

斜面土層内の根系量の変化が斜面の安定性に及ぼす影響の感度分析

信州大学農学部(現,住鋳コンサルタント株式会社) ○佐伯 響一
 信州大学農学部 平松 晋也・福山 泰治郎
 住鋳コンサルタント株式会社 山下 伸太郎

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)、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・予測を行うためには、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。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」に着目した現地観測などの既往研究より、樹木根系が斜面土層内で雨水の選択的な降下浸透の経路となり、場合によっては、斜面の安定性を低下させる事態も生じるといった事実が明らかになった。

本研究では、これらの知見を基に複数の斜面勾配を設定し、土層内の根系量の変化が斜面の安定性に及ぼす感度分析を行った。

2. 研究方法

2.1 既往研究より得られた知見

ライシメータを用いた現地水文観測により、樹木根系が存在する場合には、基岩面への到達水量が無植生の場合よりも増加することがわかった。別途擬似根系を用いた室内鉛直浸透実験により、根系の効果量は、鉛直根の円周長と降雨量を説明変数として(1)式で表されることが明らかになった。

$$E = 27.50 \cdot S^{0.1827} \cdot R^{0.3088} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、E:鉛直根1本あたりの根系の効果量(基岩面への到達水量の樹木根系による増加量)(cc/hr)、S:斜面土層内の鉛直根1本あたりの円周長(mm)、R:降雨量(mm/hr)である。

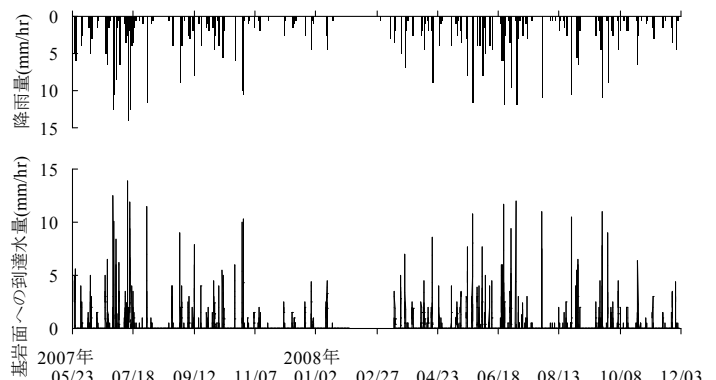


図-1 基岩面への到達水量の経時変化(無植生の場合)

2.2 検討ケースと計算条件

本研究では、表土層厚を1mとする単位土柱(投影面積:1m²)を想定し、斜面勾配を20°から50°まで5°毎に変化させた20、25、30、35、40、45、50°の7パターン、鉛直根の直径を10mmから50mmまで10mm毎に変化させた10、20、30、40、50mmの5パターンをそれぞれ組み合わせた計35ケースについて、既往研究の実績降雨波形を(1)式に入力することによって得られた根系の効果量を図-1に示す無植生の場合の基岩面への到達水量に加算することにより、地下水深と安全率を求めた。また、同一の斜面勾配で樹木根系が存在しない場合に対する地下水深や安全率の計算も行い、樹木根系による安全率の変化度合いを求めた。

表-1 土質諸元

地質	花崗岩
表土層厚 (m)	1.00
湿潤土の単位体積重量 (t/m ³)	1.362
土層の間隙率 (m ³ /m ³)	0.565
飽和透水係数 (m/hr)	5.23E-03
体積含水率 (m ³ /m ³)	0.359
内部摩擦角 (°)	30
粘着力 (tf/m ²)	0.147
斜面勾配 (°)	20~50

地下水深は、基岩面への到達水量を用いて(2)式により算出し、安全率は半無限長斜面の安定解析により求めた。地下水深や安全率の計算には、表-1に示す土質諸元(花崗岩:ライシメータ充填土砂)を使用した。計算対象期間は、図-1に示す2007年5月24日~2008年1月21日と2008年3月14日~12月1日である。

$$\left. \begin{aligned} H^t &= \left(\frac{I^t}{10^6 \cdot A} - K_s \right) / (n - \theta) \\ I^t &= I_n^t + E^t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、H^t:t時の地下水深(m)、I^t:t時の樹木根系が存在する場合の基岩面への到達水量(cc/hr/m²)、K_s:飽和透水係数(m/hr)、A:単位土柱の投影面積(m²)、n:間隙率(m³/m³)、θ:体積含水率(m³/m³)、I_n^t:t時の無植生の場合の基岩面への到達水量(cc/hr/m²)、E^t:t時の根系の効果量(cc/hr)である。

3. 地下水深と安全率の計算結果

地下水深と斜面安定解析結果の一例として、斜面勾配を20°とし、直径50mmの鉛直根が斜面土層内に存在すると想定したケースの2007年7月13日~7月15日の降雨に対する地下水深と安全率の経時変化を図-2に示す。

土層内に樹木根系が存在すると、無植生の場合よりも地下水深は 3%程度上昇し、安全率は0.05%程度減少することになり、樹木根系は斜面の安定性を若干ながらも低下させる事実が確認できる。この傾向は、全てのケースにおいて認められた。

4. 斜面土層内の根系量の変化が斜面の安定性に及ぼす影響

4.1 斜面土層内に鉛直根が1本存在する場合

無植生の場合の安全率に対する樹木根系が存在する場合の安全率の変化度合い(安全率の減少率)を(3)式により求めた。

$$Rd = \frac{Fs(N) - Fs(R)}{Fs(N)} \cdot 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、Rd: 樹木根系による安全率の減少率(%), $Fs(N)$: 無植生の場合の安全率, $Fs(R)$: 樹木根系が存在する場合の安全率である。なお、以降に示す安全率の減少率は、各検討ケースにおける計算対象期間内の各時間の最大値である。

表土層厚を1mとする単位土柱を想定し、安全率の減少率と斜面勾配や鉛直根の直径との関係を取りまとめたものを図-3~4に示す。図-3~4より、鉛直根の直径を一定にした場合には斜面勾配の低下とともに安全率の減少率は増大し、斜面勾配が一定の場合には鉛直根の直径の増大とともに安全率の減少率は増加している。

以上の結果より、緩勾配斜面の方が樹木根系の影響を強く受け、鉛直根の直径の増加によってその影響はより顕著になることが明らかになった。

4.2 斜面土層内の鉛直根の断面積が同一になるように本数を変化させた場合

表土層厚を1mとする単位土層内に占める鉛直根の断面積が同一となるように、鉛直根の本数を変化させた場合における斜面の安定性への影響を検討した。単位土層内に直径20mmの鉛直根が10本存在する場合を基準として、直径10mmと50mmの鉛直根の本数、1本あたりの鉛直根の円周長に本数を乗じた総円周長などの根系諸元を表-2に示す。

安全率の減少率と斜面勾配や鉛直根の直径との関係を図-5~6に示す。図-5より、鉛直根の直径を一定とした場合、斜面勾配の低下とともに安全率の減少率が増大し、土層内に鉛直根が1本存在する場合と同様の結果となった。しかしながら、図-6に示すように、斜面勾配を一定とした場合には、鉛直根の直径の減少とともに安全率の減少率は急激に増加し、直径10mmの鉛直根に対する安全率の減少率の方が直径20mmの鉛直根の場合よりも3倍程度大きな値を示すことが明らかになった。

以上より、土層内に占める鉛直根の断面積を同一とした場合(斜面土層内の根系量が同一の場合)、小径根の方が斜面の安定性により大きな影響を及ぼすことが示された。

5. おわりに

本研究では、複数の斜面勾配に対して土層内の根系量の変化が斜面の安定性に及ぼす感度分析を行った。その結果、樹木根系は緩勾配斜面においてより大きな影響を及ぼし、土層内に占める鉛直根の断面積が同一の場合(根系量が同一の場合)には、小径根ほど斜面の安定性を低下させるといった興味深い事実が示された。

本研究では平衡型斜面のみを対象とし、集水性に関わる斜面型などの地形形状は考慮しなかったが、今後は、平面二次元の浸透流解析を行うことにより、その影響度についても考察する予定である。

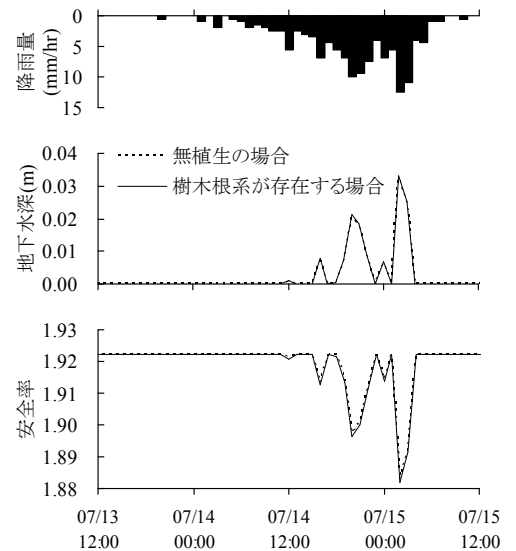


図-2 斜面勾配:20°, 鉛直根の直径:50mm のケースでの地下水深と安全率の経時変化(07/07/13-07/07/15)

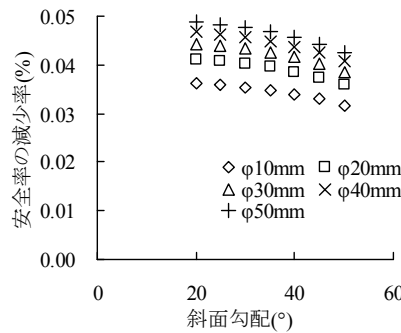


図-3 安全率の減少率と斜面勾配との関係(斜面土層内に鉛直根が1本存在する場合)

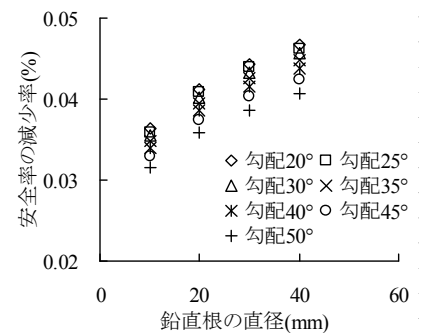


図-4 安全率の減少率と鉛直根の直径との関係(斜面土層内に鉛直根が1本存在する場合)

表-2 根系諸元

直径 (mm)	断面積 (mm ²)	変化させた本数 (直径20mmの鉛直根に対する断面積比)	樹木根系の総円周長 (mm)
50	1963.50	1.60	251.33
20	314.16	10.00	628.32
10	78.54	40.00	1256.64

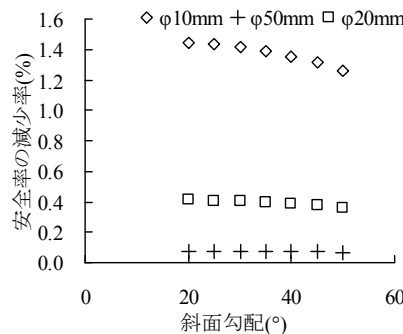


図-5 安全率の減少率と斜面勾配との関係(鉛直根の本数を変化させた場合)

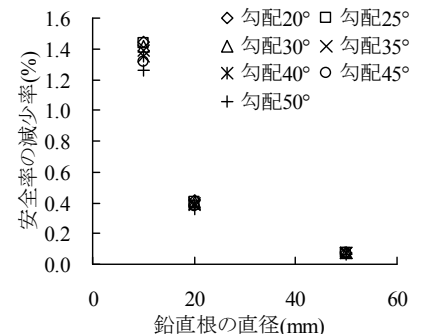


図-6 安全率の減少率と鉛直根の直径との関係(鉛直根の本数を変化させた場合)