

3. 北海道

目 次

1. 検討概要.....	1
2. 衛星画像を用いた拡大崩壊の把握	6
2.1 検討の流れ.....	6
2.2 拡大崩壊の把握.....	6
3. 衛星画像から作成した地形データを用いた侵食・堆積傾向の把握	10
3.1 検討の流れ.....	10
3.2 侵食・堆積傾向の把握	10
4. まとめ.....	15
5. 今後の課題	17

1. 検討概要

(1) 目的

北海道胆振東部地震で崩壊した厚真町・安平町・むかわ町の斜面において、被災地域が広範囲に及ぶことを踏まえ、衛星画像や地形データを用いて、抽出した区域での経年変化を比較することで、拡大崩壊や侵食堆積状況を把握することを目的とする。

(2) 検討対象範囲

検討対象範囲は、発注者のからの指定を受けた図 1.1 に示す4流域とした。

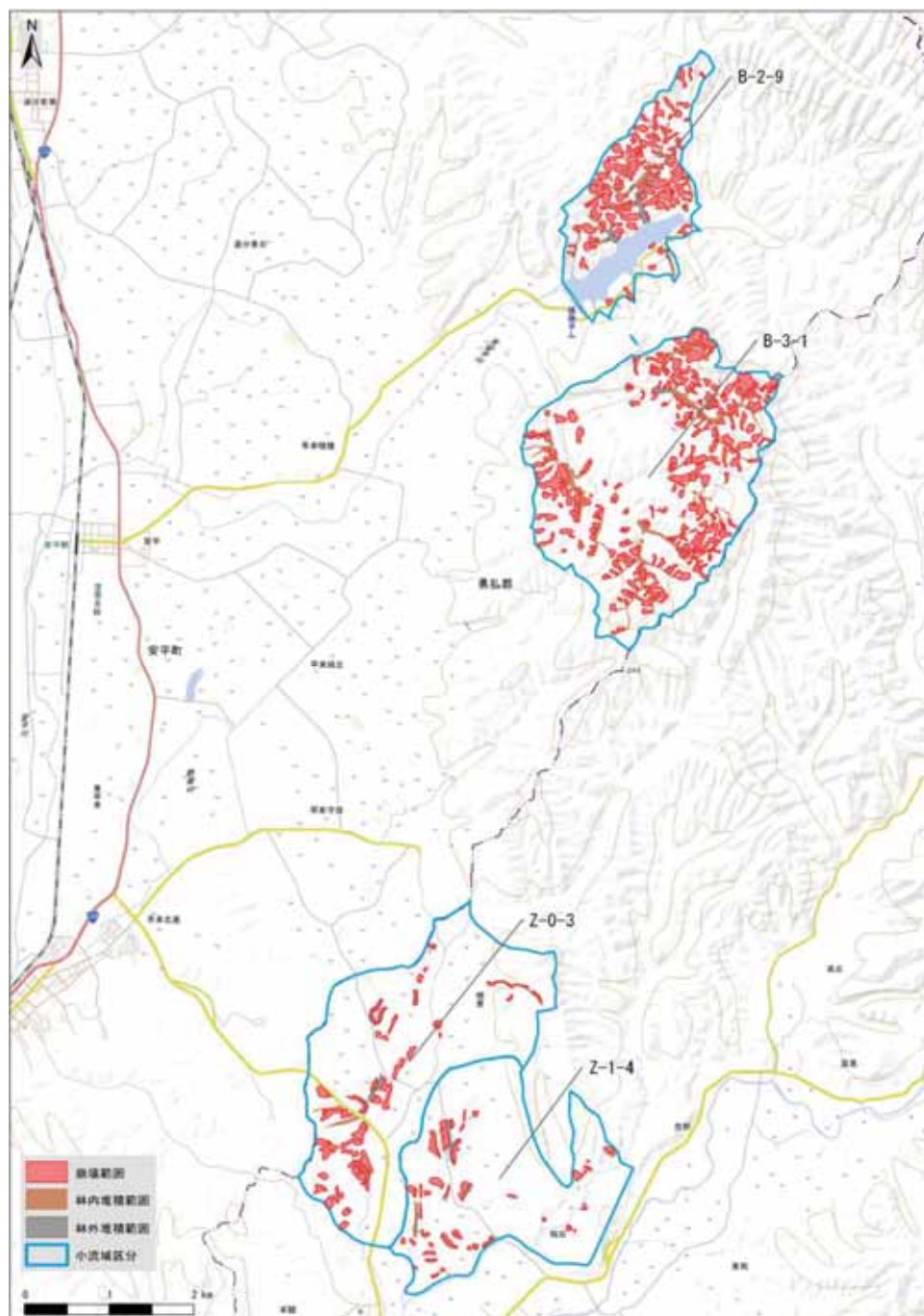


図 1.1 対象範囲及び使用データ

(3) 検討内容

本検討では、平成 30 年度に発生した山腹崩壊地における拡大の有無の確認を行うため、平成 30 年 9 月 11 日と令和 2 年 11 月 12 日の 2 時期の衛星画像を用いて、山腹崩壊拡大の確認を行った。

また、崩壊範囲内及び堆積範囲内の堆積・侵食状況を確認するため、平成 30 年度地震直後及び近年の令和 2 年度に取得した地形データにより差分解析を行い、山腹崩壊内及び堆積範囲内の堆積及び侵食状況を把握した。

(4) 使用データ

(i) 基本データ

崩壊範囲、林内堆積範囲、林外堆積範囲、小流域区分データについては、「平成 30 年度流域山地災害等対策調査業務（地震による亀裂等監視・分析調査）報告書」（以下、H30 報告書という）の成果である以下のデータを使用した。

表 1.1 貸与データ一覧

No.	データの種類	データの形式	備考
1	崩壊範囲	ベクター（ポリゴン）	
2	林内堆積範囲	ベクター（ポリゴン）	土地利用がない場合
3	林外堆積範囲	ベクター（ポリゴン）	農地（水田、畑、牧草）等がある場合
4	小流域区分	ベクター（ポリゴン）	

なお、林内堆積範囲（堆積域（林内））及び林外堆積範囲（堆積域（林外））については以下のような区分としている。

② 崩壊下流の堆積域の土地利用状況の判断（林地か否か）

- ・ 農地（水田、畑、牧草）等があれば、林地外の堆積域である「堆積域（林外）」とする。
- ・ 土地利用がなければ林地とみなし、土砂堆積範囲は「堆積域（林内）」とする。



図 1.2 林内及び林外堆積範囲の定義（H30 報告書より抜粋）

(ii) 衛星画像

(a) 衛星画像の仕様

使用した衛星画像は、表 1.2 に示した WorldView-2（以下、WV02）及び WorldView-3（以下、WV03）衛星の観測によるパンクロマティック画像（解像度 0.5m）とマルチスペクトル画像（解像度 2.0m）である。

パンクロマティック画像は、高解像度データであるがモノクロ画像である。一方で、マルチスペクトル画像は、複数のスペクトル情報を持つ低解像度のマルチカラー画像である。

使用する衛星画像は 2 図郭となっており、図 1.3 に図郭範囲を示す。

表 1.2 使用した衛星画像の仕様

No	観測日	災害前後の区別	衛星の種類	画像	解像度	備考
1	2018/9/11	災害直後	WV02	パンクロ	0.5m	オルソ補正済
2	2018/9/11	災害直後	WV02	マルチカラー	2m	オルソ補正済
3	2020/11/12	直近	WV02 WV03	パンクロ	0.5m	オルソ補正済
4	2020/11/12	直近	WV02 WV03	マルチカラー	2m	オルソ補正済

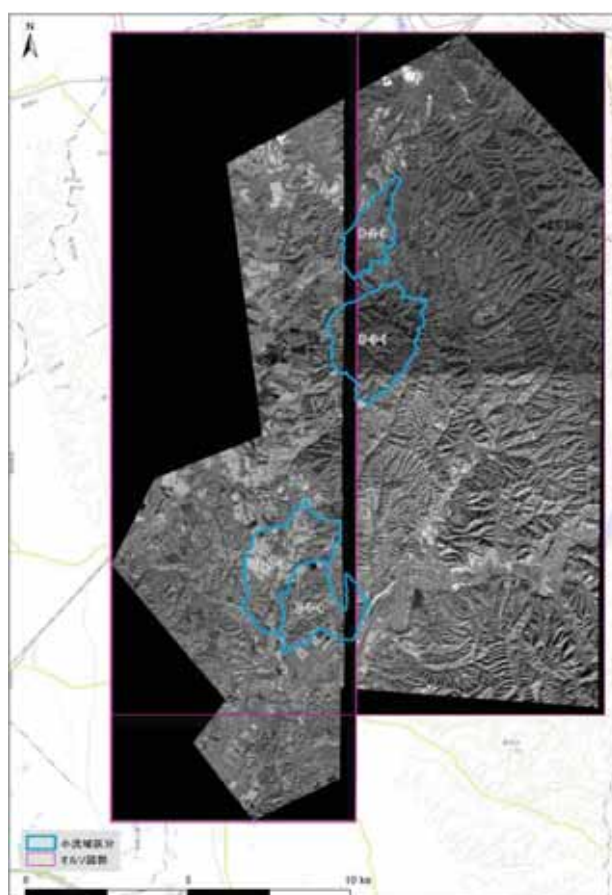


図 1.3 衛星画像の図郭範囲

(b) パンシャープン処理

図 1.4 に示すように、パンクロマティック画像は、高解像度データのモノクロ画像データである。

マルチスペクトル画像は、可視光から近赤外線まで多くのスペクトル情報を持つ低解像度のマルチカラー画像データである。この 2 つのデータを合成する処理のことをパンシャープン処理と言い、マルチスペクトル画像の明度をパンクロ画像の明度と置き換えることで高解像度のマルチスペクトル画像を生成する。

本業務では、2 時期の衛星画像を目視判読することから、高解像度のマルチカラー画像を生成する必要があるため、ESRI 社の ArcGIS10.6 を用いて、ジオプロセッシングツールにより、2018 年 9 月 11 日と 2020 年 11 月 12 日に観測された 2 時期の衛星画像のパンシャープン処理を行った。

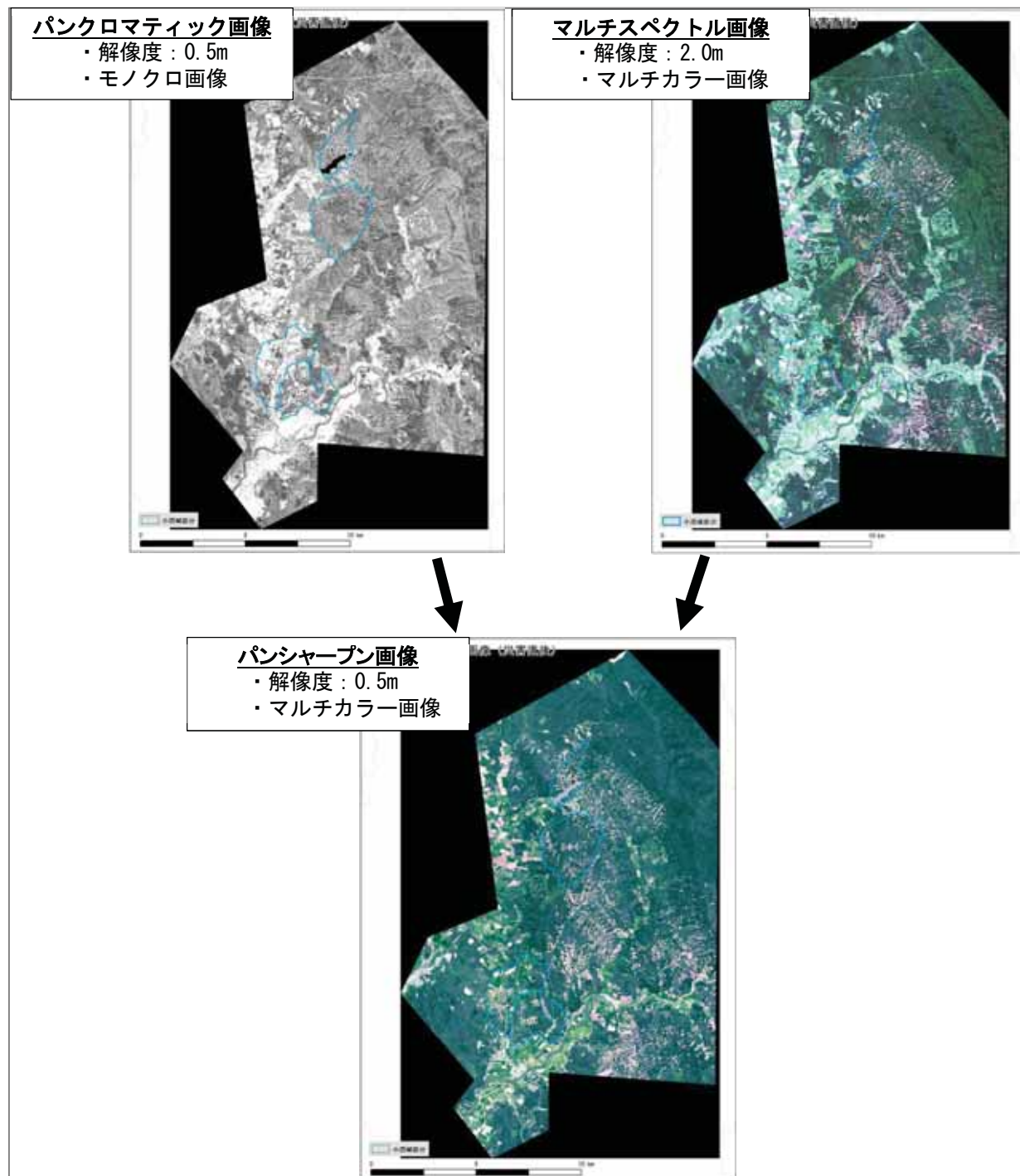


図 1.4 パンシャープン処理

i) 地形データ

地形データは以下のデータを使用した。

表 1.3 地形データの仕様

観測年月	データの形式	解像度	データの種類	備考
平成 30 年 12 月	Geotiff	0.5m	LP	H30 年 地震直後に取得（北海道庁）
令和 2 年	Geotiff	0.5m	AW3D	垂直方向誤差±1.0m

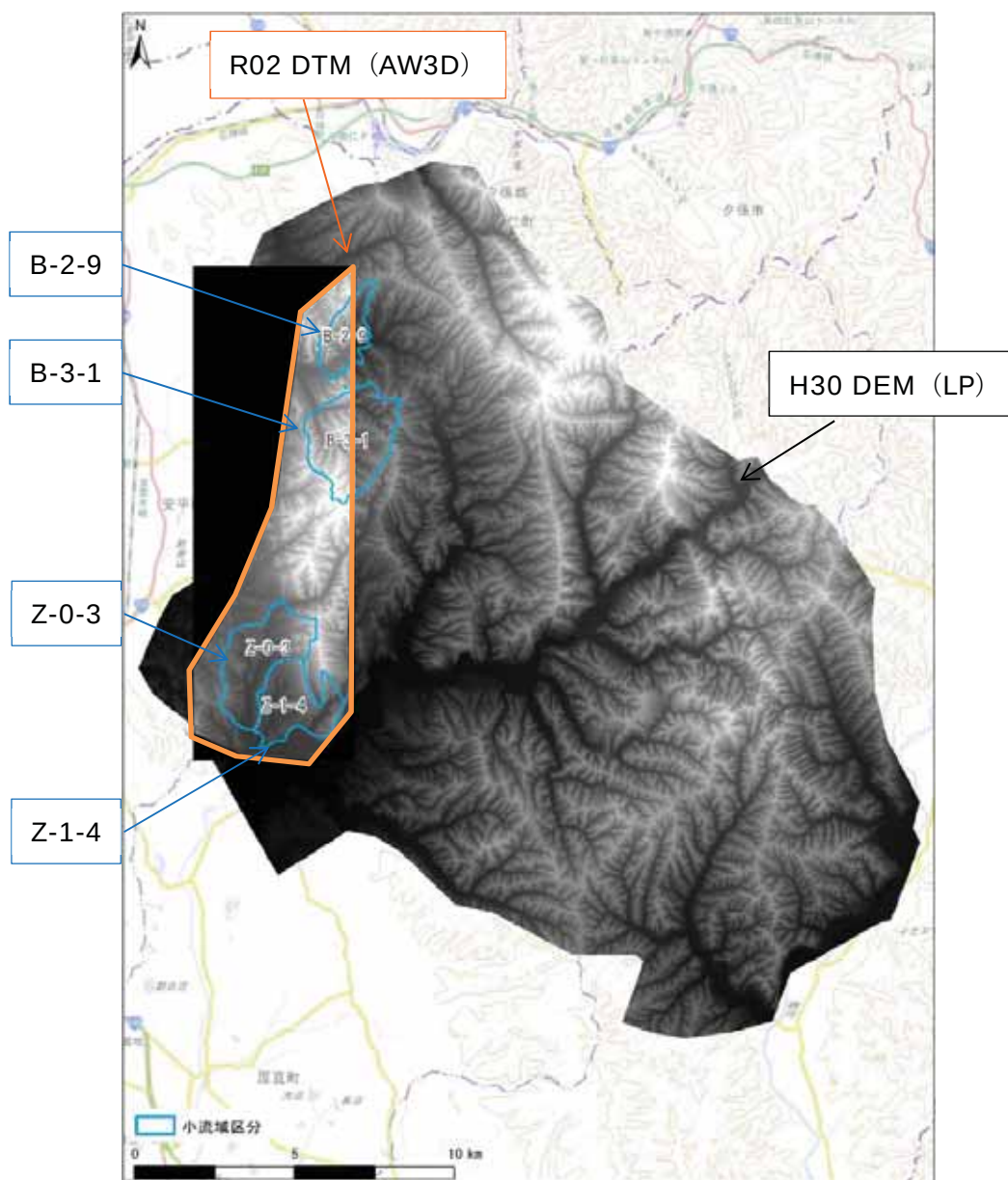


図 1.5 地形データ範囲

2. 衛星画像を用いた拡大崩壊の把握

2.1 検討の流れ

2 時期の衛星画像（AW3D）を用いて、H30 年に発生した崩壊地が拡大している箇所を目視判読した。検討の流れを図 2.1 に示す。

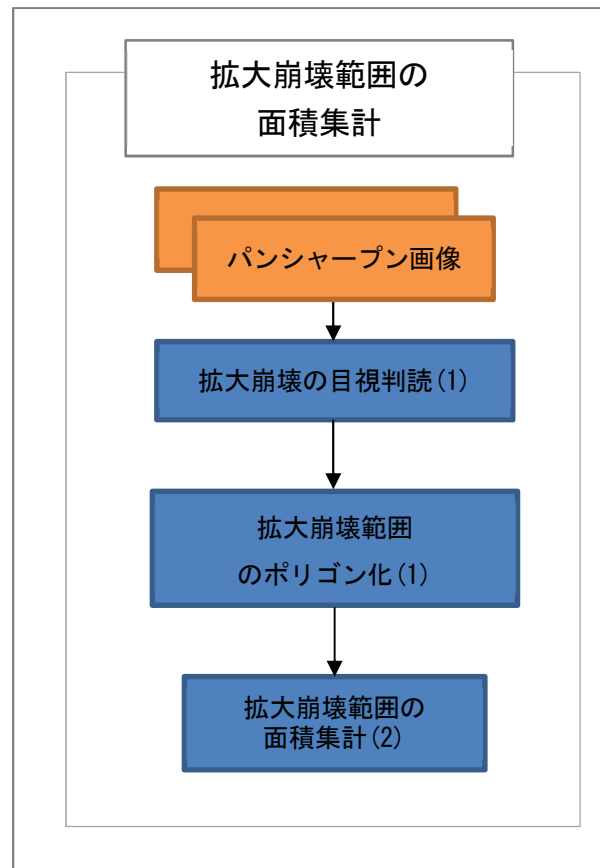


図 2.1 検討の流れ

2.2 拡大崩壊の把握

(1) 拡大崩壊の確認及びポリゴン化

衛星写真の画像から、目視で拡大崩壊の有無を確認した。

確認にあたっての与条件を以下に示す。

- ✓確認にあたっては、衛星写真の解像度（メッシュサイズ）が 0.5m であり、XY 方向の誤差は最大 3.0m 程度（一般に誤差は解像度の 3～5 倍とされる）である。
- ✓解像度から崩壊地の輪郭が不鮮明となる。
- ✓発災後、対策工事の実施など人為的な地形改変が行われ裸地となった森林等も崩壊地として含まれる。
- ✓衛星画像の撮影角度による地物の「倒れ込み」に伴い、地表物の情報が得られない場合がある。

衛星画像の色調をみると、既往崩壊地内には、緑系色・茶系色・白～灰系色の色調がみられる。こ

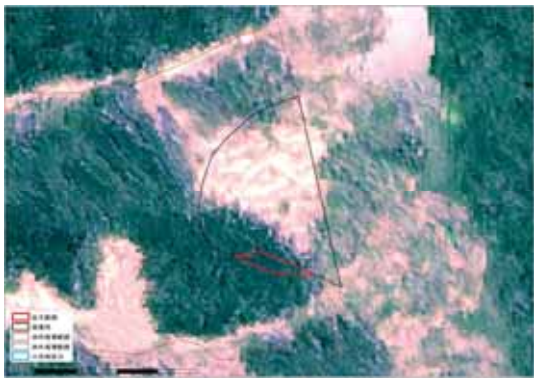
のうち、緑系色は撮影時の樹木の倒れ込みにより、崩壊地内に崩壊地縁辺部の樹木（緑系色）が映り込んでいる状態であると考えられ、茶系色は崩壊地面の色調と考えられる。一方で、直近撮影（2020年11月12日撮影）画像には白～灰色系も確認されるが、これは積雪あるいは雲と判断される。積雪の場合、裸地は白色で、林地は緑色で認識され则认为、ここでは白～灰色系は積雪として扱い、崩壊地とした。

表 2.1 崩壊地抽出のルール

- ・ 既往崩壊地ポリゴン内地山の色である茶系色を示していることから、同系統の色合いの場合を崩壊地とみなし、茶系色は崩壊地とした。
 - ・ 白色～灰色系の色調は裸地上の積雪であると仮定し、崩壊地とした。

図 2.2 に判読結果の一例を示す。赤枠は崩壊が拡大した範囲である。H30 衛星画像では緑系色であったが、R02 衛星画像では茶系色となっていることから崩壊地と判断し、拡大崩壊範囲とした。

拡大崩壊範囲の確認により、20 箇所の崩壊範囲で拡大が確認された。1 箇所の崩壊範囲で複数箇所の拡大がみられる場合があり、拡大崩壊範囲の箇所数合計は 23 箇所となった。

崩壊地 ID	H30 WorldView	R02 WorldView
H107		

※左：平成 30 年災害直後。右：令和 2 年

図 2.2 2 時期の衛星画像による拡大崩壊抽出の例

(2) 拡大崩壊範囲の面積集計

拡大崩壊範囲のポリゴンデータからポイントデータを作成した（図 2.3 参照）。ポイントデータの個数と 1 ピクセルの面積（衛星画像 1 ピクセルの面積＝解像度 0.5×0.5＝0.25m²）を乗算することにより、拡大崩壊範囲ごとに面積集計を行った。集計結果を表 2.2 に示す。

流域 Z-3-0 を除く 3 流域で拡大崩壊箇所がみられた。拡大崩壊面積の合計は 9,100m²、平均面積 760m²、最大面積 3,120m²、最小面積 60m²であった。また、拡大面積率（拡大崩壊範囲面積／崩壊範囲面積）は、平均 10.2%となった。

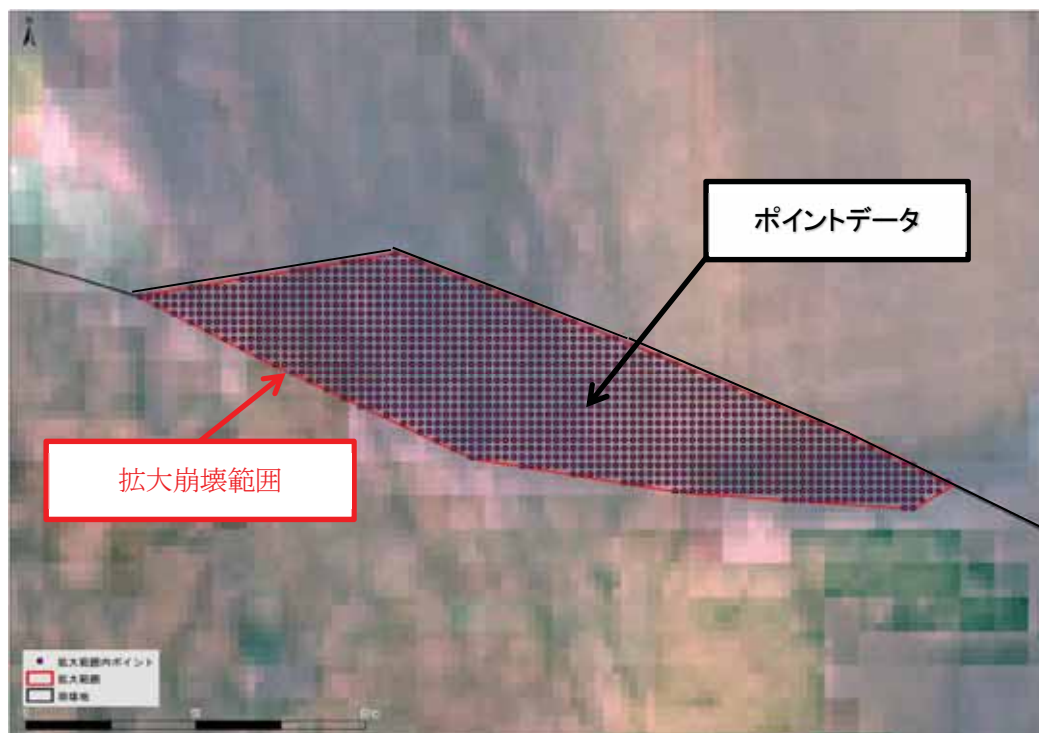


図 2.3 崩壊拡大範囲のポイントデータ作成状況

表 2.2 拡大崩壊範囲の面積集計結果一覧表

中流域名	中流域ID	崩壊範囲ID	崩壊範囲面積 (m2) (a)	拡大崩壊範囲面積 (m2) (b)	拡大面積率% (a) / (b) × 100	備考
支安平川	B-2-9	H007	3,502	219	6.3	
		H014	4,306	58	1.3	
		H022	2,360	115	4.9	
		H080	4,296	973	22.6	
		H081	1,131	391	34.6	
		H100	2,382	113	4.7	
支安平川（左支）	B-3-1	H107	6,221	308	5.0	
		H115	5,791	115	2.0	
		H162	7,001	3,120	44.6	
		H164	3,384	68	4.6	拡大エリアが2ヶ所
				88		
		H168	4,539	111	2.4	
		H183	4,516	354	7.8	
		H184	2,622	224	8.5	
		H201	522	111	21.3	
		H220	10,050	82	0.8	
		H280	3,498	175	5.0	
		H295	13,162	111	0.8	
		H309	5,649	368	9.1	拡大エリアが2ヶ所
				145		
		H316	1,032	103	10.0	
－	Z-1-4	H418	3,573	1,007	48.9	拡大エリアが2ヶ所
				741		
合計（m2）			89,537	9,100	10.2	
合計（ha）			9	0.91	－	

※崩壊地範囲 ID (H001 から連番) 及び後述の林内堆積地 ID (R001 から連番)、林外堆積地 ID (N001 から連番) は本業務で付随した。

※崩壊範囲面積は、H30 報告書成果を引用した。

※面積は小数点以下を四捨五入した。

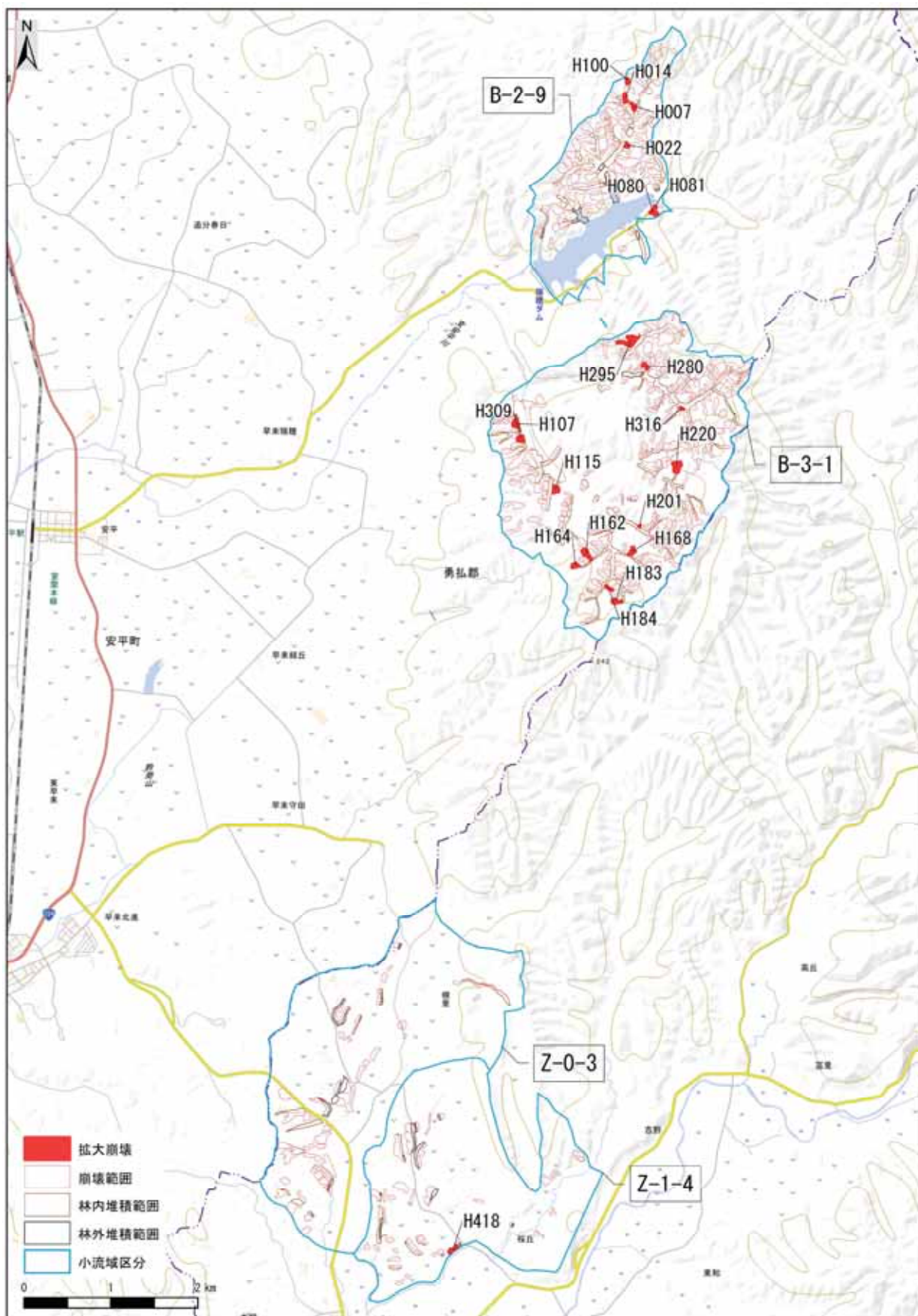


図 2.4 拡大崩壊が確認された崩壊箇所位置図

3. 衛星画像から作成した地形データを用いた侵食・堆積傾向の把握

3.1 検討の流れ

侵食・堆積傾向の把握の流れを図 3.1 に示す。

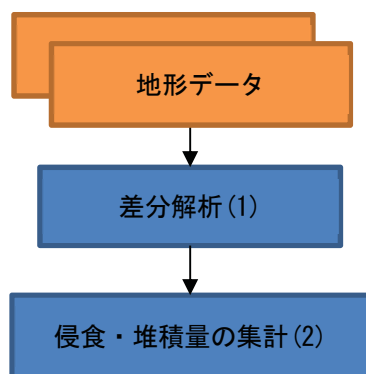


図 3.1 検討フロー図

3.2 侵食・堆積傾向の把握

(1) 差分解析

差分解析が可能な範囲は二時期の地形データが得られる DTM の範囲であるが、H30 年の DEM データ及び本業務で調達した DTM データの範囲と対象流域の関係から、B-2-9 及び B-3-1 流域の一部はこの範囲外になり差分解析が実施できないことから、解析対象外とした。差分解析結果の一例を図 3.2 に示す。このように、崩壊範囲や堆積範囲以外の森林等において、尾根等で変動値の高くなる箇所や、広範囲にわたっての若干の変動が確認されている。

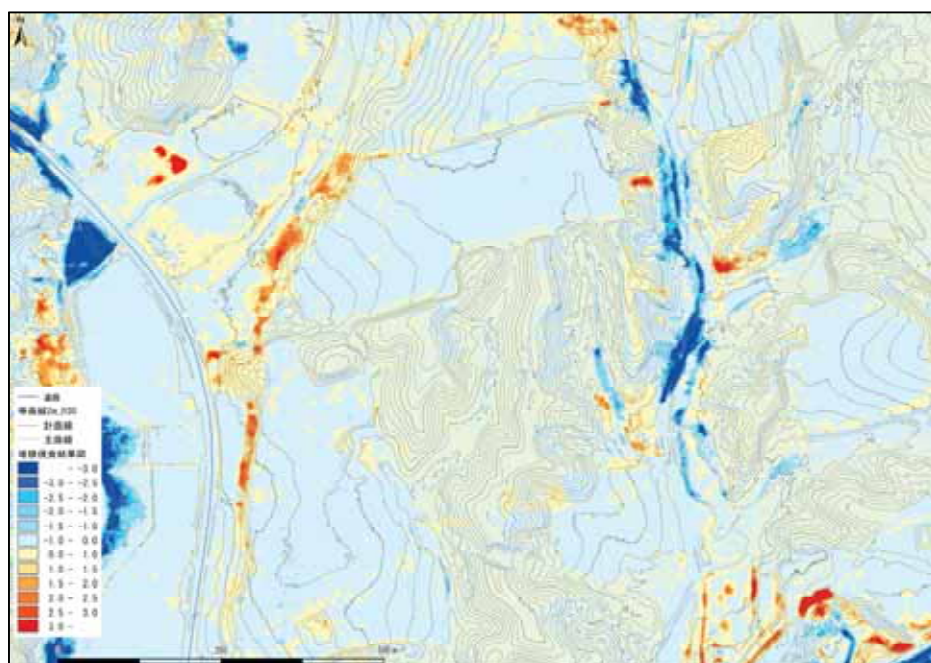


図 3.2 差分解析結果の一例

(2) 差分解析

今回使用した DTM 地形データの鉛直方向の誤差は±1m であるが、二時期の差が生じないはずの尾根部で変動値が高くなるなどの結果が生じているように、実際は変動が少ない箇所でも変動値として算出する可能性があることから、差分結果-1.0～+1.0m の変動は誤差の範囲と考え、この結果を除

外して以降の検討を行うこととした。



図 3.3 誤差 (-1.0~1.0) 分を除外した場合の変動状況の一例

(3) 侵食・堆積量の集計

(i) 集計対象箇所の設定

差分解析結果を集計は、崩壊範囲、林内堆積範囲、林外堆積範囲の三つの範囲ごとに取りまとめることとした。それぞれの範囲の設定は、既往のポリゴンデータとした。集計対象範囲設定後の結果図を図 3.4 に示す。



図 3.4 集計範囲設定後結果図の一例

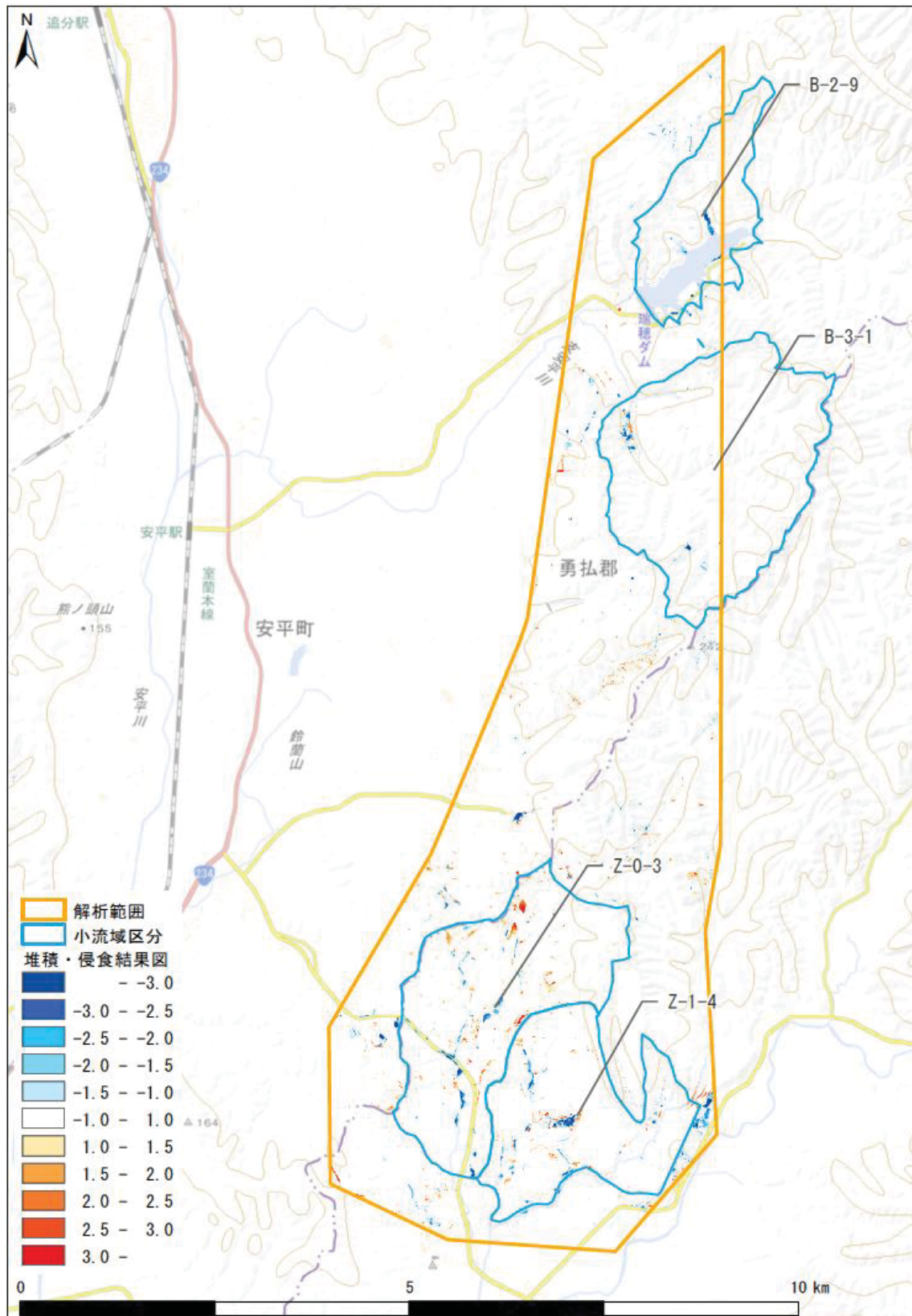


図 3.5 差分解析結果図

(ii) 侵食・堆積量の集計

差分解析画像からポイントデータを作成することにより、ポイントデータに1ピクセルの標高値(堆積深及び侵食深)が付随した。作成されたポイントデータを崩壊範囲IDごとに集計し、侵食量・堆積量を把握した。

また、林内・林外堆積範囲でも同様に集計を行った。集計結果を表3.1～表3.3及び巻末資料に示す。

表 3.1 差分解析結果(崩壊範囲)

中流域名	中流域ID	崩壊範囲 ポリゴン数		変動量						
		R2 変動 あり	H30 既往 崩壊	XY方向(m ²)			XYZ方向/Z方向(m)			
				変動が確認され た崩壊範囲 (a)	変動が確認され た崩壊範囲 のH30当時の 崩壊面積(b)	変動面積率 (c=a/b×100)	侵食量(m3) (d)	堆積量 (m3) (e)	合計(m3) (f)	平均変動深 (m) (g=f/a)
支安平川	B-2-9	62	102	8,945	393,633	2.3%	-18,421	0	-18,421	-2.1
支安平川 (左支)	B-3-1	79	246	17,591	398,714	4.4%	-34,629	30	-34,599	-2.0
-	Z-0-3	44	49	31,876	294,797	10.8%	-34,856	24,394	-10,462	-0.3
-	Z-1-4	37	42	18,160	184,281	9.9%	-25,341	8,032	-17,309	-1.0
計・平均		222	439	76,572	1,271,425	6.0%	-113,247	32,456	-80,791	-1.1

崩壊範囲では、439箇所のうち222箇所で変動が確認された。変動が確認された面積の割合は、B-2-9、B-3-1でそれぞれ2.3%、4.4%であるのに対し、Z-0-3、Z-1-4流域では10.8%、9.9%と、Z流域はB流域の2倍以上を示している。また、平均変動深をみると、B-2-9、B-3-1でそれぞれ-2.1m、-2.0mであるのに対し、Z-0-3、Z-1-4流域では-1.0m、-1.1mとなっている。

表 3.2 差分解析結果(林内堆積範囲)

中流域名	中流域ID	堆積地 ポリゴン数		変動量						
		R2 変動 あり	H30 既往 崩壊	XY方向(m ²)			XYZ方向/Z方向(m)			
				変動が確認され た堆積範囲 (a)	変動が確認され た堆積範囲 のH30当時の 堆積面積(b)	変動面積率 (c=a/b×100)	侵食量(m3) (d)	堆積量 (m3) (e)	合計(m3) (f)	平均変動深 (m) (g=f/a)
支安平川	B-2-9	11	19	2,488	157,765	1.6%	-4,092	0	-4,092	-1.6
支安平川 (左支)	B-3-1	14	38	1,825	232,369	0.8%	-2,392	612	-1,780	-1.0
-	Z-0-3	10	13	2,240	81,512	2.7%	-1,996	1,174	-822	-0.4
-	Z-1-4	10	14	2,598	57,608	4.5%	-2,607	1,121	-1,486	-0.6
計・平均		45	84	9,151	529,254	1.7%	-11,087	2,907	-8,180	-0.9

林内堆積範囲では、84 箇所のうち 45 箇所に変動が確認された。変動が確認された面積の割合は、B-2-9、B-3-1 でそれぞれ 1.6%、0.8%であるのに対し、Z-0-3、Z-1-4 流域では 2.7%、4.5%と Z 流域は B 流域の 2 倍程を示している。また、平均変動深をみると、B-2-9、B-3-1 でそれぞれ－1.6m、－1.0m であるのに対し、Z-0-3、Z-1-4 流域では－0.4m、－0.6mとなっている。

表 3.3 差分解析結果（林外堆積範囲）

中流域名	中流域ID	堆積地 ポリゴン数		変動量						
		R2 変動 あり	H30 既往 崩壊	XY方向(m ²)			XYZ方向/Z方向(m)			
				変動が確認され た堆積範囲 (a)	変動が確認され た堆積範囲 のH30当時の 堆積面積(b)	変動面積率 (c=a/b × 100)	侵食量(m3) (d)	堆積量 (m3) (e)	合計(m3) (f)	平均変動深 (m) (g=f/a)
支安平川	B-2-9	5	8	21,330	97,718	21.8%	-55,681	0	-55,681	-2.6
支安平川 (左支)	B-3-1	3	4	826	27,615	3.0%	-1,993	0	-1,993	-2.4
-	Z-0-3	9	11	12,394	51,348	24.1%	-19,382	2,002	-17,380	-1.4
-	Z-1-4	11	12	13,817	61,348	22.5%	-28,355	1,639	-26,716	-1.9
計・平均		28	35	48,367	238,029	20.3%	-105,411	3,641	-101,770	-2.1

林外堆積範囲は 35 箇所のうち 28 箇所に変動が確認された。変動が確認された面積の割合は、B-2-9、B-3-1 でそれぞれ 21.8%、3.0%、Z-0-3、Z-1-4 流域では 21.4%、22.5%と B-3-1 流域を除き 20%以上となっている。また、平均変動深をみると、B-2-9、B-3-1 でそれぞれ－2.6m、－2.4m であるのに対し、Z-0-3、Z-1-4 流域では－1.4m、－1.9mとなっている。

4. まとめ

(1) 衛星画像の目視による拡大崩壊の把握

- ✓崩壊地の面的な拡大は確認できたが、拡大率は約 **10%** とその規模は小規模である。
- ✓今回抽出対象とした 4 流域での平成 30 年発災時の崩壊範囲面積が **240.6ha** (H30 報告書) であるのに対し、今回把握できた拡大崩壊面積は **0.9ha** であり、その拡大率は **0.4%** となる。このことから、一部で拡大崩壊が確認されてはいるが、平成 30 年発災当時のから、**崩壊状況に大きな変化はない**と考えられる。
- ✓衛星写真の撮影角度や分解能から、樹木の倒れ込みによる情報の欠落、輪郭の不鮮明化などにより、衛星写真からの目視判読には相応の誤差が発生する。
- ✓このため、拡大の有無を判断するためには、**現地調査（目視、UAV 等）による確認が必要**である。

(2) 衛星画像から作成した地形データを用いた侵食・堆積傾向の把握

- ✓一部の山腹崩壊地や堆積地内において、侵食や堆積といった変動が確認できた。
- ✓侵食・堆積状況が確認された崩壊地面積は **7.7ha (76,572m²)** であり、平成 30 年発災時の崩壊面積の **3% 程度** (7.7ha/240.6ha (H30 報告書)) であった。
- ✓変動の内訳をみると、**-1.0m ~ -2.0m** の変動量の占める崩壊範囲の割合が高く、加えて Z 流域においては、堆積傾向が確認されることが特徴である。

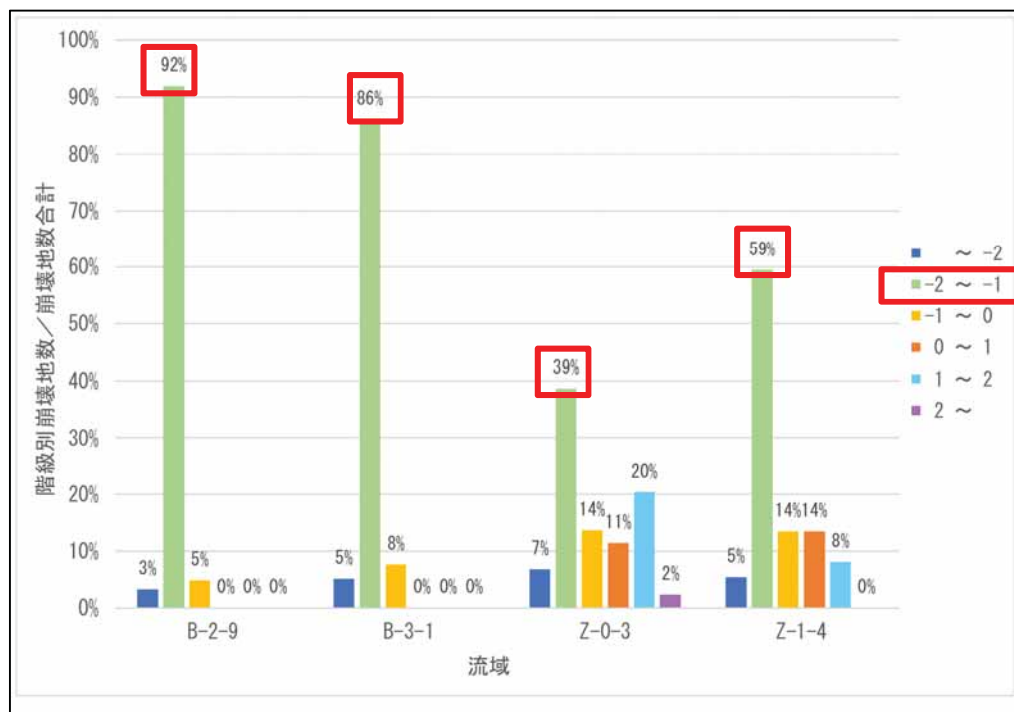


図 4.1 変動階級別割合

✓崩壊地内で堆積が確認された箇所の一例をみると、地形図より堆積箇所は凹地形を呈しており土砂が堆積しやすい地形条件であることがわかる。また、崩壊地内でも $-1.0\text{m}\sim 0\text{m}$ の侵食域が確認されることに加え、崩壊地上部に侵食域が存在していることから、**崩壊地内からの生産土砂及び侵食域からの生産土砂が崩壊地内に流入し、凹部に堆積した状態であることが想定される。**

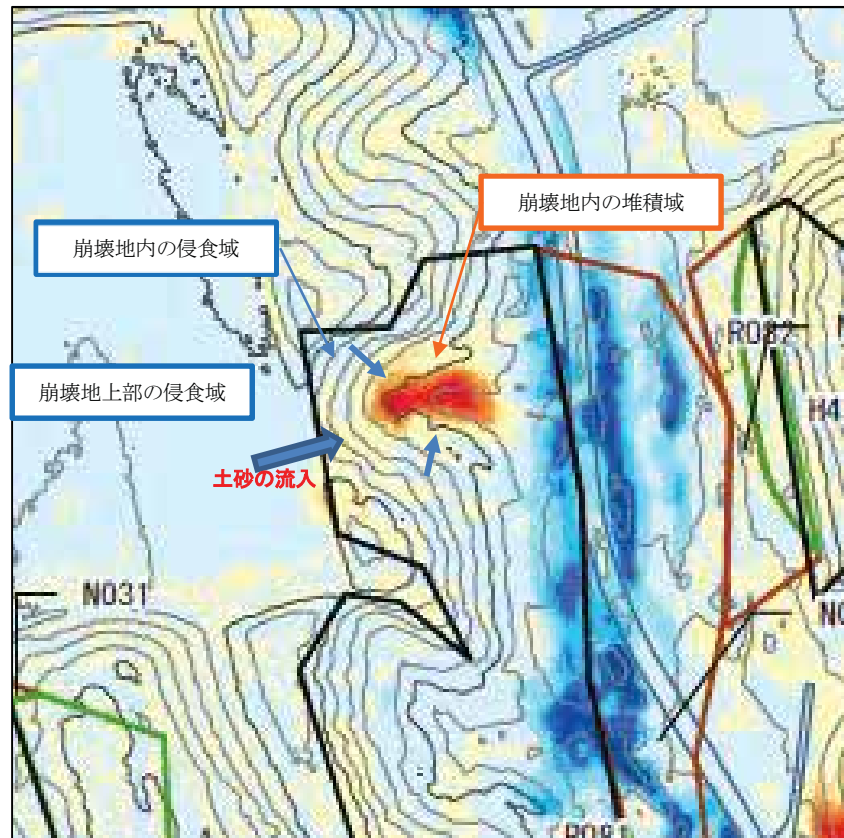


図 4.2 崩壊地の堆積傾向箇所の例

✓このような侵食、堆積の実態把握にあたっては、**現地確認による状況確認が必要**である。

5. 今後の課題

(1) 衛星画像データ使用にあたっての留意点

(i) 災害形態に見合った衛星データの活用

衛星画像データは、短期間で広範囲の情報を取得できることが利点の一つである。今回の解析対象は、広範囲にかつ集中的に発生した山地災害であり、この条件に合致している。

一方で、広範囲ではあるが散発的な山地災害の場合、山地荒廃箇所以外範囲の写真を同時に調達することになり、同様の手法での現況把握はコストの面で非効率である。

写真を調達する際には、調達サイズ（最小面積、図郭寸法等）を考慮した調達計画を立案する他、UAV や現地踏査を組み合わせた調査検討手法との比較検討が求められる。

(ii) 撮影角度による倒れこみの影響

樹木や高層ビルのように対象物に高さがある場合、衛星画像の撮影角度（Off-Nadir 角）が大きくなるほど倒れこみが顕著になり、倒れこんだ裏側の斜面の情報が得にくくなる。過去の報告によれば、撮影角度は 20 度以下であることが望ましいとされる（「高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法等に関する手引き（平成 30 年 3 月 林野庁）」）。

本業務で使用した衛星画像は、地震直後の画像の撮影角度が約 20 度、直近の画像は約 40 度であり、特に直近の画像では倒れこみの影響により北向き斜面の情報がほとんど得られなかった。対象地で過去に撮影された解像度 50cm 規模の衛星画像はアーカイブが少なかったため、これらの画像を使用した、過去のアーカイブが比較的豊富な地域であれば、撮影角度がより小さい画像を使用することが望ましい。

(iii) 地上分解能と判読の精度

衛星画像で識別できる地表物の大きさは、一般に解像度の 3～5 倍程度とされており、村上ら（2006）によれば、対象物が直線的な矩形であった場合、解像度 10m（地上分解能 10m という）の画像では 1 辺の長さが 8m 以下の場合ピクセルとして認識されない。また対象物が円形に近い場合は地上分解能の約 2 倍の半径、二等辺三角形に近い場合は底辺が地上分解能の 3.5～5 倍以上の長さが必要であり、今回使用している 1 ピクセルのサイズが 0.5m のデータでは、1 辺が 1.75～2.5m 以上となるため、崩壊地の幅、長さが概ね 3m 程度あれば、崩壊地そのものを識別することが可能といえる。

一方で、崩壊地の形状が細かな凹凸を含む複雑な形状であることを考慮すると、凹凸ごとの 1 辺の長さは 0.4m（地上分解能 10m で 8m 以下ではピクセルが認識できないため、0.5m の場合は 0.4m 以下となる）以下ではピクセルが認識できず、航空写真などと比べると崩壊地の輪郭が不鮮明となる。また、目視での判読であるため、画像の色調を頼りに地表面の変化で判断せざるを得ず、相応の誤差が生じる。

今回、拡大崩壊と思われる箇所が 23 箇所確認されたが、最終的には現地での確認による検証が必要である。

(iv) 衛星画像データをもとにした地形データの精度向上

今回調達した地形データは、直近の衛星画像データから発災直後の LP データの標高を用いて標高補正を行い作成している。この「標高補正」に用いる標定点を、森林地域内の不動点と思われる箇所

に多く設けることで、その地形データの精度を向上できると考えられる。地形データの使用目的に応じて、現地での標定点設置（座標値、標高値の取得）と、この標高データを図化へ反映させることで、精度向上を検討する。

（2）結果の検証

（i）拡大崩壊把握結果の検証

拡大崩壊結果の把握は、発災直後に実施した航空レーザー測量と同様の測量を実施し、LP 及びオルソから確認することが最も正確であるが、費用対効果の面から現実的ではない。

そこで、**拡大崩壊箇所周辺に限定した UAV 写真測量及びオルソの作成を行い、H30 オルソと比較**する方法が効果的と思われる。

（ii）侵食・堆積傾向把握結果の検証

発災直後からの地盤標高の変動量を確認するには、（i）同様、航空レーザー測量を実施することが最も確実であるが、費用対効果の面から現実的ではない。

そこで、今回の差分解析結果により示された堆積・侵食の「傾向」が実現象と合致しているかを検証する目的で、以下の2つの案あるいは2つの案を併用した調査を提案する。

① UAV レーザー測量

崩壊地形や侵食域、堆積域の特徴から崩壊地を分類し、それぞれについてモデル箇所を選定し、**UAV レーザー測量**を実施する。得られた地形データを用いた差分解析により変動状況を確認する。

② 現地調査

崩壊地形や侵食域、堆積域の特徴から崩壊地を分類し、それぞれについてモデル箇所を選定し、**現地調査**を実施する。現地調査では、崩壊地内の地形（凹凸）やリル、ガリーの発生状況、土砂堆積状況、草本・木本類の侵入状況、崩壊地外からの土砂流入状況などを調査し、侵食・堆積状況を確認する。