

荒廃地の復旧に向けた治山施設計画について

6. 山腹緑化工の方針

6.1 土壌硬度からみた緑化・植栽計画 6-1-1

6.2 植栽木等の保育管理方針 6-2-1

7. 荒廃地の復旧に向けた治山施設計画

7.1 国有林における治山施設計画 7-1-1

7.2 民有林における治山施設計画 7-2-1

6. 山腹緑化工の方針

6.1 土壌硬度からみた緑化・植栽計画

今回の災害においては、図 6.1.1 に示すような土石流による土砂・流木の抑制といった森林の防災機能が確認された箇所がある。このことから、崩壊・土石流等により植生が破壊された箇所には、森林の土砂災害防止機能をさらに高度に発揮できる森林を造成するための緑化・植栽計画案を策定した。

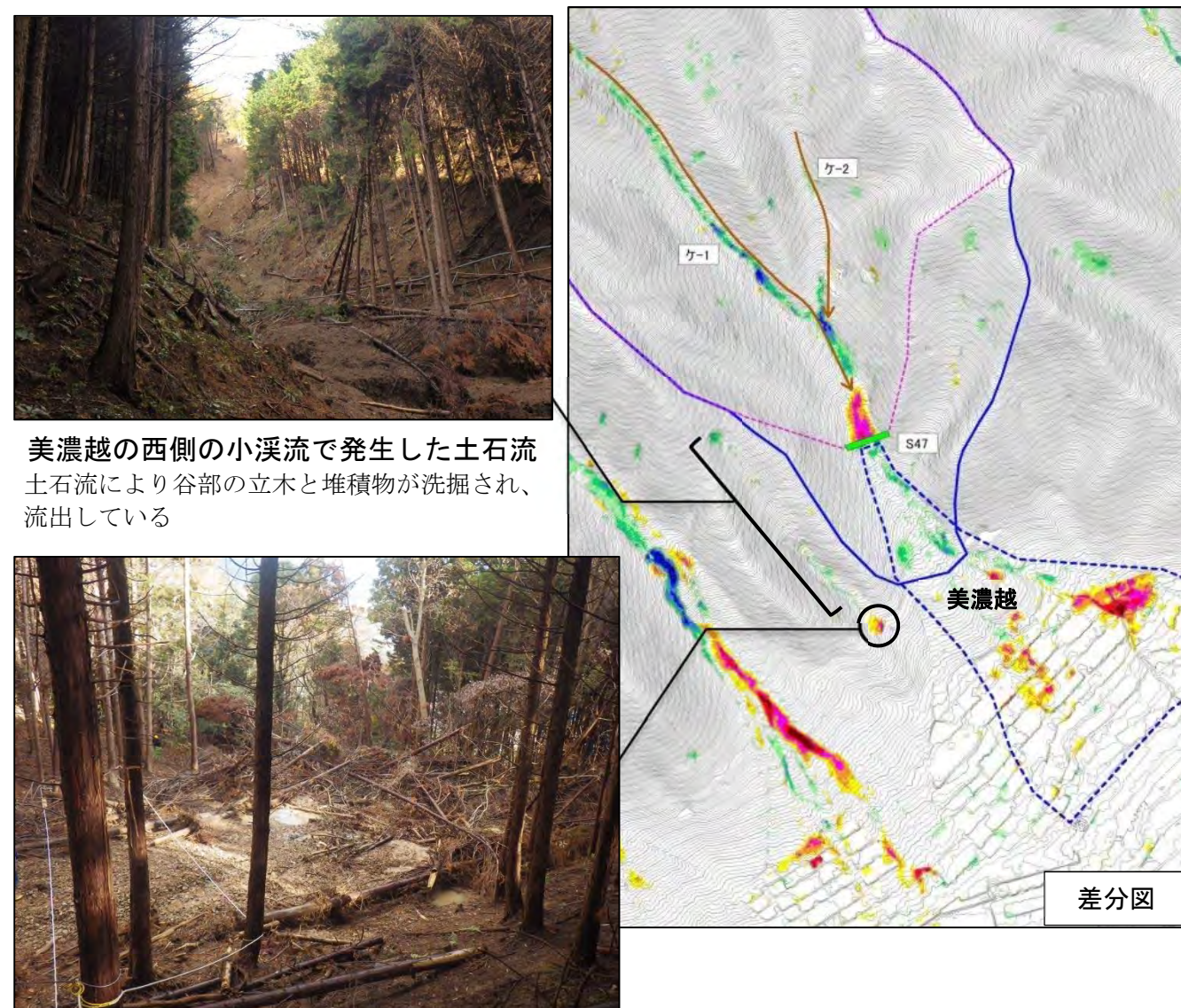


図 6.1.1 森林による土砂及び流木の抑止事例

6.1.1 調査方針と調査方法

(1) 調査方針

崩壊地に植生を復旧回復させる方法は植生工により行うこととし、具体的な植生工の種類を選定するため、土壌硬度、土性、土壌酸度等について現地調査を行った。

なお、植生回復を行う荒廃地は、治山施設等により斜面や生育基盤の安定が図られているものとする。

(2) 調査方法

土壌の硬さは、植物根の伸長の難易、透水性や通気性の程度に影響するため、崩壊地等において測定を行い、工法選定の基礎情報として調査を実施した。土壌硬度の測定は、山中式土壌硬度計（写真 6.1.1）を用いた。また、土壌の厚さを確認するため、検土杖（写真 6.1.2）により基岩部までの深さを計測した。

土壌の pH が好適範囲でない場合は、植物の生育不良の原因となるため、土壌の化学性として pH を計測（写真 6.1.3）した。計測は土壌 20g を蒸留水 50mL に溶いたものを現地で測定した。



写真 6.1.1 土壌硬度の測定状況
山中式土壌硬度計を土壌に押し込み、抵抗値を測定



写真 6.1.2 土壌深の測定状況
検土杖を、地中に貫入させて基岩にあたる深度を計測



写真 6.1.3 土壌酸度の測定状況
ポータブル pH 計測器により、現地で土壌の pH を計測

(3) 調査場所

調査地は、森林造成することで土石流規模ならびに発生土砂量の抑制が期待できると考えられる並列型土石流発生溪流の源頭部～移送域とし、その代表的な箇所として高松山ホ-6 及び宇那木山ホ-4 において山腹崩壊地周辺を調査地とした（図 6.1.2 及び図 6.1.3）。

調査地において、谷に対して直交方向に、複数の土壌状態（土石流堆積物や崩積土など）が含まれるような断面を設定し、土壌状態ごとに土壌硬度、土壌酸度を計測した。調査断面は、簡易に横断測量により地形情報と、断面上（幅 4 m）に生育する樹木（直径 5 cm 以上）の樹種、直径、樹高等を記録した。

また、山腹崩壊地表面に出現することが多い「カタクレサイト化した花崗岩」については、別途、土壌硬度、土壌酸度の計測を行った（図 6.1.2）。

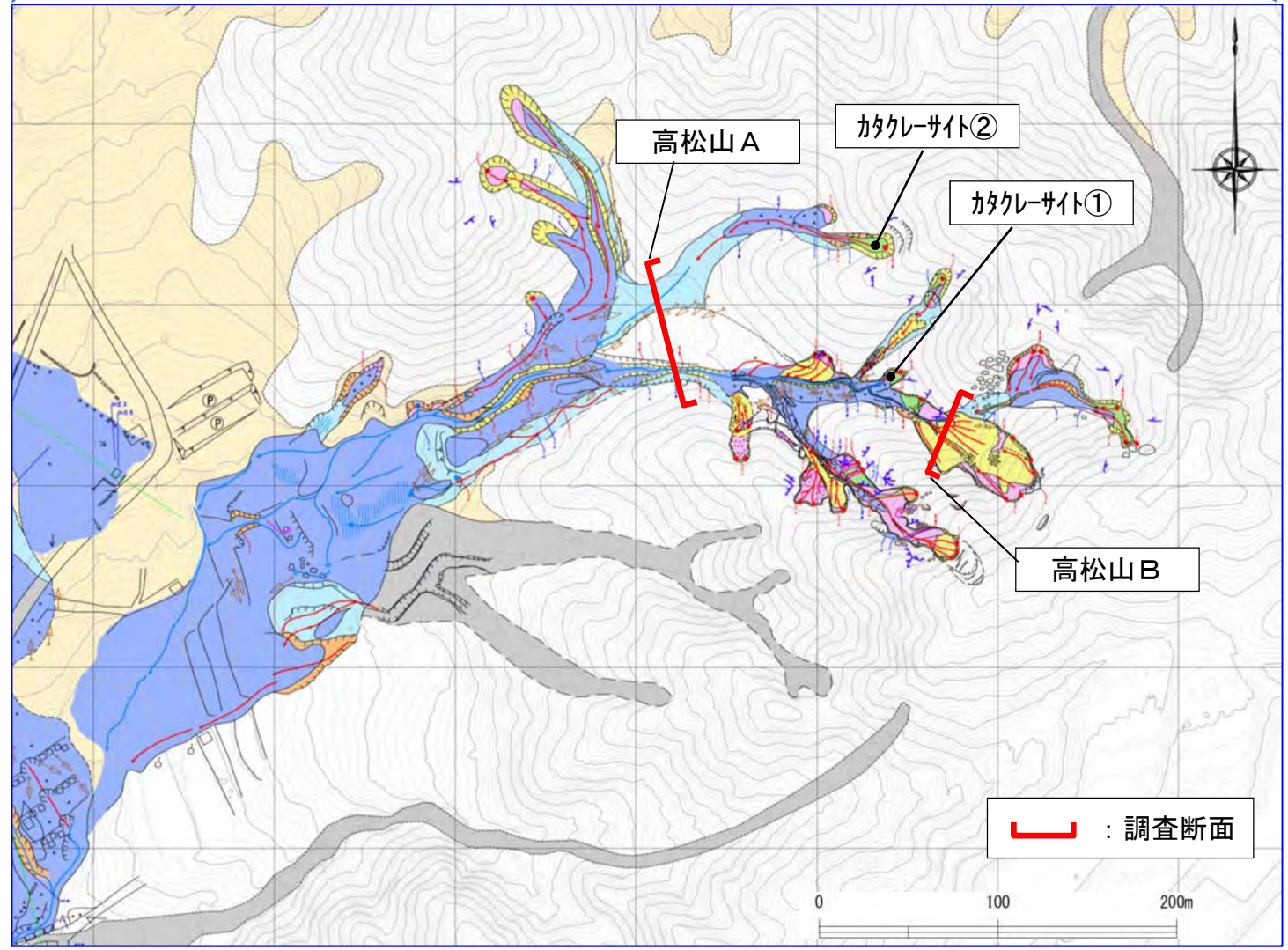
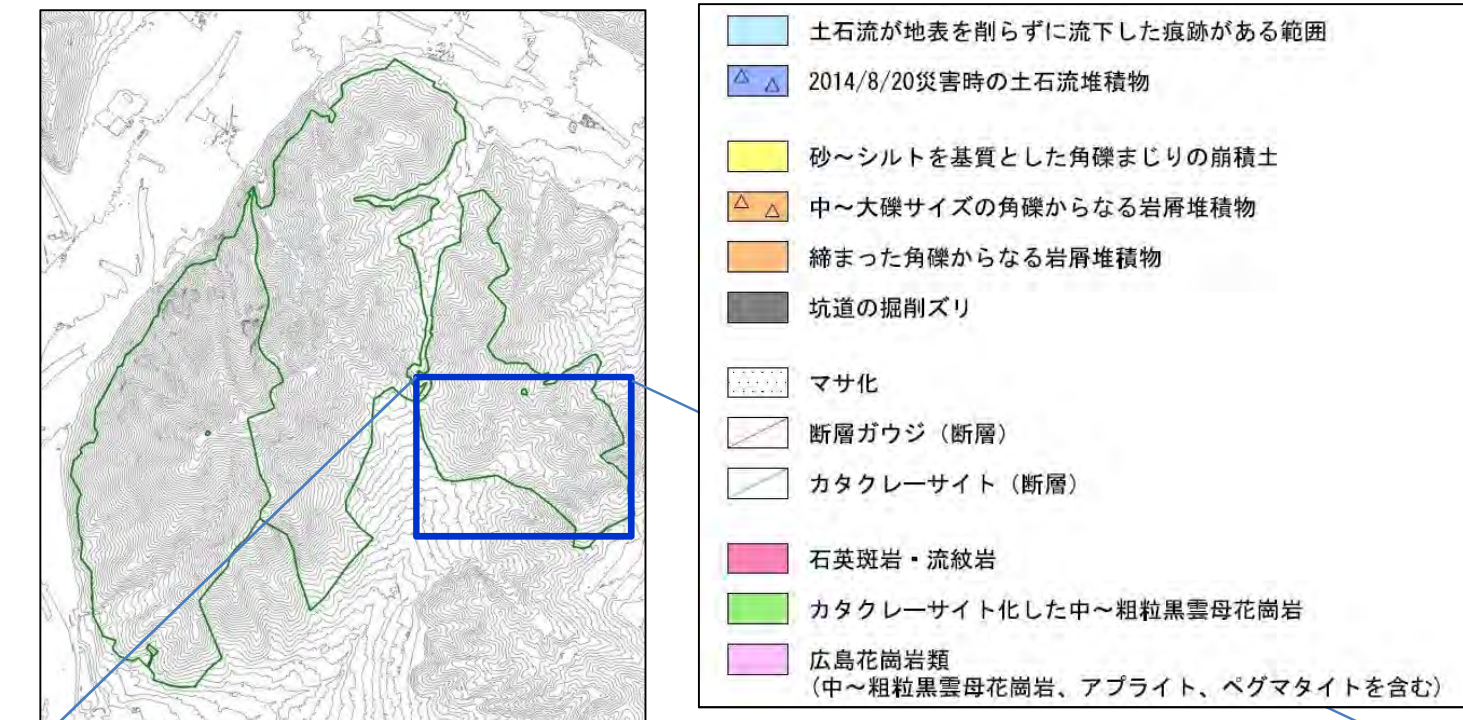


図 6.1.2 土壌硬度等の調査箇所 (高松山ケ-6)

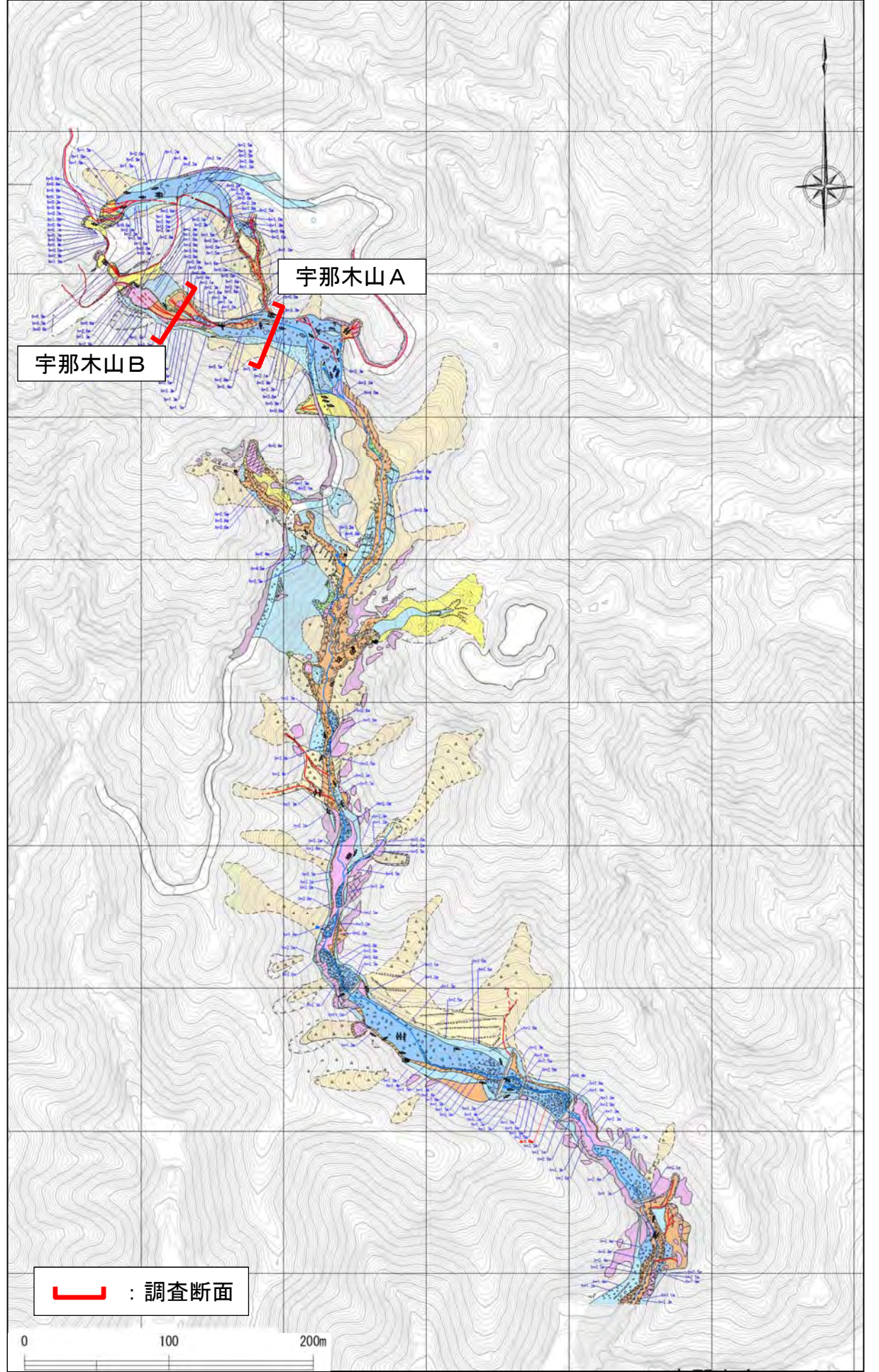


図 6.1.3 土壌硬度等の調査箇所 (宇那木山)

6.1.2 調査結果

各調査箇所の土壌硬度等の調査結果を以下に示す。

(1) 高松山A

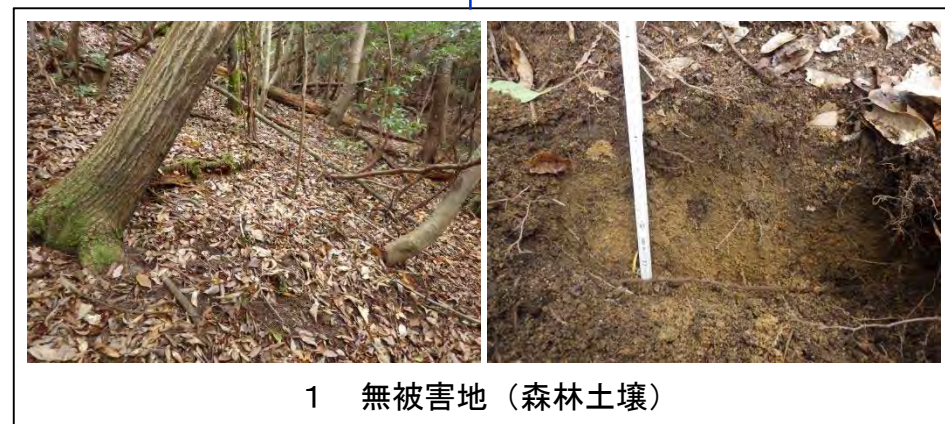
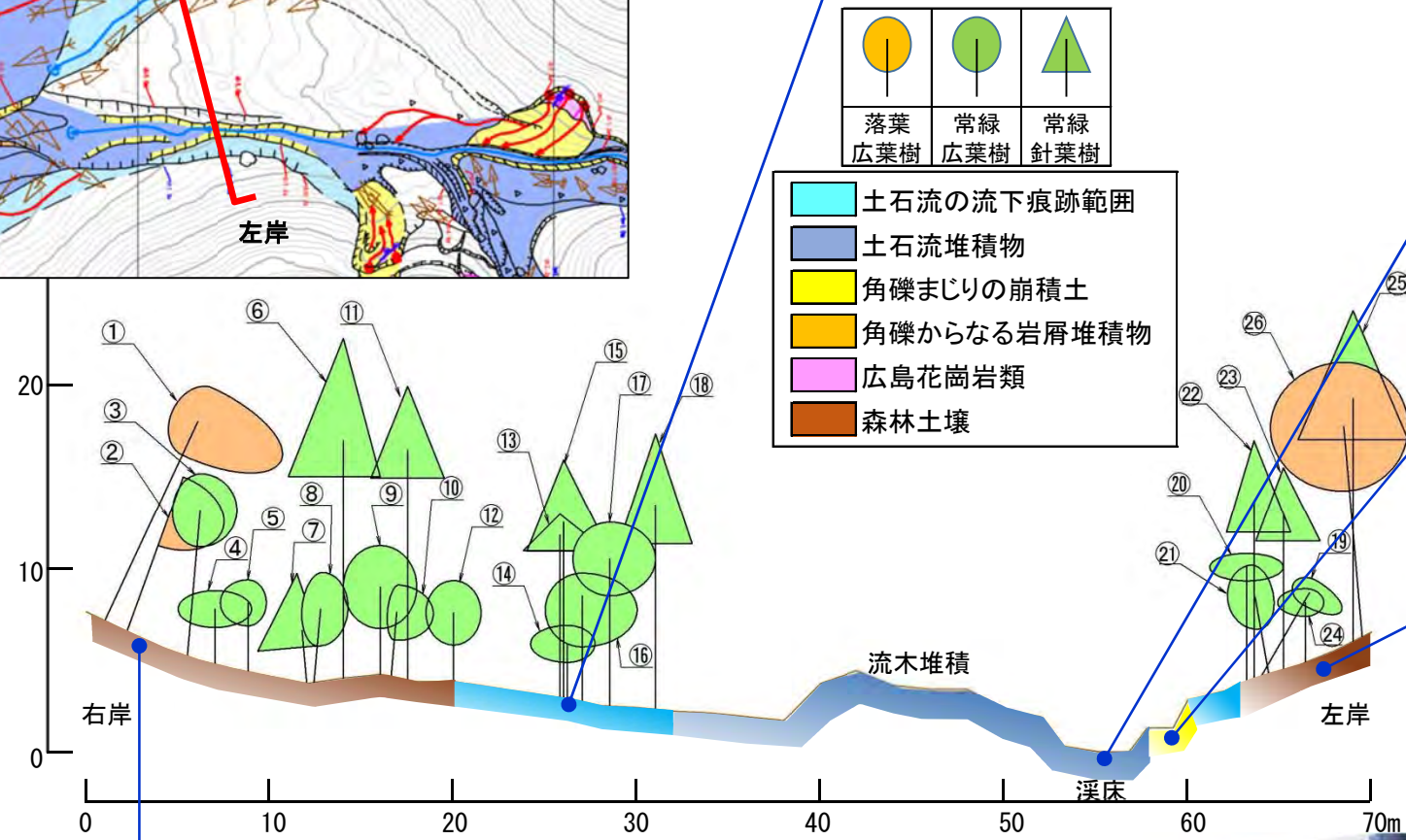
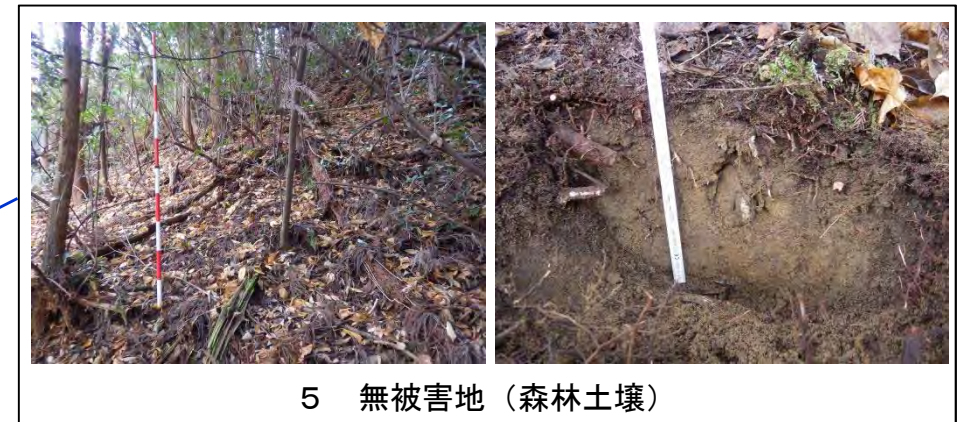
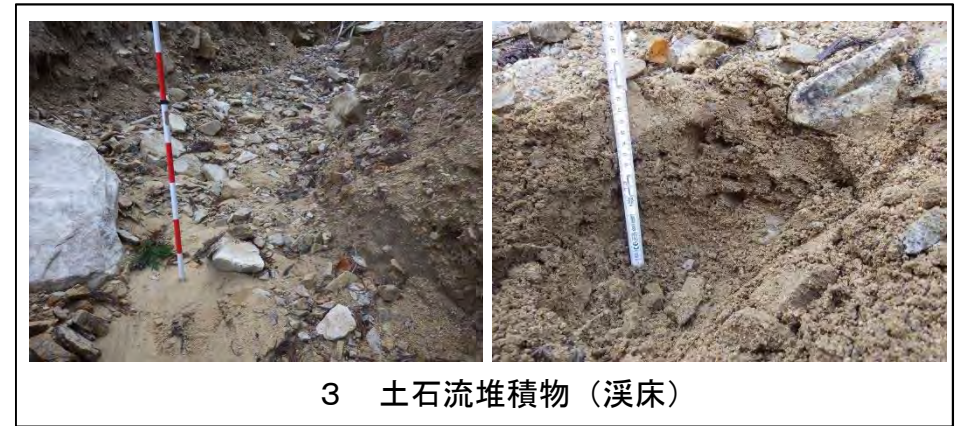
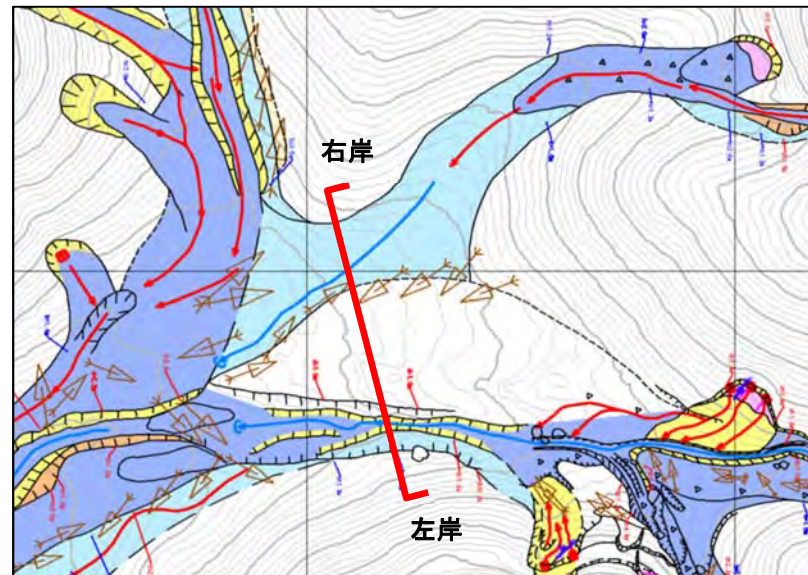


表 6.1.1 土壌硬度等の調査結果 (高松山A)

番号	土壌等の状況	勾配	土壌深	土壌硬度	pH
1	森林土壌 (右岸)	25度	100cm以上	11.3mm	6.22
2	土石流の流下痕跡範囲 (縦断方向)	10度	50~90cm程度	13.3mm	6.39
3	土石流堆積物 (溪床) (縦断方向)	10度	10~30cm程度	14.3mm	6.90
4	角礫まじりの崩積土	5度	20cm程度	15.9mm	7.18
5	森林土壌 (左岸)	28度	70~100cm程度	11.2mm	6.61

図 6.1.4 崩壊地・土石流流下地の地形植生断面と土壌の状態 (高松山A)

(2) 高松山B

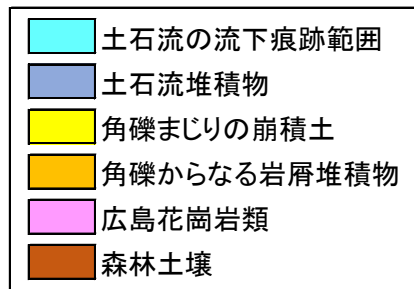
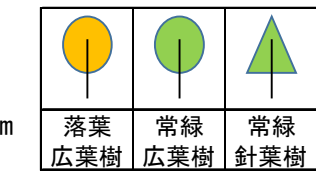
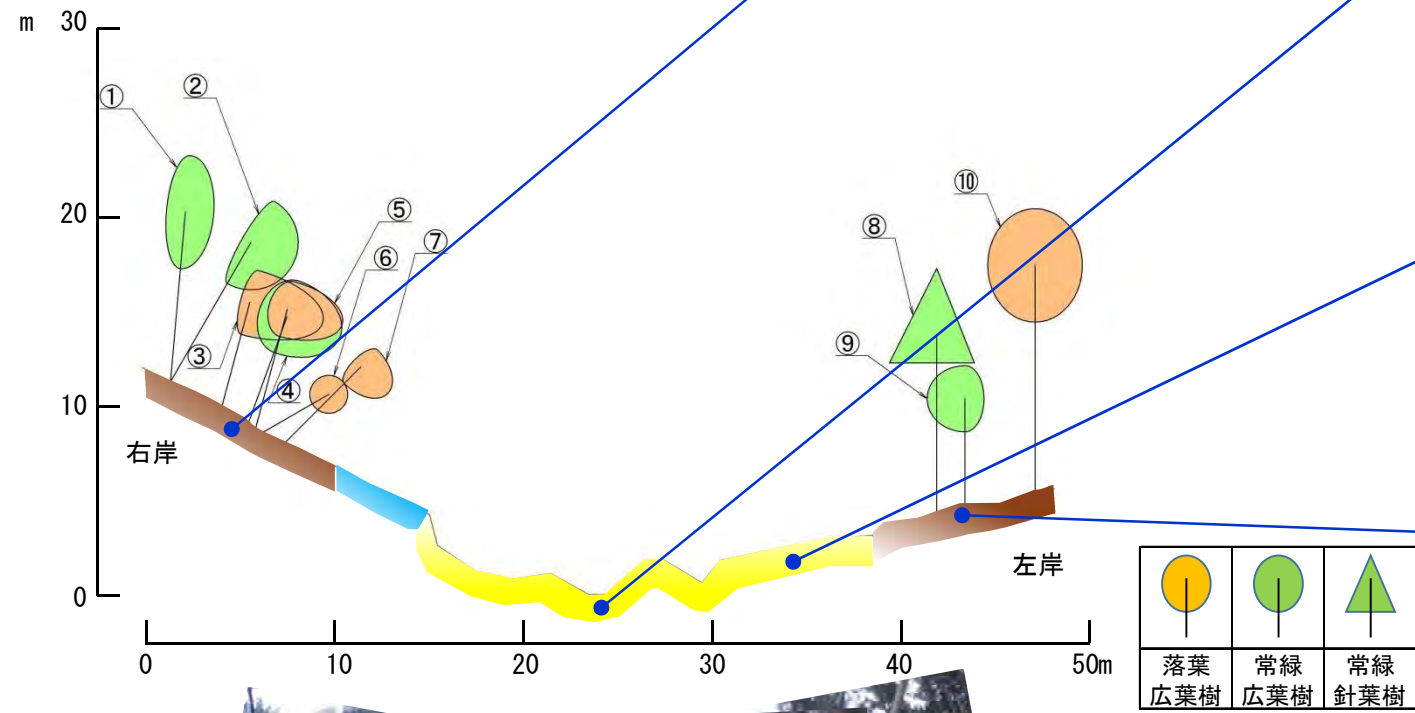
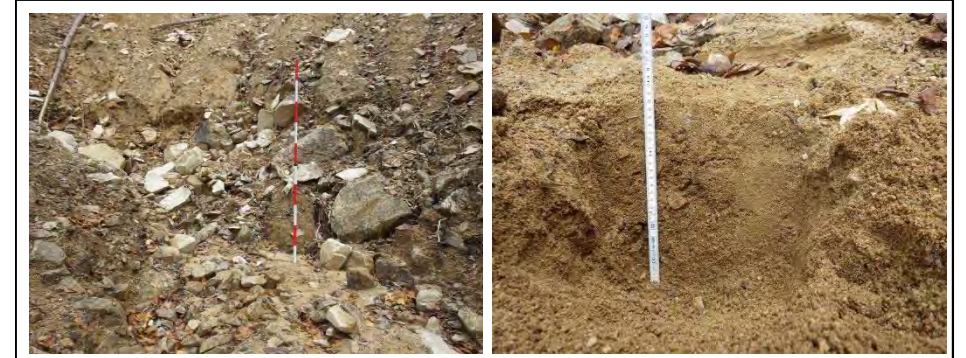
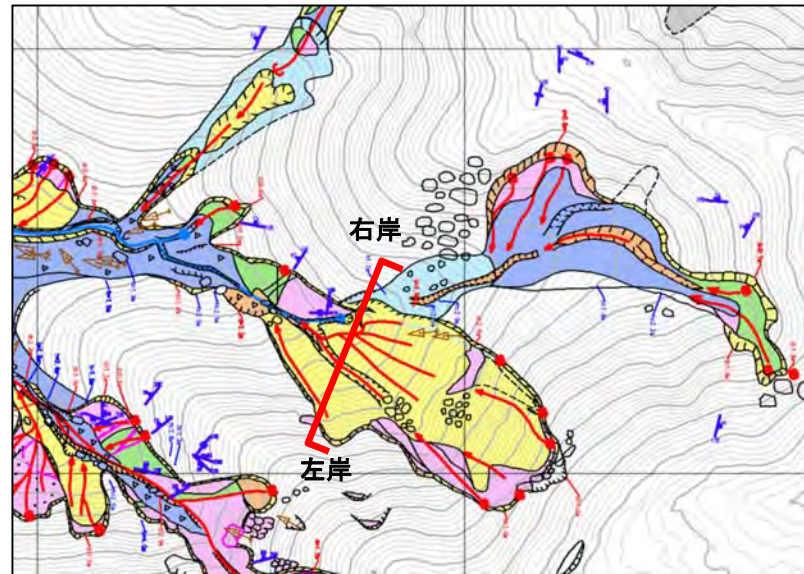


表 6.1.2 土壌硬度等の調査結果 (高松山B)

番号	土壌等の状況	勾配	土壌深	土壌硬度	pH
1	森林土壌 (右岸)	38度	20~60cm 程度	14.2mm	6.27
2	角礫まじりの崩積土(溪床)	20度 (縦断方向)	15~60cm 程度	9.1mm	6.36
3	角礫まじりの崩積土(左岸)	32度 (縦断方向)	20~50cm 程度	13.4mm	6.03
4	森林土壌 (左岸)	15度	30~60cm 程度	7.5mm	6.03

図 6.1.5 崩壊地・土石流流下地の地形植生断面と土壌の状態 (高松山B)

(3) 山腹崩壊地内のカタクレーサイト化した花崗岩

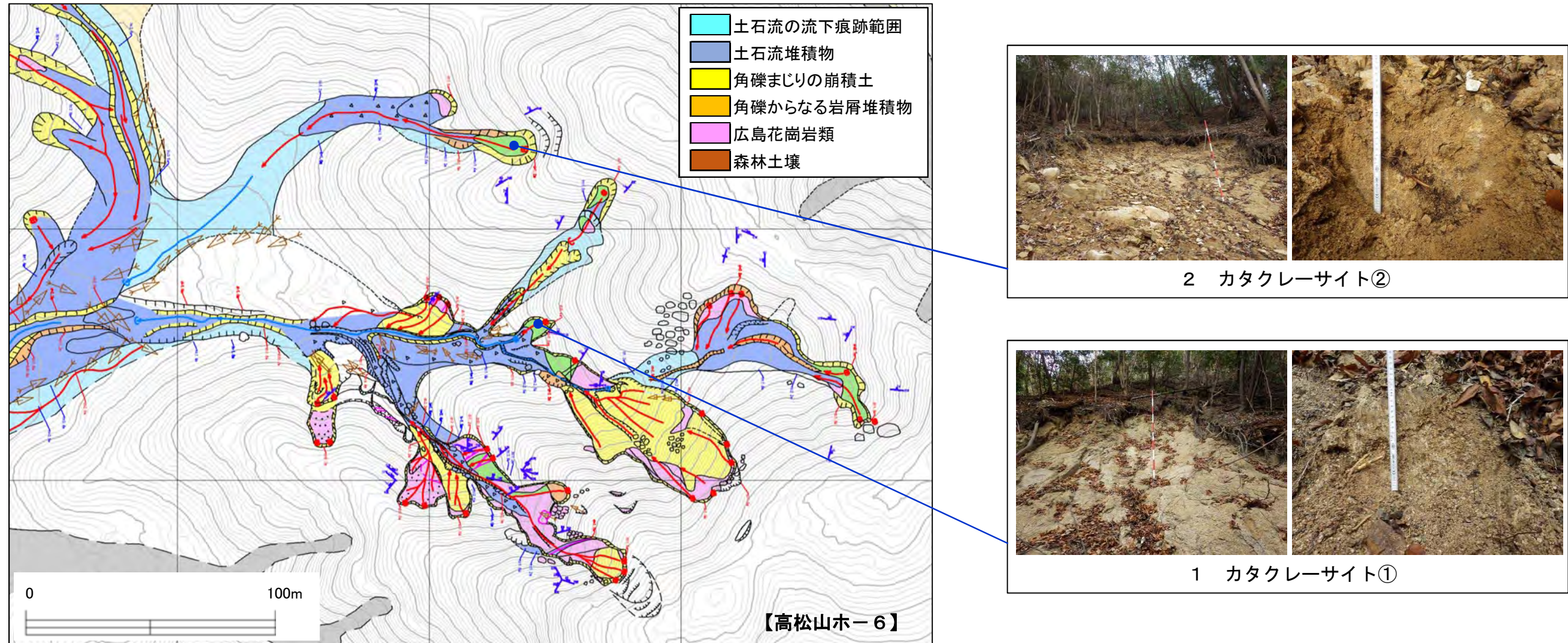


図 6.1.6 崩壊地・土石流流下地の地形植生断面と土壌の状態（カタクレーサイト化した花崗岩）

表 6.1.3 土壌硬度等の調査結果（カタクレーサイト化した花崗岩）

番号	土壌等の状況	勾配	土壌深	土壌硬度	pH
1	カタクレーサイト ①	36度	0cm	22.3mm	6.36
2	カタクレーサイト ②	36度	0cm	14.5mm	6.98

(4) 宇那木山A

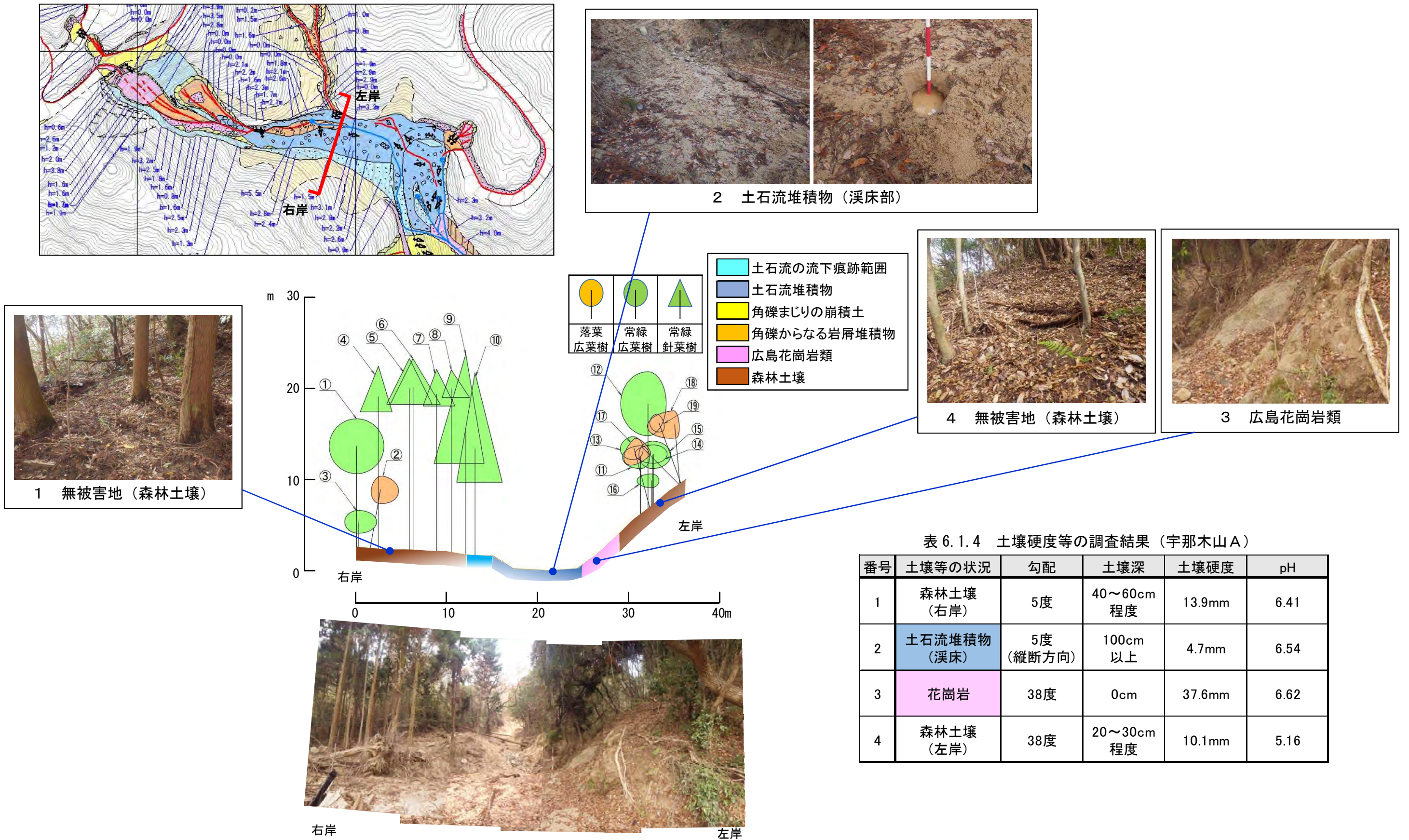


表 6.1.4 土壌硬度等の調査結果 (宇那木山A)

番号	土壌等の状況	勾配	土壌深	土壌硬度	pH
1	森林土壌 (右岸)	5度	40~60cm程度	13.9mm	6.41
2	土石流堆積物 (溪床)	5度 (縦断方向)	100cm以上	4.7mm	6.54
3	花崗岩	38度	0cm	37.6mm	6.62
4	森林土壌 (左岸)	38度	20~30cm程度	10.1mm	5.16

図 6.1.7 崩壊地・土石流流下地の地形植生断面と土壌の状態 (宇那木山A)

(5) 宇那木山B

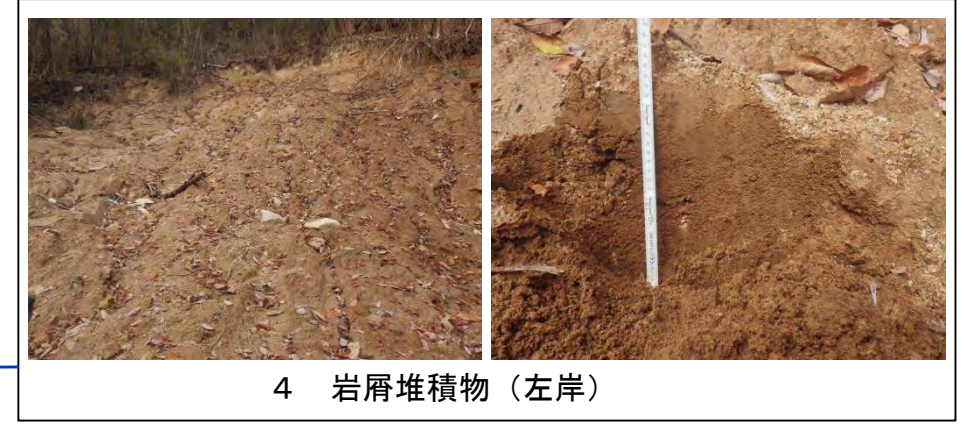
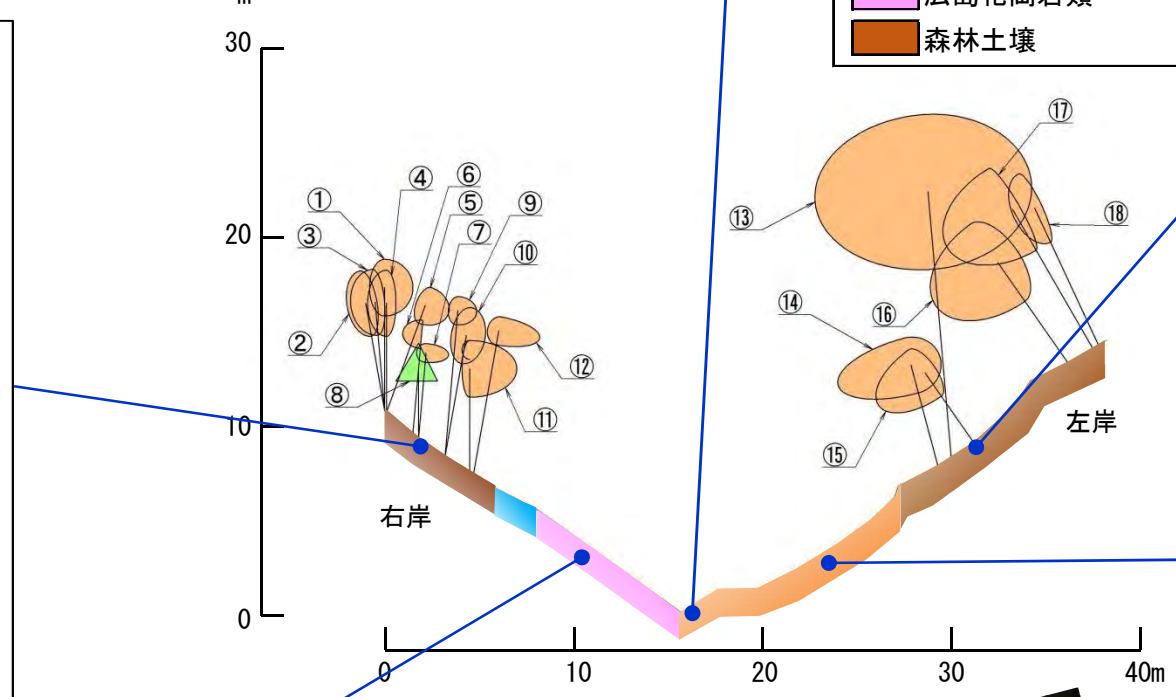
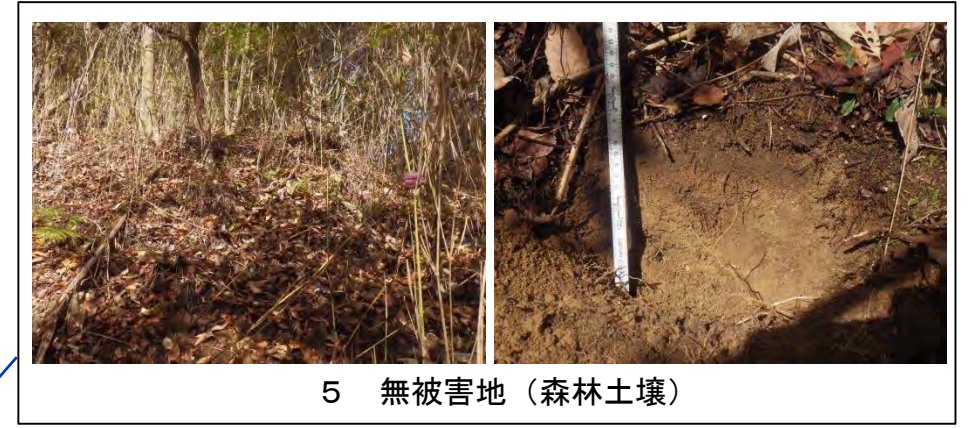
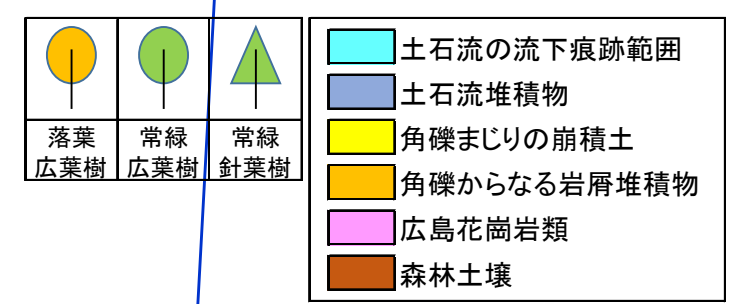
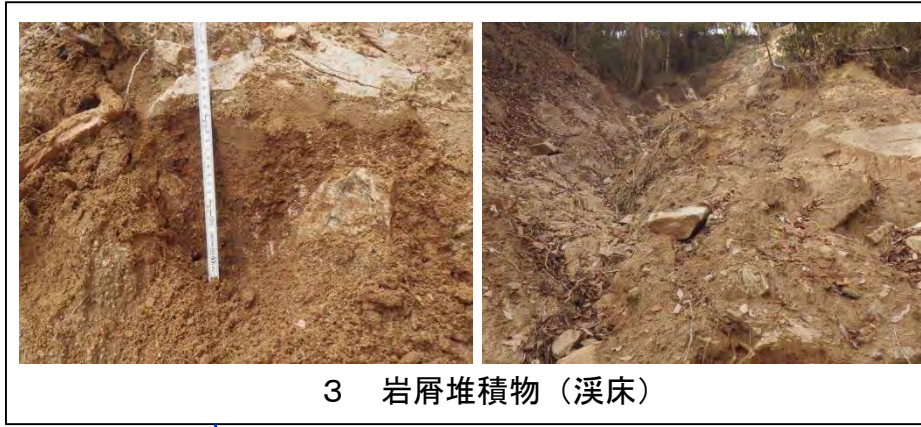
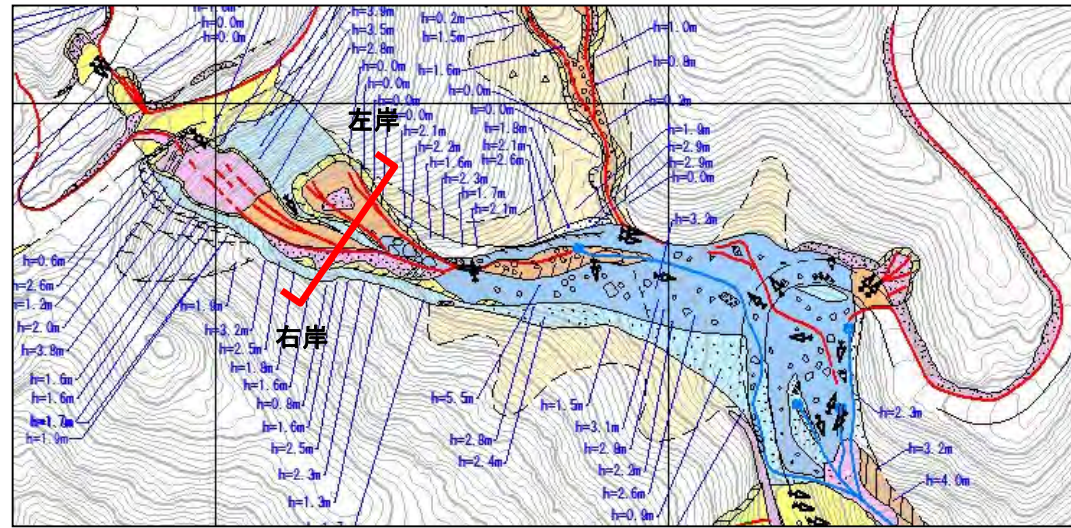


表 6.1.5 土壌硬度等の調査結果 (宇那木山B)

番号	土壌等の状況	勾配	土壌深	土壌硬度	pH
1	森林土壌 (右岸)	33度	30cm 程度	11.4mm	5.95
2	花崗岩	35度	0cm	35.2mm	6.83
3	岩屑堆積物 (溪床)	32度 (縦断方向)	10cm 程度	14.1mm	6.86
4	岩屑堆積物 (左岸)	40度	20~50cm 程度	15.9mm	6.10
5	森林土壌 (左岸)	32度	20~50cm 程度	17.4mm	6.00

図 6.1.8 崩壊地・土石流流下地の地形植生断面と土壌の状態 (宇那木山B)

6.1.3 緑化・植栽工法の選定

(1) 土壌硬度及び土壌酸度からみた緑化・植栽工法の選定

今回の災害においては、土石流規模ならびに発生土砂・流木の抑制といった森林の防災機能が確認された箇所がある。一方で被災箇所等では森林が破壊され裸地化しており、通常の降雨でも、土砂が流出する可能性があることから、それら箇所において、早急に土砂災害防止機能を高度に発揮できる森林造成を図る必要がある。

最も早期に高木林型の樹林の形成が期待できるのは『植栽工と伏工（植生シート、植生マット等）の併用』であるが、山腹崩壊地の基盤条件から植栽工の施工が可能であるかを検討した。

図 6.1.9 及び図 6.1.10 に示すように、山腹崩壊地・土石流流下箇所の主な基盤状態における土壌硬度と土壌酸度の現地調査結果から、花崗岩の岩盤が露出している箇所以外では木本類の植栽工が可能と判定された。

よって、調査対象地における植生工は『植栽工と伏工（植生シート、植生マット等）の併用』を基本とする。

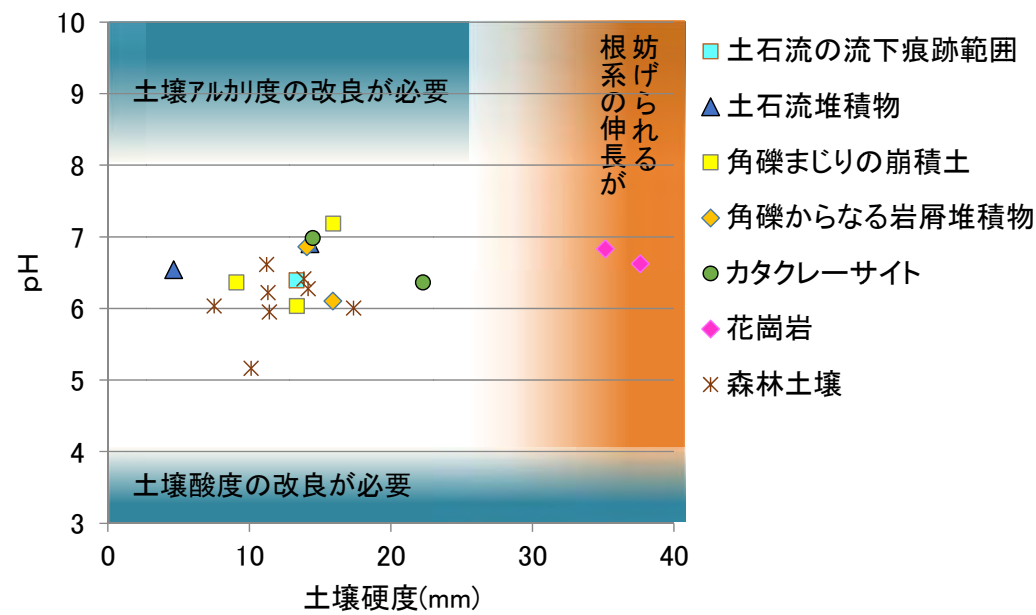


図 6.1.9 崩壊地・土石流流下地の土壌硬度と土壌酸度



写真 6.1.4 カタクレーサイト化した花崗岩内にも伸長した樹木の根系

表 6.1.6 土壌硬度からみた植物生育状態予測

土壌硬度	植物の生育状態
10mm 未満	・乾燥のため、発芽不良となる
砂質土：10～27mm	・根系の伸長は良好となる、樹木の植栽に適する
砂質土：27～30mm	・木本類の一部のものを除いて、根系の伸長が妨げられる
30mm 以上	・根系の伸長はほとんど不可能である
軟岩・硬岩	・岩に亀裂がある場合には、木本類の根系の伸長は不可能である

参考文献：道路土工一切土工・斜面安定工指針 平成 21 年度版(社団法人日本道路協会, 2009)

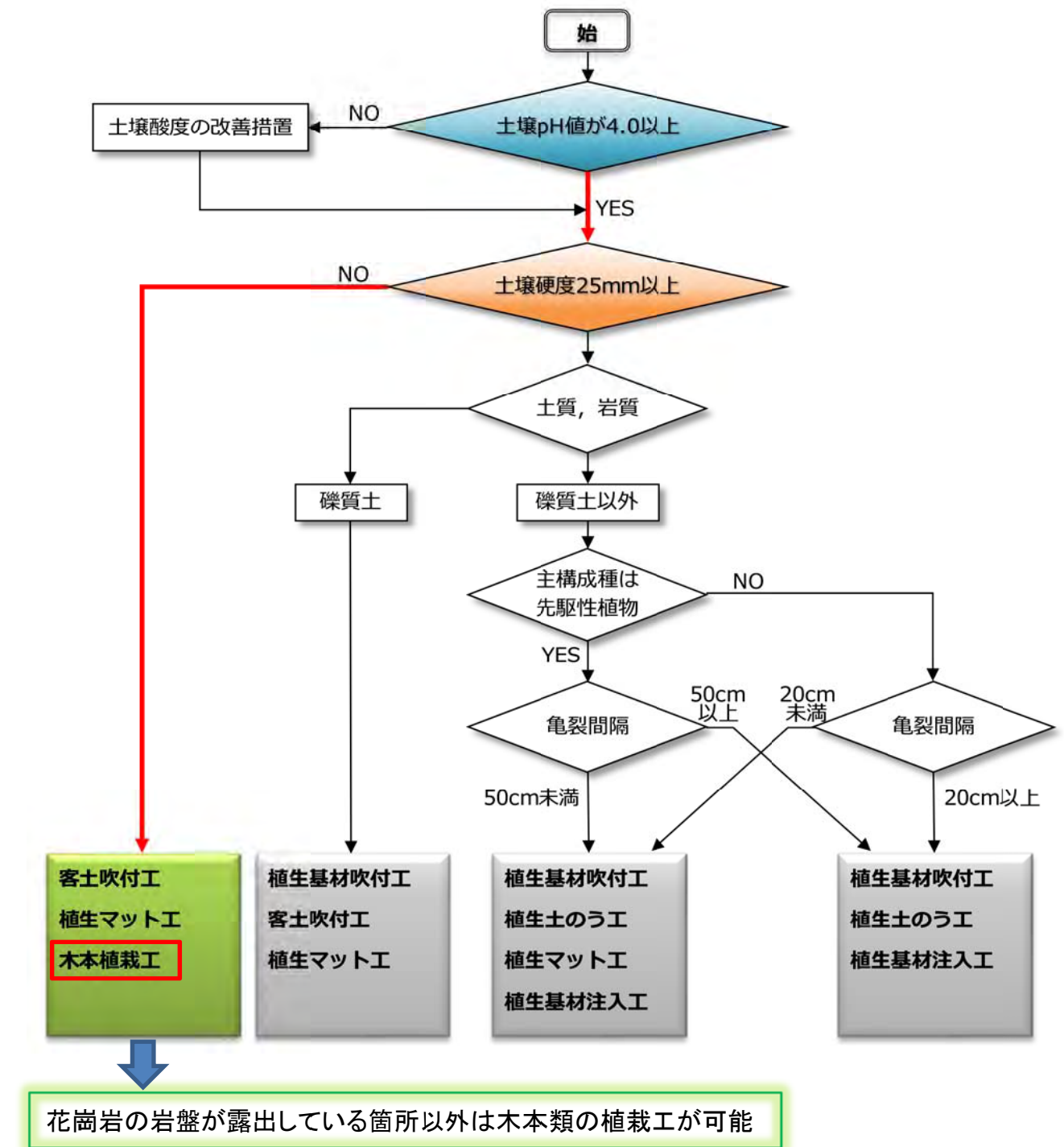
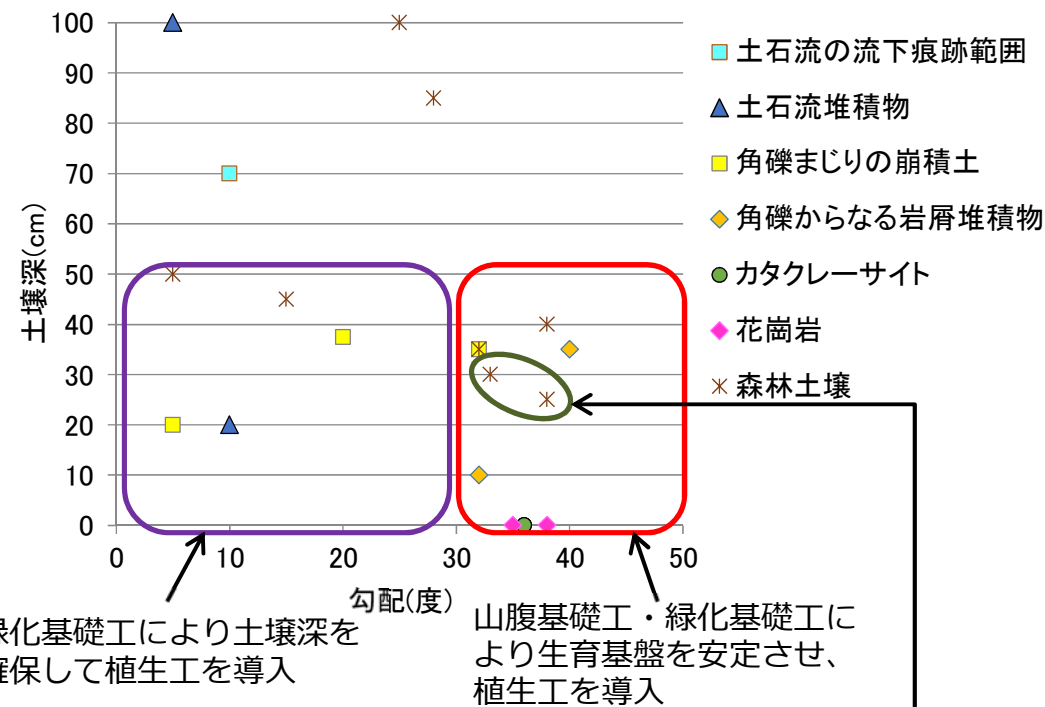


図 6.1.10 崩壊地等の斜面での植生工の選定フロー (道路土工一切土工・斜面安定工指針 平成 21 年度版を基に作成)

(2) 土壌深及び斜面勾配からみた緑化・植栽工法の選定

植栽工による緑化を行う場合は、樹木の基盤として、ある程度の土壌深が必要となる。高木を対象とした根系調査においては、ほとんどの樹木で100cmを超える深さまで根の伸長が確認された。一方、植栽木は樹高1m程度の苗木を植栽するため、それよりも浅い土壌深で生育が可能であること、ならびに、森林造成に伴って土壌が形成されることを期待して、植栽工施工時の生育基盤の土壌深は50cmを目標とする。

図6.1.11に示すように、緑化の施工箇所の土壌深が不足している場合は、柵工、筋工などの緑化基礎工により土壌深を確保した上で、植生工を導入する。さらに、急傾斜では表土の形成や高木性樹種の自立などの面から、植生遷移に委ねては防災機能の高い森林の育成は困難であるため(図6.1.11の下写真)、おおむね30度を超えるような傾斜地では、土留工などの山腹基礎工や緑化基礎工により生育基盤の安定を図った上で、植生工を導入する。



山腹崩壊地の源頭部 (宇那木山)
山腹崩壊地の上部の急傾斜地には、アカマツやタカノツメなどからなる高木林が成立している。その生育基盤は花崗岩の基岩上に薄く堆積した土壌である。土壌の保水力や根系の伸長が十分でないことが予測され、土砂流出抑制機能の低い状態と考えられる。
急傾斜地では山腹基礎工を併用することで、防災機能の高い森林を形成することが必要。

図6.1.11 崩壊地・土石流流下地の土壌深と勾配

(3) 根系調査結果等に基づいた植栽樹種の選定

現地調査結果から、以下の考えに基づき、防災機能の高いと考えられる樹種を植栽木(主林木)として表6.1.7に選定した。さらに、適地適木の考えに基づき、山腹崩壊地の環境条件に応じた求められる防災機能と生育環境に応じた植栽樹種案を図6.1.12に示す。

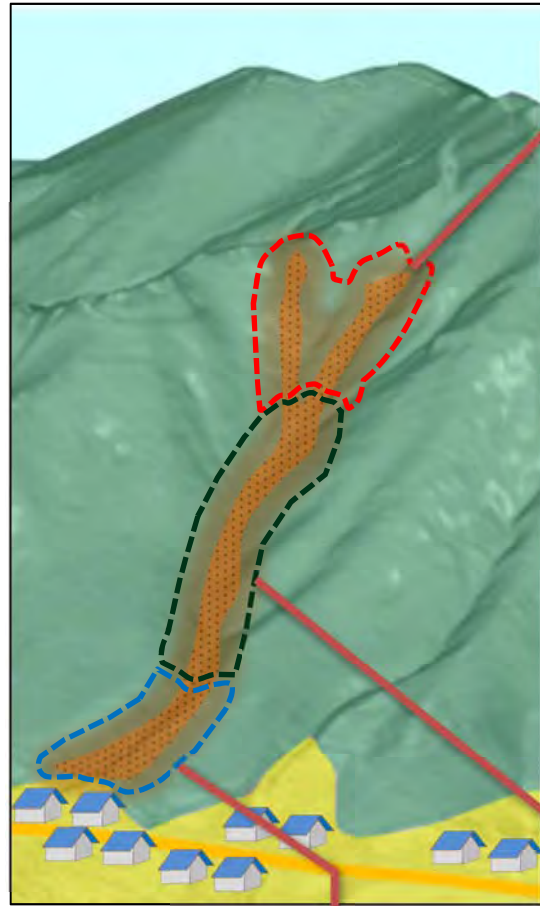
これらのほか、現地に多く生育しているエゴノキ、コシアブラ、リョウブ、ヒサカキなどの低～中木や、肥料木となるオオバヤシャブシやネムノキなども適宜加える。

- 現地の根系調査により、表層崩壊の抑止効果が高いと判断した樹種
- 現地に生育する樹種のうち、文献で根系の支持力が高いとされている樹種
- 土砂や流木を捕捉している事例を現地確認した樹種
- コンテナ苗などの生産がされており、入手が可能な樹種

表6.1.7 植栽樹種 (防災機能の高いと考えられる樹種)

樹種	形態	根系支持力	耐瘦地性	耐乾性	耐湿性	生長	備考
アカマツ	常緑針葉樹	大	◎	◎	×	早い	松くい虫に抵抗性のある広島スーパーマツを用いる
スギ	常緑針葉樹	大	△	△	○	早い	適正な保育管理を行う
ヒノキ	常緑針葉樹	小	○	◎	△	早い	適正な保育管理を行う
ツブラジイ	常緑広葉樹	大	△	○	○	普通	
クヌギ	落葉広葉樹	極大	△	○	○	早い	
アラカシ	常緑広葉樹	大	△	○	△	普通	
コナラ	落葉広葉樹	大	○	◎	○	普通	
アベマキ	落葉広葉樹	極大	○	○	○	早い	
エノキ	落葉広葉樹	大	○	○	○	普通	
ケヤキ	落葉広葉樹	大	△	△	○	普通	

◎：強い ○：やや強い △：やや弱い ×：弱い
根系支持力の参考文献：樹木根系図説(荻住昇, 1987, 誠文堂新光社)
耐性・生長の参考文献：自然をつくる植物ガイド((財)林業土木コンサルタンツ, 1993)
広葉樹は(社)日本植木協会 平成26年度供給可能量調査(<http://www.ueki.or.jp/kyokyu/index.html>)において中国・四国地方でコンテナ苗の供給可能な樹種を選定



【領域】 尾根部～土石流発生域の崩壊源

【求められる森林の機能】

■根系が発達し、土壌緊縛力の大きな森林

根系が発達することにより斜面の補強強度が増し、表層での崩壊を抑制する

■樹冠が適度にうっ閉し、下層植生や落葉層・森林土壌が発達した森林

雨滴の衝撃や地表流を緩和し、表面侵食を抑制するとともに、土壌の保水力を高めることで、土砂流出を抑制する

【生育環境条件】

尾根部：乾燥、痩せ地

0次谷：急傾斜、湿潤

【適地適木による植栽樹種】

尾根部：アカマツ、コナラなどの防災機能の高いと考えられる樹種

0次谷：コナラ、アベマキ、エノキ、スギなどの防災機能の高いと考えられる樹種

【今回の災害での災害防止機能の発揮事例】



斜面の表層が、せん断されているが樹木根系の土壌補強作用により斜面全体が滑落せず保持されている。



大量の地表流が流下したが、洗掘を抑制し、流出土砂量の低減と土石流の規模の拡大防止に寄与したと考えられる。

【領域】 斜面下部・堆積域

【求められる森林の機能】

■根系が発達し、樹幹の支持力が大きな森林

根系が発達することにより樹木が倒伏しにくくなり、さらに樹木の直径が大きくなることで、崩壊土砂や土石流の流下を抑制する

【生育環境条件】

斜面下部：湿潤、肥沃、土砂移動（攪乱）

【適地適木による植栽樹種】

斜面下部：ケヤキ、エノキ、クヌギ、スギなどの防災機能の高いと考えられる樹種

【今回の災害での災害防止機能の発揮事例】



ケヤキの大径木の上流面で流木が集積している状況も確認され、流木の衝撃力や流下距離に対する減衰効果があったと考えられる。

【領域】 山腹斜面・土石流移送域

【求められる森林の機能】

■根系が発達し、樹幹の支持力が大きな森林

根系が発達することにより樹木が倒伏しにくくなり、さらに樹木の直径が大きくなることで、崩壊土砂や土石流の流下を抑制する

■樹冠が適度にうっ閉し、下層植生や落葉層・森林土壌が発達した森林

雨滴の衝撃や地表流を緩和し、表面侵食を抑制するとともに、土壌の保水力を高めることで、土砂流出を抑制する

【生育環境条件】

山腹斜面：急傾斜、土砂移動（匍行土）

凹状地：湿潤、土砂移動（攪乱）

【適地適木による植栽樹種】

山腹斜面：ヒノキ、ツブラジイ、クヌギ、アラカシ、アベマキなどの防災機能の高いと考えられる樹種

凹状地：ケヤキ、エノキ、スギなどの防災機能の高いと考えられる樹種

【今回の災害での災害防止機能の発揮事例】



立木あるいは捕捉された流木により、流下する土砂を大量に捕捉している。



図 6.1.12 山腹崩壊地内の生育条件・防災機能に応じた植栽樹種案

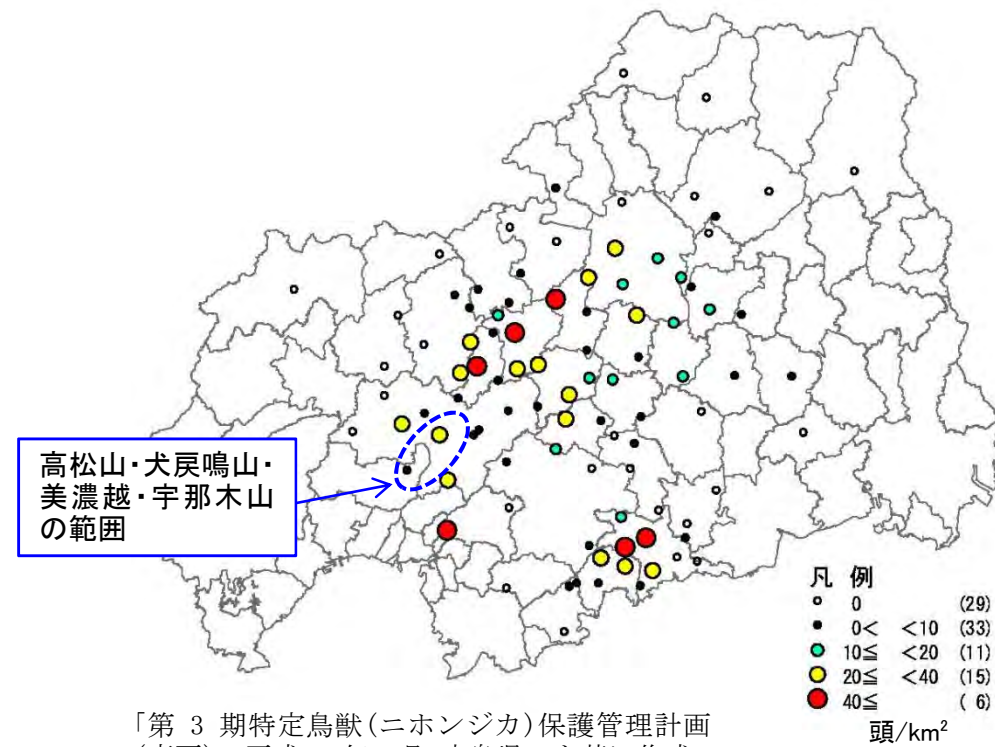
6.2 植栽木等の保育管理方針

6.2.1 植栽木の保護管理が必要な要因

調査対象地周辺では、シカを目撃や糞・足跡などの痕跡が多く見られた（写真6.2.1、写真6.2.2）。広島県の調査（図6.2.1）によると、調査対象地周辺のシカの密度は29.6頭/km²と高密度な状態である。

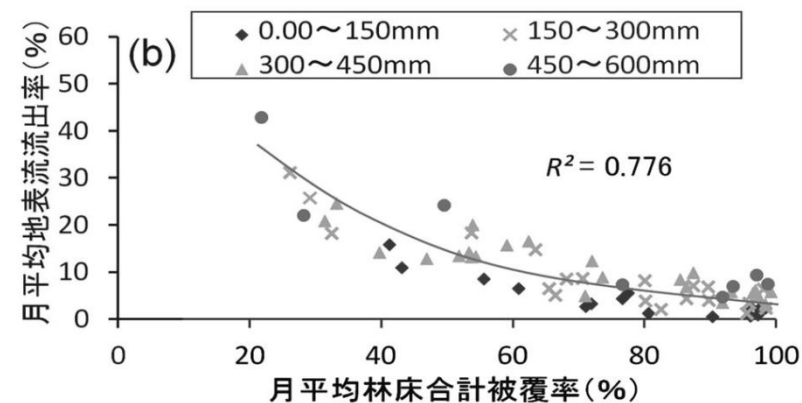
シカの生息数・密度が高いため、調査対象地周辺の森林の林床はシカ食害により、地表の被覆率が低下した範囲や、シカの不嗜好性植物のみの生育範囲が広くみられ、通常の降雨でも土壌侵食が進行しているものと考えられる（図6.2.2、写真6.2.3、写真6.2.4）。

このような状況の中で、山腹緑化工による植栽木がシカ食害により枯死する可能性は高く、シカによる被害を防止することは山腹緑化工による森林造成の成否に大きく影響することから、植栽木の保育管理方針を策定する。



「第3期特定鳥獣（ニホンジカ）保護管理計画（変更），平成25年3月，広島県」を基に作成

図6.2.1 広島県内のシカの密度調査結果（平成24年度）



引用：海虎・石川ほか，日本森林学会誌 94(4)，2012

図6.2.2 林床合計被覆率と地表流出率の関係，降雨量階級毎



写真6.2.1 住宅地に出現したシカ
森林や山地部のみでなく、可部地区の住宅でも頻繁にシカが目撃される。



写真6.2.2 坑道内のシカの死体
災害後間もない時期に、坑道内で2頭の死体を確認した。このような状態で死亡する確率は低いと考えられることから、個体数密度が高いことを示唆している。



写真6.2.3 シカによる食害状況
下層植物はシカが好まない植物のみとなり、低木はシカの届く高さまで枝葉がきれいに食べられた状態。手前右の樹木は食害により剥皮している。



写真6.2.4 シカによる食害状況
立木密度は比較的疎な状態だが、林床植生は皆無で、表層土壌の流亡が危惧される。

6.2.2 植栽木の保護対策

シカ食害の対策としては、「個体数調整」「被害の防除」「生息環境管理」の3つを総合的に推進することが重要であるが、ここでは、短期的かつ治山事業者単独でも実施可能な「被害の防除」による対策方法を検討する。

植栽木に対するシカ食害の被害防除方法の一覧を表6.2.1に整理した。

表 6.2.1 植栽木に対するシカ食害被害の防除方法

対策方法	侵入防護柵（広域柵）	侵入防護柵（小規模柵）	忌避剤	ツリーシェルター
写真・図	 <p>出典：鳥獣被害対策.com (http://www.choujuhigai.com/)</p>	 <p>出典：鳥獣被害対策.com (http://www.choujuhigai.com/)</p>	 <p>出典：「コニファー水和剤」大同商事株式会社パンフレット</p>	 <p>出典：ツリーシェルター総合情報サイト (http://www.hexatube.jp/index.html)</p>
	 <p>出典：鳥獣被害対策.com (http://www.choujuhigai.com/)</p>	 <p>出典：森林における鳥獣被害対策のためのガイド, 林野庁</p>		
特徴	シカ食害の防御として最も安定した効果が得られ、比較的費用も抑えられる方法。柵の材料強度や接地部での補強、ウサギ柵との重複など様々な選択肢がある。大きな面積を一斉に守れる利点がある。	0.01~0.02haの小区画の柵を複数カ所張る方法。材料強度や高さが不十分でも、シカは視覚的に狭い柵の中への侵入を警戒する傾向にあるので、小区画のシカ柵は効果的である。	味覚刺激による食欲減退等の効果がある薬液を樹木へ塗布することで、食害を抑制する。初期の被害段階では有効。	新植地の苗木を個体ごとに守る方法で、ツリーシェルターの高さが十分で、丈夫であれば効果が大きい工法。
課題	0.5ha以上の大きな新植地では、長い延長の柵が必要。倒木など、何らかの原因で一部に穴が開けば、そこからシカが入りこんで、シカ柵内が放牧状態になるという大きな欠陥があるため、維持管理費や設置費がかかる。	モザイク状に配置しなければならないので、柵の外ではシカの食害を守れない。	シカの密度が高まるにつれ、効果は低くなる。降雨等により効果が薄れるため、定期的に再塗布が必要。	シカの口が届かない高さがないと、上部が食害を受ける。苗木以外の下層植生は守れない。風衝地や雪の多い斜面では、外圧で倒れることがある。人手・材料費等のコストが高く、林地の風景を壊すことも問題。

「森林における鳥獣被害対策のためのガイド, 林野庁森林保護対策室, H24.3」を基に作成

現在、調査対象地周辺の森林は、全体的にシカの食害の影響を受けている状態であることから、植栽工を行う新植地においては表 6.2.2 に示すように、忌避剤やツリーシェルター、侵入防護柵などの対策により植栽木を保護することを基本とする。

特に、シカに密度が高く、下層植生の被害が顕著な箇所では、防護柵を施工することで、自然侵入した下層植生の生育も保護されることから、地表の被覆率の回復や土壌侵食の低減などの効果も期待される。

表 6.2.2 森林被害度に応じたシカ対策例

診断	被害程度		被害度1	被害度2	被害度3	被害度4
	内容		若干の影響に留まる	一部の 小班の点在、 全体的に 影響少ない	森林全体に 影響	森林全体に 激しい影響
対策	捕獲	個体数調整 (特定計画)	特定計画に基 づく必要な捕 獲範囲の実施	全体の頭数の 抑制	植生の再生に向けて、短期間 に思い切って頭数を減少	
		小班での捕獲		季節的に高密度 になりやすく、影響が出 始めた場所での捕獲を優先	施業の実施(間伐・新植)に 併せた捕獲の実行	
	忌避剤	優良木のみ	効果あり	効果あり	効果なし	効果なし
	テープ	優良木のみ	—	優先小班で 実行	効果部分的	効果なし
	柵	人工林 施業優先地 (林道沿い・新植)	—	上記 テープ巻きで 対応	新植地等においては、 柵の設置が不可欠	
		天然林等 保護林	—	—	生物多様性維持に必要な植生 は保護のため柵で囲んで回復 させる。その場合、小規模の 柵(バッチディフェンス)の方 がリスクが小	

 : 現在の調査対象地周辺の状況

被害度2の目安：下層植生は不嗜好性植物がやや優占
土砂流出は少ない

採食ラインは明確に出ていない

被害度3の目安：下層植生は不嗜好性植物のみ

表面侵食による土砂流出

採食ラインは森林内にくっきり

「森林における鳥獣被害対策のためのガイド, 林野庁森林保護対策室, H24.3」を基に作成

【植栽木等の保育管理方針案】

- 植栽工を行う箇所では、シカの食害から苗木を保護するため、忌避剤やツリーシェルター、侵入防護柵などの対策を行うことを基本とする。
- 山腹緑化工施工箇所のシカ生息密度・植生被害の状況や、施工面積、地形等に応じて、維持管理も考慮した上で、防除方法を選択する。
- 土砂流出防備のため下層植生も回復、保護する必要がある箇所では、侵入防護柵を積極的に導入する。

7. 荒廃地の復旧に向けた治山施設計画

7.1 国有林の治山施設計画

5.1 章治山ダム工の計画方針及び5.2 章山腹工の計画方針に基づき、各対象箇所の荒廃地復旧に向けた施設計画図及び代表的な計画箇所写真を以下に示す。



写真① 高松山ヶ-3 治山ダム工計画箇所



写真② 高松山ヶ-4 治山ダム工計画箇所



写真③ 高松山林-6-2 山腹工Ⅱ型計画箇所



写真④ 高松山林-6-1 山腹工Ⅰ型計画箇所



写真⑤ 高松山林-6-2 山腹工Ⅱ型計画箇所



写真⑥ 高松山林-7 山腹工Ⅲ型計画箇所

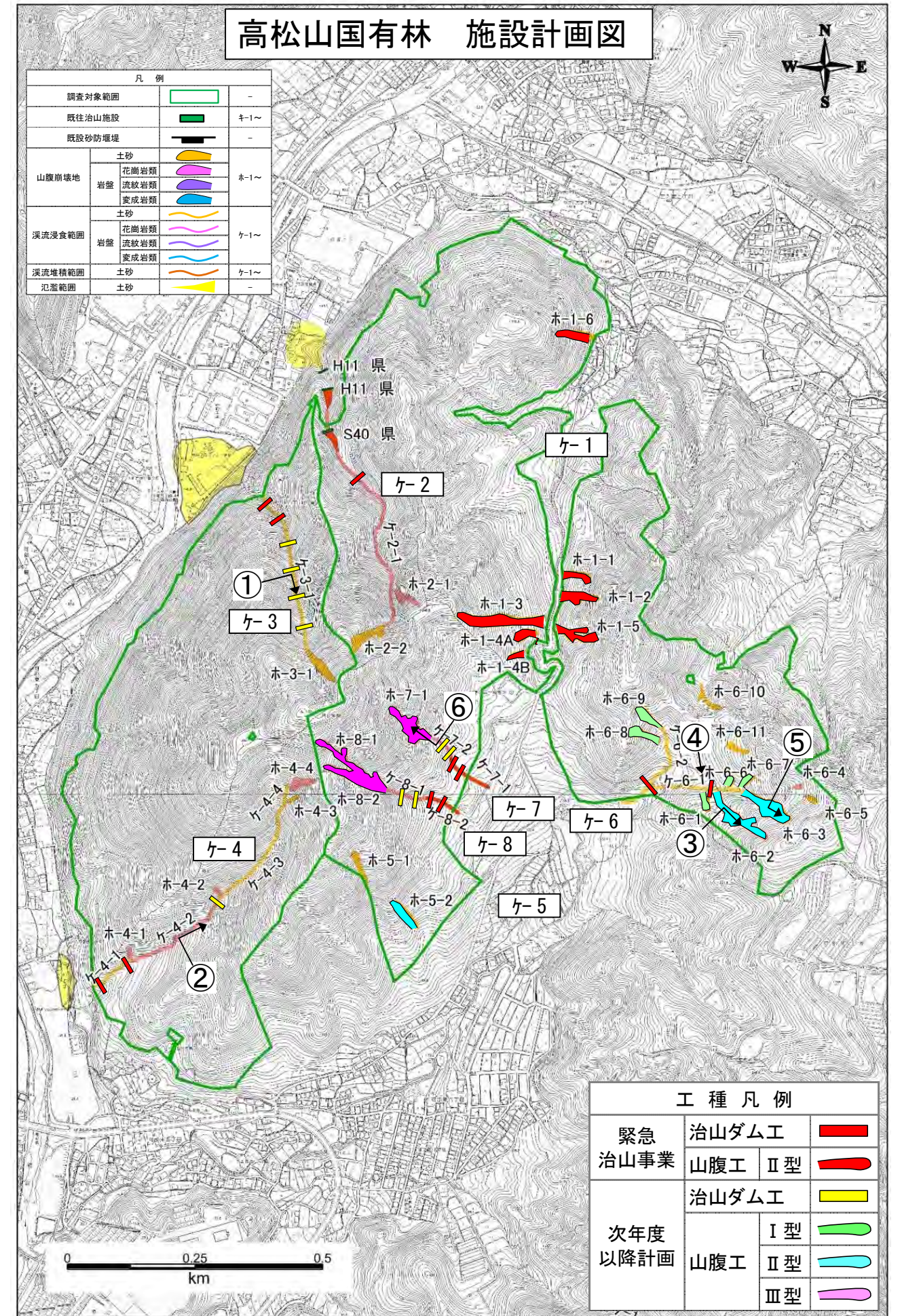


図 7.1.1 高松山国有林 施設計画図

7.2 民有林による治山施設計画

5.1 章治山ダム工の計画方針及び 5.2 章山腹工の計画方針に基づき、各対象箇所への荒廃地復旧に向けた緊急治山事業による施設計画図及び代表的な計画箇所写真を以下に示す。



写真① 東山ケ-4 治山ダム工計画箇所



写真② 登龍ケ-5 治山ダム工計画箇所



写真③ 登龍ケ-1 治山ダム工計画箇所



写真④ 東山林-1 山腹工 I 型計画箇所



写真⑤ 東山林-4 山腹工 I 型計画箇所



写真⑥ 東山林-5 山腹工 I 型計画箇所

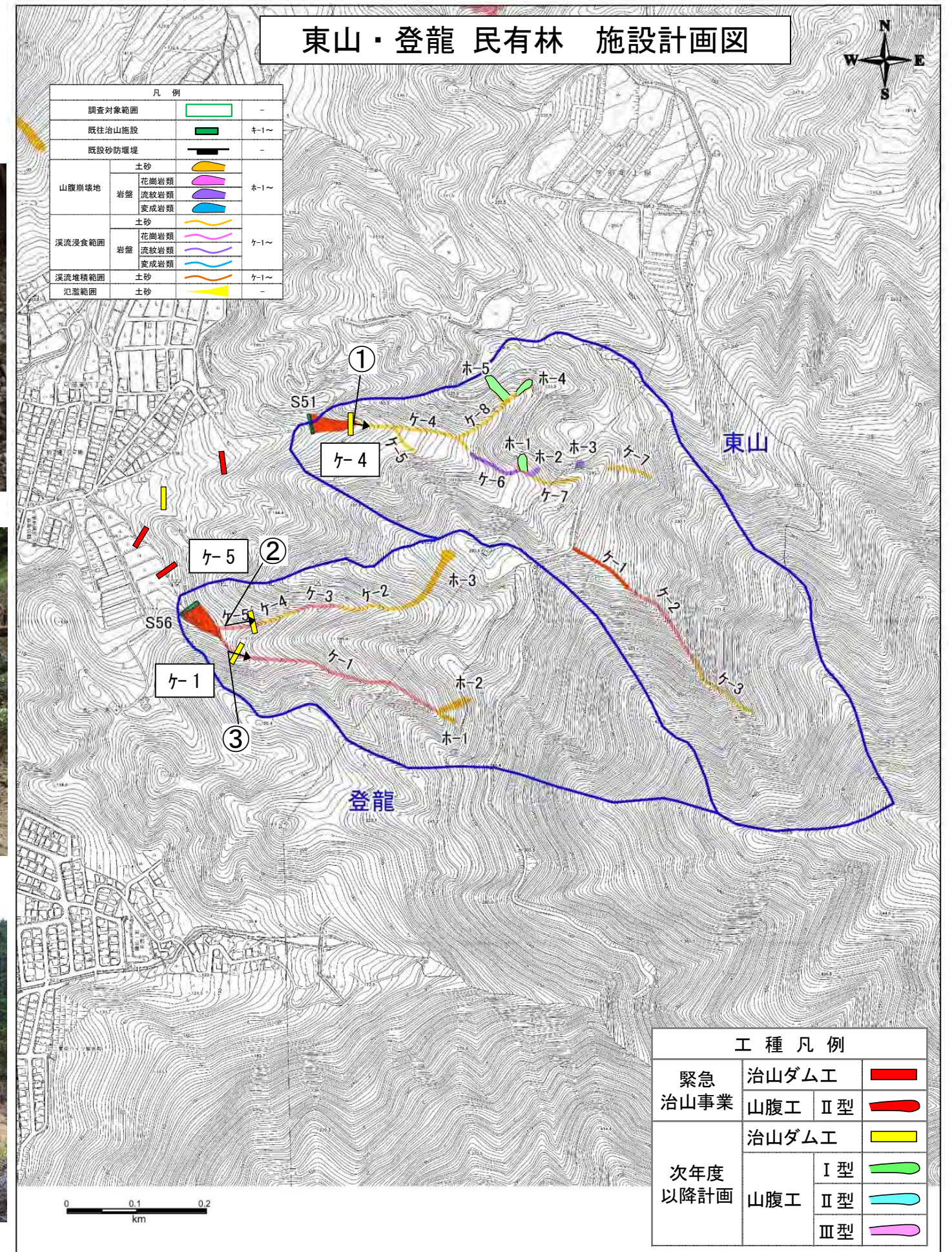


図 7.2.1 東山・登龍施設計画図