

66 山腹斜面を構成する表層土の構造特性について

高知大学農学部 平松 晋也
 荒谷建設コンサルタント(株) ○尾藤 顕哉

1. はじめに

近年、電子計算機による計算処理能力の向上にともなって山腹崩壊や土石流を対象とした数値解析モデルの使用頻度は高くなり、その解析精度は格段に向上するようになった。しかし、これらのモデルへの入力条件の設定には、莫大な労力と時間が必要となり、入力条件を精度良くかつ効率的に設定するための手法は確立されていないというのが現状である。本研究は、土砂災害の予知・予測を迅速かつ正確に行うための一助として、山腹崩壊現象を対象とした数値解析手法を実務レベルにまで広く適応可能なものとするため、土質諸元をはじめとする数値解析手法への計算入力条件を合理的かつ効率良く得るための手法を開発することを目的として実施した。

2. 対象流域の概要

本研究対象流域は高知県西部の梶原町に位置する流域面積 0.27km² の小溪流であり、泥岩と砂岩とが互層をなす地質となっている。対象流域の中・下流域の右岸側はスギ林、中・下流域の左岸側はアカマツの点在する落葉広葉樹林、上流域はヒノキ林をなす植生となっている。

3. 土質諸元と Nc 値との関係

数値解析手法への入力条件となる土質諸元と Nc 値との関係を知るため、流域内の A~E の 5 地点で土研式簡易貫入試験を実施するとともに、土質試験用供試体を採取し、湿潤密度、乾燥密度、比重、間隙率、飽和透水係数を求めた。土の密度と Nc 値との関係を示す図-1 より、湿潤密度(ρ_t)、乾燥密度(ρ_d)及び比重(ρ_s)はそれぞれ(1)~(3)式に示す対数近似式で表わされ、相関係数は 0.842~0.932 と極めて高い値を示すことがわかる。また、図-2 に示すように、間隙率(n)は(4)式を用いて対数近似可能であり、飽和透水係数(k_s)は(5)式を用いて累乗近似可能であり、相関係数はそれぞれ 0.907, 0.752 と高い値を示した。今回得られた関係式と既往研究により得られた土

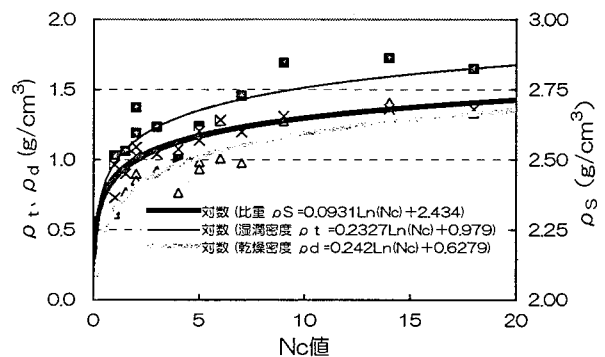


図-1 Nc値と土の密度との関係

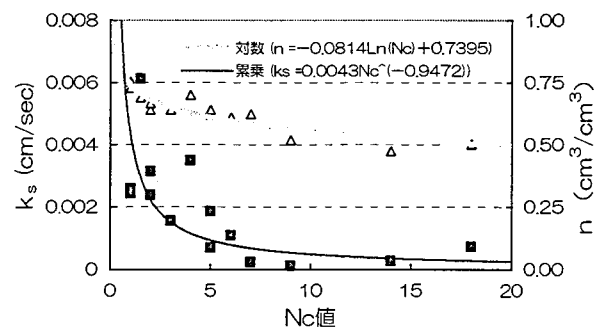


図-2 Nc値と飽和透水係数、間隙率との関係

$\rho_t = 0.2327 \cdot \text{Ln}(Nc) + 0.979$ (1)
 $\rho_d = 0.242 \cdot \text{Ln}(Nc) + 0.6279$ (2)
 $\rho_s = 0.0931 \cdot \text{Ln}(Nc) + 2.434$ (3)
 $n = -0.0814 \cdot \text{Ln}(Nc) + 0.7395$ (4)
 $k_s = 0.0043 \cdot Nc^{-0.9472}$ (5)

質諸元とを比較すると概ね同様の傾向を示すことが確認された。以上の結果より、砂岩地域に対しては、Nc 値が決定されれば(1)~(5)式を用いて一義的に土質諸元の推定が可能となることが確認された。

4. 表土層厚設定のための境界 Nc 値

崩壊の発生の有・無を議論しようとした場合、透水係数や土質強度定数と同様に表土層厚はその現象自体に重要な意味を持つことになるにもかかわらず、その決定的な設定手法に関しては確立されていないというのが現状である。表土層厚の設定は、土研式簡易貫入試験によって得られる Nc 値を基準として行われている。そこで、本研究では、表土層厚を設定するために必要となる境界 Nc 値に物理的根拠をもたせることを前提とした『境界 Nc 値推定モデル』を新たに提示し、同モデルを用いて境界 Nc 値を特定した。

4. 1 境界 Nc 値推定モデル

『境界 Nc 値推定モデル』は、「雨水浸透モデル」、「斜面安定解析モデル」、「Nc 値変換モデル」の3つのモデルにより構成されており、「雨水浸透モデル」により求めた地下水深と土質試験結果を「斜面安定解析モデル」に

代入することにより安全率を算出し、この結果得られる安全率の変極点を基に境界土層深度を特定し、さらにこの境界土層深度を「Nc 値変換モデル」を用いて境界 Nc 値へと変換するものである。

図-3 は、「雨水浸透モデル」の概念を示したものであり、上部土層からの浸透量が当該土層の透水係数より小さい場合(図-3 中 A)の場合、浸透量の全量が下層へと浸透することになる。逆に、浸透量が透水係数より大きい場合(図-3 中 B)の場合、透水係数分だけ下層に浸透し、浸透量と透水係数の差分が当該土層内に貯留され、地下水深を形成することになる。また、「斜面安定解析モデル」では、無限長斜面における安定解析式を採用した。

4. 2 境界 Nc 値の推定

対象流域内の C 地点に対して『境界 Nc 値推定モデル』を適用し、境界 Nc 値を推定した。モデルの入力条件となる土質諸元は表-1 に示すとおりである。また、斜面勾配としては、対象流域内の地形形状を勘案し、 40° と設定した。検討ケースは連続雨量：100mm, 200mm と降雨強度：100mm/hr, 50mm/hr, 25mm/hr とをそれぞれ組み合わせた合計 6 ケースである。連続雨量 100mm, 降雨強度 100mm/hr の場合を例として、「斜面安定解析モデル」により得られた安全率と土層厚(すべり面の深度)との関係を求めると、安全率は 80cm 深度部までは一定傾向で低下するが、80cm~100cm 深度部で低下度合いが大きくなるのがわかった。

安全率の挙動を更に詳しく眺めるため安全率の低下率($\Delta F_s/\Delta z$)と土層厚との関係を取りまとめた図-4 より、安全率の低下率は 65cm 深度部までは概ね同値を示し、90cm 深度部で低下率が急増し最大値を示すことがわかる。以上の結果より、安全率が最小値を示し、その低下率が最大となる 90cm 深度を境界土層深度と設定した。次に、C 地点における Nc 値の深度分布(図-5; 「Nc 値変換モデル」)を用いて境界土層深度 90cm に対応する Nc 値を求め、この値を用いて本研究対象流域の境界 Nc 値：9 と設定した。以上、『境界 Nc 値推定モデル』より得られた境界 Nc 値を対象流域内の貫入試験実施地点に適用することにより求めた表土層厚等値線図より、流域内の表土層は 40~230 cm を示し、左岸側の上流尾根部で特に厚くなっていることが確認された。

5. おわりに

本研究で得られた「土質諸元と Nc 値との関係式」と『境界 Nc 値推定モデル』とをリンクすることにより、土研式簡易貫入試験を実施するだけで数値解析モデルの入力条件となる土質諸元や表土層厚が容易かつ効率的に特定可能となることが明らかになった。このため、本研究で開発した手法は、山腹崩壊等を対象とした数値解析モデルとリンクすることにより、崩壊の予知・予測を迅速に行うための有効な手段となり得るものと確信される。しかしながら、本研究で得られた「土質諸元と Nc 値との関係式」は砂岩地域に対してのみ適応可能なものであるため、今後は、地質の異なる他地域に対しても同様の研究を実施し、本研究で得られたような土質諸元と Nc 値との関係式を求める必要がある。

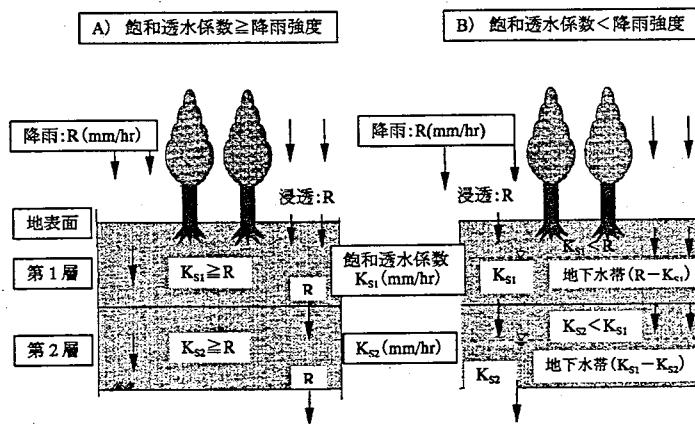


図-3 「雨水浸透モデル」の概念

表-1 「境界 Nc 値推定モデル」への入力諸元 (C 地点)

土層区分	土層深度 (cm)	土層厚 Z_s (m)	湿潤密度 $\rho_{t,s}$ (t/m ³)	乾燥密度 $\rho_{d,s}$ (t/m ³)	間隙率 n_s (m ³ /m ³)	体積含水率 $\theta_{w,s}$ (m ³ /m ³)	飽和透水係数 $K_{s,s}$ (mm/hr)
1	0~20	0.2	1.009	0.765	0.699	0.245	125.64
2	20~50	0.3	1.237	0.934	0.641	0.303	65.96
3	50~80	0.3	1.275	1.008	0.609	0.267	38.88
4	80~100	0.2	1.689	1.275	0.520	0.414	4.32
5	100~110	0.1	1.647	1.331	0.503	0.316	26.14

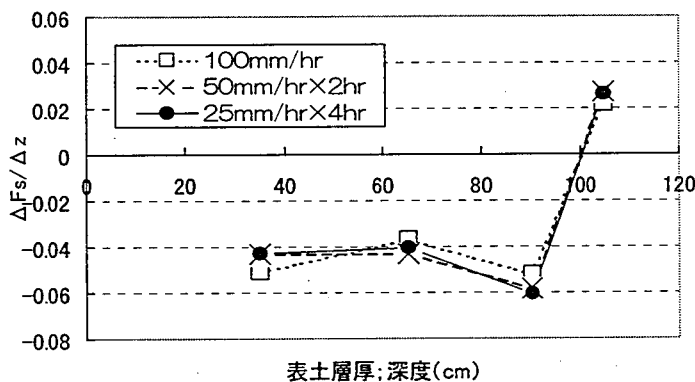


図-4 安全率の低下率と土層厚(すべり面の深度)の関係

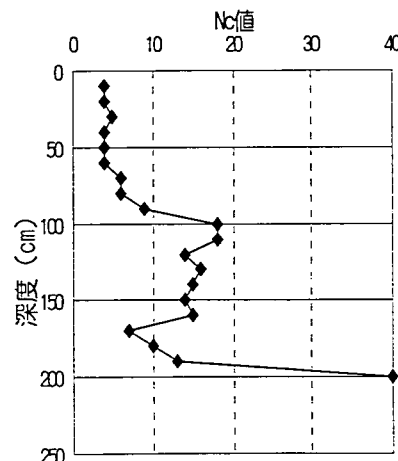


図-5 Nc 値変換モデル(Nc 値の深度分布)