

II-40

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（3）

京都大学防災研究所 正会員 友杉 邦雄

1. はじめに

わが国の中小河川では豪雨時の出水は急激であり、またその予警報体制は十分ではなく、最終的には地域住民の判断が重要となる。主としてこの観点から、講演者は降雨情報に基づく「簡明な」実時間流量推定法の確立が必要と考え、『増水時流量簡易推定法』を近年提案し、実測資料の解析によるその妥当性の検証を経て、昨年度は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、長期のデータが整備されかつ土地利用の変化の著しい多摩ニュータウン流出試験地のデータに基づき検討した。その結果、パラメータの推定及びその安定性については等価粗度法における同様の問題があり、特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が示唆された。すなわち、『増水時流量簡易推定法』の実用化にとって、洪水時流量の観測資料のない河川のパラメータの推定法、及びその変動特性を明らかにする必要があるにもかかわらず、観測研究による正攻法が現在のところ採れないということである。そこで、今回は数値実験によりこれらの問題の検討が出来ないものかを試みた結果を示すと共に、予測精度の評価問題や水位への変換問題について若干考察した結果を示す。

2. 増水時流量簡易推定法の概要

この推定法は図式法であるが、式では次のように表せる： $d(t) = G \cdot R_c(t)^{5/3}$ (1)
ここに、 $d(t)$ ：時刻 t の流出高（mm/hr）、 G ：流域特性係数（ $\text{mm}^{-2/3} \cdot \text{hr}^{-1}$ ）、 $R_c(t)$ ：時刻 t までの洪水到達時間 t_c 内の雨量（mm）である。式（1）は、両対数紙上で縦軸に $d(t)$ 、横軸に $R_c(t)$ をとれば、刻々のプロット点は勾配5/3の直線上に並ぶことを意味する。即ちこの方法のパラメータは G と t_c である。但し理論的に t_c は G と雨量分布に依存するのは分かっているが、その関係を明確に把握・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。

3. 数値実験の概要

（1）流域モデル：一次河道（外部リンク）および合流点間の河道（内部リンク）の長さを一律に2km、それらの付随面積を一律に2km²とし、河道網構造の統計理論により得られている知識に基づき、2次、3次、4次流域の期待値的河道網パターン（図1）を与えた。それらの面積は、それぞれ、 $A=10, 42, 170\text{km}^2$ であり、流域のスケール・地質・初期湿潤状態、及び降雨の時間分布形の効果を見る。なお、河道網構造の効果を見るため、一次河道数 $N_1=10$ の全ての河道網パターン（98種、図は省略）を与えたものも設定した（ $A=38\text{km}^2$ で、10km²程度を単位とする修正面積集中図のパターンは85種）が、ピーク流出高の差異は高々1mm/hr、ピーク起時の差異は高々30分であったので、上記の期待値的河道網パターンについて検討すればほぼ十分と考えたわけである。

（2）降雨モデル：空間分布は一様。継続時間は全て13時間。時間分布形態は矩形と3種の三角形、2種の最大雨量強度・時間単位の組み合わせで、表1に示すように計13種を設定した。但し、時間単位20分のは $A=10\text{km}^2$ の2次河川のみに、60分のは3次、4次河川に与えたので時間分布形は各流域7種である。

（3）流出計算法：流域の地質、および湿潤状態の効果を見るため、石原・小葉竹の提案した方法¹⁾（ $A=10\sim 20\text{km}^2$ 前後の単位流域からの流出をタンクモデル、それらを線形流下合流の仮

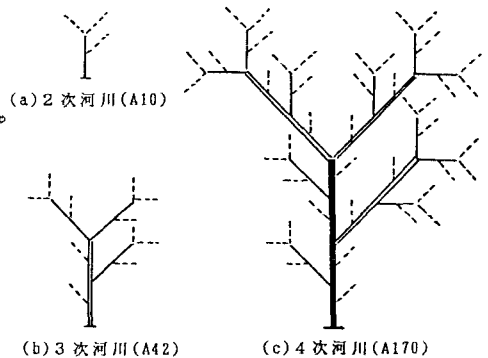


図1 流域の河道網モデル

表1 降雨の時間分布モデル

モデル名	分布形	最大雨量強度	時間単位
U50	矩形	50 mm/hr	20 min.
C100.60	二等辺 三角形	100	60
C100.20		100	20
C50.60		50	60
C50.20		50	20
R100.60	上昇型 直角三角形	100	60
R100.20		100	20
R50.60		50	60
R50.20		50	20
L100.60	下降型 直角三角形	100	60
L100.20		100	20
L50.60		50	60
L50.20		50	20

定により修正面積集中図を介して加重・加算する方法）を採用した。タンクモデル（図2）のパラメータは、表2に示すように地質により異なる値を与えた（河道遅れ時間 $TL=0$ ）。なお、河道の洪水伝播速度は 4.0m/s として修正面積集中図を作成した。また、初期湿潤状態は乾燥（3つのタンクの水深全てでゼロ：記号D）と湿潤（それぞれの降雨終了後4時間目のタンク水深状態：記号W）の両極端2種とした。

（4） t_c と G の評価法：上記の流出計算（ $3 \times 4 \times 2 \times 7 = 168$ ケース）の結果に対し、前記の両対数紙上で、 t_c は試行錯誤的に、 G はその結果得られる勾配5/3の直線の R_c （ $=1\text{mm}$ における d の数値とした。なお、図3にその1例を示すように流出高 d の大きい部分を重視することはいうまでもない。

4. 結果と考察

（1）増水時流量簡易推定法の妥当性について：上記168ケースの流出計算結果全てについて、流出高 d の大きいところでは式（1）の関係がほぼ成立した。よって、今（mm）（ hr^{-1} ）（ hr^{-1} ）回採用した流出計算法は実測洪水ハイドログラフの再現性に良好な結果が得られていることを考えると、この推定法の妥当性が再確認されたことになる。但し、降雨の時間分布形によっては、 t_c と G の組み合わせが複数得られるという、解の一意性の問題が生じた。

（2）流域スケールの効果：予想通り、流域面積が大きいほど t_c は大きく、 G は小さくなる傾向は見られたが、ケースにより無関係な場合や逆転する場合があります。

（3）流域地質の効果：流出の速さ（立ち上がりの上昇率）は、第三紀層（TT）、花崗岩（GN）、火山岩（VR）、古生層（PZ）の順に大きいが、VRとPZの差は無いに等しく、またそれらとGNの差も僅かであり、後3者に比してTTがやや目立つ程度であり、 t_c と G の値にはあまり大きな効果は認められなかった。

（4）初期湿潤状態及び降雨の時間分布形の効果：図4は、花崗岩の3次河川について、 t_c と G の関係を両対数紙にプロットしたものである。黒丸は湿潤（W）、白丸は乾燥（D）を表し、それらを直線で結んで添え書きしてある記号は表1に示した降雨モデルを与えた場合であることを示す。なお、他の河川モデルの場合もほぼ同様となった。このことから、流域の初期湿潤状態が式（1）のパラメータに及ぼす効果は相当大きく、その程度は降雨の時間分布形に依存すること、また降雨の時間分布形のパラメータに及ぼす効果はそれよりさらに大きいこと等が分かる。

（5）予測精度の評価と水位への変換問題について

パラメータが予想以上に不安定であることから、 G 及び R_c がそれぞれある範囲で一様分布する場合を考え、式（1）で評価される流出高 d の確率分布を求めた。また、流量の水位への変換については、流量の平方根と水位が線形回帰関係にあることが多いことを利用してはと考えたが、回帰係数の推定・評価法が問題となってくる。

〔参考文献〕1) 石原安雄・小栗竹重機：タンクモデルおよび集中面積図を利用した洪水流出モデルの総合化、土木学会論文報告集、第337号、PP.129-135、1983。

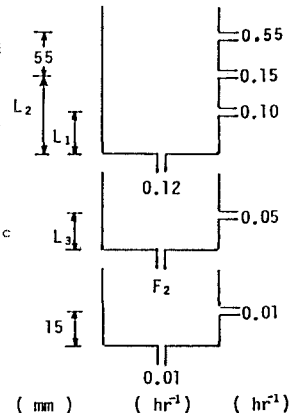


図2 タンクモデル

表2 タンクモデルの地質別パラメータ

流域地質（略称）	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	F_2 (hr^{-1})
花崗岩 (GN)	15	60	15	0.05
火山岩 (VR)	35	70	15	0.08
古生層 (PZ)	30	75	5	0.04
第三紀層 (TT)	15	40	5	0.04

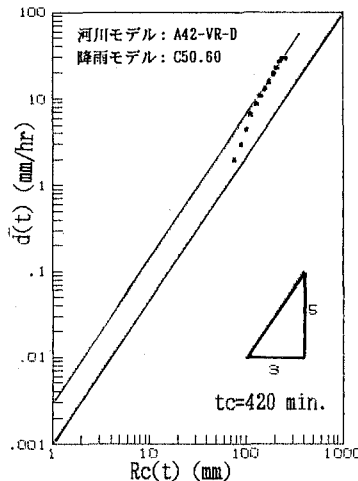


図3 $R_c(t)$ と $d(t)$ の関係例

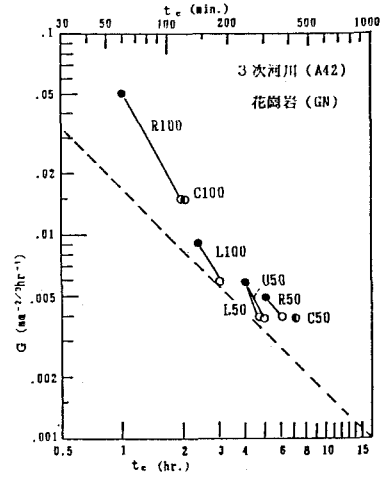


図4 t_c と G の関係例