令和６年度重点研究課題（研究助成金）

経験のない気象の常態化による宅地斜面防災に関する調査研究報告書

令和７年３月

公益社団法人土木学会
地 盤 工 学 委 員 会
地震工学委員会・安全問題委員会

（公社）土木学会令和６年度重点研究課題

「経験のない気象の常態化による宅地斜面防災に関する調査研究報告書」

目　次

まえがき

１．研究概要

1.1　研究の目的　1-1

1.2　研究内容　1-2

２．経験の無い気象条件と土砂災害

2.1　気象条件から見た土砂災害の発生の変化と経験の無い気象条件　2-1

2.2　降雪等の変化と斜面・のり面への影響　2-12

2.3　降雨と地震による複合災害　2-20

2.4　大地震後の降雨による土砂災害に関する文献調査と課題整理　2-24

３．近年の宅地斜面災害と対策（災害メカニズム、主な対策と効果）

3.1　近年の宅地斜面（盛土）災害と対策　3-1

3.2　斜面に関する災害と対策　3-20

3.3　宅地における斜面構造物に関する災害と対策　3-49

3.4　宅地擁壁に関する災害と対策　3-64

４．地域力で防ぐ土砂災害

4.1　地域防災活動の現状と課題　4-1

4.2　災害に対する地域の危険度情報　4-26

4.3　地域特性を考慮した防災活動の事例　4-60

4.4　土砂災害に関わる法的な課題と対応策　4-75

4.5　地域防災活動の限界　4-81

５．潜在的な自然災害リスクを有する地震災害と気象災害

5.1　ハザードマップから漏れる降雨時の斜面崩壊と住宅被害　5-1

5.2　地形・地質からみた複合災害の特徴と課題-令和６年能登半島地震・豪雨　5-7

5.3　大地震後の豪雨による土砂災害の発生傾向　5-23

６．まとめ

6.1　研究成果のまとめ　6-1

6.2　経験のない気象の常態化がもたらす宅地斜面被害に対する今後の在り方　6-2

はじめに

本報告書は（公社）土木学会令和 6 年度重点研究課題に採択された「経験のない気象の常態化による宅地斜面防災に関する調査研究」の成果を取りまとめたものである。

近年，異常気象は激甚化・頻発化しており，風水害・土砂災害等の気象災害をもたらす大雨や短時間強雨の発生頻度は増加傾向にある。また，地球温暖化による海水温の上昇は台風の勢力拡大に影響を与えるとされており，台風による被害拡大につながる。このような地球規模での気象災害の激甚化・頻発化に加えて，我が国では潜在的に大規模地震や火山噴火による災害リスクが高い脆弱な国土に住み，社会生活を送っている。さらに，我が国は高度経済成長期に丘陵地を活用するために施工された宅地擁壁が老朽化もしくは既存不適格な状態で膨大な数が残存しており，異常気象の常態化によって大きな災害リスク要因となりうる。そのような背景の下，本研究では「宅地斜面」をキーワードとし，宅地に関わる切土・盛土・自然斜面や斜面下の宅地（造成地）で使用される一体性の低い石積み擁壁（ブロック積み擁壁含む）の災害状況と発生メカニズムとその対応策の検討に加え，地域レジリエンスに資するまちづくりや地域間連携・自治体間連携のあり方など宅地斜面の防災力の向上に関する技術的・社会学的課題に関して検討した。このような他分野横断的に研究を進める必要があるため，地盤工学，地震工学，安全問題のグループに分かれて検討を行った。

また，本研究課題採択後に発生した能登半島を中心とした災害（令和 6 年能登半島地震（令和 6 年 1 月 1 日），令和 6 年能登半島豪雨（令和 6 年 9 月 21-23 日））では，地震による復旧・復興が遅れる中に豪雨災害も加わり，被害が大きく拡大する結果となった。このような地震・豪雨による複合災害も今後多く発生するものと考えられ，本研究課題でも現地調査により実態把握を行った。

とりまとめにあたり，調査研究を分担した，地盤工学，地震工学，安全問題の各小委員会委員の皆様，本研究課題提案時に有益な助言を頂いた地盤工学委員会・中野委員長，研究体制構築に協力頂いた地震工学委員会・酒井委員長，安全問題委員会・広兼委員長，高橋幹事長，他各委員会幹事・幹事長に感謝申し上げます。

最後になりますが，災害で亡くなられた方々に深く哀悼の意を表するとともに，被災された方々にお見舞いを申し上げ，一日も早い被災地の復興を切に望みます。

2025 年 3 月

（公社）土木学会　地盤工学委員会
斜面工学小委員会
委員長　伊藤　和也

1. 研究概要

1.1 研究の目的

研究目的は，かつて経験のない異常気象の常態化での持続的可能な宅地斜面のあり方について検討を行うことを目標として，具体的に以下の 2 点について実施する。すなわち，

1) 激甚化・頻発化する気象災害（豪雨・風水害）と潜在的な自然災害リスクを有する地震災害・火山災害に加えて老朽化した宅地インフラに対する対応策を具体的に提案
2) 過疎化・人口減少時代の地域防災のあり方と地域レジリエンスに資するまちづくりと合意形成についての方向性の提案

＜研究の具体性・実用性＞

近年，異常気象は激甚化・頻発化しており，風水害・土砂災害等の気象災害をもたらす大雨や短時間強雨の発生頻度は増加傾向にある。また，地球温暖化による海水温の上昇は台風の勢力拡大に影響を与えるとされており，台風による被害拡大につながる。このような地球規模での気象災害の激甚化・頻発化に加えて，我が国では潜在的に大規模地震や火山噴火による災害リスクが高い脆弱な国土に住み，社会生活を送っている。さらに，我が国は高度経済成長期に丘陵地を活用するために施工された宅地擁壁が老朽化もしくは既存不適格な状態で膨大な数が残存しており，異常気象の常態化によって大きな災害リスク要因となりうる。

本研究課題では，地盤工学研究委員会斜面工学研究小委員会にて蓄積された盛土斜面等の災害状況と発生メカニズム，そしてその対応策や，地震工学委員会城郭石垣及び石積擁壁の耐震診断・補強に関する研究小委員会で進められている一体性の低い石垣・石積み擁壁（ブロック積み擁壁含む）の安全性評価や補強対策をベースとして，宅地斜面の防災力の向上に関する技術的・社会学的課題について検討する。また，安全問題研究委員会地域安全小委員会にて蓄積された地域レジリエンスに資するまちづくりや地域間連携・自治体間連携のあり方から災害リスクが懸念される宅地斜面への住民対応問題について検討する。

＜分野横断的な特徴＞

本研究は，土木学会が掲げる理念「自然に対する畏敬の念を持ち，美しく豊かな国土と持続可能な社会づくりに貢献」に基づき，自然災害の調査研究にとどまらず，地域住民の安心安全を導くための方策の提言を視野に入れる。本研究課題は多分野の研究者，技術者の横断的な参画が求められることから，土木学会の複数の委員会（地盤工学委員会・安全問題研究委員会・地震工学委員会等）による共同調査となっている

1.2 研究内容

本研究は，研究作業をいくつかの専門分野に分けて実施した，

1. 経験のない気象条件と土砂災害
2. 近年の宅地斜面災害と対策（災害メカニズム，主な対策と効果）
3. 地域力で防ぐ土砂災害
4. 潜在的な自然災害リスクを有する地震災害と気象災害

研究成果のとりまとめにあたり，経験のない気象の常態化がもたらす宅地斜面への被害を想像し，従前から取り組まれている災害防止対策や地域防災計画の提示と異常気象の常態化や複合災害を鑑みて，各種防災・減災施策の効果について検討した。

研究体制は，表―1.1 に示すように，地盤工学委員会，地震工学委員会，安全問題委員会委員で構成した。

表-1.1　研究体制

	氏名	委員会	所属先
研究代表	伊藤　和也	地盤工学	東京都市大学
副代表	橋本　隆雄	地震工学	国士館大学
副代表	長谷川　潤	安全問題	さいたま市役所
研究幹事	岩佐　直人	地盤工学 地震工学	(株)藤井基礎設計事務所
分担研究	吉川　修一	地盤工学	八千代エンジニヤリング(株)
同上	美馬　健二	地盤工学	(有)太田ジオリサーチ
同上	北爪　貴史	地盤工学	パシフィックコンサルタンツ(株)
同上	石垣　幸整	地盤工学	日特建設(株)
同上	稲垣　秀輝	地盤工学	(株)環境地質
同上	上野　将司	地盤工学	応用地質(株)
同上	宇次原　雅之	地盤工学	日特建設(株)
同上	太田　英将	地盤工学	(有)太田ジオリサーチ
同上	大高　範寛	地盤工学	日鉄建材(株)
同上	大野　博之	地盤工学	(株)地質工学社
同上	片岡　謙一	地盤工学	アジア航測(株)
同上	片山　直樹	地盤工学	(株)日本海技術コンサルタンツ
同上	國領　ひろし	地盤工学	日鉄建材(株)
同上	後藤　聡	地盤工学	山梨大学
同上	櫻井　正明	地盤工学	山地防災研究所
同上	柴田　達哉	地盤工学	柴田地盤問題研究所

	氏名	委員会	所属先
同上	鈴木　素之	地盤工学	山口大学
同上	張　海仲	地盤工学	山形大学
同上	津田　雅丈	地盤工学	日本工営(株)
同上	中野　裕司	地盤工学	エコサイクル総合研究所/中野緑化工技術研究所
同上	中村　洋介	地盤工学	福島大学
同上	西川　直志	地盤工学	合同会社ジオラボ
同上	長谷川　陽一	地盤工学	国土防災技術(株)
同上	花本　孝一郎	地盤工学	(株)ワールド測量設計
同上	原　重守	地盤工学	(株)古川コンサルタント
同上	原田　紹臣	地盤工学	三井共同建設コンサルタント(株)
同上	樋口　佳意	地盤工学	埼玉県
同上	平岡　伸隆	地盤工学	(独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所
同上	藤井　俊逸	地盤工学	(株)藤井基礎設計事務所
同上	向谷　光彦	地盤工学	香川高等専門学校
同上	宮島　昌克	地震工学	ライフライン防災総研
同上	池本　敏和	地震工学	金沢大学
同上	岩津　雅也	地震工学	フリー工業(株)
同上	前田　和徳	地震工学	岡部(株)
同上	池本　宏文	地震工学	東日本旅客鉄道(株)
同上	石作　克也	地震工学	(株)日測
同上	大山　謙吾	地震工学	前田工繊(株)
同上	小野　祐輔	地震工学	鳥取大学
同上	ｱｲﾀﾞﾝ　ｵﾒﾙ	地震工学	琉球大学　工学部
同上	渡嘉敷　直彦	地震工学	琉球大学島嶼防災研究センター
同上	金澤　直孝	地震工学	(株)金沢工業
同上	金子　恵太	地震工学	(株)アートコーポレーション
同上	近藤　和仁	地震工学	共和コンクリート工業(株)
同上	斉藤　猛	地震工学	(株)ジオフィール
同上	酒井　久和	地震工学	法政大学
同上	アニルバン	地震工学	法政大学
同上	白石　夏菜	地震工学	法政大学
同上	境　吉彦	地震工学	鹿島建設(株)
同上	清水　浩之	地震工学	鹿島建設(株)
同上	漆原　孝成	地震工学	アップコン(株)
同上	田中　弘栄	地震工学	アキレス(株)
同上	橋ケ谷直之	地震工学	アサヒエンジニアリング(株)
同上	橋本　光男	地震工学	職業能力開発総合大学校

	氏名	委員会	所属先
同上	福島　康宏	地震工学	(株)エイト日本技術開発
同上	堀　謙吾	地震工学	日鉄建材(株)
同上	松尾　拓	地震工学	(株)日測
同上	三輪　秀雄	地震工学	(株)アミック
同上	茂木　正敏	地震工学	株式会社構造計画研究所
同上	柚木　龍雄	地震工学	三宅建設株式会社
同上	吉田　雅穂	地震工学	福井工業高等専門学校
同上	若井　明彦	地震工学	群馬大学
同上	渡邉　泰介	地震工学	地震工学研究所
同上	磯打　千雅子	安全問題	香川大学 IECMS 地域強靭化研究センター
同上	井上　晋一	安全問題	(株)JR 東日本商事
同上	大和田　勝文	安全問題	清水建設(株)
同上	大平　真弓	安全問題	応用地質(株)
同上	指田　朝久	安全問題	東京海上ディーアール(株)
同上	佐藤　英治	安全問題	いであ(株)
同上	白木　渡	安全問題	香川大学
同上	須藤　英明	安全問題	ものつくり大学
同上	須見　徹太郎	安全問題	(一社)全国地質調査業協会連合会
同上	高鍋　剛	安全問題	(株)都市環境研究所
同上	竹元　貴彦	安全問題	(株)システム二十一
同上	濱田　俊介	安全問題	応用地質(株)
同上	早川　直喜	安全問題	札幌市役所
同上	広兼　道幸	安全問題	関西大学
同上	中本　康晴	安全問題	東日本旅客鉄道(株)
同上	脇阪　節	安全問題	国土交通省
同上	矢内　匠	安全問題	さいたま市役所
同上	山口　健太郎	安全問題	(株)三菱総合研究所
同上	山中　憲行	安全問題	前橋工科大学

※各委員会から参画している小委員会は下記の通りである。

地盤工学：斜面工学小委員会

地震工学：城郭石垣及び石積擁壁の耐震診断・補強に関する研究小委員会

安全問題：地域安全小委員会

本研究の執筆者を表-1.2 に示す。

表-1.2　執筆者・協力者一覧

1 章	◎伊藤　和也，○岩佐　直人
2 章	◎大野　博之，○柴田　達哉，中村　洋介，張　海仲
3 章	◎長谷川　陽一，○橋本　隆雄，○北爪　貴史，國領　ひろし，宇次原　雅之，大野　博之，津田　雅丈，美馬　健二，櫻井　正明，原田　紹臣，中野　裕司，細野　賢一 [1)]
4 章	◎岩佐　直人，○長谷川　潤，○平岡　伸隆，藤井　俊逸，向谷　光彦，樋口　佳意，原田　紹臣，鈴木　素之，稲垣　秀輝，上野　将司，磯打　千雅子，矢内　匠
5 章	◎上野　将司，稲垣　秀輝，鈴木　素之
6 章	◎伊藤　和也，○岩佐　直人
協力者	小野村史穂 [2)]（2.1～2.2 査読），片山直樹（3 章査読），花本孝一郎（3 章査読），石垣幸整（5 章査読）

◎：主査，○：副査

委員会外執筆者・協力者

1)：（株）地層科学研究所

2)：東京都市大学

2. 経験の無い気象条件と土砂災害

2.1 気象条件からみた土砂災害の発生の変化と経験の無い気象条件

2.1.1 全国平均的な気象観測データと土砂災害発生の推移概要

土砂災害の発生要因は，古くから「素因」と「誘因」に整理されてきた。一般に「素因」は地形・地質条件としての急傾斜・地すべり・集水地形，風化・変質して脆弱化して力学的に劣化している岩盤や断層や割れ目の地質構造をいう。一方，「誘因」は崩壊・破壊を起こす直接的なトリガーとなった降雨・雪解けや地震力を位置づけることが多い。また，道路工事や宅地開発が「誘因」となる人為的な地形改変の場合もあるが，地質リスク素因と気象誘因が背景には混在して存在することも多い。しかし，昨今の土砂災害の「誘因」は，明らかに「降雨形態の変化」によるものであり，客観的にも地球温暖化の結果とそれに付随した植生変化の結果と考えられている。また，地球温暖化は，人間活動によりもたらされたものとすると災害が頻発化してきている現代は人間の営みの結果ともいえる。

気象の変化は，IPCC でも地球温暖化やヒートアイランド現象の影響であることに他ならないと報告されているが，「日本では気象庁の全国の観測地点での降水量のデータを用いて計算した年降水量では，有意な長期変化傾向はみられていない[1)]」とされている。しかし，全国平均をみて降水タイプに着目した発生回数の整理では，近年の傾向を現しており，極端な雨の降り方として「短期的強雨」，「大雨型降雨」にて降雨の傾向を整理してみる必要がある。近年数十年間においては少なくとも大きな時間雨量（短期的強雨型降雨）の発生回数が増加しており，大きな総雨量（大雨型降雨）にはさらに大きな倍率で増加していることが伺える。また，同時に最近の 10 年間での土砂災害の発生頻度も約 1.2 倍に増加している。

これらのことより，降雨日数が減少している背景で時間降雨量の増加及び大雨発生頻度の増加などと少なくてもここ数十年の土砂災害は，降雨形態ではメリハリが大きくなることに連動して発生していることが考察される。

人間の感覚で簡明にいえば，「雨の降り方」が変わってきたといえるのかもしれない。日本語には雨の降り方を表現する豊かな言葉がたくさんあるが，「霧雨」は霧のように細かな雨や「小糠雨」はさらに細かい雨を指す言葉としてある。また，夏の驟雨（にわか雨）や夕立は，降り始めや降り止みが突然で，空間的な雨の分布を見ても変化が大きく散発的である降り方がある。対して，梅雨時のだらだらとした長雨の五月雨，秋口の長雨となる秋雨また寒い時期の氷雨など，四季の変化に合わせた雨量変化や季節の変わり目の穏やかな雨であることが多い。2008 年に流行語となった「ゲリラ豪雨」に象徴されるように雨の降り方が「短期豪雨型」と変化してきており，この人間の記憶においてもその傾向が明確化してきているといえるのではないかと思われる。

(1) 短期的強雨型降雨（ゲリラ豪雨）の傾向

図 2.1.1～図 2.1.3 は，気象庁(2024)[2)]の示した全国 1,300 のアメダス観測地点で観測された約 50 年間のデータを整理したものである。これによると，1 時間降水量 50mm 以上，80mm 以上または 100mm 以上の短時間強雨の年間発生件数は，1975 年以来大局的に増加傾向が認められる。

また，最近の 10 年間（2014～2023 年）の平均年間発生回数では，統計期間の最初の 10 年間

（1976～1985 年）と比べて 50mm 以上では約 1.5～2.0 倍，80mm 以上では約 1.7 倍，100mm 以上では約 1.8 倍に増加している。

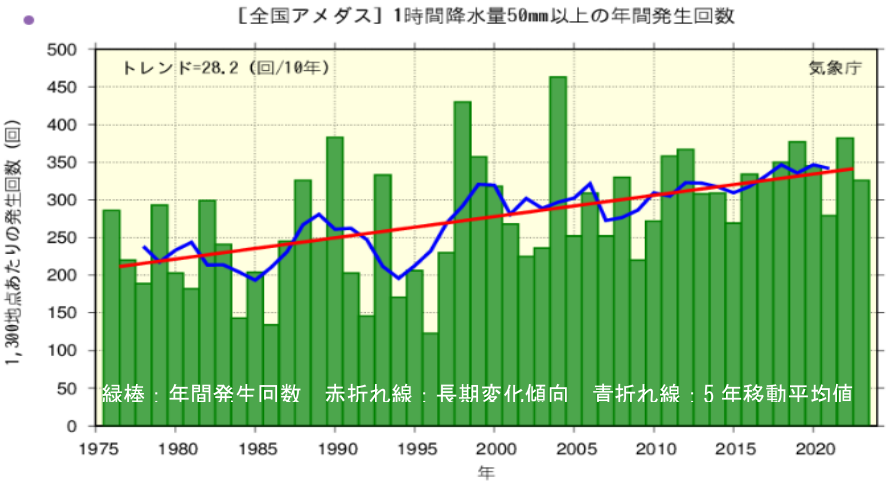


図 2.1.1　時間降水量 50mm 以上の年間発生件数

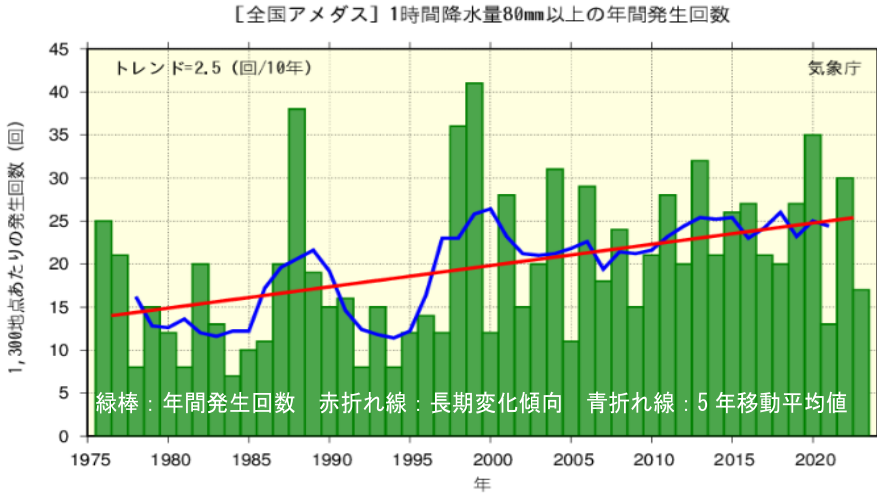


図 2.1.2 時間降水量 80mm 以上の年間発生件数

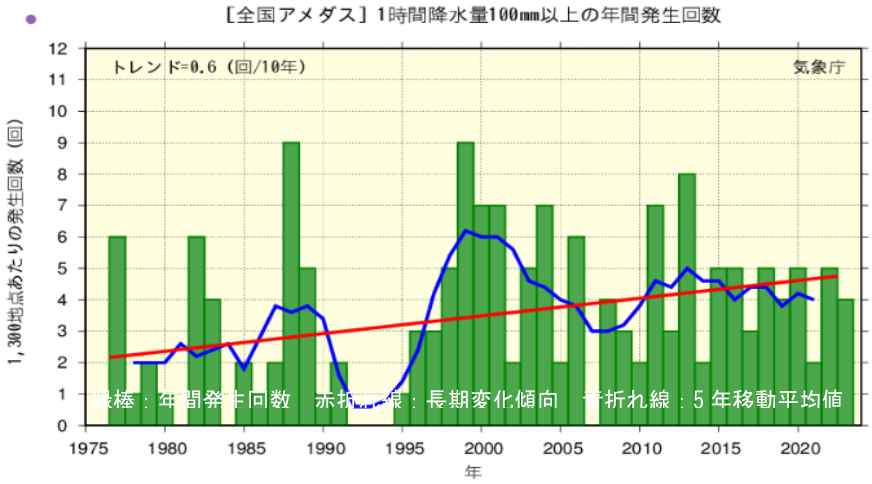


図 2.1.3 時間降水量 100mm 以上の年間発生件数

(2) 大雨型降雨

図 2.1.4～図 2.1.6 は，同様に気象庁(2024)[2]の示した全国 1,300 のアメダス観測地点で観測された約 50 年間のデータを整理したものである。最近の 10 年間（2014～2023 年）の平均年間発生回数では，統計期間の最初の 10 年間（1976～1985 年）と比べて 200mm 以上では約 1.6 倍，300mm 以上では約 2.1 倍，400mm 以上では約 2.3 倍にも増加している。

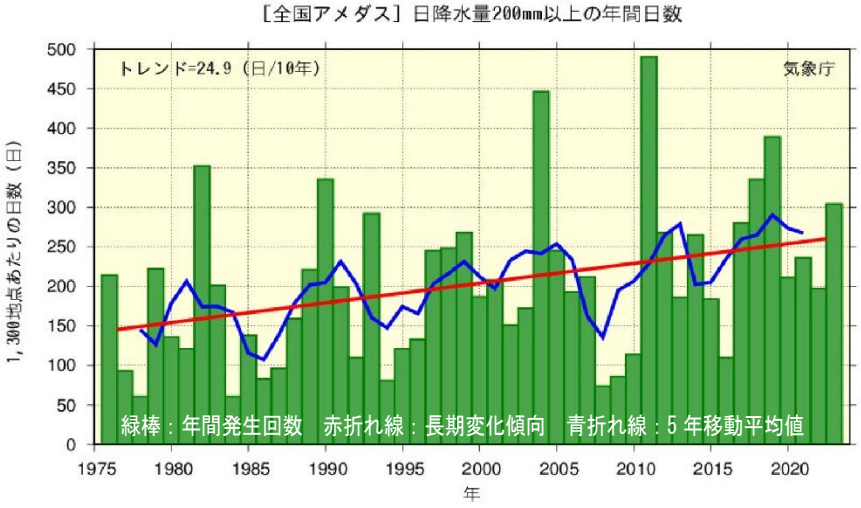


図 2.1.4 日降水量 200mm 以上の年間発生件数

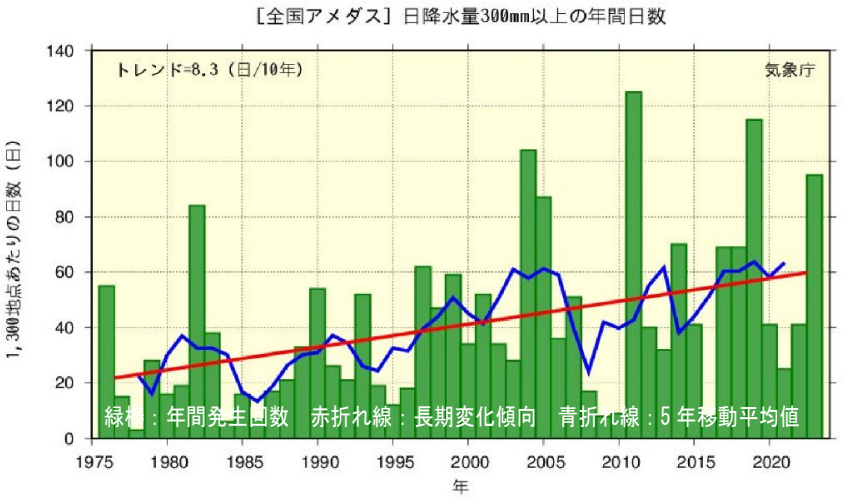


図 2.1.5 日降水量 300mm 以上の年間発生件数

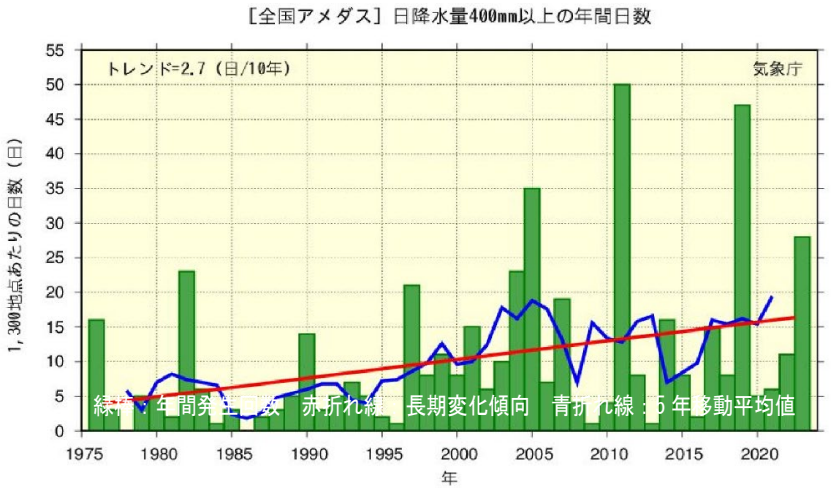


図 2.1.6 日降水量 400mm 以上の年間発生件数

(3) 降水日数

全国 51 観測地点で 1901 年から 2019 年の期間に観測された気象庁(2024)降水量のデータ [2)]では，1.0 mm 以上の降水が観測される日数は減少傾向にある。これは，信頼水準 99%であり統計的に有意とされる。減少率は 100 年当たり 9.5 日（0.02 回/地点/10 年）である。

気象庁データからも短時間強雨や大雨の頻度が増加し，極端な降水の傾向が強まる一方で，年間の降雨日数が減少しており，雨の降り方が明らかに変化していることが伺える。

しかし，降水は様々な要因・時間規模で大きく変動し，地域地点によっての極所的な気象相違の傾向もあり，引き続きデータの蓄積や研究も必要である。

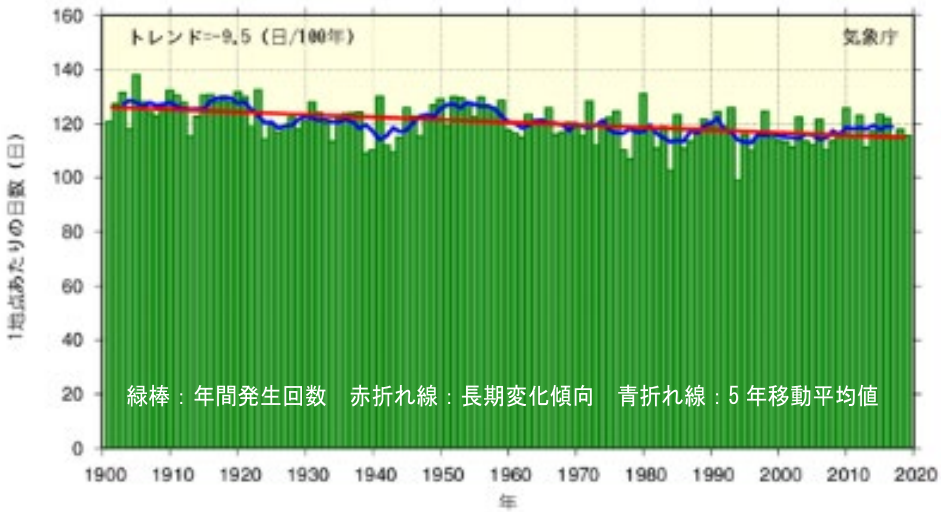


図 2.1.7 日降水量 1.0mm 以上の年間発生件数

(4) 熱帯低気圧（台風）

斜面崩壊の誘因である大降雨をもたらす台風の発生件数，日本への接近数・上陸数に長期的な変化の傾向はないとされている。しかし，日本では，2016 年 8 月に東北地方太平洋側への上陸，同年には北海道に 5 件（気象庁データ）の接近または上陸して観測史上初めての記録がある。このように台風ルートが高緯度側へ移動する傾向もあり，海水温の分布変化に応じて台風の規模や経路が変化していることが実感される。将来予測では台風に伴う雨の年間総量には変化はないが，個々の台風の降水量は増加する可能性があるとされ，同時に付随する斜面崩壊発生頻度も多くなってくることが考えられる。

(5)土砂災害の発生推移

図 2.1.8 は，国土交通省水管理・国土保全局砂防部で作成した 1982（昭和 57 年）～2024（令和 5 年）までの土砂災害の発生件数の推移 [3)]を示すものである。2012（平成 24 年）～2024（令和 5 年）の 10 年間平均では 1,446 件発生しているが，それ以前の 10 年間では 1,118 件平均で約 1.2 倍に増加した。また，過去 30 年までを含むと約 1.4 倍となり，徐々に増加傾向がみられている。ただし，これには，阪神・淡路大地震から平成 29 年に発生した熊本地震を含んだものであるので土砂災害はこの事象にも発生しており，その数も含まれている。

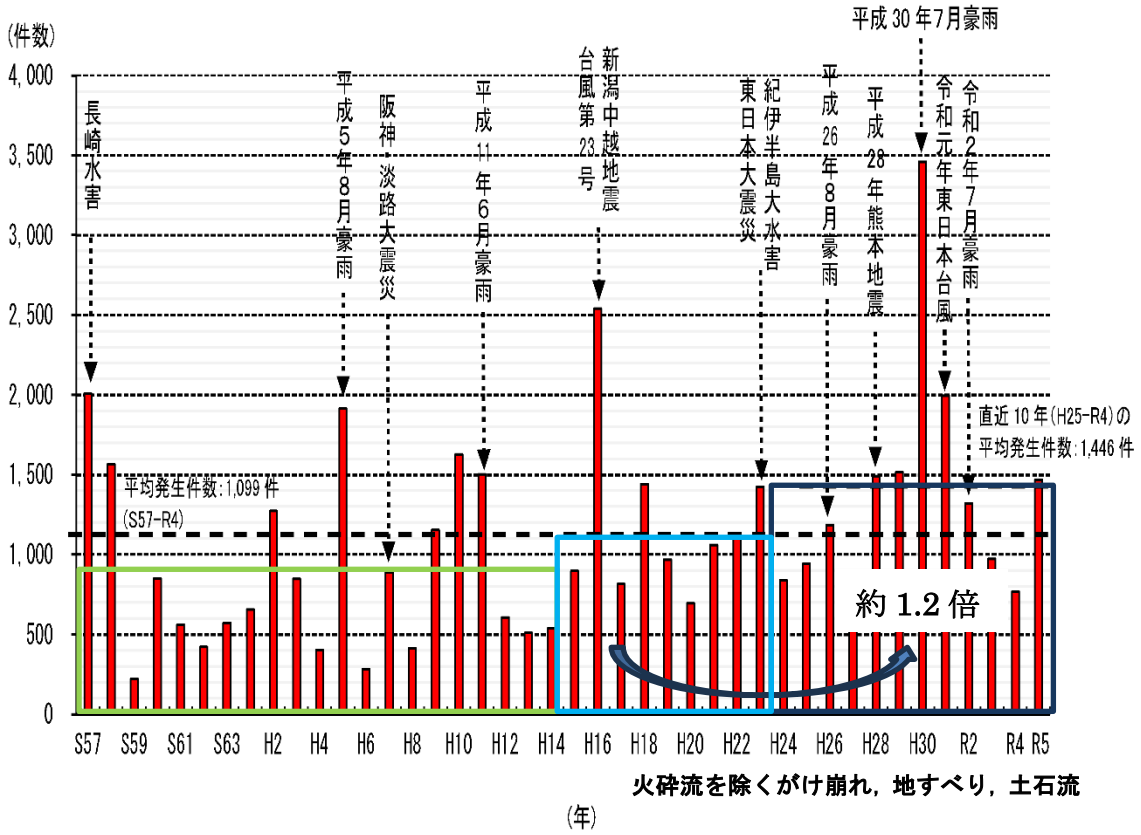


図 2.1.8　土砂災害発生件数の推移　*3) に一部加筆

次図 2.1.9 に示す気象庁が用いている土壌雨量指数は，その斜面崩壊等の危険性を見る上で重要な指標の一つとなっている。こうした降水を始めとした水の影響は，昔から各種の指針・マニュアルに活かされてきており，それなりにこれまでは対応できていた。

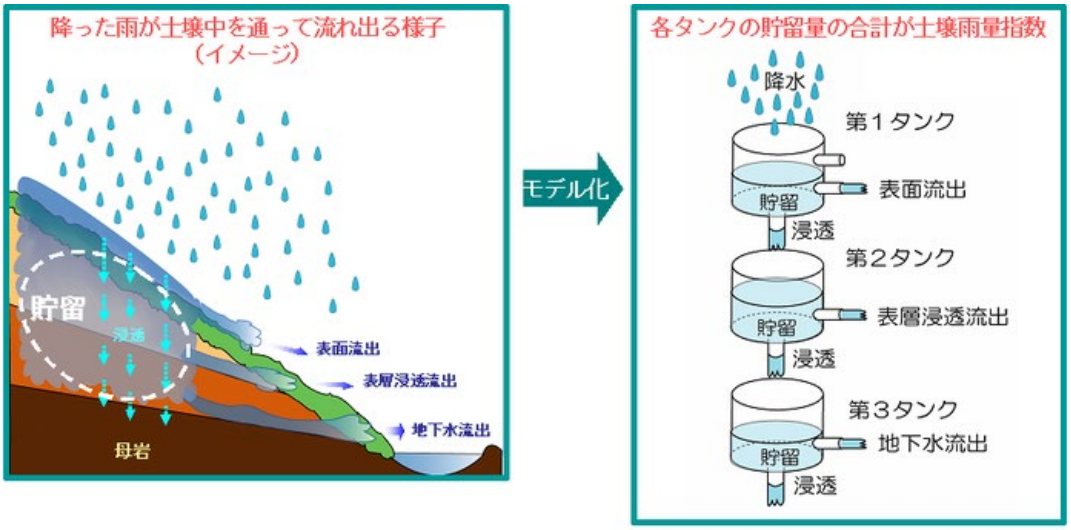


図 2.1.9　土壌雨量指数の考え方 [4)]

しかし，近年の傾向は短時間に多量の降雨があることであり，それに対応した避難勧告及び避難は「速やかさ」が重要と考える。また，具体的対策工法では地表面排水工や排水ボーリングが

早期に効果を発揮すると考えられ，短時間に降る雨に対する排水等に留意していくことが重要である。

近くでは，平成 24 年の九州北部豪雨や平成 25 年の島根県と山口県の豪雨，平成 26 年の広島豪雨，平成 30 年 7 月豪雨（西日本～北海道・中部）及び令和元年東日本台風などが思い出されるが，災害以前での先行降雨やバックビルディング（乱積雲が連続的に発生する）により形成された線状降水帯による現象であったことが報告されている。このような気象用語がクローズアップされ，これまでは顕著でなかった気象現象の発生の変化が明らかに斜面災害をもたらしていることを伺い知ることができる。このことは，土砂災害防止の観点から地形・地質や地下水に纏わるメカニズム以外にも気象や地球環境などの関係をより深く研究する必要があることを示していると思われる。

参考文献

1）文部科学省・気象庁（2020）：日本の気候変動 2020（大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書）

2）気象庁 HP(https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html,ホーム＞各種データ・資料＞地球環境・気候＞大雨や猛暑日など（極端現象）の長期変化＞大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化)より

3）国土交通省水管理・国土保全局砂防部 Pless Release（令和 6 年 1 月 18 日）

4）気象庁 HP（https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/dojoshisu.html,ホーム＞知識・解説＞気象警報・注意報＞土壌雨量指数）より

2.1.2　個々の地域からみた気象データの傾向

降水状況をみると，1 時間降水量 100mm 以上などの比較的「極端な大雨」と呼ばれるような降雨の回数は増加傾向にある。また，全国各地の年最大日降水量の水位も，全国平均で見ると，気象庁(2024)[1)]が示すように，近年増加傾向にある。これが一般的な，気候変動の影響と言われている傾向と考えられる。

しかし，これがより古くからの統計データで見るとやや異なる様相を示す。図 2.1.10 には，1960 年以前の統計データのあるいくつかの地点の年最大日降水量の推移を示した図である。気象データの精度等は，1880 年頃の気象観測の頃と最近とを比べると異なるので，比較しにくい部分もあると思われるが，傾向を見る上では問題は無いと考えられる。

全国平均では，増加傾向にある年最大日降水量ではあるが，個々の地域で見ると，必ずしも増加傾向にあるわけではないようにもみえる。例えば，図 2.1.10 に示す，秋田市では，2023 年 7 月 15 日に年最大日降水量 188.5mm を記録しているが，それ以前の 1937 年 8 月 31 日に 186.8mm，1918 年 5 月 15 日に 176.7mm を記録しており（ちなみに，秋田市の年最大 1 時間降水量の統計の最大は 1964 年 8 月 13 日の 72.4mm である），単純な多項式近似では 1950 年頃まで増加傾向にあるもののその後は減少傾向にある。逆に，青森市や長野市のように，1950 年頃を境にその後は増加傾向にある地域もある。

このように，全国的には，極端な大雨の発生回数が増え，年最大日（24 時間）降水量も増えているものの，地域によってはその傾向に当てはまらない場合もあり，将来の降水量の予測は極めて難しい。全国的な一般論として，増加傾向にあるというのは言えるものの，地域毎に設定される降雨強度式の見直しは気象統計を勘案して行われている。したがって，地域毎に随時改定し設定されている降雨強度式を用いて降雨による斜面の安定性の検討を進めていくのが妥当なのではないかと考えられる。

また，降雨同様，積雪・融雪や凍上・凍結も，斜面の安定性に影響を及ぼすことが知られている。従って，次に，降雪及び最低気温についての傾向を述べる。

気象庁(2024)[1)]によれば，日本の積雪量や降雪日数は減少傾向にある。これと同様に，川瀬(2022)[2)]でも，年最深積雪は全国的に減少し，特に東日本や西日本の日本海側で減少率が大きいことを示している。その一方で，近年は多雪年と少雪年の差が大きい傾向があることも示している。これらは，1960 年代以降からの傾向である。

一方，いくつかの地域の最深積雪を 1883 年頃からについてまとめたものを図 2.1.11 に示す。

この図に見られるように，いくつかの地域で，前述の気象庁の分析と同じように 1960 年頃以前は増加傾向にあったものの，その後は年最深積雪がやや減少する傾向にある。しかし，小樽市のデータは逆の傾向を示し，ここでも最大年降水量と同様に地域による傾向の違いが見られる。なお、これらの図の決定係数（相関係数の 2 乗）は，いずれも線形近似の時よりも多項式近似（2 次関数）の時の方が高い傾向にある。

一方で、年最低気温は図 2.1.12 に示すように、1930 年以降は年最低気温が増加傾向にある。この年最低気温の増加傾向は降雨や積雪と異なり地域による違いはなさそうである。なお、これらの図の決定係数（相関係数の 2 乗）は，いずれも線形近似の時よりも多項式近似（2 次関数）の時の方が高い傾向にある。

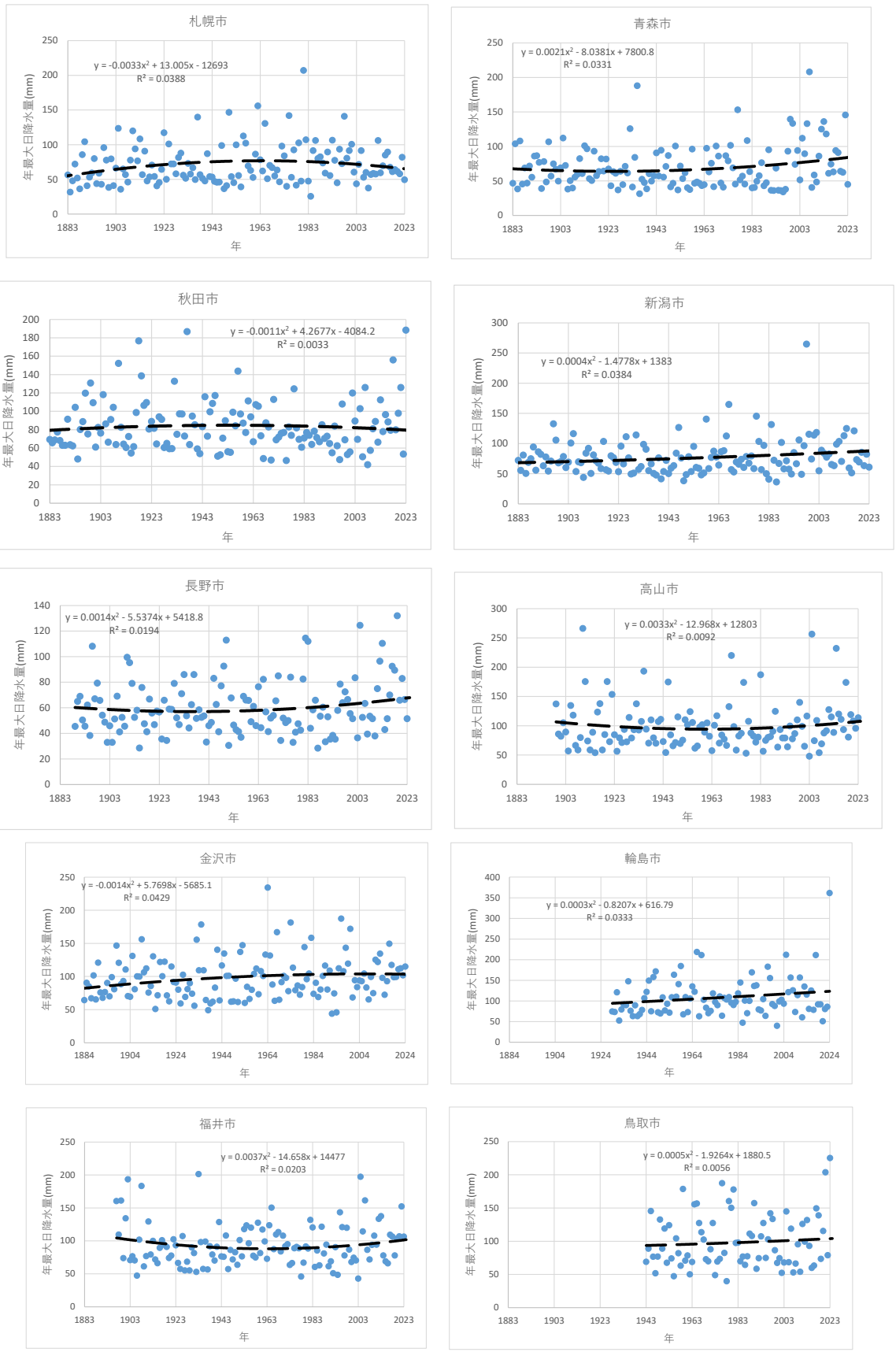


図 2.1.10　観測開始からの年最大日降水量の変化

地域により，近年（1960 年頃以降）増加傾向にあるところと減少傾向にあるところとがある。これらは，全て線形近似より多項式近似の決定係数の方が大きい。

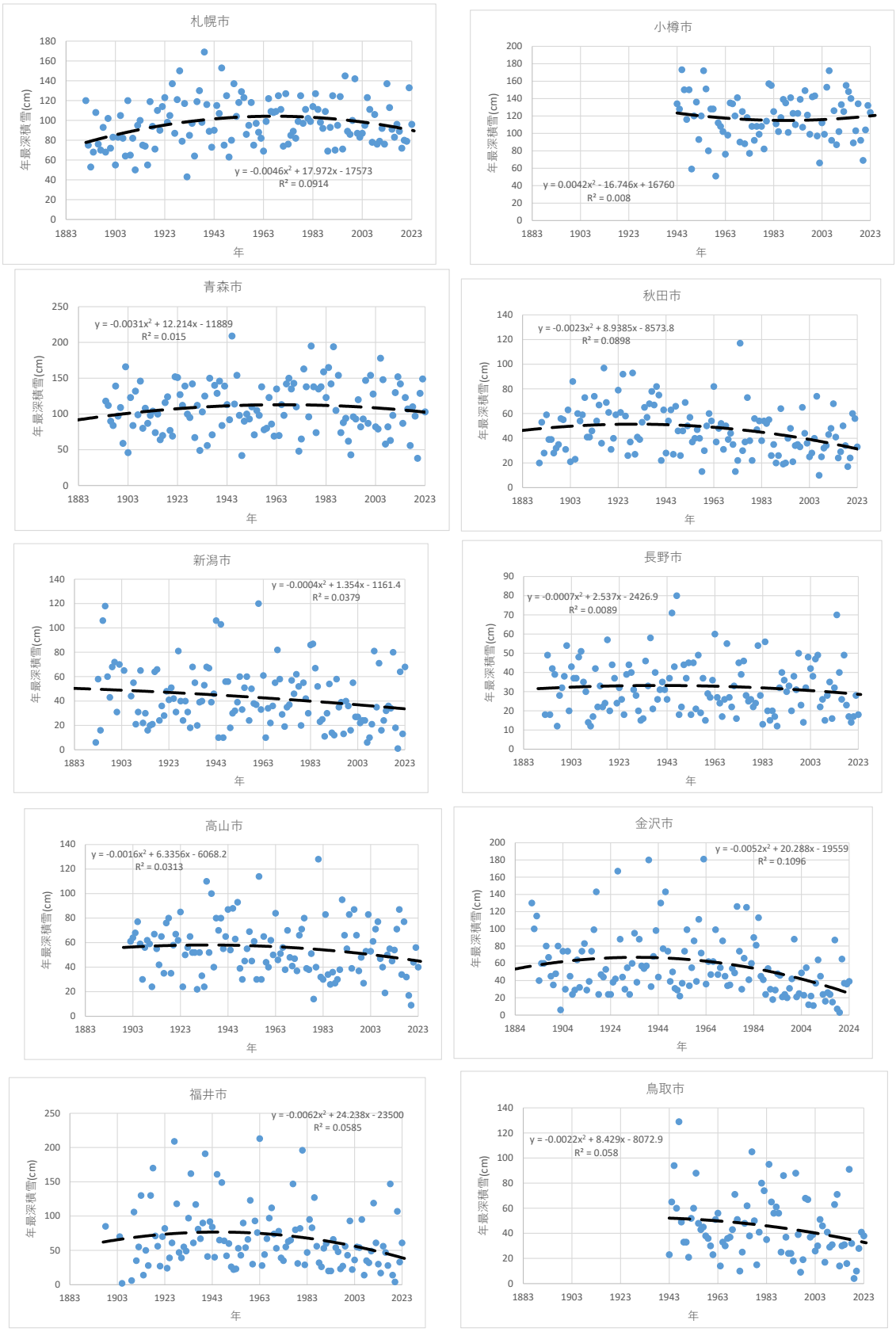


図 2.1.11　観測開始からの年最深積雪の変化

1960 年頃をピークに最近は減少傾向が多いが、地域によっては増加傾向もみられる。これらは，全て線形近似より多項式近似の決定係数の方が大きい。



図 2.1.12　観測開始からの年最低気温の変化

1920 年以降、年最低気温は増加傾向。これらは，全て線形近似より多項式近似の決定係数の方が大きい。

2.1.3 「経験の無い気象条件」とは

近年の地域ごとの新たな記録更新現象の要因は，人類の営み，自然の変化または観測技術の進歩など，さまざまな形で絡み合っている。近年の気象記録傾向をもたらしている地球温暖化シナリオでは，必ずしも斜面崩壊の頻発化や形態の変化をもたらしていることを明確化していない段階だが，我々が体感するインパクトは，降水形態の極端化と斜面崩壊の増加は密接に関係していることを否定することはできない。

第 2.1.1 項でも述べたように年降水量では有意な長期変化傾向は見られないものの，気象統計データが多くなった 1970 年前後からの降雨・降雪傾向と，気候変動に伴う変化の予測から，経験の無い気象条件の特徴は，以下のように考えられる。

① 短時間の降水量（時間降水量 50mm 以上，など）は，1970 年前後からの傾向及び今後の予測傾向として増加すると考えられる
② 地域毎にみた場合，年最大日降水量は必ずしも増加傾向ではない地域がある点に留意する必要がある
③ 年最深積雪は 1960 年代以降減少傾向にあり，年最低気温は 1930 年以降増加傾向にある
④ 地域毎にみた場合，年最深積雪は必ずしも減少傾向ではない地域がある点に留意する必要がある

このように「経験の無い気象条件」とは「1970 年前後からの**短時間**降水量の増加」と捉えられる。また，こうした傾向から，適宜更新される降雨強度式などに沿って排水を的確に行うことが重要であると考えられる。一方で，冬季における気温や積雪の傾向から，凍上・凍結による斜面の安定性は，これまでの凍上・凍結の考え方で進めていくことが良いと考えられる（詳細は第 2.2 節参照）。

参考文献

1) 気象庁（2024）：気候変動監視レポート 2023－世界と日本の気候変動および温室効果ガス等の状況，令和 6 年 3 月，99p.
2) 川瀬宏明(2022)：日本の降積雪は今後どのように変化していくか，消防防災の科学，No.150, 2022(秋季)，pp.28-32.

2.2 降雪等の変化と斜面・のり面への影響

2.2.1. 積雪及び融雪に対する従来の考え方と近年の知見

地すべり等の斜面の不安定化は，融雪期に多いことはよく知られている。一方，積雪による斜面の不安定化については，これまでは一般的には考えられてこなかった。

宅地防災マニュアル [1]などの従来の指針・マニュアル等では，大規模盛土内の地下水位は，適切な集排水がなされていることを前提として，盛土高 1/2 程度と設定するようなことが適当なことが示され，積雪による地下水の影響について検討するようなことは示されていなかった。また，斜面・のり面の安定対策を検討する場合，積雪荷重は設計荷重に含まれていなかったのも実情である。

盛土等の法面の安定性の検討において，積雪荷重が，どう影響するのかをここでは考えてみる。

一般的には，これまでの技術指針やマニュアル・要領などでは，ダムのような構造物における設計荷重としては，以下のものを考慮することとなっている。

① 自重
② 土圧
③ 静水圧
④ 揚圧力（重力式コンクリートダム形式，擁壁形式の時）
⑤ 間隙圧（盛土ダム形式の時）
⑥ 地震時慣性力
⑦ 地震時土圧
⑧ 地震時動水圧（重力式コンクリートダム形式，擁壁形式の時）

深見 [2]は，積雪における地下水涵養の研究において，根雪形成後の積雪期には大きな地下水変動がなく，融雪期に地下水位が急上昇することを明らかにしている。こうしたことから，積雪期における地下水位は決して高くないことがうかがえる。

積雪荷重を盛土斜面等にかけた場合，安定計算では安全率が小数点 2 桁の範囲で増加する傾向が見られるのが一般的である（例えば，安全率 1.55 の盛土全体に積雪荷重を与えた場合，1.57 程度の安全率となる）。このように積雪荷重は，一般的には斜面に対しては安全率を増加させる荷重として働くことが多く，指針やマニュアルなどで積雪荷重を考慮していない理由の一つでは無いかと考えられる。

ただし，近年の研究では，T.Okamoto et.al[3]がノルウェー中部の極めて透水性の低い粘土が堆積した地すべりにおいて積雪荷重により間隙水圧が上昇し地すべり安定に影響を及ぼすことを示している（図 2.2.1）。これは，土の透水性が極端に低い（透水係数 10^{-9}～10^{-12}m/sec）場合，逃げ場を失った地下水が力の一部を受け持つため間隙水圧が上昇するためである。その一方で，日本の透水性の高い地すべり地（透水係数 10^{-5}～10^{-6}m/sec）では積雪が増えても間隙水圧は変動しないことも示している。

今後，地すべり地だけでなく，こうした極低透水の斜面地盤等で斜面の安定性において積雪の影響をどの程度考えることが適切であるのかを調査分析し，評価していくことが課題となると考えられる。

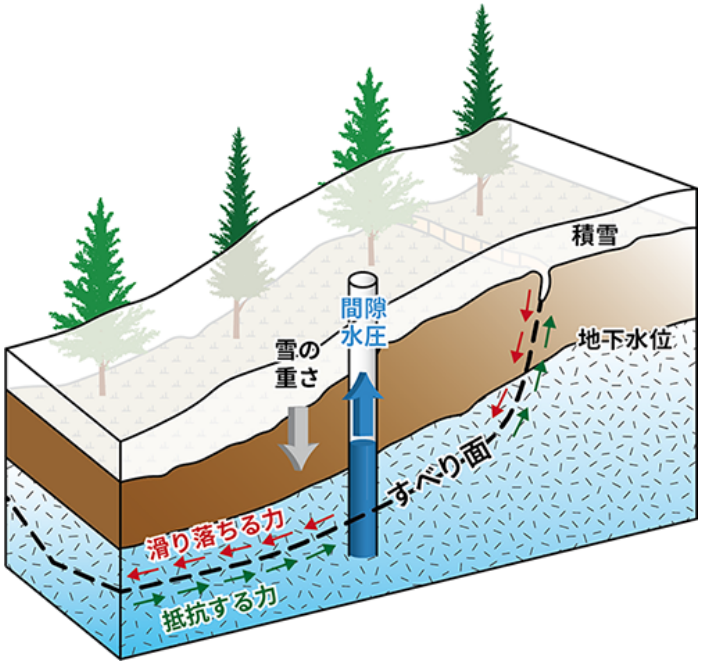


図 2.2.1　極低透水の粘土が堆積した地すべり地における間隙水圧の上昇と地すべりの不安定化
森林総合研究所 https://www.ffpri.affrc.go.jp/research/saizensen/2018/20180824-01.html より

一方，日本においては，積雪荷重による間隙水圧の増加による斜面の不安定化よりも，融雪による斜面の不安定化の被害の方が顕著である。融雪時において，木下ら [4]は，地すべり対策工（集水井など）の効果は表面流出（表流水，側方浸透流及びパイプ流）と中間流出（不飽和部での地下水流れである表層浸透流）が大きく関与し，基底流出（飽和部での地下水流）への効果は小さいことを示している。これらのことは，融雪期における地すべりの集水では，地下水面より下の地下水流よりも，地下水面より上の側方浸透流やパイプ流のような水を集水することで安定化を図っていることを示している。

他にも地すべりでは，林他 [5]に示されるように，融雪水と降水により間隙水圧が上昇することにより地すべり力が増大し，建設当時の基盤地盤より深部を破壊し，新たな地すべり面が形成された事例もある。この対策としては，新たな杭工（鋼管杭）の２段配置と杭工への負担軽減のための集水井工の設置が行われている。

さらには，地すべりだけでなく盛土や切土ののり面などでも，急激な融雪による被害がみられる。例えば，村山 [6]によれば，融雪量が約 160mm に相当し，連続雨量 150mm 以上の降雨に匹敵する融雪により切土のり面が崩壊した事例が示されている。この切土のり面の対策としては，1:1.2 ののり勾配を 1:1.25 に切り直す排土工法と水抜きボーリングを採用している。

このように，日本においては，降雪・積雪等による斜面への影響としては融雪による災害が多くを占めている。近年は，豪雪の後に気温が上昇することもあり，こうした急激な気温上昇等に対して，今後どのように対処していくのかが課題である。

2.2.2. 凍上・凍結に対する従来の考え方と近年の知見

一般に，凍上は，「凍上の３要素」と呼ばれる「土質（岩質）」「温度」「水分」の３つの要因に影響される。この他に，「荷重（圧力）」も凍上に影響を及ぼすことが知られている。それぞれを簡潔に示すと以下の通り（地盤工学会北海道支部[7]）。

- 温度：凍上は凍結面でアイスレンズが成長するときに発生する潜熱と熱流がバランスした状態で発生する。気温が低下すると熱的バランスが崩れて凍結面が深部に進行して，再び熱的バランスが取れた位置でアイスレンズを形成する。これが繰り返されることで凍結面が漸次移動して，アイスレンズが凍土内に縞状に形成される。なお，気温が低すぎて凍結面の移動が速く水分の供給が間に合わない場合には，凍上は発生せずコンクリート状凍結となる
- 水分：凍上の発生には，アイスレンズを形成する水分が凍結面に供給されることが必要である。地下水面が高く，必要な水分供給が十分に行われる条件での凍上を「開式凍上」と呼び，一般に凍上量は大きい。一方，地下水面が低く水の供給が近くに無くても含有水分の移動によって凍上が発生する場合を「閉式凍上」と呼び，凍上量は一般に小さい。
- 土質（岩質）：凍上が発生するためには，アイスレンズを形成する性質を持つこと，すなわち凍上性の土質（岩質）である必要がある。土の凍上性は，実際には粒径との関係が非常に強く，一般に細粒分を含む土が凍上しやすいと考えられている。しかし，粒径だけで決まるわけではない。なお，岩質の詳細については後述するが，風化を受けている岩石も土と同様に凍上する。
- 荷重（圧力）：温度，水分，土質（岩質）の条件が同じでも，地表面に建設物などの荷重が加わると凍上量は減少する。

土の凍上性については，道路土工排水工指針のように，凍上しにくい材料として「砂の場合：0.075mm ふるいを通過するものが全試料の 6%以下となるもの」など，土の凍上性を大略判定するには，粒度分布や細粒分含有率を用いるのが一般的である。しかし，凍上機構は複雑であり，土粒子径だけに依存するわけではなく，密度や含水比などの状態量，拘束応力，凍結速度などの条件が異なれば同じ土質でも凍上性は異なる。特に，火山灰土の場合には，粒度による判定では不十分な場合が多い。

土の粒度による判定方法としては，図 2.2.2 のようなものがある。この図の領域 1 や 2 を横断する地盤は変状発生斜面が多く，領域 1・2 を横断しない地盤は変状非発生斜面が多い。すなわち，領域 1・2 を横断しない土質の地盤では凍上性が低いと判断されるが，類似した粒度分布を有していても変状発生状況が異なるケースがある等，粒度分布だけでは凍上性を判断できない場合もあることに十分留意する必要がある。

地盤工学会では，「地盤工学会基準（JGS0171-2020）凍上性判定のための土の凍上試験方法」が示されている。この試験は，寒冷地における自然の寒さの下で発生する凍上現象を対象とし，土の凍上性を判定する場合の指標を求めることを目的に行われるものである。自然の条件下での凍上においては，極めて複雑となり，現在のところ凍上量を定量的に算定する構成式で実用に十分に堪えうるものは見当たらない。この場合の凍上対策の基本は「凍結が及ぶ範囲内は凍上しない土とする」ことであり，凍上試験の目的は凍上しない土であるかどうかを定性的に判定するこ

とである。この JGS 基準の試験は，そのための試験であり，凍上性の判定においては，最も信頼性が高い方法である。

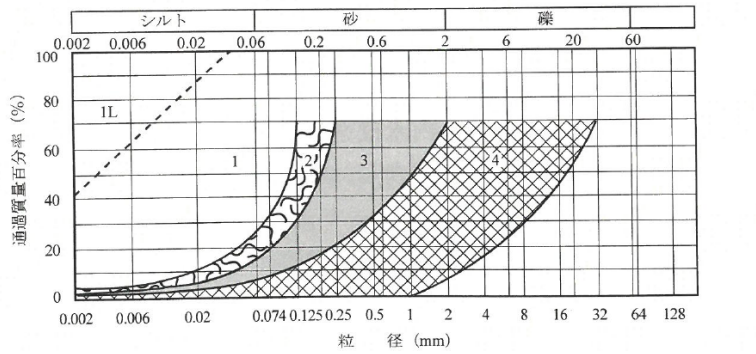
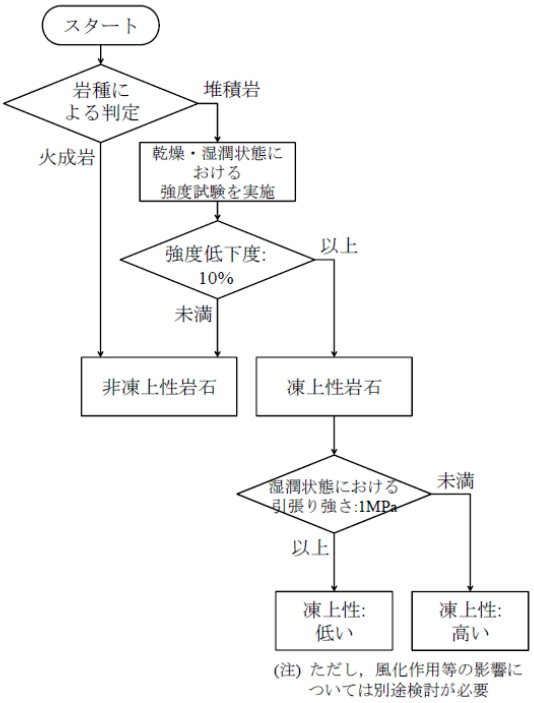


図 2.2.2　粒度による凍上性判定法（地盤工学会北海道支部 [8]）

一方，岩盤（岩石）の凍上性判定法は土質とは異なる。これの最も良い例が，図 2.2.3 に示す新鮮な岩盤（岩石）における凍上性の判定法である。乾燥状態と湿潤状態での強度の低下度が大きいものは凍上性岩石として分類されているように，凍上の 3 要素の中でも「水分」が大きな影響要素となる。



中村他(2012) [9] による岩石の凍上性の判定法

① 硬岩に分類される火成岩→非凍上性岩石

② 乾燥･湿潤状態の一軸圧縮強度 or 圧裂引張強度を求め，強度低下度＜10%の時→非凍上性岩石

③ 湿潤状態の圧裂引張強度＜1MPa の時→凍上性が高いと判断

D. Otgonjargal (2022) [10] による

④ 湿潤状態の圧裂引張強度＜1MPa はいくぶん安全側の値である。経済性など踏まえると，この境界値はまだ検討の余地がある

注)風化作用により破砕された場合には，凍上しやすくなる岩石がある（星野(1973) [11]）

図 2.2.3　凍上性の判定の流れの例（新鮮な岩石の場合）
（左図の基は中村他 [9]，地盤工学会北海道支部 [7] 及び D. Otgonjargal [10] が本図を掲載）

さらに，凍上問題を検討するにあたっては凍結深さの推定が重要である。このために凍結指数の算出が重要となる。凍結深さが凍上性地盤（岩盤）に入らなければ，凍上による斜面構造物の変状は発生しない。従って，斜面構造物を設置した条件の下で，凍結深さがどの程度まで入るか

を検討する必要がある。このとき，凍結指数と凍結深さとの関係について図 2.2.4 のようなものが示されており，こうした関係を参考にすることが考えられる。なお，このときの凍結指数としては，確率年で考えることが望ましく，北海道では，一般道のアスファルト舗装では 10 年確率，擁壁などの構造物では 30 年以上の確率が望ましいとされている（川端 [13]）。

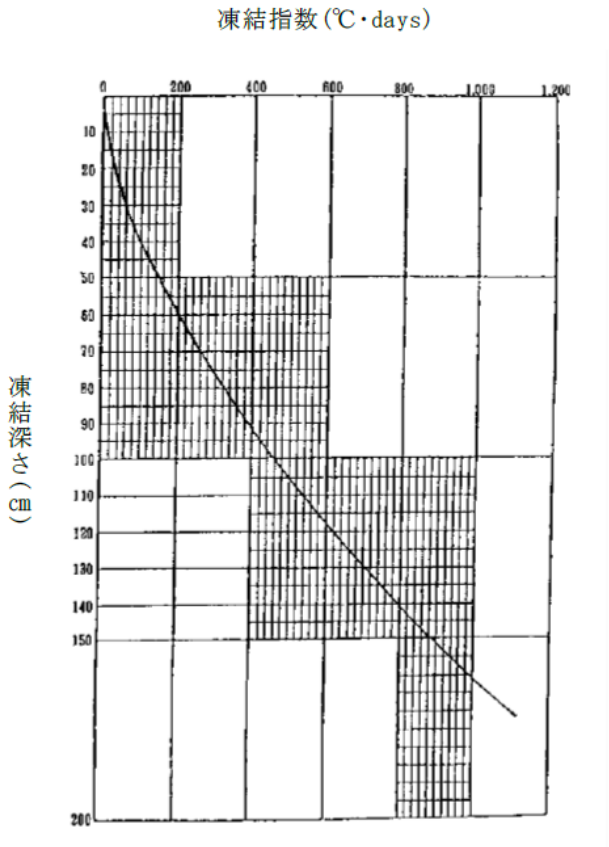


図 2.2.4　凍結指数と凍結深さの例（岐阜県 [12] より）
乾燥密度 1.8kg/cm³，含水比 15%，粗粒度の場合

このように，凍上・凍結を考えるときには，岩質（土質）も関連するものの，気象データも大きく影響する。近年の気候変動による気温の上昇は，図 2.2.5 にみられるように，凍結指数を押し下げる傾向にあるので，凍上被害は減少する可能性もあるが，凍上・凍結による被害が無いというわけではない。凍結速度の速い岩石（土質）では，特異な寒冬年（平年よりも寒い冬）で斜面の不安定化も生じる可能性がある。すなわち，斜面の凍結・凍上を考えたとき，凍上災害は特異な寒冬年で発生することが多く，平均値だけでなく変動特性（発生頻度）にも着目する必要がある。このため，ｎ年確率凍結指数が用いられていると考えられる。

なお，川端 [13] によれば，北海道では従来の設計で多用されている 10 年確率に相当する寒冬の頻度が少なく，一旦寒冬になると 20 年確率以上の規模であり，既往の研究 [15] で 10 年確率規模の寒冬が多い本州とは異なる傾向があるとされている。このため，北海道では擁壁等の構造物を 30 年確率凍結指数とみなしているのではないかと考えられる。このように，本州と北海道の寒冬に対する考え方が異なることにも留意する必要がある。ちなみに，10 年確率凍結指数が 524 の地域の 30 年確率凍結係数は 654 となるように，30 年確率の方が大きくなるので，凍結深さは図 2.2.4

に従えば，105cm 程度だったものが 125cm へと増加することとなり，対策すべき深度が増加することとなる。北海道では，このように本州とは異なる考え方で対処するべきことを，川端[13]などが示している。

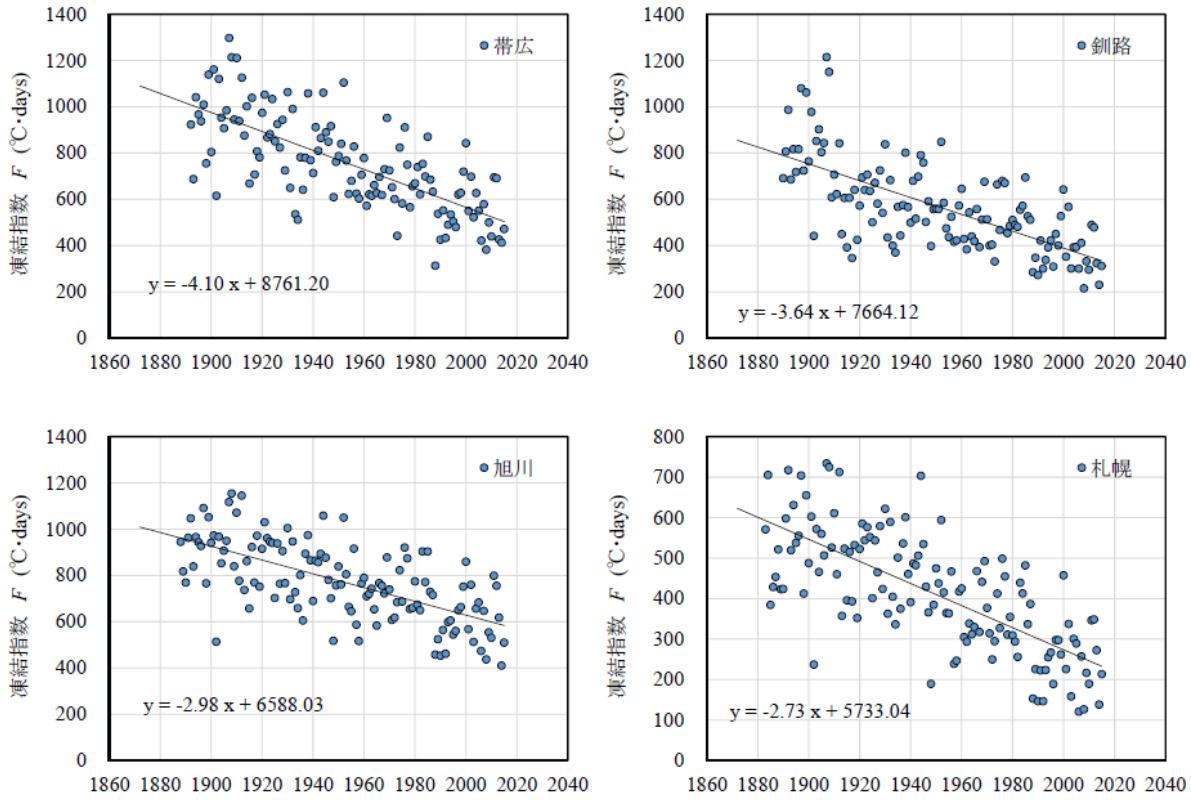


図 2.2.5　北海道の凍結指数の変化（川端[14]より）

こうした凍上が問題となる斜面では，以下のような対応がなされている。

- 凍結・凍上対策としては，地すべりの抑制工と抑止工と同様な対応がなされている。すなわち，以下の通りである[8]
  - 地盤の凍結・凍上現象を抑制する対策：地盤（岩盤）の凍上量を定量的に評価して凍上対策に適用することはまだ容易ではないので，凍上対策は凍上の 3 要素のいずれかを排除もしくは低減することを目的とするのが原則である
  - 構造物の強度や抵抗力で安定を確保する対策：地上補強土工やアンカー頭部のバネに代表される「積極的に変形を許容することで凍結・凍上による力を低減させる対策」が含まれる。これは，凍上力は変形を許さない状態では極めて大きく，力で抵抗することは非常に困難且つ不経済であるための対策である
  - 凍上しても被害が生じない対策：緩斜面にすることで被害を軽減するなど
- 積雪は地盤凍結にとって断熱効果を持つことが知られている。しかし，積雪量は気象による変動があることが予測されることから，積雪による断熱効果を凍上対策として盛り込むことは原則として避けるべきである[8]

- 高速道路では「盛土において土工基盤から地下水位が概ね 3m 以上の深さで，盛土材料の初期含水比が比較的小さい場合には，有害な凍上が発生しないと考えられる」とされているため，盛土高さが 6m 以上で盛土材料の初期含水比が 25%未満の場合には凍上対策を実施していない [16)]
- 擁壁および補強土壁，カルバートの凍上対策は「置換工法」または「断熱工法」を基本とする [8)]
  - 置換工法：凍結深さの 100%までを対策範囲として非凍上性材料に置き換える
  - 断熱工法：擁壁および補強土壁の場合は，断熱材により背面土に凍結が及ばないようにする。カルバートの場合は，断熱材により頂版および側壁の裏込めに凍結が及ばないようにする
- 小段排水工においては，耐凍上性のある材料を用いた工法として，「アスファルト性遮水シート（アスファルト性遮水シート型小段排水工）」「縦断暗渠管（縦断暗渠型小段排水工）」がある [8)]
- かご工，連続繊維補強土工などによる対策が，凍結線の岩盤内への進行を防止する効果がある [10)]

今後，既存の対策の効果の検証や新たな対策工の開発などが必要と考えられる。

参考文献

1) 宅地防災研究会編(2007)：[第二次改訂版]宅地防災マニュアルの解説，ぎょうせい
2) 深見浩司(2012)：積雪寒冷地における積雪期の不圧地下水位の変動について，北海道大学地球物理学研究報告，No.75，pp.15-24.
3) T.Okamot, S.Matsuura, J.O.Larsen, S.Asano and K.Abe (2018) : The response of pore water pressure to snow accumulation on a low-permeability clay landslide, Engineering Geology, 242, pp.130-141.
4) 木下篤彦・坂井佑介・古谷治久・滝口潤・三浦理司・井上宏(2013)：豪雪地帯の融雪地地すべりにおける地下水排除工効果の検討，地すべり学会誌，Vol.50，No.3，pp.35-44.
5) 林啓二・松田圭大・鈴木俊司(2017)：3.2 平成 24 年 5 月中山峠で発生した融雪期の地すべり災害，地盤工学会北海道支部：気候変動に伴う積雪寒冷地の地盤災害に関するシンポジウム発表論文集【委員会報告】，平成 29 年 6 月，pp.22-23.
6) 村山陽(2017)：3.3 平成 11 年 4 月高速道路における融雪期ののり面災害，地盤工学会北海道支部：気候変動に伴う積雪寒冷地の地盤災害に関するシンポジウム発表論文集【委員会報告】，平成 29 年 6 月，pp.24-25.
7) 地盤工学会北海道支部(2009)：寒冷地地盤工学－凍上被害とその対策，中西出版
8) 地盤工学会北海道支部(2016)：斜面の凍上性対策の調査・設計マニュアル(案)
9) 中村太・後藤隆司・川口貴之・伊藤陽司・山下聡・山崎新太郎(2013)：岩石の凍上性判定法に関する一考察，地盤工学会北海道支部技術報告集，Vol.53，pp.247-254.
10) Dagvadorj Otgonjargal(2022)：岩盤斜面の凍上被害に関する研究，北見工業大学博士論文
11) 星野寔(1973)：岩石の凍上について，応用地質，Vol.14，No.4，pp.139-144.

12) 岐阜県(2021)：岐阜県道路設計要領，第 8 章　舗装，令和 3 年 4 月，
https://www.pref.gifu.lg.jp/uploaded/attachment/240640.pdf
13) 川端伸一郎(2017)：5.2 凍結指数，地盤工学会北海道支部：気候変動に伴う積雪寒冷地の地盤災害に関するシンポジウム発表論文集【委員会報告】，平成 29 年 6 月，pp.58-59.
14) 川端伸一郎(2017)：1.3 気象の年代変化，地盤工学会北海道支部：気候変動に伴う積雪寒冷地の地盤災害に関するシンポジウム発表論文集【委員会報告】，平成 29 年 6 月，pp.7-14.
15) 川端伸一郎・林啓二・亀山修一(2011)：地域特性を考慮した n 年確率凍結指数の合理的決定法，土木学会論文集 C，Vol.64，No.1，pp.98-106.
16) 森田恵弘(2017)：2.3 積雪寒冷地の盛土，地盤工学会北海道支部：気候変動に伴う積雪寒冷地の地盤災害に関するシンポジウム発表論文集【委員会報告】，平成 29 年 6 月，pp.18-19.

2.3 降雨と地震による複合災害

2024 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震（M7.6）では，最大震度 7 の揺れに伴って甚大な土砂災害が発生した。この 1 ヶ月前の 2023 年 12 月における能登半島の降水量に目を向けると，例年よりも 1.5 倍程多い 462mm の降水があった。特に 12 月 21 日から 22 日にかけて能登半島北部を中心にまとまった雪が降ったが，この雪が地震発生前日の 2023 年 12 月 31 日までに全て溶けたことも，能登半島地震（M7.6）において甚大な土砂災害が発生した一因であると考えられる。

2.3.1 能登半島地震の発生前における能登半島の降雨状況

地すべりなどの土砂災害の発生には，土壌中の水分量が関係していることが過去の複数の文献によって指摘されている [1]。これは，土砂災害の発生直前に大雨または融雪によって土壌中に多量の水分が供給されることによって，土砂災害が発生しやすくなる状況になることを示している。

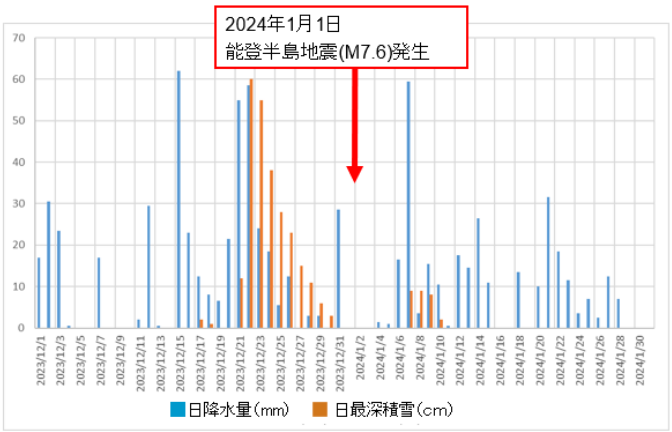
ここで融雪型地すべりに目を向けると，近年においても 2012 年 3 月には合計 10 棟以上もの家屋や小屋に被害が生じた新潟県の国川地すべりが，2015 年 4 月には北海道の知床半島にて海岸隆起を伴う地すべりが発生している。筆者が実際に現地調査を行った国川地すべり（写真 2.3.1）では，南東側の山地斜面から北西側の集落に向かって地すべりが移動し，地すべり全体の規模は幅 150m，長さ 500m，ならびに深さ 20m で，推定土量は 75 万 m^3 である。被害状況は，人家 4 棟ならびに非住家 7 棟の計 11 棟が全壊したほか，県道は土砂埋塞により通行止めとなり，用水路は土砂埋塞により使用不可となった。国川地すべりは発生から 3 日後に初めて人家に直接の被害が出るなど，非常に長い時間をかけて流下したものである [2]。



写真 2.3.1　国川地すべりのドローン撮影 [2]

一般的に地すべりなどの斜面災害は，大雨や融雪などによる土壌中の水分量の増加に伴うものや地震の振動によって引き起こされることが多い。また，地震によって地すべりが引き起こされる場合にも，土壌水分量が多いと被害が大きくなりやすくなる傾向が考えられる。2024 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震（M7.6）は，能登半島を中心に斜面災害を含め甚大な被害が発生した。この地震の発生の 10 日ほど前の 2023 年 12 月 21 日から 22 日にかけて能登半島北部などを中心にまとまった雪が降ったことが知られており，降雨（降雪）と地震に伴って土砂災害が発生した複合災害の可能性

表 2.3.1　2023 年 12 月における輪島の降水・積雪量 [3]



が示唆される。

防災科研[4]によると，2023 年 12月21日から 22日にかけて冬型の気圧配置が強まり、全国的に強い寒気が流れ込んだ。また，22日には日本海寒帯気団収束帯（JPCZ）に伴う発達した雪雲が能登地域にかかり，12月の最深積雪深としては輪島では歴代 1 位の 60cm、珠洲でも歴代 2 位の 59cm を記録したとされている。またテレビや新聞などにおいても，能登地方で停電や孤立する集落が相次いだことが報道された。

表 2.3.1 は石川県輪島の 2023 年 12 月～2024 年 1 月の降雨及び積雪の変化である[3]。輪島では 12 月の上旬（12 月 1 日～3 日，12 月 7 日）ならびに同中旬（12 月 11 日，12 月 15 日～20 日）に降水があり，12 月 21 日～22 日にはまとまった降雪があった。12 月 23 日以降にも降水はあったものの，12 月 22 日をピークに最深積雪量は月末に向けて減少していくことから，12 月 22 日以降には基本的に積雪はなかったものと推察される。ここで，能登半島地震の発生前日の 12 月 31 日にも約 30 ㎜のややまとまった雨が降っているが，当日の時点で積雪量が 0 になっていることから 12 月 22 日までに降った雪は全て溶けてある程度の量は土壌中に蓄積されたと推察される。以上より，2023 年 12 月後半以降の融雪と降雨によりやや地盤が不安定化した状況にある中で，2024 年 1 月 1 日に能登半島地震が発生した。

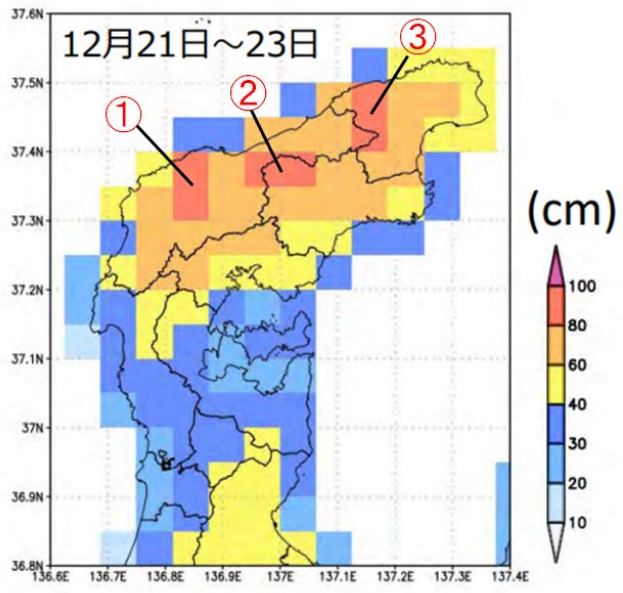


図 2.3.1　能登半島における 72 時間降雪量

図 2.3.1 は防災科研[4]が気象庁解析降雪量データを積算して作成した，能登半島周辺の 2023 年 12 月 21 日～23 日の 72 時間積算降雪量に一部加筆したものである。気象庁[5]によると，『解析降雪量は積雪の深さと降雪量の実況を 1 時間ごとに約 5km 四方の細かさで推定するもの』であり，『解析積雪深・解析降雪量を利用すると，積雪計による観測が行われていない地域を含めた積雪・降雪の面的な状況の把握できる』とされる。その一方で，『解析降雪量は約 5km 四方の平均的な値のため，局地的な降雪の多寡は表現できません』とも記載されており[5]，その点にも留意した上で冬型の気圧配置が強まった 2023 年 12 月 21 日～23 日の能登半島周辺における 72 時間積算降雪量の傾向を見ていきたい。

全体的な傾向としては，（1）能登半島の陸域部の大半で 20 ㎝以上の積雪が推定されている，（2）図 2.3.2 の南部（石川県七尾市ならびに志賀町よりも南の地域）では沿岸部では，概ね 20～40 ㎝であるのに対し，宝達丘陵部（黄色の部分，大半が富山県氷見市）では 40～60 ㎝の積雪が推定されている，（3）図 2.3.2 の北部（石川県輪島市ならびに穴水町よりも北の地域）では，沿岸部においても 40～60 ㎝（もしくはそれ以上）の積雪が，内陸の奥能登丘陵ではその大半の領域で 60～80 ㎝の積雪が，特に一部地域では 80～100 ㎝の積雪が推定されている。

ここで，積雪が 80～100 ㎝と推定されている地域に目を向けると，①～③の 3 つの領域が存在する（図 2.3.1）。もっとも，これは 3 つの領域ともに約 5 ㎞四方のメッシュが南北もしくは東西

方向に連続したためであるが，近接した位置であることから同等の積雪量であると推測できる。

2.3.2 能登半島地震における崩壊分布と能登半島地震の発生前の降雨の影響

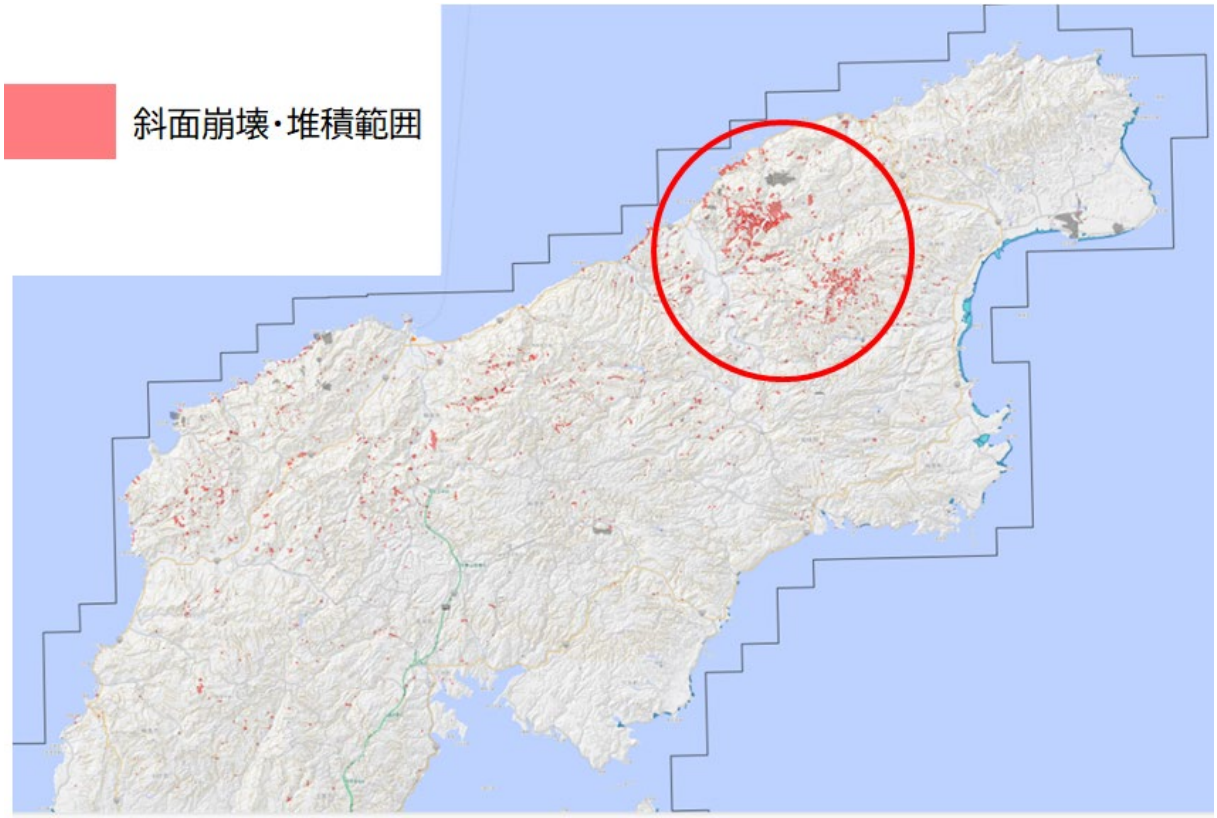


図 2.3.2　令和 6 年能登半島地震における斜面崩壊の分布 [6)]

図 2.3.2 は国土地理院 [6)]によって示されている『令和 6 年能登半島地震に伴う災害現況図』を一部改変したものである。国土地理院によると，2024 年 1 月 22 日における能登半島の崩壊箇所は 2300 箇所以上とされるが，崩壊の分布は一様ではなく，例えば図 2.3.2 の丸印のように崩壊箇所が集中している地域も存在する。産総研 [7)]によると，この地域の地質は主として新第三紀中新世に形成された火砕岩から構成されている。火砕岩の特徴として，表層部が長年の風化などで軟弱化しており新鮮な岩盤との境界付近で表層部分が崩れるケースが多数確認されたことが報告されている。

表 2.3.2　輪島における 12 月の総降水量

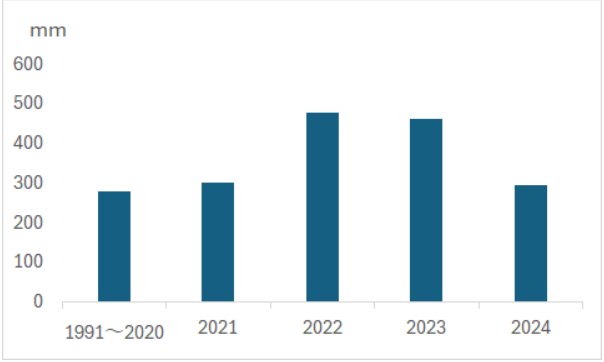
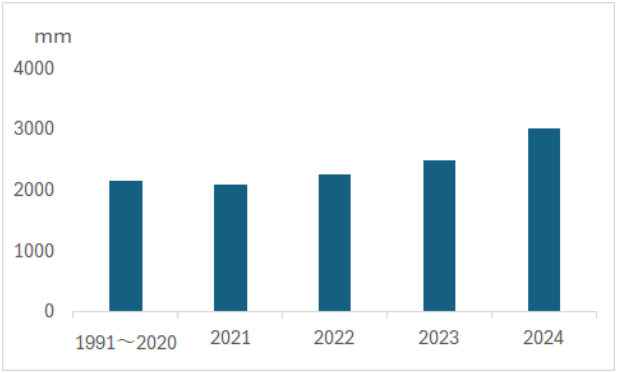


表 2.3.3　輪島における年間の総降水量



土砂災害の発生に関して，地質条件が大きく関与していることは間違いないことであるが，以下では 2023 年の降雨量が例年と比較してどれだけ違いがあったのかという観点から能登半島地震における土砂災害との関係について言及していきたい。

表 2.3.2 は輪島における 12 月の総降水量を示すグラフ[3]であり，1991 年～2020 年の平均値は 279mm，2021 年は 300mm，2022 年は 479mm，2023 年は 462 ㎜，2024 年は 297 ㎜となっている。ここで，2022 年と 2023 年の輪島における降水量は，他の年よりも 1.5 倍ほど多い値になっているが，これは 2022 年，2023 年ともに 12 月に JPCZ （日本海寒帯気団収束帯)を伴う大雪被害に見舞われたことによる。JPCZ による大雪には温暖化に伴う日本海の海水温の上昇も指摘されていることから，能登半島地震に伴って土砂災害が多発した背景には間接的に温暖化が寄与している可能性も示唆される。

続いて，表 2.3.3 は輪島における年間の総降水量を示すグラフ[3]であり，1991 年～2020 年の平均値は 2162mm，2021 年は 2094mm，2022 年は 2264mm，2023 年は 2488 ㎜，2024 年は 3023 ㎜となっている。ここで注目したいのは，12 月に大雪が降った 2022 年と 2023 年の年間降水量は 1991 年～2020 年の平均値や 2021 年の値と比べるとやや高い値にはなってはいるものの，前述した 12 月の降水量のように他の年と比較して 1.5 倍といった値ではない。むしろ，9 月に線状降水帯が発生し未曽有の豪雨災害となった 2024 年の年間総降水量が突出している。

既述のように,『土砂災害の発生に関して地質条件が大きく関与していることは間違いない』ことではあるが,（１）輪島における能登半島地震の発生直前の 2023 年 12 月の月間降水量は多かった,（２）その一方で, 2023 年の輪島の年間総降水量は他の年と比較してそこまで多くはない,（３）2023 年 12 月に JPCZ （日本海寒帯気団収束帯)を伴う大雪に見舞われ，さらに地震の発生直前の 2023 年 12/31 にはほぼ全て溶けていた，ことが明らかになった。

以上をまとめると，地震発生直前の 2023 年 12 月の豪雪とその背景にある温暖化などが複雑に絡みあって，2024 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震に伴う土砂災害の規模の増大に関与したことが示唆される。

参考文献

1) 西山竜一（2023）：宇宙線を用いた土壌水分量把握による土砂災害の予測，令和５年３月，5p.

2) 中村洋介・瀬戸真之・花渓和希（2017）：新潟県上越市国川地すべりにおける発災直後と現在（4 年後）との比較．福島大学人間発達文化学類論集，25，1-10.

3) 気象庁（2025）：過去の気象データ検索.

4) 防災科研（2023）：2023 年 12月21日から 22日にかけての大雪に起因する能登地域の広域停電に関する調査速報，13p.

5) 気象庁（2025）：解析積雪深・解析降雪量、降雪短時間予報.

6) 国土地理院（2024）：令和 6 年能登半島地震に伴う災害現況図.

7) 産業技術総合研究所地質調査総合センター（2024）：令和 6 年（2024 年）能登半島地震の関連情報第八報、2024 年能登半島地震に伴う斜面崩壊の崩壊箇所と地形・地質との関係（予察）

2.4 大地震後の降雨による土砂災害に関する文献調査と課題整理

2.4.1 はじめに

地震や大雨によって，斜面崩壊，地すべり，土石流などの土砂災害が発生し，住宅や道路の破壊，河道閉塞，人命の損失など，多大な被害をもたらす。特に，大規模な地震では，地震直後に発生する土砂災害だけでなく，地盤の揺れによって斜面に亀裂が生じたり，不安定化が進行したりすることで，その後の降雨により土砂災害がさらに拡大することが指摘されている。2024 年の能登半島地震では，地震後の大雨により，輪島市や珠洲市を中心に多数の土砂災害が発生し，二次被害を引き起こした。こうした地震による直接的な被害に加え，複合災害として発生することで復旧活動が妨げられ，地域の復興を遅らせる要因ともなる。したがって，大地震後の降雨による土砂災害の被害を軽減し，早期の地域復興を促進するためには，地震後の降雨によって引き起こされる土砂移動の特徴を把握することが重要である。そこで，本節では，大地震後の降雨による土砂災害に関する文献をレビューし，能登半島地震およびその後の大雨による土砂災害の概要を説明した上で，現状の課題を整理する。

2.4.2 大地震後の降雨による土砂災害の事例

(1) 既往研究の整理

後根ら [1)]は，主に国内で発生した大地震を対象に，その後の降雨による土砂災害に関する研究を調査した。本節では，後根ら [1)]の調査結果を参考にしつつ，国外で発生した大地震後の降雨による土砂災害に関する文献調査も行い，その結果を表 2.4.1 にまとめた。

既往研究によると，地震後の降雨による土砂移動形態は，地震時に発生した崩壊の拡大，新規崩壊，土石流であったことが報告されている。また，地震後の降雨によって発生した土砂災害は主に震源周辺に集中するが，地震の規模が大きくなるにつれて影響範囲が広がる傾向が見られた。調査対象の事例では，震央から 40km 以内で発生したケースが多かったものの，四川地震 [10)]では震源から 135km 離れた北川県，さらに東北地方太平洋沖地震 [13)]では震源から 200km 以上離れた茨城県北部においても，地震後の降雨により多くの土砂災害を引き起こした。そして，地震後の降雨による土砂災害の発生時期は，地震後数日から数か月以内が多いものの，数年を経過しても土砂災害が発生しやすいことが指摘されている [7, 11, 12)]。

多くの既往研究によれば，大地震後は同じ降雨量であっても，地震前に比べて土砂災害が発生しやすい傾向が報告されている。例えば，Lin[6)]らは台湾濁水渓流域を対象に，集集地震の前後で降雨による土砂災害の発生状況を比較した。その結果，地震後には降雨による土砂災害の頻度が著しく増加していた。また，地震前に発生した Herb 台風は，地震後の Toraji 台風よりも多くの降水量をもたらしたにもかかわらず，地震後の台風による土砂流出量は地震前の約 5 倍に達したことが報告されている。Shieh[7)]らは，集集地震後の 7 年間にわたり，台湾の烏石坑および九九峰乾渓流域における降雨による土石流の発生状況を分析した。その結果，地震直後には土石流を引き起こす臨界降雨量が大幅に低下し，その後徐々に回復していったものの，7 年が経過しても地震前の水準には戻っていなかったことが報告されている。このような現象は，国内の大地震(例えば，

表 2.4.1 大地震後の降雨による土砂災害の事例

地震名	地震発生年月日	Mw	発生場所 （降雨年月日）	降雨時土砂移動形態
宝永地震	1707 年 10 月 28 日	8.7-9.3	高知県東洋町 [2] （地震から約半年後）	深層崩壊
関東地震	1923 年 9 月 1 日	7.9-8.2	神奈川県伊勢原市小田原市など [3] （地震から約 2 週間後）	土石流
兵庫県南部地震	1995 年 1 月 17 日	6.9	神戸市灘区 [4] （地震から約 4～6 か月）	地震時の崩壊拡大, 新たな崩壊
台湾集集地震	1999 年 9 月 21 日	7.6	台湾渓頭地区 [5] （地震から約 5 か月後）	新たな崩壊
			台湾濁水渓流域 [6] （地震後約 2 年間まで）	地震時の崩壊拡大、新たな崩壊、土石流
			台湾烏石坑・九九峰乾渓流域 [7]（地震後約 7 年間まで）	土石流
岩手・宮城内陸地震	2008 年 6 月 14 日	6.8-6.9	岩手県一関市 [8] （地震から約 3 か月以内）	地震時の崩壊拡大, 新たな崩壊
			宮城県栗原市 [8] （地震から約 3 か月以内）	
四川地震	2008 年 5 月 12 日	7.9	四川漁子溪流域 [9] （地震から約 2 年間）	地震時の崩壊拡大、新たな崩壊、土石流
			四川北川地域 [10] （地震から約 4 か月）	
			四川都江堰 [11] （地震から約 5 年）	新たな崩壊、土石流
			震源周辺四つの流域 [12] （地震から約 4 年間まで）	土石流
東北地方太平洋沖地震	2011 年 3 月 11 日	9.0-9.1	城県北部 [13] （地震から約 9 か月以内茨）	降雨と余震による新たな崩壊
熊本地震	2016 年 4 月 14 日、4 月 16 日	6.2、7.0	熊本県阿蘇地域周辺 [14] （地震後 5 日後～地震から約 2 か月後）	地震時の崩壊拡大, 新たな崩壊，土石流
能等半島地震	2024 年 1 月 1 日	7.5	珠洲市、輪島市 （地震後約 8 か月）	地震時の崩壊拡大, 新たな崩壊，土石流

兵庫県南部地震 [4]や熊本地震 [14])に関する研究においても複数報告されている。

地震後の降雨による斜面崩壊の発生メカニズムを解明するために，鳥居ら [15]は，兵庫県南部地

震後に発生した崩壊地で採取した不撹乱試料を用いて，一面せん断試験および繰り返し三軸試験を実施した。その結果，地震による土粒子間の骨格構造の破壊に伴い粘着力が低下し，さらに降雨による飽和度の上昇に伴い見かけの粘着力が低下することで，せん断強度が大幅に低下することが明らかになった。また，Qiu ら [11]は，四川地震後に都江堰で発生した大規模地すべりを対象に，振動台実験および水路実験を行った。その結果，振動を受けた斜面では降雨の浸透深度が大きく，亀裂が水の浸透経路となることで土粒子が流出し，間隙水圧が急激に上昇することが確認された。これにより，せん断強度や斜面の安定性を低下することが報告されている。

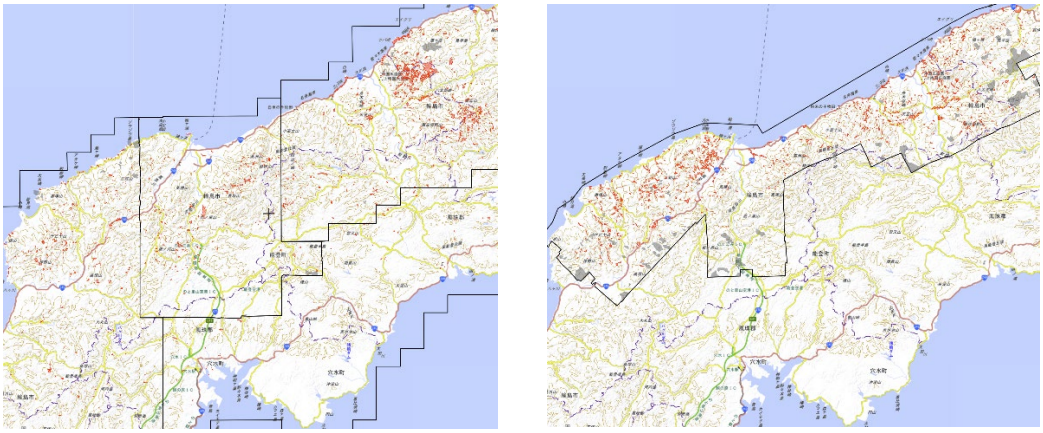
地震後の降雨によって発生した土砂災害の特徴について，これまでにいくつかの研究が調査を行っていた。Zhang ら [9]は，四川漁子溪流域を対象に，地震直後の土砂災害と，その約 2 年後に発生した豪雨による土砂災害について，衛星画像の解析および現地調査に基づいて，分析・比較を行った。その結果，地震後の豪雨による土石流の発生過程は，地震によって不安定化した斜面堆積物が雨季に徐々に渓床堆積物へと変化し，さらにそれが流下を続け，最終的に大雨の影響下で土石流として流出することが明らかになった。また，地震直後に発生した土砂災害よりも，その後の大雨による土砂災害の方が，より標高の高い斜面で発生しやすいことも報告されている [9,10]。

(2) 令和 6 年能登半島地震後の豪雨による土砂災害

令和 6 年能登半島地震は，2024 年 1 月 1 日に日本海東縁変動帯の西端で発生し，モーメントマグニチュードは Mw7.5 で，輪島市および羽咋郡志賀町で最大震度 7 を観測した。この地震により，多くの土砂災害が発生し，住宅や道路の破壊，河道閉塞，人命の損失など，多大な被害をもたらした。国土交通省 [16]の調査によると，2024 年 7 月 1 日 13 時時点で，この地震による土砂災害発生件数は 456 件に達し，それによる家屋被害（全壊，半壊，一部損壊）は 201 戸，死者 36 名，行方不明者 3 名，負傷者 3 名が確認されている。図 2.4.1(a)は，国土地理院が 1 月 2 日，1 月 5 日，1 月 11 日，1 月 14 日および 1 月 17 日に撮影した空中写真を基に，能登半島地震によって生じたと考えられる斜面崩壊地や土砂堆積箇所を判読したものである。赤色の部分は斜面崩壊・堆積範囲を示している。

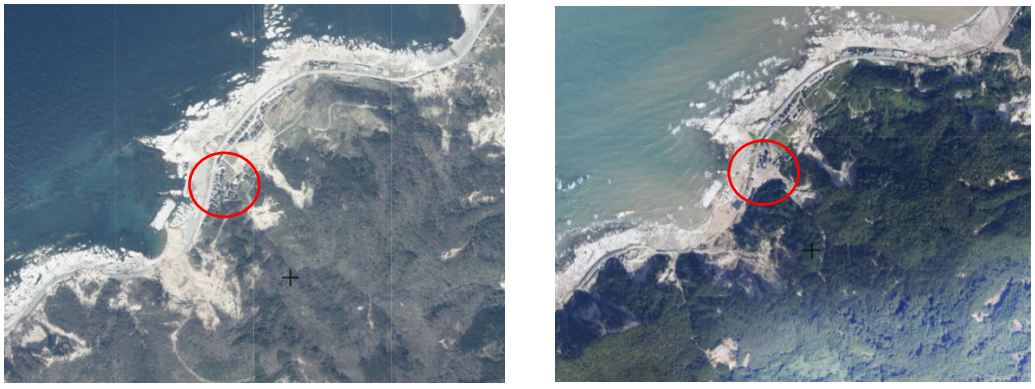
この地震の約 9 か月後にあたる 2024 年 9 月 21 日から 23 日にかけて，能登半島で豪雨が発生した。1 時間雨量は最大 121.0mm，3 時間雨量は最大 222.0mm を記録した [17]。国土交通省 [16]の調査によると，この豪雨による土砂災害の発生件数は 278 件に上り，それによる家屋被害（全壊，半壊，一部損壊）は 366 戸，死者 12 名，負傷者 3 名が確認された。また，地震の復旧工事中にも土砂崩れや仮設材の流出・破損などが発生し，国道 249 号中屋トンネルの復旧作業に従事していた作業員 1 人が死亡する事故が発生した。図 2.4.1(b)は，国土地理院が 9 月 23 日および 24 日に撮影した空中写真を基に，豪雨によって生じたと考えられる斜面崩壊地，土石流範囲および堆積箇所を判読したものである。図 2.4.1(a)と図 2.4.1(b)を比較すると，地震と豪雨による土砂流出範囲が重なる地域（例えば，輪島市と珠洲市の境界や町野町周辺）が見られる一方で，豪雨による土砂流出範囲が広がる傾向が見られる場所（例えば，輪島市西側の美谷町や桶滝地区）も確認できる。

著者は，2024 年 8 月 15 日から 17 日にかけて研究室の学生とともに地震後の土砂災害を調査し，さらに同年 11 月 22 日から 24 日には，斜面工学小委員会調査団の一員として豪雨後の土砂災害を調査した。本稿では，これらの調査結果の一部について簡単に報告する。詳細は 5 章に記載されている。



(a) 地震後（1 月撮影）　(b)降雨後（9 月 23 日, 24 日撮影）

図 2.4.1 国土地理院よる斜面崩壊・土石流・堆積分布図



(a) 地震後降の衛星写真　(b) 豪雨後の衛星写真



(c) 地震後の写真　(d) 豪雨後の写真

図 2.4.2 国土 249 号珠洲市仁江町地区, (a) 国土地理院より 2024 年 4 月 5 日～26 日撮影, (b) 国土地理院より 2024 年 9 月 24 日撮影, (c) Google Earth より 2024 年 7 月撮影, (d) 2024 年 11 月 22 日現地撮影

図 2.4.2 は, 国道 249 号沿いの珠洲市仁江町地区における地震後および豪雨後の土砂災害の状況を示している。図 2.4.2(a)および図 2.4.2(b)には, 国土地理院が 2024 年 4 月 5 日～26 日（地震後）および 2024 年 9 月 24 日（豪雨後）に撮影した衛星写真を示している。これらの写真を比較する

と，地震後の豪雨により土砂移動が拡大した様子が確認できる。季節の違いによる森林状況の影響で比較が難しい部分もあるが，赤丸で示した箇所を見ると，地震で緩んだ斜面が豪雨によって集落へと流出したことが確認できる。また、図 2.4.2(c)および図 2.4.2(d)は同じ地点を撮影したもので，図 2.4.2(c)は Google Earth が 2024 年 7 月に撮影した写真で，図 2.4.2(d)は 2024 年 11 月 22 日に現地で撮影した写真である。これらの写真からも，地震後の豪雨によって土砂移動が拡大したことが視認できる。さらに，地震後，この周辺で発生した土砂災害による犠牲者は 9 人であったことが報告されている。

図 2.4.3 は，珠洲市大谷地区の集落における地震およびその後の豪雨による土砂災害の状況を示している。図 2.4.3(a)および図 2.4.3(b)には，国土地理院が 2024 年 4 月 5 日～26 日（地震後）および 2024 年 9 月 24 日（豪雨後）に撮影した衛星写真を示している。これらの写真を比較すると，地震によって崩壊した斜面が豪雨の影響でさらに崩落し，土砂が集落へと流出した様子が確認できる。また，図 2.4.3(c)は，2024 年 11 月 22 日に現地で撮影した写真である。現地調査時には，道路上の一部土砂はすでに撤去されていたものの，道路の両側には数メートルにわたる土砂が堆積し，家屋は泥に埋もれたままの状況が確認された。珠洲市大谷地区では，地震後の豪雨によって発生した土砂災害により，1 名の犠牲者が確認された。



(a) 地震後の衛星写真



(b) 豪雨後の衛星写真





(c) 豪雨後の写真

図 2.4.3 珠洲市大谷地区集落，(a) 国土地理院より 2024 年 4 月 5 日～26 日撮影，(b) 国土地理院より 2024 年 9 月 24 日撮影，(c) 2024 年 11 月 22 日現地撮影

図 2.4.4 は，輪島市曽々木海岸八世乃洞門トンネル南側における地震およびその後の豪雨による

土砂災害の状況を示している。図 2.4.4(a)は Google Earth が 2024 年 8 月（地震後）に撮影した写真であり，図 2.4.4(b)は 2024 年 11 月 23 日（豪雨後）に現地で撮影した写真である。これらの写真を比較すると，地震後には斜面の崩壊が見られず，トンネルは通常どおり通行可能であった。しかし，豪雨の影響で斜面が崩壊し，トンネルの入り口が土砂で閉塞されたことが確認できる。図 2.4.4(a)からは地震による斜面の緩みの有無を判断することは難しいが，岸本[18]による地震後の現地調査では，曽々木地区の斜面で複数の亀裂や陥没帯が確認された。



(a) 地震後の写真　　(b) 豪雨後の写真

図 2.4.4 輪島市曽々木海岸八世乃洞門トンネル付近: (a) Google Earth より 2024 年 8 月撮影, (b) 2024 年 11 月 23 日現地撮影



図 2.4.5 輪島市曽々木海岸八世乃洞門トンネル付近、地震後の豪雨による流木(2024 年 11 月 23 日現地撮影)

図 2.4.5 は，輪島市曽々木海岸八世乃洞門トンネル北側における豪雨後の流木の状況を示している。これらの写真は，2024 年 11 月 23 日（豪雨後）に現地で撮影されたものである。豪雨による流木は集落前の砂防施設を破壊し，海まで流出した。現地の住民によると，1 月の地震により被害を受けたホテルが復旧作業中に再び豪雨による土石流の被害を受け，家族の一人が犠牲になった

とのことであった。

図 2.4.6 は，輪島市総合体育館付近における地震およびその後の豪雨による土砂災害の状況を示している。図 2.4.6(a)および図 2.4.6(b)は，国土地理院が撮影した 2024 年 4 月 5 日～26 日（地震後）および 2024 年 9 月 24 日（豪雨後）の衛星写真である。また，図 2.4.6(c)および図 2.4.6(d)は，同じ地点を 2024 年 8 月 24 日および 2024 年 11 月 22 日に現地で撮影した写真である。これらの写真を比較すると，地震によって緩んだ斜面が豪雨によりさらに崩壊・拡大した様子が確認できる。さらに，豪雨の影響で現地では地すべりも発生しており，すべり末端部では地すべりによって押し出しの影響で，道路の一部が大きく隆起していることも確認された。



(a) 地震後の衛星写真



(b) 豪雨後の衛星写真



(c) 地震後の写真



(d) 豪雨後の写真

図 2.4.6 輪島市総合体育館付近, (a) 国土地理院より 2024 年 4 月 5 日～26 日撮影, (b) 国土地理院より 2024 年 9 月 24 日撮影, (c) 2024 年 8 月 24 日現地撮影, (d) 2024 年 11 月 22 日現地撮影

(3) 2008 年四川地震後の豪雨による土砂災害

本節では，表 2.4.1 に示す事例の中から，四川地震を抜粋して簡単に紹介する。2008 年 5 月 12 日に発生した四川地震(M7.9)は，56,000 箇所以上の土砂災害発を引き起こした [10]。地震直後の土砂災害による犠牲者は 20,000 人以上に及び，道路や橋梁が寸断されたことで，汶川県をはじめとする多くの地域が孤立した。また，34 箇所の大規模な河道閉塞が発生し，せき止め湖が形成されたことで，下流域の住民に深刻な脅威をもたらした。

この地震の約 4 か月後にあたる 2008 年 9 月 23 日から 24 日にかけて，北川地域で大雨が発生した [10]。1 時間あたりの最大雨量は 57.9mm，1 日の総雨量は約 340mm を記録した。さらに，約 2 年後の 2010 年 8 月 12 日から 14 日にかけて，四川漁子溪流域では，1 時間あたりの最大雨量が 33mm，1 日の総雨量が約 150mm の大雨が降った [9]。いずれの大雨においても，地震時に発生した崩壊が

拡大したり，新たな崩壊が引き起こされたりし，さらに土石流の発生も確認された。2010 年の大雨による土砂災害では，地震後に復旧された道路が再び破壊され，複数の犠牲者も出た。

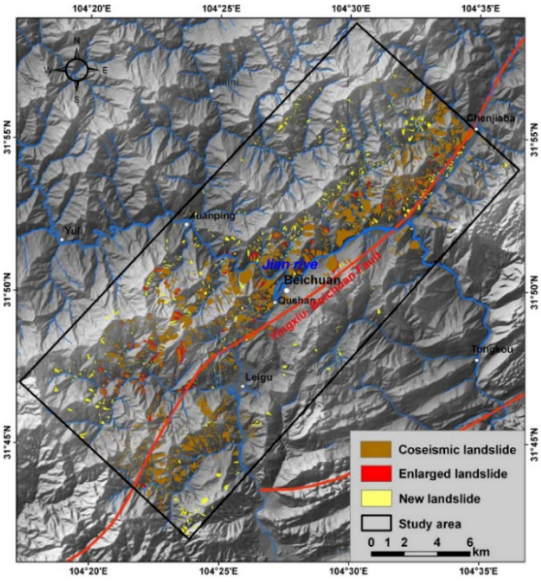
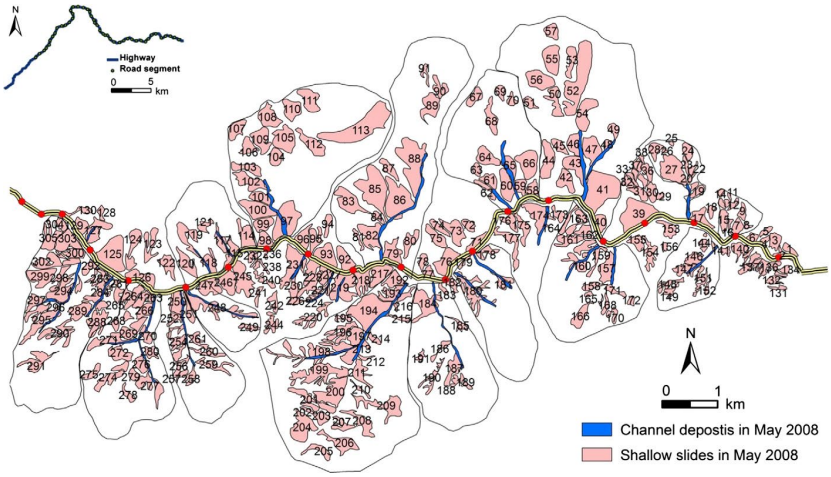
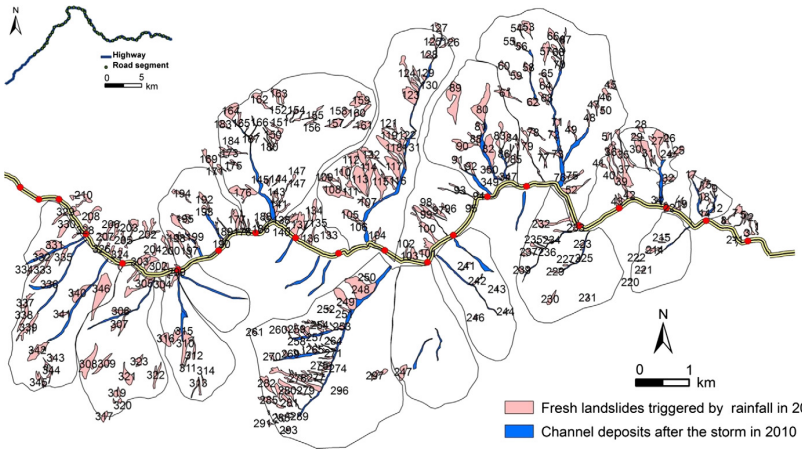


図 2.4.7 四川北川地域における地震後および大雨後の土砂災害分布 [10)]



(a) 地震による土砂災害分布



(b) 大雨による土砂災害分布

図 2.4.8 四川漁子溪流域における地震後および大雨後の土砂災害分布 [9)]

図 2.4.7 は，Tang ら [10]が航空写真および衛星画像に基づいて，リモートセンシング解析と現地調査を組み合わせることで作成した，四川北川地域における地震後および大雨後の土砂災害分布図である。この図から，地震による土砂災害が主に断層の上盤側に集中していることが分かる。また、地震による土砂災害は 2,221 箇所確認されたのに対し，大雨による既存の土砂災害の拡大は 169 箇所，新たな崩壊は 969 箇所が確認された。図 2.4.8 は，Zhang ら [9]が衛星画像に基づいて，リモートセンシング解析と現地調査を組み合わせることで作成した，四川漁子溪流域における地震後および大雨後の土砂災害分布図である。この図から，地震による 305 箇所の斜面堆積物と 28 箇所の河道堆積物が確認されたのに対し，大雨による新たな崩壊は 351 箇所確認された。

2.4.3 課題整理

上述のように，大地震後の大雨による土砂災害は，地震による直接的な被害に加えて，人的被害を含むさらなる被害の拡大を招き，復旧活動を妨げるとともに，地域の復興に深刻な影響を及ぼす。このような二次災害を軽減し，早期の地域復興を促進するためには，いくつかの課題が考えられる。

① 大地震後に，どの斜面が崩壊し，どの斜面に亀裂が発生し，どの程度不安定な状態になっているかを迅速かつ正確に把握することは，二次災害の軽減や復旧活動において重要な課題である。特に，令和 6 年能登半島地震後に発生した 9 月豪雨は，損傷を受けた斜面に「降雨・降雪」が作用することによる斜面災害の誘発を顕在化させた。こうしたことに対しては，衛星写真を活用すれば広範囲にわたって明確な土砂移動をある程度特定できるが，繊細な亀裂や明確な移動がない不安定化した斜面の状況までは把握が難しい。一方，現地調査では詳細な情報を得られるものの，広範囲にわたる実施には限界がある。今後は，ドローンや画像解析，深層学習技術を活用した新たな技術の開発と実用化により，これらの課題の解決が期待される。

② 大地震後の大雨による二次災害を軽減するためには，土砂災害発生危険基準線（CL）に基づく早期警戒が重要である。地震後は，地震前と比べて少ない降雨量でも土砂災害が発生しやすく，また，時間の経過とともに斜面の安定性が徐々に回復していくことが報告されている [7, 12, 19]。したがって，大地震の発生および経過時間を考慮した CL 評価モデルを構築し，早期警戒システムの導入が求められる。

③ 土砂災害ハザードマップは，地域住民や関係機関に対して災害リスクを視覚的に示し，避難計画や土地利用計画の策定において重要な役割を果たす。大地震発生後，地盤が不安定化し，土砂災害の発生リスクが高まることが明らかになっている。さらに，この地盤の不安定な状態は，数年経過しても回復しない場合も報告されている。したがって，災害発生後の復旧活動や土地利用，避難行動を適切に進めるためには，大地震の影響を考慮した土砂災害ハザードマップの作成が重要である。

参考文献

1) 後根裕樹・鈴木素之(2022) : 大規模地震後の降雨により発生した土砂災害に関する文献調査, 自然災害研究協議会中国地区部会研究論文集, No. 9, pp. 29-32.

2) 井上公夫：宝永地震と半年後の激甚災害：高知県東洋町名留川の大規模崩壊地を歩く，地理，Vol.60，No.10，pp.66-73.

3) 井上公夫・笠原亮一：関東地震（1923）時の震災地応急測図原図と土砂災害，歴史地震，Vol.24, pp.53-64.
4) 冨田陽子・桜井亘・中庸充(1996)：六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について，新砂防，Vol.48, No.6, pp.15-21.
5) 堀田紀文・康恰慧・執印康裕・魏聰輝・張振生・陳信雄・鈴木雅一(2005)：集集地震後の降雨で発生した崩壊に対する地震の影響について－台湾大学渓頭実験林における長期林道補修記録を用いた検討－，砂防学会誌，Vol.58, No.1, pp.3-13.
6) CW, Lin・SH, Liu・SY, Lee・CC, Liu (2006): Impacts of the Chi-Chi earthquake on subsequent rainfall-induced landslides in central Taiwan, Engineering Geology, Vol. 86, pp. 87-101.
7) CL, Shieh・YS, Chen・YJ, Tsai・JH, Wu (2009): Variability in rainfall threshold for debris flow after the Chi-Chi earthquake in central Taiwan, China, International Journal of Sediment Research, Vol. 24, pp. 177-188.
8) 村上亘・大丸裕武・江坂文寿(2013)：2008 年岩手・宮城内陸地震により発生した 2 次的な斜面崩壊の地形・地質的特徴，森林総合研究所研究報告，Vol. 12, No. 1, pp. 23-40.
9) S, Zhang・LM, Zhang・T, Glade (2014): Characteristics of earthquake- and rain-induced landslides near the epicenter of Wenchuan earthquake, Engineering Geology Vol. 175, pp. 28-73.
10) C, Tang・J, Zhu・X, Qi・J, Ding (2011): Landslides induced by the Wenchuan earthquake and the subsequent strong rainfall event: A case study in the Beichuan area of China, Engineering Geology Vol. 122, pp. 22-33.
11) H, Qiu・J, Kong・R, Wang・Y, Cui・S, Huang (2017): Response mechanism of post-earthquake slopes under heavy rainfall, Journal of Seismology Vol. 21, pp. 869-884.
12) W, Zhou・C, Tang (2014): Rainfall thresholds for debris flow initiation in the Wenchuan earthquake-stricken area, southwestern China, Landslides Vol. 11, pp. 877-887.
13) 木下祐介・八反地剛・八木勇治・江崎隼輝・奥村大輔(2014)：東北地方太平洋沖地震とそれ以降の雨による斜面崩壊：茨城県北部の花崗岩山地における事例, 地形, Vol.35,No.1, pp.25-39.
14) 石川芳治ほか 22 名(2016)：平成 28 年熊本地震後の降雨による二次土砂移動と二次土砂災害，砂防学会誌，Vol.69, No.4, pp.25-36.
15) 鳥居宣之・沖村孝・加藤正司(2007)：地震後の降雨による斜面崩壊発生機構に関する実験的検討, 土木学会論文集 C,Vol.63, No.1, pp.140-149.
16) 国土交通省:https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/r6_0920ooame.html
17) 国土交通省気象庁
https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/report/2024/20241029/20241029.html
18) 岸本海笛(2024)： 能登半島地震の現場から～国道 249 号沿いの地すべりにおける現地状況速報～（一財）砂防・地すべり技術センター，Summer, Vol. 136.
19) Z, Jiang・X, Fan・SS, Subramanian・F, Yang・R, Tang・Q, Xu・R, Huang (2021): Probabilistic rainfall thresholds for debris flows occurred after the Wenchuan earthquake using a Bayesian technique, Engineering Geology Vol. 280, 105965.

3. 近年の宅地斜面災害と対策（災害メカニズム，主な対策と効果）

本章では近年発生している宅地斜面災害について，従来から取り組まれている災害対策の方法や効果などを整理し，今後の経験のない気象の常態化がもたらす宅地斜面への被害を軽減するための研究的な検討についてとりまとめた。

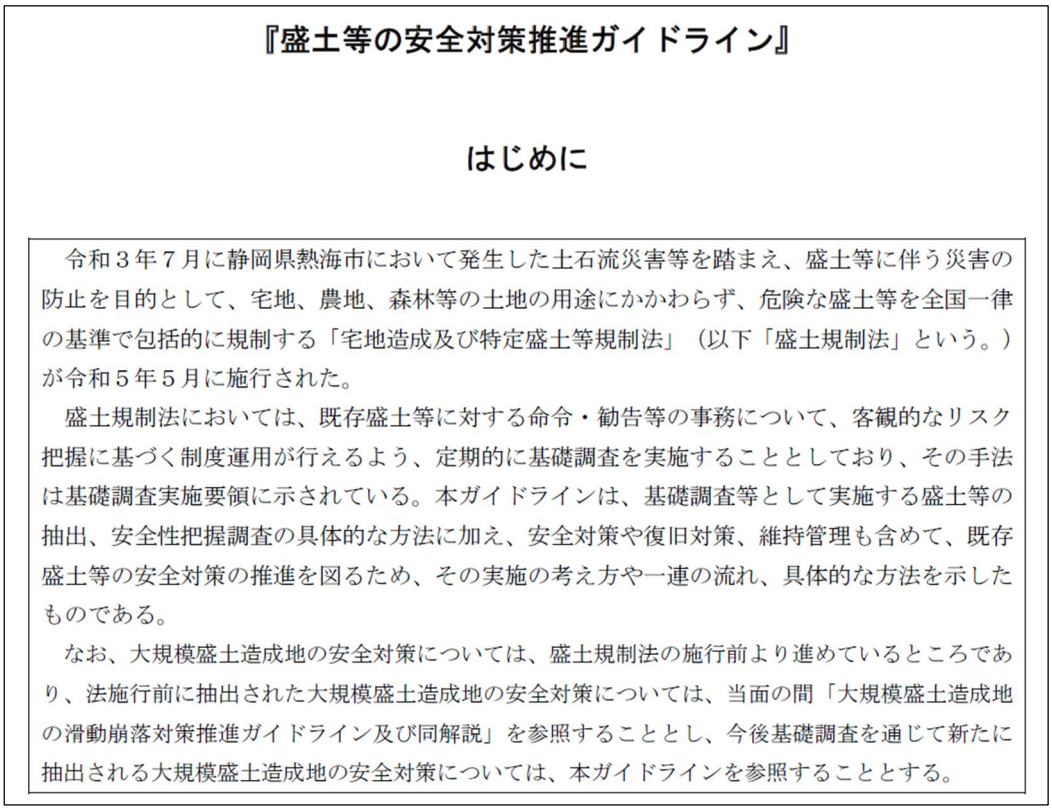
3.1 では盛土（構造体としての盛土そのもの）に関する検討をテーマとし，3.2 では斜面（自然斜面および人工斜面）に関する検討をテーマとした。

3.3 では災害防止工事として施工される斜面構造物に関する検討をテーマとし，3.4 では斜面構造物の中でも特に宅地で利用が多い擁壁に関する検討をテーマとした。

3.1 盛土に関する災害と対策

平成 7 年の兵庫県南部地震や平成 16 年の新潟県中越地震，平成 23 年の東北地方太平洋沖地震では多数の甚大な宅地盛土被害が発生した。これらの被災実態を分析して得られた知見や復旧事例を踏まえ，滑動崩落が発生した場合の一連の復旧対策の流れと調査・検討手法を示した「大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説」[1)]が平成 27 年にとりまとめられた。

また，令和 5 年 5 月には「宅地造成及び特定盛土等規制法（以下，盛土規制法）」が施行され，盛土規制法に基づく基礎調査や大規模盛土造成地の安全対策に関する調査が現在，各地で行われている。



『盛土等の安全対策推進ガイドライン』

はじめに

令和３年７月に静岡県熱海市において発生した土石流災害等を踏まえ、盛土等に伴う災害の防止を目的として、宅地、農地、森林等の土地の用途にかかわらず、危険な盛土等を全国一律の基準で包括的に規制する「宅地造成及び特定盛土等規制法」（以下「盛土規制法」という。）が令和５年５月に施行された。

盛土規制法においては、既存盛土等に対する命令・勧告等の事務について、客観的なリスク把握に基づく制度運用が行えるよう、定期的に基礎調査を実施することとしており、その手法は基礎調査実施要領に示されている。本ガイドラインは、基礎調査等として実施する盛土等の抽出、安全性把握調査の具体的な方法に加え、安全対策や復旧対策、維持管理も含めて、既存盛土等の安全対策の推進を図るため、その実施の考え方や一連の流れ、具体的な方法を示したものである。

なお、大規模盛土造成地の安全対策については、盛土規制法の施行前より進めているところであり、法施行前に抽出された大規模盛土造成地の安全対策については、当面の間「大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説」を参照することとし、今後基礎調査を通じて新たに抽出される大規模盛土造成地の安全対策については、本ガイドラインを参照することとする。

図 3.1 「盛土等の安全対策推進ガイドライン及び同解説」[2)]，p.1 抜粋

このような状況のなか，本節では次の事項について報告する。

3.1.1 では，宅地造成盛土の対策について，主に地下水浸透の抑止，間隙水圧の低下や排水処理

の観点からみたマニュアルの変遷を述べる。また，排水対策の効果を解析的に検討した事例を紹介し，宅地盛土の排水対策に関する今後の課題を挙げる。

3.1.2 では，主に地震による宅地盛土の被害事例を列挙する。その中から，地震被害後に対策工を実施した事例や地震被害後の豪雨により被害が拡大した（複合災害）事例を挙げる。また，地震時地盤変状被害が発生し得る宅地盛土の予測指標を示した研究事例を紹介する。

3.1.3 では，2024 年 1 月 1 日の能登半島地震の際に，複数の 3,000 m^2 未満の宅地造成盛土に生じた滑動崩落状況事例を示す。比較的規模の小さな造成盛土宅地は，公開マップや各種報告資料からは見落とされがちであることに注意を促したい。

参考文献

1) 国土交通省（2015）：大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説
2) 国土交通省・農林水産省・林野庁（2023）：盛土等の安全対策推進ガイドライン及び同解説

3.1.1 造成による盛土等の対策

(1) 宅地防災マニュアル（盛土等防災マニュアル）の変遷

1) 宅地防災マニュアルの解説（第二次改訂版）

平成 19 年(2007 年)の第二次改訂版[1)]では，大規模盛土内の地下水位は，「適切な水平排水層，暗渠排水工等を設けることにより，盛土中の間隙水圧の低下を図ることを条件に，浸透水による地下水位を盛土高さの 1/2 と仮定」するようなことが適当とされていた。

2) 宅地防災マニュアルの解説（第三次改訂版）[2)]

本書は，令和 4 年 2 月 25 日に刊行されたものであるが，翌年の「盛土等防災マニュアル」に引き継がれている。

安定性の検討において，第三次改訂版でも，第二次改訂版に示されているような「適切な水平排水層，暗渠排水工等を設けることにより，盛土中の間隙水圧の低下を図ることを条件に，浸透水による地下水位を盛土高さの 1/2 と仮定」することとなっている。

また，盛土内排水層の水平排水層は，「盛土高さ 5m 程度ごとあるいは小段ごとに設ける場合が多い」とのみの表現で，小段毎に設置するような指示はない。この表現は，第 2 次改訂版と同様である。

3) 盛土等防災マニュアルの解説(令和 5 年 11 月)[3)]

令和 5 年 5 月 26 日に施行された「宅地造成及び特定盛土等規制法（昭和 36 年法律第 191 号，令和 4 年法律第 55 号）により「盛土等防災マニュアルの解説」が令和 5 年 11 月に刊行された。本書は，令和 3 年 7 月の静岡県熱海市における土石流災害を受け，全国各地で人為的に行われる違法な盛土や不適切な工法の盛土の崩壊による人的・物的被害が確認される等，宅地造成，特定盛土等又は土石の堆積（以下［盛土等］）による災害の防止が喫緊の課題となっていることを踏まえて，宅地，農地，森林等の土地の用途にかかわらず，危険な盛土等を全国一律の基準で包括的に規制するために示されたものである。

このマニュアルの最大の特徴は「排水施設は，地下水排除工及び盛土内排水層により完全に地下水の排除ができるように計画することを基本とする」と謳ったことである。これは「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令（昭和 52 年総理府・厚生省令第 1 号，令和 2 年環境省令第 9 号（令和 2 年 3 月 30 日施行））」に示される第 1 条第 5 項二の基準「埋立地には，保有水等を有効に集め，速やかに排出することができる堅固で耐久力を有する構造の管渠その他の集排水設備を設けること」とあるように，最終処分場の廃棄物の埋立盛土内の保有水等と同様に“一般の盛土内の地下水も有効に集め，速やかに排水すること”が令和 5 年になって初めて要求されるようになったことを意味している。

本マニュアルでも安定性の検討においては，「適切な水平排水層，暗渠排水工等を設けることにより，盛土中の間隙水圧の低下を図ることを条件に，浸透水による地下水位を盛土高さの 1/2 と仮定」となっている。しかし，この地下水排除工及び盛土内排水層の設置について厳しくなっている（詳細は後述）。

(2) 盛土等の排水施設に関する一考察

1) マニュアルにおける排水対策の諸元

盛土等防災マニュアルでは「排水施設は，地下水排除工及び盛土内排水層により**完全に地下水の排除ができるように**計画することを基本とする」とし，下記のような主要な盛土の排水施設の諸元一覧に示すような構造が推奨されている。

こうした排水施設を計画する場合，マニュアルでは以下のように示されている。

「排水流量の算定に当たっては，現況の湧水量及び常時の平水量を測定して定めることが望ましいが，実態を把握しにくい場合は，次に示す日雨量及び流域面積等を指標とする方法により算定することも可能である。(p.140)」

「計画日雨量は，接続する施設（下水道等）の計画降雨強度等を考慮して，5～10 年確率の降雨強度を基本とし，集水性が高い場合や盛土規模が大きい場合には総合的に判断し，適切な雨量強度を用いる。多量の湧水が認められる場合はその量を考慮すること，地質構造等により流域外からの雨水等の流入が想定される場合は対策の流域をその範囲まで拡大することが望ましい。(p.141)」

これに沿って，具体的な地下水排除工（暗渠排水工）の設計がなされることとなる。

表 3.1.1　新設盛土の排水施設の諸元一覧（盛土等防災研究会[3]の表Ⅴ・2-1 より）

排水施設		基本諸元
機能	施設名称	
地下水排除工	暗渠排水工	本管　：管径 300mm 以上 **（流域等が大規模なものは流量計算にて規格検討）** 補助管　：管径 200mm 以上 補助管間隔：40m を標準とする **渓流等をはじめとする地下水が多いことが想定される場合等は 20m以内**
	基盤排水層	厚さ　：0.5m を標準とする **渓流等をはじめとする地下水が多いことが想定される場合等は 1.0m以上** 範囲　：法尻から法肩の水平距離の 1/2 の範囲及び谷底部を包括して設置 （地表面勾配 i＜1：4）
盛土内排水層	水平排水層	厚さ　：0.3m 以上（砕石や砂の場合） 配置　：小段ごと 範囲　：小段高さの 1/2 以上

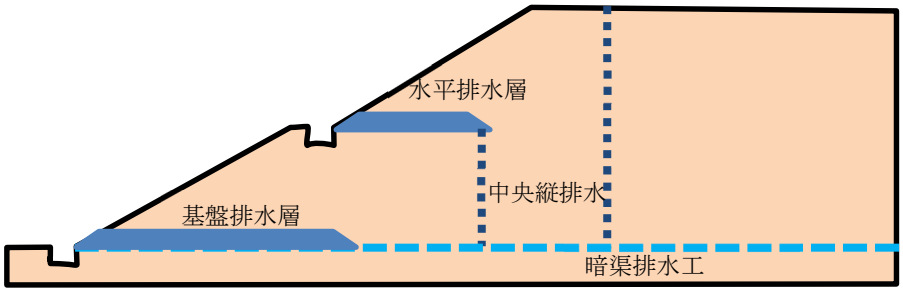


図 3.1.1　新設盛土の排水施設の概要図（盛土等防災研究会[3]の図Ⅴ・2-1 より）

さらに，盛土内排水層については，以下のようにすることを標準とすることとなった（それまでの宅地防災マニュアルの解説とは大きく異なる点である）。

① 水平排水層は，盛土の小段毎に設けること（ジオテキスタイルの場合，高さ 2～3m毎に入れること）
② 水平排水層の層厚は 0.3m以上（砕石や砂の場合）とし，長さは小段高さの 1/2 以上とすること
③ 浸透水の速やかな排水を促すため 5～6%の排水勾配を設けること
④ 排水層の材料に砕石や砂等の粒形の揃ったものを適用する場合は，地震時に液状化現象を起こし，盛土地盤の変状を起こす原因となる場合があることに留意が必要である

2）排水施設と地下水の排除の状況

盛土内の地下水の排除について，盛土等防災マニュアルに強く示された排水施設，特に水平排水層の効果について具体的に検討した。水平排水層については，これまでその効果は現場で実感してきたものと思われるが，視覚的な見える化でイメージが湧くことが重要であると考え，以下に示す。

これまでの盛土等の排水計画では，通常は，暗渠排水工を計画するのが一般的であった。通常は，こうした暗渠排水工のみが設置され，基盤排水層や盛土内排水層（水平排水層）を設けることは少なく，大規模盛土でも 1～2 層の水平排水層が多かった。これは，暗渠排水工だけでも，排除に時間は掛かったとしても，十分に最終的に排除できるためであると考えられる。

しかし，近年の豪雨は，豪雨回数の増加に見られるように，頻繁に生じることも想定され，より速やかに地下水を排除した方が良いと考えると，暗渠排水工のみでは十分でないことも想定される。

事例として，降雨量 100mm/day が 2 日間続く場合に，どの程度速やかに地下水の排除が行えるのか，試算的な検討を行った（表 3.1.2 参照）。なお，本試算検討モデルは盛土底面が難透水の場合を想定し，盛土底面以下には地下水が浸透せず，盛土内に地下水が溜まりやすい状況を想定している。

図 3.1.2 は，解析に用いたモデルの概要である。盛土全体の高さは 40m，法面勾配は 1：2 である。高さ 5m ごとに小段を配置し，盛土内の排水構造は排水施設の諸元一覧を参考に，最も小規模となる状況をモデル化した（1/2 以上とされている場合は，1/2 の長さを適用）。地盤の透水係数は 1.0×10^{-5}cm/s，水平排水層および基盤排水層の透水係数は 1.0×10^{-2}cm/s とした。また，暗渠排水工は本管を盛土底面の中央に配置し，補助管をおよそ 20m 間隔で本管位置から，盛土側部方向に配置した。暗渠排水工は境界条件で表現を行い，ここでは常に大気開放状態となる浸出面境界を設定した。なお，解析は比較のために，暗渠排水工のみを設定したケースと，暗渠排水工に加えて，水平および基盤排水層を設定したケースを実施した。

図 3.1.3 は，各ケースの結果を同時間で比較した圧力水頭分布図である。

この図に示されるように，数日間続く豪雨では，排水量よりも降雨の浸透量が多く，盛土内が飽和状態になるまで水位が上昇する恐れがあることがわかる。豪雨が止んでから 3 日経過した後には盛土内の地下水が排水されているが，これは暗渠排水工による効果が大きい。しかし，豪雨が止んだ直後の状態を見ると，水平および基礎排水層を敷設したケースでは，小段および盛土の

法尻における圧力水頭が 0m 以下（不飽和状態）となっており，暗渠排水工のみのケースと大きく異なる傾向である。このような法尻が不飽和となる状態はパイピング等の浸透破壊に対する抑制効果と言えることから，水平排水層は豪雨時の水位上昇に対して，盛土の健全性を維持する役割を担っていることがわかる。

降雨が止んだ 3 日後の圧力水頭分布から，盛土の上部に残存していた圧力が，暗渠排水工のみと比較して，水平および基礎排水層を敷設したケースにおいて，より大きな低下を示した。これは盛土底面の基礎排水層が暗渠へ排水する効果が現れたと考えられ，より早期に盛土内の水位を排水する効果として有効な手段であることがわかる。

このような水平排水層の設置により，豪雨等で崩壊しやすい小段周辺の地下水を速やかに排除でき，安全性を向上させることに寄与することができると思われる。より詳細については，個々の事例で適切に検討をする必要があるが，図 3.1.4 に示すような盛土の変状（あるいは崩壊）を抑えることができるものと考えられる。

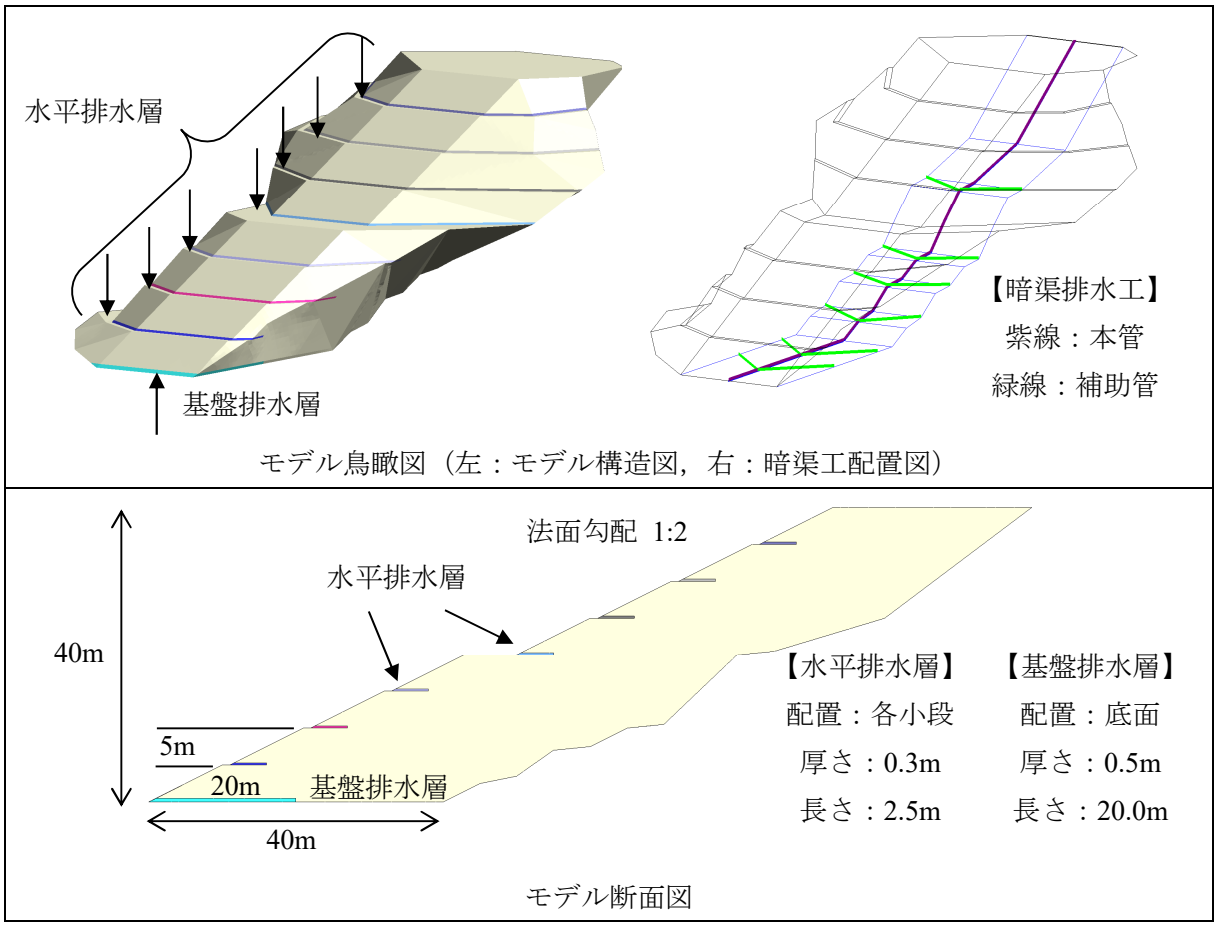


図 3.1.2　解析に用いたモデルの概要

表 3.1.2　解析に用いたモデルの諸元

盛土内流入降雨	降雨量：100mm/day	降雨継続時間：２日間
盛土地盤の物性	透水係数：1.0×10^{-5}cm/sec	シルト質相当
排水施設の物性	透水係数：1.0×10^{-2}cm/sec	砂質相当

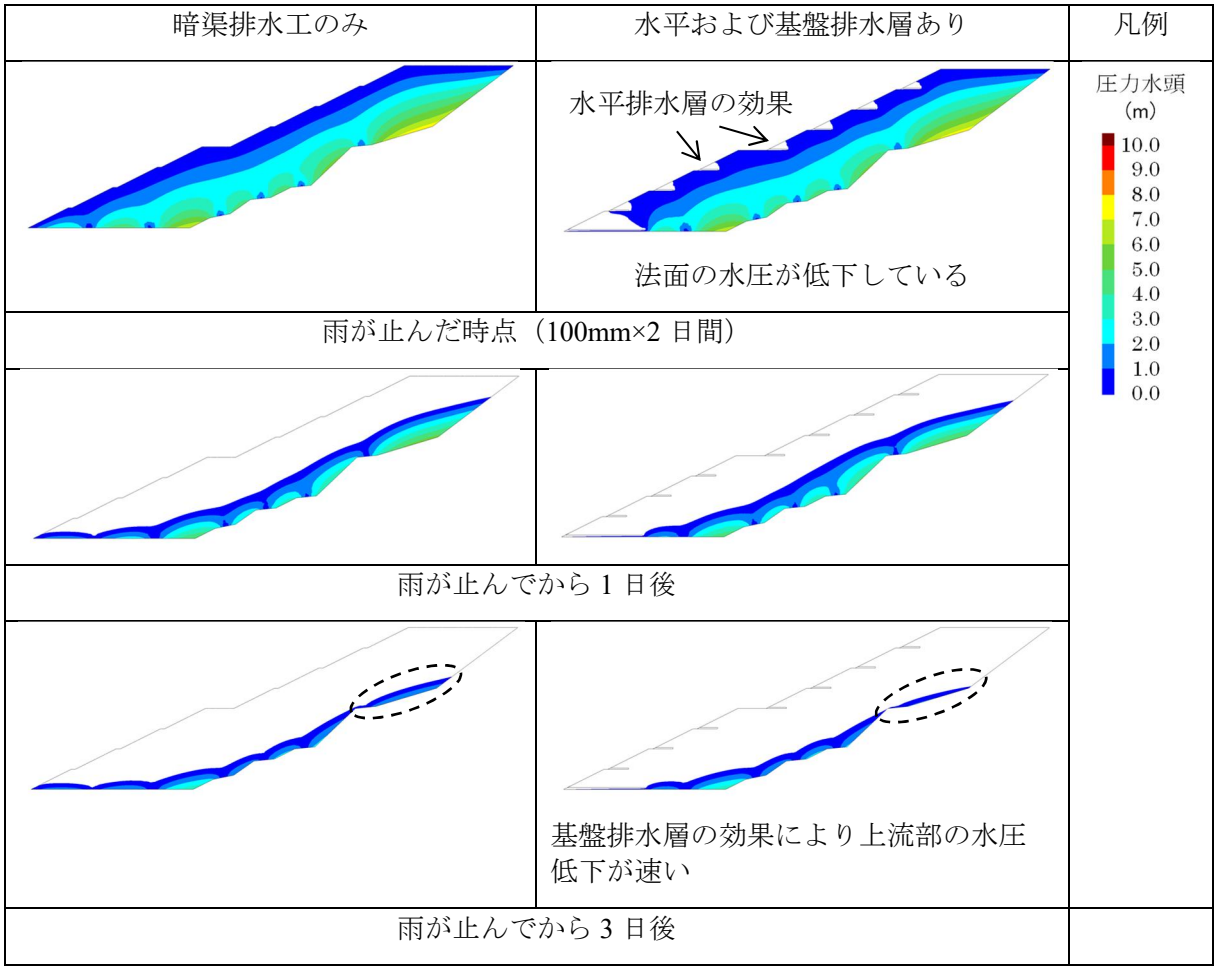


図 3.1.3　対策ケースごとの雨による盛土内の圧力水頭分布の変化



小段に排水施設がない場合の例

下図の模式のように小段部も満水となり変状（あるいは崩壊）しやすい状況となる

写真上は，盛土 A が降雨後に変状した状況を示したもの（法面上部から小段を撮影）
写真下は，盛土 B が降雨後に崩壊した状況を示したもの

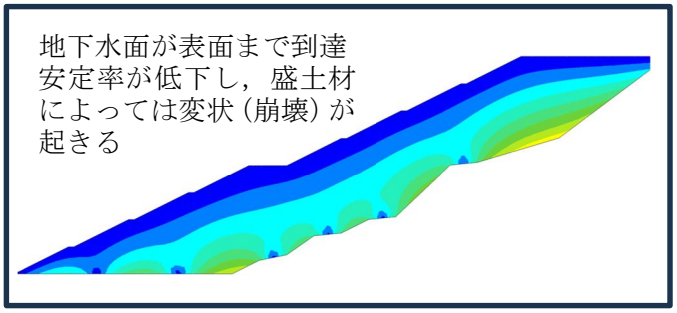


図 3.1.4　小段に排水施設がない場合の変状・崩壊の事例

3）今後の課題

近年,「経験の無い気象条件」として，連続した豪雨が頻発するようになってきており，盛土等の小崩壊（小段部の変状含む）や盛土全体の崩壊などの事例が多くみられる。

前述したように，また，盛土等防災マニュアルに示されるように，その場の気象条件（地域毎に自治体が定めている 5～10 年確率の降雨強度など）を想定したときの排水を達成することができれば，多くの盛土等の変状・崩壊は抑制できるものと思われる。

一方，今後の課題として以下のことが挙げられる。

① 盛土内の水平排水層の設置を適切に適宜実施することが今後の盛土設置には重要である。この排水は，盛土等防災マニュアルの考え方を基本とするのは当然のことではあるが，排水しにくい条件にあるような場では，個々で排水性能を確かめることが必要ではないかと思われる。

② 排水しにくい条件にある場の類型化などが今後必要ではないかと思われる。

③ 適切な盛土内地下水の排除日数の設定が課題となる。豪雨後，次の豪雨や地震までにどの程度の地下水の排除ができれば良いのかを今後検討評価していくことで，排除日数の考え方を作り上げることができると思われる。なお，現行の盛土等防災マニュアルの解説では,「計画基準雨量の 40%を 7 日排除とした事例が多いが，30%を 2 日排除としている事例もある（p.153）」と述べられているが，盛土材や周辺地質状況などにより排除可能な時間は異なると考えられる。以上のことから，より良い盛土の設置を行うための排除時間の考え方を確立することが必要と考える。

④ アンカー工などの抑止工の設置にも降雨による水圧を適切に評価し，適宜排水孔などを設けるようにする必要があると考えられる。

参考文献

1) 宅地防災研究会編（2007）: [第二次改訂版]宅地防災マニュアルの解説，ぎょうせい
2) 宅地防災研究会編（2022）: [第三次改訂版]宅地防災マニュアルの解説，ぎょうせい
3) 盛土等防災研究会編（2023）: 盛土等防災マニュアルの解説，ぎょうせい

3.1.2 地震による宅地盛土での災害と対策

(1) 2007 年新潟県中越沖地震による柏崎市山本団地の宅地盛土被害

1) 地震動と被災地周辺の地形地質

平成 19 年（2007 年）7 月 16 日，新潟県中越沖を震源とする M6.8 の地震が発生し，震源に近い新潟県柏崎市中央町に設置された防災科学技術研究所 K-NET（旧柏崎市役所 NIG018 地点）における観測記録は，震度 6 強，南北方向・東西方向の最大加速度はそれぞれ 667.9Gal，511.3Gal であった（図 3.1.5）。

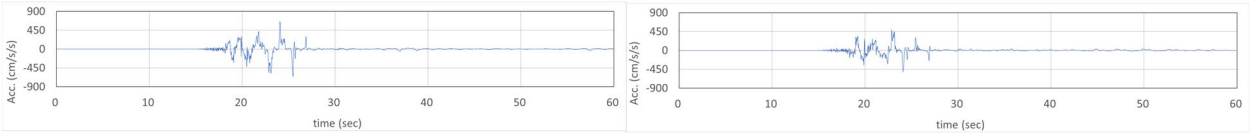


図 3.1.5　2007 年新潟県中越沖地震の柏崎市中央町（K-NET：NIG018）における加速度観測記録（左：南北方向，右：東西方向）

山本団地は 1971 年に砂丘斜面の末端から沖積低地にかけて盛土によって雛壇状に造成された住宅団地である。北西側に約 70 メートルの小高い砂丘があり，砂丘の一部を切り取った砂を宅地盛土材として用いている箇所もある。砂丘末端の法尻から雛壇状（上段，中断，下段の 3 段）に宅地地盤が整地され住宅が並んでいる（図 3.1.6，図 3.1.7）。



図 3.1.6　山本団地位置図（Google Map に加筆）



図 3.1.7　山本団地 航空写真 [1)]

2) 被害の概要と要因

2007 年新潟県中越沖地震では，砂丘末端斜面の上部に開口亀裂が認められ，滑り土塊が擁壁を隣接する家屋側に押し出し，団地最上段の家屋に被害を与えた。上段と中段，中段と下段の宅地境界に構築されている擁壁やブロック塀なども転倒し家屋に被害を与えた。市道の側溝が多数箇所で変形し，家屋周辺には噴砂が認められている。山本団地の西端部では，近接する鯖石川に向かって地盤変位が生じた（図 3.1.8～図 3.1.10）。

宅地の表層部は淘汰の良い粒径の揃った砂地盤で構成されており，地下水位が高かったことから液状化が発生しやすく，砂丘斜面から鯖石川に向かう高低差（段差）などの地形変化があったことからも地盤変状が生じやすい素因を有していた。そこに震度 6 強の地震による誘因が重なったことによるものと推察される。

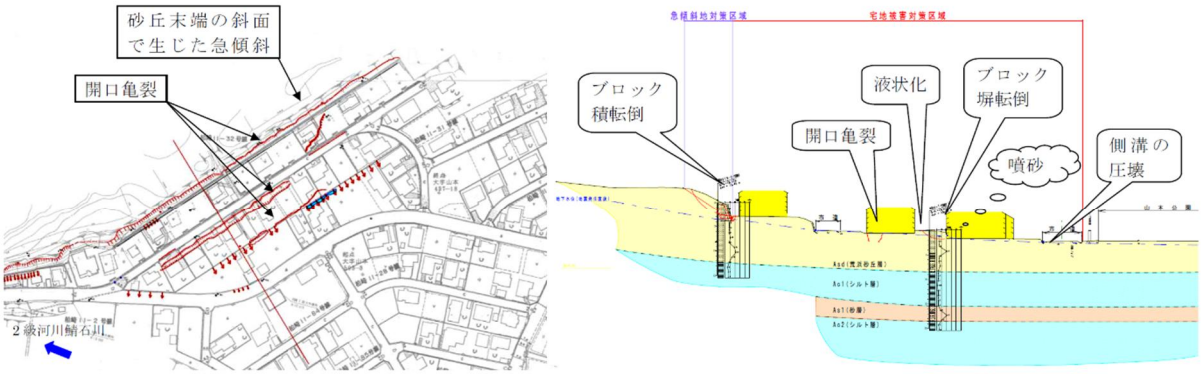


図 3.1.8　山本団地被災状況（左：平面図，右：断面図）[1)]

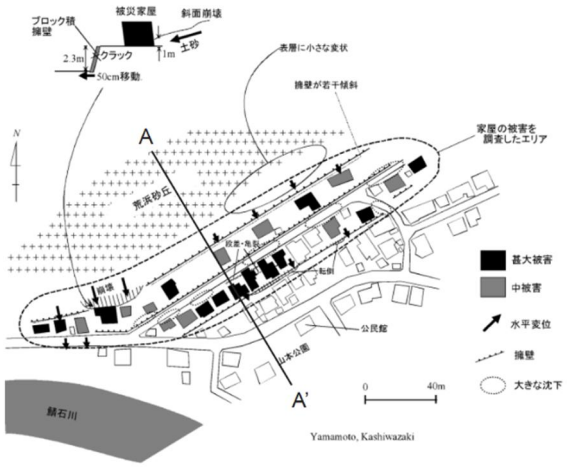


図 3.1.9　被災家屋の分布 [2)]



図 3.1.10　宅地の被災状況 [1)]

3）被害後の対策

震災後の山本団地の対策にあたって新潟県は，被災宅地の二次災害防止と居住の安定，地域コミュニティの維持を図るため，平成 18 年度に創設された宅地耐震化推進事業による支援を国に対して要望した。これを受けて国は，当該地区を造成宅地防災区域として指定するとともに「大規模盛土造成地滑動崩落防止事業」を全国で初めて適用した。

事業の実施は柏崎市が進めた。宅地の地質調査を行い，地盤の滑動対策と液状化対策の二点を満足する対策工について検討が行われ，地下水位低下工（暗渠 φ200～300mm，深さ約 2m，延長約 1,300m），擁壁工（約 150m^2）が採用された（図 3.1.11）。

4）2024 年能登半島地震による山本団地の状況

地震によって液状化などの地盤変状を被った宅地盛土に対して，地下水位低下工などを施したこの山本団地は，再び地震を受けた地区として注目されている。

2024 年 1 月 1 日の能登半島地震（M7.6）では，柏崎市中央町（K-NET：NIG018）における観測記録は，震度 5 強，最大加速度は南北方向 106.3Gal，東西方向 119.3Gal を示した（図 3.1.12）。この能登半島地震による山本団地内における被害は認められなかった。2007 年新潟県中越沖地震後の地下水位低下対策工の効果の有無，有効性については，地震規模や継続時間が異なることから，今後，解析的検証なども行い議論する必要があるものと考えられる。

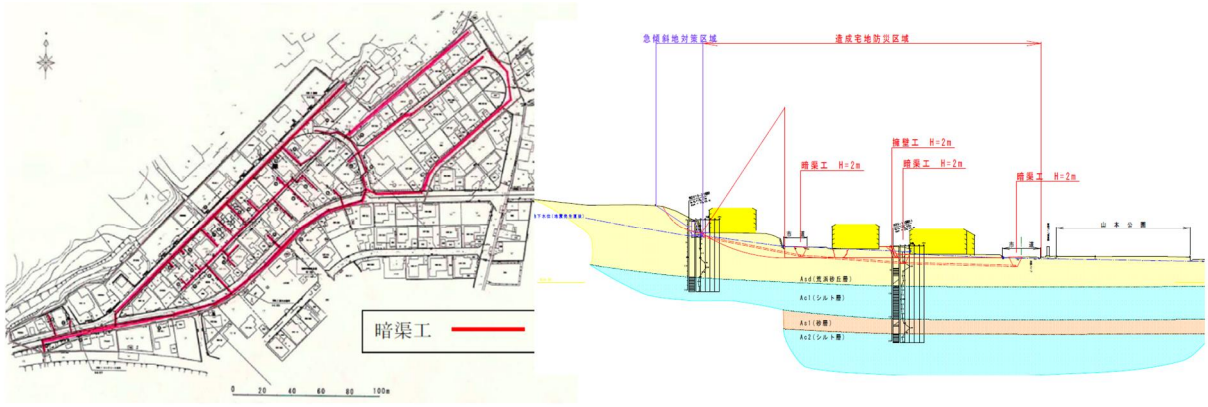


図 3.1.11　大規模盛土造成地滑動崩落防止工事（左：暗渠計画平面図，右：標準断面図）[1)]

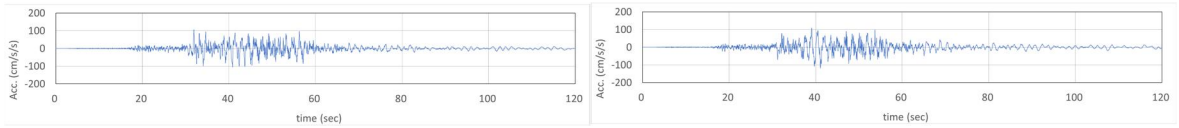


図 3.1.12　2024 年能登半島地震の柏崎市中央町（K-NET：NIG018）における加速度観測記録（左：南北方向，右：東西方向）

(2) 2011 年東北地方太平洋沖地震における仙台市の宅地盛土被害

1) 地震規模と被害数および被害形態 [3)]

平成 23 年（2011 年）3 月 11 日の三陸沖を震源とした東北地方太平洋沖地震（M9.0）により，東北および関東地方の広い範囲において，宅地盛土の崩壊や擁壁の損傷などの甚大な被害が発生した。なかでも宮城県仙台市では，宅地被害数が約 5,800 宅地に及び，そのうち 160 地区が滑動崩落の被害であったことが報告されている。滑動崩落の被害形態として多かったのが，地すべり的変形被害である。地すべり的変形被害は，変形の生じる場所によって「盛土全体の変形」，「ひな壇部分の変形」，「盛土全体とひな壇部分の複合型変形」の 3 つに分類された（図 3.1.13）。

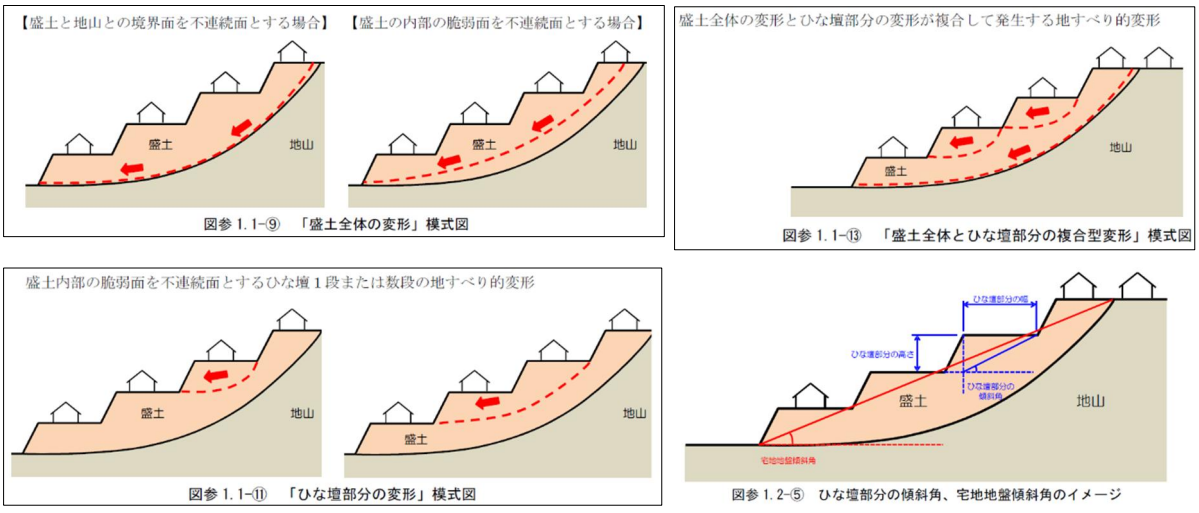


図 3.1.13　地すべり的変形被害における 3 形態と傾斜角の定義 [3)]

2）谷埋め型大規模盛土造成地における地すべり的変形被害の地下水位と傾斜角 [3)]

仙台市において滑動崩落の被害が発生した 160 地区のうち，30 地区を抽出して，地下水位と傾斜角の関係が示されている（図 3.1.14）。ひな壇部分の傾斜角，宅地地盤傾斜角は 5° 以上，地下水位は GL-2m～6m に大半が分布していた。

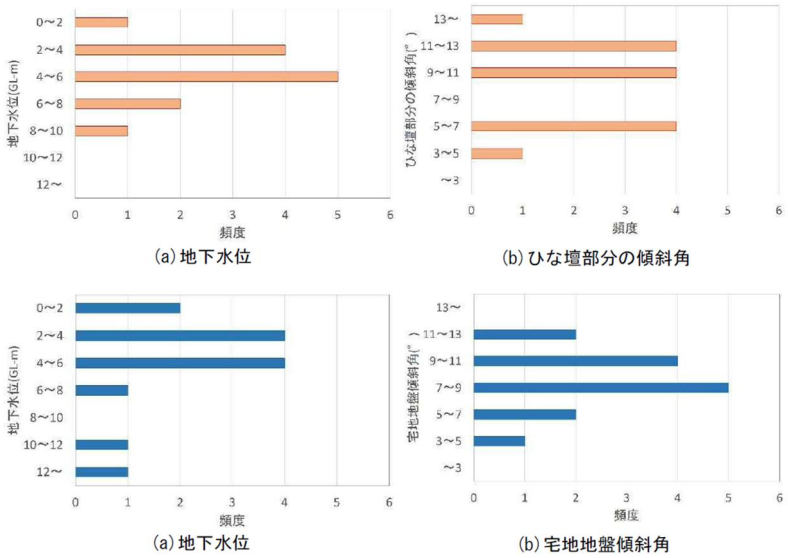


図 3.1.14　被害事例からみた地下水位と傾斜角の頻度分布 [3)]，上：「ひな壇部分の変形」の場合，下：「盛土全体の変形・盛土全体とひな壇部分の複合型変形」の場合

3）地すべり的変形の発生予測指標の評価 [4)]

門田ら [4)]は，仙台市の宅地盛土において地すべり的変形を呈した被害事例の分析から，被害が発生し得る宅地盛土の予測指標を示している。

水平変位が 20～100cm 以上発生（被害大・中）した盛土造成地において，地すべり的変形が発生した共通の要因は，盛土の N 値が 10 未満であり（変形部の平均 N 値は 5 未満），かつ地下水高 H と盛土厚さ D2 との比が 0.5 以上であったとしている（図 3.1.15）。H/D2<0.5 では被害小の傾向にあるが，H/D2=0 かつ平均 S 波速度 200 m/s 程度であっても，ひな壇部の傾斜角が 5～10° 以上と急である場合は被害発生の可能性があるとしている。

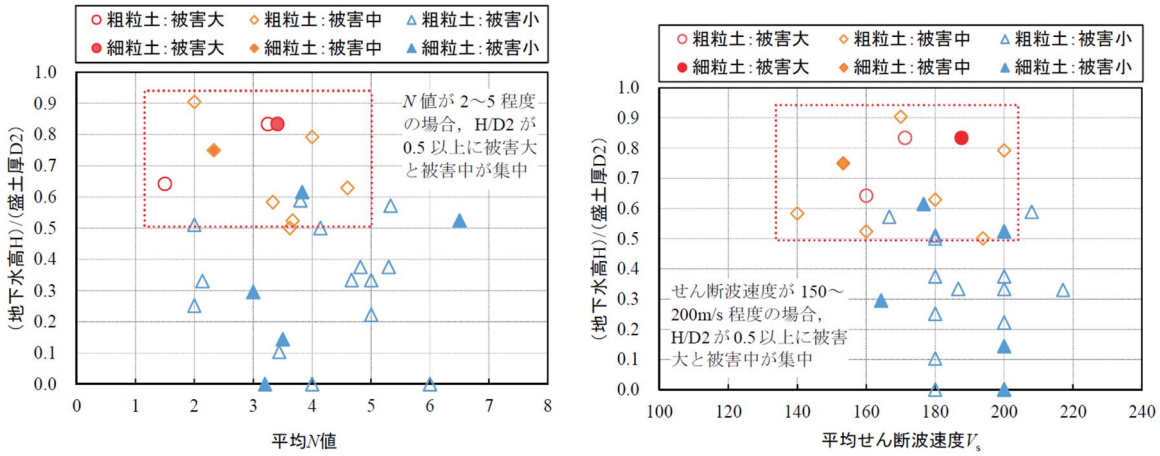


図 3.1.15　左：H/D2 と変形部の平均 N 値，右：H/D2 と変形部の平均 S 波速度 [4)]

地下水位に関しては，常時飽和状態にある地下水位だけでなく，盛土表層などで地下水が保水されている部分（飽和度が高い部分）についても，地震時に過剰間隙水圧が発生する可能性があるため，考慮する必要があるとしている。また，すべり面は，盛土内の S 波速度 Vs=180～200m/s の境界付近だけではなく，Vs=120～160m/s 程度のひな壇部においても，複合的に発生する可能性があるとしている。なお，検討対象 30 地区における推定最大水平加速度は 500～700 Gal 程度であり，被害程度と最大水平加速度の大きさとの関係は特に認められなかったとしている。

以上のことより，大規模地震の発生時においては，盛土の S 波速度 200m/s 以下，かつ，ひな壇部の傾斜角が 5°～10°以上であれば変形被害が発生する可能性があり，さらに，盛土の平均 N 値が 5 未満（粗粒土及び細粒土），かつ H/D2≧0.5 であれば，水平変位 20～100cm 以上の被害発生の可能性があるとしている。そして，これの判定方法は，地すべり的変形の発生を予測する一指標になり得ると述べている。

ただし，これらは，仙台市内の粘性土質の被災盛土造成地 30 地区を対象とした限られた件数の分析結果による一指標である。今後，砂質土系および火山砕屑降下物系の地盤材料を用いた宅地盛土の被災事例を追加した検討も期待される。

(3) 2024 年能登半島地震とその後の豪雨による石川県輪島市稲舟町の盛土被害

1) 地震による被害

2024 年 1 月 1 日の能登半島地震（M7.6）においても宅地盛土被害が多数箇所で認められた。谷埋め盛土の滑動崩落（金沢市田上新町の丘陵地内の宅地盛土，金沢北稜高等学校グラウンド，津幡町緑が丘の丘陵地内の宅地盛土，七尾市南ケ丘町の谷埋め盛土，能登町藤波地区の谷埋め盛土，など），地すべり的変形（輪島市稲舟町，など）の他，液状化による側方流動が起因となって下方斜面の崩壊や土石流を生じさせた被害もある [5)6)]。

図 3.1.16 は輪島市稲舟町の輪島市総合体育館・野球場が立地する盛土地盤及び斜面の崩壊状況である [5)]。左図の赤いハッチング部が，北側（日本海側）に滑動し，斜面の崩壊が生じている。

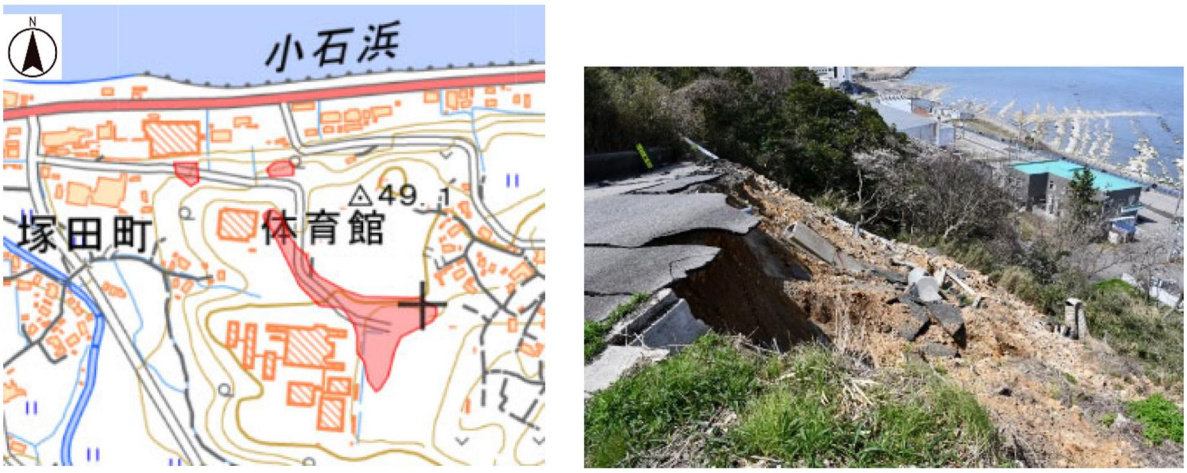


図 3.1.16　輪島市総合体育館・野球場の盛土地盤の滑動及び斜面崩壊の様子 [5)]

2）豪雨による被害の拡大

図 3.1.17 は，当該斜面が地震後の 9 月の豪雨によって崩壊拡大した状況である。左図に赤色ラインと矢印で示す広範囲の地盤・斜面が崩壊した。崩壊面の一部には，盛土下位の地山と推察される鏡肌が露出していたこと，国道 249 号線に沿って路面の隆起が認められたことなどから，崩壊面はある程度の深部にまで及んでいる可能性があると考えられる。

なお，地震による宅地地盤の変状・崩壊がその後の豪雨によって被害拡大した箇所は，輪島市青葉ヶ丘市営住宅などでも認められた。



図 3. 1. 17　輪島市総合体育館・野球場の盛土地盤・斜面崩壊が豪雨により被害拡大した様子

参考文献

1) 山本団地 大規模盛土造成地滑動崩落防止事業：新潟県ホームページ（https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/27644.pdf）（2025 年 2 月 24 日閲覧）
2) 谷 和夫・松下克也・橋本隆雄・山本 彰・竹内秀克・野田利弘・規矩大義・大林 淳・清田 隆（2014）：浅層盤状改良工法による戸建て住宅の液状化被害軽減効果の検証と経済性評価，地盤工学ジャーナル，Vol.9，No.4，pp.533-553.
3) 国土交通省（2015）：大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説，I編 変動予測調査編，pp.1-105-1-126.
4) 門田浩一・佐藤 成・東郷 智・金子俊一郎・本橋あずさ（2022）：盛土造成地の地すべり的変形の発生要因を考慮した安定解析モデルの構築方法，地盤工学ジャーナル，Vol.17，No.2，pp.227-245.
5) 橋本隆雄（2025）：宅地盛土，地盤工学会誌，Vol.73，No.1，pp.27-34.
6) 安田進（2024）：社会基盤施設の被害と教訓，基礎工，Vol.52，No.12，pp.12-17.

3.1.3 小規模盛土造成地の滑動崩落

(1) 震度 5 弱で滑動崩落した宅地盛土の分布

2024 年 1 月 1 日能登半島地震では，震源から 100km 以上離れた石川県金沢市周辺においても，宅地の被害が確認された。図 3.1.18 は金沢市内周辺の推計震度分布図に宅地盛土滑動崩落箇所と宅地液状化被害箇所を重ねた図である。金沢市～津幡町は，震度 4～5 強が分布し，宅地盛土の崩落は，震度 5 弱で発生していることが読み取れる。また，内灘町は，震度 5 弱～5 強で液状化被害が発生している。いずれも家屋の地盤が著しく変状し，地盤や家屋は修繕できないレベルで損傷している。

震度 5 弱で修繕できないレベルまで地盤が損傷するのは，あまりにも耐震性が低いと考えており，被災状況を報告する。

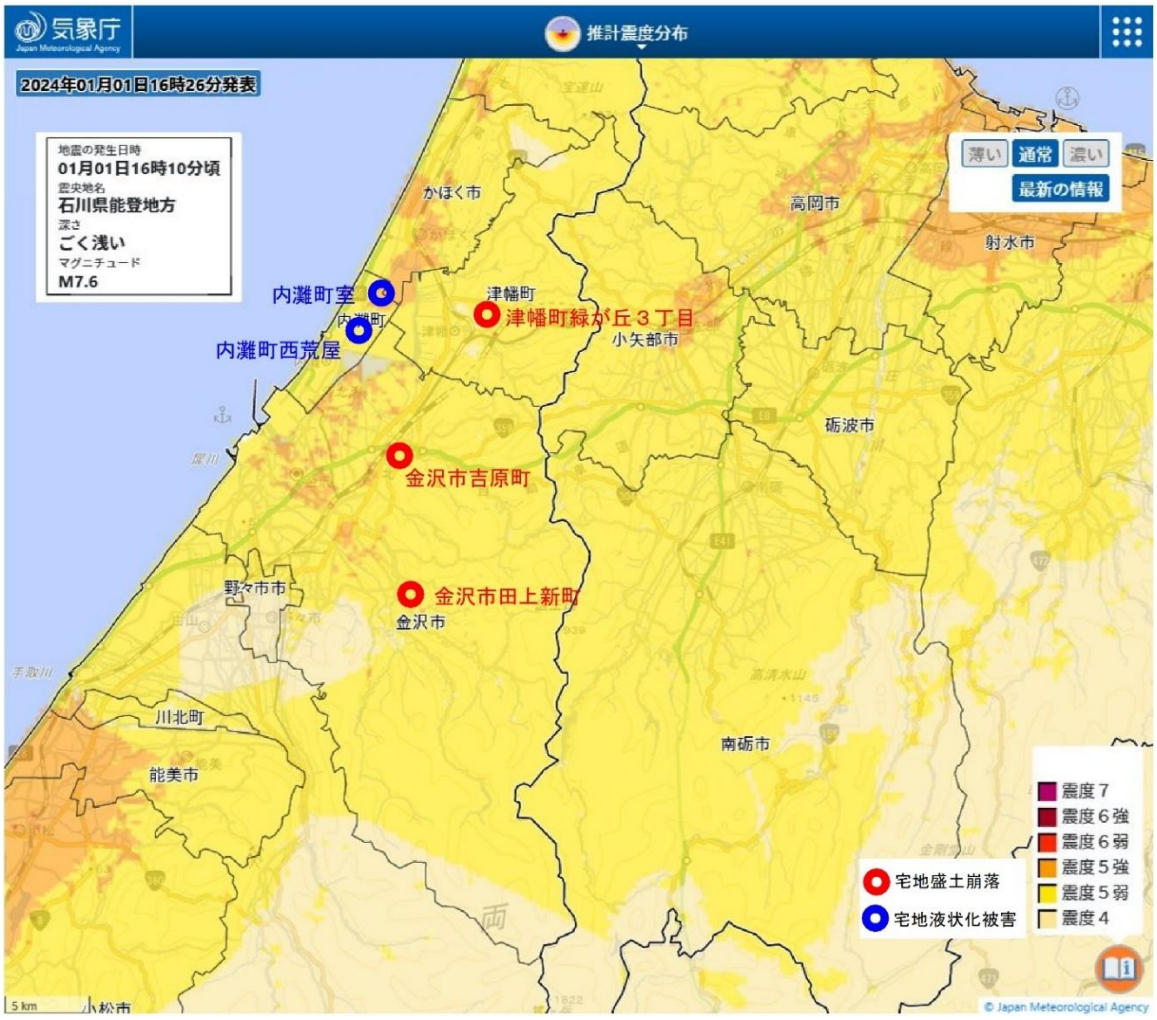


図 3.1.18　推計震度分布図及び宅地盛土滑動崩落・宅地液状化被害箇所位置図

（背景図は気象庁：推計震度分布 https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#7/ 引用）

(2) 小規模盛土造成地について

宅地盛土造成地の滑動崩落は，大規模地震のたびに幾度となく発生しており，近年，面積 3,000m^2 以上の盛土を大規模盛土造成地と定義し，大規模盛土造成地マップが作成・公表されている。しかし，宅地盛土造成地の滑動崩落は 3,000 m^2 以上の面積に限らず，3,000 m^2 未満でも多数発生し

ており，3,000 m^2 未満の盛土の分布はほぼ把握できていないのが現状である。本項では，3,000 m^2 未満の宅地盛土造成地を小規模盛土造成地という。以下に，2024 年 1 月 1 日能登半島地震で発生した小規模盛土造成地の滑動崩落状況を示す。

(3) 小規模盛土造成地の滑動崩落状況

1) 金沢市田上新町

図 3.1.19 に金沢市田上新町で発生した盛土の滑動崩落範囲を示す。背景のモノクロの空中写真は 1961～1969 年頃の宅地造成前のものである。オレンジ色は宅地造成後の家屋の分布であり，赤線の囲いが滑動崩落の範囲である。滑動崩落範囲は丘陵地の縁にあり，家屋下には旧耕作地があることが読み取れ，西向きに傾斜する腹付け盛土をされていたと推定される。滑動崩落の規模は，幅約 60m，長さ約 20m，面積は約 1,200 m^2 である。図 3.1.20 は滑動崩落前と滑動崩落後の状況である。滑動崩落前と滑動崩落後で，家屋 3 軒が無くなっている。

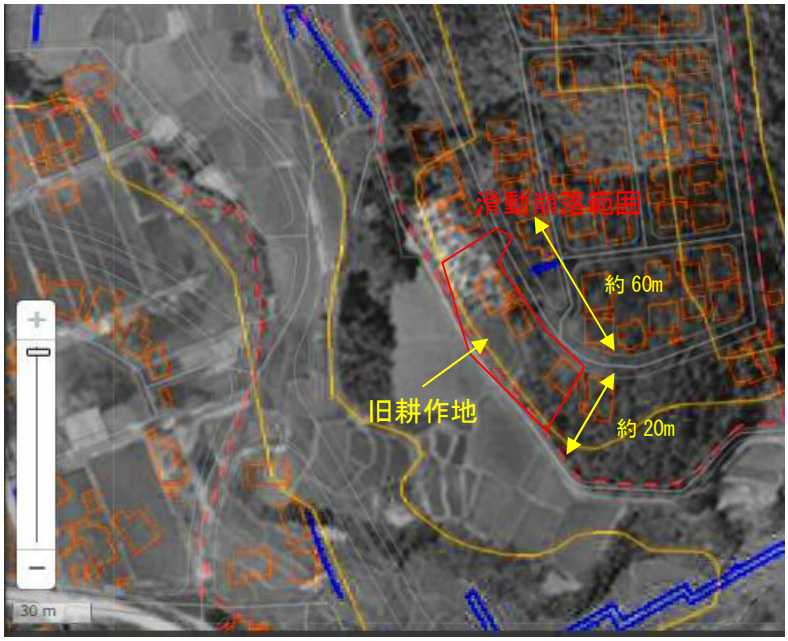


図 3.1.19　金沢市田上新町の盛土滑動崩落位置図（地理院地図引用）

※1961～1969 年頃の空中写真の上に基盤地図情報を重ね，その上に滑動崩落範囲を示した。



図 3.1.20　滑動崩落前（左写真）と滑動崩落後（右写真）の状況

（左写真は，Google ストリートビュー2023 年 8 月引用）

2）金沢市吉原町

金沢市吉原町，県立金沢北稜高等学校沿いで発生した盛土の滑動崩落範囲を図 3.1.21 に示す。背景の地形図（黒色等高線）は，1909～1910 年頃の宅地造成前のものであり，現在の宅地や道路を透過させて表示させている。赤線の囲いが滑動崩落の範囲である。滑動崩落部は，谷部に位置し，北向きに傾斜する谷埋め盛土になっていたものと推定される。滑動崩落の規模は，幅約 50m，長さ約 60m であり，面積は推定約 2,500 m^2 である。図 3.1.22 は滑動崩落の状況である。滑落崖はブルーシートが敷設されている。図 3.1.23 はブルーシートを敷設する前の滑落崖の状況である。校舎の杭基礎がむき出しになっているが，校舎に目立った損傷は見られなかった。小規模盛土造成地の盛土規模の場合，杭基礎を地山に根入れしていれば，建物の被災は免れられることもあるのではないかと考えられる。

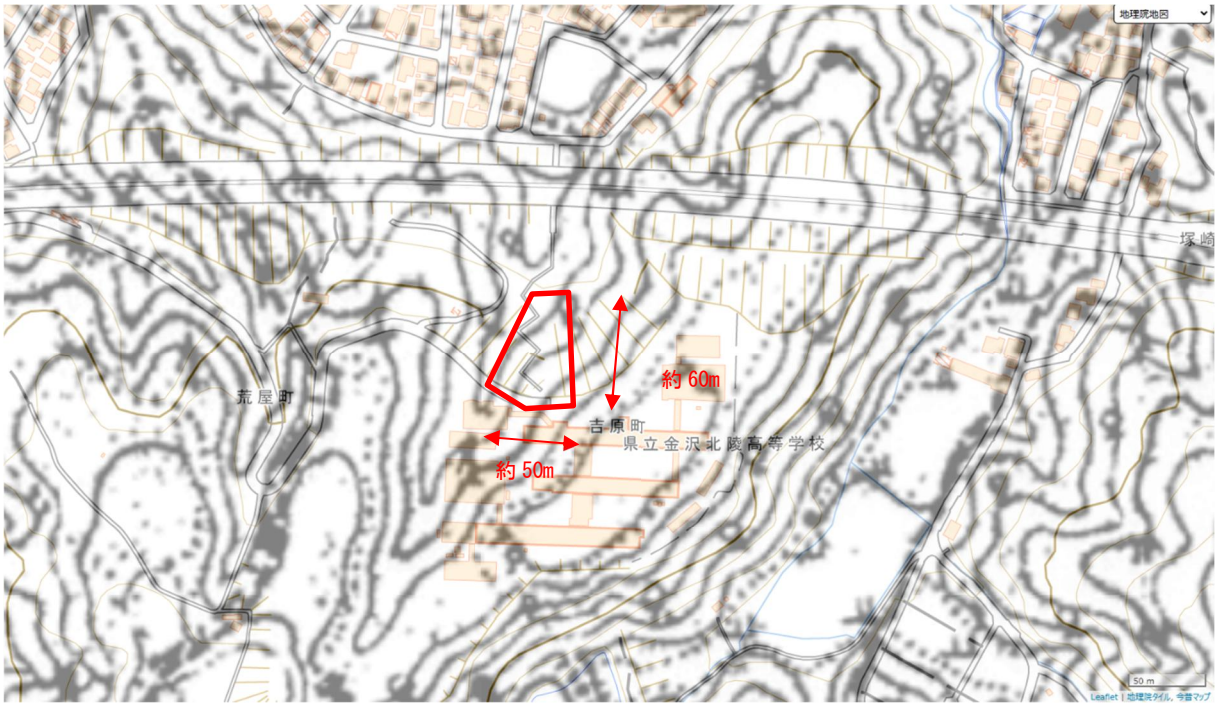
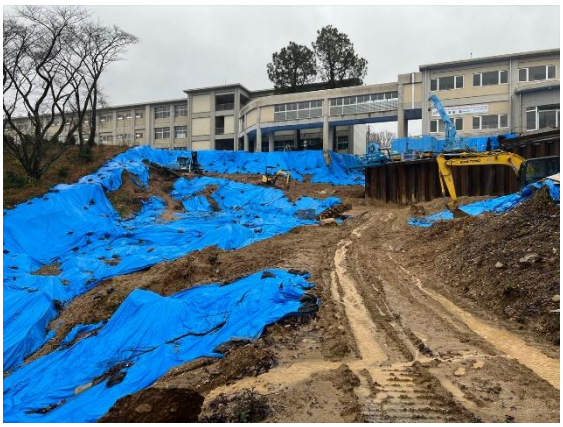


図 3.1.21　金沢市吉原町の盛土滑動崩落位置図（谷謙二：今昔マップで作成）

※1909～1910 年頃の地形図の上に地理院地図を透過させ，その上に滑動崩落範囲を示した。



崩落上部の状況



崩落下方の状況

図 3.1.22　滑動崩落の状況



図 3.1.23　杭基礎で崩落を免れた校舎の状況（写真は塚脇真二 [1)]）

3）津幡町緑が丘 3 丁目

津幡町緑が丘 3 丁目，宅地の南東端部で発生した盛土の滑動崩落範囲を図 3.1.24 に示す。背景の地形図（黒色等高線）は 1986 年頃の宅地造成前のものであり，現在の宅地や道路を透過させて表示させている。赤線の囲いが滑動崩落の範囲である。滑動崩落部は谷部に位置し，南向きに傾斜する谷埋め盛土になっていたものと推定される。滑動崩落の規模は，幅約 60m，長さ約 30m であり，面積は推定約 1,700 m^2 である。図 3.1.25 に滑動崩落の状況を示す。滑落崖はブルーシートが敷設されている。

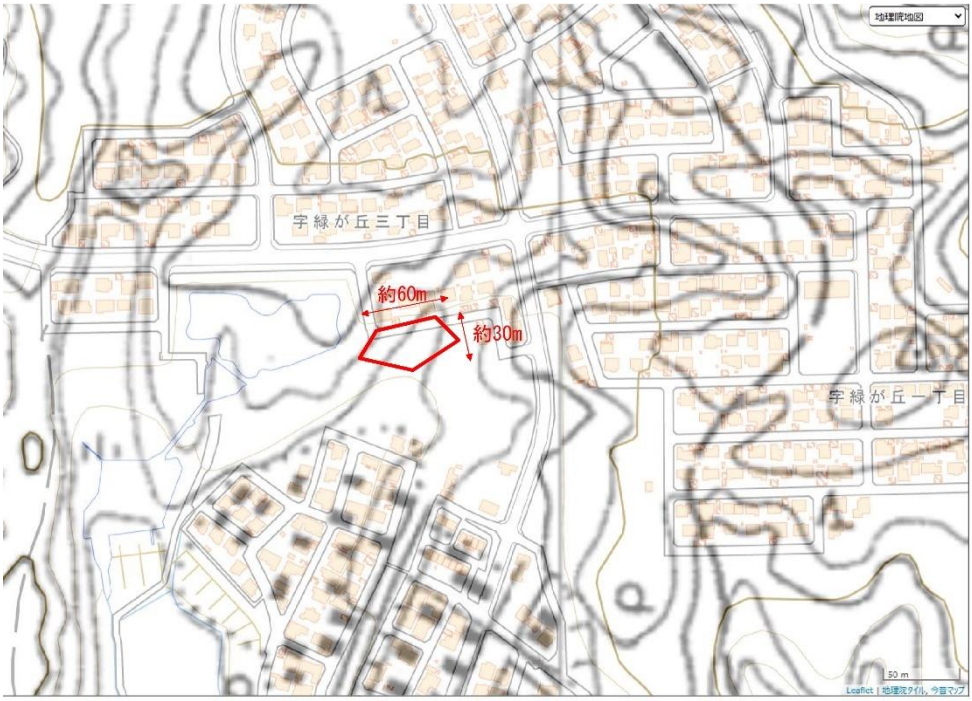


図 3.1.24　津幡町緑が丘３丁目の盛土滑動崩落位置図（谷謙二：今昔マップで作成）
※1986 年頃の地形図の上に地理院地図を透過させ，その上に滑動崩落範囲を示した。



崩落部の西側から撮影



崩落部の東側から撮影

図 3.1.25　滑動崩落の状況

(4) 考察

1) 地形的特徴

過去の事例から，震度 5 弱の地震で盛土が滑動崩落を起こすことは少ないと考えられているが，令和 6 年能登半島地震では，推定震度 5 弱の地震で宅地盛土が 3 箇所崩落した。地形的な特徴でいえば，崩落した 3 箇所はいずれも盛土の崖部分であった。他にも土質・地下水の要因もあるかもしれないが，現状では調査ができていない。

2) 杭基礎の有効性

金沢市吉原町，谷埋め盛土上に立地する県立金沢北稜高等学校の校舎沿いで発生した盛土の滑動崩落部を観察すると，杭基礎が施工されている校舎の境界で盛土の崩落部と非崩落部が分かれていることを見ることができた。おそらく校舎の杭基礎は，地山まで貫入できていたものと考えられ，なんらかの抑止杭のような効果を発揮したものと考えられる。小規模盛土造成地の滑動崩落の対策として，杭基礎は有効である可能性がある。

参考文献

1) 塚脇真二（2024）：令和 6 年能登半島地震の土砂災害とその応用地質学的な特徴，日本学術会議防災減災学術連携委員会 令和 6 年能登半島地震 3 ヶ月報告会

3.2 斜面に関する災害と対策

前節では宅地として供される盛土について述べてきたが，本節では主に宅地に近接する自然斜面と，盛土および切土により造られる人工斜面の災害と対策について述べる。

3.2.1 では自然斜面に関する宅地災害と対策について，過去の災害事例から今後の影響と対策の課題について概説する。

3.2.2 では近年発生した自然斜面の崩壊による斜面構造物の被災事例について紹介し，災害メカニズムを考察することにより今後考慮すべき対策・研究課題について検討した内容を報告する。

3.2.3 では，住民の直接の対応が求められる人工斜面での災害防止について，簡易な調査方法と対策方法について検討した内容を報告する。

3.2.4 では，自然斜面で構成される流域（特に無流水渓流）からの土石流について，現在推進されている透過型施設による対策の高度化に関する研究事例について報告する。

3.2.1 自然斜面に関する宅地災害と対策

(1) 自然斜面を発生源とした宅地災害と対策

自然斜面を発生源として宅地に生じる気象災害の代表的なものは，降雨を誘因として発生する斜面崩壊や土石流など，土砂移動によって起こる土砂災害である。これらの土砂災害は，発生源である自然斜面と宅地の関係から，①宅地に近接する自然斜面の崩壊等によるもの，②自然斜面で構成される流域からの土石流等によるものに大別できる。ここでは，宅地災害を引き起こす土砂移動現象と対策工の概要について述べるものとする。

1) 宅地に近接する自然斜面の崩壊等による土砂災害と対策

降雨を誘因として自然斜面に崩壊が発生した場合に，崩落した土砂の到達範囲内に宅地があると土砂災害が発生する。宅地に被害を及ぼす危険性のある自然斜面の崩壊は，斜面を覆う表層土砂が崩落する表層崩壊と表層土砂よりも深い基盤岩から崩落する深層崩壊に分けられる。

表層崩壊は，森林の根系が届く深さ程度が崩落することが多く，森林の根系による崩壊防止機能の影響を強く受ける。また，表層崩壊は，豪雨時に谷源頭の 0 次谷に発生しやすいことが知られている[1]。

深層崩壊は，崩落する基盤岩の地質特性や地質構造の影響をうけることから，発生する場所を特定することは難しい。崩壊する深さは深く，面積も大きいことから，崩壊土砂量は多く被害範囲が大きくなりやすい。谷をせき止めて天然ダムを形成した場合は，湛水により上流の宅地に被害を与えることがある。

また，岩塊・岩片が斜面から落下する落石は，小さくとも速度が増すと衝撃力が大きく，斜面下の宅地に人的・物的被害をもたらすことがある。

自然斜面を発生源とした崩壊・落石等の対策としては，崩壊等の危険性のある斜面に法枠工・アンカー工など抑止力を持った発生防止対策を実施するものや，落石防護柵に代表されるように宅地を守る防護施設を設けるものがある。

2) 自然斜面で構成される流域からの土石流等による土砂災害と対策

自然斜面で構成される流域において，降雨を誘因として土石流等の土砂移動が発生した際に，その流域の下流に宅地があると土砂災害を受ける危険性がある。土石流は，自然斜面の崩壊等に起因して大量の土砂・岩塊と水が混合して流下する土砂移動現象であり，速度が速く，大きな岩

塊が含まれるため河道の曲がりを無視して直進しやすいことから，宅地に大きな被害を与えやすい。また，土石流は，河床勾配が緩くなると停止し堆積するが，堆積した土砂が洪水流等により再度移動して宅地に被害を及ぼすことがある。

自然斜面で構成された流域からの土石流等による土砂移動の対策としては，砂防えん堤・治山ダム等の施設により土砂流出を抑止する工法が主体である。なお，土石流対策に特化した施設として，大きな岩塊・流木が混じった土石流を捕捉するスリットダムがある。

3）土砂災害と平行して起こる流木災害と対策

降雨等を誘因として，崩壊，土石流等の土砂移動が発生した場合には，自然斜面上に生育する樹木が崩落して流木となるもの，河道内の樹木が浸食を受けて流木となるものがあり，土砂と一緒に流下しやすい。また，河道内に堆積した流木が洪水流により浮遊して再移動するものもある。

こうした流木が土石流や洪水流とともに大量に流下すると，流出した流木が直接的に宅地に被害を及ぼすほか，橋梁・暗渠に流木が詰まり被害を拡大させることがある。近年，日本の森林は成長した壮齢林が多くなってきており，流木量の増大，流木の長大化・大径化が懸念されている。

土砂移動と平行して起こる流木の移動の対策としては，流木が混入した土石流を捕捉するスリットダム，河床勾配が緩いために浮遊して移動する流木を捕捉する流木捕捉工などがある。

(2) 気象変動にともなう大雨の頻度・強度が増えた場合の影響

気候変動の調査を進めている気象庁によると，災害が発生するおそれのある大雨の年間発生回数は増加しており，より強度の強い雨ほど頻度の増加率が大きく，大雨の頻度と強度の増大には，地球温暖化が影響している可能性があるとしている[2)]。

国内では，梅雨や台風の時期に毎年のように豪雨災害が発生しているが，今後，大雨の頻度・強度が増えた場合には，①豪雨災害自体の激甚化，②連続した豪雨災害の発生，③地震・火山災害等との複合災害の発生が考えられる。今後は，これまで経験のない規模や形態の災害が発生しやすく，災害が続けてやってくる時代になることが想定され，従来の災害に比べて，被害が拡大し，影響が長期化する懸念がある。

1）豪雨災害自体の激甚化

今後の大雨の頻度と強度の増加により，豪雨災害が生じる頻度も上がるとともに，豪雨災害の規模や範囲がより大きくなるとみられる。そのために，直接的な人的被害・物的被害の増加も懸念されるが，集落の孤立に代表されるように，上下水道・都市ガス・電気・通信設備・交通手段などのライフラインの被害により，生活する住民に対する災害の影響が長期化する恐れがある。

平成 30 年 7 月豪雨では，平成 30 年 6 月 28 日から 7 月 8 日までの間に，梅雨前線・台風第 7 号の影響により，西日本を中心として広域な範囲で記録的な大雨が降った。このために，多くの観測地点で 24 時間，48 時間，72 時間降水量が観測史上第 1 位となった。この大雨により，広島県，岡山県，愛媛県など，1 府 13 県で死者・行方不明者 271 名の人的被害が発生したほか，各地で断水や鉄道の運休等の交通障害が生じた[3),4)]。今後は，平成 30 年 7 月豪雨のように，広い範囲で長期にわたって大雨が降り，全国各地で災害が生じる危険性がある。

2）連続した豪雨災害の発生

今後の大雨の頻度と強度の増加により，同じ地域に豪雨災害が連続して生じる危険性が大きくなる。豪雨災害により著しい被害が生じると，防災施設に整備による安全水準の確保や生活基盤

の復旧には数年を要する場合が多く，その間に再び豪雨災害が発生すると，災害地の被害が拡大するとともに災害の影響が長期化しやすい。

瀬戸内海に位置する香川県小豆島では，昭和 49 年 7 月 6 日から 7 日にかけて，台風 8 号による集中豪雨により，24 時間で年降水量の 1/4 の雨量が降り，旧内海町で土石流等により死者 29 名の人的被害を出した。また，その 2 年後の昭和 51 年 9 月 8 日から 13 日にかけて，台風 17 号の影響により，6 日間で年降水量を上回る雨量が降り，崩壊，土石流やため池の決壊等により，旧内海町で死者 7 名，隣接する旧池田町で死者 28 名の人的被害を出した[5]。災害への備えを喚起することばとして「天災は忘れた頃にやって来る」という警句が語られることが多いが，今後の災害対策にあたっては，小豆島の災害のように，短い間隔で続けて豪雨災害が発生することも考えていく必要がある。

3）複合災害の発生

宅地を脅かす自然斜面を発生源とした土砂災害は，降雨という気象現象だけでなく，地震，火山噴火によっても引き起こされる。今後の大雨の頻度と強度の増加により，地震災害，火山災害が発生した際に，それと同時またはその災害の影響が残っている期間に，豪雨災害が発生することにより，被害が拡大し影響が長期化する危険性が高くなると考えられる。

令和 6 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震では，石川県輪島市・志賀町で震度 7 を記録し，震源断層に近い能登半島北部の奥能登を中心として土砂災害や津波被害が発生したほか，家屋の倒壊，主要道路の寸断など住宅・ライフラインにも甚大な被害が発生した。人的被害は，令和 7 年 1 月 28 日現在で死者・行方不明者 517 名（災害関連死 287 名を含む）である[6]。その後，各地で災害復旧が進む中，令和 6 年 9 月 21 日に線状降水帯の発生により 1 時間降水量 100mm 以上の猛烈な雨が降り続き，奥能登の輪島・珠洲では 1 時間降水量，3 時間降水量などが観測史上 1 位の値を更新した。このために，奥能登を中心に再び土砂災害が発生し，復旧工事に従事していた技術者を含む 16 名の死者を出した[7),8]。大きな地震が発生すると，崩壊，地すべり等により土砂災害が発生するが，土砂災害を受けなかったところでも，その後の豪雨により，不安定化していた斜面の崩落や谷内に堆積した崩落土砂等の流出により，新たな被害の発生や被害の拡大を招く恐れがある。

島原半島に位置する雲仙普賢岳は，平成 2 年 11 月 17 日に 198 年ぶりに噴火した。平成 3 年 5 月には，溶岩ドームが形成され，一部が崩落して火砕流が発生しはじめた。平成 3 年 6 月 3 日には，大規模な火砕流が発生して，死者・行方不明者 43 名，建物被害 179 棟の被害が発生した。その後，平成 6 年 9 月に入ると，噴火活動に伴う火砕流の発生回数は激減して，平成 7 年 5 月 25 日に，4 年半に及んだ噴火活動の終息宣言が出された。その間に，発生した火砕流の発生回数は 9,432 回を数え，死者・行方不明者 44 名，建物被害 2,511 棟の被害が生じて，5 年 9 ヶ月の間に 1 日平均 3,200 名の方々が避難を余儀なくされた[9)]。また，火山噴火による噴出物が堆積しているところに大雨が降ると土石流が発生しやすくなることはよく知られている。雲仙普賢岳では，平成 3 年 5 月 15 日の降雨により初めて土石流が発生して，平成 3 年 6 月 30 日には水無川で土石流が国道を超えて海まで到達した。また，平成 5 年 4 月 28 日の豪雨により最大規模の土石流が発生し，水無川下流では 579 棟の建物被害が生じている。平成 3 年 5 月以降，大雨のたびに土石流が発生しており，平成 12 年 3 月までに 62 回の土石流の発生が確認され，総流出土砂量は約 760 万 m^3 に及んだ[9)]。なお，噴火活動が終息してからも土砂災害の危険性があるために，砂防えん堤・治山ダム

等の施設整備や斜面の緑化がおこなわれている。雲仙普賢岳の火山災害のように，火山の噴火活動中や噴火後に大雨があると火山噴出物が浸食されて土石流等が発生して，さらなる被害の拡大や影響の長期化を招く恐れがある。

(3) 今後の対応と課題

自然斜面を発生源として宅地を脅かす土砂災害としては，宅地に近接する自然斜面の崩壊等によるもの，自然斜面で構成される流域からの土石流等（流木を含む）によるものがあるが，今後，大雨の頻度と強度の増加により，豪雨災害自体の激甚化，連続した豪雨災害の発生，地震・火山災害等との複合災害の発生など，新たな形の災害が生じる恐れがある。ここでは，自然斜面を発生源として宅地を脅かす土砂災害について，今後の対応と課題について述べる。なお，自然斜面に対する土砂災害防止対策は，ほとんどが公共工事として行われていることから，そうした観点から対応と課題について取り上げるものとする。

1) 施設整備の充実

災害の激甚化・頻発化に対応するために，自然斜面の崩壊・落石等を防止する防災施設や自然斜面で構成される流域からの土石流等による土砂移動を抑止する防災施設の整備を充実させる必要がある。

その際に課題となるのが，大雨の頻度と強度の増加に対応した防災施設の計画・設計の在り方である。土砂災害防止のための防災施設は，抑止すべき土砂量などの整備目標を満たすように計画され，設計条件とした外力に耐えられるように設計されるが，今後の大雨の頻度と強度の増加にともなって，当初設定された整備目標に相当する値が増加した場合や設計条件とした外力が大きくなった場合は，整備された防災施設が求められた機能を果たすことができなくなる。そのために，新しく整備する防災施設については，大雨の頻度と強度の増加による影響を予測して，計画の整備目標，設計外力等に反映させることを考えていく必要がある。

2) 既存施設の機能強化の実施

崩壊等の危険性の高い斜面や土砂移動の危険性の高い流域においては，防災施設の整備が進んでおり，防災上の安全水準の向上に寄与している。また，整備された防災施設に対しては，施設の持つ機能を長期的に維持するために，点検，補修等の維持管理が行われている。

しかし，今後の大雨の頻度と強度の増加を考えると，既存の防災施設においても，設計外力の増加等を考慮して施設の機能を評価して，必要に応じて，防災施設の持つ機能の強化をおこなっていく必要がある。

3) 災害後の適切な応急対策の実施

土砂災害が発生した場合には，斜面や谷に残存する土砂・流木の再移動の恐れがある個所等について，本格的な防災対策が行われるまでの間に，災害の拡大を防止するするための応急対策が行われている。

しかし，今後の大雨の頻度と強度の増加を考えると，豪雨災害・地震災害・火山災害が生じた直後に，あまり間を置かずに豪雨が発生する可能性が高くなることから，これまで以上に，現場ごとの危険性や施工条件に合わせた応急対策を迅速に行う必要がある。

4) 技術開発の推進

前述の対応を適切に行うためには，大雨の頻度と強度が増加した場合の影響を予測する技術，

既存施設の機能強化，応急対策の技術などの技術開発を推進する必要がある。

5）森林管理も含めた総合的な対策の実施

今後の大雨の頻度と強度の増加による激甚な災害の発生や災害の頻発を踏まえると，さらなる防災施設の整備を進めるとともに，自然斜面・流域を覆う森林の持つ防災機能を活用する観点から，森林管理も含めた防災対策を推進する必要がある。

また，施設整備は，時間や費用の制約もあることから，警戒避難対策との連携により，総合的な見地から，安全な社会環境を形成していく必要がある。

参考文献

1) 塚本良則（1973）: 豪雨型山崩れにみられる 2,3 の特徴について，第 10 回災害科学総合シンポジウム講演論文集（文部省特別研究災害科学総合研究班），pp.303-306.
2) 気象庁（2022）: 大雨の発生頻度に関する評価について, 気象変動に関する懇談会第 6 回会合資料 3, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html.
3) 気象庁（2018）: 平成 30 年 7 月豪雨（前線及び台風第 7 号による大雨等）.
4) 消防庁応急対策室（2019）: 平成 30 年 7 月豪雨及び台風 12 号による被害状況及び消防機関等の対応（第 60 報）.
5) 香川県小豆島町（2014）: 小豆島　災害の記憶.
6) 消防庁応急対策室（2025）: 令和 6 年能登半島地震による被害及び消防機関等の対応（第 117 報）.
7) 気象庁（2024）: 低気圧と前線による大雨 令和 6 年（2024 年）9 月 20 日～9 月 22 日.
8) 消防庁応急対策室（2025）: 令和 6 年 9 月 20 日からの大雨による被害及び消防機関との対応状況（第 35 報）.
9) 国土交通省九州地方整備局雲仙復興工事事務所（2000）: 雲仙・普賢岳噴火災害復興 10 年のあゆみ　火山砂防事業へのとりくみ.

3.2.2 近年におけるがけ崩れ災害の実例と対策

昭和 42 年 7 月に西日本で市街地の裏山やがけが崩壊して多数の死者が出たことを契機に，「急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律（以下，急傾斜地法)」が制定され急傾斜崩壊対策事業が開始された。本項では，近年において市街地で発生したがけ崩れ災害のうち急傾斜地崩壊対策施設が被災した事例を報告し，被災メカニズムと今後考えられる事前対応策について考察する。

(1) 被害の概要

報告する 3 つの事例は，どれも急傾斜地崩壊対策事業において待受け擁壁工と落石防護柵工が併用して施工された箇所である（表 3.2.1)。

表 3.2.1 に示す A 地区と C 地区では，待受け擁壁工に変状は発生せず，落石防護柵工が破損して崩壊土砂が保全対象の家屋に到達している。B 地区では，待受け擁壁工が崩壊土砂を捕捉して保全対象に大きな被害は発生していないが，待受け擁壁工に約 1°の回転変位が発生している。

表 3.2.1　被災事例の概要

地区名	九州地方A地区：令和5年7月発災	九州地方B地区：令和3年8月発災	東海地方C地区：令和4年9月発災
発生時降雨 (気象庁観測所)	統計開始：2010年～ 日雨量247mm（2位） 最大1時間雨量72mm（2位） 最大3時間雨量132.5mm（1位） 最大6時間雨量225.5mm（1位）	統計開始：1977年～ 日雨量439.5mm（1位） 最大1時間雨量80.5mm（3位） 最大72時間雨量929.5mm（1位） 既往最大の連続雨量1,024mm	統計開始：1976年～ 日雨量264.5mm（1位） 最大1時間雨量81.5mm（1位）
スネークライン	解析雨量ではCLを越える	解析雨量ではCLを越える	解析雨量ではCLを越える
崩壊規模	崩壊高：約12m　崩壊幅：約12m 最大崩壊深：約4.5m	崩壊高：約16.5m　崩壊幅：約24m 最大崩壊深：約5m	崩壊高：約31m　崩壊幅：約24m 最大崩壊深：約9.2m
施設被災状況	落石防護柵工破損 待受け擁壁工に変位なし	待受け擁壁工に約1°の回転変位	落石防護柵破損 待受け擁壁工に変位なし
周辺状況等	谷地形斜面末端部，集水面積2500m^2 2度目の大きな音（崩壊）で家屋倒壊	斜面長180m，幅118mの地すべりの末端部崩壊	斜面上方の神社建立に伴い崩壊斜面に向かう排水工設置
水文	滑落崖にパイピングホール 崩壊地内にガリー侵食	湧水点多数 地下水豊富	渇水期(12月下旬）でも湧水点多数 地下水豊富
地質 (上位から)	表層土→崩積土（マサ土） →花崗閃緑岩	崩積土→河川堆積物 →砂岩泥岩互層	段丘堆積物→砂岩泥岩互層
土地利用状況	崩壊斜面：スギ植林地で崩壊時は伐採済 崩壊地上方：スギ植林地，放棄された墓地	崩壊斜面：果樹園 崩壊地上方：畑（休耕中）	崩壊地周辺：神社，歩道（砂利道） 崩壊地上方：スギ植林
植生状況	スギ伐採箇所にケヤキ高木の伐採株もあり 崩壊地上方斜面はスギ植林とアカガシ等の自然林	果樹類周辺は草本群落，隣接斜面にタケ類繁茂	崩壊地周辺にスギ，広葉樹（スダジイ等） 崩壊地上方はスギ植林かつタケ類繁茂
状況写真			

(2) 崩壊発生時の降雨

表 3.2.1 に示すように，A～C 地区の崩壊発生時は近隣の気象庁観測所において統計開始から歴代 1～2 位の降雨が観測されている。また，解析雨量から土壌雨量指数を算出してスネークラインを描くと（次頁図 3.2.1)，どの地区も土砂災害発生危険基準線（CL）を超えており，これまでに経験のない豪雨により災害が発生している。

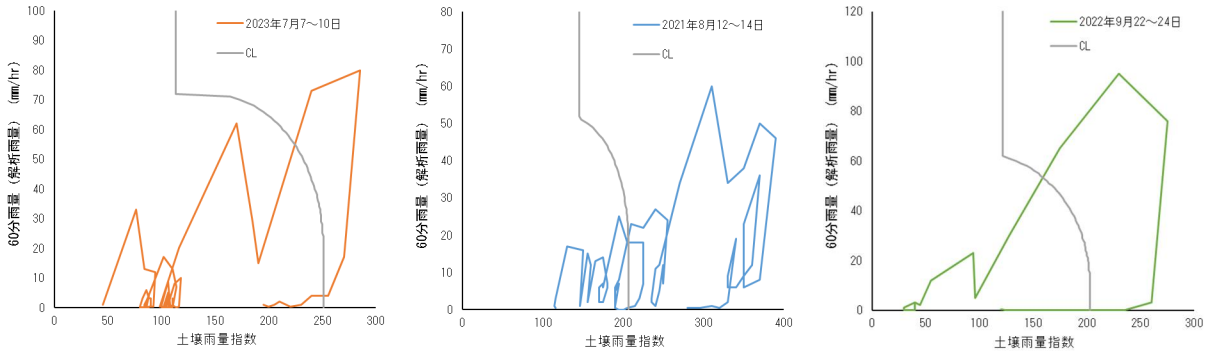


図 3.2.1　被災事例における災害時のスネークライン（左：A 地区，中：B 地区，右：C 地区）

(3) 施設被災のメカニズム

1) A 地区における施設被災のメカニズム [1)]

被災した落石防護柵工について，本災害の崩壊土砂堆積時における部材の照査（堆積土圧に対する照査）を実施したところ，支柱の鋼材，ワイヤーロープ，支柱の付け根部のいずれにおいても破壊しないという計算結果となった。よって落石防護柵工の変形は，崩壊土砂のいわゆる移動の力により生じたと考えられる。本来，崩壊土砂の移動の力は待受け擁壁工に作用するはずであるが，何らかの要因で落石防護柵工に直接作用した可能性がある。

ここで，倒壊した家屋の状況について地域住民の話によると，住民が一度大きな音が鳴ったことに驚いて家屋から退避しようとしたところ，再度大きな音が鳴って家屋が倒壊した，とのことであった。また，UAV-LP 成果から作成した平面図（図 3.2.2 左）および断面図（図 3.2.2 右）を確認すると，階段状地形の 1 段目部分に浅い崩壊，階段状地形の 2 段目部分に深い崩壊の二つの崩壊が観察できる。崩壊順序として，最初に階段状地形の 1 段目が浅く崩壊し（図 3.2.2 右の青斜線部分），それにより不安定化した階段状地形の 2 段目が深く崩壊した（図 3.2.2 右の赤斜線部分）可能性が考えられる。

以上より，本地区では崩壊が一度だけでなく二度発生し，待受け擁壁工の空きポケットが 1 回目の崩壊土砂で埋まった状態のところに 2 回目の崩壊が発生し，崩壊土砂が落石防護柵工に直接衝突した可能性が指摘できる。

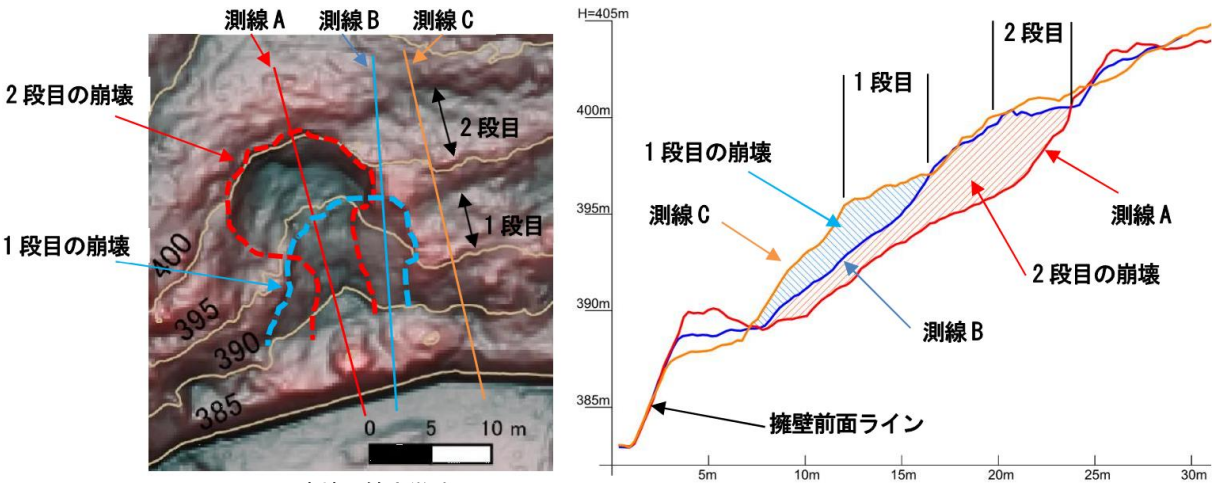


図 3.2.2　平面図（左：崩壊後の微地形）と断面図（右：崩壊後の地表地形）

2）B 地区における施設被災のメカニズム[2)]

本事例では崩壊土砂が待受け擁壁工と落石防護柵工に衝突し，待受け擁壁工に変位が生じている。崩壊土砂は落石防護柵工の高さと同じところまで堆積している（図 3.2.3 左)。

本崩壊地は大きな地すべり地の末端部に位置しており，崩壊発生時にこの地すべりも滑動している。崩壊と地すべりの因果関係は不明であるが，地すべりを発生させるほどの地下水が周辺地盤内に賦存されていることは確かであり，崩壊地内にも湧水が確認されている。加えて，本崩壊の緊急対応として崩壊土砂の撤去と崩壊地の法面整形が実施されているが，整形後の降雨により法面に小崩壊が発生しており（図 3.2.3 右)，崩壊土砂は湧水によりドロドロの状態であったことからも，地下水の豊富さが伺える。

崩壊斜面上方は宅地および田畑となっており，崩壊斜面直上は平坦に整地された畑であったが，崩壊発生当時は雑草が除去された状態で休耕地（裸地）となっていた（前掲表 3.2.1 の状況写真)。また，崩壊斜面自体は果樹園として利用されており，樹冠に余裕がある状態でまばらに果樹が生育している状況であった。これらのことから，降雨による地表水は比較的地下に浸透しやすかったと推測され，地すべりの末端部であることも併せ，地下水位が高く形成されやすい環境であったと考えられる。

崩壊斜面直上の休耕地で簡易貫入試験を実施すると，*N*d 値が 5 以下の層下面が深度 3m 程度，*N*d 値が 20 以下の層下面が深度 5m 以上となっており，崩壊する恐れのある不安定土層が厚く堆積していることがわかっている。このような箇所で，これまでに経験のない豪雨が降ったことで斜面内に地下水位が高く形成され，崩壊深が 5m と深い崩壊が発生したと考えられる。

待受け擁壁工の空きポケット高さは 1m，落石防護柵工の高さは 1.5m 程度であったことから，崩壊土砂は落石防護柵工の高さと同じところまで堆積しており，この規模の崩壊土砂の移動の力により待受け擁壁工に変位が生じたと考えられる。



図 3.2.3　崩壊土砂の堆積状況（左）と法面整形後の小崩壊（右）

3）C 地区における施設被災のメカニズム[3)]

本事例は崩壊土量が多く，待受け擁壁工で崩壊土砂を捕捉しきれず保全対象に被害が発生している。待受け擁壁工に変位がなく，落石防護柵工が支柱から破壊されていることから，A 地区の被災事例と同じように崩壊土砂の移動の力が落石防護柵工に直接作用したと推測される。

前掲表 3.2.1 の状況写真および次頁図 3.2.4（左）に示すように，崩壊地下方は V 字谷のような

形状になっており，その幅は 8m 程度である。一方，崩壊地上方はそれよりも幅があり，滑落崖全体では幅 24m 程度で，崩壊地全体としてボトルネック状の形状となっている。これより，崩壊土砂全体が一度にまとまって崩壊したとは考えづらく，崩壊地となった斜面下方がまず崩れ，その後に斜面向かって右手側が崩れるなど，順次崩壊が拡大したことが推測される。

図 3.2.4（右）に示した崩壊前の微地形図を見てみると，崩壊した斜面は侵食があまり進んでいない沢地形となっており，斜面向かって左手には比較的侵食の進んだ沢地形がみられる。現地を確認すると，崩壊斜面上方には神社があり（造営年は不明だが社殿は新しい），境内に上がる階段沿いには水路が整備されていた。図 3.2.4（右）の微地形と合わせて判断すると，斜面の土地利用により表流水が集中する沢が変更されたと考えられ，崩壊した斜面のほうに表流水が多く流れ込むようになったと推測される。また，崩壊斜面の末端部では湧水も確認されており，地下水と表流水が集中する箇所で最初の崩壊が発生した可能性があり，前述した「斜面下方がまず崩れ，順次崩壊が拡大した」という説明と整合する。

以上より，本地区では崩壊が斜面下方から順次拡大し，待受け擁壁工の空きポケットが崩壊土砂で埋まった状態のところに後続の崩壊が発生し，崩壊土砂が落石防護柵工に直接衝突した可能性が指摘される。

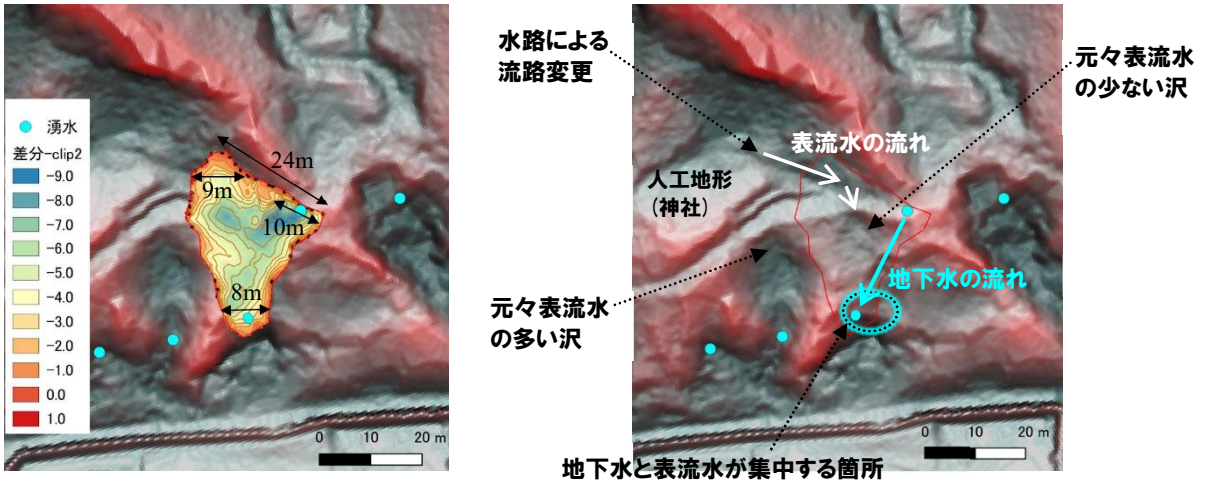


図 3.2.4　崩壊前後の標高差分図（左）と崩壊前の微地形図（右）

(4) 施設被災を防ぐための対策

1) 原因地の崩壊を直接抑止・抑制する対策工の採用

A 地区と C 地区では崩壊が 2 度以上発生して落石防護柵工が被災しているが，崩壊土砂に対する施設の設計思想は「崩壊土砂の移動の力は待受け擁壁工で受け持ち，落石防護柵工は崩壊土砂の堆積土圧のみが作用する」というものであり，落石防護柵工に直接移動の力が作用することは想定していない。すなわち，待受け擁壁工と落石防護柵工を併用した対策工は，崩壊が連続して 2 度以上発生して待受け擁壁工の空きポケットが埋まった状態で再度崩壊土砂が移動してくることを想定しておらず，落石防護柵工は移動の力が作用すると変位が発生してしまう。

今後，上記のような被災事例を考慮して設計を行うとするならば，各種調査により崩壊が連続して発生すると予見できる場合は待受け擁壁工を採用せず，がけ崩れを直接抑える鉄筋挿入工併

用の法枠工などの原因地対策工を採用すべきと考えられる。また，待受け擁壁工の空きポケット高さを超える程の崩壊深となる崩壊の発生が想定される場合（例えば，不安定土層が 2m を超える場合）も，同様に原因地対策工を採用すべきである。

しかし，崩壊が連続して発生すると予想するための知見はまだ確立していない。今回被災事例として紹介した A 地区においては階段状地形の影響が強い可能性があるが，C 地区のように豪雨時に表流水が集中する凹状地形では斜面下方で小崩壊が発生し，順次斜面上方へと崩壊が拡大していくことも考えられる。待受け工と原因地対策工の採用条件を見極めるために，今後も現場の被災データを収集し，継続して研究を進める必要がある。

2）地下水排除工の採用

B 地区と C 地区では，地下水が豊富な箇所で崩壊が発生している。急傾斜地崩壊防止工事の技術指針 [4]では，地下水が豊富な箇所では地下水排除工の横ボーリング工が用いられるとされているが，B 地区と C 地区ではどちらも地下水排除工は施工されていなかった。これは，1)で考察したこととも関連するが，施設設計時にがけ崩れ対策として待受け工を選択した時点で原因地に直接対策を施すことは考慮されないためである。

地下水が豊富な箇所では，B 地区のように崩壊深が通常想定される規模よりも深くなる可能性や，C 地区のように小崩壊が順次斜面上方へと拡大する可能性もある。報告したこれらの施設被災事例は，技術指針に基づいて地下水排除工を採用することの妥当性を支持していると考えられる。

しかし，実務においては地下水排除工がどの程度崩壊発生の抑制に寄与しているかや，地下水排除工のみの対策ではなく他の工種との組み合わせが必要であるかという，客観的な判断方法が確立していない。今後は，待受け工と地下水排除工の組合せによる対策計画の立て方や，各工種の役割分担の考え方を検討するための調査・研究が必要である。

3)−1 樹木伐採・地形改変等を行う際の対応

A 地区では崩壊斜面における樹木伐採，B 地区では崩壊斜面直上における除草（裸地化），C 地区では崩壊斜面上方における排水経路の改変が行われている。

これらの土地利用は崩壊発生の直接的な要因ではないと考えられるが，今後，これまでに経験のない豪雨が発生していく中では，直接的な要因となることも考えられる。

急傾斜地法に基づき急傾斜地崩壊危険区域に指定された斜面では，水を放流し停滞させる行為や立木竹の伐採などの行為は，都道府県知事の許可が必要になるという制限行為にあたる。急傾斜地崩壊危険区域の指定の有無に関わらず，これらの行為はがけ崩れ災害を引き起こす可能性があることを改めて認識する必要があり，やむを得ず実施する場合は崩壊防止対策を講じる必要がある。

例えば，樹木伐採により樹木根系の崩壊防止機能を損なう可能性がある場合には，伐採前に樹木を残した斜面対策 [5]（例えば，3)-2 で後述する地山補強土工），を実施したあとで伐採を進めることなどが考えられる。また，土地形状の変更などにより表流水の流れる位置が変わる場合には，道路等の勾配が逆勾配でも排水勾配を設定することができる自由勾配側溝を用いて，元々の排水経路に導水することが考えられる。

3)-2 地山補強土工による対策例

地山補強土工は，主に鉄筋等の棒鋼を芯材とした補強材を地盤内に多数挿入し，地山と補強材，表面材（ここでは，のり面工と称す）の相互作用によって斜面の安定性を高める工法[6]であり，崩壊深さが 3.0 m 程度以下の比較的小規模な崩壊斜面の復旧，斜面の崩壊防止・補強等に用いられることが多い。グラウンドアンカー工等の抑止工に比べて構造が簡易で，軽量・小規模な機械で施工が可能であることから，自然環境を極力改変することなく，短期間で建設できるといった特徴を有する。

ⅰ）補強材の種類

補強材は，芯材と定着材で構成され，主として剛性や細長比の違いにより，ネイリング（小径補強材：直径 10 cm 程度以下），マイクロパイリング（中径補強材：直径 10～30 cm 程度），ダウアリング（大径補強材：直径 30～40 cm 程度）に分類される。

補強材径と地山強度（*N* 値）の概念は図 3.2.5 に示すようであり，各補強材の適用性については，斜面の種類や性状，土質等を踏まえて適切に選定する必要がある。急傾斜地においては，狭隘な箇所など大型機械での施工が困難な場合が多いことから，芯材に全ねじ棒鋼，異形棒鋼，全ねじ中空棒鋼等の小径補強材を用いたネイリングが多く採用されている。

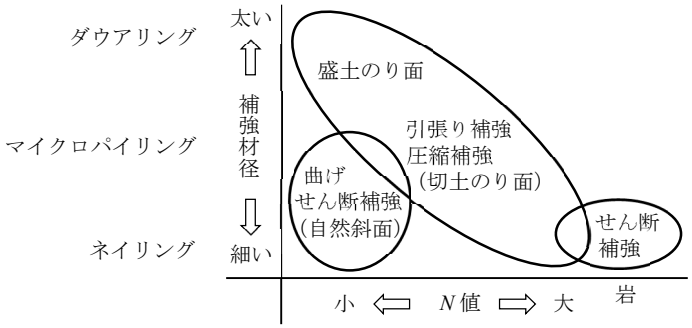


図 3.2.5　地山強度と補強材の適用性[6]

ⅱ）のり面工の種類

のり面工の種類と変遷を表 3.2.2 に示す。1980 年代以降，のり面工には吹付工や図 3.2.6 に示すような鉄筋コンクリート製の梁部材を配したのり枠工が多く建設されてきた。一方，2000 年代になると，環境に対する意識の高まりや景観性，施工性に配慮し，図 3.2.7 に示すようなワイヤーロープと金網を用いた柔なのり面工を有する工法も開発され，近年，採用事例が増加している。

表 3.2.2　のり面工の種類と変遷（法面材（表面材設置工）の変遷[6]に加筆）

種　類＼年　代			1980 年代	1990 年代	2000 年代
壁面材 ＜壁面工＞	コンクリート一体壁		→	→	→
	格子枠（のり枠工）		→	→	→
	吹付工		→	→	→
	繊維補強土			→	→
支圧板	独立受圧板				→
	簡易支圧板		→	→	→
	その他	支圧板＋ワイヤーロープ			→
		支圧板＋ネット・金網等			→

また，斜面内の立木を極力残し，自然環境の保全・復元を目的とする場合や凹凸が大きい自然斜面での対策では，図 3.2.8 のようなワイヤーロープを用いたのり面工が多く建設されている。



図 3.2.6　のり枠工の建設事例

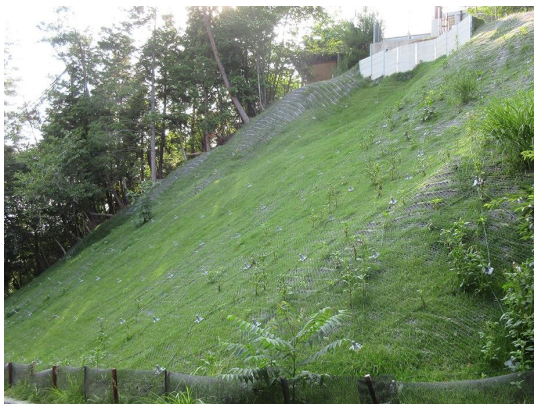


図 3.2.7　柔なのり面工の建設事例



図 3.2.8　自然斜面における対策工の建設事例

参考文献

1) 長谷川陽一・遊佐直樹・小嶋孝徳・瀧口茂隆・小竹利明・山崎卓也・前田竜治・和泉美智子（2024）：令和 5 年発生がけ崩れによる斜面対策施設被災の調査事例，令和 6 年度砂防学会研究発表会概要集，（公社）砂防学会，pp.161-162.
2) 長谷川陽一・小嶋孝徳・中谷洋明・遊佐直樹（2022）：被災した急傾斜地崩壊対策施設の調査ー急傾斜地斜面管理の課題検討ー，第 11 回土砂災害に関するシンポジウム論文集，（公社）土木学会西部支部，pp.19-24.
3) 長谷川陽一・遊佐直樹・小嶋孝徳・中谷洋明（2023）：R4 発生がけ崩れ災害の崩壊要因分析事例，令和 5 年度砂防学会研究発表会概要集，（公社）砂防学会，pp.171-172.
4) 急傾斜崩壊防止工事技術指針作成委員会（2019）：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例ー急傾斜地崩壊防止工事技術指針ー，（一社）全国治水砂防協会，pp.115-136.
5) 土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会編集委員会（2005）：知っておきたい斜面のはなし Q&Aー斜面と暮らすー，（公社）土木学会，pp.230-231.
6) 地盤工学会地盤設計・施工基準委員会（2011）：地山補強土工法設計・施工マニュアル，（公社）地盤工学会，pp.1-26.

3.2.3 宅地斜面における簡易な調査と対策工

(1) 長期間経過した宅地斜面表層土層の安定問題の発生

造成してから時間の経過した宅地斜面は風化が進み軟質となっており，短時間に集中する豪雨による斜面崩壊が懸念されている。このことから，豪雨等を考慮した安全対策をとるための調査を行い，適切な対策を講じる必要があるが，実際は斜面安定に関する調査が行われることは少なく，表層崩壊による事故を発生させるなどの問題が顕在化してきている。

高度成長期に開発された斜面では，ひな壇状の土地開発が行われた箇所では盛土が行われており，また，自然斜面，切土斜面であっても長期間経過したことにより風化が進み，斜面安定上の問題を潜在化させつつあるものと考えられる。

急傾斜地崩壊危険区域に指定されている場合は地方自治体がその対策にあたるが，これには被害想定区域内に 5 戸以上の住戸がある必要があり，これに当てはまらない場合の斜面対策は地域住民の自己負担となる。地域住民の高齢化等の社会的要因も加わり，手つかずのままとされる宅地斜面も多い。

このような現状を鑑みると，地域住民でも負担が可能な簡易な調査方法と，簡易な対策工が必要となってきていると思われる。

(2) 宅地斜面表層風化土層の簡易な調査

宅地地盤に対する簡易な地盤調査として SWS 試験（スクリューウエイト貫入試験）がよく行われているが，合計 100kg の錘を用いるため斜面での調査は困難である。斜面に対する簡易な地盤調査としては，5kg の重錘を 50cm 落下させ，先端コーンの貫入深を計測する土研式簡易貫入試験が行われている。しかし，土研式簡易貫入試験の 5kg 重錘を用いた打撃では貫入力が大きく軟質な風化土層の潜在すべり面の把握が困難である。このため 3kg の重錘を用い一打撃の貫入深から判断を行う SH 型貫入試験が実施されている（表 3.2.3）。3kg 重錘の貫入が困難となった深さが概ね樹木根系の伸長限界であり，潜在すべり面に該当する（図 3.2.9）。なお，それ以深の潜在すべり面を確認する場合は 2kg の重錘を加え，5kg の重錘で確認を行うことができる（図 3.2.10）。

SH 型貫入試験は 3kg の重錘の打撃力による地盤調査であるため軟弱な地盤に対する調査に適し，地盤液状化に対する調査にも用いることができる（図 3.2.11）。能登半島地震の際には，砂丘地の側方流動による宅地の地盤災害が発生しているが，地盤液状化に対する簡易な調査方法として活用が望まれる。

表 3.2.3　SH 型貫入試験と土研式簡易貫入試験 [1)]

測定装置	SH型貫入試験	土研式簡易貫入試験
測定方法	分離可能な5kgの重錘（3kg＋2kg）を50cmの高さから落下させ、１打撃ごとの貫入量を測定	5kgの重錘を50cmの高さから落下させ、コーンが10cm貫入する打撃回数を測定
取得情報	Nd/drop値 １打撃ごとの貫入量から、10cm貫入の打撃回数に換算した貫入抵抗値グラフの表示 （打撃した層毎のNc値を表示）	Nc値 10cm貫入する打撃回数 （10cmの層を平均する値）
記録方法	データロガーによる自動記録 （目視記録も可能）	ロッドの10ｃｍ毎の目盛線を用いた目視測定により野帳記録
Ｎ値換算	Nd/drop値をN値に換算可能　Ｎ値20以下で Nd/drop値：Ｎ値＝1：1（礫の異常値を除き）	Nc値をN値に換算可能 Nc値：Ｎ値＝1：1～3
適用箇所	１打撃ごとのデータ表示により、礫や根系等の影響を除外できるため、土層そのものの硬さの変化を把握するとともに、局所的な（薄い）軟弱層を検出できる ・3kg重錘を用いた試験では分解能が向上し、柔らかい土層の微妙な硬さの違いを把握（Nd/drop値≦20） ・Nd/drop値の垂直分布図（Nd/drop図）より、表土層（Nd/drop値≦20）の詳細土層区分ならびに想定すべり面の推定が可能 ・5kg重錘を用いた試験では、基盤の深度を精度よく把握（Nd/drop≧30）	基盤の深度を比較的精度よく把握できる（Nc≧30） ・局所的な軟弱層の検出は困難 ・想定すべり面の推定は困難

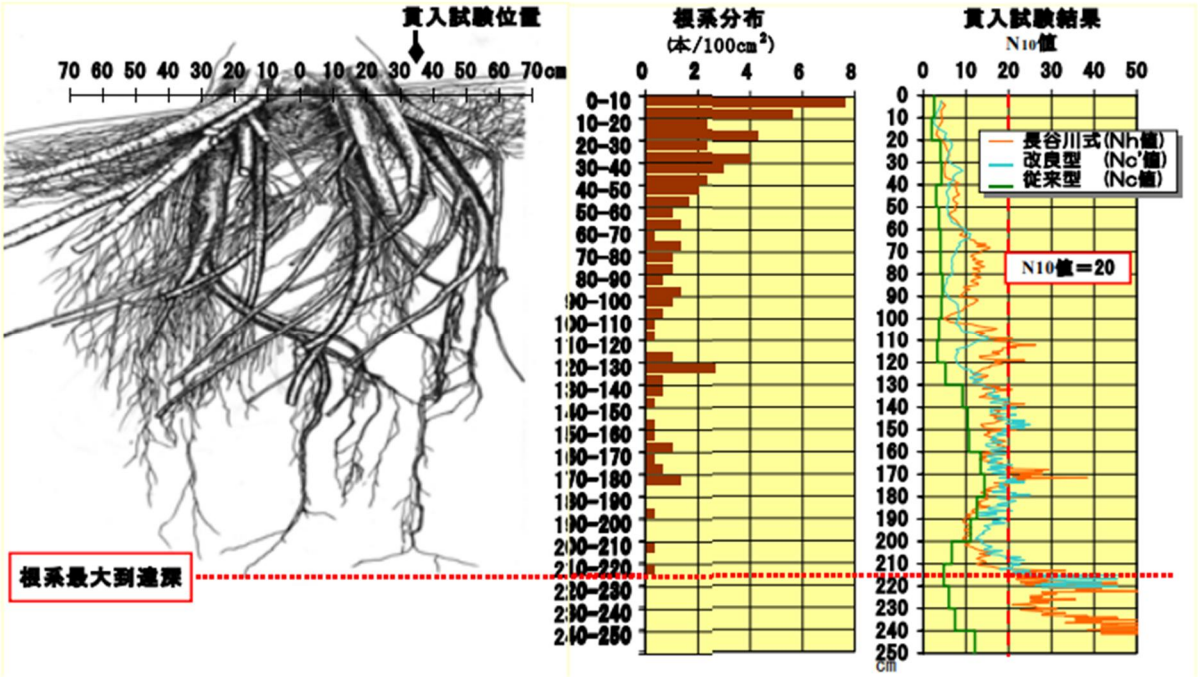


図 3.2.9　根系発達と貫入抵抗値との関係 [2)]

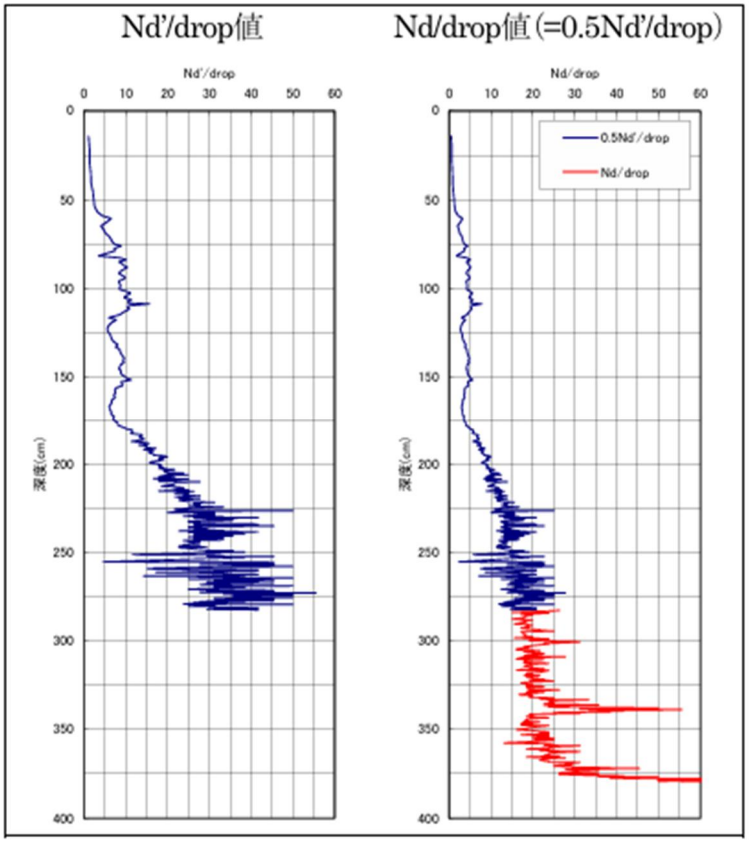


図 3.2.10　3kg 重錘 *N* d' 値と 5kg 重錘 *N* d 値の垂直分布図の例 [2)]

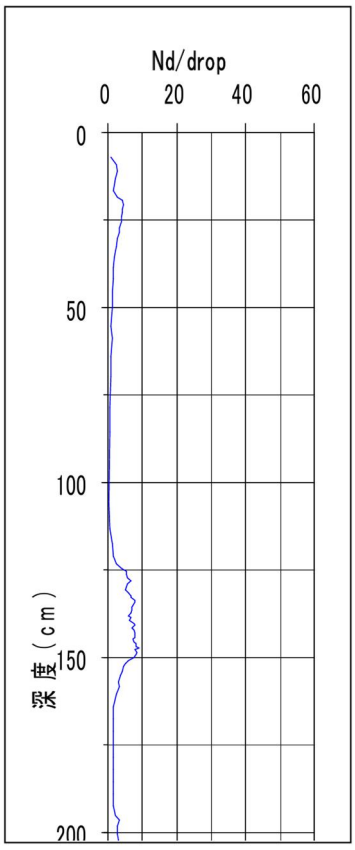


図 3.2.11　浦安市液状化地における *N* d 値の垂直分布図 [3)]

(3) 宅地斜面表層風化土層の簡易な安定対策～樹木の活用・管理～

長期間経過した宅地斜面の表層は風化土層が発達し，樹木が侵入定着し大型化している場合が多く，斜面を不安定化する原因となっている場合がある。

一般に，樹木が生育すると風化土層中に根系を伸長させて風化土層を緊縛し，斜面表層の安定に寄与するものとなる。これは，ネット状に伸長した水平根による風化土層の緊縛による土塊の保持効果と，地山の弱部や割れ目に伸長した鉛直根の杭効果が相乗する“根系の補強効果”とされている[4]。このため，樹木が生育する斜面は安全と考えられていた。しかしそれは若齢の樹木の場合であり，軟質で風化の速い地盤状態の場合は，樹木の根系発達域を超える深さまで風化が進むと樹木が斜面の不安定化要因となってしまいかねない。

柔らかな地盤では樹木の生長は速いが，強風や地震による根系の弛みを発生させやすい状態となっている。強風による樹木根系の弛みは雨水の地下浸透を容易とし，地下水位の上昇を招き斜面表層の不安定化要因となってしまうこととなる。また，大型化した樹木により日光が遮られるために下草は被圧され裸地化してしまうこととなり，表層侵食を発生させることになる。

2024 年 9 月に発生した能登半島の豪雨災害では，地震によって樹木根系を含む表層土層が弛み，その後の豪雨によって根系緊縛を失った表層土塊が崩壊し，斜面崩壊を拡大している。この崩壊により立木が大量の流木となって下流に被害をもたらしたことは記憶に新しい。

NEXCO は，高速道路開通の際に造成した切土法面が時間の経過により風化が進み，かつ侵入定着した樹木が大きくなって法面崩壊の要因となってきたことより，法面に侵入･定着して成立した樹林に対する管理･伐採を進めている。倒木による第三者被害が予想できる最下段法面やトンネル坑口などは全面伐採し，それより上部の法面に対しては倒木が予想される樹木や樹種の伐採を行っている[5]。全面伐採に対しては，樹木根系の腐朽が進むことによって表層崩落に繋がるという指摘がなされ，直径 15cm 程度に大型化した樹木を腰高で伐採し，低木林を維持するという提案もなされている[6]。

宅地斜面においても植生管理を行うべき時期に来ているものと考えられるが（図 3.2.12），現在のところ，法面に対する植生管理についての指針･マニュアルなどの整備はなされていないため，今後の整備が望まれる。



図 3.2.12　民地の樹木管理の例

(4) 宅地斜面表層風化土層の簡易な安定対策～拡翼型盛土補強工法～

斜面･法面保護工として用いられる工法として植生工，モルタル吹付工，吹付枠工などをあげることができ，抑止工として擁壁工，補強土工，アンカー工などをあげることができる。法面保護工は地山が安定していることを前提として斜面表層の浸食防止，風化防止を目的とするものであり一般に植生工が用いられている。(3) で述べた植生管理は植生による法面保護工の効力を持続させことを目的として実施するものである。

不安定化している宅地斜面に対する安定対策としては擁壁工，補強土工，アンカー工などを用いることとなるが，擁壁工，補強土工は規模の大きな掘削工事が必要であるため，新たに宅地造成をする場合などに用いられることが多い。アンカー工はこれらに比較すると施工は簡易であり，吹付枠工等の支承盤を斜面上に設置し，これを反力体としてアンカー材を緊張して斜面の安定を図るものである。しかし，時間の経過した斜面は風化が進み軟化しているため，支承盤は沈下してしまい十分な反力を得ることが困難な場合が多い。このため比較的軟質な斜面に対する抑止工は，アンカーを緊張させて安定を図る方法ではなく，地震時など外力が働いた場合に待ち受け型として作用し斜面の安定を図るタイプの補強土工とすることが実際的であると考えられる。

このような考え方により開発されたのが拡翼型盛土補強工法（以下，ジオアンカー工法）である（図 3.2.13)。ジオアンカーは，部材を打設した後に先端部が拡大する機械式アンカー構造を用いた補強土工法である。通常のアンカー工法はグラウトしたアンカー体が硬化しないと引き抜き抵抗力を得られないのに対し，ジオアンカーは施工直後から引き抜き抵抗力を得ることができるものであり，工期の短縮および経費の縮減ができる。

高含水状態で内部水圧が高く法尻部に小崩壊が発生していた砂質盛土に対し，SH 型貫入試験を行った後にジオアンカー工法で対策を行った例として，農道法面での事例を紹介する。

施工地は福島県郡山市であり，東日本大震災の余震で直下型地震のあった箇所の近傍に位置する（施工は震災前に実施されている)。補強対策の対象は，シルト質の土砂上に構築した 2 段の法面を有する盛土である。含水率が高く，下段部は飽和に近い状態であり，表層崩壊が認められた。SH 貫入試験結果では，下段部の表層 1m 程度まで *N*d 値は 5 以下であり，不安定な状態であった（図 3.2.14)。このため含水率が高く不安定状態と判断できる箇所にジオアンカー工法をおこなった。その後，東日本大震災が発生し，施工地近くでは直下型の余震も発生したが，ジオアンカー工法施工箇所は被害を受けず，補強対策を行わなかった箇所は押出しや陥没などの被害が発生しており，待ち受け型の補強対策であるジオアンカー工法による軟質斜面補強効果が実証された（図 3.2.15)。

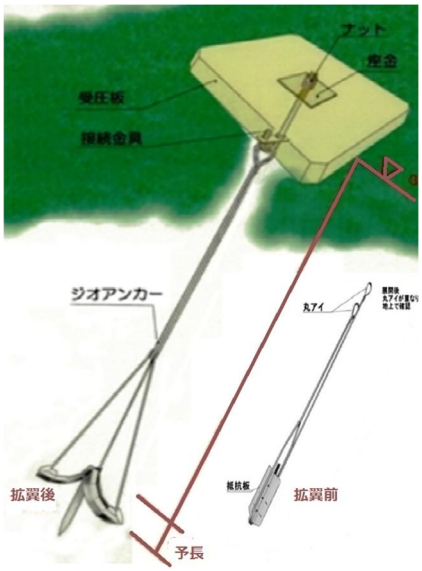


図 3.2.13　拡翼型盛土補強工法（ジオアンカー工法）[7)]

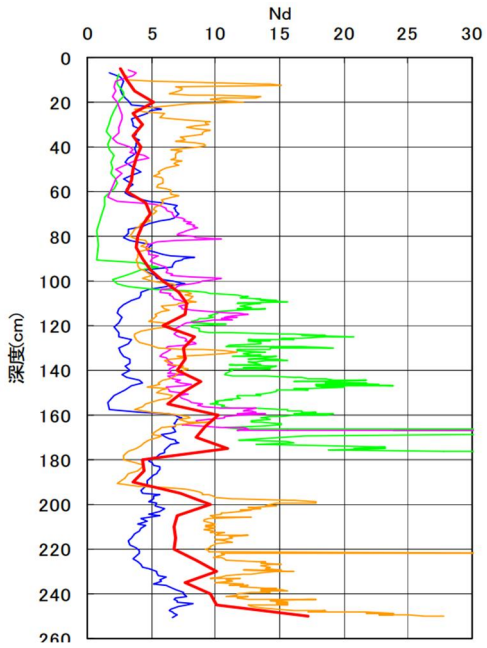


図 3.2.14　下段部の SH 型貫入試験結果 [7)]



施工後



地震発生後
（路面のひび割れや沈下は認められない）



補強対策を行わなかった箇所では，押出し（左）や沈下・陥没（右）の変状発生

図 3.2.15　ジオアンカー工法による軟質斜面補強効果事例

(5) 宅地斜面表層風化土層対策の課題

宅地斜面に関する問題は，宅地造成から長期間が経過して表層土層の風化が進み危険性が潜在化してきているにもかかわらず，住民の高齢化や資金不足などの社会的要因により，手をつけることができないということにある。このため，不安定な宅地斜面は放置され，風化土層の発達や侵入定着した樹木の大型化と，それによる下草の消失による浸食の発生などにより，さらに不安定化していくこととなる。

この対策としては，調査･対策工の実施に対する助成などを政策的に押し進めて行くことが大切となる。また，併せて調査･対策工などに対する第三者的な立場からの確認が必要となろう。これは，宅地の場合，施主に斜面安定や斜面対策工の知識がないため，ともすれば過大な設計が行われ，多額の経費がかかるとの見積がなされる場合があるためである。必要とする経費が大きくなると，対策の実施を躊躇することとなるが，過大な見積もりとなるとなおさら手をつけることができない。適正な調査･設計･施工が行われるように，住民が確認やアドバイスを得ることのできる枠組みの確立が急務となっている。

参考文献

1) 地盤工学会地盤設計・施工基準委員会（2011）：地山補強土工法設計・施工マニュアル，（公社）

地盤工学会，pp.1-26.
2) 表土層調査技術研究会（2015）: SH 型貫入試験（表層構造調査用簡易貫入試験）技術･調査基準同解説.
3) 吉松弘他（2002）: 斜面の表層調査用の簡易貫入試験について，平成 14 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.392-393.
4) 塚本良則（1998）: 森林・水・土の保全，朝倉書店.
5) 杉山泰彦（2023）: 高速道路における緑地維持管理について，緑化工技術－4 集－，（特非）日本緑化工協会.
6) 簗瀬知史（2024）: 植生法面の管理のバイアスによるリスクと提案，緑化工技術－44 集－，（特非）日本緑化工協会.
7) 中野裕司他（2013）: SH 型貫入試験による盛土の崩壊深さ推定について，第 10 回地盤工学会関東支部発表会.

3.2.4 無流水渓流対策の高度化に関する基礎的な研究事例

(1) はじめに

平成 30 年 7 月に発生した豪雨災害によると，土石流により人的被害があった渓流の約 7 割は，流域面積 0.05km^2 以下の急峻な小規模渓流であった [1)]。一般的に，谷出口が住家や道路等に近接している渓流の多くは常時の流水が無い小規模な渓流であり，土石流発生時に人的被害等のリスクが高いことが知られている [2),3),4)]。さらに，従来のコンクリートによる砂防堰堤の施工に際しては，下流側の人家密集や工事用道路の確保等の地形的な制約を受けることが多い。そのため，これらの渓流では，施工性において有意な二次製品等による土石流対策施設整備の推進が有効であると考えられる。

近年，新たに無流水渓流対策 [5)]が提議され，透過部構造（二次製品）を基本とする対策の推進が示された。なお，無流水渓流は，「流路が不明瞭で常時流水がなく，平常時の土砂移動が想定されない渓流」かつ「基準点上流の渓床勾配が 10°程度以上で流域全体が土石流発生・流下区間である渓流」と定義されている [5)]。また，対策に際して，中小出水時の土砂流出の頻度や規模が小さいとともに，一般的な土石流よりも土砂移動や洪水の継続時間が短く，土石流先頭部への巨礫が集中せずに下流まで到達 [6)]するため，透過部が閉塞されずに捕捉機能が低下することが懸念されており，留意する必要がある。一方，これらの渓流における透過型施設の側方からの偏流に伴う下流への土砂の流出が指摘されており，透過型施設の側方端部と地山との隙間において，付属施設（土砂流出防止対策：金網や不透過構造；例えば図 3.2.16）による対策の必要性が示されている [5)]。ただし，この偏流に伴う側方からの土砂流出メカニズムやその具体的な対策の構造については，更なる議論が必要である。なお，側方からの流出防止対策を講じる場合，施工性より透過構造をそのまま側方まで延伸させて全幅を透過部構造とする代替案も考えられ，これらの構造も含めた更なる議論が望まれる。

そこで，本項では，無流水渓流における基本的な土石流対策を概観した後，無流水渓流対策における透過型施設の側方からの土砂流出リスク等に関し，その流出メカニズムや施設側方に存在する隙間幅の変化が土砂の捕捉機能に与える影響等について，基礎的な実験により把握する。さらに，側方からの土砂流出防止対策の高度化を目的に，有効な流出防止対策構造について，基礎的な実験結果を踏まえ考察する。



図 3.2.16　透過型施設側方からの土砂流出防止対策（金網付）の例 [7)]

(2) 無流水渓流における基本的な土石流対策

無流水渓流対策における土石流対策としては，一般に透過構造を有する施設（＝透過型）を基本とし，求められる主な性能は，「土砂捕捉性能」と「構造安全性能」である。

【土石流対策の主な要求性能】

① 土砂捕捉性能：土石流や流木等を確実に捕捉し，捕捉後も捕捉後も捕捉した土砂や流木が流下しないこと

② 構造安全性能：構造物の上部構造と基礎が一体で自立し，外力に対して安定性（外的安定性）および安全性（内的構造安全性）が確保されていること

透過型は，要求性能を満たす構造物のうち，砂防分野では「土石流対策施設として十分に実績のある，または実験等により性能を確認している構造物[8)]」とされ，図 3.2.17 に示すような直接基礎や杭基礎構造の透過型が採用されている。なお，アンカー・ネット式構造物（支線およびアンカーによって本体が支持される型式の構造物）については，災害後の応急対策での施工実績はあるものの，恒久対策では確認されていないことから，参考事項の扱いとなっている[2)]。

一方，道路分野では，比較的早期に整備が可能な高エネルギー吸収型防護柵等の土石流捕捉工や，流出土砂量が小さい場合は落石防護柵等の落石防護工による落石対策と崩壊土砂対策を併用するケースもある。



図 3.2.17　無流水渓流における土石流捕捉工の建設事例

(3) 透過型施設の側方端部からの土砂流出リスク

これまでの一般的な小規模渓流における透過型施設（側方の流出防止対策無）の概要を図 3.2.18 に示す。図 3.2.18 に示すとおり，上流から段波状で直進性を有して流下する石礫型土石流[9)]等に対しては，構造安定上において有意となる小規模な鋼製砂防堰堤（二次製品ユニット）等が採用されてきた。そして，本施設を据付けが可能な範囲まで渓岸に近接させて単独で配置（流出防止対策無）されることが多かった。しかし，これらの渓流における対策工は人家や道路の直上流に設置されることが多く，対策施設と地山との隙間からの下流への土砂流出に伴う影響が懸念される[5)]。

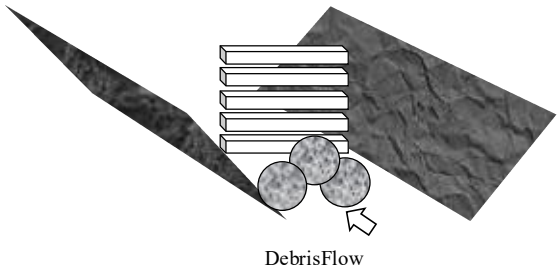


図 3.2.18　これまでの小規模な渓流における鋼製砂防堰堤の設置例

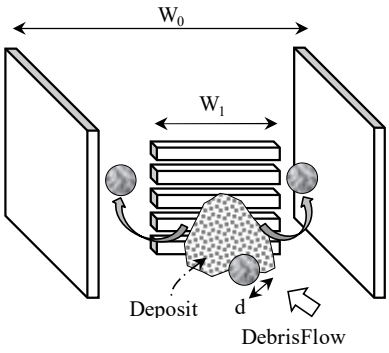


図 3.2.19　実験における構造物の設置条件

そこで，図 3.2.19 に示すように，従来の小規模な鋼製砂防堰堤を想定した透過型施設の構造を対象に，全流下幅 W_0 に対する透過型施設の対策幅 W_1 の違いが土砂の捕捉に与える影響（捕捉メカニズムや捕捉機能の変化）について，基礎的な水路実験によりそれらの傾向を把握し，留意点について考察する。

実験水路の概要を図 3.2.20 に示す。水路条件は，底部に一様砂礫（硅砂 [10]），直径 d＝7 mm または 4 mm）を敷き詰めて傾斜（θ_w＝15°）させた水路（長さ 1000 mm，幅 100 mm，縮尺 1/20 想定）に，上流から水を供給 q_{in}（1.1 L/s : 河床砂礫が全て侵食された土石流発生完了時点まで，または，対策施設により捕捉された土砂の再侵食が安定するまで給水）して，透過型施設側方の隙間から下流へ流出した土砂（砂礫）の重量を計測する。なお，透過型施設は河床に対して垂直に設置して，角部材（2×2 mm）を等間隔（純間隔 3.5 mm）で水平に配置している。その際，対策幅 W_1 等を変化させて，それぞれ 3 回実施して平均化している。

実験より得られた全流下幅 W_0 に対する対策幅 W_1 の割合（W_1 / W_0 : 図 3.2.19）等の違いによる捕捉率 f_s の変化を図 3.2.21 に示す。なお，土砂の捕捉率 f_s は，

$$f_s = (q_{sin} - q_{sout}) / q_{sin} \tag{1}$$

で表される。ここで，q_{sout} は対策施設で捕捉されずに下流へ流出した土砂の重量，q_{sin} は河床に敷き詰めた土砂の重量（ただし，全て侵食）である。図 3.2.21 に示されるように，土砂（d＝7 mm）を用いて土石流発生完了まで給水した場合（捕捉後の再侵食無 : no Water），施設側方の隙間からの回り込みによる土砂流出が見られるとともに，全流下幅 W_0 に対して半分程度の対策幅 W_1 の場合における捕捉率 f_s は 10%未満であり，顕著に捕捉機能が低下した。また，対策幅 W_1 が全流下幅 W_0 の 7 割程度の場合における捕捉率 f_s は 30%程度であった。一方，捕捉されて堆積していた土砂の再侵食が安定するまで給水した場合（捕捉後の再侵食有 : with Water），土砂の堆砂形状による影響を受けた外側への偏流の発生に伴って堆積した土砂の再侵食が見られ，最終的に捕捉率 f_s が 15%まで低下した。なお，細粒礫（d＝4 mm）の場合は，更に捕捉率 fs が低下することが分かった。この要因の一つとして，粒径が小さくなるに伴って偏流等の流れの影響を受けやすく，流水とともに下流へ流出したものと考えられる。

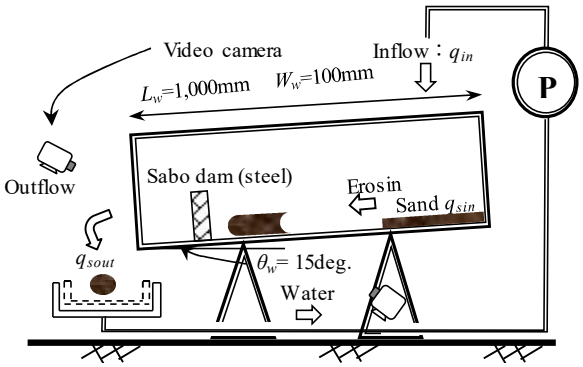


図 3.2.20　実験水路の概略図

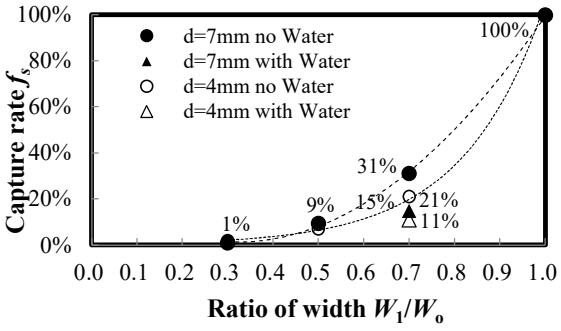


図 3.2.21　透過型施設の対策幅の違いが捕捉機能に与える影響

これらの結果より，透過型施設と地山との間の小さな隙間においても捕捉機能が顕著に低下することが明らかとなり，側方における確実な流出防止対策の必要性が示された。なお，これらの流出メカニズムとしては，土石流の流下時における直接的な回り込み等による流出と，対策施設により捕捉された後の土砂の堆砂形状に影響を受けた偏流の発生に伴う再侵食によるものであることが分かった。

(4) 透過型施設の側方端部における土砂流出防止対策構造の高度化

無流水渓流対策時の透過型施設の側方端部における土砂流出防止対策の更なる構造の高度化を目的に，捕捉効果の高い有効な構造について，基礎的な実験に基づいて考察する。

水路の概要を図 3.2.22 に示す。水路条件は，底部に砂礫（硅砂[10]：直径 d = 7 mm，4 mm，0.6 mm をそれぞれ一様又は同配分で混合）を敷き詰めて傾斜（θ_w = 10°～15°）させた水路（長さ 500～2,000 mm，幅 200 mm，縮尺 1/10 想定）に上流から水を供給 q_{in}（0.7～1.5 L/s）させて土石流を発生させ，水路下流部に設置された透過型施設（ただし，ネット式構造物，Counter-measure type: net）で捕捉されずに，ネットの格子内を通過して下流へ流出した土砂（砂礫）の重量を計測する。ここで，中央に設置する透過型施設については，無流水渓流の特徴（例えば，土石流先頭部への巨礫集中が見られない場合や，十分な水の供給が期待できない場合における土砂の捕捉等）や施工性を考慮して，捕捉効果の高いフェンスネット式を活用した土石流対策工[例えば，11)]を想定している。なお，これらの構造は，急傾斜地対策等で施工条件が厳しい地形条件においても形状等を柔軟に変化させることが可能である。なお，透過型施設及び側方からの土砂流出防止対策は，図 3.2.23 に示すように，側方の不透過部の有無（左：不透過部無しの透過部のみ－Type A，右：不透過部有－Type B/C）の違いにおける捕捉機能の変化について把握する（Type A：不透過部無－透過幅 w'= 200 mm，Type B：不透過部有－透過幅 w' =134mm，Type C：不透過部有－透過幅 w' =66mm）。

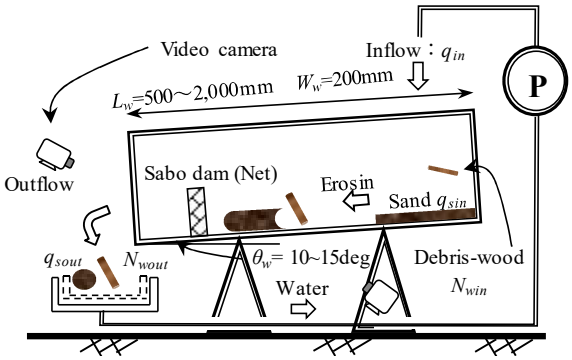


図 3.2.22　実験水路の概略図

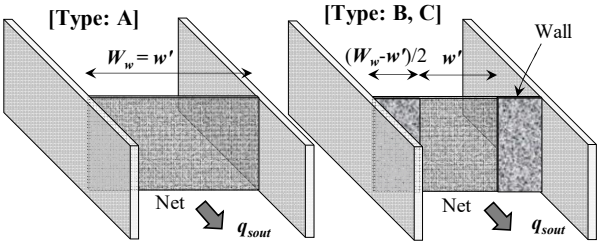


図 3.2.23　実験に用いた透過型施設の概略図

中央部に設置する透過型施設のネット式構造（図 3.2.24）については，捕捉時の応力が鉛直多方向へ分散することを期待した六角形（w_c = 10 mm，h_c = 12 mm；純間隔）とする。ここで，格子間隔については，流出防止対策の構造の違いによる捕捉効果の変化を把握するため，アーチアクション効果 [12] を期待した幅の広い間隔（土砂の粒径と同程度以上）とする。さらに，土石流と同時に流下してくると想定される流木 [5]についても着眼し，水路上流から併せて投入（ただし，円形支柱，直径 φ=3mm，流木長 l_w=50mm，乾燥状態での比重が約 0.75）し，土砂の捕捉機能に与える影響について把握する。また，給水については，河床の土砂が全て侵食された土石流発生完了時点までの供給（no Water）としている。さらに，側方の不透過部（壁構造）のみの構造（中央部の透過型無し：Case7-1～7-3）についても，参考として実施している。

各条件の違いが透過型施設における捕捉機能や土砂の堆砂形状に与える影響を把握するため，上部からの供給水量 q_{in} や流木混入の有無，不透過部の有無及び透過幅（w'：図 3.2.23）等を変化（16 ケース：表 3.2.4）させて，それぞれの条件での捕捉機能や捕捉後の堆砂形状（例えば，図 3.2.25）について把握している。また，実験結果におけるバラツキを考慮するため，同じ条件にて 3 回実施し，平均化している。実験より得られた透過型施設における捕捉率 f_s は，同様に式(1)で表される。以降に，得られた実験結果の中から，特徴的な結果に対して考察する。

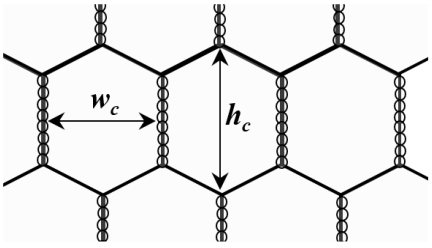


図 3.2.24　実験に用いた透過型施設におけるネット式構造物

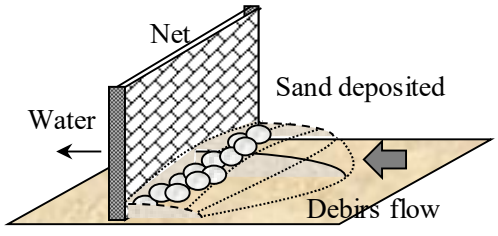


図 3.2.25　透過型施設（ネット式構造物）で捕捉した堆砂の概要

表3.2.4　実験条件

CASE	q_{in} (L/s)	Particle size d (mm)	Length L_w (mm)	Opening width w' (mm)	Debris-wood N_{win} (number)	Counter measure: net
1－1	1.2	Mix	1,000	200	-	Exist
1－2	1.5					
1－3	0.7					
2－1	1.2	7				
2－2		4				
3－1		Mix	500			
3－2			2,000			
4－1			1,000		20	
4－2					40	
4－3		-			20	
5－1		Mix		134	-	
5－2				66		
6－1					20	
7－1				200	-	No
7－2				134		
7－3				66		

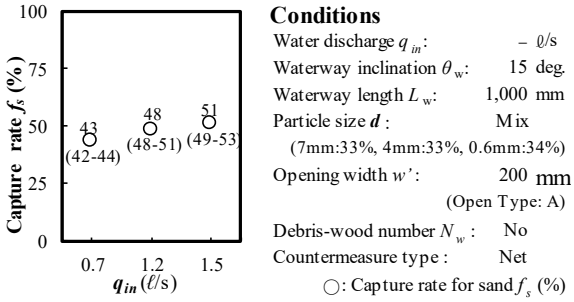


図 3.2.26　供給流量の違いが捕捉機能に与える影響（Type A）

供給流量 q_{in} の違いによる透過型施設（全幅透過型，Type A）における捕捉率 f_s の変化を図 3.2.26 に示す。なお，図中の数字は平均値及び 3 回の結果範囲（括弧）を示している。図 3.2.26 に示すように，供給流量 q_{in} が増加するに伴って捕捉機能が向上することが分かった。この要因の一つとして，流量増加に伴って多くの河床における土砂が一度に急激に侵食されて土石流化し，土石流先頭部の土石流濃度が増加したため閉塞しやすい状態だったものと考えられる。

流路延長 L_w の違いによる透過型施設（Type A）における捕捉率 fs の変化を図 3.2.27 に示す。図 3.2.27 に示すように，流路延長 L_w が短くなるに伴って捕捉機能が向上する興味深い結果[6]を得た。なお，本実験での距離は巨礫を集積させるのに十分な距離ではなかったため，実験中の観測によると，一般的な土石流先頭部への巨礫の集積が見られず，逆に，流れに伴って土石流中の土砂が上下流に分散されていく傾向が見られた。このため，距離が長くなるに伴って土石流先頭部における土砂の量が減り，最終的に十分なアーチアクションが形成されずに捕捉機能が低下したものと考えられる。これらの結果より，小規模な渓流においては一般的な土石流渓流と比較して十分に狭い格子間隔の設定が重要であることが分かった。今後更なる検証が望まれる。

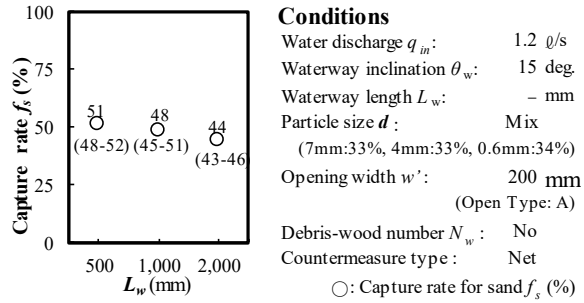


図 3.2.27　流路延長の違いが捕捉機能に与える影響（Type A）

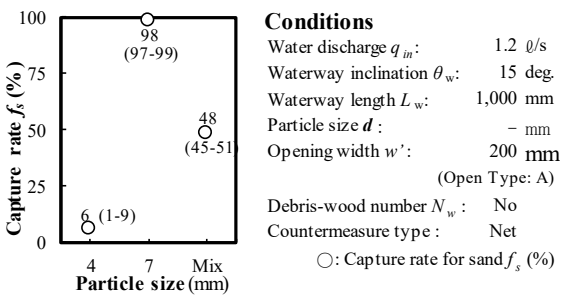


図 3.2.28　給砂条件の違いが捕捉機能に与える影響（Type A）

給砂条件（一様粒径，混合粒径等）の違いによる透過型施設（Type A）における捕捉率 *fs* の変化を図 3.2.28 に示す。図 3.2.28 に示すように，一様粒径（d = 7 mm）では殆どの土砂が捕捉される一方で，一様粒径（d = 4 mm）では殆どの土砂が十分なアーチアクションが形成されずにネット格子内（図 3.2.24）を通過して，下流へ流出した。なお，粒径（d = 7, 4 mm）に細粒の砂（d = 0.6 mm）を加えて同じ割合（三等分）で配合させた混合粒形の場合は，透過型施設における捕捉率 *fs* が概ね 50%程度であった。ここで，実験中の観察結果によると，土石流先頭部中の大径礫（d = 7 mm）によるアーチアクションの形成が確認された。

流木混入の有無及び流木本数の違いによる透過型施設（Type A）における捕捉率 f_s の変化を図 3.2.29 に示す。図 3.2.29 に示すように，流木の混入割合が増加するに伴って捕捉機能が向上する傾向であることが分かった。ここで，実験中の観察結果によると，比重の小さい流木が流れの先頭部に集積してネット式構造物において捕捉されて閉塞し，その後の後続流の土砂が効果的に捕捉されるのが確認された。その際，透過型施設における流木の捕捉率 f_s は概ね 80%以上であり，顕著に土砂の捕捉機能が向上した。

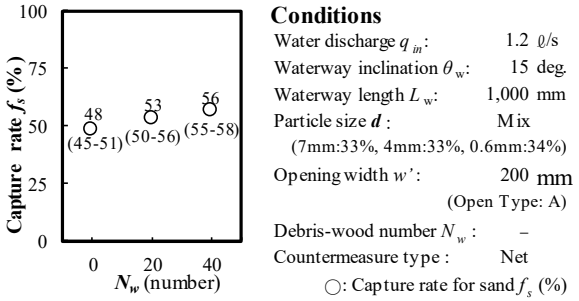


図 3.2.29　流木混入の違いが捕捉機能に与える影響（Type A）

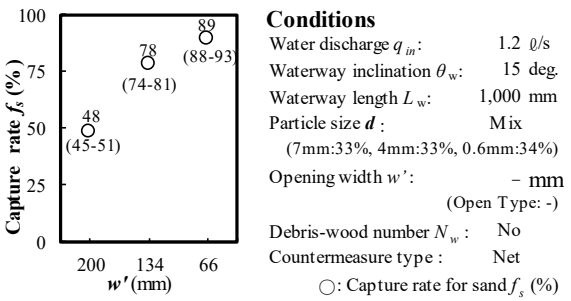


図 3.2.30　側方の不透過型部有無の違いが捕捉機能に与える影響

（Type A-w'：200mm，Type B：134mm，Type C：66mm）

側方における不透過部の有無及び透過幅 *w'*の違い（Type A，Type B/C）による透過型施設における土砂の捕捉率 f_s の変化を図 3.2.30 に示す。図 3.2.30 に示すように，不透過部を併設した場合（Type B/C），不透過部を併設しない場合と比較して捕捉率が約 1.5～2 倍となり，顕著に捕捉機能が向上することが分かった。ここで，図 3.2.31 に実験中の観察結果において見られた不透過部の有無の違いによる捕捉（堆砂）形状を示す。平面的な堆砂形状に関して，不透過部が無い場合（Type A－図 3.2.31：左上）は，不透過部有の場合（Type B/C－図 3.2.31：右上）と比較して土砂が中央部に多く集積して捕捉され，その堆砂形状の影響を受けた偏流発生に伴って側方へ土砂が流出する傾向であった。一方，縦断的な堆砂形状及び横断的な堆砂形状に関して，不透過部有の場合（図 3.2.31：右中，右下，Type B/C）は，不透過部無の場合（図 3.2.31：左中，左下，Type A）と比較して顕著に捕捉高が高くなり，多くの土砂が捕捉された。これらの要因の一つとして，両側方の不透過部（壁構造）による大径礫の中央部への集積による早期のアーチアクション形成に伴って，後続からの細粒の土砂が効果的に捕捉されたものと考えられる。

一方，不透過部のみ（中央の透過型施設：ネット式構造物無，Counter-measure net: no）における透過幅 *w'*の違いによる捕捉率 f_s の変化を図 3.2.32 に示す。図 3.2.32 に示すように，側方の不透過

部のみ（中央部透過部無）においても一部の土砂が捕捉されることが分かった。ここで，実験中の観察結果によると，不透過部（壁構造）の直上流に発生した平面的な渦流の影響を受けて一部の土砂が堆砂（残存）することが分かった。なお，これらの現象は一般的な水制工[13]に見られる効果と同じであった。これより，側方に不透過部を有する場合，渓岸の側部にも土砂が捕捉されて，対策施設の側方周辺における河岸侵食を防止する機能も期待できることが分かった。

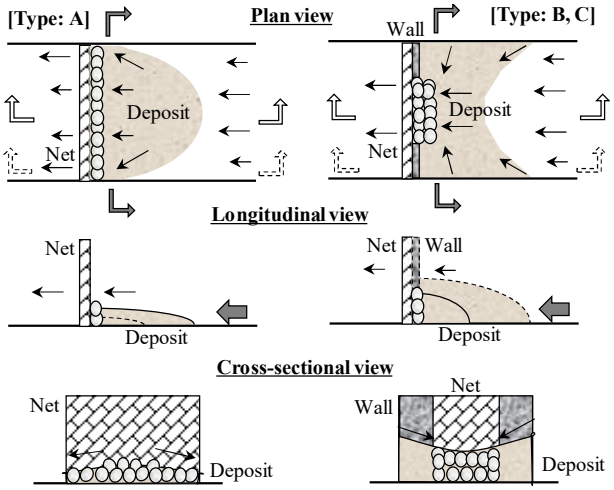


図 3.2.31　側方不透過型施設有無の違いによる捕捉（堆砂）形状の変化（上：平面図，中：縦断面図，下：横断面図）

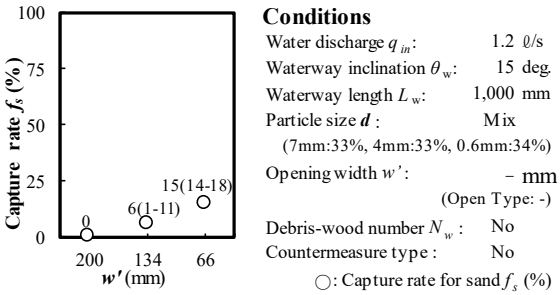


図 3.2.32　不透過型施設（単独）が捕捉機能に与える影響（側方不透過型構造のみ；ネット式構造物無）

今回の検討では，基礎的な直線水路で実施したため，今後，平面的な屈曲水路による流れの影響や，水路横断形状の変化，格子形状（六角形以外）等の違いについても更なる検証が望まれる。

(5) おわりに

本研究は，常時の流水が殆ど存在しない小規模な渓流（無流水渓流）を対象に，施工性に優れた二次製品（透過型施設[例えば，11)]）の活用による土石流対策（砂防事業や道路事業）の推進を目的に，透過型施設と地山との隙間からの土砂流出の機構，それらの予防対策の必要性や有効な構造について，基礎的な実験結果に基づいて考察したものである。

本研究により得られた成果を以下に要約する。

1）透過型施設側方の地山との隙間が存在する場合，顕著に捕捉機能が低下することが分かった。なお，その主な要因の一つとして，土石流流動時の回り込み等による直接的な下流への土砂の流出と，施設により捕捉された土砂（砂礫）の堆砂形状に影響を受けた側方への偏流の発生に伴う捕捉した土砂の再侵食によるものであることが分かった。

2）透過型施設側方の両端部において不透過型構造による土砂流出防止対策を併設した場合，透過型施設のみ（全幅を透過型施設）の場合と比較して，捕捉機能が顕著に向上することが分かった。この要因の一つとして，一般的な水制工に見られる効果により大径礫が中央部に集積して土砂のアーチアクション効果により閉塞され，後続からの細粒の土砂を効果的に捕捉させる

ことが分かった。

3) さらに，側方に不透過部を有する場合，側部にも土砂が捕捉されて，対策施設の両端における河岸侵食を防止する機能も期待できることが分かった。

参考文献

1) 国土交通省砂防部：http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/renkei/activities/20181211/04-1_kunitomo.pdf, 2022 年 5 月 15 日閲覧.
2) 石川芳治･前田昭浩･草野慎一(1996)：山岳道路の土石流発生危険度判定手法, 新砂防, Vol.49, No.1.
3) 矢澤昭夫・水山高久・鈴木浩之（1987）：山岳道路の土石流発生過程，土木技術資料，Vol.29-11，pp.9-14.
4) JH 日本道路公団（2003）：土石流対策の手引き.
5) 国土交通省砂防部（2022）：無流水渓流対策に関わる技術的留意事項.
6) 原田紹臣・和田孝志・古谷智彦・中谷加奈・水山高久・里深好文（2015）：土石流先頭部における大粒子の集積過程に関する基礎的な実験，砂防学会誌，Vol. 68，No.1，pp.39-43.
7) プロテックエンジニアリング：アーバンガード（https://www. proteng.co.jp/），2024 年 12 月 30 日閲覧.
8) 国土交通省砂防部（2022）：無流水渓流対策に係る技術的留意事項（試行案），8p.
9) 高橋保（1976）：土石流の発生と流動に関する研究，京大防災研究所年報，Vol.20，No.B-2.
10) 三河珪石株式会社：珪砂（http://www.mikawakeiseki.co.jp/silica.htm），2024 年 12 月 30 日閲覧
11) ベルテクス：ループフェンス（https://vertexgrp.co.jp/products/products_category/pc04/ pc0404/），2024 年 12 月 30 日閲覧.
12) 高橋保・中川一・里深好文・王浩民（2001）：格子型砂防ダムの閉塞モデル，水工学論文集，Vol.45，pp.697-702.
13) 福岡捷二・西村達也・高橋晃・川口昭人・岡信昌利（1998）：越流型水制工の設計法の研究，土木学会論文集，Vol.1998，No.593，pp.51-67.

3.3 斜面構造物に関する災害と対策

前節までに，宅地における盛土や斜面で発生する災害の対策について報告してきた。これらの斜面災害の発生防止や復旧には，斜面構造物が適用されることが多い。しかし，昨今，地震や豪雨に伴い，本来，斜面の安定を確保する目的で設けられている斜面構造物が崩壊する，あるいは崩壊に巻きこまれる例が報告されている。そのような状況を踏まえ，本節では宅地における斜面構造物に関する災害と対策について整理する。

3.3.1 斜面構造物における災害と対策

(1) 宅地に適用されている斜面構造物の種類

斜面構造物には，斜面の表面保護を目的としたものから，地山を含めた斜面の安定を図るため大きな抑止力を導入するものまでさまざまなものがある。主に宅地で適用されている斜面構造物としては，急傾斜地崩壊対策事業に伴い崖崩れ災害防止を目的に適用されている構造物，「宅地造成等規制法」に準拠して宅地造成地ののり面保護工として設置されている構造物，過去の大規模地震などに伴う復旧対策や，宅地耐震化推進事業にしたがって設置された滑動崩落災害防止を目的とした構造物などがある。

1) 崖崩れ災害防止のための斜面構造物

急傾斜地崩壊対策事業に伴って適用される斜面構造物を，表 3.3.1 に示す[1]。斜面の地形，地質，地下水の状態等の自然条件を変化させることにより斜面の安定を図る「抑制工」と，構造物を設けることにより斜面の崩落または滑動を抑止する「抑止工」に大別される。抑制工には，排水工やのり面保護工，押え盛土工等があり，抑止工には，擁壁工，アンカー工，地山補強土工，杭工等が挙げられる。

2) 宅地造成における安定対策のための斜面構造物

宅地造成地ののり面保護工は，従来「宅地造成等規制法」に従って整備されてきたが，同法は「宅地造成及び特定盛土等規制法（盛土規制法）」に改正され，令和 5 年 5 月に施行された。また，これに合わせ，「宅地防災マニュアル」に代わり「盛土等防災マニュアル」が，技術的助言として取りまとめられている[2]。

「盛土等防災マニュアル」では，崖面を伴う造成においては，のり面は浸食防止として原則として擁壁で覆い，それ以外ののり面ではのり面保護工を用いるとされている（表 3.3.2）。のり面保護工の区分を図 3.3.1 に示す。安定勾配が確保でき，のり面表面からの滑落等がない場合は「のり面緑化工」を基本とし，それ以外は「構造物によるのり面保護工」を，のり面の安定に応じて適切に選定するとされている。

また，これまで斜面構造物の「維持管理」に関しては，「宅地防災マニュアル」では長大のり面の維持管理に関する記述しかなかったが，改正により「切土」全般について維持管理に関する規定がなされている（切土のり面に用いられるのり面構造物の維持管理についても含まれている）。

3) 既存盛土の安全対策のための斜面構造物

宅地耐震化推進事業に取り組むためのガイドラインとして，「大規模盛土造成地の滑動崩落対策

表 3.3.1　斜面対策工の分類[1)]（文献１の分類を一部抜粋して記載）

分類	主な目的	工種		工種細分	効果等
抑制工	雨水の作用を受けないようにする	排水工		地表水排水工	地表水の斜面外への排水，斜面内への流入防止
				地下水排除工	斜面内の地下水排除，間隙水圧の低下
		植生によるのり面保護工		植生工	雨水浸食防止，緑化による環境調和
		構造物によるのり面保護工	吹付工	モルタル・コンクリー吹付工	風化・浸食防止，地盤の強度低下防止
			張工	石張工，コンクリートブロック・版張工	風化・浸食防止，軽微な斜面剥離・崩壊防止
				コンクリート張工	
			補強土工	連続長繊維補強土工	軽微な崩壊防止，既設構造物の補強
			のり枠工	現場打コンクリート枠工，吹付枠工	風化・浸食防止，一部で抑止力も期待
				プレキャスト枠工	
		押え盛土工		押え盛土工	崩壊想定部下部に設置し，滑動力に抵抗
		その他		その他ののり面保護工	風化・浸食防止
	雨水の作用を受けて崩壊する可能性の高いものを除去	不安定土塊の切土工		切土工	オーバーハング部や表層の不安定土層の切取り， 浮石等の除去による斜面安定化
抑止工	雨水等の作用を受けても崩壊が生じないように力のバランスをとる	斜面形状を改良する切土工		切土工	安定勾配，高さまでの切取りによる斜面安定化
		擁壁工		石積・ブロック積擁壁工	斜面下部の小規模崩壊抑止
				もたれコンクリート擁壁工	崩壊抑止，浸食・風化に対する保護
				重力式コンクリート擁壁工	崩壊抑止，押え盛土の安定，のり面保護工の基礎
				井桁組擁壁工	地盤が軟弱な斜面の小崩壊防止
		アンカー工		グラウンドアンカー工	深層崩壊，剥離の防止
		地山補強土工		地山補強土工	浅層崩壊，剥離の防止
		杭工		杭工	すべり力に抵抗，斜面安定化
その他	落石を防止	落石対策工		落石予防工	落石の発生予防
				落石防護工	落石から人家等を防護
	雪崩を防止	雪崩対策工		雪崩予防工	雪崩の未然予防
				雪崩防護工	雪崩発生時の被害軽減
抑制工と抑止工の両方の目的をもつ工種		柵工		土留柵工	緩斜面での表土層等の崩壊，拡大防止
				編柵工	植生の補助として，斜面表土の侵食防止
		かご工		かご工	侵食防止，押え盛土的効果を期待
崩壊が生じても被害が出ないようにする工種		待受工		待受式コンクリート擁壁工	崩壊土砂の待受け
				待受式高エネルギー吸収型崩壊土砂防護柵工	
防止工施工時の防護工		仮設防護工		仮設防護柵工	施工中の崩土や落石の防護

表 3.3.2　土工区分と地表面の勾配ごとに設置を要する構造物等の区分[3)]

土工区分	地表面の勾配	設置を要する構造物等
盛土	崖面（水平に対 30 度を超える）	擁壁／崖面崩壊防止施設
	崖面以外の地表面 （水平面に対し 30 度以下）	のり面保護工
切土	がけ面（水平に対 30 度を超える）	擁壁／崖面崩壊防止施設
		のり面保護工
	崖面以外の地表面 （水平面に対し 30 度以下）	のり面保護工

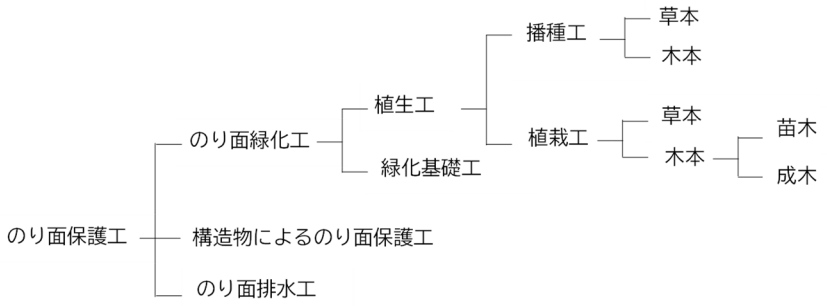


図 3.3.1　のり面保護工の分類 [3)]

推進ガイドライン及び同解説」が示されていたが,「盛土規制法」改正に伴い，新たに「盛土等の安全対策推進ガイドライン及び同解説」[4)]が取りまとめられた。本ガイドラインには，基礎調査実施要領（既存盛土等調査編）で示された盛土等の抽出，安全性把握調査の具体的な方法に加え，調査後の安全対策や被害が生じた際の復旧対策，日常的な維持管理も含めて，既存盛土等の安全対策の推進を図るための実施の考え方や一連の流れ，具体的な方法が示されている。地震時の滑動崩落被害だけでなく，豪雨により発生する崩壊や土石流被害も対象とされたほか，安全対策施設の日常的な維持管理の重要性が指摘されている。また，今後新たに基礎調査を通じて抽出される大規模盛土造成地の安全対策については，本ガイドラインを参照することとされている。

斜面構造物については，安全対策工法として，対象を大規模盛土造成地等と既存盛土等を区別して示されている。

既存盛土等の安全対策は，以下の視点で整理されている。

・のり面の安定性向上に関する対策工

・雨水や地下水の排除に関する対策工

・盛土等の崩壊や流出の防護に関する対策工

大規模盛土造成地等の安全対策は，面的に行う滑動崩落対策と，個々の宅地で行う耐震対策に区分されている。

【面的に行う滑動崩落対策】

「大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説 2 編　予防対策編」では,図 3.3.2 に示すように,「面的に行う滑動崩落対策」として抑制工と抑止工に分類し，イメージ図により対策工の配置を含めて紹介している。「面的に行う滑動崩落対策」は，盛土全体の崩壊・変形の防止を目的としており，地表水・地下水対策や想定される抑止工等を示している。

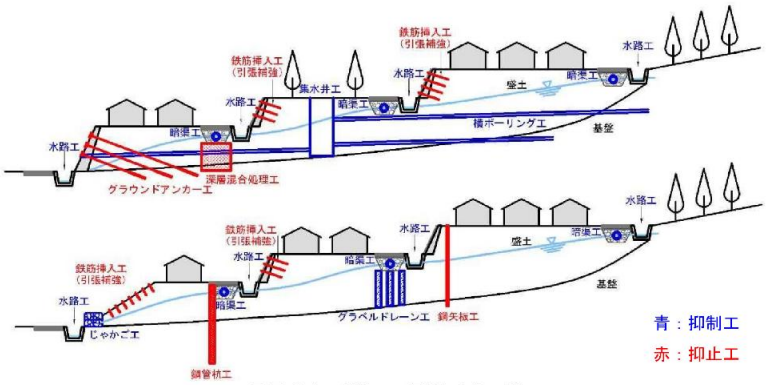
平成 19 年の能登半島地震において道路盛土が崩壊・流出した際に排水対策の重要性がクローズアップされるなど，排水対策は宅地盛土部においても最も重要な対策と考えられている。対策工法の選定フローでは地表水・地下水対策を採用しても計画安全率を満足しない場合にそれ以外の対策を検討することになっている。

また，抑止工であるグラウンドアンカー工法等は，効果的な対策位置と仕様を検討する必要があり，施工スペースを含め対策工が宅地（私有地）内になる可能性もあることから住民の同意，維持管理や費用負担等について，事前に協議・調整する必要がある。

表Ⅲ.2.1　対策工法の種類と例

分類	対策工法の種類	対策工の例
抑制工	地表水排除工法	水路工
	地下水排除工法	暗渠工、横ボーリング工、集水井工、 その他の補助的工法（じゃかご工、ふとんかご工）
	間隙水圧消散工法	グラベルドレーン工
	押え盛土工法	盛土工
	排土工法※	排土工
抑止工	固結工法	深層混合処理工、中層混合処理工、グラウト工
	抑止杭工法	鋼管杭工、H鋼杭工、鉄筋コンクリート杭工
	グラウンドアンカー工法 〔地盤補強〕〔擁壁補強〕	グラウンドアンカー工
	地山補強土工法 〔地盤補強〕〔擁壁補強〕	鉄筋挿入工（引張補強・圧縮補強）
	矢板工法	鋼矢板工

※ 排土工法を適用できるケースは、滑動ブロック頭部付近に空き地がある場合等に限定される。



図Ⅲ.2.1　対策工の配置イメージ

図 3.3.2　大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説 2 編 p.2-9 [5)]

【個々の宅地で行う耐震対策】

「個々の宅地で行う耐震対策」としては，主に家屋の不同沈下の防止・軽減を目的としており，宅地内で完結する工法に限定して，図 3.3.3 のような工法を紹介している。

ただし，「個々の宅地で行う耐震対策」のみを実施した場合は，仕様や対策場所によっては盛土全体の崩壊・変形による被害を軽減できることもあるが，地震時の被害を完全に防止できない可能性が高いことに留意する必要があると記載されている。

逆に，前述した「面的に行う滑動崩落対策」では，緩い盛土や切盛り境界に位置する家屋の不等沈下までは防止・軽減できないため，併せて「個々の宅地で行う耐震対策」も必要であると記載されており，宅地盛土及び擁壁の状況によって，必要な対策工法を選定することが重要となる。

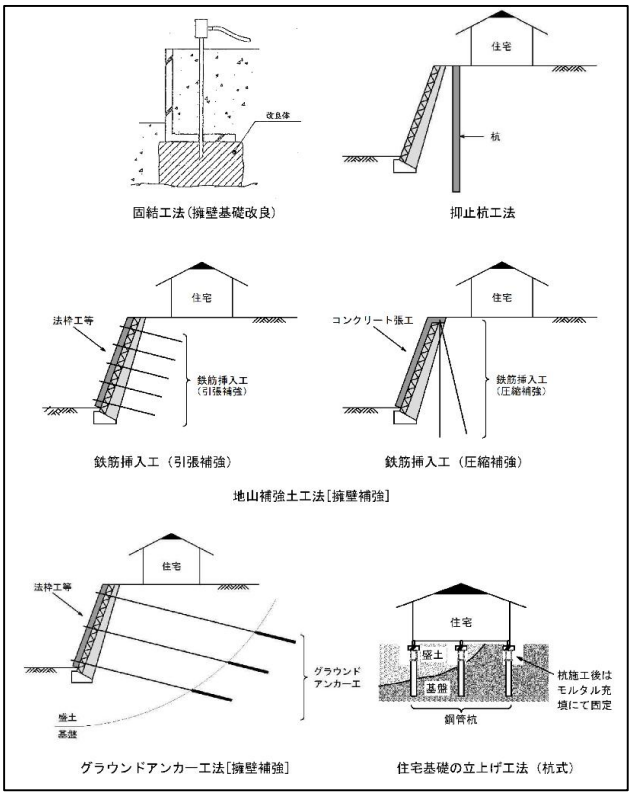


図 3.3.3 大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説 2 編 p2-25 [5)]

(2) 宅地における斜面構造物に伴う災害

斜面構造物は，斜面の安定を確保し災害を防止するため，関連する法律や指針等に準拠し，地山を含めた斜面の構造的な安定性を評価したうえで設計・施工されているものである。地震や豪雨後の点検・災害調査等においても，対策工を施した斜面では大きな被害が発生しなかったという報告がなされることも多い[例えば6)]。しかし，実際には，豪雨や地震に伴い斜面構造物を巻き込む崩壊災害の発生が報告されている。通常あるいは当初想定と異なるような外力の作用や，設置後に生じた地山や構造物の機能低下などが，崩壊につながる原因となっているものと推察される。

1) 想定以上の外力の作用

「これまでに経験のない」昨今の気象の下では，台風や線状降水帯などに伴って短時間で記録的な豪雨がもたらされる，あるいは雨雲の停滞により長時間降雨が続くなどの現象が生じている。この結果，構造物に当初想定していた以上の外力が作用する危険性も高まっているといえる。

地下水位の上昇により地山の安定性が低下すると，斜面構造物の背面から設計以上の荷重が作用し崩壊につながる可能性がある。また，斜面の上方から大量の土石や水がもたらされ，それに巻き込まれて斜面構造物自体が地山表層部とともに崩壊するといった災害も考えられる。宅地として開発されるような台地や丘陵地では，周縁部に斜面（崖）が存在することが多いが，豪雨時には，斜面上の住宅地で排水しきれなかった雨水が斜面に流れ込み，災害の危険性が高まる可能性がある。

一方で，豪雨や巨大地震に伴い地すべりや深層崩壊のような大規模な斜面変動が発生し，斜面構造物を巻き込んだ崩壊が発生するケースも考えられる。前述の「3.1.2　地震による宅地盛土での災害と対策」には，地震に伴う大規模な地すべり性の崩壊とその対策について例示されている。図 3.3.4 は，1978 年の宮城県沖地震で発生した大規模造成地の滑動に対する復旧対策工である鋼管杭工において，2011 年の東北地方太平洋沖地震での地震動で変位が発生した事例である[7)]。

2) 地山の劣化や構造物の機能低下が生じた場合

外力の増加に加え，本来斜面構造物に期待していた機能が老朽化等により低下しているケースも，崩壊の原因となっていると考えられる。例えば，のり面表面の地山の風化浸食を防止する構造物として代表的なモルタル・コンクリート吹付工においても，吹付背面で地山の風化が進行し，吹付と地山の密着性の低下，背面の空洞化などが生じるケースがある（図 3.3.5 は，マンション裏手の斜面に施工されていた吹付が，経年劣化により背面との分離が進み，自重で剥落した災害事例である）[8)]。

地下水排除工や，擁壁工や吹付工に付随する水抜きパイプ等もメンテナンスがなされていないと，構造物背面の地下水が排出されず，斜面および斜面構造部の不安定化につながる。また，これまでと異なる量の水の供給は，単純に地下水位を上昇させるだけでなく，背面地山の風化も助長する可能性が高い。

また，厳密には老朽化による機能低下ではないが，例えば大きなすべりや不安定要因を見落として斜面対策工が設置されているなど，斜面構造物の不適合な適用により，斜面の不安定化や崩壊を招いているケースもあると考えられる。



図 3.3.4　想定を超える地震により，既存の地すべり対策工抑止杭が変位している事例 [7)]



図 3.3.5　老朽化が主原因で吹付法面が大規模に剥落した事例 [8)]

3）外力の増大と機能低下

斜面の崩壊は素因と誘因が組み合わさって発生するものであり，斜面構造物の崩壊も，上述のような構造物の老朽化や構造的に不適合な適用に伴うような素因と，これまでにないレベルの誘因の影響が複合し，本来安定しているはずの斜面構造物を適用した斜面で災害が発生しているものと考えられる。

図 3.3.6 は，地震に伴って崩壊した吹付のり枠工の事例である。ある程度の剛性を有し崩壊抑止力も期待できる構造物であるのり枠が，構造物自体の破壊というよりも，背面地山との密着性を損ない，それ自体が分離し滑落するような形で崩壊している。のり枠を支えるピンの周りの地山が風化し，構造物を支える力が低下していた上に，地震による大きな外力が加わり滑落したものと推定される。



図 3.3.6　地震動に伴うのり枠工の滑落

地震による谷埋め盛土の崩壊では，それまで崩壊には至らなかったものの，集水地形上への盛土という内在していた構造上の素因と，これまでにない大規模な地震という誘因に加え，盛土排水工の機能低下という維持管理上の問題が組み合わさって，大きな被害になった例もあると推定される [9)]。

(3) 宅地での斜面構造物の崩壊災害防止対策にあたっての留意点

以上のような災害の発生を踏まえ，主に宅地における斜面構造物の崩壊災害に焦点を絞り，これを防止するために，土木技術者が取り組むべき課題・方向性について考察する。

① 新たに構築する斜面構造物の性能の検討を行う

想定を超えた豪雨や地震による斜面（および斜面構造物）の不安定化のメカニズムを明確にして，確実に斜面の安定を図れる対策工やその適用方法の検討が必要である。今回の「盛土規制法」の改正においても，規制区域や対象を広げることや，災害事例を踏まえて規制を強化するなど多くの対応が示されているが，今後さらに基礎試験や数値解析，事例収集等が行われ，最適な設計法や対策工の開発・適用が進むことが望まれる。基本的には道路や鉄道，自然斜面等で取り組まれている斜面対策と大きく変わることはないので，幅広い分野の研究者・技術者の知見を集め，連携を図りながら進めることが期待される。

② 既存の斜面構造物（および斜面）への必要な補強を行う

新たな構造物の設置時だけでなく，宅地における既存の斜面構造物についても，①同様，豪雨や地震に応じた安定性の研究や検討を行い，必要な補強を行う必要がある。とりわけ，斜面構造物の不適合な適用など問題が見えづらい斜面や構造物を，点検や調査等を通じて早期に抽出し，補強等の必要な対策を行うことが重要である。また，宅地での補強工事は，施工スペースや搬入ルートが限られる，騒音や振動に特に留意が必要であるなど，通常とは異なる条件での工事となるので，新たな工法の開発・適用も望まれる。

③ 既往の構造物の劣化や地山の風化の進行を正しく評価して，維持管理を行う

構造物の日常的な維持管理は，すべてののり面構造物において必要であるが，環境の変化を受けることによりさらに重要性が増すと考えられる。健全度を的確に把握し，必要なメンテナンスを行って機能を維持・回復させる必要がある。「盛土等の安全対策推進ガイドライン」のほか，盛土以外の規準・マニュアルでも，維持管理の方法が示されているので，これらに従って調査・点検や健全度診断を実施し，早い段階での適切な補修補強を行う必要がある。道路や鉄道などと異なり，宅地では斜面の管理者が個人である，複数である，あるいは明確でないといった問題がある。「盛土等の安全対策推進ガイドライン」でも，管理者が複数である場合の考え方・あり方が示されており，個々の土地の所有者等が，所有する土地の維持管理とともに盛土全体についても互いに連携しながら維持管理することが重要とされている。

一方，点検・診断の実務にあたっては，少子高齢化の中で人員・技術者の不足が考えられるほか，とりわけ健全度評価にあたっては専門的な知見・技術が必要となるため，熟練技術者の不足が懸念される。デジタル技術の発展により，自動化やAIによる補助などの技術が期待できるのでこれらの新しい技術の適切な活用も望まれる。

宅地盛土等における既存斜面構造物の崩壊対策は，前節までに示した盛土や自然斜面に対する防災対策と基本的には大きく変わるところはない。新たに生じた環境条件における斜面や構造物への影響を明確にし，適切な対策を行うことが望まれる。一方で，既存構造物という点に着目す

ると，「構造物に対する維持管理」の重要性に注目すべきであると考える。構造物の劣化メカニズムを明確にし，それに対する取り組みを進めることが望まれる。次項 3.3.2 では，モルタル・コンクリート吹付工を例に，構造物の維持管理の考え方と新しい取り組みの例を示す。

参考文献

1) 一般社団法人　全国治水砂防協会（2019）: 新・斜面崩壊防止工事の設計と実例－急傾斜地崩壊防止工事技術指針－，本編，p.327.
2) 国土交通省（2023）: 盛土等防災マニュアルの改正概要と考え方
3) 盛土等防災研究会編（2023）: 盛土等防災マニュアルの解説I，ぎょうせい，p.539.
4) 国土交通省・農林水産省・林野庁（2023）: 盛土等の安全対策推進ガイドライン・同解説
5) 国土交通省（2015）:「大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説」
6) 土木学会地盤工学委員会（2009）: 家族を守る斜面の知識～あなたの家は大丈夫～，pp.103.
7) のり面診断・補修補強研究会（2017）: 斜面のり面の防災対策・補修補強対策事例集（配布物），p.131.
8) 防衛施設庁史編纂委員会（2007）: 防衛施設庁史
9) 土木学会　地盤工学委員会（2005）: 知っておきたい斜面の話 Q&A－斜面と暮らす―，pp.175.

3.3.2　斜面構造物の維持管理～吹付工を例に～

(1) はじめに

斜面構造物を含む斜面の不安定化や崩壊は，地山や構造物の機能に起因する素因と，豪雨・地震などの誘因が作用して発生する。したがって，既存の斜面構造物の防災を考える場合は，誘因としての「経験のない気象」だけでなく，老朽化に伴う機能低下や損傷など素因にあたる部分の対策も併せて考える必要がある。

本項では，斜面構造物として既設のモルタル・コンクリート吹付工（以下，「吹付工」と記す）を例に，老朽化に伴う機能低下を考慮したうえで，豪雨・長雨のようなこれまでにない誘因の影響を受けるようになってきた昨今の条件を踏まえ，斜面構造物の防災上の課題とその解決を目指す最近の取り組みなどについて述べる。

(2) 吹付工の概要

1) 吹付工の仕様

吹付工は，モルタルやコンクリートを斜面の表面に数センチから数十センチの厚さで吹付ける工法で,雨水等による斜面表面の侵食･風化や軽微な落石の防止などを目的に採用される(図 3.3.7)。道路や鉄道沿いの斜面で多く用いられているほか，宅地においても急傾斜対策工などに適用されている（以下の記述では，吹付工を施工したのり面を「吹付のり面」と記す)。

吹付工は，抑止力を作用させて背後の地山斜面からの土圧を受け止めることを期待されておらず，安定を確保されたのり面に保護工として適用される工法である。背面地山の安定が確保されていない場合や，施工後，風化の進行などにより急速に地山の安定性が低下した場合は，崩壊や吹付自体の剥落による災害を発生させる恐れがあるため留意が必要である。

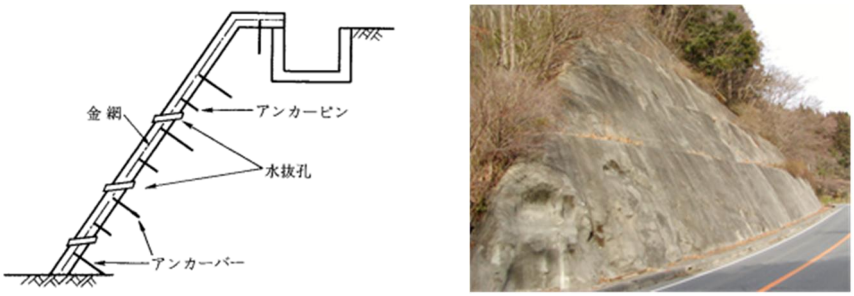


図 3.3.7　吹付工の概要 [1)]

2) 吹付のり面の劣化機構

吹付のり面の劣化機構は 3 つに分類できる（図 3.3.8）[2)]。

吹付自体の劣化は，気象や水などの影響により吹付モルタル・コンクリート自体が劣化することで生じる。凍結融解の繰り返し（凍害）により吹付表面に剥離が生じ，これが進行すると吹付の厚さが損なわれる，強度が低下するなどの問題を生じる。また，乾燥収縮などが原因で，吹付にひび割れが発生する場合がある。開口や伸長が進むと，表面水の侵入により背面地山の風化進行を助長するほか，植物の侵入・成長により，吹付に大きな負荷をかけ吹付の破壊につながる場合が多い。

吹付と地山の密着性が失われるケースでは，密着性の低下に伴って吹付自体が不安定となり，剥落や吹付が下方に滑動するスライド現象が発生する。吹付の不安定化に伴ってひび割れなどの変状が多く生じ，防水機能の低下・喪失によりさらなる不安定化を招くことになる。また，風化した地山表層部が湧水により流出し，吹付背面に空洞が生じる場合がある。スライド現象，空洞の発生いずれの場合も，吹付自体の不安定化につながり，滑落や剥落，崩壊災害につながる危険性がある。

吹付自体の老朽化・劣化現象ではないが，背面の地山の風化が進むと，吹付面に多くの変状が現れ，著しい機能低下を招く。もともと抑止力を持つ構造物ではないため，地山を巻き込んだ斜面崩壊につながる危険性があるほか，発生した変状により，さらなる機能低下を招く恐れがある。

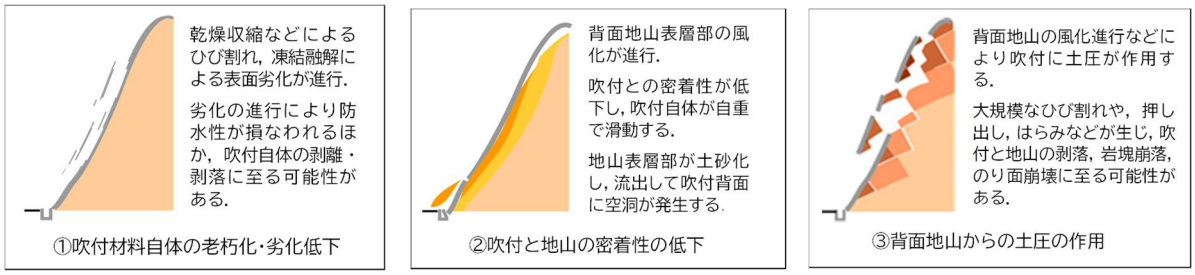


図 3.3.8　吹付のり面の劣化機構 [2)]

3）吹付のり面の劣化の進行

老朽化による性能の低下は，経時的に進行していくので，評価にあたっては劣化のスピードについても考慮が必要である。

日本道路公団では，吹付背面の地山の風化進行を検討するため，吹付のり面の経時的な追跡調査を行い，弾性波を用いた劣化評価指標を用いて，地質ごとの劣化進行を整理している [3),4)]。大津ら（2006）[5)]は，吹付背面の地山の風化の進行とスライド現象の発生に着目して，対策工の性能劣化過程を考慮した LCC 評価を試みている。加藤ら（2013）[6)]は，宮崎県内の日南層群，宮崎層群の吹付のり面の維持管理データから吹付法面の劣化曲線を示しているが，劣化曲線は様々な要因が複合し大きなばらつきを含むものであり，運用にあたっては，点検により構造物の劣化と性能の判断および対応を効果的に連動させることが重要であるとしている（図 3.3.9）。

これらの先行研究を踏まえ宇次原ら（2014）[7), 8)]では，地山の地質を考慮して過去の斜面防災点検の記録の整理を行い，次のような吹付のり面の劣化進行モデルを示している（図 3.3.10）

・施工から 50 年近く経過しても顕著な変状が生じていないのり面が存在するのに対し，10 年ほどで変状が顕在化・進行し，30 年程度で崩壊に至るのり面が存在する（図 3.3.10 中の a）。
・早期に劣化が進行するのり面の多くが，背面からの土圧により劣化が進行しており，もともと吹付工に適さない条件ののり面に適用されたケースであることが多い。日常点検で早期にこのような構造が不適合なのり面を抽出し，補修・補強を行うことが重要となる。
・一方，安定したのり面に適用された場合は，適切に維持管理をすればかなり長期間健全な状態を保持し，機能が確保される（図 3.3.10 中の c）。排水設備や，樹木の侵入による吹付の損傷などに注意し，必要な補修を行うことが大切である。これらを怠ると，吹付と地山の密着性が失われるようなタイプの劣化が急速に進む恐れがある（図 3.3.10 中の b）。

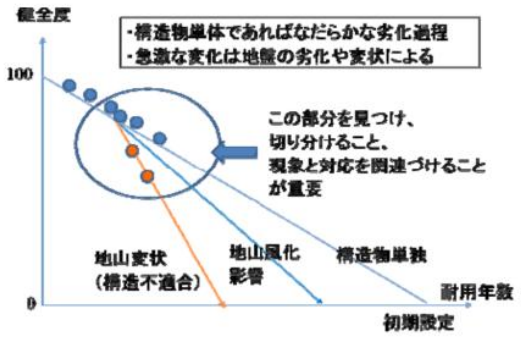
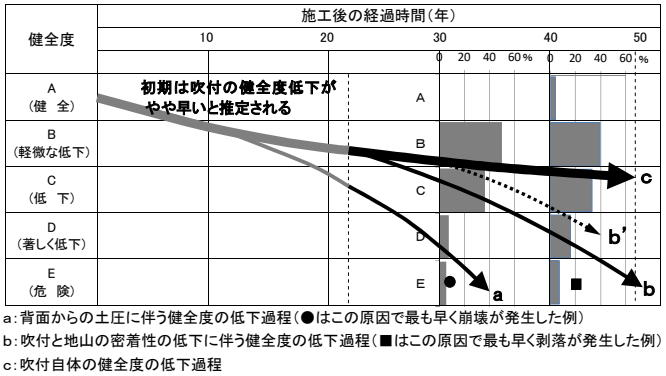


図 3.3.9 劣化曲線と点検の関連付け [6)]



a：背面からの土圧に伴う健全度の低下過程（●はこの原因で最も早く崩壊が発生した例）
b：吹付と地山の密着性の低下に伴う健全度の低下過程（■はこの原因で最も早く剥落が発生した例）
c：吹付自体の健全度の低下過程

図 3.3.10 研究ルートにおける模式的な劣化進行過程 [7)]

(3) 既存の吹付のり面の安定対策に関する留意点

1) 「経験のない気象」に伴う吹付のり面の不安定化

吹付のり面の安定性に対する「経験のない気象の常態化」による影響としては，以下のようなものが考えられる

① 豪雨や長期降雨に伴う背面地山の地下水位上昇による斜面全体の不安定化

② 地山浸透水の増大による地山風化の助長，吹付との密着部の風化と地山の流出・空洞化

③ 日射量の増大，寒暖差の拡大によるひび割れや表面剥離の進行，侵入植物の成長促進

設計時の想定を超える①による不安定化は，吹付のり面だけでなく，すべての斜面および斜面構造物に共通する。対策工を設置する際に，地下水位の上昇を配慮して排水工など地下水位上昇を抑制・防止する対策工を考える必要がある。既往施設の補強に関しても同様である。

一方で，「経験のない気象の常態化」による誘因の影響が大きくなってくると，構造物側の機能維持がますます重要となる。前述のような吹付のり面の劣化機構・モデルを考慮すると，日常的な維持管理や構造不適合のり面の早期抽出・対応が必要不可欠である。

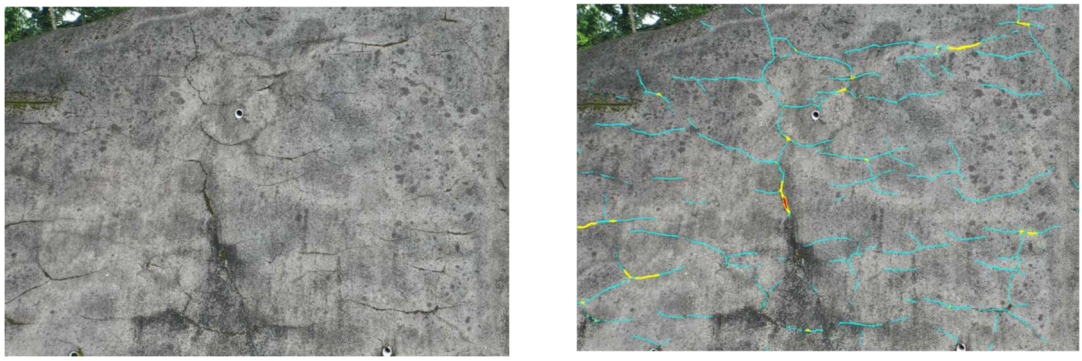
2) 日常的な点検と健全性の評価

吹付工は崩壊抑止効果をもたない構造物であるので，背面地山の安定を確保することが必要である。既設の吹付のり面は，直接地山の状況が確認できないという短所があるが，劣化機構や程度に応じて特徴的な変状が吹付面上に現れるので，変状を観察・評価することにより，背面地山の安定を推定する手掛かりを得られるというメリットがある。適切な方法で継続的に点検・評価を行うことにより，背面地山を巻き込む崩壊の発生防止に対して効果が期待できる。

変状の見方や評価方法については，多くの既存の基準類や文献 [9)など]に示されているので，それらを参考に点検・評価を行うことになる。しかし，吹付面上に現れる変状には様々なものがあり，その評価も経験による部分が大きいため，客観的な評価が難しいという課題がある。

このような状況に対し，デジタル技術を活用して変状を簡便かつ正確な方法で抽出し，得られたデータに基づいて客観的な評価を行う手法の開発が試みられている。図 3.3.11 は，吹付法面に現れるひび割れを検出する技術の概要を示したものである。UAV による撮影と写真測量技術によるのり面の三次元データ取得に加え，撮影された写真から画像解析技術および AI を用いてひび割

れを抽出し，その長さや開口度から危険度の評価をおこなうことを目指している。コンクリート構造物のひび割れ抽出技術はすでに実用化が進んでいるが，吹付のり面の場合は，表面の凹凸が大きいことや，経年劣化による汚れや苔の繁茂の影響，打ち継ぎ目地や植物など誤認要因が多いことなどから判別が難しかったが，実測値と AI による出力結果を比較し，撮影角度や距離などの測定要素と精度について検証が進められている。



a) 対象法面の写真　　b)AI を活用して抽出したひび割れ

図 3.3.11　AI を用いたひび割れの抽出例 [10)]

このほか，吹付背面空洞探査技術として用いられている熱赤外線映像法についても，UAV を使った撮影，得られた表面温度データから AI を活用した健全度や劣化状態の精度良い診断判定を目指す手法の研究が進められている[例えば 11), 12)]。今後さらに，デジタル技術の活用により得られる高精度かつ客観的なのり形状，表面温度，ひび割れ分布やその性状などの情報を用いて，総合的に吹付のり面の健全度を診断する手法の研究も進むものと考えられる。

これまで吹付のり面の健全性の判定は，点検結果から熟練者・専門家が経験に基づいて実施することが多く，客観的な評価が難しい，点検者や熟練技術者の減少が進んでいるといった問題があったが，AI などを用いてこれらの課題を解決し，より効率的に精度よく判定できるようになることが期待される。

3）構造物の補修技術（水の侵入の防止）

地山まで貫通するひび割れが吹付に発生すると，そこから雨水などが侵入し，吹付背面の地山表面の風化を助長する。ひび割れと侵入水の量に関する実験的検討がなされており，水平方向に延びるひび割れが，吹付背面へ多くの浸透水をもたらすことが示されている [13)]。通常，スライド現象や背面地山の風化によるすべりに伴い，のり肩やのり面末端部に水平方向のひび割れが生じる場合が多い。もともと風化に起因して生じる現象に加えて，さらに表面水が侵入しやすい条件がもたらされることになるため，早急に水の侵入を防止するような対策が必要となる（もちろん，スライド，背面地山の安定性確保のための対策も検討が必要である）。

ひび割れそのものを対象とした対策としては，ひび割れ充填工などが行われることが多い。しかし，吹付は日照や気温に連動して膨張収縮を繰り返しており，充填した材料が追随できずひび割れが再開口することも多い。ひび割れが多く発生し，ひび割れ充填工だけでは対応できない場合は，打替えや繊維補強モルタルによる増厚吹付工などの対策が採用される。しかし，これらの

対策は，施工にあたり大掛かりな機械設備が必要となり，ひび割れの補修だけを目的とする場合にはやや過剰な対策となる。

このような状況を受けて，軽微な設備で表面を被覆し表面の保護と防水を図る補修工法が開発されている（図 3.3.12）[14]。被覆材料として，従来用いられてきたモルタル・コンクリートに代わり，2 液混合型の瞬結硬化型ポリウレタン樹脂を用いる。顕著なひび割れや劣化部位にはあらかじめひび割れ充填工や断面補修工を行い，その表面を専用吹付ガンにより厚さ 2mm で材料を吹き付けて被覆する。樹脂材料を使用するため伸縮性が高く，高い防水性を得ることができる。長期耐久性についても確保できることが確認されている。これまでの増厚吹付工よりも軽微な機械で施工できることから，宅地など大きな施工スペースが取れない斜面などで，表面保護対策や部分的な補修を行う場合に適していると考える。まだ材料が高価であるなどの課題も残るが，簡便な補修工法の一つとして期待ができる。



a）吹付実施状況　　b）　吹付プラント

図 3.3.12　樹脂吹付工の状況

4）構造物の補修技術（吹付背面水の排出）

地山全体にわたる地下水の排出については，排水ボーリングなどの排水工の適用を検討する必要がある。既設の吹付のり面では，吹付背面の地山の風化や土砂流出を防ぐため，背面に侵入した水を広範囲に広がらないように速やかに排出させることが求められる。

吹付工では，一般に施工時に内径 40～50mm の塩ビパイプを 1 本／2～4m^2 程度の間隔で設置することになっているが，点検時には，土砂によるパイプ内の閉塞や，パイプを介して背面の土砂が流出しているケースが見られる。また，植物の侵入により目詰まりを起こしている場合もある。さらに，直接岩盤内に挿入することなく，背面地山に接する形で設置されているため，必ずしも地山内の水を効果的に排出しているとは限らない。

このような問題を解決するため，形状に工夫を加えた排水パイプが提案されている（図 3.3.13）[15]。内径を 11.7mm と小さくして，背面の土砂の流出を防ぎ，植物の侵入も抑制できる構造となっている。小径であるため，ハンマドリル等の軽量の削孔機で設置でき，必要な頻度で効率よく設置が可能である。また，先端に有孔区間を設け，この部分を地山内に挿入することにより，地山内の水を効率的に排出できるようになっている。モデル試験により，従来の塩ビパイプによる排水管よりも効率的に排水できることが確認されている。

大掛かりな排水工も必要ではあるが，日常的に維持管理を行い斜面構造物の機能を確保してい

くためには，このような軽微に行える対策を整備していくことも重要であると考えられる。

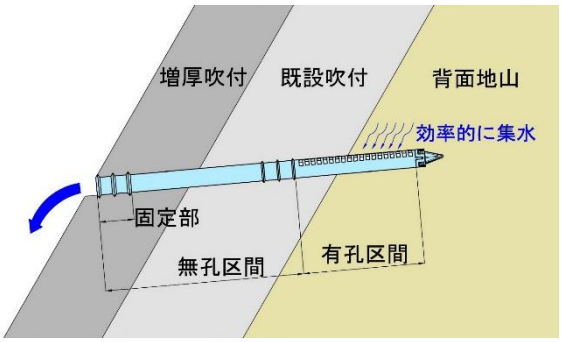


図 3.3.13　新型排水パイプの概要 [15)]

(4) おわりに

本報告では，斜面構造物のうち，既設の吹付のり面に焦点を当て，その構造物としての特徴から，「経験のない気象」に見舞われる環境下で防災を考える上での留意点と，それに対する取り組みについて示した。

想定外の異常気象や地震など，誘因側のインパクトが大きく変わりつつある。その現象・斜面の安定への影響を的確に把握するとともに，素因となりうる構造物の劣化・機能低下についても精度よく現状を捉え，そのうえで最適な対策を選定・適用することが重要となっている。そのための技術・手法確立のため研究・開発が期待される。

参考文献

1) 日本道路協会（2009）：道路土工　切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版）
2) のり面診断・補修補強研究会（2013）：吹付のり面の診断・補修補強の手引き（配布物），p.181.
3) 松山裕幸・天野淨行・山本高司（2006）：吹付コンクリートの安定性と劣化状況，土木学会論文集 F，Vol62，No.3，pp.445-458.
4) 多田直大・田山聡ほか（1991），長期追跡調査による切土のり面の風化進行と安定性，土と基礎，Vol.39，No.6，pp.41-47.
5) 大津宏康・赤城舞・松山裕幸・大谷芳輝（2006）：吹付コンクリート斜面の維持補修費評価に関する研究，土木学会建設マネジメント研究論文，Vol.8，pp.149-159.
6) 加藤俊二・佐々木哲也（2013）：吹付法面工の劣化モデルに関する一考察，第 48 回地盤工学研究発表会，pp.77-78.
7) 宇次原雅之・関晴夫・若井明彦・畠中優・江口喜彦・中野亮（2014）：既存の維持修繕記録を用いた吹付のり面の劣化機構と劣化予測に関する研究，－群馬県内の中古生層分布地域を例にして―，日本地すべり学会誌，51 巻 6 号，pp.221-232.
8) 宇次原雅之・若井明彦・畑中優・関晴夫（2014）：吹付のり面の劣化機構と劣化予測に関する検討事例，地盤工学会「斜面・法面の劣化モデルとＬＣＣ評価による斜面防災対策に関するシンポジウム」発表論文集，pp.57-62.
10) 日本道路協会（2024）：道路土工構造物点検必携（令和 5 年版），p.243.
11) 諏訪太紀・藤生慎・森崎裕磨・福岡知隆・石塚久幸・田中尚人・多田完人（2021）赤外線画像

を用いたモルタル吹付法面に存在する浮きの自動検出に関する基礎的分析－浮き部周辺の特徴量を考慮した検討―，AI・データサイエンス論文集，Vol.2，No.2，pp.251-260.
12) 石村直人・藤生慎・石塚久幸・田中尚人・福岡知隆・高山純一・塩崎由人（2019）: UAV に搭載した赤外線カメラと AI を用いたモルタル吹付のり面の劣化箇所の検出に関する基礎的研究，第 60 回土木計画学研究発表会講演集，pp.54-60.
13) 加藤俊二・佐々木哲也・梶取慎一（2015）: 吹付工の背面侵入水への巻込処理の効果に対する検討，土木学会第 70 回年次学術講演会概要集，pp.177-178.
14) 西田昂平・田中聡之・窪塚大輔・森清・篠原誠一郎（2022）: 吹付法面への超速硬化樹脂吹付の現場適用性評価と施工における課題，土木学会 77 回年次学術講演会講演概要集，III-386
15) 西田洋介・窪塚大輔・杉山友康（2022）: 吹付法面に適用する水抜きパイプの基礎的な検討，第 56 回地盤工学研究発表会，13-10-3-06

3.4 宅地擁壁に関する災害と対策

前節では宅地における斜面構造物全般を対象に，主に老朽化に伴う機能低下と維持管理上の留意点について述べた。本節では宅地において最も広く利用されている擁壁の諸問題とその対策例について述べる。

3.4.1 宅地擁壁における調査および対策の考え方

(1) 近年の宅地擁壁災害と対策の状況

宅地擁壁に初めて補強土が採用されたのは，1995 年兵庫県南部地震直後からである。神戸市では，宅地間が狭小で施工困難な中で既存宅地を支えながら擁壁復旧を行うために，当時建設省が委員会を組織して補強土工法の採用を認め「宅地擁壁復旧技術マニュアルの解説」[1)]を策定した。その後，2004 年新潟中越地震では，大規模盛土地盤の滑動崩落等があり，宅地地盤・のり面・自然斜面も追加して，調査から補修・補強工法選定まで網羅した「被災宅地災害復旧技術マニュアル（暫定版）― 新潟県中越地震対応 ―」[2)]を策定した。国土交通省では，2006 年に宅地造成等規制法が改正され，同時に「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン」[3)]を策定した。しかし，2011 年東日本大震災で多数の甚大な宅地被害が発生し，2015 年に「大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説（案）」[4)]に改訂された。

2016 年熊本地震では，「被災宅地災害復旧技術マニュアル」を熊本地震対応として改訂[5)]し，熊本地震による被災者向けに「宅地復旧のガイド」[6)]「被災宅地復旧の手引き」[7)]を策定して，戸建て住宅の復旧を行った。

令和 3 年，静岡県熱海市で大雨に伴って盛土が崩落し，大規模な土石流災害が発生したこと等を踏まえ，危険な盛土等を全国一律の基準で包括的に規制する「宅地造成及び特定盛土等規制法」（通称「盛土規制法」，令和 4 年 5 月 27 日公布）が，令和 5 年 5 月 26 日から施行された。

本項では，宅地擁壁における国土交通省において，地震，豪雨，経年劣化を対象に，事前の健全度調査・予防保全対策及び災害発生後の補修・補強設計の考え方や対策方法について以下に述べる。

(2) 近年の宅地擁壁の地震被害

2011 年（平成 23 年）東北地方太平洋沖地震や 2016 年（平成 28 年）熊本地震等においては，空石積擁壁（コンクリートで固めず石を積んだだけの擁壁）や，増し積み擁壁（既存擁壁の上部に空洞ブロックなどを増し積みした擁壁）などで多くの被害が発生した。このような宅地擁壁への予防対策を進めるためには，地方公共団体が変動予測調査を実施し，適切に応急対策を進めていくことが重要となる。国土交通省では，「宅地擁壁の健全度判定・予防保全対策マニュアル」[8)]において，この取り組みを支援している。

1) 1995 年兵庫県南部地震被害[9)]

1995 年 1 月 17 日に発生した淡路島北部を震源とするマグニチュード 7.3 の地震により，神戸市，宝塚市，西宮市を中心として図 3.4.1 (a)に示すような宅地擁壁被害が発生した。特に，神戸市においては，宅地造成等規制法に基づく改善勧告を受けた擁壁が約 1,700 箇所程度にのぼるなど甚大な被害が発生した。これら被害を受けた宅地擁壁の多くは「宅地造成等規制法適用前」の擁壁であり，その被災箇所数や被災程度が大きなものとなった。

2）2004 年新潟中越地震被害 [10)]

2004 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地方を震源とするマグニチュード 6.8 の地震により，川口町，十日町，小千谷市等の 14 市町村の宅地で図 3.4.1 (b)に示すような大規模な被害を発生した。被害を受けた宅地擁壁の構造は，玉石やブロックによる空石積擁壁や二段擁壁，また増し積み擁壁など一般に不安定な構造となるものが多く，崩壊・崩落や大きなクラック，傾斜などの被害が発生した。また，被害を受けた宅地擁壁の多くは水抜き孔が設置されていなかった。

3）2011 年東北地方太平洋沖地震被害 [11)]

2011 年 3 月 11 日に発生した三陸沖の太平洋を震源とするマグニチュード 9.0 の地震により，東北・関東地方の広い範囲において，図 3.4.1 (c)に示すような宅地盛土の崩壊や擁壁の損傷などこれまでにない甚大な被害が発生した。特に，宮城県仙台市の盛土造成地では宅地擁壁の被害が顕著であり，宅地地盤の滑動すべりに伴う宅地擁壁の崩壊・崩落や大きなクラック等が発生した。

4）2016 年熊本地震被害 [12)]

2016 年 4 月 14 日及び 4 月 16 日に発生した熊本地震では，2 回にわたる震度 7 の強い揺れに伴い，熊本市，益城町，西原村，南阿蘇村，大津町等において図 3.4.1 (d)に示すような大規模盛土造成地の滑動崩落，宅地擁壁の傾斜・倒壊及び崩壊など，広範囲に数多くの宅地被害が発生した。これら被害を発生した宅地擁壁の構造の多くは，空石積擁壁や増し積み擁壁等，技術基準を満たしていない擁壁であった。また，高さ 3m 以下の宅地擁壁の多くに被害が発生した。



(a) 1995 年兵庫県南部地震



(b) 2004 年 新潟中越地震



(c) 2011 年東北地方太平洋沖地震



(d) 2016 年熊本地震

図 3.4.1　宅地擁壁の地震被害

5）擁壁の被害状況

図 3.4.2 は，兵庫県南部地震による宅地擁壁被災 1,085 件，新潟県中越地震による宅地擁壁被災

561 件，東北地方太平沖地震による宅地擁壁被災 6,699 件，簡易判定を除いた熊本地震による宅地擁壁被災 4,043 件を，被災宅地擁壁の種類と割合を 4 つの震度 7 の地震について整理したものである。

熊本地震の被災宅地擁壁の種類は，空石積擁壁 29%，練石積擁壁 29%，コンクリート系擁壁 20%，増積擁壁 15%，二段擁壁 7%で，空石積および練石積が約 1/3，コンクリート系が約 1/5 を占めている。空石積擁壁は，新潟中越地震でも 20%を占め，非常に地震に弱い構造であることが分かる。図 3.4.3 は上記 4 つの地震に新潟県中越沖地震と長野県北部地震を加え，被災宅地擁壁の種類と被災件数を 6 つの地震について整理したものである。熊本地震では空石積擁壁の被災件数が非常に多いのが特徴といえる。また，兵庫県南部地震と東北太平洋沖地震では増積擁壁が多いことが特徴といえる。

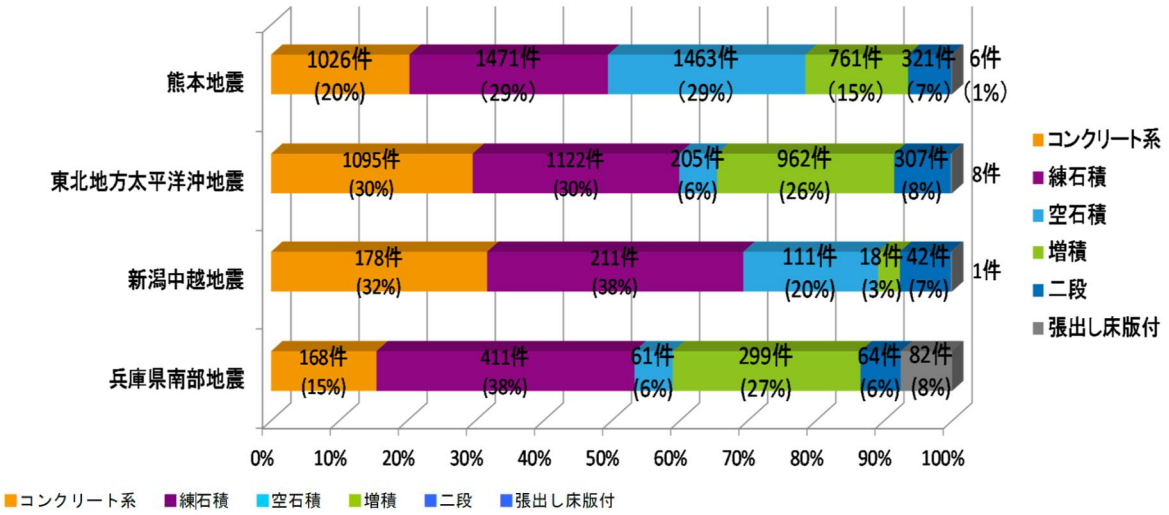


図 3.4.2　被災宅地擁壁の種類と割合 [12)]

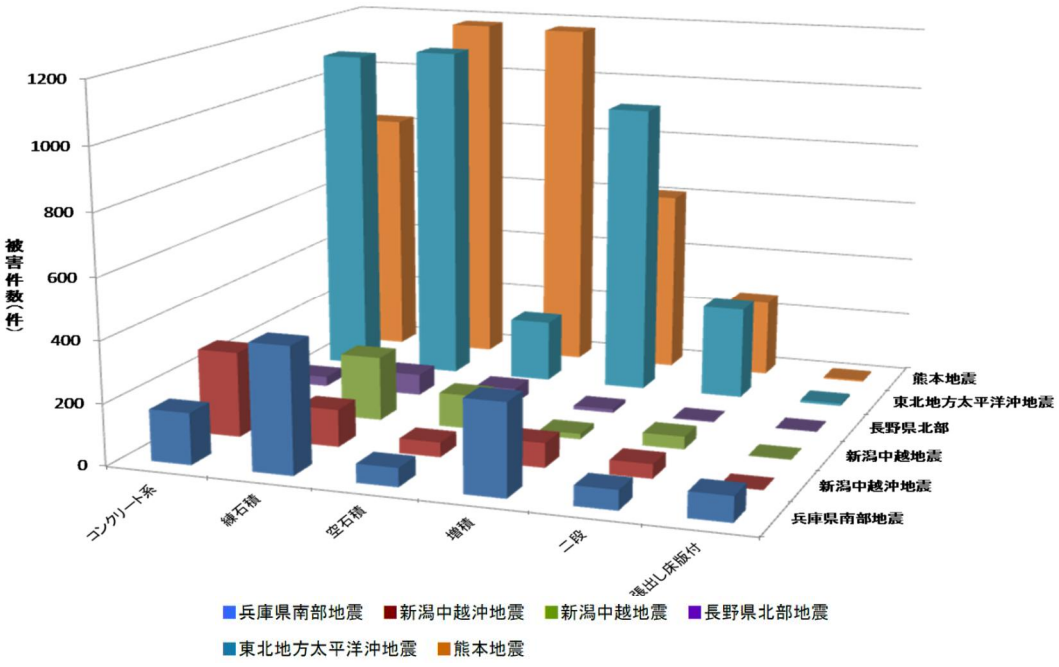


図 3.4.3　被災宅地擁壁の種類と被災件数 [12)]

一方，図 3.4.4 は被災宅地擁壁の変状項目と被害件数を，前述した 6 つの地震について整理したものである。兵庫県南部地震では変状項目としてはクラックが圧倒的に多い。変状項目と被害件数の関係は，東日本大震災と熊本地震で類似しているものの，熊本地震では傾斜・倒壊および崩壊の被害が圧倒的に多い点が東日本大震災と異なる。熊本地震では地震動の加速度振幅がきわめて大きく，かつ空石積擁壁が多いことがその理由と考えられる。

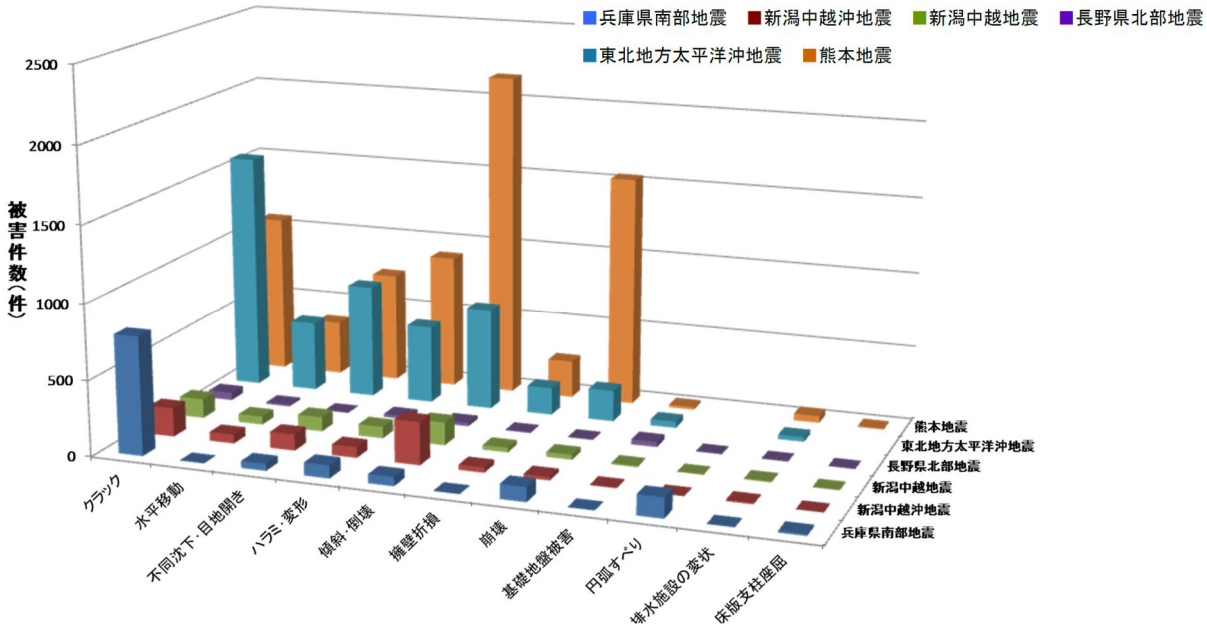


図 3.4.4　被災宅地擁壁の変状項目と被害件数 [12)]

(3) 近年の宅地擁壁の豪雨被害

1) 2020 年神奈川県逗子市の被害

2020 年 2 月 5 日に神奈川県逗子市池子で図 3.4.5 (a)に示すようなに示すような土砂崩壊が発生し，高校生 1 名が亡くなった。

2) 2021 年大阪府西成区の被害

2021 年 6 月 25 日に大阪市西成区の住宅地で図 3.4.5 (b)に示すような擁壁が崩壊し，2 棟（計 4 戸）の住宅が崖下へ次々に崩落した。空石積擁壁の裏込め土が流失して空洞化し，擁壁上部が座屈したと推定する。被害が生じた箇所は，「上町台地」と呼ばれる，大阪市を南北約 12km にわたって貫く丘陵地斜面に盛土された地盤である。

3) 2022 年横浜市中区打越の被害

2022 年 5 月 1 日午前 2 時 20 分に神奈川県横浜市中区打越地区の一部で豪雨により図 3.4.5 (c)に示すようなブラフ擁壁が崩壊したため高さ 10m，幅 10m，奥行き 3m の土砂流出が発生し，土砂災害警戒のため付近に住む 8 世帯 19 人に警戒レベル 4 にあたる避難指示を出した。

4) 2023 年横浜市保土ケ谷の被害

2023 年 2 月 10 日午後に，横浜市保土ケ谷の住宅地で図 3.4.5 (d)に示すようなコンクリート土留め擁壁が崩壊し，12 世帯の避難指示が出た。崩壊部分はコンクリートの土留壁，その下は建築ブロックを用いた擁壁，更に建物の下部はコンクリートの土留壁擁壁が傾斜している。今後，地震が来たら崩壊の恐れがある。

5）2023 年東京都世田谷区の被害

2023 年 2 月 13 日の午後に世田谷区成城の道路沿いの工事現場で，図 3.4.5 (e)に示すようなコンクリート製の土留め擁壁が崩壊した。現地は「国分寺崖線」と呼ばれる台地斜面の崖際での掘削工事の影響である。



(a) 2020 年神奈川県逗子市



(b) 2021 年大阪府西成区



(c) 2022 年横浜市中区打越



(d) 2023 年横浜市保土ケ谷



(e) 2023 年東京都世田谷区



(f) 2023 年川崎市宮前区



(g) 2023 年北海道登別市美園町

図 3.4.5　宅地擁壁の豪雨等の被害

6）2023 年川崎市宮前区の被害

2023 年 6 月 2 日の午後に川崎市宮前区馬絹の道路沿いの一部で豪雨により図 3.4.5 (f)に示すようなブラフ擁壁が崩壊した。住宅の敷地の擁壁高さ 5m，幅 20m ほどにわたって崩れ落ち，流れ出た土砂が道路の半分ほどをふさいだ。

7）2023 年北海道登別市美園町の被害

2023 年 6 月 10 日に北海道登別市美園町で図 3.4.5 (g)に示すような腹付け盛土上にある擁壁が崩壊した。住宅の間にある擁壁が約 26mに渡って崩れ，市はさらに崩れる恐れがあるとして周辺の 21 世帯に避難指示を出した。

（4）宅地擁壁の健全度判定

1）健全度判定の基本的な考え方

宅地擁壁の健全度判定は，主に目視調査によることを基本とし，近い将来，擁壁倒壊などによって宅地地盤に重大な影響を与えるか否かの観点で実施する。

2）基礎点項目

基礎点は，宅地擁壁の健全度を事前に判断するための主な項目としている。

a）地盤条件

湧水（湿潤・しみ出し・流出等も含む）の量と変状量は相関性が高い。擁壁表面の湧水（浸潤・にじみ出し・流出等も含む）状況をI・II・IIIに分類し，配点を行う。

b）構造諸元

①排水施設等

排水施設，水抜き穴の不具合による地下水位の上昇は擁壁の劣化に大きな影響を及ぼす。水抜き穴及び排水施設の状況をI・II・IIIに分類し，配点を行う。

②擁壁高さ

擁壁の高さと，その変状量は相関性が高い。擁壁高さについては 1m を超えるものを対象とし，その最大地上高さに応じて配点を行う。

c）障害状況

障害状況は①排水施設の障害，②劣化障害，③白色生成物障害について異常なし，障害 A・B・C 分類し，配点を行う。

3）基礎点項目と配点

擁壁の基礎点は，表 3.4.1 により配点を行う。この際，基礎点の配点は，環境条件の最大点(a)と障害状況の最大点(b)の加点〔(a)＋(b)〕とする。

4）変状点項目と配点

宅地擁壁の変状の形態は，各種擁壁の種類にかかわらず同様の項目に整理し，変状の程度を以下のように 3 つに分類する。

①小変状：変状を生じているが，その部分を補修することにより，その機能が回復するもの（使用限界状態）。

②中変状：被災を受けており，補修または部分的な改修によりその機能が回復するもの（損傷限界状態）。

③大変状：致命的な打撃を受け，その機能を失っているもの。また，復旧には全体の改修を要

するもの（終局限界状態）。

宅地擁壁の変状点は，表 3.4.2 のとおり配点する。この際，宅地擁壁の変状点項目の配点は，最大点を採用する。

表 3.4.1　擁壁の基礎点項目と配点表 [8)]

区分			項目	分類	配点	備考
基礎点	環境条件 (a)	地盤条件	湧水	Ⅲ	0	擁壁背後地盤からの擁壁表面に対する湧水程度を示したものである。
				Ⅱ	0.5	
				Ⅰ	1.0	
		構造諸元	排水施設等	Ⅲ	0	空積み擁壁の場合は、背面排水施設の設置状況のみについて区分する。
				Ⅱ	1.0	
				Ⅰ	2.0	
			擁壁高さ	1m＜H≦3m	0	H：擁壁の最大地上高さ
				3m＜H≦4m	1.0	
				4m＜H≦5m	1.5	
				5m＜H	2.0	
	障害状況 (b)		排水施設の障害	異常なし	0	天端排水溝のずれや水抜き孔の詰まりなど、排水施設の機能障害状況を示している。
				障害A	0.5	
				障害B	1.0	
				障害C	1.5	
			劣化障害	異常なし	0	練石積み造擁壁は、風化、湧水等による侵食程度の劣化状況を示している。また、重力式及び鉄筋コンクリート擁壁は、アルカリ骨材反応の全面劣化及び当該の端面劣化状況を示している。
				障害A	0.5	
				障害B	1.0	
				障害C	1.5	
			白色生成物障害	異常なし	0	練石積み造擁壁は裏込コンクリートのクラックによる白色生成物を示している。また、重力式及び鉄筋コンクリート擁壁は、コンクリートの背面からのクラックによる白色生成物の析出を示している。
				障害A	0.5	
				障害B	1.0	
				障害C	1.5	

表 3.4.2　宅地擁壁の変状点項目と配点表 [8)]

区分	項目＼程度 擁壁種類	小変状						中変状						大変状					
		鉄筋コンク	重力式コンク	練石積み	増積み	二段	張出し	鉄筋コンク	重力式コンク	練石積み	増積み	二段	張出し	鉄筋コンク	重力式コンク	練石積み	増積み	二段	張出し
変状点	擁壁 縦クラック	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
	コーナー部クラック	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
	水平移動	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
	横クラック	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
	不同沈下	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
	目地の開き	3.0		4.0	4.5	5.0	5.5	4.5		5.5	6.0	6.5	7.0	6.0		7.0	7.5	8.0	8.5
	ふくらみ			4.5	5.0	5.5	6.0			6.0	6.5	7.0	7.5			8.0	8.5	9.0	9.5
	傾斜・折損	4.0	4.5	5.0	6.0	6.5	7.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	9.5
	鉄筋の腐食 ※2)	4.5			6.0	6.5	7.0	6.0			7.5	8.0	8.5	8.0			9.5	10.0	10.0
	張出し床版付擁壁の支柱の損傷						8.0						9.0						10.0
	空石積み擁壁の変状	5.0						6.5						8.0					

5）健全度の判定区分

宅地擁壁の健全度の判定は，以下の式のように表 3.4.1 の基礎点に加え表 3.4.2 の変状点の最大点を加算し，表 3.4.3 に示す健全度判定区分により行うものとする。

健全度の判定＝基礎点＋変状点

表 3.4.3　宅地擁壁の健全度判定区分 [8)]

基礎点＋変状点	健全度 判定区分	判定内容※
5.0 点未満	高	小さなクラック等の変状を必要に応じて補修し、雨水の浸透を防止すれば、当面の危険性はないと考えられる宅地擁壁である。
5.0 点以上 ～9.0 点未満	中	変状程度の著しい宅地擁壁であるが、必要に応じて補修を実施したうえで、経過観察で対応する。その結果、変状が進行性のものとなった場合は継続的に点検を行うものとする。また、変状等の内容及び規模により、必要に応じて勧告・改善命令の発令を検討し、予防保全対策の必要性についても検討を行う必要がある。
9.0 点以上	低	変状等の程度が特に顕著で、危険な宅地擁壁である。早急に所有者等に対しての勧告・改善命令の発令を検討する必要があり、予防保全対策を行うとともに、周辺に被害を及ぼさないよう指導する。

(5) 宅地擁壁の補修・補強対策

1) 宅地擁壁の予防保全対策工

宅地擁壁の予防保全対策工は,「(4)宅地擁壁の健全度判定」で判定した健全度判定区分に基づき,次の擁壁の種類に応じて選定する。地震や豪雨で変状や崩壊したものも同様である。

①擁壁再構築 : 宅地擁壁を全面的または部分的に解体・撤去し，宅地造成等規制法または建築基準法の技術基準に適合する新しい擁壁（以下，適合擁壁）を，改めて築造する対策工。

②擁壁補強工 : 既存の宅地擁壁の強度を高め，適合擁壁と同等以上に機能回復または機能向上を図る対策工。

③擁壁補修工 : 宅地擁壁の変状を部分的または全面的に手当し，変状進行防止あるいは変状が生じる前の状態程度まで機能回復を図る対策工。

宅地擁壁の予防保全対策工の代表的な工法としては表 3.4.4 に示すものが挙げられる。なお，これらの工法と同等の効果が得られる新工法等を適用することを妨げない。

表 3.4.4　宅地擁壁の予防保全対策工とその工法例 [8)]

予防保全対策工	予防保全対策工法の例
擁壁再構築	練石積み造擁壁工法、鉄筋コンクリート擁壁工法（L 型・逆 T 式等）、重力式コンクリート擁壁工法　など
擁壁補強工	グラウンドアンカー工法、地山補強土工法、網状鉄筋挿入工法、杭工法、固結工法　など
擁壁補修工	目地詰め工法、沿打工法、法枠工法、吹付工法、軽量盛土工法、ネット補強工法　など

2) 宅地擁壁の補修対策

部分的な石積擁壁の中抜けや，擁壁に発生したひびわれの規模が小さい（2mm 以下）など，擁壁の変状程度が小さい場合は，練石積みの積み直しや，ひびわれの目地詰め・エポキシ樹脂充填などの補修を行う。

3） 宅地擁壁の補強対策

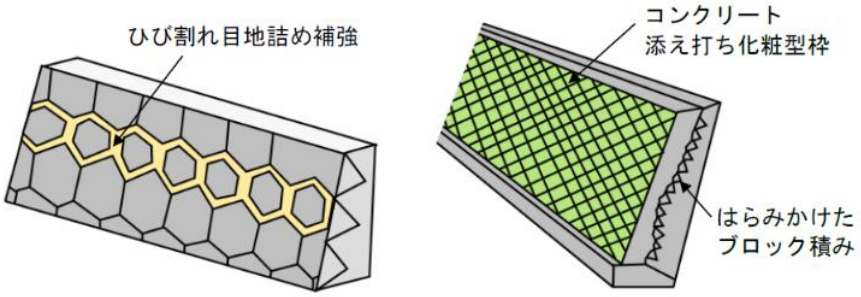
宅地擁壁の上端と建物との間に十分な距離が取れない場合や，下端に工事用の作業スペースが確保できない場合は，図 3.4.6 に示すような補強工法を検討する。なお，擁壁が道路に面する場合，補強方法によっては道路へ擁壁が突出する恐れがあるので注意が必要である。

(a)擁壁補修工法：局所的な補修により，擁壁の機能を回復させる対策工法で，ひびわれ補修や部分補修等がある。

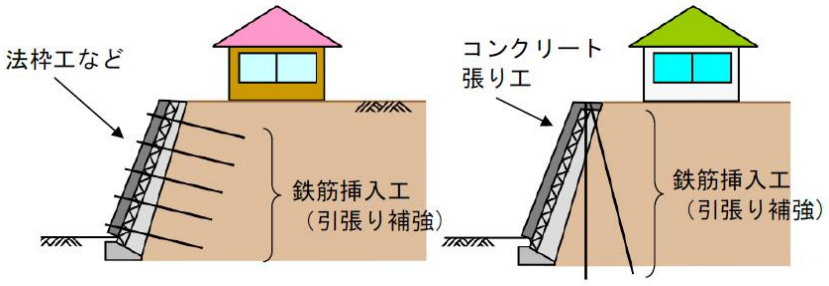
(b)地山補強土工法：既設の擁壁等を鉄筋などで補強する工法である，擁壁全面に吹付法枠等を設置して補強材を打設し，地震に対する安全性を確保する対策工法である。

(c)固 結 工 法：擁壁支持力を補強すること，擁壁背面土圧を受け止めること，地盤変形を抑止することを目的に，擁壁基礎地盤もしくは，背面地盤を地盤改良により固化する対策工法である。

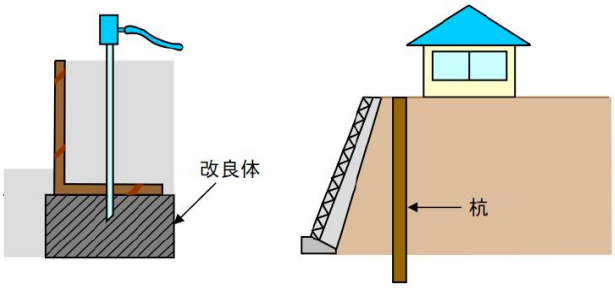
(d)抑制杭工法：擁壁背面部に H 鋼杭，鋼管杭等を打設して，擁壁背面土圧を受け持つとともに，地盤変形を抑止する対策工法である。



(a) 擁壁補修工法



(b) 地山補強土工法



（c） 固結工法　　(d) 杭工法

図 3.4.6　対策工法イメージ図 [4)]

(6) 宅地擁壁のまとめ

宅地擁壁における補強の考え方と補修・補強技術対策について述べた。今後，宅地構造物の老朽化状況の常時及び災害時の点検調査による健全度評価方法を確立して，老朽化状況に応じた補修・補強対策または計画的かつ効率的なモニタリングを実施する必要がある。

参考文献

1) 宅地防災研究会（1995）：宅地擁壁復旧技術マニュアルの解説，ぎょうせい出版
2) 国土交通省・新潟県（2004）：被災宅地災害復旧技術マニュアル（暫定版）― 新潟県中越地震対応 ―【本編】【参考資料編】，http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/04/041227_3/02.pdf
3) 国土交通省（2008）：大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン
4) 国土交通省（2015）：大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説
5) 熊本県・熊本市（2017）：宅地復旧のガイド～熊本地震による変状者の皆さまへ～
6) 熊本県・熊本市（2017）：変状宅地復旧の手引き～熊本地震による変状者の皆さまへ～
7) 国土交通省・熊本県・熊本市（2017）：被災宅地災害復旧技術マニュアル～熊本地震対応～
8) 国土交通省（2022）：宅地擁壁の健全度判定・予防保全対策マニュアル
9) 沖村，二木，岡本，南部（1999）：兵庫県南部地震による宅地擁壁被害の特徴と原因，土木学会論文集，No.637/VI-45，pp.63-77.
10) 橋本隆雄，宮島昌克（2005）：2004 年新潟県中越地震における宅地被害分析と今後の宅地対策，地震工学論文集，28 巻，p.133.
11) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会：東日本大震災合同調査報告 共通編 3 地盤災害
12) 橋本隆雄，松下一樹（2018）：2016 年熊本地震による被災宅地擁壁の被害分析，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），No.74，No.4（地震工学論文集第 37 巻），I_522-I_533.

＜参考資料＞

既存宅地擁壁の顕著な事例である広島県の A 宅地の事例を以下に示す。

国土交通省「宅地擁壁の健全度判定・予防保全対策マニュアル」（令和 4 年 4 月）では，以下のように記載されている。

擁壁の種類については表 3.4.5 のように分類される。このうち，**④～⑦は宅地造成等規制法等の技術的基準に適合しない，いわゆる不適格擁壁**であり，構造の一体性や安定性が低く危険であることから，地震や大雨直後に変状の進行や新たな変状の有無を確認することが望ましい。

①練石積み造擁壁
②重力式コンクリート擁壁
③鉄筋コンクリート擁壁（プレキャストを含む）
④空石積み擁壁（野面石積み・玉石積み等を含む）
⑤増積み擁壁
⑥二段擁壁
⑦張出し床版付擁壁

対象の宅地擁壁は, 図 3.4.7 (a)に示すように既存不適格で, 高さ 5m 以上の二段の空石積擁壁で, しかも上部はさらにＬ型擁壁に建築ブロックが載っている増積み擁壁で非常に耐震性能が無い非常に危険な状況である。現在の下部擁壁は，植栽が繁茂していることから，地下水位が高いことがわかる。また，図 3.4.7 (b)に示すように隣接している同じ地盤で 60 年前に築造された擁壁が崩壊していることから，同年代に作られた擁壁は同様に崩壊することが想定される。現在，擁壁の築石の隙間が広がっていることから，はらみ現象が生じていると推測される。図 3.4.8 は変状位置図で，図 3.4.9 は石積擁壁の各エリアの断面図である。

擁壁の前面には植栽が繁茂していることから，3D スキャンデータ計測を行った。図 3.4.10～図 3.4.12 は北側・中央部・南側の立面図（変状図）で，変状が生じていることが分かる。図 3.4.13 は石積擁壁クラックで，図 3.4.14 は擁壁天端のアスファルト舗装のクラックである。

現況の石積勾配は，高さに関わらず一律勾配の 1:0.36 である。しかし，背後の地盤は花崗岩から強風化真砂土へ変化しており，表 3.4.6 の花崗岩類に対する標準のり面勾配に示すように，のり高が高いため標準切土勾配は 1:1.2 となる。このため，現状の石積擁壁は，今後の南海トラフ地震や豪雨により崩壊する危険性が高い。



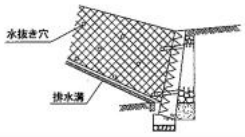
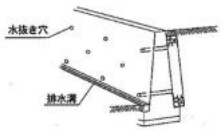
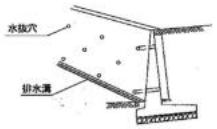
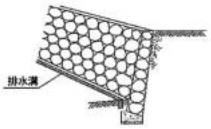
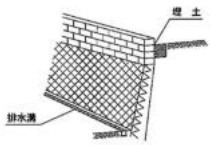
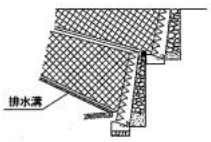
(a) 下部擁壁に植栽が繁茂している



(b) 隣接擁壁が崩壊している

図 3.4.7　宅地擁壁の状況

表 3.4.5　擁壁の種類

	種　類	概要図	写真
①	練石積み造擁壁		
②	重力式コンクリート擁壁		
③	鉄筋コンクリート擁壁 （プレキャストを含む）		
④	空石積み擁壁 （野面石積み・玉石積み等を含む）		
⑤	増積み擁壁		
⑥	二段擁壁		
⑦	張出し床版付擁壁		

（写真①③⑥⑦の出典：被災宅地の調査・危険度判定マニュアル、被災宅地危険度判定連絡協議会、令和３年９月）

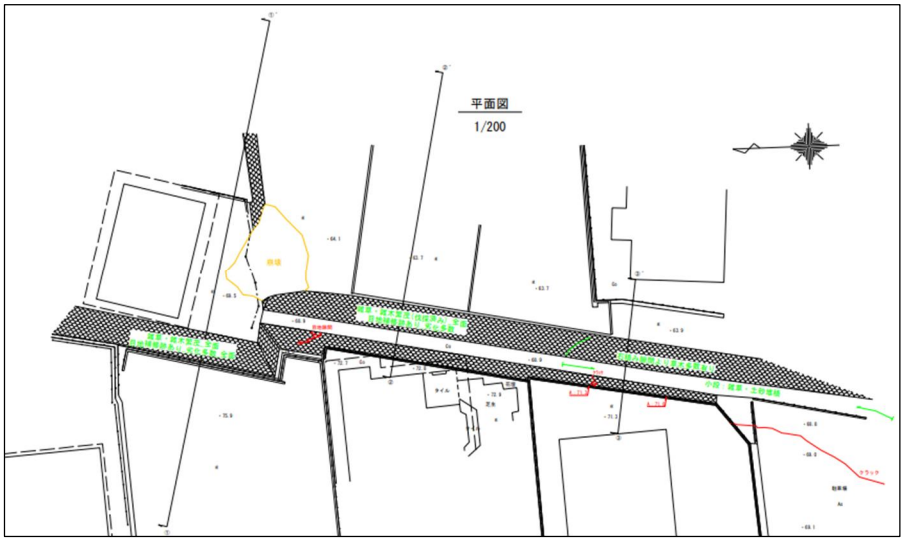
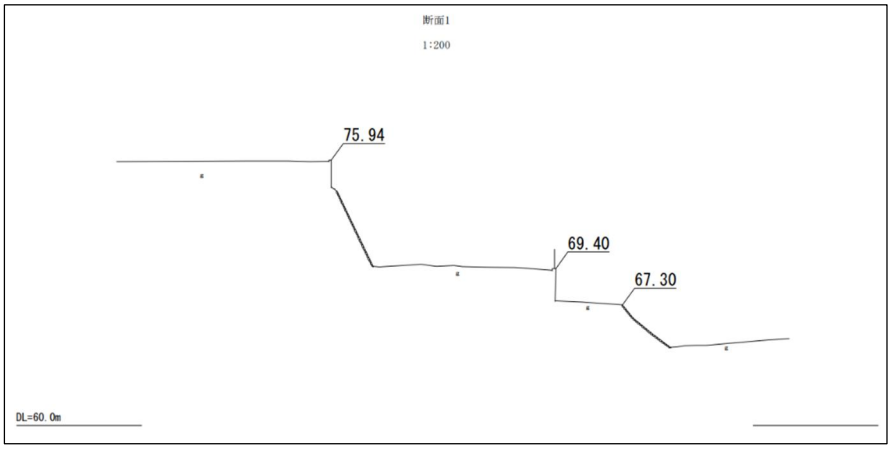
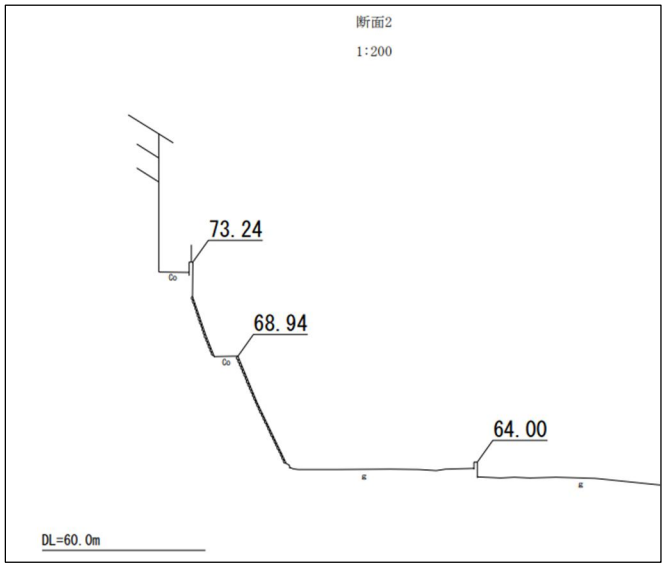


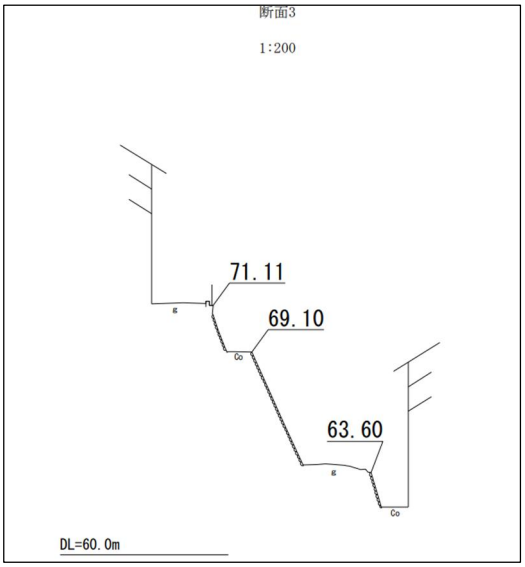
図 3.4.8　変状位置図



(a)断面①－①´



b)断面②－②´



(c)断面③－③´

図 3.4.9　石積擁壁の断面図

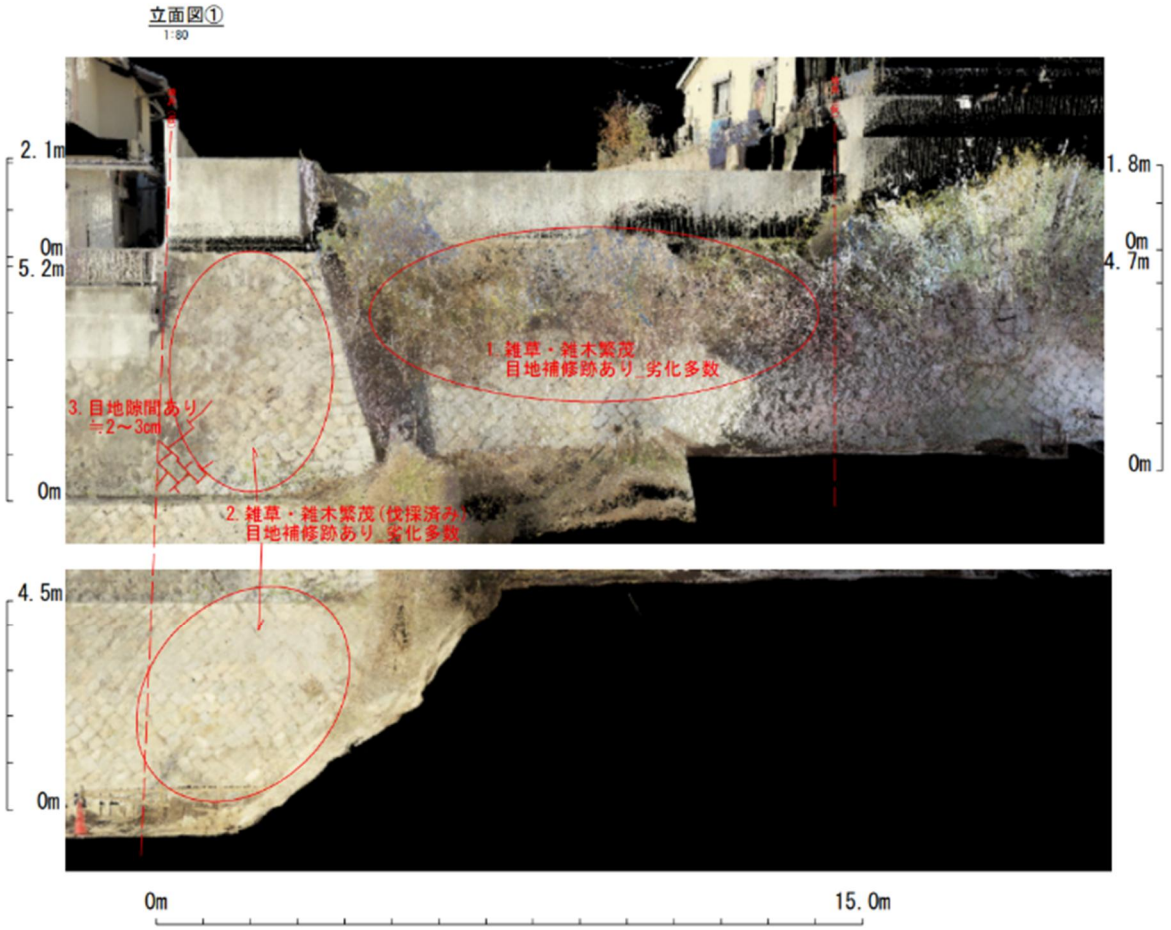


図 3.4.10　北側の立面図(変状図)

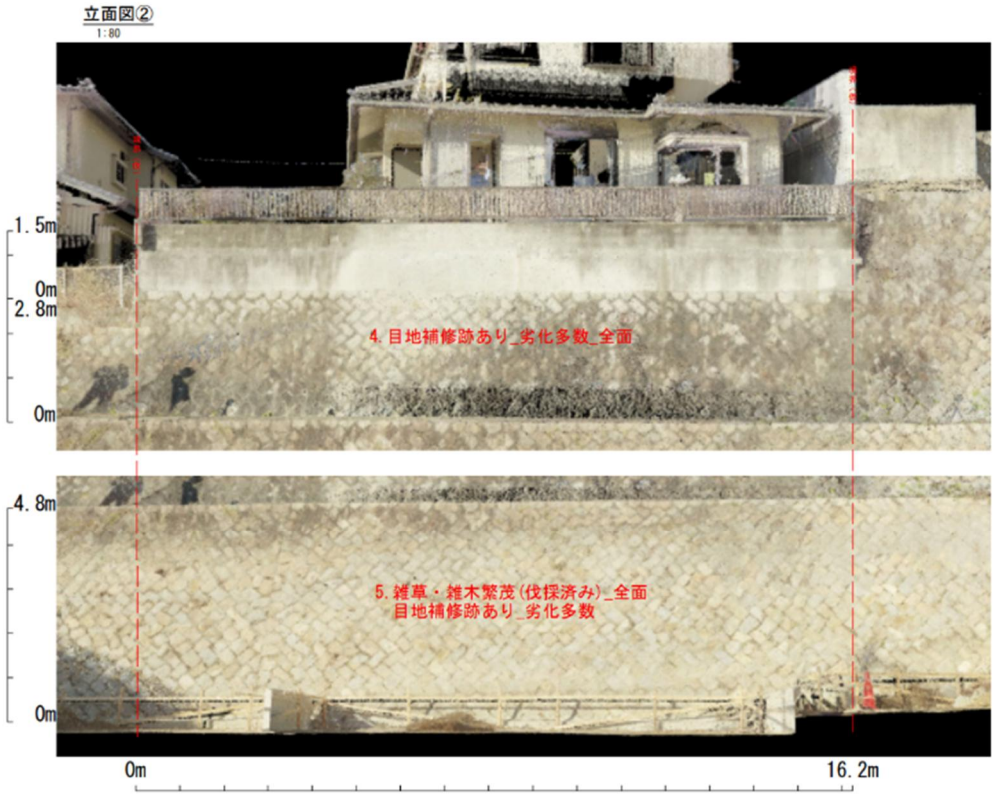


図 3.4.11　中央部の立面図(変状図)

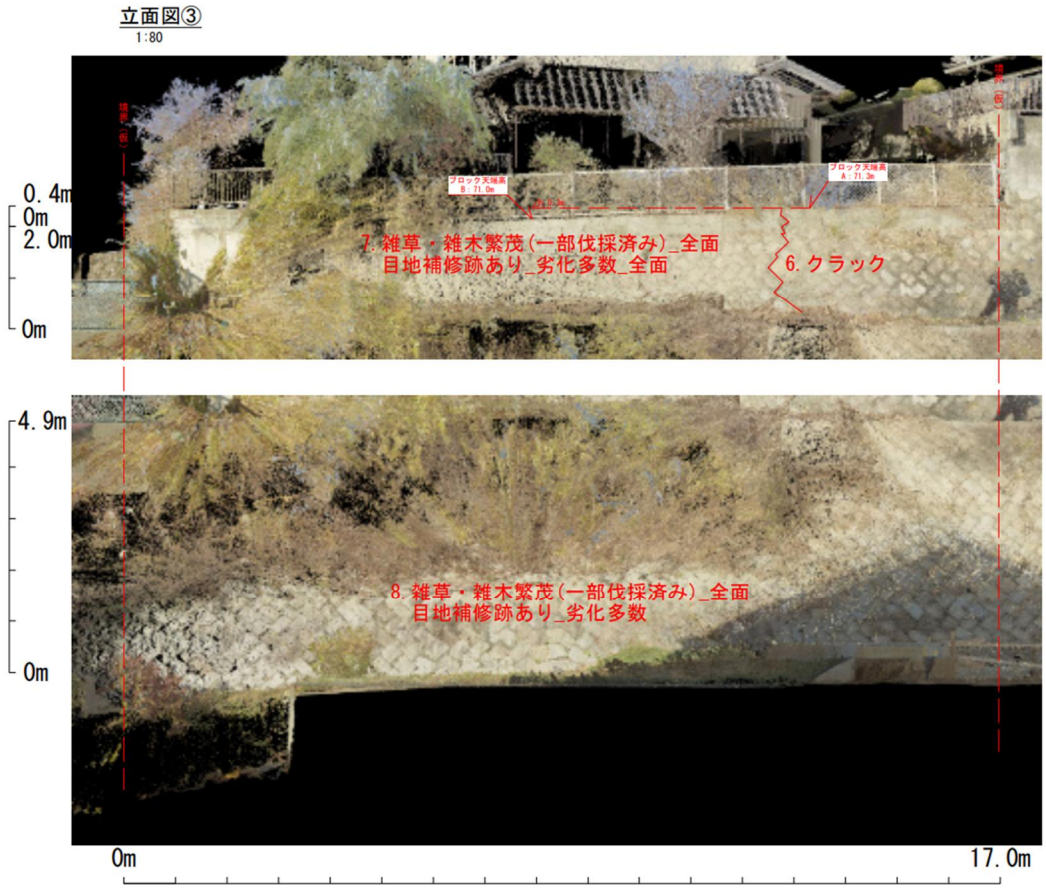


図 3.4.12　南側の立面図(変状図)



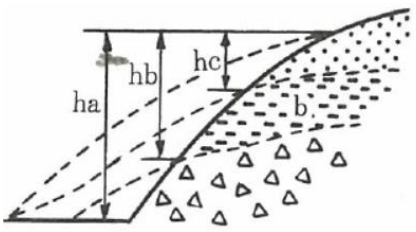
図 3.4.13　石積擁壁クラック



図 3.4.14　擁壁天端のアスファルト舗装のクラック

表 3.4.6　花崗岩類に対する標準のり面勾配 [1)]

岩盤区分	地盤の状況						のり高とこう配(m)				
	従来の岩区分		風化状況		ボーリングコア状況	地山での弾性波速度(P波)	0 10	20	30	50	
まさ状風化岩	D	D_L D_H	土砂軟岩	まさ	砂状	km/s 0.4～1.1	1.0 ～ 1.2	1.2 ～ 1.5	1.5 ～ 1.8		
風化花崗岩	C	C_L	極軟岩	まさに近くなった岩で，割目の少ないもの及び割れ目が密集した岩	砂状 ～ 細片状	1.1～1.5	0.6 ～ 0.8	0.8 ～ 1.0	1.0 ～ 1.2	1.2 ～ 1.5	
弱風化花崗岩		C_M	軟岩	岩芯まで黄褐色に変質した岩。節理が発達する。	角レキ状 ～ 短棒状	1.5～2.3	0.4 ～ 0.6	0.6 ～ 0.8	0.8 ～ 1.0	1.0 ～ 1.2	1.2 ～ 1.5
未風化花崗岩		C_H	硬岩	大部分が新鮮な岩塊から成り，塊状に節理が発達する。	棒状	2.3以上	0.3 ～ 0.4	0.4 ～ 0.6		0.6 ～ 0.8	
		B									
		A									



のり高と岩区分
岩区分 a に対するのり高：ha
岩区分 b に対するのり高：hb
岩区分 c に対するのり高：hc

参考文献

1)　東・中・西日本高速道路株式会社（2024）：設計要領第一集（土工保全編）.

3.4.2　宅地盛土擁壁部の損傷と対策例

(1) 被災した宅地盛土擁壁の状況と被災時の再現解析 [1)]

平成 23 年の東北地方太平洋沖地震で被災した宅地擁壁の一例 [2)]を以下に示す（図 3.4.15)。



図 3.4.15　地震による宅地擁壁の被災例 [2)]

この宅地擁壁の被災箇所は大規模盛土造成地となるが，滑動崩落が発生した範囲外に位置する。被災した宅地（ブロック積）擁壁は高さが 2.4m 程度と低く，擁壁中段がはらみ出すような被災状態となっており，擁壁がはらみ出す変形モードは擁壁高さが低い場合においても発生することが確認された。また，被災した宅地（ブロック積）擁壁はブロックの抜け出し部分にコンクリートが確認できなく，空積み擁壁であったと想定され，裏込め土には礫が多く混入している様子が確認された。

被災状況を再現するために被災前の盛土や擁壁形状を確認し（図 3.4.16)，動的 FEM 解析モデルを作成した。なお，作成した解析モデルは過去の遠心載荷模型実験の再現解析 [4)]で得られた知見等を参考に，ブロック部に細かくジョイント要素を設定した（図 3.4.17 参照)。また，動的 FEM 解析の諸定数は，対象擁壁周辺で実施された地質調査結果を元に，試験結果のばらつきを考慮して整理し，整理結果による推定値や一般値を用いて現地状況を可能な限り再現した。地震動は対象擁壁周辺の強震観測点の観測結果を収集・整理して設定した。

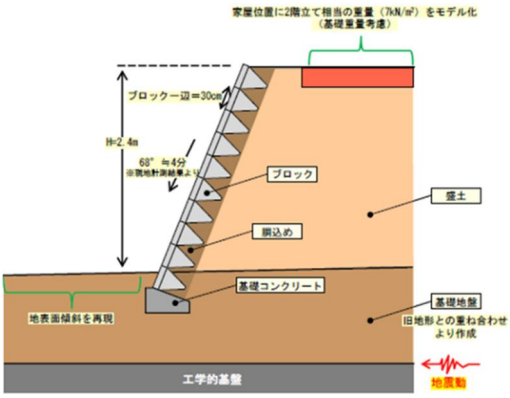


図 3.4.16　対象擁壁のモデル化

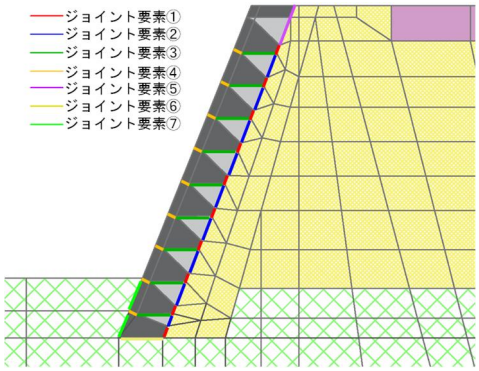


図 3.4.17　ジョイント要素の設定

解析の結果，被災時の写真と同様にブロック積擁壁の中段がはらみ出すような変形が発生したが，当初の解析結果では，実際の被災状況と比較して水平変位量が小さい結果となった。そこで，盛土やジョイント要素の定数を変えたパラメータスタディを実施し，被災時の写真と同様な変位量が発生する被災状況を再現した。なお，当箇所のブロック積擁壁においては，動的 FEM 解析によるパラメータスタディから，ブロック積擁壁の水平変位量は，擁壁背面盛土部の粘着力 c の影響が大きいことを把握した。

また，再現解析より，ブロック積擁壁部が前面方向にはらみ出した結果，擁壁背面の宅地盛土部に最大 15cm 程度の沈下が発生し，擁壁背面の宅地面の傾斜が大きくなることが把握された（図 3.4.18 参照)。また，擁壁背面のせん断ひずみが増加する範囲は，擁壁下端から約 37°の範囲になり，これは地震時土圧（試行くさび）の最大範囲と概ね類似することが把握された（図 3.4.19 参照)。

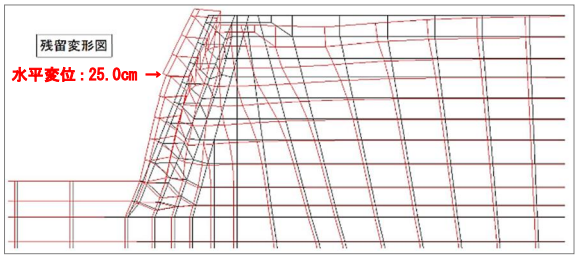


図 3.4.18　残留変形図

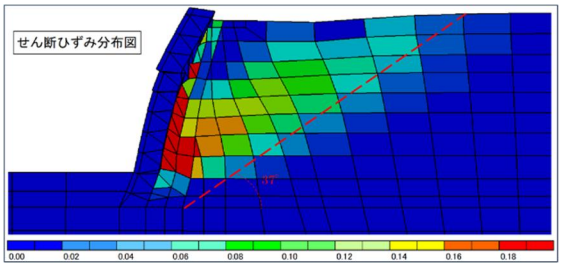


図 3.4.19　せん断ひずみ分布図

(2) 被災した宅地盛土擁壁の再現解析モデルを用いた対策時の解析 [3)]

被災状況を再現した解析モデルを用いて，鉄筋挿入工法（圧縮補強）・固結（注入固化）工法・コンクリート張工法による対策工を考慮した動的 FEM 解析を実施した。東北地方太平洋沖地震の（当地区の推定）波形を使用した場合は，各工法とも無対策時に比べ家屋部は小さな沈下量及び傾斜角となり効果が認められた。特に鉄筋挿入工（圧縮補強）＋コンクリート張工（図 3.4.20 参照）と固結（注入固化）工法（図 3.4.22 参照）の場合は，対策効果が大きいことが把握されたが，鉄筋挿入工（圧縮補強）のみ（図 3.4.21 参照）の場合は，擁壁の水平変位量は無対策とほとんど変わらない結果となり，擁壁に対する効果は小さいことが把握された。なお，コンクリート張工（t=30cm，D19@25cm)の応力度はどのケースにおいても許容応力度以下になった。

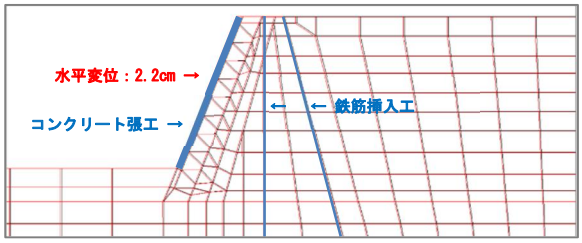


図 3.4.20　残留変形図（鉄筋挿入工+ｺﾝｸﾘｰﾄ張工）

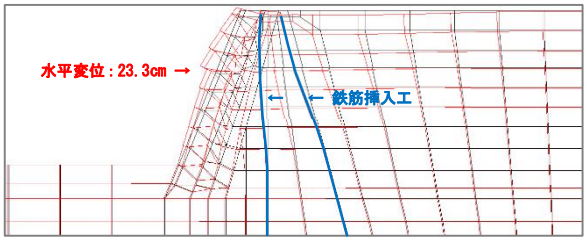


図 3.4.21　残留変形図(鉄筋挿入工のみ)

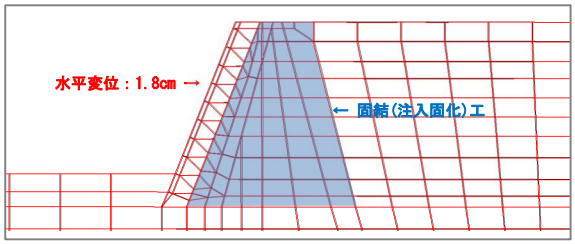


図 3.4.22　残留変形図（固結工:改良率 70%）

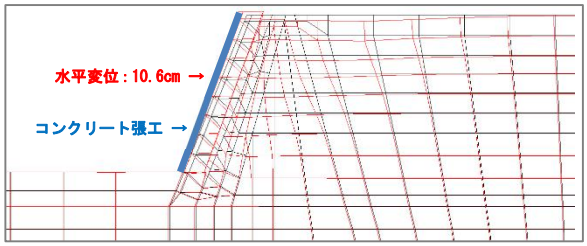


図 3.4.23　残留変形図（ｺﾝｸﾘｰﾄ張工のみ）

次に地震波形として道路橋示方書の神戸波形（平成 7 年兵庫県南部地震:2-II-I-1）[4)]を使用した場合，鉛直鉄筋挿入工のみで対策したケースでは，ブロック積擁壁部が大変形し，ブロック積擁壁及び家屋は崩落の恐れがある状態になると考えられた。鉛直鉄筋挿入工＋コンクリート張工と注入固化工法を適用した場合は，対策効果が大きい（変形量が小さい）ことが把握された。コンクリート張工のみを考慮した場合は，擁壁背面部の沈下量及び傾斜角は大きいがブロック積擁壁部は大変形にはならず，崩落はしないと考えられた。なお，コンクリート張工の応力度はコンクリート張工のみと鉛直鉄筋挿入工＋コンクリート張工の両方とも全時刻歴で許容応力度以下にな

った。

上記の状況より，擁壁の前面勾配が標準構造図[5]に示される勾配（1:0.4）で空積み擁壁の場合，変形モードは転倒するモードではなく，擁壁中段がはらみ出す変形モードとなるケースがあることが把握され，この変形モードの場合は，擁壁前面側が曲げ引張となるため擁壁表面に引張に対応できる部材を使用することが有効であることが把握された。

(3) 老朽化した道路兼用宅地盛土擁壁の対策例

図 3.4.24 と図 3.4.25 に老朽化したブロック積擁壁の一例を示す。

当箇所のブロック積み擁壁は施工年が昭和 40 年代後半と古く，ブロック表面に水平の開口亀裂が発生しており，擁壁上方背面の道路には沈下が生じていた。ブロック背面部には，胴込め及び裏込めコンクリートが施工されており，構造的には当時の基準に従い施工されていたと考えられる。



図 3.4.24　宅地擁壁の損傷例



図 3.4.25　宅地擁壁の損傷例

損傷原因の究明と対策工の検討のために，当地区でボーリング調査を実施し，地質構造及び地下水位を確認した。調査結果に基づいたブロック積擁壁構造と地質構造のイメージを図 3.4.26 に示す。地質断面から分かるように損傷が発生しているブロック積擁壁は，盛土斜面部に施工されていた。なお，調査時及び降雨時に盛土内の地下水位は確認されず，平成 23 年の東北地方太平洋沖地震時に変状が拡大した可能性も考えられた。

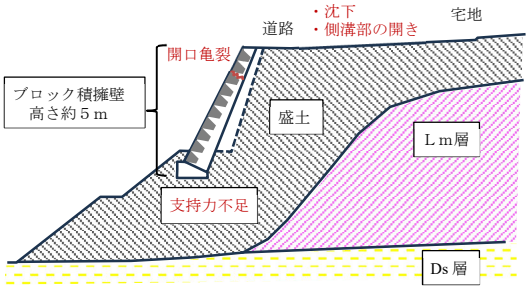


図 3.4.26　地質断面イメージ図

安定解析及び対策工の検討は，ブロック積擁壁が道路と宅地の盛土となるため，道路基準[6]と宅地基準[7]を確認し，安全側となる宅地基準の「宅地防災マニュアル」に準拠することを基本とし，「宅地防災マニュアル」に明確な記載が無いものについては，道路基準を準用した。

なお，盛土部は，礫混りの粘性土を主体とする土層で不均質性が大きく，強度定数は室内土質試験値と一般値を比較検証して設定する必要があった。また，定数の設定にあたり近傍の強震観測施設の過去の波形から水平震度を設定し，安定解析による検証も実施した。安定解析の結果，許容安全率を満足しない結果となったため，対策工を検討した。

対策工は，盛土の全体すべりに対してグラウンドアンカー工＋コンクリート張工，ブロック積擁壁部の崩壊（支持力確保）に対して鉄筋挿入工（引張補強）＋法枠工，開口亀裂部はグラウト注入を行い，道路面の側溝は補修する計画とした（図 3.4.27）。図 3.4.28 に対策工のイメージ図を示す。



図 3.4.27　宅地擁壁の対策状況

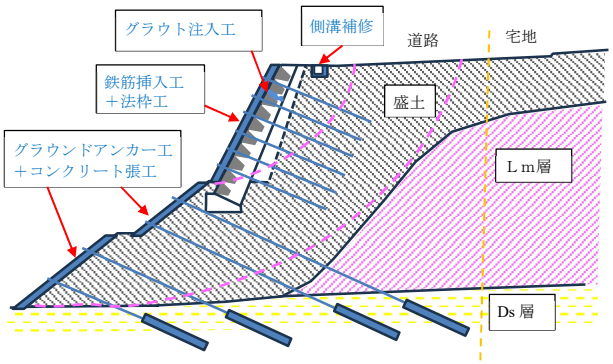


図 3.4.28　対策工イメージ

(4) 宅地盛土擁壁部の対策時の留意点

これまでに示した内容から，宅地盛土擁壁部の対策時の留意点を以下に示す。

① 地震時を含め宅地盛土擁壁部の安定性を向上させるためには，盛土内に表面水を入れないこと，地下水排除工により盛土内の地下水を排水・低下させることが，最も重要である。ただし，(1)～(3)で示したように小規模な盛土や擁壁部においては地下水がない箇所においても地震時慣性力によるゆすり込み沈下，支持力不足等による変状が発生している。そのため，「個々の宅地で行う耐震対策」を今後，より推進する必要があると考えられる。

② (1)～(2)の擁壁変状箇所は空積み擁壁と想定され，地震時の安定性は低かった。被災事例や解析結果から考察すると，他の空積み擁壁部においてもはらみ出しやブロックの抜け出しが発生する可能性が考えられる。変状の発生により背面の家屋にも影響を及ぼすことから，優先的に対策を実施する必要があると考えられる。なお，解析結果によると擁壁背面の盛土強度によって変位量が大きく異なることから新設及び再構築時には，擁壁背面土に良質材を使用して十分に締め固めることが重要となる。

③ 盛土には，多種多様な材料が搬入されてばらつきが大きいことが多く，礫を含む場合はサンプリングが難しいなどの問題がある。なお，安定解析結果は盛土の強度定数によって安全率が大きく異なる。よって，可能な限り多くの箇所でサンプリングを行い，不攪乱試料の採取が難しい場合には，再構成供試体を用いた三軸圧縮試験の実施等により，各材料の強度定数を把握してばらつきの評価を行い，適切な強度定数を用いて解析を行うことが対策工の要不要の判断をする上で重要となる。

④ 宅地盛土対策工を検討するにあたり，対策工法や対策位置，仕様について住民の同意や配慮が必要となる。(3)の対策例では対策工を道路用地内に収める検討を実施した。対策工を計画するにあたり，維持管理を含め住民への負担を少なくすることも対策工検討の一つと考えられる。

⑤ 盛土部は一般的に支持力が小さいことが多く，特に斜面に擁壁を設置した場合は斜面上の

支持力となってより小さい値となる。ブロック積擁壁は「経験に基づく設計法（背面の土質と高さで形状が決定)」であるため，盛土斜面に設置する場合は注意が必要である。

⑥ 盛土部にグラウンドアンカー工を計画する場合，盛土部の地耐力が小さいため，1 本当たりのアンカー力を小さくして，コンクリート受圧版を用いて必要な受圧面積を確保するなどの工夫が必要になる。

⑦ 宅地盛土擁壁の対策工を検討する場合，仮設を含めた施工時の検討が重要になる場合がある。施工箇所が狭く前面に構造物がある場合が多いことから，施工機械や機材の配置と搬入方法等を含め，関係機関との調整や詳細な施工ステップの検討が必要となる。また，仮設を含めた施工時の安全性を確保するための検討も実施する必要がある。

(5) おわりに

本項では，擁壁を含めた宅地盛土の事前対策方法や復旧対策について一般的な対策概要を示し，実際に被災した宅地盛土擁壁の状況や被災時の再現解析結果などを示すとともに，宅地盛土擁壁部の対策例と対策時の留意点について示した。

今回，記載した被災事例や対策例は小規模な盛土や擁壁に対する報告であり，大規模な宅地盛土に関しては，「大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説」の「面的に行う滑動崩落対策」を参考に検討する必要がある。大規模な宅地盛土においては，より多くの調査と詳細な検討を行い，最適な対策工法とその配置を設定して，多くの関係機関との協議を行い調整や同意を得る必要がある。

また，大規模な宅地盛土に関しては，調査，安定解析，対策工の検討方法によっては対策規模が大きくなることも考えられる。そのため基礎地盤を含めた盛土部の土質調査や地下水観測を十分に行うとともに，現地における変状の有無，過去の地震や降雨，観測における最高水位を考慮した安定解析等を実施し，安全率に不整合（過去に変状がないが安全率 1 以下など）がないことを検証する必要がある。また，谷埋め盛土については側面抵抗も考えられるため，必要に応じて 3 次元解析を実施して対策工の必要性を確認することも望まれる。

参考文献

1) 宮原義人・柏尚稔・岩見達也ほか : 老朽化した宅地擁壁への耐震補強法の構築に向けた検討 その 11，第 59 回地盤工学研究発表会，23-9-3-01
2) 佐藤真吾・竹谷修一・山口秀平ほか : 老朽化した宅地擁壁への耐震補強法の構築に向けた検討 その 10，第 59 回地盤工学研究発表会，DS-6-11
3) 宮原義人・井上波彦・津田雅丈ほか : 老朽化した宅地擁壁への耐震補強法の構築に向けた検討 その 9，第 58 回地盤工学研究発表会，12-3-2-03
4) 日本道路協会（2017）: 道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，p.78.
5) 盛土等防災研究会（2023）: 盛土等防災マニュアルの解説，p.498.
6) 日本道路協会（2009）: 道路土工　切土工・斜面安定工指針，p.296-300.
7) 盛土等防災研究会（2023）: 盛土等防災マニュアルの解説，p.210-217.

4.　地域力で防ぐ土砂災害

4.1　地域防災活動の現状と課題

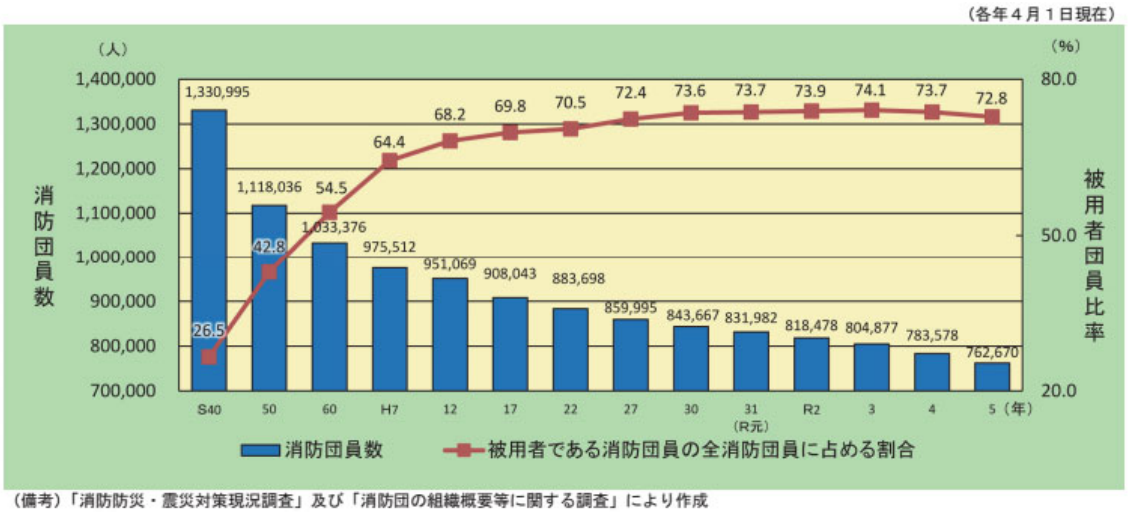
4.1.1　前提の考え方

(1) 初めに

わが国では，少子高齢化社会のさらなる進展（特に地方部），東京圏や都市部への人口集中，地方自治体の財政難，地方社会衰退，老朽化インフラの増加等の問題を依然として抱えており，このような多岐にわたる問題を抱える中，災害発生後もいかにして市民の安全で安心な生活を維持，継続していくかが課題となっている。

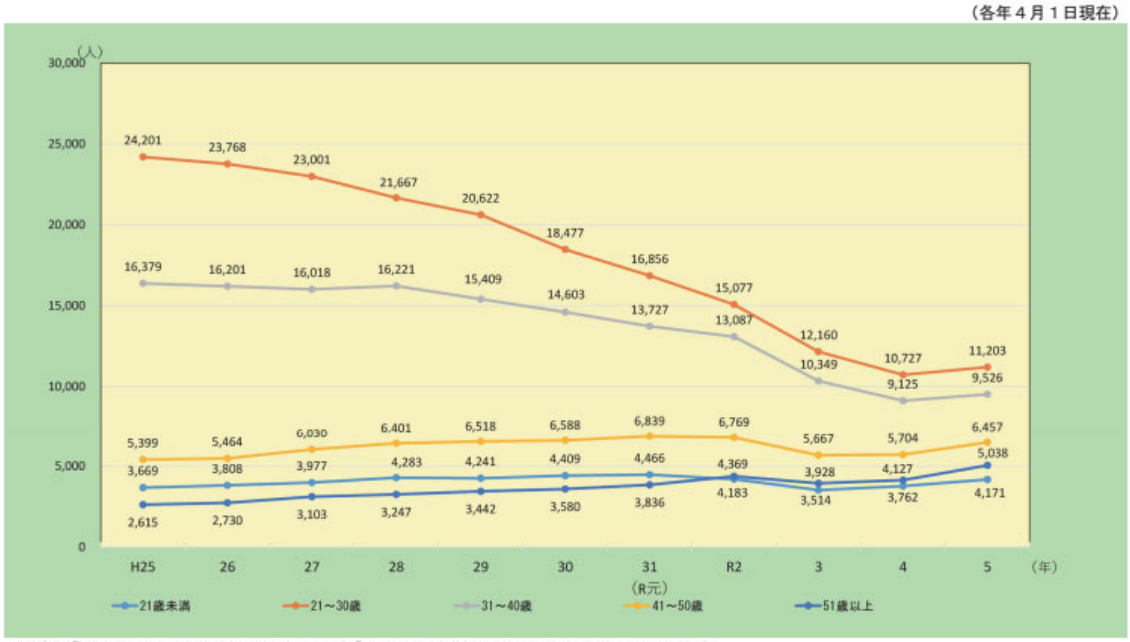
このような社会課題の中，総合的な防災・減災に当たっては，社会インフラの整備や更新といったハード的対策だけでなく，地域住民の個々の備えによる自助，地域住民間の助け合いや民間企業との連携といった共助といったソフト的対策，いわゆる地域防災に係る取組も合わせて実施していくことが地域防災力の充実にあたって極めて重要である。

一方，ソフト的施策の１つとして社会一般的に広く捉えられ，地域コミュニティ組織力向上に資する取組に消防団による活動が挙げられるが，近年は消防団員が年々減少する（図 4.1.1）とともに，若年者層の入団も減少傾向（図 4.1.2）であるため，消防団の活動量の低下が顕著であり，今後の地域の担い手をどう確保していくかといったことは，消防団に限らず，地域防災に係る取組実施を進めていく上での大きな課題である。



（備考）「消防防災・震災対策現況調査」及び「消防団の組織概要等に関する調査」により作成

図 4.1.1 消防団員数及び被用者である消防団員の割合の推移 令和５年消防白書※1）



（備考）「消防防災・震災対策現況調査」及び「消防団の組織概要等に関する調査」により作成

図 4.1.2 消防団員の年齢階層別入団者数の推移 令和５年消防白書[※1)]

こういった課題解決や地域防災に係る取組実施に当たっては，以下のような視点を踏まえながら対応していくことが考えられる。

①地方，都市部それぞれの継続的なリスクコミュニケーションの在り方（地方部の担い手不足が進む中でのコミュニティの継続，都市部におけるコミュニティの再生等）

②地域住民のリテラシー向上（社会インフラのみで対応できないという考え方等の災害的知識の向上，社会的共有）や地域の災害リスクに対する市民の許容性とそれに係る公的，社会的支援

③地域レジリエンスに資するまちづくり（これまでの災害復興の教訓を踏まえたまちづくり等）や都市計画の在り方とそれに係る市民との合意形成

④発災後の復興を見据えた新たな方策

⑤自治体間連携，地域間連携

以上に記述した内容は，防災・減災全般に係るものであり，斜面宅地防災にも当然当てはまるものである。

そこで，本項では，全国の地域防災に係る事例，安全問題研究委員会地域安全小委員会で実施した地域レジリエンスに係る考え方の把握を目的に実施した様々な分野の有識者や実務者との意見交換（表 4.1.1）や地域コミュニティ継続に係る取組事例の把握を目的に基礎自治体等へのヒアリング調査（表 4.1.2）などから得られた知見などを踏まえながら，「高齢化，人口減少下の地域防災」，「都市部での地域防災」を示す。さらに，それぞれにおける地域コミュニティの継続と形成事例について紹介する。

表 4.1.1 有識者や実務者との意見交換

実施日	内容	招待者
2022.1.31	倉敷市真備町での西日本豪雨被害時の実体験ならびにその後の活動	サツキ PROJECT 代表 津田 由起子氏
2022.7.13	「水害地域学習研究会」の取組 ～水害に関する「地域の学び」を支援する技術～	長岡技術科学大学工学部 環境社会基盤系　准教授 松田 曜子氏
2022.9.11	㈱HITOTOWA 取組事例及び書籍「ネイバーフットデザイン」の概要紹介	㈱HITOTOWA　シニアディレクター 髙村 和明氏
2022.11.11	農山村の実態と再生課題	明治大学農学部専任教授 小田切 徳美氏
2023.7.26	復興とコミュニティ	東北大学災害科学国際研究所教授 姥浦 道生氏
2023.9.04	東日本大震災における UR の復興まちづくり支援 ～ハードとソフトの両面から～	独立行政法人 都市再生機構 震災復興支援室長 山本 直氏

【有識者や実務者との意見交換から得られた知見の概要】

・災害時に臨機応変に対応できるようにするためには，隣人を知るなど普段からの地域住民とのつながりを作っておくことが必要であり，地域の人との連携が重要
・被災経験の有無が組織や人の行動に大きく影響すると考えられる
・災害時はすべてが特別であるため，その対応が結果的に公平性につながるという認識に基づく行政支援が必要
・行政が住民の話を聞き，共感しようとする姿勢が重要
・防災に限らず多様な社会課題の担い手との連携が重要であり，多様な社会資源を使って地域のレジリエンスを高めていくことが必要
・直接的に自分の利益につながらないことであっても，皆が行動学習を続けることで地域の防災や安全につながる視点を社会全体で共有することが必要
・コミュ二ケーションが広がることで防災や防犯などの困りごとの解決につながる
・課題に対して皆で解決していくことが求められるが,義務的な役割を分担するのではなく，まちに関わる権利があることを意識し，自分のやりたいことがまちのためになることが一貫していることが重要
・既存組織にこだわり過ぎず，個々のつながりを育て発展させていくことが重要
・地域住民の風通しの良さ，顔が見える関係性の構築
・強いインパクトに当たってしまった時も壊れないようにすることが必要
・次の世代にも支持される暮らしが生み出しえるかを追求する（内発性(地域の想いと力)，多様性(地域なりに)，革新性(今までと違う方法)）ことが必要
・小さな成功体験を積み重ねていくような取組が重要
・地域継続には多様なプレイヤーや人材が交錯(地域住民+RMO，移住者，関係人口，民間企業)

できる場づくりが必要であり，人口減だが地域は元気という状況が重要
・平時から地域の課題や在り方を考える場や組織が必要
・行政と住民の間に第三者（単純な第三者ではなく，住民と関わりながら意思をもって動く方)・ファシリテーターなどが入り，お互いが共通のゴールを目指すようにしていくことが重要
・事前から被災後のまちづくりについて地域住民と議論しておくことが重要
・地域に深く関わっていく人材の発掘が重要である。場合によっては首長の強力なリーダーシップや公民連携による人材の発掘も考えられる。
・地域コミュニティ維持と地域経済循環を両輪で考えることが必要

表 4.1.2 基礎自治体等へのヒアリング調査

実施日	視察先	内容
2023.3.23	鳥取県 智頭町役場	「1/0 村おこし運動」「百人委員会」等の取組把握
2023.11.27	宮城県 女川町	復興まちづくりに係る行政と地域のかかわり方等の把握
2023.11.27	宮城県 石巻市 (株)街づくりまんぼう	石巻市における復興まちづくり等の取組把握

【基礎自治体等へのヒアリング調査から得られた知見の概要】
①鳥取県 智頭町役場
・人口減少に係る危機感を持った方が住民の中におり，その方が行政を巻き込み進めてきたことが，住民が自主的に動くようになったきっかけだと考えられる
・行政職員が集落に入り，様々な人と知り合い関係性を構築することが役立つ
・行政ではなく，地域のキーマンが声がけすると住民が集まってくる
②宮城県 女川町
・民間事業者が先行的にまちづくり組織を構築し，その組織に行政が入っていった
・地域と民間事業者とのつながりが強く，まちに対するマインドが高いことが特色
・地縁・血縁関係のつながりが強いことなどが地域コミュニティの特徴
③宮城県　石巻市（株)街づくりまんぼう
・震災前の漫画によるコミュニティが震災復興にかなり貢献したと感じている
・商業事業者の想いを実現させていくイメージが復興につながっていく

(2) 本研究で対象とする地域防災

近年は気象庁から毎年のように大雨特別警報が発令され，土砂災害の発生頻度も高くなっている（図 4.1.3)。その土砂災害は，中山間地域や高度経済成長期以降に造成された宅地周辺（図 4.1.4～4.1.9）で多く発生している。

なお，対象斜面は自然地盤が多く，土砂災害形態は土石流，急傾斜地，地すべりの３つである一方，造成宅地に隣接する盛り切り造成により整備された人工斜面のほうが自然地盤に比べて社会的課題であると考えられる。

本研究が「経験のない気象の常態化による宅地斜面防災」を題材としていることも踏まえ，本項では，主に豪雨による災害，大規模造成宅地の復旧・復興期を想定した地域防災に係る取組を対象としつつ，地震災害との共通点も鑑みながら整理していくこととする。なお，過去の災害は，地方都市や中山間地域での発生事例が多いが，首都圏である横浜市や東京都区部においても急傾斜地が存在するため，大都市部での土砂災害発生に備えた取組についても言及する。

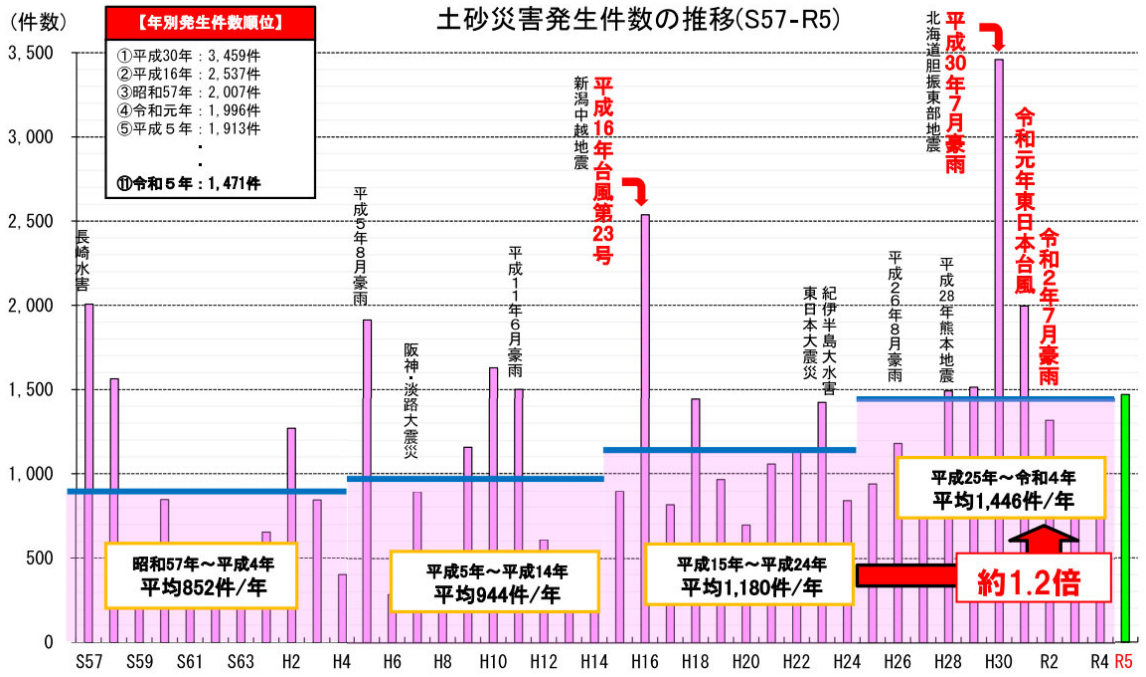


図 4.1.3 土砂災害発生件数の推移 国土交通省※2)



図 4.1.4 平成 26 年 8 月豪雨広島県の土砂災害発生状況　国土交通省※3)

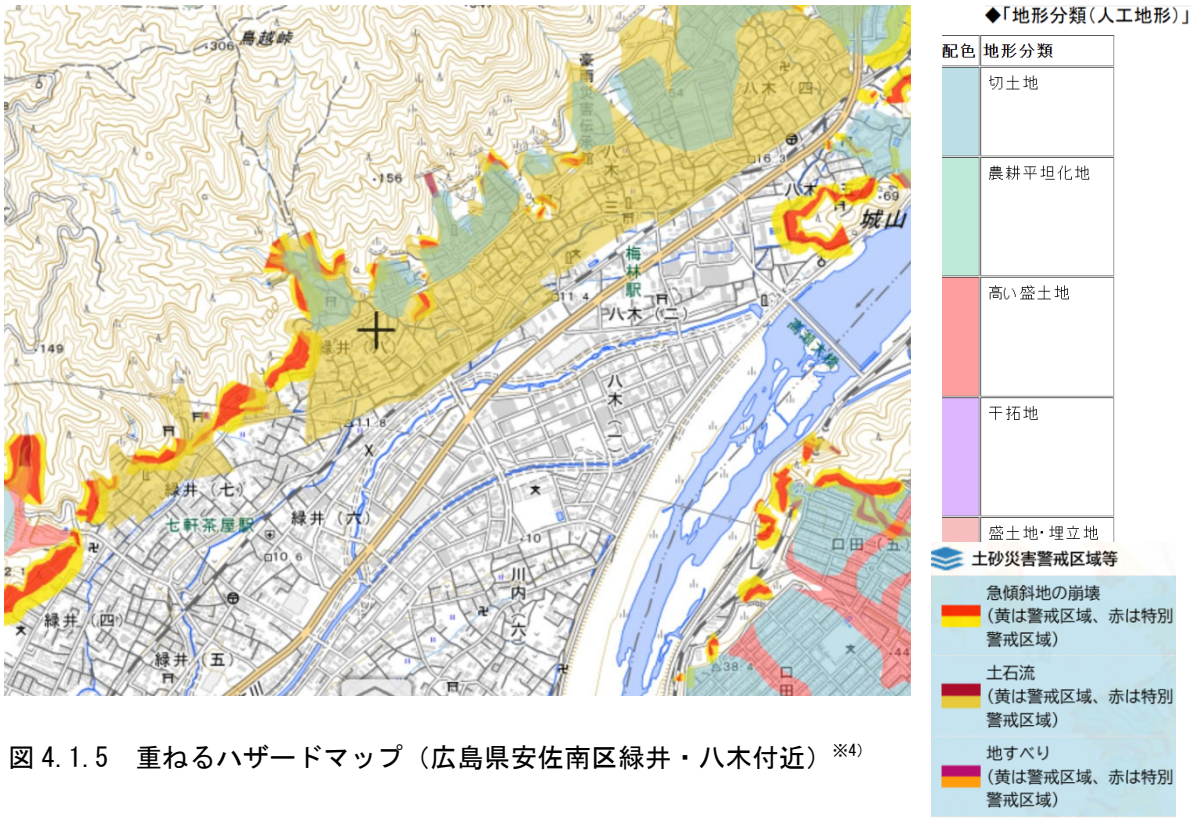


図 4.1.5　重ねるハザードマップ（広島県安佐南区緑井・八木付近）※4)



赤谷川、小河内川、乙石川合流点付近における流木による被害（福岡県朝倉市）

図 4.1.6 平成 29 年 7 月九州北部豪雨による土砂災害の概要より抜粋　国土交通省※3)

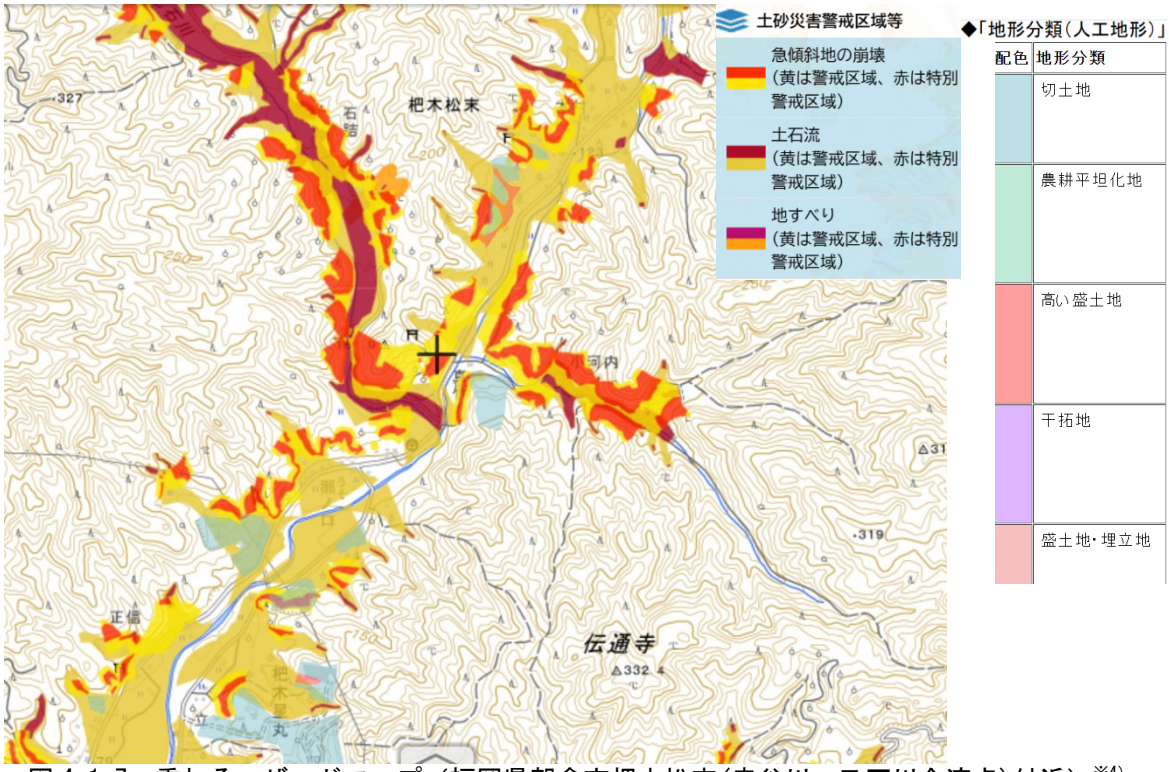


図 4.1.7　重ねるハザードマップ（福岡県朝倉市杷木松末（赤谷川・乙石川合流点）付近）※4)



図 4.1.8 令和 4 年台風第 15 号による土砂災害発生状況より抜粋　国土交通省※3)

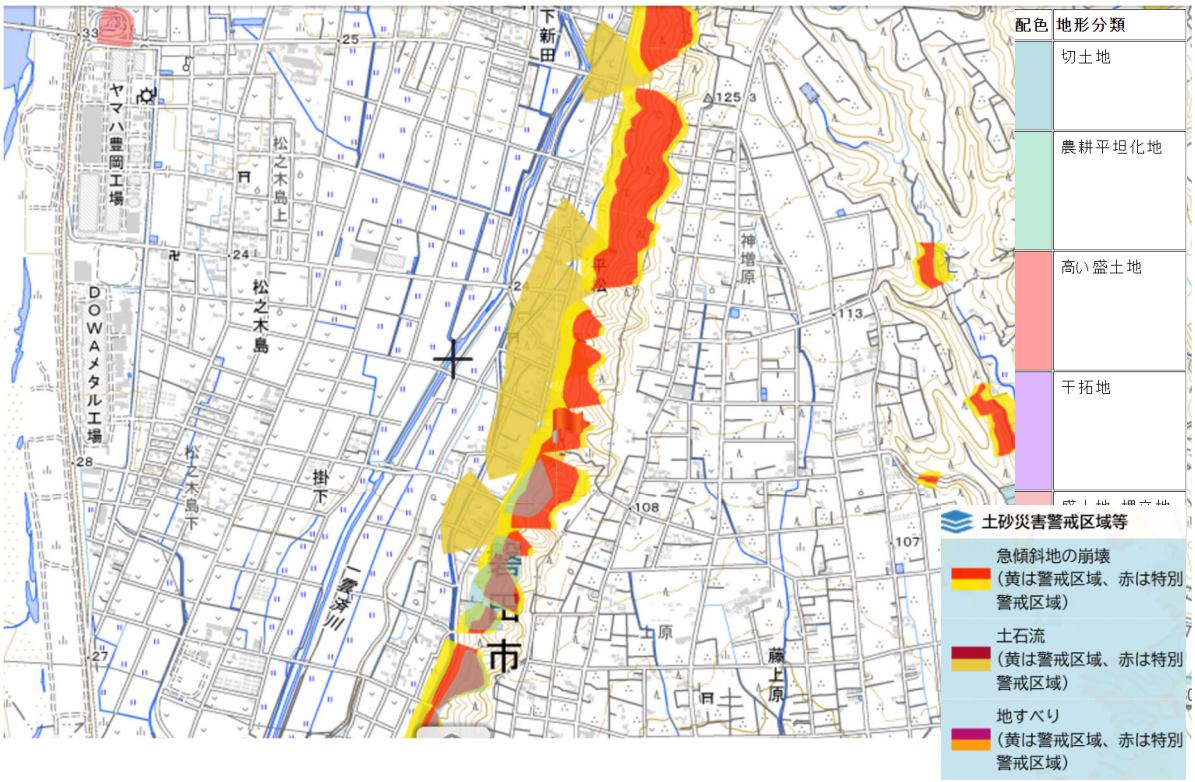


図 4.1.9　重ねるハザードマップ（静岡県静岡市葵区油山付近）※4)

参考文献

1)　総務省消防庁　令和５年消防白書

2)　国土交通省砂防部　令和５年の土砂災害

3)　国土交通省 HP 土砂災害情報　https://www.mlit.go.jp/river/sabo/saigai_sokuhou.html

4)　国土交通省ハザードポータルサイト　https://disaportal.gsi.go.jp/index.html

4.1.2　高齢化，人口減少下での地域防災

(1) 高齢化，人口減少下における課題

昨今の気候変動により，極端な気象現象への対応の必要性が増しており，かつ，南海トラフ地震等のハザードの切迫性が高まる一方で，防災意識は低下傾向にある（図 4.2.10 参照）。

個人や各家庭での取組に加えて地域における共助の取組が求められる一方で，自治会等の加入率は平成 22 年以降減少傾向であり，従来型の共助による地縁的な防災対応に転換が求められている（図 4.2.11 参照）。

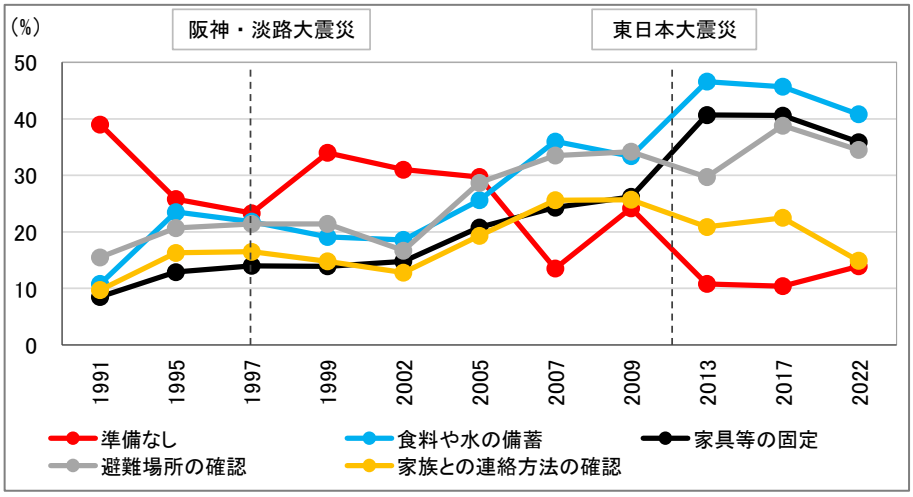


図 4.1.10　地震への備え※1)

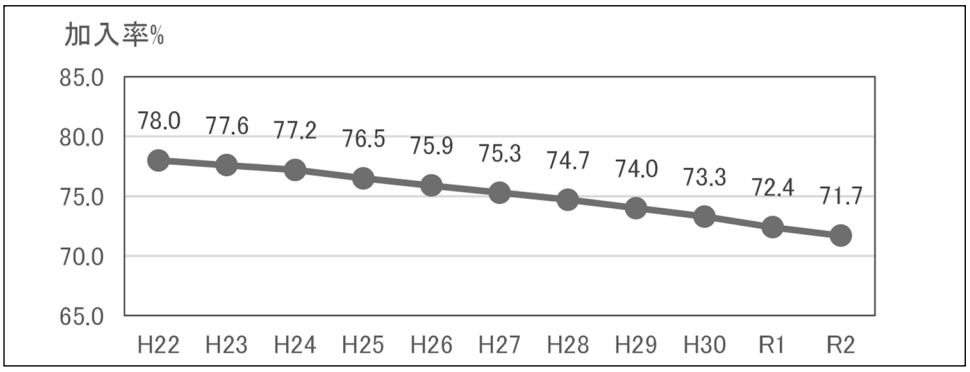


図 4.1.11　自治会等の加入率の平均※2)

地域防災を支援する地方自治体の防災担当職員は，全体の約 4 割は 0 人や 1～2 人と少人数体制の傾向があり（図 4.1.12），自治体規模が小さければ，防災担当職員は他業務との兼任である場合も多く，防災分野における公的な支援には限界がある。

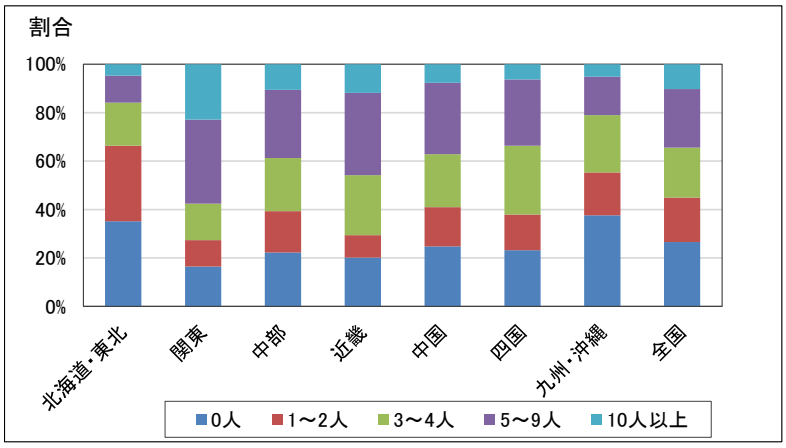


図 4.1.12　自治体における防災担当者数※3)

参考文献

1)　内閣府，1991-2022，「防災に関する世論調査」

2)　地域コミュニティに関する研究会，2023，「地域コミュニティに関する研究会報告書」

3)　総務省，2022，「令和 4 年度地方公共団体定員管理調査結果（部門別職員数）」

(2) 地域防災の取組の必要性

東日本大震災を経て，広域で甚大な被害が発生した場合の公助の限界が明らかとなり，あらためて共助の重要性が問われ，平成 25 年の災害対策基本法改正において共助に関する規定が多く盛り込まれた。特に地域コミュニティの住民および事業者によるボトムアップ型の自発的な防災活動に関する計画である「地区防災計画制度」が新たに創設され，平成 26 年 4 月から施行されている [1)]。

ここで注目すべきは，住民参加によるボトムアップ型の仕組みを採用し，災害対策法制の分野で初めて計画提案の仕組みを採用されていることであり，制度の特徴の一つに，活動の継続性が重視される点と，地区の多様性に応じた一般に「計画」と呼ばれる形式化された成果を求める点がある。

地区防災計画は，自助・共助・公助の連携を目的とした制度であり，取組主体や計画内容の多様性や作成した計画に対する取組の継続性が重視される。目的は，地区を構成する活動主体との連携活動であり，計画書作成ではない。連携のきっかけとして活動を文書化し，共有することにより，活動プロセスそのものを多様な主体で協働し，策定した計画を維持・運営・改善していくことが重要となる [2)]。

近年では，地区防災計画に従前から取り組んでいた地域が被災を経験したことで，期せずして地区防災計画の重要性が再認識され，その有効性が検証された事例もみられる。

愛媛県松山市高浜地区は南海トラフ地震による被災を想定し，過去 30 年間の長きにわたって防災活動に取り組んできた。その取組が平成 30 年 7 月豪雨災害による被災で功を奏した [3)]。

平成 30 年 7 月豪雨の 3 年ほど前には地区内の土砂災害警戒区域が公表されたことを受けて，住民たち自ら自主防災マップを見直し，土砂災害用の避難場所を新たに決めるなど事前に備えて

いた。つまり，海から山（高台）へ逃げることが地域の避難戦略だったが，逃げようとしていた先は土砂災害に対して危険な場所であることが認識されたため，災害種別ごとの対応策の立案にいたったのである。

被害発生の前日に当たる　7 月 6 日の朝，松山市全域に土砂災害警戒情報が発表されたことから，同日午後には自主防災組織などが地区内の見回りを開始している。見回りを行うなかで，異常に気づき土砂崩れを確認したことから夕方 18 時頃から地区内の一軒一軒に避難の呼びかけを行った。さらに，災害発生の切迫性を感じたことから，住民側から松山市へ避難勧告を発令するよう要請を行った。同日 21 時には当該地区に避難勧告が発令され，避難の呼びかけが行政からも発出された。結果，地域の実情に詳しい住民目線と一斉告知といった情報手段を有している行政からの発信により，多様なルートで情報伝達がなされた。

その後，22 時頃から夜半にかけて雨がピークに達し，翌 7 日の未明にかけて地区内の 35 カ所で土石流やがけ崩れが発生，住宅にも土砂が流入したが，行政の指示を待たず避難行動がなされ，全員無事であった。



図 4.1.13　高浜地区の住宅街に流入した土砂（蔭原政徳氏提供）

地域のことをよく知る自主防災組織の強みと，行政が有する強み（エリアメールや防災行政無線等を通じて，多くの住民に対して避難勧告等の情報を一斉に届けることができる）をお互いに理解していたからこその行政・地域連携である。

高浜地区の事例では，住民と行政がともに防災活動に取り組むことで，共助と公助の連携が促進され，より一層の効果が発現できたことがうかがえる。住民主体の防災活動の必要性が示唆される事例と言える。

参考文献

1) 井上禎男・西澤雅道・筒井智士：東日本大震災後の「共助」をめぐる法制度設計の意義―改正災害対策基本法と地区防災計画制度を中心として―，福岡大学法学論叢第 59 巻第 1 号抜刷，2014.
2) 磯打千雅子：地区防災計画制度の現状と課題に関する考察，第 10 回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム，2023.
3) 室﨑益輝・矢守克也・西澤雅道・金思穎編，地区防災計画学の基礎と実践，2022.

(3)対応の方向性

本項では，高齢化・人口減少下における地域防災の取組事例として，平成 30 年 7 月豪雨災害で被害を受けた岡山県倉敷市真備町の事例と愛媛県松山市の事例を概観する。

1)避難と共にある生活様式（真備町）

平成 30 年 7 月豪雨災害における真備町の被害の特徴は，自宅で命を落とした高齢者が多いことにある。犠牲者の 51 名（関連死を除く）の内，45 人が 65 歳以上の高齢者で，死亡場所は自宅が 86.3%であった[1)]。

倉敷市は平成 30 年 12 月に真備町在住の約 2，900 世帯を対象に発災時の避難行動について調査を実施した[2)]。図 4.1.14 では，7 月 6 日 22 時の避難勧告，23 時 45 分の避難指示発令の段階に該当する時間帯で，全回答数（347）の内，225 回答（64.8%）が避難を開始している。また，図 4.1.15 の避難した理由では，「自宅に留まることが危険だと感じた」が最も多く全回答数の内 81.6%を占めており，個々人の判断により避難を開始したことが示唆された。

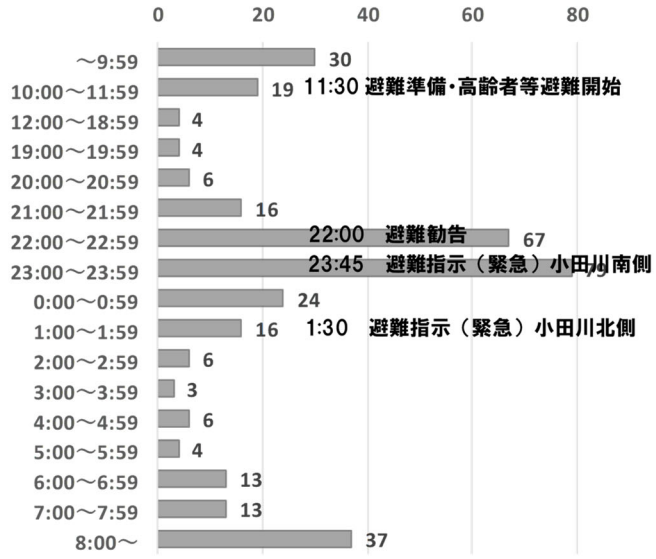


図 4.1.14　真備町における避難行動の実態[2)]

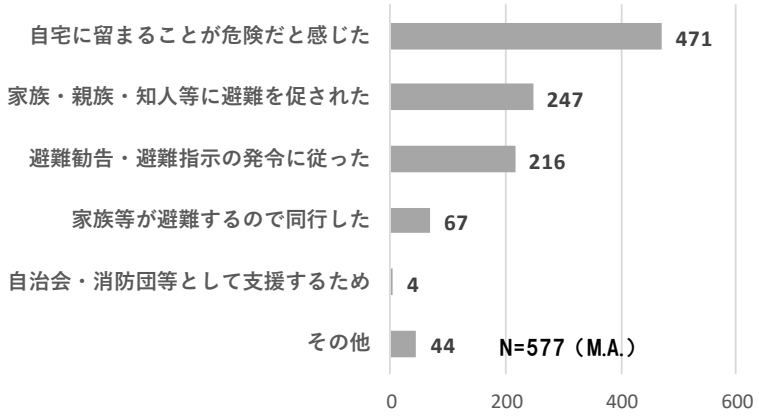


図 4.1.15　避難した理由[2)]

平成 30 年 7 月豪雨災害における倉敷市真備町の事例では，避難行動に対する意識の高さがうかがえる一方で，高齢者等の自律的避難が困難な要支援者が犠牲になっている。真備町に暮らし続けても同じ被害を繰り返さないためにはどのような対策が必要なのか。先の勉強会では，一つの解決策として住民による避難機能付き共同住宅の建設が提案された[3)]。

早い段階で高台に逃げるのが最善であることは確かだが，逃げ遅れた時に次善の策として 2 階に逃げることができたら。いつも通い慣れた場所が安全な場所で，最低でも垂直避難ができる場所が身近にあれば命が助かるのではないか。

この考えに賛同した住民から「2 階は無事だったが 1 階は浸水したアパートを利用してほしい」という申し出により，避難機能付き共同住宅建設「サツキ PROJECT」が始まった。費用は国土交通省のモデル事業として採択を受けたこと，クラウドファンディングにより確保した。共同住宅のプランは，次のとおりである。

全８戸の内，2 階の 1 戸をコミュニティルーム兼地域の防災拠点として開放する。ここには，地上から車椅子でも直接アクセス可能なスロープを設置する。入居者は，支えあう生活や災害時には自宅が避難所となる可能性があることを理解して入居できる方を条件とし，現在では若い世帯や高齢者など多様な世帯が居住している。お互いを気にかけ合い，かつ，プライバシーを確保しながら生活を営む。毎週水曜日には，住民同士で体操とお話を楽しむ会を開催し，緩やかなつながりを紡いでいる。

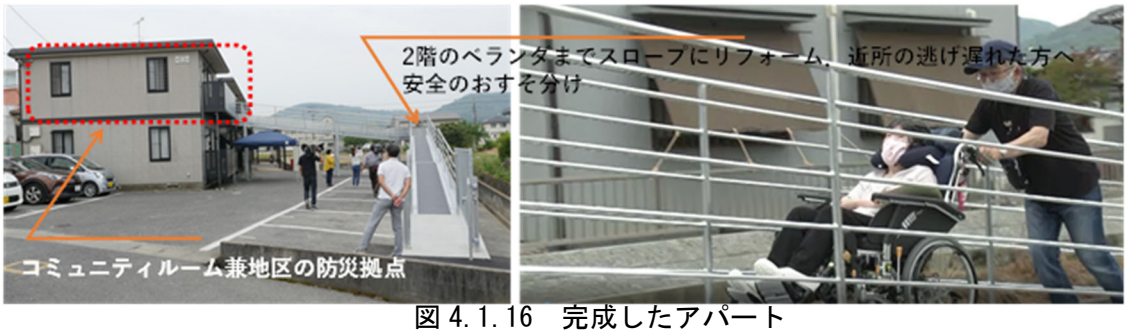


図 4.1.16　完成したアパート

本事例は，頻発する水害の避難を巡る諸課題の一つの解決策として，リスクと共存する暮らしのあり方を提示している。また，被災者の早期生活再建の視点では，行政が建設した災害復興公営住宅よりも 1 年ほど早く施設を完成させ，入居ができた。このスピード感をもった対応ができた背景には，既存のストックを活用し，再生利用している点がある。

行政では実現が容易ではないことは，地域と企業が連携して取組，この取組を行政が支援する。

このような事例がハード・ソフト問わず増えることで，避難や社会の諸課題の解決に結びつく多様な選択肢が社会に備わる。この選択肢を自らは持ち得ているのか。ひとりでは選択することすらできない方に自分は選択肢を提供できるのか。選択すること，つまり避難そのものを人任せにしていないかを，今一度私たちは再考すべき時に来ている。

2) 全世代型防災教育（松山市）

松山市は，平成 17 年度に全国の自治体で初めて市民が防災士（民間資格）を取得するのに必要な費用を全額公費負担し，地域の防災リーダー育成に努めてきた。防災士数は 9,700 名を超え（令和 6 年 6 月末現在），市区町村では日本一である。

以降には，松山市の取組について概観する [4)]。

松山市では，市内自主防災会，学校，企業などの組織に，防災士資格取得者がおり，その結果，自主防災組織による地域防災活動，学校での様々な防災教育活動，企業での不断の防災訓練の実施など，安全・安心なまちづくりに向けた活動が取り組まれている。

平成 17 年度に各自主防災組織会長からの推薦を要件に，全国で初めて全額公費負担で市民に防災士資格を取得させる取組を開始した。

防災士養成を継続する中で，自主防災組織では全ての地域に防災士養成が進んだほか，市立小中学校や市立保育園，幼稚園の教員，福祉避難所や災害応援協定締結事業所の職員などに公費負担の枠を広げ，地域防災に必要な様々な団体等にも防災士を養成することで，地域で市民と各団体が協働しながら防災力を高められる環境づくりに取り組んだ。

その結果，資格を取得した防災士はそれぞれの地域や職場で連携しながら，防災訓練や研修会の開催，計画策定を通じて，防災力向上に貢献している。

また，平成 26 年度より愛媛大学と連携して防災士養成講座を開講し，講座開講に必要な講師や会場を外部発注せず市や大学で準備するなど様々な工夫を重ね，一般市民が資格取得に必要な経費の軽減を図ることで，市民にとって気軽に資格取得できる機会を広く提供している。こうした取組により，令和 6 年 6 月末現在，松山市では 9,717 名が防災士資格を取得している。

また，防災士を養成した事業所が，より地域に関心を持ち，住民と連携した防災力強化と災害に備えた企業の社会的責任（CSR）を促すことで，一層の地域防災力強化を図ることを目的に，松山市では平成 27 年度に防災士資格の認証機関である認定特定非営利活動法人日本防災士機構と独自の協定を締結した。

この「防災協力事業所表示事業」は，防災士を養成し地域防災に協力する事業所を「防災協力事業所」として認証し，表示証（プレート）を交付することで，企業のインセンティブを高めるとともに，地域住民が企業と協働して防災に取り組むことを促すもので，全国で松山市だけのモデル事業として取り組んでいる。「防災協力事業所」は，令和 6 年 6 月時点で 435 の事業所が認証されており，それぞれの企業や職場で防災活動に取り組むとともに，地域住民と一体となった防災力向上に貢献を続けている。

自主防災組織の結成が進み，各組織で様々な取組が行われるようになると，組織間の情報共有や問題の解決に，組織間を結ぶネットワークづくりが必要となった。そこで設立したのが「松山市自主防災組織ネットワーク会議」である。同会議は，組織間の連携や応援協力などについて平常時から協議し，いざという時に実効性のある体制を整備することを目的に平成 20 年 6 月に設立された。

市内を全 41 地区に分けた自主防災組織の連合会を作り，各地区代表者及び防災士の代表者を選任した 82 名で構成し，各地区の自主防災組織をまとめるとともに，会議や研修会を通じて顔の見える関係づくりを行うことで更なる地域防災力の充実強化が図られている。

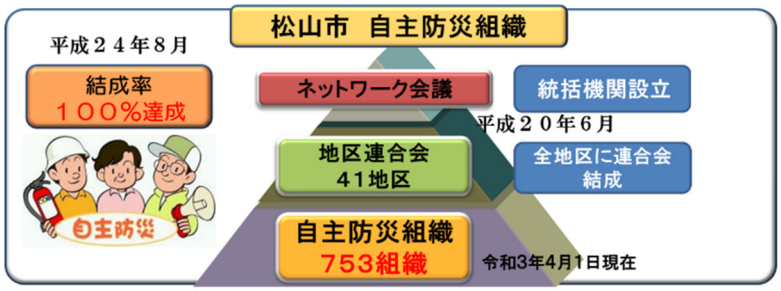


図 4.1.17　松山市自主防災組織ネットワーク会議組織図

この自主防災組織ネットワーク会議が主体となり，地区防災計画を 3 か年計画で策定に取り組み，平成 29 年度には市内 41 地区全てにおいて策定が完了している。

また，平成 30 年 7 月豪雨災害の教訓をふまえて「小学生から高齢者まですべての世代に防災リーダーを育成する」という市長公約のもと，全世代型防災教育に着手した。

全世代型防災教育は，松山市と愛媛大学，東京大学とで結んだ防災教育に関する 3 者協定を軸に，市内の 4 大学，高等学校，商工会議所，防災士会，市教育委員会など産官学民で連携した「松山市防災教育推進協議会」を令和元年に設立し，防災教育の対象を「小学生」「中学生」「高校生」「防災士」「学校教員」「外国人」など 10 設定し，それぞれの目標と教育内容について協議した。これを実践する機関として松山市は愛媛大学に「松山防災リーダー育成センター」を立ち上げ，防災リーダー育成を進めてきている。

以上のように松山市では，防災士養成事業開始当初から比較して防災訓練参加人数は 8.7 倍（2019 年度）となっていること，全ての世代を防災リーダーとして育成するといった全世代型防災教育が確実に地域レジリエンスの向上に貢献している。

3) 対応の方向性

本項では，高齢化，人口減少下における地域防災について，課題と取組の必要性について社会環境の整理と取組事例 2 件に基づき述べた。

２地区の事例では，住民自ら地域の災害リスクを認識し，地域特性に応じた最善の解決策を積極的に構築しようとする姿勢が共通している。いずれの事例も与えられた環境の改善を他者に委ねることなく，地域が有するリソースと行政や企業等の関係機関が有する強みやツールを最大限効果的に活かし，地域社会の安全性を積極的にすべての主体で獲得していく取組がなされていた。

昨今の気候変動による極端な気象現象や巨大災害発生の切迫性など，不確実性の高い環境下においては，持続的な地域社会の形成に必要不可欠な環境づくりの必要性が示唆された。

参考文献

1) 岡山県：平成 30 年 7 月豪雨災害検証委員会，平成 30 年 10 月.
2) 倉敷市：防災まちづくりに向けた避難行動に関する調査，平成 30 年
3) 磯打千雅子：被災した場所で暮らし続ける選択－サツキ PROJECT：西日本豪雨で被災したアパートを地域の防災拠点住宅にー，住宅 2023 年 9 月号，一般社団法人　日本住宅協会
4) 大平真弓・芝大輔・磯打千雅子：継続的な地域防災活動を支える人材育成と活動事例に関する考察―茨城県阿見町・愛媛県松山市における地区防災計画作成の取組から―，地区防災計画学会誌第 31 号,2024 年

4.1.3　都市部での地域防災

本項では，都市部の拡大による斜面リスクの増大と人口集中によるコミュニティの変化による防災面のリスクを整理するとともに，取組の方向性やコミュニティ形成の取組事例を整理した。

(1) 現状と課題

1) 都市のスプロール化による斜面リスク

都市部では，戦後の急激な人口流入によって，深刻な住宅，道路・公園などの公共インフラ機能が不足した。60 年代から急速にそれらが整備され，農地や山地を宅地や道路などに次々と改変してされていった。我が国は，もともと都市部は平地が少なく，全面が海で背面が山という都市が多い。そのため，平地を少ない特に丘陵地での大規模な宅地開発では，丘陵部を切り崩し，そこで発生した大量の土砂で谷部を埋めて広大な宅地がつくられるなど，都市化が急速に進んでいった。結果として，危険な急斜面の真下に宅地が立ち並び，土砂災害の危険性が高くなっていった。

図 4.1.18 は，神戸市東灘区の航空写真である。40 年代は，平地にも建物が少なく，写真右上の丘陵には，幾筋もの谷が見えるが，70 年代になると，平野部は，建物で覆われ，丘陵地もすっかり造成されていることがわかる。



図 4.1.18　時系列地形図閲覧サイト「今昔マップ on the web」（(C)谷　謙二）により作成 [1)]

近年では，大雨や地震によって斜面やそれを抑えていた擁壁が崩れて崩落，土砂が流出して，建物の基礎がむき出しになっている映像が報道などで流れることが多くなった。

図 4.1.19 は，昭和 47 年から令和 6 年までに全国で発生した土砂災害の発生件数の推移である。統計開始以降の平均発生件数（S57～R5）1,108 件と比べ，直近 10 年の平均発生件数（H26～R6）は 1,499 件と大きく増加傾向にある。

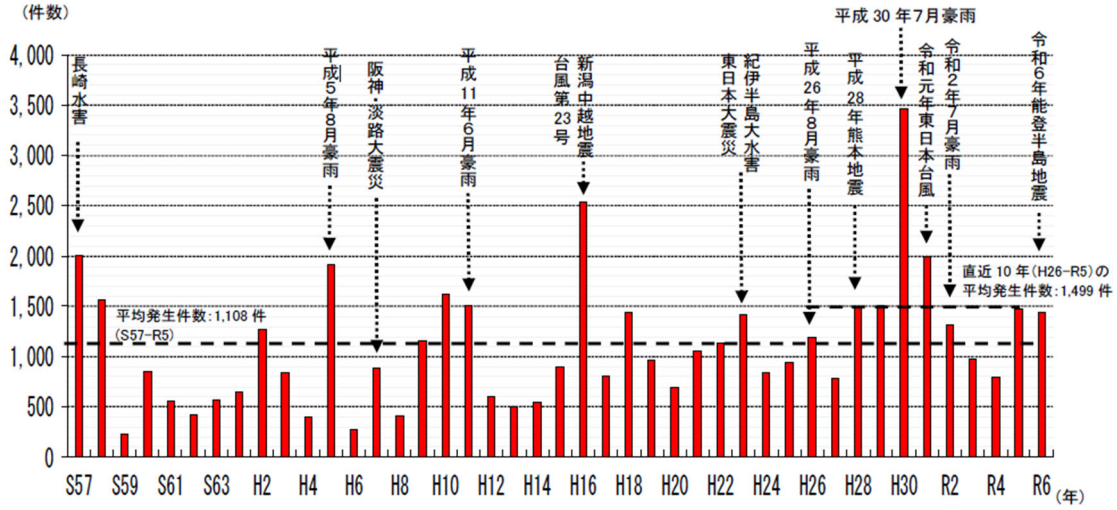


図 4.1.19　土砂災害発生件数の推移（S57～R6）出典：国土交通省

2）斜面のメンテナンス不足によるリスクの増大

住宅などの建物はメンテナンスを行うが，宅地を支えている擁壁などや斜面などは，メンテナンスを意識されることがなく，擁壁上部の側溝や水抜き穴が詰まるなど排水機能が落ちた宅地擁壁が散見され，都市における災害リスクが高まっているが，そのリスクについて所有者や管理者は認識していないことが多い。2020 年，神奈川県逗子市内の分譲マンションの敷地内にある東側の斜面が突然崩落し，斜面下の市道を歩いていた女子高生が 60 トン以上の土砂に巻き込まれて亡くなるという事故が発生した。この事故は，斜面のメンテナンス不足やそれらを軽視した結果事故につながったものであり，マンションの区分所有者や管理会社の責任が問われている。

国土交通省では，近年頻発する大規模地震や豪雨により，多数の宅地で宅地擁壁の倒壊が多く見られていることから，これまでの宅地擁壁の危険度を判定するための資料として公表していた「宅地擁壁老朽化判定マニュアル（案）」（平成 14 年 3 月，国土交通省）や「我が家の擁壁チェックシート（案）」（平成 14 年 3 月，国土交通省）に 宅地擁壁の危険度判定後の対策工法の選定方法などについて検討・整理し，既往の「宅地擁壁の健全度判定・予防保全対策マニュアル（案）」として令和４年４月にとりまとめた。

また，工事現場からの発生残土やコンクリート殻などを不法に山間部に投機するなど違法な盛土が大雨などにより崩落流出し災害が発生し，管理責任の所在などについて大きな社会問題となっている。

3）都市部における地域コミュニティの課題

都市部では，他地域からの転入数が多くいとともに，５年前の常住地から移動していないとする人口割合が全国平均よりも低く，その土地に長く定住していない者が多い傾向がみられる。また，家族類型別割合を見ると，全国平均に比べて特別区部では特に単身世帯が多く，都市部では同居者がいない者が多い傾向が見られる。

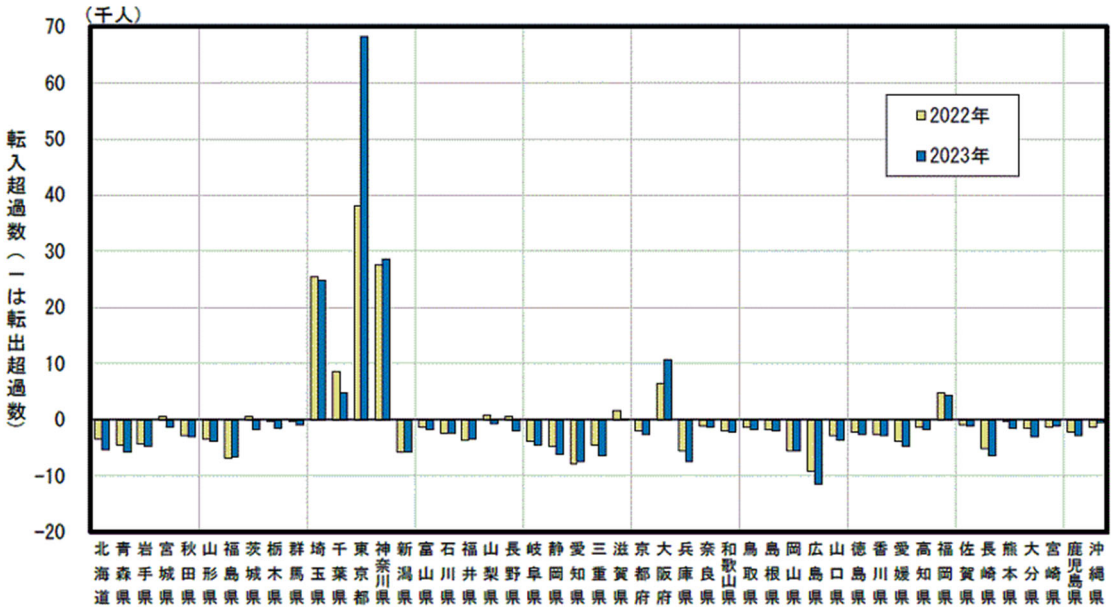


図 4.1.20　都道府県別転入超過数（2022 年，2023 年）[1)]

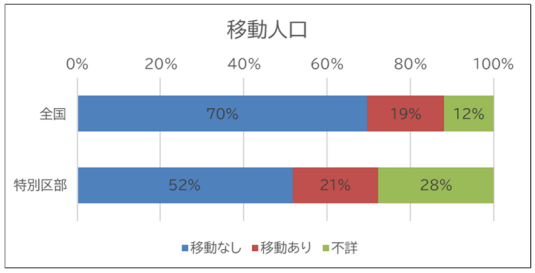


図 4.1.21　移動人口 [2)]

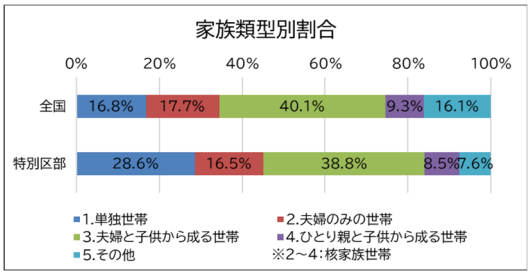
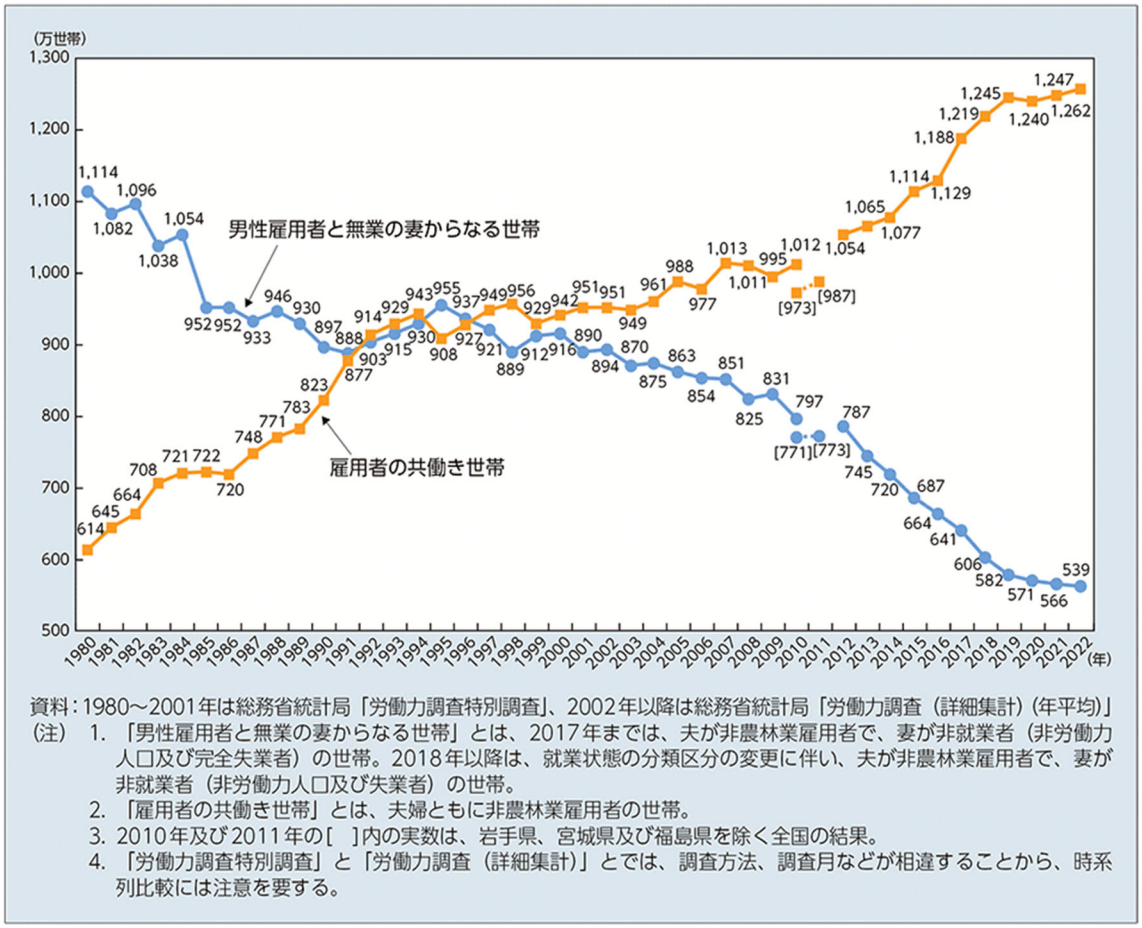


図 4.1.22　家族類型別割合 [2)]

共働き世帯と専業主婦世帯（男性雇用者と無業の妻からなる世帯）とを比べると，1997 年以降は前者の数が後者の数を上回っており，ライフスタイルの変化や多様化が進んでいると考えられる。



資料：1980～2001年は総務省統計局「労働力調査特別調査」、2002年以降は総務省統計局「労働力調査（詳細集計）（年平均）」
（注） 1. 「男性雇用者と無業の妻からなる世帯」とは、2017年までは、夫が非農林業雇用者で、妻が非就業者（非労働力人口及び完全失業者）の世帯。2018年以降は、就業状態の分類区分の変更に伴い、夫が非農林業雇用者で、妻が非就業者（非労働力人口及び失業者）の世帯。
2. 「雇用者の共働き世帯」とは、夫婦ともに非農林業雇用者の世帯。
3. 2010年及び2011年の[ ]内の実数は、岩手県、宮城県及び福島県を除く全国の結果。
4. 「労働力調査特別調査」と「労働力調査（詳細集計）」とでは、調査方法、調査月などが相違することから、時系列比較には注意を要する。

図 4.1.23　共働き等世帯数の年次推移[3)]

港区，葛飾区の地域で調査した都市部のコミュニティに関するアンケート調査結果を見ると，同居の有無別の自治会加入状況は，同居なしの場合は同居有の場合に比べて自治会加入率が低い傾向が見られる。また，年齢別の自治会加入状況を見ると，若い世代ほど自治会加入率が低くなる傾向が見られ，地域活動に関心がないことが伺える。さらに自治会加入者は高齢化が進むことが懸念される。

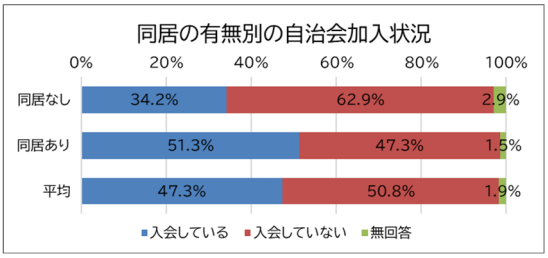


図 4.1.24　同居の有無別の自治会加入状況 [4)]

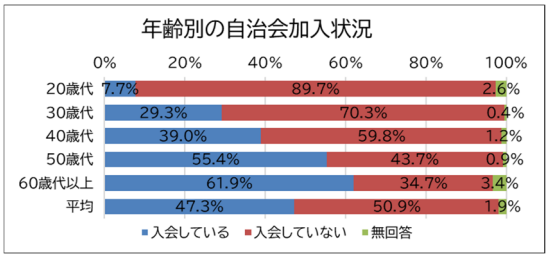


図 4.1.25　年齢別の自治会加入状況 [5)]

このような状況から，都市部では地域コミュニティの形成が難しく，地域活動の担い手の確保や災害時に地域で助け合う「共助」の関係性が作りにくくなっていることが課題である。

4）土地の履歴を知る地域コミュニティの形成での課題

古くから住んでいる地域の人が認識している土地の成り立ちや危険性について，居住年数の浅い住民はそれを知らずに住んでいる人も多くいることが懸念される。

都市部は，特に転入者や居住年数が浅い人も多いが，そういった人の多くは地域との交流が希薄であることも多いことから，土地の成り立ちや危険性を知る機会が少ないと考えられる。地域の危険性等が地域住民に十分に浸透していないことも地域コミュニティの課題である。

(2) 都市計画上の取組の方向性

上記で示した都市部での防災上の課題について，都市計画上からの取組の方向性を整理した。

1）盛土規制法の制定

令和 3 年の静岡県熱海市で大雨に伴い，上流部の違法な盛土の崩落により，大規模な土石流災害が発生し，甚大な被害が発生した。これを受けて，国では，危険な盛土等に関する法律による規制が必ずしも十分でないエリアが存在していること等を踏まえ，「宅地造成等規制法」を抜本的に改正して，「宅地造成及び特定盛土等規制法（通称：盛土規制法）」（令和 4 年 5 月 27 日公布）が，令和 5 年 5 月 26 日から施行された。土地の用途にかかわらず，危険な盛土等を包括的に規制することとした。

この法の特徴は以下の 4 点となる。

①盛土規制法の制定

・都道府県知事等が，宅地，農地，森林等の土地の用途にかかわらず，盛土等により人家等に被害を及ぼしうる区域を規制区域として指定（宅地造成等工事規制区域，特定盛土等規制区域の指定）

・農地・森林の造成や土石の一時的な堆積も含め，規制区域内で行う盛土等を許可の対象とする　等

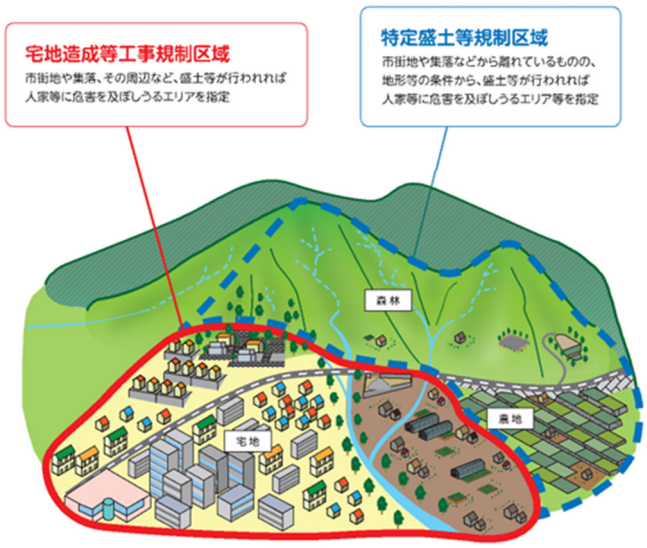


図 4.1.26　規制区域のイメージ

②盛土等の安全性の確保

・盛土等を行うエリアの地形・地質等に応じて，災害防止のために必要な許可基準を設定

・許可基準に沿って安全対策が行われているかどうかを確認するため，施工状況の定期報告，施工中の中間検査及び工事完了時の完了検査を実施　等

③責任の所在の明確化

・盛土等が行われた土地について，土地所有者等が安全な状態に維持する責務を有することを明確化

・災害防止のため必要なときは，土地所有者等だけでなく，原因行為者に対しても，是正措置等を命令できることとする　等

④実効性のある罰則の措置

・罰則が抑止力として十分機能するよう，無許可行為や命令違反等に対する罰則について，条例による罰則の上限より高い水準に強化　等

※ 最大で懲役 3 年以下・罰金 1,000 万円以下・法人重科 3 億円以下

2）都市再生特別措置法の改正に伴う立地適正化計画の防災方針の策定

①目的と背景

都市における今後のまちづくりは，人口の急激な減少と高齢化を背景として，財政面及び経済面において持続可能な都市経営を可能とすることが，大きな課題となっている。

こうした中，医療・福祉施設，商業施設や住居等がまとまって立地し，高齢者をはじめとする住民が公共交通によりこれらの生活利便施設等にアクセスできるなど，福祉や交通なども含めて都市全体の構造を見直し，コンパクトなまちづくりに国を挙げて推進するため，平成 26 年 8 月に都市再生特別措置法等が改正され，「立地適正化計画」の制度が創設された。

計画では，居住誘導区域と都市機能誘導区域を設定し，緩やかな誘導による居住者や都市機能の集約を推進するものである。

また，令和 2 年 6 月に成立した改正都市再生特別措置法では，頻発・激甚化する自然災害に対応するため，計画区域内の防災対策，安全確保策を推進するための「防災指針」を新たに盛り込みこととなった。防災指針では，居住誘導区域等における災害リスク分析，防災・減災まちづくりに向けた課題抽出，まちの将来像，取組方針，具体的な取組，それらのスケジュールと目標値の検討が求められている。

令和 6 年 3 月時点で，747 都市が立地適正化計画について，具体的な取組を行っており，このうち 291 都市が防災指針を記載して公表している。

②防災指針の記載項目

防止指針では，災害による被害を軽減するために，各種災害リスクを把握し，市民・地域・行政が災害リスクを認識した上で，回避や低減を図る取組を総合的に実施することが重要としている。その上で，災害リスクの高い区域を居住誘導区域から除外する「災害リスクの回避」と災害があった際の被害を最小限にとどめるためのソフト事業とハード事業の「災害リスクの低減」を対策として進める。特に災害リスクの低減では，避難計画の策定や危険リスクの周知など住民への災害リスクの啓発活動に力を入れる都市が多い。

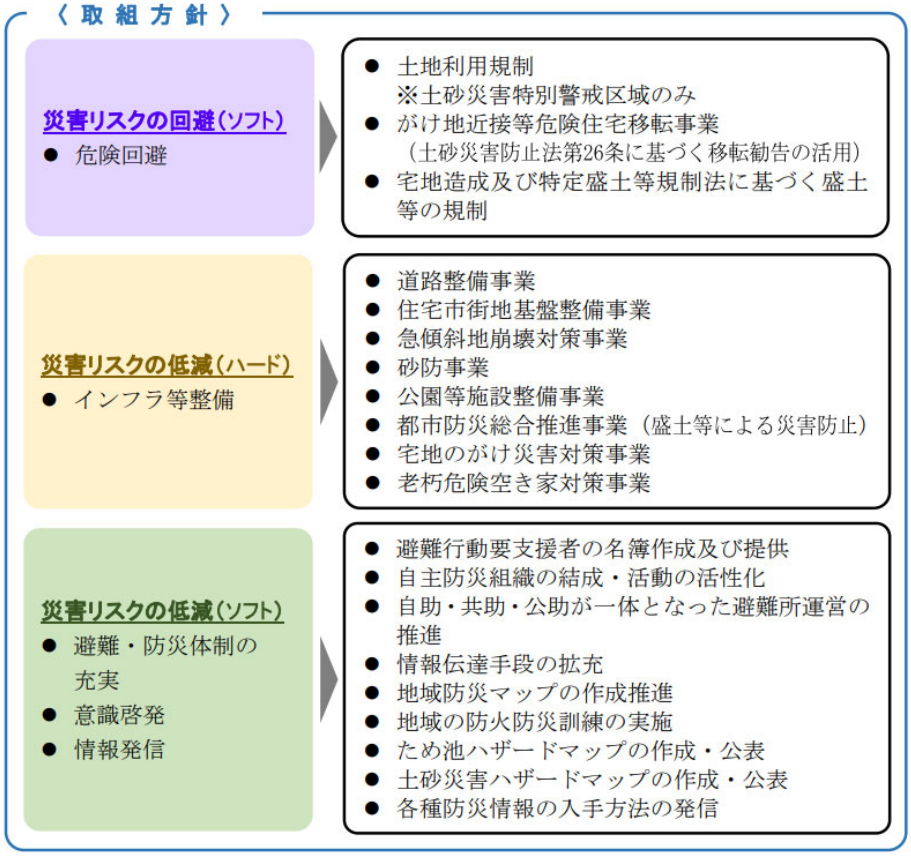


図 4.1.27　防災指針の取組方針の例 [5)]

以上の法令による地区の指定や除外によって，はじめて自分の住んでいる地域の災害リスクを認識するきっかけになると考える。また，それによって自分事として自分の住んでいる地域の防災への関心がたかまることが期待できると考える。そのためには，行政の地道で積極的な情報発信が重要である。

(3) コミュニティ形成の取組み事例

1) 地域と行政の取組　地域における防災まちづくり方針策定の取組事例の紹介

○さいたま市防災都市づくり計画について

さいたま市では，想定される地震による災害リスクに対し，安全・安心のための防災の取組を進めるのではなく，利便性や快適性も備えた安全で住みやすい都市を目指していくために，防災も含めた総合的な都市づくりを目指して平成２７年８月に「さいたま市防災都市づくり計画」を策定した。

○推進地区候補での防災まちづくり方針の作成：災害リスク低減に向けた行政の取組

さいたま市では，さいたま市防災都市づくり計画に基づき，災害リスク低減に向けた取組を実施しており，①出前講座の実施，②準防火地域の指定拡大，③災害リスクの継続的なモニタ

リングとその結果の公開，④推進地区候補に対する防災まちづくり支援を行っている。

①の出前講座は，市職員が自治会等に伺い，災害リスクの周知や防災まちづくりの啓発を行うものである。出前講座では，住民のまちづくり機運を高めることを目的とし，阪神・淡路大震災や糸魚川大火などの災害事例の説明，対象地区の延焼シミュレーション結果やさいたま市防災都市づくり計画で定義している「災害リスク」の提示や防災まちづくりの啓発を行っている。

また，④は，災害リスクが高い地区で，配置状況や建物の配置状況を現地踏査で確認し，重点的かつ優先的に対策を講じる必要がある地区を市が「推進地区候補」に設定し，地区内にある自治会について，出前講座を行ってきた。平成 27 年から 29 年の 3 か年で，推進地区候補 19 地区内にある 60 自治会で計 64 回実施した。

残念ながら，出前講座を行った自治会の多くは，防災まちづくり方針の策定の取組に至るまでには至らなかった。

災害リスクへの関心と強い危機意識を持つ自治会もいくつかあったが，「防災まちづくり方針」の策定を行い，防災まちづくりの実践を行った「推進地区」に位置付けられている自治会は，現在，市内で 1 地区のみである。

「防災まちづくり方針」とは，今よりも，「災害に強く」，「住みやすい」まちにしていくにはどうしたらよいかという観点で，目指すべきまちの姿，防災まちづくりの方向性などを方針としてまとめたものである。

推進地区となった地区は，関東大震災後における都心からの急激な人口流入を受けて整備された住宅地の一つである。戦前に整備された住宅地であるため，地区内の道路は狭く，行き止りの箇所もある。低層戸建て住宅を中心とした閑静な住宅街であり，普段から住民のまちづくりに対する意識が高く，住民同士のまとまりがある地域である。

〇策定までの流れ

防災まちづくり方針の策定まで，概ね 2 年かかり，1 年目は，まち歩きやアンケートを行い，地区の状況や課題点の整理，2 年目は，課題の共有を図りながら，まちづくりの方向性・具体施策の検討についてワークショップを行い，まとめられた。

検討にあたり，着実に策定まで進めるように，あらかじめ作成の流れやとりまとめのイメージを提示して作業の成果があいまいにならないように，関係者で共有するなどの工夫が図られた。方針の策定を行う検討会は，自治会や自主防災組織からメンバーの選出が行われ，10 名～15 名程度となった。この検討会には，行政も支援する形で参加するとともに，まちづくり専門家の派遣を行った。検討手法としては，①まち歩き，②アンケート，③防災まちづくりニュースの発行，④ワークショップでの検討，の 4 つを組み合わせて進められた。

地区防災計画と防災まちづくり方針の両方の要素をまとめて，「防災まちづくりの心構え」として策定した。策定後は，地区内での防災訓練の実施や地域内や家庭内での消火器の新規設置や交換，感震ブレーカーの設置の斡旋などによる設置率の向上など地域や住民の防災への意識向上や各個人の防災への備えが進められている。

〇方針策定，取組実施につながる要因

当該地区が防災まちづくり方針の策定，取組実施まで進められた要因として，地域の中で災

害の被害を「自分事」としてとらえ，問題意識を持った人が中心となり活動が進められたこと，日頃から地域のまとまりがあったことなどが挙げられる。また，検討過程における成果のイメージの共有や進捗状況の地域への周知などは防災まちづくり方針策定や策定後の取組に対して有効であると考える。他の地区でも，そのようなきっかけとなる地区の「キーマン」に出会えることができるかが，行政として最も難しいところであるが，そのためには，地域住民に対して延焼シミュレーション結果の提示やまち歩きを加えた出前講座の実施，防災まちづくり方針作成の手引きの公開などの情報発信を行っていくなど，地域住民と接する機会を地道に積み重ねていくことが重要であると考える。

2) 「ネイバーフットデザイン」－hitotowa の取組

都市部では，頻繁な住民の入れ替わりやライフスタイルの多様性により，地域住民の関係が希薄となっている。また，それらは，2020 年のコロナ禍においてさらに加速化，顕在化した。防災の面からも，普段から「ご近所づきあい」がなければ共助の関係性がつくりづらくなる。そのような地域，マンション，自治会なで「ネイバーフットデザイン（同じまちに暮らす人々が，いざというときに助け合える関係性と仕組みをつくること）の支援を行っている（株）HITOTOWA のシニアディレクター高村氏は，ネイバーフットデザインに取り組む際に，以下の項目に留意している。

・プライバシー，セキュリティが重視される中，自分を出せる場所が重要で，一人一人に向き合うことが求められる。
・コロナ禍により，つながりも変化した。「場所」に行けなくなっても地域のつながりが「0」とならないための「備え」が必要で，住民同士のチャットを作成するなど，オンライン活用を積極的に推進している。
・地域の IT 化は必須だが，学びあえる機会が暮らしの中にあることが重要
・「コミュニティはサービスではない」，課題の解決に対して役割をシェアすることが求められるが，義務的な役割を分担するのではなく，街に関わる権利があるということを意識し，自分がやりたいことが街のためになることが重要。

参考文献

1) 谷 謙二(2017) 「今昔マップ旧版地形図タイル画像配信・閲覧サービス」の開発．GIS-理論と応用，25(1)，1-10.
2) 住民基本台帳人口移動報告　2023 年（令和５年）結果
3) 令和２年国勢調査
4) 令和 5 年版　厚生労働白書
5) 都市部のコミュニティに関するアンケート調査　報告書（平成 25 年 3 月）
6) 長崎市立地適正化計画～安全・安心で快適な暮らしが続けられる都市を目指して～（令和 6 年 3 月 14 日改訂）

4.2 災害に対する地域の危険度情報

4.2.1 地域防災分析に活用できるオープンデータについて

(1) オープンデータ一覧

本節では，地域の防災について分析しようとしたときに活用できるオープンデータについてまとめる。土砂災害危険箇所の把握はもちろん，地域の防災を考える場合，検討対象となる災害に関連する情報を収集し，情報の取捨選択，周辺地域や属性間の比較などが有効と考える。そのような検討をしようとしたときに，どのようなデータが公開されており，利用することができるのか，一覧表が欲しいと感じたのが本節を書く動機である。

著者が探し得たオープンデータを表 4.2.1 に示す。なお，以下に留意事項をまとめた。

- 当然，これ以外にもオープンデータは存在し，網羅しているわけではない。
- 執筆時点（2025 年 1 月）の情報であり，データ使用の要件については各自で確認されたい。
- e-Stat に登録されている政府統計は全て省略し，e-Stat のみを表記した。たとえば，人口動態調査，労働力調査，建設工事受注動態統計調査など多くの統計が公開されている。
- 防災科学技術研究所では多くのプラットフォームを整備しており，代表的なものを載せた。その他については防災科学技術研究所のホームページ [1)]を確認されたい。

ここでは紙面の都合上，公開方式の分類表示を省略したが，それぞれのサイトで，マップ上で閲覧できるもの，データがグラフ化されておりそれを閲覧できるもの，テーブルデータが閲覧できるもの，データをダウンロードできるもの，API でデータを取得できるもの等がある。マップやグラフで確認できるものは視覚的にわかりやすく，考察するときに役立つ。一方で，テーブルデータやデータがドウンロードできるものについては，自信の分析ツールに読み込み，統計量の算出や，高度な分析が可能となり，定量的な評価が可能である。

ここでは全国を取り扱っているサイトを挙げたが，この他にも各都道府県や地方整備局が防災サイトを運営していることが多い。たとえば東京都では「東京都土砂災害危険度情報 [2)]」や「東京都水防災総合情報システム [3)]」を公開しており，前者ではメッシュごとの 10 分間レーダー雨量なども確認できる。さらに東京オープンデータカタログサイト [4)]にて，多くのオープンデータがまとめられている。

また，全国的な数値標高データ（DEM）は国土地理院の基盤地図情報ダウンロードサービス [5)]から 1m，5m，10m メッシュでダウンロード可能であるが，一部の都道府県はこれより詳細な DEM データを公開している。たとえば，栃木県，東京都，神奈川県，静岡県，長野県，兵庫県，広島県，高知県は全域，埼玉県，奈良県，大阪府，和歌山県の一部が G 空間情報センター[6)]にて DEM データを公開している。さらに，長崎県はオープンナガサキ [7)]として全域の DEM データを公開している。

表 4.2.1　オープンデーター覧

対象	サービス名	管轄・管理団体	説明	URL
政府統計	**e-Stat**	総務省	政府統計の多くはここで公開されている。	https://www.e-stat.go.jp/
地理空間情報	**国土数値情報**	国土交通省	地形、土地利用、公共施設などの国土に関する基礎的な情報を GIS データとして整備。	https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/
地理空間情報	**G 空間情報センター**	一般社団法人 社会基盤情報流通推進協議会	様々な地理空間情報が集約されている。自治体がこのプラットフォームを利用して DEM データを公開していることが多い。	https://front.geospatial.jp/
地理空間情報	**データ統合・解析システム（DIAS）**	海洋研究開発機構，文部科学省	データを公開することも可能。	https://diasjp.net/
行政情報	**e-GOV データポータル**	デジタル庁	中央行政のオープンデータポータル。行政からでた PDF なども収録されているため，取り扱いやすいデータを探す必要がある。	https://data.e-gov.go.jp/info/ja
プラットフォーム	**国土交通データプラットフォーム**	国土交通省	国土交通省が運営する多くのプラットフォームを検索可能	https://www.mlit-data.jp/#/
3 次元マップ	**plateau**	国土交通省	日本全国の都市デジタルツイン実現プロジェクト。G 空間情報にてダウンロードも可能。	https://www.mlit.go.jp/plateau/
ハザードマップ	**ハザードマップポータルサイト**	国土交通省	重ねるハザードマップ。	https://disaportal.gsi.go.jp/
ハザードマップ	**NHK 全国ハザードマップ**	NHK	NHK が提供するハザードマップ。	https://www.nhk.or.jp/campaign/w-hazardmap/
地理空間情報	**RESAS　地域経済分析システム**	内閣府・経済産業省	産業構造や人口動態、人の流れなどのデータを集約し、可視化するシステム。	https://resas.go.jp/
地理空間情報	**bosaiXview**	防災科学技術研究所	気象災害に関する情報をリアルタイムにマップ表示。	https://xview.bosai.go.jp/
地理空間情報	**地理院地図**	国土地理院	地理院地図に地質図情報や様々な地図を重ねられる。	https://maps.gsi.go.jp/
感染症・物価・デジタル実装状況	**RAIDA**	内閣府 地方創生推進室	デジタル実装状況で，防災・インフラメンテナンスの都道府県別の実施状況が確認・データダウンロードが可能。	https://raida.go.jp/
自然災害情報	**統合災害情報システム（DiMAPS）**	国土交通省	各年の災害情報をマップ上で確認できる。	https://dimaps.mlit.go.jp/dimaps/index.html
道路点検情報	**全国道路施設点検データベース　xROAD**	国土交通省	道路構造物の諸元や点検結果等のデータが集約。アカウント登録が必要。	https://road-structures-db.mlit.go.jp/
道路点検情報	**全国道路施設点検データベース**	国土交通省	マップ形式とテーブルデータを表示可能。	https://road-structures-map.mlit.go.jp/Index.aspx
道路の詳細平面図	**全国道路基盤地図等データベース**	一般財団法人国土技術研究センター	公開中止中	https://www.jice.or.jp/road_basemap/
地図	**地理院タイル**	国土地理院	電子国土基本図（地図情報）のダウンロードが可能。	https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html
DEM	**基盤地図情報ダウンロードサイト**	国土地理院	DEM データのダウンロードができる。R7 の 3 月に新サービスに移行される予定。	https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php

対象	サービス名	管轄・管理団体	説明	URL
避難所	**指定緊急避難場所・指定避難所データ**	国土地理院	指定緊急避難場所データ・指定避難所データのダウンロードが可能。	https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/hinanbasho.html
地質情報	**地質図 Navi**	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 / 地質調査総合センター	地質図をマップ上に表示。	https://gbank.gsj.jp/geonavi/
都市交通	**都市交通調査プラットフォーム**	国土交通省	都市交通に関する自治体データを集約公開。	https://ptplatform.mlit.go.jp/
GNS	**自然災害に対する安全性指標 GNS**	地盤工学会関東支部 GNS 研究委員会	自然災害に対する安全性指標 GNS を算出し公開している。	https://jibankantou.jp/group/gns2_2023.html
河川情報	**川の防災情報**	国土交通省	河川に関する情報が集約されている。河川に設置された雨量計データも閲覧できる。	https://www.river.go.jp/index
河川情報	**水防災オープンデータ提供サービス**	(一財)河川情報センター	有料	https://www.river.or.jp/koeki/opendata/index.html
ボーリング	**国土地盤情報検索サイト KuniJiban**	土木研究所	ボーリングデータをマップ上から取得可能。	https://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/index.html
地震	**J-SHIS 地震ハザードステーション**	防災科学技術研究所	確率論的地震動予測地図等をダウンロード可能。	https://www.j-shis.bosai.go.jp/
火山	**火山基本図データ**	国土地理院	火山基本図データをダウンロード可能。	https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/volcano-maps-vbm-data.html
火山	**基盤的火山観測網（V-net）**	防災科学技術研究所	各種火山観測データの公開。	https://www.vnet.bosai.go.jp/
火山	**JVDN システム（火山観測データ一元化共有システム）**	防災科学技術研究所	火山観測を行っている研究機関、大学、行政機関などのデータが共有されており，閲覧可能。	https://jvdn.bosai.go.jp/portal/ja/
気象	**解析雨量**	一般財団法人 気象業務支援センター	過去の解析雨量を購入可能。	https://www.jmbsc.or.jp/jp/offline/cd0100.html
気象	**CPS-IIP リスクウォッチャー**	国立情報学研究所 北本朝展氏	過去の注意報・警報をはじめとした気象情報データを公開。	https://agora.ex.nii.ac.jp/cps/
気象	**気象庁 XML**	気象庁	気象庁が発表する気象警報や地震津波情報、火山情報などの防災情報を XML 形式で配信。	https://xml.kishou.go.jp/
気象（世界）	**Copernicus Data Space**	Copernicus	EU の地球観測プログラムである Copernicus のデータポータル。Copernicus は、環境モニタリングや災害管理、気候変動の研究など、多岐にわたる分野で高精度な地球観測データを提供。	https://dataspace.copernicus.eu/
地震（世界）	**USGS**	USGS	世界的な地震・火山データなどが公開。	https://www.usgs.gov/

対象	サービス名	管轄・管理団体	説明	URL
衛星画像	**ひまわり 8 号リアルタイム web**	情報通信研究機構	ひまわり 8 号からの衛星写真が閲覧・ダウンロードできる。	https://himawari8.nict.go.jp/ja/himawari8-image.htm
干渉 SAR	**ASF SAR DAAC**	Alaska Satellite Facility (ASF)	アラスカ衛星施設が提供する干渉 SAR データをダウンロードできる。	https://asf.alaska.edu/asfsardaac/
干渉 SAR	**COMET-LiCS Sentinel-1 InSAR portal**	Natural Environment Research Council (NERC)	イギリスの自然環境研究評議会が運営する LiCSAR をダウンロードできるサイト。	https://comet.nerc.ac.uk/comet-lics-portal/
労働災害	**職場のあんぜんサイト**	厚生労働省，労働安全衛生総合研究所	労働災害に関する統計データが公開されている。	https://anzeninfo.mhlw.go.jp/
医療	**NDB オープンデータ**	厚生労働省	レセプト情報が公開されている。	
建設業統計	**建設業デジタルハンドブック**	一般社団法人日本建設業連合会	建設業に関するさまざまな統計データをグラフ化している。	https://www.nikkenren.com/publication/handbook/index.html
工事情報	**My City Construction**	東京大学生産技術研究所（研究代表：関本義秀研究室），株式会社建設技術研究所，(一社)社会基盤情報流通推進協議会	工事受注者のオンライン電子納品を集約したサイト。	https://mycityconstruction.jp/
不動産情報	**不動産情報ライブラリ**	国土交通省	不動産の取引価格、地価公示等の価格情報や防災情報、都市計画情報、周辺施設情報等、不動産に関する情報をダウンロードできる。	https://www.reinfolib.mlit.go.jp/
公的土地評価情報	**全国地価マップ**	一般財団法人 資産評価システム研究センター	全国の公的土地評価情報が閲覧可能。	https://www.chikamap.jp/
地価	**3D マップで見る 全国公示地価**	読売新聞	全国の地価を 3D グラフでマッピング。	https://www.yomiuri.co.jp/topics/land-price/
犯罪情報	**警視庁犯罪情報マップ**	警視庁	犯罪情報をマップ上で閲覧できる。治安の分析等に活用できる。	https://map.digipolice.jp/
交通事故情報	**交通事故発生マップ**	警視庁	交通事故情報をマップ上で閲覧できる。治安の分析等に活用できる。	https://www2.wagmap.jp/jikomap/Portal

(2) 分析ツール

前項では，地域防災の考察に役立つオープンデータについてまとめた。ここでは，ダウンロードできるデータに対して，どのような分析ツールがあるのか紹介する。

まず, 基本的な統計量を算出や簡易にデータの可視化を行いたい場合, Excel, Numbers, Google スプレッドシートなどの表計算ソフトウェアが有用である。データ変数が多岐にわたり，各変数間の属性でソートやフィルターをかけた可視化を手軽に行いたい場合は，Power BI のようなデ

ータ可視化プラットフォームを利用するのがいいだろう。よりカスタマイズされた高度な分析を行いたい場合や，一連の操作の再現性を確保したければ R や Python といったプログラミング言語を利用した分析が有効である。

地理空間情報が重要となる分析をする場合，地理空間を地図上に可視化したい。こういった場合は，GIS やコロプレス図による描画が有効である。GIS のソフトウェアとして，QGIS がオープンソースソフトウェアであり，クロスプラットフォームのため，さまざまな OS 環境で動作し便利である。データの閲覧，編集，分析ができ，無料ソフトウェアにも関わらず非常に強力なツールである。その他にも R や Python などを利用しても分析可能であり，これらは操作の再現性が高く，パッケージやライブラリによってさまざまな分析機能が追加されている。Python の地理空間情報の取り扱いには Geopandas というライブラリが非常に優秀である。また可視化では Plotly や folium といったライブラリが扱いやすい。

(3)分析事例の紹介（自然災害に対する安全性指標 GNS）

オープンデータを利用した地理空間情報分析事例を紹介する。地盤工学会関東支部 研究委員会グループ「防災戦略の意思決定プロセスに資する総合的な自然災害安全性指標（GNS）実現に関する研究委員会」では自然災害に対する安全性指標 GNS（Gross National Safety for natural disasters）を公表している [8]。この指標は，経済分野でも用いられている GDP や GNP のような統一指標を自然災害への防災減災対策にも適用することが必要であると指摘し [9,10]，自然災害に対する安全性指標（GNS）の開発を進め，都道府県レベルの GNS を 2015 年，2017 年に公表し [11]，市町村レベルの GNS を地域限定で 2019 年に公開しているものである。現在は GNS2023 が公開されている。

GNS のリスク計算式を図 4.2.1 に示す。GNS は曝露量指数と脆弱性指数の積で求められ，さらにこの曝露指数は，危険事象と曝露人口の積となる。市町村ごとに，統一的な指標を算出するために，上記に記載したオープンデータを中心に計算を行っている。曝露指数の算出について具体的に使用データを示すと表 4.2.2 のとおりである。それぞれの指標を算出するために，適切なオープンデータを選択し，それらを地理空間的に演算することによって計算している。計算には QGIS や Python を利用している。こうして計算された GNS の結果を図 4.2.2 に示す。このサイトは Python のライブラリ Dash によって作成されており，インタラクティブな操作が可能である。このように地理空間情報の分析および可視化によって，自然災害に対する安全性指標の考察が可能である。



図 4.2.1　GNS のリスク計算式 [8)]

表 4.2.2　GNS 曝露量指数の算出に使われているオープンデータ

	危険事象（災害発生頻度）	曝露（災害の影響下にある人口割合）
地震	・J-SHIS「確率論的地震動予測地図」250m メッシュデータ	30 年以内に震度 6 弱以上の地震が発生する地域に居住する人口割合 ・e-Stat 統計地理情報システムにより小地域のジオメトリおよび人口 ・J-SHIS「確率論的地震動予測地図」250m メッシュデータ
津波	1498～2006 年の津波発生回数 [12)]	・e-Stat 国勢調査　5 次メッシュ（250m）の人口等基本集計に関する事項の人口データ ・国土数値情報の標高・傾斜度 5 次メッシュデータから最低標高が 3m 未満のメッシュを抽出
高潮	701～1961 年の高潮発生回数 [13)]	津波に同じ
土砂災害	2010～2016 年の土砂災害発生件数 [14)]	・国土数値情報より，土砂災害危険箇所データ ・e-Stat 統計地理情報システムにより小地域のジオメトリおよび人口
火山噴火	気象庁「主な火山災害年表」	・e-Stat 統計地理情報システムにより小地域のジオメトリおよび人口 ・気象庁　日本の活火山分布図
洪水	e-Stat 水害統計調査より 2006~2016 年の水害発生件数	・国土数値情報より，洪水浸水想定区域データ ・e-Stat 統計地理情報システムにより小地域のジオメトリおよび人口

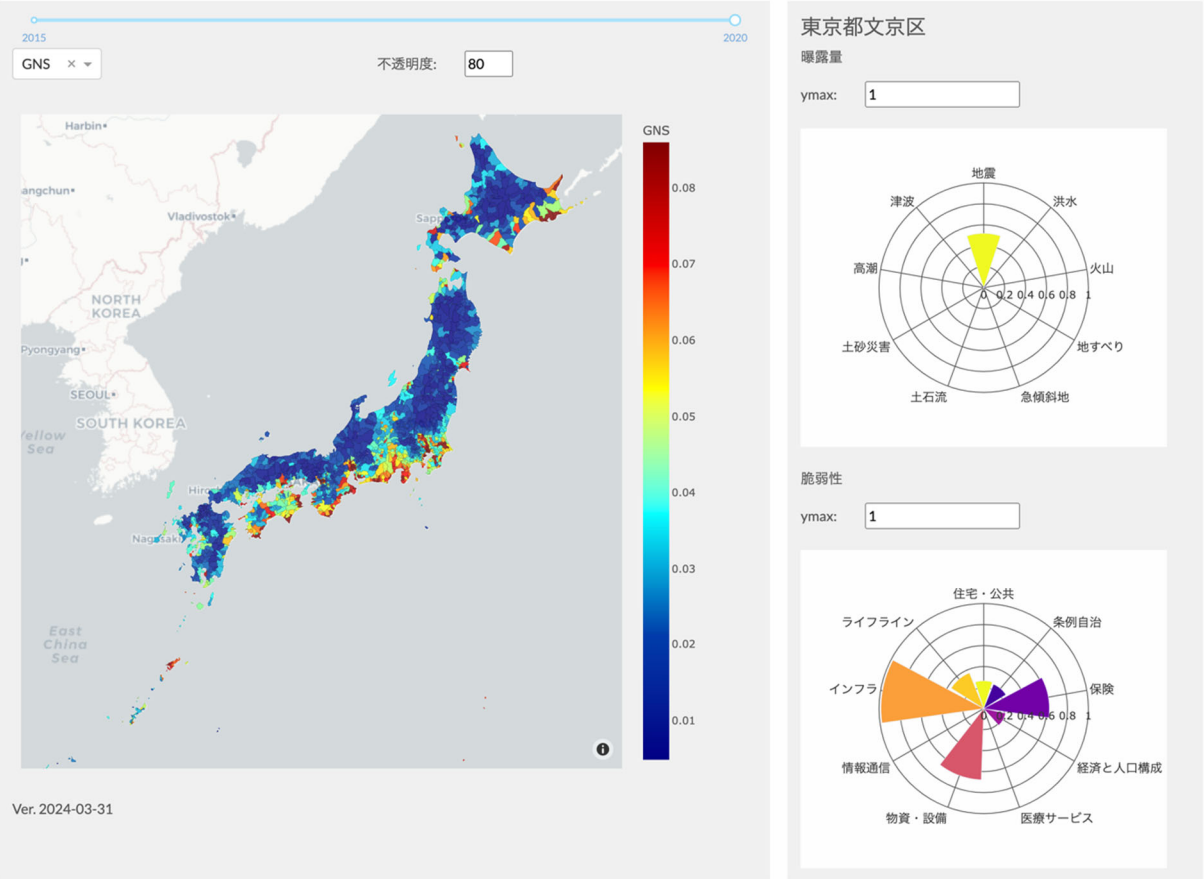


図 4.2.2　公開されている GNS 閲覧サイト[8)]

参考文献

1) 防災科学技術研究所：データ公開一覧，https://www.bosai.go.jp/activity_special/data/index.html.（閲覧日 2025 年 1 月 27 日）

2) 東京都：東京都土砂災害危険度情報，https://d-keikai.metro.tokyo.lg.jp/（閲覧日 2025 年 1 月 27 日）．

3) 東京都：東京都水防災総合情報システム https://www.kasen-suibo.metro.tokyo.lg.jp/im/uryosuii/tsim0102g.html（閲覧日 2025 年 1 月 27 日）．

4) 東京都：東京オープンデータカタログサイト，https://portal.data.metro.tokyo.lg.jp/（閲覧日 2025 年 1 月 27 日）．

5) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス，https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php（閲覧日 2025 年 1 月 27 日）．

6) G 空間情報センター，https://front.geospatial.jp/（閲覧日 2025 年 1 月 27 日）．

7) 長崎県：オープンナガサキ，https://opennagasaki.nerc.or.jp/（閲覧日 2025 年 1 月 27 日）．

8) 地盤工学会関東支部 研究委員会グループ「防災戦略の意思決定プロセスに資する総合的な自然災害安全性指標（GNS）実現に関する研究委員会」：自然災害に対する安全性指標 GNS（Gross National Safety for natural disasters）～全国の市町村別リスク指標 2023 年版～，https://jibankantou.jp/group/gns2_2023.html（閲覧日 2025 年 1 月 27 日）．

9) 日下部治，伊藤和也，小梅川博之，稲垣秀輝，大里重人：地盤リスクに関する保険制度と統一的評価手法の必要性，地盤工学会誌，Vol. 61, No. 7，pp. 12-15，2013.
10) 伊藤和也，菊本統，下野勘智，大里重人，稲垣秀輝，日下部治（2017）：自然災害に対するリスク指標 World Risk Index の我が国における推移と考察，自然災害科学，Vol 36, No. 1, pp.73-86.
11) 菊本統，下野勘智，伊藤和也，大里重人，稲垣秀輝，日下部治（2017）：我が国の自然災害に対する統合的リスク指標，土木学会論文集Ｆ6(安全問題)，73(1)，pp.43-57.
12) 阿部勝正：日本付近に発生した津波の規模（1498-2006 年）：https://wwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/tsunamiMt.html（閲覧日 2025 年 1 月 27 日）.
13) 荒川俊秀，石田祐一，伊藤忠士（1961）：日本高潮史料，気象研究所，272p.
14) 国土交通省：都道府県別土砂災害発生状況：https://www.mlit.go.jp/river/sabo/taisaku_syojoho/dosyasaigai_hasseijokyo.pdf（閲覧日 2025 年 1 月 27 日）.

4.2.2 土砂災害警戒区域設定の現状と課題

(1) 土砂災害警戒区域の設定の現状と課題

1) 土砂災害警戒区域の設定現状

土砂災害警戒区域は，警戒避難体制を整備すべき土砂災害のおそれのある土地について，都道府県知事が「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律（以下，土砂災害防止法と称す）」第 7 条に基づいて指定する区域であり，令和 6 年 12 月末時点で全国の 698,721 箇所が指定されている。なお，建築物の構造規制や開発制限に係る土砂災害特別警戒区域については，ここでは扱わないこととする。

土砂災害警戒区域に指定されると，警戒避難体制の整備として，市町村は指定された区域を市町村防災計画に位置付け，土砂災害ハザードマップを作成して住民等に周知するなどの措置が義務付けられる。また、都道府県は，土砂災害の危険が予想される降雨量を設定し，降雨量が危険な雨量に達したときは地方気象台と共同で土砂災害警戒情報を発表し，避難指示の判断に資する情報として関係市町村へ通知するとともに，マスコミ等を通じて一般に周知することが義務付けられている。さらに，土砂災害警戒区域内に立地する高齢者利用施設などの管理者には避難確保計画を作成して避難訓練を実施する義務，宅地建物取引主任者には宅地建物取引時の重要事項説明の義務が生じる。

このような土砂災害警戒区域は，人家等が存在している箇所や将来立地が予想される箇所を指定対象とし，土砂災害防止法施行令第 2 条に示された指定基準に基づき，図 4.2.3[1)]のように急傾斜地の崩壊，土石流，地滑り（※ここでは法令に揃えて「地すべり」ではなく「地滑り」と表記した。）の 3 つの土砂の発生要因となる現象ごとの地形要件などにより区域の範囲を決定している。多くの都道府県は，砂防フロンティア整備推進機構の「土砂災害防止に関する基礎調査の手引き」（平成 13 年 6 月）を参考に基礎調査マニュアルを作成し，具体的な区域設定の方法を定めている。また，昭和 41 年以降，令和 5 年 11 月の砂防計画課長通知による令和 6 年度から使用しなくなった土砂災害危険箇所（土石流危険渓流，地すべり危険箇所，急傾斜崩壊危険箇所）から基礎調査に着手してきた経緯に加え，調査の対象が全国で約 68 万箇所もあることから，多くの区域がボーリング調査のような時間と費用のかかる詳細な地質調査は実施していない。



図 4.2.3　土砂災害警戒区域の範囲

2）土砂災害警戒区域の設定の課題

平成 30 年 7 月豪雨では、土砂災害による死者の約 9 割が土砂災害の恐れがあると予め公表されていた場所（土砂災害警戒区域や基礎調査結果の公表箇所）で被災し[2]，令和元年東日本台風では，人的被害・人家被害の約 7 割が土砂災害警戒区域に指定されるなど，事前に土砂災害の危険が周知されていた[3]。このように，災害カバー率としては一定の水準にあるとみることもできるが，裏を返せば土砂災害警戒区域外で発生した土砂災害もあったということである。

土砂災害警戒区域や基礎調査結果が公表された箇所以外で土砂災害が発生した理由として，土砂災害防止法の制定後に開始された基礎調査を実施していた基礎調査（いわゆる 1 巡目の基礎調査）を実施していた時期は 25,000 分の 1 の地形図判読で箇所の抽出を行うことが多かったため，概略調査段階で現地調査の対象から外れてしまったことが挙げられる。こうした地形判読の課題については，高精度な数値標高モデル（DEM）の活用が一般的になってきたことを背景に，2 巡目基礎調査における新規箇所の抽出に利用する事例[4]や既往災害のカバー率向上も確認されている[5]ことから，現在進行中の 2 巡目基礎調査によって解消されていくものと期待される。しかしその一方で，災害カバー率 100%を目指し，例えばゼロ次谷等をすべて区域指定の対象とするような基準値をやみくもに設けるようなことは，行政コスト等の観点から慎重に検討していかなければならない[5]といった課題は引続きの検討が必要である。

参考文献

1） 一般社団法人全国治水砂防協会（2020）：改訂 3 版 土砂災害防止法令の解説－土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律－， pp.25.

2）実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会（2019）：実効性のある避難を確保するための土砂災害対策のあり方について（報告書）， pp.4.

3）第 1 回土砂災害防止対策小委員会（2019）：第 1 回土砂災害防止対策小委員会 資料 5, https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/mizukokudo03_sg_000150.html

4）川原友博，若林辰明，西真佐人，近藤正樹（2020）：数値標高モデル（DEM）を活用した土砂災害防止法に基づく基礎調査の新規箇所抽出手法の検討事例について，2020 年度砂防学会研究発表会概要集，R11-012，pp.505-506.

5）第 2 回土砂災害防止対策小委員会（2024）：第 2 回土砂災害防止対策小委員会 資料 5, https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_dosyasaigaitaisaku.html

4.2.3 土砂災害ハザードマップの役割と課題

土砂災害の中で被災した事例と逃れた事例を比較すると，自助が大変重要なことがわかる。特に，急に発生する地震や火山噴火の時の住民避難はなかなか難しい点はあるが，気象予報が充実した豪雨前の事前避難は多くの人が可能である。まずは早めの避難を心掛け，どうしても避難が遅れてしまって，危険が切迫した場合にもあきらめずに垂直避難や崖の反対側の部屋に逃げるなど臨機応変の対応が必要である。ただし，自助のためには防災リテラシーが必要で，ハザードマップの活用や防災講習や防災訓練をいかにシステムとしてやって行くか，共助や公助がサポートすべき点が多い。ここでは，土砂災害ハザードマップの役割と課題についてまとめる。

(1) 土砂災害ハザードマップ

災害の予防となる社会システムの 1 つである土砂災害にかかわる法令は，防災・減災対応としてハード対策からソフト対策に移行する考え方が主流になってきた。土砂災害防止法では，渓流・急傾斜地・地すべり地の危険な箇所をある一定の地形・対策施設条件で抽出し，土砂災害警戒区域（イエローゾーン）と土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）を設けるものであり，現時点では土砂災害のハザードマップとして活用されている [1)]。

1） 土砂災害ハザードマップの役割

土砂災害防止法では，渓流・急傾斜地・地すべり地の危険な箇所をある一定の地形・対策施設条件で抽出し，土砂災害警戒区域（イエローゾーン）と土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）を設けるものであり，土砂災害のハザードマップとして活用され，その区域分けの基礎調査は，2020 年には約 67 万箇所が終了したという報告がある [2)]。これらの公表されたイエローゾーンやレッドゾーンで実際に土砂災害が起こった事例は報告されている（図 4.2.4）。しかし，近年多発している豪雨や地震による土砂災害では，これらの警戒区域外でも災害が発生することがあり，公表されているイエローゾーンやレッドゾーンの見直しも行われている。

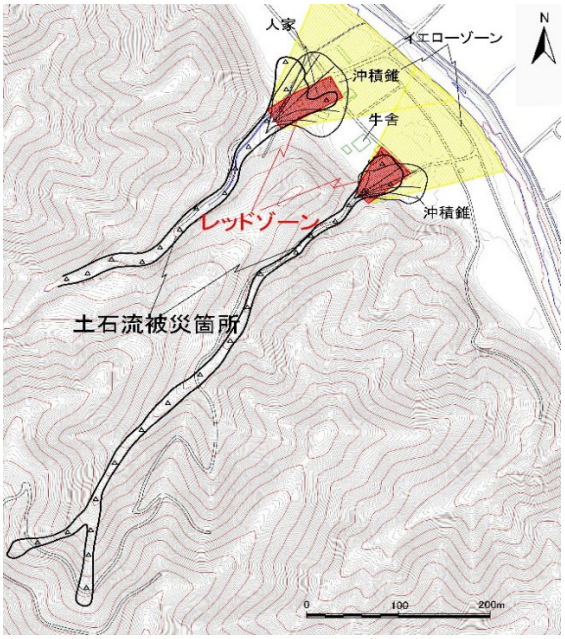


図 4.2.4　2019 年東日本豪雨災害の土石流レッドゾーンと被災箇所が一致事例 [3)]（地理院地図利用）

2）土砂災害ハザードマップの課題

土砂災害防止法の適用できない例外の地形や地盤としては，伊豆大島豪雨災害時や熊本地震・胆振東部地震[4]の際の火山灰や軽石層のある地盤などがある。ここでは，傾斜が 30 度以下の斜面で崩壊が発生している。最近発生した 2019 年東日本豪雨災害では，富岡市内匠地区の事例がある（図 4.2.5)。ここでも，火山灰層がすべり面になり，30 度以下の斜面で崩壊が発生した。相模原市牧野地区の事例でも，30 度以下の斜面で崩壊が発生した。これらの箇所は，傾斜が 30 度以下の斜面であり，土砂災害防止法の急傾斜地にはならないにもかかわらず，被災者の出たところである。いずれの箇所も現地や LP 図をよく見ると地すべり地形や重力変形地形が判読される[5]。

次に，2 名が亡くなった 2019 年台風 21 号による千葉市誉田地区の崩壊箇所の崖は，航空写真測量では，傾斜が 30 度以下の斜面と判断され，土砂災害防止法の急傾斜地対象外であった。しかし，稲垣（2020）[5]の現地調査では，傾斜が 30 度以上あった。また，国の機関が LP 図を利用して判読すると傾斜が 30 度以上としている。今後，土砂災害防止法による基礎調査に LP 図を利用すべきといえる。

2020 年九州南部豪雨時の牛淵土砂災害は，土砂災害防止法のハザードマップ適用外で発生した（図 4.2.6)。レッドゾーン・イエローゾーンは，崩壊した箇所の両側には急傾斜として指定されていた。しかし，崩壊はこの指定地では崩壊は発生せず，この間の 0 次谷の緩斜面で発生した。この崩壊発生箇所は 30 度の傾斜はなく，急傾斜のレッドゾーン・イエローゾーンは指定できない。さらに，1 次谷は存在せず渓流でのレッドゾーン・イエローゾーンの設定もできない。崩壊箇所には地下水の集まる 0 次谷集水地形に断層破砕帯と肥薩火山岩の貫入岩が位置する崩壊しやすい地質構造が崩壊の素因である。先に述べた火山灰層の分布を含む，これらの危ない地形や地質･地質構造を区域指定の要素に組み入れていない土砂災害防止法の盲点を突いた災害といえる。

また，同時期の小崎地区では斜面尾根近くの肥薩火山岩類と秩父付加体との境界付近でキャップロック型の崩壊が発生した。キャップロック型の崩壊では崩壊土砂が一般の表層崩壊より大きい特徴がある。このため土石流はレッドゾーンをはるかに超え渓流下方の民家が被災した（図 4.2.7)。被災範囲はイエローゾーン内であるとは言え土石流の発生土砂量を見誤ったのは，渓流の土砂量算定に地質構造の観点がない土砂災害防止法「土石流」の限界を示している。これらのことも今後の課題といえる。

令和 6 年能登半島地震でも穴吹町由比ヶ丘で土砂災害防止法による指定地外で土砂災害が発生して多くの方が亡くなった（図 4.2.8)。穴水町由比ヶ丘崩壊斜面の地質構造は，基盤岩の凝灰質シルト岩の上に強風化した軽石を含む火砕岩が傾斜 26-30°の流れ盤で分布している。そして，両岩の境界付近から多量の湧水が認められ，斜面崩壊はこの地質境界面をすべり面としており，すべり面には擦痕が観察された。火砕岩には軽石等も含まれており，流れ盤で含水すると地震時にすべりやすい地質であると共に凝灰質シルト岩が遮水層となり，地震前の降水や融雪水からの多量の地下水を火砕岩が溜め込んでいたと考えられる。さらに，近隣の被害現象を観察すると沖積低地のマンホールが浮き上がっており，地盤が液状化したことにより，現地では大きな地震力が発生したこともわかる。ここで，これらの地形・地質観察から図 4.2.9 に，今回崩壊した流れ

盤斜面の地質構造断面図（A）を示した。それによると対岸の東向き斜面は受け盤ですべりは発生しにくいので急傾斜となっていたものの，急傾斜と土石流のレッドゾーンとイエローゾーンが指定されていた。それに対して，被災家屋のあった西向き斜面では斜面傾斜が 26-30°で，レッドゾーンとイエローゾーンが指定されていなかった。しかし，流れ盤の傾斜 26-29°のすべりやすい地質構造であったので，崩壊が発生した。地質・地質構造を考慮していない法的土砂災害ハザードマップの課題といえる。減災のためには地震時には地下水の滞留しやすい流れ盤の火砕岩の地質構造には警戒しないといけないことを示している。

そして，今回崩壊した 2 つの流れ盤斜面（A,B）の間に古い崩壊跡（C）が認められた。これによると，古い崩壊土砂の傾斜は 15°以下であり，過去の地震などで低い等価摩擦係数の斜面崩壊が起こったもので，流れ盤崩壊後の斜面（A,B）と類似していることがわかる。このように崩壊斜面の隣接斜面を観察することが重要で，斜面の崩壊メカニズムを解き明かす鍵になる。

さて，都市や中山間地域で指定が進められているレッドゾーン・イエローゾーンについては，さまざまな土砂災害リスクの相談が増えている。たとえば，レッドゾーンはアパートにかからなかったが，イエローゾーンがアパートにかかったので，それを入居者に説明すると，入居者がなかなか入らなくて，困っている。また，レッドゾーンやイエローゾーンがどの程度危険なのか知りたいとか，レッドゾーンを外す対策工の相談などである。そして，住民同士の話し合いがこじれると行政を含めた訴訟へと発展する。

たとえば，崖の所有者の安全管理責任を求めるとか，レッドゾーンの開発における行政の建築許可のあり方やその安全性の立証を求める訴訟などがある。レッドゾーンやイエローゾーンが掛かると土地利用の制限がかかり，地価も下がるので，区域設定を解除したいが，隣地崖所有者の同意が得られずうまくレッドゾーンが消えないので判断を司法にゆだねることも発生している（図 4.2.10）。ちなみに，都道府県によるガイドラインで例外事項があるが，イエローゾーンは崖や渓流などをなくさない限り原則消えない。今後，土砂災害防止法によるレッドゾーンやイエローゾーンの指定が広まるに連れて，これらに関する土砂災害にかかわる地盤リスクの相談や訴訟が多くなると予想されるため，地盤技術者の支援体制が急務といえる[1)]。

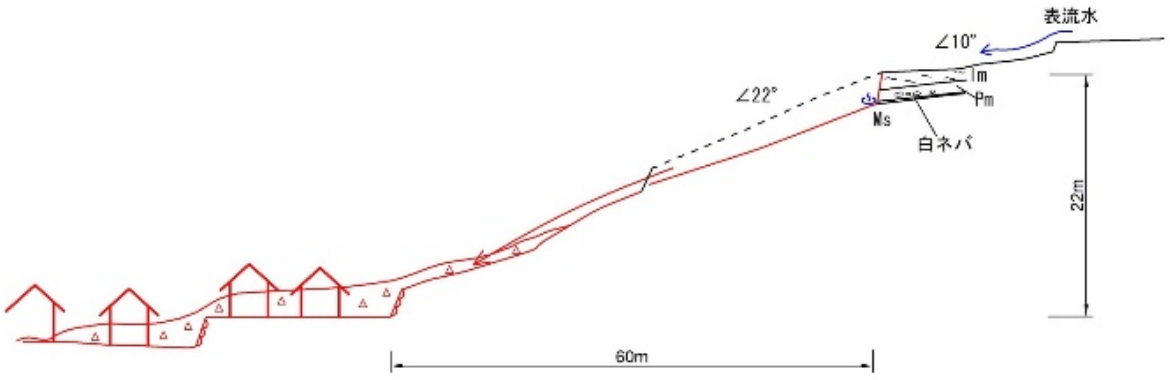


図 4.2.5 2019 年東日本豪雨災害の際の緩斜面に火山灰の分布する内匠地区の土砂災害防止法対象外の土砂災害[3)]



図 4.2.6　2020 年九州南部豪雨で土砂災害防止法外の土砂災害 [6]（地理院地図利用）

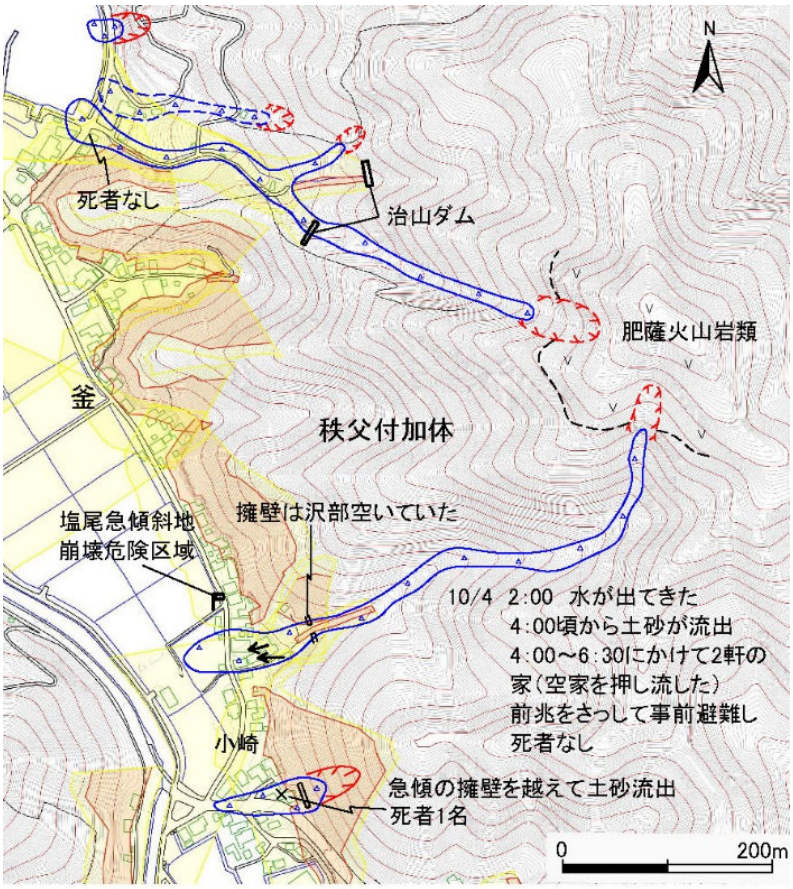


図 4.2.7　2020 年九州南部豪雨時の小崎地区法規制と土砂災害の状況 [6]（地理院地図利用）

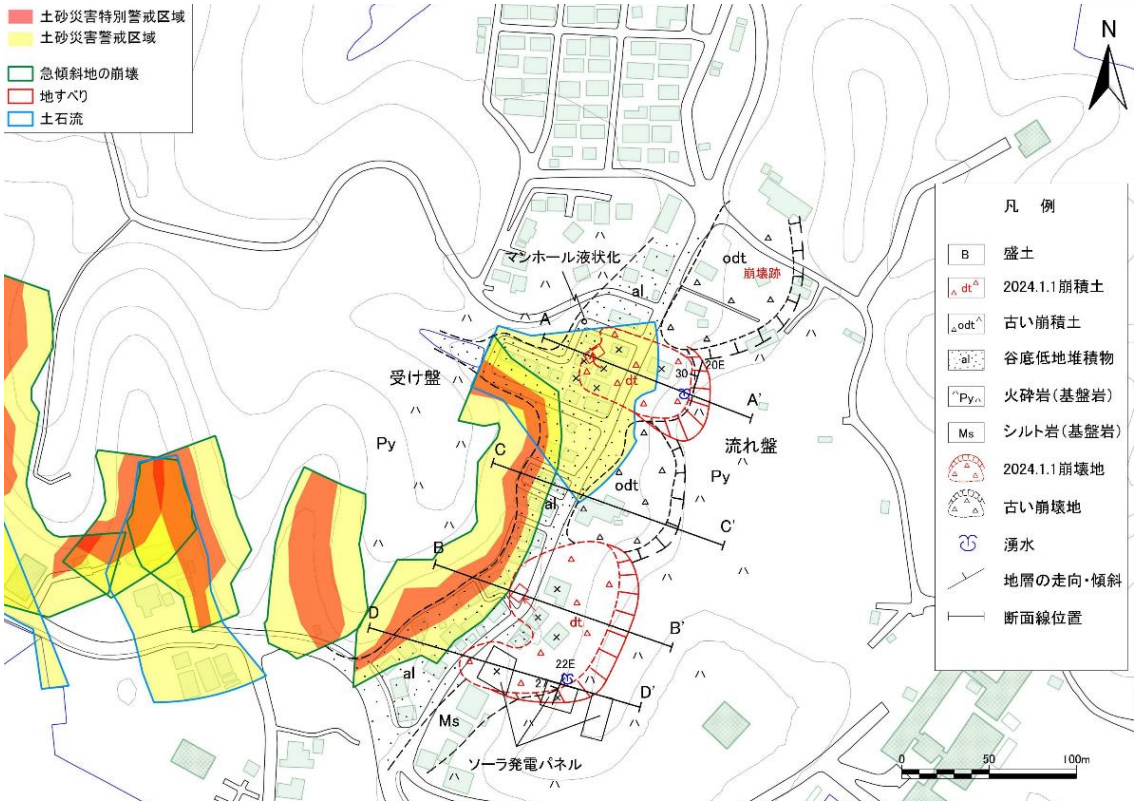


図 4.2.8　令和 6 年能登半島地震で土砂災害防止法外の土砂災害 [7]（地理院地図利用）

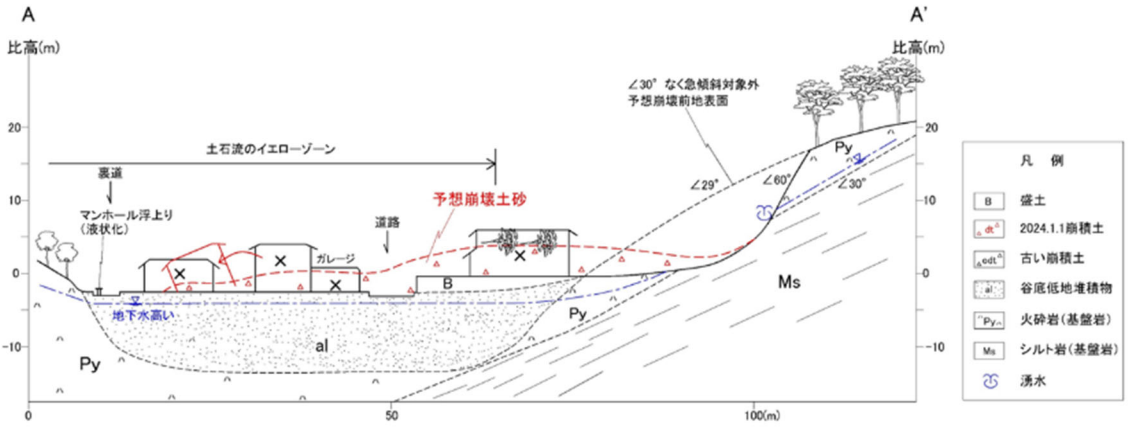


図 4.2.9　由比ヶ丘での斜面崩壊断面図（A）[7]

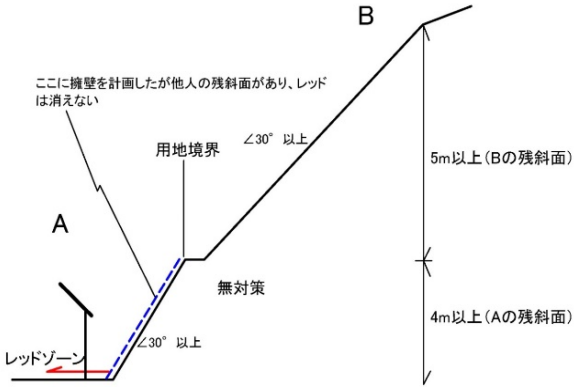


図 4.2.10　土砂災害防止法に関連した訴訟事例 [1]

参考文献

1) 稲垣秀輝（2024）: 社会システムから見た土砂災害を低減する住民避難と安全な土地利用・土地管理，地盤工学ジャーナル,Vol.19 ,No.1 ,pp.33-42, https://doi.org/10.3208/jgs.19.33.
2) 国土交通省：土砂災害警戒区域等の基礎調査の実施状況について，入手先＜https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo01_hh_000036.html＞（参照 2024.6.28）
3) 稲垣秀輝（2020）: 土砂災害からの住民避難行動，日本応用地質学会 2019 年台風 19 号（令和元年東日本台風）等災害調査団報告書，pp.221-226.
4) 稲垣秀輝（2020）: 10.2 地震による火砕物の斜面災害を踏まえたリスクマネージメント，地震による地すべり災害-2018 年北海道胆振東部地震-，北海道大学出版会，pp.316-322.
5) 稲垣秀輝（2020）: Ⅳ-4 自然災害に係わる法制度と減災に向けた提案と課題，日本応用地質学会 2019 年台風 19 号（令和元年東日本台風）等災害調査団報告書， pp.257-262.
6) 稲垣秀輝・西村智博（2021）: Ⅲ-1 球磨地域の土砂災害の特徴および法令と住民避難との関係，日本応用地質学会令和 2 年 7 月九州豪雨災害調査団報告書，pp.17-22.
7) 稲垣秀輝（2025）: XI-1 土砂災害の法的指定ハザードマップの適用性と地質構造の重要性，日本応用地質学会令和 6 年能登半島地震災害調査団報告書，pp297-302.

4.2.4 防災・減災につなげる自然災害伝承碑の更なる活用

(1) はじめに

平成 23 年（2011）3 月の東日本大震災では津浪により太平洋の沿岸各地で甚大な被害が発生した。その中で石碑に刻まれた「ここより下に家を建てるな」との教えを守り続けてきた大船渡市三陸町吉浜は，津波被害を免れ行方不明者 1 名であったことから奇跡の集落と呼ばれ，広く報道されたため災害を伝える石碑などへの関心が高まった。

一方，平成 30 年（2018）7 月の西日本豪雨災害の広島県の被災地では，過去の豪雨災害を伝える多くの石碑がありながら，石碑の記載内容と同様な土砂災害が数多く発生したため，ここでも災害を伝える石碑などへの関心が高まった。



図 4.2.11　自然災害伝承碑の掲載地図

このような状況に鑑み，国土地理院は地域における過去の自然災害を知り防災・減災につなげる目的で，自然災害伝承碑の位置などを令和元年（2019）9 月から地形図への掲載を始めた（図 4.2.11）。2024 年 12 月 19 日現在，自然災害伝承碑は全国 639 市区町村で 2,234 基が公開[1)]されているが，広く一般の人には認知されていないように思える。以下には自然災害伝承碑を防災・減災に役立てるための課題と対応策について検討した。

(2) 自然災害伝承碑について

自然災害を伝える石碑・木碑やモニュメント等には，過去に発生した洪水、土砂災害、高潮、地震、津波、火山災害等について被害状況などが記載されている。これらの自然災害を伝える石碑などについて、国土地理院はこれまでに記念碑として示していたものから自然災害に関係するものについて，2019 年から地形図に自然災害伝承碑として分離して示し始めた（図 4.2.12）。紙の地形図では記号が小さいため記念碑と自然災害伝承碑を区別しにくいが，電子版の地理院地図では図 4.2.11 のように拡大して示されるので位置や他の記念碑との区別を容易に把握できる。電子版の記号を画面上でクリックすると，碑名，災害名，災害種別，建立年，所在地，伝承内容，写真といった情報を見ることができる。



図 4.2.12　左：記念碑
右：自然災害伝承碑

自然災害伝承碑には石碑，木碑，モニュメントなど各種の材質や形態があり，図 4.2.13 に事例を示す。左から広島市安芸区矢野東 5 丁目の明治 40 年の「水害碑」，長野新幹線車両センター付近の「洪水水位標」，国道 41 号飛騨川バス転落事故の「天心白菊の塔」，天明 3 年（1783）浅間山の噴火に伴う鎌原土石なだれで流れ着いた「金島の浅間石」である。このうち，「洪水水位標」と「金島の浅間石」の 2 か所の災害碑は 2025 年 2 月現在，地理院地図に掲載されていない。地理院地図への掲載には，市区町村長からの掲載申請書が必要であり，自治体によって申請状況に差があるためと思われる。



図 4.2.13　種々の材料による自然災害伝承碑
左から石碑・木碑・金属製・流出岩塊

(3) 自然災害伝承碑の課題

①忘れ去られようとしていた石碑などの位置や内容は，前述のように防災・減災に繋げる目的で国土地理院による地理院地図への掲載の取組が進められている。しかし，地理院地図の電子版の「自然災害伝承碑」には，専門家などを除いて一般には関心を寄せる人が少ない。

②平成 23 年（2011）東日本大震災の津波災害被災地では，明治や昭和の大津波の津波伝承碑は各地にあったが，その伝える教訓は大半の地域で忘れ去られていたこともあり，大きな被害になった。この背景に防潮堤の整備が進んだことやメディアの情報伝達の発達があるが，災害碑が目立たない位置や近づくことが困難な位置にあったことが問題である（図 4.2.14）。



図 4.2.14　雑草の中の自然災害伝承碑



図 4.2.15　漢文で記載された自然災害伝承碑

③平成 30 年（2018）西日本豪雨災害の広島県の被災地では，過去に発生した今回と同様な災害を伝える石碑があったものの、その伝える内容は地域で忘れ去られていた。この理由は石碑などの文字が漢文や古文調であるため理解しにくいこと，劣化で読み取り困難なものがあって内容が伝わらないことにあった[2]（図 4.2.15）。



図 4.2.16　1972 年 7 月豪雨の高知県繁藤斜面崩壊災害の慰霊碑



図 4.2.17　繁藤斜面崩壊災害の自然災害伝承碑と被災地の位置

④石碑などには災害碑のほかに顕彰碑・忠魂碑・慰霊碑・土地改良碑・工事完成碑など，種々のものが混在しており，住民は各種の石碑などの存在を知っていても内容への関心が薄かったようである。

⑤石碑等の存在する位置が災害地と離れている場合があるので注意を要する。図 4.2.13 の飛騨川バス転落事故の慰霊碑「天心白菊の塔」は被災地の北約 300m の地点であり，図 4.2.16 や図 4.2.17 に示す繁藤災害の被災地は慰霊碑から約 400m 離れた繁藤駅付近である[3)]。

(4) 対応策

国土地理院が進める自然災害伝承碑を地形図への掲載は防災・減災につなげる重要な取組であり，日本応用地質学会の災害地質部会でも全国の自然災害伝承碑について国土地理院と連携して全国の調査が進められている。これらの成果を広く一般に周知して地域の防災・減災に役立てるため，前項の課題への対策について以下に示す。

1) 地域住民に自然災害伝承碑の位置や内容を伝えるためにはハザードマップへの掲載によって，前記課題の①地理院地図では伝わりにくい点、②自然災害伝承碑が目立たない位置にあること、③記載内容の理解困難な点，⑤自然災害伝承碑と被災地の位置関係などの対策になる。



図 4.2.18　1854 年安政南海地震の津浪被害を伝える高知県黒潮町の安政津波の碑

2) 現地の自然災害伝承碑に図 4.2.18 に示す説明版を設置することによって，①地理院地図では伝わりにくい点、③記載内容の理解困難な点(図 4.2.19、図 4.2.20)、④混在する石碑等との区別などの対策になる。

3) 以上の他に，自治体による自然災害伝承碑の位置までの歩道の整備や，自治会などによる自然災害伝承碑周辺の清掃などを行うことで地域の関心が高まるものと思われる。

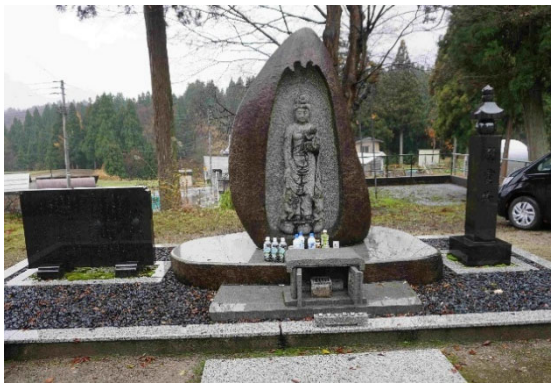


図 4.2.19　中越地震の慰霊碑の説明を刻んだ石版の文字は読みにくい

(5) おわりに

近年に建てられた石碑等は立派なものが多い反面，研磨した石版に刻まれた文字は見にくいものがある。説明版にも野外で劣化しやすい合成樹脂などの材料が使われていて場所によっては数年で表面にひびが入って役目を果たせないものがある。石碑等については後世への伝承が目的であるから材質にも注意したい。

国土地理院による地理院地図への自然災害伝承碑の掲載は防災・減災のソフト対策の一環として重要であり，応用地質学会も連携して取組んでいる。自治体や専門家にとってはその成果を活用して防災・減災の具体的な研究やソフト対策に生かすことができるが，地域住民にとっては関心が薄いものになっていると思われる。国土地理院で集めた自然災



図 4.2.20　完成時の見栄えは良いが短期間で劣化した説明版

害伝承碑に関する資料をハザードマップに掲載することで住民の関心が高まることを期待したい。あわせて石碑等の伝えるべき内容が困難な場合には，一部に実施されている説明版の設置を提案したい。

参考文献

1） https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/denshouhi_datainfo.html（2025 年 2 月 1 日確認）

2）上野将司（2019）：土石流災害地の災害石碑等に関する検討，平成 30 年 7 月豪雨災害（西日本豪雨災害）調査団報告書，（一社）日本応用地質学会，pp.275-279.

3）上野将司（2020）：役立つ災害地質の知識（23）災害伝承としての石碑等について，応用地質，第 61 巻，5 号，pp.272-278.

4.2.5 防災施設の点検における現状と課題

(1) はじめに

宅地周辺の盛土や切土箇所等において多く存在する防災施設（例えば，擁壁）を整備してきた急傾斜地崩壊対策事業は，昭和 42 年 7 月の豪雨に伴って西日本に多数発生した崖崩れ・崩壊等の災害を契機に開始された。なお，国土交通省における補助事業としての急傾斜地崩壊対策事業は 1967 年に着手され，特に，高度経済成長における丘陵地等の開発に伴って，多くの防災施設が構築された（**図 4.2.21** 参照）。なお，これらの時期に整備されてきた防災施設の多くは，**図 4.2.22** に示す老朽化に伴った変状が報告されており，近年において「インフラ長寿命化基本計画[3)]」に基づいた日常的な点検等を前提とした「予防保全型維持管理」の考え方が導入された。ただし，宅地周辺に存在する防災施設は，複数の管理者（例えば，砂防管理者[4)]，道路管理者[2)]，開発事業者[5)]等）により，それぞれで独自に管理されている。

本節では地域防災活動の現状と課題について論じるため，これらの管理者において運用されている防災施設の点検における現状や課題について示す。

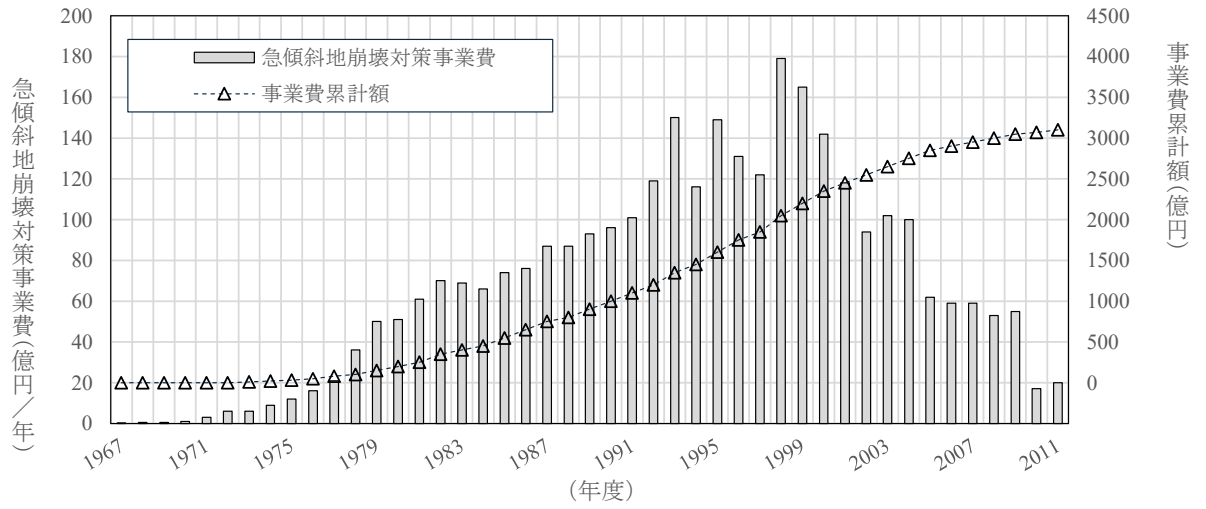


図 4.2.21　急傾斜地崩壊防止事業費（防災施設整備）の推移（1967～2011 年度）[1)を参照]



図 4.2.22　防災施設における変状事例（左：ブロック積み擁壁，右：グラウンドアンカー工）[2)]

(2) 防災施設点検の現状

防止施設の維持管理に際して，施設毎においてそれぞれ期待される機能や性能を供用期間中において確保するため，各施設の特徴や設置環境を考慮した点検に基づく評価が重要である[5]。ここで，宅地開発等の盛土や切土工事において採用されている主な防災施設を**表 4.2.3** に示す。**表 4.2.3** に示すとおり，盛土や切土に伴った造成地における防災施設の目的は，主に「のり面の安定性向上」，「雨水や地下水の排除」，「盛土崩壊や流出の防護」であり，それぞれに対して様々な

表4.2.3　防災施設（盛土・切土）の種類[5]

目的	効果	工法の種類		
のり面の安定性向上	盛土・整形による安定	抑制工	―	押え盛土工，排土工
	構造物の効果による崩壊抑止	抑止工	擁壁工	擁壁工（練積み造擁壁，重力式擁壁，もたれ式擁壁，半重力式擁壁，片持ちばり式擁壁，控え壁式擁壁，補強土壁，その他特殊擁壁等）
			崖面崩壊防止施設	崖面崩壊防止施設（鋼製枠工，大型かご枠工，ジオテキスタイル補強土壁工）
			地盤改良工	固結工（深層混合処理工，中層混合処理工，グラウト工，石灰パイル工等）
			構造物によるのり面保護工	地山補強土工
				グラウンドアンカー工
				杭工
	のり面の浸食や崩壊の抑制	抑制工		モルタル・コンクリート吹付工，石張工，ブロック張工
				かご工（ふとんかご工，じゃかご工）
				プレキャスト枠工
				現場打ちコンクリート枠工，吹付枠工，コンクリート張工
			植生工	種子散布工，客土吹付工，張芝工，植生基材吹付工，植生土のう工，植栽工，苗木設置吹付工
			緑化基礎工	伏工（わら・むしろ，シート・マット等）筋工，柵工
雨水や地下水の排除	表流水の侵入防止	抑制工	地表水排水工	水路工
				のり肩排水溝，縦排水溝，小段排水溝，のり尻排水溝
	湧水を導いた排水処理		地下水排除工	地下排水溝，水平排水孔
				暗渠排水溝
				横ボーリング工，集水井工
				砕石竪排水工（補助工法：ふとんかご工）
盛土崩壊や流出の防護	崩壊土砂の流出軽減	防護工	―	待ち受け擁壁工， 待受式高エネルギー吸収型崩壊土砂防護柵工
		土砂流出防止工	―	堰堤工，床固工

工法が提案されている。一方,防災施設の点検目的は「施設の機能や性能に関する状態の把握[2),4)]」であり，これらの施設が有する機能の低下や性能の劣化において施設周辺の状況が影響することが多く，施設のみならず周辺状況についても点検対象とすることが重要である[4)]。ここで，一般的な点検の種類と目的等を**表 4.2.4** に示す。なお,防災施設における定期点検の頻度については，砂防関係施設[4)]では「最長 10 年以下とすることとし，健全度評価により経過観察や要対策と判定された施設については 5 年以下を原則として設定」とされ，道路土工構造物（特定道路土工構造物）[2)]では「全数について建設後 2 年以内に初回を行い，2 回目以降は 5 年に 1 回の頻度で行うことを基本」としている。また，一般的な定期点検（初期点検含）の手順を**表 4.2.5** に示す。**表 4.2.5** に示すとおり，定期点検は実施内容が多くコストを要すため点検頻度が限定され，簡易に実施可能な巡視等の日常点検による日常的なきめ細かな現状把握等に基づいた維持管理は重要であると考えられる。

表 4.2.4　一般的な点検の種類と目的[6)]

点検の種類	目　的	摘　要	頻　度
初期点検	施設の完成時等にその初期状態を把握し記録すること。	・今後行われる点検結果等と対比させ，劣化進行吐や損傷の比較基準とする。 ・既存施設で，まだ点検が行われていないものは，定規点検と同様の点検を行い初規点検結果に代える。 ・施設台帳を整備するために近接点検等の詳細　調査を合わせて実施する。	1 回
日常点検	日常的な巡視の中で，施設全体及び周辺斜面の異常の有無を確認すること。	・施設管理者等やそこから委嘱された者によって行う巡視の中で異常の有無を確認する。 ・明らかな異常事象でない限り施設の機能低下の状態を判断することは困難である。	概ね，年に 2～6 回
定期点検	施設全体及び周辺斜面の変状を定期的に把握すること。	・施設全体に対して決まった方法で行われる。 ・専門技術者等によって行い，異常の有無やその程度を把握し，要因の推定をする。 ・初期点検や前回の定期点検結果と対比する。 ・近接点検等の詳細調査が必要な場合は定期点検に併せて実施する。	概ね，3～5 年に 1 回
異常時点検	規模の大きな地震や豪雨等の直後に施設の異常の有無を把握すること。	・想定外の外力などにより施設が被災している可能性かおる時，施設の損傷の有無を主体に点検する。	適時

表 4.2.5　一般的な定期点検（初期点検含）の手順 [6)]

点検の手順	作業内容
①　計画･準備･資料収集	･施設に関する施工記録，台帳，点検記録の収集 ･施設の配置や規格，補修履歴等の確認 ･必要に応じた施設の番号付け ･収集した資料や確認した事項に基づいた点検計画の立案
②　事前調査	･現地の下見作業 ･施設の有無確認や図面との照合，携帯 GPS での位置情報取得 ･目視可能な程度の伐採の実施，点検作業に際しての安全確認 ･周辺状況の確認，点検計画立案など
③　施設本体の点検	･遠望目視等で全体を観察，施設本体の劣化，損傷状況を確認 ･機能別に点検項目に従い実施
④　付帯施設の点検	･付帯施設の劣化，損傷状況を確認
⑤　周辺地盤の点検	･周辺地盤の異常の有無を確認

限られた予算の中において効率的に防災施設を維持管理していくため，防災施設の健全度に対する適切な評価による運用（例えば，健全度を踏まえた補修工事等における意思決定）が望まれる。ここで，防災施設（砂防関係施設 [4)]）における点検実施から施設の健全度を把握する流れを**図 4.2.23** に示す。**図 4.2.22** に示すとおり，**表 4.2.6** に示す各施設における部位等の変状（例えば，擁壁の沈下）を評価した上で，施設周辺の状況も踏まえた施設全体等における総合的な健全度（**表 4.2.7**）について評価する。

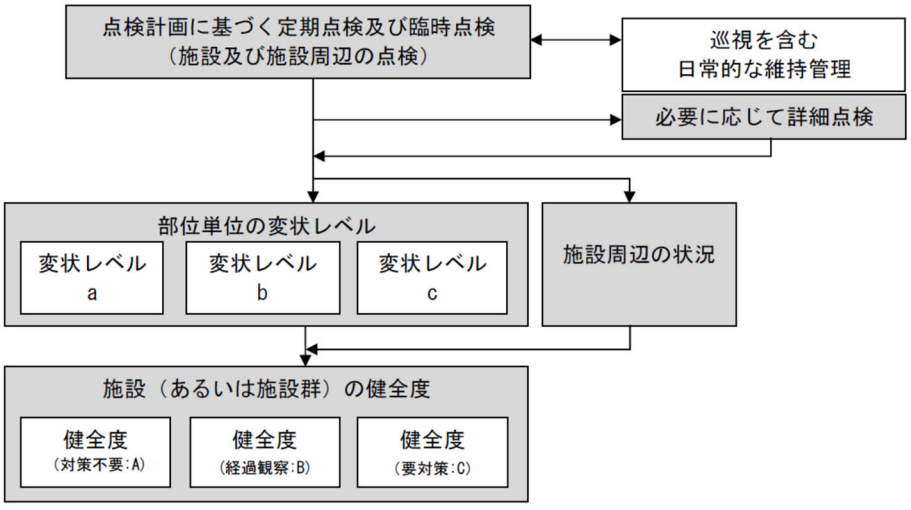


図 4.2.23　防災施設（砂防関係施設）における点検実施から施設の健全度を把握する流れ [4)]

表 4.2.6　防災施設（砂防関係施設）における部位等の変状レベル評価と表記 [4)]

変状レベル	損傷等の程度
a	当該部位に損傷等は発生していないもしくは軽微な損傷が発生しているものの，損傷等に伴う当該部位の性能の低下が認められず，対策の必要がない状態。
b	当該部位に損傷等が発生しているが，問題となる性能の低下が生じていない。 現状では早急に対策を講じる必要はないが，今後の損傷等の進行を確認するため，定期巡視点検や臨時点検等により，経過を観察する必要がある状態。
c	当該部位に損傷等が発生しており，損傷等に伴い，当該部位の性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態。

表 4.2.7　防災施設（砂防関係施設）における健全度評価 [4)]

健全度	損傷等の程度
対策不要 (A)	当該施設に損傷等は発生していないか，軽微な損傷が発生しているものの，損傷等に伴う当該施設の機能及び性能の低下が認められず，対策の必要がない状態。
経過観察 (B)	当該施設に損傷等が発生しているが，問題となる機能及び性能の低下が生じていない。現状では早急に対策を講じる必要はないが，将来対策を必要とするおそれがあるので，定期巡視点検や臨時点検等により，経過を観察する，または，予防保全の観点より対策が必要である状態。
要 対 策 (C)	当該施設に損傷等が発生しており，損傷等に伴い，当該施設の機能低下が生じている，あるいは当該施設の性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態。

宅地周辺の盛土や切土による造成地に存在する主な防災施設（滑動崩落対策等施設）の種類毎における点検等項目を**表4.2.8** に示す。**表4.2.8** に示すとおり，これらの防災施設に共通する点検のポイントは，対策施設周辺の地盤や構造物の亀裂・沈下等の変状を目視で定期的に確認することである。さらに，その結果において異常が確認された場合は詳細な調査を実施し，原因の究明，必要に応じて対策の追加等を検討することである。

なお，その他の防災施設の点検等に関する詳細については，各管理者において示している点検に関するマニュアルや技術資料を参照されたい [2),4),5),6),7)]。

表4.2.8　主な防災施設（滑動崩落対策等施設）の種類毎における点検等項目 [5)]

施設の種類		主な点検･調査項目	
抑制工	地表水排除工法	目視点検	･土砂や枝葉等の堆積状況
	地下水排除工法	目視点検	･対策施設周辺の地盤や構造物の変状
		流量測定	･排水量
	間隙水圧消散工	目視点検	･対策施設周辺の地盤や構造物の変状
	押え盛土工法	目視点検	･押え盛土やかごの変状 ･押え盛土やかご背面地盤の変状
	排　土　工　法	目視点検	･排土によって形成されたのり面やその上方斜面の変状
抑止工	固　結　工　法	目視点検	･固結体周辺の地盤や構造物の変状
	グラウンドアンカー工法	目視点検	･アンカー周辺の地盤や構造物の変状 ･アンカー頭部の飛び出し ･頭部コンクリートの破損･落下 ･頭部キャップの破損･変形･落下 ･受圧板, 受圧構造物の破損･落下
		健全性調査	･リフトオフ試験 ･超音波深傷試験 ※目視点検の結果, テンドン破断等, 健全性に問題がある可能性が高いと判断された場合に実施
	抑止杭工法	目視点検	･杭周辺の地盤や構造物の変状
		変位観測	･杭周辺の地盤や構造物の変位量 ※目視点検の結果, 変状が認められる場合に実施
	矢　板　工　法	目視点検	･矢板周辺の地盤や構造物の変状
		変位観測	･矢板周辺の地盤や構造物の変位量 ※目視点検の結果, 変状が認められる場合に実施
	地山補強土工法	目視点検	･補強材周辺の地盤や構造物の変状 ･頭部定着材や支圧板の浮き上がり, 破損･落下, 劣化

(3) 防災施設の点検における課題

宅地周辺で管理されている防災施設の点検における課題とその解決提案の一例を**表 4.2.9** に示す。**表4.2.9** に示すとおり，防災施設の点検における課題は多岐にわたっており，今後，ソフト面やハード面において更なる議論が重要であると考えられる。なお，「4)住民参加と情報共有」に関する課題解決に向けた先駆的な取組事例として，披露山庭園住宅団地（逗子市；**図 4.2.22**）では，区分所有法に基づいた団地管理組合法人により，団地内の共有物件（防災施設含）を維持管理している [7)]。なお，これらの法的根拠の明確化により，住民の理解が得やすいものと期待されている。今後，これらのスキームも考慮した地域レジリエンスに資するまちづくりや地域間連携・自治体間連携により災害リスクが懸念される宅地斜面への住民対応問題への更なる対応が望まれる。

表4.2.9　防災施設の点検における課題とその解決提案の一例

分類	概要
1)老朽化と劣化診断の高度化	・点検員の違いによる評価のバラツキを防ぐための施設点検方法や健全度評価水準の標準化[8]，高度な非破壊検査技術の導入[9]。
	・高所に存在する施設や規模の大きな施設等の確実な点検に向けた無人航空機（ドローン）や遠隔監視システム等を活用した更なる効率的な点検手法の開発[10]。
2)アセットマネジメントの導入	・限られた予算・人員の中における補修・更新の優先順位検討手法，総合的な資産管理手法[11]。
	・施設評価の基準づくり，防災リスクとコストを組み合わせた評価指標の確立[12]。
3)人材育成・技術継承	・点検，補修技術を担う技術者，マネジメントを担う行政職員等の専門家の高齢化等に伴う不足。
	・若手技術者育成，技術継承の仕組みづくり。
4)住民参加と情報共有	・ローカルコミュニティレベルで，日常的な点検（簡易点検）や異変報告を行う仕組みの整備。
	・防災施設に関する情報（老朽化の進捗や補修計画）に関する住民との共有や協力を得る取り組み[13]。
5)維持管理に配慮した防災施設の計画･設計	・点検等の維持管理におけるアクセスや効率性等に配慮した防災施設の新設時における計画，設計。



図 4.2.24　区分所有法の団地管理組合法人による維持管理例（披露山庭園住宅団地：逗子市）[7]

参考文献

1)　一般社団法人　全国治水砂防協会：砂防便覧，2008（2014）.

2)　国土交通省　道路局：道路土工構造物点検要領（暫定版），2022.

3)　インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議：インフラ長寿命化基本計画，2013.

4)　国土交通省　砂防部：砂防関係施設点検要領（案），2022.

5)　国土交通省・農林水産省・林野庁：盛土等の安全対策推進ガイドライン，2023.

6)　一般社団法人　斜面防災対策技術協会：斜面対策工維持管理実施要領，2018.

7)　盛土等防災研究会：盛土等の防災マニュアルの解説，2023.

8) 原田紹臣・小杉賢一朗・里深好文・水山高久：老朽化した砂防関係施設の健全度及び対策優先度に関する定量的な評価手法の提案，河川技術論文集，Vol. 21，pp.183-188，2015.
9) 原田紹臣・木下悦男・篠原正男・常川善弘・高梨俊行・坂本浩之・鈴木慶一：既設グラウンド・アンカー工の自由長及び残存引張力の推定に関する研究，第 55 回日本地すべり学会研究発表会，2016.
10) 原田紹臣・藤本将光・里深好文・水山高久・松井　保：デジタル技術(DX)活用による効率的な砂防関係施設の維持管理に求められる評価手法拡充の提案，砂防学会誌，Vol. 76，No.3，pp. 34-41，2023.
11) 原田紹臣・藤本将光・水山高久・松井　保：予防保全を考慮した道路土工構造物の維持管理に関する実践的提案，インフラメンテナンス実践研究論文集，Vol. 3，No. 1，pp. 162-171，2024.
12) 原田紹臣・杉原良太郎・椎葉英敏・宮内　泉・貝戸清之：地域インフラ群再生に向けた老朽化橋梁の集約・撤去に関する研究，土木計画学研究発表会・春大会，Vol. 69，2024.
13) 原田紹臣・藤本将光・里深好文・水山高久・松井　保・武井　千雅子：メタバースを活用したハザード･マップの高度化に向けた実践的取り組み ~iHazard map project~, 土木学会 AI･データサイエンス論文集，Vol. 4，No. 2，pp. 102-113，2023.

4.2.6 地域における過去の自然災害と災厄の連鎖性

(1)歴史資料にみられる自然災害と災厄

わが国の歴史を振り返ると，大雨や洪水，地震などの自然災害の他に，旱害，虫害，飢饉，疫病などの災厄がくり返し起こっている。人文学・社会学領域では，これら災厄の生起が人間および社会に与えた影響，災厄の発生に伴う生活，経済，文化，芸術，宗教等の変容に対して考察が数多くなされている[1)-5)]。ただし，防災学の視点から考察した研究は必ずしも多くはない。過去と現在では，人々の思想・信条や価値判断基準は同じではないので，災厄に対する先人の知見をそのまま現在の防災・減災に活用できるかどうかは疑わしいところである。しかしながら，現在のような自然災害と未知の感染症が同時期に発生する状況を鑑みれば，歴史記録における自然災害と災厄の関係性を明らかにすることは有益であると考える。本稿では，現在の山口県にあたる地域を対象として，大雨・洪水，地震による自然災害に加えて，ウィルス・細菌による伝染病の流行，干ばつや風水害，害虫発生等による飢饉なども災害として捉え，歴史資料から大雨・洪水，地震，虫害，飢饉，疫病の記録を抽出整理し，各災害の発生傾向や発生頻度，更にその連鎖性について検討した結果を述べる。また，災害が連鎖的に発生した江戸時代に，先人はどのような対策を講じて社会の危機を乗り越えようとしたのかをまとめる。

なお，本稿は，山口大学研究プロジェクト「コロナの時間学～新型コロナウイルスが人間と社会に対して与える時間的影響～」の助成を受けて実施した研究成果[6)]を増補改訂したものであることをお断りする。

(2)山口県における自然災害と災厄の発生傾向と発生間隔

欽明 28 年（567 年）～昭和 27 年（1952）年の間に山口県内で発生した主な災害，災厄をまとめた『山口県災異誌』（下関測候所，1953 年）[7)]から大雨・洪水，地震，虫害，飢饉，疾病に関連する用語の事象の発生年を抽出したデータシートを作成し，それぞれ年表として再整理した。

1)大雨・洪水と地震

表 4.2.10 に山口県内の大雨・洪水被害の発生年表を示す。期間は，欽明 28 年（567 年）～明治 6 年（1873 年）の 1307 年間の記録のうち，寛延 3 年（1751 年）～明和 7 年（1770 年）の 20 年間である。大雨・洪水被害に関しては，567 年～1873 年の間に 175 件の発生記録があり，発生間隔の平均値は 7.5 年，0 年（1 年未満）～591 年の幅がある。ただし，1600 年以降をみると，1～2 年の間隔で発生している。地震被害に関しては，紙面の都合上，年表の掲載は割愛したが，1848 年までに 13 回の被害地震が記録されており，1792 年には地震と風雨が相前後して発生した。なお，1755 年には大風雨と虫害といった異なる事象が発生している。以降の表において，異なる災害事象が発生した年に塗色している。

表 4.2.10　現在の山口県内の大雨・洪水被害の発生年表（1751 年～1770 年）

和暦	年	月	日	西暦	月	日	事象	その他	発生間隔
寛延	3	12	15	1751	1	12	大風洪水被害報告		2
寛延	4	6	19	1751	7	11	大雷雨迅雷洪水		0
寛延	4	7	10	1751	8	30	大風雨		0
宝暦	4	8	24	1754	10	10	大風雨		3
宝暦	4	11	3	1754	12	16	洪水被害報告		0
宝暦	5	5	26	1755	7	5	洪水		1
宝暦	5	6		1755	7	9	洪水		0
宝暦	5	8	24	1755	9	29	大風雨	虫害	0
宝暦	6	2	21	1756	3	21	大雷雨	龍巻	1
宝暦	6	8		1756	8	26	大雨	高潮	0
宝暦	7	6		1757			洪水被害報告		1
宝暦	12	7	13	1762	9	1	暴風雨		5
宝暦	12	8	8	1762	9	25	暴風雨		0
明和	3	1	5	1766	2	13	大風風雨		4
明和	4			1767			洪水被害報告		1
明和	6	7	28	1769	8	29	大風雨高潮		2
明和	6	7	28	1769	8	29	大風雨高潮		0
明和	7	7	11	1770	8	31	洪水被害報告		1

2）虫害

「虫害」「蝗害（こうがい）」とそれに関連する用語の事象の発生年を抽出し，**表 4.2.11** の年表にまとめた。虫害に関するものとしては，701 年～1839 年の間に 11 件記録されており，発生間隔の平均値は 104 年，0 年（1 年未満）～1011 年の幅がある。また，自然災害の記録が多くの残る 1700 年代をみると，平均して 8.7 年の間隔で発生していた。ただし，これらの数値は記録の数に依存するので，これらが実態を表しているかどうかは検証が必要である。なお，表において，虫害とは直接関連しない災害イベントが起こった年を塗りつぶしており，大宝元年（701 年）には蝗害が発生した年に大風（台風），宝暦 5 年（1755 年）には大風雨と虫害，天保 10 年（1839 年）には秋旱（日照り）と蝗（害）があったことが記録されている。大雨，台風と同時期に虫害が発生していたといえる。

表 4.2.11　現在の山口県内のウンカ等による農作物被害の発生年表

和暦	年	月	日	西暦	月	日	事象	その他	発生間隔
大宝	1	8	21	701	9	27	蝗害	大風	
正徳	1	12	9	1712	1	16	虫害報告		1011
享保	2	12	17	1718	1	18	早損蟲枯		6
享保	4	12	5	1719	1	14	風損虫枯		1
享保	6	11	17	1722	1	4	暴風蝗害報告		3
享保	7	11	12	1722	12	19	暴風虫害報告		0
享保	11	12	11	1727	1	2	旱虫害報告		5
享保	17	7		1732			うんか大発生		5
宝暦	5	8	24	1755	9	29	大風雨	虫害	23
天明	9	1	13	1789	2	7	風水虫被害		34
天保	10			1839			秋旱	蝗	50

3）飢饉

「飢饉」「飢」とそれに関連する用語の事象の発生年を抽出し，**表 4.2.12** の年表にまとめた。飢饉に関するものとしては，697 年～1869 年の間に 21 件記録されており，発生間隔の平均値は 56 年，1 年～342 年の幅があった。なお，表中の賑給（しんごう，しんきゅう）は古代，貧民・難民などに対し，朝廷が米や布などを支給したことを意味し，賑恤（しんじゆつ）とも言われる。

表 4.2.12　現在の山口県内の飢饉の発生年表

和暦	年	月	日	西暦	事象	その他	発生間隔
文武	1			697	饑ゆ		
延歴	4	5		785	飢	賑給	88
大同	3			808	飢疫		23
弘仁	8			817	飢ゆ		9
天長	8	10	2	831	飢	賑給	14
承和	2	5		835	飢	賑給	4
承和	10	6		843	飢	賑給	8
元暦	2			1185	飢饑		342
寛喜	2			1230	大飢		45
寛喜	3			1231	大飢饉		1
寛正	2			1461	飢饉悪疫		230
天文	21			1552	大飢饉		91
寛永	19			1642	飢饉		90
延宝	3			1675	飢饉		33
天和	2	12		1682	飢饉		7
享保	17			1732	凶年	餓ゆ	50
明和	5			1768	飢饉		36
天明	4	4		1784	飢		16
天保	7			1836	飢		52
天保	8			1837	飢饉		1
明治	2			1869	飢		32

4) 疾病

わが国で天然痘が天平 7 年（735 年），咳逆病（インフルエンザ）が貞観 5 年（863 年）～貞観 7 年（865 年），麻疹が長徳 4 年（998 年）に初めて大流行して以来，疫病は近世に至るまで何度もくり返し大流行している。とりわけ，天然痘は 735～738 年にかけて大流行し，日本人の 3 割が死亡したと言われている（天平の大疫病として知られる）。『続日本紀』によると，698～790 年の間に 8 回の疫病の大流行があったと記録されている。「疫」「疫癘（えきれい）」とそれに関連する用語の発生年を抽出し，**表 4.2.13** にまとめた。発生年月日は原著のとおりに記載した。また，発生間隔はその前の発生からの経過年数である。疾病に関するものとしては，707 年～1848 年の間に 7 件記録されており，発生間隔の平均値は 163 年，10 年～601 年の幅があった。なお，表中の疫饑（えきき）は疫病と飢饉，疫癘は悪性の流行病，疫病を意味する。

表 4.2.13　現在の山口県内の疾病の発生年表

和暦	年	月	日	西暦	月	日	事象	発生間隔
慶雲	4	5		707			疫饑	
天平	9	7		737			疫饑	30
貞觀	2			860			疫癘	123
寛正	2			1461			飢饉悪疫	601
文政	11	6	9	1828	7	20	流行病	367
天保	9	9		1838			疫病	10
嘉永	1			1848			疫病流行	10

(3)災害イベントの連鎖性

表 4.2.14 に大雨，地震，虫害，飢饉および疫病の別にそれぞれの発生年を記載した。表中の数値は，前述と同様に，そのイベントの前の発生からの経過年数である。なお，同表では 1713 年～1835 年のデータの記載を省略した。1707 年～1712 年をみると，大雨（3 回）→地震→虫害（1011 年ぶり）の連鎖性をうかがわせる記録があった。また，1836 年～1838 年をみると，わずか 3 年間に大雨（4 回）→飢饉（2 回）→疫病（10 年ぶり）の連鎖性をうかがわせる記録があった。この他にも，災害が連鎖的に発生した期間があった。

以上の資料分析により，山口県において，過去に大雨→地震→大雨→虫害，大雨→飢饉→大雨→飢饉→疾病という災害の連鎖性がみられた。また，大雨と虫害，旱害と虫害が同年に発生したケースがあった。さらに，大雨と地震が相前後して発生したケースもあり，多重自然災害の様相を呈すものがあった。なお，疾病へと至るケースにおいては，天候不順や自然災害による田畑の荒廃が飢饉を引き起こし，それが遠因となって疫病が流行するという負の連鎖があったと考えられる。

表 4.2.14　現在の山口県内における災害イベントの連鎖性

西暦	大雨	地震	虫害	飢饉	疫病
1707	1				
1707		21			
1708	1				
1710	2				
1712			1011		
…					
1836	5				
1836	0			52	
1837	1				
1837	0			1	
1838					10

（４）この災害連鎖に対して昔の人がどのように対応したのか

このような災害の連鎖的発生に対峙した人々が，どのように対応していたのかをまとめておく。安藤 [8]によると，江戸時代は地震，風水害，火災などの災害が頻発するなか，大飢饉（享保・天明・天保の三大飢饉）が相次いで発生するとともに，疱瘡，麻疹，コレラなどの感染症が大流行し，多くの災害犠牲者が出る時代であった。なお，享保の大飢饉は虫害によって引き起こされたものとされる [9]。このような時代状況は，新型コロナウイルスの感染が拡大するなかで大雨・洪水が頻発した近年の状況と類似しており，コロナ禍にあった 2020 年には，山口県ほか各地で害虫のトビイロウンカの発生によって水稲栽培に甚大な被害が発生している。こうした災害への対応策の一例として，徳川幕府 8 代将軍の徳川吉宗は，薬草の調査・採集や薬園の整備，公的医療機関としての小石川養生所の開設，城内での雨量観測などのさまざまな施策を講じた [8]。これらは，災害発生後の被害の拡大・長期化を防ぐだけでなく，事前防災体制を整備・強化する狙いがあったといえる。また，天明期には大雨・洪水，火山噴火などの異常気象により凶作が続き，大飢饉が発生した。窮民救済策として，飢饉時に限らず，大火や感染症の流行時にも，江戸町会所を通じて御救米（備蓄米）や御救金（積金）が給付され，都市の崩壊を防ぐ措置が講じられた [8]。**表 3** の山口県内における飢饉の発生年表には飢饉の際の賑給の記載がみられ，朝廷による貧民・難民などに対する救済があった。往時においても，自然災害，凶作，飢饉，感染症流行による被害の拡大と長期化を防ぎ，社会・経済の崩壊を食い止めることは最重要課題であり，その政策が実施されていた。しかし，その効果は限定的で，地域差のあったものと推察される。

参考文献

1) 小林健彦（2013）：古代日本語に記録された災害情報としての疫病～「日本書紀」、「続日本紀」に見る用語運用と災害対処の文化論～，新潟産業大学経済学部紀要，第 42 号別刷，pp.33-68.

2) 安田政彦編（2017）：自然災害と疾病＜生活と文化の歴史学 8＞，竹林舎，494p.

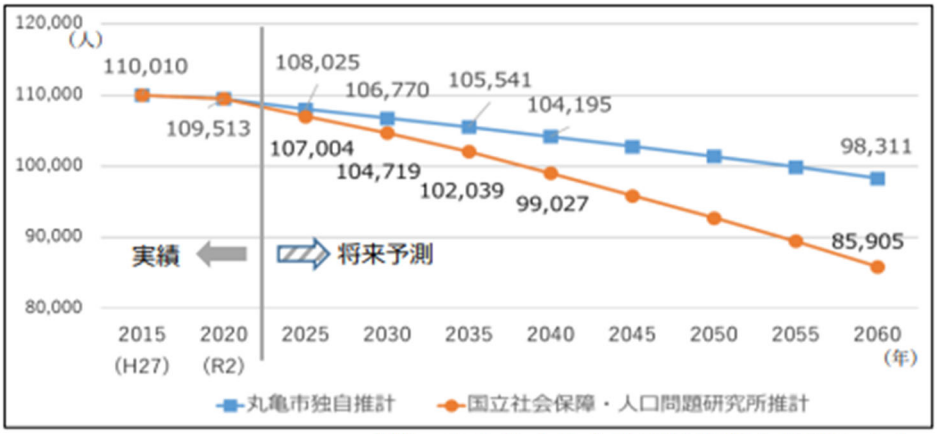
3) 磯田道史（2020）：感染症の日本史，文芸春秋，255p.
4) 水野章二（2020）：災害と生きる中世　旱魃・洪水・大風・害虫，吉川弘文館，240p.
5) 菊池勇夫（2023）：江戸時代の災害・飢饉・疫病　列島社会と地域社会のなかで，吉川弘文館，256p.
6) 鈴木素之・又野公香（2022）：山口県における過去の自然災害と疫病の発生およびその連鎖性に関する一考察，自然災害研究協議会中国地区部会研究論文集，第 8 号，pp.61-64.
7) 下関測候所（1953）：山口県災異誌，400p.
8) 安藤優一郎（2020）：江戸幕府の感染症対策　なぜ「都市崩壊」を免れたのか，集英社新書，206p.
9) 安田政彦（2013）：歴史文化ライブラリー 361　災害復興の日本史，吉川弘文館，240p.

4.3　地域特性を考慮した防災活動の事例

4.3.1 四国・香川の事例

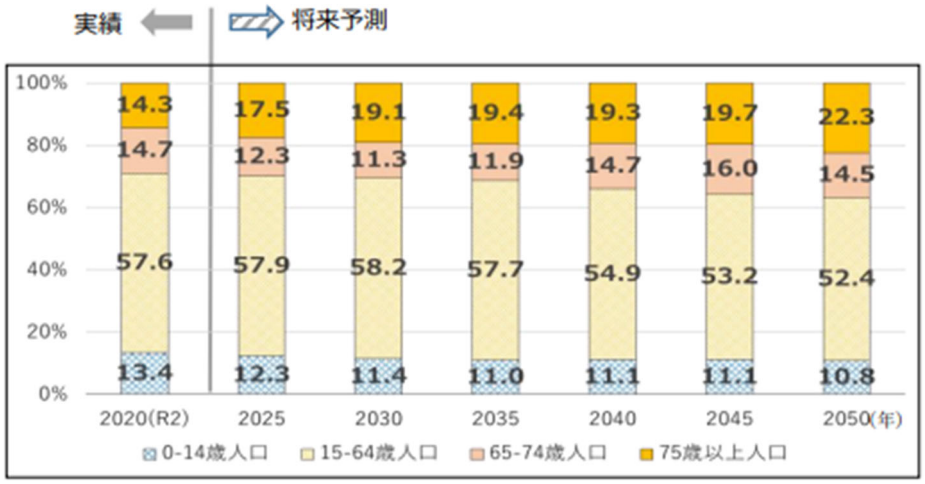
（1）丸亀市 [1),2),3)]

地方都市においては，県庁所在地とその周辺市町村では，かなりの温度差がある。常に話題に上がるのは，居住人口の高齢化，若者の流出に歯止めがかからないという状況がある（図 4.3.1，図 4.3.2）。



「第二次丸亀市総合計画後期基本計画」より

図 4.3.1　丸亀市人口推移の予測



国立社会保障・人口問題研究所「日本の地域別将来推計人口（令和 5(2023)年推計)」より作成

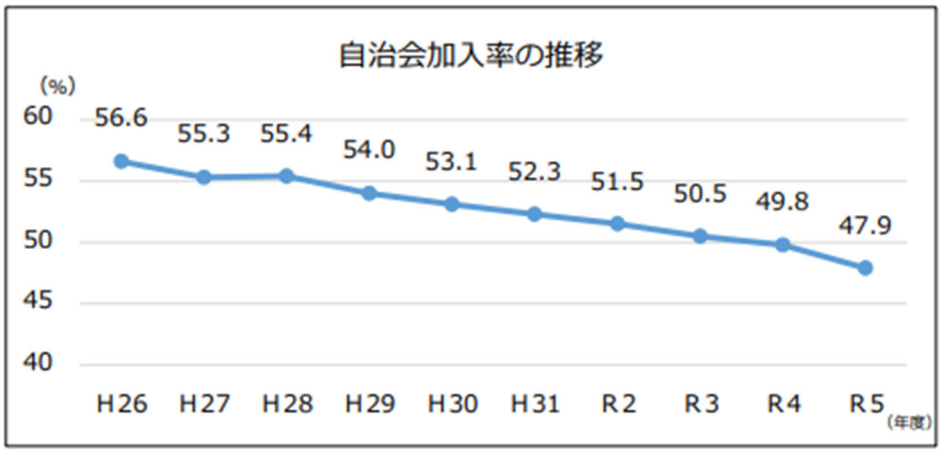
図 4.3.2　丸亀市年齢別人口の構成比予測

丸亀市では，安全で安心に暮らせるまちづくりを進めるために，おおむね小学校区を単位として，地域に暮らすすべての住民と，自治会を中心とした地域の各種団体を包括するコミュニティ組織が形成されており，防災・防犯・福祉などの様々な分野で地域の特色を活かしたまちづくりを進めている。一方，自治会はコミュニティの中心的役割を担う団体だが，個人の生活様式の多様化などにより，加入率は低下し続けている（図 4.3.3）。

コミュニティは一部を除いて指定管理者に委託され，図 4.2.4 のような業務全般を負担している。各コミュニティでは，総務部，福祉部，育成環境部，安全部，体育部，長生部などを作って原則それらの要求事項を満たす活動を求められている。しかし，現実は平成の合併市町と元から

丸亀市との温度差，主体的に活動する地域の方の熱量に左右されるという側面が見られる。

丸亀市としては，地域性をもって隣のコミュニティの活動を参考に，展開して欲しいという願いはあるものの，現実的にはそのような広がりは難しいようだ。



丸亀市 HP 自治会加入状況より　※各データは 4 月 1 日現在

図 4.3.3　丸亀市自治会加入率の推移



図 4.3.4　丸亀市各コミュニティの業務内容

地域防災としては，コミュニティの安全部がその役割を担うようになっているものと推察される。しかし，防災や土木の基礎知識や人的ネットワークがないと，問い合わせ先も分からないまま進められないということだろう。

丸亀市では，公益的な活動の活性化を目的に，個人や市民活動団体の市民活動登録制度を設けられた。マルタスという施設，活動拠点を創設された。これを機に市民活動に興味を持ってもらい地域課題に対する取り組みに参加する方が増えているようである（図 4.3.5）。

マルタスの登録者を見ると，文化系，子ども，保健系，まちづくり，教育系，環境・災害，国

際，科学系，高齢者など様々である。地域防災としては，まちづくり，環境・災害などと深くかかわっていくことが，地域の課題解決の足掛かりになる可能性がある。

香川高専では，丸亀市と協力して令和 6 年 11 月 9 日（土）に登録団体の数社を集めて，活動の悩みや相談事を傾聴するイベントを開催した。丸亀市としても，市民活動を進展させたいところだが，個別の団体に肩入れすることが難しいのが現実である。公的機関，学校，学会が積極的に関わって，登録団体が抱える大小の悩み事に少しでもコメントや本格対応することで，登録者も現状を打開していくきっかけを得ることが感じられた。一般に，個人系の登録者の方が活動は熱心であり，団体登録の方が低調とのことだった。

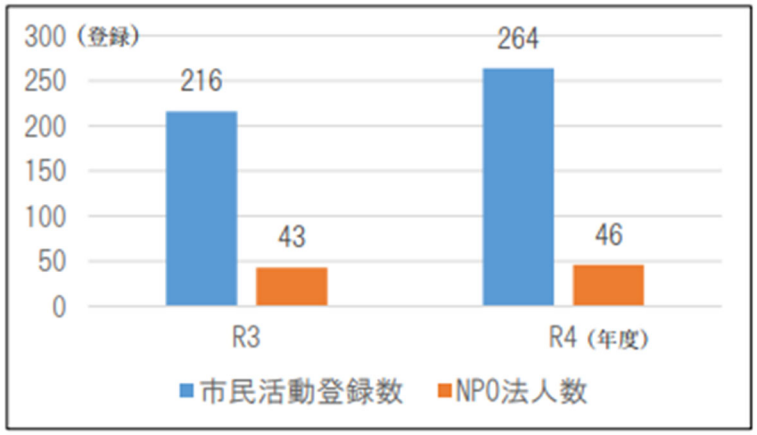


図 4.3.5　丸亀市マルタス登録者数の推移

地域防災の具体的な対応事例として，斜面ソーラーパネルに対する懸念の声が寄せられた。ソーラーパネルは設置したものの，売電が行われず，電力会社との契約もなされずに放置されているものであった。行政の窓口はそもそも県か市か，適切な対策の進め方や日常の危険性把握など，専門的知識も必要なことが多い。香川県はため池が多いので，氾濫解析のハザードマップは公表されているのだけれど，個別の地域や個々の避難路の安全性などをきめ細やかに対応して欲しいなどの声もある。松山城での斜面崩壊を機に，都市災害にも強い関心が寄せられている。地域防災に取り組むには，地域性やニーズも様々であり，熱心なコミュニティから対応しているのが現状である。

参考文献

1）丸亀市マルタス HP，https://marugame-marutasu.jp/about/　（2025.2.3 閲覧）

2）丸亀市地域コミュニティ，https://www.city.marugame.lg.jp/page/1830.html　（2025.2.3 閲覧）

3）第 2 次丸亀市協働推進計画（案），https://www.city.marugame.lg.jp/uploaded/attachment/15759.pdf　（2025.2.3 閲覧）

4.3.2 島根県雲南市の事例

（1） 島根県雲南市の概要

雲南市は島根県東部山間部にある人口 33,109 人，高齢化率 40%(2025 年)の市で，雲南市のほぼ中央を，斐伊川（天井川）が北流しており，赤川，久野川，三刀屋川の合流地点に平野部が広がっている(図 4.3.6)。地質は花崗岩（まさ土）で，昔から洪水やがけ崩れによって多くの被害が発生している地域である。

（2） 地域防災学習

地域防災学習は，住民の防災意識向上を目的に，現在多くの地域で様々な方法で行われている。

今回防災学習を実施した対象地区は，斐伊川、久野川と山地の間隔が狭いエリアに民家が密集している。民家背後のがけ地は急傾斜地斜面対策事業によって，のり枠工，グラウンドアンカー工，落石対策工等が施されている。しかし住民のがけ崩れに対する不安が高く，自主防災組織が主体になって防災活動が積極的になされている。しかしバイアスの影響もあって，学習者が災害リスクを「自分ごと」として理解して，危険情報が発信された際に，避難警戒行動に繋げることができていないという状態にあると考える。

そこで学習者が見慣れている風景や災害に関する経験内容などの身近な内容で防災学習を行えば，自分ごととして捉えてくれると考え，地元の地形、地質、過去の災害履歴や災害に対する先人の工夫など学習者の身近な内容に，ハザードマップや防災情報を取り上げた。さらに土砂災害の発生メカニズムや対策工の効果を理解する防災ドボク模型を用いて防災学習[3)]を実施した。

1） 地域特性（地形・地質・災害履歴・災害伝承物）を考慮した自然災害に関する内容

・地域の地形，地質，災害史跡マップ（図 4.3.7）と災害履歴（表 4.3.1）

・土砂災害警戒区域と避難箇所の安全性



（a） 雲南市の位置



（b） (a)口部の拡大（GoogleMap）

図 4.3.6 防災学習対象地域の位置



図 4.3.7 災害史跡や災害予防建築物等マップ

表 4.3.1 防災学習対象地域の主な災害履歴 [1)]

年月日		被害状況		参考
文久九年 (1826年)	5.31～6.1	久野川の氾濫	浸水戸数518戸、流出戸数268戸、死者126人	円覚寺：弔溺碑(ﾁｮｳﾃﾞｷﾋ)
明治6年 (1873年)	8.28～29	斐伊川 里方堤防下熊谷堤 防決壊		
明治26年 (1893年)	10.12～14	同	潜水橋やや下の土手が決壊。下熊谷全域砂に埋まる	潜水橋側（下熊谷）：八大龍王
明治27年 (1894年)	9.10～11	久野川土手決壊	流出家屋53戸、死者3名 （被災者1805人：当時人口67%）	旧平野家土蔵水位跡
昭和18年 (1943年)	9.19～21	台風26号 久野川堤防決壊	堤防裏崩れ:120m、鉄道トンネル石垣崩壊2箇所、道路宇山線300m流出、洞光寺坂道路等部分崩壊	鳥取大地震(1943.9.10 M7.2)
昭和20年 (1945年)	9.17～18	枕崎台風 （総雨量314mm） 里方堤防決壊 円覚寺裏山崩壊	疎開児童２名死亡	
昭和36年 (1961年)	7.4	梅雨前線豪雨 久野川水系氾濫	新町下から駅付近床上浸水 八日市裏通り床下浸水 浸水家屋　593戸、死者１名	
昭和39年 (1964年)	7.18～19	山陰北陸豪雨 案内川氾濫 県道松江木次線、尺の内峠崖崩れ	全壊家屋35戸、半壊家屋263戸、床上浸水295戸、床下浸水898戸、堤防決壊117箇所、道路決壊428戸 死者6人、重軽傷者56人	

2) 防災どぼく模型 [2)]による防災学習

降雨浸透によって斜面崩壊が発生する仕組み，がけ崩れ時の垂直避難および主な対斜面策工の効果に関する防災どぼく模型を用いて説明することで，専門的な内容を住民の方に五感で理解していただいた。（図 4.3.8）



図 4.3.8 防災どぼく模型実演状況

3) 防災ウォーキングの実施

（平成 21 年に実施した斜面点検箇所との比較）

対象地域では，2009 年（平成 21 年）秋に防災ウォーキングを実施して斜面の変状箇所や斜面対策構造物の状況を確認している。2022 年（令和 4 年）は，同様箇所の防災ウォーキングを行い，崩壊箇所では，布団かごによる補強対策が施工されていること(図 4.3.9(a)，斜面上の階段で生じていた亀裂変状箇所では亀裂が拡大していること(図 4.3.9(b)，およびグラウンドアンカー工の頭部キャップ状況を確認して問題ないことを確認した。(図 4.3.9(c))

また法枠工天端に幅 10cm 程度，長



（a）斜面崩壊箇所と補強対策



（b）斜面上の階段亀裂の拡大状況



（c）グラウンドアンカー頭部状況

図 4.3.9 2009 年と 2021 年防災ウォーキング主要箇所比較（左：2009 年、右 2022 年）

さ３m 程度の亀裂が発生し(図 4.3.10)，また天端下の枠内の中詰め土砂の流出していることを確認した。この変状については，行政に連絡し対応をお願いした。



図 4.3.10　法枠天端の亀裂状況

このように，住民と防災技術者が一緒に地域の主要箇所をウォーキングすることは，裏山や対策工の状況を確認して早期対応ができ，住民の協力を得ることで維持管理対応しやすいと考える。

ただ素人でも簡単に変状を計測できるような計測計がないことから，個人の健康管理に使用している体温計や血圧計のような簡易な計測計 [4] および簡易な計測計による危機管理システムが必要であると考えている。

(3)地域防災学習の評価

参加者から下記感想や意見をいただいており，今回の学習内容の理解度は高かったと考えられる。このことから住民が防災に関心を持ってもらい，自分ごととして行動してもらうためには，地元の身近な存在に着目して防災活動を行うことが重要であると考えられる。さらに住民が防災対策施設を点検し，異常発見時に管理者に連絡する新たな仕組みの必要性を感じた。そのために，斜面変状の見える化，行政との連携，防災リーダーの育成などが必要であると考える。

- 地元の災害履歴や災害碑の紹介を通しての説明で分かりやすかった.
- これまでの防災勉強会は，専門的内容でわかりにくかったが，身近な事例での説明や，模型を用いた説明だったので理解しやすかった.
- 10 年前の状況と現在の状況が比較されていたので，安心した.
- 地元に密着した形での防災について説明だったので，わかりやすかった.
- 身近な事例での説明だったので，興味を引かれた.

参考文献

1)　新修木次町誌, H16. 1

2)　藤井俊逸, ドボク模型プレゼン講座, 日経コンストラクション, 2014. 1. 27 号～2015. 7. 27 号

3)　岩佐直人・藤井俊逸・杉原正樹・藤原賢二・藤原昌之・石田侑生・岩佐由紀夫, 積極的住民加を促すための地域防災活動の視点, 令和 5 年土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会, 2023

4)　斜面災害のリスク低減に関する研究委員会報告書 令和 4 年 3 月 公益社団法人地盤工学会関西支部

4.3.3 子供たちに災害の発生理由や防ぐ方法を伝えるための工夫

(1) はじめに

日本は自然災害（以下災害と記載）が多い国である。いくら対策を行っても災害を完璧に防ぐことは難しい。そのため，災害の発生メカニズムを知り，避難のタイミングを計り，適宜避難することにより命を守る行動をとる必要がある。

防災学習会で避難の仕方だけを教えても，子供たちにはなかなか興味を持ってもらえない。そこで，子供たちに，災害の発生メカニズム（地形学・地質学・土質力学・物理学・構造力学），地形の成り立ち，災害を防ぐ方法をきちんと伝えることで，災害について意識を持ってもらうことが大切であると考える。しかしきちんと伝えることは，簡単なようで実は難しい。ここでは，伝えるために配慮すべきことを整理する。以下の点について整理した。

a) 防災学習に興味を持ってもらう工夫（ツールの活用・その他の工夫）

b) 説明の場を選ぶ

c) 説明事例

(2) 防災学習に興味を持ってもらう工夫

防災学習に興味を持ってもらうための工夫が，いろいろな方法で行われている。ここでは，工夫の仕方について整理を行った。以下に，それぞれの工夫について具体的な事例を紹介する。なお詳細については，QR コードでリンクしているので確認してほしい。

（全て 2025 年 3 月 20 日確認）

A) ツールを活用したプレゼン

防災学習に関するツールはいろいろな種類がある。

防災かるた・すごろく・防災ゲーム

防災紙芝居

防災工作

防災模型

防災工作・防災模型は，災害の発生メカニズムや災害を防ぐ方法について学べるようになっているが，その他は避難方法や避難時の対応が中心となっている。

1) 防災かるた・すごろく・防災ゲーム(カード使用)

ゲーム感覚で防災の知識を学ぶことができる。今のところ，災害発生時の避難方法や留意点を学ぶことができるようになっているものが多い。今後，災害の発生メカニズムや，災害を防ぐ対策について学べるものが出てくることを期待している。

以下に，参考事例を示す。

例 A1-1.あそぼうさいかるた(高知県)

（自治体，各種団体等様々な仕様のものが作られている。）

例 A1-2.防災すごろく

防災すごろくゲーム

（有料ゲームから無料版まで様々な仕様のものが作られている。）

例 A1-3.防災カードゲーム

例 A1-1

例 A1-2

例 A1-3

クロスロードゲーム

例 A1-4.避難所運営ゲーム（HUG）

避難所運営をみんなで考えるためのアプローチとして，静岡県が開発した図上訓練。具体的で実践的な避難所運営を疑似体験できる。

例 A1-4

2) 防災紙芝居

話術や絵の力によって，子供たちの興味を引くことができる。

今のところ，災害発生時の避難方法や留意点を学ぶことができるようになっているものが，多い。以下に，参考事例を示す。

例 A2-1.「稲村の火を消すな」（財）都市防災研究所

例 A2-2.「大切ないのち」（島根県砂防課）

例 A2-1

例 A2-2

3) 防災工作

災害に関わるものを手作りしながら，学んでいく取り組みである。以下に，参考事例を示す。

例 A3-1 3 次元地形を作って地形と災害の関係を学ぶ

（一社）防災ジオラマ推進ネットワーク

例 A3-1

4) 防災模型 [1)]

模型を用いて，災害のメカニズムや，災害を防ぐ方法を説明する。災害と地形や地質・地下水との関係を，手を動かしながら学習できる。以下に，参考事例を示す。

例 A4-1.防災模型じっけん楽会

例 A4-1

B) 防災町歩きによる学習(現場体験型)

あらかじめ災害を想定して避難経路を決めておき，その経路を実際に歩いて危険がないか・災害時にどのようになるのかを確認する。避難経路を歩く際に，防災対策施設の役割等を専門家が解説することができる。以下に，参考事例を示す。

例 B1.国土交通省　まちを歩いて防災マップをつくろう!!

例 B2.公益社団法人 全国子ども会連合会　防災まち歩き

例 B1

例 B2

C) 運動会などで競技に防災要素を取り込む

体を動かし，楽しみながら学習できる。

例 C1.あそび防災プロジェクト

防災クイズラリー・防災借り物競争・防災謎解き・避難所ジェスチャーゲームなど。

例 C1

D) 書籍

土砂災害の発生原因やそれを防ぐ方法を，子供向けに説明した書籍は意外と少ない。本を読むことで，土砂災害に関する知識を得ることができる。書籍に絵本やイラストが使われているものを紹介する。

例 D1.「実験で学ぶ土砂災害」（土木学会）[1)]

例 D2. 土砂災害のきほん 子どもの命を守る防災教育絵本

例 D1　例 D2

E)　インターネット上での情報発信

ホームページ・YouTube・各種 SNS などで，防災学習情報の発信されているものの，一部を紹介する。

例 E1. 減災教室

例 E2. 防災検定ソナエテ

例 E3. 気象庁のビデオ

例 E4. NHK 学ぼう BOSAI

例 E1　例 E2

例 E3　例 E4

F)　防災をテーマにした資料館等

大規模災害が発生した際に，その記憶を未来に伝えるために，資料館などが作られる場合がある。主として地震災害に関係するものが多い。災害の記憶に加えて，防災知識も学習できるようになっている。

例 F1. 阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センター
1995 年（平成 7 年）阪神・淡路大震災の記憶を未来に伝えるための施設

例 F1

例 F2. 長岡震災アーカイブセンター きおくみらい
2004 年（平成 16 年）中越地震の記憶を未来に伝えるための施設

例 F2

例 F3. 熊本地震震災ミュージアム
2016 年（平成 28 年）熊本地震の記憶を未来に伝えるための施設

例 F3

(3) 説明の場

A)　会議室等での実施

事前に関係機関に講習会等の案内を出して，来場者に説明を行う。ある程度興味がある人が聞きに来るため，詳しい説明ができる。しかし，興味がない人は来場してくれないため，周知することが難しい。

B)　学校（小中高）

事前に学校の先生と防災学習の目的と効果を打合せする。目的に合わせた効率的な学習プログラムを作成できる。生徒に知ってもらうことで，生徒が家族へ説明するケースもある。

C)　大型商業施設・イベント会場

大型商業施設のイベント広場などで，防災の説明を行う。通りすがりの人に説明できるので，興味のない人にも周知できるチャンスがある。興味を引くコンテンツを提供する必要がある。

D)　インターネット上

ホームページ・YouTube・SNS などで，防災情報を公開しパソコンやスマートフォン等で見ても

らう。誰でもいつでも見ることができるが，検索してもらえないと情報に到達できない。

(4) 説明事例 1

防災ゲームの例 4 で紹介した避難所運営ゲーム（HUG）を用いて，実際に避難所運営ゲームを行った様子について事例紹介する（図 4.3.10）。



図 4.3.11　HUG の表紙

A)　ゲームの進行

地震災害をテーマに避難所運営をシミュレートするカードゲーム(最近は地震以外もある)である。カードは避難者カードとイベントカードがある。避難者一人を 1 枚のカードとして，カードには避難者の氏名，性別，住所，親子関係等が書き込まれている。カードの大きさは避難者一人に必要な面積を示し，避難所となっている校舎，体育館の平面図上に適宜配置していく。イベントカードは，避難所で起きると想定される様々な事象が書かれている。ゲームは，避難者カードとイベントカードが混じったカードを進行役が順々に配り，参加者はその都度避難者の配置，イベントへの対応をしながらゲームを進めていく（図 4.3.11)。



図 4.3.12　ゲーム中の様子

B)　ゲーム参加者の主な感想

・体育館での避難者の配置をどうするかで考えさせられた。通路の設置や家族ごとの配置等

・トイレが使えなくなっている状況で，仮設のトイレが来るまで，どう対応するのか考えさせられた。

・ペット同伴の避難者をどうするか困った。

・外国人の避難者への対応に戸惑った。

特に，トイレ問題は最近の災害ではよく取り上げられるが，この問題は断水が伴う災害では必ず起きる課題と言える。イベントカードは実際に避難所で困ったことが反映されているので，疑似体験として役にたつ。このような手法を応用して，災害の発生メカニズムや災害を防ぐ方法を伝えられるようにしていくと，新たな価値が生れると思われる。

(5) 説明事例 2

「防災模型」を使った防災学習会について紹介する。防災学習ツールで紹介した「防災模型」を使った取り組みについて紹介する [1)]。



図 4.3.13　防災模型を用いた学習風景

「説明の場」は小学校の教室である。防災学習の目的は，土砂災害がどうして発生するのか？それを防ぐ方法について説明を行った。図 4.3.12 は，説明中の様子である。図 4.3.13 の地すべり説明模型には水が入るようになっている。これは豪雨時に地盤の中に雨が溜まる様子を模型で表現したものである。水が溜まると図 4.3.14 のように山が動く。その理由について図 4.3.15 のようなイラストで説明をする。

加えて，それを防ぐ方法も説明する。図 4.13.16 は「アンカー工法」というすべりを防ぐ方法の一つである。図 4.13.17 は道路から見える「アンカー工法」である。子供たちの 8 割位が見たことがあると答えてくれる。しかし，図 4.3.16 のように，鉄の紐が地盤の中に入っていることは知らない。土砂災害の発生する仕組みを理解し，災害を防ぐ方法を工夫していることを知ってもらいたい。

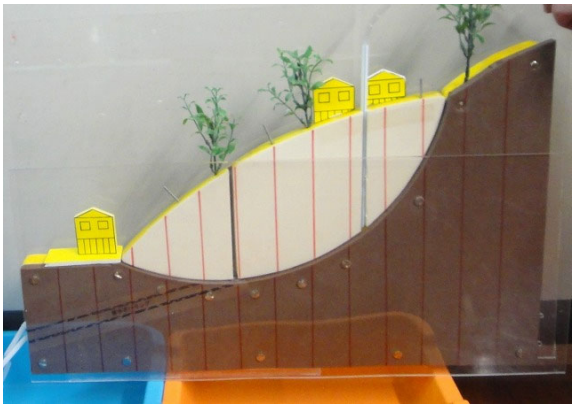


図 4.3.14　地すべり説明模型

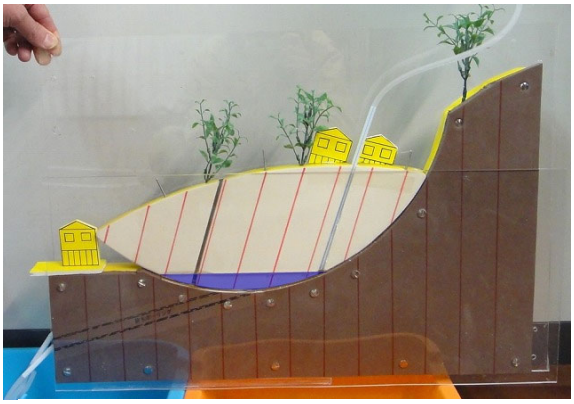


図 4.3.15　地すべり説明模型に水を入れる

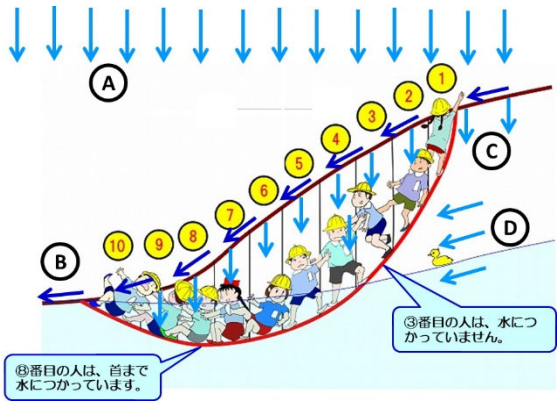


図 4.3.16　水を入れると山が動く理由

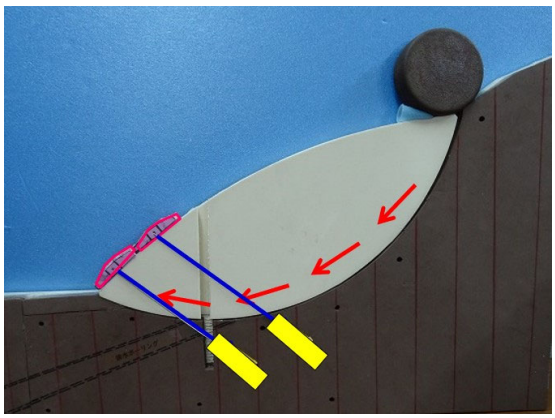


図 4.3.17　すべりを防ぐアンカー工法

(6) おわりに

災害の発生メカニズムを知ることは，災害大国である日本で生活する上でとても大切なことである。地形学・地質学・土質力学・物理学・構造力学などの学問も必要になる。防災学習が，そのきっかけになってくれることを望んでいる。

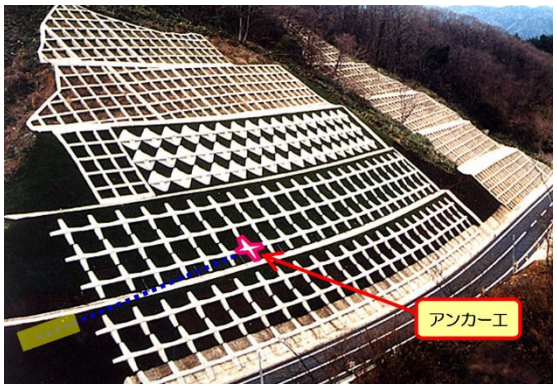


図 4.3.18　アンカー工法の写真

参考文献

1)　土木学会 地盤工学委員会 斜面工学研究小委員会：実験で学ぶ土砂災害，土木学会, pp. 26-30，2015.

4.3.3 地域の担い手である子供たちを対象とした防災授業

(1) 地元に密着した小学生を対象とした防災学習

防災において地域防災への期待が大きいものの，地方では，高齢化，人口減少等によって地域防災を担う人材が不足しており人材育成が急務の課題であり，その対応として地域の担い手である子供たちへの防災学習はこれまで以上に重要になってきている。

学校での防災教育は、2017 年に改定された新学習指導要領で、教科横断的な防災教育の実践が学校現場に求められている。しかし具体的に何を取り上げどのように防災教育を展開するかが不明確であり，さらに教育前線では時間確保が困難・防災への知識不足・防災教育ツール不足等で，防災教育対応が進んでいない。また過去に発生した自然災害被災地と非被災地における防災教育への取り組みに対する姿勢の違いも見られ，防災学習では地域特性を考慮した災害リスクについても考慮しなければならない。

近年地域特性（地形、地質及び災害履歴等）を考慮した防災授業として，「地域特性＋防災模型」による防災授業が紹介されている [1),2),3)]。防災模型は，100 円ショップやホームセンター等で購入できる比較的安価な材料を用いて土砂災害発生メカニズムや対策工の効果を説明する模型であって，前節では降雨によって斜面が崩壊するメカニズムやグラウンドアンカーの効果を説明する防災模型による実験が紹介されている。

「地域特性＋防災模型」による防災授業の例として，A 小学校において 5 年生時に防災授業を受講した生徒が，6 年生になって同様の防災授業を受講した事例について紹介し，防災授業を継続することによる効果について説明する。

(2)防災授業の概要

防災授業の時間は、90 分であり，下記手順で行った。

1) 事前準備：児童の防災に関する意識を把握するためにアンケート調査実施（対象：生徒）

2) 授業　　：昨年の振り返りとして，5 班に分かれて防災模型を用いた実験を実施(表 4.3.2)した。

防災模型はナットを用いたがけ崩れ現象や対策工を理解する模型，トイレットペーパーとス

表 4.3.2 班別防災ドボク模型実験内容

	1班	2班	3班	4班	5班
対象とする土砂災害	がけ崩れ				
実験ポイント	どの部屋が一番安全か？	のり枠工法の効果とは？	グラウンドアンカーの効果とは？	なぜ雨が降ると斜面が崩壊するのか？	土のうは、なぜ壊れないのか？
実験状況					
実験方法	1 崩壊土砂を３種類のナットで例え、ナットを設置した板の角度を大きくして、崩壊した角度を調べる 2 斜面の下に家の模型を置いて斜面を崩壊させて、家の４つの部屋で変形が小さく空間が大きい部屋を見つける	1 崩壊深さの浅い条件で、法枠模型をおいて崩壊する角度を調べる 2 崩壊深さの深い条件で、法枠模型をおいて崩壊する角度を調べる	1 グラウンドアンカーを、斜面全体に３個設置して、崩壊する角度を調べる 2 グラウンドアンカーをのり尻付近に１個設置して、崩壊角度を調べる	1 模型斜面の中に水を注入して、崩壊した時の水の位置を測る 2 排水パイプがある場合には、崩壊するかを確認する	1 土をストローに例えて、ストローの束の上に、おもりを乗せて崩壊する重さを調べる 2 土のうをトイレットペーパーで表現して、トイレットペーパーでストローの束を包み、おもりを乗せて崩壊する重さを調べる

トローを用いて土のうの効果を確認する実験を行った。その後,各班で実験結果をまとめた後,班代表が実験結果を発表した。



図 4.3.19　3D 地形模型とビーズを用いた土石流実験

その後土砂災害の概要（気象状態の変化、がけ崩れ概要,主な対策工）を説明した。ちなみに小学生は,「谷」の言葉を知っていてもどのような状況を示しているのか理解していない年代である。そのため土石流の危険性のある箇所がわからない状況にある。そこで学校周辺の谷地形を模した 3D 地形模型で説明し,ビーズによる土石流実験を行った（図 4.3.19）。また新鮮な花崗岩,風化した花崗岩,まさ土を見せてその違いを説明した。

③授業後　：防災授業に関するアンケート調査実施（対象：生徒及び担任教諭）

(3)防災授業の評価

図 4.3.20 に生徒の事前アンケート結果の一部を示す。5 年生で実施した防災授業で面白かった点に関しては,「ある」の回答が 40%で「ない」の回答は 56%であった。また「ある」の回答のうち,9 名が土のうに関する実験が記憶に残っていた。普段行っている防災活動については,「ある」の回答が 24%「ない」の回答が 76%であった。「ある」の回答のうち天気予報を見る・調べたという回答が 50%を占めている。これは回答項目の中から選択する設問だったことから,防災活動の一環として回答したものと考える。

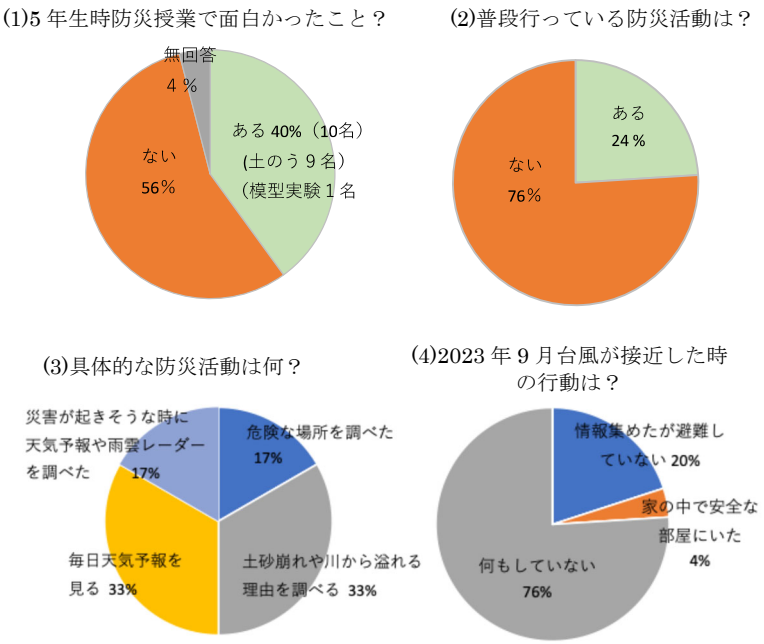


図 4.3.20　授業前アンケート結果

また 2023 年 9 月台風が接近した際の行動については，ほとんど何もしていないという回答であり，防災に対する意識は低いことがわかる。

図 4.3.21 は，防災授業後のアンケート結果である。「大変役にたった」「役にたった」の回答が 86%,「普通」「つまらなかった」の回答が 14%であった。5 年生で実施した防災授業では,「大変役にたった」「役にたった」の回答が 100%だったことを考えると少し冷めた視点の感想と考える。防災授業の内容を家族に話すという回答

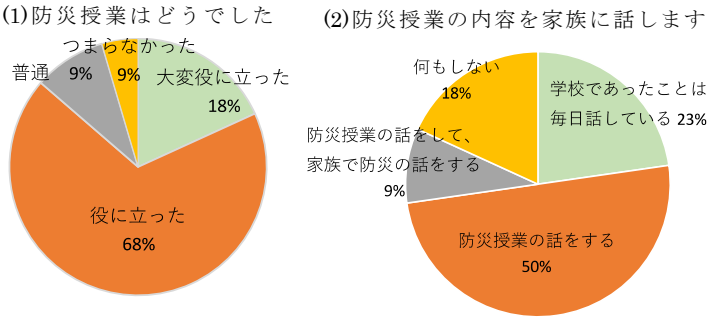


図 4.3.21 授業後アンケート結果

は 82%であり,学校での防災教育が,生徒の家族や地域に伝わっていく可能性が示唆される。

この結果から，５年生時における授業内容は,１年経過すると 40%程度の生徒しか覚えていないということから，継続した授業が必要と考える。なお授業に対する感想で多用された表現の上位は,「面白い」「興味があった」の回答の他に,５年生時になかった「グラウンドアンカー」「土のう」という対策工に関する言葉を確認できた。防災模型を通じて,対策工の効果を直に確認できたためと考える。一方難しかった点では,「地域の」「谷地形を見つける」の言葉があがっており,小学生の日常生活で触れることが少ない地形・地質については,さらなる工夫が必要であると思われる。

表 4.3.3　担任教諭の防災授業に対する評価

項目	評価
防災授業の評価	b.役に立った
防災授業の内容へのコメント	子供達にとって身近な地域の地質のお話をしていただいたおかげで、自分ごととして考えることができたと思います。
	どの実験も工夫されており、楽しく学習できたと思います。ありがとうございました
来年度実施する場合の要望事項	今回と同じ内容で良い。
	子供たちが考える時間を少し増やして欲しい
継続した防災授業に必要なもの	防災学習を行うための負担（専門知識の習得、資料の収集等）の低減
	防災学習を行うためのツール

担任教諭の評価を表 4.3.3 に示す。防災授業の内容について身近な地域の特性を考慮した内容に対して高評価であるが，子供たちの意見を聞くなど教育者としての意見を聞くことができた。また防災授業の必要性は高く認識されているものの，専門知識や授業のための資料収集等防災学習を行うための負担が大きいこと，防災学習のためのツール不足などで，防災学習を行うための限界が明らかになった。

(4)おわりに

A 小学校において，5 年生時に防災授業を受講した生徒が 6 年生になった時に，地域特性（地形・地質など）を考慮した防災模型による防災授業を行い、下記成果が得られた。

1) 1 年前に実施した内容を覚えている児童が半分以下だったことは残念だった。しかし身近な地形、地質や対策工を、立体地形図、地域の特長的な地盤サンプル及び防災模型を通して理解でき、また内容を家族に話す機会があることから，継続した防災学習は重要であることを確認した。

2) 授業時間 90 分で、地域特性、防災模型を設けたため、生徒が考える時間が少なくなり、また普段馴染みがない地形・地質に関する内容は、一部の生徒で消化不良であった。

3)学校としては防災学習の必要性があると考えられているものの，先生が防災授業を行う準備・実行することの限界があることを確認することができた。そのため，学校の防災授業実施にあたっては，先生と防災技術者が協力して実行する必要性があることを確認することができた

参考文献

1) 岩佐直人，藤井俊逸，杉原正樹，永海飛鳥，松本一郎，堀田賢弥，防災どぼく模型を用いた小学生を対象とした防災授業,pp159-160,令和5年度砂防学会研究発表会概要集,2023

2) 岩佐直人，藤井俊逸，杉原正樹,児童向け地質・防災学習における対面方式と Web 方式の特長と課題,C01,全地連技術フォーラム,2023

3) 岩佐直人,藤井俊逸,松本一郎,桂木瑞月,小学生を対象とした防災ドボク模型を用いた防災授業―地形（3D 模型）・地質考慮―,pp257-258,令和6年砂防学会研究発表会概要集,2024

4.4 土砂災害に関わる法的な課題と対応策

4.4.1 はじめに

近年，土砂災害が頻発・大規模化するとともに，地震災害と豪雨災害などが時間をおかないで発生する複合災害が顕在化してきている。こうした中，危険な土地住民への土砂災害にかかわる社会システムや防災・減災技術の適応性が課題となっている。ここでは，社会システムの 1 つである土砂災害にかかわる法令・訴訟事例などから見た防災・減災のあり方についてまとめた。

4.4.2 土砂災害を減らす法的システム

土砂災害を減らすための社会システムとしては,まず災害を予防するため,法令の整備がある。日本の法令は複雑な社会システムの中で作られているので，土砂災害に係る法令を抜き出して理解する必要があるが，これらをまとめると，主として危ない土地を守るために，事前にハード対策ができる法令と土地の規制や管理を行う法令，復旧，復興を行える法令がある。このような法令システムの中で，砂防・治山施設などのハード対策に係わる法令と土砂災害ハザードマップなどのソフト対策に係わる法令がある。これらが，技術的な対応と合わさって土地が安全に管理されていく。しかし，想定外の自然災害が多くなってきている昨今では，自然・社会環境の変化に合わせて，法令システムを改変していくことが求められている。

法令の整備が土砂災害の予防を目的にしているのに対して，訴訟は主として土砂災害が起こった後の事後処理に対応している。土砂災害の訴訟には地盤や地質の専門知識が必要で，複合災害など複雑な土砂災害が増える中で，最新の技術が求められるようになってきている。

(1) 土砂災害の法令

表 4.4.1 は，土砂災害に関連する法令の経緯である。明治政府は，当時荒廃した国土を保全するために，治水三法（河川法・砂防法・森林法）を制定した。それでも，土砂災害は減少しないため，土砂三法ができた。つまり，砂防法は渓流内の保全として残したまま，崖地の土砂災害は急傾斜地災害防止法,地すべりにかかわる土砂災害は,地すべり等防止法で対応することになった。これらの法令では，それぞれの危険箇所を指定して，ハード対策を実施することを主な目的としていた。

近年要保全箇所が多数あるなか，災害の多発やその規模の増大に対応するため土砂災害の防災・減災対応としてハード対策からソフト対策に移行する考え方が増えてきている。つまり，2000 年に制定された土砂災害防止法である。土砂災害防止法では，土砂三法に対応した災害種に応じて渓流・急傾斜地・地すべり地の危険な箇所をある一定の地形・対策施設条件で抽出し，土砂災害警戒区域（イエローゾーン）と土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）を設けるものであり，現時点では土砂災害のハザードマップとして活用されている。しかし，近年多発している豪雨や地震による土砂災害では，これらの警戒区域外でも災害が発生することがあり，公表されているイエローゾーンやレッドゾーンの見直しも行われている。

宅地造成等規制法は，1961 年に集中豪雨で神奈川県，兵庫県等の宅地造成地において相次いで発生したがけ崩れ災害を契機として同年成立した。図 4.4.1 のとおり宅地造成地の土砂災害防止を目的として作られた法令であり，ある一定の規制区域において宅地造成工事に対して，都道府

県が行為の制限と許可等を行うことになる。そして，法令が災害形態に合わなくなる時には，改正が行われる。つまり，1978 年宮城県沖地震後の 1980 年に施行令が建築基準の耐震化と同調し改正された。また，1989 年には，建設省が都道府県に対して宅地造成事業に関して通達した宅地防災のための技術基準となる宅地防災マニュアルが示され，細かく土砂災害を予防する努力が行われ，土砂災害も減少傾向となった。

1995 年の阪神・淡路大震災や 2004 年の新潟県中越地震，2005 年の福岡県西方沖地震などにおいて，造成宅地を中心に多くの谷埋め盛土や腹付け盛土の地すべり災害が生じた。このような大規模地震による造成された宅地の安全性の確保を図るため，2006 年には宅地造成等規制法が一部改正された。この地震災害に対する規制強化によって，宅地耐震化推進事業や大規模盛土造成地滑動崩落防止事業が実施されるようになっている。この規制法改正を受けて，宅地防災マニュアルも 2007 年に改訂されている。さらに，2021 年に熱海市伊豆山で発生した土石流災害を受けて，盛土を包括的に規制する宅地造成及び特定盛土等規制法という名称に変更・改正された。

つまり，法制度の存在によって今後発生する土砂災害を軽減するという予防の考え方ができる。今後も，様々な災害を契機として土砂災害にかかわる新しい法令の制定や改正が行われる。

表 4.4.1　土砂災害に関連の法令の経緯 [1)]

立法の契機		立法の推移	
1896	河川法の制定	1897	砂防法・森林法（３つ合わせて治水三法）
1948	福井地震	1950	建築基準法（中規模の地震対応）
1957	集中豪雨による地滑り災害	1958	地すべり等防止法
1961	集中豪雨で宅地造成地の崖崩れ災害	1961	宅地造成等規制法
1961	乱開発・都市のスプロール化	1968	都市計画法（開発許可制）
1967	集中豪雨で自然斜面の崖崩れ災害	1969	急傾斜地法
1967	ゴルフ場開発などで森林の乱開発	1969	森林法改正（林地開発許可制）
1978	宮城県沖地震	1981	建築基準法改正（最大規模の地震対応）・新耐震設計施行
1999	広島・呉市豪雨災害	2000	土砂災害防止法
2004	台風が相次ぎ高齢者施設の被災	2006	土砂災害防止法改正（高齢者施設への減災強化）
2005	福岡県西方地震等で造成宅地に地盤災害	2006	宅地造成等規制法等の改正（造成宅地の規制強化）
2008	岩手・宮城内陸地震	2011	土砂災害防止法改正（大規模土砂災害への減災強化）
2011	東日本大震災	2011	東日本大震災復興基本法
2014	広島豪雨災害	2015	土砂災害防止法改正（警戒避難体制の強化）
2016	岩手県岩泉町の高齢者施設の被災	2017	土砂災害防止法改正（高齢者施設への減災強化）
2021	熱海土石流災害	2022	宅地造成及び特定盛土等規制法

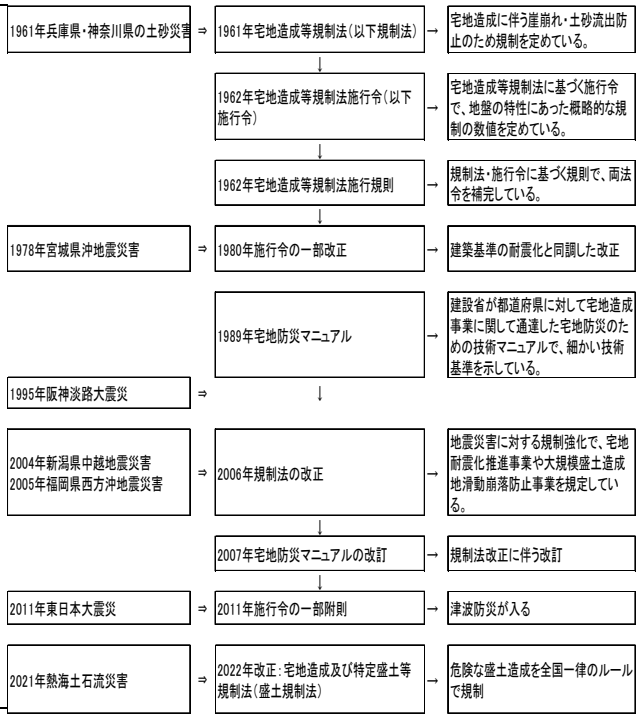


図 4.4.1 宅地造成等規正法等の変遷 [1)]

(2) 土砂災害の訴訟

土砂災害の訴訟では，刑事訴訟も行われるが，主として民事訴訟が多い。民事訴訟では，行政訴訟と民事訴訟があり，行政訴訟では国家賠償訴訟の他，許可取り消し訴訟がある。そして，地盤の崩壊や不同沈下といった地盤の異変は，生命・身体や財産に重大な被害をもたらす。災害を

未然の防止する方法として，その原因行為を許認可した処分の取消を求めるあるいは原因行為の禁止を求めるものである。ただし，工事禁止仮処分手続で将来の災害リスクを認定することは，将来予測であり，専門的知見が対立することが多く，裁判所も消極的になる。他方，災害が発生した場合その損害賠償を求める民事損害賠償請求訴訟は数が多く，この民事訴訟が土砂災害に関する訴訟の中心となっている（図 4.4.2)。

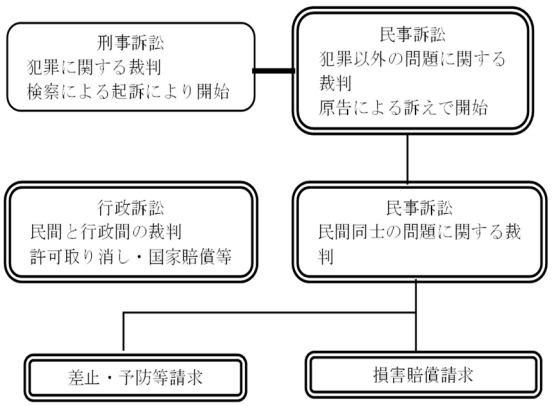


図 4.4.2　訴訟の種類 [1)]

土砂災害の訴訟の特徴は，図 4.4.3 のとおりである。①原告はほとんど市民である。②被告は国や地方自治体が 6 割で最も多く，残りが企業（3 割)，個人 1 割，技術者 1 割になっている。③訴訟の対象は，宅地が最も多く，最近の訴訟事例を考慮するとその数が増えてきていることを実感している。④認容率（原告が勝訴する率）が低く，審理期間が長い。審理期間が長い裁判としては，専門的な知識が必要な医療関係の訴訟と地盤関係の訴訟が知られている。そして，次の 5 つの争点について審理される。それらは，①原告適格性（原告側に訴える権利があるのか）②土砂災害発生箇所が誰の所有でその管理者は誰か③土砂災害発生の原因が予測可能であったか（想定外の豪雨，地震などの場合，土砂災害発生箇所の土地管理者などの責任は問われないことが多い）④発生の原因と機序（地質・地下水・崩壊メカニズムなど）⑤地盤工学的対応策の適正（調査・設計・施工・維持管理の仕方）である。民事訴訟では，判決以外に和解や取り下げによって終局（裁判が終了）する場合が多く，民事第一審訴訟では判決で終局したものは約半数で，残りは和解や取り下げによって終局しており，関係者以外にその内容はわからないので，土砂災害訴訟のノウハウがなかなか継承されない [1)]。

たとえば，横須賀市で発生した崖の崩壊裁判例では，崖所有者が周辺の住民に損害賠償を訴えられた。しかし，被告側の地盤技術者の意見書により崖の崩壊が，単なる斜面崩壊でなく崖周辺の原告の土地を含む広域な地すべりによることが明らかになり，地すべりの原因が被告・原告ともにあることがわかった。そこで，両者の間で和解が成立し，両者が費用を分担しあうことで決着した。千葉の段丘崖からの土砂流出をめぐる裁判例では，崖下の原告住民が崖上の被告土地所有者に土砂流出防止の対策と土砂除去の損害賠償を訴えた。ここでも，被告側の地盤技術者が崖からの土砂流出は崖からの湧水が原因で，崖所有者の原告自身に土砂流出防止の責務があるとした意見書を裁判所に提出された時点で，地盤工学上不利を感じた原告が訴えを取り下げた。

土砂災害の訴訟で重要な点は，横須賀や千葉の裁判事例のように地盤技術者が審理の争点を整

理した上で，住民や弁護士・裁判官にわかりやすい文章で意見書を書くことである。そして，弁護士が書く準備書面（意見書と同時に裁判所に提出するもの）にも地盤技術者が目を通し，意見書との整合性がとれるように調整することである。つまり，地盤技術者と弁護士とのチームワークによる土砂災害の評価・分析が大事なのである[1)]。

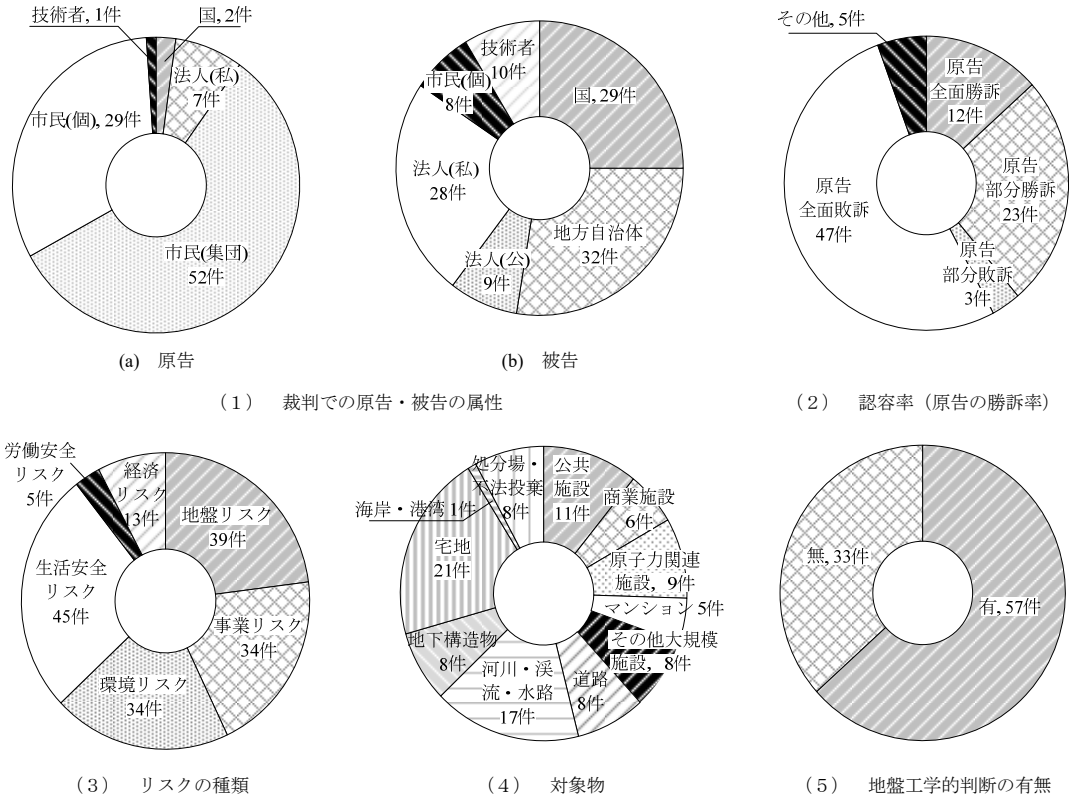


図 4.4.3 訴訟の種類[2)]

4.4.3 土法的な課題と対応策

法令はその法令ができた時点から適応されるので，法令制定前の建造物や施工物には適用できない。つまり，法令が制定あるいは改正される前の建造物や施工物は，たとえ新しい法令に適応していないとしても違法とはいえず，既存不適格構造物・施工物と呼ばれる（図 4.4.4）。既存不適格構造物の 1 つである擁壁などは，その不適格性や構造物の変状が目に見えてわかるので，理解されやすいが，地下施工物ある盛土・切土などは地表下の施工状況がわからないので不適格性を判断することが難しい。このような既存不適格構造物・施工物が都市には多く残されており，このような災害に弱い既存不適格構造物･施工物を再構築していくかが大きな課題になっている。

その対応としては，土地の所有者がその土地の安全を確保するのが，道義的・法的な前提となる。この場合には，危険な土地を自費や公的な補助金を利用して安全にすることになる。そして，リスク移転となる損害保険のオプションの水災（土砂災害を含む）に入ることは効果的である。また，危険な土地と分かった時点で，土地開発者や不動産仲介者を入れて，その費用負担を協議して安全な土地にすることもある。協議が不調になると裁判によりその費用分担が決められる。また，危険な土地の管理については，土地所有者や違法造成者の対応が注目される他，違法造成

が行われた経緯について行政に責任が及ぶことが多い。特に，違法造成者は土地を安全にする方策を示さないことが多く，保全対策として代執行などの公的資金による対応策がとられることになる。

土砂災害に関わる規制法関係では，レッドゾーンやイエローゾーンが土砂災害のハザードマップとして利用されていると共に，土地利用の規制を行い，ソフト面での土地の安全管理にも効果を発揮している。ただし，レッドゾーンやイエローゾーンの土砂災害ハザードマップとしての利用については，精度や抽出漏れがあるなどの難点がある[3-7)]。さらに，土地利用制限により，地価の下落が発生することや危険と判断された土地での近隣の土地所有者間と行政を含めた訴訟が増えてきており，今後の安全な土地管理に対して，新しい課題となっている。また，都市計画法関係では，市街化調整区域を設定することにより無秩序な宅地開発を制限している。この設定により宅地の土砂災害が，ある程度低減されている。最近では，趣旨は異なるがコンパクトシティ構想により結果的に危険な宅地造成地を市街化区域から市街化調整区域に逆指定して，ソフト面ではあるが危険な土地から住む人を減らす試みもある。



図 4. 4. 4 都市に残る既存不適格構造物例

参考文献

1) 稲垣秀輝（2024）: 社会システムから見た土砂災害を低減する住民避難と安全な土地利用・土地管理，地盤工学ジャーナル,Vol.19 ,No.1 ,pp.33-42, https://doi.org/10.3208/jgs.19.33.

2) 稲垣秀輝，薦田哲，伊藤和也，大久保拓郎，小嶋茂人，伊奈潔 : 講座地盤工学におけるリスクマネジメント, 6. 裁判例から見た地盤リスク, 地盤工学会誌, Vol.59, No.11, pp.98-105, 2011.

3) 稲垣秀輝（2025）XI-1 土砂災害の法的指定ハザードマップの適用性と地質構造の重要性，日本応用地質学会令和 6 年能登半島地震災害調査団報告書，pp297-302.

4) 稲垣秀輝（2020）: Ⅳ-4 自然災害に係わる法制度と減災に向けた提案と課題，日本応用地質学会 2019 年台風 19 号（令和元年東日本台風）等災害調査団報告書， pp.257-262.

5) 稲垣秀輝（2020）: 10.2 地震による火砕物の斜面災害を踏まえたリスクマネージメント，地震による地すべり災害-2018 年北海道胆振東部地震-，北海道大学出版会，pp.316-322.

6) 稲垣秀輝・西村智博（2021）: Ⅲ-1 球磨地域の土砂災害の特徴および法令と住民避難との関係，日本応用地質学会令和 2 年 7 月九州豪雨災害調査団報告書，pp.20-27.

7) 稲垣秀輝（2019）: Ⅳ-5 応用地質学から見た豪雨災害減災の提案と課題，日本応用地質学会平成 30 年 7 月豪雨災害（西日本豪雨災害）調査団報告書，pp.295-305.

4.5　地域防災の限界

これまで地域防災の現状、危険箇所情報、地域特性を考慮した防災活動事例を紹介してきた。地域防災の推進に当たっては，いわゆる公助に係る財源の確保や新たな制度設計の構築，災害予測精度の向上，また，災害に係る情報伝達方法の改善や地域住民リテラシーの向上，地域住民による防災意識の醸成など，様々な課題が上げられる。なお，4.1.1「前提の考え方」では，昨今の様々な社会情勢の中で地域防災の取組を実施していく上で考えられる視点を示したところである。そこで，本項では，当該視点に基づき，地域防災の限界について述べていくこととする。

■視点①：地方，都市部それぞれの継続的なリスクコミュニケーションの在り方

地方部の担い手不足が進む中でのコミュニティの継続，都市部におけるコミュニティの再生等を行い，リスクコミュニケーションが図られたとしても，一定の公的支援が無ければ地域レジリエンスの向上は困難であるが，地方自治体の財政難，地方社会衰退，老朽化したインフラの増加等の社会情勢の中で，例えば地域住民の日常生活をほぼ無被害とするようなインフラ整備など無限に公的支援を投入することは現実的でない。参考文献１では，人口減少と高齢化が地域レジリエンスを低下させる構造を（図 4.5.1）示しており，人口減少により，地域の生産性が低下するとともに社会保障費等の行政コストの増加といった地域の公共依存度が増すことになるが，税収減になるためにインフラ管理効率や地域の内発力が低下し，結果として地域レジリエンスの低下につながると整理されている。

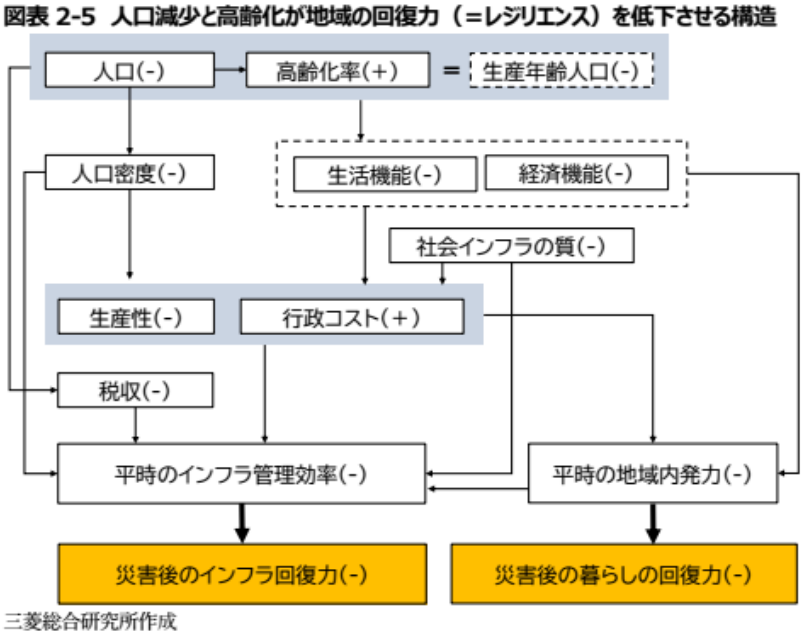


図 4.5.1　人口減少と高齢化が地域の回復力を低下させる構造[※1)]

このようなことを踏まえると，地域レジリエンスの向上に当たっては，地方創成などにより地域の生業を活性化させることなどにより，地方のみならず国全体の人口減少に歯止めをかけることが重要であるとともに，一定の公的支援のみに頼らず，地域住民による自助，共助の力を醸成していくことが求められる。

■視点②：地域住民のリテラシー向上や地域の災害リスクに対する市民の許容性とそれに係る公的，社会的支援

例えば，線状降水帯等の集中豪雨に係る時間・空間的な予測の高精度化は，さらなる技術力向上が必要であることから，短期間での課題解決には限界がある。したがって，豪雨災害においては，ある程度の予測精度に基づいた個々の地域住民それぞれにおける事前避難に係るタイムラインの設定などが重要になるが，そのためには，豪雨災害に係る住民のリテラシー向上が必要不可欠となる。このリテラシー向上や地域住民による防災意識の醸成などは，地域住民それぞれが災害を自分事として捉え，公助に頼りすぎない意識を持つことが大切である。なお，地域住民による防災意識の醸成は，通常時における地域コミュニティの充実度合いに一定の関係性があると考えられる。

令和 6 年 12 月 21 日に NHK で放映された新プロジェクト X「能登輪島 炊き出し 10 万食〜地震と豪雨 地元を支えた食の力〜」では，能登半島地震で炊き出し尽力された地域住民から，「もともと地域のつながりがあるから炊き出しチームが集まった」との意見が紹介されていた。また，本節 4.1.1「前提の考え方」で示した有識者や実務者との意見交換からも以下のような知見が得られており，地域コミュニティが災害復旧に一定の寄与をもたらしていることが考えられる。

【有識者や実務者との意見交換から得られた知見の概要の抜粋（再掲）】

- 災害時に臨機応変に対応できるようにするためには，隣人を知るなど普段からの地域住民とのつながりを作っておくことが必要であり，地域の人との連携が重要
- コミュ二ケーションが広がることで防災や防犯などの困りごとの解決につながる
- 地域住民の風通しの良さ，顔が見える関係性の構築
- 地域継続には多様なプレイヤーや人材が交錯(地域住民+RMO，移住者，関係人口，民間企業)できる場づくりが必要であり，人口減だが地域は元気という状況が重要
- 平時から地域の課題や在り方を考える場や組織が必要

しかしながら，インフラ復旧などは，当然のことながら地域コミュニティの充実による共助のみで対応できるものではなく，地域住民それぞれの災害リスクへの許容性の充実を図りつつも，その許容性を担保できる公的支援とセットで様々な取組を行っていくことが重要である。

■視点③：地域レジリエンスに資するまちづくりや都市計画の在り方とそれに係る市民との合意形成

例えば，土砂災害に係るいわゆるイエロー・レッド区域への居住制限等の私的財産に踏み込んだ新たな法的規制などは，様々なステークホルダーとの合意形成が必要であり，短期での課題解決には限界がある。しかしながら，4.1.3「都市部での地域防災」にも述べたとおり，地域住民や開発事業者等へわかりやすい情報発信を幅広く継続的に行うとともに，丁寧な説明機会を地道に積み重ねていくことが，合意形成に要する期間の短縮につなげる重要な対応であることは言うまでもない。また，私的財産に踏み込んだ法的規制が必ずしも有用とする考え方は危険であり，地域の実情に応じて様々な対策を併用していくことが必要と考えられる。

■視点④：発災後の復興を見据えた新たな方策

■視点⑤：自治体間連携，地域間連携

図 4.5.2 は，過去の主な災害における DMAT のチーム数・活動日数が示されたものであるが，能登半島地震はそれ以前の主な災害に比べ，チーム数・活動日数とも大幅に増えている。過去２つの主な被災地域に比べ，能登半島は人口減少が進んでいる地域であることが想定される。参考文献１)では，地域の人口減少・高齢化が進むほど，必要となる外部支援が増加すると述べられており，国内でこのような地域が増加するほど，多大な人的・物的支援が必要となるが，限られた公的財源の中では支援が行き届かなくなる可能性があり，被災地域のみでの早期の復旧・復興に限界が生じてしまう。

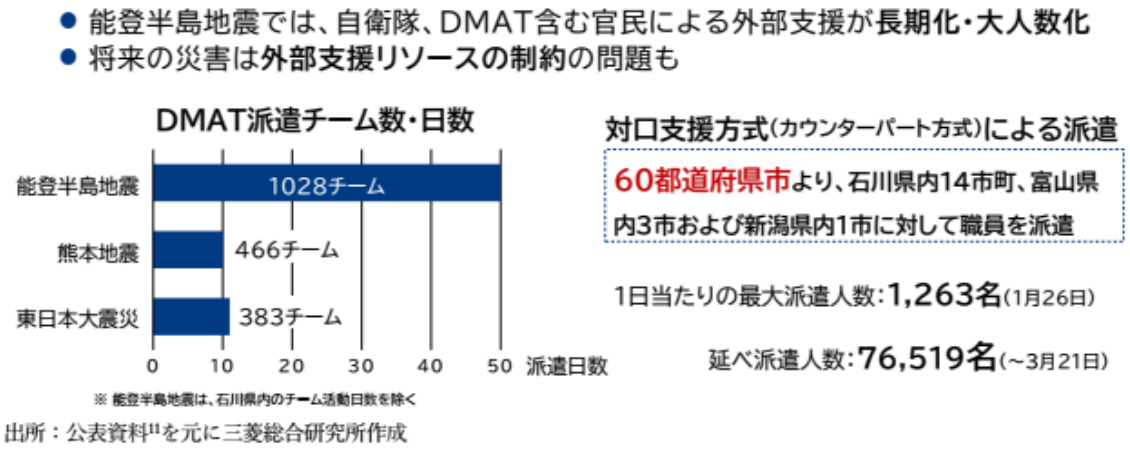


図 4.5.2　外部支援の長期化・大人数化[※1)]

このような状況には，自治体間や地域間連携，被災地域外からの支援が重要である（能登半島地震における義援金額は，熊本地震の義援金額を上回っており，人口減少が著しい地域では，その支援額も大きくなっている）が，やはり周辺自治体等からの支援が充実するまでは，被災地域の公助のみでは限界があることから，発災直後はやはり地域コミュニティによる共助の強化が重要になる。

一方，視点②で述べた地域コミュニティ充実による共助での災害復旧にも限界があることを伺わされる知見がある。表 4.5.1 は，災害後の時期別の被災地域の心理的変化，図 4.5.3 は，被災者の心理の時間的経過を示したものだが，発災から概ね１か月を過ぎると被災者の精神的ダメージがかなり大きくなることが把握できる。

都市部と中山間部での発災では被災状況が異なるなど，地域の実情によって復旧にかかる期間や目標は大きく変わってくるが，このような心理的状態の遷移は，１ つの重要なポイントになると考えられる。したがって，地域コミュニティを主体としたソフト面での災害復旧は，このような被災者の心理的時系列経過を考慮した復旧・復興の在り方，特に地域の特徴となる日ごろからの生業などを踏まえた復旧・復興の在り方を地域単位で考えていく必要がある。このような復旧・復興に当たっては，被災地支援に係る重要な要素である道路，その他上下水道，電気，通信などの供給インフラ整備の早期復旧を進めることは言うまでもなく，地域コミュニティによる災害復

旧をしっかりと支えるためには，土木技術面のハード対策を行っていくことが必要である。

表 4.5.1　災害後の時期別の被災地域の心理的変化※2)

超急性期 （発災後数日）	被災の心理的衝撃で茫然自失となり、恐怖・衝動的行動・虚脱状態を呈する。また強い不安、緊張、過敏反応、不眠、拒食が生じる。
急性期 （数日から数週間）	集団で苦難を乗り越えるべくソーシャルサポートを強めようとする心理が働き、ハネムーン期と呼ばれる相互扶助の活動や至福感・多幸症的、躁的言動が生じる。
中期 （1 か月～数か月）	人的物的喪失の甚大さと復興の困難さに直面し、うつ、自責感、喪失感、被害感が生じる幻滅期と呼ばれる時期。被災状況の格差に対して被遺棄感・怒りが周囲に向かうこともあれば、自分だけが生き残ったという罪悪感が生じる場合もある。
復興・再建期 （数か月以降）	全体的な災害支援は終了する中で、多くの被災者の心理は正常化するが、一部の被災者に生活のパターンの激変、経済的苦境、地域コミュニティの変化・喪失による二次的ストレスが生じる。被害全体に目が向けられ、個々の被災者は後回しにされ、問題が個別化し、深刻な心理的問題は気づかれにくくなる（鋏状格差）。

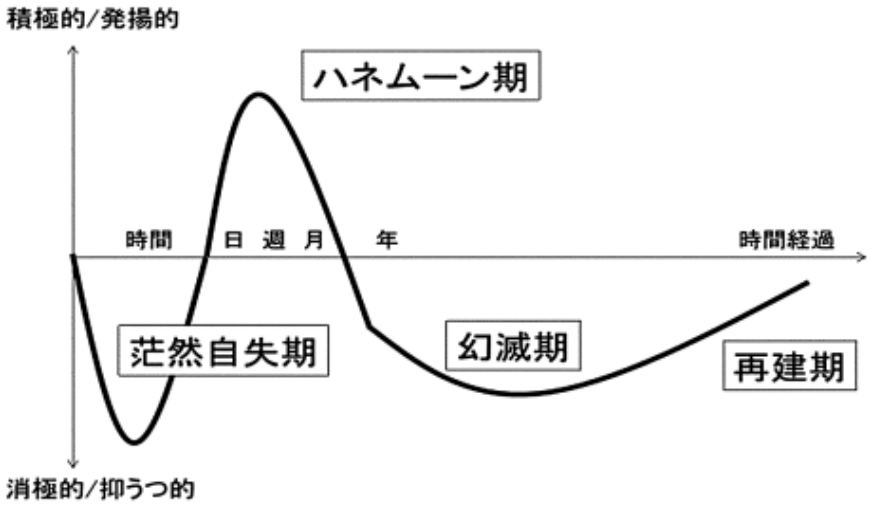


図 1. 被災者の心理の時間的経過（外傷ストレス関連障害に関する研究会　金吉晴「心的トラウマの理解とケア」(2006) [3]より改変)

図 4.5.3　被災者の心理の時間的経過※2)

以上を，踏まえると，現行制度の改正や新制度の構築，災害発生予測精度の向上，インフラ整備などのハード面の公的支援，地域コミュニティによるソフト面の自助，共助それぞれに限界がある状況をしっかりと理解したうえで，ソフト面とハード面のそれぞれの対策を両輪で連携して進めることが，地域レジリエンスの向上につながっていくと考えられる。また，今後は，デジタル（オンライン）を活用した広域的支援も合わせて活用していくことも重要であろう。

参考文献

1) 三菱総研 研究・提言レポート 人口減少社会における 地域レジリエンスのあり方（2024 年 12 月 4 日） 三菱総合研究所

2) 災害派遣精神医療チーム(DPAT)と地域精神保健システムの連携手法に関する研究 平成 31 年度～令和 2 年度 総合研究報告書（令和 3 年 5 月）厚生労働科学研究成果データベース https://mhlw-grants.niph.go.jp/project/147962

3) 北越新聞デジタル記事 2025 年 1 月 9 日 https://www.hokkoku.co.jp/articles/-/1626115#goog_rewarded

５．潜在的な自然災害リスクを有する地震災害と気象災害

5.1 ハザードマップから漏れる降雨時の斜面崩壊と住宅被害

5.1.1 はじめに

ハザードマップは，土砂災害，洪水，津浪，地震などの災害種別に応じたマップが全国的に作成され充実されてきた。しかし，降雨に伴って発生する土砂災害についてハザードマップから漏れる斜面崩壊による住宅の被災が各地で散見される。土砂災害は，斜面崩壊（崖崩れ），土石流，地すべりなどに分けてハザードマップに示されており，土石流は渓流から発生し，地すべりは多くの場合に地すべり地形を示す場所で発生するので発生場がハザードマップと異なることは少ない。これに対して崩壊は傾斜 30° 未満のハザードマップに危険箇所として示されていない斜面での発生がある。この理由として，崩壊しやすい火山灰などの地質の分布や，道路の不適切な流末処理により表流水が斜面に集中して流れ込むことが原因としてあげられる。

これらのハザードマップから漏れるような崩壊事例や流末処理の不適切な例を示した上で，今後のハザードマップの改善点や危険箇所の留意点について検討する。

5.1.2 急傾斜地ではない斜面の崩壊

(1) 相模原市緑区牧野の斜面崩壊

2019 年 10 月の台風 19 号通過の際の豪雨は、アメダス相模原の記録で累積雨量 595mm，最大時間雨量 60mm，過去 30 年間で最高の土壌雨量指数となった。このため相模原市緑区牧野において降雨がほぼ終了した 10 月 12 日 21:35 に斜面崩壊が発生し，住宅 1 棟が流失して住民 2 名が死亡した。

斜面崩壊は地すべり地形を示す斜面の南側の一部で発生（図 5.1.1）しており，崩壊地の北東方向には比高約 2m の古い滑落崖が連続することを確認している。滑落崖には新第三紀の丹波層群の凝灰質砂岩の上に安山岩がキャップロック状に分布し，安山岩からの湧水跡が認められた。崩壊の誘因として，この安山岩への浸透水や上方斜面から地すべり地形の頭部への表流水の集中が考えられる。崩壊土砂は地すべり地形の緩斜面（傾斜 18°）を流下し，地すべり地形末端の段丘面に立地していた民家を巻き込んで谷間の河川まで達した。

斜面崩壊の特徴として，安山岩のキャップロック構造に起因する地すべり地形の形成があり，緩斜面でありながら斜面の不安定化が進んでいたことがあげられる。



図 5.1.1　上方崩壊部と流下した緩斜面



図 5.1.2　崩壊の滑落崖の高さは約 2m

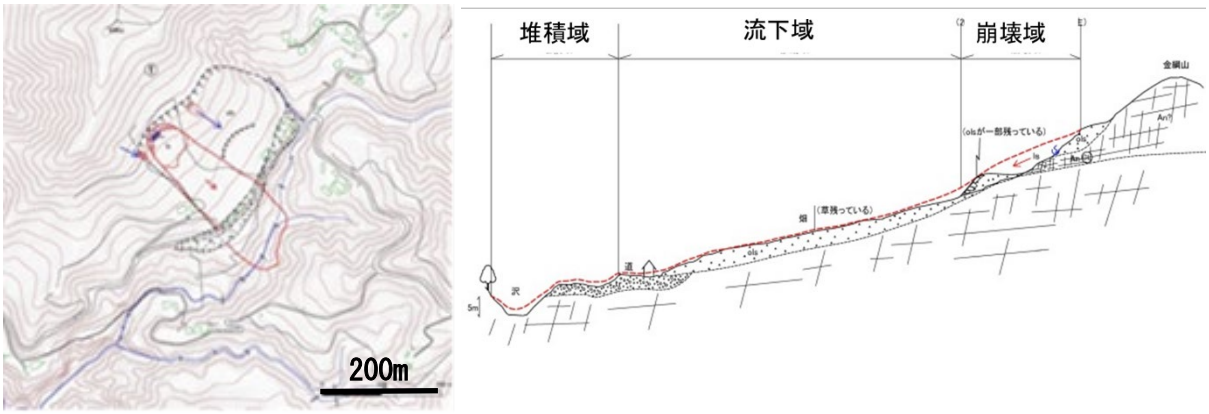


図 5.1.3　崩壊箇所の平面図および断面概要図 [1)]

(2) 群馬県富岡市内匠（たくみ）の斜面崩壊

この事例も 2019 年 10 月の台風 19 号通過の際の崩壊で，崩壊地近傍の下仁田観測点の降雨状況は累積雨量 496.5mm，最大時間雨量 40.5mm，時間 20mm 以上の降雨が 13 時間連続する（前橋地方気象台速報）という豪雨であった。富岡市内匠では 10 月 12 日 16:30 頃，段丘崖の背後からの崩壊が 2 箇所で発生し，崖下の住宅 6 棟が全半壊して住民 3 名が死亡した。

斜面崩壊はいずれも幅約 20～25m，長さ 30～40m，滑落崖の高さは 2.5～3m，地表面の傾斜は 20 度程度の緩斜面である（図 5.1.4，図 5.1.5）。地質は基盤の新第三紀の泥岩層を覆って火山灰層やローム層が分布する。崩壊土砂は流動性が高く山津波のように流下して残った家屋の屋根まで達していた。崩壊地の上方は緩く崩壊地側に傾斜した段丘面になっており，その地表面には崩壊地に向かって多量の水の流れたガリーが残っていた。また，崩壊地直上に滑落崖に平行する新しい亀裂がみられ，さらにその背後にも古い小崖（高さ約 1m）があるので，段丘面を含む斜面が以前から不安定化していたと思われる。

これら斜面崩壊の誘因は豪雨による大量の表流水が段丘面の小崖などから地中に浸透し，不透水性の基盤の泥岩上に分布する透水性の火山灰層に間隙水圧として作用して斜面を不安定化させたことである。その結果，粘土化した細粒火山灰層をすべり面とする斜面崩壊が発生したものと考えられる。斜面崩壊の特徴として，新第三紀の不透水性の泥岩層を覆う連続性の良い薄い火山灰層やローム層の分布，広い段丘面からの表流水の供給と浸透により，段丘崖を含む緩斜面の不安定化の進行があげられる。



図 5.1.4　段丘の縁で発生した 2 箇所の崩壊

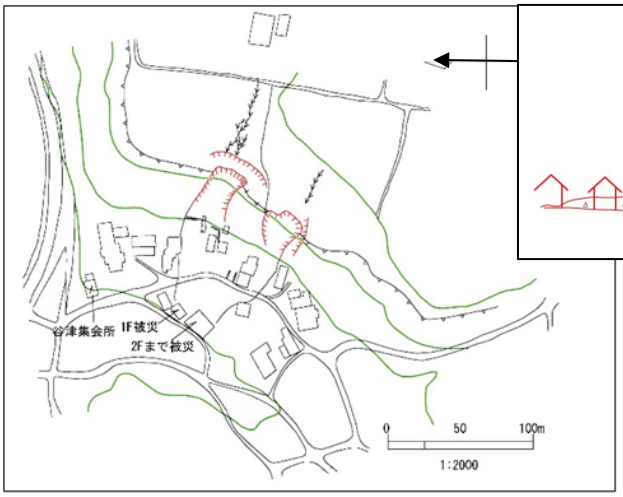


図 5.1.5　左写真の左側の崩壊頭部

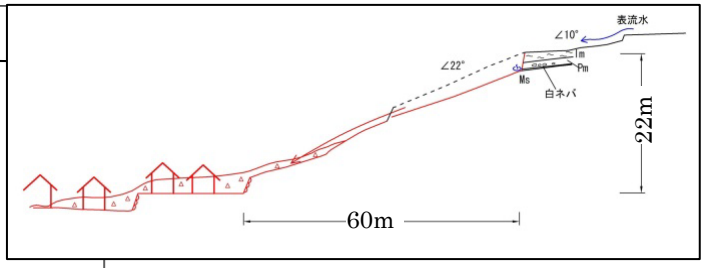


図 5.1.6　崩壊箇所の平面図および断面図 [2)]

5.1.3 表流水処理の不具合による斜面崩壊

(1) 愛媛県新居浜市大生院の斜面崩壊

2004 年 9 月 29 日の台風 21 号襲来時に, アメダス新居浜では当日 18 時までに累積雨量 306mm, 最大時間雨量 58mm の豪雨により，高速道路沿いの斜面が崩壊した。崩壊土砂は 4 車線の高速道路を横断して直下にあった集落を直撃したため 2 棟が全壊し住民 4 名が死亡した。崩壊斜面は高速道路の用地外であり，尾根に登る崩れ残った山道には深いガリーがあって大量の表流水の流下跡が認められた（図 5.1.8)。

地質は三波川帯の泥質片岩の流れ盤構造の斜面であり，土砂状の風化帯が表層崩壊したものである。なお，斜面直下には中央構造線系の活断層である石鎚断層が道路沿いにあるが，斜面崩壊との直接的な関係は無い。

特記すべき点は山道が表流水を集めて斜面に流入したことが崩壊原因であり，このような山道などの流末処理に注意すべきである。



図 5.1.8　崩壊地と表流水の流下した山道



図 5.1.9　滑落崖からの崩壊地と被災家屋

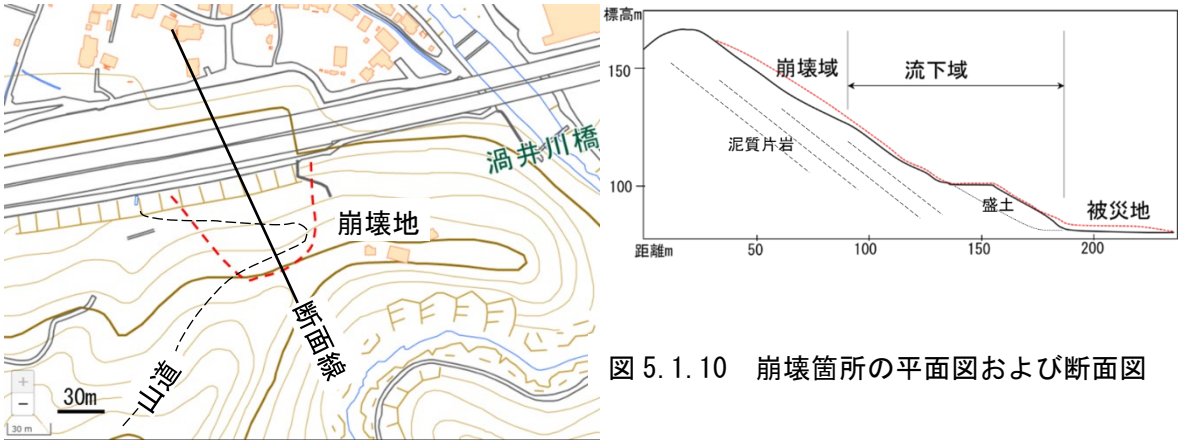


図 5.1.10　崩壊箇所の平面図および断面図

(2) 千葉市緑区誉田の斜面崩壊

2019 年 10 月 12 日の台風 19 号通過の際は累積雨量 131mm を記録したが，当地区周辺での土砂災害は発生していない。この後の 10 月 25 日に襲来した台風 21 号の豪雨により千葉市緑区誉田町において，台地の縁にあたる斜面で表層崩壊が発生して住宅 2 棟全壊，住民 2 名が死亡した。崩壊の発生時刻は 12:00～13:30、アメダス千葉では累積雨量 181mm，時間最大 43.5mm の雨量が記録された。

被災地は下総台地が侵食された細長い谷地であり，住宅は湿地部を避けて台地の崖下に沿うように並んでいる（図 5.1.13）。住宅背後の斜面は宅地を広げるため，斜面末端を切土して擁壁を設置している。斜面は高さ 15m，傾斜は 30° 前後であり，斜面崩壊の規模は幅 20m，深さ 1～2m である。地質は，成田層の砂層・粘土層と上位に分布するローム層である。

台地上の宅地の路面排水は，一部に崩壊斜面方向に流下するものがあり，豪雨時には側溝の排水路では処理できず流水が崩壊斜面に流れ込んだようである（図 5.1.12）。この斜面崩壊は住宅背後の切土，すなわち斜面末端の切土で不安定化した斜面への表流水の流下によって発生したと考えられる。

斜面崩壊の素因として，宅地を広げるための斜面末端の造成切土，および台地上の宅地造成道路の不適切な流末処理といった土地の人工改変があげられる。



図 5.1.11　台地状の住宅と被災宅地



図 5.1.12　被災地へ傾斜する台地上の道路

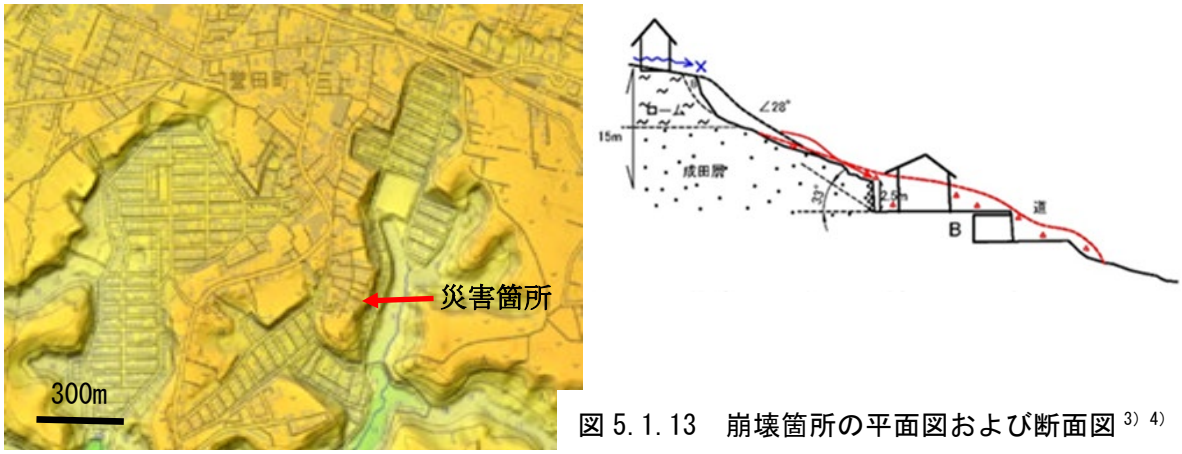


図 5.1.13　崩壊箇所の平面図および断面図 [3) 4)]

5.1.4 降雨時に注意すべき斜面の抽出と課題

豪雨時の土砂災害について，ハザードマップから漏れるような事例や斜面の人工改変が原因になった事例について紹介した。これらの事例を基にハザードマップから漏れるような危険斜面を拾い上げるための方策と課題について検討する。

(1) 急傾斜地ではない注意すべき斜面

傾斜 30° 未満の斜面での土砂災害については特徴的な地質分布にあることがわかる。相模原市緑区牧野の場合は安山岩のキャップロック構造に起因する地すべり地形の形成があり，富岡市内匠の場合は新第三紀の不透水性の泥岩層を覆う連続性の良い火山灰層やローム層の分布がある。このような地層が崩れやすく緩斜面での土砂災害の発生は九州南部豪雨をはじめ，地震時には熊本地震や胆振東部地震などで認められる。すなわち火砕岩や未固結の火山灰層・ローム層が流れ盤構造で分布する斜面であり，これらの地質の分布地域では緩斜面を機械的にハザードマップの対象外にすべきではない。

斜面を傾斜のみで危険とするだけではなく，以上に示すような崩れやすい地質分布や地質構造に加えて 0 次谷などの集水地形にも留意すべきである。したがって，稲垣（2025）[5)] の指摘するようにハザードマップから漏れる斜面を無くすためには，地質技術者による現地調査を加えて評価したマップに改善することが望ましい。

(2) 表流水の流末処理に問題のある斜面

斜面崩壊原因として，新居浜市大生院の崩壊事例のように地形的な集水範囲以外に山道からの流入水が加わること，千葉市緑区誉田の崩壊事例のように宅地造成道路の不適切な流末処理といったことがある。

斜面の集水域以外からの表流水の流入による斜面崩壊は沿道法面や斜面でも問題になっており，防災点検などの現地調査での留意点になっている。このような点は現在のハザードマップではカバーできていない。今後は精緻な大縮尺地形図などを基にして表流水の流れに問題のあると思われる斜面の抽出を行い，専門技術者による現地調査を実施して問題があれば直ちに応急的な導水処理などを含めた対策を行うべきである。

5.1.5 おわりに

住宅地の拡大に伴い排水系統が複雑になって隣接する開発地域での連携がうまく取れていないことや，道路などの不適切な流末処理による斜面崩壊の発生が顕在化している。ハザードマップから漏れる斜面崩壊（崖崩れ）について事例をあげ，対応策や課題について示した。 今後は重点調査箇所を抽出した上で，道路防災で長年にわたり進められてきた防災点検やカルテ点検などの現地調査を実施することが望まれる。

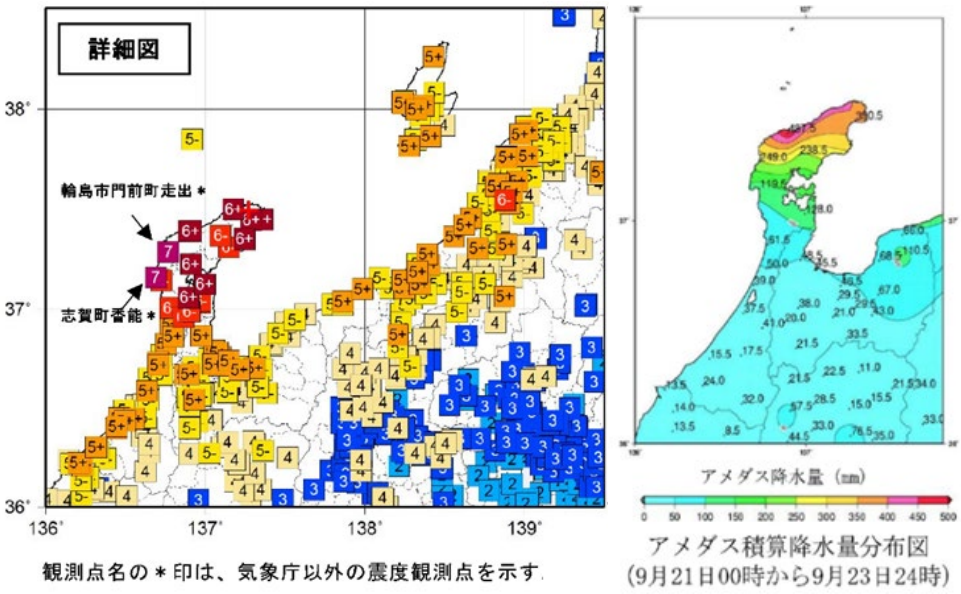
参考文献

1) 稲垣秀輝・上野将司（2020）：Ⅲ.斜面災害の調査報告Ⅲ-1-2.神奈川県相模原地区，新第三紀火山岩類と断層破砕帯に沿った土砂災害，日本応用地質学会 2019 年台風 19 号（令和元年東日本台風）等災害調査団報告書，pp.41-49.
2) 稲垣秀輝（2020）：Ⅳ-4 自然災害に係わる法制度と減災に向けた提案と課題，日本応用地質学会 2019 年台風 19 号（令和元年東日本台風）等災害調査団報告書，pp.257-262.
3) 稲垣秀輝・上野将司（2020）：Ⅲ.斜面災害の調査報告Ⅲ-1-3.千葉県千葉地区，千葉市街地郊外での土砂災害，日本応用地質学会 2019 年台風 19 号（令和元年東日本台風）等災害調査団報告書，pp.50-53.
4) 上野将司・稲垣秀輝（2020）：20. 令和元年 10 月豪雨による千葉・佐倉地区の土砂災害，令和 2 年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集，pp.33-34.
5) 稲垣秀輝（2025）：XI-1.土砂災害の法的指定ハザードマップの適用性と地質構造の重要性，日本応用地質学会令和 6 年能登半島地震災害調査団報告書，pp.297-302.

5.2 地形・地質からみた複合災害の特徴と課題-令和 6 年能登半島地震・豪雨-

5.2.1 はじめに

2024 年 1 月 1 日の能登半島地震により，様々な地震被害だけでなく多くの土砂災害が発生した。これらの土砂災害は震度の大きかった奥能登地方を中心に遠く加賀地方や富山・新潟県にも及んでいた（図 5.2.1-1）。そして，関係者の努力によって復旧の目途が立ってきた 2024 年 9 月 21 日に最も地震土砂災害の大きかった奥能登地方を線状降水帯による豪雨が襲い（図 5.2-1-2），地震で緩んだ斜面から再び土砂を流出させる大きな複合災害となった。このような地震後の豪雨災害は，2016 年 4 月の熊本地震後の同年 6 月 19-25 日にも起こっている。ここでは，2024 年 11 月土木学会斜面工学研究小委員会による現地調査を含めて，令和 6 年能登半島地震後の豪雨がどのように土砂災害を拡大させたかを速報的にまとめた資料[1)]を取りまとめたものである。



左図 5.2.1-1　令和 6 年能登半島地震の震度分布図[2)]

右図 5.2.1-2　能登半島の 2024 年 9 月豪雨の降水量分布[3)]

5.2.2 地震後の 2024 年 9 月豪雨

9 月 21 日から 22 日にかけて，日本海上の低気圧や前線の影響で大気の状態が非常に不安定となり，線状降水帯が発生するなど猛烈な雨が降り続いた。石川県では奥能登地方を中心に記録的な大雨となり，洪水災害・土砂災害が発生した。令和 6 年能登半島地震による復旧・復興が続く被災地では，河川の氾濫や土石流・斜面崩壊などにより，宅地・避難所の被害や停電，断水などライフラインの被害，道路・鉄道の通行止めなど再び大きな被害を受けることになった。気象庁アメダス輪島の雨量観測によると，輪島市と珠洲市の北部沿岸で特に降水量が多く，輪島市中心部付近では 21 日 0 時から 22 日 11 時までの降水量が 478mm であり， 9 月 21 日に最大 1 時間降水量 121 mm，最大日降水量 361.5mm と 1929 年統計開始以来の最大を記録している（図 5.2-2-1,2,3）。9 月の豪雨災害が大きくなったのは，1 月の能登半島地震で大きな土砂災害が発生

した奥能登地方に線状降水帯の分布が重なったことにあるといえるが，熊本地震後の豪雨と比較すると，連続雨量はほぼ変わらないものの，最大時間雨量が 2 倍程度であり，表層の緩んだ地盤から多くの土砂を流出させやすい降雨であったことも，熊本の事例 [4] を越える複合災害になった誘因と判断している。

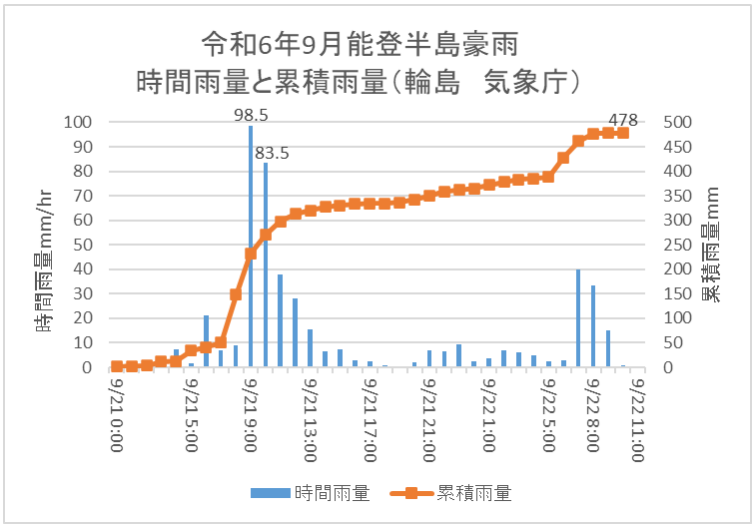


図 5.2.2-1 2024 年 9 月 21-22 日の輪島での降水量 [1]

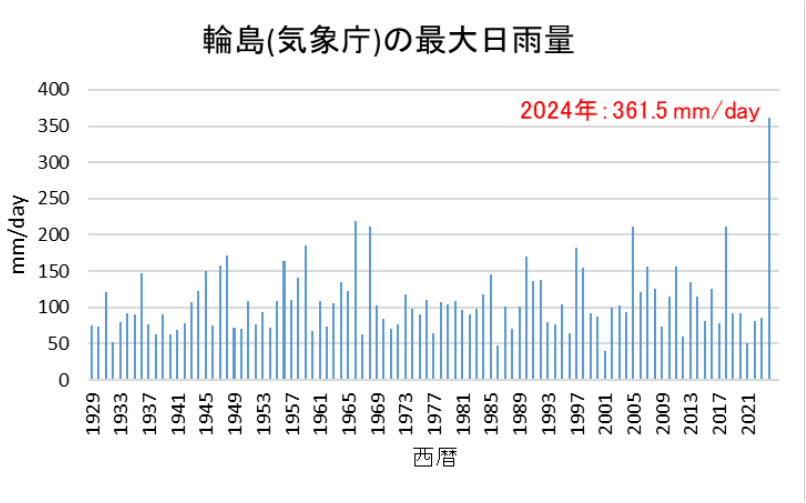


図 5.2.2-2　輪島での 1929 年-2024 年の最大日雨量 [1]

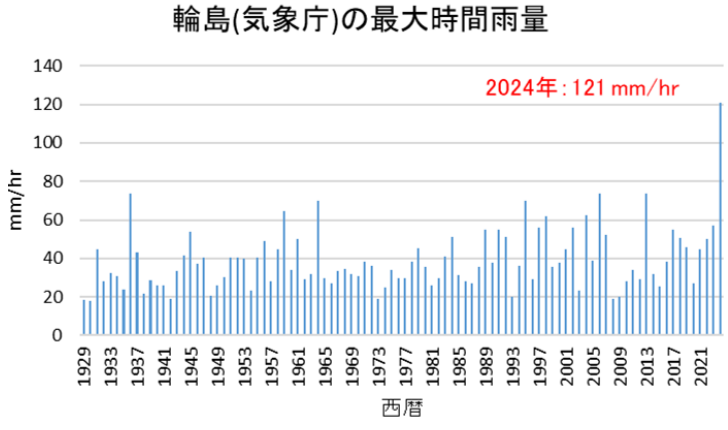


図 5.2.2-3　輪島での 1929 年-2024 年の最大時間雨量 [1]

5.2.3 2024 年 1 月地震と同年 9 月豪雨の土砂災害の比較

1 月地震後と 9 月豪雨後の斜面土砂の変化について，豪雨が集中した奥能登地方を中心に衛星写真と航空写真から土砂災害状況を概観し、同年 3 月，5 月，9 月，11 月に現地調査を行い，まとめた。衛星写真は 2024 年 1 月 令和 6 年能登半島地震後と 2024 年 9 月大雨後の SPOT 衛星（地上解像度 1.5m）画像で比較した。調査箇所は図 5.2-3-1 に示した。

特に，中屋トンネル北口（図 5.2.3-1 の 3-7）では，9 月 25 日のトンネル仮復旧通行開始直前の再被災で大きな土砂災害となったこと，八世乃洞門新トンネル付近（図 5.2-3-1 の 3-3）でも地震災害より豪雨災害の方が大きな被害が出たために詳細な検討を行った。

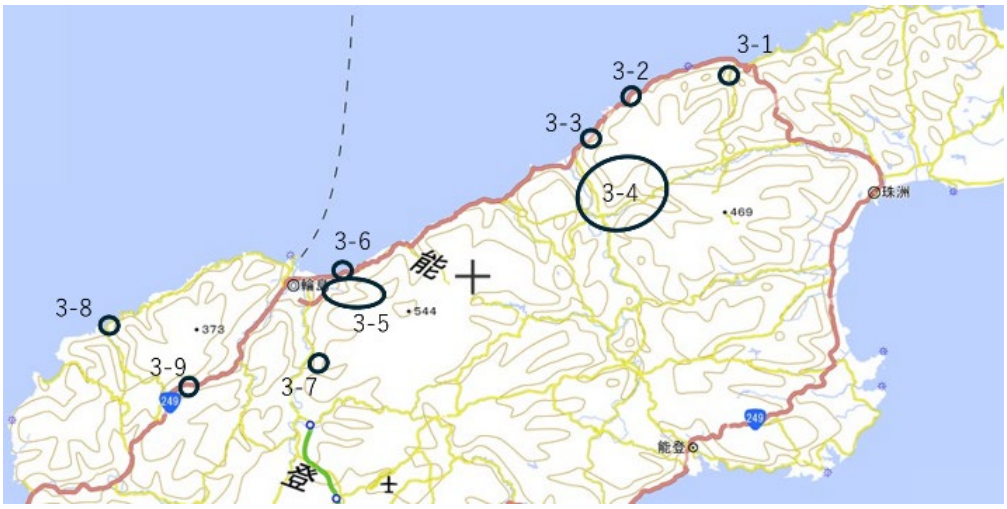


図 5.2.3-1　調査箇所一覧表 [1] **（地理院地図利用）**

（1）珠洲市大谷町地区

大谷町地区は地震後に比較的大きな斜面崩壊が認められた箇所で，9 月の大雨後には崩壊斜面を中心に一部崩壊斜面の上部や側面に進展して斜面崩壊を拡大させ，土石流的な土砂移動が発生し，沖積低地の宅地に達して一部海まで流出した（図 5.2.3-2）。ここでは，1 名の方が流出した土砂で亡くなっている。 豪雨による被災後，突貫工事で復旧工事が行われ，11 月の現地調査時には道路上の土砂は撤去されていたが，宅地内の土砂は残っていた（図 5.2.3-3,4）。土砂が流出した谷出口にも，不安定な土砂が残っているほか（図 5.2.3-5），斜面内にも不安定な土砂が大量に残っている。今後の全面復旧までには多くの時間が必要である。





左図 5.2.3-2　航空写真による大谷町地区の 9 月豪雨後の土砂流出状況（2024 年 9 月 23 日撮影） [5]

右図 5.2.3-3　大谷町地区の 9 月豪雨後の土砂流出状況（2024 年 11 月 22 日撮影）





左図 5.2.3-4　大谷町地区の道路の仮復旧状況（2024 年 11 月 22 日撮影）

右図 5.2.3-5　大谷町地区の土砂流出した谷出口（2024 年 11 月 22 日撮影）

（2）珠洲市清水地区

2024 年 9 月 23 日撮影の航空写真による国道 249 号海岸沿い珠洲市清水地区での 9 月豪雨後の土砂流出状況を示した。ここは，1 月地震後に土砂災害が発生して，道路が通行止めになった箇所である。復旧工事により通行は可能になっていたが，9 月豪雨により斜面に残っていた不安定土砂や河道に残っていた不安定渓床土砂が再度動き出し，斜面と河道からの土砂流出によって再び道路が通行止めになった。流出土砂は，長距離移動して海岸まで達している(図 5.2.3-6,7)。





左図 5.2.3-6　航空写真による清水地区の地震時崩壊箇所の 9 月豪雨後の再土砂流出状況 [5)]

右図 5.2.3-7　清水地区の 9 月豪雨後の流出土砂，路面は仮復旧済（2024 年 11 月 22 日撮影）

（3）輪島市曽々木地区

輪島市曽々木地区では，八世乃洞門新トンネル西口付近で，1 月地震時には落石や斜面上部の崩壊が発生したが，斜面下の道路・民家には直接の大きな被害はなかった（図 5.2.3-8）。ただし，切り立った岩盤斜面にはクラックが多く，緩んだ状態であり，斜面下には崩壊した不安定な土砂が堆積していて，危険な状態であったことを 5 月の現地調査で確認していた [6)]（図 5.2.3-9）。そして，9 月豪雨時には斜面から大量の落石を伴う土砂流出が発生して，崖下の家屋や国道 249 号が被災し，道路は通行止めになった (図 5.2.3-9,11)。11 月の現地調査では，道路の土砂除去の仮復旧は終わっていた（図 5.2.3-12,13）。しかし，八世乃洞門新トンネル西口付近の渓流には落下してきた巨石が残っているほか，崖上にも多数の不安定な土砂や岩塊が残っている。八世乃洞門では，1 月地震後には道路面に被害はなかった（図 5.2.3-14）。しかし，9 月豪雨後には洞門は土砂に巻き込ま

れて大きな被害となっている（図 5.2.3-15）。

現在は八世乃洞門新トンネルが建設されており，道路の仮復旧にかかる時間は短縮し，長期の通行止めは避けられている。しかし，本地区での全面復旧もかなりの時間を要することが予測される。

なお，ここでは，図 5.2.3-12 に写っている家屋に 3 名の方がいたが，近隣の住民が崖上部での多量の流水と大きな落石が発生したことに気づき，すぐに 3 名の方に避難するよう連絡し，避難後 2～3 分してから土砂流が家屋を襲ったという。このことは地域住民間の連携と土砂災害の予兆を感じる住民一人一人の防災リテラシー向上がいかに重要かを示している。





左図 5.2.3-8　航空写真による八世乃洞門新トンネル西口付近の地震後（2024 年 1 月 2 日撮影）[5)]

右図 5.2.3-9　地震後の八世乃洞門と新トンネル西口付近の斜面緩み岩盤（2024 年 5 月 26 日撮影）





左図 5.2.3-10 航空写真の曽々木海岸新トンネル西口付近の 9 月豪雨後（2024 年 9 月 23 日撮影）[5)]

右図 5.2.3-11　新トンネル西口付近の豪雨後の道路土砂除去復旧（2024 年 11 月 9 日撮影）[1)]





左図 5.2.3-12 新トンネル西口付近の豪雨後の道路土砂除去復旧の状況（2024 年 11 月 9 日撮影）[1)]

右図 5.2.3-13 新トンネル西口付近の渓流に残る移動してきた巨石（2024 年 11 月 23 日撮影）[1)]



左図 5.2.3-14 八世乃洞門の 1 月地震後の斜面の緩み、洞門に被害無（2024 年 5 月 26 日撮影）

右図 5.2.3-15 八世乃洞門の 9 月豪雨後の斜面崩壊で洞門が被害（2024 年 11 月 23 日撮影）

（4）輪島市町野川流域

1 月地震後には，町野川流域の山地で多くの斜面崩壊や河岸崩壊が発生していた。ただし，河道を流下しした土砂は山地内に留まっているものが多く，低地や民家に達する土砂流出は限られていた。しかし， 9 月豪雨では，水山や寺山をはじめ流域内での山地斜面や流路に残った不安定土砂が，洪水氾濫と一緒に大量に平野部に流出し，平野部の家屋やライフラインに大きな被害を与えた（図 5.2.3-16, 17)。斜面崩壊が多発した水山付近では，斜面崩壊残存土砂や緩んだ斜面からの土砂流出が多い。規模の大きかった寺山（大久保）地すべりの 1 月地震後 3 月の現地調査では，地すべり内の地表には倒木が多く残っていた。そして，この地すべりにより複数の堰止湖ができていたのであるが，その規模は小さかった（写真 5.2-3-17)。しかし，航空写真による 9 月豪雨直後の土砂流出状況を見ると複数の堰止湖は大きくなっており，地すべり地表の倒木なども流下しているように見える（図 5.2.3-18)。



左図 5.2.3-16　航空写真による町野町左岸側川西の 9 月豪雨後の土砂流出状況 [5)]

右図 5.2.3-17 航空写真による町野川右岸側寺地川付近の 9 月豪雨後の土砂流出状況 [5)]



左図 5.2.3-18　寺山（大久保）地すべりの 1 月地震後 3 月には堰止湖は小さい

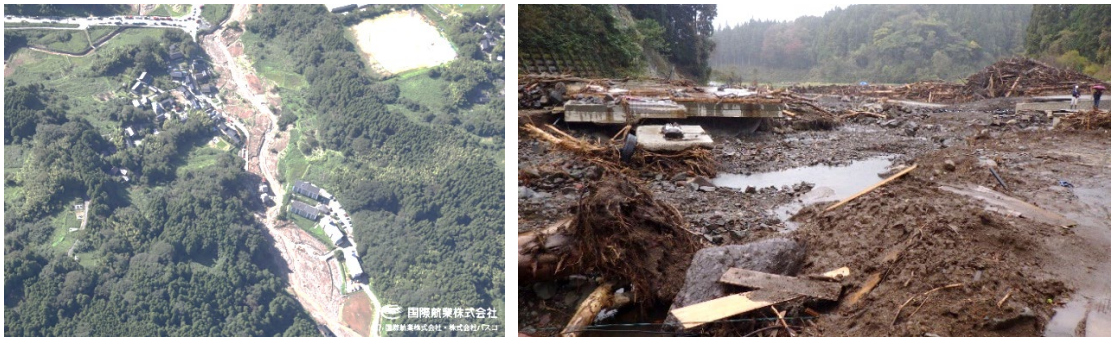
右図. 5.2.3-19　航空写真による寺山（大久保）付近の 9 月豪雨直後の堰止湖は大きい [5)]

（5）輪島市塚田川流域

図 5.2.3-20 には衛星写真による輪島市塚田川流域の 1 月地震直後（左）と 9 月豪雨直後(右)の土砂災害状況の衛星写真を示した。図 5.2.3-20 中央を西北西方向に流下している塚田川下流域の沖積低地で土砂洪水氾濫が発生し，海岸に達していることがわかる。さらに，9 月豪雨後には流域内の多量の不安定渓床土砂や緩み斜面の崩壊が多発し，土砂が下流の市街地に流出しているようである（図 5.2.3-21,22)。ここでは，多くの物的・人的被害が生じた。



図 5.2.3-20　衛星写真による塚田川流域の 1 月地震後（左）と 9 月豪雨後(右)の土砂災害 [7)]



左図 5.2.3-21　航空写真による 9 月豪雨後の土砂流出状況で，大量の土砂・流木が堆積 [5)]

右図 5.2.3-22 9 月豪雨後の洪水土砂流出で，塚田川沿いの建物が流失（2024 年 11 月 23 日撮影）

（6）輪島市稲舟町付近

輪島市稲舟町の輪島野球場や総合体育館付近では，地震後の 5 月に現地調査を行った際に野球場北側の崖小崩壊や造成盛土の段差群を含む著しい変形が認められていた（写真 5.2.3- 22,23)。



図 5.2.3-23　地震後 5 月の野球場北側末端崖の小崩壊状況，9 月豪雨で大きく崩落した

図 5.2.3-24　盛土地盤の段差群は 9 月豪雨時の雨水・地下水が流入し，地盤が大きく流出

その後，9 月豪雨により野球場北側末端の崖の小崩壊は，大きく崩落した。また，地震後 5 月の野球場北端の崖上の緩んだ盛土地盤の段差群には，9 月豪雨時に多量の雨水・地下水が流入し，盛土地盤が大きく流出した。図 5.2.3-25 に示した 9 月豪雨直後の航空写真から，この土砂流況は，地震による変形地盤の北側末端部が大きく崩落したことに起因していることがわかる。これらの崩壊土砂は崖下の建物や国道 249 号を越えて，海まで達しており，国道は一時通行止めになった（図 5.2.3-26)。





左図 5.2.3-25　航空写真による 9 月豪雨直後，変形地盤の末端部が大きく崩落 [5)]

右図 5.2.3-65　野球場と体育館北側の 9 月豪雨直後の斜面崩壊（2024 年 11 月 23 日撮影）

（7）輪島市市ノ瀬地区

図 5.2.3-27 に市ノ瀬地すべりの 1 月地震直後（左）と 9 月豪雨直後(右)の土砂災害状況を示した。地震で発生した市ノ瀬地すべり土砂の一部が 9 月豪雨後に地すべり下方に流出した。

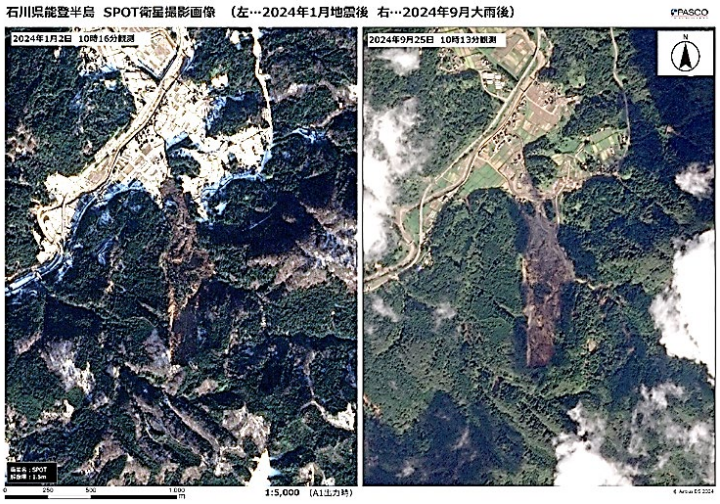


図 5.2.3-27　輪島市市ノ瀬地すべり 1 月地震直後（左）と 9 月豪雨直後(右)の土砂災害状況 [7)]





左図 5.2.3-28　地震後 3 月の市ノ瀬地すべりの植生が残る地表，9 月豪雨で大きく流出 [1)]

右図 5.2.3-29　地震後 3 月の市ノ瀬地すべりの堰止湖 [1)]

図 5.2.3-28 は 1 月地震後 3 月の市ノ瀬地すべりの植生が残る地表の状況で，9 月豪雨で大きく流出した。図 5.2.3-29 は 1 月地震後 3 月の市ノ瀬地すべりの堰止湖で仮復旧工事が始まる前の水位モニタリングが始まっていた。地震後 5 月の市ノ瀬地すべりの堰止湖からの復旧仮排水路の大型貯水マス(図 5.2.3-30)は仮排水路が緩やかになる地点で，堰止湖からの暗渠管も接続しているため，想定外の 9 月豪雨では越流が発生した（図 5.2.3-31）。そして、下流では土砂を含む洪水流となり、行方不明の 1 名が発見された(図 5.2.3-32)。

図 5.2.3-33 は地震時土石流が分流してわずかに家屋群の手前で止まった集落で，1 月地震では土砂災害がなかった家屋が 9 月豪雨で大きく被災していた。



左図 5.2.3-30　市ノ瀬地すべり堰止湖からの復旧仮排水路の大型貯水マス（2024 年 5 月 27 日撮影）
右図 5.2.3-31　9 月豪雨で越流して下流で土砂洪水流となった（2024 年 11 月 24 日撮影）



左図 5.2.3-32　9 月豪雨で大型貯水マスから越流して下流に土砂流出（2024 年 11 月 24 日撮影）
右図 5.2.3-33　地震では被害がなかった家屋が 9 月豪雨で被災していた（2024 年 11 月 24 日撮影）

（8）輪島市上大沢地区

写真 5.2.3-33 は衛星写真による輪島市上大沢町付近の 1 月地震直後（左）と 9 月豪雨直後(右)の土砂災害状況である [7]。9 月豪雨後には写真中央東側に位置する西二又川流域の左岸側を中心に斜面崩壊が多発し，流域に土砂洪水氾濫を起こしていることがわかる。

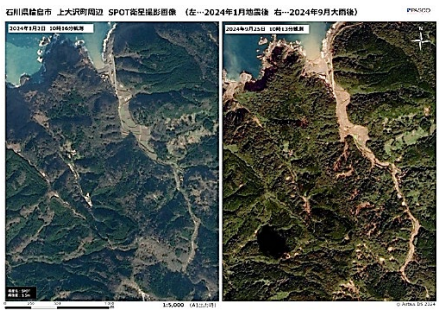
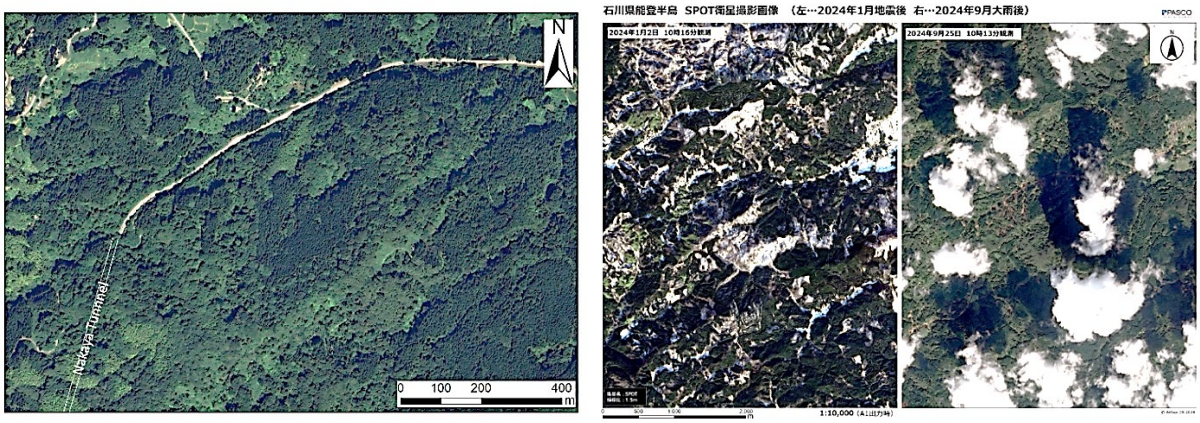


図 5.2.3-34　衛星写真での上大沢町付近の 1 月地震後（左）と 9 月豪雨後(右)の土砂災害 [7]

(9) 中屋トンネル北口付近

図 5.2.3-35 は輪島市中屋トンネル北口付近の地震災害発生前の衛星画像である。山地斜面は，植生に覆われており崩壊地はない。図 5.2.3-36 は衛星写真の 1 月地震直後（中央）と 9 月豪雨後(右)の土砂災害状況である。1 月地震直後には斜面崩壊が数箇所発生しているが，植生に覆われているところが残っているため斜面変動は明確でない。しかし，9 月豪雨直後には特に地層の流れ盤となる北西向き斜面で崩壊が多く発生し，土砂流出が見て取れる。これらの流出土砂は国道を越えて河川に入り込み流れ下っている。



左図 5.2.3-35　地震災害発生前の衛星画像 [1)]

右図 5.2.3-36 衛星写真の中屋トンネル北口 1 月地震後（左）と 9 月豪雨後(右)の状況 [7)]

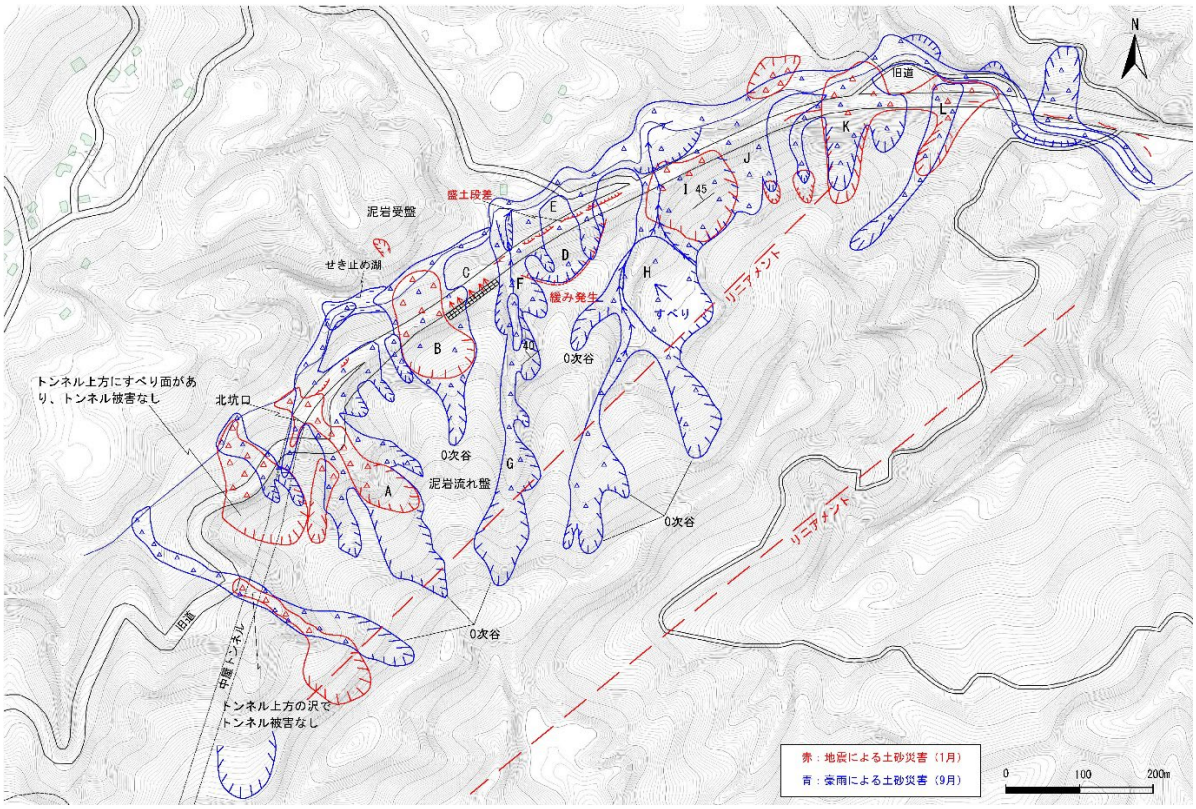


図 5.2.3-37　地震後 3 月の現地調査（赤）と 9 月豪雨後斜め写真から判読した土砂流出(青) [1)]

次に，1 月地震後の 3 月に現地調査を行い，トンネル上を通っている旧道から被災した国道沿いに歩いて目視地質調査をした [6)]。また，斜面上方は双眼鏡での目視を行った。その結果が，図 5.2-3-2 に赤色で示した箇所で斜面崩壊と土石流が認められた。土石流の一部はトンネル坑口から

トンネルの中に入り込んでいた。その他，自然斜面の変形や道路盛土の変形，道路擁壁の変形など崩壊に至らない地盤の変形が多数あった。視察調査であったので，斜面の上まで上がった詳細踏査を行なえなかったが，植生が残っている斜面も地盤が緩んでいる状況であった。図 5.2-3-37 に青色で示した箇所では，9 月豪雨直後の斜め写真と 11 月現地調査による土砂災害状況をまとめた。

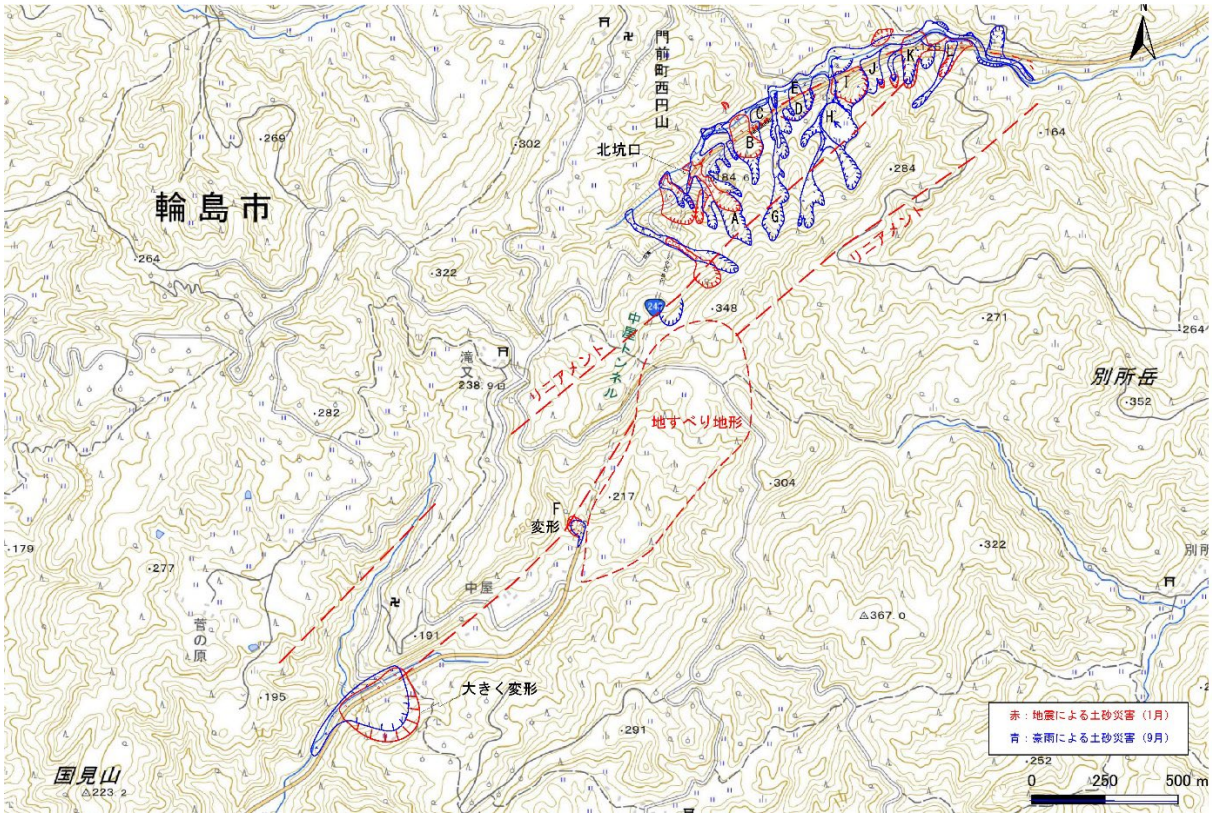


図 5.2.3-38 中屋トンネル付近全体の地震後 3 月現地調査（赤）と 9 月豪雨後の土砂流出（青）[1)]

なお，図 5.2-3-38 には，対象斜面を広域に示した。これによると，対象斜面にはリニアメントが判読でき，詳細不明であるが地殻変動による斜面の緩みもあった可能性を示している。図 5.2-3-39 には，9 月豪雨後の航空斜め写真に 1 月地震後 3 月の現地調査での顕著な斜面・構造物などの崩壊・変形位置を示した。9 月豪雨後にこれらの崩壊・変形箇所から土砂が流出したほか，斜面上方の 0 次谷などの集水地形箇所での崩壊と土砂流出が著しいことがわかる。

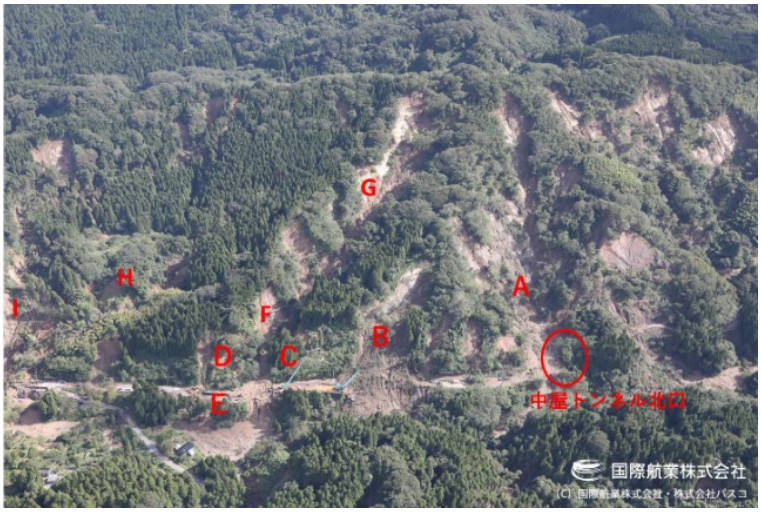


図 5.2.3-39　9 月豪雨直後の斜め写真で土砂流出が大きく進む [5)]

参考までに，1 月地震後の 3 月 20 日視察調査時と 9 月豪雨後の 11 月 24 日現場写真を図 5.2.3-40～59 にまとめた。豪雨後に土砂流出が著しく拡大したことが目に見えてわかる。





左図 5.2.3-40　地震後 3 月の中屋トンネル北口付近（土砂除去は行われている）

右図 5.2.3-41　豪雨後 11 月の中屋トンネル北口，土砂は再度除去済み




左図 5.2.3-42　地震後 3 月のトンネル坑口脇のＡ崩壊からの中規模土砂流出

右図 5.2.3-43　豪雨後 11 月のトンネル坑口脇のＡ崩壊が上方 0 次谷まで拡大して多量の流出




左図 5.2.3-44　地震後 3 月のＢ崩壊土砂（崩壊土砂は除去すると危険なので，残したまま仮復旧している）

右図 5.2.3-45　豪雨後 11 月のＢ多量の再崩壊土砂で閉鎖された




右図 5.2.3-46　地震後 3 月のＢ崩壊地全景（崩壊地内に倒木があり，崩壊上方の段差斜面には傾斜木あり）

左図 5.2.3-47　豪雨後 11 月のＢ崩壊地全景（大きく上方まで拡大した）




左図 5.2.3-48　地震後 3 月のＣ変形した枠組み擁壁（斜面の押し出しにより変形，上部斜面は緩みあり）

右図 5.2.3-49　豪雨後 11 月のＣ変形した枠組み擁壁（著しい変化はなかったが、上部斜面は小崩壊）




左図 5.2.3-50　地震後 3 月のＤ変形した地すべり対策工斜面（植生は残っている）

右図 5.2.3-51　豪雨後 11 月のＤ変形した抑止杭斜面は完全に崩壊した




左図 5.2.3-52　地震後 3 月のＤ変形斜面下のＥ変形盛土（段差・押し出しがあり，地盤が緩んでいる）

右図 5.2.3-53　豪雨後 11 月のＥ変形した盛土（崩壊までいかないが、土砂流出進展）




左図 5.2.3-54　地震後 3 月には土砂流出無、豪雨後 11 月の F，谷からの土砂流出と渓岸崩壊

右図 5.2.3-55 地震後 3 月には土砂流出無、豪雨後 11 月の G，谷の上流 0 次谷から土石流発生





左図 5.2.3-56　豪雨後 11 月の H 渓岸崩壊による谷内での土砂の堰き止め

右図 5.2.3-57　豪雨後 11 月の I 地震時の崩壊箇所の拡大

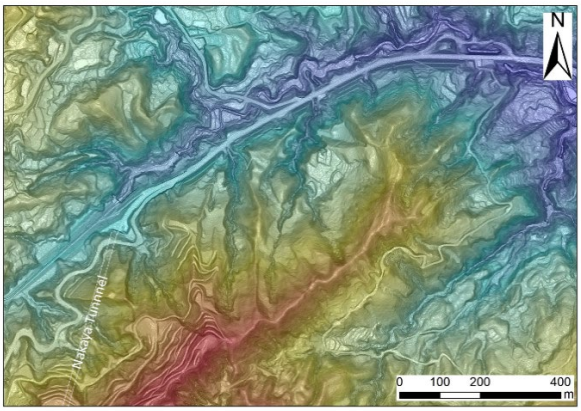


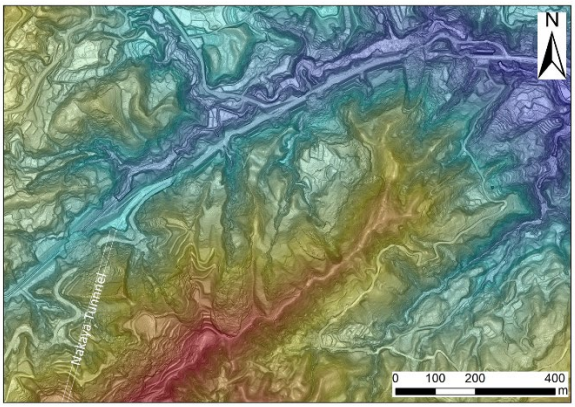


左図 5.2-3.58　豪雨後 11 月の J 崩壊で I 崩壊の側方への拡大

右図 5.2.3-59　豪雨後 11 月の K 崩壊の上方への拡大

ここで，地震前の航空レーザ測量の結果（図 5.2.3-60）と地震直後に実施した航空レーザ測量の成果（図 5.2.3-61）を示した。図 5.2.3-61 から，地震直後にトンネルや道路周辺の出尾根斜面にたくさんの亀裂や崩壊などが発生していることが分かる。地震後のデータについては地域全体に大きな地殻変動があったので，その影響をキャンセルすること難しい一面があるが，地震前後の差分をとり地震時の斜面の変動を解析した結果を示した（図 5.2.3-62）。1 月の地震によって，中屋トンネル北口周辺では土砂流出があり，この図で見える範囲でも 6 箇所「X」印の位置で道路が閉塞されている。また，現地の視察現地調査ではよくわからなかった斜面上部が変位したところが明らかになり，斜面の上部を含む斜面全体に地震により変形した斜面があることを確認した。地震後には，土砂をコントロールする作業が進められ，鋭意応急復旧の工事が進められていた。





左図 5.2.3-60　地震災害発生前の高精細地形データ [5)]

右図 5.2.3-61　地震災害発生後の高精細地形データ [5)]

9 月豪雨では，これらの斜面が再び崩壊したほか，地震では影響がなかった谷を横断する道路でも谷の上流部の不安定な 0 次谷などからの土砂が流入していた。その結果，対策工事を行っていた斜面だけでなく，複数の箇所で新しい崩壊や土石流が発生し，道路が再び寸断した。このため，9 月 25 日の仮復旧の直前に現場に滞在していた工事関係者が土砂に飲み込まれた。地震による斜面の変形・緩みをより早く検出し，降雨時のこれらの斜面をも含めた監視・観測・連絡体制と避難の在り方が重要な課題となった。今後，豪雨後の LP 図を作成して豪雨前後の地表面の変化を詳細に求めることが期待される。

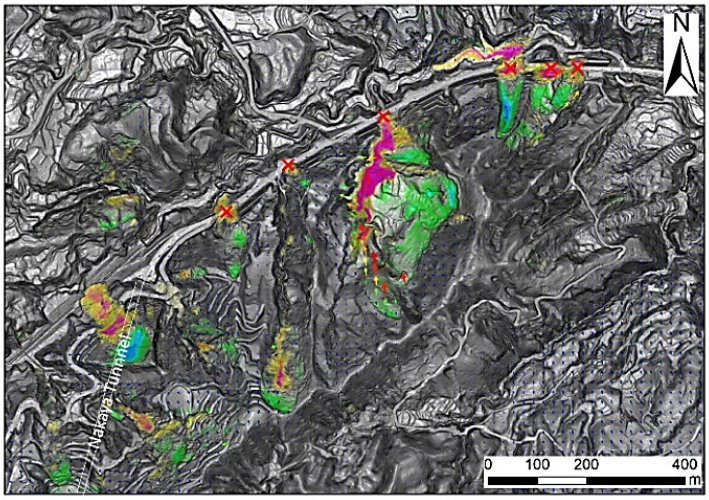


図 5.2.3-62　地震災害発生前後の高精細地形データの差分解析図（×地震災害による通行止箇所）[5)]

5.2.4 まとめと課題

地震後には地盤が緩みその後の豪雨では斜面に残った不安定土砂が再流出し，地震後に渓床に残った不安定渓床土砂が再流出したことが明らかになった。この時，山地や渓流には多く倒木や不安定な樹木も残っており，これらが土砂と一緒に渓流から河川に流れ出ると沖積低地部でも大きな被害が出ることがわかった。奥能登では元々大雨が少なく，斜面や渓流に多くの不安定土砂が残っていた。もともと流域が小さく市街地に近く，河川勾配も比較的急である環境に加えて，大きな地震と豪雨により大量の土砂が生産・供給されたことにより，土砂・流木を含んだ洪水流が，短い時間で一気に市街地や道路に流出し，大きな災害になったのではないかと考える。

これまで，巨大地震の後に豪雨災害に見舞われる頻度は少ない事象であった。しかし，熊本県では平成 28 年熊本地震の 2 ヶ月後に豪雨があり，山地や盛土の緩んだ地盤が崩壊し，多くの土砂流出があった。今後，地球温暖化に伴う豪雨の頻度が増えることを考えると，このようは複合災害の事象が増えることを考慮する時期に来ている。

今回の地震後の豪雨では，塚田川流域で 1 月の地震で崩れた大量の土砂や流木が市街地に流れ下った。一般に下流の低地内での河川の流路は，豪雨のたびに氾濫して流路を換え，ほぼ平坦な低地を形成してきたものである。したがって，今回の地震や豪雨前の流路は，人的に堤防や護岸を作って流路を固定していただけのものなので，豪雨の時に氾濫し，流路を換える可能性まで織り込んだ土地利用の検討が必要である。

そのハード対策として上流渓床内の不安定土砂や崩壊地内の斜面不安定土砂，そして，下流部の氾濫土砂，河川内にたまった土砂を取り除くのは効果的であるが，どこに運んで捨てるのかが

課題になる。したがって，山地や渓床内で適正に安定化する方法を長期的に検討する必要がある。たとえば，治山事業の谷止工・山腹工や砂防事業の砂防堰堤・流路工などである。

これだけ広域の事業になるとその労力は大変なものになるので，ソフト対策として，土地利用の仕方の変更や地震時や豪雨時の避難所や仮設住宅の立地の計画などを事前に立てておくことも重要になる。また，土砂災害防止法によるハザードマップに対して，地質・地質構造や表層崩壊を起こしやすい 0 次谷などの微地形要素を追加したものにレベルアップすることが有効と考えられ，地質地盤研究者が力を発揮すべき大きな課題である [8,9]。

最後に，今後増加が予想される複合災害に備えて，地震後に緩んだ地盤をどのように評価し，土砂災害ハザードマップとしてリアルタイムでアップデートするのか，そして，それに基づきたとえば，どれだけの降雨で避難指示を出すか，どこに避難するのか，適正な避難ルートはどこか，いつまで避難を続けるのかなどの技術的なソフト基準作りが重要である。また，複合災害で大きな災害になりやすい地形場（たとえば 0 次谷，斜面下の切土，河川攻撃斜面など）や地質場（たとえば火砕岩，流れ盤構造，破砕帯，熱水変質帯など）の研究とその対応策についても課題であろう [10]。

参考文献

1） 稲垣 秀輝・佐藤昌人・西村智博・下村博之（2025）：XI-5．9 月豪雨との複合災害に係わる応用地質的課題、日本応用地質学会令和 6 年能登半島地震調査団報告書，pp.317-331.

2） 地震調査研究推進本部：R6 年能登半島地震評価，https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2024/20240101_noto_3.pdf，(2024 年 10 月 22 日閲覧).

3） 金沢地方気象台：令和 6 年 9 月 21 日-23 日の大雨に関する石川県気象速報（令和 6 年 10 月 4 日），https://www.data.jma.go.jp/kanazawa/shosai/tmp/20240921_sokuhou.pdfkannma，（2024 年 10 月 31 日閲覧）.

4） 稲垣秀輝（2016）：2016 年熊本地震による斜面土砂災害の特徴および活断層との関係とその後の豪雨災害，応用地質，Vol.58, No.3, pp.188-196.

5） 国際航業株式会社ホームページ https://www.kkc.co.jp/disaster/2024/09/令和 6 年秋雨前線による豪雨災害/（2024 年 10 月 31 日閲覧）.

6） 西村智博，稲垣秀輝，千田敬二，下村博之，佐藤昌人（2024）：日本応用地質学会令和 6 年能登半島地震災害調査団災害地質ワーキンググループ先遣隊の調査報告，応用地質，Vol.65, No.5, pp.192-199.

7） 株式会社パスコホームページ　https://corp.pasco.co.jp/disaster/heavy-rain/20240922.html，（2024 年 10 月 31 日閲覧）.

8） 稲垣秀輝（2024）：土砂災害の法的指定によるハザードマップの適用性と地質構造の重要性，2024 年度日本応用地質学会研究発表会発表講演集，pp17-18.

9）稲垣 秀輝（2025）：XI-1．土砂災害の法的指定ハザードマップの適用性と地質構造の重要性、日本応用地質学会令和 6 年能登半島地震調査団報告書，pp.297-302.

10）稲垣秀輝（2024）：社会システムから見た土砂災害を低減する住民避難と安全な土地利用・土地管理，地盤工学ジャーナル,Vol.19 ,No.1 ,pp.33-42, https://doi.org/10.3208/jgs.19.33.

5.3 大地震後の豪雨による土砂災害の発生傾向

5.3.1 はじめに

大地震後の降雨によって土砂災害が発生した事例として，2016 年熊本地震後の梅雨期の 6 月 19 日からの大雨や，2024 年能登半島地震後の 9 月 21 日からの大雨が挙げられる。これらの降雨により，斜面崩壊や土石流が発生した。しかし，日本のような地震国において，降雨時の斜面安定性に対する地震履歴の影響は十分に解明されていない。その理由として，第一に，そもそも地震の影響を受けていない自然斜面が存在するのかが疑問であること，第二に，仮にそうした斜面があったとしても，全く同じ条件下で地震の影響を比較・検討することが困難であることが挙げられる。ただし，地震の規模が大きくなれば，その影響範囲は広がるため，地震前後の一定期間における崩壊発生頻度を分析することで，降雨時の斜面崩壊に及ぼす先行地震の影響を明らかにできる可能性がある。

本稿では，これまでの研究成果をもとに，地震後の降雨による土砂移動発生エリアの特徴，地震前後の土砂移動発生時の降雨量の比較，および地震動が地震後の降雨による土砂移動に及ぼす影響について整理・検討した結果を述べる。なお，本稿は既発表論文[1),2)]を増補改訂したものであることをお断りする。

5.3.2 地震の影響を受けた降雨による土砂災害

(1) 大地震後の降雨による土砂移動事例

表 1 に大地震後の降雨によって発生した主な土砂移動の発生事例[3~10)]の一覧を示す。土砂移動が発生したエリアの地質は花崗岩，新第三紀堆積岩，第四紀火山堆積物等であり，各地質からなる斜面において，大地震後の降雨や地震活動により，地震で崩壊した箇所の拡大，別の箇所での新しい崩壊の発生，地震時に土石流が発生した渓流での土石流の再発等が報告されている。

表 5.3.1　大規模地震後の降雨による主な土砂移動

地震名	発生場所・地質	降雨時の土砂移動形態
平成 7 年兵庫県南部地震	兵庫県神戸市灘区・花崗岩	崩壊箇所の拡大，新たな崩壊[3), 4)]
1999 年集集地震	台湾・渓頭地区	新たな崩壊[5)]
平成 16 年新潟県中越地震	新潟県長岡市周辺・新第三紀堆積岩	特に変状なし[6), 7)]
平成 20 年岩手・宮城内陸地震	岩手県一関市・新第三紀堆積岩 宮城県栗原市・第四紀火山堆積物	崩壊箇所の拡大，新たな崩壊[8)]
平成 23 年東北地方太平洋沖地震	茨城県北部・花崗岩	降雨と余震による新たな崩壊[9)]
平成 28 年熊本地震	熊本県阿蘇地域周辺・第四紀火山堆積物	崩壊箇所の拡大，新たな崩壊，土石流の再発[10)]
令和 6 年能登半島地震	石川県北部・海成層珪質泥岩，デイサイト，安山岩ほか	崩壊箇所の拡大，新たな崩壊，新たな土石流の発生

(2) 平成 16 年新潟県中越地震後の斜面変動

2004 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震（最大震度 7，M6.8）では，地すべり地帯において大規模地すべり，斜面崩壊等が多数起こり，甚大な人的・物的被害が生じた。地震直前に豪雨があり，地盤内の地下水位が高く，地盤が緩んだ状況にあったため，土砂移動の規模・範囲が大きくなった可能性が指摘された [7]。また，地震後の融雪期や降雨期に斜面変動が多発するとみられていたが，地震発生後の融雪期を終えても再移動は大きくなかったこと [6]，地震発生から 1 年半経過時点で大きな変化は認められなかったことが報告されている [7]。

(3) 平成 28 年熊本地震後の斜面変動

2016 年 4 月 14 日および 16 日に発生した熊本地震では，4 月 16 日の地震発生時（最大震度 7，M7.3）に数多くの斜面崩壊，土石流，地すべり等が起こり，甚大な人的・物的被害が生じた。さらに，その約 2 か月後の 6 月 19 日から 25 日にかけての大雨とそれ以降の大雨において地震時に崩壊した斜面が再崩壊し，また地震直後に土石流が発生した渓流で土石流が再び発生し，二次被害が生じた [10]。

(4) 令和 6 年能登半島地震後の斜面変動

2024 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震では，地震発生時（最大震度 7，M7.6）に道路盛土の崩落，斜面崩壊，大規模地すべり，土石流等が起こり，甚大な人的・物的被害が生じた。さらに，その年の 9 月 21 日から 22 日にかけて線状降水帯がもたらした大雨によって地震時に崩壊した斜面が再崩壊，崩壊土砂の移動・拡大，土石流が発生し，大きな被害が発生した。大雨前後の斜面崩壊の一例を図 5.3.1 に示す。



図 5.3.1　珠洲市仁江町の斜面崩壊（左：2024 年 6 月 15 日撮影，右：2024 年 10 月 20 日撮影）

5.3.3 大地震後の降雨による土砂移動発生エリアの特徴

大地震後の降雨により土砂移動が多発した事例が複数報告されている。ここでは，地震後の降雨で土砂移動が多発したエリアについて，主に地震動との関係から整理した特徴を述べる（**図 5.3.2**）。同図に示される震央からの距離は報告される土砂移動発生エリアの中心部付近からの距離を示し，最大加速度・震度は土砂移動発生エリアの最大値を読み取った。この図によると，地震後の降雨にて土砂移動が発生したエリアの多くが最大加速度 400 Gal 以上，推計震度 6 弱以上を記録した範囲に位置する。また，震央からの距離は，平成 23 年東北地方太平洋沖地震による事例

を除くと，震央から概ね 40 km 以内に位置する。

ハスバートルら [11]は，過去に発生した 4 つの内陸地震時に発生した地すべりの分布と地震動との関係を調査し，全ての地すべりは震央から 39 km 以内，震度 5 強以上の分布域で発生し，93.3%以上の地すべりは最大加速度 500 Gal 以上の分布域内で発生したことを報告している。上記の特徴はハスバートルら [11]の報告と概ね近いことから，地震後の降雨により発生する土砂移動も，地震時の地すべりと同様に地震動の影響が大きかったエリアの中で多発する可能性が考えられる。

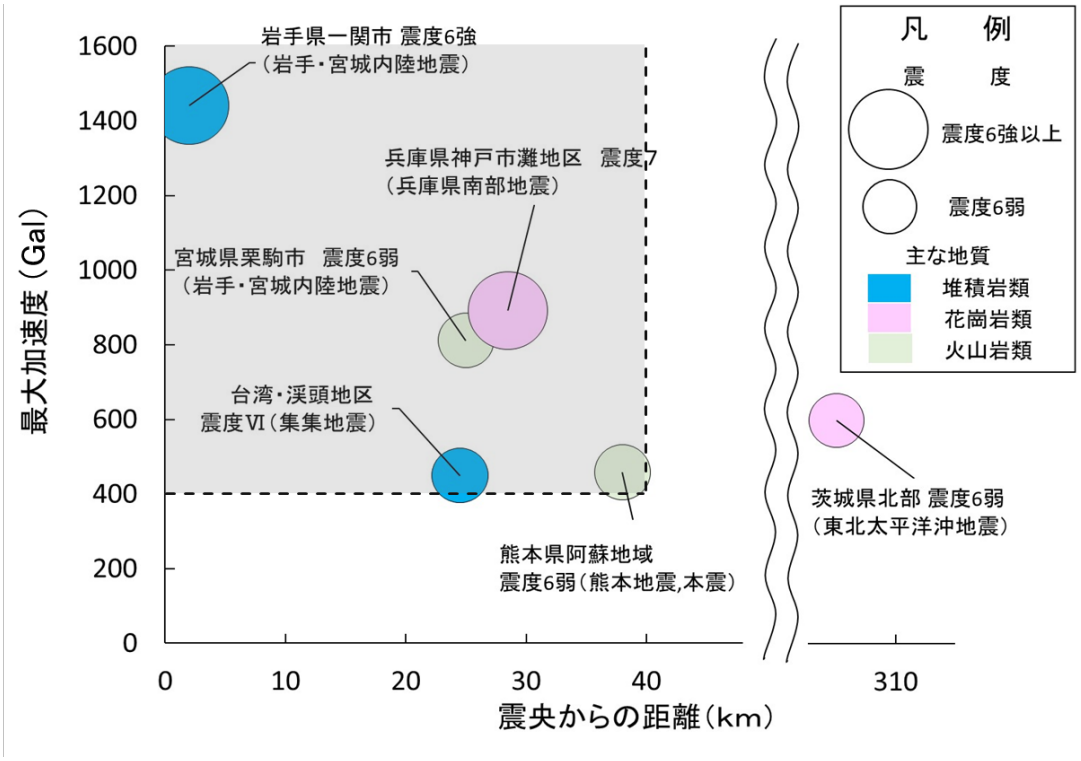


図 5.3.2　地震後の降雨で発生した土砂移動エリアに対する最大加速度と震央からの距離の関係（文献 2)の図-1 に加筆・修正。図中のデータに関して，兵庫県南部地震の最大加速度・震度は気象庁 [12]，集集地震に関する地震データは日本地震学会 [13]，岩楯・吉嶺 [14]，それ以外の地震の震央位置は気象庁 [15]，推計震度・最大加速度については QuiQuake[16]に基づく）

5.3.4 地震前後の土砂移動発生時の降雨の比較

大地震後の降雨により発生する土砂移動は，地震の影響を伴い，地震前よりも少ない降雨量で発生する傾向にあることが報告されている。ここでは，地震前後の土砂移動発生時の降雨について比較した事例を紹介する。冨田ら [4]によると，平成 7 年兵庫県南部地震から約 4～6 か月後に認められた崩壊の拡大について，地震前の崩壊発生時の降雨指標と比較・分析した結果，地震前の 3～5 割程度少ない値であったと報告されている。また，渡邊ら [17]は，阿蘇外輪における平成 28 年熊本地震前後の土砂移動時の降雨量について，複数の降雨指標を基に比較・分析し，地震直後（2016 年 4 月）は地震前の 1～3 割程度であり，約 2 か月後（2016 年 6 月）は地震前の 3～8 割程度であると報告した。堀田ら [5]は，台湾大学渓頭実験林内において，1999 年集集地震前後で発生した崩壊を対象として，発生時の連続雨量や発生件数等を比較し，地震の影響について検討した。その結果，地震後から約 5 か月後に発生した崩壊（2000 年 2 月）は地震の影響を受けていたのに対し

て，地震から 2 年以上経過し発生した崩壊（2002 年 5 月）には地震の影響が顕著ではなかったと考察した。なお，堀田ら[5)]は，地震前と比較した降雨指標の割合について具体的に言及していないが，参考までに論文中の崩壊発生時の連続雨量の表をもとに，地震 1 か月前（1999 年 8 月）と地震後に発生した崩壊の連続雨量の割合を求めると，2000 年 2 月の崩壊は地震前の 4～6 割程度となるのに対し，2002 年 5 月の崩壊は 10 割以上であったと見積もられる。

図 5.3.3 に各事例にて報告される地震発生から土砂移動発生時までの経過日数と地震前と比較した土砂移動発生時の降雨指標の割合の百分率の関係を整理した。各事例については，それぞれ分析手法や地震規模，土砂移動の特徴等が異なるため，直接的に比較できない点に留意する必要がある。しかし，いずれのケースにおいても，地震発生から半年以内に発生した土砂移動において，発生時の降雨指標が地震前のそれに比べて小さく，地震による影響を受けていた可能性が考えられる。また，図中に示される発生時の降雨指標の割合の推移に着目すると，地震の影響は地震直後が特に大きく，その後は時間の経過に伴って影響が小さくなっていく傾向が示唆される。

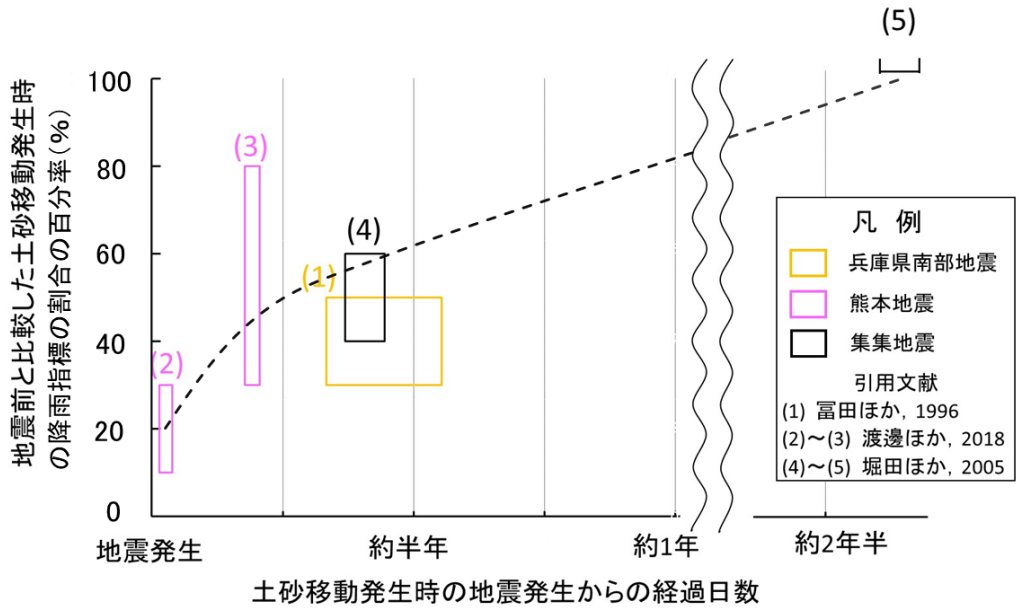


図 5.3.3　地震発生から土砂移動発生時までの経過日数と地震前と比較した土砂移動発生時の降雨指標の割合の百分率の関係（文献 2)の図-2 に加筆・修正）

5.3.5 まとめ

本稿の内容を要約すると以下のとおりである。

1) 地震後の降雨による土砂移動形態は，先に崩壊した箇所の拡大，別の箇所での新規の崩壊，土石流の新たな発生や再発であった。
2) 地震後から数か月以内の降雨によって土砂移動現象が発生した事例がほとんどである。
3) 地震後の降雨による土砂移動現象の発生エリアは震央から 40 km 以内，最大震度 6 弱以上，最大加速度 400 Gal 以上の範囲である。
4) 地震後の土砂移動現象を引き起こす降雨量は地震前の 10～80%程度である。また，その影響は時間の経過とともに小さくなるとみられる。ただし，令和 6 年能登半島地震のケースは更なる検討が必要である。

なお，地震後の降雨による斜面崩壊のメカニズムとして，地震動による地盤強度の低下や，地震時に発生した亀裂が斜面崩壊に影響を及ぼす可能性が指摘されている。今後，これらの課題に対する十分な解明が期待される。

参考文献

1) 後根裕樹・鈴木素之（2022）: 大規模地震後の降雨により発生した土砂災害に関する文献調査, 自然災害研究協議会中国地区部会研究論文集, 第 9 号, pp.29-32.
2) 鈴木素之・後根祐樹（2022）: 大地震後の降雨により発生した土砂災害の特徴と発生リスク, 地盤工学会誌, Vol.70, No.3, pp.26-29.
3) 田結庄良昭・藤田智子（1996）: 兵庫県南部地震とその後の降雨による斜面崩壊, 応用地質, 37 巻, 3 号, pp.35-45.
4) 冨田陽子・桜井亘・中庸充（1996）: 六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について, 新砂防, Vol.48, No.6, pp.15-21.
5) 堀田紀文・康恰慧・執印康裕・魏聰輝・張振生・陳信雄・鈴木雅一（2005）: 集集地震後の降雨で発生した崩壊に対する地震の影響について－台湾大学渓頭実験林における長期林道補修記録を用いた検討－, 砂防学会誌, Vol.58, No.1, pp.3-13.
6) 新潟県中越地震による土砂災害研究小委員会（2005）: 2004 年新潟県中越地震による斜面災害の融雪後の状況について, 応用地質, 第 46 巻, 第 5 号, pp.293-302.
7) 土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会 : 新潟県中越地震における「斜面複合災害」－総合的斜面工学からの検討－, 土木学会平成 18 年度全国大会研究討論会　研－19 資料, https://www.jsce.or.jp/committee/jiban/slope/old/tyuuetu_monitoring/DSreport.pdf（参照 2025.3.19）.
8) 村上亘・大丸裕武・江坂文寿（2013）: 2008 年岩手・宮城内陸地震後に発生した 2 次的な斜面崩壊の地形・地質的特徴, 森林総合研究所研究報告, Vol.12, No.1, pp.23-40.
9) 木下祐介・八反地剛・八木勇治・江崎隼輝・奥村大輔（2014）: 東北地方太平洋沖地震とそれ以降の降雨による斜面崩壊 : 茨城県北部の花崗岩山地における事例, 地形, 第 35 巻, 第 1 号, pp.25-39.
10) 石川芳治・赤澤史顕・植弘隆・大野宏之・小山内信智・海堀正博・久保田哲也・古賀省三・権田豊・坂島俊彦・地頭薗隆・清水収・武士俊也・樽角晃・鳥田英司・中濃耕司・西真佐人・野呂智之・平川泰之・平松晋也・藤田正治・松尾新二朗・山田孝（2016）: 平成 28 年熊本地震後の降雨による二次土砂移動と二次土砂災害, 砂防学会誌, Vol.69, No.4, pp.25-36.
11) ハスバートル・石井靖雄・丸山清輝・鈴木聡樹・寺田秀樹・中村明（2011）: 最近の逆断層地震により発生した地すべりの分布と規模の特徴, 地すべり学会誌, Vol.48, No.1, pp.23-38.
12) 気象庁 : 各種データ・資料, 過去の地震津波災害,「阪神・淡路大震災」特設サイト, https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/1995_01_17_hyogonanbu/index （参照日 2025.3.19）.
13) 日本地震学会（2000）: 日本地震学会広報誌「なゐふる」, 特集 : 台湾集集地震（1999 年 9 月 21 日）, No.18, https://www.zisin.jp/publications/pdf/nf-vol18.pdf（参照日 2025.3.19）.
14) 岩楯敞広・吉嶺充俊（2000）: 台湾集集地震土木構造物の被害と特徴, 都市総合研究, No.72,

pp.77-115.
15) 気象庁：各種データ・資料，http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html（参照日 2025.3.19）.
16) QuiQuake－地震動マップ即時推定システムー，https://gbank.gsj.jp/QuiQuake/（参照日 2021.10.15　ただし，2023 年 3 月末で停止）.
17) 渡邊輝嗣・桂真也・林真一郎・梅谷涼太・齋藤はるか・野呂智之・村田郁央（2018）：平成 28 年熊本地震前後の阿蘇地域における土砂移動現象発生時の各種降雨指標値の比較，土木学会西部支部，第 9 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.151-156.

6. まとめ

6.1 研究成果のまとめ

本重点研究課題では，経験のない気象の常態化がもたらす宅地斜面への被害を想像し，従前から取り組まれている災害防止対策や地域防災計画の提示と異常気象の常態化や複合災害を鑑みて，各種防災・減災施策の効果について検討した。以下に各成果の概略をまとめる。

・経験のない気象条件と土砂災害（2 章）

本章では，経験のない異常気象について，既往の気象統計データを分析し，「1970 年前後からの短時間降水量の増加」が挙げられ，降雨強度式などに沿って排水を的確に行うことの重要性を示唆された。また，降雪による積雪荷重や凍上・凍結が斜面に与える影響について述べた。次に，降雨と地震による複合災害について，降雨後の地震について令和 6 年能登半島地震前の降雨状況とその影響について調べ，地震後の降雨についていくつかの文献調査と令和 6 年能登半島地震後の令和 6 年 9 月能登半島豪雨での土砂災害被害を例としてその影響について示した。

・近年の宅地斜面災害と対策（災害メカニズム，主な対策と効果）(3 章)

本章では，盛土（構造体としての盛土そのもの），斜面（自然斜面および人工斜面）に関するそれぞれの災害と対策について述べた。また，災害防止工事として施工される斜面構造物として既設吹付法面を中心として老朽化に伴う機能低下と維持管理上の留意点について紹介した。さらに，宅地で利用が多い擁壁に関して，近年の地震や豪雨による災害事例を紹介し，健全度の点検表や宅地擁壁の補修・補強技術対策について示した。特に，地震工学委員会城郭石垣及び石積擁壁の耐震診断・補強に関する研究小委員会にて実施されている具体的な事例を参考資料として紹介した。

・地域力で防ぐ土砂災害（4 章）

本章では，まず，全国の地域防災に係る事例，安全問題研究委員会地域安全小委員会で実施した地域レジリエンスに係る考え方の把握を目的に実施した意見交換や地域コミュニティ継続に係る取組事例の把握を目的に基礎自治体等へのヒアリング調査などから得られた知見から，「高齢化，人口減少下の地域防災」，「都市部での地域防災」を示し，それぞれの地域コミュニティの継続と形成事例について紹介した。次に，災害に対する地域の危険度情報として，地域防災分析に活用できるオープンデータを一覧として取りまとめた。土砂災害に対する防災・減災に関係するソフト対策である土砂災害警戒区域設定，土砂災害ハザードマップ，自然災害伝承碑，自然災害と災疫の連鎖性やハード対策である防災施設の点検に関する現状と課題を示した。さらに，地域特性を考慮した防災活動の事例として，四国・香川，島根県雲南市の事例，次世代を担う子どもへの防災教育への取り組みとしてツールと防災授業の概略についてそれぞれ紹介されている。また，土砂災害を減らすための法的システムについて法令と訴訟に関してまとめた。

・潜在的な自然災害リスクを有する地震災害と気象災害（5 章）

本章では，ハザードマップから漏れる降雨にともなって発生する土砂災害事例を紹介し，改善点や危険個所の留意点を示した。また，令和 6 年能登半島地震とその後の豪雨災害を例に地形・

地質からみた複合災害の特徴と課題について示し，ハード対策・ソフト対策の最適な割合での実施のための地質・地盤技術者の役割の重要性と，複合災害で大きな影響を及ぼす地形場・地質場のさらなる研究の発展の必要性について述べている。さらに，大地震後の豪雨が土砂災害に与える影響について，過去の地震について整理・検討した結果をまとめた。

6.2 経験のない気象の常態化がもたらす宅地斜面被害に対する今後の在り方

図 6.2.1 は地盤工学委員会（斜面工学小委員会）が平成 30 年度土木学会重点研究課題「中山間地域における広域的な豪雨による土砂災害メカニズムの究明と地域防災力の向上に向けた取り組みに関する研究」にてとりまとめた中山間地域における街づくりのイメージ図である。短時間降雨の増加による土石流災害の増加を踏まえて「危険な場所に人は住まない」ことを中心としたイメージ図であるが，本研究課題の豪雨・地震を中心とした複合災害にも共通するものである。また，具体的にこれらのイメージのうち，立地適正化法（4.1.3 に記載）など法的に実行可能な方法や盛土規制法のように災害発生による法的問題点への対応としての規制強化もあり，潜在的に危険な箇所での居住が無くなるような取り組みは着実に進められている。一方，本報告書にもいくつか記載されているが，その取り組み以上に既設構造物の老朽化が進行しており，同時並行での対応が必要な状況である。

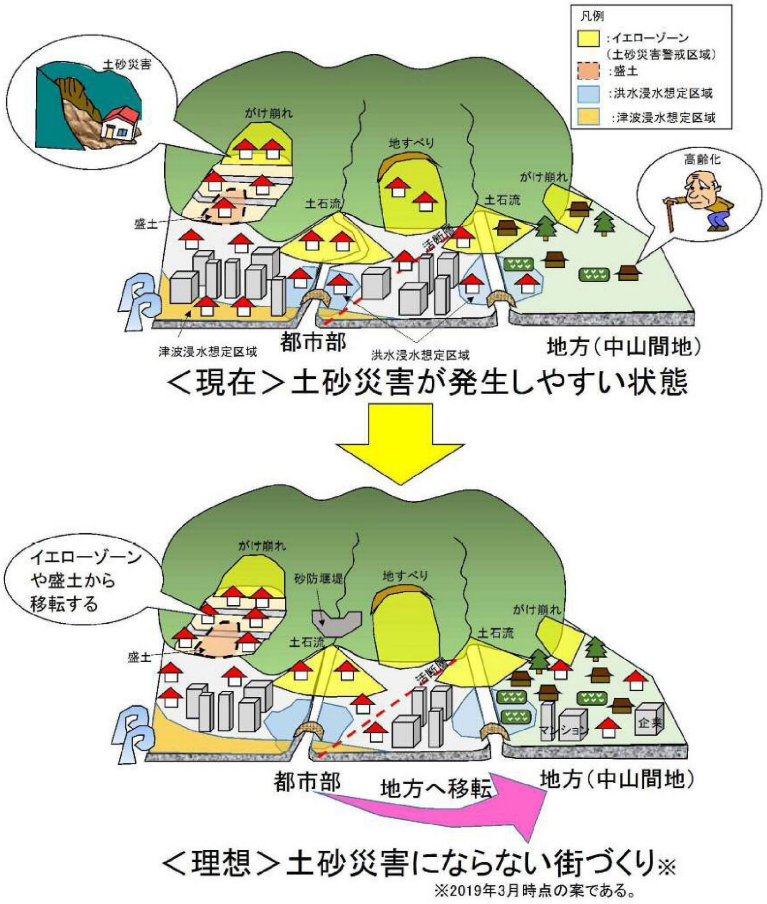


図-6.2.1　中山間地域における街づくりのイメージ図（平成 30 年度土木学会重点研究課題「中山間地域における広域的な豪雨による土砂災害メカニズムの究明と地域防災力の向上に向けた取り組みに関する研究」）

社会基盤への公共投資が減少に加えて土木技術者の減少による人手不足，物価高などの様々な要因により現状の社会基盤施設の維持・更新が難しくなるなか，DX・ICT による生産性向上だけでは本課題は解決できないものである。さらに地域のリスクコミュニケーションを継続・再生化して，地域力を高める活動をさらに進めていくことが必要である。本研究課題では横断的な研究分野での取りまとめを通して，問題点の抽出と今後必要な対応策について示すことができた。今後，宅地斜面被害の軽減に資する研究・開発，また法的整備のエビデンスをまとめて防災・減災への一助とすべく活動していく所存である。