

地質・地形的要因から見た表層崩壊の発生と評価に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 26～平 28

担当チーム：火山・土石流チーム

研究担当者：水野秀明，木下篤彦，高原晃宙

【要旨】

危険斜面の抽出手法の検討は、土石流による被害を軽減させるために重要である。本研究では、表層崩壊の地形及び地質的素因を評価し、それを考慮したパラメータ設定によって表層崩壊危険度評価手法の有効性を検証することを目的とした。花崗岩が分布する防府市剣川流域では、山地の開析状況に応じて土層構造や崩壊特性が異なることが既往研究で明らかとなっていたが、他の地域でも同様の特徴が見受けられることがわかり、集水地形を呈する斜面型において崩壊が卓越する傾向が見られた。一方、非花崗岩分布域では、山頂緩斜面やその直下の遷急線、それ以下の開析斜面では崩壊特性や崩壊対象となる土層構造、斜面型に違いが見受けられた。

キーワード：表層崩壊，地形，地質，開析，土層構造

1. はじめに

同時多発的に発生した表層崩壊による土砂災害が近年多発し、重大な被害が生じている。例えば、伊豆大島 (2013)、萩・津和野 (2013)、阿蘇 (2012)、庄原 (2011)、防府 (2009) 等が挙げられる。これまでの研究成果により、これらの災害の発生形態は、地質・地形に規制されていることが明らかになってきている。これらに対するハード・ソフト対策を進めていく上では、表層崩壊が同時多発的に発生する雨量の条件やその形態・規模・範囲等を事前に評価しておくことが求められる。既往の表層崩壊の危険度評価手法は、限定した範囲での評価手法となっており、対象範囲を絞り込むことが重要である。また、パラメータを設定する際に、地質・地形的要因の違いを考慮していないことが課題として挙げられる。

一方でこれまで様々な災害事例において、同時多発的なものも含めた表層崩壊発生の地質・地形的要因や発生メカニズムについての調査が進められており、多くの知見が集積されている。しかし、これらを体系的に整理・分類し、地質や地形等の区分にもとづき、崩壊発生形態あるいは崩壊発生に関わる要因との関係等についての検討は十分に進められていない。

そこで本研究では、既往調査から表層崩壊の地質・地形条件を整理するとともに、現地調査等を通じて、同時多発的に発生する表層崩壊の発生場の地質・地形的要因を明らかにし、表層崩壊発生予測モデルを用いて同時多発的な表層崩壊を評価する手法の有効性を検証することを目的とする。

2. 調査地

2.1 全体概要

対象地は、類似した地形発達史を持つ中国山地周辺を中心に同時多発的に表層崩壊が発生した地域とする。花崗岩分布域は広島市八木・緑井地区とし、流紋岩分布域及び砕屑岩分布域は広島県庄原市篠堂川流域とし、花崗斑岩分布域是那智川流域を選定した。調査地の一覧を図-1 及び表-1 に示す。

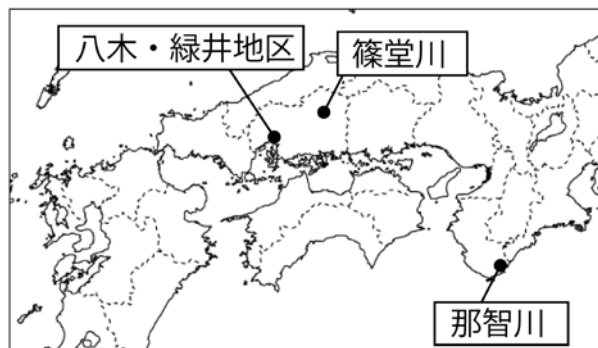


図-1 調査位置図

2.2 地形地質概要

中国地方の各地域は西南日本内帯、中央構造線の北側に位置し、ジュラ系付加体及びこれらに貫入した後期白亜系広島花崗岩、後期白亜系高田流紋岩類等が広く分布している。広島市八木・緑井地区では、広島花崗岩が広く分布するほか、これが泥岩等から成るジュラ系玖珂層群相当層に貫入し、これにより泥岩がホルンフェルスへ変成している様子が見受けられる^{たとえは1)}。篠堂川流域は、地質は後期白亜系高田流紋岩類を主とし、この上位に中新世の海進時に堆積した砂岩、泥岩、礫岩を主とする備北層群が随所に分布している。また、本流域では三瓶山を起源とする黒ボクを挟在している

箇所も見受けられる。これらの地域は、小起伏構造を持つ地形が明瞭に見られ、隆起準平原と考えられ、世羅台地面及び吉備高原面に相当する標高 500~600m の山城が連なる。

那智川流域では、弧海盆の堆積物であり、砂岩泥岩互層・泥岩を主とする中新統熊野層群^{2・3)}及び珪長質マグマの噴出によって形成された花崗斑岩を主とする中新統熊野酸性火成岩類^{4・5)}が分布する。那智山及びその周辺は標高 800~900m の山地から構成され、このように尾根の高度が揃った状況や花崗斑岩に柱状節理が発達していることから、花崗斑岩は平坦地形を形成した噴出岩として考えられており⁵⁾、これが現在の山頂緩斜面を形成していると推察される。

2.3 降雨特性

調査地ごとの降雨状況を図-2 に示す。降水量は地域に偏りがあるものの、降雨の特徴として、新宮観測所（那智川）は徐々に降水量が増大している傾向がある。大戸観測所（篠堂川）や高瀬観測所（八木・緑井地区）では、数時間のうちに集中して強い降雨が観測される傾向が見られた。

3. 調査方法

3.1 文献調査

崩壊対象物の特徴から、ここでは深層風化を呈し、漸的に厚く風化残積物が表層部に分布する花崗岩類分布域及び非花崗岩類分布域（付加体、流紋岩類等）の地質分布域に区分して既往文献を整理した。なお、ここでは火山性降下火砕物は対象外とした。

3.2 地形開析状況調査

既往研究事例を元に表層崩壊の危険斜面の絞込みを行う際、対象範囲を絞り込むことができる要素が重要となってくる。斜面を区分する際に、それぞれで

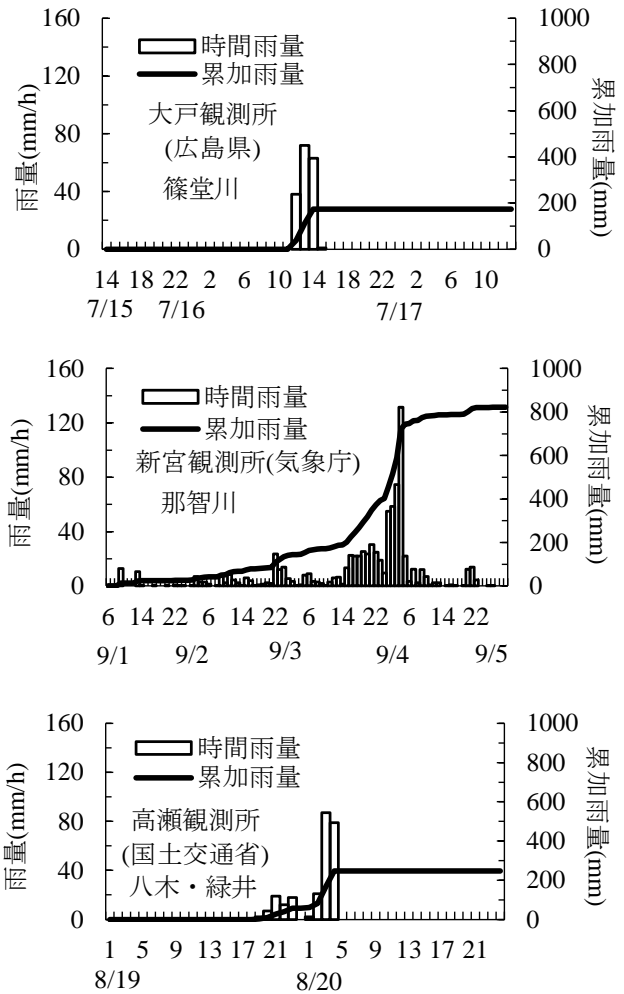


図-2 調査地の降雨状況

有用なパラメータを設定できるような区分方法を検討する必要があると考えられる。そこで、ここでは DEM などの地形データによって区分することができる斜面の地形開析区分を中心に、斜面の地形的な特徴を整理した。

対象溪流における山地の開析状況を把握するため、

表-1 調査地一覧表

地域	被災時期	誘因	地質	最高標高	降雨		
					最大時間雨量	総雨量	観測所
篠堂川流域 (広島県 庄原市)	2010/7	集中豪雨	流紋岩	649.3m (先大戸周辺)	72.0 mm	174 mm	大戸観測所 (広島県)
那智川流域 (和歌山県 那智勝浦町)	2013/8-9	台風に伴う 集中豪雨	熊野酸性岩類 熊野層群	909.5m (烏帽子岳)	131.5 mm	822 mm	新宮観測所 (気象庁)
八木・緑井地区 (広島県 広島市)	2014/8	集中豪雨	広島花崗岩 ホルンフェルス (泥岩)	585.9m (阿武山)	87 mm	247 mm	高瀬観測所 (国土交通省)

地形調査を実施した。調査は航空レーザ測量による 1m メッシュの DEM より作成した等高線図や傾斜図を用い、必要に応じて現地調査を実施して地形の開析状況を区分した。開析状況の判定は、山頂緩斜面、開析斜面上部、開析斜面下部に分類した⁷⁾。

その判断指標を表-2 に示す。この開析区分は剣川流域をモデルとして検討されたものであり、山頂緩斜面は隆起準平原と考えられる小起伏地形に相当する。斜面上に 2 本の遷急が認められる場合、開析斜面上部の上端は鮮新世～更新世における開析前線(上位遷急線)、開析斜面下部の上端は後氷期における開析前線(下位遷急線)が分布するものとされている。中国地方の各調査地域は剣川流域と同様に小起伏構造が明らかとなっている地域であるため、同様の手法を適用した。那智川はこれらと地形発達史が異なる地域であるが、花崗斑岩が盆地に流出して平坦地形を形成し、これが準平原の地形に相当するものとして、同様の手法を適用した。

下位遷急線の分布状況および開析斜面の面積は、後氷期における開析の進行程度を評価する指標として考えることができる。そこで各開析区分における分布面積を算出した。

3.3 崩壊地調査

表層土の形成は地形発達と密接に関係があるものと考えられ、表層部に均質な風化残積土(マサ土)が分布する防府市剣川流域では、地形の開析状況に伴い表層部の土層構造が異なる傾向が想定される。

1m メッシュの DEM 及び航空写真を用いた崩壊地調査を実施し、必要に応じて現地で崩壊深などの崩壊規模や滑落崖の土質状況等の記載を行い、崩壊パターンを類型化した。また、全地域において開析斜面ごとの崩壊地密度(個/km²)、崩壊面積率(%)を算出し、地形の開析状況に応じた崩壊地の分布頻度や面積分布を整理した。

3.4 崩壊地斜面型調査

表層崩壊が発生した斜面型から、どのような地形的特徴を持つ斜面で表層崩壊が起きやすいかを判別することができる。一般的に等斉直線型の斜面で表層崩壊が発生しやすいと統計的に整理されている研究事例²¹⁾もあるが、地質や山地の開析状況に応じた分類はなされていない。

そこで、斜面の分類を航空レーザ測量による 1m メッシュの DEM を用いて行い、表層崩壊発生場の地形的特徴を整理した。

表-2 地形開析区分の指標

名称	地形的特徴
山頂緩斜面	遷急線より上位にあり、斜面の凹凸が小さい滑らかな地表面を呈している。地表部には硬質な露岩はほとんど認められない。
開析斜面上部	山頂緩斜面・開析斜面下部の中間的な特徴を有する。ガリー浸食や凹地形、崩壊跡地など、山地の開析が進行途中である様子が見受けられるが、その発達は未熟であり、凹凸が小さく、露岩の分布が少ない傾向がある。
開析斜面下部	やせ尾根や尖峰が分布し、硬質な露岩が点在するため斜面の凹凸が激しく、勾配が急となる。地表には土層が分布するものの、開析斜面上部と比べると連続性に乏しい。山地の開析は完熟方向に向かっている。

3.5 表層崩壊の危険度評価

それぞれの地形開析区分における調査結果を元に、土層厚の分布特性や土質定数を設定し、「表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価マニュアル(案)」²²⁾による物理モデルである H-SLIDER 法を実施し、実際の崩壊実績との整合性を把握した。

H-SLIDER 法は、広島市八木・緑井地区の花崗岩分布域及びホルンフェルス(泥岩)分布域で実施した。H-Slider を実施するにあたり必要なデータは数値地形情報(DEM)、土層厚の分布、土層の粘着力・内部摩擦角、土層の飽和透水係数、飽和時・不飽和時の土層の単位体積重量となる。各パラメータは以下の手法によって設定した。

- 1) 数値地形情報(DEM): 災害直後のデータを用い、崩壊地は埋戻し作業により崩壊前の地形に復元した。
- 2) 土層厚: 地質及び地形の開析区分ごとに簡易貫入試験による土層厚調査を行った結果によって、斜面勾配との関係により作成した土層厚モデルから推定した。
- 3) 土層の粘着力・内部摩擦角: 地質及び地形の開析区分ごとに土質試験を実施した。
- 4) 土層の飽和透水係数: 広島市八木地区の花崗岩・ホルンフェルス分布域において実施している水文観測結果を踏まえ、ある降雨で量水堰の流量が最大となる時刻の地下水位を用いて算出した。
- 5) 土層の単位体積重量: 地質及び地形の開析区分ごとに土質試験を実施した。なお、水の単位体積重量は 9.8kN/m³とした。

4. 結果と考察

4.1 花崗岩類分布域における文献レビュー

4.1.1 崩壊地の地形的特徴

花崗岩分布域では、地形の開析程度が土層構成や崩

壊形態を規制していることが明らかとなっている⁷⁾。これは2009年に表層崩壊が発生した山口県防府市の防府花崗岩を対象に検討され、開析の進行度合いが高い順に開析斜面下部、開析斜面上部、山頂緩斜面の3つに区分、適用されたものであり(図-3)、開析途上である開析斜面上部において表層崩壊が発生しやすいとしたものである。

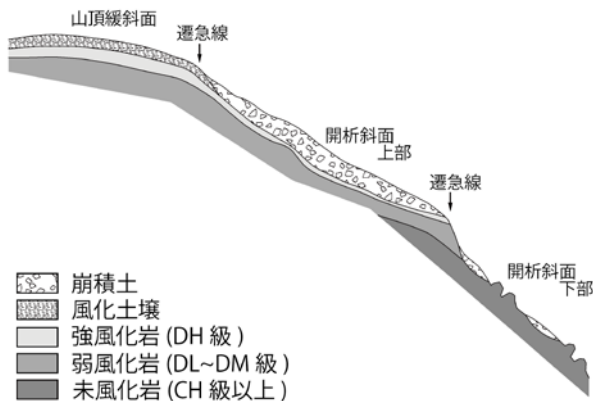


図-3 地形開析区分模式図(松澤ら, 2015⁷⁾に加筆)

4.1.2 崩壊地の地質的特徴

(1) 風化

岩質、岩種の違いによって風化速度や風化帯の発達具合が異なり、表層崩壊の形態が異なるとされている。たとえば花崗閃緑岩は風化を受けやすく、より緩やかな地形を持つ特徴が見られる⁸⁾。また、節理沿いにある粘土鉱物の研究より、膨潤性のあるモンモリロナイトが接着力を減じさせ、節理型の崩壊を起こすという事例⁹⁾もある。ただし、この事例は、厳密には浅層崩壊に分類されると考えられる。花崗岩分布域の風化構造として見られるマイクロシーティングが表層崩壊を誘発している¹⁰⁾と考えられている事例もある。後述する福島県白河の事例と同様に、滋賀県南西部における花崗岩分布域においては、根系崩壊が見受けられる¹¹⁾。これは根系崩壊を繰り返すことにより表土が厚く累積することができず、斜面が安定しないためと推測される。

(2) 粒度の違い

粗粒～細粒の黒雲母花崗岩が分布する白亜系防府花崗岩体では、その粒度の違いによって表層崩壊の発生頻度が異なっていることが示されている¹²⁾。

4.2 非花崗岩分布域における文献レビュー

流紋岩質凝灰岩や流紋岩が分布する萩・津和野(山口・島根)や庄原(広島)、及び碎屑岩が分布する新居浜(愛媛)において同時多発的に表層崩壊が発生したが、これらの地質は従来から崩壊発生事例の少ない

地域である。従って花崗岩類分布域と比べると、表層崩壊の発生頻度(危険度)は相対的に低いと評価できる。

4.2.1 崩壊地の地形的特徴

(1) 斜面勾配

これまで表層崩壊と斜面勾配を関連付けた研究事例が多い。例えば碎屑岩が分布するエリアであれば、福井県鯖江市の事例(2006年)では、急傾斜になるに従い崩壊発生率が高く、特に45°以上の傾斜で多いといわれている¹³⁾。北海道日高地方の事例(2003年)では、傾斜40°前後での発生が多い¹⁴⁾。砂岩・泥岩が分布する愛媛県新居浜の事例(2004年)では、風化状況と斜面傾斜を対比した結果、風化程度に関わらず相対的に急傾斜な部分が崩壊しており、その勾配は40°前後であった¹⁵⁾。

(2) 地形(水平・垂直断面地形)

北海道日高地方の事例では下部谷壁斜面を浅く開析する沢型斜面で表層崩壊が多く発生しているとされる¹⁴⁾。三重県大宮の事例では、水平・垂直断面地形に着目した部類(表-3)の谷型～直線型・等斉～凹型で発生しやすく、斜面上部、あるいは集水域を持たない位置でも発生している¹⁶⁾。

表-3 斜面型の分類¹⁷⁾

		水平断面形による斜面分類		
		直線斜面	尾根型斜面	谷型斜面
垂直断面形による斜面分類	等斉斜面	等斉直線斜面	等斉尾根型斜面	等斉谷型斜面
	凸形斜面	凸形直線斜面	凸形尾根型斜面	凸形谷型斜面
	凹形斜面	凹形直線斜面	凹形尾根型斜面	凹形谷型斜面

以上より、花崗岩類と同様に谷型地形において表層崩壊が発生しやすいものの、集水地形と関係なく表層崩壊が発生している事例も多く確認されていることがわかる。

4.2.2 崩壊地の地質的特徴

(1) 透水性の差異

土質断面としては、透水層と難透水層との境界部で崩壊が発生した事例が多いと見受けられる。特に深層風化を示す花崗岩と比較し、非花崗岩の方がこの傾向

がより顕著であると考えられる。地表に黒ボクが覆いその下位に火山性堆積物、溶結凝灰岩が分布する福島県白河の事例（1998年）では、根系の進入を許さない地盤とその上部にある根系層との境界部で崩壊が発生している（根系崩壊¹⁸⁾。この場合、パイプが数多く観察される、基盤岩の凹地構造や集水地形で多く発生するといった特徴が認められる。広島県庄原市（2010年）も同様に基盤との境界部における崩壊が多く見受けられるが、平行斜面の中腹が崩壊しているケースも多い¹⁹⁾。三重県大宮の事例（2004年）でも、透水性の大きく異なる境界が破壊面となっている¹⁶⁾。

(2) 風化

砂岩・泥岩が分布する熊本県天草の事例（1972年）は、風化侵食に弱く不安定な急斜面を形成した頁岩より崩壊が始まったとされている²⁰⁾。同じく砂岩泥岩が分布する愛媛県新居浜の事例（2004年）は、地質に偏りなく表層崩壊が発生しているとしているが、強風化岩分布域での発生頻度が高く、弱風化岩分布域での発生頻度は少ない傾向を示した¹⁵⁾。浅層崩壊の例としているが、北海道日高地方の事例（2003年）では、下部谷壁の谷型斜面は水が関与する多湿な環境で風化作用が顕著となり、風化帯が厚く形成され、浅層崩壊が発生しやすかったと考察している¹⁴⁾。

4.3 崩壊特性（花崗岩分布域）

4.3.1 地形開析状況

図-4に八木・緑井地区花崗岩分布域の地形開析区分、図-5に同地域における開析斜面の分布状況を示し、図-6に崩壊地密度及び崩壊面積率を示す。八木・緑井地区は、開析斜面上部・下部の分布が卓越しているものの、防府と比較すると開析斜面下部の分布比率が高いことがわかる。各開析斜面の分布状況を見ると、山頂緩斜面が尾根沿いに細く帯状に分布しており、その直下に開析斜面下部が分布する様子が見受けられる。そのため、八木・緑井地区では浸食前線が上流域まで移行し、斜面の開析が進行したといえる。

4.3.2 崩壊地調査結果

表-4に防府市剣川において崩壊特性を類型化した分類を示す。八木・緑井地区では山頂緩斜面での崩壊実績は見られないが、開析斜面上部・下部における崩壊地の特徴は、これと概ね類似した傾向が見受けられた。そのため、花崗岩分布域においては山地の開析の進行状況によらず、崩壊特性に大きな相違はないと考えられる。

4.3.3 地形斜面型

図-7に、八木・緑井地区花崗岩分布域における崩壊

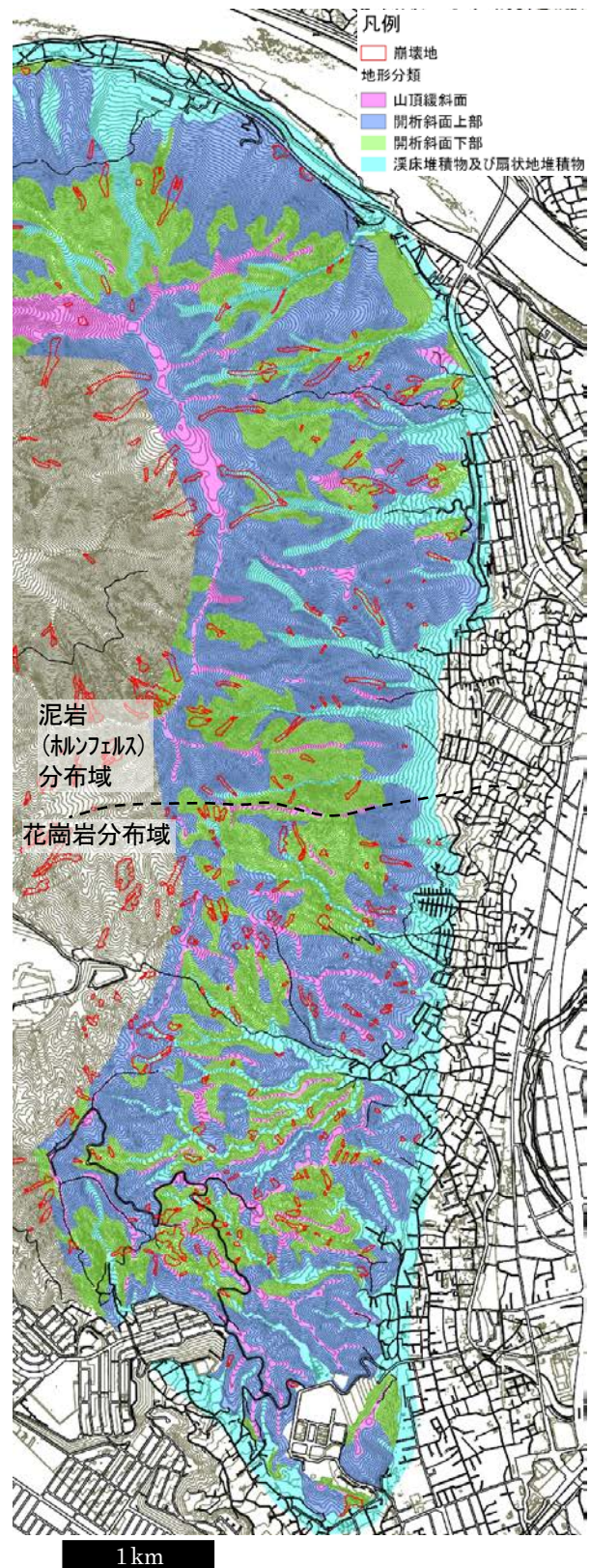


図-4 広島市八木・緑井地区 地形開析区分図

斜面の斜面型を示す。開析状況によらず、谷型等斉斜面での崩壊が卓越しており、集水地形が発達した斜面での崩壊が多いことがわかる。

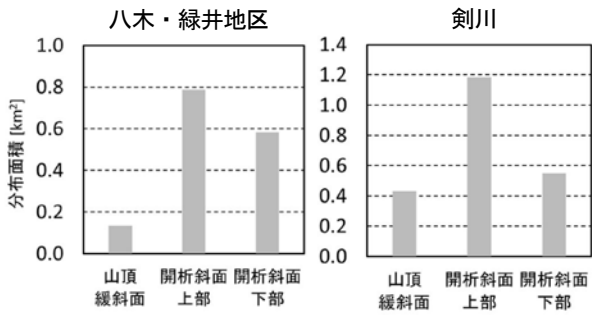


図-5 開析斜面分布比率
(広島市八木・緑井地区 花崗岩分布域・防府市剣川)

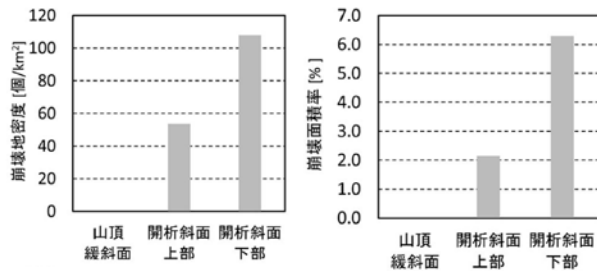


図-6 崩壊発生頻度状況
(広島市八木・緑井地区 花崗岩分布域)

表-4 剣川流域花崗岩分布域における崩壊特性

山地の開析状態	山頂緩斜面	開析斜面上部	開析斜面下部
斜面勾配のピーク	20~30°	30~40°	35~45°
崩壊地の特徴			
崩壊土層	風化残積土主体	崩積土及び風化残積土	崩積土主体
土層厚	厚い	厚い	薄い
崩壊面積率(%)	2.1	3.0	0.5
平均崩壊土砂量(㎥)	432	401	173
コメント	崩壊土砂の下に強風化した岩石がほとんど露出し、土層下底の岩盤裏面付近で崩壊が発生したと推定される。	崩壊面には、主に崩積土が分布し、一部では風化残積土が認められた。崩壊は、土層内または土層と岩盤の境界部で発生したと推定される。	崩壊面には、礫の含有率が多い崩積土が分布する。土層が深く堆積している箇所にて、土層と岩盤の境界に沿って崩壊が発生したと推定される。

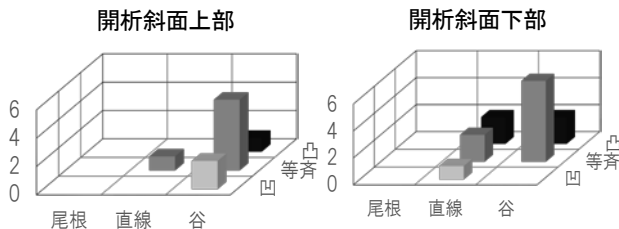


図-7 崩壊斜面型
(広島市八木・緑井地区 花崗岩分布域)

4.4 崩壊特性 (ホルンフェルス分布域)

4.4.1 地形開析状況

図-4 に、八木地区ホルンフェルス分布域の地形開析

区分、図-8 に同地域における開析斜面の分布状況を示す。

八木地区のホルンフェルス分布域は、開析斜面上部の分布が卓越し、次いで開析斜面下部が広く分布している。山頂緩斜面の分布は尾根沿いに帯状で分布しており、限定的である。各開析斜面の分布状況を見てみると、隣接する花崗岩分布域では山頂緩斜面の直下に開析斜面下部が分布し、浸食前線のの上流側への移行が見受けられたのに対し、ホルンフェルス分布域では上流域より山頂緩斜面、開析斜面上部、開析斜面下部が分布している様子が多く、遷急線が2本分布している特徴が見られた。

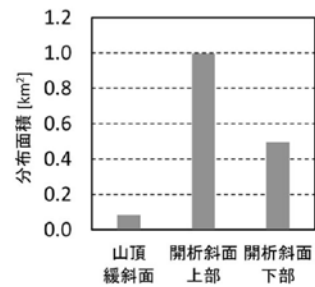


図-8 開析斜面分布比率
(広島市八木地区 ホルンフェルス分布域)

4.4.2 崩壊地調査結果

表-5 に広島市八木地区ホルンフェルス分布域における崩壊特性を類型化した分類を示す。ここでは山頂緩斜面での崩壊実績は見られず、全て開析斜面上部・下部における崩壊であった。開析斜面上部～下部いずれも表層部には礫質土を中心とした崩積土が分布し、礫質土と風化岩との境界で崩壊した事例と、礫質土の脆弱部が崩壊した事例が見受けられた。開析の程度による崩壊特性の違いは見受けられず、開析斜面上部・下部それぞれ同等の分布比率であった。

表-5 広島市八木地区
ホルンフェルス分布域における崩壊特性

	崩積土中で発生した表層崩壊	崩積土／岩盤境界で発生した表層崩壊
模式図		
主な地形区分	開析斜面上部／開析斜面下部	
概要	崩壊面下部には、締まりの良い礫質土や、径の大きい礫を含んでいる場合が多い。	崩積土と岩盤との境界で発生しており、崩壊面にはO4~O1級程度の泥岩や、崩土が分布していることが多い。
崩壊地個数	開析斜面上部: 8 開析斜面下部: 5	崩積土と岩盤との境界: 5 崩壊面: 4
平均崩壊深	開析斜面上部: 1.6m 開析斜面下部: 1.0m 全斜面: 1.3m	崩積土と岩盤との境界: 1.3m 崩壊面: 1.1m 全斜面: 1.2m

4.4.3 地形斜面型

図-9 に八木地区ホルンフェルス分布域における崩壊斜面の斜面型を示す。花崗岩分布域とは異なり、直線型の斜面での崩壊が谷型と同等、もしくはそれよりも多く分布するのが特徴であり、集水地形に関わらず等斉直線斜面においても崩壊が発生している。

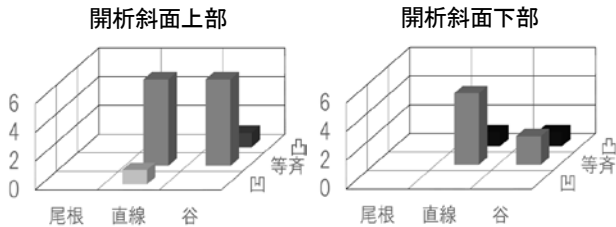


図-9 崩壊斜面型

(広島市八木地区 ホルンフェルス分布域)

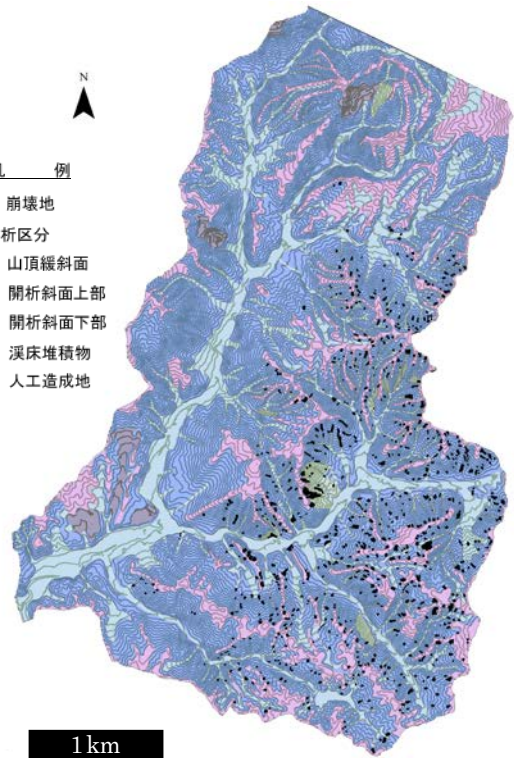


図-11 庄原市篠堂川 地形開析区分図

4.5 崩壊特性 (流紋岩分布域)

4.5.1 地形開析状況

図-10 に同地域における開析斜面の分布状況、図-11 に篠堂川流域における地形開析区分図を示す。崩壊地密度及び崩壊面積率を図-12 に示す。篠堂川流域では、開析斜面上部が主として分布し、次いで尾根沿いに広く山頂緩斜面が分布しており、全般的に山地の開析進行が未熟な流域であるといえる。表層崩壊の分布は開析斜面上部～下部、特に開析斜面下部において高い傾向を示した。

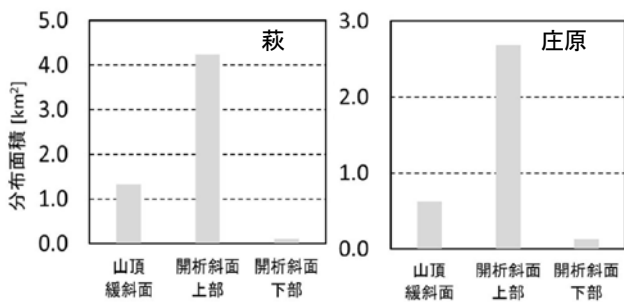


図-10 開析斜面分布比率

(萩市須佐地区, 庄原市篠堂川)

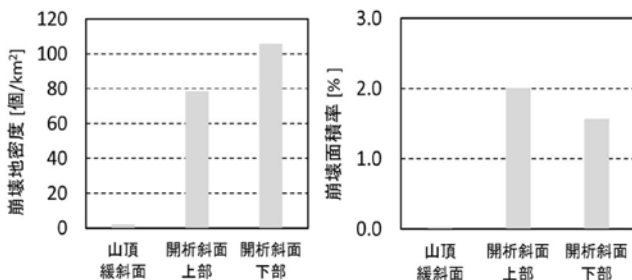


図-12 崩壊発生頻度状況

(庄原市篠堂川流域 流紋岩分布域)

4.5.2 崩壊地調査結果

崩壊地の滑落崖、崩壊面等の地質・土質状況より、篠堂川流域における崩壊形態を3つに分類することができる(表-6)。山頂緩斜面と開析斜面上部・下部では崩壊の形態が異なる傾向にある。

タイプ1: 表層の礫質土がその直下の流紋岩強風化部を伴って崩壊したタイプ。主に山頂緩斜面で見受けられる。

タイプ2: 表層の礫質土と風化流紋岩の境界部で発生した表層崩壊。崩壊深は総じて浅い。開析斜面上部～下部において見受けられる。

タイプ3: 崩壊面に礫質土が残存し、礫質土の脆弱部が崩壊したタイプ。開析斜面上部～下部で見受けられる。

4.5.3 地形斜面型

表層崩壊が発生した斜面の形状を図-13 に示す。開析斜面上部では、山頂緩斜面との境界部(遷急線)付近、及びその他で崩壊斜面型に異なる傾向があるため、前者を(1)、後者を(2)と分けて整理した。山頂緩斜面～開析斜面上部(1)では谷型等斉斜面における表層崩壊が卓越し、集水地形で表層崩壊が発生しやすい傾向が見られ、その多くは0次谷の斜面であった。一方、開析斜面上部(2)～開析斜面下部では集水地形の発

表-6 庄原篠堂川流域 流紋岩分布域における崩壊特性

概念図	タイプ1 礫質土・強風化岩の崩壊				タイプ2 礫質土の崩壊				タイプ3 礫質土脆弱部の崩壊			
	Gen-S	Up-S (1)	Up-S (2)	Low-S	Gen-S	Up-S (1)	Up-S (2)	Low-S	Gen-S	Up-S (1)	Up-S (2)	Low-S
	8	2	1	1	3	12	21	3	0	1	6	2
平均崩壊深	1.0m				0.7m				1.1m			

表-7 パイピングの分布状況

パイピングあり	崩壊地数	分布比率
Gen-S	10	90.9%
Up-S (1)	10	66.7%
Up-S (2)	16	57.1%
Low-S	3	50.0%

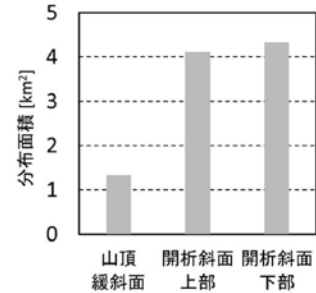


図-14 開析斜面分布比率 (那智川流域 花崗斑岩分布域)

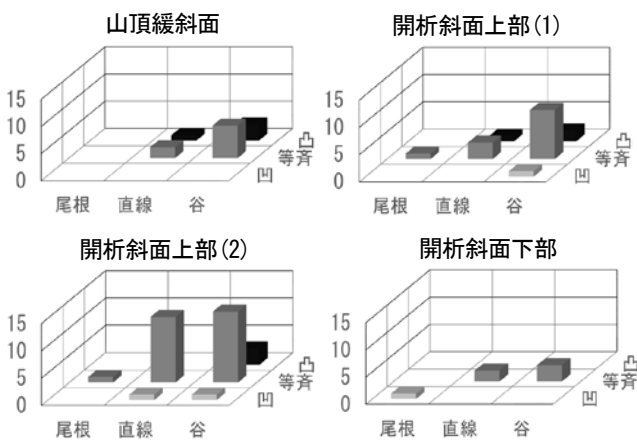


図-13 崩壊斜面型 (庄原市篠堂川流域 流紋岩分布域)

達状況に関わらず、表層崩壊が発生する傾向が見られた。

また、山頂緩斜面及び開析斜面上部(1)では、他の斜面と比較してパイピングが相対的に多く分布する傾向が見られた(表-7)。

4.6 崩壊特性 (花崗斑岩分布域)

4.6.1 地形開析状況

図-14, 15 に那智川流域の地形開析状況を示す。ここでは開析斜面上部および開析斜面下部が主として分布、尾根付近に山頂緩斜面が分布する状況が確認された。全般的に花崗斑岩分布域の方が、熊野層群分布域に対して相対的に開析が進行していると想定される。

崩壊地密度・崩壊面積率を図-16 に示す。崩壊地密度は開析斜面上部と開析斜面下部が同頻度で高い値を示し、崩壊面積率は、開析斜面上部が最も高い比率を示している。そのため、那智川流域の花崗斑岩分布域では、開析斜面上部・下部で多くの表層崩壊が発生し

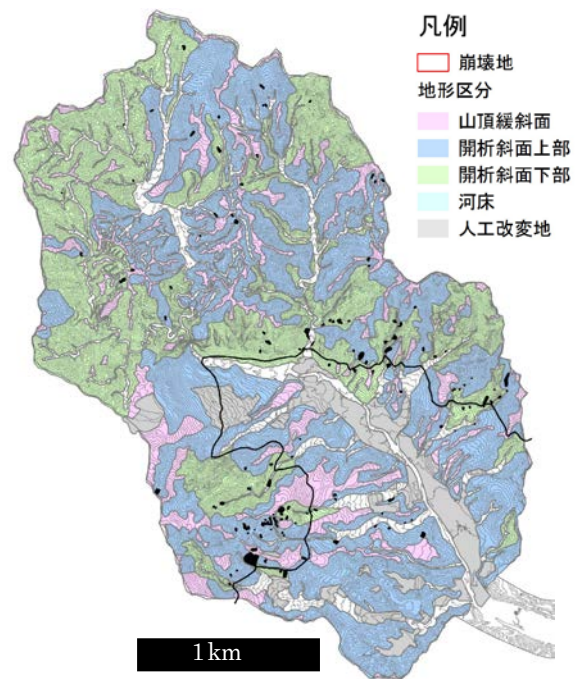


図-15 那智川流域 地形開析区分図

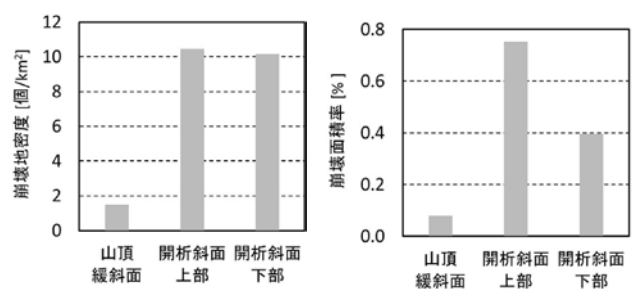


図-16 崩壊発生頻度状況 (那智川流域 花崗斑岩分布域)

ているといえる。

4.6.2 崩壊地調査結果

那智川流域の花崗斑岩分布域における表層崩壊の発生状況を分類すると、大きく3つに分けることができる(表-8)。それぞれの特徴を以下にまとめる。

表-8 那智川流域 花崗斑岩分布域の崩壊特性

発生形態	①	②	③
	風化残積土の崩壊	風化残積土および崩積土の崩壊	落石を伴う崩積土の崩壊
模式図			
主な地形区分	山頂緩斜面	開析斜面上部	開析斜面下部
概要	強風化岩が厚く分布し、それらの崩壊を主としている。コラストーンを含むが、含有率は低い。	崩積土およびコラストーンや岩層を含む強風化岩の崩壊を主とする。	崩積土の崩壊を主とし、これに落石状の崩壊を伴うことがある。落石状の崩壊は地質構造に規制されている。

(1) 風化残積土の崩壊

崩壊面には締まりが良好な強風化花崗斑岩が分布し、崩壊土層には、コラストーン及び花崗斑岩礫を含んだ締まりの緩いマサ及び崩積土が分布する。

花崗斑岩礫やコラストーンの含有率は、下記の崩壊地と比べて低い。主に山頂緩斜面で見受けられるが、山頂緩斜面において2011年に表層崩壊が発生した事例が少ないため、他の地域における事例も確認する必要がある。

(2) 風化残積土及び崩積土の崩壊

後述するタイプ(3)と同様に調査地域で最も多く発生した崩壊タイプである。崩壊土層は崩積土及びコラストーンや花崗斑岩礫を含んだマサを主としている。崩壊面や滑落崖でも、コラストーンを含んだ状態、もしくは節理が発達した弱風化花崗斑岩が確認できる。主に開析斜面上部において見受けられる。

(3) 落石を伴う崩積土の崩壊

(2)と同様に調査地域で最も多く発生している崩壊タイプである。崩壊土層は崩積土を主とし、その下部にある花崗斑岩から落石状の崩壊を伴うことがある。落石は、節理が主としてくさび状に開口したものと考えられ、崩壊面には割れ目が開口した様子が見受けられた。主に開析斜面下部でよく見受けられる崩壊形態である。

4.6.3 地形斜面型

表層崩壊発生場の斜面形状を斜面型⁹⁾に分類した結果を図-17に示す。表層崩壊が発生した地形は、開析斜面上部および下部に関わらず共に直線・谷型等脊斜

面が多く発生している様子が見受けられた。そのため、表層崩壊発生場の斜面型は集水地形に限らずに表層崩壊が発生している状況が確認された。

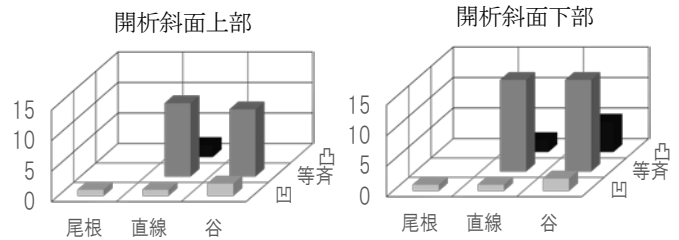


図-17 崩壊斜面型 (那智川流域 花崗斑岩分布域)

4.7 地形の開析を考慮した危険度評価

広島県広島市八木地区において、地質ごとに地形の開析状況を考慮したパラメータ設定を行い H-Slider を実施した。

崩壊実績と解析した危険度評価を照合する上で、ここでは的中率(予測土砂移動メッシュのうち実績土砂移動メッシュの比率)、カバー率(実績土砂移動メッシュのうち予測土砂移動メッシュの比率)、スレットスコア(予測もしくは実績の土砂移動メッシュのうちの予測及び実績で土砂移動したメッシュの比率を算出したもの)の3つの指標を用いた。的中率・カバー率が共に高い場合に、スレットスコアの数値が高くなることになる。H-Slider 解析結果および的中率・カバー率・スレットスコアを図-18に示す。

花崗岩分布域では、調査実施範囲に基づいたデータを他の斜面に適用したところ、一部で崩壊が発生していない斜面において土砂移動が予測されたものの、スレットスコアが0.14と一致する箇所が見られた。そのため、山地の開析状況を考慮することにより、簡易買入試験調査をある程度簡略化して H-Slider 解析を行うことができるものと予見される。

ホルンフェルス分布域では、調査実施範囲を除いた場合、特に開析斜面上部での的中率が低く、予測が実績土砂移動範囲と合致しない傾向が見られた。この要因として、特にホルンフェルス分布域の開析斜面上部における土層厚分布のデータが不足し、精度よく予測されなかったことが考えられる。

今後は、予測と実績が合致しなかったホルンフェルス分布域において高精度で土層厚を推定する手法についても検討を行い、H-Slider 解析精度の向上へつなげていく必要がある。

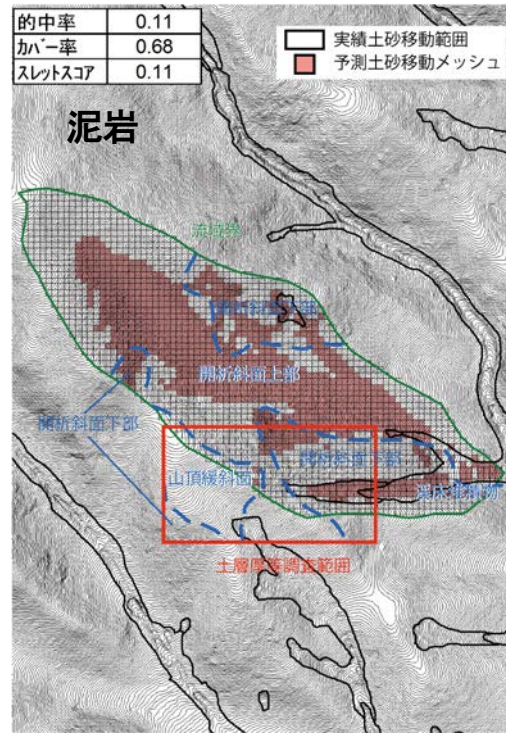
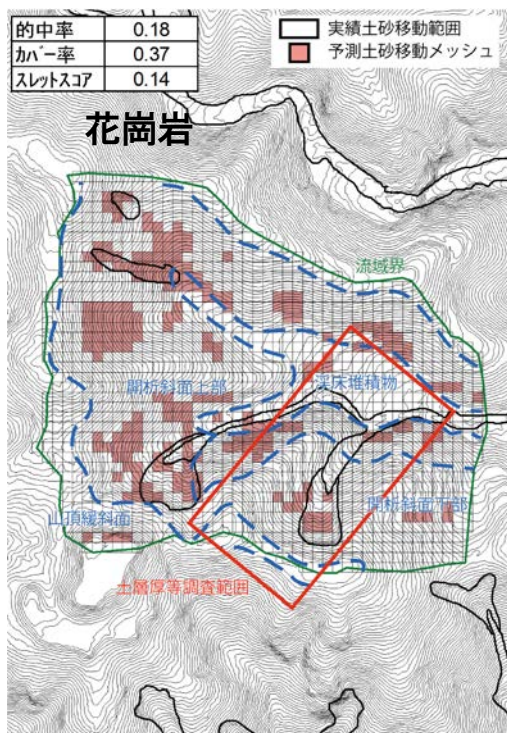


図-18 H-Slider 解析結果

5. まとめ

本研究では、表層崩壊の地形及び地質的素因を評価し、それを考慮したパラメータ設定によって表層崩壊危険度評価手法の有効性を検証した。

- 1) 花崗岩の分布する地域では、山地の開析状況に応じ、土層構造や崩壊特性が異なることが明らかとなった。
- 2) 集水地形を呈する斜面形において、崩壊が卓越する傾向が見られた。一方、非花崗岩分布域では、山頂緩斜面やその直下の遷急線、それ以下の開析斜面では崩壊特性や崩壊対象となる土質構造、斜面型に違いが見受けられた。
- 3) 崩壊危険度予測結果では、花崗岩分布域で簡易貫入試験を行わなくても、同程度の精度で表層崩壊危険箇所への予測ができる可能性を示した。

参考文献

- 1) 高木哲一・水野清秀：海地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅 海田市，地質調査所，49p，1999。
- 2) 荒牧重雄・羽田 忍：熊野酸性火成岩類中部および南部の地質，地質学雑誌，71，494-512，1965。
- 3) 久富邦彦：紀伊半島南東部の熊野層群の地質と堆積，地質学雑誌，87，3，157-174，1981。
- 4) 羽田忍：熊野酸性岩体の構造及びその岩石産状について，地質学雑誌，61，718，336，1955
- 5) 荒牧重雄：熊野酸性火成岩類の噴出様式，地質学雑誌，

71, 525-540, 1965.

- 6) 茅原一也・小松正幸・島津光夫・久保田喜裕・塩川 智：地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅 越後湯沢，地質調査所，108p，1981。
- 7) 松澤 真・木下篤彦・高原晃宙・石塚忠範：花崗岩地域における土層構造と表層崩壊形状に与える山地の開析程度の影響，地形，36，p23-48，2015。
- 8) 大八木規夫，島根県加茂・大東花崗岩類地帯における風化の構造と崩壊，防災科学技術総合研究報告，14，113-127，1966。
- 9) 三浦 清・秦 明德：風化花崗岩の節理型崩壊と節理粘土，応用地質，11，2，1970。
- 10) Chigira, Micro-sheeting of granite and its relationship with landsliding specifically after the heavy rainstorm in June 1999, Hiroshima Prefecture, Japan, Engineering Geology, 59, 219-231, 2001.
- 11) 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，41，2，103-112，2000。
- 12) 大川侑里・金折裕司・今岡照喜：白亜紀防府花崗岩体で発生した土石流の分布と性状，応用地質，52，6，248-255，2012
- 13) 小藤隆一・鈴木昌一：平成 16 年 7 月福井豪雨災害における山腹崩壊とその対策の方向について，砂防学会誌，59，1，49-55，2006
- 14) 石丸 聡・川上源太郎・田近 淳・対馬俊之・阿部友幸・

- 滝澤 昭博:2003 年台風 10 号による北海道日高地方里平地区の崩壊の形態的特徴と発生場 -航空レーザー測量データを用いた解析-, 地すべり学会誌, 45, 2, 137-146, 2008
- 15) 松澤真・千木良雅弘・土志田正二・中村剛:岩石の風化程度および削剥前線に支配された表層崩壊発生場-和泉層群の事例-, 55, 2, 64-76, 2014
- 16) 永田秀尚・飯沼達夫・萩原 陽一郎:2004 年台風 21 号豪雨により三重県宮川村で発生した表層崩壊地の地形と表層地質特性, 地すべり学会誌, 46, 3, 181-187, 2009
- 17) 鈴木隆介:現場技術者のための地形図読図入門(3), 測量, 7月号, p43-52, 1977.
- 18) 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, 40, 5, 306-315, 1999
- 19) 花岡 尚・川口将季・土田 孝・中川翔太・加納誠二:2010 年 7 月に広島県庄原市で発生した土砂災害の調査と考察-平行斜面中腹の崩壊メカニズムに関する検討-, 地盤工学ジャーナル, 7, 1, 295-309, 2012
- 20) 猪瀬 賢・橋本 寛:47 年 7 月災害報告, 新砂防, 86, 25-34, 1973.
- 21) 建設省河川局砂防部傾斜地保全課・建設省土木研究所砂防部急傾斜地崩壊研究室:がけ崩れ災害実態について, 土木研究所資料, 1109, 189p, 1976
- 22) 土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム:表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価マニュアル(案), 土木研究所資料, 第 4129 号, p1-40, 2009.

Study on occurrence and evaluation of shallow landslides from geological and topographical factors

Research Period : FY2015-2017

Research Team : Sediment Control Research Group
(Volcano and Debris flow)

Author : MIZUNO, Hideaki

KINOSHITA, Atsuhiko

TAKAHARA, Teruyoshi

Abstract : In this research, we evaluated the topography and geological predisposition of shallow landslides and to verify the effectiveness of risk assessment method by parameter setting considering it.

Previous studies have revealed that the soil structure and shallow landslides characteristics of the Tsurugi river basin in Hofu city where granites are distributed differ depending on the mountain denudation areas, but similar characteristics can be seen in other areas the tendency of shallow landslides predominates was seen in the slope shape exhibiting the catchment topography. On the other hand, in the non-granite distribution area, differences were observed in the shallow landslides properties, the soil structure to be collapsed, and the slope shape in the gentle slopes of the mountaintops, the express trunk just beneath them, and the crater slope below it.

Key words : shallow landslides, geology, topography, mountain denudation, soil structure