

長短期流出両用モデルと流域スケール効果

京都大学防災研究所 正員 角屋 睦
 京都大学防災研究所 正員 田中丸治哉
 京都大学工学部 学生員 ○竹田正俊

1. まえがき 本研究では、滋賀県愛知川上流域に位置する永源寺ダム流域(図1, 132km²)およびその支流域である神崎川流域(30km²)を対象として、長短期流出両用モデル(LSTモデル)およびキネマティック流出モデル(KWモデル)を同定適用するとともに、モデル定数の相互関係を吟味して長短期流出両用モデル定数に及ぼす流域スケール効果を考察する。

2. 解析資料 解析には、1974年10月～1989年12月の約15年間の資料を用いる。流量にはダム地点の日平均流量と如来堂地点(110km²)および神崎川水位観測点(29km²)の毎時流量を、降水量には流域内の6雨量観測点の記録を用いる。蒸発散量は、彦根気象台の月平均気温と月平均全天日射量から推定する。

3. モデル定数の同定 LSTモデル: 永源寺ダム流域の1981～1982年の資料および神崎川流域の1987～1988年の資料を用いて、図2に示すLSTモデルをSP法で最適同定し、図3に示す定数を得た。ここでは、KWモデルとの対応をとるため速い中間流出Q₂に上限流量 a₂Z₁を想定している。 KWモデル: KWモデルは1河道2斜面の表面流・中間流複合モデルとする。有効雨量および基底流量は、LSTモデルの適用結果に基づいて推定した。両流域で観測された1987～1989年の出水資料を用いて、中間流定数 k₁s/λ、有効土層厚λDを観測ハイドログラフの分析から推定し、表面流定数kを観測流量ないしはLSTモデル計算流量に対するχ²-誤差が最小になるように探索して表1に示すモデル定数を得た。

4. モデル定数の理論的考察 平均貯留水深の概念を導入してKWモデルを集中化し、LSTモデルとの比較を行うと、両モデル定数について以下のような相互関係が誘導される。

$$a_1 = \frac{1}{B} \left\{ \frac{B}{B^*} \frac{1+p}{k(1+\alpha)} \right\}^{1/p} \quad (1)$$

$$a_2 = \frac{1}{B} \frac{1}{\left(1 - \frac{b^*}{2B}\right)} \frac{k_1 s}{\lambda} \quad (2)$$

$$Z_1 = \left(1 - \frac{b^*}{2B}\right) \lambda D \quad (3)$$

ここに、a₁, a₂, Z₁: LSTモデル定数、
 k, p, k₁s/λ, λD: KWモデル定数、
 Manning則によればp=0.6、B: 平均斜面長、
 b*: 斜面上端から表面流発生位置までの距離、
 B*=B-b*: 表面流発生長さ、
 α: 斜面に対する河道の雨水伝播時間比。

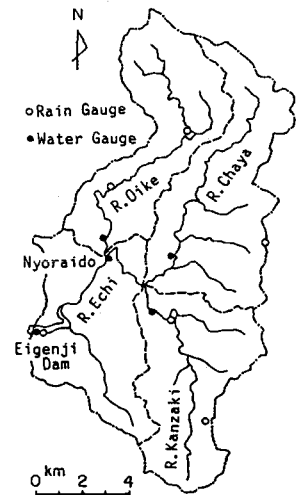


図1 永源寺ダム流域

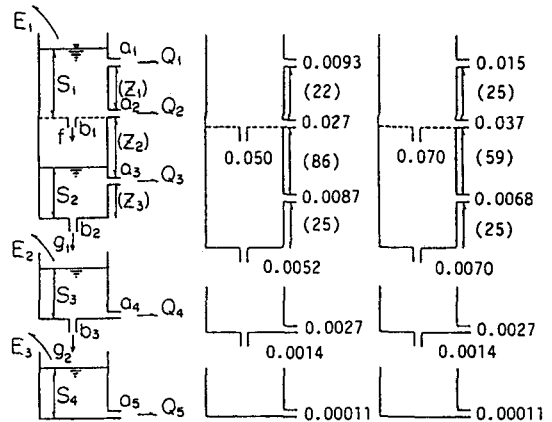


図2 LST-II 図3 最適モデル定数

ここで、Hackの法則 (4)式より B を流域面積 A によって表し、杉山ら¹⁾が想定している B と k の関係式 (5) を導入すると、(1)式は (6)式のように書換えられる。

$$L = u A^v \quad (4)$$

$$k = \rho B^{-\delta} \quad (5)$$

ここに、 L : 河道長、 A : 流域面積、 u, v, ρ, δ : 係数。

$$a_1 = \left\{ \frac{B}{B^*} \frac{1+p}{\rho(1+a)} \right\}^{1/p} \left(\frac{1}{2u} A^{1-v} \right)^{\delta/p-1} \quad (6)$$

Hackの法則における v は一般に $v = 0.52 \sim 0.70 \approx 0.6$ といわれており、表面流定数に $p = 0.6$ を想定すると、 a_1 と A の関係は係数 δ によってその様相が定まる。杉山ら¹⁾が報告している $\delta \approx 0.25$ を採用するならば、 $\delta/p - 1 < 0$ となり、流域面積が大きくなると a_1 は小さくなる。また、 Z_1 は λD によって定まるので、流域面積によらずほぼ一定と考えられる。一方、 $k_1 s / \lambda$ と B との関係が明確でないため a_2 についての議論は難しいが、中間流出最大強度 $a_2 Z_1$ が流域面積によらずほぼ一定と考えるならば a_2 もほぼ一定とみなされよう。

5. 流域スケール効果 両流域で同定された LST モデル定数を対比してみると、 a_1 は流域面積の大きい永源寺ダム流域の方が神崎川流域より小さく、 Z_1 は両流域とも大差なく、先の理論的考察と矛盾していない。

a_2 については、神崎川流域の方がやや大きい、これはむしろ表層地質効果とも考えられる。次いで、先に同定された KW モデル定数を (1)～(3)式に代入し、 $B^*/B = 0.9$ として求めた LST モデルの換算定数を最適定数とともに表1に示す。約15年間の資料を用いて、これら最適定数と換算定数による検証計算を行ったところ、永源寺ダム流域の33出水の平均相対誤差は、それぞれ25%、42%となり、神崎川流域の7出水の平均相対誤差は、それぞれ31%、47%となった(いずれも観測流量 $0.2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 相当以上で評価)。 KW モデルを1ブロックモデルとしたこともあって、 KW モデル定数からの換算定数を用いた場合の再現性はあまり良好とはいえない。図4、5に神崎川流域での最適定数と換算定数による出水解析例を示す。

[参考文献] 1) 杉山・角屋・永井：総合貯留関数モデルに関する研究、農業土木学会論文集、第134号、1988。

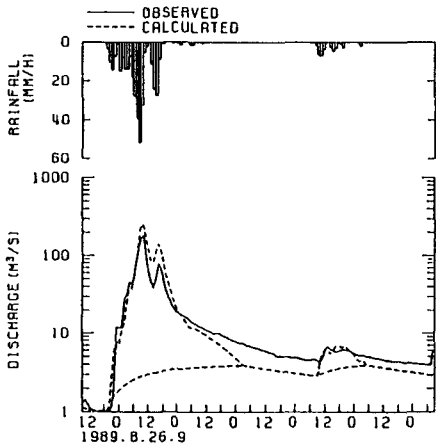


図4 出水解析例 (最適定数, 神崎川)

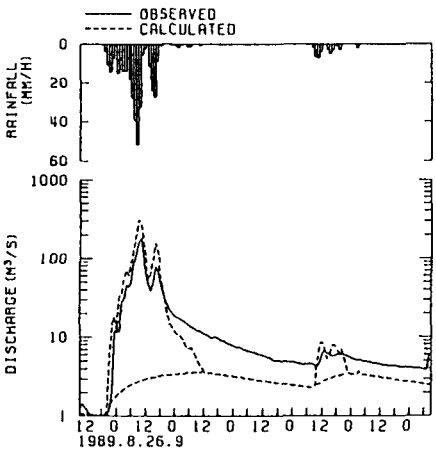


図5 出水解析例 (換算定数, 神崎川)

表1 LST モデル定数および KW モデル定数

LST モデル定数	最適定数		換算定数		KW モデル定数	永源寺	神崎
	永源寺	神崎	永源寺	神崎			
a_1 (mm-h)	0.0093	0.015	0.0253	0.0398	k (m-s)	1.0	1.2
a_2 (1/h)	0.027	0.037	0.0968	0.0885	$k_1 s / \lambda$ (m/s)	0.07	0.03
Z_1 (mm)	22.5	25.1	13.3	11.4	λD (mm)	14.0	12.0

注) 最適定数：最適同定によるモデル定数、換算定数： KW モデル定数より換算したモデル定数