

## II-55 流出モデルについて

群馬高専 正会員 山本好克  
正会員 丸井信雄

1. はじめに 河川の洪水による災害防止または軽減するための治水対策においては、洪水のハイドログラフの設定が基本となるため、流域の降雨量から河川の流出量を計算する流出モデルが必要となる。

著者らは、洪水流出も低水流量も同じ降雨から生起するものであるから、これらは一連となった流出過程であろうとの観点から、流域の降雨を洪水分と低水分に分離することなく、洪水流出と低水流出とを同一の関数関係を用いて連続的に解析可能な“遊水モデル”を構築し、モデルにおける降雨流出機構の妥当性および短期・長期流出解析法としての有用性を示した<sup>1),2)</sup>

ここでは、上述の遊水モデルにおける流出現象の概念および基本式を改良した“遊水モデル”の降雨流出機構の妥当性および流域固有のモデル定数設定の可能性について、利根川水系神流川流域(373.6 km<sup>2</sup>)若泉地点の昭和30年代の6洪水を対象<sup>3)</sup>として検討する。

2. モデルとその基本式 流域からの降雨の流出現象を支配するものは、河道における貯留作用と河道わきの遊水作用であろうとし、遊水部を附属した貯留部が $n$ 個から成る流域における降雨流出機構を考えた前述の“遊水モデル”を改良した本モデルは、図-1に示すように、遊水部を附属した貯留部と河道部および流下部とから成る流域での降雨流出機構を考えている。すなわち、貯留部上流端から流入した流域の降雨  $I(t)$  が遊水部で遊水作用  $S'(t)$  を受けながら貯留部で貯留作用  $\bar{S}(t)$  を受けて流出  $\bar{Q}(t)$  し、それが下流の河道部に流下しそこで貯留作用  $S(t)$  を受けて流出  $Q(t)$  し、さらに流下部で時間  $T$  だけ移動して流出  $Q(t+T)$  する過程を表現している。

こうした降雨流出機構を表現する基本式は、水理学的運動の基礎式およびその集中化によって求めることができる。<sup>1)</sup> すなわち、貯留部は、河道わきへの単位長さ当りの流出入量を考慮した河道における不定流の連続式と運動方程式を集中化して導びかれ、それぞれ式(1)、(2)で表わされる。また、遊水部のそれらは、連続式である式(3)と、貯留部と遊水部との間を鉛直な開口部の流れを想定した近似式である式(4)で表わされる。なお式(2)は、実際の流出現象に基づいて改良したものである。河道部は、不定流の連続式を集中化した式(5)および等流の基本式である式(6)で表わされる。さらに流下部は、不定流の連続式と平均流速公式から導びかれる伝ばん速度による流下時間  $T$  (“ずれ時間”と呼ぶ。)そのものである。

$$\frac{d\bar{S}}{dt} = I - \bar{Q} - q \quad \text{----- (1)}, \quad \bar{Q} = a(e^{b\bar{S}} - 1) \quad \text{----- (2)}$$

$$\frac{dS'}{dt} = q - E \quad \text{----- (3)}, \quad q = \alpha \bar{S}(\bar{S} - \beta S') \quad \text{----- (4)}$$

$$\frac{dS}{dt} = \bar{Q} - Q \quad \text{----- (5)}, \quad Q = vA \quad \text{----- (6)}$$

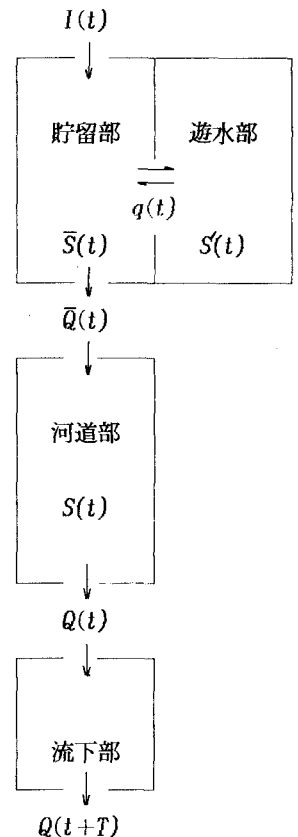


図-1 モデルの概念図

ここに、 $\bar{S}$ :貯留部の貯留量、 $I$ :貯留部への流入量、 $\bar{Q}$ :貯留部から河道部への流入量、 $q$ :貯留部から遊水部への流量(逆の流れの時は符号が逆になる)、 $S'$ :遊水部の貯留量、 $E$ :遊水部において発生する消失量、 $S$ :河道部の貯留量、 $Q$ :河道部からの流出量、 $v$ :河道部の平均流速、 $A$ :河道部の流積、 $a, b$ :貯留部の河道部への

流出に関する定数、 $\alpha$ ;  $\beta$ : 遊水部への流出に関する定数、である。

3. 流出解析法 本モデルによる流出解析は、基本式(1)~(6)を次式のように3元連立常微分方程式に変換し、Runge-kutta 法を用いて行なう。

$$\frac{d\bar{Q}}{dt} = b(\bar{Q} + a)(I - \bar{Q} - q) \quad \text{----- (7)}$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{d\bar{S}}{dt} \frac{q}{\bar{S}} + a \bar{S} \left\{ \frac{d\bar{S}}{dt} - \beta(q - E) \right\} \quad \text{----- (8)}$$

$$\frac{dQ}{dt} = \gamma Q^m (\bar{Q} - Q) \quad \text{----- (9)}$$

$$\text{ここに、} \frac{d\bar{S}}{dt} = I - \bar{Q} - q, \bar{S} = \frac{1}{b} \ln \left( \frac{\bar{Q}}{a} + 1 \right),$$

である。また、 $\gamma$ ;  $m$ は、式(6)において、 $v$ と $Q$ の関係を表わした河道部の流出に関する定数である。こうして、対象流域の降雨流出特性によって決まる流域固有の定数は、 $a$ 、 $b$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $m$  および  $T$  の7個となる。実際の流出解析では、流域平均降雨量を  $I$  とし、 $\bar{Q} = \bar{Q}_0$ 、 $Q = Q_0$ 、 $q = q_0$  の初期値を与え、式(7)~(8)をRunge-kutta 法によって解き、得られたハイドログラフを一定時間  $T$  だけずらしたものが求める流出ハイドログラフとなるが、その際各定数は、実測ハイドログラフとの適合性から試行的に決定する。

4. 適用例 神流川流域での対象6洪水（神1~神6）のうちピーク流出高 3.6 mm/hr以上の大小2洪水（神5、神6）の流出解析では、表-2の最適定数を得た。図-1にはその再現結果を示してある。ただし定数 $m$ は、広幅放物線形断面を仮定し1/4とおき、 $I$ と $Q$ の値をmm/hrとすると、 $a$  mm hr<sup>-1</sup>、 $b$  mm<sup>-1</sup>、 $\alpha$  mm<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>、 $\beta$ 、 $\gamma$  mm<sup>-1/3</sup> hr<sup>-1</sup> および  $T$  hrとなる。

表-1

| 洪水 | $a$ | $b$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ | $T$ |
|----|-----|-----|----------|---------|----------|-----|
| 神5 | .04 | .05 | .001     | 2       | .40      | 3   |
| 神6 | .01 | .06 | .001     | 2       | .22      | 2   |

図-1の再現結果と誤差の観点から神5を神流川流域固有の定数とし、これを用いた神1~4の再現結果は、その一例を図-2に示してあるように良好であった。

5. おわりに 実河川流域での流出解析では、良好な再現性がえられ、モデルによる降雨流出機構の概念とその基本式の妥当性が示されるとともに、流域固有の定数設定の可能性が明らかとなった。

参考文献 1)、2) 山本・丸井：第30、31回水理講演会論文集 3) 神流川流域水文資料、土研

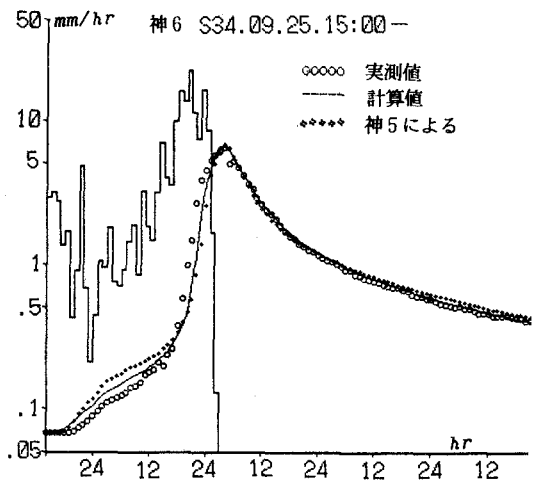
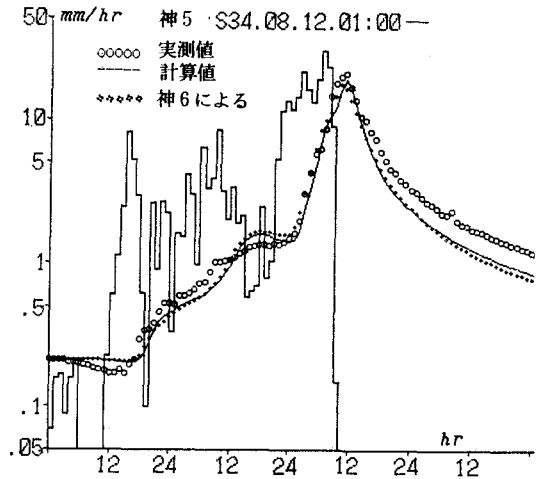


図-1 流出解析結果

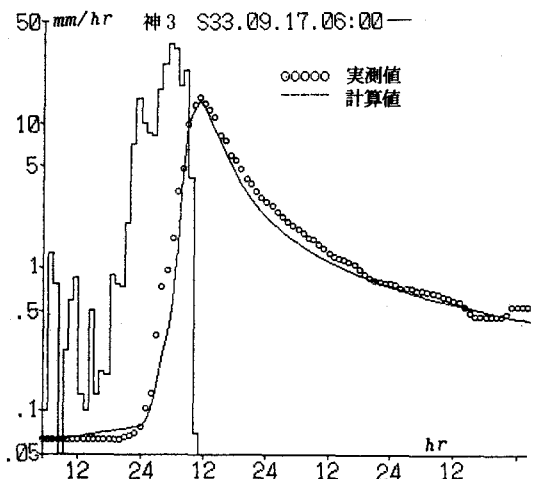


図-2 洪水再現結果の一例