

植生を考慮した表層崩壊の特徴と崩壊予測

Features and Predictions of Surface Slope Failure Referring to the Vegetation

稻垣秀輝（いながき ひでき）
株環境地質 代表取締役

平田夏実（ひらた なつみ）
株環境地質 技術部

1. はじめに

表層崩壊は樹木の根が分布する深さ、もしくはそれよりやや深い程度の土層が、降水の浸透とその地下水によって粘着力などの力学的安定性を失い、地表に沿って剥落・滑落などの形で急激に崩れるものである。このタイプの崩壊は我が国に発生している崩壊の55%以上を占めており、降雨の強度や表面地形との関係が深い。しかしながら、地表の植生がいかに斜面の安定に関係しているかを系統立てた研究は少ない。一般的には、植生による斜面安定効果として、降雨の分散や地表の侵食防止、根系による表層の緊縛効果、杭効果が考えられる¹⁾。ここでは、この植生根系の斜面安定効果がほとんど期待できずに崩壊を繰り返す根系層崩壊²⁾についてその特徴を示し、崩壊の繰返し性に注目し、長期的な崩壊予測を行った。

2. 対象地域と解析方法

調査対象地域は、図-1に示した滋賀県南西部、鈴鹿山脈八風街道沿いの地域である。ここには中生代白亜紀の花崗岩が広く分布しており、花崗岩表層付近の風化帶では、図-2に示した様に表層斜面崩壊が多く発生している³⁾。

稻垣（2000）⁴⁾は、この崩壊が花崗岩のオニマサ状風化により、植物根系の下方生長が制限され、表層のごく浅いところに形成される根系層で発生した根系層崩壊であることを示した。

ここでは、この地域の、1963, 1970, 1975, 1982, 1985, 1990, 1995年の合計7時期に撮影された1/10 000～1/20 000の空中写真を用い、写真判読により根系層崩壊の繰返し性や時間的变化を調べた。

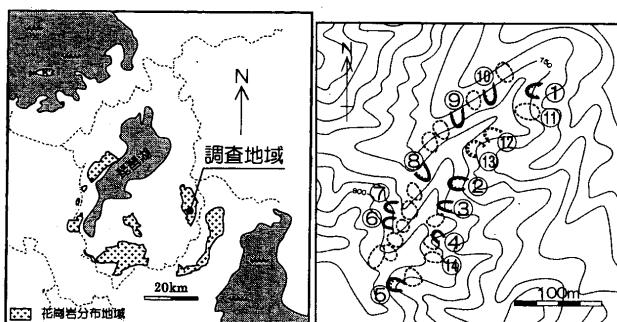


図-1 調査位置図

図-2 調査地域の崩壊状況
(1999年4月)

表層崩壊した箇所では、
崩壊直後は崩壊面が露出
するが、その後、露出し
た崩壊面は風化していく。
そして、植生の侵入やそ
れに伴う土壤化の進行、

	IV	崩壊後、間もない裸地
	III	崩壊地に草本進入
	II	崩壊跡地に木本進入
	I	崩壊跡地に木本定着

より高度な植生の進入という遷移を繰り返し、次第に崩壊面の植生は回復していく。この考え方に基づき、表層崩壊箇所の崩壊度を表-1のように定義し、写真判読による斜面の崩壊度の判定を行った。

各崩壊度に対応する崩壊面の様子や、実際に侵入している植生は、稻垣（2000）⁴⁾の地表調査の結果を考慮すると、崩壊度IVは崩壊後間もない裸地の状態、崩壊度IIIは崩壊面にススキなどの草本が進入している状態、崩壊度IIはアカマツなどの幼木が生育しており、低木程度の木本が侵入している状態、崩壊度IはIIの木本がある程度定着し、周囲の斜面植生と調和的な状態である。

今回、稻垣（2000）⁵⁾に取り上げられている①～⑯の各崩壊地と崩壊跡地（図-2）について、先に定義した崩壊度の時間的变化を調べた。

3. 表層崩壊の繰返し性と植生による斜面の安定度

1963年の空中写真を見ると、調査地域は伐採直後であり、ヒノキの幼木が植樹されている。また、1970年の空中写真では、調査地域に隣接する西部地域が、伐採・植樹後間もない状態である。

表-2には各崩壊地の崩壊度の経時変化を示した。さらに、これらの崩壊度の時間的变化と降雨量や地震のデータをグラフにまとめ図-3に示した。

その際、崩壊した箇所の植生は時間の経過とともに復帰するので、時間が経過したにもかかわらず、崩壊度の上がったものに関しては、それ以前に崩壊が発生していると仮定した。また、崩壊の起きた時期は、特に降雨量の多い時期あるいは地震の起きた時期とした。

図-3より、以下の結果が得られた。

- 崩壊（IV）→やや復帰（III～II）→崩壊（IV）という繰返しのみられる崩壊地は①, ②, ③, ④, ⑫, ⑬である。
- 裸地（IV）→復帰（III→II→I）の確認できる崩壊地は⑪, ⑭である。
- 裸地（IV）から草本侵入（III）までの復帰は2～3年、

表-2 各崩壊の崩壊度

空中写真撮影日		崩壊地点と崩壊度											
年	月日	①	②	③	④	⑪	⑫	⑬	⑭				
1963	11月	II	III	IV	III	IV	IV	IV	II	II			
1970	5/10	II	II	IV	IV	II	III	II	II				
1975	10/21	IV	III	III	IV	II	III	II	I				
1982	10/27	IV	IV	IV	IV	II	IV	II	I				
1985	4/28	IV	III	IV	IV	I	III	II	I				
1990	5/12	III	IV	IV	IV	I	IV	III	I				
1995	6/1	IV	IV	II	II	I	III	IV	I				
1999	4月	IV	IV	IV	IV	I	II	II	I				

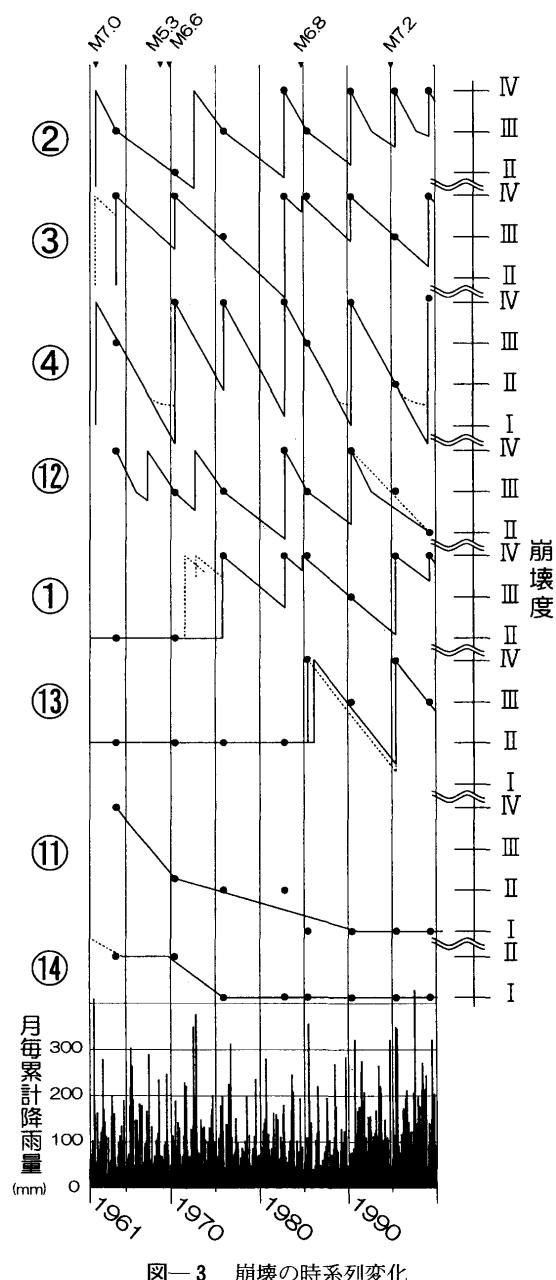


図-3 崩壊の時系列変化

- 裸地から木本侵入（II）までの復帰は7~9年、崩壊後アカマツなど木本定着までおよそ20年かかる。
- 一度崩壊すると崩壊度IV~III、あるいはIV~IIの間で崩壊を繰り返し、その周期は7~9年である。
 - 崩壊から草本侵入までは急速に復帰するが（復帰勾配が急）、斜面は不安定で、軽微なイベント（降雨や地

表-3 崩壊地の形態（1999年4月）

No	幅:W (m)	厚さ:T (m)	傾斜:α (°)	植生	樹林間隔 (m)	胸高直径 (cm)
①	8	0.50	42	ヒノキ	1.5	16
②	7	0.35	43	ヒノキ	1.3	12
③	9	0.40	45	ヒノキ	1.2	10
④	4	0.35	44	ヒノキ	1.1	5
⑤	6	0.30	41	ヒノキ	1.2	10
⑥	5	0.40	42	ヒノキ	1.2	9
⑦	6	0.35	43	ヒノキ	1.1	8
⑧	6	0.35	47	ヒノキ	1.4	13
⑨	6	0.30	45	ヒノキ	1.3	13
⑩	7	0.30	41	ヒノキ	1.2	10
⑪	7	0.35	43	ヒノキ・マツ	1.7	15
平均	7	0.36	43.3	-	1.3	11

震）で崩壊しているようである。

- 木本侵入（II）から木本定着（I）まで、およそ10~20年かかる。

4. 土壤化および花崗岩の緩み風化の速度

今回行った、伐採・植林後36年間の表層崩壊の時間変化では、草本侵入程度の斜面（III~IV）は、たびたび崩壊を繰り返すことはわかったが、木本まで復帰した斜面（I~II）の根系層崩壊の周期性については、読み取ることができなかった。

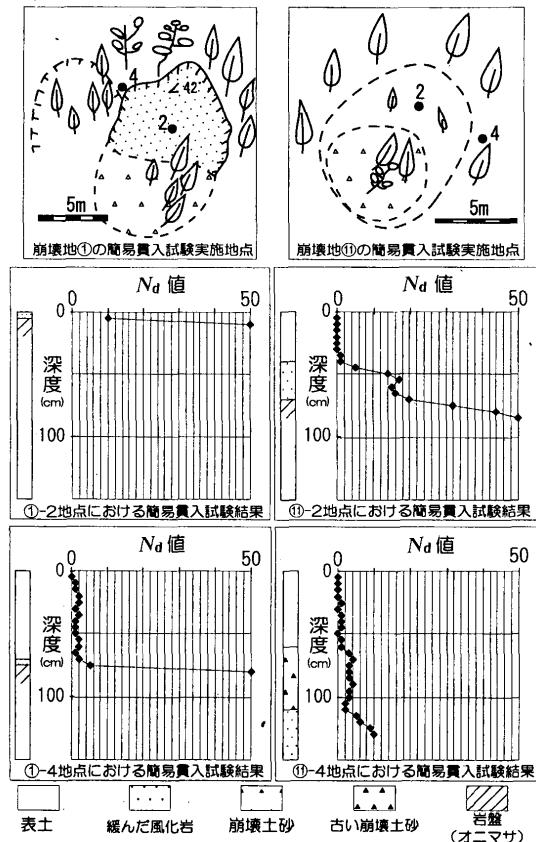
しかし、稻垣（2000）⁴⁾が示したように、本地域のように傾斜40度程度の急斜面において、胸高径10 cm前後の木本植生箇所では、厚さ30~50 cmの表層崩壊が起きており、これは木本植生が定着した斜面における崩壊度Iの根系層崩壊である（表-3）。

また、図-4の⑪崩壊地縁辺地（⑪~4）における簡易貫入試験結果をみてみると、貫入深度60 cmまで N_d 値がきわめて少なく、今後不安定な部分である。さらに、貫入深度60 cmから110 cmの箇所は、それ以浅より N_d 値がやや高い値を示しており、これを斜面の垂直方向の厚みに補正すると約36 cmとなり、本地域の根系層崩壊の厚みとほぼ等しくなる（表-3）。したがって、この N_d 値がやや高い値を示す箇所は、近隣斜面から供給された1サイクル前の根系層崩壊の崩積土である可能性が高く、本地域の地表浅所で起きている根系層崩壊が、繰り返し起きていることを示している。

そこで、ここでは1963年に崩壊度IVであり、現在は崩壊度Iまで植生の復帰している崩壊跡地⑪と、1999年4月の調査で崩壊（IV）していた崩壊地⑪とを比較し、表層地盤の土壤化やオニマサの緩み風化の進行について検討する。

図-4に示した、崩壊地⑪と⑪の崩壊面の簡易貫入試験の結果に注目する。崩壊地⑪と⑪は隣接する斜面であり、地形・地質条件はほぼ同様と考えてよい（図-2、表-3）。したがって、1963年に裸地であった崩壊地⑪は、当時、現在の崩壊地⑪と同じ状態であったと仮定すると、崩壊直後は⑪~2の状態で表土厚0 cm、オニマサの緩み風化厚は5 cmであった崩壊面が、その36年後

論 文

図-4 崩壊地①・⑪における簡易貫入試験と実施位置⁴⁾

⑪-2の状態である表土厚40 cm、オニマサの緩み風化厚30 cmへと変化したことになる。つまり、図-5に示したとおり36年で40 cmの表土が形成され、オニマサの緩み風化が25 cm進行したことになり、表土形成は1.1 cm/年、オニマサの緩み風化は0.7 cm/年で進行する。簡易貫入試験は鉛直方向に行っているので、斜面に垂直な方向に補正すると、表土形成が0.8 cm/年、オニマサ緩み風化が0.5 cm/年で進行し、表層は年間1.3 cmずつ形成されていくことがわかった。

上記の表層形成速度が本地域の一般的な値だとすれば、この地域の平均表層崩壊厚36 cm（表-3）を形成するには、およそ36/1.3=28年かかることになる。図-3の⑪や⑭で示されているように、前回の崩壊から30年程度経過すると、その崩壊面は崩壊度Iまで植生が復帰している。

しかしながら、このように崩壊度Iまで植生が復帰し、そこに生育する植生の胸高直径が10 cm程度の一見安定したかのようにみえる斜面も、風化花崗岩地盤では根系の下方の発達が阻害されているため、再崩壊する危険性があることを示している。

つぎに、図-6は空中写真を用い、その裸地の面積比率の時間変化を示したものである。これをみると、

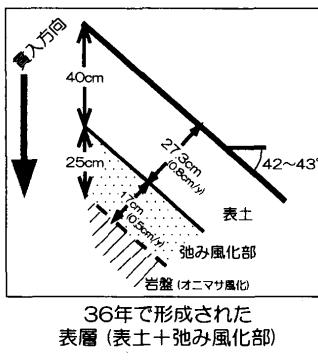


図-5 36年で形成された表土

裸地面積比率変化

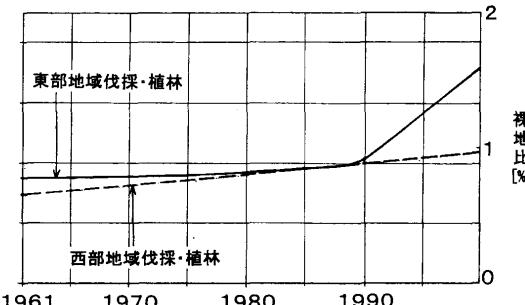


図-6 東・西両地域における裸地面積比率の時間変化

1963年に伐採・植林直後であった東側は、32年後の1995年に裸地が急増している。一方、1970年に伐採・植林直後であった西側にはそのような裸地の急増はみられない。これは、3章で示したような短周期の崩壊以外に、4章で述べたような、植林後30年程度経過した木本植生に覆われた斜面が、植生重量と根系の未発達のアンバランスの結果、根系層崩壊に対し不安定となり始め、崩壊したものと考えている。

5. まとめ

今回、風化花崗岩地盤での根系層崩壊について、1963, 1970, 1975, 1982, 1985, 1990, 1995年の空中写真判読を行なった結果、以下のことが明らかとなった。

- 風化花崗岩地域では、崩壊（IV）から草本侵入（III）までの復帰は2~3年、崩壊から木本侵入（II）までの復帰は7~9年、崩壊後木本定着までおよそ20年かかる。
- 一度崩壊すると崩壊度IV~III、あるいはIV~IIの間で崩壊を繰り返し、その周期は7~9年である。
- 崩壊から草本侵入までは急速に復帰するが（復帰勾配が急）、斜面は不安定で、軽微なイベント（降雨や地震）で崩壊しているようである。
- 木本侵入（II）から木本定着（I）まで、およそ10~20年かかる。
- 崩壊面から約30年程度経過し、一見安定化したようにみえる斜面も、再び根系層崩壊する危険性が高い。
- 本地域において、表土形成は0.8 cm/年、オニマサ緩み風化は0.5 cm/年での速度で進行している。

参考文献

- 1) 稲垣秀輝：根系による表層斜面災害の防止効果と限界について、愛媛大学創立50周年記念シンポジウム「斜面崩壊と地すべりの諸問題」論文集, pp. 78~88, 1999.
- 2) 稲垣秀輝：1998年台風4号による福島県白河地方での表層崩壊の特徴、応用地質, Vol. 40, No. 5, pp. 306~315, 1999.
- 3) INAGAKI, H. and YUNOHARA, T.: An estimation of slope failures based on erosion front and weathering front, IS Shikoku 99, ISSMGE, pp. 1269~1274, 1999.
- 4) 稲垣秀輝：滋賀県南部に分布する風化花崗岩の表層崩壊の特徴、応用地質, Vol. 41, No. 2, pp. 103~112, 2000.
- 5) 稲垣秀輝・平田夏実：風化花崗岩地盤における根系層崩壊の特徴、応用地質学会平成12年度研究発表会講演論文集, pp. 49~52, 2000.

(原稿受理 2001.5.17)