

広島大学 工学部 正員 三島 隆明
 広島大学 工学部 正員 金丸 昭治

1. まえがき 雨水の流出現象をその本質を失なわない範囲で単純モデル化すると、単位斜面における流出形態は、単一層斜面および二層構成斜面における流出に分類することができるが、¹⁾単一層斜面における流出については既に発表したとおりである。^{2), 3)}本稿においては、後者の流出形態である二層構成斜面における基本現象となる定常降雨時の水深分布特性について Hele-Shaw モデルを併用して考察するとともに、二層構成斜面が流出に及ぼす影響度について検討したものである。

2. 基礎的考察 単純化した単位斜面すなわち図1中に示すような二層構成斜面の各層内における流動がDarcy則に従う、しかも準平行流になるような均質等方性斜面で構成されているものと仮定すれば、一般に一定降雨によって定常化した時の代表流動状態における各区間の単位幅当りの流動の無次元基礎方程式は、(1)式のような変数を用いて表わすと(2)式のようなになる。また、無次元単位幅貯留量 S は(3)式のように表わされる。

$$0 \leq X < X_u, X_d \leq X \leq 1 \text{ の時} \quad X_u \leq X < X_d \text{ の時}$$

$$W = H, \quad I = R, \quad W = H - D_2(1 - 1/K_{12}), \quad I = R/K_{12} \quad (1)$$

$$W \frac{dW}{dX} - 2\alpha W + IX = 0 \quad (2), \quad S = \int_0^{X_u} H dX + M_{12} \int_{X_u}^{X_d} H dX + D_2(1 - M_{12}) \times (X_d - X_u) + \int_{X_d}^1 H dX \quad (3)$$

ただし、 $X = x/l$, $H = h/l$, $D_2 = d_2/l$, $R = r/k_2$, $K_{12} = k_1/R_2$, $M_{12} = m_1/m_2$, $S = S_m/l^2$ であり、 r は有効降雨強度、 k は透水係数、 m は有効空隙率、 s は単位幅貯留量、添字の1, 2は上下層の各量を表わす。式の類似性から、(1)式および(3)式の具体的な解は既に発表した単一層斜面に関する解析手法を応用することによって得られる。²⁾

一、Hele-Shawモデル内の流動については、少くとも各層ごとの流動は上述の仮定条件を十分に満足するような流れになるものと考えられる。

3. 実験方法 実験に用いた二層構成斜面のHele-Shawモデル本体は透明アクリル製(10mm厚板使用)で、斜面長 $l = 50\text{cm}$ 、上下層厚 $d_1 = 20\text{cm}$, $d_2 = 10\text{cm}$ 、上下層板間隙 $a_1 = 0.3\text{cm}$, $a_2 = 0.1\text{cm}$ とした。降雨には $V \approx 200\text{cSt}$ のグリセリン液を用いた。したがって、 $K_1 = 80^2/12V \approx 3.7\text{cm/sec}$, $K_2 = 0.14\text{cm/sec}$ 程度、また $K_{12} = (a_1/a_2)^3 = 27$ となるが、温度変化や装置の特性を考慮して、各層の k 値は各降雨実験の前に一様流の実験を行って求めた。また、毛管上昇量による水深の補正については、上層水面については 0.2cm 、下層水面については 0.6cm 差引き、下流端水深については各値の1.5倍量を差引いた。なお、実験装置の全般については参考文献2), 3)を参照されたい。

4. 実験結果および考察 図1は自由流出時下流端水深 H_d の変化を示

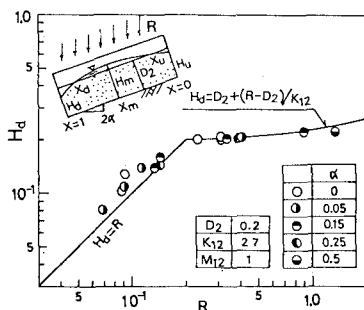


図1 自由流出時の下流端水深 H_d

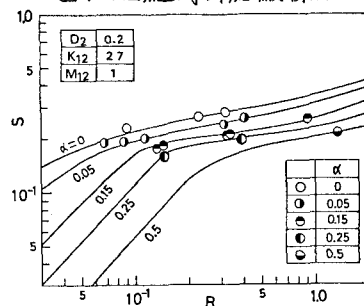


図2 単位幅貯留量 S

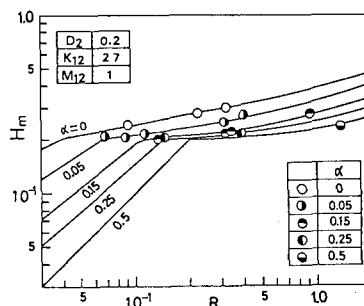


図3 最大水深 H_m

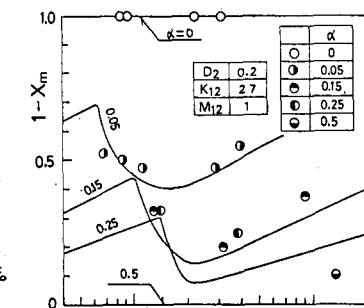


図4 最大水深の発生源 X_m

したものである。 $R \geq D_2$ の場合に比べて $R < D_2$ の場合の方が図中の式に対して適合度が悪くなっているが、この差は毛管上昇量の測定誤差に起因していると考えられるので、全体的には H_d は α に無関係に R に対して一義的に決まると考えても良いと思われる。したがって、図2～図5の各図においては、境界条件として図1中に示した各式を与えて2.で述べた各式に従って計算したものの(実線)と実測値を比較することにした。図2は S の変化を示したものである。いずれの α に対しても良好な一致を示しており、特に上層水領域の増加に伴う S の増加率の急激な減少傾向を良く表わしている。図3は最大水深 H_m の変化を示したものであるが、 H_m も S と同様に良い一致を示している。図4は H_m の発生点 X_m の変化を示したものである。 α が増加すると実測値が小さめに出る傾向があるが、この結果には上層水深分布の扁平化に伴う測定誤差がかなり含まれているようである。図5、図6は浸入点 X_d および浸出点 X_u の変化を示したものであり、特に X_d については一般に測定値が大きめの値になるが、これらの量は X_m よりもさらに測定が困難であること、および毛管上昇による補正をしていないことが「ずれの主原因である」ことを考慮すれば、全体的な傾向は良く表われていると思われる。以上の各結果から、単純化された二層構成斜面の定常降雨時の現象は前述の各式で表現できること、およびこのような現象のシミュレーターとして Hele-Shaw モデルが有効であるということが明になった。

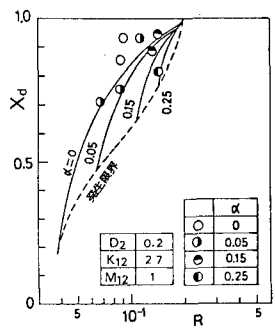


図5 浸入点 X_d

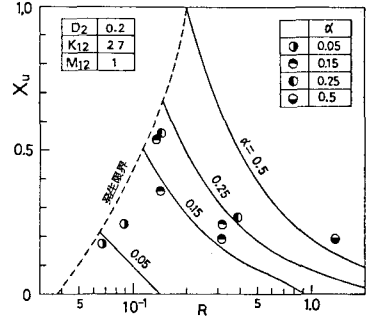


図6 浸出点 X_u

5. 二層構成斜面の影響度について 現実の流出状態においては中間流出時の流出に相当すると考えられるが、図1中に示すような水面が上下二層に存在する状態である。図7はその限界の降雨 R_d または R_u の $\alpha (= \tan \theta/2)$ に対する変化を D_2 , K_{12} の代表値について示したものである。ただし、 R_d は $H_m = D_2$ の時の R_u は H の最小値が D_2 になる時の R である。図からわかるように、このような状態の生起する R は $10^2 \sim 10$ の範囲であり、 α , K_{12} が大きく、 D_2 が小さくなるほど生起 R の幅が広がるが、最終的には H_m と全層厚 H については上層厚 H_u の大小関係によって狭まる場合もある。例えば、 $D_2 = 0.2$, $K_{12} = 2.7$ の場合、極く薄い上層厚を想定して少く見積っても生起 R の幅、 H については中間流出時の流量変化幅は1オーダーはあることになる。図8は同様な斜面状態における S が図中に示すように R の指数関数で表わされるものと仮定して、 R の $\pm 5\%$ における両者の関係から係数 a と指数 b を計算して示したものであり、対象範囲 R に対しては両者は α によってあまり変化せず、 $a = 0.25$, $b = 0.15$ 程度になる。したがって、中間流出時の流量の時間的変化は双曲線的な変化傾向が極めて強いということになり、 α , K_{12} の増大に伴ってこの傾向は一層顕著になる。

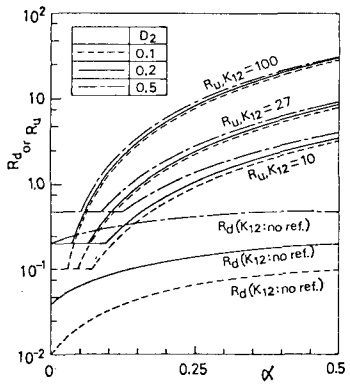


図7 中間流出支配降雨 R_d および R_u

6. あとがき 二層構成斜面の定常降雨時の解析を行って、シミュレーターの有効性および中間流出時の流出特性の把握指針が得られた。今後この結果を基礎にして二層構成斜面における非定常時の解析を行う予定である。

参考文献 1) 金丸・三島：山腹斜面からの雨水流出機構について、第27回年講、2) 金丸・三島：山腹斜面の雨水流出機構に関する研究(1)、広島大学研究報告、第25号第2冊、1977、3) 三島・金丸：流域の保水量とその変化について(2)、第31回年講

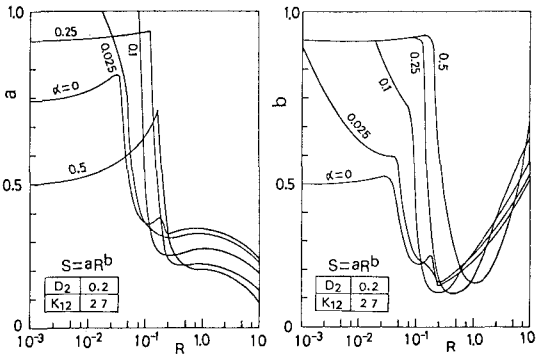


図8 貯留量式の係数 a および指数 b