台湾の河川の洪水比流量について

国立成功大学　正員　徐 義人
九州大学 工学部　正員　平野宗夫
九州大学 工学部　学生員 ○鉄谷浩之

1. まえがき

洪水比流量については、Creager 以来多くの経験式が提案されており、資料の乏しい河川における洪水量を求める際に利用されてきた。しかし、その多くは理論的根拠に乏しいため、信頼性は不充分である。最近角屋ら[1)]は合理式とDAD式を組合せることにより比流量を理論的に求める試みを行っている。

本報告は台湾河川における合理式の適用性を検討し、より一般的な比流量曲線を求めようとしたものである。

2. 合理式と到達時間の検討

合理式は通常用いられる記号と単位系を用いて表わすと

$$Q=\frac{1}{3.6}f r_T A \qquad (1) \qquad\qquad r_T=\int_{t-T}^{T} r(\tau)\,d\tau \qquad (2)$$

ここに、Tは到達時間である。合理式は一般に信頼性に乏しいとされているが、それは流出係数 f と到達時間Tの評価に問題があるからであり、これらの値を正しく見積ることができれば合理式は文字通り合理的な式となるはずである。したがって、合理式の適合性は f とTの適合性にかかっていると言えよう。

長さ l の斜面における到達時間は次式で与えられる。

$$l=\frac{1}{PK^{1/P}}\int_0^T\left\{\int_{T-\tau'}^{T} r_e(t-\tau)\,d\tau\right\}^{\frac{1-P}{P}} d\tau' \qquad (3)$$

ここに、r_eは有効雨量強度、PとKは水深 h と流出高 q を $h=Kq^P$ と表わしたときの定数で、Manning式を用いると $K=(n/\sqrt{\sin\theta})^{0.6}$, $P=0.6$ である。到達時間の間 r_eを一定とすると

$$T=Kl^P r_e^{P-1}=C_s r_e^{P-1} \qquad (4) \qquad (C_s=Kl^P)$$

となる。上式の適用性を検討するためには到達時間に関するデータが必要である。通常は到達時間として、降雨波形のピークから流出のピークまでの時間をとったり、ピーク流量発生時の雨量と同じ雨量の時点からピーク流量発生までをとったりしている。しかし、前者は理論的根拠に乏しく、後者は複雑な降雨波形ではピーク流量時の雨量と同じ雨量が複数個存在してTが一義的にきまらないこと、河道での遅れ時間が無視されていることなどの難点があり、バラツキも多い。ここでは、データから直接到達時間を求めることはせず、(1), (2), (4)式の関係が成立つものとし、雨量と流量データを用いて、(4)式の係数を最小自乗法によって求めることにする。すなわち、①C_sを仮定する。②$T=C_s(3.6Q/A)^{-0.4}$によりTを計算する。③ピーク流量発生前のハイエトグラフを用いて、T時間雨量の最大値r_Tを求める。④(1)式に浸透量i_cを導入した次式

$3.6Q/A=fr_T-i_c$ にQの実測値と③のr_Tを適用し、fとi_cを最小自乗法により同定する。⑤誤差の自乗の合計 $\Sigma\varepsilon_i^2=\Sigma[3.6Q/A-(fr_T-i_c)]^2$ を計算する。⑥C_sを変えて②～⑤の計算を行い、$\Sigma\varepsilon_i^2$が最小となるときのC_s, f, i_cを最適値として採用する。

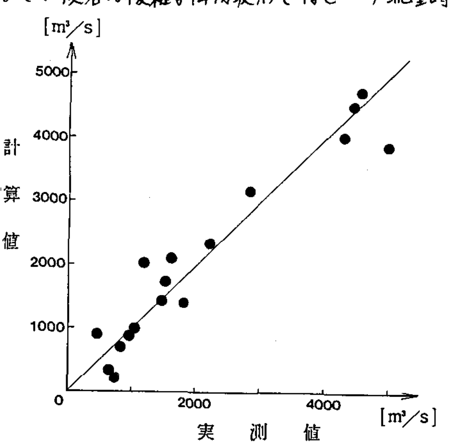


図 - 1

台湾北部の淡水河霞雲地点（$A=623\,km^2$）における1965～1982年の18個の洪水を対象に、上述の手法により求めたところ $C_s=23$（mm, hr単位），$f=0.765$，$i_c=2.69\,mm/hr$ をえた。図－1はこれらの値を用いた計算値と実測値を比較したものである。角屋らはHack の法則を用いてlを評価し $C_s \propto A^{-0.22}$としているが、1次流域においては妥当であっても、高次流域に対しては問題がある。

3、比流量式

降雨量の時空間分布については理論的に信頼できる式はまだ提案されていない。ここでは、DAについて、Hortonの式 $r=r_0\exp(-\alpha A^{\beta})$ (5)　DDについては、Shermanの式 $r_0=a/T^b$ (6) を用いる。ここにr_0は地点降雨強度である。(1)，(4)～(6)式よりTとrを消去すると、比流量 $q\equiv Q/A$について次式がえられる。

$$q=C\exp(-\alpha d A^{\beta}) \qquad (7) \qquad C=\frac{1}{3.6}\left(fa/C_p{}^b\right)^d \;,\; d=1/\{1-b(1-P)\}=1/(1-0.4b)$$

4、パラメータの検討

(1) DA：(5)式を用いると、面積平均降雨強度と面積との関係はパラメータαとβで決定される。面積降雨強度を求めるには、通常等雨量曲線が用いられるが、等雨量曲線と流域の形状はかなり異なるので、比流量曲線に適用するには問題がある。ここでは、実際の流域を10数個に分割し、ティーセン法によって面積雨量を求め、それを多い順に並べて累加して平均降雨強度を求めた。それを用いて最小自乗法によりαとβを求めることができる。そのようにして求められたパラメータの値は、降雨毎にかなり異なり、霞雲上流流域について求めた結果は $\alpha=0.002\sim0.05$，$\beta=0.3\sim0.9$ 程度である。

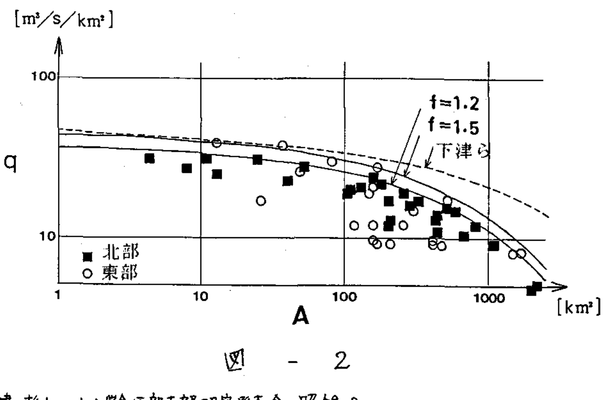
(2) DD：霞雲上流流域の18個の洪水に対するDA曲線より$A=0$に相当する降雨強度r_0を求め、確率降雨強度を岩井法により計算した。そのようにして求めた各時間（1, 2, 3, 4, 6, 9時間）に対する確率雨量を用いてSherman の式(6)の係数を求めると各時間に対し、$b\fallingdotseq0.2$，aの値は200年確率に対し $a=140\,mm/hr$ であった。

(3) 比流量式：$a=140$，$b=0.2$，$P=0.6$，$C=22$を用いると(7)式は

$$q=31f^{1.09}\exp(-1.09\,\alpha A^{\beta}) \qquad (m^3/s/Km^2) \qquad (8)$$

となる。αとβは本来DA曲線より決めるべきであるが、降雨によりばらつくので、どのような値をとればよいか決め難い。そこで、ここでは比流量曲線(8)式が比流量のデータに適用するように決め、それが実際のDA曲線と矛盾しないものであるかどうかをチェックすることにする。

図－2は$\alpha=0.035$，$\beta=0.5$とし、fをパラメータとして描いた線と比流量のデータをプロットしたものである。台湾は水資源統一規画委員会によって水文学的に4地区に分割されており、図には北部と東部のデータが示されている。それによると北部では$f=1.2$，東部では$f=1.5$とすると適合性がよい。また、図には示されていないが、中部、南部についても同じαとβに同じ値を用い、fの値はそれぞれ$f=1.0$および$f=1.2$とするとよく適合する。なお、fは流出係数であるが、(8)式のfの中にはaの値の変化の影響も含まれているので、fの値の違いは降雨の違いによるものと思われる。したがって、各地区における地点雨量の分布を調べる必要があると考えられる。



図－2

参考文献：1)角屋・永井，京大防災研年報 22号 昭54.4　2)下津・杉山，土木学会西部支部研究発表会 昭59.2