

京都大学防災研究所 正員 石原 安雄
同 上 正員 ○友杉 邦雄

1. まえがき 今日、中小河川の治水計画では、雨量データの方が流量データに比して、数、質あるいは統計的特性の不变性の点等で優れているためか、所定の計画安全度(年超過確率)に相当するある適当な時間内の流域平均雨量(計画雨量)をまず定め、その雨量からなんらかの方法(既往の雨量時間分布パターンを用いた流出計算、あるいはラシュナル式を用いる方法等)で最大流量を算定し、それを計画高水流量としているようである。ところが、既往の各雨量の時間分布パターンが生起する確率や総雨量と短時間雨量との関係などに確率論的にあいまいな点がある。したがって、上記のようにしてえられた計画高水流量の年超過確率には不明な点が多く、計画安全度自体の意味もあいまいとなっているといえよう。われわれはこの問題を解決するために、特性曲線法により導かれた最大流量とその到達時間の関係、およびわれわれが最近研究している連続最大雨量配分率の確率分布を利用して、雨量の地域分布が無視できる場合について、雨量の確率分布が与えられたときに最大流量の確率分布を推定する方法を考えてみたのでここに報告する。

2. 予備知識 本報告では、流出の遅れに関する河道の効果が斜面のそれに比して小さく、かつ雨量の地域分布の影響を無視してもよいような流域(このような流域の面積は数100km²以下といわれている)を対象として論じるわけであるが、ここではまず最大流量と雨量を結びつける道具について簡単な説明をしておく。

(a)特性曲線法による結果: 上記のような流域(面積A)の直接流出の最大流量 Q_p は代表的斜面上端から観測点までの雨水の微小擾乱の伝播時間の最小値 t_{pc} (最大流量の到達時間)内の平均置換有効降雨強度を r_{mp} とすると、 $Q_p = r_{mp} \cdot A$ ……(1)と表わされる。また t_{pc} と r_{mp} の関係は $t_{pc} = B \cdot r_{mp}^{-1/4}$, ($B = KL^1$) ……(2)と表わされる。ここに、Kは粗度と斜面こう配に関するもの、Lは代表的斜面長、 p は $0 < p \leq 1$ なる指数で、マニングの抵抗則が成立する場合は $p = 0.6$ であって、それぞれ流域固有の定数である。

(b)連続最大雨量配分率の定義とその分布範囲: T時間雨量 R_T が与えられたとき、 t 時間連続最大雨量配分率 η_t は次式で定義される。 $\eta_t = \max(R_t)/R_T$ ……(3)。ここに、 $\max(R_t)$ はT時間雨量が R_T となる任意の1つのハイトグラフにおけるすべての t 時間連続雨量 R_t のうちの最大値である。ハイトグラフがあらゆる形状をとり得るとするとき、この η_t の分布範囲は t/τ の値域に1によって異なり、一般に下記のようになる。

$$1 \geq \eta_t \geq \frac{1}{n} \quad (\text{for } \frac{1}{n-1} > t/\tau \geq \frac{1}{n}) \quad \dots\dots (4)$$

ここに、 n は自然数で、 $n=1$ すなわち $t \geq T$ のときは $\eta_t=1$ である。なお、以下では η_t を簡単に y と書くことにする。

(c)連続最大雨量配分率の確率分布: 雨量配分の純ランダム性の仮定のもとにこの理論分布を求めてみたが、実測資料による経験分布との適合性はあまり良くなく、いまのところ経験分布を用いることになる。図-1は利根川上流約100地点の昭和11~34年の38洪水時の時間雨量記録より、1748 caseの12時間降雨を選び一つの標本集合として解析して得た y の累積分布 $F(y)$ の例である。この経験分布は1時間単位のハイトグラフに基づいているから、(b)で定義したものの分布とは厳密には異なるが、ほぼ近似できると考えられる。また標本のとり方も

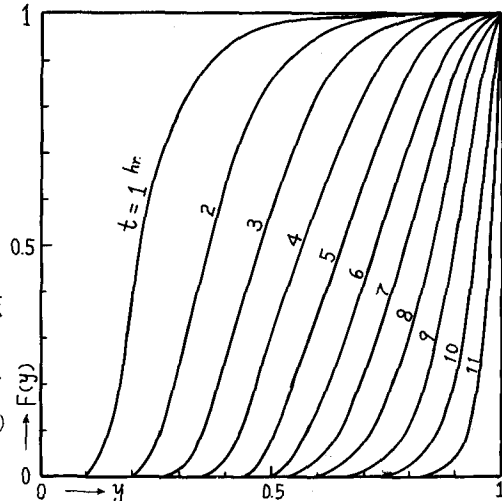
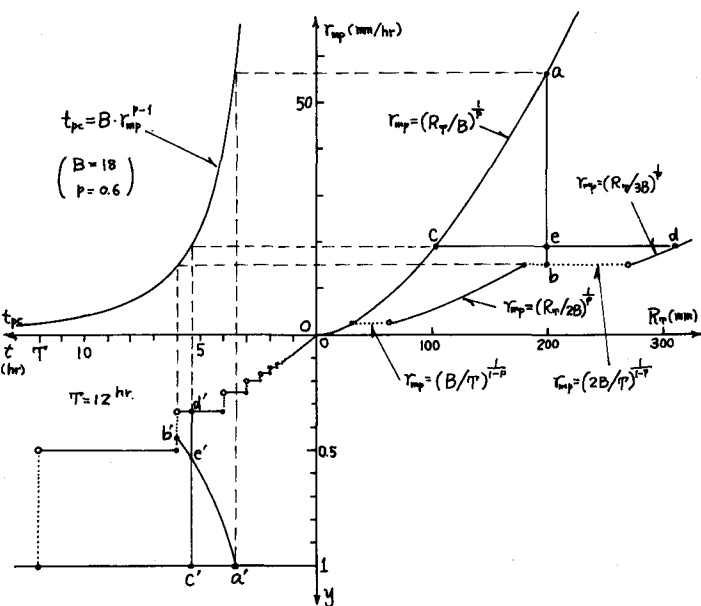


図-1

3. 雨量と最大流量の相対的分布範囲

問題の対象は比較的大きな降雨のピーク付近であるから、置換有効降雨と観測降雨の差は無視できるとする。(1)式より、最大流量のかわりに最大比流量 $q_p = Q_p/A = r_{mp}$ について考えればよいことがわかる。最大流量の発生条件を考えれば明らかのように、 t_{pc} 時間連続最大雨量 $\max(R_{t_{pc}})$ は $t_{pc} \times r_{mp}$ であるから、(3)式によって、 $t = t_{pc}$ に対して、 $y = t_{pc} \cdot r_{mp} / R_T$ ……(5)。これに(2)式を代入して、 $r_{mp} = (y R_T / B)^{1/n}$ ……(6)。

この式と(4)式を考慮して、 R_p , Y_{mp} , t_{pc}
(or t) およびりに関する共軸図をそれらの分



14-2

布範囲を明らかにすべく描くと図-2のようになる。ただし、この図は $p=0.6$, $B=18 (\text{mm}^2 \cdot \text{hr}^{0.6})$, $T=12 (\text{hr})$ とした例である。図中の R_T - Y_{mp} 平面に示した Y_{mp} 軸に平行な線分 $\overline{ab}$ はそのときの R_T の値に対する Y_{mp} の分布範囲を示し、同様に R_T 軸に平行な線分 $\overline{cd}$ はそのときの Y_{mp} の値に対する R_T の分布範囲を示す。そしてこれらの線分は Y - t 平面上ではそれぞれ $\overline{a'b'}$ および $\overline{c'd'}$ に対応する。したがって交点 e は e' に対応する。

4. 最大流量の確率分布の推定法

4. 最大流量の確率分布の推定法 目的は R_T の周辺分布が与えられたときに r_{mp} の周辺分布を求めることである。そこで、 R_T と r_{mp} の同時確率密度関数を $g(r_{mp}, R_T)$ 、 R_T および r_{mp} の周辺確率密度関数をそれぞれ $g_1(R_T)$ 、 $g_2(r_{mp})$ 、 R_T および r_{mp} の条件付確率密度関数をそれぞれ $g_{12}(R_T | r_{mp})$ 、 $g_{21}(r_{mp} | R_T)$ とすると、確率論の示すところにより、

$$g(r_{mp}, R_T) = g_1(R_T) \cdot g_{21}(r_{mp} | R_T) = g_2(r_{mp}) \cdot g_{12}(R_T | r_{mp}) \cdots \cdots (7) \text{ であり,}$$

$$g_1(R_T) = \int_0^\infty g(r_{mp}, R_T) dr_{mp} \dots\dots\dots (8), \quad g_2(r_{mp}) = \int_0^\infty g(r_{mp}, R_T) dR_T \dots\dots\dots (9) \text{ तब } g_1(R_T)$$

が既知であるから、 $g_{21}(r_{mp}|R_T)$ が y の確率分布を用いて計算できれば(7)式により $g(r_{mp}, R_T)$ が求まり、(9)式によって $g_2(r_{mp})$ を知ることができる。しかし y の確率分布は $t=t_{pc}$ が与えられたとする条件付のものであるので、これを用いて $g_{21}(r_{mp}|R_T)$ を直接計算することは、 r_{mp} と t_{pc} が(8)式によって1対1対応があるため、原理的に不可能である。すなわち、 $g_2(r_{mp})$ は直接的に計算することはできない。ただ、 $g_{12}(R_T|r_p)$ は y の確率密度関数 $f(y)$ を用いて比較的容易に計算でき、それは(6)式を考慮して、 $g_{12}(R_T|r_p) = \frac{B r_p^T}{R_T} \cdot f\left(\frac{B r_p^T}{R_T}\right) \dots \dots (10)$ という関係式によるが、このことを利用すれば、 $g_2(r_{mp})$ を試行錯誤的に求めることができる。すなわち、① $g_2(r_{mp})$ を適当に仮定する。②その仮定したものと(10)式で計算される $g_{12}(R_T|r_p)$ を用いて(7)式により仮りの $g(r_{mp}, R_T)$ を計算する。③これを用いて(8)式の右辺の計算を行ない、与えられた $g_1(R_T)$ と一致するかを検証する。④一致しなければ①へ戻る。というプロセスを繰返せばよい。

5. あとがき

5. あとがき 以上に、雨量の確率分布から最大流量の確率分布を推定する方法の概要を示したが、このような計算を実行するには電子計算機が必要であり、いまのところそのプログラミング等に関する二、三の技術的問題が残されている。また、このような方法を一般化するためには、連続最大雨量配分率の確率分布についても今後さらに検討が必要であろう。

参考文献 1) 石原藤太郎・石原安雄・高橋琢馬・頭千元: 由良川の出水特性に關する研究, 京大防災研究所年報, 第5号A, 1962.

2) 石原守雄・友杉邦雄・佐藤英：連続最大降下10回打確率論的研究，土木学会第27回年報概要集，B6.47.10.