

# 樹木根系が地下水深の挙動や斜面の安定性に及ぼす影響度評価

信州大学農学部 ○佐伯 響一 平松 晋也

## 1. はじめに

地表面に到達した雨水の移動の場である森林土壌中には、樹木根系、大小の孔隙(パイプ)、土層中に点在する礫(転石)、地震に起因したクラック等が多数存在し、土壌構造の不均一性は極めて大きい。このため、土層内の水移動を正確に把握し水循環や崩壊発生の予知・予測へと展開していくためには、土壌の不均一性が土壌内部での雨水の挙動に及ぼす影響を定量的に把握する必要がある。

本研究では、斜面の不均一性を構成する要素のうち、森林土壌内で最も一般的かつ多量に見られる「樹木根系」に着目し、ライシメータを用いた自然降雨時の流出観測を実施し、樹木根系が斜面土層内での水移動に及ぼす影響を明らかにするとともに、斜面安定性に及ぼす影響について定量的評価を試みた。また、既往研究(佐伯・平松, 2006)により得られた再現式を用いて、樹木根系が存在する斜面内の降下浸透量を再現するとともに、樹木根系が斜面安定性に及ぼす影響の評価を行った。

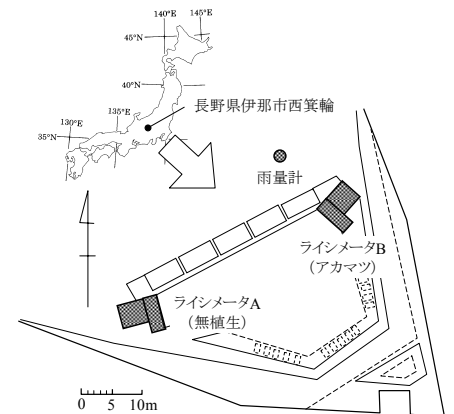


図-1 ライシメータの位置

## 2. ライシメータを用いた自然降雨時の流出観測

### 2.1 観測装置概要

ライシメータとは、周囲から分離された土柱体を作成し、水収支測定等を行えるようにした装置のことである。本研究では、長野県伊那市西箕輪に設置された2基のライシメータを用いて自然降雨時の流出観測を行った。図-1に示すライシメータAには樹木が存在していない(無植生と定義する)一方、ライシメータBはアカマツによって被覆されている。ライシメータの斜面形状と構造は、図-2に示すように、斜面長5.0m、幅3.0m、斜面勾配30°であり、周囲と底面がコンクリート壁で密閉されている。斜面には、表層から土壌(花崗岩)、川砂、礫、碎石が充填されている。斜面下流端の壁には、縦方向に約35cm間隔で5段(上から0, 35, 70, 105, 220cm深度)、横方向に約30cm間隔で9列の合計45箇所の流出孔(パイプ:内径6.0cm)が設置され、土層断面からの流出水を捕捉可能な構造となっている。流出量は深度毎に転倒マス型雨量計を流量計として使用し自動計測した。降雨量はライシメータB近傍の雨量計を用いて計測した。

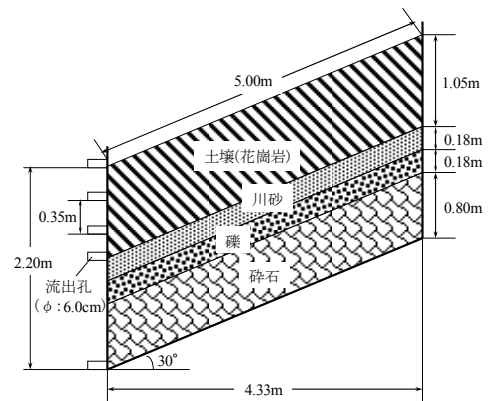


図-2 ライシメータの概要  
(縦断面図)

### 2.2 観測結果

本研究では蒸発散を考慮せず、積雪や融雪が認められた2008年1月21日～3月13日を除く、2007年4月20日～2008年11月30日の期間における0～105cm深度までの土壌充填部からの流出量を解析対象とした。

最表層部である0cm深度からの流出は、降雨の頻発する6～7月頃に若干認められるものの、全観測期間の総流出量でそれぞれ0.134mm(ライシメータA)、0.317mm(ライシメータB)と他の深度に比べ極端に少量であり、表面流はほぼ発生していないことがわかる。頻繁に流出が確認された35, 70, 105cm深度からの流出量のうち、代表として35cm深度(表層部)、105cm深度(最深部)の経時変化を図-3に示す。各降雨イベントに対するライシメータA(無植生)、B(アカマツ)の流出量を深度毎に比較すると、ライシメータAでは表層部である35cm深度からの流出量が大きく、最深部である105cm深度からの流出量が小さい。一方ライシメータBでは逆に、表層部である35cm深度からの流出量は小さな値を示すのに対し、最深部である105cm深度からの流出量が大きな値を示す結果となった。また105cm深度において、ライシメータBの流出量からライシ

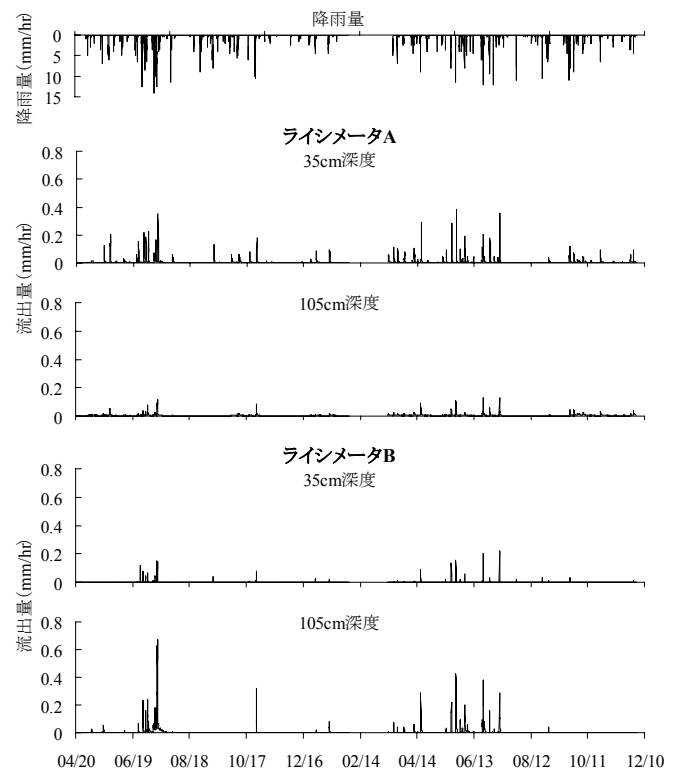


図-3 降雨量とライシメータA, Bからの流出量の経時変化(35,105cm深度)

メータ A の流出量を差し引いた値の経時変化を示した図4より、アカマツの存在するライシメータ B では無植生のライシメータ A よりも深部への浸透量が 0.2~0.6mm/hr 程度卓越する結果となった。これらの結果は、樹木根系が雨水の降下浸透に対してパイパスとして作用するという事実を示唆するものである。

### 3. 基岩面に対する樹木根系の影響

本研究では、降下浸透量とはライシメータへの土壌(花崗岩)の充填厚である 105cm 以深への雨水の到達水量と定義し、自然斜面での基岩面への到達水量と同義に取り扱った。なおライシメータの構造上、降下浸透量を直接計測できないため(1)式を用いて降下浸透量を求めた。

$$I = R - (D_0 + D_{35} + D_{70}) + D_{105} \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、I:降下浸透量(mm/hr)、R:降雨量(mm/hr)、 $D_0$ 、 $D_{35}$ 、 $D_{70}$ 、 $D_{105}$ :0、35、70、105cm 深度からの流出量(mm/hr)である。降下浸透量の経時変化の一例を示す図-5より、ライシメータ A(無植生)より B(アカマツ)の方が、0.2~1.0mm/hr 程度大きな値を示した。

ライシメータ A、B の降下浸透量をそれぞれ  $I_A$ 、 $I_B$  とし、その差( $I_B - I_A$ )を根系の効果量: $E$ (mm/hr)と定義し、佐伯・平松(2006)より得られた(2)式を用いてライシメータ斜面内の鉛直根本数を推定し、その結果から(3)式を用いて根系の効果量の再現値を求めた。

$$N = \frac{750\sqrt{3} \cdot E}{\pi \cdot S^{0.8881} \cdot e^{(0.0108 \cdot R - 1.3973)}} \quad \cdots \cdots (2)$$

$$E_c = (S \cdot N)^{0.8881} \cdot e^{(0.0108 \cdot R - 1.3973)} \quad \cdots \cdots (3)$$

ここに、N:ライシメータ斜面内の鉛直根本数、S:推定した鉛直根 1 本の円周長(mm)、 $E_c$ :根系の効果量の再現値(mm/hr)である。(2)式より、直径 10mm の鉛直根( $S=31.42$ mm)に換算すると、鉛直根本数は最大 67 本程度となった。また、(3)式より求めた根系の効果量の再現値より、(4)式を用いて樹木根系が存在する場合の降下浸透量の再現値: $I_c$  (mm/hr)を算出した。

$$I_c = E_c + I_A \quad \cdots \cdots (4)$$

降下浸透量の再現結果の一例を示す図-6より、再現値はライシメータ B の値よりもピーク部で 1~5%程度過小評価となるものの、比較的良好な再現結果となった。

### 4. 樹木根系が斜面安定性に及ぼす影響

降下浸透量と表-1 に示す土質諸元により、地下水深と安全率を求めた。結果の一例として、総降雨量やピーク雨量が最大値を示した 2007 年 7 月 14 日~7 月 16 日の経時変化を図-7 に示す。なお、土質諸元は天竜川支川、与田切川流域内(花崗岩)の値を使用した。図-7 中には、降下浸透量の再現値に対する結果も併記した。

図-7 より、ライシメータ A(無植生)よりも B(アカマツ)の方が、地下水深は最大で 37%程度上昇し安全率は最大で 2.6%程度減少する結果となり、樹木根系が斜面安定性を低下させることが明らかとなった。

降下浸透量の再現値による結果は、ライシメータ B の結果に対して地下水深は最大で 10%程度過小評価となったものの、安全率は最大でも 1%程度の過大評価にとどまり、比較的良好な再現結果となった。

### 5. おわりに

今後は、本研究の再現方法を浸透流解析とリンクさせ、現地観測に適用することで妥当性の検討を行う予定である。その際、長期の水収支へ展開するためには蒸発散の考慮が必要となる。また、本研究では根系周辺部での水の流れに着目し斜面安定性に及ぼす影響を検討した結果、負の影響が示された。しかし、樹木根系には斜面安定性にプラスとなる杭のような効果等も存在するため、正負両面の効果を組み合わせ、斜面土層内での樹木根系の影響を総合的に判断しうる崩壊発生予測モデルの構築を目指したい。

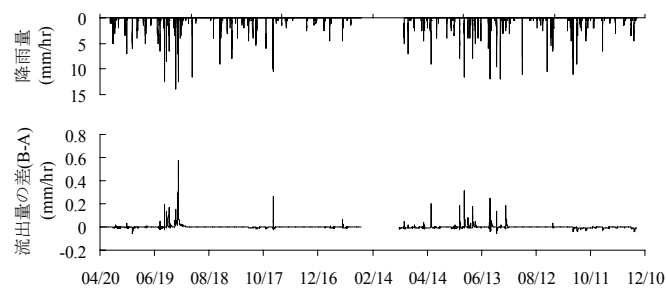


図4 ライシメータ B と A の流出量の差の経時変化(105cm 深度)

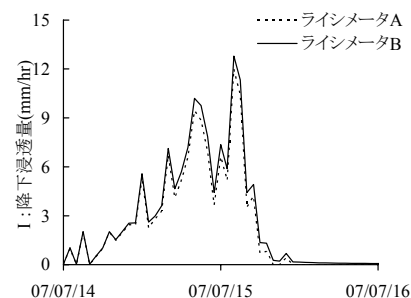


図-5 ライシメータ A、B の降下浸透量の経時変化(07/07/14~07/07/16)

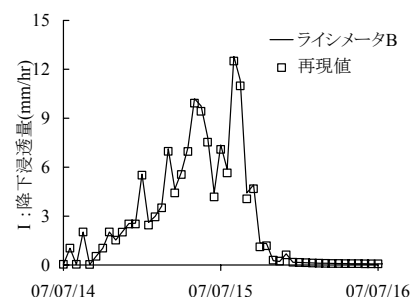


図-6 ライシメータ B の降下浸透量と再現値の経時変化(07/07/14~07/07/16)

表-1 土質諸元

| 地質                                 | 花崗岩      |
|------------------------------------|----------|
| 湿潤土の単位体積重量 ( $\text{t/m}^3$ )      | 1.362    |
| 土層の間隙率 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) | 0.565    |
| 飽和透水係数 (cm/sec)                    | 1.45E-04 |
| 体積含水率 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )  | 0.359    |
| 内部摩擦角 ( $^\circ$ )                 | 30       |
| 粘着力 ( $\text{t}/\text{m}^2$ )      | 0.147    |
| 斜面勾配 ( $^\circ$ )                  | 30       |

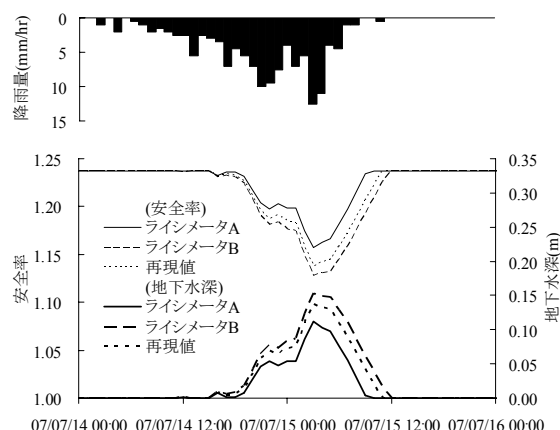


図-7 地下水深と安全率の経時変化