303－2　　上流域の変化に伴う水害危険度増加の評価法について　　355 α

九州大学　工学部　正　平野　宗夫
九州大学　工学部　学○富永　英治
九州大学　工学部　学　山下　正寛

1、まえがき

河川改修、内水排除などの治水工事は、いうまでもなく堤内地の水害に対する安全性を向上させるために行われるものであるが、反面、それは下流における流量負荷を増し、水害の危険度を増大させるおそれがある。したがって、河川のある地点で治水事業を考える場合には、治水の便益だけでなく、それに伴う下流の危険度の増大というデメリットをも正しく評価した上で実行する必要がある。もちろん、大規模な治水事業においては、上下流一貫して計画されるから、これらの点は考慮ずみであろう。ここでは、排水機場のような小規模の工事が下流改修の完成に先行する場合の、デメリットの評価法と、それによるシミューレーションの結果について述べる。

2、被害増加額の評価法

ある地域における水害は、洪水の規模、継続時間、発生の季節や時間等の水理水文的諸量によって変化するがこれらについての確率を考察することにより、一応、洪水被害額 S はピーク流量 Q の関数とみなすことができる。したがって、洪水被害額の期待値は次式で表わされる。

$$E[S]=\int_0^\infty P(Q)S(Q)f(Q)\,dQ \qquad (1)$$

ここに、$P(Q)$は破堤確率、$f(Q)$は Q の確率密度関数である。ここで上流の開発やポンプ場などにより流量が ΔQ だけ増加し、そのために被害額が ΔS だけ増加するとすると、ΔS の期待値は、

$$E[\Delta S]=\int_0^\infty\int_0^\infty P(Q+\Delta Q)S(Q+\Delta Q)f(Q,\Delta Q)\,dQ\,d\Delta Q-\int_0^\infty P(Q)S(Q)f(Q)\,dQ \qquad (2)$$

となる。ここに、$f(Q,\Delta Q)$は Q と ΔQ の結合確率密度関数である。上式をいくつかのケースに適用してみる。

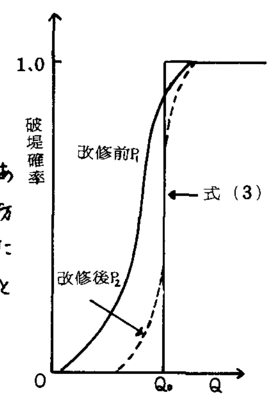
(1)堤防改修の効果

通常の河川堤防は越流に対して弱いから、破堤確率は流下能力 Q_0 より大きい流量に対して1，それ以下の流量に対して0とすることが多く、

$$P(Q)=u(Q-Q_0) \qquad (3)$$

と表わしている。ここに、$u(x)$はステップ関数 ($x<0$：$u(x)=0$, $x\geq 0$；$u(x)=1$) である。しかし、実際には、先年の長良川の破堤の例からも明らかなように、一般の堤防は流下能力以下の流量でも破堤する確率を有するものと考えられる(図-1,参照)。したがって、護岸などの施工により堤防が補強された場合には、流下能力は変わらなくとも、破堤確率は減少するから(図-1)、その工事による経済効果は、式(1)より、

$$E[\Delta S]=\int_0^\infty\{P_2(Q)-P_1(Q)\}S(Q)f(Q)\,dQ \qquad (4)$$



図－1

と表わすことができる。ここに、P_1，P_2はそれぞれ改修前後の破堤確率である。このように、流下能力以下の破堤確率を想定することにより、堤防の補修工事の投資効果を評価することが可能になる。

(2) $\Delta Q=const$ の場合

上流に排水機場が設置されると一定流量が付加されることになる。このような場合について、$P(Q)$が式(3)で与えられるものとすると、式(2)より被害増加額は、

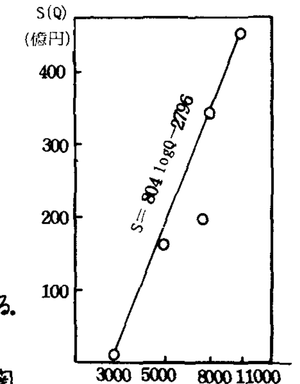
$$E[\Delta S]=\int_{Q_0-\Delta Q}^{\infty}S(Q+\Delta Q)f(Q)dQ-\int_{Q_0}^{\infty}S(Q)f(Q)dQ$$

$$=\int_{Q_0-\Delta Q}^{Q_0}S(Q+\Delta Q)f(Q)dQ+\int_{Q_0}^{\infty}\{S(Q+\Delta Q)-S(Q)\}f(Q)dQ \qquad (5)$$

$\Delta Q \ll Q$の場合には、上式は簡単になり、

$$E[\Delta S]=\Delta Q S(Q_0)f(Q_0)+\Delta Q\int_{Q_0}^{\infty}\frac{dS}{dQ}f(Q)dQ \qquad (6)$$

となる。上式右辺第一項は、ΔQが加ったために破堤が発生することによる被害、第2項は、流量がΔQだけ増加したことによる被害の増加額を表わしている。

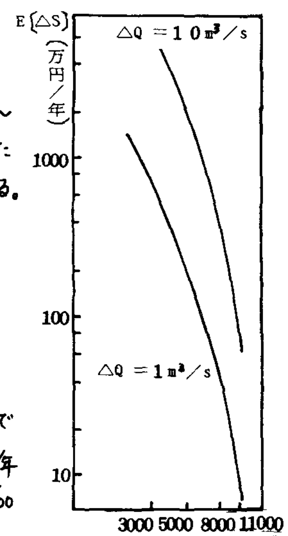


図－2

(3) $\Delta Q = g(Q)$ の場合

上流における開発や河川改修などによる流量の増加は、近似的に流量のみの関数として表わすことができよう。式(2)(3)より$g(Q) \ll Q$の場合には同様にして、

$$E[\Delta S]=g(Q_0)S(Q_0)f(Q_0)+\int_{Q_0}^{\infty}g(Q)\frac{dS}{dQ}f(Q)dQ \qquad (7)$$



図－3

3、数値的検討

上記の計算式を$S(Q)$が求められている河川に適用して数値的に検討する。S～Qの関係は図－2のようであり、これより$S=804\log_{10}Q-2796$(億円)とする。また$f(Q)$は標準偏差$\log\sigma=0.22$、平均$\log Q_m=3.52$の対数正規分布として与えられている。

(1) $\Delta Q = const$ の場合

$x \fallingdotseq \log Q$ とおいて式(6)を書きかえると、

$$E[\Delta S]=\Delta x S(x_0)f(x_0)+\Delta x\int_{x_0}^{\infty}\frac{dS}{dx}S(x)f(x)dx \qquad (8)$$

ここに、$\Delta x=\log(1+\Delta Q/Q_0)$, $x_0=\log Q_0$ である。

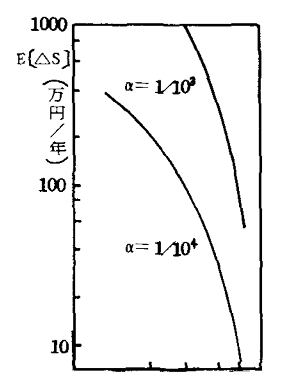
以上によりΔSの期待値を求めると図－3のようであり、現状($Q_0=3000$㎥/s)では$\Delta Q=1$㎥/sに対して700万円/年の被害増加、$\Delta Q=10$㎥/sとすると7000万円/年もの被害増加となる。しかし、Q_0を大きくすると$E[\Delta S]$は急激に減少し、確率1/100の11000㎥/sにすると、$\Delta Q=1$㎥/sに対して7万円/年程度に減少する。したがって、上流に排水機場を設置する場合には、下流の改修が完成するまでは下流の流量がQ_0をこえるとポンプの運転を中止する等の措置が必要であると考えられる。

(2) $\Delta Q=\alpha Q$の場合

式(7)において$g(Q)=\alpha Q$とし、(1)と同様の条件を適用すると

$$E[\Delta S]=\alpha_x S(x_0)f(x_0)+\alpha_x\int_{x_0}^{\infty}\frac{dS}{dx}S(x)f(x)dx \qquad (9)$$

ここに、$\alpha_x=\log(1+\alpha)$である。これを図示すると図－4のようになり、図－3と同様の結果がえられるが、Q_0の増加にともなう$E[\Delta S]$の減少の割合は$\Delta Q=const$の場合より小さい。したがって、開発等により下流の流量負荷を増大させることには、大きなデメリットを伴うことになる。



図－4