

神戸大学工学部 正 員 神田 徹
 神戸大学大学院 学生員 ○前田徹哉
 フジタ工業 ㈱ 正 員 大坂祐造

1. まえがき

時間的変化の小さい降雨強度に対する洪水到達時間の諸特性が高樫ら¹⁾によって説明され、またその特性をもとにしたピーク流出量の実用的推定法が角屋ら²⁾によって示されたことは周知のとおりである。本研究は、非定常な降雨に対する洪水到達時間の特性を明らかにし、合理式によるピーク流出量等の推定に役立てようとするものである。

2. 三角波形降雨に対する洪水到達時間

対象とする流域は、長さ b の単一斜面とする。斜面流における kinematic wave 法の基礎式は次式で表される。

$$h = kq^p \quad (1) \quad \partial h / \partial t + \partial q / \partial x = r \quad (2)$$

非定常な有効降雨の波形は、図-1 に示すような二等辺三角形のものとする。図においてピーク流出量発生時に対する特性曲線には、その出発時刻 t_1 、到着時刻 t_2 に * をつけて区別してある。特性曲線に関する方程式を時刻 (t_1, t_2) 、距離 $(0, b)$ の区間で積分すれば次式を得る。

$$b = \frac{1}{pk} \left[\int_{t_1}^{T_0/2} \left\{ \frac{r_p}{kT_0} (t_2 - t_1^2) \right\}^{\frac{1-p}{p}} dt + \int_{T_0/2}^{t_2} \left\{ \frac{r_p}{kT_0} \left(-t^2 + 2T_0t - \frac{1}{2}T_0^2 - t_1^2 \right) \right\}^{\frac{1-p}{p}} dt \right] \quad (3)$$

定数 p の値を $p = 0.5$ とすれば次式となる。

$$\frac{k^2 T_0 b}{2r_p} = \frac{1}{12} T_0^3 - \frac{1}{2} T_0^2 t_2 + T_0 t_2^2 + \frac{2}{3} t_1^3 - t_1^2 t_2 - \frac{1}{3} t_2^3 \quad (4)$$

ピーク流出量発生時の厳密な条件式は

$$(dt_1/dt_2)^* = r(t_2^*)/r(t_1^*) = (T_0 - t_2^*)/t_1^* (\leq 1.0) \quad (5)$$

であるから、(4) 式および (5) 式よりピーク流出量発生時の関係式として次式が与えられる。

$$t_2^{*2} - 2t_1^* t_2^* - t_1^{*2} + 2T_0 t_1^* - \frac{1}{2} T_0^2 = 0 \quad (6)$$

(6) 式より、図-1 の $T_1 = T_0/2 - t_1^*$ と $T_2 = t_2^* - T_0/2$ の比およびピーク流出量発生時の洪水到達時間 t_p について次式の関係が得られる。

$$T_1/T_2 = 1 + \sqrt{2} \approx 2.41 \quad (7) \quad t_p = (1 + \sqrt{2}/2) T_p \approx 1.71 T_p \quad (8)$$

t_p は (4)、(6) 式より、次式の解で与えられる。

$$\frac{4}{3} (2 - \sqrt{2}) t_p^3 - T_0 t_p^2 + \frac{k^2 T_0 b}{r_p} = 0 \quad (9)$$

この t_p 時間内の平均降雨強度は次式で与えられる。

$$r_m = \int_{t_1^*}^{t_2^*} r dt / (t_2^* - t_1^*) = 2(r_p/T_0)(T_0 - t_2^*) \quad (10)$$

3. t_p の表現式

斜面長を $b = 0.1, 1.0, 10.0$ km、定数 k の値を $k = 1.25$ として、表-1 に示す組み合わせについて解析

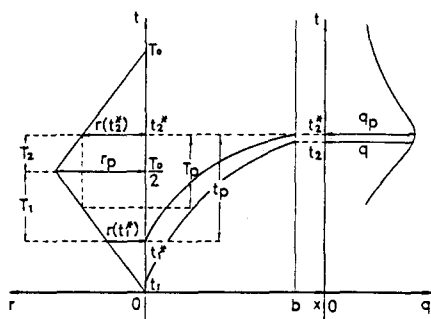


図-1 降雨量・流量～時間の記号

を行った。なお、 t_p が T_0 を上まわる場合、および $t_p < 10\text{min}$ となる場合は解析より除外した。

各ケースについて (9) 式、(10)式から求められる t_p と r_m の関係は図-2 である。図中の実線は全ケースについて成り立つ回帰式 (11) であり、点線は後述する $p = 0.6$ の場合の回帰式である。

$$t_p = Cr_m^\alpha b^\beta \quad (C=1352, \alpha=-0.513, \beta=0.506)$$

単位は $t_p:\text{min}, r_m:\text{mm/hr}, b:\text{km}$ (11)

(11) 式を定常降雨の場合の洪水到達時間 $t_p = 1250 r_m^{-0.5} b^{0.5}$ (12) と比較すると (11) 式の α, β は (12) 式の係数とは等しいが、 C はかなり大きな値をとっていることがわかる。また、 t_p と最大降雨強度 r_p との関係も係数が若干異なるだけで、全ケースについて (11) 式と同様の回帰式を得る ($C = 1568, \alpha = -0.535, \beta = 0.515$)。

図-3 に $q_p = R_m b$ (13) から求めた R_m と r_m との関係を示す。両者の関係は次式 (実線) : $R_m = 1.14 r_m^{0.98}$ (14) で与えられ、 R_m は r_m より若干大きな値をとるが、実用上は $r_m \doteq R_m$ で近似できる。従来、実流域の観測資料について、この R_m と図-1 に示される T_p との関係が調べられているが、降雨波形の非定常性が弱くない限りこの ($T_p \sim R_m$) 関係は ($t_p \sim r_m$) 関係とかなり異なったものとなる ((8) 式および $r_m \doteq R_m$ より)。
4. $p = 0.6$ の場合 3)

図-2 の中に、数値計算より求めた $p = 0.6$ の場合の t_p と r_m の関係を点線で示す。この t_p と r_m の関係も同様の回帰式 : $t_p = Cr_m^\alpha b^\beta$ (15) ($C=592, \alpha=-0.413, \beta=0.606$) で表すことができ、上述の $p = 0.5$ の場合と同様に定常降雨に比べて C が大きい値をとる (定常な場合 $C = 551$)。

t_p と T_p の間には図-4 に示すように一定の関係 $t_p \doteq 1.38 T_p$ (16) があり、また $r_m \doteq R_m$ である。

5. あとがき

以上の通り、三角波形降雨 (ただし、 $p = 0.5, 0.6$) に対する洪水到達時間の表現式の構造が定常降雨と同型式であること、 t_p は T_p とかなり異なること、および $r_m \doteq R_m$ であることがわかった。今後、これらの特性と合理式における r との関連性を調べ、実流域への適用に発展させてゆきたい。

参考文献

- 1) 石原 (藤)・高棹: 単位図法とその適用に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第60号, 別冊 3-3, 1959.
- 2) 角屋・福島: 中小河川の洪水到達時間, 京大防災研年報 19号 B, 1976.
- 3) 神田・前田・大坂: 洪水到達時間に関する一考察, 土木学会関西支部年講, 1985.

表-1 降雨波形のパラメータ値

$T_0(\text{hr})$	3	6	12	24	48	$r(\text{mm/hr}^2)$	Case
$r_p(\text{mm/hr})$	2.5	5	10	20	40	2.5/3	Case 1
	5	10	20	40	80	5/3	Case 2
	10	20	40	80	160	10/3	Case 3
	20	40	80	160	320	20/3	Case 4
	30	60	120	240	480	30/3	Case 5

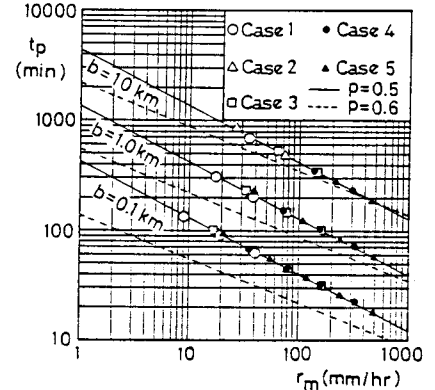


図-2 $t_p \sim r_m$ の関係 ($p=0.5, 0.6$)

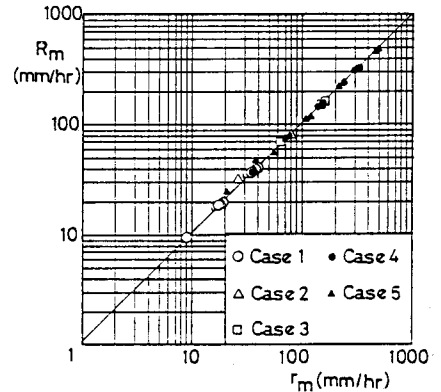


図-3 $R_m \sim r_m$ の関係 ($p = 0.5$)

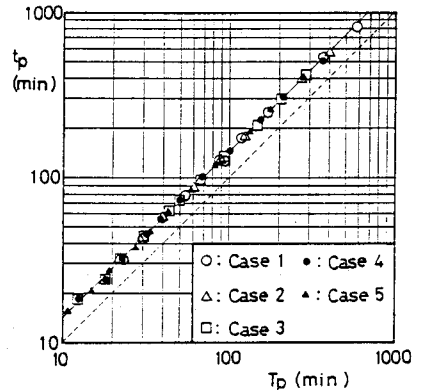


図-4 $t_p \sim T_p$ の関係 ($p = 0.6$)