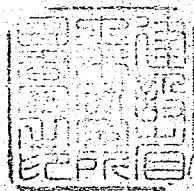


土木研究所資料

第84号

鬼怒川 洪水調節解析報告書
(その1)

昭和40年6月



建設省土木研究所

鬼怒川洪水調節解析報告書

(その 1)

昭和40年6月

建設省土木研究所

目 次

1. 概 要	1
〔1〕 解析の目的	1
〔2〕 経 過	1
〔3〕 実施内容および方針	1
2. 洪水流出解析（第二次定数解析）	4
〔1〕 計算上の諸条件	4
〔2〕 基礎資料	4
〔3〕 定数解析	8
3. 計画降雨解析	37
〔1〕 概 要	37
〔2〕 流域平均3日雨量の超過確率	39
〔3〕 石井地点のピーク流量と流域平均3日雨量の相関	39
〔4〕 石井上流流域の平均時間雨量分布	39
〔5〕 石井上流流域の3日雨量の地域分布	50
〔6〕 代表的降雨型の分類および代表降雨の撰定	53
4. 洪水調節解析	58
〔1〕 概 要	58
〔2〕 川俣・五十里ダムの洪水調節方式および調節計算上の基礎資料	58
〔3〕 洪水調節計算のためのアナログ計算機演算回路	59
〔4〕 洪水調節効果の推定	72
5. 結 論	83
〔1〕 水文定数	83
〔2〕 代表的降雨型	84
〔3〕 流量頻度および洪水調節効果	84
6. あとがき	84

1. 概 要

〔1〕 解析の目的

この解析の目的は次の通りである。

- 〔i〕 関東地方建設局の利根川流量検討の一環として、鬼怒川上流のダム群によって計画されている洪水調節効果を推定するための高水流量に関する解析資料を整備する。
- 〔ii〕 洪水調節ダムの調節効果を評価するための方式を確立し、また、アナログ計算機によって、調節効果の判定を自動化するための事例研究とする。

〔2〕 経 過

この解析は、最初、関東地方建設局の依頼によって、昭和37年度より実施したもので各年度における予算項目および負担は以下のとおりである。

昭和37年度：直轄河川改修費	}	関東地方建設局負担
測量および試験費		
昭和38年度：河川総合開発調査費		
昭和39年度：河川総合開発調査費	土木研究所負担	

〔3〕 実施内容および方針

鬼怒川は利根川の石支川であって、解析の対象とする流域の最下流端である石井地点の流域面積は1,230Km²である。鬼怒川については、その上流に洪水調節を含む多目的ダムである五十里・川俣ダムがあり、それらの調節効果を推定するため、次の内容・方針によって解析を行う。

解析としては、〔i〕洪水流出解析（第2次定数解析）・〔ii〕計画降雨解析・〔iii〕洪水調節解析を実施する。このうち〔i〕および〔ii〕の計算作業の一部については鬼怒川工事事務所（現在の下館工事事務所）によって実施された。

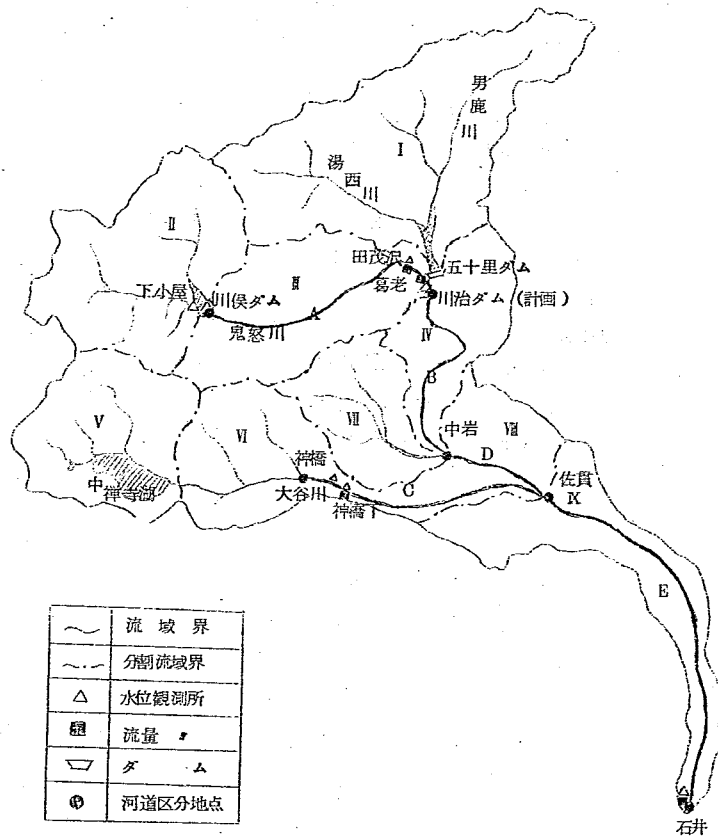
- 〔i〕 洪水流出解析（第2次定数解析）：鬼怒川については、すでに昭和35年度において、関東地方建設局によって第1次解析が行なわれている。第2次定数解析は、その基礎水文資料・解析成果をうけ、更に基礎資料の精度を向上させ水文定数を精度よく決定するものである。解析方針は次の通りである。

（i） 定数解析の対象とする洪水は一次解析と同様とする。

（ii） 石井地点上流の流域分割・河道分割は基本的には第一次解析のそれを探る。大谷川については一部変更を行う。

（iii） 基礎水文資料中、雨量については第一解析の成果を利用するが、流量資料について

図-1 鬼怒川流域図(石井上流)



は、浮子観測に基づく平均流速推定の際の更正係数を統一（河川砂防技術基準の数値に統一）するなど一部数値を修正する。

(二) 地形資料中、河道の縦横断資料の整備をはかることにより、河道区間の定数推定精度を向上する。

(三) 雨量から流量の推算は、貯留関数法によって行う。貯留関数法において決定すべき定数は、以下の通りである。

流域定数：貯留関数 $S_o(q)$

一次流出率 f_1

飽和雨量 R_{sa}

遅滞時間 T_l

河道定数：貯留関数 $S(Q)$

流入係数 f

遅滞時間 T_l

(四) 定数解析は、実測流量のある下小屋（川俣）・田茂沢・葛老・五十里・神橋（神橋下）石井等の諸地点を対象とする。それらのうち水位・流量が最も整備されているのは石井地点なので、石井地点を最も重視する。

(五) 定数の推定にあたっては、最初、地形資料・全国平均的な定数の経験式・第一次解析の成果等を考慮して定数を仮定して雨量より流出を推算する。次に、その推算流量と実測流量との適合度を検討し定数を修正する。更に、修正された定数を用いて流出を推算し、実測流量との適合度を総合的に判断して定数を修正する。以上の様な操作をくり返し、十分な精度の推定流量が得られると判断される水文定数を最終的に確定する。

(六) 中禅寺湖流域の流出は、中禅寺湖の貯留効果が大きいので考慮しない。

(Ⅱ) 計画降雨解析：洪水調節効果を評価するためのハイドログラフの基礎となる計画降雨群を推定する作業である。推定にあたっては次の方針により行う。

(イ) 統計的に既往降雨の鬼怒川流域内地域分布および時間分布を調査し、幾つかの代表的降雨を撰ぶ。代表降雨の撰定にあたっては大降雨を重視する。

(ロ) 計画降雨群としては、(イ)で撰んだ代表降雨の雨量を比例的に拡大・縮小したものと考える。雨量の拡大・縮小は、連続雨量の超過確率を基準に、全部の降雨型に統一的に行う。

(Ⅲ) 洪水調節解析：(Ⅰ)で得られた流域および河道の水文定数、(Ⅱ)で分類した計画降雨

群を用いて、鬼怒川上流のダム群の洪水調節効果を計算する。

(イ) 調節効果判定の基準点は最下流石井地点とする。

(ロ) 計算の対象とするダムは川俣・五十里ダムとし、川治ダムについては以後の段階において考慮する。調節方式は、基本的には現在の調節方式を取るが、計算を既設のアナログ計算機を用いて行う関係上の演算要素による計算能力の制限もあるので調節方式の一部を修正して行う。

(ハ) 洪水調節効果の判定は、主として自然河道および調節後における洪水ピーク流量の比較によって行う。

2. 洪水流出解析（第二次定数解析）

〔1〕 計算上の諸条件

計算上の諸条件は以下の通りである。

〔i〕 解析対象洪水

表-1に示す12洪水とする。

〔ii〕 流域および河道の分割

流域分割および河道分割は、図-1に示す9流域（Ⅰ～Ⅸ）・5河道（A～E）とする。

図-1の分割は原則として第一次解析における分割を取っているが、次の2点について第一次解析の分割を一部修正している。

(イ) 流域地形を考慮してⅥ・Ⅷ流域の境界を訂正した。

(ロ) 第一次解析では単流域として扱った大谷川を、河道規模を考慮して、流域+河道（稻荷川合流点～鬼怒川合流点）とした。

表-2に各分割流域の流域面積を、また、表-3に河道の流路延長・平均河床勾配を示す。

なお、Ⅴの中禅寺湖流域は解析の対象から除かれる。

〔iii〕 流出推算系統

〔ii〕の流域および河道分割を考慮すれば、自然河道および洪水調節を行った場合の流出推算系統は図-2に示す通りとなる。

〔2〕 基礎資料

〔i〕 雨量資料

表-1 定数解析対象洪水

(水位・流量資料の所在状況およびピーク流量表)

ピーク流量 (m^3/s)
○時間水位完全×流量完全

洪水番号	観測所 期間	下小屋 (川俣)	川俣 温泉	田茂沢	葛老	五十里 (流入)	五十里 (放流)	神橋	神橋下	佐貫	石井
1	3.8.31~9.2									○	× 5,410
2	16.7.21~24								× 283	○	× 3,980
3	18.10.2~4									○	× 2,630
4	22.9.14~16	× 391								○	× 3,800
5	23.9.15~18	× 290								○	× 2,960
6	24.8.31~9.2	× 969								○	× 5,300
7	3.7.22~24			× 625		× 468	× 54	○	× 114	○	× 2,190
8	3.8.25~27			× 700		× 503		× 274	× 91	○	× 2,020
9	3.9.17~19					× 848	× 302				× 3,070
10	3.9.25~28			× 1,060	× 1,030	× 690	× 436	× 258		○	× 2,320
11	4.8.12~15		× 863	× 2,490	× 2,510	× 1,017	× 470	× 520	× 544	○	× 4,090
12	4.9.25~28			× 1580		× 875	× 295	× 398		○	× 3,000

表-2 分割流域の面積

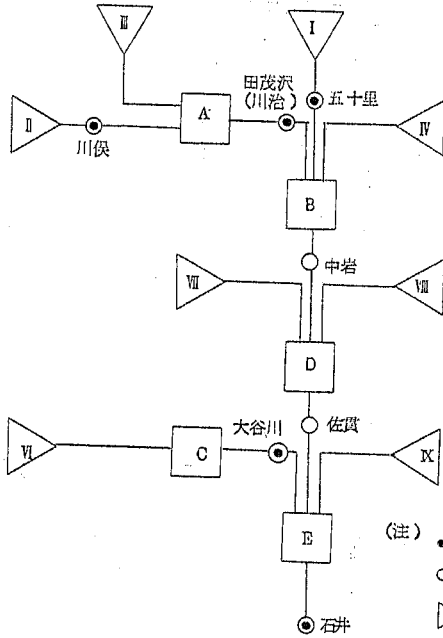
流域番号	流域面積 (Km^2)	備 考
I	274.7	五十里ダム流域 川俣 " "
II	179.4	
III	144.2	
IV	84.9	
V	121.4	中禅寺湖流域
VI	135.0	
VII	83.4	
VIII	58.7	
IX	132.6	
計	1,214.3 (10929)	()はVを除く値

表-3 分割河道の流路延長・河床勾配

河道記号	流路延長 (Km)	河床勾配
A	2385.4	0.0166
B	1788.7	0.0098
C	1649.5	0.0188
D	750.0	0.0188
E	318.67	0.0074
		0.0048

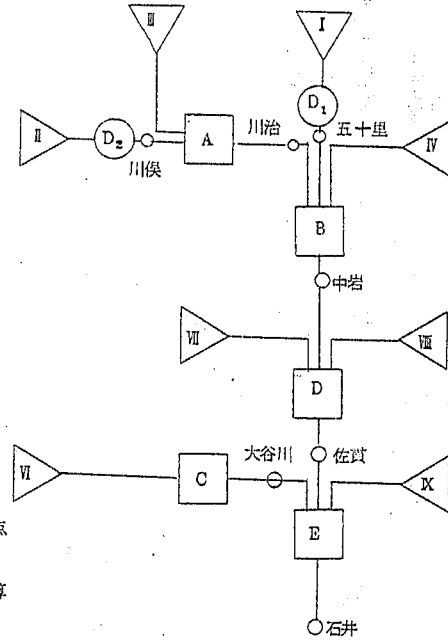
図-2 鬼怒川流出推算系統図

その1 自然河道の場合



- (注)
- : 定数解析地点
 - : 流出推算
 - △ : 流域追跡計算
 - : 河道追跡
 - : 洪水調節 (D₁ 五十里、D₂ 川俣)

その2 洪水調節を含む場合



計算に用いる各分割流域の流域平均時間雨量は第一次解析の値を利用する。第一次解析における値は代表係数法によって計算されている。表-4に解析対象洪水の流域平均3日雨量を示す。既往降雨の調査によれば、鬼怒川流域では一連雨量は、ほぼ3日雨量と考えてよい。

表-4 分割流域平均3日雨量

単位：mm

洪水番号	流域 降雨期間	I	II	III	IV	VI	VII	VIII	K	石井 上流
1	S.13.8.30~21	268.7	264.4	340.1	291.6	396.3	318.9	275.9	209.5	289.3
2	S.16.8.20~22	260.0	257.2	301.7	199.0	353.0	304.9	267.6	266.9	274.5
3	S.18.1.0.1~3	181.7	187.4	223.1	161.2	270.8	225.0	210.8	215.8	205.1
4	S.22.9.13~15	236.5	262.5	353.4	284.3	408.2	297.5	257.9	270.2	287.6
5	S.23.9.15~17	213.8	271.5	313.7	274.8	387.3	283.4	227.8	207.9	264.4
6	S.24.8.20~21	252.1	323.9	377.0	270.2	443.1	302.3	199.8	147.6	288.2
7	S.33.7.22~24	187.0	159.2	233.3	238.0	279.2	198.3	214.7	208.8	207.4
8	S.33.8.24~26	160.2	109.5	248.0	224.1	263.0	148.8	192.6	81.3	170.8
9	S.33.9.16~18	224.6	263.7	324.4	208.4	323.1	243.6	200.8	185.5	247.8
10	S.33.9.25~27	247.2	230.9	311.6	89.3	271.8	200.8	142.2	151.1	220.0
11	S.34.8.12~14	394.9	423.8	522.3	370.7	537.5	863.8	267.5	166.9	389.2
12	S.34.9.24~26	277.5	375.2	388.8	227.4	348.8	277.3	164.5	118.4	283.6

〔Ⅱ〕 流量資料

解析対象洪水における水位・流量資料の所在状況・ピーク流量を表-1に示す。時間・流量ハイドログラフの流量値のうち、石井地点以外は第一次解析の値をそのまま用いているが、石井地点は以下の項目を考慮して修正している。

(イ) 水位の誤記訂正

訂正されたのは次の箇所である。

洪水番号1（昭和13年9月1日～3日）

日	時刻	訂正数値 (m)
1	20	2.80
"	21	2.47

洪水番号2 (昭16年7月22日～24日)

日	時刻	訂正数値 (m)
23	3	3.80

洪水番号4 (昭22年9月15日～16日)

日	時刻	訂正数値 (m)
15	21	3.80

(ロ) 水位・流量曲線

関東地方建設局によって作成された石井地点の水位・流量曲線は第一次解析の成果によれば昭13年～昭24年および昭33年～昭34年の二期間に分かれて作成されている。解析対象12洪水について、個々の流量観測記録を詳細に検討して見ると、洪水番号6、10、11、12等は平均水位・流量曲線からの偏差が比較的に顕著に表われている。この様な洪水に対しては、個々に水位・流量曲線を作成し水位から流量の変かんを行った。ただし、この様にして求めた流量も一次解析における値と比べて大きな修正とはなっていない。

〔Ⅲ〕 河道資料

鬼怒川本川の石井～川俣間、大谷川の稲荷川合流点までの河道縦・横断資料が、関東地方建設局によって収集・整理された。

〔3〕 定数解析

〔1〕 概 要

定数解析においては、各分割流域の貯留関数 $S_o(q)$ ・一次流出率 f_1 ・遅滞時間 T_L ・飽和雨量 R_{sa} および河道の貯留関数 $S(Q)$ ・流入係数 f ・遅滞時間 T_L を決定する。この解析で信頼出来る精度をもつ実測流量のあるのは石井・五十里・川俣・田茂・神橋等の諸点だけなので、個々の分割流域・分割河道について実測流量を基にした解析が出来ない。そこで、まず地形資料・全国平均的な定数に関する経験式・一次解析の成果等より各分割流域・河道の定数を推定し、上記の実測流量のある地点のハイドログラフを推算し、実測流量との総合的な適合度を考慮して、定数を修正して行き最終的に定数を確定する方法を取った。したがって、定数解析は解析対象洪水について次の順序で行った。

- (イ) 定数の経験式・地形資料および一次解析の成果などによる定数の一次推定
- (ロ) 定数の一次推定値を適用し、流域平均時間雨量からのハイドログラフの一次推算
- (ハ) 実測流量・推算流量の適合度検討に基く定数の二次推定

(二) 二次推定の定数を基にしたハイドログラフの二次推算

(三) 以上の様な定数の推定とハイドログラフの推算のくり返しによる定数の確定

[ii] 定数の一次推定

[A] 流域定数

(1) 貯留関数 $S_o(q)$

一次解析の成果・全国河川の解析例等を考慮して次の貯留関数を全分割流域に対して取った。

$$S_o = 34.5 \cdot \bar{q}_t^{0.5} \text{ ----- (1) } S_o : (\text{mm}), \bar{q}_t : (\text{mm/hr})$$

(2) 遅滞時間 T_l

流路延長との経験式(2)式によつて推定された一次解析の成果を用いる。各分割流域の値を表-5に示す。

$$\left. \begin{array}{ll} T_l = 0.47 \cdot L - 0.56 & L \geq 11.9 \\ T_l = 0 & L < 11.9 \end{array} \right\} \text{---(2)}$$

$$T_l : (\text{hr}) \quad L : \text{流路延長 (km)}$$

(3) 一次流出率 f_1

一次解析の結果を考慮して $f_1 = 0.5$ とする。

(4) 飽和雨量 R_{sa}

従来の損失雨量に相当する量であり、洪水毎の変動が予想される。一次解析の結果も考慮して、 $R_{sa} = 0 \sim 300 \text{ mm}$ まで 50 mm 置きに7種類を仮定する。

(5) 基底流量 Q_b

一次解析の値を使用する。表-6

[B] 河道の定数

(1) 遅滞時間 T_l

流路延長・流路勾配との経験式(7)式を用いて推定する。結果を表-5に示す。

$$T_l = 10^{-4} \cdot 7.36 \cdot L \cdot I^{-0.5} \text{ (3)}$$

$$T_l : (\text{hr})$$

$$L : \text{流路延長 (m)}$$

$$I : \text{平均河床勾配}$$

(2) 流入係数 f_j

$f_j = 1$ とする。

(3) 貯留関数 $S(Q)$

表-5 分割流域および分割
河道の遅滞時間

分割流域および分割河道	遅滞時間 T_l (hr)	石井地点からの遅滞時間の累加値 $\sum T_l$
I	0.77	1.34
II	0.17	0.88
III	0	0.71
IV	0	0.57
V	0.30	0.43
VI	0.28	0.67
VII	0	0.39
VIII	0	0.34
A	0.14	
B	0.18	
C	0.09	
D	0.05	
E	0.34	

表-6 分割流域の基底流量

洪水番号	分割流域								備考
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	8.1	5.3	4.3	2.5	3.3	2.5	2.5	3.9	一次解析の 値を使用し た。
2	3.3	2.2	1.8	1.0	1.3	1.0	1.0	1.6	
3	8.5	5.5	4.5	2.6	3.4	2.6	2.6	4.1	
4	11.0	7.2	5.8	3.4	4.4	3.3	3.3	5.3	
5	4.9	3.2	2.5	1.5	1.9	1.5	1.5	2.3	
6	25.6	6.7	13.5	7.9	10.3	7.8	7.8	12.4	
7	10.0	16.5	5.2	3.1	4.0	3.0	3.0	4.8	
8	4.8	3.2	2.5	1.5	1.9	1.5	1.5	2.3	
9	11.2	7.3	5.9	3.4	4.5	3.4	3.4	5.4	
10	12.4	8.1	6.5	3.3	5.0	3.8	3.8	6.0	
11	8.9	5.8	4.7	2.7	3.6	2.7	2.7	4.3	
12	10.1	6.6	5.3	3.1	4.0	3.1	3.1	4.9	

図-2の流出推算系統図に示す様に、河道追跡計算を行うA～Eの5区間について貯留関数を作成する。作成の順序は次の通りである。

- (a) 粗度係数 n ・水面勾配 I を与えて各区間内の河道断面において等流計算を行う。その結果を利用して、種々なる流量に対する各河道区間内の水面形を推定する。
- (b) 推定された水面形を基礎に、河道横断面図を用いて流量 Q に対する貯留量 S_s を計算する。
- (c) (b)で求めた貯留量 S_s は定流のそれに相当するので、次式によって洪水流の貯留量 S を計算する。

$$S = S_s - T_L \cdot Q \quad (4)$$

T_L : 河道遅滞時間 (hr)

以上の計算は関東地方建設局によって行なわれ、計算結果を図-3(a)～(e)に示す。なお、図-3には、第一次解析に用いられた貯留量曲線も比較のため示す。

〔Ⅲ〕 ハイドログラフの一次推算以下の作業

以上によってえられた定数の一次推定値を用いて、さきに求められた流域平均時間雨量より各分割流域のハイドログラフを推算し、それらを基に実測流量のある川俣・田茂沢・五十里・石井等の地点のハイドログラフを推算した。

この様にして得た一次推算のハイドログラフと実測流量とを比較して一次推定の定数を修正する定数の二次推定を実施し、以下、ハイドログラフの二次推算、定数の三次推定・ハイドログラフの三次推算……と順次解析を実施し定数を確定して行つた。

定数の確定は、実測流量と推算流量の適合度を総合的に判断して行いわけであるが、全部の定数を同時に確定することは困難である。

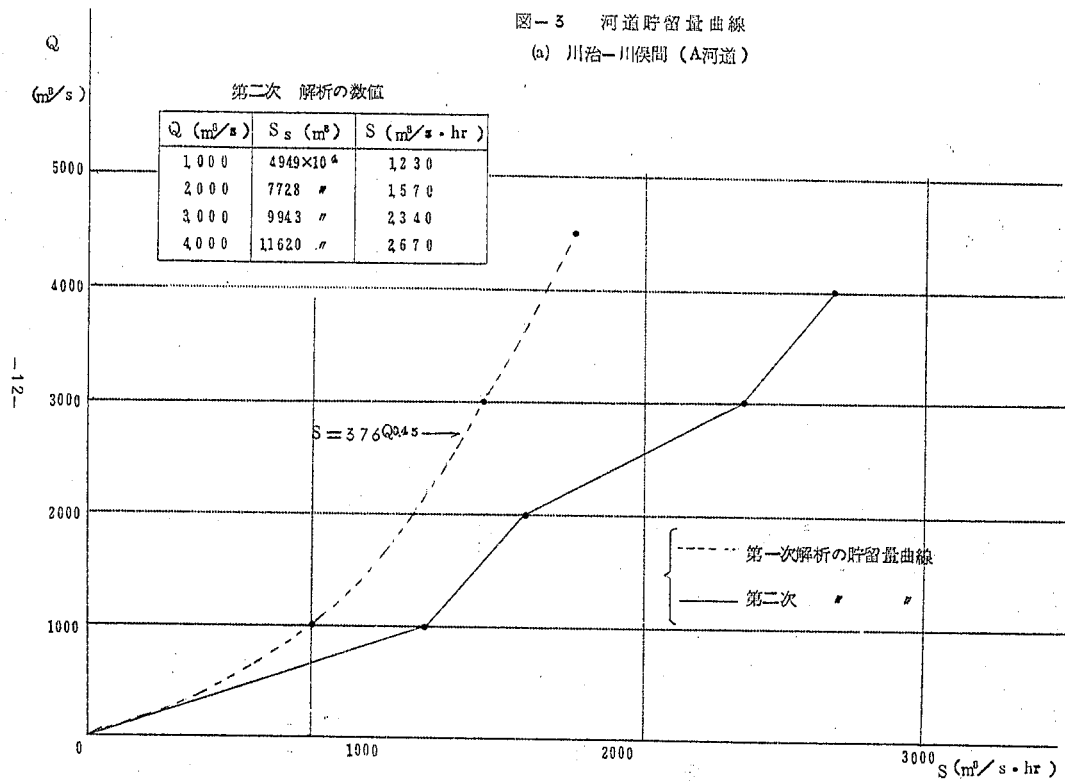
そこで、定数確定上の順位を、推算ハイドログラフに対する影響度を考慮して、次のとおりとした。

- (イ) 貯留関数 $S_o(q)$
- (ロ) 飽和雨量 R_{sa}
- (ハ) 遅滞時間 T_L (河道分を含む)
- (ニ) 一次流出率 f_1
- (ホ) 河道定数 (遅滞時間を除く)
- (ヘ) 基底流量 Q_b

定数解析作業の経過を表-7に示す。最終的に、現在の基礎資料の精度・解析の目的等

図-3 河道貯留量曲線

(a) 川治-川俣間 (A河道)



Q (m^3/s)

図-3 (b) 中岩-川治 (B河道)

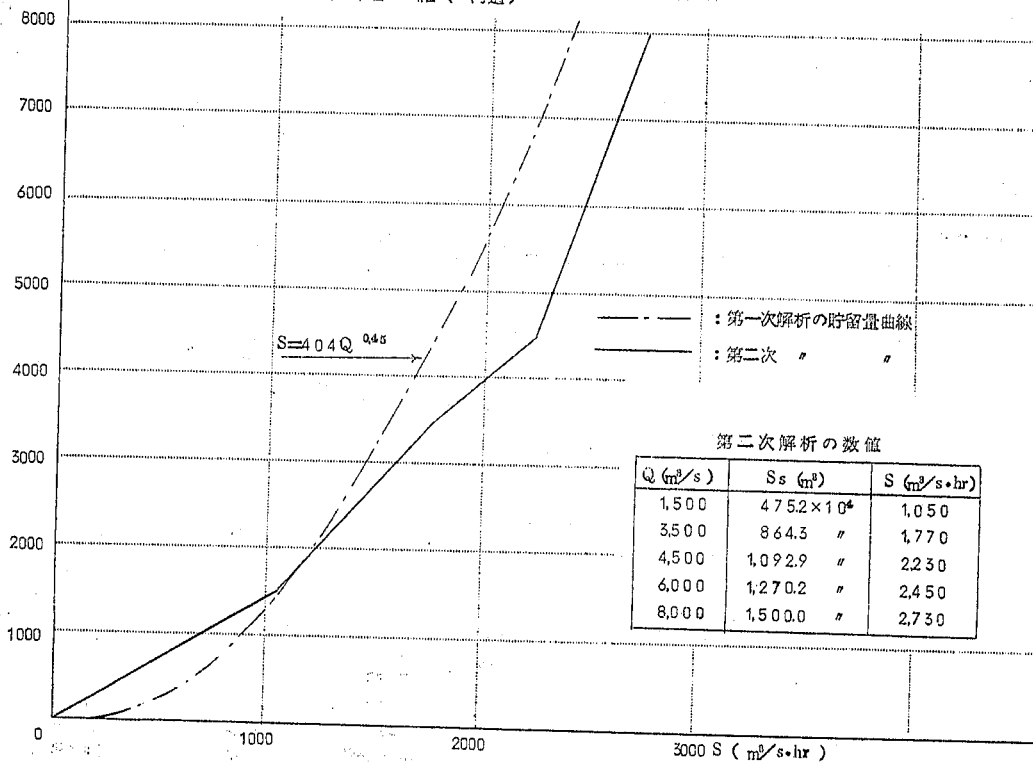
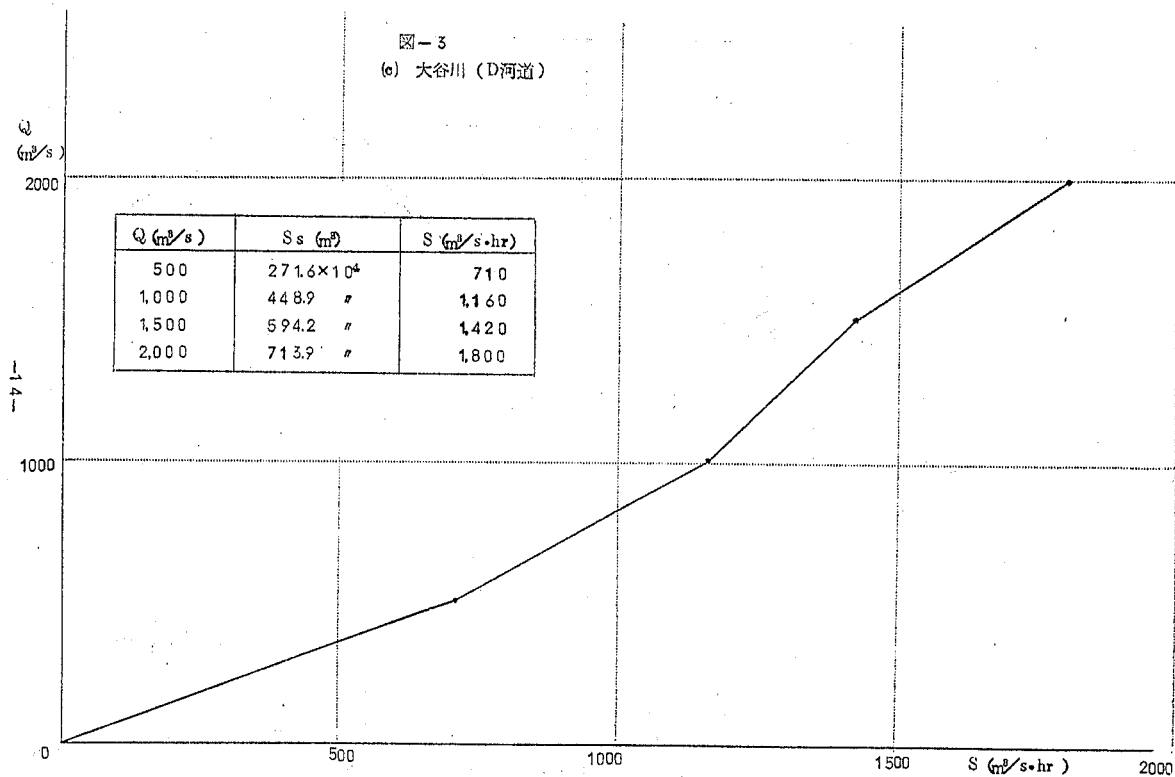


図-3
(e) 大谷川 (D河道)



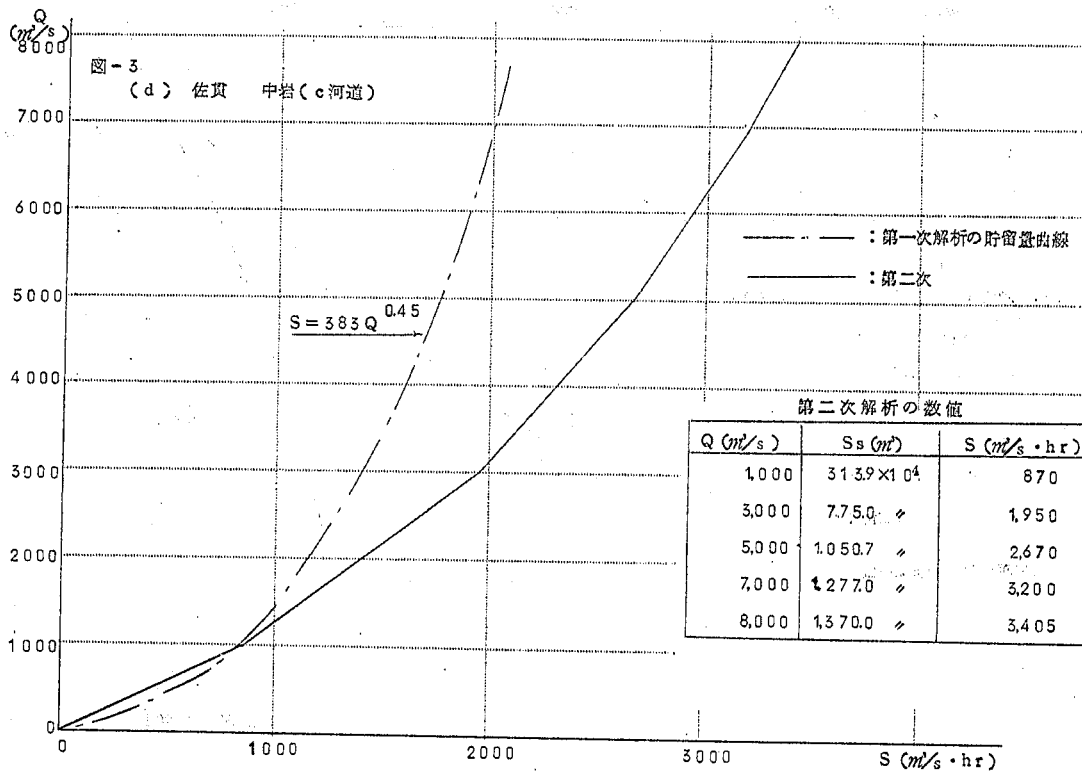


図-3
(c) 石井 佐貫 (E 河道)

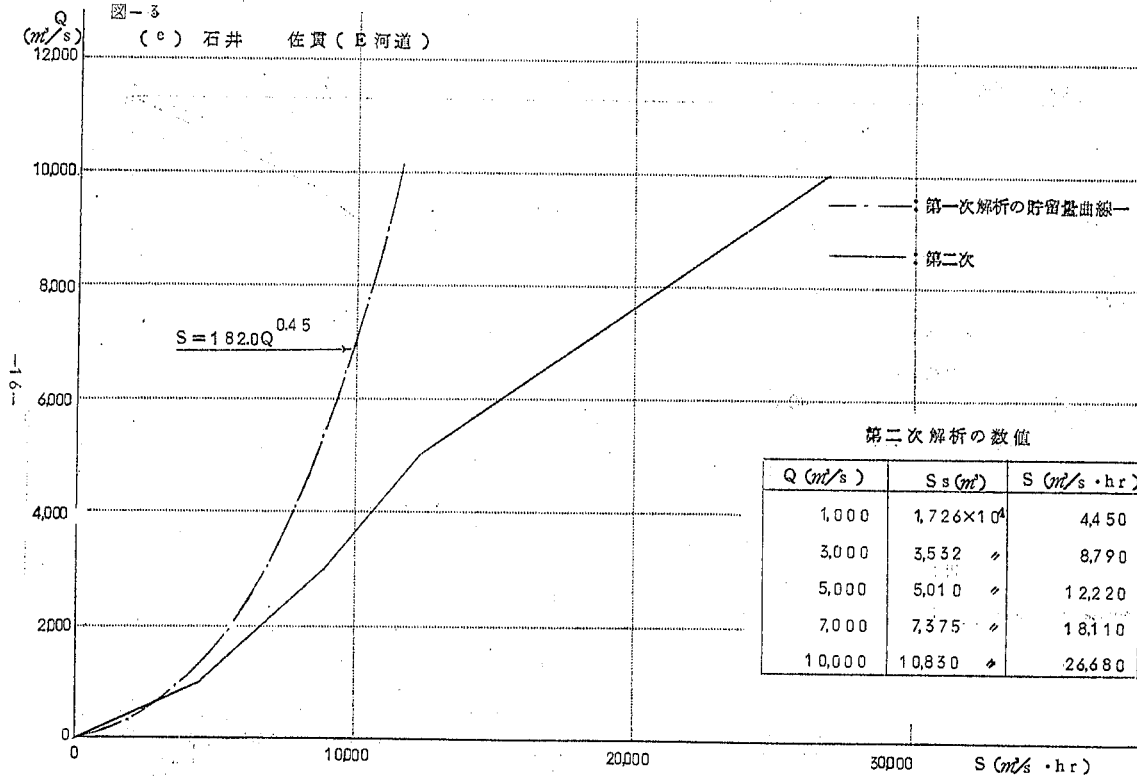


表-7 定数解析作業経過表

推定 順位	定 数 推 定							推 算 順位	流 出 推 算													
	流 域 定 数				河 道 定 数				洪 水 番 号													
	So (q)	Rsa	f ₁	T ₁	S (Q)	f	T ₂		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
一 次 推 定	So=3.45q ^{0.5}	0	0.5	表-5	図-3	1.0	表-5	一 次 推 算	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	〃	50	〃			〃			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	〃	100	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	150	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	200	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	250	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
〃	300	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃			
二 次 推 定	So=2.50q ^{0.5}	0	0.5	表-5	図-3	1.0	表-5	二 次 推 算	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	〃	50	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	100	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	150	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	200	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	250	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
〃	300	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				
三 次 推 定	I流域 So=3.45q ^{0.5}	0	0.5	表-5	図-3	1.0	表-5	三 次 推 算	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	II~K流域	50	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	So=2.50q ^{0.5}	100	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	150	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	200	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	250	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
〃	300	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				
四 次 推 定	I、II流域 So=3.45q ^{0.5}	0	0.5	表-5	図-3	1.0	表-5	四 次 推 算	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	III~K流域	50	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	So=1.50q ^{0.5}	100	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	150	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	200	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	〃	250	〃			〃			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
〃	300	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				

注)

*): 全分割流域

●: 各推算段階における石井地点最適ケース

***: 佐賀~石井間のみは表-5の値+1.0

◎: 定数を確定した際の石井地点最適ケース

○: 推算実施

Rsa: 全分割流域に共通

図-4 石井地点の実測・推算ハイドログラフの比較図

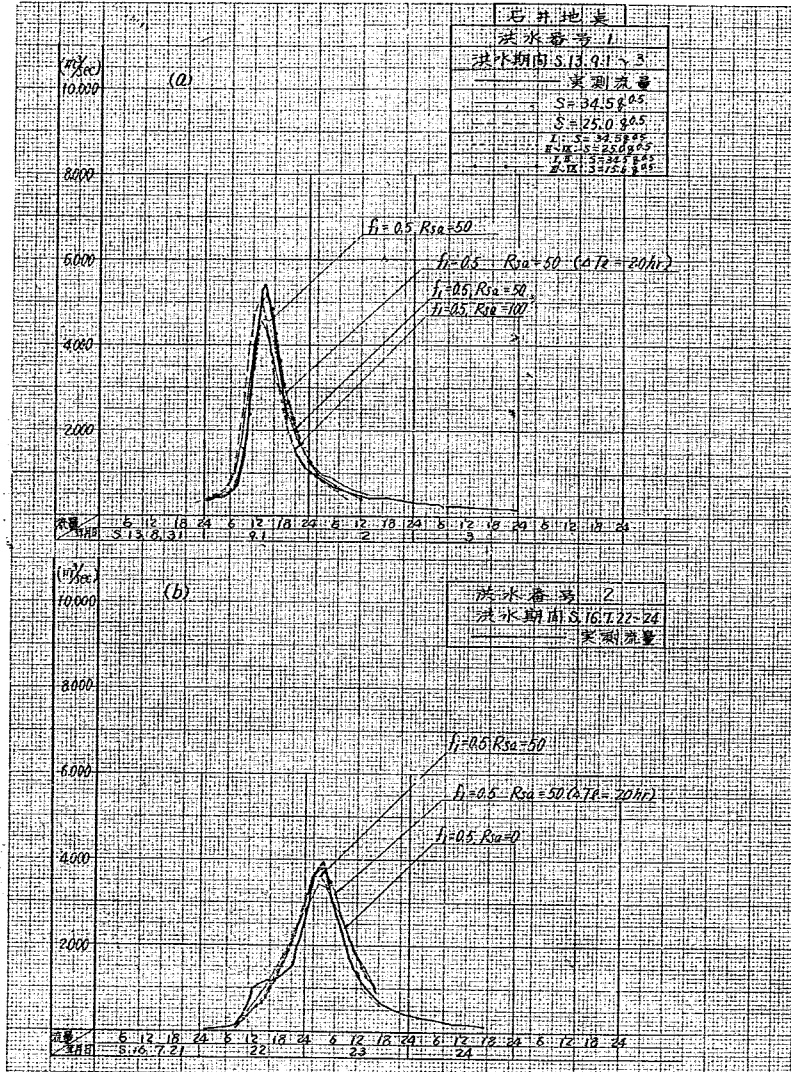


图-4

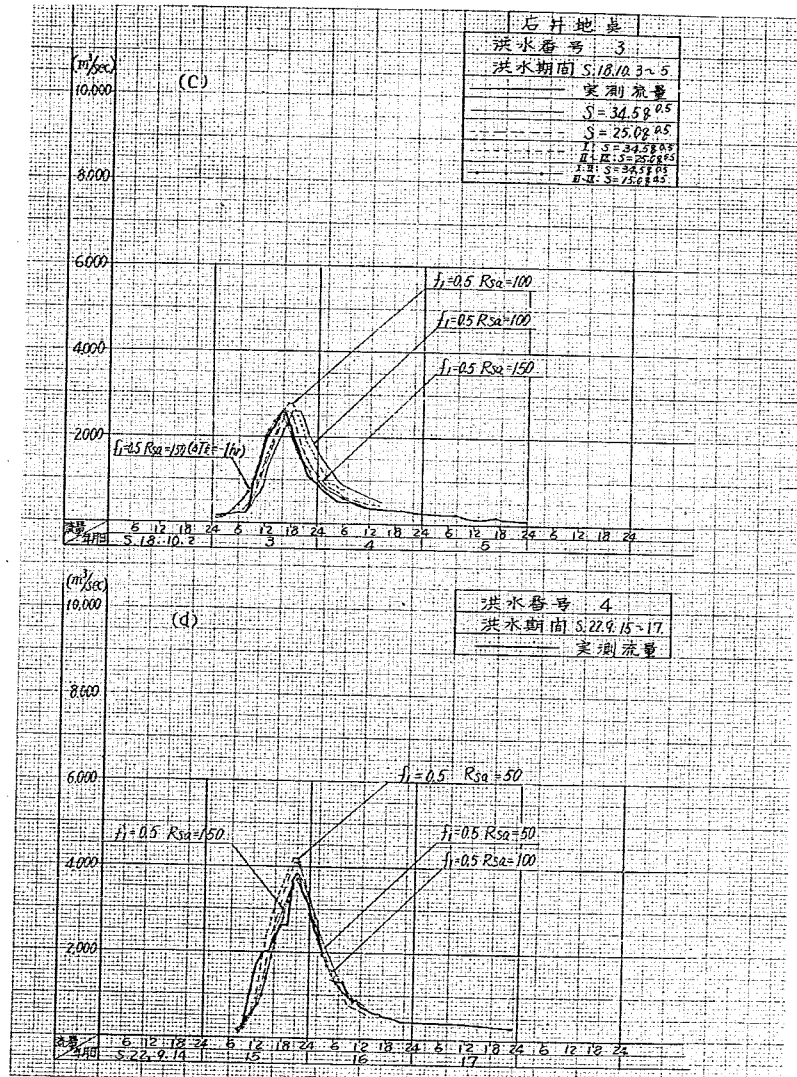


图-4

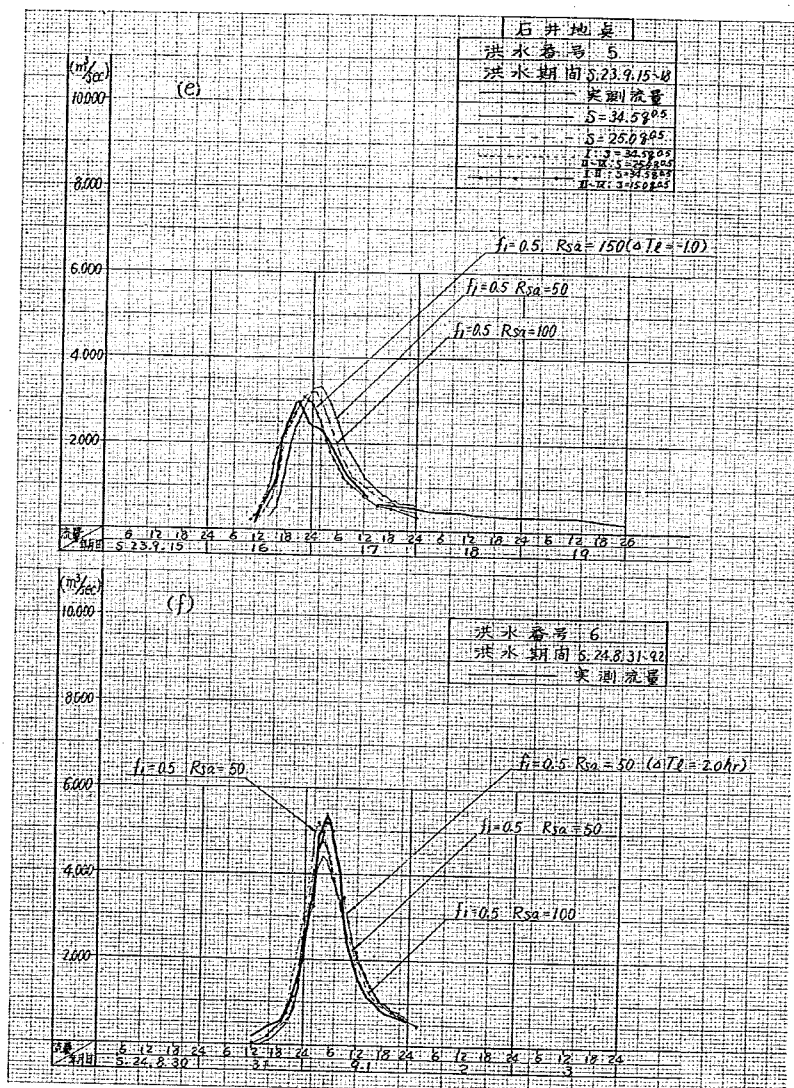


图-4

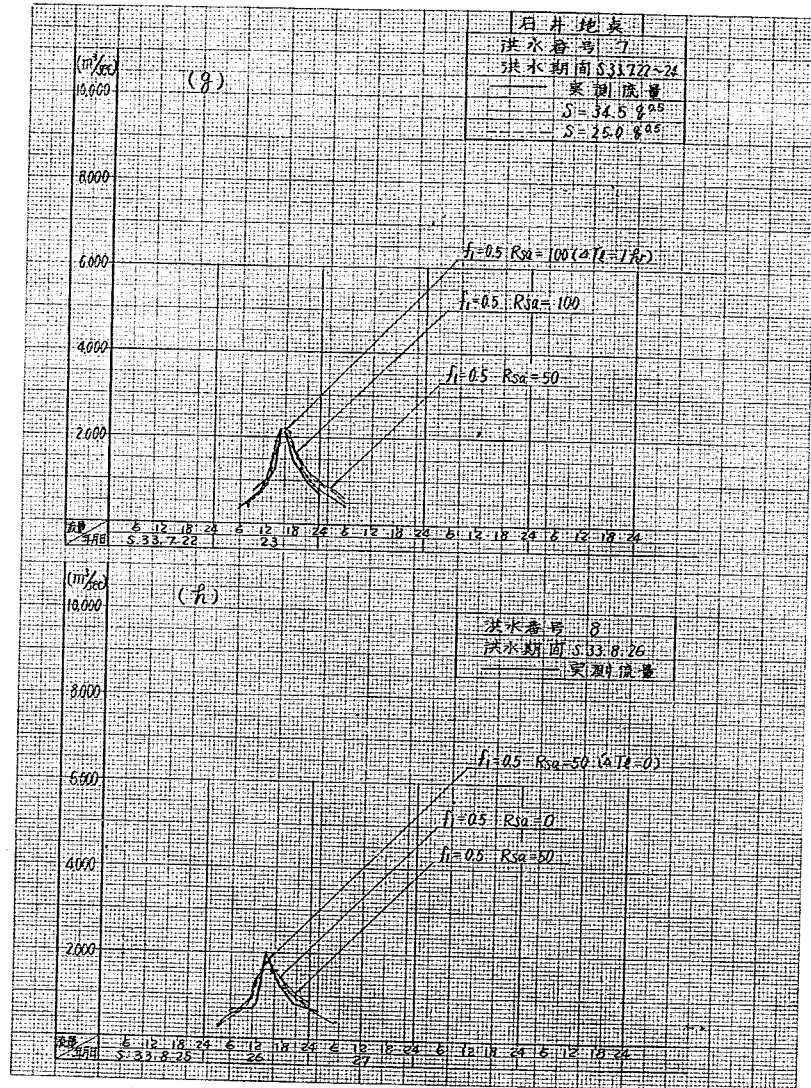


图-4

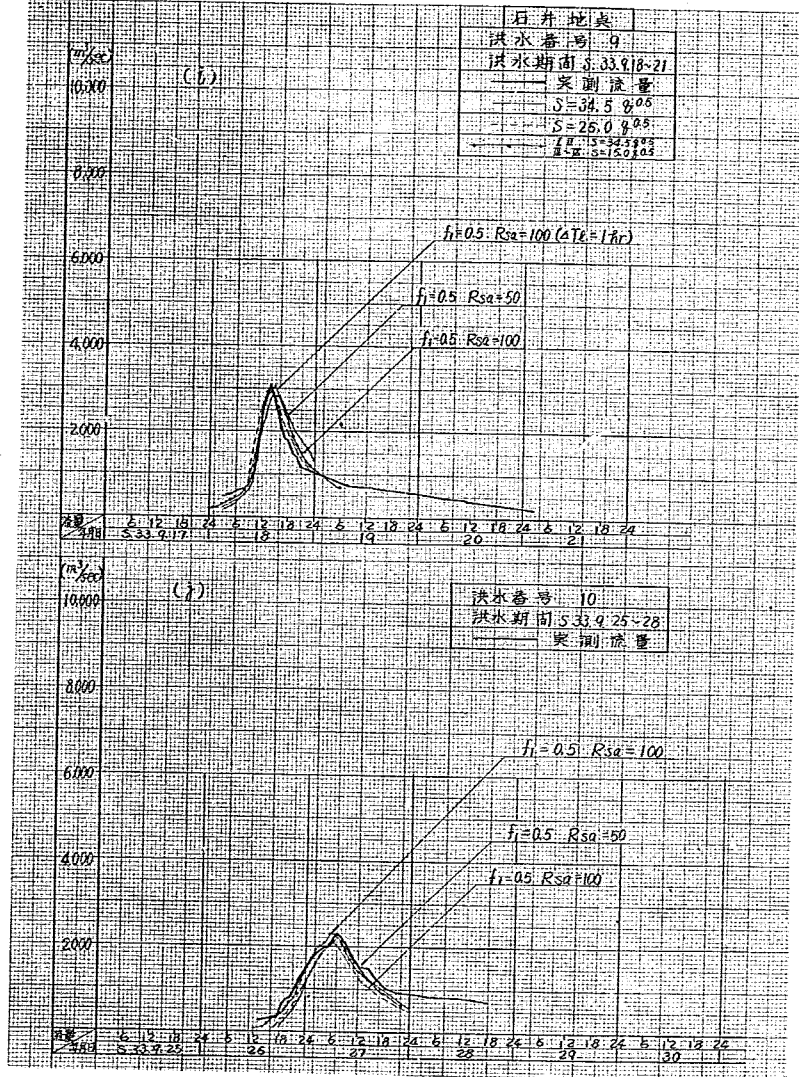
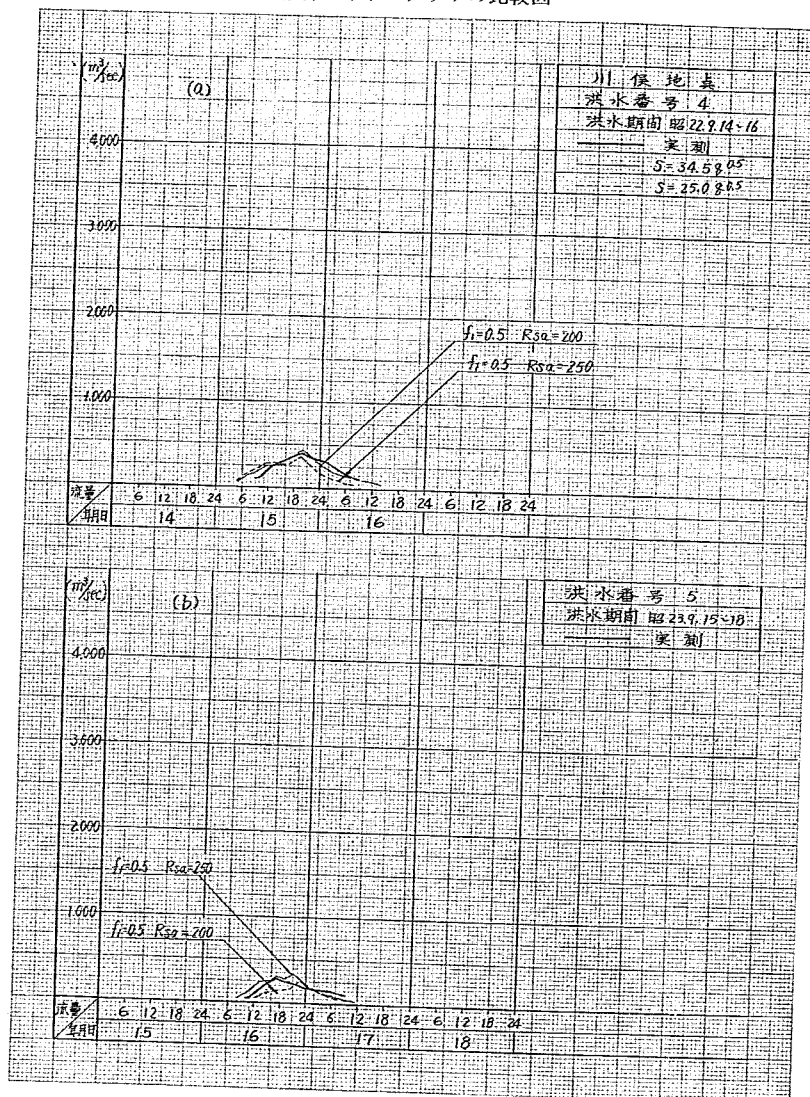


図-5 川俣地点の実測・推算ハイドログラフの比較図



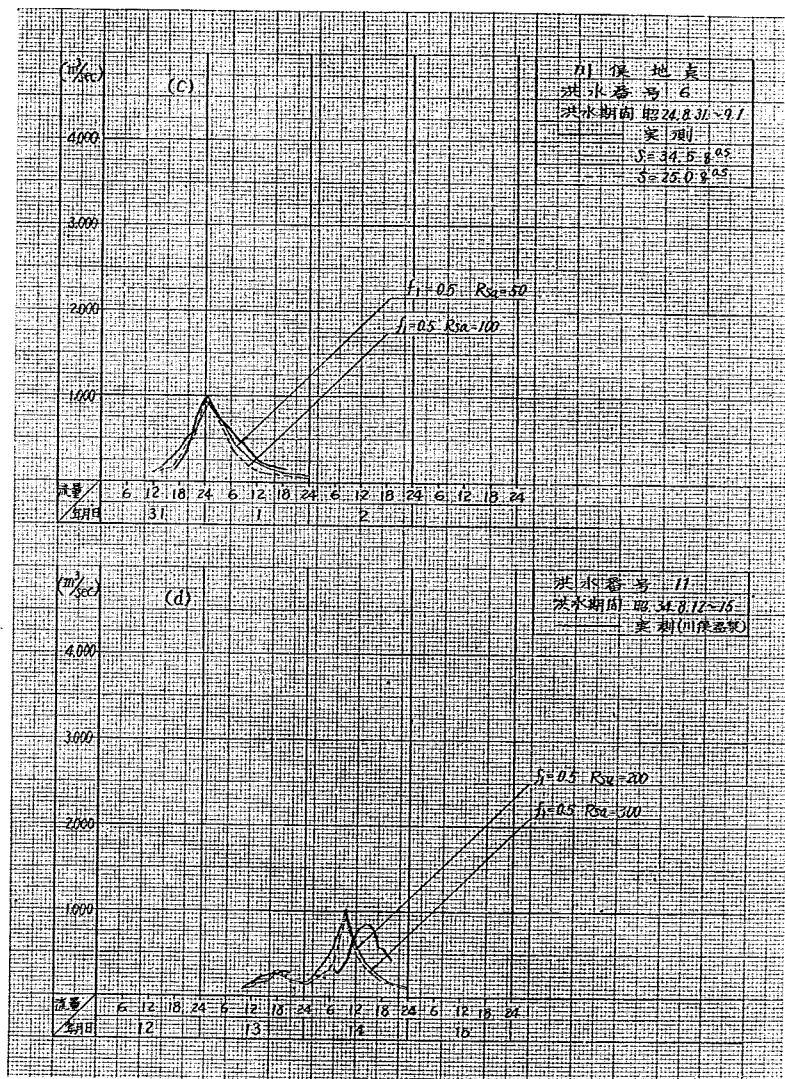


図-6 田茂沢(葛老)地点の実測・推算ハイドログラフの比較図

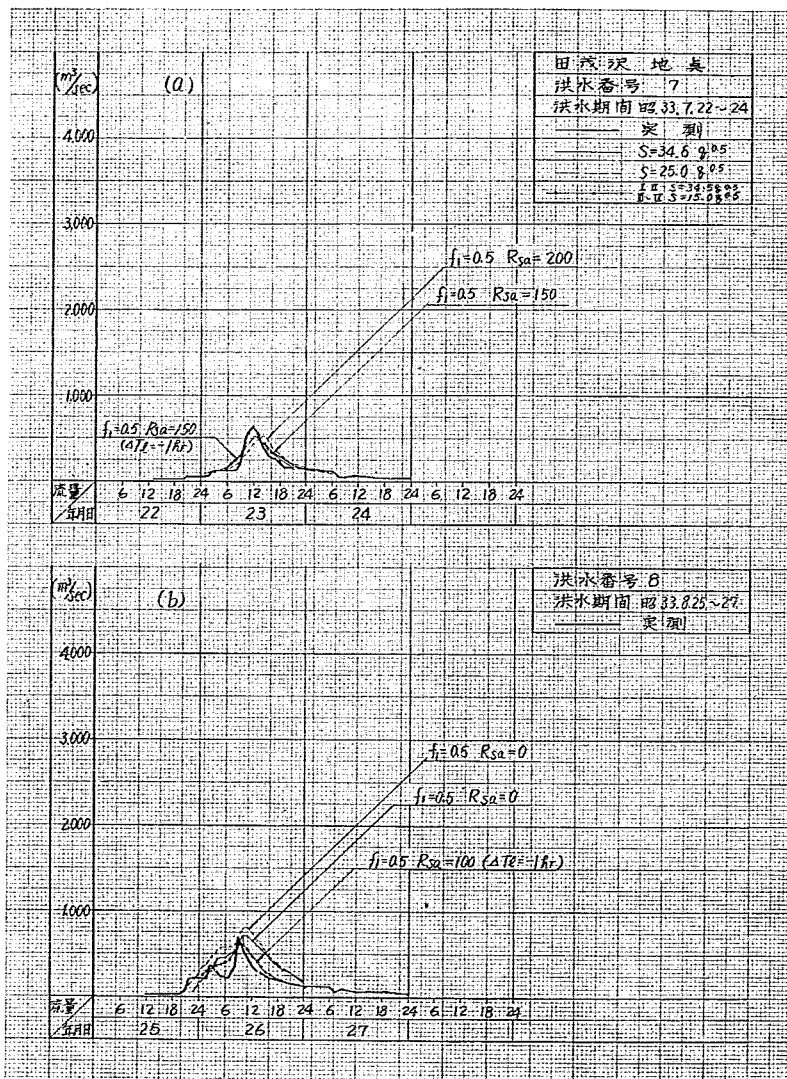


图-6

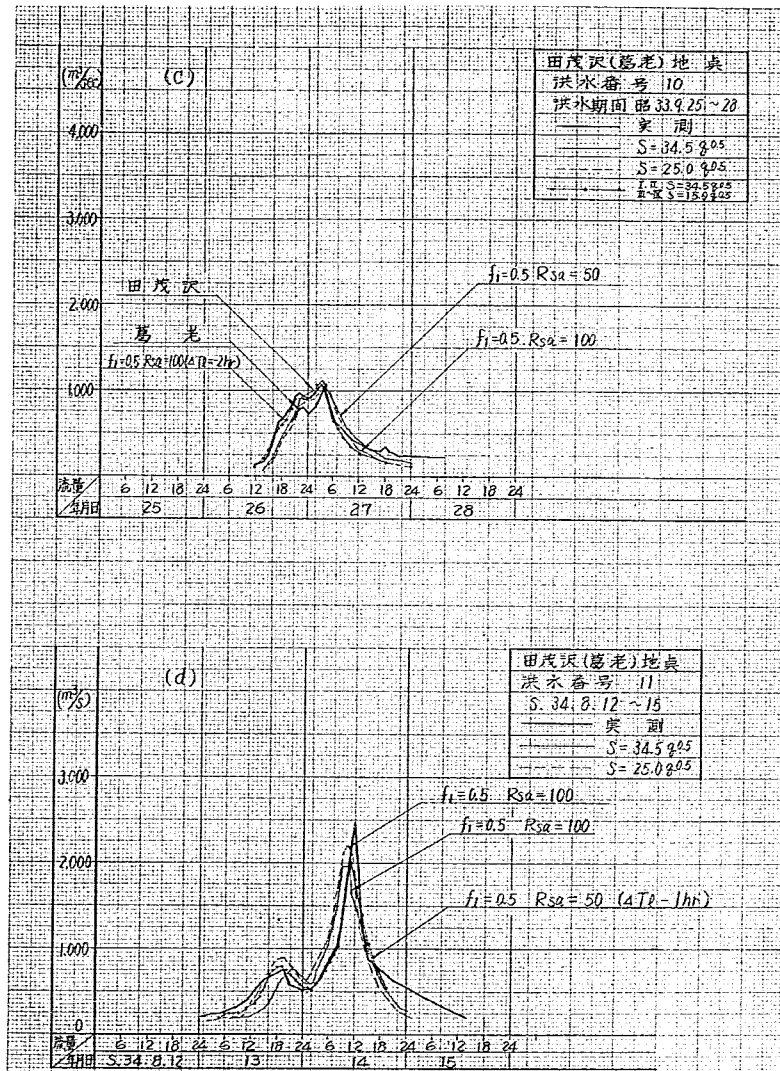


图-6

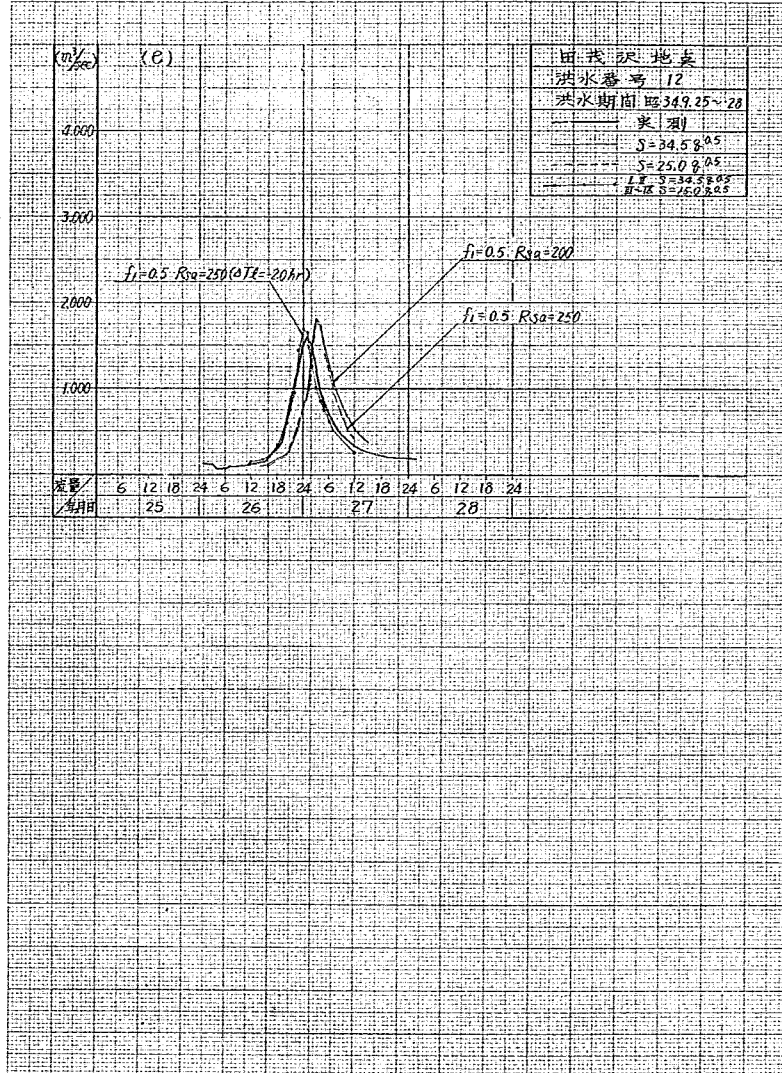
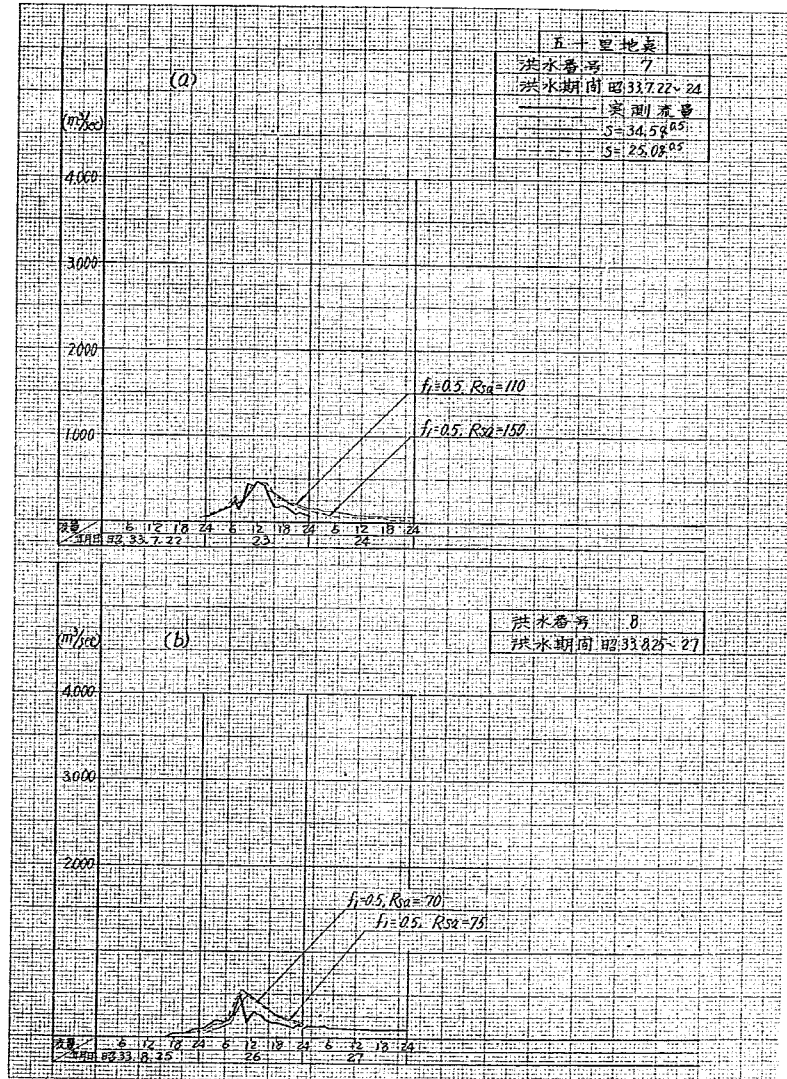


図-7 五十里地点の実測・推算ハイドログラフの比較図



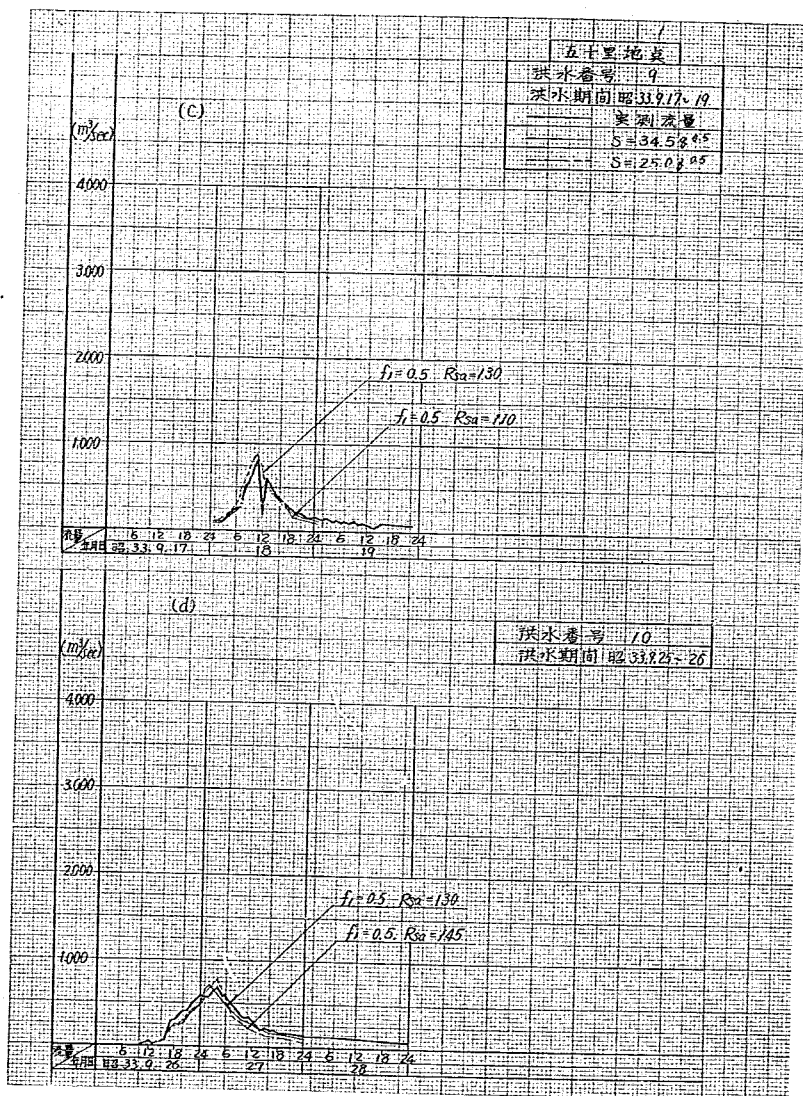


图-7

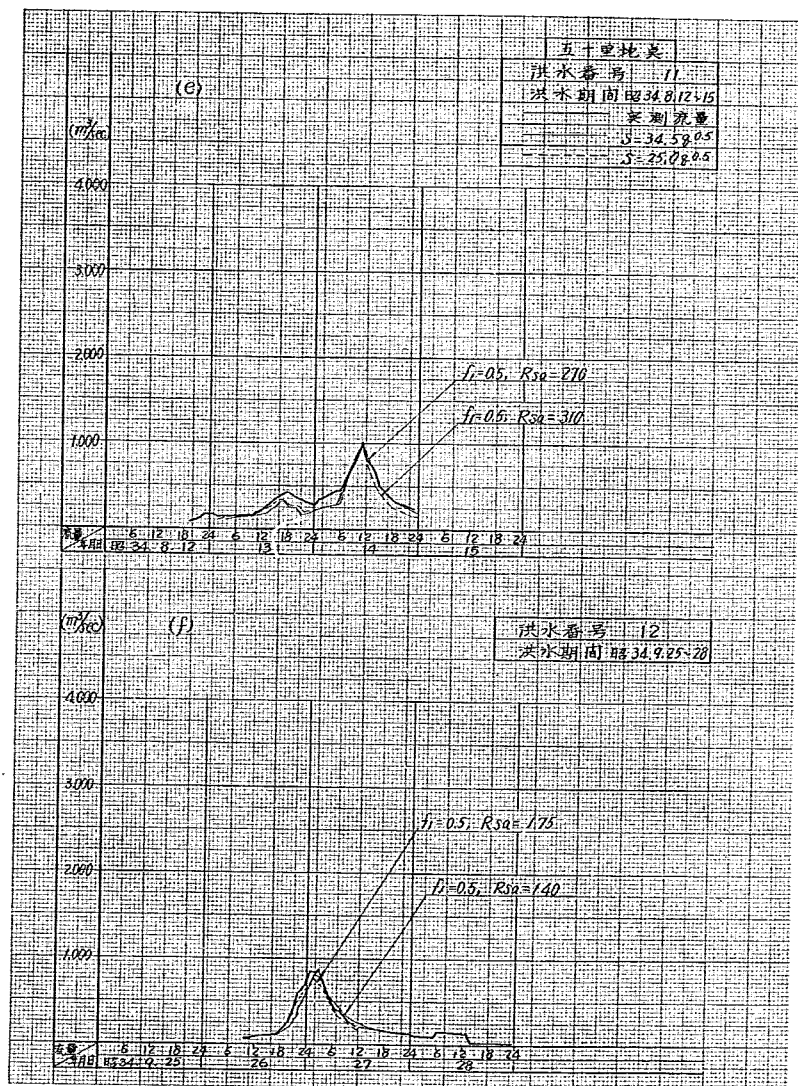


図-8 大谷川の実測・推算ハイドログラフの比較図

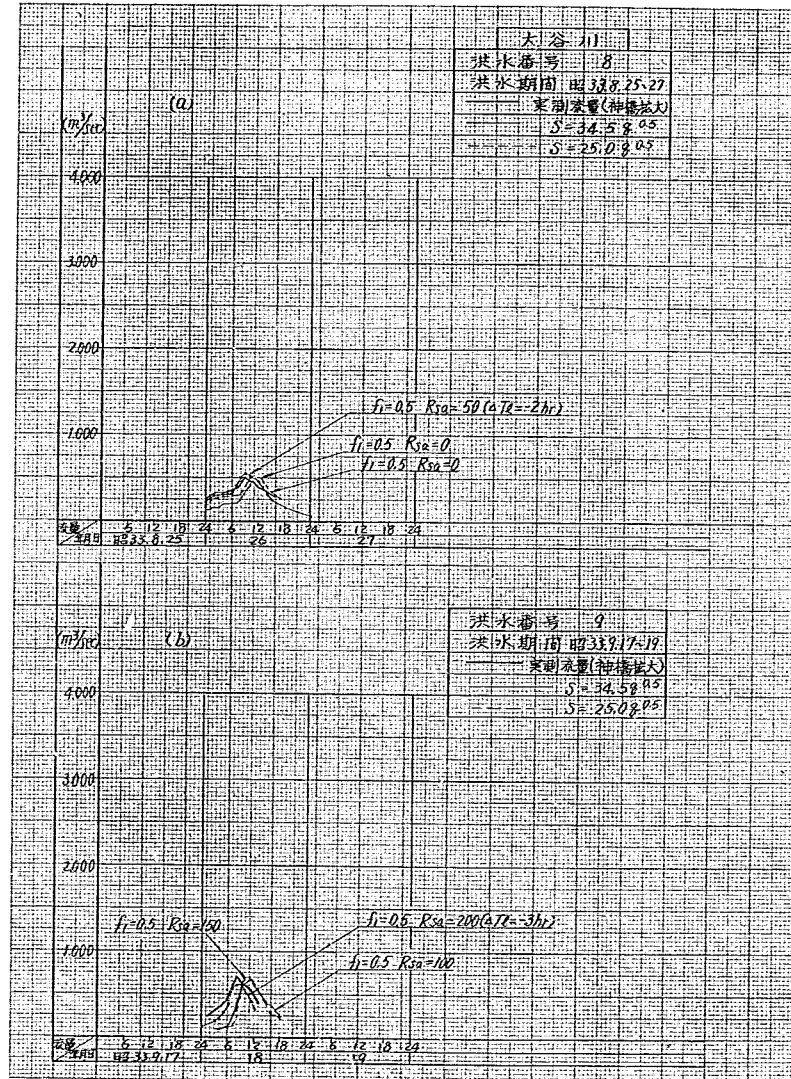


图-8

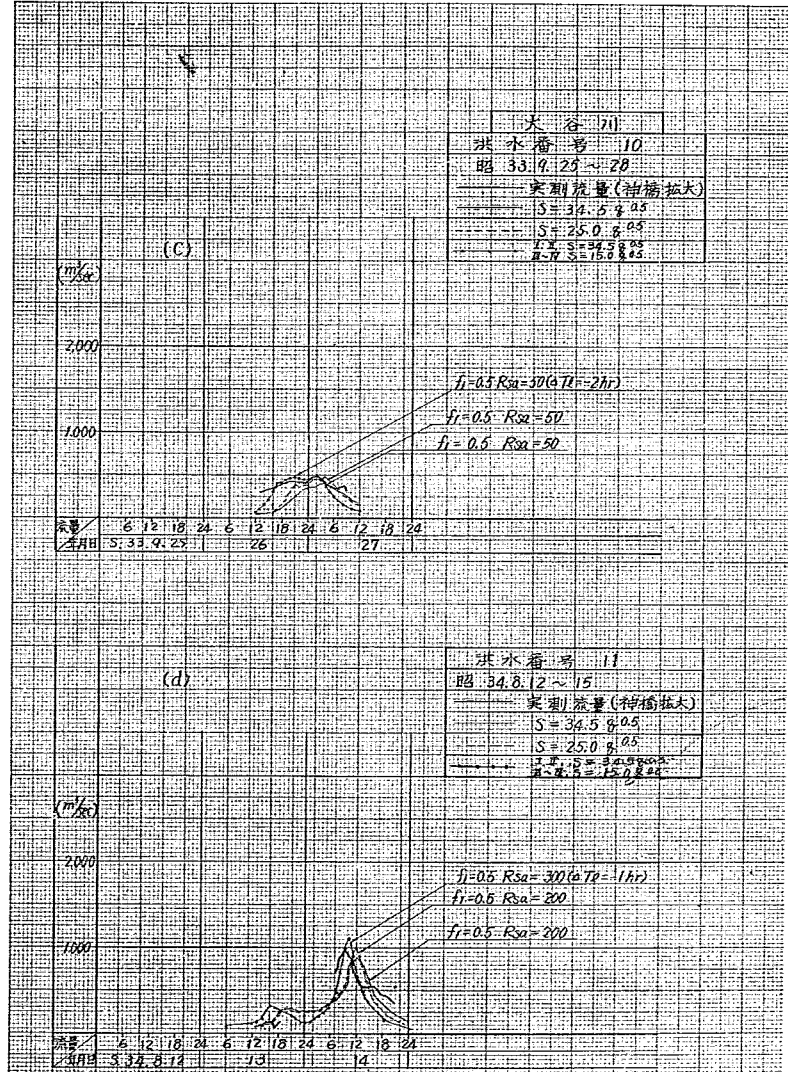
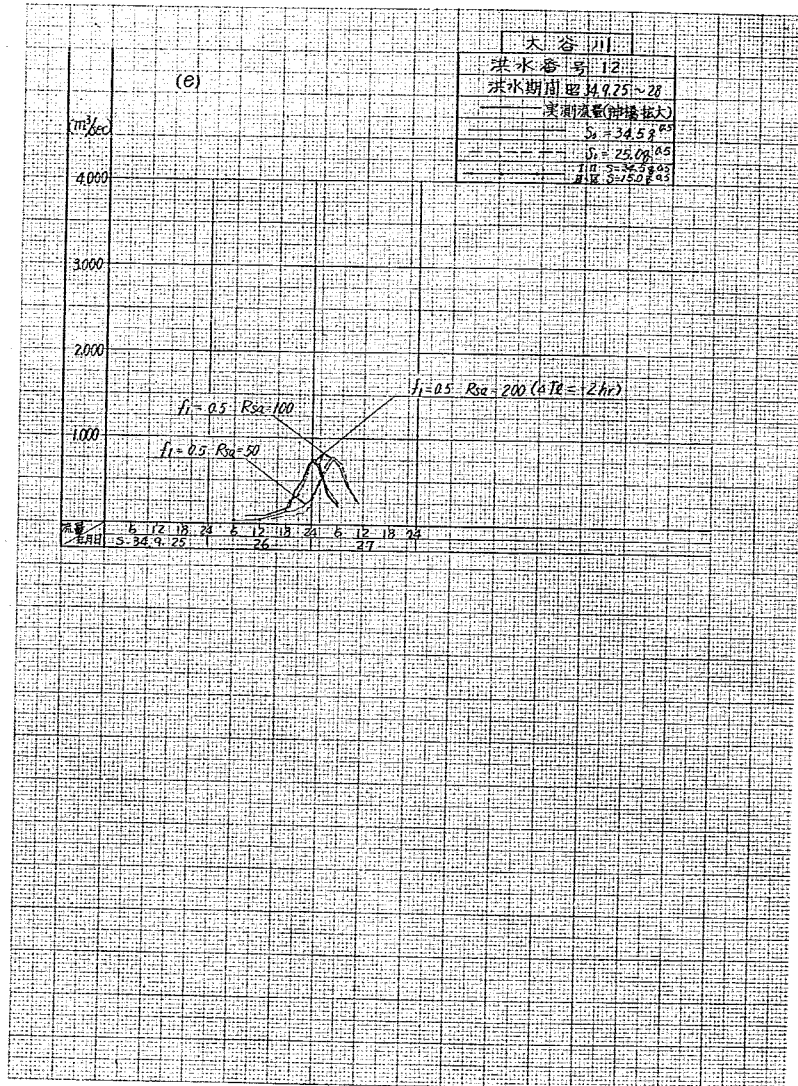


図-8



を考慮して、一応十分なハイドログラフの推算精度が得られたと判断された四次推定の定数による四次推算流量と実測流量との比較図を図-4～8に示す。なお、図-4～8には、四次推算の流量以外に、比較のため一～三次推算流量で実測流量と比較的適合度のよいものも示している。洪水番号4（昭22年9月14日～16日）以降の洪水については、実測流量のある地点が石井地点を含めて2箇所以上ある。その様な洪水の場合、全部の実測流量所在地点に対して飽和雨量を全分割流域に同一条件にして実測流量との適合度を上げる事は困難であった。

したがって、飽和雨量については各地点独立に最も適合度の良いものを示した。表-8に各実測流量所在地点の確定飽和雨量を示す。ただし、流出の推算にあたっては、飽和雨量を個々の分割流域で変える事なく全流域共通な値を取っている。飽和雨量が各分割流域で異なった値となる原因としては、降雨浸透条件の相違・流量観測精度の差等が考えられるが、それらを立証する十分な資料は現在の所ない。ただ、石井地点の流量観測値は他に比べてより信頼のおけるものと判断され、また、石井地点に最適な飽和雨量の値が全流域に平均的な値と見なされ、さらに、石井地点が調節効果判定の基準点である事を考慮すれば石井地点の値が最も重視されるべきである。

なお、図-4の大谷川の実測流量は、神橋あるいは神橋下の実流量を流域比によって比例的に拡大した値である。

Ⅳ) 定数の確定

以上、定数の検討を行って来たが、この解析の目的に対して十分な精度を持つ定数が得られたものと判断される。これ以上の流量推算精度を増すためには、更に詳細な定数の地域分布・時間分布等を考慮する必要がある。

そのためには、定数に関する基礎研究を進め、また、現地においては水文観測網を整備すべきである。

この様な状況を考慮して、計画降雨群から自然河道および洪水調節後の流出推算を行うための水文定数を以下の通りに確定した。

[A] 流域定数

(イ) 貯留関数 $S_0(q)$: I・II流域 $S_0=3.45q^{0.5}$

III～IX流域 $S_0=15.0q^{0.5}$

q (mm/hr) S_0 : (mm)

(ロ) 一次流出率 f_1 : $f_1=0.5$

表 - 8 解析対象洪水の確定飽和雨量値

洪水番号	降雨期間	石井上流域	石井ピーク流量		突湧流量所在地点の確定飽和雨量				
		平均3日雨量(mm)	実測	推算	五十里	川俣	田茂沢	大谷川	石井
1	S.13.8.30 ~ 9.1	289.3	5,410	5,200					50
2	16.7.20 ~ 22	274.5	3,980	3,800					50
3	18.10.1 ~ 3	205.1	2,630	2,500					150
4	22.9.13 ~ 15	287.6	3,800	3,750		200			150
5	28.9.15 ~ 17	264.4	2,960	3,100		250			150
6	24.8.30 ~ 9.1	288.2	5,400	5,200		0			50
7	33.7.22 ~ 24	207.4	2,190	2,200	110		150		100
8	33.8.24 ~ 26	170.8	2,020	1,800	75		100	50	50
9	33.9.16 ~ 18	247.8	3,070	3,000	110			200	100
10	33.9.25 ~ 27	220.0	2,310	2,300	130		100	50	100
11	34.8.12 ~ 14	389.2	4,090	3,700	270	200	50	200	150
12	34.9.24 ~ 26	283.6	2,720	2,900	175		250	200	200

(イ) 遅滞時間 T_L : 一次推定値

(ニ) 基底流量 Q_b : 一次推定値

(ホ) 飽和雨量 R_{sa} : 飽和雨量の値は定数解析において指摘した様に、同一洪水であっても地点毎に異なり、また、同一地点であっても洪水毎に変動する。

この様な状況で計画に採用可べき飽和雨量の値を定める事は困難であるが、関東地方建設局との協議の結果、次の諸点を考慮の上全分割流域一様に飽和雨量 $R_{sa} = 50 \text{ mm}$ と定めた。

(a) 飽和雨量は従来の損失雨量の内容をもつものであり、高水流量計画上においては諸般の情勢が許されるかぎり小さ目に取られるべきものである。

(b) 実測流量資料が比較的長年月整備され、また、観測精度が高いと判断されるのは石井地点だけであり、現況では各分割流域毎の飽和雨量を確定し得るほどの内容を持つ資料・根拠はない。そこで飽和雨量の確定にあたっては、石井地点を基準に全分割流域一様に定める。

(c) 既往大洪水である洪水番号1（昭和13年8月30日～9月1日）洪水番号6（昭和24年8月30日～9月1日）等を特に重視する。

〔B〕 河道定数

(イ) 既留関数 $S(Q)$:
(ロ) 流入係数 f : } 一次推定値

(イ) 遅滞時間 T_L : 佐貫～石井間は一次推定値 + 1.0、その他の河道は一次推定値

3. 計画降雨解析

〔1〕 概 要

降雨現象はその原因・強度・分布について考えた場合、周知の通り極めて複雑である。

したがってそれを原因とする洪水群も量的・時間的・位置的に多様な性格をもって来る。その様な洪水群に対するダム洪水調節効果は、洪水毎に変動する事が予想され、調節効果の判定にあたっては、できうるかぎり多くの降雨型（洪水群）を含めて検討する事が必要となって来る。もちろん、降雨記録の存在する過去において、全く同一の降雨が生じた事はないであろうし、また、今後起り得る全ての降雨を予想する事は不可能に近いものと考えられる。以上の様に、ある流域における降雨を量的・時間的・位置的な見地から分類する事は、

厳密な意味では極めて困難な問題であろう。しかしながら現実の問題として、洪水調節効果の判定・河道改修流量の検討等の作業を上記の様な見地から進める必要が生じて来ているわけであり、何等かの近似的方法によって解決せざるを得ない。その様な目的のために従来用られている方法として次の様なものがあげられる。

- (a) 必要な記録のある範囲で、過去の一定期間内に生じた全降雨あるいは一定規準以上の降雨を全て計画降雨として取る。
- (b) 過去における対象流域の雨量・時間雨量分布・地域分布を調査し、近似的に幾つかの代表的降雨群を分類する。

本解析においては上記(a)、(b)の両者を考慮して、次の様な方針によって計画降雨群を求める。

- (a) 洪水調節効果の判定に用いる代表洪水としては、既往の大洪水と考えられる表-1 定数解析対象の12洪水のうちから選ぶ。
- (b) 撰定にあたって留意すべき事項は、次の通りである。

(イ) 石井地点のピーク流量と流域平均連続雨量の関係

洪水調節効果の判定は石井地点で行うので、表-1の12洪水について自然河道における石井地点ピーク流量と流域平均連続雨量の関係を重視し、兩者の関係より大よその洪水型の分類を行う。

(ロ) 石井上流流域の平均時間雨量分布

記録が比較的信頼出来ると考えられる昭11年以降昭34年までの中降雨以上について、石井上流流域の時間雨量分布型を分類する。

(ハ) 石井上流流域の連続雨量の地域分布

日雨量観測記録の比較的整備されている主として昭10年以降昭34年までの降雨について、石井上流流域の連続雨量地域分布型を分類する。

以上の(イ)~(ハ)を考慮して鬼怒川流域の降雨型を近似的に幾つかに分類し、それらの各降雨型に属する降雨の中から代表洪水を一つ選ぶ。

代表降雨を選ぶ基準としては、各降雨型に属する降雨の中で連続雨量の大なるもの、特に表-1の12洪水を重視する。

計画降雨群としては、以上の様にして撰んだ代表降雨の各々を、比例的に任意に拡大あるいは縮小した降雨群をさすものとする。ただし、拡大・縮小の基準は連続雨量の超過確率によるものとし、それによって全代表降雨について統一的に拡大・縮小を行う。以上の方針に

よる解析経過は次の通りである。なお、計算の一部は関東地方建設局によって実施された。

[2] 流域平均3日雨量の超過確率

計画降雨群の基礎となる代表降雨の拡大・縮小の基準とし、また、後述する様に洪水調節効果を表す基礎となる連続雨量の超過確率を計算する。ここで、前述の様に、鬼怒川流域の既往降雨を調査した結果、一連雨量はほぼ3日雨量と見なして良い事が判明しているので石井上流流域の年最大平均3日雨量の超過確率を計算した。なお、石井流域以外に川俣・五十里流域についても計算を行った。

計算のための基礎資料を表-9、10に示す。超過確率の計算は、ガンベル法により明34～昭36年の62年間について行なわれ、また、年最大流域平均3日雨量は代表係数によって求められた。

超過確率の計算結果を図-9に示す。

[3] 石井地点のピーク流量と流域平均3日雨量の相関

定数解析で確定した各分割流域・分割河道の定数を用い、表-1の12洪水について各分割流域の流域平均時雨量より石井地点のハイドログラフを図-2(その1)の流出推算系統(自然河道)に従って求め、そのピーク流量を示したのが表-11である。

流出推算にあたっては、既往の実績降雨(基本降雨)以外にそれを比例的に拡大・縮小したものについても求めた。拡大・縮小の基準は(a)で求めた流域平均3日雨量の超過確率を用い、全洪水同一基準により行った。なお、表-11には石井地点以外の川俣・五十里・川治(男鹿川合流前)の諸点についても、石井地点と同一計算条件で求めた各洪水のピーク流量を示している。

図-10は以上の様にして求めた石井地点における各洪水のピーク流量と流域平均3日雨量の関係を示したものである。

[4] 石井上流流域の平均時間分布

降雨の時間分布型を表すのに、従来、種々なる方法が用いられているが、ここでは利根川流量検討において一貫して用いられている次の様な方法を取った。

降雨の時間分布を、その結果として生ずる流出波形の側から見ると、概略、流出波形の立上りを支配する降雨初期の部分と、流出波形のピーク値に特に影響するピーク値より前のある時間内の雨量および流出波形ピーク後の雨量に三大別される。そこで図-11に示す様に流出波形のピーク値に特に影響する部分の雨量をピーク時刻 t_p 以前 T 時間とする。上記の様にして三大別した各々の雨量の値は次の通りである。

表-9 黒部日光宇都宮中宮祠 年最大3日雨量表(㎜)

(注) 雨量の()書きは単相関による推定値

観測所 年月日	黒部 (建)	日光 (建)	宇都宮 (気)	中宮祠 (気)	備考
M. 34.8.22 ~ 24	(172.9)	151.9	37.3		雨量推定用相関式 Rk : 黒部 Rn : 日光 Rc : 中宮祠 1. $Rk=1.380Rn-36.72$ $(\gamma=0.883)$ 2. $Rk=0.825Rc+35.85$ $(\gamma=0.854)$ 3. $Rn=0.590Rc+50.80$ $(\gamma=0.910)$ γ : 単相関係数
35.9.6 ~ 8	(392.5)	311.0	64.7		
36.9.21 ~ 23	(84.7)	88.0	132.8		
37.7.8 ~ 10	(361.5)	289.7	53.2		
38.8.17 ~ 19	(128.2)	119.5	68.6		
39.7.25 ~ 27	(428.1)	336.8	93.6		
40.9.7 ~ 9	(180.2)	157.2	15.5		
41.8.6 ~ 8	(171.5)	150.9	25.7		
42.8.4 ~ 6	(52.7)	(64.2)	20.8	22.8	
43.8.9 ~ 11	(406.0)	320.8	205.0		
44.8.3 ~ 5	(279.4)	229.1	64.8		
T. 11.8.23 ~ 25	(338.1)	271.6	0.9		
2.8.26 ~ 28	(291.9)	238.1	157.3		
3.8.28 ~ 29	(470.3)	367.4	133.7		
4.9.7 ~ 9	(397.7)	314.8	63.3		
5.7.29 ~ 31	(542.6)	419.8	135.4		
6.9.29 ~ 30	(196.4)	168.9	76.4		145.0 343.0 151.0 126.0
7.9.23 ~ 24	(175.8)	154.0	49.7		
8.9.14 ~ 16	(555.3)	429.0	88.7		
9.8.3 ~ 5	(348.2)	278.9	35.7		
10.7.22 ~ 24	(221.6)	187.2	101.0		
11.8.23 ~ 25	(355.4)	284.1	128.9		
12.9.14 ~ 16	(413.7)	326.4	89.8		
13.9.16 ~ 17	(156.8)	140.2	78.6		
14.8.15 ~ 17	(311.2)	252.1	145.2		
S. 1.9.3 ~ 4	(153.5)	(136.4)	53.8		
2.8.29 ~ 30	(77.8)	83.0	118.5		
3.10.7 ~ 8	(316.8)	(253.2)	175.4		
4.10.25 ~ 26	212.0	(139.9)	122.4		
5.7.30 ~ 1	353.0	(385.9)	127.8		
6.10.12 ~ 14	146.0	(82.3)	110.8		
7.8.21 ~ 22	95.4	84.0	47.5		
8.8.5 ~ 7	165.0	(125.1)	89.8		
9.9.6 ~ 10	130.8	60.0	16.6		

観測所 年月日	(建) 黒 部	(建) 日 光	(気) 宇都宮	(気) 中宮祠	備 考
S.10. 9.24~26	462.0	(213.6)	91.6	276.0	
11.10. 2~ 4	144.7	121.6	100.8		
12. 9.10~11	412.0	354.0	67.2		
13. 8.30~ 1	385.0	369.0	174.3		
14. 8. 4~ 6	325.0	242.0	132.5		
15. 8.25~27	191.0	215.0	117.3		
16. 7.21~23	337.0	345.0	234.6		
17. 9.20~22	201.0	134.0	62.4		
18.10. 1~ 3	280.0	(213.0)	178.2	275.0	
19.10. 7~ 8	395.0	342.0	133.2		
20. 9.15~17	200.0	158.0	55.3		
21. 7.30~ 1	851.0	700.0	68.0		
22. 9.13~15	417.0	379.0	261.7		
23. 9.15~17	356.0	310.0	165.4		
24. 8.30~ 1	452.8	362.0	86.4		
25. 8. 3~ 5	448.0	(326.9)	238.6	468.0	
26. 8.21~23	120.0	(128.1)	44.7	131.0	
27. 7.12~14	119.8	110.0	27.6		
28. 9.23~25	110.4	271.0	59.8		
29. 9.16~18	171.8	170.0	108.2		
30. 8.26~28	255.6	201.4	206.8		
31.10.29~31	146.7	202.8	47.8		
32. 7.20~22	90.1	165.0	126.2		
33. 9.16~18	435.6	302.0	158.4		
34. 8.12~14	659.0	426.4	138.3		
35. 7.12~14	117.3	111.6	72.1		
36. 6.26~28	192.3	250.1	203.7		

表-10

(a) 石井流域の年最大流域平均3日雨量表(順位表)(M・34~S・36)

R:流域平均3日雨量

順位	生起年	R (mm)		順位	生起年	R (mm)
1	S. 21	511.1		34	S. 15	156.8
2	S. 34	356.5		35	S. 28	155.9
3	T. 5	328.1		36	T. 10	148.1
4	T. 8	327.7		37	T. 6	131.6
5	S. 22	302.5		38	S. 29	130.8
6	T. 3	288.4		39	S. 4	128.0
7	S. 25	281.4		40	S. 20	123.2
8	S. 13	277.1		41	T. 7	115.4
9	S. 24	275.1		42	S. 32	113.7
10	S. 5	270.7		43	S. 17	113.6
11	S. 16	265.1		44	M. 40	112.4
12	M. 43	264.5		45	M. 34	111.8
13	S. 19	260.6		46	M. 41	109.4
14	S. 12	259.6		47	T. 13	109.4
15	M. 39	259.2		48	S. 8	106.1
16	S. 33	255.1		49	S. 19	103.2
17	M. 12	250.8		50	S. 11	101.8
18	S. 23	242.7		51	M. 38	92.4
19	T. 4	238.1		52	S. 26	90.8
20	M. 35	235.5		53	S. 35	86.9
21	T. 11	225.2		54	S. 6	85.8
22	M. 37	217.7		55	S. 31	80.9
23	S. 10	210.3		56	S. 27	79.9
24	S. 3	210.0		57	M. 36	78.6
25	T. 9	206.9		58	S. 2	72.6
26	T. 14	203.7		59	S. 7	65.9
27	S. 14	200.1		60	S. 9	57.9
28	T. 1	196.0		61	M. 42	43.6
29	T. 28	195.0				
30	S. 36	186.2				
31	S. 18	184.3				
32	S. 30	178.3				
33	M. 44	174.1				

表-10

(b) 五十里流域の年最大流域平均3日雨量表(順位表)(M.34~S.36)

R:流域平均3日雨量

順位	生起年	R (mm)		順位	生起年	R (mm)
1	S. 21	498.3		34	S. 15	132.4
2	S. 34	357.0		35	T. 10	132.0
3	T. 8	320.4		36	S. 28	126.4
4	T. 5	317.7		37	T. 6	122.9
5	T. 3	277.9		38	S. 4	122.8
6	S. 22	276.5		39	S. 20	118.6
7	S. 25	267.5		40	S. 29	118.3
8	S. 24	266.5		41	S. 31	115.2
9	S. 13	255.0		42	S. 17	112.0
10	M. 29	251.2		43	T. 7	102.1
11	M. 33	249.3		44	M. 40	108.5
12	S. 12	242.2		45	M. 34	106.5
13	S. 33	248.5		46	M. 41	104.6
14	S. 5	246.1		47	T. 13	101.4
15	S. 19	246.0		48	S. 8	100.3
16	T. 12	243.0		49	S. 1	96.9
17	S. 16	237.7		50	S. 11	93.6
18	T. 14	231.7		51	S. 32	92.3
19	M. 35	222.1		52	M. 38	84.8
20	S. 23	226.3		53	S. 26	82.7
21	S. 10	222.7		54	S. 6	82.5
22	T. 11	214.6		55	S. 35	72.1
23	M. 37	212.0		56	S. 27	75.4
24	T. 9	202.2		57	M. 36	66.8
25	S. 3	196.8		58	T. 9	62.0
26	T. 1	193.5		59	S. 2	61.7
27	T. 14	192.0		60	S. 7	61.2
28	S. 14	192.0		61	M. 42	32.0
29	T. 2	182.5				
30	S. 18	172.7				
31	M. 44	167.3				
32	S. 30	163.8				
33	S. 36	158.8				

表-10

(c) 川俣流域の年最大流域平均3日雨量表(順位表)(M.34~S.36)

R:流域平均3日雨量

順位	生起年	R(西)	順位	生起年	R(西)
1	S. 21	523.6	34	S. 15	138.9
2	S. 34	352.9	35	T. 10	137.4
3	T. 8	330.4	36	S. 28	136.9
4	T. 5	322.6	37	T. 6	123.1
5	T. 3	280.8	38	S. 31	121.7
6	S. 24	274.1	39	S. 20	120.1
7	S. 22	268.2	40	S. 4	116.0
8	S. 12	259.0	41	S. 29	115.9
9	S. 25	257.5	42	M. 40	114.5
10	M. 39	256.8	43	T. 7	111.4
11	S. 13	255.6	44	S. 17	111.1
12	S. 5	253.1	45	M. 34	109.8
13	S. 19	248.6	46	M. 41	109.3
14	T. 12	248.5	47	T. 13	100.1
15	S. 33	245.0	48	S. 1	98.0
16	M. 43	243.0	49	S. 8	96.6
17	T. 4	239.5	50	S. 32	89.4
18	M. 35	236.6	51	S. 11	89.2
19	S. 16	231.5	52	S. 26	84.9
20	S. 23	224.3	53	M. 38	83.7
21	M. 37	219.6	54	S. 27	77.9
22	S. 10	219.4	55	S. 35	77.4
23	T. 11	214.5	56	S. 6	74.2
24	T. 9	211.2	57	S. 8	62.0
25	T. 1	205.7	58	S. 7	60.4
26	S. 3	191.2	59	M. 36	55.0
27	S. 14	189.0	60	S. 2	54.1
28	T. 14	188.7	61	M. 42	40.3
29	S. 28	177.5			
30	M. 34	171.1			
31	S. 18	164.0			
32	S. 30	152.0			
33	S. 36	151.9			

図-9 鬼怒川流域における流域平均3日雨量の超過確率
(ガンベル法による)

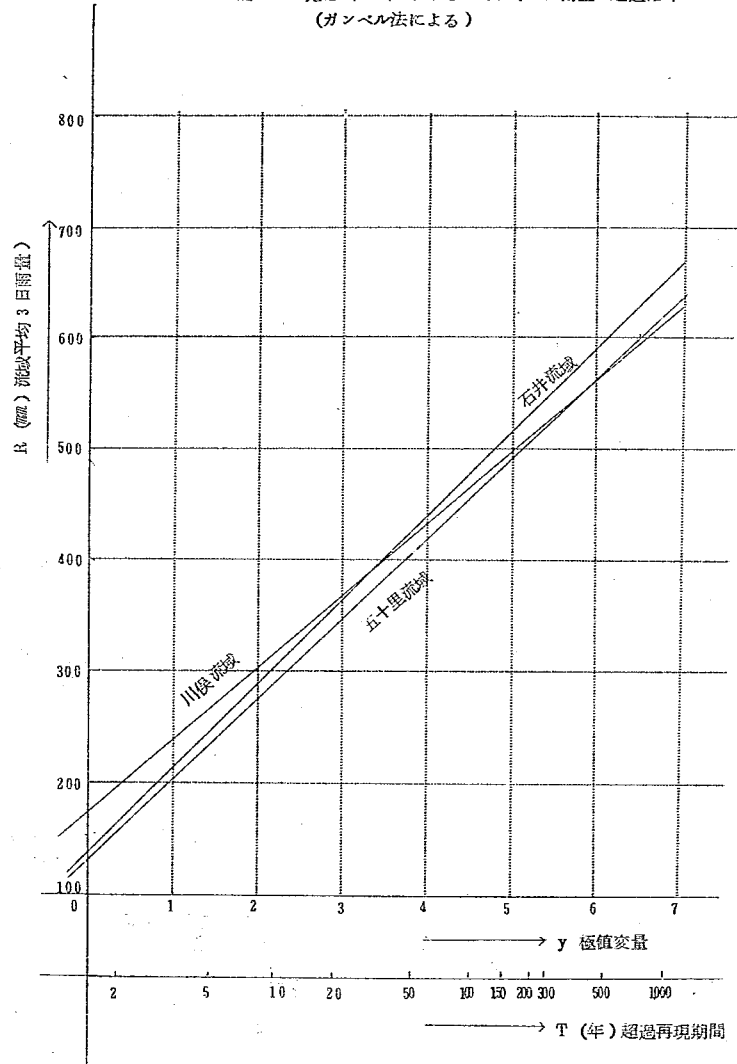


表-11 自然河道における流出推算結果

(a) 石井地点の推算ピーク流量 (m^3/s)

R_i : 石井上流の流域平均三日雨量 (mm)

T_i : R_i に対応する超過確率年

T_i 洪水番号	3	4	6	7	9	9	9	44	88	170	260	400	420	425	830
R_i	200	205.1	264.4	274.5	289.3	287.6	288.2	414	462	510	534	568	571	574	626
1	3,000							7,300	8,400						
2	2,800	⊗		⊗ 3,800	⊗ 5,200			6,100	6,300	7,000					
3	3,600	3,700				⊗ 4,400		8,200							
4	3,200		⊗ 4,000				⊗ 5,200	5,900	7,200	7,900					
5	2,800							5,700	7,200	8,100					
6	3,500							8,000							
7	3,300							7,100	8,400						
8	2,900							6,400	7,500						
9	3,000							7,000	8,300						
10	2,500							6,150	7,000						
11	1,600							4,900	5,400	7,000					
12	2,600						3,780	5,450	6,080						

⊗ : 基本降雨による推算流量

(d) 川治地点の推算ピーク流量 (m^3/s)

その他 : 基本降雨を拡大又は縮小した雨量による推算流量

洪水番号	200(3)			414(44)			462(88)			510(170)			534(260)			568(400)			基本降雨			備考
	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	
1	206		1,205	427		2,980	477		3,550	526		3,980							299		1,800	
2	202		800	418		2,100	467		2,250	515		2,420							277		1,100	
3	198		900	411		2,350	459		2,810	506		3,195							204		800	
4	211		930	437		2,200	487		2,775	537		2,890							304		1,490	
5	220		1,000	455		2,390	508		3,000				589		3,590				291		1,330	
6	241		1,460	500		3,620	558		4,310	616		4,700							348		2,110	
7	186		850	384		2,500	429		3,090							528		3,890	193		850	
8	201		890	416		2,370	475		2,800	513		3,000							172		680	
9	235		1,425	486		3,750	542		4,300	599		4,800							291		1,830	
10	243		1,050	503		2,570	564		3,000										267		1,170	
11	241		900	498		2,380	556		2,750										468		1,980	
12	269		1,690	557		4,100	621		4,750										381		2,895	

表-11

(b) 川俣地点の推算ピーク流量 (m^3/s)

洪水番号	200(3)			414(44)			462(88)			510(170)			534(260)			568(400)			基本降雨			備考
	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	
1	183		525	378		1,500	422		1,800	466		1,995							264		780	
2	188	2.9	400	388	36	950	433	72	1,050	478	130	1,200							257	6.6	505	
3	187		430	378		1,080	422		1,220	466		1,350							187		350	
4	182	2.8	380	378	50	1,000	422	60	1,210	465	107	1,310							263	7	590	
5	205		490	425		1,140	474		1,310				550		1,600				272		650	
6	225	4.3	620	465	107	1,590	519	240	1,980	573	500	2,025							324	16	895	
7	154		370	318		1,090	355		1,295							436		1,705	159		300	
8	128		200	265		610	296		750	327		880							110		140	
9	213		760	441		2,050	492		2,350	543		2,610							264		925	
10	210		475	435		1,100	487		1,290										231		505	
11	216	4.0	500	451	90	1,300	503	180	1,500										424	60	875	
12	265	7.3	825	548	373	2,110	611	850	2,430										375	30	1,100	

(c) 五十里地点の推算ピーク流量 (m^3/s)

洪水番号	200(3)			414(44)			462(88)			510(170)			534(260)			568(400)			基本降雨			備考
	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	R	T	Q	
1	186		800	385		2,250	429		2,620	474		2,870							269		1,210	
2	190	3.1	620	392	42	1,450	438	84	1,595	483	157	1,730							260	7.0	849	
3	177		1,950	367		409			452										182		2,040	
4	164	2.2	550	340	20	1,398	380	35	1,605	419	62	1,700							237	50	750	
5	162		540	335		1,300	374		1,550				433		1,700				214		700	
6	175	2.7	615	362	26	1,750	404	48	2,110	446	90	2,300							252	6.1	1,000	
7	180		650	373		1,790	416		2,000							512		2,400				
8	188		705	388		1,920	433		2,200	478		2,395										
9	181		760	375		2,090	419		2,380	462		2,590										
10	225		890	465		2,030	522		2,320													
11	203	3.5	575	420	62	1,460	469	130	1,620													
12	196	3.2	660	405	50	1,800	452	93	2,020													

図-1.0 自然河道における石井地点ピーク流量
と流域平均3日雨量の相関

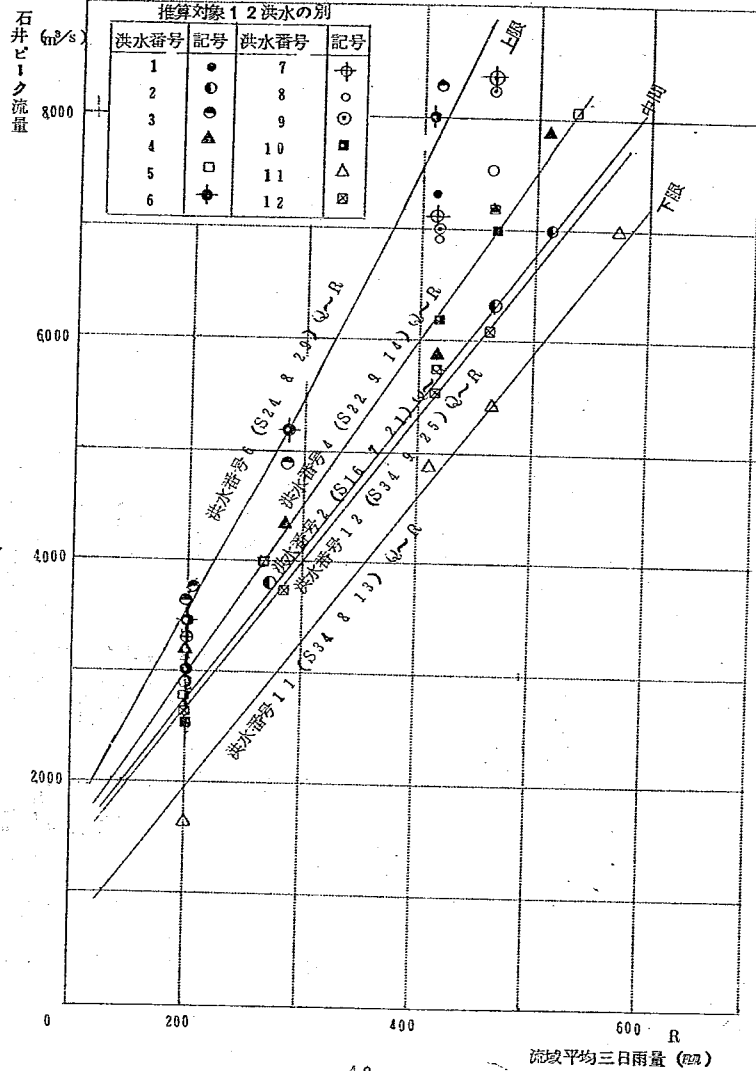
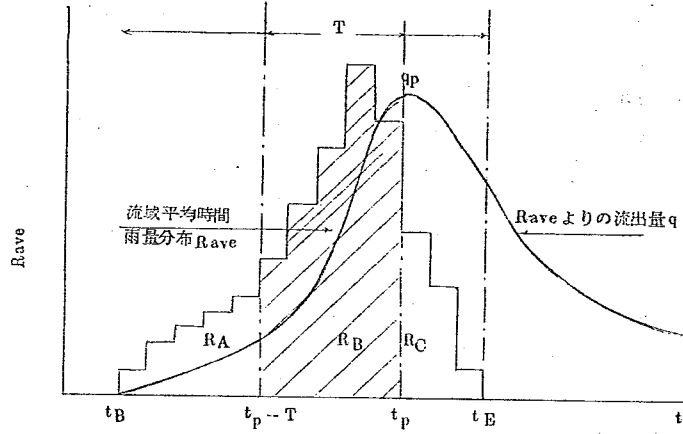


図-11 降雨の時間分布型の表示



$$\left. \begin{aligned}
 \text{ピーク前 } T \text{ 時間前雨量 } R_A &= \sum_{t_B}^{t_p-T} R_{ave} \\
 \text{内雨量 } R_B &= \sum_{t_p-T}^{t_p} R_{ave} \\
 \text{ピーク後雨量 } R_C &= \sum_{t_p}^{t_E} R_{ave}
 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

そこで(6)式より求まる次の p_1 , p_2 , p_3 の相対的大小関係によって降雨の時間分布形を大略表示する。

$$R_T = R_A + R_B + R_C$$

$$p_1 = \frac{R_A}{R_T} \times 100 \quad p_2 = \frac{R_B}{R_T} \times 100 \quad (7)$$

$$p_3 = \frac{R_C}{R_T} \times 100$$

計算および最終的な結果の表示は以下の通りである。

(イ) 時間雨量分布は第一次解析の結果より求められた石井上流の流域平均時間雨量分布を用いる。

(ロ) 流出波形の計算は、遅滞時間を考慮せず流域貯留関数 $S = 3.45 q^{0.5}$ を用いた貯留関数法による。また、流入係数 $f = 1$ とする。なお、計画降雨の解析は、第二次定数解析と平行して行なわれたため、流域貯留関数としては第一次解析の結果を用いている。流出波形のピーク時刻の推定のためであれば、全分割流域を $S = 3.45 q^{0.5}$ としても最終的に確定したⅠ、Ⅱ流域 $S = 3.45 q^{0.5}$ 、Ⅲ～Ⅴ流域 $S = 1.50 q^{0.5}$ としても大きな相違はない。

(ハ) RA と RB を区分する時間 T については、関東地方建設局の調査の結果および流量検討会での協議によって $T = 5.0$ (hr) と定めた。

表-12 は以上の方式による計算結果であり、 P_1 P_2 P_3 を三角座標に示したのが図-11 である。

[5] 石井上流域の3日雨量の地域分布

個々の雨量観測点について広域にわたる3日雨量の地域分布を検討する事は極めて困難と思われるので、鬼怒川上流の流域を区分し、その区分流域内の平均3日雨量を求め、その地域分布を解析する事とした。

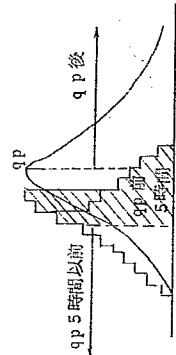
流域平均3日雨量の地域分布を調査するため流域区分については、利根川流量検討会において協議され、(イ)ダム流域の重視、(ロ)雨量観測所相互の3日雨量単相関、(ハ)地形、(ニ)地域分布を表示するため統計量を得る上での区分の適・不適等の見地より図-12のA、B、C区分を採用した。VおよびⅤ流域は、それらからの流出の全体に対して占める割合が小さいので除外してある。

以上の様な流域区分に対して、代表係数法によって各区分流域の流域平均3日雨量RA、RB、RCを求める。地域分布率は、次式によって求めるPA、PB、PCの相対的大小関係によって表示する。

$$\left. \begin{aligned} R_T &= R_A + R_B + R_C & P_A &= \frac{R_A}{R_T} \times 100, & P_B &= \frac{R_B}{R_T} \times 100 \\ & & P_C &= \frac{R_C}{R_T} \times 100 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

表-13 鬼怒川流域の雨量時間分布調査表

降雨 番号	洪水名	洪水 番号	平均時間雨量累計 (mm)				分 布 率 %			備 考
			RA	RB	RC	計	P ₁	P ₃	P ₂	
1	S.11.9.26		107.1	31.7	10.6	149.4	71.1	7.1	21.2	
2	12.7.14		217.9	42.9	45.1	305.9	71.2	14.8	14.0	
3	12.9.9		156.1	85.9	15.8	257.8	60.6	6.1	33.3	
4	13.8.30	1	138.8	126.1	22.9	287.8	48.2	8.0	43.8	
5	14.8.3		68.7	85.8	41.8	196.3	35.0	21.3	43.7	
6	15.8.24		59.5	96.5	8.9	164.9	36.1	5.4	58.5	
7	16.7.20	2	206.1	73.7	17.8	297.6	69.2	6.0	24.8	
8	17.9.19		54.7	26.5	1.8	83.0	65.9	2.2	31.9	
9	18.10.1	3	140.7	39.6	15.3	195.6	71.9	7.8	20.3	
10	19.10.5		103.7	96.2	50.1	249.9	41.4	20.1	38.5	
11	20.10.3		66.3	54.5	54.5	175.3	37.8	31.1	31.1	
12	21.7.29		272.2	152.1	121.8	546.1	49.8	22.3	27.9	
13	22.9.13	4	180.1	81.9	26.3	288.3	62.5	9.1	28.4	
14	23.9.14	5	64.4	101.3	99.3	265.0	24.3	37.5	38.2	
15	24.8.29	6	139.7	110.6	37.2	287.5	48.6	12.9	38.5	
16	25.8.2		158.3	76.6	89.6	324.5	48.8	27.6	23.6	
17	28.9.23		162.5	28.0	20.1	210.6	77.2	9.5	13.3	
18	33.7.20	7	146.4	34.7	22.1	203.2	72.0	10.9	17.1	
19	33.8.25	8	91.7	70.7	8.8	171.2	53.6	5.1	41.3	
20	33.9.16	9	101.0	111.0	35.8	247.8	40.8	14.4	44.8	
21	33.9.24	10	150.4	59.6	9.7	219.7	68.5	4.4	27.1	
22	34.8.11	11	284.6	102.8	0.9	388.3	73.3	0.2	26.5	
23	34.9.24	12	178.3	89.7	14.5	282.5	63.1	5.1	31.8	



(注) RC : qp後の総量 RA:qp前5時間以前の総量 RB : qp前5時間総量

図-12 3日雨量の地域分布調査のための流域区分

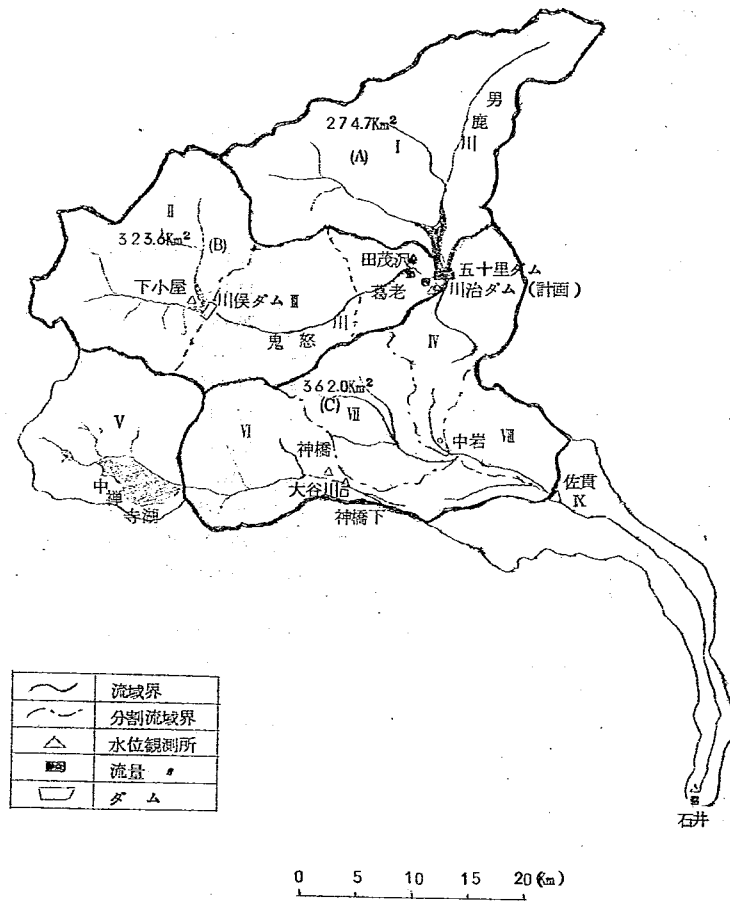


表-13は以上の方式による計算結果であり、PA、PB、PCを三角座標に示したのが図-13である。

〔6〕 代表的降雨型の分類および代表降雨の選定

図-10に示す自然河道における石井地点ピーク流量(Q)と流域平均3日雨量(R)の関係は、洪水番号6(S24.829)をもって代表される上限群(洪水番号1、6、8、9)、洪水番号2(S16.721)洪水番号4(S22.914)洪水番号12(S34.925)等によって代表される中間群および洪水番号(S34.834)によって代表される下限群の三つに大別される。この様なQ~R関係の分布は降雨の時間分布・地域分布の差を総合的に表示したものであるから、以上の様なQ~R関係の分布を考慮に入れて鬼怒川流域における降雨の時間分布型・地域分布型を分類する。

まず、図-13の鬼怒川雨量の地域分布を見ると各降雨とも地域分布に大きな変動がなく、 $PA=40\sim50\%$ 、 $PB=30\sim40\%$ 、 $PC=30\sim40\%$ の範囲におさまる様であり、降雨型の分類上、地域分布は大きな要素とはならない。特に図-10を考慮して分類すれば、図-10について中間群を考えず洪水番号4以上の上限群と洪水番号2以下の下限群に2大別したとすれば、地域分布型は図-13の分割線によって分けられるⅠ型、Ⅱ型が考えられる。

次に図-12の時間分布を見ると、地域分布に比較して、降雨毎の変動が極めて大きい。降雨型の分類上、時間分布型が大きな影響をもつ事を示す。図-10のQ~R関係の分布および図-12の分布状況を考慮して、図-12の様な分割線を想定し、鬼怒川の時間分布型はA、B、Cの三型に大別した。

以上の様な検討は気象力学的・地形学的な観点から、降雨型の分類を検討したわけではなく、単に既往の降雨資料を統計的に処理し、降雨と流出量の関係をも考慮に入れて大まかな分類を行ったもので十分に根拠のあるものとは云えないが、既往大降雨のQ~R関係を分類上の目安とした点で、洪水調節効果判定の基準となる計画降雨群を得るための降雨型分類としては、十分に実用価値のあるものと思われる。

上記の様な検討の結果、鬼怒川流域の地域分布型としては、Ⅰ、Ⅱの2型が、また、時間分布型としては、A、B、Cの3型が採用された。各型の頻度は表-14の通りである。地域分布・時間分布を総合した鬼怒川流域の代表的降雨型としては、地域分布型・時間分布型の発生をたがいに独立な現象と考えれば、表-15に示す様に、Ⅰ.A、Ⅰ.B……Ⅱ.B、Ⅱ.Cの6つの型が考えられる。また、それらの代表的降雨分布型の代表降雨の選定結果を表-15に示す。

図-1.2 鬼怒川流域の時間雨量分

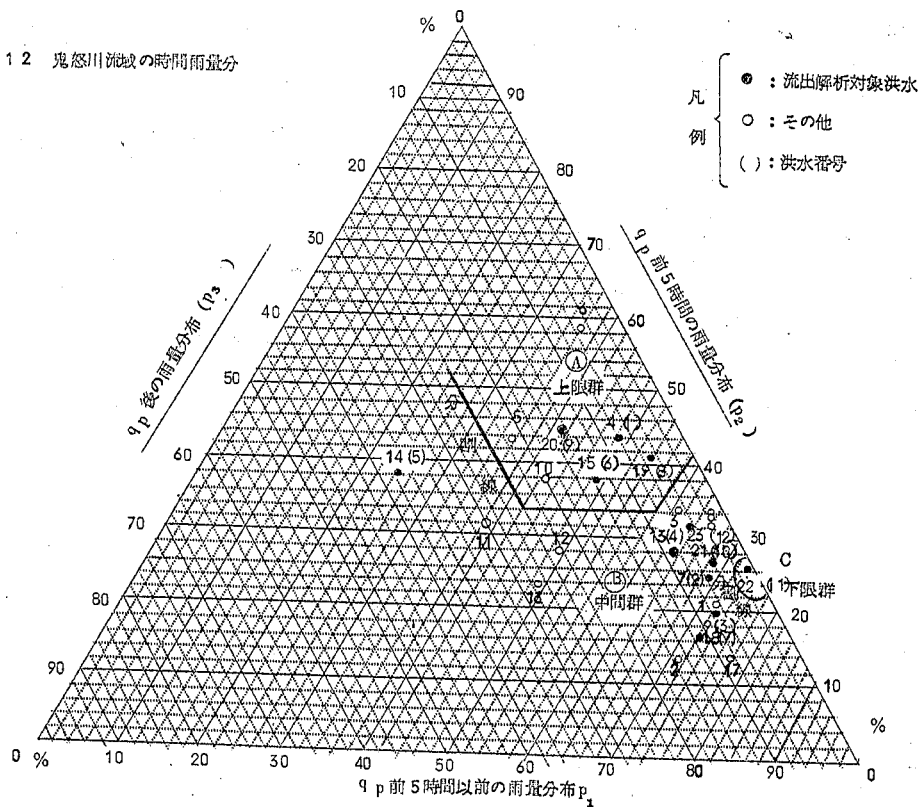


表-13 鬼怒川流域の雨量地域分布調査表(3日雨量対象)

降雨 番号	洪水 番号	降 雨 期 間	流域平均3日雨量(㎜)			分 布 率(%)		
			RA	RB	RC	PA	PB	PC
1		M. 3. 8. 8~10	161.2	164.4	191.9	31.1	31.8	37.1
2		T. 3. 8. 28~30	254.7	304.7	292.3	29.9	35.8	34.3
3		S. 1. 0. 9	187.7	199.9	147.7	35.1	37.3	27.6
4		12. 9	158.0	164.9	107.2	36.7	38.4	24.9
5	1	13. 8. 31~92	268.7	298.2	326.2	30.1	33.4	36.5
6	2	16. 7. 21~24	260.0	277.0	286.0	31.6	33.7	34.7
7	3	18. 10. 2~4	181.7	203.0	220.7	30.0	33.5	36.5
8		21. 7	400.9	474.1	399.6	31.4	37.2	31.4
9	4	22. 9. 14~16	236.5	303.0	319.0	27.5	35.3	37.2
10	5	23. 9. 15~18	213.8	291.3	300.2	26.6	36.2	37.3
11	6	24. 8. 31~92	252.1	347.6	314.1	27.6	38.0	34.4
12		25. 8	306.9	338.9	343.7	31.0	34.3	34.7
13		27. 7. 12~14	60.0	70.2	69.1	30.1	35.2	34.7
14		" 27~29	47.8	51.0	42.8	33.8	36.0	30.2
15		27. 8. 4~6	36.2	34.9	37.1	33.5	32.2	34.3
16		28. 7. 7~9	64.4	70.1	78.6	30.2	32.9	36.9
17		28. 8. 25~27	63.8	70.5	82.7	29.4	32.5	38.1
18		28. 9. 15~17	60.0	65.5	75.8	29.8	32.5	37.7
19		" 23~25	148.1	160.7	120.6	34.5	37.4	28.1
20		29. 6. 6~8	60.7	63.1	77.8	30.1	31.3	38.6
21		29. 8. 18~20	70.4	82.3	79.5	30.3	35.4	34.3
22		29. 9. 12~14	116.3	271.5	111.4	23.3	54.4	22.3
23		" 17~19	110.5	110.6	151.8	29.6	29.7	40.7
24		" 24~26	53.1	65.5	63.9	29.1	35.9	35.0
25		30. 7. 5~7	48.2	55.1	70.2	27.8	31.8	40.4
26		30. 8. 26~28	147.1	177.3	158.2	30.5	36.7	32.8
27		30. 9. 27~29	68.8	65.3	77.0	32.6	30.9	36.5
28		30. 10. 10~12	79.1	88.2	85.8	31.3	34.8	33.9
29		31. 7. 14~16	16.1	15.1	20.9	30.9	29.0	40.1
30		31. 9. 25~27	76.9	80.2	93.5	30.7	32.0	37.3
31		31. 10. 29~31	111.6	135.7	144.1	28.5	34.7	36.8
32		32. 7. 20~22	89.7	97.7	128.0	28.4	31.0	40.6
33		32. 8. 7~9	49.5	82.1	122.0	19.5	32.4	48.1
34		32. 9. 5~7	48.6	84.9	88.7	21.9	38.2	39.9
35	7	33. 7. 22~24	187.0	192.2	236.0	30.4	31.2	38.4
36	8	33. 8. 25~27	160.2	171.2	211.3	29.5	31.5	39.0
37	9	33. 9. 17~19	224.6	290.8	250.0	29.3	38.0	32.7
38	10	" 25~27	247.2	266.8	182.8	35.3	38.3	26.2
39	11	34. 8. 12~14	394.9	467.7	396.2	31.4	37.3	31.4
40	12	34. 9. 25~27	277.5	336.7	261.4	31.7	38.5	29.8

(注) RA:五十里流域 RB:鬼怒川上流 RC:大谷川流域

図-1 3 鬼怒川雨量の地域分布

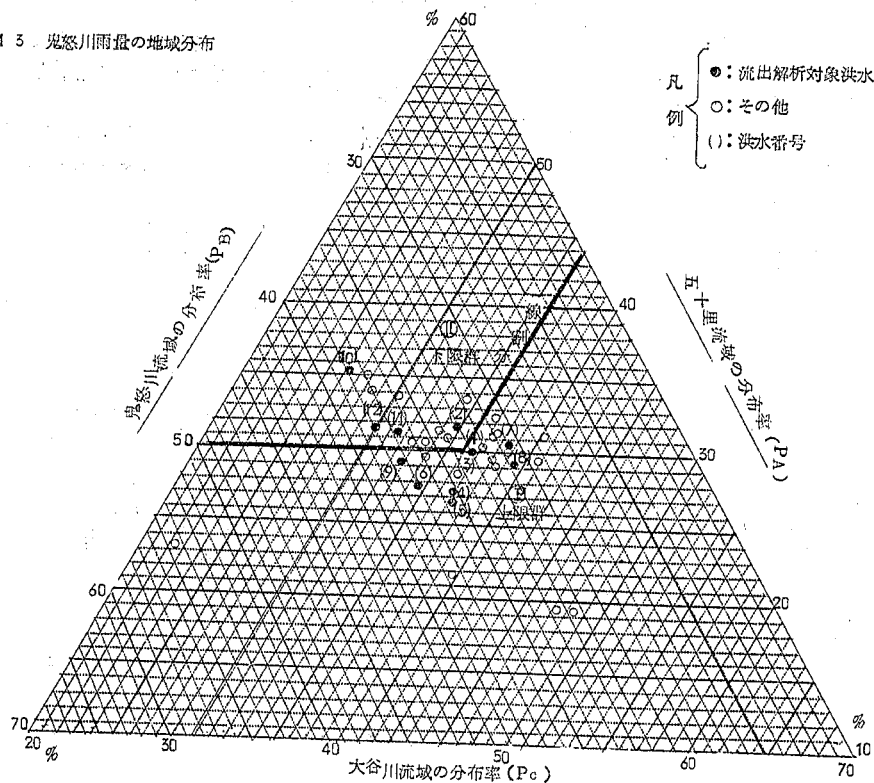


表-14 各降雨型の頻度

(1) 地域分布型	
型	頻 度
I 型	$15/40=0.375$
II 型	$25/40=0.625$
(2) 時間雨量分布型	
型	頻 度
A 型	$7/23=0.304$
B 型	$15/23=0.652$
C 型	$1/23=0.044$

表-15 鬼怒川流域の代表的降雨型およびその代表降雨

地域 分布	該当洪水 (洪水 番号)	時間 分布	該当洪水 (洪水 番号)	代 表 降 雨 分布型	該 当 洪 水 洪 水 番 号	3 日 雨 量	代表降雨 (洪水番号)	備 考	洪水 番号	洪水年月日
Ⅰ 型	1	A 型	1	Ⅰ A	1	2893	6		1	S・13.8.30~21
	3		6		6	2882			2	# 16.7.20~22
	4		8		8	170.8			3	# 18.10.1~ 3
	5		9		9	2478			4	# 22.9.13~15
	6	12	Ⅰ B	3	205.1	4		5	# 23.9.15~17	
	7	2		4	287.6			6	# 24.8.30~21	
	8	3		5	264.4			7	# 33.7.22~24	
	9	4		7	170.8			8	# 33.8.24~26	
	2	5		Ⅰ C					代(ⅡC)11	時間分布 を重視
Ⅱ 型	10	B 型	7	Ⅱ A	12	283.6	12		10	# 33.9.25~27
	11		Ⅱ B	2	274.5	2	11		# 34.8.12~14	
	12			C型	11'		10		228.0	12
				Ⅱ C	11	389.2	11			

代表降雨選定の順序は以下の通りである。

- (イ) 代表降雨は、表-1の解析対象12洪水中より選ぶ方針なので、まず、地域分布および時間分布の各型にぞくする洪水を両者独立に分類する。
- (ロ) 代表的降雨型ⅠA……ⅡCにぞくする洪水は、例えば、ⅠA型であれば地域分布のⅠ型・時間分布のA型に共通な洪水を選ぶことにより分類する。
- (ハ) 代表降雨は、各代表的降雨型に該当する洪水中で3日雨量の最大なるものを取る。

なお、ⅠA型については上記の基準から考えれば、代表降雨は洪水番号1となるが、洪水番号は降雨量および石井地点の流出推算結果から見て洪水番号1と大差ない。そこで、時間雨量の比較的整備されていると思われる洪水番号6を代表降雨とした。また、ⅠC型は該当する洪水は表-1の12洪水中にはないが、時間雨量分布を重視してⅡC型の洪水番号11を代用した。

次の洪水調節解析においては、以上によって求めた代表降雨を基本降雨とし、それを任意に比例的に拡大・縮小して得られる計画降雨群を基礎として行う。

4. 洪水調節解析

〔1〕 概 要

2.で確定した分割流域・分割河道の水文定数を用い、〔4〕で推定した鬼怒川計画降雨群の流域平均時間雨量を基礎に、自然河道および川俣・五十里ダムによって洪水調節した状態での流出推算を行い、主として石井地点において洪水ピーク流量の比較によって、洪水調節効果の判定を行う。

計算是既設のアナログ洪水流出計算機によって行い、流域平均時間雨量をテープ入力として自然河道および調節後の流出推算を自動化する。

〔2〕 川俣・五十里ダムの洪水調節方式および調節計画上の基礎資料

(イ) 川俣ダム

川俣ダムの洪水時ダム操作方式は、現計画によれば以下の通りである。

(a) 制限水位

第一制限水位 T.P 967.5m(6月15日～8月14日)

第二制限水位 T.P 965.5m(8月15日～9月30日)

(b) 貯水池流入量250m³/s 以下はそのまま放流。

- (c) 流入量 $250 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上は流入量が最大となる時刻まで $250 \text{ m}^3/\text{s}$ を一定放流。
- (d) 流入量最大の時刻より1時間で放流量を $550 \text{ m}^3/\text{s}$ に上昇。
- (e) 水位最高の時刻まで $550 \text{ m}^3/\text{s}$ を一定放流。
- (f) 水位最高時刻以後はその時のゲート開度で夏期制限水位まで低減。
- (g) 夏期制限水位に達した以後は流入量を放流。

図-14、15は関東地方建設局による川俣ダムの貯水容量曲線および放流ゲートを全開した状態の放流管・頂部越流部よりの放流量とそれらの合成放流量を示す。

(ロ) 五十里ダム

操作の概要は次の通りである。

- (a) 制限水位
 - 第一制限水位 T.P 578.00m (6月15日～8月14日)
 - 第二制限水位 T.P 575.00m (8月15日～9月30日)
- (b) 第二制限水位に貯水位があれば、第一制限水位までコンジット全開で放流。
貯水位が第一制限水位があれば次の(c)より操作。
- (c) 第一制限水位に達し後は、貯水位 T.P 587.00m までクレストゲート開度 1.5m、コンジット全開にて放流。
- (d) 貯水位 T.P 587.00m 以上洪水時満水位 591.00m までは、コンジットを閉鎖し、クレストゲート開度を 1.5m より 3.6m に上る。開度の上昇は図-18により行う。
- (e) 貯水位の最大以後は、最大時の開度のまま放流。
- (f) 放流量 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ に達すれば、クレストゲートを閉めて、コンジットのみで放流。
- (g) 夏期制限水位に達すれば、以後流入量をそのまま放流。

図-16は関東地方建設局の資料に基く五十里ダムの貯水量曲線である。また、図-17の計画放流量曲線は上記操作方法による洪水初期より貯水位最高までの計画放流量を示したものである。さらに、図-17には、放流ゲートを全開にした状態の放流量をも同時に示す。

【3】洪水調節計算のためのアナログ計算機演算回路

(1) 放流量演算上の規制条件

洪水調節計算をアナログまたはデジタルの電子計算機によって自動演算する場合に、理想的には演算の途中で人為的な操作を行う事は望ましくないもので、あらかじめ調節上のあらゆる条件を検討し、それらを演算過程に設定しておく必要があり、単に洪水調節のた

図-14 川俣ダム貯水容量曲線 (治水容量付近)

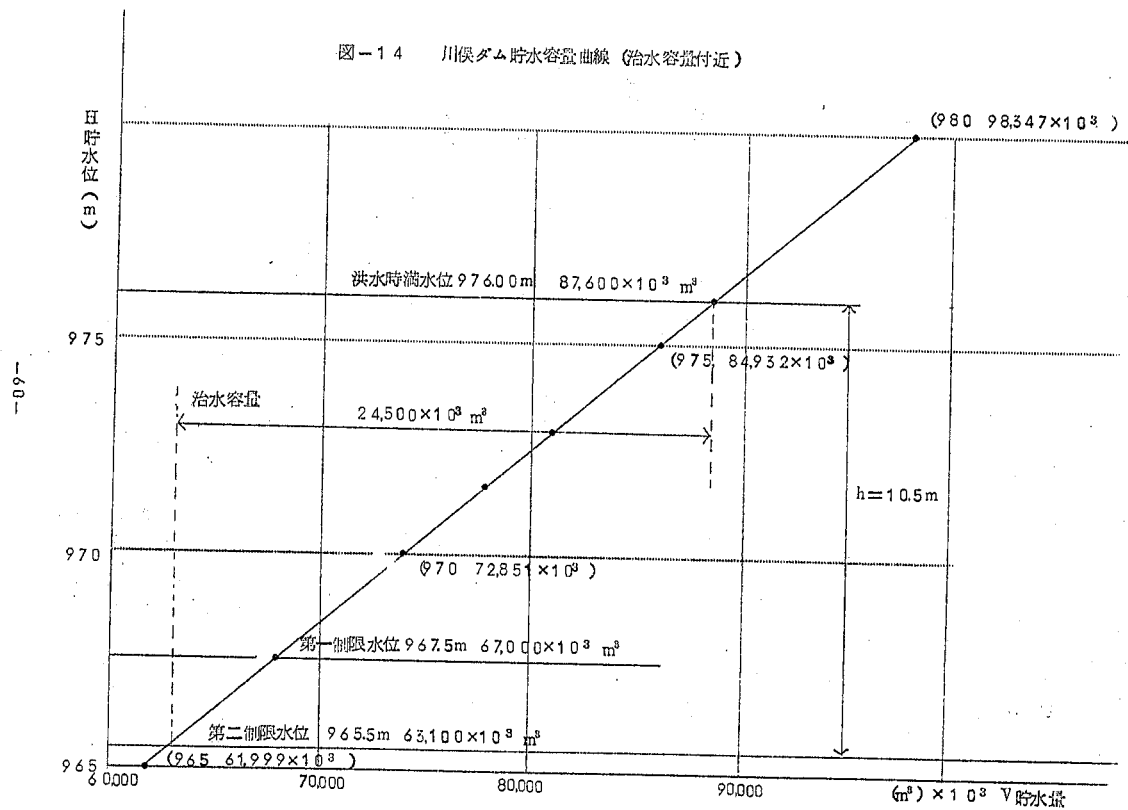
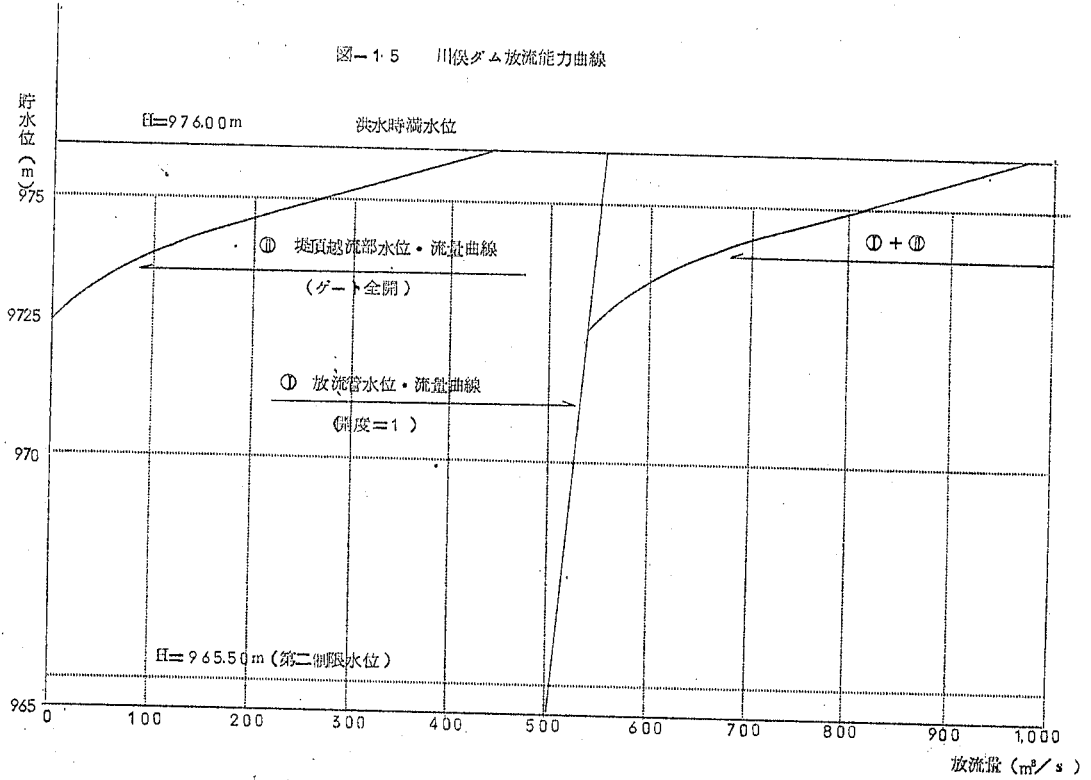


図-1.5 川俣ダム放流能力曲線



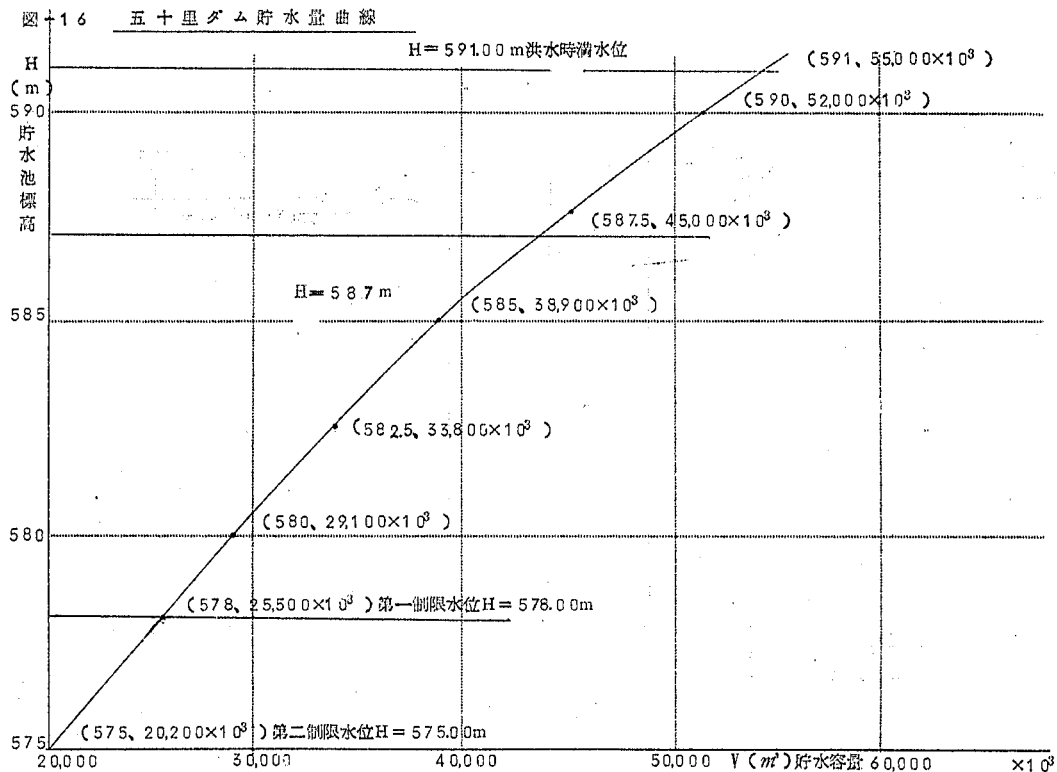
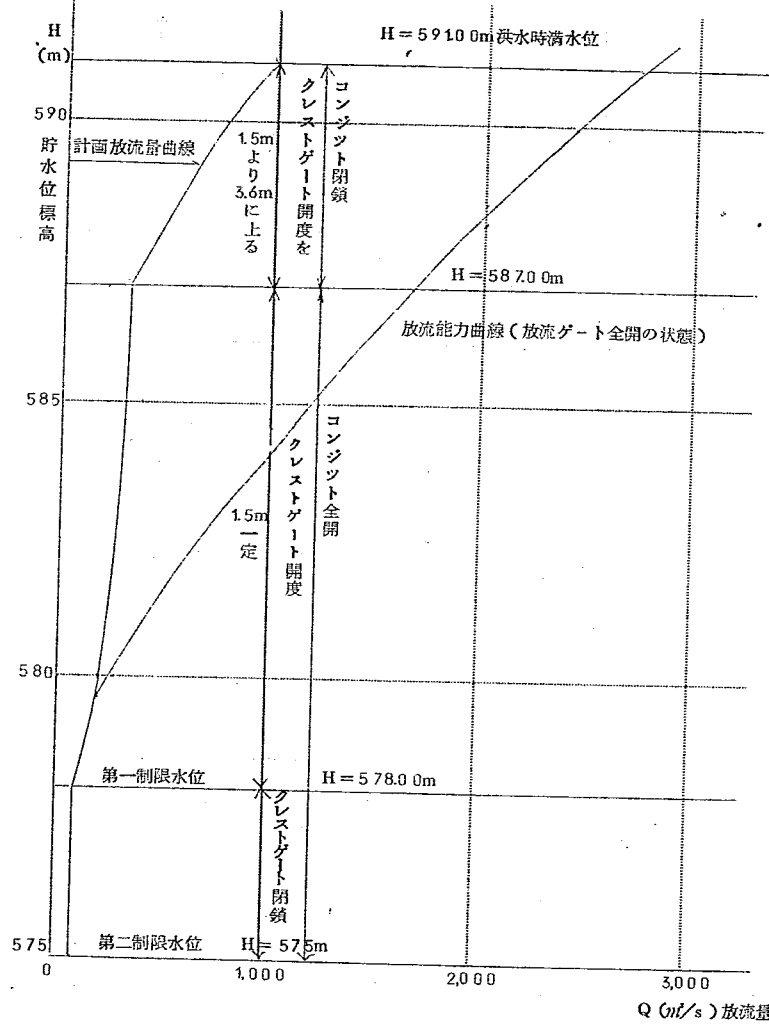
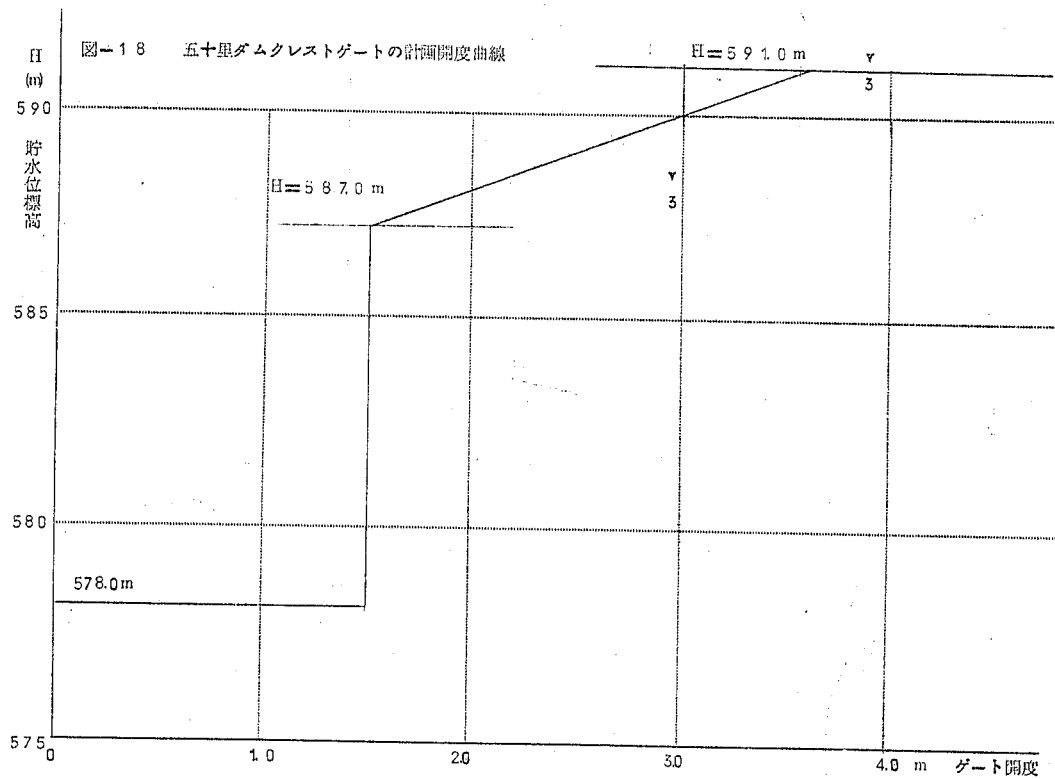


図-17 五十里ダム放流量曲線





めの放流方式を設定しただけでは不十分である。

洪水調節計算上において、ダム放流量を規制する条件は一般に次の諸点があげられる。

- (a) 洪水調節容量確保のための放流条件
- (b) 洪水調節のための放流条件
- (c) ダム放流能力による放流量の規制
- (d) ダム自身の安全確保のための放流条件
- (e) 利水容量確保のため放流量の規制

各々の内容の概要は次の通りである。

(a) 洪水調節容量確保のための放流条件

予備放流によって治水容量の一部または全部を確保するダムではこの条件が必要になる。

治水単目的のダムあるいは多目的ダムで制限水位方式を採るダムでは、この条件は洪水の減水側で連続洪水などに対処する容量を確保するための放流条件以外には必要ない。

(b) 洪水調節のための放流条件

洪水調節のために確保された空の貯水容量を利用して、もっとも効率よく洪水波形を調節するための放流条件である。従来おこなわれている一定率放流方式・一定量放流方式・不定量放流方式等各種が考えられる。

(c) ダム放流能力による放流量の規制

放流量を自動演算する上で、明らかに他のすべての条件より最も優先されるべき条件で、ゲートの全開放と全閉との間で、その時点の貯水位によって定まる放流量以外の放流量は採用できない。

(d) ダム自身の安全確保のための放流条件

ダム貯水量が満水に近ずいた場合、貯水池流入量あるいはそれに近い値を放流し、ダム自身の安全を確保するための条件である。

(e) 利水容量確保のための条件

予備放流の下限貯水位あるいは制限水位以下においては洪水調節のための放流は行わず、利水容量を確保する。

(2) 放流量の自動演算系統

川俣・五十里ダムの洪水調節方式および(1)で述べた放流量自動演算上の規制条件等を考慮して、両ダムの放流量自動演算系統を検討した結果、図-19(川俣ダム)図-20(五

十里ダム)の系統図が得られた。

系統図においてはダム流域の流域平均雨量より計算される貯水池流入量を基礎にして幾つかの比較機構・関数発生機構を通じて計算される情報量が矢印の方向に流れ最終的にダム放流量 O が計算される。貯水量 S は放流量 O の演算過程において求められ情報量として使用されている。更に、図-19、20の演算系統は、既設のアナログ洪水流出計算機によって計算する事を目的としたもので、その演算要素数、演算能力等を配慮して既定の洪水調節方式に次の条件を追加し、また一部を修正した。

(イ) 川俣ダム

図-21の洪水調節方式の模式図に示す様に、次の2点を追加・修正した。

- (a) 貯水容量が増加して、最大治水容量の90%に達し、貯水池流入量が $550 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の場合は、原則として流入量が $550 \text{ m}^3/\text{s}$ に減水するまで放流量 O =流入量 I とする。
- (b) 貯水位が最高以後も放流量を $550 \text{ m}^3/\text{s}$ に保ち、放流能力が $550 \text{ m}^3/\text{s}$ に達すれば、以後ゲートを全開し、制限水位にまで下る。

(ロ) 五十里ダム

洪水調節方式の模式図を図-22に示す。追加または修正点は次の通りである。

- (a) 五十里ダムの放流能力は相当に大きいので貯水量が最大治水容量に達した後、放流量 O =流入量 I とする。
- (b) 貯水位が最高に達すれば、以後その時刻の放流量を一定に維持し、その放流量が放流能力に一致する貯水位に低下すれば、以後放流能力で放流し制限水位まで下る。

図-19、20の演算系統の内容は以下の通りである。

(イ) 川俣ダム放流量の演算系統

図-19は7コの比較機構および2コの関数発生機構から成り、それらは、

- [I-a] ~ [I-d] : 洪水調節条件
- [II-a] : ダム自身の安全条件
- [II-a] : 放流能力条件
- [IV-a] : 利水容量確保条件
- F . G (1) : $O = 250 (\text{m}^3/\text{s})$ 或は $O = 300 \cdot t + 250$
 $(\begin{matrix} O : \text{m}^3/\text{s} \\ t : \text{hr} \end{matrix})$ の発生機構
- F . G (2) : ゲート全開状態の放流量の発生機構

図-19 川俣ダム放流量の自動演算系統図

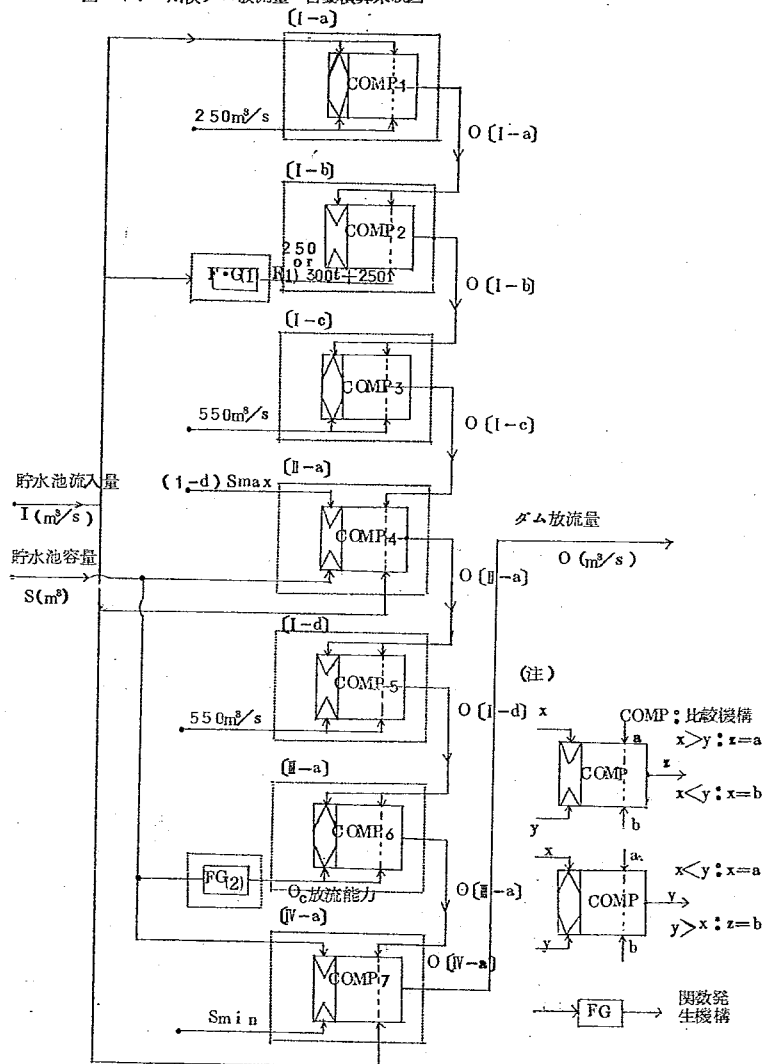
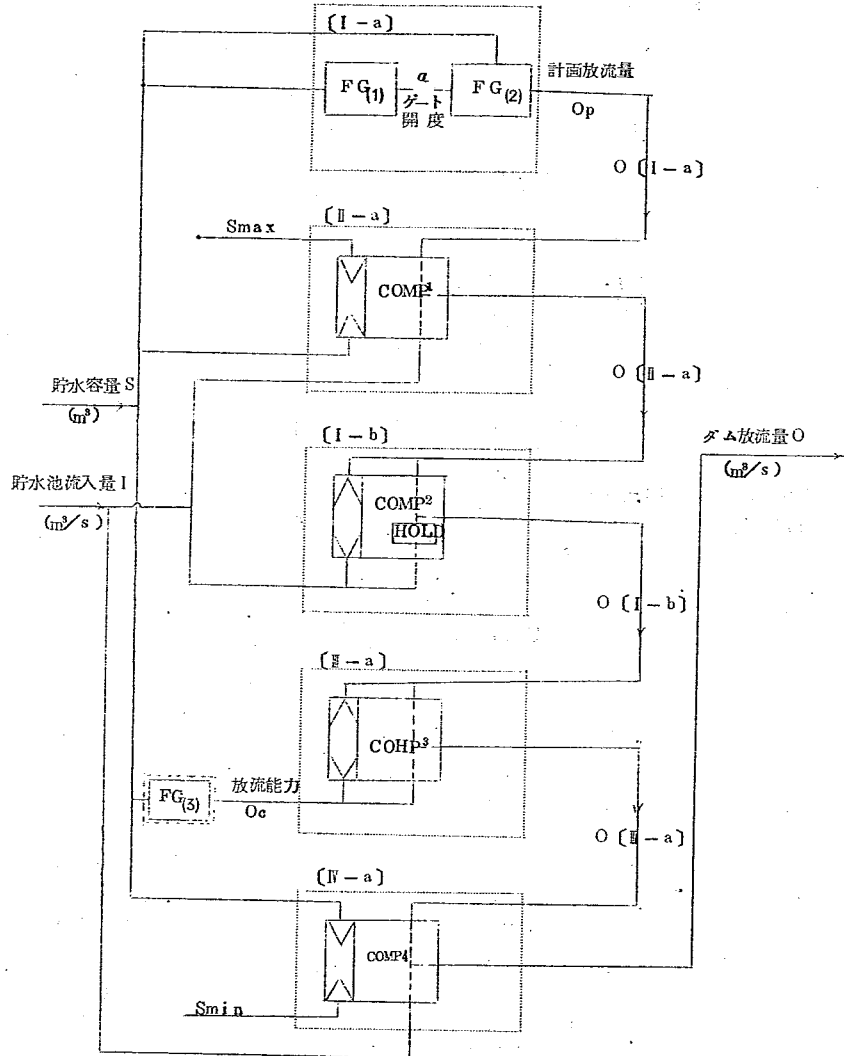


図-20 五十里ダム放流量の自動演算系統図



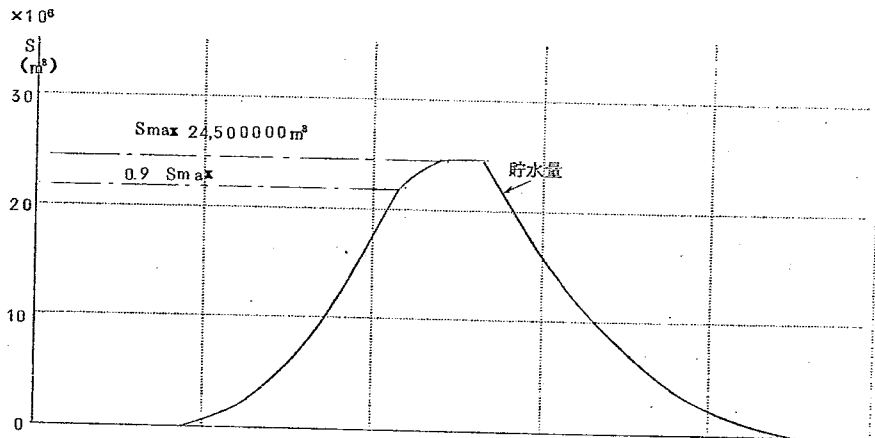
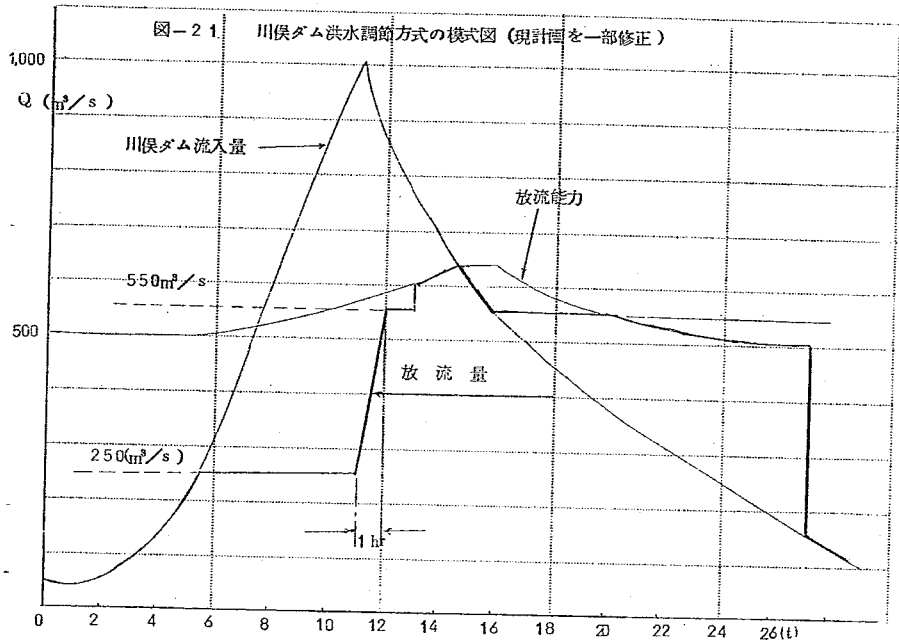
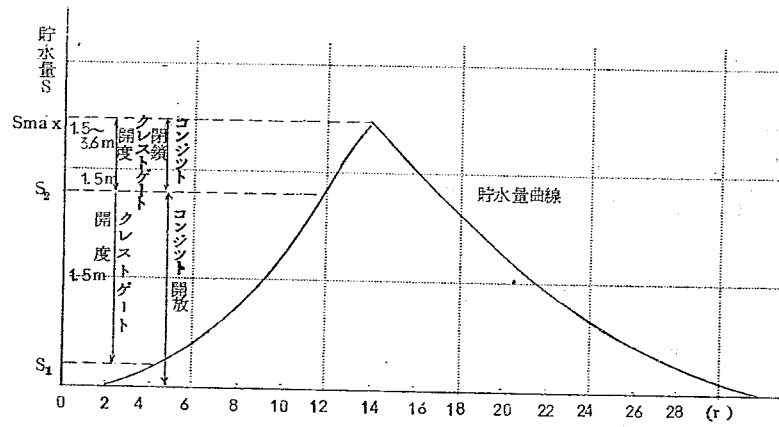
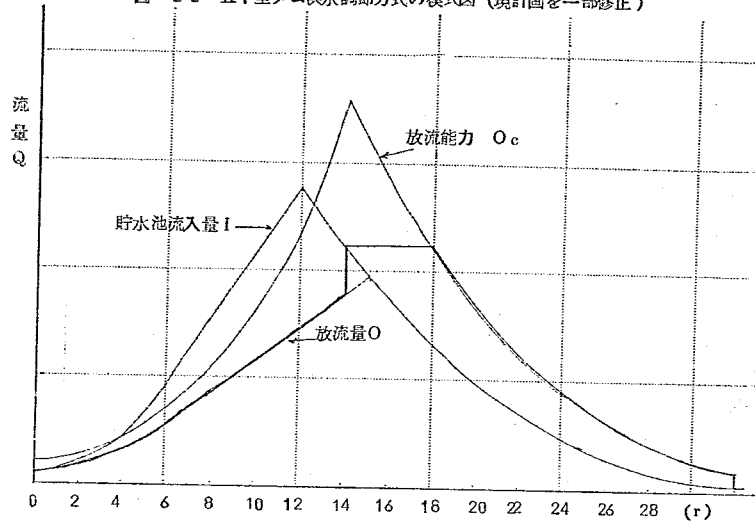


図-22 五十里ダム洪水調節方式の模式図 (現計画を一部修正)



演算内容は以下の通りである。

$$\left. \begin{aligned} \text{〔 I - a 〕 : 貯水池流入量を } I, \text{ ダム放流量を } O \text{ とすれば,} \\ I \leq 250 (\text{m}^3/\text{s}) \text{ なら } O \text{〔 I - a 〕} = I \\ I > 250 (\text{ " }) \text{ なら } O \text{〔 I - a 〕} = 250 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{〔 I - b 〕 : 関数発生機構 } F, G(1) \text{ から,} \\ \frac{dI}{dt} > 0 \text{ で } F(1) = 250 \\ \frac{dI}{dt} \leq 0 \text{ で } F(1) = 300t + 250 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{を発生し,} \\ \frac{dI}{dt} > 0 \text{ なら } O \text{〔 I - b 〕} = 250 \\ \frac{dI}{dt} \leq 0 \text{ なら } O \text{〔 I - b 〕} = 300t + 250 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{〔 I - c 〕 : } 300t + 250 < 550 \text{ なら } O \text{〔 I - c 〕} = 300t + 250 \\ 300t + 250 \geq 550 \text{ なら } O \text{〔 I - c 〕} = 550 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{〔 II - a 〕 : 貯水容量 } S, \text{ 最大貯水量 } S_{\max}, \alpha = 0.1 \text{ とすれば,} \\ S < (1 - \alpha) S_{\max} \text{ なら } O \text{〔 II - a 〕} = O \text{〔 I - c 〕} \\ S \geq (1 - \alpha) S_{\max} \text{ なら } O \text{〔 II - a 〕} = I \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{〔 I - a 〕 : } O \text{〔 II - a 〕} \geq 550 \text{ なら } O \text{〔 I - d 〕} = O \text{〔 II - a 〕} \\ O \text{〔 II - a 〕} < 550 \text{ なら } O \text{〔 I - d 〕} = 550 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{〔 II - a 〕 : 関数発生機構 } F, G(2) \text{ から貯水容量 } S \text{ に対する最大放流能力 } O_c \text{ が発} \\ \text{生し,} \\ O \text{〔 I - d 〕} \leq O_c \text{ なら } O \text{〔 II - a 〕} = O \text{〔 I - d 〕} \\ O \text{〔 I - d 〕} > O_c \text{ なら } O \text{〔 II - a 〕} = O_c \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{〔 IV - a 〕 : 制限水位における貯水容量を } S_{\min} \text{ とすれば,} \\ S > S_{\min} \text{ なら } O \text{〔 IV - a 〕} = O \text{〔 II - a 〕} \\ S \leq S_{\min} \text{ なら } O \text{〔 IV - a 〕} = I \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

(ロ) 五十里ダム放流量の演算系統

図-20は3つの関数発生機構、4つの比較機構から成り、それらは、

〔 I - a 〕、〔 I - b 〕 : 洪水調節条件

〔 II - a 〕 : ダム自身の安全条件

〔 II - a 〕 : 放流能力条件

〔Ⅳ-a〕 : 利水容量確保条件

各々の演算内容は次の通りである。

〔Ⅰ-a〕: 貯水量 S に応じて計画のゲート開度を与え、それより計画放流量 O_p を発生する。

〔Ⅱ-a〕: 貯水量 S と治水最大容量 S_{max} を比較し、

$$S < S_{max} \text{ なら } O[Ⅱ-a] = O[Ⅰ-a]$$

$$S \geq S_{max} \text{ なら } O[Ⅱ-a] = I \quad (17)$$

〔Ⅰ-b〕: $O[Ⅱ-a]$ と貯水池流入量 I を比較し、

$$I > O[Ⅱ-a] \text{ の範囲で } O[Ⅰ-b] = O[Ⅱ-a] \quad (18)$$

$I \leq O[Ⅱ-a]$ の範囲で、 $I = O[Ⅱ-a]$ となつた時刻の I の値を

I_o とすれば

$$O[Ⅰ-b] = I_o \quad (19)$$

〔Ⅱ-a〕: 関数発生機構 $F, G(3)$ から貯水容量 S に対する最大放流能力 O_c が発生し、

$$O[Ⅰ-b] < O_c \text{ なら } O[Ⅱ-a] = O[Ⅰ-b]$$

$$O[Ⅰ-b] \geq O_c \text{ なら } O[Ⅱ-a] = O_c \quad (20)$$

〔Ⅳ-a〕: 制限水位に貯水容量を S_{min} とすれば、

$$S > S_{min} \text{ で } O[Ⅳ-a] = O[Ⅱ-a]$$

$$S \leq S_{min} \text{ で } O[Ⅳ-a] = I \quad (21)$$

なお、阿ダムは制限水位方式を取っているので、洪水初期における洪水調節容量確保のための放流条件は考慮していない。

(3) アナログ計算機の演算回路

図-19、20の演算系統図を基本に、既設の電子管式アナログ洪水流出計算機を対象として、作成した演算回路図を図-23、24に示す。回路図はダム流域の流域平均雨量 R_{ave} から貯水池流入量 I を計算し、 I から種々な規制条件を考慮してダム放流量 O を計算するもので、 R_{ave} より I の計算回路は省略してある。

(4) 洪水調節効果の推定

(1) 自然河道および洪水調節後の流出推算

(i) 推算条件

自然河道は図-2(その1)の推算系統および確定された流域・河道の水文定数を用

図-2.3 川俣ダム放流量計算のためのアナログ計算機回路図

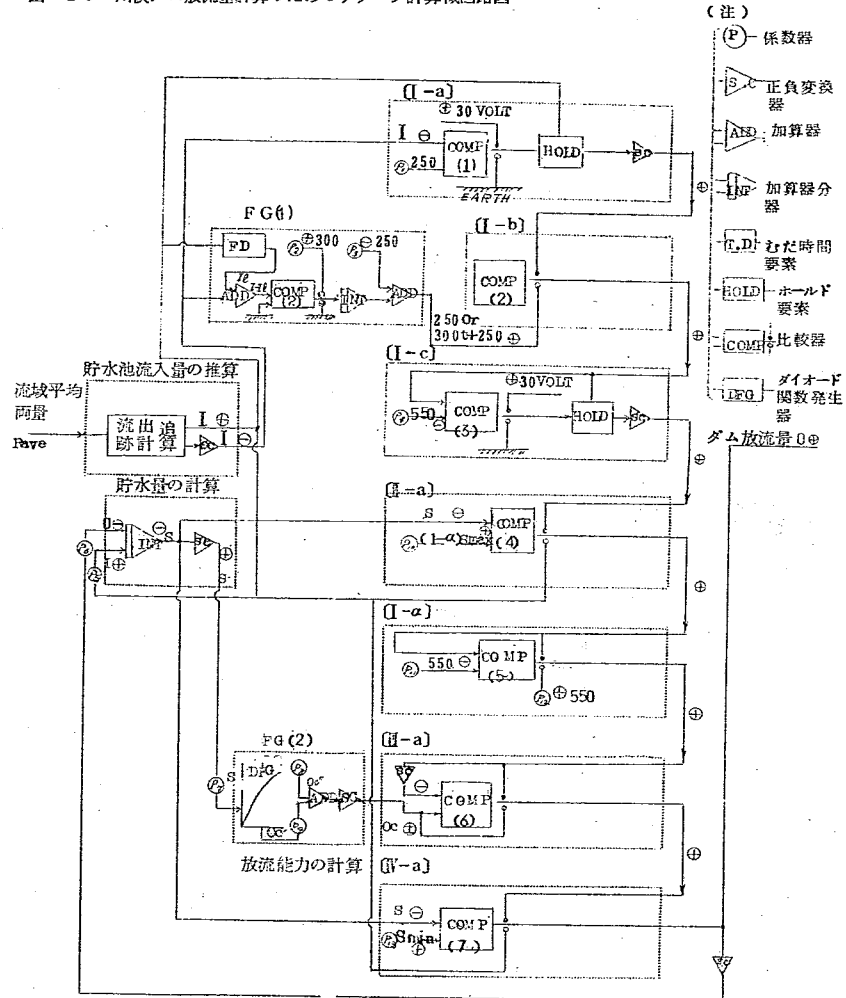
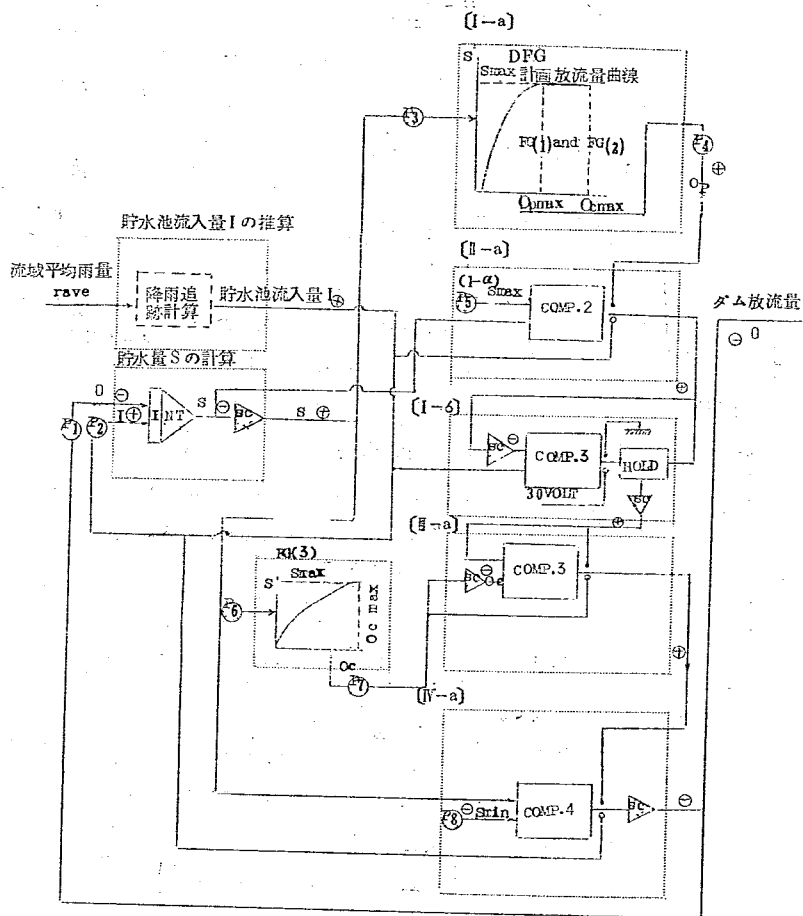


図-24 五十里ダム放流量計算のためのアナログ計算機回路図



いて、流域平均時間雨量より流出を推算する。

洪水調節後は図-2(その2)の推算系統および図-19、20のダム放流量推算系統を用い、自然河道の場合と同一の流域・河道定数によつて、流域平均時間雨量より流出を推算する。

推算対象地点は図-2の通りである。

(ロ) 推算対象洪水

3で撰定した各代表的降雨型についての代表降雨を石井上流々々平均3日雨量が表-16に示す値になる様比例的に拡大、縮小したものを対象とする。拡大・縮小は各洪水とも石井上流の流域平均3日雨量の超過確率年を基準として、3.9・4.4・8.8・170年雨量の5ケースを行う。

(ハ) 推算結果

全推算洪水についての結果を記載する事は省略し、1例として、2、3の洪水における五十里ダム・川俣ダム地点の貯水池流入量I、ダム放流量O、貯水量Sの推算記録を図-25、26に、また、主要地点における自然河道・洪水調節後の洪水波形の比較図を図-27、28に示す。

表-16は、自然河道と洪水調節後におけるピーク流量の比較表である。また、表-16より推定した両者の状態での石井地点ピーク流量と石井上流々々平均3日雨量の関係は図-29、30程度である。なお、洪水調節後の計算は川俣・五十里の各ダムがほぼ清水か多少超過する程度以下の洪水について実施している。

(2) 石井地点における洪水調節効果

以上の計算結果を基礎として、自然河道および洪水調節後の石井地点ピーク流量の生起頻度を計算し、それらを比較して洪水調節効果を判定する。

ピーク流量の生起頻度は超過確率をもって表示し、計算方法は以下の通りである。

表-27、28より、任意地点ピーク流量Qに対する各代表的降雨分布型(I A、I B …… I B、I C)についての流域平均3日雨量 R_{IA} 、 R_{IB} …… R_{IB} 、 R_{IC} を求め、図-9より各雨量に対する超過確率 P_{RIA} 、 P_{RIB} …… P_{RIB} 、 P_{RIC} を求める。この様にして推定した各雨量の超過確率を、表-14に示す各代表的降雨型のもつ地域分布・時間分布の生起頻度の積を重みとして平均する。すなわち、表-14の各降雨型の時間分布頻度を F' 、地域分布を F'' とすれば、各代表的降雨型について $F_{IA} = F''_{IA} \cdot F'_{IA}$ 、 $F_{IB} = F''_{IB} \cdot F'_{IB}$ …… $F_{IC} = F''_{IC} \cdot F'_{IC}$ を求め、

図-25 IKARI DAM

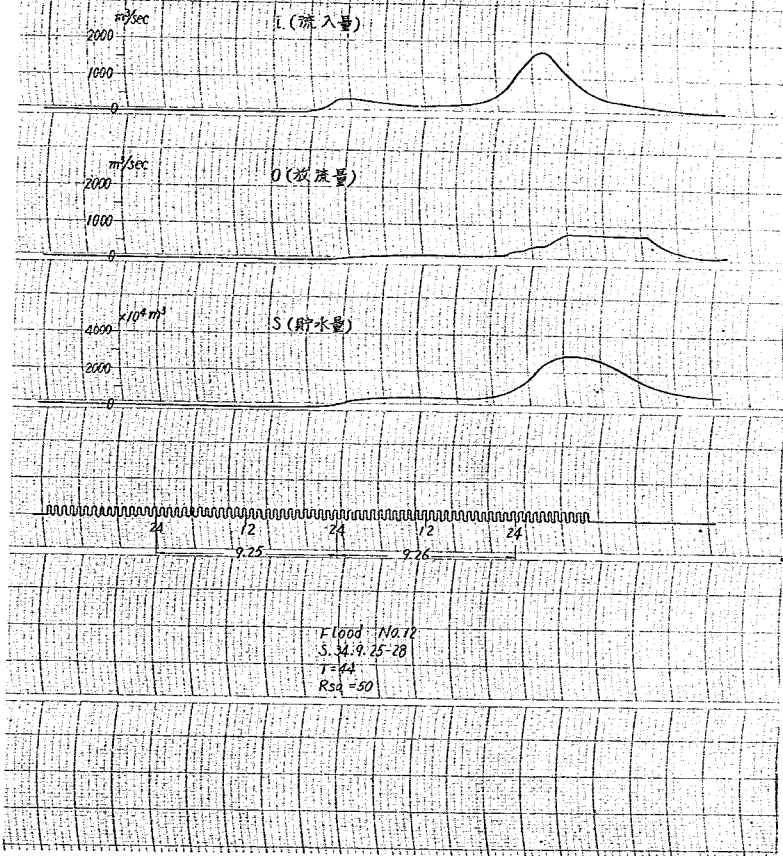


图-26 KAWAMATA DAM

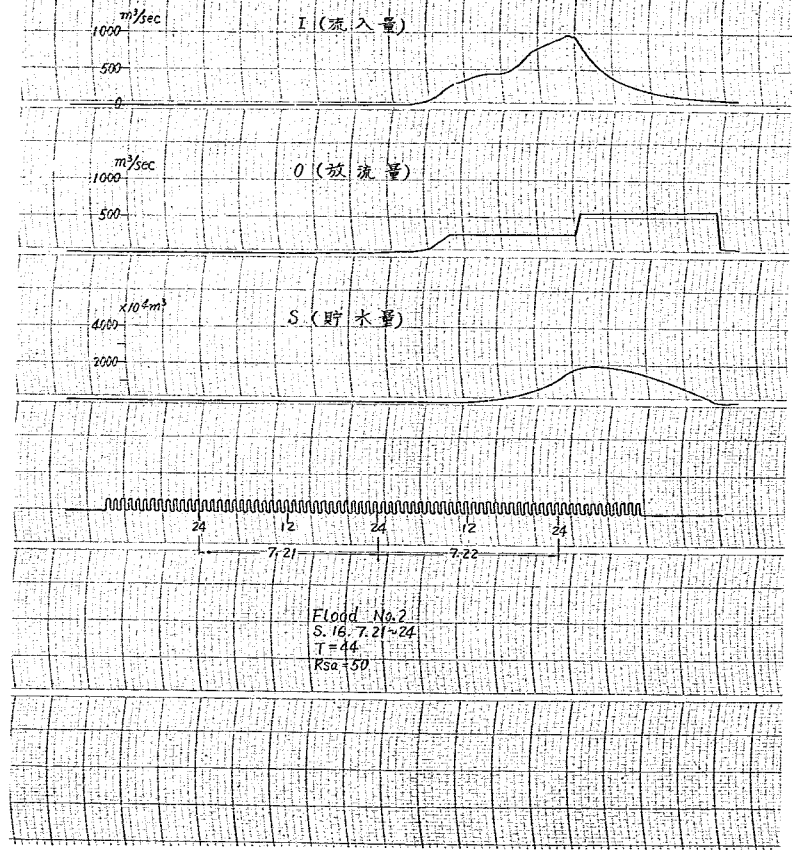


図-27 流出波形の比較図

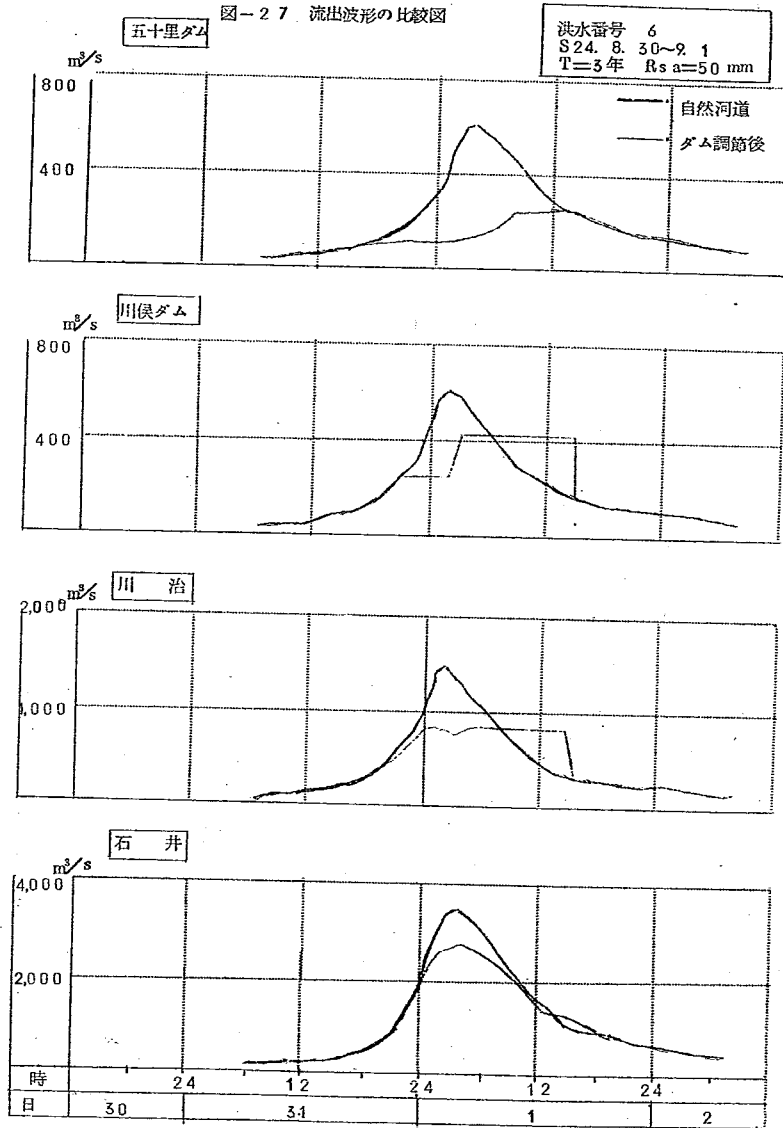


図-28 流出波形の比較図

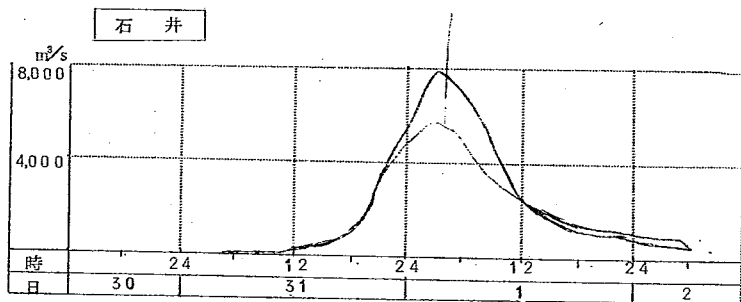
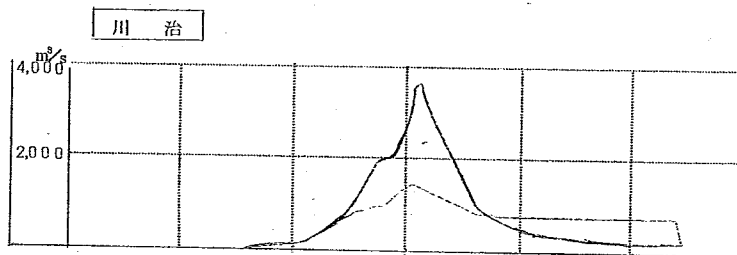
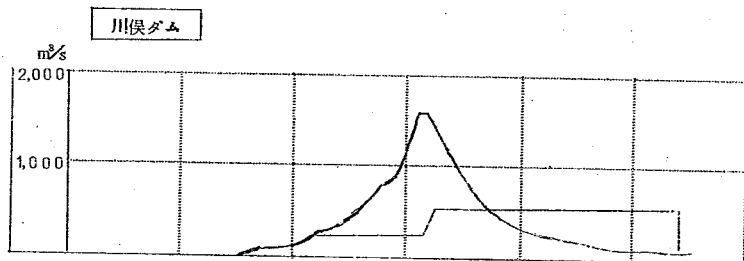
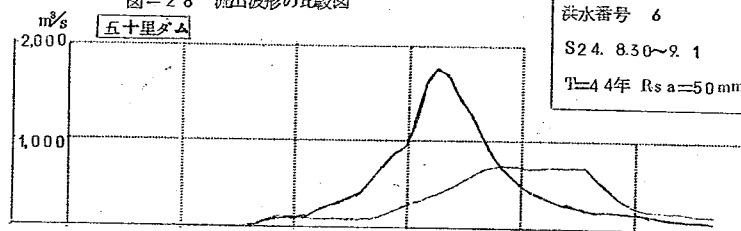


表-16 自然河道・洪水調節後におけるピーク流量の比較

QN:自然河道ピーク流量(m^3/s)
QC:調節後 "

代表型雨 (代表的 降雨降 雨降)	拡大 縮小 割合 は	石井上流々域 平均3日雨量		川俣地点		五十里地点		石井地点		備 考
		雨 量 R (mm)	超過確 率年T	QN	QC	QN	QC	QN	QC	
I.A (F. 4. 6)	1	200	3	620		630		3,500	2,700	S,24.8.30 ~21
	2	288	9	895		990		5,200		
	3	414	44	1,590		1,750		8,000	5,800	
	4	482	88	1,980		2,050		9,050		
	5	510	170	2,025		2,390				
I.B (F. 4. 4)	1	200	3	380		510		3,000		S,22.9.13 ~15
	2	288	9	590		810		4,350		
	3	414	44	1,000		1,320		6,250	5,200	
	4	462	88	1,210		1,540		6,950	5,600	
	5	510	170	1,310		1,770				
I.C (F. 4. 10)	1	200	3	500		580		1,800		S,34.8.12 ~14
	2	288	9	875		1,300		3,000		
	3	414	44	1,300		1,400		4,750	3,700	
	4	462	88	1,500		1,590		5,430	4,200	
	5	510	170	1,950		2,030				
II.A (F. 4. 12)	1	200	3	825		640		2,620	2,400	S,34.9.24 ~26
	2	288	9	1,100		1,000		3,780		
	3	414	44	2,110		1,630		5,450	4,800	
	4	462	88	2,430		1,880		6,080		
	5	510	170	3,380		2,950				
II.B (F. 4. 2)	1	200	3	400		600		2,730	2,100	S,16.7.20 ~22
	2	288	9	505		870		3,950		
	3	414	44	950		1,390		5,670	4,100	
	4	462	88	1,050		1,590		6,350	4,600	
	5	510	170	1,200		1,800				
II.C (F. 4. 10)	1	200	3	500		580		1,800		S,34.8.12 ~14
	2	288	9	875		1,300		3,000		
	3	414	44	1,300		1,400		4,750	3,700	
	4	462	88	1,500		1,590		5,430	4,200	
	5	510	170	1,950		2,030				

図-29 石井ピーク流量と流域平均3日雨量の関係
(自然河道)

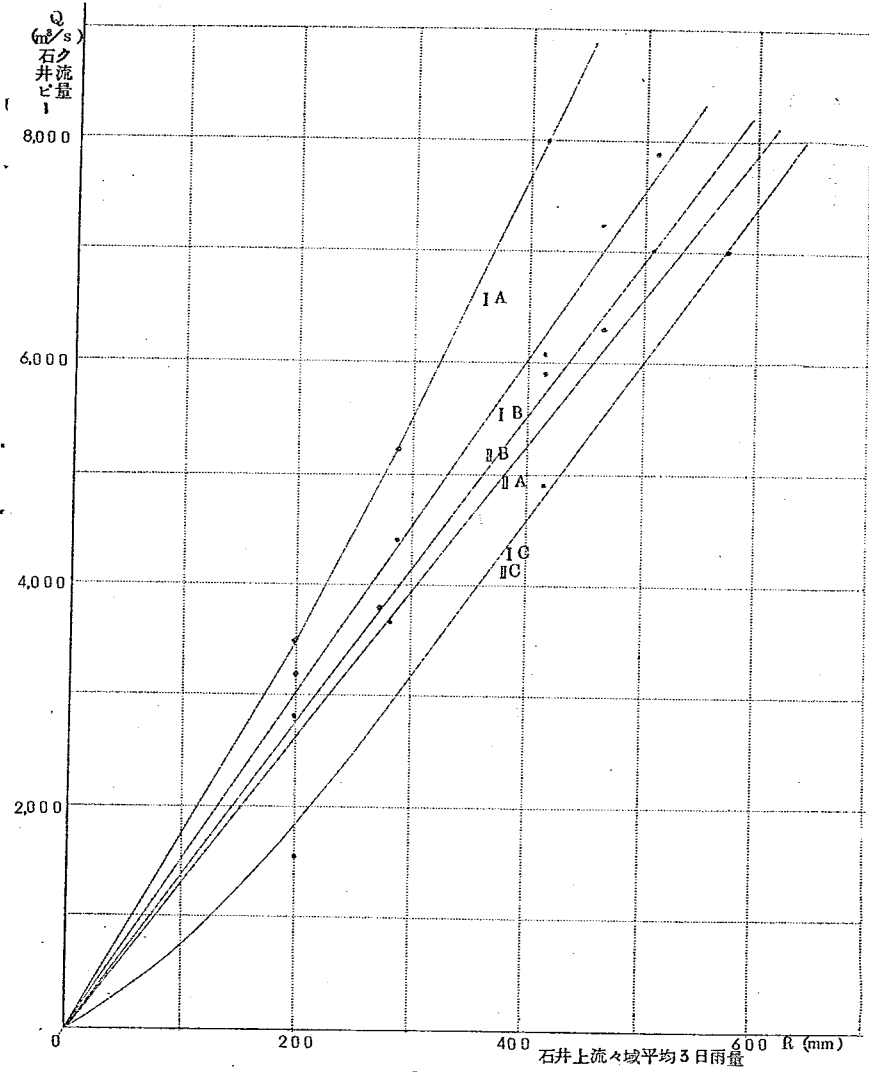
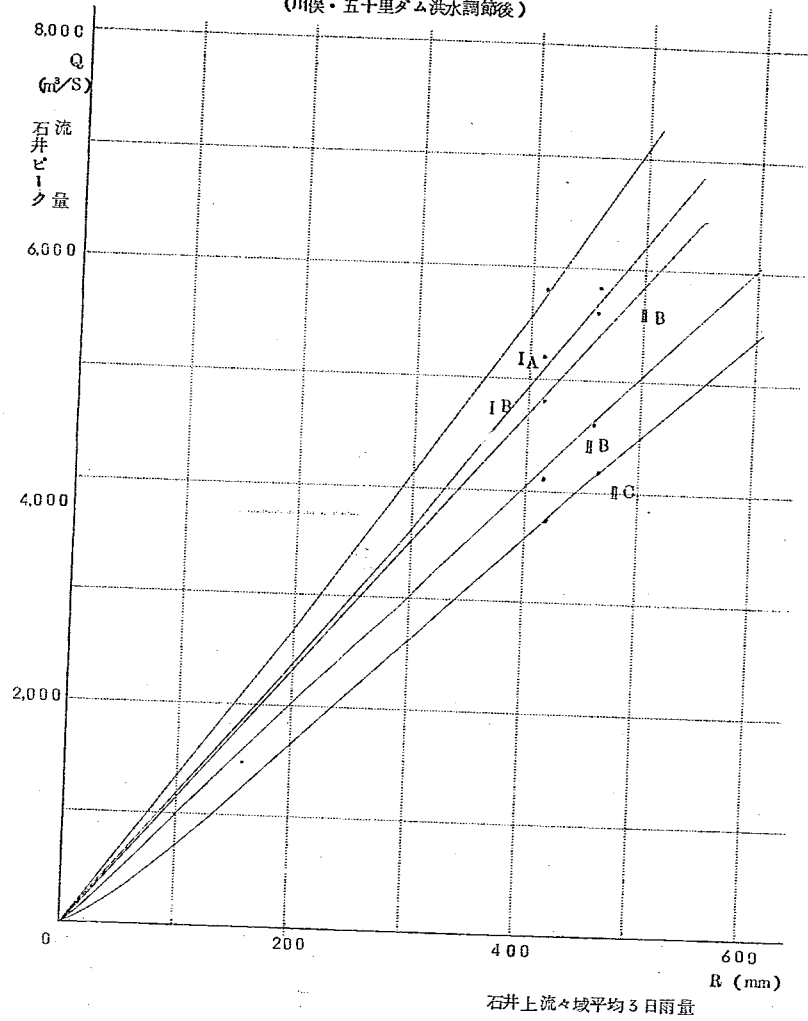


図-30 石井ピーク流量と流域平均3日雨量の関係
(川俣・五十里ダム洪水調節後)



$$P = F \{ A \cdot P_R \{ A + F \} B \cdot P_R \{ B + \dots \dots \dots R \} C \cdot P_R \{ C \} \quad (22)$$

を計算する。Pを各代表的降雨型の生起頻度を総合的に考慮した意味で、総合超過確率と呼び、ピーク流量Qの生起頻度を表す尺度とする。

図-31は以上の様にして求めた自然河道および洪水調節後の石井地点ピーク流量の総合超過率比較図である。同一超過確率に対する両者の流量差がその規模の洪水に対する洪水調節効果と考えられる。

現在の鬼怒川高水流量計画は石井地点 $5,400 \text{ m}^3/\text{s}$ を上流ダム群によって $1,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 調節し、残り $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ を河道改修の計画高水流量とする計画になっている。ダムおよび河道による分担流量 $5,400 \text{ m}^3/\text{s}$ は図-31の自然河道における石井ピーク流量Qと総合超過確率Pの関係より判断して、 $P=0.4$ すなわち25年洪水程度と考えられる。鬼怒川の規模・全国的な直轄改修河川における計画高水流量の確率規模から考えて、現在の鬼怒川の高水流量計画は、標準を下回るものであると判断される。川俣・五十里ダムの洪水調節効果についても、図-31より現計画 $5,400 \text{ m}^3/\text{s}$ に対して $1,200 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度となり現在の調節計画 $1,400 \text{ m}^3/\text{s}$ に対して幾分かの不足を示している。

5. 結 論

この解析では、石井地点上流の鬼怒川流域について、関東地方建設局による第一次流出解析の成果をうけて、基礎水文資料の精度向上、総合的な洪水流出解析による流域・河道の定数解析、鬼怒川流域における代表的降雨型の統計的調査、川俣・五十里ダムの洪水調節効果の判定等を実施し、鬼怒川の高水流量計画を検討するための基礎資料・解析資料を整備して来た。その結果、基礎水文資料の不足・精度等の点より2、3の不確定要素を残すが、次の諸事項が結論として得られた。

[1] 水文定数

鬼怒川流域の洪水推算に必要な水文定数は下記程度と推定される。

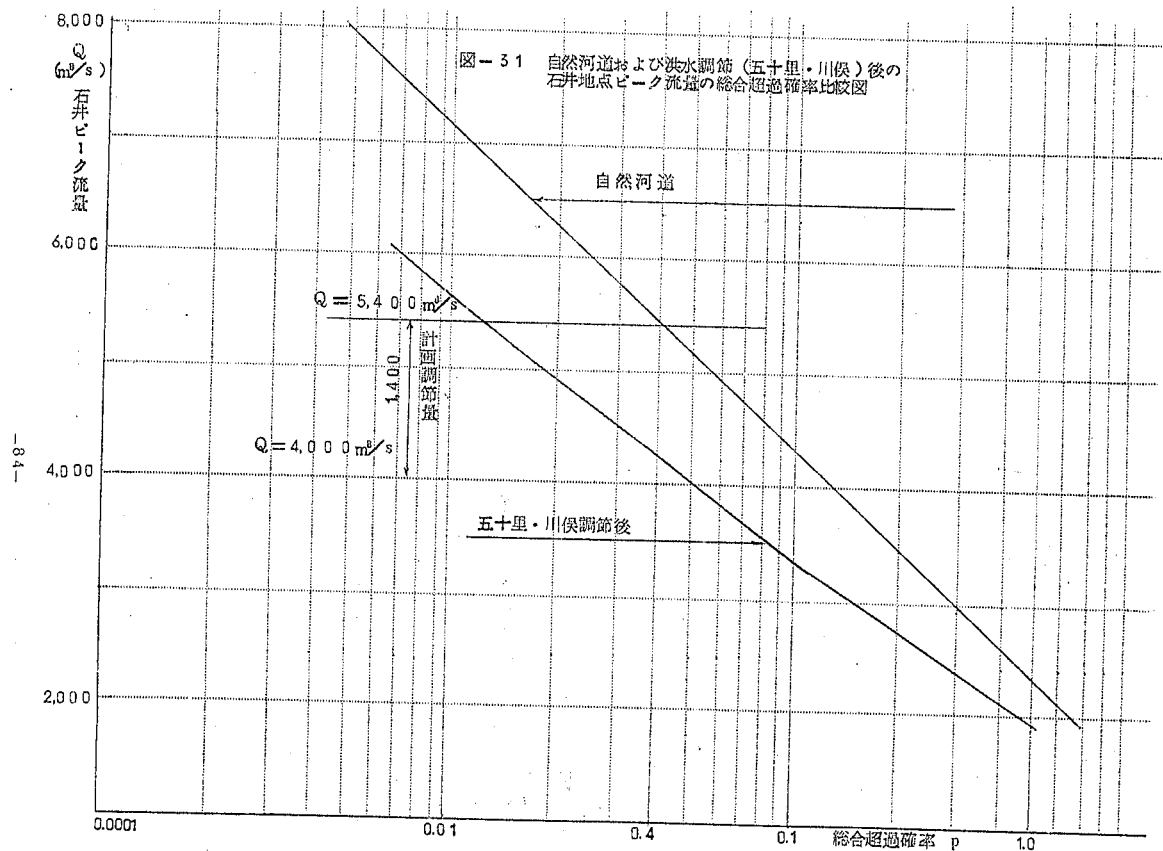
[A] 流域定数 (V流域を除く)

(イ) 貯留関数 $S_o(q)$: I、II流域 $S_o = 3.4.5 q^{0.5}$ III~IV流域 $S_o = 1.5.0 q^{0.5}$

$q: \text{mm/h}$ $S_o: \text{mm}$

(ロ) 一次流出率 f_1 : $f_1 = 0.5$

(ハ) 遅滞時間 T_1 : 表-5



(ニ) 飽和雨量 R_{sa} : $0 \sim 270$ mm 計画上の値としては $R_{sa} = 50$ mm 程度が安全側

(ホ) 基底流量 Q_B : 表-6

[B] 河道定数

(イ) 貯留関数 $S(Q)$: 図-3(a)~(c)

(ロ) 遅滞時間 T_l : 表-5

(ハ) 流入係数 f : $f = 1.0$

[2] 代表的降雨型

統計的に、また、実用的に一応信頼がおけると思われる分類方法を取った場合に、時間分型として A、B、C の 3 型・地域分布として I、II の 2 型が分類され、したがって両者を組合せることにより 6 コの代表的降雨型が考えられる。6 コの代表的降雨型の代表降雨は表-15 の通りである。

[3] 流量頻度および洪水調節効果

石井地点における自然河道および洪水調節後のピーク流量の超過確率、更に川俣、五十里ダムの洪水調節効果は図-31 の通りである。

図-31 より現在の石井地点高水流量計画である河道 $4,000$ + ダム調節 $1,400 = 5,400 \text{ m}^3/\text{s}$ の値は、全国直轄河川の計画流量規模から見て過小と判断され、また、川俣・五十里ダムの洪水調節効果は、現計画の $1,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 調節に対して幾分不足と思われる。

[4] 既設のアナログ洪水流出計算機による洪水調節効果判定のための自動演算は、演算要素の不足による 2、3 の問題はあがあるが、精度的に十分信頼の出来るものである。洪水調節効果の判定についても、数多くの降雨型について総合的に判断している点で十分な安全性のあるものと思われる。

6. あとがき

この解析を実施するに当たり、関東地方建設局の関係者各位に大変お世話になったことに深く感謝する次第です。

土木研究所水文研究室