

斜面形状および樹木配置が斜面安定に与える影響に関する数値実験

(独) 土木研究所 ○梁 偉立

京都大学農学研究科 小杉 賢一朗, 水山 高久

1. 研究背景と目的

森林の存在が斜面水文過程における様々な物理特性に不均一性を与える。例えば、樹木の周辺に集中的な流れが発生することが指摘されている。著者らのこれまでの研究は、樹幹流が土層内飽和帯の形成に寄与することを明らかにし (Liang et al., 2007), 樹幹流の浸透特性を考慮した雨水浸透モデルを提案した (Liang et al., 2009)。提案モデルと斜面安定を組み合わせ解析した結果では、従来モデルでは評価できない降雨のインプットに対応した素早い安全率の低下ならびに斜面上部の崩壊発生の可能性を示した (梁ら, 2010)。これまでの結果を踏まえ、本研究は異なる斜面形状および樹木配置が斜面安定に与える影響を解明することを目的とした。

2. 雨水浸透計算と斜面安定解析

数値実験は、有限要素法により二次元の Richards 式の数値解を求めた。計算領域は水平長 960 cm, 勾配 50 度, 土層厚 100 cm, 基岩層 50 cm の側方斜面に設定し、樹木が 6 本生育することを想定した (樹冠範囲: 160 cm/本)。計算領域は、833 個節点と 1536 個の三角形要素で構成されている。土壌と基岩の水分特性について風化花崗岩を母材とする森林土壌を想定し、既往研究で報告されたパラメータを採用した (梁ら, 2006)。境界条件については、地表面と下端面と底面に自由排水条件, 上端面に水の出入りが無い条件を設定した。初期条件については、予備計算によって 20 mm/hr の降雨を 24 時間与えた後に、2 日間排水させた状態を設定した。入力降雨については、一定強度の 30 mm/hr の林外雨を与えた。降雨分配については、樹冠通過雨量, 樹幹流, 樹冠遮断損失がそれぞれ林外雨の 60%, 20%, 20% になるように設定した。また、樹幹流の浸透特性を考慮し、Liang et al. (2009) が提案した手法を用いた。すなわち、樹冠通過雨量を地表面に投入し、樹幹流を土層内の湧水として樹木周辺の湧水領域に与える手法である。斜面に生育する樹木の樹幹流が幹の斜面上端側に集中する傾向が報告されたため、既往研究を参照して幹の斜面上端側と下端側の樹幹流量比を 1:80 に設定した (Liang et al., 2007)。

以上の設定に基づいて、間伐を想定して樹木本数を 6 から 3 と 1 本に減らせた (Case I, それぞれの植栽密度: 約 3906, 977, 109 本/ha)。樹木 6 本の場合では、森林が鬱閉した状態を想定し、それぞれの降雨分配を考慮して計算領域に投入した。樹木 3 と 1 本の場合では、樹木が残った範囲に林外雨を降雨分配によって投入したが、間伐された範囲に林外雨をそのままに投入した。また、斜面形状については、勾配 50 と 30 度の変曲点を持つ凸型 (Case II,) と凹型 (Case III) 斜面を想定し、変曲点の位置を斜面上端, 中端, 下端 (Slope 1, 2, 3) に変化させて検討した。

斜面安定解析では、二次元簡易 Bishop 法を用いて斜面安定率 F_s を計算した。基岩層では土質強度が十分大きくてすべり面が発生せず、すべり面は基岩面と接触する円弧になると仮定した。すべり円弧の中心位置および円弧半径を変化させ、 F_s が最小となる円弧を探索した。土質特性について、飽和状態の粘着力は 20 gf cm⁻², 内部摩擦角は 35 度, 土塊の比重は 2.65 g cm⁻³ を用いた。本研究は樹木の根系が基岩まで発達していないことを想定したため、根によるせん断抵抗力の補強機能を無視した。

3. 結果と考察

図 1 は各 Case の雨水浸透計算と斜面安定解析の結果を示している。浸透計算の結果では、圧力水頭の不均一な空間分布が見られ、樹木直下に局所的な基岩面飽和帯が計算された。これは、幹の斜面上端側に集中した樹幹流が迅速に土壌に浸透して基岩面に到達し、基岩面飽和帯を形成させたためである。Case I では、 F_s が樹木 1, 3, 6 本の順に低下し、それぞれ 85, 90, 95 分に 1.0 を割ってすべりが発生した。その中、樹木 1 本の場合は降雨の中盤から湿潤の定常状態になるまで最も小さい F_s を示している。崩壊可能の場所については、基岩面飽和帯の形成具合に

よって最小 F_s がとなる円弧位置が変動していた。Case II の凸型斜面では、最小 F_s がとなる円弧位置が降雨から定常状態になるまで変動せず、斜面下端部から変曲点の上端までの領域に限定された。全 Slope における最小 F_s の経時波形が類似したが、絶対値が Slope 1, 2, 3 の順に小さくなり、それぞれ 95, 100, 115 分に 1.0 を割ってすべりが発生した。Case III の凹型斜面では、最小 F_s がとなる円弧位置が変動せず、変曲点から斜面上端部までの領域に限定された。 F_s 値が Slope 3, 2, 1 の順に小さくなり、それぞれ 190, 125, 115 分に 1.0 を割ってすべりが発生した。

以上の結果より、間伐によって樹冠遮断損失がなくなったため、鬱閉した森林状態に比べてより多くの雨水が土層に入り、 F_s を低下させたことがわかった。ただし、基岩面飽和帯の形成具合によって斜面崩壊可能な場所が変動しており、樹木の位置から特定することが難しい。Case II と III の凸型と凹型斜面では、斜面崩壊可能な場所が変動せずに変曲点の位置に左右されたため、変曲点の位置から斜面崩壊可能な範囲を特定できると考えられる。また、 F_s 値が円弧の範囲に影響されるため、円弧が大きくなると F_s 値が低下する傾向が見られた。

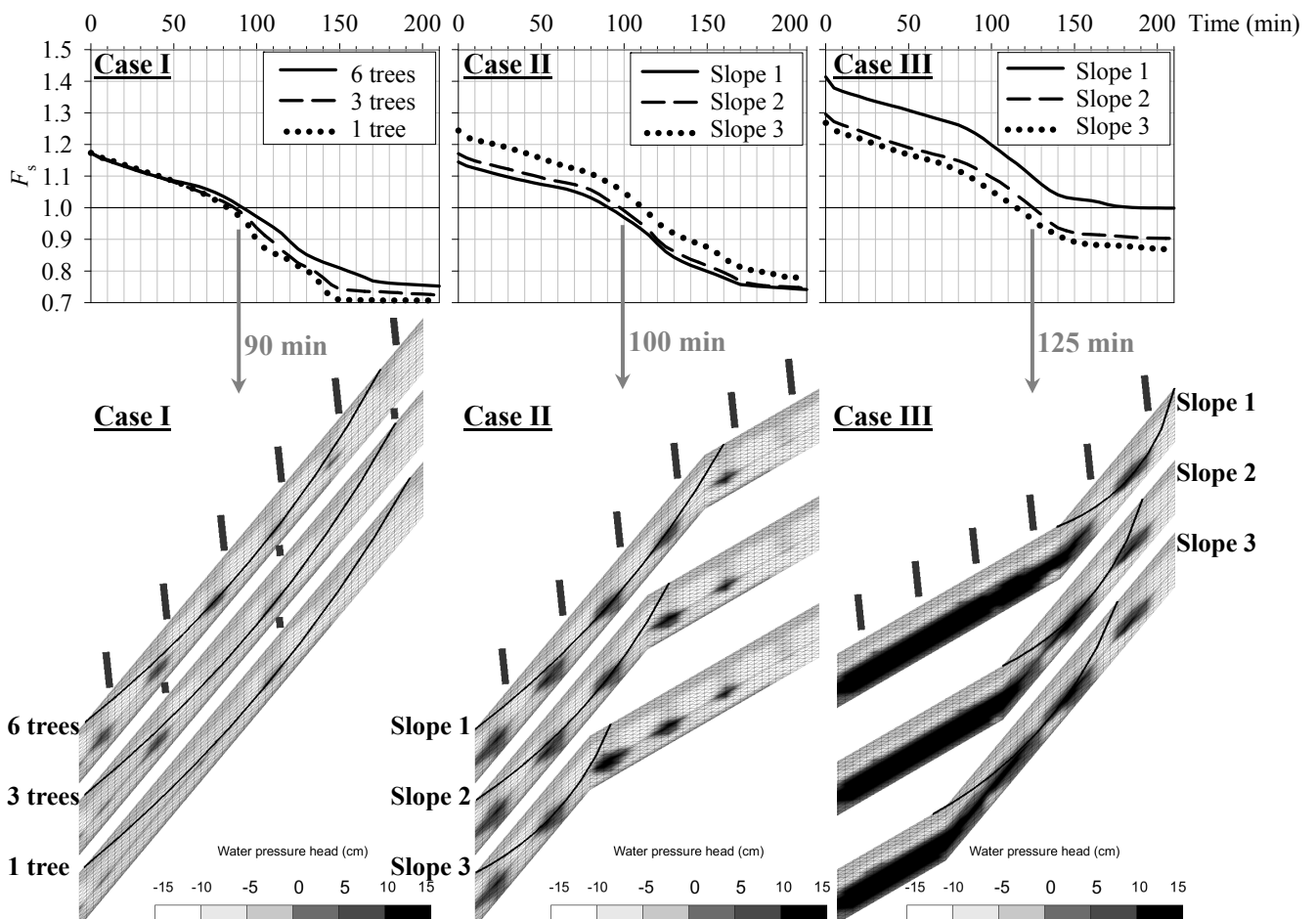


図 1. 樹木本数 (Case I), 凸型 (Case II), 凹型 (Case III) 斜面形状による最小 F_s の時間変化 (上段) とすべり円弧の位置 (下段)。

4. 引用文献

- 梁偉立ら, 小杉賢一朗, 林祐妃, 水山高久 (2006) 雨水鉛直浸透に関わる土壌水分特性パラメータの特定手法に関する考察, 砂防学会誌, Vol.59, No.3, p. 3-12.
- Liang, W.-L., Kosugi, K. and Mizuyama, T., 2007. Heterogeneous soil water dynamics around a tree growing on a steep hillslope. Vadose Zone Journal, 6(4): 879-889.
- Liang, W.-L., Kosugi, K. and Mizuyama, T., 2009. A three-dimensional model of the effect of stemflow on soil water dynamics around a tree on a hillslope. Journal of Hydrology, 366(1-4): 62-75.
- 梁偉立, 小杉賢一朗, 水山高久 (2010) 雨水鉛直浸透に関わる土壌水分特性パラメータの特定手法に関する考察, 砂防学会誌, Vol.63, No.1 (受理)