

II-20 非常定降雨波形に対する洪水到達時間の推定

神戸大学工学部 正員 神田 徹
 神戸大学大学院 学生員 ○元木沢知紀
 神戸電鉄 正員 前田 徹哉

1. まえがき

前報¹⁾において、斜面における雨水擾乱の伝播時間で定義した洪水到達時間と降雨波形パラメータ・斜面流定数の関係をkinematic wave理論によりしらべ、降雨の非常定性および流出系の非線形性によって洪水到達時間およびピーク流出量が定常降雨の場合に比べてどのように影響するかを明らかにした。本研究ではその特性をもとにして、三角波形ハイトグラフと流出ハイドログラフから洪水到達時間を推定する方法を示し、その妥当性を検討する。

2. 三角波形降雨に対する洪水到達時間

ハイトグラフが三角波形である場合の洪水到達時間 t_p (図-1) に関して、以下の推定法に関連する特性を要約すれば次の通りである。

(i) t_p と $r_{m,p}$ の関係は、 $m \equiv T_1/T_0$ の値が小さい領域では近似的に次式： $t_p \approx k b^p / r_{m,p}^{1-p}$ (1)

で表わすことができる。ここに、 $r_{m,p}$: t_p 時間内の平均降雨強度、 k, p : 斜面流定数 ($h = k q^p$)、 b : 斜面長。

(ii) ピーク流出量 q_p について、 m の値が小さい領域で近似的に次式が成立する： $q_p \approx r_{m,p} b$ (2)

(iii) t_p とハイト・ハイドログラフのピーク間隔 T_2 との関係は $t_p = T_1 + T_2 = (T_1/T_2 + 1)T_2$ (3)

ここに、 T_1/T_2 は p の値によって図-2のような値をとる。 $p = 1/2$ では T_1/T_2 は定数 ($\sqrt{2} + 1$) であるが、 $p \neq 1/2$ では m によって値が異なる。図には、 $m=0$ および 0.5 に対する値 $(T_1/T_2)_0$ 、 $(T_1/T_2)_{1/2}$ と m に関するの平均值 $(T_1/T_2)_{mean}$ を示してある。

上述の特性をもつ t_p および $r_{m,p}$ について次のことが言える。三角波形降雨における $t_p \sim r_{m,p}$ の関係は、定常降雨における洪水到達時間 $t_{p,0}$ と一定降雨強度 r_0 の関係：

$$t_{p,0} = k b^p / r_0^{1-p} \quad (4)$$

とほぼ同一の関係である。つまり、前者の関係がわかればそれはほぼ後者の関係と見なすことができる。また、ピーク流出量 q_p についても定常降雨の場合の関係： $q_{p,0} = r_0 b$ (5)

とほぼ同一の関係が成立するので、 t_p 時間内の平均降雨強度 $r_{m,p}$ の近似値として、 q_p/b を用いることができる。

3. $t_p \sim r_{m,p}$ および $t_{p,0} \sim r_0$ 関係の推定法とその検証

三角波形のハイトグラフとそれに対する流出ハイドログラフから、まず $t_p \sim r_{m,p}$ 関係を推定することを考える。ハイト・ハイドロのピーク間隔 T_2 を用いて (3) 式から \hat{t}_p を求める。その際、 T_1/T_2 は p の各値に対して図-2で与えられる3通りの値 $(T_1/T_2)_0$ 、 $(T_1/T_2)_{mean}$ 、 $(T_1/T_2)_{1/2}$ を用いることにする。一方、 $r_{m,p}$ は $\hat{r}_{m,p} = q_p/b$ として求める。

このように推定される \hat{t}_p と $\hat{r}_{m,p}$ の関係を、理論的に得られる t_p と $r_{m,p}$ の関係と比較し、推定法の妥当

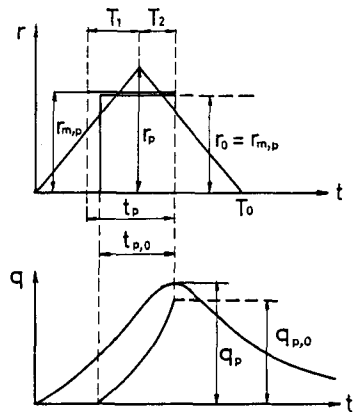


図-1 記号の説明

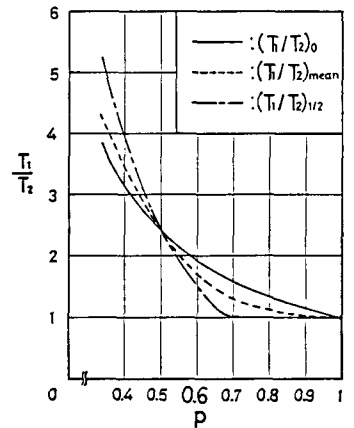


図-2 $T_1/T_2 \sim p$ の関係

性をしらべる。比較に用いたハイエトグラフのパラメータ, T_0 , r_0 と斜面長 b は表-1に示す通りである。図-3は, 厳密値 $t_p \sim r_{m,p}$ の関係, および推定値 $\hat{t}_p \sim \hat{r}_{m,p}$ の関係を示す。 $t_p \sim r_{m,p}$ は厳密には一直線上には乗らないので, その回帰直線を示してある。また, この \hat{t}_p は $(T_1/T_2)_0$ を用いて推定したものである。表-1のハイエトグラフ形状および斜面規模ではほとんど $m < 0.1 \sim 0.2$ であるため, $(T_1/T_2)_{mean}$, $(T_1/T_2)_{1/2}$ を用いた推定値よりも $(T_1/T_2)_0$ を用いた推定値の方が $t_p \sim r_{m,p}$ との一致度はよい。

表-1 検証に用いたハイエトグラフ

| b=0.1(Km) | | b=1.0(Km) | | b=10(Km) | |
|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|
| T_0 (hr) | r_0 (mm/hr) | T_0 (hr) | r_0 (mm/hr) | T_0 (hr) | r_0 (mm/hr) |
| 12 | 2 | 48 | 2 | 100 | 2 |
| 6 | 6 | 48 | 4 | 100 | 4 |
| 6 | 8 | 48 | 6 | 100 | 6 |
| 48 | 10 | 18 | 8 | 100 | 8 |
| 24 | 20 | 18 | 20 | 60 | 20 |
| 12 | 40 | 48 | 40 | 48 | 40 |
| 6 | 40 | 24 | 40 | 24 | 40 |
| 6 | 80 | 18 | 80 | 48 | 80 |
| 3 | 80 | 12 | 160 | 48 | 160 |
| 3 | 160 | 6 | 160 | 24 | 160 |

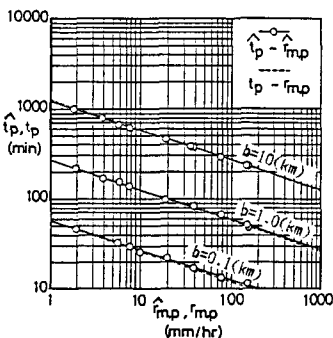


図-3(1) $p=2/3$

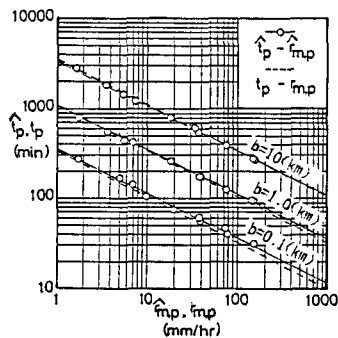


図-3(2) $p=1/2$

つぎに, 上に得られた $\hat{t}_p \sim \hat{r}_{m,p}$ 関係を定常降雨の場合の関係式(4)と比べたものが図-4である。この図においても, $\hat{t}_p \sim \hat{r}_{m,p}$ 関係と $t_{p,0} \sim r_0$ 関係はかなり良好な一致を示す。この結果より, 三角波形ハイエトグラフから求めた $\hat{t}_p \sim \hat{r}_{m,p}$ 関係は定常降雨に対する洪水到達時間～降雨強度関係を実用上十分の精度で推定し得ると言うことができよう。結局, 用いるべき推定式は(3)式および図-2より次の通りである。

$$\begin{aligned}
 p=1 : \hat{t}_p &= 2 T_2, & p=2/3 : \hat{t}_p &= 2.70 T_2, & p=0.6 : \hat{t}_p &= 2.93 T_2, \\
 p=1/2 : \hat{t}_p &= 3.41 T_2, & p=1/3 : \hat{t}_p &= 4.85 T_2
 \end{aligned}$$

また, $\hat{r}_{m,p}$ は t_p 時間内の降雨量を平均しても得られるが, 観測ハイエトグラフを対象とするときは一般に有効降雨波形の推定を必要とするので, 上述のように $\hat{r}_{m,p} = q_p / b$ として推定すればよい。

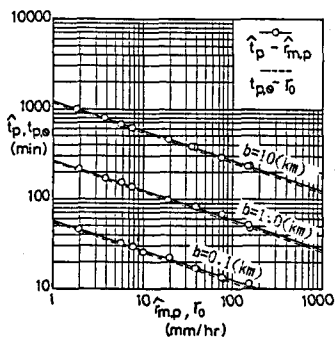


図-4(1) $p=2/3$

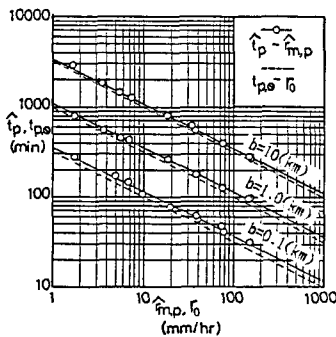


図-4(2) $p=1/2$

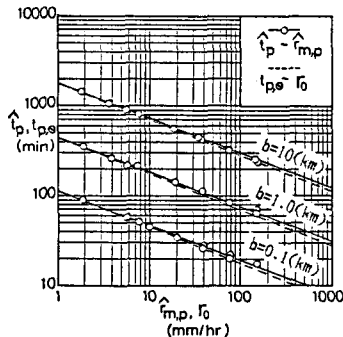


図-4(3) $p=0.6$

4. あとがき

従来よく用いられる洪水到達時間の推定法によるときは, 本文で対象としている対称なハイエトグラフでは $\hat{t}_p = 2 T_2$ となるため, 例えば $p=3/5$ の場合には上記の \hat{t}_p に比べて $(2/2.93)$ 倍となる。したがって, もしこれによって定常降雨に対する $t_{p,0} \sim r_0$ 関係を推定するとすれば, $t_{p,0}$ は過小な値となっていることに注意する必要がある。

参考文献

- 1) 神田 徹・前田徹哉: 非定常降雨による斜面流の伝播時間, 第30回水理講演会論文集, 1986.