

令和 6 年度
荒瀬川流域山地災害検証会議
報告書

令和 7 年 3 月

山形県

1. 「令和 6 年 7 月豪雨災害」災害の概要と被災状況	1
1.1 雨量	1
1.2 荒瀬川本川の氾濫状況	1
2. 事業対象範囲及び調査の概要	2
2.1 対象範囲	2
2.2 崩壊地及び現況写真	3
2.3 資料調査	4
2.4 現地調査	4
3. 崩壊地分析	4
3.1 崩壊地抽出	4
3.2 地形・地質特性	5
3.3 森林	6
4. 荒瀬川流域山地災害の検証	8
4.1 日向川との環境条件比較	8
4.2 森林と雨量	8
4.3 崩壊土砂量と崩壊箇所	10
4.4 崩壊密度と森林	14
4.5 断層と崩壊	23
4.6 立木の流木捕捉機能	24
5. 今後の治山事業の取り組み（案）	25
5.1 事業対象範囲における崩壊特性の区分	25
5.1 治山施設整備	29
5.2 治山施設整備モデル事例	31

1. 「令和6年7月豪雨災害」災害の概要と被災状況

1.1 雨量

令和6年7月の豪雨において、山形県酒田市では記録的な大雨が観測され、荒瀬川の氾濫や土砂災害が発生した。気象庁は線状降水帯の発生を指摘しており、局地的かつ集中した豪雨が被害を拡大させた要因とされる。図1.1に示すとおり、大雨の中心(500mm以上)は「大清水観測所」や「高坂観測所」付近に位置しており、荒瀬川に強い影響を与えたと推測される。

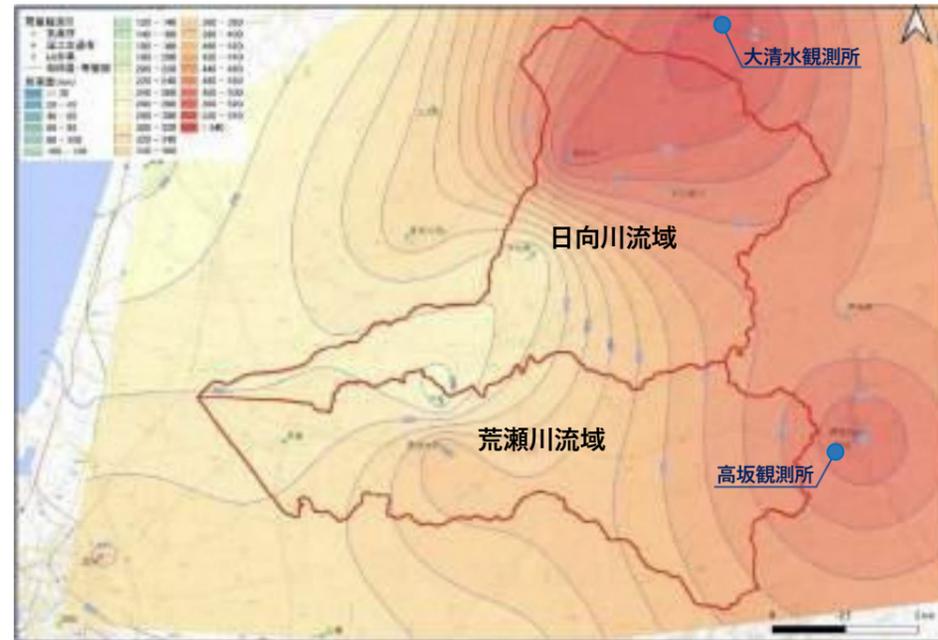


図 1.1 荒瀬川および日向川周辺における総雨量(2024/7/24~26)の等雨線図



図 1.2 常禅寺地区の状況
(読売新聞社 公開資料)



図 1.3 流出した土砂に埋まる家屋(北青沢)
(酒田市 HP 掲載資料)

1.2 荒瀬川本川の氾濫状況

R6 レーザ測量のオルソ写真と地理院地図の空中写真を比較し、代表的な地点をもとに荒瀬川本川における氾濫の原因を考察した。

山形県では、荒瀬川流域の北青沢地区から小泉地区までの約13キロの区間で、防災機能を高めるため川幅を広げ、浅くなった川底を掘削する改修工事を行う方針を示している。発災前の空中写真(地理院地図)と比較した結果、以下の要因が氾濫の原因として推察される。

これらの現象が複合的に発生し、大規模な氾濫につながったと考えられる。

- 橋梁閉塞、堰による堰上げ
- 荒瀬川溪岸崩壊
- 荒瀬川の河床上昇による荒瀬川の河川断面縮小
- 記録的な豪雨と洪水流量に対する荒瀬川の河川断面不足
- 支川の土砂埋塞
- 荒瀬川水位上昇に伴う支川での内水氾濫(バックウォーター)



図 1.4 荒瀬川本川の氾濫状況(左:発災前(地理院地図)、右:発災後(R6航空LPオルソ))

2. 事業対象範囲及び調査の概要

2.1 対象範囲

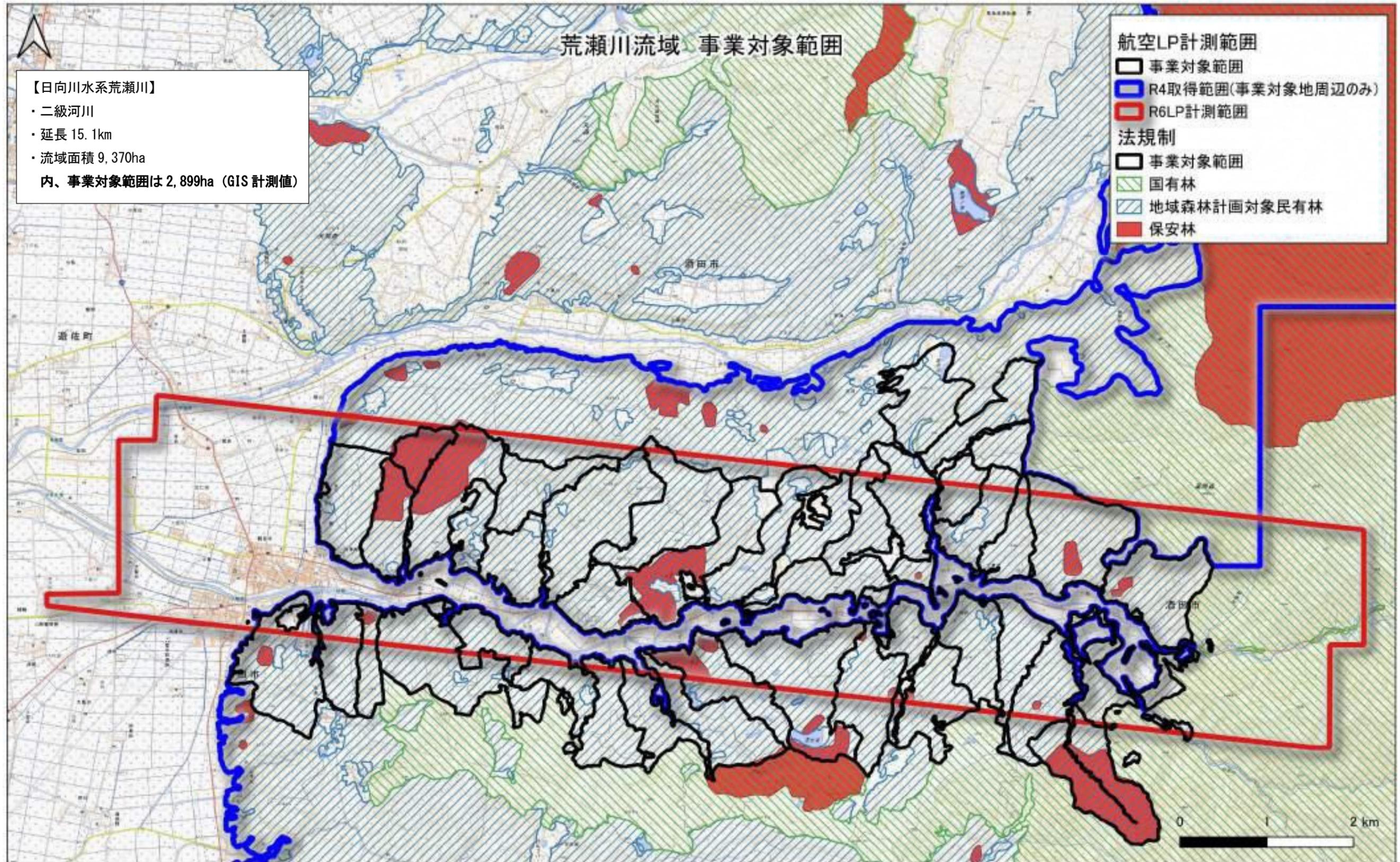


図 2.1 荒瀬川 事業対象範囲と R4,R6 航空 LP 測量計測範囲

2.2 崩壊地及び現況写真



図 2.2 荒瀬川 現地調査結果 (背景 : R6 年 SL3D マップ)

2.3 資料調査

既往資料から、事業対象範囲周辺の現況を整理した。

表 2.1 資料調査に使用したデータ一覧

検討項目	使用データ	作成データ	備考
地形解析	R4 航空 LP 測量成果	標高	DEM (1m メッシュ)
		傾斜	DEM より作成
		起伏	〃
		尾根谷度	〃
		斜面方位	〃
		平均樹高	DSM と DEM より作成
	R6 航空 LP 測量成果	災害前後の標高差分	R6 と R4 の重複計測範囲のみ作成
	5 万分の 1 地形分類図	地形分類図	「酒田」「大沢」 図郭
地質	5 万分の 1 表層地質図	地質区分図	「酒田」「大沢」 図郭
土壌	5 万分の 1 土壌図	土壌区分図	〃
気象	気象庁過去の気象データ	平年値気象データ	「酒田」1992～2020 年
	各観測所の R6.7.24～26 降雨データ	等雨線図	・気象庁：酒田大沢 ・国交省：白糸の滝、大清水 ・山形県：明神沢、月光川ダム、荒木川、三ノ滝、市条、大台野、大八重川、大蔵
法規制	「森林地域」	法規制図	山形県 平成 27 年版
森林簿	-	-	GIS データおよび CSV データの結合により集計

2.4 現地調査

(1) 施設調査

98 箇所の治山施設を調査し、災害後の破損状況や土砂・流木の捕捉状況を確認した。道路の崩壊などでアクセス困難だった 12 施設を除外し、実際の調査対象は **86** 施設となった。調査の結果、今回の土砂流出による破損は確認されなかった。

(2) 崩壊地調査

崩壊地調査を実施し、崩壊地の確認に加えて流出土砂の性状把握を目的とした土砂採取や、立木による流木の捕捉状況の確認等を行った。



図 2.3 崩壊地調査 (石田地区)



図 2.4 立木による流木捕捉状況 (石田地区)

3. 崩壊地分析

3.1 崩壊地抽出

(1) 使用データ

- ・ R6 航空レーザ測量データ (微地形表現図、オルソ画像)
- ・ R4 航空レーザ測量データと、R6 航空レーザ測量データの差分

(2) 判定基準

崩壊地は、以下の 3 つに区分した。

- ① 崩壊区間
- ② 流下・堆積区間
：崩壊直下の堆積や谷出口付近での氾濫をイメージする区間
- ③ 流下・堆積区間 (溪岸・溪床の侵食を伴う)
：細長い溪流内で溪床や溪岸を侵食し、一部で堆積しながら土砂が流下する区間

オルソ画像は雲や影の影響で裸地が不明な崩壊地が存在するため、地形判読を併用して抽出した。崩壊区間の判定には R6・R4 航空 LP 測量データの差分を参考にし、オルソ画像で視認できない崩壊も特定し、不明瞭な部分と区別した。また、災害前から裸地と判断される採石場や畑は、オルソ画像で土砂が堆積しているように見えても「裸地」として扱った。

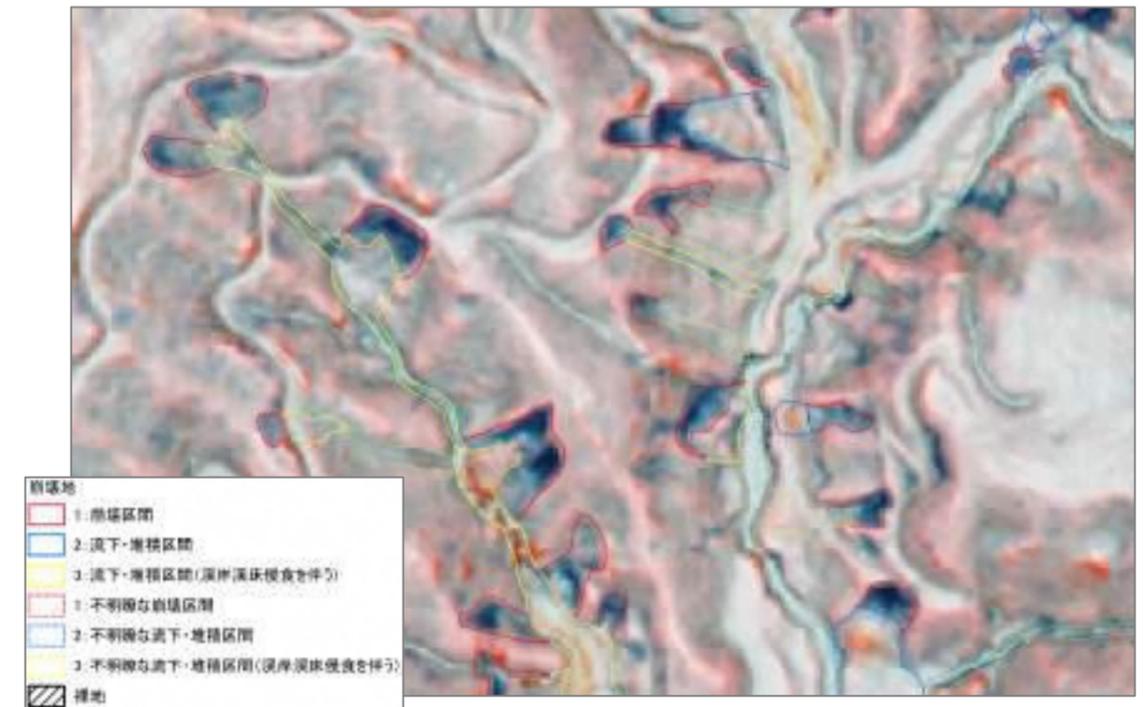
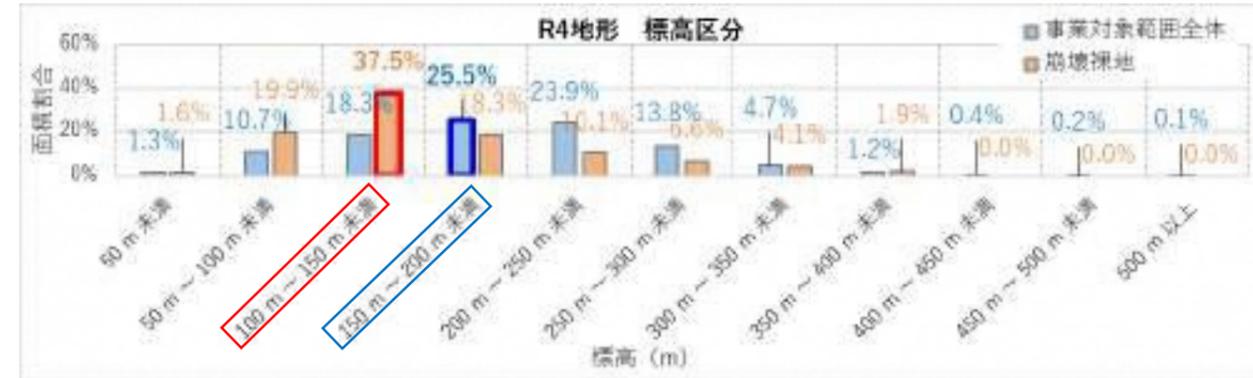


図 3.1 崩壊地判読例 (背景：R6 航空 LP より作成した SL3D マップ)

3.2 地形・地質特性

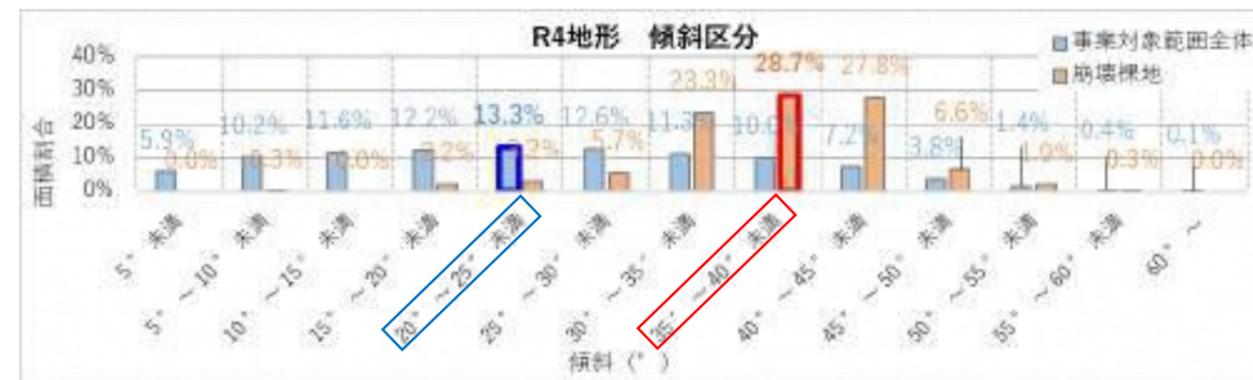
(1) 標高

事業対象範囲全体では標高 **150~250m** が **49.4%** を占めており、この標高区分は5万分の1地形分類図で「丘陵地」や「中・急斜面（山地）」に多く分布している。一方、標高と崩壊の関係を見ると、**標高 100~150m** で崩壊地の割合が最も高く、全体の **37.5%** を占めている。



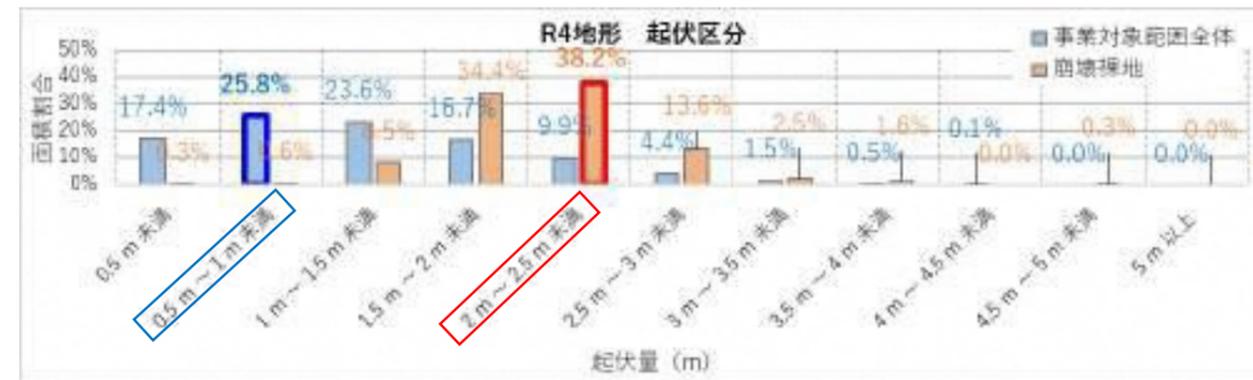
(2) 傾斜

事業対象範囲全体では傾斜 **20~25°** 未満が **13.3%** を占めており、比較的緩やかな傾斜地が多い。一方、傾斜と崩壊の関係を見ると、崩壊裸地の **88.6%** が **30°** 以上の急傾斜地に分布しており、特に傾斜 **35~40°** が最も多い (**28.7%**)。一方で、緩やかな傾斜地 (30° 未満) の崩壊箇所の割合は **11.4%** にとどまる。



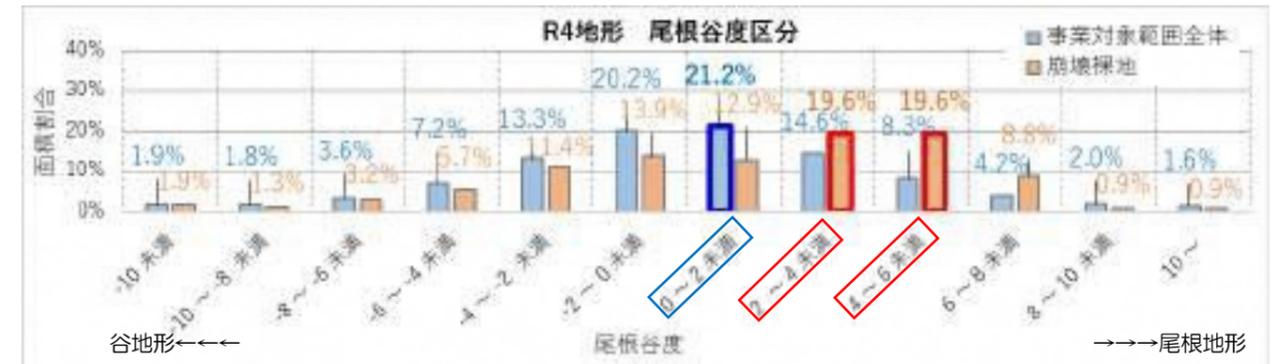
(3) 起伏

事業対象範囲全体では起伏量 **0m~1.5m** 未満が **66.8%** を占めており、主に緩やかな起伏 (**1.5m** 未満) の面積割合が高く、大きな起伏地形はほとんど含まれない。一方で、起伏と崩壊の関係を見ると、崩壊地の約 **72.6%** が **1.5m~2.5m** 未満に集中しており、崩壊地は大きな起伏を持つ地形に多いことがわかる。



(4) 尾根谷度

事業対象範囲全体では、**尾根谷度 0~2 未満** (=起伏の少ない平滑斜面) が最も広い面積割合 (**21.2%**) を持つ。一方で、尾根谷度と崩壊の関係をみると、崩壊地は**尾根谷度 2~6 未満** に主に分布し、この範囲が崩壊地全体の **39.2%** を占めている。このことから崩壊地は**凸型斜面**の割合がやや高いといえる。



(5) 斜面方位

事業対象範囲全体では、斜面方位が「西」と「北西」が最も面積が広く、それぞれ **15.6%** と **13.6%** を占める。崩壊地も同様に、「西」で **15.8%**、「北西」で **15.1%** と崩壊が集中している。



(6) 災害前後の標高差分

事業対象範囲全体では、**標高変動がほぼない範囲** (航空 LP 計測誤差に含まれる **-0.25m~+0.25m** 未満) が全体の **73.4%** を占めている。一方、崩壊地では**-3m~-0.25m** 未満の範囲が **85.5%** と際立っている。この結果から、崩壊地の平均的な崩壊深 (鉛直方向) は、おおよそ **0.25m~3m** 程度と推定される。



※本資料で用いている「面積割合 (%)」の母数は、各区分 (例: 標高区分、傾斜区分) における全体面積である。

(7) 地質

事業対象範囲全体の地質区分では、「Vo:安山岩岩塊・礫・それらの細粉及び火山灰」が最も広く、全体の25.2%を占めるが、崩壊割合は5.3%と低い。一方、「Js:砂(礫およびシルトを含む)」と「Ks2:砂(砂質シルトおよび褐炭を伴う)」は事業対象範囲全体における面積割合がそれぞれ7.1%と9.6%であるにもかかわらず、崩壊地の割合は26.7%と18.8%と高く、これらの砂層に区分される地質が崩壊の主な分布域である。

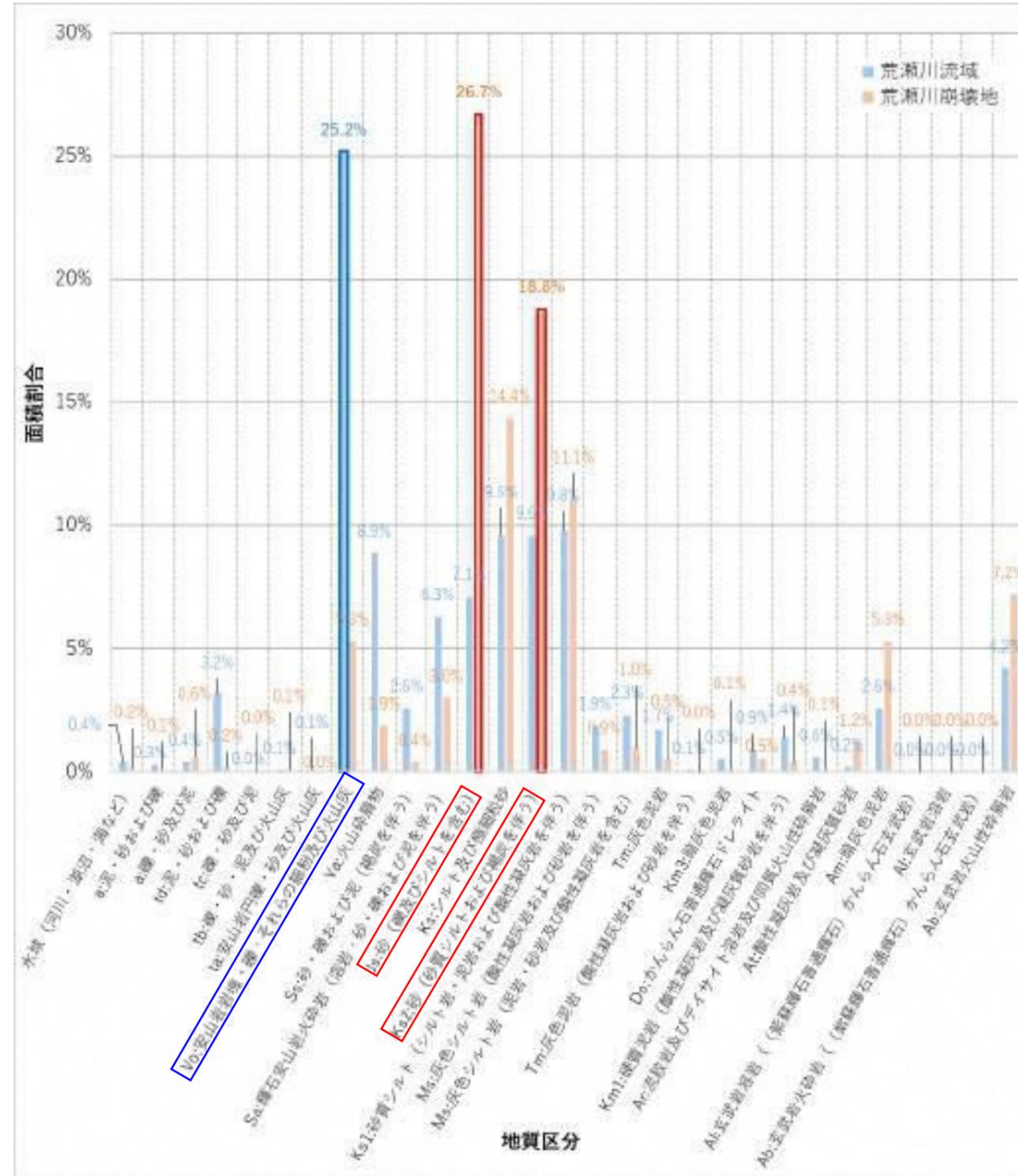


図 3.2 表層地質区分

3.3 森林

事業対象範囲の約8割を占める人工林のうち、97%がスギ林であることから、対象範囲全体および崩壊地の森林特性を把握する際、スギ林を代表として林齢、樹高、材積の分布傾向を整理した。



図 3.3 林種区分 (事業対象範囲全体)

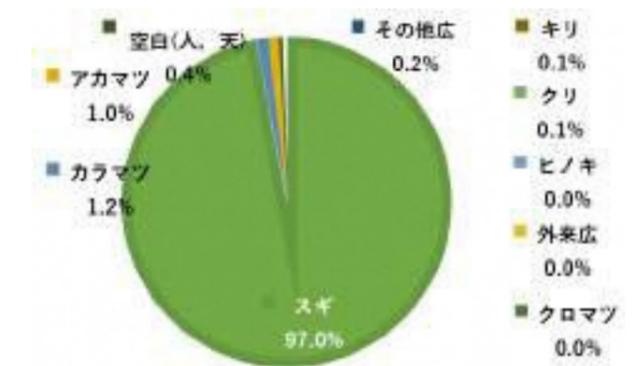


図 3.4 人工林の樹種区分 (事業対象範囲全体)

(1) 林齢

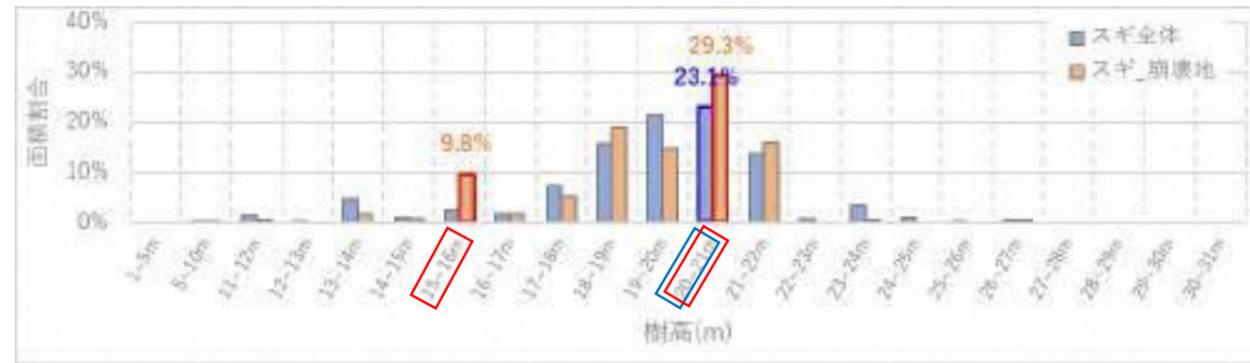
スギ林全体では林齢60~65年が19.6%と最も高い割合を占める。一方、スギ林における崩壊地では、林齢65~70年が21.4%を占め、崩壊地は全体と比較してやや高い林齢に集中する傾向が見られる。また、崩壊地・全体ともに、若い林齢(0~30年)や非常に高齢の林齢(100年以上)の面積割合は低く、林齢55~75年にピークが存在する。このことから、中高齢のスギ林が大部分を占めることが特徴である。ただし、後述する「haあたり材積」や「平均傾斜角の分布」と比較すると、分布の大きな偏りは見られない。



(データ出典: 森林簿)

(2) 樹高

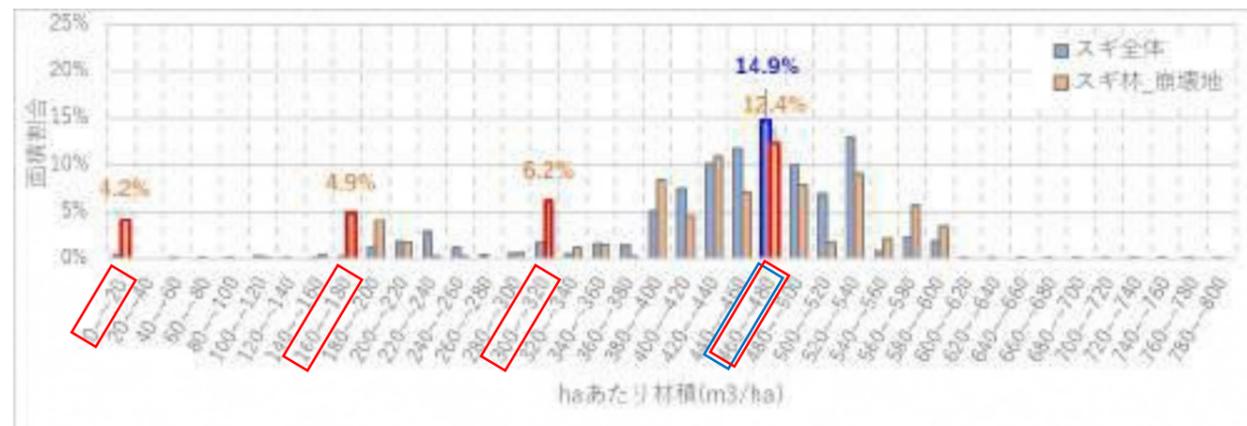
スギ林全体では、樹高 **20~21m** が **23.1%**と最も高く、スギ林における崩壊地でも同範囲で **29.3%**と高い面積割合を示している。また、樹高 **15~16m** でも崩壊地の面積割合がスギ林全体より高い傾向が見られる。一方、崩壊地・全体ともに、樹高 15m 以下や 25m 以上の面積割合は低く、**樹高 18~22m** の範囲に集中していることが特徴である。この結果から、崩壊地の分布は中~高樹高域に集中しやすく、特に樹高 20m 付近がピークを示す。ただし、後述する「ha あたり材積」や「平均傾斜角の分布」と比較すると、分布の大きな偏りは見られない。



(データ出典：森林簿)

(3) ha あたり材積

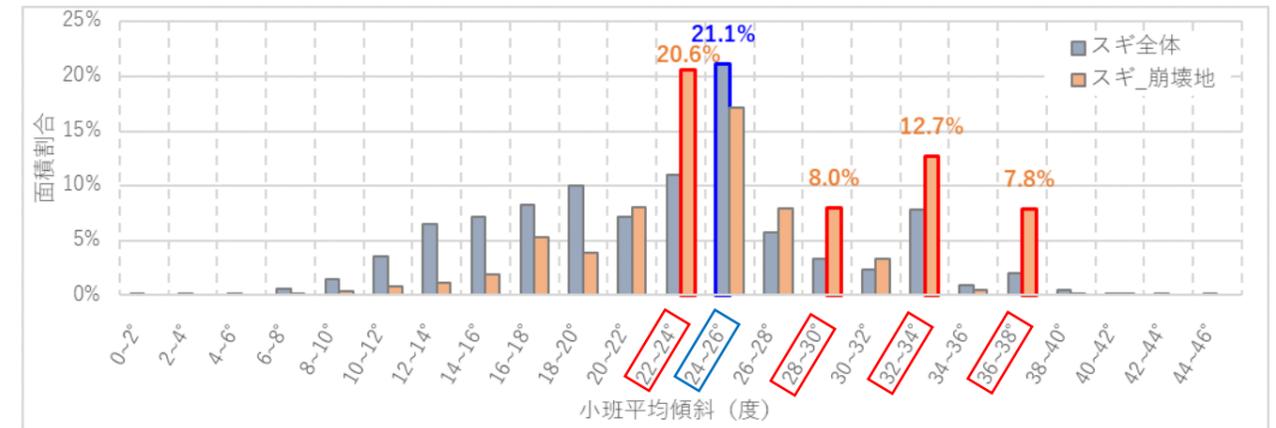
スギ林全体では、ha あたり材積が **460~480m³/ha** の範囲が **14.9%**と最も高く、スギ林における崩壊地でも同範囲で **12.4%**と高い面積割合を示している。また、スギ林全体では 380~540m³/ha の範囲に集中しているが、スギ崩壊地では 320m³/ha 以下の低い材積の範囲でも分布が見られる。このことから、崩壊地は全体に比べて材積の小さい林分にも広く分布している傾向があるといえる。



(データ出典：森林簿)

(4) 小班平均傾斜

スギ林全体では、小班平均傾斜が **24~26°**の範囲で **21.1%**と最も高い。一方、スギ林における崩壊地では **28~30° (8.0%)** や **32~34° (12.7%)** といった急傾斜地での面積割合がスギ林全体より高い傾向が見られる。また、緩傾斜地 (20°以下) での崩壊地の面積割合は低く、中~急傾斜地 (22~38°) に分布が集中していることが崩壊地の特徴である。



(データ出典：森林簿)

4. 荒瀬川流域山地災害の検証

第1回荒瀬川流域山地災害検証会議で挙げられた主な意見に対する検討結果を、以下に記す。

4.1 日向川との環境条件比較

- ① 荒瀬川流域の被害が大きかった原因や特徴を把握するためには、北側に隣接する日向川流域との環境条件を比較することが有効ではないか。

荒瀬川流域と日向川流域との比較を行った。比較範囲は、荒瀬川流域の事業対象範囲に隣接する日向川左岸側を対象に、令和4年度の航空レーザ測量成果のある図4.1に示す範囲とした。

比較の結果、次の点において違いがみられた。

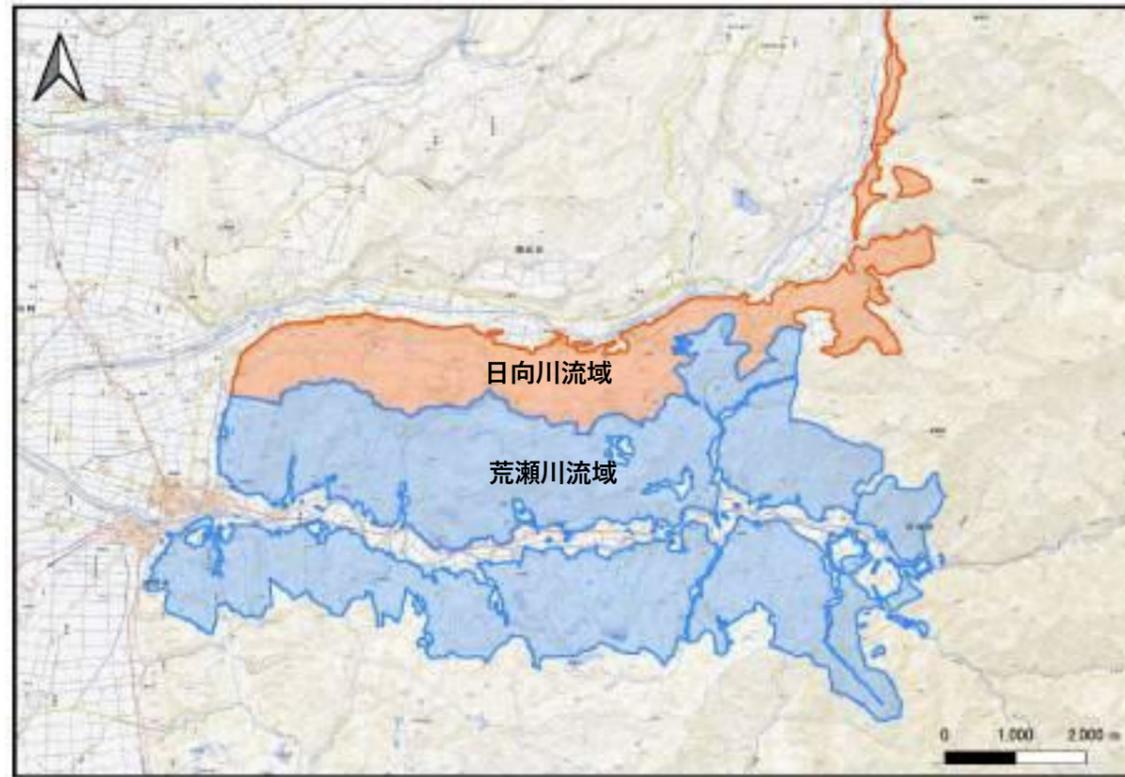


図 4.1 日向川流域・荒瀬川流域および比較範囲

- ・ 標高について、荒瀬川流域は日向川流域に比べて低い傾向が確認される。
- ・ 荒瀬川流域は、日向川流域と比較して傾斜が急であり、起伏量や尾根谷度の分析結果からも、より急峻な地形特性を有することが明らかとなった。
- ・ 地質の面では、荒瀬川流域は日向川流域に比べて砂層に区別される地質の占める割合が高く、特に西側に広く分布していることが特徴である。
- ・ 総雨量および7月25日の降水量を比較した結果、荒瀬川流域は日向川流域より降水量が多く、降水特性において差異が見られる。

4.2 森林と雨量

- ② 森林が大雨に耐えられる（崩壊しない）累積雨量には限界がある。その限界雨量を他地域も含めて検証する必要がある。

4.2.1 森林の現況

森林と崩壊の関係については、これまで多くの研究が行われており、近年では「森林の根系による表層崩壊防止機能について」（令和5年3月、林野庁）が公開されている。本資料では、森林の根系が斜面の表層崩壊を抑制する機能と、それを維持・向上させるための適切な森林施業の重要性が詳述されている。

同資料によれば、森林の崩壊抑止機能を理解するには、崩壊の種類を把握することが重要であり、崩壊は主に次の2種類に分類される。

- 表層崩壊：樹木の根系が発達する土壌層（A層、B層、およびC層（風化した基岩層））が、降雨により多量の水分を含み、安定性を失うことで発生する。
- 深層崩壊：基岩層が風化により強度を低下させ、多量の水分が浸透してせん断破壊が発生し、大規模な崩壊につながる。

（「森林の根系による表層崩壊防止機能について」令和5年3月 林野庁 p.4）

また、森林の崩壊防止機能を考慮する際には、対象とする崩壊の種類を明確にする必要があり、表層崩壊はさらに以下の2種類に分類される。

- 土壌層崩壊：土壌層のみが崩壊する。
- 厚い表層崩壊：土壌層とその下層の風化土層を含む崩壊。

同資料によれば、20年生以下の若齢林分では「土壌層崩壊」が多く、30～60年生の林分では「厚い表層崩壊」が発生しやすいと報告されている。

（「森林の根系による表層崩壊防止機能について」令和5年3月 林野庁 p.19）

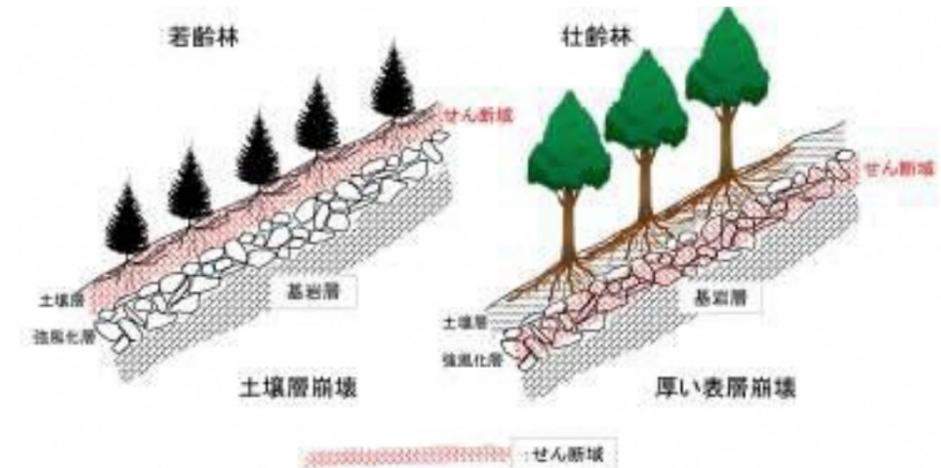


図 7-3 土壌層崩壊、厚い表層崩壊において生じるせん断域

（「森林の根系による表層崩壊防止機能について」令和5年3月 林野庁 p.91）

以上より、森林整備が適切に行われ、崩壊防止に寄与するほど根系が十分に発達した森林では、土壌層崩壊に対して崩壊防止機能を発揮され、崩壊が発生しなかったり、崩壊した場合でも小規模にとどまったりすることで、崩壊面積率の低下に寄与したと考えられる。しかし、記録的な豪雨が観測された今回の災害では、根系が十分に発達していない部分からの崩壊（厚い表層崩壊）も多数発生した。

4.2.2 荒瀬川流域における降水量分布と崩壊

荒瀬川流域における降水量分布と崩壊の関係について検討した。

表層崩壊は、短時間降雨、長時間降雨、先行降雨など、様々な要因によって発生する。そのため、どの要因が最も崩壊発生に寄与しているかを明らかにするため、崩壊発生地点ごとに複数の最大雨量を抽出し、雨量と崩壊箇所数の関係を整理した。その結果、雨量と崩壊箇所数の間に比例関係が認められる場合、その雨量が崩壊に寄与している要因と考えられる。

各種雨量と崩壊発生数を比較したところ、決定係数は高くなかったものの、「崩壊発生数－総雨量」 および 「崩壊発生数－2日雨量(7/24～25)」 において中程度の相関が確認された。事業対象範囲では、以下のような降雨が発生した場合、同様の災害が発生する可能性があり、言い換えれば、現在の林分が耐えられる雨量の目安と考えられる。

- 総雨量で **260mm**
- 2日雨量で **230mm**

また、「酒田市地域防災計画(令和6年2月)」によると、昭和19年に事業対象範囲周辺において災害があったとされる。酒田気象観測所のデータをもとに、昭和19年災害時の降雨状況を整理した結果によると、**昭和19年7月19日から21日にかけて、総雨量222.5mm、2日雨量190.0mm**の豪雨が記録されている。

過去の空中写真を分析した結果、昭和19年当時は現在のように壮齢林が主体の森林でなかったと推測され、森林による崩壊防止機能が発現されたものと考えられる。

近年の集中豪雨の例として、平成30年8月5日から6日にかけての大雨が挙げられる。この際、酒田大沢気象観測所では連続降雨量が300mmに達したにもかかわらず、土砂災害の発生件数はわずか5件にとどまった。(参考：『8月5日からの大雨に係る被害状況等について 平成30年8月22日 山形県危機管理・くらし安心局』)

また、平成30年(2018年)の降雨と今回の災害時の降雨を比較すると、時間最大雨量は平成30年(2018年)のものが大きかった一方で、日最大雨量は令和6年(2024年)のものが大きい。すなわち、令和6年7月の豪雨は、過去の降雨と比較して、より強い雨が長時間にわたって降り続いたと考えられる。その結果、事業対象範囲内では、適正に整備された森林による効果で土壌層の崩壊は最小限に抑制されたが、一方で、大量の降雨により森林の効果が及ばない場所では崩壊が発生したと考えられる。

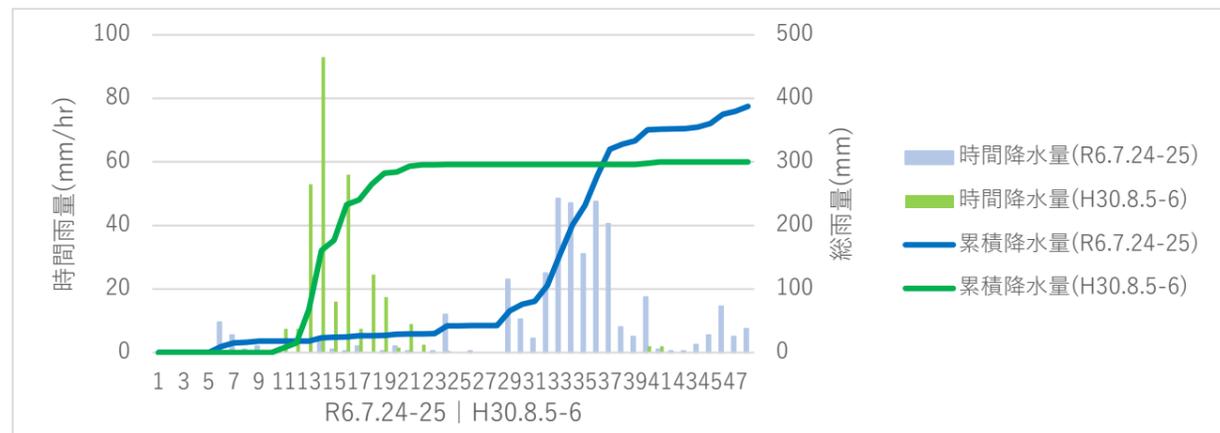


図 4.2 降雨波形の比較 (H30.8.5-6 : R6.7.24-25)

表 4.1 山形県の過去の主な豪雨災害一覧表

No.	発生年月	要因・名称	被害概要
1	2007年9月	台風第9号	8月29日15時に南鳥島近海で発生した台風第9号は、9月7日2時前に強い勢力を保ったまま神奈川県小田原市付近に上陸後、7日昼前に米沢市付近、昼頃山形市付近、昼過ぎには最上にあつて県内を縦断した。山形市蔵王山では、7日に日降水量314mmを観測し、1976年の統計開始以来9月の記録としては、第1位となった。また、最大1時間降水量は、同日08時に56mmを観測し、通年の第1位を更新した。
2	2008年8月	低気圧、停滞前線	8月14日から15日にかけて低気圧が日本海から青森県付近をゆっくり東へ進み、低気圧からのびる前線が東北北部から日本海に停滞した。庄内地方から最上地方の比較的狭い範囲で雨雲が発達し、狩川の14日の日降水量は318.0mmに達するなど、1976年の統計開始以来第1位となる記録的な大雨となった。
3	2009年10月	台風第18号	9月29日21時にマージナル諸島近海で発生した台風第18号は、10月8日5時過ぎに強い勢力を保ったまま愛知県知多半島に上陸した。上陸後も北東進し、県内では7日夕方から8日にかけて大雨となり、特に内陸部の村山・置賜・最上の山沿いで雨量が多くなった。7日12時から8日24時までの総雨量は、大蔵村肘折103.0mm、西川町大井沢90.5mm、山形44.0mm、米沢45.5mm、新庄55.5mmを観測した。
4	2012年4月	低気圧	2日9時に華北で発生した低気圧は、3日には急速に発達しながら日本海を北東に進み、低気圧からのびる寒冷前線が3日夜から4日未明に東北地方を通過した。山形県では庄内と最上で暴風となり、飛鳥で最大風速39.7m/sを観測するなど9地点で観測史上1位を更新した。これら暴風等により山形県では、人的被害や住宅被害、農林水産被害が多数発生している。また、停電や航空、鉄道の運休など交通機関に大きな影響があった。
5	2013年7月	梅雨前線	梅雨前線が日本海から東北地方にのび前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込み大気の状態が不安定となり、7月22日の昼過ぎから夜遅くにかけて激しい雨が降り、県内の広い範囲で大雨となった。日降水量が高島で157.5mm、長井で156.0mm、1時間降水量が楡引で63.0mmを記録するなど、県内の広い範囲で記録的な大雨となった。この大雨により、各地で浸水や冠水、土砂災害が発生し南陽市や白鷹町の1,370世帯に避難勧告・指示が出された。
6	2014年7月	梅雨前線	東北地方に停滞する梅雨前線に向かって、台風第8号から暖かく湿った空気が流れ込み、7月9日から10日にかけて県南部を中心に大雨となった。降り始めの8日21時から11日09時までの総雨量は、小国で235.5mm、長井で207.5mm、9日の日降水量は長井で183.5mm、上山中山で169.5mmを観測するなど記録的な大雨となった。
7	2015年9月	平成27年9月関東・東北豪雨	9月7日3時に発生した台風第18号は、愛知県知多半島に上陸した後、日本海に進み、同日21時に温帯低気圧に変わった。この低気圧に向かって南から湿った空気が流れ込んだ影響で、広い範囲で大雨となり、特に関東地方と東北地方では記録的な大雨となった。成27年9月9日から9月11日にかけて発生した大雨について、気象庁は「平成27年9月関東・東北豪雨」と名称を定めた。
8	2018年8月	前線	前線が東北地方に停滞し、前線上の低気圧が東北北部を通過した。前線や低気圧に向って暖かく湿った空気が流れ込んだため、山形県では、5日朝から雨が降り始め、特に5日昼頃から6日明け方にかけて発達した積乱雲が次々に通過し、庄内や最上を中心に非常に激しい雨となった。酒田大沢では1時間降水量が112.5mmを観測するなど、局地的に猛烈な雨となった。また、降り始めからの総降水量が金山や最上町瀬見では300mmを超えるなど記録的な大雨となった。
9	2018年8月	秋雨前線	秋雨前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだため、東北地方は大気の状態が非常に不安定となった。山形県では、特に8月30日夜から31日明け方にかけて非常に激しい雨を観測した。総降水量が庄内町狩川や最上町瀬見で200mmを超えるなど庄内、最上を中心に大雨となった。この大雨により、庄内、最上では床上・床下浸水、道路の冠水や法面崩落、農地冠水などの被害が発生した。
10	2019年10月	令和元年東日本台風	令和元年東日本台風(台風第19号)が12日に伊豆半島に上陸し、関東地方を北東へ進み、13日に福島県から宮城県沖へと抜けた。この台風により24時間降水量が高島で240.5mm、米沢で205.0mmに達するなど県内では置賜地方を中心に記録的な大雨となった。負傷者3名、全半壊8棟、床上床下浸水164棟、河川氾濫や法面崩落多数。
11	2020年7月	令和2年7月豪雨	東北地方に前線が停滞し、荒沢の総降水量は267mmに達するなど県内の広い範囲で大雨となった。大雨の峠を越えた後、最上川中流で顕著な河川氾濫が発生した。負傷者1名、全半壊63棟、床上床下浸水705棟、田畑多数冠水。
12	2022年8月	大雨	前線が東北地方をゆっくり南下し、前線上の低気圧が3日夕方にかけて東北地方を通過した。前線や低気圧に向かって暖かく湿った空気が流れ込み、大気の状態が非常に不安定となった影響で、山形県では置賜を中心に線状降水帯が発生するなど、非常に激しい雨が降り続き、記録的な大雨となった。山形地方気象台は、3日から4日にかけて置賜の7市町に、大雨特別警報を発表した。行方不明者1名。全半壊55棟、床上床下浸水696棟、土砂災害、橋梁崩落、道路冠水、農地流出、ため池決壊など被害が多数発生した。

出典：気象庁 山形地方気象台 HP 「山形県の災害履歴」

4.3 崩壊土砂量と崩壊箇所

③ 荒瀬川やその周辺に流出した土砂量を考えると、林地の崩壊箇所が少ない印象を受ける。これまでに溪流内に堆積した土砂が大雨により流出した可能性が考えられる。土砂の発生源を正確に特定するため、災害発生後のレーザ測量の実施が求められる。

4.3.1 流出土砂量とその妥当性検証

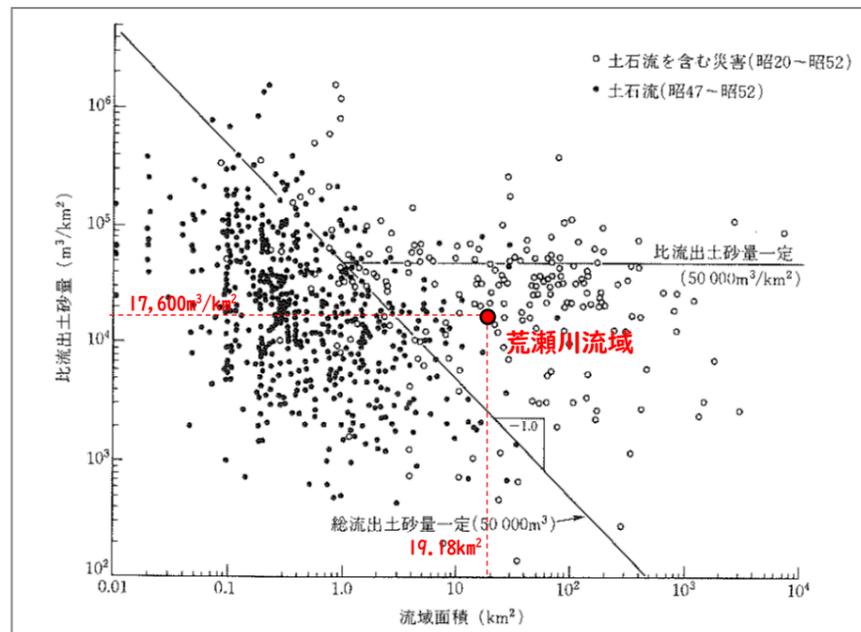
災害発生後に取得された令和6年度の航空レーザ測量成果と令和4年度の航空レーザ測量成果を比較し、重複する範囲の標高差分を基に流出土砂量を算出した。その結果、**事業対象範囲から流出した土砂量は、約338千m³**と見積もられた。**単位面積当たりの土砂量に換算すると、176m³/ha (=17,600m³/km²)**となる。

表 4.2 土砂量集計結果 (R4LP と R6LP の差分)

	発生区間	堆積区間	流下・堆積区間	土砂量合計
土砂量合計(m ³)	-275,185	24,490	-87,085	-337,963
単位面積あたり土砂量(m ³ /ha)	-143	13	-45	-176

一般に、流域面積と比流出土砂量の関係は図4.3に示す通りであり、比流出土砂量は50,000m³/km²(=500m³/ha)で一定となる。また、流域面積が1km²(100ha)以上の場合、比流出土砂量が10⁵~10⁶オーダーに達することは稀である。

小流域ごとに分割した面積の合計は1,918.3ha(=19.18km²)であり、総土砂量を同図にプロットした結果、過去のデータの包括範囲内に収まることが確認された。



(砂防学講座第6巻-1 土砂災害対策 p.207)

図 4.3 流域面積と比流出土砂量の相関

表4.2に整理した通り、荒瀬川流域では崩壊発生箇所だけでなく、流下・堆積区間においても侵食が発生している。前節で整理した「小流域界ごとの単位面積当たりの堆積量および侵食量」を図化すると以下の様になる。

図より、溪流～土砂流出範囲においては、特に溪床勾配が急で溪流延長の長い山地において侵食量が多くなり、荒瀬川本川沿いの小流域では、侵食量よりも堆積量が多い傾向が見られる。

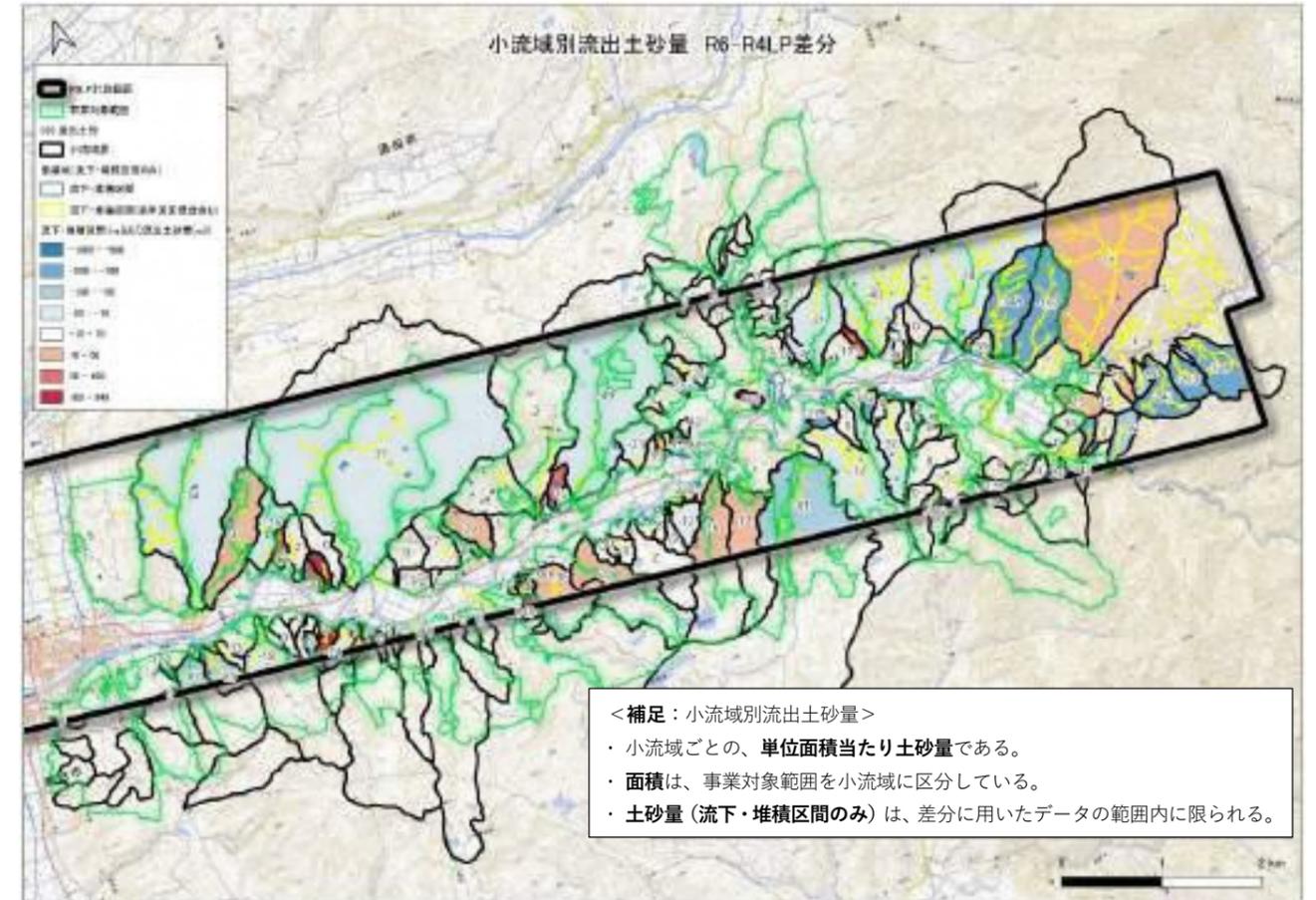


図 4.4 流下・堆積区間と地形変化量

4.3.2 崩壊面積と流出土砂量の関係

事業対象範囲内には **870** 箇所の崩壊地があり、その崩壊箇所の面積と流出土砂量を整理することで、事業対象地における土砂流出特性の把握を試みた。

図 4.5 によると、**870** 箇所の崩壊地のうち、大部分 (**721** 箇所) は **0.05ha 未満** の小規模な崩壊地である。これに対し、**1ha** を超える崩壊地は極めて少なく (**1** 箇所)、全体のごく一部にとどまっている。このことから、**小規模崩壊地が圧倒的に多い** ことが分かる。

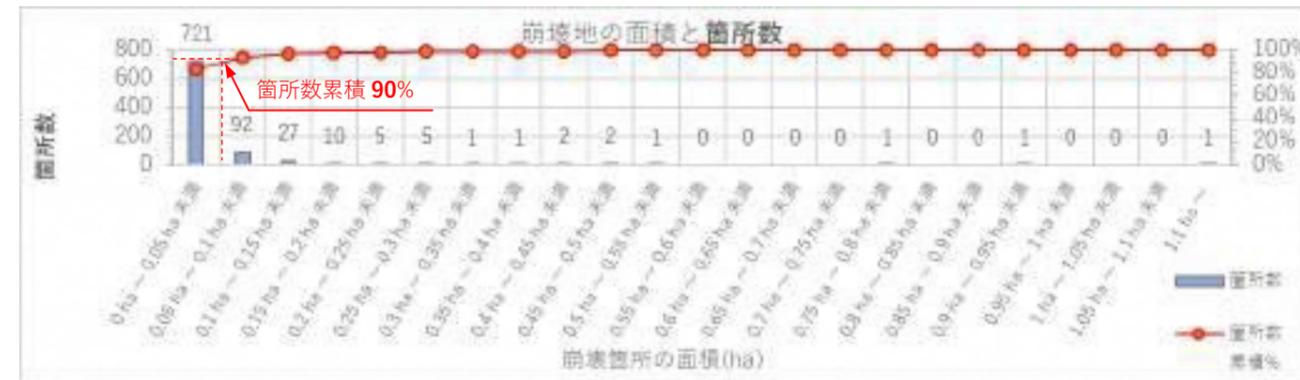


図 4.5 崩壊面積と崩壊箇所数の関係

図 4.6 では、**小規模な崩壊地からの流出土砂量が全体の流出土砂量の大半** を占めていることが示されている。具体的には、流域面積が小さい箇所 (**0.1ha 未満**) が、全流出土砂量の **50%以上** を占めており、累積 **90%** に達するまでに小規模崩壊地が多数寄与している。

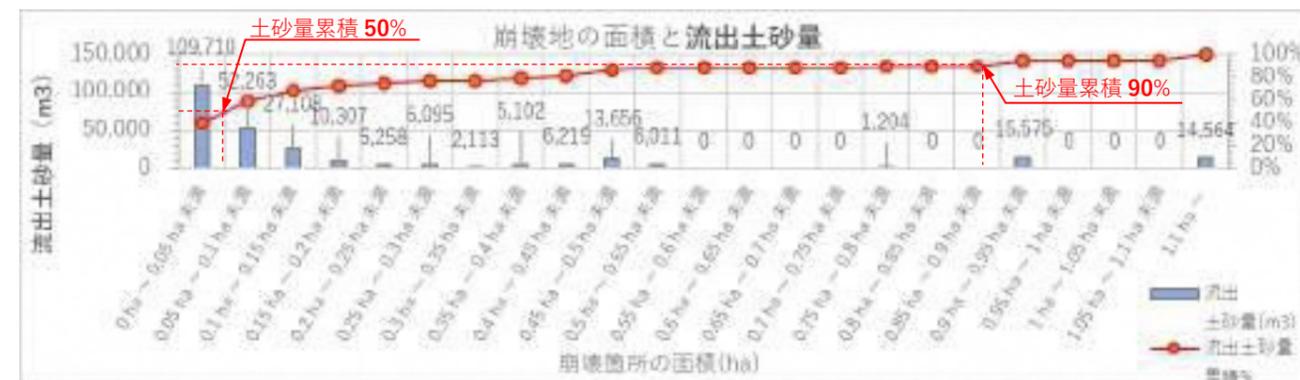


図 4.6 崩壊面積と流出土砂量の関係

以上の結果から、**流域全体の土砂流出において、小規模な崩壊地の寄与が極めて大きい** ことが明らかとなった。今回の災害 (令和 6 年 7 月 24~25 日にかけての豪雨) では、酒田大沢気象観測所で累積雨量約 **400mm** の記録的な大雨が観測された。特に、7 月の日降水量 (**345.5mm/day**)、最大 1 時間降水量 (**67.5mm/60min**)、最大 24 時間降水量 (**356.0mm/24hr**) は、同観測所において観測史上 1 位を更新する値 (※最大 1 時間降水量は 3 位) であった。

この前例のない**既往最大規模の豪雨により、多数の小規模崩壊が発生した**と考えられる。しかし、後述する崩壊特性ゾーニングの特徴などから、小規模崩壊地からの流出土砂については、急勾配の溪流に流入した場合には土石流となって重大な被害をもたらすものであったが、一方で遷急線付近や緩勾配の溪流に流入する小規模崩壊地の場合には、崩壊地直下など限定的な被害に留まっている状況が確認されている。

4.3.3 流出土砂の性状把握

以下に示す **9** か所で流出土砂試料を採取し、その性状を把握した。その結果、採取した試料の粒度分布に基づき、土砂は大きく **4** つのグループに分類された。

表 4.3 流出土砂採取位置と表層地質

試料名	性状に基づくグループ	表層地質
小屋沢沢①	d	青沢層 大俣川泥岩部層~青沢層 主部~ドレライト
小屋沢沢東① (上流溪床)	d	青沢層 大俣川泥岩部層~ドレライト
小屋沢沢東② (下流溪床)	d	青沢層 大俣川泥岩部層~ドレライト
上青沢① (崩壊)	b	常禅寺層
石田①	a	常禅寺層~観音寺層
内郷①	a	常禅寺層
沢の内川①	b	観音寺層
沢の内川② (崩壊)	b	常禅寺層
沢の内川③	c	常禅寺層

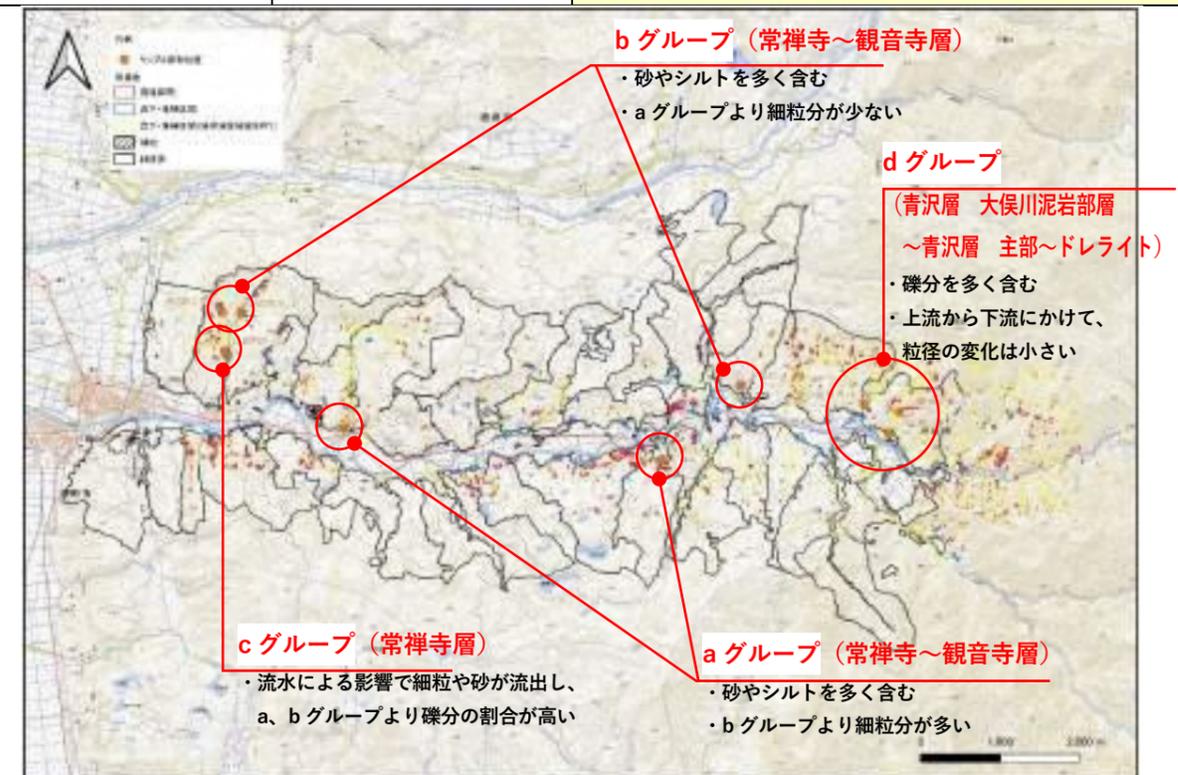


図 4.7 流出土砂採取位置図

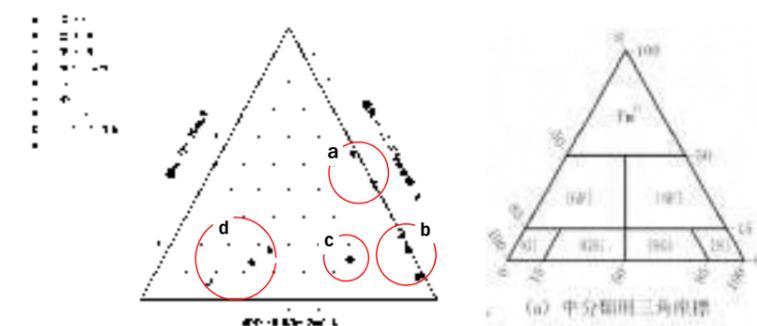


図 4.8 土質分類三角座標

4.3.4 治山施設の効果

対象範囲内には、治山施設が階段状に施工された溪流が存在する。このような溪流では、溪床に存在する不安定土砂が固定され、縦侵食が発生していないことが確認された。

(1) 君畑地区

図 4.9 および図 4.10 に、君畑地区の平面図を示す。当該地区は、以下の特徴を持つ 3 つの測線が東西方向に並ぶ地区であり、災害発生後の土砂流出状況に違いがみられた。

- ・ 測線 1：地すべり末端を固定するように治山施設が階段状に配置された区域。
- ・ 測線 2：治山施設が配置されていない区域。
- ・ 測線 3：谷出口付近に治山施設が連続して配置された区域。

各溪流の規模には違いがあるものの、いずれの溪流においても表層崩壊が発生している。しかし、土砂や流木の氾濫域は「測線 2 > 測線 3 > 測線 1」の順に大きかった。特に治山施設のない測線 2 では、溪流頭部の崩壊に加え、溪床の侵食が進行し、土砂や流木の流出量が最も多かった。一方、測線 3 では、溪流頭部の崩壊が発生したものの、谷止工による土砂の捕捉効果や床固工による溪床の固定効果により、土砂や流木の流出が軽減された。さらに、測線 1 では溪床の縦侵食は発生せず、流出した土砂量は極めて少なかったと考えられる。

また、溪床勾配を比較すると、測線 2 および測線 3 では 1/5 (20%) ~ 1/2 (50%) 程度であるのに対し、測線 1 では 1/10 (10%) ~ 1/4 (25%) と、相対的に緩やかであった。この緩やかな勾配も、縦侵食が発生しにくかった要因の一つと考えられる。



図 4.9 君畑地区土砂流出状況



図 4.10 君畑地区平面図 (背景: SL3D マップ)

(2) 小屋淵地区

小屋淵地区の溪流では、治山施設が設置されていない区間で顕著な溪床侵食が発生している。

侵食が発生している区間は下図のNo.12 から上流の区間であり、その勾配は **1/5.9 (16.9%、9.6°)** である。

この勾配は、一般的に土石流流下区間の下流端付近に該当する。

また、君畑地区「測線 2」における溪床侵食範囲の勾配も **1/5.7 (19.2%、10.9°)** と類似しており、侵食の発生状況において共通する特徴がみられる。

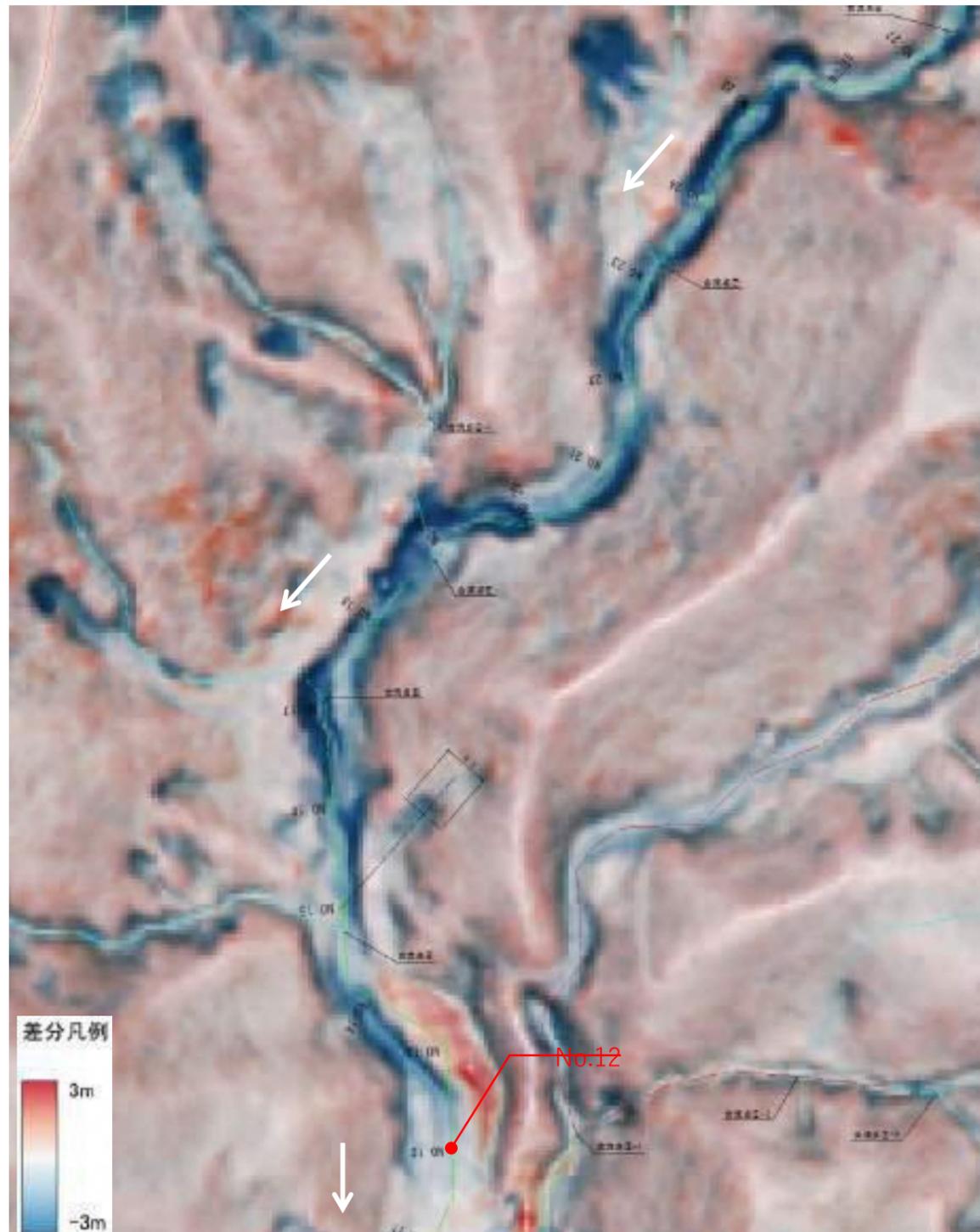


図 4.11 小屋淵地区の溪流侵食 (背景: SL3D マップ)

4.4 崩壊密度と森林

- ④ 他県では、2km×3kmの範囲で200箇所以上の崩壊事例がある。観測史上最大の降雨量だが、荒瀬川流域の崩壊密度は低く、森林が防災機能を果たしたと考えられる。
- ⑤ スギが良好に生育しており、また、樹齢が高い森林が多いことで、今回の山腹崩壊がこの程度に抑えられたものと考えられる。山形県内の森林は、他県と比較するとよく作られている。
- ⑥ 立木の有無、樹齢の違いに注目し崩壊箇所数、面積を分析すると樹齢の低い林地の崩壊頻度が高いといった傾向がつかめるのではないかと。

4.4.1 過去の災害と崩壊

既往資料を基に、崩壊が高密度で発生した事例における流域面積と崩壊面積率の関係を整理した。その結果、ばらつきはあるものの、流域面積が小さいほど崩壊面積率が高くなる傾向が確認された。また、一般に崩壊面積率が10%を超える事例は稀である。

4.4.2 荒瀬川流域における崩壊分布

(1) 崩壊面積率

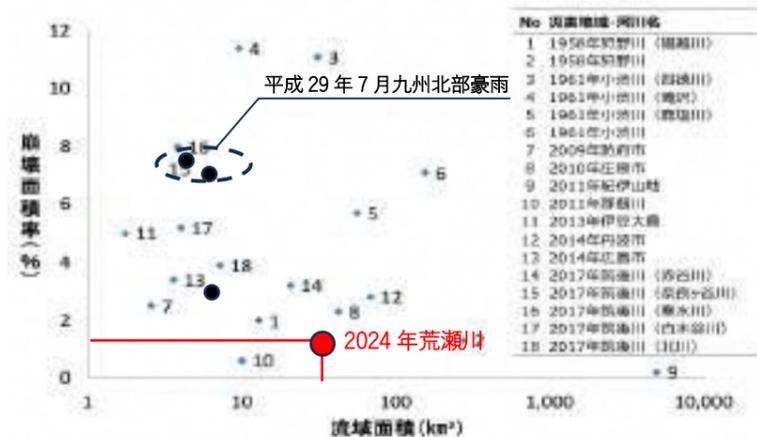
荒瀬川流域の事業対象区域における崩壊箇所数は870箇所、崩壊面積率は1.6%、流下・堆積区間も含めた荒廃率は3.6%であった。これらの値は、過去の崩壊事例と比較して特に高いものではなく、平成29年7月の九州北部豪雨による崩壊面積率(2.5~7.7%)と比べると、3~6%程度低い結果となった。

また、図4.12に示す「過去の大規模災害における流域面積と崩壊面積率の関係図」に、平成29年7月九州北部豪雨および荒瀬川流域のデータを加筆した。同図から、今回の崩壊は過去の大規模災害と比較して崩壊面積率が低いことが確認された。なお、本業務における荒瀬川流域の崩壊面積率は、流域全体の面積ではなく、令和6年度に航空レーザ測量を実施した事業対象範囲を基に算出している。そのため、流域全体の面積を考慮すると崩壊面積率はさらに低下する可能性がある。

表 4.4 荒瀬川流域における崩壊箇所数

区間	箇所数	面積 (ha)	崩壊密度 (箇所/ha)	崩壊面積率 (%)
発生区間	870	31.7	0.45	1.6
流下・堆積区間	525	39.0	0.27	2.0
荒廃面積全体	1,395	70.7	0.71	3.6

※荒瀬川流域事業対象区域面積=2898.9ha (うち、R6LP取得面積=1951.6ha)
 ※崩壊密度と割合は、R6LP取得面積から求めた



土砂災害の激甚化に対処する 土木技術資料 60-1(2018)に加筆

図 4.12 過去の大規模災害における流域面積と崩壊面積率の関係 (加筆)

(2) 森林と崩壊

森林と崩壊の関係を把握するため、林齢と崩壊面積、崩壊深さの比較を行った。森林簿データから林齢と樹高の相関が確認されたため、崩壊地点の平均樹高 (R4 レーザ測量の DSM と DEM の差分) を基に、地位級 5~6 相当の林齢を算出し、崩壊面積および崩壊深さと比較することで、林齢と崩壊の関係を分析した。

図 4.14 に示す、事業対象範囲全体における林齢別面積の割合をみると、林齢 20 年未満 (=樹高 10m 未満) に相当する林分は全体の 23%と少なく、林齢 40~80 年程度 (=樹高 15~25m) に相当する林分が 48%と、高い割合を占めていることが分かる。

また、図 4.15 に示す林齢別の崩壊地分布を分析した結果、崩壊の多くは林齢 40~60 年の壮齢林に該当する範囲に多い (26%) ことが確認された。一方で、全体面積に対する割合で見ると、林齢 2~10 年に相当する若齢林における崩壊の割合は 2.2%と、他の林齢区分と比べて特に高い傾向が確認された。

既往資料『森林の根系による表層崩壊防止機能について』(令和5年3月、林野庁)では、『豪雨により多数の崩壊が発生した地域で、20年生以下の幼齢・若齢林で崩壊発生密度が高くなり、約30年生以上の林分で低くなる』との調査結果が示されている。これを踏まえ、林齢20年を閾値として崩壊発生面積率(各林齢区分における崩壊面積/その林齢区分の全体面積)を算出したところ、林齢20年未満相当の林分の方が、20年以上の林分よりも崩壊面積率が高いことが明らかとなり、既往文献と同様の傾向が確認された(図4.16)。

なお、崩壊深さについては、林齢が高くなるにつれて浅くなる傾向がみられるものの、概ね2.0~2.5mの範囲で一定している。

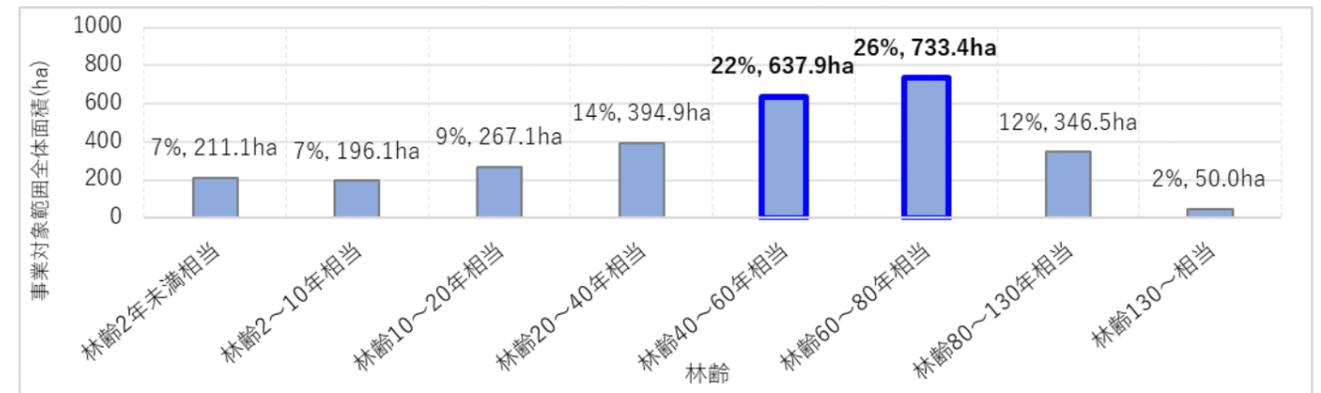


図 4.13 事業対象範囲全体の林齢 (樹高換算) 別面積

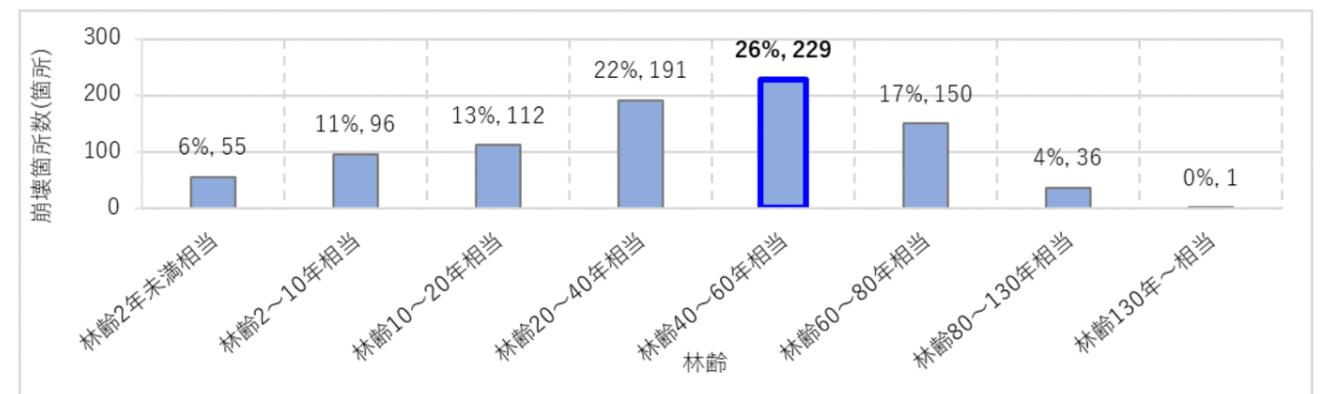


図 4.14 林齢区別の崩壊箇所数分布

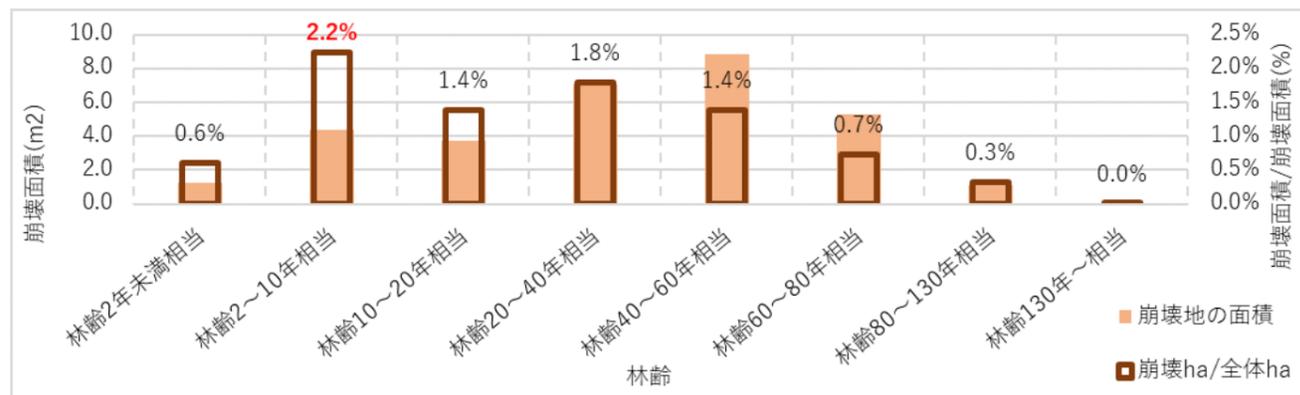


図 4.15 林齢区別の崩壊面積分布

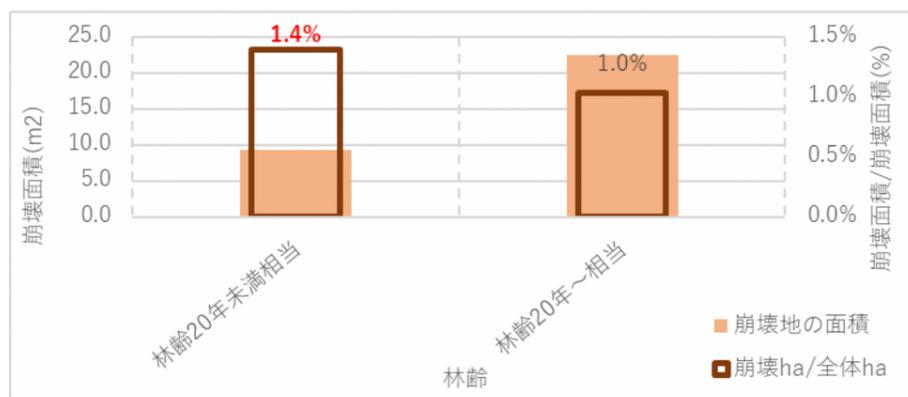


図 4.16 林齢 20 年を閾値とした崩壊面積率の比較

平均樹高と崩壊深の関係を示したものが、図 4.17 である。

崩壊深は、平均 2.58m、中央値 2.40m、標準偏差 1.37 であり、図 4.17 から崩壊深 **2.0m** 付近に集中していることが分かる。一方、樹高 **5m** 以上では、崩壊深 **0～1m** 程度の崩壊が少ないことが分かる(図 4.17 赤枠)。

現地調査では、根系侵入深さが 1m 未満の箇所が多く確認されていることから、地表面から 1m 未満の土壤層においては立木の根系の効果により崩壊が発生し難かったことが想定され、根系の発達した健全な森林であれば崩壊防止の機能が高いと判断される。

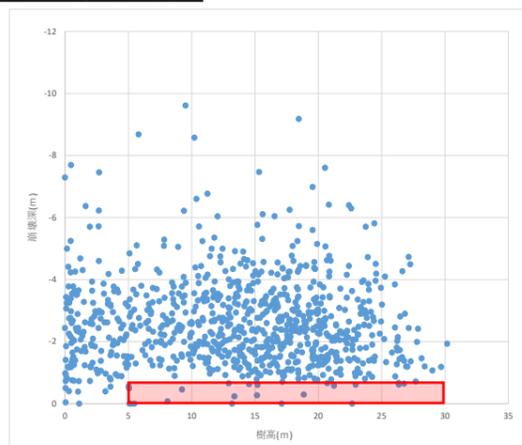


図 4.17 平均樹高と崩壊深の関係

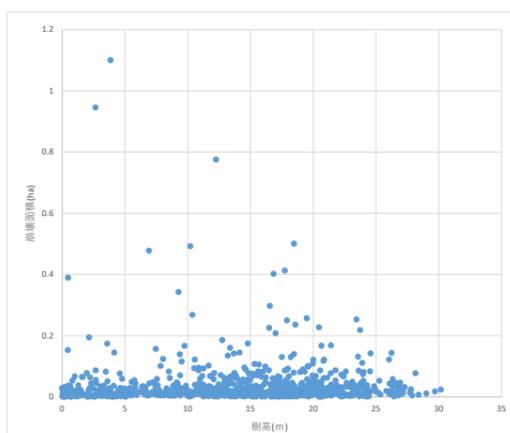


図 4.18 平均樹高と崩壊面積の関係

(3) 地質と崩壊

崩壊発生箇所の面積および各種地形量を表層地質別に比較し、地質と崩壊の関係を整理した。

- 崩壊面積の約 **7 割**を、常禅寺層 (Js) および観音寺層 (Ks, Ks1, Ks2) の砂～砂質シルトが占める。
- 崩壊地の多い常禅寺層、観音寺層は、**標高 110～150m** に分布している。
- 崩壊箇所の平均傾斜や平均起伏は、地質別におおむね**同じ傾向**を示す。ただし、流紋岩・デイサイト (Ar) はデータ数が少なく、突出した値を示している。
- 丘陵地に分布する地質では**凸地形**(図 4.20)、山地に分布する地質では**凹地形**(図 4.21)で崩壊が発生している。

表 4.5 崩壊地の地質別特徴

地質	記号	個数	面積合計(ha)	平均標高(m)	平均傾斜角(°)	平均起伏量(m)	平均尾根谷度
第四紀	a	23	0.2	91.9	34.3	2.2	-0.31
第四紀	td	15	0.1	96.1	28.3	1.4	-0.06
第四紀	tc	1	0.0	85.5	37.6	1.9	6.81
第四紀	tb	2	0.0	193.0	30.4	1.5	2.03
第四紀	Vo	74	1.7	196.7	34.5	1.9	0.78
第四紀	Va	33	0.6	234.9	35.1	1.9	1.11
第四紀	Ss	4	0.1	43.0	25.5	1.3	9.93
第四紀	Sa	35	0.9	147.3	40.5	2.4	0.33
新第三紀	Js	128	8.4	146.1	38.0	2.2	2.18
新第三紀	Ks	164	4.6	163.8	36.6	2.1	0.99
新第三紀	Ks2	177	6.0	110.3	38.1	2.2	-0.04
新第三紀	Ks1	112	3.5	108.9	35.6	2.0	1.34
新第三紀	Ms	34	0.6	185.7	33.1	1.8	-1.86
新第三紀	Tm	7	0.2	203.1	44.3	1.8	4.37
新第三紀	Km3	2	0.0	171.4	45.9	2.7	1.12
新第三紀	Do	12	0.2	229.4	39.6	2.2	-1.04
新第三紀	Km1	7	0.1	188.2	41.0	2.4	-5.13
新第三紀	Ar	1	0.0	168.6	51.5	3.6	2.31
新第三紀	At	8	0.4	247.9	35.5	2.4	-3.47
新第三紀	Am	45	1.7	234.2	38.5	2.3	-2.97
新第三紀	Ab	70	2.3	240.9	38.7	2.2	-1.74
水域		6	0.1	87.9	36.9	2.5	-1.66
総計		960	31.7	157.5	36.9	2.1	0.35

※崩壊箇所数は870箇所であるが、地質をまたがっている場合は複数個計上されているため、崩壊箇所数の合計値は整合しない

図 4.19 に、地質別平均傾斜角度を令和 4 年度(発災前)と、令和 6 年度(発災後)について整理した。

崩壊地の少ない流紋岩・デイサイト (Ar)、暗灰色泥岩 (Km3)、安山岩火砕岩 (Sa)、礫・砂・泥 (tb、tc) などで、平均斜面勾配が緩くなる傾向があった。ただし、これらのデータは、データ数(崩壊数)が少なく、局所的な値を表している可能性がある。

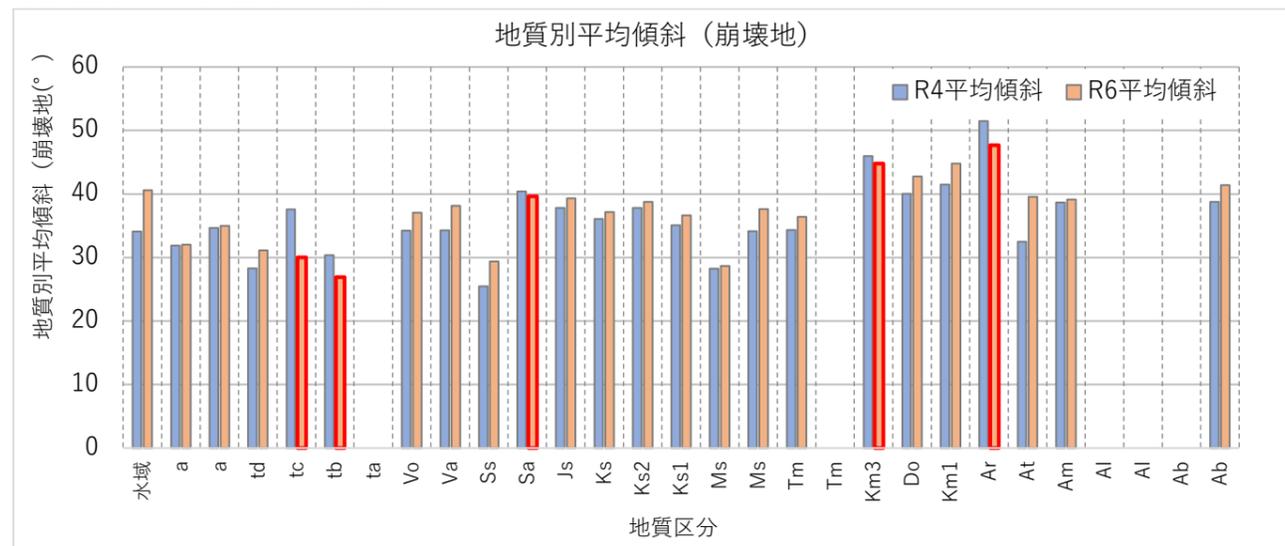


図 4.19 地質別崩壊斜面平均傾斜 (R4LP、R6LP)



図 4.20 丘陵地における 凸地形での崩壊事例（石田地区）

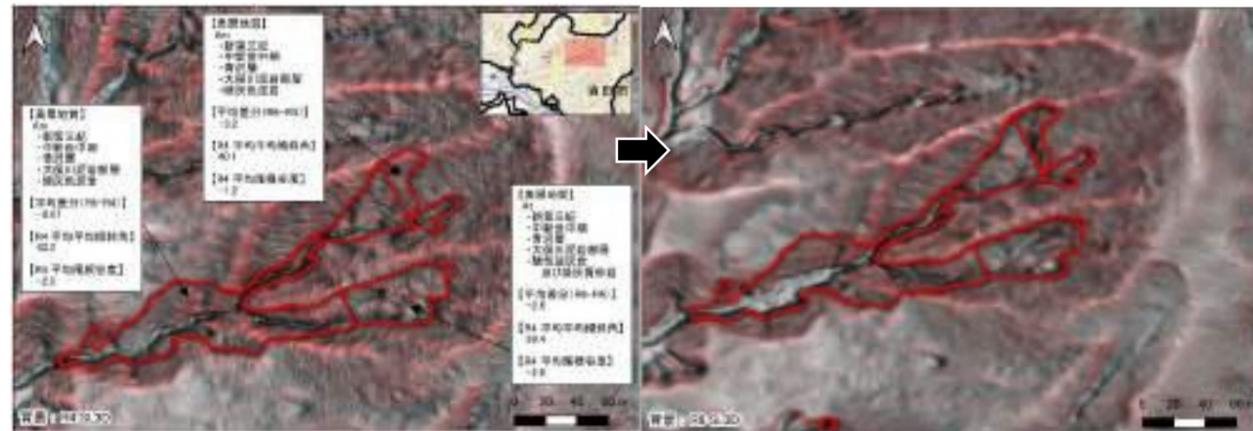


図 4.21 山地における 凹地形での崩壊事例（小屋淵沢地区）

4.4.3 森林の混み具合と崩壊の関係

(1) 検証対象の選定

航空レーザ測量データを用いて、森林の混み具合が崩壊発生に影響を及ぼすかを検証した。森林の混み具合の指標として、航空レーザ測量データから取得可能な「樹高」と「立木密度」をもとに算出できる相対幹距比に着目し、整理を行った。一般に、相対幹距比が小さいほど林分の密度が高く、大きいほど疎であると評価される。

本検討では、事業対象範囲内の森林を、森林簿に記録された林齢に基づき壮齢林と若齢林に区分した。さらに、崩壊の有無に着目して代表的な小林班を抽出し、これらの相対幹距比との関係を整理することで、森林の混み具合と崩壊発生の関係性を分析した。

【相対幹距比 (Sr)】

- 相対幹距比は、上層平均樹高（上層木の平均樹高）に対する平均個体間距離の割合である。
- 平均個体間距離は、単位面積 10,000m² (1ha) を本数密度で割り（これが個体当たりの平均占有面積）、その平方根をとった値である。
- 相対幹距比は、20%程度が適正な混み具合とされ、17%を下回ると過密、14%以下では極端な過密状態であると判断される。

(2) 代表的な小林班における森林特性

比較対象とした小林班は、「①林齢（若齢林：10～50 年生、壮齢林：50 年生～）」、「②崩壊の発生・非発生」に着目して、令和 4 年度計測の点群データで樹頂点の抽出精度が良好であるものを抽出した。

その結果、比較対象として、若齢林=8 小林班、壮齢林=7 小林班の計 15 小林班を抽出した。15 の小林班を含む林班の位置図を図 4.25 に示す。

<壮齢林の特徴>

- 壮齢林においては、崩壊発生の有無に関係なく相対幹距比がともに 14%台であり、過密な状態である。
- 代表とする小林班に関しては、崩壊の有無と傾斜角に関係性は見られない。
- 崩壊の発生した小林班は、主に砂層に分類される地質（観音寺層）で構成されている。
- 一般的に、密度が混み合っている林分では、個体間の競争が激化することで根系の発達や樹冠形成が制限されることで成長不良や気象災害に脆弱になると言われている。しかし、今回の検証においては、森林の混み具合と崩壊発生の関係性に明確な違いは見られなかった。

<若齢林の特徴>

- 崩壊の発生した小林班の方が、崩壊未発生の小林班に比べて相対幹距比が小さい（平均 17.5%）。ただし、崩壊の発生した林分の相対幹距比も、密度の適正值（17～22）に該当する。
- 崩壊未発生の小林班の方が緩傾斜（平均勾配 12.5°）である。
- 成長段階が未成熟なため、個体間の競争や根系の安定性が不十分であり、崩壊の発生には地質や傾斜など、森林の機能以外の要因が影響している可能性がある。

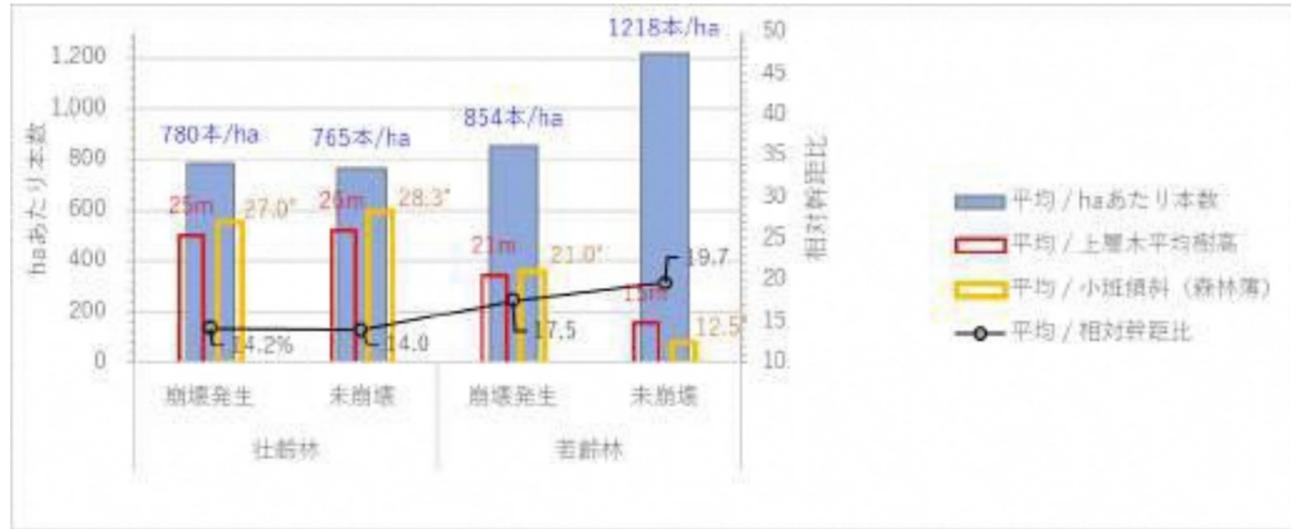


図 4.22 代表林分における森林特性（小林班平均）

表 4.6 代表林分における森林特性（小林班平均）

項目	樹種	林齢	林班	小林班	面積 (ha)	全木本数	haあたり本数	全木平均樹高	上層木平均樹高	相対幹距比	傾斜 (森林簿)	主な地質
壮齢林												
崩壊が発生している林分												
	スギ	60	2037	39-1	0.84	733	877	21.1	24.6	13.73	33	Ks2
	スギ	74	2037	69-1	0.70	555	791	21.0	25.4	14.00	27	Ks2
	スギ	74	2037	70-1	0.67	548	823	21.9	26.5	13.15	22	Ks2
	スギ	72	2042	73-1	0.71	448	631	20.3	25.2	15.80	26	Ks1
崩壊が発生していない林分												
	スギ	70	2037	1-1	0.34	244	724	22.2	25.9	14.35	30	Sa
	スギ	52	2037	3-1	0.48	420	874	20.6	23.6	14.33	32	Sa
	スギ	70	2047	49	0.61	425	698	24.8	28.5	13.28	23	Vo
若齢林												
崩壊が発生している林分												
	スギ	32	2043	19-1	21.43	20,120	939	13.1	17.1	19.08	22	Va
	スギ	31	2043	3-1	11.16	12,301	1,102	11.9	14.9	20.22	22	Va
	スギ	42	2065	144-1	0.27	152	569	21.7	24.2	17.32	22	Ks
	スギ	32	2068	115-1	0.63	507	807	22.4	26.3	13.38	18	Vo
崩壊が発生していない林分												
	スギ	31	2043	4-1	4.29	5,755	1,341	10.5	13.3	20.53	17	Va
	スギ	22	2045	112	0.34	320	937	13.2	16.1	20.29	11	Va
	スギ	30	2045	106-1	2.24	3,194	1,429	10.1	13.2	20.04	11	Va
	スギ	22	2045	106-3	3.31	3,853	1,164	13.1	16.3	17.98	11	Va

*黄色塗行は、相対幹距比が適正值（17～22）に該当する林分である。

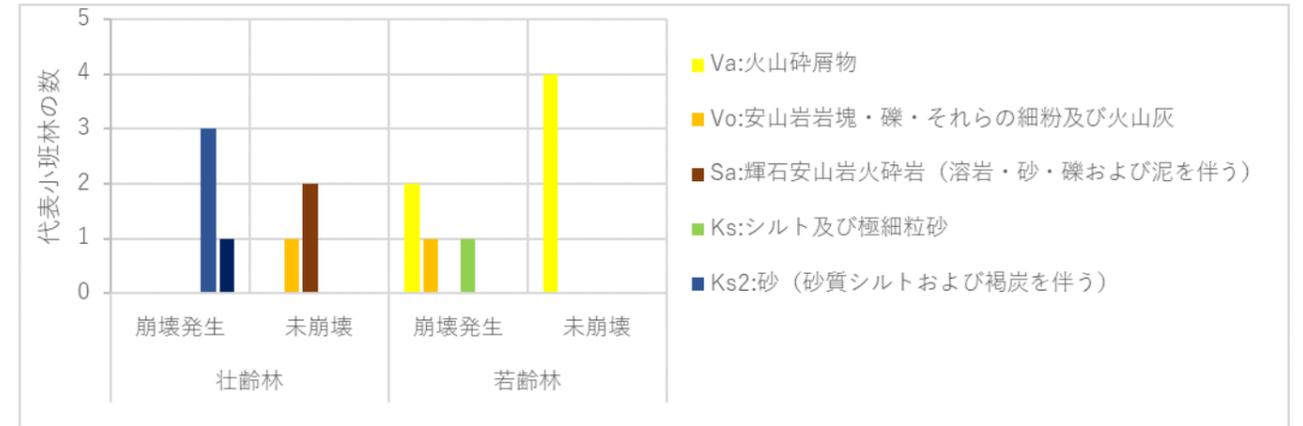


図 4.23 代表林における主な地質区分

表 4.7 主な地質 記号対応表

記号	紀	世	地層	堆積相	構成物（堆積物の種類）
Va	第四紀	更新世	鳥海火山噴出物	-	火山砕屑物
Vo	第四紀	更新世	大蔵岩屑堆積物	-	安山岩岩塊・礫・それらの細粉及び火山灰
Sa	第四紀	更新世	庄内層群	-	輝石安山岩火砕岩（溶岩・砂・礫および泥を伴う）
Ks	新第三紀	鮮新世	観音寺層	-	シルト及び極細粒砂
Ks2	新第三紀	鮮新世	観音寺層	常禅寺相	砂（砂質シルトおよび褐炭を伴う）
Ks1	新第三紀	鮮新世	観音寺層	主部	砂質シルト（シルト岩・泥岩および酸性凝灰岩を伴う）

(3) 崩壊範囲における森林特性

「代表的な小林班における森林特性」で示した値は、小林班全体の平均値であり、崩壊発生範囲の値ではない。そこで、崩壊地内の森林特性を整理するため、6箇所の崩壊地を抽出し、同様の解析を行った。その結果を表 4.8 および図 4.24 に示す。

「代表的な小林班における森林特性」で示した崩壊発生小林班の平均値と、崩壊範囲内のみの値を比較したところ、顕著な差異は認められなかった。

表 4.8 代表林分における崩壊地の森林特性（崩壊範囲）

項目	NO	樹種	林齢	林班	小林班	崩壊面積(ha)	全木本数	haあたり本数	全木平均樹高	上層木平均樹高	相対幹距比
壮齢林											
	1	スギ	74	2037	69-1	0.05	32	601	26.6	30.1	13.55
	2	スギ	74	2037	69-1	0.05	41	874	20.2	27.3	12.39
	3	スギ	60	2037	39-1	0.06	62	980	20.9	23.7	13.48
若齢林											
	4	スギ	32	2043	19-1	0.06	34	577	18.5	22.1	18.84
	5	スギ	31	2043	3-1	0.04	44	1,196	11.5	13.4	21.58
	6	スギ	31	2043	3-1	0.02	22	1,067	12.9	15.6	19.62

※黄色塗行は、相対幹距比が適正值（17～22）に該当する林分である。

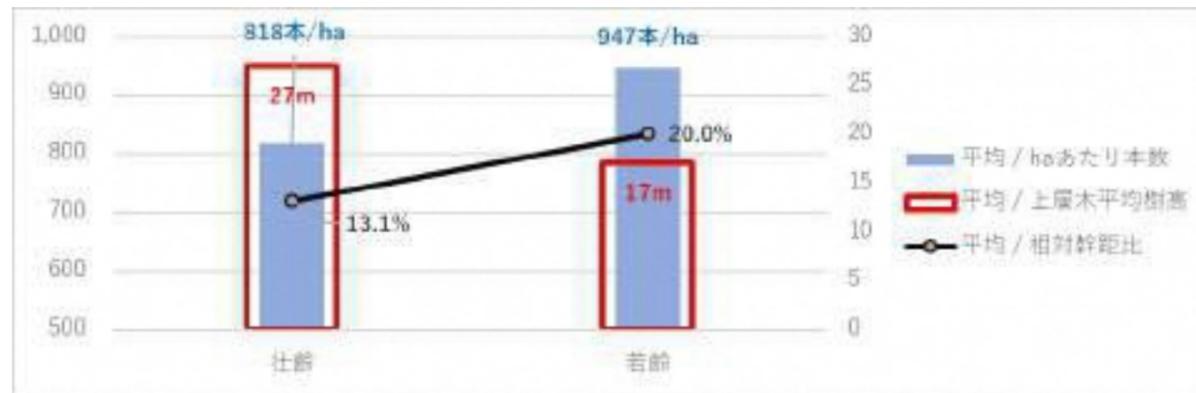


図 4.24 代表林分における崩壊地の森林特性（崩壊範囲）

(4) 森林の混み具合と崩壊の関係まとめ

航空レーザ測量データを用いて森林の混み具合を整理し、崩壊との関係を検討した。その結果、樹頂点の抽出精度が良好な範囲であっても、森林の混み具合と崩壊発生間に明確な関係性は認められなかった。この傾向は、若齢林・壮齢林いずれにおいても同様であった。

本検討では、樹高と立木密度から算出される相対幹距比に着目し、森林の混み具合の評価を行った。しかし、森林の混み具合を評価する指標はこれに限らず、他にも以下の項目（参考：森林の混み具合の指標）が考えられる。今後、より詳細な森林評価を行う際には、胸高直径、下枝高、樹幹幅などを計測し、これらを基に別の密度指標を用いた分析も併せて実施することも検討する。

また、抽出した小林班の分析結果によると、壮齢林では観音寺層で崩壊が発生したが、庄内層群および大蔵岩層堆積物では崩壊が確認されなかった。この差異には、地質による根系発達の違いが影響している可能性があり、今後の検討課題である。

一方、若齢林では地質の違いよりも傾斜の影響の方が、崩壊発生に対して大きな要因となる可能性が示唆された。

以上のことから、森林特性の評価に加え、根系の発達、地形、地質などの要因を総合的に検討することで、森林と崩壊発生の関係をより明確に解明できると考えられる。

<参考：森林の混み具合の指標>

① 収量比数 (Ry)

- ・収量比数は、林分密度管理図において、**最多密度**（ある樹高のもとでの本数密度の上限）を**1**としたときの相対的な混み具合を示す指標である。
- ・林分密度管理図は、一斉林の密度管理のために、**地域ごと樹種別に作成されたものである。**
- ・一般に、収量比数 **0.8** 以上が過密とみなされる。

② 樹冠疎密度

- ・樹冠疎密度は、**樹冠投影面積を森林面積で割った値**である。
- ・樹冠疎密度は、保安林整備や森林経営計画における間伐の基準として用いられており、**0.8** 以上が過密とされている。

③ 形状比 (H/D)

- ・形状比は、**樹高 (cm) を胸高直径 (cm) で除した値**である。
- ・形状比が低い場合は樹形が太くずんぐりとした状態であり、高い場合は細長く不安定な樹形を示す。
- ・形状比が **80** を超えると、**気象害に対して脆弱な樹形とされることから、この値を超える林木が多い林分は過密であると考えられる。**

④ 樹冠長率

- ・樹冠長率は、**樹高に対する樹冠長の割合**であり、樹冠長は樹高から枝下高を差し引くことで求められる。
- ・樹冠長率が **40%**以下の林木が多くなると、**過密と判断される。**

<補足>

- ・形状比と樹冠長率は、**直接的に混み合い度を示す指標ではなく、林木の形態を表現するものである。**
- ・林木の形態は、その林木が育った環境を反映している。
- ・林木の形態から混み合い具合を読み取ることは、**育成環境を直接的に把握する手法として合理的である。**
- ・ただし、間伐によって過密状態が解消されても、形状比や樹冠長率は即座に変化しないため、**これらの数値のみで混み具合を評価することはできない。**

参考：「令和6年度 森林総合監理士（フォレスト）基本テキスト」p.45～46

（第2部森づくりの理念と森林施業 > 第3章 針葉樹人工林の目標と間伐 > 3.材木の成長と間伐の基礎理論 > (3) 混み合い度の指標）

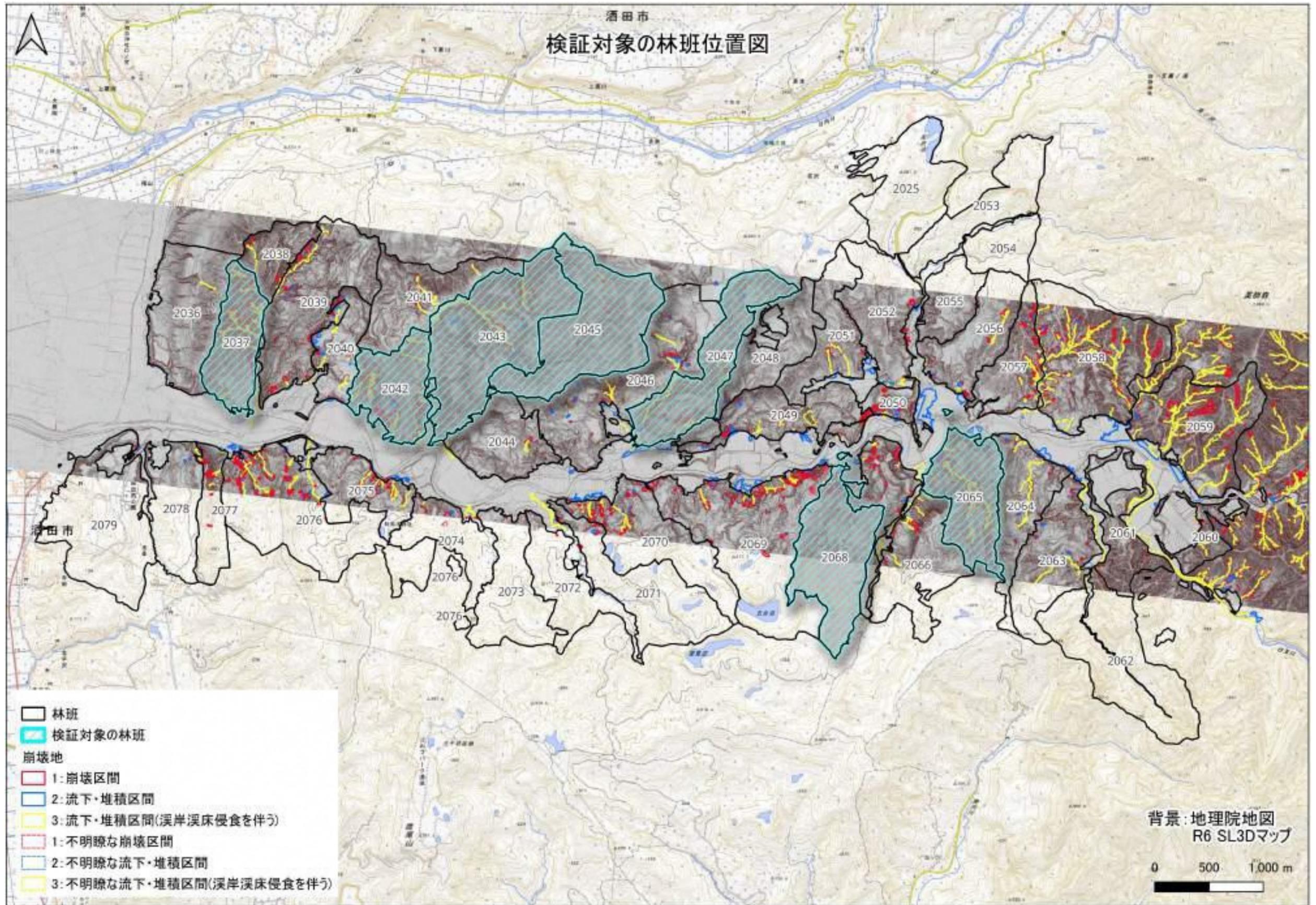


図 4.25 検証対象の林班位置図

4.4.4 森林整備と崩壊の関係

森林整備の施業記録と崩壊地の位置関係を分析し、森林整備の有無が崩壊の発生に影響を及ぼしているかを確認した。

施業記録の整理は、北庄内森林組合の所管範囲を対象に行い、間伐の施業履歴と崩壊地の分布を照合した（図4.26 参照）。その結果、間伐施業が実施されたエリアと崩壊地の位置を重ね合わせてみると、間伐が行われた範囲では崩壊地が比較的少ないことが確認された。（事例1, 3, 5）

しかし、間伐が実施されているにもかかわらず、崩壊が発生している小班林も確認された。（事例2, 4, 6）これらの崩壊地を分析した結果、間伐が実施された小班林の中でも、傾斜角30度を超える箇所に崩壊地が多く分布する傾向が見られた。

以上の結果から、適切な森林整備は崩壊リスクの軽減に一定の効果をもたらす。しかし、森林が発揮する崩壊防止機能には限界があり、地形や降雨量等の条件によっては限界を超えることになり、今回の災害においても急斜面で崩壊が発生した。従って、森林整備に加えて、別の崩壊防止対策が必要であることに留意することが重要である。

また、本分析に用いた森林整備記録は事業対象範囲の一部に限られており、すべての森林整備履歴を網羅しているわけではない。そのため、本検討は現時点で取得可能なデータに基づく限定的な分析であり、今後はより広範なデータを用いた検討を進め、森林整備と崩壊発生との関係を整理することを検討する。

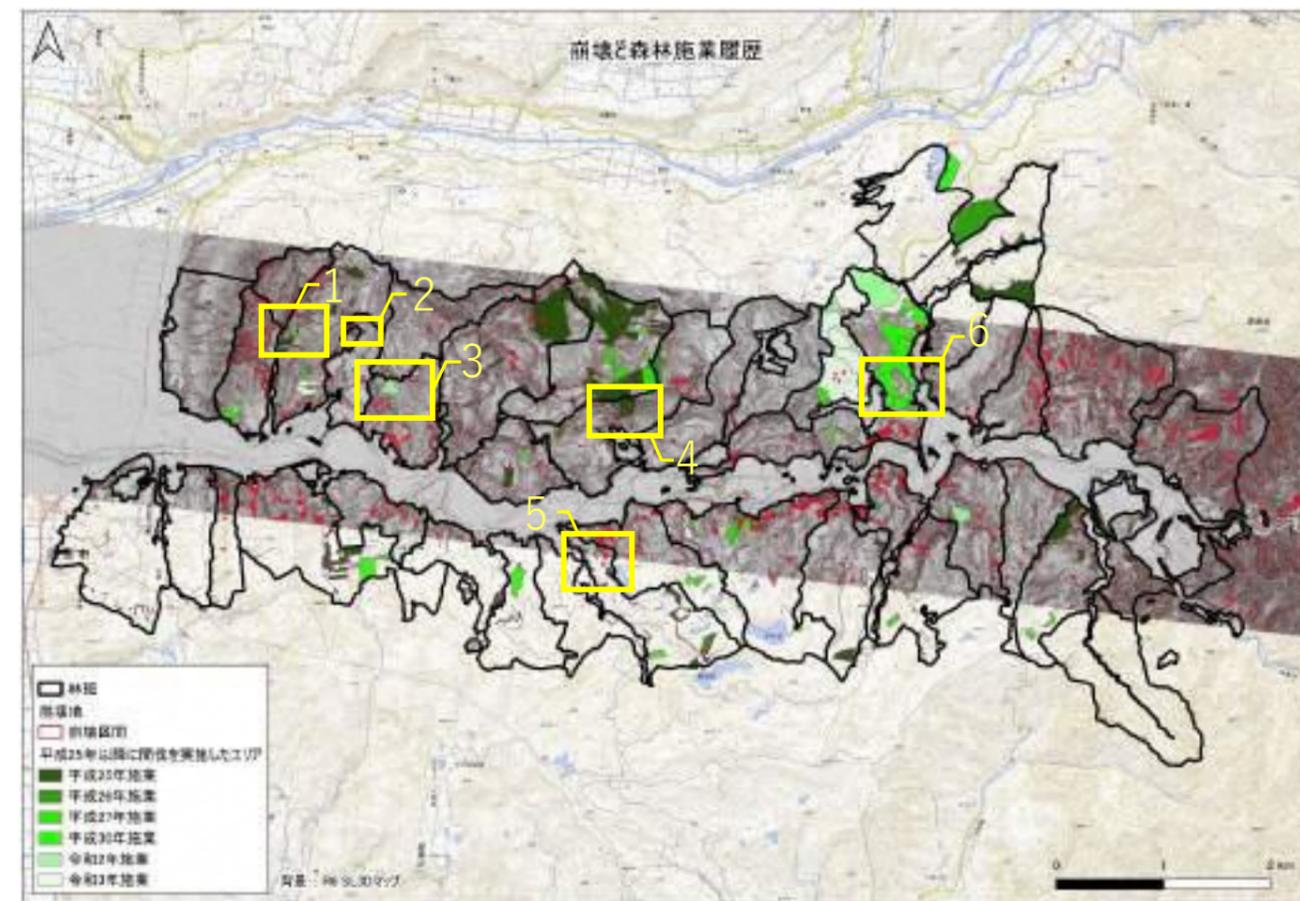


図 4.26 間伐施業履歴と崩壊位置図

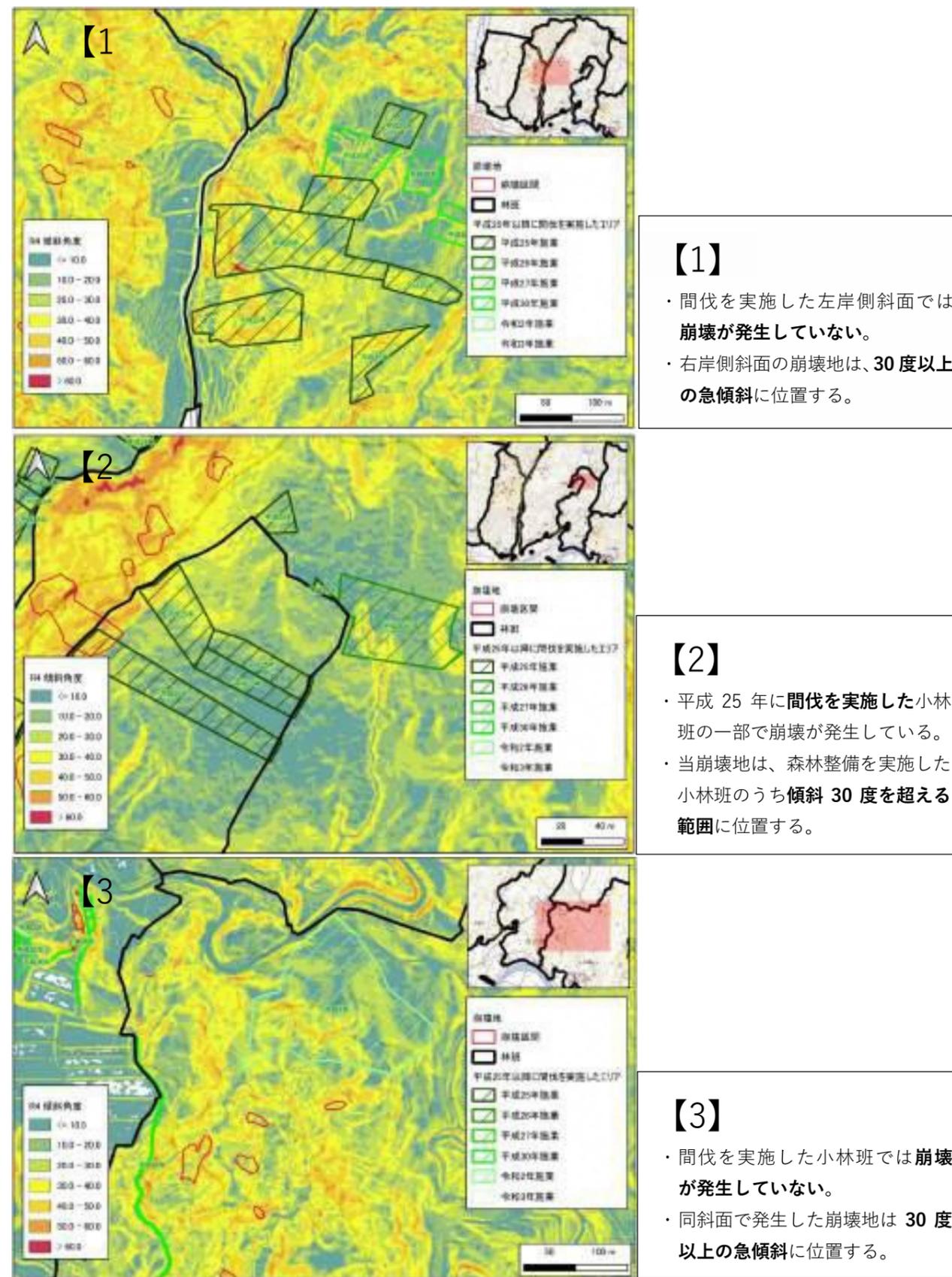
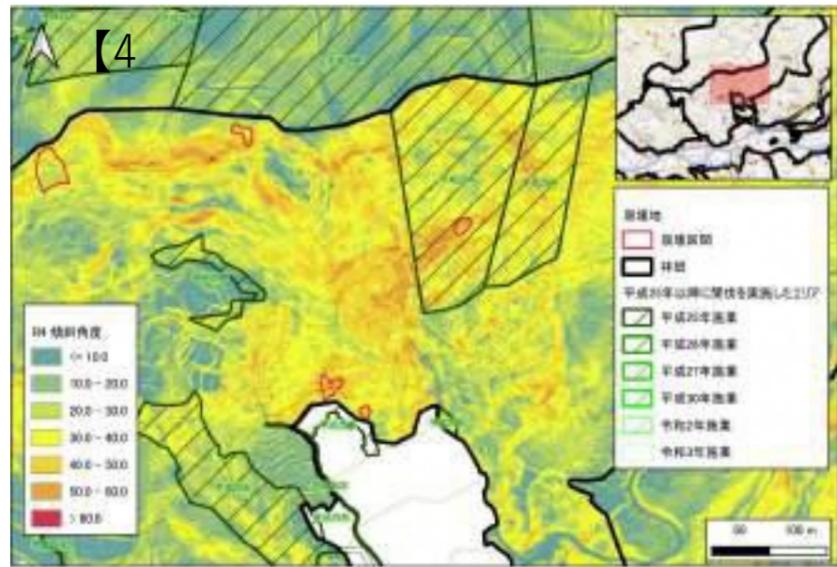
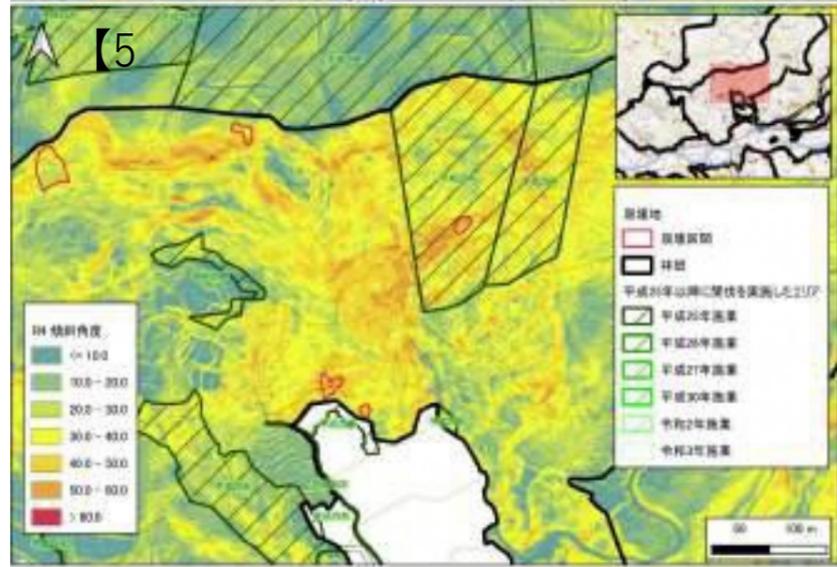


図 4.27 施業履歴と崩壊の関係（事例1～3）



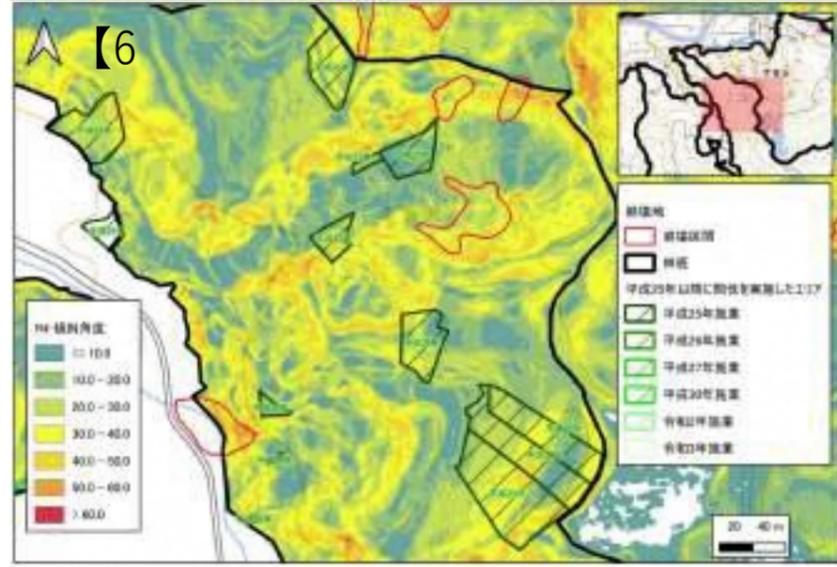
【4】

- ・平成 25 年に間伐を実施した小林班で崩壊が発生している。
- ・当崩壊地は 30 度以上の急傾斜に位置する。



【5】

- ・間伐を実施した小林班では崩壊が発生していない。
- ・同斜面で発生した崩壊地は 30 度以上の急傾斜に位置する。



【6】

- ・令和 3 年に間伐を実施した小林班で崩壊が発生している。
- ・当崩壊地は 30 度以上の急傾斜に位置する。

図 4.28 施業履歴と崩壊の関係 (事例 4~6)

4.4.5 崩壊密度と森林の関係まとめ

- ・荒瀬川流域における崩壊面積率は、過去の大規模災害の崩壊面積率と比べ低い傾向にある。
- ・樹齢の分布傾向から、若齢林でも崩壊は発生していることが確認されたが、面積割合では樹齢 40~60 年と推定される森林での崩壊が多かった。一方で、崩壊面積の割合が最も高いのは、樹齢 2~10 年未満の若齢林であった。
- ・地質別では、常禅寺層および観音寺層に分布する厚い砂層の崩壊が、全崩壊地の 7 割を占める。
- ・樹高 5m 以上では崩壊深 0~1m の崩壊が少なかったことから、地表から 1m 未満の土壌層では立木の根の影響により崩壊が発生しにくかったと想定され、健全な森林は崩壊防止機能が高いと考えられる。
- ・代表的な小林班からは、森林の混み具合と崩壊の関係性について明確な違いは見られなかった。
- ・適切な森林整備の実施は、崩壊リスクの軽減に一定の効果をもたらす。しかし、森林が発揮する崩壊防止機能には限界があり、地形や降水量等の条件によっては、限界を超えることになり、今回の災害においても急斜面で崩壊が発生した。従って、森林整備に加えて別の崩壊防止対策が必要であることに留意することが重要である。
- ・荒瀬川流域で発生している主な地質の崩壊特徴を表 4.9 に整理した。



スギ-根系侵入深さ 3.0m



[位置図]



広葉樹-根系侵入深さ 0.5m



[位置図]



広葉樹-根系侵入深さ 0.5~0.7m



[位置図]

表 4.9 荒瀬川流域で発生している主な地質の崩壊特徴

番号	1	2	3	4	5	6	7
地区	内郷ほか	常禅寺、石田、君畑、青沢～草田	草田、三保六、大芦沢、向芦沢	小屋沢中流	小屋沢源頭部	小屋沢源頭部	荒瀬川上流～小屋沢源頭部
主要な崩壊形態	斜面上の薄い土砂崩壊が多い(土壌層崩壊)	斜面上の薄い土砂崩壊が多い(土壌層崩壊)	斜面上の薄い土砂崩壊が多い(土壌層崩壊)	基岩の風化部からの崩壊が多い(厚い表層崩壊)	基岩の風化部からの崩壊が多い(厚い表層崩壊)	基岩の風化部からの崩壊が多い(厚い表層崩壊)	基岩の風化部からの崩壊が多い(厚い表層崩壊)
全体の面積割合	7.2%	44.3%	26.5%	5.3%	1.2%	0.5%	7.2%
地形	平均崩壊深	2.4m	2.2～2.7m	2.9m	2.5m	3.2m	2.7m
	平均傾斜	34.8	36.6～38.1°	38.0°	38.5°	35.5°	39.6°
年代	第四紀 更新世	新第三紀 鮮新世	新第三紀 鮮新世	新第三紀 中新世中期	新第三紀 中新世中期	新第三紀 中新世中期	新第三紀 中新世中期
地質	大蔵岩屑堆積物 (Vo, Va)	観音寺層 (Ks)	常禅寺層 (Js)	青沢層 大俣川泥岩部層 (Am)	青沢層 大俣川泥岩部層 (At)	ドレライト (Do)	青沢層 主部 (Ab)
	酒田衝上断層群			青沢断層群			
岩相	安山岩岩塊・礫・それらの細粉及び火山灰	シルト及び極細粒砂	砂(礫及びシルトを含む)	暗灰色泥岩	酸性凝灰岩及び凝灰質砂岩	かんらん石普通輝石ドレライト	玄武岩火山性砕屑岩
地質性状	安山岩の巨礫を含む火山砕屑物	塊状ないし弱い層理を呈し、酸性凝灰岩や薄い炭層を挟んだり黒雲母や軽石片を含む。	常禅寺層は観音寺層を整合に覆う。無層理塊状であり層理面や節理面などの不連続面は発達しない。	リズムカルな高角の層理面を形成。一部節理面も発達する。ハンマー打撃で火花が散るほど硬質。	泥岩層と互層をなす白色の酸性凝灰岩及び粗粒凝灰質砂岩。	大俣川泥岩部層に貫入する。しばしば柱状節理が発達し、風化すると玉葱状構造を呈する。	青沢層の主部を成す玄武岩質火山砕屑岩。
崩壊の模式断面図							
写真							
崩壊の特徴	観音寺層や常願寺層からなる斜面上部をキャップロック状に覆った大蔵岩屑堆積物が、観音寺層や常願寺層の表層崩壊とともに滑落したもの。安山岩岩塊を含む岩屑堆積物を伴うため崩壊土量が多く、崩壊エネルギーも大きいと考えられる。	荒瀬川流域の崩壊の多くが観音寺層と常禅寺層に集中している。不連続面を素因とするものではなく、薄い風化層が滑落した表層崩壊。	荒瀬川流域の崩壊の多くが観音寺層と常禅寺層に集中している。不連続面を素因とするものではなく、薄い風化層が滑落した表層崩壊。	斜面に対して高角度の流れ盤をなす層理面が発達するものの、岩相が硬質で層理面の固着も強いので、すべり破壊は生じにくい。一部で浅部の風化層の滑落が認められるほか、上流域から流れ下った崩土による侵食が認められる。	小屋沢源頭部の崩壊の素因の一つ。泥岩層に比べ粗粒で固着度が低いことや、層理面が斜面に対し流れ盤となっている。	小屋沢源頭部の崩壊の素因の一つ。玉葱状風化が発達し、コアストーン周辺部(マトリックス)の侵食が進行しやすい。	小屋沢源頭部の崩壊の素因の一つ。硬質なコアストーンと固結度の低いマトリックスからなり、マトリックスは侵食が進行しやすい。

4.5 断層と崩壊

⑦ 今回調査した2箇所の地質、地層を比較する10km程度しか離れていないが、全く異なっている。断層の有無も、被害発生要因の一つと考えられるので、調査項目に入れるべき。

断層までの距離と崩壊箇所数の分布を示す。なお、ここでの「断層までの距離」とは、図4.32～図4.34に黒線（実線または点線）で示された複数の断層のうち、各崩壊地から最も近い断層までの距離を計測したものである。解析の結果、崩壊地は断層に近い位置ほど多く発生し、距離が離れるにつれてその数が減少する傾向が見られた。特に、断層から約**1,300m**、**1,900m**、**2,200m**の地点で崩壊数のピークが確認されており、これは地層境界や褶曲軸などの地質構造の影響によるものと推察される。

崩壊面積は、おおむね断層から離れるにつれて小さくなる傾向にある。しかし、断層から約**1,300m**、**1,900m**、**2,200m**付近では、地質構造の影響により大規模な崩壊が発生している。一方で、平均崩壊深さは断層からの距離に関係なく、ほぼ一定である。

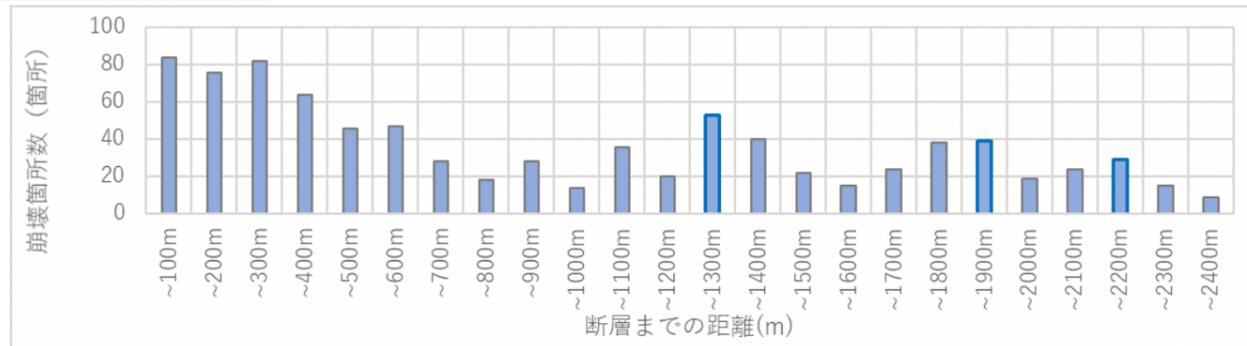


図 4.29 断層までの距離と崩壊箇所数

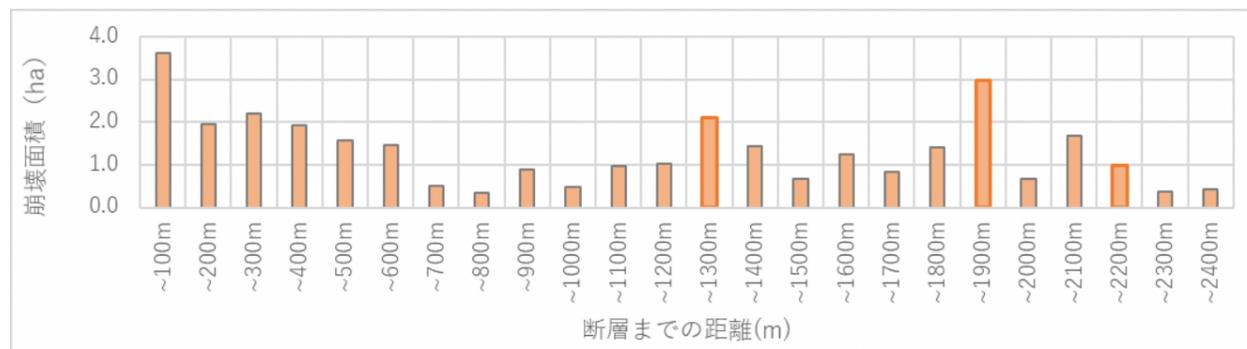


図 4.30 断層までの距離と崩壊面積

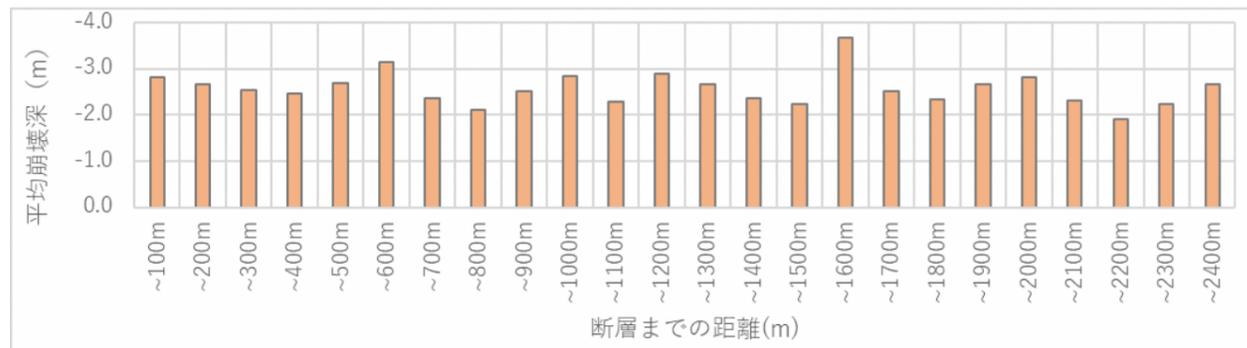


図 4.31 断層までの距離と平均崩壊深



図 4.32 断層までの距離 1,200~1,300m の崩壊地分布

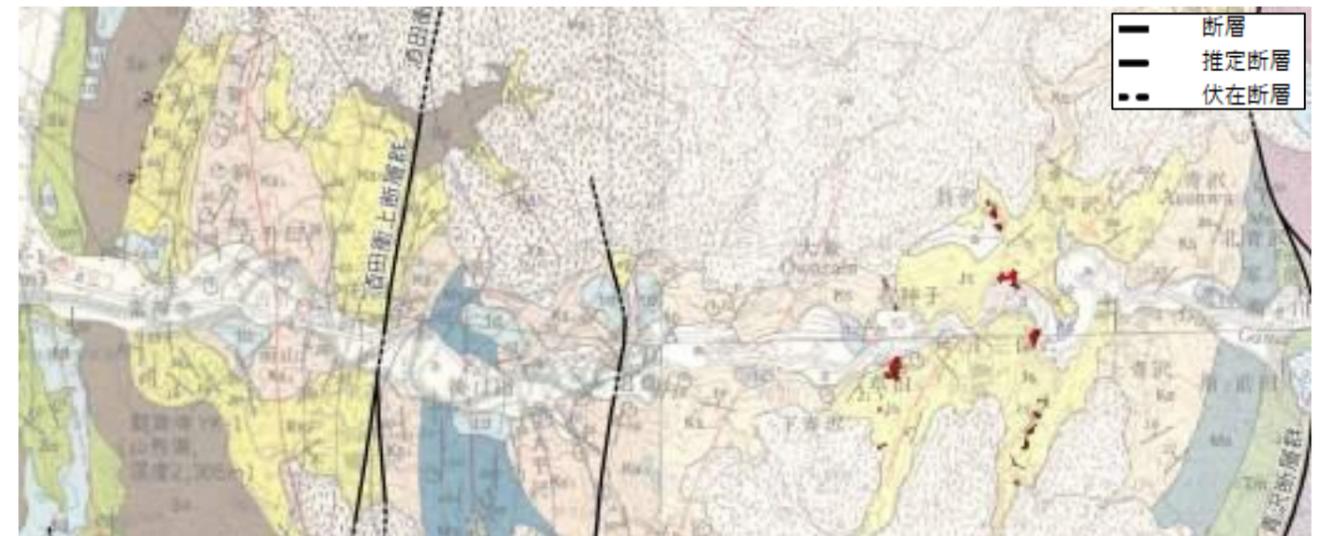


図 4.33 断層までの距離 1,800~1,900m の崩壊地分布

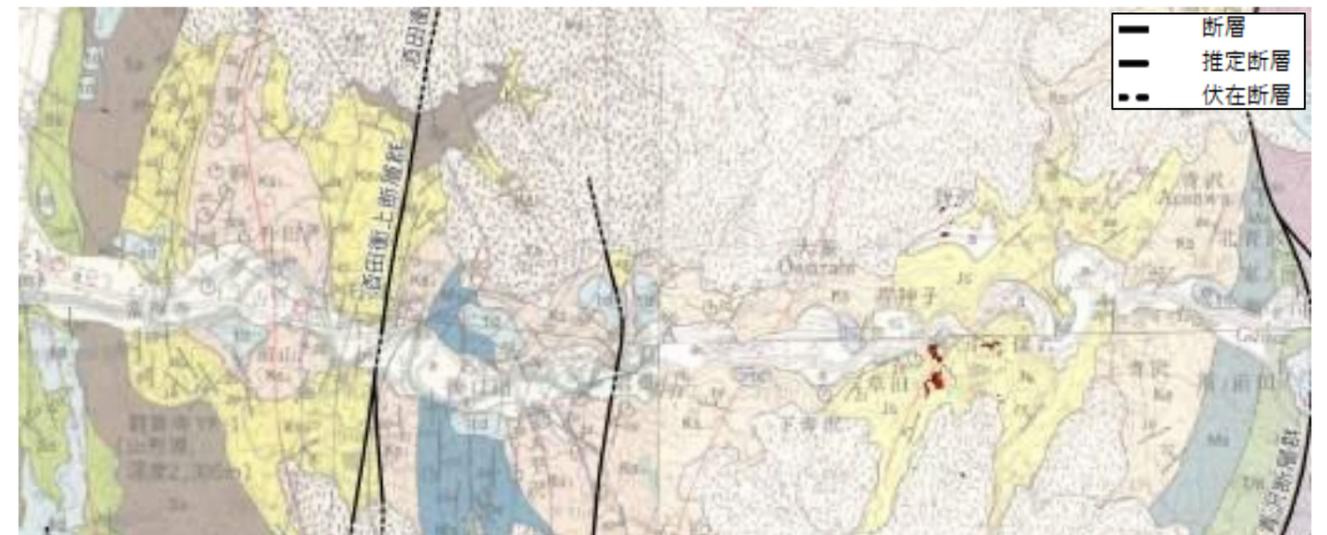


図 4.34 断層までの距離 2,100~2,200m の崩壊地分布

4.6 立木の流木捕捉機能

⑧ 小屋淵地区（上流）では、スギ人工林が上流からの流木を捕捉しており、防災機能を果たしている。

流木を捕捉した林分について、小屋淵地区を含む3地区5プロットで毎木調査を実施した。また、石田地区では、崩壊時に斜面下に堆積した流木について調査を行った。

流木を捕捉した林分の平均胸高直径は**30~40cm**であり、収量比は**0.7~0.9**と伐期を迎えている林分であった。形状比は**70以下**で、比較的がっしりとした樹形を示していた。一方で、向芦沢付近の林分では樹高が高く、形状比が**80に近かった**。一般に、このような林分は気象害に弱いと評価されるが、流木を捕捉・停止には地形的要因も関与していた可能性があると推定される。

「土砂流出防止機能の高い森林づくり指針 解説版 平成27年3月 林野庁」によれば、約**30年生以上**の林分であれば、その目的（崩壊防止、土砂流下緩衝、土砂捕捉）によって以下のように評価される。

表 4.10 針葉樹整備指標値

指標	樹種等	崩壊防止林		土砂流下緩衝林・土砂捕捉林		
		優先度	崩壊防止林	優先度	土砂流下緩衝林	土砂捕捉林
断面積合計	スギ	◎	45m ² /ha以上	○	40m ² /ha程度	
	ヒノキ	◎	35m ² /ha以上	○	35m ² /ha程度	
胸高直径	スギ	○	22cm程度	◎	23cm以上	25cm以上
	ヒノキ	○	20cm程度	◎	20cm以上	20cm以上
本数密度	スギ	○	1200本/ha	○	960本/ha	770本/ha
	ヒノキ	○	1200本/ha	○	1200本/ha	1100本/ha
収量比数		△	0.7~0.8	△	0.7程度	0.6~0.7
形状比		○	80以下	△	80以下	
相对幹距比		△	20%程度	△	20%程度	
樹冠長率		△	30%以上	△	30%以上	

※気象害（風害・雪害）が懸念される場合、形状比をより下げることが望ましい。

（土砂流出防止機能の高い森林づくり指針 解説版 平成27年3月 林野庁）

荒瀬川流域で流木を捕捉した林分は、その樹高から**30年生以上**と推定される。上記指針に照らすと、収量比はやや高いものの、その他の値は指標に適合しており、土砂捕捉林としての機能を有していると評価される。



図 4.35 石田地区5号山腹 流木捕捉状況

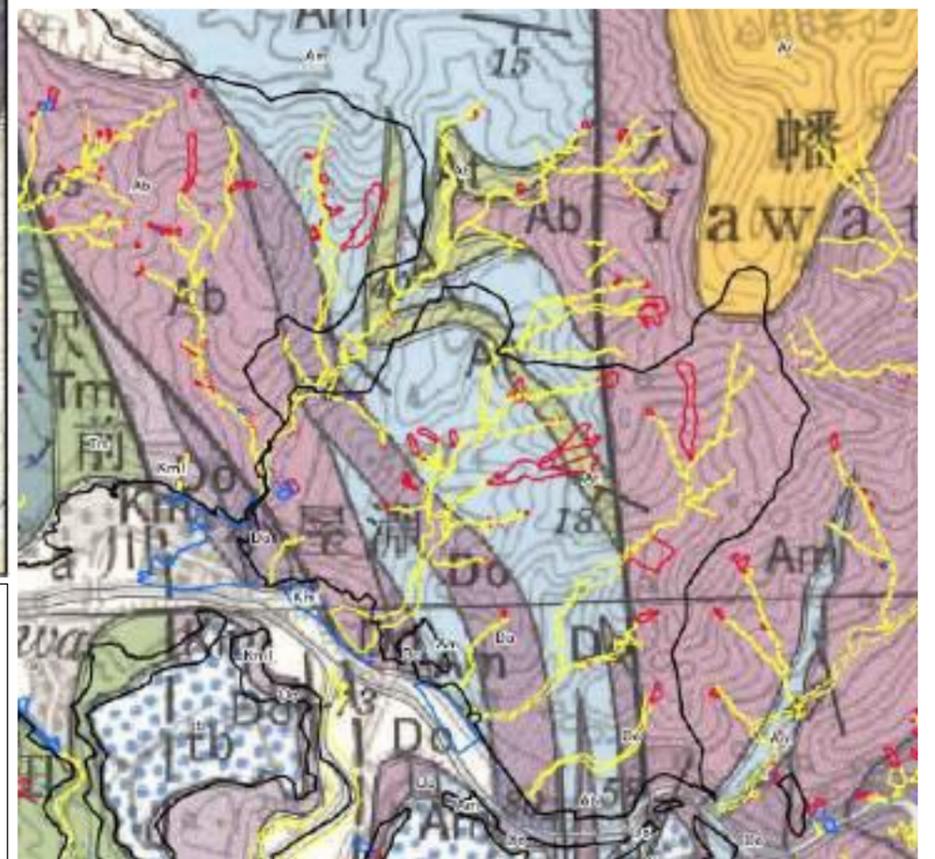
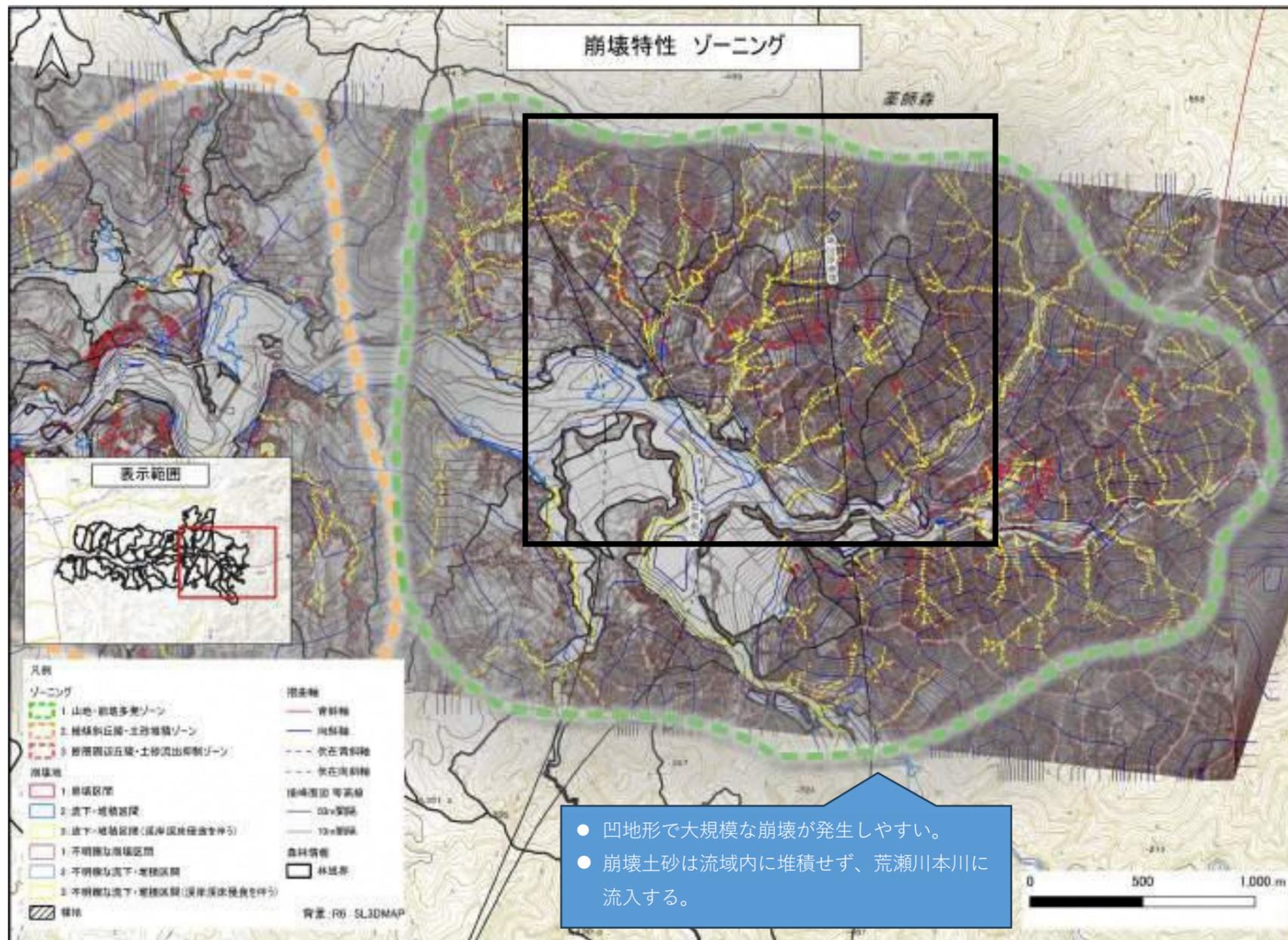
表 4.11 毎木調査結果

調査地点	林分名	断面積合計 (m ² /ha)	平均胸高直径 (cm)	本数密度 (本/ha)	収量比	形状比	相对幹距比
小屋淵東-1	スギ林	102.9	36.2	1,000	0.81	58.01	15.06
小屋淵東-2	スギ林	84.3	40.1	667	0.69	57.86	16.69
向芦沢付近	スギ林	93.3	36.3	900	0.88	78.79	11.66
石田地区1号山腹 (崩壊右岸側)	スギ林	156.5	30.1	2,200	1.11	96.01	7.38
石田地区1号山腹 (崩壊左岸側)	スギ林	117.5	43.3	800	0.87	65.82	12.41

※収量比は、「収量比数 Ry 計算プログラム（森林総研）」により算出した。

表 4.12 流木調査結果集計

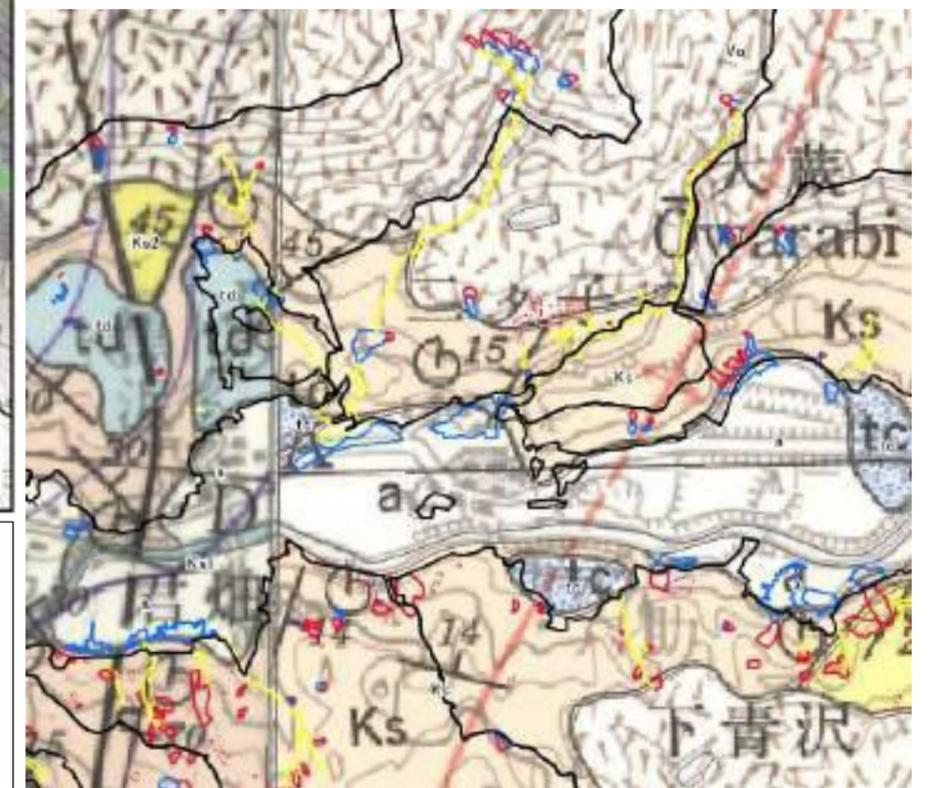
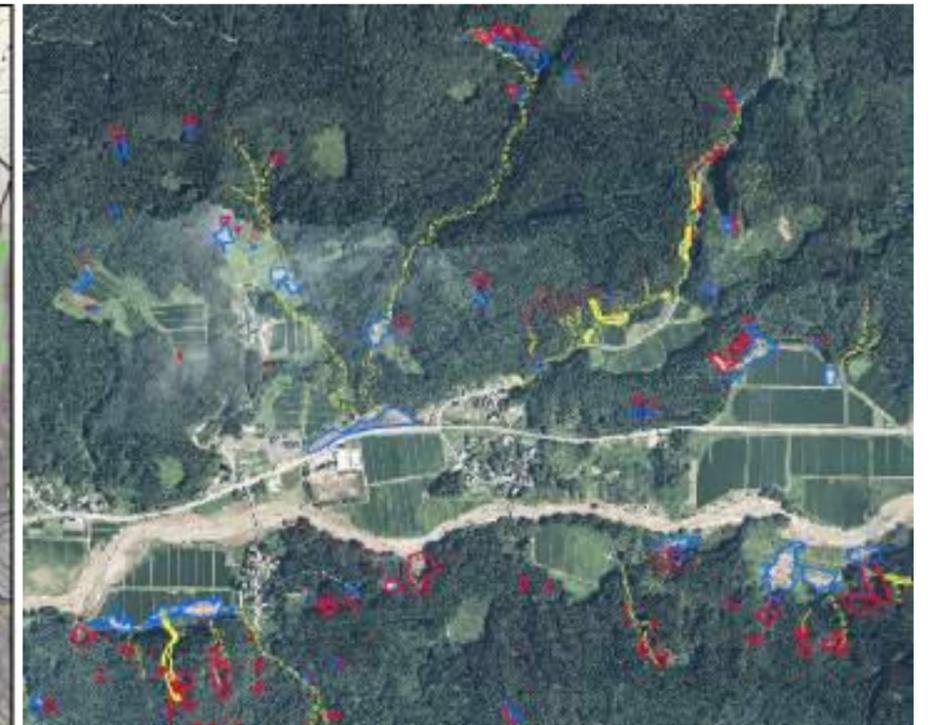
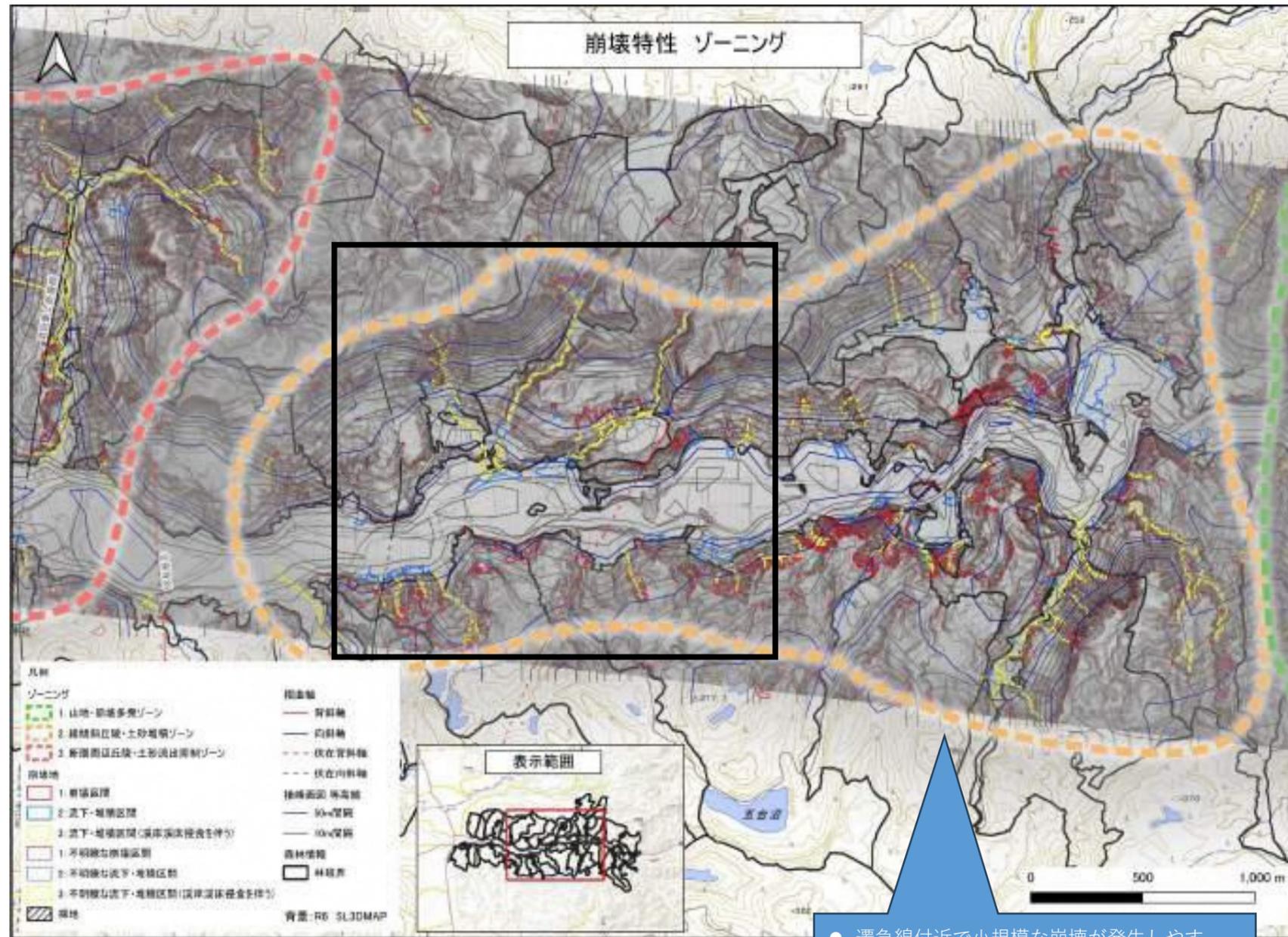
調査地点	林分名	調査面積 (ha)	全本数 (本)	本数密度 (本/ha)	全木平均樹高 (m)	平均直径 (cm)	材積 (丸棒丸太) (m ³ /調査面積)
石田地区 1号山腹 (流木)	流木	100	18	1,800	26	32	41.2
石田地区 3号山腹 (流木)	流木	100	19	1,900	15	27	17.8
石田地区 5号山腹 (流木)	流木	100	20	2,000	22	31	35.3



【1. 山地・崩壊多発ゾーン】

- 山地で谷が発達しており凹地形では大規模な崩壊が発生する。
- 山地周辺は青沢断層群が存在し、複雑な地質、断層、リニアメントが発達する。
- 当該ゾーンで発生した崩壊土砂は、急勾配の溪流に流入し、容易に本川に流入する。
- 急勾配の溪床は、堆積土砂が流水により侵食され、流出土砂が増加した。

図 5.2 ゾーン区分 1【山地・崩壊多発ゾーン】の特徴



【2. 緩傾斜丘陵・土砂堆積ゾーン】

- なだらかな傾斜を有す丘陵地で、砂層が広く分布する。
- 荒瀬川本川周辺の砂層の凸地形の遷急線付近では、小規模な崩壊が複数みられる。
- 崩壊土砂の多くは平坦地に堆積し、荒瀬川本線に流入する前に停止する。
- 崩壊地は、凡例青（流下・堆積区間）で示した範囲が多い。

- 遷急線付近で小規模な崩壊が発生しやすい。
- 崩壊土砂は崩壊地直下に堆積し、荒瀬川本

図 5.3 ゾーン区分2【緩傾斜丘陵・土砂堆積ゾーン】の特徴

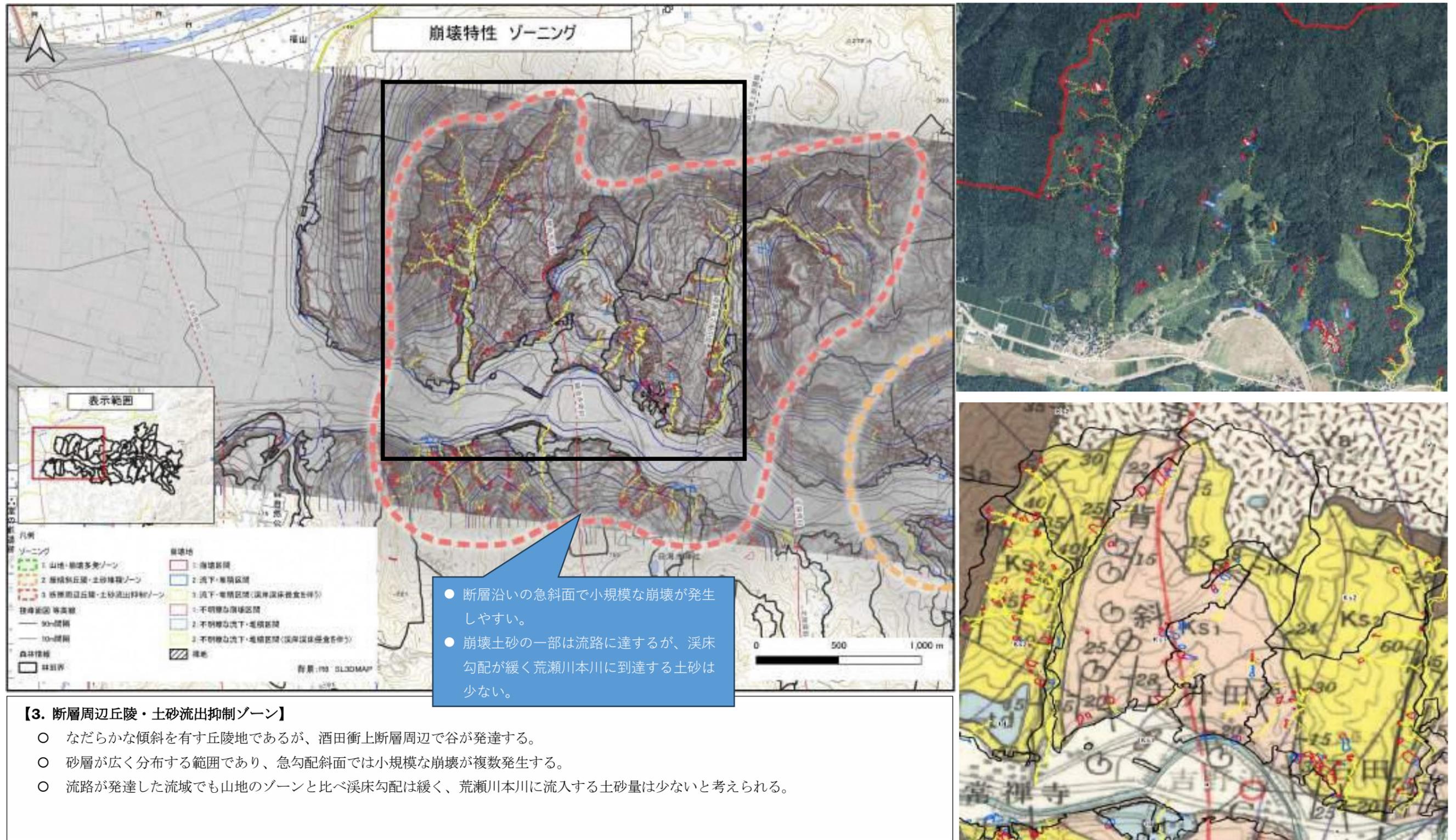


図 5.4 ゾーン区分 3【断層周辺丘陵・土砂流出抑制ゾーン】の特徴

5.2 治山施設整備

5.2.1 山腹荒廃地

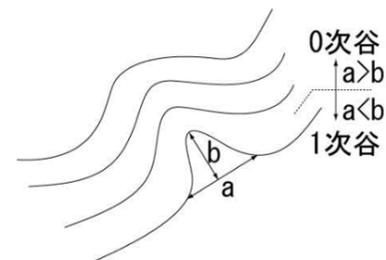
事業対象範囲では、**800**箇所を超える崩壊地が確認されている。崩壊規模は最大で**1ha**に達するものもあるが、小規模な崩壊が多く、平均面積は**0.04ha (20m×20m 規模)**である。崩壊深さは最大で**10m**に及ぶが、大部分は**1~4m**の範囲に分布し、平均深さは**2.6m**となっている。

今回の災害では、起伏量の大きい山地の凹地形で、大規模な山腹崩壊が発生した。山地で発生した崩壊土砂は急勾配の流路を流れ下り、荒瀬川本川に流入したことで、洪水被害を拡大させた要因の一つとなった。これに対し、起伏量の小さい丘陵地では、小規模な崩壊が多数発生し、全体の土砂量は多いものの、崩壊土砂の多くは崩壊地直下で停止しており、荒瀬川本川に流入した量は少ないものと考えられる。ただし、小規模な崩壊であっても、人家裏や林道周辺で発生した崩壊地は甚大な被害を与えた。

このことから、山地の大規模な崩壊は山腹工を計画し、荒瀬川流域全体の安定を目指し、複数ある小規模な崩壊地については、保全対象の分布を考慮して対策の要否を検討する。

表層地質が砂や細粒砂を主体とする斜面では、斜面全体の侵食を防止するための対策が必要である。一方で、排水工による集水が局所的な侵食を引き起こす可能性があるため、適切な排水処理を講じる必要がある。法切工を行う場合は、周辺の地形条件を考慮し、安定勾配を適切に設定することが重要である。また、現地調査により湧水やパイピングホールが確認されたため、これらの崩壊地では地下水排除工の導入も検討すべきである。

泥岩や玄武岩を主体とする山地地形では、0次谷の凹地形に崩壊が多く発生している。そのため、谷止工、土留工、水路工を適切に配置し、崩壊脚部の安定化を図る必要がある。さらに、急崖部では法面工を施し、拡大崩壊を防ぐことが求められる。山地では断層に伴う地質の破碎が想定されるため、斜面補強工の計画時には、定着地盤の詳細な検討が必要である。



(出典：国土技術政策総合研究所「砂防基本計画策定指針 (土石流・流木対策編) 解説」)

図 5.5 0次谷の定義



崩壊山腹において、下流への被害の防止・軽減を図るため法面保護工等を実施 (大分県日田市)

図 5.6 整備イメージ

5.2.2 溪流荒廃地

溪流荒廃地においては、計画立案に際し以下の点に留意する。

(1) 治山ダム工

砂や細粒砂を主体とする溪流では、溪床の侵食防止を目的に、治山ダム工を階段状に設置することが有効である。特に、溪床勾配が10°以上の急勾配区間では、溪床が侵食されやすいことに留意しなければならない。ただし、急勾配区間は山間の奥地に位置することが多く、施工が困難な場合もある。そのため、土砂流出の危険性が高い場合は、谷出口付近での待ち受け対策の導入も考慮する必要がある。

泥岩や玄武岩を主体とする山地地形の流域では、0次谷の凹地形で崩壊が発生しやすい。これらの地質が分布する範囲は急峻な地形を呈しており、階段状の施設配置が困難な場合がある。そのため、待ち受け対策を主体とし、土砂・流木の捕捉を考慮した透過型治山ダムの配置を検討する必要がある。

事業対象範囲に広く分布する火砕流堆積地では、斜面勾配が緩やかであるため、治山ダムを必要とする溪流は少ないと考えられるが、現地の状況に応じ、治山ダムを配置することにより溪床の安定化を図り、溪岸侵食による山腹崩壊の予防保全を図る。

(2) 流木対策

今回の災害では、山地から発生した流木が荒瀬川本川の橋梁部分に堆積し、洪水被害を拡大させた。事業対象範囲には、樹齢40年以上で樹高15~25mの立木が多く存在しており、流木化した場合には被害拡大の恐れがある。一方で、下流域の土砂堆積区間では、林内における流木や土砂の捕捉機能が期待できることを確認した。

しかし、立木による流木捕捉効果には不確実性が高く、溪流内では流木を効果的に捕捉できる林分が生育しにくい。そのため、流木の発生リスクが高い流域では、流木化が想定される危険木の伐採、撤去等の森林整備も行いつつ、流木捕捉式治山ダム等の流木捕捉施設の設置を検討する必要がある。



土石流や流木の発生の恐れがある溪流に流木捕捉式治山ダムを設置 (北海道北見市)

図 5.7 整備イメージ

5.2.3 森林整備

(1) 森林施業

事業対象範囲の大部分では伐期延長森林施業が実施されており、65～70年生の森林が多く分布している。そのため、伐期（標準伐期 **50年+10年**）を迎えている森林が多い状況である。

伐採に際しては、**樹高 10m 未満**の林分では崩壊のリスクが高まる傾向があるため、皆伐を避け、**10ha 以下**（「酒田市森林整備計画」p.20 参照）の小規模な範囲で計画的に実施する必要がある。

また、一部では長伐期施業が行われており、予定伐期まで約30年の期間を残している。長伐期施業は、主に傾斜の緩やかな丘陵地で実施されているが、当該区域内においても崩壊が確認されている。そのため、伐採に際しては、**伐採予定地の斜面勾配や起伏量などの地形および地質を把握し、崩壊の危険性を十分に考慮**した対応が求められる。特に、以下の地質条件においては、崩壊の発生に注意が必要である。

- ・ 砂、細粒砂を主体とする斜面の凸部
- ・ 泥岩、玄武岩を主体とする山地の0次谷凹地形

長伐期施業圏域では、緩やかな丘陵地が多いため治山対策の優先度は低いものの、人家や公共施設など**重要な保全対象がある場合**においては「**厚い表層崩壊**」を対象とした土留工や排水路工などの山腹工、被災リスクの高い若齢林圏域においては、**柵工や筋工などの簡易な構造物での山腹工**といった治山工事を効果的に組み合わせることで、森林の持つ災害抑制機能、水源涵養機能（洪水緩和、水資源貯留）が、より高度に発揮されるものと期待される。

(2) 作業路網

事業対象範囲では、**斜面勾配が緩やかな林班を中心に作業路網が整備**されている。しかし、今回の豪雨により、一部の林道や作業道が崩壊した。

今後の治山施設や森林整備の実施にあたっては、**作業道の補修が必要**である。補修に際しては、**地形や地質を十分に考慮し、適正な法面勾配を設定**することが求められる。

特に、**砂や細粒砂を主体とする斜面では、排水箇所の設置によりガリー侵食が発生する可能性がある**ため、十分な対策を講じる必要がある。



図 5.8 整備イメージ

5.2.4 ソフト対策（警戒避難）

山地や丘陵地で発生した崩壊は、成長した森林を巻き込み、大規模な土砂災害を引き起こした。さらに、崩壊時に流出した土砂は、**荒瀬川本川の河道断面を阻害させるとともに、支川の埋塞を引き起こし、広範囲にわたる洪水被害をもたらした**。このように、未曾有の豪雨が発生した場合、**複合的な災害が発生する可能性がある**。

荒瀬川流域は、山地や丘陵地に囲まれた低地が分布しており、**地形的特性から災害が発生しやすい地域**である。「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」の第6次評価報告書（統合報告書・政策決定者向け要約）では、**地球温暖化の進行に伴い、同時多発的なハザードが増大すると予測**されており、今後も同様の災害が発生するリスクが高まっている。一方で、通常の治山計画規模（確率年評価 1/100 相当）程度の降雨量に対し、全ての小規模崩壊地を対象とした復旧治山、予防治山を実施するのは現実的ではなく、ハード対策は保全対象への影響度や想定される土砂移動形態等を考慮し、土砂流出の危険度の高い溪流を優先的に整備するなど限定的な形にせざるを得ない。

そのため、**事業の完成までに時間を要するハード対策のみに依存せず、ソフト対策を併せて推進し、人的被害の発生を防ぐ**ことが求められる。

取り組みとしては、県が指定している山地災害危険地区について、市町村地域防災計画への記載やインターネットを活用した広報、住民説明会の開催、周知看板の設置などの充実化を図ることが必要である。



図 5.9 整備イメージ

5.2.5 治山事業における DX の活用

近年、デジタルトランスフォーメーション (DX) の進展に伴い、治山事業においても ICT を活用した効率的な管理・運用が進められている。施工効率の向上、安全性の確保、労働環境の改善を目的とし、これらの技術を積極的に活用することが求められている。

(1) リモートセンシング技術を活用した調査・計画・設計・施工活用

UAV (無人航空機) レーザデータやリモートセンシング技術の活用により、治山事業の調査・計画・設計・施工の各段階で効率化が進められている。ドローンや人工衛星による高精度な地形データの取得は、従来の地上測量に比べて広範囲を短時間で把握でき、崩壊リスクの評価精度を向上させる。特に、リモートセンシング技術を活用することで、植生の状態や地表の変化を定量的に分析でき、山地の安定性を総合的に把握することが可能となる。また、森林の調査や管理にも有効であり、樹種の分布や森林密度の解析等にも活用されている。これにより、森林資源の適切な管理や保全対策の精度向上が期待される。

(2) GIS (地理情報システム) による治山対策の最適化

近年、治山事業において GIS (地理情報システム) を活用した対策の最適化が進められている。GIS を用いることで、地形、土壌、植生、降雨量などの多様なデータを統合的に管理・分析し、崩壊リスクの評価や適切な対策の立案が可能となる。また、治山施設の配置計画や施工後の効果検証にも活用され、効率的な事業運営を支援する。さらに、関係者間での情報共有が容易になり、迅速かつ的確な意思決定が促進される。GIS の活用は、治山事業の精度向上と持続可能な山地管理に寄与することが期待される。

(3) IoT 技術を活用したリアルタイムモニタリング

地すべりセンサーや雨量計を設置し、崩壊リスクの高い地域のデータを継続的に収集・分析することで、異常の早期検知が可能となる。これにより、災害発生リスクを事前に把握し、迅速な対応を行うことができる。さらに、遠隔地からのデータ監視により、人的負担の軽減や管理の効率化が図られる。IoT 技術の活用は、治山対策の高度化と持続的な山地管理に貢献し、災害の未然防止に重要な役割を果たすことが期待される。

(4) ICT 技術を活用した治山事業の推進

荒廃山地の復旧対策において、ICT 建設機械を活用した土工や UAV (無人航空機) による緑化作業が実施されている。これにより、施工の生産性向上や作業の効率化が図られるとともに、作業員の負担軽減や安全性の向上にも寄与している。さらに、データを活用した施工管理を導入することで、より精度の高い治山対策の実施が可能となる。ICT 技術の活用は、治山事業の省力化と持続可能性の向上に貢献し、今後の治山施策において重要な役割を果たすと期待される。

(5) AI 技術の活用

近年、AI の進化により、治山事業においても AI 技術を活用した効率的な運用が進んでいる。AI を活用することで、気象データや地形情報を基に崩壊リスクを予測し、精度の高い対策が可能となる。また、AI による画像解析技術でリモートセンシングデータを自動分類し、異常箇所を迅速に検出できる。これにより、人的な判断に頼ることなく、広範囲の地形変化を継続的に監視でき、治山対策の精度向上が期待される。

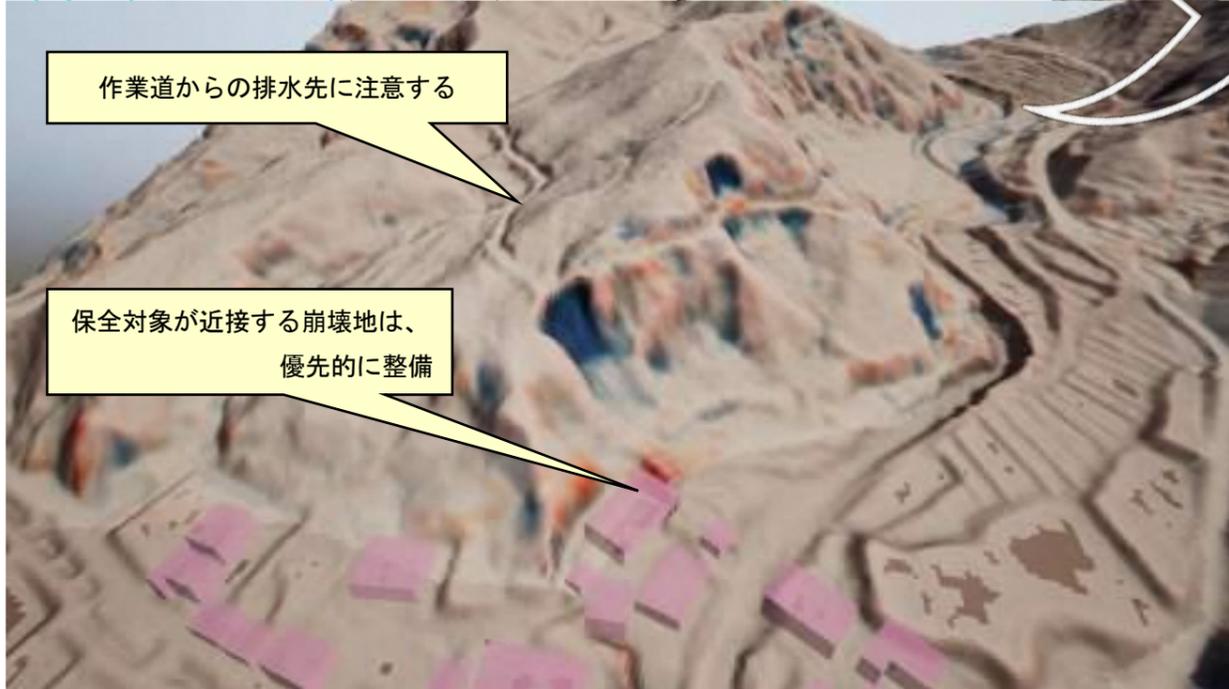
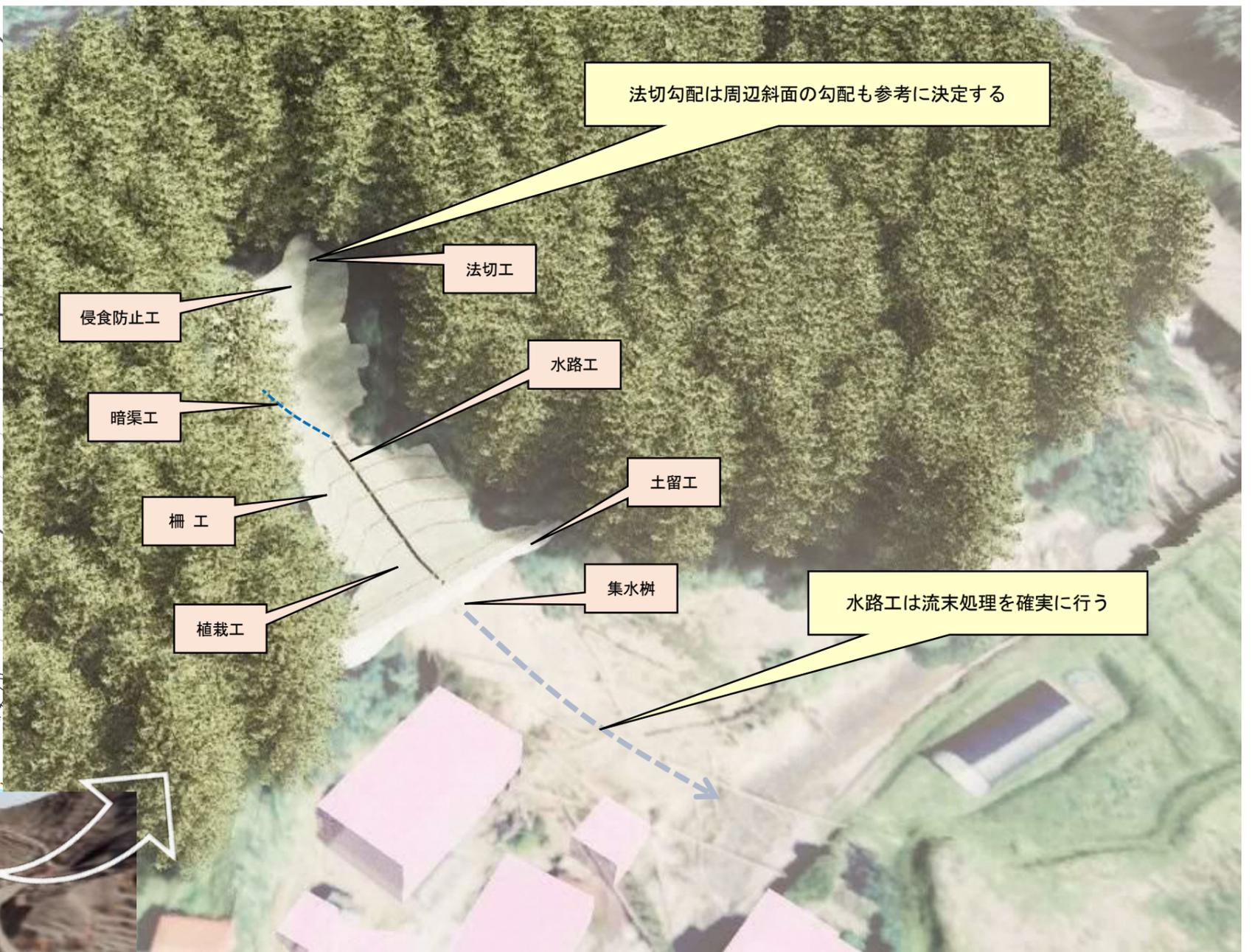
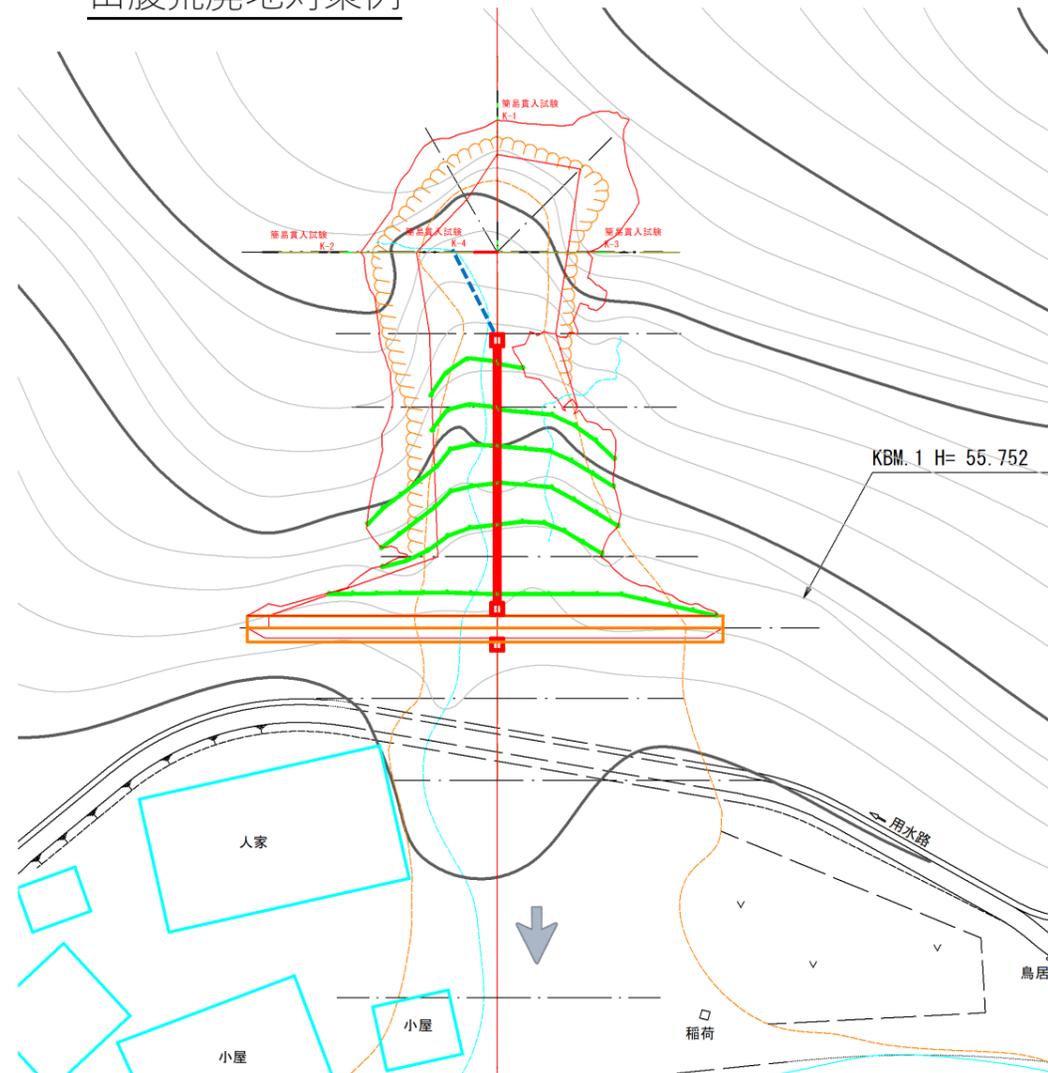
5.3 治山施設整備モデル事例

事業対象範囲内において、山腹荒廃地、溪流荒廃地の整備イメージを示す。イメージ図には、対策工計画上の留意点も示した。

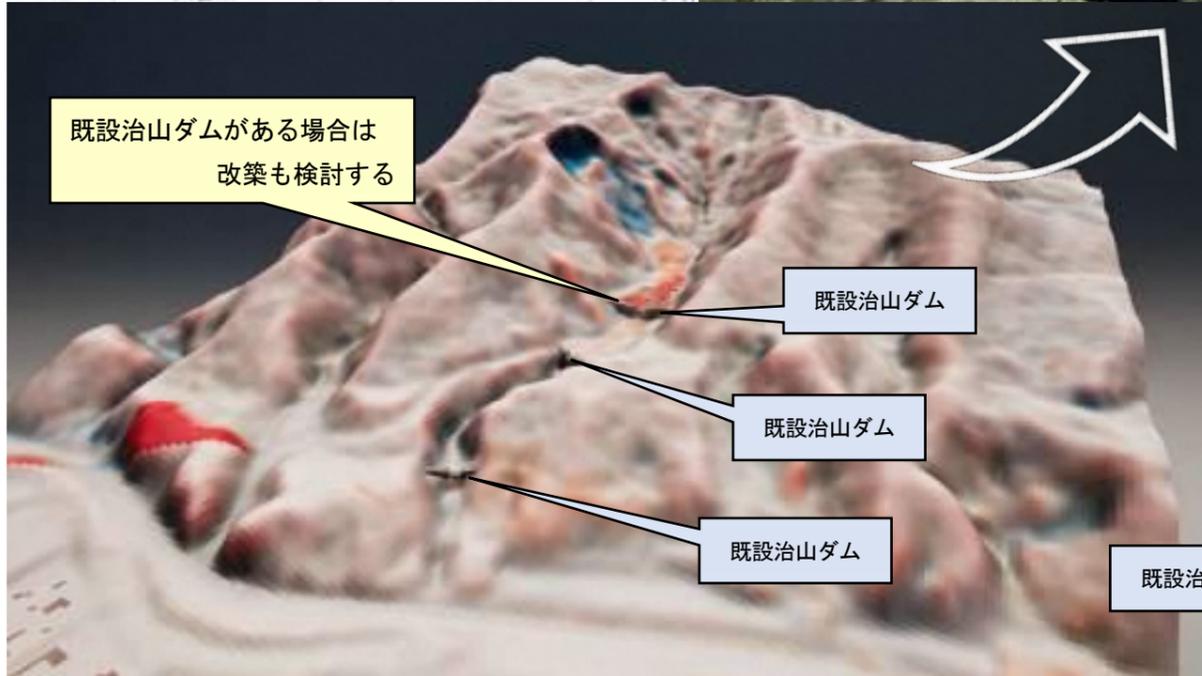
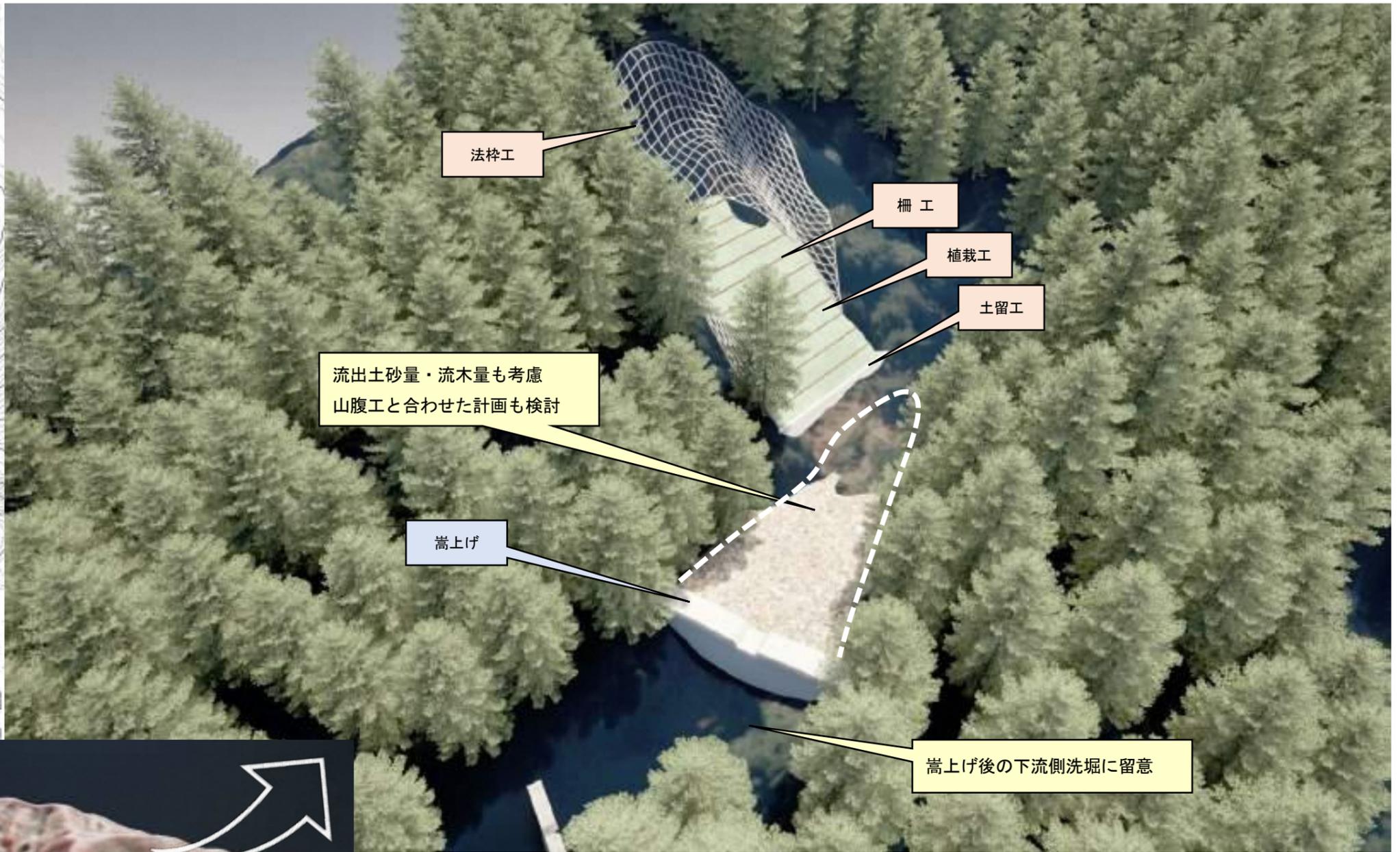
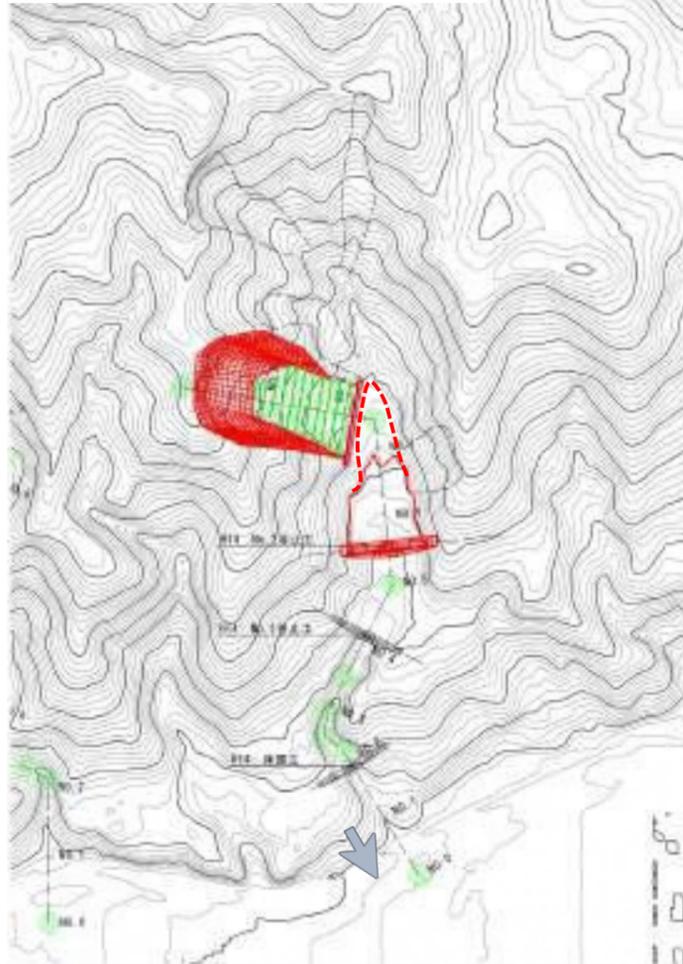
実際の整備にあたっては、対策工計画上の留意点を参考に現場条件を踏まえて適切な工種配置を行うことが必要であることに注意が必要である。

- ・ 山腹荒廃地対策例 (石田地区)
- ・ 溪流荒廃地対策例 (君畑地区)
- ・ 溪流荒廃地対策例 (小屋淵地区)
- ・ 溪流荒廃地対策例 (常禅寺地区)

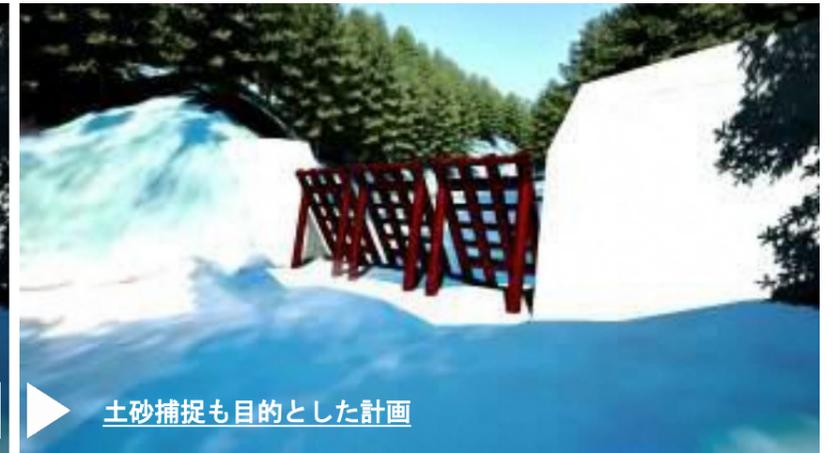
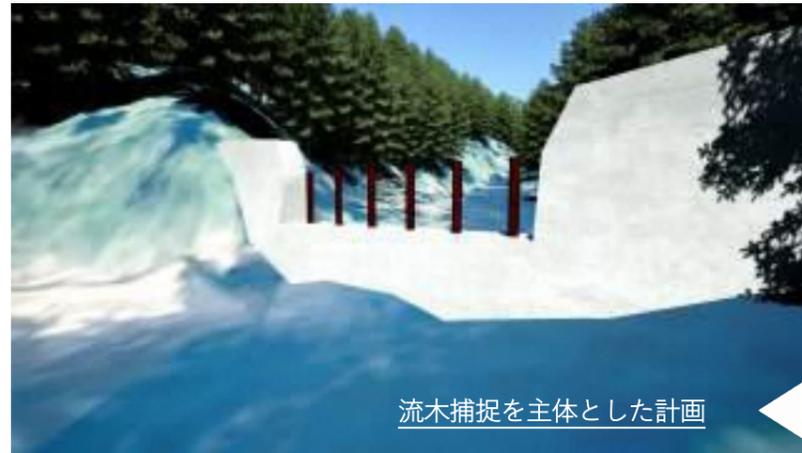
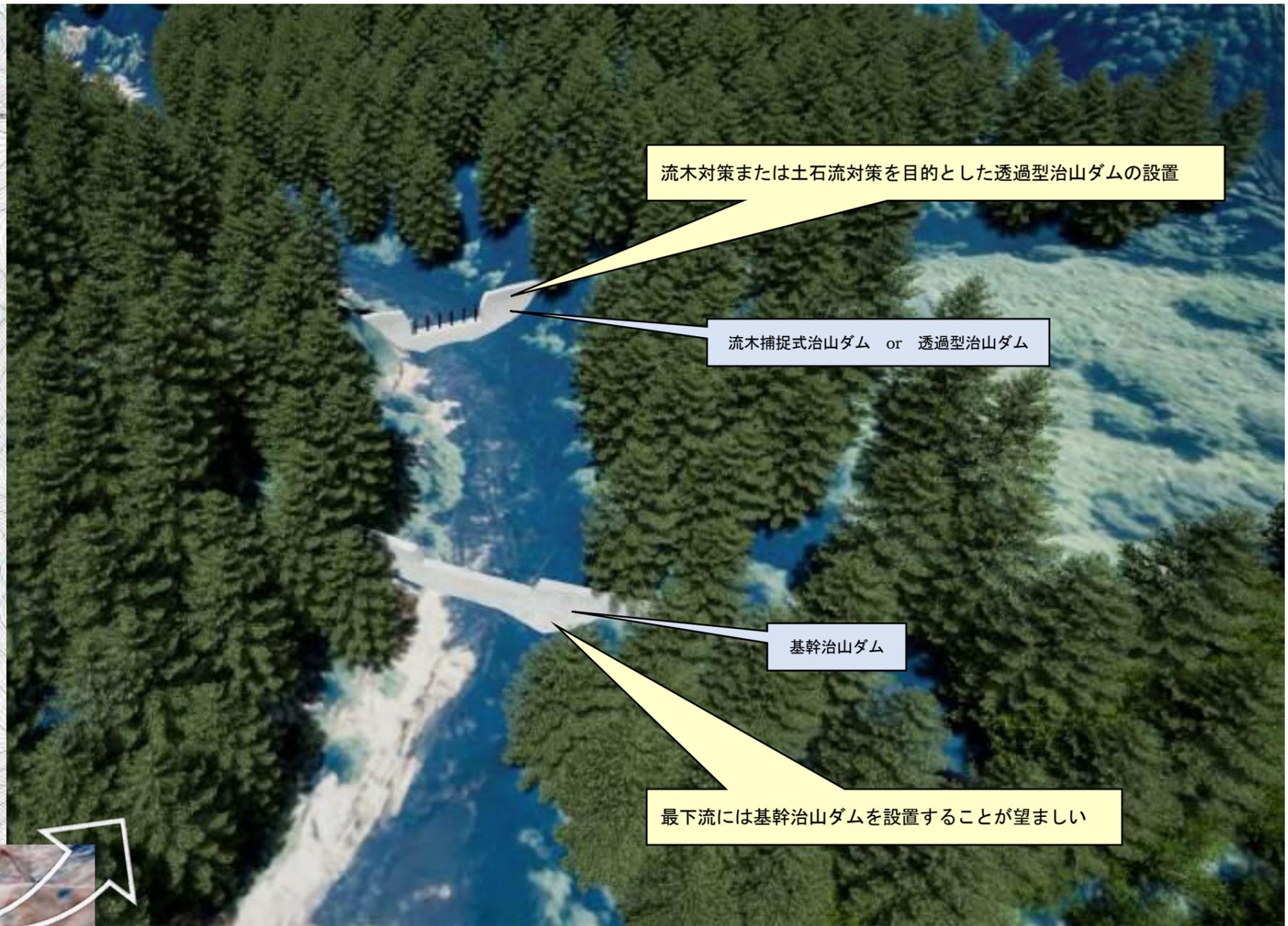
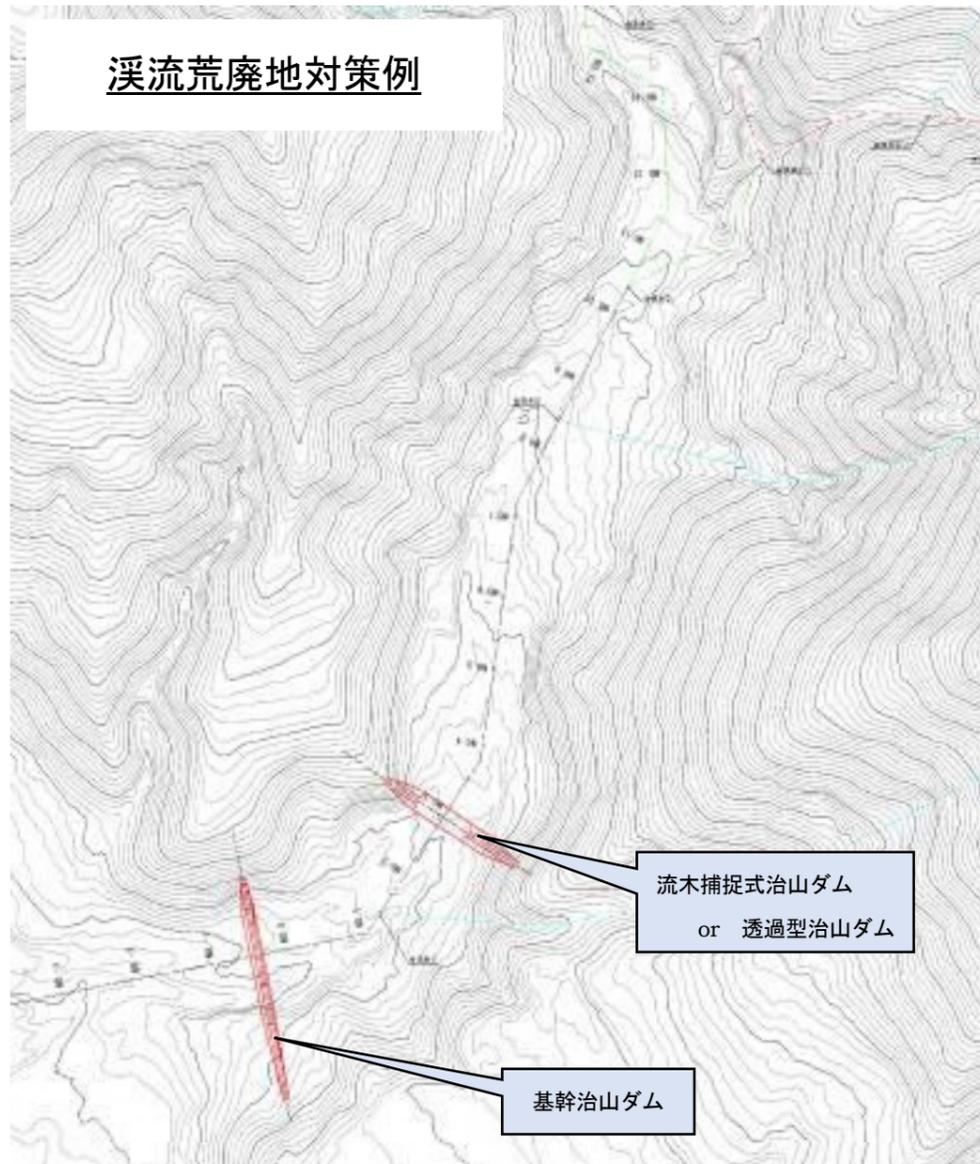
山腹荒廃地対策例



溪流荒廃地対策例



溪流荒廃地対策例



溪流荒廢地対策例

