

モデル斜面からの流出について (3)

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 大学院 学生員 松本 久夫

1. まえがき 山腹斜面からの流出を代表する1流出形態として、図1に示すような二層構成斜面からの流出を考えることができる。このような二層構成斜面における定常降雨時の流出特性、ならびにその計算方法については既に発表したとおりである¹⁾。

この報告においては、このような二層構成斜面における降雨期ならびに降雨終了後の流量減衰期の現象に関して、Hele-Shawモデルを用いた実験を行なって、その流出性状について考察した結果を述べる。

2. 基礎方程式 単純モデル化した二層構成斜面は、各層が均質等方性材料で構成される、上流端不透の斜面と考えることができる。現象的には、水深分布が上層までおよび領域と下層のみに存在する領域とがあるが、各層における雨水流動がDarcy則にしたがう流れであると仮定し、(1)式のような無次元量を用いて表わした流動の基礎方程式は、(2)、(3)および(4)式のようになる。

$$X = x/l \quad (X_u = x_u/l, X_d = x_d/l), H = h/l \quad (H_d = h_d/l), D_2 = d_2/l, K_{12} = k_1/k_2 (\geq 1), M_{12} = m_1/m_2$$

$$S = S/m_2 l^2, Q = q/k_2 l \quad (Q_d = q_d/k_2 l), T = k_2 t/m_2 l \sqrt{1+4\alpha^2}, R = r/k_2 \quad (1)$$

ただし、 S は単位中貯留量、 t は時間、他の量は図1に示す諸量である。

$$M_{12} \frac{\partial H}{\partial T} + \frac{\partial Q}{\partial X} = R \quad \text{or} \quad \frac{dS}{dT} = R - Q_d \quad (2)$$

$$Q = K_{12} \{ H - D(1 - 1/K_{12}) \} \{ 2\alpha - \frac{\partial H}{\partial X} \} \quad (3)$$

$$S = \int_0^{X_u} H dX + M_{12} \left(\int_{X_u}^{X_d} H dX + D_2 (1 - M_{12}) (X_d - X_u) + \int_{X_d}^1 H dX \right) \quad (4)$$

3. 計算方法 上述の式は非線形方程式であり、具体的な計算値を得るには、流出特性を考慮した数値計算を行なうのが好都合である。単一層斜面における流出現象の解析において仮定し得たように、このような二層構成斜面における現象においても、各時点の現象が近似的に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 は(5)式のように、また、(4)式の S は(6)式のように近似しうる。ただし、 a 、 b は一般に Q_d および α の関数になる。

$$\left. \begin{aligned} Q_d > D_2 \text{ の時 } H_d &= D_2 + (Q_d - D_2)/K_{12} \\ Q_d \leq D_2 \text{ の時 } H_d &= Q_d \end{aligned} \right\} \quad (5) \quad S' = a \cdot Q_d^b \quad (6)$$

計算手順としては、(5)式によって下流端条件を与えて H を算出した後、(4)式の S を算出し、さらに、(6)式から係数 a 、 b を求めて、(7)式によって前進差分的に Q_d を計算することになる。

$$\Delta Q_d = (R - Q_d) \Delta T / (ab Q_d^{b-1}) \quad (7)$$

4. 実験方法 実験に用いたHele-Shawモデルの概要は写真1に示すとおりであり、 $l=50\text{cm}$ 、 $d=30\text{cm}$ 、 $d_2=10\text{cm}$ 、板間隔は 0.3cm 、 $m_1=m_2=1$ になるように設置した流出斜面に、降雨としてグリセリン液($\nu=150\text{cSt}$)を滴下(φ1.2mm注射針使用)させて流出実験を行なったが、

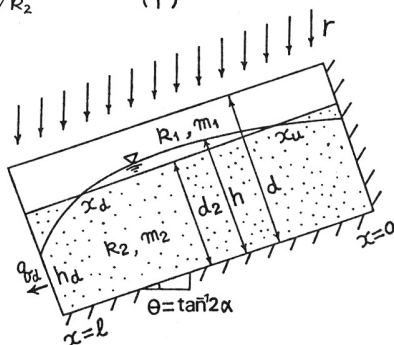


図1 単純二層構成斜面モデル

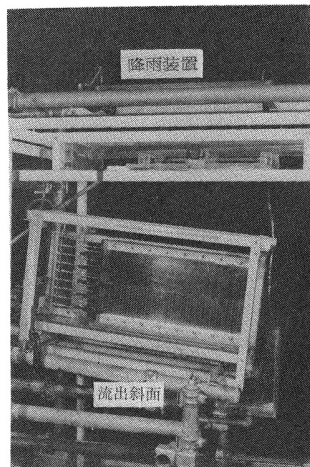


写真1. 実験装置

この時の $R_1 = 3.45 \text{ cm/sec}$, $R_2 = 0.163 \text{ cm/sec}$ であった。

流出実験は、 α を4種類、 R を4種類変化させて行った。

5. 実験結果および考察

図2は代表の R について、各流出期の各 α に対する Q_d と S の関係を両対数表示したものである。

降雨期においては、 Q_d が小さい 図2. Q_d と S の関係 a) 降雨期
時には計算曲線と実験値の変化傾向に若干差があるようであるが、 Q_d の大きい部分では、ほぼ一致している点から考えて、両者の差は、斜面模型の不充足さに起因していると考えられる。一方、流量減衰期における両者の関係は、全体的にほぼ一致している。したがって、二層構成斜面における流出現象においても、3.に述べた仮定条件がほぼ満足されているものと考えることができる。

また、図3は、代表流出について、 T と Q_d の関係を片対数表示したものである。降雨期については、 R が大きくなる(例えば、 $R > 10^{-1}$)ほど α の違いによる Q_d の T に対する変化の差異は小さくなるということが、実験からも計算からも確かめられた。

(a), b) 両図からわかるように、いずれの期間においても計算曲線と実験値との変化傾向は極めて良く一致しており、少なくとも、 Q_d の T に対する変化を解析する手段としては、3.に述べた計算方法が極めて有効であるといえる。

極く簡単なモデル化をする場合には、二層構成斜面の流出も、単一層斜面における現象と近似されることが多い。このような近似をした場合の Q_d の変化への影響度を代表流出状態について計算し、検討したものが図4であり、 Q_{dI} , Q_{dII} は、それぞれ、二層斜面とした時の Q_d である。

降雨期においても、流量減衰期においても α の大小が主体的な影響を与えるが、 α が小さいものほど、また、 K_{12} が大きい流出状態ほど、流量変化に与える影響度が大きくなるようである。また、時間的には降雨開始時あるいは流量減衰開始時の比較的現象の初期において大きな影響が表われるようであり、降雨期には流量を過小評価することになり、逆に流量減衰期には過大評価することになる。

6. あとがき 二層構成斜面の流出解析方法をほぼ把握することができた。今後、流出斜面の不備な点を改善して Hele-Shaw モデルをシミュレーターとして完成するとともに、さらに広範な流域からの流出現象を解析する方法を検討していく予定である。

参考文献 1) 三島・金丸; 流量の保水量とその変化について (3), 第32回年講

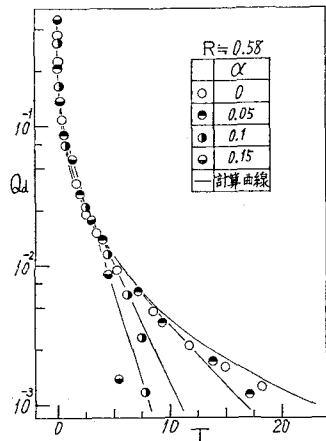
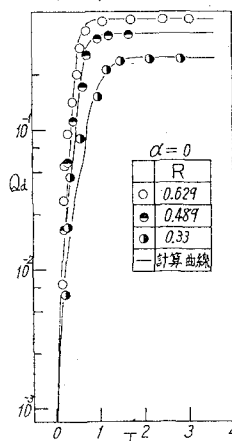
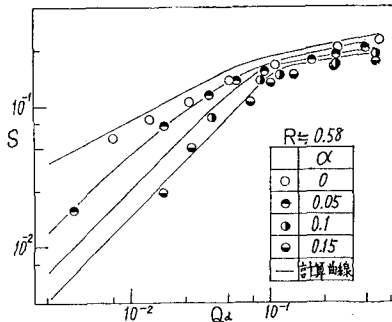
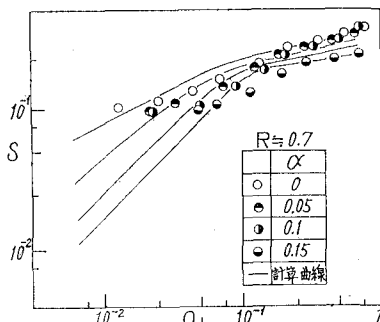


図3. T と Q_d の関係 a) 降雨期

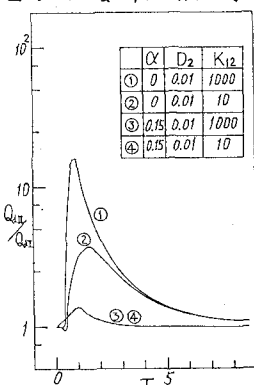
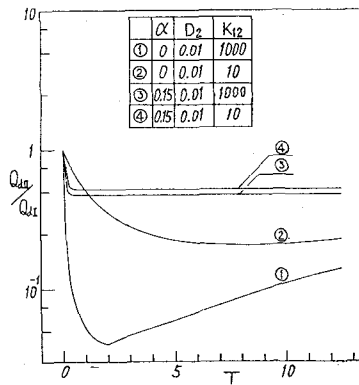


図4. T と Q_{dI} , Q_{dII} の関係 a) 降雨期



b) 流量減衰期