

3.2 水理模型実験

3.2.1 白石ダムの概要と水理模型実験の経緯

白石ダム初步設計に関する主要計画諸元は前節 2.1 に示すとおりであり、白石ダム初步設計の洪水吐形状は図 3.2.1～3.2.5 に示す通りである。

1993年の白石ダムF/S設計を受けて、1994年には底孔と越流部が交互に配置された「分散配置方案」の水理模型実験 ($S=1/120$) が遼寧省水利水電科学研究所で実施されている。また、翌年の1995年には、本ダムの建設がRCD工法で施工されるためRCDコンクリートの使用割合を大きくすること、また建設が多年度に亘るため、工事中（半川締め切り方式）の通水能力の大きい底孔と越流部が各々集中して設置される「集中配置方案」の可能性を検討するための水理模型実験 ($S=1/120$) が同所で実施された。

両方案の実験結果を比較すれば、水理的な面では分散配置方案では各放流部が導流壁で完全にセパレートされ、放流水脈が隣接する放流水脈と干渉することなく下流河道に放流されるため、放流水脈が空中で干渉して河道に落下する集中配置方案に比較して減勢効果が低い。また、ダム下流の地質は右岸側が厚くて強い岩に対して、左岸は比較的弱い岩で構成されているため、頻繁に使用される底孔を右岸側に配置することにより、河道部の洗掘が小さくなり、右岸側発電所放水路の基部に与える影響も小さくできる。また、北京泥砂研究所で実施された貯水池の堆砂・排砂の実験結果によると、堆砂については両方案で大きな差異は認められないが、貯水池からの排砂は放流水が集中し易い「集中配置方案」が排砂率が高く有利であると結論されている。

このように、施工性ならびに水理的にも有利である「集中配置方案」による初步設計が1996年に行われ、同案による水理模型実験 ($S=1/100$) が前記同所で実施されるに至った。

なお、各実験段階で洪水吐の流況、放流能力、各部の作用圧力およびバケット形状の検討等がなされ、その結果が初步設計に大きく反映されている。したがって、この実験は洪水吐の最終案形状に対する検証実験と位置付けすることができる。

3.2.2 実験の目的

この水理模型実験は、初步設計洪水吐の放流能力、減勢機能、下流河道への影響を検討して、合理的で安全な水理諸元を定めることを目的とした。

3.2.3 実験方法

洪水吐の流水の現象は重力の影響が卓越することからフルードの相似律に従って実験を行った。洪水吐の全体模型は実験施設で採用し得る最大規模の模型として模型縮尺1/100が採用された。

したがって、各模型における縮尺関係は次のように定まる。

表-3.2.1 諸量の縮尺関係

水理諸元	洪水吐全体模型	底孔抽出模型	越流部抽出模型
長さ : KL	1/100	1/50	1/50
流速 : KV	1/10	1/7.07	1/7.07
流量 : KQ	1/100,000	1/17,678	1/17,678
圧力 : KP	1/100	1/50	1/50
粗度係数 : Kn	1/2.154	1/1.919	1/1.919

表-3.2.2 白石ダム洪水吐水理模型の種類

模型区分	模型仕様	適用実験名
洪水吐全体模型	貯水池 : 上流 500m、600m 洪水吐 : 全体 (パラフィン製) 下流河道 : 500m	洪水吐全体模型実験
底孔抽出模型	貯水池 : 上流 100m、幅 50m 底孔孔 : 一門全体 (パラフィン製)	底孔抽出模型実験
越流部抽出模型	貯水池 : 上流 100m、幅 50m 越流部 : 一門全体 (木製)	越流部抽出模型実験

表-3.2.3 全体模型規模一覧表

洪水吐全体模型					
水理量	実物値	実物値 (1/100)	水理量	実物値	実物値 (1/100)
模型規模			越流水深規模		
ダム長	514m	5.14m	校核洪水量時	18.88m	0.189m
越流部全体幅	168m	1.68m	設計洪水量時	17.27m	0.173m
底孔全体幅	120m	1.20m	流量規模		
堤高	50.3m	0.503m	校核洪水量	26626 m ³ /s	266.3 l/s
越流部1門幅	11m	0.11m	設計洪水量	17227 m ³ /s	172.3 l/s
底孔 幅	4m	0.04m			
高さ	7m	0.07m			

表-3.2.4 抽出模型規模一覧表

底孔抽出模型			越流部抽出模型		
水理量	実物値	模型値 (1/50)	水理量	実物値	模型値 (1/50)
模型規模			模型規模		
底孔呑口幅	6m	0.12m	越流幅	12m	0.24m
高さ	9m	0.18m	越流水深規模		
底孔吐口幅	5m	0.10m	校核洪水量時	18.88m	0.378m
高さ	5.5m	0.11m	設計洪水量時	17.27m	0.345m
流量規模			流量規模		
校核洪水量	501 m ³ /s	28.3l/s	校核洪水量	1874 m ³ /s	106.0l/s
設計洪水量	490 m ³ /s	27.7l/s	設計洪水量	1031 m ³ /s	58.3l/s

3.2.4 実験内容

この実験では以下の内容について検討を行った。

表-3.2.5 実験内容一覧表

実験名	検討内容
洪水吐全体模型実験	1) 越流部の検討 流況、水面形、放流能力 2) シュート部の検討 流況、水面形、導流壁高 3) 減勢工部の検討 流況、水面形、減勢機能 フリップバケット形状 4) 下流河道部の検討 流況、水面形、流速分布、洗掘状況 5) 洪水吐諸元の決定
	対象流量： 50年,100年,200, 500年, 5000年確率流量
底孔抽出模型実験	1) 流量の検討 2) 作用圧力の検討 3) 底孔諸元の決定
	対象流量： 50年,100年,200, 500年, 5000年確率流量
越流部抽出模型実験	1) 作用圧力の検討 2) 越流部諸元の決定
	対象ゲート開度： e=0.5,1,2,3,4,5m &全開

3.2.5 実験条件

(1) 水位および流量条件

各実験流量に対する貯水池および下流河道の水位条件は次表に示すとおりである。

表-3.2.6 洪水吐の水位～流量関係

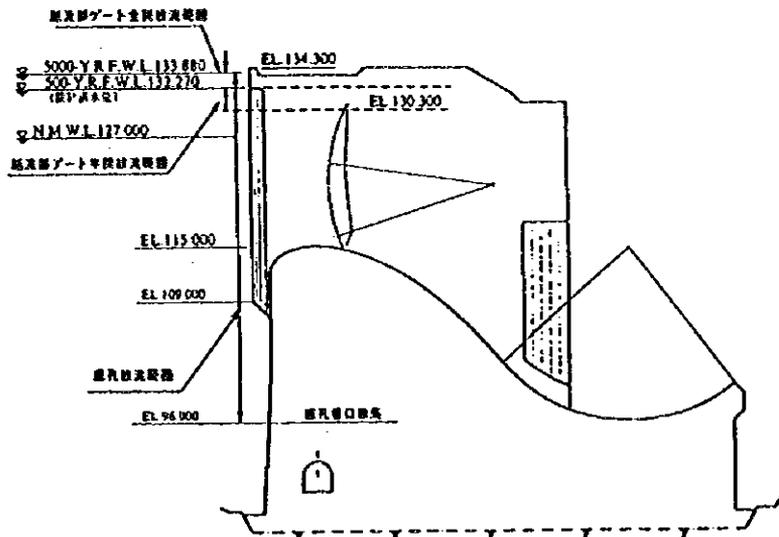
流 量	貯水位	下流河道水位
50年確率流量 : 5,664 m ³ /s	EL.130.24m	EL.97.43m
100年確率流量 : 12,853 m ³ /s	EL.130.47m	EL.100.33m
200年確率流量 : 16,333 m ³ /s	EL.131.25m	EL.101.28m
設計洪水流量 : 17,227 m ³ /s	EL.132.27m	EL.101.51m
校核洪水流量 : 26,626 m ³ /s	EL.133.88m	EL.104.03m

(2) ゲート操作

ダム管理計画で策定されている白石ダムの底孔、および越流ゲートの操作ルールは以下のようである。なお、底孔および越流ゲートとも全門を解放しない場合には、洪水吐からの放流が下流河道に対して均等になる操作（半開、全開とも）を行う。

表-3.2.7 ゲート操作規則

貯水位	底孔	越流部
125.6m～126.9m	12孔全開	11門全閉
126.9m～128.8m	6孔全開	11門全閉
128.8m～130.3m	12孔全開	11門全閉
130.3m～131.2m	12孔全開	11門 e=5m
131.2m～132.7m	12孔全開	7門 e=5m 4門全開
132.7m～	12孔全開	11門全開



3.2.6 測定方法

諸量の測定方法は次のとおりとした。

(1) 流量

洪水吐全体模型および各抽出模型とも、模型の上流側に設置した流量堰を用いた。

(2) 水位

(3) 流速

電磁流速計、プロベラ式流速計を用いて測定した。

(4) 圧力

ピエゾメータを流水面に埋設して水柱マノメータに接続して測定した。

(5) 流況

各部の流況は、流れに色素等を投入して目視観察を行うとともに、35mmカラー写真とビデオに記録した。

(6) 洗掘状況

下流河道の通水後の洗掘形状はレベルにより測定した。

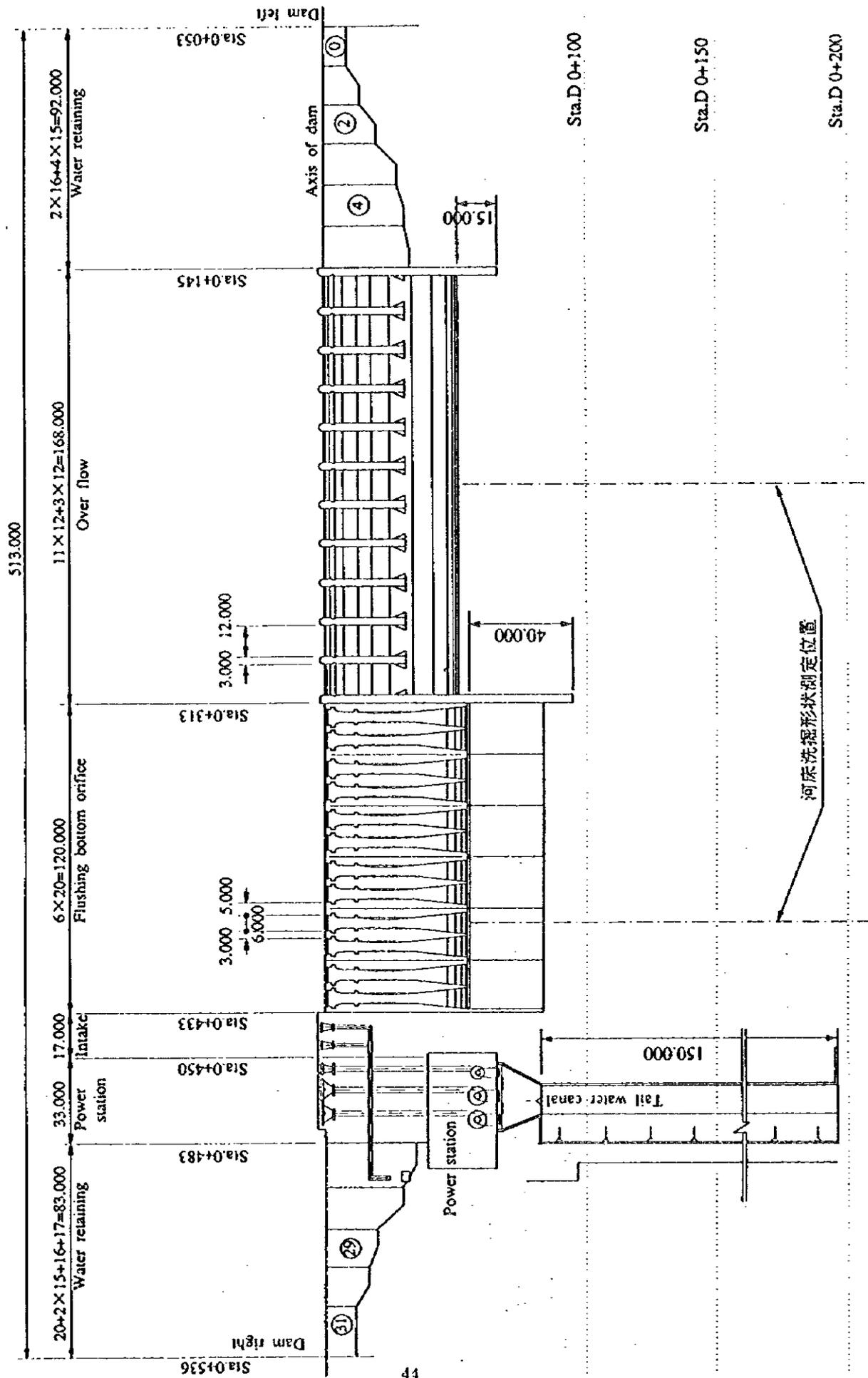
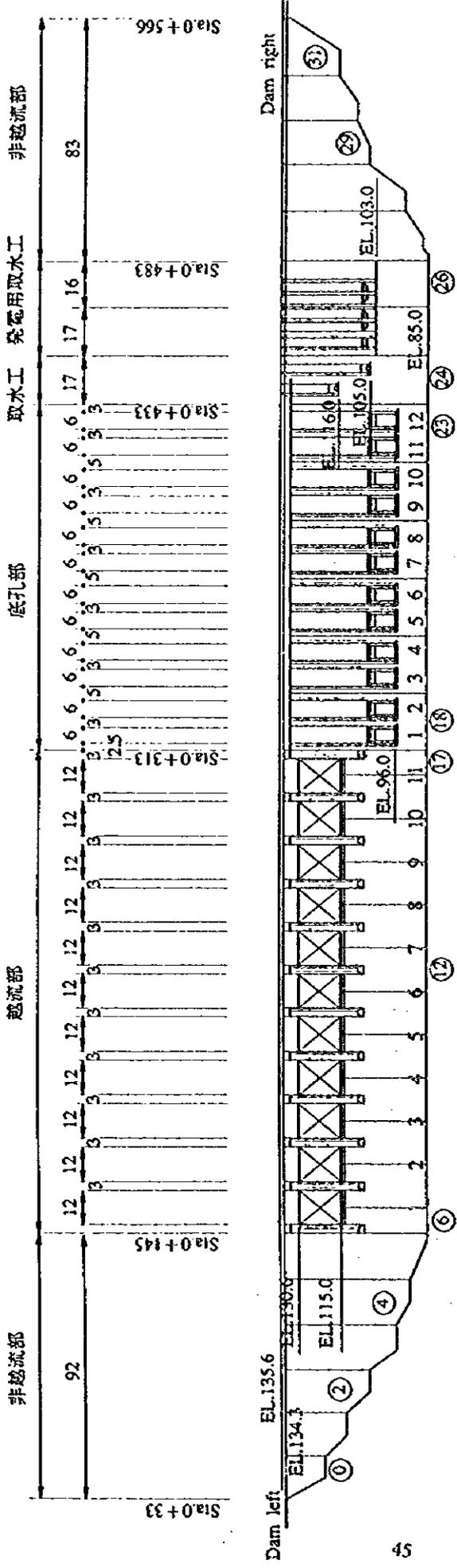


図-3.2.1 ダム平面図



图一3.2.2 洪水吐全体平面図

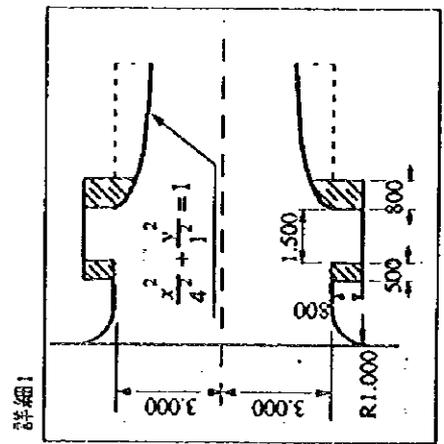
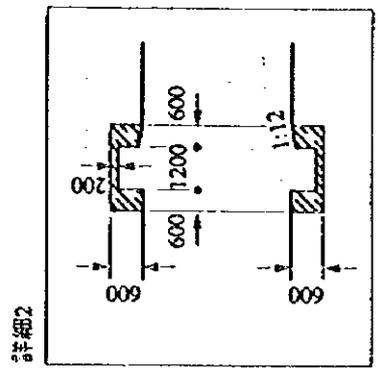
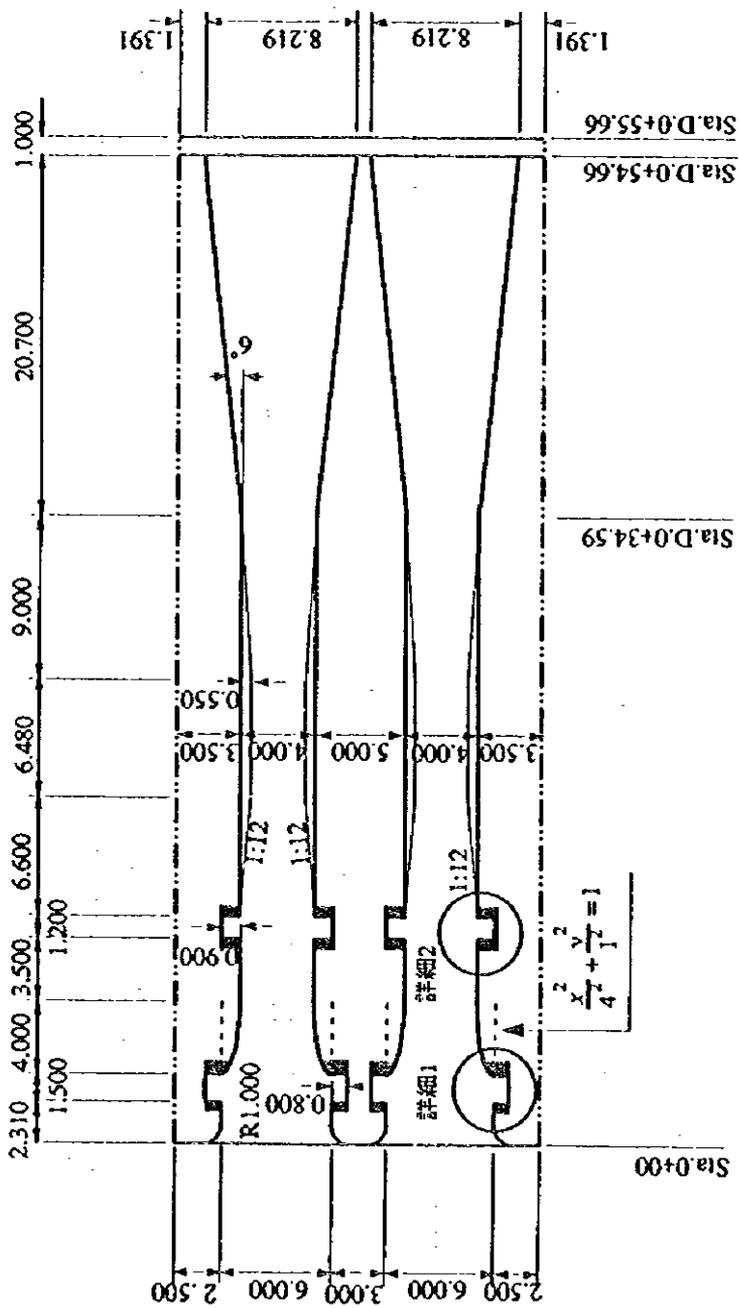


圖-3.2.4 底孔平面圖

Coordinate of weir curve

X1	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.59
Y	0.0	0.17	0.61	1.29	2.20	3.32	4.66	6.19	7.93	9.86	12.64

Coordinate of ellipse curve

X2	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	4.991
Y	0.0	0.015	0.062	0.142	0.258	0.416	0.625	0.903	1.290	1.938	2.701

Data of control point

Point	Station	Elevation
O1	Sta.D 0+05.601	EL. 115.000
O2	Sta.D 0+24.460	EL. 121.600
O3	Sta.D 0+26.193	EL. 102.360
O4	Sta.D 0+40.080	EL. 114.580

▽	5000-Y.	EL. 103.350
▽	500-Y.	EL. 101.200

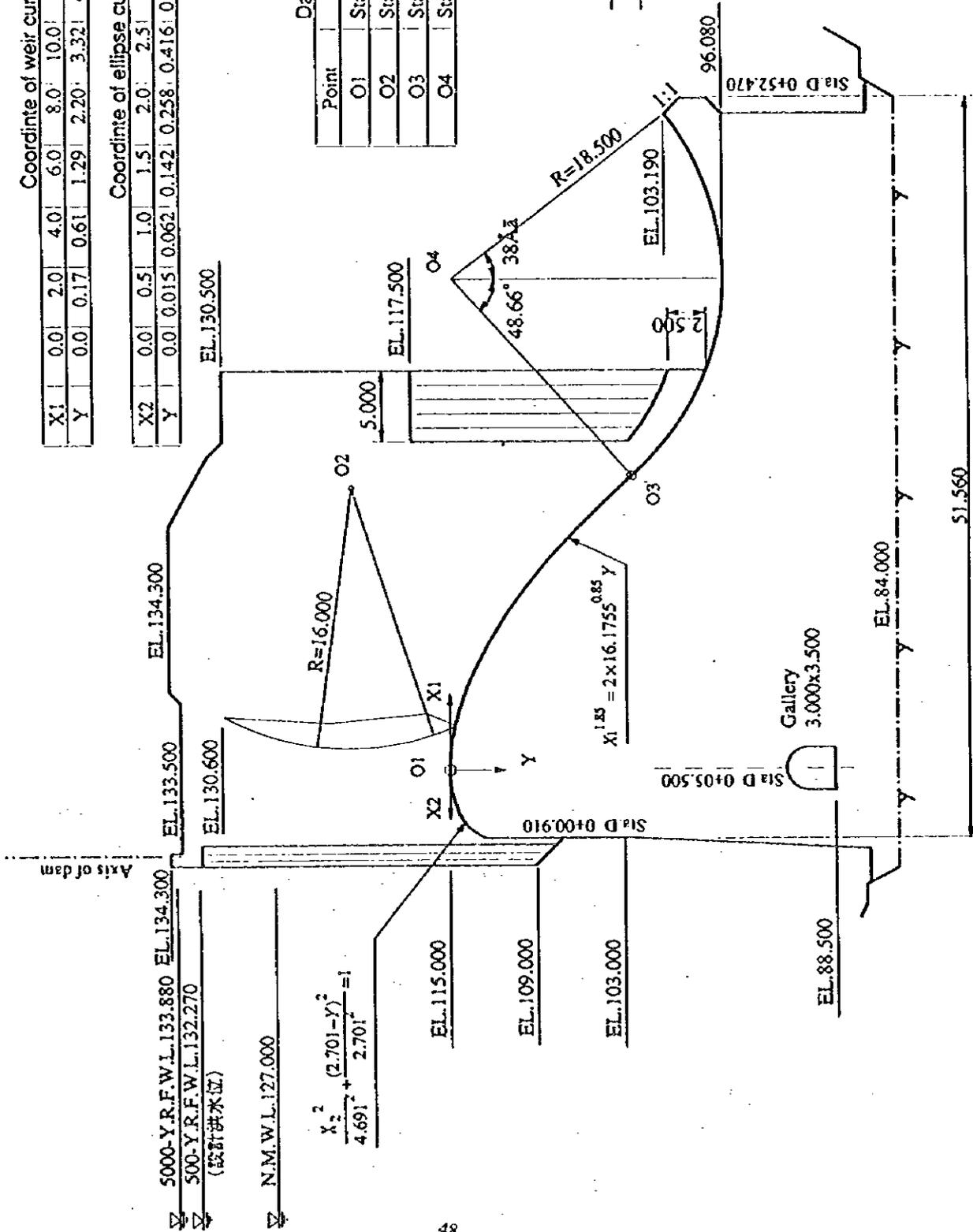


图-3.2.5 溢流部纵断面图

3.2.7 実験結果

(I) 洪水吐の放流能力

白石ダム洪水吐の貯水位～放流量関係について調査した結果を図-3.2.6および表-3.2.8に示す。

(i) 底孔の放流量

1) 全体実験の放流量

底孔の貯水位～放流量関係から、底孔の流量係数を算出した結果を水深～流量係数関係を図-3.2.7および表-3.2.8に示す。

なお、流量係数の算出には次式を用いた。

$$C = \frac{Q}{A\sqrt{2gh}} \dots\dots\dots (3.2.1)$$

ここに、C：底孔の流量係数

Q：底孔の放流量

h：水深、貯水位-底孔敷高 (EL.96.00m)

また、水深と流量係数の関係を近似式により表すと次のようになる。

底孔からの流出は貯水池の上昇に伴い、自由越流から不完全管路流および管路流領域となるが、(3.2.2) 式に示す5次式によりこれら全ての領域を網羅して表現することができる。同式により流量を算出したものが図-3.2.6に示す線分である。測定値に良くフィットしていることが認められる。

$$C = -0.60733 + 0.25455h - 0.018331h^2 + 0.00065943h^3 - 1.1616 \times 10^{-5}h^4 + 7.9861 \times 10^{-8}h^5 \dots\dots\dots (3.2.2)$$

流量係数の近似式から求まる、各貯水位における放流量は次表に示すようであり、計画値に対して設計洪水位 (1/500) で330m³/s (5.6%)、校核水位 (1/5000) で353m³/s (5.9%) 各々計画値を上回る結果を得た。

2) 抽出実験の放流量

底孔抽出実験の水位～放流量関係及び水深～流量係数の関係を図-3.2.8、表-3.2.9に示す。同図には全体実験の結果も合わせて示した。

両実験の流量結果を比較すれば、同一貯水位において殆ど差はなく、抽出実験/全体実験の流量比率が最大でも1.017となり、両実験の誤差は2%以下であった。これより模型縮尺の違いによる差異は極めて小さく、全体実験の結果をそのまま用いても問題のないことが分かった。

以上の両実験の結果から、底孔の放流量は妥当であると判断される。

(ii) 越流部の放流量

1) 貯水池内の堆砂を考慮しない場合

表-3.2.8に示す越流部の貯水位～放流量関係から、越流部の流量係数を算出した結果を越流水深～

流量係数関係として図-3.2.9 (上) に示す。

なお、流量係数の算出には次式を用いた。

$$C = \frac{Q}{BH^{1.5}} \dots\dots\dots (3.2.3)$$

- ここに、 C：越流部の流量係数
- Q：越流部の放流量
- A：越流幅 (12m×11門=132m)
- h：越流部の越流水深

図-3.2.9(上)よりh～C関係の近似式を求めると次式のようなものである。

$$C = 1.8224 + 0.02061h - 0.0002719h^2 \dots\dots\dots (3.2.4)$$

(3.2.4)式で算出される流量係数から、校核水位EL.133.88m (1/5000年確率流量) の放流量を求めると22,898m³/sであり、計画値に対して2,285m³/s (11.1%) 多くなる。

2) 貯水池内の堆砂を考慮した場合

本洪水吐の洪水調節は、ゲート操作規則に示されるように 1/50 年確率流量 (貯水位 EL. 130.3 m) 以下の放流は底孔で行われ越流ゲートは全閉となる。また、貯水位が EL. 130.3 m 以上の水位においても 1/500 年確率流量 (貯水位 EL. 132.27 m) までの放流は越流ゲートを部分開放で行い、1/5000 年確率流量 (貯水位 EL. 133.88 m) で越流ゲートが全開となる。このような越流ゲートの操作から、越流部前面には堆砂が発生するものと推定される。

越流部前面の堆砂が高くなると、相対的に越流部の堰高は低くなる。この結果、堰高が低くなるに伴い越流部の流量係数は低減し放流量は低下する。

実験では貯水池内の堆砂が最も上昇したケースとして、越流頂 (クレスト) を堆砂面にした状態を想定して放流量の調査を行った。この場合の貯水位～越流部放流量関係を図-3.2.6および表-3.2.10に示す。流量係数は貯水池内に堆砂がない場合と同様の整理を行い、越流水深～流量係数関係として図-3.2.9 (下) および表-3.2.10に示した。同図よりh～C関係の近似式を求めて次式に示す。

$$C = 1.4484 + 0.022349h - 0.0001826h^2 \dots\dots\dots (3.2.5)$$

(3.2.5)式で算出される流量係数から、校核水位EL.133.88m (1/5000年確率流量) の放流量を求めるとQ=19,550 m³/sとなり計画値を1,060 m³/s (5.2%) 程度下回る結果を示した。

(iii) 全体の放流量

底孔と越流部の全体放流量を貯水位～放流量関係として図-3.2.6に示す。

貯水池内の堆砂を考慮しない場合の洪水吐全体の放流量は、1/5000年確率洪水水位において計画値26,626m³/sに対して実験値29,264m³/sであり2,638m³/s (+9.9%) 多くなっている。一方、貯水池内の堆砂を考慮した場合は、実験値 25.950 m³/sであり、680 m³/s (-2.5%) 不足する結果となる。

このように洪水吐の放流量は、貯水池内の堆砂高により越流部の放流量が大きく影響を受けることが分かる。実際の貯水池の堆砂面がどの程度の高さに形成されるか明らかでないが、仮に貯水池内の堆砂面がかなり上昇した場合でも越流部の近傍では流れの乱れにより洗掘を受け、実験で想定したように越流頂まで堆砂面が形成されることはないと考えられる。したがって、洪水吐全体の放流量は、貯水池内の堆砂による流量係数の低減を考慮しても計画値を下回ることはなく、本ダムの放流容量は適切であると判断される。

本洪水吐の流量関係のまとめとして、ゲート全開時における貯水池と放流量の関係（堆砂を考慮しない）を表-3.2.12~3.2.14に示す。

表-3.2.11 白石ダム洪水吐 貯水位～放流量関係

確率年 (Year)	貯水位 (EL.m)	底孔流量 (m ³ /s)			越流部流量 (m ³ /s)			全体流量 (m ³ /s)		
		設計値	実験値	誤差(%)	設計値	実験値	誤差(%)	設計値	実験値	誤差(%)
1/50	130.24	5664	6018	6.25	0	0	0	5664	6018	6.25
1/100	130.47	5687	6041	6.22	7166	7589	5.90	12853	13630	6.05
1/200	131.25	5772	6119	6.01	10561	11381	7.76	16333	17500	7.15
1/500	132.27	5887	6217	5.61	11340	12433	9.63	17227	18650	8.26
1/5000	133.88	6013	6366	5.87	20613	22898	11.09	26626	29264	9.91

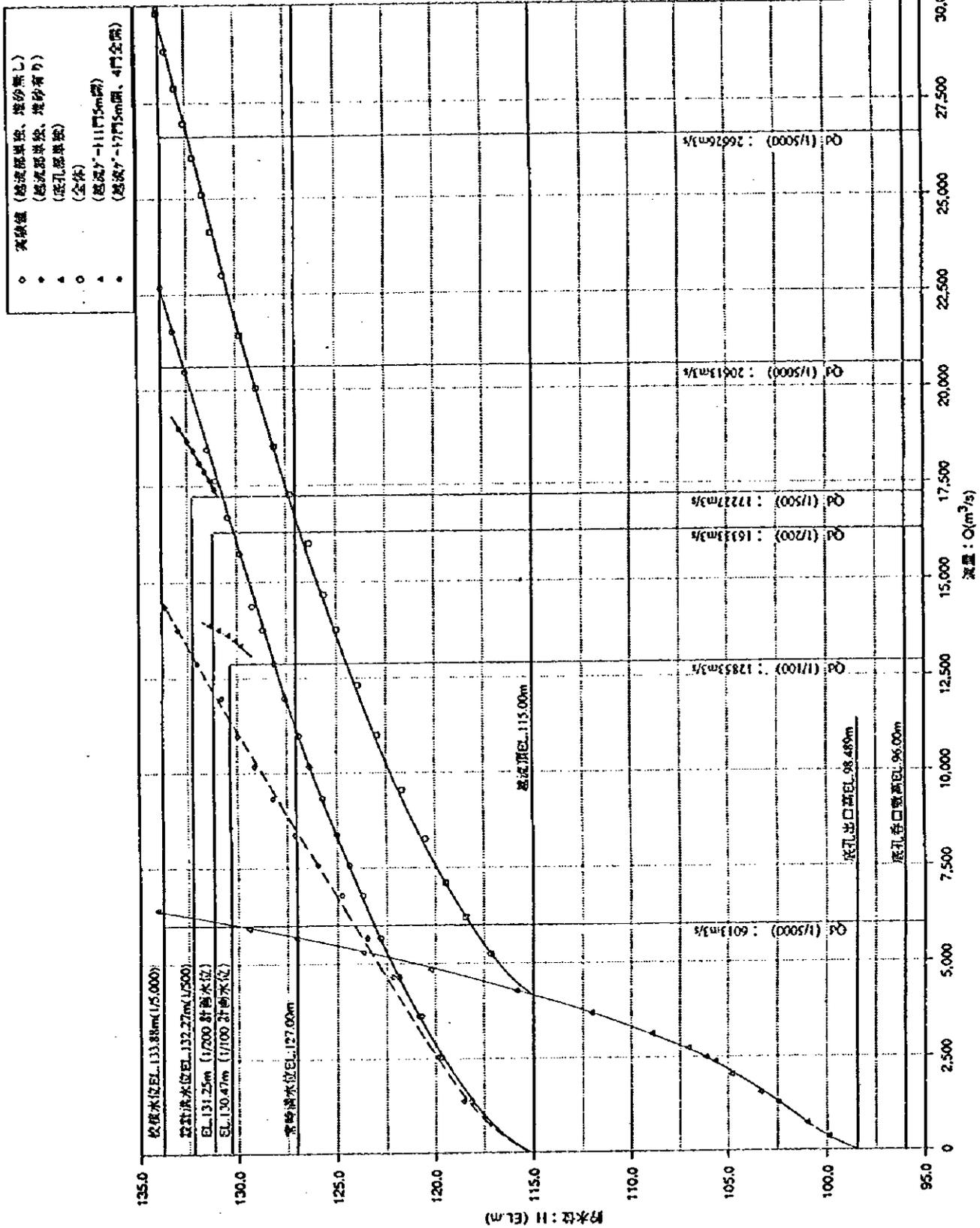


图-3.2.6 白石ダム洪水吐 貯水位一減速閘開区

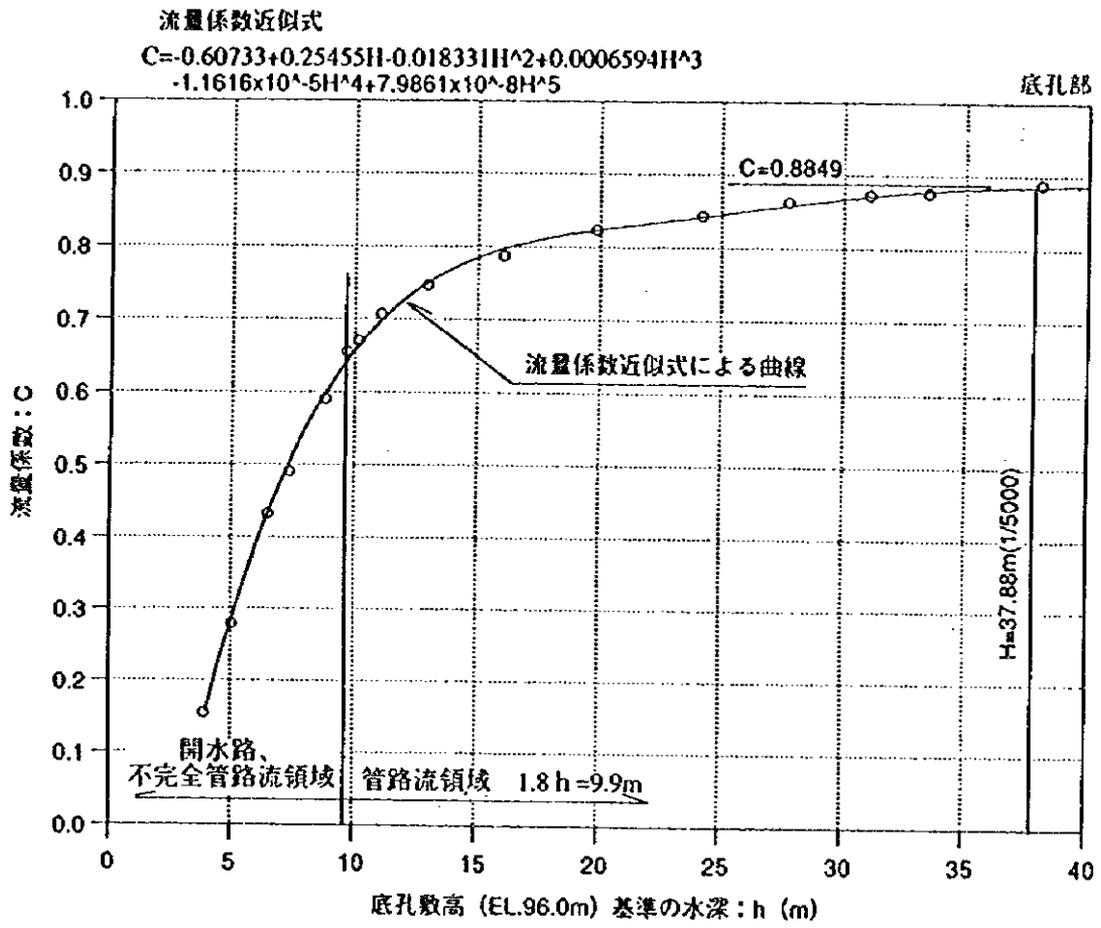
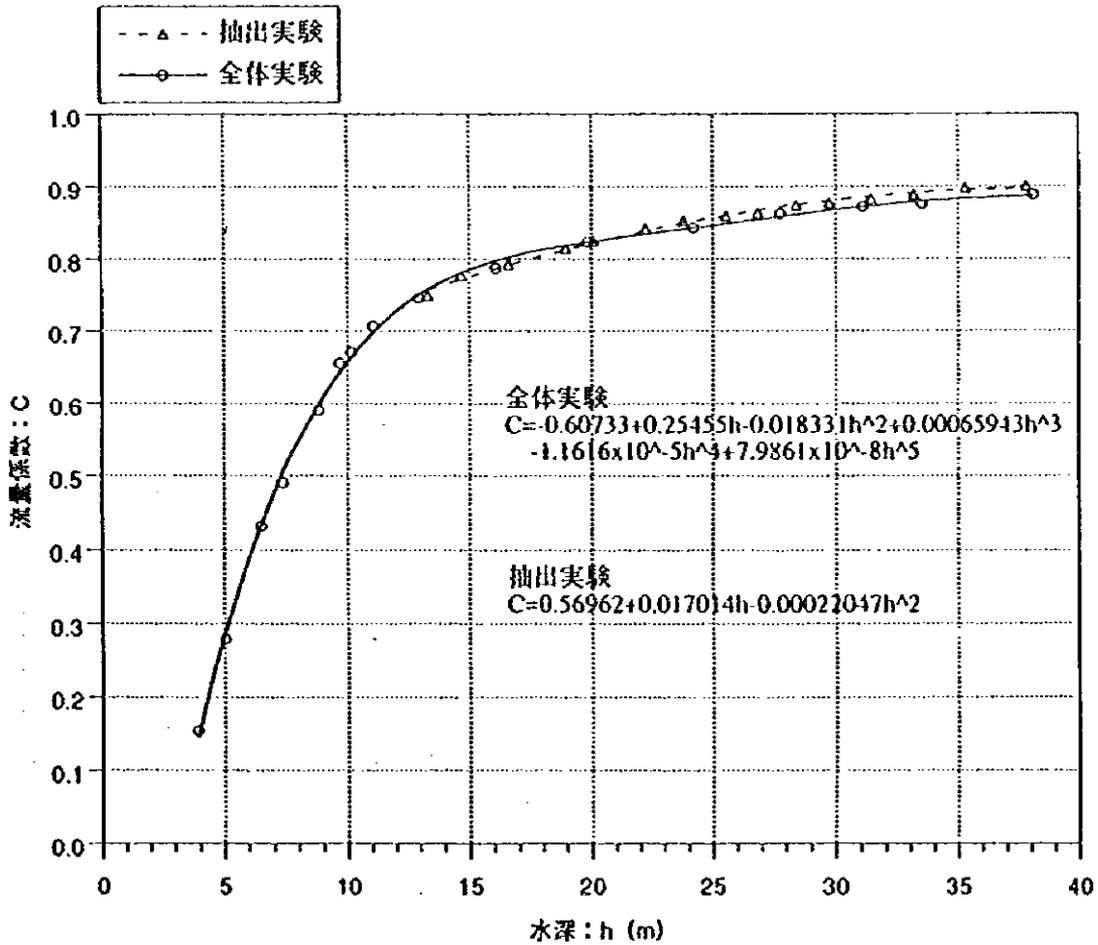
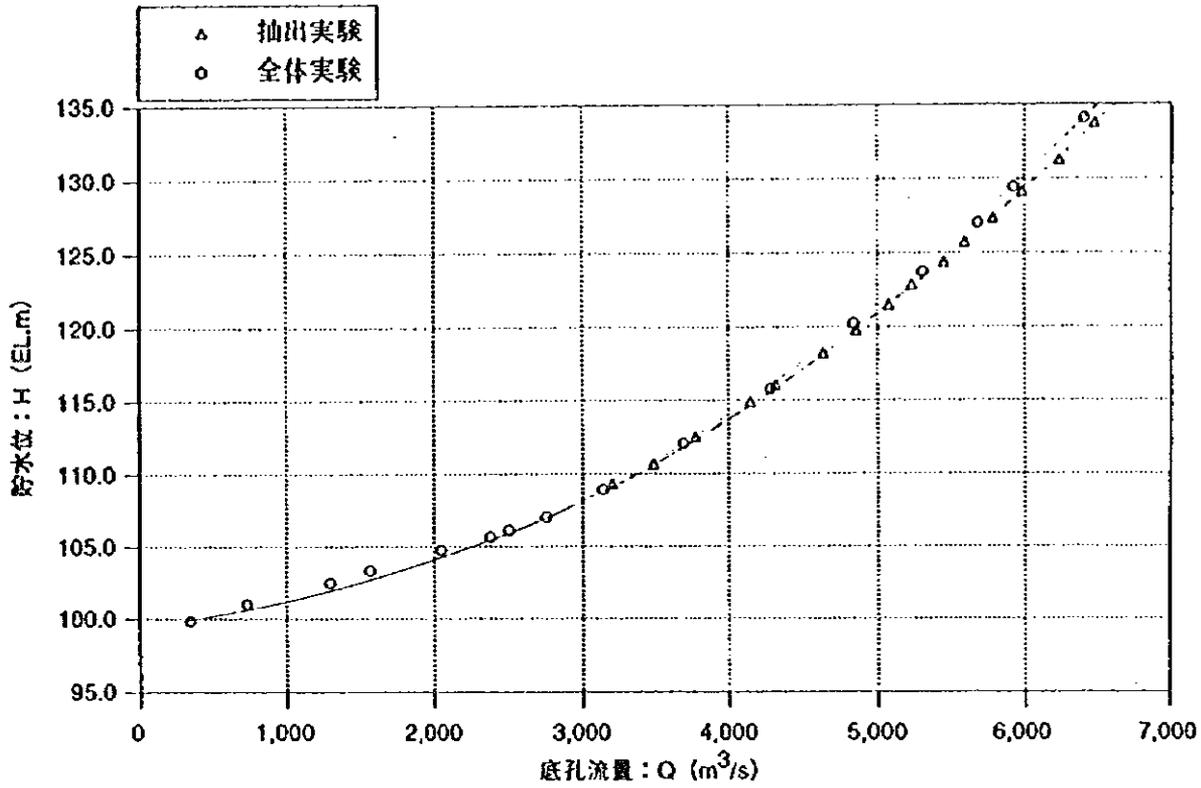
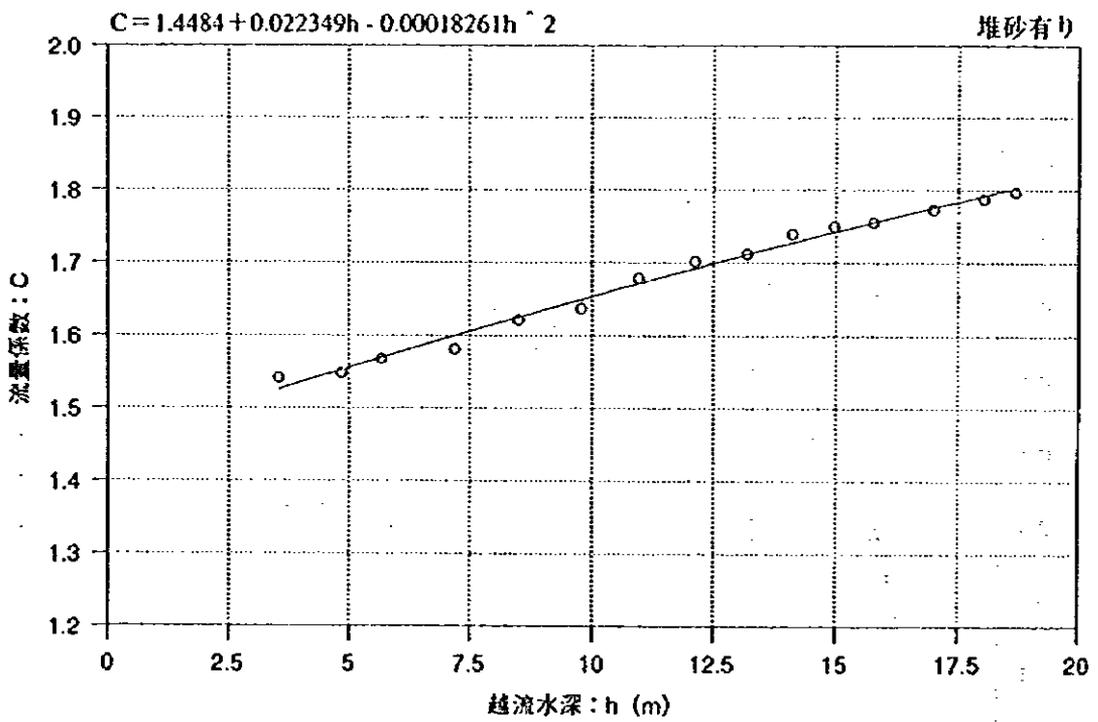
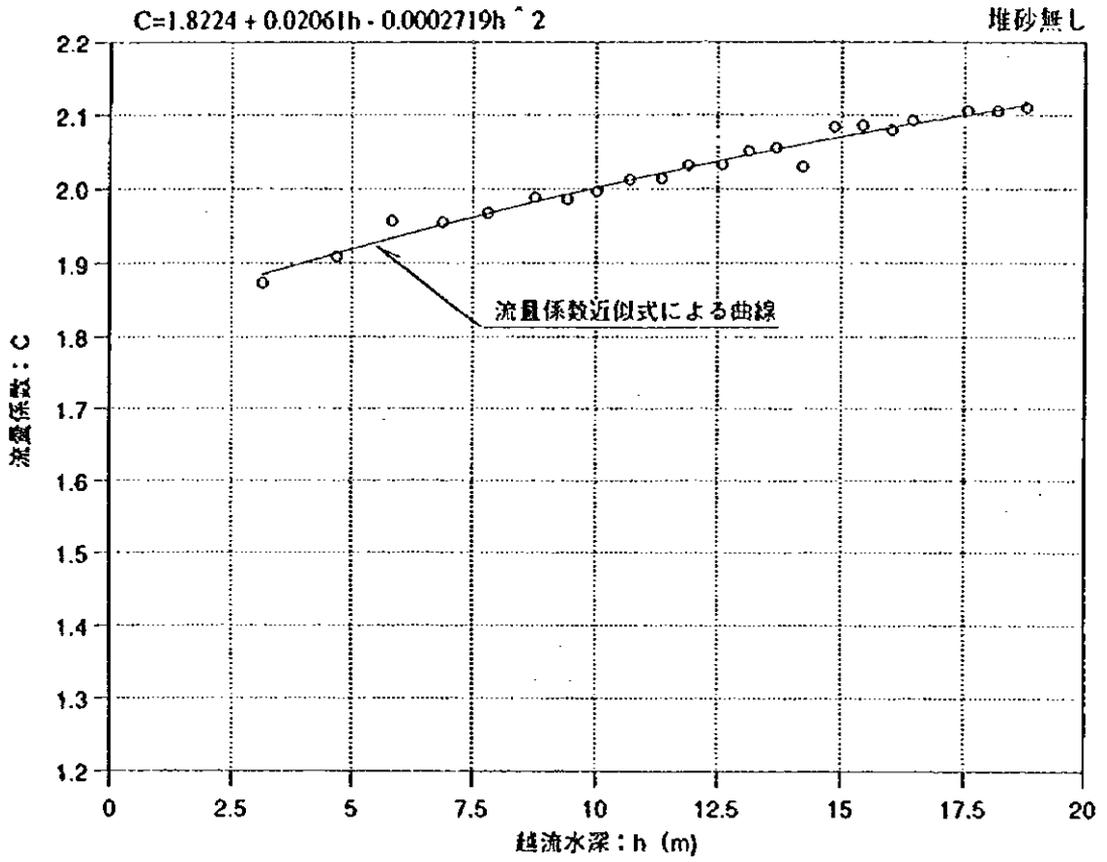


図-3.2.7 底孔部の流量係数



抽出実験と全体実験の放流量比較

図-3.2.8 底孔の貯水位～放流量関係



底孔部单独

貯水位 (EL.m)	流量 (m ³ /s)	水深 (h.m)	流量係数 C
99.92	355.5	3.92	0.154
101.03	730.8	5.03	0.279
102.50	1290.1	6.50	0.433
103.36	1557.2	7.36	0.491
104.80	2046.7	8.80	0.590
105.67	2379.7	9.67	0.655
106.15	2498.5	10.15	0.671
107.08	2749.6	11.08	0.707
108.96	3137.1	12.96	0.746
112.07	3688.1	16.07	0.787
115.85	4285.7	19.85	0.823
120.23	4847.6	24.23	0.843
123.74	5304.2	27.74	0.862
127.06	5678.3	31.06	0.872
129.48	5926.7	33.48	0.876
134.11	6407.2	38.11	0.888

$$C=Q/(A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h})$$

A : 4m × 5.5m × 12門 = 264m²

g : 9.8

h : 底孔敷高基準(EL.96m)の水深

越流部单独

貯水位 (EL.m)	流量 (m ³ /s)	越流水深 (h.m)	流量係数 C
118.15	1382.7	3.15	1.8736
119.68	2551.0	4.68	1.9088
120.83	3635.0	5.83	1.9563
121.88	4658.0	6.88	1.9554
122.81	5669.5	7.81	1.9679
123.74	6779.0	8.74	1.9876
124.41	7563.6	9.41	1.9850
125.02	8359.0	10.02	1.9965
125.71	9308.9	10.71	2.0121
126.35	10164.9	11.35	2.0139
126.88	10981.2	11.88	2.0317
127.58	11970.3	12.58	2.0324
128.13	12883.6	13.13	2.0515
128.70	13761.1	13.70	2.0559
129.22	14365.0	14.22	2.0295
129.85	15746.0	14.85	2.0845
130.43	16690.8	15.43	2.0862
131.04	17636.4	16.04	2.0798
131.46	18445.2	16.46	2.0925
132.57	20476.8	17.57	2.1063
133.18	21548.3	18.18	2.1060
133.79	22685.0	18.79	2.1100

$$C=Q/(B \cdot h \cdot 1.5)$$

B : 12m × 11門 = 132m

h : 越流頂(EL.115.0m)基準の水深

全体 (底孔部+越流部)

貯水位 (EL.m)	流量 (m ³ /s)
117.16	5252.8
118.43	6206.1
119.45	7100.4
120.51	8247.9
121.70	9530.9
122.94	10992.0
123.94	12307.0
125.01	13761.0
125.61	14672.0
126.35	16003.0
127.31	17270.0
128.09	18520.0
128.97	20040.0
129.77	21433.0
130.63	23009.0
131.23	24144.0
131.66	25109.0
132.16	26067.0
132.58	26962.0
133.01	27882.0
133.50	28842.0
133.91	29807.0

堆砂なし
表-3.2.8 貯水位～放流量関係 (実験値)

底孔抽出実験				
貯水位 (EL.m)	水深 (m)	1門流量 (m ³ /s)	12門流量 (m ³ /s)	流量係数 C
109.360	13.360	266.640	3199.680	0.749
110.700	14.700	290.000	3480.000	0.777
112.560	16.560	314.100	3769.200	0.792
114.950	18.950	345.550	4146.600	0.815
116.080	20.080	359.950	4319.400	0.825
118.240	22.240	386.580	4638.960	0.842
119.800	23.800	405.170	4862.040	0.853
121.530	25.530	423.340	5080.080	0.860
122.840	26.840	435.850	5230.200	0.864
124.410	28.410	453.740	5444.880	0.874
125.760	29.760	465.800	5589.600	0.877
127.400	31.400	481.800	5781.600	0.883
129.160	33.160	498.790	5985.480	0.889
131.300	35.300	519.900	6238.800	0.898
133.800	37.800	539.750	6477.000	0.901

表-3.2.9 底孔抽出実験の貯水位～放流量、流量係数関係

越流部堆砂実験			
貯水位 (EL.m)	越流水深 (m)	流量 (m ³ /s)	流量係数 C
118.550	3.550	1361.2	1.54172
119.860	4.860	2189.2	1.54795
120.680	5.680	2801.2	1.56764
122.200	7.200	4033.4	1.58161
123.500	8.500	5304.2	1.62150
124.780	9.780	6610.6	1.63741
125.980	10.980	8067.3	1.67977
127.120	12.120	9477.9	1.70170
128.200	13.200	10836.1	1.71174
129.120	14.120	12178.8	1.73892
129.960	14.960	13361.8	1.74942
130.770	15.770	14510.8	1.75537
132.000	17.000	16403.9	1.77296
133.020	18.020	18045.5	1.78716
133.670	18.670	19136.1	1.79706

堆砂あり

表-3.2.10 越流部の貯水位～放流量、流量係数関係

貯水位 (EL.m)	流量 (m ³ /s)			貯水位 (EL.m)	流量 (m ³ /s)		
	底孔	越流部	全体		底孔	越流部	全体
99.489	183.331	0	183.331	110.250	3413.517	0	3413.517
99.500	187.195	0	187.195	110.500	3460.402	0	3460.402
99.750	276.099	0	276.099	110.750	3506.277	0	3506.277
100.000	366.724	0	366.724	111.000	3551.183	0	3551.183
100.250	458.633	0	458.633	111.250	3595.158	0	3595.158
100.500	551.443	0	551.443	111.500	3638.244	0	3638.244
100.750	644.817	0	644.817	111.750	3680.480	0	3680.480
101.000	738.460	0	738.460	112.000	3721.905	0	3721.905
101.250	832.111	0	832.111	112.250	3762.560	0	3762.560
101.500	925.542	0	925.542	112.500	3802.481	0	3802.481
101.750	1018.549	0	1018.549	112.750	3841.707	0	3841.707
102.000	1110.955	0	1110.955	113.000	3880.276	0	3880.276
102.250	1202.603	0	1202.603	113.250	3918.223	0	3918.223
102.500	1293.355	0	1293.355	113.500	3955.585	0	3955.585
102.750	1383.092	0	1383.092	113.750	3992.397	0	3992.397
103.000	1471.708	0	1471.708	114.000	4028.691	0	4028.691
103.250	1559.114	0	1559.114	114.250	4064.502	0	4064.502
103.500	1645.233	0	1645.233	114.500	4099.862	0	4099.862
103.750	1729.998	0	1729.998	114.750	4134.801	0	4134.801
104.000	1813.354	0	1813.354	115.000	4169.350	0	4169.350
104.250	1895.255	0	1895.255	115.100	4183.066	7.616	4190.682
104.500	1975.665	0	1975.665	115.200	4196.727	21.565	4218.291
104.750	2054.554	0	2054.554	115.300	4210.333	39.661	4249.994
105.000	2131.902	0	2131.902	115.400	4223.887	61.130	4285.017
105.250	2207.694	0	2207.694	115.500	4237.389	85.527	4322.917
105.500	2281.920	0	2281.920	115.600	4250.843	112.553	4363.396
105.750	2354.578	0	2354.578	115.700	4264.249	141.990	4406.239
106.000	2425.670	0	2425.670	115.800	4277.609	173.669	4451.278
106.250	2495.203	0	2495.203	115.900	4290.925	207.457	4498.381
106.500	2563.187	0	2563.187	116.000	4304.198	243.241	4547.439
106.750	2629.636	0	2629.636	116.100	4317.429	280.930	4598.360
107.000	2694.570	0	2694.570	116.200	4330.621	320.444	4651.065
107.250	2758.009	0	2758.009	116.300	4343.775	361.712	4705.487
107.500	2819.978	0	2819.978	116.400	4356.892	404.676	4761.567
107.750	2880.503	0	2880.503	116.500	4369.973	449.280	4819.252
108.000	2939.613	0	2939.613	116.600	4383.020	495.476	4878.496
108.250	2997.339	0	2997.339	116.700	4396.034	543.222	4939.257
108.500	3053.714	0	3053.714	116.800	4409.017	592.479	5001.496
108.750	3108.771	0	3108.771	116.900	4421.970	643.209	5065.179
109.000	3162.547	0	3162.547	117.000	4434.894	695.381	5130.275
109.250	3215.078	0	3215.078	117.100	4447.790	748.964	5196.754
109.500	3266.402	0	3266.402	117.200	4460.659	803.931	5264.590
109.750	3316.557	0	3316.557	117.300	4473.503	860.255	5333.758
110.000	3365.582	0	3365.582	117.400	4486.323	917.913	5404.236

表-3.2.12 洪水吐の貯水位～放流量関係 (清水実験の流量係数より算定、No.1)

貯水位 (EL.m)	流量 (m ³ /s)			貯水位 (EL.m)	流量 (m ³ /s)		
	底孔	越流部	全体		底孔	越流部	全体
117.500	4499.119	976.882	5476.001	122.100	5074.791	4882.179	9956.969
117.600	4511.894	1037.141	5549.035	122.200	5087.153	4989.950	10077.103
117.700	4524.647	1098.670	5623.317	122.300	5099.509	5098.607	10198.116
117.800	4537.380	1161.452	5698.831	122.400	5111.859	5208.145	10320.004
117.900	4550.093	1225.467	5775.560	122.500	5124.202	5318.561	10442.763
118.000	4562.789	1290.700	5853.489	122.600	5136.538	5429.850	10566.388
118.100	4575.467	1357.135	5932.602	122.700	5148.866	5542.010	10690.876
118.200	4588.128	1424.758	6012.886	122.800	5161.187	5655.035	10816.222
118.300	4600.774	1493.553	6094.327	122.900	5173.500	5768.923	10942.423
118.400	4613.405	1563.509	6176.913	123.000	5185.804	5883.670	11069.474
118.500	4626.021	1634.611	6260.632	123.100	5198.099	5999.273	11197.372
118.600	4638.624	1706.848	6345.472	123.200	5210.385	6115.727	11326.112
118.700	4651.215	1780.208	6431.423	123.300	5222.661	6233.030	11455.691
118.800	4663.793	1854.680	6518.473	123.400	5234.927	6351.177	11586.105
118.900	4676.360	1930.253	6606.613	123.500	5247.183	6470.167	11717.350
119.000	4688.916	2006.917	6695.833	123.600	5259.427	6589.995	11849.422
119.100	4701.462	2084.662	6786.124	123.700	5271.650	6710.658	11982.318
119.200	4713.999	2163.479	6877.477	123.800	5283.880	6832.153	12116.033
119.300	4726.526	2243.358	6969.883	123.900	5296.088	6954.477	12250.565
119.400	4739.044	2324.290	7063.335	124.000	5308.283	7077.627	12385.910
119.500	4751.555	2406.268	7157.823	124.100	5320.464	7201.599	12522.064
119.600	4764.057	2489.283	7253.340	124.200	5332.631	7326.391	12659.023
119.700	4776.552	2573.326	7349.879	124.300	5344.784	7452.000	12796.783
119.800	4789.041	2658.392	7447.432	124.400	5356.920	7578.422	12935.342
119.900	4801.522	2744.471	7545.993	124.500	5369.041	7705.655	13074.696
120.000	4813.997	2831.557	7645.554	124.600	5381.145	7833.696	13214.842
120.100	4826.467	2919.643	7746.109	124.700	5393.233	7962.542	13355.775
120.200	4838.930	3008.722	7847.652	124.800	5405.302	8092.190	13497.492
120.300	4851.388	3098.787	7950.175	124.900	5417.353	8222.637	13639.991
120.400	4863.841	3189.833	8053.674	125.000	5429.385	8353.881	13783.267
120.500	4876.288	3281.853	8158.141	125.100	5441.398	8485.919	13927.317
120.600	4888.730	3374.841	8263.571	125.200	5453.390	8618.748	14072.138
120.700	4901.168	3468.791	8369.959	125.300	5465.362	8752.365	14217.727
120.800	4913.601	3563.698	8477.298	125.400	5477.312	8886.768	14364.080
120.900	4926.029	3659.556	8585.584	125.500	5489.240	9021.955	14511.195
121.000	4938.452	3756.359	8694.811	125.600	5501.145	9157.921	14659.066
121.100	4950.871	3854.103	8804.973	125.700	5513.027	9294.666	14807.693
121.200	4963.285	3952.781	8916.066	125.800	5524.885	9432.186	14957.071
121.300	4975.694	4052.390	9028.084	125.900	5536.718	9570.479	15107.197
121.400	4988.099	4152.924	9141.023	126.000	5548.525	9709.542	15258.067
121.500	5000.499	4254.379	9254.878	126.100	5560.307	9849.373	15409.680
121.600	5012.894	4356.749	9369.643	126.200	5572.062	9989.969	15562.031
121.700	5025.284	4460.030	9485.314	126.300	5583.790	10131.328	15715.118
121.800	5037.669	4564.218	9601.887	126.400	5595.490	10273.447	15868.937
121.900	5050.048	4669.309	9719.357	126.500	5607.161	10416.325	16023.486
122.000	5062.422	4775.297	9837.719	126.600	5618.803	10559.957	16178.761

表-3.2.13 洪水吐の貯水位～放流量関係 (清水実験の流量係数より算定、No.2)

貯水位 (EL.m)	流量 (m ³ /s)			貯水位 (EL.m)	流量 (m ³ /s)		
	底孔	越流部	全体		底孔	越流部	全体
126.700	5630.415	10704.343	16334.759	131.300	6124.121	18121.363	24245.484
126.800	5641.997	10849.480	16491.477	131.400	6133.889	18298.653	24432.542
126.900	5653.548	10995.365	16648.913	131.500	6143.617	18476.593	24620.211
127.000	5665.067	11141.996	16807.063	131.600	6153.307	18655.182	24808.489
127.100	5676.554	11289.371	16965.925	131.700	6162.959	18834.416	24997.375
127.200	5688.008	11437.487	17125.495	131.800	6172.574	19014.294	25186.869
127.300	5699.429	11586.342	17285.771	131.900	6182.153	19194.815	25376.968
127.400	5710.816	11735.934	17446.749	132.000	6191.696	19375.976	25567.671
127.500	5722.168	11886.260	17608.428	132.100	6201.203	19557.774	25758.978
127.600	5733.485	12037.319	17770.803	132.200	6210.677	19740.209	25950.887
127.700	5744.766	12189.107	17933.873	132.300	6220.118	19923.278	26143.396
127.800	5756.011	12341.623	18097.634	132.400	6229.527	20106.979	26336.506
127.900	5767.219	12494.865	18262.084	132.500	6238.905	20291.314	26530.215
128.000	5778.391	12648.830	18427.220	132.600	6248.252	20476.270	26724.522
128.100	5789.524	12803.516	18593.040	132.700	6257.571	20661.856	26919.427
128.200	5800.619	12958.920	18759.540	132.800	6266.862	20848.065	27114.928
128.300	5811.676	13115.042	18926.718	132.900	6276.127	21034.897	27311.025
128.400	5822.694	13271.878	19094.572	133.000	6285.367	21222.349	27507.717
128.500	5833.672	13429.426	19263.098	133.100	6294.584	21410.420	27705.004
128.600	5844.611	13587.684	19432.295	133.200	6303.778	21599.107	27902.884
128.700	5855.509	13746.650	19602.159	133.300	6312.951	21788.408	28101.359
128.800	5866.367	13906.322	19772.689	133.400	6322.106	21978.321	28300.427
128.900	5877.184	14066.698	19943.881	133.500	6331.243	22168.845	28500.087
129.000	5887.959	14227.775	20115.734	133.600	6340.364	22359.977	28700.340
129.100	5898.693	14389.551	20288.245	133.700	6349.471	22551.715	28901.186
129.200	5909.386	14552.025	20461.411	133.800	6358.566	22744.058	29102.624
129.300	5920.036	14715.194	20635.230	133.900	6367.651	22937.003	29304.654
129.400	5930.644	14879.056	20809.701	134.000	6376.727	23130.549	29507.276
129.500	5941.210	15043.609	20984.819				
129.600	5951.733	15208.851	21160.585				
129.700	5962.214	15374.780	21336.994	115.000	4169.350	0.000	4169.350
129.800	5972.652	15541.393	21514.045	127.000	5665.067	11141.996	16807.063
129.900	5983.047	15708.689	21691.736	132.270	6217.289	19868.291	26085.580
130.000	5993.399	15876.666	21870.065	133.880	6365.834	22898.366	29264.201
130.100	6003.708	16045.321	22049.030				
130.200	6013.975	16214.653	22228.628				
130.300	6024.199	16384.659	22408.857				
130.400	6034.379	16555.337	22589.717				
130.500	6044.518	16726.686	22771.204				
130.600	6054.614	16898.703	22953.317				
130.700	6064.668	17071.386	23136.054				
130.800	6074.680	17244.733	23319.413				
130.900	6084.650	17418.743	23503.393				
131.000	6094.579	17593.413	23687.992				
131.100	6104.467	17768.741	23873.207				
131.200	6114.314	17944.725	24059.039				

表-3.2.14 洪水吐の貯水位～放流量関係 (清水実験の流量係数より算定、No.3)

(2) 堤体部の実験

(i) 越流部水面形状

1) 校核水位における堤頂構造物との余裕高

貯水位が最も高くなる校核水位の水面と堤頂との余裕高を調査した。余裕高が最も小さくなる位置はピア-の先端部であり、図-3.2.13に示される水面形状から、ピア-の先端部の水位はEL.131.660mに形成される。一方、堤頂構造物である橋桁の下端標高は EL.133.500m であることから水面との余裕高は 1.80m となる。この余裕高は日本の設計基準「余裕高≧1.5m」を満足している。

また、ゲ-トビンに対しては3.5mの余裕高となる。越流頂から越流部に至る水面は越流面に沿って滑らかに流下し、特に問題のない流況である。

2) ピア-下流端のデフレクター

この実験に至るまでに、初歩設計の予備実験として集中配置方案の実験（模型縮尺1/120、1995年2月報告）が実施されている。その段階で図-3.2.14に示すピア-末端部にデフレクターを設置する改良が行われた。デフレクターがない場合の放流水脈はピア-と並行に放流されるため拡散効果が小さく、集中して下流河道に落下するため河床の洗掘規模が大きくなる流況に対し、デフレクターを設置した場合は、放流水脈の上部（越流面より2.5m以上の水脈）が内側に流向変換されることにより王冠状に丸く拡散し、空中で両隣りの水脈と干渉して減勢効果を高める結果を示している。今回の実験では、このデフレクターに若干の改良を加え、改良形状を図-3.2.14に示した。「改良2」については実験では実施していないが、実施設計時に考慮すべき点であろう。

「改良1」 放流水脈が左岸地山へ及ぼす影響を最小限にするため、越流部左岸端のデフレクター形状の改良

「改良2」 構造的に弱点となるデフレクター下流端の鋭縁形状の改良

(ii) 堤体の作用圧力

1) 底孔の形状

底孔の設計水深は36.27m (EL.132.27m-EL.96.0m) である。水深25m以上を高圧型放流管路とされていることから、本底孔は高圧型に区分される。また管路形状は全管路型放流管である。全管路型の場合、常時使用されるゲ-トは管出口に設置されるのが原則であるが、本底孔のように管路の途中に設ける場合には、ゲ-ト半開放流を行うとゲ-ト下流の圧力が極度に低下し好ましくないため全開全閉の操作が原則となる。

底孔流入部は上面にベルマウスを付した1面ベルマウス形状である。ベルマウスは空洞現象の発生を防止し、流れを滑らかに導くために挿入され、形状はオリフィスから流出するジェットの様子が基本となり一般に楕円曲線とされている。

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1 \dots\dots\dots (3.2.6)$$

ここに、X、Yはベルマウス終端断面の楕円中心を原点とし、水平、鉛直に取られた座標、a,bは管路の高さDを用いて $a=\alpha D, b=\beta D$ として標準化される。一般に $\alpha=0.5\sim 1.0, \alpha/\beta=3\sim 4$ を採用している管路が大部分であり、本底孔では $\alpha=1.0, \alpha/\beta=3$ としている。

$$\frac{X^2}{7^2} + \frac{Y^2}{(7/3)^2} = 1 \quad \dots\dots\dots (3.2.7)$$

このベルマウス形状においても、ベルマウス終端にかなりの負圧が発生する場合があるが、全管路型における管内の圧力調整は管路の下流部を絞ることによって可能である。絞りの割合は次式に示す圧力降下係数を参考として下流端断面を決定する。

$$C_d = (\Delta p/w)/V^2/2g \quad \dots\dots\dots (3.2.8)$$

ここに、 $\Delta p/w$ は貯水位と各点のピエゾ水頭の差、 $V^2/2g$ はベルマウス終端断面の速度水頭である。

ベルマウス形状が本底孔と同様の $\alpha=1.0, \alpha/\beta=3$ の場合、 $C_d=1.14\sim 1.19$ が日本の標準値となっており、本底孔では絞りをやや強くした $C_d=1.29$ を採用し、負圧が発生しにくい形状としている。なお、日本の設計基準では、「放流管路の許容負圧は-1.5～-3.0m水頭」とされている。

底孔の上流部に設置されるスルースゲートは、対象とする水頭が大きいことから高圧スライドゲートであり、ゲート戸溝およびゲート下端の戸当り部は図-3.2.4に示されるようにメタル構造としている。

2) 底孔部の作用圧力

底孔からの放流はゲート全開状態で行われるため、実験でもゲート全開状態を対象として流量が1/50、1/100、1/200、1/500、1/5000年確率流量について底孔内の作用圧力を調査した。結果を図-3.2.10、表-3.2.15に示す。

底孔内の作用圧力は測点7を除いて全て正圧である。最大圧力は測点1（流入部上面）で発生し22.7m水頭（1/500）であり、ベルマウス終端の測点3では9.64m水頭（1/500）に低下する。また、測点7では流量が1/200以下において-0.2～-0.3m水頭の負圧となっているが、測点7は管路上面の出口部であるため理論的に作用圧力はゼロになり、発生している負圧は測定誤差と考えられる。

この結果、底孔内に負圧の発生は認めらず、底孔は問題のない形状と判断される。

しかしながら、放水管内の流れは圧力が低い上に非常に高速であり、僅かな壁面の凹凸や不整の存在によって容易に空洞現象が生じ易いので、コンクリート放流管である本底孔においては、この点について特に十分な配慮が必要である。

底孔下流側の開水路部およびフリップバケット部についても負圧の発生は認められない。作用圧力が高まるフリップバケットの中間部では14～15m水頭の正圧が作用している。

3) 越流部の作用圧力

越流部の縦断形状はWESの標準越流形状に基づいて設計されており、クレストの上流側および下流側は次式に示す曲線で構成されている。

上流側

$$\frac{X^2}{4.691^2} + \frac{(2.701 - Y)^2}{2.701^2} = 1 \quad \dots\dots\dots (3.2.9)$$

下流側

$$X^{1.85} = 2 \times 16.17551^{0.85} Y \quad \dots\dots\dots (3.2.10)$$

越流部の作用圧力は、貯水位が校核水位および正常高水位の2水位について、ゲート部分開放および全開について調査を行った。結果を図-3.2.11~3.2.12、表-3.2.16 に示す。

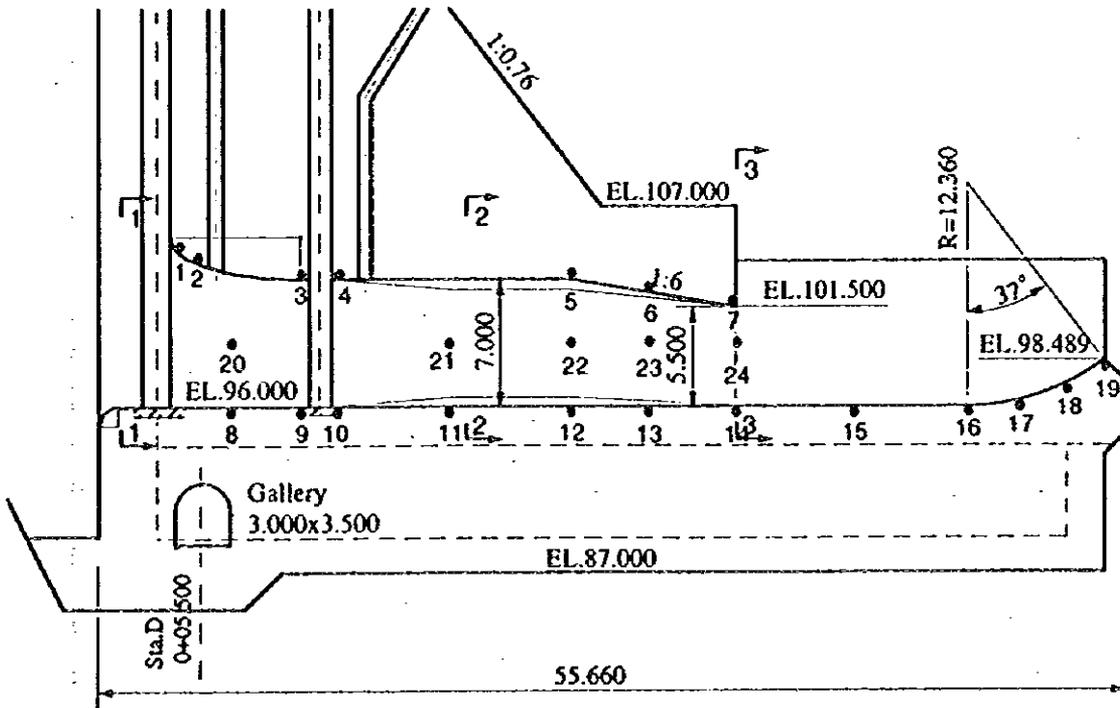
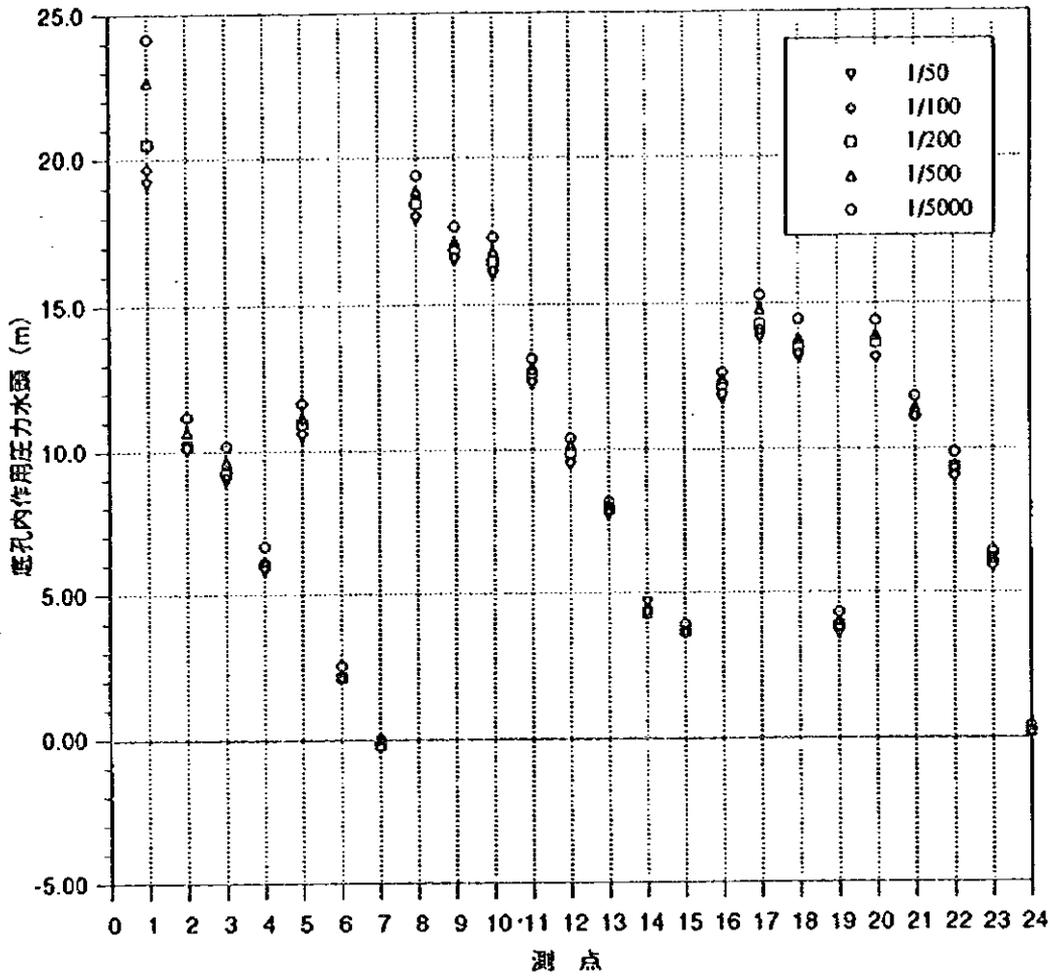
ゲート全開時には2水位とも負圧の発生は認められない。

ゲート半開時には両水位とも以下のような負圧が発生する。

貯水位が正常高水位の場合、ゲート開度が3mでゲート直下流の測点7で-0.09mの負圧が発生し、ゲート開度が0.5mで最大負圧となる-0.19m水頭が発生する。

貯水位が校核水位の場合、ゲート開度が5m以下でゲート直下流の測点6、7、8、9において負圧が発生し、最小負圧は-1.34m水頭（越流水頭の約1/14）である。

日本の設計基準では「越流部の許容負圧は-3.0m水頭」である。本越流部に発生する負圧は許容負圧の1/2以下であることから特に問題となることはなく、本越流部の縦断形状は妥当と判断される。しかしながら、施工に当たっては底孔と同様に、不整がなく十分に滑らかな流水面に仕上げる必要がある。



图一3.2.10 底孔内作用压力

ピエソ 番号	ピエソ標高 (E.L.m)	作 用 圧 力											
		1/50		1/100		1/200		1/500		1/5000			
		水頭(m)	標高(E.L.m)	水頭(m)	標高(E.L.m)	水頭(m)	標高(E.L.m)	水頭(m)	標高(E.L.m)	水頭(m)	標高(E.L.m)		
1	104.780	19.16	123.94	19.66	124.44	20.51	125.29	22.66	127.44	24.16	128.94		
2	103.950	10.11	114.06	10.16	114.11	10.21	114.16	10.71	114.66	11.21	115.16		
3	103.000	8.99	111.99	9.09	112.09	9.24	112.24	9.64	112.64	10.19	113.19		
4	103.000	5.81	108.81	5.91	108.91	6.06	109.06	6.16	109.16	6.66	109.66		
5	103.000	10.51	113.51	10.61	113.61	10.96	113.96	11.16	114.16	11.66	114.66		
6	102.300	2.11	104.41	2.11	104.41	2.11	104.41	2.11	104.41	2.51	104.81		
7	101.500	-0.30	101.20	-0.30	101.20	-0.20	101.30	0.00	101.50	0.00	101.50		
8	96.000	17.94	113.94	18.01	114.01	18.46	114.46	18.86	114.86	19.41	115.41		
9	96.000	16.50	112.50	16.61	112.61	16.91	112.91	17.16	113.16	17.66	113.66		
10	96.000	16.06	112.06	16.16	112.16	16.46	112.46	16.81	112.81	17.31	113.31		
11	96.000	12.26	108.26	12.36	108.36	12.66	108.66	12.81	108.81	13.16	109.16		
12	96.000	9.50	105.50	9.56	105.56	9.91	105.91	10.16	106.16	10.41	106.41		
13	96.000	7.70	103.70	7.76	103.76	7.91	103.91	8.06	104.06	8.16	104.16		
14	96.000	4.66	100.66	4.36	100.36	4.31	100.31	4.41	100.41	4.41	100.41		
15	96.000	3.61	99.61	3.66	99.66	3.66	99.66	3.66	99.66	3.91	99.91		
16	96.000	11.71	107.71	11.91	107.91	12.21	108.21	12.41	108.41	12.66	108.66		
17	96.380	13.84	110.22	14.09	110.47	14.29	110.67	14.79	111.17	15.29	111.67		
18	97.380	13.14	110.52	13.29	110.67	13.54	110.92	13.79	111.17	14.45	111.83		
19	98.350	3.56	101.91	3.81	102.16	3.86	102.21	4.01	102.36	4.31	102.66		
20	99.500	13.10	112.60	13.16	112.66	13.66	113.16	13.91	113.41	14.41	113.91		
21	99.500	11.06	110.56	11.10	110.60	11.16	110.66	11.41	110.91	11.81	111.31		
22	99.500	9.00	108.50	9.01	108.51	9.36	108.86	9.41	108.91	9.86	109.36		
23	99.500	5.91	105.41	5.91	105.41	6.16	105.66	6.16	105.66	6.41	105.91		
24	99.500	0.16	99.66	0.16	99.66	0.16	99.66	0.21	99.71	0.36	99.86		

表-3.2.15 底孔の作用圧力

貯水位EL.127.000m (正常高水位)

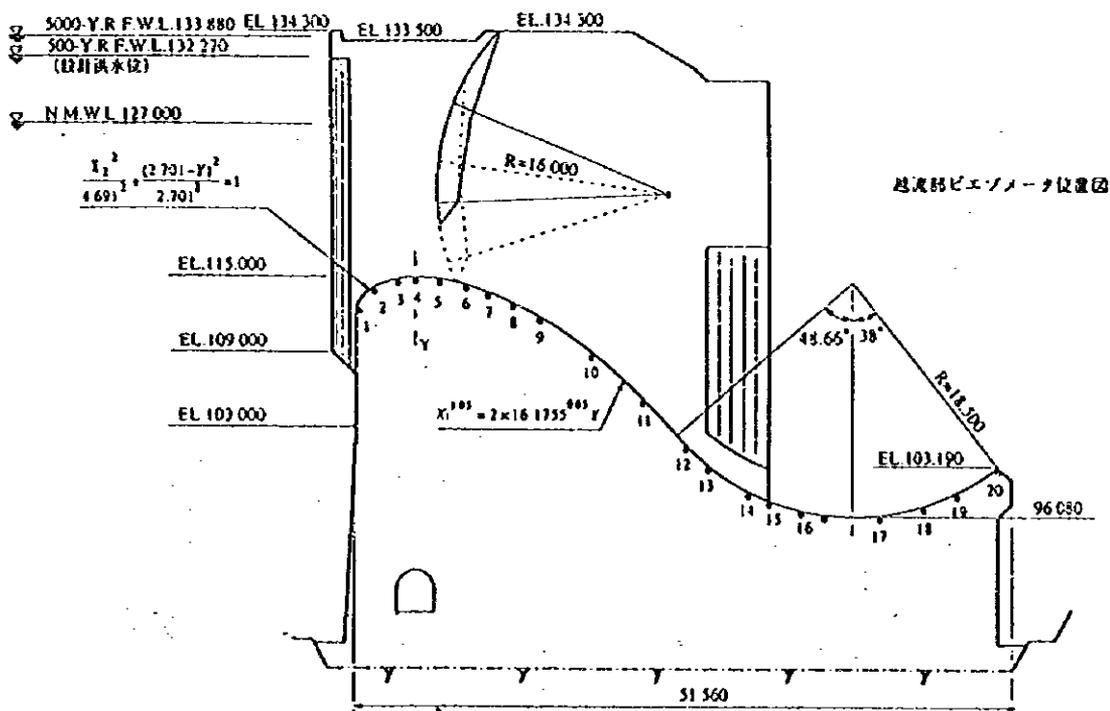
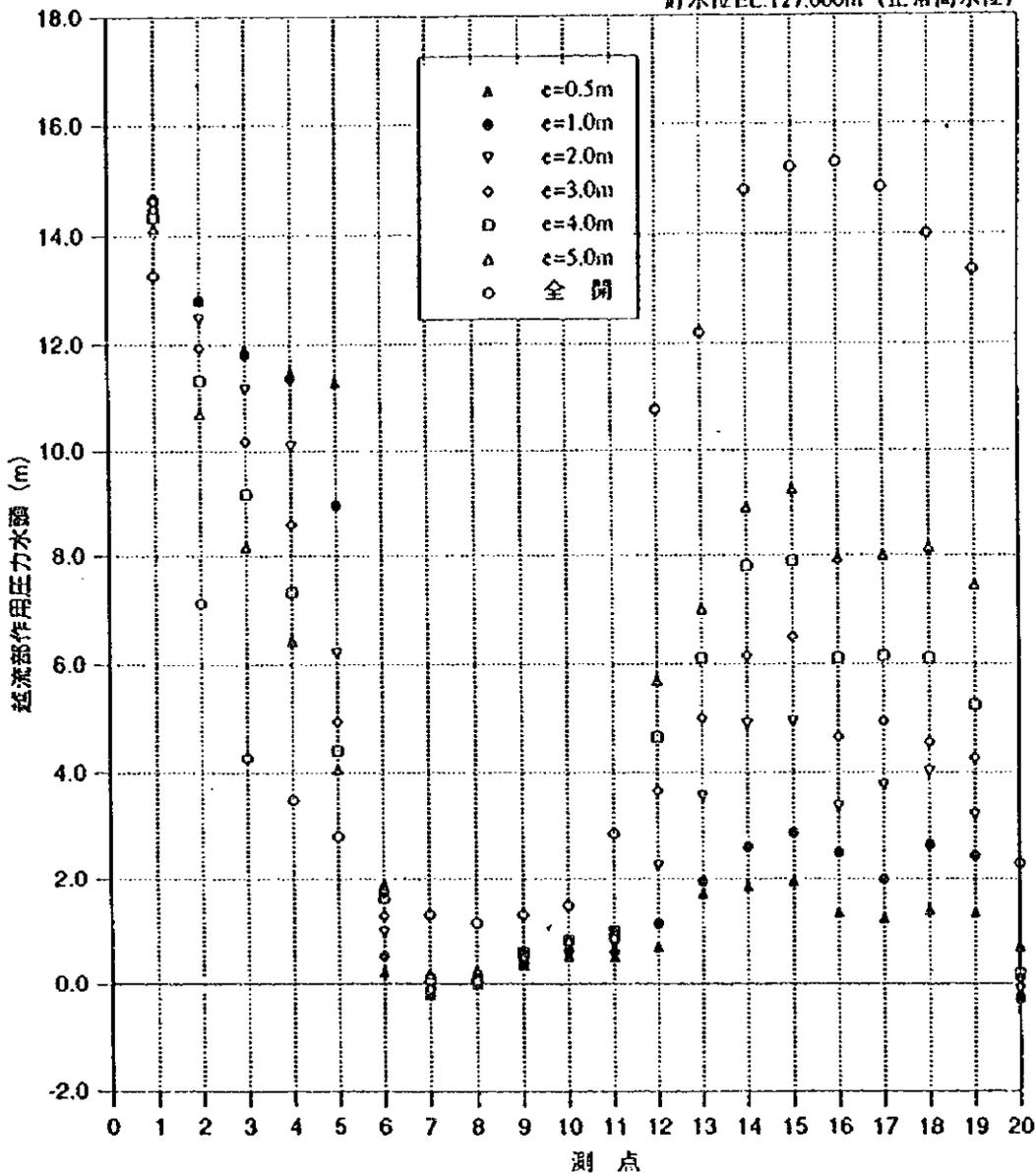


図-3.2.11 越流部の作用圧力水頭 (正常高水位)

水面形状：1/5000

距離 (m)	水位 (EL.m)
-25	132.91
-20	132.76
-15	132.66
-10	132.51
-5	132.31
0	131.66
5	130.28
10	128.22
15	125.22
20	121.76
25	118.05
30	113.38
35	111.62
40	112.18
45	117.35
50	115.5
55	114.85

距離：1/7—先端基準

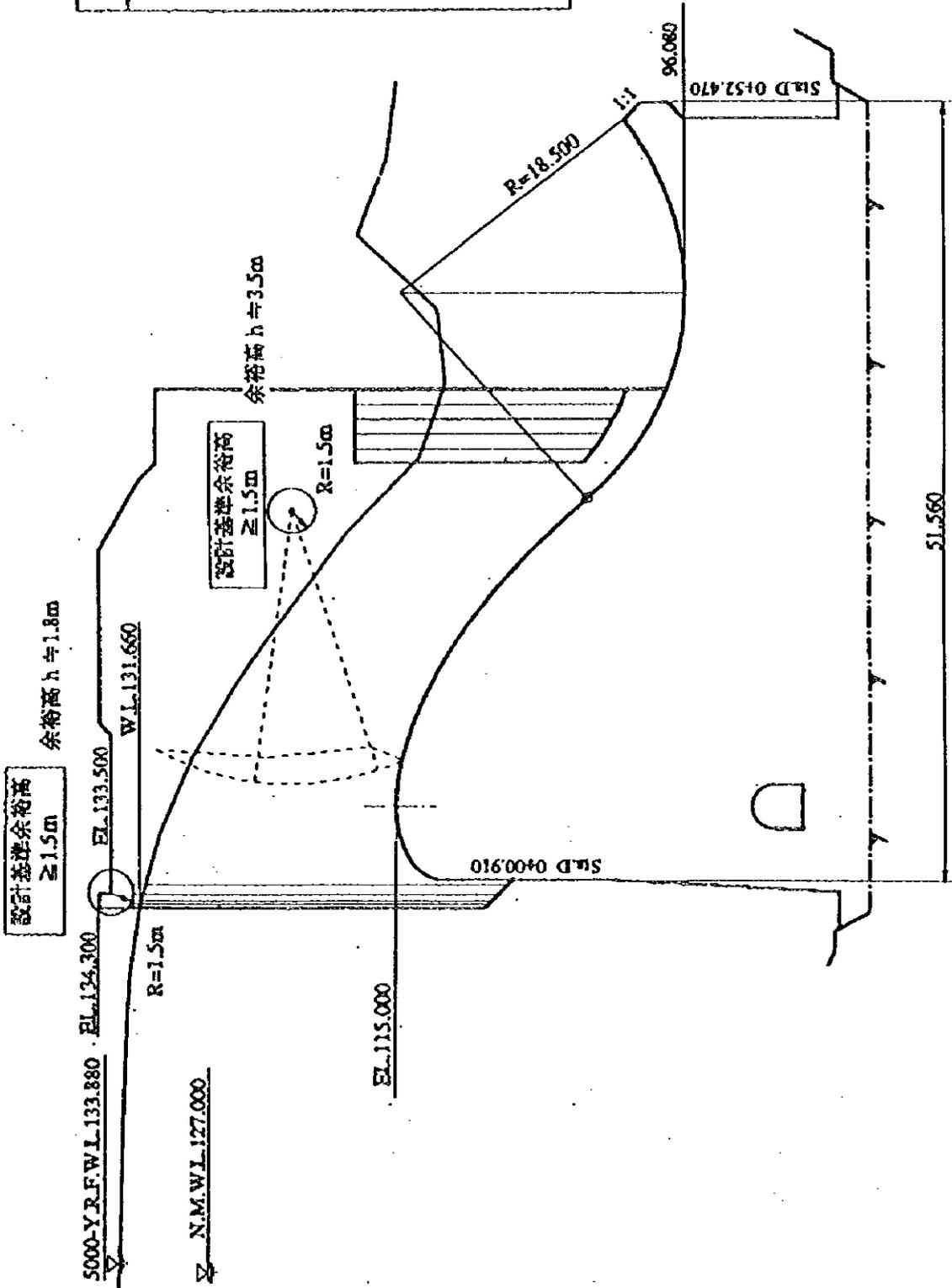


图-3.2.13 溢流水面形状 (校核洪水水位)

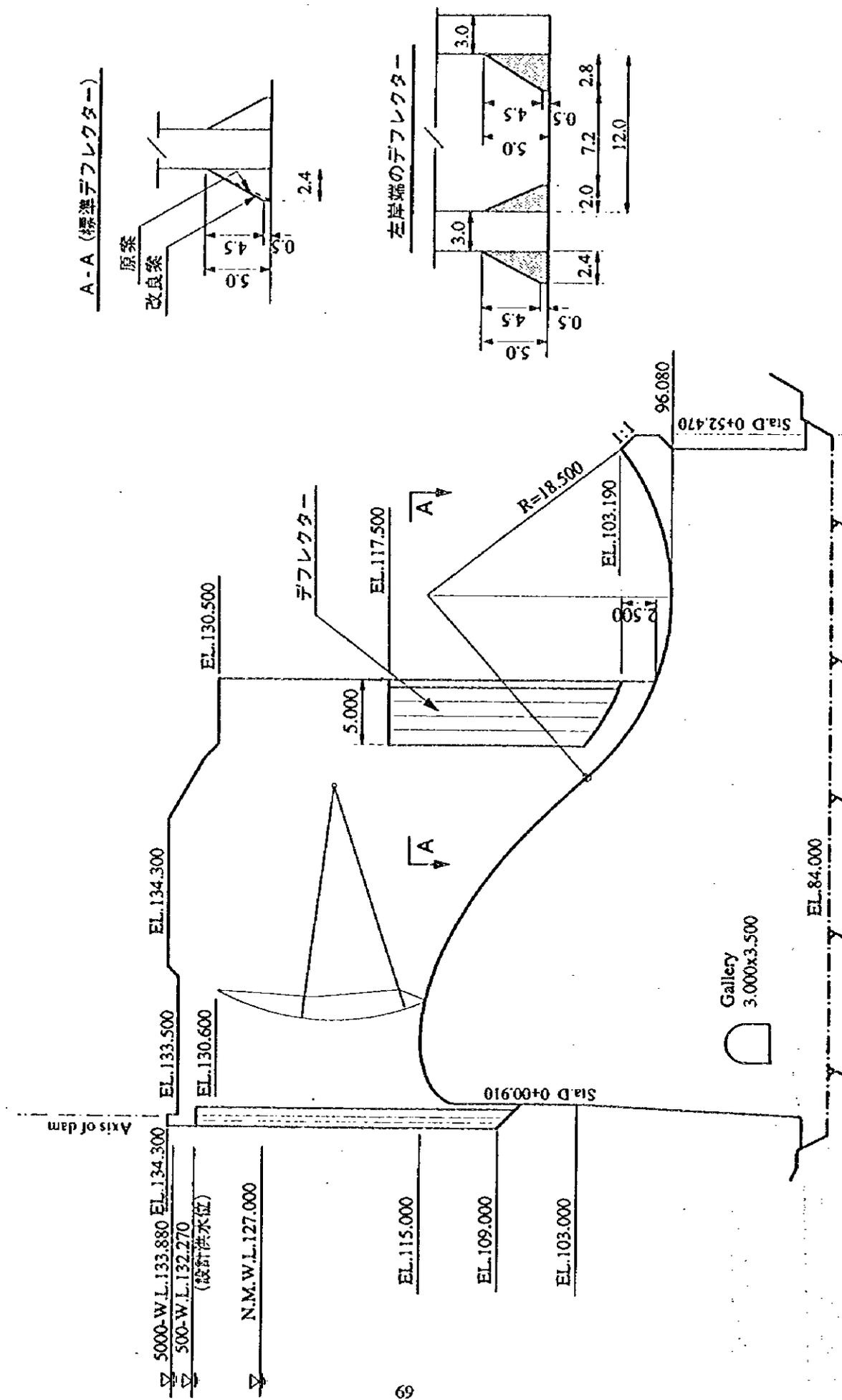


図-3.2.14 デフレクターの改良形状

貯水位EL.127.000m(正常高水位)

測点	越流部作用圧力水頭 (m)						全開
	e=0.5m	e=1.0m	e=2.0m	e=3.0m	e=4.0m	e=5.0m	
1	14.69	14.69	14.59	14.49	14.34	14.14	13.29
2	12.84	12.84	12.49	11.94	11.34	10.69	7.14
3	11.93	11.83	11.18	10.18	9.18	8.18	4.28
4	11.49	11.39	10.09	8.59	7.34	6.44	3.49
5	11.31	8.96	6.21	4.96	4.41	4.06	2.81
6	0.24	0.54	0.99	1.29	1.64	1.89	1.76
7	-0.19	-0.19	-0.14	-0.09	0.1	0.2	1.31
8	0.01	0.01	0.01	0.06	0.11	0.26	1.16
9	0.36	0.41	0.51	0.51	0.61	0.61	1.31
10	0.54	0.64	0.74	0.79	0.84	0.84	1.49
11	0.51	0.61	0.76	0.86	1.01	1.01	2.86
12	0.71	1.16	2.26	3.66	4.66	5.71	10.76
13	1.72	1.96	3.56	5.01	6.11	7.01	12.21
14	1.86	2.61	4.91	6.16	7.81	8.91	14.81
15	1.96	2.88	4.96	6.51	7.91	9.26	15.21
16	1.36	2.51	3.36	4.66	6.11	7.96	15.31
17	1.26	2.01	3.76	4.96	6.16	8.01	14.86
18	1.41	2.66	4.01	4.56	6.11	8.16	14.01
19	1.36	2.46	3.21	4.26	5.26	7.46	13.36
20	-0.24	-0.24	-0.09	0.11	0.21	0.71	2.31

e: ゲート純開度

貯水位EL.133.880m(校核水位)

測点	越流部作用圧力水頭 (m)						全開
	e=0.5m	e=1.0m	e=2.0m	e=3.0m	e=4.0m	e=5.0m	
1	21.69	21.54	21.39	21.34	20.94	20.79	18.19
2	19.79	19.59	19.09	18.24	17.44	16.34	7.14
3	18.93	18.58	17.43	15.78	14.28	12.63	3.28
4	18.64	17.94	15.69	13.14	11.19	9.49	2.39
5	17.56	14.46	9.46	6.96	5.81	4.86	1.81
6	-0.51	-0.26	-0.01	0.19	0.19	0.24	0.94
7	-0.39	-0.69	-1.14	-1.34	-1.34	-1.29	0.51
8	0.61	-0.09	-0.54	-0.89	-1.19	-1.24	1.26
9	0.71	0.66	0.41	0.21	-0.14	-0.39	2.56
10	0.84	0.79	0.79	0.59	0.54	0.54	6.74
11	0.76	0.76	0.76	0.76	0.96	1.26	13.66
12	1.31	2.21	3.96	5.81	7.06	8.36	20.71
13	1.46	2.56	4.61	6.66	8.16	9.71	21.51
14	2.11	3.31	6.16	8.71	12.41	12.81	25.06
15	2.76	4.01	6.76	9.26	14.21	13.51	25.86
16	1.46	2.81	5.56	8.01	8.76	11.06	27.46
17	1.36	2.66	5.26	6.71	9.76	12.01	29.41
18	1.81	3.91	6.11	7.81	9.91	12.26	29.36
19	1.76	3.36	5.36	6.61	8.61	10.26	26.36
20	-0.14	-0.09	0.11	0.31	0.56	1.06	7.51

e: ゲート純開度

表-3.2.16 越流部作用圧力

(3) 減勢工部（フリップバケット）の実験

底孔および越流部のフリップバケットの半径およびリップ角等の基本諸元については、前述の「集中配置方案の実験、模型縮尺1/120、1995年2月報告」により比較検討がなされ、最適形状として次表の諸元に決定している。

両放流部のフリップバケットから下流河道に至る縦断水面形状を、1/50から1/5000年確率流量に至る5種類の流量について調査した結果を図-3.2.15～3.2.21に示す。

表-3.2.17 フリップバケットの諸元

	バケット半径	リップ角	リップ標高
底孔	R=12.360m	$\theta=38^\circ$	EL.98.489
越流部	R=18.500m	$\theta=38^\circ$	EL.103.190

1) 底孔部フリップバケットの飛散水脈

各流量とも放流水脈は飛散状態を呈し、放流水脈の下面には空間が維持されて安定した流況を呈している。管路からの放流であるため、貯水位が変化しても放流量の変化は小さく単位幅流量として $60\text{m}^3/\text{s}/\text{m} \sim 65\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ の範囲であり、流況的な変化も小さい。底孔の単位幅流量と放流水脈の飛距離（放流水脈上面の入水距離）の関係を図-3.2.22に示す。この結果によれば貯水位が変化しても飛距離はほぼ一定で、フリップバケットから46m～49m下流地点に落下する。

2) 越流部フリップバケットの飛散水脈

越流部の天端はEL.115mであるが、貯水位がEL.130.47mから越流ゲート部分開放により放流（1/100確率流量）が行われ、貯水位が校核水位EL.133.88mでゲート全開放流となる。越流部フリップバケットの単位幅流量と放流水脈の飛距離の関係を図-3.2.22に示す。

流量が1/100～1/500においては、飛距離はフリップバケットから下流50m～54mであるが、流量が1/5000においては飛距離は37m程度に短くなる。これはデフレクター地点の水脈が厚くなるためデフレクターの流向変換の影響が顕著となり、全体的に水脈が上向きに射出されることとなり、飛距離が減少するためである。この流況でも発生頻度から判断して特に問題はないと考えられる。

(4) 下流河道の実験

1) 水位および流況

下流河道の水位～流量関係は、図-3.2.23に示す設計院貸与資料に基づいて、ダム軸より下流370m地点で与えた。実験では洪水吐の下流を固定床および移動床の2種類について検討を行った。

固定床河道における河道部の流況は、写真-3.2.1～3.2.9に見られるように、各放流条件ともバケットからの飛散水脈が減勢されることなく射流の高流速で流下している。特に底孔から単独放流となる1/50年確率流量では、河道水位が低いうえに放流水脈の左岸方向への拡散が進まないため、河道の右岸側を200m以上の距離を高流速で流下する流況を示す。

移動床河道では、写真-3.2.10～3.2.13に見られるように、各放流条件とも放流水脈の落下点に形

成された水罅池（減勢池）により減勢され、常流の比較的低流速で下流河道を流下する。

このように、洪水吐下流側の流況、水位および流速は、両条件で大きな相違が現れる。河床堆積物が5m厚程度、その下層に5m厚程度の風化岩がある現地の河床条件を勘案すると、水罅池は自然に形成されると考えられ、移動床の流況が実際の流況に近いものと考えられる。ここでは河床が移動床の場合に発生する水位を主対象として検討を行う。

発電所放水路の導流壁天端高（1/200確率流量で設計）と導流壁沿いで測定した水位の関係は次表に示すとおりであり、設計流量において導流壁天端高より0.07m低く設計を満足している。設計流量を超過した1/500および1/5000年確率流量では各々0.9mおよび2.9m程度導流壁天端高を上回る水位となる。

表-3.2.18 発電所放水路の導流壁天端高と河道水位の関係

流量 (m ³ /s)	1/50	1/100	1/200	1/500	1/5000
水位 (EL.m)	97.1	101.05	101.73	102.69	104.65
導流壁天端高 (EL.m)	101.80				

2) 流速分布

下流河道の流速分布は、固定床および移動床について測定を行った。結果を図-3.2.24~3.2.28（固定床）、図-3.2.29~3.2.33（移動床）に示す。

両河床条件における概略の流況は前述の様であり、ここでは移動床の流速分布について述べる。

底孔の単独放流となる1/50年確率流量では、Sta.D 0+100付近に飛散水脈が落下する。水罅池より下流側では6~7m/s程度の流速がSta.D 0+250付近まで分布しており、その下流側Sta.D 0+350では8~9m/s程度に加速された流速分布となる。

底孔と越流部の同時放流となる1/100年確率流量以上では、洪水吐からの流れが河道全幅に亘って流下する。1/100年確率流量では底孔下流側の流速が越流部下流側より大きく、1/200ではほぼ同等となり、1/500年確率流量以上では越流部下流側の流速が大きくなる。

洪水吐の直下流からSta.D 0+200m付近までは、左岸地山沿いに高流速に発生している。1/200年確率流量で6.3m/s、1/500年確率流量で9.6 m/sである。この区間については護岸等の保護工が必要と考えられる。

3) 河床の洗掘形状

ダムサイトの地層地質図によると、ダム軸から下流に向かって玄武岩質安山岩が徐々に薄くなり、ダム軸下流120mの河床左岸に下層の凝灰質礫岩が扇形状に路頭しており、右岸側はダム軸から下流の玄武岩質安山岩は厚く分布している。河床部は被覆層が最大で5m厚で分布している。

このような地質条件から、実験における移動床は、比較的脆弱な風化岩である河道左岸側（越流部）と弱風化岩で比較的硬い岩の右岸側（底孔部）の2種類に分け、粒径の異なる砂利を使用した。

粒径の算定は中国で用いられている次の経験式によった。

これにより、風化岩の粒径1.0cm~2.5cm、弱風化岩の粒径1.5cm~3.5cmとなる。

$$V = K\sqrt{d} \dots\dots\dots (3.2.11)$$

ここに、V：洗掘対抗流速 (m/s)

風化岩 ; 8m/s

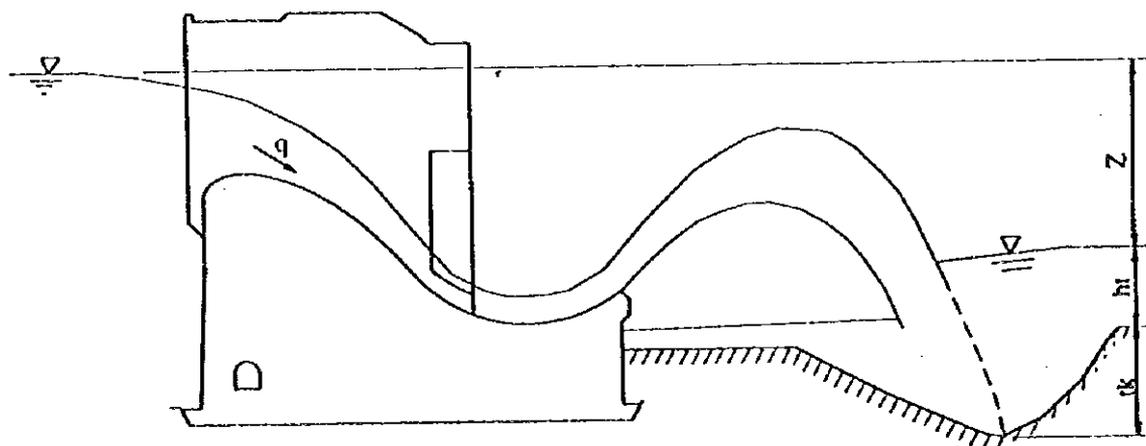
弱風化岩 ; 10m/s

K：係数 ; 5~8

d：河床材料の粒径 (cm)

河床洗掘の実験は、流量が1/50から1/5000確率流量までの5種類について行い、通水時間は洗掘が安定した形状になるまでとし、縦断の洗掘形状を図-3.2.15~3.2.19に示す。なお、洗掘形状の測定位置は図-3.2.1に示すように、底孔部は右岸か4門目の延長線上、越流部は左岸から6門目の延長線上を代表断面とした。

洗掘深については、次式に示す中国の設計基準に基づいた減勢池洗掘深の計算結果と対比して次表に示す。



$$t_s = k_s \cdot q^{0.5} Z^{0.25} - h_t \dots\dots\dots (3.2.12)$$

- ここに、 t_s : 洗掘深 (m)
- k_s : 係数 =1.05
- q : 単位幅流量 ($m^3/s/m$)
- Z : 上下流の水位差 (m)
- h_t : 下流側水深 (m)

表-3.2.19 底孔部下流河道の洗掘

確率年	上流水位 (EL.m)	下流水位 (EL.m)	単位幅 流量 (m ³ /s/m)	洗掘深 tk(m)		洗掘標高(EL.m)		ジェット飛 距離L(m)	L/tk
				計算値	実測値	計算値	実測値		
1/50	130.24	97.43	61.04	16.20	12.30	78.41	81.70	59.0	4.57
1/100	130.47	100.33	61.34	12.94	12.41	81.07	81.59	53.0	4.17
1/200	131.25	101.28	62.36	12.12	12.65	81.88	81.35	53.0	4.19
1/500	132.27	101.51	63.27	12.16	12.72	81.85	81.28	53.0	4.27
1/5000	133.88	104.03	64.89	9.74	12.90	84.53	81.10	51.0	4.15

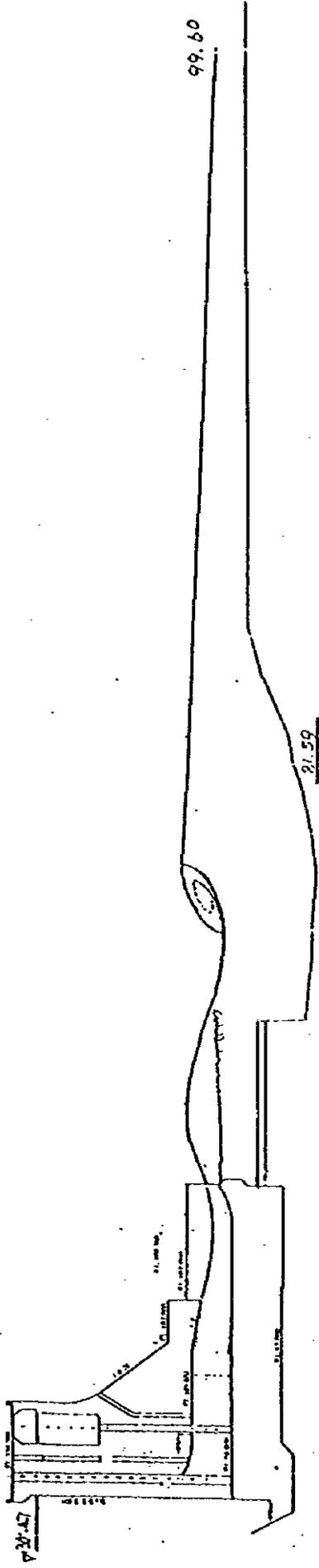
(L/tkは実測値で算定)

表-3.2.20 越流部下流河道の洗掘

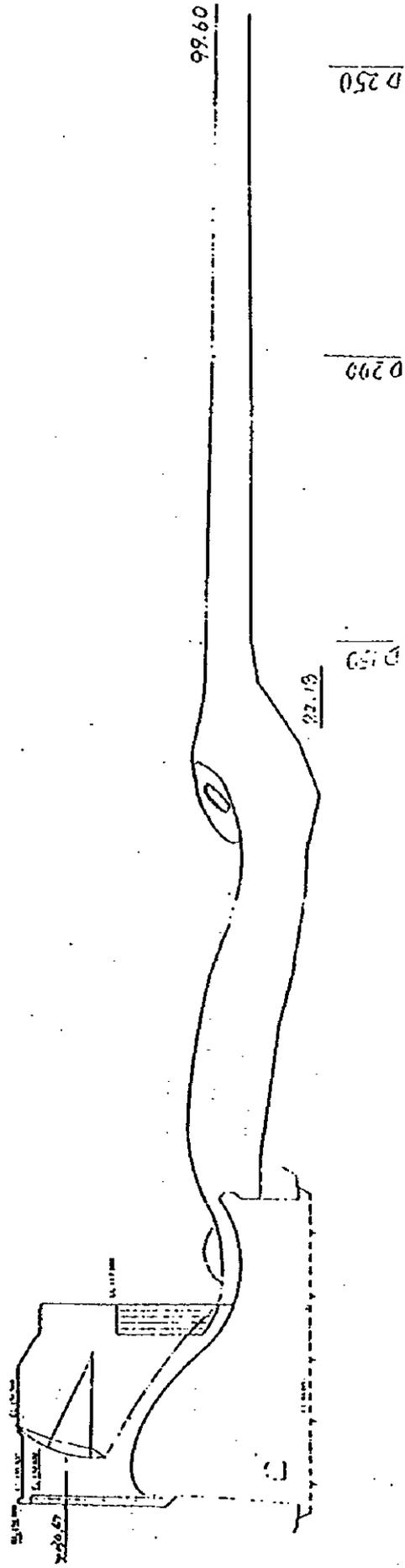
確率年	上流水位 (EL.m)	下流水位 (EL.m)	単位幅流量	洗掘深 tk(m)		洗掘標高(EL.m)		ジェット飛 距離 L(m)	L/tk
				計算値	実測値	計算値	実測値		
1/50									
1/100	130.47	100.33	43.17	9.83	11.82	84.17	82.18	69	5.84
1/200	131.25	101.28	63.62	12.32	16.32	81.68	77.68	69	4.23
1/500	132.27	101.51	68.31	12.93	17.00	81.07	77.00	69	4.06
1/5000	133.88	104.03	139.76	18.98	19.60	75.02	74.40	64	3.27

中国の経験によれば洗掘勾配の影響範囲は約2.5とされており、縦断の洗掘形状から見るとダム基礎に及ぼす影響の可能性は少ないと考えられる。

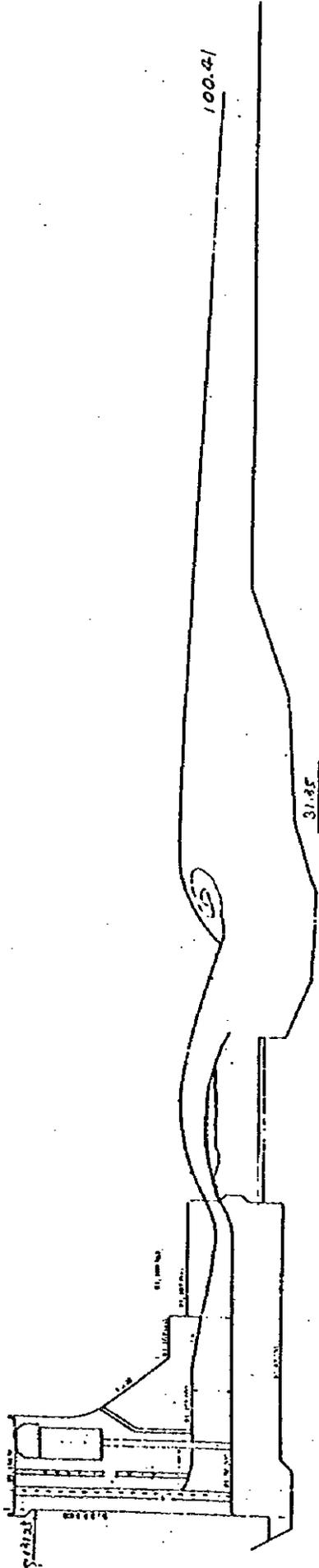
また、右岸側発電所放水路の導流壁に対しては、導流壁は底孔から約30m離れており、底孔部の最大洗掘EL.81.1mを基準として、上記勾配により影響範囲を算定すると導流壁地点でEL.93.1mとなる。この高さはほぼ導流壁地点の現河床高に相当することから導流壁基部に及ぼす洗掘の影響はないと言える。



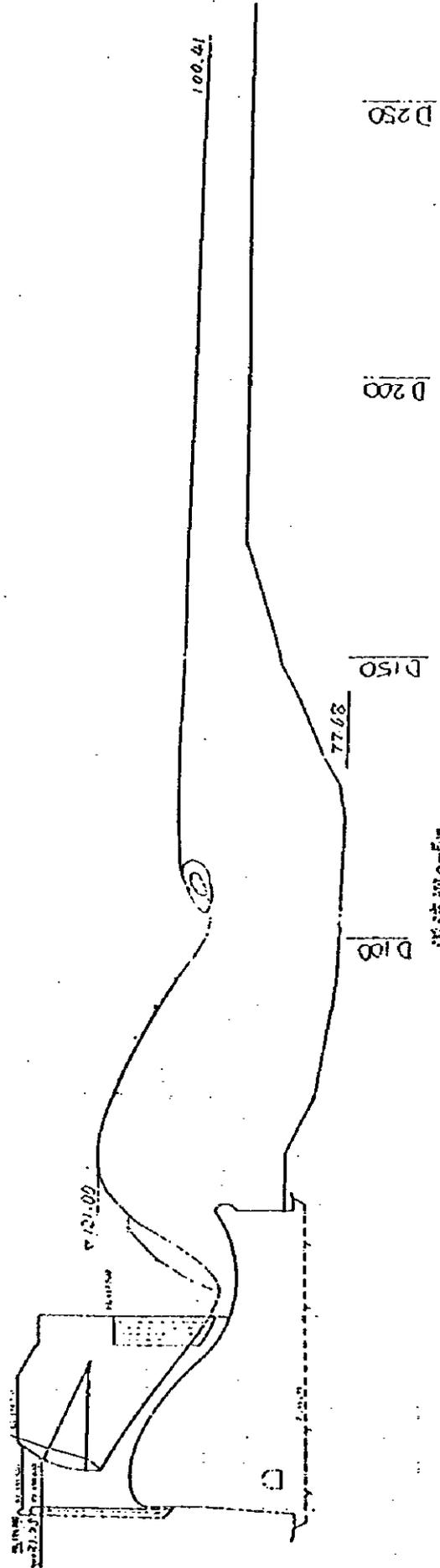
底孔



溢流堰e=5m 図-3.2.16 洪水吐縦断水面形状および下流河道部の河床洗掘状況 (流量: 1/100)

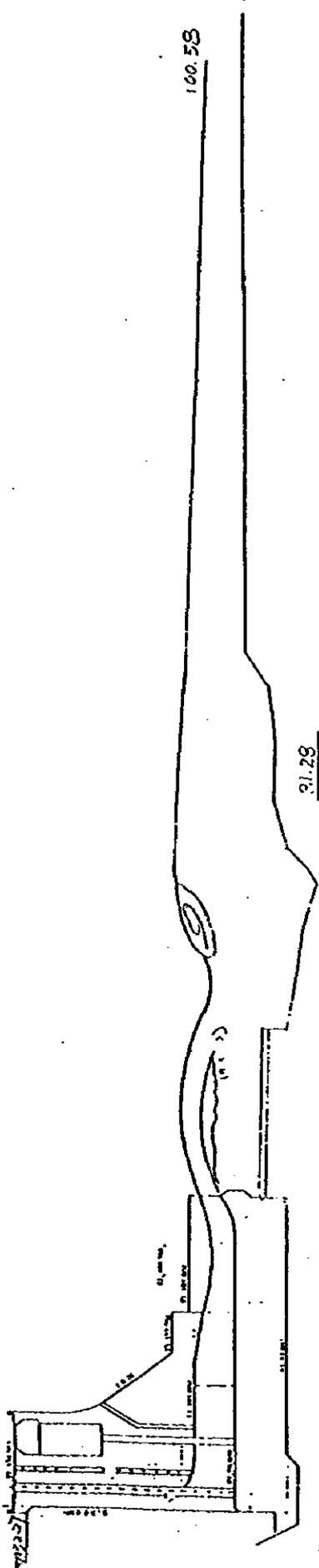


底孔

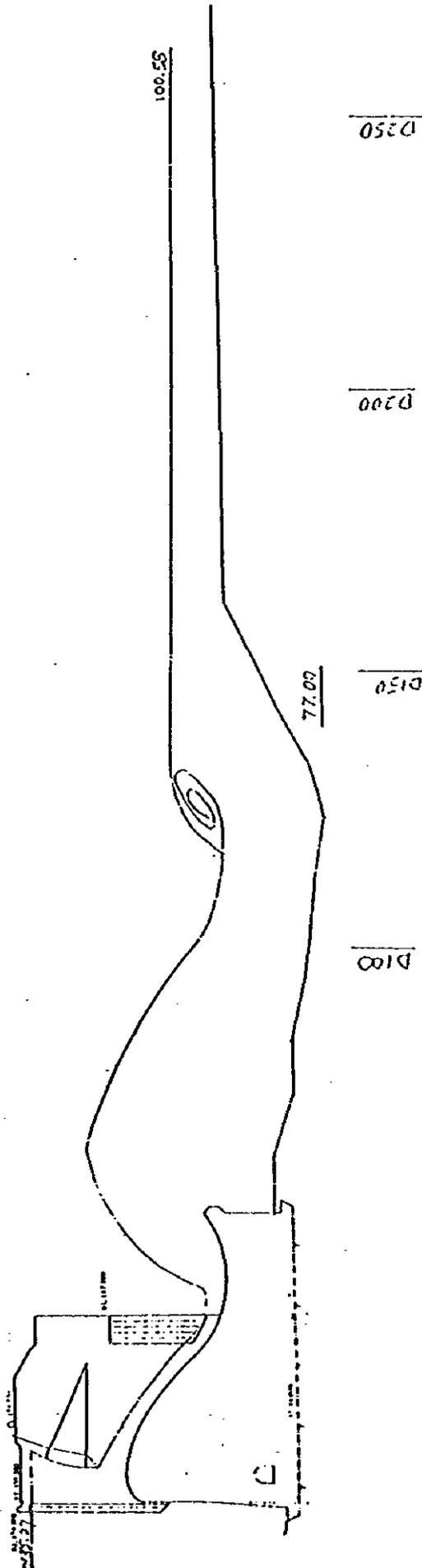


溢流坝e=5m

图-3.2.17 洪水吐縦断水面形状および下流河道部の河床洗掘状況 (流量: 1/200)

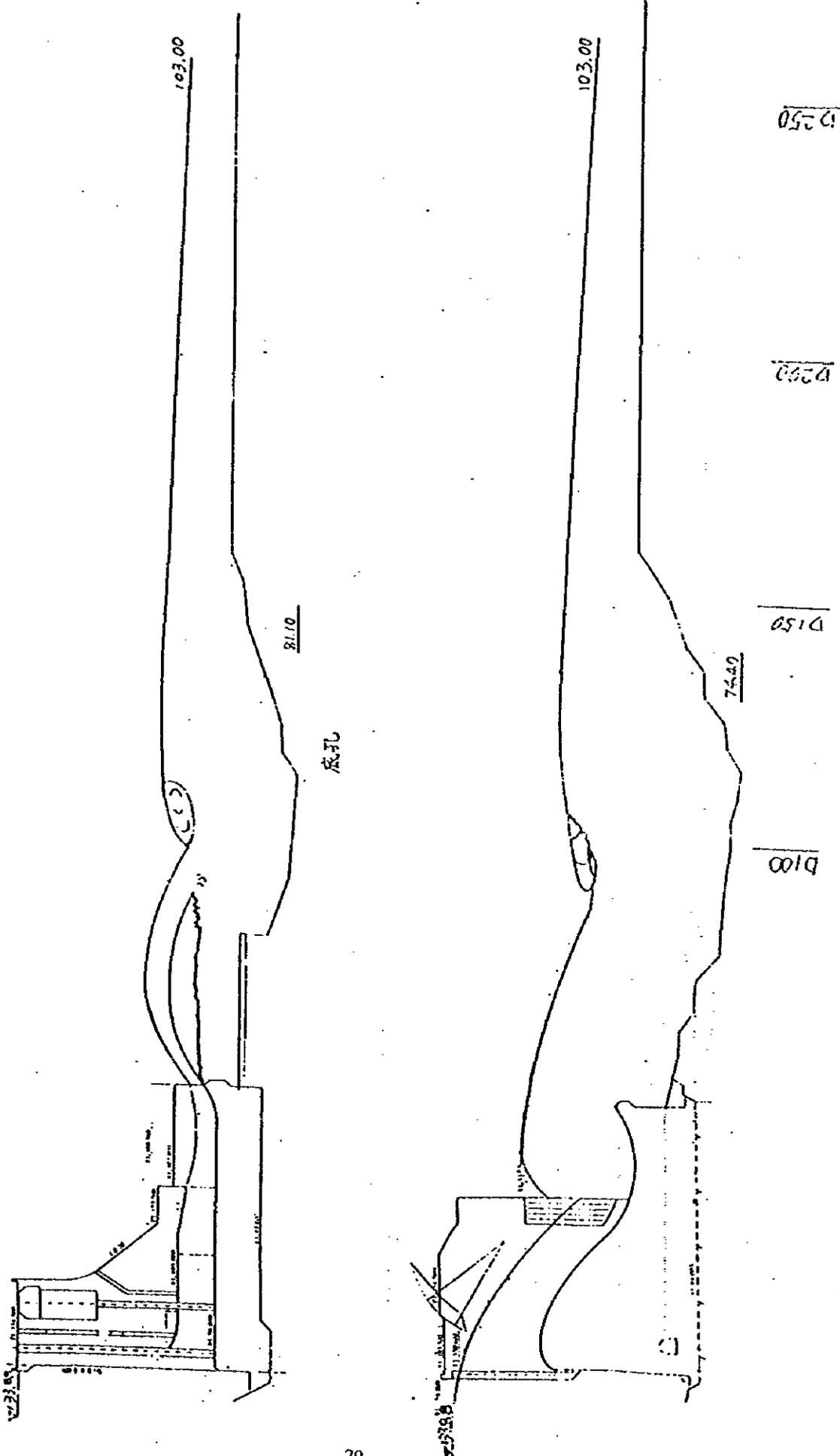


底孔



溢流坝

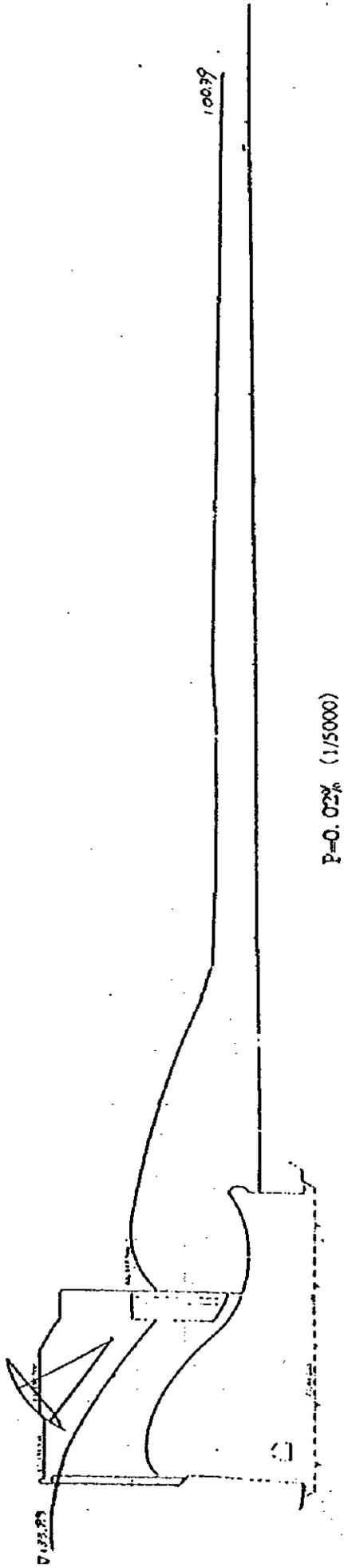
図一3.2.18 洪水吐縦断面形状および下流河道部の河床洗掘状況 (流量: 1/500)



底孔

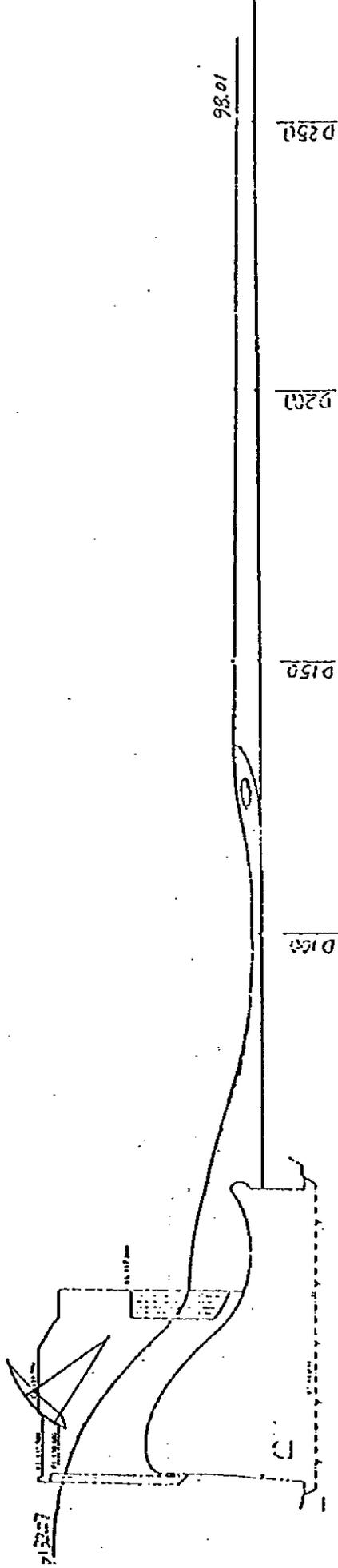
図-3.2.19 洪水吐縦断面水面形状および下流河道部の河床洗掘状況 (流量: 1/5000)

溢流坝全开



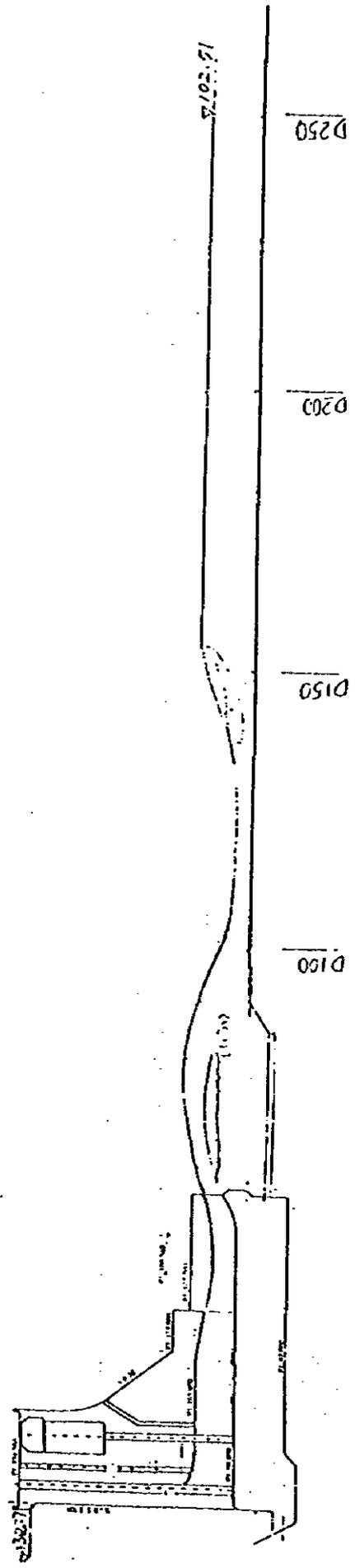
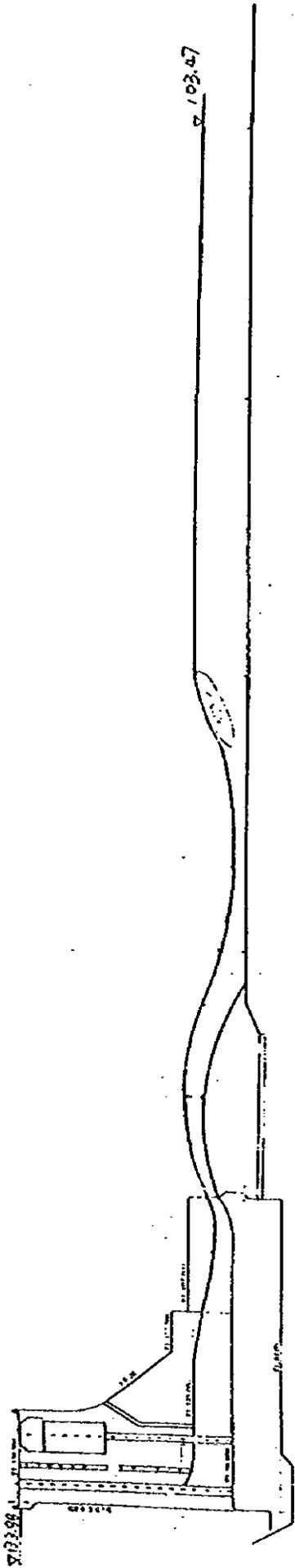
P=0.02% (1/5000)

08

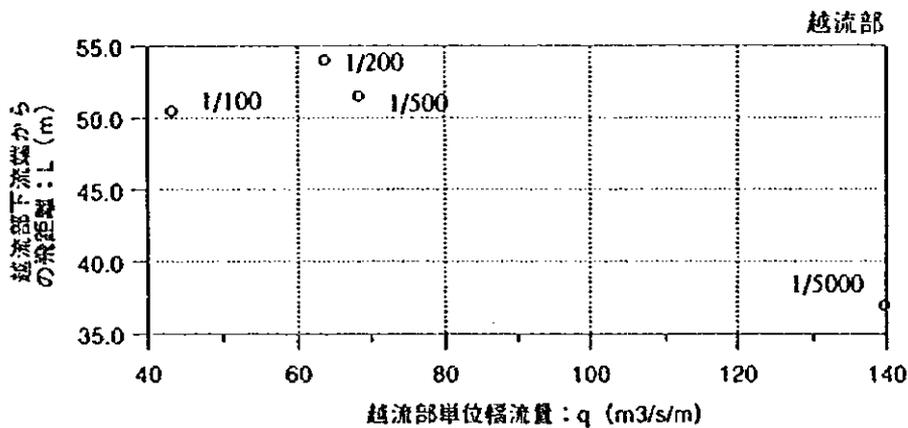
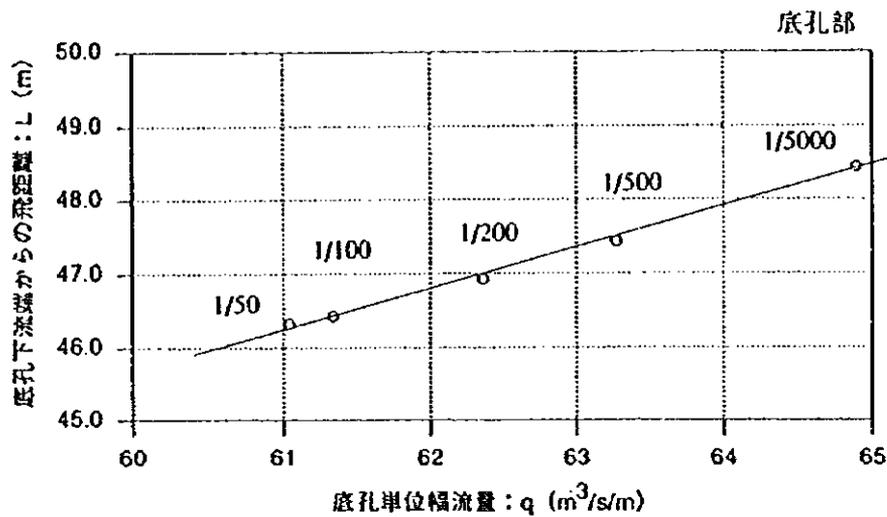


P=0.2% (1/500)

图一3.2.20 超流部水面形状 (1/5000、1/500、固定床)



图一3.2.21 底部水面形状 (1/5000、1/500、固定床)



底孔

確率年	貯水位 (EL.m)	単位幅流量 (m³/s/m)	飛散距離 (m)
1/5000	133.88	64.89	48.43
1/500	132.27	63.27	47.43
1/200	131.25	62.36	46.93
1/100	130.47	61.34	46.43
1/50	130.24	61.04	46.93

越流部

確率年	貯水位 (EL.m)	単位幅流量 (m³/s/m)	飛散距離 (m)
1/5000	133.88	139.76	37.00
1/500	132.27	68.31	51.50
1/200	131.25	63.62	54.00
1/100	130.47	43.17	50.50

図-3.2.22 フリップバケットからの飛距離

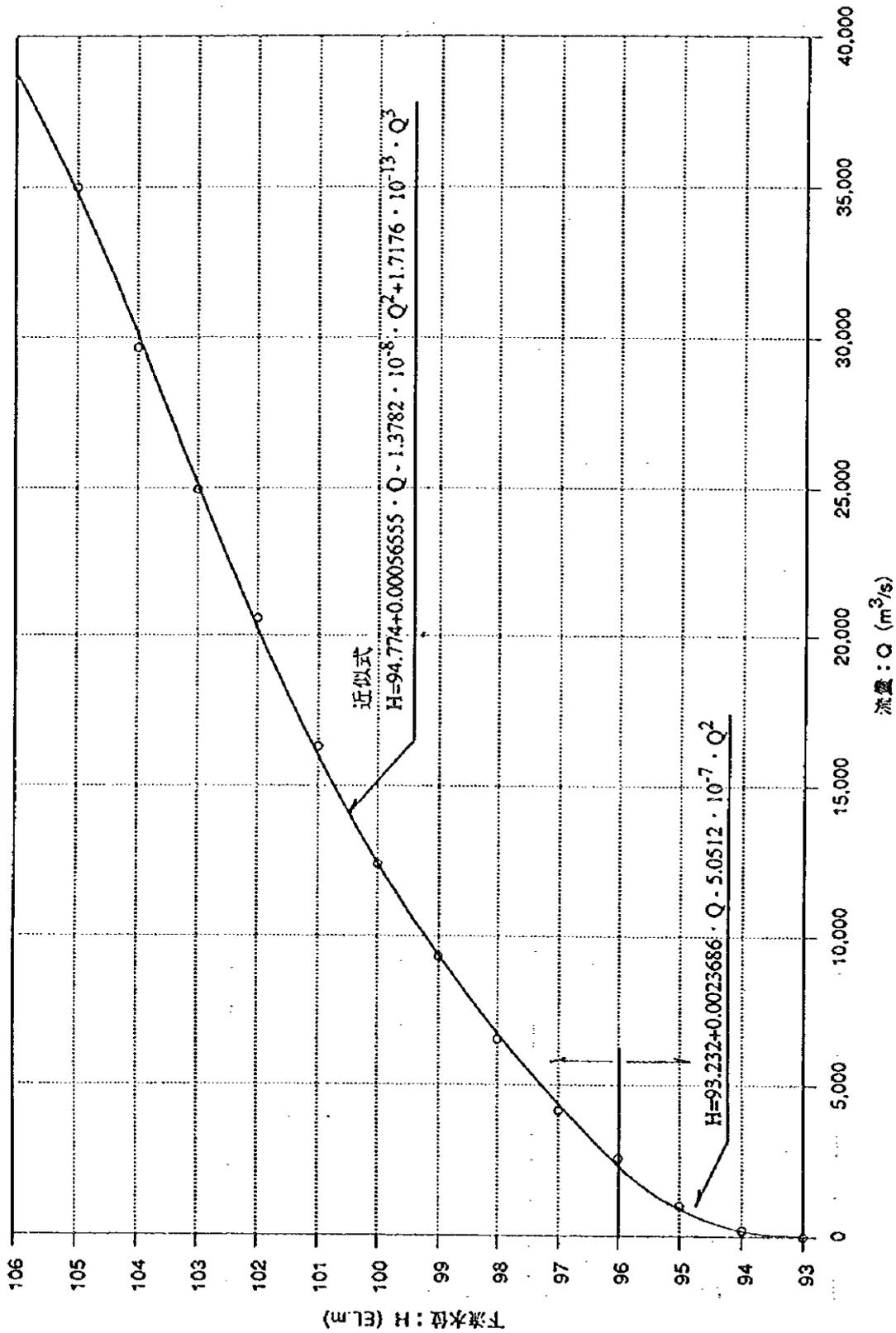


図-3.2.23 白石ダム下流120m地点の河道水位～流量関係

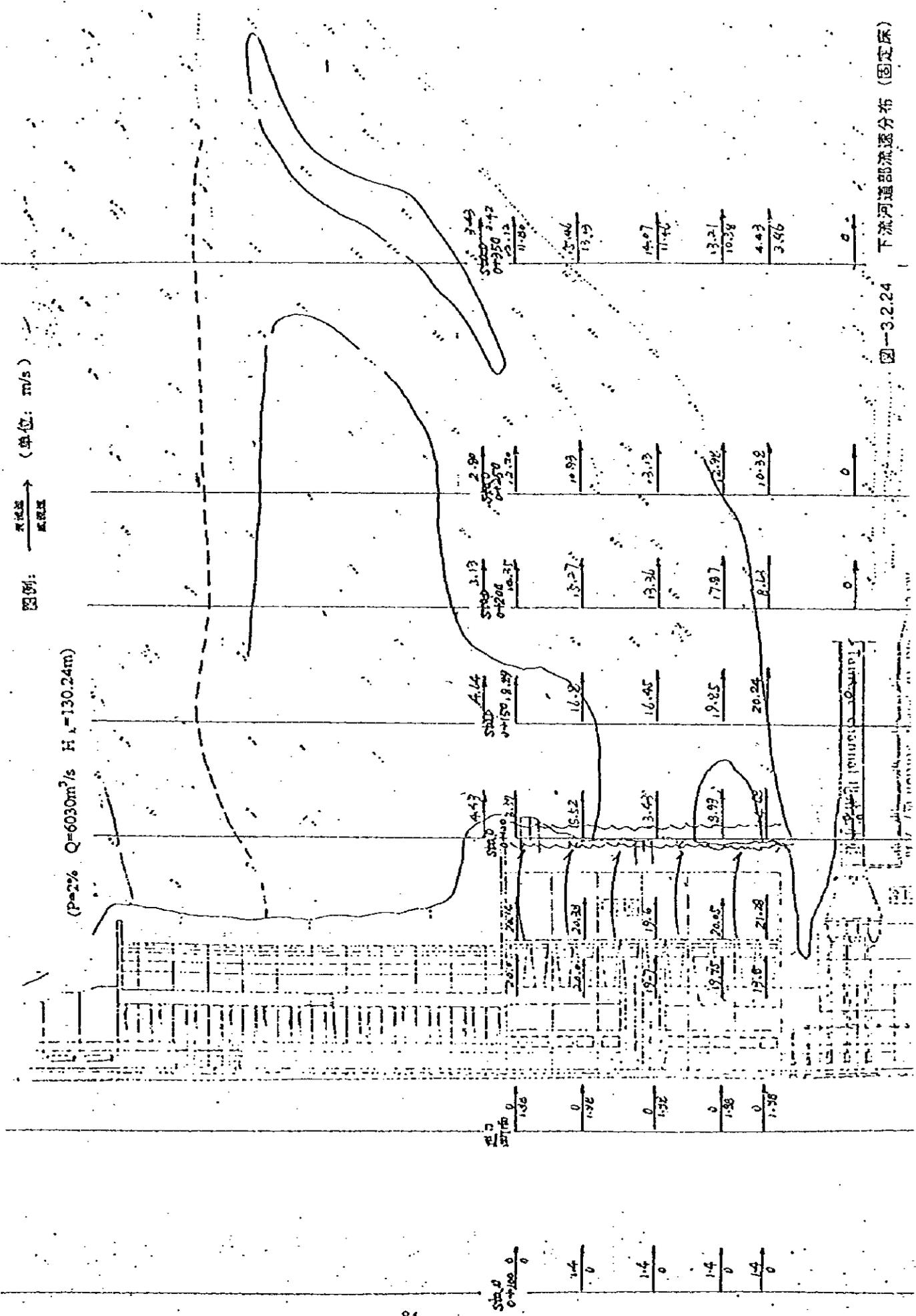
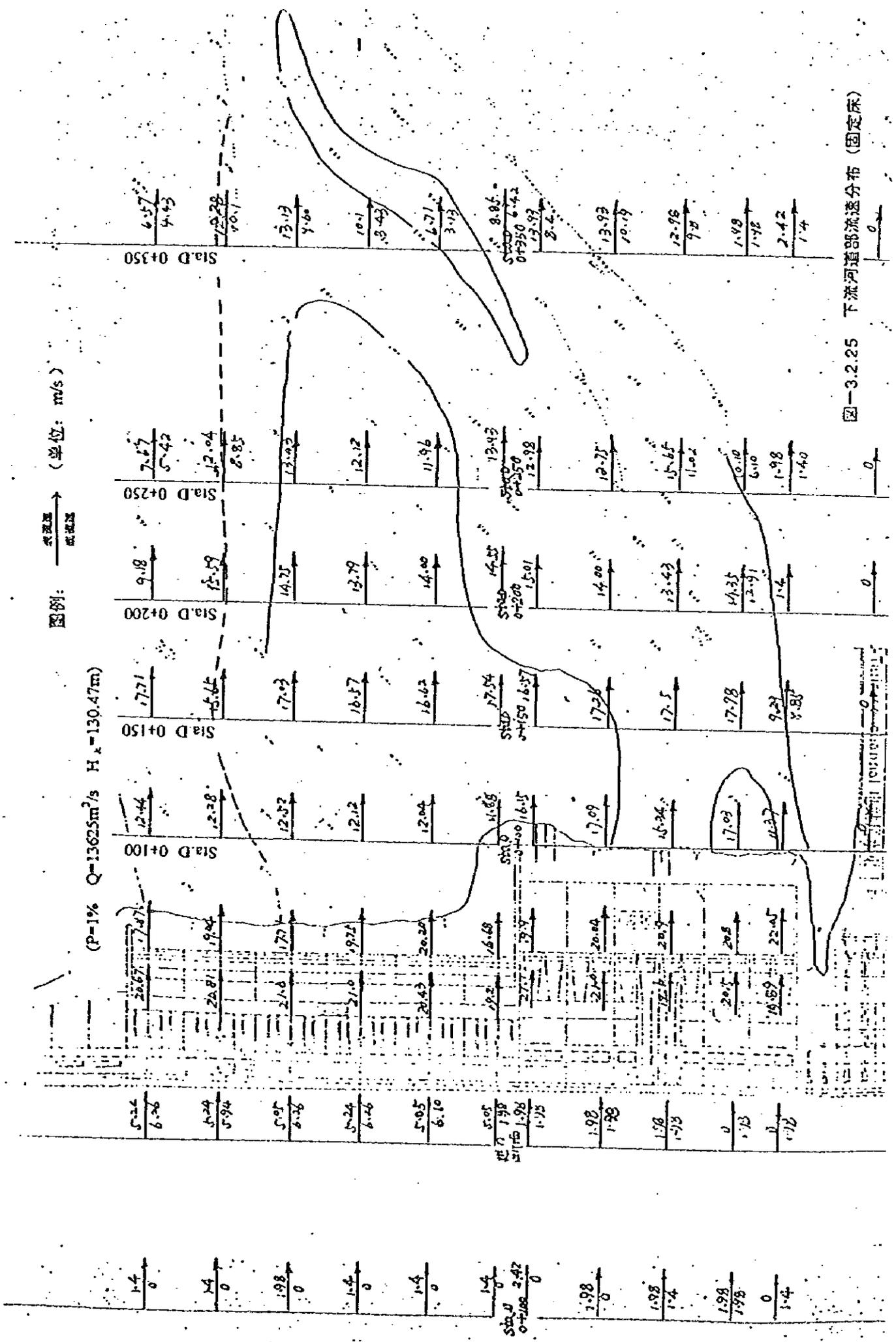


图-3.2.24 下流河道流速分布 (固定床)



图一3.2.25 下流河道部流速分布 (固定床)

图例: \rightarrow 流速 (单位: m/s)

($P=0.5\%$ $Q=17540m^3/s$ $H_z=131.25m$)

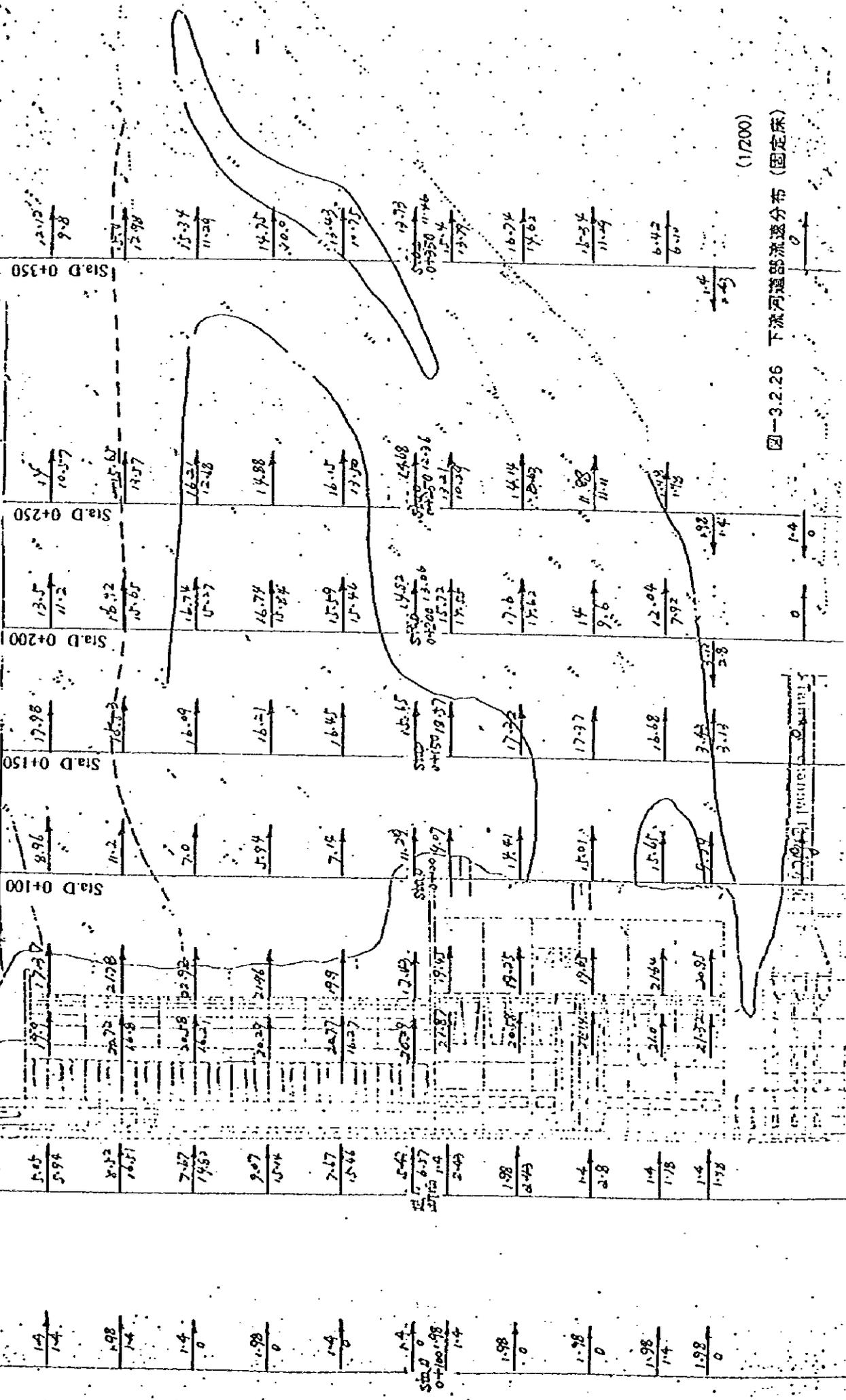
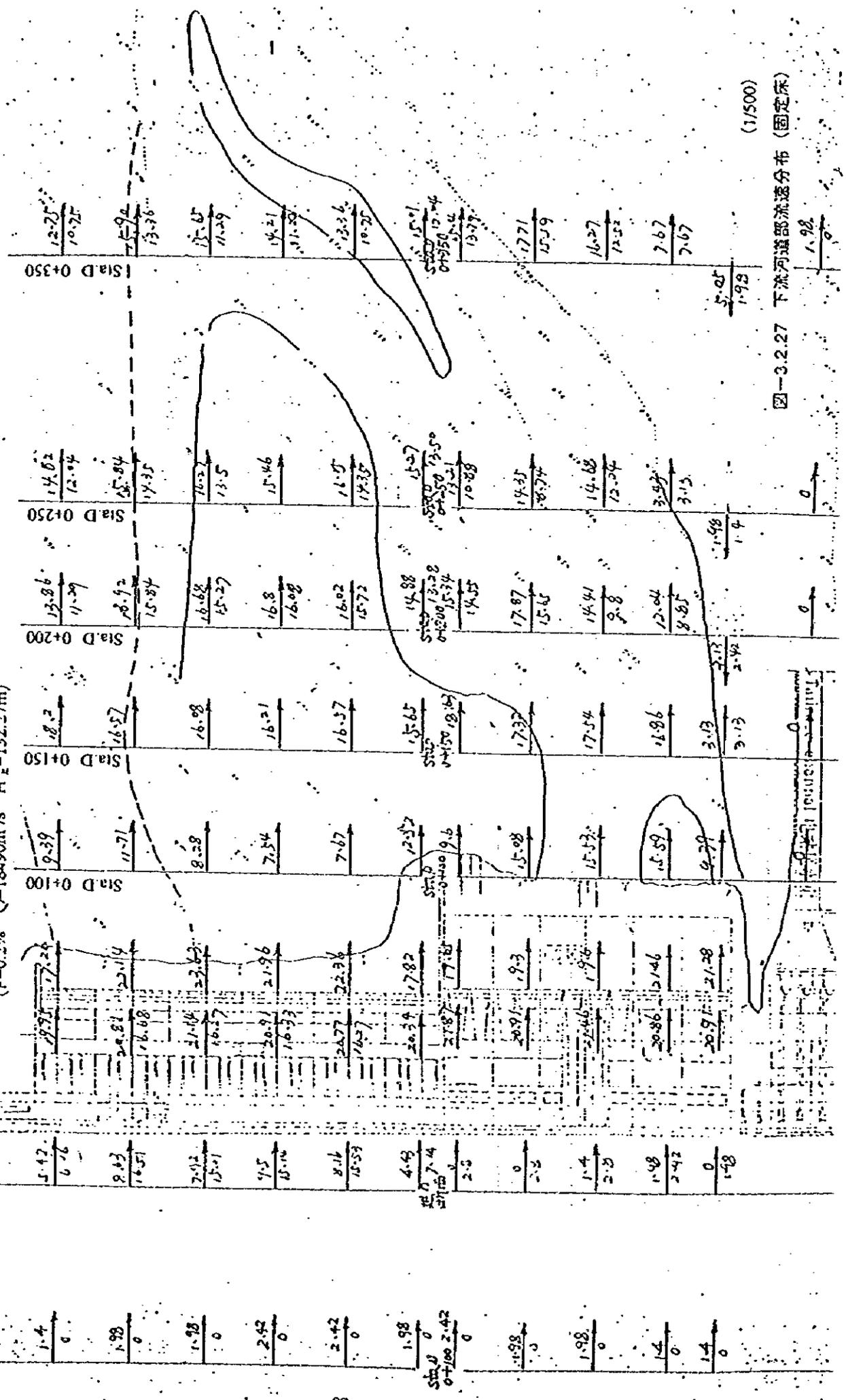


图-3.2.26 下流河道流速分布 (固定床) (1/200)

图例: \rightarrow 顺流速度 (单位: m/s) \leftarrow 逆流速度

(P=0.2% Q=18490m³/s H_z=132.27m)

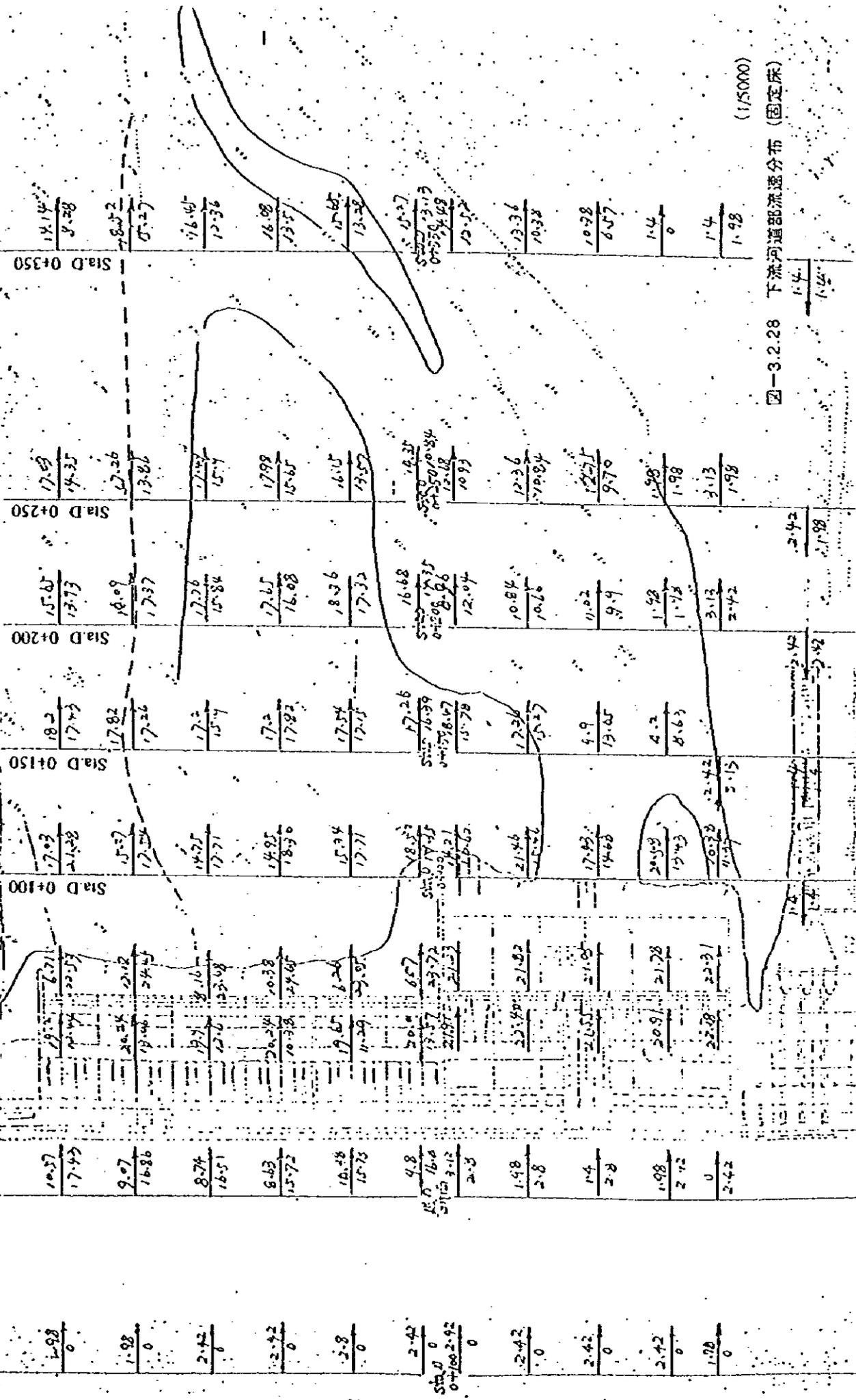


(1/500)

图-3.2.27 下流河道流速分布 (固定床)

图例：→ 流量 (单位: m³/s)
→ 水深

$P=0.02\%$ $Q=29780\text{m}^3/\text{s}$ $H_p=133.88\text{m}$



(1/5000)

图一3.2.28 下流河道部流速分布 (固定床)

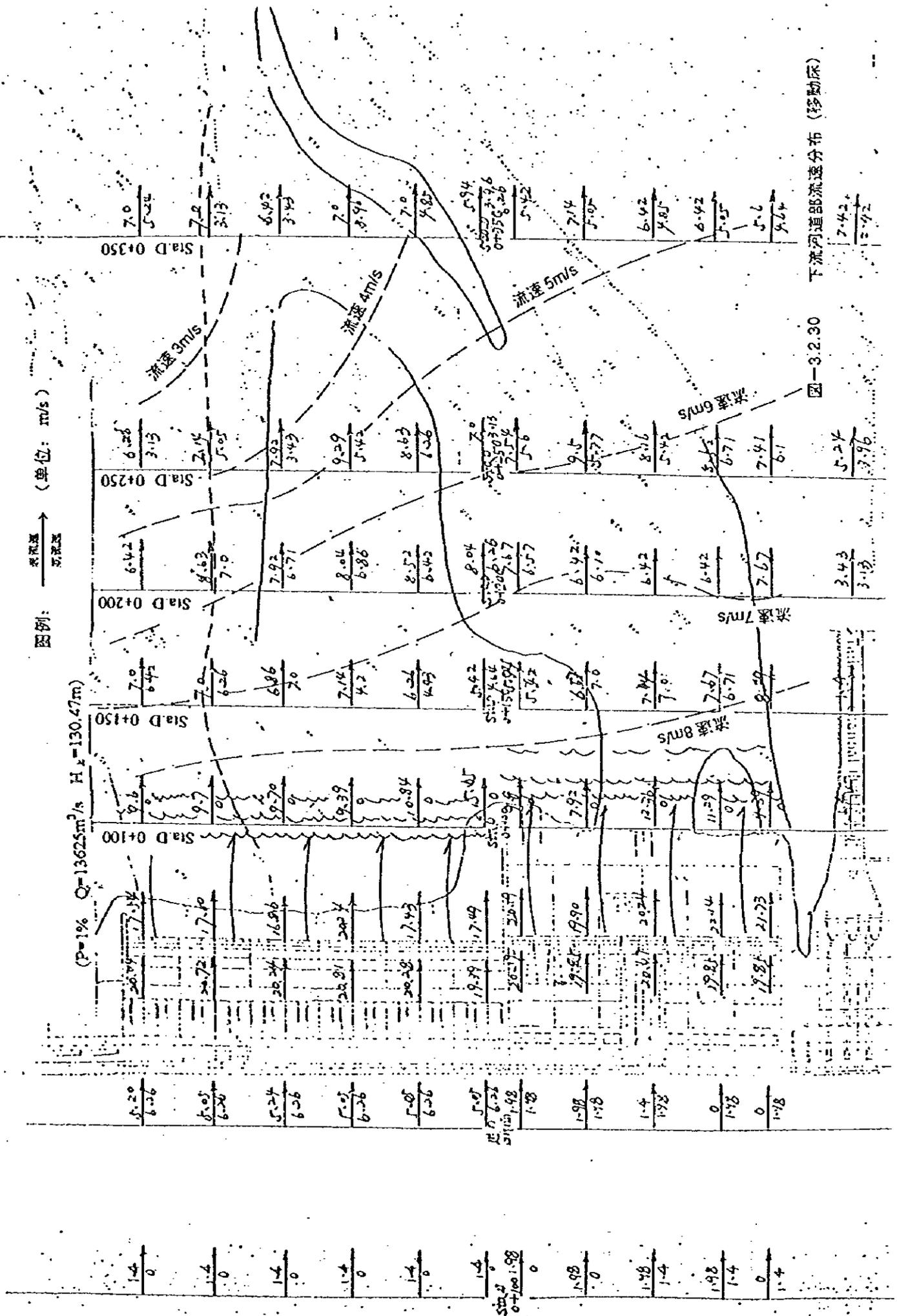
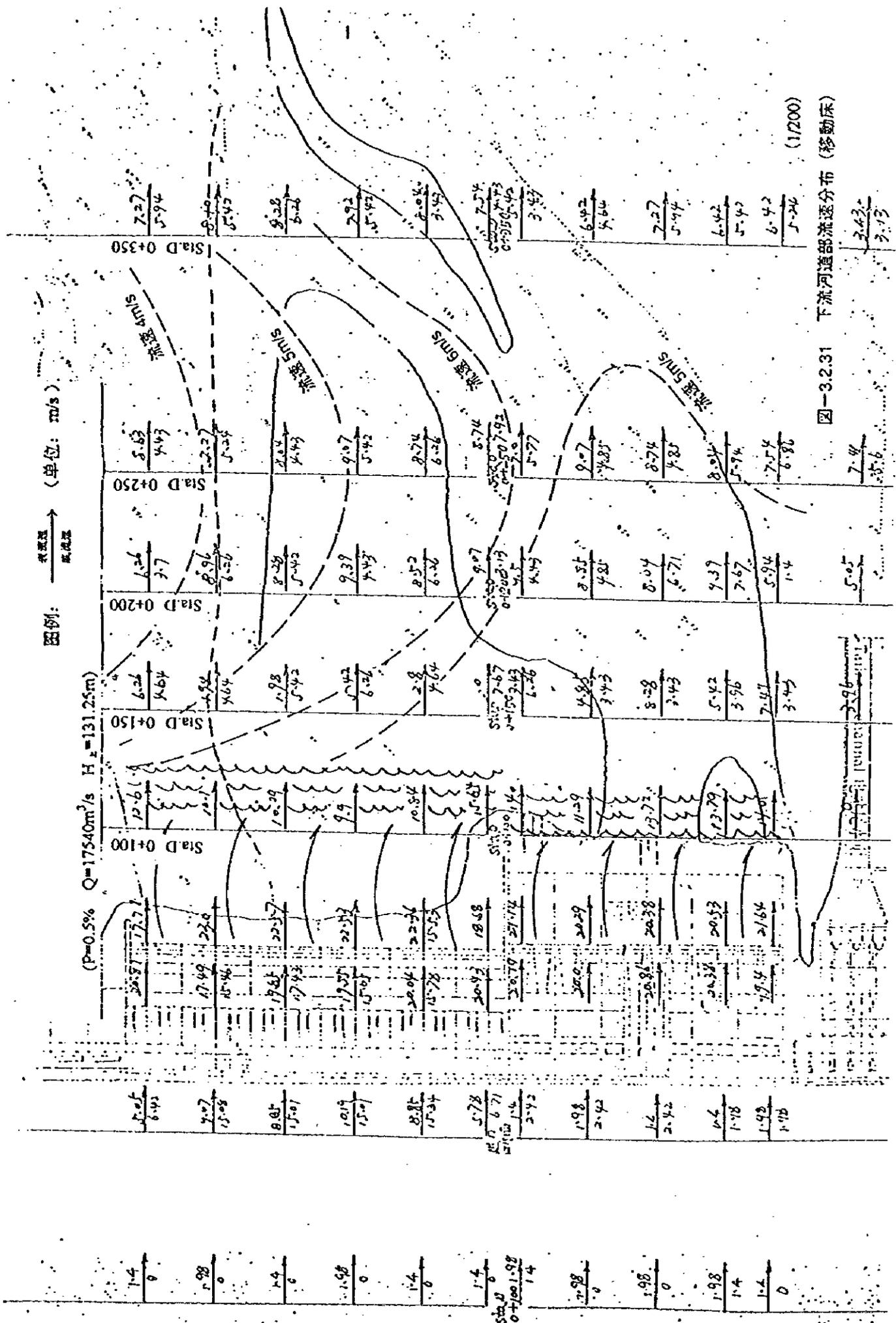


图-3.2.30 下流河道部流速分布 (移动床)



图一3.2.31 下流河道部流速分布 (移动床) (1200)

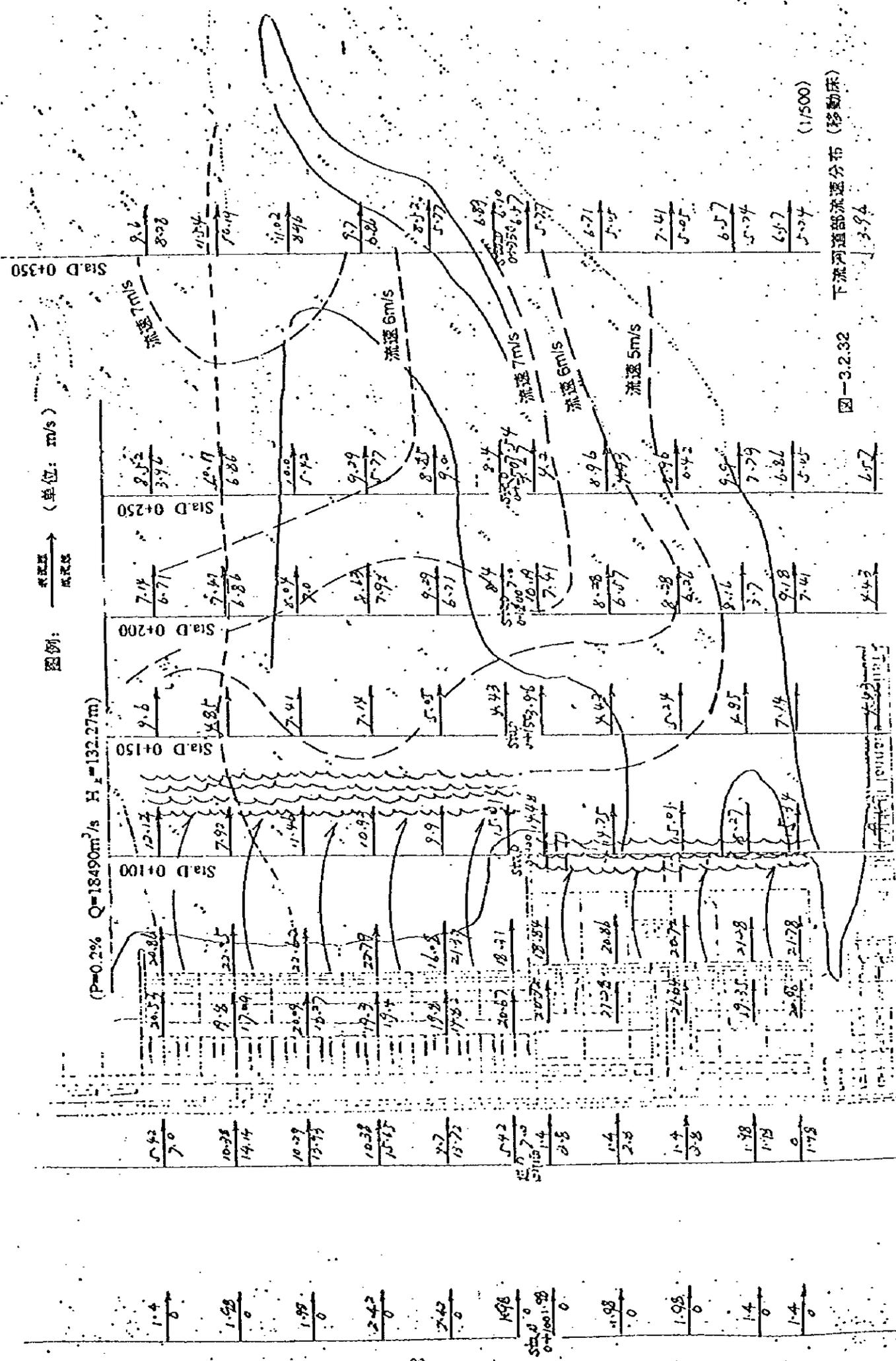


图-3.2.32 下流河道部流速分布 (移动床) (1/500)

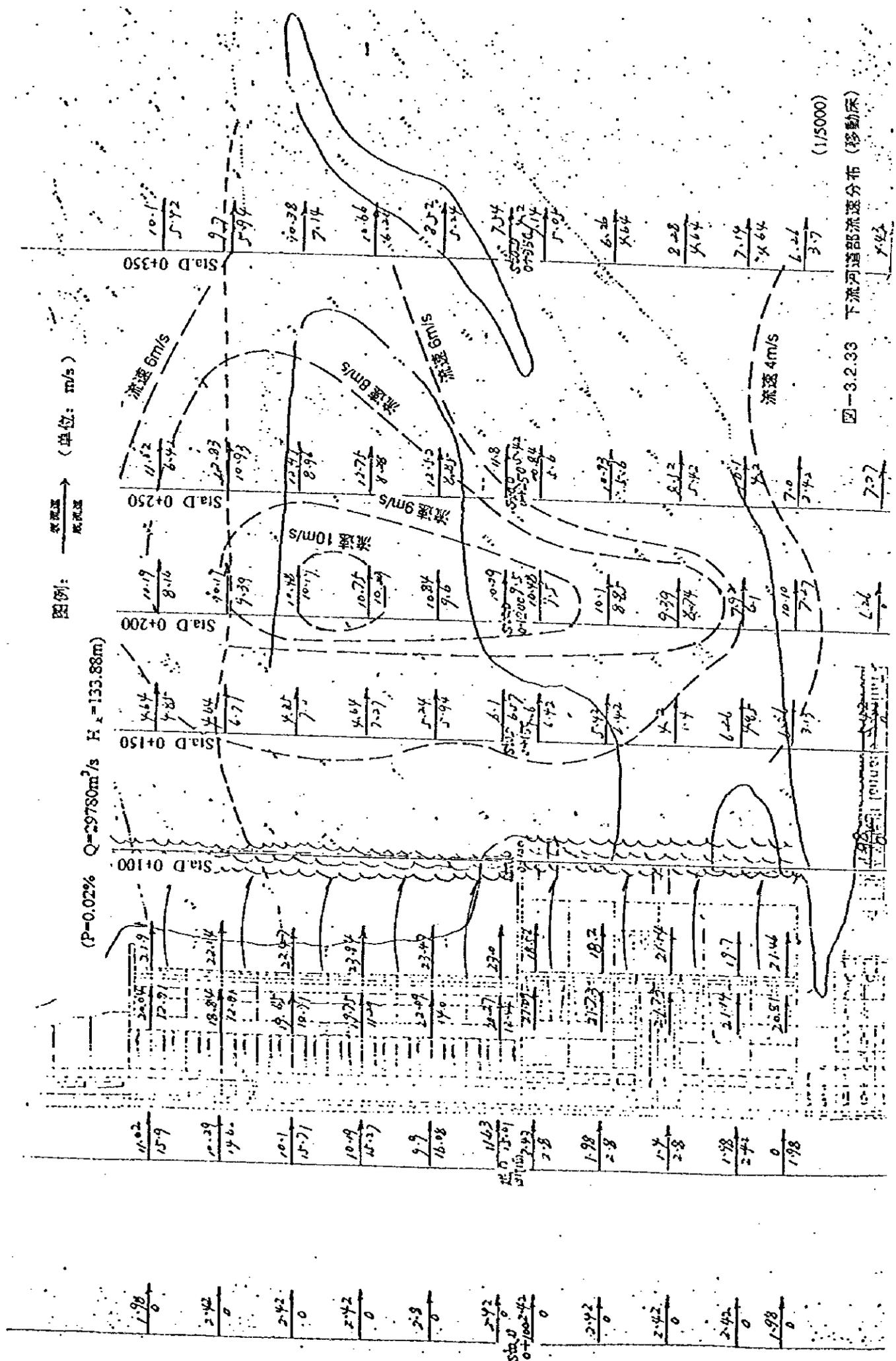


图-3.2.33 下流河道部流速分布 (移动床) (1/5000)

3.2.8 まとめ

白石ダム洪水吐の実験を実施した範囲内で認められた主な項目は以下のようである。

(1) 洪水吐の放流能力

本洪水吐の放流能力は、底孔および越流部とも計画を満足している。設計洪水位EL.132.27m (1/500年確率流量)における底孔および越流部は設計値を各々5.6%および9.6%上回り、全体で8.3%の余裕を持っている。しかしながら、貯水池の越流部前面の堆砂が高まると、越流部の流量係数が低減して、放流量も大幅に減少する可能性もあるが、計画放流量を下回ることはないと判断される。

貯水位～放流量関係

確率年 (Year)	貯水位 (EL.m)	底孔流量 (m ³ /s)			越流部流量 (m ³ /s)			全体流量 (m ³ /s)		
		設計値	実験値	誤差(%)	設計値	実験値	誤差(%)	設計値	実験値	誤差(%)
1/50	130.24	5664	6018	6.25	0	0	0	5664	6018	6.25
1/100	130.47	5687	6041	6.22	7166	7589	5.90	12853	13630	6.05
1/200	131.25	5772	6119	6.01	10561	11381	7.76	16333	17500	7.15
1/500	132.27	5887	6217	5.61	11340	12433	9.63	17227	18650	8.26
1/5000	133.88	6013	6366	5.87	20613	22898	11.09	26626	29264	9.91

(2) 越流水面形

校核水位における水面と堤頂構造物（橋桁下端）との余裕高は、越流部ピアの先端で最小となり1.8mである。日本の設計基準である「余裕高1.5m以上」を十分に上回っている。また、ゲートピンに対しては3.5mの余裕高となる。

(3) 越流部ピアのデフレクター形状

デフレクターの形状は図-3.2.14 に示す形状を推奨する。

(4) 作用圧力

底孔の放流はゲート全開放流で行われる。この場合、底孔内の作用圧力は全て正圧であり負圧の発生は認められず設計形状は妥当である。ただし、ゲート開閉時には約24分間（開閉速度0.3m/min.）部分開放となるが、この間の給気についてはゲート下流側に設置される給気管で対応できよう。

越流部については、ゲート全開時の放流に対して負圧の発生は認められない。

ゲート部分解放時の校核水位EL.133.88mにおける放流では最小で-1.34m水頭の負圧が発生する。したがって、越流ゲートの操作水位となる、貯水位EL.130.47m (1/100年確率流量) 以上で貯水位がEL.132.27m (1/500年確率流量) の部分開放放流時においても、上記程度の負圧は発生するものと考えられる。

この負圧は、設計基準で定められているコンクリートの許容負圧・3m水頭以下であるため許容できる。

(5) 河床の洗掘

最深洗掘深は、底孔下流部でバケット下流端から51m地点でEL.81.1m、越流部下流側でバケット下流端から64m地点でEL.74.4mに達する。洗掘勾配の影響範囲は約 2.5とされており、縦断の洗掘形状から見るとダム基礎および右岸の発電所放水路の導流壁に及ぼす影響の可能性は少ないと考えられる。

(6) 底孔部水褥池

底孔部は半川締め切りの前期工事で完成するため、越流部の後期工事中には放流が行われる。この時点で底孔の水褥池は自然に形成されることになるが、放流水脈の減勢を確実なものとするため、前期工事の終了時点で予め水褥池（減勢池）を形成しておくことを推奨する。

越流部の水褥池は放流頻度が低いことから、自然に形成される水褥池で良いと判断できる。

(7) 流水部の施工について

底孔部および越流部について作用圧力を測定した結果、特に問題となる負圧の発生は認められず流水部形状の妥当性が確認された。しかしながら、底孔内および越流部の下流部はいずれも低圧・高流速の流れとなるため、施工においては流水面に負圧の発生要因となる不整、不陸等のない滑らかな仕上げが要求される。

3.3 ダムコンクリート試験

3.3.1 試験内容

本試験は、1996年9月上旬までに中国側で実施した試験結果から、RCDコンクリートの仮定示方配合を用いて大型供試体試験を行い、その結果より内部（RCDコンクリート）の断熱温度上昇試験を行った。なお、外部（普通ダムコンクリート）の断熱温度上昇試験は、中国側の推奨示方配合により大型供試体試験と並行して行った。

(1) RCDコンクリート大型供試体試験

大型供試体試験の内容は、下記に示す4種類である。

(a) 試験A；フレッシュコンクリートの締固め時間と締固め密度の関係

大型供試体作製装置の加振条件（振動数1900r.p.m、起振力3104kg、載荷重量645kg）一定のもとに総締固め時間2分間までの振動締固めを単位水量4水準毎に行った。試験では、締固め時間0、5、15、30、60、及び120秒毎に締固めを停止して締固め板の沈下量を測定して体積を求め、締固めたコンクリート重量との関係から、フレッシュコンクリートの供試体全体の密度を求めた。また、密度比は、下式より求めた。

密度比＝大型供試体の全体密度／理論最大密度

$$\text{理論最大密度} = \frac{\text{各配合における水、セメント、骨材の重量(t)}}{\text{コンクリート中の空気量を無視した容積 (m³)}}$$
$$= \frac{W + (C + F) + S + G}{(W/1000 \rho_w) + ((C+F)/(1000(\rho_c + F))) + (S/1000 \rho_s) + (G/1000 \rho_G)}$$

なお、品質管理試験（標準VC、空気量）も併せて行った。

(b) 試験B；コンクリートの単位水量と締固め密度及び強度特性の関係

試験Aと同様に振動締固めを単位水量4水準で締固め時間60秒で行い、フレッシュコンクリートの供試体全体の密度を求めた。さらに各供試体よりφ150mmのコアを4本ずつ採取し硬化コンクリートのコア外観観察、コア密度、圧縮強度及び動弾性係数を測定した。

なお、コア採取は、現場の養生を考慮して材齢60日（観音閣ダムと同様）まで室内で供試体の上面に水を溜めて養生した後実施し、採取したコアは所定の材齢まで標準養生（水温 20±3℃）を行った。

なお、品質管理試験（標準VC、空気量、標準供試体（4材齢：3、7、28、90日作製））も併せて行った。

(c) 試験C；コンシステンシーの経時変化と締固め密度及び強度特性の関係

I. 標準VC試験機を用いた経時変化

コンクリート練混ぜ後のコンシステンシーの経時変化を把握するために、VC値 10 ± 5 秒に相当する単位水量（試験A及びBの結果より判断）を用いてコンクリートを練混ぜ、 20 ± 3 ℃、湿度60%以上の試験室内で練り板上でビニールシートに覆われた状態で放置し、所定の経過時間（0（練混ぜ直後）、2、3、4、5、6時間）毎にVC値を測定した。

II. 大型供試体試験における経時変化とコアの外観観察、コア密度、圧縮強度及び動弾性係数

標準VC試験機を用いた経時変化と並行し、同条件でコンクリートを練混ぜ、練混ぜ直後を含めた6条件の経過時間で試験Bと同様の大型供試体試験（締固め時間60秒）を行い、フレッシュコンクリートの締固め密度及び $\phi 150$ mmコア供試体により外観観察、コア密度、圧縮強度及び動弾性係数を測定した。

なお、品質管理試験（標準VC、空気量、標準供試体（1材齢：90日作製））も併せて行った。

(d) 試験D；コンクリートの細骨材率と締固め密度及び強度特性の関係

試験Bと同様に、振動締固めを細骨材率4水準で締固め時間60秒で行い、フレッシュコンクリートの供試体全体の密度を求めた。さらに各供試体より $\phi 150$ mmのコアを4本ずつ採取し硬化コンクリートのコア外観観察、コア密度、圧縮強度及び動弾性係数を測定した。

なお、品質管理試験（標準VC、空気量、標準供試体（4材齢：3、7、28、90日作製））も併せて行った。

なお、試験条件は表-3.3.1、図-3.3.1に大型供試体試験フローチャート示す。

(2) 断熱温度上昇試験

断熱温度上昇試験は、下記に示す2種類である。

- (a) 外部コンクリート：中国側で実施した普通ダムコンクリートの示方配合。
- (b) 内部コンクリート：大型供試体試験結果より選定された示方配合。
(RCDコンクリート)

表-3.3.1 大型供試体試験条件 (組骨材最大寸法 80 mm)

項目	試験区分	試験A	試験B	試験C	試験D
試験	単位結合材量 C+F (kg/m ³)	130	130	130	130
	フラスコの置換率 F/(C+F) (%)	49.2	49.2	49.2	49.2
	単位水量 W (kg/m ³)	60, 65, 70, 75	60, 65, 70, 75	67	67
	細骨材率 s/a (%)	30	30	30	28, 30, 32, 34
経過時間 P (hr)	締固め時間 T (秒)	0.5, 1.5, 30, 60, 120	60	60	60
	経過時間 P (hr)	0	0	0, 2, 3, 4, 5, 6	0
試験条件数		4 (W)	4 (W)	6 (P)	4 (s/a)
試験目的	締固め時間の効果	配合 (W) の確認	経過 (放置) 時間の影響	配合 (s/a) の確認	
試験結果の整理項目	<ul style="list-style-type: none"> 締固め時間とフレッシュコンクリート密度及び密度比の関係 単位水量とフレッシュコンクリート密度の関係 	<ul style="list-style-type: none"> 単位水量と以下の関係 標準 VC 値 圧縮強度 (σ_T 及び標準供試体) 密度 (σ_T 及び標準供試体) σ_T の外観観察 a, β 	<ul style="list-style-type: none"> 経過時間と以下の関係 標準 VC 値 圧縮強度 密度 (σ_T 及び標準供試体) σ_T の外観観察 	<ul style="list-style-type: none"> 細骨材率と以下の関係 標準 VC 値 圧縮強度 (σ_T 及び標準供試体) 密度 (σ_T 及び標準供試体) σ_T の外観観察 a, β 	
品質管理試験	標準 VC、空気量、温度、締固め密度	標準 VC、空気量、温度、締固め密度、標準養生供試体	標準 VC、空気量、温度、締固め密度、標準養生供試体	標準 VC、空気量、温度、締固め密度、標準養生供試体	標準 VC、空気量、温度、締固め密度、標準養生供試体
備考	コア供試体は作製しない				

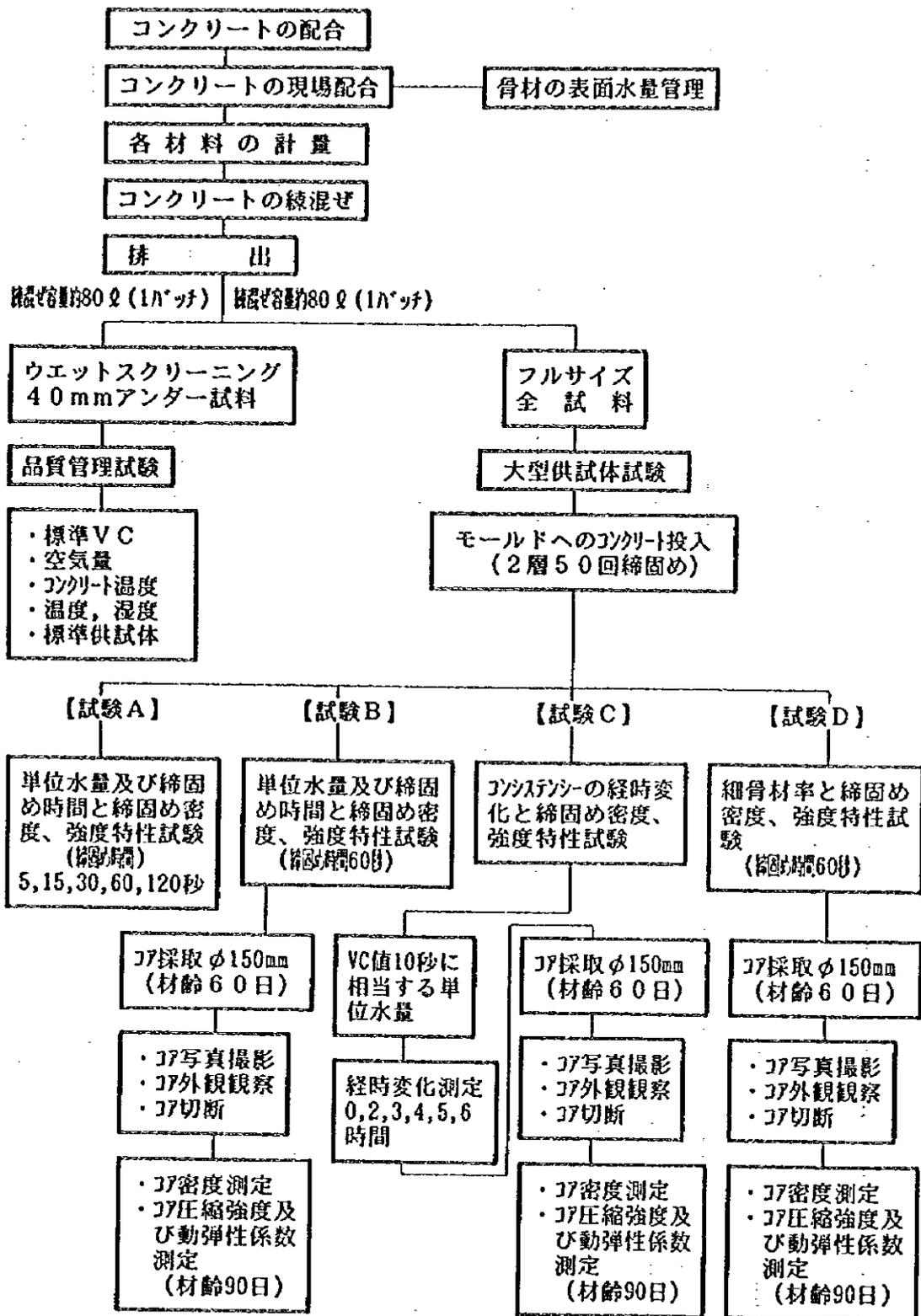


図-3.3.1 大型供試体試験フローチャート

3.3.2 使用材料、使用機器及び試験方法

(1) 使用材料

大型供試体試験及び断熱温度上昇試験に用いた材料を以下に示す。

(a) セメント：撫順ポルトランドダム用セメント525#

表-3.3.2 セメントの物理・化学試験結果

物理的性質	項目	比重	粉末度	安定性	凝結時間		圧縮強度		曲げ強度		判定
					始発	終結	7日	28日	7日	28日	
					h:min	h:min	MPa	MPa	MPa	MPa	
標準値			>12	合格	1:00	>12:0	31.4	52.5	5.3	7.1	合格
試験値		3.16	2.75	合格	3:05	5:25	41.8	55.7	7.8	8.0	
化学成分	項目	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	不溶残分	判定
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	
		標準値			>5.0	>3.5					
試験値	21.09	4.90	4.58	62.19	5.25	1.89	0.68	0.14	0.59		
組成成分	項目	C ₃ S		C ₂ S		C ₃ A		C ₄ AF		fCaO	
		%		%		%		%		%	
		標準値	>55.0				>6.0				>0.8
試験値	53.37		20.21		5.24		13.93		0.52		

注) 遼寧省水利水電科学研究院提出資料による。

(b) フライアッシュ：赤峰元宝山電氣器機工場 I 級灰

表-3.3.3 フライアッシュの物理・化学試験結果

物理的性質	項目	粉末度 (45 μm 以下)			強熱減量	単位水量比			強度比	
		比重	%		%	%			%	
		標準値	<1.90	>12		>5	>95			<
試験値		2.20	7.1		0.32	94.2			148.9	
化学成分	項目	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	不溶残分
		%	%	%	%	%	%	%	%	%
		標準値						>3.0		
試験値	60.27	21.93	9.18	3.85	2.21	0.43	0.67	0.27	0.71	
評定	フライアッシュ I 級灰									

注) 遼寧省水利水電科学研究院提出資料による。

(c)細骨材：細骨材は柳黄屯骨材採取場より産出される天然砂を使用した。ただし、粒度調整のために、同細骨材を5～3mmの粗砂および3mm以下の細砂に分けて使用し、その混合比率は、粗砂：細砂＝9％：91％であった。また、設計基準により、微粒分（0.15mm未満）の含有量を普通コンクリートでは5～10％、RCDコンクリートでは、10～15％と規定されているため、前述したフライアッシュの0.15mm未満を7.09％混入して用いた。

表-3.3.4 細骨材の物理試験結果

項目	比重	吸水率 (%)	洗い (%)	アルカリ骨材反応	有機不純物	振動台で締め固めた単位容積質量 (kg/m ³)	空隙率 (%)
標準値	>2.50	<2.50	<3.00	無害	合格	---	---
細砂	2.57	1.68	1.03	無害	合格	---	---
粗砂	2.57	1.90	0.28	無害	合格	---	---
混合砂	2.57	1.70	0.96	---	---	1798	30.1

注) 遼寧省水利水電科学研究院提出資料による。

表-3.3.5 細骨材のふるい分け試験結果

種類	ふるいの寸法 (mm)							粗粒率 (FM)
	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.15	<0.15	
細砂	0	1.79	15.55	54.39	87.90	98.88	100.00	2.56
粗砂	11.64	67.52	86.10	95.04	98.21	99.16	100.00	4.39
混合砂	1.05	7.71	21.90	58.05	88.83	97.09	100.00	2.71

注) 遼寧省水利水電科学研究院提出資料による。

(d)粗骨材：粗骨材は、柳黄屯骨材採取場より産出される川砂利およびダム掘削により発生するズリの碎石を使用した。本来であれば、天然砂利のみを粗骨材として用いたいが、粒径の大きいものが、少ないため碎石を混入させた。

表-3.3.6 粗骨材の混合比

番号	骨材粒径	川砂利	碎石
	mm	%	%
1	5~20	38.29	61.71
2	20~40	23.82	76.18
3	40~80	18.09	81.91
4	80~120	5.38	94.62

注) 遼寧省水利水電科学研究院提出資料による。

表-3.3.7 粗骨材の物理試験結果

項目	粒径(mm)	5~20	20~40	40~80	80~120	標準値 SDJ 17~78
比重		2.576	2.601	2.637	2.637	>2.55
吸水率 (%)		2.64	1.70	0.75	0.53	<2.5
洗い損失量 (%)		0.29	0.17	0.01	0.01	<1.0
薄い石片及び細い石片の含有量 (%)		27.2	19.9	16.3	15.8	<15.0
有機不純物		合格	合格	合格	合格	合格
軟石量 (%)		3.62	1.34	---	---	<5.0
		---	---	---	---	
破碎値 (%)		5.4				<16.0
すりへり減量 (%)		0.83	0.86	0.18	0.14	<5.0
粒度分布範囲以上値(ふるい分け試験)(%)		2.0	---	---	---	
粒度分布範囲以下値(ふるい分け試験)(%)		0.2	2.42	---	---	
7#粗骨材反応試験		無害	無害	無害	無害	
振動台で締固めた単位容積質量(kg/m ³)		1817				---
空隙率 (%)		30.5				---

注1) 単位容積質量及び空隙率に用いた5~20、20~40、40~80mmの混合比は30%、30%、40%である。

注2) 遼寧省水利水電科学研究院提出資料による。

(e)混和剤：リグニンスルホン酸Ca系減水剤・空気量調整剤AEA202

(2) 使用機器及び試験方法

大型供試体試験及び断熱温度上昇試験に使用する機器を下記に示す。

(a) 大型供試体作製装置

大型供試体作製装置は、フリージア・マクロス[®]製「上載式コンクリート締固め装置」を使用した。本装置は、フルサイズのRCDコンクリートを大型容器に詰めて、振動ローラの締固め機構（上部からの振動エネルギーで締固めを行う）と同様な締固めを行い、フレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの品質を検討するものである。

また、大型供試体作製装置の振動数及び締固め時間は、実施工時に使用する振動ローラがBW-200（7t級）であることから、振動数1900r.p.m、締固め時間60秒（表-3.3.11参照）を基本に試験を実施した。

また、大型供試体作製装置の仕様を表-3.3.8に、振動ローラBW-200の仕様を表-3.3.9に、大型供試体作製装置及び振動ローラの締固めエネルギー算出方法を表-3.3.10、その結果より算出される大型供試体作製装置の締固めエネルギーを表-3.3.11に示す。

表-3.3.8 大型供試体作製装置の仕様

振 幅 (片) (a)	$0.24 / 2 = 0.12 \text{ cm}$
載荷重量 (W)	645 kg
締固め時間 (T)	任意設定
振動数 (r.m.p)	1500～3000まで任意設定
転圧面積 (cm ²)	1963.5 ($\phi = 50 \text{ cm}$)

表-3.3.9 想定した振動ローラの仕様

機 種	BW-200		
	重 量	総重量 7000 kg	前 輪 3500 kg
起 振 力	16×2tf (F)	振 動 数	2600 r.p.m(n)
振 幅	片振幅 1.0mm (a)		
振 動 輪	締固め幅 (B) × 輪径 (D) (950mm×2)×800mm		
軸 距	980 mm		
締固め条件	走行速度 1 km/hr 振動6往復 (12回)		

表-3.3.10 大型供試体作製装置及び振動ローラの締固めエネルギー算出方法

種類	エネルギー算出方法
振動ローラ	$E_c = 2 \cdot a \cdot (W + F/2) \cdot (L/V) \cdot n \cdot N \cdot 1/(B \cdot L)$ $E_c = 2 \times 0.1 \times (7000 + 32000/2) \times 98/1667 \times 2600 \times 12 \times 1/(190 \times 98)$ $= 453.1 \text{ kg} \cdot \text{cm} / \text{cm}^2$ <p> E_c: 振動ローラの締固めエネルギー (kg·cm/cm²) a: 振動輪の片振幅 (cm) W: 振動輪の軸荷重 (kgf) F: 起振力 (kgf) L: 振動輪の接地長さ (cm) V: 振動ローラの転圧速度 (cm/min) n: 振動数 (r.p.m) N: 振動輪の転圧回数 (回) B: 締固め幅 (cm) </p>
大型供試体作製装置	$E_o = 2 \cdot a \cdot (W + F/2) \cdot T \cdot n \cdot 1/A$ <p> E_o: 大型供試体試験装置の締固めエネルギー (kg·cm/cm²) a: 片振幅 (cm) W: 载荷重量 (kgf) F: 起振力 (kgf) T: 締固め時間 (min) n: 振動数 (r.p.m) A: 転圧面積 (cm²) $F = M a \omega^2$ $= ((W \cdot a \cdot ((n/60) \cdot 2 \cdot \pi)^2) / 980) \cdot 2$ $G = F \cdot 2 / W$ </p>

表-3.3.11 大型供試体作製装置の締固めエネルギー

振動数 (r.p.m)	締固め時間 (秒)	(kg·cm / cm ²)				
		0	15	30	60	120
1500	0	0	74	148	296	591
1900	0	0	128	255	510	1020
2200	0	0	183	367	733	1466
2600	0	0	282	564	1129	2258
3000	0	0	414	828	1656	3311

注) 斜線部分は、振動ローラの締固めエネルギーに近似している箇所。

(b) ミキサー

ミキサーは、遼寧省水利水電科学研究院で所有する150可傾式を使用した。

(c) 振動台式コンシステンシー試験機

振動台式コンシステンシー試験機（標準VC試験機）は、遼寧省水利水電科学研究院で所有するものを使用した。

(d) バイブレーションタンパー

バイブレーションタンパーは、遼寧省水利水電科学研究院で所有するものを使用した。

(e) 空気量測定

空気量測定は、遼寧省水利水電科学研究院で所有する空気圧力式エアメーターを使用し、JIS A 1118「まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法」によって行った。

(f) コンクリート温度

コンクリート温度は、ミキサーより排出後、棒状温度計で行った。

(g) コア採取

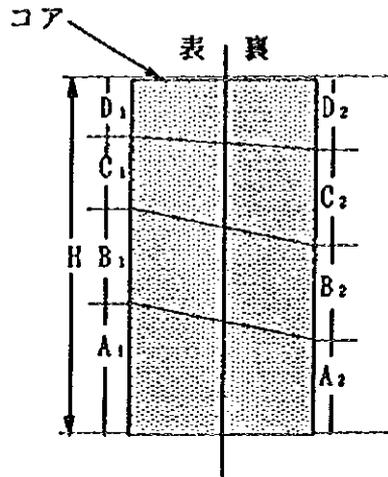
コア採取は、大型供試体試験で作製した $\phi 500 \times 450$ mmの供試体からコア抜きカッター用ビット（ $\phi 150 \times 500$ mm）を用いてJIS A 1107「コンクリートからのコア及びはりの切り取り方法並びに強度試験方法」によって行い $\phi 150 \times 300$ mmに成形した。

(h) コアの外観観察及び密度

コアの外観観察は、表-3.3.12に示す評価基準をもとに、コア表面の観察を行った。ここで、コアの外観評価は、A～Eの等級区分で、コアの表裏について行い、その等級区分長をコア長(コア長の2倍)で除して百分率で表した。また、評価点は、図-3.3.2に示すように上記の比率に各等級区分ごとの評価点を乗じて求めた。

表-3.3.12 コア外観評価基準

区分	内容	区分の 評価点	記号
優良 (A)	表面が緻密で通常のダムコンクリートに比べてさほどそん色のない部分	5	
良 (B)	表面がややポーラスな部分、砂分が少し現れている部分	4	
ほぼ不良 (C)	表面がポーラスな部分、モルタル分がはげ落ちている部分	3	
やや不良 (D)	モルタルが粗骨材のまわりに十分にゆきわたらず、豆板状になっている部分	2	
不良 (E)	粗骨材がばらばらで、コンクリートとしての外観を全く呈していない部分	0	



・評価基準;A=5点,B=4点,C=3点,D=2点,E=0点

$$\text{左図Bの評価点} = \frac{B_1+B_2}{2H} \times 4 \text{点}$$

ただし、式中のB1、B2、Hは長さ(cm)を用いた。

図-3.3.2 コア外観評価点の算出例

コア密度は、成形後に直径と高さを測定して求めたコア体積と、表乾状態のコア重量を測り下式のように求めた。

$$\text{コア密度(t/m}^3\text{)} = \frac{\text{表乾状態のコア重量}}{\text{コア体積(寸法)}}$$

(i) 圧縮強度

中国の規格では、品質管理試験用供試体は、150×150×150mmの立方体となっている。しかし本試験では、大型供試体試験でφ500×450mmの供試体からコアを採取する都合上、日本規格のφ150×300mmの円柱供試体で行った。

一般に載荷板の横ひずみ拘束効果が強い立方体強度は円柱強度より大きくなり、しかもその比はコンクリートの強度レベルによって変化する。

本実験においては、普通コンクリートの配合決定などの経緯から、中国規格（水利水電施工技術規格「水工転圧コンクリート施工規格 SL-53-94」）に明記されている円柱供試体強度と立方体供試体強度の換算係数0.775の値を用いて大型供試体の強度として表した。

(j) 弾性係数

弾性係数の測定は、コア供試体のみを遼寧省水利水電科学研究院で所有する弾性係数測定装置を使用し、JIS A 1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数およびポアソン比試験方法」によって行った。

(k) 断熱温度上昇試験機

断熱温度上昇試験は、⑭マルイ製水循環式「コンクリート断熱温度上昇測定装置」を使用した。断熱温度上昇試験は、断熱状態にあるコンクリートの温度が、セメントの水和熱によって上昇するの

を連続して測定して、温度上昇量と材齢との関係を求めるものであり、下式で表される関係式に於いて、それぞれの定数を決定するものである。

$$T = T_0 (1 - \exp(-A t^B))$$

ここに、T：断熱温度上昇量

T_0 ：最終温度上昇量

t：コンクリート材齢

A：断熱温度上昇曲線定数

B：断熱温度上昇曲線定数

3.3.3 試験結果及び考察

(1) 大型供試体試験

大型供試体試験に用いた配合を表-3.3.13に示す。この配合の内、中国側が示した仮定示方配合は以下のとおりであり、この配合を中心に試験A～Dを行った。

水セメント比	単位水量	単位結合材量	細骨材率	フライアッシュ比
53.8%	70kg/m ³	130 kg/m ³	30%	49.2%

(a) 試験A

① 品質管理

品質管理試験結果を表-3.3.14に示す。なお、単位水量とV C値の関係は、次節 (b)の試験Bの結果と併せて考察する。

② 全体密度

大型供試体のまだ固まらないコンクリートの締固め後の状態ならびに全体密度測定結果を写真-1～4 (添付資料) 及び表-3.3.15に示す。同表には密度比 (大型供試体の全体密度/理論最大密度) と120秒締固め後の目視観察によるコンクリートの締上り状態及びモルタルの飛び出し開始時間ならびに飛び出し量も併記した。

この結果をもとに以下の関係を表す。

- ・単位水量と締固め密度の関係 図-3.3.3
- ・締固め時間と締固め密度の関係 図-3.3.4
- ・締固め時間と密度比の関係 図-3.3.5

この値と白石ダムの仮定示方配合と比較した場合、特徴的なのは単位水量がかなり小さく、その結果水セメント比も小さくなっており、この水セメント比の値は、非溢流部及び外部コンクリートの水セメント比と近い値である。

*) 「コンクリートダムの細部技術」 (財)ダム技術センター発行

以上の結果より以下の所見が得られた。

I) 日本で行われた代表的なRCDコンクリートを用いたダム*の一般的な各値は以下のようである。

単位水量	: 90~113 kg/m ³
単位結合材量	: 100~130 kg/m ³
水セメント比	: 75~106%
細骨材率	: 30~34%

II) 締固め時間120秒における締固め密度は、単位水量70 kg/m³が最も高く2.415 t/m³であり、中国側が示した仮定配合の単位水量と同一であった。(図-3.3.3, 3.3.4)

III) いずれの単位水量においても、締固め時間が長くなるに従って締固め密度は高くなる傾向にあった。また、単位水量60 kg/m³は、他の単位水量と比べかなり締固めにくい状況であった。(図-3.3.3, 3.3.4)

IV) 往復6回の振動ローラ(BW-200)による振動締固め(締固めエネルギー:453kg·cm/cm²)に相当する大型供試体試験における振動数1900r·p·m、60秒締固め(締固めエネルギー:510kg·cm/cm²)で、仮定示方配合70 kg/m³の密度比は97.5%に達している。(図-3.3.5)

表-3.3.13 大型供試体試験に用いたコンクリートの配合

試験区分	配合名	粗骨材最大寸法(mm)	空気量の範囲(%)	水灰比 W/(C+F) (%)	フライアッシュ F/(C+F) (%)	細骨材率 s/a (%)	単位置量 (kg/m ³)						配合特性値		理論密度 (t/m ³)
							水 W	結合材 C+F	細骨材 S	粗骨材 G		混和剤	α	β	
							砂	F	80~40mm	40~20mm	20~5mm				
A	A-1	80	3.0±1	46.2	49.2	30	609	47	627	471	471	0.442	1.291	1.406	2.490
	A-2	"	"	50.0	"	"	605	46	623	469	469	"	1.344	1.425	2.482
	A-3	"	"	53.8	"	"	602	46	620	466	466	"	1.401	1.448	2.473
	A-4	"	"	57.7	"	"	598	46	616	463	463	"	1.458	1.472	2.465
B	B-1	"	"	46.2	"	"	609	47	627	471	471	"	1.291	1.406	2.490
	B-2	"	"	50.0	"	"	605	46	623	469	469	"	1.344	1.425	2.482
	B-3	"	"	53.8	"	"	602	46	620	466	466	"	1.401	1.448	2.473
	B-4	"	"	57.7	"	"	598	46	616	463	463	"	1.458	1.472	2.465
C	C	"	"	51.5	"	"	604	46	622	467	468	"	1.366	1.435	2.478
	D-1	"	"	"	"	28	564	43	640	481	481	"	1.449	1.331	2.480
D	D-2	"	"	"	"	30	604	46	622	467	468	"	1.366	1.435	2.478
	D-3	"	"	"	"	32	644	49	604	454	454	"	1.292	1.546	2.477
	D-4	"	"	"	"	34	684	52	586	441	441	"	1.229	1.662	2.476

表-3.3.14 品質管理試験結果 (試験A)

配合名	水セメント比 W/(C+F) (%)	フライアッシュ比 F/(C+F) (%)	細骨材率 S/a (%)	単位水量 W (kg/m ³)	単位結合 材量 C+F (kg/m ³)	標準 V C		空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)
						VC値(秒)	単質(t/m ³)		
A-1	46.2	49.2	30	60	130	34	2.340	3.0 (4.1)	19.5
A-2	50.0	49.2	30	65	130	15	2.315	3.7 (5.0)	19.5
A-3	53.8	49.2	30	70	130	4	2.297	4.1 (5.6)	20
A-4	57.7	49.2	30	75	130	0.5	2.251	5.2 (7.0)	20

注) 空気量は、上段が骨材フルサイズ換算の値、下段のカッコ内は骨材40mm以下の実測値を示す。

表-3.3.15 締固め密度 (全体密度) 測定結果(試験A)

配合名	単位水量 (kg/m ³)	締固め時間 (秒)						モルタルの飛び出し		理論最大密度 (t/m ³)
		0	5	15	30	60	120	* (飛び出し量)	** (飛び出し量)	
A-1	60	2.038	2.187	2.241	2.272	2.31	2.348	120秒	2.490	2.490
		81.8	87.8	90.0	91.2	92.8	94.3	(0.62kg)		
A-2	65	2.129	2.235	2.309	2.37	2.397	2.389	120秒	2.482	2.482
		85.8	90.0	93.0	95.5	96.6	96.3	(1.41kg)		
A-3	70	2.249	2.307	2.385	2.401	2.41	2.415	60秒	2.473	2.473
		90.9	93.3	96.4	97.1	97.5	97.7	(1.30kg)		
A-4	75	2.289	2.336	2.35	2.365	2.38	2.395	30秒	2.465	2.465
		92.9	94.8	95.3	95.9	96.6	97.2	(1.70kg)		

上段：密度 (t/m³)
下段：密度比 (%)

- 注)
- 1) *印はモルタルの飛び出し開始時間。
 - 2) **印は120秒締固め後のモルタルの飛び出し量。
 - 3) 密度比 = (締固め密度 / 理論最大密度) × 100%

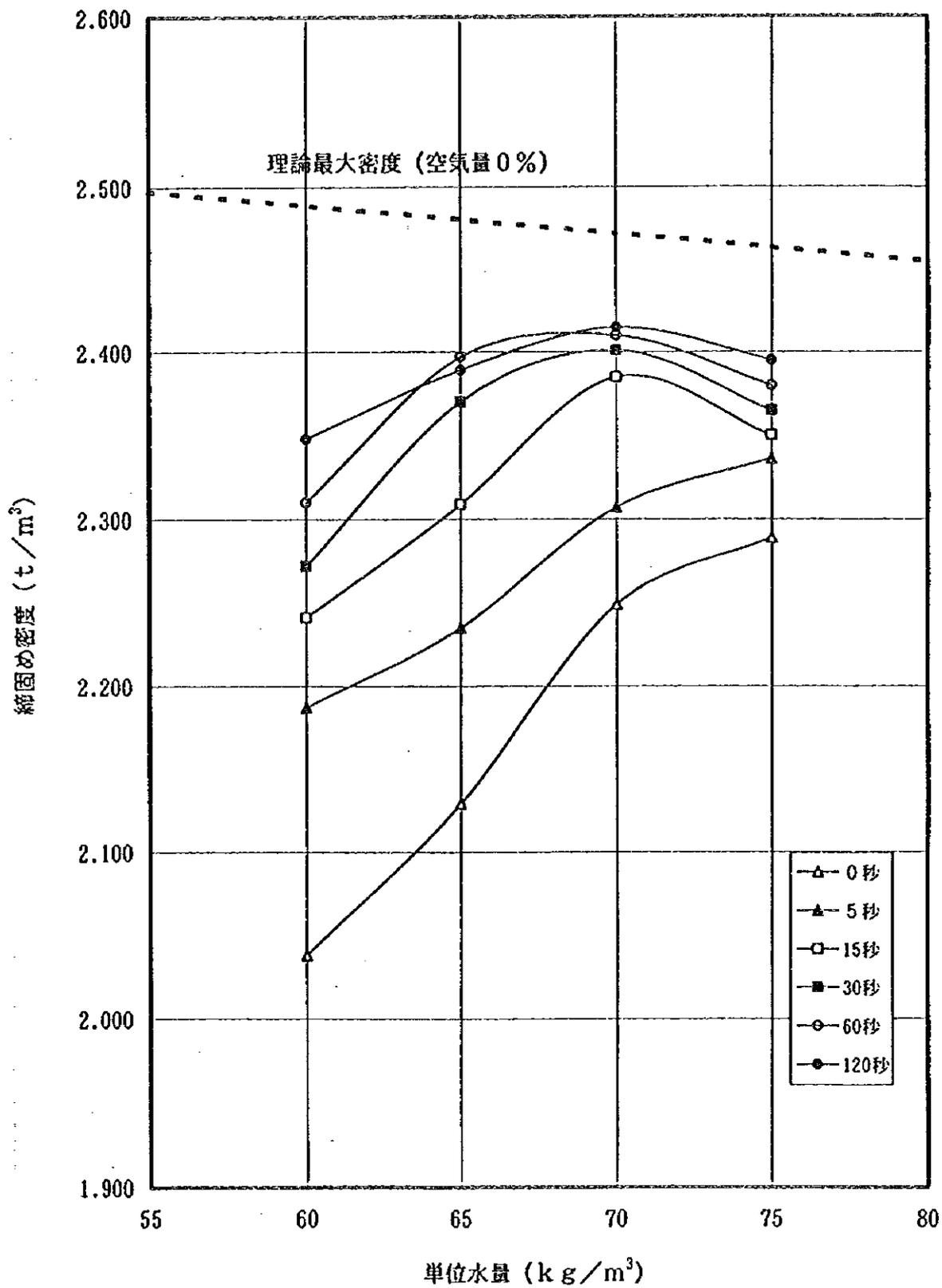


図-3.3.3 単位水量と締固め密度の関係(試験A)

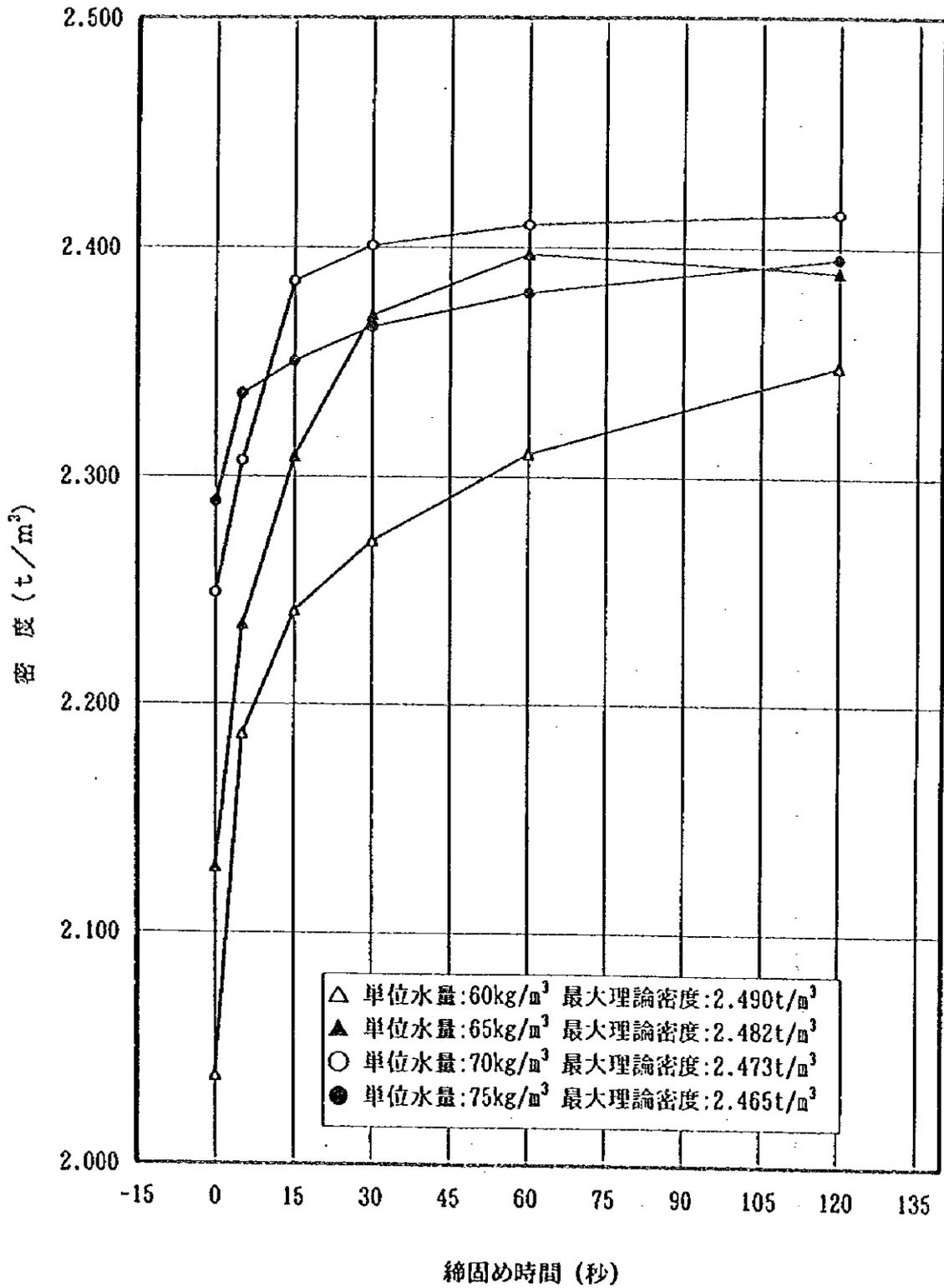


図-3.3.4 締固め時間と密度の関係(試験A)

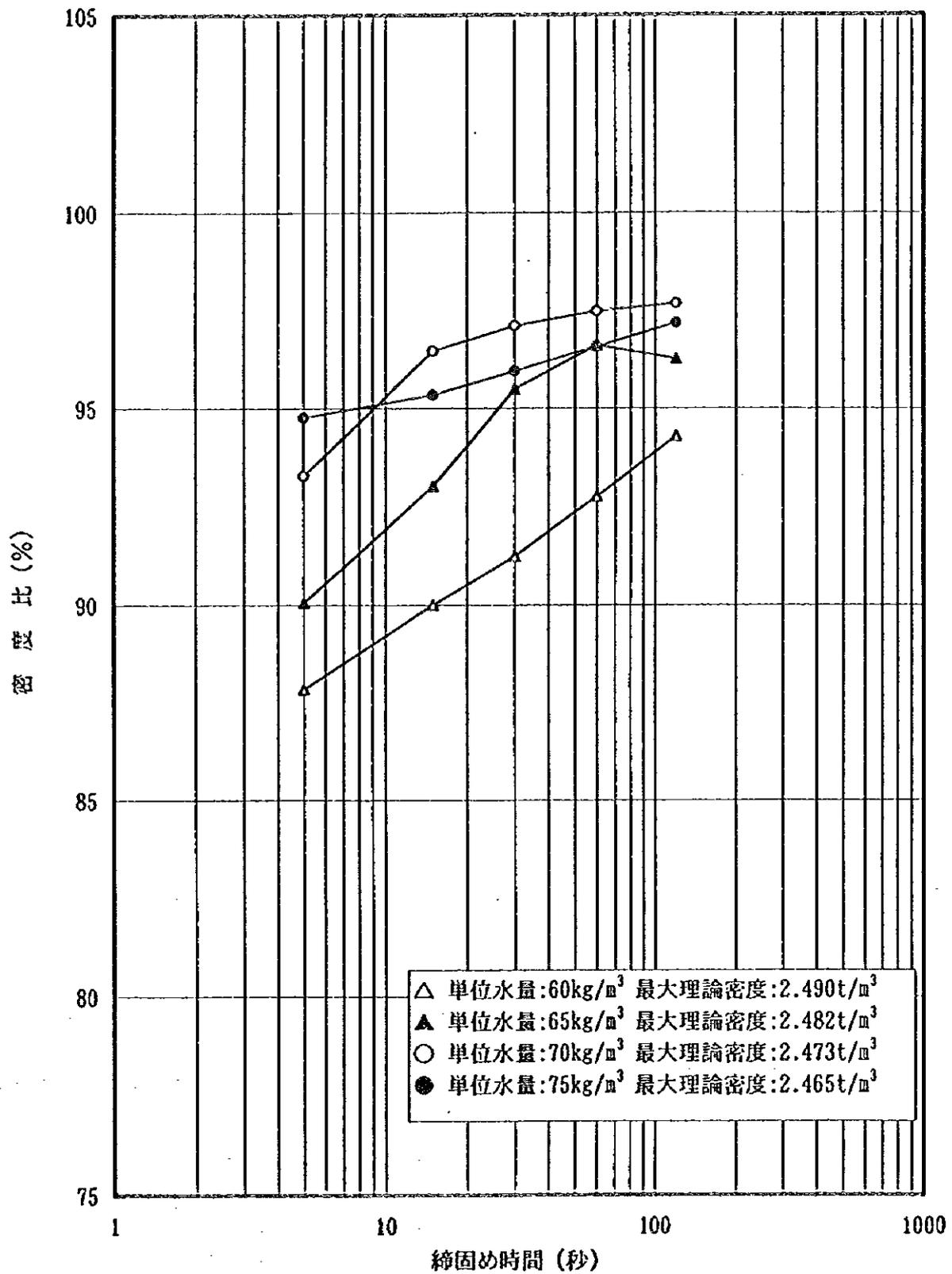


図-3.3.5 締固め時間と密度比の関係(試験A)

(b) 試験B

① 品質管理

品質管理試験結果を表-3.3.16に示す。この結果をもとに以下の関係を表す。

なお、図-3.3.6には前項(a)の試験Aの測定結果も併せて図示した。

- ・単位水量とVC値(標準VC値)の関係 図-3.3.6
- ・配合特性値 α 値、 β 値とVC値(標準VC値)の関係 図-3.3.7
- ・単位水量と圧縮強度(標準供試体)の関係 図-3.3.8
- ・セメント水比と圧縮強度(標準供試体)の関係 図-3.3.9
- ・単位水量と締固め密度(標準供試体)の関係 図-3.3.10
- ・材齢と圧縮強度(標準供試体)の関係 図-3.3.11

以上の結果より以下の所見が得られた。

I) 単位水量とVC値

試験A、Bの試験結果から、単位水量を増すに従って当然のごとくVC値は小さくなり、VC値の範囲を 10 ± 5 秒とすると、回帰式より求まる単位水量は約 $64 \sim 68 \text{kg/m}^3$ の範囲であった。これ結果より、VC値10秒の示方配合は仮定示方配合の 70kg/m^3 より若干小さくなると判断された。(図-3.3.6)

II) 標準供試体の単位水量及びセメント水比と圧縮強度

単位水量と圧縮強度の関係において、いずれの材齢(3、7、28、90日)でも単位水量の増加に伴い圧縮強度は低下する傾向にある。また、セメント水比と圧縮強度の関係では、単位水量の関係と同様セメント水比が小さくなるに従って圧縮強度も低下している。なお、以下のそれぞれの材齢におけるセメント水比と圧縮強度の関係式を示す。(図-3.3.8、図-3.3.9)

$$\begin{aligned}\sigma_{3} &= 14.782C/W - 22.939 (\text{相関係数 } R=0.989) \\ \sigma_{7} &= 7.5399C/W - 5.5204 (\text{相関係数 } R=0.951) \\ \sigma_{28} &= 25.643C/W - 34.623 (\text{相関係数 } R=0.936) \\ \sigma_{90} &= 33.371C/W - 40.184 (\text{相関係数 } R=0.919)\end{aligned}$$

III) 標準供試体の単位水量と密度

単位水量と密度の関係は、材齢90日において単位水量 65kg/m^3 付近に密度のピークが見られる。(図-3.3.10)

IV) 標準供試体の材齢と圧縮強度

材齢と圧縮強度の関係は、いずれの単位水量においても材齢が経過するに従って圧縮強度が増進している。また、仮定示方配合の単位水量 70kg/m^3 において、材齢90日の平均強度を100%(25.6MPa)とした場合の材齢3、7、28日の強度比は、3日が19%(4.7MPa)、7日では32%(7.9MPa)、28日で55%(13.5MPa)であった。なお、各単位水量における材齢と圧縮強度の関係式を以下に示す。

(図-3.3.11)

$$\begin{aligned}W=60 \text{kg/m}^3 & \quad \sigma = 14.649 \log(t) - 0.0491 (\text{相関係数 } R=0.979) \\ W=65 \text{kg/m}^3 & \quad \sigma = 14.441 \log(t) - 0.9536 (\text{相関係数 } R=0.991) \\ W=70 \text{kg/m}^3 & \quad \sigma = 13.380 \log(t) - 3.2260 (\text{相関係数 } R=0.976) \\ W=75 \text{kg/m}^3 & \quad \sigma = 7.3377 \log(t) - 0.1401 (\text{相関係数 } R=0.949)\end{aligned}$$

表-3.3.16 品質管理試験結果 (試験B)

配合名	水セメント比 W/(C+F) (%)	単位水量 W (kg/m ³)	単位結合材量 C+F (kg/m ³)	標準 V C		空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	標準供試体										
				VC値 (秒)	単位 (t/m ³)			圧縮強度 (MPa)			90日			密度 (t/m ³)				
								3日	7日	28日	1	2	3	平均	1	2	3	平均
B-1	46.2	60	130	31	2.357	2.6 (3.6)	18.5	8.8	10.7	19.3	29.7	32.3	28.7	30.2	2.379	2.387	2.389	2.388
B-2	50.0	65	130	17	2.318	4.1 (3.0)	19.5	7.2	10.0	19.0	25.2	30.4	29.1	28.2	2.446	2.401	2.417	2.421
B-3	53.8	70	130	4	2.228	5.7 (4.2)	18.0	4.7	7.9	13.5	21.8	26.7	25.6	24.7	2.349	2.354	2.276	2.326
B-4	57.7	75	130	1	2.245	7.3 (5.4)	19.5	2.7	7.8	8.6	14.1	13.9	17.0	15.0	2.299	2.300	2.300	2.300

注) 空気量は、上段が骨材フルサイズ換算の値、下段のカッコ内は骨材 40 mm以下の実測値を示す。

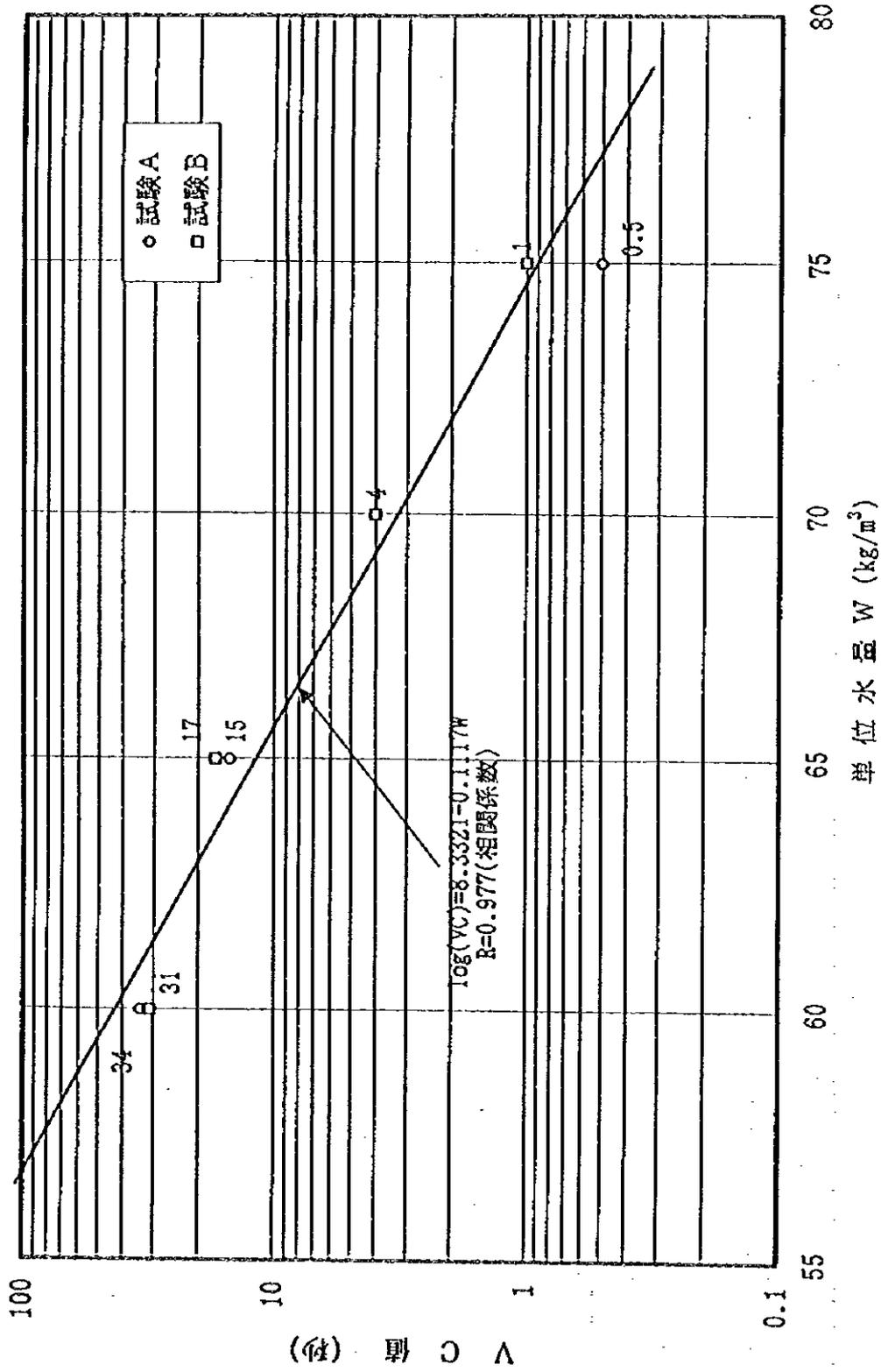


図-3.3.6 単位水量と V C 値 (標準 V C 値試験) の関係 (試験 A・B)

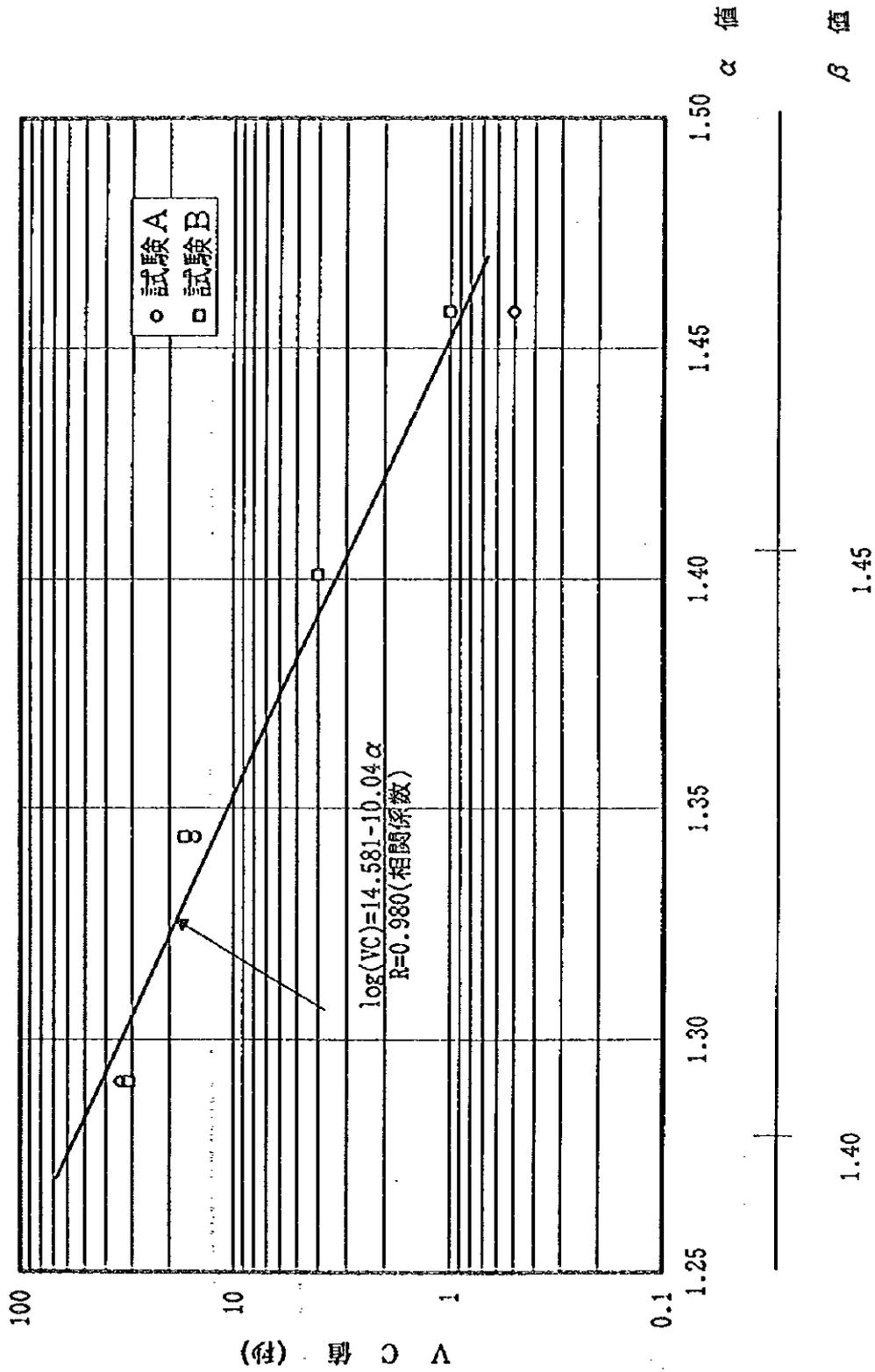


図-3.3.7 配合特性 α 、 β 値と V C 値の関係 (試験 A・B)

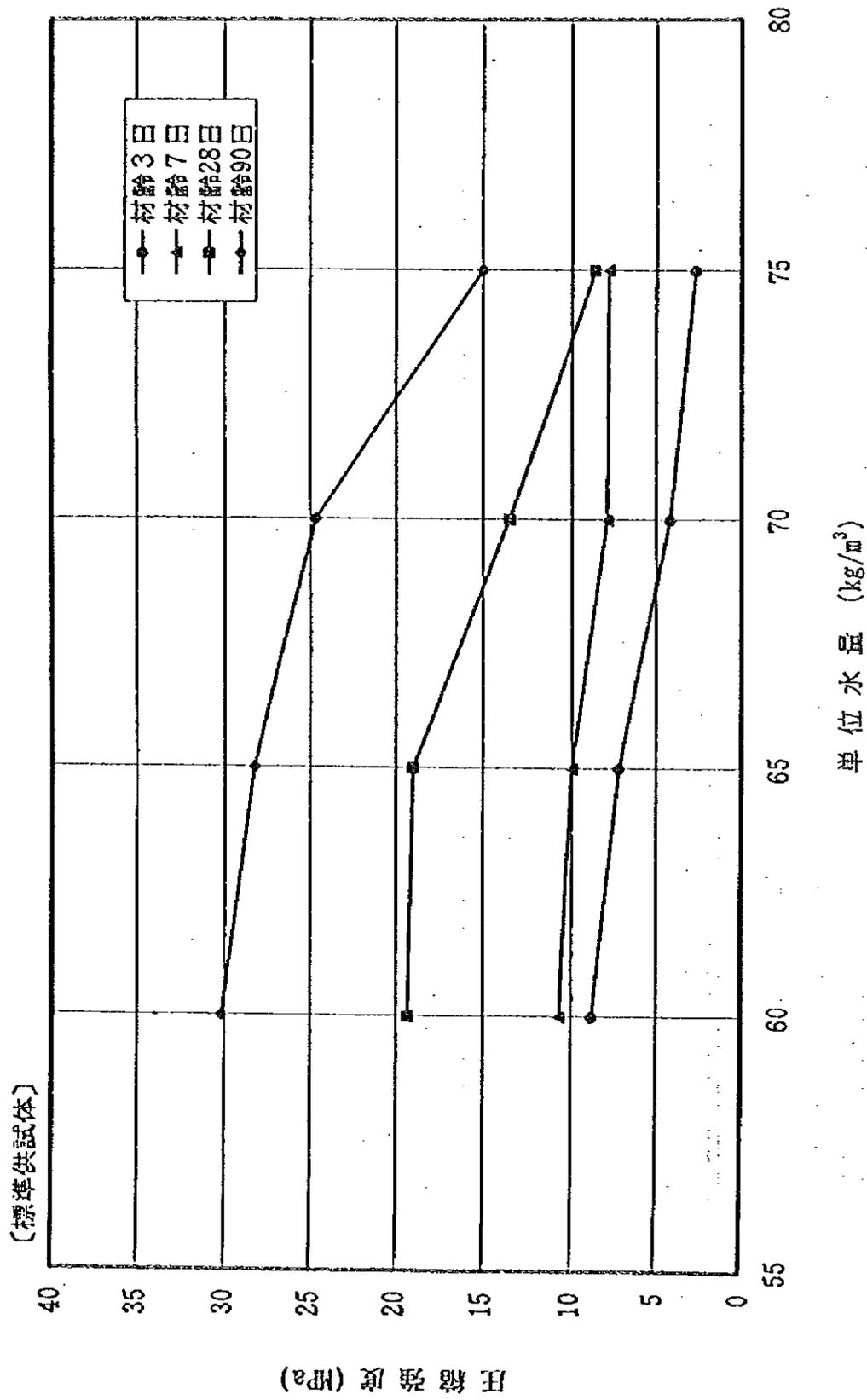


図-3.3.8 単位水含量と圧縮強度の関係(試験B)

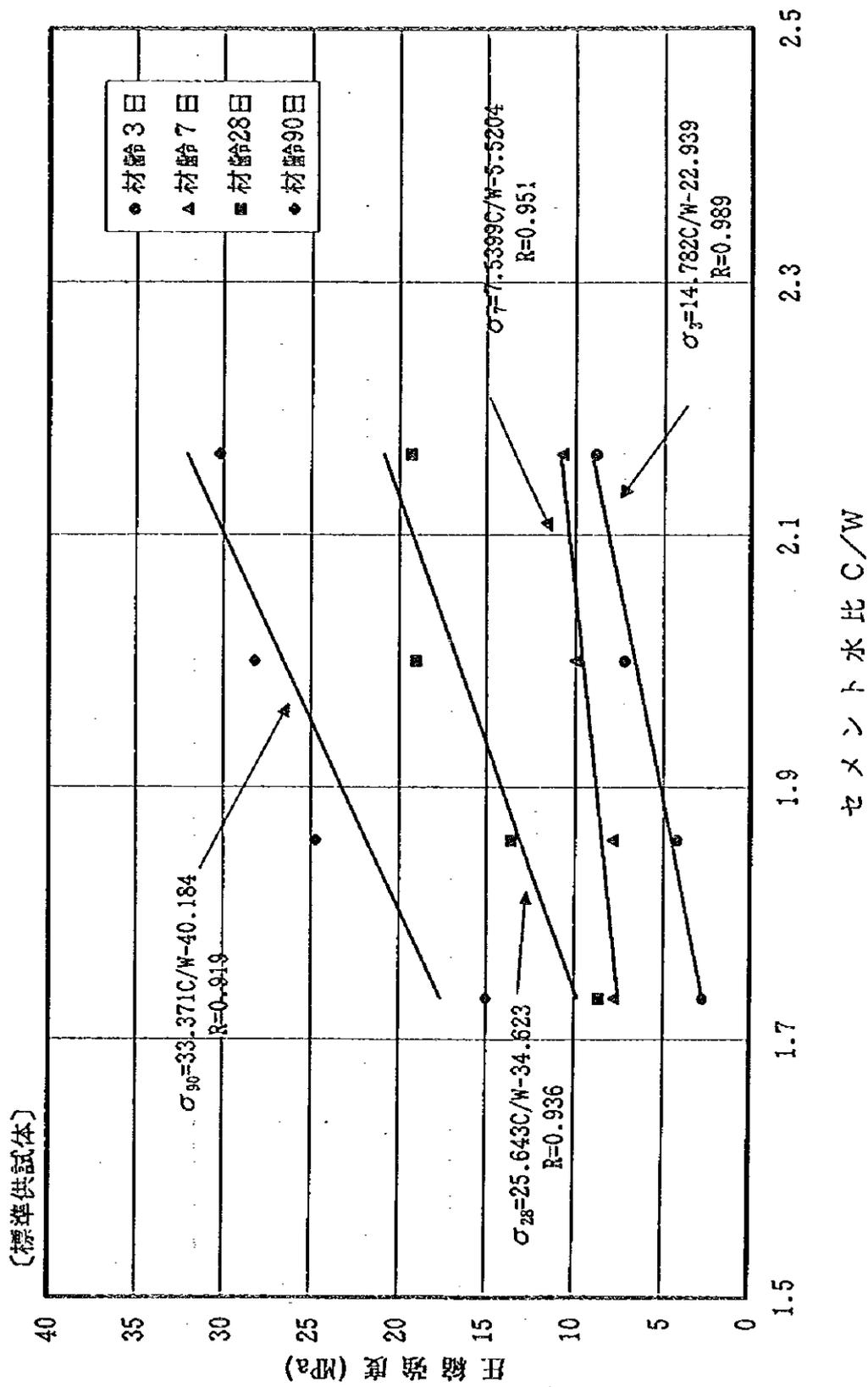


図-3.3.9 セメント水比と圧縮強度の関係(試験B)

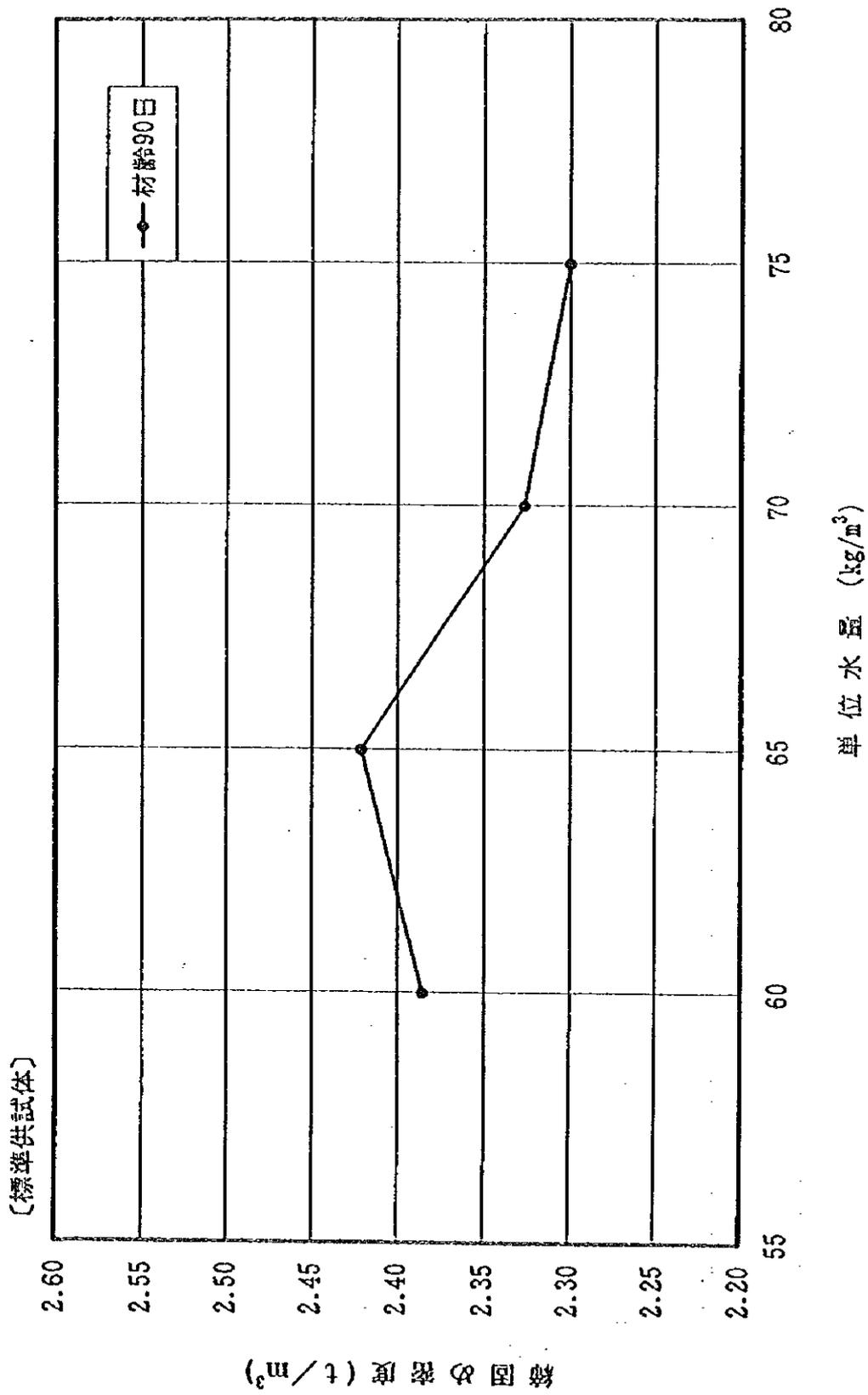


図-3.3.10 単位水量と密度の関係(試験B)

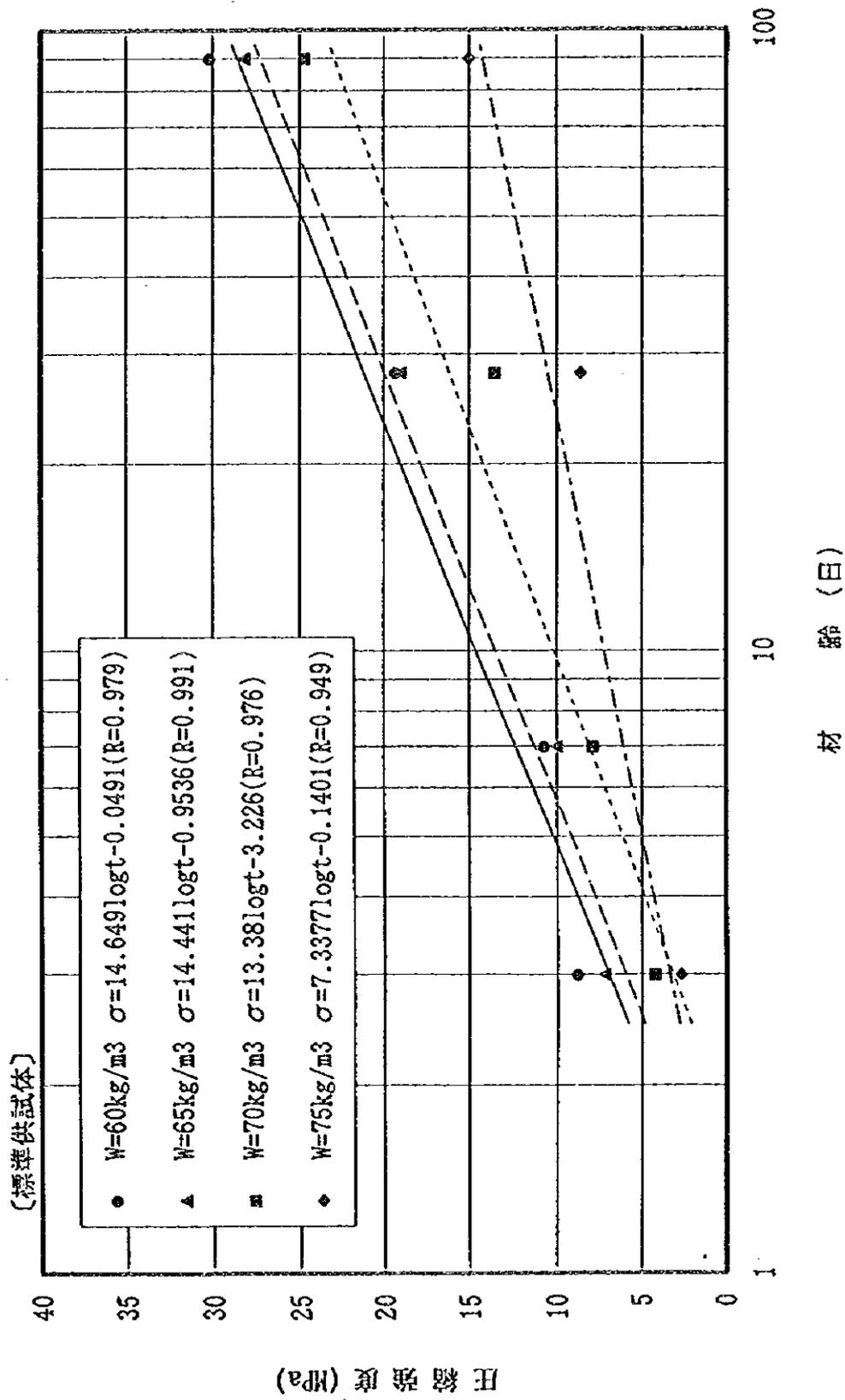


図-3.3.11 材齢と圧縮強度の関係(試験B)

② 体密度

大型供試体のまだ固まらないコンクリートの締固め後の状態ならびに全体密度測定結果を写真-5 (添付資料) 及び表-3.3.17に示す。

この結果をもとに以下の関係を表す。

- ・ 単位水量と締固め密度の関係 図-3.3.12
- ・ 締固め時間と締固め密度の関係 図-3.3.13
- ・ 締固め時間と密度比の関係 図-3.3.14
- ・ VC値と密度比の関係 図-3.3.15

以上の結果より以下の所見が得られた。

I) 単位水量と締固め密度の関係

締固め密度は、いずれの締固め時間においても、単位水量の増加に伴い密度も高くなる傾向であったが、締固め時間60秒における密度が最も高い値を示したものは、単位水量70kg/m³であった。(図-3.3.12)

II) 締固め時間と締固め密度及び密度比の関係

いずれの単位水量においても、締固め時間60秒は、他の締固め時間に比べ高い密度及び密度比を示している。(図-3.3.13、図-3.3.14)

III) VC値と密度比の関係

締固め時間60秒におけるVC値(標準)と密度比の関係は、VC値が大きくなるに従って密度比は低下する傾向にある。

RCDコンクリートの空気量を3±1%とした場合の密度比は、96～98%の範囲内であり、大型供試体試験は配合上の限界まで締め固めていることが伺えられる。(図-3.3.15)

表-3.3.17 締固め密度 (全体密度) 測定結果 (試験B)

上段: 密度 (t/m³)
下段: 密度比 (%)

配合名	単位水量 (kg/m ³)	締固め時間 (秒)					モルタルの飛び出し **(飛び出し量)	理論最大密度 (t/m ³)
		0	5	15	30	60		
B-1	60	2.038	2.188	2.243	2.281	2.313	-	2.490
		81.8	87.9	90.1	91.6	92.9	-	
B-2	65	2.128	2.248	2.318	2.361	2.393	-	2.482
		85.7	90.6	93.4	95.1	96.4	-	
B-3	70	2.141	2.279	2.354	2.401	2.42	-	2.473
		86.6	92.2	95.2	97.1	97.9	-	
B-4	75	2.328	2.36	2.382	2.393	2.404	5秒	2.465
		94.4	95.7	96.6	97.1	97.5	(2.50kg)	

注) 1) *印はモルタルの飛び出し開始時間。
2) **印は120秒締固め後のモルタルの飛び出し量。
3) 密度比 = (締固め密度 / 理論最大密度) × 100%

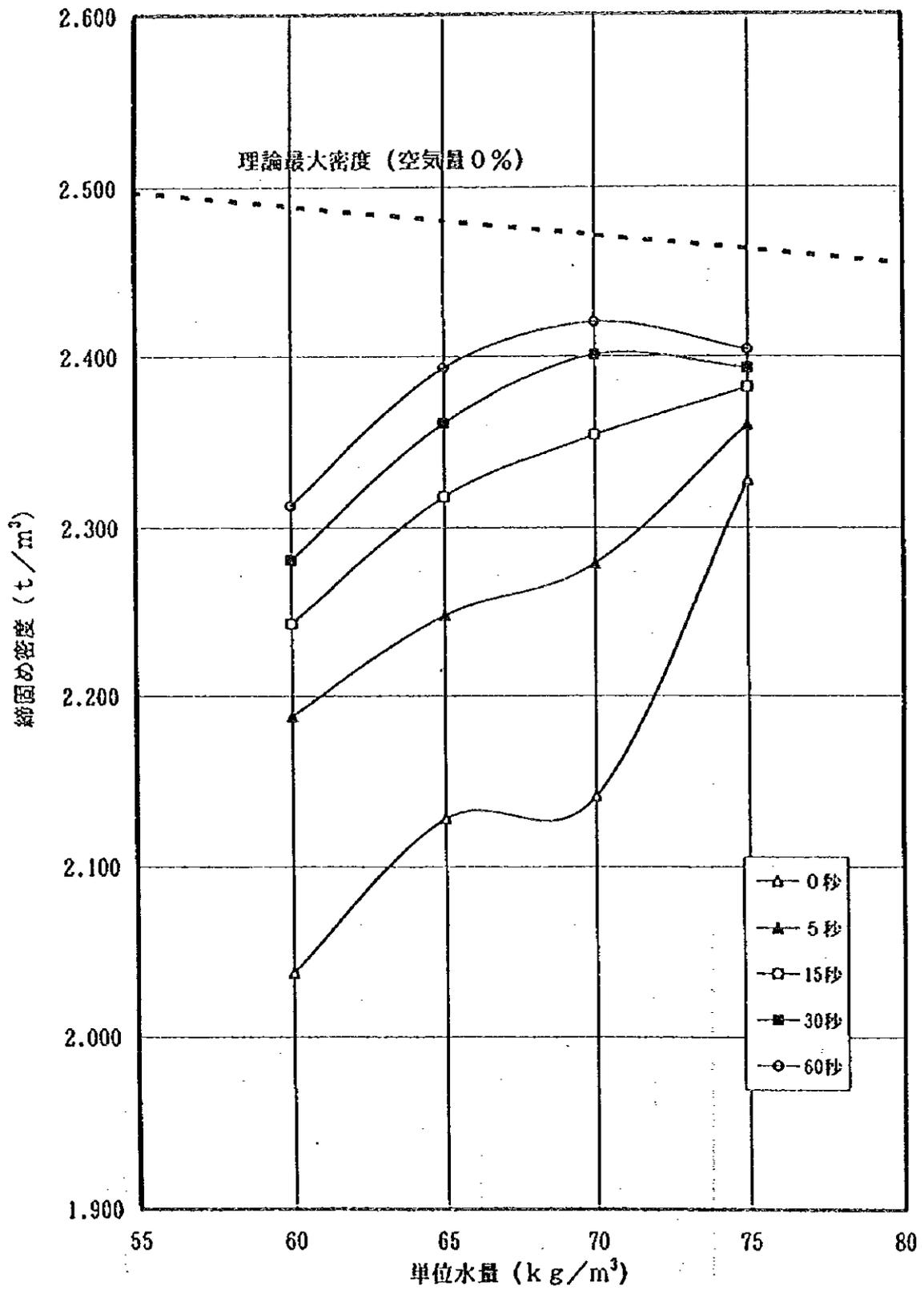


図-3.3.12 単位水量と縦固め密度の関係(試験B)

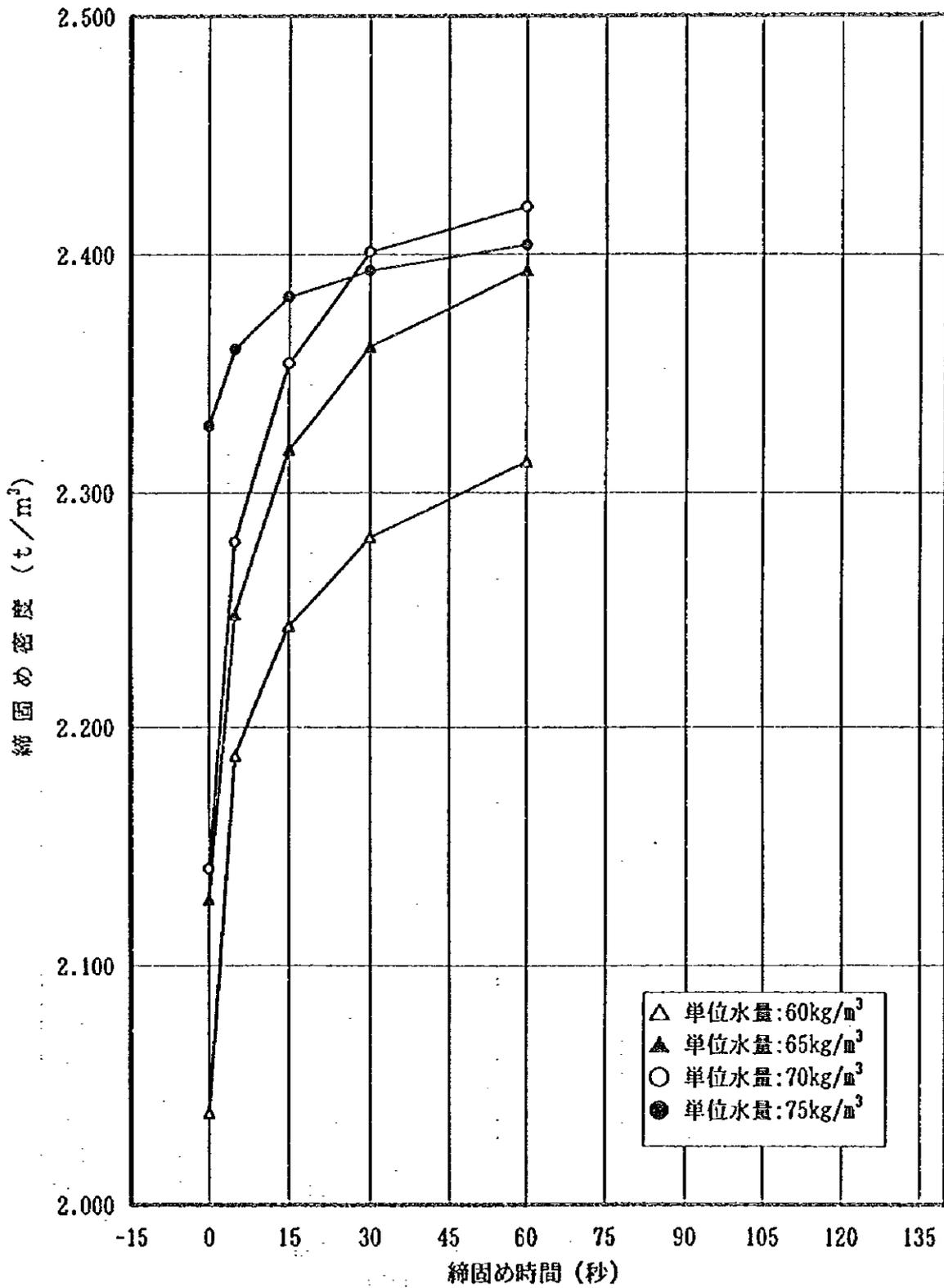


図-3.3.13 締固め時間と密度の関係(試験B)

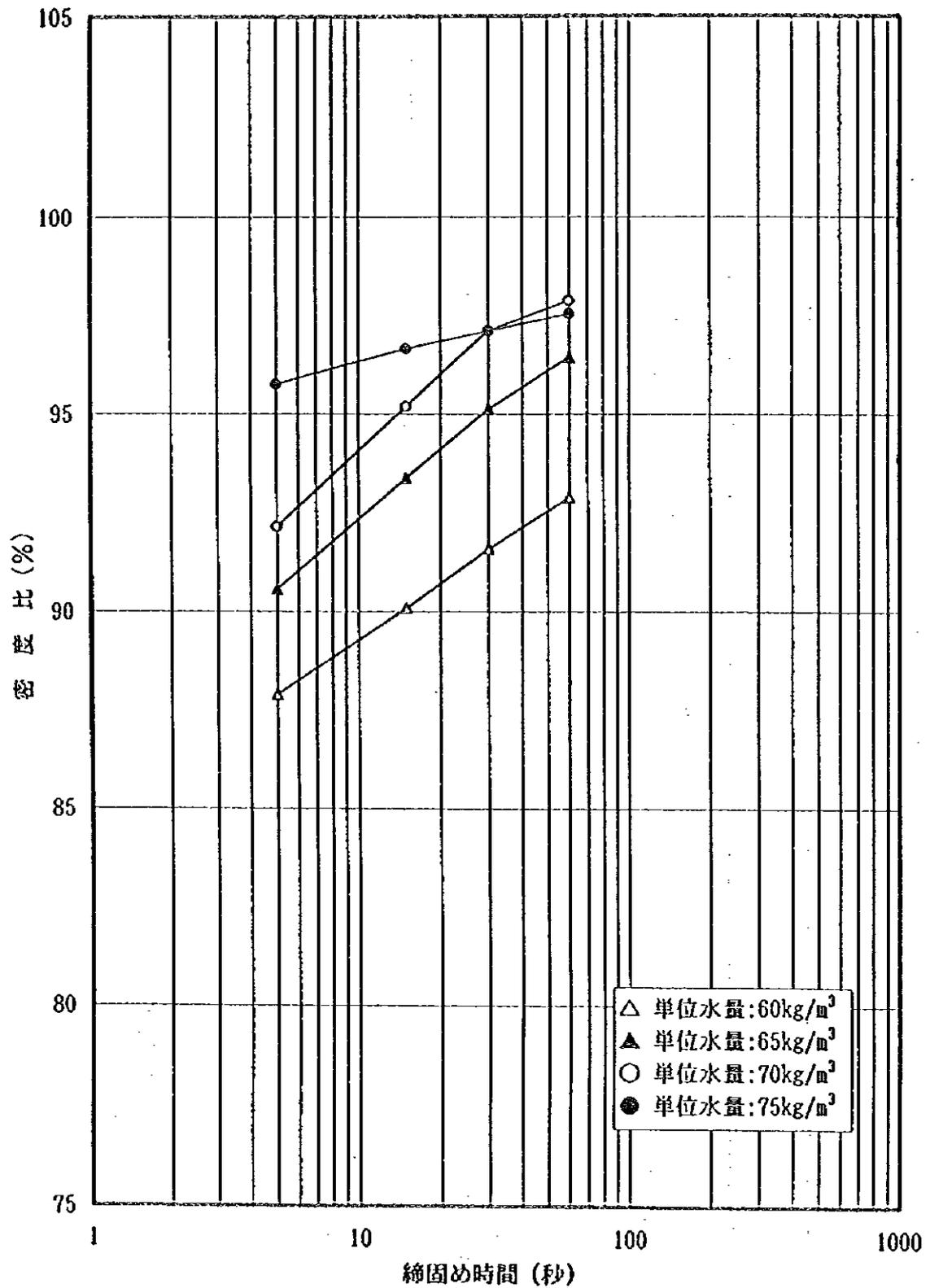


図-3.3.14 締固め時間と密度比の関係(試験B)

締固め時間 60 秒

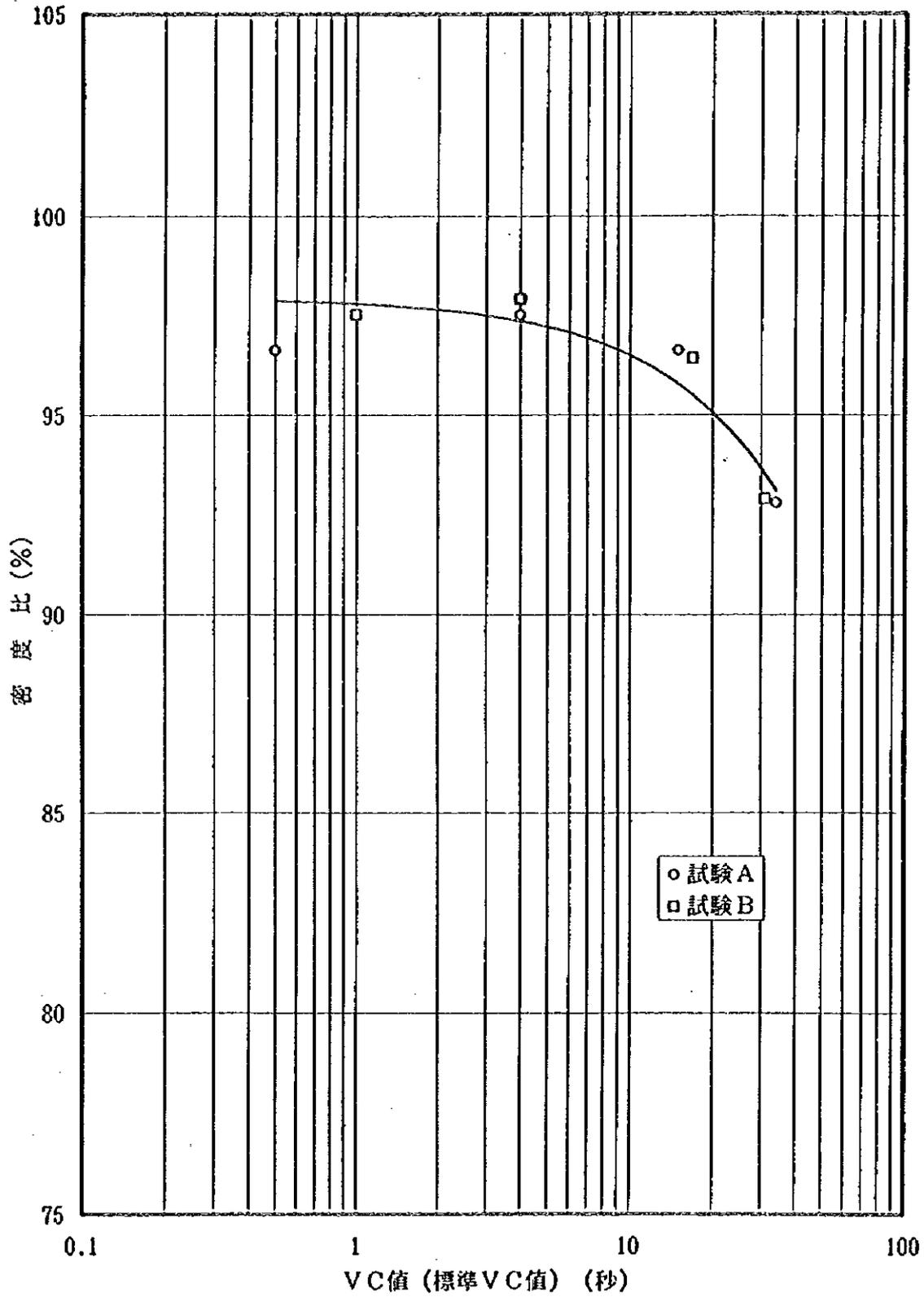


図-3.3.15 VC 値と密度比の関係(試験 A・B)

③ 採取コアの観察

コア観察は、表-3.3.12に従って行いその結果を写真-6~7(添付資料)、表-3.3.18及び図-3.3.16に示し、以下の所見が得られた。

1) 締固め時間60秒におけるコア評価点の最大値を示す単位水量は、仮定示方配合の70kg/m³であり、評価点は4.878点と優れたものであった。他の単位水量のコア評価点も最低評価点を示した60kg/m³においても4.483点であり、全体的にこのコンクリートは施工性の良いまたは締固めやすいコンクリートと判断された。

④ 採取コアの密度、圧縮強度及び動弾性係数

採取したコアの密度、圧縮強度及び動弾性係数の測定結果を表-3.3.19及び図-3.3.17に示し、以下の所見が得られた。

i) 採取コア密度

締固め時間60秒のコア密度は、単位水量の相違による大きな違いは認められず全て約2.4t/m³であり、「試験B②全体密度の単位水量と締固め密度」の関係と異なる結果であった。

ii) 採取コア圧縮強度

締固め時間60秒のコア圧縮強度は、単位水量70kg/m³が他の単位水量に比べ若干大きな値を示した。

iii) 採取コア動弾性係数

締固め時間60秒のコア動弾性係数は、単位水量65kg/m³が他の単位水量に比べ若干大きな値を示したが、それほど大きな差は生じなかった。

iv) 採取コアの各値について

一般にRCDコンクリートでは、密度が大きくなるに従って、圧縮強度及び動弾性係数も大きくなり、逆に密度が小さくなると、圧縮強度及び動弾性係数も小さくなる。これは、コンクリートの「詰まり」による影響であり、コンクリートが確実に締固まっていなければ、当然「詰まり」の悪い部分がコンクリートの圧縮強度の弱点となり、それに伴って動弾性係数の低下にもつながる。しかし、本試験結果では、コア密度が各単位水量間で差が出ていないのに係わらず、圧縮強度では単位水量70t/m³が最も大きい値であり、動弾性係数では単位水量65t/m³が大きい値を示していた。

各特性値間の関係が、一様でない原因については、各特性値の各値がばらついているため、高い相関性が得られなかったものと考えられる。

表-3.3.18 コア観察結果(試験B)

配合名	単位水量 (kg/m ³)	供試体 No	コアの評価点 (%)					評価点
			A	B	C	D	E	
B-1	60	1	70.6	7.8	21.6	0	0	4.490
		2	71.0	19.5	9.5	0	0	4.615
		3	58.3	32.8	2.8	6.1	0	4.433
		4	68.3	8.9	16.7	6.1	0	4.394
		平均	67.1	17.2	12.6	3.0	0	4.483
B-2	65	1	90.5	9.5	0	0	0	4.905
		2	82.2	17.8	0	0	0	4.822
		3	81.1	18.9	0	0	0	4.811
		4	89.4	5.0	5.6	0	0	4.838
		平均	85.8	12.8	1.4	0	0	4.844
B-3	70	1	92.2	7.8	0	0	0	4.922
		2	85.8	14.7	0	0	0	4.855
		3	93.3	6.7	0	0	0	4.933
		4	80.0	20.0	0	0	0	4.800
		平均	87.8	12.2	0	0	0	4.878
B-4	75	1	88.9	11.1	0	0	0	4.899
		2	84.4	15.6	0	0	0	4.844
		3	88.9	11.1	0	0	0	4.889
		4	86.7	13.3	0	0	0	4.867
		平均	87.2	12.8	0	0	0	4.872

注) コアの評価点は以下のとおりである。

- A→優 : 5点
- B→良 : 4点
- C→ほぼ良 : 3点
- D→やや不良 : 2点
- E→不良 : 0点

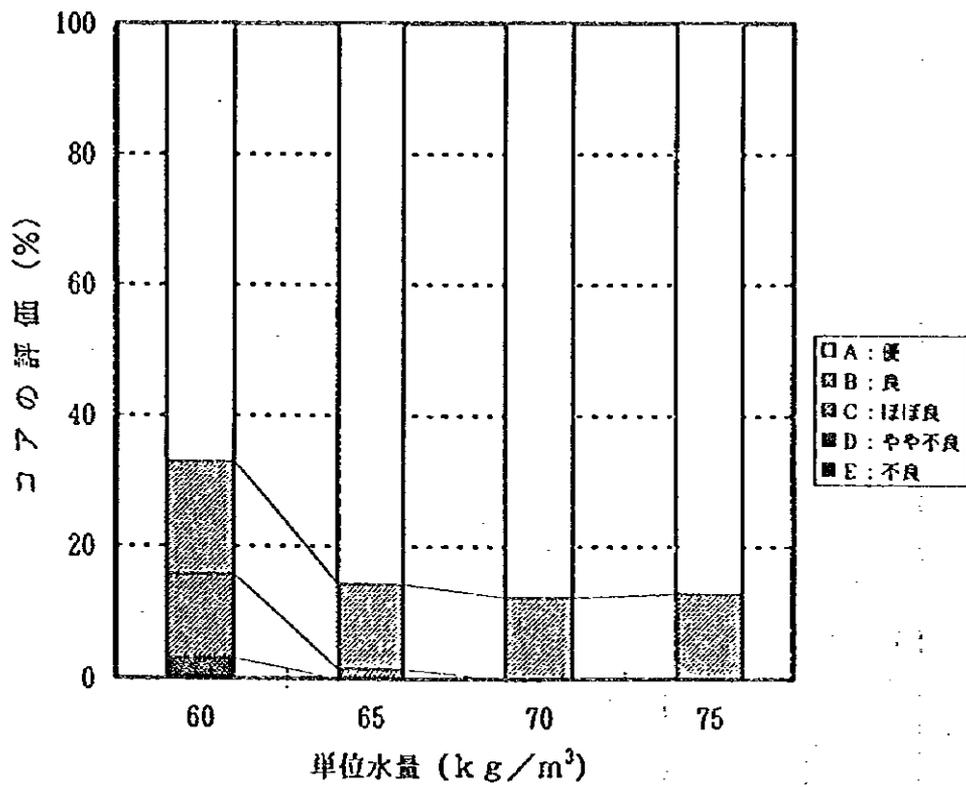
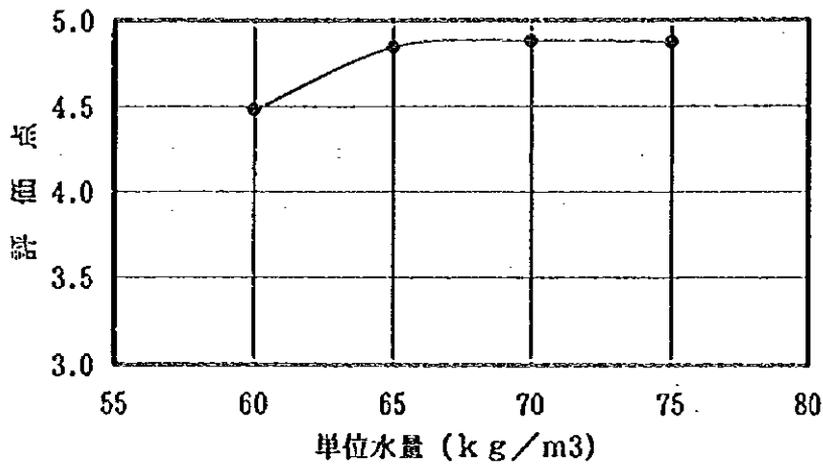


図-3.3.16 コアの観察結果 (試験B)

表-3.3.19 採取コアの密度・圧縮強度・動弾性係数測定結果(試験B)

配合名	単位水量 (kg/m ³)	供試体 No.	密度		圧縮強度		動弾性係数	
				(t/m ³)	(MPa)		(×10 ⁴ MPa)	
B-1	60	1	2.403	平均 2.404	19.6	平均 15.5	1.03	平均 1.05
		2	2.422		10.2		1.02	
		3	2.376		15.6		1.08	
		4	2.414		16.8		1.06	
B-2	65	1	2.407	平均 2.417	17.7	平均 16.6	1.05	平均 1.12
		2	2.408		14.3		1.11	
		3	2.422		18.1		1.15	
		4	2.431		16.4		1.15	
B-3	70	1	2.383	平均 2.377	21.4	平均 18.3	1.00	平均 1.03
		2	2.358		21.8		1.03	
		3	2.369		13.5		1.05	
		4	2.399		16.3		1.04	
B-4	75	1	2.393	平均 2.383	10.8	平均 12.6	0.93	平均 0.94
		2	2.386		10.2		0.93	
		3	2.392		17.5		0.96	
		4	2.361		11.9		0.94	

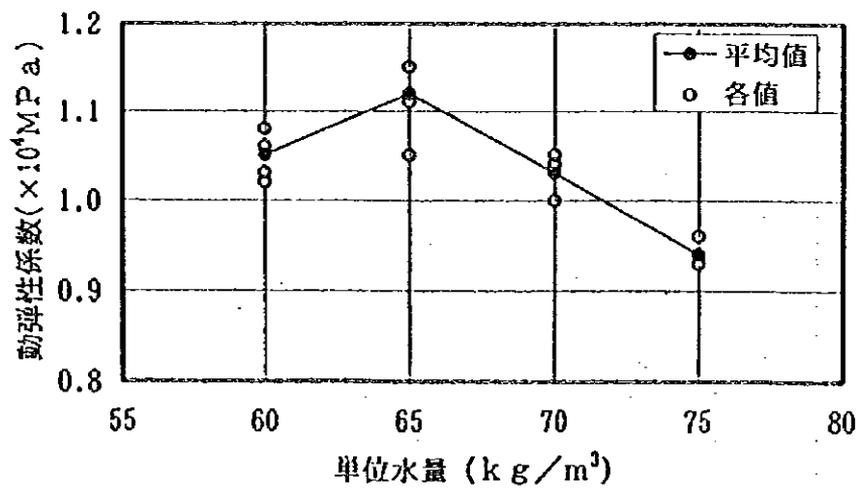
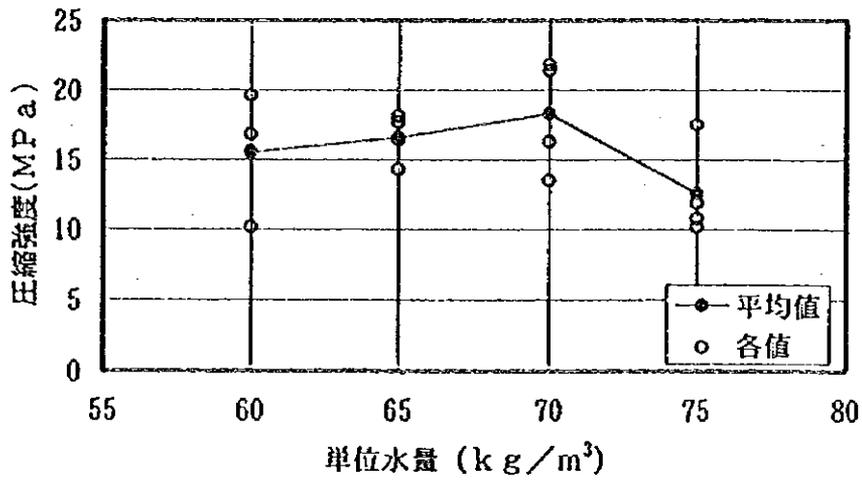
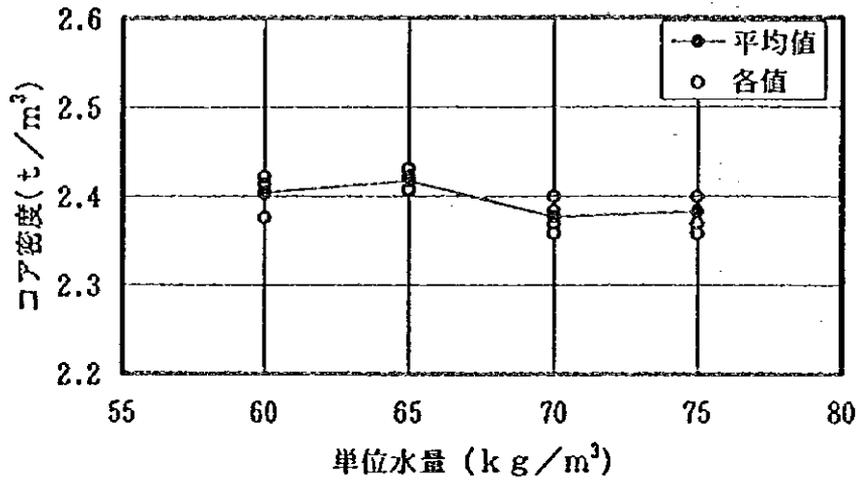


図-3.3.17 採取コアの密度・圧縮強度・動弾性係数測定結果(試験B)

(c) 試験C

① 品質管理

品質管理試験結果を表-3.3.20に示す。この結果をもとに以下の関係を表す。

なお、この試験Cから試験Bの結果より、標準となる単位水量を6.7kg/m³として行った。

- ・経過時間とVC値(標準VC値)の関係 図-3.3.18
- ・経過時間と締固め密度(標準供試体)の関係 図-3.3.19
- ・経過時間と圧縮強度(標準供試体)の関係 図-3.3.20

以上の結果より以下の所見が得られた。

I) 経過時間とVC値

単位水量6.7kg/m³のVC値は、経過時間とともに大きくなる傾向であり、経過2時間を超えるとVC値の増大は顕著となり、VC値10±5秒の基準を満足しない値となる。(図-3.3.18)

RCDコンクリートは、練混ぜから締固め開始までの時間は短いほどよく、長時間経過すると締固めが難しくなる。締固め可能な時間は、配合や天候(日射、気温、湿度、風速)によって異なるが、一般的な最適VC値は日本において25~50秒* (日本のにおける標準VC値の範囲は20±10秒と設定されている場合が多く、白石ダムにおける標準VC値の範囲は10±5秒であるため、最適VC値の値は、15~40秒と推測される)であり、この値を超えると、締固めが困難になってくる。本試験結果をこの傾向に当てはめて考えると、締固めまでの許容時間は約4時間と推測された。しかし、夏場の施工等を考慮すれば、当然この時間より短い時間で締固めを開始しなければならない。

なお、下記に日本におけるRCDコンクリートを用いたダム施工の練混ぜから締固め開始までの一般的な時間を示す。

夏期	: 2~3時間
その他の時期	: 3~4時間

II) 経過時間と締固め密度及び圧縮強度

締固め密度は、4時間経過まで増大し、それ以降徐々に小さくなる傾向であり、圧縮強度は3時間経過まで増大し、それ以降やや小さくなる傾向であった。(図-3.3.19、図-3.3.20)

通常日本における経過時間と締固め密度及び圧縮強度の関係は、前述した「I) 経過時間とVC値」のように、時間が経過するに従ってVC値は増大し、締固めにくくなり、その結果密度及び圧縮強度が低下する傾向であるが、本実験では、この傾向と異なる傾向であった。この原因を推測すれば、供試体を締固める時に、作製ミスのないように振動時間を長くして十分締め固めたためと考えられる。

*)「RCD工法によるダム施工」(財)国土開発技術研究センター 編集

表-3.3.20 品質管理試験結果 (試験 C)

配合名	単水 W (kg/m ²)	位置	練混ぜ後の経過時間 (hr)	標準 V C		コンクリート温度 (°C)	標準 供 試 体							
				V C 値 (秒)	単質 (t/m ³)		圧縮強度 (MPa)			密度 (t/m ³)				
							90日							
				1	2		3	平均	1	2	3	平均		
C-1			0 (練混ぜ直後)	8	2.328	20.0	16.4	18.7	19.8	18.3	2.314	2.335	2.339	2.329
C-2			2	15	2.326	13.0	26.8	26.9	28.9	27.5	2.352	2.403	2.330	2.362
C-3			3	27	2.351	13.0	40.6	30.0	38.6	36.5	2.379	2.374	2.371	2.375
C-4		67	4	49	2.356	13.0	24.0	21.6	24.2	23.3	2.393	2.374	2.397	2.388
C-5			5	53	2.358	13.5	35.9	30.5	-	33.2	2.366	2.386	-	2.376
C-6			6	62	2.362	14.0	37.1	34.5	32.7	34.8	2.362	2.386	2.407	2.385

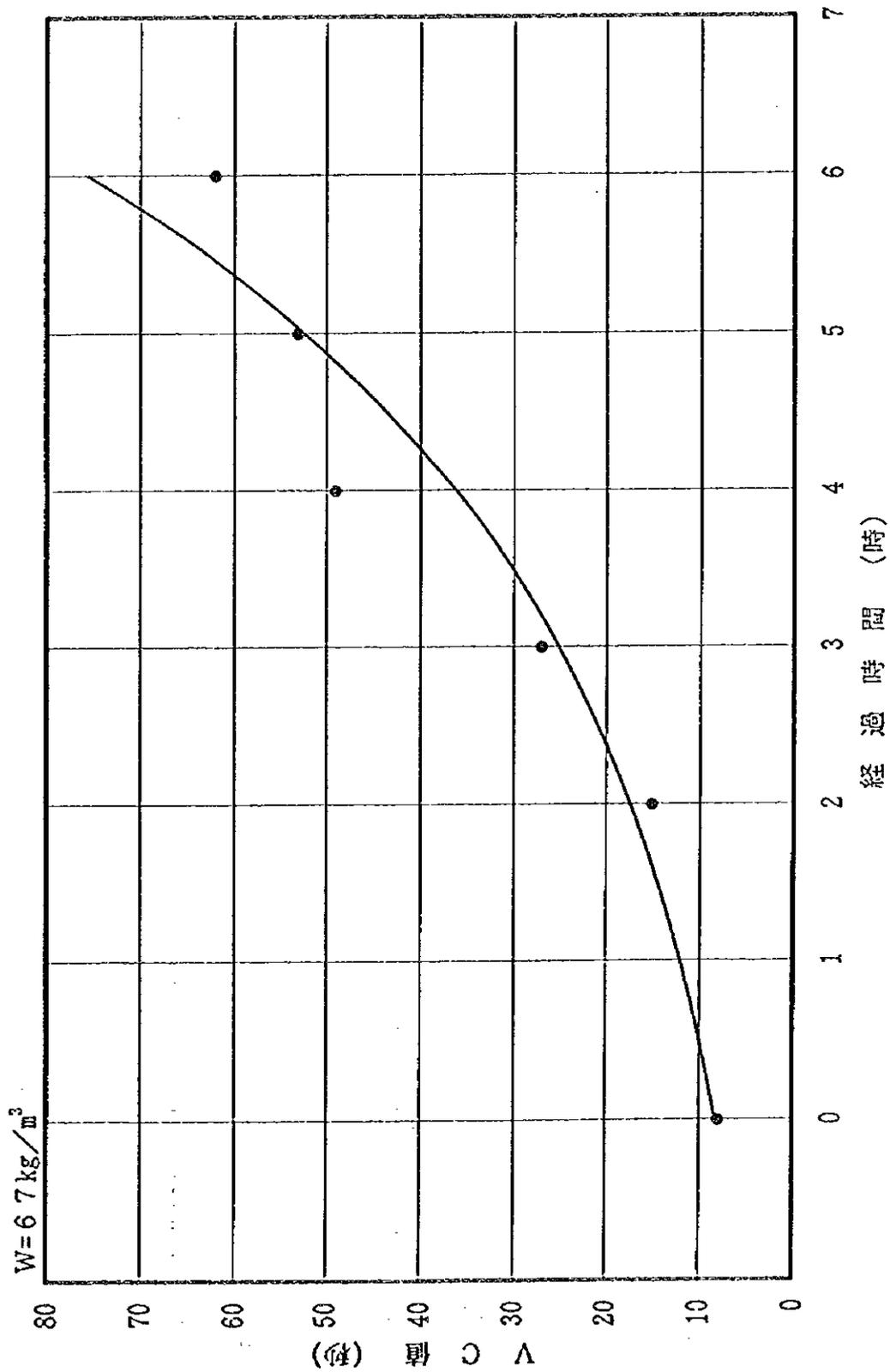


図-3.3.18 経過時間とVC値(標準VC値)の関係(試験C)

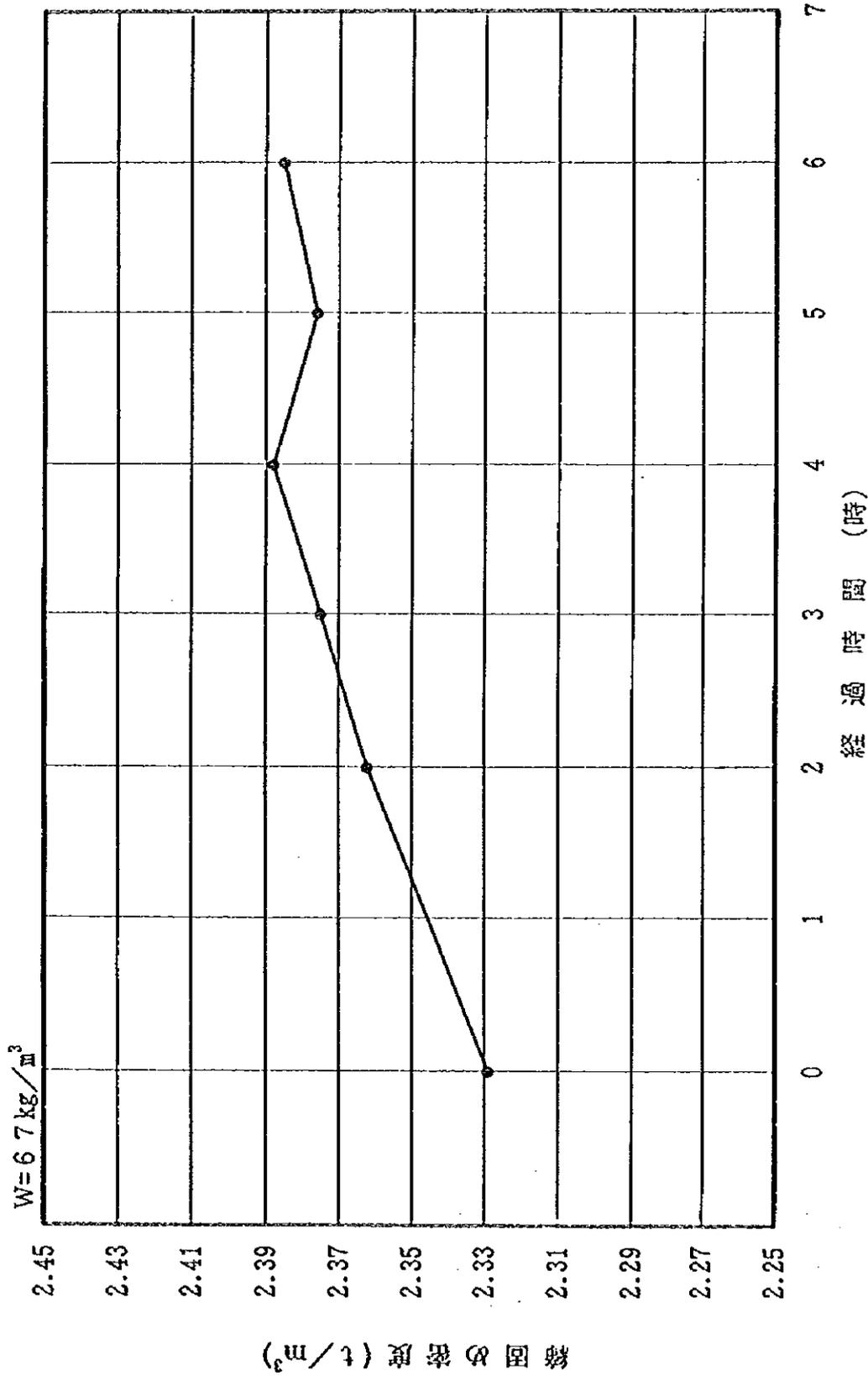


図-3.3.19 経過時間と締め密度 (標準供試体) の関係 (試験 C)

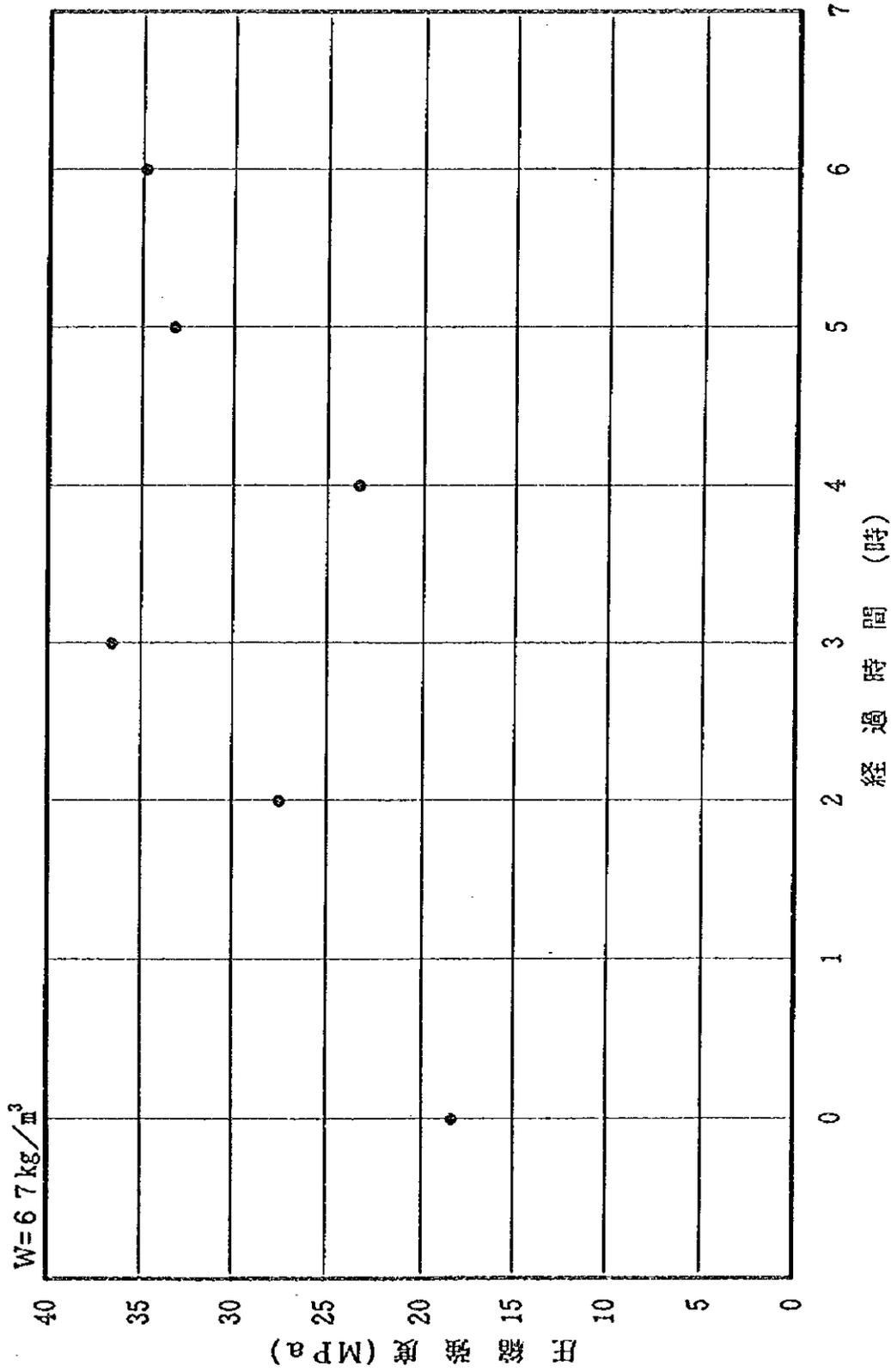


図-3.3.20 経過時間と圧縮強度 (標準供試体) の関係 (試験 C)

② 全体密度

大型供試体のまだ固まらないコンクリートの締固め後の状態ならびに全体密度測定結果を写真-8 (添付資料) 及び表-3.3.21に示す。

この結果をもとに以下の関係を表す。

- ・経過時間と締固め密度の関係 図-3.3.21
- ・経過時間及び標準VC値と密度比の関係 図-3.3.22

以上の結果より以下の所見が得られた。

I) 経過時間と締固め密度

締固め密度は、経過時間とともに低下する傾向にあり、特に2時間経過後においてはその低下が顕著となる。振動締固めの効果がある程度判断できる60秒後の締固め密度は6時間後で約 0.1 t/m^3 の低下が認められた。この経過時間と締固め密度の関係は、前項で述べた標準供試体での傾向と異なり、日本で一般的に言われている傾向と同様であった。(図-3.3.21)

II) 経過時間及び標準VC値と密度比

密度比は、締固め密度と同様にVC値それに伴う経過時間とともに低下する傾向にあった。(図-3.3.22)

表-3.3.2.1 締固め密度 (全体密度) 測定結果(試験C)

配合名	単位水量 (kg/m ³)	練混ぜ後の 経過時間(hr)	締固め時間 (秒)					モルタルの飛び出し **(飛び出し量)	理論最大密度 (t/m ³)
			0	5	15	30	60		
C-1		0	2.246 ----- 90.6	2.329 ----- 94.0	2.398 ----- 96.8	2.401 ----- 96.9	2.401 ----- 96.9	- (-)	2.478
C-2		2	2.183 ----- 88.1	2.305 ----- 93.0	2.365 ----- 95.4	2.387 ----- 96.3	2.401 ----- 96.9	- (-)	2.478
C-3		3	2.154 ----- 86.9	2.257 ----- 91.1	2.312 ----- 93.3	2.348 ----- 94.8	2.383 ----- 96.2	- (-)	2.478
C-4	67	4	2.123 ----- 85.7	2.240 ----- 90.4	2.279 ----- 92.0	2.313 ----- 93.3	2.340 ----- 94.4	- (-)	2.478
C-5		5	2.107 ----- 85.0	2.200 ----- 88.8	2.240 ----- 90.4	2.307 ----- 93.1	2.320 ----- 93.6	- (-)	2.478
C-6		6	2.069 ----- 83.5	2.189 ----- 88.3	2.232 ----- 90.1	2.267 ----- 91.5	2.308 ----- 93.1	- (-)	2.478

注) 1) *印はモルタルの飛び出し開始時間。
 2) **印は120秒締固め後のモルタルの飛び出し量。
 3) 密度比=(締固め密度/理論最大密度)×100%

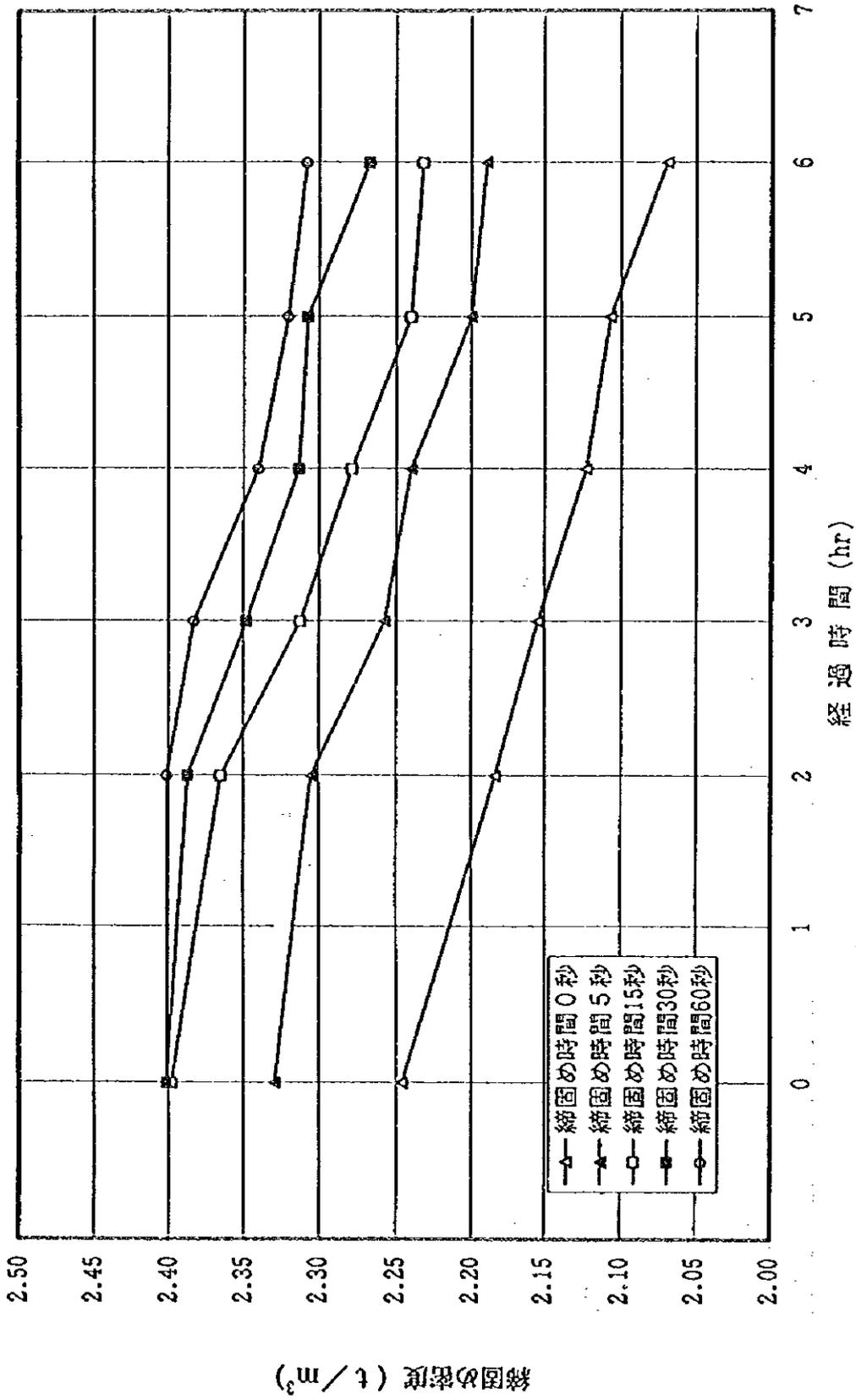


図-3.3.21 経過時間と締固め密度の関係(試験C)

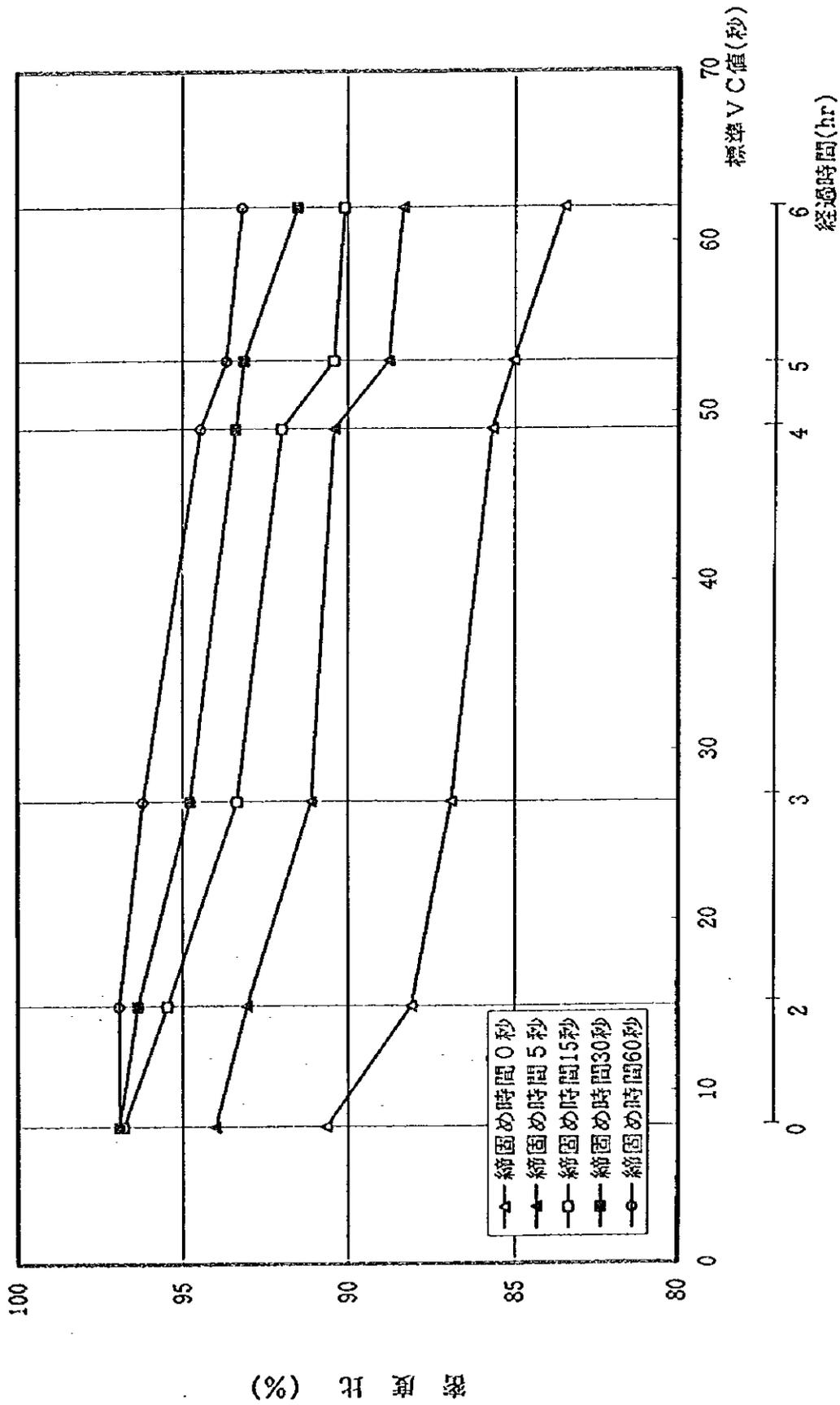


図-3.3.22 経過時間及び標準VC値と密度比の関係(試験C)