

# 19 土質強度の時間変化を考慮した簡易手法による流域の危険度評価

高知大学農学部 ○中出 眞由光 平松 晋也  
国土交通省四国山地砂防工事(事) 小山内 信智

## 1. はじめに

本研究は、崩壊要因として位置付けられる「雨の降りやすさ」や風化にともなう「表土層厚の成長」だけではなく、「土質強度(粘着力:  $C$ )の時間変化特性」をも考慮した『崩壊発生危険度評価モデル: 崩壊に対する免疫性評価モデル』を構築するとともに、同モデルを現地流域に対して適用し、地形学的観点から流域の危険度評価を行うことを目的として実施したものである。

## 2. 対象流域の概要

対象流域である上宿野谷は、重信川上流部の表川流域内に位置する流域面積:  $0.995\text{km}^2$  の小溪流で、平均斜面勾配は  $23.3^\circ$  となっている。流域の地質は主に和泉層群、久万層群の三波川帯であり、岩質は主に砂質であるが、場所によっては砂岩と泥岩との互層が見られる。植生に関しては、大部分がスギ及びヒノキの人工林となっている。なお、平均年雨量は  $1,600\sim 1,800\text{mm/year}$  程度である。

## 3. 土質強度の時間変化

### 3.1 風化の進行過程

上宿野谷流域内より採取した不攪乱試料を用いてせん断試験を実施し、土質強度( $C, \phi$ )の深度分布特性を把握をした。その結果、内部摩擦角:  $\phi$  に関しては概ね一定値を示したのに対し、粘着力は深度の増加とともに増加傾向を示す結果となった。さらに、土質強度と風化開始後の経過年数との関係を把握するために、図-1に示すように風化の進行過程をモデル化し、供試体採取深度部の風化開始後の経過年数を算定した。なお、図-1(II)に示した土層厚と土層形成開始後の経過年数との関係は、(1)式<sup>1)</sup>で表される。

$$L = A_w \cdot \ln(B_w \cdot T + 1.0) + C_w \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $L$ : 土層厚(m),  $T$ : 土層形成開始後の経過年数(year),  $A_w, B_w, C_w$ : 定数( $A_w=1.0, B_w=0.004, C_w=0.15$ )である。

図-1(I)では、地表面から現在の基岩面までの土層厚  $L_L$  (m)は  $T_L$  年かかって形成されたことを示している。本研究では、「風化」は崩壊当時の地表面からより深部へと進行し、その結果として土層が形成されるものと考えた。このため、深度: A地点やB地点では、風化最前線が地表面からより深部へと進行し、土層厚  $L_A, L_B$  が形成された後に風化が開始することになる。したがって、図-1中の各深度部(L, A, B)における風化開始後の経過年数は(2)~(4)式で求められる。

$$T(L) = T_L - T_L = 0 \dots \dots \dots (2), \quad T(A) = T_L - T_A \dots \dots \dots (3), \quad T(B) = T_L - T_B \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 $T(L), T(A), T(B)$ : 深度 L, A, B 地点での風化開始後の経過年数(year),  $T_L, T_A, T_B$ : 土層厚が  $L_L, L_A, L_B$  へと成長するのに要する経過年数(year)である。

### 3.2 土質強度と風化開始後の経過年数との関係

図-2は、土質強度と風化開始後の経過年数との関係を示したものである。内部摩擦角に関しては概ね一定値を示しているものの、粘着力は、風化開始後の経過年数の増加とともに指数的に減少する結果となった。粘着力は、風化開始後の経過年数を用いて(5)式で表すことが可能となる。

$$C = 0.5001 \cdot e^{-0.0019 \cdot T} \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 $C$ : 粘着力( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ),  $T$ : 風化開始後の経過年数(year)である。

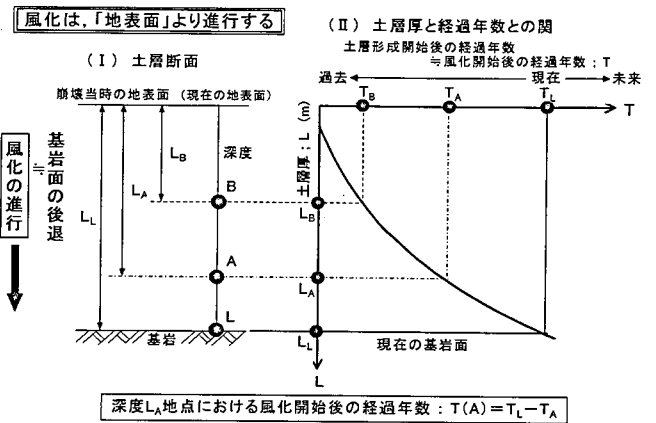


図-1 風化の進行過程のモデル化

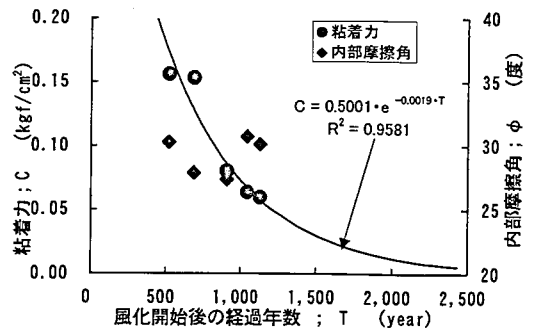


図-2 土質強度と風化開始後の経過年数との関係

## 4. 崩壊発生危険度評価

崩壊の発生に關する要因として「風化にともなう土層厚の増加: 素因」や「雨の降りやすさ: 誘因」だけではなく、さらに「風化にともなう土質強度の変化(ここでは、粘着力:  $C$  の変化)」をも考慮した崩壊発生危険度の評価手法を提示した。

### 4.1 不飽和層における崩壊発生の予測

従来の研究においては、崩壊発生時のすべり面を基岩面=難透水層と設定していたために、難透水層より浅深度部にすべり面を有する「不飽和層で発生する崩壊現象」を取り扱うことができなかった。しかしながら、本研究において、「土層内のより浅層部では風化開始後多くの時間が経過しているため、土の粘着力はより深層部と比較して減少する」ことが明らかになった。このため、従来の研究においてすべり面と設定されている難透水層(面)よりも浅層部にすべり面を仮定すると、崩壊の危険性が高くなる場合も生じる

であろう。このため、本研究では、「不飽和層で発生する崩壊現象」に対する斜面の危険度評価をも視野に入れ、斜面土層内の任意の深度部にすべり面を仮定することにより(6)~(8)式を用いて斜面の安定性を評価した。

$$F_s(z) = \frac{C(z,T) + \{\gamma_t \cdot (D(z) - H(z)) + \gamma' \cdot H(z)\} \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi}{\{\gamma_t \cdot (D(z) - H(z)) + \gamma_{sat} \cdot H(z)\} \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta} \quad \dots (6)$$

$$H(z) = D(z) - (D - H) \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$H = \frac{R_{24}}{1000 \cdot (n - \theta_s)} \quad \dots \dots \dots (8)$$

ここに、 $F_s(z)$ :任意深さ;  $z$ (m)にすべり面を仮定した場合の斜面の安全率、 $C(z,T)$ :仮定すべり面(深さ;  $z$ (m))での風化開始後の経過年数( $T$ )に対応した粘着力( $tf/m^2$ )、 $\phi$ :内部摩擦角( $\phi=29.3^\circ$ )、 $\gamma_t$ :土の湿潤単位体積重量( $tf/m^3$ )、 $\gamma_{sat}$ :土の飽和単位体積重量( $tf/m^3$ )、 $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$  ( $\gamma_w$ :水の単位体積重量( $=1 tf/m^3$ ))、 $\beta$ :斜面傾斜角( $^\circ$ )、 $H(z)$ :任意深さ;  $z$ (m)にすべり面を仮定した場合のすべり面上に発生する地下水深(m)、 $D(z)$ :任意深さ;  $z$ (m)にすべり面を仮定した場合の土層厚(m)、 $H$ :難透水層(面)深さ; 140cm)上に形成される地下水深(m)、 $R_{24}$ :確率降雨量(日雨量; mm)、 $n$ :間隙率( $m^3/m^3$ )、 $\theta_s$ :体積含水率( $m^3/m^3$ )である。斜面傾斜を $35^\circ \sim 50^\circ$ の範囲内で4ケース、降雨量を10~100年確率規模の範囲内で4ケースそれぞれ変化させた場合の安全率と深度との関係を示した図-3より、深度、斜面傾斜及び確率降雨量の増加とともに安全率: $F_s$ は低下傾向を示し、40cm深度部まではその傾向は顕著に認められる。しかしながら、深度0.9m~1.0mを境に安全率は回復傾向に転じていることがわかる。このように、安全率は、難透水層(面)である140cm深度部より40~50cm上層部で最小値を示す結果となった。

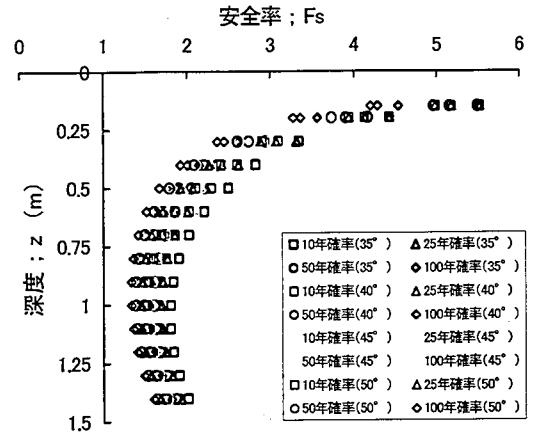


図-3 安全率と深度との関係

#### 4.2 土質強度の時間変化を考慮した崩壊発生危険度評価モデルの構築

図-4は、本研究で新たに提示した「土質強度の時間変化を加味した崩壊発生危険度評価モデル」の概念を示したものである。同モデルでは、風化開始後の経過年数とともに土層厚: $D$ や土質強度: $C$ を変化させ、さらに降雨の発生しやすさ(降雨確率)を考慮することにより(6)~(8)式を用いて土層内の任意の深度部に対する斜面安定解析を実施することにより得られる「崩壊に至るまでの現在からの経過年数:斜面安定化指数」を指標として崩壊発生危険度が評価されることになる。具体的には、図-4に示すように時間の経過とともに表土層厚が成長し((1)式<sup>1)</sup>)、また、大規模降雨の発生する確率も時間経過とともに高くなるため、それともなって地下水深(8)式も増加することになる。一方、粘着力は時間経過とともに減少傾向を示し((5)式)、これともない安全率も低下することになる((6)式)。そして、安全率が1.0を下回ったときに崩壊が発生することになる。

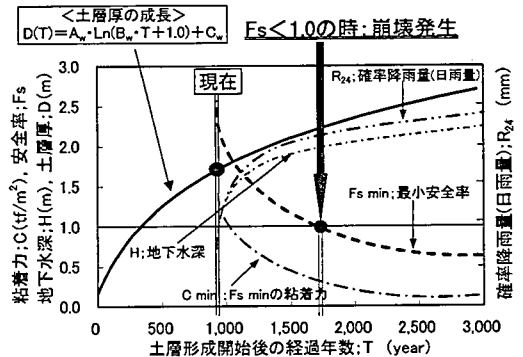


図-4 土質強度の時間変化を考慮した崩壊発生危険度評価モデル

#### 4.3 上宿野谷流域への適用

図-5は、上宿野谷流域内の地点(20,7)を例として抽出し、「斜面安定化指数」の算定結果を示したものであり、既往モデル<sup>2)</sup>による算定結果をも併記した。本研究で提示したモデルでは現在から185年後に崩壊が発生するのに対し、既往研究<sup>2)</sup>において示されたモデルでは728年後に崩壊が発生する結果となった。このように、本研究で新たに提示したモデルと既往研究で提示されたモデルでは、崩壊発生時期に約550年の差がみられる結果となった。

### 5. まとめ

本研究において、土の粘着力( $C$ )は、風化開始後の経過年数( $T$ )の増加とともに指数的に減少することが確認された。さらに、ここで得られた $C \sim T$ 関係と既往研究<sup>2)</sup>で提示された崩壊発生危険度評価モデルとをリンクすることにより、新たに「流域の危険度評価手法」を構築した。そして、同モデルを現地流域に対して適用するとともに、既往モデルとの比較を行った結果、本研究で新たに提示したモデル(図-4)の方が既往モデルより早い時期に崩壊が発生するといった結果が得られた(計画論上安全側)。今後は、地形の集水性等も考慮可能となるように同モデルに改良を加え、「崩壊に対する免疫性」の解明を行う予定である。

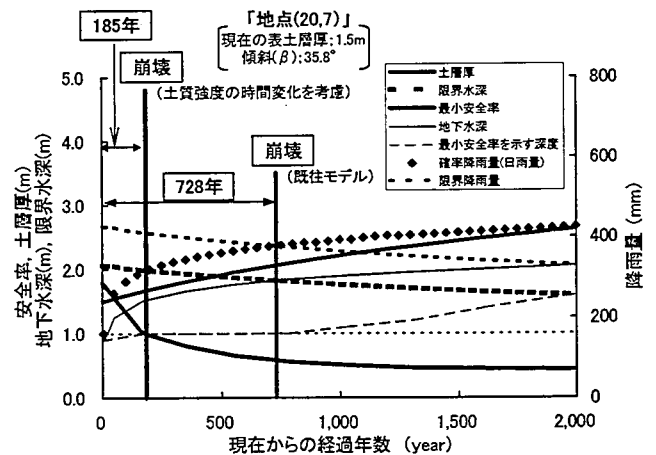


図-5 土質強度の時間変化を考慮した崩壊発生危険度評価モデルと既往モデルとの比較

<参考文献> 1)飯田智之:表層崩壊の免疫性と崩壊確率モデル, 地形, 第14巻第1号, p.17-31, 1993  
2)亀田光彦:山腹斜面を構成する表層土の構造と発達に関する水文・地形学的研究, 1999年度, 高知大学卒業論文