

崩壊の発生しやすさに関する多雨地域と非多雨地域での比較

高知大学農学部 ○河本 亜矢子
信州大学農学部 平松 晋也

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。四国内では、多雨地域(太平洋側：高知県)で土砂生産が活発であるといった傾向は認められず、逆に「非多雨地域(瀬戸内側：愛媛県)の方が土砂生産が活発化している」といった状況も見受けられる。本研究は、このような現状に着目し、崩壊素因や誘因の時間変化を加味した「表層崩壊発生(土砂生産)危険度評価モデル」を構築するとともに、四国内における土砂生産環境の相違や変化の原因を解明することを目的として実施した。

2. 対象流域の概要

多雨地域として高知県東部に位置する上改田川流域(0.19km²)を、非多雨地域として愛媛県内の重信川流域内の上宿野谷(0.46km²)を抽出した。上改田川流域の地質は砂岩、泥岩、礫岩であり、流域の大部分をヒノキの人工林が占め、年間降雨量は2,300~2,500mm程度である。上宿野谷流域の地質は主に砂岩であり、流域の大部分はスギとヒノキの人工林によって占められ、年間降雨量は1,600~1,800mm程度である。

3. 土壌物性値の時間変化

3.1 風化の進行過程

本研究では、「風化」は地表(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考えた(図-1)。図-1(I)中の深度：A地点やB地点では土層厚L_A, L_B分が形成された後に風化が開始することになり、各深度部(A, B)における風化開始後の経過年数は(1)~(2)式で求められる。

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

ここに、T(A), T(B)：深度L_A, L_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。任意の深度部での土層形成開始後の経過年数(T：year)は、土層厚(L：m)を用いて(3)式(飯田, 1993；A_w=1.0, B_w=0.004, C_w=0.15)で求めた。L = A_w · Ln(B_w · T + 1.0) + C_w ……(3)

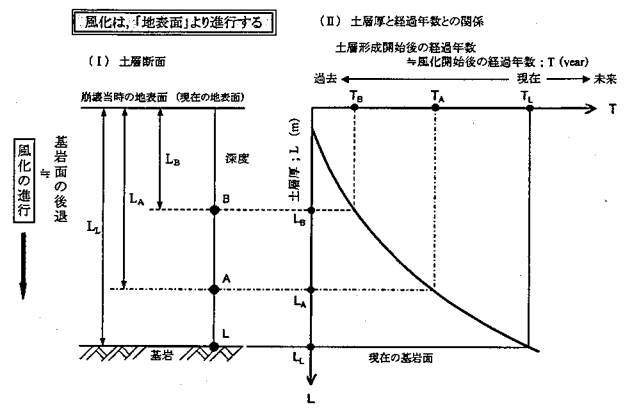


図-1 風化の進行過程

3.2 土壌物理定数と風化開始後の経過年数との関係

土質試験結果より、内部摩擦角：φと深度との間には明瞭な関係は認められないものの、粘着力：Cと間隙率：nは深度の増加とともに減少傾向を示し、逆に乾燥単位体積重量：γ_dは深度の増加とともに増加傾向を示すことが確認された。(1)~(3)式より得られた供試体採取深度部の風化開始後の経過年数と土壌物理定数との関係を求めたところ、両流域とも風化開始後の経過年数の増加とともに乾燥単位体積重量は指数的に減少し、間隙率は指数的に増加する結果となった。多雨地域の乾燥単位体積重量と間隙率は風化開始後の経過年数を用いて(4)~(5)式で、非多雨地域の乾燥単位体積重量と間隙率は(6)~(7)式で表される。

$$\gamma_d = 1.59 \cdot e^{-0.0004 \cdot T} \dots\dots(4), \quad n = 0.42 \cdot e^{0.0004 \cdot T} \dots\dots(5), \quad \gamma_d' = 1.95 \cdot e^{-0.0005 \cdot T} \dots\dots(6), \quad n' = 0.38 \cdot e^{0.0004 \cdot T} \dots\dots(7)$$

ここに、γ_d, γ_{d'}：多雨地域(上改田川流域)と非多雨地域(上宿野谷流域)での乾燥単位体積重量(tf/m³), n, n'：多雨地域と非多雨地域での間隙率(m³/m³)である。

3.3 土質強度と風化開始後の経過年数との関係

土質強度(粘着力)と風化開始後の経過年数との関係を図-2に示す。両流域とも内部摩擦角と風化開始後の経過年数との間には明瞭な関係は認められないものの、粘着力(C：kgf/cm²)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し、風化開始後の経過年数を用いて(8)~(9)式で表すことが可能となる。

$$\text{多雨地域: } C = 0.69 \cdot e^{-0.0022 \cdot T} \dots\dots(8), \quad \text{非多雨地域: } C' = 0.57 \cdot e^{-0.0022 \cdot T} \dots\dots(9)$$

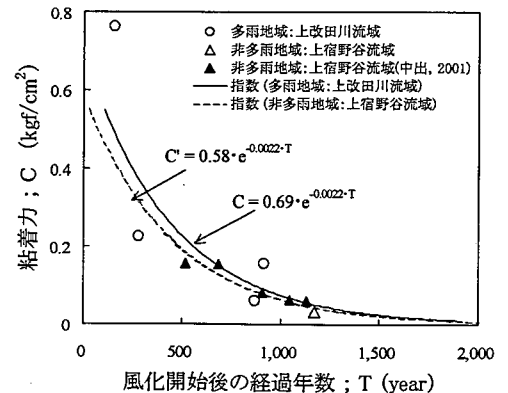


図-2 土質強度(粘着力)と風化開始後の経過年数との関係

4. 表層崩壊発生危険度

4.1 表層崩壊発生危険度評価モデル

「風化開始後の経過年数と土質強度や土壌物理定数といった崩壊発生素因との関係」と崩壊発生誘因となる「降雨の生起確率」とを組み合わせた「崩壊に対する免疫性評価モデル」を提示した。同

モデルの概要を多雨地域の初期土層厚を 2.0m とした場合の計算結果を例として図-3 に示す。時間経過とともに土層厚が成長し((3)式), 日雨量も増加するようになる。同時に土質強度や土壌の物性値も変化し, (10)式で求められる斜面の任意の深度部の安全率:Fs は低下するようになる。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り, この時の降雨量を「崩壊誘発雨量」, 崩壊に至るまでの現在からの経過年数を「斜面安定化指数」とそれぞれ定義した。

$$F_s(z, T) = \frac{C(z, T) + \left[\sum_{n=M+1}^N \overline{\gamma_m(z, T)} \cdot \Delta z_n \right] + (\Delta z_M - \Delta H_M) \cdot \overline{\gamma_m(z, T)} + \left[\sum_{n=1}^M \overline{\gamma_n(z, T)} \cdot \Delta H_n \right] + \Delta H_M \cdot \overline{\gamma_M(z, T)}}{\left[\sum_{n=M+1}^N \overline{\gamma_m(z, T)} \cdot \Delta z_n \right] + (\Delta z_M - \Delta H_M) \cdot \overline{\gamma_m(z, T)} + \left[\sum_{n=1}^M \overline{\gamma_{satM}(z, T)} \cdot \Delta H_n \right] + \Delta H_M \cdot \overline{\gamma_{satM}(z, T)}} \cos^2 \beta \cdot \tan \phi \quad \dots (10)$$

4.2 多雨地域と非多雨地域での崩壊危険度の比較

崩壊発生危険度評価は, 両地域に対して初期土層厚を 1.0 ~ 2.0m へと変化させた場合の 5 パターン, 現在からの経過年数を 0 ~ 2000 年までの 9 パターン設定し, これらを組み合わせた計 90 ケース実施した。各ケースともに, 斜面傾斜を $\beta = 45^\circ$, 初期体積含水率を $\theta_w = 0.2(m^3/m^3)$ と設定した。初期土層厚を 2.0m とした場合を例として最小安全率とすべり面深度との関係を図-4 に示す。両地域とも深度や現在からの経過年数の増加とともに安全率:Fs は減少傾向を示し, 深度 0.9m を境に安全率は回復傾向に転じている。この傾向は全てのケースに対して認められた。初期土層厚を 2.0m とした場合の最小安全率と現在からの経過年数との関係を図-3, 5 に示し, 降雨量の増加にともなう安全率の低下状況を図-6 に示す。両地域とも現在からの経過年数や降雨量の増加とともに安全率は減少し, 崩壊誘発雨量は多雨地域では 646.0mm/day, 非多雨地域では 319.0mm/day と, 両者に 300mm/day 以上もの差が認められた。一方, 斜面安定化指数は, 多雨地域(上改田川流域)では 365 年, 非多雨地域(上宿野谷流域)では 413 年となりこの差は 50 年程度と「崩壊のしやすさ」すなわち土砂生産環境は両地域とも類似する結果となった。この崩壊誘発雨量の差が崩壊に対する免疫性を意味していることとなるため, 多雨地域では非多雨地域と比較して崩壊に対する免疫性が大きいことが明らかとなった。

多雨地域: 初期土層厚; 2.0m

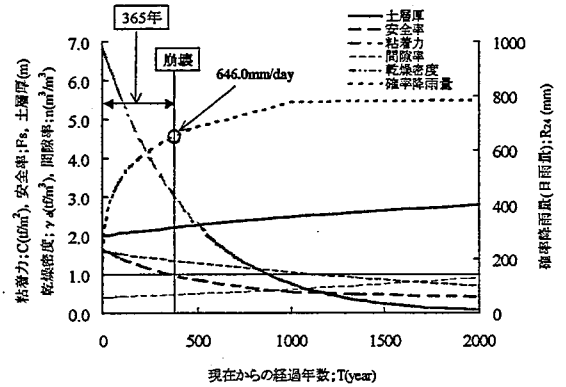
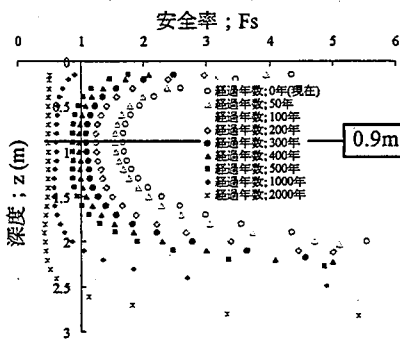


図-3 土質強度と土壌物理定数の時間変化を加味した崩壊発生危険度評価モデル

多雨地域(上改田川流域)



非多雨地域(上宿野谷流域)

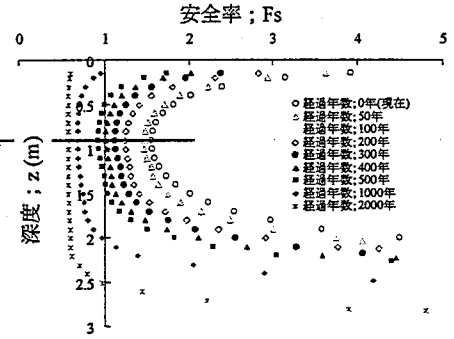


図-4 安全率とすべり面深度との関係

非多雨地域: 初期土層厚; 2.0m

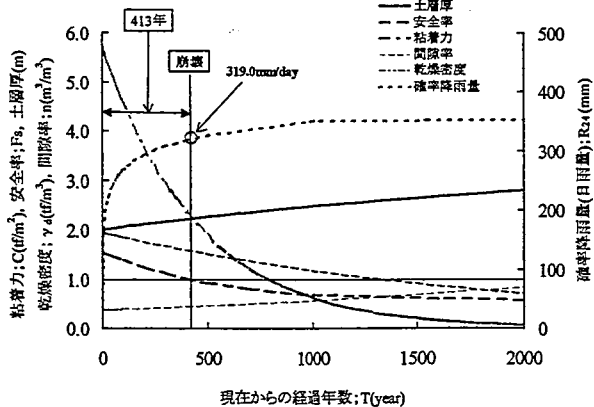


図-5 最小安全率と現在からの経過年数との関係

現在からの経過年数; T (year)

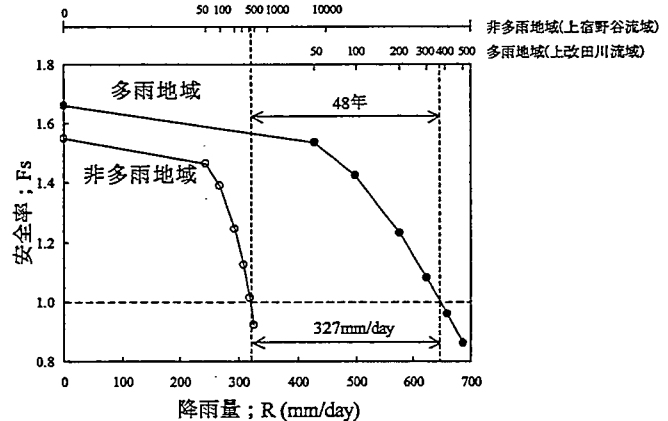


図-6 降雨量の増加にともなう安全率の低下状況

5. おわりに

本研究では土層の成長速度式((3)式)を両地域とも同一として取り扱わざるをえなかった。今後は, 多雨地域・非多雨地域それぞれに対する関係式を構築し, 表層崩壊危険度評価モデルとリンクすることにより同モデルの精度の向上を試みるとともに, 同モデルの他地域への適用の可能性の検討を行う予定である。