

タンクモデルによる流出解析

名古屋大学 正員 足立昭平
飯田市役所 正員 ○ 北原重敏

降雨と河川流量との量的対応関係を見出すために、これまで種々の流出モデルが提案されてきたが、さらに水質との対応関係を論ずるためには、水質が流出経路に特性づけられるものであることから、流出成分の組成を明らかにした流出解析が重視されねばならない。本報告はそうした観念から、流出成分に着目するタンクモデルの組み立てについて試考したものである。

1. 流出モデルの想定

流域の概念的構成として、図-1のように、地表、表層および地下層を想定し、それぞれから表面流出成分 q_1 、中間流出成分 q_2 および地下水流出成分 q_3 が流出するものと考え、各流出成分に対してタンクモデルを設定する。流出過程は、まず地表に到達した雨水が多孔質と見られる表層へ浸透し、その上層限界を超えたものが自由水面を形成して地形勾配にしたがって流動し、地下層への浸透も始まる。降雨強度がそうした表層の重力水の流下を上廻って継続すれば、やがて表層の貯水容量は満杯となり自由水面は地表に露頭して表面流が形成される。一方、地下層では表層に重力水が存在する間、一定の浸透速度で地下水の涵養が行われ、地下水流出成分として流出するものとする。モデルを単純化するために、各層における貯水量 S_i とその流出成分流量 q_i との間に線型関係を仮定できるものとするれば、各層に関する基礎方程式は、

$$q_i = k_i S_i \quad \dots \quad (1), \quad \frac{dS_i}{dt} = r_i - q_i + r_{i-1} \quad \dots \quad (2)$$

で与えられる。ここに、 k_i は i 層に関する特性係数とする。いま、初期条件として、 $t=0$ において、 $q_i = q_{i0} = 0$ 、 $q_3 = q_3(0)$ とおき、地表遮断を除いた降雨分を $R(t)$ 、表層の貯水容量限界を S_{2c} 、中間流出成分の限界流量を q_{2c} 、地下層への浸透流量を f_g とおけば、

$$r_1 = R(t), \quad r_2 = \begin{cases} R(t) : (S_2 < S_{2c}) \\ q_{2c} + f_g : (S_2 = S_{2c}) \end{cases}, \quad r_3 = f_g$$

であるから、基礎方程式 (1)、(2) の解は

(i) 表層に重力水が存在しない期間:

$$q_1 = q_2 = 0, \quad q_3 = q_3(0) \exp(-k_3 t) \quad \dots \quad (3)$$

(ii) 表層に重力水が存在し、表層の貯水容量には達していない期間 ($S_2 < S_{2c}$):

$$q_1 = 0, \quad q_2 = k_2 \exp(-k_2 t) \int_0^t R(t) \exp(k_2 t) dt - f_g \{1 - \exp(-k_2 t)\}, \quad q_3 = f_g \{1 - \exp(-k_3 t)\} + q_3(0) \exp(-k_3 t) \quad \dots \quad (4)$$

(iii) 表層の重力水が表層の貯水容量を満杯している期間 ($S_2 = S_{2c}$):

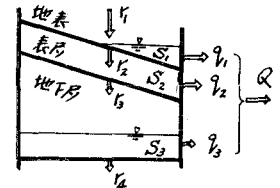


図-1 流出成分の概念図

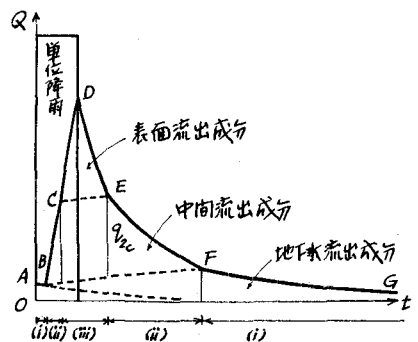


図-2 単位降雨に対する流量曲線

$$\left. \begin{aligned} \dot{q}_1 &= k_1 \exp(-k_2 t) \int_0^t R(t) \exp(-k_1 t) dt - (f_g + q_{2c}) \{1 - \exp(-k_1 t)\}, \quad q_2 = q_{2c}, \\ \dot{q}_2 &= f_g \{1 - \exp(-k_2 t)\} + q_2(0) \exp(-k_2 t) \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

となる。単位降雨、 $R = \text{一定}$ 、の場合の解を例示すれば、図-2 のようになる。

2. 巴川上流域における適用例

矢作川左支川の巴川上流、恵帽子橋における流量観測資料を用いて、前記の流出モデルの適用性を検討した。この流域は図-3 のような形状の面積 38.6 km^2 の小流域であり、雨量観測装置は流域のほぼ中央に位置する。



図-3 巴川恵帽子橋流域

まず、昭和46年7月の約2週間にわたる無降雨期間の流量は、地下水流出成分 q_2 のみであると考え、この期間の流量低減勾配式(3)

で与えられるとして、地下層の特性係数 k_2 の値を求めた。つまり、単位降雨と見なされる降雨・出水記録を送らば、図-2 に例示される流量曲線の点Fに相当する流量低減勾配急変点に対して式(1)および(4)が、また点Eに相当する勾配急変点に対して式(4)および(5)が成立するものとして、順次、地下層の浸透流量 f_g 、表層の限界中間流量 q_{2c} を求め、さらに、流量低減曲線のEFおよびDEに相当する部分の低減勾配にそれぞれ式(4)および(5)をあてはめて、表層および地表の特性係数 k_1 および k_2 の値を求めた。これらの特性係数の数値は、出水点と若干の相違があるが平均値とすれば、

$$k_1 = 0.0072 \text{ sec}^{-1}, \quad k_2 = 0.0125 \text{ sec}^{-1}, \quad k_3 = 0.0024 \text{ sec}^{-1}, \quad q_{2c} = 1.15 \text{ m}^3/\text{s} (S_{2c} = 92 \text{ m}^3), \quad f_g = 3.47 \text{ m}^3/\text{sec}$$

であった。これらの値を用いて、昭和46年6月～8月の8出水について、式(2)～(5)を適用し流量計算を行なった結果は、実測流量に対して、(1) 流量ピークの出現時刻が早く、とくに小出水の場合にその差が著しく、(2) 表面流出成分を過大に算出する、(3) 流量低減において、初期に過大に、後期に過小に算出するという傾向がある。こうした計算値と実測値との違いは、流出モデルを設定する際の問題の単純化に起因するものであり、たとえば、図-2の流量曲線において、降雨開始からの流出遅れABについて、それが降雨の流域分布にも関わるために、ここには無視していることなどを挙げることができるが、上記モデルのもっと基本的な問題点は、流域の貯留効果への評価が不十分であることにある。その修正には、タンクモデルの欠点である河道流出過程の省略を補う何らかの配慮を付け加えることも有力な修正法と考えられるが、ここでは、タンクモデルの簡明さを重視して、地下層を2段とする修正を試みた。これは図-1の概念図において、さきのモデルがなを省略したことに對する修正でもある。流量曲線の特性として見れば、図-2においてFGの部分にいま一つの勾配急変点を設定するわけであり、計算法は全く同様である。今2段の地下層における浸透流量 f_{g2} を付け加えて、各パラメータの値を算定し直せば、

$$k_1 = 0.046 \text{ sec}^{-1}, \quad k_2 = 0.0076 \text{ sec}^{-1}, \quad k_3 = 0.0031 \text{ sec}^{-1}, \quad f_{g1} = 5.62 \text{ m}^3/\text{s}, \quad f_{g2} = 0.44 \text{ m}^3/\text{s}$$

となり、同じ降雨記録に対する流量を計算した結果は、前記の1段地下層モデルのそれをかなりの程度に修正したものととなった。タンクモデルの欠点は、パラメータの設定に任意性が伴うことであるが、以上の試算結果は、流出成分の組成を論ずる際の流出解析法の一つとしてタンクモデルの有用性を示唆していると考えられる。