

8月19日からの大雨による広島市における
山地災害対策検討会 検討結果とりまとめ
～災害に強い森林づくりに向けた治山事業による方策の検討～

| | |
|-------------------------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 山地災害の発生機構について | 3 |
| 3. 治山施設の効果について | 8 |
| 4. 森林の効果について | 9 |
| 5. 今後の治山事業による整備の考え方について | 11 |

平成27年2月10日
近畿中国森林管理局・広島県

1. はじめに

1.1 検討会の目的

8月19日からの大雨により広島市を中心に山腹崩壊や土石流が発生し、死者74名という激甚な被害が生じたところである。

このため、近畿中国森林管理局並びに広島県は、8月19日からの大雨により広島市を中心に発生した災害の治山事業による本格的な復旧対策や計画の策定及び災害に強い森林づくりに向けた方策の検討を行うことを目的として、学識経験者及び行政機関から成る委員会を設置し、3回にわたる検討を行った。

1.2 検討会委員の構成

検討会の構成は以下のとおりである。

<<検討会委員>>

| | |
|-------|--------------------------|
| 石川 芳治 | 東京農工大学共生科学技術研究部教授 |
| 海堀 正博 | 広島大学大学院総合科学研究科教授（座長） |
| 大丸 裕武 | （独）森林総合研究所水土保全領域山地災害研究室長 |
| 松浦 純生 | 京都大学防災研究所地盤災害研究部門教授 |
| 木下 仁 | 広島県農林水産局林業振興部長 |
| 飯田 喜章 | 近畿中国森林管理局計画保全部長 |

<<オブザーバー>>

| | |
|--------|-----------------------|
| 岡田 康彦 | 森林総合研究所 水土保全研究領域 チーム長 |
| 出来谷 規人 | 広島県土木局 砂防課長 |
| 宇都宮 斉 | 広島市経済観光局農林水産部 農林整備課長 |
| 川口 大二 | 林野庁森林整備部治山課 課長補佐 |
| 大野 泰宏 | 林野庁森林整備部治山課 治山対策官 |

1.3 第1回～3回検討会の概要

(1) 第1回検討会

①開催日時等

日時：平成26年11月18日（火） 14時00分～16時00分

場所：ひろしま国際ホテル

②議事

1. 山地災害の概要について
2. 山地災害の発生機構について
3. 山地災害における治山施設及び森林の効果について
4. 今後の整備方針（素案）について
5. その他

(2) 第2回検討会（現地検討会）

①開催日時等

日時：平成26年12月4日（木）14時10分～平成26年12月5日（金）14時20分迄

場所：広島市安佐北区可部高松山国有林、犬戻鳴山国有林、美濃越等

(3) 第3回検討会

①開催日時等

日時：平成26年12月25日（木） 13時30分～15時30分

場所：ひろしま国際ホテル

②議事

1. 山地災害の発生機構について
2. 山地災害防止のための施設整備の考え方について
3. 荒廃地の復旧に向けた治山施設計画について
4. 今後の治山事業による整備方針について
5. その他

第1～3回検討会の資料及び委員からの意見については、次のURLで公開している。

http://www.rinya.maff.go.jp/kinki/tisan/hirosima_saigai/committee.html

1.4 調査対象箇所及び被災状況

図1.1に検討会の対象である調査箇所と被災状況写真を示す。また、各調査地土砂流出及び被害（人的被害、建物・道路等への被害）の有無は表1.1のとおりである。

表 1.1 各調査箇所の被害状況

| 所管 | 国 | 国 | 国 | 国 | 国 | 国 | 国 | 国 | 国 | 国 | 県 | 県 | 国 | 国 | 県 | 県 | 県 | 国 |
|------|------|----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|------|-----|----|----|----|-----|---|
| 地区名 | 袖木山 | 新山 | 高峠山 | 黒谷山 | 影浦山 | 鳥越山 | 新庄山 | 小堀山 | 武田山 | 宇那木山 | 美濃越 | 犬戻鳴山 | 高松山 | 登龍 | 東山 | 寺側 | 押手山 | |
| 土砂流出 | × | × | × | × | ○ | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 被害 | × | × | × | × | × | × | ○ | × | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | |
| 地質区分 | 花崗岩類 | | | 堆積岩類 | | | 流紋岩類 | | | | | | | | | | | |

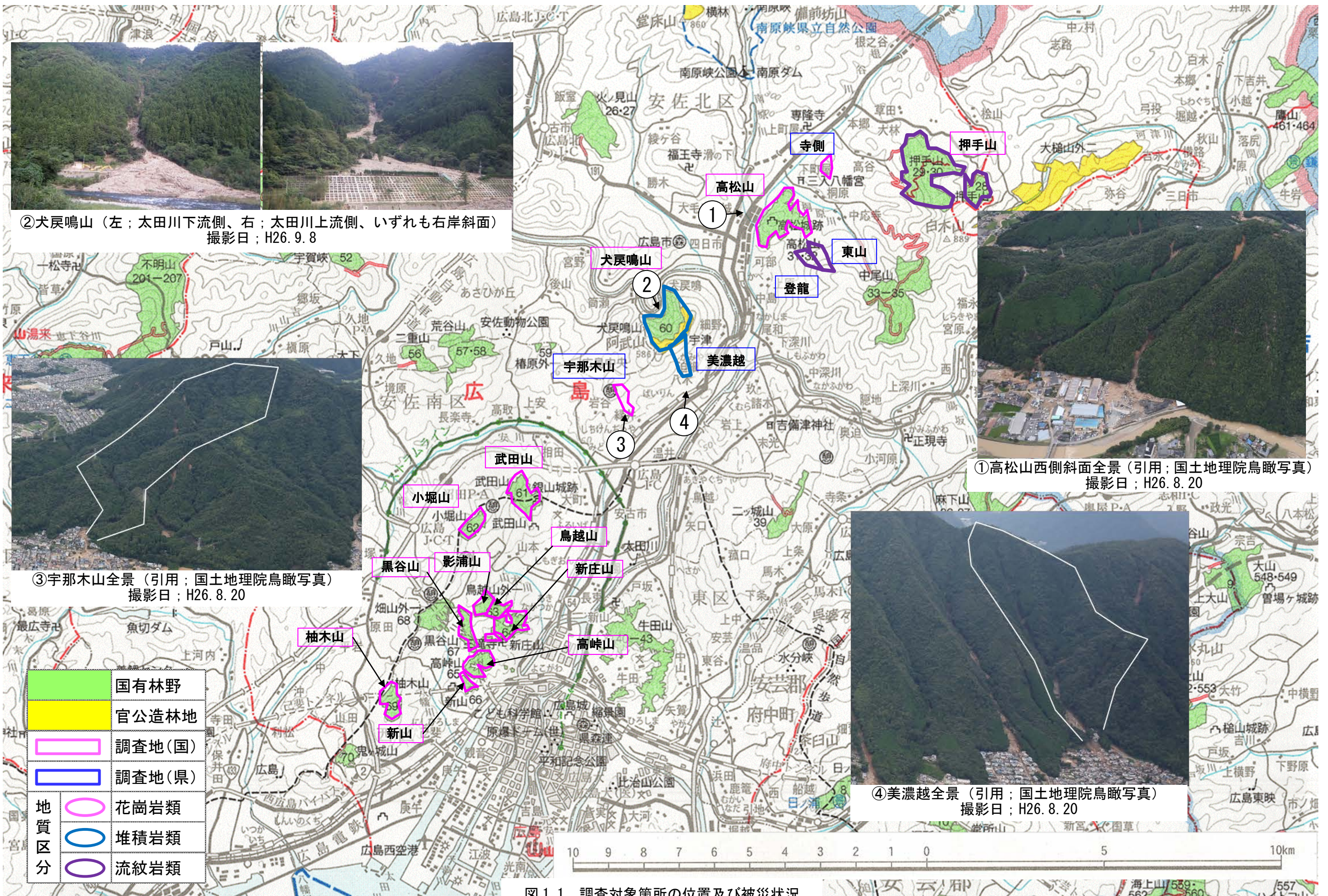


図 1.1 調査対象箇所的位置及び被災状況

2. 山地災害の発生機構について

2.1 荒廃の誘因（三次元浸透流解析結果）

広島土砂災害における崩壊及び土砂流出現象は、最大時間雨量 101mm/h、連続雨量 257mm（気象庁三入）のような降雨を誘因としている。今回の災害では先行降雨がほとんどない中で、豪雨が短時間に集中したことにより、被害が拡大した。

短時間豪雨による土石流発生時の飽和度、地下水位、地表流、湧水等の崩壊に係る水理現象を再現することを目的として三次元浸透流解析を行った。その解析結果を用いて、土石流発生機構（高強度の降雨が、流域にどのような水理現象をもたらし、どのような斜面部位を発生源とする崩壊が発生したか）を検討する。

また、今回の災害と比較すると少ない時間雨量（先行降雨あり）で災害に至った平成 11 年（1999 年）6 月の広島市・呉市の土石流災害時の降雨条件、先行降雨があり、その後今回同様の短時間豪雨を記録した平成 22 年（2010 年）庄原市豪雨災害時の降雨条件を用いて、同解析を行い、雨の降り方により山腹斜面に生じる水理現象の比較を行った。

(1) 解析手法・モデルおよび条件

① 三次元浸透流解析手法

数値解析手法としては、統合型水循環シミュレーションシステム（GETFLOWS；図 2.1.1 参照）を用いた。

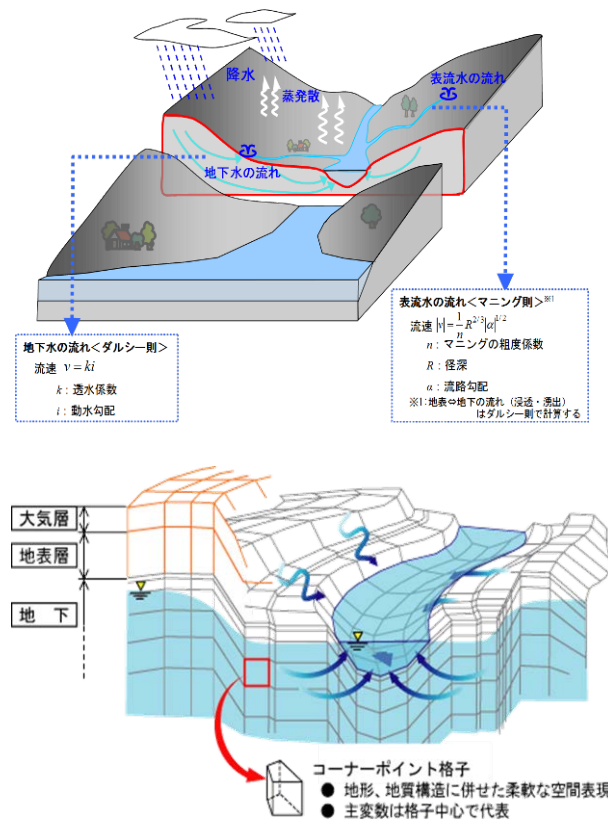


図 2.1.1 統合型水循環シミュレーションシステム（GETFLOWS）の計算原理とモデルの概念

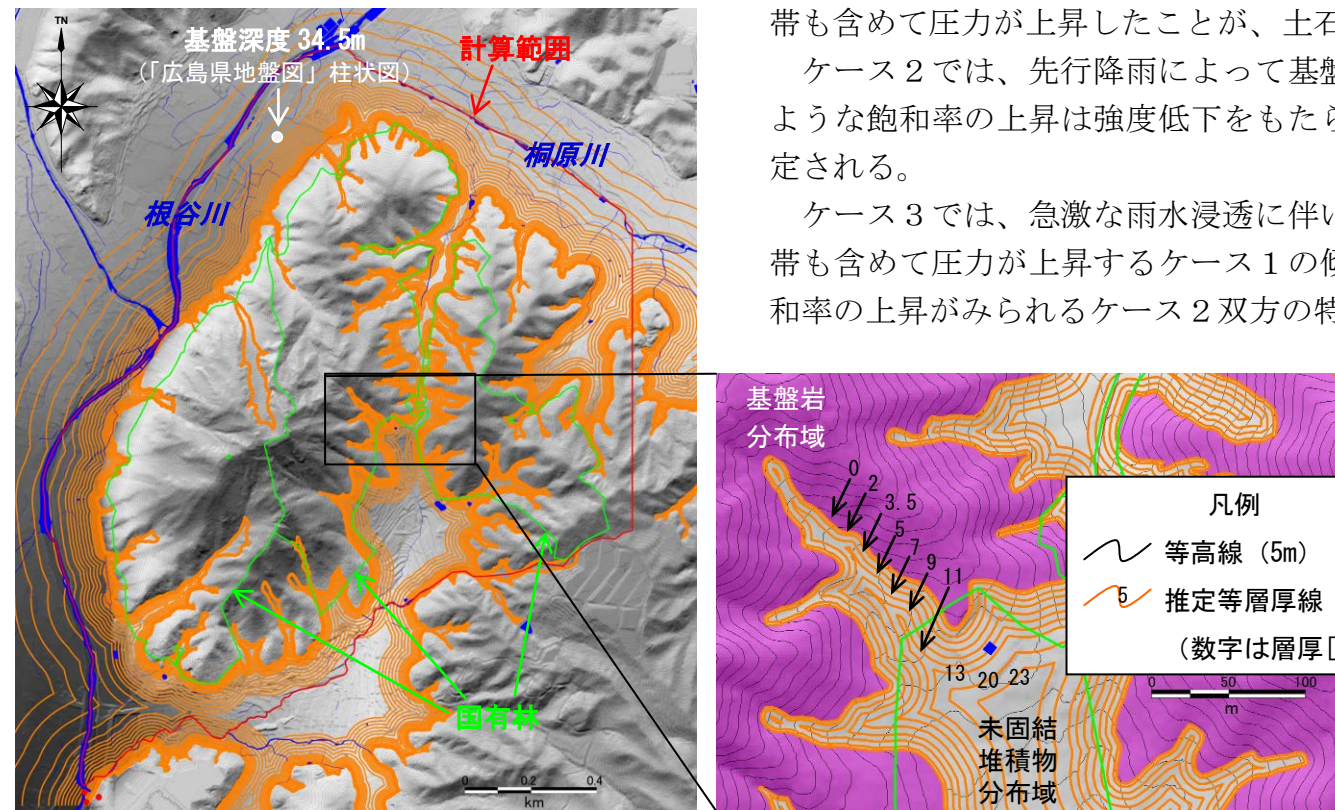


図 2.1.2 三次元地盤モデルの作成（未固結堆積物の等層厚線図）

② 三次元地盤モデルの作成

三次元地盤モデルは、以下の要領で作成した。

地盤モデルの作成範囲：高松山国有林を含み、桐原川（北辺）・根谷川（西辺）・根谷川支流（南辺）で囲まれる領域とした。

地形：土砂災害以前のレーザープロファイラ地形データ（国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所、平成 21 年度）を用いて地形面を三次元化した。

地質：現地踏査および地形判読により、基盤岩を被覆する未固結堆積物（崖錐堆積物、沖積層）の分布範囲を推定した。地形判読には上記 LP データの等高線図を用いた。未固結堆積物の層厚は谷幅が広いほど、谷の下流ほど厚くなると考え、根谷川・桐原川の谷の中央で基盤深度が 40m となるように*1、基盤岩／未固結堆積物境界からの距離に応じて層厚を設定した（図 2.1.2）。基盤岩は地表から深度 5m まで風化部、深度 1m まで強風化部とした*2。表層土壌の層厚は、全域で一律 1m とした*3。

(2) 「先行降雨なし・短時間豪雨型」と「先行降雨あり・長雨型」、「先行降雨あり・短時間豪雨型」の比較

2014 年災害の短期豪雨型の降雨条件（ケース 1）と 1999 年災害の長雨型の降雨条件（ケース 2）、2010 年の先行降雨あり、短時間豪雨型の降雨条件（ケース 3）による浸透流解析結果を、降雨ピーク時における地表水および地下水の状況として図化し次頁の表 2.2.1 に比較する形で示した。

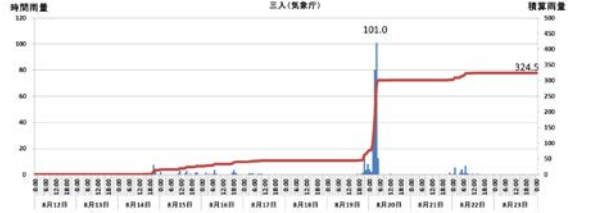
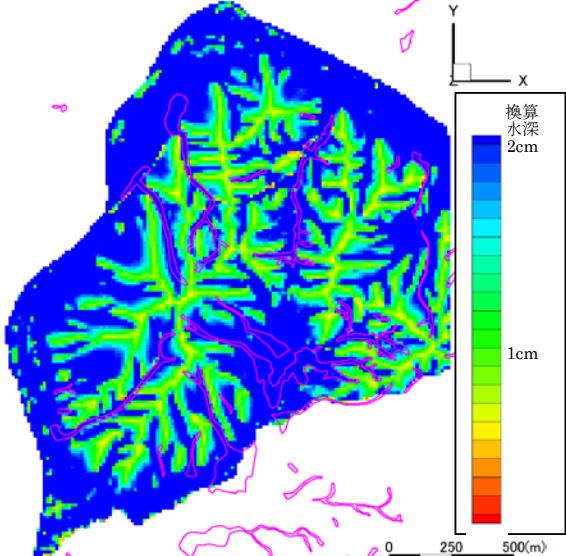
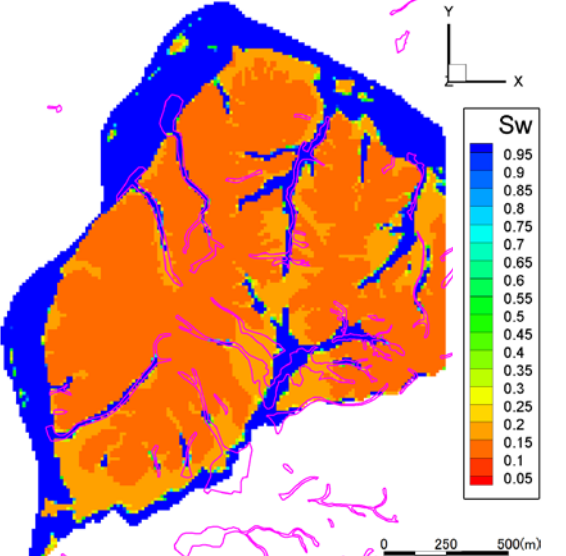
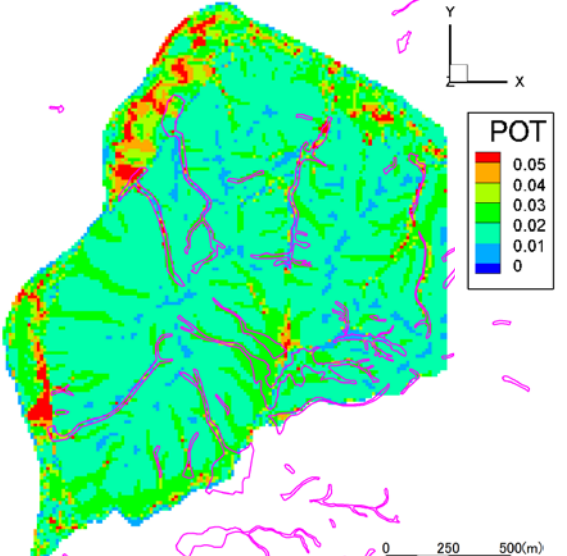

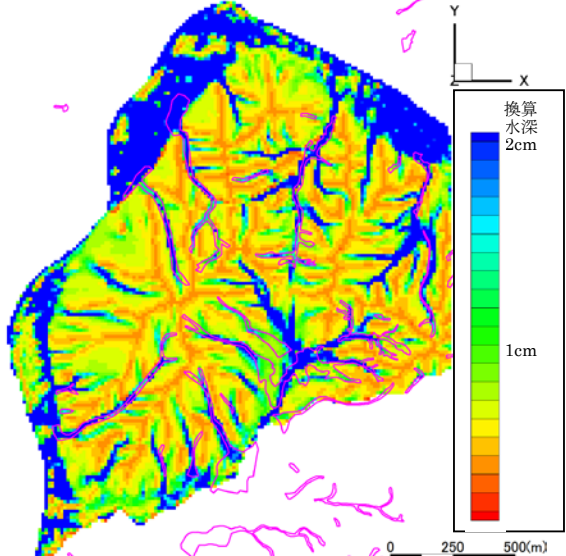
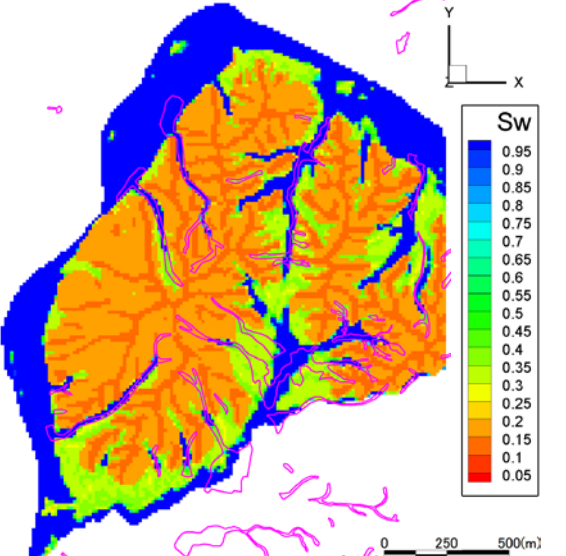
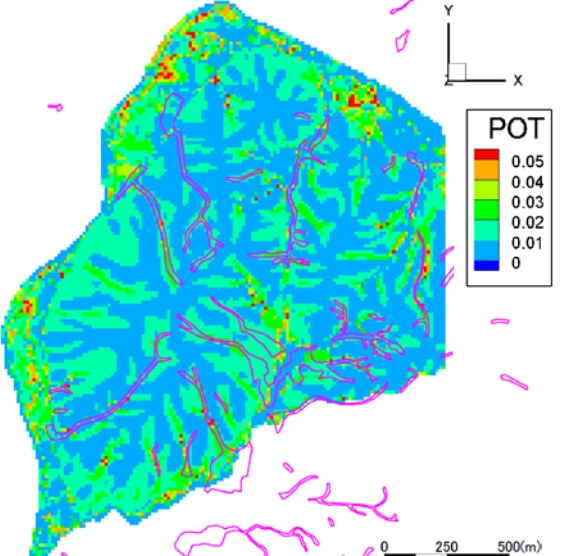
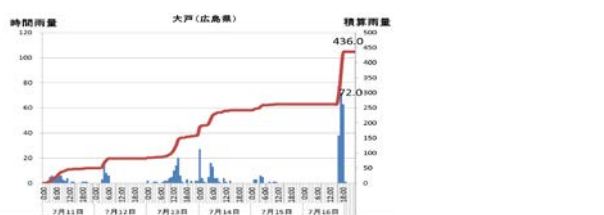
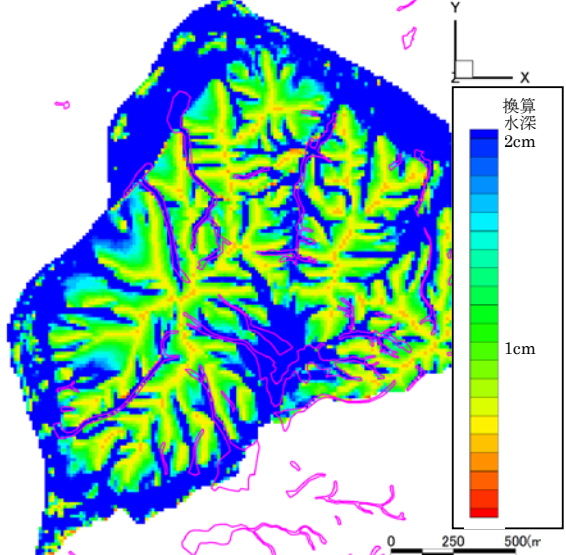
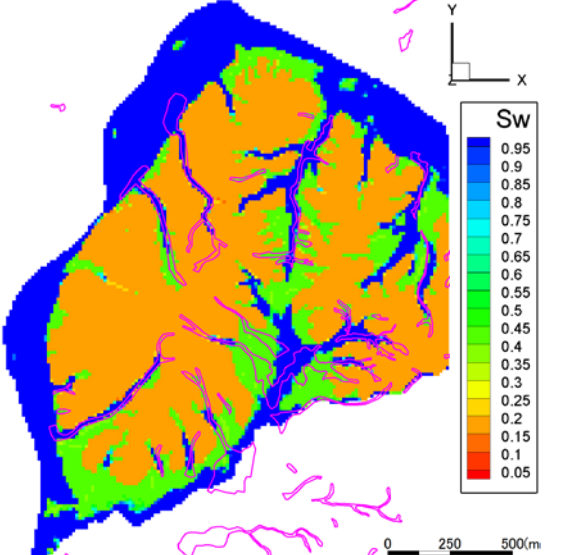
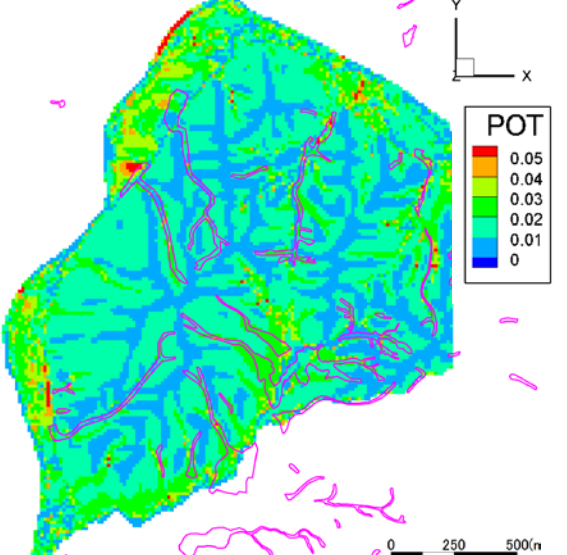
ケース 1 では、急激な雨水浸透に伴い地表付近は完全に飽和し、基盤浅層部では不飽和帯も含めて圧力が上昇したことが、土石流発生域の崩壊等に関連したと考えられる。

ケース 2 では、先行降雨によって基盤浅部においても水飽和率の上昇がみられる。このような飽和率の上昇は強度低下をもたらし、面的な表層崩壊の発生を引き起こすことが推定される。

ケース 3 では、急激な雨水浸透に伴い地表付近は完全に飽和し、基盤浅層部では不飽和帯も含めて圧力が上昇するケース 1 の傾向と、先行降雨によって基盤浅部においても水飽和率の上昇がみられるケース 2 双方の特徴がみられる。

*1；既往文献「広島県地盤図'97」のボーリング「可部 Wi-1」の基盤深度を参考とした。
 *2；現地調査で確認した溪床露岩部での観察結果から、基盤岩は地表から深度 5m までを風化部、深度 1m までを強風化部とした。
 *3；表層土壌の層厚は、現地調査で確認した崩壊発生源の表層堆積物の平均的な厚さから 1m とした。

表 2.1.1 三次元浸透流解析結果(降雨条件ごとの比較)

| 計算条件等 | 地表の水深 ^{※1} の分布 | GL-1m~1.5mの水飽和率 ^{※2} の分布 | GL-1m~1.5mの圧力変化 ^{※3} の分布 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>ケース1：2014年豪雨 (先行降雨なし、短時間豪雨型)</p> <p>◆降雨条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・先行降雨なし ・時間雨量の最大値：101mm  <p>◆出力時刻</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2014/8/20 4:00 (直前の時間雨量：101mm) |  |  |  |
| <p>ケース2：1999年豪雨 (先行降雨あり、長雨型)</p> <p>◆降雨条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・先行降雨あり(累積雨量 319mm) ・時間雨量の最大値：35mm  <p>◆出力時刻</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1999/6/29 16:00 (直前の時間雨量：35mm) |  |  |  |
| <p>ケース3：2010年豪雨 (先行降雨あり、短時間豪雨型)</p> <p>◆降雨条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・先行降雨あり(累積雨量 262mm) ・時間雨量の最大値：72mm  <p>◆出力時刻</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2010/7/16 18:00 (直前の時間雨量：63mm) |  |  |  |

※1：平面格子 12.5m×12.5m に対する一律の水深を表す。
 ※2：空隙が完全飽和した状態を 1.0 とした場合の割合を表す。
 ※3：ピーク降雨の降り始め前からの変化量を表す。
 1.0 で 1 気圧分の変化量に相当する。

2.2 荒廃の素因（形態）

(1) 単成の崩壊-土石流のモデル

崩壊を引き金にした土石流発生の形態は、異なる溪流でも類似性があり、図 2.2.1、図 2.2.2 に示すような単成の崩壊-土石流のモデルを想定することができる。

土石流は、(1) 0 次谷の源頭部の 100m³前後の小規模な崩壊を発生域とし、その崩壊物は(2)ほとんど地表を侵食せずに流下した痕跡がある領域と、(3)発生域下流の斜面や谷地形部を構成する岩屑などの堆積物の崩壊、侵食、溪岸崩壊などを誘発した侵食地形部分からなる流下経路を経て、(5)下流に土石流の氾濫堆積域を形成した。(4)その後、流下経路の流心付近に、継続的に流下した流水による洗掘によって深く切れ込んだガリ状地形が形成された。

地形・地質踏査を行った 14 溪流の崩壊等の発生源 51 箇所の規模について、崩壊土量と崩壊深の頻度分布を図 2.2.3 に示す。崩壊深の平均値は 1.1m であり、崩壊土量の平均値は 152.7m³ である。例外的に規模が大きい 6b-1 (崩壊土量 2400 m³) を除いた崩壊土量の平均値は 107.7m³ である。

発生域の崩壊面の地質は図 2.2.4 に示すとおり、岩屑堆積物と崩積土を除く 78%が基盤岩となっている。ただし、崩壊物質は基盤の上部を覆う岩屑堆積物や、表土なども含んでいる。

崩壊-土石流は発生後の痕跡から5つの領域に区分される

- 1 発生域の崩壊
- 2 土石流が地表を削らずに流下した痕跡がある領域
- 3 移送域の溪床・溪岸の侵食地形
- 4 洗掘によって深く切れ込んだガリ状地形
- 5 堆積域の土石流堆積物

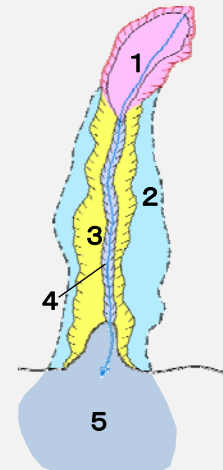


図 2.2.1 崩壊-土石流の発生機構 模式図

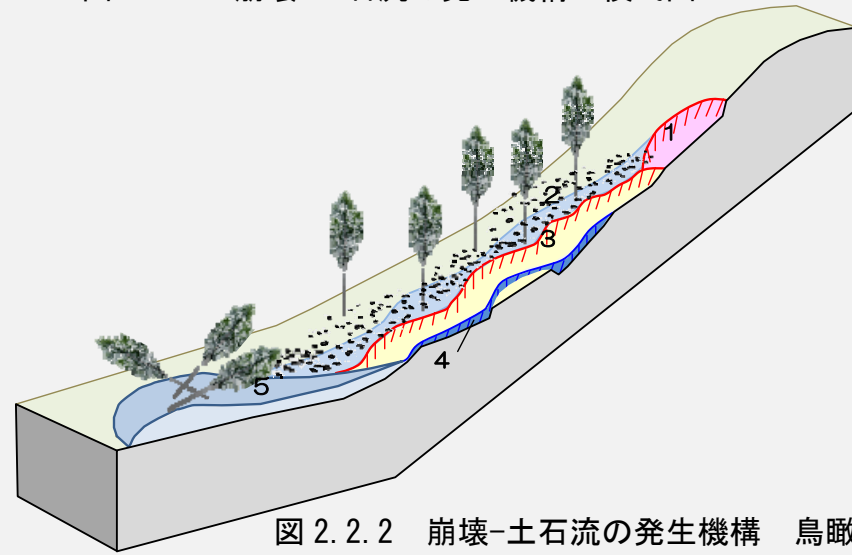
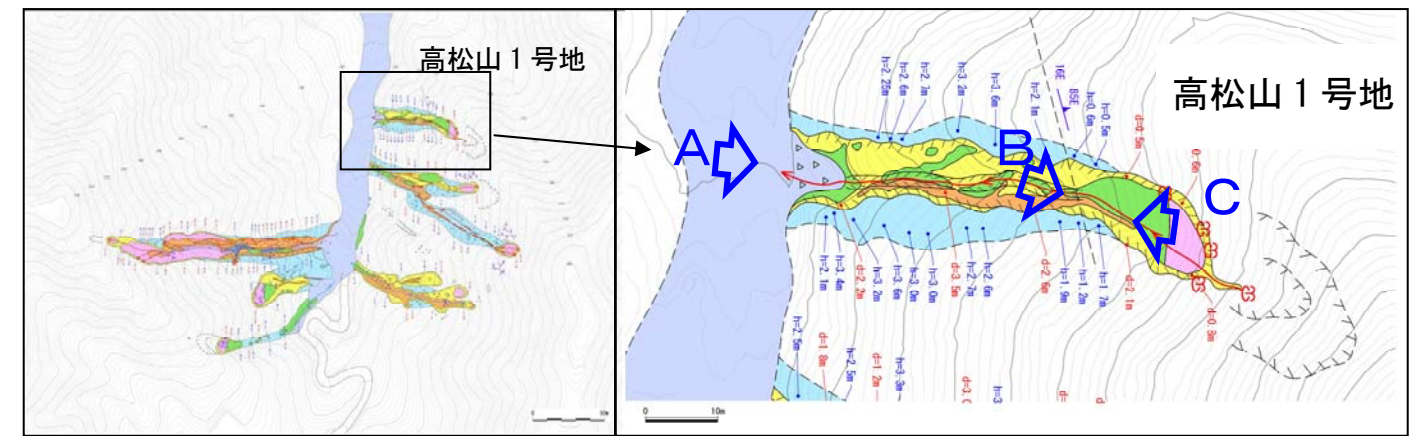


図 2.2.2 崩壊-土石流の発生機構 鳥瞰図

高松山 1 号地(ホ-1-1)における土石流発生箇所を図 2.2.5 に示す。



高松山地区 1 号地 全景。堆積域から見上げる。

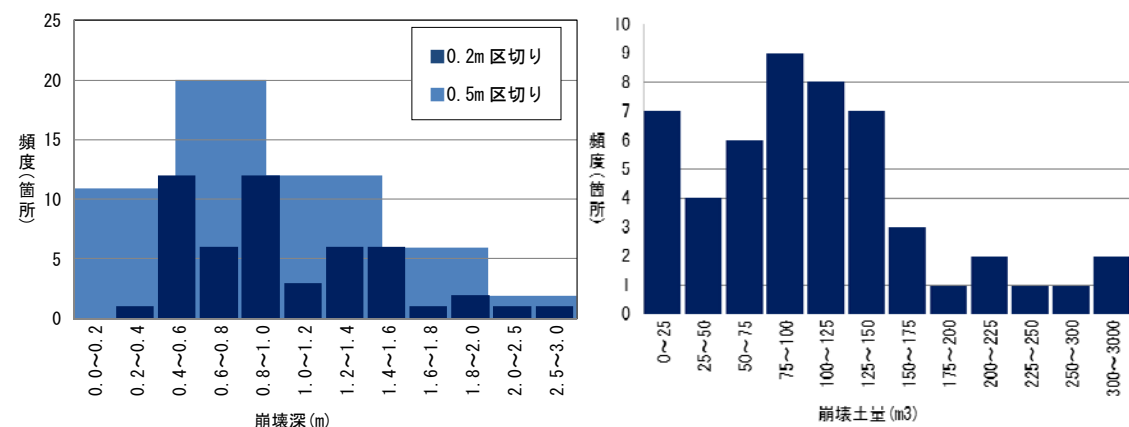


発生域の崩壊の全景



発生域から下流の方向を見下ろす。

図 2.2.5 高松山地区 1 号地(ホ-1-1) 全体



B : 崩壊深の頻度分布

A : 崩壊土量の頻度分布

図 2.2.3 崩壊の規模

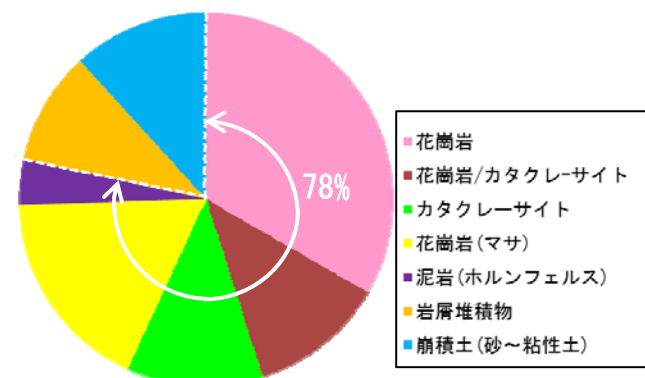


図 2.2.4 発生域の崩壊面の地質

(2) 溪流における土石流の成長のタイプと対策方針

前述のように、今回の土石流では、土石流の引き金となった崩壊の規模は小さいものが圧倒的に多い。しかし、溪流では、流下する過程で崩壊・侵食により移送域で侵食された岩屑堆積物が、土石流堆積物の主要な起源物質となりながら、土石流が成長し肥大化している。

図 2.2.1 に示す崩壊-土石流の発生機構をひとつの単位とすると、多くの土石流は、移送域で下流の新たな発生域を誘起し発生域が拡大したり、支流から崩壊-土石流が付加されて土石流が複合化する形態がみられる。

このように溪流において土石流が複合し成長していくプロセスには、表 2.2.1 に示す二つのタイプに大別される。

① 並列タイプ

緩やかな丘陵性山地溪流(平均勾配 10~20° 未満)では、移送域で支流が合流する溪流が多く、並列的に単成崩壊-土石流が流入・合流して土石流が成長する。

② 直列タイプ

急峻な山地溪流(平均勾配 20° 以上)では、最上流部の単成崩壊-土石流が、下流の溪床の侵食や溪岸崩壊を誘起し、直列的に土石流が肥大化する。侵食量が多く、流出土砂量は並列タイプと比較すると 1.5~2 倍程度となる。

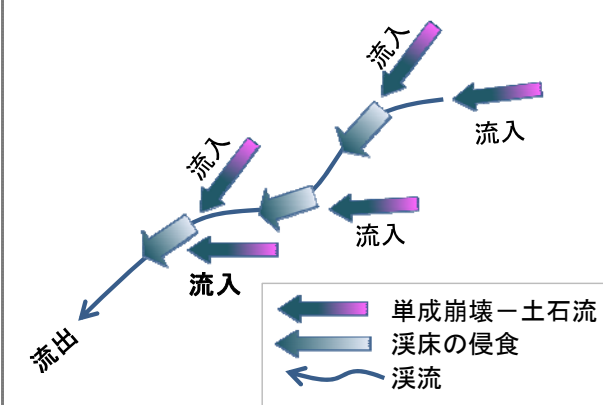
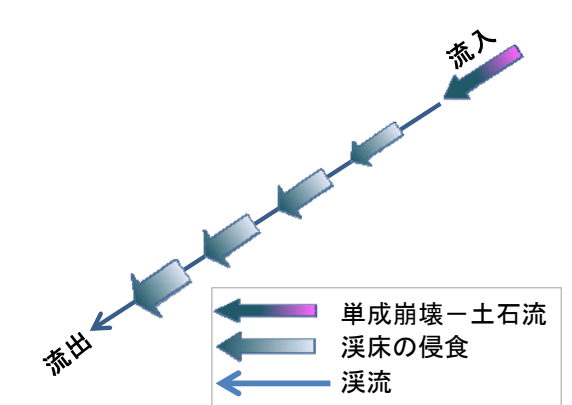
ただし、二つのタイプの間には、直列タイプと並列タイプが複合した形態を示す溪流もあるため、取扱いに留意すべきである。

今回の土石流の引き金となった発生域の崩壊地の規模は小さいが、大量の降雨が短時間に尾根付近の山腹斜面に流入後、地中に水が集中し地表付近が飽和したことにより斜面から水が噴き出したことが崩壊発生の要因の一つと考えられることから、地下水の湧出点への配慮を含め、発生源対策が重要となる。

図 2.2.6 に各溪流の被災前地形(H21LP)と被災後地形(H26LP)を重ね合わせた溪床縦断面図を

示す。地形が急峻になるほど直列タイプが多く、支流の多い緩やかな溪流では並列タイプが多い。二つのタイプの代表例として、並列タイプの宇那木山(図 2.2.7)と直列タイプ的美濃越(図 2.2.8)での現地調査により推定される土石流の発生・流下・堆積の形態を表 2.2.1 に示す。

表 2.2.1 溪流における土石流の成長タイプ

| 区分 | 並列タイプ | 直列タイプ |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 模式図 |  |  |
| 特徴 | 単成崩壊-土石流が溪流へ流入・合流して土石流が成長する。 | 最上流の単成崩壊-土石流が溪床の縦横侵食を誘起し、土石流が肥大化する。 |
| 地形 | 緩やかな丘陵性山地 (平均勾配10~20° 未満) | 急峻な山地 (平均勾配20° 以上) |
| 規模 | 流入土砂量：1,000m ³ 前後×3~6箇所 流出土砂量：7,000~13,000m ³ | 流入土砂量：1,000m ³ 前後×1箇所 流出土砂量：12,000~20,000m ³ |
| 例 | 高松山ヶ-6、宇那木山 | 高松山ヶ-3、美濃越、犬戻鳴山 |

* 今回災害の降雨パターンである、先行雨量無し・短時間高強度集中型降雨の場合での区分である。

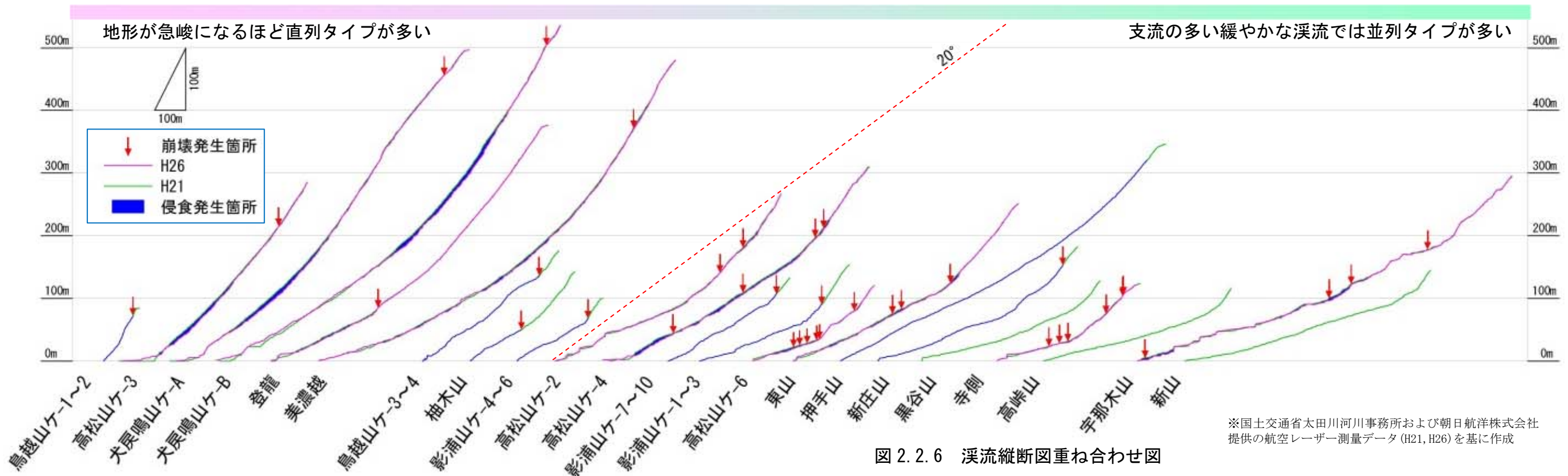


図 2.2.6 溪流縦断面図重ね合わせ図

最上流部〇次谷の 100m³ 以下の小規模な崩壊から流下した土石流は、本流に入って堆積域となり減勢されるが、本流の後続流や、支流からの崩壊・土石流が加わることで、土石流は下流に向けて成長していく。

中流から下流域に設置された谷止工と床固工により 3,267m³ の土砂を捕捉したと見込まれるとともに、階段状に設置された治山施設により溪床勾配の緩和に伴う土石流の減勢効果や山脚固定効果による溪岸侵食の抑制などの効果も発現されたと考えられる。最下流の S46-1 谷止工の下流の左岸が屈曲し水衝部となったことから後続流等により溪岸侵食が生じ、これが土石流となったため、谷の出口の扇頂部に土砂が流出した。

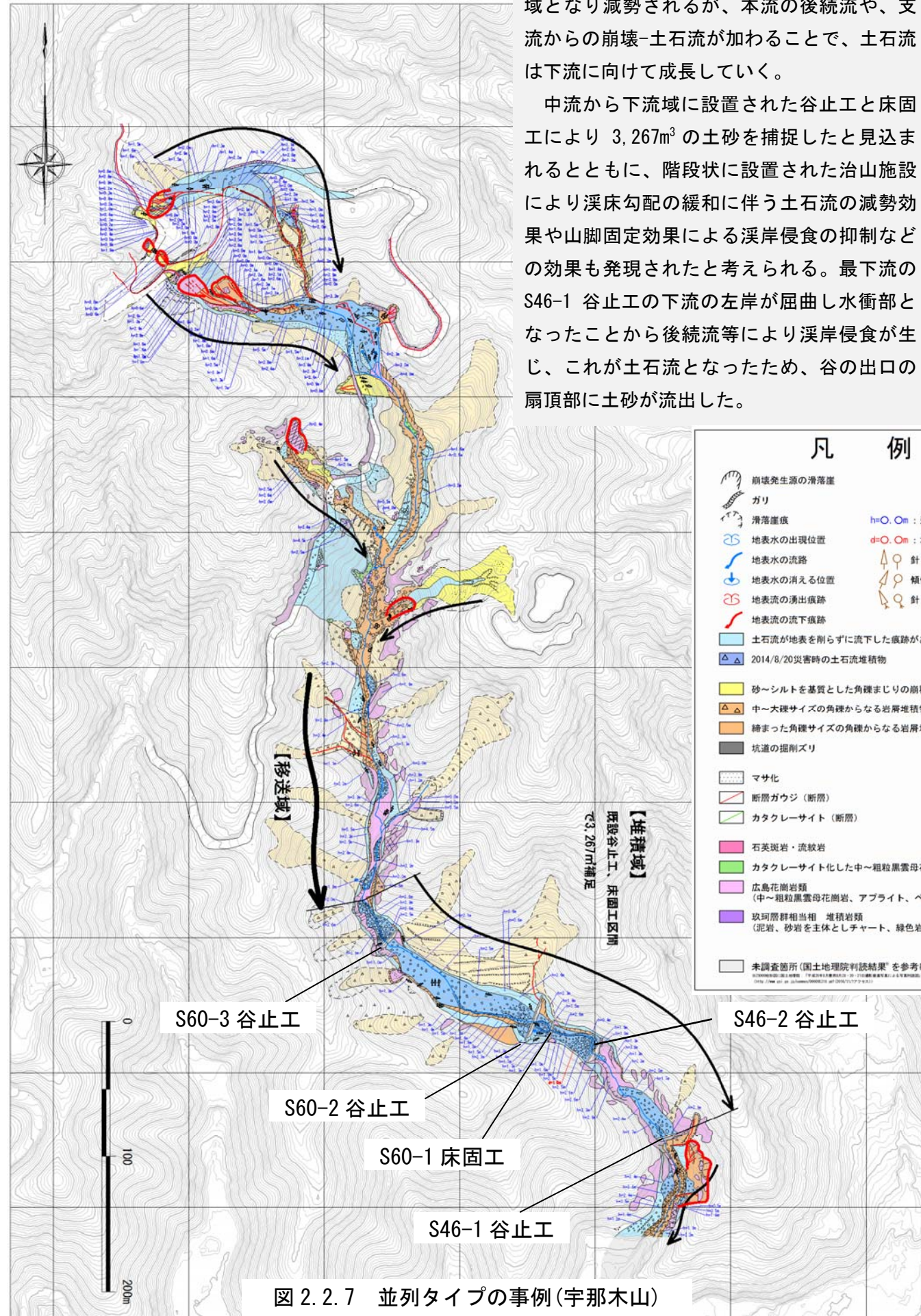


図 2.2.7 並列タイプの事例(宇那木山)

本流の〇次谷で 100m³ 以下の小規模な崩壊が数箇所発生し、急峻な溪流を直線的に流下した。

支流からは本流同様に複数箇所で大規模な崩壊が発生し、地表で見られる変状は後続流によるガリが主体で地表を大きくは削割せず流下しているが、大量の表流水が本流へ供給されることにより、土石流の下流への流下エネルギーを促進し土石流が成長したと推定される。また、下流の谷止工は一部被災したものの、3,445 m³ の土砂を捕捉したと見込まれるとともに、溪床勾配の緩和に伴う土石流の減勢効果等も発現されたと考えられる。

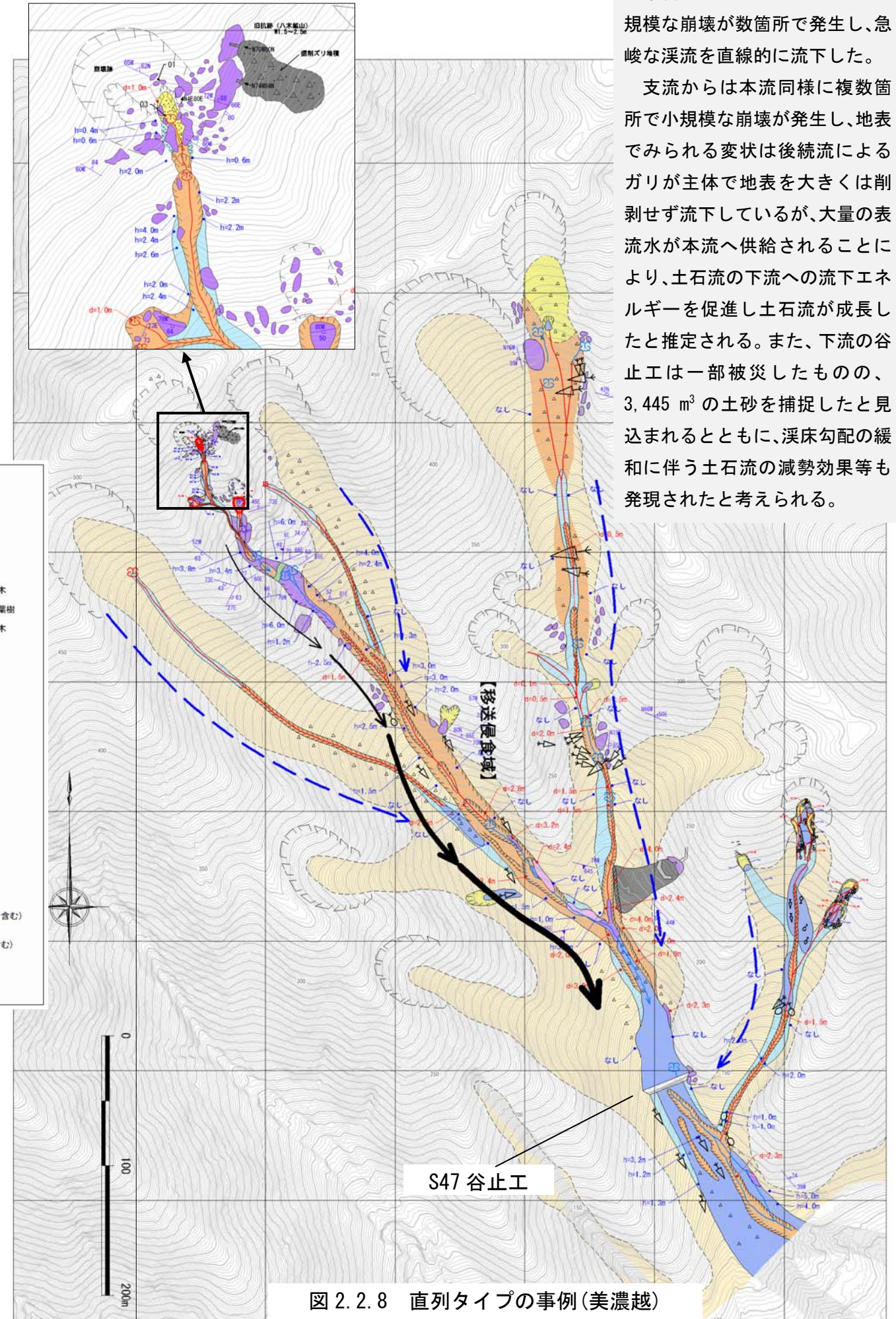


図 2.2.8 直列タイプの事例(美濃越)

3. 治山施設の効果について

(1) 目的

今回の災害における土石流現象を二次元氾濫シミュレーションにより再現し、高松山及び美濃越に設置されている既設治山ダムの効果を検証した。

(2) 実施手法

二次元氾濫計算システムとして HyperKANAKO を用いて土石流を再現し、既存治山ダムがあった場合と無かった場合の氾濫範囲の相違を推定した。解析図を抜粋し図 3.1 及び図 3.2 に示す。

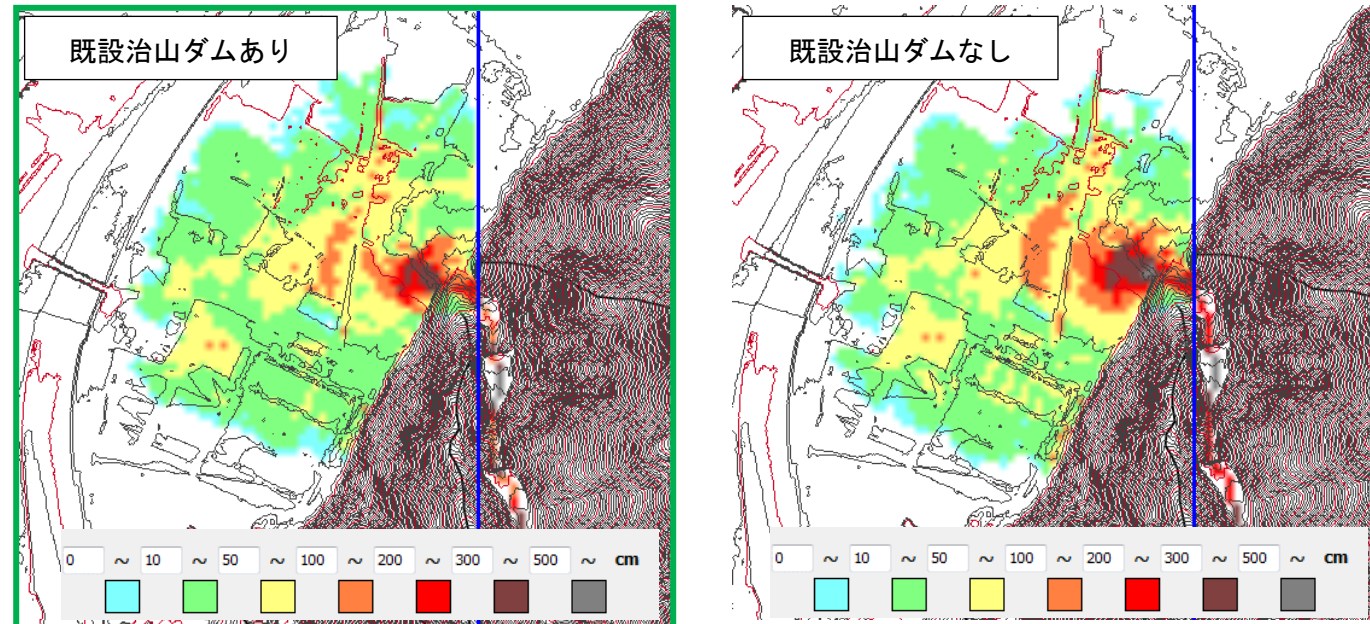


図 3.1(1) 高松山(ヶ-2)二次元氾濫シミュレーション結果 (土石流の水位; 80 秒経過後)

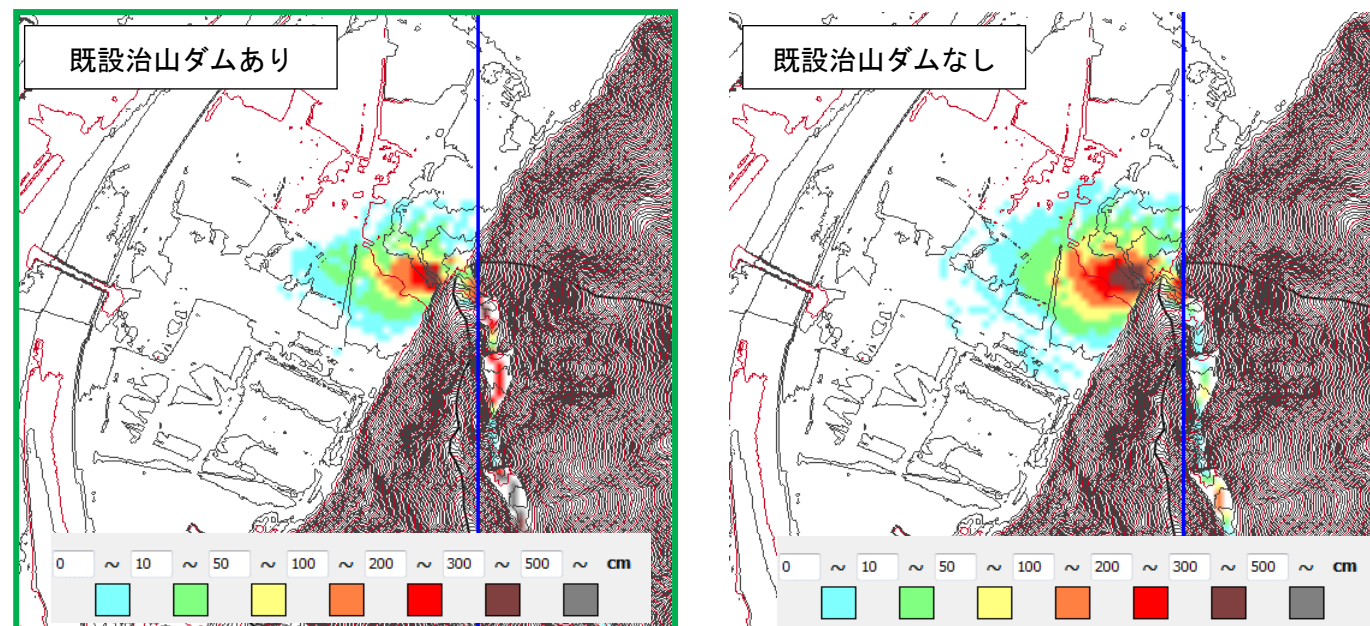


図 3.1(2) 高松山(ヶ-2)二次元氾濫シミュレーション結果 (土石流の堆積深; 80 秒経過後)

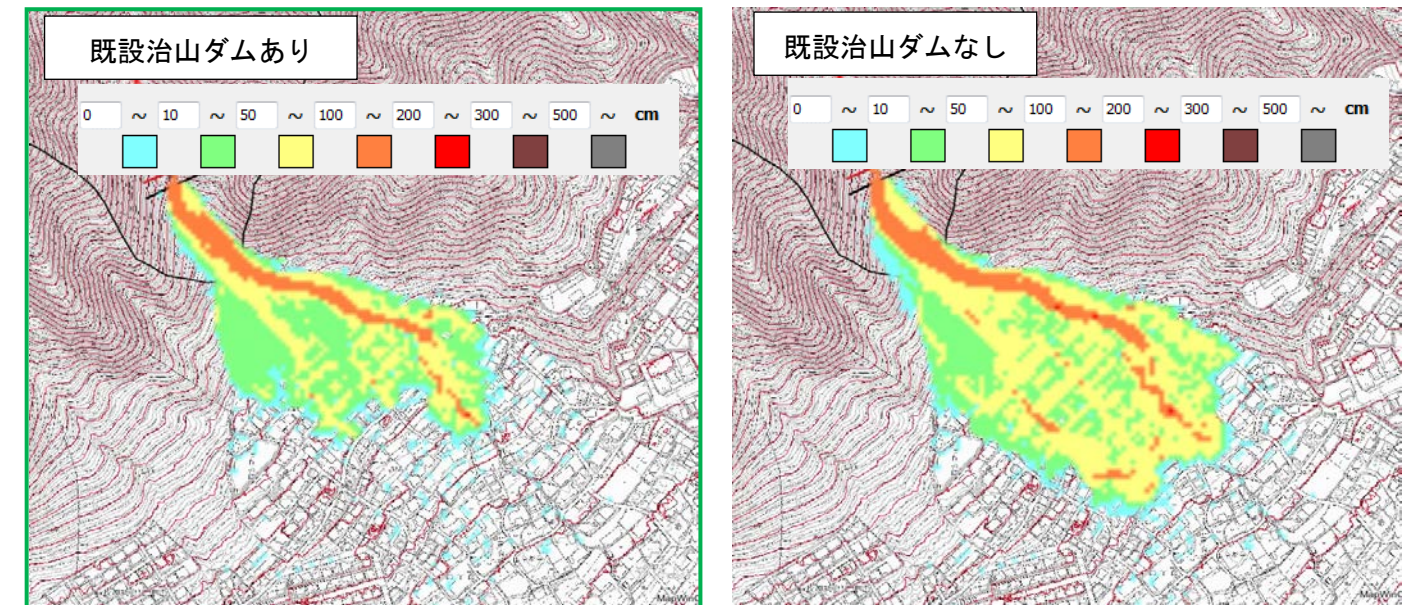


図 3.2(1) 美濃越二次元氾濫シミュレーション結果 (土石流の水位; 100 秒経過後)

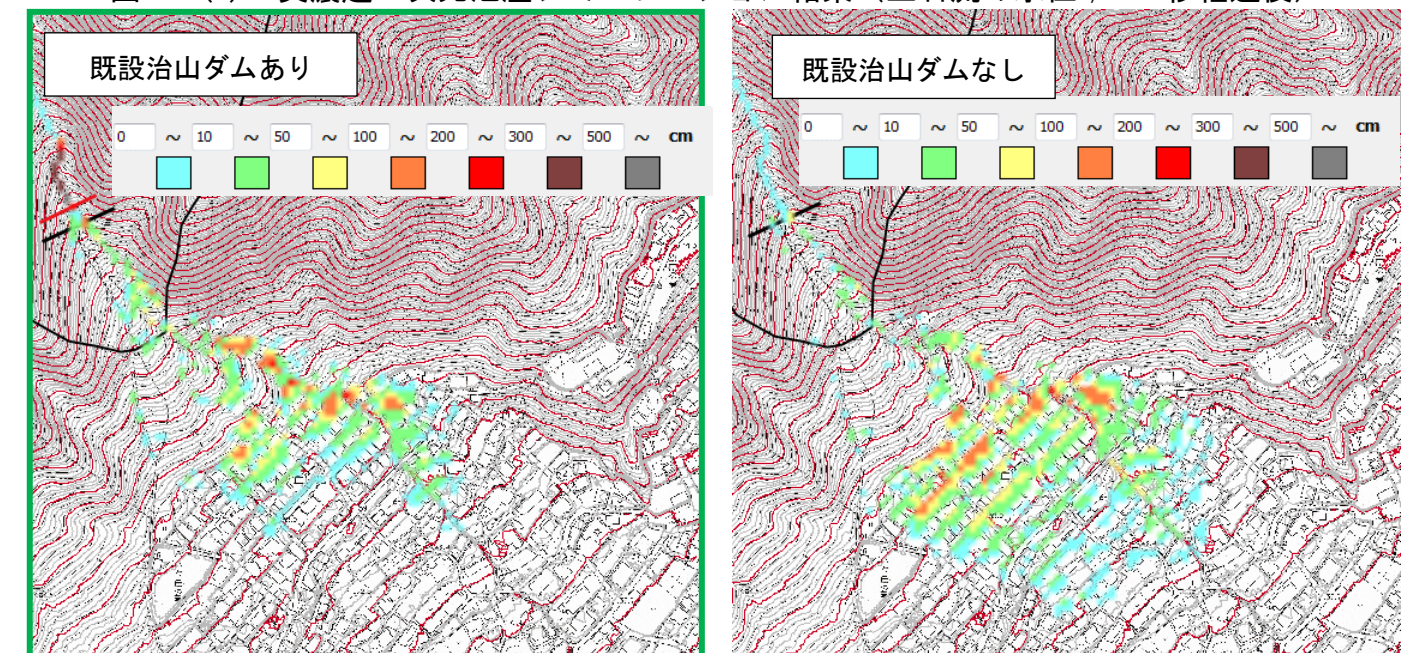


図 3.2(2) 美濃越二次元氾濫シミュレーション結果 (土石流の堆積深; 100 秒経過後)

(3) 解析結果

図 3.1 及び図 3.2 のとおり、既設治山ダムの有無により土石流氾濫域には明らかな違いが認められた。このことから、既設治山ダムは今回の災害により一部破壊されたもの(美濃越)もあるが、土砂を捕捉し、越流した土砂が宅地に流入するのを遅らせ、また、氾濫・堆積の範囲及び堆積深を縮小するなど減災の効果があったものと考えられる。さらに、今回の土石流では、後続流等による溪床堆積物や溪岸の侵食により生じた土砂流出も土石流の拡大をもたらしていることから、流下区間に設置された治山ダムは溪流の縦横侵食を防止し、山脚固定効果による溪岸侵食の抑制など発生源対策としても効果を発揮したものと考えられる。

4. 森林の効果について

4.1 森林による土石流等の抑止・抑制の効果事例

(1) 現地調査で確認した森林による防災・減災の事例

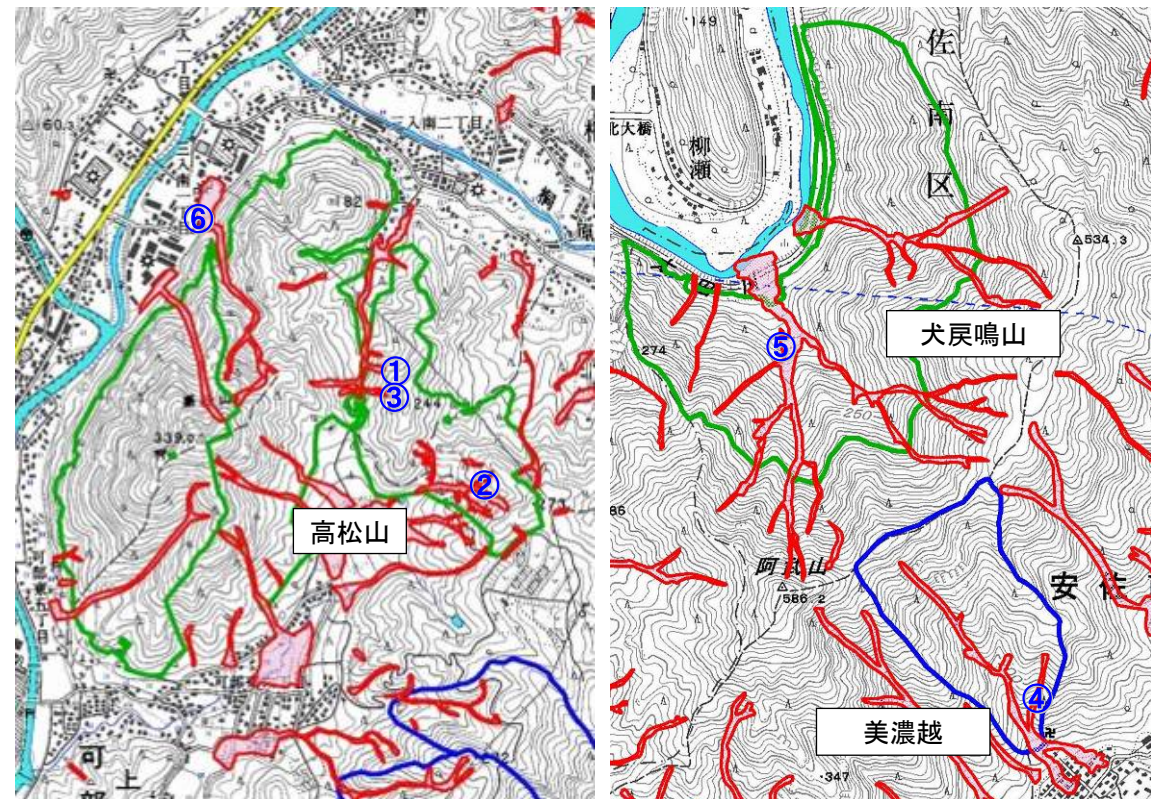
調査箇所において確認された森林や立木による土石流抑止等の効果事例を以下に示す。



左・中：地表侵食や土石流が地表を流下した痕跡がある箇所。土砂や流木が捕捉されている。また、樹幹には2mを超える場所まで土砂が付着しており、土砂の流下エネルギーの減衰効果があったと考えられる。
右：地表部は落葉落枝が残存しており、地表侵食は著しくないが、パイピング現象により地中が洗掘・侵食された箇所。深部がさらわれて地表部とそこに生育するヒノキが滑落したものの水平根の効果により発生源に留まった状態。根系の周囲の土砂を保持しており、崩壊・流出土砂量の減少に寄与していると考えられる。

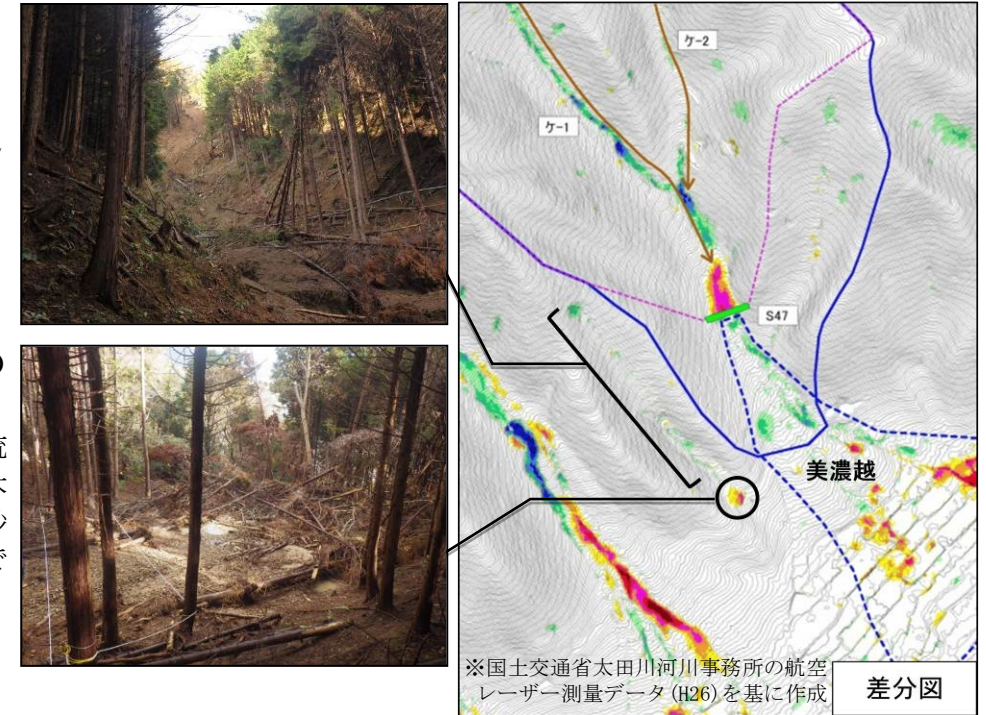


左・中：谷部を流下した巨礫が、スギ・ヒノキやその樹間に止まった流木等により捕捉されている。
右：災害直後（8月20日）の谷出口付近の状況。生育位置から土石流や流木が直撃したと考えられるが、ケヤキやクヌギの大径木は残存し、流木を捕捉していることを確認。



発生した土石流

美濃越の西側の小溪流の土石流発生箇所。谷部の立木と堆積物が洗掘され流出している



立木による土砂・流木の捕捉状況

森林（スギ・ヒノキ林）が流木をせき止め、土砂及び流木の流下を抑止している。土砂収支計算では、写真の箇所約465m³の土砂を捕捉。

4.2 災害に強い森林づくりに向けた森林整備の考え方

今回の災害においても森林の土砂崩壊・流出防止等の機能が発揮され、土石流等の抑止・抑制効果が認められたことから、今回の災害発生箇所を含めた、災害に強い森林づくりに向けた森林整備の考え方を整理した。

(1) 荒廃地における樹木の根系分布

立木の表層崩壊の抑止効果を評価するため、現地に生育する代表的な樹種の根系分布調査を実施した。根系が垂直方向に深く、水平方向に広いほど、表層土壌を保持する能力が高いと考えられるため、この考えに基づき現地調査結果から樹種ごとの表層崩壊の抑止効果を図4.2.1に模式的に示した。

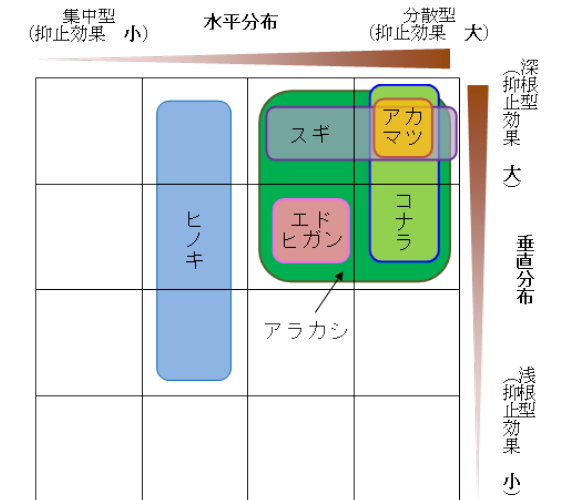


図4.2.1 根系調査結果に基づく表層崩壊の抑止効果の評価

(2) 土壌硬度及び土壌酸度からみた植栽工法の選定

崩壊地内に植生を導入・回復する上で、現地の植生基盤の特性（土壌硬度、土性、土壌酸度等）について現地調査により把握し、植栽工の適応性について検討を行った。

現地調査の結果、図4.2.2に示すように、土壌硬度30mm以上の花崗岩の岩盤が露出している箇所やpH4以下及びpH8以上の箇所以外では土壌の物理的、化学的特性が植栽木の成長に適していると考えられることから木本類の植栽工が可能と判定された。

図4.2.3に斜面勾配と土層深の関係を示す。勾配の緩急にかかわらず、土層深が概ね20~50cmを確保されていることが分かる。

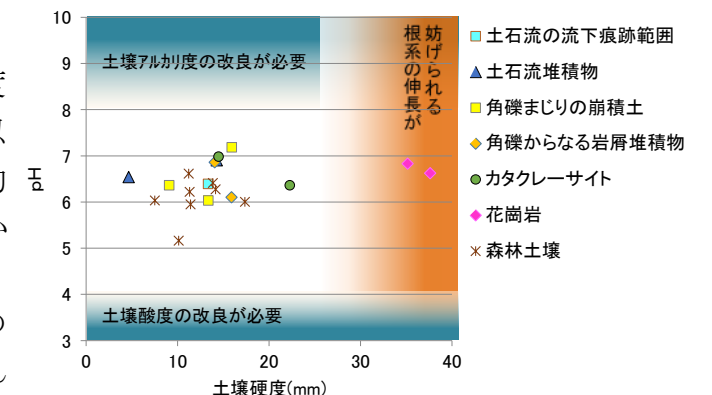


図4.2.2 崩壊地・土石流流下区域の土壌硬度と土壌酸度

植栽工を導入する際には山腹基礎工や緑化基礎工を併用し、表流水による、ガリーの発生・凹部の縦横侵食・小崩壊等の表土移動を抑制の上、安定した植生生育基盤を確保することが望ましい。

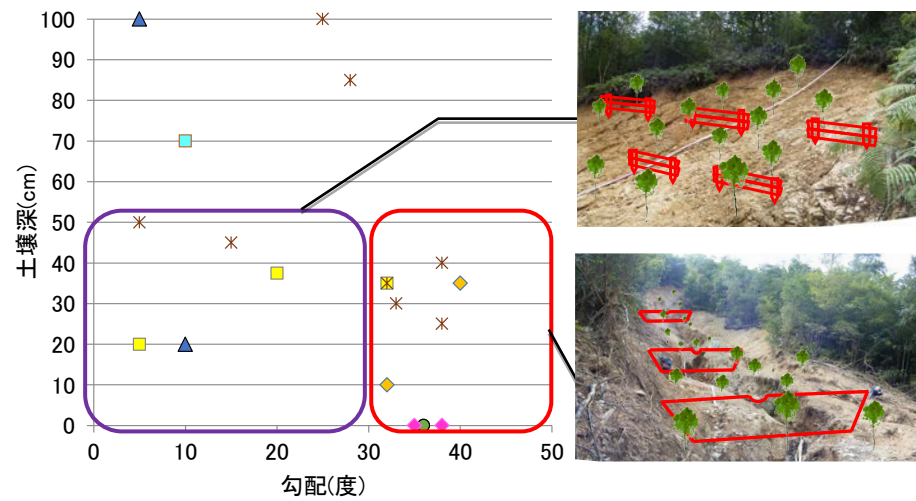
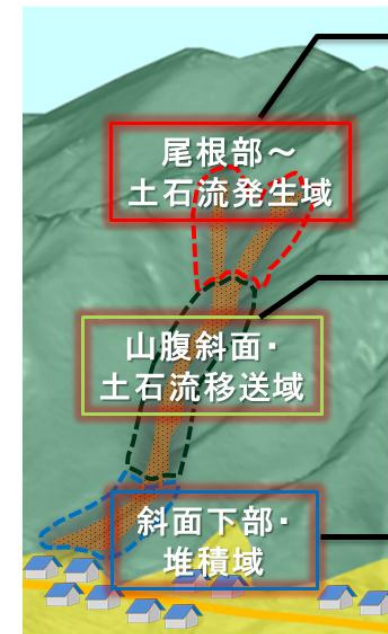


図 4.2.3 崩壊地・土石流流下地の土壌深と勾配 (写真はイメージ)

比較的緩勾配(平均勾配 20~25° 程度)の平滑斜面
緑化基礎工(柵工等)によりガリー侵食を防止の上、植生工を導入する。

やや急勾配(平均勾配 25~35° 程度)の凹状斜面
山腹基礎工(土留工等)・緑化基礎工により侵食や小崩壊を防止し、生育基盤を安定させ、植生工を導入する。



【求められる森林の防災機能；尾根部~土石流発生区間】
根系が発達し、土壌緊縛力が高く崩壊防止機能を期待できる森林
樹冠が適度にうっ閉し、下層植生や森林土壌が発達した森林
【生育環境条件による植栽樹種；尾根部~土石流発生区間】
尾根部(痩せ地-乾燥):アカマツ、コナラなど
ゼロ次谷(急斜面-やや湿潤):コナラ、アベマキ、エノキなど

【求められる森林の防災機能；土石流流下区間】
根系が発達し、土砂流出防止や溪岸侵食防止機能が期待できる森林
樹冠が適度にうっ閉し、下層植生や森林土壌が発達した森林
【生育環境条件による植栽樹種；土石流流下区間】
山腹斜面(急傾斜-表土の移動有):ヒノキ、ツブラジイ、クヌギ、アラカシ、アベマキなど
凹状地(凹状地-湿潤):ケヤキ、エノキなど

【求められる森林の防災機能；土石流堆積区間】
樹幹が太く発達し、流出土砂や流木による衝撃緩和の機能が期待できる森林
根系が十分発達し、樹幹支持力が高い森林
【生育環境条件による植栽樹種；土石流堆積区間】
下部斜面(緩傾斜-湿潤):ケヤキ、エノキ、スギなど

図 4.2.4 防災機能・生育環境条件に応じた植栽樹種案

(3) 根系調査結果等に基づいた植栽樹種の選定

現地調査結果等から、山地災害等に対する防災機能の高いと考えられる植栽樹種を表 4.2.1 に示した。さらに、求められる防災機能と生育環境条件に応じた植栽樹種案を図 4.2.4 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。

なお、山腹工における植栽工等の選定に当たっては、今回の調査範囲ではその効果等が十分に検証されていない場合もあることから、現地の状況に応じて柔軟に対応していくことが必要である。

表 4.2.1 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 | 松くい虫抵抗性マツを用いる |
| 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 | 中 | ○ | ◎ | △ | 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(苧住昇,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

(4) 植栽木等の保育管理方針

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、以下に示すような保育管理を行う方針とする。

【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、侵入防護柵を基本として、被害状況によってはツリーシェルターや忌避剤の対策により植栽木を保護する。
- 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。

また、今回の調査地の主な植生は、アカマツ混じりの二次林、ナラやカシなどの群落、スギ・ヒノキ林等であるが、スギ・ヒノキの人工林において土砂や流木の流出を抑止している状況もみられたところもあり、今後とも災害に強い森林づくりに向けた適切な森林整備(本数調整伐等)の継続が必要である。

5. 今後の治山事業による整備の考え方について

(1) 災害に強い森林づくりに向けた治山事業による整備の考え方について

これまでの調査結果・検討結果を踏まえ、災害に強い森林づくりに向けた治山事業による整備の考え方について表5.1のように整理した。

表 5.1 災害に強い森林づくりに向けた治山事業による整備の考え方

| 災害に強い森林づくりに向けた治山事業による整備の考え方 | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 区分 | 緊急対策 | 中・長期対策 | 将来のイメージ |
| 整備目標 | 山地荒廃に対する安全の確保 | 災害に強い森林づくりに向けた基盤づくり | 将来のイメージ |
| 整備の考え方 | 今回の災害で発生した溪流荒廃地や山腹荒廃地のうち、人家や道路等に近接した箇所において、治山事業を緊急的に実施し、住民生活や社会インフラの安全性を確保する。 | 今回の災害で発生した溪流荒廃地や山腹荒廃地において、治山ダム工や山腹工による整備を順次実施し災害に強い森林づくりに向けた基盤整備を進める。 | <<治山施設による崩壊防止・土砂流出等防止>> 1) 治山ダム工等の整備により、荒廃地の復旧・整備が行われ、溪流における土砂流出の防止や山脚の固定等が図られている。 2) 山腹工により土石流等の崩壊発生源の安定が図られている。 <<森林による崩壊・土砂流出の抑制>> 1) 樹木の根系緊縛力により崩壊や侵食の発生が抑制されている。 2) 堆積区域等に存する樹幹支持力が高いケヤキ・スギ等により、土砂や流木の流出が抑制され堆積促進が期待される。 3) 豪雨の一部を樹冠、樹幹及び枝葉など地上部で遮断することにより、表土の侵食防止や地盤の強度低下の抑制が図られている。 |
| 整備内容 | 土石流の発生源となったO次谷等の山腹崩壊地、溪流荒廃地に対して、土留工や緑化工等の山腹工や治山ダム工等を緊急的に施工する。 | 緊急事業を実施した箇所の上流部の溪流荒廃地や山腹荒廃地について、順次、緑化工や植栽工を導入し健全な森林への誘導を図る。その他の荒廃地についても、治山ダム工や山腹工による基盤整備や緑化・植栽工を計画的に実施する。また、周辺の人工林について森林整備(本数調整伐等)を適切に実施することにより、健全な森林への誘導を図る。 | |
| 整備模式図 | | | |

表 5.1 で示した治山事業による整備の考え方に基づく山腹工及び溪間工（治山ダム工）の整備の考え方について以下に示す。

(2) 山腹工の整備の考え方


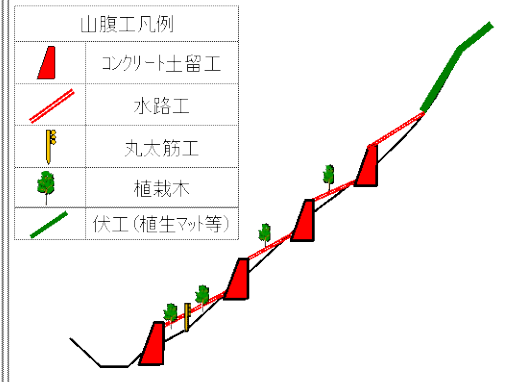
2.2 章の山地災害の発生機構において示したように、当災害は単成の崩壊—土石流を単元とする土石流が主体となっていることから、発生源対策としての山腹工は重要な位置付けを有する。

調査対象地の山腹工の整備の考え方は、災害後の斜面の現況から今後想定される斜面変動形態によって、侵食型（Ⅰ、Ⅱ型）及び崩壊・崩落型（Ⅲ型）に大別され、これらの区分に対応する今後の山腹工の基本方針について表 5.2 に示す。

実施に当たっては、現地の施工条件等も踏まえ、自然復旧の推移を見つつ、山腹工と治山ダム工との組み合わせを検討することとする。また、今回の調査において確認されたような地下水の湧出点が把握できる場合は排水工の設置等を検討するなどの配慮も必要である。

なお、広島市内の森林においてはシカの個体数増加及び食害が顕在化していることから、植栽木の健全な生育を目的として侵入防護柵等の獣害防止対策を行うことが望ましい。

表 5.2 山腹崩壊地の現況斜面区分と山腹工の整備の考え方

| 区分 | | 侵食主体型 | | 崩落・崩壊主体型 | |
|------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| | | Ⅰ型（比較的緩な平滑斜面） | Ⅱ型（やや急な凹状斜面） | Ⅲ-1型（急な凹状斜面） | Ⅲ-2型（急な平滑斜面） |
| 山腹崩壊地の現況 | 現況写真 |  |  |  |  |
| | 特徴 | 比較的緩斜面で、地表面はマサ土若しくは風化が著しい花崗岩となっている。降雨によって発生した雨裂が認められる。 | Ⅰ型よりもやや急な斜面で、源頭部は風化した花崗岩であることが多い。斜面中腹～下部にかけて侵食による深い凹状地形を呈する。 | Ⅱ型よりも急な斜面で、源頭部は弱風化若しくは摂理が発達した花崗岩であることが多い。斜面全体にかけて侵食による凹状～やや凹状地形を呈する。 | 節理が発達した岩盤、若しくは岩屑堆積物により急峻な斜面が形成されている。剥離型の崩壊や浮石の崩落が著しい。 |
| | 勾配 | 斜面の平均勾配20°～25°程度 | 斜面の平均勾配25°～35°程度 | 斜面の平均勾配35°～45°程度 | 斜面の平均勾配35°～50°程度 |
| 山腹工の整備の考え方 | 模式図 |  |  |  |  |
| | 計画方針 | 柵工や筋工等により植生の生育基盤を確保し、植栽工・伏工等の山腹緑化工により早期の植生導入を図る。 代表的な対象箇所；高松山ホ-6-1～2等 | コンクリート土留工や水路工等の山腹基礎工により、侵食防止等を図った上で、植栽工・伏工等の山腹緑化工を導入する。 代表的な対象箇所；高松山ホ-1-1～6等 | 凹地を主体に、コンクリート土留工をやや密に配置し、侵食や再崩壊の防止を図る。山腹緑化工は植生マット工・吹付工等が主体となる。代表的な対象箇所；高松山ホ-6-2等 | 剥離型の崩壊や浮石の崩落等が再発する可能性が高い斜面において、法枠工等の斜面補強工法によりこれらを面的に抑止する。 代表的な対象箇所；高松山ホ-7-1,8-1等 |
| | 留意点 | 上記の区分は代表的な崩壊事例をもとに設けたものであり、事業実施に当たっては、現地の荒廃状況、地形・地質及び施工条件等を踏まえ、これらを適宜組み合わせで計画するなど、現地を十分に確認の上、現地に合った工法等を検討する必要がある。また、山腹工における緑化・植栽工の選定に当たっても、現地の状況に応じて柔軟に対応することとする。 | | | |

(3) 溪間工（治山ダム工）の整備の考え方

土石流対策を中心とした整備として、山腹工とともに溪間工（治山ダム工）による山脚固定、溪流の縦横侵食の防止、溪流内に堆積する不安定土砂の固定など発生源対策を重点的に実施することを検討するとともに、流下する土石流に対しては透過型治山ダムの設置も検討し、溪岸侵食の防止、土石や流木の捕捉に努めることとする。応急対策、恒久対策別に、溪間工（治山ダム工）の整備の考え方について表 5.3 に示す。

表 5.3 溪間工（治山ダム工）の整備の考え方

| 溪間工（治山ダム工）の整備の考え方 | | | |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 区分 | 応急対策 | 恒久対策 | |
| | 大型土のうの設置等 | 並列タイプ | 直列タイプ |
| 模式図（縦断面） | <p>災害発生直後 既設施設 不安定土砂</p> <p>応急対策時 既設施設 土石流センサー 不安定土砂</p> <p>大型土のう 既設上流閉鎖</p> | <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> 治山ダム工 現況縦断線 災害前縦断線 計画堆砂線 <p>山腹崩壊地(発生源)</p> <p>既設施設 緊急対策 将来計画</p> | <p>緊急対策 将来計画</p> <p>既設施設 山腹崩壊地(発生源)</p> <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> 治山ダム工 現況縦断線 災害前縦断線 計画堆砂線 |
| 対象 | 流域平均勾配：20° 未満 | 流域平均勾配：10～20° 未満 | 流域平均勾配：20° 以上 |
| 考え方 | 災害直後等において、出水時の土砂流出の軽減や出水の河川等への導流を図るとともに、下流の住民への警戒避難体制の構築を図る。 | 同時多発的に発生した複数の山腹崩壊地や溪流内の堆積土砂の侵食による流出土砂を発生源とする各支流からの土石流に対して、山脚固定や溪流の縦横侵食防止、本流における土石流の発達を抑制を主目的とした治山ダムを合流点に配置する。 | 源頭部の〇次谷の崩壊地を発生源とし、流下区間における溪岸、溪床の侵食により拡大した土石流に対して、山脚固定や溪流の縦横侵食防止を主目的とした治山ダムを配置する。 |
| 整備内容等 | 溪流の出口等に大型土のうを設置するとともに、溪流に土石流センサーを設置する。なお、留意点の場合に限り、治山ダム上流部に異常堆積している土砂等の排土を実施することがある。また、必要に応じ、土石流の流出防止を図るワイヤーネット工を設置することもある。 | 各支流との合流点付近に治山ダムを配置し土石流の減勢を図るとともに、溪流内の不安定土砂の堆積箇所、溪床や溪岸の侵食箇所等に治山ダムを階段状に連続して配置する。治山ダムは土石流発生時においても安定した構造を有することとする。 | 溪流内の不安定土砂の堆積箇所、溪床や溪岸の侵食箇所等に治山ダムを配置する。土石流の外力が想定以上に大きくなる場合もあるため、階段状に複数基のダムを計画し、溪床勾配を緩和することにより土石流の減勢を図ることが特に重要となる。治山ダムは土石流発生時においても安定した構造を有することとする。 |
| 箇所 | 高松山ヶ-2（民有林），寺側，登龍 | 高松山ヶ-2，ヶ-4，ヶ-6，寺側，東山 | 高松山ヶ-3，ヶ-7，ヶ-8，犬戻鳴山 |
| 留意点 | 治山ダム上流側の排土は、人家等の保全対象に近接しており、治山ダム上流に異常堆積している場合であって、降雨による土砂流出や土砂流出による被害が懸念される場合に、既設治山ダムの被災状況を踏まえつつ、土石流の外力に対して安定度を検証の上、あくまでも恒久対策が完了するまでの一時的な措置とする。また、安定計算上可であっても、今回の土石流により堤体に損傷が及んでいる可能性も想定されるため、排土以外の応急対策が無い等、やむを得ない場合のみの緊急的な措置とする。なお、必要に応じ、差筋・増厚等による治山ダムの補強など治山施設を補強する対策を検討する。 | 両者は厳密に区分できるものではなく、並列型と直列型の間違った荒廃溪流や、これらが複合した荒廃溪流も存在する。実施においては上記の考え方・整備内容等を参考にし、山腹工による発生源対策とともに現地の荒廃状況や施工条件等に応じた配置計画について個別に検討を行うこととする。また、コスト縮減や長寿命化等の観点から、必要に応じ、安定計算等の上、既存の治山施設の増厚、嵩上げについても検討する。 | |