

自然環境の相違が表層崩壊に及ぼす影響に関する一考察

信州大学 農学部 ○篠木 秀, 平松 晋也, 福山 泰治朗
天竜川上流事務所 伊藤 仁志, 石田 勝志

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、非多雨地域の方で土砂生産が活発であるといった傾向も見られる。本研究はこのような現状に着目し、非多雨地域として長野県・与田切川流域を、多雨地域として高知県・上改田川流域を取り上げ、両流域における表層崩壊発生危険度を「安全率の期待値」によって評価し、それらを比較することによって、非多雨地域と多雨地域における表層崩壊発生危険度の相違について考察を加えた。

2. 対象流域の概要

非多雨地域として取り上げた与田切川流域は、南信地域の飯島町に位置する天竜川の右支川であり、地質は花崗岩、年間降雨量は1,200～2,700mm程度である。多雨地域として取り上げた上改田川流域は、高知県東部に位置し、地質は砂岩、泥岩、礫岩の中古生層、年間降雨量は1,600～3,800mm程度である。

3. 風化に伴う土質諸元の変化

3.1 風化の進行過程

本研究では、図-1に示すように、「風化」が地表(基岩)面から深部へと進行し、その結果として土層が形成されるものと仮定した。図-1中において、現在の風化土層厚を L_L とした場合、深度:A,B地点における風化開始後の経過年数はそれぞれ(1),(2)式で求められる。

$$T(A)=T_L-T_A \cdots (1), \quad T(B)=T_L-T_B \cdots (2)$$

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、 T_L, T_A, T_B : 土層厚が L_L, L_A, L_B へと成長するために要する経過年数である。任意の深度部における経過年数: $T(\text{year})$ は、土層厚: $L(\text{m})$ を用いて、既往研究: 飯田(1993)より(3)式で求めた。

$$L=Aw \cdot \ln(Bw \cdot T+1.0)+Cw \cdots (3)$$

ここに、 Aw, Bw, Cw は係数であり、非多雨地域に関しては既往研究: 飯田(1993)の値を、多雨地域に関しては大山ら(1999)のデータを用いてそれぞれ表-1のように決定した(図-2)。

3.2 風化に伴う土質諸元の変化

異なる深度で供試体を採取し、(1)～(3)式を用いて深度毎の風化開始後の経過年数を算出した。試体採取深度における風化開始後の経過年数と土質諸元の関係を求めたところ、両流域ともに、粘着力は風化開始後の経過年数との間に明瞭な関係性は見られなかったものの、図-3に示すように、内部摩擦角と乾燥土の単位体積重量は風化開始後の経過年数の増加とともに指数関数的に減少し、逆に、間隙率は増加傾向を示した。非多雨地域と多雨地域での乾燥土の単位体積重量: γ_d, γ_d' は(4),(5)式で、間隙率: n, n' は(6),(7)式で、内部摩擦角: ϕ, ϕ' は(8),(9)式でそれぞれ近似可能となる。

$$\gamma_d=1.48 \cdot e^{-2E-04 \cdot T} \cdots (4), \quad \gamma_d'=1.50 \cdot e^{-3E-04 \cdot T} \cdots (5)$$

$$n=0.48 \cdot e^{1E-04 \cdot T} \cdots (6), \quad n'=0.44 \cdot e^{2E-04 \cdot T} \cdots (7)$$

$$\phi=41.8 \cdot e^{-7E-04 \cdot T} \cdots (8), \quad \phi'=40.4 \cdot e^{-7E-04 \cdot T} \cdots (9)$$

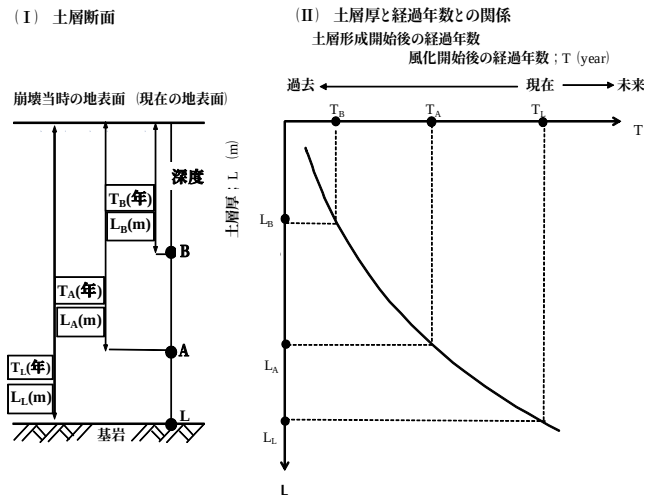


図-1 風化の進行過程

表-1 土層厚の成長速度式における係数

	Aw	Bw	Cw
非多雨地域(花崗岩)	1.00	0.0047	0.15
多雨地域(中古生層)	0.81	0.0047	0.00

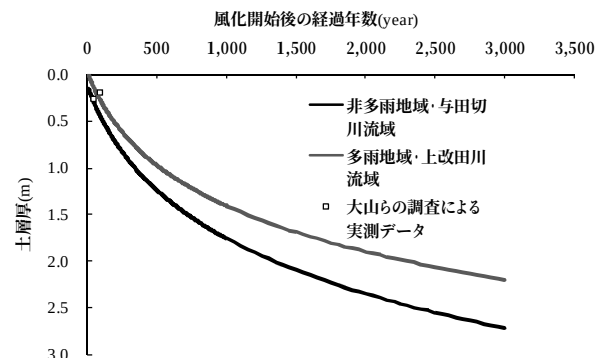


図-2 土層厚の成長速度

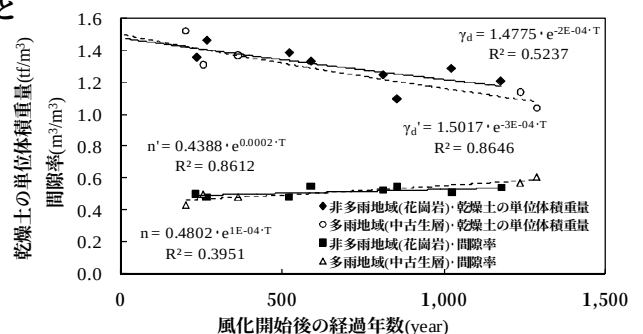


図-3 土壌物理定数と風化開始後の経過年数の関係

4. 自然環境の相違が表層崩壊発生に及ぼす影響

4.1 表層崩壊発生危険度の評価方法

本研究では、「安全率の期待値」を用いて表層崩壊の発生危険度評価を行った。「安全率の期待値」は、風化の進行度合(風化に伴う土質諸元の変化)と降雨の発生確率を加味することによって求められる。具体的には、過去の気象データを基に降雨の発生確率： P_R を算出し、風化開始後 T 年経過した土層に対して、発生確率を加味した降雨量： R を種々変化させることにより、それぞれの降雨に対応した斜面の安全率： F_{SR} を(10)式を用いて算出した。降雨の発生確率： P_R と、斜面の安全率： F_{SR} を(11)式に適用することにより、風化が開始してから T 年後の安全率の期待値を算定できる。種々の風化の進行度合(風化開始後の経過年数)に応じた安全率の期待値を求めることで、表層崩壊発生危険度を評価することが可能となる。

$$F_{SR} = \frac{C(T) + \left[\sum_{n=M+1}^N \{\overline{y_{tn}}(T) \cdot \Delta z_n\} + (\Delta z_M - \Delta H_M) \cdot \overline{y_{tM}}(T) + \sum_{n=1}^M \{\overline{y_n}(T) \cdot \Delta H_n\} + \Delta H_M \cdot \overline{y_M}(T) \right] \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi}{\left[\sum_{n=M+1}^N \{\overline{y_{tn}}(T) \cdot \Delta z_n\} + (\Delta z_M - \Delta H_M) \cdot \overline{y_{tM}}(T) + \sum_{n=1}^M \{\overline{y_{satn}}(T) \cdot \Delta H_n\} + \Delta H_M \cdot \overline{y_{satM}}(T) \right] \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta} \cdots (10)$$

$$F_{SE} = \sum (F_{SR} \times P_R) \cdots (11)$$

4.2 多雨地域と非多雨地域での表層崩壊発生危険度の比較

崩壊発生危険度評価は、1,000 年確率規模までの降雨を対象とし、安全率の期待値の減少度合いが十分に小さくなるまで風化開始後の経過年数を増加させた。斜面傾斜としては、 $30^\circ \sim 50^\circ$ の範囲で 5° ピッチで変化させることにより計 5 ケースを設定した。ここで、すべり面を表土層と難透水層との境界面に固定しているため、土質強度は全ケースにおいて表-2 に示す値を用いた。斜面傾斜： $\beta=35^\circ$ のケースを例として、風化開始後の経過年数の増加に伴う安全率の期待値の変化を示す図-4 より、風化開始後の経過年数が 0~600 年の間は、多雨地域の安全率の期待値は非多雨地域の期待値を上回っており、それ以降は非多雨地域の安全率の期待値が多雨地域の期待値を上回るものの、顕著な差は見られなくなることがわかる。なお、図-4 中には確率降雨量と土層厚の経年変化を併記しており、これらの事実と、多雨地域の確率降雨量が非多雨地域の 2 倍程度大きいという事実とを考え合わせると、多雨地域は非多雨地域と比較して降雨に対する免疫性が極めて大きいということが明らかとなった。また、両流域の土層厚の経年変化に注目すると、風化開始後の経過年数が 0~600 年の間は両流域ともに土層厚が 1.0m 以下とそれほど発達していないにも関わらず、非多雨地域の安全率の期待値は多雨地域に比べ極めて小さい値を示す。風化開始後の経過年数が 600 年以降になると、土層も十分に発達し、多雨地域の安全率の期待値は非多雨地域の期待値と同程度になっている。これらの傾向は斜面勾配に関わらず認められるが、斜面勾配の減少とともに顕著に認められた。これらの事実から、非多雨地域では土層が未発達であっても比較的崩壊が発生しやすく、逆に、多雨地域では土層が十分に発達するまでは崩壊が発生しにくいということが示唆されよう。

表-2 安定計算に使用した土質強度

	内部摩擦角($^\circ$)	粘着力(t/m^2)
非多雨地域(花崗岩)	35.9	0.30
多雨地域(中古生層)	24.8	0.56

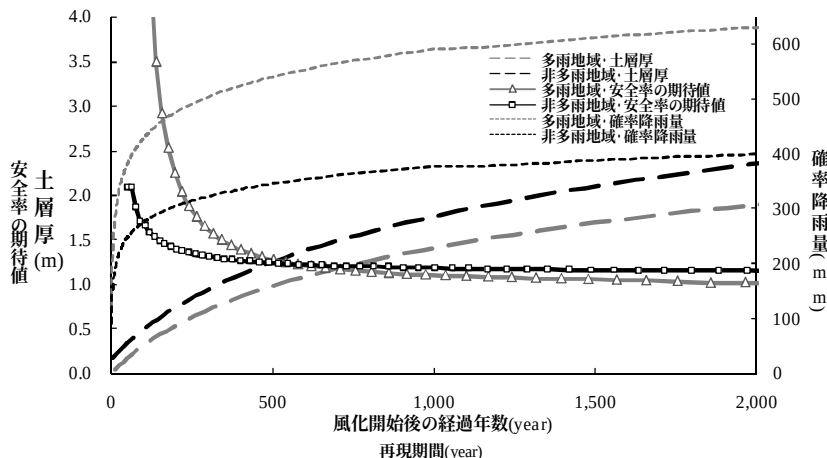


図-4 風化開始後の経過年数の増加に伴う安全率の期待値($\beta=35^\circ$)

5. おわりに

本研究では、土層厚の成長速度式の推定にあたっては、既往研究のデータを用いざるを得なかった。今後は、実際に年代の特定できる既崩壊地で、風化が開始してからの経過年数と土層厚の関係を調べることによって、土層厚の成長速度式の精度を向上させる必要がある。また、本研究ではすべり面を表土層と難透水層との境界面で固定したが、実際には、表土層と難透水層の境界面よりも浅い不飽和領域をすべり面とした崩壊も報告されている。このため、今後はすべり面を変化させることによって、不飽和領域をすべり面とした崩壊にも対応したモデルを構築することにより、再現性並びに汎用性を高める予定である。