

台風被害地における崩壊危険度の評価と植生回復

牧本 卓史

Estimation of risk factors of slope collapse and regeneration process
on stands damaged by typhoon

Takushi MAKIMOTO

要 旨

牧本 卓史：台風被害地における崩壊危険度の評価と植生回復 岡山県林試研報25：1～11 2009 2004年の台風第23号による風倒木被害地等で、2006年7月の豪雨で崩壊した斜面109箇所を調査し、崩壊の危険性が高い林分の判定を行うための方法を検討した。調査した109箇所の崩壊地のうち約74%が風倒木被害地であり、風倒木被害地ではその後の豪雨等による崩壊の危険度が高まっていると考えられた。調査した崩壊地の傾斜は全て36°以上であり、多くが40°以上に集中していた。崩壊地で実施した地下流水音調査では、多くの崩壊地で水みちの存在する可能性が確認され、地中水が崩壊に強く関与していることが示唆された。また、10m程度の狭い間隔で複数の水みちが存在する場合、一連の崩壊規模が大きくなる可能性があると考えられた。崩壊地近傍の未崩壊部分で実施した簡易貫入試験では、花崗岩地帯の7箇所で土壌の堅密度がその上下に比して著しく軟弱な層の存在が確認された。詳細な地形測量と簡易貫入試験の結果から推定された水みちの直上の崩壊土壌厚と、軟弱層の深さは比較的良く合致し、水みちと軟弱層が同所的に存在する斜面では、水みちから拡大する飽和水が軟弱層に達した時点で、その層を滑り面として崩壊するのではないかと考えられた。風倒木被害地における天然更新は、どの調査地点においても比較的良好に推移していると考えられ、極めて更新状況が不良であるような林分は確認されなかった。

キーワード：台風、風倒木、斜面崩壊、水みち、植生回復

I はじめに

2004年は、中国地方への台風の接近数（各県の気象官署から300km以内への接近）が9（平年値2.6）と、非常に台風被害の多い年であった（気象庁HP, 気象統計情報ページより）。特に、10月20日に中国地方に最接近した台風第23号は、津山市の観測地点における最大瞬間風速50.4m/sを記録し、県北を中心に激甚な森林被害をもたらした。台風による森林への直接的な被害は、林木の風倒や折損等による地上植生の破壊という点において最も顕著であり、5,400haを超える風倒木被害による経済的損失は60億円を超えるとされた（21世紀おかやまの新しい森育成指針検討委員会 2005）。

風倒木被害地は、地表土壌の攪乱や、倒木による斜面の重量バランスの不安定化等の点で、皆伐や山火事による無林木地とは、斜面崩壊の危険度に係る条件を異にす

ると考えられる。これらの条件が、崩壊の起こりやすさにどの程度影響するのかが明らかにされていない。また、風倒木が残った斜面の崩壊は、裸地における土壌のみの崩壊と比べて、流出土砂に倒木が混入するという点で、大きな土砂災害になる可能性が高い。しかし、風倒木被害地のうち、どのような斜面で崩壊の危険度が高いのか、明確な知見と判定基準がないため、限られた時間と経費の中で、どういった斜面で優先的に対策を講じればいいのか、といった判断は非常に難しいと言える。したがって、2004年のように、広範囲にわたって同時多発的に風倒木被害林が生じた場合、できるだけ時間と労力、コストをかけずに斜面崩壊の危険度が高い被災地を抽出する手法の開発が強く求められている。

斜面崩壊に係る諸因子は、地質・土壌、微地形、植生タイプや地上部の生体量、降雨強度等多岐にわたり、か

つ複雑に絡み合っている。崩壊危険地を判定する手法としては、「山地災害危険地区調査要領」（林野庁 2006）が全国的に適用されている。また、黒川（2002, 2006）は物理則モデルを用いた崩壊危険地区の判定方法を開発した。これらの方法によって危険とされる斜面は、風倒木被害地にも当てはまる場合が多いと考えられる。しかし、予測に供する因子の中に風倒木被害地の表面攪乱状況等の特性が考慮されているものではなく、また多くの調査や解析を要するなど、本研究が目的とするような、簡易で迅速な判定手法としてそのまま適用できるものではないと考えられる。仮に、任意のある斜面で詳細な地盤調査を実施しても崩壊危険度を正確に把握することは非常に困難である。さらに、崩壊の危険度を相対的に評価したとしても、その発生時期を正確に予測したり崩壊の引き金となる降雨強度を判断することは、現在我々が持ち得る知見では事実上不可能であるといえる。

本研究は、風倒木被害等のように大規模な攪乱により崩壊の危険度が増していると考えられ、かつ人家、河川、耕作地等に被害を及ぼすおそれのある、いわゆる治山の措置が必要な山腹斜面の相対的な崩壊危険度を判定し、対策の優先度を決定する判断基準を設けるための比較的簡易な手法を確立することを目的とした。

崩壊危険度が増している風倒木被害地でも、崩壊しないまま年月を経過するうちに植生が回復すれば、崩壊の危険度は相対的に漸減していくと考えられる。むしろ大多数の崩壊危険度の低い林分では、何らかの二次林が成立すると思われる。しかし、比較的崩壊の危険度が高いが、直ちに治山措置を講ずる程でもない場合、しかもその斜面が表面浸食や小さな崩壊を繰り返し起こすようなおそれがある場合、早期の植生回復により土砂流出防止機能を少しでも高める方法があれば、復旧をより効率的に行うことができる。また、仮に植生回復が著しく遅いか、高木性樹種による二次林の再生が困難であるような林分があるとすれば、植栽等による復旧を検討しなければならない。しかし風倒木の片付けが行えないような林分では、通常の新規植栽も困難である場合が多いと考えられ、植生復旧には低コストかつ簡易に行える方法が求められる。

本研究では、被災木の搬出を行っていない風倒木被害林分において、風倒木被害後4年目の植生回復状況を調べた。

なお、本研究は2007～2009年度試験研究課題「台風被害地の崩壊危険地及び更新方法判定技術の開発」で取り組んだものである。

II 調査地と方法

1 崩壊危険地判定

(1) 崩壊地の概況調査

2006年7月17日から19日の3日間、断続的に降り続いた豪雨は、県北部を中心に非常に多くの土砂災害をもたらした。本研究では、この3日間に崩壊した斜面の中から崩壊前に人工林が成立していた109箇所をランダムに選び出し、まず地形図等の資料と外観による事前調査を行った。資料調査では、崩壊前の斜面の傾斜及び斜面方位を地形図から読み取れる範囲で計測した。外観調査では、現地でスケッチした崩壊地の形状に、崩壊高さ、崩壊幅等をコンパス内蔵の光波距離計（MDL社製、レーザーエース300）で形状が概ね再現できるように測定、記録し、持ち帰って地形図に転写して面積を計測した。調査の進行と同時に復旧作業が進められるため、このうち全ての調査の間に合った69箇所を、第一次の解析対象とした（表-1）。

(2) 崩壊地の詳細調査

前出の69箇所のうち、20箇所の崩壊地を抽出し、漏水探知器（フジテコム製、HG-10AII、図-1）による地下流水音探査、簡易貫入試験器（筑波丸東製、図-2）を用いた土壌堅密度の垂直分布状況調査及び光波則距離儀（ソキア製、トータルステーションシステムSet530RS、以下TSSと呼ぶ）を用いた地形測量を実施した。

水みちの探索は、Tada et al (2005)、多田ら（2007）及び多田（2008a, b）等の方法に従い、崩壊地の斜面を崩壊面を横断する形で等高線に沿って1m間隔で漏水探知器が示す最大触れ値を記録した。8W/m²以上の数値で表れたピークの直下に水みちが存在すると判断した。また、崩壊地で水みちが確認されなかった斜面においては、崩壊地直上の未崩壊地で同様の調査を行った。

小山内ら（2005）は、斜面における簡易貫入試験により、崩壊のおそれのある土壌層厚の推定を試みた。本研究では、同様の簡易貫入試験を実施し、崩壊地内では現況地表面から基岩までの深さを測定するために、崩壊地周辺では崩壊前の土壌の堅密度の垂直分布を知るための参考とした。調査点は、水みち調査の測線に沿って未崩壊地点、崩壊地内及び水みちの直上が入る形で概ね5m間隔とした。打撃1回毎のコーンの貫入量を記録し、10回の打撃による貫入量が2cm以下になった時点（Nc値50以上）で基岩に到達したと判断した。

Nc値は、貫入試験器の先端のコーンが10cm貫入するのに要する打撃回数の中で、打撃1回当たりの貫入量（cm）を10で除した値の逆数となる。解析にあたっては、通常、打撃10回毎のNc値をグラフ化して解析するのが一般的であるが、それでは薄い層厚の状況を細かく把握するのが困難であるため、打撃1回毎の値をそのままNc値

表一 概況調査地の概要

調査地点名	林木の状態	平均傾度 (°)	崩壊面積 (㎡)	最大崩壊幅 (m)	最大崩壊長 (m)
備前市1	生立木	42.1	40.9	10.2	6.2
備前市2	生立木	40.1	1435.8	19.8	112.1
赤磐市	生立木	48.9	61.7	12.1	7.9
和気町	生立木	40.1	302.4	20.5	22.8
玉野市	生立木	38.0	35.1	6.7	8.1
総社市1	生立木	44.6	28.9	7.1	6.3
総社市2	生立木	42.2	69.3	14.3	7.5
高梁市1	風倒木	43.7	708.2	22.1	49.6
高梁市2	風倒木	42.7	338.7	16.8	31.2
高梁市3	風倒木	43.2	1843.2	17.0	167.8
新見市1	風倒木	37.9	1909.4	52.1	56.6
新見市2	風倒木搬出済	38.5	151.7	7.3	32.1
新見市3	生立木	44.9	878.1	32.3	42.1
新見市4	生立木	39.4	33.0	9.1	5.6
新見市5	生立木	50.9	2497.9	56.4	68.7
新見市6	生立木	38.8	17.8	5.4	5.1
津山市1	風倒木	39.1	3624.6	62.3	89.9
津山市2	風倒木	40.2	5887.7	98.4	92.5
津山市3	風倒木	36.4	604.1	29.6	31.5
津山市4	風倒木	41.2	3157.2	59.4	82.2
津山市5	風倒木	36.1	2162.8	42.3	78.9
津山市6	風倒木	43.1	1311.6	26.5	76.6
津山市7	風倒木	43.5	1042.7	30.8	52.4
津山市8	風倒木	42.1	351.1	12.4	43.8
津山市9	生立木	41.2	77.9	13.1	9.2
津山市10	風倒木	43.5	7647.8	62.4	189.7
津山市11	風倒木	44.7	3089.6	55.5	86.2
津山市12	風倒木	41.5	4783.6	63.4	116.7
津山市13	風倒木搬出済	43.1	6134.3	102.3	92.8
美咲町1	生立木	40.8	398.7	13.2	46.7
美咲町2	生立木	44.5	445.6	18.4	37.5
鏡野町1	風倒木搬出済	47.9	163.4	12.0	21.1
鏡野町2	風倒木	49.5	830.8	30.6	42.1
真庭市1	風倒木	45.2	429.4	14.3	46.5
真庭市2	風倒木搬出済	41.3	181.0	12.5	22.4
真庭市3	風倒木	40.3	479.3	22.8	32.5
真庭市4	風倒木	39.8	2372.3	23.4	156.7
真庭市5	風倒木	38.5	888.6	16.7	82.2
真庭市6	風倒木	37.7	338.3	21.5	24.3
真庭市7	風倒木	42.5	435.0	21.3	31.6
真庭市8	風倒木	46.6	6877.4	42.1	253.1
真庭市9	風倒木	50.3	336.4	23.5	22.2
真庭市10	風倒木	38.8	231.6	15.1	23.7
真庭市11	風倒木	44.2	623.0	42.3	22.8
真庭市12	風倒木	39.1	281.9	16.5	26.4
真庭市13	風倒木	43.7	1407.3	23.1	94.3
真庭市14	風倒木	44.4	354.7	14.3	38.4
真庭市15	生立木	40.6	1127.2	18.6	93.7
真庭市16	生立木	41.5	700.5	21.8	49.7
真庭市17	風倒木搬出済	46.2	564.7	22.9	38.2
真庭市18	風倒木搬出済	41.1	393.1	16.7	36.4
真庭市19	風倒木	40.8	534.6	16.7	49.5
真庭市20	風倒木	45.1	466.0	24.3	29.7
真庭市21	風倒木搬出済	38.9	626.7	18.2	53.2
真庭市22	風倒木	37.6	1138.6	21.6	81.4
真庭市23	風倒木	39.4	1086.3	32.1	52.3
真庭市24	風倒木	38.2	377.5	11.3	51.6
真庭市25	生立木	44.2	1234.8	20.6	92.8
真庭市26	風倒木搬出済	40.1	1860.6	38.4	74.9
美作市1	風倒木	37.8	2510.0	36.5	106.2
美作市2	風倒木	36.5	166.4	6.1	42.1
美作市3	生立木	46.7	333.3	9.8	52.7
美作市4	風倒木	38.9	241.0	19.7	18.9
美作市5	風倒木	39.7	3053.1	48.8	96.7
美作市6	風倒木	40.6	701.3	21.6	50.2
美作市7	風倒木	41.9	903.6	16.7	83.7
美作市8	風倒木	43.3	78.2	11.1	10.9
勝央町1	風倒木	44.6	186.9	13.4	21.6
勝央町2	風倒木	48.1	2771.0	81.5	52.7
平均		42.0	1280.5	27.2	57.0

に変換して解析を行った。

地形測量は、TSSによるノンプリズム測量とし、崩壊地とその周辺の未崩壊部分をほぼ1m間隔の格子点で測量したが、地形の急激な変化点についてはこの限りでなく、横断測線に現れた変化点については全て測点とした。



図一 地下水音調査に用いた漏水探知器



図二 崩壊地における簡易貫入試験の様子

(3) 地形解析

TSSによる詳細測量を行った崩壊地のうち、水みちと軟弱層が検出された真庭13、真庭26及び津山4の3つの調査地でそれぞれ地形解析を行った。

得られた測量データは、地形解析ソフト（Golden software, Inc製, Surfer ver.8）で3次元化した。Surferでは、測量データ計算ソフトで3次元化（X, Y, Z）した測量データを、クリギング法によりグリッドデータ化した。

崩壊地の測量で直接得られた現況地表面データの他に、推定基岩面データ及び崩壊前の推定地表面データの3種を、Surferを用いて次の方法で計算した。基岩面の推定は、崩壊地及びその周辺で行った簡易貫入試験により決定した深度に現況地表面の測量データから差し引いてプ

ロットした数値と、崩壊地に裸出した基岩の測量データをSurferに入力し、現況地表面と同様の方法でグリッドデータ化した。次に、基岩面のグリッドデータを基準にした未崩壊部分の土壌厚から崩壊前の推定地表面を同様の方法でグリッドデータ化した。

2 風倒木被害地の植生回復調査

風倒木を搬出してない被害林分20箇所52地点で、被害後4年目にあたる2008年9～10月に植被率及び葉面積指数の調査を実施した。調査は、2×2mのコドラート内の植被率を目視により百分率で記録し、コドラート中心の20×20cmで木本類の葉を採取して葉面積を調べた。

同じく11月に、真庭市余野上（標高約300m）と苫田郡鏡野町岩屋（標高約740m）津山市上高倉（標高約350m）の3箇所の被害林分（風倒木未搬出）でベルトトランセクト法による毎木調査をそれぞれ実施し、更新状況を調べた。トランセクトラインの延長は、それぞれ真庭市が115m（0.0575ha）、鏡野町が122m（0.0610ha）、津山市が89m（0.0445ha）とした。調査対象は、トランセクトラインから両側2.5mの範囲に出現する中・高木性木本類とし、樹種、樹高及び階層を記録した。階層は、樹高4m以上で最上位のものをI層、樹高0.1m以上4m未満もしくは上層に他個体の樹冠が存在するものをII層とした。

III 結果と考察

1 崩壊危険地判定

(1) 崩壊地の概況調査

抽出した109箇所の崩壊地は、73.8%が風倒木被害地であり、風倒木被害のない林分が26.2%であった（図-3）。岡山県内の17万ha余りの人工林面積のうち、風倒木被害を受けた人工林は5,400ha余りで全体の3%強に過ぎないことが報告されている（岡山県農林水産部林政課 2004, 21世紀おかやまの新しい森育成指針検討委員会 2005）。風倒木被害の多かった県北部に限っても13万ha余りの人工林のうち被害面積は約5,300haで、4%余りの人工林が被害を受けたことになる。しかし、このように被害面積よりもはるかに多くの被害のない人工林があったにもかかわらず、調査した斜面崩壊の約4分の3は風倒木被害地で起こっていた。斜面崩壊に係る多くの因子の中で、風倒木被害による地上部植生の破壊と地表攪乱が崩壊の発生に与える影響は非常に大きいと考えられる。それらは土壌浸食や崩壊の直接的な誘因である降水の挙動に強く関わっているためである。従って、斜面の地上部を構成する諸条件の中で、風倒木被害地であるということは、それだけで非常に崩壊危険度が高い

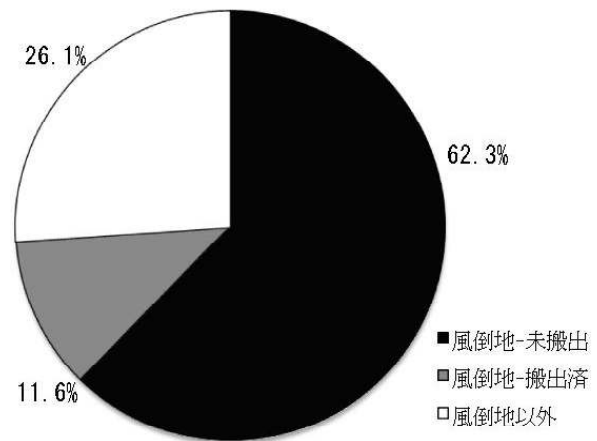


図-3 崩壊地の風倒被害の有無別割合

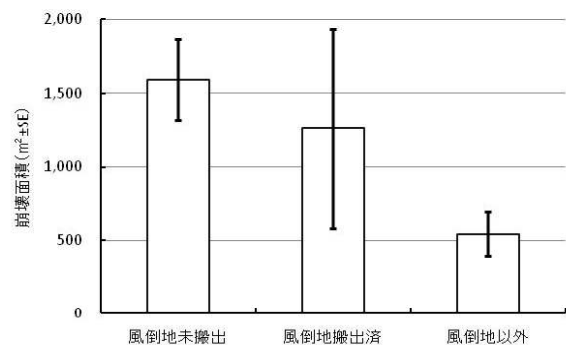


図-4 風倒木の状況と平均崩壊面積の関係

斜面であると考えられる。また、崩壊地の崩壊前の地上部の状況を、風倒地搬出済（以下搬出済という）、風倒地未搬出（以下未搬出）及び風倒地以外の林分の3に分けて、平均崩壊面積を比較したところ、未搬出、搬出済、風倒地以外の順で大きく、風倒木被害地が崩壊した場合、未風倒林分の崩壊に比べて災害規模が大きくなる可能性が示唆された（図-4）。

本研究で現地調査を行った69箇所の崩壊地の平均斜度は43.9°であった。崩壊前の傾斜が最も小さかった斜面の斜度が36.1°であり、ほとんどが40°以上に集中していた。このことから風倒木被害地であっても、傾斜が35°以下の斜面では、比較的崩壊が起こりにくかったことが考えられる。なお、斜度と崩壊規模の間に明確な相関はなかった（図-5）。風倒木被害地の災害復旧の優先順位を、斜面崩壊防止の観点から見る場合、35°以上の傾斜を持つ斜面であるか否かがまず第一の判断材料となると考えられた。通常、森林の概況調査等で一般的に用いる縮尺1/5,000の森林基本図や森林計画図は、等高線が10m間隔で描かれている。これらの地形図を用いて35

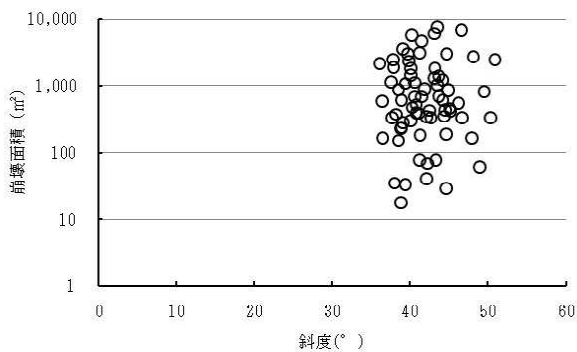


図-5 崩壊地の斜度と崩壊面積の関係

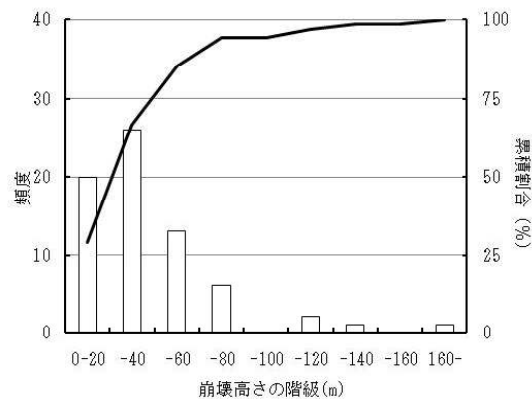


図-6 崩壊高さ別頻度分布

°の傾斜を読み取るには、等高線の間隔が約2.8mm以下（実際の縮尺で約14.3m以下）の斜面がこれにあたる。解析に供した崩壊地の、崩壊起点から最下部までの崩壊高さを調べたところ、66.7%が40m以下の規模で起こっており、20～40mの崩壊高さに最も多くの崩壊地があった（図-6）。このことから、少なくとも2、3本の等高線の間隔が前述のとおりであるような斜面は、斜面崩壊に注意を要すると考えられた。

(2) 崩壊地の詳細調査

地下流水音調査を行った20の崩壊地のうち、水みちの存在が検出されたのは10箇所であった（図-7、表-2）。水みちが検出できた崩壊地内の水みちの本数は、一連の崩壊地内で1～3箇所であり、その平均間隔は12.3mであった。水みちの本数が多い崩壊地ほど崩壊幅が広く（図-8）、近接して複数の水みちが存在する斜面では、大規模な崩壊が起こりやすいことが示唆され

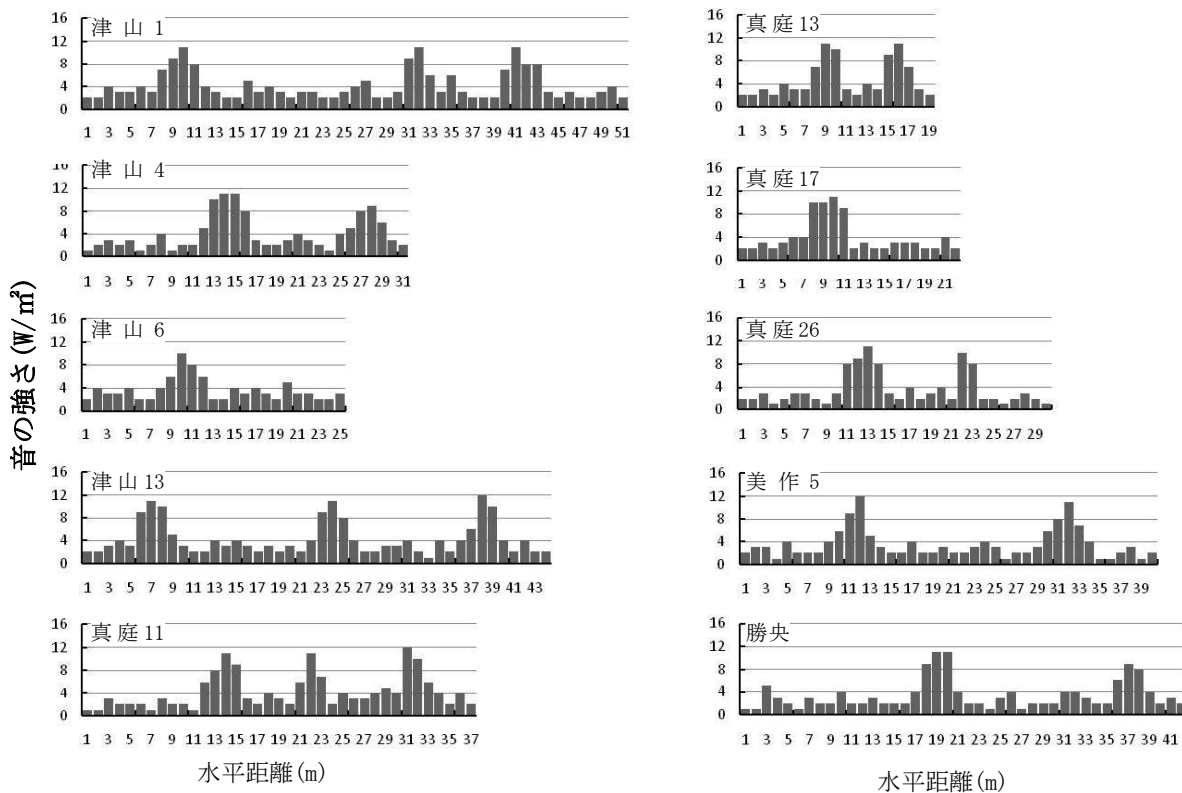


図-7 地下流水音調査の結果

注 水みちが確認された斜面のみ。

表-2 詳細調査地の概要

調査地点名	斜度		水みち		脆弱層	
	平均	最大	検出数	間隔(m)	有無	平均深度(m)
新見市1	37.9	42.0	—	—	有	94.5
津山市1	39.1	42.1	3	22.9	無	—
津山市4	41.2	44.3	2	14	有	123.5
津山市6	43.1	49.2	1	—	無	—
津山市7	43.5	46.5	0	—	有	88.4
津山市13	43.1	48.1	3	7	—	—
鏡野町1	47.9	50.2	—	—	無	—
真庭市4	39.8	44.4	—	—	無	—
真庭市6	37.7	43.2	0	—	有	132.6
真庭市7	42.5	46.8	0	—	無	—
真庭市9	50.3	51.0	—	—	無	—
真庭市11	44.2	46.9	3	8.9	有	108.7
真庭市12	39.1	43.1	1	—	無	—
真庭市13	43.7	46.8	2	7	有	104.2
真庭市21	38.9	49.2	0	—	無	—
真庭市26	40.1	42.3	2	9	有	101.3
美作市1	37.8	43.2	—	—	無	—
美作市5	39.7	46.2	2	20	無	—
美作市8	43.3	48.7	—	—	無	—
勝央町2	48.1	50.7	2	18	無	—
平均	42.1	46.2	1.5	12.3		107.6

注、表中の水みち検出数及び脆弱層の有無欄にある—は復旧工事等により正確な調査が行えなかった調査地を表す。

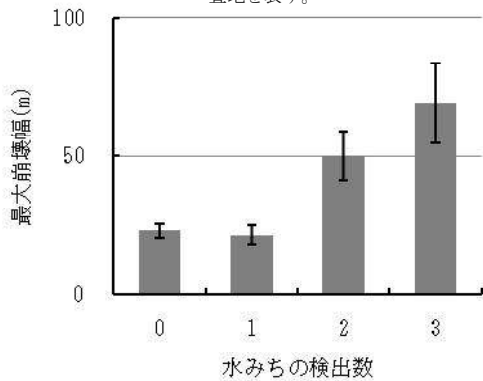


図-8 水みちの検出数別最大崩壊幅
注、表-2中の“—”は含まない

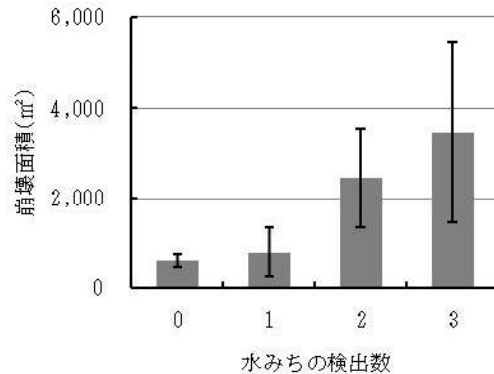


図-9 水みちの検出数別崩壊面積
注、表-2中の“—”は含まない



図-10 3つの水みちが検出された崩壊調査地（津山市1）。

た(図-9, 10)。また、水みちが見つかった崩壊地の近傍にある未崩壊の風倒木被害地で、傾斜等の条件が類似した斜面で、崩壊地と同様の水みち探査を行ったところ、水みちを検出できた斜面は確認されなかった。これらのことから、水みちの存在が崩壊に深く関与している

と考えられた。既崩壊地の調査においては、崩壊発生時に水みち等崩壊発生前に存在した構造等の条件が破壊されている可能性があると思われる。また、水みちの探査は、地下流水の音を捉えるセンサーで行うため、調査前の降水条件或いは調査時の湧水状況によっては検出が困

難である場合も考えられる。

本研究で水みちが検出できた崩壊地は、全体の半数程度に止まったが、前述の結果から、崩壊危険度を知る上で地下流水調査による水みち探査は有効な方法であると考えられた。

崩壊地周辺で行った簡易貫入試験では、7箇所の崩壊地で、土壌の堅密度に明らかにその上下と比して軟弱な層位が検出された(表-2)。このうち、1.0以下のNc値が土壤層中に認められた3調査地の7つの側線の結果を図-11に示す。小山ら(2005a)は、崩壊の起こっていない斜面上で簡易貫入試験を実施し、同様の事象を確認した後、当該調査地において崩壊が発生したため、この層位が何らかの形で崩壊に関与していると推測した。さらに、強風化花崗岩地帯でしばしば認められるこの層位を「脆弱層」と名付け、その層位のブロックを実験室に持ち帰り地中水飽和時に起こる物理現象を調べた結果、この脆弱層で起こるコラプス沈下が斜面崩壊の直接的な引き金になり得ると報告した(小山ら 2005b)。本研究で脆弱層が確認された林地は、いずれも花崗岩地帯で

あり、小山が示した条件に類似していると考えられた。

(3) 地形解析

TSSによる詳細地形測量で得られた測量データ及び簡易貫入試験のデータから、地形解析ソフトにより再現した現況地表面、推定基岩面及び推定崩壊前地表面を地形解析ソフトでそれぞれ再現させ、崩壊時に起こったと考えられる現象について考察した。その結果を表-3に示す。例えば、調査地真庭13の側線cと同一等高線上の未崩壊部分で行った貫入試験では65.0cmの深さで脆弱層が確認された。崩壊地内で簡易貫入試験を行った4測点の平均土壤深は66.7cm(46.6~76.8cm)で、4点の崩壊前の推定平均土壤深は133.7cm(120.7~156.2cm)であった。この4点における推定された平均崩壊土壤厚は、67.0cm(48.6~88.0cm)で、脆弱層の深さと良く合致した。同じく真庭13の側線aでは、4測点の推定平均土壤深が204.1cm、平均現況土壤深が50.1cmであり、推定平均定崩壊土壤厚は154.0cmとなった。この測線と同一等高線上の未崩壊部分で確認された脆弱層の深さは

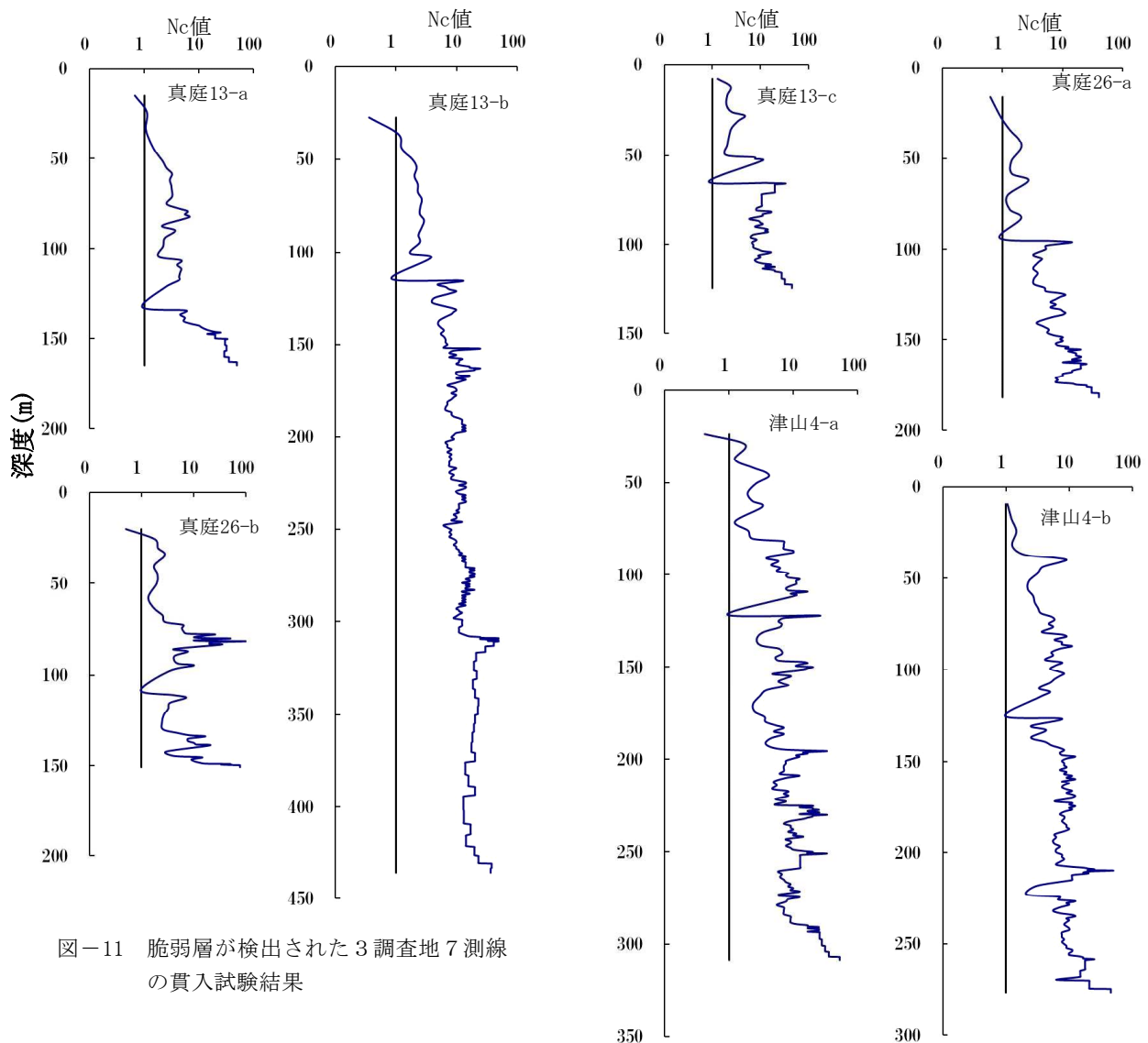


図-11 脆弱層が検出された3調査地7測線の貫入試験結果

表-3 TSS測量及び簡易貫入試験により推定した崩壊前後の土壌状況と脆弱層の関係

調査地名	測線	測点	崩壊前の推定土壌深 (cm)	現況土壌深 (cm)	推定崩壊深 (cm)	同一等高線上で検出された 脆弱層の深さ(cm)	
真庭13	a	1	221.1	64.7	156.4	132.8	
		2	198.2	28.2	170.0		
		③	186.5	50.6	135.9		
		4	210.5	56.8	153.7		
	平均		204.1	50.1	154.0		
	b	1	158.6	23.6	135.0	114.8	
		②	136.5	12.5	124.0		
		3	149.5	34.6	114.9		
		平均		148.2	23.6		124.6
	c	1	156.2	68.2	88.0	65.0	
		②	132.6	75.2	57.4		
		3	120.7	46.6	74.1		
4		125.4	76.8	48.6			
平均		133.7	66.7	67.0			
真庭26	a	1	180.6	105.7	74.9	94.0	
		2	167.4	85.5	81.9		
		③	190.1	70.5	119.6		
		4	102.5	25.2	77.3		
	平均		160.2	71.7	88.4		
	b	1	230.4	124.6	105.8	108.5	
		2	192.3	88.5	103.8		
		③	175.6	70.4	105.2		
		4	183.4	62.4	121.0		
	平均		195.4	86.5	109.0		
	津山4	a	1	312.5	204.8	107.7	121.7
			②	197.6	88.7	108.9	
3			258.7	148.2	110.5		
平均			256.3	147.2	109.0		
b		1	278.4	162.8	115.6	125.2	
		②	201.3	76.5	124.8		
		3	176.5	35.2	141.3		
		4	240.6	119.4	121.2		
平均			224.2	98.5	125.7		
平均			187.8	77.2	110.7	108.9	

注 測点欄の丸数字は、各横断測線上の水みちの位置を表す。

132.8cmであった。この測線では、水みち直上の推定崩壊土壌厚が135.9cmであり、脆弱層の深さと良く合致している。このように、3調査地7測線の全てで、崩壊地近傍の未崩壊部分で確認された脆弱層の深さは、崩壊地の推定崩壊土壌厚や、とりわけ水みち直上の推定崩壊土壌厚と良く合致していることがわかった。このことから、小山(2005b)が示したように、風化花崗岩地帯では、脆弱層の存在が崩壊の発生に深く関与しており、同時に水みちのある斜面では、降雨による土壌水の飽和が脆弱層に達した時点で、その層を滑り面として表層崩壊が起こるというメカニズムが推測された。また、この7測線では、いずれも60~130cm程度の深さに脆弱層が認められ、崩壊後の土壌厚は平均77.2cm残っていた。7測線の崩壊前の平均推定土壌厚は187.8cmであり、最も土壌深の大きかった津山1の調査地では、崩壊地近傍の未崩壊部分の土壌厚は4mを超える地点も存在した。これらのことから、もし前述の仮説が正しいとすれば、十分に発達した深い土壌がある斜面では、水みちや脆弱層があっても、脆弱層が飽和するまでの降水のキャパシティが大きく、崩壊し難いのではないかと考えられた。また、崩壊前の推定土壌厚が100cmを下回る崩壊地はなく、土

壌厚の小さい斜面では、脆弱層が形成されないか、飽和時の土砂の自重が軽い等の理由で崩壊が起こりにくいのではないかと考えられた。なお、林野庁(2006)がまとめた山地災害危険地区調査要領に示されている山腹崩壊の危険度を評価する点数表では、全ての地質区分で土層深が深いほど点数が高く設定されている。

いずれにしても、これらの解析結果から、花崗岩地帯においては水みちの存在と脆弱層の存在が、崩壊発生に何らかの形で関与しており、これらを探索することで崩壊危険度をある程度予測できることが示唆された。また、これらの危険因子が存在する斜面で、最も崩壊が起こりやすい土壌厚は1~2m程度であると推測された。

具体的な評価方法としては、本研究で行った2種の現地調査と、林野庁の山地災害危険地区調査要領の表-1「地質・地形及び林況による山腹崩壊危険度点数表」とを併せて、崩壊危険度を判断することで、より局所的で精緻な判定が行えると考えられる。

2 風倒被害地の植生回復調査

風倒木被害後4年目の被害林分の植被率は、20~100% (平均78.6%)と概ね良好であった(図-12)。また、



図-12 被害後4年目の風倒木被害地
(津山市上高倉)

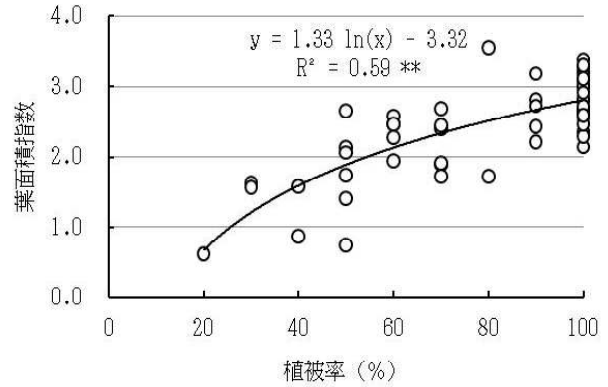


図-13 植生回復調査区の植被率と葉面積指数の関係

注, **は1%水準で有意であることを示す

表-4 植生回復調査の出現樹種と密度

樹種	真庭市			鏡野町			津山市			計		
	I層	II層	I・II層	I層	II層	I・II層	I層	II層	I・II層	I層	II層	I・II層
テツカエデ				16.4	16.4					6.1	6.1	
ウリハダカエデ				32.8	32.8					12.3	12.3	
カエデ属				278.7	278.7					104.3	104.3	
リョウブ		34.8	34.8	32.8	82.0	114.8				12.3	42.9	55.2
カクレミノ		87.0	87.0					22.5	22.5		36.8	36.8
ブナ					65.6	65.6					24.5	24.5
ホオノキ				16.4	82.0	98.4				6.1	30.7	36.8
アカメガシワ	139.1	278.3	417.4	65.6	49.2	114.8	112.4	292.1	404.5	104.3	196.3	300.6
シロダモ				131.1	131.1			89.9	89.9		73.6	73.6
アカマツ	17.4	226.1	243.5	82.0	82.0		22.5	292.1	314.6	12.3	190.2	202.5
ナラガシワ				32.8	32.8						12.3	12.3
コナラ		52.2	52.2	82.0	82.0		22.5	67.4	89.9	6.1	67.5	73.6
ヌルデ		139.1	139.1				44.9	134.8	179.8	12.3	85.9	98.2
ヤマウルシ	34.8	87.0	121.7				22.5	67.4	89.9	18.4	49.1	67.5
タニウツギ		34.8	34.8								12.3	12.3
カラスザンショウ	52.2	191.3	243.5				112.4	292.1	404.5	49.1	147.2	196.3
ケヤキ		69.6	69.6					22.5	22.5		30.7	30.7
計	243.5	1200.0	1443.5	114.8	934.4	1049.2	337.1	1280.9	1618.0	220.9	1122.7	1343.6

木本類の葉面積指数は平均2.4で、植被率が高いほど木本類の葉面積指数が高い傾向が見られた(図-13)。これらのことから、植被の回復が草本類のみによるものではなく、木本類による天然更新が順調に行われていることが示唆された。

ベルトトランセクト法による木本類調査では、I、II層を合わせた中・高木性樹種は、全ての調査区で1,000本/ha以上生育していた。アカメガシワ、カラスザンショウ、コナラ等先駆的樹種が多く出現したが、ケヤキ、ブナ、ナラガシワがII層にのみ出現し、天然更新による安定的な二次林の成林が見込めることが示唆された(表-4)。

これらの結果により、災害復旧事業として行われた一千ha以上の広葉樹植栽を行ってきた各方面の努力を否定するものではない。人為による広葉樹植栽は、植生回復や高木林の成林を早め、その結果、林地保全機能や防災機能を早期に回復させる有効な手段のひとつであろう。この調査は、諸処の事情で風倒地の手入れや再植林が思

うに任せない林分で、斜面の不安定性が長期にわたって続くような更新不良林分があるか否か、あるとすればどのような条件によるのかを検証するために実施した。結果として、本研究で調べた20箇所の風倒木被害林分では、そのような懸念に該当する林分はなく、概ね良好な天然更新が行われつつあることが明らかとなった。

IV おわりに

本研究は、大規模な台風被害による風倒木被害林分の災害復旧を効率的かつ適正に行うための優先順位を判断するための方法を検討することを目的に行った。従って、崩壊危険地の判定についても、資料調査や外観的な材料で簡易かつ迅速に行えることが理想的であり、当初はそのことを念頭に研究を進めた。しかし、崩壊に係る因子は多様で複雑であり、必ずしも外観に現れているとは限らない。例えば、風倒木被害地は、未風倒地に比べて斜面崩壊が起りやすいことが明らかとなったが、同じような降雨条件では未風倒地でも幾らかの斜面崩壊が発生

しているのも事実である。また、全ての急傾斜の風倒木被害地が崩壊したわけでもない。2006年7月の豪雨は、県内各所に甚大な土砂災害をもたらした1998年10月の豪雨以来約8年ぶりに、県内の広い地域で土砂災害警戒情報が気象庁により発表された。土砂災害警戒情報の発表基準となる土壌雨量指数は、その間の8年間に県内の広い地域で同時に警戒発令となる値を超えたことはほとんどなく、この種の豪雨がもたらされれば、何らかの危険因子を持つ斜面では非常に崩壊が発生し易い状況になることは明らかである。とはいえ、風倒木被害地は、ひとたび斜面崩壊が発生してしまうと災害規模が大きくなるおそれが高く、でき得限りの手当てを施す必要があることは明白である。

本研究で明らかとなった崩壊危険地のまず第一の判定基準は、斜面の傾斜であった。急傾斜地が崩れやすいことは当然の結果であるが、2004年の台風災害のように同時多発的な風倒木被害が発生した際には、斜度 35° 以下の林分は、手当ての緊急性としては相対的に低く位置づけることができよう。

次に、それ以外の急傾斜地では、簡易な方法という観点から若干外れるが、本研究で示した現地調査の実施を提案したい。とりわけ、水みちの存在は、多くの斜面崩壊に関与していると考えられ、これの有無を調べるだけでも意義深いと考えられる。水みちの探査は、市販の漏水探知器をほぼそのまま用いて短時間でできる方法であり、結果はその場である程度判断が可能である。調査時の直近の数日間の降水状況などにより、検出の精度にはややむらがあるが、十分現地に適用可能な手法であると考える。また、この研究で水みちの検出を行った斜面では、いくつかの箇所で見られた湧水は、崩壊前の斜面でもしばしば認められることができる。これは、崩壊危険斜面を外観的に見分ける上で、最も一般的なサインとして広く知られている。風倒木被害林分の斜面で、このような湧水があり、かつその湧水量に、増加や減少等の変化があれば崩壊の危険が高まっていると判断することができる。

簡易貫入試験は、調査にやや時間を要するが、慣れればその場で脆弱層の有無や土壌厚を把握することができる。花崗岩地帯にあっては、脆弱層の有無を確かめることは崩壊危険度を知る上で非常に有効であると考えられるため、水みちの反応を検出し得た斜面に限ってでも実施することが望ましい。ただし、本研究の中で行った簡易貫入試験により明らかとなったこれらの現象は、全ての地質、土壌条件に当てはまるものではなく、より精度の高い判定技術を確立するためには、さらに知見の蓄積を重ねていく必要がある。

2004年の台風災害は、県内の森林に未曾有の森林被害



図-14 津山2の崩壊地で見られた湧水



図-15 津山26の崩壊地で見られた湧水

をもたらした。しかし、その復旧作業は、各方面の精力的な努力と熱意でこれまでに概ね完了しており、関係各位のその間の御尽力には心から敬意を表する次第である。今後、同様の厄災が本県の森林に再びもたらされ、本研究の成果を活用しなければならぬ災害が発生しないことを願って止まないが、日頃から災害による被害の軽減に留意し、災害発生時の的確な対処法に備えを欠かさないことも、自然を相手に林業を営む我々の責務であると考える。

また、本研究の成果は、必ずしも風倒木被害地のみに限らず、生立木の成立した林分でも適用することができる。前述の現地調査は、治山事業や皆伐施業、路網整備等に際して、比較的限られた地域の崩壊危険因子を事前に探る手だてとしても活用できると考えられる。

本研究の遂行にあたり、独立行政法人森林総合研究所の多田泰之氏ならびに鳥取県農林総合研究所林業試験場の小山敢氏には、地下流水音調査及び簡易貫入試験の方法等について細やかな御助言を頂いた。末筆ながら深く謝意を表する。

参考文献

- 安東靖司 (2006) 地形解析を用いた山地災害危険地区の評価手法についての一考察—番匠側上流域の事例—。治山 50, 11 : 20-23
- 門田貴江・吉野敦雄・高木方隆 (2000) 地形測量による測点数と精度との関係。日本写真測量学会平成12年度秋季学術講演会発表論文集 : 247-250
- 気象庁HP気象統計情報ページ (<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>) 2009.12.8アクセス。
- 小山敢・三森利昭・落合博貴・奥村武信・本田尚正 (2005a) 風化花崗岩斜面の表層崩壊発生に關与する脆弱層。日本森林学会誌 87(4) : 304-312.
- 小山敢・西郡彩菜・三森利昭・落合博貴・奥村武信・本田尚正 (2005b) 風化花崗岩斜面の表層崩壊発生に關与するコラプス沈下。日本森林学会誌87(6) : 457-464.
- 黒川潮 (2002) 山腹崩壊現象を表す物理則モデルを用いた山地災害危険地区判定手法の開発。治山 46(10) : 4-7.
- 黒川潮 (2006) 降雨強度を指標とする山地災害危険地区判定手法の開発について。治山 51(5) : 8-11.
- 岡山県農林水産部林政課 (2004) 岡山県の森林資源, 岡山.
- 小山内信智・内田太郎・曾我部匡敏・寺田秀樹・近藤浩一 (2005) 簡易貫入試験を用いた崩壊のおそれのある層厚推定に関する研究。国土交通省国土技術政策総合研究所資料261, 東京.
- 林野庁 (2006) 山地災害危険地区調査要領, 東京.
- Tada, Y., Fujita, M., Tsutsumi, D., Okumura, T., Koyama, K. and Kawai, T. (2005) Detection of collapse position in mountains slope by underground sound method. Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., 48C.
- 多田泰之・藤田正治・堤大三・小山敢・河合隆行・奥村武信・本田尚正 (2007) 地中水みちと崩壊発生位置の關連性。砂防学会誌 60(4) : 25-33.
- 多田泰之 (2008b) 地下流水音を用いた崩壊発生場所の予測について。水利科学 304 : 83-115.
- 多田泰之 (2008a) 地下水の流れる音から山腹崩壊の場所を予測する試み。山林 1495 : 34-42.
- 21世紀おかやまの新しい森育成指針検討委員会 (2005) 21世紀おかやまの新しい森育成指針検討委員会～災害に強い森づくり～。岡山.

