

## II-291

## 全流出成分を考慮した集中型流出モデルの構築

群馬高専 正会員 山本 好克

1. はじめに 著者は、山地河川流域における実用的な長・短期流出モデルの開発に当り、流域は流路系と斜面系から成るとし、斜面系への降雨は後に蒸発散となる損失降雨以外(有効降雨)はすべて土中に浸透し飽和・不飽和地中流となって流路系へ流出し、そこでの降雨(一部蒸発する)とともに河川流量となるプロセスを考えた<sup>1)</sup>。次に、斜面系で土中に浸透した有効降雨は、早い地中流と遅い地中流の2成分から成るとした流出モデルを構築<sup>2)</sup>し、上記のモデル同様、実流域の長・短期流出を良く再現することを確認した。

本研究では、斜面系はさらに流出域と浸透域から成るとし、流出域への有効降雨は地表流となり、また、浸透域への有効降雨は早いおよび遅い地中流となり流路系へ流出し、そこでの降雨(一部蒸発する)とともに河川流量となる流出過程のモデル化を試み、実流域への適用を通してモデルの妥当性を検討する。

## 2. 山地河川流域における降雨流出過程のモデル化

図-1には、山地河川流域における降雨流出過程の概念を示してある。すなわち、流域は流路系と流出域・浸透域を有する斜面系から成り、斜面系への降雨は、遮断や植生に捕捉されたのち蒸発散となる以外は流出域では地表流 $Q_1$ として、また、浸透域では土中に浸透して早い地中流 $Q_1$ として、一部はさらに浸透し遅い地中流 $Q_2$ として流路系へ流出し、そこでの降雨(一部蒸発する)とともに河川流量 $Q$ になるとするものである。

こうした降雨流出過程における雨水流挙動の水理学的基礎式は、流路系においては式(1)、(2)、(3)により、また斜面系における流出域では式(4)、(5)、浸透域での早い・遅い地中流は各々式(6)、(7)により表わされる。

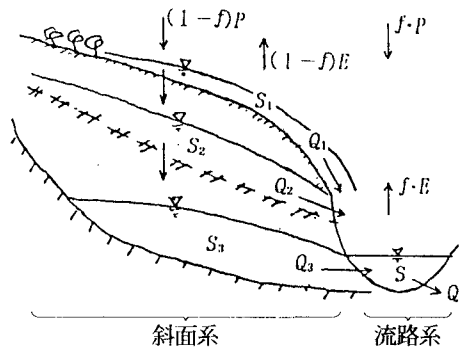


図-1 降雨流出過程の概念

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = (p-e)B + q \quad \text{---(1)} \quad -i + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{v^2}{C^2 R} + \frac{v}{gA} \{ (p-e)B + q \} \quad \text{---(2)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad \text{---(3)} \quad \frac{\partial h_1}{\partial t} + \frac{\partial q_1}{\partial y} = p - e \quad \text{---(4)} \quad q_1 = C_1 A_1 \sqrt{i_1 R_1} \quad \text{---(5)}$$

$$\gamma_{2,3} \frac{\partial h_{2,3}}{\partial t} + \frac{\partial q_{2,3}}{\partial y} = p - e \quad \text{---(6)} \quad q_{2,3} = -K_{2,3} h_{2,3} \frac{\partial h_{2,3}}{\partial y} \quad \text{---(7)}$$

ここに、 $t$ : 時間、 $x$ ;  $y$ : 流路系・斜面系下流方向の距離、 $A$ : 流水断面積、 $B$ : 水面巾、 $Q$ : 流量、 $h$ ;  $h_1 \sim 3$ : 流路系・斜面系の流水深、 $v$ : 平均流速、 $q$ : 流路単位巾当りの流出域流出量  $q_1$ 、早い地中流出量  $q_2$  および 遅い地中流出量  $q_3$  の総和、 $p$ ;  $e$ : 流域単位面積当りの降雨量と消失量、 $i$ ;  $i_1$ : 流路および斜面勾配、 $R$ ;  $R_1$ : 径深、 $C$ ;  $C_1$ : シェジ-係数、 $\gamma_{2,3}$ : 有効間隙率、 $K_{2,3}$ : 透水係数、 $g$ : 重力加速度、である。

ここで、流出域を流路長  $L$ ・水面巾  $B$ 、流出域を斜面長  $\bar{L}$ ・斜面巾  $L_1$  および早い・遅い地中流域を各々斜面長  $\bar{L}$ ・斜面巾  $L_2$ 、 $L_3$  の矩形を仮定し、上式を積分・整理すると次式のモデル基本式が導出される。

$$\frac{dS(t)}{dt} = f(P-E) + Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q \quad \text{---(8)}, \quad Q(t) = m(e^{kS} - 1) \quad \text{---(9)}$$

$$\frac{dS_1(t)}{dt} = (1-f)f_1(P-E) - Q_1 \quad \text{---(10)}, \quad Q_1(t) = \alpha_1 S_1^{3/2} \quad \text{---(11)}$$

キーワード: 山地河川流域、降雨流出過程、全流出成分、集中型流出モデル

連絡先: 〒371-8530 前橋市島羽町580・TEL. 027-254-9188・FAX. 027-254-9183

$$\frac{dS_2(t)}{dt} = (1-f)(1-f_1)f_2(P-E) - Q_2 \quad \text{-----(12)}, \quad Q_2(t) = \alpha_2 S_2 \quad \text{-----(13)}$$

$$\frac{dS_3(t)}{dt} = (1-f)(1-f_1)(1-f_2)(P-E) - Q_3 \quad \text{-----(14)}, \quad Q_3(t) = \alpha_3 S_3(S_3 - \beta S) \quad \text{-----(15)}$$

ここで、 $S(t) = \int_0^L A(x, t) dx$ 、 $S_1(t) = \int_0^L \int_0^{h_1} h_1(y, t) dx dy$ 、 $S_{2,3}(t) = \int_0^L \int_0^{h_{2,3}} \gamma_{2,3} h_{2,3}(y, t) dx dy$ 、 $P = pF$ 、 $E$

$= eF$ 、 $F$ ：流域面積、 $Q_1(t) = q_1(t)L_1$ 、 $Q_2(t) = q_2(t)L_2$ 、 $Q_3(t) = q_3(t)L_3$ 、 $f$ ：流路系面積／流域面積、 $f_1$ ：流出域面積／斜面系面積、 $f_2$ ：早い地中流出域面積／浸透域面積、 $m$ 、 $k$ 、 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ 、 $\beta$ ：定数、である。また、式(3)は、洪水流がある時間、変形・減衰することなく平均流速  $v$  で移動することを意味していることから、本モデルではこの時間を“移動時間  $T$ ”と呼び、定数として取り扱う。

3. 実流域への適用 本モデルのパラメータ  $f$ 、 $f_1$ 、 $f_2$ 、 $m(\text{mm} \cdot \text{hr}^{-1})$ 、 $k(\text{mm}^{-1})$ 、 $\alpha_1(\text{mm}^{-1/2} \cdot \text{hr}^{-1})$ 、 $\alpha_2(\text{hr}^{-1})$ 、 $\alpha_3(\text{mm}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1})$ 、 $\beta$ 、 $T(\text{hr})$  の値は、表-1に示す神流川試験流域(面積373.6 $\text{km}^2$ )で観測された洪水のうちNo. 1を用い、実測と計算のピーク流出高の相対誤差 E1 が5%以内かつ相対誤差平方和 E2 が最小となる条件のもとで、モデル式(8)～(15)を Runge-Kutta法により試行して求めた。なお、降雨  $R$  はティーセン法による流域平均雨量を、計算初期値  $Q(t=0)$ 、 $Q_3(t=0)$  には実測値  $Q(t=0)$  を、また、 $Q_1$ 、 $Q_2(t=0)$  には0を与えた。蒸発散量  $E(t)$  は、短期流出では無視し、長期流出では蒸発散比率を用いて日蒸発散量(mm)を推定した。図-2にはパラメータ同定結果とそのハイドログラフを、図-3には洪水再現結果の一例を、また、表-1には対象洪水の再現誤差 E1、E2、E3（ピーク流出高平方誤差）を示した。なお、図-4には、パラメータの日単位変換（ $k$  値は実測ピーク値に適合させた）による長期流出再現結果の一例を示してある。

4. おわりに 全流出成分を考慮した集中型流出モデルを構築し実流域へ適用した結果、長・短期流出とも良好な再現性が見い出され、モデルの妥当性が検証された。

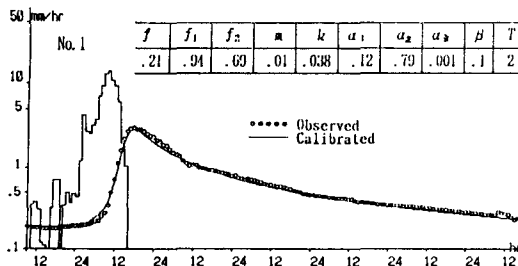


図-2 モデルパラメータ同定結果と再現性

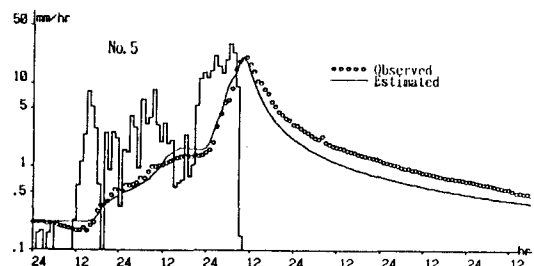


図-3 短期流出再現結果の1例

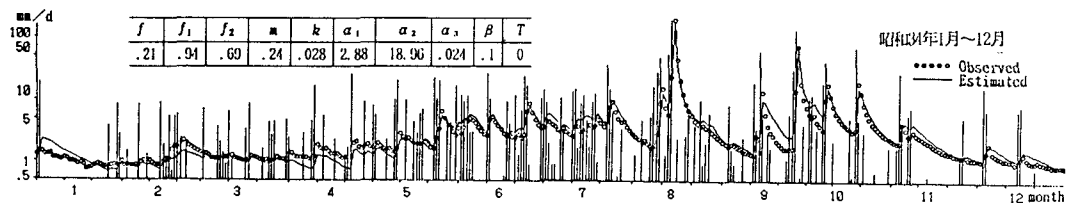


図-4 長期流出再現結果の1例

参考文献 1)山本：山地河川流域における降雨流出過程のモデル化、土木学会第53回年講第2部、平成10.10  
2)山本：地中流成分を考慮した集中型流出モデルの構築、水文・水資源学会研究発表会要旨集、1998.8