

1. はじめに

☒ - 1

图-2

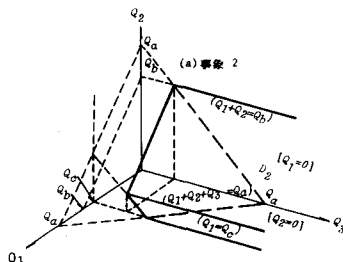
D_8 は表-1の(1)式で表わされる。 $c_1, c_2, \lambda_1, \lambda_2$ については観測データに乏しく最も危険側の1と仮定した。従って a地区で溢水する事象は D_2, D_4, D_6, D_8 であり、これを図示したものが図-3である。 Q_1, Q_2, Q_3 の同時生起確率密度関数を $P(Q_1, Q_2, Q_3)$ とすると、「a地区における溢水事象の生起確率」 P_a は次式のように表わせる。

事象	c	b	a	溢水 領域を示す条件式 (1)		
1)	○	○	○	$D_1: Q_1 \leq Q_c$	$\lambda_1 Q_1 + c_1 Q_2 \leq Q_b$	$\lambda_2 (\lambda_1 Q_1 + c_1 Q_2) + c_2 Q_3 \leq Q_a$
2)	○	○	×	$D_2: Q_1 \leq Q_c$	$\lambda_1 Q_1 + c_1 Q_2 \leq Q_b$	$\lambda_2 (\lambda_1 Q_1 + c_1 Q_2) + c_2 Q_3 > Q_a$
3)	○	×	○	$D_3: Q_1 \leq Q_c$	$\lambda_1 Q_1 + c_1 Q_2 > Q_b$	$\lambda_2 Q_b + c_2 Q_3 \leq Q_a$
4)	○	×	×	$D_4: Q_1 \leq Q_c$	$\lambda_1 Q_1 + c_1 Q_2 > Q_b$	$\lambda_2 Q_b + c_2 Q_3 > Q_a$
5)	×	○	○	$D_5: Q_1 > Q_c$	$\lambda_1 Q_c + c_1 Q_2 \leq Q_b$	$\lambda_2 (\lambda_1 Q_c + c_1 Q_2) + c_2 Q_3 \leq Q_a$
6)	×	○	×	$D_6: Q_1 > Q_c$	$\lambda_1 Q_c + c_1 Q_2 \leq Q_b$	$\lambda_2 (\lambda_1 Q_c + c_1 Q_2) + c_2 Q_3 > Q_a$
7)	×	×	○	$D_7: Q_1 > Q_c$	$\lambda_1 Q_c + c_1 Q_2 > Q_b$	$\lambda_2 Q_b + c_2 Q_3 \leq Q_a$
8)	×	×	×	$D_8: Q_1 > Q_c$	$\lambda_1 Q_c + c_1 Q_2 > Q_b$	$\lambda_2 Q_b + c_2 Q_3 > Q_a$

○: 河道疎通 ×: 河道溢水破堤

表-1

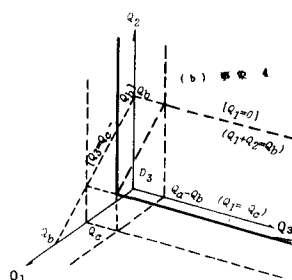
$$P_a = \iiint_{D_2+D_4+D_6+D_8} P(Q_1, Q_2, Q_3) dQ_1 dQ_2 dQ_3 \quad \dots\dots\dots (2)$$



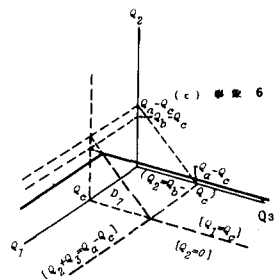
$P(Q_1, Q_2, Q_3)$ の評価方法としては、年最大日雨量の生起確率分布を求め、それと日雨量と洪水ピーク流量の平均的關係式 $Q=kR$ より決定する方法を採った。年最大日雨量 $R(mm)$ の生起確率分布は(3)式の対数正規分布に従い、標準正規分布への変換量として(4)式の Z_n を用いる。

$$f(R) = \frac{1}{(R-a)\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(R-a)-\mu}{\sigma}\right)^2\right\} \quad \dots\dots(3)$$

$$Z_n = \frac{1}{\sigma} \ln\left(\frac{R-a}{e^\mu}\right) \quad \dots\dots(4) \quad a: \text{ロケーションパラメータ} \\ \mu: \text{平均} \quad \sigma^2: \text{分散}$$



石狩川のケース スタディでは、旭川、月形、岩見沢、幌加内、芦別、夕張、雁来の7地点における降雨記録による各地点の分布パラメータを採って得られた変換量 Z_n を用いた。また、ピーク流量 Q と日雨量 R の關係は、各雨量地点の近傍の流量観測所の過去の洪水記録から、図-4が得られ、流量観測所地点での降雨・流量係数 k を決めた。決定された k 値と集水面積 Ar との關係が、図-5に示される。この図によって3次元水系モデルで使用する各計算グループの集水域 I、II、III に対応する k_1, k_2, k_3 を決めた。 Q_1, Q_2, Q_3 の規準化変量 x_1, x_2, x_3 の同時生起確率密度関数を $P(x_1, x_2, x_3)$ として次式で計算した。

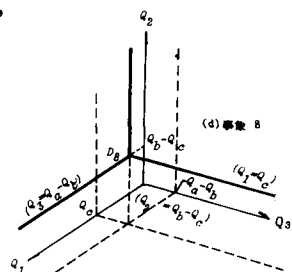


$$P(x_1, x_2, x_3) = (2\pi)^{-\frac{3}{2}} \cdot (1 + 2\rho_1\rho_2\rho_3 - \rho_1^2 - \rho_2^2 - \rho_3^2)^{-\frac{1}{2}} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2}\right.$$

$$\left. \frac{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - 2(\rho_1 - \rho_2\rho_3)x_1x_2 - 2(\rho_2 - \rho_3\rho_1)x_2x_3 - 2(\rho_3 - \rho_1\rho_2)x_3x_1}{1 + 2\rho_1\rho_2\rho_3 - \rho_1^2 - \rho_2^2 - \rho_3^2} \right\}$$

..... (5)

図-3



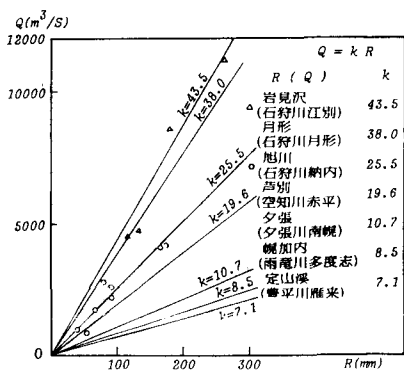


図-4

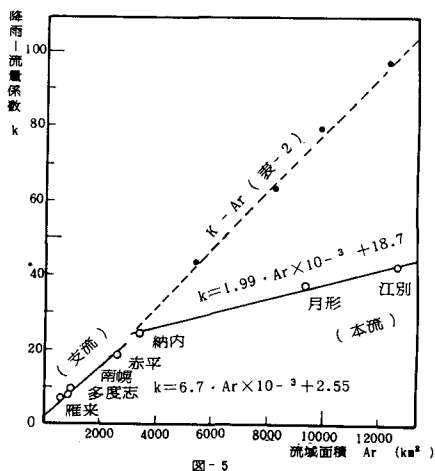


図-5

3. 多次元水系逐次モデル(図-6)による検討

石狩川中下流部 A~J(図-1)に対応する多次元水系モデルは図-6に示され J, I, ..., B, A の連続した防災地区を対象として、上流地区より逐次計算が進められる。各地区の流下能力を $Q_j, Q_i, \dots, Q_b, Q_a$ とし、 $Q_{01}, Q_{02}, \dots, Q_{09}$ を各流域 I, II, ..., IX からのピーク流量とし、 $Q_{12}, Q_{23}, \dots, Q_{910}$ をそれぞれ I, II, ..., IX 地区へ流入するピーク流量とする。 $c_1, c_2, \dots, r_1, r_2, \dots$ などについては3次元水系モデルと同様に 1 と仮定する。J地区を考え、 Q_{01} の生起確率密度関数を $f_1(Q_{01})$ とすれば、J地区から流出する Q_{01}' は (6) 式になる。

$$Q_{01}' = \begin{cases} Q_{01} & (Q_{01} \leq Q_j) \\ Q_j & (Q_{01} > Q_j) \end{cases} \quad \dots (6)$$

Q_{01}, Q_{02} の生起確率密度関数を $f_1(Q_{01}), f_2(Q_{02})$ とすれば、I地区へ流入する Q_{12} 、及び $f_1(Q_{01})$ は、

$$Q_{12} = Q_{01}' + Q_{02} \quad \dots (7) \quad f_1(Q_{01}') = f_1(Q_{12} - Q_{02}) \quad \dots (8)$$

Q_{01} と Q_{02} が独立であると仮定して、 Q_{12} の生起確率密度関数 $F_2(Q_{12})$ は、

$$F_2(Q_{12}) = \int_0^{Q_{12}-Q_{01}'} f_1(Q_{12}-Q_{02}) \cdot f_2(Q_{02}) dQ_{02} \quad \dots (9)$$

従って、I地区での氾濫生起確率 P_i は、

$$P_i = \int_{Q_i}^{\infty} F_2(Q_{12}) dQ_{12} \quad \dots (10)$$

I地区から流出する Q_{12}' の生起確率密度関数 $f_2(Q_{12}')$ は

$$f_2(Q_{12}') = \frac{1}{1-P_i} F_2(Q_{12}) \quad (0 \leq Q_{12}' \leq Q_i) \quad \dots (11)$$

と表わされ、この $f_2(Q_{12}')$ を用いて II地区の氾濫生起確率が求められ、以下順次、各地区の氾濫生起確率を求めることができる。

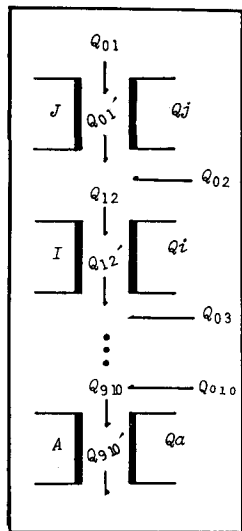


図-6

	多次元水系		3次元水系	
	Q_n	k'	Q_1	k_1
J	1450	25.7	1420	25.7
I	2750	44.2	1640	29.7
H	4000	64.2	1940	35.1
G	4250	68.2	1990	36.0
F	4600	72.9	2570	36.8
E	4800	77.9	2610	37.4
D	5150	82.7	2670	38.3
C	6100	98.0	2870	43.2
B	6500	104.4	3030	45.6
A	6550	105.2	3100	46.7

表-2

このモデルを使って深川地点から 河口までの 125km区間を10区分した石狩川の各地区に流入するピーク流量の生起確率密度分布を求め、その分布形の平均値を表- 2に示す。k' 値は各分布形の平均値から、3次元水系モデルで用いた各地区のピーク流量 Q_i の平均値と k 値の係数に準じて推定した。この k' 値を図- 5に図示すると、k' - Ar線は支流の k - Ar線の上に重なり、Arが大きくなる(下流に進む)に従って、k と k' の差が大きくなる。これは主として本流における流下に伴う洪水ピーク流量の低減の無視によるものと推測される。例えば下流の江別地区における k' 値は、同地点における水文観測資料から、得られた k 値の約 2倍となっていて、3次元水系モデルを越える多次元水系モデルを用いることは適当ではないと思われる。

4. 被害関数

溢水破堤に伴う堤内地の被害は直接的にはその浸水域の土地利用状態などによって影響を受ける。ここでは、直接的被害のみを採り上げ、被害推定額の経済調査資料を用いて 被害関数 ((12) 式) の係数 α, β を決めた。この式は氾濫地域の被害は溢水流量の増大と共に大きくなり、溢水流量が極めて大きくなると、被害額は一定の額に漸近するとして採られたものである。

$$g(Q)=\alpha \cdot \{1- \exp(-\beta \cdot Q)\} \dots (12)$$

α, β : 各地区毎に 被害額資料で決められる係数
 Q : 溢水流量 (洪水ピーク流量と流下能力の差)

5. 洪水災害危険度の評価式

3次元水系モデルにおける、洪水ピーク流量の生起確率密度関数と被害関数を用いて、「a地区での洪水災害危険度 I_a 」を次式で算定する。

$$I_a= \int \int \int g(Q_{123}-Q_a) \cdot P(Q_1, Q_2, Q_3) dQ_1 dQ_2 dQ_3 \dots (13)$$

$D_2+D_4+D_6+D_8$

6. 石狩川各地区における氾濫生起確率の算定と考察

石狩川中下流の約 125km区間を10区分した各地区の平均流下能力を表- 3に示す。これを用いて試算した結果が図- 7である。図- 7の注における3次元モデル、2次元モデル、1次元モデルは、それぞれ対象地区から直上流2地区までの溢水を考慮する場合、1地区までの溢水を考慮する場合、及び上流地区の溢水を考慮しない場合の氾濫生起確率を示したものである。概ね、3次元水系モデルが最も大きな P 値を示すが、オーダー的に問題はない。

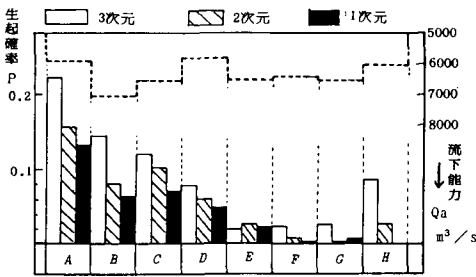


図- 7

また、図- 8に示されるとおり、直上流 2地区以内に大きな支流の流入する A,B,C,H地区では、3次元モデル、2次元モデルによる計算値の差、あるいは 2次元モデル、1次元モデルによる差が比較的大きい。大きな支流のない D,E,F,G地区では、それらの差が比較的小さい。従って直上流に大きな支流の流入のある対象地区の氾濫生起を評価するには、3次元水系モデルを用いる方が安全であるといえる。しかし、大きな支流の合流がない地区では、1次元水系モデルで十分といえる。なお、P値の差が大きくなる原因には支流の合流率 c、あるいは地区内流下低減率 λ の値を危険側に 1とした影響と考えられる。本流における k 値で流下に伴う洪水ピーク流量の低減を考慮していることと、上流 2地区での溢水を考慮しているこ

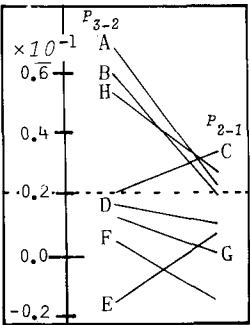


図- 8

とを考えると、オーダー的にも変わらないので危険度の評価は危険側を採るという意味でも 3次元水系モデルの採用は妥当であろう。

7. 石狩川各地区における洪水災害危険度の評価と考察

(公称流下能力と実績流下能力 (昭和56・8) の比較)

石狩川各地区における溢水氾濫の生起確率 P と危険度 I の計算結果を図- 9,10に示す。図- 9では各 5km区間毎に河川横断面から堤防の余裕高を考慮して、等流計算で算定した公称能力を用いている。図- 10は昭和56年8月3～6日洪水時の実測流量 (橋本, 月形, 岩見沢大橋, 石狩大橋)³⁾から推定した実績流下能力を用いた。 β はそれぞれの流下能力を入れて計算された (表- 3,4)。

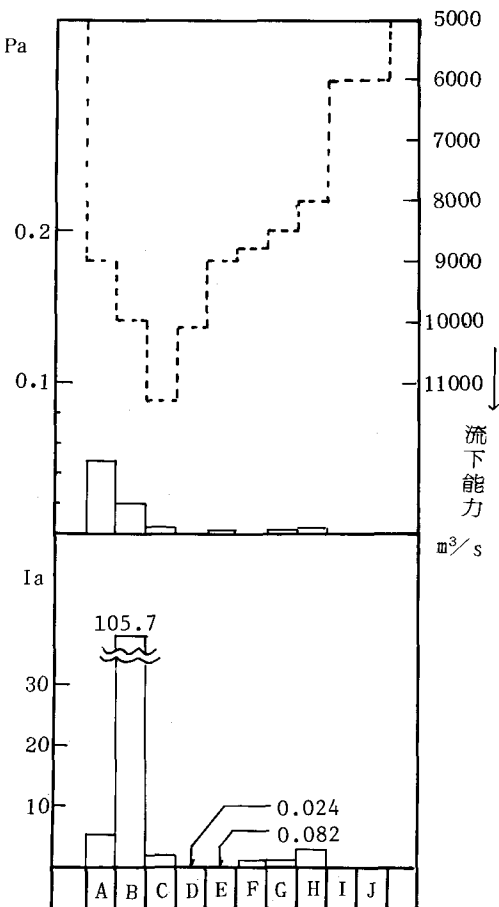
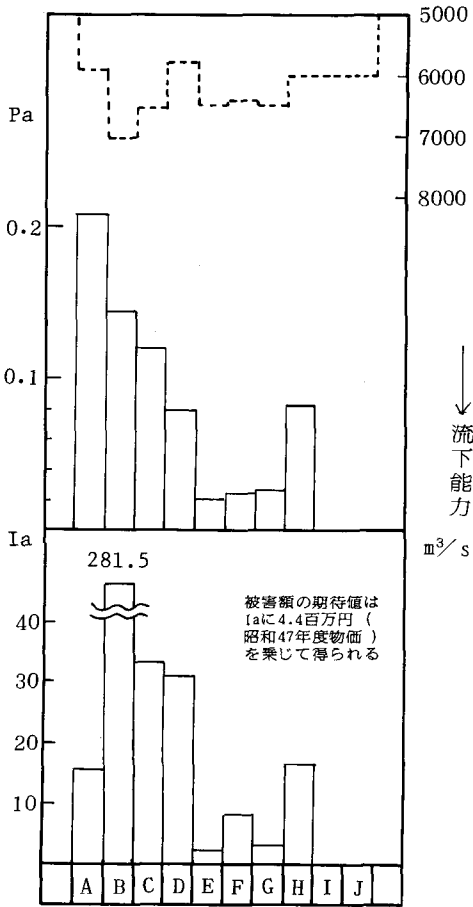
図- 9と図- 10を比較すると洪水流下能力が大きくなると P , I 値両者共、小さい値となるのは当然のことだが、昭和56年8月洪水で溢水破堤した C地区 (江別) では、流下能力が 6550 m^3/s から 11300 m^3/s に向上して、危険度 I_c は、約1/15、氾濫生起確率 P_c は、約1/60に減少している。 I の減少率の小さい地区でも約1/2となっている。

公称		
	α	β 流下能力
	$\times 10^2$	$\times 10^{-2}$
A	2	0.35 5900
B	100	0.35 7050
C	20	0.20 6550
D	15	0.40 5800
E	10	0.45 6500
F	25	0.60 6400
G	12	0.80 6500
H	8	0.30 6000
I	9	0.25 6000
J	7	0.20 6000

表- 3

実績 (昭和56・8)		
	α	β 流下能力
	$\times 10^2$	$\times 10^{-2}$
A	2	1.00 9000
B	100	1.00 10000
C	20	1.00 11300
D	15	1.00 10100
E	10	0.65 9600
F	25	0.75 8800
G	12	0.90 8500
H	8	0.50 8000
I	9	0.25 6000
J	7	0.20 6000

表- 4



これは、実際の河川の流積(治水施設)の計画上の安全率が、かなり高いことを示している。なお、A地区の氾濫生起確率が他の地区と比較してかなり大きく出ているが、これは流下能力が比較的小さいためであろう。また、豊平川の合流は本流のピーク時より早い場合が多く、また、支流の内水氾濫も多いので、実際の外水氾濫の生起確率は、本計算値より低いであろう。B地区で危険度が大きいのは、経済指標である α が非常に大きい(札幌)都市区域の一部であるからである。都市地区が、農村地区に比較して大きな危険度を持つことも図-9,10より明らかである。

流域Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ間の相関係数 $\rho_{12}, \rho_{23}, \rho_{31}$ の効果も重要であるが、この流域は充分広いので $\rho=1$ ということではなく、また、 ρ が小さくなるほどI,Pは小さくなるので、本論文ではすべて $\rho_{12}=\rho_{23}=\rho_{31}=0.5$ として計算している。

8. むすび

石狩川中,下流の各地区における洪水氾濫災害の危険度評価の一方法として、3次元水系モデルによる被害額の期待値を採ったが、この方法は直上流2地区の氾濫を考慮しており、既に暫定断面であっても信頼される堤防が連続している氾濫箇所の少ない河川では有用な方法であると考えられる。

石狩川の場合、深川地点から連続的に多次元水系逐次モデルで計算した各地区の洪水ピーク流量が対応する各地区における水文観測資料によるピーク流量よりもかなり大なる値を示し、流下に伴うピーク流量の低減なしに計算することが無理なことが判った。一方 現存の石狩川の治水施設では連続3地区以上の溢水はないものと考えても妥当なので、3次元水系モデルで十分だったと考える。

また、直上流2地区で大きな支流が合流する地点では3次元水系モデルが必要であり、大きな支流が合流しない地区では1次元、または2次元水系モデルでもよいことが判った。

大きな支流の流入する地域で合流はピーク時刻を同一とするなど危険側の計算をしたため、3次元水系モデルが2次元水系、1次元水系モデルより大きな危険度を示している。

都市化された地域の方がより危険度が高く、また地域の開発が進むと、それに伴って危険度が大きくなるが、これは主として α 係数によって影響される。また、流下能力が大きくなると危険度が大幅に減少することは Q^B によるもので、ケース・スタディでは'81年8月の既往最大洪水による実績流下能力を採った場合、危険度の減少には流下能力の増加率の数倍の効果があることが判る。公称流下能力ではまだ危険度が高く十分な治水施設とは言えないが、実績の流下能力では一部を除いては、適切な治水効果を挙げているものと評価される。

この危険度評価法についての今後の問題点としては、各流域降雨間の相関係数を $\rho=0.5$ とし、 c, λ などの係数をすべて危険側に1としているが、これらの観測資料による補正は非常に困難なことだが、必要と考えられる。

なお、本研究は昭和56年度文部省科研費(自然災害特別研究(1)402006 研究代表者:東大,高橋 裕教授)の分担研究の一部である。

参考文献

- 1) 山岡 勲・藤田 睦博・嵯峨 浩: 大河川に関する危険度評価法(石狩川, 2次元水系モデル), 洪水災害危険度の評価法に関する研究(高橋 裕編) - 中間報告 - (上巻), 昭和56年3月。
- 2) 北海道開発局石狩川開発建設部: 石狩川治水経済調査報告書(その1, その2), 昭和48年。
- 3) 北海道開発局: 北海道における昭和56年夏期出水の概要, 昭和56年10月。