

京大防災研究所 正員 雨屋 睦
島根大学農学部 正員 福島 晟

1. まえがき 中小河川計画では、ピーク流出量を推定するためのいわゆる合理式が重要な役割を果たしている。この式を合理的に扱うためには、洪水到達時間と有効降雨強度、降雨継続時間と有効降雨強度の両関係を同時に満足させる必要があるが、特に前者については従来あいまいな理解しか持たれておらず、またあいまいな概念で合理式を扱いながらこれを不合理式と酷評する向きもないではなかった。ここでは洪水到達時間の概念を明確に定義した上で、その実用推定式を提案し、若干の考察を加える。

2. 洪水到達時間の定義 いわゆる合理式と呼ばれるピーク流出量 Q_p (m³/s) 推定式は周知のように

$$Q_p = (1/3.6) r_e A \quad (1)$$

ここに A : 流域面積 (km²)、 r_e : 洪水到達時間 t_p 内の平均有効降雨強度 (mm/hr)

流域内に一様な有効降雨強度 r_e が期待されるならば、この式は単なる連続式であり何の疑もないが、式中に含まれる洪水到達時間の概念(見方によっては運動の式)の取扱い方が問題になる。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最下流端に伝播する時間」と定義され、有効降雨強度が時間的に一様ないし平均量としての取扱いが可能と仮定すれば、それは次式で表現される。

$$t_p = \frac{\lambda R B^p}{(\alpha r_e)^{1-p}} + \sum_i \frac{K_i(Q_i^P - Q_{i0}^P)}{Q_i} = t_s + t_c \quad (2)$$

ここに右辺第1項は力学的最遠斜面上の伝播時間を表わし、 B : 斜面長、 λ : 表層の有効間隙率、 α : 単位換算係数、 R , p : 斜面流水深 R と流量 Q とを $R = R_0 Q^p$ と表わした際の斜面定数で、流れが Darcy 型中間流ならば $p=1$ 、Manning 型表面流ならば $p=0.6$ 、 $\lambda=1$ となる。また右辺第2項はその斜面より下流側河道の伝播時間を表わし、 Q_{i0} , Q_i : 河道分割区間上下流端流量、 Q_i : 河道単位長当り横流入量、 K , P : 河道流積 W が $W = K Q^P$ とおけるときの河道定数である。実用解析では、流域を図1(a)のようにモデル化し、伝播時間最大ルートについて仮定する。

丘陵山林地域を対象とすると、一般に $t_c \ll t_s$ であり、大中出水時でも $t_c = (0.1 \sim 0.3) t_p \approx 0.15 t_p$ の程度、すなわち洪水到達時間はほとんど斜面伝播時間によって左右され、実用上次の関係が成立する。

$$t_p \propto r_e^{-c}, \quad c \leq 0.4 \sim 0.33 \quad (3)$$

いま流域を単一の等価な一様斜面ブロックに置換でき(図1 b), かつ河道効果を斜面要素に含ませるものとすると、 p = 一定 < 1, である限り、最大流量発生条件より、洪水到達時間 t_p は図2下図のように定義できることが石原・高橋らによって示されている。この定義は有効降雨強度について成立するものであるが、ピーク流量に関与する有効降雨波形が降雨波形に類似、すなわち

$$r_e = r - f_c, \quad (f_c: \text{最終浸透能}) \quad (4)$$

$$\text{または } r_e = f_p r \quad (f_p: \text{ピーク流出係数}) \quad (5)$$

と表現できるとすれば、 t_p は観測降雨波形から直接(あるいは簡単な移動平均を施すことにより)推定することができる。

3. 洪水到達時間推定式 上述の洪水到達時間の定義に従い、丘陵山林流域8河川(流域面積 0.13 ~ 143.6 km²)の出水資料を整理して、図2に例示

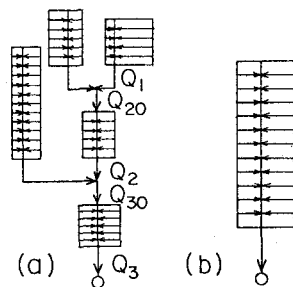


図1 流域モデル

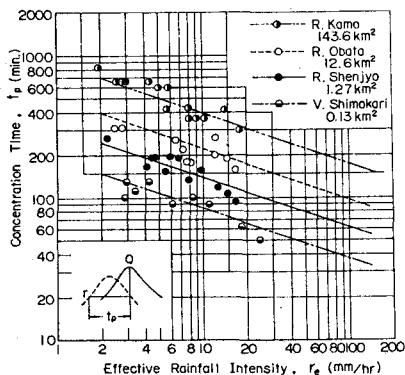


図2 有効降雨強度～洪水到達時間の関係

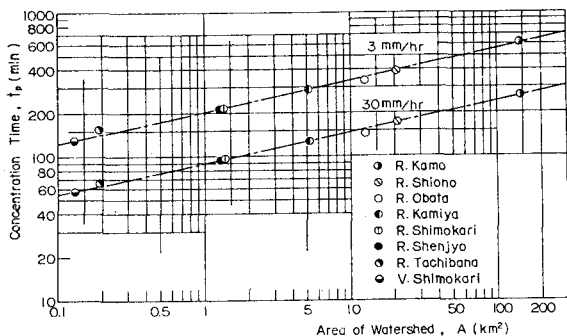


図3 洪水到達時間と流域面積の関係

するような $r_e \propto A^p$ 関係を得た。さらにこれらに平分線を入れ、 $r_e = 3, 30 \text{ mm/hr}$ に対応する A を求め、これと流域面積との関係を調べたところ図3を得た。これらより洪水到達時間の実用推定式として次式を得る。図2の直線群はこの式による推定線であるが、観測値との間にあまり矛盾はみられない。

$$t_p = 290 A^{0.22} r_e^{-0.35} \quad (6)$$

ここに t_p : (min.), A : (km^2), r_e : (mm/hr)

ただ上式はあくまでも丘陵山林流域に対するものであって、後述の考察と関連して、上流部のかかりの面積(力学的最速斜面)がゴルフ場・放牧地化したり、宅地化すれば、係数290はそれぞれ200及び90程度に変化するものと理論的に類推されるが、その詳細は今後の研究課題である。

4. 考察 (6)式の式形について考察する。これは(2)式に対応すべきものであるから、たとえば斜面派河道流にManning 則を想定しても、 r_e の指数-0.35にはあまり問題はなであろう。

また主河道長に関する Hack の法則を認め、かつ図1(b)のような単一の等価一様斜面モデルの存在を仮定すると、 $t_p \propto A^S$, $S \approx 0.21 \sim 0.24$ となるから、 A の指数0.22も一応首肯できよう。なお対象8河川のうち1/2.5万の地形図上の河道についてみると、図4に示すように Hack 則はほぼ成立している。

一般に(2)式の力学的最速斜面には、上流部の最大斜面長を持つ斜面が該当する可能性が大きい。そこでいま1/2.5万の地形図上の河道網に基づき流域をモデル(図1a)化して斜面長の分布を調べ、非超過確率90%に相当する斜面長を抽出すると図4を得る。これは(2)式を $t_p = (1+\beta)t_0$ と簡単におき、 $\beta \approx 0.6$ とすれば分るように、(6)式を裏付けている。ただ $t_0 = (N/\sqrt{I})^p$ (N : 等価粗度, I : 斜面勾配)とあくと、 N が I の関数になる可能性を示唆するから、さらに I や $B/\sqrt{I}$ など特性量の分布の相似性の吟味が必要になりそうである。

5. ますび 洪水到達時間、それと地形量については考えられるべき問題が少なからず残っているが、とりあえず概念を明確にし、実用推定式を提案した。残された問題については逐次検討する予定である。なお本成果は、明和49年度科研費(自然災害)による研究成果の一部であることをご付記する。

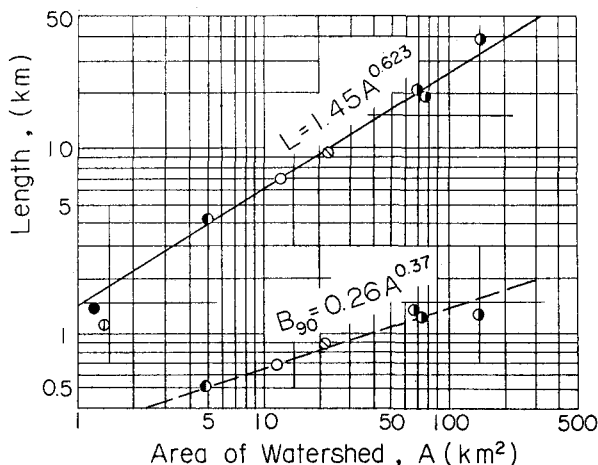


図4 主河道長、斜面長と流域面積の関係