

徳島大学工学部 正員 端野道夫
徳島大学大学院 学生員 猪熊 秀之

1. ま え が き 実山地斜面部では中間流出最大強度以上の出水規模では表面流が生起していると考えられる。この表面流の抵抗則を説明するために、室内実験および実流域の解析を行ってきた。¹⁾²⁾ 本報告では、非定常流出実験データを用いてその有効性が明らかとなった「非定常項を考慮した貯留型モデル」²⁾を採用し、解析対象流域を細分割すること、等の解析精度の向上に留意し、大森川ダム流域(21.5 km²)の表面流の抵抗形態を説明する。

$$\frac{ds}{dt} = r - \delta \quad (1)$$

2. 非定常項を考慮した貯留型モデル 一般に、斜面部の雨水流は

$$S = \delta' \delta^p + K \frac{d\delta}{dt} \quad (2)$$

K.W (kinematic Wave) 法で表わされるが、実山地流域では、流域分割、

所要計算時間等の点で、(1)、(2)式のような貯留型モデルの方が有利である。²⁾ ことに、S: 貯留高、r: 有初降雨、 δ : 流出高、 δ' , p, K: パラメータ、である。(2)式の第2項は貯留高Sと流出高 δ の関係(図-3参照)における「非定常効果」を表現するもので、係数Kは、K.W法との比較により、一定降雨を与えたときの流量上昇部と降雨遮断後の減衰部で、それぞれ、次式のように誘導される。²⁾ 非定常流出実験データを用いての検討によれば、²⁾ 流量

$$\text{上昇部: } K = (1+p) \delta'^2 \left(1 - \frac{\delta}{\delta'}\right) \frac{\delta}{\delta'} \delta^{2p-2} \quad (3) \quad \text{減衰部: } K = (1+p) \delta'^2 \left(1 - \frac{\delta}{\delta'}\right) \left\{1 - p \left(1 - \frac{\delta}{\delta'}\right)\right\} \delta^{2p-2} \quad (4)$$

減衰部では非定常効果はほぼ無視しても差し支えないが、上昇部、とくに流量立上り付近では無視できない。

さて、(2)式の指数pと係数 δ' は流出抵抗形態に応じて、K.W法と関係づけられる。¹⁾ たとえば、層流形態が卓越

する場合、(5)式のように与えられる。ここに、

$$p = \frac{1}{3}, \quad \delta' = \frac{1}{(1+p)} \cdot \left(\frac{C \cdot \nu \cdot l}{g I}\right)^p \quad (5)$$

C: 層流粗度パラメータ(無次元)、 ν : 動粘性係数

g: 重力加速度、I: 斜面勾配、l: 斜面長、

$$p = \frac{(1+b)}{3}, \quad \delta' = \frac{1}{(1+p)} \cdot \left(\frac{a \cdot \nu \cdot l}{g I}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{l}{\nu}\right)^{b/3} \quad (6)$$

である。室内実験でも見られたが、実山地流域

で、(5)式のような完全層流形態をとる保証はない。したがって、 $C = a \cdot (g l / \nu)^b$ なる「擬似層流形態」であるととして、(5)式を書き直せば、(6)式のようになる。仮りに、Manning 則($p=3/5$, $b=4/5$)の場合でも(6)式で評価でき、C, a, bなるパラメータはすべて無次元量であるから都合が良い。

3. 分布貯留型モデルによる表面流粗度パラメータの推定法 いま、実測雨量・流量資料のみから、流出形態を示す指数p (or b) と粗度パラメータaの二つの値を推定することを考える。対象流域を細分割しない場合は最尤法等の方法が可能であるが、分布貯留型モデルを用いる場合、試行錯誤的方法によらざるを得ない。解析手順を示せば、以下のようである。

i) 図-1のように対象流域を斜面部と河道部に細分割する。(斜面部の大きさはHortonの1~2次谷流域)

ii) 各斜面部の定数: l, I, A (流域面積) と各河道部の定数: L (河道長), B (河巾), I_c (河道勾配), n (Manningの粗度係数)を前もって設定しておく。また、観測降雨はHorton式より有初降雨 r に変換しておく。

iii) (6)式の $p = (1+b)/3$ を特定値に固定する。(流出形態を設定する。)

iv) p (or b) に対応する粗度パラメータaの初期値を $t_{pc} = \delta' r^{p-1} / (1+p)$ 等を利用して設定する。

v) 与えられたa, p (or b) を(1),(2),(3)および(6)式に用いて、各斜面部からの流出高 δ を計算する。このとき、微小単位時間内でも(3)式が近似的に成立つものとして、 $r > \delta$ の場合だけ用いる。2階の非線形微分方程式を解くことになるが、差分法を用い、安定条件(十分条件)として、 $\Delta t \leq p \delta' r^{p-1} / 2$ を使用する。

vi) 各斜面部の流出高 δ を河道部の式(省略)に入力し、最下流端(対象地点)の流出高 δ を計算する。

vii)対象地点での計算流出高と観測流出高との差のr.m.s 誤差:

$Er = \sum (q - q_o) / N$ を計算し、この値が最小になるまで、 α を漸次変化させ、iv)~vii) をくり返し、 α の最適値を求める。

viii) $P(or b)$ を異なる特定値に固定し、iv)~vii) をくり返し、最小の Er を与える $P(or b)$ と α の値を最終的な最適値とする。

4. 大森川ダム流域での解析例 本流域は吉野川水系の最上流に位置し、良好な植生(原生林、ひの木)の山地流域で、四国の多雨地帯に属する。本流域を図-1のように9つの斜面部と2つの河道部に細分割する。貯水池湛水域が広く、河道部の流水抵抗は斜面部に比較して極めて小さいことがわかる。今回の計算では、表-1に示すように、ピーク流出高 $q_{max} = 11 \sim 78 \text{ mm/hr}$ 、と出水からた出水の範囲の5出水資料を用いた。昭47年までの降雨はダム地点1時間単位雨量であるが、昭48年以降の降雨は3地点降雨より30分単位流域平均雨量である。観測流量はいずれも1時間単位である。流出形態を示すパラメータ P は、 $P = 1/5, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5$ の5ケースとした。

表-1に、各出水に対する最小 Er を与える P, α の最適値を示し、参考のため Manning 則としたときの値も下段に併記した。

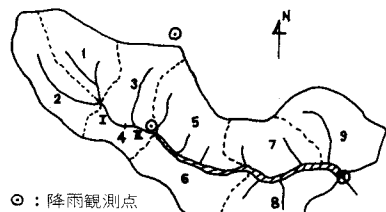
計算流出高と実測値の適合性は図-2に見られるように実測雨量・流量の観測精度を勘案すれば良好であるといえる。前回の単一流域としての解析精度に比較しても改善されている。また、非定常項を $r > 8$ のときにも無視した場合と比較しても良くなっていることがわかった。このことは図-3の $S-q$ 関係からも理解できよう。

以上、解析精度の点から、非定常項を考慮した分布貯留型モデルは妥当であり、したがって表-1に示された最適流出形態(P 値)はかなり信頼がおけると判断される。表-1より明らかなように、出水規模にかかわらず Manning 則は最小 Er を与えないことに注目する必要がある。 P はいずれも $1/5 \leq P \leq 1/2$ の範囲にあり、昭50.8出水の相対誤差 Er/q_{max} が最も大きいことを加味すれば、 $P=1/3$ の層流則、あるいは $P < 1/3$ の「擬似層流則」と見なすべきであろう。

治水計画上から考えても Manning 則を用いることはピーク流量を過小評価することになり、危険側となる。したがって、たとえ解析精度にほとんど差がなくとも安全側である層流則ないし「擬似層流則」を用いるべきであるといえる。

なお、各出水ごとに流出形態が層流則ないし「擬似層流則」と変化する主原因は降雨の空間分布であると思われるが、今後、このような点についても詳細な検討をする必要がある。最後に、資料を頂戴した四電関係各位に感謝します。

参考文献
1) 瑞野・藤島: 山地斜面部における雨水流の抵抗則に関する考察, 年報水理, 昭52.10
2) 瑞野・須藤・谷上: 急勾配粗面上の薄層流に関する実験的研究(第3報), 中部学術雑誌, 昭53.5



○: 降雨観測点

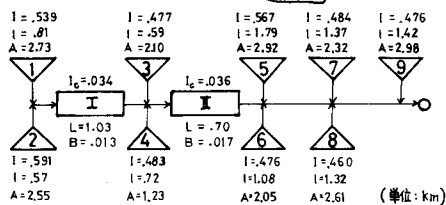


図-1 大森川ダム流域のモデル化

表-1 各出水の推定パラメータ値 ($E7$ は 10^7 を意味)

Storm No.	q_{max} (mm/hr)	Er/q_{max}	P	α
430702	10.8	.059 .076	1/3 3/5	2.39 E7 2.51 E4
450821	61.6	.079 .083	1/5 3/5	1.74 E8 1.17 E3
460829	25.5	.084 .093	1/4 3/5	7.21 E8 5.10 E4
490705	22.8	.070 .076	1/3 3/5	2.10 E7 1.16 E4
500816	77.5	.096 .099	1/2 3/5	7.66 E5 4.06 E4

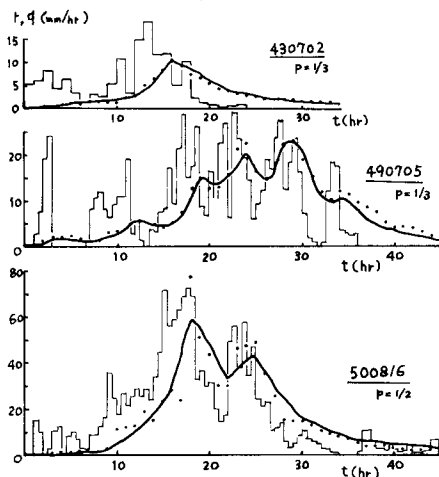


図-2 計算流出高の適合性 (・印: 実測流出高)

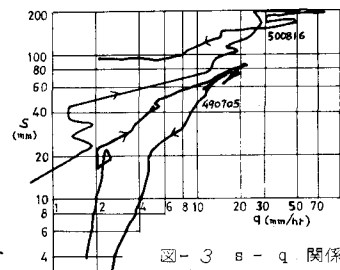


図-3 $S-q$ 関係