

建設省土木研究所 正会員 藤田 光一
 東京工業大学工学部 正会員 日野 幹雄
 日本鋼管株式会社 正会員 出雲 秀治

1. はじめに 著者らは、降雨流出過程に及ぼす表層土壌と植生の効果の重要性に着目し、裸地と草地2種類のライシメータにおける自然降雨と流出量の関係、水分量の変化に関する観測を行なった。その結果、表層土壌は雨水の損失・流出の遅れに大きな影響を及ぼすこと、植生はこの影響を強めることを明らかにした。本研究は、これら2つのライシメータにおける人工降雨実験並びに雨水浸透に対する理論的解析により、表層土壌中の雨水流動をさらに詳細に調べ表層土壌における降雨流出機構を明らかにしようとするものである。

2. 人工降雨実験 (i) 実験方法；同一の土（関東ローム）を用いた裸地と草地2つのライシメータ(図1)を実験の対象とする。人工降雨装置により4日間あたり1日1回総量約60mm、強度約30mm/hの降雨を与え、流出量とサクションを測定した。なお実験は、土壌が非常に乾燥した状態から始められた。

(ii) 降雨-流出関係；図2に降雨量・地下水流出量・実験開始直前の状態を基準とした貯留量の時間変化を示す。(表面流は裸地だけに生じたが、略した) 裸地、草地とも最初の2日間の降雨に対しては、地下水流出は発生していない。流出量と貯留量の時間変化から、貯留量が草地において約200mm、裸地において約100mmに達した後に流出が始まることわかる。流出が生じた3日目以降貯留量の増加は少なくなっており、これは流出率が增大したことを示している。また降雨開始から流出開始までの時間には、3日目と4日目の間に大きな差は見られない。以上の結果から、初期水分量が小さい場合、雨水の伝播速度は非常に小さく雨水はすべて貯留されることが実証された。流出が起こるためには一定の雨水貯留が必要になることから、降雨の累積量が流出の遅れ時間と損失量を決定すると言えよう。一方、実験の3、4日目のように降雨前の水分量が一定以上になると、雨水の伝播速度は増大し流出の遅れ時間は減少する。この場合、流出は降雨の総量だけでなく降雨強度にも影響を受けると考えられる。

(iii) サクションの時間変化；各架さのサクションの時間変化を図3に示す。この図より、土壌が乾燥している程降雨に対するサクションの応答が遅くなるという基本的な性質は、裸地と草地に共通して存在することがわかる。しかし、1、2日目の雨水浸透時においては、裸地と草地で異なる特徴が見られる。裸地のサクションB・Cは降雨に対して比較的ゆるやかに低下するのに対し、草地の対応するサクションは、ある時間まで一定で

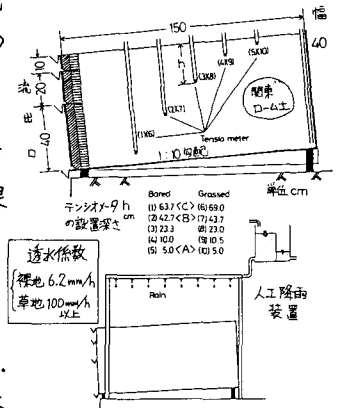


図1 ライシメータと測定装置

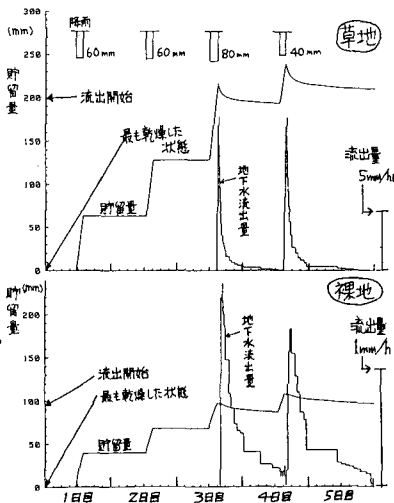


図2 降雨・地下水流出・貯留量の時間変化

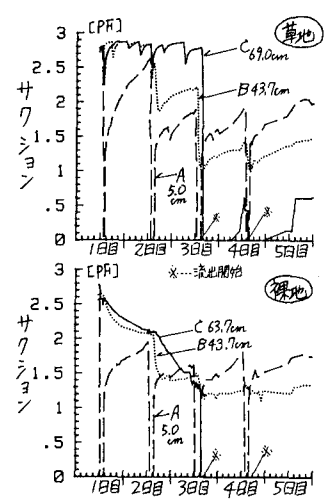


図3 サクションの時間変化

る程降雨に対するサクションの応答が遅くなるという基本的な性質は、裸地と草地に共通して存在することがわかる。しかし、1、2日目の雨水浸透時においては、裸地と草地で異なる特徴が見られる。裸地のサクションB・Cは降雨に対して比較的ゆるやかに低下するのに対し、草地の対応するサクションは、ある時間まで一定で

であり降雨中に突然大きく低下する。また、2日目における草地のサクションBは、降雨後すぐに再上昇している。この時湿潤域はBの深さの上方にあるから、こうしたサクションの上昇は1次元的な浸透では起こらないと思われる。さらに裸地では最深部のサクションCが正圧に転じた後に流出が始まるのに対して、草地では転圧する前に流出が起こっている。雨水浸入時におけるこのような差異は、草地における雨水浸透が水平方向に一樣でなく1次元であるために起こると考えられる。同じ土を用いていながら草地の方が透水性が高いこと、水平方向に不均一な浸透が草地に存在することから、草地では通水性の場所的違いが大きく、特に根などがパイプ状の通水路の役割を果たしているものと推定される。

3. 裸地における雨水流動の解析 損失量、流出の遅れにとって重要な雨水の貯留能力については、裸地と草地が同じ特性を持つことが明らかとなっている。そこで、裸地について雨水流動の解析を行ない雨水貯留の基本的な機構を調べる。裸地の雨水浸透は水平方向に一樣と考えられるので、図4に示す座標を用い1次元解析を行なう。基本式は、不飽和浸透方程式(①式)、境界条件(②~④式)である。なお、下端の境界条件は、底が飽和したと同時に流出するとして設定されている。①式に現われる $K-\theta$,

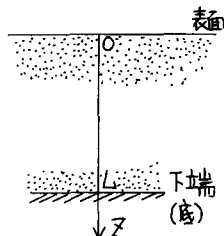


図4 鉛直1次元解析

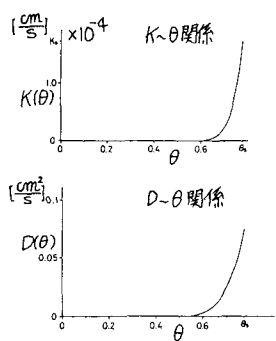


図5 逆推定の結果

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] - \frac{dK(\theta)}{d\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad \text{--- ①}$$

$$\text{上端 } z=0 \quad \theta = -D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} + K(\theta) = R \quad \text{--- ②}$$

$$\text{下端 } z=L \quad \begin{cases} \theta = 0 & \theta < \theta_s \text{ の段階 ③} \\ \theta = \theta_s & \theta = \theta_s \text{ になってから ④} \end{cases}$$

θ : 水分量, $K(\theta)$: 不飽和透水係数
 $D(\theta)$: 水分拡散係数, R : 降雨強度
 θ_s : 飽和水分量, θ : 水分フラックス

$D-\theta$ 関係は、既に実験より得られているライシメータの透減曲線を用いて逆推定することにより求めた。逆推定法は、透減曲線の計算値と実験値が一致するような $K-\theta, D-\theta$ 関係を最小自乗法(マルカットの方法)により求める、というものである。逆推定結果を図5に示す。図6は、浸透能と地下水流出量について前述の実験結果と本計算の結果を比較したものであり、両者はほぼ一致している。以上より本解析と逆推定法の妥当性が示された。次に、乾燥及び湿潤時における水分変動の代表例として、実験の1日目と3日目における深さ方向の水分量分布(計算値)を示し、雨水の貯留機構について考察する。(図7) 両方とも降雨により生じた表面の湿潤部分が時間と共に平滑化されている。平滑化された後の水分量は、初期水分量の大小に応じて1日目では約0.64,

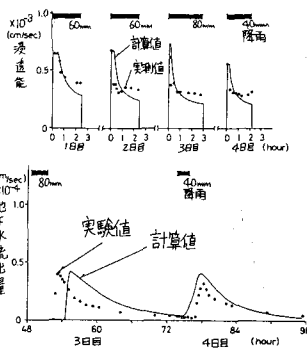


図6 計算値と実験値の比較

2日目では0.7以上となっている。水分量が0.7以上になると透水係数が増大する(図5)ため、3日目だけ流出が生じている。以上より、地下水流出を起こすためには、土層全断面の水分量を透水係数が増大する値まで上昇させる必要があることがわかる。乾燥時に表層土壌の貯留能力が大きく、また初期水分量が貯留能力にとって重要なものは、表層土壌におけるこうした水分変動特性によるものと考えられる。

<参考文献> 1) 日野・藤田・出雲: 表層土壌中の水分移動特性とその特性に及ぼす植生の効果, 第27回水論文集, 1983. 2) Marguardt, D.W.: An Algorithm for least Squares Estimation of Nonlinear Parameters, J. Soc. Indus. Appl. Math., II (2), 1963.

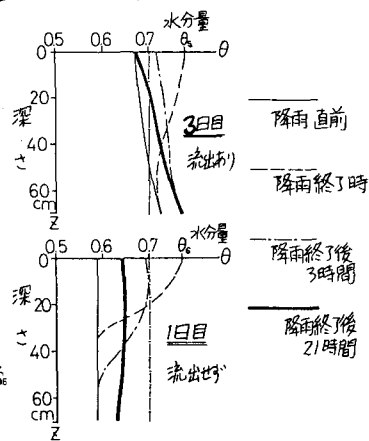


図7 水分量分布の時間変化 (上--湿潤, 下--乾燥)