II-56　貯留関数法における遅滞時間について

九州大学　正員　篠原謹爾
〃　〃　○北島崇雄

1。まえがき

最近，流出解析法として，貯留関数法が建設省で広く用いられている。そこで，著者らは，山地流域として筑後川上流部を例にとり，貯留関数法による流出解析をおこなってみた。この論文では，主として，流域定数として決定される遅滞時間について調べた結果を報告する。内容を簡単に要約すると，hydrograph の Peak 付近では，各洪水，遅滞時間は，$1.0^{hr} \sim 2.0^{hr}$ で大きな変動は，みられない。洪水解析を Peak 付近に限定するならば，遅滞時間は，流域定数として求めることができる。Peak 付近で求めた遅滞時間を洪水初期に用いると，明らかに，実測と計算の hydrograph に時間的ずれが見いだされる。したがって，普遍的に流出現象を解明するためには，遅滞時間を変化させるべきと考える。また，遅滞時間を考慮して貯留方程式を良く満足するためには，流入降雨の地域分布性をもっと加味する必要がある。そこで，流入降雨として流域平均雨量を用いるよりも，代表的な雨量観測点を定め，各々の代表地点の支配面積に対して遅滞時間を求めて，地点毎の hyetograph と流出口の hydrograph の間に，良く貯留方程式を満足するような流入曲線を導入すれば，貯留関数法の精度があがると考える。

2。貯留関数法の問題点

貯留関数法による流出解析は，複雑な流出現象を巨視的にとらえたものであり，水量の連続性を基本とし，運動方程式の代りに，貯留方程式を導入して，逐次，流出量を算出するものである。すなわち，次式を基礎式とする。

連続式　：　$\frac{dS}{dt} = \sum_{j=1}^{n} I_j - Q$　-----------(1)

貯留方程式：　$S = KQ^P$　-----------(2)

ここに，S；貯留量，I_j；流入量群，Q；流出量

まず，貯留域について考えてみると，貯留域とは，仮想の概念であって，実際の流域において，その範囲を空間的に定めることは，困難である。ただ，流出口を中心とした河道網であって，流出口に近い程，貯留域としての性格が強いと，漠然とは想定できるだろう。したがって，貯留関数法における遅滞時間は，厳密な意味での水量の到達時間ではなく，空間的分布を有する降雨が，貯留域への流入に際し，良く貯留方程式を満足するように考慮した時間である。はたして，このような時間を流域定数として求めていいかどうかが貯留関数法を流域に適用する場合の大きな問題点である。この解析法が，流出現象を巨視的にとらえているから，貯留域への流入に際して，水量の地域分布の状態を，さらに考慮すれば，流出現象をより適確に表現出来るのではないかと考える。そこで著者らは，貯留方程式は，一応（2）式のような関係式を用いることとし，貯留域への遅滞時間を考察することにより，この解析法の精度を高めようと考えた。また，貯留関数の定数とされている流入係数も，遅滞時間とともに，重要な factor であるから，流入係数についても同時に考察する。

3。定数解析及び考察

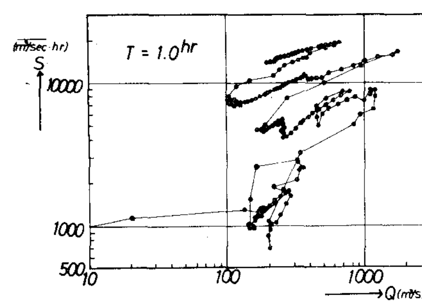
定数解析のための対象流域として，筑後川上流部，流域面積，約630 $^{Km^2}$ を設定した。洪水資料としては，表－1のように，昭和35年から昭和40年までのうち，Peak流量が1000 $^{m^3/s}$ を越すような7個の洪水を選んだ。ここで，連続式，(1)式において，流入量群 I_j の取扱いであるが，一般に，おこなわれいるように，流域平均雨量を求め，hyetographとしては，この値を用いることにする。すなわち，流域全体に一様に降ったとみなした場合，どのような時間分布によつて，貯留域へ流入するかを考察する。直接流出量Qは，木村氏の研究にしたがって，実測流量から初期流量を減じた値を採用した。流出量の対象を直接流出量とすれば，流入係数は，流出係数と考えて支障はないと思われる。そこで，流入係数としては，PeaKをはさんで，流出量の相等しい時刻間における流入量と流出量が等しいとして決定した流入係数fの値を洪水期間中，一定にとる方法と，損失雨量－累加雨量曲線を求め，この曲線を利用して，流入係数fを変化させる方法で解析し，比較検討する。

表－1. 対象洪水一覧表

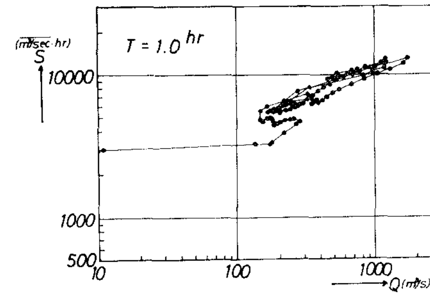
NO	洪水年月日	初期流量	PeaK流量
1	S.35.6.20～6.23	2.9 m^3/sec	1419 m^3/sec
2	S.36.7. 3～7. 6	4.1	1475
3	S.37.7. 1～7. 8	61.3	1828
4	S.37.7.12～7.15	61.3	1239
5	S.38.5. 6～5.11	5.6	1091
6	S.38.8.13～8.18	88.7	2300
7	S.40.6.18～6.20	1.1	1355

（i）流入係数について

損失雨量－累加雨量曲線を用いて，洪水毎にS・Q関係を求めてみると，図－1のように，洪水期間中，PeaKが何度も生起するような場合，段階的に，Peak部の貯留量が増加し，1本のS・Q関係式で表わすのに無理がある。これは，降雨の時間分布が，波形をなしている場合であって，降雨が減少ないし降りやんだ状態を考慮にいれず，流入係数を累加雨量の関数で求めたためである。したがって，損失雨量－累加雨量曲線を利用する場合は，無降雨期間の影響，すなわち，時間の項を考慮に入れる必要がある。次に，流入係数が一定だとして求めた同洪水のS・Q関係を図－2に示す。図－1と図－2を比較すれば判るように，流入係数を洪水期間中一定としたS・Q関係は，第1，第2，第3 PeaKと各々重なり合っていて，1本のS・Q関係曲線で表わすことが容易である。他の洪水も，PeaKが何度も生起するような場合は，このような傾向を示している。したがって，筑後川上流域においては，初期損失の影響は，短時間で，無視し得る程度であって，それ以後の損失は，一定値とした方がS・Q関係を良く満足するという結果が得られた。



図－1 fを変化させたときのS・Q関係

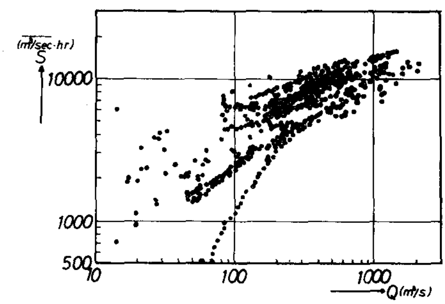


図－2 fを一定としたときのS・Q関係

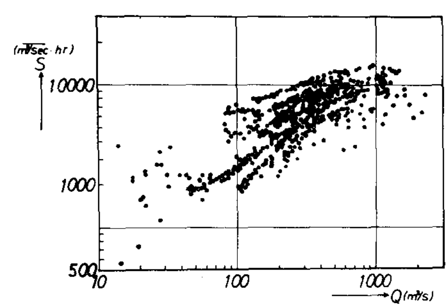
(ii) 遅滞時間について

洪水期間中一定とする遅滞時間の取扱いが，貯留関数法を流域に適用する場合の大きな問題点だと考え，流入係数としては，(i)の結果より，洪水期間中一定な値を用いることとし，遅滞時間T=0.0^{hr}, 1.0^{hr}, 2.0^{hr}, 3.0^{hr}の4つの場合を仮定して，7個の洪水のS·Q関係をそれぞれ算出してみた。その結果，PeaK付近では，T=1.0^{hr}または2.0^{hr}でS·Q関係の上昇部と下降部が良く一致する。すなわち，PeaK付近では，遅滞時間は，1.0^{hr}〜2.0^{hr}である。T=0.0^{hr}の場合は，上昇曲線と下降曲線は，時計回りのループを描き，T=3.0^{hr}の場合は，逆に反時計回りのループを描く。したがって，ループの時間的進行状態をみれば，その時点における遅滞時間を推定できるだろう。

ここで，全洪水のS·Q関係を遅滞時間の相違に応じて，比較するために，図−3(T=1.0^{hr})，図−4(T=3.0^{hr})を示す。両図を比較してみれば，判るように，流量が大きい部分では，T=1.0^{hr}の方がプロット点のバラツキが少なく，流量の小さい部分では，逆に，T=3.0^{hr}の方がバラツキが少ない。



図−3 T=1.0^{hr}として求めたS·Q関係



図−4 T=3.0^{hr}として求めたS·Q関係

また，PeaK付近で求めた遅滞時間で追跡計算をおこなってみると，明らかに，洪水初期から，PeaKに至るまでのhydrographは，実測と計算とで，時間的ずれを生じている。すなわち，実測より計算hydrographの方が時間的に早く流量の変化があらわれるので，この部分の遅滞時間は，PeaK付近よりも長いと考えることができる。 連続式，(1)式を実際流域にあてはめ，貯留量Sと流出量Qとの間に $S=KQ^P$ という関係を良く満足させるためには，ただ単に，hyetographとhydrographの間に遅滞時間を考慮し，時間的にずらせるだけでいいか問題がある。降雨の地域分布性を考慮に入れて，hyetographから貯留域への流入曲線を求める必要があると思われる。そこで，この論文の主題である水量の地域分布の影響を導入するために，ある時刻に流域全体に一様に降った雨が，貯留域への流入に際して，三角形分布と仮定して，その形を種々に変えて流入曲線を求めてみた。そして，それぞれの流入曲線に対してS·Q関係を求め，比較することにした。このように分布形で遅滞時間をあらわせば，一般に用いられている遅滞時間は，矩形分布として考えることができる。ところが，三角形分布の形を種々に変えてみても，貯留方程式 $S=KQ^P$ の適合度は，矩形分布とした今までの方法と大差なかった。このことは，地点雨量を流域平均雨量に直し，流域全体一様な降雨としたため，地域分布の状態が明確にならなかったことによると思う。したがって，降雨の地域分布性を貯留関数法による流域の流出解析に反映させるためには，代表地点を雨量観測所のうちから数個所選んで，その地点毎のhyetographを用いて解析すべきである。

このように，地点雨量をそのまま用いるとすれば，地点毎の支配面積に対する遅滞時間，すなわち，支配面積に降った雨が，貯留域への流入に要する時間をどのように決定したらいいかが問題である。基準としては，流域平均雨量を用いて解析した結果を参考にして，流域面積を流出口からの距離と関連して経験的に決定するのが妥当であろう。何故ならば，遅滞時間は，貯留域が漠然とした概念であって，貯留方程式 $S=KQ^P$ をどの程度満足しているかで判別されるものであり，測定ないし理論的に算定することができないからである。貯留方程式を $S=KQ^P$ と異なる曲線を設定すれば，その曲線に対する適切な遅滞時間の値は，違ってくるだろう。このように，貯留関数法による流出解析は，粗度，勾配，流域形状，支川密度等の流域特性及び降雨特性の影響を貯留域への遅滞時間という factor に集約的に表わすことになるので，どのような因子が遅滞時間にどれ程の影響を与えているかを分析することは，全んど不可能である。しかし，遅滞時間に降雨の地域分布の影響を加味することは，工学的に価値があるから，今後，この問題を追求していかなければならないと考える。

4。あとがき

貯留関数法の遅滞時間について考察したが，地点毎の hyetograph を用いて計算した結果は，次回に発表することにする。遅滞時間に降雨の地域分布を考慮するならば，その精密さに応じて，直接流出量の分離，初期損失を含めた洪水期間中の損失降雨についても，適切な方法を用いるべきであろう。本文の結論を要約すると，次のようである。

(1). 流入係数は，損失雨量－累加雨量曲線を用いるよりも，洪水期間中一定にとる方が，貯留方程式を良く満足する。しかし，損失雨量－累加雨量曲線に，無降雨期間の影響，すなわち，時間のパラメーターが無視されているので，この点を考慮した損失雨量曲線が得られれば，もっと精度は期待できると思う。

(2). 遅滞時間は，洪水初期から hydrograph の Peak にかけて，短くなる傾向がある。これは，流域における水量の分布状態と関係していると推察した。流入降雨として流域平均雨量を用いたときに，地域分布の状態を考えて，三角形分布で貯留域に流入させても，矩形分布流入とした今までの方法と大差なかった。したがって，降雨の地域分布を考慮した解析をするためには，地点雨量を用いなければならない。

(3). 貯留方程式 $S=KQ^P$ の定数 K，P は，遅滞時間の相違による影響は少なく，流入係数による相違の方が大きい。

以上のような結論となったが，元来，貯留関数法は，流域の降雨流出解析に用いるには，現象をあまりに巨視的にとらえた解析法である。したがって，流域特性すなわち，粗度，勾配，流域形状，支川密度等が，どのような影響を与えているかは，理解できない欠点を有する。しかし，自然流域の個々の因子を全て組み込んだ解析は，非常に困難であるから，この方法は，工学的価値が大いにあると思う。最後に，この論文を発表するにあたり，図面の作成に協力してくれた河川研究室の学生諸君，並びに，天本さん，堀川君に感謝いたします。

――参考文献――

木村俊晃　　貯留関数による洪水流出追跡法　　建設省土木研究所　　昭和36年