

十津川支流神納川上流部における山腹崩壊地の荒廃分析

沼本晋也・林 拙郎・川邊 洋・喜多村和義 (三重大学生)

十津川支流神納川流域には明治22年災害により発生した崩壊が多数残存する。このうち比較的新しく流域最奥部の尾根付近で発生した3カ所の崩壊地を対象として現地調査と土質試験による分析を行った。また、これらの崩壊地に対し、簡易オルソ化した航空写真の解析により地表面植生の変遷について考察した。その結果調査地のSiteCは、土質試験で細粒分の多い土壌であるという結果が得られ、航空写真により判読された植生回復傾向とも一致した。一方、調査地のSiteA・Bは、粗粒でせん断強度が小さいという特性から、植生の自然回復は困難と判断された。

キーワード：十津川、山腹崩壊地、土質試験、簡易オルソ化航空写真、荒廃分析

I はじめに

奈良県吉野郡十津川村は、明治22年8月の集中豪雨により甚大な被害を受けた(1, 2)。村内の民有林直轄治山事業地区である十津川地区に残存する荒廃地は、今後も豪雨などによる新規崩壊の発生が懸念されている。本研究では、十津川地区神納川流域内の崩壊地が自然復旧しうるか、あるいは何らかの施工が必要となるかについて判断することを目的とし、流域内の崩壊地3カ所を選定のうえ、現地調査と土質試験による崩壊地の土質特性、および航空写真判読による崩壊地の植生回復傾向と見直しを併せ検討した。

II 十津川支流神納川流域の概要

1. 位置と地形・地質 十津川支流神納川は、釈迦ヶ岳(1,799m)、護摩壇山(1,372m)をはじめとする1,000m超級の山系に四方を囲まれ、比高数百m、傾斜角40~60°の山腹斜面の谷間を流下する(図-1)。基岩の大部分が中生代の堆積岩(砂岩・頁岩)で、これらは本来堅い岩石だが、十津川地区は、中央構造線の南側に位置し、断層の密集地帯であることから、基岩が著しく破碎されている箇所が多い。

2. 林況・植生 十津川地区は温暖多雨で樹木の生育に好適な環境であり、4割程度がスギ・ヒノキの一斉造林地となっている。その他は概ね広葉樹林の二次林で、カシ・シイなどの常緑樹と、シデ・ナラ・モミ・ツガ・

トウヒ・シラベなどが混生している。

3. 気象と山地荒廃の概況 本地区は、年平均降水量2,200mmで、3,000mmを越える年もある多雨地帯で、集中豪雨に度々みまわれ、年間の最大日雨量が300mm内外に達する年が度々見られる(図-2)。十津川地区は、破碎地質と多雨気候により、古くから豪雨災害が発生し

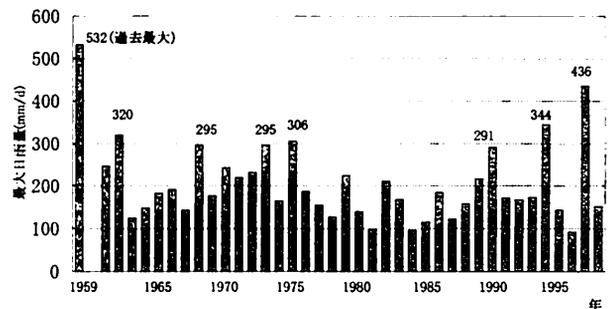


図-2. 年最大日雨量(風屋観測所)
(1959年, 1961~1998年)

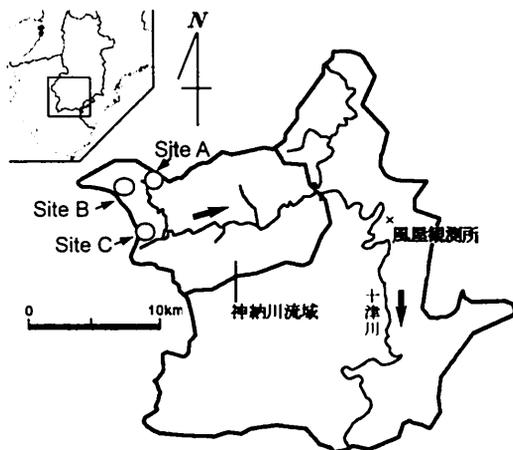


図-1. 調査地概要



図-3(a). SiteB崩壊地の源頭部(測点3付近より)

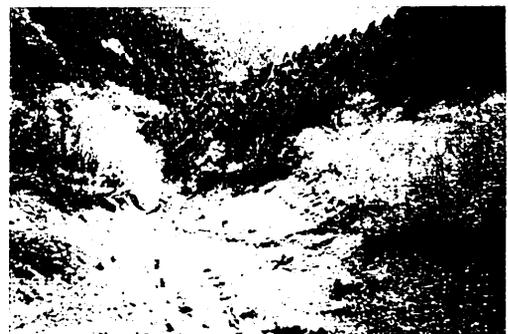


図-3(b). SiteB崩壊地の下方斜面(測点2付近より)

てきた。神納川（流域面積は8,900ha）の中上流域では、幼齢林や不成績造林地、皆伐跡地などの面積拡大に伴い、小規模ではあるが新しい崩壊が発生している。十津川地区治山全体計画調査（3）の崩壊調査資料を元に、流域内の未施工崩壊地571カ所（88.74ha）の崩壊状況を整理したところ、崩壊位置は主に人工林地で、平均的な形状は表面侵食型板状、水平長30～100m、幅10～20m、崩壊面積0.2～0.4ha、崩壊深0.5m、傾斜角40～50°が多いという特徴が示された。この結果は、急峻な人工林斜面において、多雨により表面侵食が発生してきた実態を反映したものと考えられる。

Ⅲ 崩壊斜面の土質・土壌・水質特性

1. 調査の概要 予備調査により流域内で最近発生した典型的な崩壊地を3カ所選定し（図-1, SiteA, B, C）、現地調査を実施した。図-3（a）（b）は最も急勾配のSiteB崩壊地内部を示したものである。

2. 現地調査および分析方法 崩壊地の縦断測量を行い（上端から下方へ測点1, 2, 3…とする）、貫入試験、ベーンせん断試験、土壌採取を行った。調査方法を以下に示す。

貫入試験：土研式簡易貫入試験機を用いて原位置の貫入抵抗を求め、Nd値=30を基岩とみなして土層厚を求めた。（2）ベーンせん断試験：原位置で軟弱な粘性土地盤のせん断強さを求めるものである。本調査地では10cm深のみで実施した。（3）土質試験：採取試料について室内実験により、（a）含水比試験、（b）密度試験、（c）粒度試験、（d）一面せん断試験（飽和土）を行った。

3. 現地調査・土質試験の結果 得られた土質試験結果を表-1に整理した。

（1）貫入試験：土層厚はSiteAの測点1から順に80cm, 162cm, 20cm（基岩）、SiteCの測点1から順に162cm, 102cm（基岩）、550cm以深であった。SiteBは基岩が露出している箇所が多く測点1のみ値（20cm）を得た。

（2）ベーンせん断試験：せん断強さは、SiteC（0.28～0.53 kgf/cm²）> SiteA > SiteBの順で小さい値を得た。

（3）含水比試験：採取直後の土壌含水比は、SiteC（41.0～70.8%）> SiteA（20.8～23.9%）> SiteB（16.0～16.6%）の順で小さくなった。一般に自然含水比が20%以下のものは砂質土、40～50%以上のものは粘性土であることが多く、SiteCがこの値を示した。

（4）密度試験：SiteCが2.45～2.44g/cm³と一番低く、SiteBは2.52～2.62g/cm³、SiteAは2.56～2.59g/cm³と近い値であった。含水比と密度から求めた間隙比は、SiteCが3カ所最も高い1.91～2.61、SiteBが0.83～1.25、SiteAが、1.12～1.18であった。一般に、砂質土は0.5～1.5、粘性土は1.0～3.0とされていることから、含水比の結果と同様にSiteCは比較的粘性土に近い性質であるといえる。

（5）粒度試験：粒径加積曲線より、SiteCの土壌粒径が比較的細かく、SiteB, SiteAは粗い粒径分布であることが分かった。60%粒径は、SiteAが4.0～4.2mm、SiteBが4.8～7.1mm、SiteCが0.6～1.4mmであった。50%粒径は、

SiteAが2.4～2.6mm、SiteBが2.0～5.0mm、SiteCが0.4～0.8mmであった。30%粒径は、SiteAが0.9mm、SiteBが0.8～1.4mm、SiteCが0.1～0.3mmであった。10%粒径は、SiteAが0.10～0.16mm、SiteBが0.10～0.30mm、SiteCが0.02～0.10mmであった。

（6）一面せん断試験：飽和土による試験結果（図-4）では、粘着力がSiteB>SiteA>SiteCとなり、内部摩擦角も、SiteB(53.0°)> SiteA(36.8°)> SiteC(21.4°)の順で小さくなった。通常は細かい粒子で試験を行うが、本試験地は砂礫斜面で、粗粒の粒子の内部摩擦角と粘着力を求めた。SiteBの粘着力が大きめの値を示し、内部摩擦角が50°を超える値を示したのはこのためと考えられる。

4. 水質および土壌分析 調査対象の3カ所の崩壊地いずれも中生代白亜系の頁岩がち砂岩頁岩互層から構成さ

表-1. 崩壊地の土質試験結果

崩壊地	SiteA	SiteB	SiteC
崩壊地の状況	谷地形で内部に石礫堆積物	岩盤露出・下部に少し土壌	粘土質土壌・下部で2筋に分層
崩壊面積(ha)	0.15	0.20	0.10
傾斜角(平均/最大)	35.0°/44.0°	38.0°/40.5°	34.1°/38.5°
鉛直土層厚(cm)	20～162	20	102～550
せん断強さ(kgf/cm ²)*	0.16～0.18	0.13	0.28～0.53
含水比(%)	20.8～23.9	16.0～16.6	41.0～70.8
間隙比	1.12～1.84	0.83～1.25	1.91～2.61
平均粒径(mm)	2.4～2.6	2.0～5.0	0.4～0.8
粘着力c(kgf/cm ²)	0.0358	0.359	0.0205
内部摩擦角φ	36.8°	53.0°	21.4°

*現位置ベーンせん断試験による

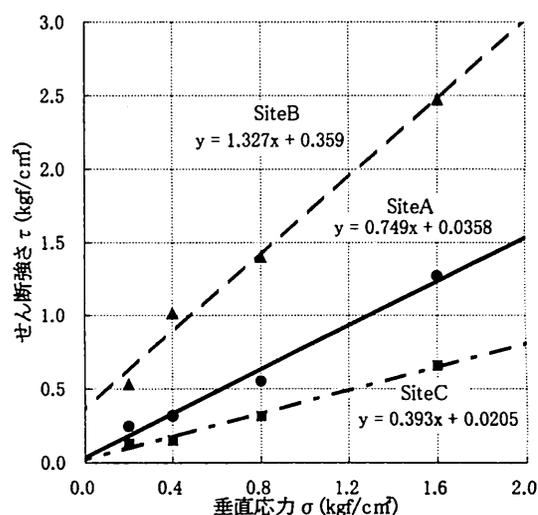


図-4. 一面せん断試験結果（飽和土）

表-2. 土壌の化学分析値と判定結果

	SiteA		SiteC		定量 下限値	土壌環境 分析方法
	分析値	判定	分析値	判定		
pH(H ₂ O)(22°C)	5.3	2	5.1	2	-	測定法V-1
全窒素(%)	< 0.1	3～4	1.7	1	0.1	測定法V-9A-b2
腐食含有量(全炭素)(%)	0.7	3	2.3	3	0.1	測定法V-8A
可給態りん酸(mg/100g)	< 5	3	< 5	3	5	測定法V-12A
塩基置換容量(me/100g)	8.2	2	10.3	2	0.1	V-6Bに準拠
置換性カリウム(me/100g)	0.6	1	0.4	2	0.1	V-7A
置換性カルシウム(me/100g)	0.7	3	1.1	3	0.1	V-7A

れており、崩壊地表層部には節理がみられる。

(1) 水質分析：SiteA内の下部に湧出する地中水を採水し、水質分析を行った結果、電気伝導度と各種イオン濃度が、一般的な山地湧水と比較して非常に小さい値であった。

(2) 土壌の化学特性：SiteAとSiteCの2カ所の崩壊地における土壌採取試料に対し、植生に対する適正を判断するために土壌環境分析の測定法に従って7項目の化学分析を行った。分析値を「土壌特性の判断基準(5)」に従って判断した結果を表-2に示した。両崩壊地とも判定は2~3が多く、「ほぼ正常に生育する」評価となっているが、SiteCの評価が若干高い。この判定では、「好適」と「ほぼ正常に生育する」が可能な判定は1~2であり、「若干の改良で…」という条件の付く判定3~4がSiteAの崩壊地である。したがって、SiteAにおいては、多くの樹木は正常に生育し難く、自然回復を期待するにしても正常な樹木が生育するには土壌条件の改良が必要であると考えられる。

IV 航空写真オルソ化画像を用いた崩壊と植生の経年解析

3カ所の調査対象崩壊地は、比較的新しく、第2次大戦以後に神納川流域の最奥部の尾根付近で発生している。これら崩壊地の裸地化と植生回復過程を検討するため、航空写真の簡易オルソ化手法(4)を用いて崩壊地内および地表被覆を同縮尺で比較し、崩壊発生から現在までの裸地拡大、あるいは植生侵入がどの段階にあるかについて検討した。解析に使用した航空写真の一覧を表-3に示す。

SiteAでは、1964年から1979年の間に天然林の伐採と林道開設が行われており、谷沿いの崩壊も同期間に発生した。1984年には支線林道が新設され、伐採区域が拡大したが、支線林道沿いの谷付近にも小崩壊が発生していることが読み取れる。その後1998年には、崩壊地の辺縁部に小面積の植生侵入が見られるが、源頭部裸地が縮小傾向にあるとはいえない(図-5)。

SiteBでは、1970年から1974年までに伐採と林道開設が行われており、この時期に斜面崩壊が発生している。その後1984年まで崩壊源頭部の様子に変化はなく、裸地が斜面下方へ伸長している。1998年の崩壊地側方斜面には植生が侵入しているが、崩壊地内部は依然として縦侵食を受けた谷地形を呈していた(図-6)。

SiteCでは1974年から1984年までに皆伐と林道開設が行われた。1984年時点で不明瞭だった崩壊が1998年には明瞭になっているが、林道分岐点付近の崩壊は植生侵入とともに裸地面積が小さくなっている(図-7)。

3カ所の崩壊地で、航空写真判読および現地観察から植生が回復傾向にあると判断できたSiteCは、土質試験で得られた、シルト質細粒砂の土壌が存在するという結果とも合致し、自然回復が可能な状態にあると判断される。一方、SiteA・Bについては、辺縁部の植生侵入は確認されたが、崩壊地内部では植生の自然回復傾向になか

表-3. 使用した航空写真一覧

撮影年	撮影計画機関	撮影実施機関	撮影縮尺
1948	-	米軍	1/44,000
1964	林野庁	日本国内航空(株)	1/20,000
1974	奈良県	国際航業株式会社	1/20,000
1979	奈良県	八洲測量株式会社	1/16,000
1984	奈良県	日本産業航空株式会社	1/16,000
1989	奈良県	関西航測株式会社	1/16,000
1998	奈良県	株式会社かんこう	1/16,000
1999	奈良県	株式会社かんこう	1/20,000

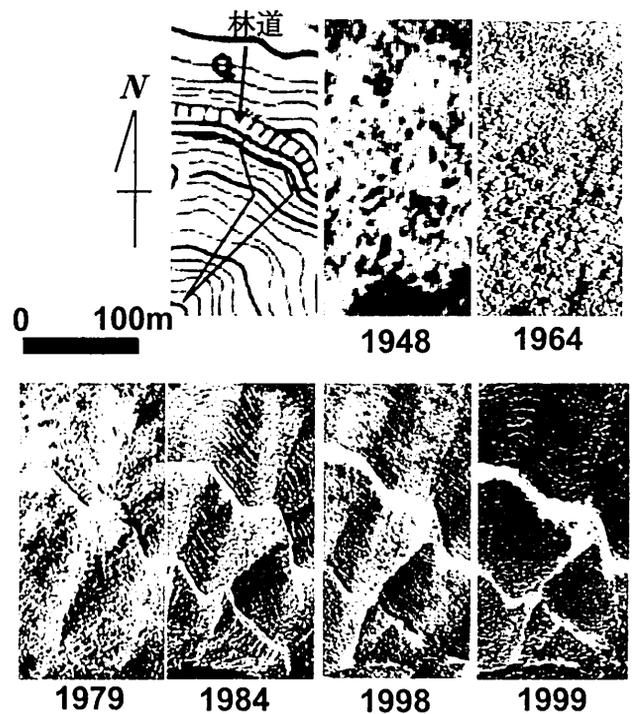


図-5. 崩壊地SiteAの経年変化

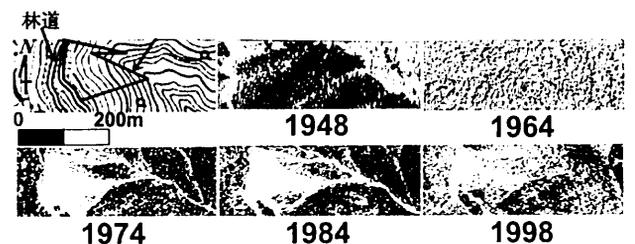


図-6. 崩壊地SiteBの経年変化

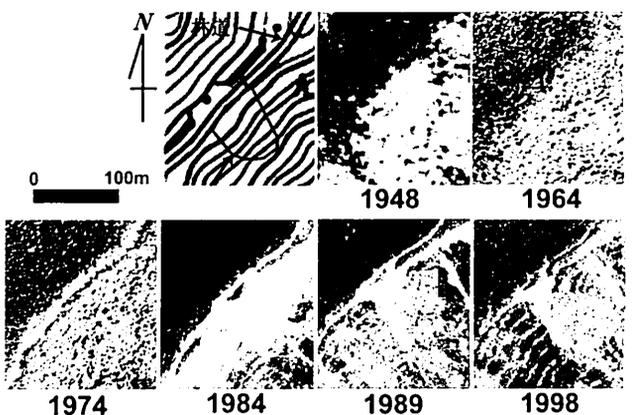


図-7. 崩壊地SiteCの経年変化

った。

V 考 察

当該崩壊地における分析結果は、次のように考察される。

まず、粒径分布からいえば、SiteCの粒径が細かく、シルト分を多く含んでいるが、他の崩壊地は、粗粒な土壌が多く、水もちが必ずしも十分でないと考えられる。SiteCの土壤水分がSiteA・Bと比べ高いこともこれを裏付ける。また、ペーンセン断強度では、SiteA・Bに比べてSiteCの値が高く、耐侵食特性が大きいことを示している。一面せん断試験の結果は、内部摩擦角がSiteAとBで大きく、斜面傾斜角を反映しているのに対し、SiteCは小さい値を示した。これはSiteCの土が過圧密状態であったが、せん断試験が攪乱試料の正規圧密状態で行われたため、粘着力が正しく測定されなかったためと考えられる。以下、各斜面について整理する。

【SiteA】：岩盤が露出する谷地形であり、(1) 崩壊地内に表土が少ない、(2) 土壤のペーンセン断強さが小さい、(3) 土壤の含水比が低い、(4) 土壤間隙比が低い、(5) 土壤粒径が粗い、(6) 全炭素量が少ない、(7) 内部摩擦角が大きい、(8) 崩壊地の最大傾斜角、平均傾斜角が大きい、(9) 崩壊地面積が大きい、という特徴が挙げられる。また、湧水の電気伝導度や各種イオン濃度が小さく、比較的表層の水であることから、降雨の影響が直接的に斜面表層の不安定化に結び付いている可能性がある。航空写真の判読から、植生回復傾向がみられないのは、崩壊地が谷地形にあるため、雨水が表流水となり、植生回復を遅らせていることが考えられる。この影響を受けないような構造物を設置することで、崩壊地中部から下部に細粒部の土壌が堆積しやすくなり、自然的な植生回復を促進することが可能と考えられる。【SiteB】：岩盤露出面が崩壊上部から下部まで長く、急傾斜であり、(1) 表土が少ない、(2) 土壤のペーンセン断強さが小さい、(3) 土壤の含水比が低い、(4) 土壤間隙比が低い、(5) 土壤粒径が粗い、(6) 全炭素量は不明だが、SiteA同様に少ないと予想される、(7) 内部摩擦角が大きい、(8) 最大傾斜角、平均傾斜角が大きい、(9) 崩壊地面積が大きい、という特徴が挙げられる。さらに航空写真の判読から、崩壊地辺縁部の植生回復は見られるが、崩壊地中央部の土壌状態が良好でないため、今後崩壊が拡大する可能性も残る。したがって、崩壊地の植生回復を必要とする場合、何らかの対策が必要になるものと考えられる。

【SiteC】：(1) 崩壊地内に表土が多い、(2) 土壤のペーンセン断強さが大きい、(3) 土壤の含水比が高い、(4) 土壤間隙比が高い、(5) 土壤粒径が細かい、(6) 全炭素量が多い、(7) 内部摩擦角が小さい、(8) 崩壊地の最大傾斜角、平均傾斜角が低い、(9) 崩壊地面積が小さい、という特徴が挙げられる。SiteCは、流水に対する表層の耐侵食特性も高く、植生に対する土壌条件が整っており、自然的な植生回復の見込みがあると判断される。

VI 結 論

本研究で、十津川地区神納川流域内3カ所の崩壊地が自然復旧するのか、あるいは施工の必要性があるのかを判断するために、土質特性と植生変化状況を併せて検討を行った結果、以下のことが明らかとなった。

1) SiteA・Bは比較的粗粒で、多くの樹木が正常に生育できる環境にない。SiteAは谷地形にあるため、堰堤等の施工により細粒な土壌の堆積が形成されるものと考えられる。

2) SiteCは他の2カ所より細粒のシルト分が多く含まれ、耐侵食性が高く土壌条件も良いため放置状態でも植生回復の可能性が高い。より早く植生回復を望む場合、崩壊地上部の林道からの排水が流入しないような配慮が必要である。

3) 総合的にみて、SiteB、SiteAの自然的な植生回復は困難で、何らかの施工等の対策が必要であると考えられる。

なお、本研究は、社団法人砂防学会委託研究の一部として行われた。また、財団法人林業土木コンサルタンツ大阪支所、岡本宣氏には資料提供、現地調査の便宜、助言を頂いた。ここに謝意を表する。

引用文献

- (1) 千葉徳爾 (1975) 明治22年十津川災害における崩壊地の特性について (I), 水利科学19 (2), 38-54
- (2) 千葉徳爾 (1975) 明治22年十津川災害における崩壊地の特性について (II), 水利科学19 (4), 20-48
- (3) 近畿中国森林管理局奈良森林管理事務所 (1999) 十津川 (神納川流域) 治山全体計画調査—平成11年度—, 81pp
- (4) 沼本晋也・鈴木雅一・長友 幹・蔵治光一郎・佐倉 継男・太田猛彦: 航空写真を用いた崩壊地植生回復過程の検討—1970年房総南部集中豪雨による崩壊跡地の25年間の変遷— (1999) 砂防学会誌52 (2), 14-20
- (5) 折原夏志 (1998) 都市開発における造成法面の緑化について、地質と調査 (1), 35-41, 土木春秋