

1. 背景: 水文学において, 流出率は流出高/雨量と定義され, 多くの機会に論じられている. 流出率は流出高や雨量のとり方で洪水流出率・年流出率・流出係数その他多くの種類に分類される. このうち洪水制御のため河川・下水道などの計画に広く実用されているのは流出係数である.

よく知られているように, 合理式においてピーク流量 Q_p ($m^3/秒$) は到達時間 T_c 内の降雨強度 r ($mm/時$), 流域面積 A (km^2) と流出係数 f の積で表わされる.

$$Q_p = \frac{1}{3.6} f r A$$

もし降った雨がすべて流出するならば $f=1$ と考えられ, f は降雨強度 r によっても変化する, 即ち小さい r では f も小さいようである. この式の適用と f の意味については多くの研究があり, 筆者も2,3コメントを発表したが, (水利科学 No.97, 水工学シリーズ 72-A-2) なお f について未知の問題が多い. その解決に, たとえ Q_p と r とが精度よく実測されたとしても一洪水で一例しか f が求まらないのでは f を評価するのに長年月かかる. そこで筆者は1982年才26回水理講演会において到達時間流出率を提案した. 到達時間流出率 f' の定義は

$$Q(t) = \frac{1}{3.6} f' r(t-T_c, t) A$$

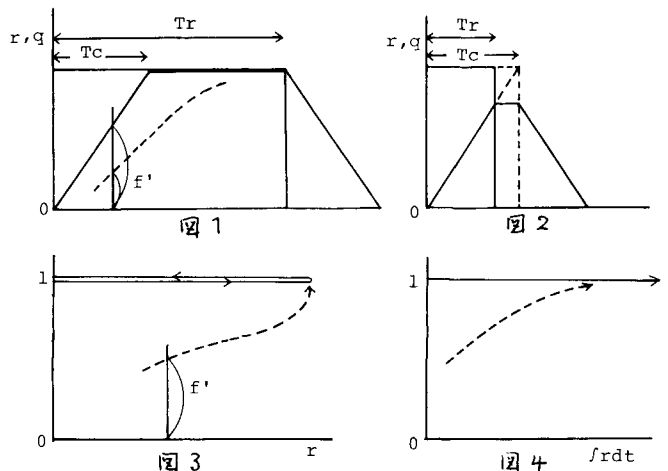
で, $Q(t)$ は時刻 t の流量, $r(t-T_c, t)$ は $t-T_c$ より t までの降雨強度すなわち $\frac{1}{T_c} \int_{t-T_c}^t r(t) dt$ である. この定義によれば, 一回の洪水で任意時刻ごとに継続的に f' が算出され, かつピーク流量 Q_p に対する f' は当然 f と等しくなるので, f の解釈に大へん便利である. 例えば, 5時にピーク流量に達したとすれば f は5時でしか求められないが f' は4時, 3時, 2時...と求められるので時間の経過又は降雨の変化により f' がどのように変化して行くかがわかる. もし6時, 7時まで降り続いたら, 又はもっと強度が増せば f' がどんな値をとるかの傾向が推定でき, 経験したことのない豪雨を対象にした計画流量推算や異常豪雨対策樹立に大いに役立つ.

2. 到達時間流出率の特徴: 到達時間流出率を用いる時には, その特徴から注意が必要である.

(1) 雨量が急減すると $f' > 1$ となる. 極端な場合, 雨が止めば $f' = \infty$ となる. この場合, f' は使えない.

(2) 長い河道を持つ河川では流域における時間おくれと河道における時間おくれとが卓越する. 両方到達時間に組込まれている筈であるが, 河道における時間おくれは到達時間流出率の解釈をむづかしくする. 前述水理講演会では河道の影響を無視できる試験流域 ($A: 小$) の資料に拠ったが, 今回は平均的な1級河川A川Y地点 ($A = 927 km^2$) における資料で到達時間流出率を論じる.

(3) 長方形の不浸透流域に長方形時間分布の降雨があり, 雨水流下速度が一定とすれば, 図1, 図2のように流出波形状は台形となる. 図1は長雨 (降雨継続時間 T_r が T_c より長い) の例で, 図2は短雨 ($T_r < T_c$) の例である. 縦軸は $r(t)$ 及び流出高 $g(t) = 3.6 Q(t)/A$ ($mm/時$) である. ハイドログラフのどの時点をとっても $f' = g(t)/r(t-T_c, t) = 1$ となっている. これを $r(t-T_c, t)$ 及び累加雨量 $\int_{t-T_c}^t r(t) dt$ との関係で書けば図3及び図4のようになる. 実線と矢印で時間的経過を示す. はじめ浸透性で降雨と



ともに不浸透に変る流域では図3, 図4の点線のような経過をたどるであろう。

3. 到達時間流出率の実例: A川Y地点における実測流量を用いた。図7に示すような洪水8115, 8210, 8218について流域内7ヶ所の雨量計の算術平均により時間雨量を求めた。雨の降り方がほぼ一様と推測されたからである。降雨ピークから流量ピークまでの時間は3洪水で4時間が平均としてえられたので、この2倍を到達時間 T_c と仮定した。 $T_c=8$ 時間である。こうして各洪水のピーク流量までの f' を求めた。到達時間流出率がいかなる因子に影響されるかをいろいろ調べた結果、図5, 図6のようにまとめた。

図5は降雨強度との対応で、図3のように横軸に降雨強度 $r_2^*(t) = \frac{1}{4} \int_{t-6}^{t-2} r(t) dt$ つまり6時間前から2時間前までの4時間(降雨・流量ピーク間隔)の平均降雨強度をとった。縦軸は f' である。矢印は時の経過を示し、各カーブの終点は Q_p に対する f' すなわち f である。その若干上にもう一つ点があるのはダム調節分を補正したものである。8115では降雨強度があまり変わらず徐々に f' が増す。8218では降雨強度とともにゆつくり f' が増し、最後に降雨強度が弱まって f' が急増する。8210では f' は降雨強度とともにぐんぐん増して1に近づく。

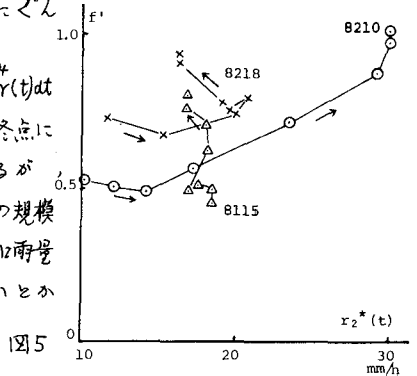


図5

図6は累加雨量との対応で、図4のように横軸に累加雨量 $R_4(t) = \int_0^{t-4} r(t) dt$ つまり4時間前までの累加雨量をとった。縦軸は f' である。矢印・最終点については図5と同様。この図によれば、部分的に下降するところもあるが累加雨量が増すにつれ f' も着しく増して行くことがわかる。この程度の規模の流域では河道効果により2~4時間のおくれが生じているため、累加雨量の時刻をずらす必要がある。これまで単に流出係数が大きいとか小さいとかの議論はあったが、累加雨量で150~200mmでは $f'=0.5 \sim 0.7$, 250~300mmでは $f'=0.8 \sim 0.9$ と増す傾向、降雨強度20mm/時では f' は徐々に増すが30mm/時では急に増し、 $f'=0.9$ からそれ以上にもなる傾向がある。200年確率というような経験したことのない豪雨を計画対象にするときには、それに応じて経験したことのない流出係数も想定して行かなければならないのではなからうか。本又はそのための一試案である。

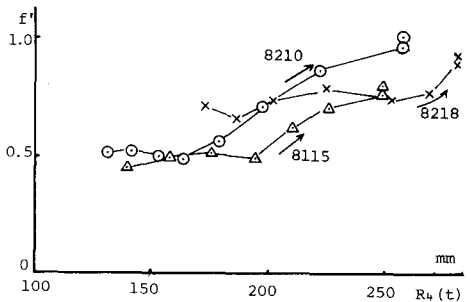


図6

4. 洪水流出率: 洪水流出率の求め方はここでは、基底流量を分離しない、洪水の初めは水位の明瞭な上昇点、洪水の終りは Q_p の数%まで下った点、流量は流量観測値を主に用い、それがない所は水位から推定する方法をとった。下表はその結果で1に近い値となっているのが特徴である。

K地点1019ha

洪水番号	地点	雨量 mm	流出高 m ³	流出率
8115	Y	300.3	195 × 10 ⁶	0.70
	K		194	0.63
8210	Y	340.0	316	1.00
	K		345	1.00
8218	Y	379.0	271	0.88
	K		288	0.85

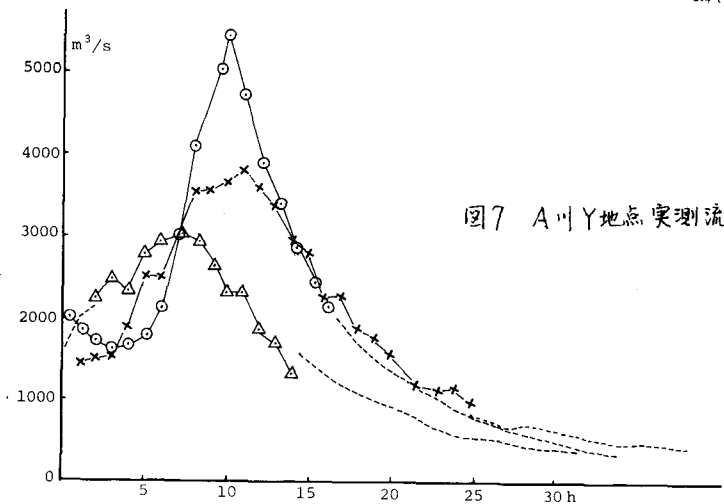


図7 A川Y地点実測流量