

II-99 洪水到達時間推定式について

京大防災研究所 角屋 睦
島根大学農学部 福島 晟

1. まえがき 洪水到達時間は複雑な流出特性の端的な表現の一つであって、合理式の合理的適用のためにも、流出解析上のモデル定数採集のためにも、実用上きわめて重要な概念である。従来これについて Rziha式、Kraven式、あるいは類似のものとして lag time に関する二、三の式が提案されているが、いずれも合理性に欠けている。われわれは前報において丘陵山林流域河川を対象とした一つの推定式を提案したが、今回は推定式の構造の検討と土地利用形態を考慮した実用推定式について論及する。

2. 洪水到達時間推定式

洪水到達時間の実用的推定式としてあらためて次式を提案する。

$$t_p = C A^{0.22} r_e^{-0.35} \quad (1)$$

丘陵山林流域 : $C = 290$ (2)

放牧地ゴルフ場 : $190 \sim 210$ (3)

市街地 : $60 \sim 90$ (4)

ここに、 t_p : 洪水到達時間(分),
 A : 流域面積(km^2), r_e : 洪水到達
時間内平均有効降雨強度(mm/hr)

図1は、東北、近畿、中四国、九州

地方の丘陵山林流域18河川の例で、東北3ダム流域の例は岩手工事事務所白波瀬課長、鏡ダムの例は高知大松田助手の研究成果、図2は放牧地($C=190$)、密集市街地($C=65$)の例で、長陽試験地の例は熊本大下津助教授、宮前川市街地流域の例は愛媛大豊國教授らの研究成果である。いずれも許可を得て引用させて頂いた。

る。洪水到達時間表現式の構造と丘陵山林流域河川の洪水到達時間一般に洪水到達時間とは、「流域の力学的最遠点に降った雨水の騒乱が流域下流端に伝播する時間」として定義され、有効降雨強度が空間的に一様、かつ時間的に一様ないしは平均量としての取扱いが可能であるとすれば、それは次式で表現される。

$$t_p = t_a + t_c \quad (5)$$

$$t_a = \frac{L b^p}{r_e^{1-p}}, \quad t_c = \sum_i \left\{ \frac{K L Y_i}{(r_e A)^{1-p}} \right\}, \quad Y = \frac{1 - (A_u/A)^p}{1 - (A_u/A)} \quad (6)$$

上式において、 t_a は力学的最遠斜面上の伝播時間を表わし、 b : 斜面長、 r_e : 有効降雨強度、 L : 斜面流長で、Darcy型中間流なら $p=1$, $b = \lambda / r_e$ 、Manning型表面流なら $p=3/5$, $b = (N/\sqrt{s})^p$, λ : 表層土有効間隙率、 N : 透水係数、 s : 斜面勾配、 N : 等価粗度。また t_c は上述斜面より下流側河道の伝播時間を表わし、 L : 河道分割区間長、 A_u, A : 河道分割区間上下流端流域面積、 K, P : 河道流定数。実用上は流域を図3(a)のようにモデル化し、伝播時間最大ルートについて t_c を設定することとなる。

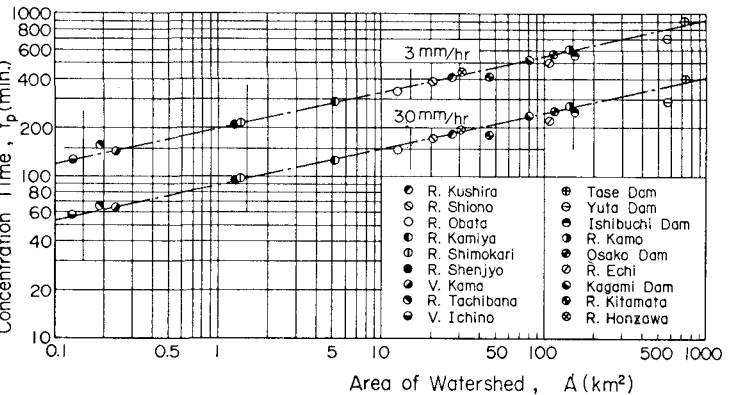


図1. 丘陵山林流域河川の洪水到達時間 ($A \sim t_p$)

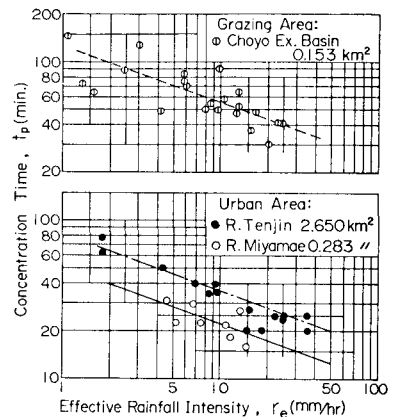


図2. 放牧地・市街地の洪水到達時間

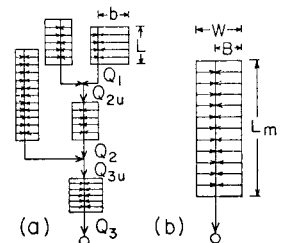


図3. 流域モデル

ここではとりあえず巨視的に扱うことにして、流出解析上図3(a)と等価なモデル(b)を考えるものとし、かつHacRの法則を承認すると、(6)式を次のように書き直すことができる(記号は図3参照)。

$$B = \varepsilon W = \varepsilon A / L_m, \quad L_m = u A^v \quad (7)$$

$$t_d = R(\varepsilon/u)^p A^{(1-v)p} r_e^{1-p}, \quad t_c = K u A^{v+p-1} r_e^{1-p} \quad (8)$$

いま丘陵山林流域河川を対象として、かつ大中出水にManning則が成立するものとする、 $p = 0.6$, $P = 0.65 \sim 0.75$, $R = 1.1 \sim 1.4$, $K = 0.8 \sim 1.2$, $u = 1.35 \sim 1.45$ (Rm単位), $v = 0.6 \sim 0.65$, $\varepsilon = 0.5 \sim 0.6$, 程度の値が考えられる。これらを上式に代入し、(1)式と同単位の表現をすると次式が得られる。

$$t_d = (250 \sim 350) A^{(0.21 \sim 0.24)} r_e^{-0.4}, \quad t_c = (30 \sim 40) A^{(0.3 \sim 0.4)} r_e^{-(0.25 \sim 0.35)} \quad (9)$$

洪水到達時間における河道効果も同様にして評価できる。いまこれを t_c/t_d の形で表現すると次式を得る。

$$t_c/t_d = (K/R) u^{1-p} \varepsilon^{-p} A^{P-(1-v)(1+p)} \quad (10)$$

概略値を知るため、 $p = 0.6$, $P = 0.7$, $K/R = 0.75$, $u = 1.45$ (Rm単位), $v = 0.62$, $\varepsilon = 0.55$ とおき(1)式と同単位で表現すると、

$$t_c/t_d = 0.14 A^{0.1} r_e^{0.1} \quad (11)$$

これより、 $1 \leq A \leq 10 \text{ km}^2$, $10 \leq r_e \leq 50 \text{ mm/hr}$ で $t_c/t_d = 0.15 \sim 0.21$, また $A = 1000 \text{ km}^2$, $r_e = 30 \text{ mm/hr}$ で $t_c/t_d = 0.28$ 程度と推定され、(1), (2)式の成立がほぼ納得できる。

HacRの法則を承認すれば、 t_p を主河道長 L_m の関数として表現することは当然考えられる。

この際河道の定義がとくに小流域で問題となるが、いま1/2.5万地形図上で等高線の中興行比1までの河道と定義すると図4が得られる。ばらつきはやや大きいが $t_p \propto L_m^{(0.35 \sim 0.40)}$ とみられる。図中の線は次式を示す。

$$t_p = 250 L_m^{0.35} r_e^{-0.35}, \quad (L_m: \text{Rm, 他は(1)式と同単位}) \quad (12)$$

なお河道勾配 S を用いて、 $t_p \propto (L/\sqrt{S})^2$ とおくことには若干の疑義があるが、強いて統計的に整理すると、 $t_p \propto (L/\sqrt{S})^{0.3 \sim 0.32}$ の形をとり、ばらつきは多少大きくなるようである。

4. 土地利用形態変化と洪水到達時間 土地利用形態変化に伴う t_p の推定のため、(1)式の係数 C の意義を考える。いま大中出水を対象にするものとして $p = 0.6$ とおき、かつ数 10 km^2 以下の中小河川流域を対象にするものとして(13)式を想定すると、(1)式の C は(14)式のような意味を持つことになる。

$$t_d = \beta r_e^{-0.05} t_p, \quad b = \delta A^r = \delta A^{0.37} \quad (13)$$

$$C = (\delta N / \sqrt{S})^{0.6} / 60 \beta \alpha^{0.4}, \quad \alpha = (1/3.6) \times 10^{-6} \quad (14)$$

この表現が土地利用形態の異なる流域河川の t_p の推定により手掛りを与える。たとえば自然流域から放牧地、ゴルフ場等に開発された場合、 S , α に大きな変化はないが $N_b = 0.8 \sim 1.2$ が $N_a = 0.4 \sim 0.6$ に変り、 β にも多少の変化を生ずる。また住宅地域に開発されると S , N , α , β が大きく変る。適確な評価はむづかしいが、われわれの研究成果を考慮すると、 $\Delta_b = 1/5 \sim 1/3$, $\beta_b = 0.8 \sim 0.85$ が $N_a = 0.006 \sim 0.015$, $\Delta_a = 1/50 \sim 1/100$, $\beta_a = 0.4 \sim 0.6$ 程度になるとみざるを得ない。(3), (4)式の C はこのようにして推定した値である。観測データの集積をまけて再検討が必要であるが、図2は貴重な実証例とみることができよう。

5. おわりに 洪水到達時間は流域の複雑な流出特性の端的な表現の一つであるだけに、関連要素は数多くかつ複雑に影響している。これらについては今後なお検討を続けたいと考えている。観測資料の十分な吟味の未了であるにもかかわらず成果の引用を快諾頂いた前記諸氏、資料の提供を頂いた諸官庁担当者に感謝の意を表す。なお本報告は昭和49, 50年度文部省科学研究費(自然災害)による成果の一部であることを付記する。

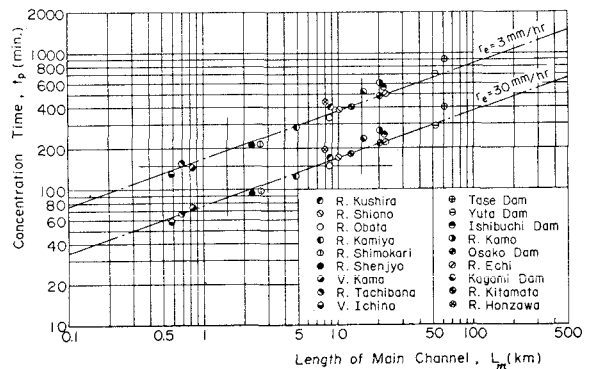


図4. 丘陵山林流域河川の洪水到達時間 (L_m と t_p)