

根系層崩壊

Slope Failure along Lateral Roots Layer of Plants

稲垣 秀輝 (いながき ひでき)

㈱環境地質 代表取締役

1. はじめに

1998年8月の台風4号の豪雨は、福島県南部（白河地区）から栃木県北部にかけて死者8名を出す斜面崩壊を発生させた。この斜面崩壊で特徴的であったことは、厚さ1m未満の根系を含む表層だけが崩壊し（口絵写真-1）、崩壊面には割れ目がほとんど認められない弱溶結火砕流堆積物が露出し、ここには根系の付着が全く認められない（口絵写真-2）ことであった¹⁾。

同年9月の台風7号の豪雨では、滋賀県南東部の鈴鹿山脈風化花崗岩露出地域で同様な表層崩壊が発生していた（口絵写真-3, 4）²⁾。これらの表層崩壊は特殊な地盤状況で発生する“根系層崩壊”¹⁾であり、本論文ではその地形・地質的特徴と地盤工学的取扱い方についてまとめた。

2. 根系層崩壊の特徴

一般に森林植生は、図-1に示したように山腹の土層中に強じんな根系を網を広げたように、また、大小さまざまな杭を打ったように張っている。このことは、山腹斜面の土壌抵抗力の増加に大きくかかわっている。それに対して、根系層崩壊とは図-2に示したとおり、稲垣

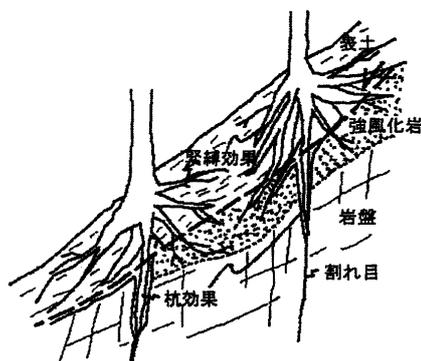


図-1 植生の根系による崩壊防止効果の概要図

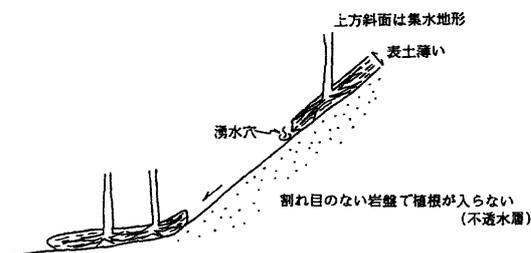


図-2 根系層崩壊概念図

(2000)¹⁾が命名した表層崩壊の1形態である。根系層崩壊の特徴は、①崩壊厚さが1m未満ときわめて薄いこと、②斜面傾斜が40°前後と急であること、③表流水や地下水が集まりやすい地形・地質で生じること、④根系のある表層の直下に岩盤が分布し、簡易動的コーン貫入試験によるコーン貫入抵抗 N_c 値が2以下から50以上に急変すること、⑤表層直下の岩盤に根系が入り込む割れ目がないこと、⑥崩土内の立木が立ったままで崩土全体が速い速度で流下する等である。

したがって、根系層崩壊は表層崩壊の中でも、その崩壊土層の内部構造が根系より緊縛された表土からなるものをいい、斜面崩壊に対する植生の関与を意味したことばとして用いている。

また、崩壊の内部構造やその直下の地盤の構造を明確にしたことで、その崩壊の原因や対策を考えるうえで大変有用となる名称であると考えている。現在までに、発生した多くの表層崩壊の個々の事例について詳しく調べていないため明確なことは言えないが、表層崩壊のかなりの部分は根系層崩壊ではないかと考えている。

例えば、滋賀県に分布するオニマサ状の風化花崗岩での表層崩壊については、稲垣 (2000)²⁾が根系層崩壊であることを確かめている。また、関東地方に広く分布している土丹など岩盤内にほとんど割れ目がなく、根の進入を許さない固さのある塊状の泥岩（口絵写真-5）や、斜面と平行した一枚岩の地盤や人工の切土法面（口絵写真-6）でも根系層崩壊が発生している。これらの根系層崩壊は豪雨によるだけでなく、稲垣 (2001)³⁾によると2000年7月の神津島での三宅島火山活動に関連した地震の際にも、弱溶結火砕流地盤の急斜面で発生していた（口絵写真-7）。さらに、タイのコラート高原の熱帯雨林伐採跡ではフタバガキの2次林内で緩斜面であるにもかかわらず、雨期の急激な表流水によって厚さ30cm程度の根系層が流出して、そこには全く割れ目のない固い砂岩が露出していた（口絵写真-8）。つまり、根系層崩壊はこのような特有の植生根系の内部構造を持つ地盤特性があれば、豪雨や表流水、地震力のような著しい外力に際して発生するものであり、先に述べた根系層崩壊の特徴である急斜面や水の集中は絶対条件ではないと考えている。

さらに、一度根系層崩壊が生じた斜面については、滑落面にほとんど割れ目のない岩盤が露出するため、植生の復帰による斜面安定が期待できず、その後同様の表層

論 文

崩壊が繰り返されることになり⁴⁾、大きな問題となっている。

3. 弱溶結火砕流地盤での根系層崩壊

福島県白河地方で1998年8月の台風4号により多くの根系層崩壊が発生した。この流動性の高い斜面崩壊は根系が板状体で、ここで発生した根系層崩壊は崩壊幅10~20 m程度、崩壊長さ10~30 m程度の小~中規模のものが多く、崩壊厚さが1 m未満(平均53.3 cm)ときわめて薄く、斜面崩壊が40°前後と急なところで発生している。また、崩壊の発生した地表植生はコナラ等の広葉樹やスギ等の植林であり、表層直下の岩盤は根系が入り込む割れ目がない弱溶結火砕流堆積物である。崩壊した崩土は立木を載せたまま下方に容易に流下しやすく、崩土の運搬距離は70 mに達するものがあり、最終的にはほぼ傾斜0°の平坦地まで達して停止している。崩壊箇所は表流水や地下水が集まりやすい地形や基盤形状の箇所が多く、現地でも崩壊滑落崖に湧水穴を伴うことが多かった。

典型的な根系層崩壊状況を図-3に示す。これによると、根系層崩壊した基盤の崩壊面には弱溶結の第四紀更新世である白河火砕流堆積物が分布している。この岩盤はハンマーの打撃で鈍い音を発するが、塊状で岩自体はほとんど割れ目を含まないという特徴をもっており、根系は全く認められない。それに対して、その直上に分布する表土は薄く、多数の根系が認められた。つまり、表

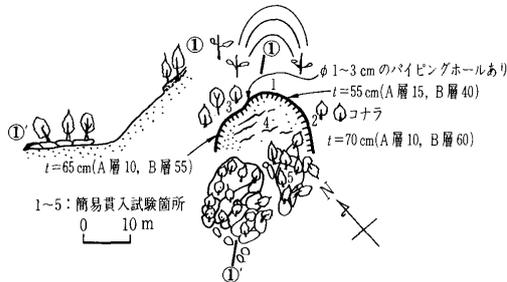


図-3 白河地区の崩壊状況図

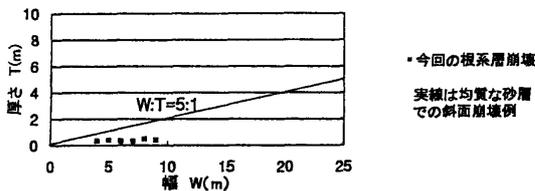


図-4 崩壊幅と厚さとの関係

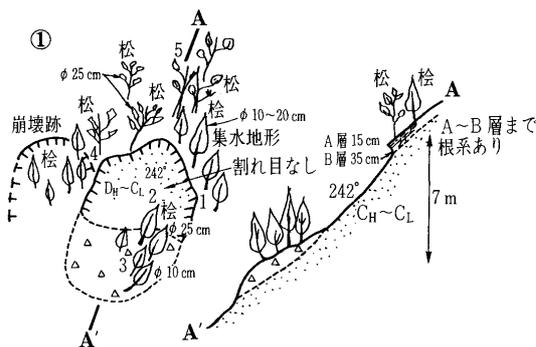


図-5 鈴鹿山脈の根系層崩壊状況

土をしっかり緊縛している根系は岩盤直上で横に広がり、下方の岩盤内には全く入り込んでいない。結果的に崩壊は根系の杭効果が全く期待できない岩盤直上で斜面沿いに延びた根系下面で発生している。

4. 風化花崗岩地盤での根系層崩壊

鈴鹿山脈に広く分布する花崗岩地域では、1998年9月の豪雨で発生したと考えられる多くの斜面表層崩壊が認められた(口絵写真-3)。この表層崩壊は厚さ1 m未満の根系を含む表土だけの崩壊が多く、図-4⁵⁾に示したとおり、均質の砂地盤で発生している表層崩壊と比較して明らかに崩壊層厚が規制されているのがわかる。崩壊面には割れ目のほとんどない風化花崗岩が露出しており、根系の付着は全く認められない根系層崩壊であった(口絵写真-4)。また、同じ花崗岩が露出する田上山地太神山付近の原生林では巨木が多く、地盤特性も表土が厚く、その下位に粘土状-砂状に風化した花崗岩が分布していることにより根系の発達がよく、このためここでは表層崩壊は発生していない。これらの両地区を比較し、根系層崩壊の発生する地盤特性を調べた。

図-5は鈴鹿山脈での根系層崩壊の状況であり、図-6はその地盤状況である。それに対して、図-7には根

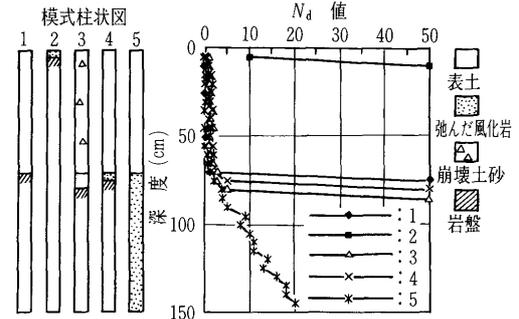


図-6 鈴鹿山脈での簡易貫入試験結果

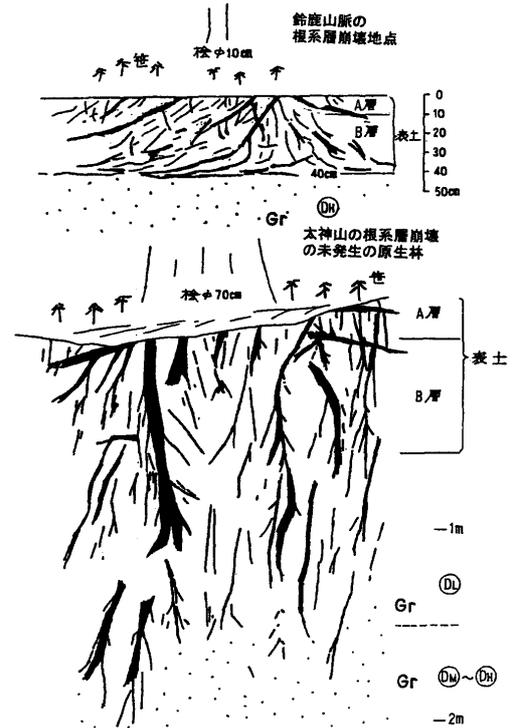


図-7 滋賀県南西部での風化花崗岩での根系の発達状況

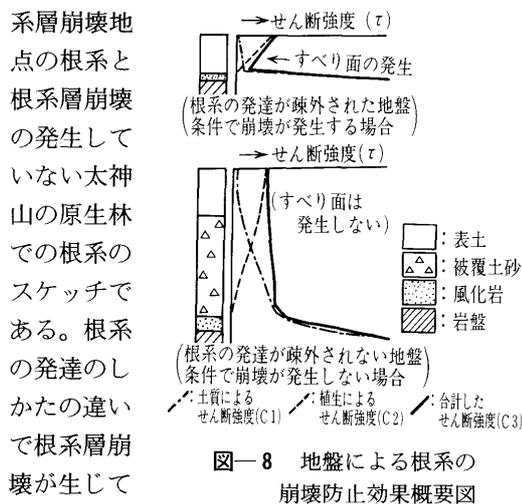


図-8 地盤による根系の崩壊防止効果概要図

よくわかる。

5. 根系層崩壊の地盤工学的取扱い

最後に、植生の斜面安定効果の工学的な取組みとして以下のことを試みた。一般に根系による斜面崩壊の防止効果は、根系による緊縛効果と杭効果が主なものである。仮に地盤の斜面強度 (C3) を植生の根系強度 (C1) と土質自体のNd値から推定した強度 (C2) とを合計したものと仮定すると、斜面表層のすべりに対する安定性は模式的に図-8のとおりと考えられる⁶⁾。根系の深度方向の発達が阻害されるような地盤では、せん断強度の低下するすべり面が岩盤直上に出現するため、根系層崩壊が生じるのではないかと考えている。試みとして、白河地区の簡易貫入試験結果とその付近の根系のスケッチによる岩盤の含根率から、地盤のせん断強度を求めてみた。この際、C1は八木ほか (1993)⁷⁾の浸水時の含根率と粘着力の関係から求め、C2は表土を粘性土と考え、 $C2 = 0.06 \times 98.1 N_d$ ⁸⁾として求めた。結果は図-9に示したとおりであり、根系層の直下に地盤のせん断強度 (C3) の低下箇所が発生している。さらに、滋賀県の風化花崗岩地盤における根系層崩壊地点での例を図-10、原生林での例を図-11に示した。土壌の発達した原生林では、根系を含めた総合的な地盤のせん断強度 (C3) は深度方向での低下箇所がほとんど認められないが、土壌の発達しない根系層崩壊地点では白河地区の例と同様にC3の低下箇所が発生している。

植生根系のこれらの斜面安定効果や森林の持つ公益的環境保全機能を期待し、法面安定工法として樹木を残した鉄筋挿入補強土工法⁹⁾なども考案されている。現時点では根系強度を補助的に考慮しているが、さらに積極的に工学的な対策工法として検討していくことも重要である。

6. まとめ

本論文では、表層斜面安定について根系の役割が大きく、植生根系の強度が発揮できない特殊な地盤条件では根系層崩壊が生じることを示した。しかしながら、根系

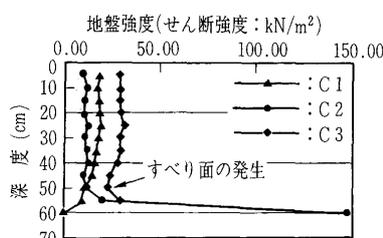


図-9 根系を考慮した地盤強度図

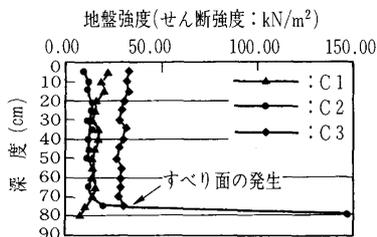


図-10 土壌の発達の悪い根系層崩壊の発生した地区での根系を考慮した地盤強度結果

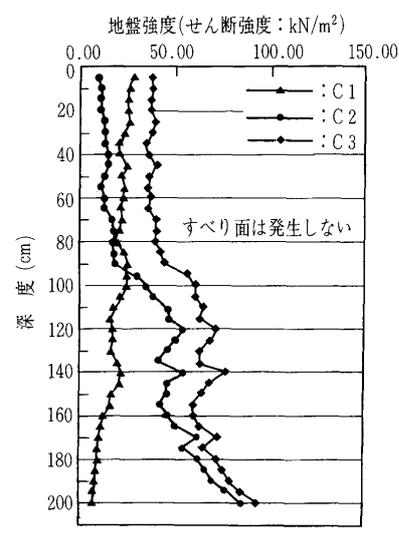


図-11 土壌の発達の良い原生林地区での根系を考慮した地盤強度結果

層崩壊の発生メカニズムについては不明な点もあり、今後の大きな課題である。

森林の根系は崩壊の防止に役立つだけでなく、樹木をはじめとする地表植生、落葉・落枝などにより雨滴衝撃、地表流水に対する保護効果が期待できる。また、生態系をはじめ多面的に環境保全効果の大きい森林の整備によって地域全体での斜面の安定を図ることが益々重要となってきており、その効果の及ばない根系層崩壊についての認識がますます重要となる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 稲垣秀輝：滋賀県南西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.
- 3) 稲垣秀輝：神津島の地形・地質的特徴と2000年7月火山性地震による被災状況，土と基礎，Vol. 49, No. 42, pp. 27～29, 2001.
- 4) 稲垣秀輝・平田夏実：植生を考慮した表層崩壊の特徴と崩壊予測，土と基礎，Vol. 50, No. 1, pp. 22～24, 2002.
- 5) 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.
- 6) 稲垣秀輝：表層斜面崩壊に対する根系の効果と工学的取扱い，第3回地盤工学における生態系を考慮した環境評価に関するフォーラム発表論文集，(社)地盤工学会，pp. 35～42, 2000.
- 7) 八木則男ほか：根系により補強された土の現地せん断特性，第28回土質工学研究発表会講演集，pp. 2119～2120, 1993.
- 8) 地盤工学会編：地盤調査法，pp. 208～212, 1998.
- 9) 中村浩之ほか：樹木を保全した新しい斜面安定工法について，第4回地盤工学における生態系を考慮した環境評価に関するフォーラム発表論文集，(社)地盤工学会，pp. 25～30, 2001.
- 10) 武田一夫ほか：斜面表層崩壊に対するミヤコザサ地下茎の補強効果，日録工誌，Vol. 26, No. 3, pp. 198～208, 2001.

(原稿受理 2001.6.12)