

日本水道コンサルタント 正 員 O地 沢 満
徳島大学工学部 正 員 端野 道夫

1. まえがき 豪雨時の実斜面流れは、表面流出分の卓越した流れになっていると考えられ、Kinematic wave法ではManning則が適用されている。しかし、こういった流れは斜面の凹凸、および植生の分布状態等によって変化し、本来、完全乱流のみに適用されるべきManning則と形式的に用いることは物理的意味を持ち得ないこととなる。本研究は、降雨シミュレーターを用いて表面流を発生させ、その抵抗則を明らかにすると共に、実流域の抵抗則と比較検討を行なうものである。

2. 実験装置および実験方法 降雨シミュレーターは、 $\phi 25\text{mm}$ の塩ビパイプと斜面モデル上に等間隔に並べ、この下面に $\phi 0.7\text{mm}$ の細孔と10cm間隔に予島状に開口させ、これより雨滴を落下せしめるものである。斜面モデルは有効長さ610cm、有効幅34.5cm、こう配 $\sin\theta=0.155$ のものであり、流量測定用の特殊な三角堰が下流端に設置されている。(図-1参照) 次に実験ケースはすべて降雨と斜面全域に供給したものであり、流れが定常の場合(type I)と、流量が立ち上がり定常に達した後降雨を停止し、十分に減速するまでの一出水記録をとった場合(type II)に大別される。モデル斜面は表面状態を実斜面での表層被覆状態に模擬させ水路床上に布、ネット、ステラシート等と組み合わせ、被覆物のない場合の四種類に変化させた。布とは少し荒目のさらし布、ネットは一目が1cm角の六角形状とした金網、ステラシートとは化学繊維よりなる非常にporousな物質である。また、流れが薄層流であり水深の観測が不可能であったので、下流側110cmの区間で流速をトレーサーを流して測定し、これより水深を逆算した。

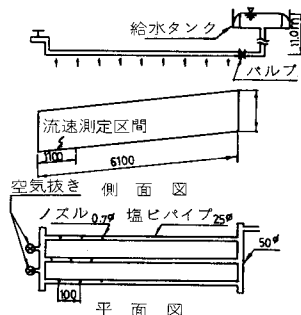


図-1 実験装置概要

3. type Iに関する f (抵抗係数)- Re (Reynolds数)関係 従来、薄層流と二次元等流と仮定すると、層流域においては $f=K/Re$ (K =定数)と表わされ、 K は水路の断面形状、粗滑の状態をparameterとして変化し滑面長方形断面では $K=6$ となることが知られている¹⁾。ここで $f=2gIh/u^2$ 、 $Re=g/\nu$ (I =こう配、 h =水深、 u =平均流速、 g =単位幅当り流量、 ν =動粘性係数)である。図-2は f - Re 関係を示したものであり $Re=400\sim 500$ を前後として層流域から遷移域さらに乱流域へと極点が移行しているのが明確に表われている。また、層流域において表面状態の相違は $f=6/Re$ なる直線を上へ平行移動することに反映しているのが注目され、布、ネット、ステラシートの順で抵抗が大になっており、降雨が水面にたつくことにより流れに抵抗を生じることも見い出された。これらのことより、従来の定常流に関する関係が、本実験のような降雨を供給した定常流についても成立することが確認された。

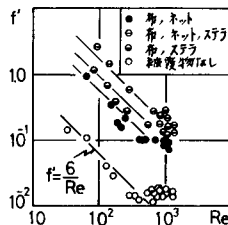


図-2 f - Re 関係

4. $f \sim F g_{max} L / \nu$ 関係 昨年度、実山地斜面上の流れと中間流と層流表面流、層流表面流と乱流表面流の共存流れであると考へ、これら数種の流れの形態を総合的に表わし得る概念的抵抗則(1)式を構築し、この抵抗

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

則の下で等価抵抗係数 F を(2)式のように定義した。ここに、 t_{pc} =到達時間、 $p=1+\frac{2}{3}(1/p-1)^{3/2}$ であり p は貯留関数法の半経験式 $S_L=K_L L^p$ の指数であり定常状態においてKinematic wave法の運動式 $h=K_L g^p$ の p と等価である。

さて、(2)式において $F^{p'}(g_{\max}L/\mu)^{p'-1} = I^{p'} c_{pc}(\mu g)^{1/2}/L = \text{一定}$ すると $p' \sim \log(F \cdot g_{\max}L/\mu)$ は双曲線関係となる。図-3は、この関係を昨年の中間流実験および大森、穴内、長沢の各ダム流域(20~70km²)のデータについて示したものである。本実験においては、type I(定常流)のデータについて(1)式左辺の μ と g が既知量となるので、回歸分析より p' と $F \cdot g_{\max}L/\mu$ が得られる。図中の◇印がこ

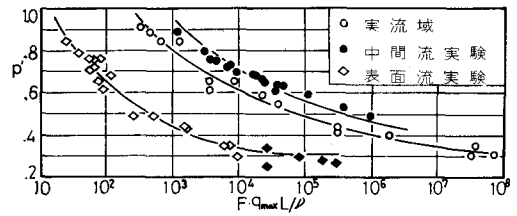


図-3 $p' \sim F \cdot g_{\max}L/\mu$ 関係

れに相当し、◆印はtype II(非定常流)のデータに貯留関数法の解析を行ない p' を推定し、(2)式より F を得た描点である。双方とも図中の双曲線に沿って分布しており、 F 値は定常、非定常の如何に拘らず $p' (= p)$ の変化に伴って流水抵抗を定量化しうる parameter であると言えよう。また、上記の仮定のうち c_{pc}/L は流速の逆数にほぼ等しいと考えられることより、各々の描点は、その平均流速を parameter として平行移動した位置にあると思われる。従来の研究報告においても斜断面工と流下する流速は、中間流はもうろんのこと表面流についてもほぼ一定であると言われていることより $p' \sim F \cdot g_{\max}L/\mu$ 関係は、かなりの汎用性を持つものであると考えられる。

5. 実流域の g' 値 F は非常に値域が広く、その物理的特性が未だ判然としないうから、 F 値を g' 値に換算して考察を行なう。そこで、 g' の定義式に kinematic wave 法の運動式を用い、さらに F で表現すると(3)式のようになり、また上記のような $F^{p'}(g_{\max}L/\mu)^{p'-1} = C(\text{一定})$ なる仮定を導入すれば(4)式のようになることが見い出された。(4)式において、

$$f' = 2F^{p'} I^{-3p'+1} (g_{\max}L/\mu)^{3p'-2} \quad f' = 2C^3 I^{-3p'+1} (g_{\max}L/\mu) \quad (3) \quad (4)$$

う配 I の項は $p' < 1$ ならば、ほぼ一定であるから結局 g' は Reynolds 数 $Re = g_{\max}L/\mu$ と一次関係にあることがわかる。図-4は(3)式より得られた g' と Re の関係を示したものであり、吉野川支川の宮川内ダム流域(23.1km²)についてもプロットしてある。これによると、 Re の増加にしたがい g' は(4)式の関係を満たしながら $1 \sim 10^3$ へと変化し、 $Re = 10^3$ 付近で急激に10付近にまで減少し、その後再び傾き1の直線上に分布しているようである。図には示していないが、同様の傾向が鳴門市板東谷川流域(12.1km²)でも存在し、 $Re = 10^3$ 付近まで g' は 10^2 から 10^3 へと増加していた。図中の他流域については、描点数が少ないうえに明言はできないが、同様の傾向が見う

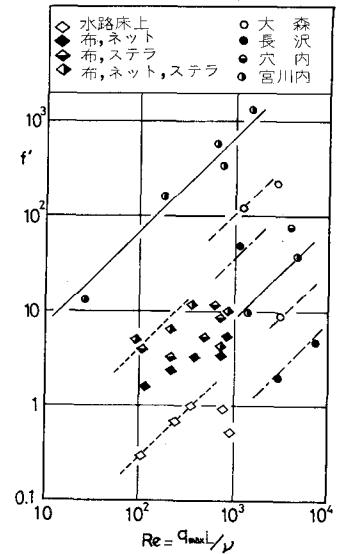


図-4 $g' \sim Re = g_{\max}L/\mu$ 関係

けられるようであり、各々その傾向線を挿入した。この関係は一見、常識に反するような傾向とはなっているが、type IIの表面流実験データについても同様の傾向が認められること、不透水制の実験において類似した結果が報告されていることより妥当なものであると考えられる。この原因としては、実山地斜面上の突起物(植物、構造物)の random 性等が考えられる。

6. あとがき 以上のことより F 値の物理特性が、ある程度明らかとなり、その有用性が高められたいと考えるが、さらに g' と F の関連を明らかにする必要がありと共に、(2)式より得られる F 値には p' と c_{pc} の推定誤差が入ってくるので、今後この点をさらに改良すべきであろうと思われる。最後に、本研究を進めるにあたって終始適切な御教示をいただいた徳島大学、杉尾教授、実験に際して御協力いただいた安東氏に深く感謝します。

- 参考文献 1) Straub, L.G.; Open Channel Flow at Small Reynolds Numbers, Trans. A.S.C.E., Vol. 123, Nov. 1952
 2) 堀野・地紙; 吉野川上流域における流出特性の解析, 昭和49年度中四支部講演会講演集
 3) 石原・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, S. 44. 3.
 4) 金子・五柳・上村; 小流域における流出機構の研究, 農業技術研究報告F第12号
 5) 今本・地野; 不透水制の抵抗特性について(2), 昭和49年度年次学術講演会講演集