

洪水到達時間に関する一考察

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

kinematic wave法による流出解析において、強度がほぼ定常な降雨に対する洪水到達時間の諸特性が高緯¹⁾によって解明され、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尾²⁾により提示されたことは周知の通りである。本研究は、非定常な降雨に対する洪水到達時間を数値計算より求め、定常な降雨に対する推定式との差異につき検討を行ったものである。

2. 計算条件

斜面長 $b = 0.1, 1.0, 10.0$

kmの単一斜面を対象とし

てkinematic wave法を適用する。水深-流量の関

係式： $h = kqp - (1)$ の定

数は $p = 0.6, k = 1.25$ と

した。有効降雨の波形は図-1に示すような継続時間 T_0 、最大強度 r_p の対称な三角形状とし、表-1の組合せについて計算を行った。降雨強度の時間変化率 $F = r_p / T_0$ が等しいものをそれぞれcase 1~5としている。なお、後述の洪水到達時間 t_p が T_0 を上まわる場合および、差分間隔を1minとしたため $t_p < 10\text{min}$ となる場合を除いたデータについて解析した。

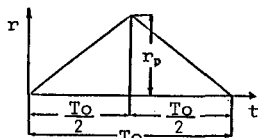


図-1 降雨波形

表-1 降雨波形のパラメータ値

$T_0(\text{hr})$	3	5	12	24	48	$F(\text{mm/hr}^2)$	Case
r_p (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

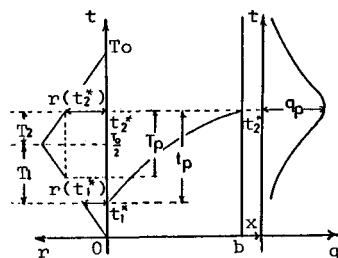


図-2 降雨量・流量～時間の記号

3. ピーク流出量に対する到達時間について

図-2のように、ピーク流出量 q_p の発生時刻を t_2^* とし、それに対応する特性曲線の出発時刻を t_1^* とする。これらの間の時間 $t_p = t_2^* - t_1^*$ と図の T_p （時刻 t_2^* の降雨強度と等しい強度を示すピーク以前の降雨の時刻から t_2^* までの時間）との関係を図-3に示す。両者の間には T_0, r_p の違いによらずほぼ一定の関係： $T_p = m t_p^n - (2)$ ($m \approx 0.72 \sim 0.73, n \approx 0.99$)がある。 T_p と t_p が一致しないのは、 $t = t_1^*, t_2^*$ の降雨強度 $r(t_1^*), r(t_2^*)$ が $r(t_1^*) \neq r(t_2^*)$ であり、換言すれば任意の時刻に対して、 $q = r_m \cdot b - (3), r_m = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) \int_{t_1}^{t_2} r dt - (4)$ が成立しないためである。ここに q は流量、 t_1 は擾乱の任意の出発時刻、 t_2 は

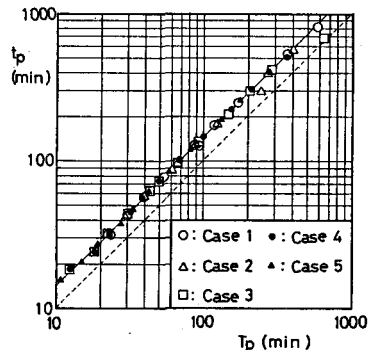


図-3 t_p と T_p の関係

その到着時刻を示す。ピーク流出量発生の際の厳密な条件は、 $r(t_1^*) = r(t_2^*) (dt_2/dt_1)^*$ (5) であり、ピーク発生時の t_1 に対する t_2 の変化率、 $(dt_2/dt_1)^*$ を考える必要がある。図-4 は t_1 と t_2 の関係を示し ($b = 0.1 \text{ km}$, $T_0 = 6 \text{ hr}$, $r_p = 5 \text{ mm/hr}$)、実線は非定常な降雨によるものである。点線は $(t_1 \sim t_2)$ 間の平均降雨量 r_m に対して、定常な降雨の場合に成立つ次式： $t_2 = t_1 + kb^* / r_m^*$ (6) から求めた擾乱伝播の出発時刻 t_{c1} と到着時刻 t_{c2} の関係を表わす (これは当然、(3) 式を満足する)。ピーク発生時刻 t_{c2} に対する変化率が $(dt_{c2}/dt_{c1})^* = 1.0$ であるのに対し、非定常降雨の場合は $(dt_2/dt_1)^* < 1.0$ となり、この結果 $r(t_1^*) < r(t_2^*)$ となる。

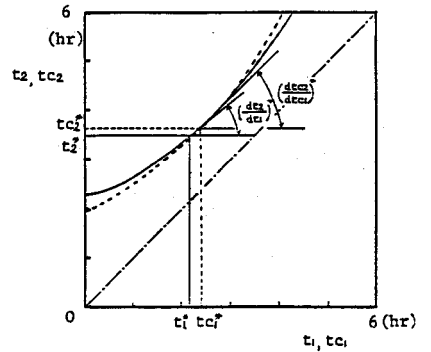


図-4 t_1 と t_2 の関係

次に図-2 の T_1 と T_2 の比 $\varepsilon = T_1 / T_2$ を求めると、図-5 のように分布する。これより $t_p / T_p = (1 + \varepsilon) / 2$ (7) となり、図-3 の相関が得られるものと思われる。

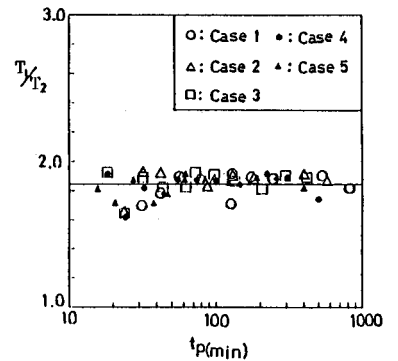


図-5 T_1 / T_2 の分布

4. 到達時間と平均降雨量の関係

角屋らは実際の水文資料について上述の T_p を求め、この T_p と合理式から求めた平均降雨強度 R_m との関係を示している。これと同様に $R_m = q_p / b$ (8) から得られる R_m と T_p の関係を図-6 に示す。実線は全 case について成立つ回帰式： $T_p = C R_m^{\alpha'} b^{\beta'}$ (9) ($C = 433$, $\alpha' = -0.421$, $\beta' = 0.605$) であり、点線は t_p とピーク流出量に対する r_m との回帰式： $t_p = C r_m^{\alpha} b^{\beta}$ (10)

($C = 592$, $\alpha = -0.413$, $\beta = 0.606$) である。両者ともに、到達時間と平均降雨の関係は角屋らの推定式と同じ構造をもち、係数については $\alpha \approx \alpha'$, $\beta \approx \beta'$ であるのに対して、 C は C' よりかなり大きい。また、 R_m と r_m の関係は図-7 に示すように $R_m \approx r_m$ (11) であるので、図-6 に見られる (9) 式と (10) 式のずれは図-3 における T_p と t_p の差異から生じたものと考えられる。さらに、(11) 式より、ピーク流出量に関しては三角形降雨波形に対して $q_p \approx r_m b$ (12) が成立する。

参考文献

- 1) 石原 (藤)・高嶺：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。

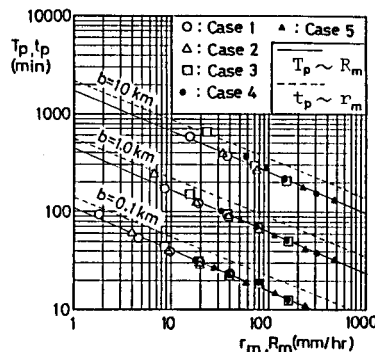


図-6 $T_p \sim R_m, t_p \sim r_m$

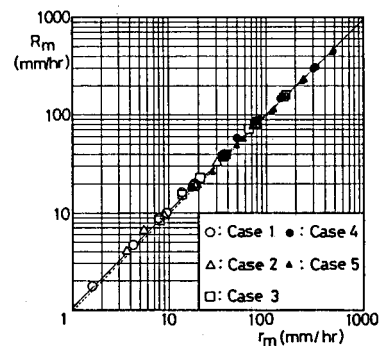


図-7 R_m と r_m の関係