

石狩川上流部における洪水流出の一考察

正員 石狩川治水事務所 高瀬 正
 正員 同 上 石塚 耕一
 正員 同 上 川島 雅
 ○正員 同 上 山口 甲

1. 緒言

降雨量より流出量を計算する方法は長年の間に種々の方法が提案されてきたが、刻々の資料に基づき、即刻洪水を推定しなければならない洪水予報業務にとつては、時間的に制約をうける関係上、解析過程の計算を完全に遂行できないことが多い。この問題に鑑み、石狩川の洪水流出を貯溜関数法¹⁾ (Storage-Equation Method) により解析を試みた。

貯溜関数法はウィルソン法、コーラ法²⁾ などとならび解析方法が割合に簡便であり、洪水の予報には極めて有効な方法と思われる。この方法では降雨量から流出量の解析、ならびに洪水波の追跡が可能であるが、本文では石狩川上流部の伊納地点の流出量を、その流域内の降雨量から推定する解析を述べる。

2. 洪水時の貯溜関数

洪水時の流域貯溜量 S と流入量 $\sum I_i$ 、流出量 O の関係は連続の式より

$$\frac{dS}{dt} = \sum I_i - O \quad (1)$$

流域えの代表的な流入量を I とし、さらに洪水期間中に流出する流量だけを考えると式 (1) は次のようになる。

$$\frac{dS_0}{dt} = f \cdot I - O \quad (2)$$

ここに

S_0 : 洪水期間中の流域内の貯溜量、ただし、二次流出となる水量および地下浸透水量は含まない (m^3)。

O : 流域下流端よりの流出量、ただし Base-flow を含んだもの (m^3/s)。

f : 代表的な流入量 I と流出量 O の各々の Total の比、流出指示係数。

式 (2) にて、 S_0 を改めて S とし積分すると

$$S = \int_{t_0}^t f \cdot I dt - \int_{t_0}^t O dt \quad (3)$$

ここに t_0 : 洪水始めの時間

今洪水の終りとして、洪水波通減部の Semi-log-paper 上での析点を取り t_e とし、ここで貯溜量 $S=0$ とすることにより

$$f = \frac{\int_{t_0}^{t_e} O dt}{\int_{t_0}^{t_e} I dt} \quad (4)$$

ただし f は洪水期間を通して一定とする。実測において式 (4) にて f を算定し、式 (3) より S を計算すると $S \sim O$ の関係は一般に図-1 のように、loop を描くヒステリシスとなる。

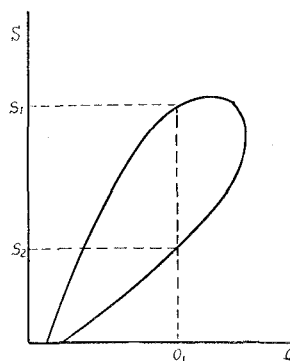


図-1 $S \sim O$ 曲線

すなわち増水部と減水部では同じ流出量に対して異なる貯溜量を有している。 $S \sim O$ の描くヒステリシスを一つの曲線上にて回帰させる方法として木村氏¹⁾ は、集中時間 T_c を考え、それだけ I と O の Hydrograph を時間的にずらして計算することを提案した。又、E. M. Laurenson 氏³⁾ は長い河川における洪水波追跡にて I , O の Hydrograph の中間的な Hydrograph として $O_1, O_2, \dots, O_n$ を適当に試行錯誤法により、推定することにより $I \sim O_1, O_1 \sim O_2, \dots, O_n \sim O$ 間にて式 (3) を計算すると、各区間毎の $S \sim O$ の関係は直線関係となるから $I \sim O$ の関係は $I \sim O_1, O_1 \sim O_2, \dots, O_n \sim O$ の積重ねにより求め得ることを提案している。ここでは前者をとり、試行的に T_c をきめ I, O 間にて T_c だ

表-1 流出指示係数

No.	年月日	O_0	f
1	S. 29. 8. 4	200	0.458
2	29. 8. 15	100	0.587
3	29. 8. 20	200	0.693
4	30. 7. 4	120	0.585
5	30. 7. 13	160	0.599
6	30. 7. 30	70	0.424
7	30. 8. 11	100	0.568
8	30. 8. 18	100	0.429
9	30. 8. 31	250	0.750
10	31. 8. 18	100	0.523
11	32. 8. 14	120	0.510
12	32. 8. 28	70	0.348
13	33. 7. 24	110	0.579

けずらし仮想貯溜量 S を考える。又このようにすることにより S は O のみの関数と考えても良いので式 (2) より、

$$\frac{dS}{dO} \cdot \frac{dO}{dt} = f \cdot I_t - O_{i+T_c} \quad (5)$$

$$\frac{dS}{dO} \equiv \varphi_{(0)} \quad (6)$$

$$\varphi_{(0)} \cdot \frac{dO}{dt} = f \cdot I_t - O_{i+T_c} \quad (7)$$

しかるに

$$S = \int_{t_0}^t f \cdot I_t dt - \int_{t_0}^t O_{i+T_c} dt \quad (8)$$

式 (7) より

$$\varphi_{(0)} \frac{dO}{dt} = f \cdot \bar{I}_t - \bar{O}_{i+T_c} \quad (9)$$

ここに

$$\Delta O_{i+T_c} = (O_{i+T_c+\Delta t} - O_{i+T_c}) \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$\bar{I}_t = \frac{1}{2} \{I_t + I_{t+\Delta t}\} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$\bar{O}_{i+T_c} = \frac{1}{2} \{O_{i+T_c} + O_{i+T_c+\Delta t}\} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

とすると式 (9) は

$$O_{i+T_c+\Delta t} = \frac{\Delta t}{\varphi_{(0)} + \frac{\Delta t}{2}} f \cdot \bar{I}_t + \frac{\varphi_{(0)} - \frac{\Delta t}{2}}{\varphi_{(0)} + \frac{\Delta t}{2}} O_{i+T_c} \quad (10)$$

式 (8) により $S \sim O$ は求められるから、したがってその勾配をとることにより $\varphi_{(0)}$ が求まり、式 (10) により i 時の平均流入量 I_t と i_t と $i+T_c$ 時の流出量 O_{i+T_c} より $i+T_c+\Delta t$ 時の流出量が逐次計算できる。

3. 伊納における流出量の考察

伊納流量観測所の流域面積は $3,365 \text{ km}^2$ で、葉状の流域型をなす。支川の忠別川、美瑛川は伊納地点より 8 km 上

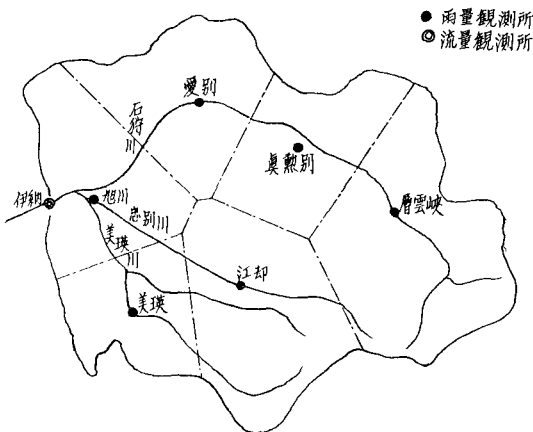


図-2 流域図

流で合流する。流域平均時間雨量は層雲峡・真敷別・愛別・旭川・江却・美瑛の各時間雨量より Thissen Method によって算出する。

式 (8) において $T_c = 4 \text{ hr}$ $\bar{I} = 0.2778 A \cdot \bar{r}$, $\bar{r}$ として時間平均雨量 (mm/hr) とすることにより、 S を計算する。

$$S = 12.64 O - 2,528 \quad (11)$$

$$\frac{dS}{dO} = \varphi_{(0)} = 12.64 \quad (\text{hr}) \quad (12)$$

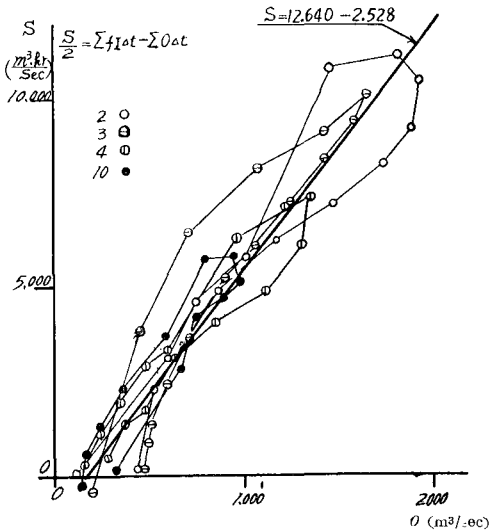


図-3 $S \sim O$ 図 $T_c = 4 \text{ hr}$

したがって式 (10) により

$$O_{i+6} = 0.147 f \bar{I}_t + 0.853 O_{i+4} \quad (13)$$

ただし $\Delta t = 2 \text{ hr}$ $\bar{I} = 0.2778 A \bar{r}$ A (km^2) $\bar{r}$ (mm/hr)
北犬岸教授⁴⁾は同じ流域で通減係数 $C = 0.145$ としたが⁵, 式

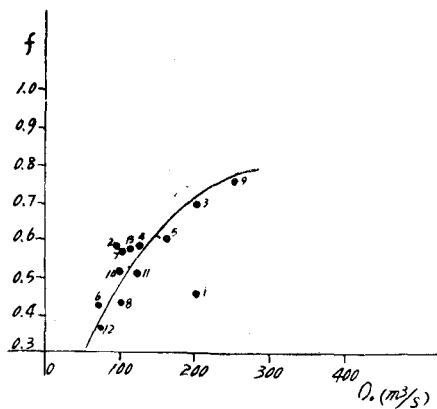


図-4 流水指示係数

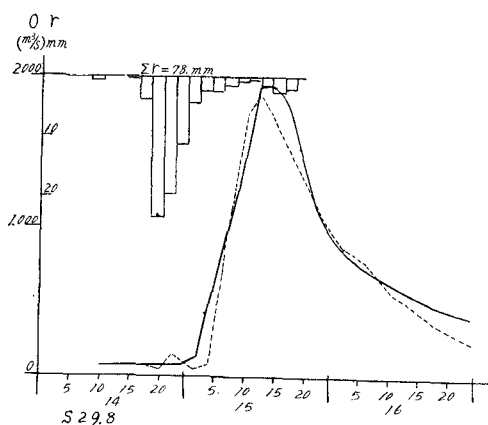


図-5 (a)

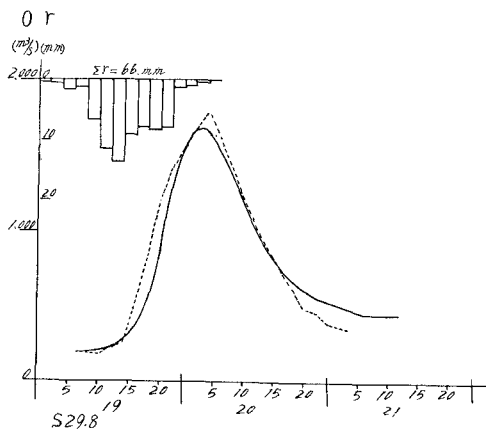


図-5 (b)

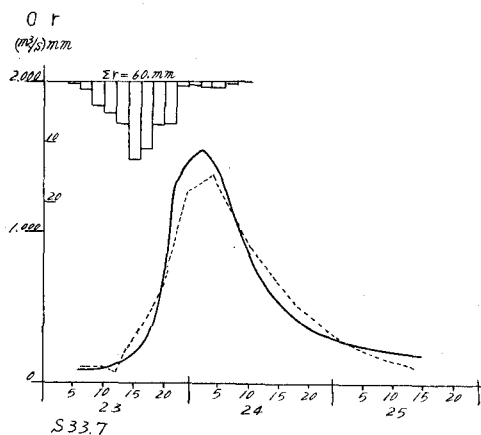


図-5 (c)

(13) は $C=0.150$ とした場合の式と同じである。

流出指示係数 f は洪水予報に際して出水前の因子にて予知できることが必要であるが、図-4 に示すように出水前の Base-Flow O_0 をパラメータにとることが適当である。

図-4 の f および式 (13) から実例につき計算すると図-5 のようになる。

4. むすび

1) $S \sim O$ 図にて、 $T_0=4$ hr とすると 1 本の直線に最も近いが、なお 8 型のヒステリシスを抽く。これは、 I, O 間に O_1, O_2 を推定することにより、更に直線に収斂するものと思われる。

2) 流域平均時間雨量より伊納流量は 6 時間前に算定で

き、逐次計算も簡単である。

3) 貯溜関数法は、下流部の Flood Routing にも適応され、洪水の推定は下部まで一環して計算が可能である。

参考文献

- 1) 建設省沼津工事事務所：洪水流出解析の一考察，10，1956。
- 2) 竹内俊雄：河川流出に関する 2・3 の計算法，土木研究所報告第 103 号，1960。
- 3) E. M. Laurenson：Storage Analysis and Flood Routing in Long River Reaches Journal of Geophysical Research Vol. 64, Dec. 1959。
- 4) 岸力・中尾欣四郎：石狩川伊納の流出（第 1 報），技術資料 No. 16，土木学会北海道支部，昭和 35 年 2 月