

## 直接流出成分への有効降雨と 低水流出高曲線の一推定法

福島 辰\*・田中礼次郎\*

---

An Estimation Method of Effective Rainfall to Component  
of Direct Runoff and Curve of Base Flow Height

Akira FUKUSHIMA and Reijiro TANAKA

---

This paper is concerned with procedures of synthesizing effective rainfall to direct runoff component and curves of base flow height, in which a runoff model named KWST model (Runoff Model combined Kinematic Wave and Storage Tanks) is developed.

The upper zone of the model is composed by kinematic wave runoff model. The lower zone is the same with the storage model proposed by Kadoya and Nagai. The estimation method of the effective rainfall concerned in the surface runoff and/or prompt subsurface runoff is shown in the model.

A runoff cycle of base flow is divided into five stages. The first and second stages are related to rainless periods. The recharge of base flow occurs during other stages. The recharge of delayed subsurface flow and groundwater runoff is evaluated by KWST model. The equations of runoff height of base flow for each stage are derived by using of model parameters.

The parameters of KWST model are identified by the flood runoff analysis at the Shimokari hilly watershed of 1.3 km<sup>2</sup>. It is shown that the estimated curves of base flow are different from the evaluated curves by the usual hydrograph analysis in flood runoff and more rational expression than the usual method for analysis of the base flow phenomena. And it is pointed out that the estimation method of base flow by KWST model is especially useful for the complicated runoff occurring the multipul peak discharge.

### I. ま え が き

丘陵山地流域における流出過程において、表面流と中間流、あるいは表面流と早い中間流で形成される雨水流出成分は直接流出成分と呼ばれる。また、有効降雨とは降雨のうち対象となる流出成分となる降雨分をいう<sup>1)</sup>。一連の洪水に対する総有効雨量は直接流出成分の総量である。そこで、洪水流出解析に雨水流法を適用する場合、

有効降雨は通常、観測流出量ハイドログラフを介して直接流出成分の総量を算定し、次いで雨水保留量曲線を作成した後、有効降雨の時間的変化を算定する方式が採用されている。

角屋は従来の雨水保留量曲線の作成法を改善し、流出量ピーク近傍の有効降雨の推定精度を向上させる有用な手法を提案している<sup>2)</sup>。しかし、特に降雨期間内に無降雨時間帯を含む複雑な降雨の場合、複峰型の流出波形となり直接流出成分の分離に個人差が介入する余地が大きく

\* 農業水理工学研究室

なり、流出解析結果は有効降雨の算定値に左右されることになる。したがって、雨水流法による洪水流出解析を行う際の有効降雨算定法についてはなお検討すべき余地があるといえる。

ところで、角屋・永井によって提案された長短期流出<sup>3),4)</sup>両用モデルは流域平均降雨量をそのまま入力情報として利用でき、いわゆる有効降雨を算定する必要のない流出モデルである。しかし、本流出モデルでは、流出計算過程において直接流出成分への有効降雨が自動的に評価される構造となっている。

そこで、本報では本流出モデルを基礎にしなが、  
i) 直接流出成分への有効降雨の推定法、ならびに ii) 直接流出成分となる有効降雨を分離した後の降雨分による低水流出高の推定法について若干の検討を試みた結果を報告する。

## II. 流出モデルと流出サイクルの区分

### 1. 流出モデル

筆者等は角屋・永井法の長短期流出両用モデルの適用性を検討する過程で、図-1に示すようなKWSTモデル<sup>5)</sup>を提案した。本流出モデルは長短期流出両用モデルを応用した流出モデルである。すなわち、長短期流出両用モデルにおいて、樹木等による降雨遮断効果、および第1段タンク下層部、第2～3段タンクはそのまま利用し、表面流、早い中間流に相当する斜面流には洪水流出解析における代表的モデルと目されている雨水流モデルを適用しようとする流出モデルである。なお、図-1のように河道流を考慮しない場合を集中型KWSTモデルとし、流域をいくつかのブロックに分割し、河道流計算も組

み込んだ流出モデルを分布型KWSTモデルと略称する。

ここでは、集中型KWSTモデルを用いて、表面流と早い中間流で形成される直接流出成分への有効降雨、ならびに低水流出高の推定法を検討することにする。

集中型KWSTモデルの降雨遮断タンク、および第1段タンク下層部～第3段タンクについての連続の式、降雨遮断量、流出高、浸透能、浸透高、蒸発散量は以下の式で与えられる。

#### (1) 連続の式

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_0}{dt} &= r - r_a && (\text{for } S_0 < z_0 \text{ and } r \neq 0) \\ &= 0 && (\text{for } S_0 = z_0 \text{ and } r \neq 0) \\ &= -E_1' && (\text{for } 0 < S_0 \leq z_0 \text{ and } r = 0) \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_1}{dt} &= r_a && (\text{for } 0 \leq S_1 < z_{12} \text{ and } r \neq 0) \\ &= 0 && (\text{for } S_1 = z_{12} \text{ and } r \neq 0) \\ &= -E_1' && (\text{for } S_0 = 0, 0 < S_1 \leq z_{12} \text{ and } r = 0) \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_2}{dt} &= f_0 - Q_3 - g_1 - E_1' && (\text{for } S_2 \geq z_3) \\ &= f_0 - g_1 - E_1' && (\text{for } S_2 < z_3) \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\frac{dS_3}{dt} = g_1 - Q_4 - g_2 - E_2' \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{dS_4}{dt} = g_2 - Q_5 - E_3' \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 $t$ ：時間(h)、 $S_0$ ：降雨遮断タンクの貯留量(mm)、 $r$ ：流域平均降雨強度(mm/h)、 $r_a$ ：降雨遮断効果を受けた後の降雨量(mm/h)、 $S_1 \sim S_4$ ：第1段タンク上層～第3段タンクの貯留量(mm)、 $f_0$ ：第1段タンク上層部よりの補給高(mm/h)で、(10)式の浸透能 $f$ (mm/h)で与えられる場合、および一定値 $f_0$ (mm/h)で与えられる場合の2通りを考えることにする。 $Q_3 \sim Q_5$ ：流出成分で、 $Q_3$ は遅い中間流出高(mm/h)、 $Q_4$ と $Q_5$ は地下水流出高(mm/h)、 $g_1, g_2$ ：下段タンクへの供給量(mm/h)、 $E_1' \sim E_3'$ ：蒸発散に伴う各段タンク貯留量の減少強度(mm/h)、 $z_{12}, z_3$ ：流出孔の高さ(mm)である。

#### (2) 降雨遮断量

角屋・永井法で採用されている次式の形で樹木等による降雨遮断量を算定し、流域平均降雨量より降雨遮断量を差し引いた雨量を第1段タンク上層部<sup>4)</sup>に入力する。

$$I = (z_0 - S_{00}) \{1 - \exp(-R/z_0)\} \quad \dots\dots (6)$$

ここに、 $I$ ：降雨遮断可能量(mm)、 $R$ ：累加雨量(mm)、 $z_0$ ：最大遮断量(mm)、 $S_{00}$ ：初期貯留量(mm)

#### (3) 流出高、浸透能、浸透高

$$Q_3 = A_3(S_2 - z_3) = \alpha_1 a_3 (S_2 - z_3) \quad (\text{for } S_2 \geq z_3) \quad \dots\dots (7)$$

$$Q_4 = A_4 S_3 = \alpha_1 a_4 S_3 \quad \dots\dots (8), \quad Q_5 = A_5 S_4 = \alpha_1 a_5 S_4 \quad \dots\dots (9)$$

$$f = B_1(z_2 + z_3 - S_2) = \alpha_1 b_1 (z_2 + z_3 - S_2) \quad \dots\dots (10)$$

$$g_1 = B_2 S_2 = \alpha_1 b_2 S_2 \quad \dots\dots (11), \quad g_2 = B_3 S_3 = \alpha_1 b_3 S_3 \quad \dots\dots (12)$$

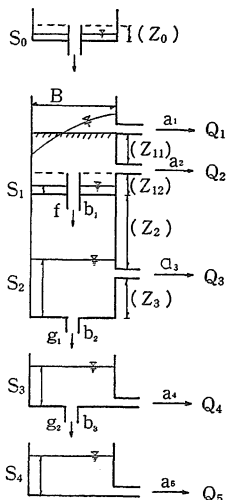


図-1 集中型KWSTモデル

ここに、 $A_3 \sim A_5, B_1 \sim B_3$ : 角屋・永井法の長短期流出両用モデルで定義されている定数( $h^{-1}$ )、 $a_3$ : 遅い中間流を規定する定数( $cm/s$ )、 $a_4, a_5$ : 地下水流を規定する定数( $cm/s$ )、 $b_1 \sim b_3$ : 鉛直方向の浸透量を規定する定数( $cm/s$ )、 $z_2, z_3$ : 流出孔の高さ( $mm$ )、 $\alpha_1 = \alpha/B, B$ : 平均斜面長( $m$ )、 $\alpha$ : 換算係数で計算単位時間を  $\Delta t$  秒としたとき、 $\alpha = \Delta t \times 10^{-2}$  となるが、各変量に上述のような単位を用いると、 $\alpha = 36$  となる。また、降雨強度、流出高、浸透高等を  $mm/d$  で表示する場合は  $\alpha = 864$  となる。ただし、時間を日単位とする場合も、 $a_3 \sim a_5, b_1 \sim b_3, B$  の単位は変えないものとする。

(4) 蒸発散量

蒸発散量  $E_i (mm/d)$  に関しては石原・小葉竹の研究<sup>6)</sup> および角屋・永井の長短期流出両用モデルにおける手法<sup>4)</sup> を利用し、次式の形式で算定することにする。

$$E_i = E_1 + E_2 + E_3 \quad \dots\dots (13)$$

$$E_1 = E_0 - E_c \quad (\text{for } S_0 > 0, S_1 > 0, \text{ or } S_2 \geq z_3) \quad \dots\dots (14-1)$$

$$= \frac{S_2}{z_3} (E_0 - E_c) \quad (\text{for } S_0 = S_1 = 0, \text{ and } 0 \leq S_2 \leq z_3) \quad \dots\dots (14-2)$$

$$E_2 = \gamma_1 E_c \quad (\text{for } S_3 > 0) \quad \dots\dots (15)$$

$$E_3 = (1 - \gamma_1) E_c \quad (\text{for } S_4 > 0) \quad \dots\dots (16)$$

ここに、 $E_i$ : 時刻  $t$  における蒸発散強度 ( $mm/d$ )、 $E_0$ : 最大蒸発散強度 ( $mm/d$ )、 $E_c$ : 最終蒸発散強度 ( $mm/d$ )、 $\gamma_1$ : 最終蒸発散量  $E_c$  の第2段タンクへの分配比で、ここでは  $\gamma_1 = 0.6$  と仮定する。

第1段タンク下層の貯留量  $S_2$  と蒸発散量  $E_1$  との関係を図示すると、図-2 のようになる。なお、図中の記号  $S_{2u}$  は  $S_2$  の上限値である。また、前述の連続の式中の  $E_1' \sim E_3'$  はそれぞれ  $E_1 \sim E_3$  の値を  $mm/h$  に換算したものである。日単位で流出解析する場合には  $E_1' \sim E_3'$  は  $E_1 \sim E_3$  の値で置換される。

2. 流出サイクルの区分

流出サイクルについては一般に次のように説明されている<sup>7)</sup>。「一連の降雨に対し河川流域で観測される一連のハイドログラフにおいて、表面流出と速い中間流出とを含む直接流出の終了点ごとに区切った各期間は直接流出

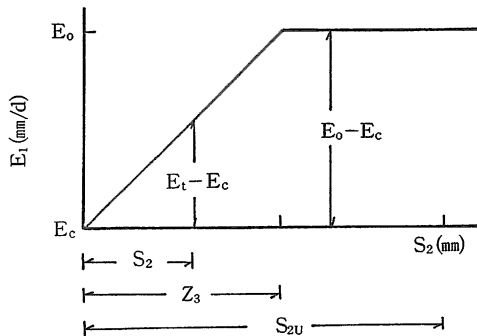


図-2 貯留量  $S_2$  と蒸発散量  $E_1$  との関係

に関する1つのサイクルを形成する。すなわち、流出の1サイクルの時間長は、時間軸でとなりあった二つの直接流出分の終了時の時間間隔とする。」

ここで、KWST モデルの第1段タンク下層部、第2～3段タンクよりの流出高  $Q_3, Q_4, Q_5$  で形成される低水流出高を上述の流出サイクルと対応づけて考えてみることにする。この場合、第1段タンク下層部の貯留量  $S_2$  と第1段タンク下層部の流出孔の高さ  $z_3$  との相対的關係で定まる遅い中間流出成分の有無、第1段タンク上層部よりの補給高  $f_g$  の有無により、1つの流出サイクルは表-1に示すように5つのステージに区分される。そして、各ステージよりの遷移パターンは図-3および表-2に示すように10ケースとなる。ステージ間の遷移時刻を表-2に示す記号で表わすことにする。すなわち、時刻  $t$  に下添字  $s, o, *, u$  をつけた  $t_s, t_o, t_*, t_u$  の意味は以下のとおりとする。 $t_s$ : 第1段タンク下層への補給高  $f_g$  の開始時刻、 $t_o$ : 第1段タンク下層への補給高  $f_g$  の終了時刻、 $t_*$ : 第1段タンク下層の貯留量  $S_2$  が  $z_3$  となる時刻、 $t_u$ : 第1段タンク下層の貯留量  $S_2$  が  $S_{2u}$  ( $S_2$  の上限値) となる時刻である。また時刻  $t$  の上添字の数字  $ij$  はステージ  $i$  からステージ  $j$  への遷移を表わす。

したがって、たとえば、 $t_*^{12}$  は貯留量  $S_2$  が減少し、ステージ1からステージ2へ遷移する時刻を表わす。

なお、ステージ3、4における第1段タンク上層部よりの補給高  $f_g$  の形式として、i) (10)式を用い、流出

表-1 流出サイクルの区分

ステージ	貯留量 $S_2 (mm)$	遅い中間流出高 $Q_3 (mm/h)$	補給高 $f_g (mm/h)$	蒸発散量 $E_i (mm/d)$
1	$z_3 \leq S_2 \leq S_{2u}$	有	無	有
2	$0 \leq S_2 \leq z_3$	無	無	有
3	$0 \leq S_2 \leq z_3$	無	有	無
4	$z_3 \leq S_2 \leq S_{2u}$	有	有	無
5	$S_2 = S_{2u}$	有	有	無

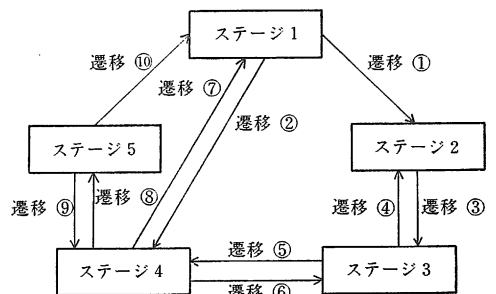


図-3 流出サイクルの区分と各ステージの遷移パターン

表-2 遷移パターンと遷移時刻

No.	遷移パターン	遷移時刻
1	ステージ1→ステージ2	$t_1^{12}$
2	ステージ1→ステージ4	$t_1^{14}$
3	ステージ2→ステージ3	$t_2^{23}$
4	ステージ3→ステージ2	$t_3^{32}$
5	ステージ3→ステージ4	$t_3^{34}$
6	ステージ4→ステージ3	$t_4^{43}$
7	ステージ4→ステージ1	$t_4^{41}$
8	ステージ4→ステージ5	$t_u^{45}$
9	ステージ5→ステージ4	$t_u^{54}$
10	ステージ5→ステージ1	$t_0^{51}$

表-3 低水流出高のパターン

低水流出高のパターン	ステージ	貯留量 $S_2(mm)$	遅い中間流出高 $Q_3(mm/h)$	補給高 $f_0(mm/h)$	蒸発散量 $E_t(mm/d)$
1	1	$z_3 \leq S_2 \leq S_{2u}$	$Q_3 \neq 0$	$f_0 = 0$	$E_t \neq 0$
2	2	$0 \leq S_2 \leq z_3$	$Q_3 = 0$	$f_0 = 0$	$E_t \neq 0$
3	3-I	$0 \leq S_2 \leq z_3$	$Q_3 = 0$	$f_0 = f$	$E_t = 0$
4	3-II	$0 \leq S_2 \leq z_3$	$Q_3 = 0$	$f_0 = f_0$	$E_t = 0$
5	4-I	$z_3 \leq S_2 \leq S_{2u}$	$Q_3 \neq 0$	$f_0 = f$	$E_t = 0$
6	4-II	$z_3 \leq S_2 \leq S_{2u}$	$Q_3 \neq 0$	$f_0 = f_0$	$E_t = 0$
7	5	$S_2 = S_{2u}$	$Q_3 \neq 0$	$f_0 = f_c$	$E_t = 0$

孔の高さ  $z_2, z_3$  を固定したとき、貯留量  $S_2$  の1次関数として評価される浸透能  $f$  で与えられる場合、ii) 一定値  $f_0$  で与えられる場合の2通りが考えられる。

また、ステージ5では貯留量  $S_2$  の上限値  $S_{2u}$  が継続する期間であるから補給高  $f_0$  は(10)式から算定される最終浸透能  $f_0$  で与えられることになる。

結局、1つの流出サイクルにおける低水流出高は表-3に示すように、7つのパターンについて計算プログラムを考えればよいことになる。

### III. 直接流出成分への有効降雨と低水流出への補給高

KWST モデルによる流出解析に際しての表面流出、速い中間流出で形成される直接流出成分への有効降雨算定法は、従来のように、保留量曲線を介して算定する手法とは異なり、長短期流出両用モデルに組み込まれているモデル構造を利用し、直接流出成分となる有効降雨を自動的に算定する方式となっている。

その算定手順を要約すると、以下のとおりである。

i) 長短期流出両用モデルで採用されている(6)式を用い、降雨遮断効果を受けた後の降雨量  $r_a$  を算定する。

ii) 次に、第1段タンク上層部の貯留水深  $S_1$  の上限を  $z_{12}$  とし、 $r_a$  より地表面凹地貯留量を差し引いた後の降雨量  $r_e$  を算定する。

iii) 第1段タンク下層への浸透能  $f$  を(10)式により算定し、前述の  $r_e$  と大小関係を比較することにより、直接流出成分への有効降雨  $r_s$  を求める。このとき、計算単位時間  $\Delta t$  内の平均浸透能を  $\bar{f}$  とし、 $r_e > \bar{f}$  のとき  $r_s = r_e - \bar{f}$ 、 $r_e \leq \bar{f}$  のとき  $r_s = 0$  となる。

こうした直接流出成分への有効降雨算定法を利用することにより、同時に遅い中間流、地下水流に関与する降雨分、ないし低水流出への補給高の時間的変化も自動的に算定可能となる。すなわち、上述の計算手順iii)にお

いて、 $r_e > \bar{f}$  のときは  $f_0 = f$ 、 $r_e \leq \bar{f}$  のときは  $f_0 = f_0 = r_e$  が低水流出への補給高(KWSTモデルにおいては第1段タンク下層部への補給高)となる。 $\bar{f}$ の算定式については後述するが、 $r_e > \bar{f}$  のとき、 $f_0$  は  $\Delta t$  時間内で一定値  $\bar{f}$  とするのではなく、後述の  $S_2$  の時間的変化曲線式を(10)式に代入して評価される浸透能  $f$  の値を用いることにする。

なお、長短期流出両用モデルの場合、直接流出成分への有効降雨は第1段タンク上層部の貯留量の増加分となり、降雨が終了しても、第1段タンク上層部の貯留量が正である限り、下層部への補給は継続するのに対し、図-1に示す集中型KWSTモデルでは、降雨終了とともに第1段タンク下層部への補給高  $f_0$  は零となるモデル構造および計算方式が採用されていることになる。

### IV. 流出モデルの各段タンク貯留量の時間的变化

前項III.の低水流出への補給高  $f_0$  の算定手法、および(3)~(5)、(7)~(16)式の関係を用いると、流出サイクルの各ステージにおけるKWSTモデルの第1段タンク下層部~3段タンクの貯留量  $S_2 \sim S_4$  の時間的変化についての定式化が可能となる。

すなわち、時刻  $t$  における貯留量  $S_2(t) \sim S_4(t)$  を既知とした場合、計算単位時間  $\Delta t$  後の時刻  $t + \Delta t$  における貯留量  $S_2(t + \Delta t) \sim S_4(t + \Delta t)$  および時刻  $t \sim t + \Delta t$  間の平均貯留量  $\bar{S}_2(t + \Delta t) \sim \bar{S}_4(t + \Delta t)$  は各ステージに応じ、それぞれ以下の式で算定される。

$$i) \text{ ステージ1 } (z_3 \leq S_2 \leq S_{2u}, f_0 = 0, E_t \neq 0)$$

$$S_2(t + \Delta t) = J_0 \exp(-\lambda_0 \Delta t) + \zeta_0 \quad \dots\dots(17)$$

$$S_3(t + \Delta t) = J_1 \exp(-\lambda_0 \Delta t) + J_2 \exp(-\lambda_2 \Delta t) + J_3 \quad \dots\dots(18)$$

$$S_4(t + \Delta t) = J_4 \exp(-\lambda_0 \Delta t) + J_5 \exp(-\lambda_2 \Delta t) + J_6 \exp(-\lambda_3 \Delta t) + J_7 \quad \dots\dots(19)$$

S2(t+Δt) = J0 [1 - exp(-λ0Δt)] / λ0Δt + ζ0 ..... (20)

S3(t+Δt) = J1 [1 - exp(-λ0Δt)] / λ0Δt + J2 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J3 ..... (21)

S4(t+Δt) = J4 [1 - exp(-λ0Δt)] / λ0Δt + J5 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J6 [1 - exp(-λ3Δt)] / λ3Δt + J7 ..... (22)

ii) ステージ 2 (0 ≤ S2 ≤ z3, f0 = 0, Ei ≠ 0)

S2(t+Δt) = S2(t) exp(-λ1Δt) ..... (23)

S3(t+Δt) = J8 exp(-λ1Δt) + J9 exp(-λ2Δt) - ζ3 ..... (24)

S4(t+Δt) = J10 exp(-λ1Δt) + J11 exp(-λ2Δt) + J12 exp(-λ3Δt) + J13 ..... (25)

S2(t+Δt) = S2(t) [1 - exp(-λ1Δt)] / λ1Δt ..... (26)

S3(t+Δt) = J8 [1 - exp(-λ1Δt)] / λ1Δt + J9 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt - ζ3 ..... (27)

S4(t+Δt) = J10 [1 - exp(-λ1Δt)] / λ1Δt + J11 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J12 [1 - exp(-λ3Δt)] / λ3Δt + J13 ..... (28)

iii) ステージ 3 - I (0 ≤ S2 ≤ z3, f0 = f, Ei = 0)

S2(t+Δt) = J14 exp(-λ4Δt) + ζ10 ..... (29)

S3(t+Δt) = J15 exp(-λ4Δt) + J16 exp(-λ2Δt) + J17 ..... (30)

S4(t+Δt) = J18 exp(-λ4Δt) + J19 exp(-λ2Δt) + J20 exp(-λ3Δt) + J21 ..... (31)

S2(t+Δt) = J14 [1 - exp(-λ4Δt)] / λ4Δt + ζ10 ..... (32)

S3(t+Δt) = J15 [1 - exp(-λ4Δt)] / λ4Δt + J16 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J17 ..... (33)

S4(t+Δt) = J18 [1 - exp(-λ4Δt)] / λ4Δt + J19 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J20 [1 - exp(-λ3Δt)] / λ3Δt + J21 ..... (34)

iv) ステージ 3 - II (0 ≤ S2 ≤ z3, f0 = f0, Ei = 0)

S2(t+Δt) = J22 exp(-λ5Δt) + J23 ..... (35)

S3(t+Δt) = J24 exp(-λ5Δt) + J25 exp(-λ2Δt) + J26 ..... (36)

S4(t+Δt) = J27 exp(-λ5Δt) + J28 exp(-λ2Δt) + J29 exp(-λ3Δt) + J30 ..... (37)

S2(t+Δt) = J22 [1 - exp(-λ5Δt)] / λ5Δt + J23 ..... (38)

S3(t+Δt) = J24 [1 - exp(-λ5Δt)] / λ5Δt + J25 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J26 ..... (39)

S4(t+Δt) = J27 [1 - exp(-λ5Δt)] / λ5Δt + J28 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J29 [1 - exp(-λ3Δt)] / λ3Δt + J30 ..... (40)

v) ステージ 4 - I (z3 ≤ S2 ≤ S2u, f0 = f, Ei = 0)

S2(t+Δt) = J31 exp(-λ6Δt) + S2u ..... (41)

S3(t+Δt) = J32 exp(-λ6Δt) + J33 exp(-λ2Δt) + J34 ..... (42)

S4(t+Δt) = J35 exp(-λ6Δt) + J36 exp(-λ2Δt) + J37 exp(-λ3Δt) + J38 ..... (43)

S2(t+Δt) = J31 [1 - exp(-λ6Δt)] / λ6Δt + S2u ..... (44)

S3(t+Δt) = J32 [1 - exp(-λ6Δt)] / λ6Δt + J33 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J34 ..... (45)

S4(t+Δt) = J35 [1 - exp(-λ6Δt)] / λ6Δt + J36 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J37 [1 - exp(-λ3Δt)] / λ3Δt + J38 ..... (46)

vi) ステージ 4 - II (z3 ≤ S2 ≤ S2u, f0 = f0, Ei = 0)

S2(t+Δt) = J39 exp(-λ0Δt) + J40 ..... (47)

S3(t+Δt) = J41 exp(-λ0Δt) + J42 exp(-λ2Δt) + J43 ..... (48)

S4(t+Δt) = J44 exp(-λ0Δt) + J45 exp(-λ2Δt) + J46 exp(-λ3Δt) + J47 ..... (49)

S2(t+Δt) = J39 [1 - exp(-λ0Δt)] / λ0Δt + J40 ..... (50)

S3(t+Δt) = J41 [1 - exp(-λ0Δt)] / λ0Δt + J42 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J43 ..... (51)

S4(t+Δt) = J44 [1 - exp(-λ0Δt)] / λ0Δt + J45 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J46 [1 - exp(-λ3Δt)] / λ3Δt + J47 ..... (52)

vii) ステージ 5 (S2 = S2u, f0 = f0, Ei = 0)

S2(t+Δt) = S2u ..... (53)

S3(t+Δt) = J48 exp(-λ2Δt) + J34 ..... (54)

S4(t+Δt) = J49 exp(-λ2Δt) + J50 exp(-λ3Δt) + J38 ..... (55)

S2(t+Δt) = S2u ..... (56)

S3(t+Δt) = J48 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J34 ..... (57)

S4(t+Δt) = J49 [1 - exp(-λ2Δt)] / λ2Δt + J50 [1 - exp(-λ3Δt)] / λ3Δt + J38 ..... (58)

ここで, λ0 = α1(a3 + b2), λ1 = α1b2 + (E0 - Ec) / z3, λ2 = α1(a4 + b3), λ3 = α1a5, λ4 = α1(b1 + b2), λ5 = α1b2, λ6 = α1(a3 + b1 + b2),

ζ0 = (α1a3z3 - E0 + Ec) / λ0, ζ1 = α1b2 / (λ0 - λ2), ζ2 = α1b2 / λ2,

ζ3 = γ1Ec / λ2, ζ4 = α1b3 / (λ0 - λ3), ζ5 = α1b3 / (λ2 - λ3), ζ6 = α1b3 / λ3,

ζ7 = (1 - γ1)Ec / λ3, ζ8 = α1b2 / (λ1 - λ2), ζ9 = α1b3 / (λ1 - λ3),

ζ10 = α1b1(z2 + z3) / λ4, ζ11 = α1b2 / (λ4 - λ2), ζ12 = α1b3 / (λ4 - λ3),

ζ13 = α1b2 / (λ5 - λ2), ζ14 = α1b3 / (λ5 - λ3), ζ15 = α1b2 / (λ6 - λ2),

ζ16 = α1b3 / (λ6 - λ3), ζ17 = α1a3z3,

J0 = S2(t) - ζ0, J1 = -ζ1J0, J2 = S3(t) - J1 - J3, J3 = ζ0ζ2 - ζ3, J4 = ζ1ζ4J0, J5 = -ζ5J2, J6 = S4(t) - J4 - J5 - J7, J7 = ζ6J3 - ζ7, J8 = -ζ8S2(t), J9 = S3(t) - J8 + ζ3, J10 = -ζ9J6, J11 = -ζ5J9, J12 = S4(t) - J10 - J11 - J13, J13 = -ζ3ζ6 - ζ7, J14 = S2(t) - ζ10, J15 = -ζ11J14, J16 = S3(t) - J15 - J17, J17 = ζ2ζ10, J18 = -ζ12J15, J19 = -ζ5J16, J20 = S4(t) - J18 - J19 - J21, J21 = ζ6J17, J22 = S2(t) - J23, J23 = f0 / λ5, J24 = -ζ13J22, J25 = S3(t) - J24 - J26,

$$\begin{aligned}
 J_{26} &= \zeta_2 J_{23}, J_{27} = -\zeta_{14} I_{24}, J_{28} = -\zeta_5 J_{25}, \\
 J_{29} &= S_4(t) - J_{27} - J_{28} - J_{30}, J_{30} = \zeta_6 J_{26}, J_{31} = S_2(t) - S_{2u}, \\
 J_{32} &= -\zeta_{15} J_{31}, J_{33} = S_3(t) - J_{32} - J_{34}, J_{34} = \zeta_2 S_{2u}, \\
 J_{35} &= -\zeta_{16} J_{32}, J_{36} = -\zeta_5 J_{33}, J_{37} = S_4(t) - J_{35} - J_{36} - J_{38}, \\
 J_{38} &= \zeta_6 J_{34}, J_{39} = S_2(t) - J_{40}, J_{40} = (f_0 + \zeta_{17}) / \lambda_0, \\
 J_{41} &= -\zeta_4 J_{39}, J_{42} = S_3(t) - J_{41} - I_{43}, J_{43} = \zeta_2 J_{40}, \\
 J_{44} &= -\zeta_4 J_{41}, J_{45} = -\zeta_5 J_{42}, J_{46} = S_4(t) - J_{44} - J_{45} - J_{47}, \\
 J_{47} &= \zeta_6 J_{43}, J_{48} = S_3(t) - J_{44}, J_{49} = -\zeta_5 J_{48}, \\
 J_{50} &= S_4(t) - J_{49} - J_{38} \text{ である.}
 \end{aligned}$$

降雨時，第1段タンク上層より浸透能  $f$  の強度で下層に補給が継続し，蒸発散量は零とすると，貯留量  $S_2$  の上限値  $S_{2u}$  は次式で与えられる。

$$S_{2u} = \frac{f_u - f_c}{\alpha_1 b_1} = \frac{b_1(z_2 + z_3) + a_3 z_3}{a_3 + b_1 + b_2} \quad \dots\dots(59)$$

ここに， $f_u = \alpha_1 b_1(z_2 + z_3)$ ，

$$f_c = \frac{\alpha_1 \{b_1 b_2(z_2 + z_3) + a_3 b_1 z_2\}}{a_3 + b_1 + b_2}$$

したがって，第1段タンク下層部より第2段タンクへの供給量  $g_1$  の上限値  $g_{1u}$  は  $g_{1u} = \alpha_1 b_2 S_{2u}$  で与えられる。そこで，この  $g_{1u}$  を(4)式に代入し， $dS_3/dt = 0$  なる  $S_3$  を求めると，貯留量  $S_3$  の上限値  $S_{3u}$  として次式が得られる。ただし，この場合は蒸発散量を考慮するものとする。

$$S_{3u} = \frac{1}{\alpha_1(a_4 + b_3)} \left\{ \frac{b_2(f_u - f_c)}{b_1} - \gamma_1 E_c \right\} \quad \dots\dots(60)$$

同様に，貯留量  $S_4$  の上限値  $S_{4u}$  は次式で与えられる。

$$S_{4u} = \frac{1}{\alpha_1 a_3} \left[ \frac{b_3}{a_4 + b_3} \left\{ \frac{b_2(f_u - f_c)}{b_1} - \gamma_1 E_c \right\} - (1 - \gamma_1) E_c \right] \quad \dots\dots(61)$$

### V. 低水流出高曲線

前項 IV. の結果より，時刻  $t$  における貯留量  $S_2(t) \sim S_4(t)$  を既知としたとき，計算単位時間  $\Delta t$  後の時刻  $t + \Delta t$  における貯留量  $S_2(t + \Delta t) \sim S_4(t + \Delta t)$  が流出サイクルの各ステージについて算定可能になった。次いでこれらの値を(7)～(9)式に代入することにより，流出サイクルの各ステージに応じた時刻  $t + \Delta t$  における低水流出高  $Q_B(t + \Delta t)$  の算定式が以下のように得られる。

i) ステージ 1 ( $z_3 \leq S_2 \leq S_{2u}$ ,  $f_g = 0$ ,  $E_t \neq 0$ )

$$\begin{aligned}
 Q_B(t + \Delta t) &= Q_3(t + \Delta t) + Q_4(t + \Delta t) + Q_5(t + \Delta t) \\
 &= \eta_1 \exp(-\lambda_0 \Delta t) + \eta_2 \exp(-\lambda_2 \Delta t) \\
 &\quad + \eta_3 \exp(-\lambda_3 \Delta t) + \eta_4 \quad \dots\dots(62)
 \end{aligned}$$

ii) ステージ 2 ( $0 \leq S_2 \leq z_3$ ,  $f_g = 0$ ,  $E_t \neq 0$ )

$$\begin{aligned}
 Q_B(t + \Delta t) &= Q_4(t + \Delta t) + Q_5(t + \Delta t) \\
 &= \eta_5 \exp(-\lambda_1 \Delta t) + \eta_6 \exp(-\lambda_2 \Delta t) \\
 &\quad + \eta_7 \exp(-\lambda_3 \Delta t) + \eta_8 \quad \dots\dots(63)
 \end{aligned}$$

iii) ステージ 3-I ( $0 \leq S_2 \leq z_3$ ,  $f_g = f$ ,  $E_t = 0$ )

$$\begin{aligned}
 Q_B(t + \Delta t) &= Q_4(t + \Delta t) + Q_5(t + \Delta t) \\
 &= \eta_9 \exp(-\lambda_4 \Delta t) + \eta_{10} \exp(-\lambda_2 \Delta t) \\
 &\quad + \eta_{11} \exp(-\lambda_3 \Delta t) + \eta_{12} \quad \dots\dots(64)
 \end{aligned}$$

iv) ステージ 3-II ( $0 \leq S_2 \leq z_3$ ,  $f_g = f_0$ ,  $E_t = 0$ )

$$\begin{aligned}
 Q_B(t + \Delta t) &= Q_4(t + \Delta t) + Q_5(t + \Delta t) \\
 &= \eta_{13} \exp(-\lambda_5 \Delta t) + \eta_{14} \exp(-\lambda_2 \Delta t) \\
 &\quad + \eta_{15} \exp(-\lambda_3 \Delta t) + \eta_{16} \quad \dots\dots(65)
 \end{aligned}$$

v) ステージ 4-I ( $z_3 \leq S_2 \leq S_{2u}$ ,  $f_g = f$ ,  $E_t = 0$ )

$$\begin{aligned}
 Q_B(t + \Delta t) &= Q_3(t + \Delta t) + Q_4(t + \Delta t) + Q_5(t + \Delta t) \\
 &= \eta_{17} \exp(-\lambda_6 \Delta t) + \eta_{18} \exp(-\lambda_2 \Delta t) \\
 &\quad + \eta_{19} \exp(-\lambda_3 \Delta t) + \eta_{20} \quad \dots\dots(66)
 \end{aligned}$$

vi) ステージ 4-II ( $z_3 \leq S_2 \leq S_{2u}$ ,  $f_g = f_0$ ,  $E_t = 0$ )

$$\begin{aligned}
 Q_B(t + \Delta t) &= Q_3(t + \Delta t) + Q_4(t + \Delta t) + Q_5(t + \Delta t) \\
 &= \eta_{21} \exp(-\lambda_0 \Delta t) + \eta_{22} \exp(-\lambda_2 \Delta t) \\
 &\quad + \eta_{23} \exp(-\lambda_3 \Delta t) + \eta_{24} \quad \dots\dots(67)
 \end{aligned}$$

vii) ステージ 5 ( $S_2 = S_{2u}$ ,  $f_g = f_c$ ,  $E_t = 0$ )

$$\begin{aligned}
 Q_B(t + \Delta t) &= Q_3(t + \Delta t) + Q_4(t + \Delta t) + Q_5(t + \Delta t) \\
 &= \eta_{25} \exp(-\lambda_2 \Delta t) + \eta_{26} \exp(-\lambda_3 \Delta t) \\
 &\quad + \eta_{27} \quad \dots\dots(68)
 \end{aligned}$$

ここに， $\eta_1 = \alpha_1(a_3 J_0 + a_4 J_1 + a_5 J_4)$ ， $\eta_2 = \alpha_1(a_4 J_2 + a_5 J_5)$ ， $\eta_3 = \alpha_1 a_5 J_6$ ， $\eta_4 = \alpha_1\{a_3(\zeta_0 - z_3) + a_4(J_2 + J_3) + a_5\}$ ， $\eta_5 = \alpha_1(a_4 J_8 + a_5 J_{10})$ ， $\eta_6 = \alpha_1(a_4 J_9 + a_5 J_{11})$ ， $\eta_7 = \alpha_1 a_5 J_{12}$ ， $\eta_8 = \alpha_1(a_5 J_{13} - a_4 \zeta_3)$ ， $\eta_9 = \alpha_1(a_4 J_{15} + a_5 J_{18})$ ， $\eta_{10} = \alpha_1(a_4 J_{16} + a_5 J_{19})$ ， $\eta_{11} = \alpha_1 a_5 J_{20}$ ， $\eta_{12} = \alpha_1(a_4 J_{17} + a_5 J_{21})$ ， $\eta_{13} = \alpha_1(a_4 J_{24} + a_5 J_{27})$ ， $\eta_{14} = \alpha_1(a_4 J_{25} + a_5 J_{28})$ ， $\eta_{15} = \alpha_1 a_5 J_{29}$ ， $\eta_{16} = \alpha_1(a_4 J_{26} + a_5 J_{30})$ ， $\eta_{17} = \alpha_1(a_3 J_{31} + a_4 J_{32} + a_5 J_{35})$ ， $\eta_{18} = \alpha_1(a_4 J_{33} + a_5 J_{36})$ ， $\eta_{19} = \alpha_1 a_5 J_{37}$ ， $\eta_{20} = \alpha_1\{a_3(S_{2u} - z_3) + a_4 J_{34} + a_5 J_{38}\}$ ， $\eta_{21} = \alpha_1(a_3 J_{39} + a_4 J_{41} + a_5 J_{44})$ ， $\eta_{22} = \alpha_1(a_4 J_{42} + a_5 J_{45})$ ， $\eta_{23} = \alpha_1 a_5 J_{46}$ ， $\eta_{24} = \alpha_1\{a_3(J_{40} - z_3) + a_4 J_{43} + a_5 J_{47}\}$ ， $\eta_{25} = \alpha_1(a_4 J_{48} + a_5 J_{49})$ ， $\eta_{26} = \alpha_1 a_5 J_{50}$ ， $\eta_{27} = \alpha_1\{a_3(S_{2u} - z_3) + a_4 J_{34} + a_5 J_{38}\}$  である。

### VI. 計算フローチャート

時刻  $t \sim t + \Delta t$  間の流域平均降雨量を  $r_j$  とし，降雨遮断効果を受けた後の  $r_{a,j}$ ，および凹地貯留量を差し引いた後の降雨量  $r_{e,j}$  を算定する部分の計算フローチャートを図-4に示す。

次いで，直接流出成分への有効降雨  $r_{s,j}$  を算定する手法として，i) 長短期流出両用モデル法で採用されている改良オイラー法を用いる算定手法，ii) 前項 III. の貯留量算定式を利用し，計算単位時間  $\Delta t$  内の平均浸透能  $\bar{f}$  を求め， $r_{e,j}$  と  $\bar{f}$  との大小関係を比較することにより有効降雨を算定する手法が考えられる。ここでは ii) の方式について示す。

時刻  $t \sim t + \Delta t$  間に第1段タンク上層より浸透能  $f$

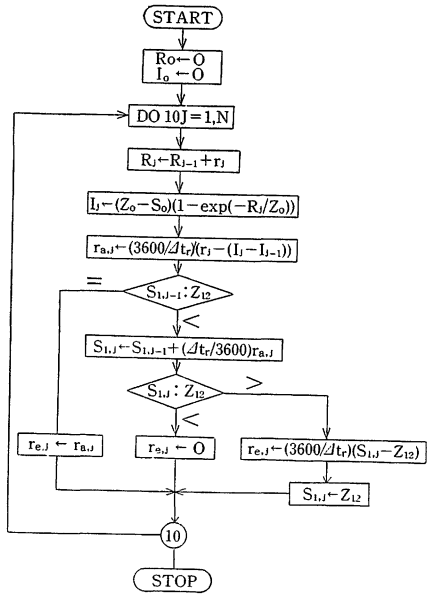


図-4 降雨量  $r_{e,j}$  の計算フローチャート

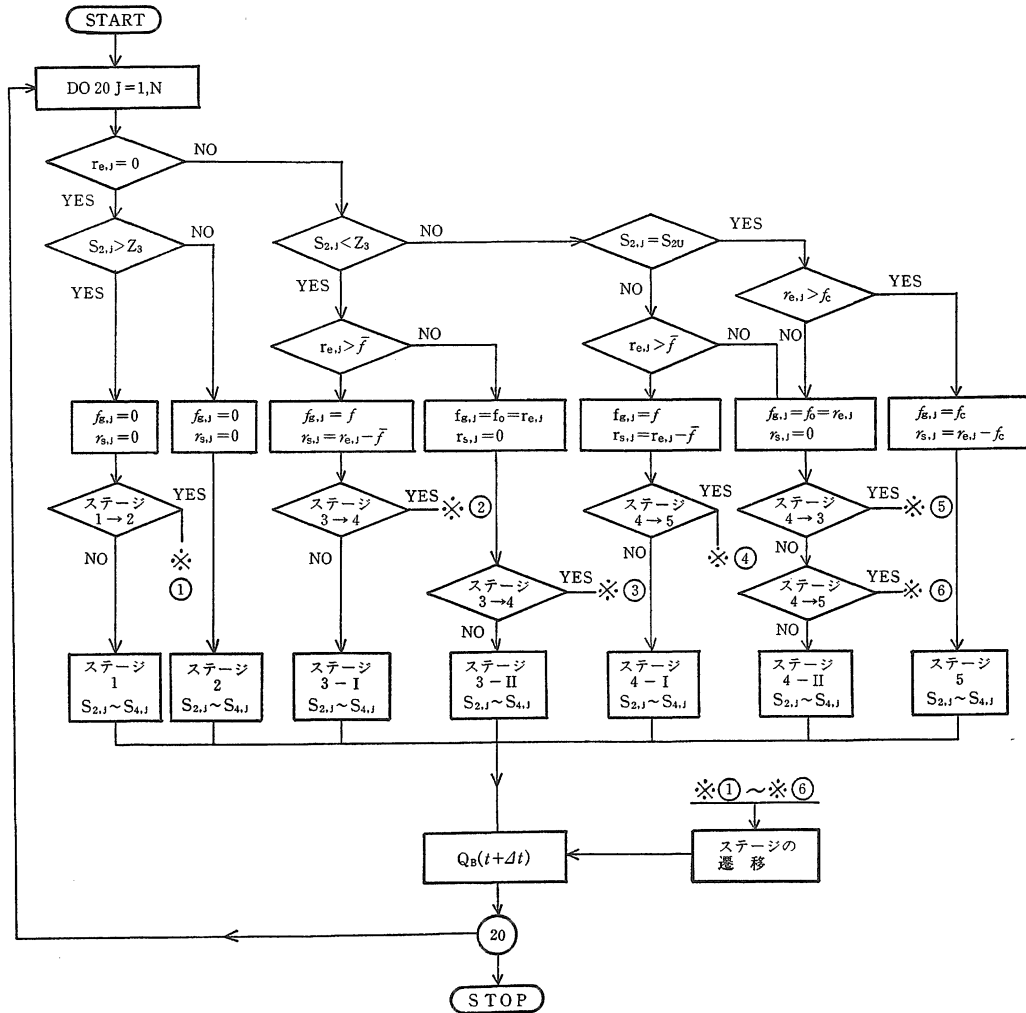


図-5 貯留量  $S_2(t+dt) \sim S_4(t+dt)$  および低水流出高  $Q_B(t+dt)$  の計算フローチャート

に見合うだけの降雨量の補給がある場合、その間の平均浸透能  $\bar{f}$  は次式で算定される。

$$\bar{f} = \alpha_1 b_1 \{z_2 + z_3 - \bar{S}_2(t + \Delta t)\} \quad \dots\dots (69)$$

そこで、時刻  $t \sim t + \Delta t$  間の降雨量  $r_{e,j}$  と上式で算定される  $\bar{f}$  と比較し、 $r_{e,j} > \bar{f}$  のとき補給高  $f_0$  は浸透能  $f$ 、直接流出成分への有効降雨  $r_{s,j}$  は  $r_{s,j} = r_{e,j} - \bar{f}$  で与えられ、 $r_{e,j} < \bar{f}$  のとき、 $f_0 = f_0 = r_{e,j}$ 、 $r_{s,j} = 0$  とする。

時刻  $t$  より  $\Delta t$  時間後の貯留量、および低水流出高を算定する際の計算フローチャートの一部を図-5に示す。

ただし、 $\Delta t$  時間内でステージ間の遷移が生ずることを考慮しておかねばならない。 $\Delta t$  時間内にステージ間の遷移が生ずる場合は図-5において※①～※⑥で示されている。その場合、前項 III. の諸式を基礎にして遷移時刻を求めた後、遷移したステージにおいて時刻  $t + \Delta t$  の貯留量を算定する必要がある。

たとえば、ステージ1→ステージ2に遷移する場合について示すと以下のようなになる。

i) (17)式により  $S_2(t + \Delta t)$  を算定し、 $S_2(t + \Delta t) < z_3$  の場合に、 $\Delta t$  内で遷移が発生する。

ii) 遷移が発生する場合、その時刻  $t_*^{12}$  は次式で算定される。

$$t_*^{12} = t - \frac{1}{\lambda_0} \ln \left( \frac{z_3 - \zeta_0}{J_0} \right) \quad \dots\dots (70)$$

iii)  $\Delta t_1 = t_*^{12} - t$  とし、(17)～(19)式のそれぞれの  $\Delta t$  を  $\Delta t_1$  で置き換えることにより時刻  $t_*^{12}$  における貯留量  $S_2(t_*^{12}) \sim S_4(t_*^{12})$  を求める。

iv)  $\Delta t_2 = t + \Delta t - t_*^{12}$  とし、(23)～(25)式のそれぞれの  $\Delta t$  を  $\Delta t_2$  で置き換え、また(23)～(25)式中の  $S_2(t) \sim S_4(t)$  はそれぞれ前述iii)の  $S_2(t_*^{12}) \sim S_4(t_*^{12})$  で置き換えることにより、 $t_*^{12}$  より  $\Delta t_2$  時間後の貯留量  $S_2(t + \Delta t) \sim S_4(t + \Delta t)$  を算定する。

v) 遷移が生ずる場合の時刻  $t \sim t + \Delta t$  間の平均低水流出高  $Q_B(t + \Delta t)$  は  $t \sim t_*^{12}$ 、および  $t_*^{12} \sim t + \Delta t$  間の各段タンクの平均貯留量  $\bar{S}_2(t_*^{12}) \sim \bar{S}_4(t_*^{12})$ 、 $\bar{S}_2(t + \Delta t) \sim \bar{S}_4(t + \Delta t)$  を求めることにより、次式から算定できる。

$$Q_B(t + \Delta t) = \bar{Q}_3 + \bar{Q}_4 + \bar{Q}_5$$

$$\begin{aligned} \bar{Q}_3 &= \alpha_1 a_3 \{ \bar{S}_2(t_*^{12}) - z_3 \} \Delta t_1, \\ \bar{Q}_4 &= \alpha_1 a_4 \{ \bar{S}_3(t_*^{12}) \Delta t_1 + \bar{S}_3(t + \Delta t) \Delta t_2 \}, \\ \bar{Q}_5 &= \alpha_1 a_5 \{ \bar{S}_4(t_*^{12}) \Delta t_1 + \bar{S}_4(t + \Delta t) \Delta t_2 \} \end{aligned}$$

その他の遷移パターンについても同様な手法で処理することになる。

### VII. 計算例

下狩川流域 (集水面積  $A = 1.3209 \text{ km}^2$ ) における出水例を解析対象にして、前述の手法を適用した結果について述べる。

表-4に解析対象とした2出水についての総雨量、ピーク流量を示す。なお、同表には表面流モデル、およびKWSTモデルをこれら2出水に適用したときのピーク流量の計算値、直接流出成分への総有効降雨量、流域保留量の値も併記してある。

昭和44.6.25～27の出水について集中型KWSTモデルをSP法により最適同定した結果、図-6のような流出モデル定数が得られた。ただし、本解析では直接流出成分への有効降雨を前述の手法で算定した後、直接流

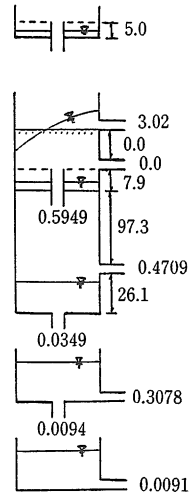


図-6 集中型KWSTモデル (表面流のみ) ( $\Delta t_r = 1800 \text{ sec}$ ,  $\Delta t_s = 900 \text{ sec}$   $B = 546 \text{ m}$ )

表-4 解析対象出水とその特性値

出水	総雨量	観測 ピーク流量	計算ピーク流量		直接流出成分への 有効降雨		保留量	
			表面流 モデル	KWST モデル	表面流 モデル	KWST モデル	表面流 モデル	KWST モデル
S.44.6.25～27	mm 196	$\text{m}^3/\text{s}$ 9.4	$\text{m}^3/\text{s}$ 8.8	$\text{m}^3/\text{s}$ 8.7	mm 141.5	mm 138.3	mm 54.5	mm 57.7
S.46.9.6～8	214	5.5	6.0	4.9	158.4	156.4	55.6	57.6



出成分は表面流のみで形成されるものとし、斜面流定数  $k=3.02(m^{-1} \cdot s^3)$  とした雨水流モデルによって直接流出高に相当する  $Q_1$  を算定した。

解析結果を観測流出量ハイドログラフと比較して示すと、図-7のようになる。なお、同図には観測流量  $Q_0$  と計算流量  $Q_c$  との差  $Q_0 - Q_c$  の値、および KWST モデルによる流出高  $Q_3, Q_4, Q_5$  で形成される低水流出高  $Q_B$  が併示してある。計算結果を観測流出量ハイドログラフと対比すると、相対誤差は4.5%で適合性は良好と

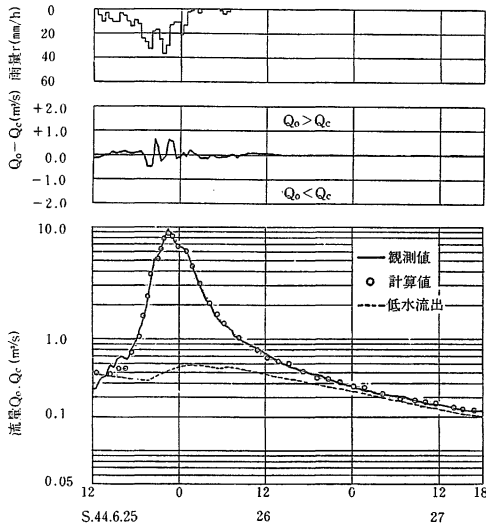


図-7 KWST モデルによる流出解析例  
(下狩川流域, S.44.6.25出水)

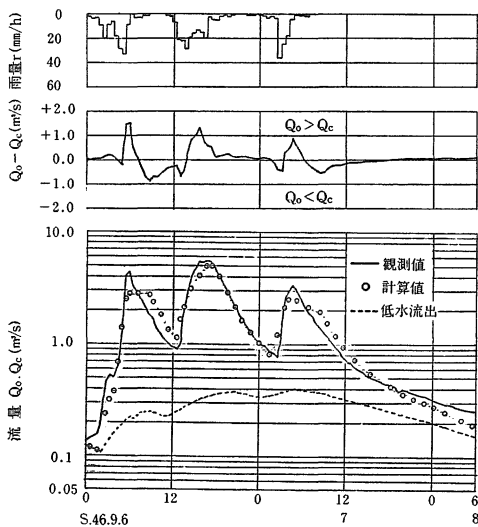


図-8 KWST モデルによる流出解析例  
(下狩川流域, S.46.9.6出水)

いえる。ピーク流量は観測値と比較し、やや小さく評価されているが、低水流出量曲線は通常のいわゆる直接流出成分の分離法による曲線とは異なり、補給能モデルを適用した場合と同様な特長ある流出波形を示している。

次に図-6に示す流出モデル定数を用い、昭和46.9.6~8の出水に適用した結果を図-8に示す。本出水は断続的な降雨波形を反映した複峰型の出水波形を呈している。このような複峰型の流出波形に対し、観測流出量ハイドログラフ上で地下水流出低減部直線を降雨終了時刻まで逆挿し、これを立上り点と結ぶという通常の直接流出成分の分離法を適用した場合、果して有効雨量が的確に評価されたか懸念することが多い。しかし、集中型 KWST モデルの適用により得られた図-8の低水流出曲線を見る限り、本解析結果はほぼ妥当な推定値を示しているものと考えられる。

図-9, 10はこれら2出水について、KWST モデル法により評価された直接流出成分への有効降雨を用いて、保留量曲線を作成、図示したものである。同図には流出量ピーク近傍の有効降雨の推定精度を向上させるため提案された角屋の改善法による保留量曲線も併示してある。総雨量に対する保留量はほとんど差がないもの

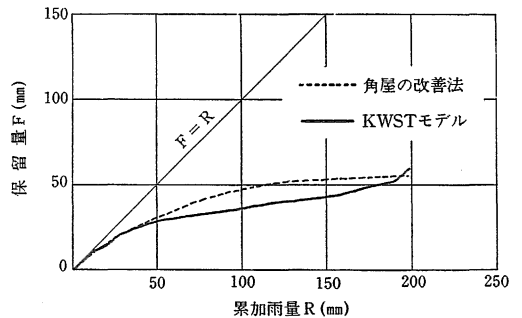


図-9 保留量曲線  
(下狩川流域, S.44.6.25出水)

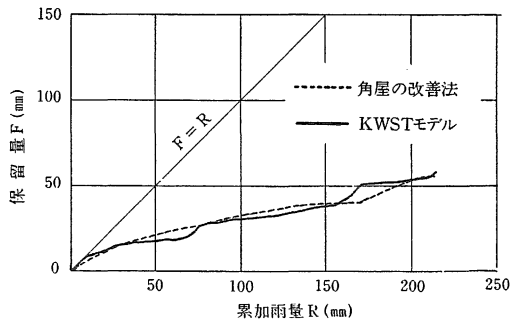


図-10 保留量曲線  
(下狩川流域, S.46.9.6出水)

の、経時的な保留量、ないし直接流出成分への有効降雨量には両手法に差が表われることが同図から指摘される。また KWST モデルを適用することにより、強雨、および少降雨時の流域保留量の変化特性を十分反映した保留量曲線が得られることを示していると考えられる。したがって、KSWT モデルの適用により、低水流出への補給高も的確な値が評価されるものと期待できる。

## VIII. あとがき

角屋・永井によって提案された長短期流出両用モデルは流出計算過程において、直接流出成分への有効降雨が自動的に評価されるモデル構造となっているが、その有効降雨分は第1段タンク上層部の貯留量の増加量となり、表面流出、および早い中間流出成分に相当する流出高を生ずるようになっている。本報では長短期流出両用モデルを基礎にした KWST モデルにより、直接流出成分への有効降雨量の算定法、および流出サイクルを5つのステージに区分した後、各ステージについての低水流出高曲線の算定式を示した。

下狩川流域における2つの出水例に KWST モデルを適用した結果、洪水時の低水流出高曲線は洪水流出解析において、いわゆる簡便法として常用されている直接流出成分の分離法にもとづく推定値とは異った曲線となることが指摘された。この結果、角屋の改善法を適用して作成された保留量曲線と KWST モデルで算定された有効降雨から作成した保留量曲線にも顕著な差異が表われた。そして、KWST モデルの適用により、直接流出成分への有効降雨、およびこれと表裏の関係にある低水流出への補給高がより適確に評価されるという可能性

が指摘できたように思う。特に断続的な降雨波形にもとづく複峰型の出水、ないし複数の流出サイクルに対しても KWST モデルは直接流出のみならず低水流出もそれぞれ独立して同時に解析可能であるので、今後、観測流出量データを収集し、洪水・濁水比流量の地域特性についての課題を逐次検討したいと考えている。

最後に、本研究をすすめるにあたり、下狩川流域の水文資料を提供して頂き、かつ御指導を賜った京都大学防災研究所角屋陸教授、および計算資料整理に協力を賜った農業水工学専攻生の岡田幸隆、森信行君に深甚なる感謝の意を表する次第である。

なお、本報告は昭和62年度文部省科学研究費による研究成果の一部であり、また流出解析には島根大学電子計算センターFACOM 140-Fシステムを用いたことを付記する。

## 参 考 文 献

1. 土木学会：昭和60年版水理公式集：151，1985.
2. 角屋 陸：農土学会誌，48(8)：39-44，1980.
3. 永井明博・角屋 陸：京大防災研年報，26(B-2)：261-272，1983.
4. 角屋 陸・永井明博・塚本浩二：昭和59年度農土講要旨集，190-191，1984.
5. 福島 辰・田中礼次郎：島根大農研報，19：96-104，1985.
6. 石原英雄・小葉竹重機：京大防災研年報，14(B)：131-141，1971.
7. 土木学会：土木工学ハンドブック(上)：495，1974.
8. 永井明博・角屋 陸：京大防災研年報，23(B-2)：239-247，1980.