

自然環境の相違が崩壊発生に及ぼす影響に関する一考察

信州大学 農学部(現 石川県)○篠木 秀
信州大学 農学部 平松 晋也, 福山 泰治朗
天竜川上流河川事務所 草野 慎一, 鈴木 豊, 中島 一郎, 福本 晃久

1. はじめに

表層崩壊や土石流に代表される土砂の移動現象の主要因は降雨である。しかしながら、必ずしも多雨地域で土砂生産が活発であるという傾向が見られるわけではなく、むしろ逆の傾向も見受けられる。本研究はこのような現状に着目し、多雨地域として高知県；本モ谷川流域を、非多雨地域として長野県；四徳川流域と与田切川流域を取り上げ、崩壊発生誘因となる降雨の生起確率だけでなく、崩壊発生素因である土層の発達や土質特性の時間変化を考慮した「崩壊発生危険度将来予測モデル」を作成し、同モデルを用いて両地域の表層崩壊発生危険度(崩壊ポテンシャル)を評価するとともに比較検討を行った。

2 研究対象流域の概要

多雨地域として抽出した本モ谷川流域は高知県北西部に位置し、地質は中古生代堆積岩、平均年間総降水量は 2,600mm/year 程度である。非多雨地域として抽出した四徳川流域と与田切川流域は両流域ともに長野県南部に位置し、地質は花崗岩、平均年間降水量は 1,300mm/year 程度である。

3. 土層の発達

多雨地域と非多雨地域それぞれの流域内の崩壊発生場所、年代が明らかな崩壊地内で土層厚の測定を行った。風化開始後の経過年数と土層厚の関係を示す図-1 より、非多雨地域の土層厚の成長は多雨地域よりも速く、両地域の土層厚の差は経過年数の増加とともに大きくなる事実が確認された。多雨地域と非多雨地域における風化開始後の経過年数と土層厚との関係は(1)～(2)式で対数近似可能となる。ここに、 $L(T)$ ：風化開始(崩壊発生)T 年後の土層厚(m)、 T ：風化開始後(崩壊発生後)の経過年数(年)、 A_w 、 B_w 、 C_w ：係数である。

多雨地域； $L(T)=1.166 \cdot \ln(0.00686 \cdot T+1.0) \cdots \cdots (1)$
非多雨地域； $L(T)=1.523 \cdot \ln(0.00718 \cdot T+1.0) \cdots \cdots (2)$

4. 時間経過に伴う土質諸元の変化

土質強度や飽和透水係数などの土質特性は、時間経過(風化の進行)とともに変化することになる。図-2 に示すように、風化は地表面から鉛直下方へと順次進行するものと仮定すると、図中の深度 A 地点の風化開始後の経過年数 $T(A)$ は(3)式で表すことができる。

$T(A)=T_L-T_A \cdots \cdots (3)$

風化開始後の経過年数 T_A 、 T_L は(1)～(2)式を変形することにより求めた。本研究では、多雨地域と非多雨地域に対する現地調査により、土質強度(内部摩擦角： ϕ 、粘着力： C)と土壌物理定数(乾燥土の単位体積重量： γ_d 、間隙率： N 、飽和透水係数： k_s)の深度分布を求め、(3)式を用いて当該深度に応じた風化開始後の経過年数： T_m と土質諸元との関係(土質諸元の時間変化)を把握した。両地域とも、風化開始後

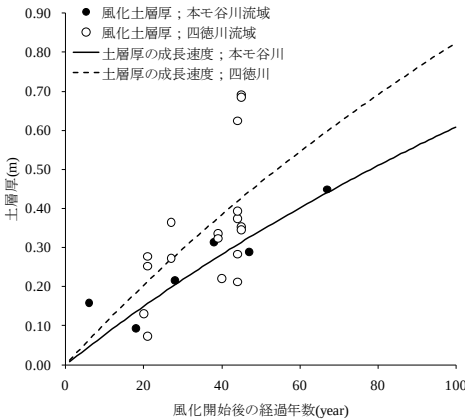


図-1 風化開始後の経過年数と土層厚の関係

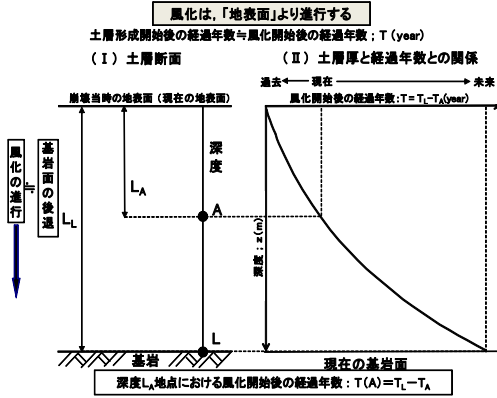


図-2 風化の進行概念

表-1 風化開始後の経過年数と土質諸元

	土質強度の時間変化	
	内部摩擦角	粘着力
	$\phi(m, T_m)$ (°)	$C(m, T_m)$ (tf/m ²)
多雨地域	$21.69 \cdot e^{-4.0E-03 \cdot T_m}$	$0.524 \cdot e^{-8.0E-04 \cdot T_m}$
非多雨地域	$33.26 \cdot e^{-3.0E-03 \cdot T_m}$	$0.271 \cdot e^{-6.0E-04 \cdot T_m}$
土壌物理定数の時間変化		
乾燥土の 単位体積重量	間隙率	飽和透水係数
$\gamma_d(m, T_m)$ (tf/m ³)	$N(m, T_m)$ (m ³ /m ³)	$k_s(m, T_m)$ (cm/s)
$1.27 \cdot e^{-8.0E-04 \cdot T_m}$	$0.497 \cdot e^{-5.0E-04 \cdot T_m}$	$0.00014 \cdot e^{-4.9E-03 \cdot T_m}$
$1.63 \cdot e^{-6.0E-03 \cdot T_m}$	$0.434 \cdot e^{-9.0E-04 \cdot T_m}$	$0.00009 \cdot e^{-1.3E-02 \cdot T_m}$

※ここに、 T_m ：風化開始後T年経過した土層の任意のm深度における風化開始後の経過年数

の経過年数の増加とともに、内部摩擦角と乾燥土の単位体積重量は減少傾向を示し、逆に、粘着力、間隙率及び飽和透水係数は増加傾向を示す結果となり、それぞれ表-1 に示す近似式で推定可能となった。

5. 自然環境の相違が崩壊発生に及ぼす影響

本研究では、崩壊発生危険度の将来予測(評価)が可能となる「表層崩壊発生危険度将来予測モデル」を提示し、同モデルを多雨地域と非多雨地域に適用し、両地域の崩壊発生危険度(崩壊ポテンシャル)の比較検討を行った。同モデルは、崩壊発生誘因である「降雨の生起確率」と、素因である「土層厚の成長」と「土質特性の時間変化」を加味したモデルであり、1) 雨水流動過程と2) 斜面の安定解析過程の2過程で構成される。

1) 雨水流動過程

雨水流動過程の解析には、「簡易雨水浸透モデル(尾藤, 1999)」を使用した。同モデルでは m 深度の飽和透水係数: $k_s(m, T_m)$ と上位土層からの供給水量: Q_m が常に比較され、 $k_s < Q_m$ の時は $(Q_m - k_s)$ 分の地下水深: H_m が m 深度上に形成されることになる。

2) 斜面の安定解析過程

任意の深度(m)をすべり面と仮定した場合の風化開始 T_m 年後の安全率: $F_s(m, T_m)$ は(4)式で求められる。

$$F_s(m, T_m) = \frac{C(m, T_m) + \{\sigma_t(m, T_m) + \sigma_{sat}(m, T_m) - \angle H_m \cdot \gamma_w\} \cdot \tan \phi(m, T_m) \cdot \cos^2 \beta}{\{\sigma_t(m, T_m) + \sigma_{sat}(m, T_m)\} \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta} \dots (4)$$

風化開始後の経過年数: T_m に応じて表-1 中の近似式で求められる任意の深度(m)の土質定数を設定し、(4)式により深度(m)をすべり面と仮定した場合の安全率を求めた。

降雨量(日雨量)は、「 T 年後に T 年確率の降雨が発生する」ものと仮定して風化開始後の経過年数に応じて与えた。斜面勾配: β を 2.5° 間隔で $30^\circ \sim 40^\circ$ まで変化させた場合の計 5 ケースに対し、風化開始 400 後までの最小安全率: $F_{smin}(m, T_m)$ の経年変化を求めた。

$\beta = 35^\circ$ の場合を例として最小安全率: $F_{smin}(m, T_m)$ の経年変化をとりまとめた図-3 より、確率降雨量(mm/day)には多雨地域と非多雨地域で 2.5 倍以上の差がみられるにも関わらず、最小安全率は風化開始 250 年後まで多雨地域の方が大きな値を示していることがわかる。風化開始 250 年後を境に多雨地域の最小安全率は急激に低下傾向を示し、非多雨地域の値を下回るようになるが、これは

風化開始 250 年後まで分割土層毎に形成されていた多雨地域の地下水深が、250 年後以降、分割土層毎の地下水深が連続することで、有効応力が急激に低下したことによるものである。また、最小安全率が 1.0 を下回り崩壊が発生するのは、非多雨地域では風化開始 110 年後であるのに対し、多雨地域ではそれよりも 140 年も遅い風化開始 250 年後という注目すべき結果となった。また、同図中に併記した難透水層上の安全率を眺めると、両地域ともに最小安全率との間に差がみられる期間が存在することがわかる。特に非多雨地域では、風化開始 240 年後から差が発生し始め、両者の安全率の差は、風化開始後の経過年数の増加とともに増大するという事実が確認された。この事実から、難透水層(面)にすべり面を固定した場合、斜面の安定性を過大評価してしまう危険性が指摘された。

6 おわりに

本研究では、降雨量として日雨量を用いたが、今後は時間雨量を入力条件とすることが可能となるようにモデルに改良を加え、危険降雨波形の検討へと展開していく予定である。同時に、風化開始後の経過年数と土層厚の実測データを充実させることにより、土層厚の成長速度式の精度向上に努めるとともに、本研究で提示した『崩壊発生危険度将来予測モデル』を他地域に対しても適用することによりモデルの汎用性の確認を行う必要がある。

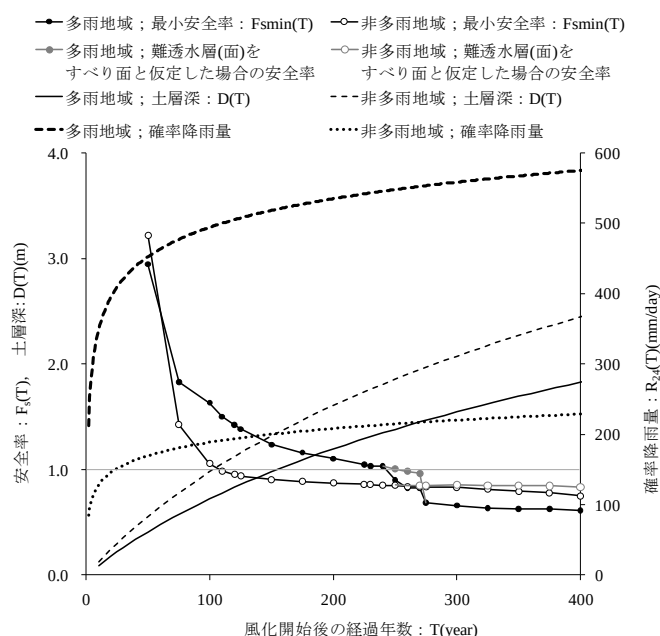


図-3 最小安全率: $F_{smin}(m, T_m)$ の経