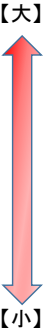
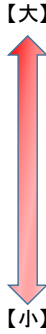


表 2.4 各踏査エリアの崩壊発生形態の特徴

エリア	崩壊密度	崩壊面積	崩壊密度と平均崩壊面積	テフラ堆積厚の特徴	地形の特徴	主体となった崩壊	密度と規模	テフラ残存量	開析の状態
5	高	大	40%／4万m ²	5:En-a厚／Ta-d厚	開析が進んでいない緩斜面が広く残存	緩斜面に残存した テフラの崩壊	 【大】 【小】	 【大】 【小】	
2, 7, 11	高	中	40%／1.5～2.5万m ²	2:En-a厚／Ta-d薄 7・11:En-a中／Ta-d厚	緩傾斜の上部谷壁・大きな谷頭凹地が発達	緩斜面の谷頭凹地に残存した テフラの崩壊			
-	高	小							
-	中	大							
8	中	中	20%／1万m ²	8:En-a中／Ta-d中	緩傾斜の上部谷壁斜面に比較的大きな谷頭凹地が発達	緩傾斜の谷頭凹地に残存した テフラの崩壊			
6, 12	中	小	15%／3千m ²	6:En-a厚／Ta-d中 12:En-a中／Ta-d厚	傾斜の急な下部谷壁斜面が発達し、緩傾斜の上部谷壁斜面に小規模な谷頭凹地が分布	急傾斜の 表層崩壊 と谷頭凹地に残存した テフラの崩壊			
-	小	大							
-	小	中							
1, 10	小	小	10%／3千m ²	1:En-a厚／Ta-d薄 10:En-a薄／Ta-d薄	傾斜の急な下部谷壁斜面が発達し、上部谷壁斜面が狭く、谷頭凹地も小さく少ない	急傾斜の 表層崩壊 (テフラは残存しない)が主体で、谷頭凹地に残存したテフラの崩壊が散在			
3, 4, 9	極小	小	1%／2千m ² 以下	3:En-a厚／Ta-d薄 4:En-a厚／Ta-d中 9:En-a中／Ta-d薄	傾斜の急な下部谷壁斜面が発達し、上部谷壁斜面がほとんどない	急傾斜の 表層崩壊 (テフラは残存しない)が主体、4のみ谷頭凹地に残存したテフラの崩壊が散在			

2.2.3 山地災害タイプの分類

現地踏査では、各エリアの発生形態・傾向に加え、斜面条件やテフラ堆積状況などを明らかにした。これらの結果から、当該地域での山地災害の発生形態を整理するために崩壊土砂の動態、崩壊物質、斜面条件などに着目して崩壊のタイプ分類を行った。なお、分類に当たり斜面条件については、前出の斜面微地形分類と斜面型に従った。表 2.4 に分類した崩壊のタイプを示し、以下それぞれについて説明する。なお、表 2.4 の 5 つの崩壊形態は、今回の地震で発生した形態をすべて網羅したものであり、その発生数や発生密度についてはかなり差がある。本地区の山地災害の特徴である発生数や密度に大きく関係している崩壊は、テフラの崩壊と表層崩壊である。

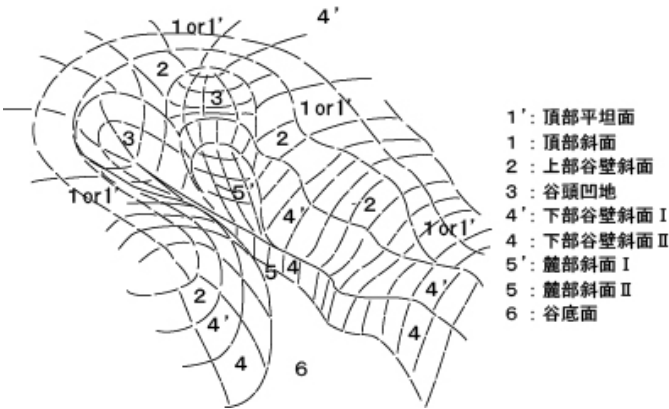


図 2.3 (再掲)

		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			
	凸形斜面			
	凹形斜面			

図 2.4 (再掲)

表 2.5 斜面崩壊での土砂動態と崩壊の分類

	土塊の動態	崩壊の分類	発生集中域
斜面崩壊	完落型	テフラの崩壊 表層のテフラ層を弱部とする緩斜面での崩壊	谷頭周辺や開析の進んだ深流出口や緩傾斜の谷壁斜面
		岩屑の崩壊 急傾斜の椀状・凹地状崩壊面を被覆する表層岩屑やテフラの二次堆積物の崩壊	開析の未発達な下部谷壁斜面
		表層崩壊 表層土や岩盤表層付近で発生する崩壊	急斜面
		岩盤崩落 基盤岩が主体となるはく離・トップリング性の崩落	岩盤露頭(2か所)
	滞留型	岩盤地すべり 地質構造に規制された深い深度での滑動	尾根地形(数箇所)

(1) テフラの崩壊

現地で崩壊斜面の傾斜を計測すると 30° に満たない緩斜面で多く崩壊しており、逆に 35° を超えるような急斜面ではほとんど見られなかった。滑落崖には明瞭なテフラの成層構造が確認されており、尾根直下に連続する上部遷急線に滑落崖が連続し、斜面中腹での崩壊はみられない。 35° を超える斜面で崩壊が見られなかったのは、急斜面にテフラが堆積していないためと考えられる。また、緩傾斜だが土砂はほぼ落ち切っているが、溪流内で確認される土砂ダムは小規模なものが多い。本地区の地震による山地災害を最も特徴づける崩壊である。

模式断面： 平板上の直線斜面・谷頭周辺の緩斜面

発生斜面条件： 等斉直線斜面、凹形谷型斜面

頭部形状： 谷壁や谷頭凹地の上部遷急線形状に沿う

崩壊面： テフラと新第三系ないし崩土の境界での崩壊、一部では En-a や Spfa 内部

テフラ： En-a と Ta-d で崩壊様式の違いに差は見られない

移動土塊： 表層植生を伴った状態で移動しており、流動性が高く土砂の移送距離が長い。斜面長に比例して発生土砂量も大きくなる傾向がある。

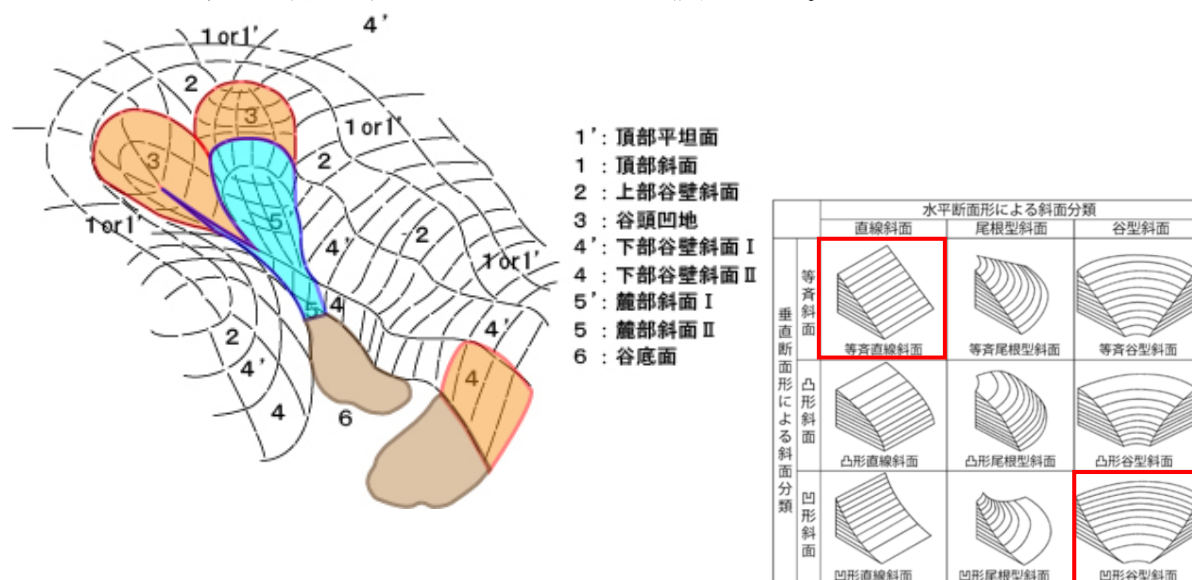


図 2.4 テフラの崩壊の斜面条件（左）および斜面型（右）の分類

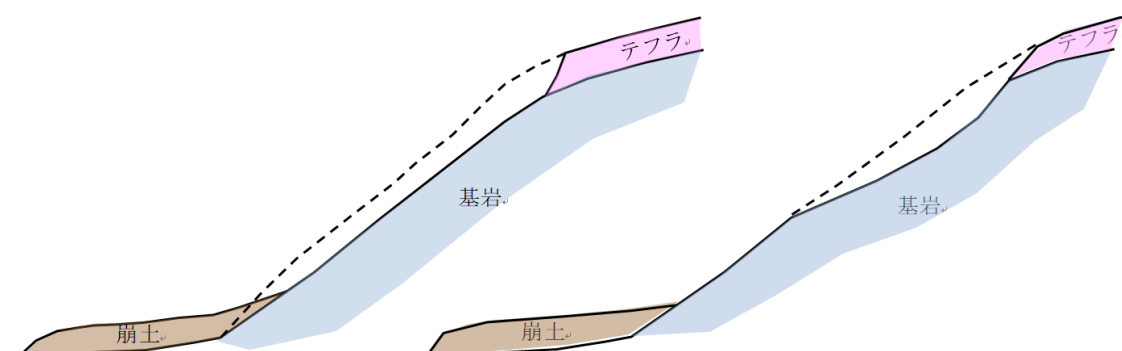


図 2.5 テフラの崩壊の模式断面図

(2) テフラを含む岩屑の崩壊

比高差のあるV字谷斜面で主に発生しており、開析の未発達な0次谷ないしそれに満たない凹地形であることが多い。崩壊地は碗状ないし凹地状の崩壊面になっており、上流に進むと下部谷壁が消失するためみられなくなる。また、崩壊斜面上部の遷急線上部ではテフラの崩壊が発生している場合が多い。本崩壊形態は、テフラの崩壊に比べると数は少ない。

模式断面： 下部谷壁斜面～上部谷壁斜面、もしくは麓部斜面
 斜面条件： 凹型谷型斜面、凸型直線斜面
 頭部形状： 上部遷急線付近に弧状の頭部を持つことが多い
 崩壊面： テフラや岩屑を含む二次堆積物の基底部
 テフラ： 地域によってことなるが En-a 二次堆積物であることが多い
 移動土塊： 土砂は概ね流下しているが、下部谷壁斜面中に滞留していることがある。上部にテフラの崩壊を伴うことがある。

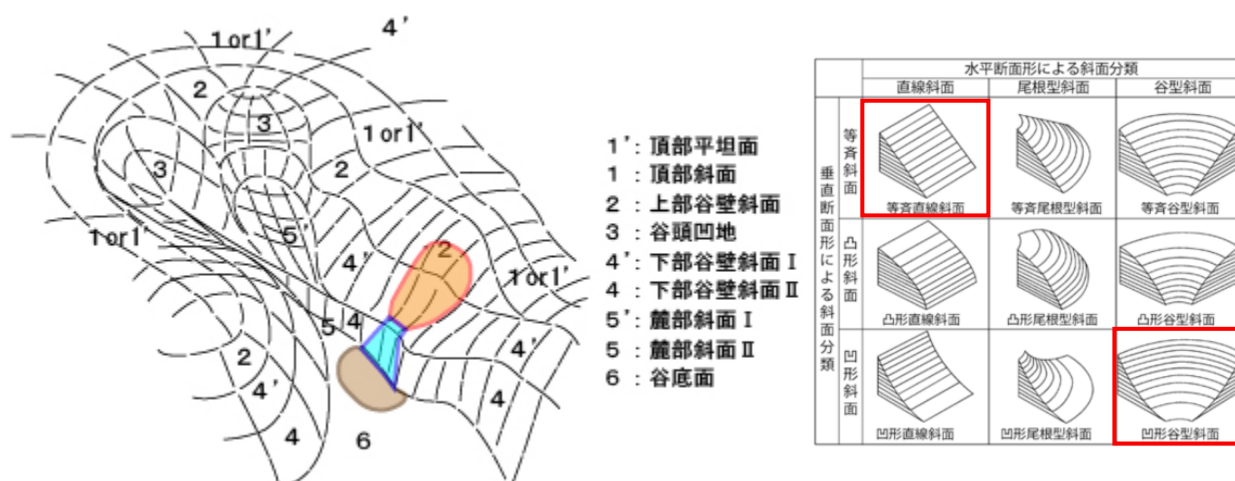


図 2.6 テフラを含む岩屑の崩壊の斜面条件（左）および斜面型（右）の分類

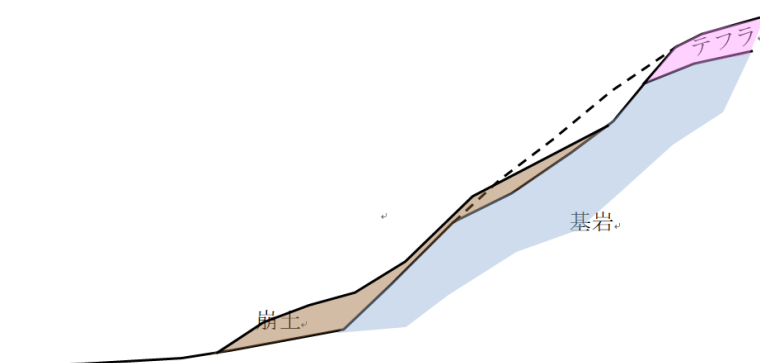


図 2.7 テフラを含む岩屑の崩壊の模式断面図

(3) 表層崩壊

崩壊斜面は急傾斜地であるため表土は薄く、崩壊面は風化基岩表層になり、崩壊地内に風化基岩露頭が認められる。崩壊頭部は弧状であり滑落崖にテフラは認められるが、崩積土中にはほとんど見られないことから、急傾斜であるためもともと降下堆積物であるテフラが斜面中に滞留できない環境であったと推察される。河床幅の狭い開析の未発達な溪流の溪岸で発生することが多く、流木によって土砂が捕捉され、溪流内に複数の土砂ダムを形成する場合がある。本地区の地震による山地災害を特徴づける崩壊である。

模式断面： 下部谷壁斜面
 斜面条件： 等斉直線斜面、凸型直線斜面
 頭部形状： 斜面上部の遷急線付近に弧状～弦状の頭部をもつ
 崩壊面： 表層土や新第三系の堆積岩の風化露頭
 テフラ： 黒ボク直下にもみられるが、厚さは最大数十 cm 程度と概ね薄い
 移動土塊： 斜面は 30° 以上の急斜面からなっているため表土は薄く、崩壊は風化基岩のごく表層部で発生し、崩壊地内に風化基岩露頭が認められる。崩壊頭部より上部斜面は、急傾斜であるか、頂部平坦面に接するため斜面長が短い場合が多い。土塊は砂礫分が主体で流動性が低く植生を伴って斜面下部に滞留しており、開析が未発達で床幅が狭い溪流では土砂ダムを形成する。

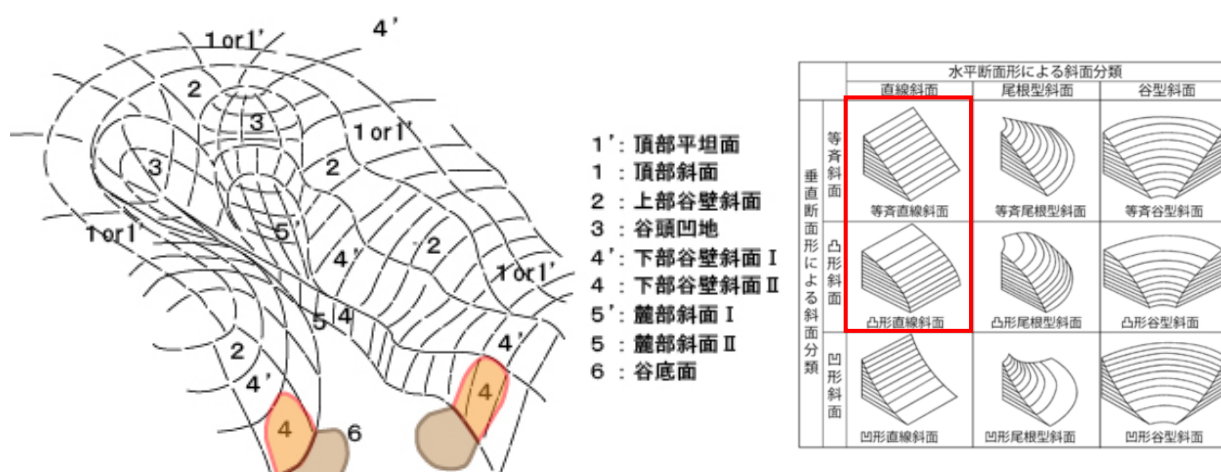


図 2.8 表層崩壊の斜面条件（左）および斜面型（右）の分類

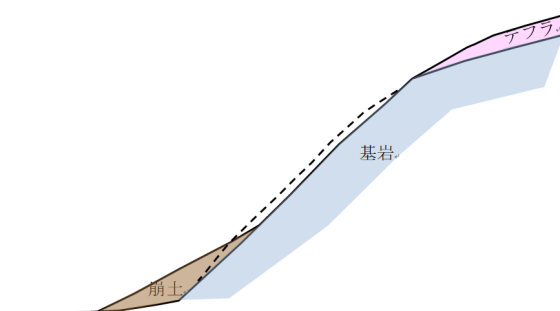


図 2.9 表層崩壊の模式断面図

(4) 岩盤崩落

現地ではほとんど見られず散見される程度であったが、確認できたのはいずれも起伏量の大きい山地付近である。崩壊土砂の流動性はなく、崩土は直下に堆積している。

模式断面： 急崖端部周辺

頭部形状と崩壊面： 風化に伴う節理や亀裂の発達した屹立した基岩露頭部

テフラ： 表層の黒ボク直下に 1m に満たない厚さで確認できるが、崩壊とは無関係である。

移動土塊： 基岩の見掛けの傾斜は概ね水平に近く、トップリング性の崩壊が主体となる。開析の進んだ低次谷の受盤斜面や、溪流出口付近の侵食崖で見られる構造だが、発生数は他に比べると極端に少なく一部でのみみられる。

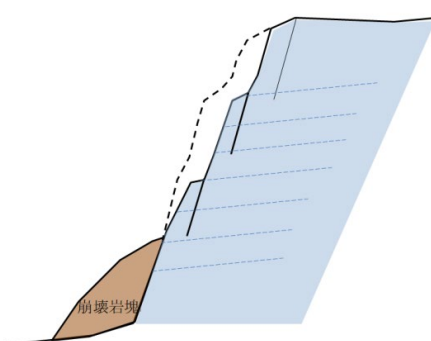


図 2.10 岩盤崩落の模式断面図

(5) 岩盤地すべり

低角な勾配の地層境界や不連続面に沿って滑動する。尾根部で発生する場合と尾根に挟まれた斜面で発生する場合があります、前者は尾根を切断する形で数 m～数十 m の陥没帯を形成し、両側に断崖が屹立する。一方後者は稜線に沿って長大な滑落崖を形成し、転倒した土塊が連続し、複数の山向き小崖が確認される。いずれもすべり面は深く確認できないが、末端押し出しによって溪床の隆起や土砂ダムを形成する一因となっていることから、数十 m の深さがあると考えられる。

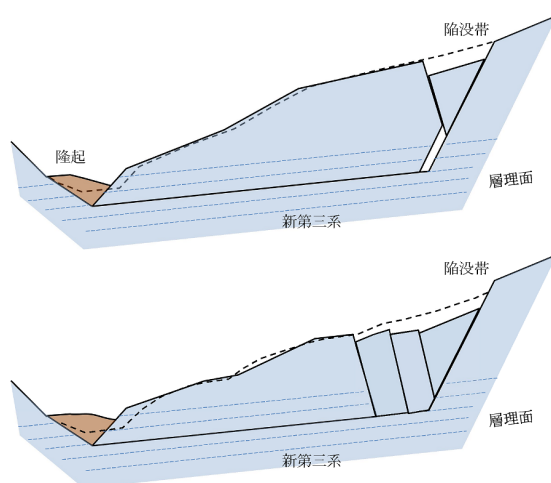


図 2.11 岩盤地すべりの模式断面図

2.2.4 テフラの崩壊の特徴

現地踏査の結果を整理すると、当該地域における地震で発生した山地災害の特徴的な崩壊としてテフラの崩壊が挙げられる。テフラの崩壊は 30° 以下のいわゆる緩斜面においても発生しており、かつ土砂が流動化し易く移送距離が長いといった特徴が見られる。これらの特徴は、該当斜面が保全対象への危険を示す山地災害危険地区の対象でない場合や、土砂流出による保全対象への影響を鑑みた場合、崩壊形態や特性を明らかにすることは喫緊の課題といえる。本項では、既往のデータ（レーザ測量によるデータ）を用いた地形を用いてGIS（地理情報システム）で解析を行い、テフラの崩壊による流出土砂特性および崩壊が発生する斜面特性について検討を行った。

(1) テフラの崩壊による崩壊土砂の流動性

現地踏査の結果から、テフラの崩壊が起きやすい斜面条件は等斉直線型の斜面と凹形谷型斜面の2つに分類することができ、またそれぞれの主な位置関係については以下のように整理できる。

- ・等斉直線斜面…溪流内部の谷壁上部斜面、溪流出口付近の溪床幅の広い谷壁斜面
- ・凹形谷型斜面…溪流内部の谷頭や凹地周辺の緩斜面

ここで、崩壊土砂の流動性（＝到達距離の関係）を把握するために、地すべりや斜面崩壊などで発生した移動土塊の到達距離を定量的に比較する指標である、距離と高さの関係から導く等価摩擦係数を用いて、テフラの崩壊によって発生した崩壊土砂の流動性特性について検討した。

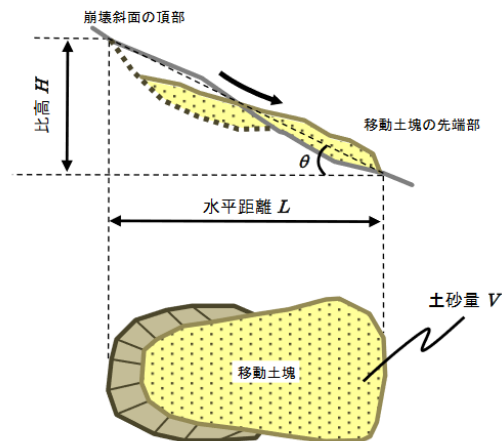


図 2.12 透過摩擦係数の計測方法（藤田(2004)より引用）

本検討においては既往の崩壊分布データからテフラの崩壊に分類された斜面を選定し、斜面の中心線を通るように崩壊地頭部と土砂末端を結び係数を求めた。なお計算にはGISを用い、選定した斜面については、構造物や著しい溪流の蛇行などの障害が極力少なく、崩壊土砂の到達距離がわかる斜面についてのみ抽出した。さらに発生域の違いとして崩壊形や流下部の地形による差も検討に加えるため、崩壊形態を3つのタイプに分けて検討を行った。ただし、タイプ2とタイプ3の区分は、流走

距離の見た目による相対的なものである。

また、降水量が一定とみなせる小地域に限定しても、山地では斜面方位によって日射・風速などが異なり、蒸発散量が影響を受けて表層部の土壌の水分条件に差を生じるといわれている（薄井ほか、1968）。そこで、崩壊土砂と土壌水分量について検討するために、崩壊の斜面方位についても整理した。

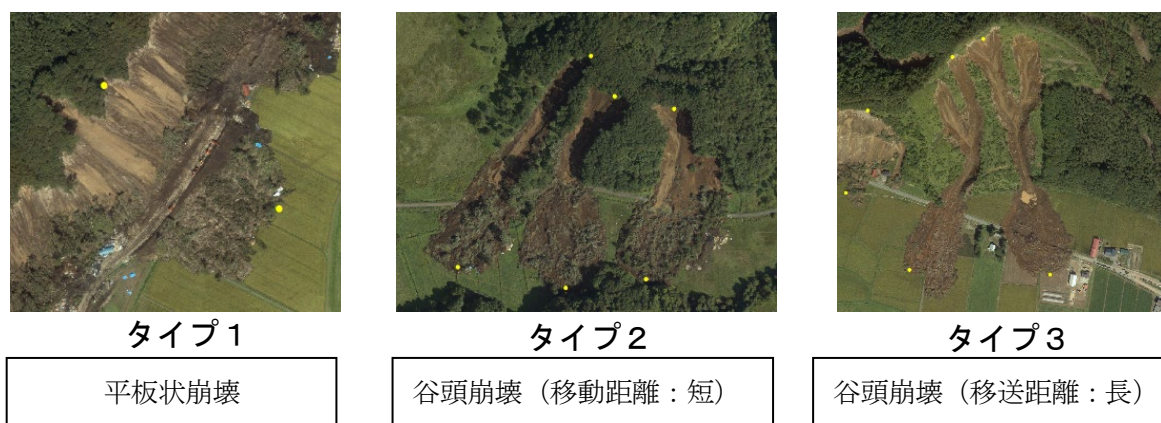


図 2.13 流動性検討に用いたテフラ崩壊のタイプ区分(黄丸が抽出端点)

(i) タイプ別の等価摩擦係数

テフラの崩壊が発生した斜面において、算出したタイプ毎の等価摩擦係数の分布を図 2.14 に整理した。テフラの崩壊が発生した斜面の等価摩擦係数は全タイプを通して 0.16～0.28 の間に最頻を示し、0.1 前後を示す崩壊もいくつか認められる。この値は、降水によって生じる崩壊に比較して、非常に小さい値を示す（図 2.15）。タイプ毎に比較するとタイプ1は他の2つに比べると全体的に低い値を示す分布をし、タイプ2と3では流下区間の長いタイプ3の方が小さい値を示す傾向がみられる。

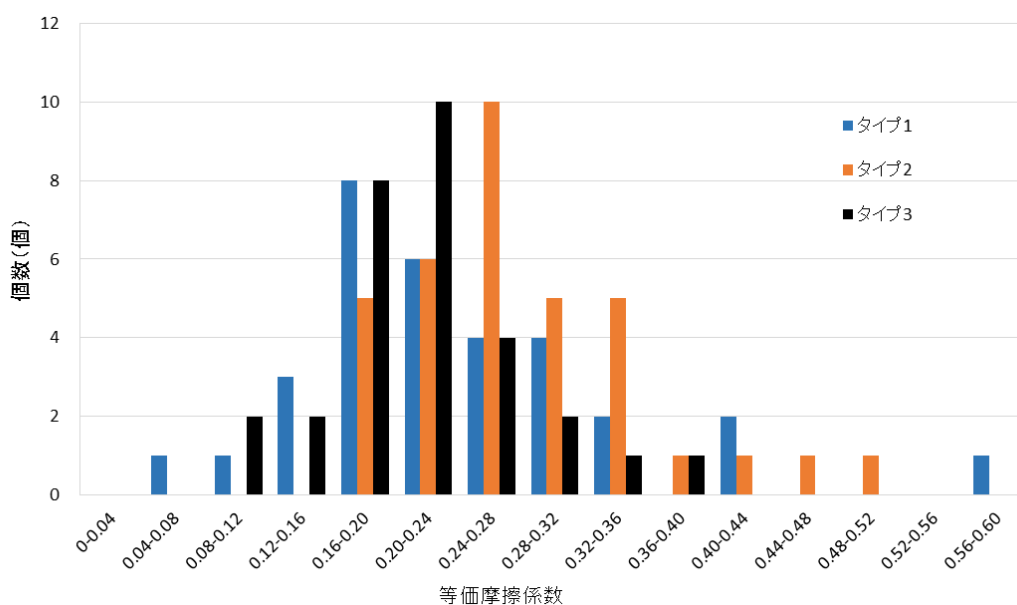


図 2.14 テフラの崩壊の等価摩擦係数（タイプ別）

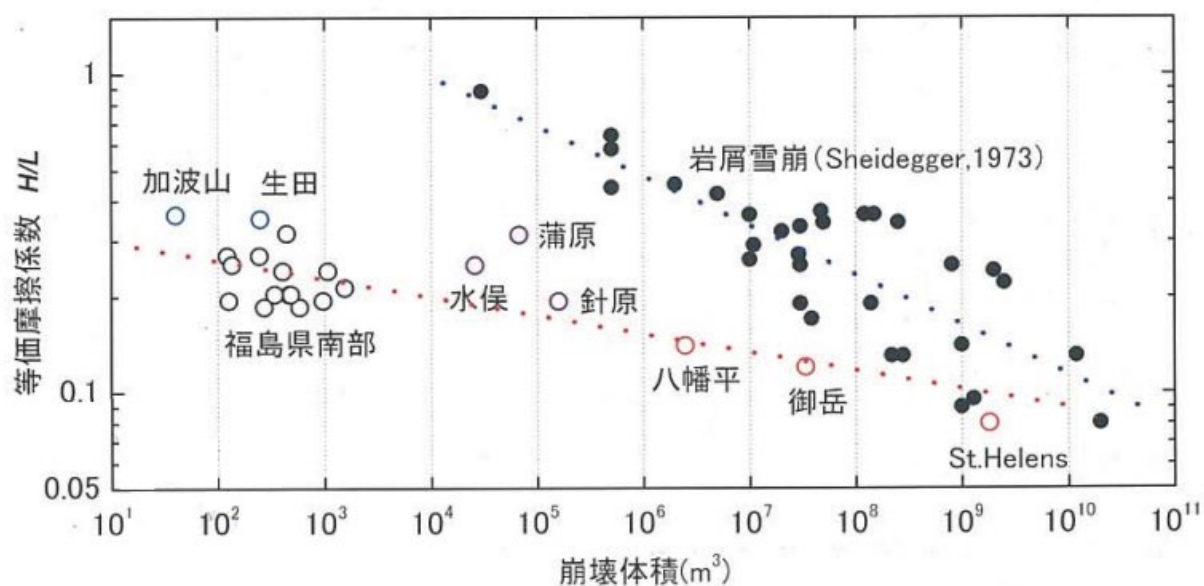


図 2.15 崩壊の規模と等価摩擦係数（落合、1973）

(ii) 斜面方位と等価摩擦係数

各崩壊斜面の方位角については GIS 上で整理しており、等価摩擦係数と斜面方位との相関を比較することで、卓越した方位の有無を確認し有意性があるか検討を行った（図 2.16）。

図 2.16 からは透過摩擦係数と斜面方位の関係は明瞭な特徴（特定の方位に偏在する傾向）がみられなかった。今回の検討では、分布するテフラの崩壊から解析用に斜面を作為抽出しているため、傾向を推定するには不十分な統計量であることも考えられることから、テフラの崩壊で発生した崩壊土砂の流動性に、表層の水分条件が関係するような結果は得られなかった。

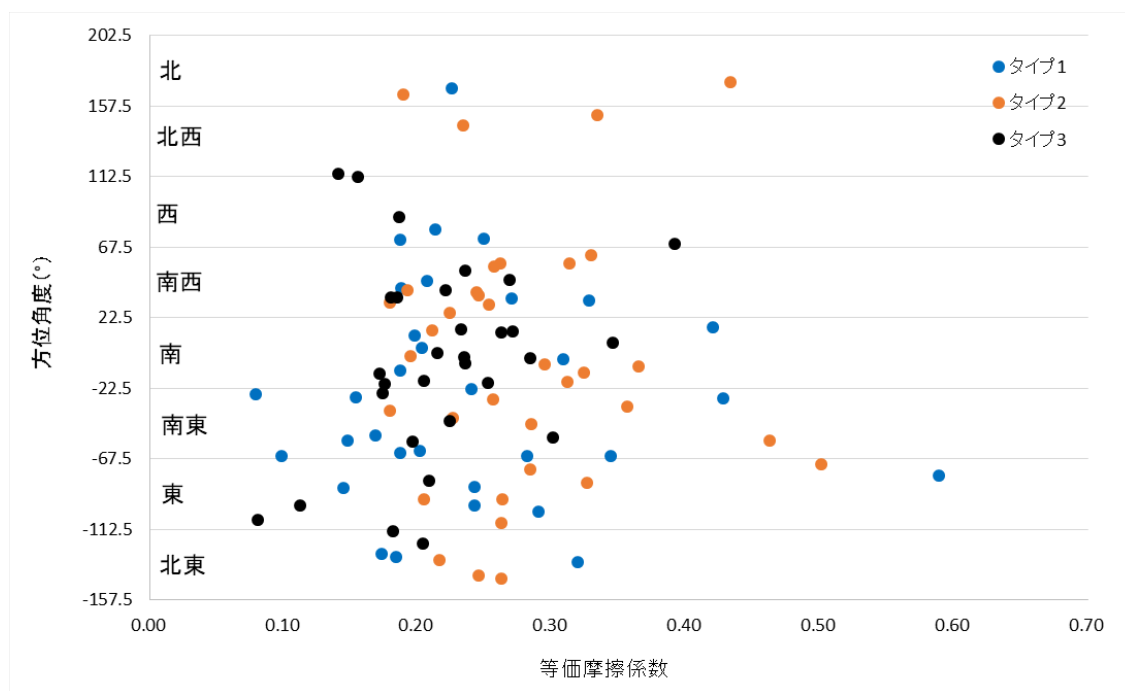


図 2.16 透過摩擦係数と方位角度（斜面方位）の関係

(iii) 平面傾斜の等価摩擦係数

次に、崩壊が発生した斜面傾斜（崩壊斜面の頭部から脚部までの角度）と等価摩擦係数の関係について比較を行った。

崩壊は、傾斜 $5\sim 35^\circ$ 斜面で発生しており、 $15\sim 25^\circ$ の斜面で多く、 10° 以下の斜面でも多数発生している。傾斜 35° 以上の崩壊は抽出されなかった。

タイプ別に同じ斜面傾斜で比較すると、タイプ 1 が最も等価摩擦係数 μ が小さく、タイプ 2、タイプ 3 へと大きくなる傾向がみられる。このことは、委員の指摘にもあったように、側方の抵抗力が原因である可能性がある。そうだとすると、当地域のテフラの崩壊特性は、タイプ 1 で代表される可能性が高い。

タイプ 1 について、最小の等価摩擦係数 μ と傾斜の関係は以下ようになる。

斜面傾斜 10° : $\mu = 0.10$

斜面傾斜 20° : $\mu = 0.13$

斜面傾斜 30° : $\mu = 0.18$

つまり、タイプ 1 では、斜面傾斜が急になるほど等価摩擦係数 μ が大きくなる。このことは、傾斜が急な斜面ほど、残存するテフラの破壊や変形に対する抵抗性が大きいことが予想され、それが等価摩擦係数に反映しているものと思われる。

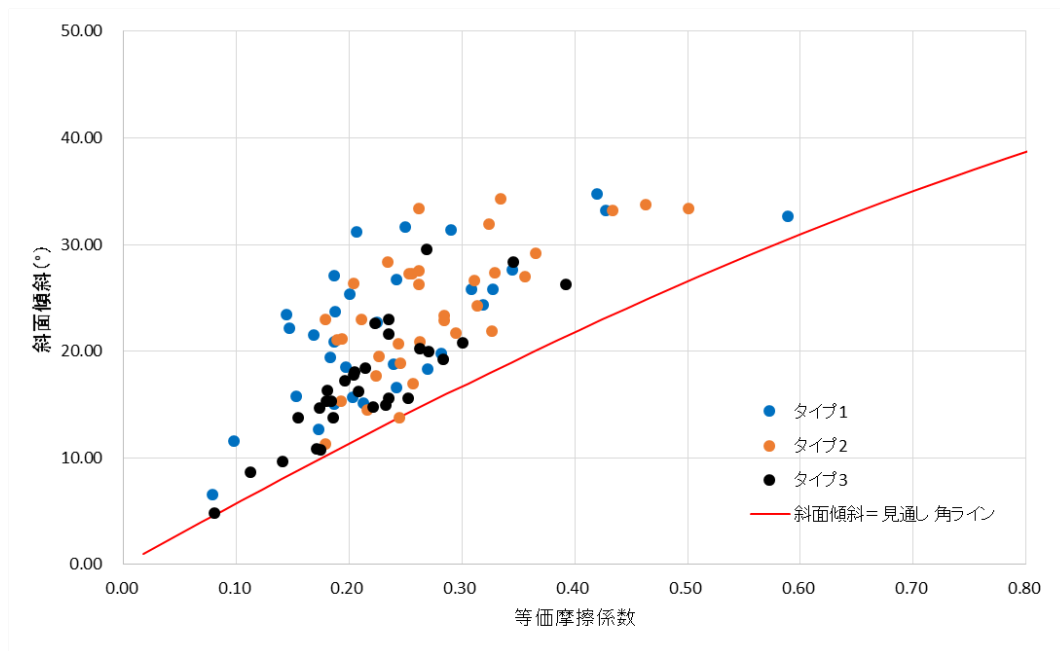


図 2.17 透過摩擦係数と斜面傾斜の比較

(iv) 崩壊土砂の影響範囲

次に、崩壊斜面基部からの土砂の移動距離について、タイプ1～3での土砂の移動距離を整理した。

図 2.18 から、土砂の移送距離が長いタイプ3の値の取る範囲が広く、最大で 300m 以上に達することが示される。タイプ1と2は概ね 150 m 内に収まっているものの、テフラの崩壊の到達距離が非常に大きいことが示される。

また、図 2.19 からは次のことが示される。

タイプ1は、前記したiii)の結果から斜面傾斜が急になるほど等価摩擦係数が大きくなるが、ここに示したように、斜面傾斜が急なほど到達距離（最大値）も大きくなる。これは例えば、同じ高さ H のふたつの斜面で、その水平距離 L の差よりも到達距離の増加距離が小さいことを示している。このことは、残存していたテフラの破壊や変形に対する抵抗性が異なり、急な斜面ほど抵抗性が大きいことによると考えられる。

タイプ3の崩壊は、同じ斜面傾斜においてタイプ1に較べると等価摩擦係数が大きい、到達距離が大きくなるのは、タイプ3の崩壊が高い位置で発生するためである。しかし、例えば、同じ傾斜で比較すると、タイプ1とタイプ3の水平距離 L の差より、到達距離の差は小さい。このことは、委員の指摘にあったように流動距離は位置エネルギーの影響が大きい、流下時の側方抵抗力が原因で等価摩擦係数は大きくなると考えられる。

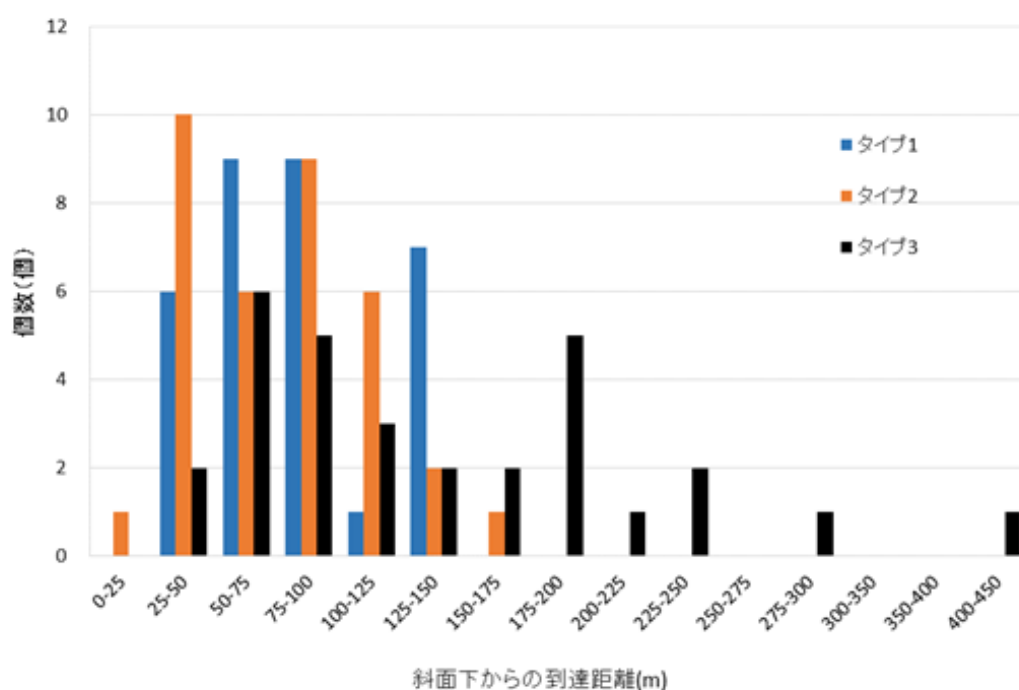


図 2.18 土砂の斜面脚部からの到達距離（タイプ別）

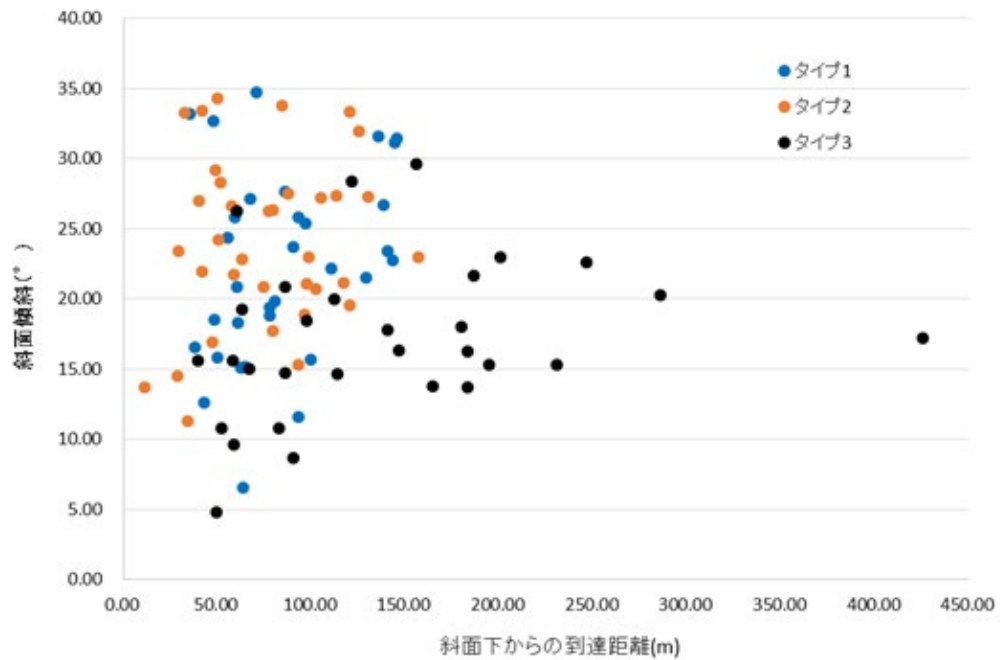


図 2.19 土砂の到達距離と斜面傾斜の関係

(2) テフラの崩壊の発生斜面特性

一般的に 30° 以上の急傾斜で崩壊の発生頻度が上がるとされているが (図 2.20)、現地踏査ではテフラの崩壊について 35°を超える急傾斜地では見られず、かつ 30°未満の緩傾斜で多く発生していることが明らかになった。一方、丘陵地のような緩斜面において、テフラの崩壊が発生する場合、斜面傾斜の下限値を検討することが対策を考える上で重要となるが、未崩壊緩斜面でのテフラの有無や斜面傾斜等は調査では明らかにされていない。そのため、既存のGISデータを用いテフラの崩壊が発生しうる斜面傾斜の下限値について2つの検討を行った。さらに当該調査で対象となる森林域全域の斜面特性との比較をし、それぞれの斜面特性について整合性を確認した。

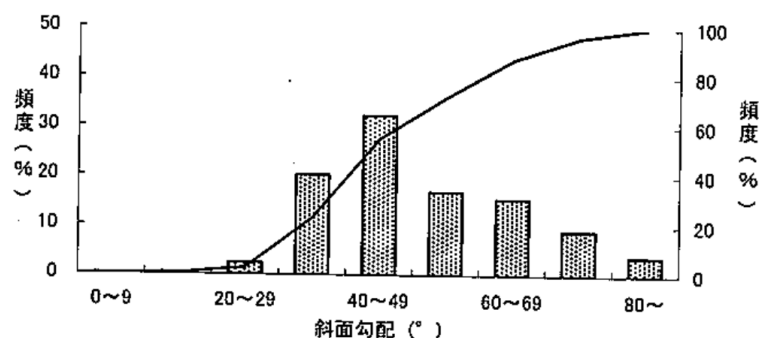


図 2.20 斜面崩壊が発生する斜面傾斜と頻度の関係
(国土技術政策総合研究所(2009)より抜粋)