

ISSN—0386—5878

土研資料第1941号

マイクロフィルム第 号

土木研究所資料

瀬田川洗堰水理模型実験報告書

昭和58年3月

建設省土木研究所

河川研究室

Copyright ©1982 fiscal year by P.W.R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor transland 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ってはならない。

は　じ　め　に

土木研究所では昭和 55 年度より近畿地方建設局の依頼で、「瀬田川洗堰水理模型実験」を実施している。調査項目は、洗堰放流能力特性、ゲート操作にともなう遡上波の特性、洪水放流時の河床洗掘、低水用バイパス建設にともなう流況および河床形状の変化、堰とバイパスの分担放流を含めた操作方法、など極めて多岐にわたっている。

本報告書では、洪水放流時の河床洗掘、低水用バイパス建設にともなう流況および河床洗掘を中心に護床工の評価、洗堰の放流能力特性、堰・バイパスの分担放流を含めた操作方法の検討結果を述べている。

なお、その他の項目についての検討結果は既に中間報告書（土木技術資料第 1758 号，1982.）にまとめており、本報告書では概要を述べるにとどめている。

昭和 58 年 3 月

河川研究室　須　賀　堯　三
石　川　忠　晴
林　　　正　男

目 次

はじめに

第1章 概 要	1
1. 検討項目	1
2. 模型概要	2
第2章 中間報告での主要結論	3
第3章 洗堰下流河道の河床洗掘特性	5
1. 河道地質調査	5
2. 河床上流速と洗掘の相関	5
第4章 バイパス水路の護床工の評価	17
1. バイパス出口の流況と洗掘予想範囲	17
2. 洗堰からの洪水放流による河床洗掘	25
3. バイパス放流による護床工の評価	33
4. 護床工設置後の洗堰放流方法の検討	37
第5章 仮締切工設置時の放流方法	43
1. 許容放流量	43
2. 開放ゲート位置	45
3. 仮締切時の全開ゲート放流特性	55
第6章 結 論	57

図 表 一 覧

図1-1	検討フロー	2
図1-2	模型平面図	2
図2-1	放流能力算定値と測定値の比較	4
図2-2	琵琶湖水位、橋本流量とゲート操作パターン	4
図3-1	調査地点位置図	7
図3-2	地質断面図(BB'断面)	9
図3-3	試料採取位置断面図	10
図3-4	昭和54年度深淺測量図	13
図3-5	流況図(B-1, Run-3)	14
図3-6	洗掘範囲と実験主流線比較図	14
図3-7	流速分布等流速線(B-1, Run-1)	15
図3-8	" (B-1, Run-2)	15
図3-9	" (B-1, Run-3)	16
図3-10	洗掘範囲と等流速線図比較図	16
図4-1	千町水位～流量曲線図	18
図4-2	水位～流量係数相関図	18
図4-3	流況図(C, Run-1)	20
図4-4	等流速線図(C, Run-1)	20
図4-5	流況図(C, Run-2)	21
図4-6	等流速線図(C, Run-2)	21
図4-7	流況図(C, Run-3)	22
図4-8	等流速線図(C, Run-3)	22
図4-9	流況図(C, Run-4)	23
図4-10	等流速線図(C, Run-4)	23
図4-11	護床工範囲図	24
図4-12	流況図(B-2, Run-4)	27
図4-13	等流速線図(B-2, Run-4)	27
図4-14	流況図(B-2, Run-5)	28
図4-15	等流速線図(B-2, Run-5)	28
図4-16	流況図(B-2, Run-6)	29
図4-17	等流速線図(B-2, Run-6)	29
図4-18	流況図(B-2, Run-7)	30

図4-19 等流速線図 (B-2, Run-7)	30
図4-20 流況図 (B-2, Run-8)	31
図4-21 等流速線図 (B-2, Run-8)	31
図4-22 流況図 (B-2, Run-9)	32
図4-23 等流速線図 (B-2, Run-9)	32
図4-24 流況図 (Run 1-1)	35
図4-25 等流速線図 (Run 1-1)	35
図4-26 流況図 (Run 1-2)	36
図4-27 等流速線図 (Run 1-2)	36
図4-28 流況図 (Run 1-3)	38
図4-29 等流速線図 (Run 1-3)	38
図4-30 流況図 (Run 1-4)	39
図4-31 等流速線図 (Run 1-4)	39
図4-32 流況図 (Run 1-5)	40
図4-33 等流速線図 (Run 1-5)	40
図4-34 流況図 (Run 1-6)	41
図4-35 等流速線図 (Run 1-6)	41
図4-36 流況図 (Run 1-7)	42
図4-37 等流速線図 (Run 1-7)	42
図5-1 仮締切工壁面沿い水位縦断面図	44
図5-2 流速～流量相関図	44
図5-3 仮締切工前面水位変動図	45
図5-4 流況図 (Run 2-1)	47
図5-5 流況図 (Run 2-2)	47
図5-6 流況図 (Run 2-3)	48
図5-7 流況図 (Run 2-4)	48
図5-8 流況図 (Run 2-5)	49
図5-9 流況図 (Run 2-6)	49
図5-10 流況図 (Run 2-7)	50
図5-11 流況図 (Run 2-8)	50
図5-12 流況図 (Run 2-9)	51
図5-13 流況図 (Run 2-10)	51
図5-14 流況図 (Run 2-11)	51
図5-15 流況図 (Run 2-12)	51
図5-16 等流速線図 (Run 2-13)	52

図 5 - 17	等流速線図 (Run 2 - 15)	53
図 5 - 18	“ (Run 2 - 14)	54
図 5 - 19	“ (Run 2 - 16)	54
図 5 - 20	仮締切時全開ゲート H ~ Q 曲線図	56
表 3 - 1	洗堰操作一覧	11
表 3 - 2	実験条件一覧 (B - 1 シリーズ)	12
表 4 - 1	実験条件一覧 (C シリーズ)	17
表 4 - 2	実験条件一覧 (B - 2 シリーズ)	25
表 4 - 3	実験条件一覧	33
表 5 - 1	実験条件一覧	43
表 5 - 2	実験条件一覧	46
表 5 - 3	実験条件一覧	55

第 1 章 概 要

1. 検討項目

瀬田川洗堰は、琵琶湖の洪水や渇水の被害防止、淀川の洪水調節、琵琶湖水の有効利用のために、瀬田川 70 km 地点に昭和 36 年に建設されたもので、鋼製溢流式 2 段扉 10 門を有する全幅堰である。

現在は全門同時操作で流量調節を行っているが、治水・利水の両面からさらに精度の高い流量調節が要求されている。そこで洪水調節については洗堰ゲートの個別操作によって、低水調節については新たに低水用バイパス水路を建設することによって放流精度の向上がはかれることとなった。

本業務の検討項目は、大きく分けて次の 3 点である。

① 洪水時の部分開放流に関する諸問題の解明および適正なゲート操作法について。

本項目では昨年度までに次の諸点を検討した。

- i) 部分開放時の洗堰放流能力特性
- ii) 上流部過剰水位上昇を防ぐためのゲート操作速度限界
- iii) 琵琶湖水位と目標放流量からゲート開度を設定する方法

以上の検討から洪水状況に応じて全開ゲート門数および溢流ゲート門数とゲート開度、および操作速度を決定するための資料が得られ、洪水制御方法のアウトラインが定められた。しかし次に具体的にどのゲートを動かすのか、という問題がある。この答を得るにはバイパス建設後の下流河床の流況と洗掘を知らねばならない。そこで今年度は次の諸点についての検討を追加した。

iv) 下流河床の洗掘特性

v) バイパス建設後の堰下流部流況と流速分布

vi) バイパス建設後の洗堰放流能力特性

以上 6 項目の検討結果から洪水時の洗堰操作方法を決めることが可能である。ただし具体的な操作ガイドの作成についてはこれ以外の要素も関ることから、本報告書には含まれていない。

② バイパス放流時の流況と護床工の必要範囲について

本項目では以下の諸点が検討されている。

- i) バイパス最大放流時の洗掘予想範囲
- ii) バイパス単独放流と洗堰分担放流の流況比較

③ 護床工部仮締切時の諸問題

本項目は以下の諸点から成る。

- i) 仮締切工の高さと疎通能力
- ii) 仮締切時の洗堰放流能力特性
- iii) 仮締切時の適正放流方法

なお、以上列挙した項目は内容的に重複する部分があるため、本業務では図 1-1 に示すフローに従ってまとめている。

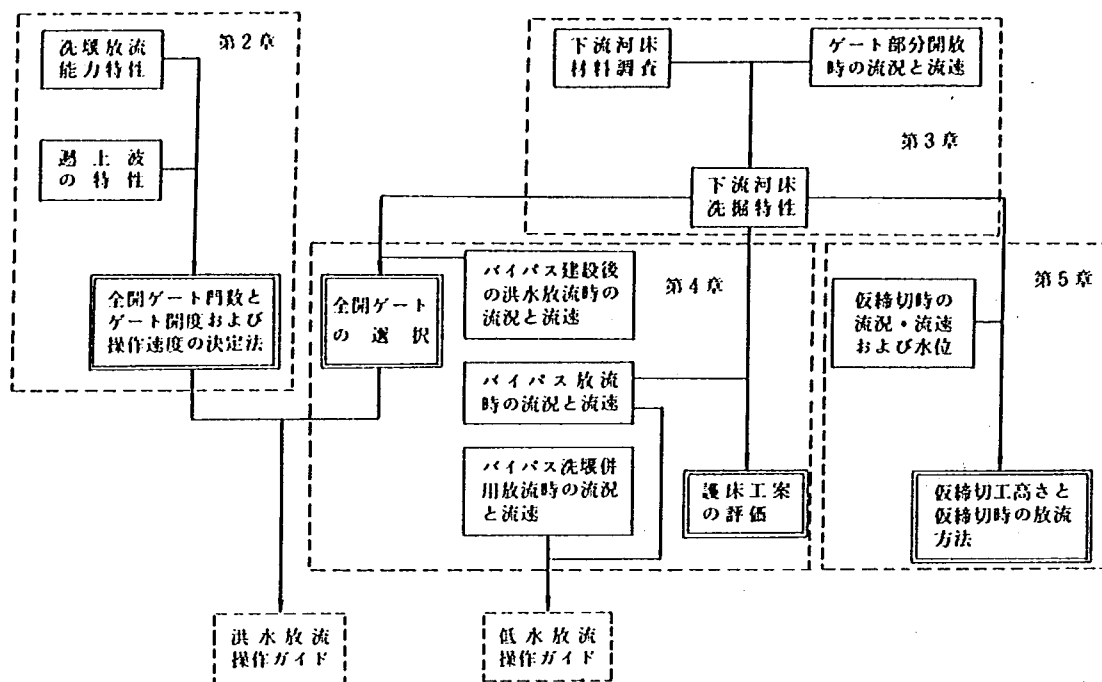


図1-1 検討フロー

2. 模型概要

実験は、瀬田川 68.5 km から 71.0 km までを含む縮尺 1/30 のモルタル仕上げ固定床模型によって行われた。

同模型は昭和 55 年度製作され、洗堰が模型ほぼ中央に位置している。洗堰のピアー、ゲートおよびバイパス水路は木製防水ペイント仕上げとした。流量は上流側量水量の三角堰で計測し、最大流量は $340 \text{ m}^3/\text{s}$ (現地換算で約 $1670 \text{ m}^3/\text{s}$) である。

模型区間には宇治隊道分派部および大戸川合流部が含まれるが、宇治隊道は洗堰の 500m 上流にあり実験結果に影響を及ぼす恐れがなく、また大戸川出水と洗堰からの放流には通常時差があり、重複しないことから両支派川とも適当な距離で打ち切り、給排水設備は設けなかった。(図 1-2)。

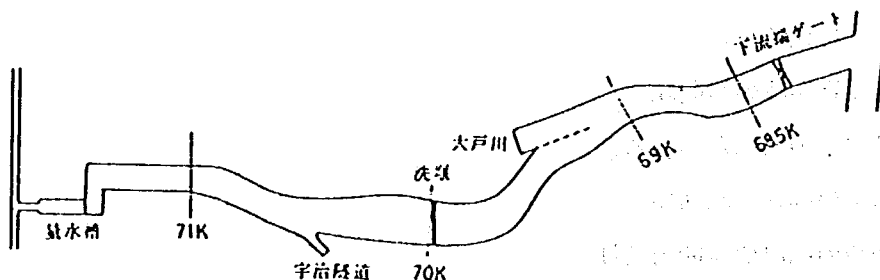


図1-2 模型平面図

第 2 章 中間報告での主要結論

前回の中間報告書では、主に洪水時の洗堰ゲート部分操作について検討している。

洗堰上流河道の流況は琵琶湖水位と洗堰ゲート状態から定まる。したがって洗堰の洪水調節効果を評価するには、1、洗堰の各ゲート状態での放流能力、2、琵琶湖水位が洗堰地点に及ぼす影響、を知ることが必要である。

前者については、水理模型実験によって、次の結果が得られた。

- a. 一部のゲートを全開とし、他を溢流とすることによって、放流精度をかなり高めることができる。
ただし、全開ゲートは3門以内に限られる。
- b. 放流能力は次式で表わされる。

$$Q = 16.2 (H_1 - H_0)^{3/2} N_0 + 20.5 (H_1 - H_0)^{5/3} N_1 \quad (2-1)$$

ここに H_1 = 千町水位, H_0 = ゲート敷高 = O.P. 80.8 m, H_0 = 溢流ゲート天端高, N_0 = 全開ゲート数, N_1 = 溢流ゲート数である。

実験結果と算定式の比較の一例を図 2-1 に示す。誤差は5%以内である。

また、後者については机上で検討を行い、次の結果が得られた。

琵琶湖水位と千町水位は (2-2) 式のように関係付けられ、琵琶湖水位と必要放流量が決まれば、図 2-2 と (2-3) 式および (2-2) 式を用いて、設定すべきゲート状態を概略知ることができる。

$$E_{27} - H_1 = (23.5 \times 10^{-4} Q_h^2) / ((E_{27} + H_1) / 2 - 81.8)^{10/3} \quad (2-2)$$

$$H_0 = (Q - 16.2 (H_1 - 80.8)^{3/2} N) / (20.5 N_1) \quad (2-3)$$

ここで、 E_{27} = 琵琶湖水位, H_1 = 千町水位, Q_h = 橋本流量, H_0 = 溢流ゲート天端高, N = 全開ゲート数, N_1 = 溢流ゲート数 (通常は $10 - N$) である。

さらに、堰上流への遡上波の解析を行い、次の結果が得られた。

- d. ゲート閉塞により生じる遡上波は圧力管路のサージングと類似した現象であり、波が琵琶湖から反射して戻るに要する特性時間は30分である。
- e. 有意な波高の遡上波を生じさせないようにするには、ゲート閉塞時間を60分程度にとる必要がある。

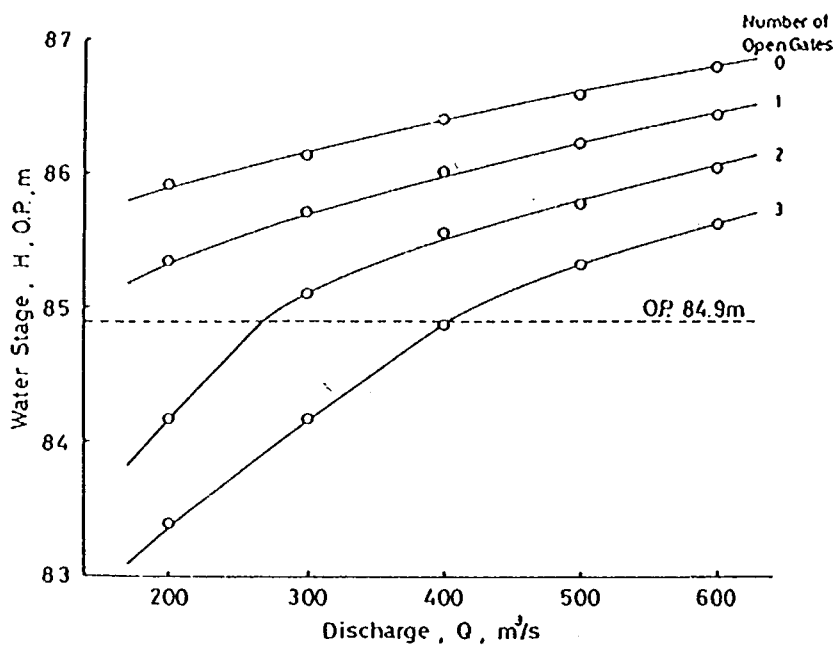


図 2-1 放流能力算定値と測定力の比較-2

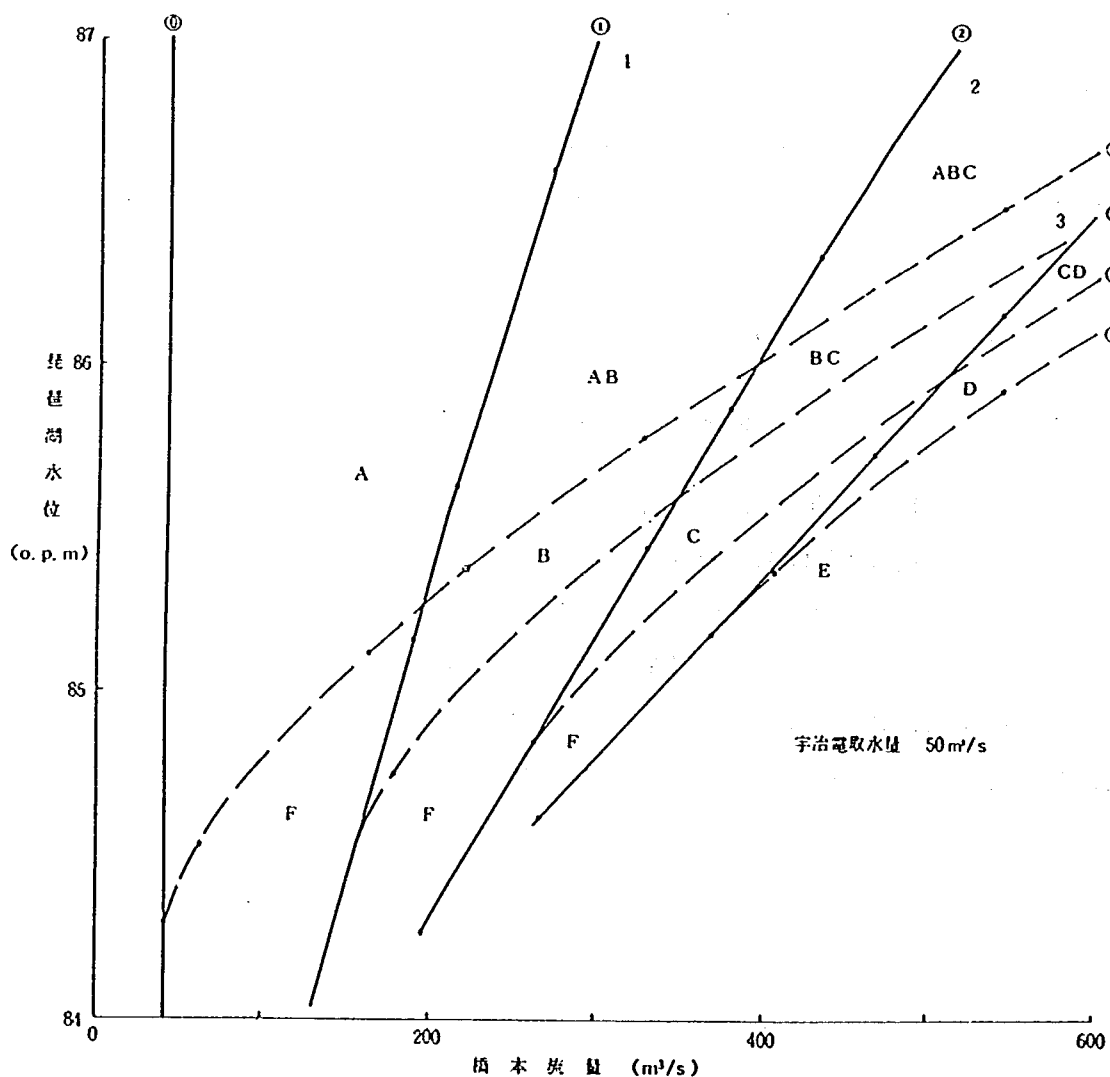


図 2-2 琵琶湖水位、橋本流量とゲート操作パターン

第3章 洗堰下流河道の河床洗掘特性

1. 河道地質調査

洗掘特性を調べるにはまず河床材料を知らねばならない。しかし洗堰下流河道には常時水が流れていることもあってその実態はほとんど知られていなかった。低水バイパス建設予定地のボーリング調査資料（図3-1 AA'断面）および河床の既に洗掘されている箇所的情況からすると、琵琶湖湖底堆積物と河道堆積物が混在しているようである。前者は半固結化した粘土であり耐浸食性を持つが、補給が無いので一度洗掘されると復元されない。一方後者は礫混り砂であり流況によって洗掘又は堆積する。したがって各々が河床にどのように存するかにより河床洗掘特性が大きく異なるものと考えられる。

そこで図3-1に示す2測線について河床材料調査を実施していただくよう琵琶湖工事事務所に依頼した。図のBB'断面においては河床より5mの深さまでボーリングを行った。またCC'断面では河床表層の材料を採取した。図3-2にBB'断面の柱状図を示す。これによれば河道堆積層厚は2~3mであり、O.P. 78m以下は湖底堆積物である。

図3-3にCC'断面の採取資料を示す。この図からも河道堆積層厚は2m程度でO.P. 79m以下は湖底堆積物のようである。

以上より河道堆積層はせいぜいO.P. 78mまでであるものと推定される。一方検討対象となる区間の現在の平均河床高は約O.P. 80.5m、最深河床高はO.P. 77m、また計画河床高はO.P. 78mである。以上を総合すると河道維持上問題となる洗掘深は琵琶湖底堆積層内に入り、この固結した粘土がどの程度の水流で破壊されるかが焦点となる。

2. 河床上流速と洗掘の相関

固結粘土（湖底堆積物）は空気さらされると特性が変化するため破壊限界を直接的に調べるのは極めて困難である。そこで以下のように水理実験によって間接的に調査することとした。

昭和52年から試験的に開始された洗堰部分開放操作により、図3-4に示すように深掘れが発生して固結粘土が露出している。そこでこの期間の部分開放流状態を模型に再現して河床面流速分布を測定し、これと現況の深掘れ範囲とを比較することによって固結粘土破壊限界流速を概略把握できるものと考えた。

河床洗掘のほとんど生じていない昭和53年から、著しく進行した55年までの間の大流量放流は、表3-1に示すようである。そこでまず昭和53年当時の河床横断面図に従って模型を製作し、表3-2に示す放流条件のもとに通水して河床上流速を測定して、昭和55年の河床形状との相関を調べることにした。流況の一例を図3-5に示す。

本実験条件下では2門ないし3門全開放流と他のゲートからの溢流の組みあわせとなっているが、下流の流況は主に全開ゲートからの噴流に支配されている。噴流はその流下にとまって、主流線と右岸の間の遊水域に渦を発生させ、その影響によって湾曲し69.7km付近の湾曲左岸へ接近する。その後流速の減少するとともに流線は広がり、下流右岸寄りの流れとなるが特に強い水あたりは生じていない。69.8K

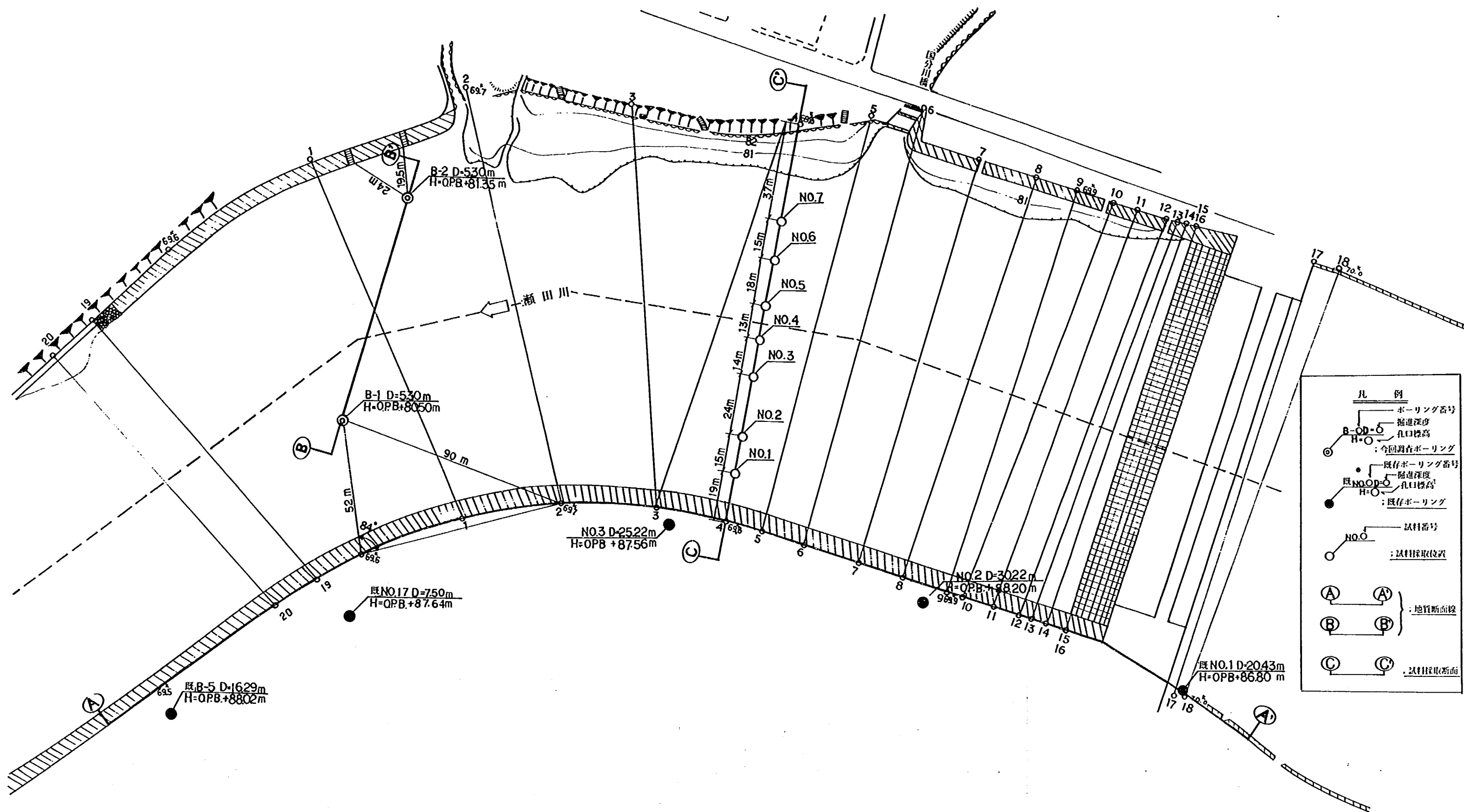
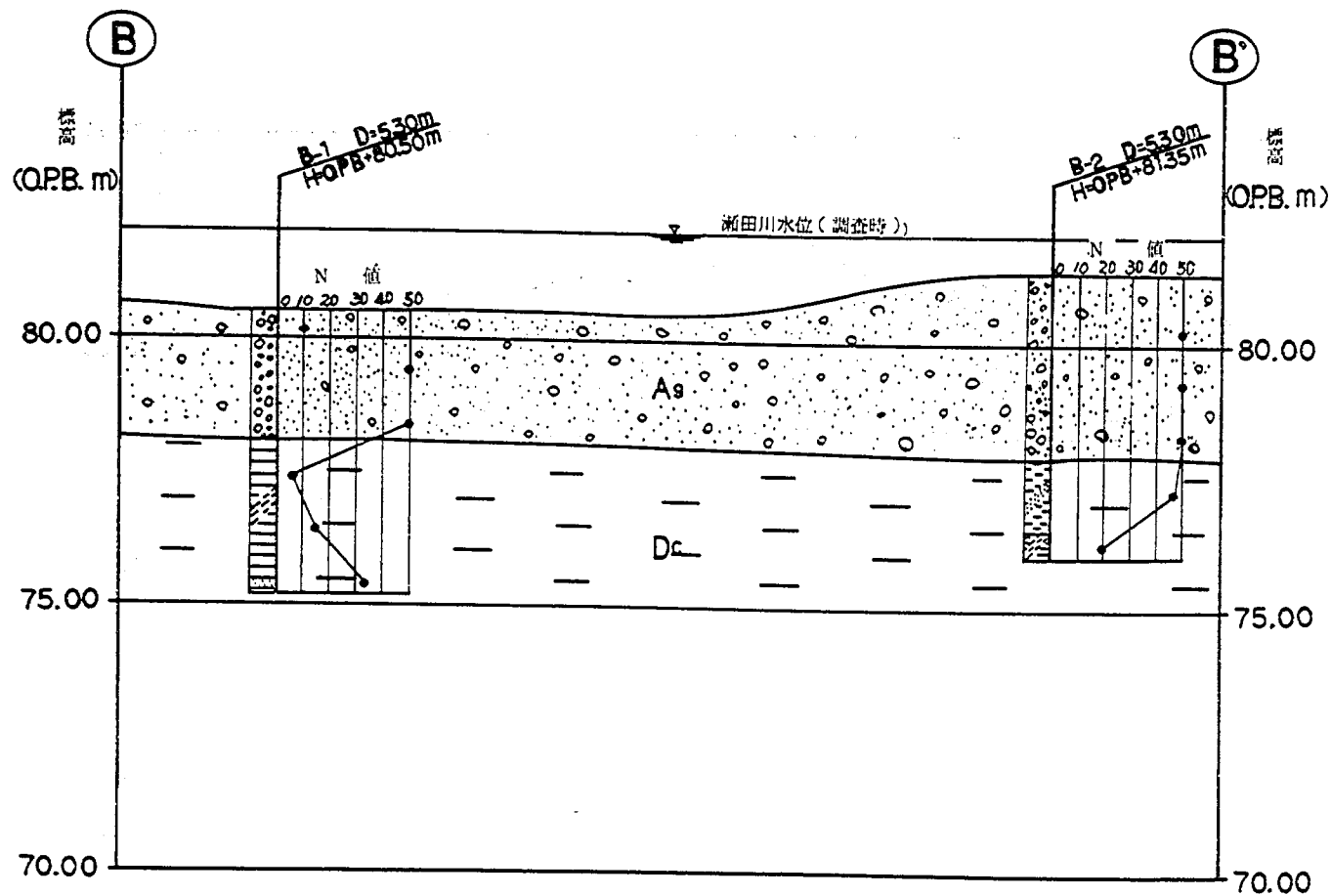


図3-1 調査地点位置図 S = 1 : 1000



地質凡例

<u>地質系統</u>	<u>地質時代</u>	<u>地質区分</u>	<u>地質記号</u>	<u>地質名</u>	
新生代	第四紀	沖積世	— 沖積層 —	Ag	礫質土
		洪積世	— 洪積層 —	Dc	粘性土

断面図凡例

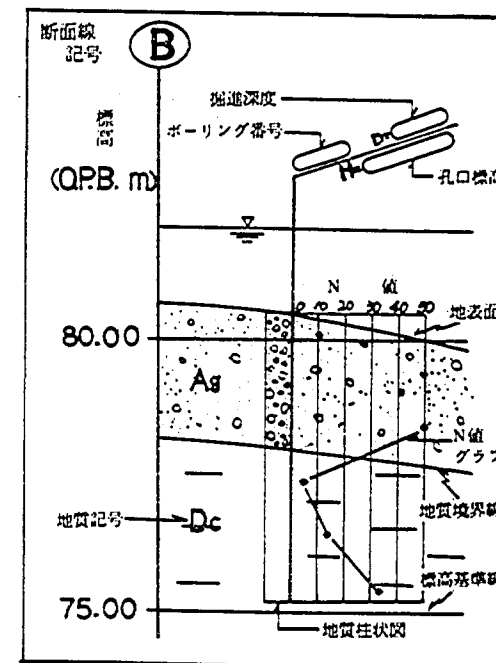


図 3 - 2 地 質 断 面 図
(B - B' 断面)

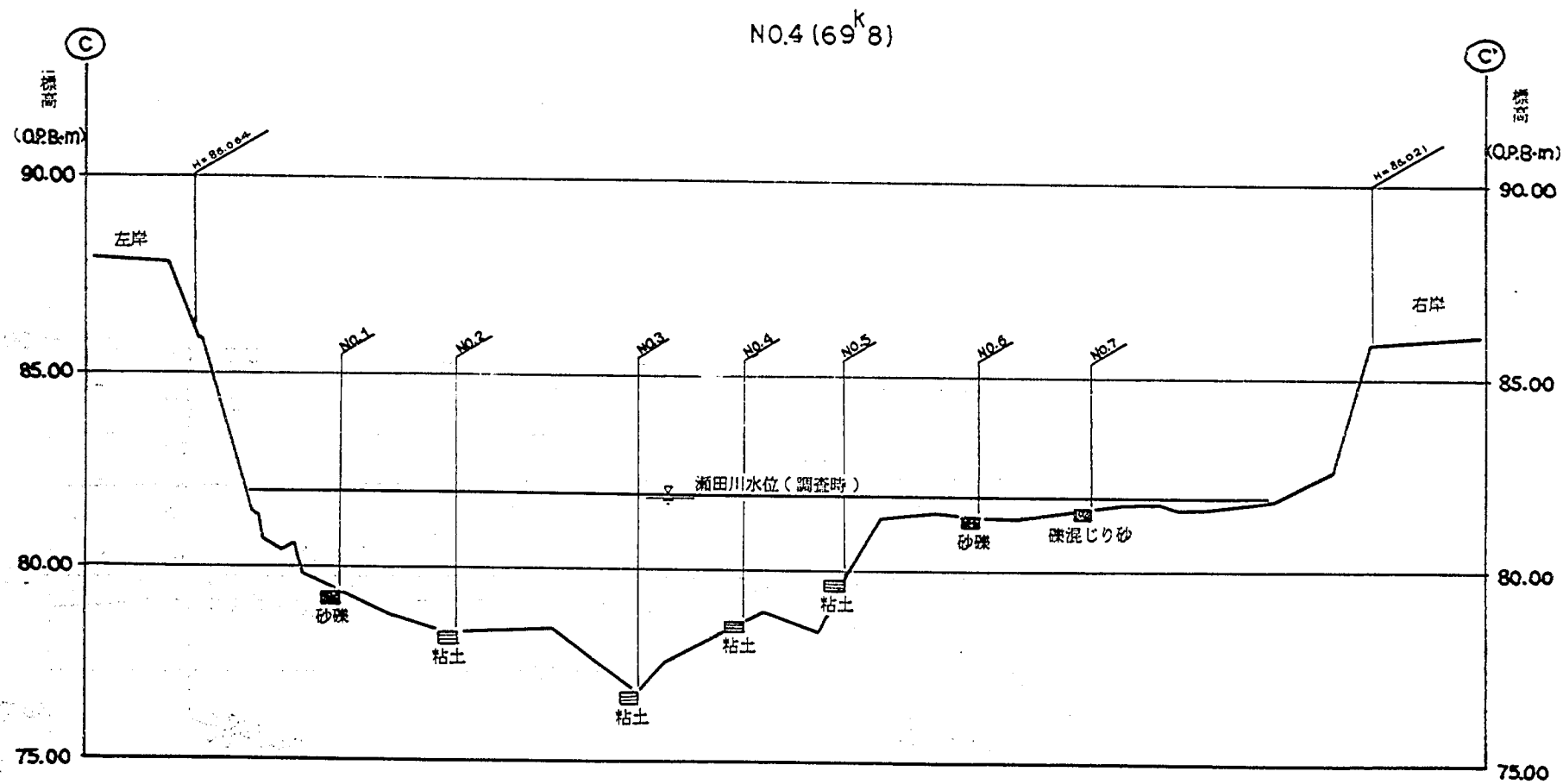


図 3 - 3 試料採取位置断面図
(C - C' 断面)

表3-1. 洗 堰 操 作 一 覧

年/月 日	ゲ ー ト 操 作			流 量 (m/s)	
	初	終	内 容	橋本超音波	橋本実測
54. 5. 21	10:00	13:00	全門ドン付～No.3.4全開	300 ～ 400	400
	15:15	16:30	No.3.4全開他はドン付	420 ～ 450	520 ～ 540
			～No.5全開		
5. 23	10:30	11:00	No.3.4.5全開他はドン付	450 ～ 480	570 ～ 600
			～No.3.5ドン付		
	12:12	12:50	No.4全開他はドン付		
			～全門ドン付		
54. 7. 1	17:00	18:05	全門ドン付～	420 ～ 440	500 ～ 570
			No.4.5全開他はドン付		
7. 7	11:30	12:30	No.4.5全開他はドン付		
			～全門ドン付		
55. 6. 11	15:00	16:00	全門ドン付～	270 ～ 350	320
			No.4.5全開他はドン付		
6. 16	14:00	15:00	No.4.5全開他はドン付	340 ～ 370	400 ～ 500
			～開度360		
55. 7. 11	14:30	16:30	開度379～	200 ～ 380	500
			No.4.5全開他はドン付		
7. 15	10:30	12:30	No.4.5全開他はドン付	380 ～ 410	500 ～ 550
			～全門全開		
7. 17	14:00	17:17	全門全開～	500	620 ～ 660
			No.4.5全開他はドン付		
7. 21	14:00	15:00	No.4.5全開他はドン付	500 ～ 400	620 ～ 510
			～全門ドン付		
55. 8. 27	16:30	17:30	全門ドン付～全門全開	280 ～ 300	330
9. 3	16:00	17:30	全門全開～140t	500 ～ 540	580 ～ 650
55. 9. 9	11:00	12:30	全門ドン付～全門全開	270	
9. 10	19:00	21:00	全開～No.4.5全開他ドン付	500 ～ 520	600
9. 11	10:30	12:30	No.4.5全開他ドン付～全開	400	475
9. 19	10:30	12:00	全門全開～全門ドン付	460 ～ 540	560 ～ 650

表3-2 実験条件一覧 (B-1シリーズ)

R u n	全開ゲートNo	溢流ゲート天端高	流 量
1	3・4	O. P. 84.3 m (ドン付け)	450 m ³ /s
2	3・4・5	"	500
3	4・5	"	470

～69.7 Kの湾曲右岸沿い流速は0.5 m～1.0 m程度である。

昭和52年から昭和55年までの河床洗掘量を経年横断図から求め、各ケースの主流線と重ねると図3-6のようになる。主流線は洗掘域の中心ラインとほぼ一致する。また各ケースでの河床付近の等流速線図は図3-7～図3-9のようになり、これを現地洗掘領域と比較すると図3-10のようになる。図面から洗掘範囲と流速2 m/sのコンターが良く一致していることがわかる。

したがって、流速2 m/sを洗掘限界の目安としてよいものと判断される。しかし、さらに詳略に見ると、下流に行くほど洗掘範囲の幅が流速コンターの幅に比べてやや広がっていることがわかる。これは減速にともなって主流線が変動するためと考えられ、平均流速のみならず変動についても留意する必要があるだろう。実際69.8 km左岸の洗掘幅の大きな部分の流況を調べると間欠的に渦が発生している。

一方実験においては、洗堰直下流にかなりの高流速(4 m/s～5 m/s)が発生しているにもかかわらず、現地横断図にはそれほどの低下が表われていないが、これは現地で河床低下をおさえるためにブロック等を投入しているためであろう。

以上のことから河床洗掘は主流線とそれにより生じる渦の発生域、そして河床付近の流速分布、特に2.0 m/s以上の流速発生域を把握することによって、洗掘範囲をある程度予測することができるものと思われる。

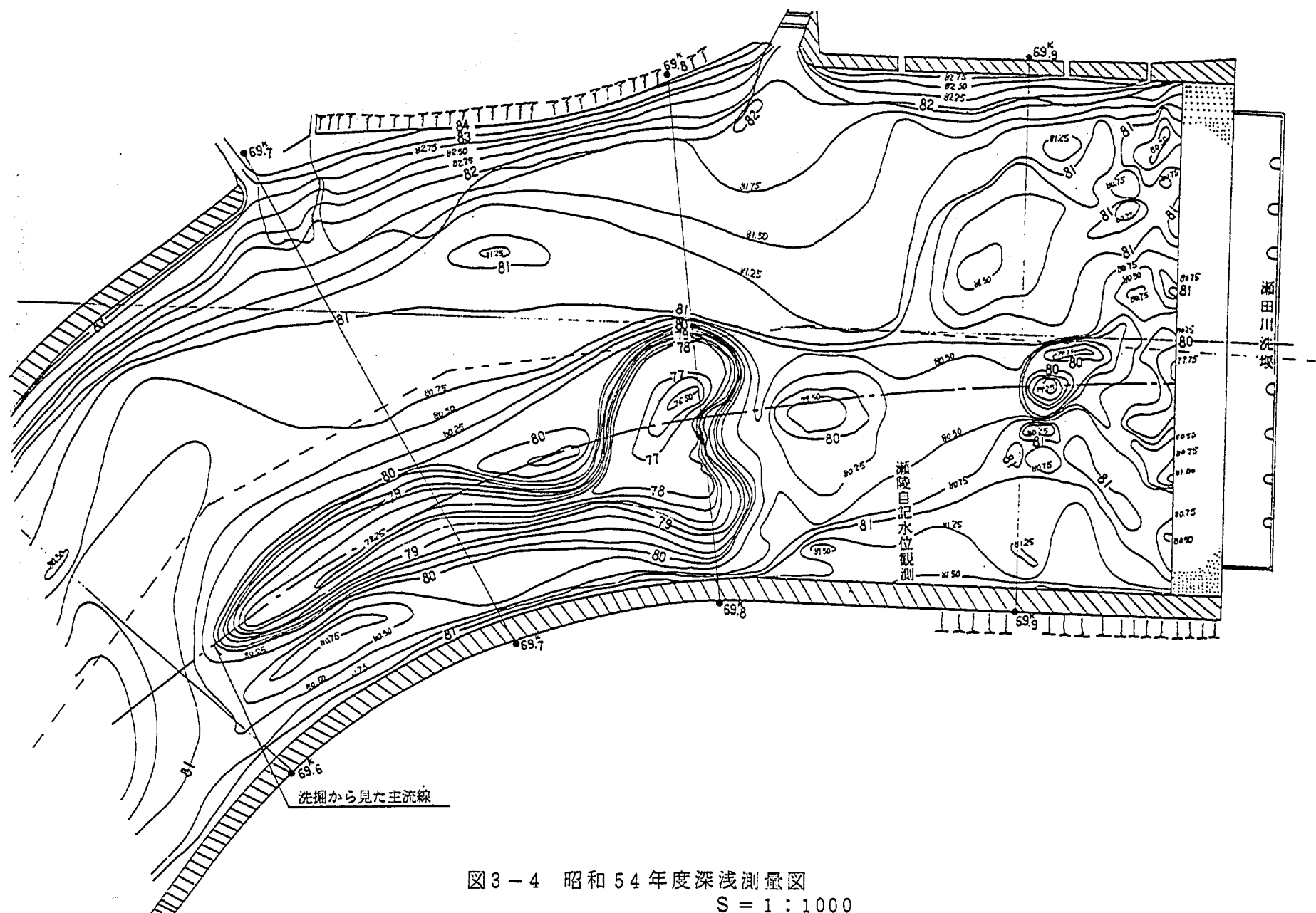


図3-4 昭和54年度深淺測量図
S = 1 : 1000

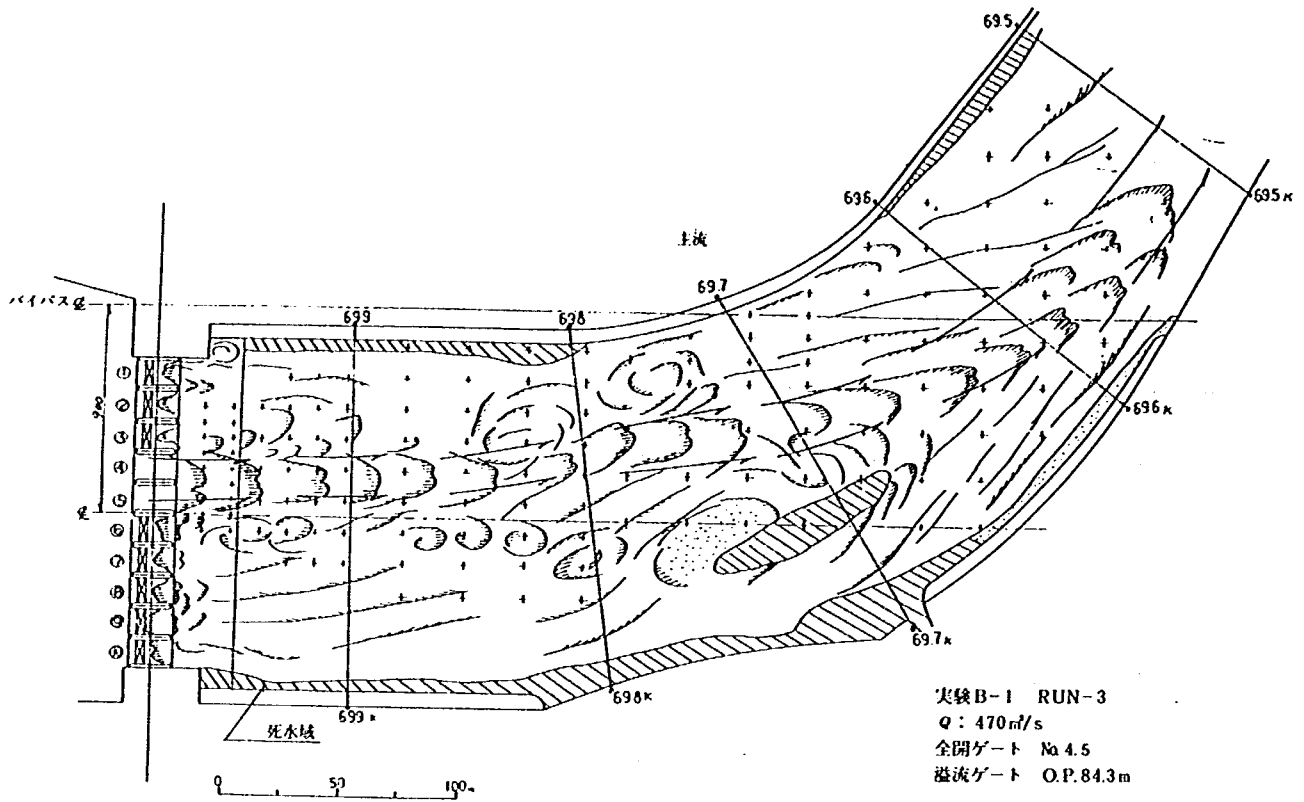


図3-5 流況図

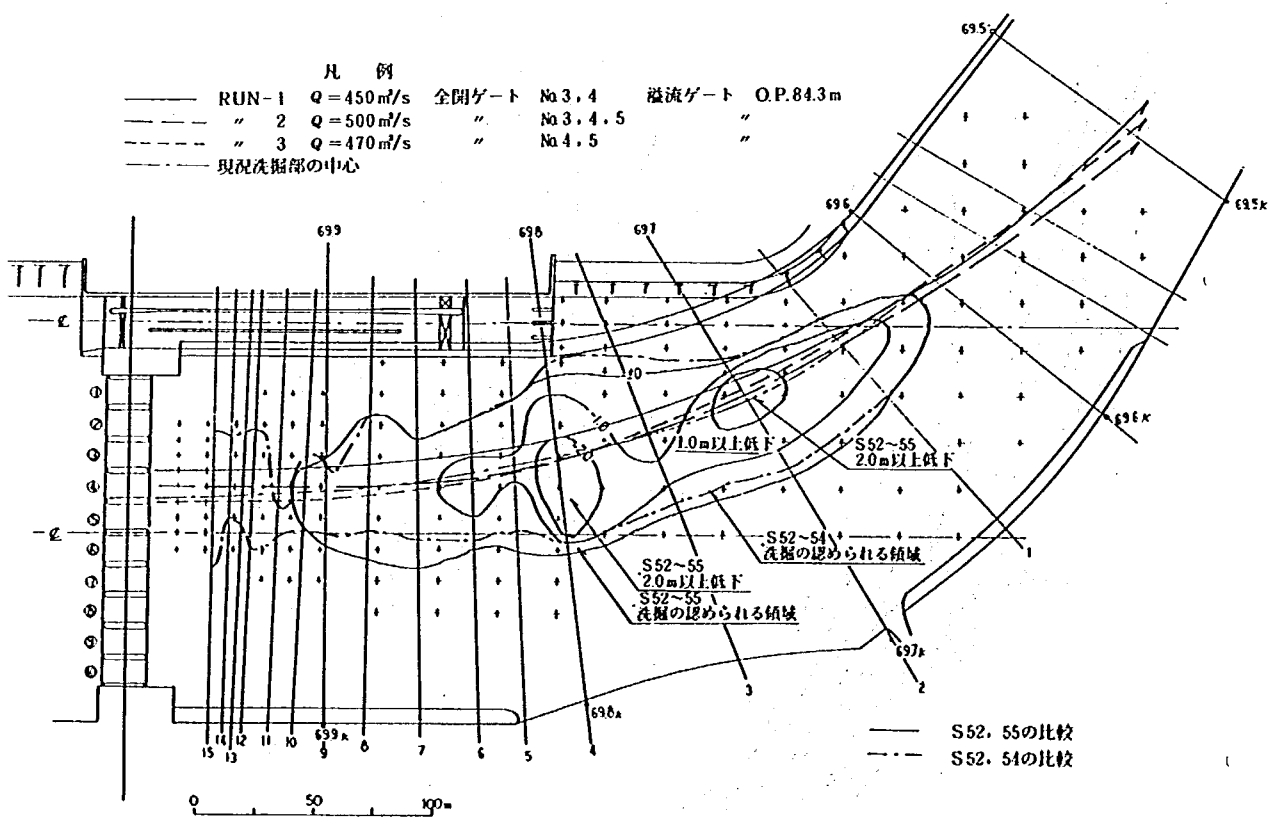


図3-6 現地資料によるS52, 54, 55年度の河床高比較

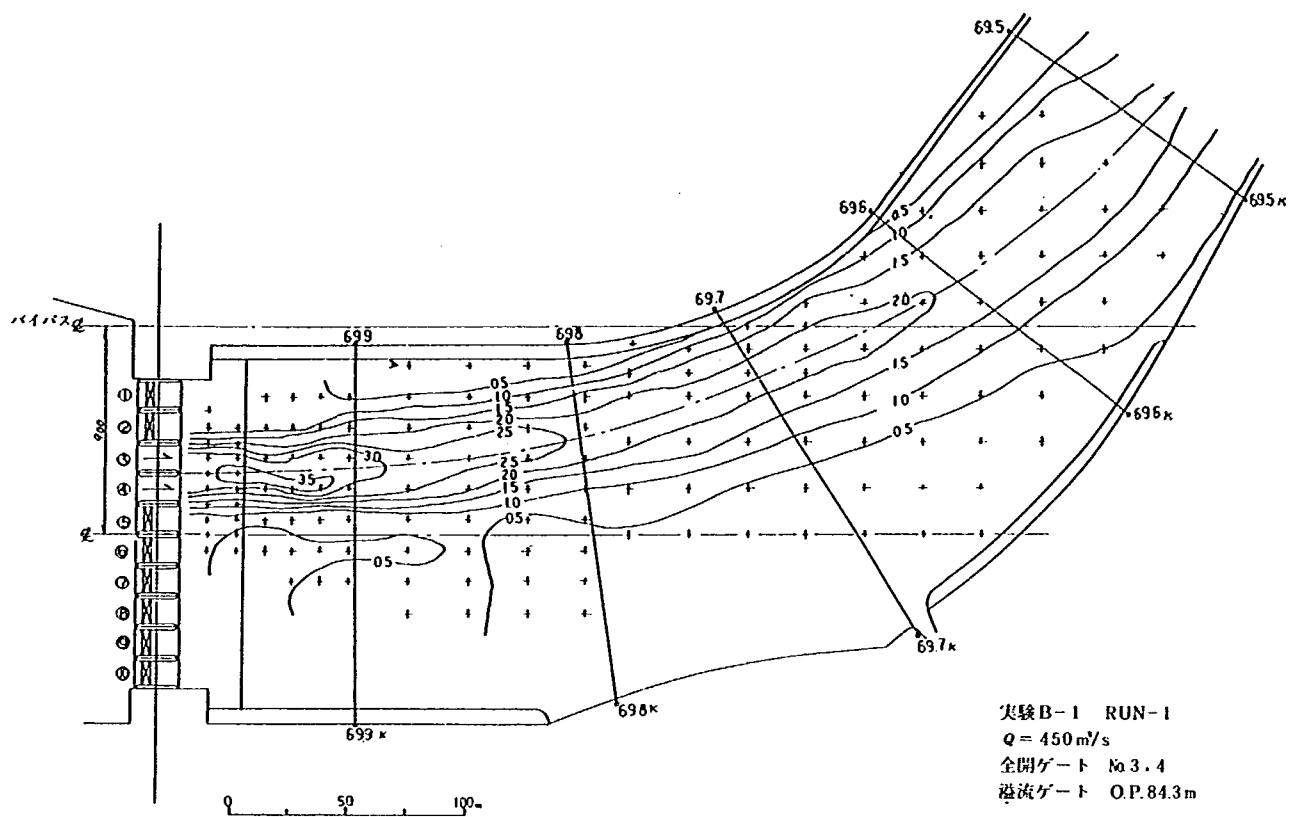


図3-7 流速分布等流速線

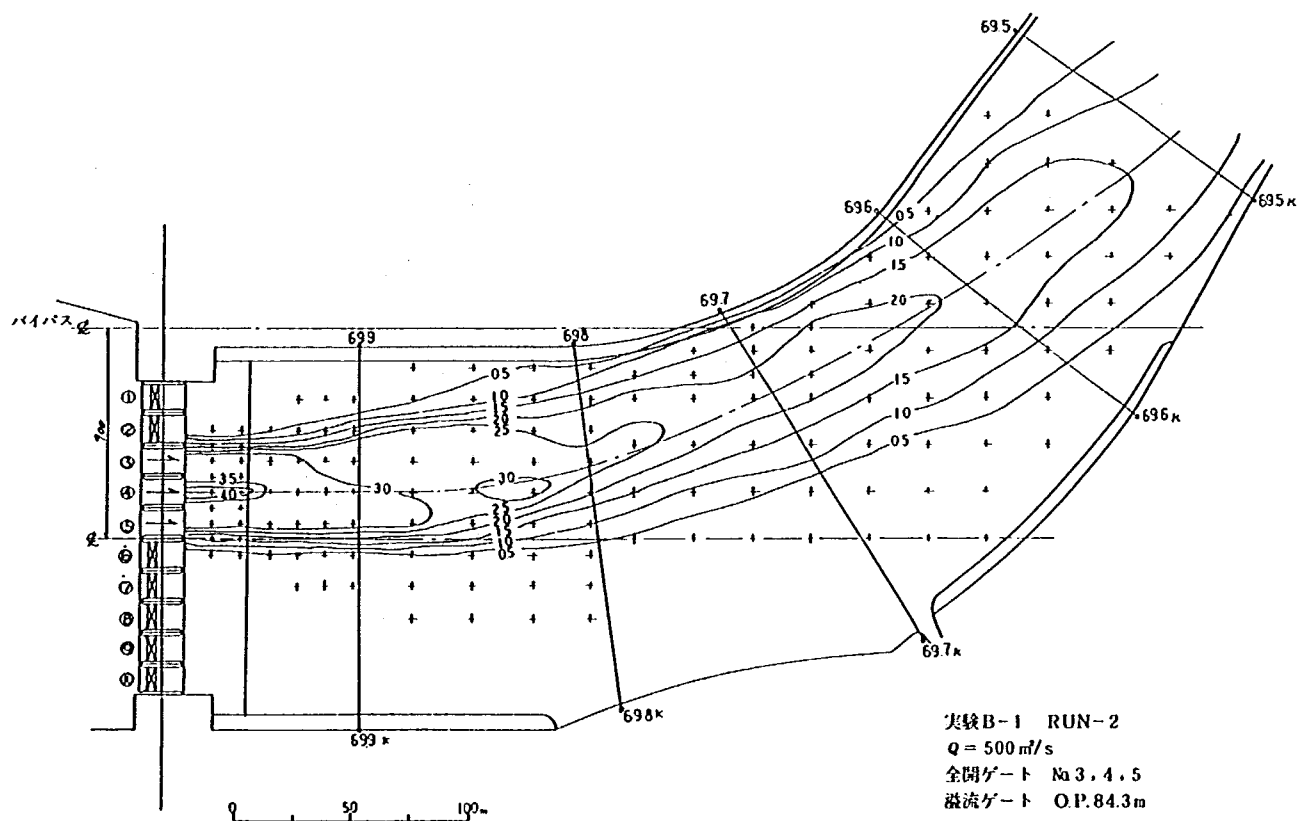


図3-8 流速分布・等流速線図

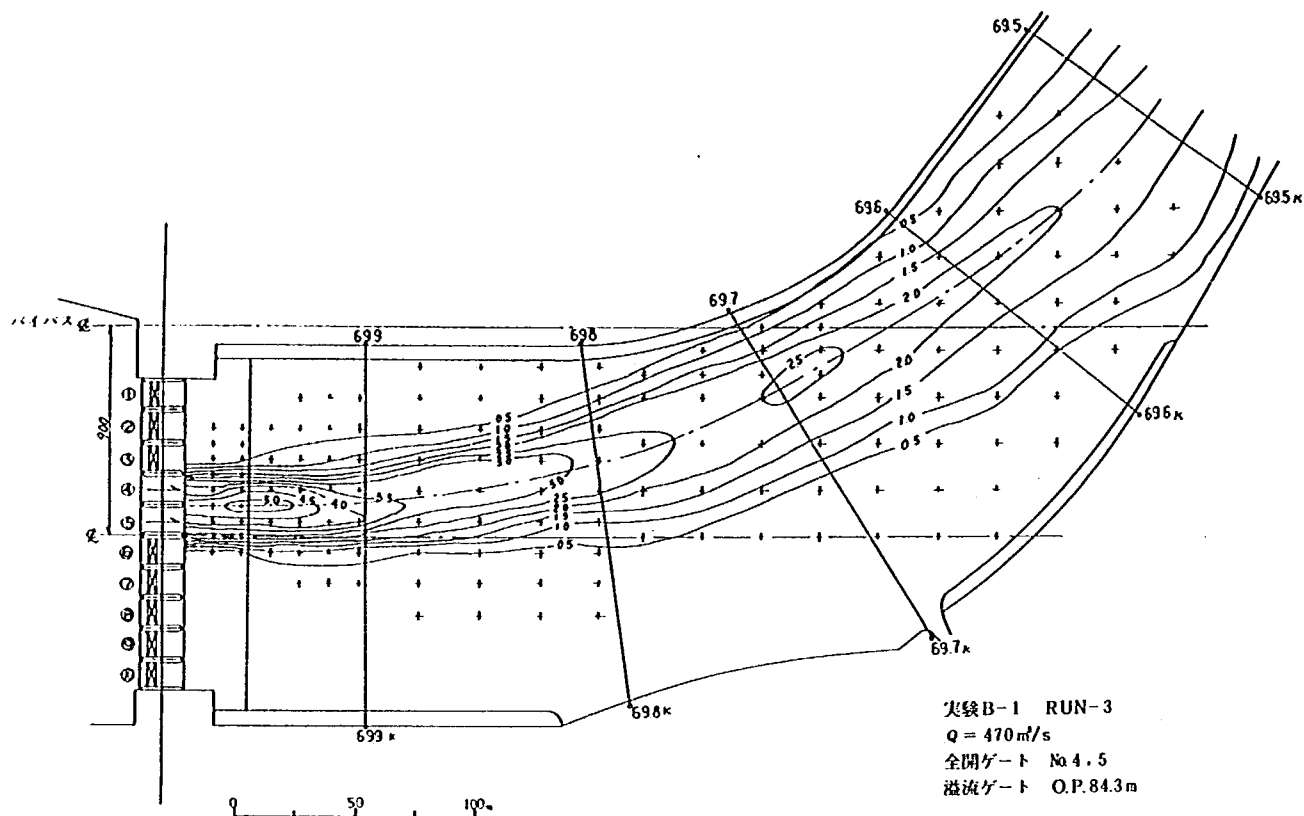


図3-9 流速分布・等流速線図

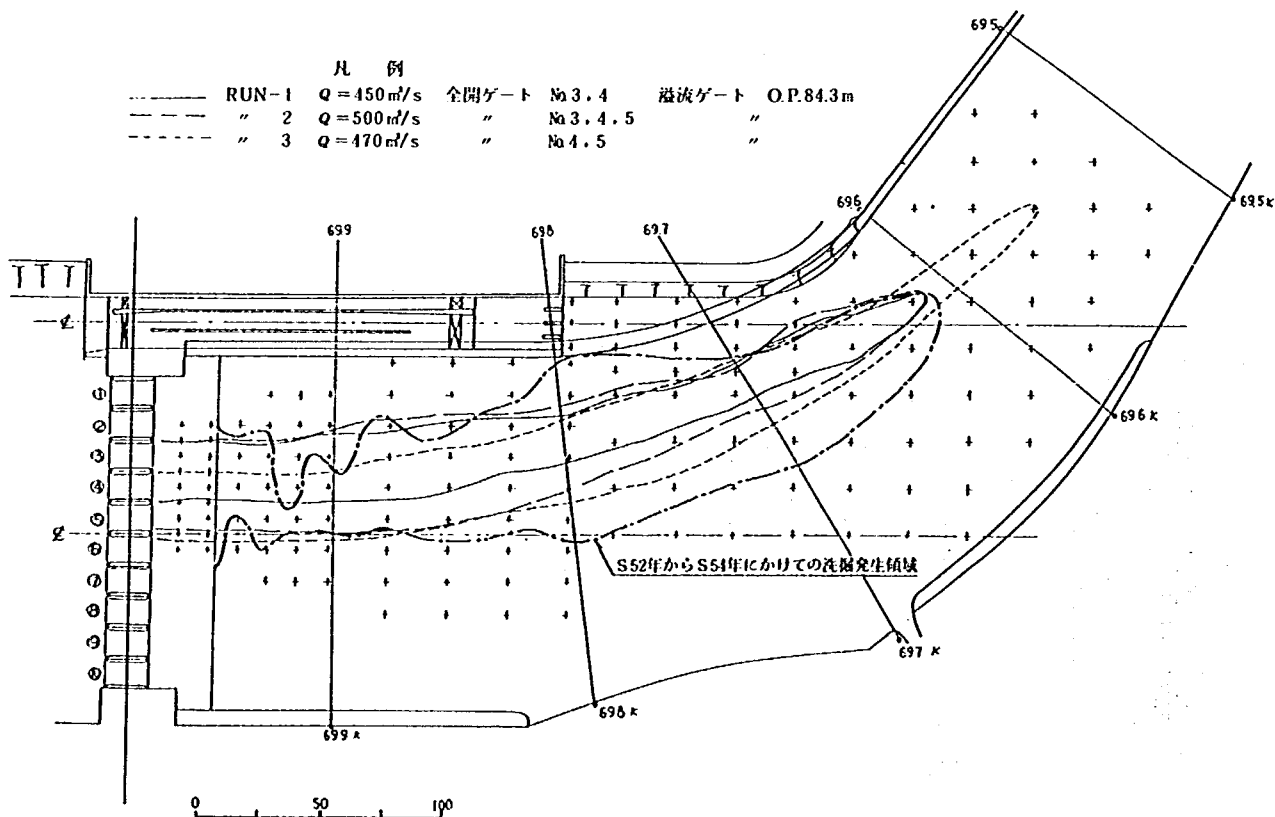


図3-10 実験 B-1
 洗掘前河床における流速 20 m/s 領域と洗掘領域

第4章 バイパス水路の護床工の評価

バイパス水路からの流入水は噴流状になると予想され、出口下流部の洗掘が懸念される。一方、洗堰部分放流時の主流線がバイパス出口付近で丁度左岸に接近するので、バイパス設置により河道形状が変わることによって流況が乱れこの部分の河床洗掘が進行する恐れもある。そこで護床工を設定することを前提としてまずその範囲を概略検討した。

1. バイパス出口の流況と洗掘予想範囲

バイパス水路の計画流量は $180 \text{ m}^3/\text{s}$ となっている。またバイパスは低水用であることから、千町水位条件は烏居川量水標の零点高（O.P. 85, 614 m）と利用低水位 -1.5 m （O.P. 84, 114 m）をはさんだ O.P. 83, 5 $\sim$ 86.0 m の範囲で考えた。実験条件は表4-1に示す。

表4-1 実験条件一覧（Cシリーズ）

Run	バイパス流量	洗堰流量	備考
1	180 m^3/s	0	} ゲート全門一様操作
2	100 m^3/s	0	
3	50 m^3/s	100 m^3/s	
4	100 m^3/s	50	

バイパス水路の流量制御は2門のフラップゲートで行われる（実物現案とは異なる）。そこでまずフラップゲートの $H \sim Q$ 相関を実験より求めた。結果を図4-1に示すが、各ゲート開度に対して一定関係が見られ、以下の式で近似される。

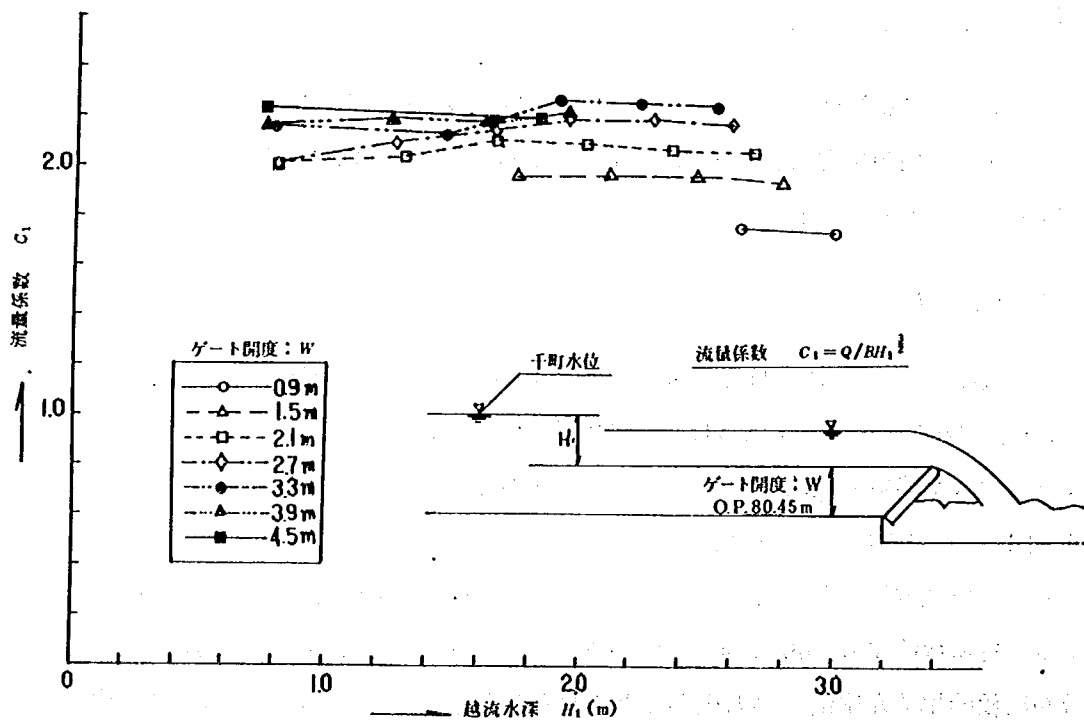
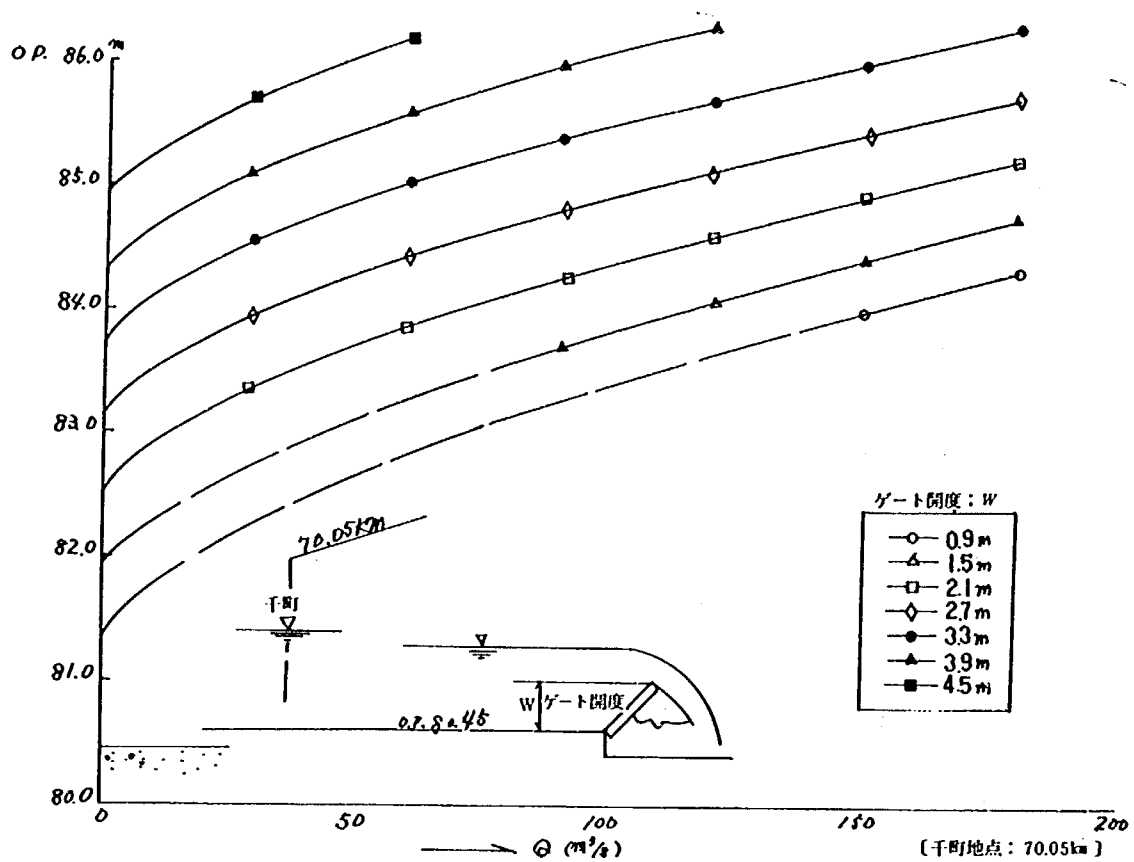
$$Q = C_1 B H_1^{3/2} \quad (4-1)$$

ここで Q = 放流量, C_1 = 越流係数, B = ゲート幅 20 m, H_1 = 千町水位である。

流量係数 C_1 は図4-2に示すように大体 2.05 程度である。

実験はバイパス水路単独放流2ケース、洗堰との合同放流2ケースを行った。各ケースの流況図と等流速線図を図4-3～図4-10に示す。

バイパスから単独放流した場合には図4-5からわかるように直進性が強く、対岸に弱いながら水衝部を形成する。特に放流量の $180 \text{ m}^3/\text{s}$ のケースで顕著である。一方、放流量が $100 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合（図4-3）では拡散が比較的早く左岸沿いにも広がった流れとなる。主流の流下にとまって発生する渦は、空間スケールは大きいが非常にゆったりしたものであることから、河床変動への影響は無視できるものと思える。一方等流速線図を見ると $180 \text{ m}^3/\text{s}$ 放流の場合に洗掘限界とみられる 2.0 m/s の流速がバイパス出口か



(WL=1(千町)地点基準による)

ら 100 m ぐらいの範囲にみられる程度である。一方下流部において部分的に流速の速くなるところがあるが、これは昭和 55 年の横断面図で河床が高くなっている部分で、恐らく砂州が形成されて浅くなっていると思われる。

以上の結果から、護床工の範囲としては、バイパス出口から 100 m 程度を考えればよいものと考えられる。なおこの結果については既に事務所に報告済みであり、現在の護床工計画範囲は図 4-11 のようになっている。

洗堰からの溢流放流を併用した場合（図 4-7, 4-8）では、バイパス水路からの放流によって生じていた渦が消されるとともに、対岸への流れが合流によって河道中央に寄せられるなど、単独放流に比べ流況、流速分布とも良い結果となっており、低水時の調節にもバイパス水路のみでなく、洗堰による放流もその精度の許容範囲で併用させたほうが望ましいと言える。

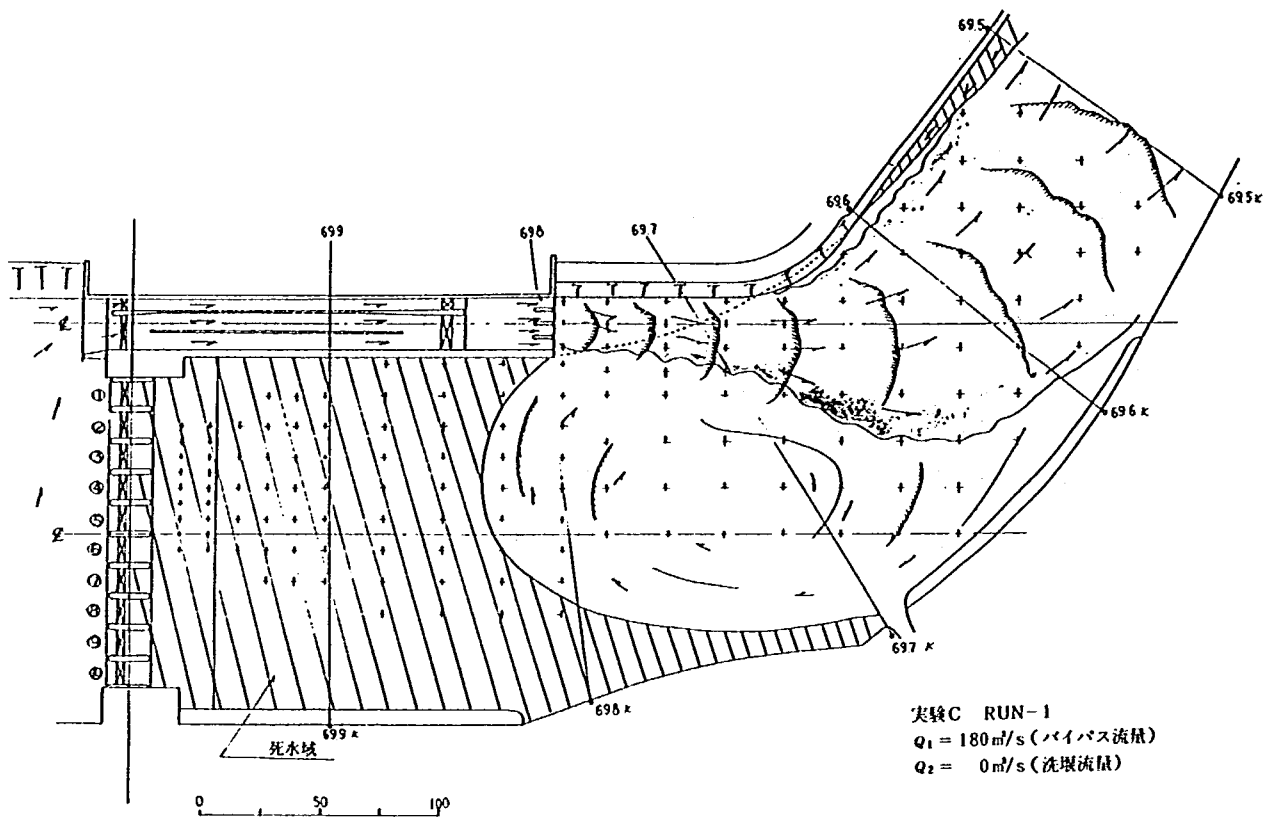


図4-3 流況図

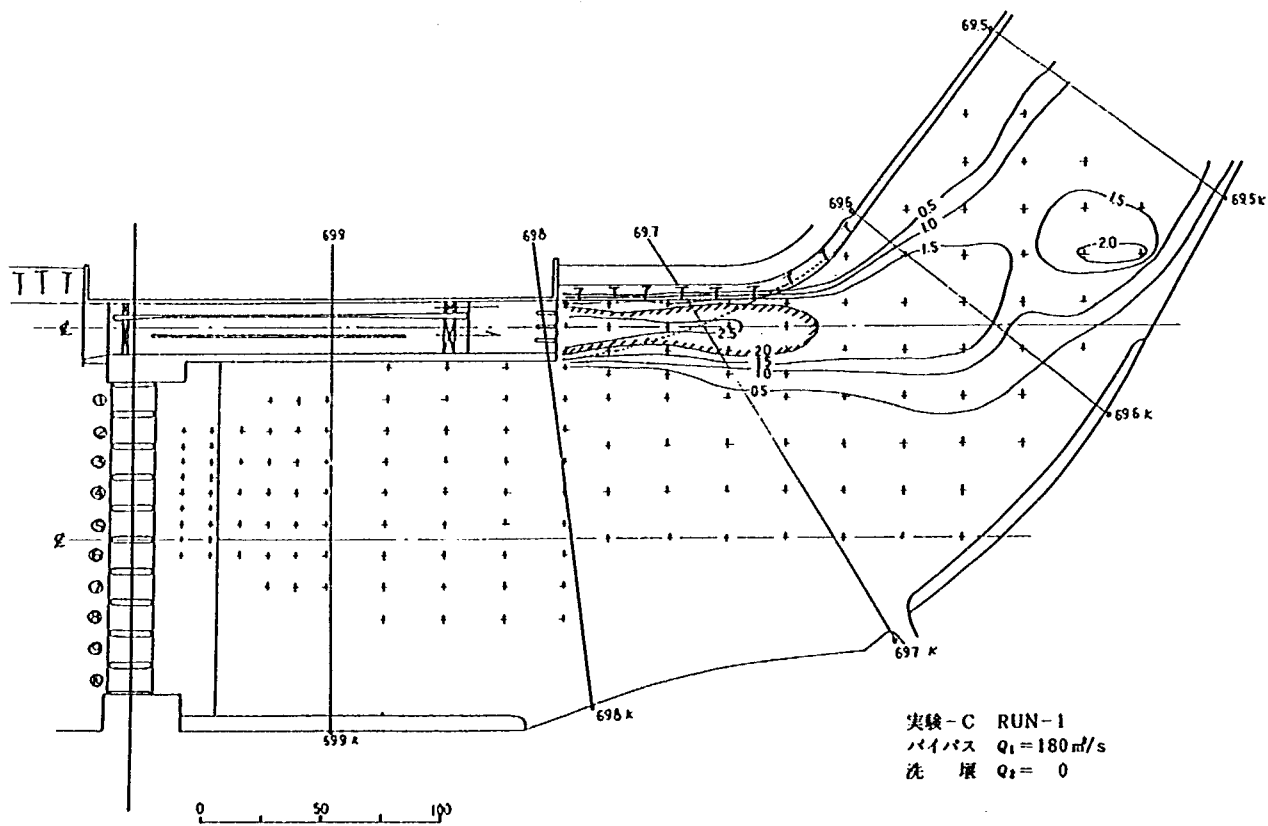


図4-4 等流速線図

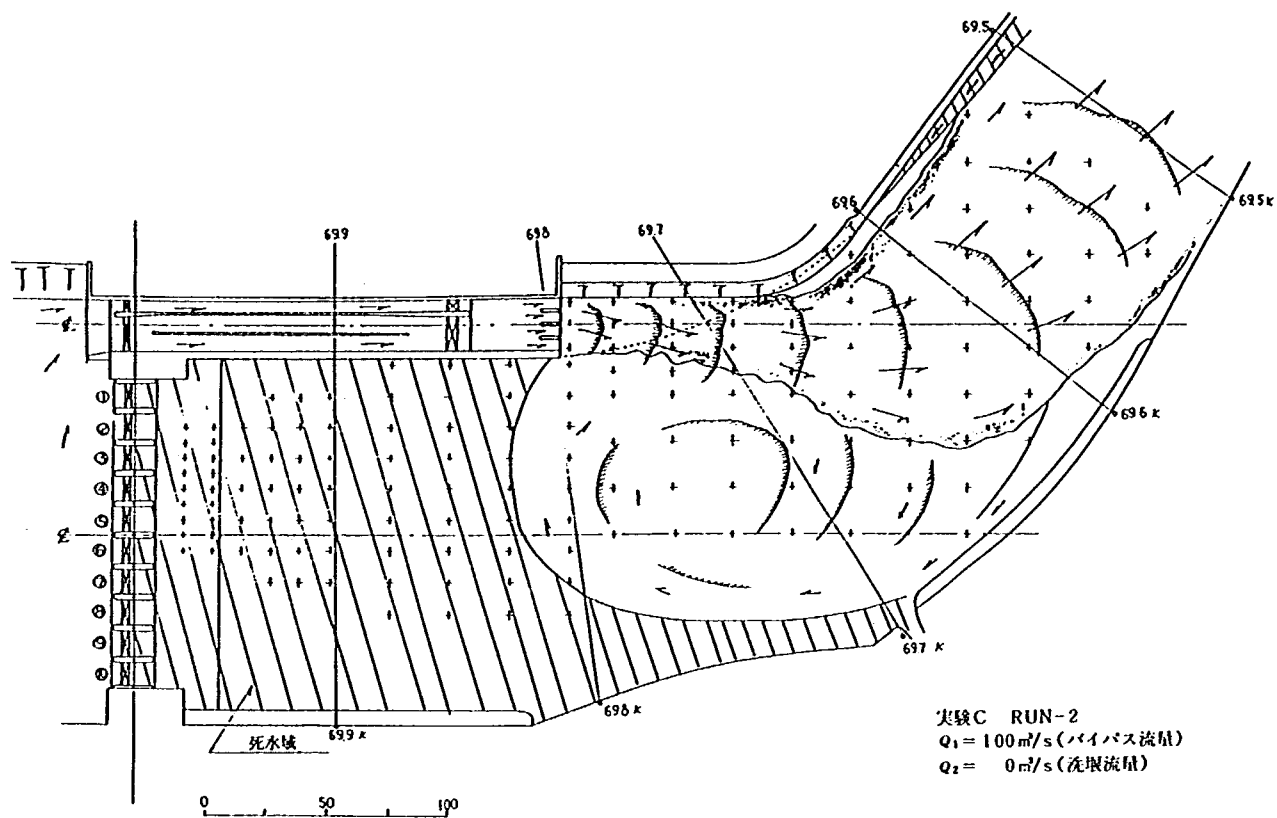


図4-5 流況図

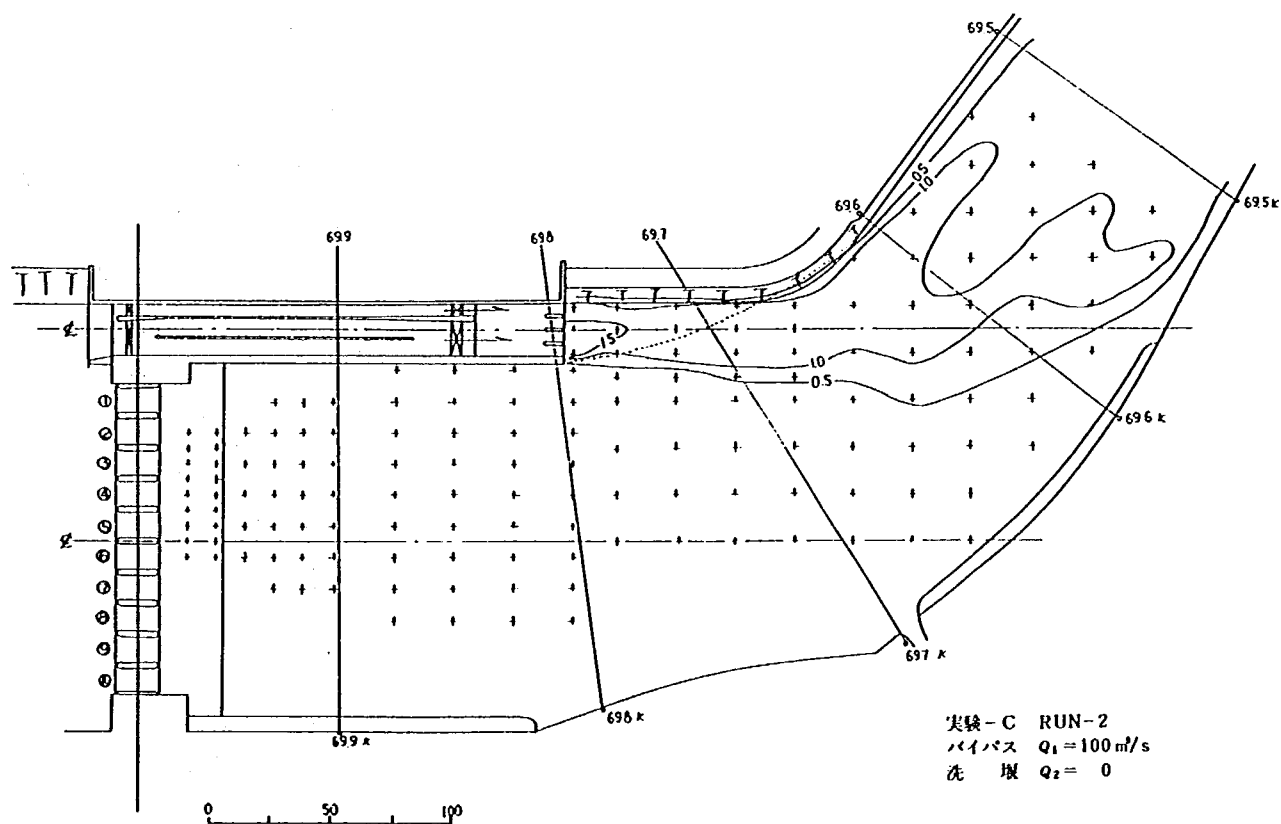


図4-6 等流速線図

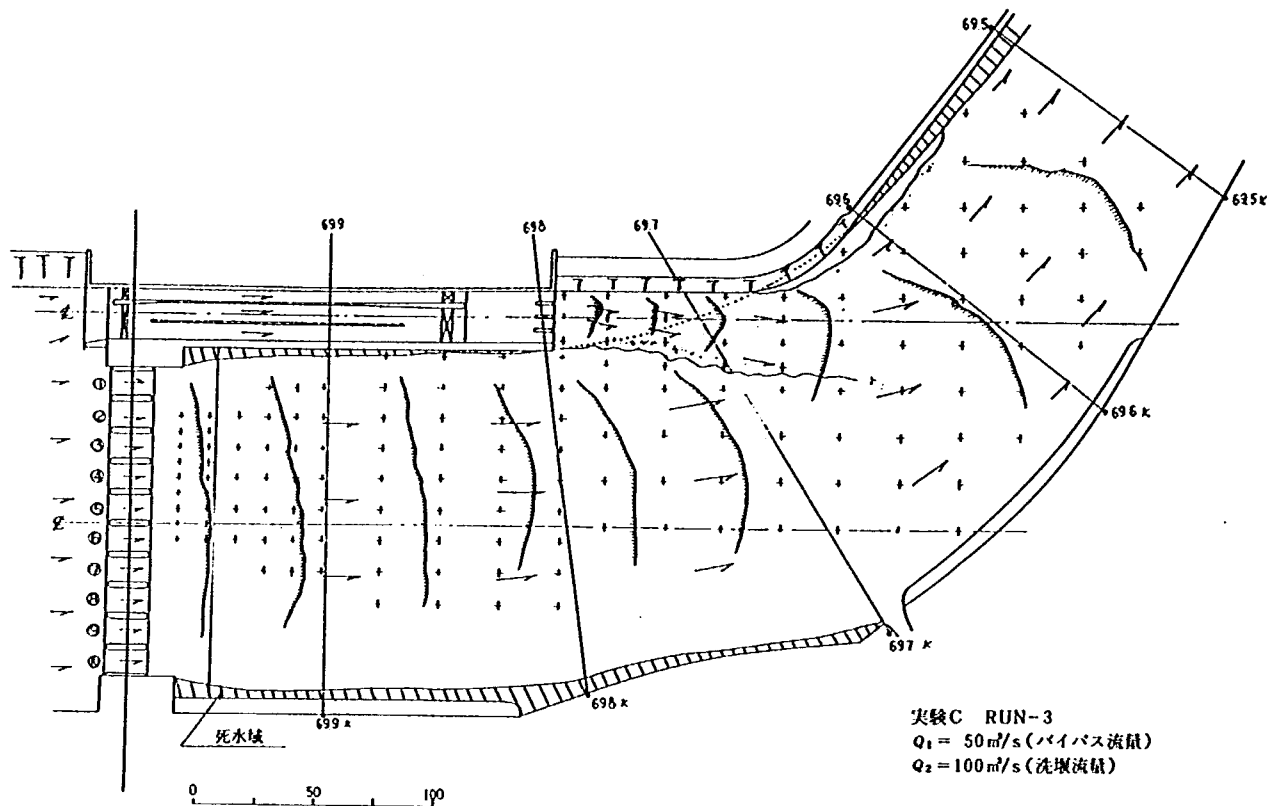


図4-7 流況図

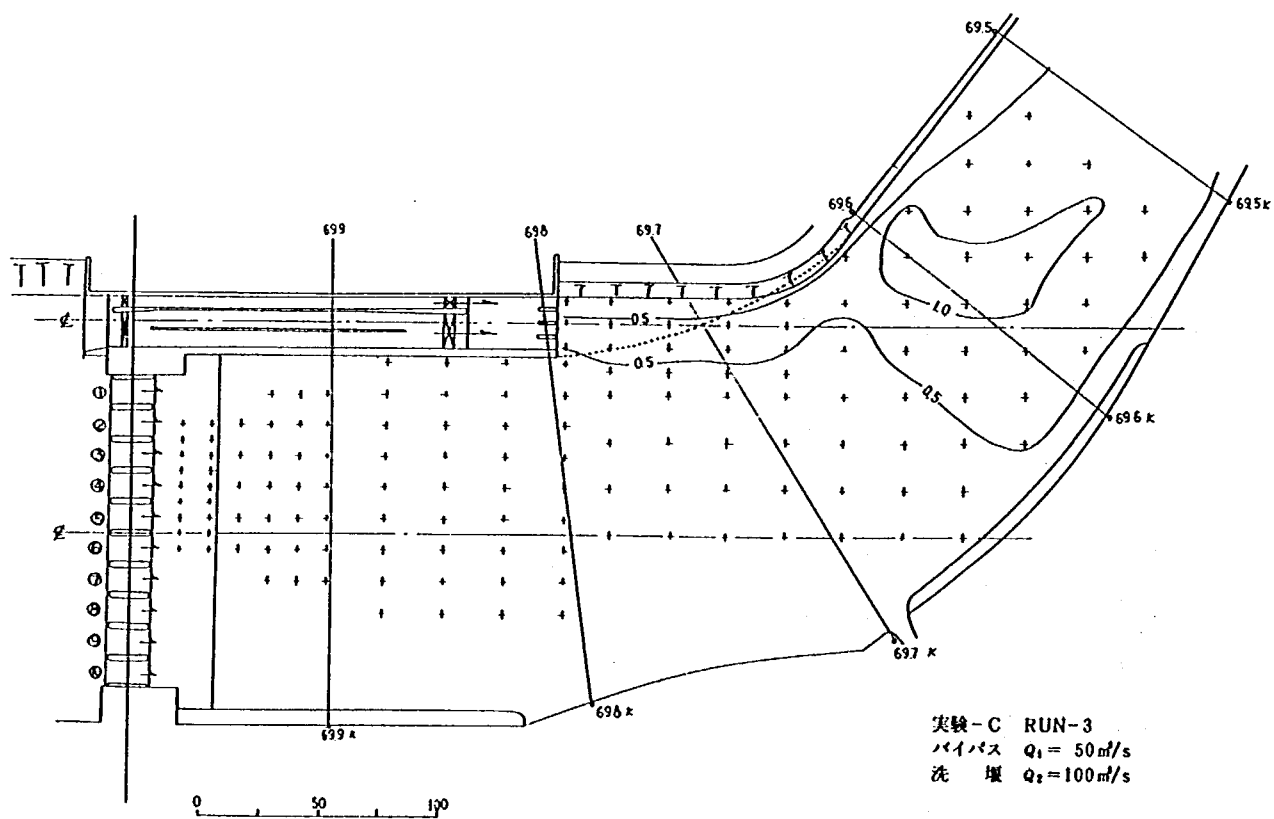


図4-8 等流速線図

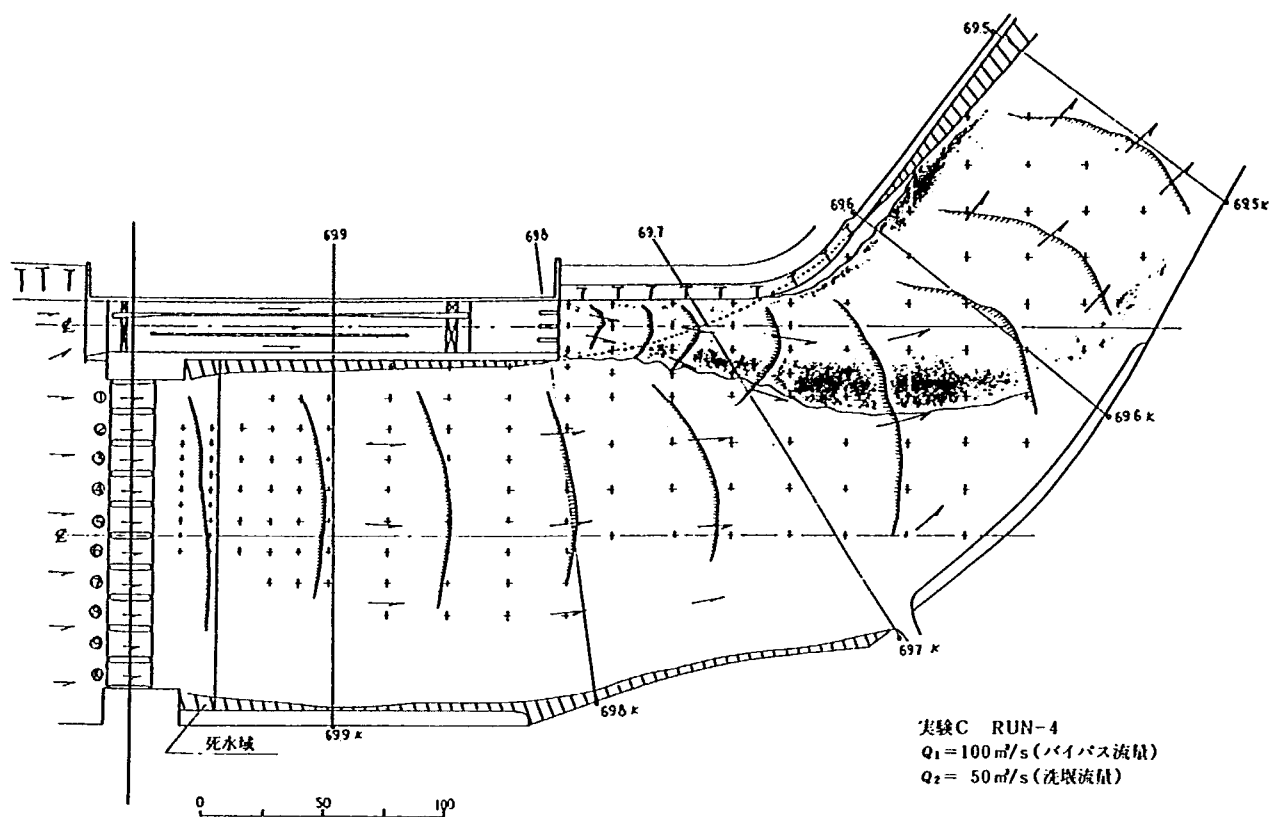


図4-9 流況図

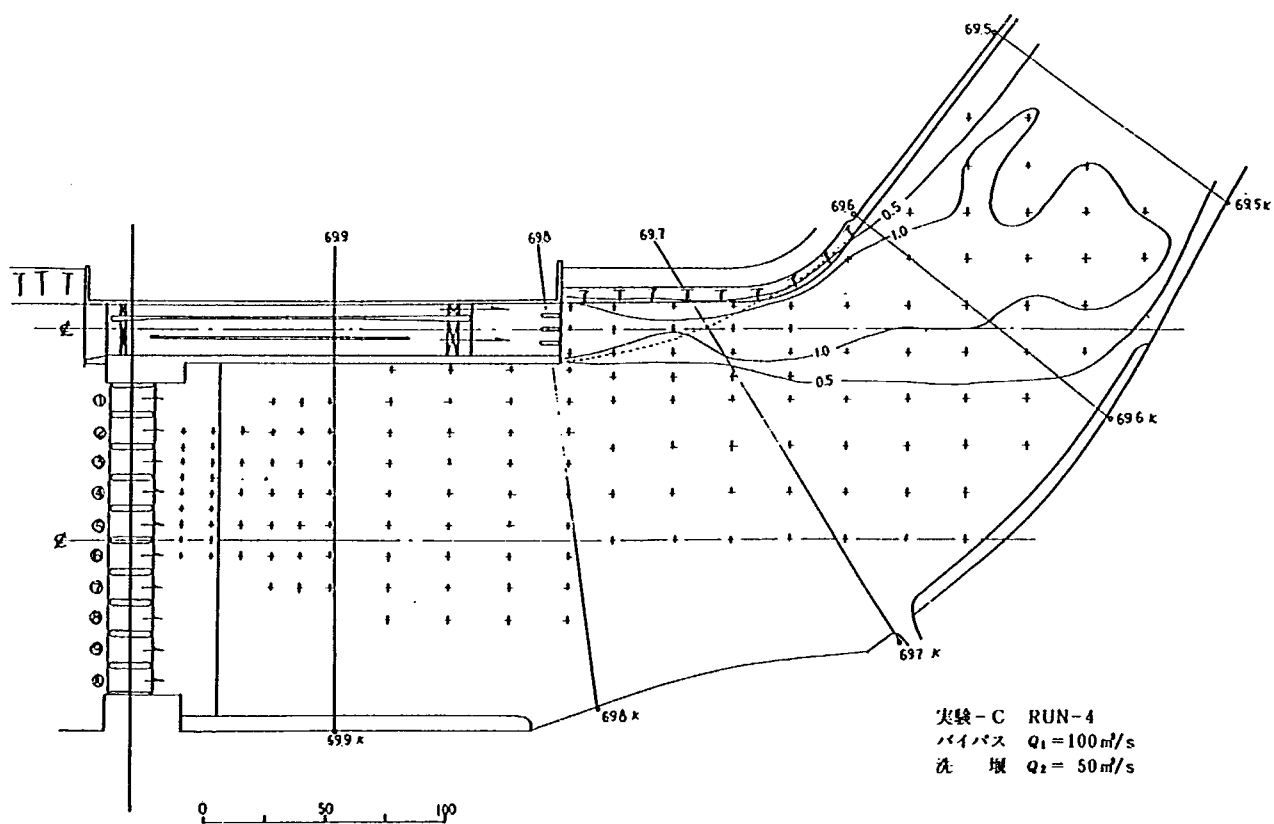


図4-10 等流速線図

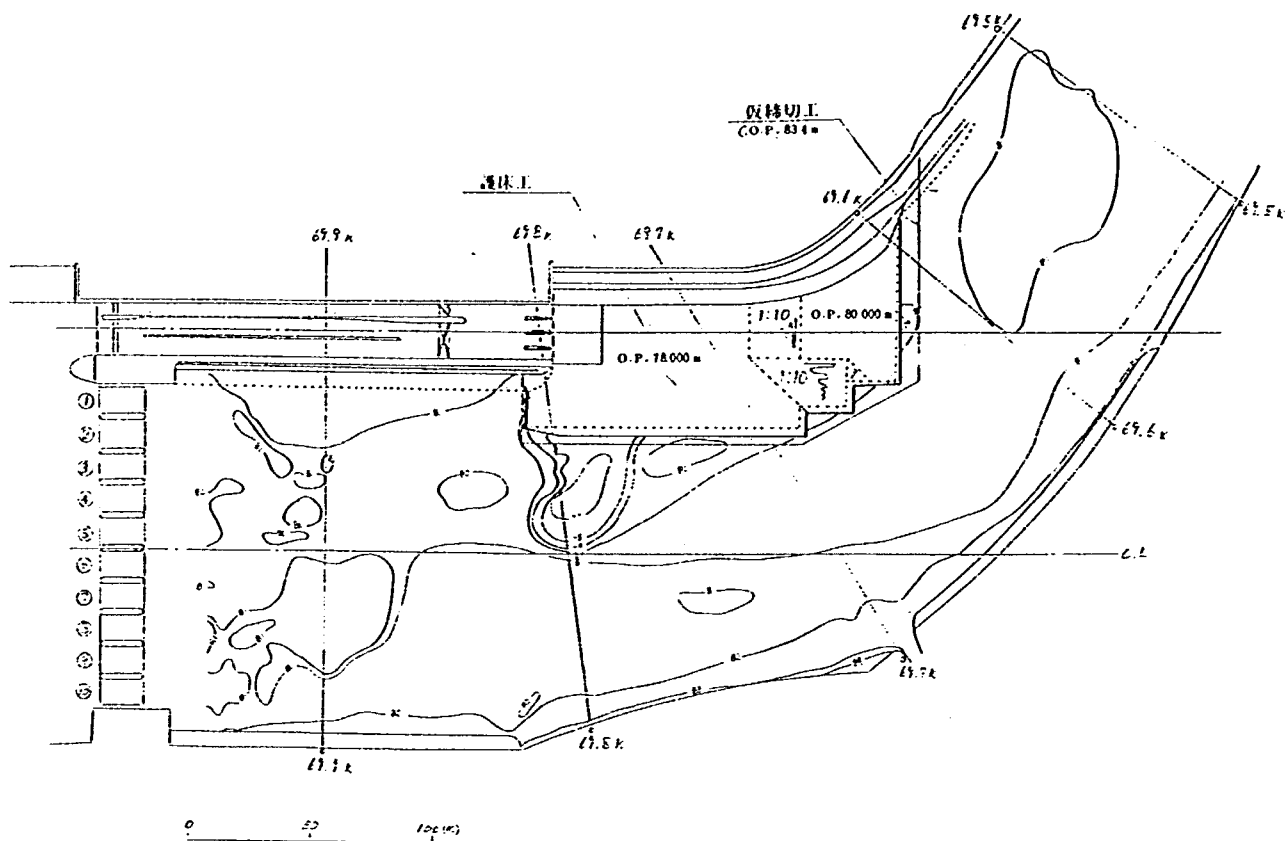


图4-11 模型一般图

2. 洗堰からの洪水放流による河床洗掘

バイパス水路建設後に、洗堰から部分放流をした場合に、さらに洗掘の生じる恐れがあるか否かを調査するため実験を行った。実験条件を表4-2に示す。なお、河床形状はバイパス放流実験と同じである。

表4-2 実験条件一覧 (B-2シリーズ)

Run	全開ゲートNo	溢流ゲート天端高	流 量	全開ゲート1門流量
4	4	O. P. 84.3 m	600 m ³ /s	187 m ³ /s
5	3・4	"	"	170
6	3・4・5	"	"	155
7	4	全 閉	200	200
8	3・4	"	400	200
9	3・4・5	"	600	200

実験は部分開放操作での最大流量 600 m³/s として、放流方法による流況、河床洗掘の相異の検討が3ケース、1門全開の放流量 200 m³/s をベースに流量の増加による流況、河床洗掘の相異の検討が3ケースとなっている。

流況は前章の河床洗掘特性検討実験の流況に類似している。すなわち流下にとまって主流の右岸域に渦を発生させる。そしてその影響を受けて 69.7 km 湾曲左岸に接近するような主流線を形成する。バイパス水路建設により左岸側が改修されたため、主流線は 69.8 km で一番左岸に接近し、その後ゆるやかな湾曲を示しながら下流域へと流線を広げ流下する。ここで若干右岸寄りの流れを形成するが、水衝部を形成するには至っていない。改修の行われた部分は死水域となつてゆるやかな渦が形成されている。

各ケース毎に比較検討すると、まず全開ゲート以外のゲートを全閉状態とするか溢流状態とするかで著しい差のあることがわかる。すなわち Run 6 と Run 9 を比較すると他ゲートを全閉とした状態 Run 9 では主流線がバイパス出口に近づき、しかも洗掘の恐れのある流速 2.0 m/s のコンターが 69.6 km まで延びている。一方 Run 6 では 20 m/s のコンターが河床中央寄りにあって、その範囲は著しく減少している。このように他ゲートから溢流させることにより、全開ゲートからの噴流の運動量を減じ流れを整流させることができる。したがって放流精度が許容される範囲内でなるべく溢流させることが望ましい。

次に同流量における全開ゲート門数と流況の関係を述べると次のようである。

1門全開とした場合、高流速の発生する範囲は極めて細い。死水域の幅が河道幅に占める割合を 69.7 km を基準に求めると 23 % 程度であった。

2門全開とした場合、高流速の発生する範囲はその分広くなり、その最大流速も 4.0 m/s となっている。主流線はその始点の影響もあるが、より左岸へ接近している。死水域の割合は 33 % と噴流に流水がより集中していることがわかる。

3門全開とした場合、高流速の発生する範囲はさらに広がる。しかし、2門の場合と比べ最大流速は

4 m/s で変わらないが、その発生域は狭い。また、減勢効果も良く高流速域の延びが比べ短い。死水域の割合は右岸寄りの流れが強まったことから30%と減少した。

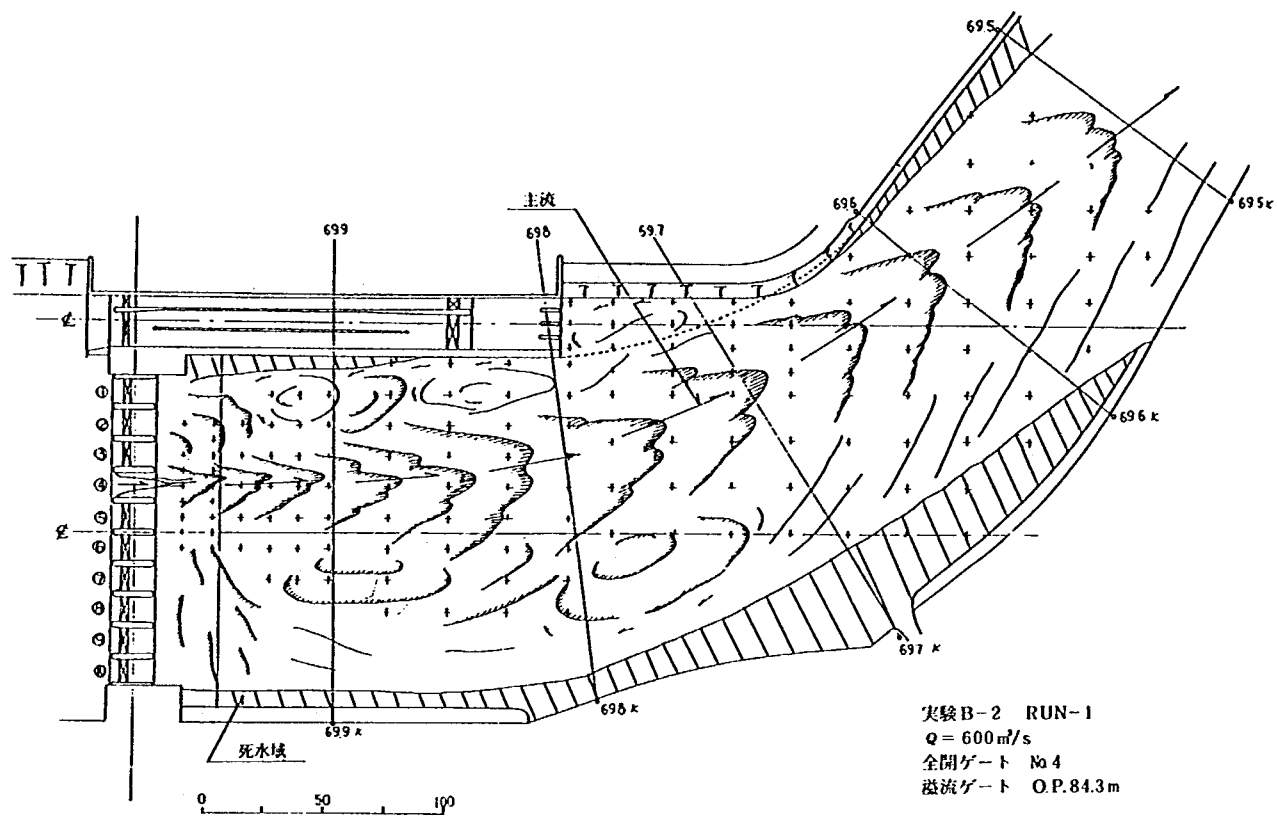


図4-12 流況図

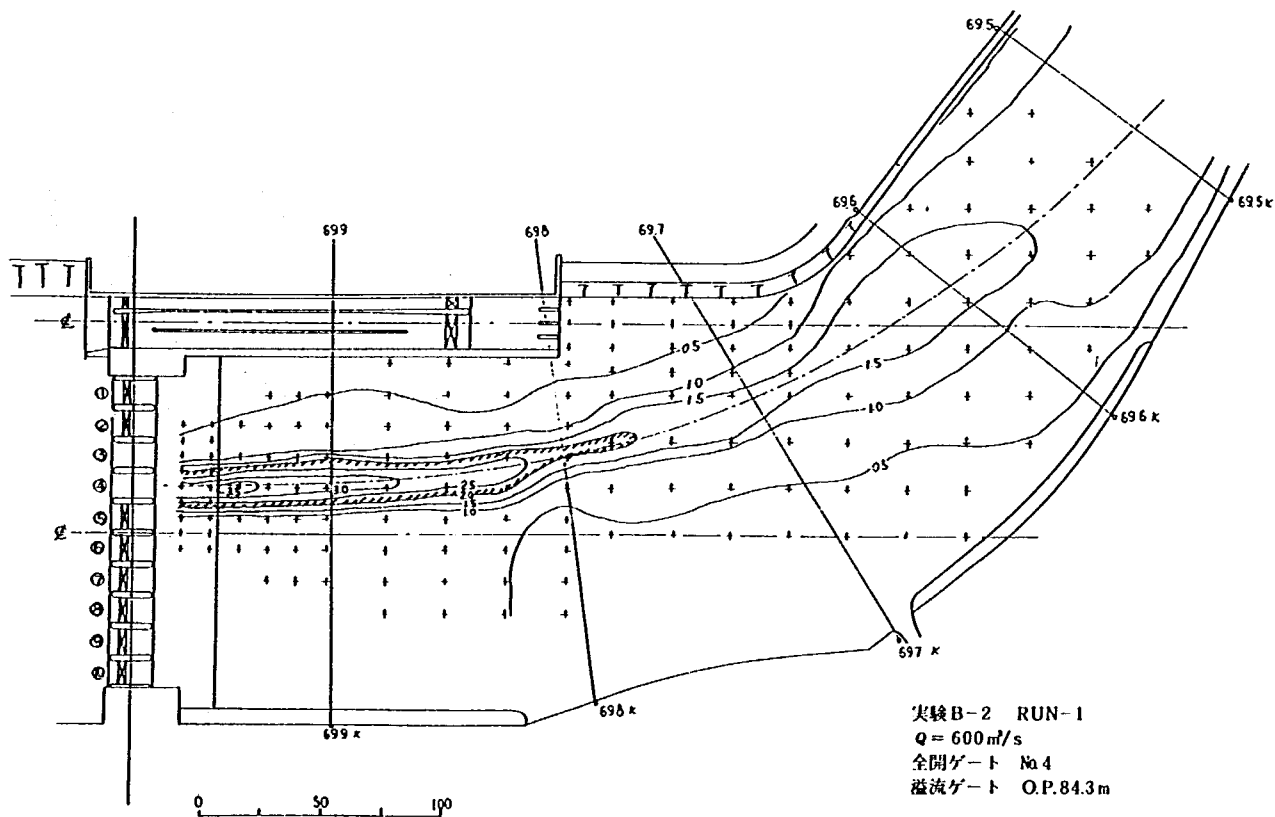


図4-13 等流速線図

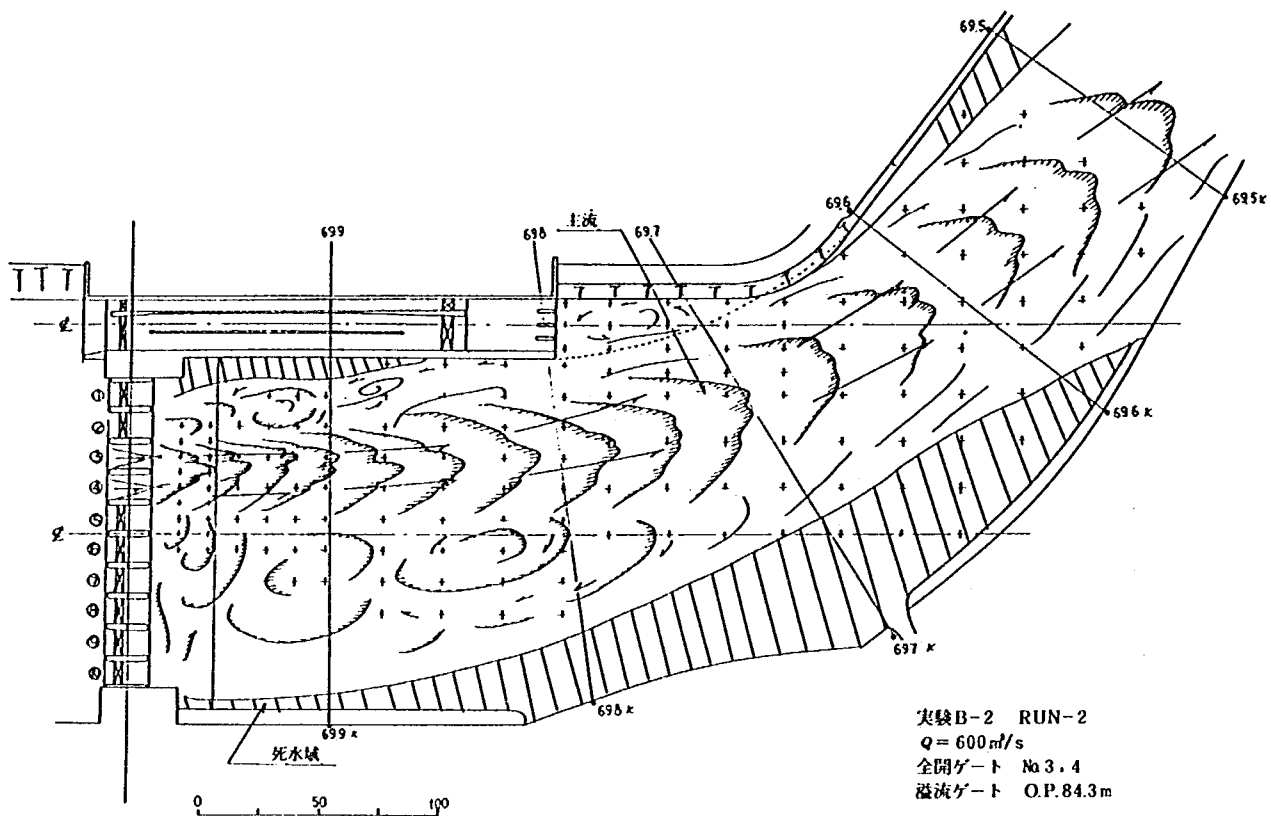


図4-14 流況図

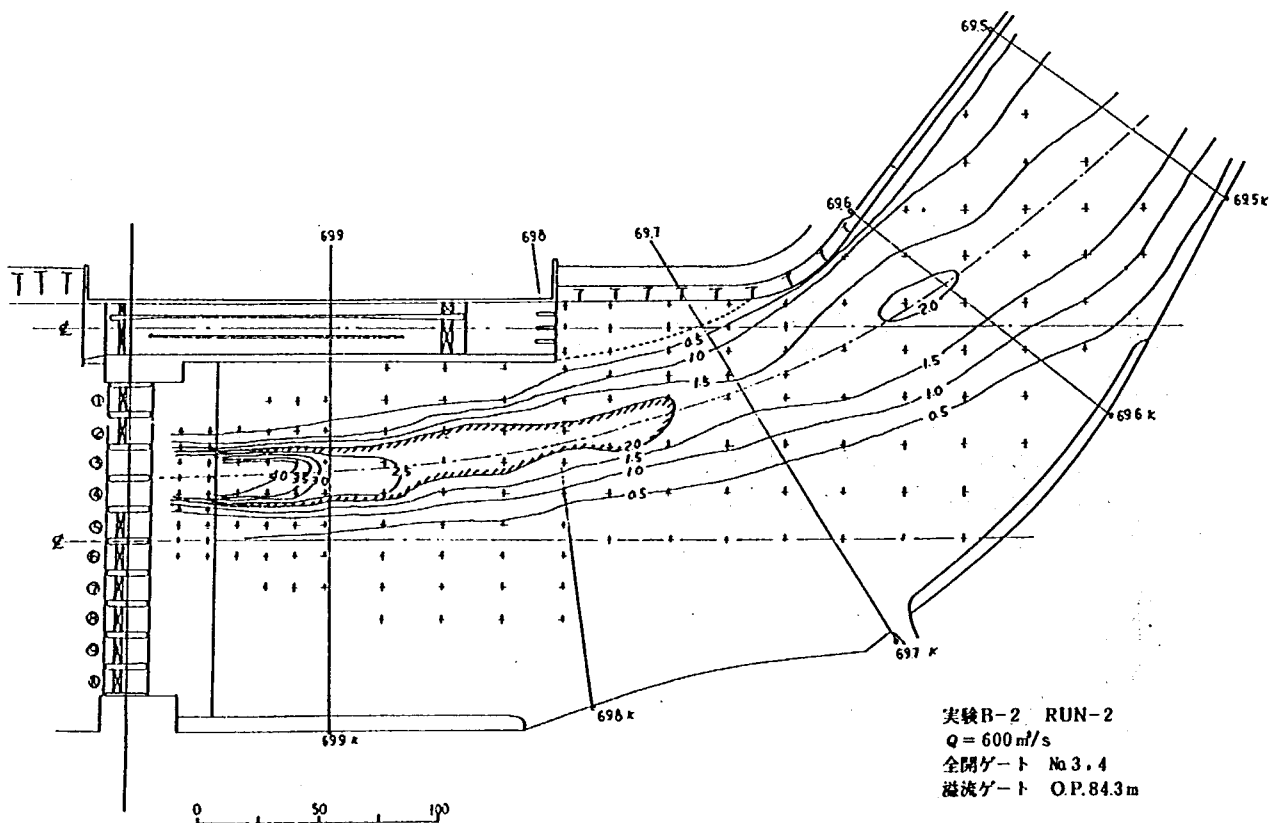


図4-15 等流速線図

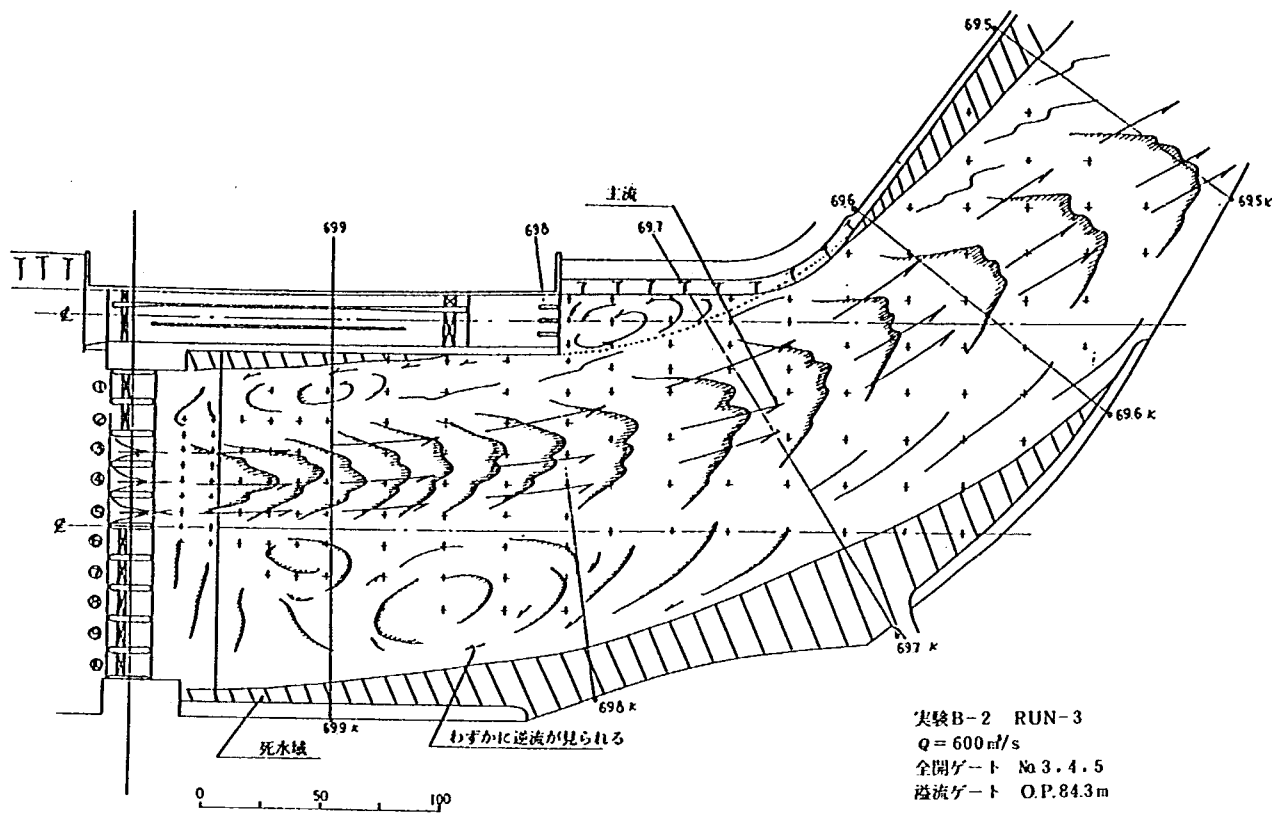


図4-16 流況図

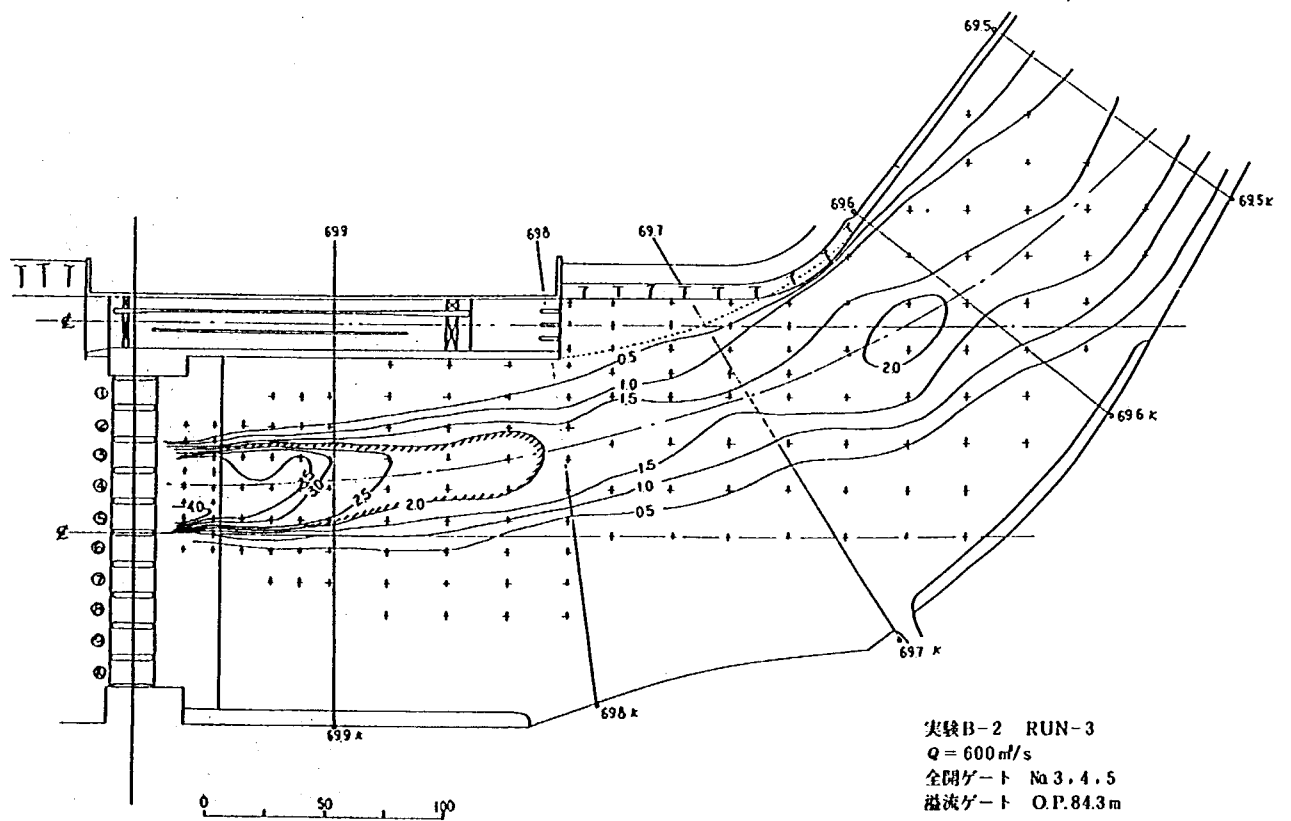


図4-17 等流速線図

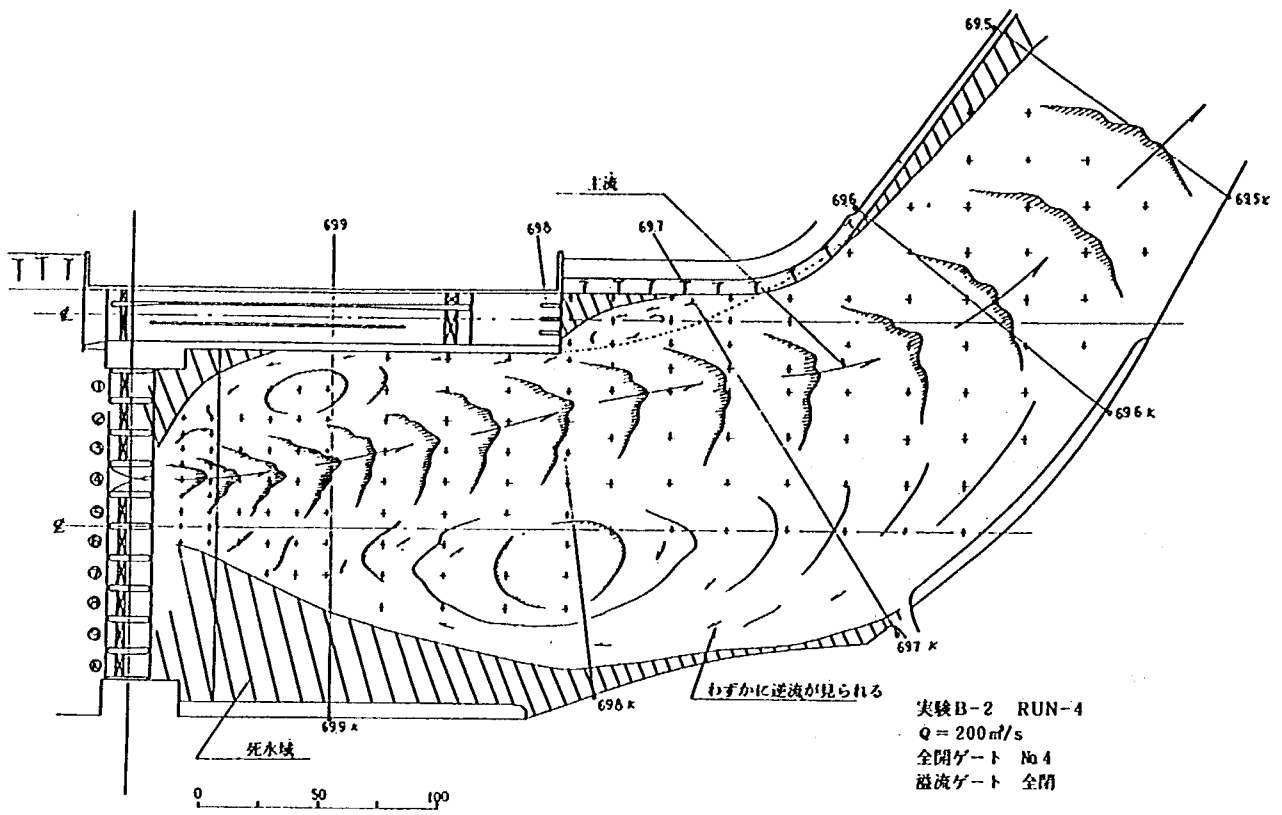


図4-18 流況図

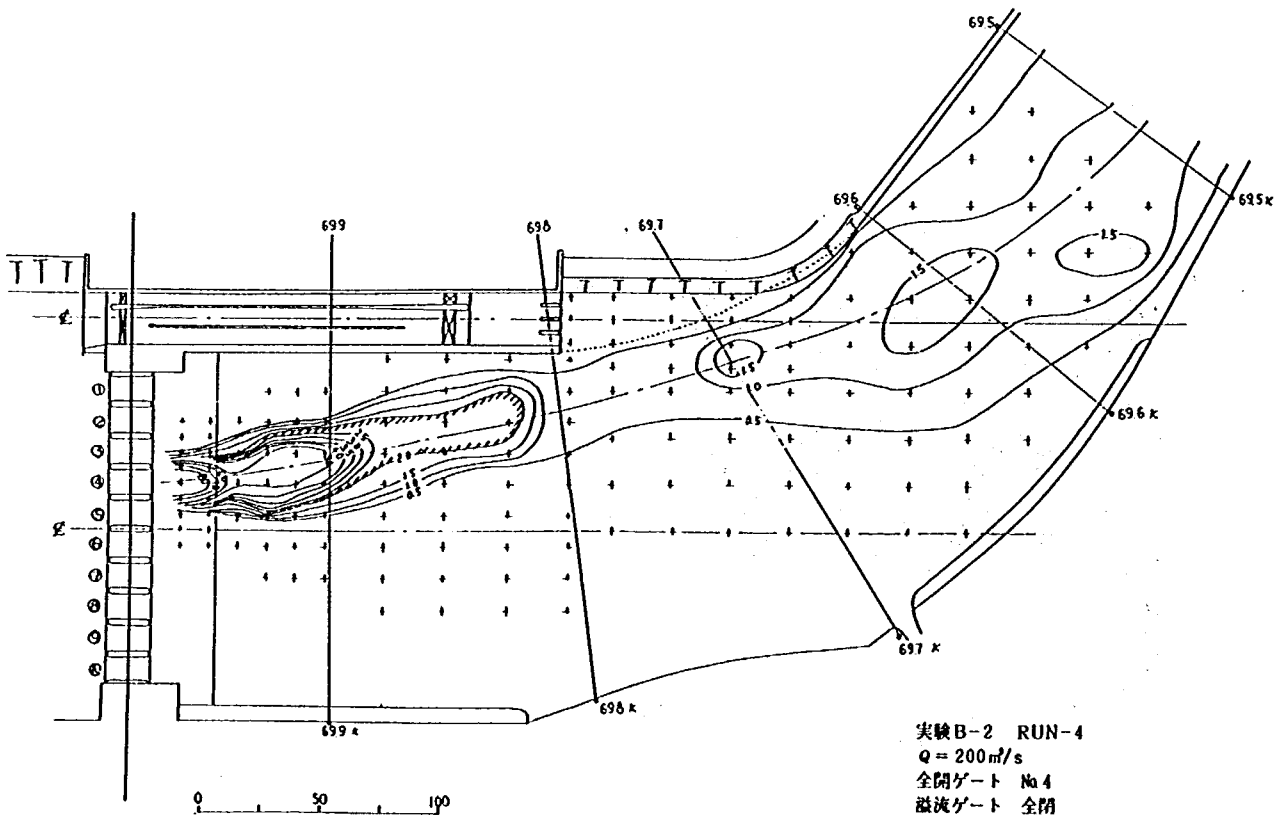


図4-19 等流速線図

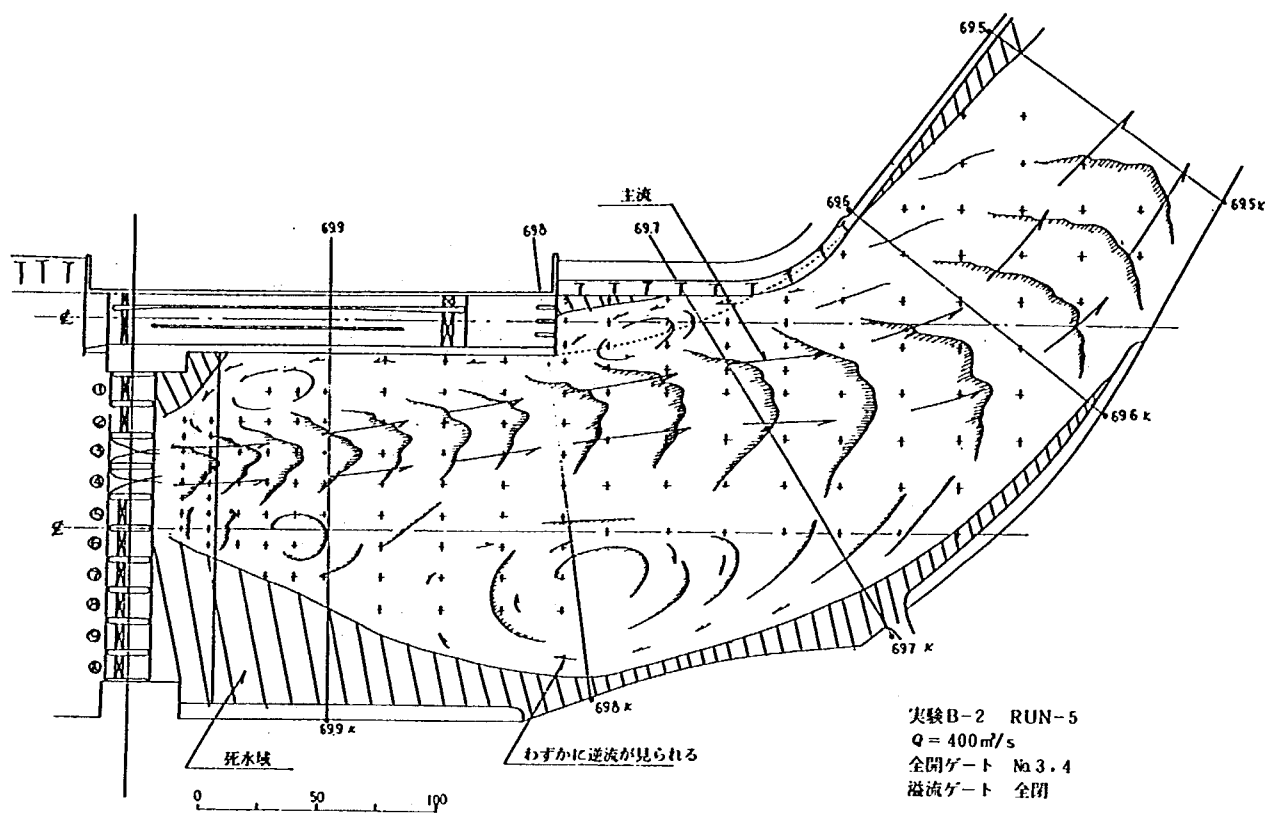


图 4-20 流 況 図

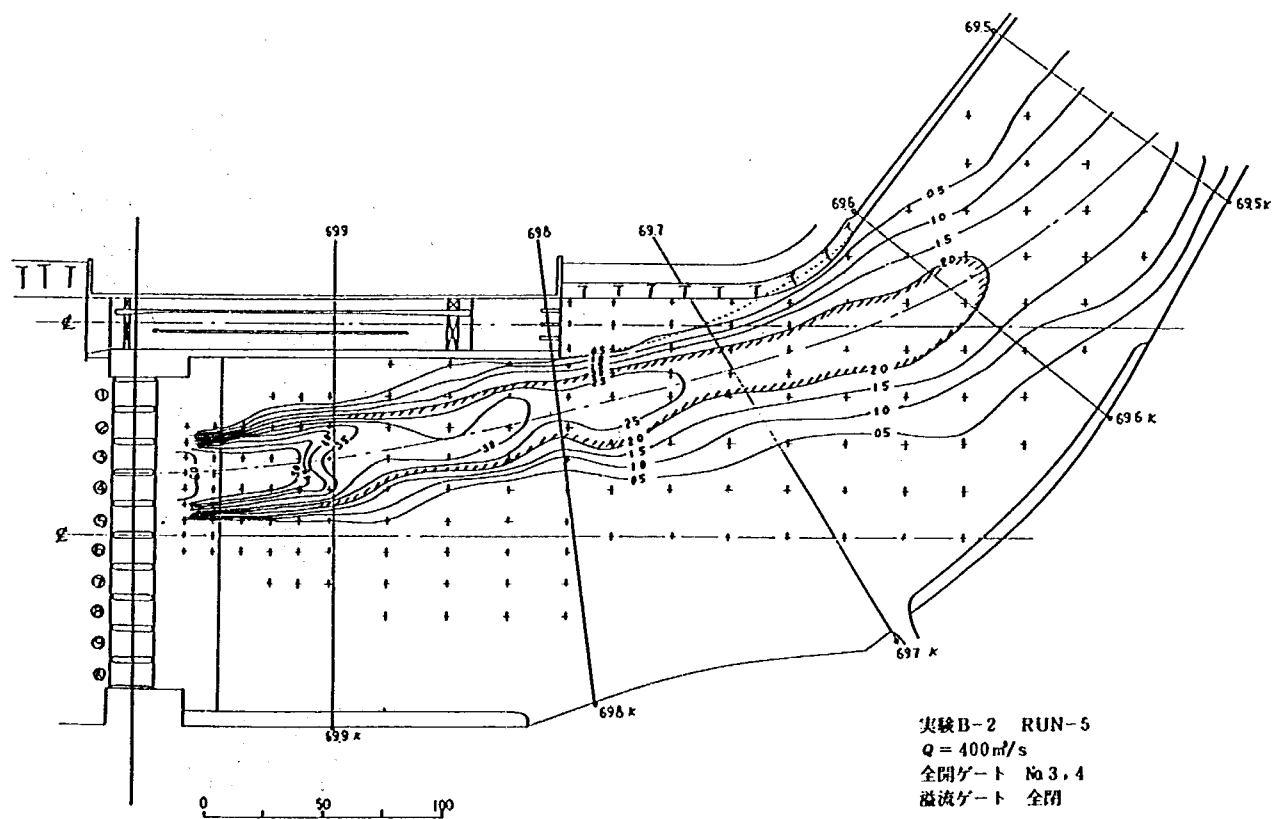


圖 4-21 等流速線圖

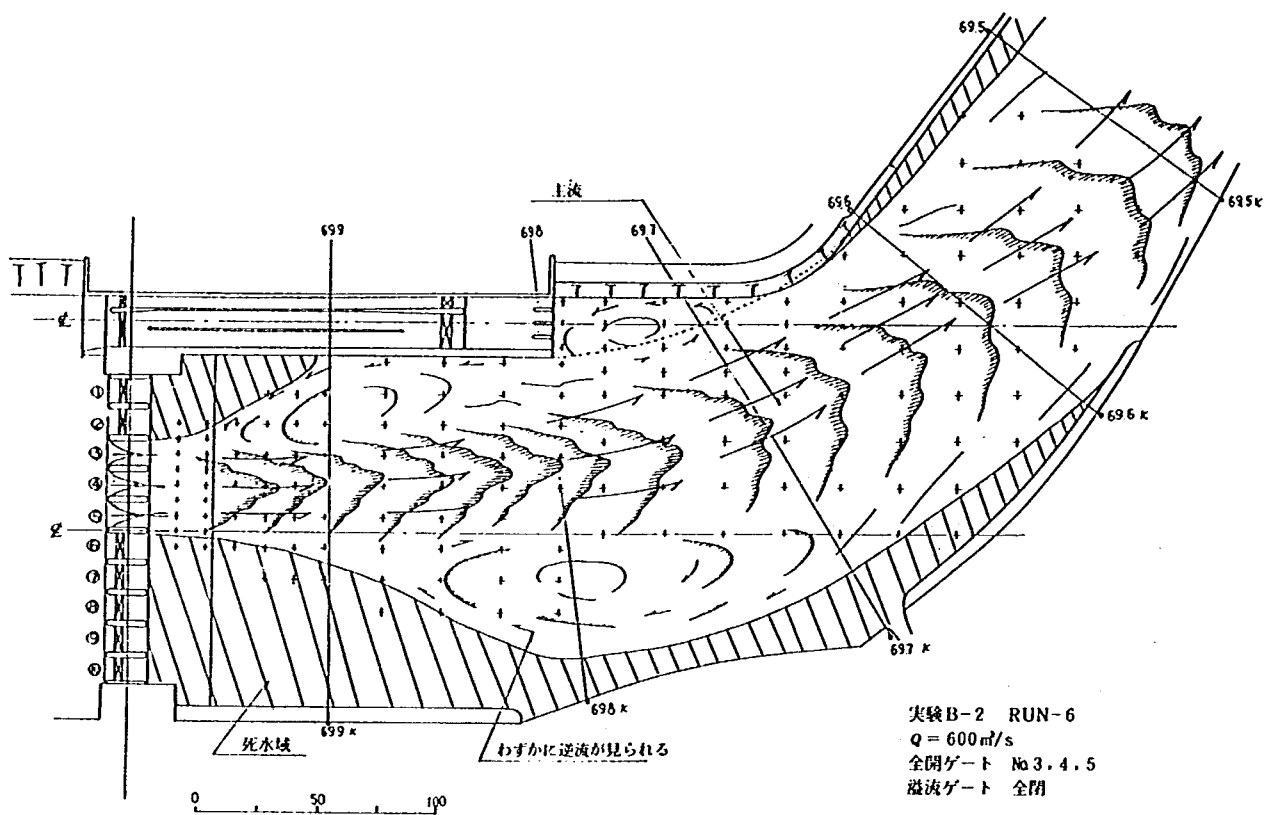


図4-22 流況図

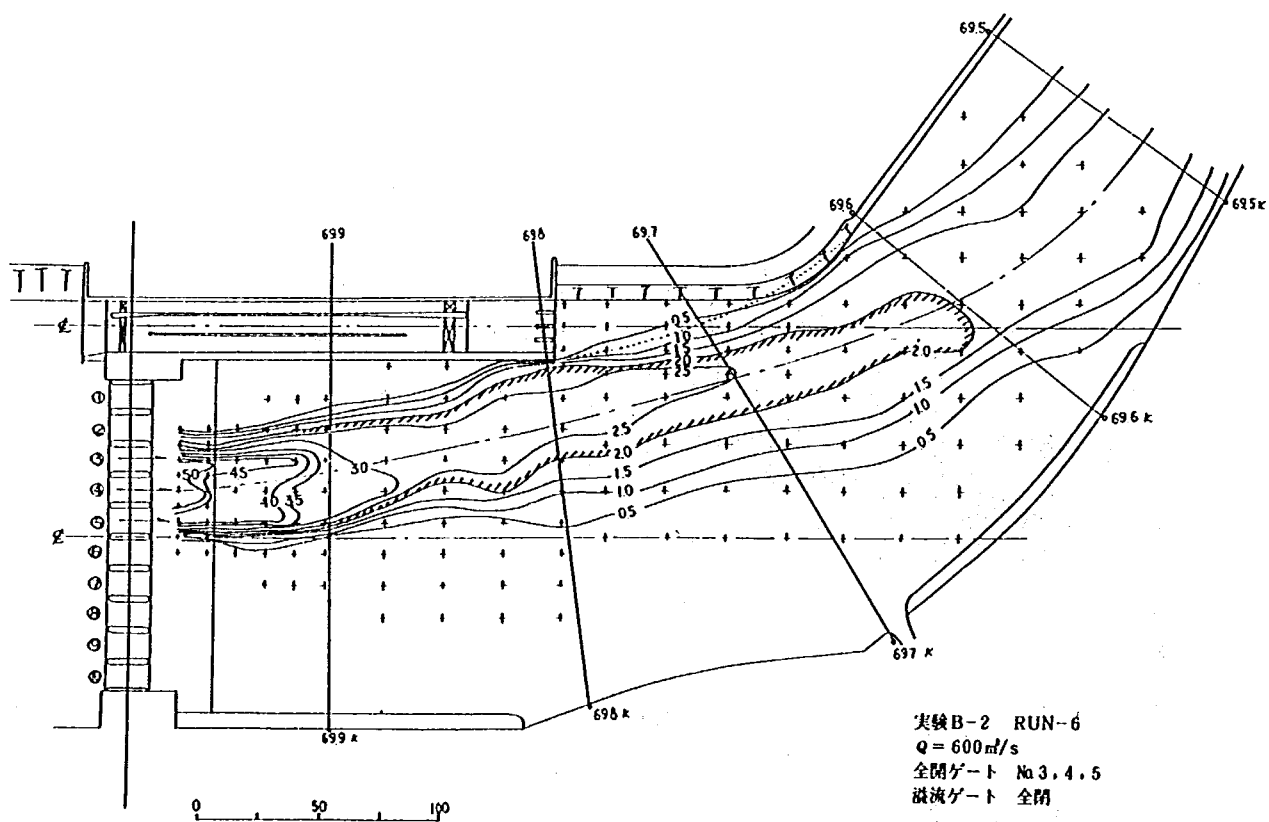


図4-23 等流速線図

3. バイパス放流による護床工の評価

先に述べた実験結果をもとに、低水用バイパス水路下流部の護床工の範囲を図4-11のように設定し、その範囲の妥当性、形状の検討を行った。護床工の敷高は計画河床（O.P.78.0 m）としている。したがって現況の河床より約2.0 m程度低い。護床工の材料は2 t程度のホロースケアブロックの一層並べを想定し、模型の護床工範囲には縦横5 cm間隔の格子点に15 cm程度の碎石をモルタルで固定配置し近似させた。なおホロースケア2 t ブロックの移動限界流速は、土木研究所でかつて実施した実験結果によれば、単体の場合3.7 m/s，連続にした場合は単体の約3.9倍の流速に耐えられるという実験結果がある。

実験ケースを表4-3に示す。

表4-3 実験条件一覧

Run	流 量 (m ³ /s)		堰ゲート操作
	バイパス	堰	
1-1	200	0	全門一様越流 No.4 全開，他はドン付 No.3.4 全開，他はドン付 No.3.4.5 全開，他はドン付 No.7.8 全開，他はドン付 No.6.7.8 全開，他はドン付
-2	200	100	
-3	0	200	
-4	0	400	
-5	0	600	
-6	0	400	
-7	0	600	

バイパス最大放流量（200 m³/s）で単独放流した場合の流況図と等流速線図を図4-24と図4-25に示す。河床上流速分布（図の実線）と前節の結果（図4-5）とを比較すると、今回の方が流量が多いのにかわらず2 m/s等流速線の範囲が著しく狭まっている。これは護床工レベルを現況より2 m下げたことと、ブロック突起による減勢の効果である。

噴出流の対岸への影響をみると、湾曲部右岸の流況が若干悪いが、その付近で生じる流速が1 m程度であることから、護床ブロックへの直接的影響はないものと思える。

洗堰からの放流を同時に行った場合の流況図を図4-26に、等流速線図を図4-27に示す。このケースはバイパス放流と洗堰の全門越流放流を行ったものである。流況図をみるとバイパス単独放流時みられた上流への逆流は全く生じないことがわかる。洗堰放流とバイパス放流水の合流もスムーズに行なわれている。しかし、69.75 km～69.65 km 右岸付近にはわずかに死水域が形成され流水幅が狭まり、若干主流の流速が速くなる傾向がある。その下流では河道全幅に広がり流れるため全体的には満足すべき流況と言える。等流速線図からバイパス出口部には2.0 m/sを越す流速の発生がなくなっていることがわかる。これは堰からの流量によって下流からの背水が増加した効果である。護床工下流端直下に2.0 m/sの発生域があるが、これは先でも述べたように河床の若干高い部分に相当している。

以上のように洗堰からの溢流放流を加えることによって全体の流況が改善され、しかもバイパス出口の高流速が緩和される。したがってバイパスから大量放流する際には洗堰からの溢流放流を加えるのが望ましいと言える。ただし小量の溢流放流は放流精度を低下させるのでその辺との兼ね合いを考える必要がある。

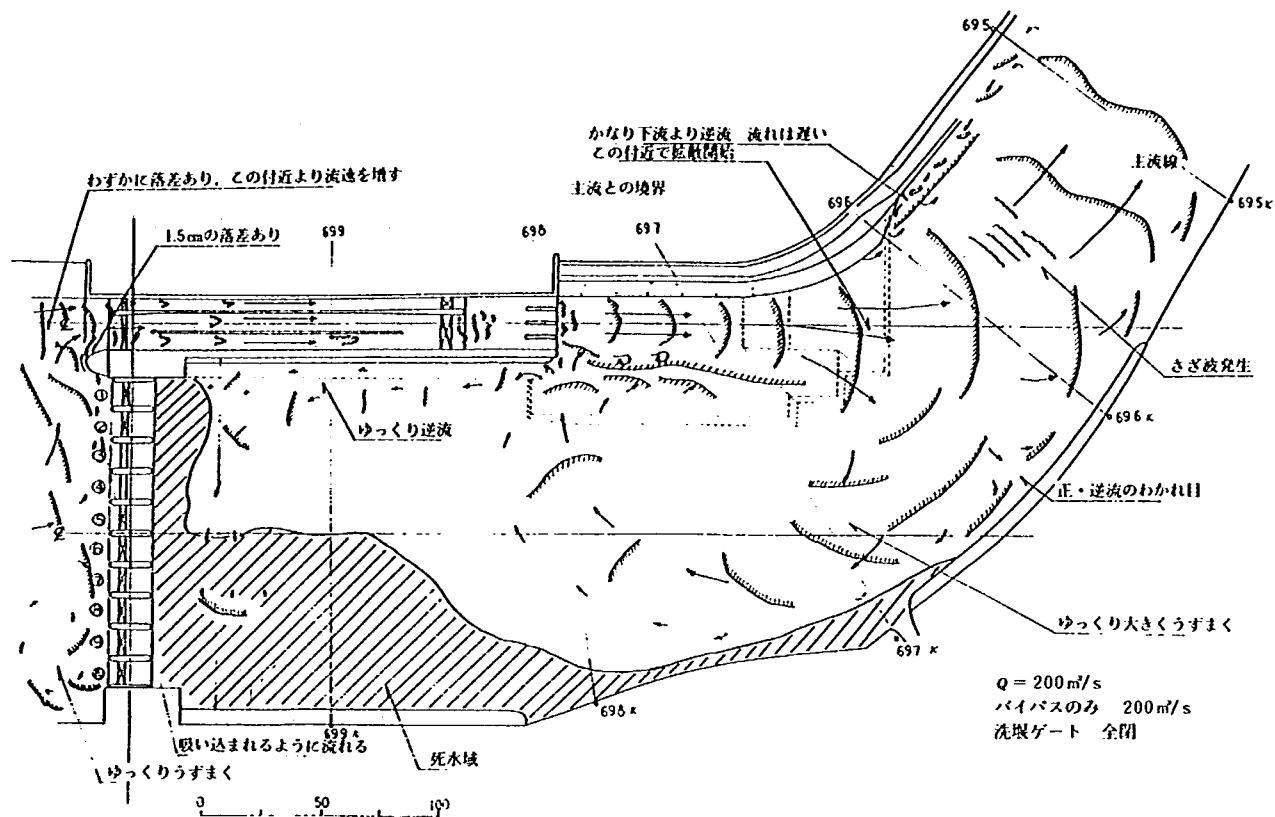


図4-24 RUN 1-1 流況図

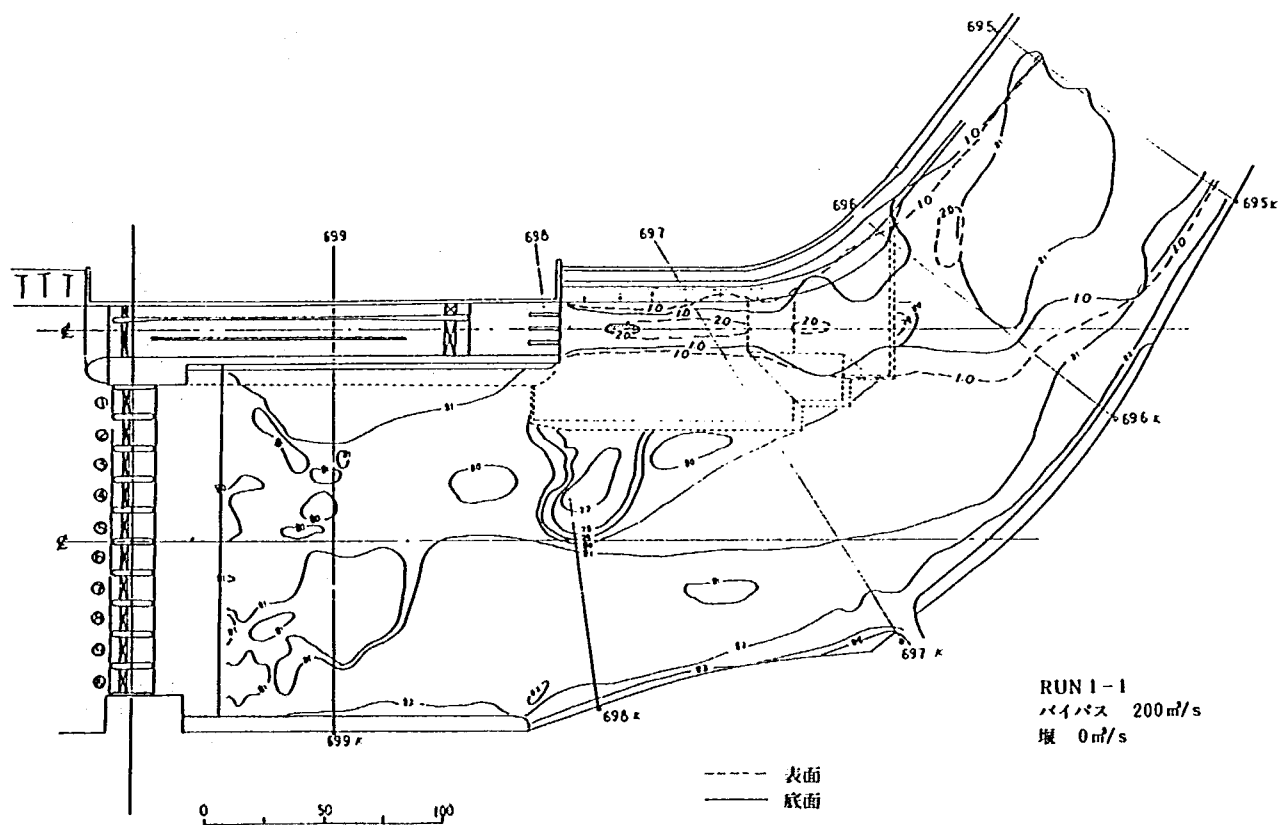


図4-25 等流速線図

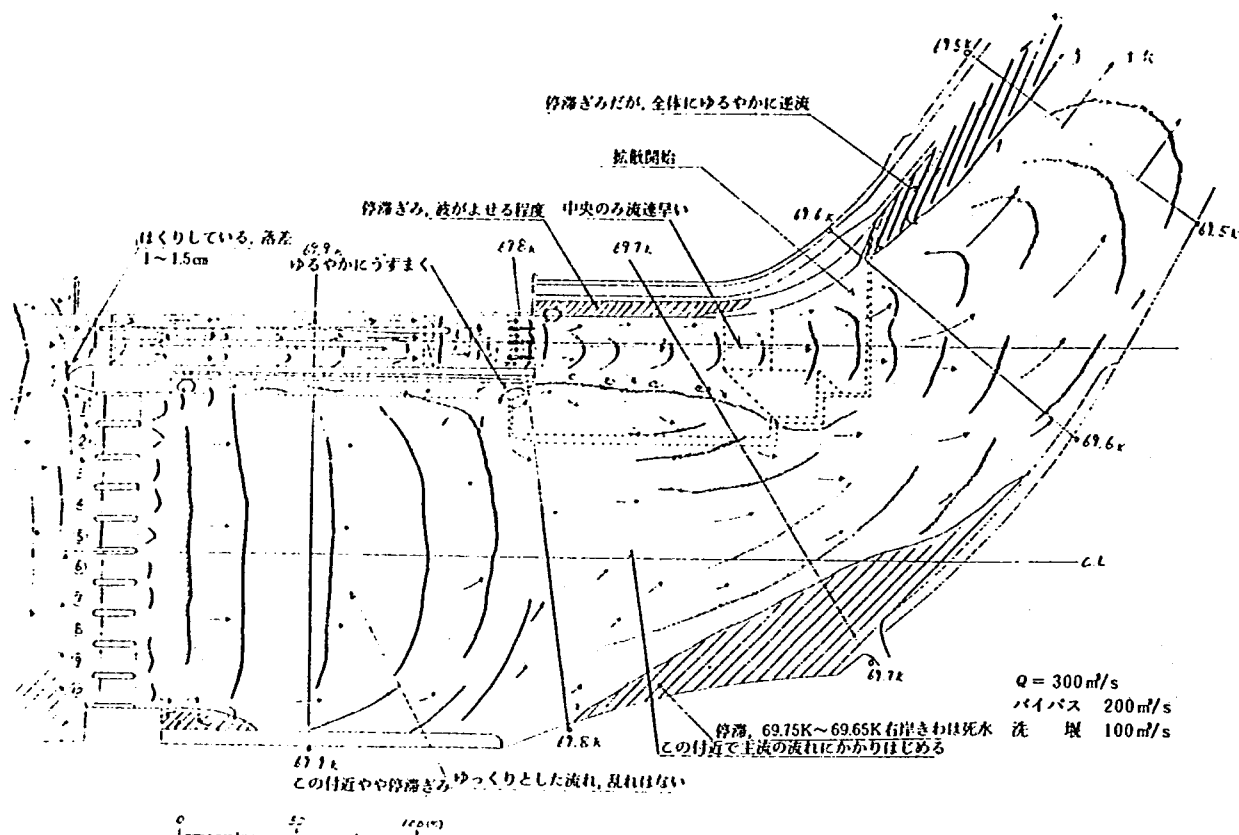


図4-26 RUN1-2 流況図

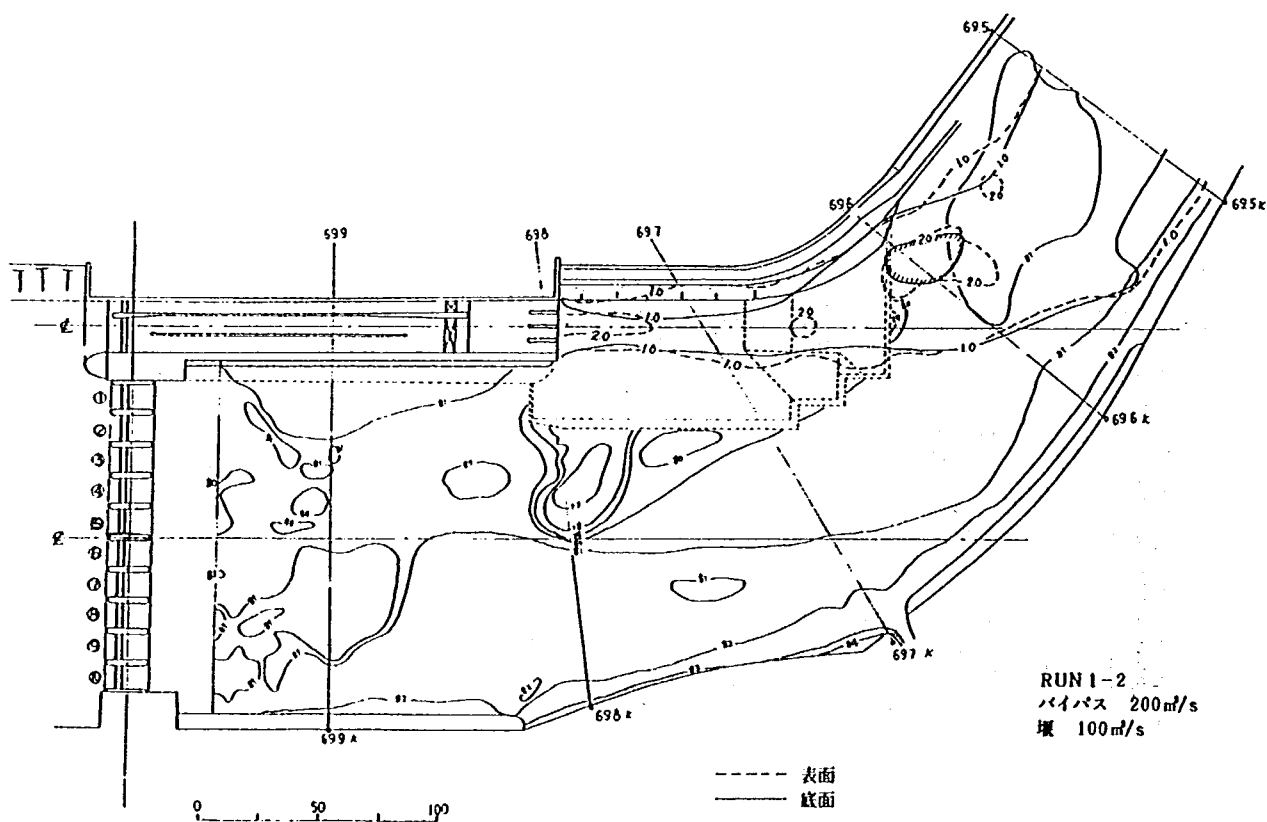


図4-27 等流速線図

4. 護床工設置後の洗堰放流方法の検討

バイパス建設後の洗堰部分開放放流時の流況と等流速線図を図4-28から図4-37に示す。従来使用されている第3ゲートから第5ゲートを用いて放流を行った場合(図4-28～図4-33), 護床工上流端付近に主流が集中する傾向を示している。放流条件のほぼ等しい図3-6, 図4-20と図4-20を比較するとその差は明確である。この原因は, バイパス出口のポケットが剝離域となって水位が低下するため, そちらに主流が引き寄せられることによる。前章で述べたように, ここに表われる流速値自体は護床工ブロックの許容限界流速に比べて十分小さいのが, 上流端部の現河床との接続面において河床洗掘が生じブロックが順次落ち込むといった形の被災が考えられる。

ところで現在の河床形状は, ここ数年行われた3, 4, 5番ゲートからの部分開放放流によって形づくられ, 今のところ安定していると判断される。したがって安定性を維持するためには同じ操作方法を踏襲すべきであると当初考えられていたが, バイパス建設後はこのように主流線の位置が変わってしまうので, 従来の操作方法を踏襲する意味が薄れたと言える。

そこで部分開放ゲートを変更して流況の改善がはかれるかどうかを以下に検討した。

図4-34と図4-35は第7ゲートと第8ゲートを全開, 他をドン付けとして $400\text{ m}^3/\text{s}$ 放流した場合の流況図と等流速線図である。主流は先のケースより右岸寄りに変わり, このため護床工付近の逆流は弱められ流況が安定する。左岸域が大きくなること, また右岸側の死水域が縮少するために河道に沿って滑らかに湾曲した流線となる。69.6 kmから69.5 kmの右岸沿いの流速が若干上昇するが, 1 m/s 程度であるので特に問題は無いものと思われる。

等流速線図からわかるように, 2 m/s の範囲は69.8 kmまでに収まっていることがわかる。ただしこの範囲は新たに洗掘されることになるから注意を要する。

第6ゲートから第8ゲートを全開として $600\text{ m}^3/\text{s}$ を放流した場合(図4-36, 図4-37)には, 主流がセンター寄りとなり, かなり安定した流況を示す。河床で 2 m/s 以上の流速はRun 1-6と同様の位置に加えて69.7 km～69.8 kmの河道中央部に生じている。しかし兩岸およびバイパス護床工から離れており大きな問題はないものと考えられる。

以上のことから, バイパス建設後はセンターより右岸のゲートを用いて部分開放放流をするのが流況的に望ましいと判断される。ただし, この操作により洗堰下流に新たな洗掘域の生じることが覚悟せねばならない。

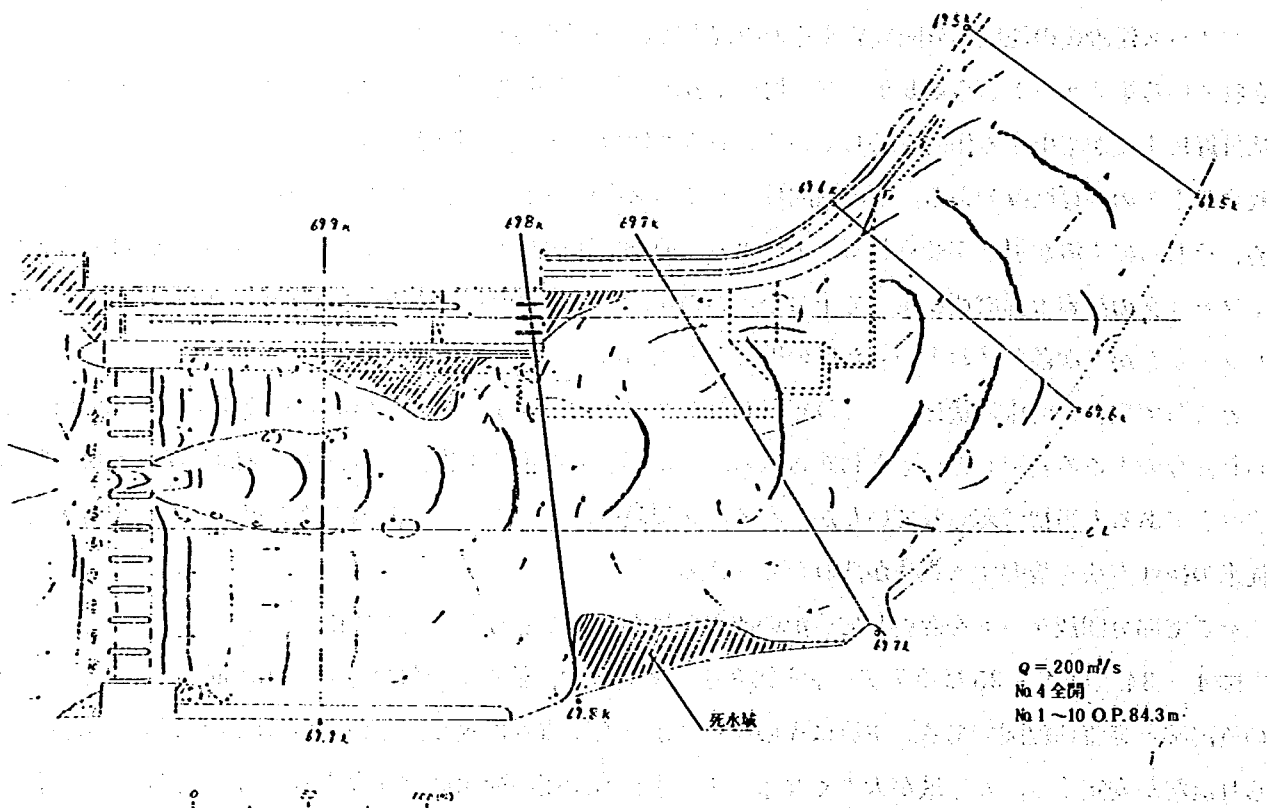


図4-28 RUN 1-3 流況図

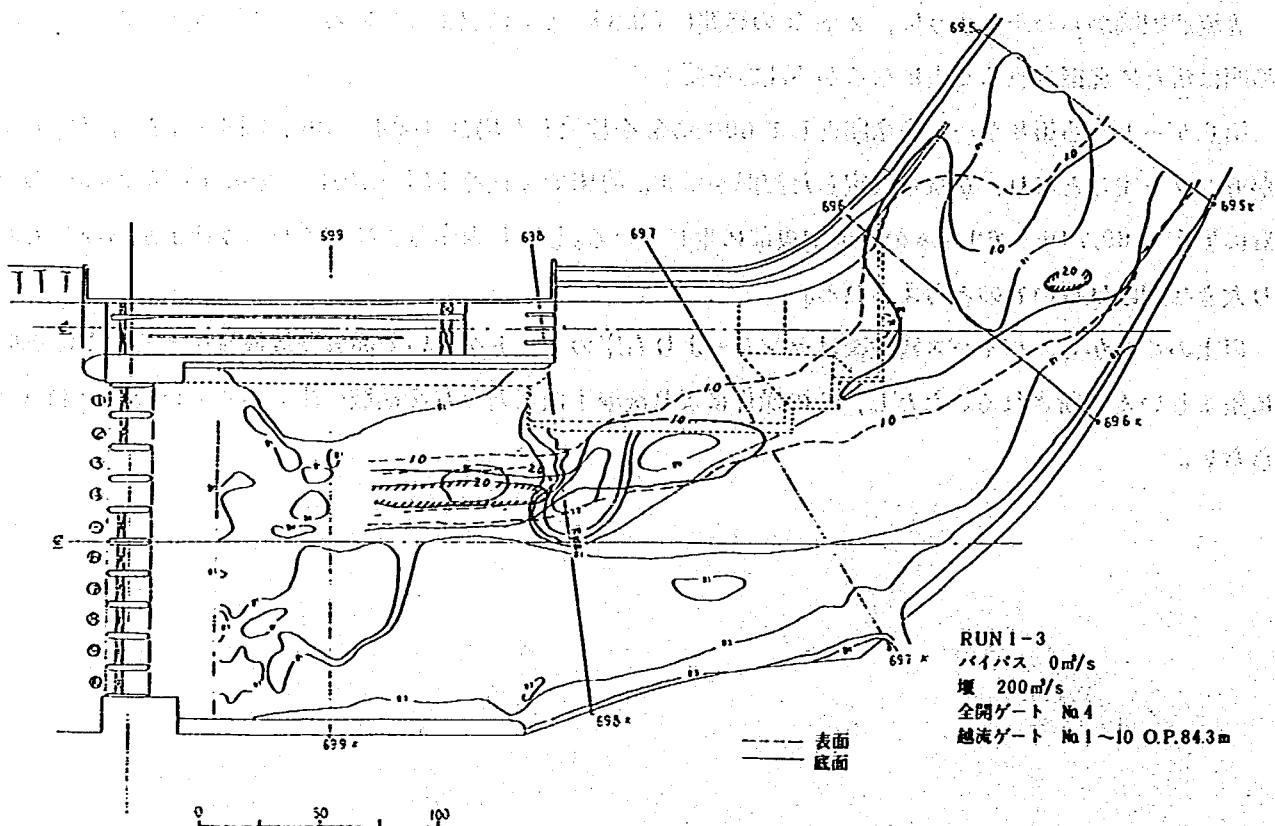


図4-29 等流速線図

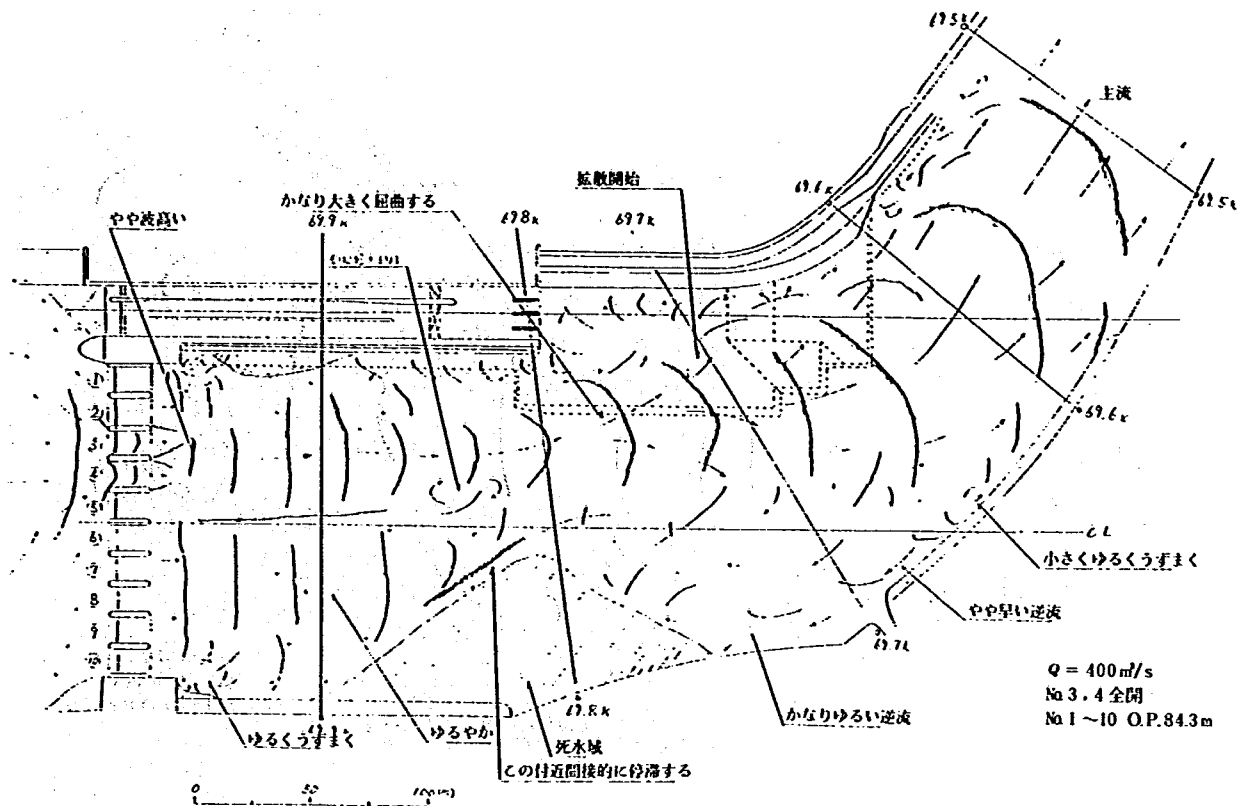


図4-30 RUN 1-4 流況図

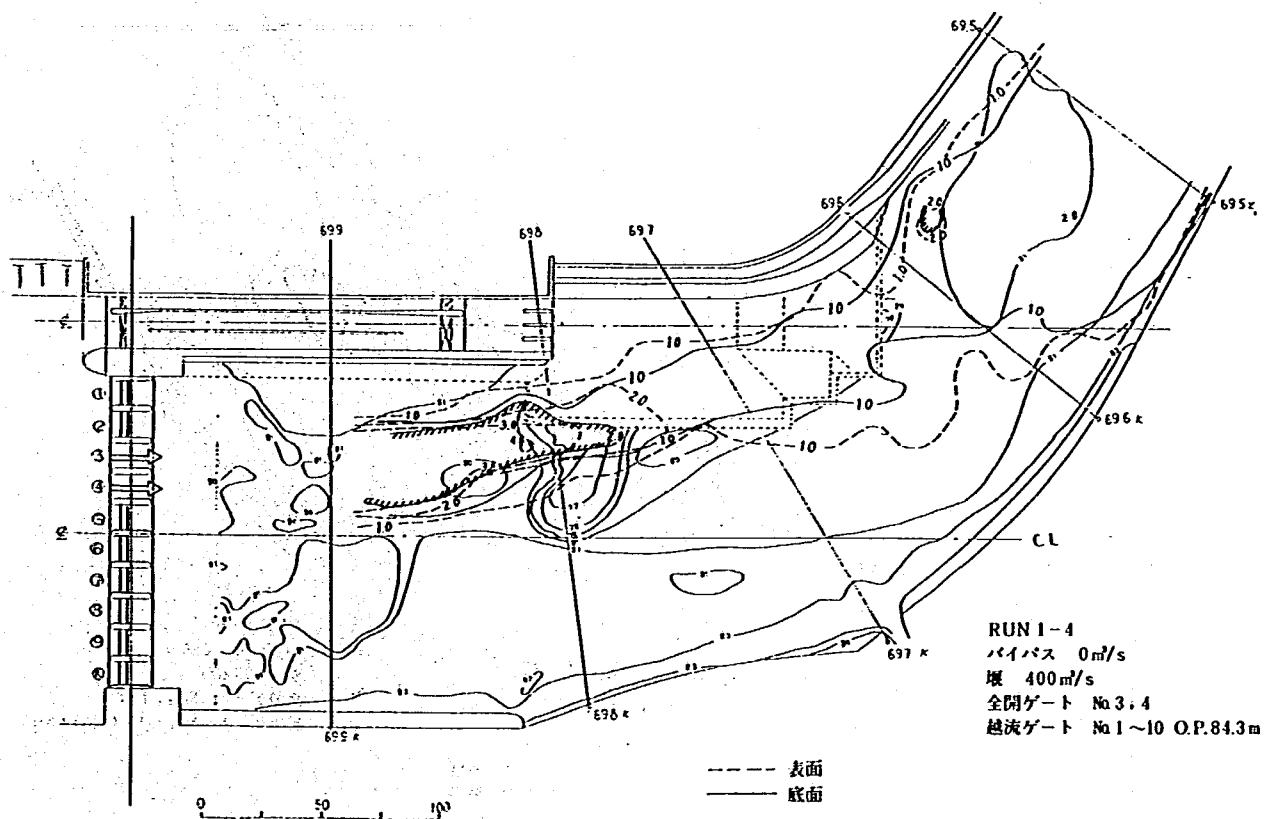


図4-31 等流速線図

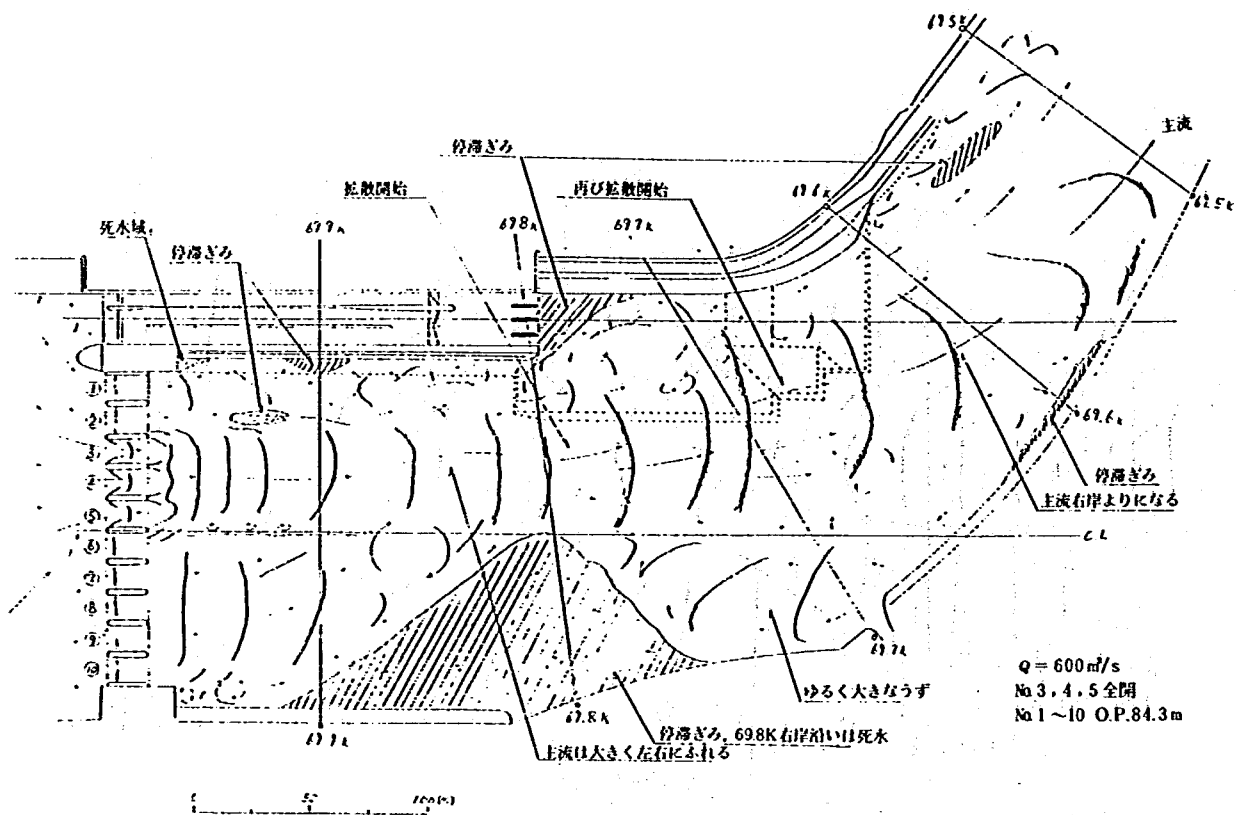


図4-32 RUN 1-5 流況図

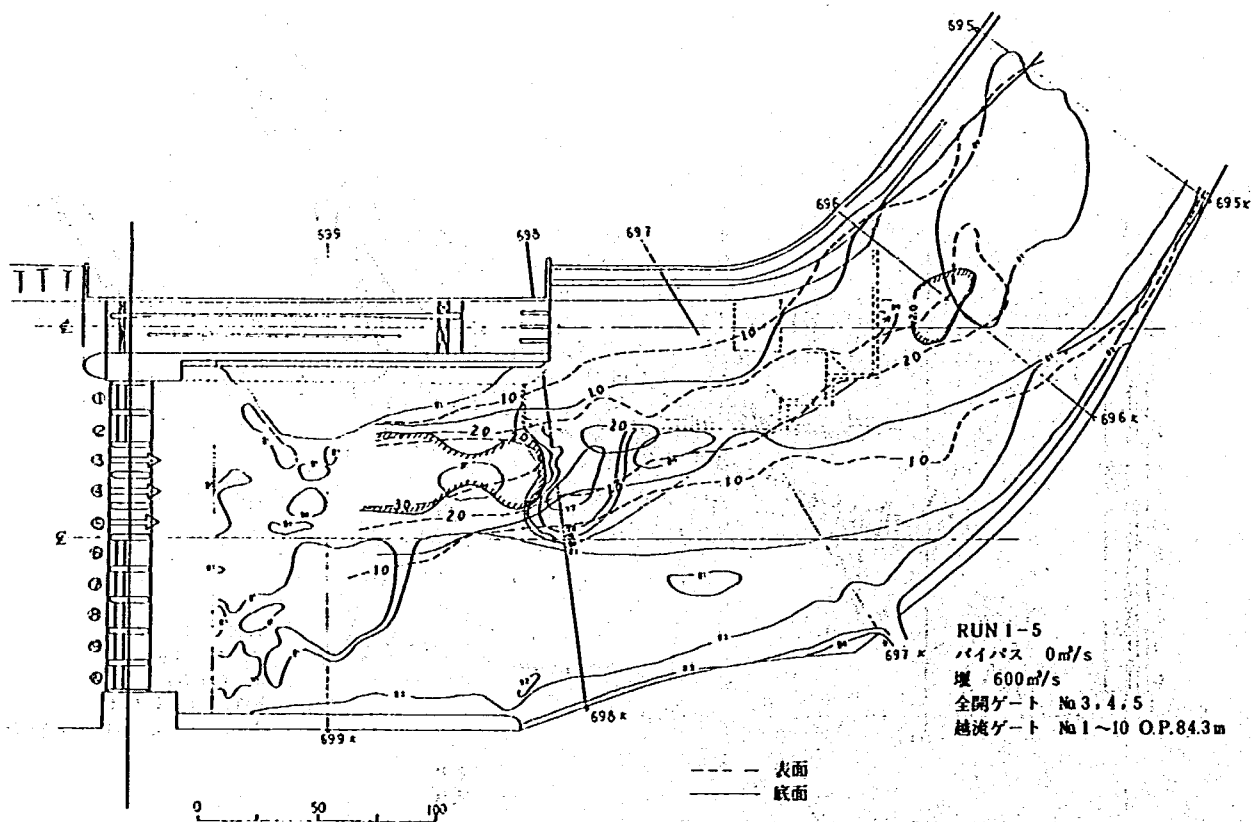


図4-33 等流速線図

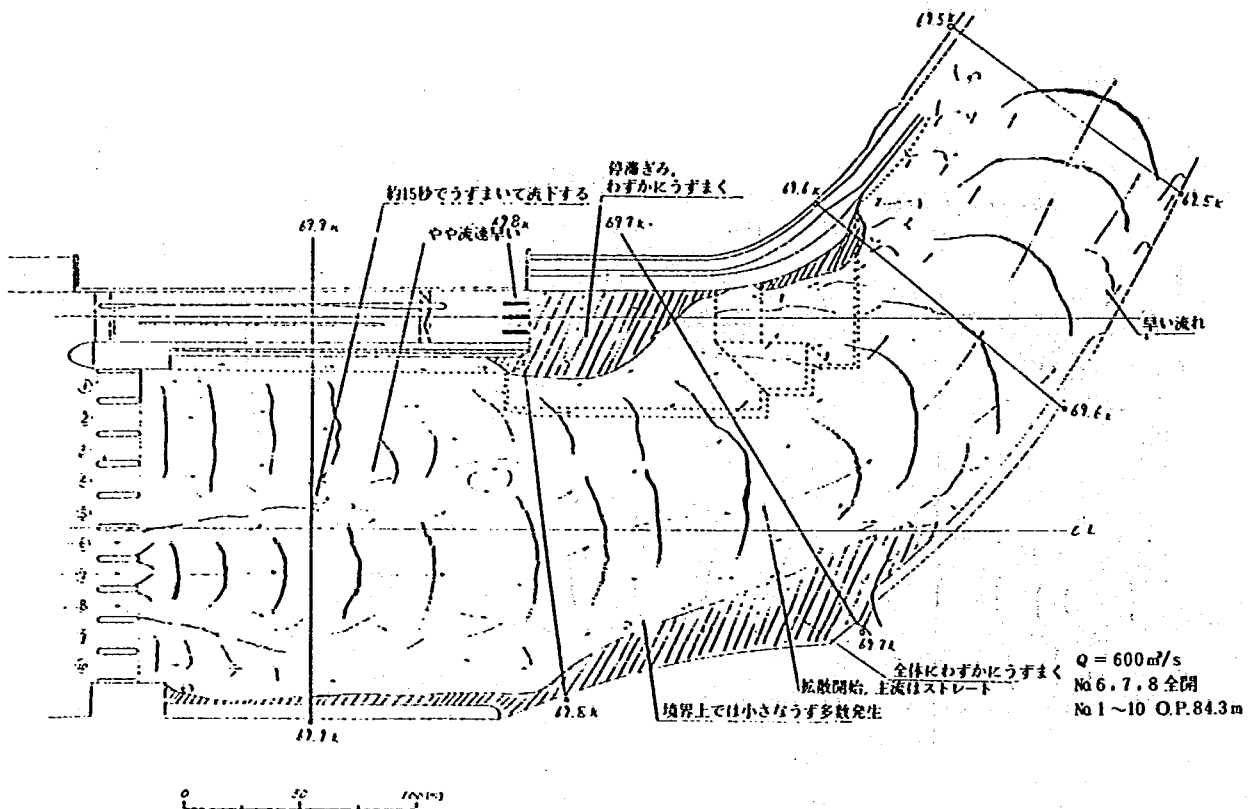


図4-36 RUN 1-7 流況図

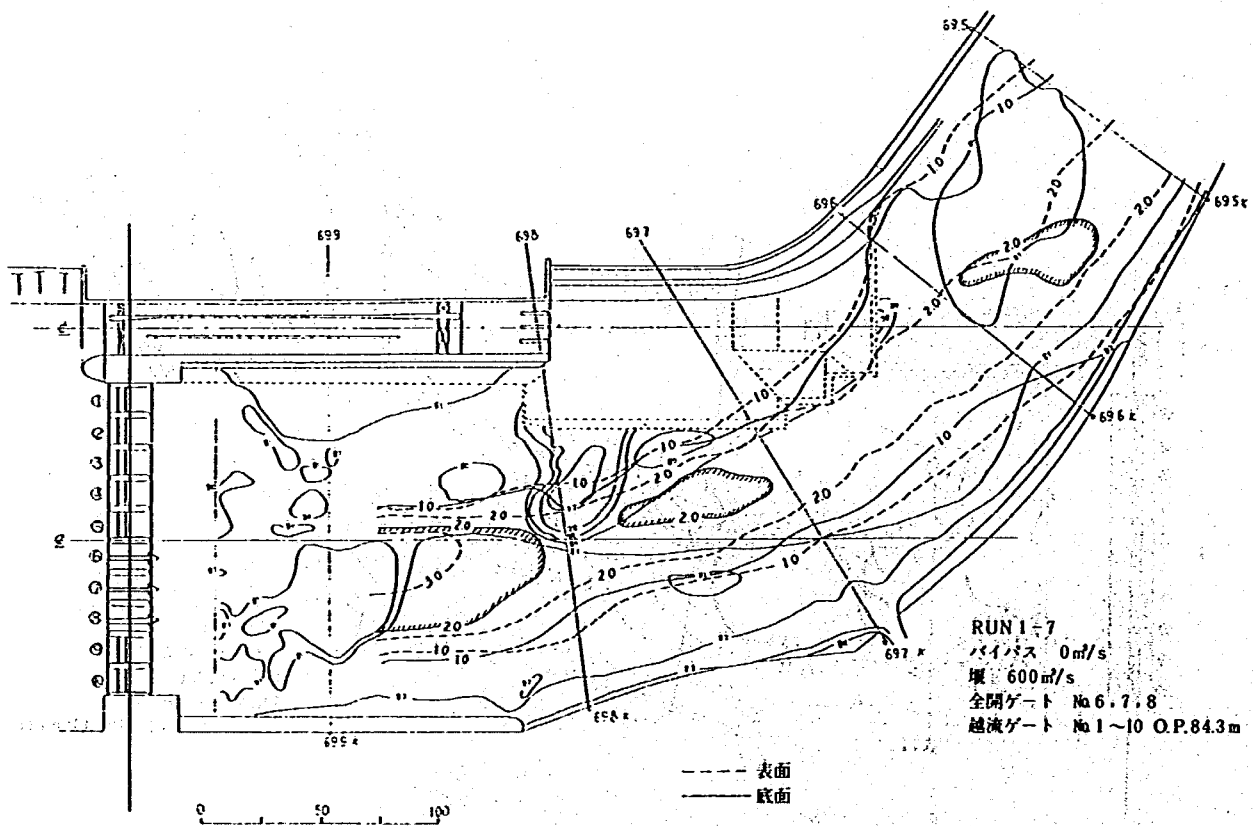


図4-37 等流速線図

第 5 章 仮締切工設置時の放流方法

本章では護床工建設時に河道仮締切工を設置した場合の流況と洗堰の放流操作方法、および仮締切工付近の河床洗掘の検討を行う。

1. 許容放流量

当初の現工事計画において仮締切工高さは O.P. 83.4 m に設定されている。この値は近畿地建の慣例によって、最近 5 年間の非洪水期の水位実績をもとに琵琶湖工事事務所で出されたものである。しかしながら仮締切時には河道幅が半分近くに縮小されて水位は上昇する。また本河道の流量は洗堰によって調節可能であるから、従来の実績に特にこだわることもないと言える。そこで仮締切工の高さおよび工事中の適正流量については本実験の結果をもとに決定することとした。

まず洗堰放流量と仮締切工上流端水位との関係を示すと図 5-1 のようになる。これから現計画仮締切工高 (O.P. 83.4 m) での疎通能力は約 250 m³/s となり、事務所で考えられていた 360 m³/s を遙かに下まわった。

次に仮締切工設置時の洗堰の放流方法について検討するために、表 5-1 に示す条件で流況を調査した。結果を図 5-4～図 5-19 に示す。この時に仮締切工沿いと右岸の高流速部で流速を測定しているので、それも図に加えてある。また河道最狭部中央 (図中の A 点) の流量と流速の関係を図 5-2 に示す。図中の添字は全開ゲート番号である。これから全開ゲートを右岸に寄せるほど A 点の流速が増大する傾向がみ

表 5-1 実験条件一覧

R u n	流 量 (m ³ /s)	全開ゲート No	越流ゲート (O.P. 84.3m)
2-1	200	3	1 ~ 10
- 2	"	4	
- 3	"	5	
- 4	"	6	
- 5	300	3・4	
- 6	"	4・5	
- 7	"	5・6	
- 8	"	6・7	
- 9	400	3・4	
- 10	"	4・5	
- 11	"	5・6	
- 12	"	6・7	

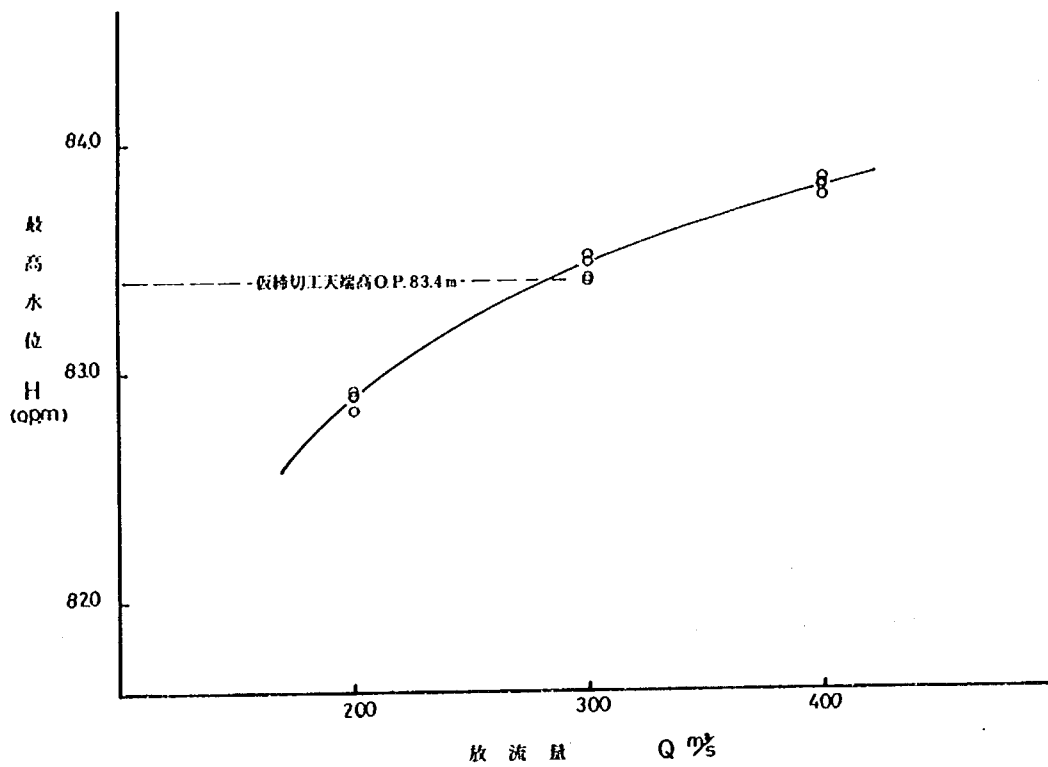


図5-1 仮締切工前面の $H \sim Q$ 曲線

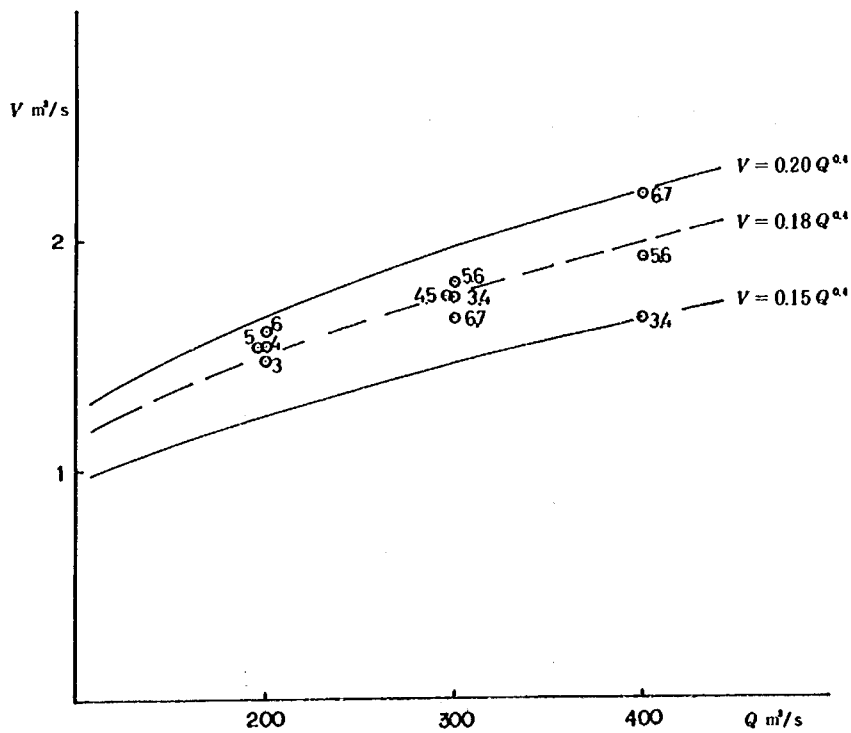


図5-2 流速-流量相関図

られる。流量が同一であれば水深はほとんど変わらないので平均流速は同一である。したがって全開ゲートを右岸に寄せるほど河岸および仮締切工沿いの流速は逆に減少しているはずであるが、あまり確かではない。図5-2の点はマンニングの式から次のように導かれる $V \sim Q$ 関係を概ね満たしている。

$$V \propto H^{2/3}, Q \propto V H \propto V^{5/2} \quad \therefore V \propto Q^{0.4} \quad (6-1)$$

本実験の上限値に着目すると最狭部中央流速は次式で表わされる。

$$V = 0.20 Q^{0.4} \quad (6-2)$$

(m単位)

上式から計算される流速が洗掘許容限界流速(2 m/s)の範囲に入るには放流量は300 m³/s以下でなければならないことがわかる。多少の余裕を見込めば仮締時の放流は250 m³/s程度におさえることが望ましく、偶然であるが仮締切工計画高での疎通能力と一致している。以上のことから仮締切時の放流は200 m³/s ~ 250 m³/sに制限することが望ましい。

2. 開放ゲート位置

次に開放ゲート番号と流況の対応をみる。

200 m³/s放流の場合、第3ゲートを全開とすると、仮締切工上流端に衝る流線を形成し、仮締切工沿いに主流が走る。また主流は上流端への水衝りの影響で蛇行し、それは渦の影響で時間により反転する周期運動を行う。これは仮締切工に大きな影響を及ぼすものと考えられる。この傾向は第4ゲート、第5ゲートを全開とした場合にもみうけられる。そして開放ゲートがセンターに近づくにつれて仮締切工前面の流速は低下し、振幅も小さくなる。図5-3は仮締切工前面のb点における平均水位と最高水位を示しており、左岸側のゲートを開けるとかなり大きな水位変動の生じることがわかる。

第6ゲートを全開とした場合にはかなり安定した流況を呈する。この原因は護床工角部からはなれていること、センターより右岸側の河道に洗掘がまだ生じていないことによると考えられる。もし後者のウエイトが高ければ、将来的には洗掘が生じて流況が悪化する恐れがあるが、少なくとも現段階では左岸ゲート放流より優っている。300 m³/s, 400 m³/sを放流した場合でも200 m³/s放流と同様で、センターより左岸のゲートを用い放流し

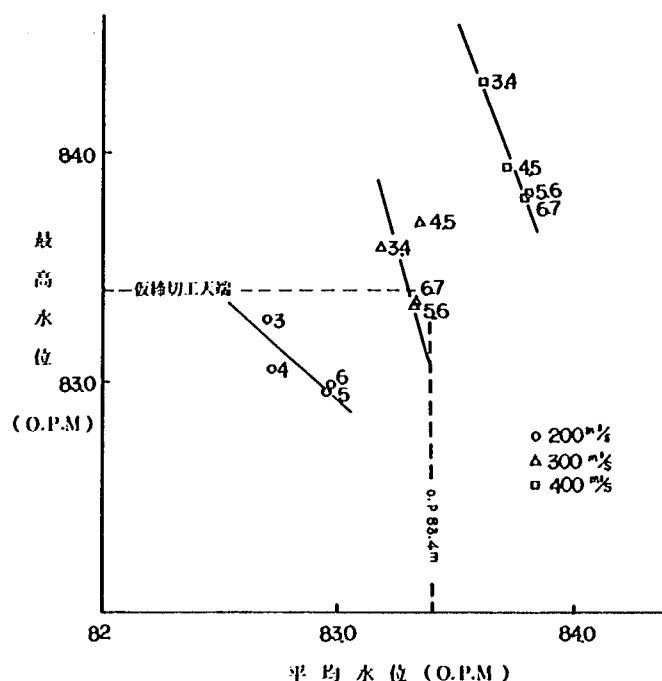


図5-3 仮締切工前面の水位変動図

た場合に主流が蛇行し周期的な変動を生じる。これらのことから仮締切時の部分開放操作は現在より右岸よりのゲートを使用することが望ましいと思われる。

次に表 5-2 に示す条件で流速分布を測定しそれぞれの特性を把握した。等流速分布図を図 5-16～図 5-18 に示す。

表 5-2 実験条件一覧

R u n	流 量 (m ³ /s)	全開ゲート No	越流ゲート (O.P. 84.3 m)
2-13	200	5	1 ~ 10
-14	400	4・5	
-15	200	6	
-16	400	6・7	

200m³/s 放流の 2 ケースでは仮締切工下流角部と 69.6 km 下流に 2.0 m/s 以上の流速を生じる。後者は模型河床が堆積州に合わせて高くなっているためと考えられ、特に問題視する必要はない。一方前者については仮締切工下流部の形状を多少工夫することにより解消されると思われるが特に検討はしなかった。5 番ゲート放流と 6 番ゲート放流の最狭部流速を比較すると、後者の方が流れが均一化して高流速の範囲が小さいことがわかる。

400m³/s 放流の 2 ケースでは 2.0 m/s 以上の流速の生じる領域がかなり広く河床洗掘の生じる恐れが高い。特に左岸寄りの 4・5 番ゲートを開けた時には仮締切工沿いに高流速部が発生する。これに対して右岸側の 6・7 番ゲートの場合は高流速領域も狭くまた仮締切工から離れている。

以上のことから部分開放操作をする場合には右岸寄りのゲートを使用すべきである。何らかの緊急性から大流量を放流する必要が生じた場合には右側の 6・7 番ゲートから放流する。その場合の河床洗掘は覚悟しなければならない。

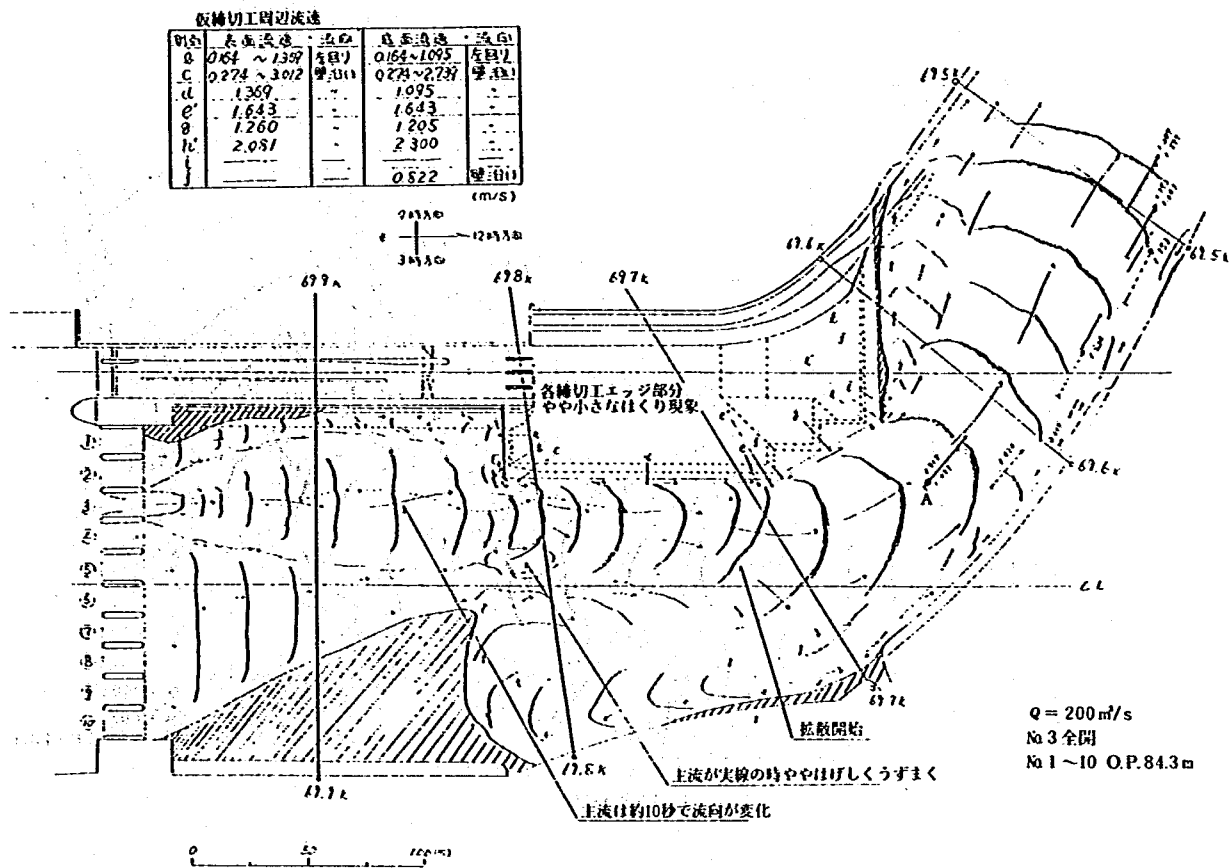


図5-4 RUN 2-1 流況図

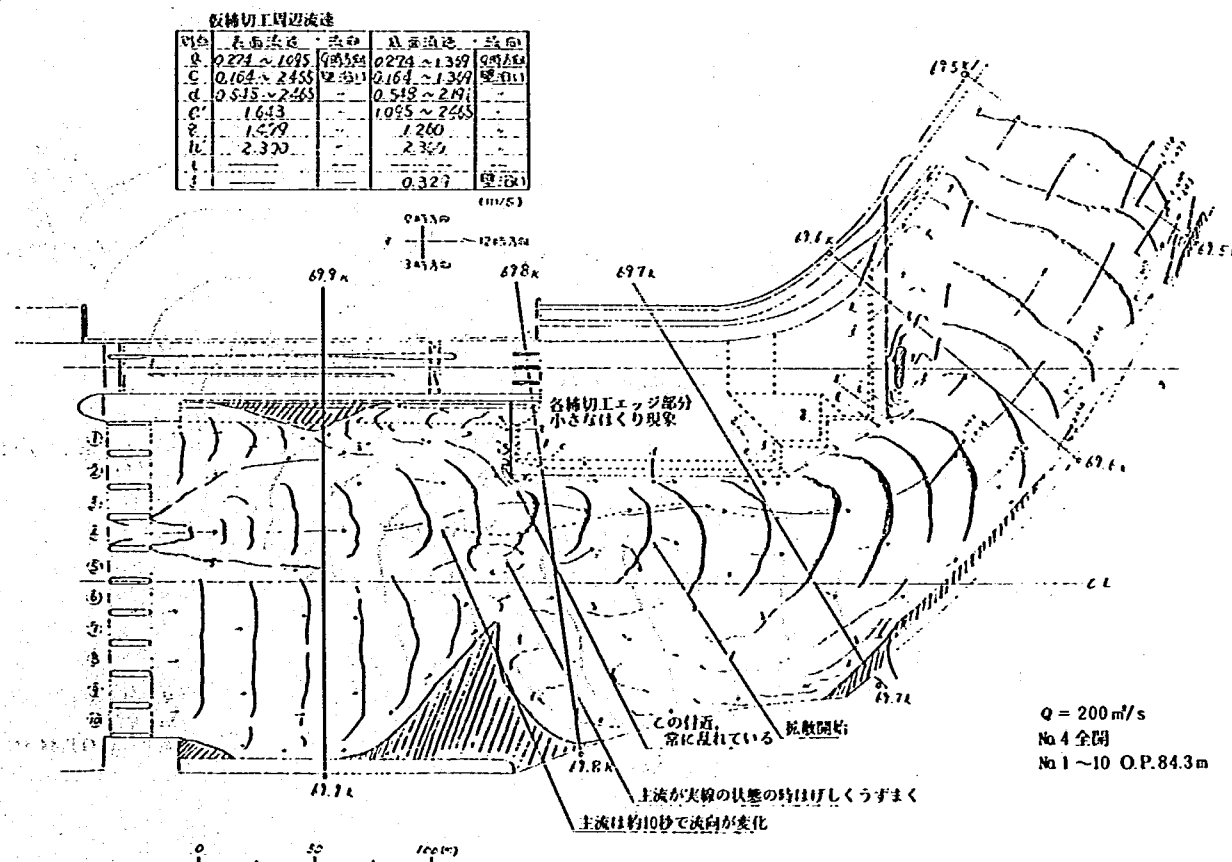


図5-5 RUN 2-2 流況図

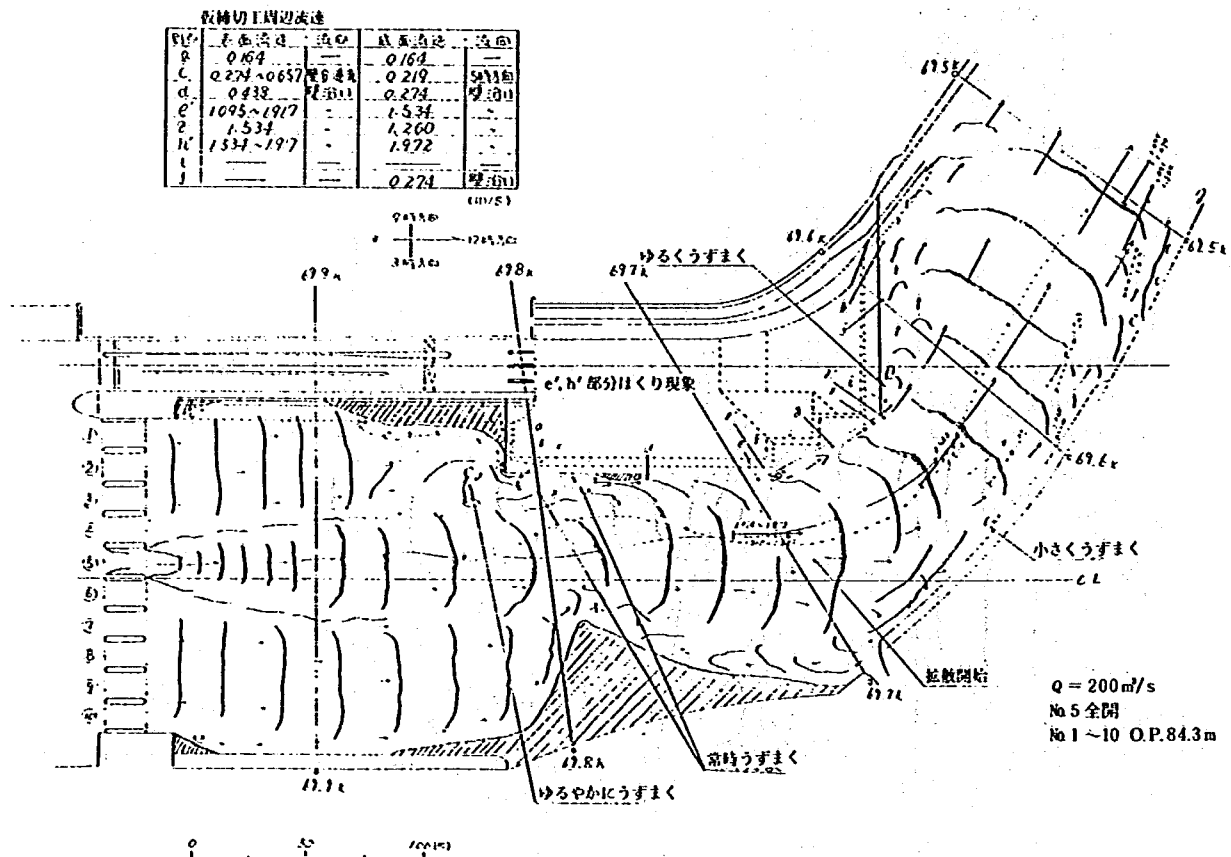


図 5-6 RUN 2-13
RUN 2-3 流況図

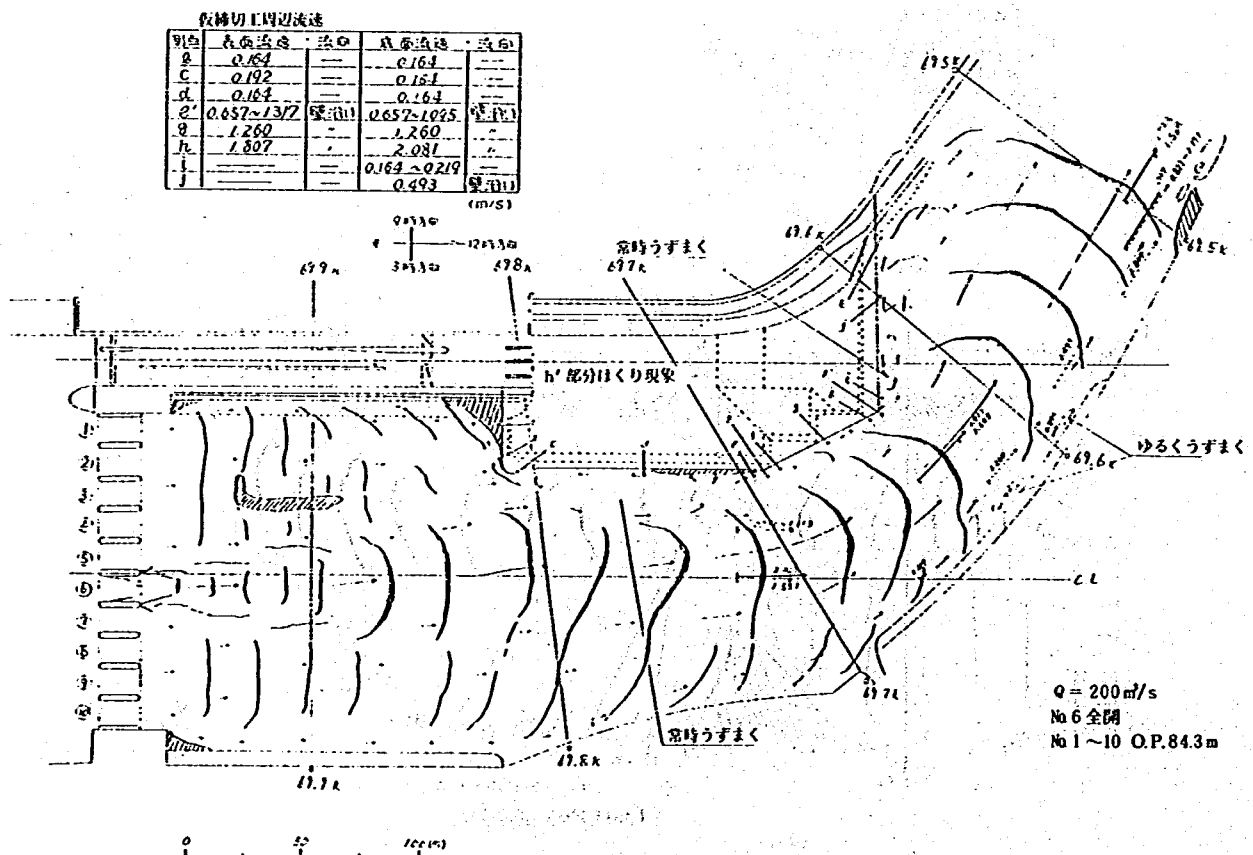


図 5-7 RUN 2-15
RUN 2-4 流況図

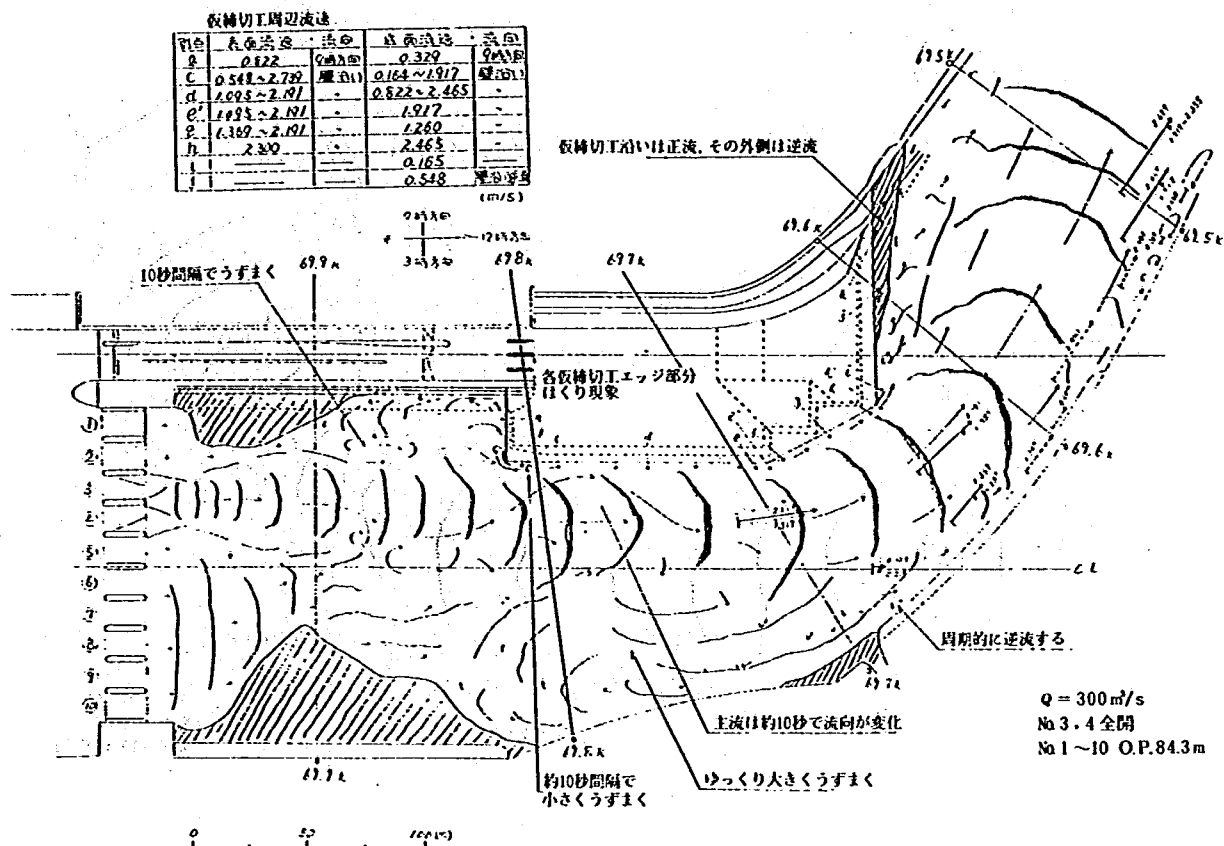
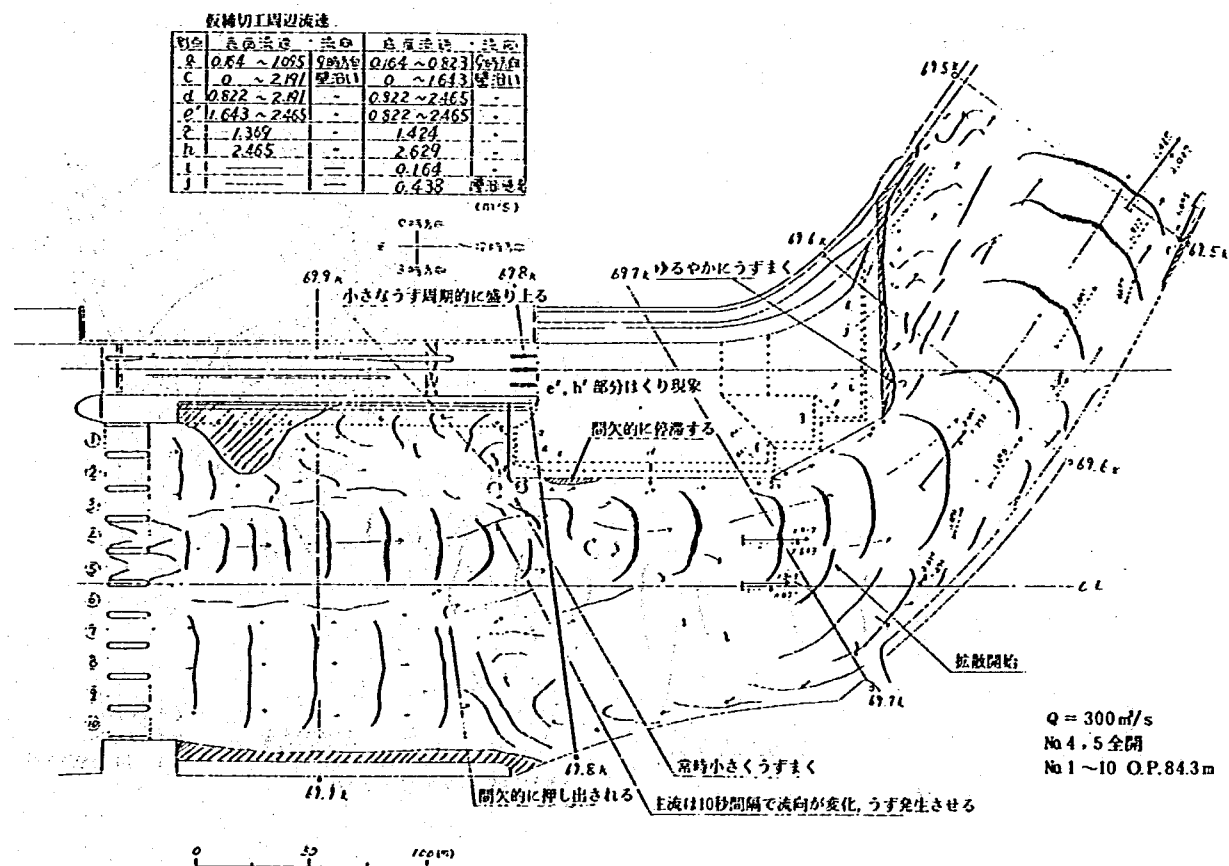


図5-8 RUN 2-5 流況図



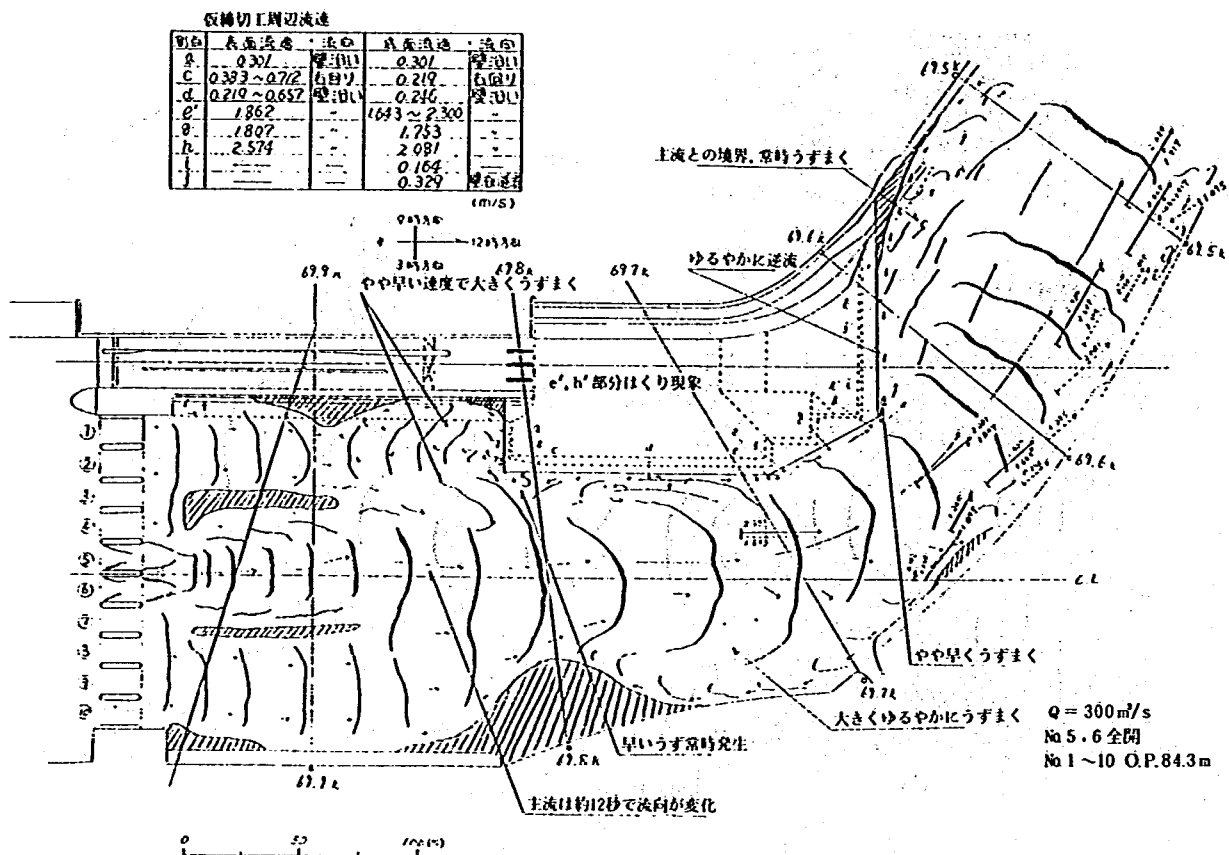


図5-10 RUN 2-7 流況図

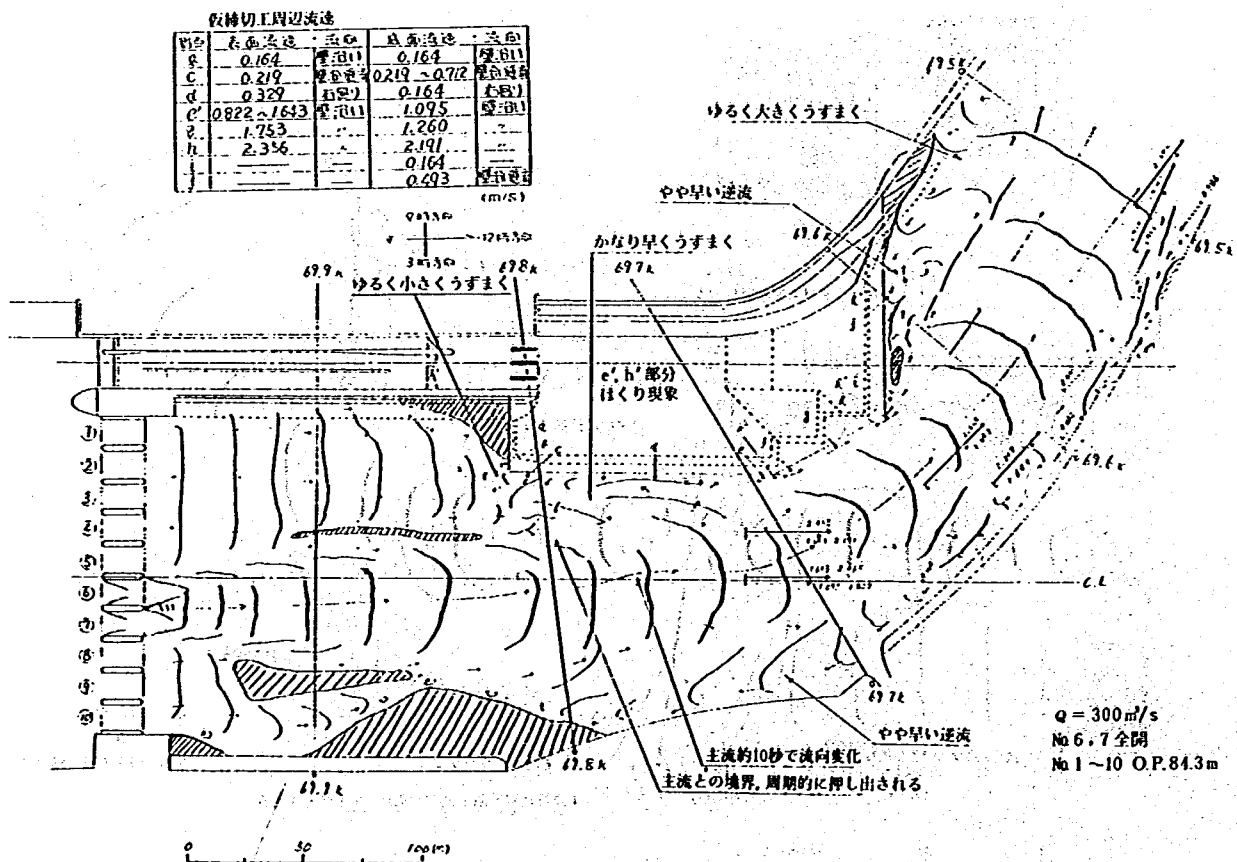


図5-11 RUN 2-8 流況図

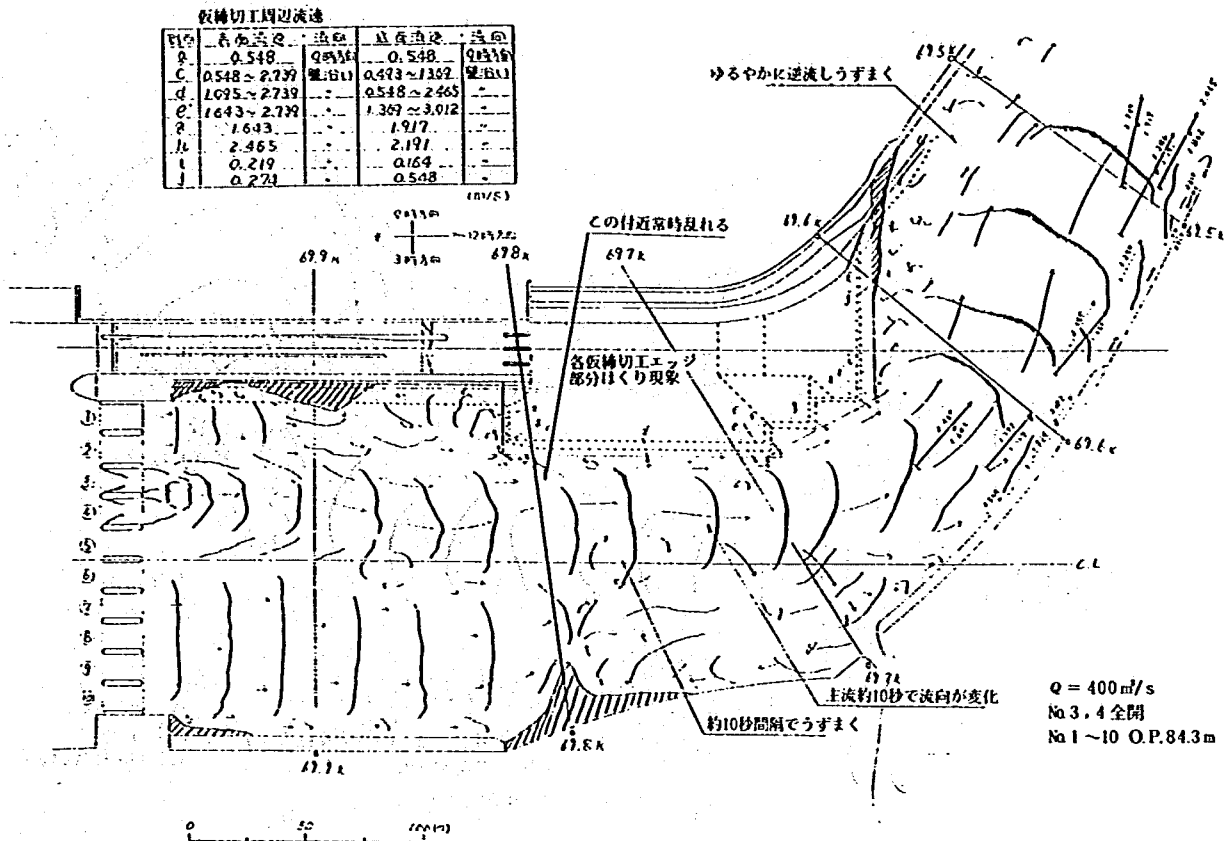


図5-12 RUN 2-9 流況図

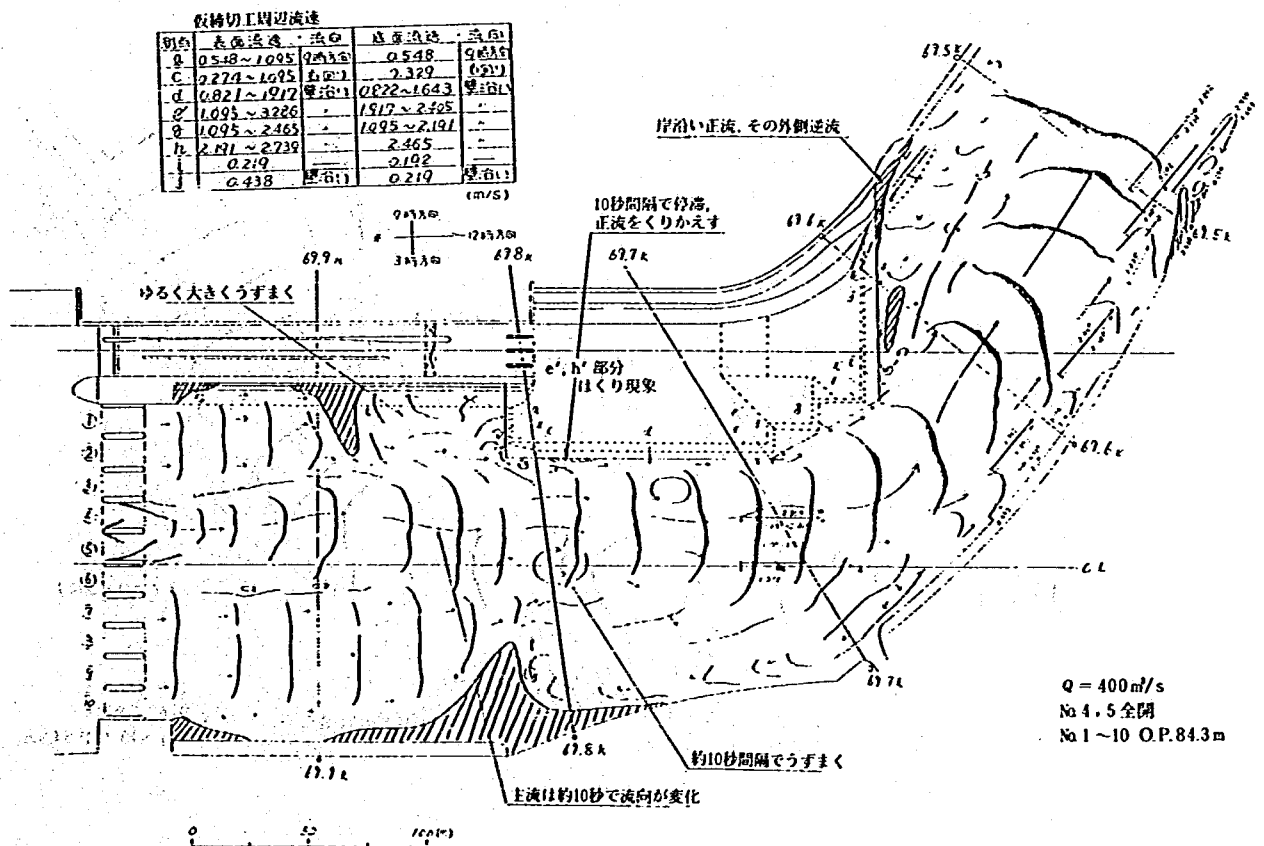


図5-13 RUN 2-14
RUN 2-10 流況図

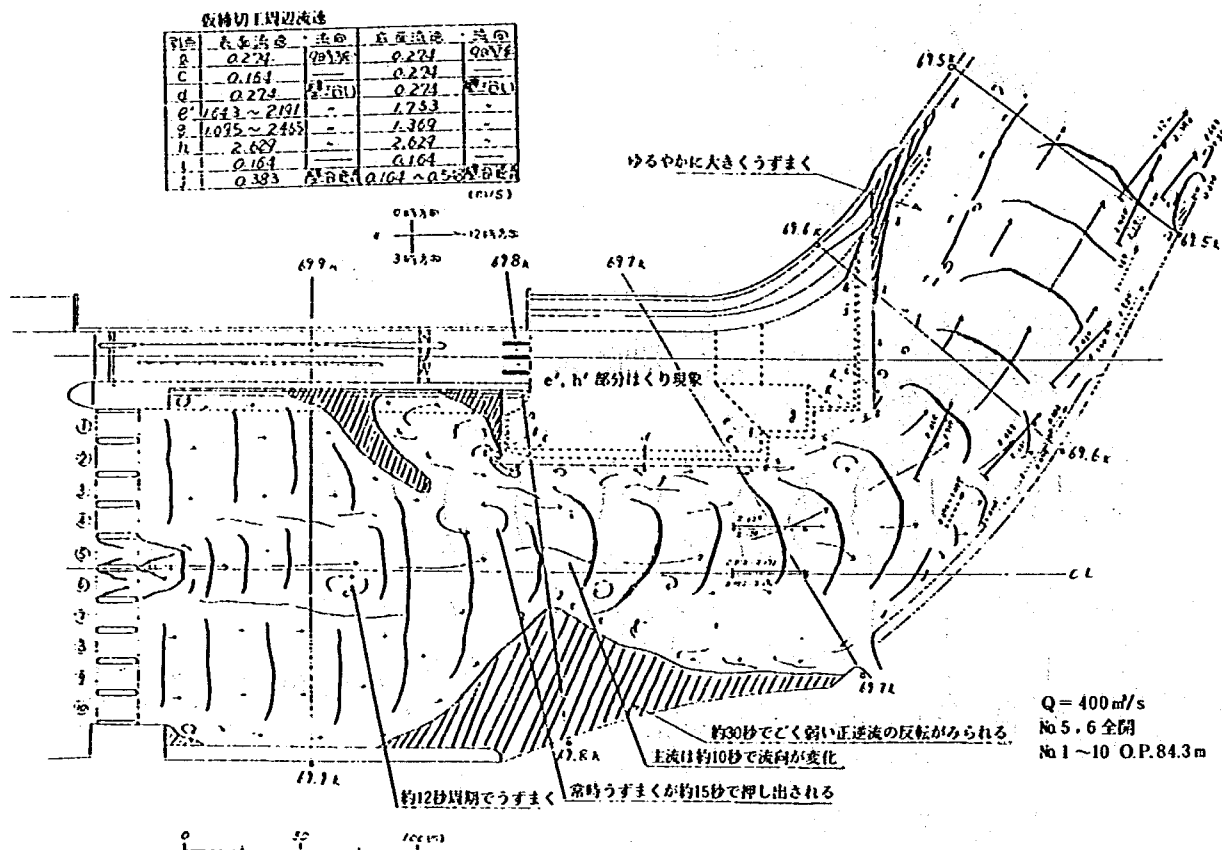


図5-14 RUN 2-11 流況図

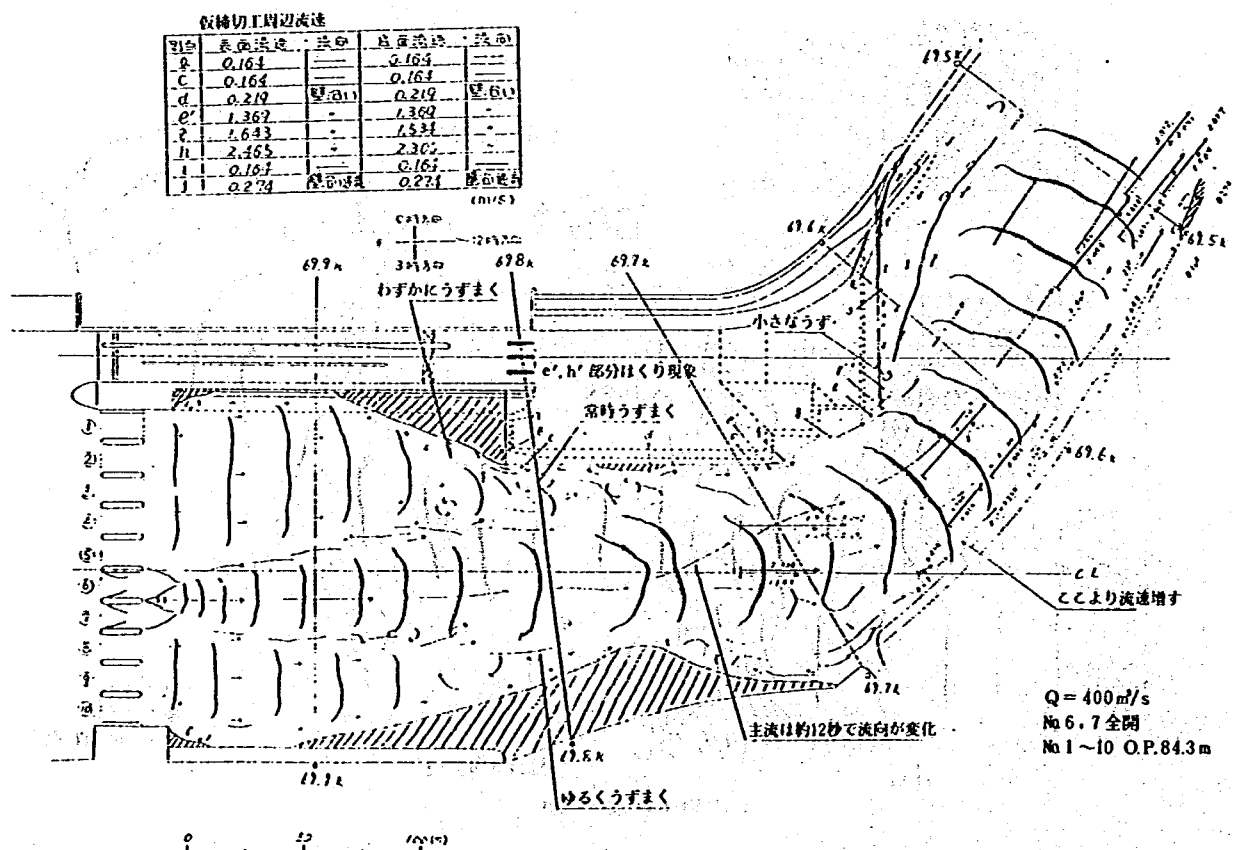


図5-15 RUN 2-16
RUN 2-12 流況図

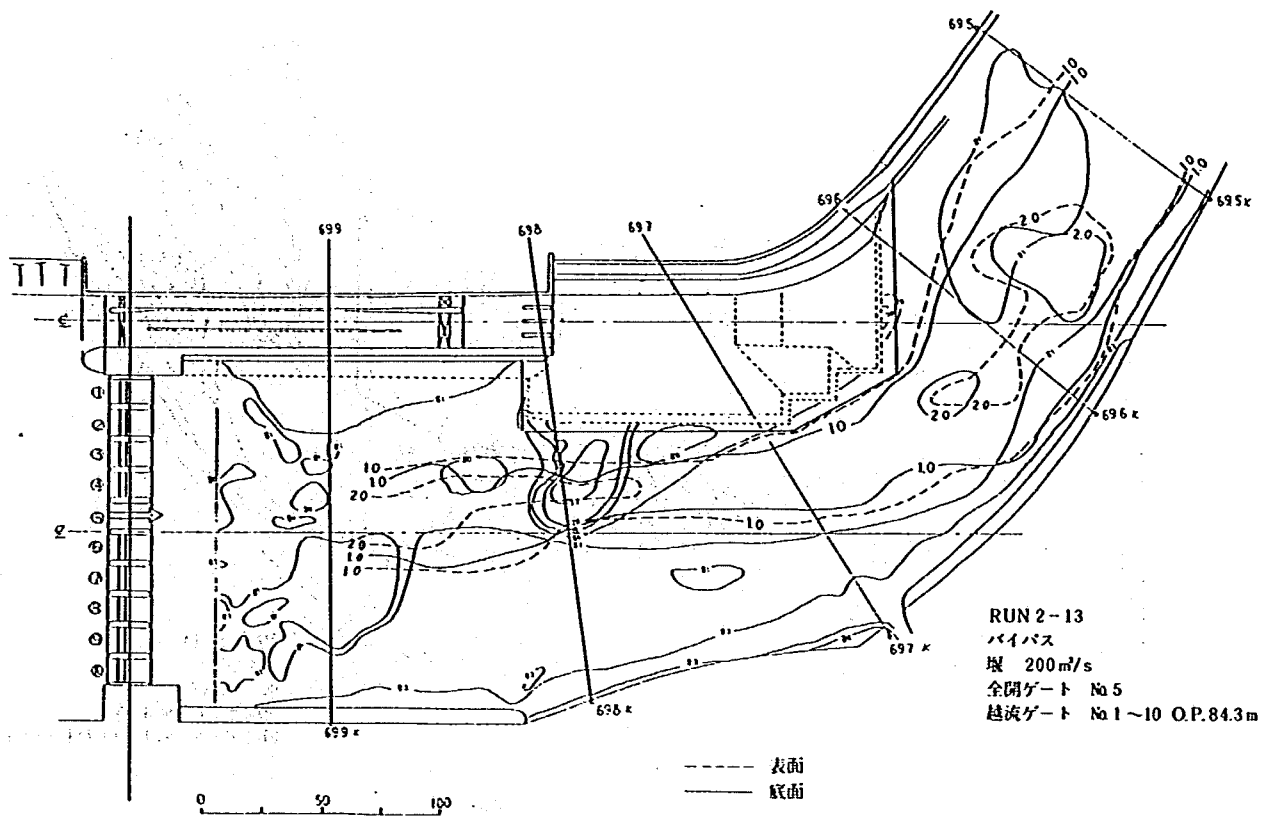


図5-16 等流速線図

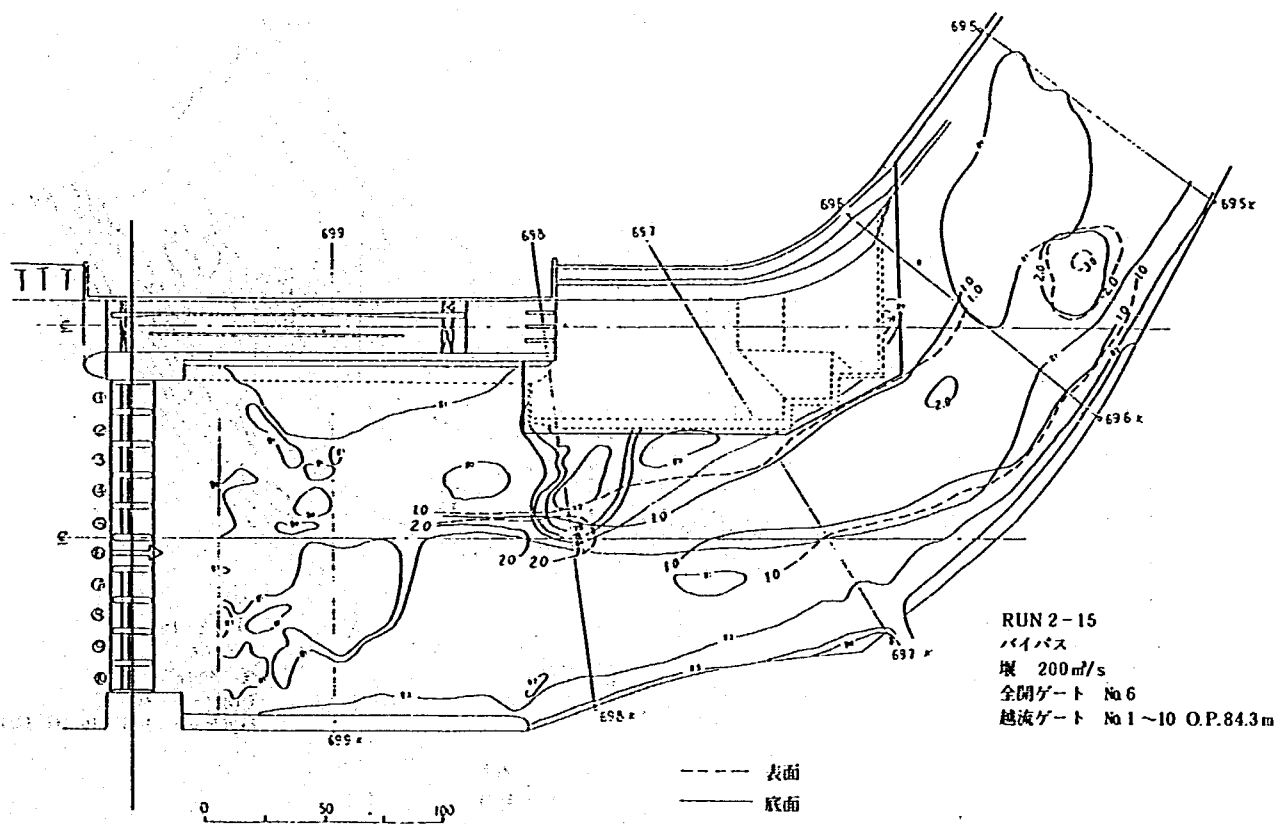


図5-17 等流速線図

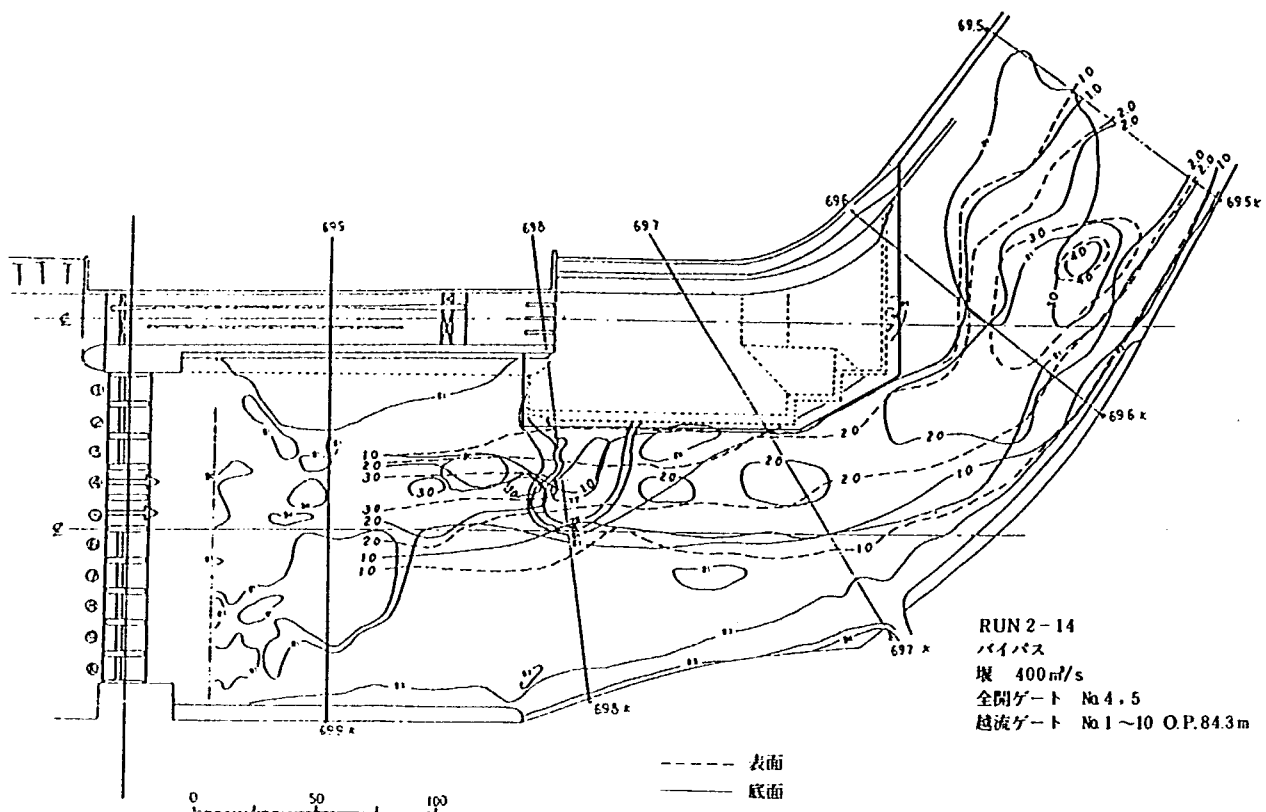


図5-18 等流速線図

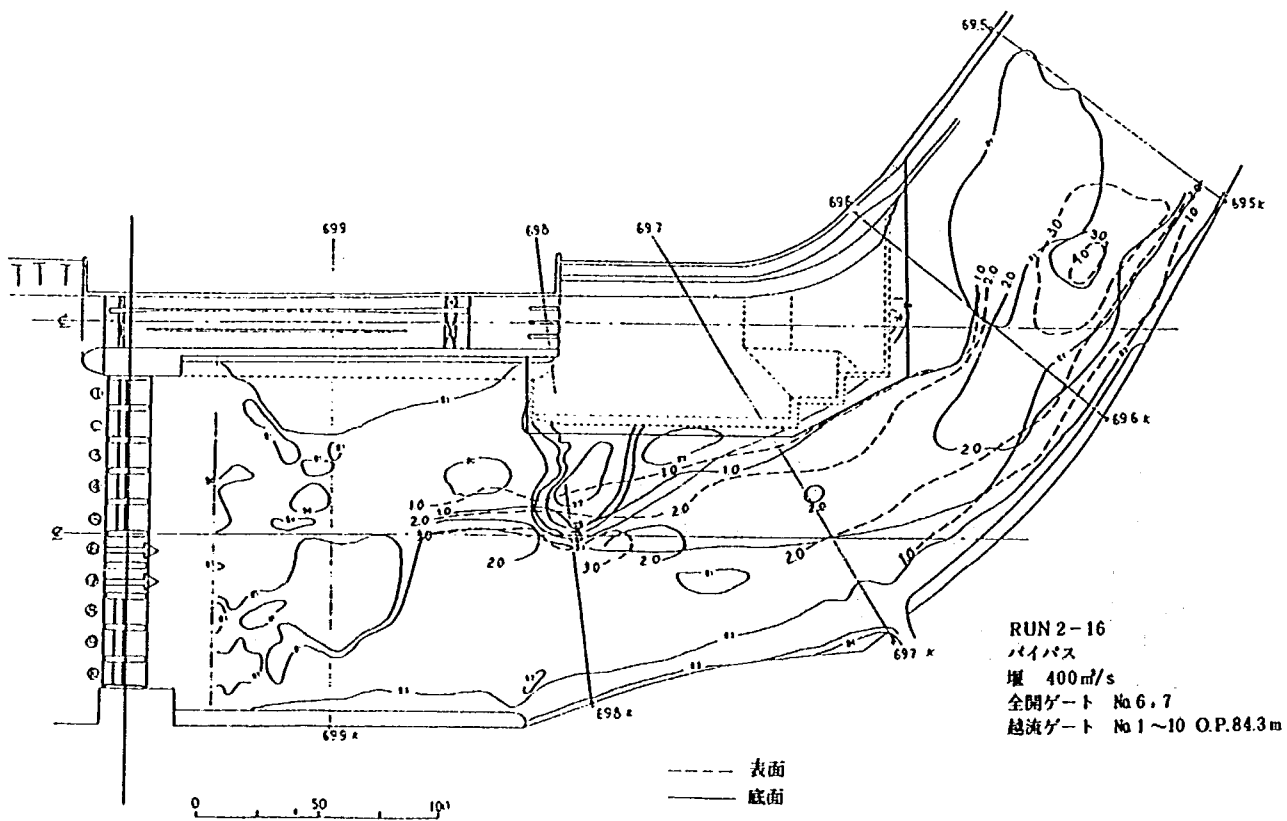


図5-19 等流速線図

3. 仮締切時の全開ゲート放流特性

仮締切工設置時には洗堰下流の湾曲部で河道幅が現在の $1/2$ 程度になるため、そこからのバックが洗堰の放流特性に影響を及ぼす恐れがある。そこで表 5-3 に示すケースについて放流量と新千町水位の関係を調べた。

実験結果と前回の算定式の関係を示したのが図 5-20 であるが、全開ゲートを 1 門としたケースでは大体算定式に乗っているのに対し、2 門としたケースでは一様に流量が減少しており、仮締切工の影響が表われている（仮締切工が無い場合は 4 門以上の全開で下流水位の影響があらわれる）。この時の流量係数は 15.58 程度であり、仮締切工のない場合より 4 割ほど流れにくい結果になっている。したがって全開ゲート 1 門の場合は従来式を用い、2 門の場合は係数を 15.58 に修正する。また 3 門以上を全開とするのは非常時以外は行わないものとする。なお、溢流ゲートについては変更する必要はない。

表 5-3 実験条件一覧

全開ゲート No	流 量 (m ³ /s)
6	1 0 0
	1 5 0
	2 0 0
	2 5 0
6・7	2 0 0
	2 5 0
	3 0 0
	3 5 0
	4 0 0

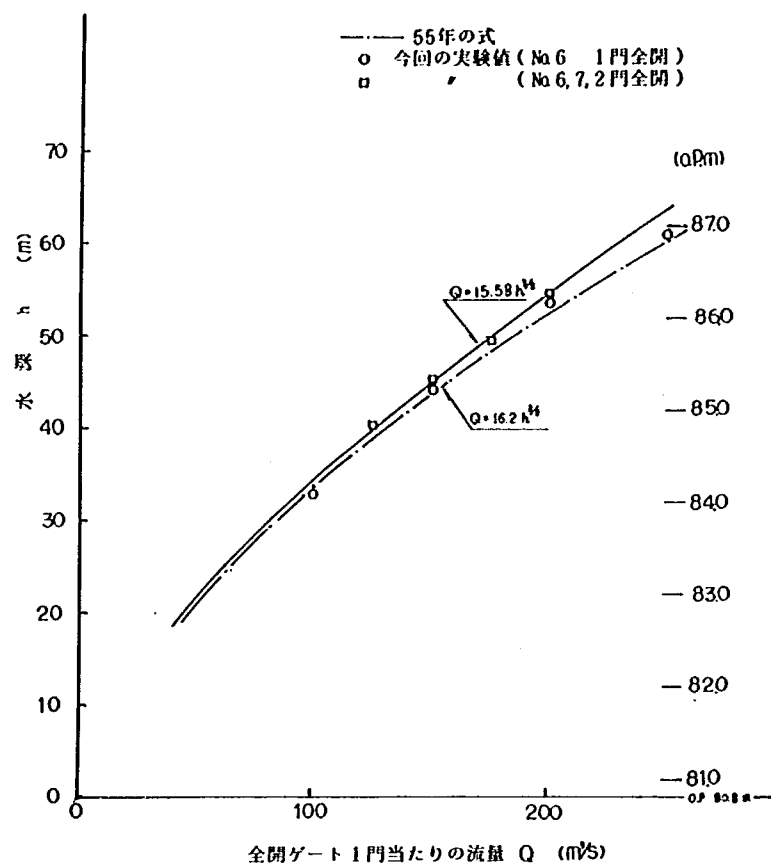


図5-20 仮締切工設置時全開ゲート $H \sim Q$

第 6 章 結 論

本報告書の主要な結論を以下にまとめる。

(1) 洗堰下流部の河床における河道堆積物厚は 2 ～ 3 m でその下は湖床堆積物である半固結粘土となっていると推測される。したがって河床維持上問題となる程度の河床洗掘ではこの湖床堆積物の範囲に入りこの材料の崩壊特性によって河床洗掘特性が定まっている。

(2) 下流河道の半固結粘土の洗掘限界流速は 2 m/s 程度と推定される。

(3) バイパス護床工の高さと範囲は図 4 - 11 に示す原案で支障はない。実験で表われた河床付近流速から 2 t ブロックで十分耐えられる。

(4) しかし、バイパス建設後の主流線は従来より左岸寄りとなり護床工端部に 2 m/s の流速が生じる。護床工が被災するとすれば端部の河床洗掘によって安定性が失われる場合である。したがって部分開放ゲートを現在より右岸寄りに移すことが望ましい。

(5) 部分開放ゲートを移した場合には新たな河床洗掘が生じると予想されるが、これを軽減するには他ゲートからの溢流放流を加えればよい。条件にもよるが、この操作によって洗掘範囲が 69.8 km より上流に限れる可能性が高い。

(6) 河床洗掘の可能性を考えると仮締切時の放流量を 250 m³/s 以下にすることが望ましい。また全開ゲートは 6 番ないし 7 番が良い。緊急時に大量放流する場合にも右岸側ゲートを使用したほうが良い。

(7) 仮締切時の河道疎通能力を 400 m³/s 程度確保するには仮締切工天端高を O. P. 84.3 m 以上にしなければならない。

(8) 仮締切時の部分開放操作では下流水位が上昇するので全開ゲート 2 門以上の場合には放流量と千町水位の関係が変わる。全開ゲート 2 門については次式で近似される。

$$Q = 15.58 (H_1 - H_0)^{3/2} \quad (6-1)$$

Q : 放流量

H_1 : 千町水位

H_0 : 洗堰敷高 = O. P. 80.8 m

謝 辞

種々のデータを快く提供して下さった近畿地建琵琶湖工事事務所の各位と、精力的に実験を遂行された日本工営株式会社の技師の方々に謝意を表します。

瀬田川洗堰水理模型
実験報告書

ISSN 0386-5878
土研資料第1941号
昭和58年 3月

須賀堯三・石川忠晴・林正男

キーワード ; 堰操作, 不等流計算

要 旨 堰操作による放流精度の向上に関する報告



郵便はがき

3 0 5 - □ □

40円切手
をはいて
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

河川研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第1941号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

