

早稲田大学理工学部 正会員 鮎川 登
 東京大学大学院 学生会員 内田 滋

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推定や基本高水の算定は合理式を用いて行なわれることが多い。合理式によるピーク流量の計算では、何らかの方法で洪水到達時間を推定し、洪水到達時間内の平均降雨強度を求め、それに流域面積と流出係数を乗じてピーク流量を求める。この方法は洪水到達時間内の平均降雨強度の雨が流域全体に一樣に降るものと仮定するために、流域面積の小さい河川にしか適用できないとされている。ここでは、合理式により流域面積の大きい河川のピーク流量を推定する方法について検討する。

2. 計算法

流域を尾根線と河道によって、図1に示すように、いくつかの小流域に分割し、小流域ごとに合理式を適用して流出量を計算し、それらを合流させて所定の地点におけるピーク流量を算定することを試みる。

小流域の洪水到達時間は小流域の最遠点に降った雨水が本川へ流入するまでに要する時間として各小流域ごとに計算する。また、洪水到達時間内の平均降雨強度は上流からのピーク流量と小流域からのピーク流量が同時に合流するように時刻を設定して降雨ハイトグラフから算定する。例えば、①番目の小流域については、図2に示すように、時刻 t_0 に上流端の小流域①に降った雨水が④番目の小流域の本川流出点に到達する時刻 t_i から④番目の小流域の洪水到達時間 T_i だけさかのぼる時間内の平均降雨強度を降雨ハイトグラフから求め、合理式により流出量を計算し、上流からの流量と合流させる。このようにして計算を進めていくと、所定の地点における流量を求めることができる。しかし、この流量が最大流量であるとは限らないので、降雨ハイトグラフの計算開始時刻 t_0 をずらして、上記の計算を行ない、所定の地点の流量を計算し、それらのうちから最大のものをその地点のピーク流量とする。

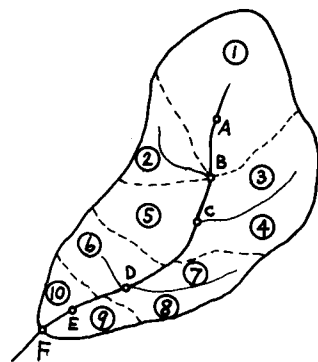
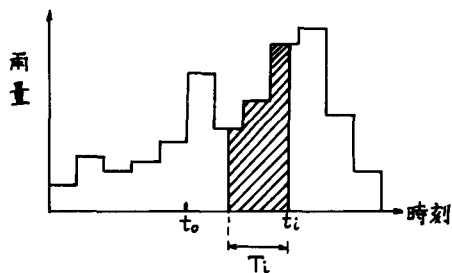


図1. 流域分割図



$$R_i = (\text{斜線部の雨量}) \div T_i$$

R_i : ④番目の小流域の洪水到達時間内の平均降雨強度

T_i : ④番目の小流域の本川流出点までの洪水到達時間
 t_0 : 計算開始時刻

t_i : 時刻 t_0 に上流端に降った雨水が本川を流下し、
 ④番目の小流域の本川流出点に到達する時刻

図2. 小流域の洪水到達時間内の平均降雨強度の計算の説明図

3. 計算手順

上記の計算法に従がい、合理式によりピーク流量を計算するための手順は次のようである。

- (1) 流域を尾根線および河道により小流域に分割する。
- (2) 小流域を長方形斜面で置換え、斜面長と斜面勾配を求める。
- (3) 小流域の降雨強度を仮定して、小流域斜面からの雨水の流出時間(集中時間) t_c をkinematic wave理論による次式により計算する。

$$t_c = \left(\frac{L}{\alpha \cdot R_e^{2/3}} \right)^{3/5} \quad (1)$$

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 は有効雨量である。

(4)小流域の降雨強度を仮定し、合理式により小流域からの流出量を計算し、この流量が支川を流下して本川に合流するまでに要する時間(流下時間) t_s を求める。合理式による流出量 Q (m^3/s)の計算は次式による。

$$Q = \frac{1}{3.6} f R A \quad (2)$$

ここで、 f は流出係数、 R は洪水到達時間内の平均降雨強度 (mm/hr)、 A は流域面積 (km^2) である。

(5)(3)および(4)で求めた流出時間 t_c と流下時間 t_s の和として小流域の洪水到達時間 T を求める。

(6)降雨ハイトグラフの計算開始時刻 t_0 を仮定し、上流端の小流域について、時刻 t_0 と $t_0 + T_1$ の間の平均降雨強度を求め、その小流域からの流出量 Q_1 を合理式により計算する。

(7)流量 Q_1 が一つ下流の流出点まで流下するのに要する時間 t_{f1} を求める。

(8)降雨ハイトグラフから時刻 $t_0 + T_1 + t_{f1} - T_2$ と時刻 $t_0 + T_1 + t_{f1}$ の間の平均降雨強度を求め、小流域②からの流出量 Q_2 を求める。

(9)流量 $Q_1 + Q_2$ がつぎの流出点まで流下するのに要する時間 t_{f2} を求める。

(10)以下、同様にして計算を進め、所定の地点における流量 Q を求める。

(11)以上のようにして求められる流量 Q は第一次近似解である。(5)以降の計算過程で求められる各小流域の平均降雨強度を用いて、(3)以降の計算を所定の地点の流量が一定の値になるまで繰り返す。

(12)降雨ハイトグラフの計算開始時刻 t_0 を変えて上記の計算を行ない、所定の地点の流量を計算し、それらの中から最大の流量を求め、ピーク流量とする。

4. 計算例

多摩川の小河内ダムより上流の流域(流域面積 $263 km^2$)を流域面積 $3 \sim 32 km^2$ の16の小流域に分割し、上述した合理式による計算法を適用して、ピーク流量を計算した。計算では、流域斜面の等価粗度は 0.7 とし、流出係数はピーク流量の計算値と観測値が一致するように決めた。計算結果を表1と図3に示す。表1中の洪水到達時間は流量計算地点における洪水到達時間の計算値を示している。また、ピーク流量発生時刻の計算値は、計算開始時刻 t_0 に、上流端の小流域に降った雨水が流量計算地点に到達するのに要する時間を加えて求めた。図3には、小流域①、⑤、⑥および流量計算地点上流流域の洪水到達時間の計算例を示した。計算結果によると、小河内ダム上流流域の流出係数は $0.40 \sim 0.45$ 、等価粗度は 0.7 と推定された。なお、本計算により求められた洪水到達時間を用い、流域分割せずに一つの流域として合理式を適用した場合の流出係数は $0.40 \sim 0.49$ となった。

本研究の遂行にあたり貴重な資料を提供して下さった東京都水道局の関係各位に謝意を表します。また、本研究は文部省科学研究費補助金(総合研究(A):研究代表者東京大学工学部高橋裕教授)の補助を受けたことを付記し、謝意を表します。

表1. ピーク流量と洪水到達時間の計算値

洪水年月日	流出係数	洪水到達時間 t_r	ピーク流量(m^3/s)		ピーク流量発生時刻	
			観測値	計算値	観測値	計算値
1959. 8. 14	0.42	5.0	790	780	9:00	9:00
1966. 9. 24	0.43	5.0	740	745	4:00	4:05
1974. 9. 1	0.40	5.1	710	705	14:00	14:05
1982. 8. 2	0.45	4.3	1145	1130	2:00	1:50
1982. 9. 12	0.42	6.0	435	435	21:00	20:45

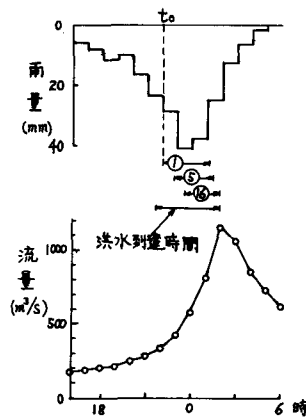


図3. 多摩川(小河内ダム)流域の洪水到達時間の計算例(昭和57年8月12日台風10号)