

モデル斜面からの流出について(6)

広島大学 工学部 正員 金丸昭治
 広島大学 工学部 正員 三島隆明
 香川県 土木部 正員 大西泰史

1. まえがき 山腹斜面をモデル化すると、単一層斜面あるいは深さ方向に透水性が異なる二層斜面、さらには斜面方向に透水性の異なる層が互層をなす斜面などで近似されるものと考えられる。

この報告では、これらの斜面における流出現象について室内流出実験および数値計算を行なった結果を述べる。

2. 実験方法 模擬斜面は透明アクリル製可変勾配水路(幅 $b=10\text{cm}$, 高さ 20cm , 斜面長 $l=100\text{cm}$)にガラス玉(粒径 $\phi 1\text{mm}$ または 4mm)を充填したもので、(i)モデル斜面Ⅰ(単一層斜面):層厚 $d=1, 3, 5\text{cm}$ になるように $\phi 1\text{mm}$ 玉を充填したもの、(ii)モデル斜面Ⅱ(二層斜面):下層厚 $d_2=5\text{cm}$ ($\phi 1\text{mm}$ 玉)、上層厚 $d_1=1, 2\text{cm}$ ($\phi 4\text{mm}$ 玉)になるように充填したもの、(iii)モデル斜面Ⅲ:透水性の異なる層($\phi 1\text{mm}$ 玉で間隔 $\Delta x=3.7\text{cm}$ と $\phi 4\text{mm}$ 玉で $\Delta x=2.5\text{cm}$)を斜面方向に交互に配列したもの($d=5\text{cm}$)、(iv)モデル斜面Ⅳ:モデル斜面Ⅲと同様な層($d_1=3\text{cm}$)の下部に透水層($\phi 1\text{mm}$ 玉で $d_2=2\text{cm}$)を加えたもの、(v)モデル斜面Ⅴ:モデル斜面Ⅳの上層の $\phi 4\text{mm}$ 玉部分を空洞にしたものである。

これらのモデル斜面に降雨としてグリセリン液(動粘性係数 $\nu=20\text{cSt}$)を供給して流出実験を行ない、下流端流量の時間的变化を測定するとともに水面の変化を写真撮影して調べた。

3. 実験結果および考察 層内の雨水流動がDarcy則、表面流がManning則にしたがうものと考え、各斜面からの流出現象は無次元量 $Q, T, X, H, \tan\theta, R, N, D, D_1, D_2, K_{12}, M_{12}$ の関数として表わされる。ただし、これらの無次元量は斜面長および斜面の透水性の代表量である $\phi 1\text{mm}$ 玉の透水係数で無次元化した量であり、 Q は下流端流量、 T は時間、 X は上流端原点の距離、 H は水深、 $\tan\theta$ は斜面勾配、 D は全層厚または各層厚、 R は降雨強度、 N は粗度係数、 K は透水係数、 M は空隙率であり、添字の1, 2はそれぞれ上下層の量を、12は下層量に対する上層量の比率を表わす。¹⁾

(i)単一層斜面からの流出:表面流が生じた場合の流量の時間的变化に関する実験ならびに計算結果を示したものが図-1である。実験、計算の双方とも表面流は降雨開始後、流量が急激に増加する時点で発生するが、発生するまでに要する時間は層厚にほぼ比例する。一方、流量減衰期における流量変化については、降雨終了直後は層厚にほとんど無関係な直線的な減衰となり、層厚が小さくなるほど表面流消失時の流量が小さく、かつ、流出時間も短くなるが、この程度の規模の流出においては表面流が生ずる時期における層内流動成

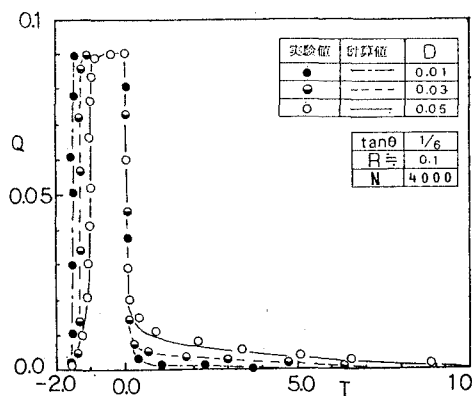


図-1 実験値と計算値の比較(単一層斜面)

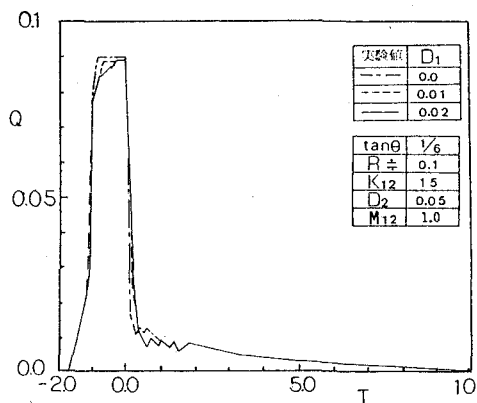


図-2 流量の時間的变化(二層斜面)

分の流出全体に対する影響度は小さい。さらに、表面流消失後の現象についても層厚が厚いものほど流出は緩慢で長期にわたる流出になる。また、各場合の計算値は雨水流動の基礎方程式を差分式で表わし、水面の上流端を非流出端とし、下流端水深は実験式で与え、収束安定条件を満足するように時間間隔を採って計算したものである²⁾。ただし、 N については十分な測定ができないので、試算したが、図中に示す値を採れば、いずれの場合も計算値と実験値とは良く一致するようである。この時の粗度係数を次元量になおすと $m=0.3$ となり、実流域規模斜面で従来考えられている値と同程度の値になっている。

(ii) 二層斜面からの流出：二層斜面の上層厚を変化させて行なった実験結果を示したものが図-2である。 $D_1 \leq 0.01$ の場合には表面流が発生し、 $D_1=0.02$ の場合には常に層内流動になるが、図からわかるように、上層の効果が現われるのは降雨期および流量減衰期ともわずかな期間であり、少くとも $K_{re} \geq 25$ になると上層による貯留効果はほとんどなく、上層が存在しない場合の流れとほとんど同じ流れになる。また、前述の計算法で計算した結果と実験値を比較した一例が図-3であるが、 K_{re} の値については実験値($K_{re}=15$)よりも大きな値($K_{re}=25$)を取って計算した方が流出曲線全体の適合度は高くなるようである。

(iii) モデル斜面Ⅲ、ⅣおよびⅤからの流出：各モデルの流量の時間的変化を比較したものが図-4である。 $\phi 1mm$ 玉の層が流動に対して支配的な透水層になるために、いずれの場合も図-1の $D=0.05$ の場合の流出と同様な流出になる。層の貯水能力についてはモデルの構造から考えて、一見、モデル斜面Ⅳよりモデル斜面Ⅲの方が貯水能力が高くなるように思われるが、実験結果からはモデル斜面Ⅴ、Ⅳ、Ⅲの順になる。このような結果になるのは毛管水流动の影響が大きいためである。すなわち、流出末期においてモデル斜面ⅣおよびⅤの場合には斜面下流端付近のみに毛管水が残留するのに対し、モデル斜面Ⅲの場合には斜面全域にわたって各単位層ごとに毛管水が残留するために残留総量が多くなり、そのために逆に流出量が少くなるからである。各場合の流出変化を単一層斜面の場合($D=0.05$)と比較すると、モデル斜面Ⅲの場合には層全体としての透水性が大きくなっているために、単一層斜面の場合より早く流出してしまう傾向があり、モデル斜面Ⅴの場合には減衰初期の流出が単一層の場合よりも大きな流出になり、末期の流出は単一層斜面の場合と同じになるが、モデル斜面Ⅳの場合にはモデル斜面ⅢとⅤの中間的な流出になる傾向がある。

以上の結果を利木学的観点から総合的に考えると、比較的透水性の小さな層を下層とし、しかも空隙率の大きな上層を有する斜面が保水上最も好ましい状態になると考えられる。

4. おとがき 表面流出を伴うような比較的大降雨による流出について、その特性の一部を明らかにしたが、今後、出現回数比較的多い中小降雨による流出などについて検討していく予定である。なお、実験方法ならびに数値計算法に関する詳細については講演時に述べる予定である。

参考文献：1) 三島・金丸，才33回年講，2) 金丸・三島・村田，才27回中四年講

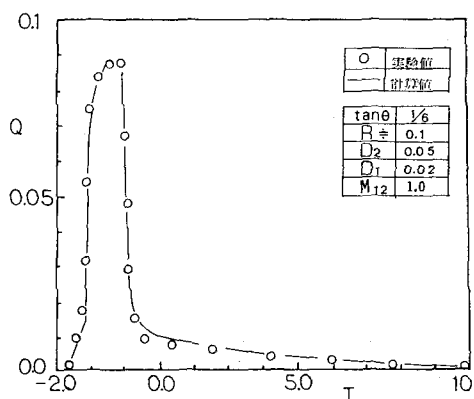


図-3 実験値と計算値の比較 (二層斜面)

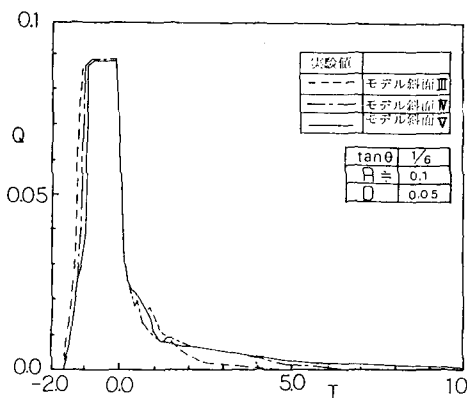


図-4 流量の時間的変化