

1. まえがき 山腹斜面をモデル化したモデル斜面からの雨水流出現象に関する従来の実験結果を詳細に調べてみると、流量減衰期における流出変化は、概略、図-1 のようになる。したがって、流出現象を明確に把握するためには、自由水領域の雨水流動のみならず毛管水領域の流動ならびにこれらの領域からの流出が終了した後の不飽和水の流動機構を明らかにする必要がある。この報告においては、特に、毛管水領域における流動現象を実験的に調べた結果およびその解析方法について検討した結果を述べる。

2. 実験概要 i) 一様流実験: 幅 15 cm 、高さ 35 cm 、長さ 100 cm の矩形断面の可変こう配塩化ビニール製透明水路に、 $d_0 = 0.06\text{ mm}$ の川砂を詰めモデル斜面について、こう配および上流端水深および自由水面上の砂層厚を変えて、毛管水領域の流動量が、自由水面より算出した透水係数に与える影響度を調べた。 ii) 毛管水流動実験:

幅 3 cm 、高さ 40 cm 、長さ 100 cm の矩形断面の可変こう配塩化ビニール製透明水路に、 $d_0 = 0.06\text{ mm}$ の川砂および $d_0 = 0.022\text{ mm}$ の標準砂を詰めモデル斜面の上流端底部より水道水を吸上げさせて、層内流動が毛管水流動領域を形成し定常化した後の毛管水消失過程の現象をマン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調べた。

iii) 降雨流出実験: 幅 55 cm 、高さ 65 cm 、長さ 60 m の矩形断面一定こう配 (4.41%) 塩化ビニール製水路に、 $d_0 = 0.06\text{ mm}$ の川砂を詰めモデル斜面について一定降雨を降らせて定常化した後の流量減衰期の流出変化を調べた。

3. 実験結果および考察 i) 一様流実験: 定常時の自由水面形より透水係数を算出し、 $Re/I (=k/d_0)$ 、 k/d_0 のような無次元量によって両者の関係を示したものが図-2 である。ただし、 Re はレイノルズ数、 I は動水こう配、 ν は水の動粘性係数、 h は水深、 α は砂層厚、 d_0 は川砂の 50% 粒径である。

図-2 からわかるように、 Re/I は、 I あるいは h あるいは d_0 にほとんど無関係に、 k/d_0 に対して双曲線的な変化をしており、 k/d_0 が大きくなり、毛管水領域が小さくなるにつれて一定値に漸近し、逆に、 k/d_0 が小さくなり、毛管水領域が大きくなると、 k/d_0 の値は漸近値の 3 倍以上の値になる傾向がみられる。このことから、毛管水領域の流動が、粒状体中の雨水流動に少なからぬ影響度を与えていることがわかる。

ii) 毛管水流動実験: そこで、斜面層内の流動全体が毛管水流動になるように工夫した前述の装置を用いて、川砂斜面の定常時における毛管水領域の圧力分布を求めた例が図-3 である。圧力の鉛直分布は、ほぼ $h/2$ の値を示しており、砂層の渾濁部分の全域が毛管水領域になっていることがわかる。また、定常時の毛管上昇高は、底面に平行で、平均値は 12 cm であった。この平均毛管上昇高のうち流出に関与する有効毛管上昇高を調べるために、上流端より 15 cm の位置に設置したマンメータから、フルオロセイントリウム液を注入して流速分布を測定して、二次曲線近似すると図-4 のよ

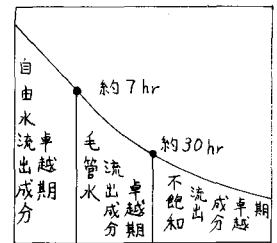


図-1 流量減衰期の流出変化

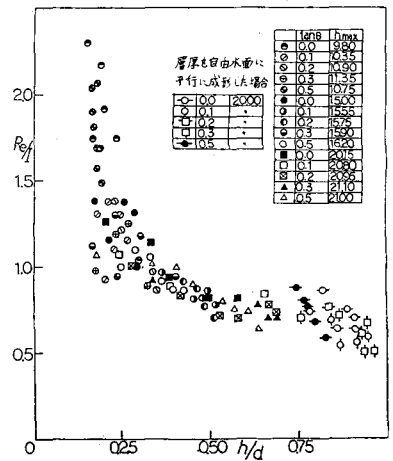


図-2 $Re/I - k/d_0$ 関係 (一様流実験)

図-3: A diagram showing the pressure distribution in a sand layer. The y-axis is labeled 'y (cm)' and ranges from 0 to 20. The x-axis is labeled 'x (cm)' and ranges from 0 to 100. A horizontal line represents the '定常時毛管上昇高' (Steady-state capillary rise height). The diagram shows a cross-section of a sand layer with a water table at the bottom. The pressure distribution is indicated by a shaded area.

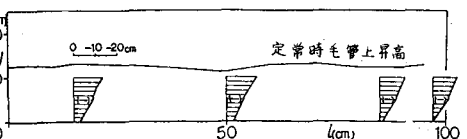


図-3 定常時圧力分布(川砂)

うになる。図中の近似式より、 $v=0$ となる毛管水上昇高 h_c を求めると、 $h_c=8.8\text{cm}$ となる。この h_c が流出に関与する有効毛管水上昇高とみなすことができればよい。次に、流量減衰期における層内の圧力の時間的変化を示したものが図-5である。圧力は、毛管水の流動に伴って、短時間のうちに 15cm 程度に減少し、その後再び上昇してほぼ一定値になる傾向がある。また、この時の流量 Q と時間 t_c の関係を無次元量を用いて示したものが図-6であるが、今回の実験においては層内の圧力の時間的変化との対応関係は明らかにし得なかった。変化傾向は、図-6より明らかのように、川砂と標準砂の流量変化には、この配が違ふためのずれはあるが、ほぼ一致している。また、図-8に示した単一層斜面に関する解析値と変化この配が異なるのは、初期分布形のちがひによるものと考えられる。

iii)降雨流出実験の解析：図-7は、代表の流出について図中に示すような二段タンクモデルを用いて解析した結果を示したものである。

タンクからの総流出量 Q_2 と実験値は良く一致しており、モデル斜面からの流出の全般的な変化は、このようなタンクモデルによって十分に表わされることがわかる。一方、各流出成分について調べてみると、 Q_1 流出の終了時間が、水深変化の測定結果より求めた斜面内の自由水面消失時間とほぼ一致していることから、 Q_1 はほぼ自由水流出成分とみなすことができる。また、 Q_2 と図-6に示した川砂の毛管水流量変化を同一無次元量で示した●印の値の変化傾向を比較すると、両者はほぼ平行的で、かなり似かよった変化を示している。このような傾向から考えて、この Q_2 流出は、ほぼ毛管水領域からの流出であると考えてさしつかえなからう。さらに、 Q_2 は不飽和成分に相当すると考えられる。したがって、全領域から Q_2 成分を差し引いた Q_1 が、いわゆる中間流出期の流出を代表することになるが、平均的にみると、毛管水領域は、図-3に示すように自由水面にはほぼ平行かつ一様に分布するものと考えられるので、その領域における流動は、図-2からわかるように、一定の毛管水を有するDarcy則にしたがう流動として取り扱うことができることになり、 Q_1 および Q_2 の卓越してくる順序を考慮して、毛管水領域を下層、自由水領域を上層とするような仮想二層構成斜面からの流出として解析できることになる。そこで、文献2)に示した方法で D_c, K_0 の値を用いて Q を計算すると図-8のようになる。図中に示した単一層斜面と考えると計算したものに比べて、このような仮想二層構成斜面を想定して計算したもののほうが、流出変化傾向をよく表現しているといえる。毛管水領域の流動ならびに流出に与える影響度について述べたが、詳細については講演時に述べる予定である。 参考文献 1)金丸三島・住谷、斜面からの流出変化に与える降雨の影響について、第28回や四年講、2)金丸三島・松本、モデル斜面からの流出について(3)、第34回や四年講

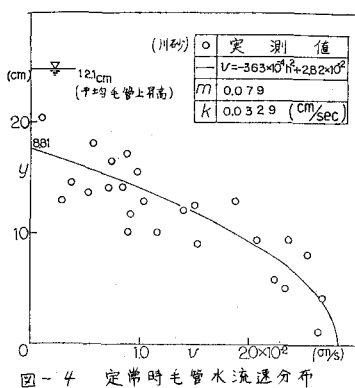


図-4 定常時毛管水流速分布

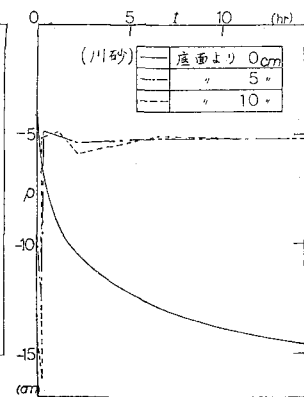


図-5 層内圧力の時間的変化

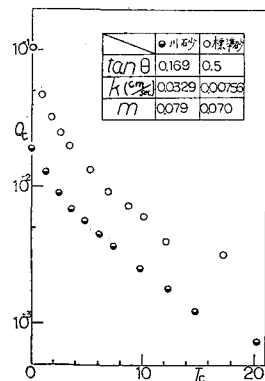


図-6 毛管水流量の時間的変化

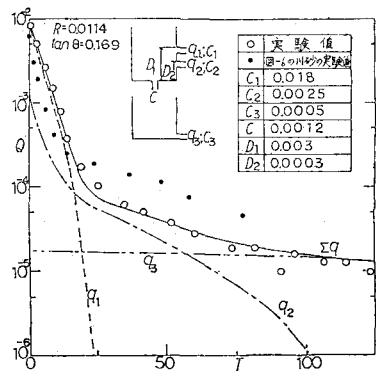


図-7 タンクモデルによる解析

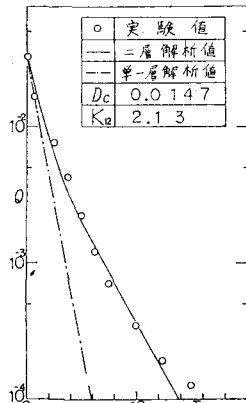


図-8 毛管水領域を考慮した解析