

Ⅱ-1 吉野川上流域における流出特性の解析

徳島大学工学部 正員 端野 道夫
徳島大学大学院 学生員 ○地 紙 祐

1. まえがき 本研究は、吉野川上流域の流域面積数 km^2 の小流域について、実流域によく用いられてきた貯留関数法(以下 S.F.M と略す)と kinematic wave 法(以下 K.W.M と略す)による解析を行い、その流出特性を知ると共に、両者の比較検討を行うものである。

2. 対象流域の概要 対象流域は図-1(a)のごとく吉野川上流の大森川ダム(21.5 km^2)、長沢ダム(70.0 km^2)の二流域とする。K.W.M で解析するにあたり、図-1(b)のように一つの本川と左右両側に単一の長方形斜面を持つ流域にモデル化した。表-1はモデル化した流域諸定数を示すものである。

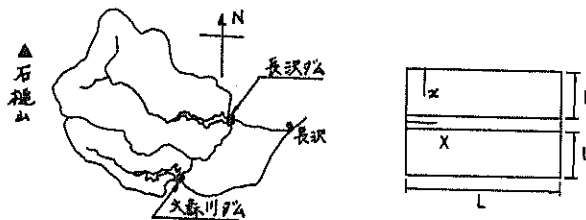


図-1(a) 流域概要

図-1(b) モデル

表-1 流域の諸定数

流域名	流域面積 (km^2)	流路長 L(Km)	斜面長 l(Km)	斜面勾配 $\sin \theta$	河床勾配 $\sin \theta_0$
大森川	21.5	10.0	1.075	0.300	0.054
長沢	70.0	15.0	2.333	0.120	0.011

$\sin \theta$, $\sin \theta_0$ の値は上田の提案した等価勾配を用いた¹⁾。

3. 解析と考察 図-1(b)のような斜面上を流下する流れに対する K.W.M の基礎式は、

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial z}{\partial x} = \tau_e^* \quad , \quad h = \tau_e z^p \quad (1)$$

河道部の流れに対しては

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = z \quad , \quad A = K Q^B \quad (2)$$

するとき $p = 3/2$, $\tau_e = (N_h / \sin \theta)^{2/5}$ となり θ は斜面傾斜角, N_h は等価粗度係数である。また, $K = (n / \sin \theta_0)^{3/5}$, $B = 3/(2n+3)$ であり n は粗度係数, K_1 , z は径深 $R = K_1 A^z$ といったときの係数と指数である。 τ_e^* は石原・高橋らが提案している表面流発生場を不変とした場合の簡便的な有効降雨強度であり、次式で与えられる²⁾。

$$\tau_e^* = (1 - L_r)(r + r_a) \quad \text{ここに, } L_r = \int_{t_0}^t b \cdot e^{-\tau_e^* s} ds + 1 \quad (3)$$

τ_e は斜面上流端から表面流発生点までの距離, L は斜面長, t_0 は表面流の生起時刻である。 $a = 2(r + r_a)/rD$, $b = 2(r_a + 1)/rD$ であり, r は空隙率, D はみかけの表層厚, r_a は最大中間流出強度, 1 は表層から下層への浸透能である。大森川、長沢両流域については $rD = 3.5 \text{ mm}$, $r_a = 3.78 \text{ mm/hr}$ を、中間流、地下水流の低減係数はそれぞれ $\lambda_1 = 0.028 \text{ hr}^{-1}$, $\lambda_2 = 0.0032 \text{ hr}^{-1}$ と得た。参考までに、那賀川水系長安ロダム流域(539 km^2)では $rD = 11.5 \text{ mm}$, $r_a = 5.18 \text{ mm/hr}$, $\lambda_1 = 0.045 \text{ hr}^{-1}$, $\lambda_2 = 0.0047 \text{ hr}^{-1}$ である。流域面積のよく似た由良川においてもほぼ同じ値である。対象二流域と比較すると r_a , λ_2 の値にかわり差があるが、大流域に比べ河道貯留効果の影響が入ってくるためではないと思われる。以下

いては Horton 型の浸透能方程式を採用し、図-2 のような累加損失雨量 R_L と降雨継続時間 t の関係を得た。

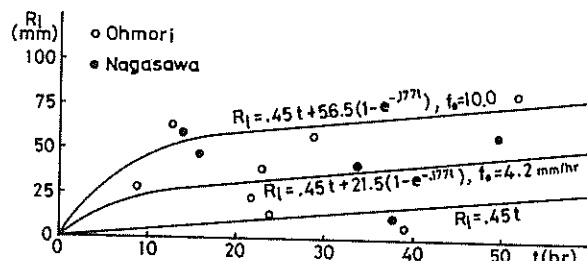


図-2 R_L と t の関係

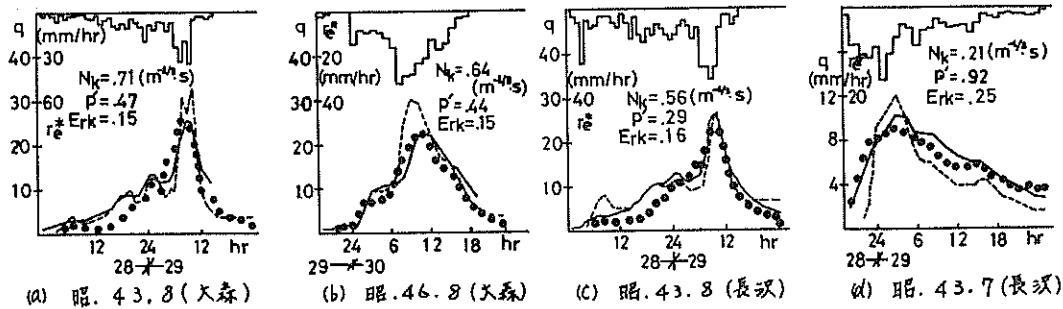


図-3 大森、長沢両流域におけるS.F.M.とK.W.M.の解析例

K.W.M.で対象流域の既往十数個の高水について解析し、比較よく適合していると思われるものを図-3に示す。●印は実測値、破線はK.W.M.による計算値である。適合性と判定するために精度 $Er = \sqrt{(\sum (q_c(t) - q_o(t))^2) / T} / q_{max}$ と定義する (q_c = 計算値, q_o = 実測値, T = q_o の資料数) と、他の高水は $Er = 0.3 \sim 0.5$ くらいでピーク流量、ピーク時間にもかなりのずれがあった。また単純な一山の高水には適合性が高いが、複雑な形は表わし得なかった。図中 Er_k は K.W.M. による精度である。一方、S.F.M. の基礎式は次式で与えられる。

$$\frac{dS}{dt} = r - g_L, \quad S = g' g_L^p, \quad g_L = g_o(t + T_e) \quad (4)$$

ここに、 S = 時刻 t における貯留量、 g = 定数、 T_e = 遅滞時間でダフリップスレは T_e を考慮したものであることを示す。図-3中の実線がS.F.M.で解析した結果である。他の高水についてもS.F.M.での精度は $Er \approx 0.1$ 前後の値でK.W.M.に比べるとはるかに良い適合性を表わしていることがわかった。(4)式中の指数 p には主として流出に対する流域の抵抗形態が反映すると思われる。特に、ピーク流量に關する平均降雨強度、それにピーク流量 g_{max} との関係と調べると図-4のようであり g_{max} の増加と共に p は小さくなる傾向が認められる。さて、K.W.M.による精度が悪いのは中間流を含む表面流に対してManning則を仮定したとピークの欠乏の原因であると思われる。こうした理由により実流域の中間流と表面流の共存場にも用いられるような(4)式のような概念的抵抗則を提案したが⁽³⁾⁽⁴⁾、この抵抗則の下では等価抵抗係数 F と等価粗度係数 N_s は(6)式のようなものである。

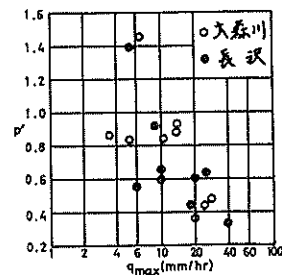


図-4 p と g_{max} の関係

$$u = \frac{1}{F} L^{(4-2p)/3} g^{(1+p)/3} I^{(2+3p-2)/3 + 1} h \quad (5) \quad F = I^p \left\{ t_{rc} (\omega g)^{1/3} / L \cdot (g_{max} L / \omega)^{1-p} \right\}^{3/p} \quad (6)$$

$$N_s = F^{3p/3} L^{1/3} g^{-5/9} I^{(2-10p/3)/6} (g_{max} L / \omega)^{(1-p)/3}$$

ここに、 u = 平均流速、 g = 指数、 h = 水深、 t_{rc} = 到達時間、 $\varphi = 1 + 2/3(1-p)(3-p)/p$ である。小流域では流出抵抗に対して斜面の影響が大きいので勾配 I として斜面勾配、長さ L には斜面長を採用し図-3の各高水に対する N_s の値を計算すれば(a)0.71, (b)2.1, (c)0.38, (d)1.7 である。こうした結果から考えて、S.F.M.による等価粗度係数の算定法は妥当なものと思われる。

4. あとがき K.W.M.の精度が悪かったのはば自体の仮定の適用範囲、浸透能方程式、分割方法が問題であると思われる。今後、この点についての検討を進めると共に、S.F.M.の精度よく適合できる利点を用い、S.F.M.とK.W.M.の有機的に関連づけを行い、より実用的解析法を開発することが重要であると思われる。
参考文献1) 上田年比呂; 流出現象よりみた河川の平均勾配について, 九大工学集報第34巻第1号(昭36.9)
2) 石原(通)・石原(通)・高柳・頼; 由良川の洪水特性に関する研究, 京大防災研年報第5号A(昭37.3)
3) 堀野道夫; 流出機構から見た流域の貯留特性と等価抵抗係数, 第28回年次講演会講演集(昭48.10)
4) M. Hashino; Analysis of Runoff Regime by Storage Function Method and Equivalent Friction Factor, Bulletin of Faculty of Engineering, Tokushima University, vol.10 Jan. 1974