

総合単位図と総合降雨曲線による 計画洪水流量算定法

宮崎大学工学部 助教授 石 黒 政 儀

1. は し が き

水文資料がほとんど得られない場合の中小河川洪水流量算定や、小区域排水工、河川内水排除、暗渠、樋門などの計画設計を行なうにあたり総合降雨曲線と総合単位図とを組み合わせる流量算定法を提唱する。この方法によれば算定地点における所望確率年ごとのピーク流量はもちろん、ハイドログラフも得られるので貯水容量やポンプ排水などの問題にも利用することができる。

2. 総合降雨曲線

降雨の強度、継続時間、発生頻度（確率）を表す降雨強度曲線に最強雨部（ピーク）の発生位置および先行降雨量とを含ませて降雨現象を正しく表現しようとするのが総合降雨曲線で、これは降雨強度曲線と密接な関係があり、本邦では一般に次式で示される¹⁾²⁾。

降雨強度曲線: $I = a / (\sqrt{t} \pm b)$ (1)

総合降雨曲線:

ピーク前: $i_b = \frac{a[0.5\sqrt{(t_b/r)} \pm b]}{[\sqrt{(t_b/r)} \pm b]^2}$ (2)

ピーク後: $i_a = \frac{a[0.5\sqrt{(t_a/(1-r))} \pm b]}{[\sqrt{(t_a/(1-r))} \pm b]^2}$ (3)

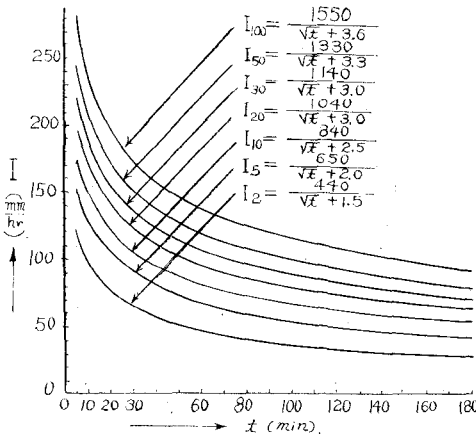
ただし、 I は降雨強度 (mm/hr), t は降雨継続時間 (min), a, b は地方常数, i_a, i_b はピーク前後の降雨強度 (mm/hr), t_a, t_b はピーク前後の継続時間 (min), r はピークの発生位置を示す常数である。

また筆者が本邦の降雨について解析した結果は一般に $r=0.5$ で表わしうるから、総合降雨曲線式(2), (3)は次式となる¹⁾。

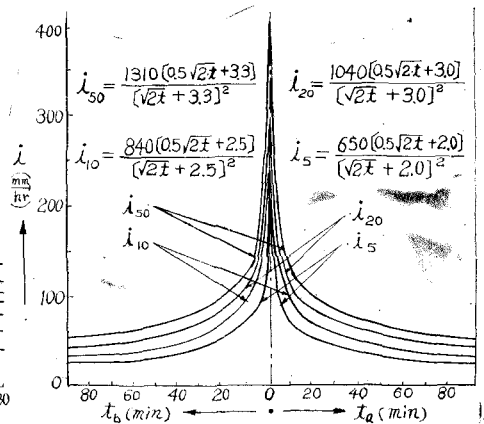
$i_{a,b} = \frac{a[0.5\sqrt{2 \cdot t_{a,b}} \pm b]}{[\sqrt{2 \cdot t_{a,b}} \pm b]^2}$ (4)

ここで i_a, b, t_a, b はいずれも式(2), (3)の i_a, i_b, t_a, t_b と同意で、この場合ピークに対し曲線は対称形でピーク前後の計算に用いる。

以上の I および i に対する a, b 地方常数は、筆者により各確率年ごとの値が本邦全域について与えられている³⁾⁴⁾⁵⁾。確率年別降雨強度式 I_N と総合降雨曲線 i_N との関係を宮崎市の場合について例示すれば図一、二のようである。



図一 宮崎市の確率降雨強度曲線



図二 宮崎市の確率総合降雨曲線

この i 曲線から連続降雨が3時間とすると $t_b=90$ min が降雨の初まりとなって、降雨開始からの所望単位時間

ごとの降雨量を順次求めることができる。

3. 総合単位図

実測流量記録のない河川に対して単位図法による流量算定の総合化をねらい中安博士は、わが国河川における単位図の各特性値を次のように与えている⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

$$Q_{\max} = 0.2778 \cdot A \cdot R_0 / (0.3 \cdot T_1 + T_{0.3})$$

$$\text{上昇曲線: } Q_u / Q_{\max} = (t / T_1)^{0.24}$$

減水曲線:

$$\left. \begin{aligned} Q_d / Q_{\max} > 0.3 \text{ のとき: } Q_d / Q_{\max} &= 0.3 \left(\frac{t - T_1}{T_{0.3}} \right) \\ 0.3 > Q_d / Q_{\max} > 0.3^2 \text{ のとき } Q_d / Q_{\max} &= 0.3 \left(\frac{t - T_1}{1.5 \cdot T_{0.3}} \right) \\ Q_d / Q_{\max} < 0.3 \text{ のとき: } Q_d / Q_{\max} &= 0.3 \left(\frac{t - T_1}{2.0 \cdot T_{0.3}} \right) \end{aligned} \right\} (5)$$

ここに $Q_{\max}$ は単位図の最大流量 (m^3/sec)、 Q_u 、 Q_d は上昇および減水時の流量 (m^3/sec)、 R_0 は単位降雨量 (mm)、 T_1 、 $T_{0.3}$ は図-3のとおり (hr) である。

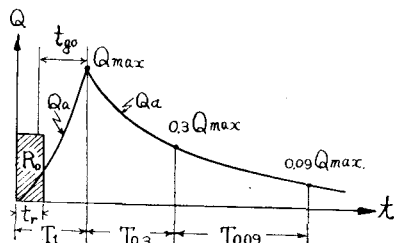


図-3

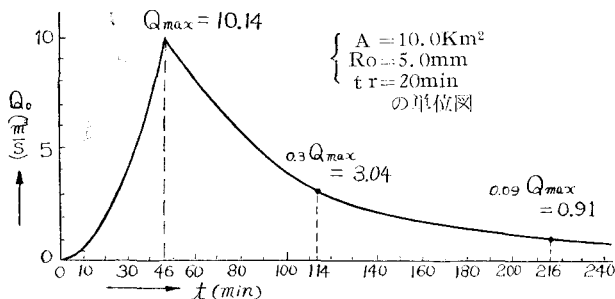


図-4

確率50年総合降雨曲線の単位時間ごと降雨量は、この場合 $t_r = 20\text{min}$ であるから、最強雨部はピークを中心 t_a 、 t_b とも 10min をとって順次区分する。i 曲線から 5min ずつの降雨量を求めて 20min 雨量を求めてもよいが、ピーク付近では誤差を生ずるので i 曲線と I 曲線とが $r = 0.5$ の関係を利用してピーク中心の 20mm 雨

$$\left. \begin{aligned} \text{流路長: } L < 15\text{km} \text{ の場合: } t_{g0} &= 0.21 \cdot L^{0.7} \\ \text{流路長: } L > 15\text{km} \text{ の場合: } t_{g0} &= 0.4 + 0.058L \\ T_{0.3} &= 2.0 t_{g0} \text{ または } 0.47 (A \cdot L)^{0.25} \\ T_1 &= t_{g0} + 0.8 \cdot t_r \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

これらより $t_r = (0.5 \sim 1.0) t_{g0}$ をとって流域特性から単位図を求めることができる。

4. 新流量算定法の適用例

以上の2, 3を組み合わせて用いることによって計画洪水流量が算定される。すなわち降雨特性を表わす2の総合降雨曲線は各地の降雨強度式値から式(4)で求め、これから単位降雨継続時間 t_r の降雨量が計算され、3の流域特性と単位図特性を表わす総合単位図は式(5)、(6)から計算されるので計画地点の流量が容易に求められる。

以下宮崎市の総合降雨曲線を用いて本法の適用実例を示す。

〔例解〕

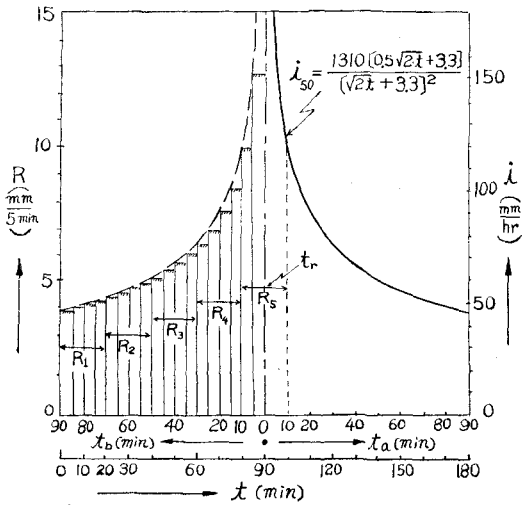
流域面積 $A = 10\text{km}^2$ 、流路長 $L = 3.5\text{km}$ の地点における確率50年のピーク流量およびハイドログラフを求む。ただし $f = 100$ とする。

題意による単位図の各特性値は次のようになる。 $t_{g0} = 0.504\text{hr} \div 30\text{min}$ 、 $T_{0.3} = 1.14\text{hr} \div 68.4\text{min}$ 、 $t_r = 20\text{min}$ 、 $T_1 = 0.77\text{hr} \div 46\text{min}$ 、 $T_{0.3} = 1.91\text{hr} \div 114\text{min}$ 、 $T_{0.09} = 3.62\text{hr} \div 216\text{min}$ 、式(5)より $R_0 = 5\text{mm}$ をとると $Q_{\max} = 10.14\text{m}^3/\text{sec}$ の単位図が図-4のようにえられる。

量は $R_5 = [1310 / (\sqrt{20} + 3.3)] \times [20 / 60] = 56.3$ で求め、その前後の 20min 雨量は $R_4 = R_6 = \{ [1310 / (\sqrt{60} + 3.3)] - 56.3 \} / 2 = 31.3$ のように求める。このようにして $t_b = 90\text{min}$ を 0min として各 20min 雨量を求めた結果は表-1のようであり、これを図示したのが図-5である。

表—1

R_1	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9
降り初めからの t (min)	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180
降雨量 r (mm)	16.5	18.9	22.6	31.3	56.3	31.3	22.6	18.9	16.5



図—5 5.20min ごとの降雨量分離

表—1 の R_1 を用い、各 10min (ここではピークが 46 min で発生するから 6min も付加する) の流出量は表—2 のように計算される。

表—2 の各単位時間流出量を降雨発生時刻に対応させ表—3 のように配列し各時刻の総計流量を 13 欄のように求めうる。これは図—6 のように示される。かくてこの流域での 50 年確率ピーク流量は $220 \text{ m}^3/\text{sec}$ と求められる。また河川の場合 Base flow があればこれに当然加算すべきである。

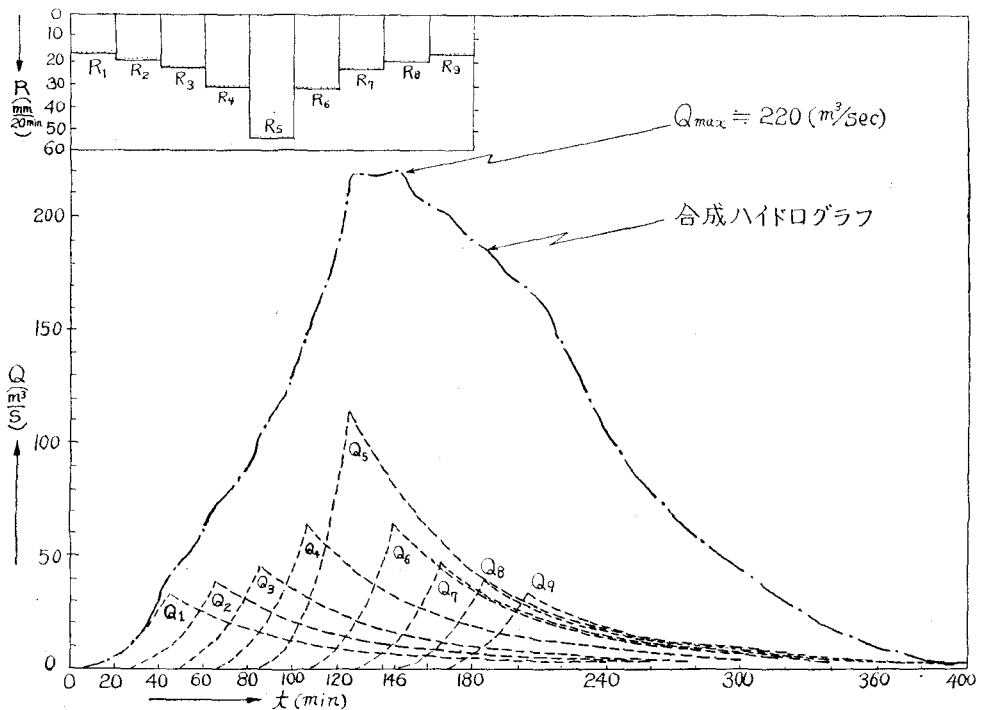


図 — 6

表-2

1	2	3	4	5	6	7	8
	t (min)	t (hr)	$\frac{Q}{Q_{\max}}$	$Q_{\max}$	$Q_0 = \frac{Q}{Q_{\max}} \times 10.14$	$Q_1 = \frac{16.5}{5} \times Q_0$	$Q_2 = \frac{18.9}{5} \times Q_0$
1	10	0.167	0.025	10.14	0.254	0.84	0.96
2	20	0.333	0.134	10.14	1.359	4.48	5.14
3	26	0.433	0.250	10.14	2.535	8.36	9.58
4	30	0.500	0.358	10.14	3.630	11.98	13.72
5	40	0.667	0.716	10.14	7.260	23.96	27.44
6	46	0.767	1.000	10.14	10.140	33.46	38.33
7	50	0.833	0.944	10.14	9.572	31.59	36.18
8	60	1.000	0.784	10.14	7.950	26.24	30.05
9	66	1.100	0.706	10.14	7.159	23.62	27.06
:	:	:	:	:	:	:	:

表-3 各 t における合成流量計算表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	t (min)	t (hr)	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8	Q_9	ΣQ
1	10	0.17	0.84									0.84
2	20	0.33	4.48									4.43
3	26	0.43	8.36									8.36
4	30	0.50	11.98	0.96								12.94
5	40	0.67	23.96	5.14								29.10
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
12	86	1.43	16.67	27.06	45.83	15.87						105.43
13	90	1.50	15.49	26.15	43.27	22.72	2.87					110.54
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
20	140	2.33	7.46	11.42	17.69	34.72	89.84	45.45	6.14			212.72
21	146	2.43	6.96	10.08	15.95	31.61	80.90	63.48	11.46			220.44
22	150	2.50	6.63	9.89	14.94	29.29	78.18	59.92	16.41	0.96		216.22
23	160	2.67	5.89	8.55	13.66	24.50	62.68	49.77	32.84	5.14		203.03
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
50	340	5.67						4.70	4.03	4.21	4.62	17.56
51	346	5.77							3.81	3.95	4.32	12.08
:	:	:							:	:	:	:
59	400	6.67									2.48	2.48

9	10	11	12	13	14	15	
$Q_3 = \frac{22.6}{5} \times Q_0$	$Q_4 = \frac{31.3}{5} \times Q_0$	$Q_5 = \frac{56.3}{5} \times Q_0$	$Q_6 = \frac{31.3}{5} \times Q_0$	$Q_7 = \frac{22.6}{5} \times Q_0$	$Q_8 = \frac{18.9}{5} \times Q_0$	$Q_9 = \frac{16.5}{5} \times Q_0$	
1.15	1.59	2.87	1.59	1.15	0.96	0.84	
6.14	8.51	15.36	8.51	6.14	5.14	4.48	
11.46	15.87	28.65	15.87	11.46	9.58	8.36	
16.41	22.72	41.02	22.72	16.41	13.72	11.98	
32.84	45.45	82.04	45.45	32.84	27.44	23.96	
45.83	63.48	114.58	63.48	45.83	38.33	33.46	
43.27	59.92	108.16	59.92	43.27	36.18	31.59	
35.93	49.77	89.84	49.77	35.93	30.05	26.24	
32.36	44.82	80.90	44.82	32.36	27.06	23.62	
:	:	:	:	:	:	:	

5. む す び

総合降雨曲線を総合単位図の中安法に応用する算定法を提示したが、同じく石原、立神氏らの方法にもこれは適用でき、また特性曲線法やその他の流量算定法にも応用することができる。詳細については講演時に述べる。

参 考 文 献

- 1) 石黒: 「総合降雨曲線とその数値について」土木学会第18回年次学術講演会概要 第Ⅱ部 1963年5月
- 2) 石黒: 「本邦における降雨強度式型の地域的特性について」水道協会誌 第313号, 1960年10月
- 3) 石黒: 「排水計画のための降雨強度算定法」土木学会西部支部講習会テキスト 1963年8月
- 4) 石黒: 「本邦における確率時間雨量とその分布図」水道協会誌 第320号, 1961年5月 および「特性係数法による確率降雨強度式算定法」土木学会論文集, 第74号, 1961年5月
- 5) 石黒: 「本邦における短時間強雨の特性係数分布図」水道協会誌 第323号 1961年8月
- 6) 中安米蔵: 「本邦河川の単位図について」建設省第7回技術研究会, 1956年
- 7) 荒木・椿: 水理学演習, 下巻, 森北出版, 1962年5月
- 8) 土木学会: 水理公式集, 第1編 河川, 第3編 上下水道, 1963年8月