

モデル斜面からの流出について(5)

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
 広島大学 工学部 学生員 大西泰史

I. まえがき 山腹斜面をモデル化した砂モデル斜面のように空隙が比較的小さな層からの流出現象においては、既に発表されたように、毛管水帯からの流出が少なからぬ影響を与えている。したがって、流出現象全般を明確に把握するためには、単に自由水領域からの流出のみならず毛管水領域の流動を明らかにする必要がある。この報告においては、毛管水の流動ならびに毛管水領域の流動が雨水流出現象に与える影響について、砂モデル斜面を用いて実験的に調べた結果ならびにその解析法について検討した結果について述べる。

II. 実験概要 (i) 毛管水流動実験：下流端を自由流出端にした可変こう配の透明アクリライト製水路(幅3cm, 高さ40cm, 長さ100cm)に、 $d_{50}=0.06\text{cm}$ の河砂を詰めたモデル斜面(層厚: 20cm)のこう配を3種類変化させて上端部より水道水を吸上げさせ層内流動が毛管水流動領域を形成し、定常化した後の流量減衰期の毛管水の流動変化をマノメータあるいは圧力変換器および流量測定装置を用いて測定した。(ii) 降雨流出実験：(i)と同形の上流端を閉じた水路に(i)と同じ河砂を詰めたモデル斜面(層厚19.4cm)について、こう配および降雨強度を変えて毛管水流動が流出におよぼす影響を(i)と同様な方法で測定した。

III. 実験結果および考察 (i) 毛管水流動実験：流量減衰期の毛管水流量の時間的変化を両対数表示したものが、図-1である。図からわかるように、全般的には $\tan\theta$ が大きいものはどろろ大きく、しかも、 $\tan\theta$ が0の場合には、ある程度時間が経過すると、同一の変化曲線をたどるようになり、 $q < 3.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ では $\tan\theta=0$ の場合の流出変化傾向とよく似た変化を示すようになる。また、図-2は $\tan\theta=0, 0.169$ の場合の代表点の圧力分布の時間的変化を推定して示したものであるが、 $\tan\theta=0$ の場合の毛管水の総流出量(飽和毛管水領域の消失面積)が、 $\tan\theta=0.169$ のものより極端に少ないことがわかる。さらに、減衰終了時には、下流端の堰上げの影響も受けるが、下流端の毛管水上昇高が定常毛管水上昇高にはほぼ等しい高さになったところで、毛管水が水平に分布した形で停止するようである。したがって、こう配が小さいものほど毛管水は沢山残留することになる。(ii) 降雨流出実験：同一降雨状態における流量減衰期のものととの関係に与えるこう配の影響を調べたものが、図-7である。この図からわかるように、自由水領域からの流出と考えられるごく初期の流出曲線から離れてくる時刻は、こう配が大きくなるほど早くなる。また流出の継続時間はこう配が大きいものほど長くなり、自由水の流動とは全く逆の変化傾向が表われる。また、図-3は重量計を用いてモデル斜面の全重量を

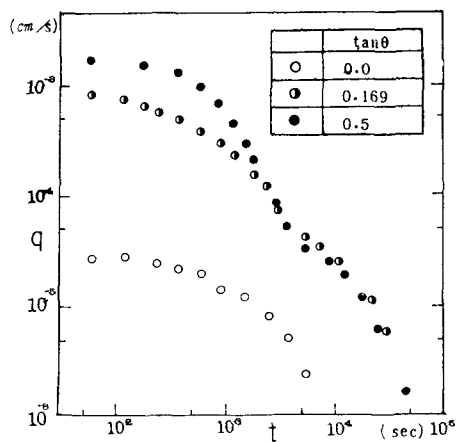


図-1 毛管水流量の時間内変化

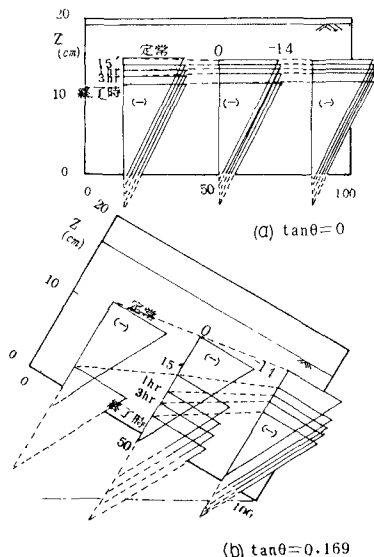


図-2 圧力分布の時間的変化

直接測り、流出終了時の流量を差し引いて求めた有効貯留量 S_e との関係を示したものである。図からわかるように同一流量に対して減衰期の貯留量が降雨期に比べて高くなり、自由水の流出における関係とは逆の関係が表われているが、毛管水流動の減衰期においても $S_e = \alpha \theta^b$ のような関係を保って変化する傾向が強いことがわかる。

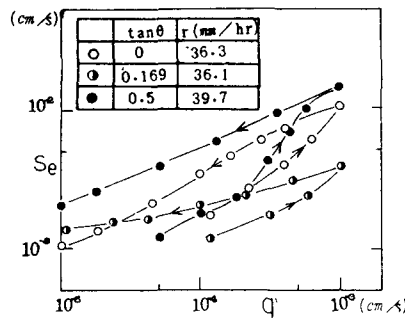


図-3 流量と貯留量の関係

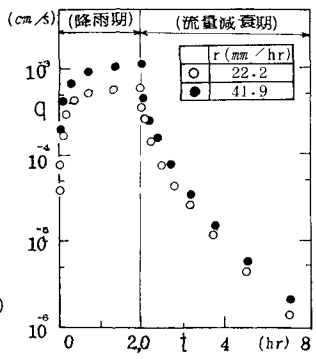


図-4 流量の時間的変化

次に、降雨強度のちがいによる変化を調べるために、こう配を $\tan \theta = 0.169$ に固定し、降雨強度を約倍量に増した時の t との関係を調べたものが図4であるが、流量減衰期には降雨強度の違いにより時間遅れが生じた形になっており、時間軸をずらすだけで流出曲線はほぼ一致、特に $t = 2$ hr以降の変化は一本の流出曲線で表わせようである。また、下流端より20, 50cmの地点の圧力分布の時間的変化を示したものが図5である。この図から $r = 22.2$ mm/hrの場合にはほとんど全領域が負圧になっているのに対し、 $r = 41.9$ mm/hrの場合には、正圧領域が存在し、流量減衰の初期には自由水領域の上部に一定分布の毛管水帯が保持された形で現象が進行する。このことから降雨強度がある程度以下になった場合には、雨水は毛管水流動をするものと考えられる。また前述したように、減衰終了時には、下流端を中心にして毛管水が残ることが、この実験においても確認された。

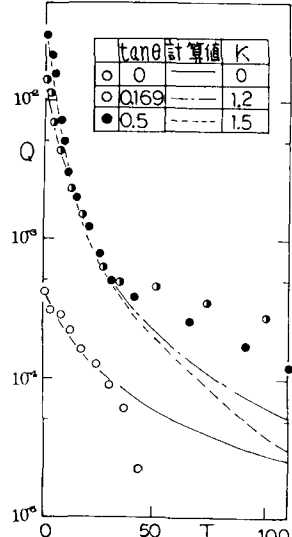


図-6 実験値と計算値の比較 (毛管水流動実験)

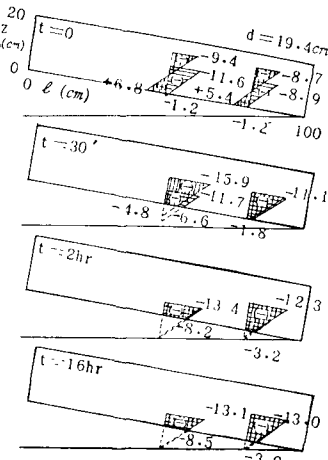


図-5 圧力分布の時間的変化 (横線: $r = 22.2$ mm/hrの場合, 縦線: $r = 41.9$ mm/hr)

以上のことより、自由水領域が存在する場合の流動は、透水係数 $k = \text{const.}$ として取扱うことができるが、飽和毛管水領域だけになった場合には、毛管力の影響を強く受けることになるので、その影響を不飽和透水係数の表示法の一つである $k = \alpha \theta^b$ で表わすこととして、その適合性を調べることにした。ただし、 K は h が含水率を代表するものと考えて試算して決まる定数である。無次元下流端水深 $H = \phi$ (無次元量)として、これらの関係式をもとにして、毛管水流動実験の場合について差分法によって数値計算したものが、図-6である。いずれの場合も $T = 40$ 以降では計算値が実験値から離れてくる。この原因は、飽和毛管水が下流端で停止するため生ずる差であるが、流出の変化傾向は極めて類似している。降雨流出実験の場合について示したのが図7であり、いずれのこう配の場合も計算値が実験値とよく一致しており、計算の適合性の高いことがわかる。なお詳細は講演時に述べる予定である。

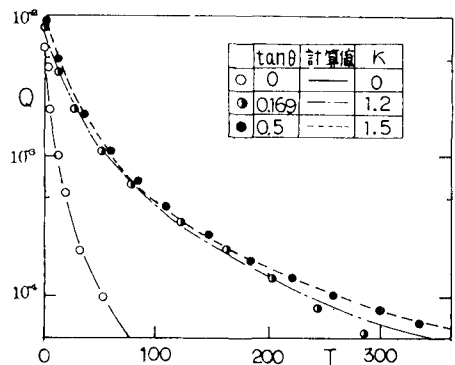


図-7 実験値と計算値の比較 (降雨流出実験)

参考文献: 1) 三島、金丸, 第35回年講義, 2) Cambell, A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data, Soil Sci, 1974