

九州大学工学部 正 員 平野宗夫

九州大学工学部 正 員 森山聡之

九州大学工学部 学生員 ○石川正己

1. まえがき

堤防の破壊原因としては、越流、漏水、表水面の洗掘などがあるが、中でも越流が破壊原因の大部分を占めているため、従来の治水効果などの算定は、越流したら破壊し、越流しない場合は破壊しないという前提のもとになされている。しかし、実際には越流しても短時間の場合には破壊しないことが多いし、また、越流しなくても先年の長良川や多摩川の例のように継続時間が長いと破壊する場合がある。したがって、河川計画を考える場合には、流量だけでなくその継続時間も同時に考慮する必要がある。そこで、流量と継続時間の結合確率密度がどのように変化しているかを調べることにする。

2. 資料及び抽出方法

大分県大野川水系白滝橋地点における、1966年から1978年の13年間にわたる1時間おきの流量(%)を水文資料として用いた。抽出方法としては、①ある下限流量 Q_L を定め、それ以上の流量を全部抽出②各年の上位からM個までの流量を抽出の2つについて行った。 Q_L としては100, 500, 1000, 1500, 2000および2500(%)と、Mとしては、4, 10, 20, 30, 40および60個を採用した。継続時間は、図-1に示すように、ハイドログラフより各々の流量 Q に対して連続的にそれを超える時間 T を継続時間として求めた。

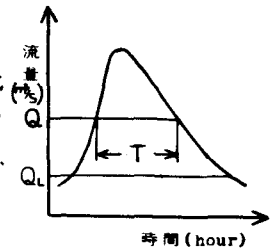


図-1

3. 解析

(1) 流量と継続時間の分布 流量は対数正規分布に従うことが一般に認められている。若井法により、対数変換式 $g = a \log \frac{Q+b}{Q_0+b}$ における定数 a, b, Q_0 を計算し、トーマスプロットによる適合性を調べると、図-2のようになり、ほぼ対数正規分布になることが認められる。同様に継続時間も対数正規分布になることが認められる。(図-3)
(2) 結合確率密度 流量と継続時間は独立ではなく、流量が小さいほど継続時間が大きく、流量が大きいほど継続時間が小さいことが予想されるので、相関係数 ρ を求めてみると表-1に示すようになり、流量と継続時間の間には相関があることがわかる。そこで、結合確率密度関数 $f(g, t)$ として2次元対数正規分布を考える。

$$f(g, t) = \frac{1}{2\pi\sigma_g\sigma_t\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left\{\left(\frac{g-\mu_g}{\sigma_g}\right)^2 - 2\rho\left(\frac{g-\mu_g}{\sigma_g}\right)\left(\frac{t-\mu_t}{\sigma_t}\right) + \left(\frac{t-\mu_t}{\sigma_t}\right)^2\right\}\right]$$

ここに、 $g = a \log \frac{Q+b}{Q_0+b}$, $t = a \log \frac{T+b}{T_0+b}$, $\mu_g = \frac{\sum g}{N}$, $\mu_t = \frac{\sum t}{N}$, $\sigma_g = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (g-\mu_g)^2}$, $\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (t-\mu_t)^2}$, $\rho = \frac{\frac{1}{N} \sum (g-\mu_g)(t-\mu_t)}{\sigma_g \times \sigma_t}$
 $\mu_g, \mu_t, \sigma_g, \sigma_t$ 等に表-1の値を代入して上式を図示すると図-4のようになる。

非毎年抽出

(N: データ数)

表-1

毎年抽出

Q_L	N	μ_g	σ_g	μ_t	σ_t	ρ
100	9093	-0.158	0.814	0.043	0.573	-0.269
500	815	-0.123	0.532	0.053	0.556	-0.326
1000	237	-0.094	0.498	0.042	0.598	-0.310
1500	113	-0.060	0.548	0.045	0.589	-0.530
2000	70	-0.049	0.504	0.051	0.571	-0.584
2500	51	-0.064	0.413	0.041	0.606	-0.561

M	N	μ_g	σ_g	μ_t	σ_t	ρ
4	52	-0.016	0.866	0.057	0.488	0.014
10	130	-0.075	1.662	0.068	0.465	-0.281
20	260	-0.102	1.242	0.071	0.475	-0.363
30	390	-0.115	1.536	0.060	0.523	-0.374
40	520	-0.132	1.868	0.060	0.524	-0.287
60	780	-0.204	3.172	0.056	0.542	-0.215

4. 結果と考察

①対数正規分布の適合性 流量については、 $M=4$ 個の場合、逆S字型になり対数正規分布が適用しがたい。非毎年抽出においては、流量の小さい方のplotting positionが直線からはずれているが、その他の部分では直線で近似できる。毎年抽出においても同様のことがいえる。継続時間については、ピーク流量と小さい流量に対応する継続時間のplotting positionを除くと直線で近似できる。

②相関係数について $M=4$ 個の相関係数+0.014は、危険率5%に対する相関係数の有意水準値0.28より小さい。その他の相関係数は有意水準値より大きくなっている。特に毎年抽出の $Q_L=1500, 2000$ および2500(%)に対する相関係数は大きくなっている。流量と継続時間には、負の相関があり、相関係数が大きい程、流量、継続時間とも対数正規分布に適合しているようである。

③標準偏差について 非毎年の流量については、 $Q_L=100$ (%)を除いた他の抽出量では0.41~0.55、毎年抽出では、抽出量によって大きく違っている。継続時間については、非毎年抽出では0.55~0.60、毎年抽出では0.45~0.55であり変化しない。

④結合確率密度関数を考える際には、毎年抽出量の方がよく、抽出量は、50個~100個ぐらいが適当であろう。抽出量によって標準偏差、相関係数はほとんど変わらない。

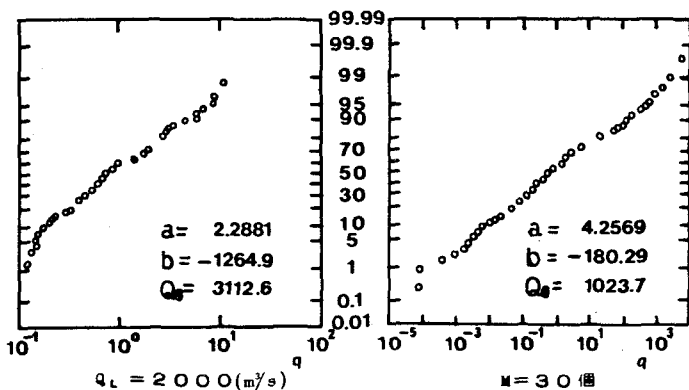


図-2 流量の分布

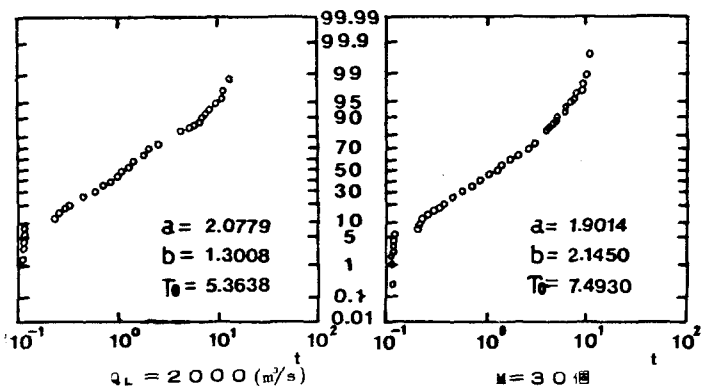
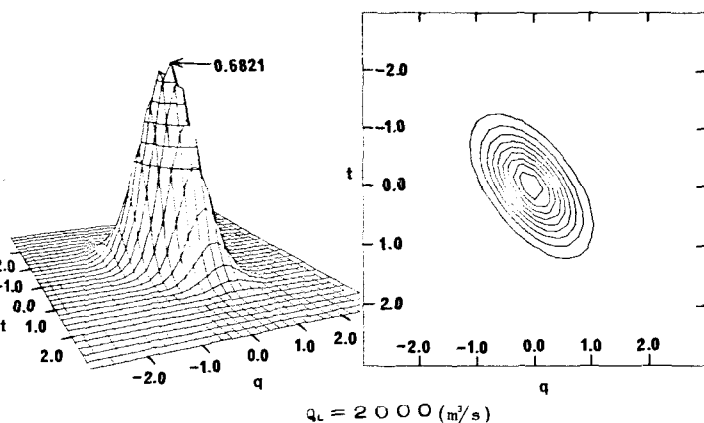


図-3 継続時間の分布



$f(q, t)$ の立体図

$f(q, t)$ の等高線図

図-4