

II-51 中小河川における豪雨出水の増水時流量の簡易推定法の検討（2）

京都大学防災研究所 正会員 友杉 邦雄

1. はじめに

大河川とくらべ、一般に観測体制が不十分でかつ流出の速い中小河川における豪雨出水の危険度を、任意の流域条件に応じて、アメダスやレーダ雨量計等による降雨情報（予測も含む）から実時間に予知する方法を確立することを目的とした研究の一環として、昨年度は簡単な等価粗度法に基づいた増水時流量の簡易推算法（未知パラメータ2つの図式法、後述）を提案し、その妥当性の検証と問題点の検討を、中小河川（流域面積：10～300km²）における近年の大中出水の流出解析を通じて行った。その結果、方法としては妥当であるが、実用に際してはパラメータの評価等に問題があり、さらに検討が必要であることがわかった（昨年度この場で発表）。今回は、この問題点の内、パラメータが降雨・流域条件によりどの程度影響されるかといったパラメータの安定性の問題について、簡単なモデル降雨の設定による理論的解析と、比較的長期のデータが整備されている多摩ニュータウン流出試験地における観測記録に基づき、検討した結果について報告する。

2. 増水時流量の簡易推定法

これは、長さLの一樣斜面上に場所的に一樣な降雨が与えられたときの雨水流の運動方程式を $q = \alpha \cdot h^m$ (q : 単位幅流量、 h : 水深、 m 、 α : 共に定数で、流れがManningの抵抗則に従う場合、 $m = 5/3$ 、 $\alpha = \sqrt{\sin \theta} / n$ 、 n : Manningの粗度係数、または等価粗度係数、 θ : 斜面が水平となす角)として、連続方程式に代入し、特性曲線法により得られる斜面下流端からの流出高の表現式に基づくもので、 $m = 5/3$ と固定し、出水ごとに、洪水到達（集中）時間 $t_c = t - \tau = \text{const.}$ (τ : 時刻 t に下流端に到達した特性曲線が上流端を出発した時刻)と仮定し、次式によるものである。

$$Q_d(t) / A = G \cdot R_c(t)^m \quad \dots \dots (1)$$

ここに、 $Q_d(t)$: 直接流出流量、 A : 流域面積、 G : 流域特性係数 ($= \alpha / L$ 、 L : 代表的斜面長または流下経路長)、 $R_c(t)$: 時刻 t までの洪水到達時間 t_c 内有効雨量で、直接流出の開始時刻を $t_0 = 0$ とすると、 $0 < t < t_c \leq t_{co}$ のとき $R_c(t) = R(t)$ 、 $D > t > t_{co} \geq t_c$ のとき $R_c(t) = R(t) - R(\tau)$ である。ただし、 $R(t)$: 時刻 t_0 から t までの累積有効雨量、 t_{co} : 時刻 t_0 に上流端を出発した特性曲線が下流端に到着するに要する時間、 D : 降雨終了時刻。式 (1) は、両対数紙上で縦軸に $Q_d(t) / A$ 、横軸に $R_c(t)$ をとれば、刻々のプロット点は勾配 $m = 5/3$ の直線上に並ぶことを意味する。即ちこの方法の未知パラメータは G と t_c である。ただし、本来 t_c は G と $R(t)$ に依存するのはわかっているが、一般にはその関係を明確に表示できない点に問題があり、パラメータの評価を困難にする一因となっている。次にこの点について簡単なモデル降雨の設定による解析結果を示す。

3. モデル降雨による t_c の特性の検討

ここでは強度の時間分布が次式で表せるモデル降雨を考えた。

$$r(t) = a \cdot t^z \quad (t > 0, a > 0, z > -1) \quad \dots \dots (2)$$

ここに、 a は尺度係数、 z は形状指数で、分布形は $0 > z > -1$ のとき下向きに凸な単調減少、 $z = 0$ のとき一様、 $z > 0$ のときは単調増加であるが、 $z < 1$ 、 $z > 1$ のときそれぞれ下向きに、凹、凸となる。このような簡単な関数を与えても t_c を陽に表すことは一般にはできない。そこで、 $t_c \leq t_{co}$ でかつ両者の差はあまり大きくないので、ここでは t_c の代わりに t_{co} の特性を見れば十分と考え G 、 $R(t)$ との関係を探ると、次のようになった。

$$t_{co} = \{m / (mz + m - z)\} \cdot G^{-1} \cdot R(t_{co})^{1-m} \quad \dots \dots (3)$$

この式より、 $m = 1$ (線形) の場合、 $t_{co} = G^{-1} = L / \alpha$ となって降雨条件と無関係になるが、例えば、 $m = 5/3$ の場合、次のようになり、洪水到達時間は雨量規模のみならず、その時間分布にも依存することが確認され、またその依存関係を知ることができる。

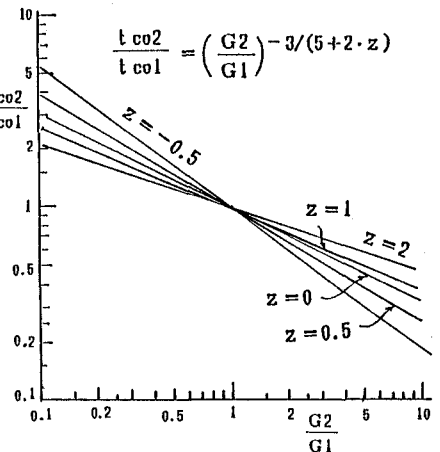


図-1 G の変化による t_{co} の変化

$$t_{co} = \{1 + (2/5)z\} \cdot G^{-1} \cdot R(t_{co})^{-2/3} \cdot (3)$$

またこの式で $R(t_{co})/t_{co} = r_{co}$ とおき、平均強度 r_{co} との関係で表示すると次のようになる。

$$t_{co} = [\{1 + (2/5)z\} \cdot G^{-1}]^{0.6} \cdot r_{co}^{-0.4} \dots (4)$$

この式で、 $z = 0$ （一様分布）とおけば、洪水到達時間とその時間内の平均雨量強度の関係として、従来からよく引用されているものに一致することは言うまでもない。また、こうした解析により、同じ降雨に対して G が何倍になれば、 t_{co} が何分の一になるかといった関係式も得られる（図-1参照）。以上のことから雨量の時間分布特性の多様性が、これらの関係の資料解析におけるばらつきの原因の1つとなっていることも理解される。

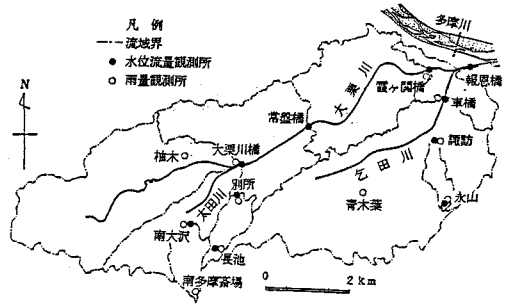


図-2 多摩ニュータウン流出試験地流域図

4. 多摩ニュータウン流出試験地のデータによる検討

建設省土木研究所発行（昭和60年）の「多摩ニュータウン試験地水文観測資料」は、本研究において貴重なデータを提供してくれた。これは、多摩ニュータウンにおいて、昭和44年の大規模開発着手と同時に、都市化による流出特性の変化の水文学的意味を明らかにする目的で設けられた複数の流出試験地における昭和59年までの水文観測資料のまとめであり、流域の地被状態の情報も記載されている。以下では、このデータのうち、比較的大きな流域の解析結果を示す。図-3は大栗川報恩橋地点およびその部分流域乞田川車橋地点における比較的大きな出水についての2.

に示した方法によるグラフであるが、流出ピークを若干過した時点までプロットしており、時間単位は前者が1時間、後者は10分である。まず図中に示された t_c の値をみると、報恩橋のものは都市化の進展により従来指摘されているように短くなっているが、車橋ではほとんど一定となっていて解釈に苦しむ。一方、

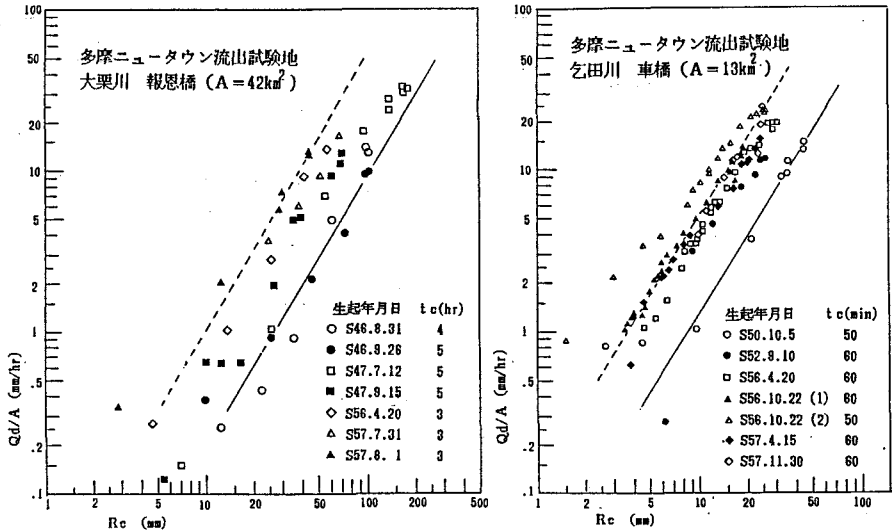


図-3 多摩ニュータウン流出試験地における $Qd/A \sim Rc$ 関係の経年変化

G の値は、数値で示していないが、勾配5/3の直線（図示したのはおよその変動幅を示す2本のみ）が $Rc = 1 \text{ mm}$ で Qd/A 軸を切る値であるから、報恩橋のものは、都市化の進展により徐々に大きくなる傾向が認められるが、車橋では昭和52年頃を境として、一気に大きくなったのちは比較的安定していることがわかる。ただし、後者の流域で昭和52年頃を境として、都市化が急激に進展したわけでもないのに、この点も解釈が難しく、検討の余地がある。なお、同図で△印で示したS58.10.22(2)は二山目の出水で、▲の一山目のものより G がやや大きくなっている。このことは他のケースにもみられ、流域表層の湿潤状態も G に関係することを示していると解釈される。この点については、友納ら(1987)により、等価粗度係数の変化という観点から同様の指摘がされている。

以上の検討から、パラメータ G 、 t_c の推定、およびその安定性については等価粗度法におけると同様の問題があり、とくに流域表層の湿潤状態の情報の重要性和、さらなる観測研究の必要性を示唆しているといえよう。

【考文献】 友納寛幸・虫明功臣・柳原和憲・阿部令一：多摩ニュータウン流出試験地における流出モデルのパラメータと都市化による相違、第31回水理講演会論文集、pp.5～10、1987。