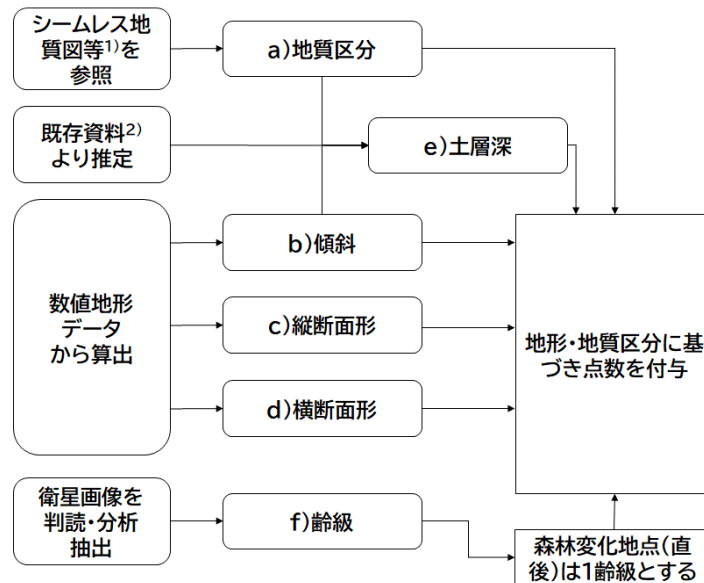


3.3. 航空レーザデータによる地形解析

3.3.1. 航空レーザデータを用いた地形解析

土砂流出箇所における要因を地形や地質の観点から評価するため、災害前の航空レーザ測量成果を用いて山腹崩壊危険度を調査した。山腹崩壊危険度の調査は「山地災害危険地区調査要領（平成 28 年 7 月）林野庁」（以下、要領）の山腹崩壊危険地区調査実施要領に基づき実施した。

実施にあたっては、航空レーザ測量成果のグリッドデータを用いて 10m メッシュ毎に調査した（図 15 参照）。地形、地質、樹種などから点数を付与し危険度の高い地域を抽出した。図 16 には危険度点数表を表示する。



1) 国立研究開発法人産業技術総合研究所を用いる

2) 平成 17 年度山地災害危険地区危険度判定手法調査報告書、財団法人林業土木コンサルタンツ、2006 または、その他の土層深推定手法を用いる

※衛星画像から抽出する項目は採用する衛星画像に合わせて検討

図 15 山地災害危険度調査の流れ

表 1-1-1 雨量区分、地質、地形及び林況による山腹崩壊危険度点数表（多雨地域）

調査項目	単位	区分	地質							
			第1類	第2類	第3類	第4類	第5類	第6類	第7類	
1	傾斜	%	0~30	0	0	0	0	0	0	0
			31~50	8	16	17	22	27	25	20
			51~70	42	31	51	52	47	48	39
			71~90	62	48	59	55	69	57	63
			91~	70	56	51	60	59	44	71
2	縦断面形		凹形	30	24	25	26	29	25	31
			平滑	22	19	10	5	16	8	8
			複合	8	14	0	0	0	13	4
			凸形	0	0	5	5	6	0	0
3	横断面形	度	~150	20	19	25	26	29	25	31
			151~210	30	24	20	14	25	13	16
			211~	0	0	0	0	0	0	0
4	土層深	m	0.5以下	0	0	0	0	0	0	0
			0.5~1.0以下	6	5	3	3	4	3	6
			1.0~2.0以下	10	8	8	9	10	8	10
			2.0超	20	16	17	17	20	16	20
5	齢級		1	34	26	27	28	33	28	33
			2~3	50	40	42	43	49	41	51
			4~7	36	31	30	31	37	30	37
			8~11	34	26	27	28	33	28	33
			12以上	30	24	25	26	29	25	31

図 16 山地災害危険度点数表

地形解析の対象範囲は、球磨川右岸の球磨村北部は、付加体からなる急峻地形で R2 年度の崩壊地判読では被害が集中した。同一の地質で崩壊した箇所とそうでない箇所の要因を調査するため、地形解析範囲および衛星画像の判読範囲を球磨村北部（下図参照）の範囲とした。

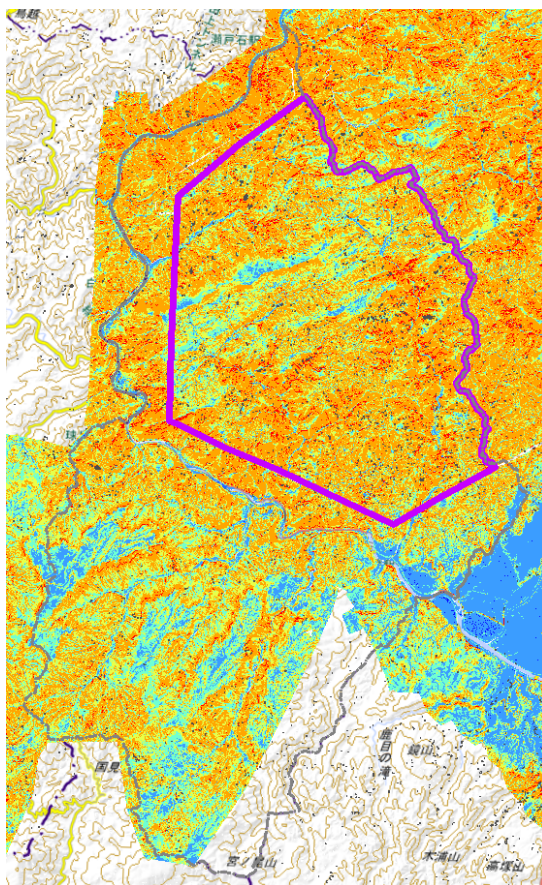


図 17 地形解析の範囲

3.3.2. 調査で使したデータ

山腹崩壊危険箇所の抽出・危険度評価には、「山地災害危険地区調査要領（平成 28 年 7 月）林野庁」に基づき調査した。使した資料やデータに加えて、解析の概要を以下に示す。

表 8 調査項目および使したデータ

調査項目	使したデータ	解析の概要
地質区分	20 万分の 1 日本シームレス地質図 (GSJ, AIST, 20 万分の 1 日本シームレス地質図 V2)	地質分類を以下の第 1 類～第 6 類に再分類した 第 1 類：火山性の第四紀堆積物 第 2 類：水成の第四紀堆積物（洪積砂礫等） 第 3 類：新第三紀層の堆積岩 第 4 類：古第三紀以前の堆積岩 第 5 類：火山岩 第 6 類：半深成岩・深成岩
傾斜度	過年度航空レーザ測量データ	1.0m 間隔の DEM データをバイリニア法によって 10m にリサンプリングし、傾斜、縦断曲率、横断曲率を算出
縦断面形	（平成 21 年度球磨川上流域航空レーザ計測業務成果）	
横断面形		
土層深	崩壊前後の DEM データ	崩壊前後の DEM データを用いた差分解析で土層深を算出
齢級	森林簿	齢級によって配点 無立木の齢級は、1 齢級とする。

3.3.3. 集材路分布図の作成

過年度の国土交通省で実施した航空レーザ測量成果の微地形表現図および衛星画像を用いて、集材路分布図を作成した。集材路分布図は微地形表現図等で判読できる集材路の中心線を取得したラインデータを作成した。路網ラインデータは、表 9 のとおり属性を付与した。なお路網の幅員は参照する空間情報が粗い解像度を用いて、GIS の距離計測ツールで調査した机上調査の内容であるため参考とする。

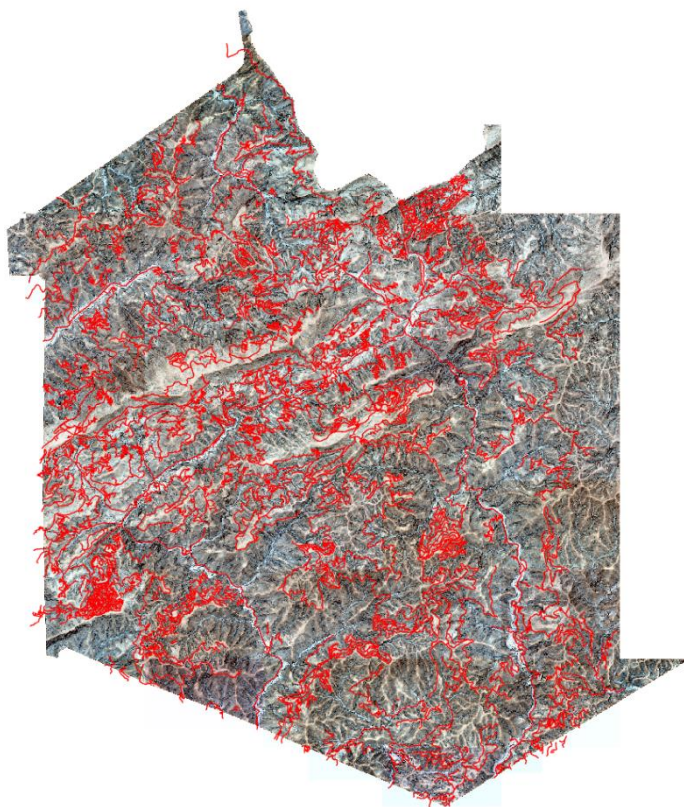


表 9 属性データ

フィールド名	項目	備考
fukuin	幅員 (m)	マップ上で計測した道路幅※
Encho	延長 (m)	路網の延長※
Bikou	備考	参照した空間情報を記述。

※平面投影距離

図 18 集材路分布図

3.3.4. 調査結果

c) 地質区分

産総研地質調査総合センター，20 万分の 1 日本シームレス地質図 V2 における地質区分における分類結果を示す。本調査地域は付加体が優占し、河川沿いに堆積岩や火成岩が分布する。

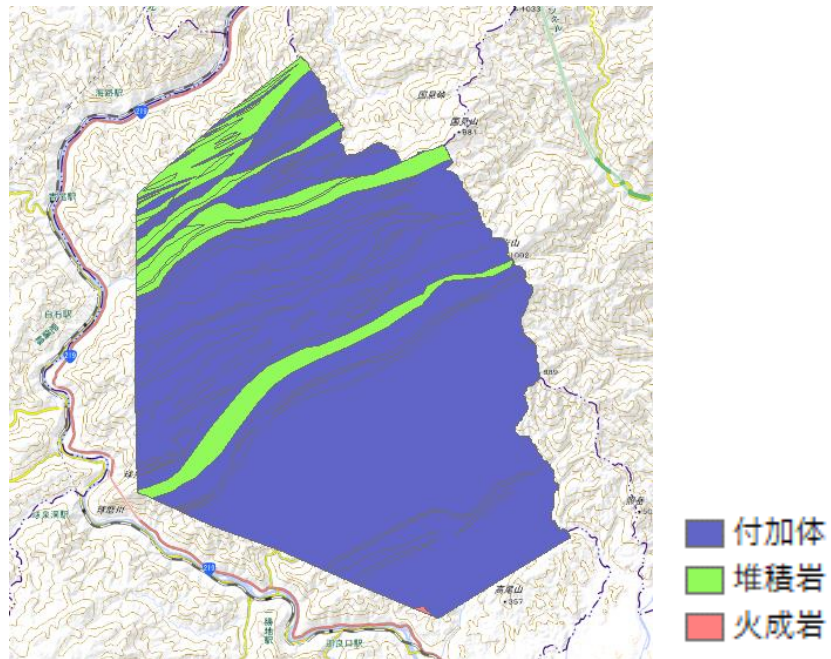


図 19 地質区分

d) 傾斜

過年度の航空レーザによる DEM データ（1.0m 間隔）を 10m グリッドにリサイズし、ArcGIS のツール「傾斜角」で傾斜率を算出した。

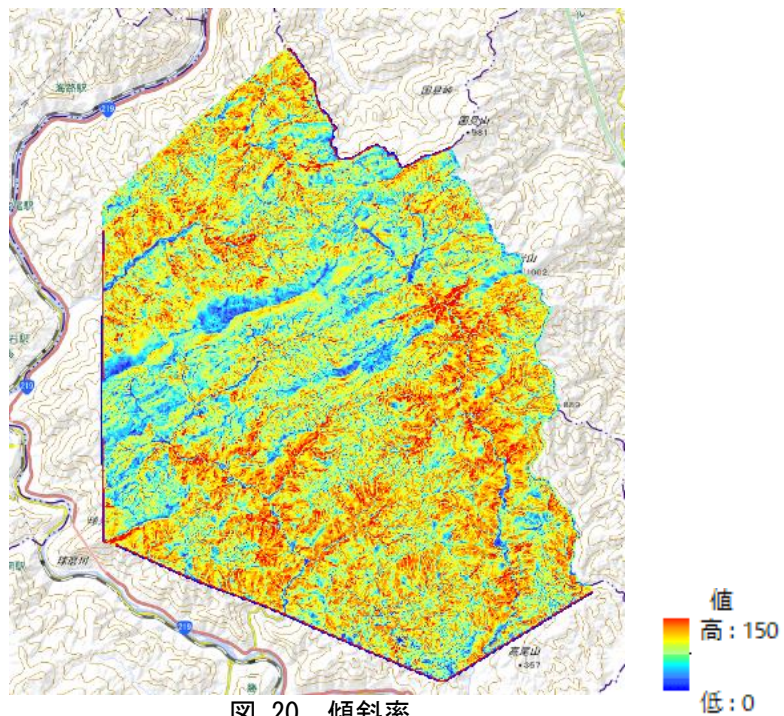


図 20 傾斜率

e) 縦断面形

リサイズした過年度の航空レーザによる DEM データを用いて ArcGIS の曲率計算で算出した。曲率と縦断面形の関係は以下のとおりとした。

- A:凹型：(縦断曲率) > 0.01 、
- B:平滑： $-0.01 \leq$ (縦断曲率) ≤ 0.01
- C:凸型： $-0.01 >$ (縦断曲率)

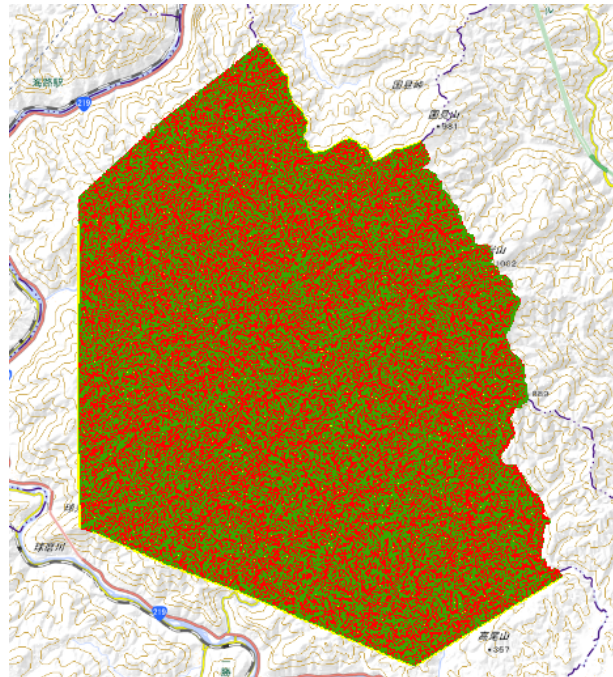
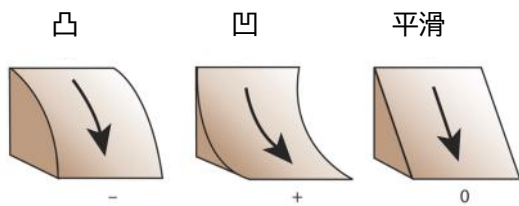


図 21 縦断曲率

f) 横断面形

要領では「メッシュの中心点と、中心点を通る等高線が内接円に交わる 2 点を結んだ 2 直線の山麓側の角度（メッシュの中心点を通る等高線がない場合は、中心点に最も近接している等高線から類推する角度）を計測し、10 度括約で求める」とされている。リサイズした DEM データからメッシュの水平曲率を求め、凹地形、等斉斜面、凸地形に分類した。10mDEM を使用する場合の横断面形と水平曲率との関係は、以下のとおりとした。

- A:凸形： $0.05 \leq$ (水平曲率)
- B:等斉斜面： $-0.05 <$ (水平曲率) ≤ 0.05
- C:凹地：(水平曲率) ≤ -0.05

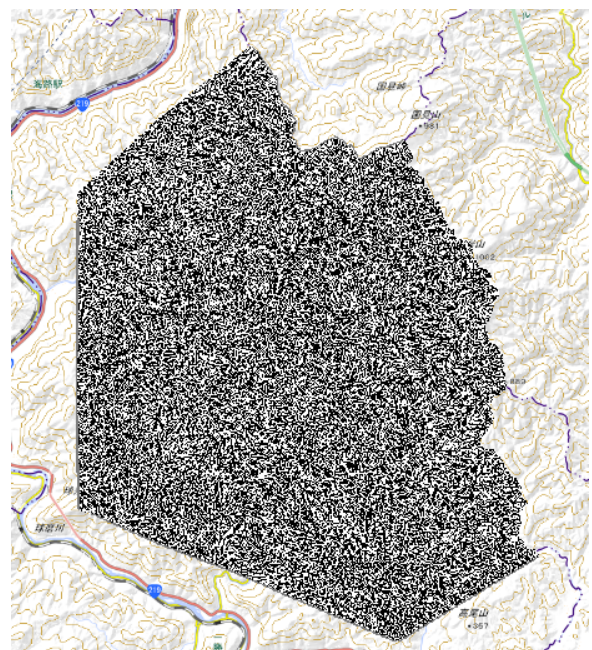
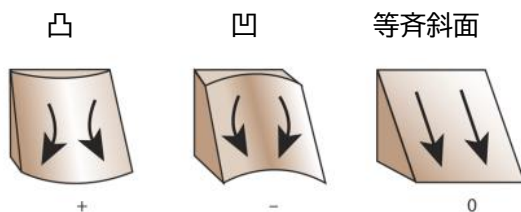


図 22 縦断曲率

g) 土層深

崩壊前後の DEM データを用いて、土層深を算出した。

「令和 2 年度森林域における航空レーザ計測業務（その 1）」では H21 年度に航空レーザ計測した DEM データと発災後に航空レーザ計測した DEM データを用いて差分解析を行っている。そこで崩壊後の衛星画像と土砂流出箇所ポリゴンから崩壊の起点を判読して、源頭部の位置を特定し差分解析結果より土層深を推定した。その結果源頭部での土層深は約 1.2 メートルであった。

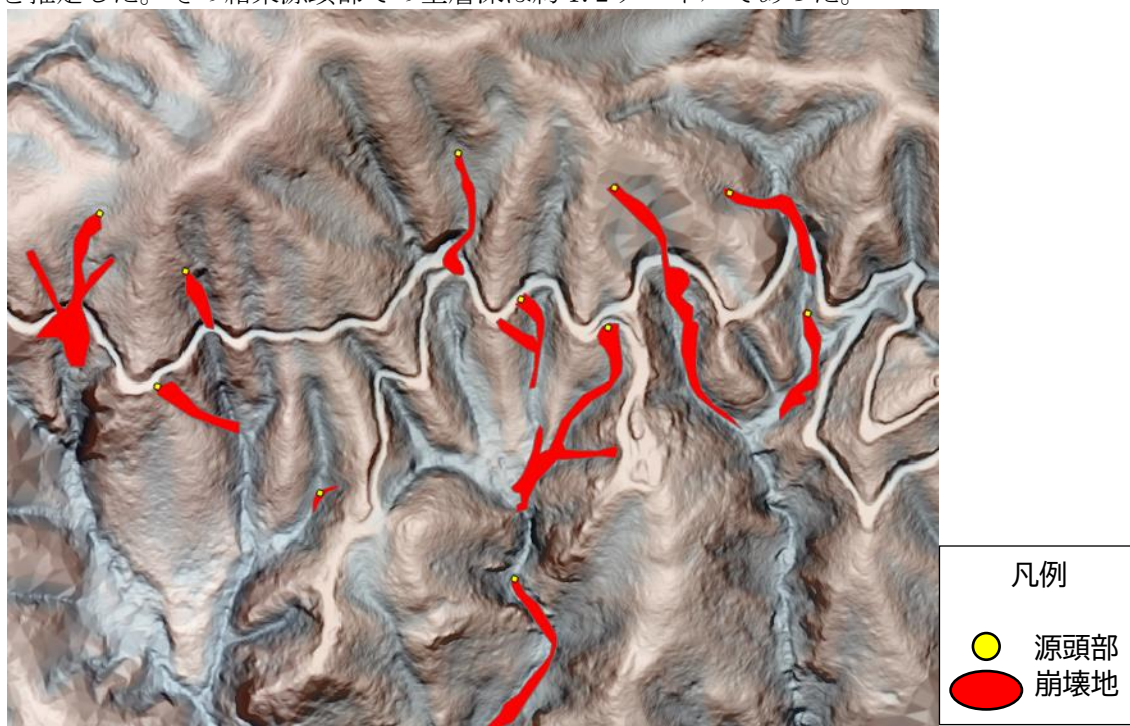


図 23 土層深を求めるに用いた源頭部

3.3.5. 山腹崩壊危険度判定の結果

山地災害危険度調査要領では、傾斜、縦断面形（縦断曲率）、横断面形（横断曲率）、土層深、齡級からそれぞれの点数を合算し、危険度判定表に示す危険度で分類を行った。

表 10 山腹崩壊危険度判定表（多雨地域）

危険度	危険度点数が最高点のメッシュの点数
a ₁	135 点以上
b ₁	125 点以上 135 点未満
c ₁	100 点以上 125 点未満

危険度大 ■ a₁
■ b₁
 危険度少 ■ c₁
 評価無

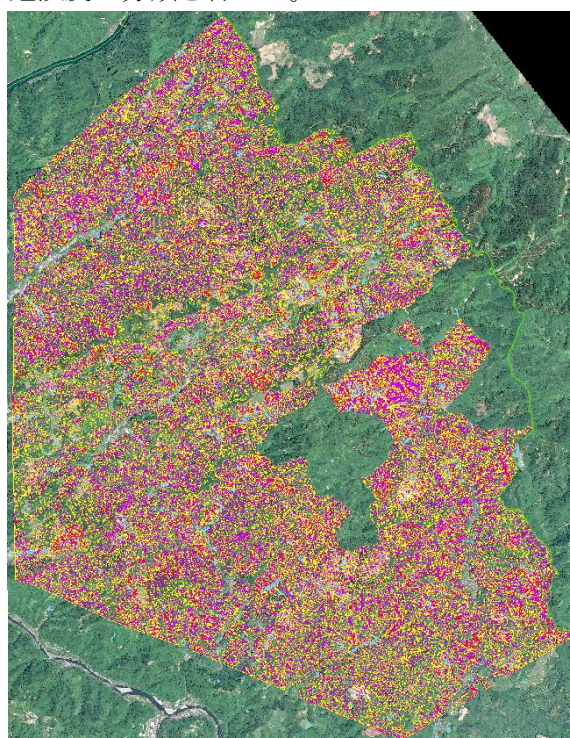


図 24 山腹崩壊危険度判定結果

3.3.6. 土砂流出箇所 の考察

2020年7月撮影のSPOT画像を参考に崩壊地源頭部の位置にポイントデータを落とし、地形情報(DEMデータ)から以下の特徴を調査した。

1) 傾斜

崩壊地の源頭部の傾斜角と頻出頻度のグラフを以下に示す。最頻値は38~44度で平均値は33度であった。

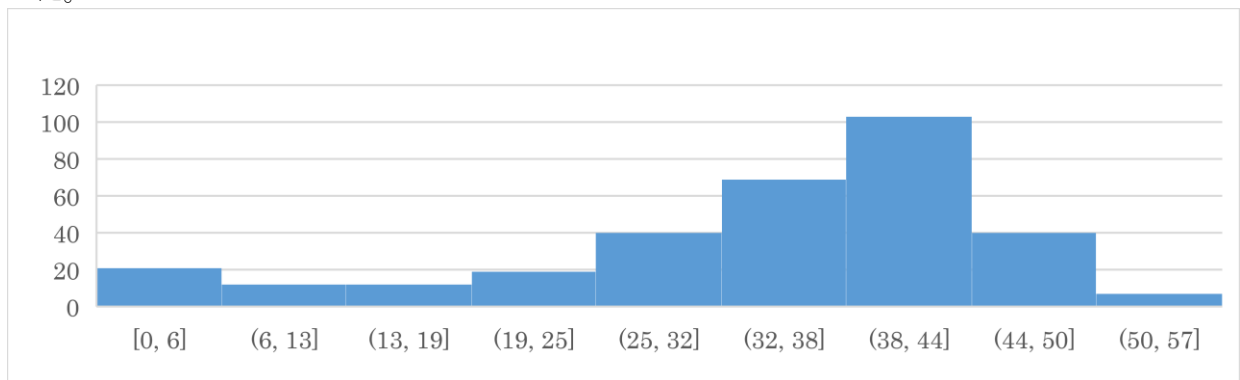


図 25 斜面角度と崩壊地源頭部の頻度

2) 山腹崩壊危険度の調査結果

下の図は衛星画像から判読した崩壊地ポリゴン内で、山地崩壊危険度がa1(最も危険)と評価されたメッシュ数の割合を示したものである。崩壊地内にはa1と判定された箇所が約3割であった。

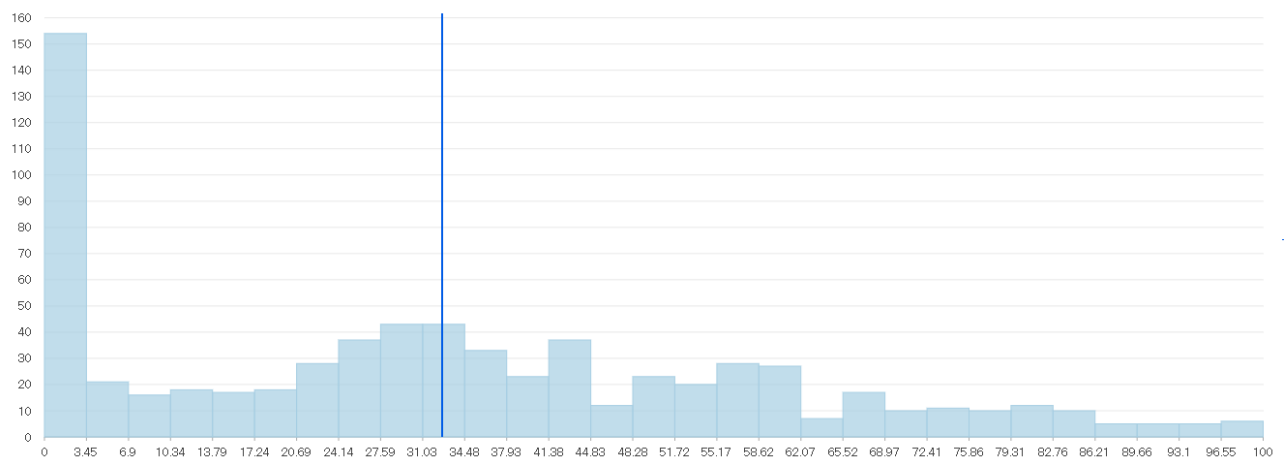


図 26 崩壊地ポリゴン内の山腹崩壊危険度 a1 の割合

3) 崩壊地の源頭部の地形形状

崩壊地源頭部の地形形状を縦横断の曲率（空間曲率）を用いて分類した。空間曲率は、縦断と横断の両方の曲率を組み合わせたものである。一般的に縦断曲率は、侵食につながる流れの加速と減速に影響する。横断曲率は、流れの収束と分岐に影響する。表 11 より水を集めやすい谷地形からの崩壊が多いことが分かる。

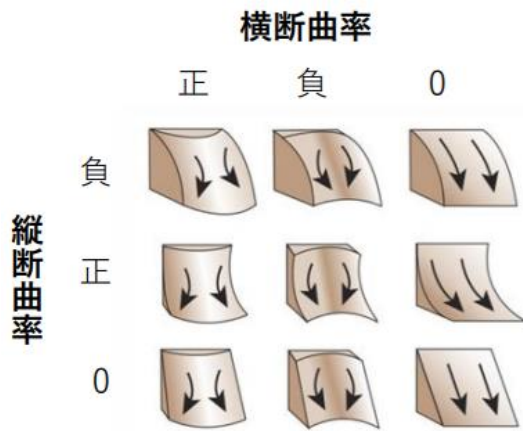


図 27 空間曲率の模式図

表 11 空間曲率による分類結果

		横断曲率		
		凸地形	凹地形	平滑
縦断曲率	凸地形	74	59	3
	凹地形	17	149	2
	等斉	無し	無し	60

4) 崩壊要因による分類

球磨川右岸（球磨村の球磨川より北部）において崩壊地の要因を調査した。調査は災害前後の衛星写真や航空レーザデータを参考にした。その結果、365 個中 135 個（約 40%）が路網から 10m 範囲で発生していたことが分かった。代表的な例を以下に示す。

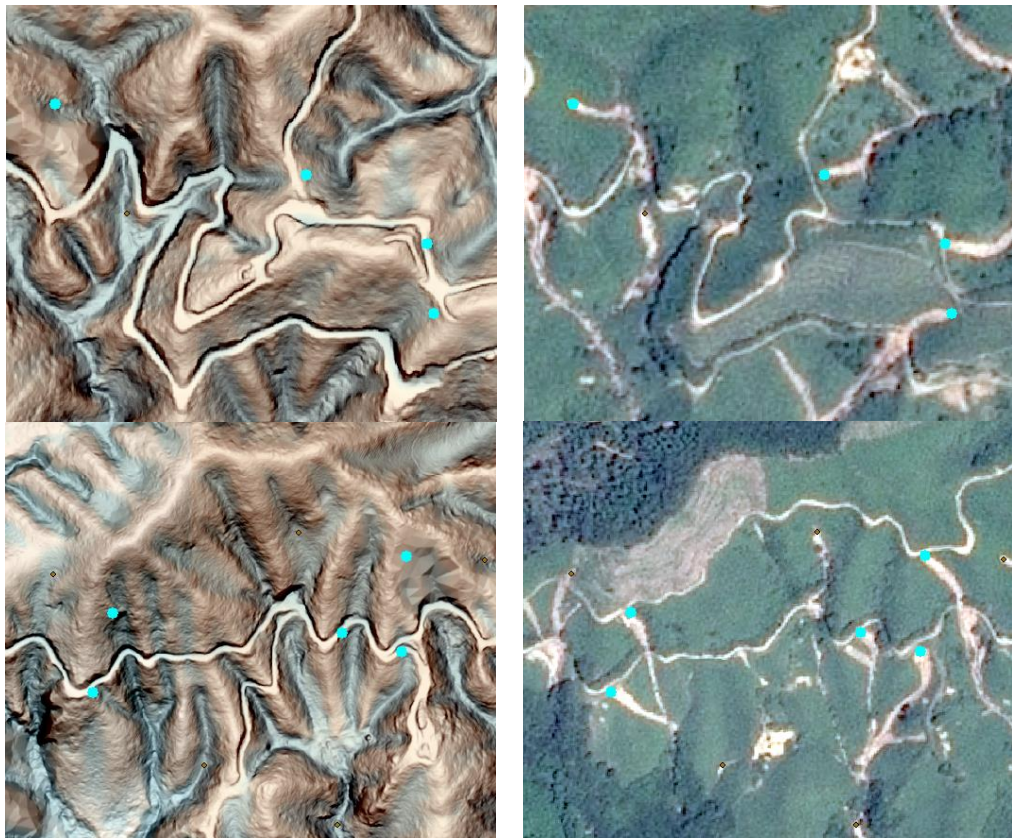


図 28 (左) 2010 年航空レーザデータによる微地形表現図、(右) 2020 年 7 月 SPOT 画像

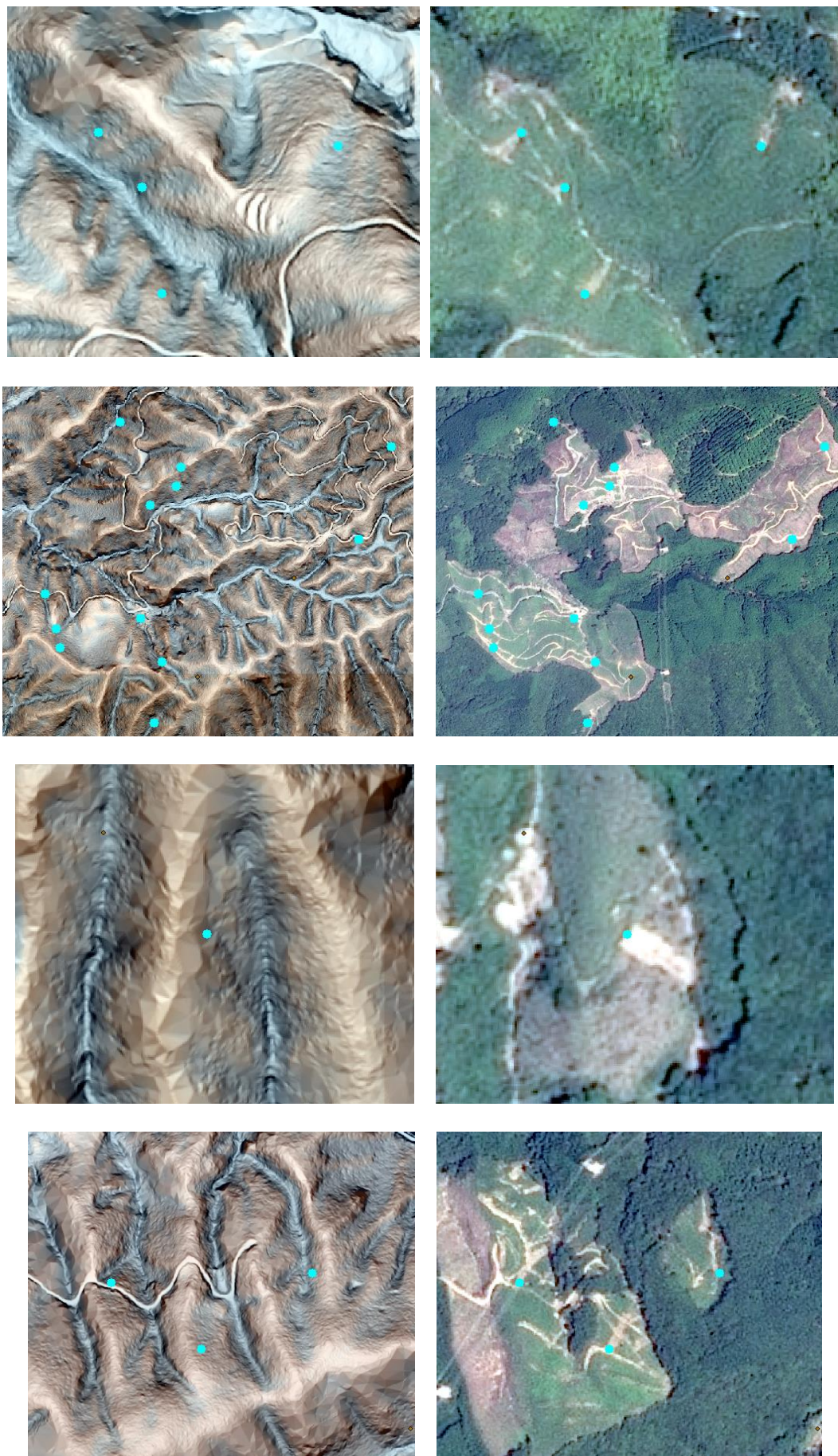


図 29 (左) 2010 年航空レーザデータによる微地形表現図、(右) 2020 年 7 月 SPOT 画像

3.3.7. 土砂流出箇所の考察まとめ

山腹崩壊危険度の評価では最も危険度が高い a1 の割合が 3 割と比較的少ない。一方土砂流出の源頭部に注目すると水を集めやすい凹地の谷地形が最も影響することが分かった。過年度の微地形表現図と衛星画像を比較すると、路網の開設位置が 0 次谷である地点で土砂流出が発生している箇所が多い。0 次谷およびそこを通した路網で比較的多く土砂流出が発生している可能性が高い。

3.4. 土砂流出の分類

これまでの調査結果を踏まえ、森林変化ポリゴンデータと土砂流出ポリゴンデータを重ね合わせて、森林変化ポリゴン内に路網があり、かつ土砂流出が発生していると考えられる箇所について、属性を付与した。なお森林変化ポリゴンは判読時期で分割していた区画（図 30 の中段）を統合し（図 30 の下段）、土砂流出ポリゴンは森林変化ポリゴン外への流出範囲も計上した。

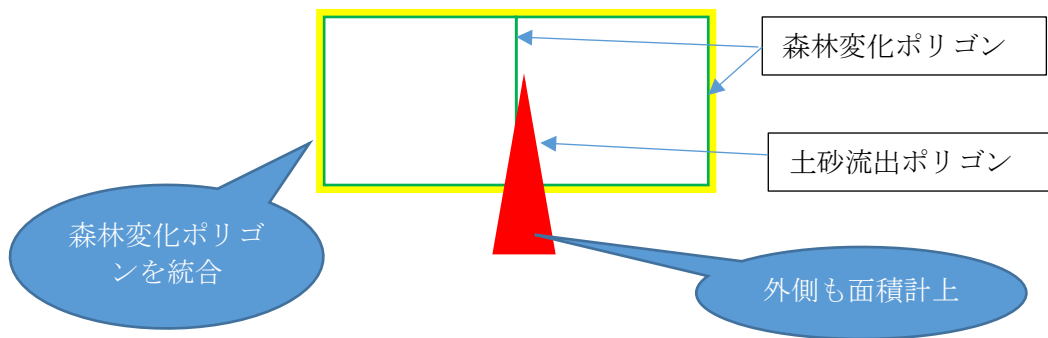


図 30 森林変化ポリゴンを統合して土砂流出の関連性を集計するイメージ