

## 1. 損失項を含む貯留関数法（1段タンク型貯留関数モデル）

貯留関数法は、流出現象を比較的単純な構造式で表現でき、しかも洪水ハイドログラフの再現性が良好などの理由により、広く洪水流出解析に用いられてきた。

しかしながら、従来の貯留関数法では、入力として、有効雨量を必要とするため、データの前処理に多くの時間を要する。すなわち、直接流出成分と基底流出成分の分離法が確定していないために、その分離作業を自動的に行うことが困難な場合が多く、主観的要素が入りやすい。

有効雨量の推定法も種々提案されているが、たとえば、保水能曲線の決定のためには、一地点で多くの洪水例を必要とする。このような現実的課題を踏まえて、本報告では、貯留関数モデル自身に有効雨量を表現できるパラメータの導入を図る。有効雨量と損失雨量はコインの表裏の関係にあることから、降雨流出過程に含まれるすべての損失を1個のモデル定数でパラメタライズする。すなわち、損失機構を含む貯留関数法を開発し、観測雨量と観測流量を直接流出解析に用いる。

その結果、貯留関数モデル自身に損失パラメータを含めることができるので、この損失パラメータの自動最適化が可能となる。また、従来の方法と異なり、流出成分分離過程における主観的判断が取り除かれる。

損失項を取り入れた貯留関数モデルとして図1.1に示す1段タンク型貯留関数モデルを考え、解析を行う。

$$\begin{cases} \frac{ds}{dt} = r - q - b + q_0 \\ s = k_{11}q^{p_1} + k_{12} \frac{d}{dt}(q^{p_2}) \\ b = k_{13}q \\ q_0 = q_B \exp(-\lambda t) \end{cases} \quad (1.1)$$

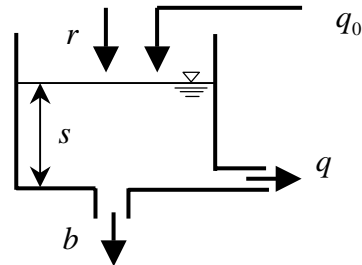


図1.1 流出モデル

ここに、 $s$ ：貯留高[mm]、 $r$ ：観測雨量[mm/h]、 $q$ ：観測流出高[mm/h]、 $b$ ：損失高[mm/h]、 $q_0$ ：基底流出高[mm/h]、 $q_B$ ：初期流出高[mm/h]、 $k_{11}, k_{12}$ ：貯留係数、 $k_{13}$ ：損失係数、 $p_1, p_2$ ：貯留指数、 $\lambda$ ：減衰係数

流域内の初期貯留量を考慮するため、基底流出高 $q_0$ を導入している。基底流出高 $q_0$ の導入は、解析期間内の総流出量 $\Sigma q$ が総降雨量 $\Sigma r$ を上回る際に計算不可能となることへの対応策であり、強制入力として与えることによって連続性が保たれている。なお、 $\lambda$ はハイ

ドログラフ減水部の標準逓減曲線から得られる流域に固有な値であるが、北海道内の河川における佐藤らの解析結果を基に、本報告では、 $\lambda = 0.019$  に固定した。

モデル定数  $p_1$  と  $p_2$  に関しては、表面流が卓越する比較的大きな出水を解析対象とする場合、マニング則を想定すると、 $p_1 = 0.6, p_2 = 0.4648$  に近似できることが知られている。

モデル定数  $k_{11}$  と  $k_{12}$  については、既往研究成果から次の関数形を仮定する。

$$\begin{cases} k_{11} = c_{11} A^{0.24} \\ k_{12} = c_{12} k_{11}^2 (\bar{r})^{-0.2648} \end{cases} \quad (1.2)$$

ここに、 $A$  : 流域面積[km<sup>2</sup>]、 $\bar{r}$  : 平均雨量強度[mm/h]、 $c_{11}, c_{12}$  : 未知定数

モデル定数  $k_{11}$  は流域特性値に、 $k_{12}$  は流域、降雨特性値の双方に依存して変化するので、各定数の流出に及ぼす影響を独立に評価できないことになる。一方、係数  $c_{11}$  と  $c_{12}$  は流域・降雨特性に依存しないことが望ましく、互いに無相関であれば、それぞれの効果を独立に評価する事ができる。

この場合、未知パラメータは、 $c_{11}, c_{12}, k_{13}$  の3個となる。

### 1.1 非線形方程式の数値解法

式(1.1)の貯留関数モデルの解法にあたって、次の変数変換を行う。

$$y_1 = q^{p_2}, \quad y_2 = \frac{d}{dt}(q^{p_2}) \quad (1.3)$$

式(1.1)と(1.3)より、非線形連立常微分方程式(1.4)を得る。

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = y_2 \\ \frac{dy_2}{dt} = -\frac{k_{11}}{k_{12}} \frac{p_1}{p_2} y_1^{p_1/p_2-1} y_2 - \frac{c_{13}}{k_{12}} y_1^{1/p_2} + \frac{1}{k_{12}}(r + q_0) \end{cases} \quad (1.4)$$

ここに、

$$c_{13} = 1 + k_{13} \quad (1.5)$$

式(1.4)はさらに式(1.6)のようにベクトル表示できる。

$$\frac{dY}{dt} = F(Y) \quad (1.6)$$