

土木研究所資料

第 454 号

六角川防潮水門に関する不定流計算報告書

(防潮水門上流内水位の検討)

昭和 44 月 3 月

建設省土木研究所

六角川防潮水門に関する不定流計算

(防潮水門上流内水位の検討)

目 次

〔1〕 ま え が き	1
〔2〕 調 査 の 概 要	1
1. 「六角川河口堰上流内水位の検討」の概要	1
2. 今回の調査	7
〔3〕 不定流計算とアナログコンピューター	8
〔4〕 河道要素の組み込み	10
〔5〕 計算結果および考察	19
1. アナログコンピューターのチェック	19
2. 計算結果およびその検討	26
3. 結 論	39
〔6〕 あ と が き	40

〔1〕 まえがき

六角川は流域面積 341 km^2 、流路延長 46.9 km で、河川としての規模は大きくないが、軟弱地盤の問題、有明海の湾奥に位置することからくる高潮問題や大潮差等の問題は他に例をみないものである。

本河川の治水対策としては、堤防方式案と水門設置方式案が基本対策としてとりあげられてきたが、水門設置案に対する水理的問題点としては洪水と高潮の合致の問題をどのように扱うかということにある。

本報告書は、この高潮と洪水の同時成起の問題を検討するために、武雄工事事務所より提供された境界条件にもとづいて計算を実施したものである。

〔2〕 調査の概要

本調査は、高潮と洪水が同時に成起する場合の河口堰上流の河道水位を検討するため、洪水追跡用アナログコンピューターを用いて不定流計算を実施したものである。本検討にさきだち、武雄工事事務所においては種々の検討が実施されており、その計算結果の検証が本検討の中心課題でもあるので、まずその概要をのべて、次に今回調査の概要をのべる。

1. 「六角川河口堰上流内水位の検討」の概要

…………… 昭和 43 年 3 月

同書は、対象高潮波形、洪水波形を検討し、その成起の仕方をいくつかの型に分類し、中四地建の方法を用いて、内水位の計算を実施している。それらは、

(1) 標準潮位および偏差

標準潮位および偏差は「六角川防潮水門水理計算における計画潮位および計画偏差の再検討 ……昭和 40 年 10 ……武雄工事事務所」にそって決定された値を採用する。

(2) 計画潮位

表 - 1 標準潮位と偏差の組み合わせ

計画潮位としては、潮位と偏差の組み合わせを考えて、表 - 1 の 4 つの組み合わせを考えた。その値は表 - 2、図 - 1.1 ~ 1.3 の通りである。本図には、潮位は 0 m または 1 m 以上しかのせていないが、これは後にみる河口堰上流の最低水位（迎水位）に対応してそれ以下を書かなかったためである。

組み合わせ	標準潮位	偏差
a	ピークより 1 時間前	ピーク
b	ピーク	"
c	ピークより 1 時間後	"
d	ピークより 2 時間後	"

(3) 対称洪水波形

有明海に異常高潮を生ずる南風が 15 m 以上の状態における降雨のもとに種々の検討を実施した結果、昭和 31 年型を内水位検討の計画洪水波形に選定した。この値は、表 - 3 および図

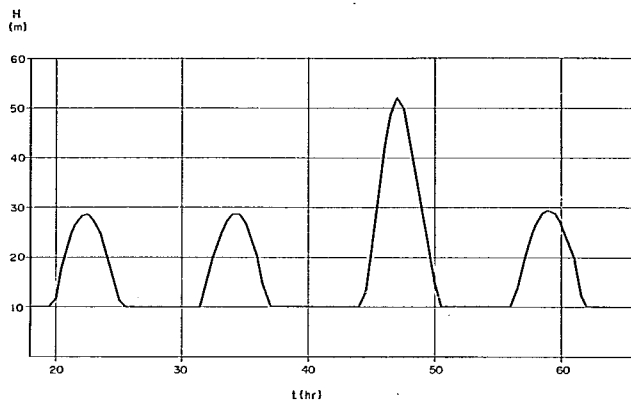


图 1-1 六角川外潮位 (b)

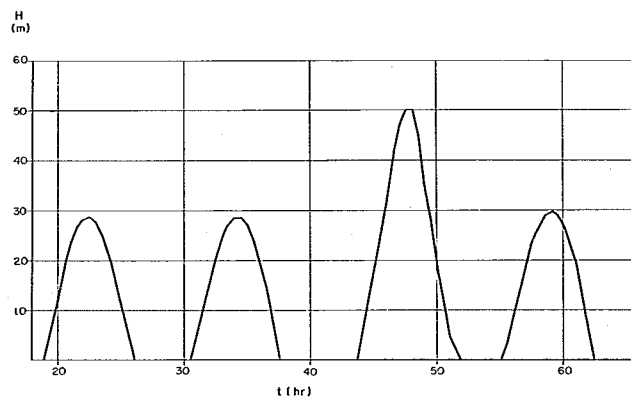


图 1-2 六角川外潮位 (c)

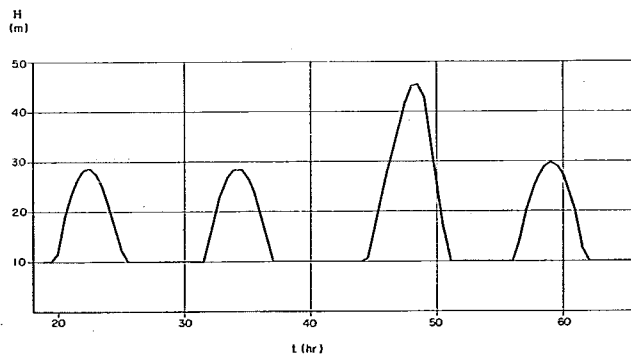


图 1-3 六角川外潮位 (d)

表 - 2 計画潮位表

時刻	標準潮位	a 外潮位	b 外潮位	c 外潮位	d 外潮位
5	-1.200				
	-0.934				
6	-0.552				
	-0.078				
7	0.453				
	1.007				
8	1.546				
	2.032				
9	2.430				
	2.711	2.714			
10	2.854	2.864			
	2.846	2.854	2.849		
11	2.683	2.707	2.692		
	2.370	2.406	2.388	2.373	
12	1.926	1.971	1.950	1.936	
	1.372	1.426	1.408	1.390	1.375
13	0.742	0.806	0.787	0.718	0.752
	0.071	0.146	0.125	0.107	0.089
14	-0.600	-0.514	-0.536	-0.555	-0.576
	-1.232	-1.135	-1.157	-1.178	-1.196
15	-1.787	-1.678	-1.701	-1.723	-1.742
	-2.231	-2.106	-2.134	-2.156	-2.177
16	-2.538	-2.396	-2.429	-2.452	-2.474
	-2.689	-2.526	-2.564	-2.592	-2.614
17	-2.676	-2.488	-2.534	-2.567	-2.590
	-2.498	-2.290	-2.335	-2.373	-2.401
18	-2.167	-1.939	-1.979	-2.025	-2.057
	-1.689	-1.437	-1.481	-1.526	-1.564
19	-1.130	-0.796	-0.902	-0.942	-0.988
	-0.490	-0.002	-0.238	-0.282	-0.327
20	0.183	0.996	0.517	0.411	0.371
	0.850	2.220	1.342	1.102	1.058
21	1.470	3.307	2.301	1.804	1.698
	2.008	4.180	3.378	2.500	2.260
22	2.432	4.788	4.269	3.245	2.766
	2.720	4.854	4.892	4.090	3.212
23	2.858	4.527	5.214	4.695	3.689
	2.841	4.145	4.975	5.013	4.211
24	2.674	3.629	4.343	5.030	4.511
	2.371	3.140	3.675	4.505	4.543
1	1.956	2.588	2.911	3.525	4.312
	1.459	1.994	2.228	2.763	3.593

表 - 3 対 称 洪 水 波 形

(m³/sec)

t	本 川	永野ダム 調 節 量	調節後の 本川流量	牛 津 川	調 節 前 の 住ノ江流量	調 節 後 の 住ノ江流量
(1)	(2)	(3)	(4)=(2)-(3)	(5)	(6)=(2)+(5)	(7)=(4)+(5)
1				3	3	3
2	1	0	1	5	6	6
3	4	0	4	9	13	13
4	8	0	8	14	22	22
5	13	0	13	19	32	32
6	15	0	15	23	38	38
7	19	0	19	28	47	47
8	26	0	26	37	63	63
9	35	0	35	46	81	81
10	40	0	40	52	92	92
11	42	0	42	58	100	100
12	57	0	57	102	159	159
13	135	0	135	324	459	459
13.5	229	0	229	410	639	639
14	339	95	244	510	849	754
14.5	416	164	252	608	1,024	860
15	506	192	314	720	1,226	1,034
16	492	204	288	692	1,184	980
17	431	171	260	576	1,007	836
18	356	139	217	479	835	696
18.1	345	134	211	469	814	680
19	284	18	266	411	695	677
19.1	274	0	274	404	678	678
20	219	0	219	364	583	583
21	184	0	184	304	488	488
22	146	0	146	232	378	378
23	105	0	105	152	257	257
24	89	0	89	124	213	213
25	83	0	83	114	197	197
26	79	0	79	106	185	185
27	73	0	73	95	168	168
28	69	0	69	84	153	153
29	67	0	67	78	145	145
30	66	0	66	75	141	141
31	66	0	66	75	141	141
32	68	0	68	75	143	143
33	69		69	76	145	145
34	71		71	77	148	148

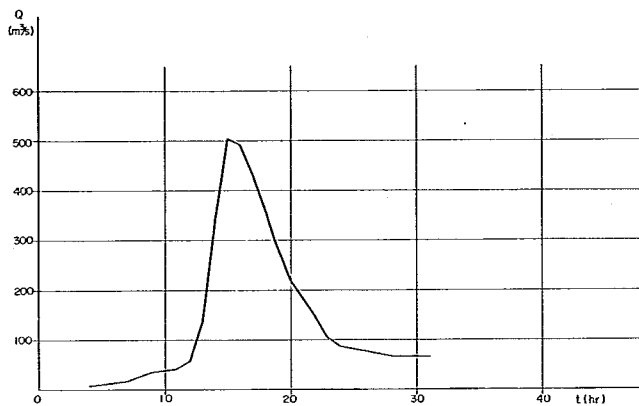


図2-1 六角川（本川）流量（S. 31年型）

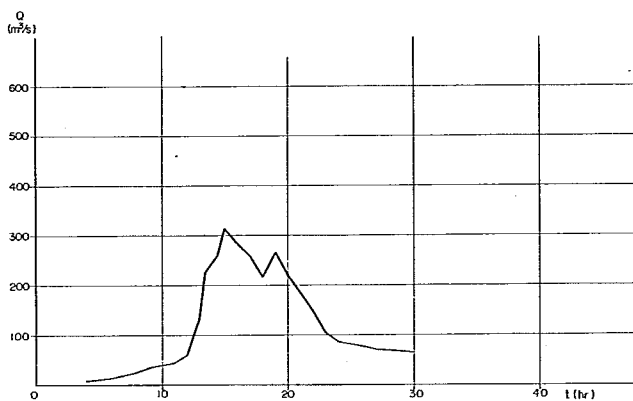


図2-2 調節後の本川流量（S. 31年型）

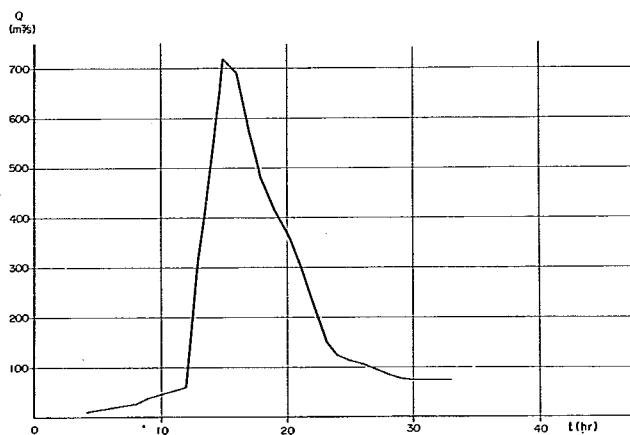


図2-3 牛津川流量（S. 31年型）

- 2.1 ~ 2.3 の通りである。ここには、本川上流の永野ダムによる調節後の数値を対称としてとりあげている。

表 - 4 外潮位と計画洪水波形の組み合わせ

(4) 外潮位と計画洪水波形との

組み合わせ

外潮位と計画洪水波形との時間的な組み合わせとしてつぎの 5 とおりを考えている。

組み合わせ方は、外潮位時刻を基準として動かさず、洪水波形を移動させた。

組み合わせ	外 潮 位	計画洪水波形
1	ピークより 1 時間前	ピーク
2	ピーク	"
3	ピークより 1 時間後	"
4	ピークより 2 時間後	"
5	ピークより 3 時間後	"

(5) 内水位計算条件

内水位計算条件は以下の通りである。

i) 内水最低水位は $T.P + 1.00m$ とする。

ii) 内水位が $T.P + 1.00m$ 以上で内水位が外水位より高い場合は水門を全開し、外水位より低い場合は全閉する。

iii) ある時刻での内水位が $T.P + 1.00m$ 以上あり、つぎの 30 分後の内水位が計算上 $T.P + 1.00m$ 以下になる場合は、その 30 分の間にゲート操作を行なって、30 分後の水位を $T.P + 1.00m$ に抑える。

iv) 内水位が $T.P + 1.00m$ 以下になった場合、内水位を $T.P + 1.00m$ に保つようにゲートの開閉を操作するものとする。

(6) 内水位と貯留量の関係

河口堰上流の河道の水位と貯留量の関係が、表 - 5 の通り求められている。

(7) 内水位計算結果

以上の計算結果を最高水位について記すると表 - 6 の通りである。

表 - 5 内水位 — 貯留量

水 位	貯留量 ($\times 10^3 m^3$)
0.0	0
0.5	1,080
1.0	1,924
1.5	2,913
2.0	4,200
2.5	5,925
3.0	7,777
3.5	9,888
4.0	12,083
4.5	14,425

貯留量は 0 m を基準

表 - 6 洪水調節前後の内水位

(T.P.m)

洪水と外潮位の 標準潮位 と偏差の組合せ		1	2	3	4	5	外潮位の 最高水位
a	調節前	3.56	4.16	4.37	4.40	4.23	4.85
	調節後	3.44	3.93	4.16	4.16	4.00	
	差(cm)	12	23	21	24	23	
b	調節前	3.90	4.26	4.52	4.55	4.40	5.21
	調節後	3.67	3.99	4.35	4.35	4.14	
	差(cm)	23	27	17	20	26	
c	調節前	3.52	3.98	4.55	4.72	4.66	5.03
	調節後	3.35	3.78	4.31	4.52	4.52	
	差(cm)	17	20	24	20	14	
d	調節前	3.53	4.01	4.48	4.64	4.60	4.54
	調節後	3.35	3.83	4.32	4.53	4.55	
	差(cm)	18	18	16	11	5	

以上の検討結果より、河口堰を設置し、かつ上流ダムによる調節後の計画内水位はT.P.450 mと設定された。

2. 今回の調査

以上、武雄工事事務所における調査の概要をみてきたが、同一資料にもとづいて土木研究所においても内水位の検討を実施した。

(1) 再検討の理由

- i) 事務所計算においては、河口堰上流をレベル湛水としている。水位が上昇した段階においては、この仮定は許されるが、水門が閉鎖する水位の低い状態においては、上流河道の水位はある勾配をもっているものと考えられる。このことが最高水位におよぼす影響を調査すること。
- ii) i) が主目的であるが、河口堰上流の初期水位の変化が最高水位におよぼす影響を調べること。

② 調査の概要

上記調査目的を究明するため、対象区域を六角川河口より感潮区域上流端までとし、図-3のように各河道要素に分割してアナログコンピューターに組み込み堰上流の湛水状況を計算することとした。

計算のための潮位波形、洪水波形は事務所計算と同一とし、計算組み合わせについては前回の検討から明らかに低いと認められている「標準潮位と偏差の組み合わせのa(表-1)」および「外潮位と計画洪水との組み合わせの1(表-4)」を省略することとした。ただし、計算結果が事務所計算結果表-6と異なり外潮位の組み合わせ4のところに山がでなかったので「外潮位が洪水波形のピークより4時間後になる組み合わせ6」を追加した。

また、河口堰上流の初期内水位の影響を調べるため、ゲート操作の条件を内水位最低水位(迎水位)をT.P.

1.0mとするという条件に加えて、内水位が最も高いCのケースについてT.P.0.5m, T.P.0.0mの両者の計算を実施した。

これらの計算ケースとともに最高水位を一覧すると表-7の通りである。

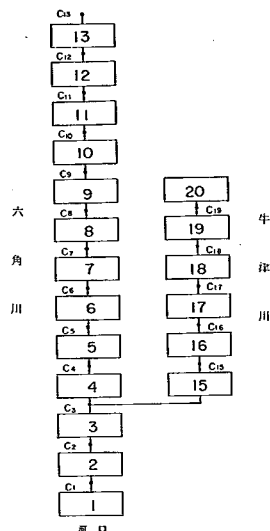


図-3 六角川ダイアグラム

表-7 洪水調節前後の最高内水位

単位 (m)

洪水と潮位 の組み 合せ	N				C					外潮位の最高水位
	2	3	4	5	2	3	4	5	6	
b 1.0	4.15	4.78	5.00	5.02	4.03	4.43	4.71	4.72		5.21
c 1.0	3.97	4.58	5.01	5.03	3.69	4.38	4.80	4.85	4.76	5.03
d 1.0	3.85	4.38	4.54	4.54	3.70	4.20	4.50	4.54		4.54
c 0.5	3.67	4.45	4.87	5.03	3.58	4.15	4.66	4.85	4.75	5.03
c 0.0	3.57	4.21	4.84	5.03	3.48	4.05	4.54	4.85	4.72	5.03

- 注 1. 潮位波形の右下に b_{1.0} 等と記したのは、河口堰上流の迎水位を示す。
 2. Nは自然状態, Cは調節後を示す。
 3. 河口堰直上地点の水位で示している。

〔3〕不定流計算とアナログコンピューター

河道における不定流の運動方程式と連続方程式は次のように表わされる。

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{Q}{gA^2} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{Q}{gA^2} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{n^2 Q^2}{R^{\frac{4}{3}} A^2} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

ここに、 H：水 位
 Q：流 量
 A：流水断面
 n：Manning の粗度係数
 R：径 深

六角川は、緩流の感潮河川で、基本式としては全項をとりあげることが望ましいが、今回の計算では水門の上流側は貯留計算が主であり、水門下流部においても不定流項の省略が水門地点において数cm程度の誤差におさまるものと考えられるのでアナログコンピュータの基本式は

$$\frac{\partial H}{\partial x} - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{n^2 Q^2}{R^{\frac{4}{3}} A^2} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

とした。

表-8 水理量—電気量の対応

アナログコンピュータは、この水理系の現象を電気系で模擬し、電気回路に表われる電流や電圧を測定して水位流量を知る。それらの対応関係は表-8に示す通りで電気系の方程式は階差式で表わせば次のごとくである。

水理系	電気系	変換係数
水位 H	電圧 e	$H = \alpha e$
流量 Q	電流 i	$Q = \beta i$
時間 t	時間 τ	$t = \delta \tau$

$$-\Delta e = Ri \quad (5)$$

$$-\Delta i = C \cdot \frac{\partial e}{\partial \tau} \quad (6)$$

ただし、

$$R = \left(\frac{n^2}{R^{\frac{4}{3}} A^2} + \frac{1}{gA^3} \frac{\partial A}{\partial x} \right) \cdot \Delta x \cdot \frac{\beta^2}{\alpha} i \quad (7)$$

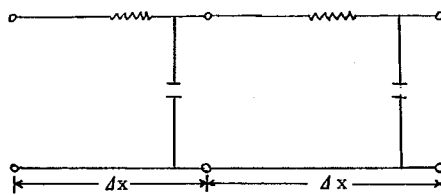


図 - 4

$$C = \frac{\alpha \cdot \Delta x}{\beta \delta} \cdot \frac{\partial A}{\partial H} = \frac{\alpha}{\beta \delta} \cdot A_0 \quad (8)$$

ここに,

R : $4x$ 区間の抵抗

C : $4x$ 区間の静電容量

A_0 : 水位 H の場合の $4x$ 区間の水面積

(5), (6)式は図-4に示す四端子回路であり, この R , C が(7), (8)式で表わされる値を用いれば水理系の方程式と全く相似になり, 電気回路を水理系の条件のように結合し, 初期条件, 境界条件を相似にあてれば, この電気系において水理系の計算を行なうことができる。

換算係数は, コンピューターの回路構成の要求と精度を考慮して次のように定めた。

$$\alpha = 0.2$$

$$1m \rightarrow 5Volt$$

$$\beta = 50$$

$$1,000m^3/s \rightarrow 20mA$$

$$\delta = 4.5 \times 10^3$$

$$1時間 \rightarrow 0.8sec$$

(4) 河道要素の組みこみ

表-9 六角川距離表

六角河道区間は, さきの図-3のような分割を実施した。分割区間の距離表は表-9の通りであり, 河道各区間の断面積は表-10, 11の通りである。

これらの断面特性をもとに(7), (8)式の R , C を算定すれば, この電気系において水理系の計算を行なうことができる。まず C については, (8)式より水面積に定数をかけて求められるが, これは回路構成より上下流に分割して設置するため, 表の川幅に区間距離をかけて水面積を求のその半分ずつを合成する。

河川名	河道区	河道区間	区間距離	追加距離
六角川	1	1.0 ~ 2.2	1,210 ^m	2,200
	2	2.2 ~ 3.4	1,190	3,390
	3	3.4 ~ 4.6	1,190	4,580
	4	4.6 ~ 7.0	2,406	6,986
	5	7.0 ~ 9.4	2,370	9,350
	6	9.4 ~ 11.6	2,197	11,553
	7	11.6 ~ 14.0	2,383	13,936
	8	14.0 ~ 16.6	2,544	16,480
	9	16.6 ~ 18.6	2,060	18,540
	10	18.6 ~ 20.6	1,995	20,535
	11	20.6 ~ 22.6	2,006	22,541
	12	22.6 ~ 24.6	2,052	24,593
	13	24.6 ~ 26.6	2,025	26,618
	14	26.6 ~ 29.2	2,602	29,220
牛津川	15	0.0 ~ 2.4	2,405	2,405
	16	2.4 ~ 4.8	2,413	4,818
	17	4.8 ~ 7.2	2,460	7,278
	18	7.2 ~ 8.4	1,295	8,573
	19	8.4 ~ 10.4	2,040	10,613
	20	10.4 ~ 12.4	2,035	12,648
	21	12.4 ~ 14.4	2,045	14,693

表 - 1 0.1 六角川平均断面特性

区間 A・R・B		No 1 1.0~2.2 (1,210m)		
水位		A	R	B
0		803.5	3.16	250.50
1		1,068.7	3.75	300.25
2		1,380.5	4.84	481.25
3		1,724.5	5.04	522.00
4		2,073.0	5.91	522.75
5		2,433.7	6.76	522.75
6		2,771.7	7.56	522.75

区間 A・R・B		No 2 2.2~3.4 (1,190m)		
水位		A	R	B
0		700.0	3.46	196.75
1		905.0	4.17	208.25
2		1,118.0	4.85	270.25
3		1,343.2	5.58	341.25
4		1,574.5	6.39	342.75
5		1,812.5	7.16	342.75
6		2,044.0	7.89	342.75

区間 A・R・B		No 3 3.4~4.6 (1,190m)		
水位		A	R	B
0		624.0	3.50	176.75
1		845.7	4.45	188.25
2		1,044.2	5.06	202.00
3		1,263.2	5.35	230.50
4		1,513.5	6.02	253.00
5		1,786.7	6.96	253.00
6		2,009.2	7.84	253.00

区間 A・R・B		No 4 4.6~7.0 (2,406m)		
水位		A	R	B
0		394.8	3.26	113.59
0.5		463.7	3.65	120.66
1.0		536.6	4.02	128.51
1.5		603.1	4.29	135.94
2.0		673.7	4.45	142.59
2.5		759.8	4.11	175.14
3.0		849.3	4.31	187.79
3.5		950.0	4.66	196.14
4.0		1,050.7	4.99	204.64
4.5		1,158.2	5.40	204.64
5.0		1,267.2	5.86	204.64
5.5		1,362.8	6.25	204.64
6.0		1,458.5	6.73	204.64

区間 A・R・B		No 5 7.0~9.4 (2,370m)		
水位		A	R	B
0		275.7	3.02	84.93
0.5		319.2	3.32	88.93
1.0		364.6	3.60	92.93
1.5		412.0	3.91	96.93
2.0		461.6	4.19	100.93
2.5		534.1	3.58	146.26
3.0		611.1	3.84	155.61
3.5		693.0	4.24	158.04
4.0		772.5	4.62	160.54
4.5		853.4	5.00	160.54
5.0		935.6	5.48	159.83
5.5		1,016.6	5.76	159.83
6.0		1,096.1	6.18	159.83

区間 A・R・B		No 6 9.4~11.6 (2,197m)		
水位		A	R	B
0		196.0	2.76	63.67
0.5		229.4	3.03	67.67
1.0		265.1	3.30	71.67
1.5		302.4	3.56	75.50
2.0		342.0	3.82	79.50
2.5		399.3	3.24	115.95
3.0		460.9	3.48	122.45
3.5		523.8	3.86	124.95
4.0		587.8	4.24	127.45
4.5		653.4	4.59	127.45
5.0		720.1	4.95	121.70
5.5				
6.0				

区間 A・R・B		No 7 11.6~14.0 (2,383m)		
水位		A	R	B
0		151.5	2.52	54.45
0.5		179.8	2.78	58.45
1.0		209.7	3.03	62.45
1.5		242.3	3.28	66.45
2.0		276.3	3.53	70.45
2.5		334.8	2.83	112.89
3.0		394.4	3.09	120.95
3.5		455.7	3.47	123.51
4.0		518.3	3.86	126.01
4.5		582.1	4.21	126.01
5.0		647.2	4.59	126.01
5.5		711.5	4.95	126.01
6.0		773.2	5.34	126.01

表 - 1 0. 2 六角川 平均断面特性

区間 A-B-D		底 8 14.0~16.6(2,544m)		
水位		A	R	B
0		109.6	2.10	47.10
0.5		134.1	2.37	51.10
1.0		160.7	2.62	55.10
1.5		189.2	2.88	59.10
2.0		219.8	3.15	63.10
2.5		273.7	2.55	105.14
3.0		327.8	2.82	113.14
3.5		384.6	3.17	115.49
4.0		450.8	3.61	117.99
4.5		509.9	3.96	117.99
5.0		570.3	4.34	117.99
5.5		629.8	4.71	117.99
6.0		688.8	5.07	117.99

区間 A-B-D		底 10 18.6~20.6(1,995m)		
水位		A	R	B
0		67.3	1.49	40.28
0.5		88.1	1.77	44.28
1.0		111.3	2.04	41.62
1.5		136.4	2.31	52.28
2.0		163.6	2.55	56.28
2.5		211.1	1.94	106.37
3.0		264.8	2.35	109.37
3.5		327.4	2.76	114.17
4.0		384.7	3.04	119.97
4.5		445.6	3.42	121.22
5.0		508.1	3.79	121.22
5.5		571.7	4.15	121.22
6.0		636.0	4.54	121.22

区間 A-B-D		底 12 22.6~24.6(2,052m)		
水位		A	R	B
0		22.1	0.78	26.38
0.5		35.9	1.08	30.38
1.0		52.4	1.39	34.38
1.5		70.7	1.67	38.38
2.0		93.1	1.98	42.38
2.5		113.1	2.20	46.38
3.0		141.3	1.96	69.72
3.5		180.9	2.10	81.50
4.0		222.4	2.47	84.42
4.5		267.3	2.72	91.17
5.0		314.5	3.06	91.17
5.5		363.5	3.41	91.17
6.0		413.9	3.75	91.17
6.5		465.7	4.08	91.17

区間 A-B-D		底 9 16.6~18.6(2,060m)		
水位		A	R	B
0		81.7	1.78	41.68
0.5		103.1	2.04	45.68
1.0		127.6	2.32	49.68
1.5		153.2	2.57	53.68
2.0		181.0	2.82	57.68
2.5		229.2	2.28	97.83
3.0		255.6	2.52	97.00
3.5		334.6	2.84	109.20
4.0		389.7	3.20	111.57
4.5		447.7	3.59	111.57
5.0		506.8	3.96	111.57
5.5		567.2	4.32	111.57

区間 A-B-D		底 11 20.6~22.6(2,006m)		
水位		A	R	B
0		36.9	1.12	30.05
0.5		52.4	1.40	34.05
1.0		70.4	1.67	38.05
1.5		90.4	1.94	42.05
2.0		112.6	2.19	46.05
2.5		138.1	2.16	66.33
3.0		180.4	2.02	85.05
3.5		221.7	2.35	88.05
4.0		266.8	2.69	93.70
4.5		317.0	2.99	99.03
5.0		367.6	3.34	99.03
5.5		419.8	3.69	99.03
6.0		473.3	4.03	99.03
6.5		526.2	4.46	99.03

区間 A-B-D		底 13 24.6~26.6(2,025m)		
水位		A	R	B
0		10.9	0.43	23.46
0.5		23.1	0.79	27.46
1.0		36.9	1.09	31.46
1.5		55.3	1.42	35.46
2.0		74.6	1.72	39.46
2.5		95.0	1.98	43.46
3.0		118.3	2.24	47.46
3.5		149.4	1.89	75.86
4.0		187.7	2.26	78.82
4.5		229.3	2.63	81.86
5.0		272.0	2.87	81.86
5.5		317.1	3.20	81.86
6.0		363.4	3.54	81.86
6.5		411.3	3.85	81.86
7.0		460.8	4.24	81.86

表 - 1 1 牛 津 川 平 均 断 面 特 性

区 間		底 15 0.0 ~ 2.4 (2,405m)		
水位	A-R-B	A	R	B
0		214.5	2.65	
0.5		251.9	2.92	81.86
1.0		294.9	3.24	85.86
1.5		338.1	3.54	89.71
2.0		384.8	3.82	93.64
2.5		466.2	2.72	174.51
3.0		555.7	3.12	180.87
3.5		647.0	3.49	183.40
4.0		739.0	3.90	186.01
4.5		830.6	4.31	186.01
5.0		921.2	4.71	186.01
5.5		1,017.9	5.10	186.01
6.0		1,111.4	5.46	186.01

区 間		底 17 4.8 ~ 7.2 (2,460m)		
水位	A-R-B	A	R	B
0		112.2	1.90	54.69
0.5		140.5	2.23	58.69
1.0		170.9	2.51	62.69
1.5		203.2	2.79	66.69
2.0		237.5	3.06	70.69
2.5		290.2	2.47	112.94
3.0		347.4	2.83	117.16
3.5		407.1	3.14	122.56
4.0		468.4	3.48	127.70
4.5		532.6	3.87	127.70
5.0		598.1	4.25	127.70
5.5		664.7	4.62	127.70
6.0		731.6	4.97	127.70

区 間		底 19 8.4 ~ 10.4 (2,040m)		
水位	A-R-B	A	R	B
0		13.0	0.63	19.12
0.5		22.0	0.91	23.05
1.0		31.7	1.16	26.42
1.5		44.0	1.46	29.55
2.0		58.3	1.75	32.78
2.5		76.3	1.99	38.77
3.0		98.0	1.96	51.75
3.5		125.7	2.03	64.73
4.0		160.7	2.05	80.55
4.5		199.8	2.22	89.52
5.0		244.2	2.48	97.67
5.5		291.7	2.82	103.02
6.0		341.2	3.14	108.10
6.5		392.7	3.50	111.83
7.0		446.3	3.91	113.88

区 間		底 16 2.4 ~ 4.8 (2,413m)		
水位	A-R-B	A	R	B
0		155.3	2.30	62.00
0.5		187.7	2.60	66.00
1.0		221.6	2.89	70.00
1.5		257.7	3.15	74.00
2.0		295.8	3.44	78.00
2.5		355.7	2.85	121.23
3.0		419.3	3.12	130.21
3.5		485.0	3.52	132.71
4.0		551.4	3.91	135.21
4.5		618.5	4.30	135.21
5.0		686.9	4.67	135.21
5.5		756.2	5.04	135.21
6.0		823.8	5.39	135.21

区 間		底 18 7.2 ~ 8.4 (1,295m)		
水位	A-R-B	A	R	B
0		44.2	1.26	31.67
0.5		58.6	1.56	35.12
1.0		75.0	1.77	38.67
1.5		92.6	2.03	41.75
2.0		112.0	2.28	45.12
2.5		139.7	2.47	56.07
3.0		175.4	1.86	89.32
3.5		217.7	2.19	94.85
4.0		265.4	2.54	100.00
4.5		316.1	2.86	105.67
5.0		368.4	3.21	109.30
5.5		422.0	3.58	111.58
6.0		477.0	3.96	113.87
6.5		533.2	4.29	116.82
7.0		589.8	4.76	118.37

区 間		底 20 10.4 ~ 12.4 (2,035m)		
水位	A-R-B	A	R	B
0		1.5	0.10	5.03
0.5		5.0	0.25	10.27
1.0		9.8	0.44	14.58
1.5		17.2	0.71	20.18
2.0		26.2	1.02	24.30
2.5		37.3	1.34	27.25
3.0		49.2	1.62	29.93
3.5		63.2	1.89	33.05
4.0		78.5	2.09	36.47
4.5		95.3	1.79	56.52
5.0		123.2	2.04	61.77
5.5		155.7	1.97	77.95
6.0		195.0	2.18	88.47
6.5		237.3	2.55	92.13
7.0		282.8	2.91	96.65

このようにして算定したT.P.0m基準のVolumeは表-12の通りである。実際のアナログコンピュータへの組みこみは、各断面3段切り換えとして表-13の値を組みこんだ。各地点、各水位毎の容量にはかなりの差があるが、全体としての容量は良好な近似をしており、この近似により良好な結果が得られるものと思われる。なお、 $\bar{h}$ 13および $\bar{h}$ 20の上流には湛水容量としてそれぞれ $50m \times 2,602m$ 、 $30m \times 2,045m$ の河道区間を加えた。(7)式のRについては、本アナログコンピュータの構成は、

各区間の平均水位～流量～区間の水位降下量

$$(\bar{H} \sim Q \sim \Delta H \text{ または } \bar{e} \sim i \sim \Delta e)$$

からなり、この関係を(7)式との相似形に

$$\Delta H = f(H) \cdot Q^2 \quad (9)$$

の関係が成立するように構成されている。

断面変化が小さく等流状態を近似できれば、

$$f(H) = \beta^2 \cdot n^2 \Delta n / (\alpha R A^2) \quad (10)$$

となり近似法の問題がないが、断面変化が入ってくると $(\frac{1}{gA^3} \frac{\partial A}{\partial x})$ の影響により(9)式が成立するか検討しなければならない。

この関係を検討するため六角川 16 600^K～26 600^Kの5区間について、不等流計算結果 表-14より(9)式の関係 $H \sim Q / \sqrt{\Delta H}$ を整理したところ、図-5～9の通り好結果

表-12 水位面積より算定したVolume

		単位(X10 ⁴ m ³)					
区間	標高	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
水 門		2439	5147	8785	13350	18045	22740
4		2508	5284	8789	13018	17373	21728
5		1747	3675	6305	9551	12851	16151
6		1442	3066	5328	8162	11063	13964
7		1348	2894	5158	8099	11101	14103
8		1122	2429	4374	6945	9596	12247
9		880	1922	3571	5816	8170	10530
10		751	1661	3094	5052	7189	9393
11		653	1469	2652	4255	6088	8017
12		591	1344	2361	3791	5505	7269
13		1580	3240	4982	6923	9038	11168
15		1827	3798	6704	10512	14382	18252
16		1520	2734	5146	8253	11454	14655
17		951	2044	3635	5755	8003	10295
18		459	1032	1898	3189	4777	6548
19		332	831	1041	2558	3967	5778
20		713	1523	2416	3369	4481	5855
合 計		20863	44093	76239	1,18598	1,63083	2,08693

表 - 13 アナログコンピュータに組みこんだVolume

		単位 (X10 ⁴ m ³)											
標高 区間	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	
水 門	115	230	345	520	69.5	870	11025	1335	15675	1800	20325	2265	
4	125	250	375	500	675	850	1068	1286	1504	1722	1940	2158	
5	85	170	255	340	470	600	765	930	1095	1260	1425	1590	
6	67	134	201	301	401	501	646	791	936	1081	1226	1371	
7	68	136	204	272	382	492	642	792	942	1092	1242	1392	
8	60	120	180	240	340	440	573	706	839	972	1105	1238	
9	46	92	138	184	264	344	461	578	695	812	929	1046	
10	40	80	120	160	200	290	380	470	580	690	800	910	
11	40	80	120	160	200	280	370	460	570	666	762	858	
12	40	80	120	160	200	240	305	370	458	546	634	722	
13	81	1625	2438	325	4063	5013	5963	6913	798	9043	10100	11163	
15	85	170	255	340	490	640	833	1026	1219	1412	1605	1798	
16	80	160	240	320	440	560	720	880	1040	1200	1360	1520	
17	50	100	150	200	285	370	455	568	681	794	907	1020	
18	30	60	90	120	150	180	255	330	405	480	555	650	
19	30	60	90	120	150	180	210	278	346	414	506	598	
20	46	91	1365	182	2275	273	3185	364	4095	475	5405	606	
合 計	1088	21755	32633	4444	59758	76113	37003	1,185.53	1,408.50	1,632.03	1,857.90	2,085.83	

注 Volume は標高 0 m を基準とする。

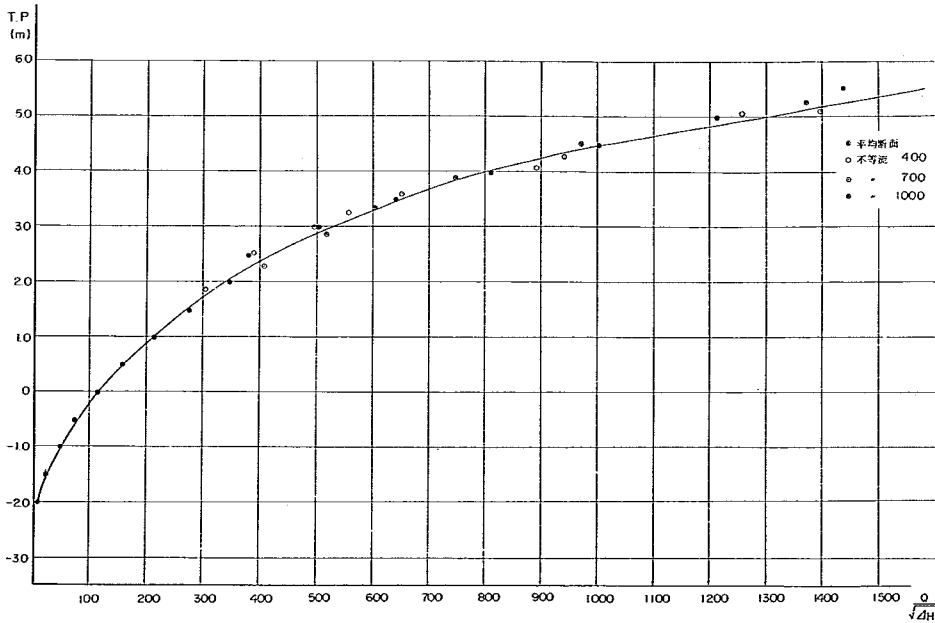


図 - 5 $H \sim Q / \sqrt{\Delta H}$ 図
(Δ 16.6~18.6)

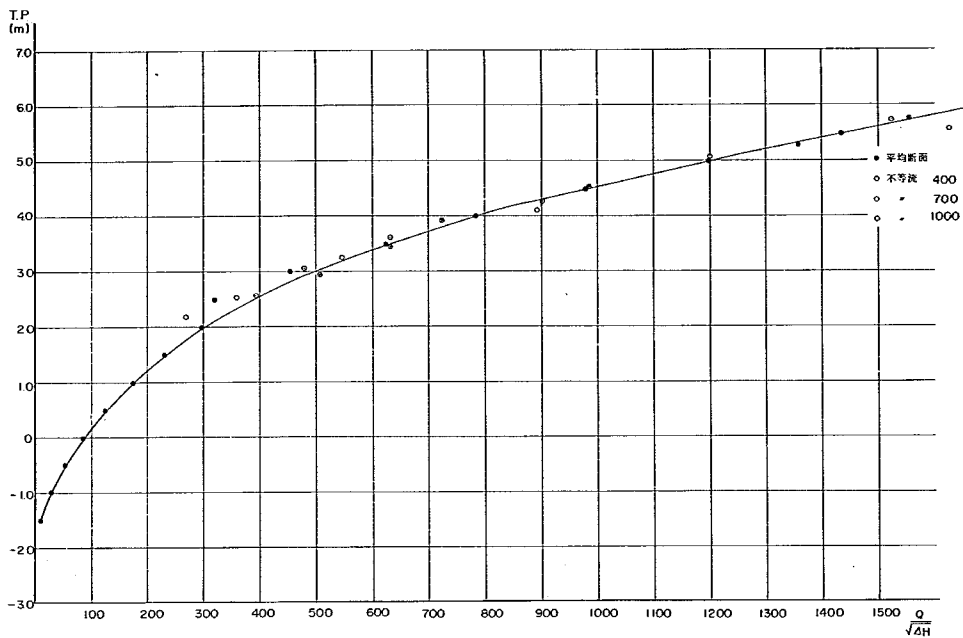


图 - 6 $H \sim Q/\sqrt{\Delta H}$ 图
(№ 13.6 ~ 20.6)

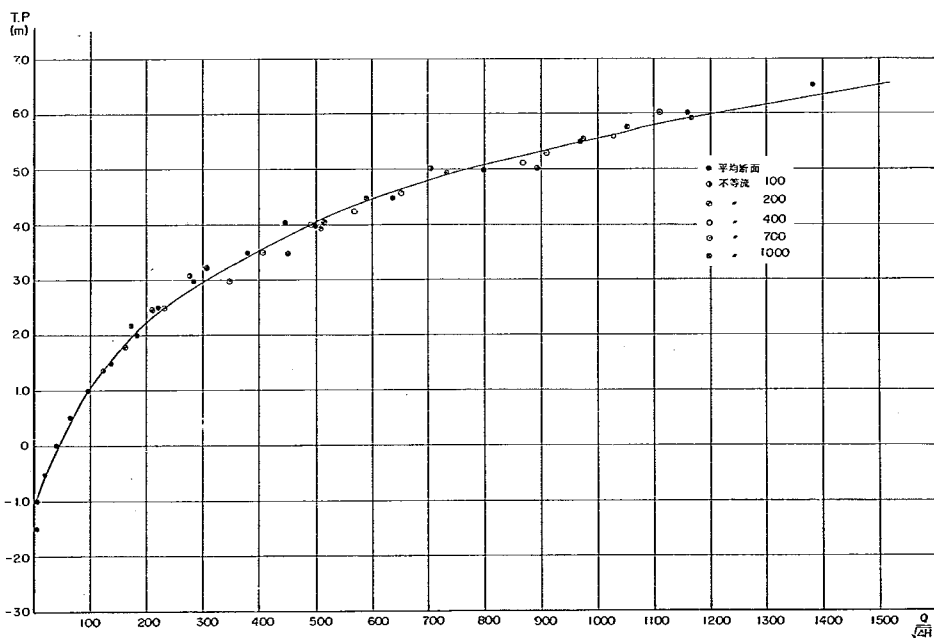


图 - 7 $H \sim Q/\sqrt{\Delta H}$ 图
(№ 20.6 ~ 22.6)

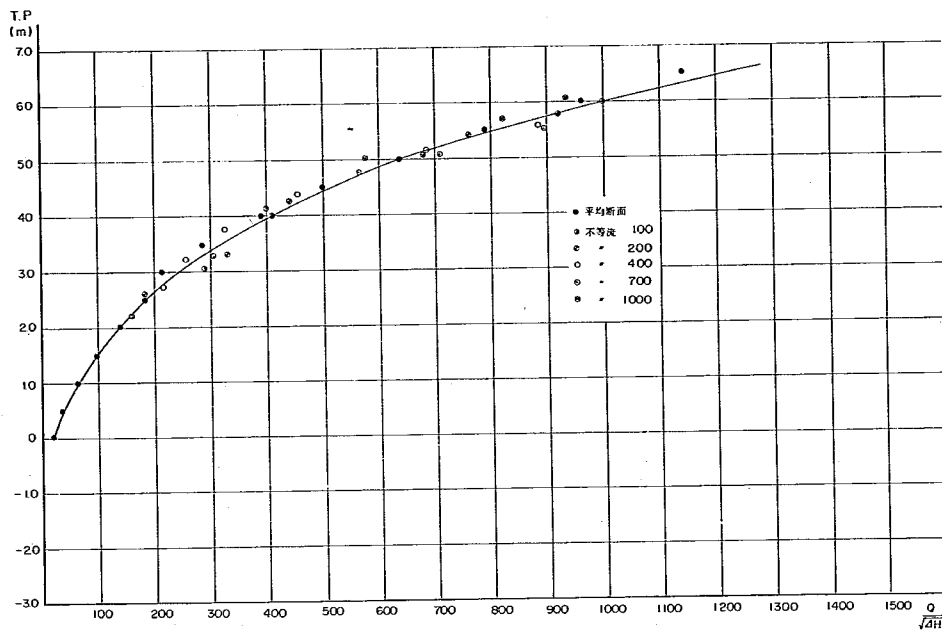


图-8 $H \sim Q/\sqrt{\Delta H}$ 图
(№ 22.6~24.6)

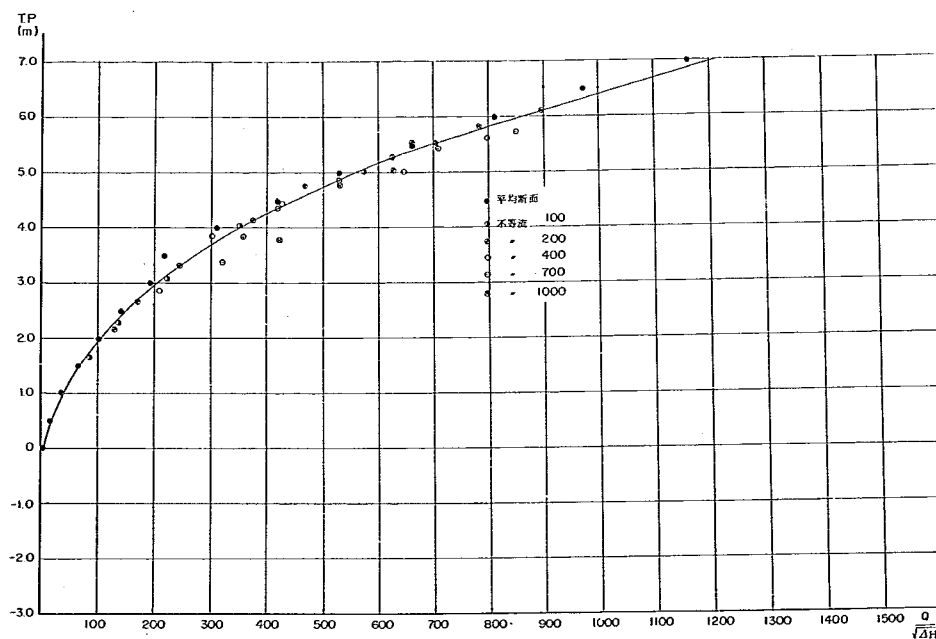


图-9 $H \sim Q/\sqrt{\Delta H}$ 图
(№ 24.6~26.6)

表-14.1 不等流計算結果による各断面通過能力表

断面 Q 下流 端水位	No. 9 (16 ^K 600 ~ 18 ^K 600)						備 考	
	400		700		1,000			
	ΔH	Q/√ΔH	ΔH	Q/√ΔH	ΔH	Q/√ΔH		
1.0	1.72	304	2.95	408	3.72	518		
2.0	1.05	390	1.97	498	2.74	604		
3.0	0.51	560	1.15	653	1.78	750		
4.0	0.20	895	0.55	943	1.05	976		
5.0	0.10	1,261	0.25	1,400	0.53	1,374		

表-14.2 不等流計算結果による

断面 Q 下流 端水位	No. 10 (18 ^K 600 ~ 20 ^K 600)						備 考	
	400		700		1,000			
	ΔH	Q/√ΔH	ΔH	Q/√ΔH	ΔH	Q/√ΔH		
1.0	2.2	269	3.12	396	3.89	507		
2.0	1.25	358	2.12	480	2.90	587		
3.0	0.53	550	1.22	632	1.90	725		
4.0	0.20	896	0.60	904	1.03	985		
5.0	0.11	1,204	0.30	1,277	0.54	1,361		
5.5	0.06	1,630	0.21	1,528	0.41	1,562		

断面 Q 下流 端水位	No. 11 (20 ^K 600 ~ 22 ^K 600)										備 考
	100		200		400		700		1,000		
	ΔH	$Q/\sqrt{\Delta H}$	ΔH	$Q/\sqrt{\Delta H}$	ΔH	$Q/\sqrt{\Delta H}$	ΔH	$Q/\sqrt{\Delta H}$	ΔH	$Q/\sqrt{\Delta H}$	
1.0	0.66	123	1.55	161	3.00	231	4.00	350	4.85	454	
2.0	0.34	172	0.89	212	2.00	282	3.00	404	3.85	510	
3.0	0.13	277	0.42	308	1.10	381	2.01	494	2.85	592	
4.0	0.05	447	0.15	516	0.49	571	1.15	652	1.85	735	
5.0	0.02	707	0.05	894	0.21	871	0.59	911	1.05	976	
5.5	0		0.03	1,151	0.15	1,031	0.41	1,057	0.80	1,118	

表-14.3 不等流計算結果による

断面 Q 下流 端水位	A12 (22 ^K 600 ~ 24 ^K 600)										備 考
	100		200		400		700		1,000		
	ΔH	$Q/\sqrt{\Delta H}$	ΔH	$Q/\sqrt{\Delta H}$	ΔH	$Q/\sqrt{\Delta H}$	ΔH	$Q/\sqrt{\Delta H}$	ΔH	$Q/\sqrt{\Delta H}$	
1.0	1.05	98	2.00	141	3.44	216	4.53	329			
2.0	0.40	158	1.20	182	2.43	256	3.53	372			
3.0	0.12	289	0.63	252	1.50	326	2.53	440			
4.0	0.06	408	0.25	400	0.77	456	1.56	561	2.17	679	
5.0	0.03	577	0.08	708	0.34	686	0.85	760	1.48	822	
5.5	0.01	1,000	0.05	894	0.23	835	0.58	920	1.15	933	

断面 Q 下流 端水位	A13 (24 ^K 600 ~ 26 ^K 600)										備 考
	1,000										
	100		200		400		700				
1.0	1.30	88	2.35	131	3.72	208	4.76	321	5.55	424	
2.0	0.52	139	1.35	172	2.72	242	3.76	361	4.55	469	
3.0	0.20	224	0.66	246	1.72	304	2.76	421	3.55	531	
4.0	0.08	354	0.28	378	0.87	428	1.76	528	2.55	626	
5.0	0.03	577	0.10	631	0.39	650	0.97	711	1.62	786	
5.5	0.02	707	0.09	665	0.25	800	0.67	855	1.24	898	

を得た。同図には(10)式の関係も併記したが、この値がかなり平均値を程しており、六角川のこの部分では平均断面特性によってかなり近似しうることがわかる。

本結果より、水位の低い不等流計算を実施していない部分については平均断面特性を用いて外挿し、図に記した実線によりアナログコンピューターに模擬することとした。

他断面についても断面変化を調べたところ、ここに比較した断面と同程度であったため、(7)式のかわりに(10)式を用い、平均断面特性による模擬を実施した。

(5) 計算および考察

以上の準備のもとに高潮生起時の洪水に対する河口堰の影響に対する不定流計算を実施した。

1. アナログコンピューターのチェック

計算にさきだち、アナログコンピューターが良好な状態で作動していることを確かめるために

河口潮位 2.5 m に対する計画高水流量の不等流計算結果を比較した。結果は表-15 に示される通りである。六角川については約 10 cm 程度今回の結果が小さく、牛津川についても版 18 における差が 10 cm に達しているが、河道のシミュレーションをこの程度で満足することとした。

表 - 15 不等流計算結果比較

河川名	河道版	計画高水位	新河道 計算水位	アナコンの 計算結果	摘 要
六角川	1		2.70	2.59	$Q_{\text{六角川}} = 600 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{\text{牛津川}} = 1,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 計算は河口水位 2.5 m で実施。 ◎ 新河道計算水位は事務所計算結果を 図より施みとったものである。
	2		2.82	2.71	
	3	2,692	2.92	2.86	
	4	3,008	3.03	2.91	
	5	3,325	3.21	3.19	
	6	3,616	3.50	3.49	
	7	4,009	3.88	3.82	
	8	4,419	4.33	4.24	
	9	4,802	4.66	4.58	
	10	5,217	4.97	4.86	
	11	5,670	5.45	5.33	
	12	6,092	5.98	5.84	
	13	6,619	6.38	6.27	
	14	8,356		3.65	
牛津川	15	3,488	3.61	3.65	
	16	4,443	4.33	4.30	
	17	5,416	4.88	4.93	
	18	6,151	5.62	5.71	
	19	7,311		7.06	
	20	8,605		8.36	
	21	10,202			

各水位に対する作動のチェックとして、また不定流計算との比のために計画高水流量および今回計算の最大流量について不等流計算を実施したが、結果は表 16, 17, 18 および図-10~14 に示す。

この不等流計算結果は、基準値として毎日の計測にさきだちチェックをし、その精度を確認したのち実計算の実施をしている。

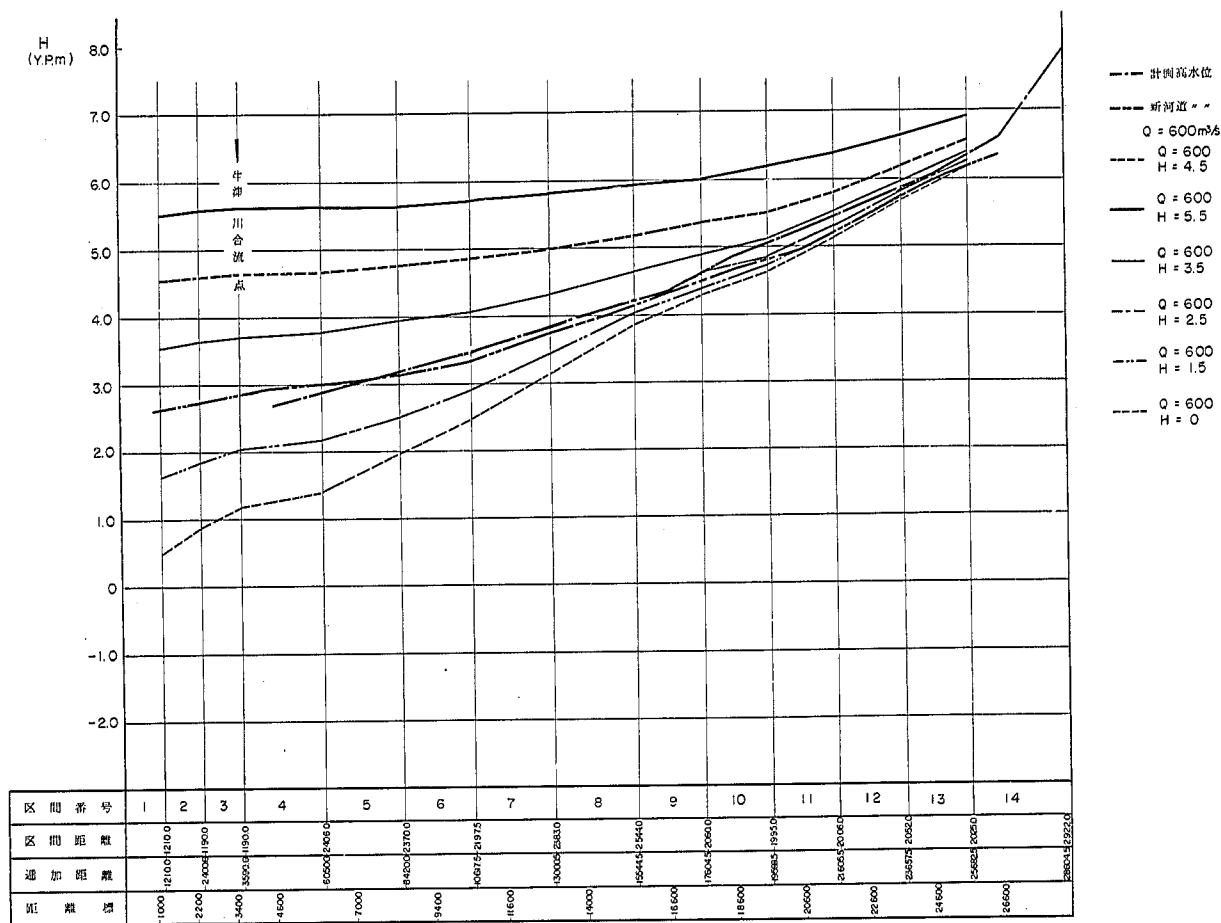


図-10 六 角 川 縦 断 図
(計画高水流量に対する不等流計算)

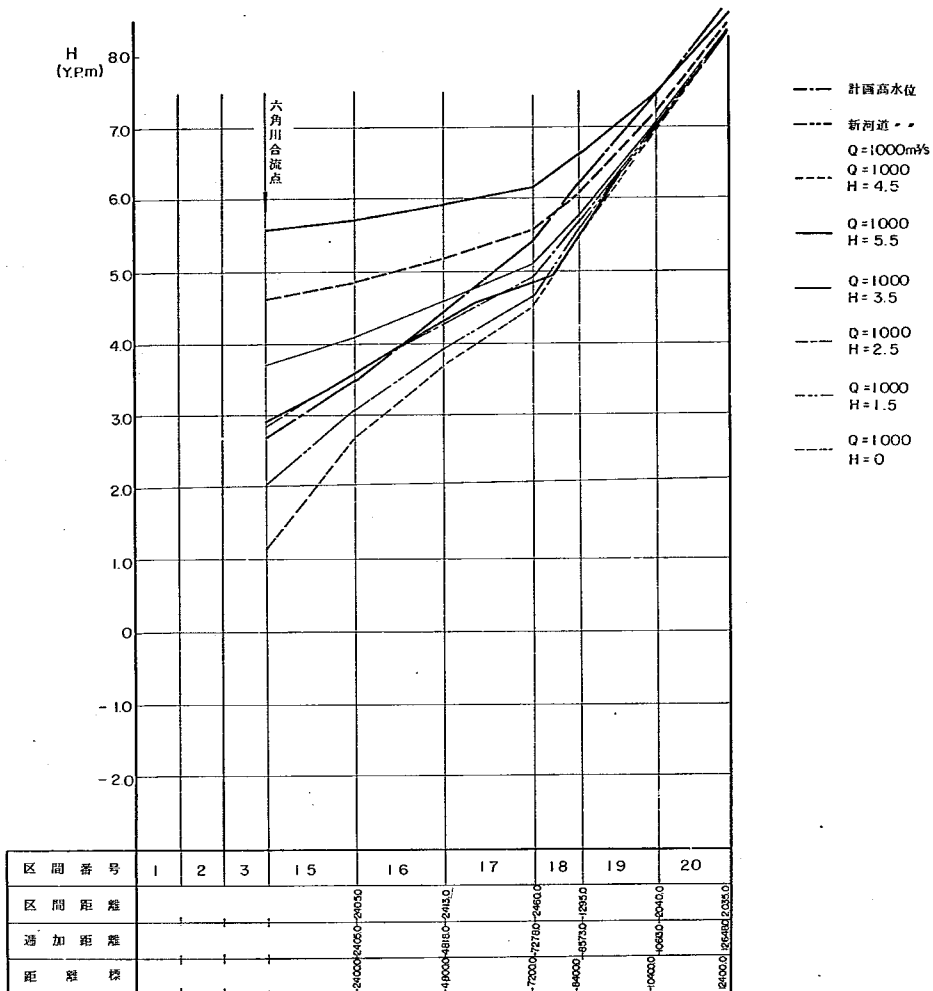


図-11 牛 津 川 縦 断 図
(計画高水流量に対する不等流計算)

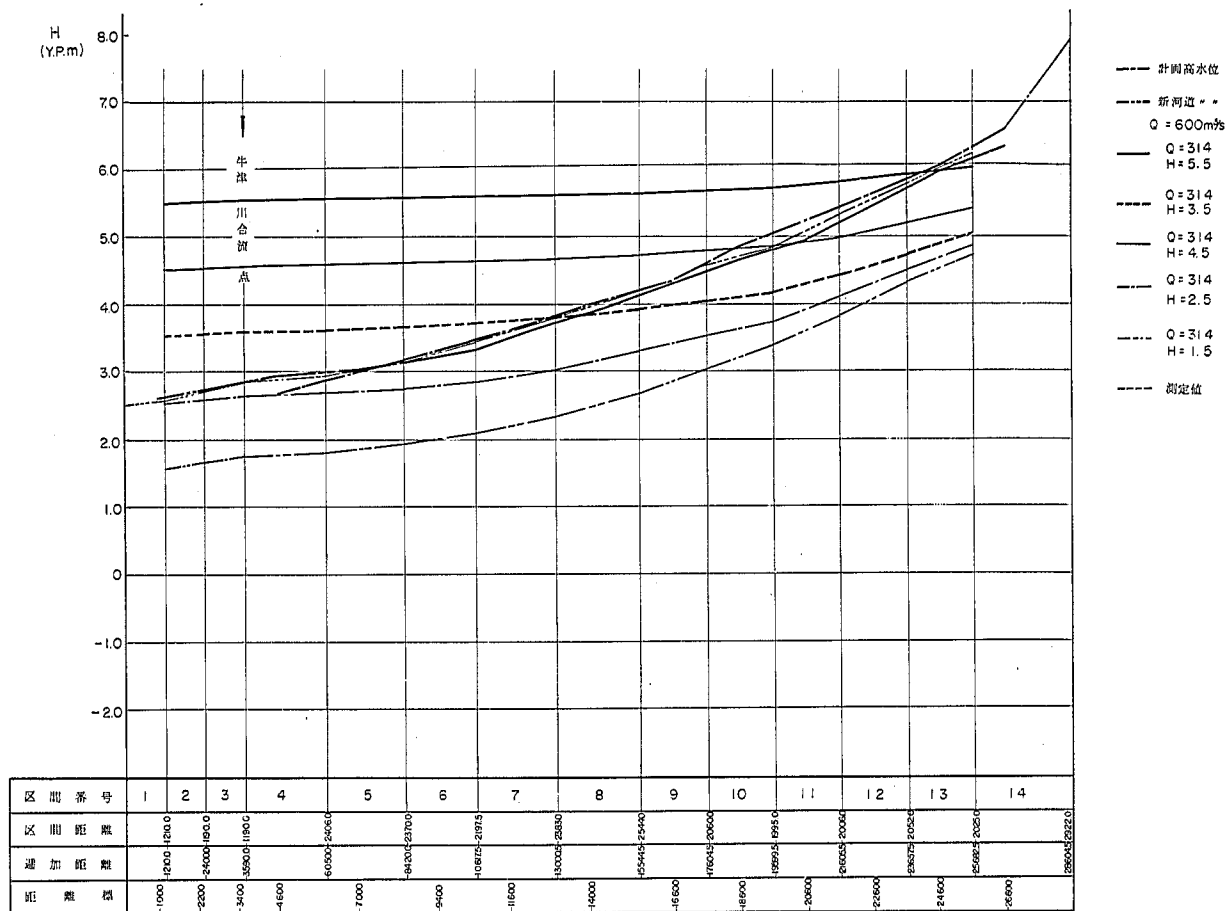


図-12 六 角 川 縦 断 図
($Q = 314 \text{ m}^3/\text{s}$ に対する不等流計算)

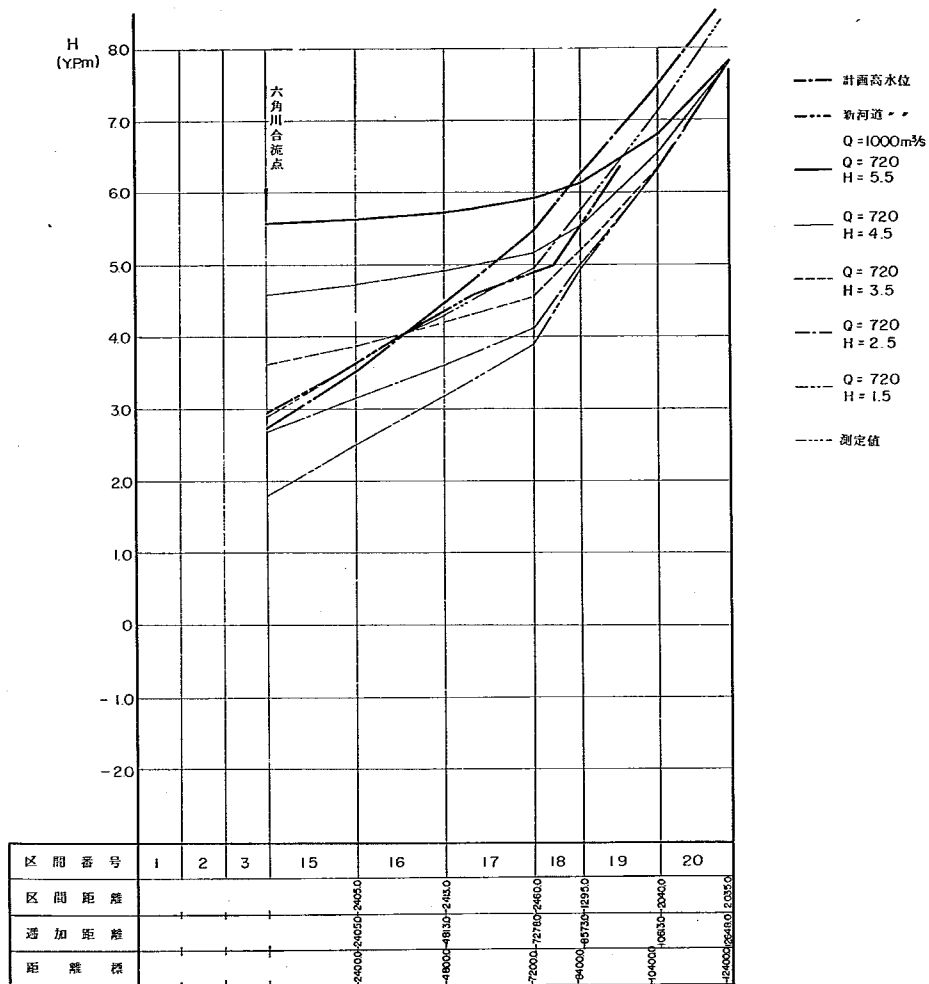


図-13 牛津川縦断面図
($Q=720$ に対する不等流計算)

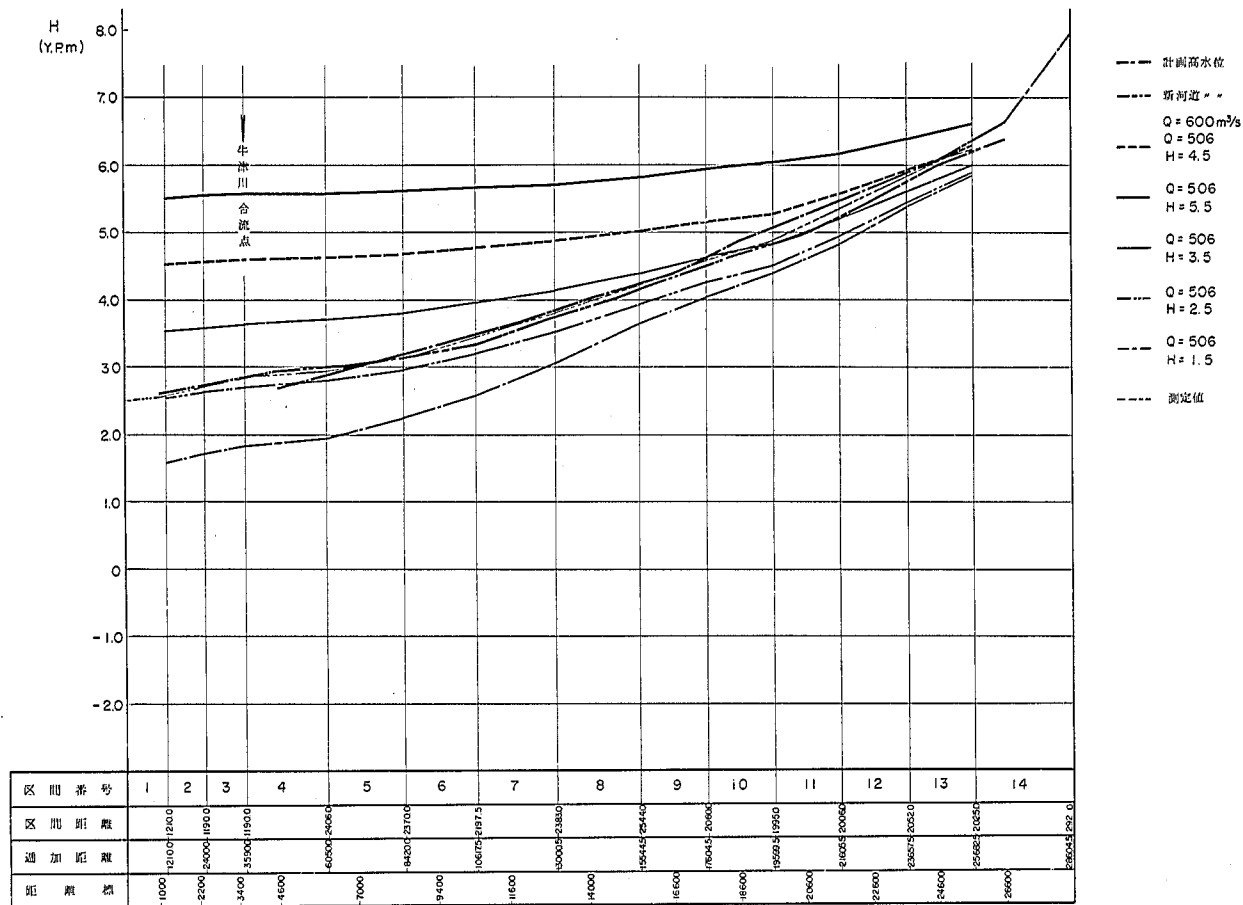


図-14 六角川縦断面図
($Q = 506 \text{ m}^3/\text{s}$ に対する不等流計算)

表-16 不等流計算結果 $Q_6=600\text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_4=1,000\text{ m}^3/\text{s}$

河川名	断面	河口水位 m				
		15	25	35	45	55
六角川	1	1.63	2.59	3.53	4.54	5.53
	2	1.85	2.71	3.65	4.58	5.56
	3	2.04	2.86	3.72	4.63	5.60
	4	2.19	2.91	3.78	4.67	5.62
	5	2.52	3.19	3.95	4.75	5.67
	6	2.92	3.49	4.08	4.86	5.73
	7	3.44	3.82	4.32	4.99	5.81
	8	4.03	4.24	4.64	5.18	5.93
	9	4.42	4.58	4.91	5.36	6.08
	10	4.73	4.86	5.14	5.53	6.19
	11	5.23	5.33	5.53	5.82	6.38
	12	5.77	5.84	5.99	6.20	6.66
	13	6.21	6.27	6.41	6.57	6.93
牛津川	15	3.08	3.65	4.10	4.86	5.73
	16	3.93	4.30	4.60	5.17	5.92
	17	4.66	4.93	5.11	5.59	6.19
	18	5.60	5.71	5.79	6.09	6.60
	19	7.02	7.06	7.08	7.20	7.45
	20	8.33	8.36	8.36	8.45	8.62

表-17 不等流計算結果 $Q_6=314\text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_4=720\text{ m}^3/\text{s}$

河川名	断面	河口水位 m				
		15	25	35	45	55
六角川	1	15.68	2.54	3.53	4.53	5.52
	2	16.78	2.61	3.57	4.55	5.54
	3	17.68	2.66	3.61	4.57	5.55
	4	18.20	2.70	3.63	4.59	5.57
	5	19.44	2.77	3.68	4.63	5.59
	6	20.94	2.87	3.74	4.65	5.61
	7	23.52	3.05	3.81	4.69	5.63
	8	26.98	3.34	3.95	4.75	5.67
	9	30.74	3.57	4.08	4.82	5.72
	10	33.98	3.77	4.21	4.88	5.75
	11	38.78	4.14	4.45	5.02	5.83
	12	43.68	4.54	4.76	5.23	5.95
	13	47.88	4.90	5.09	5.47	6.08
牛津川	15	24.80	3.15	3.84	4.70	5.62
	16	31.30	3.60	4.18	4.89	5.73
	17	38.68	4.12	4.54	5.14	5.89
	18	49.00	4.98	5.16	5.52	6.13
	19	6.29	6.30	6.33	6.52	6.75
	20	7.79	7.80	7.80	7.80	7.78

2. 計算結果およびその検討

測定は、ペンレコーダーにより各測点の時間水位を記録し、また水門部についてのみ流量を測定した。

計算は、さきにのべたようにまず河口堰上流の迎水位を T.P. 1.0 m の場合について計算し、次にその結果よりみて危険と思われるケースを抽出して、迎水位を変化させて計算した。計算結果を河口堰直上の水位でみると前掲表-7 の通りである。表の説明は、N は自然状態の洪水波形、C は洪水調節後の波形、 $b_{1.0}$ 、 $c_{1.0}$ 、 $c_{0.5}$ 、等は潮位波形および河口堰上流の迎水位をしめす。横欄の数字は潮位波形と洪水波形のおくれを示すもので、表-4 に示す。この結果をみると、水位の最も高い潮位波形 b のケースよりも潮位波形 c のケースが最も水位が高くなり、 d

表-18 不等流計算結果 $Q_6=506\text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_4=720\text{ m}^3/\text{s}$

河川名	断面	河口水位 m				
		15	25	35	45	55
六角川	1	1.58	2.54	3.54	4.52	5.53
	2	1.72	2.65	3.58	4.56	5.55
	3	1.85	2.70	3.65	4.58	5.57
	4	1.96	2.80	3.69	4.62	5.59
	5	2.24	2.97	3.81	4.69	5.63
	6	2.57	3.21	3.96	4.76	5.67
	7	3.06	3.52	4.14	4.87	5.73
	8	3.66	3.95	4.40	5.02	5.82
	9	4.04	4.26	4.62	5.15	5.93
	10	4.38	4.52	4.82	5.28	6.02
	11	4.83	4.93	5.18	5.58	6.17
	12	5.39	5.45	5.61	5.90	6.39
	13	5.85	5.89	6.00	6.23	6.64
牛津川	15	2.54	3.19	3.89	4.71	5.64
	16	3.17	3.63	4.21	4.89	5.75
	17	3.88	4.15	4.57	5.16	5.91
	18	4.92	4.98	5.18	5.53	6.14
	19	6.29	6.34	6.34	6.51	6.77
	20	7.81	7.79	7.79	7.78	7.78

表-19 最高水位計算結果 (N-b ケース) 表-20 最高水位計算結果 (N-c ケース)

河川名	断面	水 位			
		N-b ₁₀ -2	N-b ₁₀ -3	N-b ₁₀ -4	N-b ₁₀ -5
六 角 川	1	5.26	5.29	5.28	5.29
	2	5.25	5.23	5.21	5.25
	3	5.20	5.23	5.22	5.24
	水門上	4.15	4.78	5.00	5.02
	4	4.18	4.78	4.99	5.00
	5	4.18	4.80	5.00	5.02
	6	4.20	4.80	5.00	5.02
	7	4.29	4.80	5.00	5.03
	8	4.38	4.90	5.10	5.10
	9	4.52	4.96	5.15	5.10
	10	4.70	5.00	5.20	5.15
	11	4.99	5.24	5.30	5.25
	12	5.40	5.50	5.50	5.39
	13	5.70	5.80	5.71	5.59
牛 津 川	15	4.30	4.80	5.05	5.02
	16	4.49	4.90	5.10	5.08
	17	4.71	5.08	5.25	5.18
	18	5.19	5.33	5.42	5.30
	19	6.27	6.21	6.20	6.20
	20	7.71	7.79	7.78	7.80

河川名	断面	水 位			
		N-c ₁₀ -2	N-c ₁₀ -3	N-c ₁₀ -4	N-c ₁₀ -5
六 角 川	1	5.02	5.02	5.02	5.04
	2	4.97	4.98	4.98	5.04
	3	5.03	5.03	5.02	5.03
	水門上	3.97	4.58	5.01	5.03
	4	3.98	4.56	5.00	5.05
	5	3.98	4.63	5.06	5.11
	6	3.96	4.61	5.04	5.12
	7	3.96	4.62	5.03	5.10
	8	4.15	4.72	5.12	5.21
	9	4.31	4.80	5.18	5.24
	10	4.55	4.87	5.20	5.26
	11	4.86	5.15	5.38	5.40
	12	5.26	5.44	5.56	5.50
	13	5.71	5.80	5.86	5.75
牛 津 川	15	4.01	4.63	5.06	5.10
	16	4.26	4.73	5.10	5.13
	17	4.55	4.98	5.29	5.28
	18	5.07	5.26	5.45	5.40
	19	6.19	6.18	6.17	6.16
	20	7.78	7.77	7.80	7.76

表-21 最高水位計算結果 (N-d ケース) 表-22 最高水位計算結果 (N-c_{0.5} ケース)

河川名	断面	水 位			
		N-d ₁₀ -2	N-d ₁₀ -3	N-d ₁₀ -4	N-d ₁₀ -5
六 角 川	1	4.50	4.51	4.55	4.54
	2	4.54	4.53	4.59	4.55
	3	4.54	4.59	4.65	4.62
	水門上	3.85	4.38	4.54	4.54
	4	3.90	4.41	4.65	4.63
	5	3.95	4.49	4.72	4.70
	6	3.87	4.34	4.65	4.60
	7	3.95	4.42	4.75	4.70
	8	4.15	4.59	4.90	4.82
	9	4.30	4.61	4.90	4.80
	10	4.50	4.81	5.02	4.90
	11	4.86	5.08	5.26	5.09
	12	5.30	5.42	5.51	5.31
	13	5.75	5.82	5.88	5.65
牛 津 川	15	3.95	4.41	4.62	4.60
	16	4.20	4.61	4.80	4.72
	17	4.59	4.90	5.03	4.92
	18	5.00	5.15	5.23	5.07
	19	6.20	6.25	6.21	6.20
	20	7.79	7.81	7.80	7.80

河川名	断面	水 位			
		N-c _{0.5} -2	N-c _{0.5} -3	N-c _{0.5} -4	N-c _{0.5} -5
六 角 川	1	5.06	4.98	5.00	5.02
	2	5.02	5.02	5.02	5.03
	3	4.99	4.98	5.00	5.00
	水門上	3.67	4.45	4.87	5.03
	4	3.68	4.51	4.93	5.09
	5	3.68	4.50	4.91	5.08
	6	3.70	4.51	4.90	5.08
	7	3.80	4.58	4.97	5.13
	8	4.00	4.62	5.02	5.14
	9	4.22	4.67	5.05	5.20
	10	4.43	4.83	5.18	5.28
	11	4.74	5.02	5.26	5.33
	12	5.22	5.41	5.53	5.52
	13	5.60	5.70	5.74	5.68
牛 津 川	15	3.80	4.52	4.93	5.07
	16	4.10	4.69	5.06	5.16
	17	4.41	4.86	5.16	5.22
	18	5.00	5.12	5.33	5.38
	19	6.20	6.20	6.20	6.21
	20	7.71	7.71	7.70	7.70

表-23 最高水位計算結果

河川名	断面	水 位			
		N-c ₀₀ -2	N-c ₀₀ -3	N-c ₀₀ -4	N-c ₀₀ -5
六角川	1	5.03	5.00	5.03	5.03
	2	5.04	5.05	5.02	5.04
	3	4.99	5.00	4.98	5.00
	水門上	3.57	4.21	4.84	5.03
	4	3.62	4.25	4.90	5.09
	5	3.63	4.21	4.89	5.07
	6	3.65	4.21	4.85	5.09
	7	3.77	4.30	4.95	5.14
	8	3.97	4.39	4.97	5.15
	9	4.15	4.48	4.98	5.19
	10	4.42	4.68	5.10	5.28
	11	4.70	4.88	5.18	5.30
	12	5.22	5.30	5.49	5.52
	13	5.62	5.61	5.70	5.70
牛津川	15	3.72	4.25	4.86	5.03
	16	4.05	4.43	5.00	5.18
	17	4.36	4.46	5.11	5.22
	18	4.90	5.00	5.28	5.34
	19	6.23	6.20	6.20	6.23
	20	7.73	7.70	7.70	7.73

表-24 最高水位計算結果

河川名	断面	水 位			
		C-b ₁₀ -2	C-b ₁₀ -3	C-b ₁₀ -4	C-b ₁₀ -5
六角川	1	5.20	5.22	5.22	5.28
	2	5.23	5.22	5.22	5.22
	3	5.20	5.20	5.20	5.22
	水門上	4.03	4.43	4.71	4.72
	4	4.10	4.45	4.72	4.71
	5	4.11	4.42	4.71	4.71
	6	4.05	4.40	4.70	4.71
	7	4.11	4.45	4.76	4.71
	8	4.15	4.47	4.72	4.75
	9	4.12	4.49	4.75	4.78
	10	4.20	4.55	4.80	4.79
	11	4.33	4.60	4.84	4.87
	12	4.55	4.79	4.92	5.00
	13	4.80	4.92	5.11	5.21
牛津川	15	4.28	4.49	4.80	4.75
	16	4.38	4.62	4.85	4.80
	17	4.62	4.80	4.99	4.90
	18	5.09	5.10	5.15	5.05
	19	6.21	6.22	6.21	6.20
	20	7.72	7.72	7.76	7.79

表-25 最高水位計算結果

河川名	断面	水 位				
		C-c ₁₀ -2	C-c ₁₀ -3	C-c ₁₀ -4	C-c ₁₀ -5	C-c ₁₀ -6
六角川	1	5.02	5.02	5.02	5.00	5.03
	2	4.97	5.02	5.02	4.98	5.05
	3	5.07	5.05	5.05	5.02	5.00
	水門上	3.69	4.38	4.80	4.85	4.76
	4	3.72	4.37	4.80	4.86	4.78
	5	3.73	4.40	4.84	4.90	4.74
	6	3.68	4.34	4.79	4.87	4.76
	7	3.66	4.34	4.79	4.88	4.78
	8	3.83	4.40	4.82	4.93	4.76
	9	3.84	4.37	4.82	4.94	4.79
	10	3.88	4.42	4.84	4.99	4.83
	11	4.17	4.50	4.93	5.00	4.86
	12	4.40	4.68	5.00	5.09	5.00
	13	4.74	4.93	5.19	5.30	5.14
牛津川	15	3.87	4.45	4.86	4.88	4.77
	16	4.16	4.59	4.94	5.00	4.83
	17	4.49	4.84	5.11	5.13	4.87
	18	5.03	5.13	5.30	5.20	5.00
	19	6.23	6.17	6.19	6.23	6.22
	20	7.77	7.76	7.79	7.78	7.83

表-26 最高水位計算結果

河川名	断面	水 位			
		C-d ₁₀ -2	C-d ₁₀ -3	C-d ₁₀ -4	C-d ₁₀ -5
六角川	1	4.49	4.49	4.52	4.54
	2	4.50	4.54	4.52	4.55
	3	4.50	4.55	4.55	4.61
	水門上	3.70	4.20	4.50	4.54
	4	3.72	4.29	4.50	4.60
	5	3.72	4.30	4.56	4.68
	6	3.69	4.29	4.51	4.58
	7	3.72	4.29	4.60	4.61
	8	3.80	4.33	4.62	4.70
	9	3.80	4.29	4.59	4.61
	10	3.95	4.39	4.68	4.69
	11	4.12	4.45	4.71	4.76
	12	4.40	4.69	4.86	4.89
	13	4.70	4.81	5.05	5.15
牛津川	15	3.81	4.29	4.55	4.60
	16	4.12	4.51	4.72	4.70
	17	4.49	4.79	4.91	4.90
	18	4.98	5.05	5.11	5.02
	19	6.20	6.21	6.22	6.21
	20	7.75	7.75	7.78	7.80

表-27 最高水位計算結果

河川名	断面	水 位				
		C-c ₀₅ -2	C-c ₀₅ -3	C-c ₀₅ -4	C-c ₀₅ -5	C-c ₀₅ -6
六角川	1	5.02	4.97	5.05	5.05	5.01
	2	5.06	4.99	5.05	5.05	5.04
	3	5.00	4.99	5.05	5.00	4.99
	水門上	3.58	4.15	4.66	4.85	4.75
	4	3.67	4.18	4.66	4.90	4.76
	5	3.62	4.15	4.66	4.88	4.72
	6	3.60	4.14	4.65	4.90	4.73
	7	3.68	4.17	4.66	4.92	4.77
	8	3.69	4.19	4.70	4.93	4.76
	9	3.73	4.20	4.68	4.90	4.77
	10	3.90	4.28	4.71	4.95	4.80
	11	4.03	4.37	4.77	5.00	4.83
	12	4.33	4.60	4.89	5.10	4.98
	13	4.60	4.80	5.06	5.30	5.10
牛津川	15	3.73	4.24	4.69	4.90	4.75
	16	4.09	4.45	4.79	5.00	4.81
	17	4.40	4.68	4.92	5.10	4.83
	18	5.03	5.01	5.12	5.20	5.01
	19	6.22	6.23	6.20	6.22	6.22
	20	7.74	7.78	7.76	7.80	7.74

表-28 最高水位計算結果 (C-c₀₀)

河川名	断面	水 位				
		C-c ₀₀ -2	C-c ₀₀ -3	C-c ₀₀ -4	C-c ₀₀ -5	C-c ₀₀ -6
六角川	1	5.01	4.98	5.02	5.02	5.00
	2	5.09	5.02	4.99	5.00	5.05
	3	5.02	5.01	5.01	5.01	5.00
	水門上	3.48	4.05	4.54	4.85	4.72
	4	3.53	4.09	4.55	4.89	4.76
	5	3.50	4.08	4.57	4.90	4.73
	6	3.45	4.05	4.54	4.87	4.70
	7	3.52	4.10	4.58	4.89	4.76
	8	3.57	4.11	4.60	5.00	4.74
	9	3.54	4.12	4.59	4.90	4.77
	10	3.71	4.18	4.64	4.92	4.85
	11	3.92	4.28	4.68	4.97	4.85
	12	4.29	4.50	4.80	5.05	5.00
	13	4.55	4.74	4.96	5.26	5.13
牛津川	15	3.59	4.13	4.56	4.89	4.76
	16	3.95	4.32	4.68	4.94	4.84
	17	4.30	4.57	4.82	5.05	4.89
	18	4.89	4.96	5.02	5.20	4.99
	19	6.27	6.23	6.21	6.20	6.20
	20	7.78	7.81	7.80	7.80	7.73

のケースでは外潮位の最高水位を一致しており河口堰の効果があらわれない。高潮と洪水との生起時間の関係については、高潮ピークが洪水ピークよりおくれる方が最最高水位が高くなっており、今回のケースについては3時間おくれのケース5の水位が最も高くなっている。

内水位の最も高い潮位波形cのケースに対する河口堰の迎水位を0m, 0.5mとする案について、迎水位の影響をみるとおくれ時間が小さい間は迎水位を下げると最高水位が低下するが、3時間おくれのケースについては最高水位は等しくなっている。

河口堰上下流の最高水位は、表-19～28の通りであり、代表ケースとしてN-cのケースとC-cのケースを図示すると図-15～18の通りである。

この測定結果をみると、下流側で高い水位があり、修正を要するものがあるがそのバラツキが数cm以内であり、許容できるものとして修正をほどこさなかった。この結果によると堰上流の水位は最上流端を除いてほぼレベルになっており、事務所計算法の妥当性を示すが、河口堰が閉鎖する時点の水位縦断は図-17, 18に例記したC-c-4のケースのごとくある勾配をなしており、この点が計算法として相違しているところである。他のケースについても図示してみたが、結果がほぼ同様であるため図は省略する。

さて、本計算結果は以上のように算定されたが、この結果については、

(1) 事務所計算結果との比較

(2) 河口堰の迎水位を下げて最最高水位が下がる原因

の2点の検討が望まれる。(2)は堰操作、予備放流の可能性などの成否とも関係するものである。

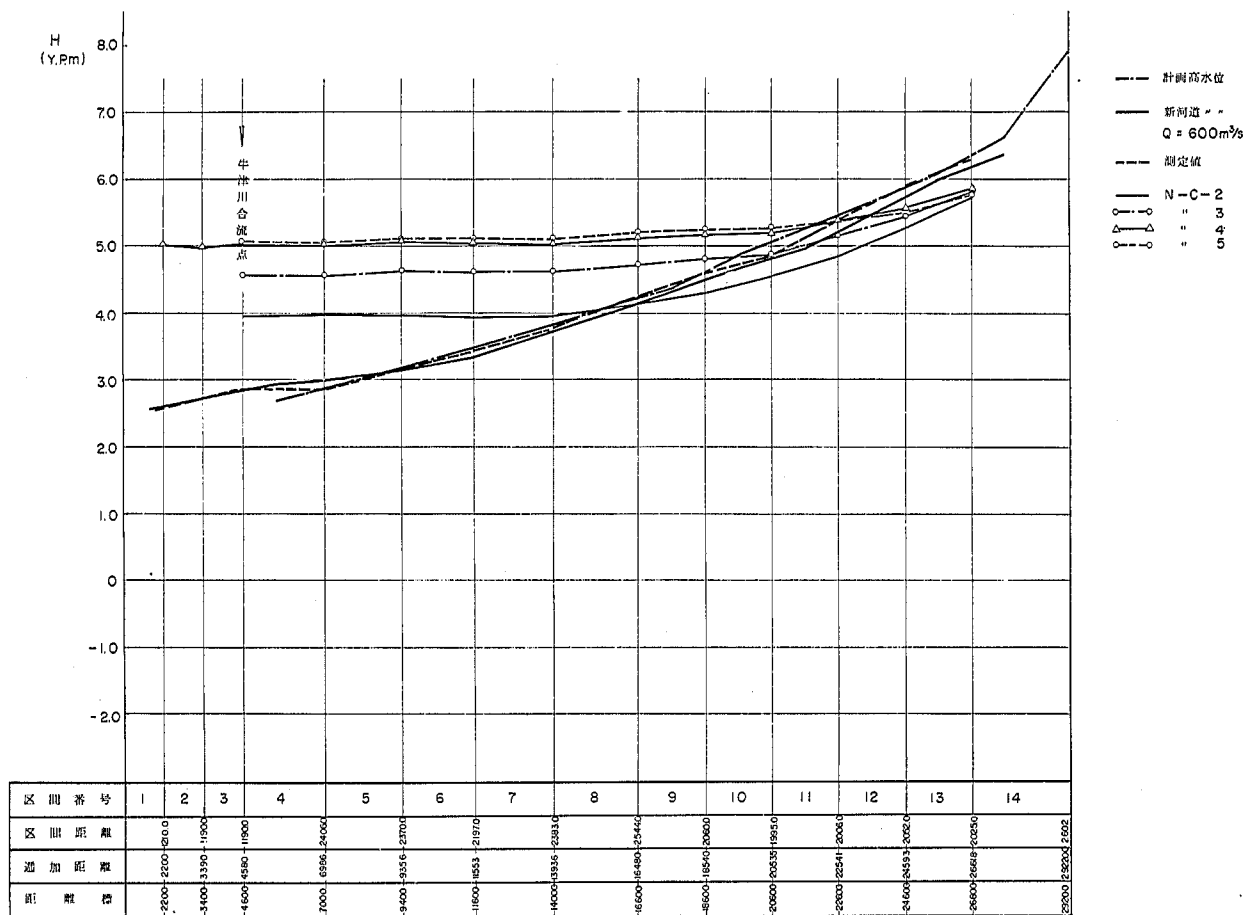


図-15 六角川縦断面図
(N-C ケース)

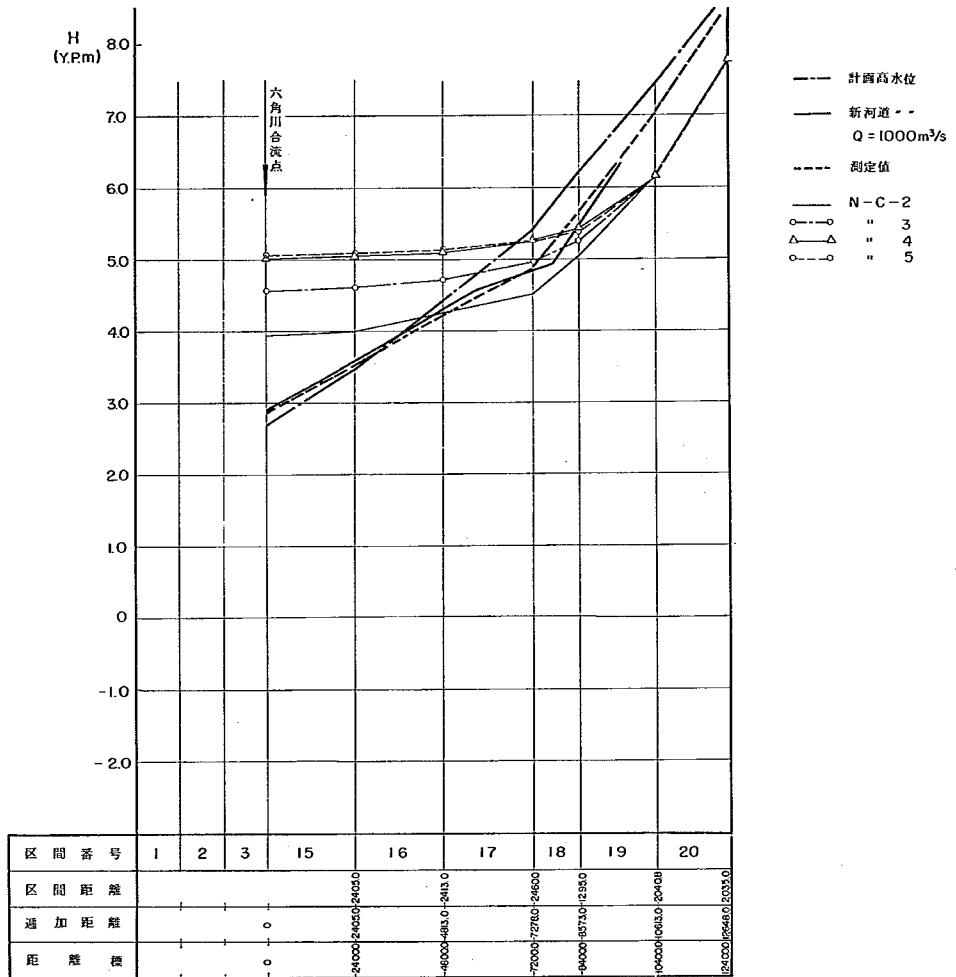


図-16 牛津川縦断面図
(N-C-ケース)

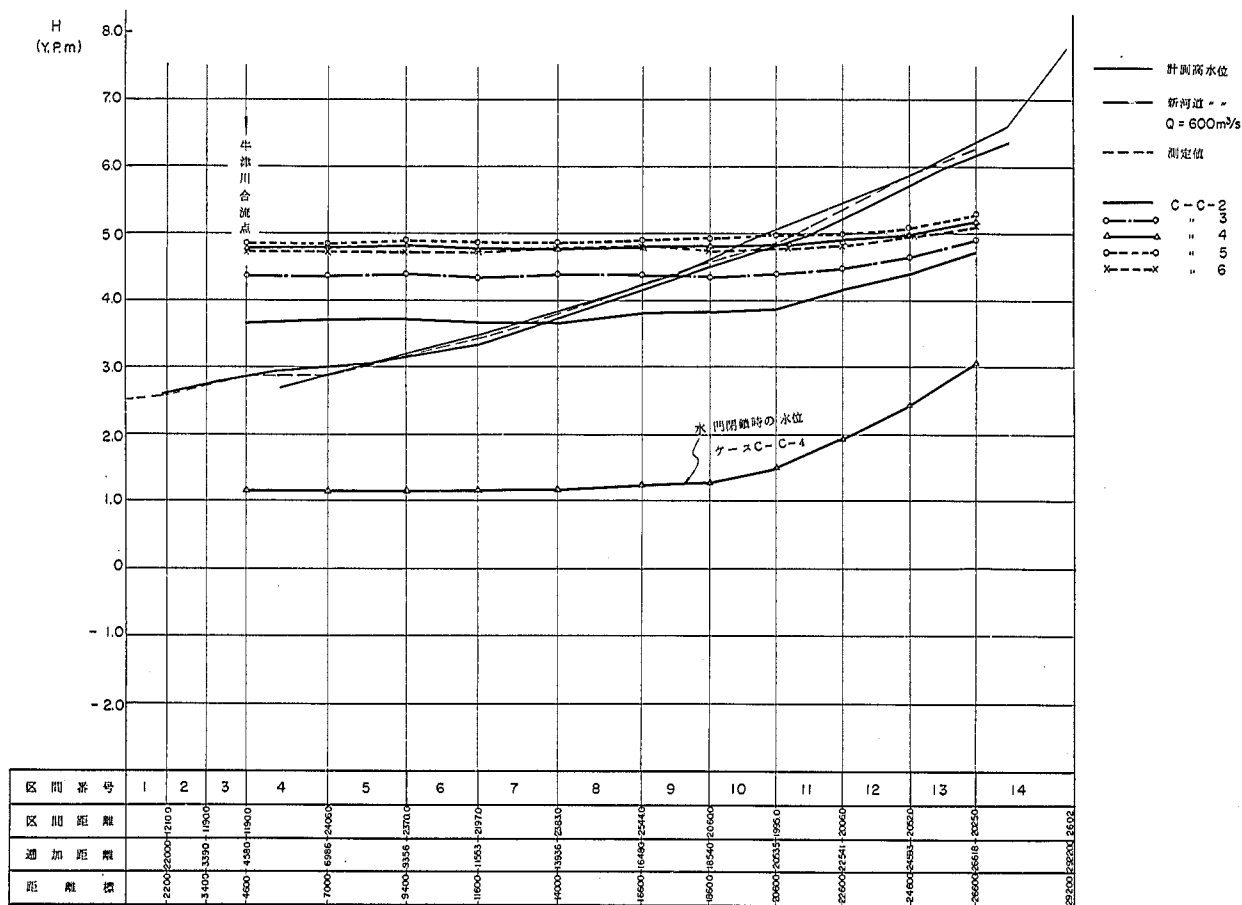


図-17 六角川縦断面図
(C-C ケース)

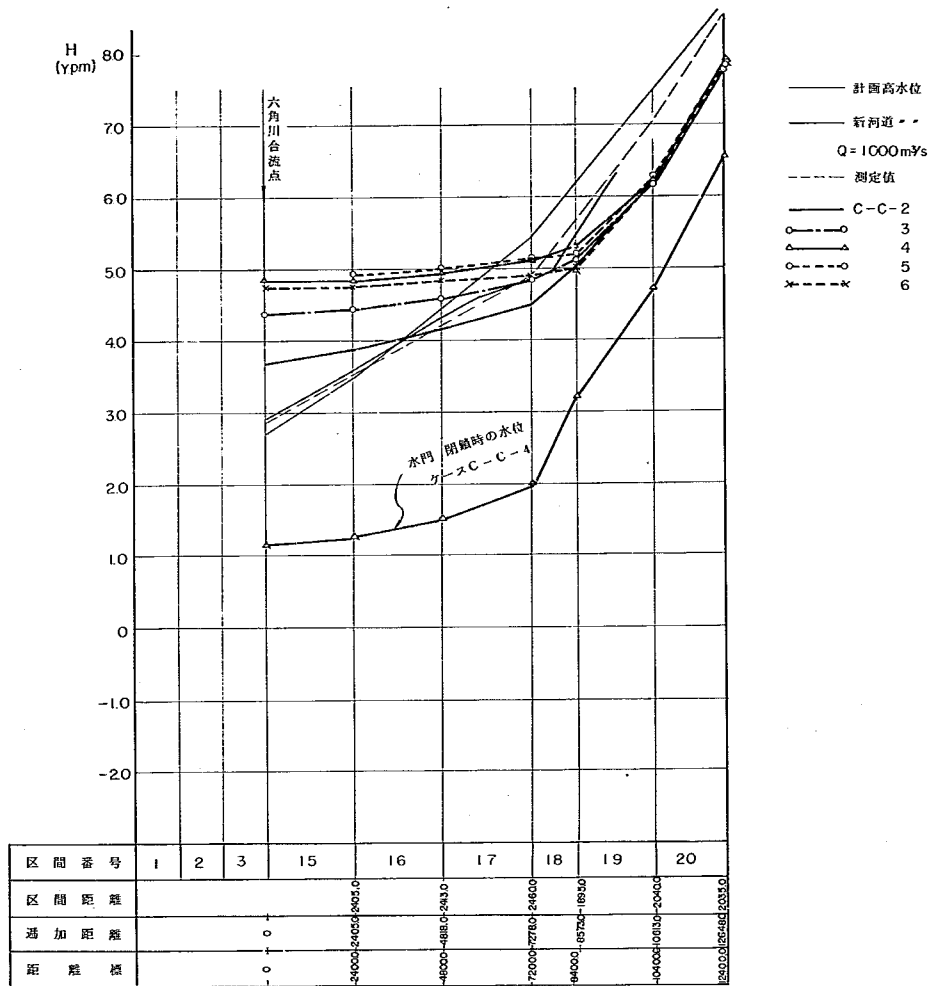


図-18 牛津川縦断面図
(C-Cケース)

表 - 29 洪水調節前後の最高内水位

単位 (m)

洪水と潮位 の組み 合せ 潮位波形	N				C					外潮位の最高水位
	2	3	4	5	2	3	4	5	6	
b _{1.0}	4.15 4.26	4.78 4.52	5.00 4.55	5.02 4.40	4.03 3.99	4.43 4.35	4.71 4.35	4.72 4.14		5.21
c _{1.0}	3.97 3.98	4.58 4.55	5.01 4.72	5.03 4.66	3.69 3.78	4.38 4.31	4.80 4.52	4.85 4.52	4.76	5.03
d _{1.0}	3.85 4.01	4.38 4.48	4.54 4.64	4.54 4.60	3.70 3.83	4.20 4.32	4.50 4.53	4.54 4.55		4.54
c _{0.5}	3.67	4.45	4.87	5.03	3.58	4.15	4.66	4.85	4.75	5.03
c _{0.0}	3.57	4.21	4.84	5.03	3.48	4.05	4.54	4.85	4.72	5.03

- 注 1. 潮位波形の右下に b_{1.0} 等と記したのは、河口堰上流の迎水位を示す。
 2. N は自然状態, C は調節後を示す。
 3. 河口堰直上地点の水位で示している。
 4. 表中下段は事務所計算の数値である。

表 - 30 六角川河口堰開閉時刻

洪水と潮位 の組み 合せ 潮位波形	N				C					河口潮位がビ ークの時刻
	2	3	4	5	2	3	4	5	6	
b _{1.0}	44.30 48.15	44.30 47.375	45.15 47.30	45.30 47.30	44.30 48.00	44.45 48.00	45.15 47.45	45.30 47.45		47時
c _{1.0}	44.30 48.45	44.30 48.30	45.00 48.15	46.30 47.45	44.30 49.00	44.30 49.00	44.45 48.15	46.00 48.15	46.15 48.30	48時
d _{1.0}	44.45 49.225	44.45 48.525	44.45 48.15	— —	44.45 49.30	44.45 49.00	44.45 48.15	47.15 48.15		48時30分
c _{0.5}	44.30 49.00	44.15 48.45	44.15 48.30	46.30 47.45	44.15 49.00	44.15 49.00	44.15 48.30	46.00 48.15	46.15 48.30	48時
c _{0.0}	44.00 49.00	44.00 49.00	44.00 48.30	46.30 47.45	44.00 49.15	44.00 49.00	44.00 48.30	45.30 48.15	46.15 48.45	48時

- 注 1. 上段：河口堰閉時刻
 下段：河口堰開時刻
 2. 時刻の基準は河口潮位であり、洪水ピークの時刻はその時刻より 0～4 時間
 はやくあらわれる。

(1)について、事務所計算と今回計算の水位を比較すると表 - 29 の通りで結果は以下の三者に
 わけられる。

事務所計算 $\geq$ 今回計算
 $\leq$

このうち（事務所計算＞今回計算）のケースは、最高水位の低いケースに多く、（事務所計算＜今回計算）は最高水位が高く、洪水波形と潮位波形のおくれが2～3時間のものである。

このことを検討するために、河口堰の開閉時刻を調べると表-30の通りであり、河口潮位の時刻を基準にして開閉時刻を記している。したがって、同一河口潮位については河口潮位ピークの時刻は一致しているが、洪水ピークの時刻はおくれ時間に従って、潮位のピークより早くなる。この表より、水門が開く時刻について洪水ピーク以後の時間を読みとると、例えばC-c_{1.0}については左から1時間、2時間、2時間15分、3時間15分となっており、逐次ピーク後の時間が長くなっており、このうち差が短いものが（事務所計算≧今回の計算）に対応している。この場合には、水位も低く、洪水ピーク以後の時刻が短いので流量も大きいゆえ、水門開放時の水面勾配が他に比して急になっているものと考えられる。事務所計算においては、レベル湛水としているためこの勾配の要素ははいっておらず、以上のような

事務所計算 $\begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix}$ 今回計算

の大小関係が生じるものと思われる。

水面形の関係は、さきの図-15～18によっても確認される。表-30の開閉時刻を用いて、この間の流入量を求めると、表-31の通りである。この表をみると、最高水位の高さと河口堰の開閉時間内の総流入量との間に直接的な関係がなく、水門開閉時間を介してとらえなければならない。この点に、②の問題に対する鍵も存在するものと考えられる。

表-31 六角川河口堰開閉時間総流入量

10⁴ m³

洪水と潮位の 組み合わせ 潮位波形	N				C					備考
	2	3	4	5	2	3	4	5	6	
b _{1.0}	1,183.02	1,142.84	910.54	666.45	918.37	1,068.32	820.71	631.09		
c _{1.0}	914.26	1,286.34	1,281.64	456.70	994.82	1,276.18	1,143.34	678.04	579.41	
d _{1.0}	1,039.18	1,213.91	1,181.90	—	1,004.52	1,149.70	1,094.22	142.59		
c _{0.5}	1,076.18	1,402.86	1,473.72	456.70	1,004.52	1,283.23	1,320.56	678.04	579.41	
c _{0.0}	1,143.82	1,510.29	1,596.72	456.70	1,048.96	1,293.51	1,361.95	857.05	635.28	

②については、次のような理由が考えられる。即ち、

- (イ) 河口堰の迎水位が1mの場合と0mの場合の最高水位が等しいことは、0mから1mまで河口潮位が上昇する速度と、河口堰上流への流入量によって貯水池水位が上昇する速度が上昇する速度が等しい。
- (ロ) 後者の貯水池上昇速度が速く、1m附近で河口堰のゲートが開く場合。

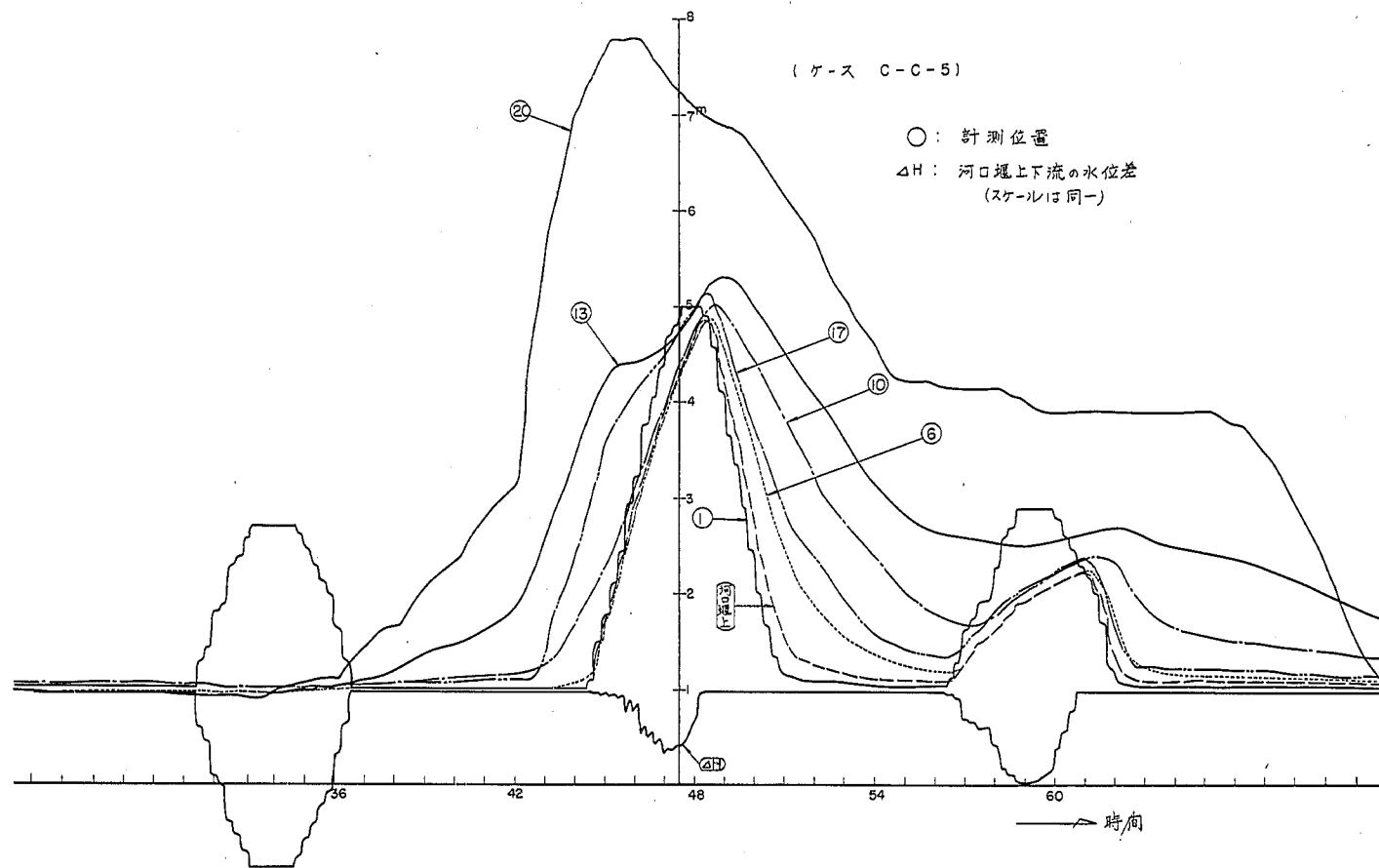


図-19 六角川各地点計算水位ハイドログラフ

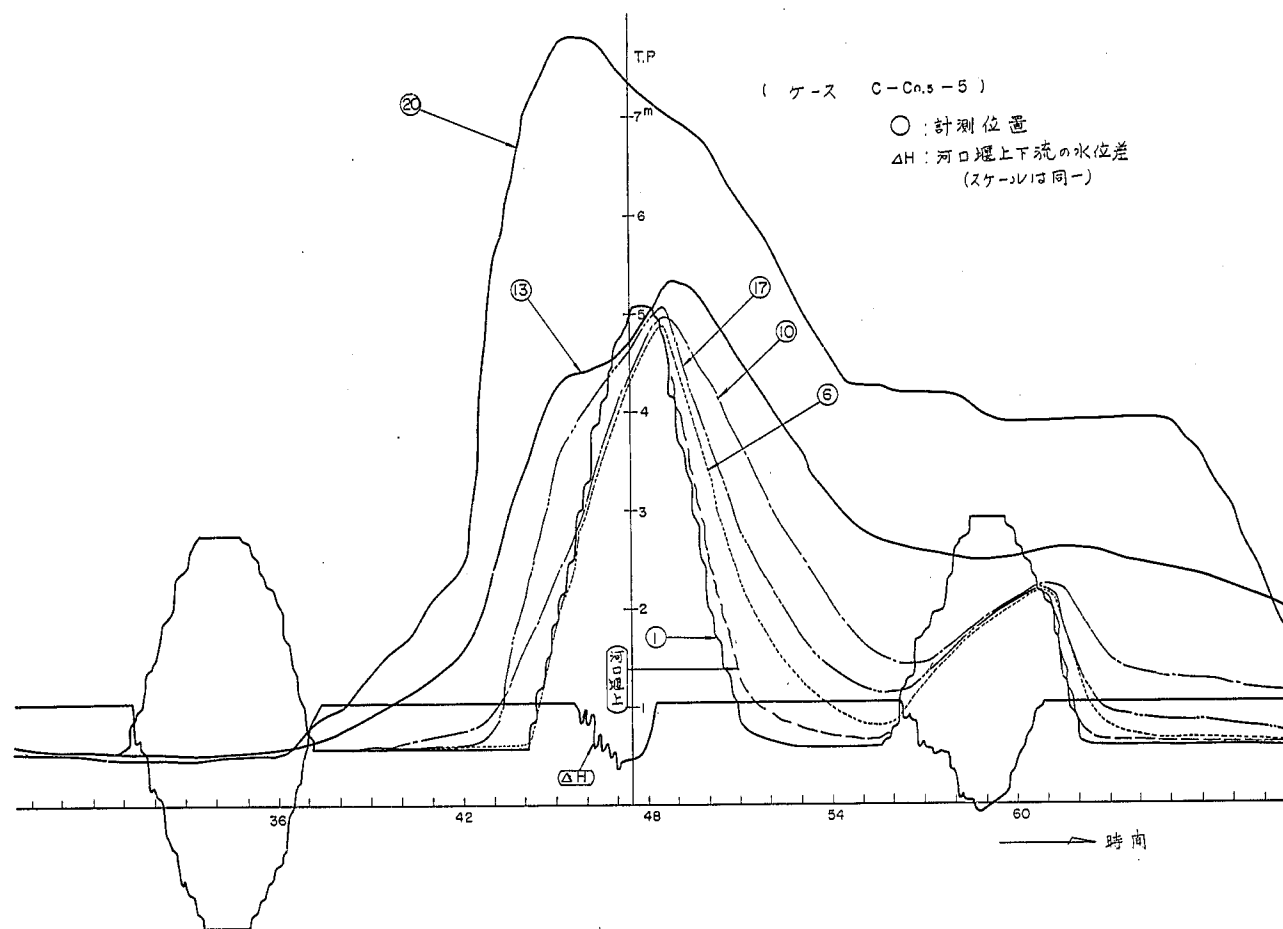


図-20 六角川各地点計算水位ハイドログラフ

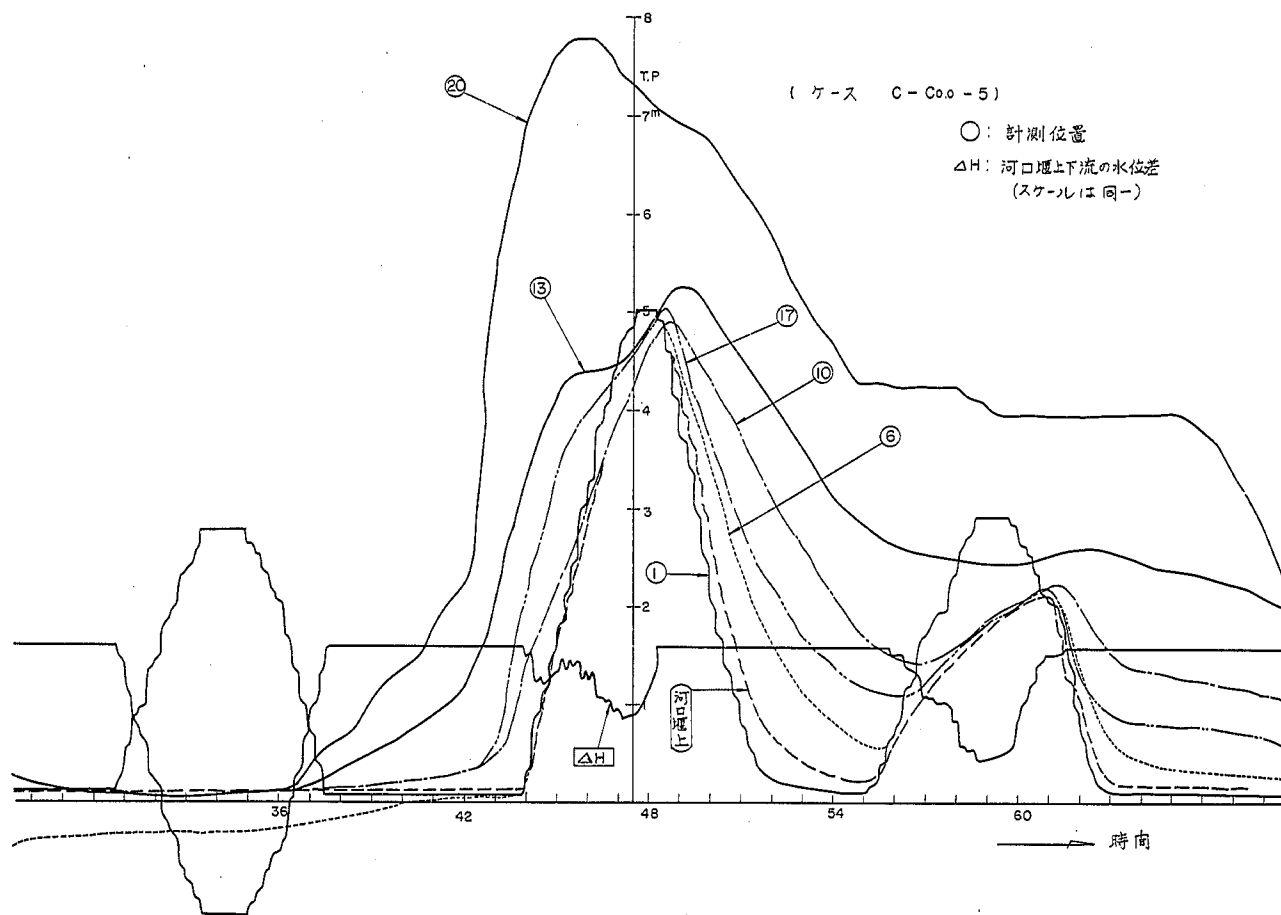


図-21 六角川各地点計算水位ハイドログラフ

- い) 1 m までには河口堰上流の水位が低い、それ以後の流入量が多く、河口堰のゲートが一度開き、その後に再度閉鎖する場合。

このような見地から、水門上下流の水位差をみると、上述のような現象があらわれていることがわかる。この関係は、図-19～21に各地点の水位とともに例示的に示した。

計算結果に対する検討は以上の通りであるが、この計算を通して感じたことを一つ書き加えると、

- (1) 今回の計算ケースについていうと、河口潮位と洪水波形の時間のずれが計算結果に非常に影響する。
- (2) 最高水位の計算結果は表-7の通りであるが、T.P.4.5cmに対する総ボリューム（表-13より約 $1,400 \times 10^4 m^3$ ）であり、これを流域面積（約 $340 km^2$ ）当りの降雨量に換算すると、約 $41 mm$ に相当することになる。また T.P.4.5 m 附近の水面積（約 $450 \times 10^4 m^2$ ）に対する降雨 $1 mm$ に対する水位上昇量を算定すると約 $7.5 m$ に達する。本計算の C-c-5 のケースでは堰上流の水位が $4.85 m$ に達しており、河口潮位との差が約 $20 cm$ にすぎない。上の計算結果によると、これは降雨量に換算して $3 mm$ に相当するものであり、流入量の微妙な量の違いが、堰上流の水位差に相当ききそうである。
- (3) 計算結果によると、(1)にのべたように時間のおくれが非常に影響し、ケースによっては短期間における迅速なゲート操作が要求される。この要求に答えるため、高潮と洪水ピークの関係を十分検討し、ゲート操作についても自動化などを検討する必要があるものと考えられる。
- (4) 計算結果では、時間組み合わせ5の場合は、迎水位を下げてても効果がなく、したがって予備放流などは考えられないが、多くのケースについては迎水位を下げる効果があるものと考えられる。この点についても波形の検討が要望される。

3. 結 論

以上、河口潮位波形 b, c, d と昭和31年型洪水との時間おくれを組み合わせた各種計算を実施した結果、

- (1) 河口堰上流の最高水位は表-7の通りである。
- (2) 最高水位を縦断的にみると、最上流部を除き水平に湛水している。
- (3) 河口堰上流が最も危険になるケースは、河口潮位波形 C、洪水ピークが高潮ピークよりすむ時間である C-c-5 のケースである。
- (4) C-c-5 のケースについては河口堰上流の迎水位を下げてても水門を閉める時刻が早くなるために最高水位は下がらないが、他のケースでは効果がある。
- (5) 今回の検討では、流入波形の影響は十分わからないが、流入量を降雨換算して $1 mm$ が水

位上昇 7.5 cmに相当しており、流入量の差が相当ききそうである。

- (6) ケースC-c-5では水門は開閉をくりかえしており、相当迅速な堰操作が要求されるものと考えられ、水位検出位置の選定やゲート操作の自動化の検討なども要望される。

〔6〕 あ と が き

この計算は、九州地方建設局より依頼をうけて、土木研究所河川研究室において、アナログコンピュータを用いて実施したものである。

この計算結果をもとに、高潮対策用防潮水門上流の洪水流を貯留するメカニズムが明らかになり、今後の計画樹立のための検討をさらにすすめるものと考えられる。計算および解析は下記のもの担当した。

河川研究室長

土 屋 昭 彦

研究員

星 畑 国 松

高 橋 暎

江 原 良 和

野 口 正