

II-34 降雨波形を考慮した洪水到達時間

神戸大学大学院 学生員 田中 俊行
 神戸大学工学部 正 員 神田 徹
 神戸大学工学部 正 員 神吉 和夫
 神戸大学大学院 学生員 山田 敏

1. まえがき

前報^{1,2)}までは、単一斜面の流域を対象とし、対称な三角波形降雨を用いて、洪水到達時間の実用的な推定を行った。本研究では、降雨のピーク生起時刻を任意とする非対称な三角波形降雨を用い、その降雨波形が洪水到達時間およびピーク流出量に及ぼす影響について調べる。また、降雨波形を考慮した洪水到達時間の推定法について基礎的に検討する。

2. 洪水到達時間と平均降雨強度の関係

図1に示すピーク降雨強度 r_p 、降雨継続時間 t_r 、ピーク生起時刻 t_{rp} の三角波形降雨に対して、斜面下流端($x=b$)でのピーク流出量 q_p の発生時刻 t_{2p} とその特性曲線の斜面上流端($x=0$)での出発時刻 t_{1p} の時間間隔を洪水到達時間と定義する。

$$t_p \equiv t_{2p} - t_{1p} \quad (t_p \leq t_r) \quad (1)$$

降雨波形(t_r と r_p の組合せ)を適当に選び、 t_p と t_{rp} 時間内の平均降雨強度 $r_{m,p}$ の関係をkinematic wave法によって求めプロットしたものが図2である。 t_r に対する t_{rp} の比を $\mu = t_{rp}/t_r$ とすると、前方集中型($\mu=0.3$)、中央集中型($\mu=0.5$)、後方集中型($\mu=0.7$)の3通りの降雨波形を用いた結果である。なお、斜面流に対する基礎式： $h=kq^p$ の定数は $p=0.6$ 、 $k=1.25$ とし、斜面長 $b=1\text{km}$ とした。図中の実線は定常降雨($r_{m,p}$ に等しい一定降雨強度 r_o)に対する洪水到達時間 $t_{p,o}$ ～降雨強度 r_o ～ $r_{m,p}$ の関係を示す。この実線とプロットされた点との差が降雨の非定常性、すなわち、降雨波形の影響を表わしている。

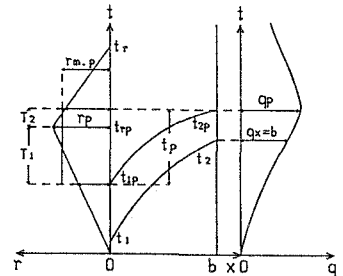


図1 雨水擾乱の伝播過程
 $b=1\text{km}$ ($p=0.6$)

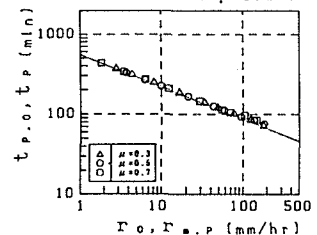


図2 $t_p \sim r_{m,p}$ の関係

3. 降雨波形の影響

降雨波形(降雨の非定常性)が洪水到達時間やピーク流出量に及ぼす影響を定量評価するために、次のように定常降雨との差 e_t 、 e_q をとる。

$$e_t = (t_p - t_{p,o}) / t_{p,o} \quad (2)$$

$$e_q = (q_p - q_{p,o}) / q_{p,o} \quad (3)$$

ここに、 $q_{p,o}$: 定常降雨の場合のピーク流出量($=r_o \cdot b$)。

b , k , p を一定にして、 t_r と r_p に対する無次元パラメータ d^* ($= (kb^p / (r_p/2)^{1-p} t_r)^{1/p}$)の値を示したものが図3である。 d^* と e_t 、 e_q の関係($\mu=0 \sim 1$)を図4に示す。 e_t 、 e_q はともに $\mu=0$ の場合を除き d^* が増加すると増大するが、 d^* がある値を越えると減少する。また、 μ 値が大きいほど e_t 、 e_q の値は大きい。すなわち、後方集中型の降雨波形では e_t 、 e_q が大きくなる。 d^* が比較的小さい値をとる降雨波形では、 μ が0.5以上では e_t 、 e_q はほぼ等しい値をとる。

4. 降雨波形を考慮した洪水到達時間の推定法

図1において、 $t_p = T_1 + T_2$ であるから、

$$t_p = (1 + T_1/T_2) T_2 \quad (4)$$

この式で、もし T_1/T_2 が定数として与えられれば、観測ハイドログラフとハイドログラフのピーク時間間隔 T_2 の定数倍として t_p を求めることができる。 d^* と T_1/T_2 の関係を示したのが図5である。 d^* が比較的小さい値では、各 μ に対して、 T_1/T_2 はほぼ一定値をとる。いま、 $d^*=0.01$ のときの T_1/T_2 の値を図示した

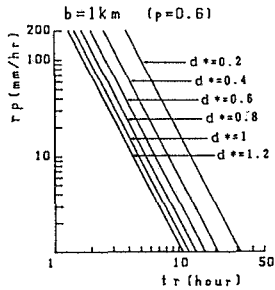


図3 $d^* \sim t_p, r_p$ の関係

のが図6である。この値で T_1/T_2 を近似するものとすれば、ハイトグラフの μ の値がわかると、式(4)と図6より t_p を推定することができる。また、 $r_{m,p}$ は水平分離法から算出した直接流出量のピーク流量 $q_p = r_{m,p} \cdot b$ より逆算して求める。

上述のような $t_p \sim r_{m,p}$ 関係の推定法について、その推定精度を調べる。基礎式から数値計算によって求めた t_p

$\sim r_{m,p}$ 関係とこの方法で推定された $\hat{t}_p \sim \hat{r}_{m,p}$ 関係の比較を図7に示す。前者の $t_p \sim r_{m,p}$ の関係は厳密には一直線には並ばないので、その回帰直線を示す。この図より、推定値 $\hat{t}_p \sim \hat{r}_{m,p}$ 関係と理論値 $t_p \sim r_{m,p}$ はほぼ一致する。また、定常降雨の場合の $t_{p,o} \sim r_o$ 関係との比較を図8に示す。この図でも、推定値 $\hat{t}_p \sim \hat{r}_{m,p}$ 関係と $t_{p,o} \sim r_o$ 関係はほぼ一致する。

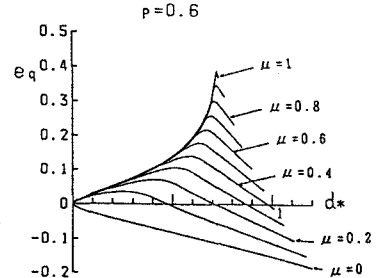
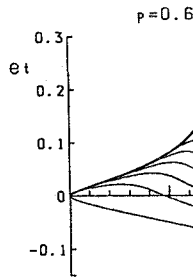


図4 $e_t, e_q \sim \mu, d^*$ の関係

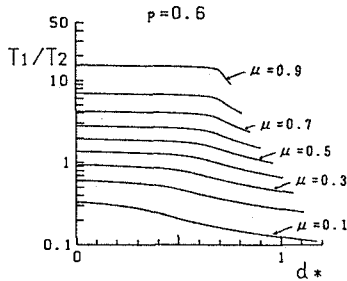


図5 $T_1/T_2 \sim d^*, \mu$ の関係

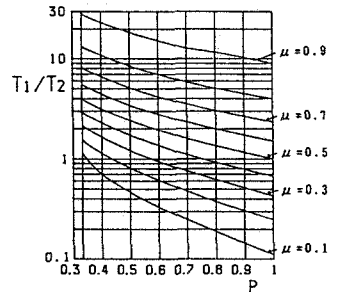


図6 $T_1/T_2 \sim p, \mu$ の関係

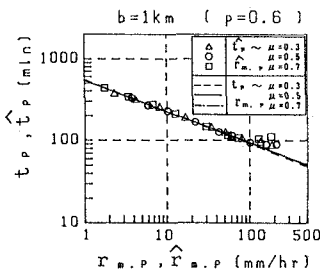


図7 理論値との比較

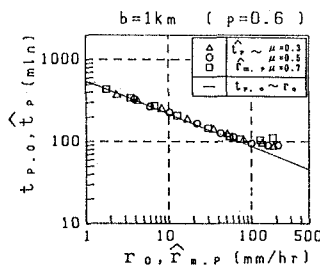


図8 定常降雨との比較

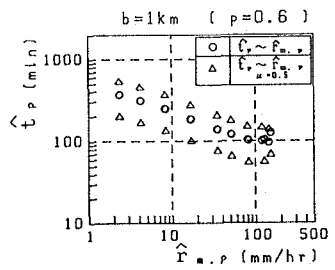


図9 モデル降雨への適用結果

5. モデル降雨への適用

t_p と r_p の種々の組合せについて、それぞれ降雨のピーク生起時刻が異なる非対称な三角波形降雨 ($\mu = 0.3, 0.7$) に対して上述の推定法を適用したのが図9 (図中の○) である。この図より、どの降雨波形においても $\hat{t}_p \sim \hat{r}_{m,p}$ 関係はほとんど一致することがわかる。以上より、上述の方法によれば洪水到達時間～降雨強度関係は実用上十分の精度で推定することができるといえる。しかし、実際の観測ハイトグラフからの μ の決定は容易ではない。非対称な三角波形降雨 ($\mu = 0.3, 0.7$) を対称な三角波形降雨 ($\mu = 0.5$) とみなして推定した場合 (図9の△), 推定誤差を生じる。今後、上述の推定法を実際の流域に適用し、観測ハイトグラフからの μ の決定方法を検討して推定法の改良を行う予定である。

参考文献 1) 神田・神吉・田中: 合理式の洪水到達時間について, 水文・水資源学会研究発表会要旨集, 1989.

2) 神田・神吉・吉岡: 斜面流域における洪水到達時間の推定, 土木学会論文集, 第417号/II-13, 1990.