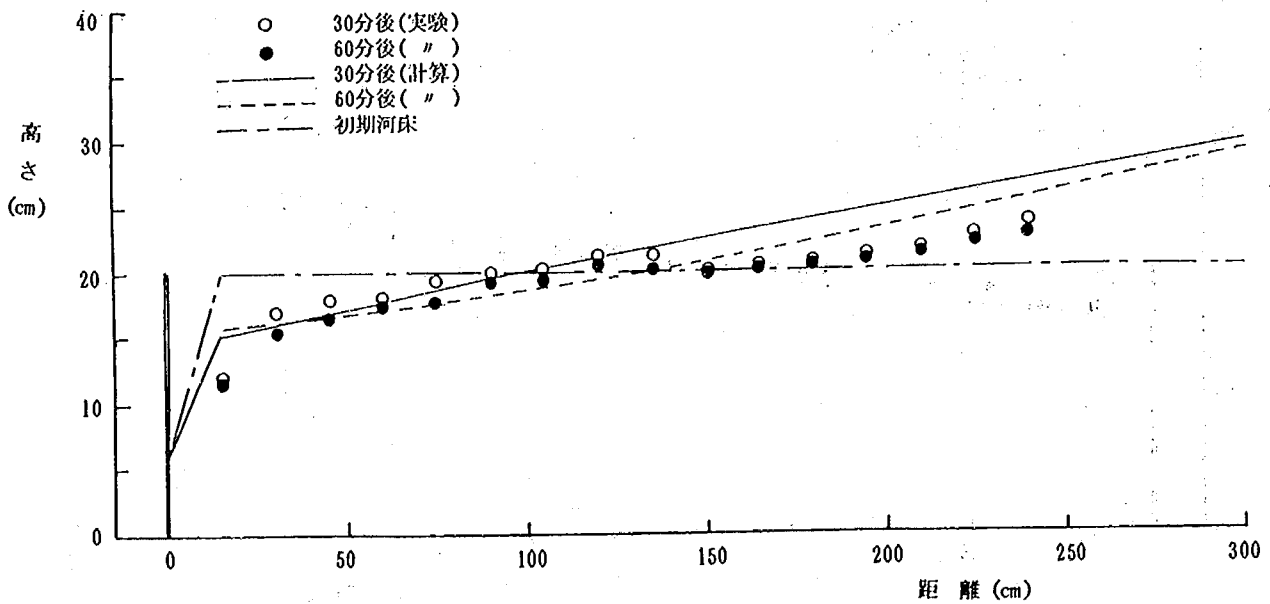


図- 3.17 縦断変化図 (CASE-8)

3.2.3 流出土砂量の変化

砂防ダムからの流出土砂量の経時変化を図-3.18, 3.19に示す。給砂している状態では、時間の経過とともに流砂量は増大する。ダムタイプA型のものが最も流砂量は少ないが、これは流出部（水通し天端）の高さが高いため勾配が緩く、堆砂が上流へ遡上するためである。ダムタイプDのケースは図-3.13の30分でみられるように流量が減少する際に水位低下の程度が大きいため、それまでに形成された堆砂肩が急激に崩れ瞬間的に流砂量が大きくなる。

供給流砂量（CASE-1～4で21.3 cc/s, CASE-5～8で42.6 cc/s）に比べ流出流砂量は小さく、土砂の量的な面での調節効果が現れている。

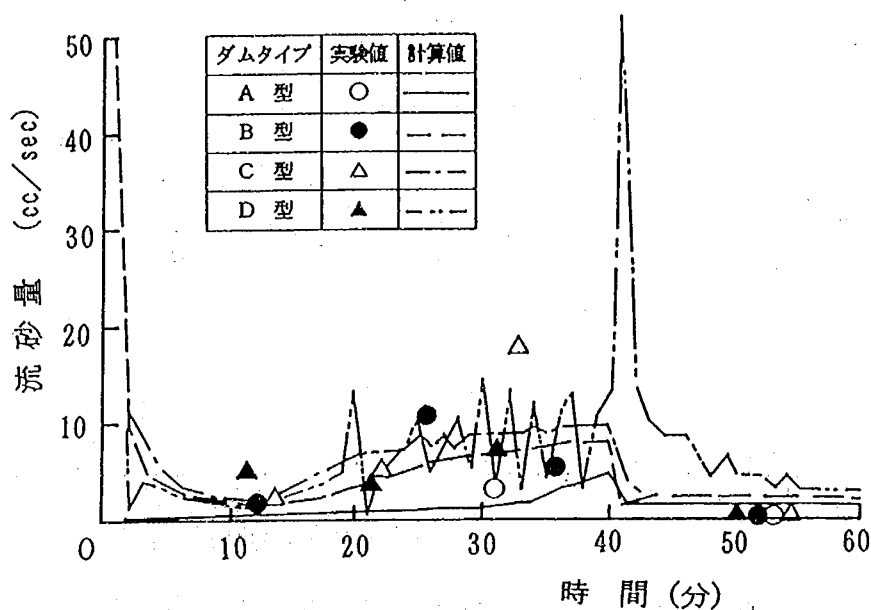


図-3.18 流出土砂量の時間変化 (CASE-1～4)

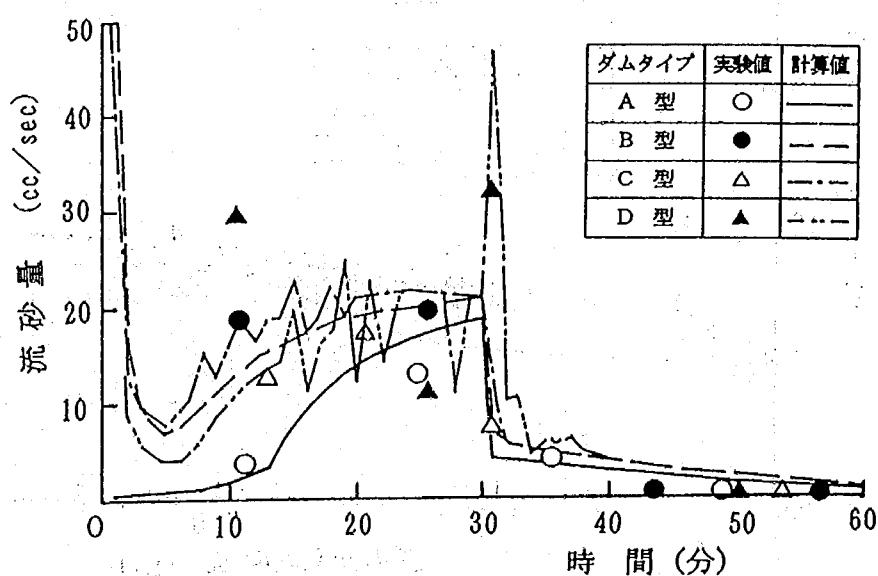


図-3.19 流出土砂量の時間変化 (CASE-5～8)

3.2.4 堆積土砂の平均粒径の変化

堆積土砂の採取は砂防ダムの上流4ヶ所（0.35, 1.15, 2.15, 2.80 m 付近）の水路中央で表面を実験砂のほぼ最大粒径に相当する深さ（20～25 mm）で採取した。図-3.20, 3.21 に堆積層の表層土砂の平均粒径を縦断的に示す。堆積土砂の平均粒径は初期河床（平均粒径 5.6 mm）に比べ粗粒化しており、縦断的にわずかではあるが、上流になるほどやや粗くなる傾向がみられる。このように流送土砂はふるい分けされているといえるが、ダムタイプによる違いは明瞭でない。

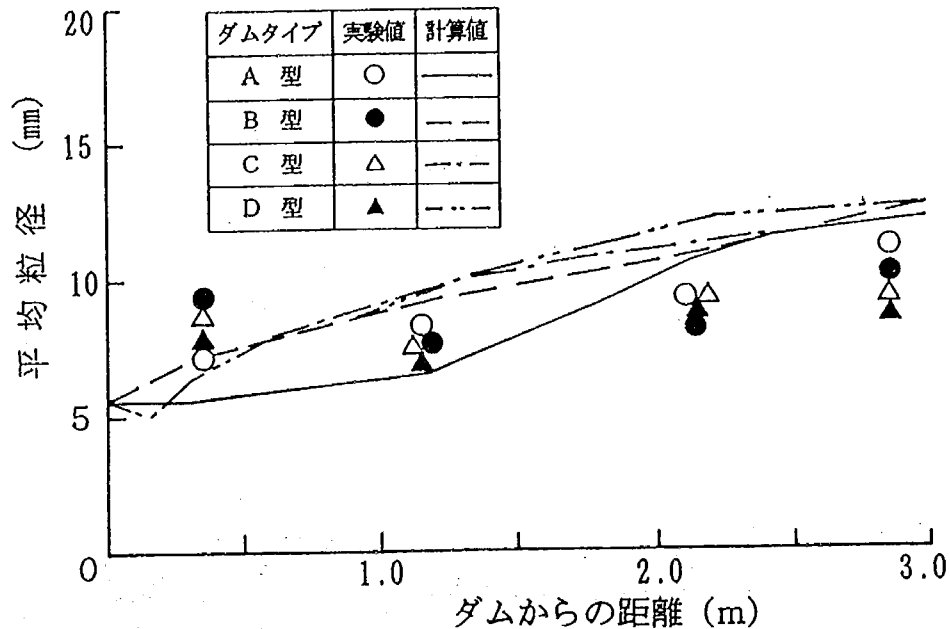


図- 3.20 堆積土砂の平均粒径の縦断変化 (CASE-1～4)

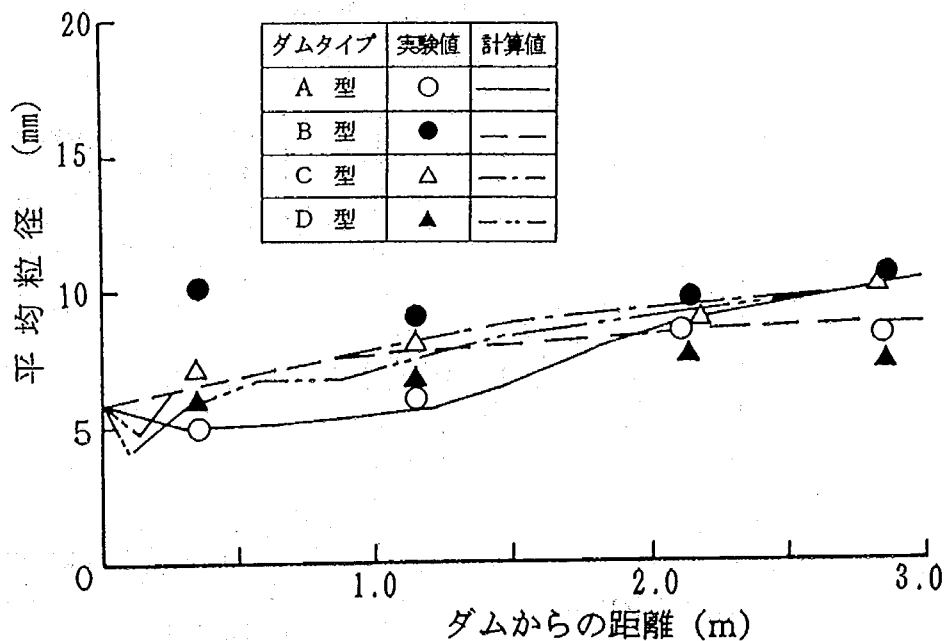


図- 3.21 堆積土砂の平均粒径の縦断変化 (CASE-5～8)

3.2.5 堆積土砂の粒度分布の変化

粒度分布については、流入土砂（初期河床土砂）を20%ずつの5段階に分割し、その粒径割合の砂防ダムの形式による変化を調べた。

図-3.22は実験終了時の河床から採取した砂防ダム上流の堆砂土砂（直上流と砂防ダム堆砂範囲上流端の2地点）の粒度分布の割合と流入土砂・流出土砂（実験終了直前）の割合とを比較したものである。この図より、無給砂状態の後の砂防ダムの堆積土砂の粒度分布は、9.5 mm以上の土砂の割合については流入土砂に比べて1.5～2倍程度多くなっている。無給砂時の流量4.0 l/secでの移動限界粒径は芦田、高橋、水山の式²⁾によると9～13 mmであり9.5 mm以上の土砂は移動しがたい状態になっているためである。9.5 mm以上の土砂の割合をダム形式についてみると、A型（通常の砂防ダム）では流入土砂の2倍程度まで増加しているのに対し、スリットタイプでは、1.5～2倍と若干通常の砂防ダムより増加割合が少ない。これは、スリットタイプの場合堆砂勾配が実験時間の範囲内では通常の砂防ダムの場合に比べて急になっているためであり、流出土砂の4.4 mm以上の粒径が減少している傾向にあることから、無給砂状態を長く継続すれば通常の砂防ダム程度あるいはそれ以上にまで増加すると考えられる。

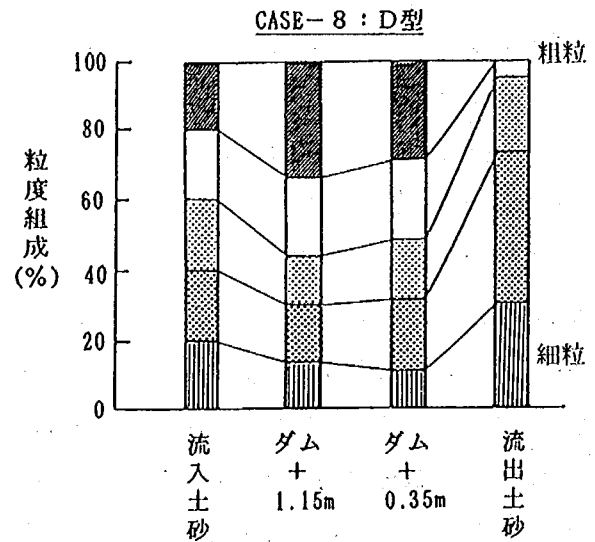
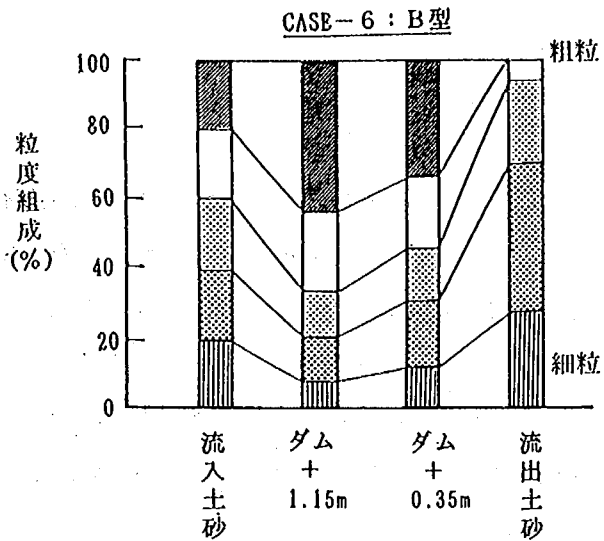
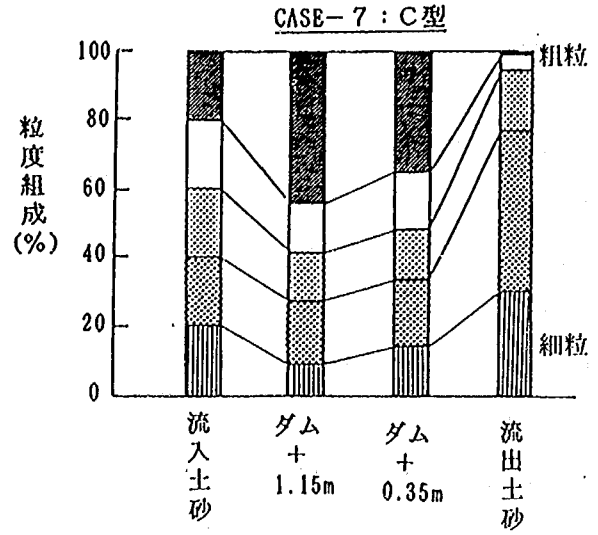
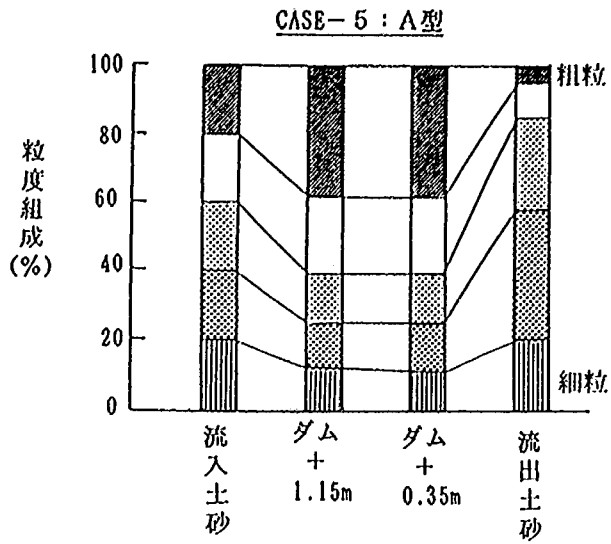
3.2.6 流出土砂の平均粒径の変化

流出土砂の平均粒径の経時変化を図-3.23、3.24に示す。給砂がある状態は給砂材料の平均粒径に近い粒径の土砂が流出しており、時間の経過により粗い土砂が流出ようになる。また、図-3.20、3.21の水通し付近の堆砂土砂の平均粒径と流出土砂の平均粒径は同程度となっている。3.2.4で述べたように、堆砂面の縦断方向にふり分け効果は少しみられるものの、かなり大きい粒径が下流まで流下していることになる。給砂がない状態では、流量が半減するため、粗い粒径の流下が少なくなり、流出土砂の平均粒径も小さくなり、粒径調節効果が現れていることになる。実験終了の直前では $d_m = 1.84 \sim 2.84$ mm程度となり、各タイプとも差は少ない。

給砂のあるときに実験でみられるような比較的大きな粒径が移動する場合は、粒径調節効果は期待できず、流出土砂の少ない場合には、粒径調節効果が期待できることになる。なお、ダムタイプによる顕著な差はみられないが、堆砂肩の急なタイプDについてはスリットの底から堆砂肩までの勾配が1/4程度と急であること、スリットを流下する際の縮流が大きいこと、比較的大きな粒径も流出しやすいと考えられる。

3.2.7 流出土砂の粒度分布の変化

図-3.25に流出土砂の各ケースにおける粒度分布の変化を示す。図は流入土砂（初期河床土砂）を5段階に分割（20%ずつ）した粒径範囲の割合が流量、時間、給砂の有無等によりどう変化するかを示したもので、縦軸に粒度分布の割合を、横軸に時間を取り、流量、給砂量の条件は上方に記入している。この図より、流量4.0 l/sec給砂ありの条件（CASE-1～4）では、9.5～25.4 mmの大きい粒径の割合が一時的に減少し、その後増加して流入土砂の割合とほぼ同様になる傾向がある。この減少の割合は、通常の砂防ダムよりスリットタイプの方が大きくなる傾向が認められるが、スリットの



	粒径 (mm)	平均径 (mm)
	9.5~25.4	15.534
	4.4~9.5	6.465
	2.3~4.4	3.181
	1.0~2.3	1.517
	0.1~1.0	0.316

図-3.22 堆積土砂の粒度分布 (流入土砂は敷砂材料と同じ)

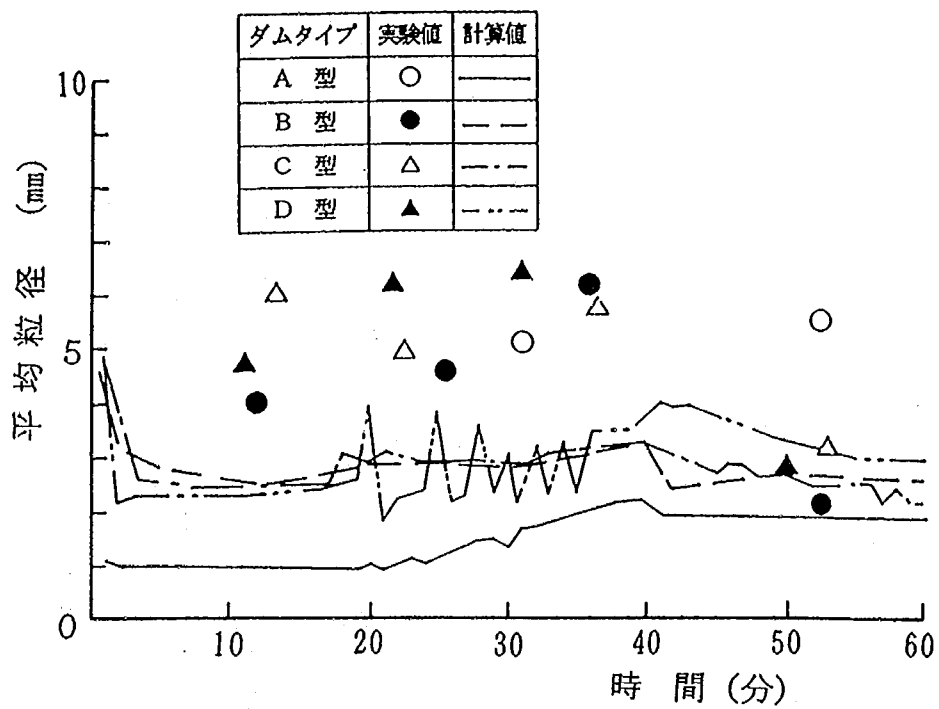


図- 3.23 流出土砂の平均粒径の時間変化 (CASE-1 ~ 4)

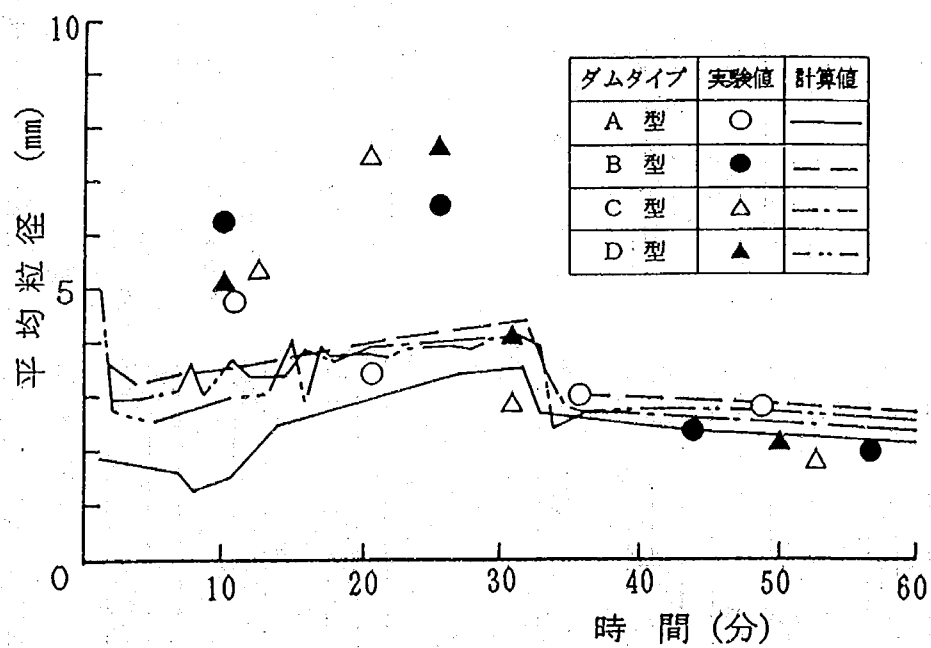


図- 3.24 流出土砂の平均粒径の時間変化 (CASE-5 ~ 8)

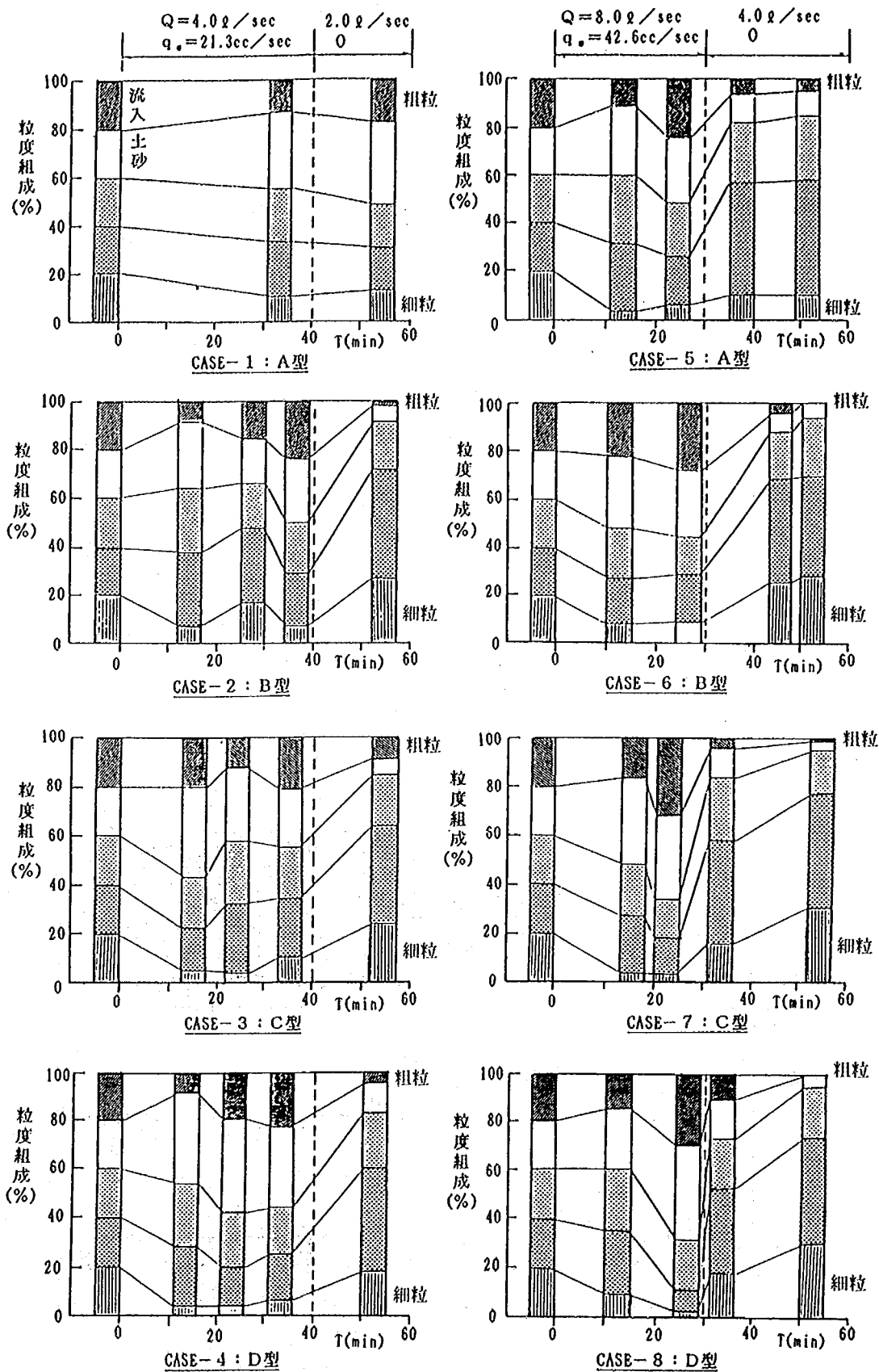


図- 3.25 流出土砂の粒度分布 (凡例は図- 3.22 と同様)

形状による差は明瞭ではない。なお、減少した後に増加傾向にあるのは、給砂地点とダム地点の距離が短いため、上流からの供給土砂がダム地点に到達したためと考えられる。流量が 4.0 l/sec で給砂が有る状態の後の、流量 2.0 l/sec 、無給砂の条件では、通常の砂防ダム形式の場合、河床勾配がほぼ安定していることもあって、粒度分布は流入土砂の粒度分布とほとんど差がないが、スリットタイプの砂防ダム形式では、 4.4 mm 以上の粒径の割合が極端に減少し、堆砂域で比較的大きい粒径の堆積が進行していることを示している。なお、スリットの形状による 4.4 mm 以上の粒径の減少の差はあまり認められない。CASE-5～8の流量を 8.0 l/sec (給砂有り) 流量 4.0 l/sec (無給砂) の2倍にした場合においても、CASE-1～4と傾向は同様である。

3.3 河床変動計算結果と実験結果の比較

ここでは実験と同一の条件で実施した河床変動計算と水理実験のそれぞれの結果を比較する。検討した項目は表層堆積土砂及び流出土砂の粒度分布である。

3.3.1 表層堆積土砂の粒度分布の比較

図-3.20, 3.21の表層平均粒径の縦断変化をみると、ダム水通し部付近の平均粒径はダムタイプA型のものが最も小さく、ダムタイプB型が最も粒径が大きい。また、実験結果と同じく初期河床に比べ粗粒化している。縦断的には実験値より明瞭に上流にむかって粗くなる傾向がみられ、給砂のない状態では、計算値の方が実験値より粒径が粗くなる傾向にある。

3.3.2 流出土砂の粒度分布の比較

CASE-5及び8の流出土砂の粒度分布について実験値と計算値を比較したのが図-3.26, 3.27

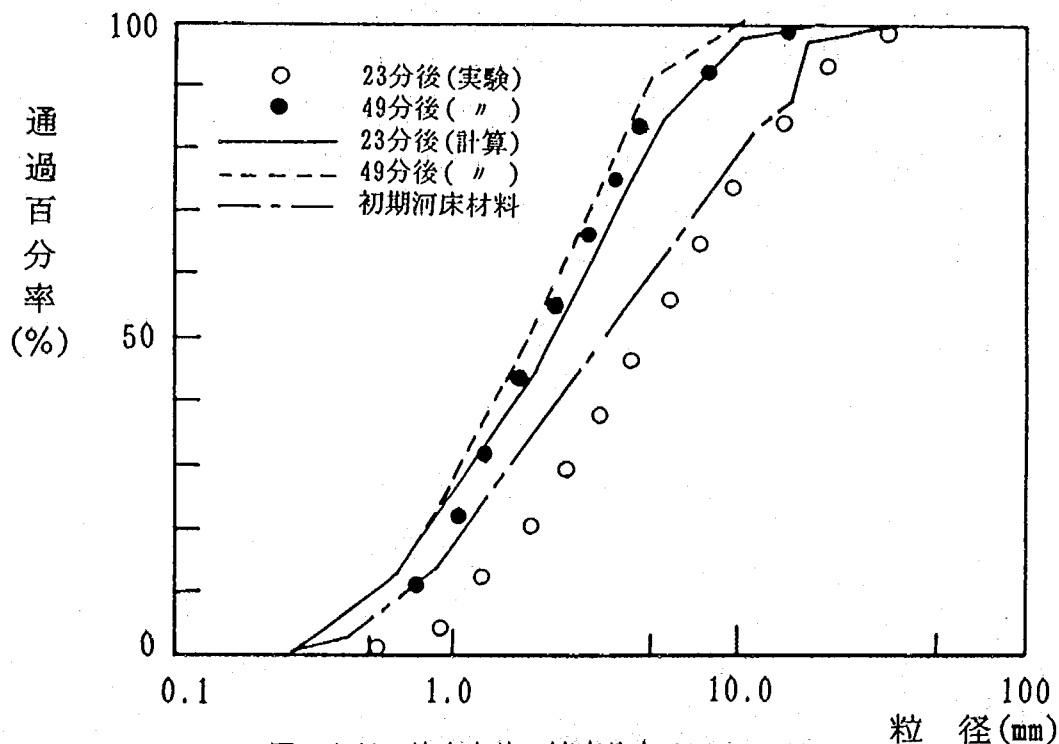


図-3.26 流出土砂の粒度分布 (CASE-5)

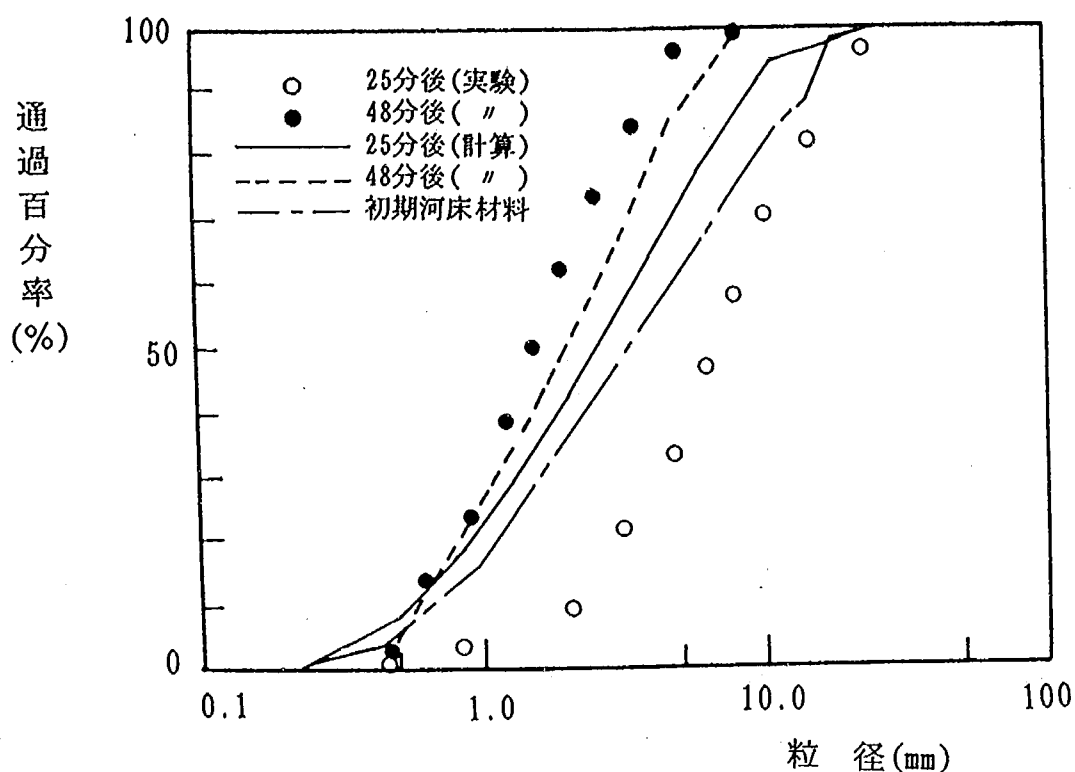


図- 3.27 流出土砂の粒度分布 (CASE- 8)

である。図には給砂及び初期河床の材料を併記した。計算では常に初期河床の材料よりかなり細粒化した土砂が流出しているのに対し、実験値は30分後までは初期河床材料とほぼ同程度か粗くなっている。これに対し給砂を行ってない通水45分以降のものは初期河床材料より細粒化しており計算値とも良く一致している。すなわち河床が低下傾向になりアーマリングが進む状況では計算結果は実験結果を良く表現しているが、給砂が十分ある状態ではあまり適合していない。給砂がある場合に適合しない理由としては、実験では給砂した土砂が十分にふるい分けられず平均粒径以上の土砂も下流に直接流出するのに対し、計算では比較的大きな粒径の土砂は移動限界となっており、ほとんど流送されていないためと考えられる。

4. まとめと今後の課題

砂防ダムは、流出土砂を質的に変化させる粒径調節効果（ふるい分け効果）を持っていると言われているが、その効果は明らかでない。そこで、現況の河道に砂防ダムを設置したことの有無による粒径調節効果について水理模型実験により検討を行った。

砂防ダムを設置しない場合には初期において、流出土砂の粒径は供給土砂に比べて小さい。その後は供給土砂の粒径にほぼ等しいか大きくなる。砂防ダムを設置した場合については、洪水のピーク付近で供給土砂の粒径より大きくなる傾向がみられた。

一方、堆積土砂の平均粒径の時間変化をみると、砂防ダムを設置しない場合、洪水波形を1回通水した後は河床は全体的に細粒化するが、その後初期河床と同じような粒径となった。また、砂防ダムを設置した場合には、各地点における粒径は洪水を重ねるごとに変化し、河床堆積土砂の粒径は供給土砂の粒径にほぼ等しいかあるいは小さい粒径となり、粗粒化する傾向はみられなかった。このように砂防ダムを設置したことにより、河床（堆積域）の粒径は若干変化し、また砂防ダムから流出する土砂の粒径も少しは変化することが分かったが、実験で与えた洪水の最小流量が移動限界程度の場合には、全ての粒径の土砂が移動するので、砂防ダム設置の有無によるはっきりした粗粒化効果は認められなかった。また、砂防ダムの形状（スリットタイプ、通常、袖なし）を変えたことによる粒径調節効果について、水理模型実験及び河床変動計算モデルによるシミュレーションを実施した。給砂材料の粒径の移動限界に対して大きな流量で実験を行った場合には、比較的大きな粒径が砂防ダム下流に流出し、給砂材料の粒径と同程度の粒径が砂防ダムに堆砂し粒径の粗粒化は認められなかった。また流量を減少させ無給砂とした場合は、流出土砂の粒径が小さくなる傾向が認められ粒径の細粒化は認められた。また、砂防ダムの形状の違いによる粒径調節効果の差異は明確でない。ただし本実験においては砂防ダムのない状態の実験は行っておらず、砂防ダムの設置の有無による差異は比較できない。

以上より今回の検討では、土砂流出時における砂防ダムのいわゆる粒径調節効果は期待できないと考えられる。

砂防ダムの設置により下流へ流下する粒径が変化すると下流の河床変動等を与える影響が考えられ、特に合流点対策や貯水池上流対策砂防を実施する際等には重要である。さらに近年川の生態系に対する関心が高まっており、巨礫を存置させたり、投入したりして瀬と淵を創出する試みも行われつつある。こうした面からもさらに粒径調節効果を検討する必要がある。今回の実験はいずれも一次元的なものであり、今後砂防ダムの粒径調節効果はダムの形状を含めて二次元的な検討を行う必要がある。またさらに、複数の砂防ダム群による組み合わせ効果の検討も必要である。

参 考 文 献

- 1) 渡辺正幸, 水山高久, 上原信司:「土石流対策砂防施設に関する検討」, 新砂防 115号, pp. 40 ~ 45, 1980. 5
- 2) 芦田和男, 高橋 保, 水山高久:「山地河川の掃流砂に関する研究」, 新砂防 107号, pp. 9 ~ 17, 1978. 4
- 3) 石川芳治, 井良沢道也, 福本晃久:「ゲート付き砂防ダムの効果とその操作方法に関する研究報告書」, 土木研究所資料第2943号, 1989. 5
- 4) 芦田和男, 道上正規:「移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究」, 土木学会論文報告集 第206号, pp. 59 ~ 69, 1972. 10

砂防ダムの粒径調節効果に
関する研究報告書

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3015号
平成3年8月(1991)

要 旨

石川芳治, 井良沢道也, 福本晃久

砂防ダムは、流出土砂を量的に調節するだけでなく、質的に変化させる粒径調節効果（ふるい分け効果）も有していると言われている。しかし、砂防ダムの粒径調節効果に関しては、不明な点が多くこれまで砂防計画に十分に反映されていないのが実状である。そこで、本研究は水理実験及び河床変動計算により、砂防ダムの粒径調節効果について検討し、砂防ダムの機能を把握する上での基礎資料とすることを目的として行った。

キーワード：砂防ダム、粒径調節、河床変動計算、水理模型実験

郵便はがき

郵便切手
はって下さ
い

305-□□

建設省土木研究所
砂防研究室 行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第 3015 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印