II-31　中小流域における豪雨出水の増水時流量簡易推定法について

京都大学防災研究所　正員　友杉　邦雄

1．はじめに

一般に、大河川とくらべ、中小河川では降雨から流出までの時間が短く、また観測体制等も十分でないために出水の正確な予測はもとより、現況の把握さえ容易ではない。しかし、たとえ正確さは劣るとも、出水の現況の把握および予測を行い、その危険性の程度を速やかに知る方法を確立し、水防や避難等に役立てる必要がある。ここで問題は、雨量情報（予測値も含む）から任意の流域における出水の概況を速やかに知る方法にある。この方法として、計算機の高度な発達をみた今日では、従来からある各種の流出モデルが利用できる場合もあろう。しかしこれらは、パラメータの同定問題はもとより、一般に複雑であり、専門的知識を必要とするため、一般利用者には不安であり、また、重大なミスを犯しても気づかない恐れもあろう。したがって、例えば合理式のような簡明な方法で、しかもより物理性のあるモデルに基づいた流出計算法が好ましい。一方、出水の危険性の程度を判定するという観点からは、増水中の流量、殊に比較的高水時のものを時々刻々推定・予測することが第一義的に重要である。

本研究は、上記のようなモデルとして等価粗度法（雨水流法、kinematic wave法）を最も適切と考え、その基本原理と従来の知識に基づいた増水時流量簡易推定法を提案し、近年の豪雨出水資料の解析を通じて、その方法の妥当性の検証と問題点等の検討を行ったものである。

2．資料の概要

解析の対象とした出水は、面積にして１０～３００ｋm2 程度の流域におけるもので、昭和３０年代後半より最近までに生起したもののうち、原則として大中規模でかつ流量の実測資料のあるもの（２７ケース）である。これらの資料の出典は、主に災害調査研究の報告書類であり、そこに記載されたハイエトグラフとハイドログラフを拡大して読取り、解析に供した。

3．増水時流量簡易推定法と解析の方法

3－1．単一斜面雨水流モデルに基づく流出計算式（増水時流量簡易推定法）

流出開始時刻を０とした長さＬの一様斜面下流端からの時刻ｔの流出高は、初期・境界条件を０、時刻０からｔまでの有効雨量をＲ(t) とすると、次式で表せることが特性曲線法による解析より容易に得られる。

$$q_L(t)/L = G\cdot R(t)^m \qquad (0\le t\le t_c) \quad \cdots\cdots\cdots (1\cdot a)$$

$$= G\cdot\{R(t)-R(\tau)\}^m \qquad (t_c\le t\le t_d) \quad \cdots\cdots\cdots (1\cdot b)$$

$$= G\cdot\{R(t_d)-R(\tau)\}^m \qquad (t> t_d) \quad \cdots\cdots\cdots (1\cdot c)$$

ここに、q_L: 斜面下流端単位幅流量、τ：特性曲線が斜面上流端を出発する時刻、ｔｃ：時刻０に斜面上流端を出発した特性曲線が下流端に到着する時刻、ｔｄ：降雨終了時刻、$G=\alpha/L$で、m、αは$q=\alpha\cdot h^m$（q；斜面単位幅流量，h；水深）とした定数で、流れがMannningの抵抗則に従う場合、m＝ 5/3、　$\alpha=\sqrt{\sin\theta}/n$（n；Mannningの粗度係数または等価粗度係数、θ；斜面が水平となす角）。

上式は極めて単純なモデルに基づいているが、従来の経験によると、代表的斜面長（あるいは流下経路長か）と等価粗度という概念の導入により、河道の効果が斜面のそれに比して無視できるような中小流域に適用でき、また大中出水ではMannningの抵抗則に従うとしてよいとされている。そこで、増水時流量簡易計算式として式（１・ａ）、（１・ｂ）でm＝5/3 とした次式を想定し、出水ごとに、$t-\tau=t_c=$const.と仮定し、次項に示す出水解析を通じてその妥当性の検証等を試みたわけである。

$$Q_d(t)/A = G\cdot R_c(t)^m \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

ここに、Qd(t): 直接流出流量、Ａ：流域面積、Ｇ：流域特性係数（＝α/L）、Rc(t): 時刻ｔまでの洪水到達時間ｔｃ内有効雨量。

3－2．流出解析の方法

まず、解析区間は、ハイドログラフの立上り時点ｔ0 よりピーク時ｔｐまでの上昇部とし、ｔ0 以前の雨

量は初期損失として他の損失雨量は考慮しないことにした。流量は１時間当りの流出高として扱い、基低流出の分離は原則として水平分離としたが、二山目以降の場合で、ｔ０ の流出高が相当大きいときは、最後の山の同レベルからの低減曲線で分離した。

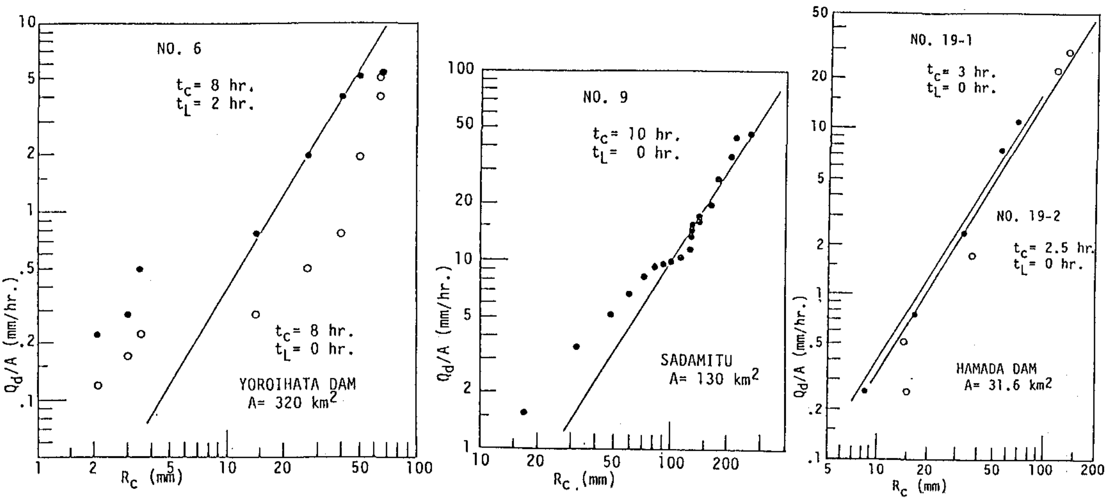
ここで洪水到達時間ｔｃ がわかれば、時々刻々のＲｃ(t)がハイエトグラフから得られ、これと対応するＱｄ(t)／Ａを、両対数紙上に前者を横軸にとってプロットすれば、式（２）が妥当なら、これらの点は、勾配ｍ＝ 5/3の直線上にほぼ並ぶはずである。問題はｔｃ の評価であり、試行錯誤による必要があるが、ここでは次のようにした。まず合理式における洪水到達時間の一般的な推定式として角屋らの提案による次式

$$t_{pc} = C \cdot A^{0.22} \cdot r_{mp}^{-0.35} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

で、丘陵山林地域に対するＣ＝290 としたものをｔｃ の初期値として採用する。このｔｃ は概して過小評価となるが、それは、ｔ０ ＜ｔ＜ｔｐ ではＱd(t)／ＡがＲｃ の増加関数であるという関係がピーク付近で成立しなくなることから知れる。また逆に、過大評価のときは、ピークの手前から前記の両対数紙上のプロット点の上昇勾配が顕著に低下することからわかる。すなわち、これらの図上判定条件のもとに、ｔｃ （データの制約上ほとんど１時間単位）を決めたわけである。なお、このｔｃ によるプロット点の図上勾配が5/3 より著しく大きくなるケースが若干あり、その場合、河道による遅れ時間ｔＬ を考慮することにした。

４．流量推算式の妥当性の検討

上記の方法により得られた、各ケースについてのQd/ＡとＲｃ の両対数紙上の関係の例を図－１に示す。図中の直線は原則として流出ピーク付近のプロット点を通るように目のこで引いた勾配5/3 の線である。なお、河道による遅れ時間ｔＬ を考慮したケース（４ケース）については、考慮しない場合のプロットのみ並示した。この結果、ただ２つのケースを除いて、流出高の大きいところで勾配5/3 の線にほぼのるとみなせることがわかった。なお、この例外的な出水ケー スは記録によれば、いずれも上流部で氾濫が生じたとされている。すなわち、通常の場合、流出高の大きい危険な出水の流量推算式として、ｍ＝5/3 、ｔｃ ＝const. とする式（２）は、妥当であり、極めて有望と考えられる。



図－１　直接流出高Qd/A(mm/hr) と到達時間内雨量Ｒｃ (mm)の関係の例

５．おわりに

以上、中小流域における豪雨出水の危険度予知のための簡便な流量推定法を提案し、その妥当性を検証したわけであるが、これを大中出水の観測記録のない任意の流域に適用できるようにするには、特にＧおよびｔｃ （場合によりｔＬ ）の評価が問題となる。この点についてはここで対象とした資料の範囲内で種々検討中であるが、今後できるだけ信頼性の高い、より数多い資料のより詳細な解析が必要と思われる。また、ここでは増水時のみに注目したが、二山目以降の出水に対しては、前の山の低減部の流量の推算が必要であり、この点についても今後の課題としたい。