

徳島大学工学部 正員 瑞野 道夫
徳島大学大学院 学生員 O地 紙 満

1. まえがき 近年、流出解析法として有効であると言われ、実流域によく用いられている kinematic wave 法において特に問題となるのが抵抗則であろうと思われる。本研究は、斜面抵抗が卓越する山地小流域についてその実態を明らかにし、普遍的抵抗則について考察するものである。

2. 雨水流下特性 斜面上における雨水流の基礎式と kinematic wave 法で示せば(1)式のようなものである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e, \quad h = k_g P \quad (1)$$

ここに、 h = 水深、 q = 単位巾流量、 P 、 k_g = 定数で Manning 則が成立すると $P = \frac{1}{3} S$ 、 $k_g = (N/\sin \theta)^P$ となる。 $(\theta = \text{斜面傾斜角}, N = \text{等価粗度係数})$ 降雨の時空間的定常性が仮定されれば到達時間 t_{pc} は r_{mp}^{P-1} ($r_{mp} = t_{pc}$ 内の平均降雨強度) に比例することになり Manning 則を用いると $t_{pc} \propto r_{mp}^{-0.4}$ となる。図-1 は比較的流域面積の大きい那賀川水系長安ロダム流域 ($A = 53.9 \text{ km}^2$) と本解析の対象である山地小流域の吉野川水系、大森川ダム流域 ($A = 21.5 \text{ km}^2$)、穴内川ダム流域 ($A = 52.7 \text{ km}^2$)、長沢ダム流域 ($A = 70.0 \text{ km}^2$) について $t_{pc} \sim r_{mp}$ 関係をプロットしたものである。ただし、 $r_{mp} \equiv Q_p/A = g_{max}$ (Q は実測ピーク流量) という関係がほぼ満たされていたので、 r_{mp} として g_{max} を用いた。図中の

描点のうち●印は雨の空間的分布が一樣で(定常)あるもの、○印は雨が上流側にかたよっているもの、◎印は下流側にかたよっているもの、⊙印は降雨域が移動しているものにそれぞれ相当する。降雨の時空間的定常性がほぼ認められると思われる●印のものについて $\log t_{pc}$ と $\log r_{mp}$ の関係を考えると、図-1 から明らかに長安ロダム流域は穴内川流域と同様にほぼ -0.4 の勾配で示した直線上に並んでいるが、小流域についての描点は -0.4 勾配の直線はいしは -0.67 勾配の直線のまわりにならばり、特に大森川流域については -0.4 よりも、むしろ -0.67 ($P = 4/3$) にのっているようである。この原因として、数十 km^2 の小山地流域では雨水の流動場が大部分斜面であり山腹斜面の湿潤状態、植生の変動が直ちに流出特性に反映すること、あるいは降雨の時空間的特性が流出現象に影響することがあげられる。本来、実山地における雨水流の形態は中間流、中間流と層流表面流の共存流れ、あるいは乱流表面流等が考えられ、こうしたすべての流出形態を Manning 則のみで表示することに無理があるといえる。一方、大野ダム、長安ロダムのような数 km^2 くらいの流域では雨水は斜面上と流れて河道に流入し、伝播変形して流出点に到達すると考えられ、山腹斜面の抵抗のみでなく河道流れの抵抗が合成されるはずであり、このため抵抗形態が河道の抵抗の方にひっぱられる形となって見かけ上 Manning 則の P 値をとると解釈する方が妥当であろう。また、角屋・周らの市街地流域 ($A = 2.7 \text{ km}^2$) についての研究でも Manning 則成立という結果が出されているが、このような流域では雨の空間的特性がほぼ定常であると考えられること、市街地ゆえに植生の変動による影響が無視できるとであろうこと、また河道(主に下水道網)流れがその 60% を占めること等が、この結果として出てきたものであろう。

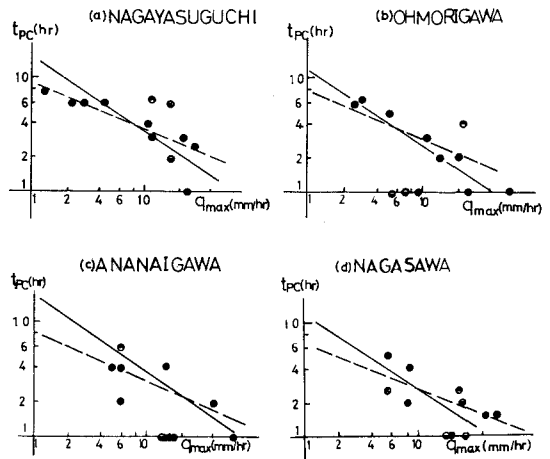


図-1 $t_{pc} \sim g_{max}$ 関係

3. 概念的抵抗則と等価抵抗係数 上述のような考察より、山地小流域の雨水流動現象に本来、完全乱流場に用いられるべき Manning 則を適用することには大きな疑問があることばかりだ。そこで、この欠点を補うことができるような概念的抵抗則(2)式と提案した。この抵抗則の下で等価抵抗係数 F は(3)式のようなものである。³⁾

$$u = \frac{1}{F} L^{(2P-2)/3P} g^{1/3P} I^P h^{(1-P)/P} \quad (2) \quad F = I^P \left\{ t_{pc} (\nu g)^{1/3} / L \cdot (g_{max} L / \nu)^{1-P} \right\}^{1/P} \quad (3)$$

ここに、 u = 平均流速、 h = 水深、 t_{pc} = 到達時間、 I = 斜面勾配、 L = 斜面長であり、 P は貯留関数法の半経験式 $S_L = k g_e^P$ の指数である。この P は(1)式中の P と等価であって流出の抵抗

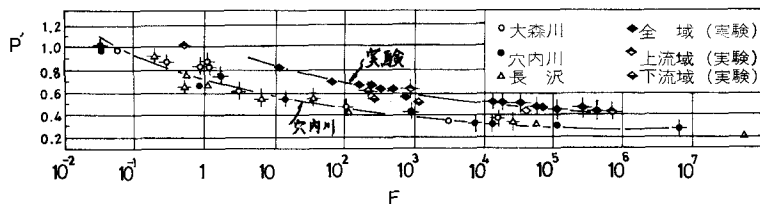


図-2 $P \sim g_{max}$ 関係(十字のついた箱点は定常)

形態を反映すると思われる。(2)式は、 $P=2/3$ のとき Darcy-Weisbach 則、 $P=1/3$ のとき Hagen-Poiseuille 則に、 $P=1$ のとき Darcy 則にそれぞれ類似した形となる。(3)式において等価抵抗係数と呼ばれる無次元量 F は P と強い相関関係があると予想されるので、 I に平均斜面勾配、 L に平均斜面長を用いて $\log F \sim P$ 関係とプロットすれば図-2 のようである。ところで(3)式を変形して $F^P (g_{max} L / \nu)^{P-1} = I^P t_{pc} (\nu g)^{1/3} / L = \text{一定}$ とおけば $\log F$ と P は図中の実験で表わされるような双曲線関係にあることになり、箱点群はほぼこの曲線に沿っていることばかりわかる。 $I^P t_{pc} (\nu g)^{1/3} / L = \text{一定}$ といったこの妥当性は斜面上を流下する流れの速度はほぼ一定と考えられるという従来の研究成果から理解されることとできよう。図には定性的傾向を把握するために中間流実験データについてもプロットしてあるが、このうち定常のものは $F = 10^{-1}$ の間に分布し、非定常データについても、ほぼ定常データを連ねた曲線の延長上に並んでおり、こうした傾向が実流域についても言えるのではないかと推察される。なお、曲線からのずれが若干認められる箱点があるが、これは $F^P (g_{max} L / \nu)^{P-1} = \text{一定}$ と仮定したことによる誤差が表われていることは当然である。このような $\log F \sim P$ 関係の強い相関性より、 F は P を精度よく定めることができれば一義的に求めることができる。問題は P (斜面抵抗形態の指標) をどのようにして決定するかであるが、過去における貯留関数法による多くの高水解析の結果、 P と g_{max} の間には強い負の相関があり、 g_{max} が大きくなれば P が小さくなる傾向が認められた。⁵⁾ すなわち、 g_{max} を設定すれば $P \sim g_{max}$ 関係より P が決定され F が推定できるわけである。これらのことより、従来変数であるべき $P (=P)$ をいかなる出水にも定数とする、Manning の等価粗度係数 N よりも、系統的な手順を踏まえ F 値の方が実山地流れの抵抗として適切であり、また F 値の無次元性は普遍的考察にも有利であろうと思われる。

4. あとがき 以上のこととまとめると次のようになる。i) Kinematic wave法の抵抗則として従来よく用いられてきた Manning 則は降雨が定常的であり斜面流よりも河道流が卓越する流域には適用できる。ii) 本研究の対象流域では Manning 則よりむしろ $P=1/3$ 、つまり層流の抵抗則に従う場合がある。iii) 等価抵抗係数 F による抵抗表示は、貯留関数法による解析結果から作成された $P \sim g_{max}$ 関係より g_{max} を設定すれば(3)式より簡単に求められ、有利である。今後の課題としては、i) 実流域における定常とは物理的にどのようなものであるか明らかにすること。ii) 境界水文学の定まった実験データを用いて F 値の特性とさらに明らかにし、より信頼性のあるものにすること等であろう。

参考文献 1) 石原(剛)・石原(富)・高柳・頼; 由良川の出水特性に関する研究, 京大防災研年報第34巻1号, 昭.36.9

2) 角屋・潤; 市街地流域の雨水流出特性, 京大防災研年報第14号B, 昭.46.4

3) 端野道夫; 流出機構からみ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) 石原(富)・小栗竹; 山地流域における直接流出の生起過程, 京大防災研年報第12号B, 昭.44.3

5) 端野・地改; 菅野川上流域における流出特性の解析, 第26回中国四国支部講演会講演集, 昭.49.5