

土 木 研 究 所 資 料

ゲート付砂防ダムに関する水理模型実験報告書

平成6年10月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

Copyright © (1994) 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、本報告書の全文又は一部の転載、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。

ゲート付砂防ダムに関する水理模型実験報告書

砂防研究室 室 長 石 川 芳 治

研究員 矢 島 重 美

前室長 水 山 高 久*

要 旨

平常時の無害な土砂は堆砂させずに下流に流して空容量を確保し、異常時には多量の土砂を堆積させるような機能を有するゲート付砂防ダムが計画されている。しかし、このゲート付砂防ダムのゲートの位置や形状等の計画、設計手法は確立されていないため、水理模型実験により適切な形状を検討した。

さらに、ゲート扉体部に作用する流下礫の衝撃力を推定するために、砂防ダム非越流部にゲートを設けた場合のゲート扉体部への礫の衝突速度等を2次元水路実験によって測定し、礫がゲートに与える影響について検討した。

キーワード：ゲート付砂防ダム、水理模型実験、ゲート、衝撃力

*現・京都大学農学部助教授

Hydraulic Model Experiments on Sabo Dam with Gates

Sabo Division

Head of Division : Yoshiharu ISHIKAWA

Researcher : Shigemi YAJIMA

Former Head of Division : Takahisa MIZUYAMA

Synopsis

We are planning a sabo dam with gates which is expected to have the function of sediment control. In flood time the gates are closed and the sabo dam traps the sediment flowing down with floods. On the other hand, the gates are opened in non-flood time, then the sabo dam with gates can pass the sediment to downstream. However, the method of plan and design of gates' location and shape have not been established, so we examined them by hydraulic model experiments.

Further, in order to estimate the impact force of boulders to gates, hydraulic experiments were carried out in a 2 dimensional flume. In the experiments the velocity of boulders to the gate which is located at a side portion of a sabo dam was measured.

KEYWORDS : Sabo Dam with Gates, Hydraulic Model Experiment, Gates, Impact Force

は じ め に

平常時の無害な土砂は堆砂させずに下流に流して空容量を確保し、災害を発生させるような多量の土砂の流出時には土砂を堆積させるような機能を有するゲート付の砂防ダム（高機能砂防ダムと呼ばれている）が計画されている。しかし、このゲート付の砂防ダムのゲートの位置や形状等の計画，設計手法は確立されていない。そこで、水理模型実験により適切な形状を検討した。

さらに、ゲート扉体部に作用する流下礫の衝撃力を推定するために、大出水時及び中小出水時において、砂防ダム非越流部にゲートを設けた場合のゲート扉体部への礫の衝突速度等を水理模型実験により測定し、礫がゲートに与える影響について検討した。

本実験の実施にあたり、多大なる御協力を賜った中部地方建設局天竜川上流工事事務所及び関係各位に対して深く感謝の意を表する次第である。

目 次

はじめに

1. 流域の概要	1
2. ゲート付砂防ダム計画(案)	3
2.1 ゲート付砂防ダムの一般的な考え方	3
2.2 ゲート付砂防ダムに期待する機能	3
2.3 ゲート付砂防ダム計画(案)	3
2.3.1 計画地点	3
2.3.2 降雨・流出解析	3
2.3.3 ゲート操作方法	6
2.3.4 ゲート形状及びゲート構造	6
2.4 水理模型実験によるゲート形状の検討	6
2.5 ゲートに対する礫の衝突に関する検討	6
3. ゲート付砂防ダムに関する水理模型実験	7
3.1 実験目的と概要	7
3.1.1 目的及び概要	7
3.1.2 実験に用いた流量ハイドログラフ	9
3.1.3 実験で検討したゲート形状	16
3.1.4 実験ケース	18
3.2 実験結果と考察	19
3.2.1 流況の変化	19
3.2.2 河床の縦断形状の変化	45
3.2.3 流出土砂量の変化	60
3.2.4 ゲートタイプの比較検討	67
4. ゲートに対する礫の衝突に関する基礎実験	75
4.1 実験目的と概要	75
4.2 実験結果と考察	79
4.2.1 礫の衝突速度	79
4.2.2 礫の衝突角度	81
4.2.3 礫の衝突頻度	83
4.2.4 礫の衝撃荷重	83
5. まとめ	86
5.1 ゲート付砂防ダムに関する水理模型実験	86
5.2 ゲートに対する礫の衝突に関する基礎実験	86
参考文献	87

1. 流域の概要

中部地方建設局天竜川上流工事事務所管内の小渋川は、南アルプスの赤石山脈に源を発し、伊那山地を流下し伊那盆地で天竜川に合流する流路延長約31.8km、流域面積121.3km²の荒廃河川である。流域崩壊面積率は、約4.7%と高く、単位面積当たりの年流出土砂量は1,430(m³/年/km²)と極めて大きな値となっている。また、土砂整備率は直轄施設で約10%、他官庁を含めた全施設でも約14.2%と低い。このため、小渋川流域に対して効果的な土砂調節機能を有する砂防施設の早急な計画・設置が必要となっている。小渋川流域の主な砂防ダムを表-1.1に、大河原床固工上流の小渋川流域の平面図を図-1.1に示す。また、ゲート付砂防ダム計画地点付近の状況を写真-1.1に示す。

表-1.1 小渋川流域の主な砂防ダム

番号	堰 堤 名	形 状 寸 法			計画貯砂量 (m ³)	着手年月日	竣工年月日
		高さ (m)	長さ (m)	立積 (m ³)			
1	釜沢ダム	10	53	1,647	59,832	昭和12.11.16	昭和17. 3.31
2	釜沢第2ダム	10	69	2,299	61,920	14. 6. 6	17.10.15
5	小渋第1ダム	8	121	4,043	114,996	14. 3. 1	25. 5.31
6	小渋第2ダム	6.5	132	3,960	167,895	15. 8. 1	25. 5.31
10	上蔵ダム	23	33	5,287	1,000,000	26.12. 1	29. 3.28
13	梅村沢ダム	22	58	7,001	150,000	28. 9. 6	31. 9.20
60	釜沢第3ダム	30	92.4	34,941	1,800,000	41. 3.25	43.12. 5

注) 番号は図-1.1の砂防ダムに対応

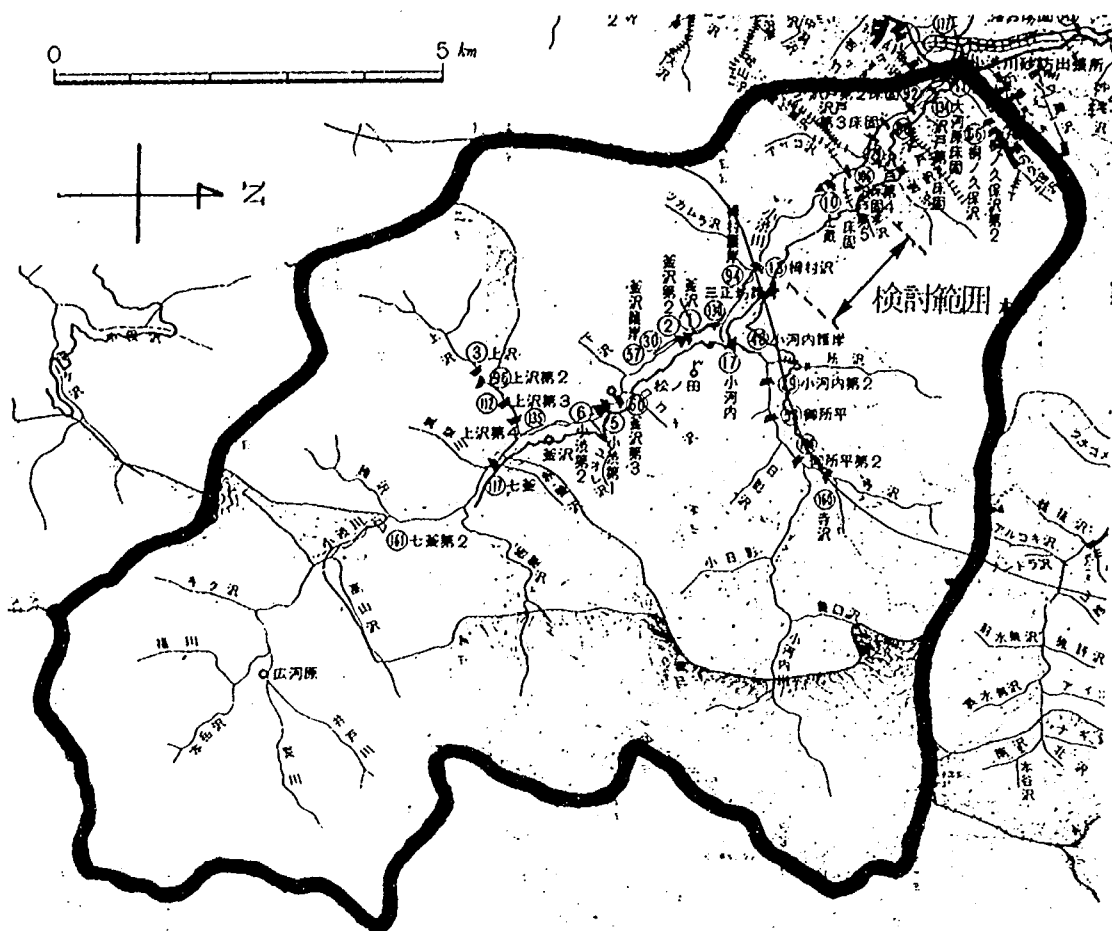


図-1.1 大河原床固工上流の小渋川流域平面図

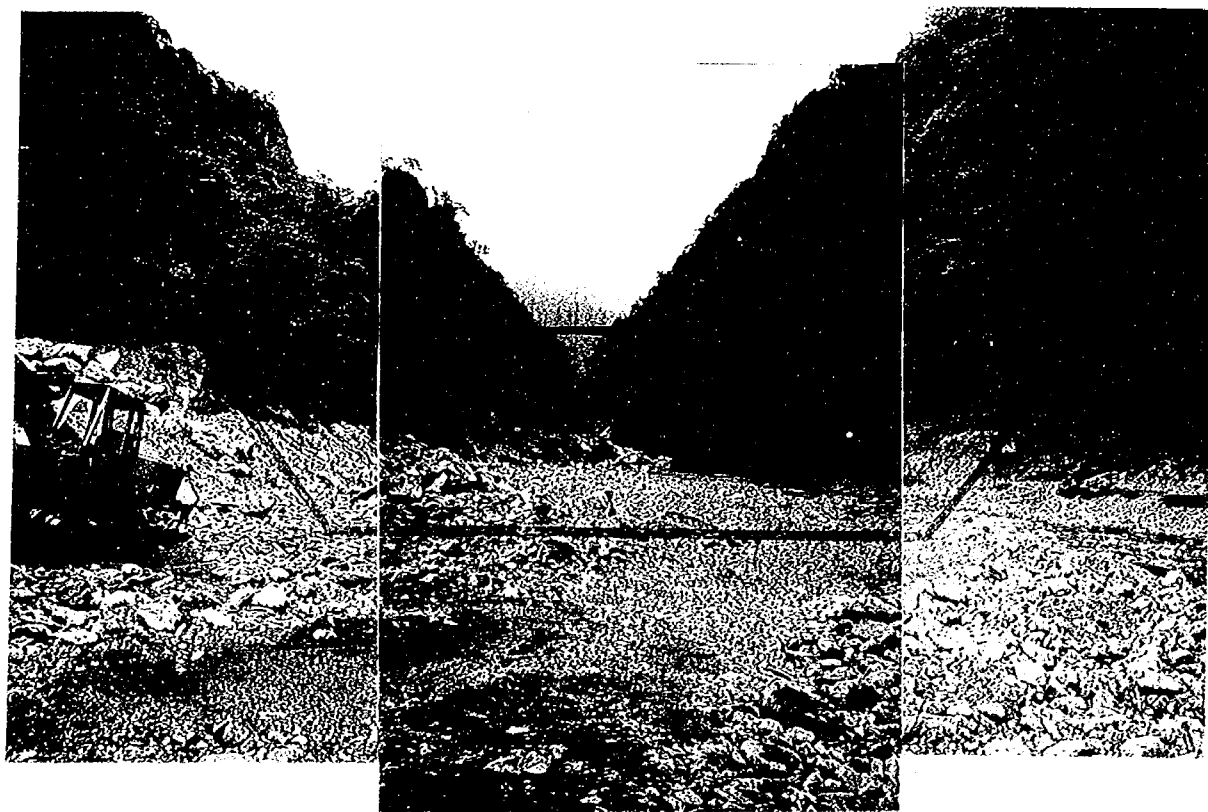


写真-1.1 ゲート付砂防ダム計画地点付近の状況

2. ゲート付砂防ダムの計画(案)

2.1 ゲート付砂防ダムの一般的な考え方

砂防ダムにおいて、非洪水期の無害な土砂は堆積させずに下流に流して空容量を確保し、多量の土砂が流出する洪水期には土砂を堆積させて、その後の出水で土砂を流下させるスリット砂防ダムや大暗渠を有する砂防ダムについての研究¹⁾²⁾³⁾がなされてきた。しかしながら、このような砂防ダムでは、洪水及び土砂の流出形態によっては洪水の後半に多量の土砂が流出したり、非洪水期に堆砂した土砂が突発的に流出するといった現象もみられる。

このような問題点を解消する方法として、スリット部にゲートを設けて流出土砂を人為的に操作するゲート付砂防ダムが考えられ、近年研究⁴⁾⁵⁾や検討⁶⁾⁷⁾がなされている。

2.2 ゲート付砂防ダムに期待する機能

小渋川のように土砂生産の活発な流域の場合、通常の砂防ダムを建設しても非洪水期に発生する中小洪水時に土砂が流下し、堆砂域が土砂で満砂することが予想され、洪水期に効果を十分に発揮できないことが考えられる。また、土砂流出の少ない溪流に通常の砂防ダムを多数建設し、整備率を向上させると下流河川への土砂供給が減少し、河床低下を引き起こす原因となる場合がある。そこで、このような問題を解決するために施設1基当たりの土砂調節効果を増大させるとともに、下流への土砂供給も可能なゲート付砂防ダムの建設が考えられる。ゲート付砂防ダムによって、非洪水期には徐々に土砂を流下させて下流への土砂供給を行うとともに空容量が確保でき、洪水期には大きな土砂調節効果を発揮することが可能となる。

2.3 ゲート付砂防ダムの計画(案)

天竜川上流工事事務所では、平成4年度のゲート付砂防ダム計画検討業務⁷⁾の中で、以下のようにゲート付砂防ダムを計画している。

2.3.1 計画地点

計画地点は、図-1.1に示した検討範囲内の上蔵砂防ダム上流約1000m地点で、図-2.1に示す通りである。計画地点は、次のような点を考慮して選定された。

- ① 付近に人家等の保全対象が存在しない。
- ② 計画地点の下流に砂防施設がある。
- ③ 計画地点の上流部の河床材料の粒径が小さい（掃流域である）。
- ④ 既設の砂防ダムの堆砂地内に入らない。

2.3.2 降雨・流出解析

ゲート付砂防ダムの計画にあたり洪水期および非洪水期の流量の傾向を把握する必要がある。小渋川本川では、水位観測が6～10月の洪水期のみであり、その精度も低いのが現状であるため、10年間の降雨資料（昭和57年～平成3年）をもとに流出解析を行った。図-2.2に上蔵ダム地点における日平均流量10年流況図を示す。図-2.2より3月～5月の融雪出水の流量は、最大で約20m³/sec、冬期の平均流量は約2m³/secとなっていることがわかった。

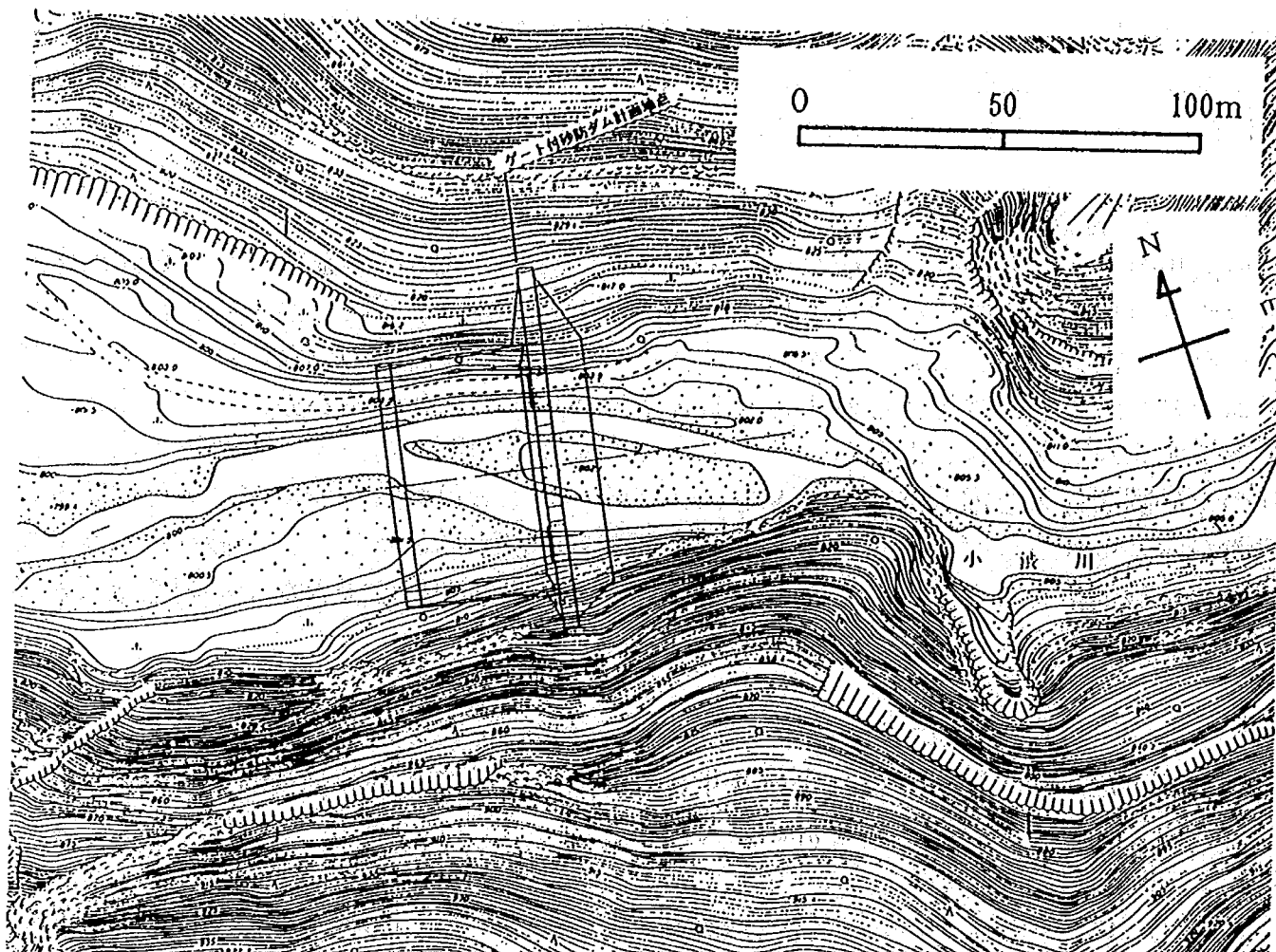


図-2.1 ゲート付砂防ダム計画地点

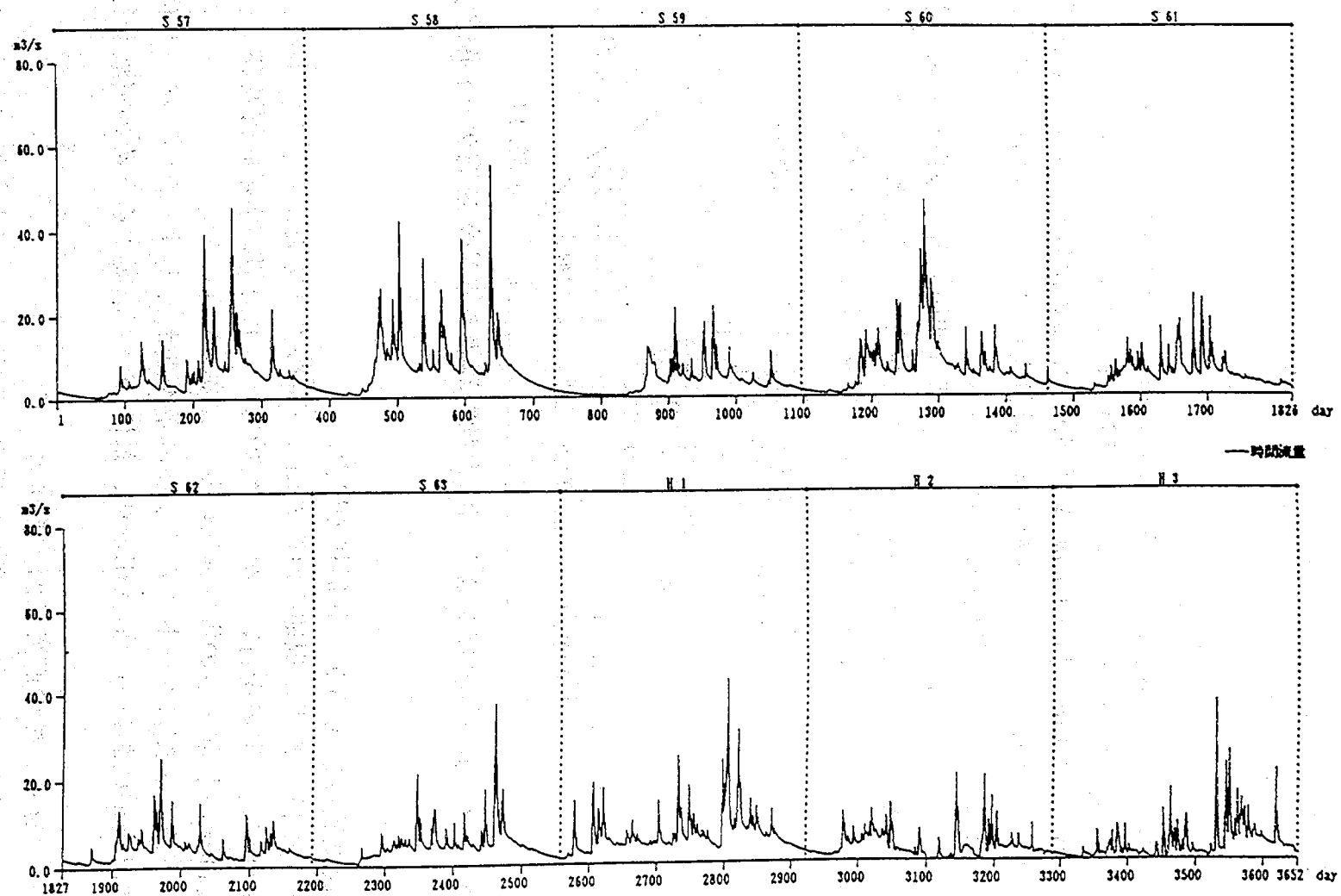


図-2.2 上蔵ダム地点における日平均流量10年流況図

2.3.3 ゲート操作方法

ゲートの操作方法については、①期間別操作と②流量規模別操作が考えられる。排砂効果で考えると、②の流量規模別操作が望ましいが、維持管理の容易な①の期間別操作を採用することとした。また、10年間の流出解析結果、上蔵ダムにおけるハイドログラフ及び小渋ダム管理規則より、次のように洪水期と非洪水期を区分した。

洪水期（ゲート閉） 6月10日～10月5日

非洪水期（ゲート開） 10月6日～翌年6月9日

2.3.4 ゲート形状及びゲート構造

前述の計画地点にゲート付砂防ダムを設置した場合の排砂効果を検討するために、数タイプのゲート形状について一次元河床変動計算を行った結果、暫定的にはゲート面積を50 m²、ゲートの高さ3.0m、ゲートの幅を16.5mとするのが好ましいとの結論を得た。さらに、ゲート設置間隔の検討を二次元河床変動計算を行い、一次元河床変動計算の結果も考慮して、図-2.3に示す形状が最適と判断された。

また、ゲート構造の検討の結果、ゲートの位置は非越流部に設置し開閉は引き上げ形式が良く、ライニングプレート厚は30mm程度必要となると算定された。また、開閉機は構造及び費用の面から考慮した結果、ワイヤーロープウィンチ式とした。

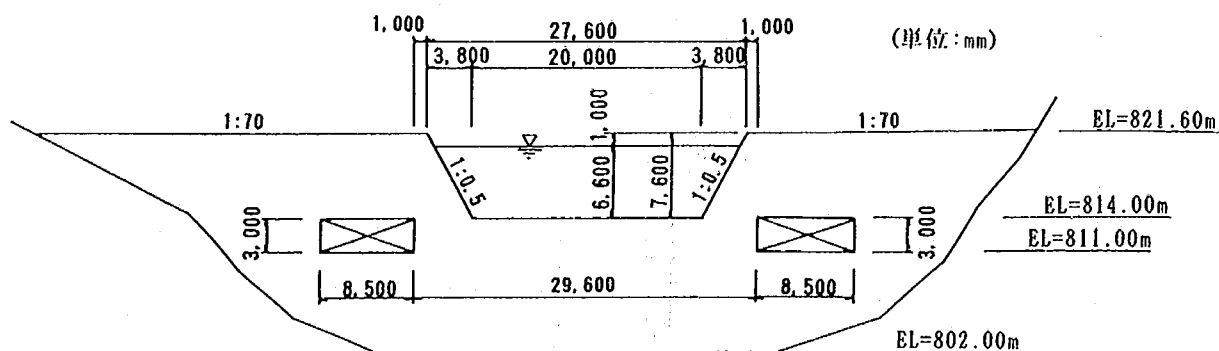


図-2.3 1次元及び2次元河床変動計算より求めた最適ゲート配置図

2.4 水理模型実験によるゲート形状の検討

平成4年度には、まず、現地の河道の縮尺1/50の模型を製作するとともに、ゲートの形状を2タイプ変えて実験を行い、ゲート付砂防ダム上流部の堆砂状況及びゲート部からの排砂状況及びゲート部からの排砂効果に関する検討を行った。

さらに、平成5年度はゲートの形状及び流量を変えて実験を行い、ゲート付砂防ダム堆砂域での非洪水期における土砂流出形態、量について把握するための実験を行った。

2.5 ゲートに対する礫の衝突に関する検討

ゲート付砂防ダムはゲート扉体部に作用する流下礫の衝撃力を推定するために2次元水路を用いて実験を行った。これは、洪水期及び非洪水期を想定して砂防ダム非越流部にゲートを設けた場合のゲートへの礫の衝突速度を測定するもので、この実験結果をもとに、礫がゲートに与える影響についての検討を行った。

3. ゲート付砂防ダムに関する水理模型実験

3.1 実験目的と概要

3.1.1 目的及び概要

本実験は、中部地方建設局の天竜川上流工事事務所管内の天竜川水系小渋川に計画されているゲート付砂防ダムの土砂調節効果についての検討するために実施した。ゲート付砂防ダムは非洪水期の無害な土砂は堆砂させずに下流に流下させて空容量を確保し、洪水期の多量の土砂を堆積させる機能を有するが、ゲートの位置や形状等の計画，設計手法は確立されていないため、水理模型実験により適切な形状を検討した。具体的にはゲートの形状を変えて水理模型実験を行い、土砂調節効果の大きい最適なゲート形状についての検討を行った。

模型の取り入れ範囲は、上流端を榎村沢砂防ダムとし、下流端を上蔵砂防ダムとする延長約1.5km，平均川幅約64mの区間を対象として縮尺1/50の大きさで製作した。模型取り入れ範囲を図-3.1，製作した模型の全景を写真-3.1に示す。また、水理諸量はフルード相似則に従って表-3.1のように設定した。実験には、図-3.2に示すように現地の河床材料の粒径分布調査結果をもとに縮尺1/50で幾何学的に相似な粒度分布の砂を使用した。

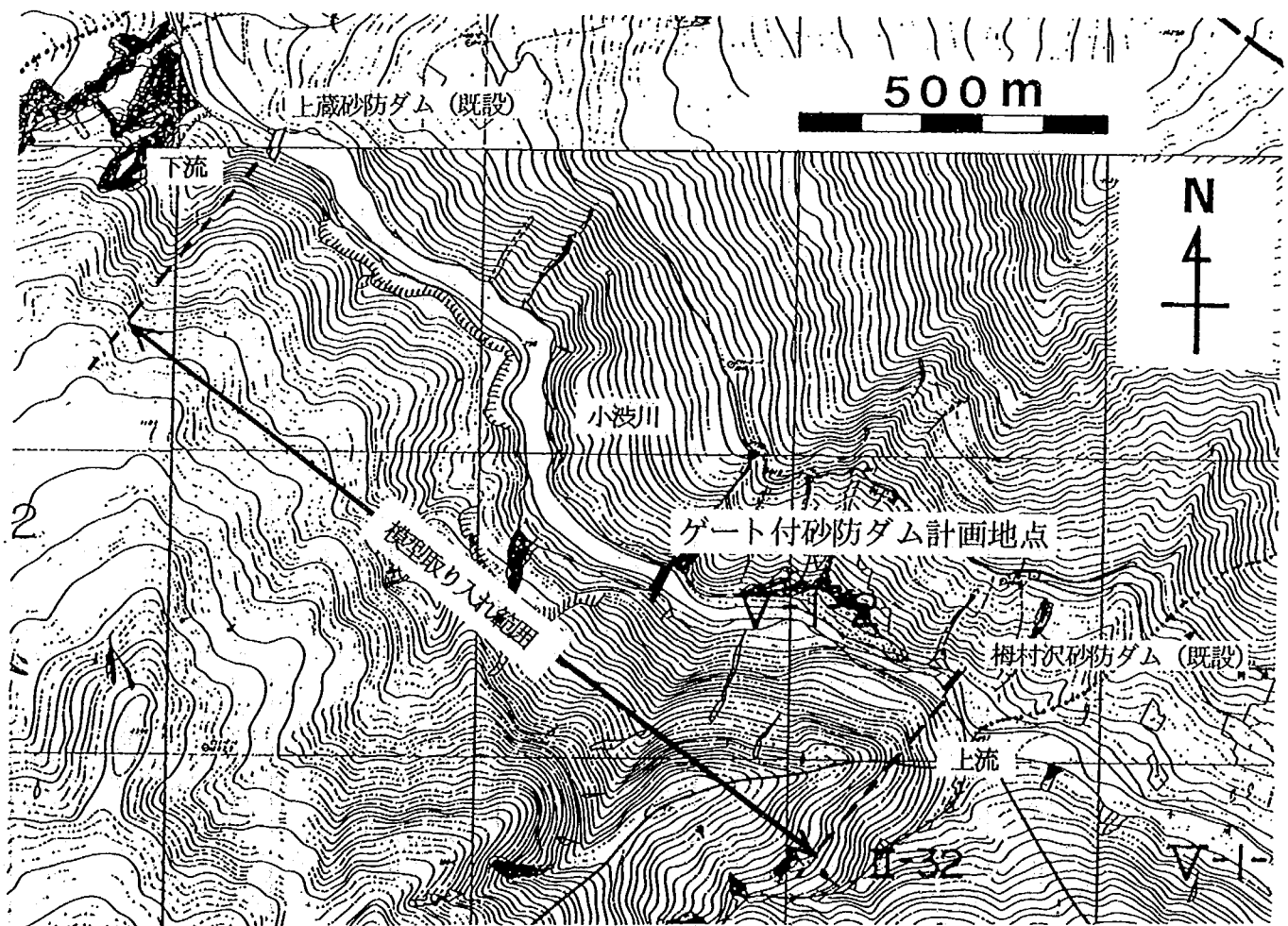


図-3.1 小渋川流域（模型取り入れ範囲）

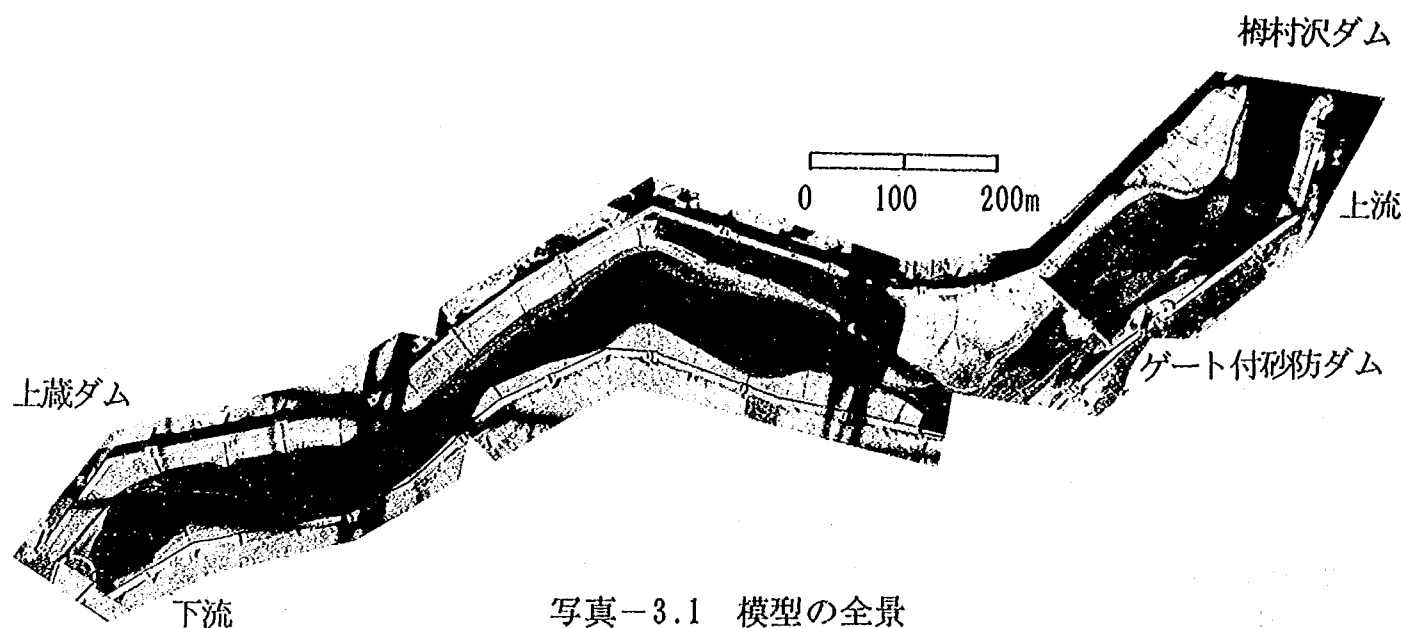


写真-3.1 模型の全景

表-3.1 フルード相似則による諸量の縮率

諸 量		次 元 (L-F-T)	縮 率	
			比	縮 尺
幾何学的な量	水平成分 (X)	L	X_r	1 : 50
	垂直成分 (h)	L	H_r	1 : 50
	勾 配 (h/X)	—	$H_r \cdot X_r^{-1}$	1 : 1
	面 積 (A)	L^2	$H_r \cdot X_r$	1 : 2,500
	体 積 (V_0)	L^3	$H_r \cdot X_r^2$	1 : 125,000
水 理 学 的 な 量	フルード数 (Fr)	—	1	1 : 1
	流 速 (V)	$L \cdot T^{-1}$	$H_r^{1/2}$	1 : 7.07
	流 量 (Q)	$L^3 \cdot T^{-1}$	$X_r \cdot H_r^{3/2}$	1 : 17,677.7
	時 間 (T)	T	$X_r \cdot H_r^{-1/2}$	1 : 7.07
	圧力の強さ (P)	$F \cdot L^{-2}$	H_r	1 : 50
	粗度係数 (n)	$L^{-1/3} \cdot T$	$H_r^{2/3} \cdot X_r^{-1/2}$	1 : 1.92
	流量係数 (C)	—	1	1 : 1
	掃流力 (τ)	$F \cdot L^{-2}$	H_r	1 : 50
	エネルギー (E)	$F \cdot L$	H_r^4	1 : 6,250,000
	運動量 (m·V)	$F \cdot T$	$H_r^{7/2}$	1 : 883,882

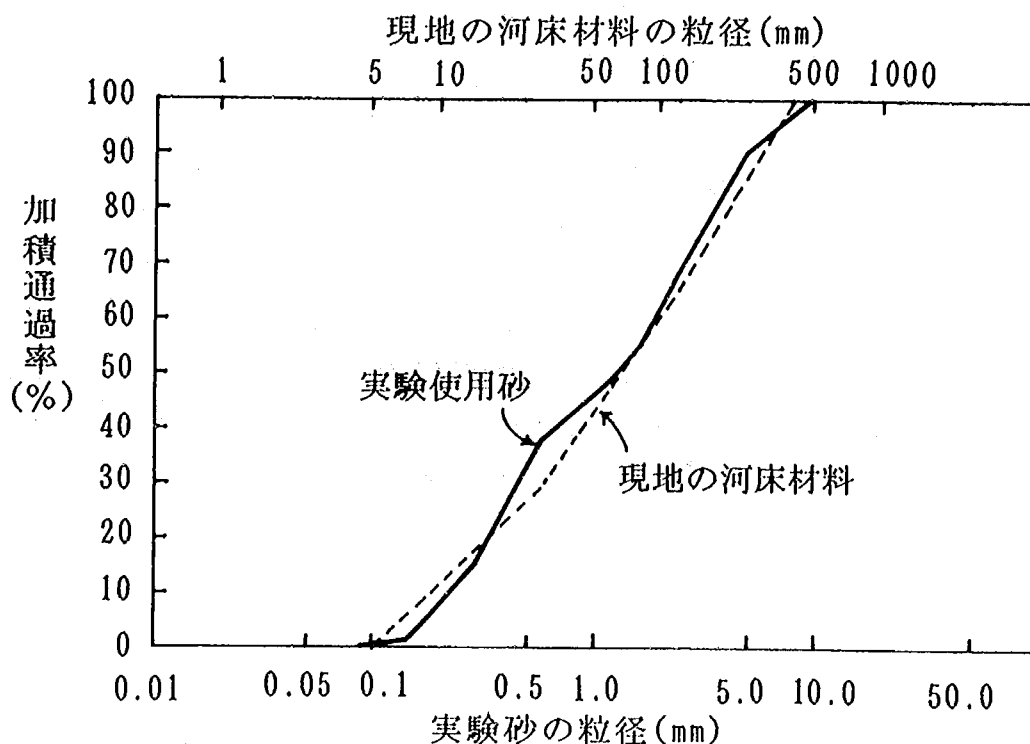


図-3.2 実験に使用した砂の粒度分布

3.1.2 実験に用いた流量ハイドログラフ

今回の実験で対象としている小渋川流域の流出解析結果より得られたハイドログラフと、小渋ダム管理規則で定められている洪水期、非洪水期の区分から、実験で用いる流量ハイドログラフを作成した。また、洪水期にはゲートを閉じておき、非洪水期にはゲートを開けて実験を行った。

① 平成4年度に実施した実験

平成4年度の実験で用いた流量は、フルード相似則に従って、洪水期に相当する100年超過確率の洪水波形を模型時間で約4時間流下させた後、非洪水期に相当する小流量を模型時間で約4時間流下させた。非洪水期の流量については、非洪水期の概略の流量である20 m³/sの定流を流下させた(図-3.3)。

また、芦田・高橋・水山の緩勾配の流砂量式で各流量毎に流量を求め、その量を柵村沢砂防ダムの水通し部分から供給した。ただし、非洪水期の小流量時については無給砂で実験を行った。

② 平成5年度に実施した実験

平成5年度は、過去10年間の流出解析結果⁷⁾(表-3.2)を用いて非洪水期の平均的な流量を求め、流量ハイドログラフを作成して実験に用いた(図-3.4)。このハイドログラフの検討に当たっては、まず、流出解析結果から小渋川における非洪水期の各流量ごとの各年の平均日数を求めた(表-3.3)。次に、平成4年度の実験結果より、流量10m³/s以下については土砂の移動が少なかったので省略した。その結果、図-3.4(A)に示すような模型時間で約40時間のハイドログラフを作成してゲートタイプ5について実験を行ったが、約10時間経過後の土砂流出は少量であることからゲートタイプ5のみ1ケースについて実施し、その他のタイプについては図-3.4(B)の約10時間のハイドログラフを用いて実験を行った。なお、洪水期の土砂の堆積形状は、平成4年度の実験結果を基に同一形状とし

て実験開始前に設定し、非洪水期のみを対象として実験を行った。ただし、確認のためにゲートタイプ5の1ケースのみ洪水期の流量ハイドログラフを流下させて実験を行った。

また、ゲートタイプ9（最終形状(案)）については、非洪水期のハイドログラフをさらに詳細に検討して実験を行った。非洪水期の流量が少ない場合に、洪水期に堆砂した土砂がどの程度排砂できるか調べるために、表-3.2の過去10年間の流出解析結果の各年における非洪水期のデータから最大流量，2番目に大きな流量，3番目に大きな流量を求めて比較した。その結果、表-3.4に示すように、昭和59年の流量がこの10年間では最小であり、その他の年は、昭和59年よりも大きな流量が発生していることが分かった。そこで、図-3.4（C）に示すようなハイドログラフを作成してゲートタイプ9の1ケースについて実験を行った。

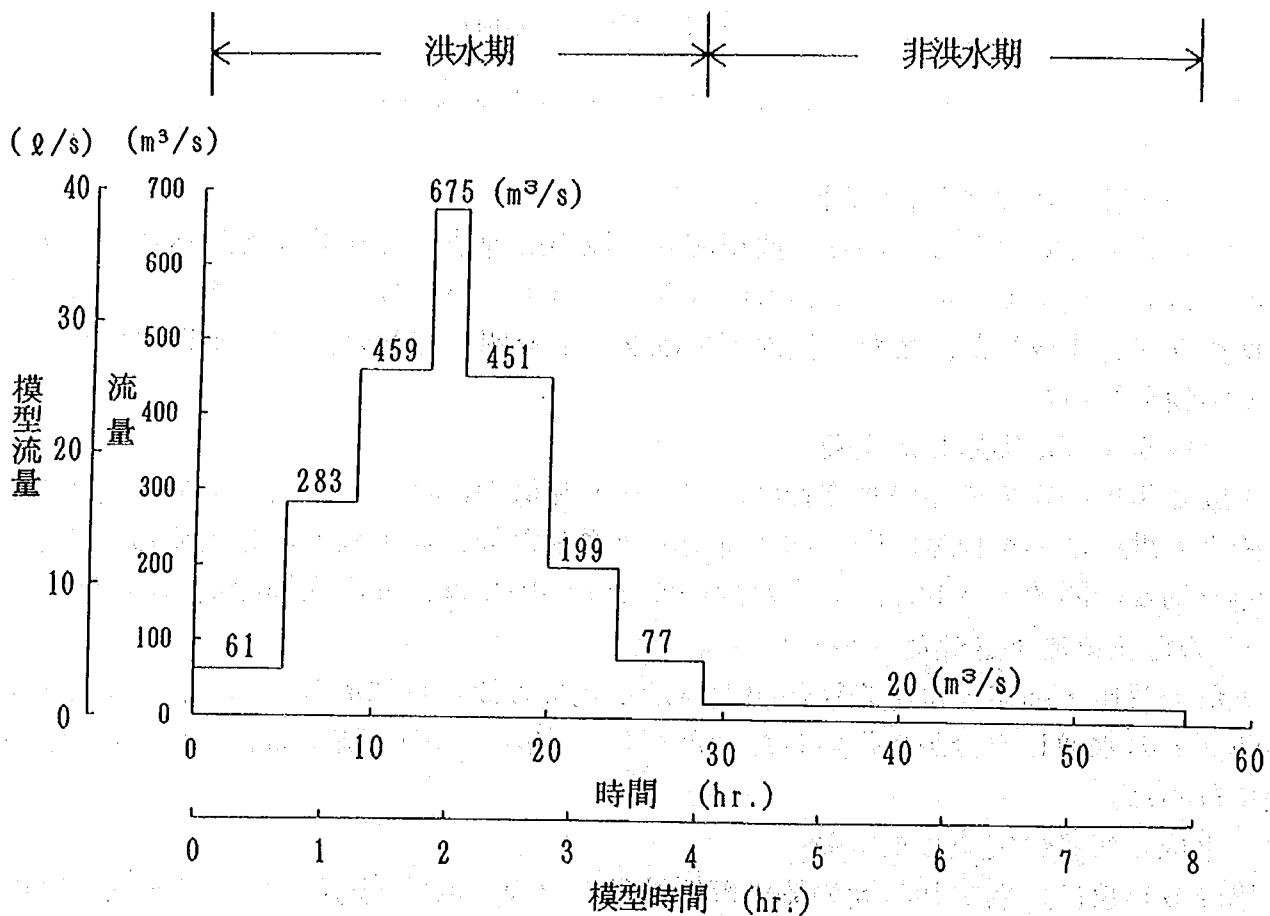


図-3.3 実験に用いた流量ハイドログラフ（平成4年度）
（洪水期及び非洪水期）

表-3.2(1) 上蔵砂防ダム地点における日平均流量（低水流出解析結果による）一覧表

上蔵		S 57											
日	流量 (m ³ /s)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
		流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)
1	2.31	1.17	0.65	2.38	4.72	4.50	2.22	5.57	6.82	8.99	4.78	5.39	5.39
2	2.26	1.14	0.63	2.47	5.44	4.25	2.11	18.30	8.41	8.79	4.66	5.28	5.28
3	2.20	1.11	0.63	7.80	7.75	10.08	2.00	39.54	9.51	10.10	4.54	5.16	5.16
4	2.15	1.09	0.63	8.57	14.35	14.62	1.88	39.50	7.90	9.23	4.53	5.14	5.14
5	2.10	1.06	0.65	5.75	10.13	10.00	1.82	27.78	7.12	8.89	4.57	4.98	4.98
6	2.12	1.04	0.91	4.06	7.30	6.88	1.75	19.94	6.82	8.60	4.81	7.21	7.21
7	2.06	1.01	0.93	3.18	10.19	4.96	1.95	14.77	7.08	8.50	4.83	5.78	5.78
8	2.01	0.99	0.85	3.89	7.36	4.25	2.07	11.68	6.75	8.45	6.60	5.32	5.32
9	1.95	0.97	0.78	3.32	5.53	3.94	9.92	14.83	14.06	8.77	5.32	5.10	5.10
10	1.91	0.94	0.73	3.12	4.80	3.71	8.87	13.05	15.13	8.40	6.18	4.90	4.90
11	1.86	0.92	0.71	2.90	4.54	3.47	5.86	10.17	17.48	8.21	21.80	4.72	4.72
12	1.82	0.90	0.85	2.79	4.33	3.27	6.63	8.29	39.88	7.97	16.58	6.13	6.13
13	1.79	0.87	0.91	2.81	4.14	3.14	4.59	9.09	45.77	7.67	12.32	5.35	5.35
14	1.76	0.85	1.05	2.86	4.18	3.76	3.57	7.93	32.94	7.40	9.45	5.11	5.11
15	1.71	0.83	1.09	3.02	5.33	3.76	5.60	8.29	24.42	7.15	7.53	4.89	4.89
16	1.67	0.81	1.20	4.97	4.62	3.52	3.92	10.34	18.73	6.91	7.39	4.70	4.70
17	1.63	0.79	1.70	4.07	4.33	3.29	6.65	22.31	14.85	6.69	7.44	4.53	4.53
18	1.60	0.77	1.98	3.39	4.11	3.33	4.88	22.56	12.68	6.50	6.62	4.41	4.41
19	1.56	0.76	1.86	3.19	3.91	3.44	3.93	16.85	10.91	6.33	6.12	4.27	4.27
20	1.53	0.75	1.74	2.97	3.90	3.19	7.07	13.40	21.19	6.97	5.86	4.14	4.14
21	1.49	0.80	1.68	2.90	3.94	3.52	4.97	10.63	17.84	6.71	5.63	4.02	4.02
22	1.46	0.79	1.60	3.31	3.70	3.57	4.08	8.78	14.33	6.46	5.44	3.91	3.91
23	1.43	0.76	1.63	3.34	3.50	3.33	3.83	8.33	12.47	6.24	7.41	3.80	3.80
24	1.40	0.74	2.00	3.27	3.35	3.15	3.58	7.93	17.18	6.03	6.35	3.74	3.74
25	1.37	0.71	2.15	3.24	3.21	3.02	6.26	7.57	14.40	5.89	5.87	3.70	3.70
26	1.34	0.70	1.96	3.32	3.08	2.84	9.71	7.54	12.67	5.69	5.62	3.67	3.67
27	1.31	0.68	1.80	3.43	2.94	2.70	9.29	7.43	10.69	5.51	5.40	3.56	3.56
28	1.28	0.66	1.65	3.55	2.80	2.58	6.59	7.67	10.03	5.34	5.21	3.47	3.47
29	1.25	0.64	1.54	3.60	2.67	2.45	4.69	7.40	9.64	5.19	5.04	3.39	3.39
30	1.22	0.62	1.49	3.67	2.56	2.33	4.65	7.09	9.30	5.05	5.13	3.30	3.30
31	1.20	0.60	2.00	2.46	2.46	2.31	6.76	6.76	4.91	4.91	3.22	3.22	3.22

上蔵		S 58											
日	流量 (m ³ /s)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
		流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)
1	3.13	1.57	0.75	1.75	10.33	7.68	8.81	7.98	7.88	30.06	7.11	3.44	3.44
2	3.05	1.54	0.75	3.81	10.63	7.47	6.53	10.94	7.91	22.34	6.89	3.38	3.38
3	2.98	1.51	1.28	2.95	10.03	7.27	7.17	8.72	7.57	17.17	6.68	3.29	3.29
4	2.90	1.47	1.49	3.70	9.29	7.08	6.88	7.91	7.24	13.70	6.51	3.24	3.24
5	2.83	1.43	1.36	3.32	9.22	6.89	7.06	7.51	6.94	13.10	6.36	3.16	3.16
6	2.77	1.39	1.24	3.67	9.59	6.72	11.88	7.15	6.66	10.93	6.33	3.08	3.08
7	2.74	1.36	1.15	3.92	23.96	6.71	9.17	6.82	6.43	9.59	6.22	3.00	3.00
8	2.69	1.33	1.06	4.73	21.22	6.49	7.50	6.93	6.46	9.23	6.04	2.93	2.93
9	2.62	1.29	0.99	5.49	17.08	6.81	7.49	6.63	6.24	20.66	5.87	2.86	2.86
10	2.72	1.26	0.94	5.92	14.11	6.54	6.89	6.71	6.01	18.63	5.70	2.79	2.79
11	2.63	1.23	0.88	6.44	12.40	6.30	6.96	6.44	5.84	18.66	5.56	2.85	2.85
12	2.55	1.20	0.88	9.80	11.60	6.08	6.74	6.35	5.79	14.93	5.41	2.79	2.79
13	2.47	1.17	0.94	8.98	11.87	7.62	6.41	6.04	5.97	12.28	5.27	2.71	2.71
14	2.40	1.14	0.93	8.62	10.72	6.83	6.08	5.80	5.72	10.60	5.15	2.62	2.62
15	2.33	1.11	0.87	11.09	9.11	6.49	6.19	5.60	5.50	9.73	5.02	2.56	2.56
16	2.28	1.08	0.83	14.68	18.47	8.53	18.02	13.16	8.35	12.36	4.89	2.49	2.49
17	2.22	1.05	0.83	24.67	42.17	7.44	18.68	38.09	5.99	10.55	4.78	2.42	2.42
18	2.18	1.03	0.80	21.94	30.55	6.70	26.30	34.74	5.69	9.48	4.68	2.36	2.36
19	2.12	1.00	0.76	17.02	22.75	6.66	19.02	24.93	5.43	9.12	4.56	2.31	2.31
20	2.07	0.97	0.74	26.55	17.58	6.42	14.40	18.35	5.40	9.31	4.44	2.25	2.25
21	2.02	0.95	0.91	20.07	14.14	33.56	16.34	19.45	5.99	9.13	4.34	2.20	2.20
22	1.97	0.92	1.05	16.57	11.85	24.10	17.14	19.03	8.55	8.81	4.23	2.15	2.15
23	1.93	0.90	1.38	16.70	10.35	17.84	17.60	15.20	6.84	8.50	4.13	2.10	2.10
24	1.88	0.88	2.76	13.29	9.97	13.79	14.07	12.74	6.71	8.20	4.02	2.05	2.05
25	1.84	0.85	2.53	11.29	9.61	11.48	13.69	10.34	6.03	7.93	4.01	2.00	2.00
26	1.79	0.83	1.90	10.23	9.24	9.36	10.88	9.07	6.13	7.68	3.96	1.96	1.96
27	1.75	0.81	1.85	9.61	8.91	8.07	8.95	8.64	8.74	7.59	3.84	1.91	1.91
28	1.71	0.79	1.70	9.13	8.62	7.72	11.41	8.25	28.76	8.07	3.73	1.87	1.87
29	1.67	0.77	1.73	11.89	8.32	7.42	9.16	7.88	55.37	7.88	3.63	1.83	1.83
30	1.65	0.75	1.71	12.18	8.10	7.12	8.33	7.57	39.19	7.64	3.53	1.79	1.79
31	1.62	0.73	1.66	7.89	7.89	7.92	7.33	7.33	7.33	7.33	1.74	1.74	1.74

上 蔵		S 59											
日	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
	流量 (m3/s)	流量 (m3/s)	流量 (m3/s)	流量 (m3/s)	流量 (m3/s)	流量 (m3/s)	流量 (m3/s)	流量 (m3/s)	流量 (m3/s)	流量 (m3/s)	流量 (m3/s)	流量 (m3/s)	
1	1.70	0.85	0.57	0.54	1.40	1.31	7.63	3.78	5.79	3.77	2.50	2.73	
2	1.66	0.83	0.57	0.53	1.31	1.19	5.86	3.60	5.49	3.65	2.43	2.65	
3	1.63	0.81	0.57	0.53	1.19	1.18	5.47	3.75	5.23	3.72	2.37	2.57	
4	1.59	0.79	0.57	0.53	1.18	1.13	5.13	3.59	5.00	4.28	2.30	2.50	
5	1.55	0.77	0.57	0.53	1.13	1.15	4.83	4.27	4.82	4.05	2.24	2.43	
6	1.52	0.75	0.57	0.53	1.13	1.20	5.19	4.01	4.66	3.85	2.18	2.40	
7	1.48	0.74	0.57	0.52	1.20	1.35	4.90	4.41	4.51	3.66	2.12	2.33	
8	1.45	0.72	0.57	0.52	1.35	1.65	5.82	15.65	4.38	3.50	2.06	2.27	
9	1.42	0.70	0.57	0.52	1.65	1.95	8.05	12.77	4.59	3.36	2.01	2.21	
10	1.38	0.68	0.57	0.52	1.95	1.93	5.91	17.95	4.83	3.24	1.95	2.16	
11	1.35	0.67	0.56	0.51	1.93	1.98	5.29	12.61	4.56	3.14	2.71	2.11	
12	1.32	0.65	0.56	0.51	1.98	2.83	4.96	9.01	4.36	3.05	3.76	2.22	
13	1.29	0.64	0.56	0.51	2.83	5.07	4.68	6.66	4.16	2.96	2.97	2.37	
14	1.26	0.62	0.56	0.50	5.07	4.97	4.45	5.54	5.78	2.86	2.78	2.39	
15	1.23	0.61	0.56	0.50	4.97	4.57	4.26	5.17	4.98	2.77	2.64	2.48	
16	1.20	0.60	0.56	0.50	4.57	12.23	4.10	4.85	11.91	2.68	11.02	2.36	
17	1.17	0.59	0.56	0.50	12.23	10.92	4.02	4.56	8.77	3.15	7.70	2.25	
18	1.15	0.58	0.56	0.58	10.92	10.81	4.09	4.34	6.68	3.15	5.62	2.26	
19	1.12	0.58	0.56	0.85	10.81	11.71	3.88	4.16	6.70	3.03	4.15	2.20	
20	1.10	0.58	0.56	1.08	11.71	11.45	3.73	4.01	7.21	4.94	5.48	2.12	
21	1.08	0.58	0.55	1.01	11.45	9.60	4.53	3.86	5.68	5.79	4.08	2.04	
22	1.05	0.58	0.55	0.94	9.60	8.62	9.14	17.77	5.50	4.21	3.68	1.98	
23	1.03	0.58	0.55	0.91	8.62	7.96	6.86	21.93	5.44	3.66	3.48	1.93	
24	1.01	0.58	0.55	0.86	7.96	7.96	4.96	15.43	5.12	3.45	3.35	1.86	
25	0.99	0.58	0.55	0.82	7.96	7.90	4.55	11.08	4.84	3.30	3.48	1.81	
26	0.97	0.58	0.55	0.84	7.90	8.28	4.26	8.13	4.60	3.16	3.31	1.76	
27	0.95	0.58	0.55	0.98	8.28	8.46	4.81	6.37	4.38	3.03	3.16	1.71	
28	0.93	0.58	0.55	1.13	8.46	7.55	4.66	12.62	4.19	2.91	3.04	1.67	
29	0.91	0.57	0.54	1.24	7.55	6.16	4.49	9.34	4.03	2.78	2.92	1.63	
30	0.89	0.54	0.54	1.36	6.16	4.94	4.15	7.23	3.89	2.66	2.82	1.59	
31	0.87	0.54			4.94		3.88	6.13		2.57		1.55	

表-3.2(2) 上蔵砂防ダム地点における日平均流量 (低水流解析結果による) 一覧表

上蔵		S 61											
日	流量 (m ³ /s)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	4.97	1.48	0.90	3.97	7.35	5.44	8.48	4.29	11.18	4.48	3.39	2.23	
2	3.60	1.48	0.87	2.98	7.10	5.08	6.24	4.68	8.62	5.13	3.46	2.15	
3	3.22	1.42	0.84	2.79	8.61	4.82	6.41	4.55	12.49	4.87	3.33	2.08	
4	3.05	1.38	0.80	3.70	10.83	4.55	5.05	5.30	9.79	4.64	3.68	2.10	
5	2.90	1.34	0.77	6.73	8.08	4.38	4.77	24.48	7.71	4.44	3.50	2.04	
6	2.77	1.31	0.74	5.06	6.50	4.24	6.37	17.09	6.84	4.27	3.33	2.00	
7	2.65	1.27	0.71	3.51	8.83	4.12	5.09	12.23	6.49	4.12	3.19	1.95	
8	2.77	1.24	0.70	2.99	6.89	4.24	4.79	8.98	6.20	4.80	3.06	1.89	
9	2.64	1.20	0.74	2.78	5.73	3.98	4.54	6.73	5.93	4.58	2.96	1.98	
10	2.54	1.17	1.13	5.42	5.46	3.80	5.34	5.93	5.72	4.37	3.66	1.91	
11	2.45	1.14	2.74	8.18	5.25	3.63	6.83	5.56	5.51	4.33	3.47	1.88	
12	2.36	1.11	2.20	7.20	6.33	3.48	10.65	5.25	5.34	4.39	3.30	1.88	
13	2.32	1.07	1.83	5.01	5.55	3.33	16.43	4.97	5.49	4.43	3.15	1.82	
14	2.25	1.05	1.81	3.85	5.33	3.19	13.59	4.76	5.32	4.23	3.14	1.82	
15	2.18	1.01	1.81	3.77	10.20	3.06	12.79	4.59	5.13	4.04	3.03	3.62	
16	2.14	1.26	1.96	5.66	7.87	2.94	18.14	4.41	5.21	3.86	2.91	2.74	
17	2.10	1.19	2.04	4.40	6.54	3.14	14.51	19.65	5.04	3.71	2.81	2.56	
18	2.04	1.13	1.86	3.96	5.61	16.48	11.48	23.52	8.85	3.57	2.71	2.41	
19	1.99	1.26	1.73	5.68	5.39	11.23	8.60	18.61	6.96	3.44	2.62	2.60	
20	1.93	1.30	1.77	5.79	11.90	8.51	8.87	13.37	7.24	3.34	2.54	2.74	
21	1.88	1.22	1.67	5.38	12.21	7.08	6.53	9.93	7.72	3.24	2.46	2.58	
22	1.83	1.15	1.58	5.30	9.26	5.90	6.54	8.04	10.29	4.61	2.39	2.48	
23	1.82	1.10	1.66	6.63	7.16	4.76	6.52	7.89	7.82	4.05	2.33	2.36	
24	1.76	1.05	1.55	6.47	6.02	5.38	6.11	6.63	6.13	3.82	2.27	2.25	
25	1.73	1.01	1.48	6.06	5.73	4.62	5.77	6.24	5.76	3.65	2.91	2.23	
26	1.69	0.97	1.42	6.15	5.51	5.22	5.47	5.89	5.46	3.49	2.76	2.14	
27	1.65	0.94	1.39	6.62	5.25	4.56	5.20	5.59	5.20	3.88	2.62	2.08	
28	1.60	0.95	1.60	9.91	5.04	4.20	5.00	6.03	4.96	3.70	2.50	2.01	
29	1.57	1.65	13.68	4.92	4.66	4.81	5.70	4.74	3.52	2.40	1.97		
30	1.53	1.87	9.92	6.59	11.85	4.82	18.71	4.57	3.71	2.31	1.90		
31	1.50	4.49		5.93		4.45	13.54		3.52		1.88		

上蔵		S 62											
日	流量 (m ³ /s)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	2.08	1.24	1.42	4.92	4.72	5.79	4.54	3.07	2.63	7.10	6.07	3.63	
2	1.99	1.19	1.36	4.39	4.73	5.53	4.22	2.93	2.39	4.99	4.74	3.52	
3	2.09	1.16	1.32	4.31	4.74	5.34	4.42	2.79	2.20	3.70	5.80	3.38	
4	2.10	1.13	1.28	4.21	4.80	5.48	5.88	2.65	2.36	3.45	10.92	3.26	
5	2.01	1.10	1.50	4.07	4.50	5.18	5.99	2.69	2.29	3.24	9.58	3.14	
6	1.93	1.07	1.68	4.12	4.27	4.94	4.69	3.54	2.10	3.07	7.47	3.12	
7	1.85	1.05	1.57	4.61	4.08	4.75	4.78	3.22	1.93	3.09	5.80	3.02	
8	1.79	1.07	1.47	8.50	3.90	4.56	4.42	2.94	1.81	2.92	5.22	2.92	
9	1.80	1.06	1.44	7.36	3.82	9.30	4.11	2.75	1.72	2.77	4.79	2.84	
10	1.80	1.10	1.37	7.75	3.69	15.67	3.94	2.54	1.96	2.63	4.56	2.85	
11	1.73	1.26	1.35	7.47	3.36	11.25	3.69	2.42	2.01	2.53	4.37	2.76	
12	1.67	1.91	1.30	5.79	3.43	8.26	3.52	2.28	1.85	2.87	4.21	2.69	
13	1.62	5.03	1.42	4.81	3.35	6.27	3.38	2.19	1.95	2.82	4.61	2.75	
14	1.57	3.27	1.45	4.64	10.79	5.73	3.29	2.07	1.78	2.68	4.40	2.66	
15	1.52	2.42	2.21	4.42	17.05	5.52	3.77	1.96	1.63	2.59	4.28	2.58	
16	1.48	2.21	2.16	4.42	12.20	5.70	3.82	1.86	1.54	2.52	4.11	2.51	
17	1.44	2.06	2.11	4.29	9.08	5.35	5.04	1.75	1.52	6.17	3.95	2.43	
18	1.43	1.94	2.03	4.22	14.08	5.23	5.50	1.84	1.43	5.52	3.81	2.36	
19	1.41	1.85	2.06	4.28	10.21	4.93	4.98	2.18	2.11	3.97	4.17	2.29	
20	1.37	1.75	6.79	4.43	7.75	4.98	15.02	1.93	1.90	3.86	3.98	2.23	
21	1.33	1.69	6.12	4.48	6.10	4.86	10.82	1.73	1.72	3.49	3.82	2.28	
22	1.30	1.64	5.89	7.20	5.50	5.12	7.61	1.61	1.57	3.28	3.67	2.21	
23	1.26	1.70	8.94	6.75	16.10	4.80	5.53	6.77	1.45	3.10	3.54	2.19	
24	1.74	1.63	12.60	6.48	25.23	4.51	4.72	4.76	1.37	3.05	3.53	2.15	
25	1.66	1.69	13.57	5.59	18.24	4.26	4.38	3.76	1.37	9.56	3.41	2.19	
26	1.57	1.62	9.84	6.37	13.40	4.09	4.09	3.01	12.40	6.93	3.29	2.29	
27	1.49	1.55	7.02	9.37	10.30	3.91	3.84	2.70	9.99	6.57	3.19	2.35	
28	1.44	1.48	5.11	6.94	8.18	3.75	3.67	2.45	6.78	4.93	4.63	2.38	
29	1.38		4.91	5.33	6.84	6.17	3.51	2.25	4.61	4.06	4.02	2.36	
30	1.32		4.28	4.94	6.46	5.23	3.35	2.03	3.39	3.87	3.81	2.25	
31	1.29		6.18		6.11		3.20	1.91		8.08		2.16	

上 蔵		S 63											
日	1月 (m ³ /s)	2月 (m ³ /s)	3月 (m ³ /s)	4月 (m ³ /s)	5月 (m ³ /s)	6月 (m ³ /s)	7月 (m ³ /s)	8月 (m ³ /s)	9月 (m ³ /s)	10月 (m ³ /s)	11月 (m ³ /s)	12月 (m ³ /s)	
1	2.07	1.30	0.71	2.57	5.87	3.62	11.81	4.54	3.58	12.08	4.51	2.68	
2	1.99	1.26	0.84	2.85	6.36	3.49	8.52	4.22	3.46	9.65	4.39	2.61	
3	1.92	1.22	0.79	2.66	4.65	16.95	6.40	3.97	3.34	7.96	4.28	2.54	
4	1.86	1.18	0.72	2.58	4.10	21.57	5.62	5.31	3.22	7.41	4.16	2.48	
5	1.81	1.15	0.67	2.51	5.43	14.95	5.24	4.51	3.54	7.12	4.98	2.50	
6	1.76	1.12	0.63	2.81	4.23	10.52	4.90	4.17	8.35	14.46	4.74	2.42	
7	1.71	1.11	0.67	2.74	4.00	7.55	4.63	3.92	8.20	17.83	4.53	2.35	
8	1.67	1.07	0.61	2.55	7.29	5.76	4.41	4.12	5.84	13.62	4.35	2.28	
9	1.77	1.04	0.57	2.42	5.37	11.49	4.23	3.95	4.44	11.34	4.19	2.22	
10	1.70	1.01	0.54	2.49	4.40	8.29	4.07	3.71	4.21	9.18	4.03	2.16	
11	1.64	0.98	0.52	2.56	4.23	6.27	4.18	3.79	5.77	7.88	3.90	2.10	
12	1.59	0.95	1.36	2.78	6.76	5.71	4.27	12.60	17.74	7.53	3.76	2.05	
13	1.54	0.93	1.31	7.98	6.55	5.43	4.13	10.84	12.45	7.31	3.64	2.00	
14	1.52	0.90	1.39	7.80	4.93	5.07	3.94	7.76	8.95	7.02	3.54	1.95	
15	1.51	0.87	4.60	5.69	4.54	4.76	4.37	5.68	6.52	6.76	3.45	1.95	
16	1.58	0.85	3.12	4.16	5.57	4.55	5.33	6.72	5.21	6.53	3.36	1.89	
17	1.56	0.82	2.02	3.69	4.61	4.56	8.94	7.30	4.91	6.32	3.45	1.84	
18	1.50	0.80	1.84	3.61	6.63	4.32	6.93	6.07	4.63	6.59	3.93	1.79	
19	1.44	0.77	1.85	3.49	5.04	4.16	5.02	5.18	4.39	6.46	3.79	1.74	
20	1.38	0.75	2.00	3.62	4.61	4.00	4.71	5.05	4.21	6.22	3.63	1.73	
21	1.67	0.72	2.08	3.81	4.50	4.01	4.76	5.16	4.76	6.01	3.49	1.72	
22	1.58	0.71	2.10	4.63	4.37	4.39	4.45	4.77	4.64	5.80	3.40	1.67	
23	2.00	0.70	2.08	3.87	6.33	4.11	4.19	4.47	4.45	5.61	3.28	1.62	
24	1.88	0.68	1.98	3.69	6.63	4.03	4.34	4.33	4.75	5.44	3.36	1.57	
25	1.76	0.68	1.99	3.50	5.23	8.97	4.35	4.97	22.02	5.37	3.29	1.57	
26	1.67	0.75	2.30	3.77	4.66	6.55	4.16	5.41	37.65	5.49	3.16	1.52	
27	1.58	0.84	2.38	3.52	4.42	4.91	3.90	4.78	26.60	5.29	3.05	1.47	
28	1.51	0.78	2.18	3.55	4.37	11.51	4.02	4.44	22.64	5.11	2.95	1.43	
29	1.44	0.73	2.46	4.26	4.24	11.76	10.24	4.16	16.62	4.94	2.85	1.40	
30	1.38		2.38	5.68	4.03	13.50	7.11	3.93	14.79	4.77	2.76	1.36	
31	1.35		2.55		3.80		5.02	3.72		4.63		1.33	

表-3.2(3) 上蔵砂防ダム地点における日平均流量(低水流出解析結果による) 一覧表

上蔵		H 2											
日	流量 (m ³ /s)	1月 (m ³ /s)	2月 (m ³ /s)	3月 (m ³ /s)	4月 (m ³ /s)	5月 (m ³ /s)	6月 (m ³ /s)	7月 (m ³ /s)	8月 (m ³ /s)	9月 (m ³ /s)	10月 (m ³ /s)	11月 (m ³ /s)	12月 (m ³ /s)
1	2.19	1.17	4.39	6.57	3.63	1.78	0.10	0.75	2.20	15.22	4.56	8.78	
2	2.14	1.14	4.57	6.10	2.98	1.76	0.10	0.59	2.12	9.65	3.72	4.25	
3	2.08	1.11	4.13	5.35	2.81	1.84	0.10	1.48	2.27	4.67	3.18	1.69	
4	2.03	1.19	5.71	6.41	2.26	1.75	0.10	1.16	2.60	2.99	2.67	1.48	
5	1.97	1.18	4.82	9.10	13.62	1.53	0.10	0.20	1.91	2.86	2.96	1.68	
6	1.93	1.15	3.92	6.78	12.28	1.41	0.19	0.39	0.86	2.25	2.68	1.76	
7	1.88	1.18	3.79	5.27	6.82	1.30	0.17	0.74	0.75	2.11	2.99	1.83	
8	1.83	1.20	3.57	12.18	9.00	1.23	0.11	0.56	0.70	10.35	2.59	1.84	
9	1.78	1.20	3.38	9.09	7.33	0.50	0.11	1.93	0.71	11.36	2.51	2.30	
10	1.80	1.18	3.63	8.27	4.26	2.90	0.10	20.29	0.68	6.05	6.16	1.75	
11	2.03	1.34	3.59	7.14	2.46	2.46	0.30	17.95	0.61	4.03	4.56	1.80	
12	1.99	1.79	8.04	6.36	1.96	0.76	0.12	12.15	0.42	2.79	3.59	2.19	
13	1.92	1.69	6.38	6.75	1.99	0.95	0.16	11.27	0.17	2.83	3.22	2.19	
14	1.84	1.62	4.70	7.28	1.89	0.91	0.43	7.16	0.51	3.49	3.10	2.13	
15	1.77	1.54	4.67	6.85	3.07	0.61	1.65	4.72	1.92	3.14	2.82	2.04	
16	1.71	1.63	4.20	6.17	2.48	5.82	5.23	2.29	3.05	3.09	2.76	2.03	
17	1.66	1.53	4.02	5.54	2.50	7.62	3.58	1.22	4.39	2.99	2.65	1.90	
18	1.61	1.46	3.93	5.32	2.47	5.33	1.48	1.95	6.00	2.92	2.57	1.71	
19	1.57	1.46	3.70	5.08	1.77	3.52	0.78	1.17	4.67	2.81	2.46	1.67	
20	1.54	2.28	3.79	5.04	2.30	2.39	0.66	1.11	20.02	2.76	2.45	0.66	
21	1.49	2.51	4.00	5.19	2.07	1.30	0.58	2.42	13.37	2.69	2.69	1.49	
22	1.45	2.40	3.98	5.22	2.07	1.43	0.50	3.15	9.22	2.68	2.59	1.53	
23	1.42	2.49	4.12	7.16	2.02	1.48	0.44	3.24	4.69	2.60	2.60	1.71	
24	1.38	11.70	6.07	7.41	2.06	1.55	0.35	3.16	1.96	2.69	2.51	1.71	
25	1.35	9.74	6.28	6.00	1.99	1.62	0.13	3.35	1.54	2.64	2.43	1.63	
26	1.32	9.17	4.99	5.62	1.96	1.18	0.13	3.18	1.70	3.11	2.14	1.54	
27	1.29	7.29	4.30	5.53	1.95	0.13	0.10	3.19	9.57	3.30	2.12	1.55	
28	1.25	5.64	4.42	5.67	1.89	0.10	0.51	3.08	4.81	3.18	2.30	1.47	
29	1.24		8.46	10.61	1.82	0.10	0.10	2.94	3.01	3.15	2.42	1.38	
30	1.20		6.37	8.28	1.81	0.10	0.10	2.80	4.56	4.14	2.83	1.37	
31	1.21		5.95		1.81		0.69	2.48		6.36		1.33	

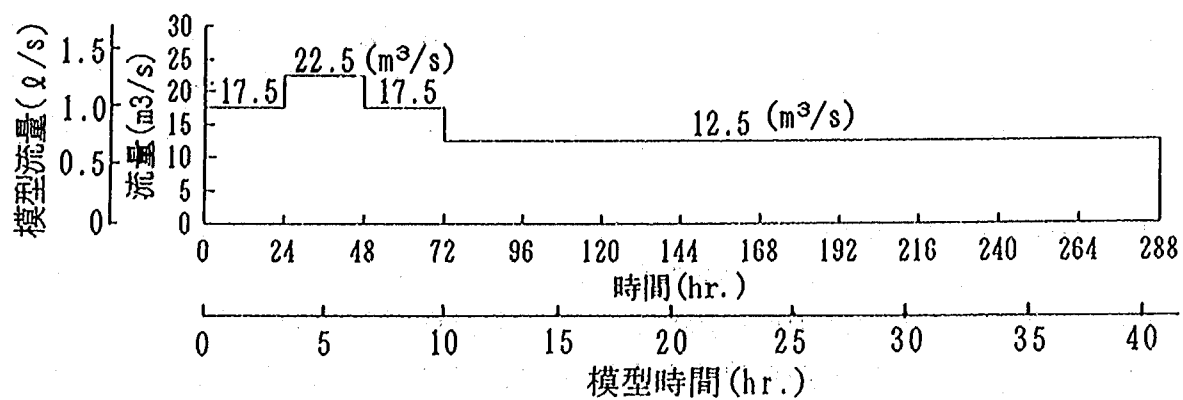
上蔵		H 3											
日	流量 (m ³ /s)	1月 (m ³ /s)	2月 (m ³ /s)	3月 (m ³ /s)	4月 (m ³ /s)	5月 (m ³ /s)	6月 (m ³ /s)	7月 (m ³ /s)	8月 (m ³ /s)	9月 (m ³ /s)	10月 (m ³ /s)	11月 (m ³ /s)	12月 (m ³ /s)
1	1.18	0.54	0.10	3.08	1.47	0.58	4.07	1.47	22.67	12.46	5.25	9.15	
2	1.18	0.51	0.56	1.48	1.59	0.10	7.32	1.35	14.41	16.31	5.26	6.63	
3	1.27	0.49	0.62	0.93	1.57	1.43	4.01	1.37	8.90	10.15	5.14	4.99	
4	1.41	0.46	0.61	0.97	1.63	3.69	1.46	1.37	5.71	7.15	5.00	3.92	
5	1.38	0.46	0.67	1.12	1.52	3.93	8.44	1.44	3.09	5.40	4.74	3.84	
6	1.33	0.43	1.01	1.20	1.51	2.77	9.19	1.47	2.02	8.84	6.08	3.76	
7	1.29	0.42	1.31	8.42	1.44	0.51	4.34	1.61	2.02	11.92	6.53	3.61	
8	1.21	0.40	1.17	8.46	1.42	0.10	3.78	1.58	1.89	14.47	5.41	3.57	
9	1.17	0.39	7.22	7.07	0.53	0.10	1.91	1.58	2.20	10.03	4.83	3.51	
10	1.12	0.33	4.31	5.41	0.61	0.10	1.43	1.52	2.20	9.43	4.84	3.49	
11	1.10	0.21	3.09	3.62	0.93	0.10	1.13	1.49	2.15	7.59	4.70	2.44	
12	1.04	0.25	1.04	1.71	0.95	0.10	2.17	1.39	2.15	10.32	4.56	2.76	
13	1.02	0.28	1.05	0.98	1.21	0.10	4.54	1.37	1.80	12.23	4.37	3.09	
14	0.98	0.26	1.46	2.77	1.23	12.03	2.13	1.32	13.64	8.02	4.24	3.07	
15	0.97	0.52	1.32	1.40	1.20	5.85	1.54	1.36	22.72	5.81	4.10	2.98	
16	0.93	2.85	1.33	0.88	2.30	6.84	5.96	1.19	14.67	4.65	4.00	2.95	
17	0.90	1.88	1.31	0.89	1.10	3.59	8.71	1.11	8.53	4.52	3.87	2.84	
18	0.85	1.32	1.29	2.68	1.09	1.27	10.59	1.03	5.86	12.68	3.78	2.53	
19	0.84	1.22	1.57	8.45	1.03	0.17	9.62	0.92	19.67	9.14	3.64	2.81	
20	0.79	1.13	1.36	3.68	1.01	0.93	5.69	0.18	25.76	7.09	3.81	2.79	
21	0.76	1.04	1.11	1.61	0.89	1.35	3.28	0.62	16.21	5.79	3.72	2.75	
22	0.55	0.96	0.44	1.19	0.73	0.36	2.11	0.90	11.04	5.78	3.57	2.63	
23	0.65	0.90	2.67	1.10	0.69	3.57	1.69	0.91	7.75	5.10	3.43	2.61	
24	0.68	0.84	1.61	1.13	0.56	11.41	1.38	3.38	5.49	4.68	3.21	2.77	
25	0.64	0.80	1.89	3.43	0.52	16.93	1.11	1.75	5.97	6.76	3.43	3.03	
26	0.63	0.74	2.97	2.00	0.40	10.08	1.03	1.52	4.60	6.41	3.32	2.21	
27	0.64	0.68	4.28	1.64	0.16	4.91	1.61	1.32	4.05	7.81	3.10	2.60	
28	0.61	0.66	4.55	1.52	0.29	3.47	3.68	1.15	9.42	8.24	9.72	1.23	
29	0.61		4.60	1.52	0.37	2.27	1.71	1.77	6.27	6.38	21.25	1.86	
30	0.58		1.51	2.14	0.33	6.66	2.56	1.20	4.94	5.26	13.12	2.18	
31	0.56		6.90		0.28		1.61	37.42		5.12		2.15	

表-3.3 各流量の平均日数と実験に用いた時間

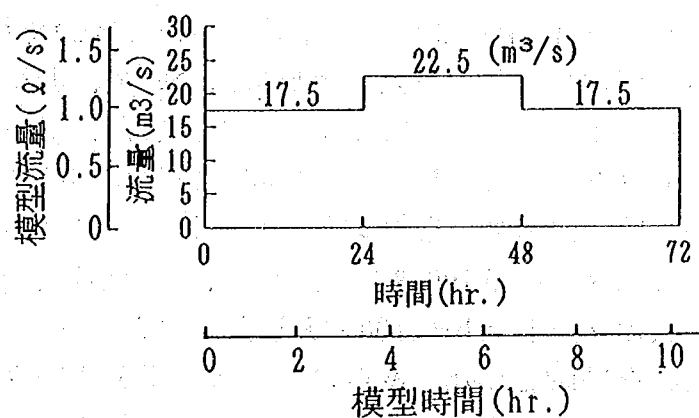
流 量	日 数	平均流量	模型上の時間
25~20 m ³ /s	1	22.5 m ³ /s	3.3 時間
20~15 m ³ /s	2	17.5 m ³ /s	6.6 時間
15~10 m ³ /s	9	12.5 m ³ /s	30.5 時間
10~ 5 m ³ /s	47	7.5 m ³ /s	159.5 時間

表-3.4 各年における非洪水期の最大流量

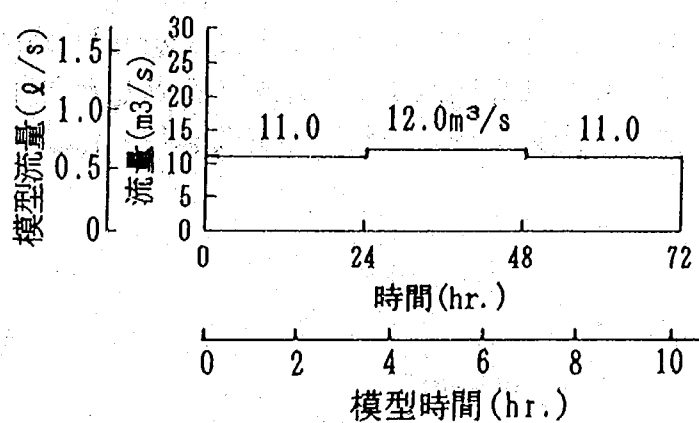
年	非洪水期の流量 (m ³ /s)		
	最大流量	2 番目	3 番目
S 57	21.8	16.6	14.4
S 58	42.1	30.6	26.6
S 59	12.2	11.7	11.5
S 60	23.0	22.4	19.2
S 61	13.6	12.2	11.9
S 62	25.2	18.2	17.1
S 63	21.5	17.8	17.0
H 1	19.2	19.3	17.9
H 2	13.6	12.3	12.2
H 3	21.2	13.1	12.2



(A) ゲートタイプ 5 に用いた流量ハイドログラフ (非洪水期)



(B) ゲートタイプ 3, 4, 6, 7, 8, 9 に用いた流量ハイドログラフ (非洪水期)



(C) ゲートタイプ 9 に用いた流量ハイドログラフ (非洪水期)

図-3.4 実験に用いた流量ハイドログラフ (平成5年度)

3.1.3 実験で検討したゲート形状

ゲートの形状については、図-3.5に示すような9つのタイプについて検討した。計画当初、ゲートを越流部（水通し部分）に設置することも考えられていたため、タイプ1のような形状についても実験した。その他のタイプは、非越流部にゲートを設けた場合について様々な形状を設定して実験を行った。また、タイプ4については比較のために通常の、ゲートがないタイプの砂防ダムとした。

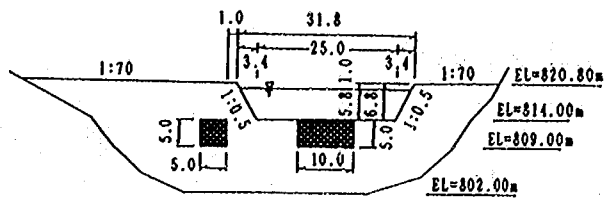
①平成4年度に実施した実験

平成4年度には図-3.5（A）のタイプ1，2について検討した。これらのゲート形状は、直下流の上蔵砂防ダムの計画堆砂線によりゲートが埋没しないようにゲート敷高を設定し、設置可能な最大ゲート規模から決定した。また、タイプ1については、ゲートを越流部に設置した場合、タイプ2についてはゲートを非越流部に設置した形状とした。なお、水通し幅は100年超過確率流量が流下し得る断面とした。

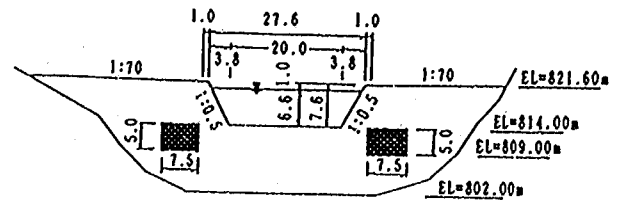
②平成5年度に実施した実験

平成5年度については、検討の結果、ゲートは非越流部に設置する方が良いということになったため、図-3.5（B）に示す6つのタイプについて実験を行った。はじめに、平成4年度で検討した非越流部にゲートを設置した形状について、非洪水期の流量を変えて排砂状況を確認するためにタイプ3として実験を行った。また、ゲート付砂防ダムとの比較のために通常の砂防ダム（タイプ4）についても同じ条件で実験を行った。

タイプ5，6については、河床変動計算シミュレーションによる排砂効果も考慮し、形状を決定した。まず、計画ダムには100m²を越えるゲートは構造、費用の点で好ましくないと考えられるため、最大のゲート面積は100m²とした。また、ゲートの流木等による閉塞を考慮して最小ゲート面積を25m²とした。さらに、下流の上蔵砂防ダムの堆砂線の影響を考慮すると、設置可能な最大ゲート敷高が6mであることから5m，4m，3mと1mずつ変化させて検討した。これらのゲート形状を用いてシミュレーション計算を行った結果、高さ3m×幅8.5mの形状が最良で、ついで高さ4m×幅6.5mが良いという結果となったため、これらをタイプ5，6として水理模型実験で検討した。また、高さ6m×幅4mの形状をタイプ7として検討し、さらに、タイプ3と高さが同じ5mで幅を3mとした場合のタイプ8、最後にタイプ6と同じ高さ4mで幅を3mとしたタイプ9について検討した。タイプ9については、流量を変えて確認のための実験を行った。

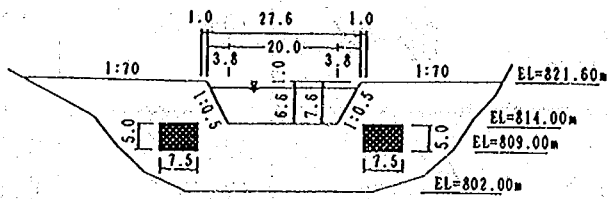


タイプ 1

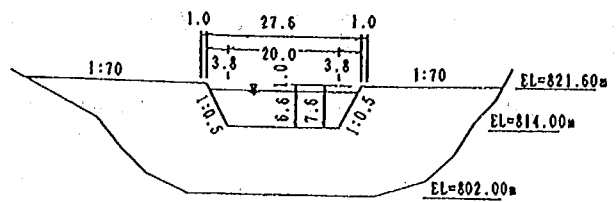


タイプ 2

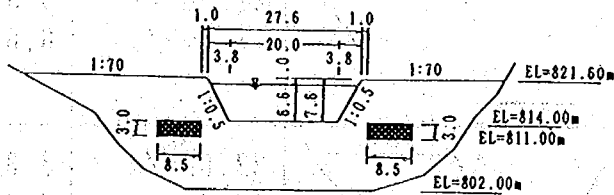
(A) 平成4年度に検討したゲート形状



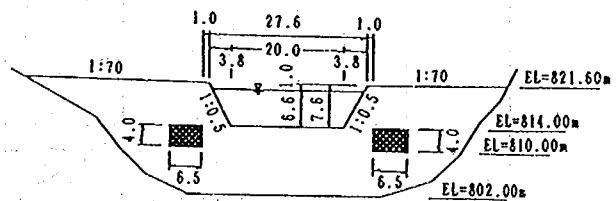
タイプ 3 (タイプ 2 と同じ)



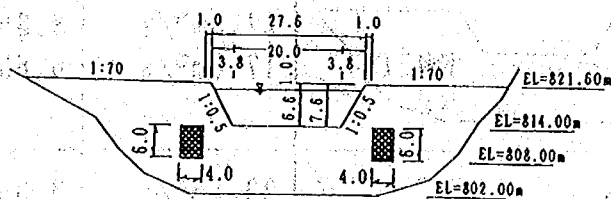
タイプ 4



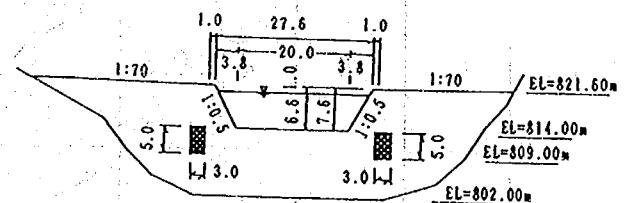
タイプ 5



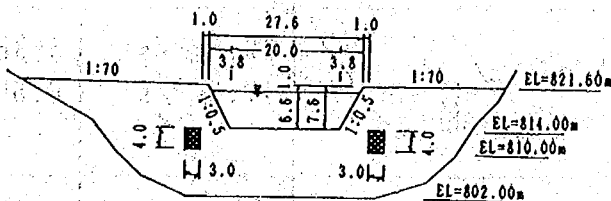
タイプ 6



タイプ 7



タイプ 8



タイプ 9

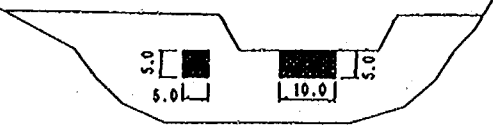
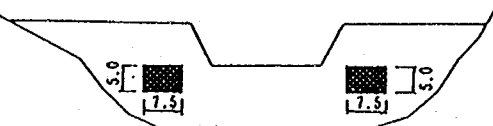
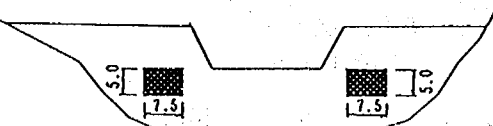
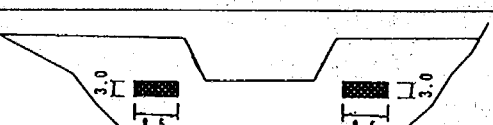
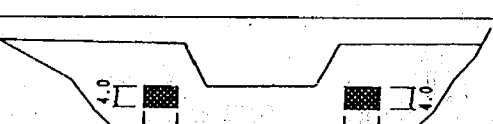
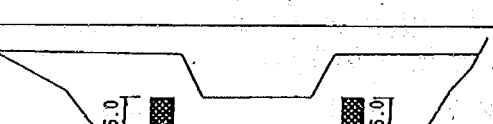
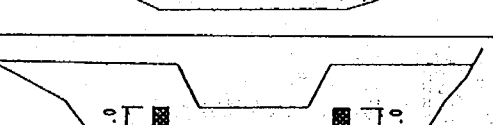
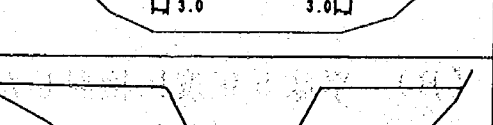
(B) 平成5年度に検討したゲート形状

図-3.5 実験で検討したゲート形状 (単位: m)

3.1.4 実験ケース

本報告書の中で検討した実験ケースの一覧表を表-3.5に示す。

表-3.5 実験ケース一覧表

実施 年度	ケ ー ス	ゲート タイプ	高さ×幅	ゲート形状 単位:m	非洪水期の流量	
					流 量	時間
平成 4 年度	1	1	5×10 5×5		20m³/s	4 hr.
	2	2	5×7.5		20m³/s	4 hr.
平成 5 年度	3	3	5×7.5		22.5m³/s 17.5m³/s	3.3hr. 6.6hr.
	4	4	なし		22.5m³/s 17.5m³/s	3.3hr. 6.6hr.
	5	5	3×8.5		22.5m³/s 17.5m³/s 12.5m³/s	3.3hr. 6.6hr. 30 hr.
	6	6	4×6.5		22.5m³/s 17.5m³/s	3.3hr. 6.6hr.
	7	7	6×4		22.5m³/s 17.5m³/s	3.3hr. 6.6hr.
	8	8	5×3		22.5m³/s 17.5m³/s	3.3hr. 6.6hr.
	9	9	4×3		22.5m³/s 17.5m³/s	3.3hr. 6.6hr.
	10	9	4×3		12.0m³/s 11.0m³/s	3.3hr. 6.6hr.

3.2 実験結果と考察

3.2.1 流況の変化

①水みちの時間的变化

図-3.6～3.15に各ゲートタイプの非洪水期における砂防ダム付近の流路の変化を示す。また、砂防ダム周辺の流況を写真-3.2～3.14に示す。

基本的には、最初に左岸のゲートから排砂が始まって徐々に右岸側に流路が移り、最終的には右岸のゲートからの排砂が主となる傾向が見られる。ただし、ゲートタイプ5のみ左岸側のゲートからは排砂されず、右岸側のゲートのみから排砂が行われた。この原因としてはゲートタイプ5（ 3×8.5 ）のゲートの下端面が他のゲートに比べて高い（ダム高-3 m）ことが考えられる。また、ゲートタイプ7（ 6×4 ）は、ゲートが深いために左岸側のみが大きく洗掘され、右岸側のゲートからは土砂が流出しなかった。すなわち、上流の弯曲部の側岸の形状から河床が高いと左岸側へ、低くなると右岸側へ流れが向かうことになった。

タイプ9の小流量の場合は、実験開始直後は左岸側ゲートから土砂の流出が見られたが、約4時間後以降は流路が固定されて土砂移動が少なくなり、右岸側のゲートからは水及び土砂の流出は見られなかった。

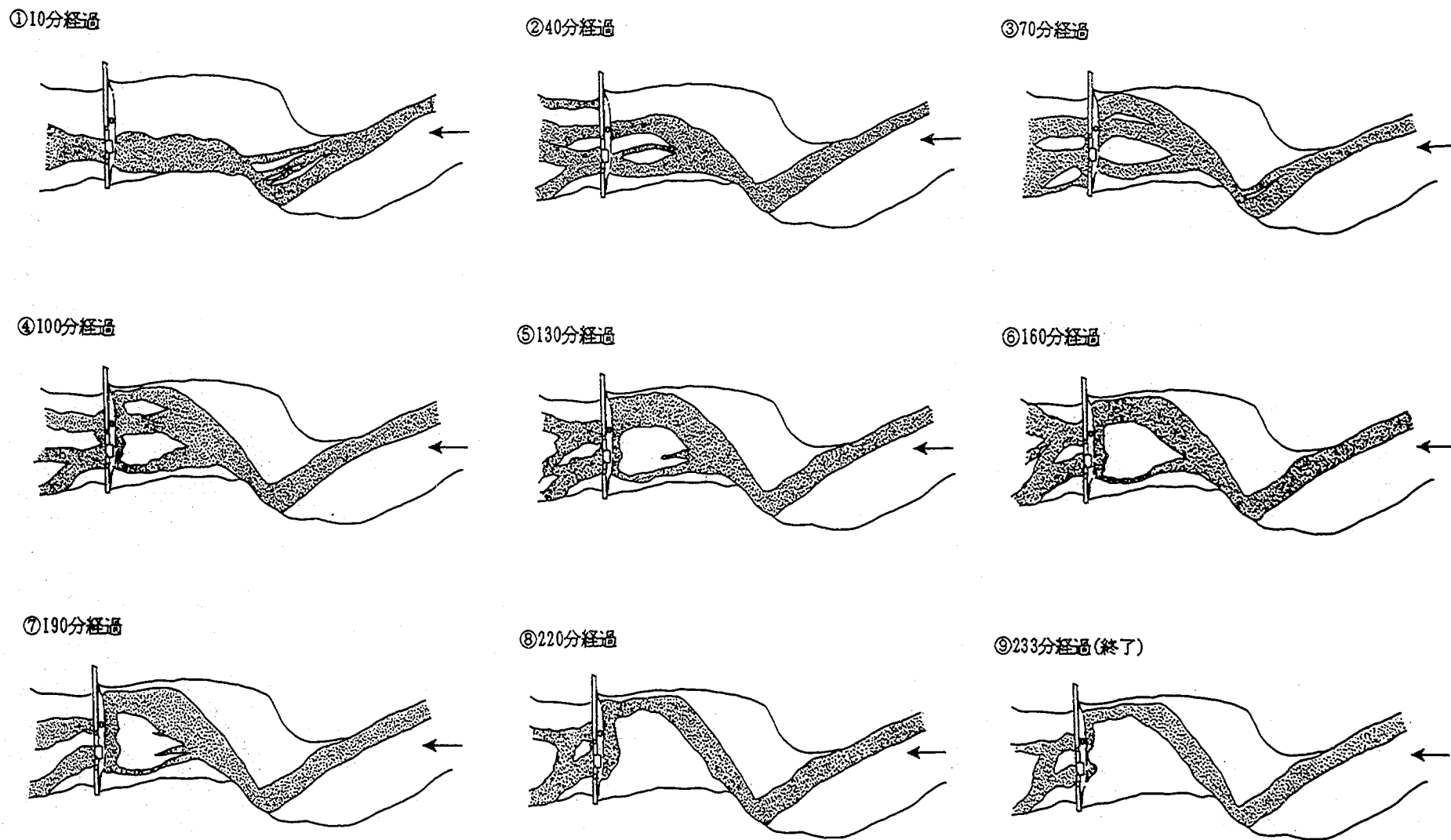
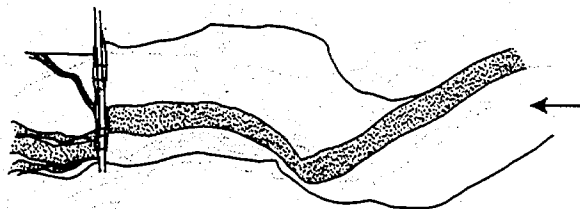
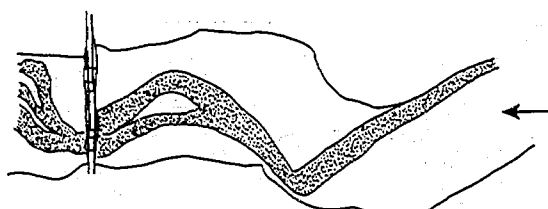


図-3.6 ゲート付砂防ダム上流の水みちの時間的变化 タイプ1 (5×5+5×10)

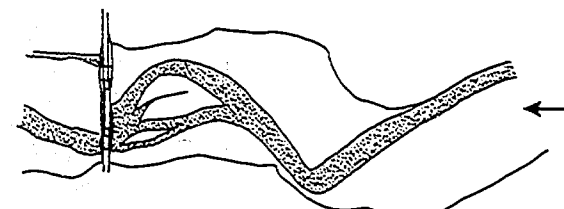
①10分経過



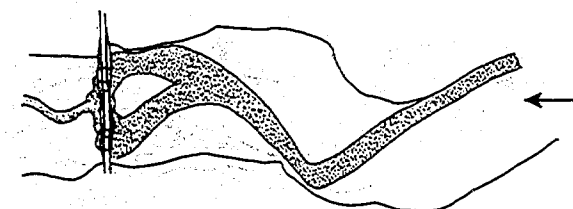
②40分経過



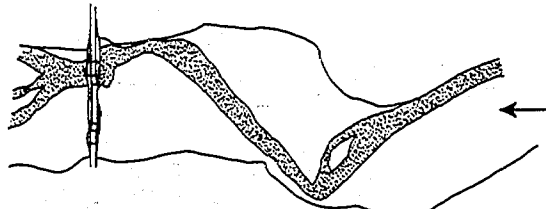
③70分経過



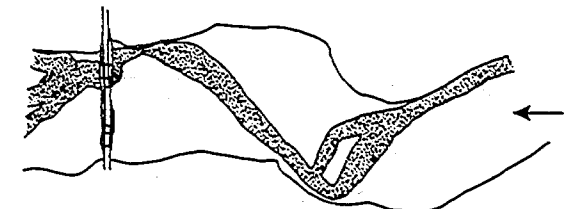
④100分経過



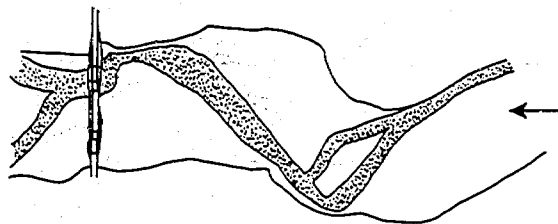
⑤130分経過



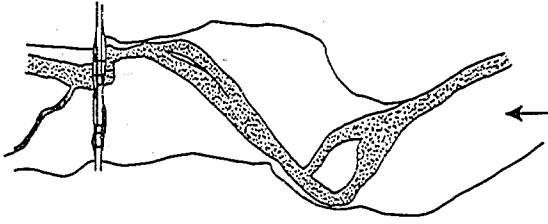
⑥160分経過



⑦190分経過



⑧220分経過



⑨233分経過(終了)

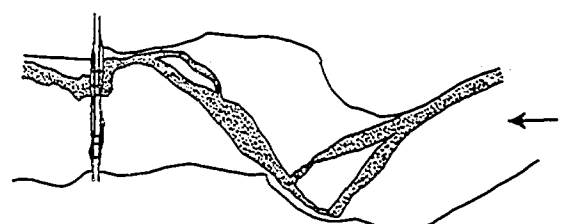


図-3.7 ゲート付砂防ダム上流の水みちの時間的变化 タイプ2 (5×7.5)

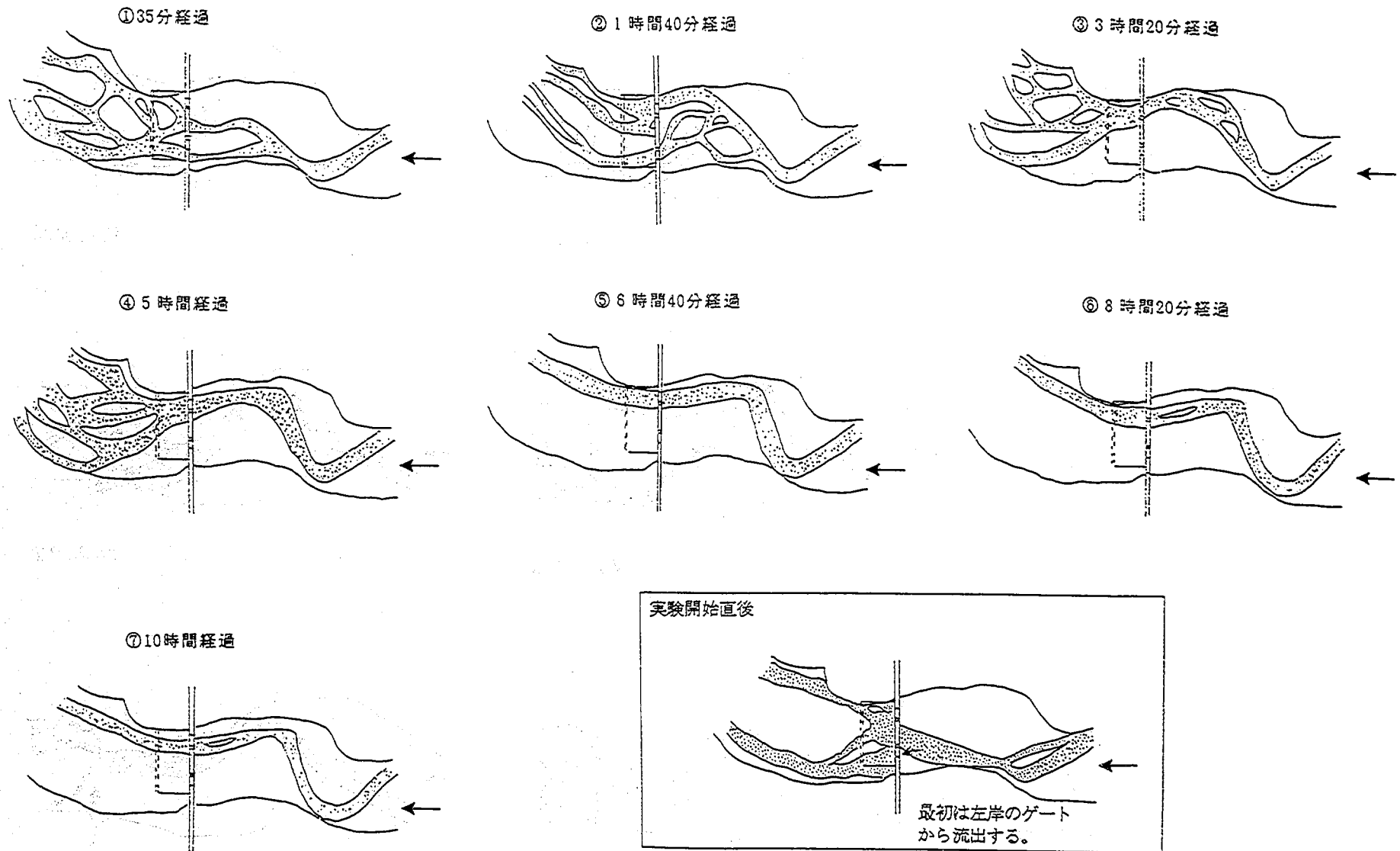


図-3.8 ゲート付砂防ダム上流の水みちの時間的变化 タイプ3 (5×7.5)

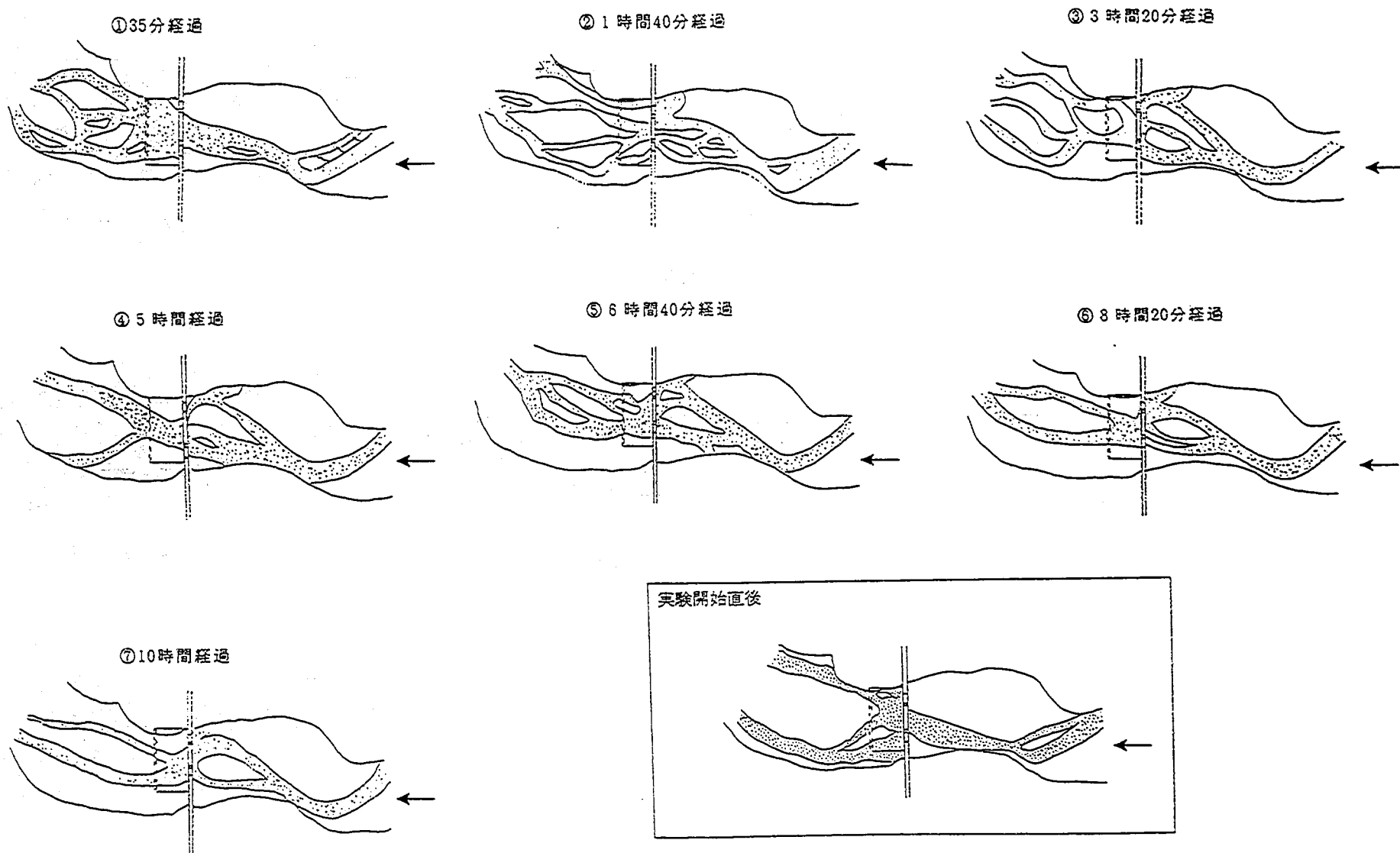
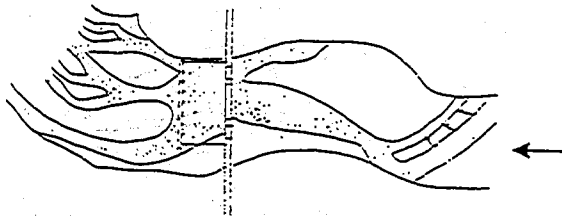
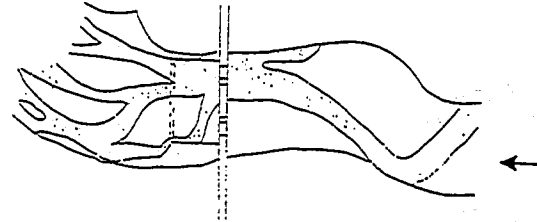


図-3.9 ゲート付砂防ダム上流の水みちの時間的变化 タイプ4 (なし)

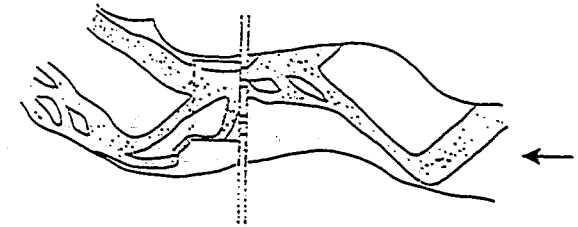
① 35分経過



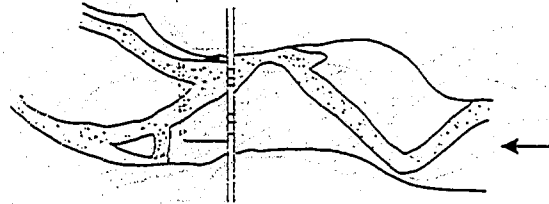
② 1時間40分経過



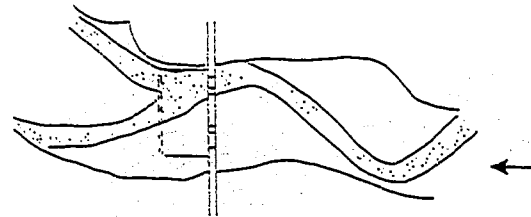
③ 3時間20分経過



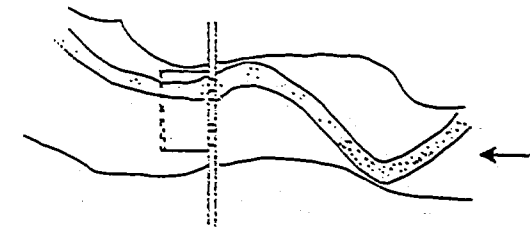
④ 5時間経過



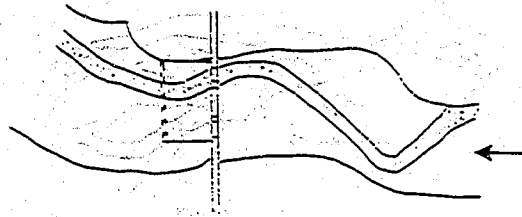
⑤ 6時間40分経過



⑥ 8時間20分経過



⑦ 10時間経過



実験開始直後

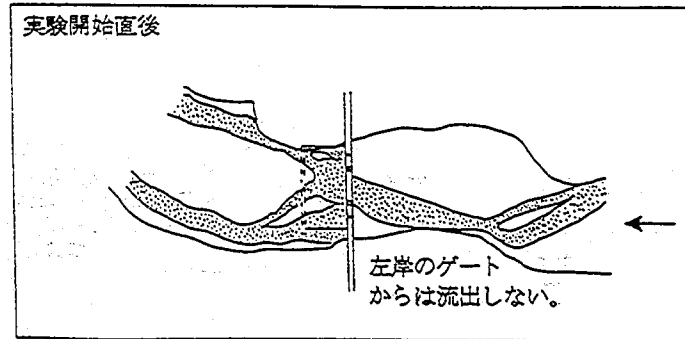


図-3.10 ゲート付砂防ダム上流の水みちの時間的变化 タイプ5 (3×8.5) 非洪水期①

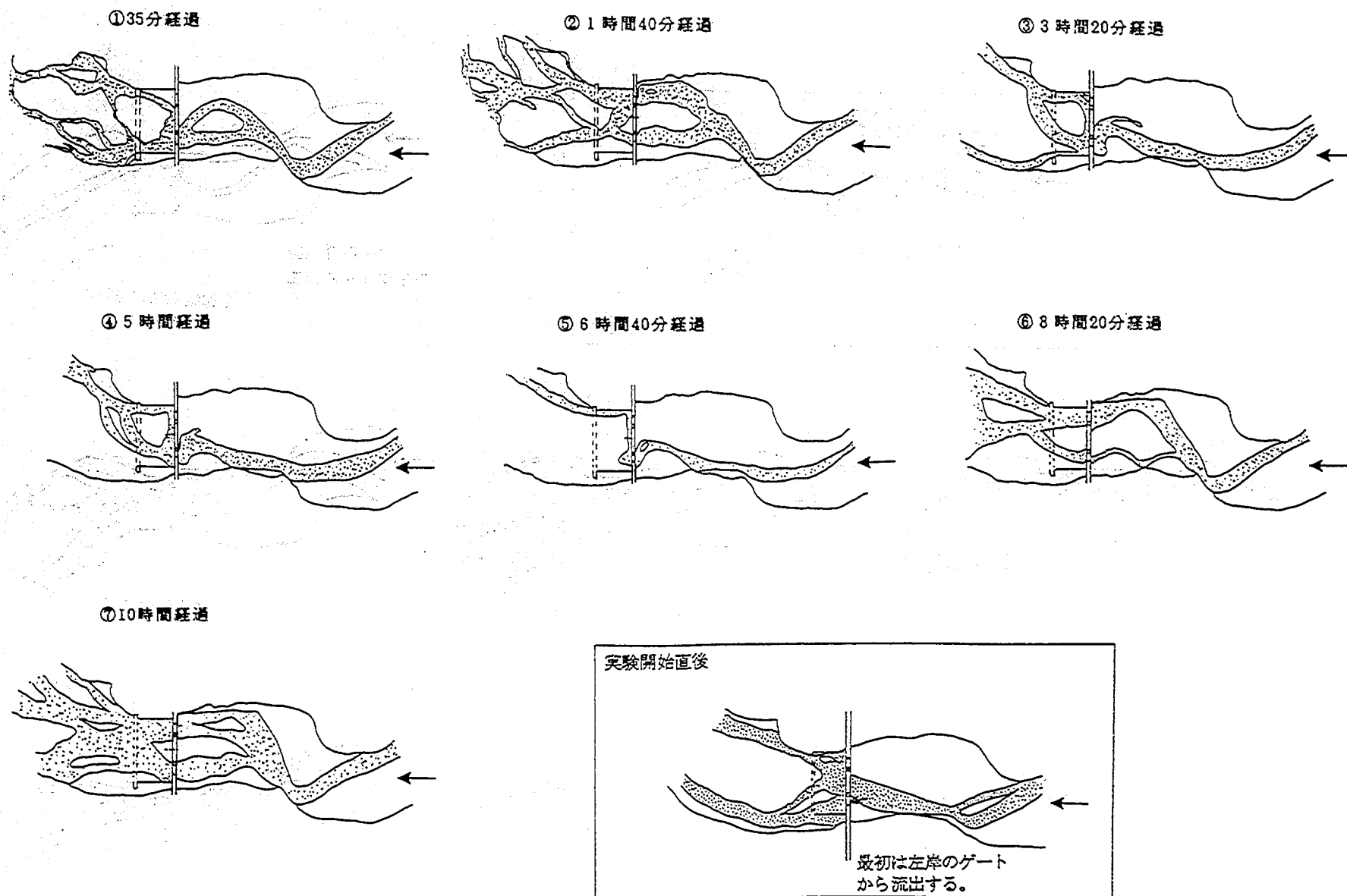


図-3.11 ゲート付砂防ダム上流の水みちの時間的变化 タイプ6 (4×6.5)

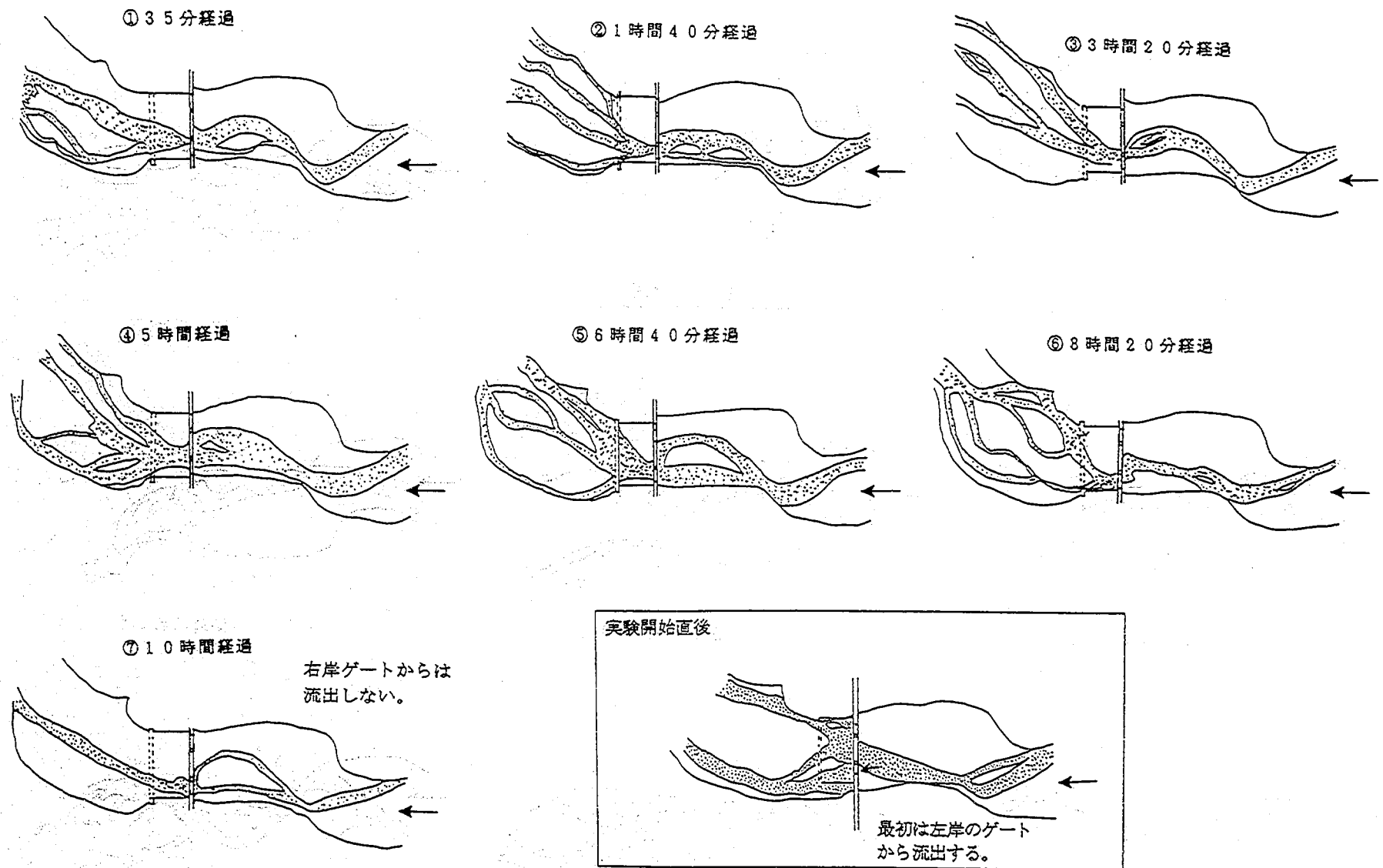


図-3.12 ゲート付砂防ダム上流の水みちの時間的变化 タイプ7 (6×4)

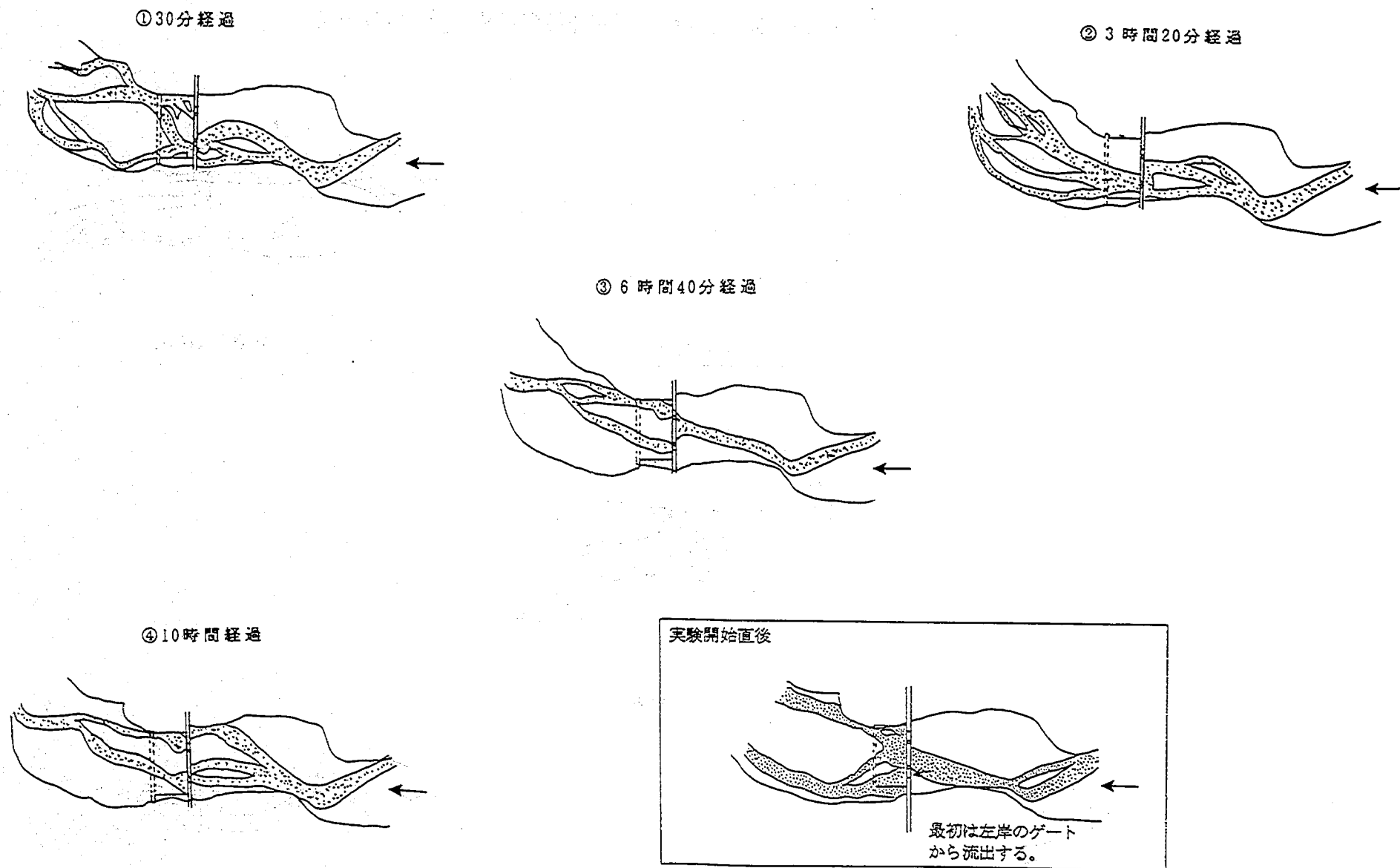


図-3.13 ゲート付砂防ダム上流の水みちの時間的变化 タイプ8 (5×3)

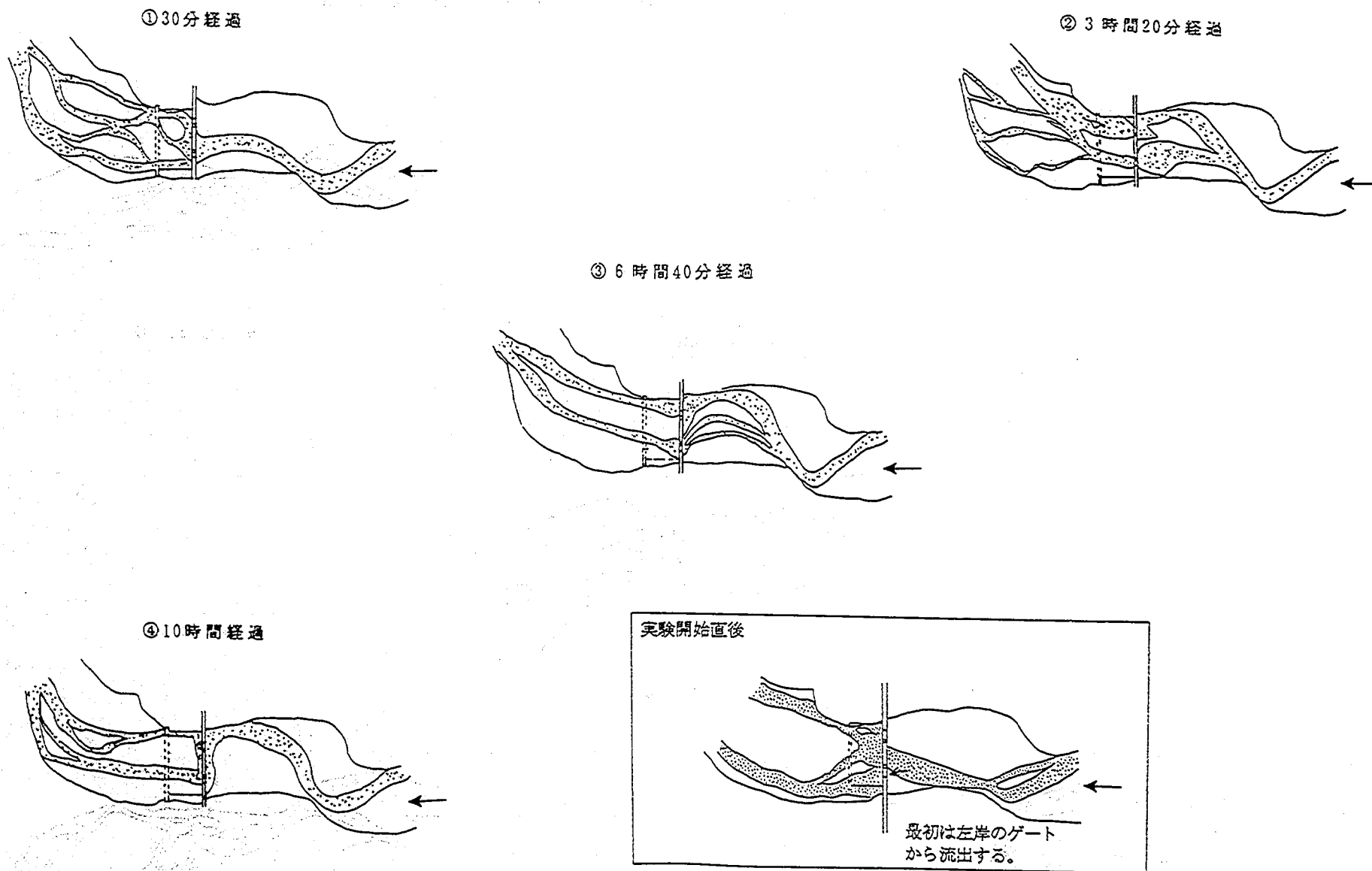


図-3.14 ゲート付砂防ダム上流の水みちの時間的变化 タイプ9 (4×3)

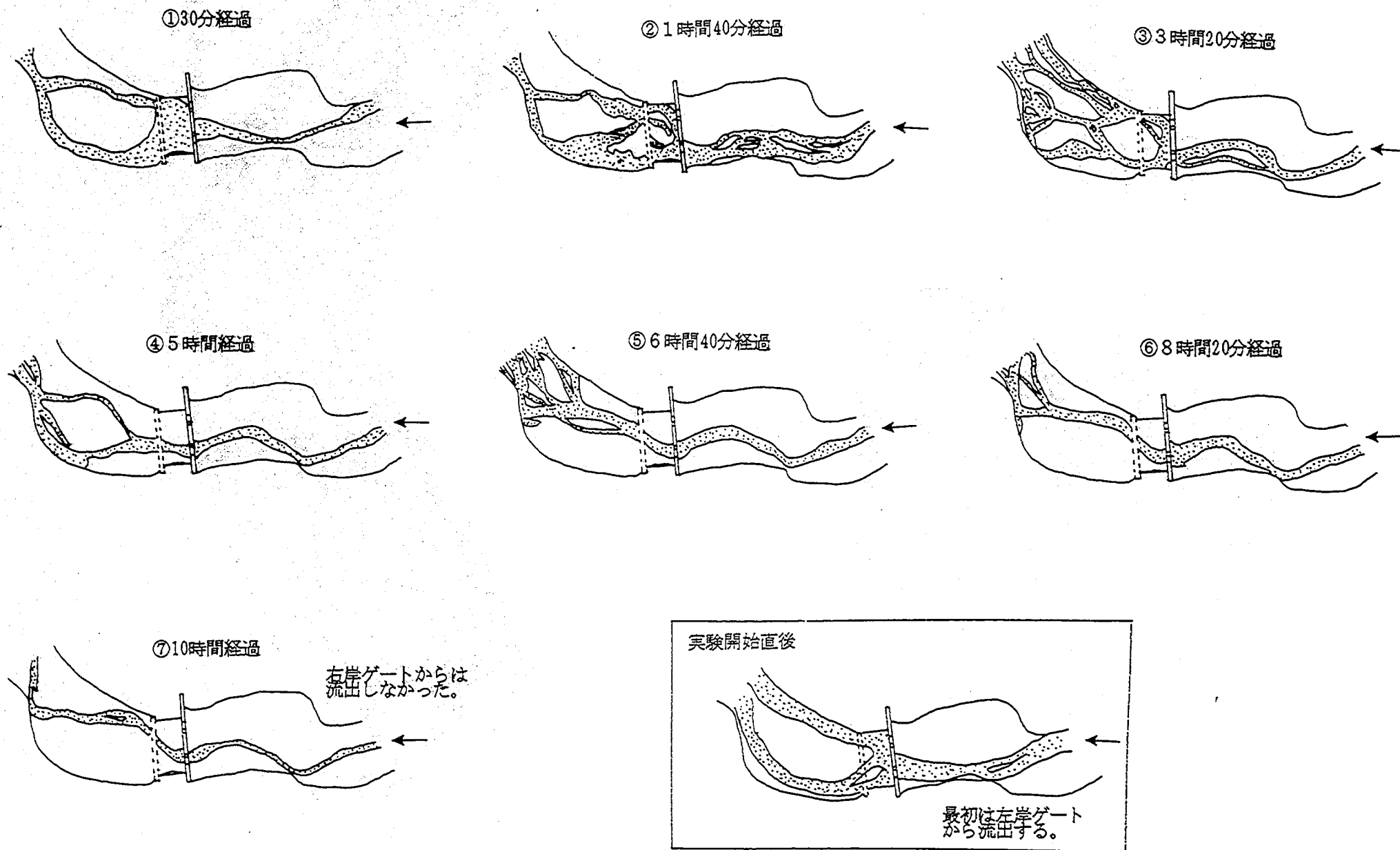
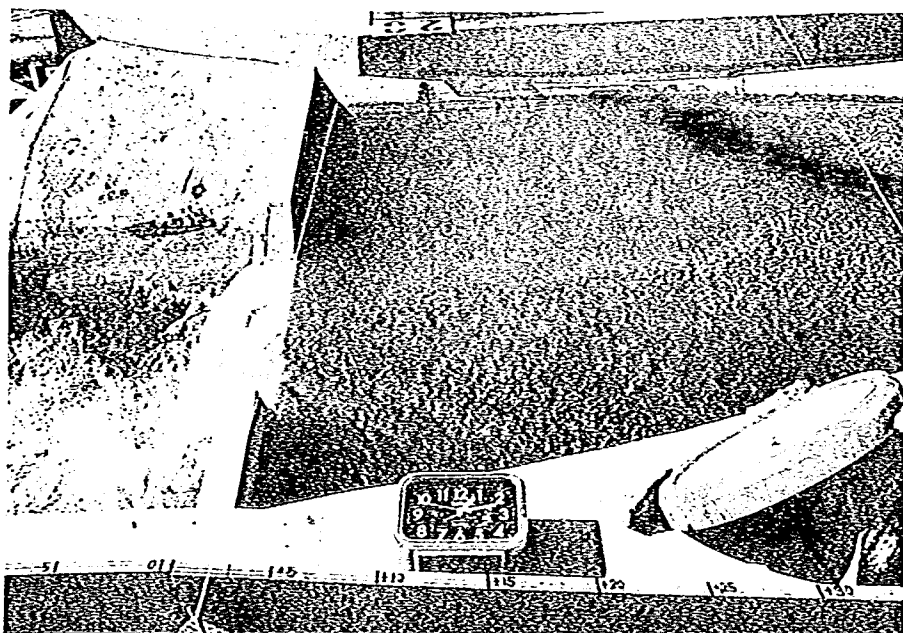


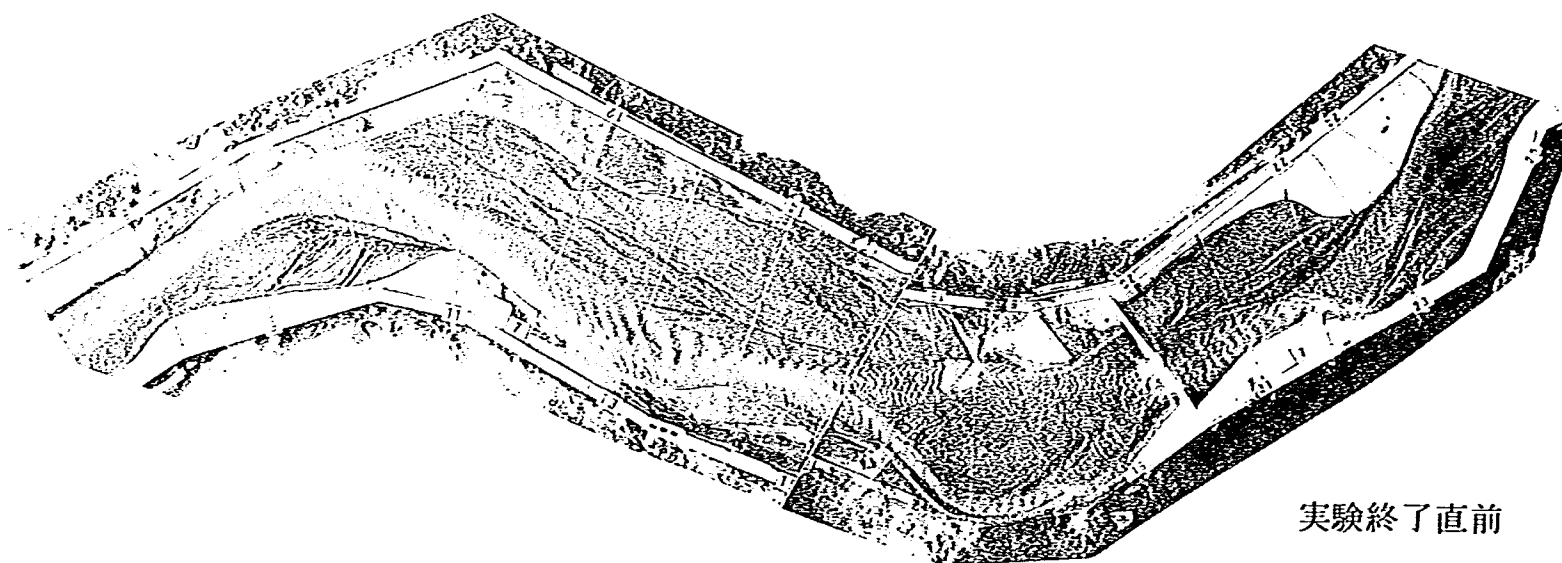
図-3.15 ゲート付砂防ダム上流の水みちの時間的变化 タイプ9 (4×3) 小流量 (12.0~11.0m³/s)



(洪水期)

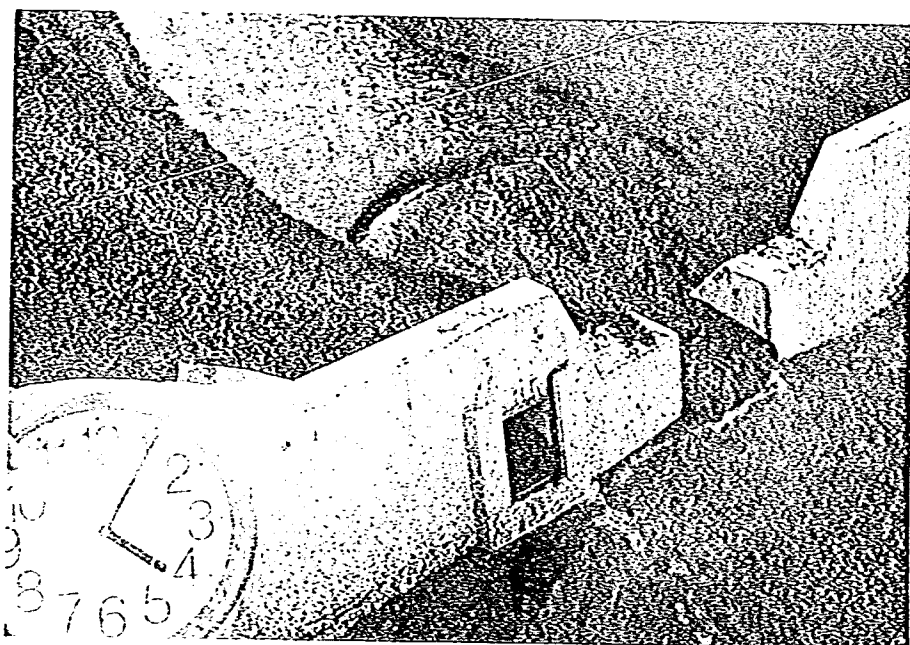
$Q = 283 \text{ m}^3/\text{s}$ (1時間12分後)

土砂がゲート付砂防ダム水通し部まで到達し、土砂が流出し始める。

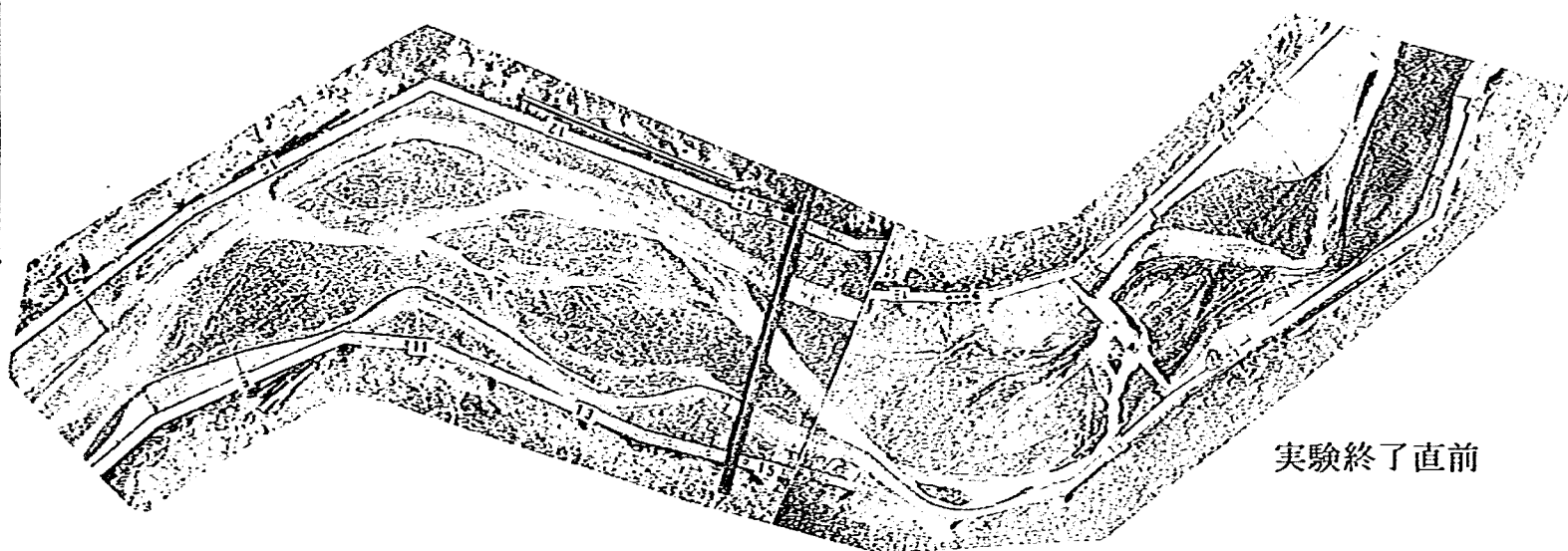


実験終了直前

写真-3.1 タイプ1 (5×5+5×10) 洪水期

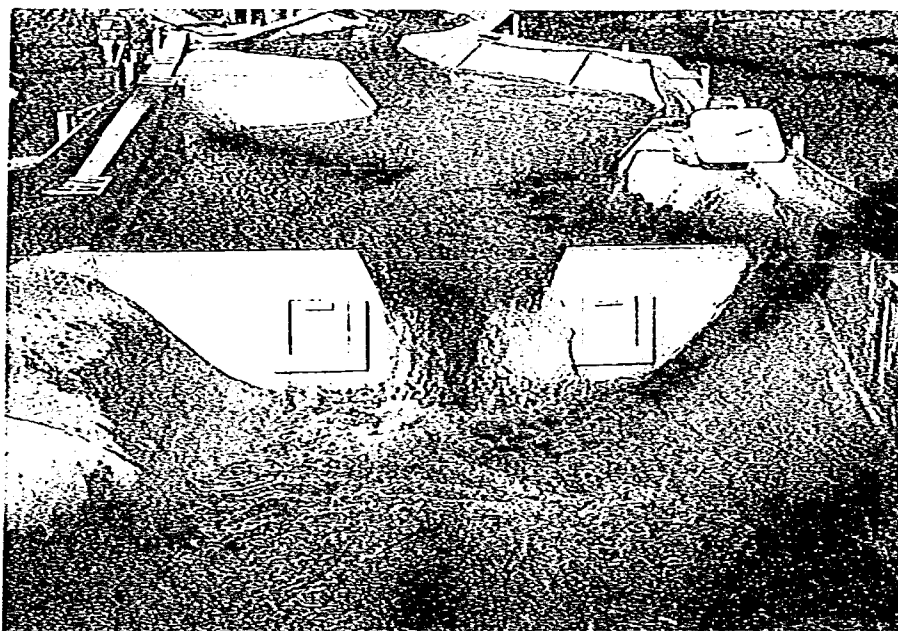


(非洪水期)
 $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ (通水開始直後)
 通水開始直後に水通し部ゲートから土砂が多量に流出し、直下流では急激に河床が上昇する。

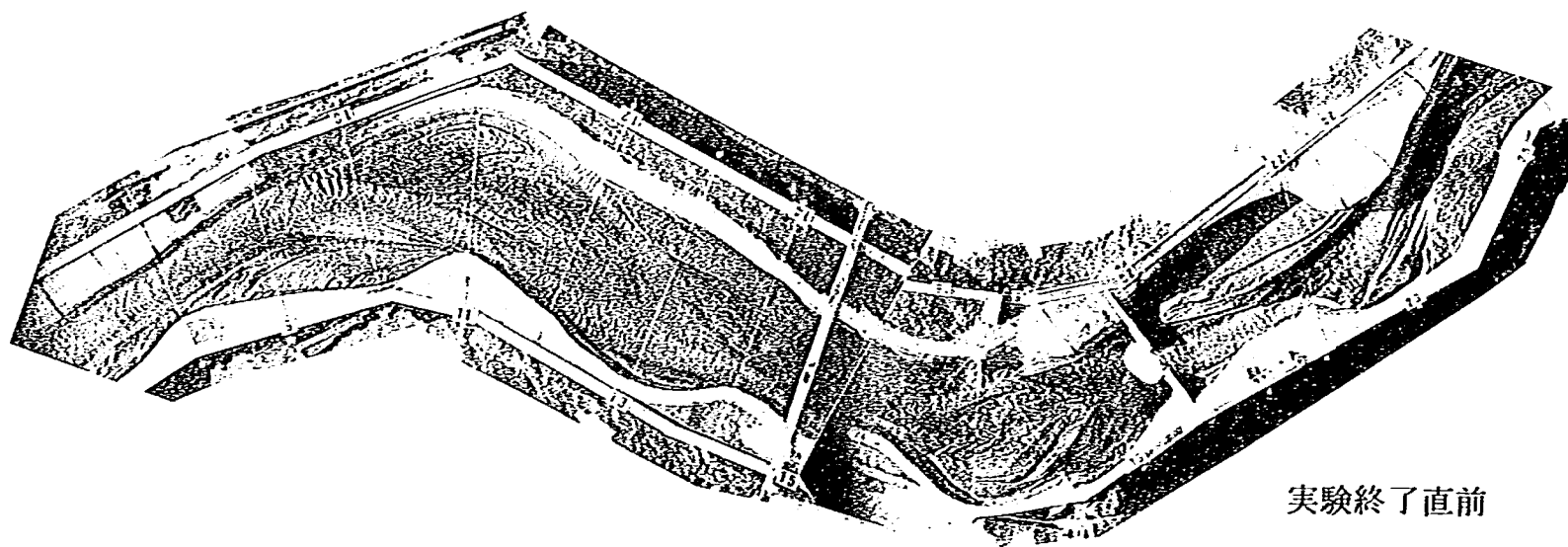


実験終了直前

写真-3.2 タイプ1 ($5 \times 5 + 5 \times 10$) 非洪水期



(洪水期)
 $Q = 451 \text{ m}^3/\text{s}$ (2時間12分後)
 洪水の減水期には、水通し部
 からの土砂流出が最大となる。

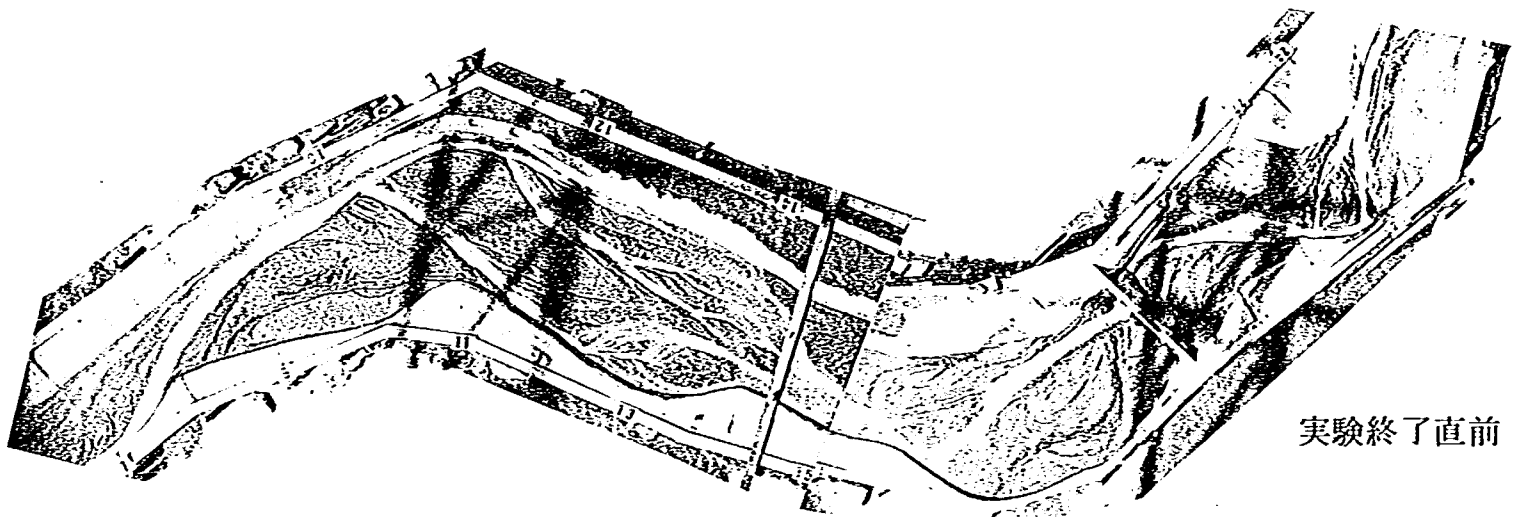


実験終了直前

写真-3.3 タイプ2 (5×7.5) 洪水期

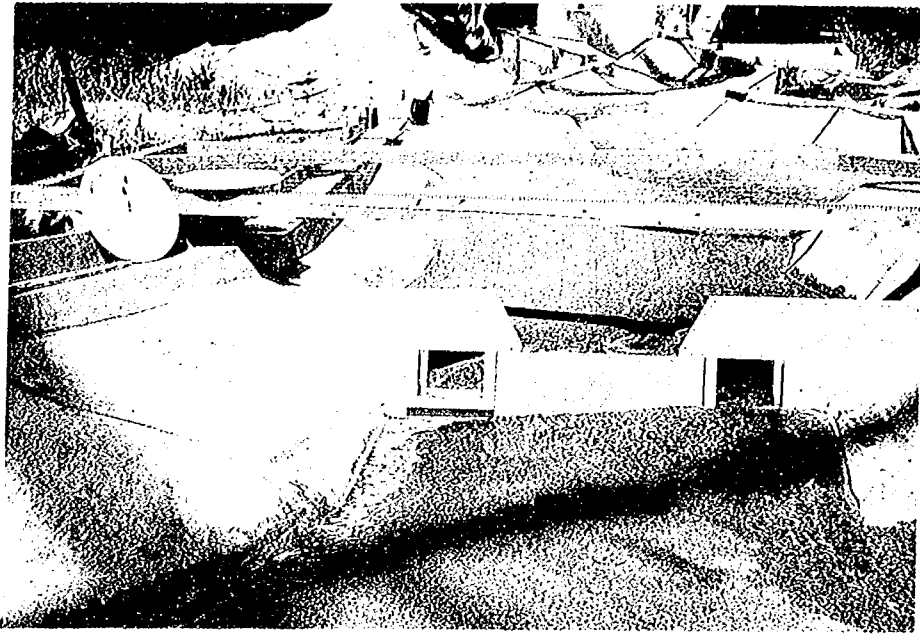


(非洪水期)
 $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ (通水開始直後)
 通水直後、砂防ダム上流では、
 右岸側の河床が高いために流水
 が左岸側に集中し、左岸側のゲ
 ートからのみ土砂が流出する。

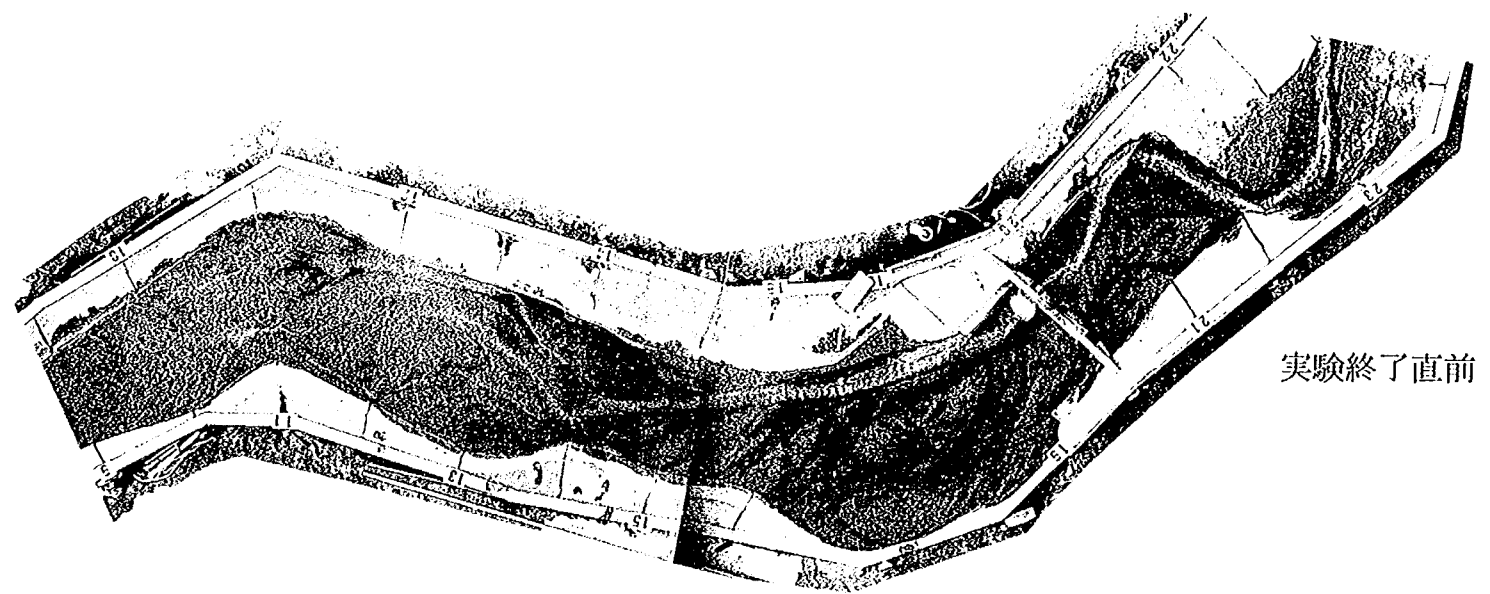


実験終了直前

写真-3.4 タイプ2 (5×7.5) 非洪水期

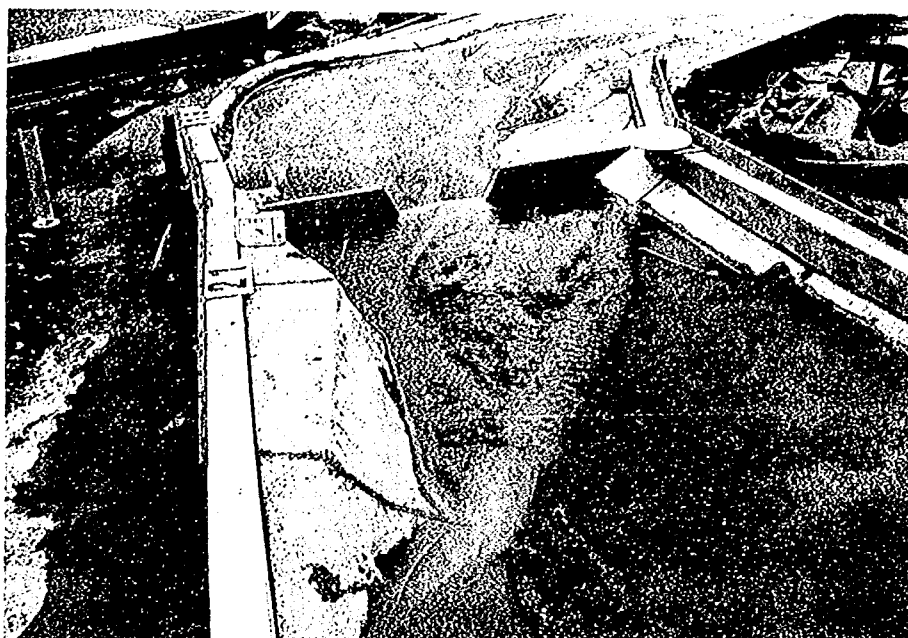


$Q = 17.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (2分後)
実験開始2分後に左岸ゲート
より土砂の流出が始まる。

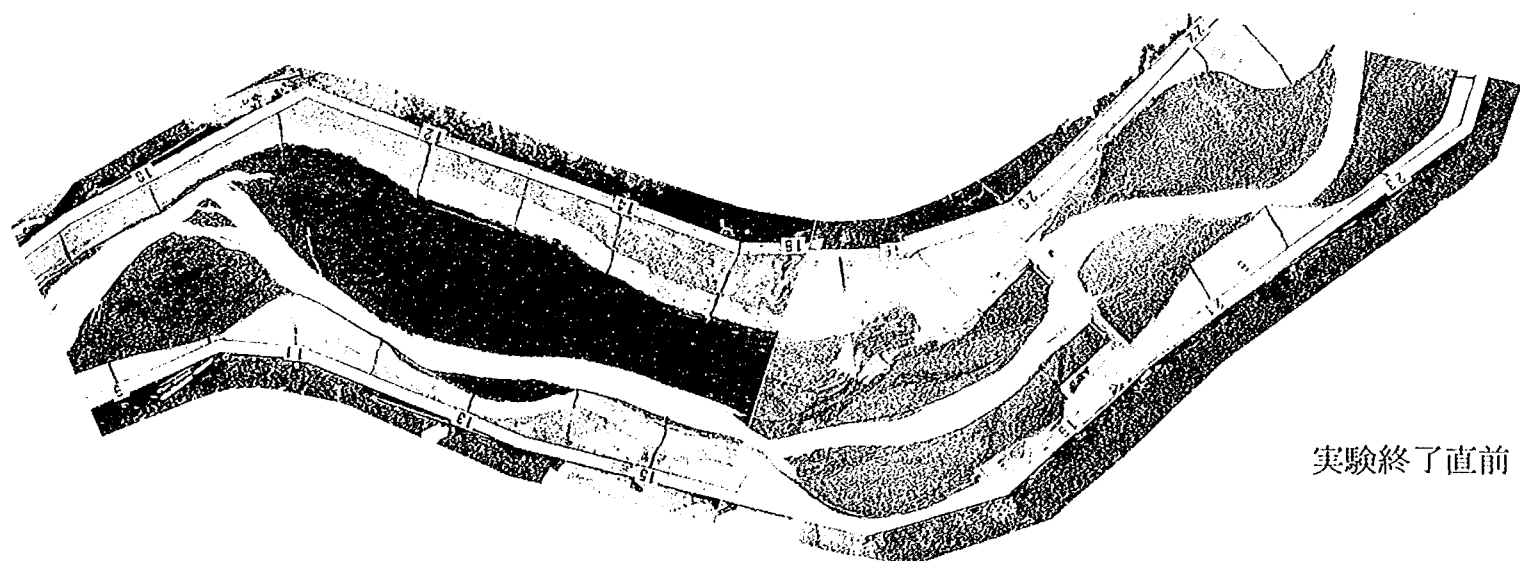


実験終了直前

写真-3.5 タイプ3 (5×7.5)



$Q = 17.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (3時間23分後)
砂防ダム上流では右岸側での
侵食が進む。



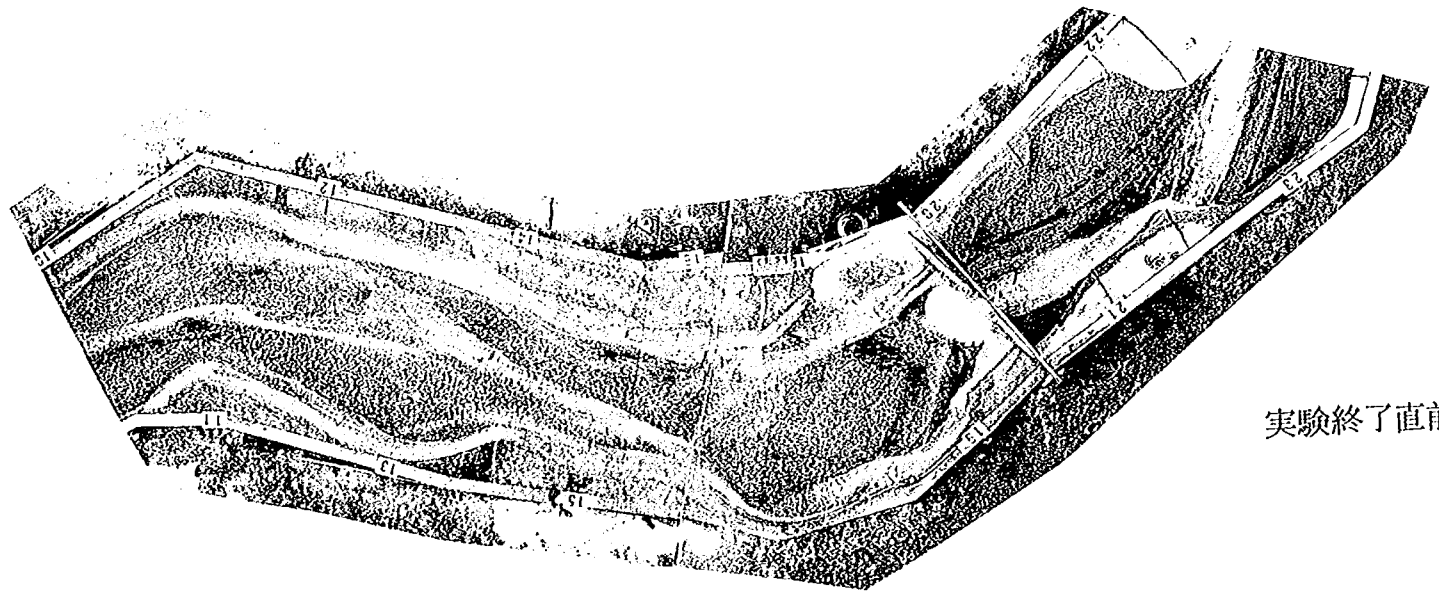
実験終了直前

写真-3.6 タイプ4 (なし)

(洪水期)

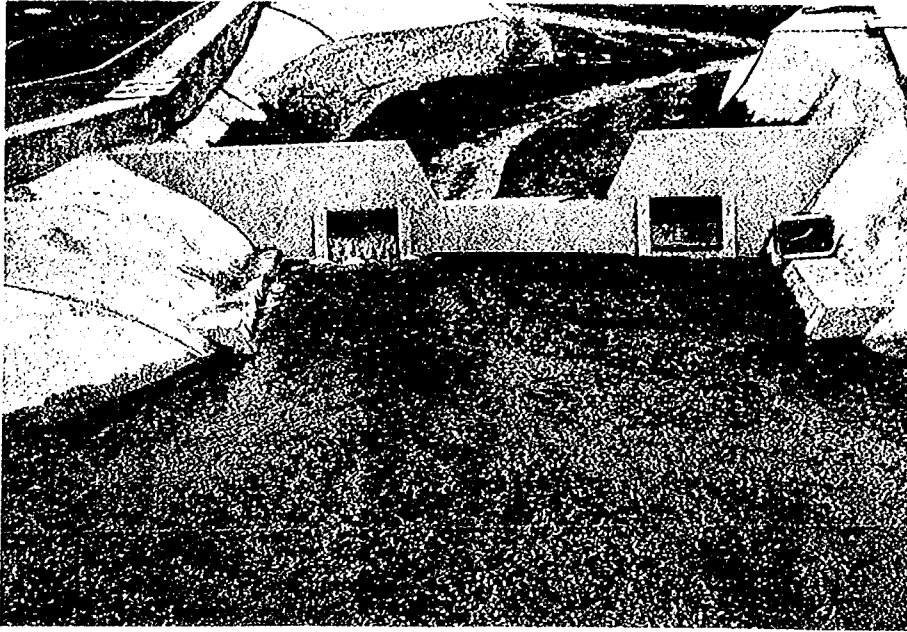
$Q = 675 \text{ m}^3/\text{s}$ (1時間55分後)

ピーク時には流れが左岸から中央にかけて集中し、右岸袖部は死水域となっている。

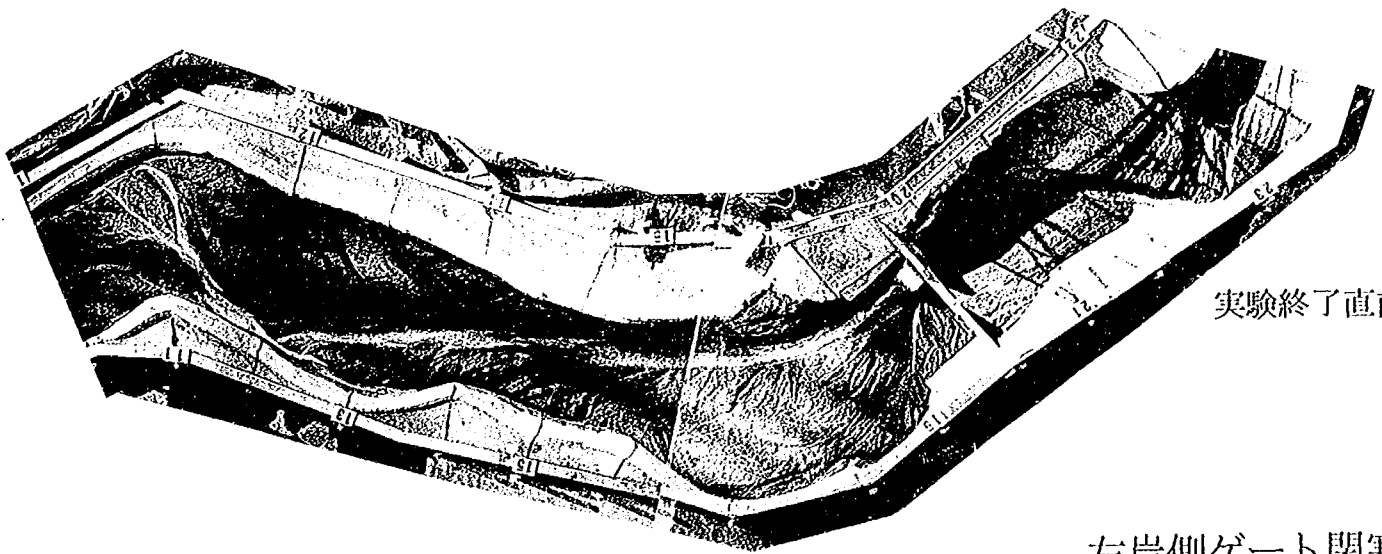


実験終了直前

写真-3.7 タイプ5 (3×8.5) 洪水期



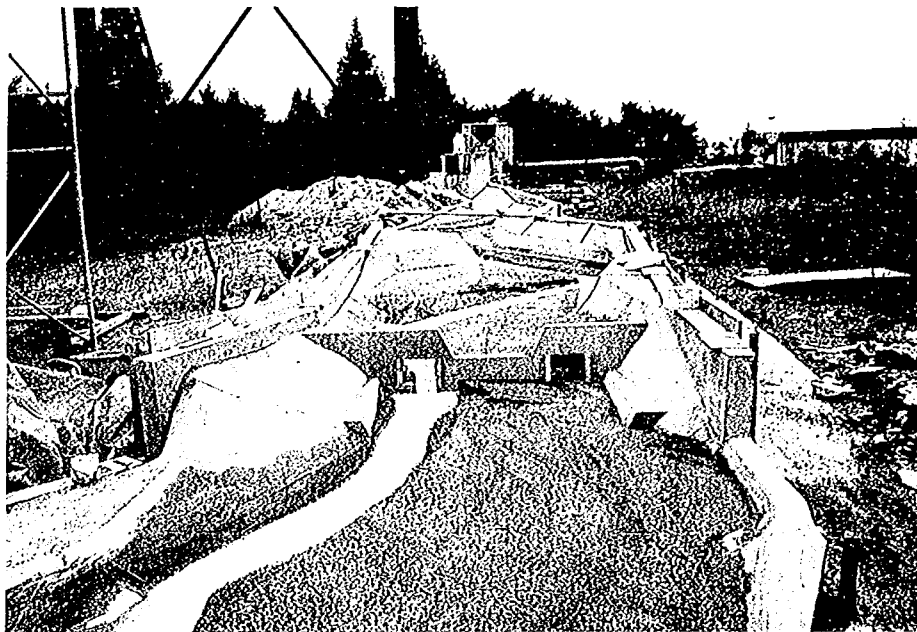
(非洪水期)
 $Q = 17.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (1時間43分後)
 砂防ダム下流では、右岸ゲート下端より約3 m下まで堆砂している。



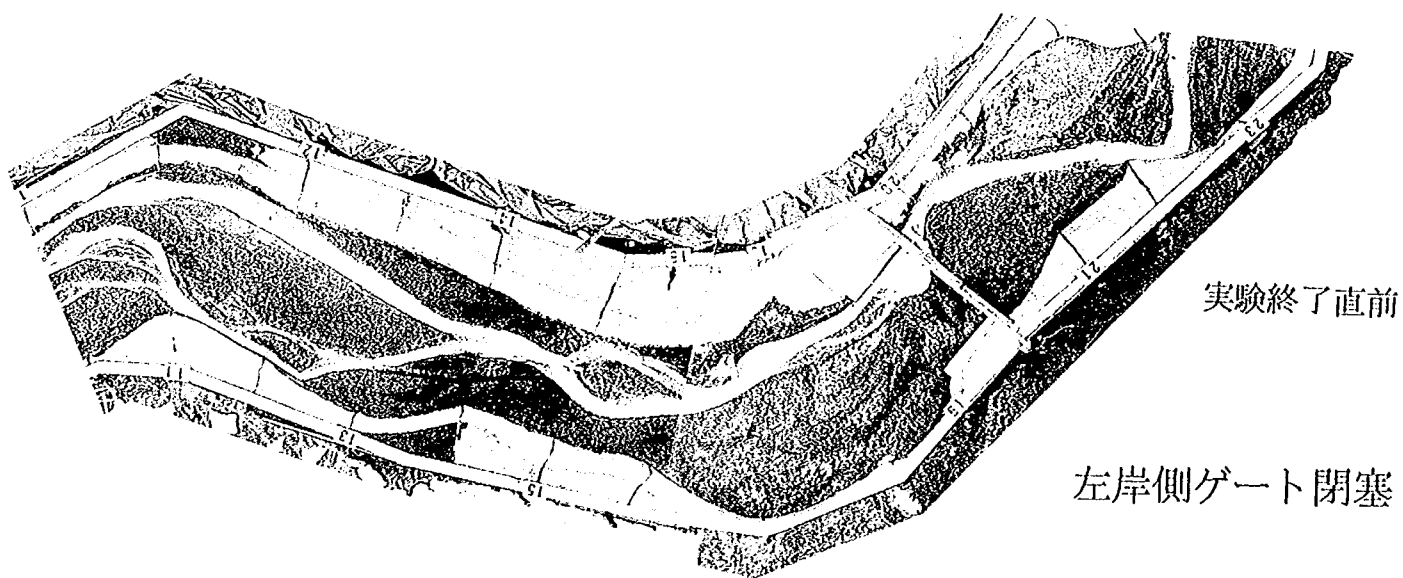
実験終了直前

左岸側ゲート閉塞

写真-3.8 タイプ5 (3×8.5) 非洪水期①



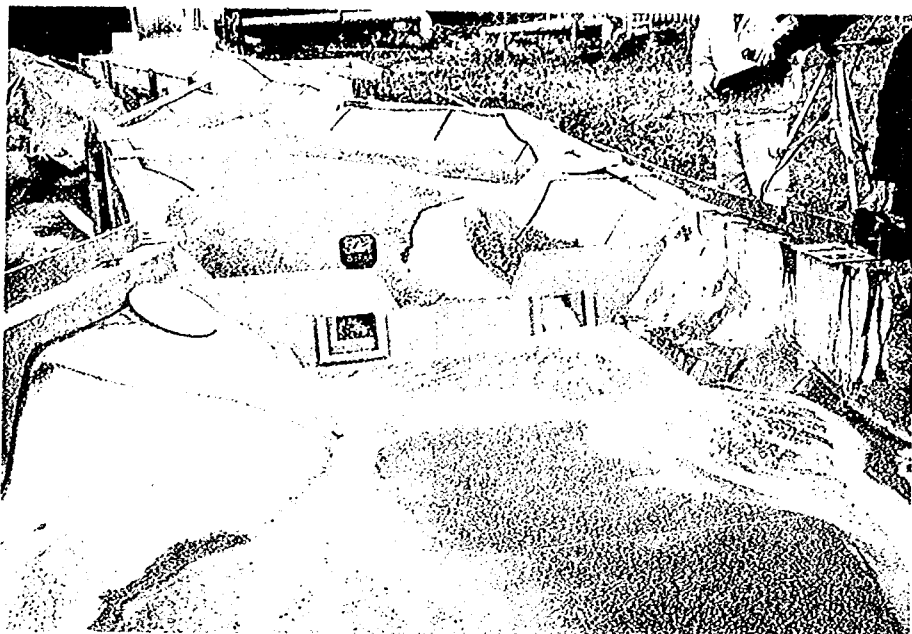
(非洪水期)
 $Q = 12.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (12時間55分後)
 実験開始後、右岸側のゲート
 からのみ、微量の土砂が流出し
 続ける。



実験終了直前

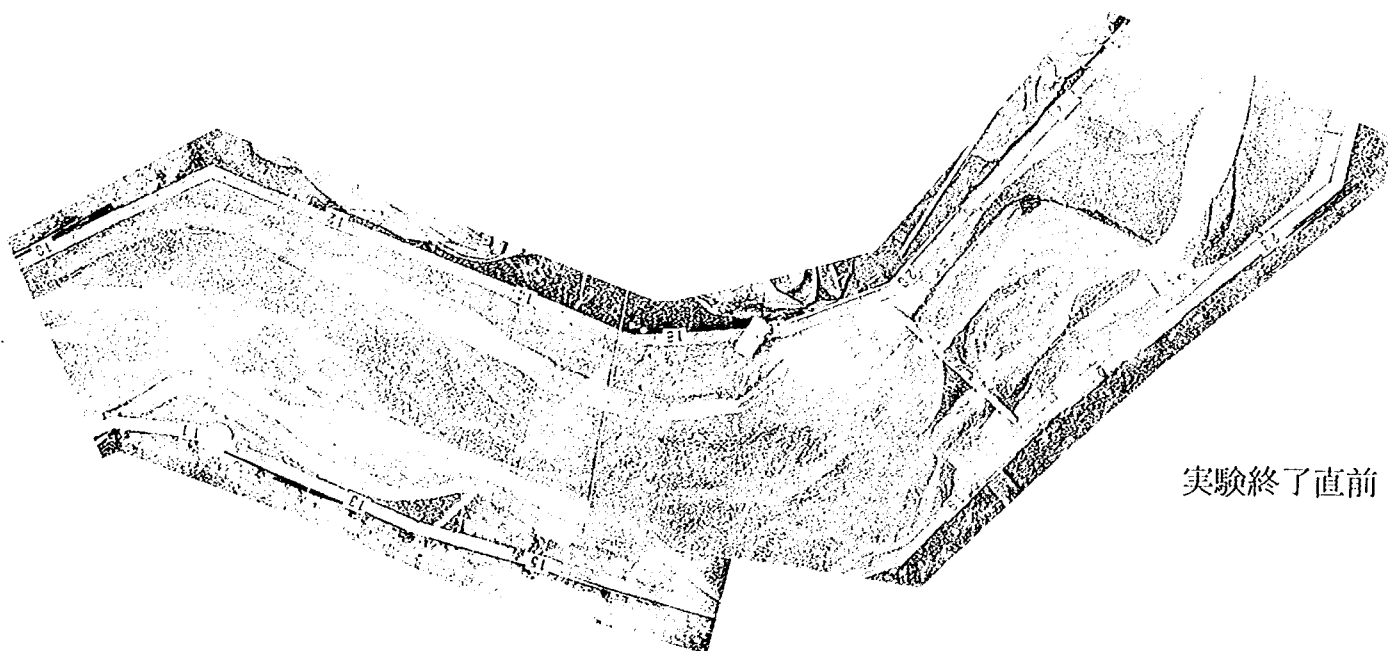
左岸側ゲート閉塞

写真-3.9 タイプ5 (3×8.5) 非洪水期②



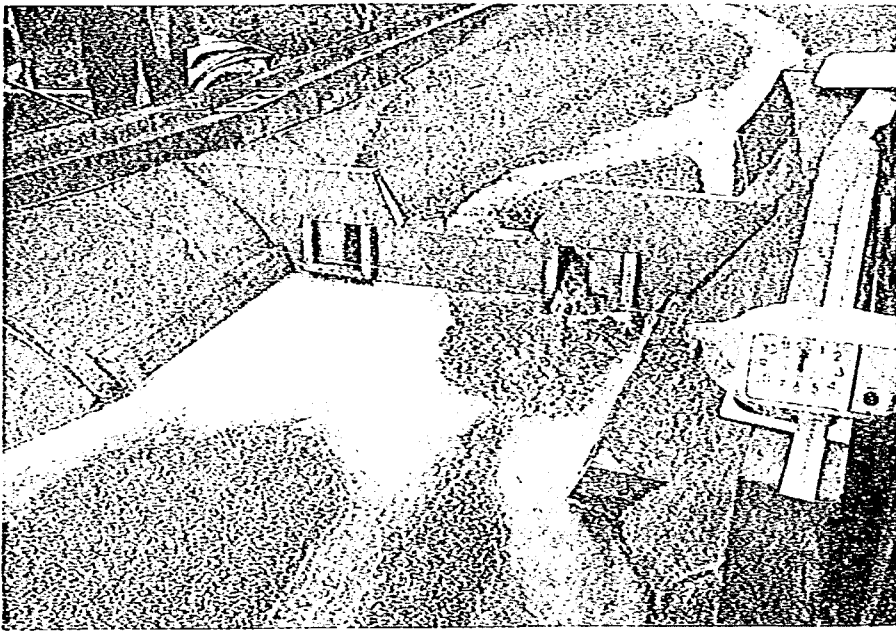
$Q = 17.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (10分後)

左岸ゲートより流出した土砂はゲート下端に堆積する。ゲートの下端より約1 m下まで直下流の河床が上昇した。



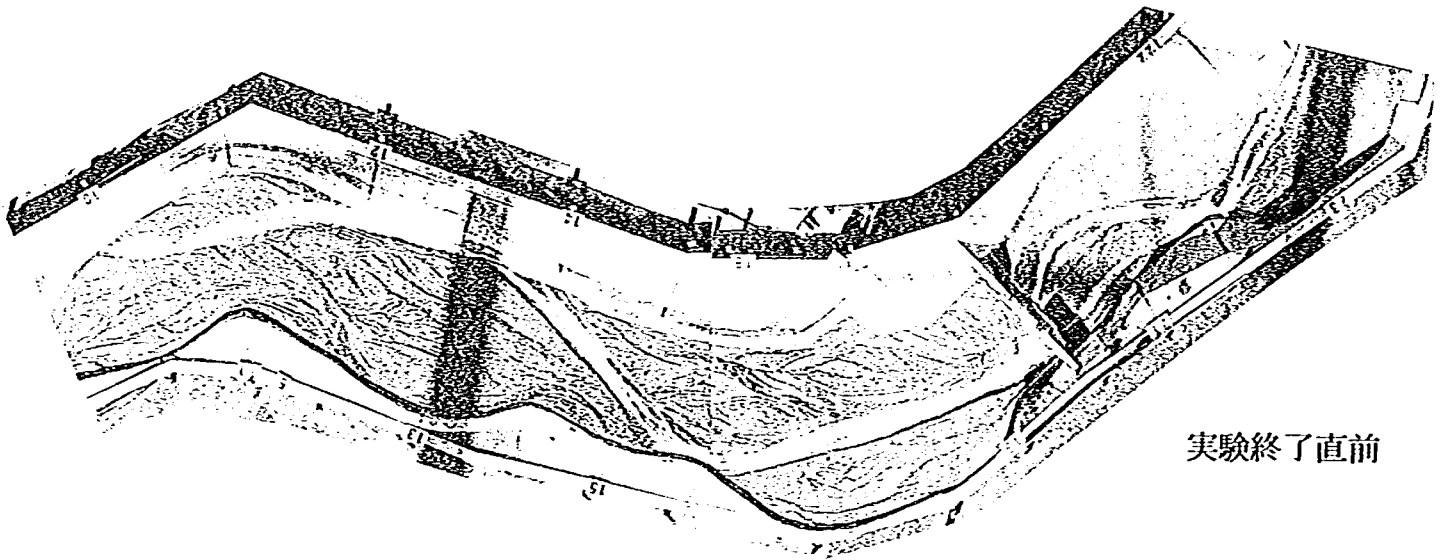
実験終了直前

写真-3.10 タイプ6 (4×6.5)



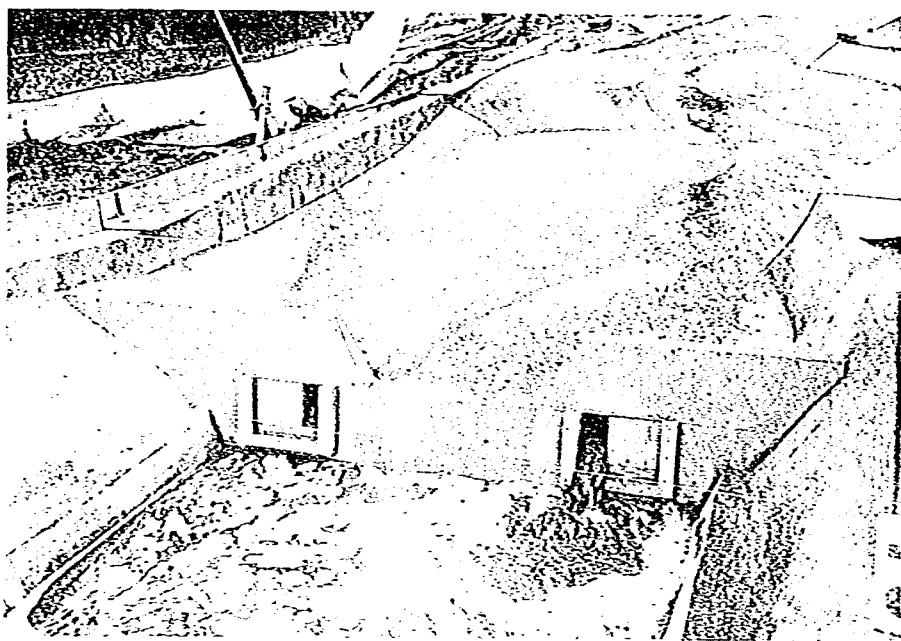
$Q = 17.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (1分後)

実験開始1分後に左岸ゲートより土砂の流出が始まる。直下流の河床はゲート下端付近まで上昇する。

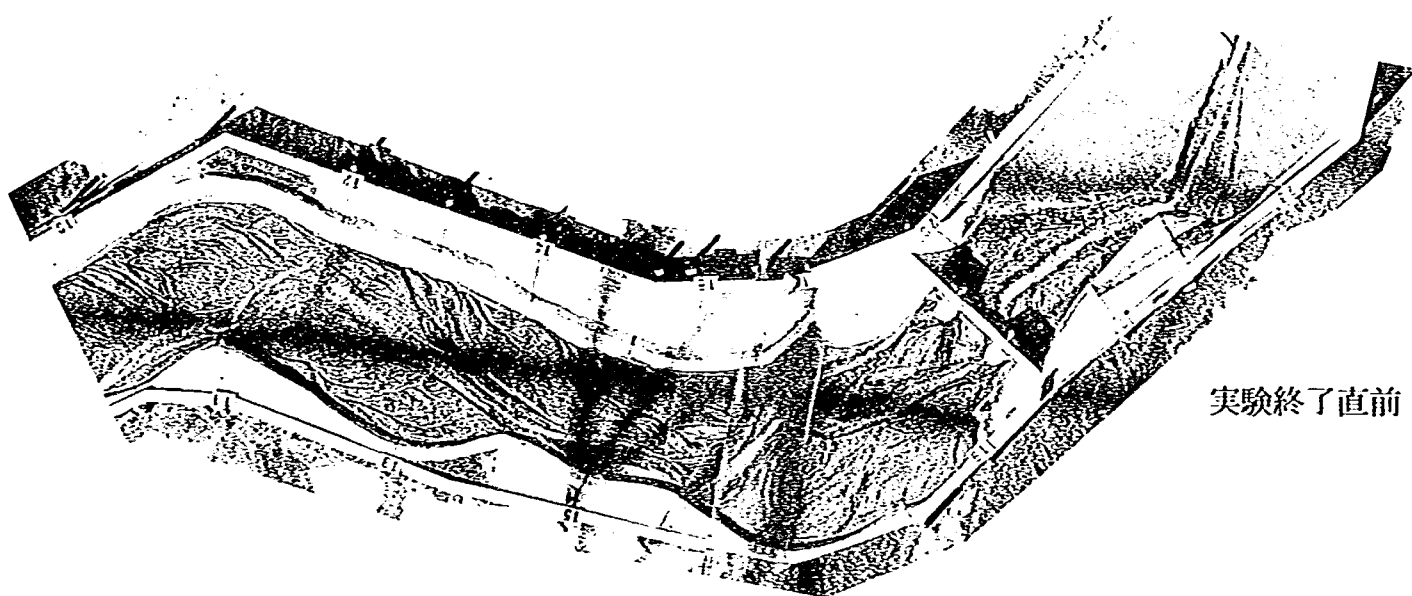


実験終了直前

写真-3.11 タイプ7 (6×4)



$Q=17.5\text{m}^3/\text{s}$ (1分後)
 実験開始1分後に左岸ゲート
 より土砂の流出が始まる。

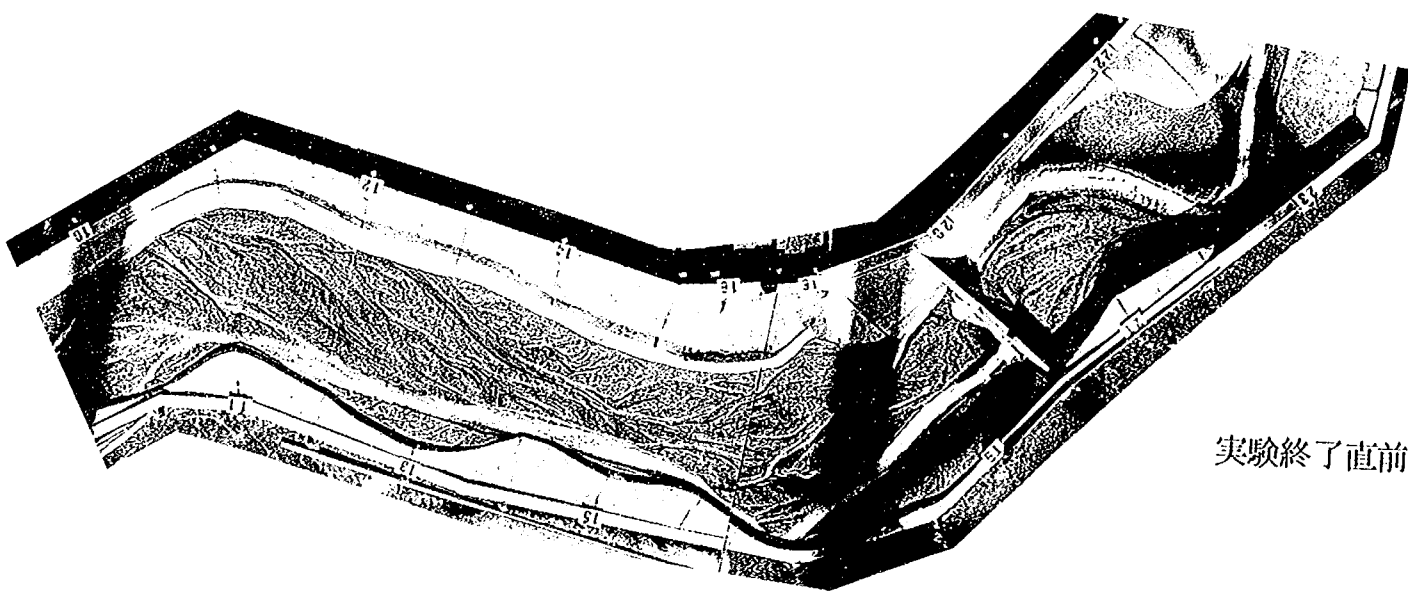


実験終了直前

写真-3.12 タイプ8 (5×3)

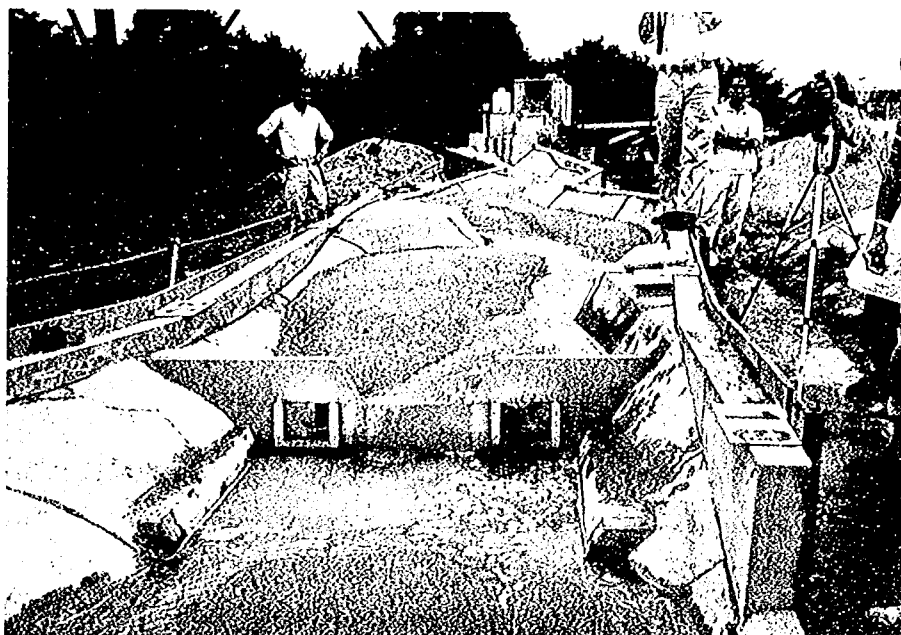


$Q = 17.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (1時間30分後)
 実験開始1時間3分後には、
 右岸ゲートからも土砂の流出が
 始まる。



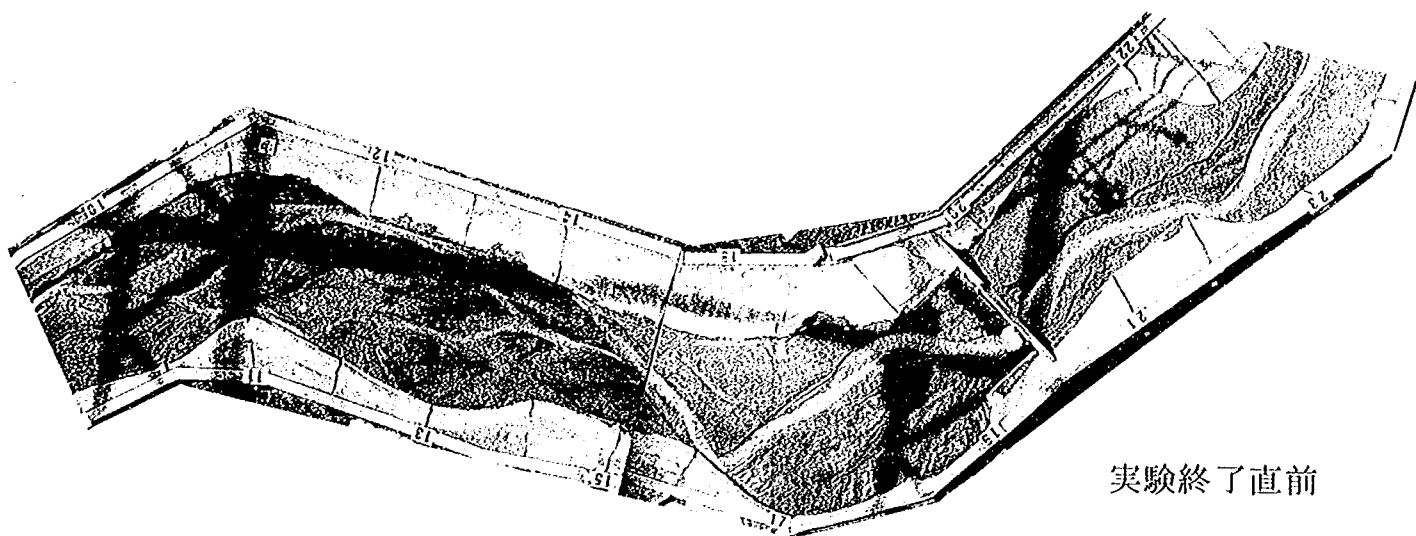
実験終了直前

写真-3.13 タイプ9 (4×3)



$Q = 11.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (6分後)

実験開始6分後には、
左岸ゲートより土砂の
排出が始まる。



実験終了直前

写真-3.14 タイプ9 (4×3) 小流量 $12.0 \sim 11.0 \text{ m}^3/\text{s}$

②ゲート部から流出の始まる時刻

表-3.6に、ゲートタイプ3～9について、左右岸のゲートから流出の始まった時刻を示す。表-3.6より以下のことが考えられる。

- (a) 左岸側のゲートからは、ほぼ実験開始直後に流出し始めた。これは、洪水後の横断面形状が左岸側が低いので初期の流水が左岸よりに集中するために、左岸側ゲートから最初に流出すると考えられる。ただし、タイプ5 (3×8.5) は左岸側から流出しなかった。
- (b) 右岸側のゲートからの流出は、ゲートの高さが低いほど（浅いほど）時間が短い。また、同じ高さの場合は、幅が広いほど時間が短い。これは、ゲートの高さが低いと（浅いゲートほど）側岸侵食されやすく、流水の右岸側への移行が早くなるためと考えられる。ただし、タイプ7 (6×4) は右岸側から流出しなかった。これは、ゲートの高さが高い（深いゲート）ほど上流の堆砂域が深掘れし、横方向に侵食が進みにくいためと考えられる。また、タイプ9 (4×3) の小流量の場合についても右岸側ゲートからの土砂の流出がなかった。このケースの場合、実験開始直後については左岸側のゲートから土砂が流出したが、その後、移動する土砂が少なくなり流路が固定され、堆砂域の右岸側への侵食が停止した。そのため、右岸側のゲートからの土砂流出は無かった。

表-3.6 ゲート部から流出し始める時刻

ゲート タイプ	(高さ×幅) (m) (m)	流出開始の時刻	
		左岸ゲート	右岸ゲート
3	5×5	2分	1時間34分
5	3×8.5	—	12分
6	4×6.5	3分	50分
7	6×4	1分	—
8	5×3	1分	3時間55分
9	4×3	1分	1時間3分
		6分	—

小流量

3.2.2 河床の縦断形状の変化

図-3.16～3.29に各ゲートタイプの非洪水期（ただし、ゲートタイプ1, 2, 5については洪水期も示した）の出水の前後の河床縦断の変化（平均河床高と最深河床高）を示す。これらの図より、非洪水期の後では砂防ダムの直下流の河床高の低下はほとんど見られず、むしろ河床上昇が顕著である。さらに、ゲートタイプ7（6×4）の場合、ゲート下流面の高さが低いために、一時的であるが、直下流でゲート下端面より河床高が上昇した。

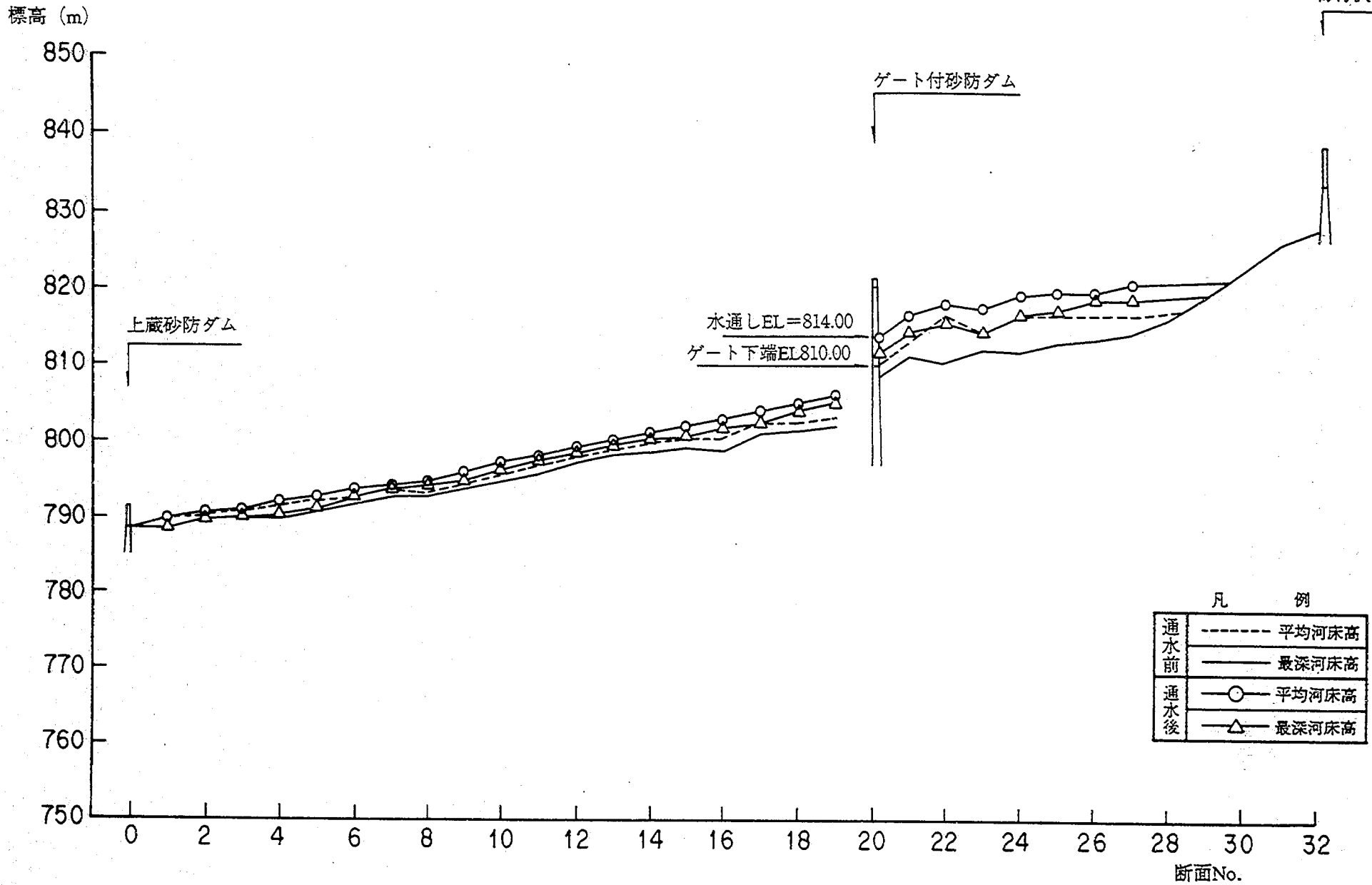


図-3. 16 通水前後の河床高 タイプ1 (5×5+5×10) 洪水期

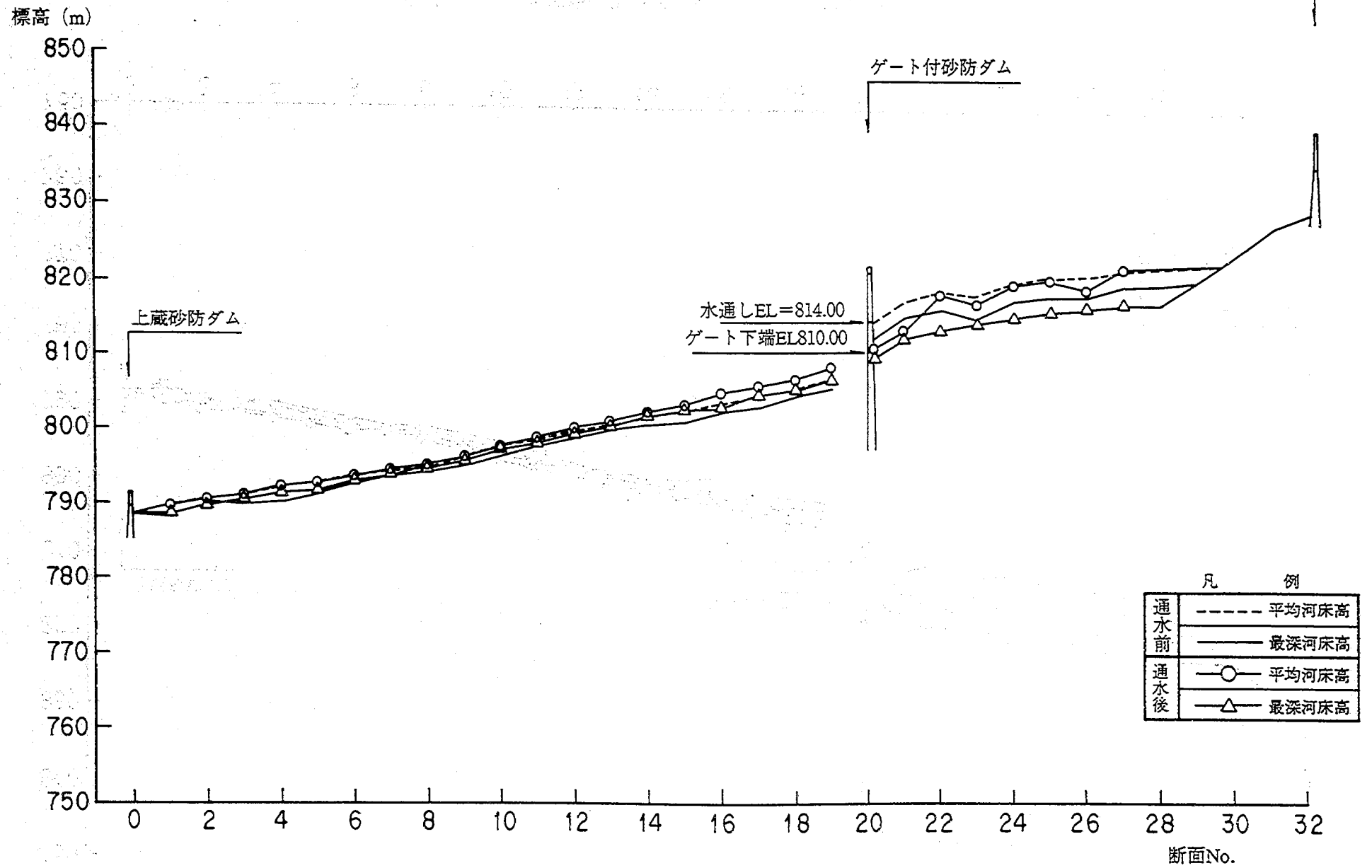


図-3. 17 通水前後の河床高 タイプ1 (5×5+5×10) 非洪水期

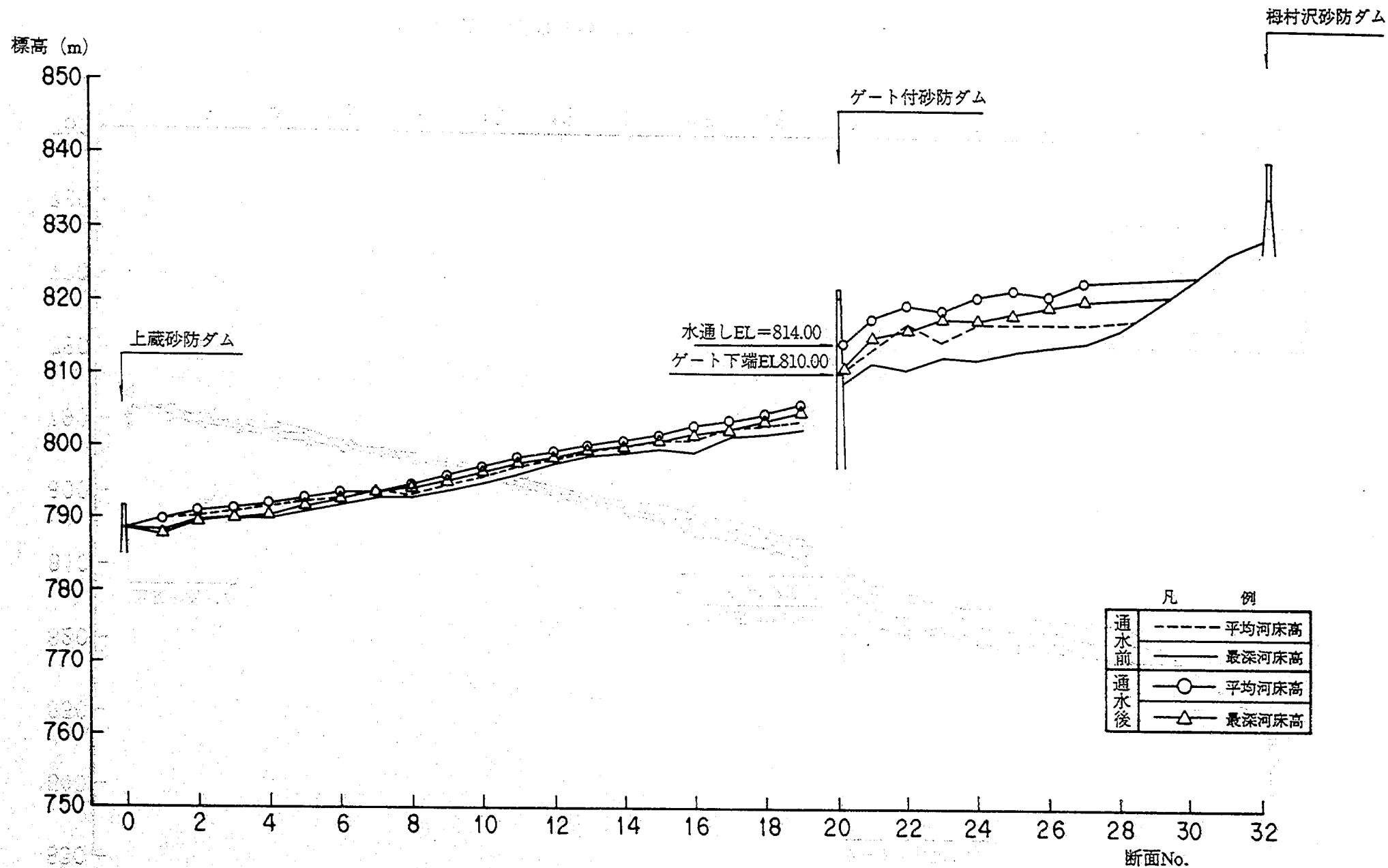


図-3. 18 通水前後の河床高 タイプ2 (5×7.5) 洪水期

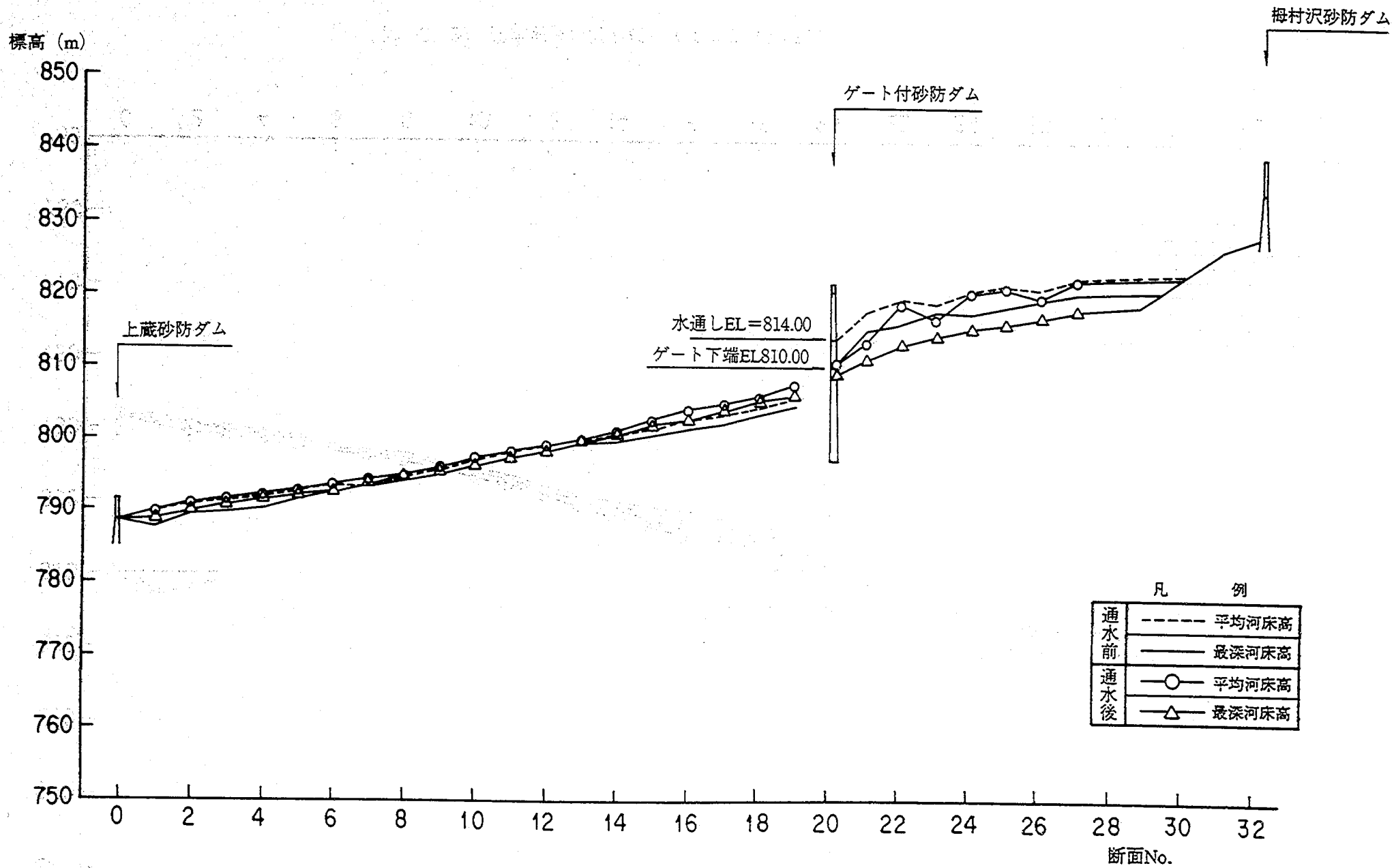


図-3. 19 通水前後の河床高 タイプ2 (5×7.5) 非洪水期

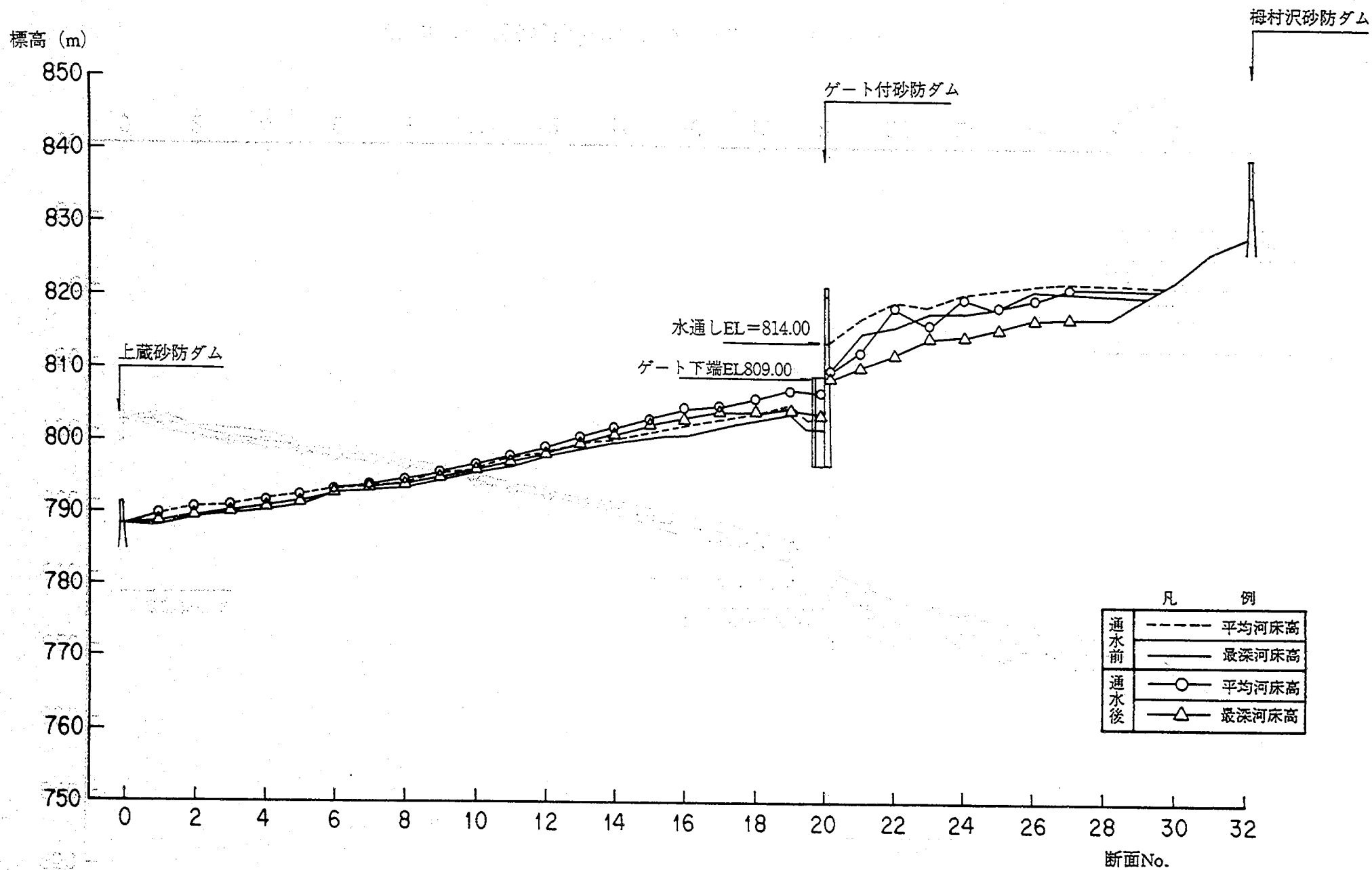


図-3. 20 通水前後の河床高 タイプ3 (5×7.5)

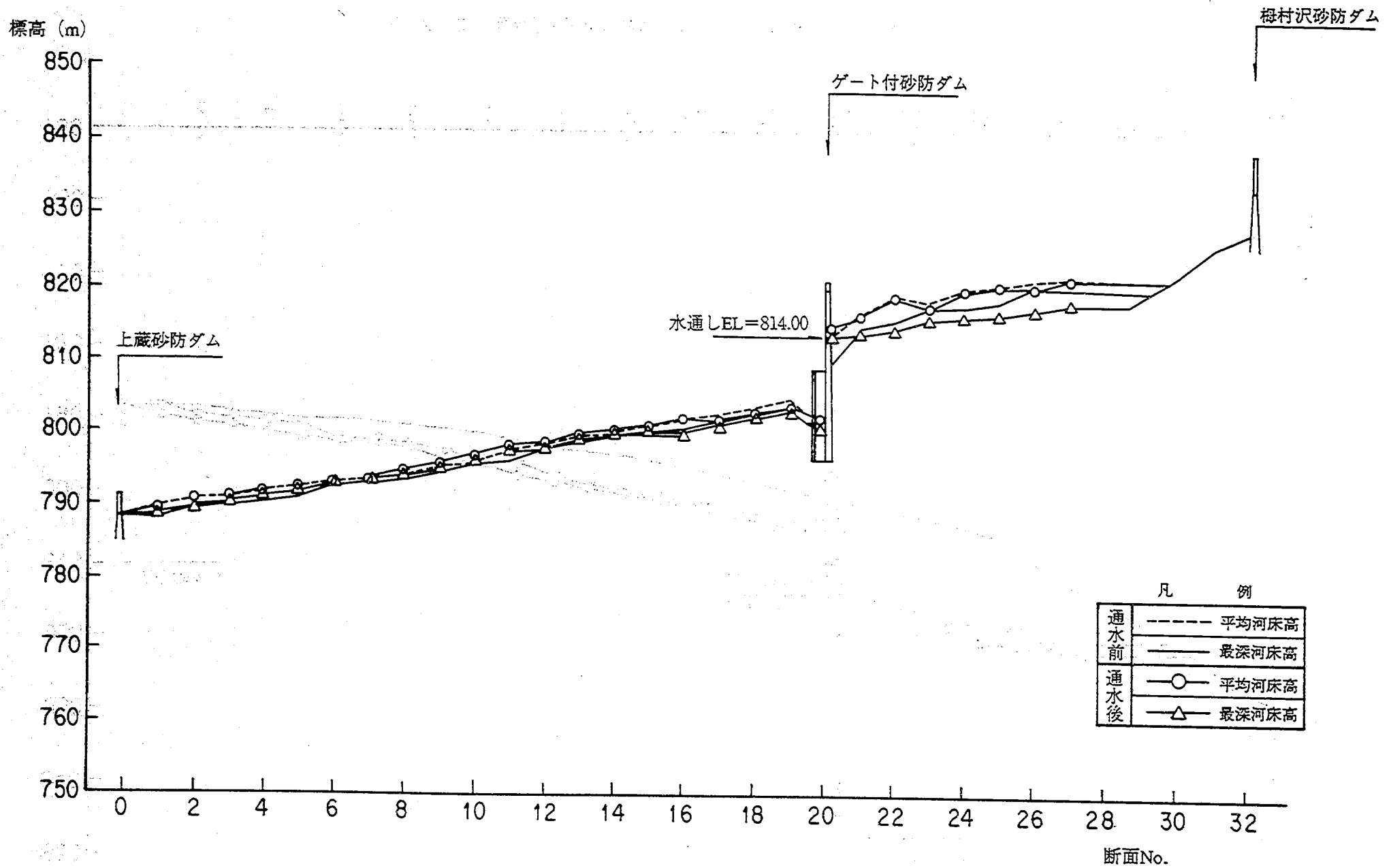


図-3. 21 通水前後の河床高 タイプ4 (なし)

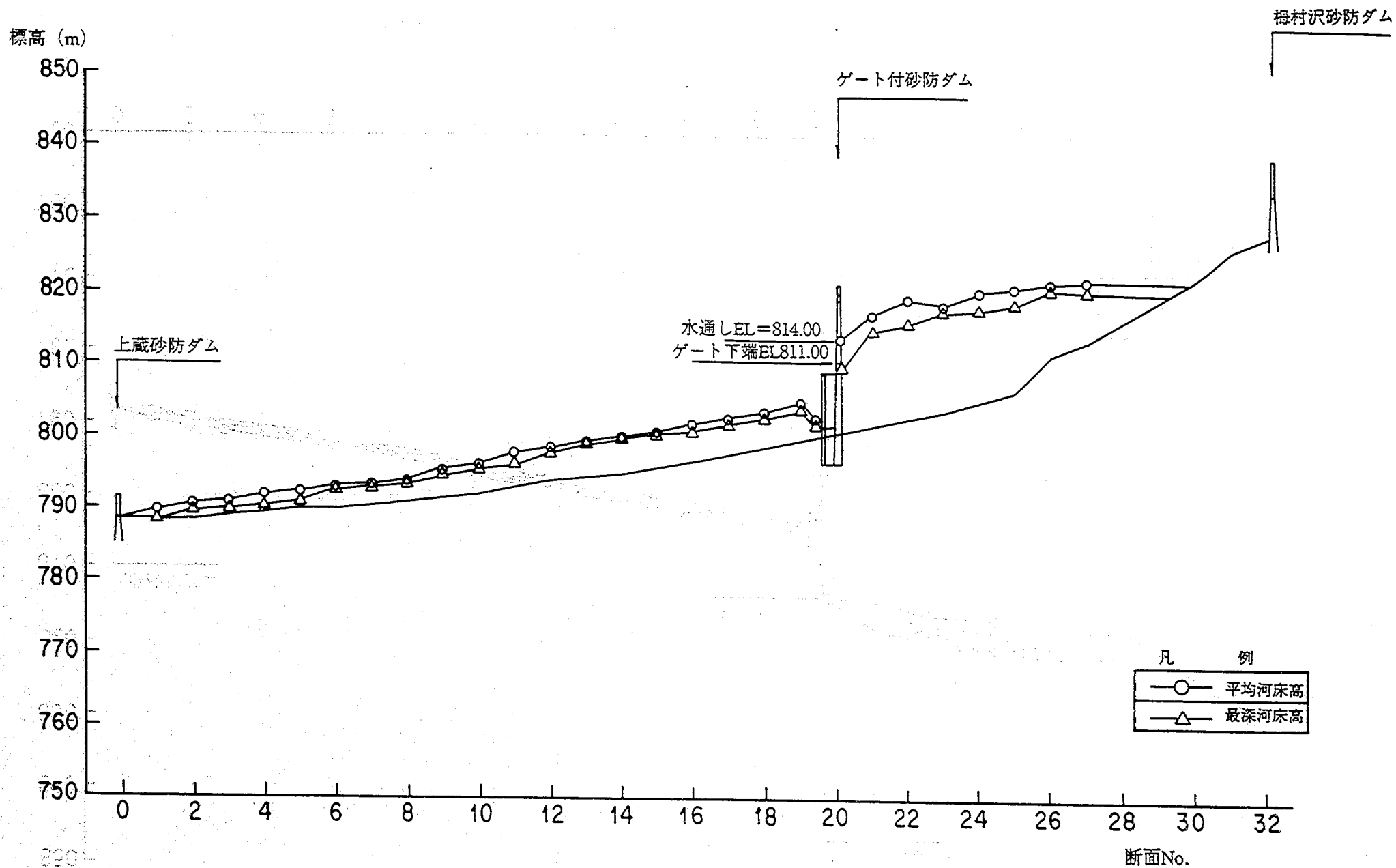


図-3. 22 通水前後の河床高 タイプ5 (3×8.5) 洪水期

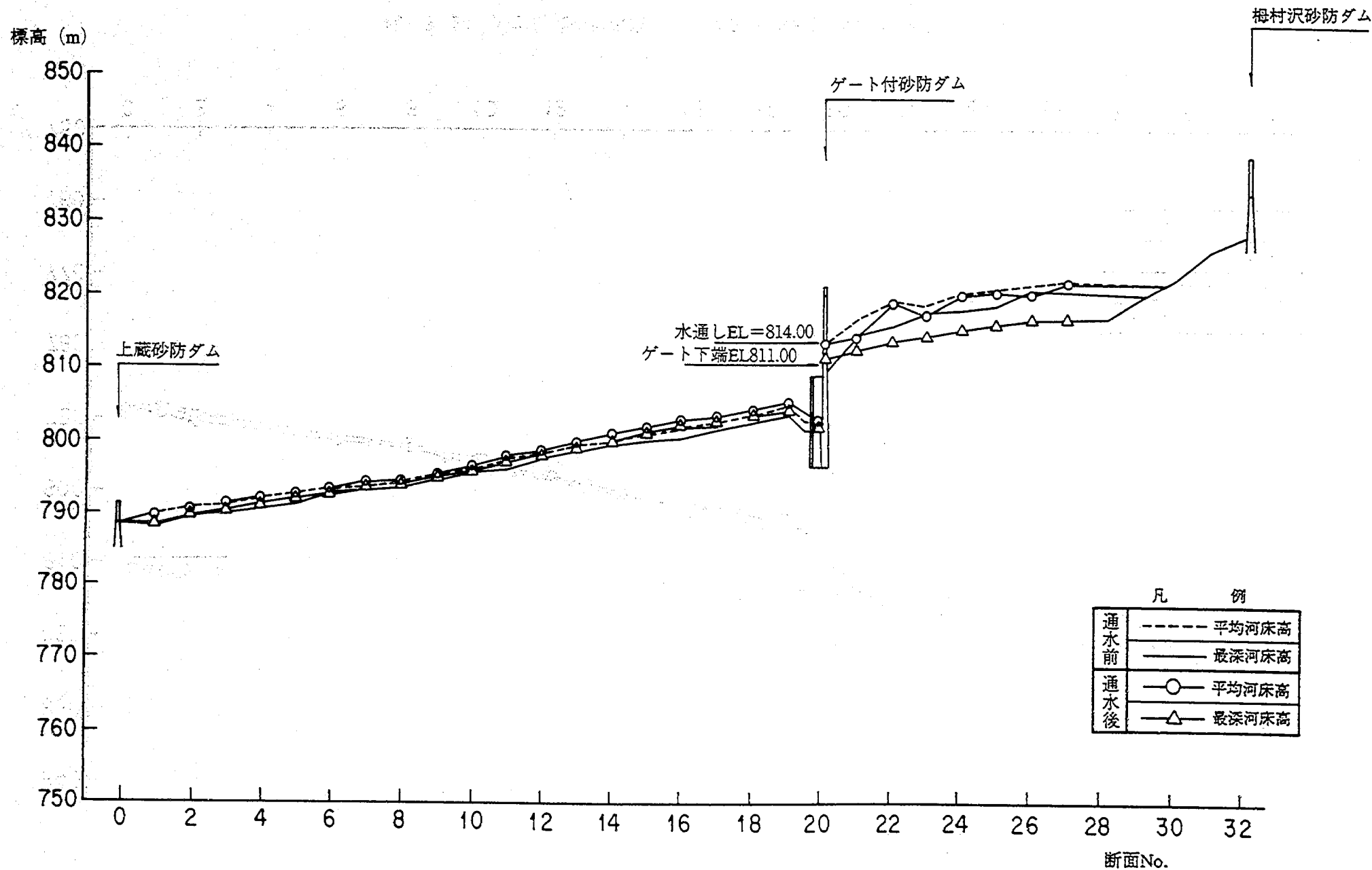


図-3. 23 通水前後の河床高 タイプ5 (3×8.5) 非洪水期① (0～10時間)

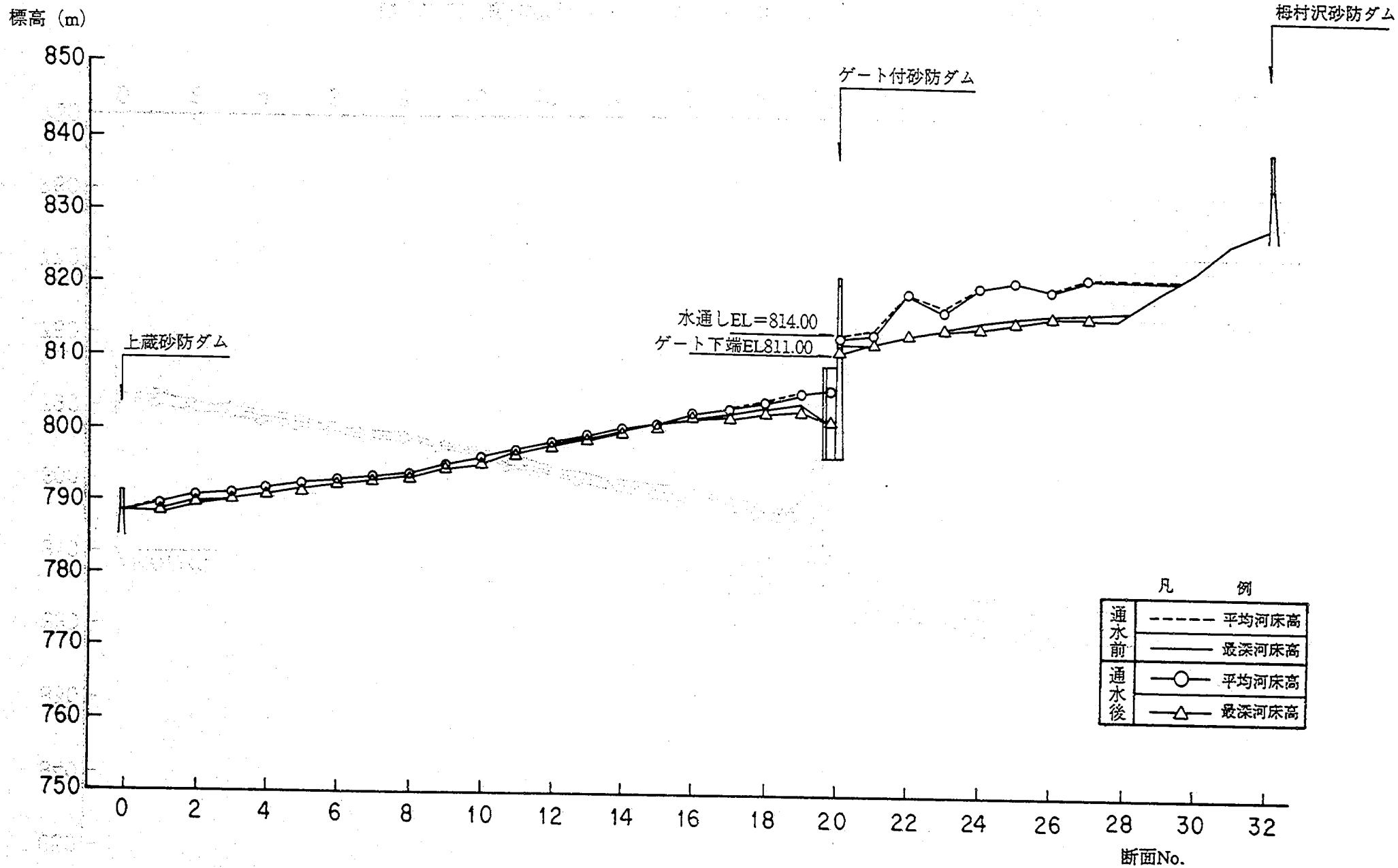


図-3. 24 通水前後の河床高 タイプ5 (3×8.5) 非洪水期② (10~40時間)

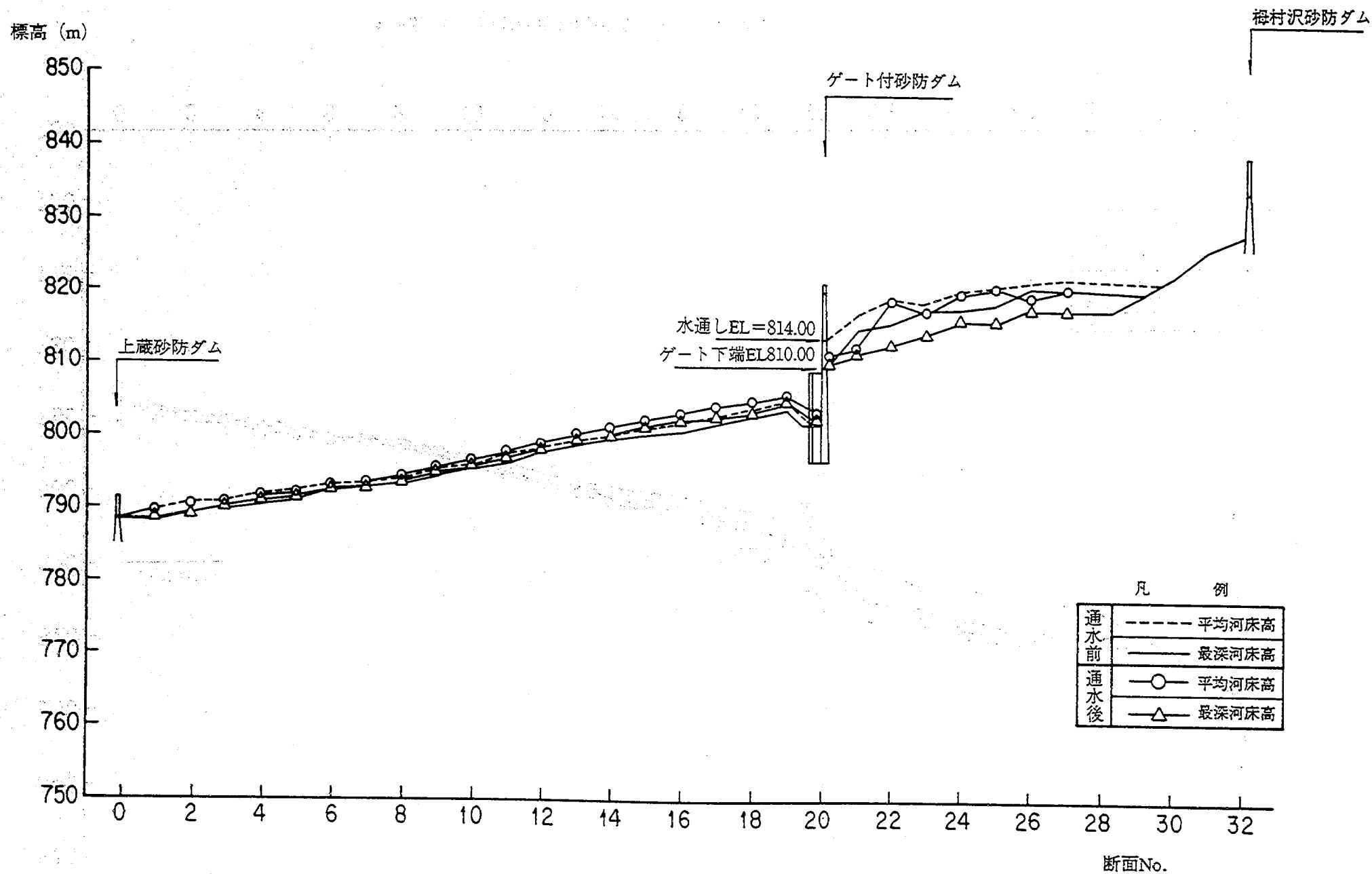


図-3. 25 通水前後の河床高 タイプ6 (4×6.5)

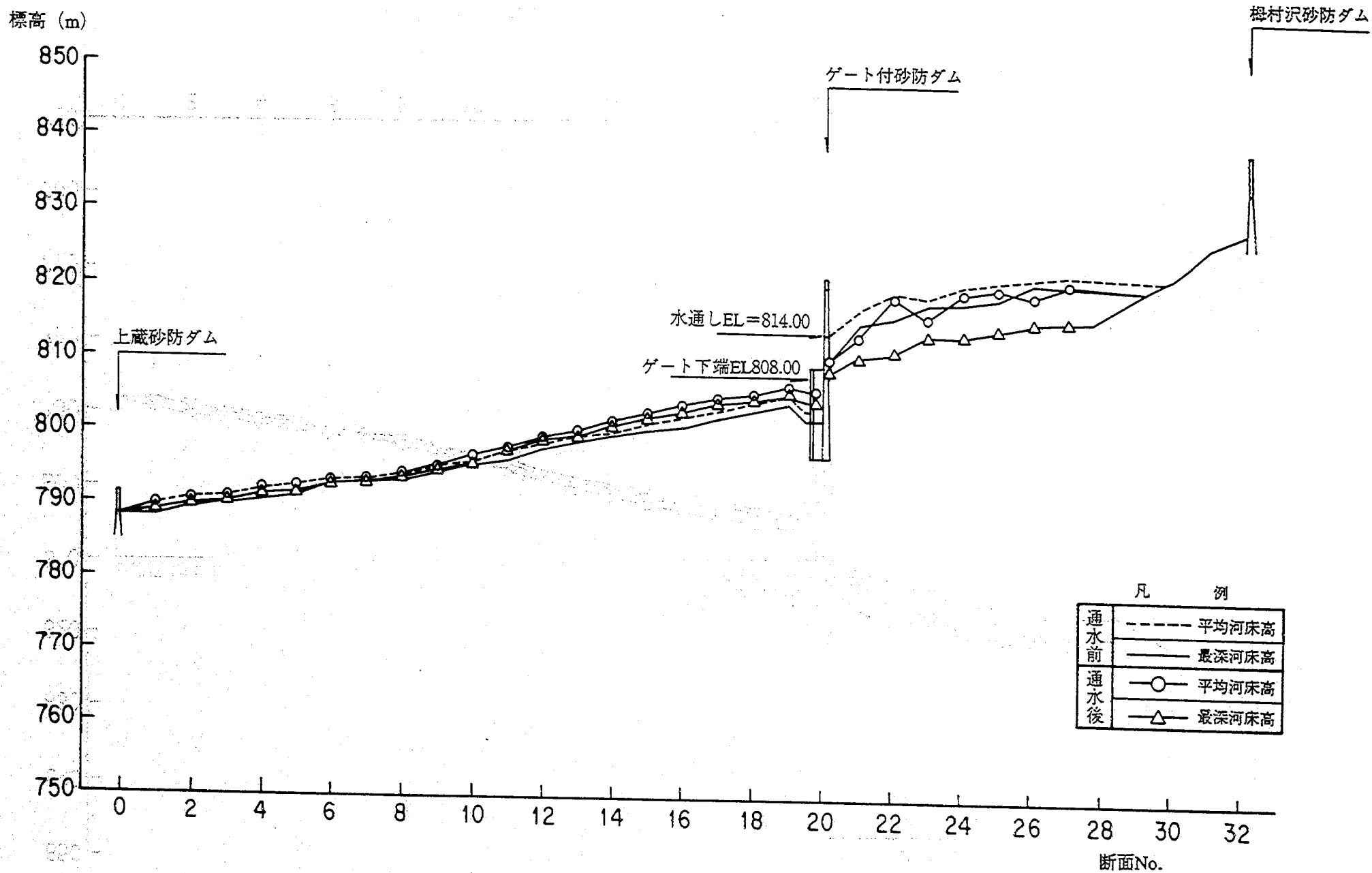


図-3. 26 通水前後の河床高 タイプ7 (6×4)

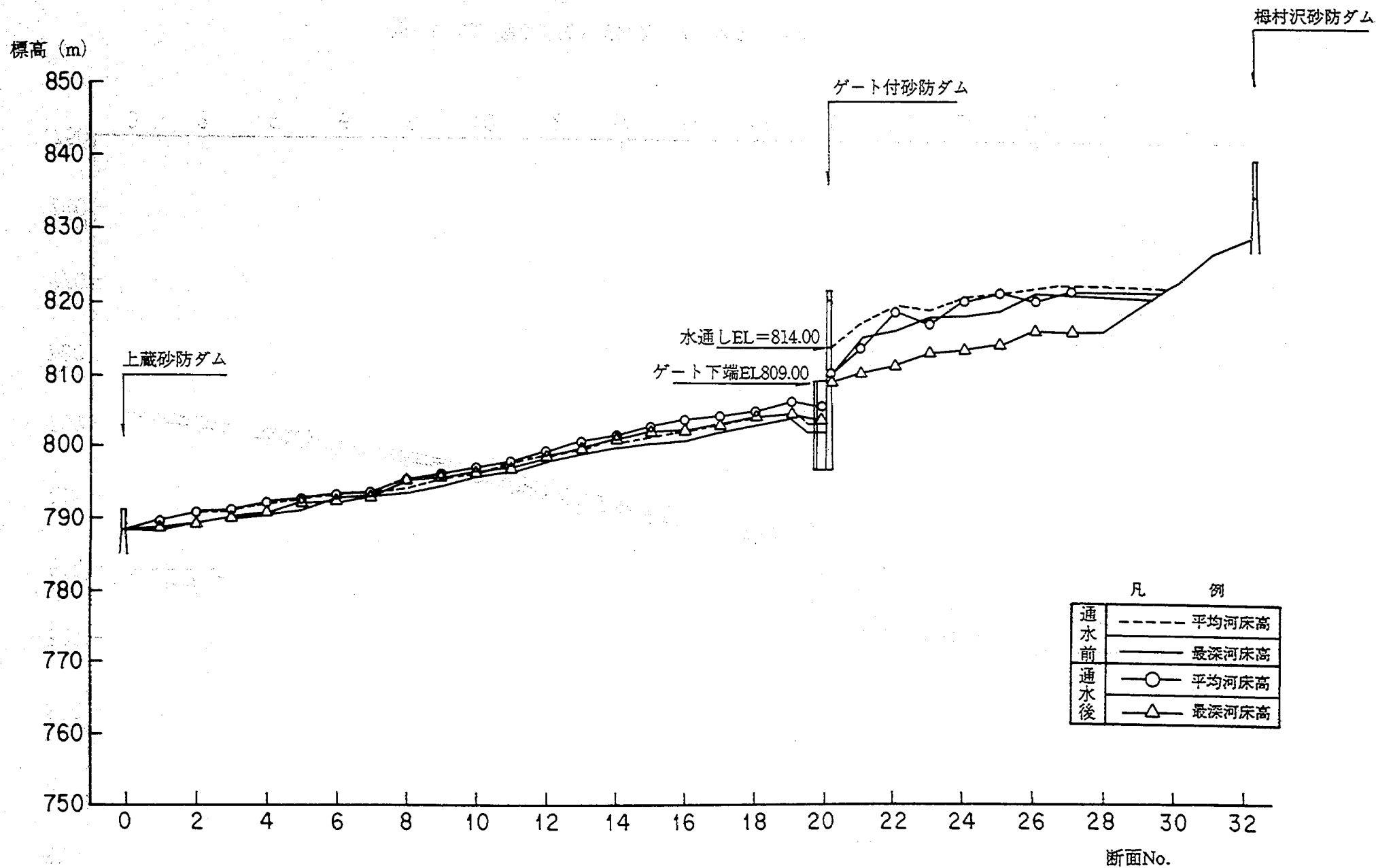


図-3. 27 通水前後の河床高 タイプ8 (5×3)

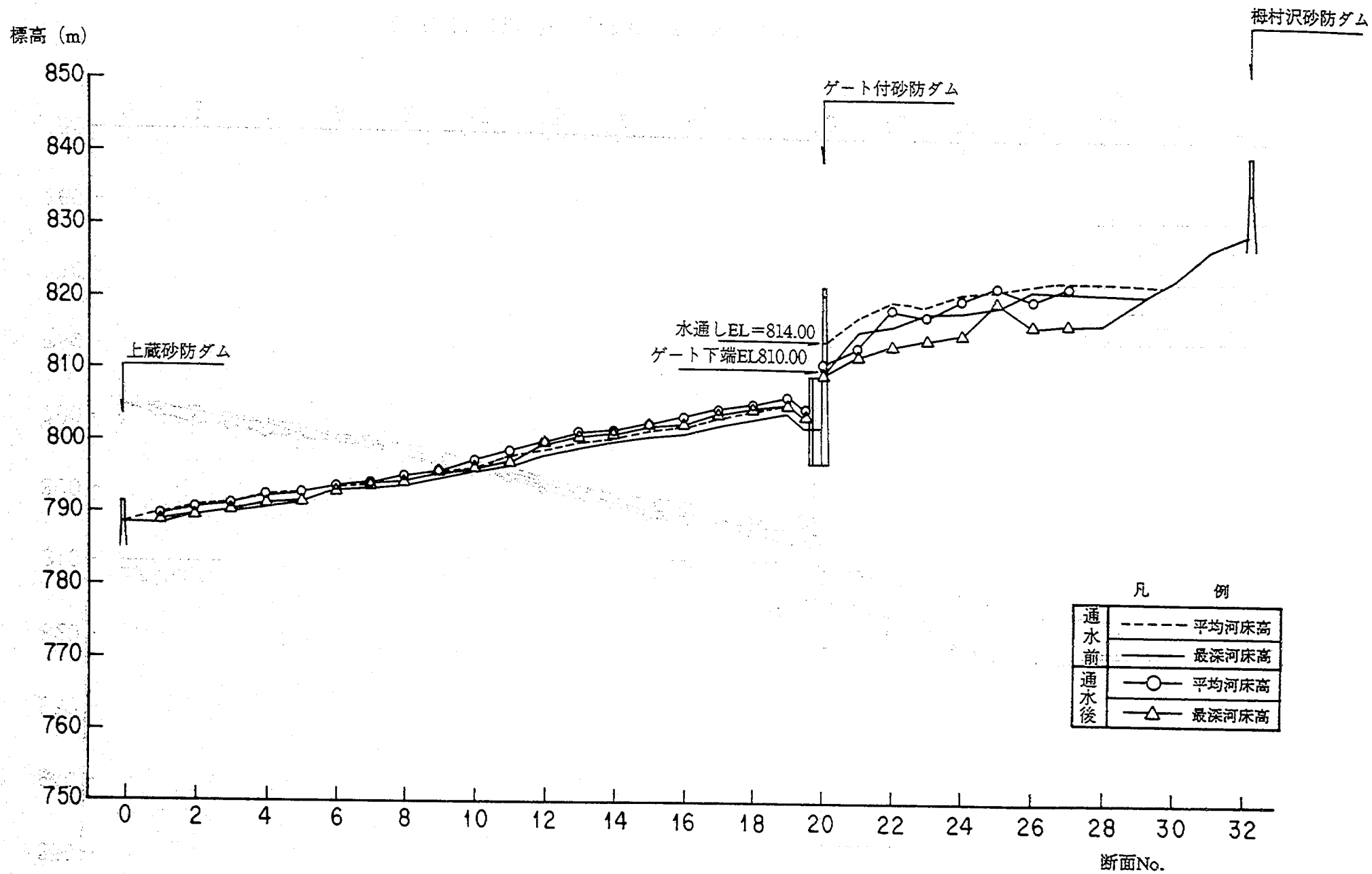


図-3. 28 通水前後の河床高 タイプ9 (3×4)

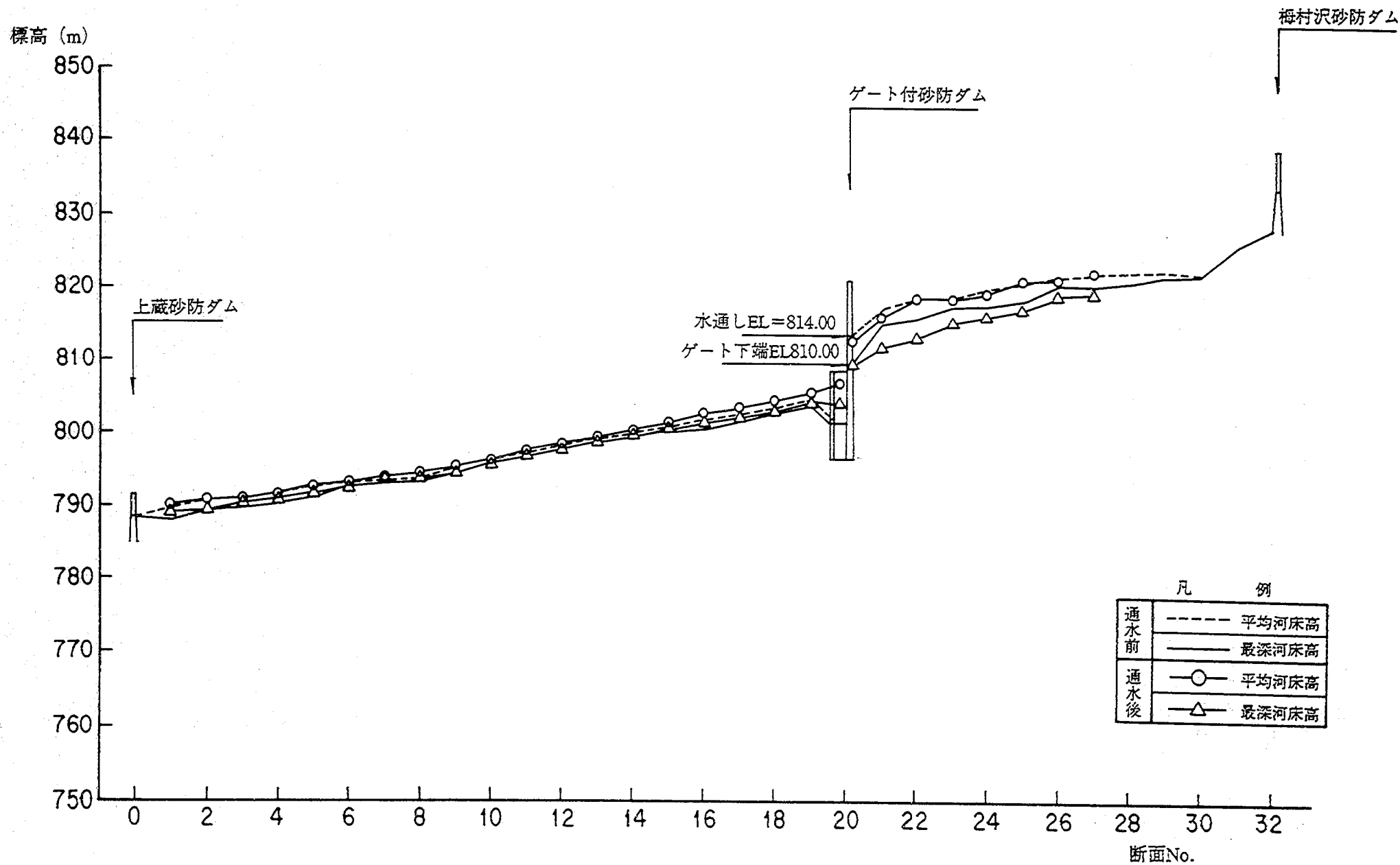


図-3. 29 通水前後の河床高 タイプ9 (3×4) 小流量 (12.0~11.0m³/s)

3.2.3 流出土砂量の変化

各ゲートタイプ毎の非洪水期（ゲートの開放時）における砂防ダム下流での流出土砂量と土砂濃度の時間的变化を図3.30～3.41に示す。ただし、ゲートタイプ1と2については洪水期の流出土砂量と土砂濃度も示した。これらの図より、ゲート開放後の比較的短時間のうちに大半の土砂が流出することが分かる。特に、ゲートタイプ3（ 5×7.5 ）と6（ 4×6.5 ）が土砂流出量のピークが大きい。また、流量 $17.5\text{m}^3/\text{s}$ の出水が模型時間で約2時間、実際の時間で約15時間程度続くと流出する土砂の大半が流出してしまい、それ以降の小流量による土砂の流出はわずかである。

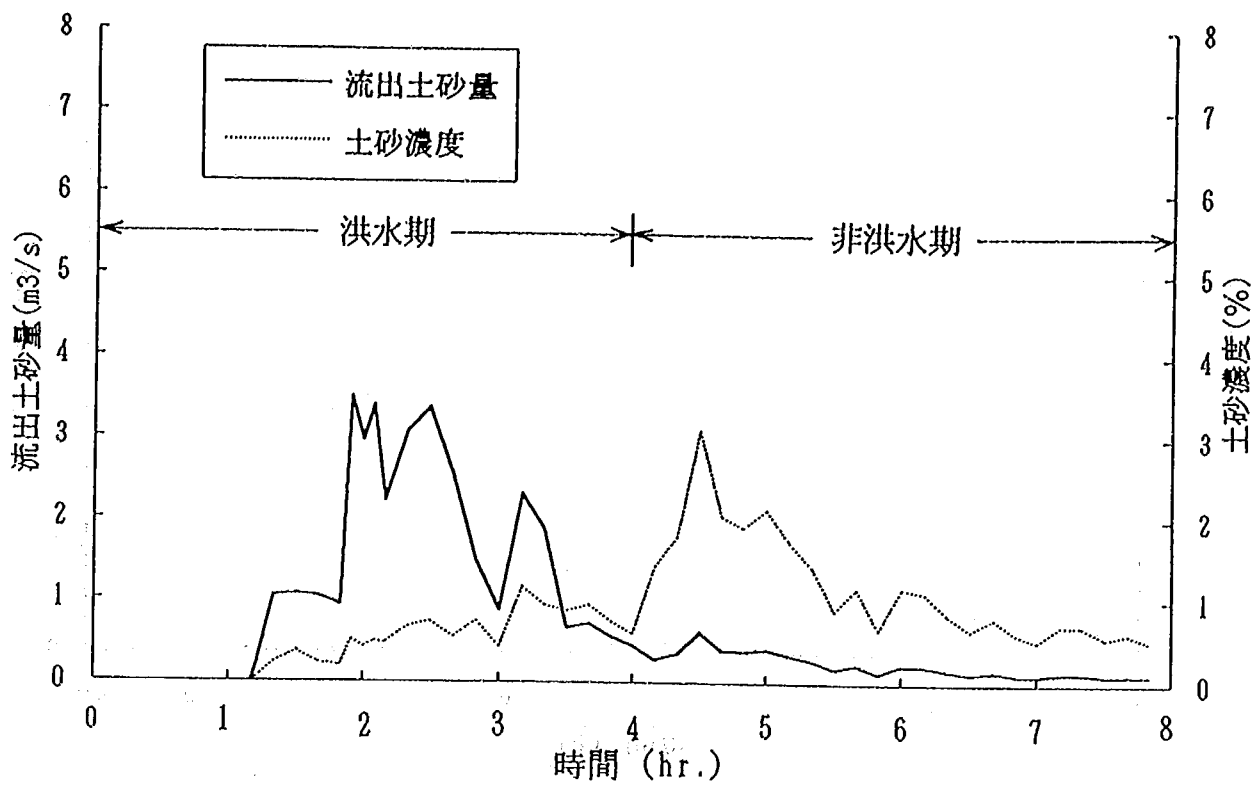


図-3.30 流出土砂量と土砂濃度の時間的変化 (タイプ1) ($5 \times 5 + 5 \times 10$)

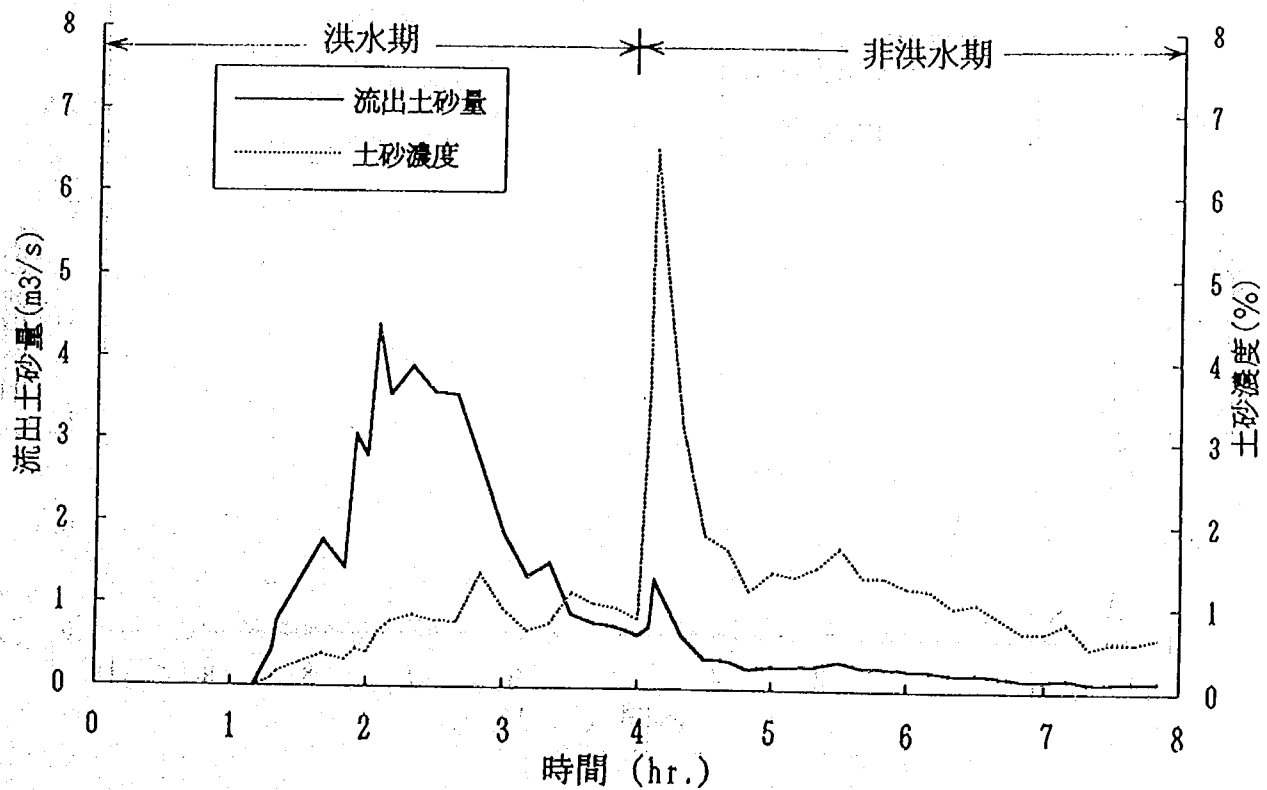


図-3.31 流出土砂量と土砂濃度の時間的な変化 (タイプ2) (5×7.5)

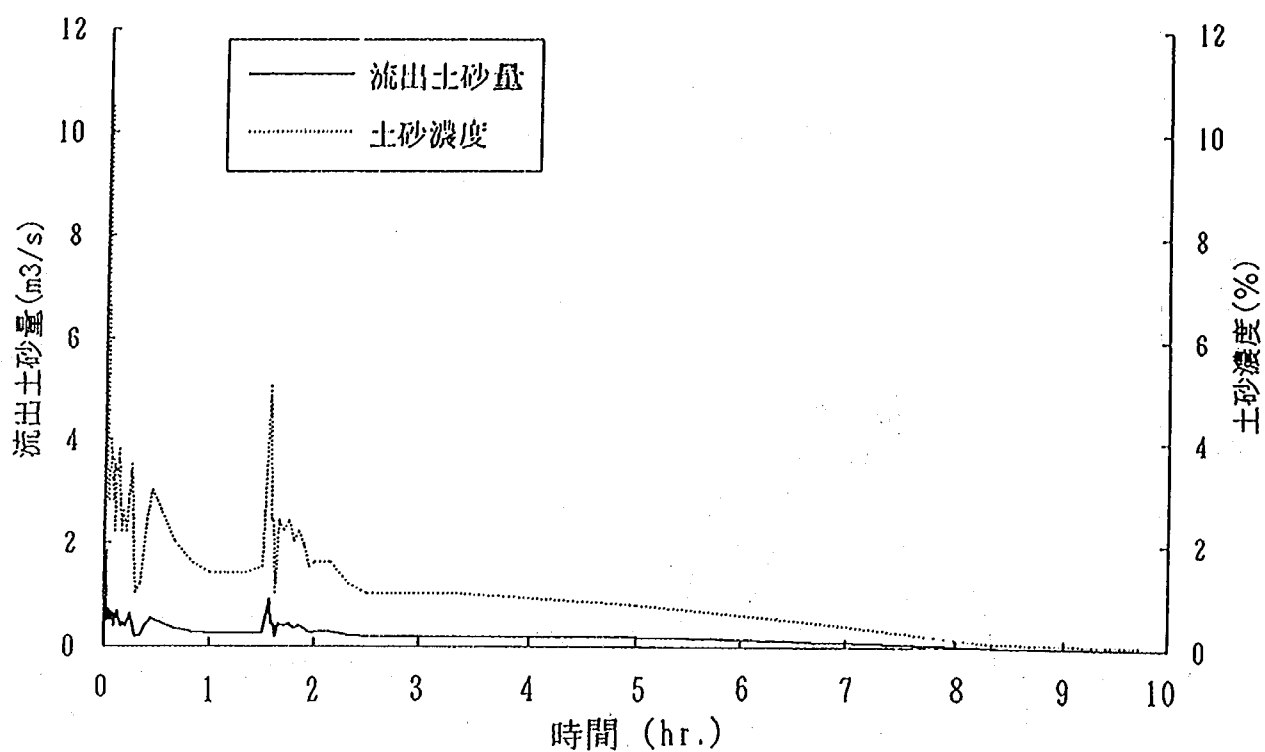


図-3.32 流出土砂量と土砂濃度の時間的な変化 (タイプ3) (5×7.5)

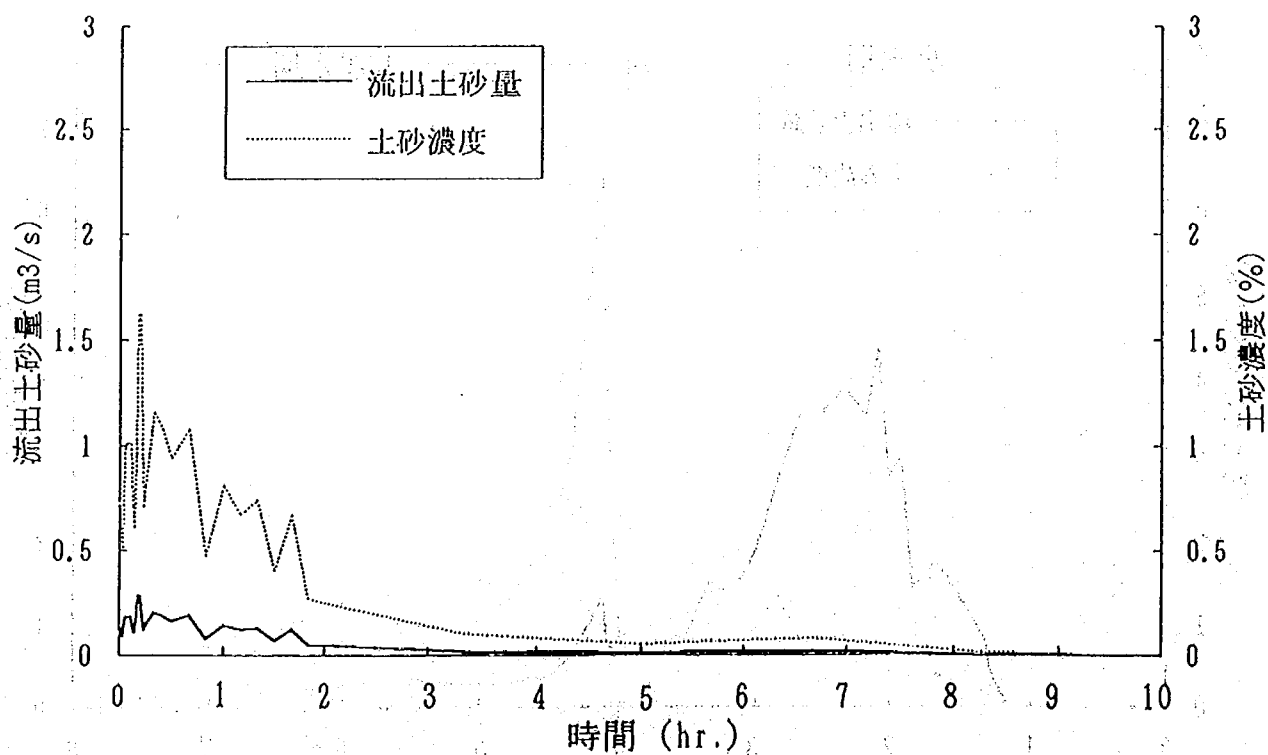


図-3.33 流出土砂量と土砂濃度の時間的な変化 (タイプ4) (なし)

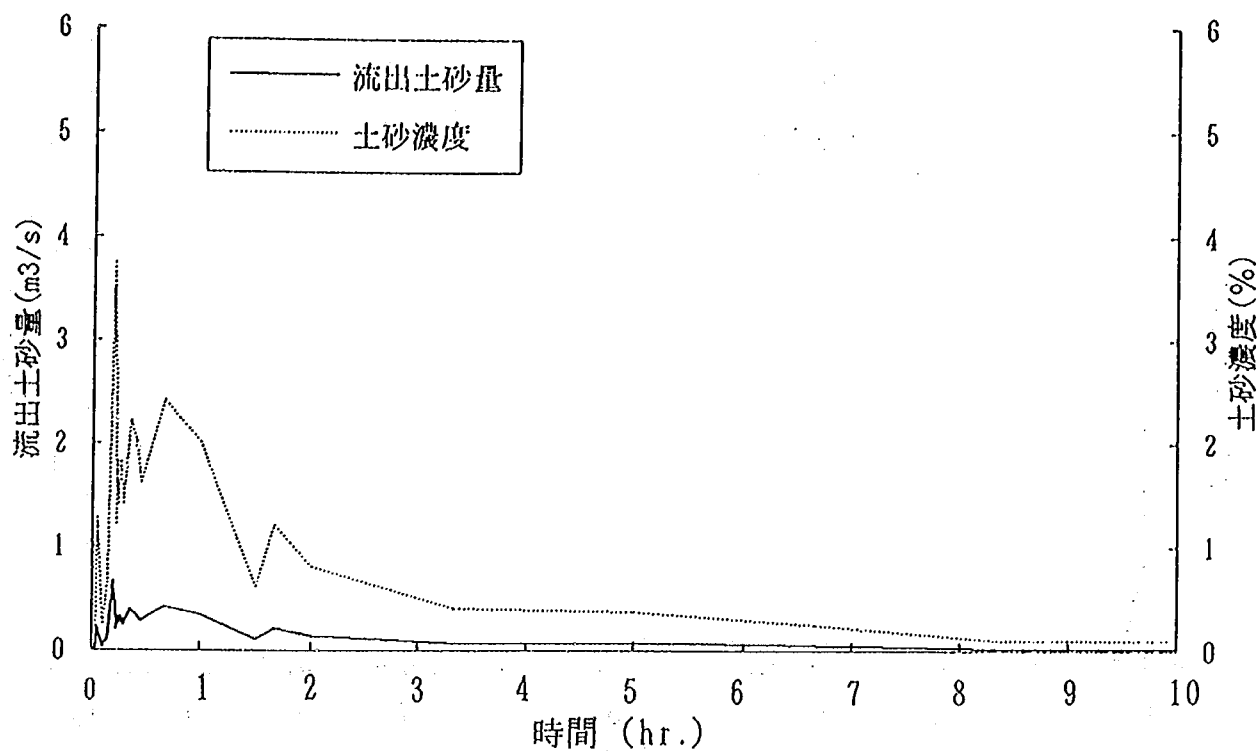


図-3.34 流出土砂量と土砂濃度の時間的な変化 (タイプ5) (3×8.5)

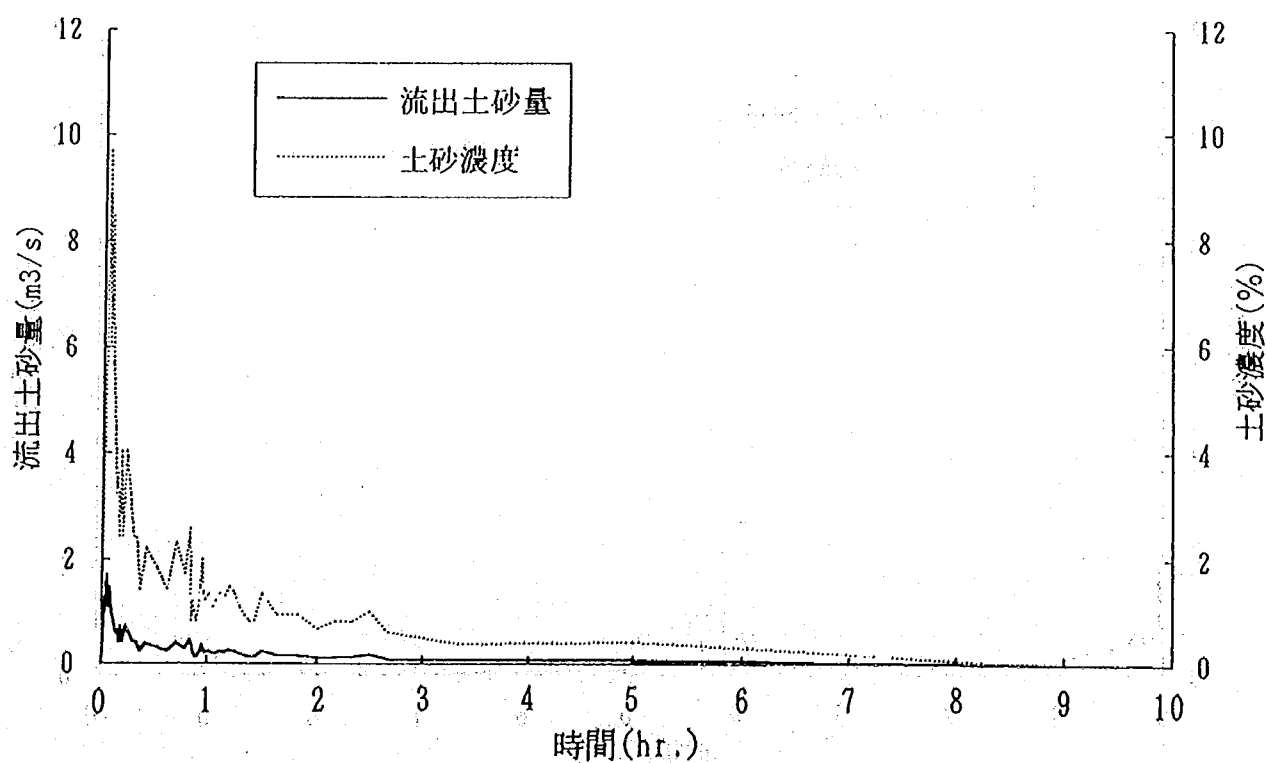


図-3.35 流出土砂量と土砂濃度の時間的な変化 (タイプ6) (4×6.5)

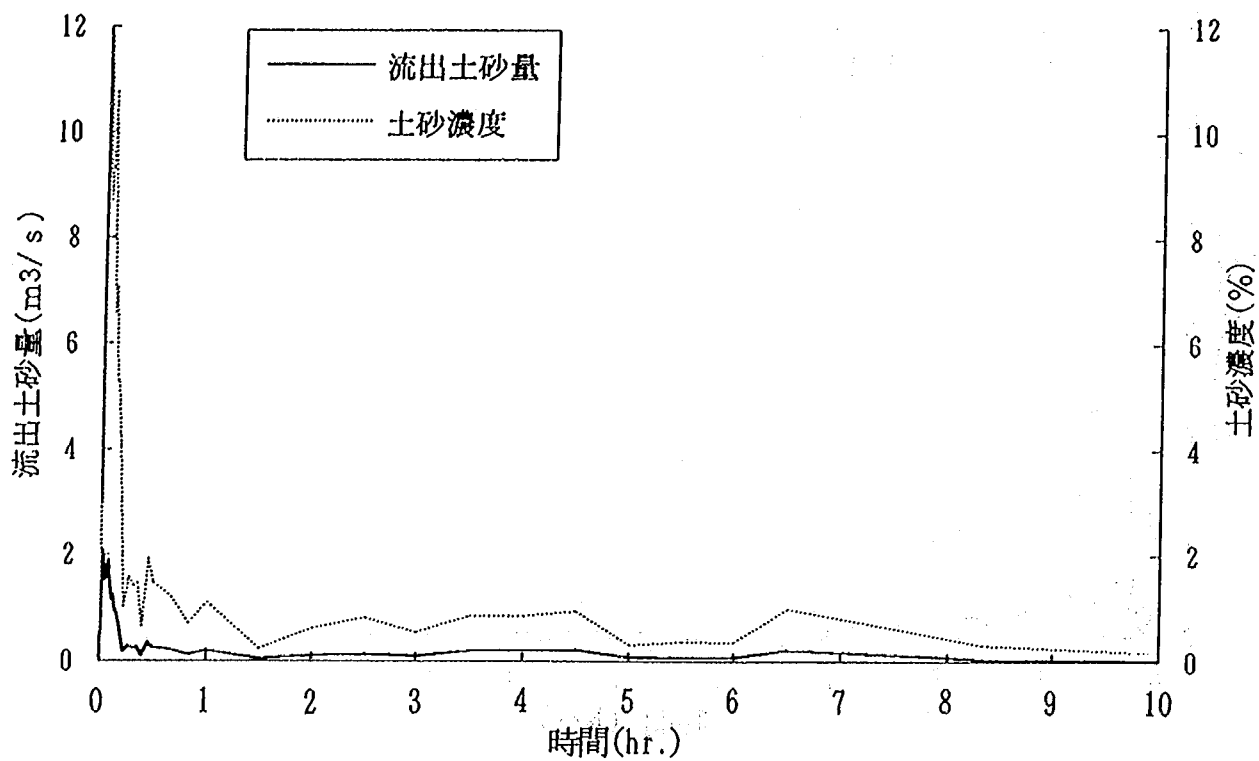


図-3.36 流出土砂量と土砂濃度の時間的な変化 (タイプ7) (6×4)

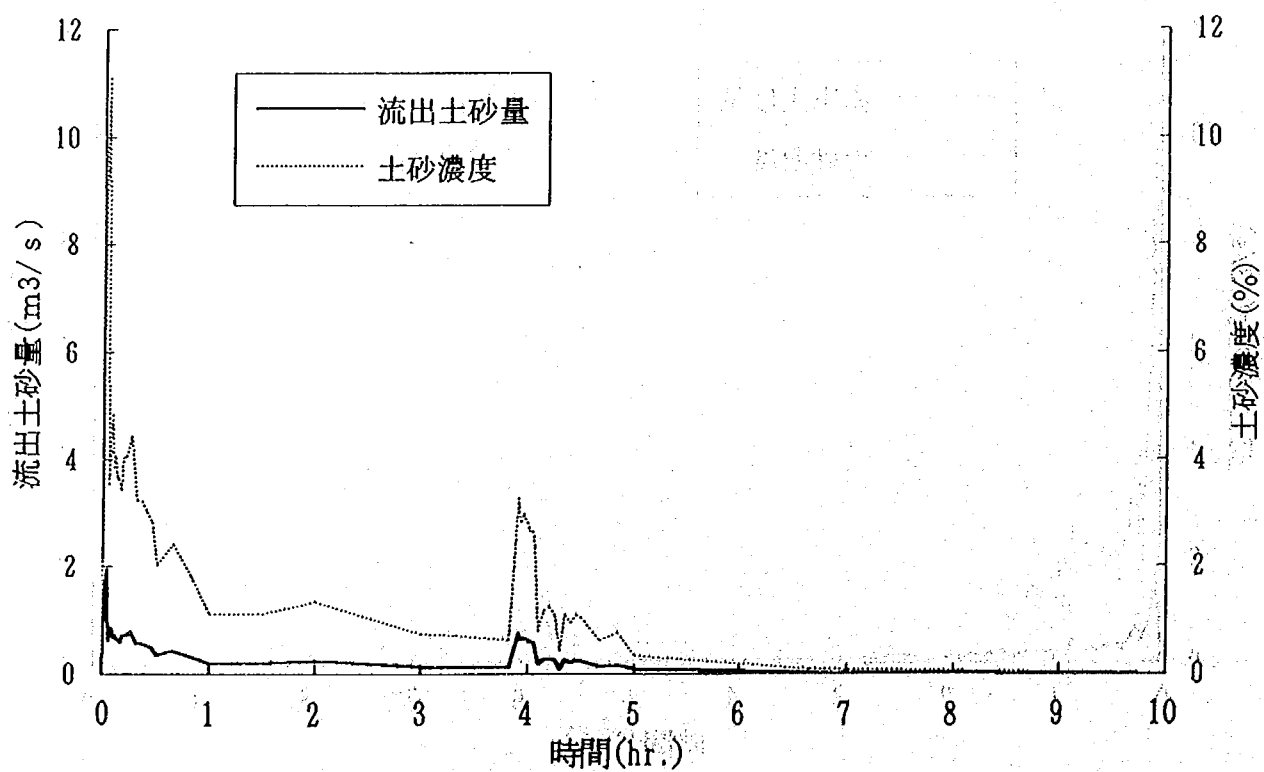


図-3.37 流出土砂量と土砂濃度の時間的な変化 (タイプ8) (5×3)

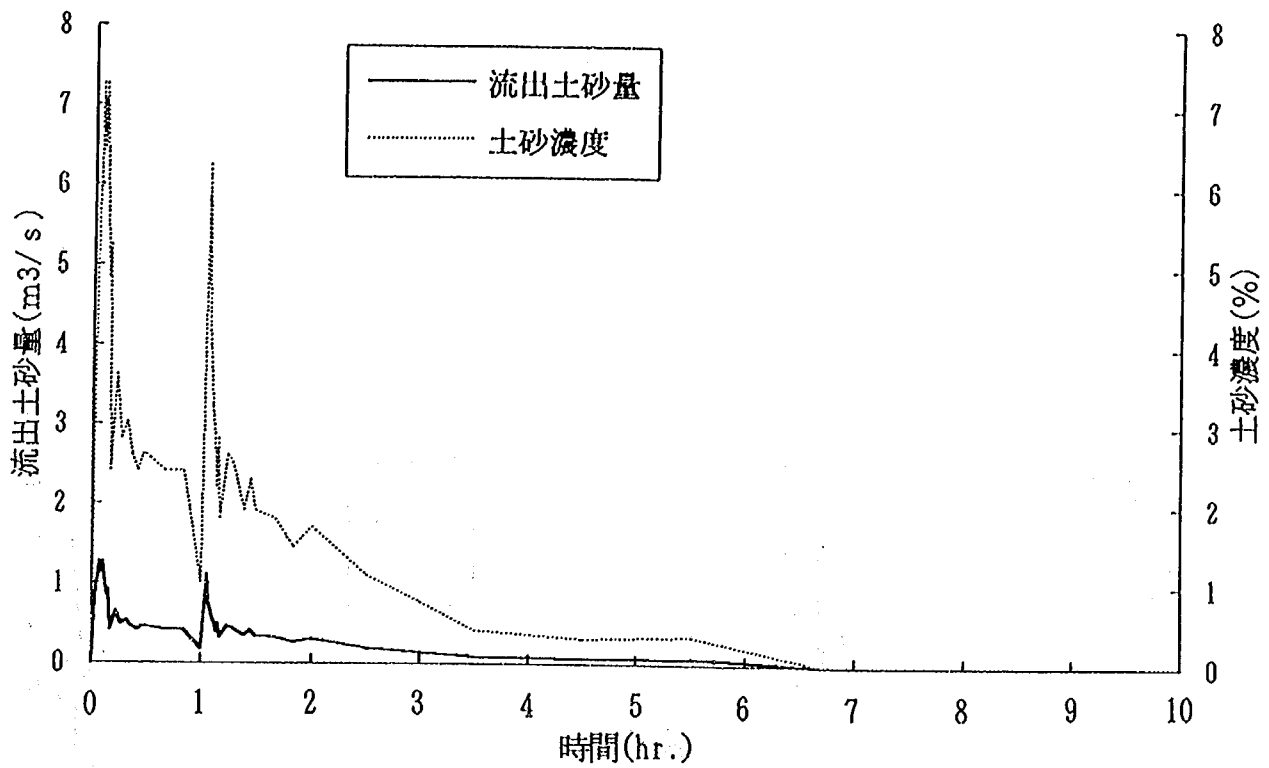


図-3.37 流出土砂量と土砂濃度の時間的な変化 (タイプ9) (4×3)

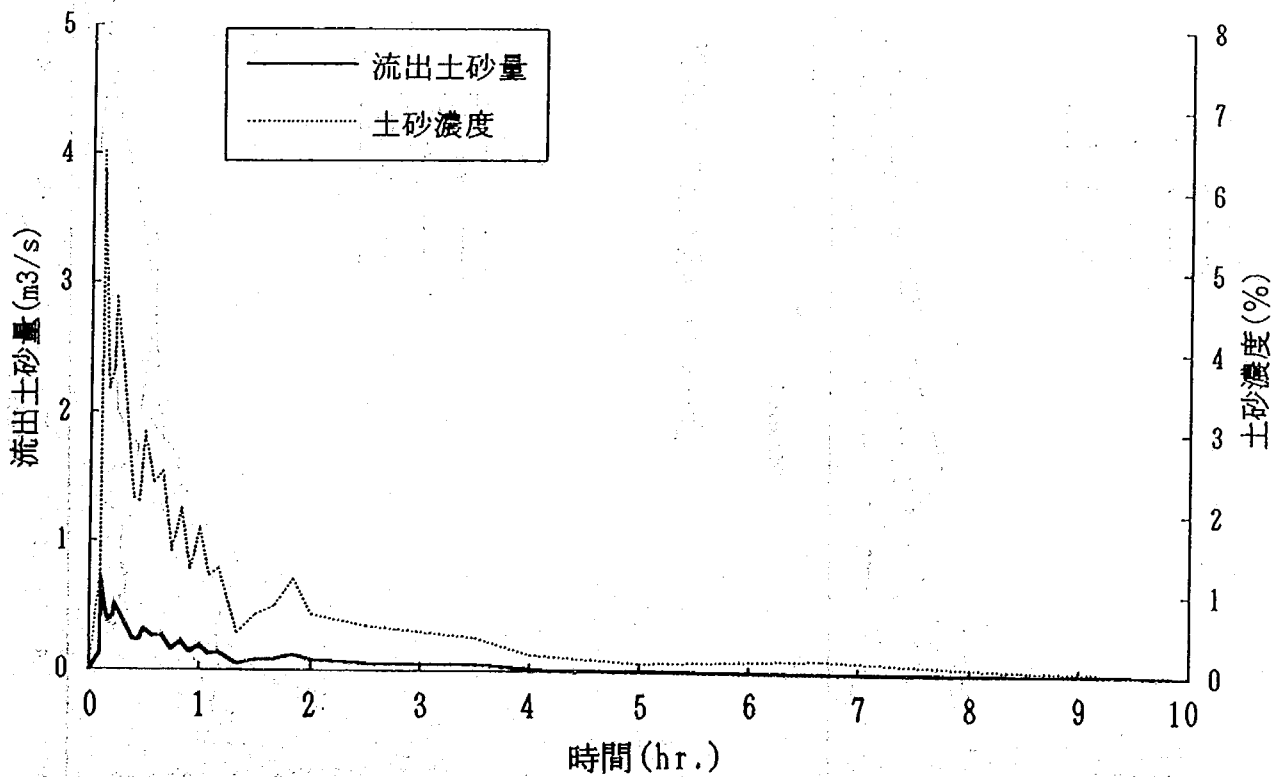


図-3.38 流出土砂量と土砂濃度の時間的な変化 (タイプ9) (4×3) 小流量(12.0~11.0m³/s)

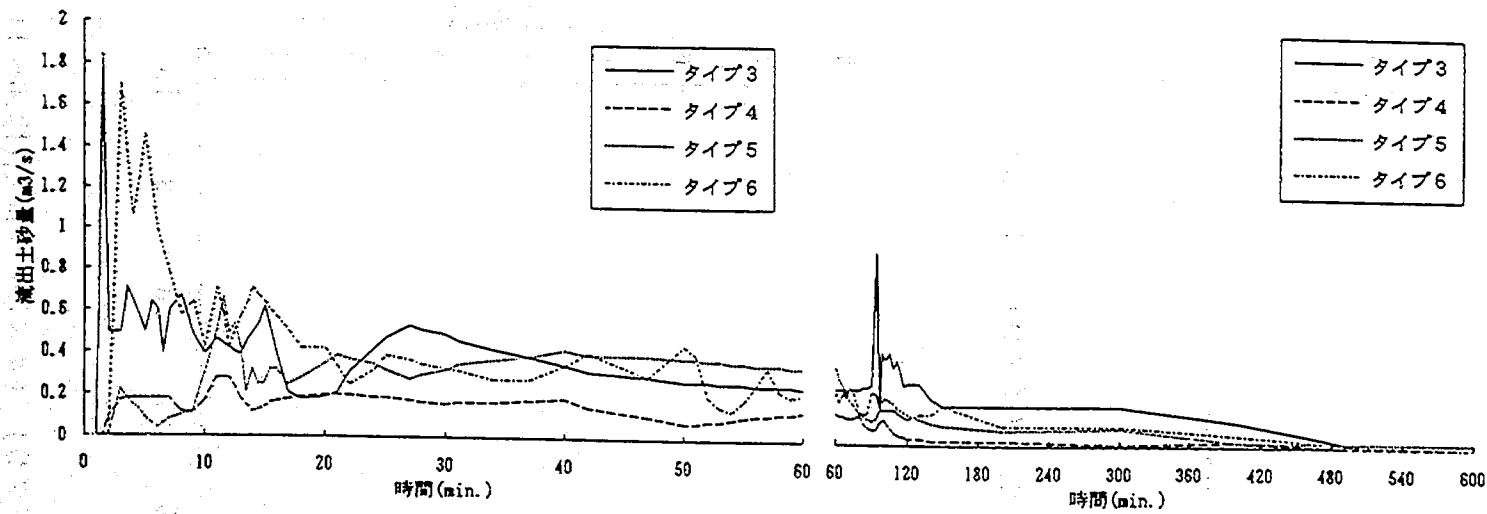


図-3.40 流出土砂量の時間的变化 (タイプ3～6)

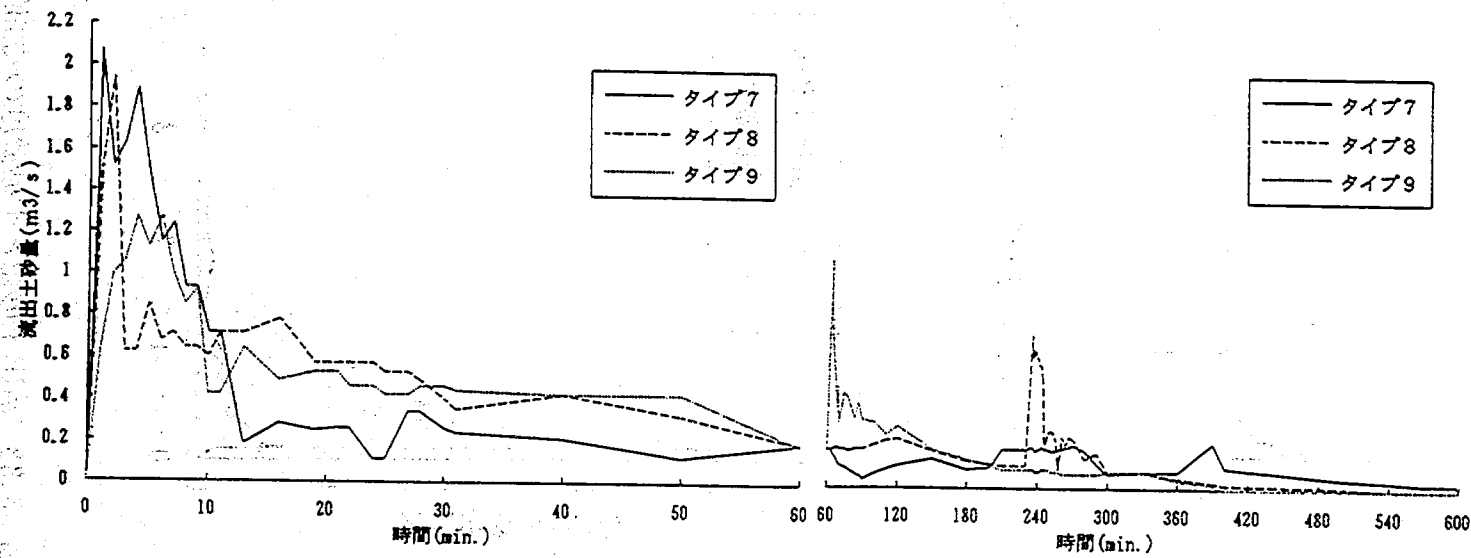


図-3.41 流出土砂量の時間的变化 (タイプ7～9)

3.2.4 ゲートタイプの比較検討

(1) 流出土砂量（排砂量）の比較

表-3.7に各ゲートタイプ毎の、洪水期における砂防ダム上流の堆積土砂量と、非洪水期における砂防ダム下流への流出土砂量の比較を示す。また、図-3.42にはゲートの深さと流出土砂量の関係を示す。これらの図表より、ゲートの深さが深いほど流出土砂量が多いことが分かる。

さらに、図-3.43にゲートの幅と流出土砂量との関係を示す。同じ高さのゲートを比較すると、ゲートの幅が広いほど流出土砂量が多いことが分かる。

排砂の面で比較すると、タイプ7（6×4）とタイプ3（5×7.5）がゲートから排砂する土砂量が多く、好ましい。

ゲートタイプ9において流量を変化させた実験から、非洪水期の流量が小さくなるとゲートからの流出土砂量も減少することが分かった。

表-3.7 各ゲート形状毎の堆積土砂量および排砂量

ゲート タイプ	高さ×幅 (m) (m)	堆積土砂量 (m ³)	排砂量 (m ³)	排砂量 堆積土砂量	
1	5×5+5×10	81,000	34,000	42 %	
2	5×7.5	109,000	35,000	32 %	
3	5×7.5	125,000	45,000	36 %	
4	なし	125,000	10,000	8 %	
5	3×8.5	125,000	26,000 (29,000)	21 % (23 %)	
6	4×6.5	125,000	37,000	30 %	
7	6×4	125,000	45,000	36 %	
8	5×3	125,000	37,000	30 %	
9	4×3	125,000	36,000	29 %	
		125,000	14,000	11 %	小流量

注) タイプ5の（ ）書きは長時間の小流量での流出分を含めた場合
タイプ9については小流量の場合の実験も行った。

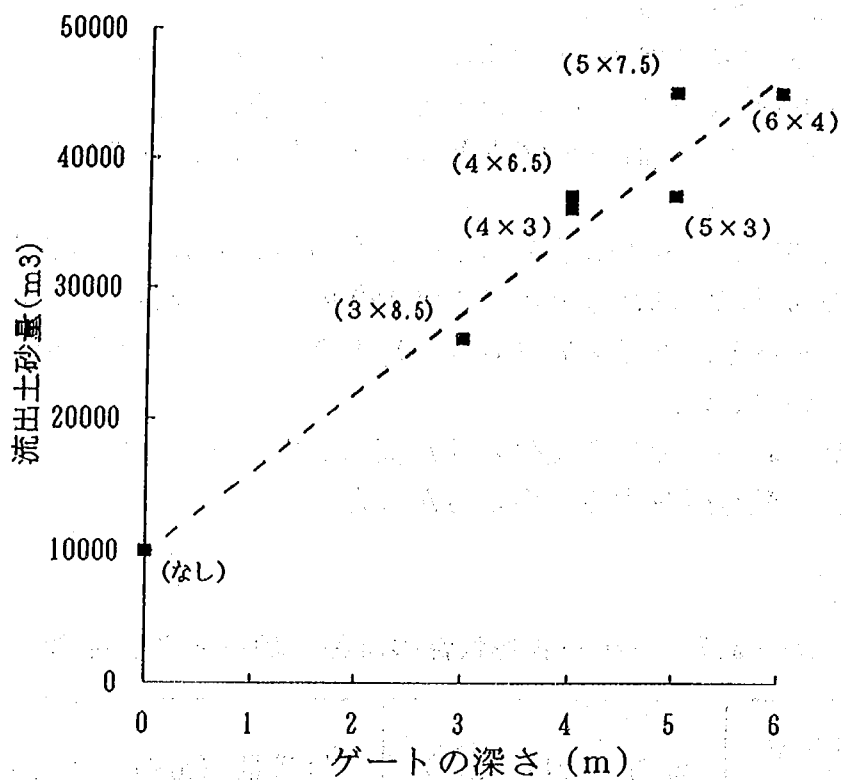


図-3.42 ゲートの深さと流出土砂量の関係

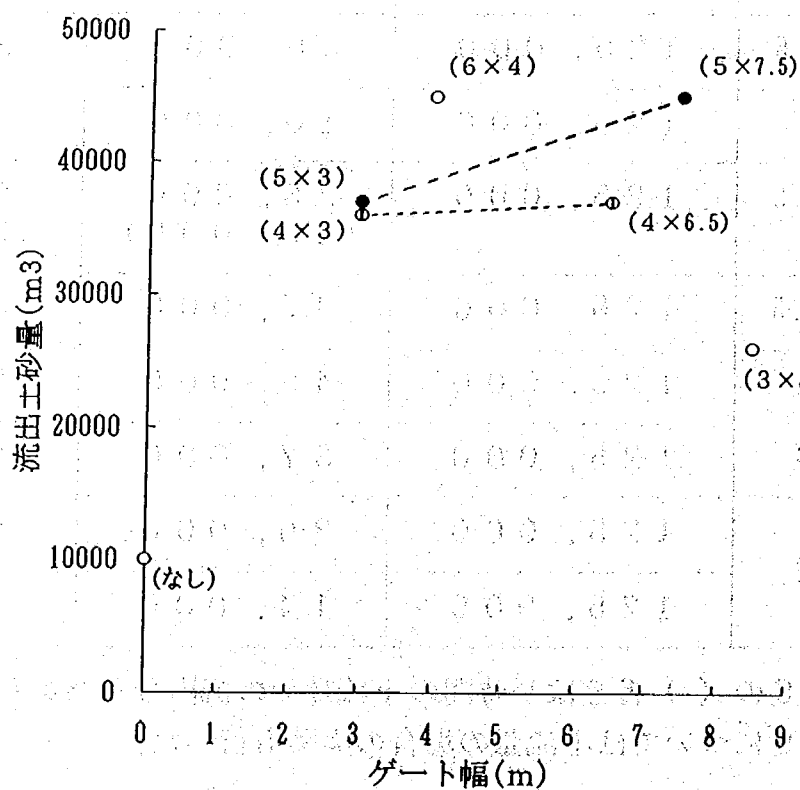
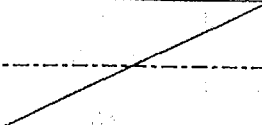


図-3.43 ゲートの幅と流出土砂量の関係

(2) ゲート付砂防ダム直下の河床上昇・低下

表-3.8に示すように、直下流の河床高とゲート下端の差、直下流の河床高と通水前河床高の差について、それぞれ実験終了後の値と実験中の最高位を求めた。タイプ7はゲートの下端が低いためにゲートから土砂が流出した直後はゲート下端より直下流の河床高が高くなり、ゲートの維持管理の面から考えると好ましくない。その他のタイプについては、全て直下流の河床高はゲートの下端よりも低くなっており、特に問題はない。

表-3.8 ゲート付砂防ダム直下流の河床上昇・低下

ゲート タイプ	高さ×幅 (m) (m)	ゲート下端と 比較した河床高	通水前と 比較した河床高	最終形状 と 最高位	
3	5×5	-1.9 m	+1.6 m	最終形状	
		-0.5 m	+3.0 m	最高位	
4	なし		-1.0 m	最終形状	
			+0.1 m	最高位	
5	3×8.5	-5.0 m	+0.5 m	最終形状	
		-3.7 m	+1.8 m	最高位	
6	4×6.5	-3.7 m	+0.8 m	最終形状	
		-1.9 m	+2.6 m	最高位	
7	6×4	-1.1 m	+1.4 m	最終形状	
		+0.8 m	+3.3 m	最高位	
8	5×3	-1.3 m	+2.2 m	最終形状	
		-1.3 m	+2.2 m	最高位	
9	4×3	-4.5 m	± 0 m	最終形状	
		-1.3 m	+3.2 m	最高位	
		-2.4 m	+1.7 m	最終形状	小 流 量
		-2.3 m	+1.8 m	最高位	

(3) ゲート構造

ゲートの高さが5 m以上のタイプ3 (5×7.5) , タイプ7 (6×4) , タイプ8 (5×3) については、ゲートの高さが高いために維持管理が煩雑になり、また、上屋の高さが袖部を越えてしまうので、5 m未満が望ましい。

(4) ゲート部の費用と経済性

ゲート付砂防ダムを建設する場合、ゲート部分の建設に多額の費用がかかる。そこで、ゲートタイプ3～9について、ゲート部分の建設費用の概算を算出し、それらを比較検討した。さらに、（ゲート費用/排砂量）を各ゲートタイプごとに算出した。表-3.9にゲート部の概算建設工事費と（ゲート費用/排砂量）の比較の表、図-3.45にゲートタイプ毎の（費用/排砂量）を示す。

費用が最も安価なのはタイプ9で約2億5千万円弱、（ゲート費用/排砂量）が最も小さいのもタイプ9（4×3）で6,800円/m³であり、経済性の面では、タイプ9が最も良い。

表-3.9 概算工事費と経済性の比較（タイプ3～9）

ゲート タイプ	高さ×幅 (m) (m)	概算工事費 (百万円)	工事費/排砂量 (円/m ³)
3	5×5	634	14,000
4	なし	—	—
5	3×8.5	400	15,400
6	4×6.5	421	11,400
7	6×4	473	10,500
8	5×3	314	8,500
9	4×3	246	6,800

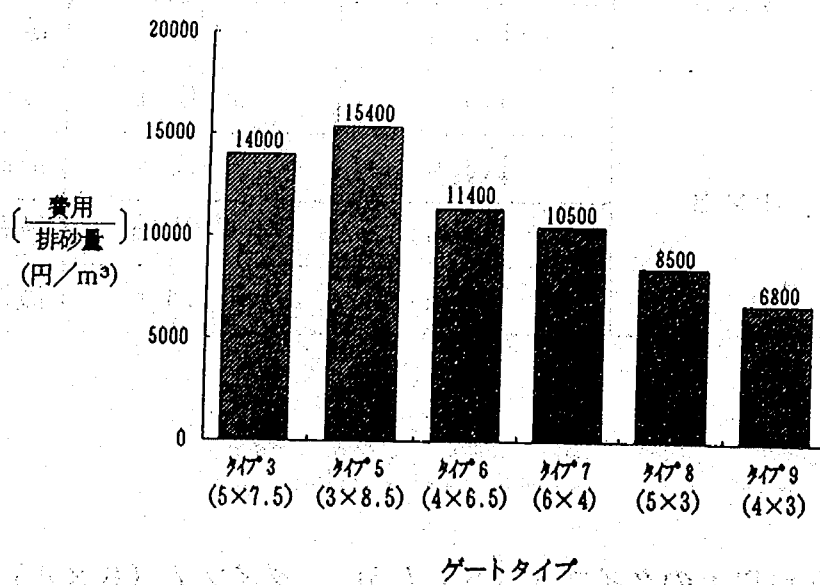


図-3.45 ゲートのタイプと（費用/排砂量）の関係

(5) 総合評価

前述の(1)～(4)の結果を表にとりまとめると、表-3.10のようになる。これらの各ゲートタイプの比較検討を総合的に判断すると、今回実験したゲートタイプの中では経済性にすぐれ、構造上や維持管理の問題もないタイプ9 (4×3) のゲートが最適であると考えられる。ただし、非洪水期の雨量が少なくて流量が小さい年には流路が固定されて両側のゲートから流出しないことが考えられる。その場合にはダムの堆砂域を重機等で掘削して、空容量を確保する等の対応が考えられる。

表-3.10 ゲートタイプの比較表

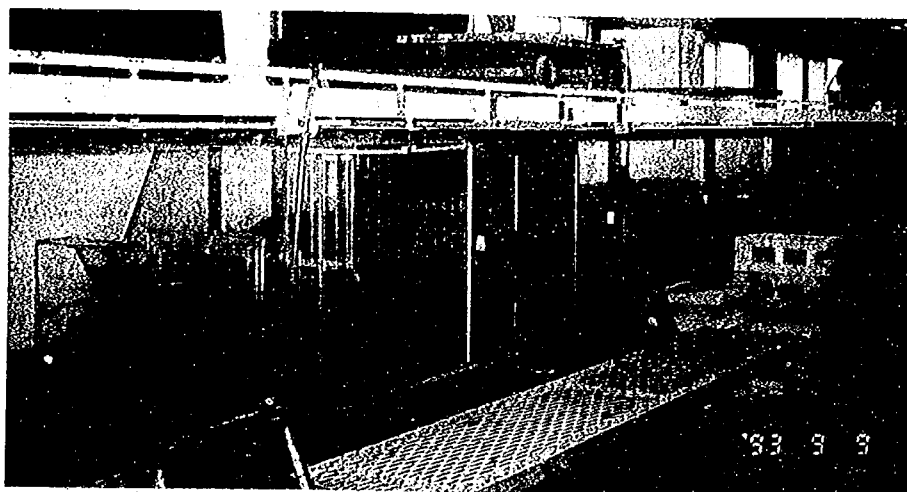
実施 年度	タイプ	形状 高さ×幅 単位:m	流量ハイトログラフ (非洪水期)	排 砂 量 , 率				直下流の河床上昇・低下 (+ : 上昇 , - : 低下)				ゲート 構造	費用 百万円	経済性 円/m³	総合 評価 土研案	備考		
				流 量	時 間	実 験		シミュレーション (10年間合計)		最終と 最高	ゲート下端 と比較した 河床高						通水前と 比較した 河床高	評価
						排砂量, 率	評価	排砂量	評価									
平成 4 年度	1	5×5 + 5×10		20m³/s	4 hr.	34,000 m³ 42%	—	200,000m³	—	最終 形状	-2.7 m	+1.1 m	—	—	—	—	越流部 に設置 のため 不可	
	2	5×7.5		20m³/s	4 hr.	35,000 m³ 32%	—	200,000m³	—	最終 形状	-2.6 m	+1.7 m	—	—	—	—		
平成 5 年度	3	5×7.5		22.5m³/s 17.5m³/s	3.3 hr 6.6 hr	45,000 m³ 36%	1	200,000m³	2	最終 形状	-1.9 m	+1.6 m	○	△	634	14,000	5	
	4	なし		22.5m³/s 17.5m³/s	3.3 hr 6.6 hr	10,000 m³ 8%	7	63,000m³	—	最終 形状			—	—	—	—	通常の 砂防ダ ム	
	最高位		+0.1 m															
	5	3×8.5		22.5m³/s 17.5m³/s 12.5m³/s	3.3 hr 6.6 hr 30 hr	26,000 m³ 21%	6	172,000m³	3	最終 形状	-5.0 m	+0.5 m	○	○	400	15,400	4	
	6	4×6.5		22.5m³/s 17.5m³/s	3.3 hr 6.6 hr	37,000 m³ 30%	3	128,000m³	4	最終 形状	-3.7 m	+0.8 m	○	○	421	11,400	3	
	7	6×4		22.5m³/s 17.5m³/s	3.3 hr 6.6 hr	45,000 m³ 36%	1	258,000m³	1	最終 形状	-1.1 m	+1.4 m	△	△	473	10,500	6	
	8	5×3		22.5m³/s 17.5m³/s	3.3 hr 6.6 hr	37,000 m³ 30%	3	—	—	最終 形状	-1.3 m	+2.2 m	○	△	314	8,500	2	
9	4×3		22.5m³/s 17.5m³/s	3.3 hr 6.6 hr	36,000 m³ 29%	5	—	—	最終 形状	-4.5 m	± 0 m	○	○	246	6,800	1		
										最高位	-1.3 m	+3.2 m						
			12.0m³/s 11.0m³/s	3.3 hr 6.6 hr	14,000 m³ 11%	—	—	—	最終 形状	-2.4 m	+1.7 m	○	○	246	(17,600)	—	小流量 の場合	
									最高位	-2.3 m	+1.8 m							

4. ゲートに対する礫の衝突に関する基礎実験

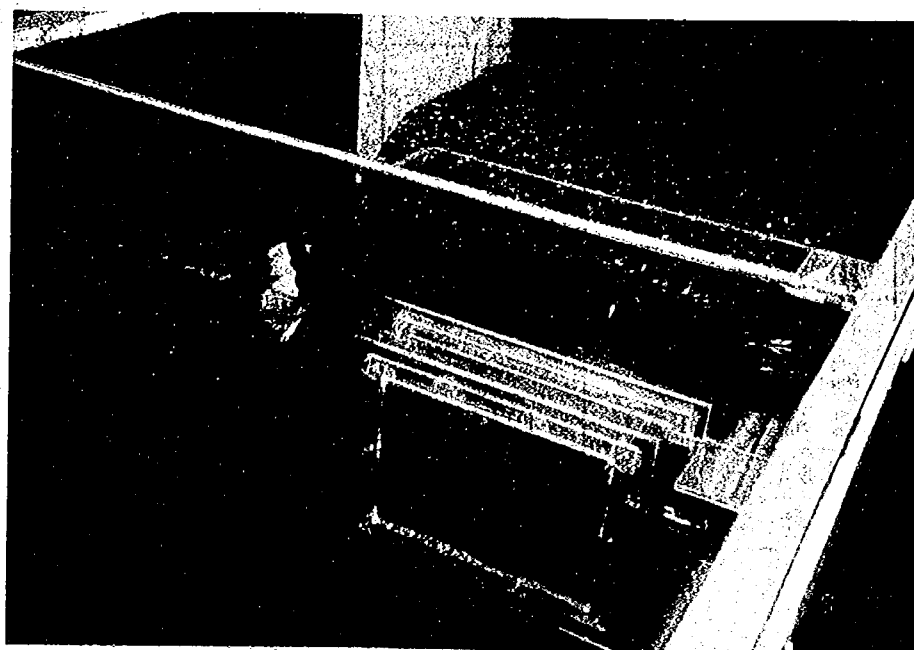
4.1 実験目的と概要

ゲート付砂防ダム の扉体部に流下する礫が衝突すると大きな衝撃力がゲートに作用すると考えられる。そこで、その衝撃力を推定するために、洪水期及び非洪水期における砂防ダム非越流部にゲートを設けた場合の、ゲート扉体部への礫の衝突速度、衝突角度、衝突頻度を水理模型実験によって測定し、礫がゲートに与える影響について把握することを目的として実験を行った。

実験には、幅1.2m、深さ0.8mの直線水路（写真－4.1）を用いた。水路中央付近に、写真－4.2に示すように縮尺1/25の砂防ダム模型を透明アクリル板を用いて製作し、図－4.1に示すような3種のゲートタイプについて実験を行った。水理諸量はフルード相似則に従って表－4.1のように設定した。また、実験には現地における河床材料の粒径分布調査結果をもとに縮尺1/25で幾何学的に相似な粒度分布の砂を使用した（図－4.2）。



写真－4.1 実験装置の概要



写真－4.2 砂防ダム模型

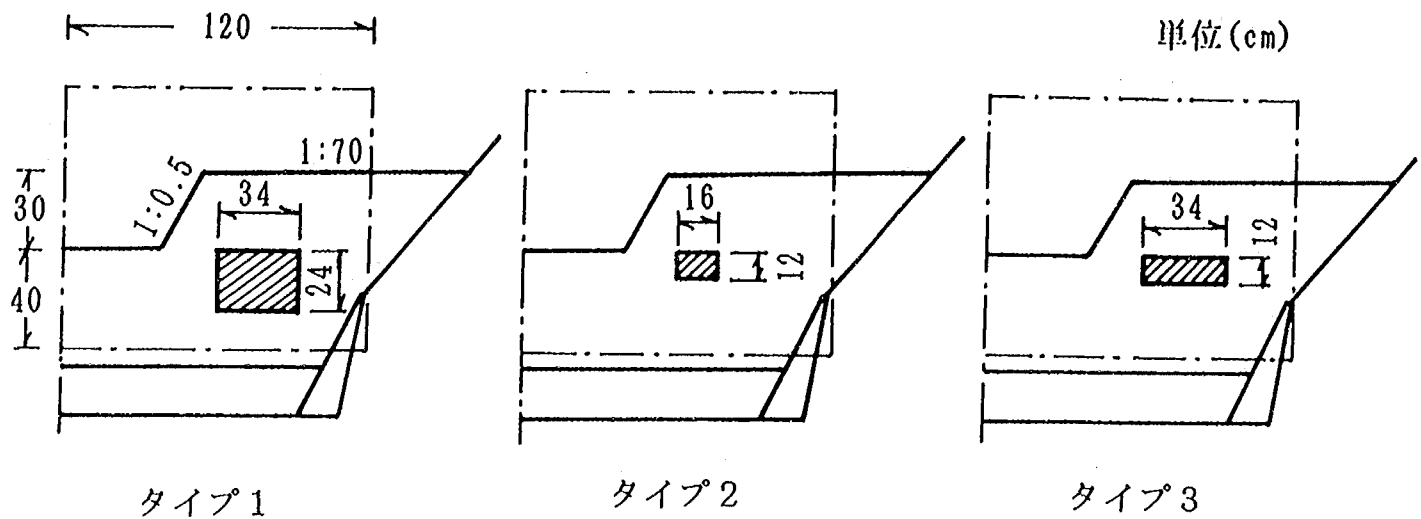


図-4.1 砂防ダム模型のタイプ

表-4.1 フルード相似則による諸量の縮率

諸 量	次 元 (L-F-T)	縮 率	
		比	縮 尺
幾何学的な量	水平成分 (X)	L	X_r
	垂直成分 (h)	L	H_r
	勾 配 (h/X)	—	$H_r \cdot X_r^{-1}$
	面 積 (A)	L^2	$H_r \cdot X_r$
	体 積 (V_0)	L^3	$H_r \cdot X_r^2$
水理的な量	フルード数 (Fr)	—	1
	流 速 (V)	$L \cdot T^{-1}$	$H_r^{1/2}$
	流 量 (Q)	$L^3 \cdot T^{-1}$	$X_r \cdot H_r^{3/2}$
	時 間 (T)	T	$X_r \cdot H_r^{-1/2}$
	圧力の強さ (P)	$F \cdot L^{-2}$	H_r
	粗度係数 (n)	$L^{-1/3} \cdot T$	$H_r^{2/3} \cdot X_r^{-1/2}$
	流量係数 (C)	—	1
	掃流力 (τ)	$F \cdot L^{-2}$	H_r
	エネルギー (E)	$F \cdot L$	H_r^4
	運動量 (m·V)	$F \cdot T$	$H_r^{7/2}$

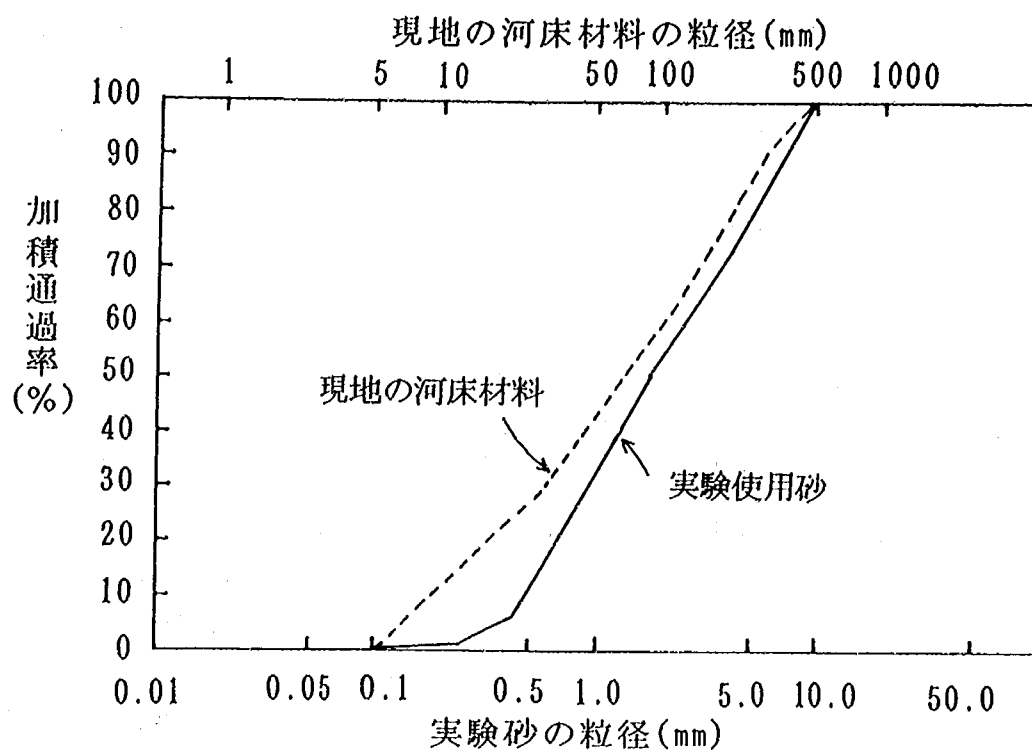


図-4.2 実験使用砂の粒度分布

実験に用いた流量は、各実験ケース毎に、100年、10年、2年超過確率流量及び2年確率流量の半分の定常流を流下させた。ただし、模型は水通し部分の中央から半分だけ製作したために、流量についても半分の流量を流下させた。

表-4.2に実験条件一覧表を示す。表-4.2に示す条件で種々の粒径の礫を流下させてビデオで撮影し、その画像から測定対象粒径の礫についてその移動軌跡を把握し、礫がゲートへ衝突する状況（速度、角度、頻度）を測定した。

表-4.2 実験条件一覧表

ケースNo.	ゲートタイプ°	測定対象粒径	対象流量 (ℓ / s)	備 考
1	3 (3m×8.5m)	4mm	108.8 (1/100)	
2	"	"	75.2 (1/10)	
3	"	"	108.8 (1/100)	前面固定床
4	"	"	75.2 (1/10)	前面固定床
5	1 (6m×8.5m)	16mm	108.8 (1/100)	
6	"	8, 12mm	108.8 (1/100)	
7	"	8, 12, 16mm	75.2 (1/10)	
8	"	"	48.0 (1/2)	
9	"	"	24.0 (1/2×0.5)	
10	2 (3m×4m)	"	48.0 (1/2)	

4.2 実験結果と考察

4.2.1 礫の衝突速度

ビデオの映像により測定対象礫の衝突速度を判読し、礫の粒径毎にとりまとめた結果を表－4.3に示す。

表－4.3 礫の衝突速度一覧表

VTR解析 対象粒径	ケース No.	超過確率年	衝突速度cm/s (模型)	衝突速度 m/s (原型)	備 考
4mm (模型) 10cm (原型)	1	1/100	30.0	1.50	
	2	1/10	30.0	1.50	
	3	1/100	37.5	1.88	最大速度
	4	1/10	30.0	1.50	
8mm (模型) 20cm (原型)	6	1/100	30.0	1.50	最大速度
	7	1/10	30.0	1.50	〃
	8	1/2	21.4	1.07	
	9	1/2×0.5	16.7	0.84	
	10	1/2	16.7	0.84	
12mm (模型) 30cm (原型)	6	1/100	18.8	0.94	
	7	1/10	25.0	1.25	最大速度
	8	1/2	25.0	1.25	〃
	9	1/2×0.5	18.8	0.94	
	10	1/2	15.0	0.75	
16mm (模型) 40cm (原型)	5	1/100	15.0	0.75	
	7	1/10	15.0	0.75	
	8	1/2	16.7	0.84	最大速度
	9	1/2×0.5	16.7	0.84	〃
	10	1/2	12.5	0.63	

表-4.3より、現地のスケールでの礫の最大衝突速度は、それぞれ、 $d = 10\text{cm}$ の礫で $V = 1.88\text{m/s}$ 、 $d = 20\text{cm}$ の礫で 1.50m/s 、 $d = 30\text{cm}$ の礫で 1.25m/s 、 $d = 40\text{cm}$ の礫で 0.84m/s であった。

さらに、粒径と衝突速度の関係を図に示すと図-4.3のようになる。図-4.3より、礫の粒径が大きくなると衝突速度は減少する傾向があり、また、流量が小さくなると衝突速度は粒径によりそれ程変化しなくなる。

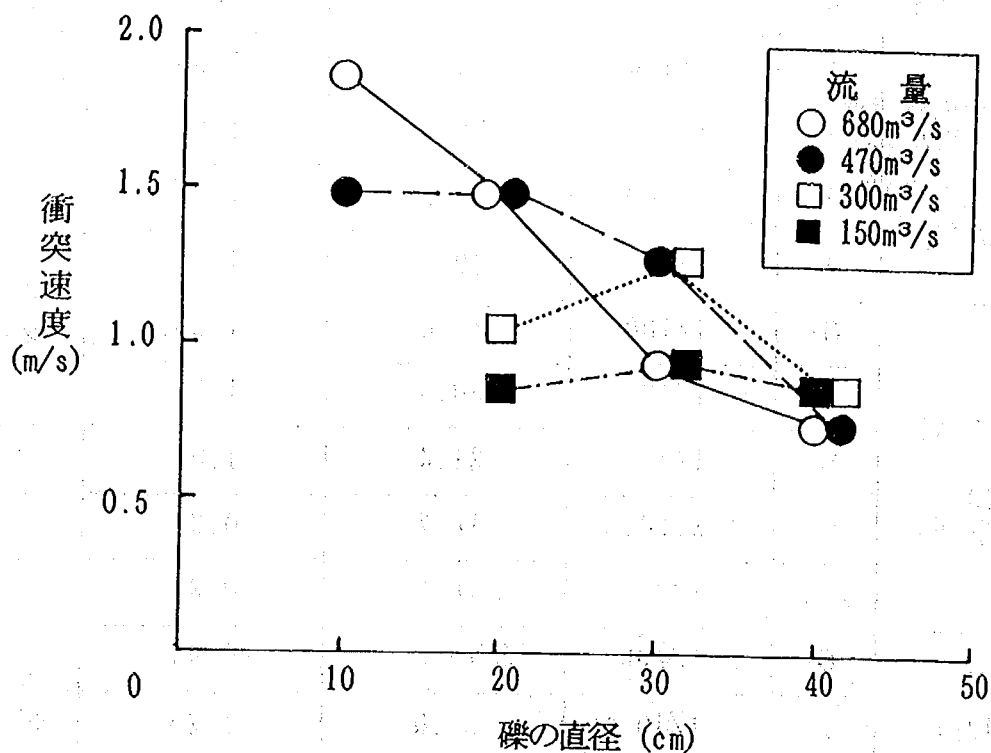


図-4.3 礫の粒径と衝突速度の関係

4.2.2 礫の衝突角度

礫の衝突角度は、通水中の上側からのVTR映像から作成した図-4.4に示すような移動軌跡図より算定した。礫の衝突角度の一覧表を表-4.4に示す。

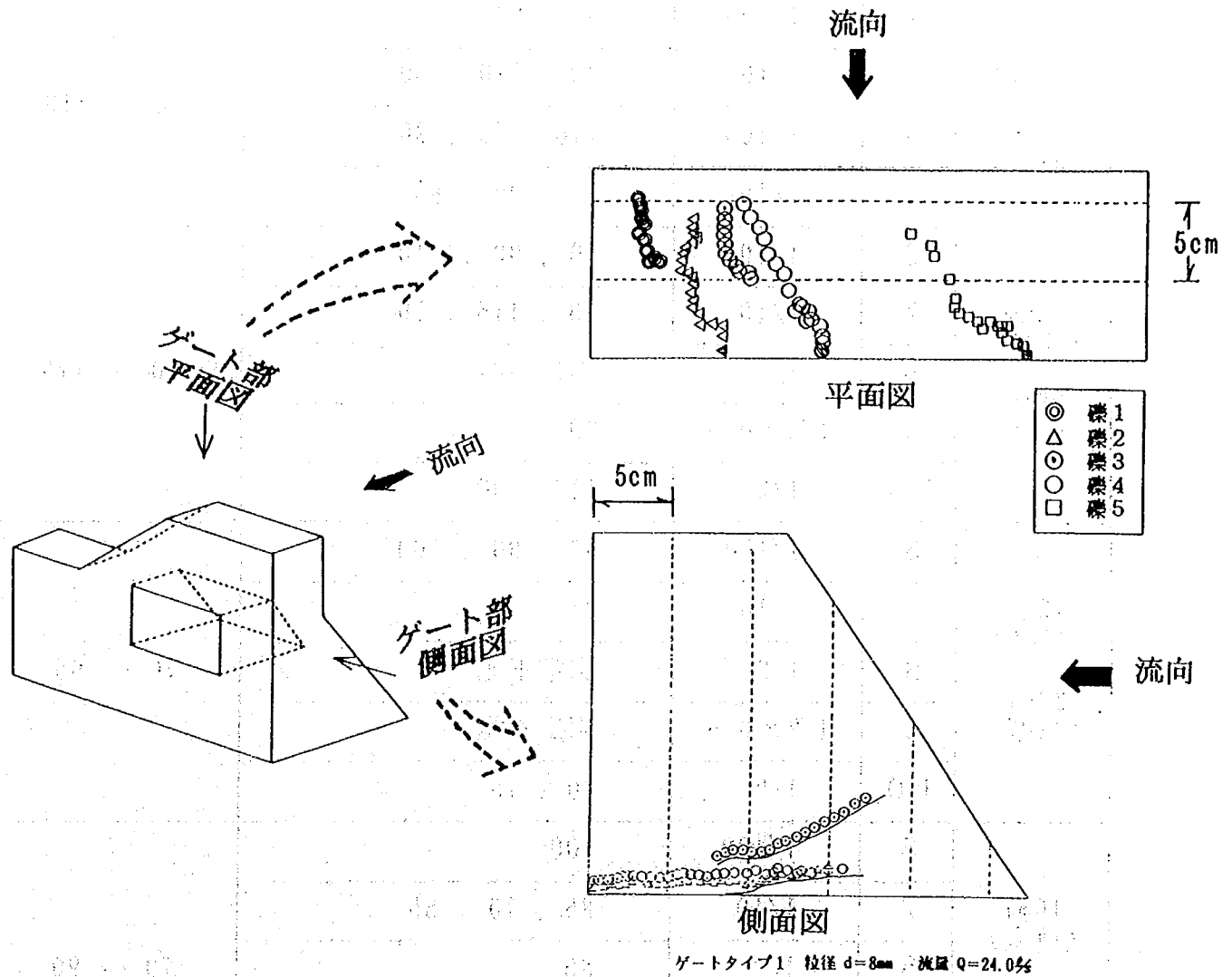


図-4.4 礫の移動軌跡図

表-4.4 礫の衝突角度一覧表

VTR解析 対象粒径	ケース No.	超過確率年	衝突角度(度)	粒径毎の 角度の範囲(度)
4mm (模型) 10cm (原型)	1	1/100	90 , 90	80 ~ 110
	2	1/10	80 , 110 , 80	
	3	1/100	110 , 80 , 90	
	4	1/10	85 , 90 , 85	
8mm (模型) 20cm (原型)	6	1/100	90 , 90 , 110	70 ~ 115
	7	1/10	80 , 115 , 70	
	8	1/2	測定不能	
	9	1/2×0.5	90	
	10	1/2	110 , 90	
12mm (模型) 30cm (原型)	6	1/100	90 , 90 , 100	70 ~ 95
	7	1/10	95	
	8	1/2	測定不能	
	9	1/2×0.5	測定不能	
	10	1/2	90 , 75	
16mm (模型) 40cm (原型)	5	1/100	100	70 ~ 90
	7	1/10	85 , 70 , 85	
	8	1/2	85	
	9	1/2×0.5	測定不能	
	10	1/2	90	

表-4.4より、礫の衝突角度は、粒径、流量にあまり関係がなくゲート扉体面に70~115度程度の角度で衝突していることが分かる。この結果、ゲート扉体部の設計に用いる衝撃荷重の算定にあたっては礫の衝突角度を90度とした。

4.2.3 礫の衝突頻度

礫の衝突頻度については、複数の礫がゲートに多く衝突しそうな場合のビデオ画像から1/30(sec)ピッチの画面で確認した。その結果、複数の礫がゲートに同時に衝突することはないことが確認できた。

4.2.4 礫の衝撃荷重

礫の衝突速度等から、ゲート扉体部への衝撃荷重を算定し、その結果を表-4.5に示した。礫の衝突エネルギーは次式より求められる。

$$E = \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} \cdot (V \cdot \sin \theta)^2 \quad \dots\dots (1)$$

ただし、W：礫1個当たりの重量，V：衝突速度， θ ：衝突角度である。

また、衝撃荷重エネルギーから衝突荷重への換算は、宇奈月ダムにおける検討結果⁸⁾を基に、次式を用いて行った。

$$F = 9.7 \cdot E^{0.55} \quad \dots\dots (2)$$

ただし、F：ライニング材の受ける衝撃荷重である。

式(1)，(2)より求めた礫の粒径と衝撃荷重の関係を示すと、図-4.5のようになる。図-4.5より、粒径が大きいほど衝撃荷重も大きくなり、最大衝撃荷重は18.4(t)である。一方、流量の変化による衝撃荷重の変化は小さく、各流量でほぼ同程度の荷重であることが分かる。

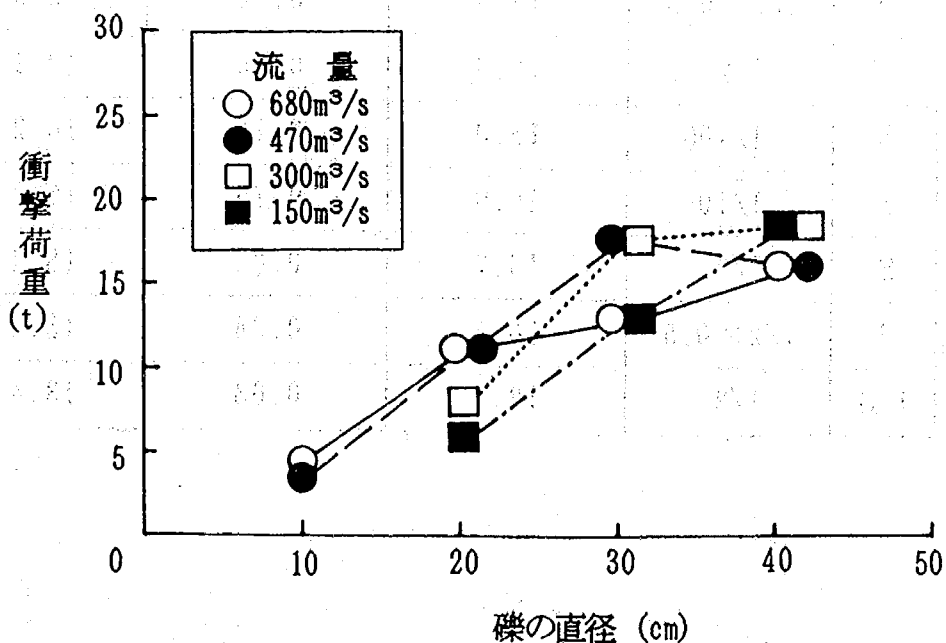


図-4.5 礫の粒径と衝撃荷重の関係

表-4.5 礫の衝撃荷重計算結果一覧表

対象 粒径	ケース No.	超過確率年	衝突速度cm/s (模型)	衝突速度 m/s (現地)	衝撃荷重 (t)	備考
4mm (模型) 10cm (現地)	1	1/100	30.0	1.50	3.5	
	2	1/10	30.0	1.50	3.5	
	3	1/100	37.5	1.88	4.5	最大荷重
	4	1/10	30.0	1.50	3.5	
8mm (模型) 20cm (現地)	6	1/100	30.0	1.50	11.1	最大荷重
	7	1/10	30.0	1.50	11.1	〃
	8	1/2	21.4	1.07	7.7	
	9	1/2×0.5	16.7	0.84	5.9	
	10	1/2	16.7	0.84	5.9	
12mm (模型) 30cm (現地)	6	1/100	18.8	0.94	12.9	
	7	1/10	25.0	1.25	17.7	最大荷重
	8	1/2	25.0	1.25	17.7	〃
	9	1/2×0.5	18.8	0.94	12.9	
	10	1/2	15.0	0.75	10.1	
16mm (模型) 40cm (現地)	5	1/100	15.0	0.75	16.2	
	7	1/10	15.0	0.75	16.2	
	8	1/2	16.7	0.84	18.4	最大荷重
	9	1/2×0.5	16.7	0.84	18.4	〃
	10	1/2	12.5	0.63	13.4	

4.2.5 砂防ダム上流の堆砂形態

ゲートタイプ1での流量別の堆砂縦断形態は図-4.6に示す通りである。非越流部の堆砂面は2次流（螺旋流）の影響から越流部堆砂面より低い状態で形成されている。

なお、非越流部の堆砂形態は、砂防ダム壁面部の2次流（螺旋流）に支配されており、対象流量が多い場合は2次流規模も大きいいため、堆砂面もより深い状態で形成されている。

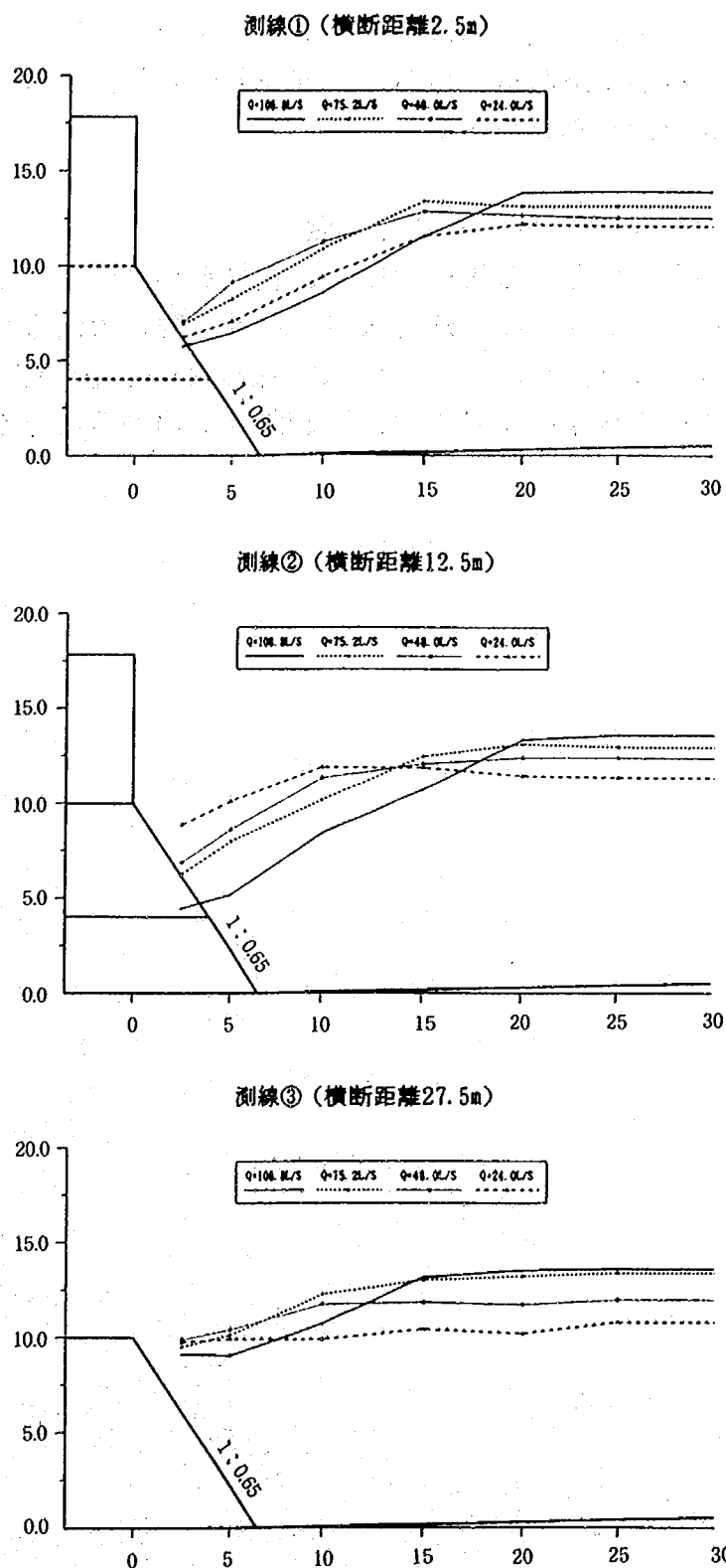


図-4.6 砂防ダム上流の堆砂形態（タイプ1）

5. まとめ

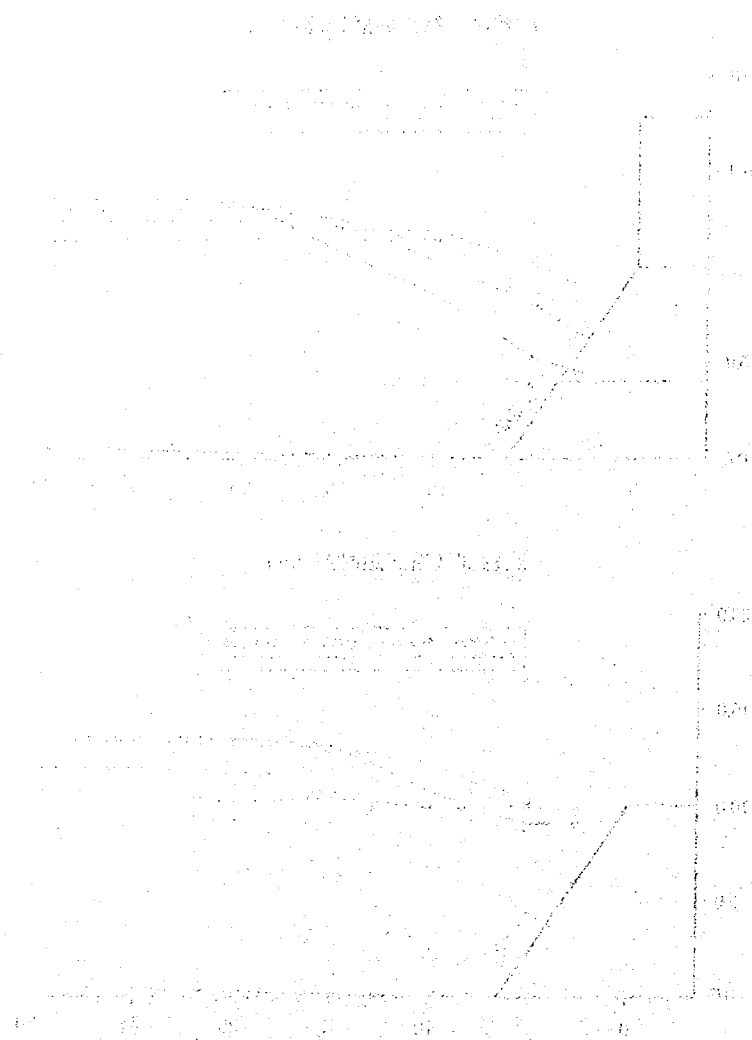
5.1 ゲート付砂防ダムに関する水理模型実験

今回行ったゲート付砂防ダムに関する水理模型実験の結果、ゲートが深いほどゲート部からの排砂効果が高いことが確認でき、経済性等も合わせて検討して、最適なゲート形状(案)を提案した。

実際にゲート付砂防ダムを建設するにあたっては、今回行った砂防ダム河道の水理模型実験の他に適切な手法で長い河道区間に対してシミュレーション計算を行って長い河道区間の河床変動を検討する必要がある。さらに、ゲート付砂防ダムの実際の運用方法についてもさらに詳細な検討を行う必要がある。

5.2 ゲートに対する礫の衝突に関する基礎実験

ゲートに対する礫の衝突に関する実験の結果、礫径が小さいほど衝突速度は大きくなるものの、衝撃荷重は礫径が大きくなるほど大きくなり、現地の河床で見られる最大粒径にあたる $d = 40\text{cm}$ の場合で $18(\text{t})$ 程度であった。この結果から、衝撃力に対してゲート扉体部に必要な主要部材の鋼材の板厚を検討でき、詳細設計に用いることができる。



(1) ゲート深さ (cm) と排砂率 (%) の関係 (2) ゲート深さ (cm) と排砂率 (%) の関係

参考文献

- 1) 水山高久, 下東久巳; スリットを有する砂防ダムの水理模型実験報告書, 土木研究所資料第2034号, 昭和59年1月
- 2) 水山高久, 阿部宗平, 矢島重美; 日影第1号上流砂防ダム水理模型実験等報告書, 土木研究所資料第2584号, 昭和63年2月
- 3) 水山高久, 阿部宗平; スリット砂防ダムの特徴と形状に関する研究, 平成2年度砂防学会発表概要集, (社)砂防学会, 平成2年5月
- 4) 水山高久, 阿部宗平, 矢島重美; 砂防ダムの排砂ゲートに関する研究, 砂防学会誌「新砂防」Vol.44, No.1 (174), (社)砂防学会, 平成3年5月
- 5) 石川芳治, 井良沢道也, 福本晃久; ゲート付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, 平成3年5月
- 6) 中部地建天竜川上流工事事務所, パシフィックコンサルタンツ(株); 平成3年度ゲート付砂防ダム計画検討業務報告書, 平成4年3月
- 7) 中部地建天竜川上流工事事務所, パシフィックコンサルタンツ(株); 平成4年度ゲート付砂防ダム計画検討業務報告書, 平成5年3月
- 8) 北陸地建黒部工事事務所, ダム構造設計検討委員会 宇奈月ダム河床砂礫による磨耗対策検討分科会 資料-1, 平成3年3月

ゲート付砂防ダムに関する水理模
型実験報告書

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3293号
平成6年10月(1994)
砂防部砂防研究室
石川芳治・矢島重美・水山高久

要 旨

平常時の無害な土砂は堆砂させずに下流に流して空容量を確保し、異常時には多量の土砂を堆積させるような機能を有するゲート付砂防ダムが計画されている。しかし、このゲート付砂防ダムのゲートの位置や形状等の計画、設計手法は確立されていないため、水理模型実験により適切な形状を検討した。

さらに、ゲート扉体部に作用する流下礫の衝撃力を推定するために、砂防ダム非越流部にゲートを設けた場合のゲート扉体部への礫の衝突速度等を2次元水路実験によって測定し、礫がゲートに与える影響について検討した。

キーワード：ゲート付砂防ダム、水理模型実験、ゲート、衝撃力



郵便はがき

切手をは
て下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

砂防部砂防研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



○

土木研究所資料第 3293 号(ゲート付
砂防ダムに関する水理模型実験報告
書) 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

土木研究所資料第 3293 号

○

ゲート付砂防ダムに関する水理模型実験報告書