

広島大学工学部 正員 金丸昭治

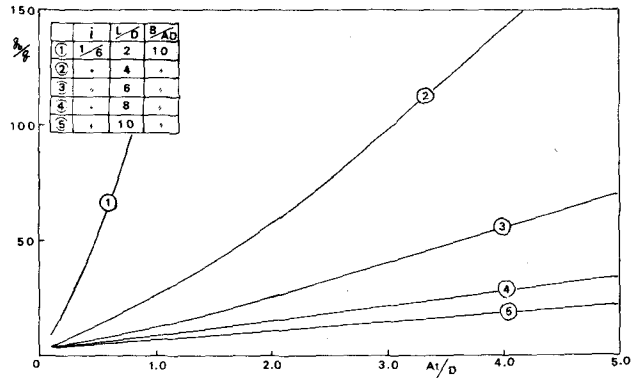
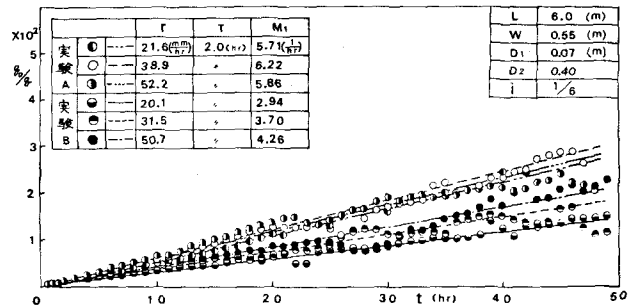
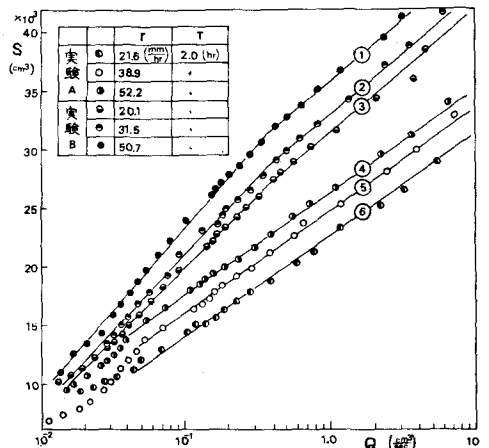
〃 〃 〇三島隆明

山腹斜面表層部は出水現象に対して無視しえない影響を与えると同時に水資源の保存場としても重要な働きをしているものと考えられる。したがってこれらの機能を増大し十分に活用するためには合理的な開発あるいは保全を行なうことが必要である。著者らはこれらの問題に関する基礎的な研究として山腹斜面の保水量の定量的把握ならびに流出過程について究明中であるが、本稿においては、中間流出時の現象について若干の実験資料を用いて考察した結果について述べる。すでに発表したように¹⁾、単純モデル化した山腹斜面において、層内の雨水流動はDarcy則に従うものと考え、また現象場の不規則性などに起因する流動の不規則性を考慮して平均値的取り扱いを行ない、さらに斜面特性が比較的容易に把握できるという理由から降雨終了後の流量減衰部を対象にして誘導した流動の基礎方程式は(1)式のような移流拡散型方程式となる。この(1)式を半無限長連続体と仮定した斜面について初期条件 $h(0, x) = \varphi(x)$ (ただし $0 \leq x \leq L$)、境界条件 $h(t, At) = \psi(t)$ のもとで解いた一般解は(2)式のように表わされる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + A \frac{\partial h}{\partial x} = B \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad \text{--- (1)}$$

$$h(t, x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi Bt}} \int_0^L \varphi(\xi) \left\{ e^{-\frac{(\xi - x + At)^2}{4Bt}} - e^{-\frac{(\xi + x - At)^2}{4Bt}} \right\} d\xi \\ \pm \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{x-At}^{\pm\infty} \psi(t - \frac{(x-At)^2}{4B\eta^2}) e^{-\eta^2} d\eta \quad (x - At \geq 0) \quad \text{--- (2)}$$

ここに h は斜面に直角上流に測った水深、 x は斜面上流端より流下方向に測った距離、 L は斜面長、 A は $[LT^{-1}]$ の次元を有し、移流速度で代表される斜面特性量、 B は $[L^2T^{-1}]$ の次元を有し、拡散係数で代表される斜面特性量である。ところが実際現象に適合する解を得るためには初期水深分布 $\varphi(x)$ および $x=At$ における水深変化 $\psi(t)$ が必要である。厳密な函数型を決めることは極めて困難であるが、後述するような屋内模型斜面を用いて行なった流出実験から推定すると $\varphi(x) = \frac{D}{L}x$ 、ただし D は見掛けの下

図-1 $Q/Q_0 - At/D$ 関係図-2 $Q/Q_0 - t$ 関係図-3 $S - Q$ 関係

流端水深である。また $\phi(t)$ は減衰の極初期を除くと $\phi(t)=0$ と近似できるようなのである。そこでこれらの関係をも(2)式に代入して整理すると(3)式のようになる。

$$h(t, x) = \frac{D}{L} \sqrt{\frac{Bt}{\pi}} \left\{ e^{-\frac{(L+x-At)^2}{4Bt}} - e^{-\frac{(L-x+At)^2}{4Bt}} \right\} - \frac{D}{L} (x-At) \times \left\{ 1 - \Phi\left(\frac{L+x-At}{\sqrt{2Bt}}\right) - \Phi\left(\frac{L-x+At}{\sqrt{2Bt}}\right) \right\} \quad \text{--- (3)}$$

ここに $\Phi(x)$ は累積分布函数である。また下流端流量は(3)式と Darcy 則を用いて表わされるが、下流端単位幅流量 q で表わした無次元流量

$q/q_0 = F(\eta, L/D, B/AD, At/b)$ のような無次元函数で表わさる。ただし q_0 は初期における q の値である。 q/q_0 の変化の一般的傾向は図-1に示すとおりである。図からわかるように③④⑤の曲線はほとんど直線的に変化しており、 q/q_0 の時間的変化は双曲線的に変化するものとみなせる。次に屋内模型実験について述べる。まず斜面は山腹から採取した表層土 ($d_{50}=0.35\text{mm}$) を図-2中に示すような寸法にセツトし人工降雨により約1年間流出実験を繰り返したものである。ただし W は斜面幅、 D_1 は上層厚、 D_2 は下層厚、 η は斜面こう配である。実験条件を示す実験Aとは下流端を自由状態にして行なったものであり、実験Bとは下流端水深を一定 (D_2) にして行なったものである。また降雨条件のうち r は降雨強度、 T は降雨継続時間を表わす。図-2は中間流出時に相当すると考えられる降雨終了10分後から約50時間の流出について q/q_0 の時間変化を示したものであり、図からわかるように直線的に変化しており $q/q_0 = 1/(M_1 t + 1)$ のような双曲線的に変化することを示している。ただし M_1 は直線こう配である。図-3は流量および水深変化から層厚方向の有効空隙率を算出あるいは推定して求めた有効貯留量 S と流量 Q との関係を示したものであり、実験Aについては1本の直線、実験Bについては2本の直線で表わされるようなのである。このように片対数表示で直線的に変化することは流量が双曲線的に変化することを裏付けるものであり、逆に図-2で示した事実と合せて考えると貯留量の算出および平均水深の測定法が妥当であることを示すものである。図-4はすでに一部発表したように²⁾、面対数表示した理論曲線と実測値とを対比して求めたA値および減衰初期の実測値(流量、水深分布)を用いて算出した値と降雨強度との関係を示したものである。図-5は同様にして理論曲線より算出したB値について示したものである。これらの図からわかるように、A、B両者の降雨強度に対する傾向は一致しており $r=40\text{mm/hr}$ あたりでピーク値を示し、しかも下流端条件の差異によっても本質的な傾向が変わらない値自体も納得しうるオーダーであるといふことは冒頭において述べた取り扱いの妥当であることを示すものであろう。またA、Bの値に極値が生ずるのはいわゆる飽和浸透現象によるものであり、極値を生じさせる降雨強度がひいてはA、Bの極値は斜面状態と密接な関係があり、斜面の具体的評価の指標になる。なお前述の M_1 もA、Bと同様の変化をしているようである。図-6は流域面積 A_0 が 0.32km^2 の小流域からの流出例を示したものである。なお降雨条件のうち R は総降雨量である。図からわかるように10日程度の流出期間するうち中間流出時においては小流域からの流出もやはり双曲線的に変化するものと考えることができ、また M_1 は降雨量 R に比例しているようであるが実験によるものより若干小さいようであり、流出実験の相似性の検討を含めた詳細な研究が必要である。

以上に述べたように単位斜面からの中間流出時における流出は $q/q_0 = 1/(M_1 t + 1)$ で表わされるような双曲線型の変化をし、流出曲線を解析して得られるA、B、 M_1 の極値は斜面の具体的評価の指標になりうる。なお詳細は講演時に述べる予定である。

1) 金丸・三島: 山腹斜面からの雨水流出機構について 昭和47年度年講、2) 金丸・三島・柏原: 降雨終了後の流出について 昭和48年度中四支部年講。

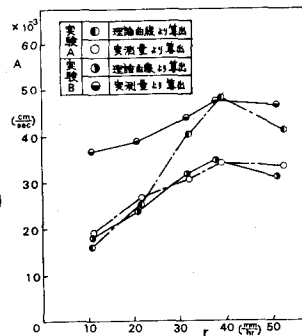


図-4 A-r 関係

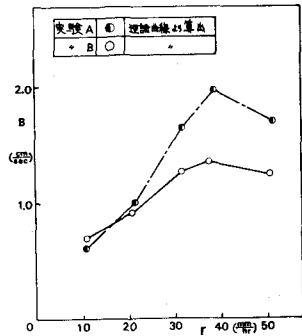


図-5 B-r 関係

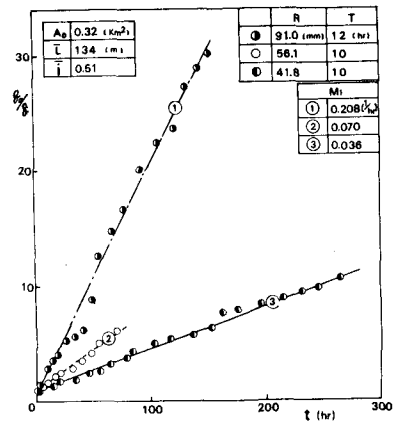


図-6 q/q_0 -t 関係