

4. 効果的・効率的な予防・復旧対策のあり方の検討

4.1 過去の地震における対策方針の整理

効果的・効率的な予防・復旧対策のあり方を検討するため、前章で整理した文献より、過去の地震で実施された対策について表 4.1 にとりまとめた。表 4.1 では、崩壊様式毎にどのような対策方針や工種で対策されていたかに着目し、対象地震が明らかな場合は該当地震についても整理した。また、記載文献は少ないものの既往施設について言及されている場合は、既往施設の効果（被害）についてもとりまとめた。

「テフラの崩壊」や「表層崩壊」、「岩盤崩落」、「崩壊性地すべり」等、崩土が完落（全て斜面から下部に落ちきる土砂移動形態）する崩壊様式では、基本的に流域全体で対策を実施することが多く、保全対象との距離が近い人家裏のような斜面では山腹工が採用されていることが多い。ただし、表面侵食が継続し流域の荒廃度を高めると判断される場合は、人家裏でなくとも「山腹工+緑化工」が採用されている場合もある。また、表層崩壊や崩壊性地すべりなどの崩壊地周辺については、亀裂が発達していることが多いため伸縮計や目視などにより亀裂状況のモニタリングをする等、二次被害軽減策を実施しながら必要に応じて切土工・地山補強土工等の対策が実施されている。

岩盤崩落は、他の崩壊様式と異なり影響範囲が直下であることが多いことから、基本的には危険斜面などを抽出した上で高エネルギー吸収柵などの落石対策を採用する事例が多いが、対策場所（流域内）等によっては溪間工・土留工も視野に入れた対策が実施されている（おそらく表層崩壊等も含んだ対策として）。

一方で、崩壊地内に崩土が残留する地すべりでは、山腹工中心の対策が実施されており、特に土砂ダムなどが形成されている場合は、緊急対応として仮排水路の掘削や湛水のポンプアップなども検討されている。また、規模が大きいことが多いため、地すべり対策工としては抑制工（地下水排除工等）が採用される事例が多く、それ以降は移動監視をしているような事例もある。ただし、対応可能な場合や降雨による再活動が懸念される場合は、抑止工（杭、アンカー工等）が採用されている。また、末端下部で人家や県道など直接的な被害を抑制する必要がある場合は、溪間工等も採用されている。

既往施設の効果としては、完落型の多くの崩壊様式で、治山ダムなどによる土砂の捕捉（満砂状態）について言及されており、一定の効果が発揮されていたことがわかる。ただし、一部では治山ダムの袖部の損傷なども報告されていることから、地震対応型（土石流対応型、地震力を考慮した安定計算）の治山ダム検討の必要性も示唆される。

また、岩盤崩落、地すべりなど原位置の対策が実施されている事例については、対策済みの場所では未対策の箇所よりも地震による被害が少ないことが報告されていることから、既往施設により被害が軽減されていたと判断できる。

表 4.1 地震により山地災害に対する対策方針等（文献事例）

運動様式	土砂形態	荒廃状況	対策工(案)		既往対策の効果	該当する地震	
			対策方針	工種			
テフラの崩壊	完落	・高密度で発生し、土砂の流動性が大きい ため、溪流の荒廃率が高くなりやすい (北海道胆振東部)。 ・土砂ダムの発生例は少なく、河道が閉塞しても短時間で解消される(熊本)。		・崩壊地内は植生による自然回復を基本とするが、表面侵食により土砂流出が継続する場合は緑化工を検討する。	・溪間工(流木対策含む) ・切土整形 ・緑化工	・既設の治山堰堤や砂防堰堤が多量の土砂を捕捉し被害軽減に効果を発揮した(熊本)。	・東北地方太平洋沖地震(2011 白河市) ・熊本地震(2016) ・北海道胆振東部地震(2018)
表層崩壊		・発生件数が多いため、林地・溪流荒廃面積の大部分を占める。 ・河床に細粒の土砂が厚く堆積し、降雨時に一斉に流出する危険性がある(兵庫県南部、中越、岩手・宮城、北海道胆振東部)。 ・地震時に降雨が少ない場合、その後の梅雨期・融雪期の土砂流出が著しい。	【流域全体の対策】 ・溪間工で不安定土砂を固定すると同時に脚部の侵食を防止し、流出量をコントロールする。 ・不安定土砂と同時に発生した多量の流木への対策が必要(岩手・宮城)。 ・保全対象への影響が小さく優先度が低いものは、整備後に再評価または経過観察。 ・ソフト対策(施工中の安全管理も含む)のため伸縮計や土石流センサーによる監視。	・崩壊地内は植生による自然回復を基本とするが、表面侵食により土砂流出が継続する場合は山腹工＋緑化工を検討する(岩手・宮城)。 ・尾根部・凸部に発生した亀裂については、梅雨期前に亀裂分布図を作成し斜面周辺部のソフト対策に活用(兵庫県南部)するほか、地表伸縮計による監視や定期的な目視点検等、低負荷の観測を継続し、その後の恒久対策に反映させる(熊本)。 ・グリーンベルト(兵庫県南部)	・溪間工(流木対策含む) ・切土整形 ・緑化工 ・土留工 ・地山補強土工	・砂防堰堤施設等の堆砂スペースは余裕あり(兵庫県南部) ・治山堰堤の袖部が流出(長野県北部) ・地震時に流下した土砂により、溪流出口付近に位置する堰堤まで満砂状態(中越)。→間接的に土砂を止めていることが効果として考えられる	全地震で共通
岩盤崩落 (トッピング、落石含む)		・河岸の崩壊で土砂量の大きいものは、土砂ダムを形成することもある(岩手・宮城)。	【山腹工】 ・保全対象との距離・不安定土砂量・溪床勾配によって対策の優先度を決定する。	・危険斜面・不安定土塊を抽出し、保全対象付近では待受けの防護対策として溪間工や高エネルギー吸収柵を検討する。	・溪間工 ・土留工 ・地山補強土工 ・岩盤緑化工 ・落石対策工 ・除石	・落石対策済み斜面では未対策斜面と比較して被害が少なかった(熊本)。	・全地震で共通
崩壊性地すべり		・大規模な崩壊性地すべりでは土石流が発生(岩手・宮城)。 ・多量の土砂が発生した崩壊地末端では堤部が長い土砂ダムが形成される(岩手・宮城)。 ・溪流内に多量の土砂が流出。		・拡大崩壊の可能性があり下流へ影響が及ぶと考えられる場合、必要に応じて(土砂ダム発生時など)詳細な機構解析を行い抑止工を検討する。 ・伸縮計による滑落崖の亀裂監視。	・溪間工 ・切土工 ・土留工 ・水路工 ・暗渠工 ・地山補強土工(上部亀裂等に対し) ・仮排水路の掘削、湛水のポンプアップ	—	・中越地震(2004) ・中越沖地震(2007) ・岩手・宮城内陸地震(2008) ・長野県北部地震(2011)
地すべり	残留	・規模の大きな土砂ダムが発生している事例が多く、地震後も湛水が長期間継続する(中越、岩手・宮城)。 ・融雪期に越流・決壊に伴う土石流が発生 ・土塊上部の林地の荒廃は比較的少ない。	【山腹工中心の対策】 新たな土砂供給を抑制するために山腹工で侵食を防止する。必要に応じて保全対象に近接した位置で抑止工を検討。	・土砂ダム形成により湛水池が発生している場合は緊急対応が必要。 ・人家や県道・国道への直接的な被害を抑止するような谷止工を優先して施工。	・溪間工 ・地下水排除工(抑制工) ・仮排水路の掘削、湛水のポンプアップ ・抑止工(杭、アンカー工等) ・規模が大きな場合は監視	・地すべり事業実施済みの概成斜面では変状の発生が少なかった(中越、岩手・宮城)。	・新潟県中越地震(2004) ・新潟県中越沖地震(2007) ・岩手・宮城内陸地震(2008) ・長野県北部地震(2011) ・熊本地震(2016)

4.2 大規模地震における効果的・効率的な治山対策のあり方（案）の検討

4.2.1 地震における治山対策を検討する上での着目点

(1) 地震により発生する山地災害の特徴

地震により発生する山地災害の特徴については、3.2.5 章に詳細を整理したが、下記の 6 点があげられる。

【突発性】

- ✓ 突発的に発生するため、被災度が高まる可能性がある

【崩壊の高密度化】

- ✓ 非常に高密度で崩壊（特に表層崩壊やテフラの崩壊）が発生する可能性がある。
- ✓ この場合、一つ一つの崩壊が小さくても流出土砂量が膨大で、流域内に土砂が多量に残存することとなり流域の荒廃度を高める

【崩壊の大規模化】

- ✓ 尾根が動くような初生岩盤地すべりが発生する可能性がある
- ✓ 通常（降雨）では考えられない規模、深度の地すべりが発生し、土砂ダムを形成する可能性がある
- ✓ 通常規模の地すべりも密度が高く発生する可能性があり、全体的には大規模な荒廃となる可能性が高い
- ✓ 大規模な岩盤地すべりでは、すべり面が低角であることが多く、地震後の降雨では再活動しない場合もみられる

【崩土の流動化】

- ✓ 地震前の降雨や積雪などの影響から水分環境が多い場合、地すべりなどの末端土塊や崩土の移動距離が長距離化し、流動～土石流化する場合がある
- ✓ 崩土が流動化し溪流内にとどまった場合は、土砂ダムを形成する危険性がある（同時多発的に土砂ダムを形成する可能性がある）

【平時における危険性の認識のしづらさ】

- ✓ 開析の進んでいない緩斜面でも崩壊が発生する可能性がある（テフラの崩壊）
- ✓ テフラの崩壊の場合、通常考えられる崩土の到達範囲（50m）をはるかに超える広範囲まで崩土が到達する可能性がある
- ✓ 通常の降雨では発生しないと考えられる箇所（尾根部や凸型斜面）などでも表層崩壊が発生する可能性がある
- ✓ 新規の崩壊性地すべり、地すべりが発生する可能性がある

【二次被害の危険性】

- ✓ 地震後の降雨により、谷頭に堆積していた崩土や不安定な土塊（亀裂等）が再移動し土石流化する場合がある

- ✓ 亀裂が残存する場合、地震後の降雨（通常より少雨でも）で崩壊が発生する可能性がある（流域の荒廃度を長期にわたって悪化させる）
- ✓ 地すべりなどでは地震後の降雨により二次移動の可能性がある

また、上記以外にも発生場所の不確実さや予見の難しさ（時期想定困難）等の特徴を有しており、事前の予防検討が困難である。

一方で、地質による崩壊様式の傾向など、地震により発生する山地災害にはある一定の傾向を有することが文献整理から確認されたことから、**地震により発生する山地災害に対してある一定の評価が可能**となることも特徴としてあげられる。

したがって、治山対策を検討するにあたってはこれらの特徴を踏まえた検討が重要であり、特に地質と崩壊様式に着目することで、ある程度地震を考慮した治山対策の検討が可能となる。

(2) 地質による山地災害発生の違い

地震においては、地質により発生する山地災害に傾向が見られることが前章までで明らかとなったが、効果的・効率的な予防・復旧対策を具体的に検討するためには、これらの地質と崩壊様式による山地災害の傾向（具体的には規模の違いや危険性の違い）を整理しておくことが重要となる。そこで、災害の被害規模を決める「崩壊規模」と「流動化」をキーワードとして、各地質、崩壊様式の出現状況のイメージを整理すると図 4.1 のとおりとなる。

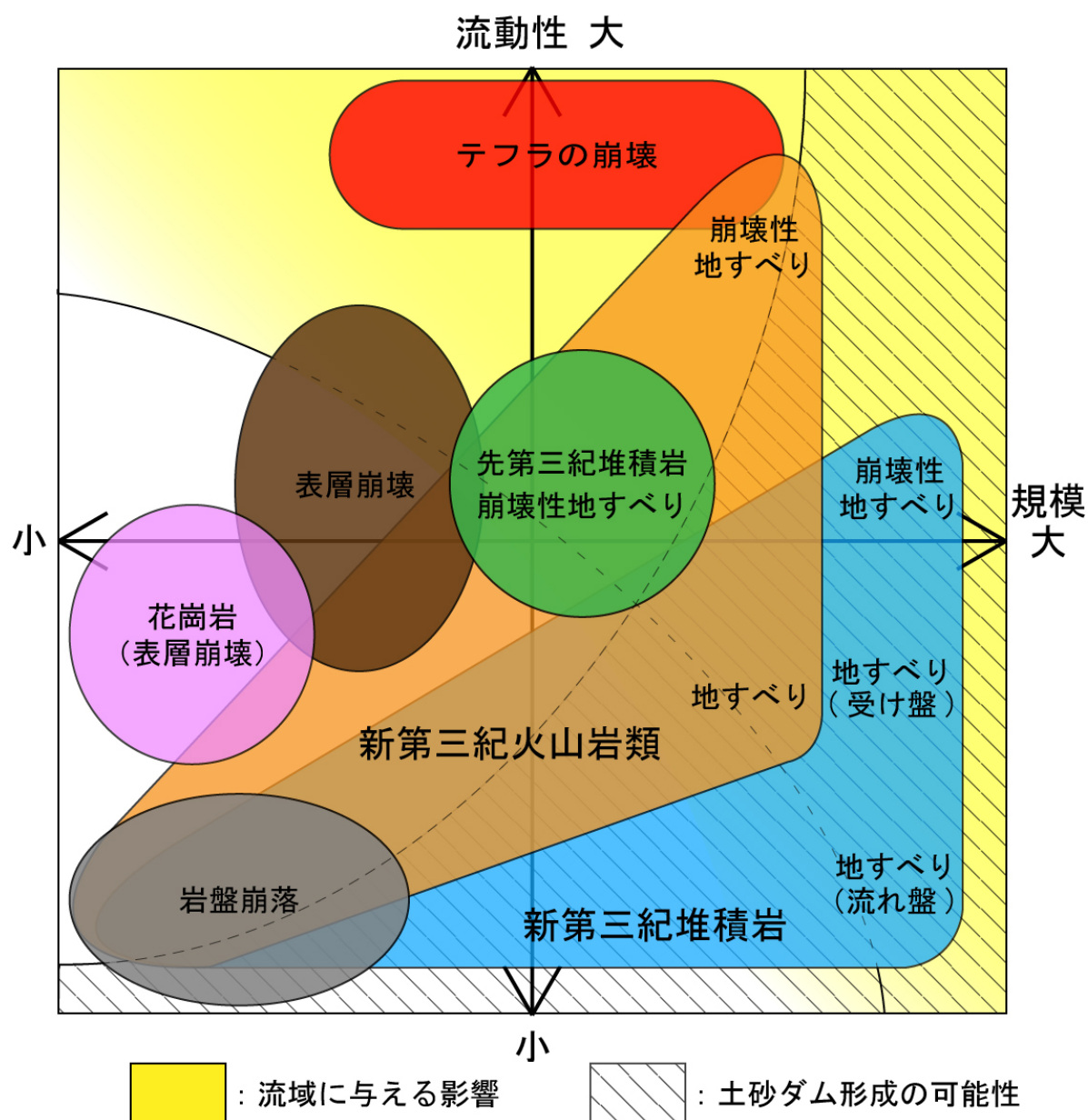


図 4.1 大規模地震による地質と崩壊様式毎の規模と流動性イメージ

図 4.1 から把握できる主な内容を以下に示す。

- ✓ 新第三紀の火山岩類では、地すべりと崩壊性地すべりとも規模が大きいですが、地すべりに較べて崩壊性地すべりの流動性が大きく、岩盤崩落は規模・流動性とも小さい。
- ✓ 新第三紀の堆積岩では、新第三紀の火山岩類に較べて、地すべりや崩壊性地すべりの規模はさらに大きいですが、流動性はやや低い。
- ✓ これらのうち、大規模な地すべりと崩壊性地すべりは土砂ダムを形成することが多い。
- ✓ テフラの崩壊は、崩壊性地すべりと同程度の規模を持つものや個々の規模は小さくても高密度で発生するため影響度としての規模は大きく、流動性は最も高くなる。
- ✓ 先第三紀堆積岩での崩壊性地すべりは、新第三紀の火山岩類や堆積岩の崩壊性地すべりに較べると規模が小さい。
- ✓ 表層崩壊や花崗岩の崩壊は、岩盤崩落と規模は同程度であるが、流動性がやや高い現象である。

以上のとおり、大規模地震時には、地質により異なった流動性や規模を持つ山地災害現象が発生しており、それぞれの地質に応じた予測や対応が必要になることがわかる。例えば、本業務の調査対象であった H30 北海道胆振東部地震の発生地域は、新第三紀堆積岩分布域をテフラが覆う地域であり、地質的に極めて危険性の高い地域であったと考えられる。

これらのことから、大規模地震における治山対策を検討する際は、以下に示す特定の地質を明らかにし、危険性を整理した上で検討することが重要となる。

【大規模地震で山地災害発生の危険性が高まり、注意が必要と判断される特定地質】

テフラ（降下火山碎屑物）、新第三紀堆積岩、新第三紀火山岩類の分布域
 特にテフラで覆われた新第三紀堆積岩・新第三紀火山岩類の分布域は危険性が高い
 複合地質型災害が発生する危険性がある

4.2.2 大規模地震に対する治山対策の考え方

(1) 基本的な方針

大規模地震に対する治山対策としては、前項までに整理した、地震により発生する山地災害の特徴や地質による山地災害発生の違い、特定地質の存在などを踏まえ検討する必要がある。

再整理すると、大規模地震では、通常想定できない規模の岩盤地すべりや高密度な崩壊（テフラの崩壊、表層崩壊）を発生させ、降雨では危険箇所として抽出されない緩斜面で流動化の激しいテフラの崩壊を発生させるなど、地震ならではの危険性を多く内包しており、治山対策を考える上で多くの課題がある。また、通常規模以上の大規模岩盤地すべりや危険が認識しにくいテフラの崩壊等に対しては、①知見の不足、②規模の問題などから、直ちに有効な対策を実施することは困難であり、たとえ現象が明らかになったとしても対策困難な事象も存在している。

一方で、既往文献からは既往施設が大規模地震時にも有効に機能しており、たとえ被災したとしてもある一定の被害抑制に寄与していることも確認されている。

以上を踏まえ、大規模地震における治山対策の基本的な考え方（方針）としては、下記のとおりとする。

【基本的な方針】

現状の治山対策の整備は大規模地震に対しても有効であることからこれを推進する（流域の全体整備、保全対象が近接する山腹斜面の対策等）。その上で、流域の特性（特に断層位置や地質の分布・構造）や土地利用等に着目し、大規模地震が流域の荒廃や保全対象に及ぼす影響度を考慮した上で、優先地区や対応可能な範囲を明確にし、想定現象に応じた施設を配置するとともにリスクの周知などソフト対策を含めた事前防災対策を推進する。

(2) 治山対策の考え方

上記の基本方針では、大規模地震に対する治山対策においても、現在降雨対応で実施している治山対策の整備を推進することが基本となっている。これは、既往施設が過去の地震に対して効果が発揮されていたこと、完落型の崩壊様式の対策方針が流域全体での整備を基本とされていることが多いことから有効な対策であると考えられる。

その上で、通常実施されている流域特性の把握に加え、大規模地震により危険性が高まると考えられる箇所を断層位置や地質の分布・構造などから抽出し、考え得る現象を想定した上で保全対象に対する影響度を検討する。危険となる断層位置や震度分布などは、地震調査研究推進本部等により今後ある一定期間に見舞われる確率震度が示された確率論的地震動予測地図や震源断層を特定した地震動予測地図等が公表されていることから（図 4.2 参照）、これらを参考に検討を実施することが可能である。

また、流域の荒廃や保全対象に対する影響度については、地質・地形と土地利用条件等から、例えば崩壊等の集中度、土砂ダム形成や孤立化の可能性、土石流発生の可能性等を検討することとなる。ただし、新規の大規模岩盤地すべりなど可能性は検討できるものの対応できない事象などについては、その可能性や対応範囲を明らかにした上で、優先度などを検討することとなる。

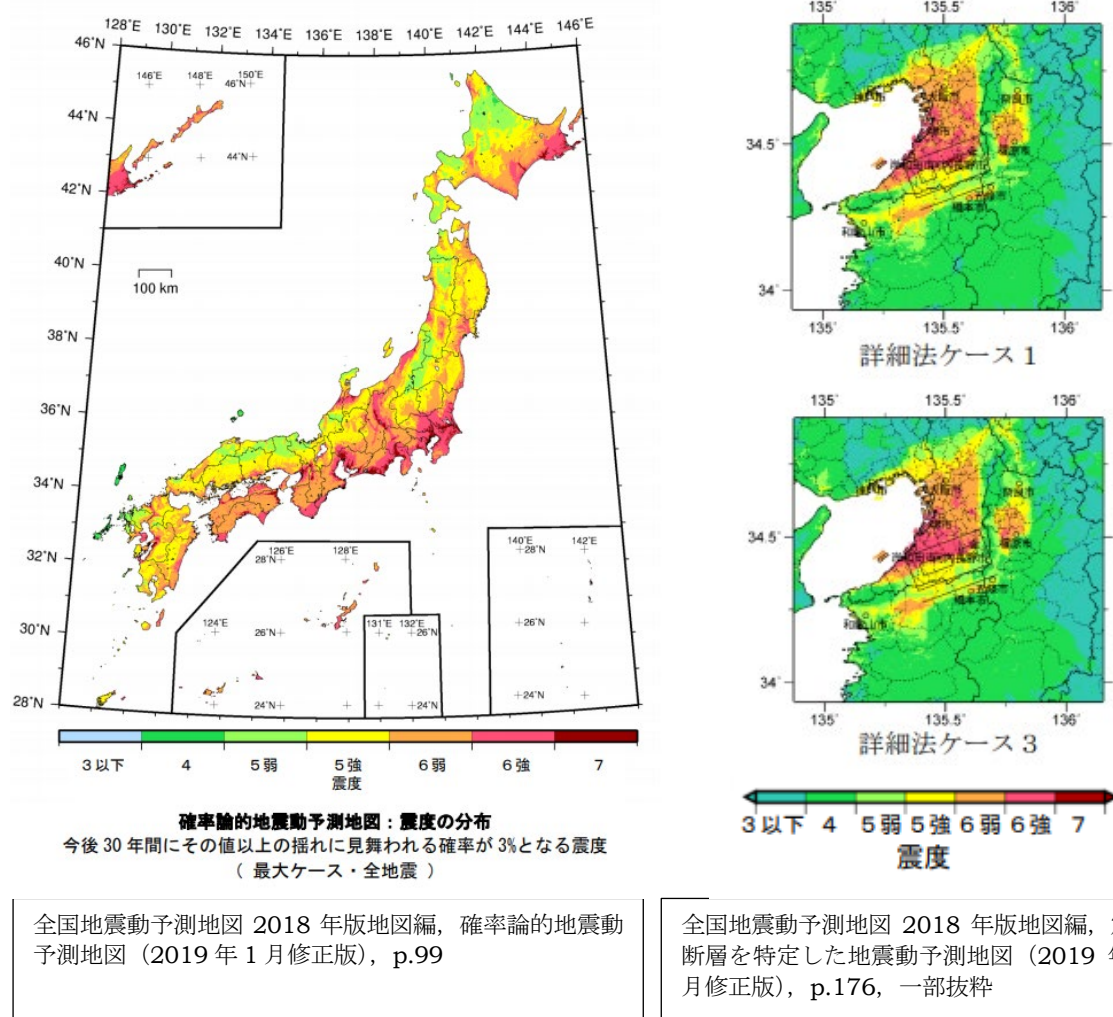


図 4.2 地震調査研究推進本部等による地震予測地図

上記で検討した影響度、優先度などを踏まえ、想定現象に応じた施設を配置するためには、通常実施する治山対策に対し、地震を考慮した「+α」の対策を検討する必要がある。これらは、流域の特性や検討箇所により様々であると考えられるが、具体的な例としては、土石流が発生すると想定される箇所では治山ダム設計時に地震動を考慮した安定計算の実施や土石流対応型の整備、また崩壊集中が懸念され多量の土砂流出が想定される場合はスリットダムなどの検討、危険性が懸念されるが対策が困難な場合にはソフト対策（リスクの周知等）や管理道を整備することによる避難路の分散化などが考えられる。

また、地震後の応急/復旧対策としては、二次被害軽減対策も重要な検討内容になると考えられることから、地震直後の被害軽減対策に加え、亀裂等による長期の流域安定度低下に備えたモニタリングなどの検討が必要になると考えられる。例えば、土砂ダムが発生した場合は、他機関と連携した上でポンプアップやリスクの周知等の体制を早期に構築する必要があり、崩壊では大型土嚢の設置など、地震直後の応急的な対策が必要となる。また、亀裂や地すべり再移動のモニタリングについては、地震後の降雨による二次被害も多く報告されていることから重要な位置づけとなる。

一方で、大規模地震の影響は長期にわたることが想定されることから、緑化や森林整備も含めた治山対策を推進し、自然が持つ土砂流出防備機能や土砂崩壊防備機能が最大限発揮される対策を講じる必要がある。

特に、平成 29 年 7 月九州北部豪雨時に大きな問題となり注目された流木災害等については、地震においても森林が分布している山地が多く、被災現場となることから、その後の流域対策や事前防災対策として流域の流木災害に対する防災力を向上させておく必要がある。

また、本業務で対象としたような大規模地震では記載が見られなかったものの、自然裸地や草本群落箇所よりも森林が成林している箇所での崩壊発生率が比較的小さいことや、根系の発達が不十分な幼齢林が壮齢林斜面と比較し表層崩壊が発生しやすかった傾向等が指摘されていることから、表層崩壊の集中を抑制する意味でも十分に根系を発達させた災害に強い森づくりとして、積極的な森林整備が重要となる。

以上に記載した治山対策の検討イメージを図化すると図 4.3 のとおりとなる。

	通常	大規模地震 (一部豪雨)
準 事 備 前		✓ 地震動予測マップの確認 ✓ 災害タイプ分類MAPの確認 ✓ 危険地区箇所の絞り込み (特定地質・地形等の抽出) など
予 防 ・ 復 旧	【流域特性の把握】 ✓ 地形・地質 ✓ 気象条件 ✓ 保全対象（土地利用） ✓ 荒廃特性 など	✓ 想定される断層位置の確認 ✓ 特定地質の有無 (新第三紀時代の地質/テフラ/ 花崗岩類など) ✓ 地震による山地災害危険 度MAPの作成 など
	【危険性の把握（現況調査）】 ✓ 既往施設把握 ✓ 荒廃現況調査 ✓ 崩壊の安定解析 など	(山地災害危険度MAPを基に) ✓ 被害が発生し得る地形の 抽出（河道閉塞、緩斜面等） ✓ 土地利用を考慮した危険 性の把握（孤立化等） ✓ 流域埋没の可能性検討 など
	【対策の検討】 ✓ 優先順位の設定 ✓ 不安定土砂の固定 ✓ 山脚の固定/溪床勾配緩和 ✓ 山腹工（緑化） ✓ 地すべり対策 など	✓ 発生し得る山地災害を考 慮した「+α」の検討 ✓ 流域計画の見直し ➢ 治山ダム of 土石流対応化 ➢ スリットダム等の検討（捕捉機能） ➢ 既往施設の機能強化 ➢ 山脚固定強化（多段配置） ➢ ソフト対策（リスク周知等） など
二 次 被 害 防 止		✓ 亀裂の監視 ✓ 地すべり再移動の監視 ✓ 土砂ダム対応（他機関と協力） など
	【流域の防災力向上】 ✓ 緑化・森林整備を含め自然が持つ土砂流出・土砂崩壊防備機能の発揮 ✓ 根系が十分発達した災害に強い森林づくり（積極的な森林整備） ✓ 流木対策の積極的な実施 ✓ 管理道等を含めた避難経路の確保 など	

図 4.3 大規模地震を考慮した治山対策検討イメージ