

II-19 多摩丘陵・大栗川流域の流出係数について

早稲田大学理工学部 正会員 銚川 登
早稲田大学大学院 学生会員 高岡一章
早稲田大学大学院 学生会員 鎌田 光

1. はじめに 観測記録の整備されていない河川のピーク流量の算定や基本高水の決定には合理式が用いられることが多い。合理式はパラメーターとして洪水到達時間と流出係数を含むだけの非常に単純な流出モデルであるが、それだけにこの2つのパラメーターの値の決め方が重要になる。ここでは、多摩丘陵の大栗川の雨量と流量の観測データに基づいて大栗川流域の流出係数の特性に関して検討した結果について述べる。

2. 合理式 合理式のピーク流量の算定は次式により行なわれる。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} f r A \quad (1)$$

ここで、 Q_p はピーク流量(m^3/s)、 f は流出係数、 r は洪水到達時間内平均降雨強度(mm/hr)、 A は流域面積(km^2)である。合理式は洪水到達時間以上の時間にわたって一定降雨強度の雨が流域全体に様に降り続く場合を想定して導かれた式である。

3. 流出係数 大栗川の昭和46年～52年の洪水時の雨量と流量の観測データを用いて、洪水到達時間を流出の遅れ時間の2倍とし、流域平均雨量のハイレートグラフから洪水到達時間内の平均降雨強度を求め、ピーク流量の流出観測値とから(1)式により流出係数の値を算定し、洪水到達時間内平均降雨強度との関係を示すと、図1のようになる。図1によると、流出係数の値はかなりばらつくことがわかる。

流出係数の値がばらつく原因としては観測誤差や洪水到達時間の算定の仕方の他に、降雨の空間的および時間的な分布の非一様性、降雨強度や先行降雨の影響などが考えられる。以下では、流出係数のばらつきの原因について考察し、ばらつきを小さくし、流出係数の特性を明らかにすることを試みる。

流域内の雨量が場所によって大きく異なる場合には、その流域を一つの流域として合理式を適用することは適当ではない。また、降雨の空間分布が一様な場合でも洪水到達時間内の雨量の時間分布が一様でない場合には上流部と下流部ではピーク流量に寄与する降雨が異なることになるので、全流域を一つの流域として合理式を適用することは適当でない。降雨の空間的および時間的な分布の非一様性の影響を小さくするためには、流域を小流域に分割し、各小流域に合理式を適用することが必要であると考えられる。

各小流域の洪水到達時間は小流域斜面の集中時間 t_c と支川の流下時間 t_f の和として算定する。集中時間 t_c は Manningの式を用いた地表流のkinematic-wave理論による次式により計算する。

$$t_c = (L / \alpha r_e^{2/3})^{3/4} \quad (2)$$

ここで、 L は流域斜面長、 $\alpha = \sqrt{\sin \theta} / N$ 、 θ は流域斜面の傾斜角、 N は流域斜面の等価粗度、 r_e は洪水到達時間内平均有効降雨強度である。 $r_e = f \cdot r$ とする。 r は洪水到達時間内平均降雨強度である。

流下時間 t_f は Kleitz-Seddonの法則による洪水波の伝播速度を用いて次式により計算する。

$$t_f = \frac{\ell}{\omega} \quad ; \quad \omega = \beta v \quad ; \quad v = \frac{Q}{Af} = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} \quad (3)$$

ここで、 ℓ は河道長、 ω は洪水波の伝播速度、 v は平均流速、 β は係数(本川 $\beta=1.55$ 、支川 $\beta=1.40$)、 Q は流量、 Af は流水断面積、 n は Manningの粗度係数、 R は径深、 i は河床勾配である。

大栗川流域(流域面積 $27km^2$)を尾根線および河道により $0.3 \sim 4.1km^2$ の12の小流域に分割し、流域斜面の等価粗度を0.3とし、各小流域の流出係数は洪水ごとに同一であるとして(宅地が卓越する最下流の小流域だけは等価粗度を0.03、流出係数を0.5とした)、文献1)の方法によりピーク流量を計算し、計算値と実測値が一致するように流出係数の値を決定した場合の流出係数と洪水到達時間内平均降雨強度の関係も図1に示した。図1によると、流域を分割した場合の方が単一流

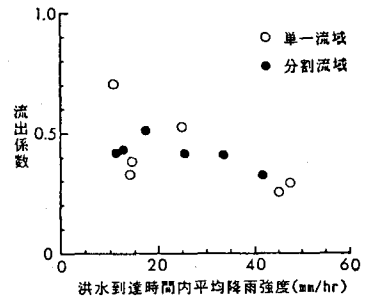


図1 流出係数と洪水到達時間内平均降雨強度の関係

域とした場合よりも流出係数のばらつきは小さくなっているが、その特性は明らかではない。

つぎに、流出係数におよぼす降雨強度および先行降雨の影響について検討する。他の河川に関する検討結果^{1),2)}に従って、流出係数 f は洪水到達時間内平均降雨強度 r の関数として次式で表示する。

$$f = a \left(1 - \frac{r_0}{r} \right) \quad (4)$$

ここで、 a および r_0 は係数で、 a は流域の地形、地質、土地利用状態などによって異なる値をとり、 r_0 は地質や土地利用状態のほかに土壤水分状態の影響を受けるものと考えられる。

ピーク流量の発生時刻より洪水到達時間だけさかのぼった時刻以前の降雨（先行降雨）は（4）式の r_0 を通じて流出係数の値に影響するほかに、ピーク流量中に先行降雨による流量が含まれることにより実測のピーク流量を用いて算出された流出係数のばらつきの原因になる³⁾。この点を考慮して、図2に示すように、全流量 Q_p と全流量 Q_p から先行降雨による流量 Q_{PB} を差し引いた流量（直接ピーク流量） Q_{pd} の2通りのピーク流量に対して流出係数を算出する。

流域斜面の等価粗度 N および（4）式のパラメーター a と r_0 の値を仮定して、文献1)の方法により洪水到達時間とピーク流量を計算し、計算値と観測値が一致するように N 、 a および r_0 の値を決定した。洪水到達時間の計算例を図3に示す。計算値と観測値を比較した結果、 N の値は0.3、 a の値は0.65となり、 r_0 の値は洪水ごとに異なる値となった。（宅地が卓越する最下流の小流域だけは $N=0.03$ 、 $a=0.5$ 、 $r_0=0$ とした。）土壤水分状態を表示する量としてピーク流量発生時刻から洪水到達時間だけさかのぼった時刻における流量 Q_0 を用い、 r_0 と $(Q_0 - Q_B)/Q_B$ （ Q_B は洪水前の流量）の関係を示すと、図4のようになる。図4によると、 $(Q_0 - Q_B)/Q_B$ の値が小さいとき、すなわち、流域が湿潤していないときは $r_0=20\text{mm/hr}$ 、 $(Q_0 - Q_B)/Q_B$ の値が大きいとき、すなわち、流域が湿潤しているときは $r_0=3.5\text{mm/hr}$ 、（直接ピーク流量を対象とする場合は $r_0=7.5\text{mm/hr}$ ）となることがわかる。これらの値を（4）式に代入し、流出係数と洪水到達時間内平均降雨強度の関係を示すと、図5のようになる。図5によると、流出係数は洪水到達時間内平均降雨強度が大きくなると大きくなること、 r_0 の値をパラメーターとしてばらつくこと、および降雨強度の大きい場合は0.50～0.63の値をとることがわかる。

4. おわりに 合理式は洪水到達時間以上の時間にわたって一定降雨強度の雨が流域全体に一樣に降り続く場合を想定して導かれたものであるので、降雨の空間的および時間的な分布が一樣でない場合には流域を小流域に分割し、各小流域に合理式を適用することが望ましいと考え、このような方法により大栗川流域の流出係数について検討し、流出係数は洪水到達時間内平均降雨強度および先行降雨の影響を受けることを示した。最後に、貴重な資料を提供して下さった東京都土木技術研究所の関係各位に謝意を表します。

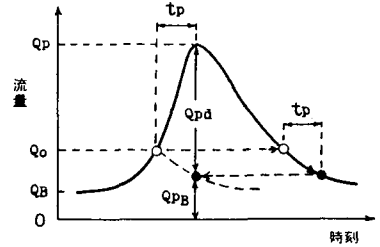


図2 直接ピーク流量の説明図

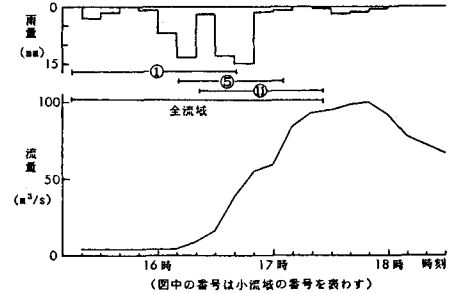


図3 洪水到達時間の計算例(昭和50年 6月10日 洪水)

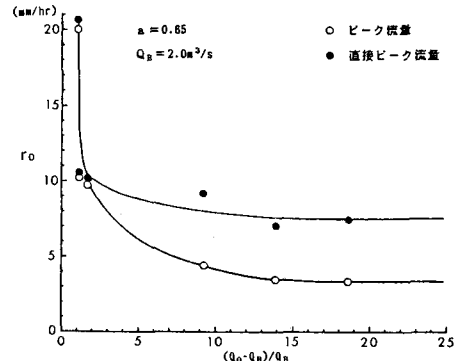


図4 r_0 と $(Q_0 - Q_B)/Q_B$ の関係

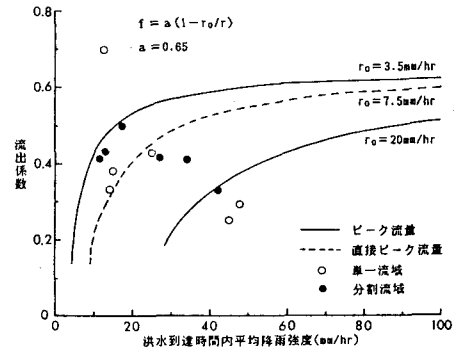


図5 流出係数と洪水到達時間内平均降雨強度の関係

参考文献
1) 鮎川登・北川善廣・鎌田光：合理式による洪水ピーク流量の算定、第29回水理講演会論文集、1985年 2月
2) 鮎川登・鎌田光・祖父江昭和・高岡一章：多摩川・小河内ダム流域の流出係数について、第12回関東支部技術研究発表会講演概要集、1985年 3月
3) 西谷隆臣・牧野立平・戸野昇：流出率について、第39回土木学会年次学術講演会概要集、1984年10月