

II-21 流出係数を使う洪水予測の手法について

北海学園大学 工学部 正員 相田 俊郎

1 概要

この手法も、流出計算において、流域貯留量(S) 同流入量(I) 同流出量(Q)などを用いて、水文学方程式 $ds/dt=I-Q$: 貯留方程式 $S=f(Q)$ を基本式として扱かうものであるが、このとき貯留方程式のパラメタは、予測対象の洪水でなく、過去の洪水資料によって解析しておき、予測対象の洪水時には、これを固定しておく一方、水文学方程式において、到達面積雨量(R) と流出係数(F) とを用いて $I=F \cdot R$ とかけるものとし、先ず現在時刻(T) で得られる流出量(Q_T)を用いて F_T を逆算し、適当なn時間の移動平均 $G_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{T-i}$ によって、ノイズを除去した流出係数を得、次いで予測時間にわたる予想流入量(I_Y) を予想到達面積雨量(R_Y) を使って $I_Y = G_T \cdot R_Y$ として推定して予測流出量(Q_Y) の計算を行なう、実際ここでは、 $n=3$ としてGは3 時間の移動平均を使う。

さらにここで扱う到達面積雨量は、適当に分割された支流流域の面積雨量が、その貯留方程式による流出過程を経て流出地点に到達する流出量の支流流域面積加重平均の値とする、実際ここでは一つの対象流域を3つの支流流域に分割して、これを流出計算上の単位として扱う、これは一つの対象流域が、

- ① 本川上流支流流域、② 支川流域、③ 残支流流域 から成立つと考えることに相当する。もしより多くの支流流域に分割されるべき流域なら、この単位を累ねて実現されると考える。

以下具体的に、貯留方程式にプラサドモデルを使う場合と、その特殊な場合としてのナッシュモデル(2次)を使う場合とについて、この手法のアルゴリズムをのべる。

2 計算の基本式と計算方針

a) プラサドモデルの場合

基本式において、 K_1 、 K_2 、 P をモデルのパラメタとし、 $S=K_1 \cdot Q^P + K_2 \cdot dQ/dt$ を用い、単位時間 Δt で差分化して、

$$K_1 / (2 \cdot \Delta t) \cdot (Q_T^P - Q_{T-2}^P) + K_2 / (\Delta t^2) \cdot (Q_T - 2 \cdot Q_{T-1} + Q_{T-2}) + 1/4 \cdot (Q_T + 2 \cdot Q_{T-1} + Q_{T-2}) - 1/2 \cdot (I_T + I_{T-1}) = 0$$

この第3項までの部分を $\phi_1(Q_T)$ 、第4項を $F_T \cdot \phi_2(R_T)$ とかけるとして、この式を

$\phi(Q_T) \equiv \phi_1(Q_T) - F_T \cdot \phi_2(R_T) = 0$ としておく。計算は $\Delta t=1$ hr とし、流出量の計算はNewton 法による、即ち Q_T の試算値を Q_T^0 、改良値を Q_T^1 とし

$$Q_T^0 = Q_{T-1}^0 - \phi(Q_{T-1}^0) / \phi'(Q_{T-1}^0) \quad \text{この手続きを} \quad Q_T = \psi(Q_{T-1}, I) \quad \text{とかく。}$$

b) ナッシュモデルの場合

基本式において、 α をモデルのパラメタとし、 $S=2/\alpha \cdot Q + 1/\alpha^2 \cdot dQ/dt$ を用い、単位時間 $\Delta t=1$ hr について積分して、定差式にすると、(※ 新体系 土木工学 26 水文学 P175
土木試験所 月報 No323 P30 : 々No176 P6

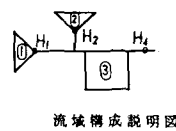
$$Q_T - 2 \cdot Q_{T-1} \cdot e^{-\alpha} + Q_{T-2} \cdot e^{-2\alpha} - I_T \cdot [1 - (1+\alpha) \cdot e^{-\alpha}] + I_{T-1} \cdot (1 - \alpha - e^{-\alpha}) \cdot e^{-\alpha} = 0$$

この式の第3項までの部分を $\phi_1(Q_T)$ 、以降の部分を $F_T \cdot \phi_2(R_T)$ とかけるとし、この式を

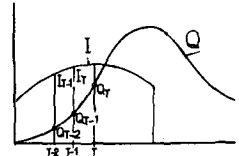
$$\phi(Q_T) - F_T \cdot \phi_2(R_T) = 0 \quad \text{としておく。流出計算は次式による、}$$

$$Q_T = 2 \cdot Q_{T-1} \cdot e^{-\alpha} - Q_{T-2} \cdot e^{-2\alpha} + I_T \cdot [1 - (1+\alpha) \cdot e^{-\alpha}] - I_{T-1} \cdot (1 - \alpha - e^{-\alpha}) \cdot e^{-\alpha} \quad \text{これを} \quad Q_T = \psi(Q_{T-1}, I) \quad \text{とかく。}$$

この場合は、a) の場合において $K_1=2/\alpha$ 、 $K_2=1/\alpha^2$ 、 $P=1$ とすれば、a) に吸収されるが、実際の計算に当たって、その精度、計算速度、計算機の使用メモリ数などで有利さをもっている。



記号説明



3 アルゴリズム

a) T時における F_T と G_T の計算

2. a) , b) いずれの場合も、 $F_T = \Phi_1(Q_T) / \Phi_2(R_T)$ によって F_T を得、 $G_T = 1/3 \cdot (F_T + F_{T-1} + F_{T-2})$ から G_T を得る。

$$\text{ここに } Q = a_i \cdot (H_i - b_i)^2 \cdot 3.6 / (\sum f \cdot A_{Ri}) \quad : R = \sum q_i$$

$$\text{ここに } q_i = \psi(q_i, i_i)$$

$$\text{ここに } \begin{cases} i_i = a_i \cdot (H_i - b_i)^2 \cdot 3.6 / (f \cdot A_{Ri}) & (\text{水位観測される流域の場合}) \\ i_i = r_i - R_{Li} & : \geq 0 \quad (\text{雨量観測される流域の場合}) \end{cases}$$

記号 i : 支流域の番号 ($i=4$ は予測地点を表はす)

a, b : 水位 - 流量換算式の係数

A_R : 支流域の面積

f : 流入係数

q : 支流域からの到達面積雨量

i : 支流域の有効面積雨量

r : 支流域の面積雨量

R_L : 支流域の損失雨量

b) Y時における予測水位 H_Y の計算

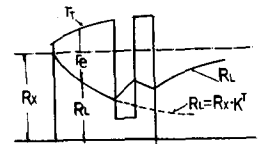
$$H_Y = \sqrt{Q_Y \cdot \sum f \cdot A_{Ri} / 3.6 / a_4} + b_4$$

$$\text{ここに } Q = \psi(Q, I)$$

$$\text{ここに } I = G_T \cdot \sum q_i$$

$$\text{ここに } q_i = \psi(q_i, i_i)$$

$$\text{ここに } \begin{cases} i_i = a_i \cdot (H_i - b_i)^2 \cdot 3.6 / (f \cdot A_{Ri}) & (\text{水位が予想される支流域の場合}) \\ i_i = r_i - R_{Li} & : \geq 0 \quad (\text{雨量が予想される支流域の場合}) \end{cases}$$



損失雨量の考え方

注) R_L は浸透能とした場合、最大浸透能を R_X , 最終浸透能を 0, その減衰定数と回復定数とも、同じく K として、

$$R_{LT} = R_{LT-1} \cdot K + R_X \cdot (1-K) \cdot (R_{LT-1} \cdot K - r_T) / (R_{LT-1} \cdot K)$$

から求めるも一計である。ここに右辺第2項は回復量を表はし、非負の条件を付けて扱う。

4 実績資料による試算

石狩川水系の月形地点と石狩大橋地点との、昭和36年、々37年、々50年8月、々50年9月、々56年の5洪水について、表1のように各地点毎のパラメタ、支流域の雨量代表地点などを固定して、ナッシュモデルの貯留方程式による試算を行なった、このとき①②の支流域が水位観測される場合と、雨量観測される場合との2様の取扱いをして、前者の場合を（H-H法）、後者の場合を（r-H法）と名付けてその数例を図-1に、またそれぞれの計算における予測値と実績値との差の自乗平均の平方根（ $\sqrt{\bar{e}^2}$ ）と予測時間（Y）との関係を図-2に掲げた。（図-1はY=6まで、図-2はY=7までプロットしたなお、図中T 50 8 23 H-Hと記したのは、月形地点・昭和50年・8月・23日洪水をH-H法で、

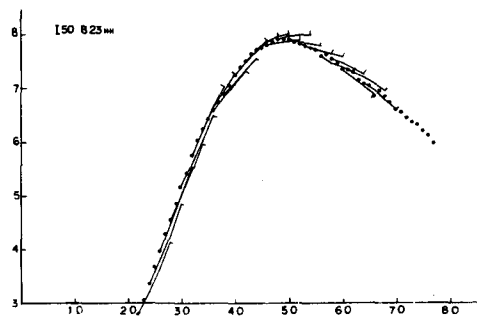
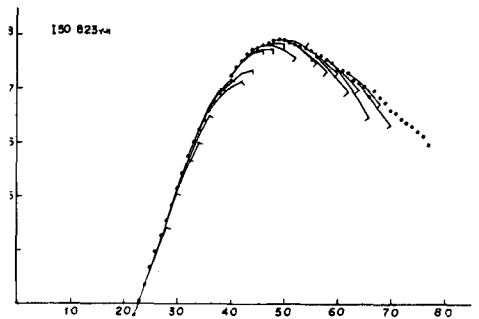
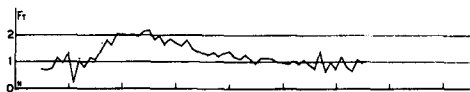
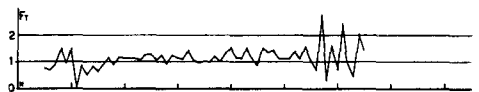
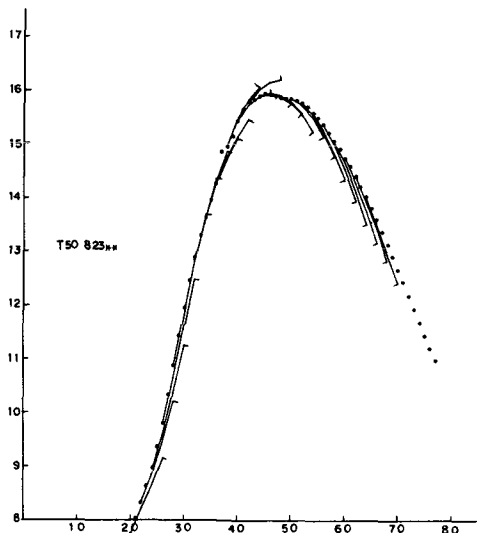
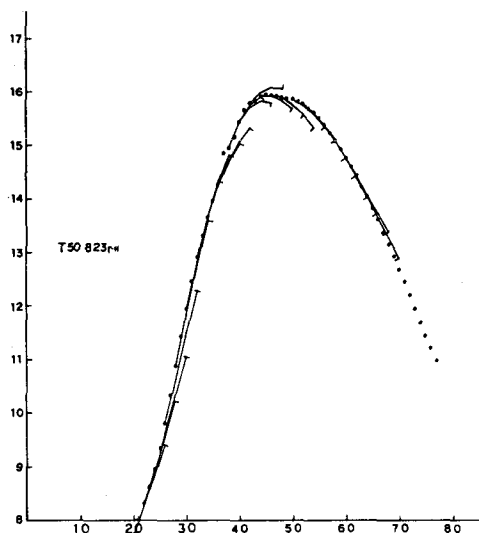
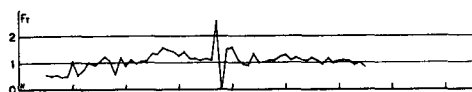
I 56 8 4 r-Hとあるのは、石狩大橋の、昭和56年・8月・4日洪水をr-H法で計算したことを表はし、以下同様である。）

一方石狩川水系の治水事業は、これら資料が発生した約20年間に大きな進捗を遂げ、河状も変わってきているから、古い時期の洪水と新しいものとの間には、水理・水文上のパラメタも変遷しているはずであり、これを合理的・系統的にとらえる検討が次の課題であり、さらに洪水時にその洪水の短時間の変動を同定して予測精度を高めめる検討も残されている。

なお表-1、下半部2欄のパラメタは十勝川水系の2地点について、昭和56年8月洪水だけについて試算を開始した段階のもので、両地点の貯留方程式のパラメタも固定してあるが、予測6時間目の推定差（ $\sqrt{\bar{e}^2}$ ）は共に20cm前後であった。

表-1 使用したパラメタ

地点名	面積	H-Q 換算式	f_i	RLx	RLy	K	上-H 法による 雨量地点名	上-H 法による 雨量地点名	下-H 法による 雨量地点名	下-H 法による 雨量地点名
月形	9300	$Q=38.6(H-2.75)^2$	0.7	-	-	-	旭川	0.05	橋本町	0.5
橋本流域	5700	$Q=73.75(H-18.5)^2$	0.6	-	-	-	富良野	0.1	赤平	1
赤平流域	2530	$Q=36.65(H-38.9)^2$	0.5	-	-	-	厚川	0.2	(厚川厚川)	0.3
神流流域	1070									
石狩大橋	11500	$Q=91.61(H-10.0)^2$	0.7	-	-	-	石狩沼田	0.05	月形	0.3
月形流域	9300	$Q=38.6(H-2.75)^2$	0.6	-	-	-	岩見沢	0.1	清幌橋	1
清幌流域	1100	$Q=43.03(H-9.6)^2$	0.5	-	-	-	長沼	0.2	(西ノ長沼)	0.2
神流流域	1100									
第二大川橋	580	$Q=142.94(H-10.0)^2$								
本川上流	290		1	20	15	0.9	戸高別	0.1		
支川流域	230		1	20	15	0.9	岩内仙峽	0.5		
神流流域	60		1	20	15	0.9	第二大川橋	0.6		
牙重太	1289	$Q=176.08(H-59.3)^2$								
本川上流	859		1	20	15	0.9	しか道	0.1		
支川流域	385		1	20	15	0.9	佐幌岳	0.5		
神流流域	303		1	20	15	0.9	牙重太	0.6		



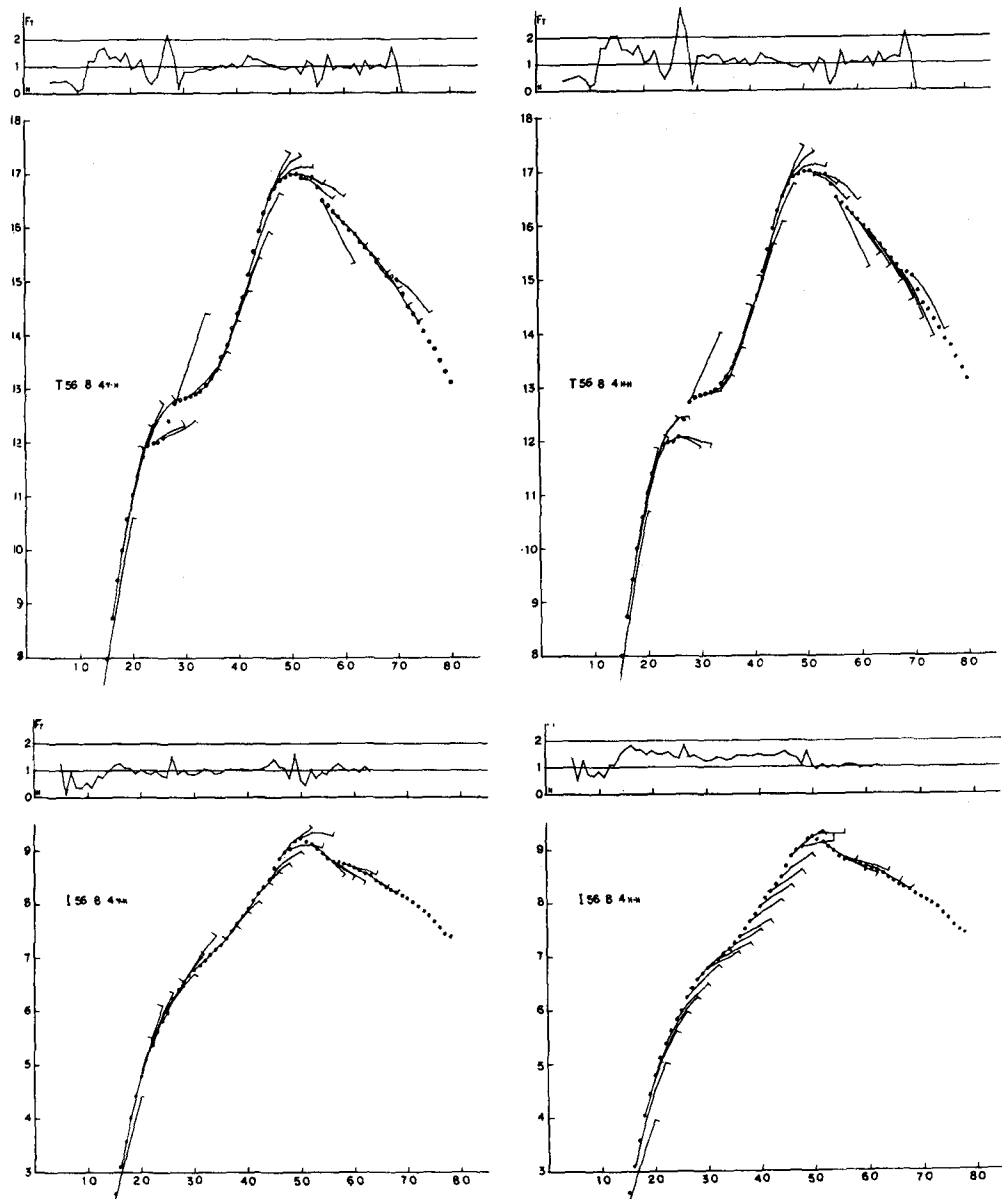


图 1 - 2

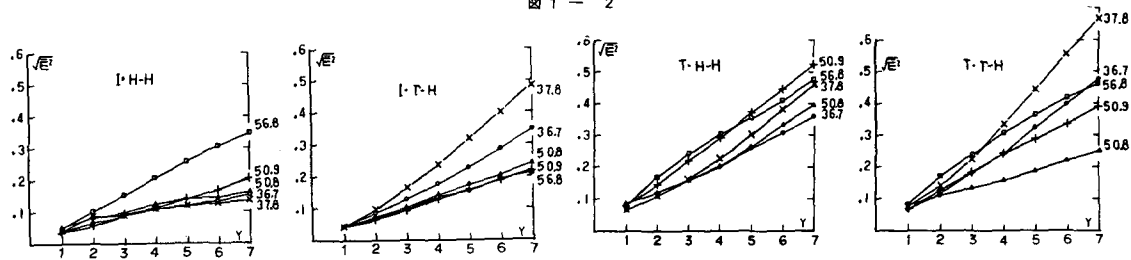


图 - 2 精度