

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 山腹斜面で代表される単位流域を極く単純モデル化すると、一層あるいは二層構成斜面で近似される。¹⁾ 本稿は既に発表^{2),3)}した単一層斜面における流出現象の解析結果および二層構成斜面における定常降雨時の流出特性の解析結果を基礎⁴⁾にして、Hele-Shawモデルなど4種類のモデル斜面について行なった流出実験結果を用いて、二層構成斜面における定常降雨終了後の流量減衰期の現象について考察する。

2. 基礎的考察 単純モデル化した二層構成斜面は、一般に、図1に示すような上流端不透の均質等方性斜面として取扱われるが、現象としては、水深が下層に分布する領域と上層に分布する領域とがある。

各層における雨水流が Darcy 則に従う平行流的な流動をするものと 図1 単純二層構成斜面モデル

仮定すれば、降雨終了後の流量減衰期における無次元の流動基礎方程式は、(1)、(2)および(3)式のように表わされる。

$$M_{12} \frac{\partial H}{\partial T} + \frac{\partial \Theta}{\partial X} = 0 \quad \text{or} \quad \frac{dS}{dT} = -Q_d \quad (1) \quad \Theta = K_{12} \{H - D(1 - 1/K_{12})\} \{2\alpha - \frac{\partial H}{\partial X}\} \quad (2)$$

$$S = \int_0^{X_u} H dX + M_{12} \int_{X_u}^{X_d} H dX + D_2(1-M_{12})(X_d - X_u) + \int_{X_d}^1 H dX \quad (3)$$

ただし、水深が下層に分布する領域、すなわち $0 \leq X < X_u$ および $X_d < X \leq 1$ においては $M_{12} = 1$, $K_{12} = 1$ とし、さらに、減衰の進行に伴い、斜面全体が一層斜面の流出状態になった場合には $X_u = X_d$ とする。また、各無次元量は、

$$X = x/l \ (x_u = x_u/l, x_d = x_d/l), \ H = h/l \ (h_d = h_d/l), \ D_2 = d_2/l, \ K_{12} = k_1/k_2, \ M_{12} = m_1/m_2, \ S = s/m_2 l^2, \\ Q = q/k_2 l \ (q_d = q_d/k_2 l), \ T = \frac{k_2 t}{m_2 l \sqrt{1 + 4\alpha^2}}, \ R = r/k_2 \quad (4) \quad \text{であり } s \text{ は単位振幅留量}$$

は時間、他の量は図1に示す諸量である。ここでは、自由流出端を有する場合を対象にするが、流量減衰期における現象が緩慢で、流出状態が定常降雨時における関係を保持しながら進行するものと仮定すれば、 H_d および S は、近似的に(5)、(6)式のように表わされる。⁴⁾ただし、 $Q_d \leq D_2$ の時は $K_{12}=1$ で

$$H_d = D_2 + (Q_d - D_2)/K_{12} \quad (5) \quad S = a Q_d^b \quad (6)$$

あり、 a 、 b は一般には Q_d 、 α の関数になる。このように仮定すれば、流量減衰期の流量の時間的变化は、(5)式によって下流端条件を与えて計算した(3)式の S と(6)式および(1)式を用いて前進差分的に計算することができる。

3. 実験方法 数年来行なってきたものを含めて実験は4種類のモデル斜面について行なった。各モデル斜面の諸元は表1に示すとおりである。Hele-Shawモデルは透明アクリル製の二層構成斜面で、降雨は斜面上方に設置した49本の注射針(φ1.2mm)列から滴下した $\nu=100\text{cSt}$ のグリセリン液である。山腹表層土モデルは樹齢20年程度の杉林の山腹斜面から採取した表層土を透明樹脂製水路にセットしたものであり、その透水性は表面下10cm程度まで漸減し、以下一定値化しているが、

モデルの種類	降雨	l	w	d	d_2	k	η
--------	----	-----	-----	-----	-------	-----	--------

モデルの種類	降 雨	l (cm)	w (cm)	d (cm)	d_2 (cm)	k (cm/sec)	m
Hele-Shaw	グリセリン液	50	0.3	30	10	$k_1:4.7, k_2:0.21$	1.0
山腹表層土	水 道 水	600	55	42	36	0.003~0.17	0.04
砂 (1)	〃	〃	〃	38	—	0.073	0.19
砂 (2)	〃	1000	30	15	15	0.069	0.20

概略、二層構成斜面と見るせる。降雨は斜面上方に設置した150ヶのスプレーノズルから噴霧した水道水である。砂モデルは有効径 $D_{50}=0.26\text{mm}$ 、均等係数 $U_2=2.7$ の河砂を透明樹脂製水路にセットしたものであり、構造的には単一層斜面である。降雨は山

表1 モデル斜面の諸元

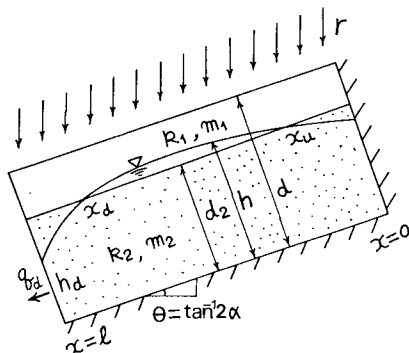


図1 単純二層構成斜面モデル

腹表層土モデルの場合と同様である。各実験は自由流出状態において一定降雨 R_0 を降らせて流出を定常化した後の流量減衰期の現象を調べた。

4. 実験結果および考察 各モデル斜面における下流端流量 Q_d と貯留量 S との関係を示したものが図2である。図中の実線は、一定降雨 R_0 によって定常化した時の $Q_d(=R_0)$ と S の関係を(3)式によって計算したものであり、⁴⁾ 実測の S は、Hele-Shawモデルの場合には毛管上昇分を補正した値、他の場合には流出総量から算出した値を用いている。また、図3は Q_d の時間的変化について示したものであり、図中の実線は(7)式のよ

$$\Delta Q_d = \frac{-Q_d^{2-b}}{ab} \Delta T \quad (7)$$

うな差分式($\Delta T=0.01$)によって計算したものである。

(a) Hele-Shaw モデル 最も明確な二層構成斜面モデルであり、実測値と計算値を比較してみると、 Q_d と S の関係については、 Q_d が小さくなると実験規模あるいは補正方法の関係もあって、実測値の Q_d が小さく出る傾向があるが、全体的には良く合っている。一方、 Q_d の時間的変化についても、詳細に見ると、 $T=0.6$ 前後の二層から一層現象への遷移期において多少の差を生ずるが、流出期間全体に渡っては良好な一致を示しており、二層構成斜面における流出現象の解析にも、2.で述べたような方法が極めて有効であることがわかる。(b)山腹表層土モデル $T=10$ 、 $Q_d=10^{-2}$ 前後で遷移期に入り、差が生ずるが、この程度の斜面においても、前述の解析法の適用性があることがわかる。(c)砂(1)モデル 比較的層の厚い単一層斜面であり、図は3種の R_0 に対する関係を示したものであるが、 Q_d と S の関係は R_0 に無関係に一義的に変化すると考えてよい。また、層内自由水面の変化を調べると、水面が消失する $T \approx 1.5$ 時点は、流量変化曲線の変曲時点とほぼ一致する。したがって、 $1.5 < T$ における現象は自由水面消失後の不飽和流出を主体とする現象になるが、グラフの適合度からみて、このような流出についても、仮想的な二層構成斜面における流出によって、ある程度の解析が可能である。

(d)砂(2)モデル 比較的層の薄い単一層斜面であり、定常降雨時には一部表面流出を伴なり、降雨終了直後に表面水は消失し、さらに、 $T \approx 10$ で層内自由水面が消失する。このような比較的小流量の表面流出時の現象にも、この解析法が適用できるが、砂(1)モデルのような不飽和流出を主体とする仮想流動層を追加した、3あるいは4層構成斜面を想定すれば、さらに精度の高い計算が可能になる。

以上、二層構成斜面における流出の解析法、その適合性、流量減衰期特性および多層構成斜面の流出解析に関する指針が得られた。

参考文献 1) 金丸三馬, 第27回年講, 2) 金丸三馬, 広工学研報, 第25号増刊, 1977, 3) 三島金丸, 第31回年講, 4) 三島金丸, 第32回年講

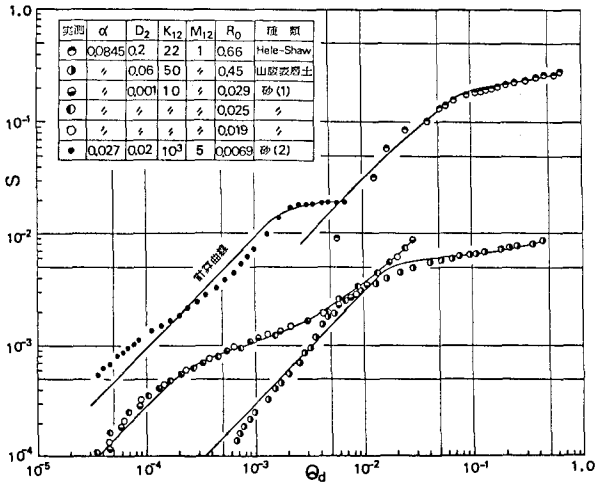


図2 下流端流量 Q_d と貯留量 S の関係

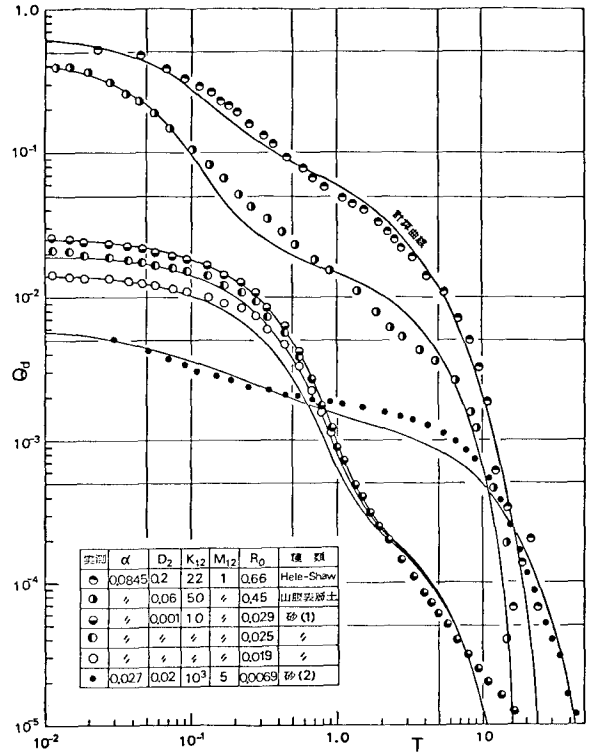


図3 下流端流量 Q_d の時間的変化