

平成 26 年度重点研究課題（研究助成金）

**脆弱な火山国日本での土砂災害の発生メカニズムの究明と
法制度も考慮した総合的防災・減災対策に関する研究**

報 告 書

平成 27 年 3 月



公益社団法人 土木学会

地盤工学委員会

はじめに

本報告書は（公社）土木学会平成 26 年度重点研究課題に採択された「脆弱な火山国日本での土砂災害の発生メカニズムの究明と法制度も考慮した総合的防災・減災対策に関する研究」の成果をとりまとめたものである。

本研究の契機は平成 25 年 10 月 16 日未明、台風 26 号の接近に伴う豪雨によって伊豆大島元町を襲った土砂災害である。わずか 18 時間で最大時間雨量 118.5mm/hr、総雨量 824.0mm という猛烈な豪雨によって元町上流の大金沢斜面が広範囲に崩壊し、土石流が市街地を襲った。大島町では死者 36 名、行方不明 3 名の犠牲者、住宅全半壊・一部破損計 153 棟に及ぶ大災害となった。

火山地域特有の地質構造と地形の素因に極端な集中豪雨が誘因となったものと推定された。災害の原因となった土砂生産・流出実態を明らかにし、土砂移動メカニズムを推定することにより、今後の土砂災害対策の資料とすることを目的とする調査研究を進めることが必要との認識に至った。そこで、地盤工学委員会に設置されている火山工学小委員会と斜面工学小委員会の間で企画案を練り、さらに多分野横断的に研究を進めることで総合的な工学対応を議論するため、水工委員会と土木計画学委員会からも参画を得た。加えて自然災害に対する社会対応のあり方も議論することによって、ソフト対策の解決に資することを目途に法律や保険制度なども併せて検討することとした。

調査研究はそれぞれの課題をグループ単位で進めた。現地調査は 2012 年 7 月に発生した九州北部豪雨災害でとくに顕著な土砂災害が起こった熊本県阿蘇地方と、伊豆大島を重点的対象とした。さらに、中間成果に対して研究集会を公開開催してとりまとめの方向を議論した。本報告書では研究集会の議論を経て研究担当者やグループで取りまとめた結果を掲載した。

とりまとめに当たり、調査研究を分担して頂いた委員ならびに会員の皆様、本研究課題の提案時に有益なアドバイスを頂いた、地盤工学委員会 三村衛委員長、後藤聡副委員長ら委員各位に感謝申し上げます。

2015 年 3 月

（公社）土木学会 地盤工学委員会

火山工学研究小委員会

委員長 安養寺 信夫

（公社）土木学会平成 26 年度重点研究課題
「脆弱な火山国日本での土砂災害の発生メカニズムの究明と
法制度も考慮した総合的防災・減災対策に関する研究報告書」

目 次

まえがき

1 研究概要

1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	1
1.3 研究内容	2

2 火山地域の抽出と土砂災害の特徴

2.1 全国の火山地域の分布特性とそこでの土砂災害の特徴	4
2.2 阿蘇土砂災害で見られた火山地域の土砂移動の特徴	23
2.3 火山地域における災害がれき	32
2.4 御嶽山 2014 年噴火速報 これまでの活動履歴との関係	53

3 火山地域における土砂災害メカニズムの検討

3.1 伊豆大島土石流災害地の現状と強度・地下水流音特性及び土石流発生履歴について	55
3.2 伊豆大島の降雨変動に伴う地盤変動と住民の避難行動に関する一考察	72
3.3 平成 24 年 7 月阿蘇山における土砂災害調査と発生メカニズム	75
3.4 土石流・泥流の構成式とシミュレーションモデルの課題	111

4 広域化する土砂災害を軽減するための社会的対応

4.1 土砂災害での宅地の保険と補償	119
4.2 土砂災害について一弁護士の立場から	121

5 日本の国土の脆弱地盤の特質と宅地の品質

5.1 自然災害に関する国土の安全性指標「GNS」の策定	126
5.2 脆弱地盤に関する宅地の品質	132

6 総合検討 136

あとがき

参考資料

火山地域における土砂災害発生メカニズムと社会的対応に関する研究集会 発表資料

1 研究概要

1. 研究概要

1.1. 研究の背景

近年、降雨パターンが変化して土砂災害が集中的に発生している。降雨は比較的狭いエリアに集中して時間雨量 50mm 以上、時として 100mm を超える強度が数時間以上継続するパターンが多い。これらに代表されるのは、平成 21 年 7 月 21 日山口県防府市を中心とした土砂災害、平成 22 年鹿児島県南大隅町船石川の深層崩壊、平成 23 年 8 月 30～9 月 5 日台風 12 号による紀伊半島を中心とした深層崩壊災害、平成 24 年 7 月の九州北部豪雨による熊本県阿蘇市の土砂災害、平成 25 年 8 月 9～10 日の秋田県・岩手県を襲った土砂災害、同年 10 月 14～16 日には台風 26 号による豪雨が伊豆大島において土砂災害をもたらし、平成 26 年 8 月 15～20 日には広島市で大規模な土砂災害など毎年のように発生している。

これらの土砂災害の原因の一つは豪雨であるが、山地丘陵地の脆い地盤も土砂移動現象に大きく関与している。西南日本には花こう岩や変成岩が広く分布するほか第四紀の火山地域が存在する。火山の影響は活火山周辺のみならず広域テフラがわが国の殆ど被覆している。これらの地質特性によって表層地盤の水文条件や力学特性が異なるが、その関係は複雑であるため十分に研究されていない。

とくに火山地域で生じる土砂移動現象の実態とメカニズムの解明は砂防学、土砂水理学、地盤工学、斜面水文学などの関連分野における主要研究課題となっている。さらに住民避難などのいわゆるソフト対策の諸課題は社会心理学のみならず法制度にも問題を投げかけている。

本研究ではこれら諸課題解明のための一歩として火山地域を中心とした調査研究を実施した。

1.2. 研究の目的

研究目的は、国土強靱化に資することを目標として、具体的に次の 2 つを掲げる。

- (1) 最近頻発する火山地域での土砂災害の発生メカニズムを具体的に究明
- (2) 火山国日本の中で代表的な脆弱地盤分布する火山地域での土砂災害を防災・減災するための技術的課題と法制度の運用課題の提案

●研究の具体性・実用性

火山国日本といわれる中で、国土の脆弱地盤の一つである火山地域では土砂災害が頻発している。この脆弱火山地盤における土砂災害の発生メカニズムを現地事例に基づいて具体的に究明する。とくに 2013 年 10 月の伊豆大島土砂災害は、土砂災害の減災を目的とする土砂災害防止法の適応外である火山地域特有の地形・地質条件下で発生した。このような法制度上の課題を含めて、火山地域における土砂災害を防災・減災する実用的な技術提案と法制度の技術的課題などを社会に提言する。

●分野横断的な特徴

本研究は、単に土砂災害の調査研究にとどまらず住民の安心安全を導くための方策提言も視野に入れている。土木学会会長が提案されている強靱な国土形成の内容を含み、とくに 2013 年 10 月の伊豆大島土砂災害調査の内容も含んでいる。この災害調査団は、土木学会の複数の委員会（地盤工学委員会・水工学委員会・土木計画委員会・関東支部など）が参加している共同調査となっている。したがって、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。さらに、法曹関係者と連携した法制度の運用への提言を念頭においており、社会科学的要素も取り込む。

1.3. 研究内容

本研究は、これまで地盤工学研究委員会斜面工学研究小委員会と同火山工学研究小委員会の蓄積である研究成果（複数出版物・研究討論会の開催・重点研究成果）を生かしながら、最近の土木学会が実施している精力的な土砂災害調査団の成果を取り入れる。さらに、異分野の法曹関係者と協力しながら、作業をいくつかの専門分野に分けて次のとおり行う。研究成果のとりまとめにあたり、総合的で連携の行いやすい防災計画に反映できるよう土木工学の技術を活用する。

- (1) 火山地域の抽出
- (2) 問題となる火山地形・地盤の抽出
- (3) 火山地域での土砂災害事例の選定と技術的検討
- (4) 特に、最近発生した 2012 年九州北部土砂災害（阿蘇地域）と 2013 年伊豆大島土砂災害の発生メカニズムの詳細な検討
- (5) 火山地域での土砂災害発生メカニズムや災害後の諸問題（土砂や流木を多量に含む災害廃棄物処理、長期的な災害リスクの算定など）を考慮した防災・減災の技術的な提案
- (6) 防災・減災の法制度、たとえば土砂災害防止法に関する技術的課題や宅地安全に関する法制度の技術的課題、法制度の運用方法（土砂災害警戒情報等の発表と首長支援など）等の提案
- (7) 研究成果は報告書としてとりまとめる。さらに研究討論会、シンポジウム開催などを企画して広く社会に還元する。

本研究の研究体制は地盤工学委員会が中心となり、水工学委員会ならびに土木計画学委員会のメンバーの参画を得た。

表 1.1 研究体制

	氏 名	委員会	所 属・役 職
研究代表	安養寺信夫	地盤工学	(一財)砂防・地すべり技術センター，理事・技術研究所長
副 代 表	鈴木 素之	地盤工学	山口大学大学院理工学研究科，准教授
研究幹事	竹林 洋史	水工学	京都大学防災研究所流域災害研究センター流砂災害研究領域准教授
分担研究	地頭 蘭 隆	地盤工学	鹿児島大学農学部生物環境学科，教授
同 上	稲垣 秀輝	地盤工学	環境地質(株)，代表取締役
同 上	清水 収	地盤工学	宮崎大学農学部森林緑地環境科学部，准教授
同 上	荒木 功平	地盤工学	山梨大学大学院医学工学総合研究部社会システム工学系，助教
同 上	畑山 満則	土木計画学	京都大学防災研究所防災社会システム研究分野，准教授
同 上	江頭 進治	水工学	(独)土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター，研究・研修指導監
同 上	野田 龍	地盤工学	九州大学大学院 農学研究院，研究員
同 上	中村 洋介	地盤工学	福島大学人間発達文化学類文化探究専攻，准教授

調査研究を進めるに当たり、(公社)土木学会・地盤工学委員会の斜面工学・火山工学研究小委員会のメンバーの協力を得た。さらに研究集会および報告書とりまとめには(公社)地盤工学会関東支部地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する研究委員会と地盤リスクに詳しい法曹関係者（弁護士）の協力を得た。

調査研究担当者・執筆者を表 1.2 に示す。

表 1.2 調査研究担当・執筆者一覧

1 章	安養寺信夫
2 章	稲垣秀輝，地頭蘭隆，清水収，大野博之（環境地質），千葉達郎（アジア航測）
3 章	鈴木素之，大野博之，楮原京子（山口大学），阪口和之（アジア航測），櫻井正明（山地防災研究所），美馬健二（太田ジオリサーチ），吉川修一（八千代エンジニアリング），荒木功平，野田龍，西川直志（イシンコンサルタント），松本宏彰（復建調査設計），中濃耕司（東亜コンサルタント），関口秀幸（アスルマエヤ），江頭進治，竹林洋史
4 章	大串豊（M&K コンサルタンツ），吉岡和弘（弁護士）
5 章	伊藤和也（独立行政法人労働安全衛生総合研究所），菊本統（横浜国大），下野勘智（横浜国大），稲垣秀輝，大里重人（土質リサーチ），日下部治（茨城工業高専），渡邊康司（大林組技術研究所）
6 章	安養寺信夫

（ ）は所属，担当委員所属は表 1.1 参照

2 火山地域の抽出と土砂災害の特徴

2.1 全国の火山地域の分布特性とそこでの土砂災害の特徴

株式会社環境地質 稲垣秀輝

2.1.1 はじめに

近年，日本列島の地殻変動が活発化しているように思える．それに伴い地震災害や火山噴火災害が頻繁に起こるようになってきている．一方，地球温暖化などに関連して気象現象が大きく振れ動くことが多くなり，我が国の脆弱な国土にあって異常気象に伴う局地的な豪雨災害が全国的に起こるようになってきている．特に，時間雨量が 100mm を超え，連続雨量が 500mm を超えるような想定を越える豪雨は，地域に大きな災害を与える．また，地殻の変動帯に属する我が国には火山が多く，火山地域では従来から豪雨による多くの土砂災害が記録されている．近年では，2013 年 10 月に発生した伊豆大島豪雨災害が記憶に新しく，火山地域特有の局地的な豪雨土砂災害が多発するようになってきている．

本文では，著者が現地調査を実施した自然災害調査（表 2.1.1 参照）の中で 6 つの火山地域の豪雨土砂災害事例を示し，火山地域特有の地形・地質における豪雨時を中心とした斜面災害の特徴をまとめる．また，我が国での土砂災害を発生させやすい火山地域の分布とその特徴を示しながら，火山地域での防災上の法制度の問題や環境問題と脆弱な火山地域での土地利用や生活様式と時間の概念を踏まえた防災・減災のあり方を論じる．

なお，本論文は，2015 年に著者が，日本応用地質学会誌に掲載した論説「激甚化する気象現象に係わる火山地域での豪雨災害などの特徴と課題」¹⁾を参考にしてまとめたものである．

2.1.2 土砂災害を発生させやすい火山地域の分布と割合

土砂災害を発生させやすい火山地域は，日本の面積のどのくらいを占めるのか調べてみた．ここで，火山地域としては第四紀火山だけでなく，新第三紀の火山岩類の分布地域を含める．これは，新第三紀の火山岩類は固結度の低いものを含み，風化しやすく豪雨

表 2.1.1 最近の著者の自然災害調査一覧

種別	年代	災害名	論文発表等
豪雨	1998. 8	白河土砂災害	○
	1998. 9	七宗土砂災害	○
	2004. 10	水俣土砂災害	○
	2009. 7	山口土砂災害	○
	2010. 7	中濃土砂災害	○
	2010. 7	庄原土砂災害	○
	2010. 7	島根土砂災害	
	2010. 9	足柄・小山土砂災害	○
	2011. 9	紀伊半島土砂災害	○
	2012. 8	九州北部土砂災害	○
	2013. 8	岩手・秋田土砂災害	
	2013. 9	京都・滋賀・福井土砂災害	○
	2013. 10	伊豆大島土砂災害	○
	2014. 7	南木曾土砂災害	
	2014. 8	広島土砂災害	
	2014. 10	横浜土砂災害	
融雪	2010. 7	七五三掛地すべり災害	
	2012. 3	国川地すべり災害	○
地震	1995. 1	阪神・淡路大震災	○
	2000. 7	伊豆諸島地震災害	○
	2000. 10	鳥取県西部地震	
	2004. 10	新潟県中越地震	○
	2005. 3	福岡県西方沖地震	
	2007. 3	能登半島沖地震	○
	2007. 7	中越沖地震	○
	2008. 6	岩手・宮城内陸地震	○
	2011. 3	東日本大地震	○
	2011. 3	長野北部地震	○
	2011. 4	いわき地震	○
	2014. 11	長野県北部（白馬村）地震	
火山噴火	1991. 6	雲仙普賢岳	○
	2000. 3	有珠山	○
	2000. 6	三宅島	○
	2011. 1	新燃岳	○
	2014. 9	御嶽山	

による浸食や崩壊を受けやすいためである。表 2.1.2 は、産総研によるシームレス地質図²⁾から新第三紀以降の火山岩類等を抽出したものである。これによると新第三紀以降の火山岩類は日本面積の 17.3%，新第三紀以降の火砕流堆積物は 5.6%，新第三紀以降の貫入岩類（深成岩は含まず）は 0.5%，第四紀を中心とした火山岩屑・テフラは 2.2%を占め、合計で我が国の面積の約 1/4 (25.5%) は土砂災害が起りやすい新第三紀以降の火山地域と言える。

図 1.2.1 に火山地域の分布の目安として須藤による新第三紀以降の火山岩類の分布を示した³⁾。それによる新第三紀火山岩の分布は 13.1%，第四紀火山岩の分布は 8.76%となっており、合計で約 22%である。これらに、新第三紀以降のテフラや貫入岩を加えるとシームレス地質図の比率とほぼ似た値となっているので、図 2.1.1 はおおまかな火山地域の分布図としてみてよい。これを見ると火山岩類の分布は、日本全国均質に分布しているわけではない。火山地域は北海道地方と東北地方から北陸、山陰、フォッサマグナに連なるグリーンタフ地域・伊豆諸島と九州地方に集中していることがわかる。

特に、日本の南北の端にある全く気候条件の異なる北海道と九州地方に火山地域が多いことがわかる。九州地方は、台風の通り道と言われるように雨が多い地方であり、土砂災害を発生させやすい火山地域では毎年というほど人的・物的被害が出ている。それに対して、北海道地方では台風や梅雨による局地的な降水が少ないが、脆弱な火山地域では土砂災害に注意が必要であろう。

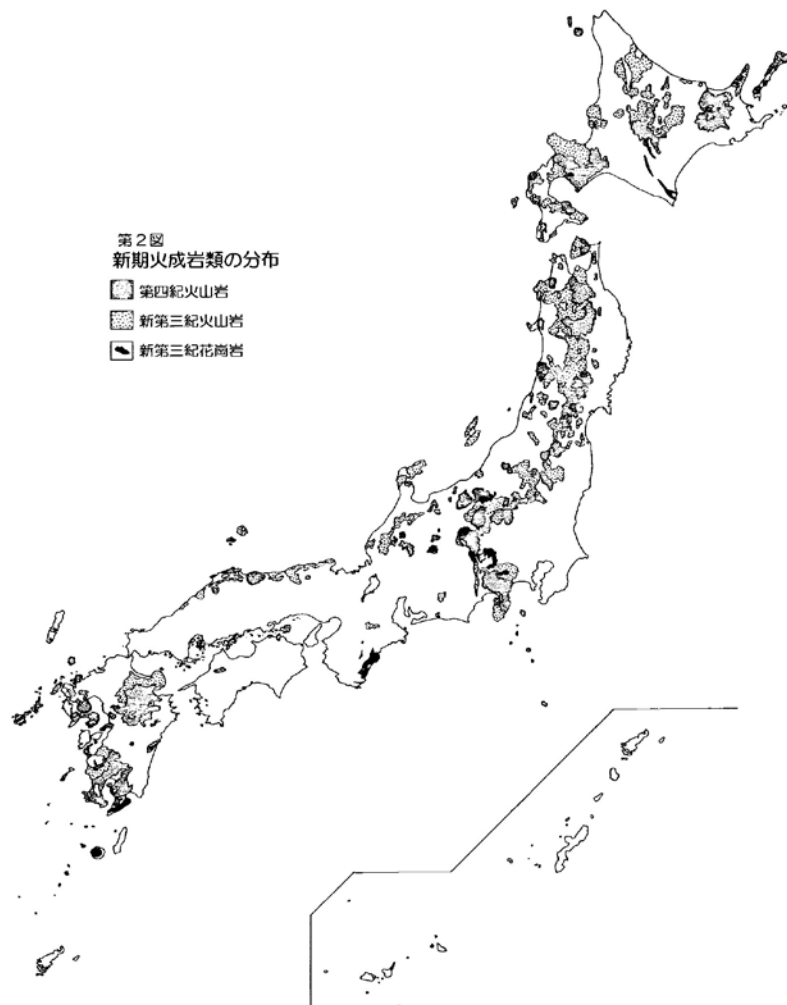


図 2.1.1 我が国の火山地域の分布³⁾

表 2.1.2 我が国の火山性地盤の種類と分布割合

火山性地盤	面積 km ²	割合
新第三紀以降の火山岩類	65,205	17.3 %
新第三紀以降の火砕流堆積物	21,253	5.6 %
新第三紀以降の貫入岩類	1,766	0.5 %
第四紀を中心とした火山岩屑物・テフラ	8,333	2.2 %
合 計	96,557	25.5 %

2.1.3 火山地域の土砂災害

火山地域の土砂災害では、①火山噴火に伴う２次的土砂災害、②地震による土砂災害、③豪雨による土砂災害をあげることができる。この中で火山噴火に伴う２次災害が最も危険性が高い。これは、火山噴火に伴い地表の不安定土砂が増えるとともに、降灰等による地表の浸透能が低下することに起因している。これらの土砂災害は火山噴火災害として扱われることが多い(写真 2.1.1 参照)ので、紙面の都合もあり今回の豪雨土砂災害の対象から除外するが、詳細は「火山工学入門」⁴⁾を参照していただきたい。特に、最近の御岳山噴火でもあるように火山噴火後の豪雨や融雪には十分気を付けたいものである。

次に、火山地域では、地震時に特殊な土砂災害が発生することも注目され始めている。たとえば、写真 2.1.2 は岩手・宮城内陸地震時の荒砥沢地すべりである。千木良は 1949 年今市地震、1968 年十勝沖地震、1978 年伊豆大島近海地震、1984 年長野県西部地震、2011 年東北地方太平洋沖地震等で火山テフラがすべり面となる土砂災害があることを報告している⁵⁾。著者も 2004 年新潟県中越地震での横渡地すべりや 2008 年岩手・宮城内陸地震時の荒砥沢地すべり、2011 年東北地方太平洋沖地震での葉ノ木平地すべりなどの調査を行っており、いずれも軽石層等の火山砕屑物がすべり面となる火山地域独特な土砂災害を起こしている。この火山地域での地震による土砂災害についても、紙面の都合で今回の豪雨土砂災害の対象から除外するが、詳細は「家族を守る斜面の知識」⁶⁾を参照していただきたい。特に、地震前の先行雨量が多い斜面では、地震時の土砂災害が大きくなることを知っておいて欲しい。

本文で焦点を当てたいのは豪雨による火山地域での土砂災害である。この土砂災害は、近年の激甚化している局地的な豪雨が誘因といえる。表 2.1.3 には著者が調査した事例とそれに関連した過去の豪雨災害の参考事例などを示した。次章以降にこれらの災害事例を紹介したい。表 1.3.1 では、火山地域の多い北海道と九州での豪雨土砂災害もあげている。著者の経験では、災害時の雨量は北海道が九州より低く、北海道では豪雨に対する免疫性が低いので九州より雨が少なくとも災害が起こりやすいのではないかと思う。今後、地域ごとの気象条件と土砂災害の起こりやすさに関する詳細な研究が待たれる。

また、局地的な豪雨がどのような地方（たとえば北海道や九州など）で、いつ、どれくらいの規模で起こるか等の気象現象の長期予測についてもわからないことが多いので、局地的な豪雨予測の研究も火山地域での減災・防災として注目していきたい。



写真 2.1.1 2000 年有珠山噴火による泥流で埋まった建物



写真 2.1.2 2013 年岩手・宮城内陸地震時の荒砥沢地すべり

表 2.1.3 火山地域の豪雨災害事例

番号	発生年	災害	気象	連続雨量 (mm)	最大時間雨量 (mm)	死者・行方不明者	地質	地域
1	1958年9月	狩野川台風豪雨(大島)	台風	455.8	87.5	2	第四紀火山砂	伊豆諸島
2	1982年7月	長崎豪雨	梅雨	572	187	299	新第三紀火山岩類	九州
3	1990年7月	阿蘇豪雨	梅雨	448	118.5	8	第四紀火山灰	九州
4	1998年8月	白河豪雨	台風	1250	90	8	第四紀低溶結火砕流堆積物	東北
5	1998年9月	鹿部・南茅部豪雨	台風	300(24h)	73	-	新第三紀火山岩類	北海道
6	2003年7月	水俣豪雨	梅雨	429	91	15	新第三紀火山岩類	九州
7	2010年7月	庄原豪雨	梅雨	174	91	1	三瓶山火山灰	山陰
8	2010年9月	神奈川県北部豪雨	台風	495	70.5	0	富士山宝永スコリア	フォッサマグナ
9	2012年7月	九州北部豪雨	梅雨	508	108	32	第四紀火山灰	九州
10	2013年10月	伊豆大島豪雨	台風	824	122.5	39	第四紀火山砂	伊豆諸島

2.1.4 火山地域での豪雨災害事例

(1) 白河豪雨災害

1998 年 8 月 26 日から 31 日にかけて日本列島を縦断した台風 4 号は、福島県南部および栃木県北部に集中豪雨をもたらした。この局地的な豪雨は福島県西郷村で最大時間雨量 90mm/h、総降雨量 1,250mm を記録し、隣接する大信村を含めて数多くの表層崩壊が発生し、家屋の全壊 15 棟、死者 8 名の被害を出した。

表 2.1.4 および図 2.1.2 からわかるようにこれらの表層崩壊は、崩壊幅 10～20m 程度、崩壊長さ 10～30m 程度の小～中規模のものが多く、崩壊厚さが 1m 未満（平均 53.3cm）ときわめて薄く、崩壊角度が 40° 前後と急である。崩壊箇所は浸食前後の下部で、表流水や地下水が集まりやすい地形や基盤形状の箇所が多く、現地でも崩壊滑落崖にパイピングホールを伴うことが多かった⁷⁾。

さらに、崩壊した崩土は立木を乗せたまま下方に急速に流下している。また、表層直下には植根が入り込む割れ目がない低溶結火砕流堆積物が直接露出している。一般的には表層での根系の斜面安定効果は、図 2.1.3 のように根系による緊縛効果と杭効果で考えられている。根系層(植根により緊縛された土壌層)だけからなるこれらの表層崩壊は、その崩壊形態および表層崩壊での根系の重要性を考慮し、「根系層崩壊⁸⁾」と呼ばれている(図 2.1.4 参照)。このような根系表層崩壊は後に述

べる九州北部豪雨や大島豪雨災害などでも数多く確認されており、火山地域での表層崩壊の一形態と考えてよい。

表 2.1.4 白河豪雨災害による根系層崩壊一覧⁷⁾

NO	崩壊の幅 W(m)	崩壊の長さ L(m)	崩壊の厚さ T(cm)	崩壊の角度 $\alpha(^{\circ})$	植生	胸高径 (cm)	樹林間隔 (m)	地質	割れ目	崩土の運搬距離 (m)	崩土の停止した 角度($^{\circ}$)	集水地形	湧水穴	崩壊面の 凹地
①	20	16	55	38	コナラ	17	4.0	火砕流堆積物	無し(低溶結)	20	0	△	○	
②	17	14	55	39	コナラ	17	4.3	火砕流堆積物	無し(低溶結)	15	0	△	○	
③	11	15	50	40	スギ、コナラ	21	2.5	火砕流堆積物	無し(低溶結)	15	0	△	○	
④	12	10	45	40	スギ、コナラ	15	4.4	火砕流堆積物	無し(低溶結)	70	0	○	○	
⑤	25	31	50	42	スギ、コナラ	17	1.9	火砕流堆積物	無し(低溶結)	41	0	△	○	
⑥	12	10	49	41	コナラ	19	2.5	火砕流堆積物	無し(低溶結)	22	0	△	○	
⑦	9	27	55	40	スギ、コナラ	18	2.2	火砕流堆積物	無し(低溶結)	28	0	○	○	○
⑧	15	13	80	40	スギ、コナラ	23	4.5	火砕流堆積物	無し(低溶結)	32	0	○	△	
⑨	11	7	45	45	コナラ	18	3.5	火砕流堆積物	無し(低溶結)	10	0	x	○	
⑩	7	30	50	46	コナラ	12	2.5	火砕流堆積物	無し(低溶結)	45	0	△	○	○
⑪	17	28	51	44	コナラ	15	2.1	火砕流堆積物	一部あり	50	0	△	○	
⑫	16	15	70	39	スギ、コナラ	13	2.2	火砕流堆積物	無し(低溶結)	38	0	△	○	
⑬	14	24	45	46	スギ	14	2.2	火砕流堆積物	無し(低溶結)	15	0	△	○	
⑭	6	8	45	45	コナラ	9	2.1	火砕流堆積物	無し(低溶結)	15	0	△	△	○
⑮	20	25	60	49	スギ	19	1.5	火砕流堆積物	無し(低溶結)	40	0~3	○	△	
⑯	11	27	46	40	スギ	16	2.1	火砕流堆積物	無し(低溶結)	60	0~3	○	○	○
⑰	11	16	45	40	スギ	15	1.6	火砕流堆積物	無し(低溶結)	45	0~3	△	○	○
⑱	9	41	55	41	スギ	16	2.0	火砕流堆積物	無し(低溶結)	50	3	○	○	
⑲	8	10	77	45	スギ	15	2.1	火砕流堆積物	無し(低溶結)	10	0	○	x	
⑳	10	31	38	45	スギ	18	2.2	火砕流堆積物	無し(低溶結)	25	0	○	△	○
平均	13.1	19.9	53.3	42.3	—	16.4	2.6	火砕流堆積物	—	32.3	0.0	—	—	—

注)○:明瞭に認められる。△:不明瞭ながら認められる。

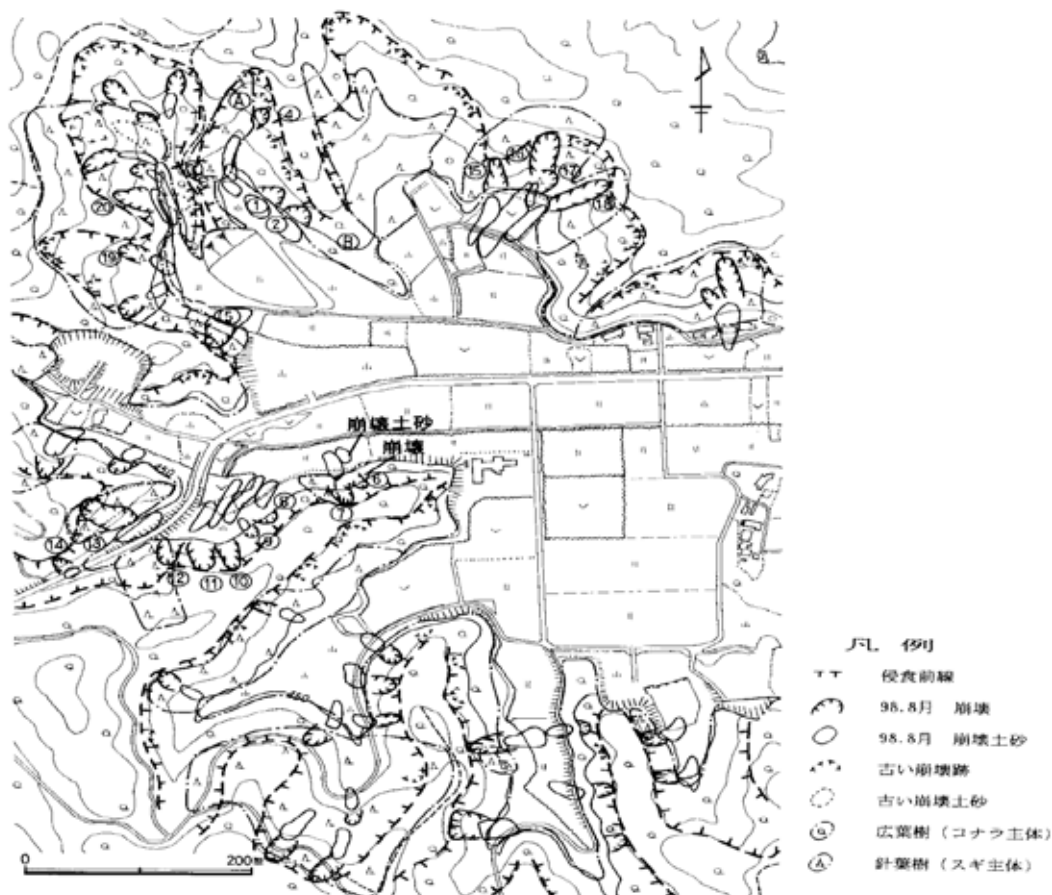


図 2.1.2 白河豪雨災害による根系層崩壊平面図⁷⁾

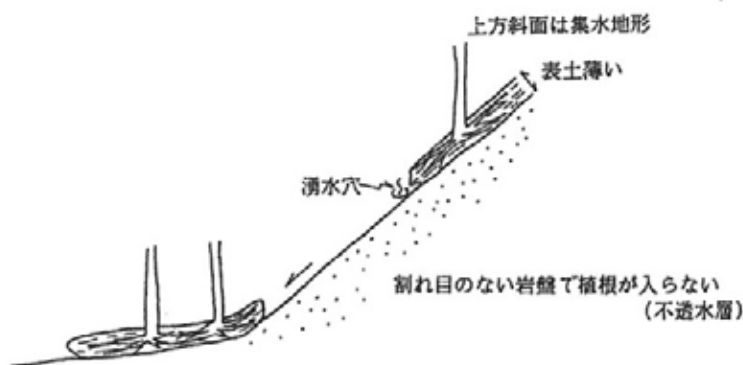
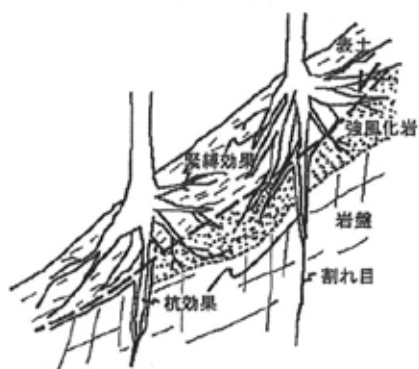


図 2.1.3 植生の根系による崩壊防止効果の概要図⁸⁾

图 2.1.4 根系層崩壞概念图⁸⁾

(2) 水俣豪雨災害

水俣市周辺地域は台風の常襲地域であり、1997年7月の出水市針原地区土砂災害をはじめとして、過去に幾度も豪雨斜面災害が発生している地域である。この地域で2003年7月19～20日に梅雨前線の活発化による線状降水帯での豪雨（最大時間雨量91mm、総雨量429mm：水俣市深川）により、多くの斜面崩壊や土石流が発生した。特に、宝川内川の右岸支流である集川では上流部で大規模なキャップロック型斜面崩壊が発生し、土石流化した土砂が沢出口の集地区を襲い、15名の犠牲者を出した。図2.1.5にはこの時の斜面崩壊と土石流・せきとめ湖の範囲を示した。対象地の地質は新第三紀鮮新世の肥薩火山岩類の帯水層となる安山岩溶岩がその下位の難透水性である角礫凝灰岩の上にキャップロック状に分布している。

図 2.1.5 によると、山頂溶岩台地の谷密度が小さいことから、この安山岩は透水性が高いことが推定される。台地上の安山岩内に貯留された地下水が、下位の角礫凝灰岩との境界で湧水し、大小様々な斜面崩壊が発達しやすい地形地質条件であるといえる。図 2.1.6 および写真 2.1.3 に示したように、斜面崩壊はこの溶岩台地端部（遷急線）で発生し、一部対岸に乗り上がりながら溪流を高速で流下した。また、集川の出口には古い沖積錐があり、過去に土石流が発生したことを示している（図 2.1.5）。

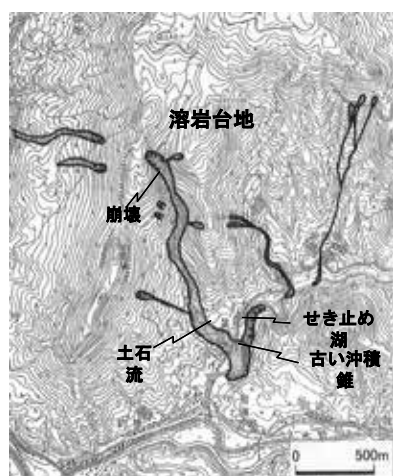


図 2.1.5 水俣豪雨災害平面図⁹⁾

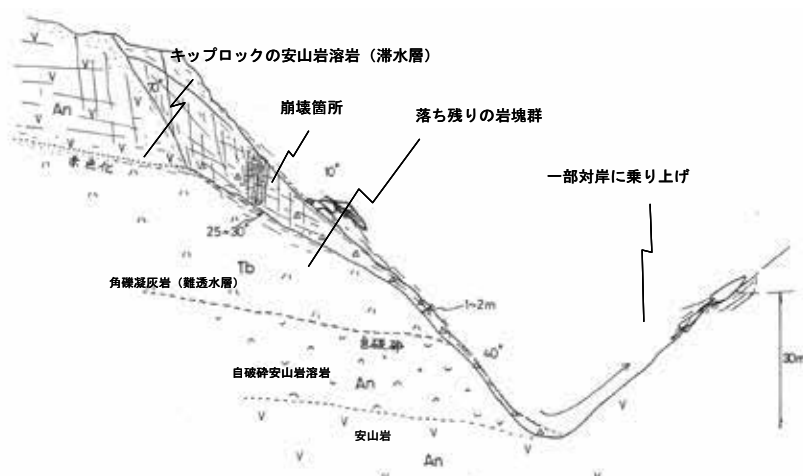


図 2.1.6 水俣豪雨災害断面図⁹⁾



写真 2.1.3 水俣豪雨災害時の大規模崩壊



写真 2.1.4 水俣豪雨災害での土石流被害

大規模な土石流を発生させる崩壊の規模を推定することはむずかしいが、地形や地質を読み解くことで地域の斜面崩壊や土石流のハザードマップの作成は可能である。ただし、豪雨災害は実際の降雨がどこに集中するかにもよるため、どの斜面や沢で災害が発生するかを正確に指摘することは難しい。今後、局地的な豪雨がどの地域に発生するのか事前に予測する手法が求められている。

(3) 庄原豪雨災害

2010 年 7 月 16 日の午後 3 時から 6 時にかけて、最大時間雨量 91mm、累積雨量 174mm の集中豪雨が発生した（広島県大戸雨量計による）。この集中豪雨が発生したのは庄原市川北町、西城町を中心とする約 4km×4km の狭い範囲であり、ここだけで 200 箇所以上の同時多発的な表層崩壊とそれに伴う土石流が発生した（図 1.4.3.1 および写真 1.4.3.1 参照）。

庄原地域は吉備高原面に続く標高 600m 前後の小起伏山地であり、この小起伏面は小溪流によって刻まれている。表層崩壊の多くは遷急線付近の小溪流源頭部に位置する凹型斜面に集中し、ここでは、崩壊深は 0.5m から 1.5m で、直径 10cm 程度のパイピングホールが多く認められた。

この地域には中生代白亜紀の流紋岩類、新第三紀中新世の備北層群と呼ばれる堆積岩を基盤として、その上位に三瓶山の火山活動に由来する厚さ 0.5～1.5m のクロボク（風化火山灰層）および崩積土が分布する（写真 1.4.3.2）。したがって、難透水性基盤（流紋岩類、堆積岩）上の未固結のクロボクや崩積土の分布といった比較的透水性の良い土層が表層崩壊を起こしたことになる。

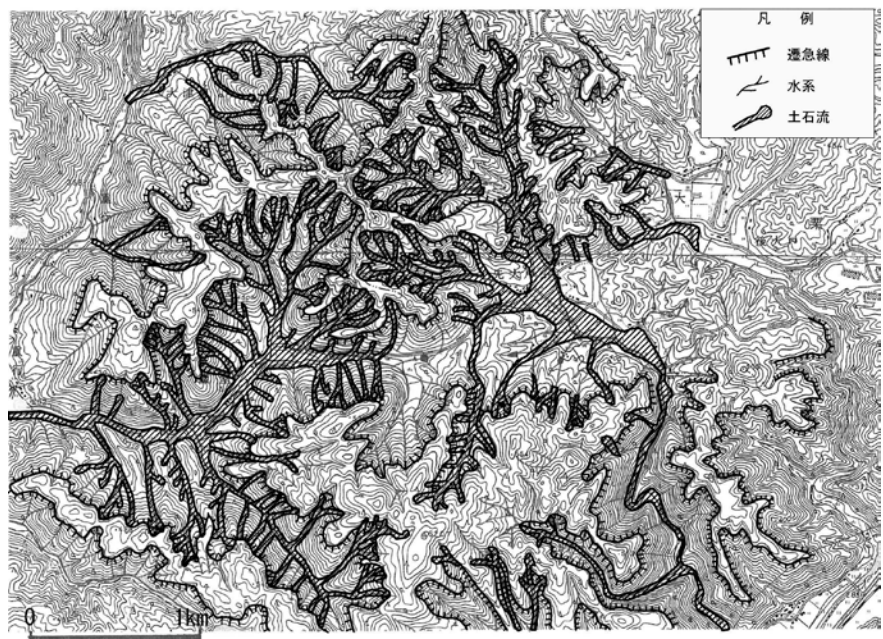


図 1.4.3.1 庄原豪雨災害図¹⁾

また、渓流出口の沖積錐の露頭では数層の古い土石流堆積物が認められ、ここでは過去にも土石流が発生したことを示している。



写真 1.4.3.1 庄原豪雨災害時の土石流被害



写真 1.4.3.2 庄原豪雨災害での表層の三瓶山火山灰黒ボク

(4) 神奈川県北部豪雨災害

神奈川県北部山北地方では、2010年9月8日に、台風9号及びその北東方に位置する停滞前線の活動により、局地的な豪雨による表層崩壊が多数発生した。雨量はアメダス丹沢湖観測所で日雨量495mm、最大時間雨量70.5mmに達し、いずれも1976年の観測開始以来最高値を記録した。

この地域の山頂には緩斜面が分布し、この山頂緩斜面端の遷急線下方は概ね30°以上の急斜面となっている。対象地の基盤地質は、新第三紀の火山角礫凝灰岩や礫岩が主体であり、一部結晶片岩も分布しているが、この地域は富士山火口から西へ約30km程度の距離であり、1707年に噴出した宝永スコリアが斜面に多く残存している。この急斜面に張り付いた宝永スコリアが表層崩壊を起こし、多量のスコリア砂がガリーを形成しながら流木混じりで下流に流出した。

表層崩壊の調査例を図1.4.4.1および写真1.4.4.1に示した。崩壊斜面は長さ80m、比高55m、傾斜30~35°で、深さ0.5~2.0mの表層崩壊とガリーが形成されている。透水性の高いスコリア層にはパイピングホールが認められ、基盤地質と表層のスコリア層との間で透水性の違いがあったことがわかる。この崩壊地脇で、土層強度検査棒により土層深を24地点で測定し、C、D地点で簡易動的コーン貫入試験を合わせて行った。その結果スコリア層の分布は深度0.5~2.5mまでであり、その下にはスコリア堆積前の地山や岩盤が分布し、Nd値が10を超える。土層強度検査棒の貫入深度は、この岩盤の上面までであり、崩壊面の深さは、Nd値>10とよく一致する（図1.4.4.2参照）。このことから、スコリア層直下の旧表土で表層崩壊が発生したことを確認した（写真1.4.4.2参照）。このように表層にスコリア等の未固結な火山灰層が斜面に平行に分布するところでは豪雨時の土砂災害に注意する必要がある。



写真 1.4.4.1 神奈川県北部豪雨による表層崩壊



写真 1.4.4.2 表層崩壊の宝永スコリア

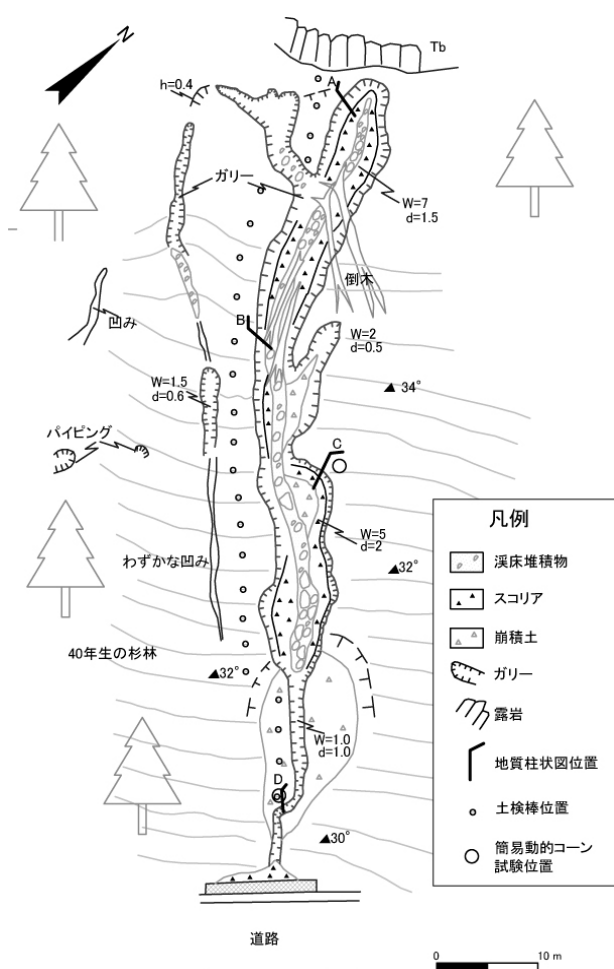


図 1.4.4.1 神奈川県北部豪雨災害時の表層崩壊平面図 ¹⁰⁾

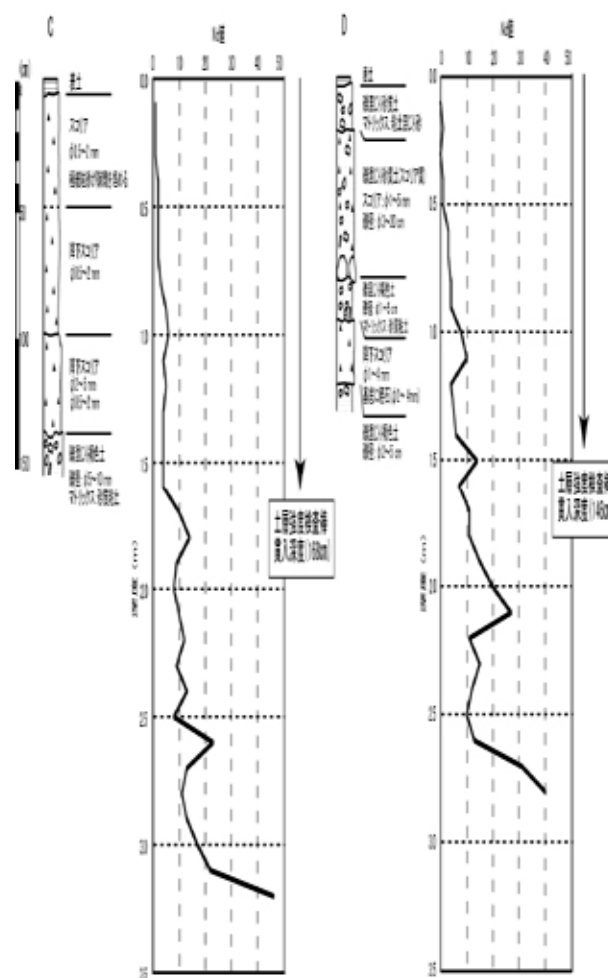


図 1.4.4.2 土質柱状図とサウンディング結果 ¹⁰⁾

(5) 九州北部豪雨災害

2012年7月11日から14日にかけて、本州に停滞した梅雨前線に向かって南西から大量の水蒸気を含んだ空気が流入し、九州北部において記録的な豪雨となった。この豪雨により、熊本県、福岡

県、大分県を中心に、土砂・河川災害が発生し、その被害状況は死者 30 人、行方不明者 2 人となり、崖くずれは 843 箇所にとぼった。

特に、被害の大きかった阿蘇地方では、6 月から 7 月 10 日までの累積降水量は 1,199.5mm（アメダス：阿蘇乙姫）で、豪雨災害が発生する以前にすでに大量の雨が降り注いでいた。7 月 11 日 14 時に降り始めた雨は線状降水帯を形成し、12 日 3 時には時間雨量 106.0mm を記録した。その後も 6 時までの 4 時間にわたり時間雨量 100mm 近くを継続して記録し、7 月 11 日 14 時から 12 日 9 時まで観測された累積降水量は 507.5mm に達した¹⁾。

こうした短時間に集中した豪雨により、透水性の高い表層の黒色火山灰層が表層下の難透水層を境として崩壊した。また、黒色火山灰中には多量の水が含まれており、立木を巻き込みながら容易に流動化した(写真 1.4.5.1)。

この表層崩壊が発生した主要なもの 35 ヶ所を選んで崩壊状況を検討してみた。表 1.4.5.1 がその一覧表である。多くの箇所で表層の黒色火山灰が崩壊したことがわかる。この表層の黒色火山灰層基底では写真 1.4.5.2 に示したようなパイピングホールが認められ、崩壊土砂は多くの流木を混ぜながら土石流化している。過去の 1990 年 7 月に発生した古恵川流域の土砂災害でも集中豪雨によりこれらの黒色火山灰層が表層崩壊を起こし、土石流化して坂梨地区で死者 8 名が記録されている¹²⁾。阿蘇火山地域では、集中豪雨により表層の黒色火山灰層が複数回崩壊していることがわかる。

表 1.4.5.1 九州北部豪雨災害による表層崩壊一覧¹⁾

番号	場所	幅(m)	長さ(m)	深さ(m)	傾斜(°)	植生	崩壊の種類	崩壊の地質	土石流化	記事
1	三久保	40	70	2	25	伐採地・低木	表層崩壊	黒色火山灰	有	2名死亡
2	三久保	45	90	3	42	植林・一部伐採	表層崩壊	黒色火山灰	有	1名死亡
3	麓ノ石	45	95	2	35	草地	表層崩壊	黒色火山灰	有	
4	麓ノ石	35	70	2	40	植林	表層崩壊	黒色火山灰	有	
5	片隅	5	10	1.5	50	植林	表層崩壊	溶結凝灰岩	有	
6	片隅	5	7	1.5	45	植林	表層崩壊	溶結凝灰岩	有	
7	手野	5	7	1	40	植林	表層崩壊	溶結凝灰岩	有	
8	手野	15	30	2.5	45	植林	表層崩壊	溶結凝灰岩	有	
9	手野	40	60	3	35	植林	表層崩壊	黒色火山灰	有	
10	手野	5	7	1	40	竹	表層崩壊	黒色火山灰	有	
11	手野	60	80	2	40	竹	表層崩壊	黒色火山灰	有	
12	手野	7	7	1.2	38	植林	表層崩壊	黒色火山灰	有	
13	手野	3	5	0.7	40	草地	表層崩壊	黒色火山灰	無	
14	三野	3	7	1	40	植林	表層崩壊	黒色火山灰	有	
15	三町	5	10	1	35	植林	表層崩壊	黒色火山灰	有	
16	三町	10	15	1.5	40	植林	表層崩壊	溶結凝灰岩	有	
17	三町	8	10	1	40	植林	表層崩壊	黒色火山灰	有	
18	三町	7	5	1	40	植林	表層崩壊	黒色火山灰	有	
19	三町	6	6	1	38	植林	表層崩壊	黒色火山灰	有	
20	三町	5	10	1	40	草地	表層崩壊	黒色火山灰	有	
21	三町	7	10	1.5	40	草地	表層崩壊	黒色火山灰	有	
22	三町	5	5	1	35	草地	表層崩壊	黒色火山灰	有	
23	三町	5	10	1.5	58	植林・草地	表層崩壊	黒色火山灰	有	
24	三町	5	10	1.5	55	植林・草地	表層崩壊	黒色火山灰	有	
25	三町	15	15	1.5	50	草地	表層崩壊	黒色火山灰	有	
26	三町	8	10	1.5	60	草地	表層崩壊	溶結凝灰岩	有	
27	北坂梨	10	10	2	55	草地	表層崩壊	黒色火山灰	有	
28	北坂梨	5	5	1	50	草地	表層崩壊	黒色火山灰	有	
29	北坂梨	8	10	1	48	草地	表層崩壊	黒色火山灰	有	
30	中坂梨	7	10	1.5	45	植林	表層崩壊	黒色火山灰	有	
31	中坂梨	5	15	1.5	38	竹	表層崩壊	黒色火山灰	有	
32	中坂梨	10	15	1.5	50	広葉樹	表層崩壊	黒色火山灰	有	
33	中坂梨	30	40	2	58	広葉樹	表層崩壊	黒色火山灰	有	国道57号
34	中坂梨	20	30	2	55	広葉樹	表層崩壊	黒色火山灰	有	国道57号
35	中坂梨	35	70	2	60	広葉樹・草地	表層崩壊	黒色火山灰	有	7名死亡
平均		15.1	24.7	1.9	44.1	植林・草地多い	すべて表層崩壊	黒色火山灰多い	ほとんど有	



写真 1.4.5.1 九州北部豪雨災害による表層崩壊



写真 1.4.5.2 表層崩壊の黒色火山灰とパイピングホール

(6) 伊豆大島豪雨災害

東京都大島町では、台風がもたらす湿った空気の影響で、2013 年 10 月 16 日未明から 1 時間 100mm を超える猛烈な雨が数時間降り続いた。10 月 14 日から 16 日までの総降水量は、線状降水帯に入った大島町大島で 824.0mm を記録した。

この降水の最中、防災科学技術研究所等が伊豆大島に設置している地震計に、2 : 00 から 3 : 20 までの間に 6 回の震動が観測されており、土砂災害の発生時刻を示すものと考えられている。この土石流による震動現象は大島の降水量の 1 時間換算値が 120.0mm を越えた時に始まり、大島の累積雨量が急上昇して 400mm を越える頃に当たる。この値は 2 名の死者がでた 1958 年狩野川台風で発生した土砂災害時の大島での累積降水量 (455.8mm) とほぼ一致しており、今後の伊豆大島の豪雨土砂災害対策を考える上で参考になる値である¹³⁾。

土砂災害の概要については、図 1.4.6.1 に示した。表層崩壊が発生した箇所のほとんどが、山地の自然斜面であり、幅は広いが、崩壊の深さは 0.5~0.8m 程度の非常に浅いものが多い。崩壊発生位置は、斜面上方の遷急線の直下が多く、火山砂と流木からなる土砂流で下刻しながら、急斜面を下り、下方の緩斜面に至り、流木を巻き込んだ洪水流となった¹⁴⁾。

この表層崩壊の発生メカニズムがわかりやすい 2 つの崩壊箇所 (図 1.4.6.1 の Loc. 1 及び Loc. 2) について、地質構造と表層崩壊の特徴を述べる。Loc. 1 で発生した表層崩壊は地表下 0.5~0.8m 前後に分布する降下火山砂が崩壊しているのがわかる (図 1.4.6.2 参照)。この降下火山砂は細~中粒であり、斜面に平行に堆積したもので、たいへん透水性がよく植根についてもこの表層に集まっている。その下にはレスと呼ばれている細粒分の多い地層が認められる¹⁵⁾。このレスと呼ばれる地層も斜面に平行に堆積したものであるが、たいへん細かい浮遊じんが空中に滞留していたものが徐々に積もってできた地層でよく締っており、植根の侵入が少なく難透水層となっている。したがって、表層崩壊の発生メカニズムは図 1.4.6.4 に示したように、火山地域特有の地形・地質構造にあり、次のようにまとめることができる。

①素因：斜面表層に斜面と平行したゆるい降下火山砂が堆積しており、その直下に難透水層で植根の侵入を妨げるよく締ったレスが斜面に平行に分布している火山地域特有の地質構造を示す。

②誘因：時間雨量 100mm を越え、累積雨量約 800mm の豪雨。

③発生メカニズム：豪雨が表層のゆるい降下火山砂に多量に浸透し、過剰な間隙水圧が発生した表層の降下火山砂層内の下位の難透水層の上面に水みちを作りながら難透水層上面をすべり面として表層崩壊が発生した。この時、樹木の植根は、降下火山砂層内の緊縛効果は発揮するが、難透水層まで根が侵入していないことが多いので、根の杭効果はあまり期待できず、表層の降下火山砂層が植生と一緒にあって一体化して高速にすべり落ちる根系層崩壊となる。

もう1つの典型的な表層崩壊である Loc. 2 を図 1.4.6.3 に示した。この図からもわかるように、表層崩壊は表層の降下火山砂で Loc. 1 と同様のメカニズムで発生している。ただし、ここでは最下端に 1338 年に流下した元町溶岩とその直上のスコリア層等がみとめられ、その上位に少なくとも 4 層のレスが認められる。これらのレスの間には、透水性の高い降下火山砂層が挟まっており、ここでも部分的に表層崩壊を発生させている。発生した表層崩壊は元町溶岩の分布域では、幅が著しく広がっている。これは、元町溶岩が広範囲に表層崩壊を発生させやすい、傾いた大きな土台を作ったからではないかと考えられる。つまり、この溶岩がなければ谷の発達した通常の火山山麓斜面となり、斜面は谷によって分断され幅の広い表層崩壊は起こりえない。しかも、多くの犠牲者を出した溶岩流上にある神達地区は溪流の発達の悪い緩斜面にあり、その地形的特徴から土砂災害防止法に基づく急傾斜地の崩壊（30°以上の急斜面）や土石流（溪流があること）の警戒区域に指定できない（図 1.4.6.6 参照）。

次に、2013 年 11 月 1 日に大島町によって発表された災害廃棄物量は約 11 万トンであった。その内訳は、表 1.4.6.1 のとおりであり、家屋等からの発生量が約 6,000 トン、流木約 31,000 トン、土砂約 71,000 トン等である。また、災害で出た関連土砂等については、砂防ダム等の土砂が約 15 万トン、港湾施設の土砂が約 6 万トンとなっている。被災した住家が 203 棟、被災した非住家が 182 棟であった。これらの資料や現地調査結果を総合すると今回の災害廃棄物の特徴は、家屋等から出た廃棄物が少なく、土砂と流木がほとんどである。その中でも、流木の量が土砂量と比較しても多いのは、土砂が薄い表層崩壊が林地での多くの立木を巻き込んだことを原因としている。

発生土砂は、火山噴火の経験が豊富な大島町にあって、島内で処理可能である。しかし、流木・家財ゴミについては島嶼部共通の問題であるが、島内での処理能力（年間処理量は約 3,300 トン）が不足しており東京都の支援による島外処分に頼ることになった。林地の多い火山地域での土砂災害では、伊豆大島に限らず流木の処理が大きな課題になりうることを示している。

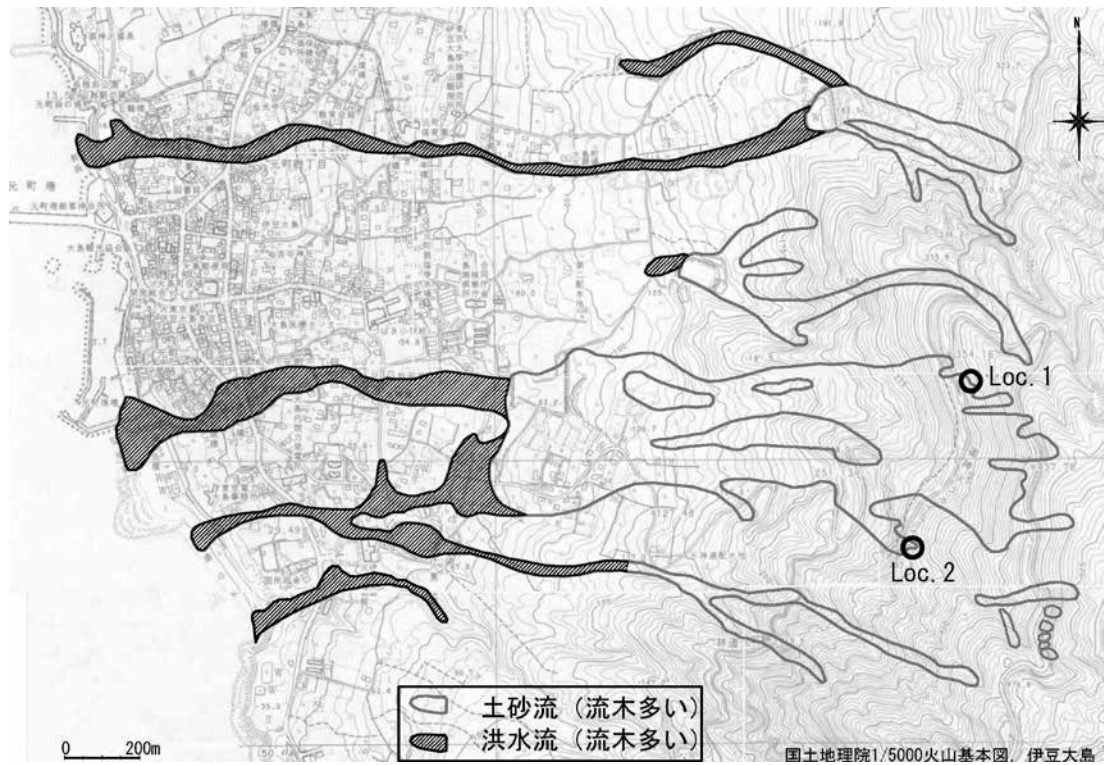


図 1.4.6.1 伊豆大島豪雨災害時の表層崩壊平面図¹⁴⁾

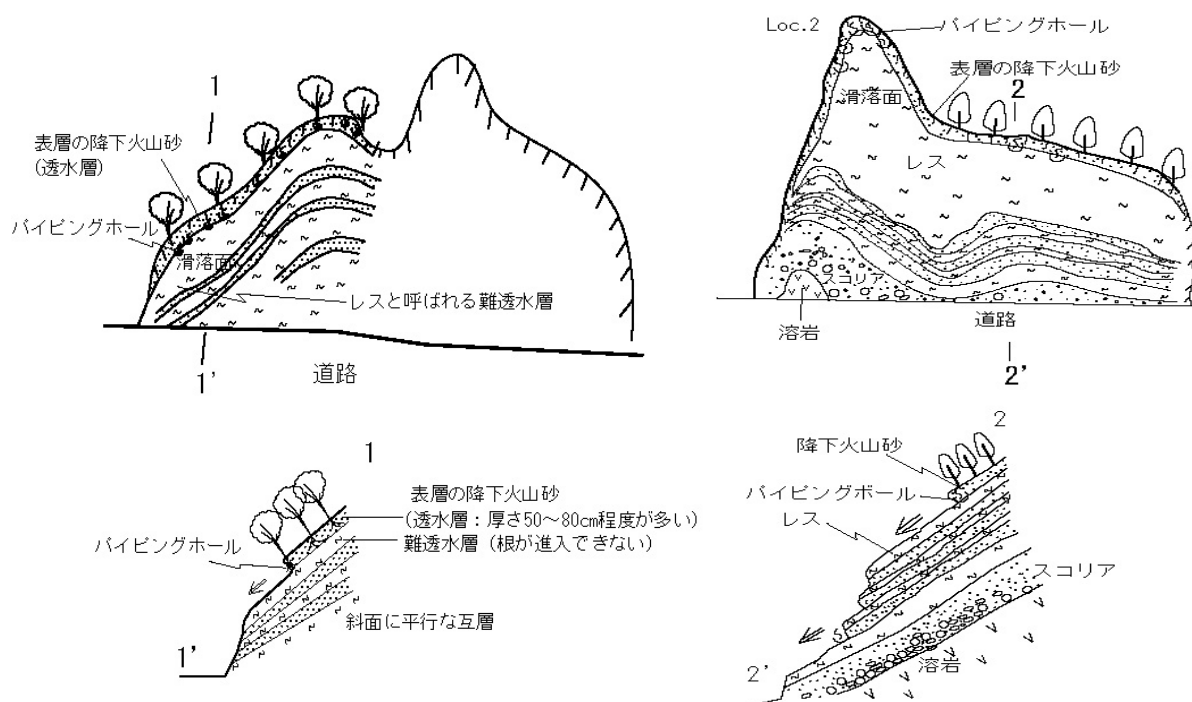


図 1.4.6.2 Loc.1 の表層崩壊状況¹⁴⁾

図 1.4.6.3 Loc.2 の表層崩壊状況¹⁴⁾

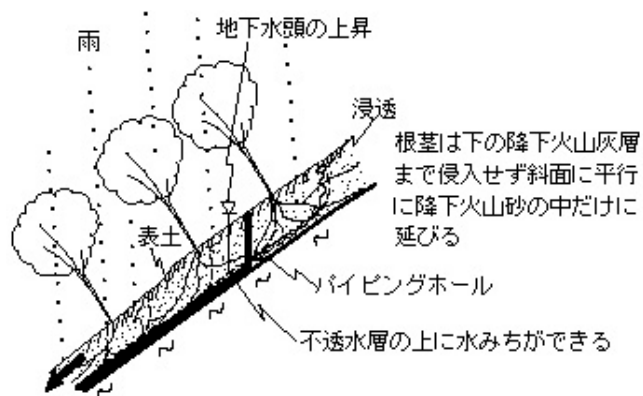


図 1.4.6.4 表層崩壊の発生メカニズム ¹⁴⁾

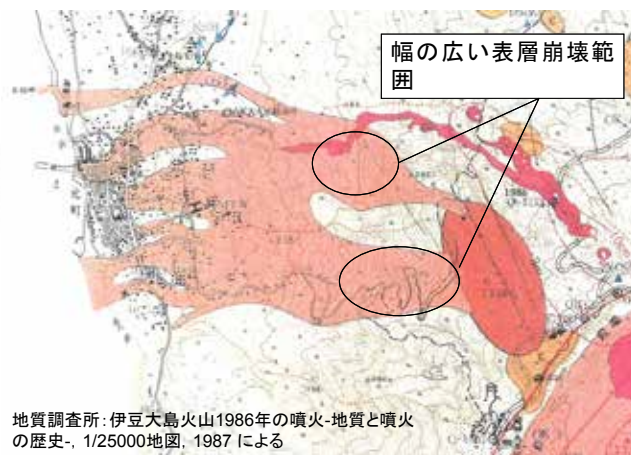


図 1.4.6.5 潜在溶岩台地と幅の広い表層崩壊の発生 ¹⁴⁾

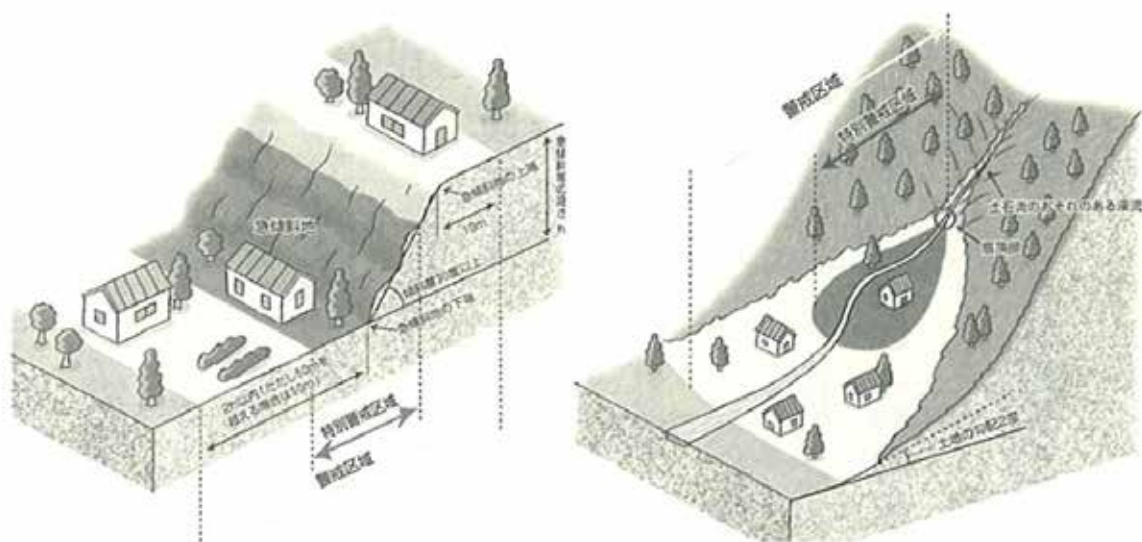


図 1.4.6.6 土砂災害防止法に基づく土石流や急傾斜地の警戒区域や特別警戒区域の対象域

表 1.4.6.1 災害廃棄物等処理見込量 ¹⁶⁾

項目	具体例	処理方法	処理見込量 (t)
廃畳・布団等	浸水被害等を受けた廃畳、布団など	島外処理	200
安定埋立品目	廃プラスチック、ガラス・陶磁器くず	島内処分	200
廃自動車・廃家電	家電製品(エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機、パソコン)、自動車、石油ストーブなど	島内業者等引取	400
金属	解体家屋からの金属製建具、家具等	島内業者引取	(50)※
建設混合廃棄物	上記に含まれない被災家屋廃材・廃家具などの可燃系の混合物	島外処理	4, 400
コンクリートがら	コンクリート	島内利用	2, 800
木くず	流木等(木質系の粗大ごみ(約200トン)を含む。)	島内処理 島外処理・利用	31, 400
土砂	市街地に流入し廃棄物と混在している堆積土砂、泥状物など	島内利用	71, 000
合計(廃自動車・廃家電を除く)			110, 000

※括弧書き数値は、分別等により回収を見込む内数

2.1.5 まとめと今後の課題

先に示した 6 つの事例について、火山地域での豪雨災害の共通点を表 1.5.1 にまとめた。表 1.5.1 によると、降水パターンが線状降水帯であるものが半数ある。局地的な豪雨が今後、どのような地域でどのくらい発生していくか、その時どこで土砂災害が発生するのか、予断を許されない状況である。今後、気象学と地盤工学との協働が必要となる。今回の研究事例では、豪雨による斜面崩壊がほとんど遷急線に関連している。これは、火山地域に特化した現象とは思えないが、火山地形と関連した崩壊箇所と考えたい。崩壊形式は、規模の小さい表層崩壊が多く、一部キャップロック型の規模の大きな斜面崩壊が発生することがある。キャップロック型の崩壊は溶岩台地が尾根に発達する箇所となる。表層崩壊は集水地形で発生するが、地表に透水性の高い火山灰層が斜面に平行に堆積するという火山地域独特の地質構造が素因となっている。火山地域では土地利用として林地となることが多く、このような地質構造のところでは根系層崩壊を発生させやすく、崩壊土砂は流木が多い高速の土石流となって流下しやすい。表層の火山灰層などに多量の滞水があったことは、表層でパイピングホールが見られたことからわかる。

幅の広い表層崩壊が発生した伊豆大島豪雨では、斜面下に潜在する溶岩が斜面と平行に分布することが分かっている。このような斜面では溪流の発達が悪く、緩斜面となる。したがって、このような緩斜面は土砂災害防止法の急傾斜の崩壊や土石流の警戒区域にはならないにもかかわらず、現実として土砂災害が発生した。すべての火山地域とは言わないが、潜在する溶岩が分布する火山地域での独特な現象として留意すべきである。

次に、新第三紀以降の火山岩類が分布する火山地域での土砂災害の特徴をまとめると表 1.5.2 に示したとおりである。火山噴火の二次災害や地震時の斜面崩壊も含めて、豪雨時の災害では、火山地域の地質構造上から表層火山灰層等の崩壊を最も警戒したい。また、尾根に溶岩台地のある斜面ではキャップロック型での規模の大きな崩壊が起こりやすい。その他、土砂災害の反復や、根系層崩壊、流木の多い高速の土石流にも注意したい。今後、これらに留意した調査・研究が必要となる。また、土砂災害防止法などの通常の土砂災害の想定を越えた地質構造があるものであり、今後土地利用を含めた防災・減災上の課題がある。さらに、豪雨災害で発生した廃棄物の処理方法についても課題が多い。表 1.5.3 には、火山地域での災害廃棄物の特質についてまとめた。それによると、気象災害や火山災害に留意すべき点が多く、豪雨災害では水分や土砂が問題となる浸水災害や土砂災害に注意したい。

さて、わが国では火山地域が 1/4 を占め、その大部分は人が生活していくには急傾斜の山地で林地となっている。しかし、火山地域には急傾斜地の他に広く緩斜面が分布し、集落が立地し農作が行われている地域がある。この火山山麓緩斜面や、土石流や土砂災害によって形成された谷沿いの斜面は、さまざまなタイムスケールのもとに形成された地形で、自然災害の繰り返しによって形成されたものも含まれる。このような火山地域では、人々の生活スタイルはそれぞれの自然災害を念頭に入れたものでなくてはならない¹⁷⁾。そこでは、表 1.5.4 に示すような時間の概念を入れた土地利用や生活様式が重要となる。

つまり、1 ヶ月～1 年という頻繁に起こる自然災害は災害規模が小さく、そこでの土地利用は一時的で仮設的なものがよく、対応としては法的規制や短期予測と避難のための情報伝達ができれば人的被害は回避可能である。ただし、物的損害は短期予測では対応できないので、保険制度の利用が考えられる。

1 世代 (25 年) という中程度の頻度で起こる災害は中規模なものが多い。その土地利用はキャンプや旅行のような小滞在か別荘地など常時生活を伴わないものがよく、短～中期予測と災害規模にあったハードな対策を行うことになる。この場合にも、法的規制や避難計画や復旧計画、予防・避難のための情報伝達などソフト面の対応も重要となる。

また、100 年以上という頻度の災害については大規模なものが含まれている。この中でも規模の比較的小さいものについてはハードな対策を講じることも可能である。しかし、その土地利用は災害頻度にもよるが、住居など常時生活する規模の集落が立地し、都市化が進むことがある。2014 年に発生した広島豪雨災害が火山地域ではなかったが、その例にあたる。これは、人による伝承が三世代で途切れることが多く、100 年以上の間隔でおこる災害は次の世代に伝わりにくいためでもある。こうしたことから、石碑等による長期に渡って災害情報を伝える仕組みが必要となる。したがって、ソフト面では長期を見据えて避難計画、復旧計画や、土地利用の法的規制や支援などが肝要で、被災状況を想定した事前復旧計画を立案しておくことも重要となる¹⁷⁾。

最後に、国土が狭く土地を集約的に利用しなければならない我が国において、国土の 1/4 を占める土砂災害に弱い火山地域をいかに安全かつ有効に利用するかは重大な課題であり、火山地域の土地利用はこのような自然災害を軽減しながら、火山の利点を最大限に引き出し、自然現象と暮らしが共存していくことが重要となる。

表 1.5.1 火山地域での 6 つの豪雨災害事例の共通点と相違点¹⁾

番号	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6
事例	白河豪雨	水俣豪雨	庄原豪雨	神奈川北部豪雨	九州北部豪雨	伊豆大島豪雨
線状降水帯		○			○	○
集水地形	○		○	○	○	○
遷急線	○	○	○	○	○	○
地質	低溶結火砕流堆積物	安山岩溶岩凝灰岩	風化火山灰(クロボク)	宝永スコリア層	黒色火山灰	火山灰
斜面に沿った透水層の異なる地層分布	○	○	○	○	○	○
表層崩壊	○		○	○	○	○
キャップロック型崩壊		○				
根系層崩壊	○		○		○	○
幅の広い表層崩壊						○
パイピングホール	○		○	○	○	○
高速流下	○	○	○	○	○	○
土石流化	○	○	○	○	○	○
流木が多い		○	○	○	○	○
土砂災害防止法の対象外領域での災害の出現						○

表 1.5.2 火山地域での土砂災害の特徴¹⁾

全般	全国の約1/4の面積を占め、土砂災害に弱い
火山噴火二次災害	火山噴火に伴う二次災害として、噴火後の地表の不安定土砂量の増加や地表の浸透性の低下に関連する後続豪雨による土砂災害が急増する
地震時	地震時、軽石層などの火山砕屑物層をすべり面とする斜面崩壊や地すべりが発生しやすく、先行雨量があった場合は被害が大きくなる
豪雨時	火山地域の地質・地質構造上から豪雨時に火山灰層等の表層崩壊が多発する
	キャップロック型の大規模な崩壊が発生する。この場合には下流部で想定を越える被害が発生することがある
	反復した、土砂災害が発生しやすい
	根系層崩壊が発生しやすい
	崩壊した土砂が、土石流や泥流として速く遠くまで流下し、被害を広げる
	流木を含むことが多く、被害を大きくする
	災害廃棄物として流木が多い
	広い溶岩流の分布斜面では、土砂災害防止法の警戒地域の適用外で土砂災害が発生することがある

表 1.5.3 火山地域での災害廃棄物の特質⁴⁾

区 分 種 類		原 因	災害の呼称名		廃棄物の状態		
					水分	土砂	燃焼
気象 災害	豪雨(水害)	低気圧、台風、前線 による集中豪雨など	浸水災害	外水氾濫(河川水の氾濫)	◎	◎	×
				内水氾濫(下水等の氾濫)	◎	△	×
			土砂災害	土石流	◎	◎	△
				地すべり	○	◎	△
				がけ崩れ(急傾斜地崩壊)	△	◎	△
	雪害	大雪、融雪	雪崩		◎	○	×
	風害	低気圧や台風によ風、 暴風、竜巻などの突風	倒木被害		△	△	△
			建造物の破損・倒壊		△	△	△
	塩害	海水、海水の 混じった風	高潮・高波		○	△	×
	雷・雹	落雷や雹	感電事故・火災		△	×	△
火山災害	火災	異常乾燥などによる火災	自然発火による山火事		×	×	◎
	火山活動(噴火等)		火山泥流・土石流		◎	◎	△
			火砕流・火砕サージ		×	◎	◎
			降下火砕物(噴石、降灰)		△	◎	△
			溶岩流		×	◎	◎
			地殻変動		△	○	△
			山体崩壊・崩落		○	◎	○
			津波・洪水		◎	○	×
			火山ガス・噴煙		×	×	△

備考) ◎：良くある，○：ある，△：まれにある，×：ないと考えてよい

表 1.5.4 火山地域での時間概念を入れた土地利用のあり方¹⁸⁾

自然災害の頻度	災害規模	自然災害の種類	土地利用のあり方	人的対応
1ヶ月	極小	河川内の増水	レクリエーション (日帰り)	短期予測, 避難の ための情報伝達
1年	小	小落石, 河川内増水	小滞在	短期予測とハードな 対策工, 予防・避難 のための情報伝達
1世代(25年)	中	斜面崩壊, 落石, 流水, 土石流, 火山性地震, 小噴火, 降灰	別荘地, 観光, 畑	中期予測とハードな 対策工, 避難計画と 復旧計画
100年	大	斜面崩壊, 岩石崩壊, 小火砕流, 大洪水, 火山噴火, 泥流, 降灰	住居, 集落, 水田	長期予測とハードな 対策工, 避難計画と 復旧計画, 法的規制 や支援
1000年	大	斜面大崩壊, 岩屑なだれ, 火山噴火, 火砕流, 溶岩流	都市, 文化	長期予測, 避難計画 と復旧計画
10000年～	超大	火山大噴火, 気象変化	人類の生存, 文明	過去の災害事例の 研究による長期 予測, 災害情報の 世代を超えた伝達

参考文献

- 1) 稲垣秀輝 (2015) : 激甚化する気象現象に係わる火山地域での豪雨災害などの特徴と課題, 応用地質, Vol. 55, No. 6, pp. 1-11.
- 2) 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2011) : シームレス地質図 (1/20 万)
- 3) 須藤定久 (2007) : II. 日本における各種岩石・地層の分布比率, 平成 18 年度骨材資源調査報告書, P61.
- 4) 土木学会火山工学研究小委員会編 (2009) : 火山工学入門, 丸善, 261p.
- 5) 千木良雅弘 (2014) : 近年の地震による急激な地すべりから学ぶもの, 日本地すべり学会シンポジウム - 大規模地震に備えた地すべり技術の展望 -, pp. 2-5.
- 6) 土木学会斜面工学研究小委員会編 (2009) : 家族を守る斜面の知識, 丸善, 162p.
- 7) 稲垣秀輝 (1999) : 1998 年台風 4 号による福島県白河地方での表層崩壊の特徴, 応用地質, Vol. 40, No. 5, pp. 306-315.
- 8) 稲垣秀輝 (2002) : 根系層崩壊, 土と基礎, Vol. 50, No. 5, pp. 5-7.
- 9) 日本応用地質学会応用地形学研究小委員会編 (2006) : 応用地形セミナー-空中写真判読演習-, 4. 1 豪雨斜面災害を予測する, 古今書院, pp. 128-134.
- 10) 下河敏彦・稲垣秀輝・小坂英輝・鶴澤貴文 (2013) : 斜面表層の簡便な土層強度調査と対策工の提案-平成 22 年 9 月神奈川県北部豪雨災害の調査事例-, 砂防学会誌, Vol. 65, No. 5, pp. 41-44.
- 11) 土木学会斜面工学研究小委員会編 (2012) : 熊本県阿蘇周辺の土砂災害調査報告, 土木学会, 27p.
- 12) 村田重之・渋谷秀明 (1992) : 1990 年 7 月豪雨による熊本県阿蘇郡一の宮町古恵川の砂防・治山ダムの破壊と流出土砂量, 自然災害科学, Vol. 11, No. 3, pp. 175-185.
- 13) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成 25 年 1 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団 (2014) : 平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害調査報告書, 90p.
- 14) 稲垣秀輝 (2014) : 平成 25 年 10 月伊豆大島土砂災害の表層崩壊の発生機構と災害廃棄物, 日本応用地質学会平成 26 年度研究発表論文集, pp133-134.

- 15) 小山真人・早川由紀夫（1996）：伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史,地学雑誌, Vol. 105,No. 2,pp. 138-162.
- 16) 大島町（2013）：平成 25 年 12 月大島町災害廃棄物等処理計画, 20p.
- 17) 稲垣秀輝（2001）：暮らしとその安全のための応用地質,応用地質, Vol. 42,No. 5,pp. 314-318.
- 18) 稲垣秀輝・小坂英輝（2001）：火山地域の地形・地質の特徴と自然災害によるリスクマネジメントによる土地利用 那須火山地域を例として, 応用地質, Vol,42,No. 3,pp149-162.

2.2 阿蘇土砂災害で見られた火山地域の土砂移動の特徴

宮崎大学農学部 清水 収
鹿児島大学農学部 地頭 蘭 隆

2.2.1 はじめに

2012 年 7 月 11 日から 14 日にかけて、梅雨前線に向かって南から湿った空気が流れ込んだため、九州北部の広い範囲で記録的な大雨となった。この大雨は気象庁により平成 24 年 7 月九州北部豪雨と命名された。これによる被害のうち、阿蘇地域の甚大な土砂災害は 7 月 12 日未明の集中豪雨で発生した。アメダス阿蘇乙姫の観測記録によると、7 月 12 日午前 2 時から午前 6 時まで時間雨量 80 mm から 100 mm の雨が 4 時間連続で降り、午前 1 時から午前 7 時までの 6 時間の合計は 459.5 mm に達した。また、最大 1 時間降水量は 108 mm に達し観測記録 1 位を更新した。

筆者らは、阿蘇カルデラ北東部の阿蘇市一の宮町地区において、多数の崩壊と土石流が同時多発的に発生したこの土砂災害を調査した。本論では、調査の結果認められた土砂移動の特徴について紹介する。

2.2.2 崩壊・土石流の発生形態

今回発生した崩壊や土石流の形態を類型化し、それらを図 2.2.1 に模式的に示した。

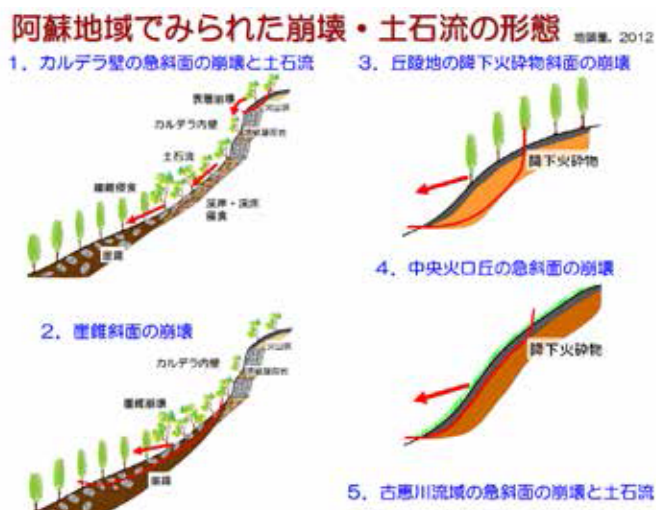


図 2.2.1 阿蘇地域でみられた崩壊・土石流の形態（久保田ら、2012 に一部加筆）

次に、それぞれタイプについて事例を紹介する。まず、カルデラ壁の急斜面の崩壊と土石流である。これは、図 2.2.2 に示すようにカルデラ壁上部の急斜面で表層崩壊が発生し、雨量が多かったために崩壊土砂は流動化して谷地形を流れ下った。そして、流下の途中で溪床・溪岸を連続的に侵食していき、土石流となって下流へ流出したものである。



図 2.2.2 カルデラ壁の急斜面の崩壊と土石流

そのうち、土井川における崩壊と土石流の詳しい状況を図 2.2.3 に示す。カルデラ壁の急斜面の崩壊は、火山灰を主体とする表層土がすべり落ちた表層崩壊である。土砂は流動化して溪流を流れ下った。途中、溪岸・溪床を侵食して溶結凝灰岩の転石や樹木を取り込んで土石流となり、下流の集落を襲った。



図 2.2.3 土井川流域の崩壊と土石流

同じタイプの坂梨の事例を図 2.2.4 に示す。ここでも、カルデラ壁急斜面で火山灰を主体とする表層土がすべり落ちる表層崩壊が発生した。流動化した土砂は流下の途中、カルデラ壁脚部に発達した崖錘を大規模に侵食した。崖錘の侵食土砂と崖錘上に生育していた樹木が流出して土石流となり、下流集落に氾濫して大きな被害が発生させた。



図 2.2.4 坂梨の崩壊と土石流

次は、図 2.2.5 に示すような崖錘斜面の崩壊である。カルデラ壁の中腹から脚部にかけては崖錘が発達し、そこにはスギ等が植林されている。今回の災害の特徴として、崖錘斜面が崩壊し土砂と樹木が流れ下り、下方の集落を襲った。崖錘の崩壊の深さは、カルデラ壁急斜面の表層崩壊の深さよりも大きく、崩壊土砂量が多かった。また、傾斜 30 度未満で急傾斜地の危険箇所として抽出されない斜面が崩壊して、大きな被害を発生させていた。さらに、図 2.2.5 の事例では、崩壊土砂の流動性が高く土砂と樹木の流下距離が長いことが特徴であった。崖錘斜面の崩壊は、雨量が非常に多いときの起こる現象と思われる。



図 2.2.5 崖錘斜面の崩壊

次に、図 2.2.6 に示すように丘陵地の降下火砕物斜面の崩壊が認められた。このタイプは発生数が少なかったが、非常に雨量が多いために発生した現象と思われた。カルデラ壁の裾野に分布する丘陵地には、火山灰などの降下火砕物が厚く堆積している。丘陵地の傾斜が急でない斜面で、降下

火砕物が深さ 4m ほどで崩壊した。急傾斜地の危険箇所として抽出されない斜面で、土砂量の大きな崩壊が発生した点が注目される。なお、ここでも土砂が長い距離を流動した。

3. 丘陵地の降下火砕物斜面の崩壊



図 2.2.6 丘陵地の降下火砕物斜面の崩壊

次は、図 2.2.7 に示すように中央火口丘の急斜面の崩壊である。中央火口丘の草地や林地の急斜面において、火山灰を主体とする表層土がすべり落ちる表層崩壊が多発した。崩壊は小規模であるが多数発生したため、崩壊から流出した土砂が河道に大量に堆積した。

4. 中央火口丘の急斜面の崩壊



図 2.2.7 中央火口丘の急斜面の崩壊

最後は、図 2.2.8 に示すように古恵川流域の急斜面の崩壊と土石流である。古恵川流域の急斜面で多くの崩壊が発生し、その土砂は急勾配の溪流を流下しながら、溪床の岩塊を巻き込んで土石流となった。土石流は溪岸侵食や斜面脚部侵食に伴う溪岸崩壊を引き起こし、多量の土砂を運搬して下流に堆積させた。

5. 古恵川流域の急斜面の崩壊と土石流

古恵川流域の急斜面で崩壊
土砂は急勾配の渓流を流下、溪床の岩塊を巻き込んで土石流
土石流は渓流側壁の侵食や脚部侵食に伴う溪岸崩壊を引き起こす
多量の土砂が下流に堆積



図 2.2.8 古恵川流域の急斜面の崩壊と土石流

以上の土砂移動現象の発生時刻を調べたところ、これらは同じ雨量で起こったのではなく、雨が降り続く中で次々に起こっていったことが分かった。現地調査により発生時刻が分かった9事例を、それぞれの近傍の雨量観測地点のハイトグラフに記載したのが図 2.2.9 である。

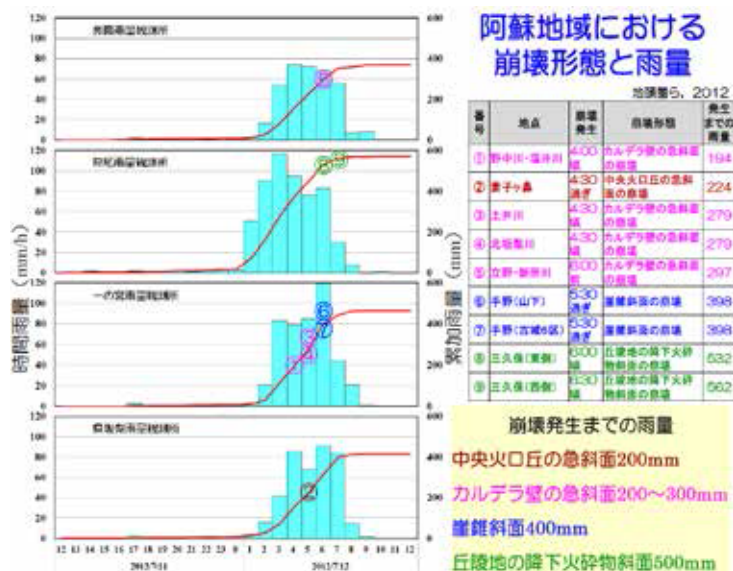


図 2.2.9 阿蘇地域における崩壊形態と雨量

各崩壊タイプの発生までの累加雨量は、中央火口丘の急斜面の崩壊で 200mm 程度、カルデラ壁の急斜面の崩壊で 200~300mm 程度、崖錘斜面の崩壊で 400mm 程度、そして丘陵地の降下火砕物斜面の崩壊で 500mm 程度であった。したがって、雨が増えるにつれて別のタイプの崩壊が起こっていったとみなされる。もしも、累加雨量 200~300mm 程度で雨が止めば、中央火口丘やカルデラ壁の急斜面の表層崩壊で終わった可能性があるが、それ以上の雨量となったので、相対的に壊れにくい崖錘斜面や丘陵地の緩斜面でも崩壊が発生したと解釈される。

2.2.3 石礫や流木の長距離移動

この阿蘇の災害では、崩壊土砂の移動距離が長かったのが特徴であった。また、流れ下った土砂に石礫や流木が多く含まれていたことが、家屋等の破壊の程度を大きくしたと考えられた。そこで、3つの事例を詳しく調査し、石礫と流木の長距離移動の実態を把握した。

1番目は、図 2.2.10 に示す古城地区の崖錘斜面の崩壊である。図中の測点 7 が急傾斜地の下端で、そこから崩壊土砂到達先端の測点 1 までの平均傾斜は 11 度である。図中の黒丸は全壊した家屋が存在した位置を示し、それらは測点 7 (急傾斜の下端) から 120m 及び 160m 離れている。したがって、急傾斜の下端から 100m 以上遠方において家屋が全壊したことが分かる。図中の右図に示すように、急傾斜の下端から 70m までの範囲には、直径 2m~0.8m の大きな石礫が 10m×10m の方形区に 5 個以上の分布密度で到達していた。また左図に示すように、家屋全壊地点には直径 2m~1m の石礫が到達しており、最遠到達点は急傾斜の下端から 180m 離れた位置で、そこに直径 1m の石礫が達していた。

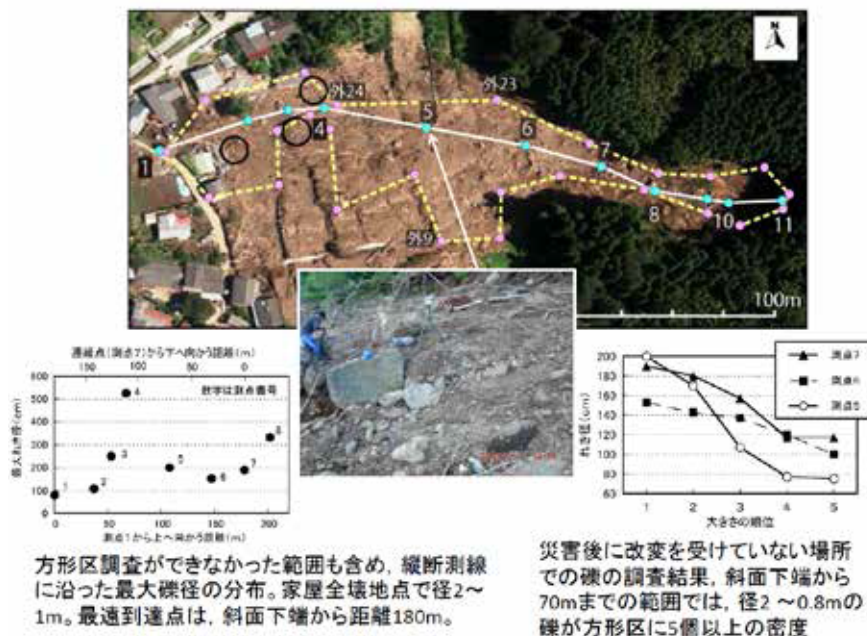


図 2.2.10 古城地区の崖錘斜面の崩壊における石礫の長距離移動

2番目は、図 2.2.11 に示す手野地区の崖錘斜面の崩壊である。図中の測点 1 から測点 6 まで傾斜 30 度未満の斜面において崩壊が発生し、黒丸の位置にあった家屋が全壊した。測点 8 から 13 までは平坦な農地であったが、ここに崩壊土砂と流木が氾濫堆積し、その氾濫域の外縁に沿うように舌状に流木が分布した。流木は 10m×10m の方形区に 10 本以上の分布密度で堆積し、流木の最遠到達点であった測点 12 は平地を 120m 移動した位置である。こうした状況から、水の多い段波のような流れの先端に多くの流木が含まれ、それが平地を放射状に拡がりながら移動し、100m 程進んだ所で停止したと考えられる。

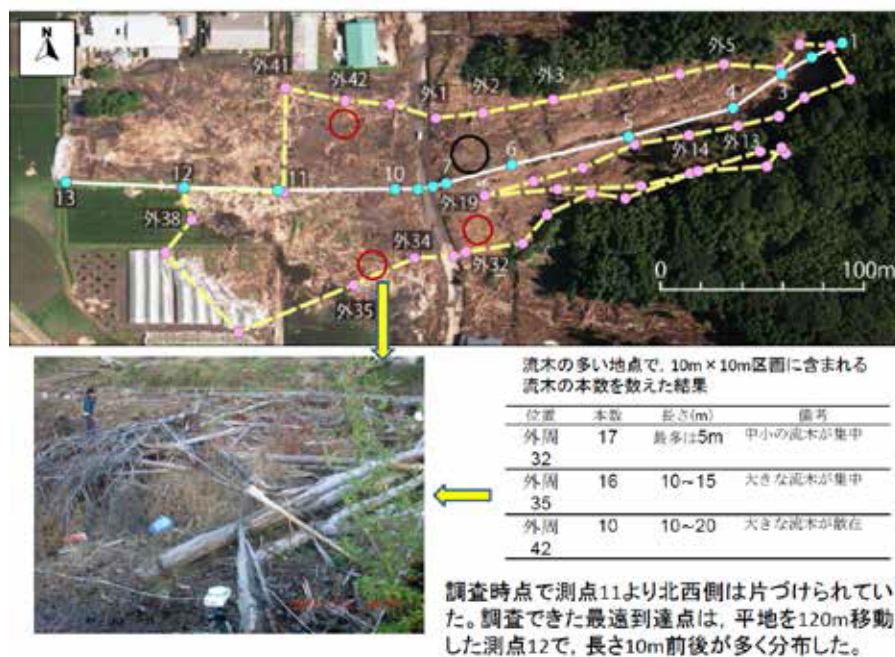


図 2.2.11 手野地区の崖錘斜面の崩壊における流木の長距離移動

3番目は、図 2.2.12 に示す坂梨地区の土石流である。ここは滝を伴った高さ 50m 程の急崖によって、上流と下流の地形が不連続になっている。上流で発生した表層崩壊の土砂と多量の流水が滝を落下し、滝直下にある崖錘を大規模に侵食して土石流となった。土石流は川のない扇状地を幅 60～100m で流れ下り、長さ 700m にわたって氾濫した。土石流は家屋を損壊させながら、傾斜 2 度付近まで達した。

石礫の分布を図 2.2.13 に示す。大きな石礫は、主に崖錘を構成していた土砂が侵食によって運び出されたものである。崖錘から 300m までの範囲には直径 5～3m の巨礫が散在すると共に、家屋が全壊した測点 5 付近には 10m×10m の方形区に直径 2～1m の石礫が 5 個の密度で分布した。また、流木の分布を図 2.2.14 に示す。流木の発生源は測点 10 より上方のスギ林である。多くの流木が土石流の氾濫域の先端付近まで到達して、まとまって堆積していた。

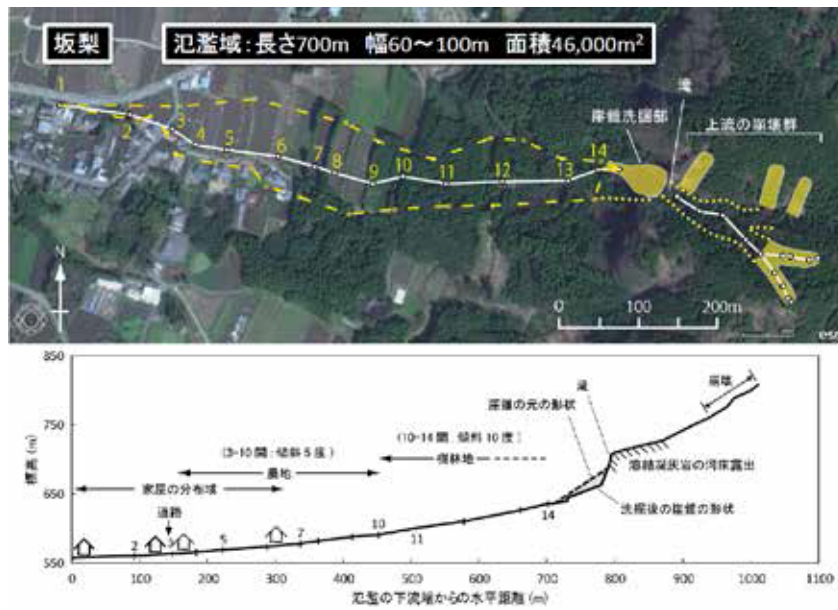


図 2.2.12 坂梨地区の土石流の発生・到達区域

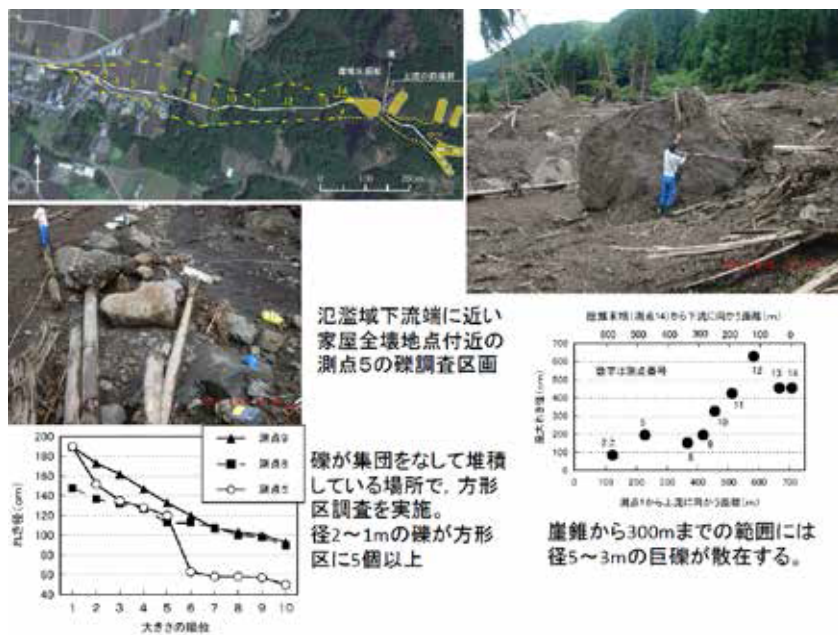


図 2.2.13 坂梨の土石流における石礫の分布



図 2.2.14 坂梨の土石流における流木の長距離到達

2.2.4 おわりに

今回の阿蘇地域の土砂災害は、量的にも強度的にも非常に大きい雨によって、様々な崩壊タイプが発生した。その中には、他の斜面よりも相対的に崩れにくいと考えられる崖錘斜面や丘陵地の緩斜面が、雨量が非常に多かった故に崩れたことが含まれる。さらに、雨量が多かったために、土砂、巨礫、そして流木が長い距離を移動した。そこには、1次谷の溪流を土石流が発生・流下しただけでなく、溪流と認識されない川のない扇状地を土石流が長い距離にわたって流れた事例や、崩壊土砂がそのまま長距離を移動した事例が多く認められた。そして、そうした土砂災害対策の行われにくい場所で、人的被害を伴う甚大な災害が発生していた。したがって、火山地域の地形における土砂災害リスクの評価技術確立が強く求められる。

引用文献

久保田哲也ほか(2012):平成24年7月九州北部豪雨による阿蘇地域の土砂災害、砂防学会誌、Vol.65、No.4、p.50-61

2.3 火山地域における災害がれき ー災害廃棄物等のその後ー

(株)環境地質 大野博之, 稲垣秀輝

2.3.1 災害廃棄物等の量と内訳の変遷

今回の土砂災害において、大島町の災害廃棄物等¹の量は約 11 万 t とされ、その内訳は、家屋等からの発生量が約 8,000t、流木約 31,000t、土砂約 71,000t と当初は推定されていた¹⁾。この他に、災害で出た関連土砂等は、砂防施設で約 15 万 t、港湾施設で約 6 万 t の計 21 万トンと推定されていた。こうした災害廃棄物等の特徴は、家屋等からでる廃棄物が少なく、土砂と流木がほとんどであり、流木量が土砂量と比較しても多いのは、今回の崩壊の多くが立木を巻き込んだ林地での表層崩壊であったことにある。

その災害廃棄物等の処理が進んでからの処理量は、表2.3.1に示すように全体で約11万 t と当初計画と大きくは変わらないが、当初よりも家屋等からの発生量が約1/2に、木くずが1/3に減少したのに対して、土砂が1.4倍に増加している。この品目別の見込み量の違いは、大島町(2015)²⁾によれば、「被災家屋等において住民による一部自己再建が進んだことによる建設混合廃棄物の減少。修理・修繕の上、再利用が進んだことによる廃家電等の減少。資源化率向上のための選別の徹底による金属類の減少。土地所有者の意向により撤去を希望されなかったことによる木くずの減少。市街地上流側で二次被害の誘発が懸念される土砂等について、国土交通省の補助制度（宅地部対象）も利用して撤去を行うこと、流木等への付着土砂除去の徹底により土砂が増加したことによる。」と述べられている。

いずれにしろ、こうした崩壊による災害では、崩壊土砂や流木等が大量に排出されることが特徴である。

表 2.3.1 災害廃棄物等処理見込み量（「大島町災害廃棄物等処理計画（第1回変更）」、平成26年6月）より）

大項目	中項目	細目	処理見込量（t）	
			当初計画	今回計画
災害廃棄物	①家屋等から発生するもの	建設混合廃棄物、廃畳・布団等、安定埋立品目、コンクリートがら、廃タイヤ、金属	8,000	4,370
	②処理が必要な流木等	木くず	31,400	11,100
土砂等	③選別処理が必要な土砂等	土砂	71,000	101,000
合 計			110,400	116,470

東日本大震災でも、災害廃棄物等が多量に発生し、その内、津波堆積物の割合が高く、その有効利用がさまざまに進められたことは、記憶に新しい（乾他(2013)³⁾）。

災害毎の廃棄物等の性状は、表 2.3.2 のようにまとめられ、小澤他(2015)⁴⁾にもその性状がまとめられている。こうした伊豆大島のような土砂災害、津波災害では、土砂や流木が多くなりがちであり、災害廃棄物は、水や土砂が多く含まれる状態となることも留意すべき点であろう。このため、悪臭や粉じんが発生しやすくなる。

¹ 災害による発生土砂は、廃棄物ではないので、ここでは発生土砂を含む場合に「災害廃棄物等」と呼び、土砂を含まないものを「災害廃棄物」と呼ぶ。

表 2.3.2 災害毎の廃棄物等の性状（大野・八村(2006)⁴⁾より）

区 分・ 種 類		原 因	災害の呼称名		廃棄物の状態		
					水分	土砂	燃焼
気象災害	豪雨災害(水害)	低気圧、台風、前線による集中豪雨など	浸水災害	外水氾濫(河川水の氾濫)	◎	◎	×
				内水氾濫(下水などの氾濫)	◎	△	×
			土砂災害	土石流	◎	◎	△
				地すべり	○	◎	△
				がけ崩れ(急傾斜地崩壊)	△	◎	△
	雪害	大雪、融雪	雪崩		◎	○	×
	風害	低気圧や台風による風、暴風、竜巻などの突風	倒木		△	△	△
			建造物の破損・倒壊		△	△	△
	塩害	海水、海水の混じった風	高潮・高波		○	△	×
	雷・雹	落雷や雹	感電事故・火災		△	×	△
	火災	異常乾燥などによる火災	自然発火による山火事		×	×	◎
火山災害	火山活動(噴火等)		火山泥流		◎	◎	△
			火砕流		×	◎	◎
			噴石、降灰		△	◎	△
			溶岩流		×	◎	◎
			山体崩壊・崩落		○	◎	○
地震災害(震災)		地震	建造物破損・倒壊・火災		△	○	○
			液状化・側方流動		◎	◎	△
			土砂災害		水害に同じ		
			津波		◎	○	×

備考) ◎：良くある、○：ある、△：まれにある、×：ないと考えてよい

2.3.2 災害廃棄物等の仮置場の変遷

発生当初の平成 25 年 11 月の時点では、前述した災害廃棄物等を図 2.3.1 に示すように島内に仮置きした。写真 2.3.1 に平成 25 年 11 月 14 日時点の仮置場の状況を示す。

平成 25 年当初からの災害廃棄物等の課題としては、以下のことが挙げられている。

- ・ 多量に発生した土砂と流木の処理⇒木くずの処理（破碎と焼却）
- ・ 流木や焼却できる家屋ゴミの量は島内の年間処理量（約 3300t）の年約 10 倍となり、島内では

処理できない⇒東京都の協力による島外処理

- ・ 土砂処理は、火山噴火対応の経験あり→島内処理
- ・ 島内の衛生環境保全や復興のために、早期の処理が必要→平成 26 年 12 月には終了予定

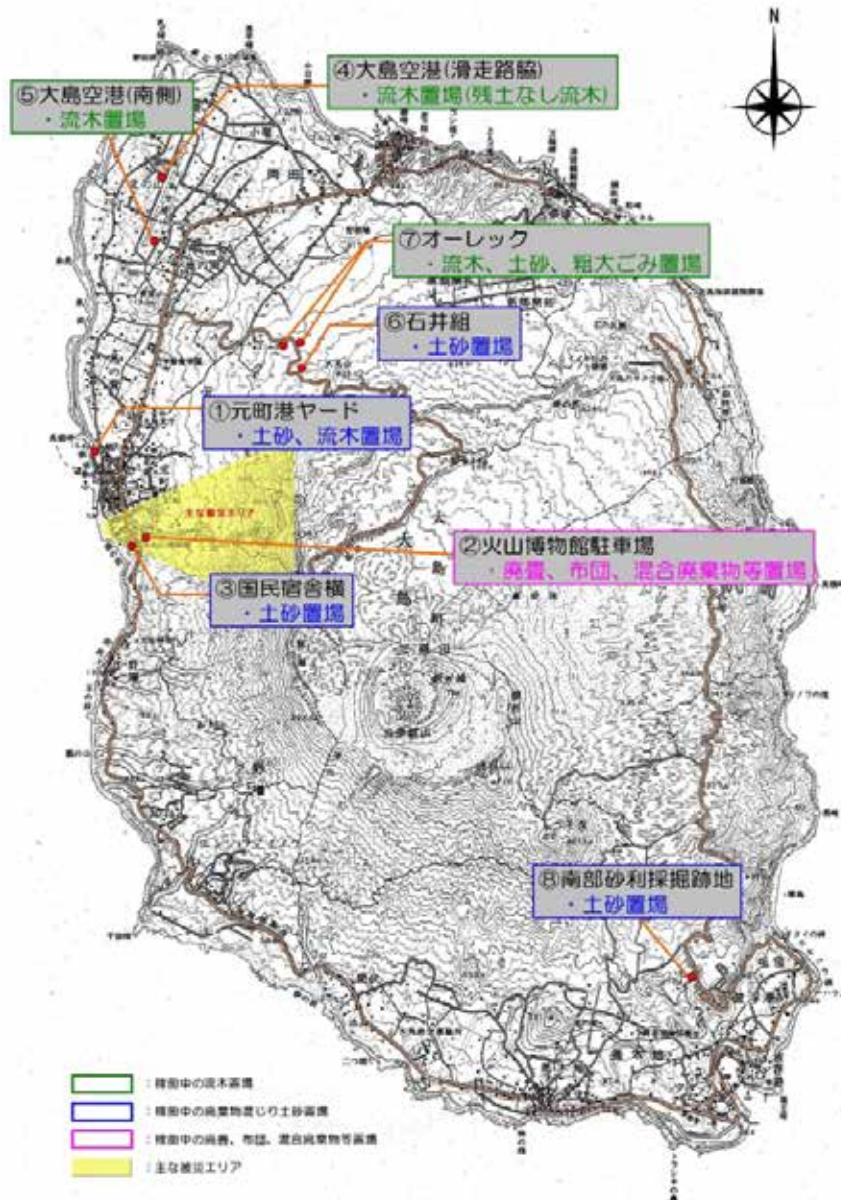


図 2.3.1 災害廃棄物等の仮置場の設置状況（「大島町災害廃棄物等処理計画，平成 25 年 12 月」より）



元町港ヤード：未分別－荒分別の状態



火山博物館駐車場：家屋ごみの分別状況



国民宿舎横：分別後の土砂の仮置き



オーレック：土砂と混合した流木



オーレック：流木だけに分別された仮置場

写真 2.3.1 仮置場における災害廃棄物等の状況（平成 25 年 11 月 14 日時点）

これらの仮置場の内、図 2.3.2 に示されるように、元町ヤードなどの市街地に設置された一次仮置場は平成 25 年 12 月から 6 月にかけて順次閉鎖された。これは、図 2.3.3 に示すような処理フローで進められ、これに沿い、一次仮置場から二次仮置場に災害廃棄物等が搬出されたり、島外・島内処理がなされた結果である。

<一次仮置場の閉鎖>

① 元町港ヤード

- ・平成 26 年 3 月に閉鎖
- ・昔は墓場であったところをテトラポット等の作成場として用いていた場所
- ・アスファルト舗装のため、有害物質等による土壌・地下水汚染などの懸念はない(写真 2.3.2(a))。

② 火山博物館駐車場

- ・平成 25 年 12 月 25 日に閉鎖
 - 平成 25 年 12 月中に島外処理
 - 悪臭や粉じん等が発生したため処理を急いだ（廃畳、布団や混合廃棄物から）
- ・駐車場でアスファルト舗装のため、有害物質等による土壌・地下水汚染などの懸念はない(写真 2.3.2(b))。

③ 国民宿舎横

- ・平成 26 年 6 月に閉鎖
 - 廃棄物混じりの土砂を平成 26 年 3 月までに搬出
 - 残りの土砂を平成 26 年 6 月に搬出完了
- ・舗装はなされていない（写真 2.3.2(c)）。
- ・仮置きしたものが土砂である。後で詳述するが、廃棄物混りの土砂を仮置きした南部砂利採取跡地の表層土壌の汚染はみられないので、こうした仮置場も同様と考えられる。

④ 大島空港（滑走路脇）

⑤ 大島空港（南側）

- ・平成 26 年 5 月に閉鎖
- ・舗装はなされていない（写真 2.3.2(d)）。
- ・流木置場であり、基本的に流木からの有害物質等の汚染はないと思われる。

⑥ 石井組

- ・平成平成 26 年 3 月に閉鎖
- ・仮置きしたものが土砂である。後で詳述するが、廃棄物混りの土砂を仮置きした南部砂利採取跡地の表層土壌の汚染はみられないので、こうした仮置場も同様と考えられる。

⑦ オーレック

- ・平成 26 年 6 月 25 日には一次仮置きとしては終了
- ・平成 26 年 11 月 1 日現在、二次仮置場として稼働（写真 2.3.2(e)）

⑧ 南部砂利採取跡地

- ・平成 26 年 6 月 25 日には一次仮置きとしては終了
- ・平成 26 年 11 月 1 日現在、二次仮置場として稼働（写真 2.3.2(f)）

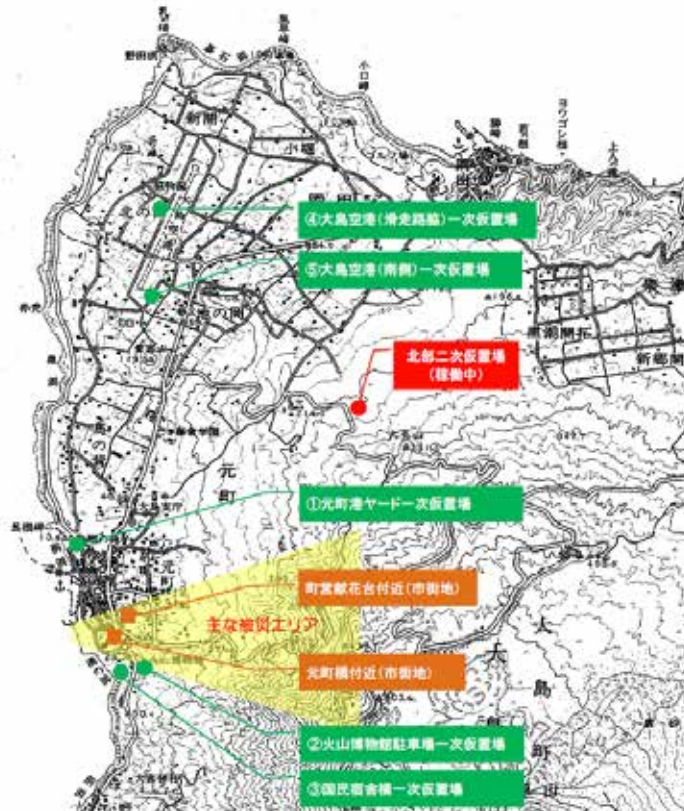


図 2.3.2 市街地に設置、解消した一次仮置場（「大島町災害廃棄物等処理計画（第1回変更）」平成26年6月）より）

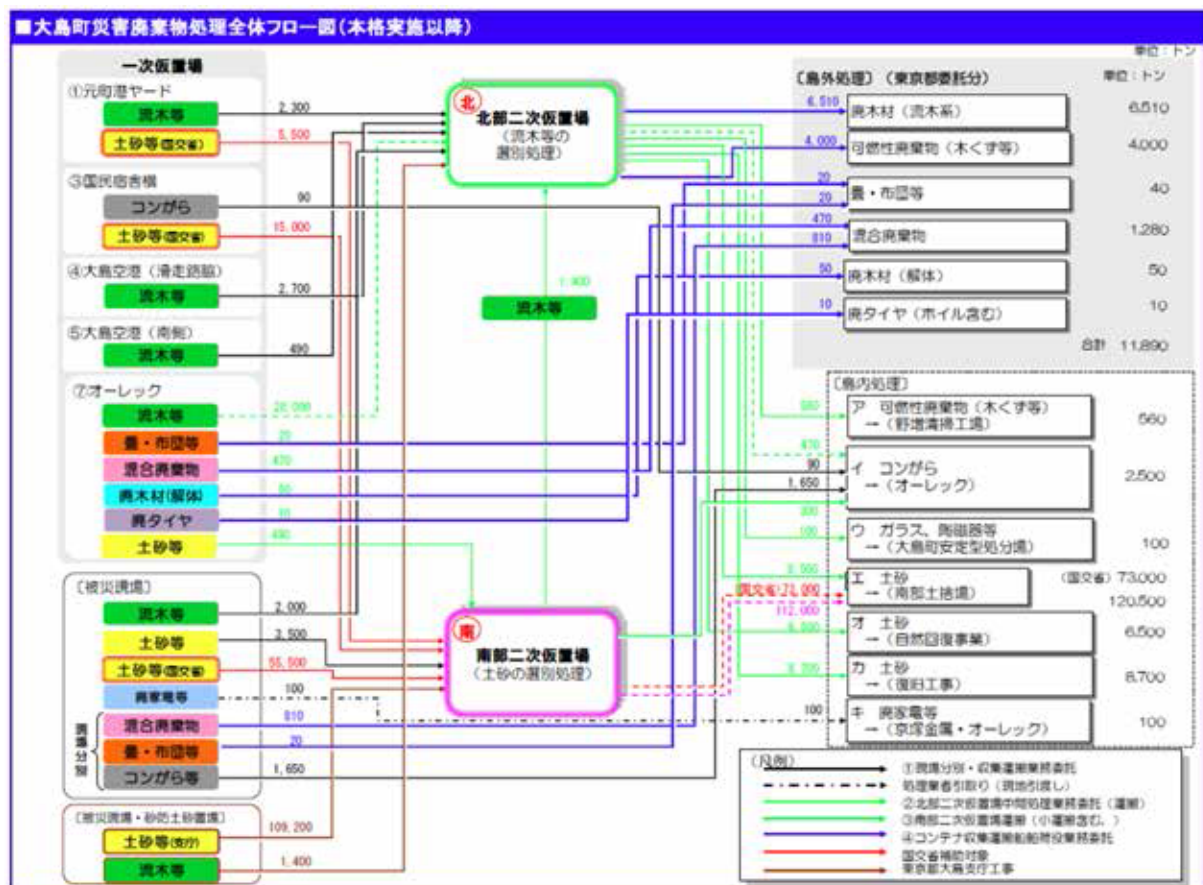


図 2.3.3 仮置きとその処理フロー（「大島町災害廃棄物等処理計画（第1回変更）」平成26年6月）より）



(a)元町港ヤードの状況（平成26年11月2日現在）



(b)火山博物館駐車場の状況（平成26年11月2日現在）



(c)国民宿舎横の状況（平成26年11月2日現在）



(d)大島空港（南側）の状況（平成26年11月2日現在）



(e)オーレックの状況（平成26年11月1日現在）



(f) 南部砂利採取跡地の状況（平成26年11月1日現在）

写真2.3.2 閉鎖した一次仮置場の状況（平成26年11月1日&2日時点）

2.3.3 災害廃棄物等の処理

災害廃棄物等といえども自区内処理の原則は変わらない。したがって、島内処理が基本である。

しかし、大島町(2015)によれば、木くず等の可燃性廃棄物の処理は、当初、新清掃工場とオーレック焼却炉が挙げられていたが、以下の理由により、野増清掃工場のみの対応となった。

- ・ 新清掃工場は島内の通常の一般廃棄物の排出量から処理能力を決めているので、災害廃棄物を処理する余裕がない。
- ・ オーレック焼却炉は、島内の通常の産業廃棄物の処理で対応しきれず、災害廃棄物を処理する余裕がない。

こうした状況は、他の災害の被災地でも見られることであり、今後の中間処理の計画では、「災害廃棄物の発生量とその発生確率を適切に把握し、中間処理施設の新設時に適切な処理能力を持たせる」といった対応が望まれる。

また、従来の一般廃棄物の処理に比べて、比重が小さく熱量の高い木くずの処理であるため、通常の処理能力を発揮できないといった問題²⁾もあり、可燃性廃棄物（木くず等）の中間処理は遅れている状況が見られる。

金属等の再生利用については、当初計画の2倍以上の量となり、京塚金属の取引能力を超過し、新たな再生利用先が必要となってきた²⁾。

処理処分方法	対象物の種類	当初計画	処理処分実績 (t)
中間処理（焼却）	可燃性廃棄物（木くず等）	3,000	360
再生利用	金属等	50	110
	コンクリートがら	2,800	90
	埋め戻し土 [※]	281,000	103,330
最終処分	焼却主灰、飛灰処理物など	700	30
	ガラス・陶磁器等	100	0
合計		287,650	106,100

※埋め戻し土には、関連事業である大島支庁砂防施設等からの対象物を含む。

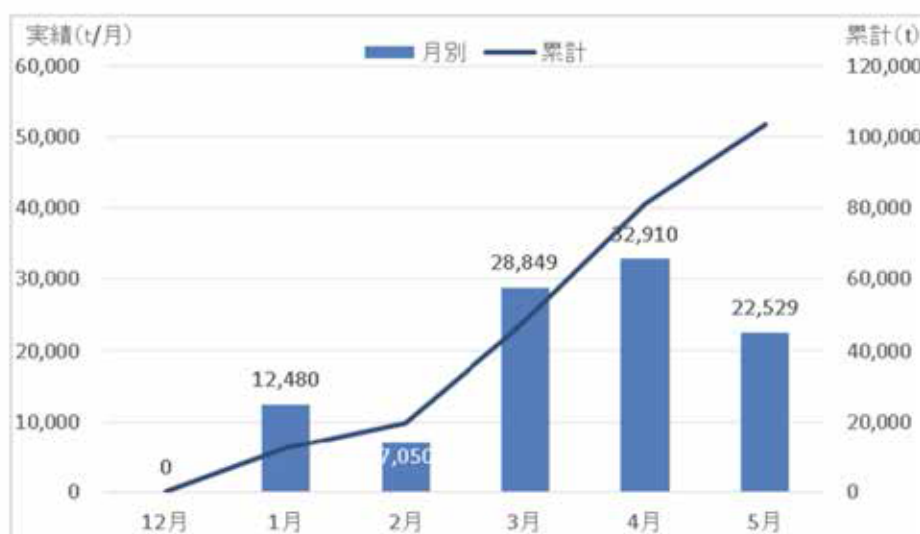


図 2.3.4 島内処理処分進捗状況（平成 25 年 5 月末現在）
 （「大島町災害廃棄物等処理計画（第 1 回変更），平成 26 年 6 月」より）

埋め戻し土の再生利用は、旧泉津不燃物捨場の自然回復事業及び国民宿舎横一次仮置場下の崖地（写真 2.3.3）の復旧工事への利用が進められている。

最終処分については、ガラス・陶磁器等の安定型品目がまとまった量で回収できていないので最終処分に至っていない。

なお、図 2.3.5 に島内の処理先を示した。

一方、島外処理については、図 2.3.6 のような状況である。これに見られるように、廃木材と可燃性廃棄物（木くず等）が多い。これらは共に流木からのものであるが、再生利用可能なものを「廃木材」とし、再生利用できないものを「可燃性廃棄物（木くず等）」としている。当初の課題にあるように、流木の処理が大きく東京都との協定で島外処理が進められている。これ以外に、建設混合廃棄物の量が多いが、これが最も厄介なもので、現場での選別前後の降雨の影響により、選別効率が低くなり、土砂付着量の増加が見込まれ、長期にわたり仮置きしたため、土砂が廃棄物に混入して性状が変化するという問題が生じ、処理に時間がかかる原因となっている。

このような状況から、表 2.3.3 に示すような状況で、平成 26 年 5 月末まででは約 5 割の処理となっている。また、処理そのものは、こうした変更はあるものの、平成 26 年 12 月までとすることとなっている²⁾。



写真 2.3.3 国民宿舎横一次仮置場下の崖地の状況（平成 26 年 11 月 2 日現在）

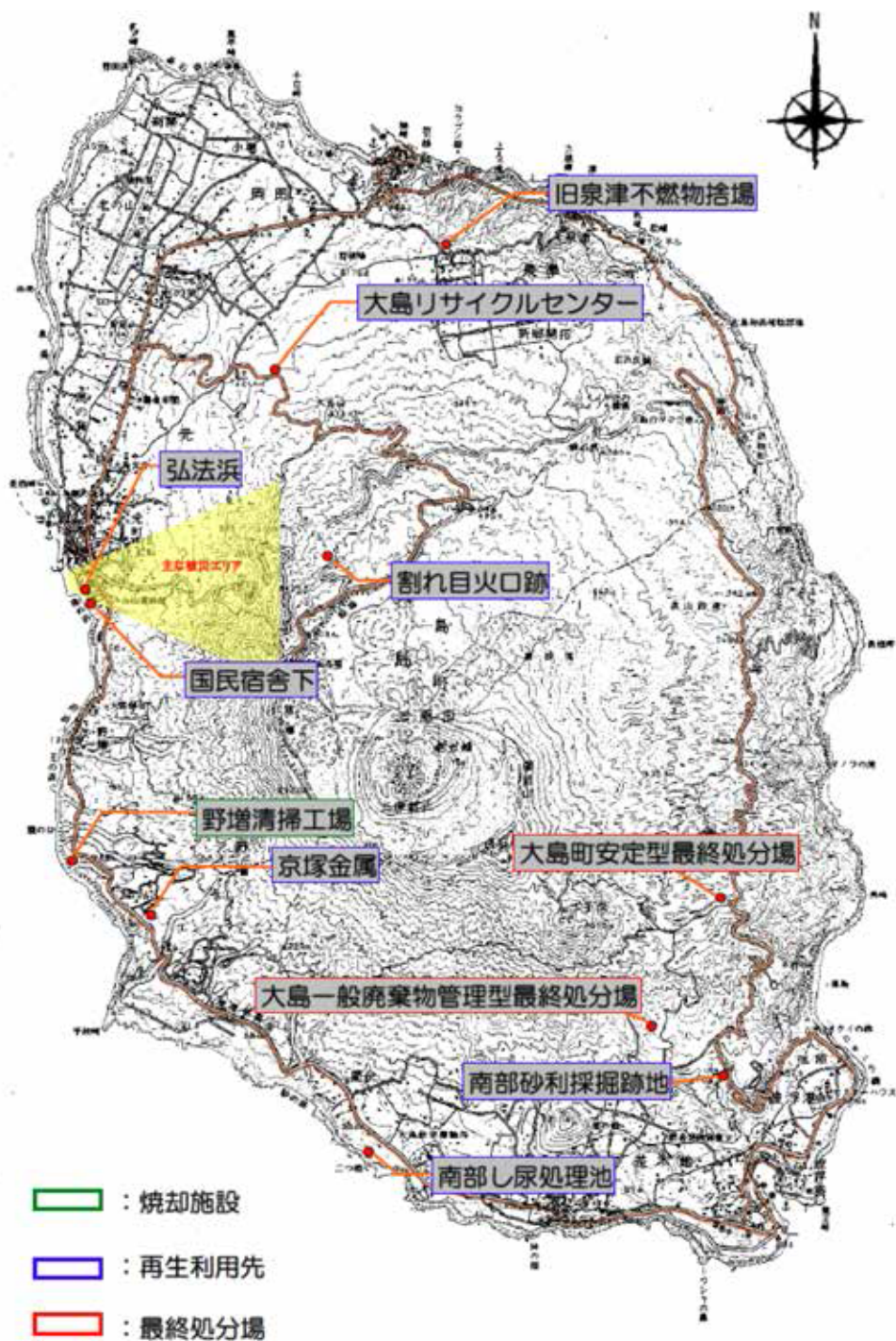


図 2.3.5 島内処理処分先位置図（「大島町災害廃棄物等処理計画（第1回変更）」平成26年6月より）

対象物の種類	当初計画	搬出実績	
	搬出量(トン)	搬出量(トン)	搬出基数(基)
可燃性廃棄物（木くず等）	7,400	2,130	681
廃木材	21,000	3,839	906
建設混合廃棄物	4,400	807	231
廃畳・布団等	200	34	12
廃タイヤ	—	0	0
合計	33,000	6,810	1,830

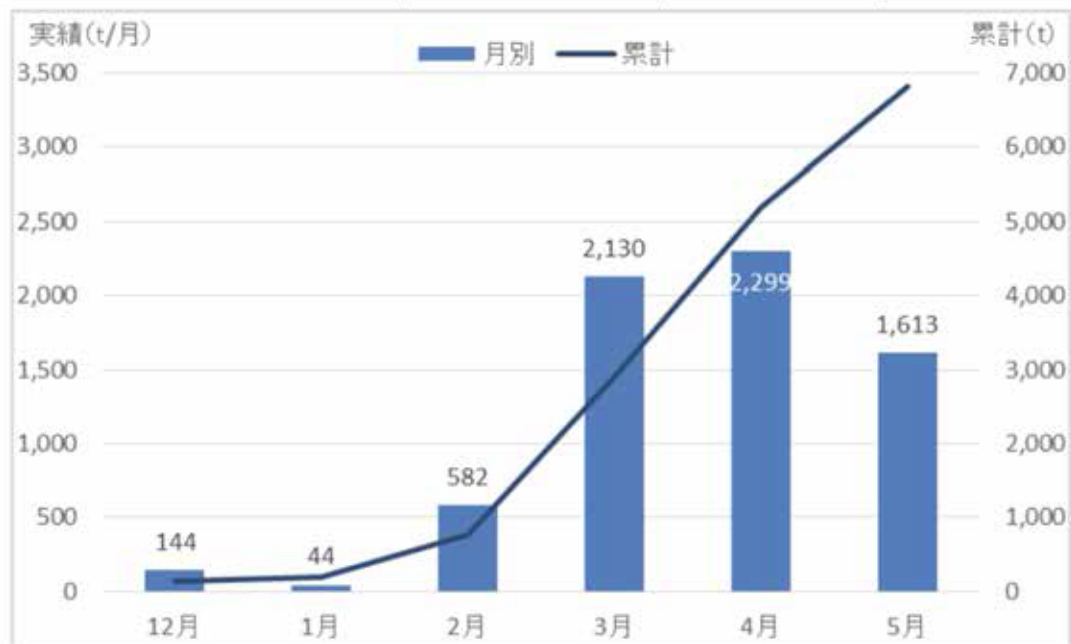


図 2.3.6 島外処理処分進捗状況 (平成 25 年 5 月末現在)
(「大島町災害廃棄物等処理計画 (第 1 回変更) , 平成 26 年 6 月」より)

表 2.3.3 災害廃棄物等の処理の進捗状況 (平成 26 年 5 月末日現在)

災害廃棄物の種類	処理見込量 (t)		処理実績 (t)	処理率※
	当初計画	今回計画		
災害廃棄物（主に流木等）	39,400	15,470	7,440	48%
うち、島外処理分（東京都委託分）	33,000	12,030	6,820	57%
土砂等（島内処理）	71,000	101,000	30,050	30%
合 計	110,400	116,470	37,490	32%

※処理率は、今回計画の処理見込量あたりの処理実績で算定。

(「大島町災害廃棄物等処理計画 (第 1 回変更) , 平成 26 年 6 月」より)

2.3.4 災害廃棄物等の処理・処分

伊豆大島の災害廃棄物等の処理・処分の現状を見ても分かるように、これまでの災害では、その災害で発生した災害廃棄物等の処理のためには、図 2.3.7 に示されるように一次と二次の仮置場（集積場）があることで、通常の処理処分ができない災害廃棄物等に対応することができる⁶⁾。この意味で、仮置場の役割は大きい。

中間処理施設や最終処分場は、現状の通常時の廃棄物排出量からその処理・処分量が算定され、災害時の膨大な量を処理・処分する能力がないことが多い。伊豆大島町の中間処理施設もそのような状況となっており、野増清掃工場のみでの対応となってしまう。隣接する地域等が被災せず、協力体制をとることが可能であれば迅速な対応も可能となろうが、広域な災害や伊豆大島のような離島では協力もままならないことも多い。また、写真 2.3.4 に示すように中間処理施設そのものが被災し、しばらくの間稼働できない場合もあり、そのような場合には自区内処理がさらに遅くなることが懸念される。

こうしたことの対応として、仮置場の役割は重要となり、適切な仮置場を災害前に設定しておくことが必要となる。特に、近年の地震・火山や豪雨の発生頻度の増大は、こうしたことへの対応が喫緊の課題であることを示している。

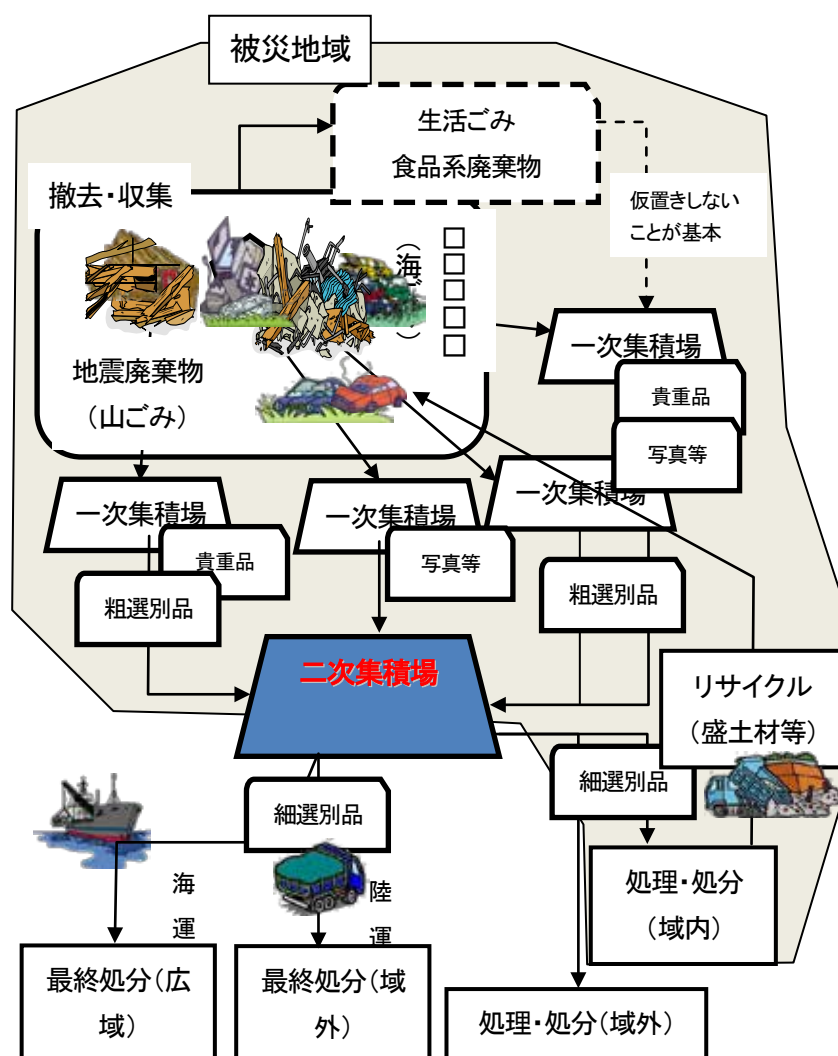


図 2.3.7 被災地での災害廃棄物等の流れ（「日本応用地質学会：災害廃棄物の仮置き場に関する留意点－設置から、維持管理、閉鎖まで－第 1 版，平成 23 年 6 月 17 日」より）



写真 2.3.4 中越沖地震における焼却施設の煙突の破損状況（2007 年 9 月 8 日現在）

災害時のがれきは、復旧・復興の妨げになるので、早急に災害現場からの撤去を行い、一次仮置場の設置とそれへの搬入が必要となる。しかし、災害がれきには個人の貴重品（写真も含む）なども含まれ、仮置場での一時的保管が 6 か月間程度必要となる。すなわち、個人のものでなくなった時に、災害がれきではなく初めて災害廃棄物となる。災害がれきを、被災地にそのままにしておくことは、衛生環境の悪化につながることも考えられ、その点でも一時仮置場の役割は大きい。このように、復旧・復興の促進の観点や衛生環境保全の観点からも仮置場の設置は、重要な意味を持つ。

しかし、後に詳細に論じるが、仮置場による環境汚染の事例もいくつか報告されており^{7,8)}、環境汚染のリスクを低減するための二次仮置場の留意点が、日本応用地質学会などから示されている⁶⁾。

2.3.5 火山活動による環境変化

火山活動に限らないが、環境は変化するのが自然の摂理である。環境が変化しないという取り組みは箱庭づくりと同じようなものであり、そうしたものは自然現象によって崩れ去ることもしばしばある。火山活動によって環境変化が生じることはこれまで多くあった。特に、火山活動によって有害な重金属等に分類されている「ふっ素」が増加することは良く知られたことである。

過去の火山活動では、以下のような報告がある。

- 火山活動によるふっ素(F)の増大
 - 浅間山の例では、増大といっても水や地下水の環境基準（0.8mg/L）未満である（野口・後藤(1994)⁹⁾）。
 - 過去阿蘇地域などでの班歯病 0.3mg/L 以上でよくないという過去の意見もあった（野口他(1994)¹⁰⁾）。このことは、科学の発展により基準の考え方が変遷することを意味する。
- 表流水中のふっ素の濃度が通常より増大する例もある（森(2007)¹¹⁾）。
- 火山活動が沈静化している時期においても、ほう素や砒素が地下水の環境基準をオーバーすることがある（栃本他(2003)¹²⁾）。

なお、過去の火山災害においては、以下のようなことが示されている。

<雲仙普賢岳>

- 1991 年の家屋等を飲み込んだ後、数年後の地下水に鉛や砒素などの環境基準以上の検出はなし（大野他(2005)⁷⁾）。
- 噴火当初の河川水中でも、ふっ素（ $0.03 \sim 0.32 \text{mg/L} < 0.8$ ）は検出され、通常よりも高い濃度であったが、鉛や水銀などの重金属は定量下限値未満で、環境基準を超過したものはない（森(2007)¹¹⁾）。

<三宅島>

- 2000 年 7 月の火山噴火後、三宅島の災害がれきの周辺のたまり水から、環境基準を超える鉛（ $0.08 \sim 0.23 \text{mg/L} > 0.01$ ）、カドミウム（ $0.03 \text{mg/L} > 0.003$ ）、六価クロム（ $0.06 \text{mg/L} > 0.05$ ）が検出された。
- 2000 年 7 月の火山噴火後、環境基準未満ではあるが、ヒ素が 4 ヶ所の水源を原水とする水道水から $0.001 \sim 0.003 \text{mg/L}$ （基準： 0.01mg/L ）、セレンも 3 か所から 0.001mg/L （基準： 0.01mg/L ）、ほう素は $0.1 \sim 0.2 \text{mg/L}$ （基準： 1.0mg/L ）が検出された（小杉他(2006)¹³⁾）。環境基準未満であることから、特に大きな問題であるとは考えにくい。



写真 2.3.5 2000 年 7 月の三宅島の火山噴火後の例（2007 年 7 月 17 日&18 日）

<伊豆大島>

- 1986 年 11 月の伊豆大島の噴火後の飲用の地下水より、鉛（ $0.02 \sim 0.03 \text{mg/L} > 0.01$ ）や水銀（ $0.0029 \text{mg/L} > 0.0005$ ）、砒素（ $0.013 \text{mg/L} > 0.01$ ）が地下水の環境基準を超過したことがある（高橋他(1990)¹⁴⁾）。なお、現在は、地下水は飲用に供していない。
- 昭和 25・26 年の大噴火後、断続的に昭和 32 年 10 月の噴火や昭和 34 年の噴火があり、その後の昭和 34 年の調査で、火口付近の天水で環境基準の 3 倍程度のふっ素（ $2.6 \text{mg/L} > 0.8$ ）が検出された事例もある。なお、火口茶屋付近が超過したのみで、それ以外は基準未満である（野口・後藤(1994)¹⁵⁾）。

伊豆大島においては、今回の土砂災害の土砂についても分析を行った。採取箇所は、写真 2.3.6 に示すような場である。この分析結果を表 2.3.4 に示すが、ふっ素以外は定量下限値未満と問題のある値は検出されていない。また、ふっ素も 0.1mg/L と基準値未満の値で特に問題と考えるべき量ではない。野

口・後藤(1994)¹⁵⁾によれば、伊豆大島溶岩のフッ素含有量は 0.005% (50mg/kg) であり、今回分析したものも 100mg/kg 未満であるのでほぼこの溶岩の値に近い環境基準値未満の含有量になっているものと考えられる。そして、野口・後藤(1994)¹⁵⁾では 12 カ所の地下水を調査しそのふっ素を分析しているが、それらすべてにおいて、ふっ素は最大でも 0.64mg/L であり環境基準値未満であった。したがって、含有量が 50mg/kg 程度の伊豆大島では、仮にふっ素が増大しても健康に影響を及ぼすような量ではないと考えられる。一方、表層の自然土壌では表 2.3.4 に示されるように、ふっ素も含めすべてが定量下限値未満であったので、表層土壌からの環境汚染の懸念もない。



写真 2.3.6 崩壊跡地の土砂のサンプル：採取地全景（左）と採取した土砂（右：写真中の溶岩の上部の土砂）

このように、これまでの火山活動によりふっ素をはじめ、鉛や水銀、ヒ素などが増加した傾向があるが、それでも環境基準の数倍程度であり、100 倍を超えるようなものは発生していない上、その数は限られている。

表2.3.5 伊豆大島の土砂災害における崩壊跡地 (No.1)、自然土壌 (No.2)、仮置場内の土砂 (No.3～5) の化学成分分析結果

試料番号	001		002		003		004		005		基準値	定 量 下 限 値	単 位	計 量 の 方 法
	10-No. 1		10-No. 2		10-No. 3		10-No. 4		10-No. 5					
	採取年月日		採取年月日		採取年月日		採取年月日		採取年月日					
	採取場所		採取場所		採取場所		採取場所		採取場所					
(溶出試験:H3報告第46号)														
カドミウム	伊豆大島		伊豆大島		伊豆大島		伊豆大島		伊豆大島		***	0.001	mg/L	JIS K 0102 55.4 (ICP/MS法)
鉛	0.001 未満		0.001 未満		0.001 未満		0.001 未満		0.001 未満		***	0.001	mg/L	JIS K 0102 55.4 (ICP/MS法)
六価クロム	0.005 未満		0.005 未満		0.005 未満		0.005 未満		0.005 未満		***	0.005	mg/L	JIS K 0102 54.4 (ICP/MS法)
砒素	0.02 未満		0.02 未満		0.02 未満		0.02 未満		0.02 未満		***	0.02	mg/L	JIS K 0102 65.2.1 (吸光度法)
総水銀	0.002 未満		0.002 未満		0.002 未満		0.002 未満		0.002 未満		***	0.002	mg/L	JIS K 0102 61.4 (ICP/MS法)
ふっ素	0.0005 未満		0.0005 未満		0.0005 未満		0.0005 未満		0.0005 未満		***	0.0005	mg/L	昭和46年農研庁告示第59号 付表1 (還元酸化還元法)
ほう素	0.1		0.1 未満		0.1		0.3		0.2		***	0.1	mg/L	JIS K 0102 34.1 (吸光度法)
ほう素	0.1 未満		0.1 未満		0.1 未満		0.1 未満		0.1 未満		***	0.1	mg/L	JIS K 0102 47.3 (ICP/MS法)
(含有量試験:H15報告第19号)														
総水銀	0.02 未満		0.02 未満		0.02 未満		0.02 未満		0.02 未満		***	0.02	mg/kg (dry)	昭和46年農研庁告示第59号 付表1 (還元酸化還元法)
カドミウム	5 未満		5 未満		5 未満		5 未満		5 未満		***	5	mg/kg (dry)	JIS K 0102 55.4 (ICP/MS法)
鉛	5 未満		5 未満		5 未満		5 未満		5 未満		***	5	mg/kg (dry)	JIS K 0102 54.4 (ICP/MS法)
砒素	5 未満		5 未満		5 未満		5 未満		5 未満		***	5	mg/kg (dry)	JIS K 0102 61.4 (ICP/MS法)
六価クロム	5 未満		5 未満		5 未満		5 未満		5 未満		***	5	mg/kg (dry)	JIS K 0102 65.2.1 (吸光度法)
ふっ素	100 未満		100 未満		100 未満		100 未満		100 未満		***	100	mg/kg (dry)	JIS K 0102 34.1 (吸光度法)
ほう素	5 未満		5 未満		5 未満		5 未満		5 未満		***	5	mg/kg (dry)	JIS K 0102 47.4 (ICP/MS法)
以下余白														

2.3.6 災害廃棄物等の仮置場

災害時においては、前述したように、環境変化は起きるが、通常有害物質の増加はそれほど大きくはない。災害廃棄物からの溶出に伴う環境汚染に対する懸念が、八村他(2007)⁸⁾によっても指摘されている。そこでは、仮置場のたまり水から、鉛が環境基準以上検出 ($0.016\text{mg/L} > 0.01$) された例が示されている。一方、Hachimura 他(2012)¹⁶⁾は、その後の各種の災害での仮置場においての調査結果を総合すると、5つの災害の12の仮置場において25%の仮置場で鉛などの環境基準を超える状況が見られたが、それほど大きな値ではないこと(環境基準の最大10倍程度)を示している。また、東日本大震災の仮置場では、乾他(2013)³⁾により42カ所中7カ所(17%程度)で土壌溶出量が超過したことが報告されている。

このようなことから、仮置場において環境汚染がない(リスクはゼロである)、とは言えない。すなわち、有害物質等の含有の濃度の高いがれきや土砂などからは、基準値以上のものが出る可能性がある。そのような仮置場に対する対応をどのようにしていくのか、といったことが大きな問題となろう。一つの方策として、日本応用地質学会⁶⁾や震災対応ネットワーク¹⁷⁾が仮置場の設置の留意点を示している。

こうした背景を考慮して、今回の土砂災害の仮置場においても、土壌の状況を分析した。その結果を表2.3.4に示した。表に示されるように、No.3~No.5の分析結果の全てにおいて環境基準を超えるようなものはなかった。ただし、ふっ素は、No.4で 0.3mg/L とやや高いものとなっているが、これまでの伊豆大島の地下水や天水のふっ素濃度でも同程度の濃度を示していることから、自然状態としてはこの程度の溶出がある地域であると考えられ、災害発生の混合土砂等により汚染されたものであるとは考えにくい。



(a)No.3の採取場所(仮置場の表層土壌)



(b)No.4の採取場所(仮置場の表層土壌)



(c) No.5の採取場所(仮置場の混合土砂)

写真 2.3.7 二次仮置場の採取場所の状況

以上示したように、災害廃棄物等の仮置きを行っている箇所で、それほど大きな環境汚染が見られる状況とはなっていない。

災害時には、まずは復旧・復興が最優先されることから、仮置場は、復旧の妨げになる被災箇所から除去した災害がれき等を適正に処理するまでの一時的保管場所である。そこで環境汚染がないようにすることは心がけるべきことであるが、複数あるリスクの全てを回避することはできない。災害時には、「『災害廃棄物等による環境汚染のリスク（損失）＜復旧・復興の遅れによるリスク（損失）』であれば、**復旧・復興を優先する**」という考え方があっても良いのではないだろうか。

例えば、「ふっ素：斑状歯や骨への付着と骨の内部構造変化による骨折のリスクの増加。こうしたことを考慮して、0.8mg/L としている。」との見解が厚生労働省より示されるとともに、島田(2011)¹⁸⁾によれば、そもそもふっ素の基準は、「3mg/L 以上の水を飲んでいるところで 95%が斑状歯、1mg/L では 15%、0.8mg/L で斑状歯が見られなくなる」という「宇宮・津野(1999)：環境水質学，コロナ社」の見解によるものである。また、ミネラルウォーターなどは食品衛生法で規程されており、このふっ素の基準値は 2mg/L である。したがって、ふっ素の溶出量や地下水あるいは表流水が環境基準の 0.8mg/L を超えたとしても、地域によっては、災害がれき/廃棄物やその仮置場には、土壤汚染対策法の第二溶出基準（3～30 倍基準）のようなもので対応することも検討して良いと考えられる。地盤工学会が東日本大震災を受けてまとめた「災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン¹⁹⁾」にも、土壤汚染対策法の第二溶出基準を考えているので、こうした議論が今後仮置場にも必要と思われる。何をどのように捉えるのかを議論していくことが必要な時代になったのではないだろうか？

2.3.7 現行法の基での仮置場のあり方

以上、災害とそれによる災害廃棄物等の環境汚染に係る観点から述べてきた。しかし、そもそも自然環境は変化するものである。その変化する自然をどこまで許容するのか、が大きく求められているところであろう。

人類はこれまで様々な施設を設けてきた。堤防やダムなどを例にとれば、ある確率で発生する外力に対して安全を確保する施設であり、確率分布に基づく「しきい値」を用いて施設の強度や高さなどの抵抗力を決定してきている。逆に言えば、受容すべきリスクを含んだ設計を行っている。これが一般的な工学的対応である。

災害廃棄物に係る環境汚染や衛生環境の悪化も、こうした受容すべきリスクを考慮した対応が求められる。未経験なリスクに対して市民は過大あるいは過小に評価する傾向が一般的にあると言われてるように、リスクに対しては、専門家が適切に対応し、それを信頼する市民社会であることが求められている。

小峯(2015)²⁰⁾が「市民に分かりやすい説明などという都合の良い方法はない。すぐに分かってもらえなくても、定期的に、自然法則に則った説明を何度も繰り返すしかない。」と述べているように、災害時の環境変化を受容できるような説明を何度も繰り返すしかない。その時に、重要となるのは、同じく小峯(2015)²⁰⁾が言うように「定量的というのは、単に数値を示すだけでなく、その数値で表現できる意味・本質を受け止めて、様々な判断を自分で行うことで」あり、「技術者

は、誤解を招くような見かけの“分かりやすさ”を求めるのではなく、多くの人々が正しく判断できる定量的な説明を継続的に言い、それを受けとめられる環境創造のための教育・啓蒙を行うことが求められている」ことを説いている。言い換えるならば、受容すべきリスクを理解させるための努力が専門家に求められていることになる。

ここでは、以上のような受容すべきリスクを大前提に、現行法における仮置場のあり方について以下論じてみたい。

これまで述べてきたように、災害そのもの、災害廃棄物等やその仮置場による環境汚染の可能性はゼロではない。すなわち、ゼロリスクではない。土壌汚染対策法は、今まで以上にリスク管理という視点を強調した改正が行われているが、必ずしもその改正の趣旨は周知されているとは思えない面があり、未だに、土壌汚染があればそれは大変だというような印象が強い（環境省(2014)²¹⁾）。すなわち、ゼロリスクしか受容できないといった反応である。しかし、人は常にリスクを抱えながら生きているのであるから、ゼロリスクではなくても、リスクを低減させる方策をとれば良いはずである。土壌汚染対策法には、そのリスクの考え方が示されている。すなわち、「地下水の飲用に対するリスク」と「経口摂取のリスク」である。

ここでは、これを「表流水や地下水の飲用に対するリスク」と「経口摂取のリスク」として、そのリスクの観点から災害廃棄物等の仮置場のあり方を見ておきたい。

① 表流水や地下水の飲用に対するリスク

- ・ 地下水の利用状況と地下水流動を災害以前に把握することで、災害時のリスク低減につなげる。
- ・ 表流水の流れを災害以前に把握し、上水などに混入する経路があれば対策を講じる。

例) ここで示した伊豆大島では、現在は地下水の飲用はほとんどない。また、仮置場や災害がれき等が置かれている場の表流水を直接飲用することは考えにくい(幼児については、きちんと大人が責任を持つ)。仮に、地下水を飲用する場合には、地下水の分析結果を示し、飲用の判断は個人に任せるのが良いと思われる(この時、土壌汚染対策法の基準だけでなく、ミネラルウォーター類の成分基準なども同時に示し判断材料としてもらうのはどうだろうか)。

② 経口摂取のリスク

- ・ 仮置場の稼働時に、土壌や災害廃棄物等を直接自ら経口摂取することはあり得ない。
 - 粉じん等を吸い込むことによる経口摂取は、散水等で対応する。
- ・ 土壌が露出した仮置場では、その閉鎖後には問題があれば覆土やアスファルト舗装で対応する。

以上のようなリスクを考えると、次のような場が、仮置場として適しているものと考えられる。

- ・ 海岸埋立地の仮置場としての利用
 - 地下水等は塩水なので飲用はあり得ない。
 - 通常、覆土やアスファルト舗装されているので、経口摂取はない。また、散水等により吸い込み等のリスクも低減できる。
- ・ 最終処分場も仮置場にできる

- 管理型であれば保有水・雨水集排水施設があり、処分場外への漏洩はないと考えて良い。表流水や地下水を汚染することはない。
- 処分場内の土壌等を経口摂取することはありません。また、散水等により吸い込み等のリスクも低減できる。

参考文献

- 1) 大島町：大島町災害廃棄物等処理計画，平成 25 年 12 月，2013.
- 2) 大島町：大島町災害廃棄物等処理計画（第 1 回変更），平成 26 年 6 月，2014.
- 3) 乾徹，小峯秀雄，大野博之，風間基樹，大河原文正，門間聖子：東日本大震災で発生した災害廃棄物とその課題，地盤工学会誌，Vol.61，No.2，pp.4-7，2013.
- 4) 大野博之，八村智明：特集／災害廃棄物の発生と処理事業：災害廃棄物概論，生活と環境，第 51 巻，第 9 号，pp.7-13，2006.
- 5) 小澤一喜，藤川拓朗，大嶺聖，清田正人，菊池善昭，柴田英明：災害廃棄物の特徴と処理及び有効利用に関する検討，地盤工学会誌，第 63 巻，第 1 号，pp.6-9.
- 6) 日本応用地質学会：災害廃棄物の仮置き場に関する留意点－設置から、維持管理、閉鎖まで－第 1 版，平成 23 年 6 月 17 日，2011.
- 7) 大野博之，八村智明，宮原哲也：新潟県中越地震における災害廃棄物の処理・処分に関する研究，第 13 回地球環境シンポジウム講演論文集，pp.31-36，2005.
- 8) 八村智明，宮原哲也，大野博之：災害廃棄物による地下水・土壌汚染の可能性，応用地質，第 47 巻，第 6 号，pp.360-368，2007.
- 9) 野口喜三雄，後藤達夫：浅間火山及びその附近における湧水並びに河水の化学成分，火山、温泉、油田かん及び地下水の地球化学的研究 1（野口喜三雄博士米寿記念論文集編集委員会編集），pp.138-152，1994.
- 10) 野口喜三雄，西條八束，瀧澤延次郎，福嶋萬壽雄，高岡善人，皆川和，山口源固：阿蘇火山病の研究（第 7 報告），（日本病理学会会誌第 42 巻（昭和 28 年）別刷），火山、温泉、油田かん及び地下水の地球化学的研究 2（野口喜三雄博士米寿記念論文集編集委員会編集），pp.618-619，1994.
- 11) 森涼子：雲仙普賢岳噴火に伴う環境汚染，資源環境対策，第 43 巻，第 1 号，pp.85-92，2007.
- 12) 栃本博，関山登，瀬戸博，真木俊夫：伊豆大島の水道原水の化学成分濃度および特性，東京健安研年報，第 54 号，pp.275-282，2003.
- 13) 小杉有希，栃本博，高橋保雄，富士栄聡子，小西浩之，小輪瀬勉，矢口久美子：2000 年三宅島噴火後の水道水中有毒無機成分等の実態調査，東京健安研年報，第 57 号，pp.325-332，2006.
- 14) 高橋正博，高橋保雄，中川順一，吉田奈津子，松島理英，笹野英雄：三原山噴火後の大島の地下水調査，東京都衛生局学会誌，第 84 号，pp.78-79，1990.
- 15) 野口喜三雄，後藤達夫：大島及び三宅島における湧水及び天水の化学成分，火山、温泉、油田かん及び地下水の地球化学的研究 1（野口喜三雄博士米寿記念論文集編集委員会編集），pp.264-276，1994.
- 16) T. HACHIMURA, M. YAMANAKA, H. OHNO, S. NAGAOKA, T. MIYAHARA and H. TOSAKA : Appropriate Treatment/Disposal of Disaster Waste/Debris and Final Disposal Site , Journal of Environmental Information Science, Vol.40, No.5, pp.43-50, 2012.

- 17) 震災対応ネットワーク (DRNWW)：仮置場の設置と留意事項（第一報），2011 年 4 月 1 日発信
- 18) 島田允堯：自然由来重金属等による地下水・土壌汚染問題の本質：フッ素，応用地質技術年報，第 30 号，pp.3-29，2011.
- 19) 地盤工学会：災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン，2014 年 9 月，58p., 2014.
- 20) 小峯秀雄：自然現象の見える化の必要性，地盤工学会誌，第 63 巻，第 1 号，pp.24-25，2015.
- 21) 環境省：中央環境審議会土壌農薬部会（第 31 回）議事録，平成 26 年 7 月 3 日，2014

2.4 御嶽山 2014 年噴火速報 これまでの活動履歴との関係

アジア航測株式会社 千葉達朗

2.4.1 はじめに

御嶽山の 2014 年の噴火で、多数の犠牲者が出る結果となり、非常に残念でならない。わたしも、地質調査や防災マップの整備に携わっていただけに、忸怩たる思いである。御嶽山は、1979 年に有史以来はじめての噴火を行い、それ以降 1991 年 2007 年と噴火を繰り返してきた。これらの活動は、1979 年火口で繰り返してきたのであるが、2014 年噴火は新たな火口列で水蒸気噴火が発生した。

最近の詳細な地質調査によって、御嶽山はこのような水蒸気噴火だけでなく、1 万年以降、何度もマグマ噴火を繰り返す活動的な火山であることがわかってきた。

2.4.2 噴火史

御嶽山は、活火山のなかでは富士山に次ぐ本邦第2位の標高（最高峰は剣ヶ峰：3067m）を誇る、体積が約80km³の大型の成層火山である。その活動は、約78～40万年前の活動である古期と、約12万年前から現在の活動の新期に大きく分けられる。山体は玄武岩から流紋岩の溶岩・火砕岩で構成される。過去には、プリニー式噴火を数多く行っており、関東平野に広く分布する御岳第1軽石（On-Pm-I）などがその例である。また、約5万年前には、山体崩壊により大規模な岩屑なだれが発生、泥石流は木曽川沿いに流れ濃尾平野まで達した。

従来の研究では、約2万年前を最後にマグマ噴出はなく、それ以降は小規模な水蒸気噴火のみが発生していると考えられてきた。しかし、最近の我々の調査では、1万年以降、複数のマグマ噴火が発生していることがわかった。

2.4.3 御嶽山の最近 1 万年間の噴火史

御嶽山の山頂付近を詳しく調査すると、表層の地層に複数のマグマ噴火の痕跡が認められる。そのうち最も規模の大きな噴火は、5 億 m³ ものマグマを噴出した三ノ池溶岩の流出である。三ノ池溶岩は、それまで K-Ar 年代測定により 2 万年前の噴火によるものとされてきたが、四ノ池付近に落下した三ノ池噴火による火山弾直下の地層の年代測定から、約 8700 年前であることが明らかになった。その他、約 1 万 1 千年前、約 6200 年前、約 5900 年前にも、千万～百万 m³ オーダーのマグマを噴出させる噴火があった。1 万 1 千年前と、5900 年前の噴火は、それぞれ北側、西側に流れ下る火砕流が発生し、山麓まで到達している（濁滝火砕流）。この他、水蒸気噴火も頻発しており、1979 年と同程度かそれより規模の大きな噴火は百～数百年に一回の頻度で発生している。この頻度は、日本の活火山の中でも多いほうである。

2.4.4 最近の活動

噴気活動は江戸時代後期以降の最近 250 年間、山頂南側の地獄谷周辺で継続している。1979 年噴火は 10 月 28 日に地獄谷に火口列を生じて発生し、降灰は約 150 km 離れた群馬県前橋市に達した。噴火の一日前から山頂直下で地震活動が活発化した。その後、1991 年と 2007 年に小規模な噴火が発生した。1991 年噴火の進展は、1991 年 4 月末から山頂直下に震源をもつ地震・微動が増加し、5 月に小規模な噴火がおきた。噴出量は数十トン程度と推定された。また、2007 年の微噴火は、2006

年 12 月から山頂直下の地震活動の活発化や GPS 測量による地殻変動が検出され、その後、噴気量が増大し 2007 年 3 月（推定）に微噴火が発生と段階を追って進展した。噴出物の総量は数十トン程度である。

2.4.5 2014 年噴火

2014 年 9 月 10 日に山頂直下の地震回数が 50 回を超え地震活動が活発化した。気象庁は、11 日に火山解説情報を発表し、火山活動の高まっていることの注意を喚起した。火山解説情報が出たことに関しては、NHK や新聞などのローカルニュースでも報道された。しかし、地殻変動などが観測されなかったことから、噴火警戒レベルは 1（平常）のままで据え置かれた。地震の回数は、11 日に 85 回を記録した後に減少し、噴火の直前では日に 10 回以下と少なくなった。その後、9 月 27 日 11:52 の噴火を迎えた。噴火前に火山性微動の発生や傾斜計の変化が認められたが、それはわずか 10 分前からであった。

2014 年噴火は、1979 年噴火の火口より南側に、新たに形成された複数の火口から発生した。1979 年噴火の噴火口は、1991、2007 年の微噴火の火口としても活動したが、今回の噴火では活動していないばかりか、噴気活動の増大や火口からの噴出物の放出は無かった。2014 年噴火口は、地獄谷内とその西側山腹斜面に形成され、前者の方が噴煙活動は活発である。

今回の噴火の際立った特徴は、低温型火砕流の発生である。報道等で紹介された噴火開始直後の映像から、火砕流が南側の地獄谷沿いに流れくんだり、その後、火口直上に標高 3400m ほどの高さまで噴煙柱が立ち登り崩壊して火砕流が発生しているのが確認できる。火砕流は火口から四方に広がり流れくんだり、特に南側と北西側の谷沿いにそれぞれ約 2 km、約 1.5 km と長く流れ下った。南側の地獄谷沿いに流れ下ったものは、国交省設置の監視カメラで発生初期からよくとらえられた。また、地獄谷内の火口周辺には、噴出物が厚く積もり火砕丘を形成した。28 日から少なくとも 30 日まで、火口からの熱水の溢れ出しによると考えられるラハールが火口から直接流れでているのが観察された。

文献

及川輝樹・鈴木雄介・千葉達朗（2014）御嶽山の噴火―その歴史と 2014 年噴火―，科学，84,12,p.1218-1225.

3 火山地域における土砂災害メカニズムの検討

3.1 伊豆大島土石流災害地の現状と強度・地下水流音特性及び土石流発生履歴について

山口大学 正会員 ○鈴木 素之
環境地質 正会員 大野 博之
山口大学 楮原 京子
アジア航測 正会員 阪口 和之
山地防災研究所 正会員 櫻井 正明
太田ジオリサーチ 正会員 美馬 健二
八千代エンジニアリング 正会員 吉川 修一

キーワード 復旧状況，土石流，土層検査棒，透水試験，土石流発生履歴

3.1.1 はじめに（鈴木）

平成 25 年台風 26 号の豪雨によって東京都大島町（伊豆大島）において土石流災害が発生してから 1 年が経過した。土木学会地盤工学委員会研究小委員会は、平成 26 年 11 月 1 日～2 日の 2 日間、土石流の崩壊部およびその周辺部の変化（復旧状況）の把握、崩壊・土石流の発生状況およびメカニズムの推定、過去の土石流（火山泥流）の発生履歴、災害廃棄物処理状況とその影響の把握を目的とした現地調査を実施した。以下では災害廃棄物関連を除いた調査結果と所見について記述する。

3.1.2 調査概要（鈴木）

現地調査は土石流によって大きな被害が発生した大島町元町地区を中心に行った。調査団員のうち、1 年経過時の復旧状況を吉川、崩壊地調査を美馬と櫻井、土石流堆積物調査を楮原と阪口、災害廃棄物の仮置き場の調査を大野と鈴木が主に担当した。各章見出しの後に担当者名を括弧内に示している。

3.1.3 1 年経過時の復旧状況（吉川）

伊豆大島豪雨災害は、平成 25 年 10 月 16 日未明に発生し、甚大な人的、物的被害を及ぼした。その後約 1 年が経過し、平成 26 年 11 月 1 日～2 日に復旧状況を確認するため追跡調査を実施した。本章では、豪雨災害緊急調査団の調査結果¹⁾と対比しながら、特に甚大な被害が発生した大金沢周辺の復旧状況について報告する。また、大島支庁ならびに大島町役場の公表資料²⁾³⁾に基づいて、災害後の行政の対応についても報告する。

（1）崩壊後の大金沢周辺

右写真に崩壊後の大金沢周辺の状況を示す。

（2）自然斜面の復旧状況

①崩壊地

崩壊斜面は、当時のままの状態にあり、復旧は進んでいない。また、新たな崩壊も生じていない。一方、堆積部の土砂は取り除かれ、整地まで行われている。





(崩壊部)



(堆積部)

図 3.1.3.1 崩壊地の復旧状況

②流木

源頭部付近の樹木はそのまま残っており、表層崩壊であったことが確認できる。河道閉塞が生じた元町橋付近の流木は取り除かれ、橋梁は通行可である。



H25.10.18¹⁾



H26.11.1

(生産部：大金沢上流)



H25.10.18¹⁾
(下流より)



H26.11.1
(上流より)

(堆積部：元町橋周辺)

図 3.1.3.2 流木の復旧状況

(3) 土木構造物

①道路

御神火スカイライン上に堆積した土砂、流木はほぼ取り除かれているが、大金沢中流部の1箇所で道路が寸断したままであり、通行ができない状況にある。舗装に災害査定が行われた記録が書かれており、着々と復旧に向けた取り組みが進められていると見受けられる。



H25.10.18¹⁾



(御神火スカイラインで唯一通行できない箇所)



ホ-舗装、ガ-ガードレール
ホ(復) 木(復)

図 3.1.3.3 道路の復旧状況

②坑土圧構造物

崩壊土砂は擁壁の上部を通過し、坑土圧構造物の変形や損傷は見受けられない。



H25.10.18¹⁾



H26.11.1

図 3.1.3.4 坑土圧構造物の復旧状況

③のり面工

現地では切土法面に法枠工が多く用いられているが、ほとんど損傷は見られず、現在は植生が繁茂している。



図 3.1.3.5 切土のり面工の復旧状況

④道路排水施設

道路排水工が完全に復旧していないため、雨水排水は主に縦排水工や沢を經由して流れると見られる。



図 3.1.3.6 道路排水施設の復旧状況

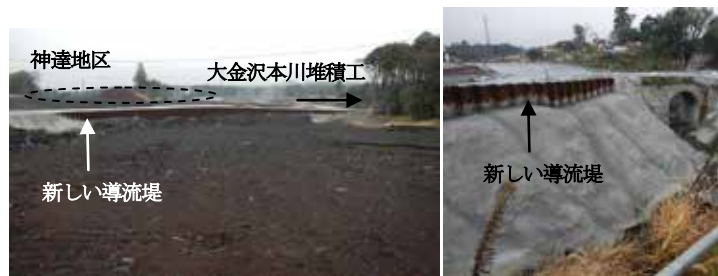
⑤砂防施設

大金沢本川堆積工の上流には多くの土砂流木が堆積した。自衛隊による復旧活動により透過型砂防堰堤は原状回復している。また、鋼製のフレームに損傷は見られない。

甚大な被害を受けた神達地区の上流には鋼矢板による導流堤（高さH=1m程度）が設けられている。



（大金沢本川堆積工）



（神達地区上流部の導流堤）

図 3.1.3.7 砂防施設の復旧状況

⑥観光施設

御神火茶屋までは車で行くことができる。11/1～2 は天候が良くなかったものの、観光バスもあり三原山への観光客も戻りつつあると見られる。



図 3.1.3.8 御神火茶屋の状況

(4) 大島町の復興計画

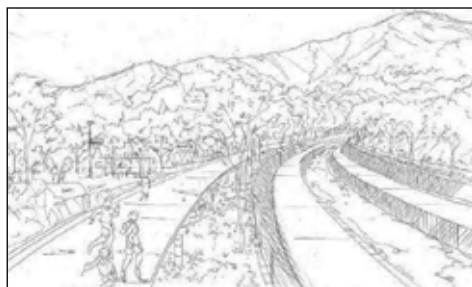
東京都、大島町では災害に強い島づくりと町の復興に向けた様々な復興計画が打ち出されており^{2),3)}、この中から大金沢周辺では以下の復旧・復興計画がある。

①インフラの復旧²⁾

東京都が実施する大金沢の堆積工、導流堤の整備、流路の屈曲部の改修と管理用通路の整備

②防災まちづくりの強化²⁾

神達地区にメモリアル公園を造り、本川堆積工～公園～御神火スカイラインを結ぶ道路の強化



大金沢流路周辺の整備イメージ²⁾



メモリアル公園の整備イメージ²⁾

図 3.1.3.9 大島町復興計画の整備イメージ

(5) まとめ

災害から1年経過し、崩壊地を除けば着実に復旧が進んでいる印象を受けた。ただし、崩壊地の復旧は規模が大きいに相当の時間を要すると思われる。

参考文献

- 1) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会：平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団報告会，H26.1.23.
- 2) 東京都大島町：平成25年台風26号伊豆大島の土砂災害の概要.
- 3) 東京都建設局：伊豆大島土砂災害対策検討委員会報告書，H26.3.

3.1.4 崩壊地調査による崩壊機構の推定（美馬、櫻井、鈴木）

（１）表層崩壊地の状況

平成 25 年台風 26 号による豪雨では、元町地区背後の外輪山斜面を開析する長沢・大金沢・八重沢・八重南沢において、表層崩壊地が多発し、崩壊土砂は土石流となって流下した¹⁾。大金沢では、14 世紀の割れ目噴火の溶岩流、スコリア丘により地形が埋められたために、浅い谷しか発達しておらず、土石流は広がって流下している。

表層崩壊地の多くは、谷頭部の遷急線付近から崩落しており、崩壊深は 0.5～0.8m 程度である。崩落した土層は黒色火山灰（上層と呼ぶ）であり、下部に灰褐色火山灰（下層と呼ぶ、最近の研究ではレスとされる）があり、その境付近をすべり面として崩落している。山中式硬度計による土層の硬度は、上層 10mm 未満、下層 10-20mm であった。

表層崩壊地の周辺は、過去に薪や炭焼きの原木の採取が行われた照葉樹低木林の分布地であり²⁾、根系の発達が悪く、下層まで根系が到達しているところは少ない。



図 3.1.4.1 谷頭部の表層崩壊地の状況



図 3.1.4.2 遷急線付近から崩落した表層崩壊地



図 3.1.4.3 崩落土砂が流下した斜面の状況

（２）土質試験の結果

表層崩壊地において、上層(①、④)と下層(②、③)から土質試料を採取して行った土質試験結果は、次表のとおりである。採取場所の上層は厚さ 50cm であり、表面の 20cm 程度は根系が密な表土層があり、土質試料はその部位を避けて採取している。

間隙比 e と透水係数 k の関係は、図 3.1.4.4 のとおりである。表土層に近く試料内に細根が観察された試料(④)を除いて、間隙比の変化に対して透水係数がほぼ一定である。試料④は、透水係数にばらつきが生じており、高い値を示しているが、細根がみず道となった可能性がある。また、いずれの試料も

透水係数は砂および礫のそれに近い数値を示している。

上層の上部を占める表土層付近は、根系が発達しており透水係数が高いと推定されるが、すべり面を挟む上層下部及び下層については透水係数に大きな差異はみとめられなかった。

表 3.1.4.1 土質試験の結果(平均値)

番号	位置	乾燥密度(g/cm ³)	間隙比	透水係数(cm/s)
①	上層	1.051	1.697	3.3×10^{-3}
②	下層	1.025	1.794	3.4×10^{-3}
③	下層	1.079	1.619	2.9×10^{-3}
④	上層	1.052	1.564	9.4×10^{-3}

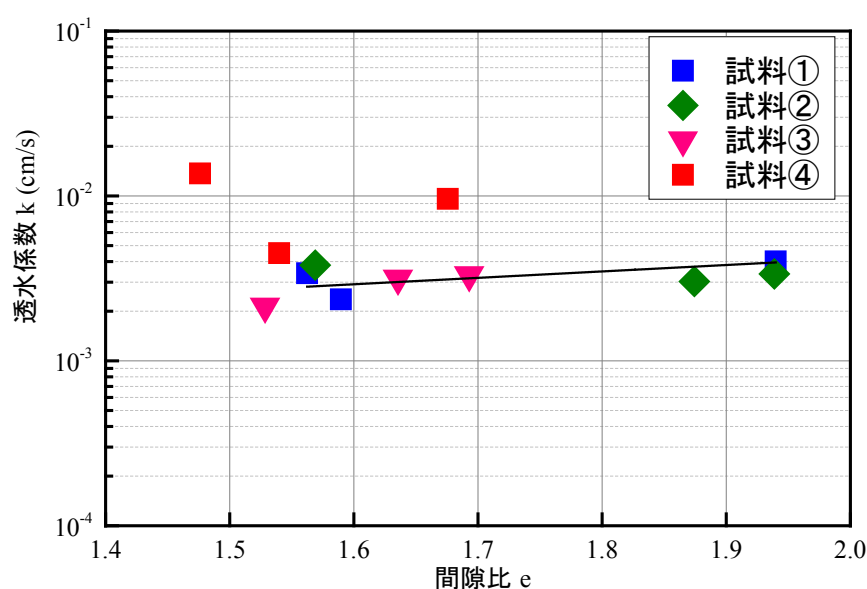


図 3.1.4.4 間隙比 e と透水係数 k の関係

(3) 崩壊時の地下水位

今回、観測史上最大の雨量強度により斜面が崩壊したが、崩壊時の地下水位がどの程度のものであったかは確認できていない。そこで、土質試験による実測値を用いて安定解析を行い、未知数である地下水位を逆算で求めた。

①対象地

対象地は図 3.1.4.5 に示す崩壊源頭部とした。崩壊規模は、幅約 10m、斜面長 15m 以上、深さ 1m 前後である。崩壊前の斜面勾配は、1:5000 の地形図（国土地理院：国土基本図 S61 年修正）より 34° ～ 39° であり（図 3.1.4.6）、安定解析では斜面勾配 39° として計算する。

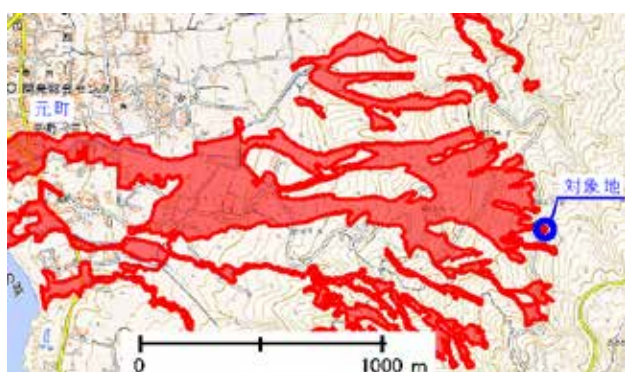


図 3.1.4.5 対象地（国土地理院の資料に加筆）

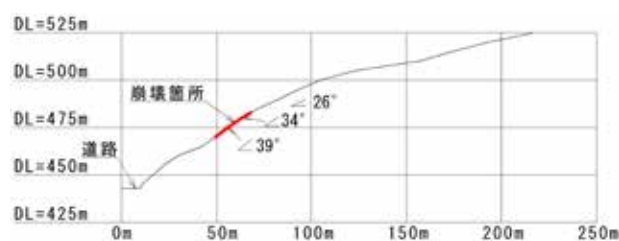


図 3.1.4.6 崩壊前の断面図



図 3.1.4.7 崩壊斜面下方の道路
(H26.11.1 撮影、土砂撤去後)



図 3.1.4.8 崩壊源頭部の状況

②安定解析の条件

崩壊時（安全率 $F_s=1.0$ ）の地下水位を再現する上で、必要となる定数は、a)単位体積重量、b)土層深、c)土質定数 c 、 ϕ である。表 4.2 に土質試験とその結果を示した。なお、安定解析の計算手法は Bishop 法である。

表 3.1.4.2 必要な定数と土質試験結果

定数	試験結果	土質試験の内容
a) 単位体積重量	13.1kN/m ³	湿潤密度試験。上記(2)で採取した①及び④ (6 試料) の平均値とした (表 4.3)。
b) 土層深	1.7m	土層強度検査棒による貫入試験 (図 4.10)。試験位置は、滑落崖から水平距離 3m 上方の位置である (図 4.9)。
c) 土質定数 c, ϕ	$c=10.0 \text{ kPa}$ $\phi=25.6^\circ$	土層強度検査棒によるベーンコーンせん断試験。試験位置は滑落崖から水平距離 3m 上方の位置である。試験は 1.5m 程度水平移動し 3 回行い、 c 、 ϕ は 3 試験の平均値とした (表 4.4)。試験の深度はすべて 1.0m である。



図 3.1.4.9 土層強度検査棒の試験位置

表 3.1.4.3 湿潤密度試験結果

試料番号	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)
①-1	1.272
①-2	1.355
①-3	1.378
④-1	1.323
④-2	1.318
④-3	1.344

表 3.1.4.4 土層強度検査棒試験による c 、 ϕ 計測結果

No.	c (kPa)	ϕ (°)	平均 c (kPa)	平均 ϕ (°)
No.1	12.3	20.2	10.0	25.8
No.2	2.1	31.9		
No.3	15.6	25.3		

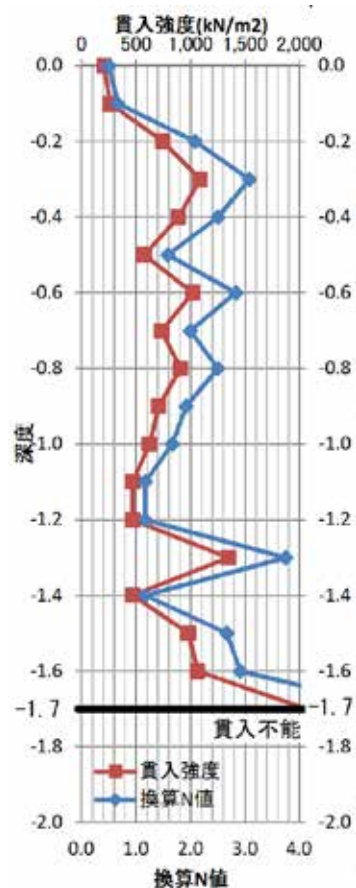


図 3.1.4.10 土層強度検査棒による貫入試験結果

③安定解析の結果（崩壊時の地下水位）と考察

土層内を地下水で満水状態として安定解析すると、最小安全率 $F_s=1.257>1.00$ となる（図 3.1.4.11）。徐々に地下水を上昇させ、安全率 $F_s=1.00$ を僅かに下回る地下水位を求めた結果、地下水位は地表より 0.29m 高い位置となった（図 3.1.4.12）。これは、被圧水圧であることを意味している。しかし、一般に考えられている降雨が地中の間隙に浸透して、地下水位が上昇するような単純モデルだけでは被圧水圧は説明が困難である。おそらく崩壊する土層内の水は、斜面上方からパイプ流で流入していたものと考えられる。パイプ流の地下水は、通常の降雨であればソイルパイプから安定して排水されるが、今回のような観測史上最大の雨量強度では、パイプ流の通水流量は限界を超え、自由水圧が被圧水圧へ移行した可能性があると考えられる。

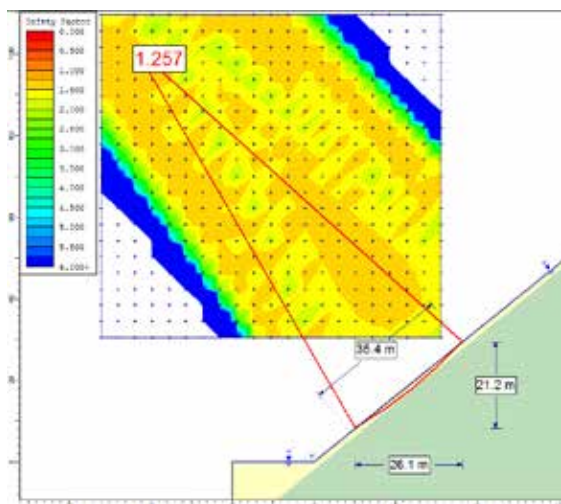


図 3.1.4.11 満水状態での最小安全率 $F_s>1.00$

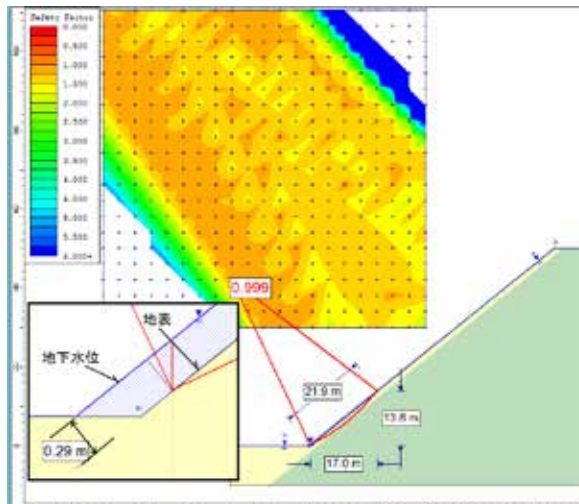


図 3.1.4.12 被圧水条件での安全率 $F_s<1.00$

(4) 地下の集水地形

降雨によって斜面が選択的に崩壊しているのは、集水しやすい条件が関係していると考えられる。地下水の集水されるところが分かれば、崩壊の予測において非常に重要な情報となる。一般に、乱れていない地形条件では、基盤の谷地形（集水地形）は、表層（地表）の谷地形と一致すると推定される。しかし、火山地帯においては、まだ豪雨による侵食を受けていない新しい火山灰等の堆積があり、地表からは地下の集水地形が読めなかったり、または地表の谷と地下の集水地形が一致していないことも想定される。そこで、侵食が発達していない斜面でどこに集水地形があるのかを捉えるため、地中音の測定を行った（図 3.1.4.13）。

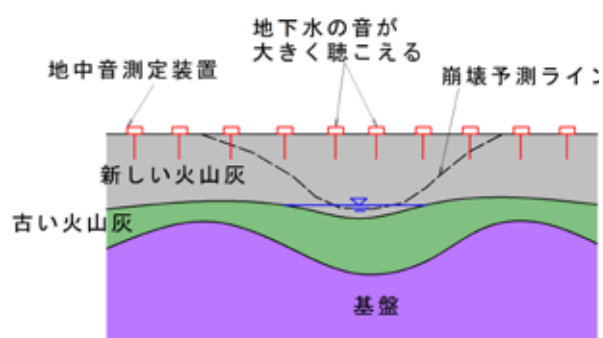


図 3.1.4.13 地中音測定概要

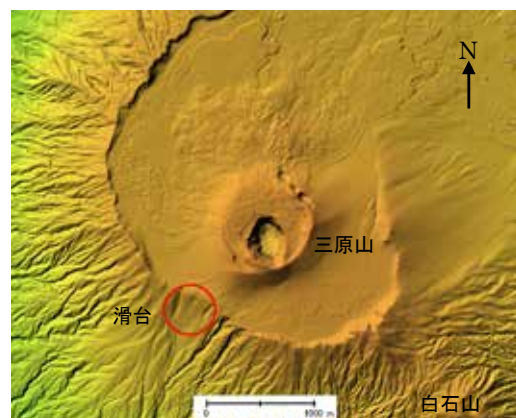


図 3.1.4.14 測定箇所(赤丸印は測定斜面、滑台は地名)
(国土地理院の資料に加筆)

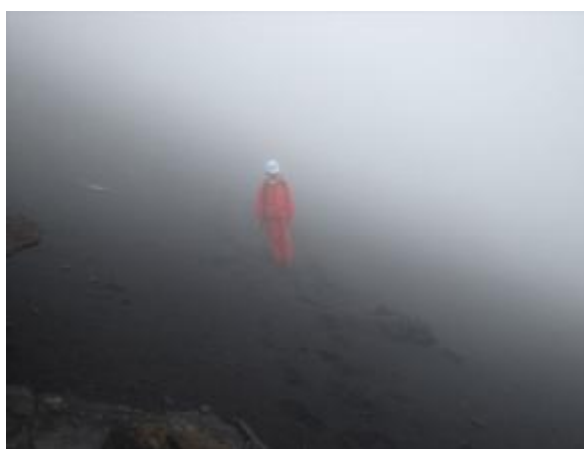


図 3.1.4.15 測定箇所の斜面(濃霧により撮影不良)



図 3.1.4.16 表層の砂礫

①測定箇所の概要

侵食がまだ発達していない斜面を対象とし、図 3.1.4.14 の箇所を選定した。斜面勾配は 30 度程度であり、植生はない（図 3.1.4.15）。土質は砂礫である（図 3.1.4.16）。

②地中音測定装置の概要

地中音測定装置は、地下水が土粒子の間隙に存在する空気と交換されることで気泡が発生し、その気泡が割れる瞬間に発する曝気音（図 3.1.4.17）の強弱を測定する装置である（図 3.1.4.18）。測定周波数は、300～800Hz の範囲とし、測定結果を加速度に変換して用いた。

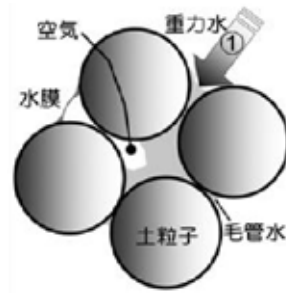


図 3.1.4.17 地下流水音のメカニズム ³⁾(水膜が割れる瞬間に「ポコ」、「ポコ」と気泡の弾ける音が発生する)



図 3.1.4.18 地中音測定装置 ⁴⁾と測定の様子

③測定結果と考察

測定は5～15mの間隔で実施し、全11測点で行った。計測結果を図3.1.4.19に示す。地中音の大きさは、No.8の地点で最も大きくなっており、この斜面で浸食されるのは、No.8付近であると考えられる。さらに詳細に述べると、No.5からNo.8にかけて音は徐々に大きくなり、No.8でピークに達し、またNo.10にかけて徐々に音は小さくなる。地形と照らし合わせると、No.8は微地形の谷部に相当することが読み取れる。地下水は微地形の谷部に集水されていると考えられ、崩壊予測として、谷の発達していないいわゆる0字谷は注意が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 櫻井正明：2013 年台風 26 号による伊豆大島の斜面災害（速報），日本地すべり学会誌, Vol.51, No.1, 25-28, 2014.
- 2) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団, 20-21, 2014.
- 3) 多田泰之：平成 20 年度独立行政法人森林総合研究所公開講演会講演要旨集, pp.20, 2008.
- 4) 多田泰之・藤田正治・堤大三・奥村武信・本田尚正・柳沢甚平・河合隆行・小山敢：地下流水音による山腹斜面の水みち経路分布の推定精度，第 55 回平成 18 年度砂防学会研究発表会概要集, 2006.

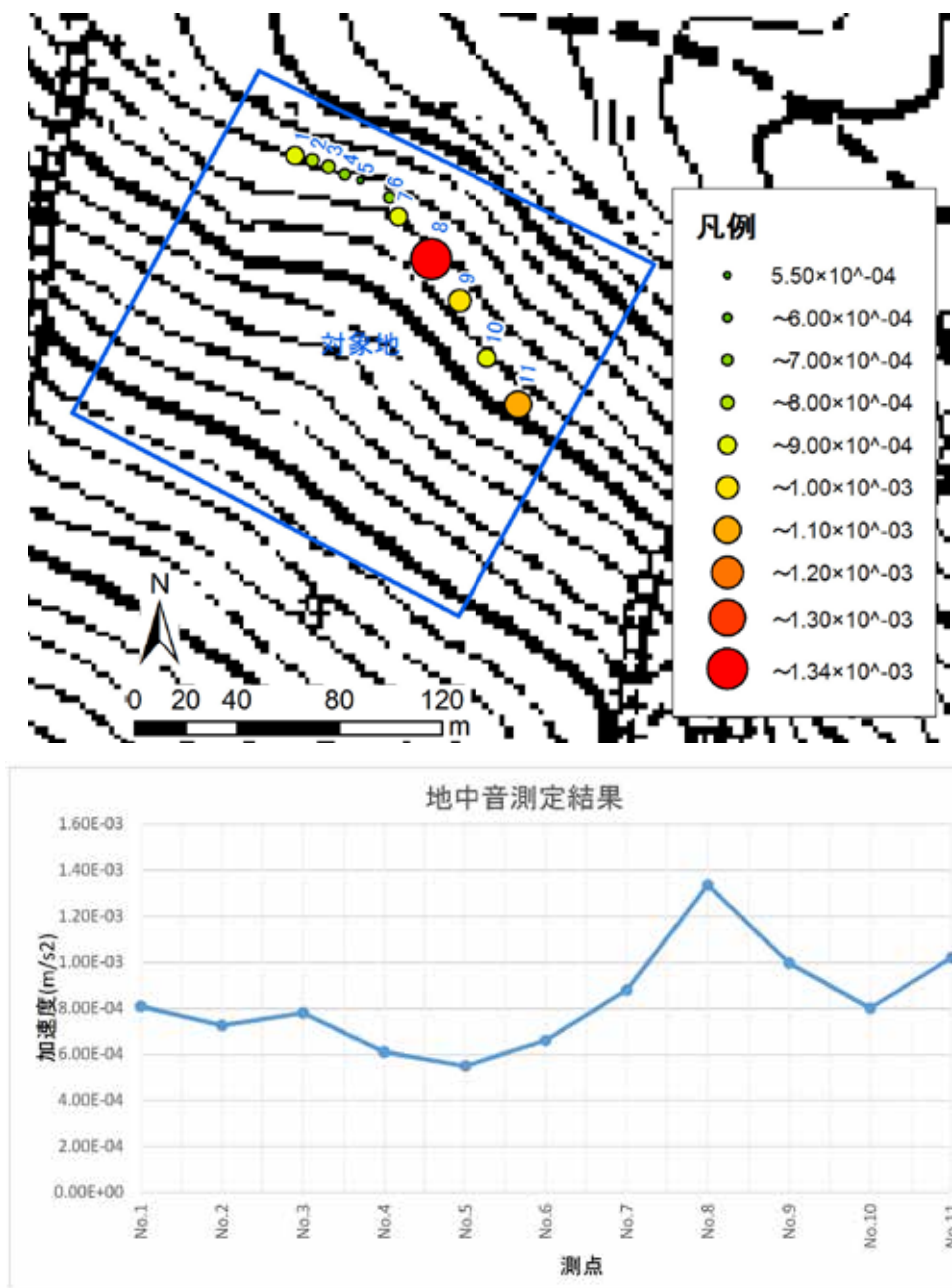


図 3.14.19 測点と地中音の大きさ
(上図は国土地理院の火山基本図に加筆)

3.1.5 土石流履歴と過去の災害（楮原、阪口、櫻井）

（1）概要

平成25年台風26号により被災を受けた元町地区中心街は、14世紀（鎌倉時代）に山腹の割れ目噴火により流出した溶岩流の上に成立しており、火山体を開析する侵食谷である長沢、大金沢などの涸れ沢が流入してきている。侵食谷下流の海岸線には砂浜（弘法浜、湯の浜など）が形成されているほか、小規模な砂丘（大金沢左岸）もみられ、古くから土砂流出が繰り返されていたことが示唆される。

また、溶岩流北端のオンダシ遺跡（現東京都大島支庁舎）では、溶岩流下から古墳時代終末期から奈良時代にかけての集落遺跡（伊豆諸島最大規模）が発掘されている。また、溶岩流南側に隣接する八重南沢（作川）下流には、古墳時代から奈良時代にかけての神田屋敷遺跡、縄文時代から古墳時代の遺跡である下高洞遺跡（伊豆諸島で一番古い住居跡）がある¹²⁾など。これらのことから、元町地区の海岸付近は、古くから居住区域として利用されていたと見られる。

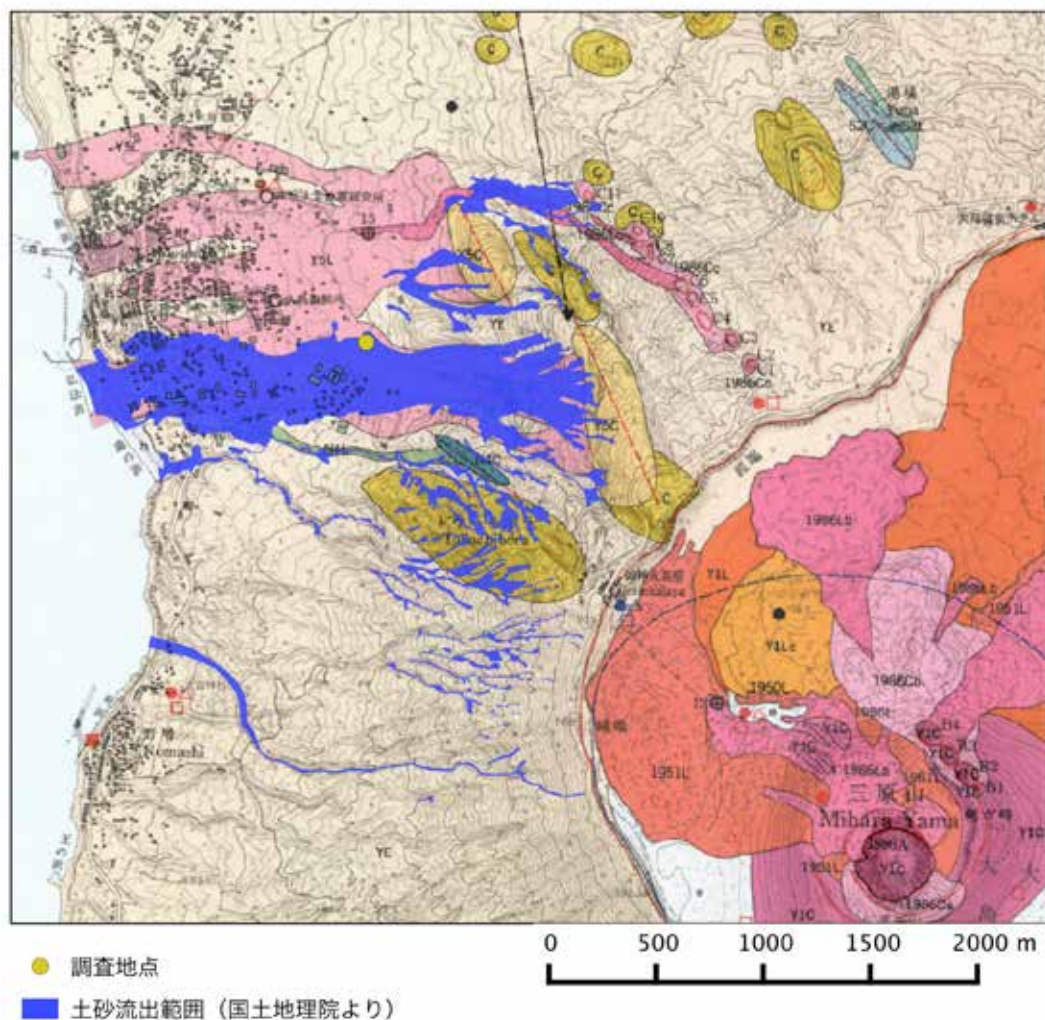


図 3.1.5.1 調査地域周辺の火山地質と土砂流出範囲

（2）過去の土砂災害

伊豆大島における顕著な土砂災害は、昭和33年の狩野川台風など、台風による豪雨により発生している。元町地区において、記録に残る台風災害は次表のとおりであり、おおむね30～80年間隔で災害が発

生している³⁾。特に、昭和33年の狩野川台風においては、平成25年台風26号より降水量は少なかったが、長沢、大金沢から土砂流出があり⁴⁾、元町地区において人的被害も発生している。また、平成25年台風26号の豪雨による侵食により、過去の土石流堆積物が表れたことが報告されており⁵⁾、土砂移動が頻繁であったことがうかがえる。

表3.1.5.1 元町地区における主な台風災害(文献3)の表を修正)

西暦(和暦)	災害の概要
1856/9/23 (安政3年8月25日)	暴風雨により、伊豆大島に災害が発生しており、同日、江戸においても被害が出ている。 新嶋村(現元町地区)においては、家屋流出6軒、倒壊破損は村内の8～9分、漁船流出2隻、破損19隻、作物も7分程度の被害を受けた。
1932/11/14 (昭和7年11月14日)	強い台風により、東海地方から東北地方にかけて、暴風雨に見舞われ、全国で死者・行方不明者257名の人的被害を出した。 元村(現元町地区)においては、全壊42戸、半壊70戸、破損350戸の被害を出した。
1958/9/26 (昭和33年9月26日)	台風による豪雨により、狩野川が氾濫した伊豆半島を中心に全国で死者・行方不明者1269名の被害が発生した(狩野川台風)。 元町地区においては、山津波(土石流)により、死者1名、行方不明者1名の被害を出した。大島町の住宅被害は、全壊24戸、流失5戸、半壊22戸であるが、ほとんどが元町地区とみられる。
2013/10/16 (平成25年10月16日)	平成25年台風26号による豪雨により、伊豆大島を中心に全国で死者・行方不明者43名の人的被害を出した。 元町地区においては、土石流により、死者36名、行方不明者3名の被害を出した。大島町の住宅被害は、全壊71戸、半壊25戸である。

注) 新嶋村(明治41年改称)及び元村(昭和30年合併)は元町地区の旧称である。

表 3.1.5.2 降水量の比較(大島アメダス)³⁾

区分	降水量(mm)		
	2日間		1時間最大
狩野川台風	1958年9月25-26日	455.8	87.5
平成25年台風26号	2013年10月15-16日	824.0	118.5

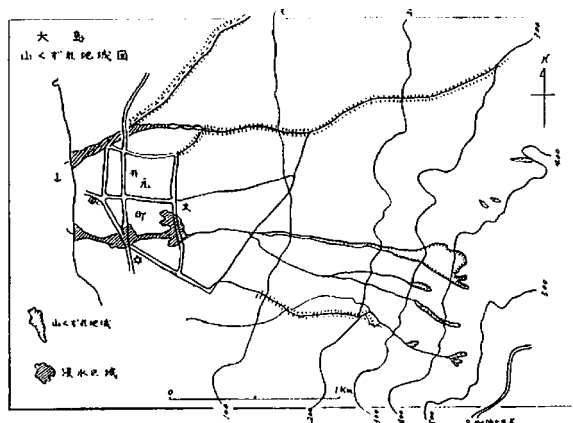


図3.1.5.2 狩野川台風時の土砂流出(文献4)から引用)



写真3.1.5.2 狩野川台風時の被害状況(提供:阿部比佐志氏)

(3) 土石流による集団移転の伝承

古老の口承として、元町地区は、文禄(16世紀末)の昔、「びやく」(山津波)に押されて埋没し、現在の地(餅町地区中心街)に集団移転したものとされるが⁶⁾、噴火や津波をあげるものもあり、集団移転のきっかけとなった土石流災害があったかどうかは明確ではない⁷⁾。

柳田國男の方言集によると、「ビヤク」は「崖の斜面、崖」の意味であり、「ビヤクガオス」と使うと「山ずりして土砂が押出す」ことをさしている⁸⁾。少なくとも、伊豆大島の方言に土石流をさす言葉(ビヤク)が残っていることは、古くから土石流の発生が見られていたと考えられる。

表5.3 元町地区の移転に関する伝承(文献3)から作成

文献	発行年	時期	原因
風俗画報臨時増刊253号 伊豆七島図会(風俗画報 編集部)	1902	貞享(1684～1687年)	海嘯(津波)の難より
伊豆大島圖誌(山口貞 夫)	1936	未記載	噴火のため
伊豆大島志考(立木猛 治)	1961	文禄(1592～1596年)の頃	びやく(山津波)に押されて埋没 *伝承を掲載しているが、「びやくの 押した事実を証するものは見当たら ない。」としている

(4) 大金沢における露頭観察

調査地(大金沢)のある御神火スカイラインが通るスコリア丘の西麓は、三原山外輪山のなかでも、ガリーの発達が悪い地域である。その要因には元町溶岩流の流下地域であり下刻が進みにくいこと、山麓斜面の形状が下に凸の形状となっており河川の営力が減衰しやすい地形であることが影響していると考えられる。そのような地域において大金沢は稀に発達した河谷の一つと言える。そして、少なくとも元町溶岩流の流下以後、この地域の土砂移動や排水の経路として機能してきたと推察される。すなわち、過去にも豪雨を受けて繰り返し土砂流が流下したであろうことが容易に想像される。台風26号によって堆積物の一部がはぎ取られた大金沢の河谷では、元町溶岩流とそれ以降の噴火活動によるテフラが積層している様子が確認される。

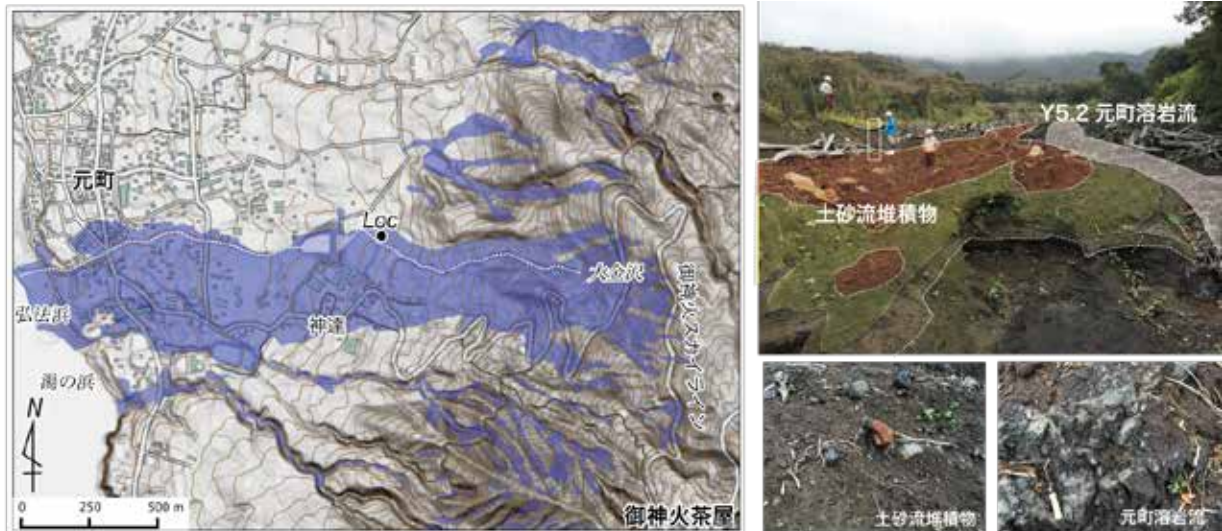


図3.1.5.3 調査地点の位置図と大金沢の様子

伊豆大島では過去1500年間に24回の中～大規模噴火が起き、その度にテフラを堆積させ、また噴火活動の休止期間には風成塵（レス）が堆積している¹⁰⁾（表3.1.5.4）。土砂流堆積物は色の異なるスコリアや溶岩の礫、泥質の偽礫等が混在するような異質な堆積物として認められる。

Loc.1では、元町溶岩流の直上に図3.1.5.4に示すような土砂流堆積物が確認された。層厚は約1mで、全体として上方細粒化する。この土砂流堆積物は順次細礫混じりの砂層、黄褐色のレス、暗灰色火山灰に覆われ、さらに特徴的な淡灰褐色シルトがこれらを覆っている。細礫混じり砂層は土砂流あるいは洪水による氾濫でもたらされた堆積物と判断される。138～153cmにはこの淡灰褐色のシルトと暗灰色火山灰がやや乱れた形で互層するが、土砂流に起因する乱れとは判断し難い。一方、2013年の土砂流堆積物は地表にわずかに残る程度である。

Loc.2では元町溶岩流の上位を、スコリアを多く含む土砂流堆積物が覆い、さらにその上位を白色シルトの薄層と暗灰色火山砂の互層が覆っている（図3.1.5.5）。この暗灰色火山灰の上位は赤・紫・灰色等を呈するシルト質火山灰となっていることから、Y4.0に対比される可能性が高い。この上位ではレスと火山灰が乱れる層準があるが、葉理をもたず乱れ方に系統性がないので、可動物質の流れによる乱れとは考えにくい。一方、60～105cmにある暗色のレスは溶岩の細礫やスコリアを多く含み上方細粒化もみられることから土砂流堆積物であると判断した。

Loc.2で認められた土砂流堆積物は、上記のLoc.1でみられた土砂流堆積物に比べると、基質が明らかに細粒である。また層位も異なることから、少なくとも元町溶岩流流下後から2013年までに少なくとも2

表 3.1.5.4 伊豆大島の近年の噴火時期と堆積物

噴火時期	堆積物
	地表直下のレス
19世紀前半	Y0.8火山灰
	Y0.8/Y1.0レス
1777-78年（安永噴火）	Y1.0火山灰
	Y1.0/Y2.0レス
1684年（貞享噴火）	Y2.0火山灰
	Y2.0/Y3.0レス
16世紀後半	Y3.0火山灰
	Y3.0/Y4.0レス
15世紀なかば	Y4.0火山灰
	Y4.0/Y5.0レス
14世紀前半	Y5.0火山灰
	Y5.0/Y5.2レス
14世紀初頭	Y5.2スコリアと溶岩流（元町溶岩）

※灰色：噴火で火山灰・スコリア堆積。
無色：噴火休止期に土ぼこり（レス）が堆積。

回のイベントを読むことができる。なお、小山・鈴木（2014）は元町周辺において、14世紀初頭の元町溶岩、その直後に起きたラハール（火山地域で起きる土石流や泥流の総称）、16世紀末の「びゃく」に相当する可能性のあるラハール、1856年または1932年に神達地区をおそったラハール、1958年の狩野川台風に伴うラハール、1986年の溶岩流、2013年の台風26号に伴うラハールの計7回（ラハールに限れば、計5回）の地質災害が発生したことを記している。

今回の2地点の観察とあわせてLoc.1では深度75cm（IZ01-C2）と深度175cm（IZ01-C1）、Loc.2では深度80cm（IZ02-C1）において放射性炭素年代測定を実施した（表5.5）。IZ01-C2は深度60-70cm付近の火山灰砂の直下、IZ01-C1は深度155-180cmにみられた火山灰砂と細礫～中礫からなる堆積物中にあたる。また、IZ02-C1はラハール堆積物中から試料を採取した。IZ01-C2の年代値は1641-1668 cal ADおよび1782-1798 cal ADで、IZ01-C1は1464-1525 cal ADおよび1557-1633 cal AD、IZ02-C1は1467-1529 cal ADおよび1551-1635 cal ADであった。年代測定結果を踏まえると、Loc.1の最下位にある土砂流堆積物は15-17世紀以前の大規模な土砂流であり、元町溶岩流直後のラハールに対比される。IZ01-C1とIZ02-C1はほぼ同じ年代値を示し、ともに細礫や炭化物を含む層であることから一連の土砂流堆積物とみなされる。そして、その年代値からこの土砂流が16世紀末の「びゃく」に対比される可能性が高いと推定される。Loc.1の深度60-70cm付近の火山灰砂は17-18世紀頃の噴火に対比される。しかし、噴火が1684年であるのか1777-78年であるのかの判断ができないため、その上位にある土砂流堆積物の発生時期を特定するに至らなかった。今後、ラハールの発生時期や場所、その規模について、周囲の環境を一変させた噴火活動の状況や河道の変遷とあわせて議論し、より詳細な検討を加えていく予定である。

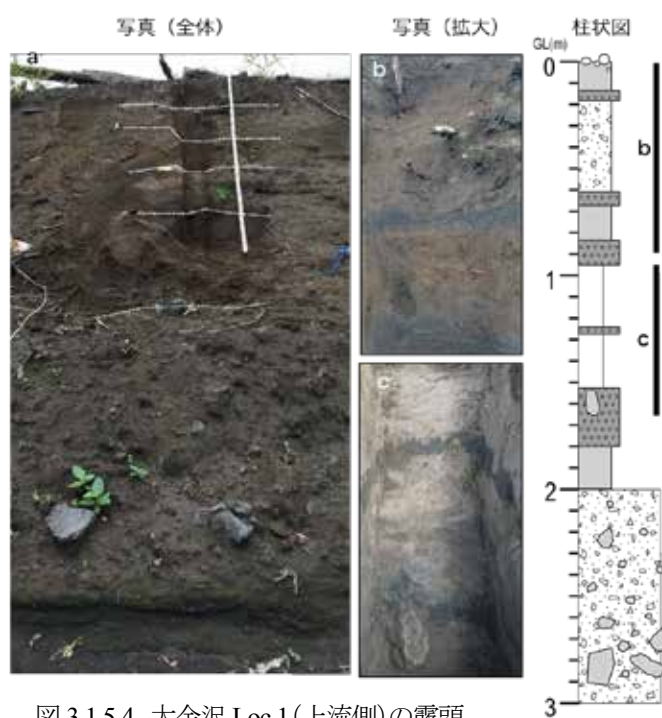


図 3.1.5.4 大金沢 Loc.1(上流側)の露頭

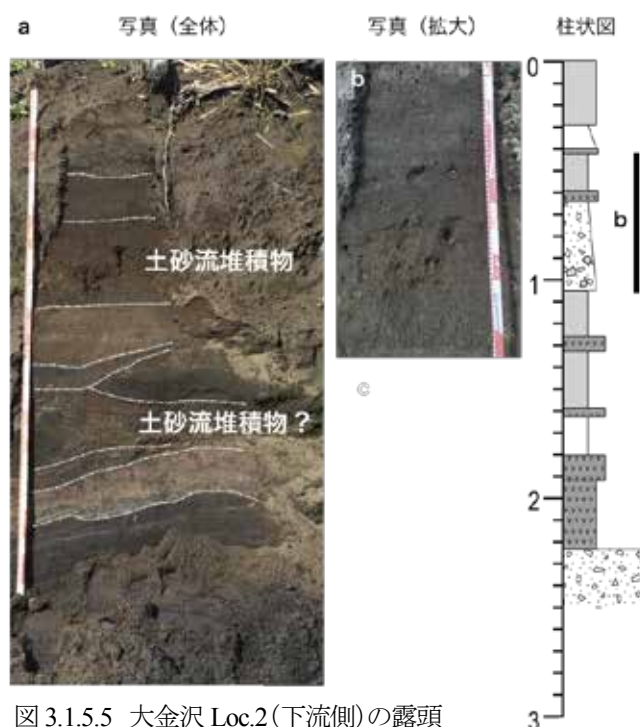


図 3.1.5.5 大金沢 Loc.2(下流側)の露頭

表3.15.5 放射性炭素年代測定および暦年校正の結果

測定番号	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	暦年校正用年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代を暦年代に校正した年代範囲
				2 σ 暦年代範囲
PLD-27815 試料No. IZ01-C1	-26.79 $\pm$ 0.24	354 $\pm$ 17	355 $\pm$ 15	1464-1525 cal AD (47.0%) 1557-1633 cal AD (48.4%)
PLD-27816 試料No. IZ01-C2	-29.09 $\pm$ 0.38	246 $\pm$ 19	245 $\pm$ 20	1641-1668 cal AD (75.0%) 1782-1798 cal AD (20.4%)
PLD-27817 試料No. IZ02-C1	-25.83 $\pm$ 0.26	347 $\pm$ 18	345 $\pm$ 20	1467-1529 cal AD (40.3%) 1551-1635 cal AD (55.1%)

参考文献

- 1) 大島町史編さん委員会：東京都大島町史考古編,284-292,1998.
- 2) 鈴木直人,谷口栄,深澤靖幸:遺跡が語る東京の歴史, 226-247,2009
- 3) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団,9-10,2014
- 4) 気象庁: 狩野川台風調査報告,140-141,1964
- 5) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団,17,2014
- 6) 立木猛治：伊豆大島志考,59,551-560,1961.
- 7) 櫻井正明：2013 年台風 26 号による伊豆大島の斜面災害（速報）,日本地すべり学会誌, Vol.51, No.1, 25-28,2014.
- 8) 柳田國男：伊豆大島方言集,25,1942.
- 9) 小山真人, 鈴木雄介：伊豆大島の噴火史から見た 2013 年 10 月の火山泥流災害, 地理, 59-5, 34-41, 2014.
- 10) 小山真人, 早川紀夫：伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史, 地学雑誌, 105, 133-162, 1996.

3.1.6 まとめ（全員）

今回の調査結果をまとめると、以下のようである。

- 1) 災害から 1 年が経過し、崩壊地を除けば着実に復旧が進んでいる印象を受けた。ただし、崩壊地の復旧は規模が大きいだけに相当の時間を要すると思われる。
- 2) 崩壊地調査での土層強度の測定から、崩壊発生時の水位（間隙水圧）を逆算した結果、地表面より 0.29m 高くなった。これより、地盤内の被圧水圧が崩壊に関与したと推定される。
- 3) 谷地形と推定される箇所地下水流音が大きくなっていたことから、その箇所の地層が集水構造を有していると推定された。地下水流音の測定によって地下水の流れを把握できる可能性があることが示唆された。
- 4) 地域の資料調査ならびに下流部での堆積物の露頭観察から、この箇所では土石流が繰り返し発生していることがうかがえた。

最後になりますが、本災害でお亡くなりになった方々に哀悼の意を表しますとともに、被害に遭われた方々に改めてお見舞いを申し上げます。

3.2 伊豆大島の降雨変動に伴う地盤挙動と住民の避難行動に関する一考察

山梨大学大学院 正会員 ○荒木 功平

キーワード 災害リスクの経年変化, 大雨の頻度, 防災意識, ヒアリング調査

連絡先 〒400-0016 山梨県甲府市武田4-3-11 TEL055-220-8734

3.2.1 はじめに

平成25年台風26号により、10月16日午前2時から3時頃にかけて、元町地区上流域の大金沢を中心とした溪流において土石流などの土砂災害が発生し、死亡・行方不明者40名の人的被害がもたらされた^{1), 2)}。

近年、地球温暖化等の気候変動に伴う大雨の頻度増加が指摘されるようになり、経験したことの無い災害の発生、各種産業への影響等の懸念が指摘されている。国土交通省気象庁^{3), 4)}は災害をもたらした気象事例について、被害を総合的にみて規模の大きなもの、社会的な関心・影響が高いものを取りまとめているが、平成元年以降、毎年、報告されている。脅威化する自然現象と共存するためには、自然災害が毎年必ず起こるものと想定すること、気候変動のような50年、100年といった長期的視点で捉え、防災意識の経年的な薄れや大雨の頻度変動などを想定した適応策の策定が求められている。

本報告では、東京都大島町元町にある大島特別地域気象観測所（以下、大島観測所）の気象、特に降雨変動を概観する。また、大金沢周辺で災害から1年後の意識を簡単なヒアリング調査から一考察を述べている。

3.2.2 大島観測所(元町)の気温と降雨変動

一般に、温暖化等に伴う水蒸気量の増加が積乱雲を発達させやすくし、大雨の頻度を増加させるといわれる。

図3.2.1は、大島観測所における69年分（1946年～2014年）⁵⁾の年平均気温およびその過去10年移動平均を示している。図3.2.1から、平成元年（1989年）頃から顕著な年平均気温の上昇傾向が見てとれる。このことから、近年、大島観測所で実際に経年変化に伴う気温の上昇が観測されていたことがわかる。

図3.2.2は、大島観測所における69年分（1946年～2014年）⁶⁾の非常に激しい雨（時間雨量50mm以上）の年間発生日数を数え上げた結果を示している。また、その過去10年移動平均を示している。図3.2.2より、2000

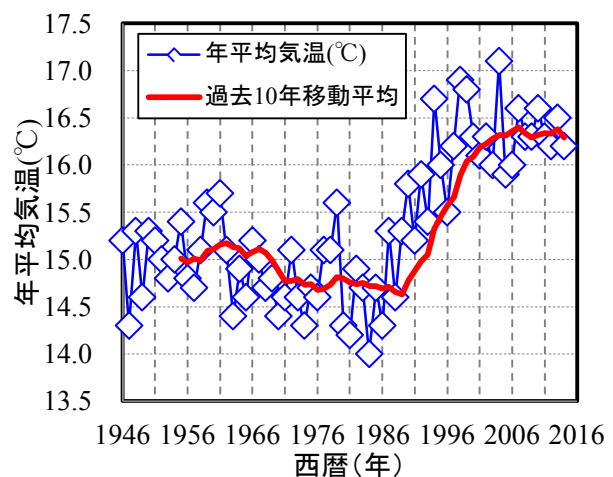


図 3.2.1 年平均気温の経年変化(大島)

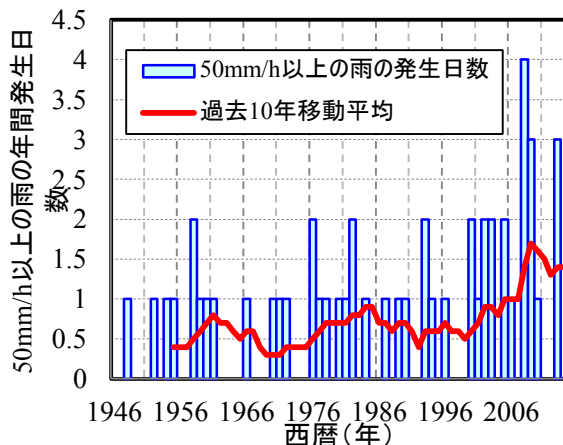


図 3.2.2 非常に激しい雨の頻度の経年変化(大島)

年頃から非常に激しい雨の年間発生日数の増加傾向が見てとれる。このことから、近年、大島観測所で実際に大雨の頻度増加が観測されていたことがわかる。

図 3.2.1, 図 3.2.2 を見比べると、上昇傾向・増加傾向を示し始めた時期については、10 年程度のずれが見られた。年平均気温の上昇と大雨の頻度増加の関連メカニズムを理論的に説明することは難しいと考えられる。しかしながら、実際に年平均気温の上昇と大雨の頻度増加が観測されていたことは非常に重要である。経年変化とともに災害リスクが増加する恐れがあることを周知し、経年変化に伴う防災意識の薄れを生じさせない必要があることを示している。

気候変動のような 50 年、100 年といった長期的大雨災害のリスク増加といった視点を持つことは、時間を要する対策施設の配備計画に一定の根拠を与え得る。

3.2.3 雨の降り方と土への浸透に関する一考察

図 3.2.3 は砂層（豊浦砂層）と粘土層（DL クレイ）を接して並べ、(a)は如雨露で降雨を与えた場合、(b)は霧吹きで降雨を与えた場合を示している。図 3.2.3(a)をみると、粘土層より砂層の方が水の浸透が速いことがわかる。しかし、図 3.2.3(b)は砂層より粘土層の方が水の浸透が速い。浸透挙動は層境で明確に分かれること、雨の降り方と土質で全く異なることがわかる。

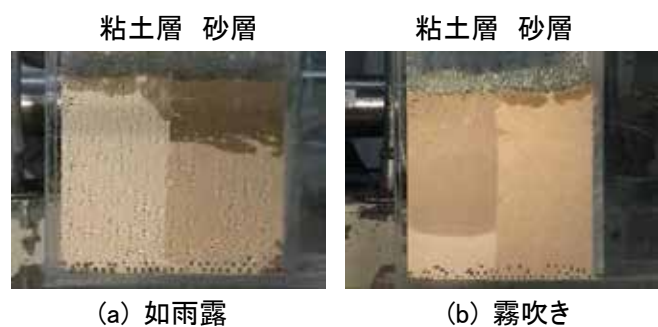


図 3.2.3 水の与え方の違いによる土への浸透挙動

幾つかの噴火履歴を持つ火山地域は地層構成を形成する。雨の降り方により、地層への浸透の仕方が変わり、土の強度が変わる。そして、層境で全く異なることが、層理面における滑り破壊の主要因と考える。

3.2.4 ヒアリング調査結果（元町）および避難行動に関する一考察

平成 26 年 11 月 16～17 日に元町地区上流域の大金沢周辺にて災害時の対応についてヒアリングした。

図 3.2.4 にヒアリングアンケート調査項目および結果を示す。年齢構成は 20 代 1 名、50 代 2 名、60 代 2 名、70 代 1 名、非回答 3 名である。台風に関する情報の入手は全員が行っていた。

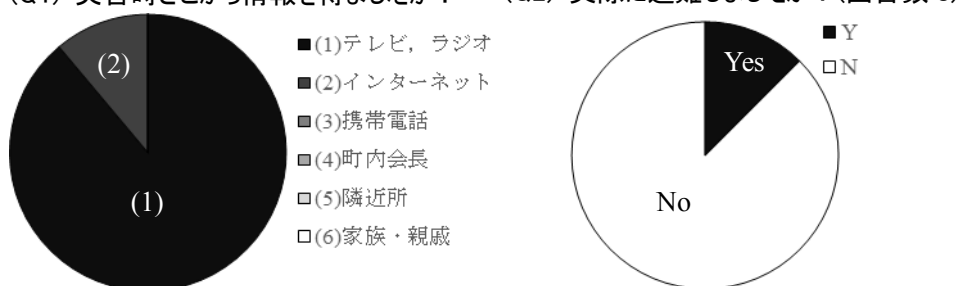
図 3.2.4(Q1)に情報源を示す。図 3.2.4(Q1)から、テレビ・ラジオが多く、町内会長や隣近所などの地域情報共有はみられなかったことがわかる。

図 3.2.4(Q2)に避難行動を示す。図 3.2.4(Q2)から、約 88%が避難していないことがわかる。

図 3.2.4(Q3)に避難しなかった理由を示す。図 3.2.4(Q3)から、約 86%が「危険を感じなかった・自宅（マンション）の方が安全だと感じた」と回答した。当時は猛烈な雨が降っているため、当然危険は感じている。外に出る危険性より自宅の方が安全と判断している。

メディアから猛烈な雨の情報を入手しても、避難行動には移りにくい。大雨の前に避難を促すには、情報と避難所の信頼の確保、避難行動によるメリットを示すこと（例えばポイントカードにポイントが付与され、ポイントに応じて保険で優遇されるなど）が必要と考える。

(Q1) 災害時どこから情報を得ましたか？ (Q2) 実際に避難しましたか？(回答数 8)



(Q3) 避難しなかった理由は何ですか？(回答数 7)

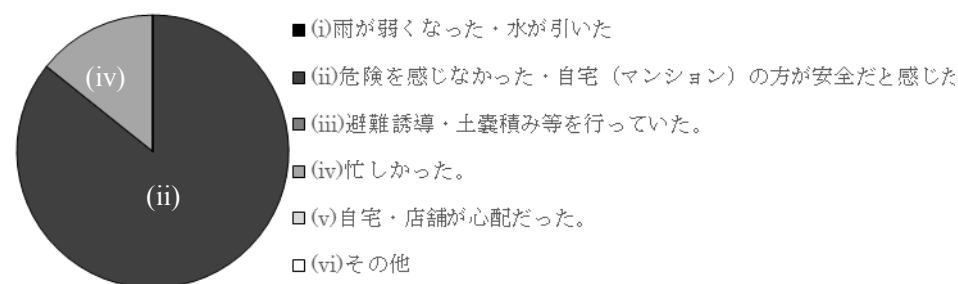


図 3.2.4 ヒアリングアンケート調査結果

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 24760381 の助成を受けた。ここに深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省気象庁：災害をもたらした気象事例，
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html>，（2015 年 3 月 11 日閲覧）
- 2) 国土交通省気象庁：災害をもたらした気象事例（平成元年～本年），
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index_1989.html，（2015 年 3 月 11 日閲覧）
- 3) 東京都：東京都防災ホームページ，大島の応急復旧に向けた取組について，第 1 章 主な被害と各機関の対応（PDF 330.1KB），
http://www.bousai.metro.tokyo.jp/_res/projects/default_project/_page_001/000/231/oshima_report3.pdf，（2015 年 3 月 11 日閲覧）
- 4) 東京都：東京都防災ホームページ，【第 62 報】平成 25 年台風 26 号・27 号に伴う被害状況等について，
<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/saigai/1000036/1000802/1000809/1000670.html>，（2015 年 3 月 11 日閲覧）
- 5) 国土交通省気象庁：過去の気象データ検索，<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>，（2015 年 3 月 11 日閲覧）
- 6) 国土交通省気象庁：雨と風の表，http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/amehyo.html，（2015 年 3 月 11 日閲覧）

3.3 平成 24 年 7 月阿蘇山における土砂災害調査と発生メカニズム

土木学会地盤工学委員会
斜面工学研究小委員会

3.3.1 はじめに（野田）

平成 25 年に発生した伊豆大島での土砂災害など、近年、火山地域において土砂災害が頻発している。平成 24(2012)年 7 月 11 日から 14 日にかけて九州北部を襲った豪雨は、福岡県、大分県、熊本県を中心に甚大な被害をもたらした。この災害は「平成 24 年 7 月九州北部豪雨」と命名された。なかでも、熊本県阿蘇市周辺の火山地域では多くの土石流が発生し、至る所で表層崩壊が発生した。これを受けて、土木学会地盤工学委員会では、平成 24 年 9 月 8 日から 9 日にかけて地盤工学学会との緊急合同調査団を結成し、熊本県阿蘇市周辺の斜面災害調査を実施した¹⁾。その後の復旧状況の把握、火山地域での崩壊・土石流の発生条件および発生メカニズムの推定、過去の土石流の発生履歴を推定すること等を目的として、平成 26 年 11 月 29 日から 30 日にかけて表 3.3.1.1 に示す調査団を結成し、現地調査を行った。以下では現地調査結果について記述する。なお、各章見出しの後に執筆担当者名を括弧内に示している。

表 3.3.1.1 現地調査団参加者（敬称略、五十音順）

氏名	所属
北園 芳人	熊本大学大学院
阪口 和之	アジア航測(株)
鈴木 素之 (団長)	山口大学大学院
関口 秀幸	アスルマエヤ(株)
竹内 裕希子	熊本大学大学院
中濃 耕司	東亜コンサルタント(株)
西川 直志	(株)イシンコンサルタント
野田 龍	九州大学大学院
松木 宏彰	復建調査設計(株)
美馬 健二	(有)太田ジオリサーチ

3.3.2 調査箇所（野田）

調査は阿蘇市一の宮町坂梨地区と国道 265 号線沿いの箱石峠の 2 箇所について行った。坂梨地区では平成 24 年 7 月豪雨の際に崩壊土砂が土石流化し、下流域の集落を襲い、多くの被害が発生した地区である(図 3.3.2.1)。箱石峠は平成 2 年の阿蘇一の宮豪雨災害の際に多数の表層崩壊が発生した箇所で、その後植生の回復が進んでいたところに、平成 24 年 7 月豪雨で再び多数の表層崩壊が発生した箇所である(写真 3.3.2.1)。



図 3.3.2.1 阿蘇市一の宮町坂梨地区¹⁾

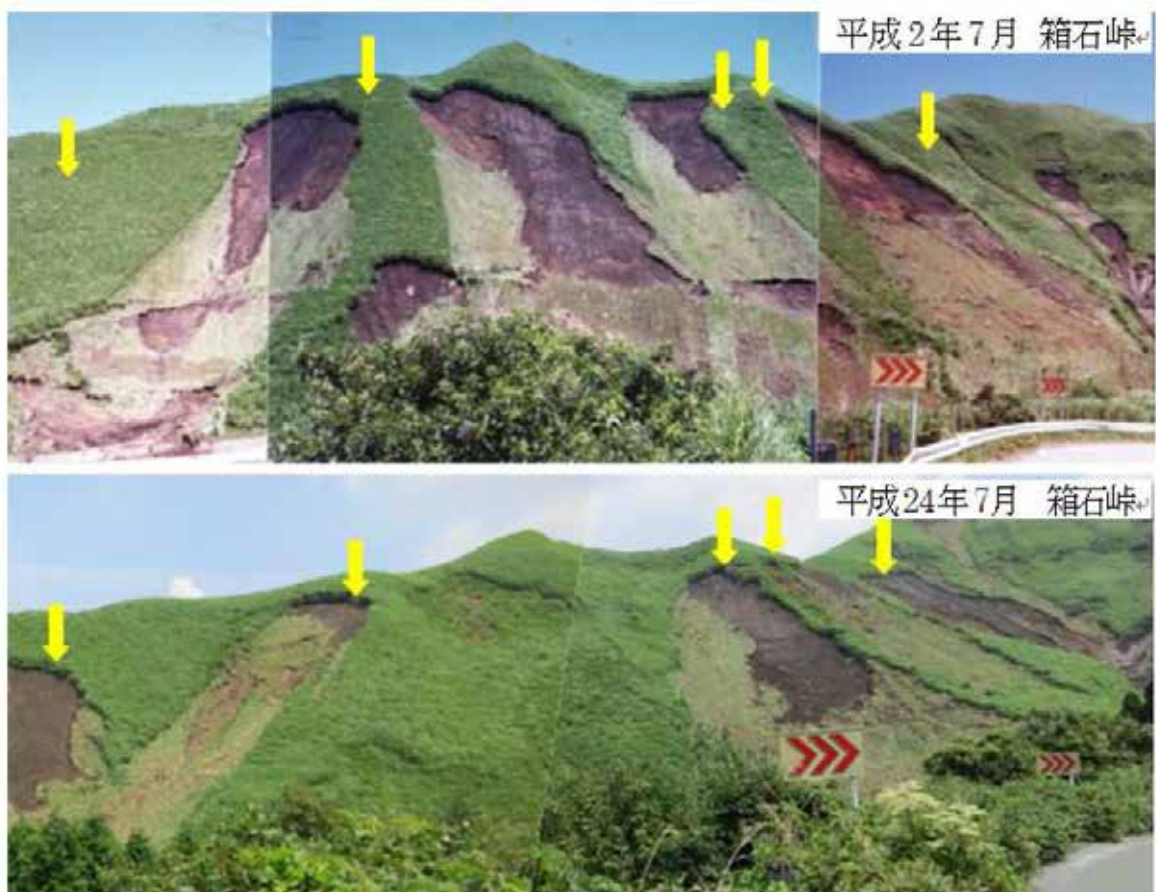


写真 3.3.2.1 箱石峠草地斜面崩壊の変遷(上：平成2年7月、下：平成24年7月)
(熊本大学：北園芳人教授提供)

3.3.3 崩壊状況（坂梨、箱石峠）（西川）

(1) 坂梨

1) 砂防堰堤

土石流が発生し流下した下流域に、平成 24 年度災害関連緊急砂防事業として砂防堰堤の建設が着工、平成 26 年 6 月に竣工した(写真 3.3.3.1)。砂防堰堤の規模は堤高 11.5m、堤長 168.3m である。

砂防堰堤の上流には土石流発生箇所の急崖がみられ(写真 3.3.3.2)、急崖部の地質は下位が Aso-1 層でその上位が Aso-2 層の溶結凝灰岩である²⁾。急崖部の下方には巨礫を含む崖錐が堆積しており、崖錐の一部が侵食されて土石流化したものと考えられる。



写真 3.3.3.1 砂防堰堤



写真 3.3.3.2 砂防堰堤上流の土石流発生箇所の急崖状

2) 上流崩壊地

写真 3.3.3.3、3.3.3.4 に砂防堰堤上流の急崖地上部に広がる上流崩壊地の遠景と崩壊地上部の状況を示す(図 3.3.2.1 中、崩壊と示した箇所)。崩壊地の下部では溶結凝灰岩の急崖がみられ、上部斜面には硬質な岩片もみられる。

写真 3.3.3.5 に崩壊地源頭部周辺の状況を示す。崩壊層は黒ぼくで、崩壊厚は 1.5m 程度である。滑落崖に露出する黒ぼく(写真 3.3.3.6)は柔らかく、この上で跳ねると振動が伝わるほどである。また、崩壊地周辺の斜面に林立する樹木の多くに根曲りがみられ(写真 3.3.3.7)、斜面表層がクリープしていることが考えられる。



写真 3.3.3.3 崩壊地の遠景



写真 3.3.3.4 崩壊地上部の状況



写真 3.3.3.5 崩壊地源頭部付近の状況



写真 3.3.3.6 滑落崖に露出する黒ぼく層



写真 3.3.3.7 崩壊地周辺でみられる樹木の根曲がり

崩壊地のうち、すでに対策工が実施されている箇所を写真 3.3.3.8 および 3.3.3.9 に示す。写真 3.3.3.8 の斜面では、表面保護は植生基材吹付工のみで、斜面末端部に表面排水路工が設置されている。写真 3.3.3.9 の斜面では、植生基材吹付工と木柵工を組み合わせ、木柵工背面にスギ・ヒノキによる植栽が行われている。写真内に白く見えるのは植栽木がシカ等に食害されないように取り付けられた保護パイプである。



写真 3.3.3.8 植生基材吹付工による斜面对策状況



写真 3.3.3.9 木柵工と植生基材吹付工による斜面对策状況

(2) 箱石峠

写真 3.3.3.10 に平成 2 年 7 月の豪雨で発生した崩壊地と平成 24 年 7 月の豪雨で発生した崩壊地の状況を示す。平成 2 年に発生した崩壊地では 20 年以上経過した現在、植生がかなり回復していることが確認された。平成 24 年 7 月の豪雨で発生した崩壊地のうち、現地調査を行った崩壊地(写真 3.3.3.11)の源頭部付近の崩壊層厚は 1.0m 程度で、崩壊層黒ぼく内には硬質な部分が残存している(写真 3.3.3.12)。崩壊層厚のうち、黒ぼくは地表から 80cm 程度で、その下位は赤ぼくに漸移する(写真 3.3.3.13 左)。一方、平成 2 年に発生した崩壊地では、表層から 10cm 厚程度が再び黒ぼく化していることが確認された(写真 3.3.3.13 右)。



写真 3.3.3.10 平成 2 年と平成 24 年に発生した崩壊地



写真 3.3.3.11 現地調査を行った崩壊地(平成 24 年に発生)



写真 3.3.3.12 平成 24 年に発生した崩壊地の源頭部付近の状況

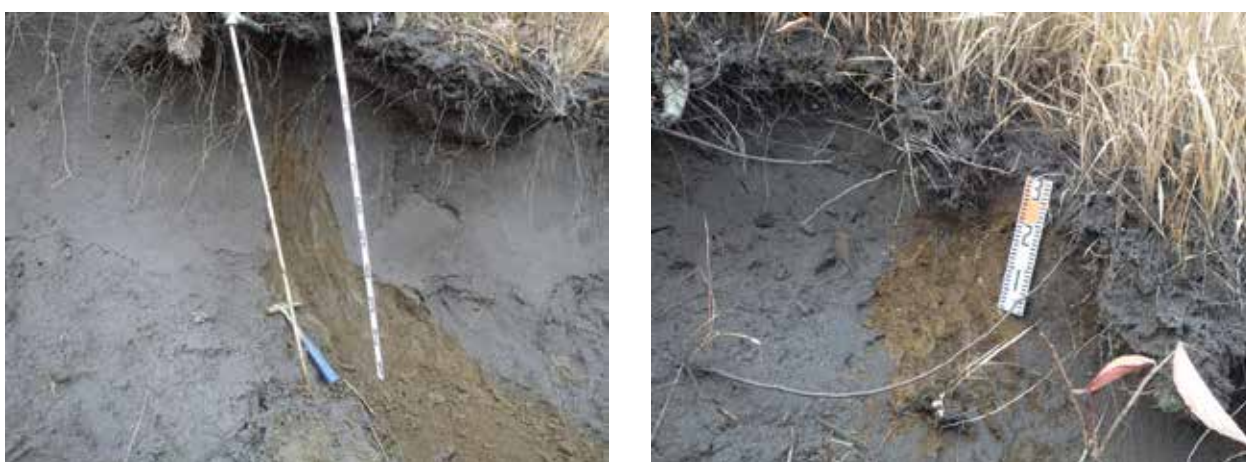


写真 3.3.3.13 崩壊箇所の土壌（左：平成 24 年崩壊地、右：平成 2 年崩壊地）

3.3.4 地下水位の推定（坂梨上流崩壊地、箱石峠）（美馬）

今回、記録的豪雨により表層崩壊が多発したが、誘因となる崩壊時の地下水位がどの程度のものであったかは確認できていない。そこで、土質試験による実測値を用いて安定解析を行い、未知数である地下水位を逆算で求めた。なお、粘着力と内部摩擦角は土層強度検査棒により測定し、単位体積重量は土壌サンプリングにより測定した。

（1）土層強度検査棒の概要

土層強度検査棒とは、先端コーン付きの細いロッドを人力で静的に押し込むことにより土層強度や土層深を簡易に測定する試験（土検棒貫入試験）とともに、羽根つきコーン（ベーンコーン）に交換して、所定の深度でロッドの押し込み力と土層のせん断に必要なベーンコーンの回転トルクを複数の荷重条件で測定することにより原位置での内部摩擦角と粘着力を測定する試験（ベーンコーンせん断試験）を行う機器である。写真 4-1 にベーンコーンせん断試験の計測状況を示す。



写真 3.3.4.1 ベーンコーンせん断試験の計測状況 (写真左) 及び
ロッド先端のベーンコーンの形状 (写真右)

(2) 安定解析による地下水位の推定

1) 坂梨上流崩壊地

① 安定解析の条件

崩壊時 (FS=1.0) の地下水位を再現する上で、必要となるデータは、a) 崩壊土塊の横断形状、b) 単位体積重量、c) 土質定数 c 、 ϕ である。以下に各データの取得方法と結果を示した。なお、安定解析の計算手法は Bishop 法を用いた。

a) 崩壊土塊の横断形状

安定解析で崩壊の現象を再現するため、地表面は崩壊前 (平成 21 年) のレーザープロファイラ図の地形とし、すべり面は崩壊後 (平成 24 年) のレーザープロファイラ図 (図 3.3.4.1) の地形とした。横断形状は図 4-2 に示す。この図から、微小な変化ではあるが、崩壊は遷急線を崩壊頭部として発生したことが読み取れる。

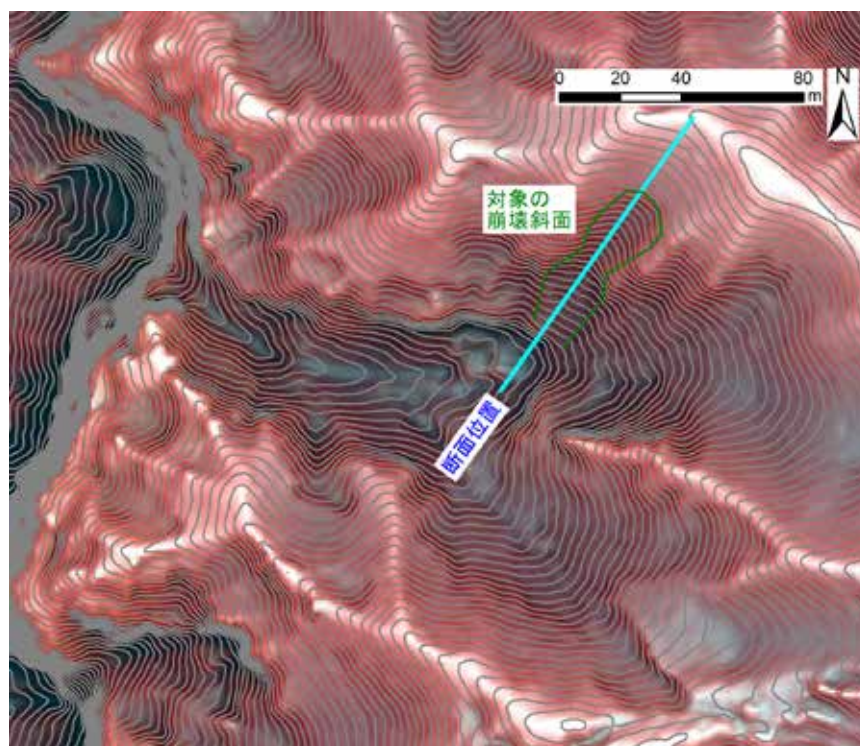


図 3.3.4.1 対象箇所のレーザープロファイラ図 (崩壊後) と断面位置

(本図は九州地方整備局熊本河川国道事務所からデータを借用し、アジア航測株式が加工したものである)

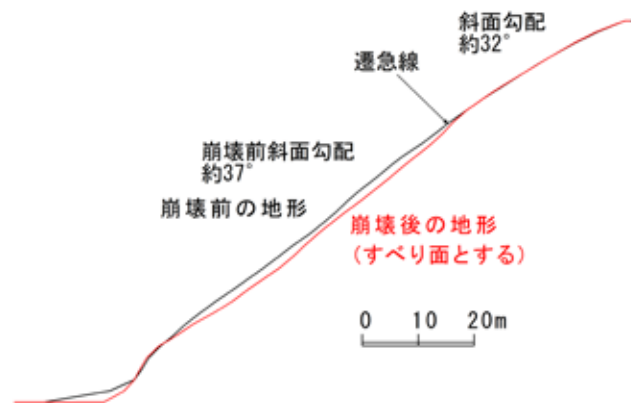


図 3.3.4.2 崩壊前と崩壊後のレーザプロファイラ図で求めた崩壊斜面の横断形状

b) 土壌サンプリングによる単位体積重量 γ

土壌サンプリングは滑落崖で行い、3 試料の平均値を単位体積重量とした(写真 3.3.4.2、3.3.4.3)。測定の結果、単位体積重量 γ は、 10.1 kN/m^3 であった。



写真 3.3.4.2 滑落崖からの試料採取 (赤印)



写真 3.3.4.3 質量測定状況

表 3.3.4.1 崩壊土層の単位体積重量 γ

試料番号(深さ)	No.1 (GL-1.0m)	No.2 (GL-1.0m)	No.3 (GL-1.0m)
容器+土の質量(g)	203	201	206
容器質量(g)	100	100	100
土の質量(g)	103	101	106
容器の容積(cm^3)	100	100	100
単位体積重量(g/cm^3)	1.03	1.01	1.06
平均(g/cm^3)	1.03		
単位体積重量(kN/m^3)	10.1		

c) 土層強度検査棒による粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ

土層強度検査棒は滑落崖上方斜面において3箇所で行い、その平均値を粘着力と内部摩擦角の代表値とした(写真4-4)。粘着力 $c=10.1 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=22.9^\circ$ である(表3.3.4.2)。なお、崩壊土層深は1.2mであり、3箇所の試験はすべてGL-1.00mで行った(それぞれ3m程度離れた位置で試験を実施)。



写真 3.3.4.4 滑落崖上方での土層強度検査棒試験状況

表 3.3.4.2 土層強度検査棒による粘着力 c と内部摩擦角 ϕ

No.	粘着力 c (kN/m^2)		内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	
No.1	10.1	平均 10.1	15.7	平均 22.9
No.2	12.5		25.1	
No.3	7.8		28.0	

②安定解析結果(崩壊時の地下水位)

土層内の地下水位を渾水状態として安定解析すると、最小安全率 $F_s=1.879>1.00$ となる(図4-3)。逆に、土層内の地下水位を満水状態(地表面を地下水位)にすると、崩壊に至る最小安全率 $F_s=0.990<1.00$ となった(図3.3.4.4)。以上の結果により、この斜面は土層内がほぼ満水状態になって、崩壊に至ったと推定される。なお、崩壊土層は単位体積重量 $\gamma=10.1\text{kN/m}^3$ のため、崩壊土層内が満水状態になるということは、崩壊土塊の荷重と同等の水圧が作用したことになり、崩壊土塊はほぼ浮いたような状態で崩落したものと考えられる。

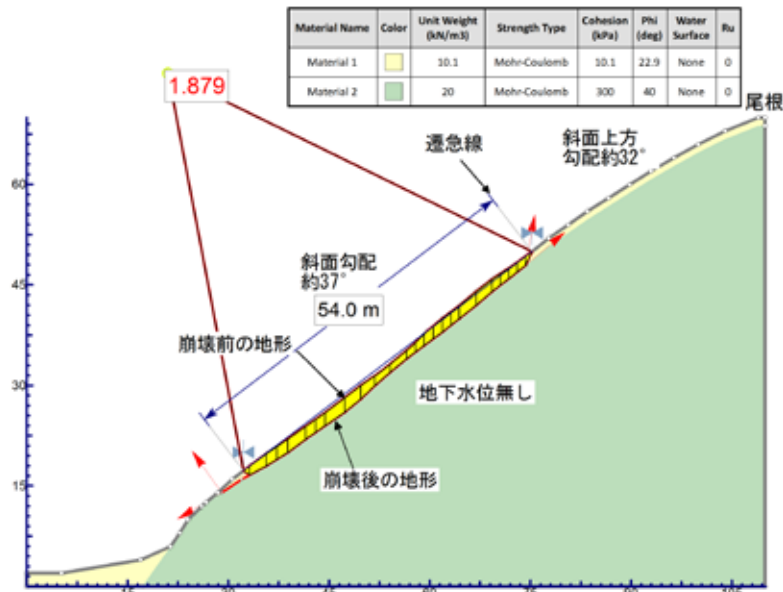


図 3.3.4.3 地下水位無しでの安定計算結果（最小安全率 $F_s=1.863 > 1.00$ ）

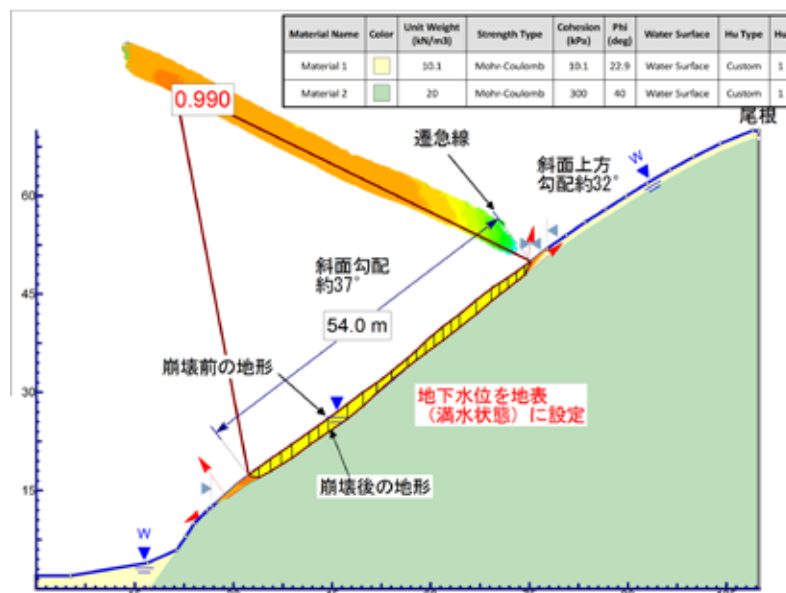


図 3.3.4.4 崩壊土層内の地下水位を満水状態にした時の安定計算結果（最小安全率 $F_s=0.990 < 1.00$ ）

(2) 箱石峠

①安定解析の条件

崩壊時（ $FS=1.0$ ）の地下水位を再現する上で、必要となるデータは、a)崩壊土塊の横断形状、b)単位体積重量、c)土質定数 c 、 ϕ である。以下にそれぞれデータの取得方法と結果を示した。なお、安定解析の計算手法は Bishop 法を用いた。

a) 崩壊土塊の横断形状

安定解析で崩壊の現象を再現するため、地表面は崩壊前（平成 21 年）のレーザープロファイラ図の地形とし、すべり面は崩壊後（平成 24 年）のレーザープロファイラ図（図 3.3.4.5）の地形とした。横断形状は図 4-6 に示す。この図から、斜面上部が勾配約 34° 、斜面下部は勾配約 21° となる斜面中腹に遷緩線を持つのが読み取れる。崩壊は、尾根より下方の高さ 6～8m 下から発生した。

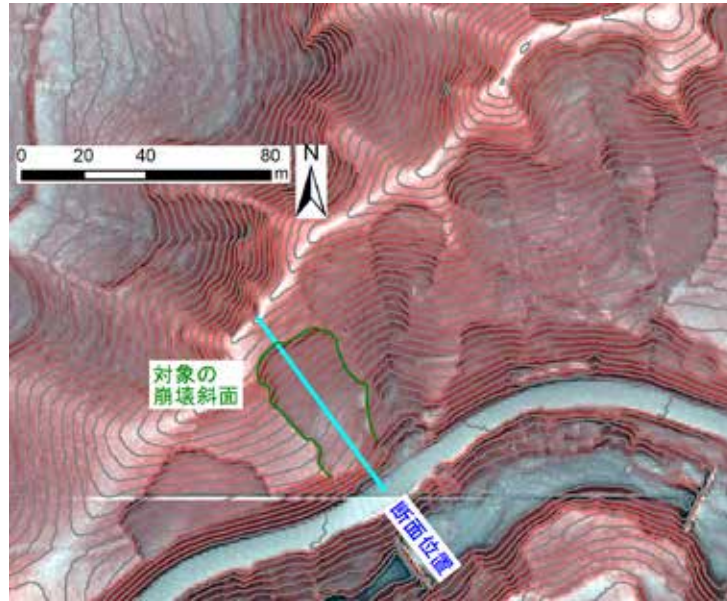


図 3.3.4.5 対象箇所の崩壊後レーザープロファイラ図（2m コンター）と断面位置
 (本図は九州地方整備局熊本河川国道事務所からデータを借用し、アジア航測㈱が加工したものである)

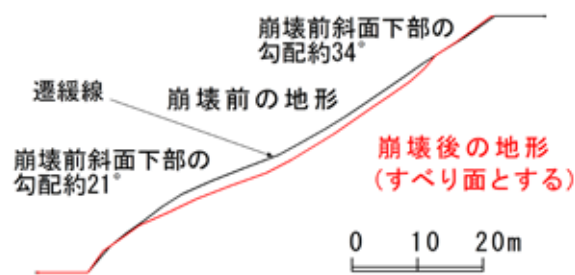


図 3.3.4.6 レーザープロファイラ図による崩壊前と崩壊後の横断形状

b) 土壌サンプリングによる単位体積重量 γ

土壌サンプリングは滑落崖で行い、3 試料の平均値を単位体積重量とした(写真 4-5～4-7)。その結果、単位体積重量 γ は、 12.9 kN/m^3 であった。



写真 3.3.4.5 サンプリング実施箇所



写真 3.3.4.6 試料採取箇所（崩壊右側部下方）



写真 3.3.4.7 試料採取箇所（崩壊右側部上方）

表 3.3.4.3 崩壊土層の単位体積重量 γ

試料番号(深さ)	No.1 (GL-1.0m)	No.2 (GL-1.0m)	No.3 (GL-1.0m)
容器+土の質量(g)	234	232	231
容器質量(g)	100	100	100
土の質量(g)	134	132	131
容器の容積(cm ³)	100	100	100
単位体積重量(g/cm ³)	1.34	1.32	1.31
平均(g/cm ³)	1.32		
単位体積重量(kN/m ³)	12.9		

c) 土層強度検査棒による粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ

土層強度検査棒は滑落崖上方斜面において3箇所で行い、その平均値を粘着力と内部摩擦角の代表値とした(写真 3.3.4.8)。粘着力 $c=9.1 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=25.8^\circ$ である(表 3.3.4.3)。なお、崩壊土層深は 1.0m であり、3 箇所の試験はすべて GL-1.0m で行った(それぞれ 1.0m 程度離れた位置で試験を実施)。



写真 3.3.4.8 崩壊右側方部での土層強度検査棒試験状況

表 3.3.4.3 土層強度検査棒による粘着力 c と内部摩擦角 ϕ

No.	粘着力 c (kN/m^2)		内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	
No.1	7.1	9.1	30.6	25.8
No.2	12.9		28.2	
No.3	7.3		18.7	

②安定解析の結果（崩壊時の地下水位）

土層内の地下水位を渇水状態として安定解析すると、最小安全率 $F_s=2.084>1.00$ となる（図3.3.4.7）。次に、土層内の地下水位を満水状態にする（地表面を地下水位とする）と、最小安全率 $F_s=1.160>1.00$ となる（図3.3.4.8）。さらに徐々に地下水位を上昇させ、安全率 $F_s=1.00$ を僅かに下回る地下水位を求めた結果、地下水位は中央部で地表より最大で0.72m高い位置となった（図3.3.4.9、3.3.4.10）。これは、被圧水圧であることを意味しており、この斜面は被圧水圧が作用し、崩壊に至ったと推定される。

なお、被圧水圧を作用させた位置は、図3.3.4.11に示す遷緩線でパイプ流量が水輸送能力の限界を超えて被圧水化するモデルを想定し、遷緩線付近とした（図3.3.4.12に示すようなパイプ流の排水口が小崩壊で閉塞されて斜面末端部で被圧水化するモデルも十分考えられるが、確認できていない）。

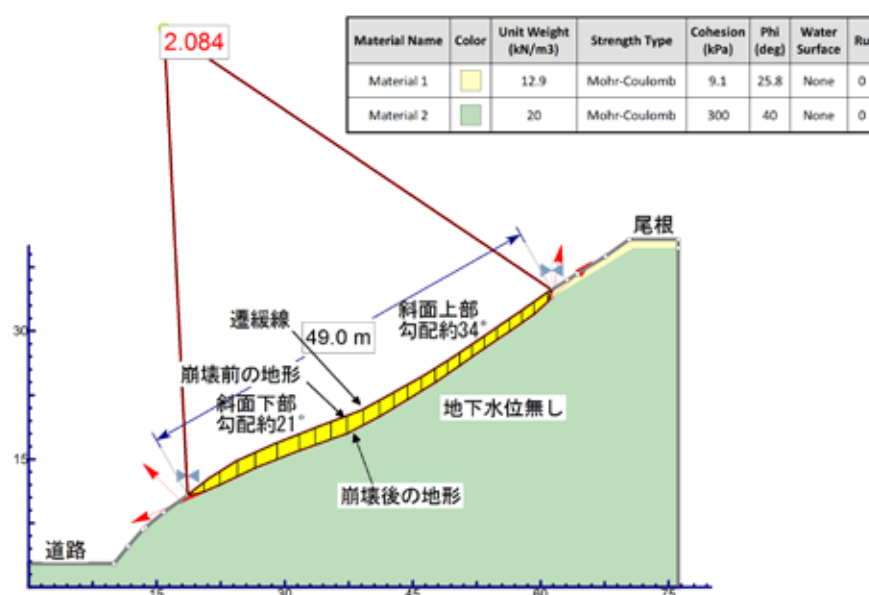


図 3.3.4.7 地下水位無しでの安定計算結果（最小安全率 $F_s=2.084>1.00$ ）

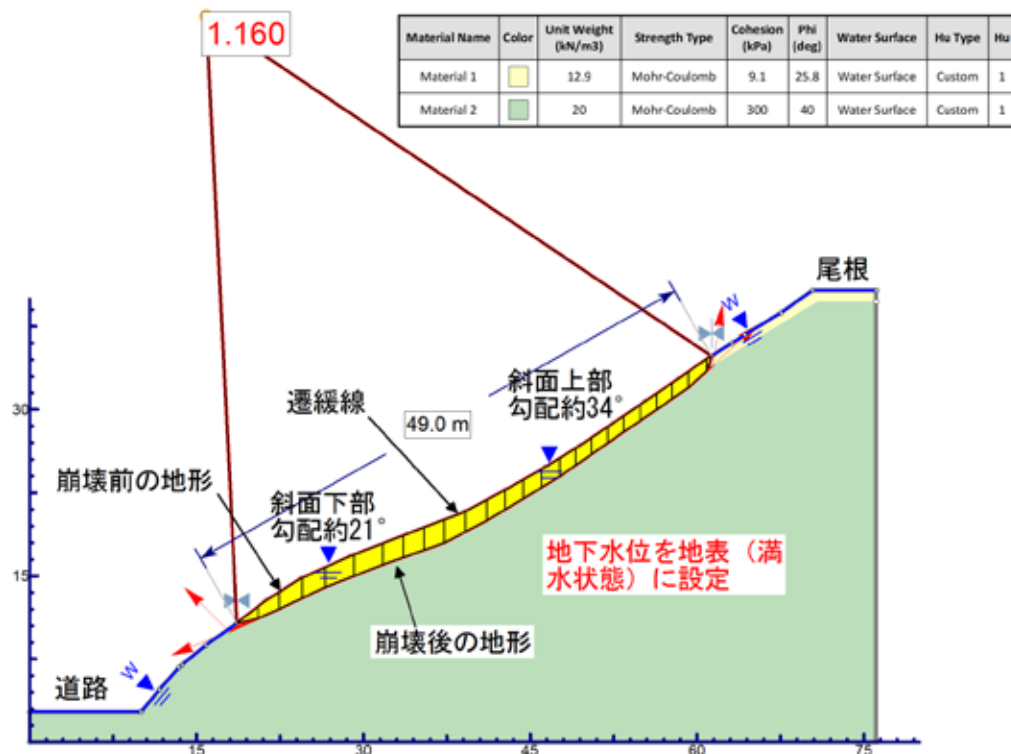


図 3.3.4.8 崩壊土層内の地下水位を満水状態にした時の安定計算結果（最小安全率 $F_s=1.160>1.00$ ）

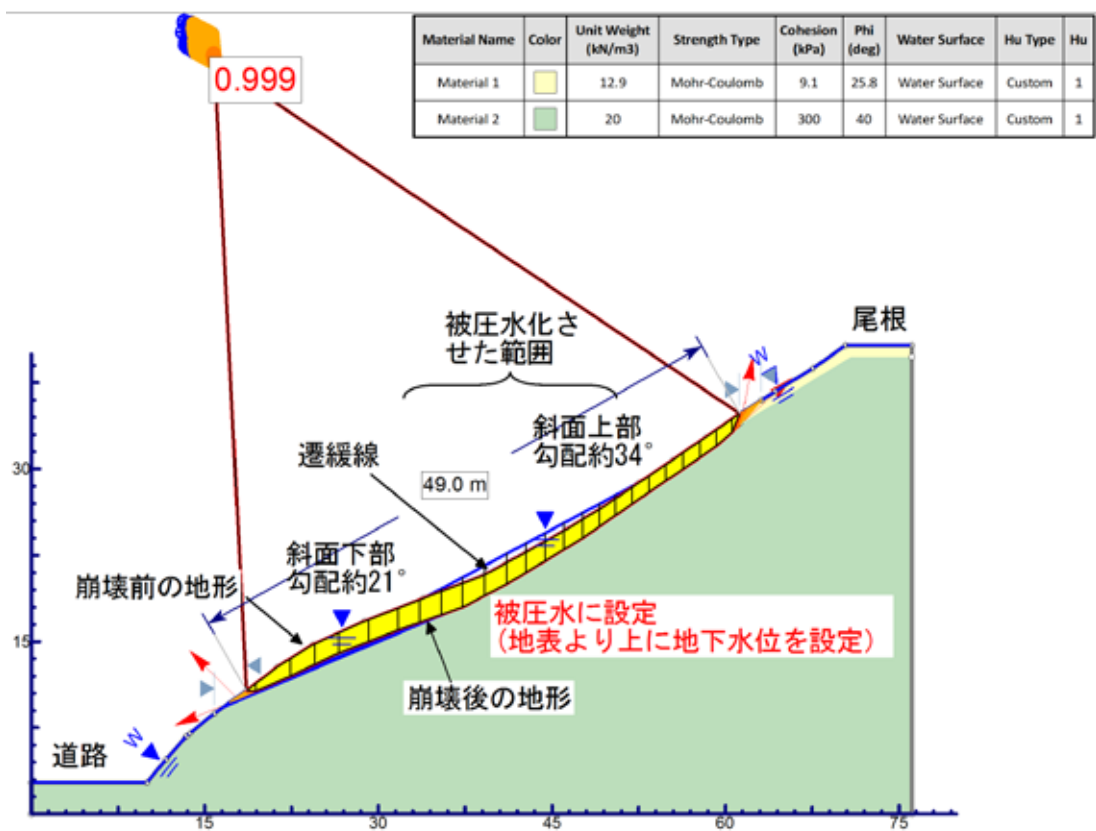


図 3.3.4.9 地表より上に地下水位を設定した時の安定計算結果（最小安全率 $F_s=0.999<1.00$ ）

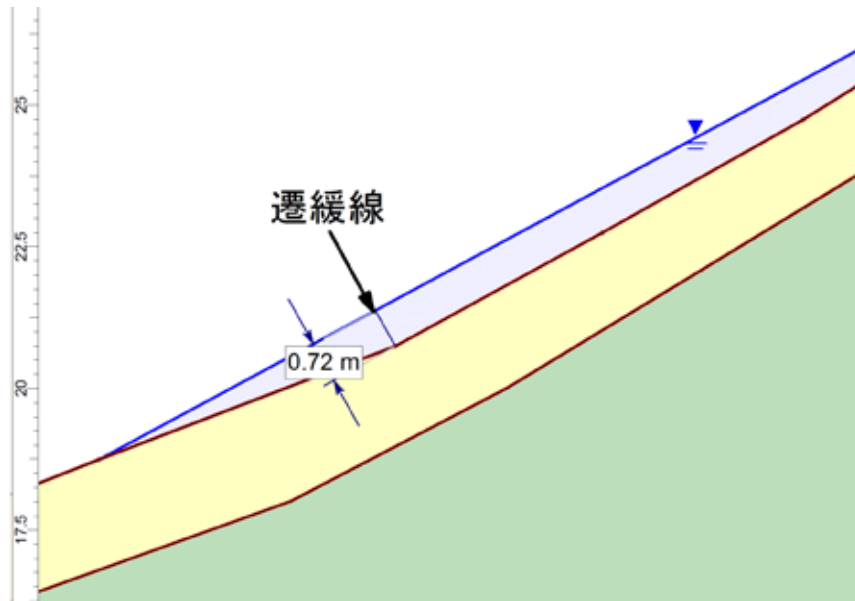


図 3.3.4.10 安全率 $F_s=0.999 < 1.00$ の時の地下水位（地表より 0.72m 上となる）

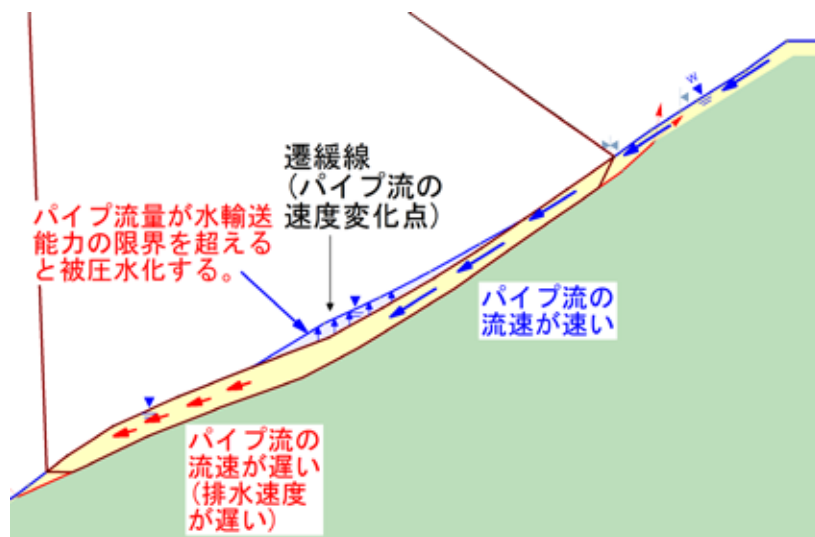


図 3.3.4.11 パイプ流量が水輸送能力の限界を超えて被圧水化するモデル

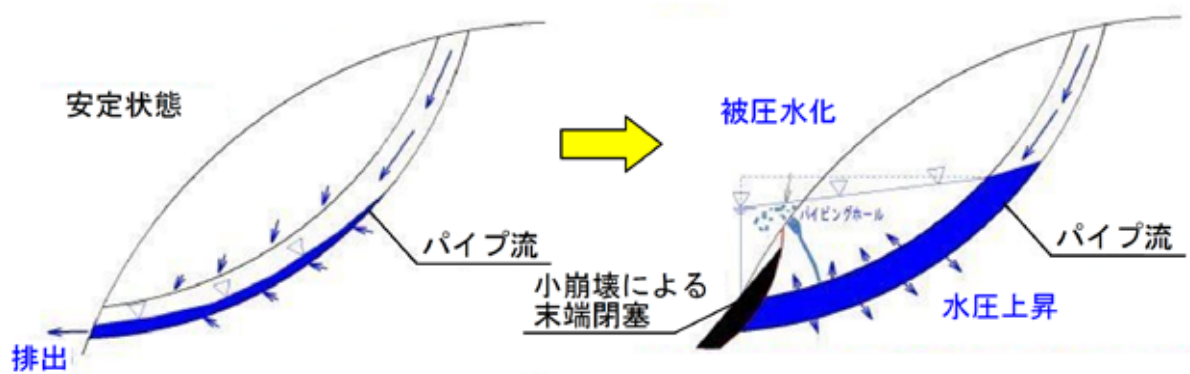


図 3.3.4.12 パイプ流の排水口が小崩壊で閉塞されて被圧水化するモデル

3.4.3 考察

坂梨上流崩壊地の崩壊に至った地下水位は土層内がほぼ満水状態であったのに対し、箱石峠の地下水位は地表面を最大で0.72m越え、被圧水圧となるまで上昇した。この違いを（１）地形（横断形状）、（２）土質定数 c 、 ϕ 、（３）土の物性 の観点から以下に考察する。

（１）地形（横断形状）の違い

各崩壊地の地形を図3.3.4.13、3.3.4.14に示し、地形的特徴を表3.3.4.4にまとめた。

斜面勾配や崩壊規模に大きな差はない。大きく違う点は、②崩壊斜面の形状である。坂梨上流崩壊地は、一様な斜面であるのに対し、箱石峠は斜面中腹に遷緩線を持つ。このような地形は、前項の図3.3.4.11に示したようなパイプ流の流速が減少する遷緩線で被圧水化しやすい可能性がある。

表 3.3.4.4 坂梨上流崩壊地と箱石峠の地形的特徴

対象地		坂梨上流崩壊地	箱石峠
地形的 特徴	①崩壊箇所	崩壊は尾根付近で発生している。	
	②崩壊斜面の形状	一様	斜面中腹に遷緩線あり
	③崩壊斜面の勾配	約 37°	斜面上部約 34°、下部約 21°
	④崩壊斜面の延長	約 55m	約 50m
	⑤崩壊深さ	1.0～1.6m	1.3～1.8m

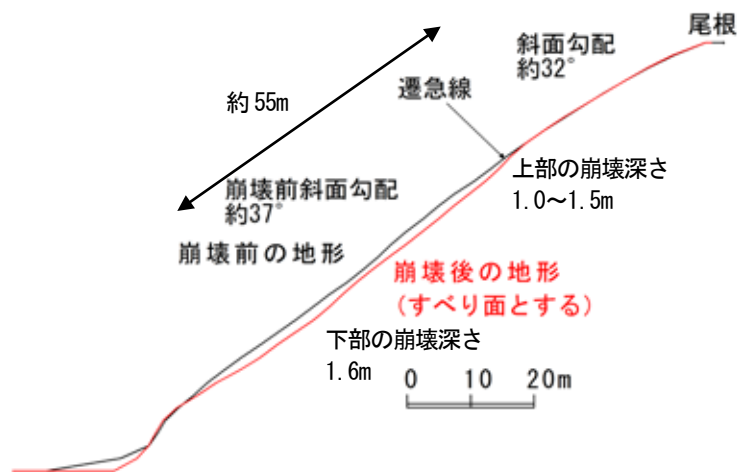


図 3.3.4.13 坂梨上流崩壊地の地形

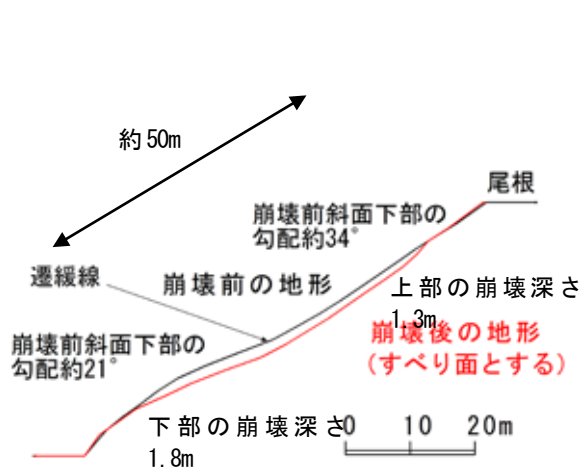


図 3.3.4.14 箱石峠の地形

（２）土質定数 c 、 ϕ の違い

各崩壊地の土質定数 c 、 ϕ を表4-5に示す。粘着力及び内部摩擦角はいずれも1割程度の差であり、値に大きな特徴を示す違いは見られない。

表 3.3.4.5 坂梨上流崩壊地と箱石峠の土質定数 c 、 ϕ

対象地	粘着力 c (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)
坂梨上流崩壊地	9.1	25.8
箱石峠	10.1	22.9

(3) 土の物性の違い

表 3.3.4.6 に示すように、各崩壊地の単位体積重量 γ は 3 割程度の差が生じている。土の物性値に違いがあるかどうかを確認するため、土粒子の密度試験及び含水比試験、粒度試験を行った。その結果を表 3.3.4.7 に示す。大きな違いは粒度分布である。細粒分の含有率は、坂梨上流崩壊地は 28%（シルト 26.4 + 粘土 2.0）であるのに対し、箱石峠は 59%（シルト 35.4 + 粘土 24）であり、2 倍程度の差が生じた。このため、細粒分含有率の高い箱石峠は、低透水性地盤であることが推定され、土層内の被圧水が地表へ抜け出にくく、被圧水化しやすい土質であったことが考えられる。

表 3.3.4.6 坂梨上流崩壊地と箱石峠の単位体積重量 γ

対象地	坂梨上流崩壊地	箱石峠
単位体積重量 γ (kN/m^3)	10.1	12.9

表 3.3.4.7 坂梨上流崩壊地と箱石峠の土の物性値

対象地		坂梨上流崩壊地	箱石峠 ^{※1}
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)		2.899	2.712
含水比 W_n (%)		73.9	74.6
粒度分布	砂 (%)	65.4	40.6
	シルト (%)	26.4	35.4
	粘土 (%)	2.0	24

※1 箱石峠の試験結果は熊本大学北園芳人教授提供

3.3.4.4 まとめ

崩壊の誘因となる地下水位を再現した結果、下記の傾向が得られた。

(1) 土質試験による実測値を用いて安定解析を行った結果、坂梨上流崩壊地は地下水位が地表面付近まで上昇して崩壊するパターンと、箱石峠は地下水位が地表面を越え、被圧水圧となるまで上昇し崩壊するパターンの 2 種類が再現された。

(2) 被圧水化する条件は、下記 2 点が関連していると考えられる。

①地形の横断形状：坂梨上流崩壊地は一様な斜面であるのに対し、箱石峠は崩壊斜面に遷緩線を持つ斜面であった。遷緩線を持つ斜面は、被圧水化しやすい可能性がある。

②細粒分の含有率：坂梨上流崩壊地は 28%（シルト 26.4 + 粘土 2.0）であるのに対し、被圧水化した箱石峠は 59%（シルト 35.4 + 粘土 24）であり、2 倍程度含有率が高い。細粒分含有率の高い土質は、透水性が低いことが推定され、被圧水化しやすい可能性がある。

3.3.5 土石流履歴・年代測定（坂梨）（松木、阪口）

3.3.5.1 坂梨

土石流堆積物中の木片を 2 試料(SK-1、SK-2)掘り出して放射性炭素年代測定を行った。木片(試料 No.SK-1、図 3.3.5.1)は堰堤の上流右岸側約 34m、標高は堰堤天端-1.5mの位置より採取した。採取した場所は平成 24 年 7 月に発生した土石流堆積物の下位のやや締まった礫混じり粘土層中で、過去の土石流堆積物の発生年代の手がかりとなり得る。木片(試料 No.SK-2、図 3.3.5.2)は堰堤の上流右岸側約 75m、標高は堰堤天端+7.8mの位置より採取した。採取した場所は地表面付近で、平成 24 年 7 月に発生した土石流堆積物に比べ、はるかに締まった転石混じりの粘性土層であった。

測定試料のデータと前処理方法を表3.3.5.1に、放射性炭素年代測定結果を表3.3.5.2に示す。その結果、試料 No.SK-1 は 1974 年、試料 No.SK-2 は 2006 年であり、土砂移動が頻繁に生じていることが伺える。一般に、花崗岩地域の土砂移動は数百年間隔で発生することが多いのに対し、当該地域のように火山地域では土砂発生間隔が短いことが特徴として挙げられる。特に阿蘇地域では年間平均降水量が約 3200mm と非常に多い地域であり、数年おきに豪雨や梅雨前線による被害が生じている³⁾。



図 3.3.5.1 土石流堆積物中の木片(SK-1)採取箇所(左)と深度方向概況図(右)

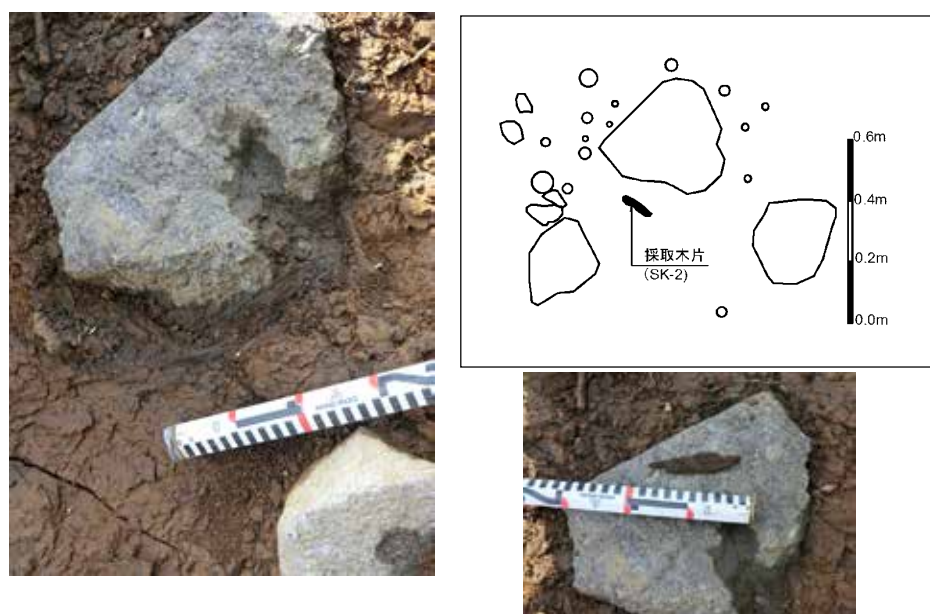


図 3.3.5.2 木片(SK-2)採取箇所(左)と深度方向概況図(右上)、掘り出した木片(右下)は長さ約 8cm

表 3.3.5.1 測定試料および処理

測定番号	採取地データ	試料データ	前処理
PLD-27963	採取地：阿蘇 試料No. SK-1	種類：木材 試料の性状：部位不明 状態：wet	超音波洗浄 酸・アルカリ・酸洗浄(塩酸:1.2N, 水酸化ナトリウム:1.0N, 塩酸:1.2N)
PLD-27964	採取地：阿蘇 試料No. SK-2	種類：木材 試料の性状：部位不明 状態：wet	超音波洗浄 酸・アルカリ・酸洗浄(塩酸:1.2N, 水酸化ナトリウム:1.0N, 塩酸:1.2N)

表 3.3.5.2 放射性炭素年代測定および暦年校正の結果

測定番号	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	暦年校正用年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代を暦年代に校正した年代範囲	
				1 σ 暦年代範囲	2 σ 暦年代範囲
PLD-27963 試料No. SK-1	-25.38 ± 0.22	-2696 ± 15 (F14C: 1.3989 ± 0.0028)	-2695 ± 15	Post-bomb NH2 2013: 1975-1975 cal AD (68.2%)	Post-bomb NH2 2013: 1962-1962 cal AD (3.5%) 1973-1973 cal AD (2.9%) 1974-1975 cal AD (88.9%)
PLD-27964 試料No. SK-2	-26.99 ± 0.21	-441 ± 17 (F14C: 1.0566 ± 0.0023)	-440 ± 15	Post-bomb NH2 2013: 1956-1957 cal AD (4.8%) 2006-2007 cal AD (9.0%) 2007-2009 cal AD (54.4%)	Post-bomb NH2 2013: 1956-1957 cal AD (9.5%) 2005-2005 cal AD (1.1%) 2006... cal AD (84.8%)

4.2 箱石峠

試料を採取した位置を図 3.3.5.3 および 3.3.5.4 に示す。溪流上部斜面には平成 24 年に発生した崩壊や古い崩壊箇所が認められ、古くから崩壊が頻発していたことが読み取れる。

土石流堆積物の状況と概況図を図 3.3.5.5 に示す。平成 24 年の土石流堆積物の直下に細粒物主体層と礫主体層の 2 層の堆積物が認められた。年代測定用の試料は巨転石直下の炭化物濃集部から採取した (HK-1)。測定試料のデータと前処理方法を表 3.3.5.3 に、放射性炭素年代測定結果を表 3.3.5.4 に示す。その結果、採取した試料は 1986 年であり、坂梨地区同様、土砂移動が頻繁に生じていることが伺える。



図 3.3.5.3 溪流位置図

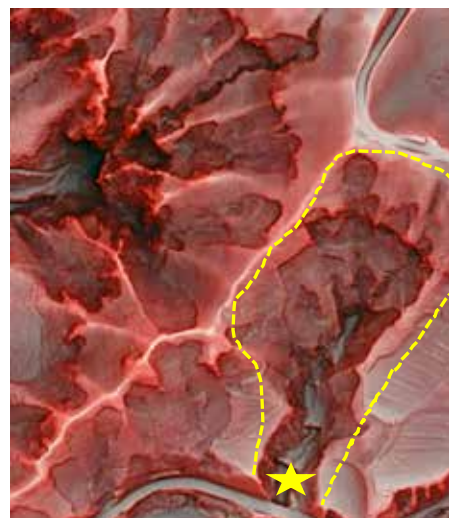


図 3.3.5.4 溪流の状況と試料採取位置(☆箇所)

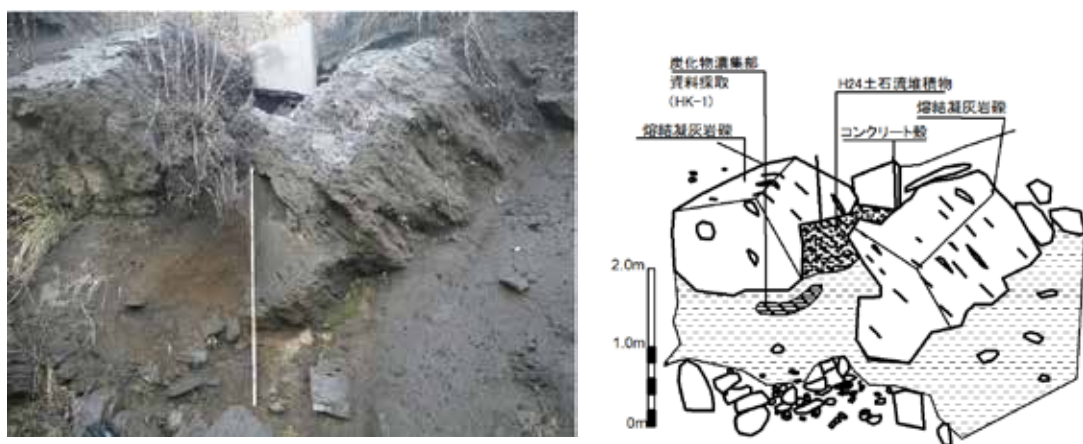


図 3.3.5.5 土石流堆積物の状況写真(左)と概況図(右)

表 3.3.5.3 測定試料および処理

測定番号	採取地データ	試料データ	前処理
PLD-27965	採取地：阿蘇 試料No. HK-1	種類：土壌 状態：wet 備考：ヒューミンを抽出	超音波洗浄 酸・アルカリ・酸洗浄(塩酸:1.2N, 水酸化ナトリウム:1.0N, 塩酸:1.2N)

表 3.3.5.4 放射性炭素年代測定および暦年校正の結果

測定番号	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	暦年校正用年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代を暦年代に校正した年代範囲	
				1 σ 暦年代範囲	2 σ 暦年代範囲
PLD-27965 試料No. HK-1	-19.28 $\pm$ 0.24	-1437 $\pm$ 16 (F14C:1.1960 $\pm$ 0.0025)	-1435 $\pm$ 15	Post-bomb NH2 2013: 1985-1986 cal AD (64.1%) 1987-1987 cal AD (4.1%)	Post-bomb NH2 2013: 1958-1959 cal AD (5.2%) 1985-1985 cal AD (2.1%) 1985-1987 cal AD (88.0%)

3.3.6 崩壊および流下形態推定（坂梨、塩井川2）（中濃）

平成24年7月の九州北部豪雨における阿蘇カルデラ内の外輪山縁辺部で発生した土石流は、トリガーとなった土砂生産源である表層崩壊土砂が黒ぼくなどの細粒分を多く含む土砂であっても、 $\phi 5\text{m}$ を超える巨石が多数含まれていたことが特徴的であった（写真3.3.6.1 左）。これらの巨石の発生要因について、坂梨及び塩井川2で調査を実施した（写真3.3.6.1 右）。調査位置を写真6-2に示す。



写真 3.3.6.1 土石流の発生に伴い流下した巨礫（左：坂梨、右：塩井川2）

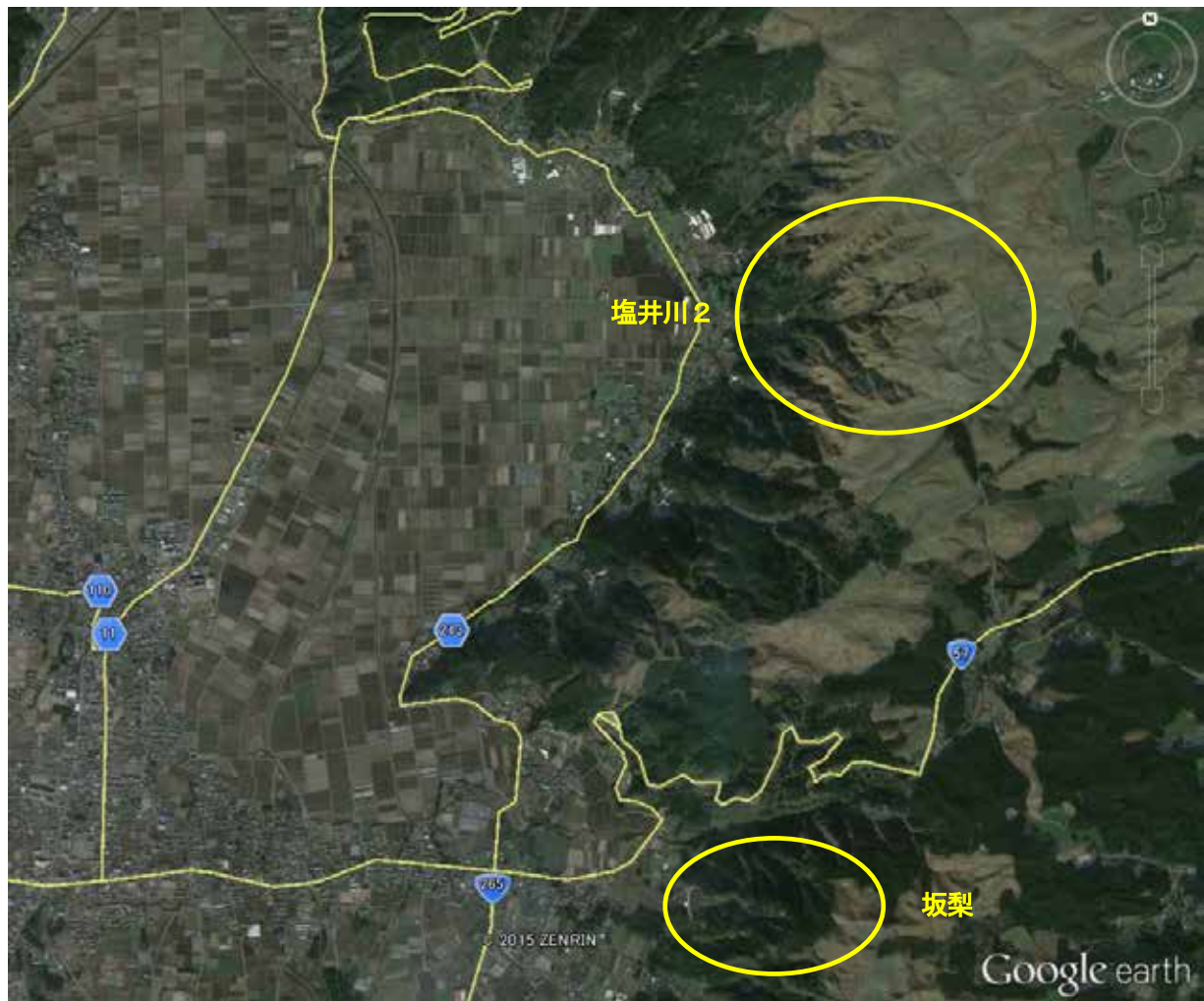


写真 3.3.6.2 調査位置図

(1) 坂梨

坂梨の上流域には土砂生産源と想定される崩壊地が認められる(写真3.3.6.3)。これらの崩壊地の詳細は“3.1.2 上流崩壊地”に示すとおりであるが、黒ぼく層を主体とする表層の崩壊で、崩壊土層の中に巨石は含まれていない。

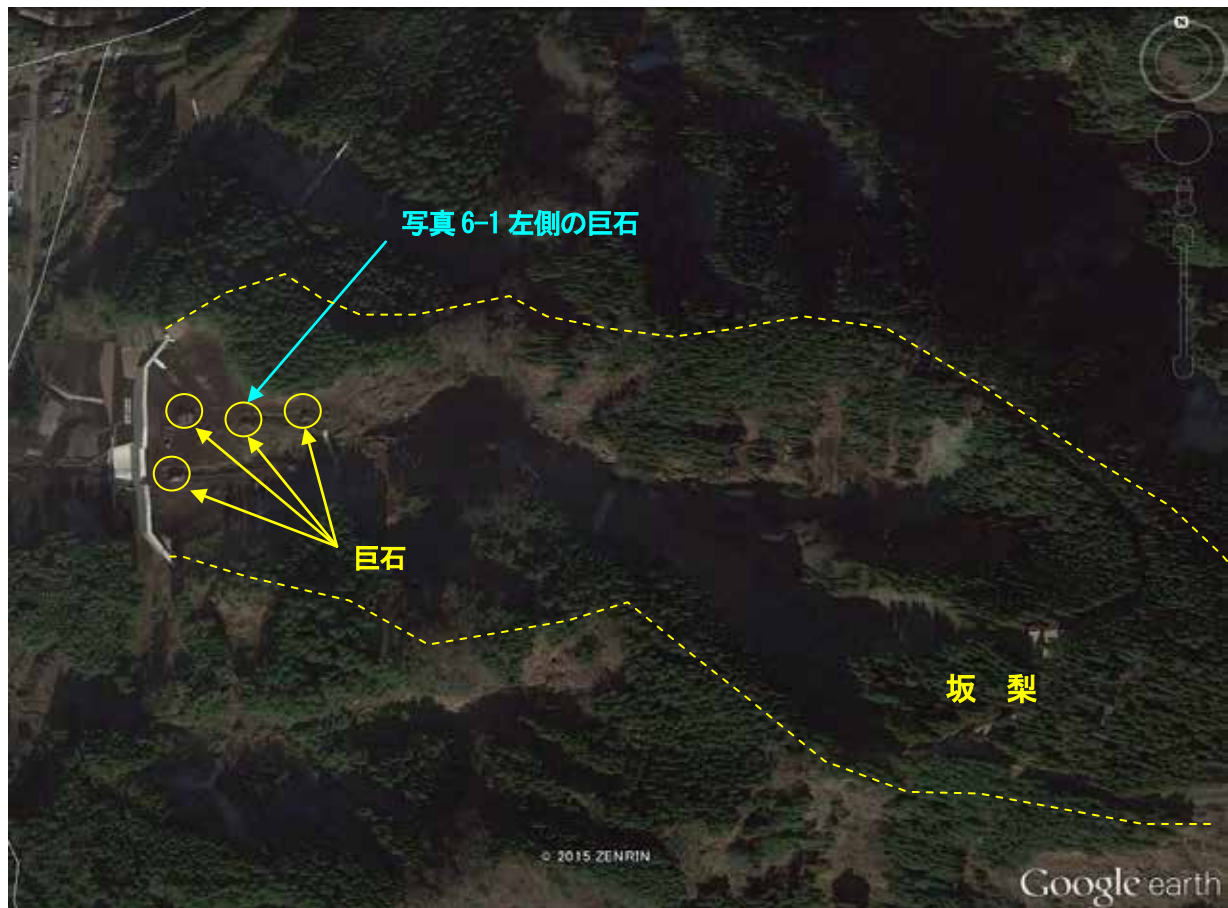


写真 3.3.6.3 坂梨上流域における崩壊地及び巨石分布状況

坂梨における巨石発生源としては、以下の3箇所が想定された。

① 外輪山の縁辺部の岩盤（写真 3.3.6.4）

外輪山縁辺部の急崖地には、構成地質である溶結凝灰岩が冬季の水分凍結により発生したと推測される節理面が発達している⁴⁾。この節理面には融解時の崩落や重力作用により開口が進行している（岩塊崩落の兆候が認められる）箇所が認められる。これらの状況から、出水時に浸透した裂隙水の水圧により緩んだ節理面に沿って岩塊（溶結凝灰岩）が崩落し、そのまま土石流として下流域に流出する形態が、当該地区における巨石堆積の理由のひとつとして推測される。

② 滝上部の谷底（写真 6-5）

巨石の発生形態として、①に示した外輪山の縁辺部の急崖地から岩塊状で崩落し、脚部の谷底に堆積していた巨石が出水に伴い二次移動した可能性も推測される。

本調査では、坂梨の滝の上部の平坦な谷底における堆積物（以下、“谷底堆積物”と称す）中には小数の巨石しか確認できなかった。このことは、①に示したように崩落した巨石がその時の出水で下流域に流出したか、九州北部豪雨もしくはそれ以前の出水により谷底の巨石が流出した可能性があることを示唆している。



写真 3.3.6.4 節理面からの岩隕崩落箇所(左)とその兆候が認められる箇所(右)



写真 3.3.6.5 谷底に堆積した巨石群

③ 外輪山(滝・急崖地)の脚部の崖錐堆積物(写真 3.3.6.6)

坂梨の滝直下では、多量の崖錐が堆積し、その一部が流出した後が認められた。また、この崖錐層には巨石を含むことも確認された。従って、①、②に示した形態で流出し、滝の脚部の崖錐内に堆積していた巨石が、上流からの流水・土石流に取り込まれて今回流出（二次移動）したものと推測される。



写真 3.3.6.6 滝や急崖部の脚部にみられる崖錐堆積物

(2) 塩井川 2

塩井川 2 の上流域の牧野では、“3.2 箱石峠” に示した形状の表層崩壊が多数認められる (写真 3.3.6.7)。坂梨の表層崩壊と同様にこれらの崩壊地には巨石は含まれない。



写真 3.3.6.7 塩井川 2 の上流域の崩壊地の分布状況

塩井川 2 における巨石の発生源として、外輪山の縁辺部からの崩落岩塊が堆積した谷底堆積物が推測される (写真 3.3.6.8)。



写真 3.3.6.8 谷底に堆積した巨石群

ここで、谷底堆積物の中でも、狭窄部を閉塞するように堆積した土砂（以下、“狭窄部閉塞土砂” と称

す) は、厚く多量である (写真 3.3.6.9)。このことから、上流からの流水・土石流に取り込まれ再流出した際には甚大な被害を発生させることが懸念される。また、このような箇所は細長く下刻が進行する外輪山縁辺部では多数存在することも類推される。



写真 3.3.6.9 巨石により閉塞した狭窄部 (塩井川 2)

(3) 巨石の含有要因

以上の現地状況より、九州北部豪雨において、外輪山の縁辺部で発生した土石流中に巨石が含まれる要因には、図 3.3.6.1 に示すように①節理面に沿った岩盤 (溶結凝灰岩) の崩落に起因するものと、②崩積土に起因するものに大別できる。①節理面に沿った岩盤 (溶結凝灰岩) の崩落に起因した巨石を含む土石流の発生形態として、節理面に沿った岩盤 (溶結凝灰岩) が開口・分離して崩壊・崩落し、その岩塊がそのまま土石流化として下流域に流出する形態が想定される。これに対し、②崩積土に起因した巨石を含む土石流の発生形態は、崩積土砂が上流からの流水・土石流に取り込まれて再流出する形態であるが、崩積土の形態から“崖錐堆積物の流出”、“谷底堆積物の流出”および“狭窄部閉塞土砂の流出”の 3 つに分類される。

崖錐堆積物の流出は、滝・急崖地の脚部に堆積した崖錐中の巨石が再流出する形態のことである。谷底堆積物の流出とは、谷底に堆積した巨石が再流出する形態のことである。狭窄部閉塞土砂の流出とは、谷底堆積物のうち狭窄部に大量に堆積した土砂が一気に再流出する形態である。ただし、本調査では狭窄部閉塞土砂の流出の危険箇所は確認したが、同形態による土石流の発生箇所は確認できなかった。

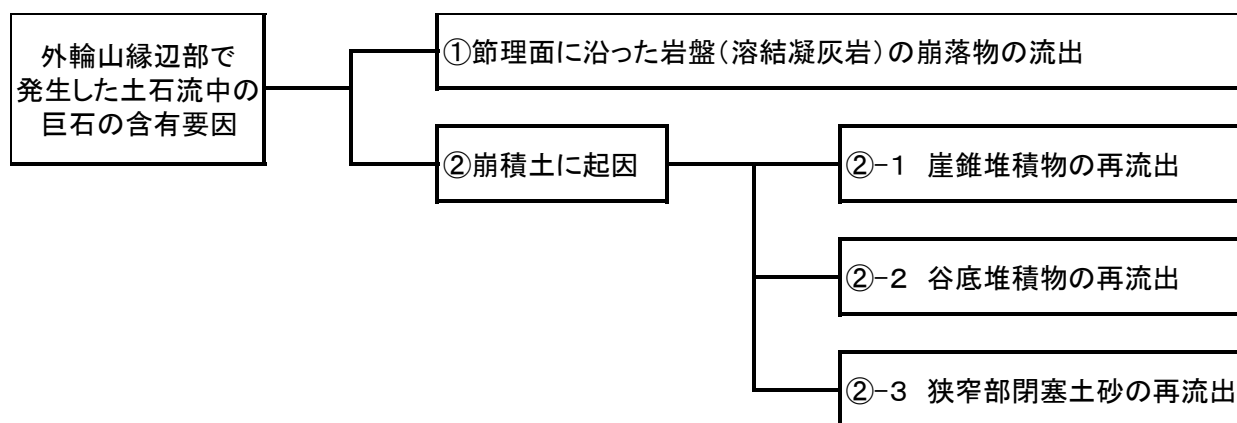


図 3.3.6.1 土石流中に巨石が含まれる要因

3.3.7 森林土木的考察（関口）

3.3.7.1 植生

坂梨・箱石峠調査地周辺の植生について、既存資料（GIS データ）から解析を行った。解析では、1メッシュ 10m 四方として、およそ標高 600m 以上の山腹斜面部分を範囲に設定して行った。

- ・植生情報の抽出 ⇒ 植生図データとの重ね合わせ
- ・地形解析 ⇒ 10mDEM を用いて解析
- ・危険地区の抽出 ⇒ 危険地区データとの重ね合わせ
- ・土壌情報の抽出 ⇒ 土壌図データとの重ね合わせ

これらの各情報をメッシュ毎に集計し、関係性を考察した。各データの出典元を図 3.3.7.1 に示す。

データ	出典	詳細
植生図	環境省	生物多様性情報システム 第6回・第7回 自然環境保全基礎調査
等高線	国土交通省 国土地理院	基盤地図情報
10mDEM		
危険地区	国土交通省 国土政策局 国土情報課	国土数値情報 土砂災害危険箇所データ
土壌図		土地分類基本調査 20万分の1土地分類基本調査

図 3.3.7.1 データの出典元



図 3.3.7.2 調査地

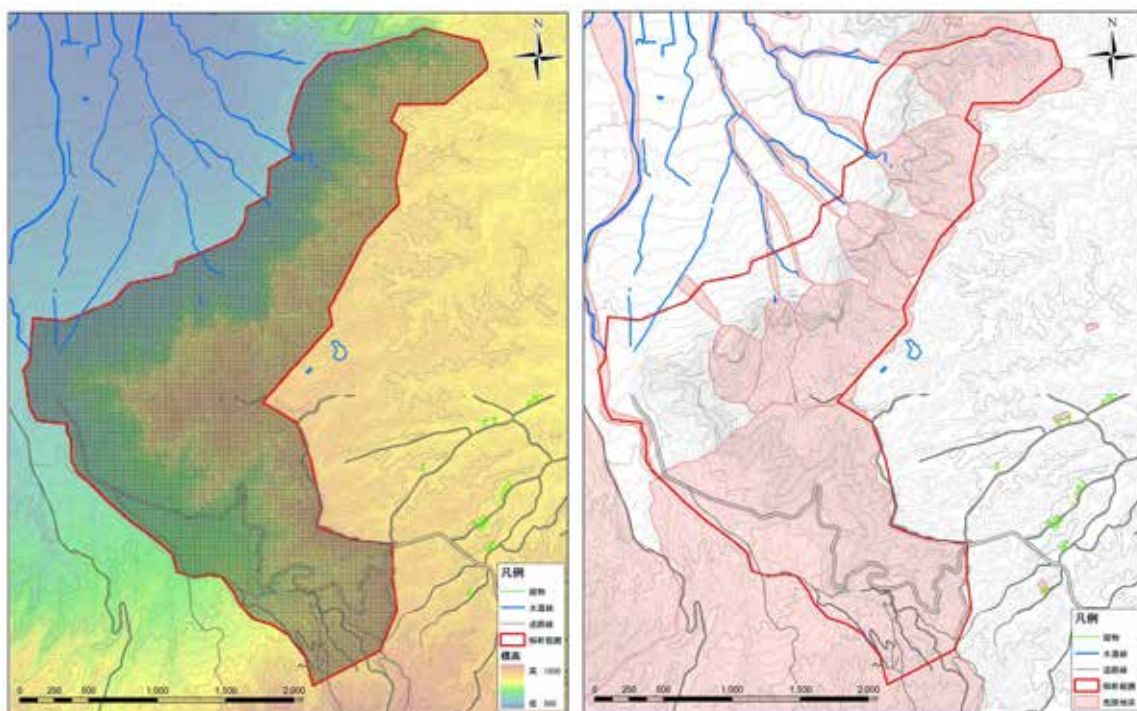


図 3.3.7.3 解析範囲と危険箇所

(1)植生と危険箇所

図 3.3.7.4 に植生と危険箇所の関係を示す。坂梨については、スギ・ヒノキ・サワラ植林であり、危険地区に該当する部分が占める割合が多い。箱石峠では、ネザサ、ススキ群集となり、同様に高い割合となっている。

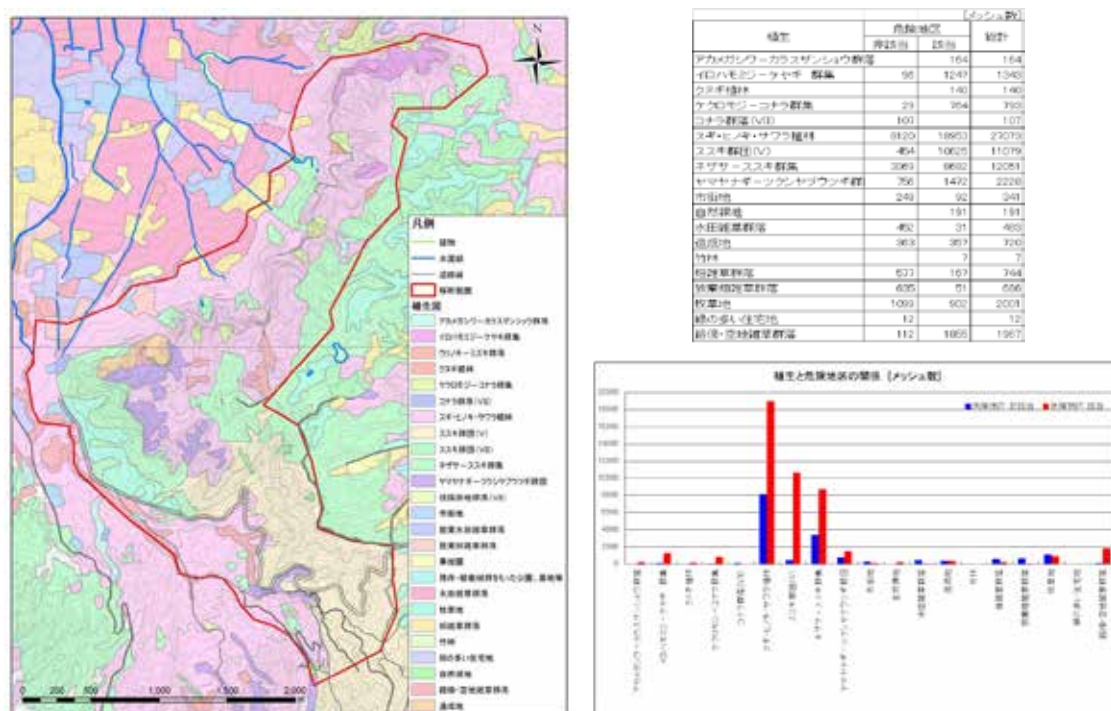


図 3.3.7.4 植生と危険箇所の関係

(2)斜面方位と危険箇所

図 3.3.7.5 に斜面方位と危険箇所の関係を示す。坂梨については、ほとんどが南以外に傾斜している。箱石峠では、逆にほとんどが南向きとなっている。坂梨の現存される植栽状況の悪さは斜面方向にも起因していると予想される。

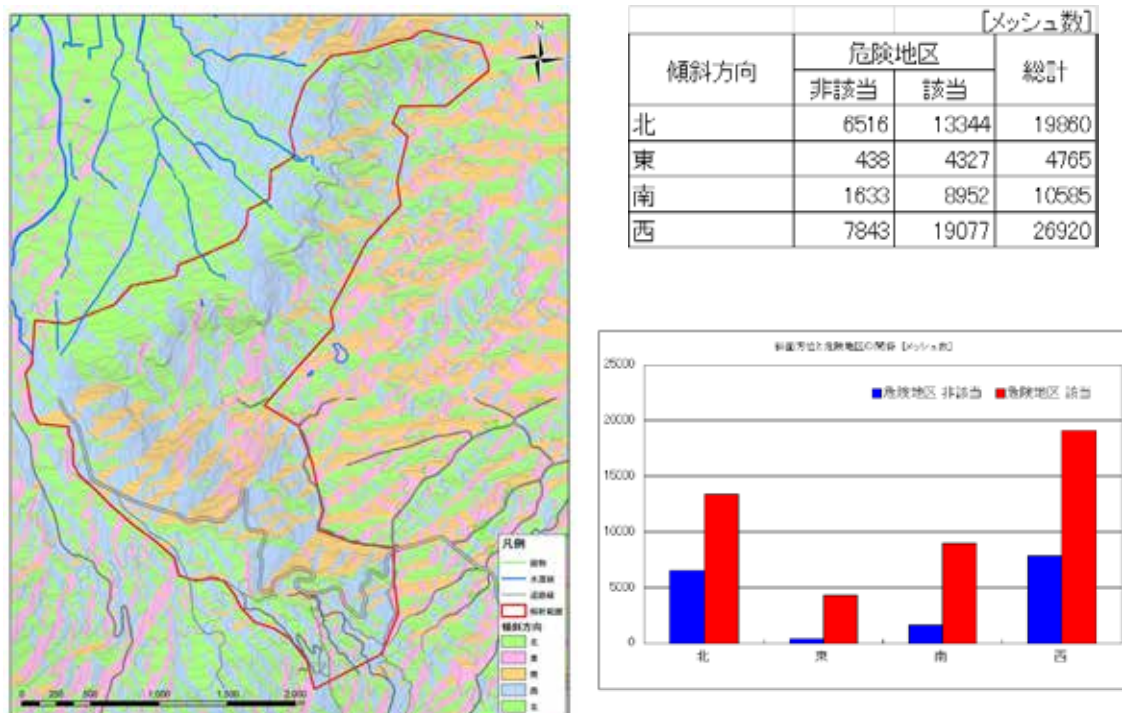
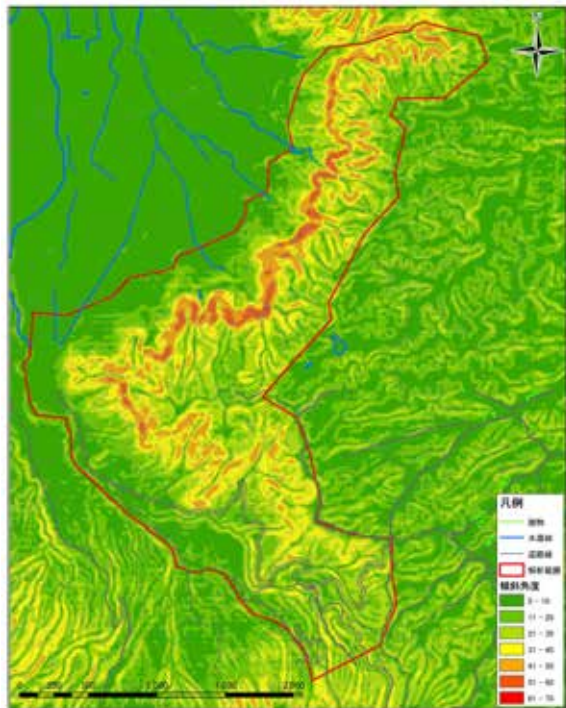


図 3.3.7.5 斜面方位と危険箇所の関係

(3)斜面傾斜角と危険箇所

図 3.3.7.6 に斜面傾斜角と危険箇所の関係を示す。坂梨については、オレンジの $41^{\circ} \sim 50^{\circ}$ が集水地形状に分布している。箱石峠では、 $21^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 、 $31^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の傾斜である。



傾斜角	危険地区		総計
	非該当	該当	
0～10	5078	5926	11004
10～20	4719	12396	17115
20～30	2875	13519	16394
30～40	2039	8917	10956
40～50	1361	3913	5274
50～60	358	999	1357
60～70		30	30

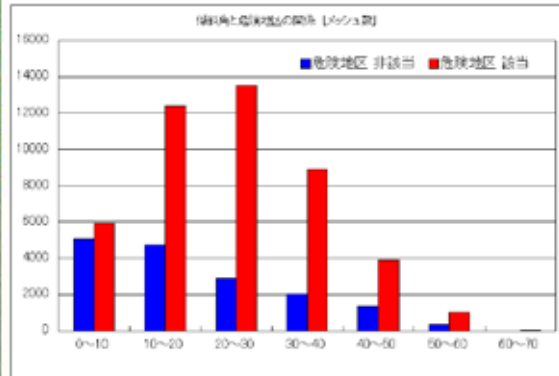
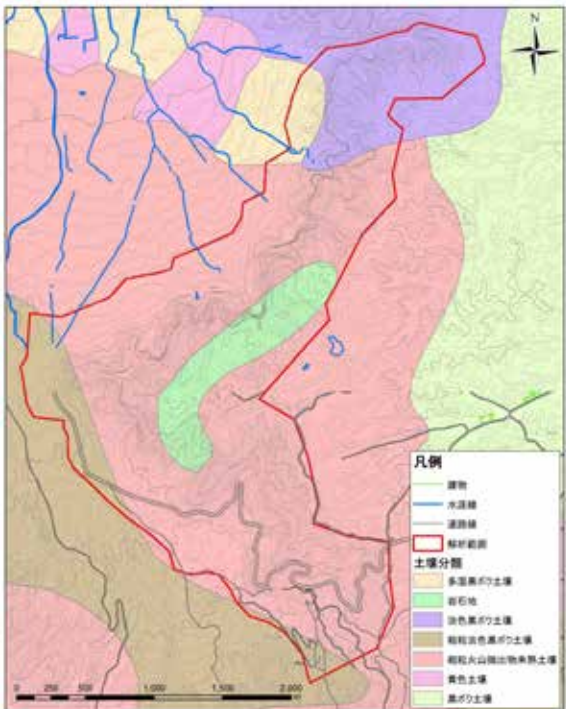


図 3.3.7.6 斜面傾斜角と危険箇所との関係

(4)土壌と危険箇所

図 3.3.7.7 に土壌と危険箇所との関係を示す。坂梨については、紫の淡色黒ぼくが分布している。箱石峠では、粗粒火山噴出物未熟土壌が大半を占めている。



土壌	危険地区		総計
	非該当	該当	
岩石地	221	5936	6157
粗粒火山噴出物未熟土壌	11035	31041	42076
粗粒淡色黒ボク土壌	2755	1934	4689
多湿黒ボク土壌	1463	135	1598
淡色黒ボク土壌	956	6654	7610

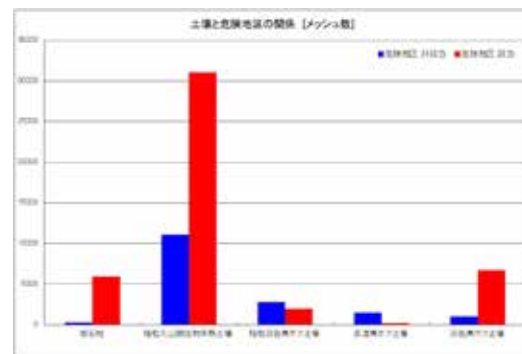


図 3.3.7.7 土壌と危険箇所との関係

以上、各項目において解析を行ったが、植生を着眼点に置くと箱石峠では、急峻にもかかわらず未崩壊な斜面は道路の反対側のヤマヤナギーツクシヤブウツギ群団、スギ・ヒノキ・サワラ植林に占めていることがわかった。



写真 3.3.7.1 箱石峠周辺の林況

3.3.7.2 坂梨

(1) 上流崩壊地

隣接する崩壊地周辺の林況植生(写真 3.3.7.2)は、スギ・ヒノキのおよそ 20～30 年生程度が植栽されているが、形質のほとんどが根曲りである。また、除伐や間伐の形跡が少ないことから、生育環境は悪い。そのため、下層植生の乏しい箇所が多く、窪地状に表土の抜け落ちた箇所も点在している状況下にある(写真 3.3.7.3)。その窪地では、土壌がパイプ状に抜けているのが確認できる(写真 3.3.7.4)。



写真 3.3.7.2 対策工未実施の崩壊斜面の状況



写真 3.3.7.3 対策工未実施斜面の植生の状況



写真 3.3.7.4 窪地における土壌のパイプ化

(2) 坂梨地区龍神

木柵（植生基盤の育成）が良好に機能している。植栽樹種はスギ・ヒノキ(写真 3.3.7.5)。植栽箇所は斜面下方の緩勾配斜面のみであることから、斜面上方は基岩が露出、もしくは急勾配により植栽できないと思われる。今年度においても、水路工、実播工と斜面下方の緩斜面区間に土留工が実施されているが、斜面中～上部では急勾配で、かつ長大斜面となっている。このため、この区間は土留工の施工が困難で、斜面の分断が出来ない状況にある(写真 3.3.7.6)。



写真 3.3.7.5 対策工実施済の斜面状況



写真 3.3.7.6 対策工実施中の斜面状況

3.7.3 箱石峠

写真3.3.7.7に調査地周辺の林況を示す。写真手前側が調査斜面に続く斜面であるが、調査斜面を含め、このあたり一帯はススキとなっており、道路を挟んだ奥側はヒノキの植栽となっている。ヒノキが植栽されている斜面下層はネザサ、ツル性植生に遷移しつつある。平成2年7月の豪雨で崩壊した近隣の斜面では、植生が回復しつつある(写真 3.3.7.8)。

調査地では表層 1m 程度が黒ぼく、それ以深が赤ぼくであるが、ススキの根系がおよんでいるのは黒ぼく層内までである(写真 3.3.7.9)。調査地周辺はほぼススキ・ネザサ植生であるが、崩壊箇所による植生の違いは見受けられない(写真 3.3.7.10)。また、崩壊は黒ぼく層と赤ぼく層の境界がすべり面として発生し⁵⁾、ススキ等の根系の侵入がみられない深度から発生していることから、崩壊の要因は土壌や斜面勾配等によると考えられる。



写真 3.3.7.7 調査地周辺の植生



写真 3.3.7.8 平成2年7月の豪雨時に崩壊した斜面

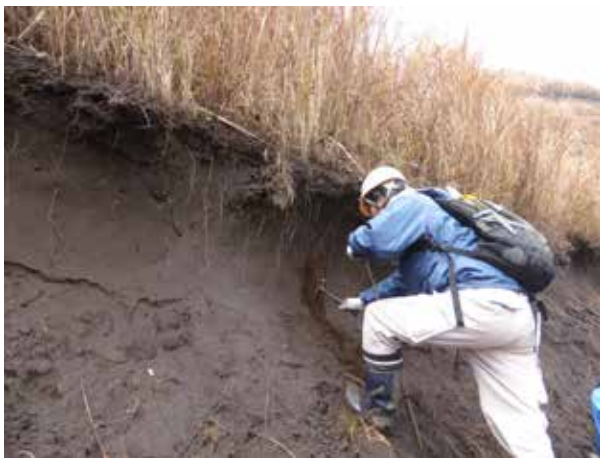


写真 3.3.7.9 調査地の地質



写真 3.3.7.10 調査地周辺の植生

3.3.8 2年後の復旧状況（砂防堰堤）（野田）

坂梨地区の崖錐層より下流部（図 3.3.2.1）について、平成 24 年 9 月に実施した現地調査と今回の調査時（平成 26 年 11 月）の変化を対比した。



写真 3.3.8.1 砂防堰堤竣工前後の状況(下流側より望む、左：平成 24 年 9 月、右：平成 26 年 11 月)



写真 3.3.8.2 砂防堰堤竣工前後の状況(上流側より望む、左：平成 24 年 9 月、右：平成 26 年 11 月)



写真 3.3.8.3 砂防堰堤竣工前後の状況(上流側より望む、左：平成 24 年 9 月、右：平成 26 年 11 月)
赤印は土石流によって流下してきた巨石(径 3m×7m 程度)



写真 3.3.8.4 砂防堰堤竣工前後の左岸側の状況(左：平成 24 年 9 月、右：平成 26 年 11 月)



写真 3.3.8.5 砂防堰堤より上流側の状況(左：平成 24 年 9 月、右：平成 26 年 11 月)



写真 3.3.8.6 砂防堰堤より下流側の状況(左：平成 24 年 9 月、右：平成 26 年 11 月)

3.3.9 まとめ（全員）

調査結果に基づき、本斜面災害に関して分かったことを以下にまとめる。

- 1) 土質試験による実測値を用いて地下水位を再現した安定解析を行った結果、坂梨上流崩壊地は地下水位が地表面付近まで上昇して崩壊するパターンと、箱石峠は地下水位が地表面を越え、被圧水圧となるまで上昇し崩壊するパターンの2種類が再現された。
- 2) 被圧水化する条件は、下記2点が関連していると考えられる。
 - ・地形の横断形状：坂梨上流崩壊地は一樣な斜面であるのに対し、箱石峠は崩壊斜面に遷緩線を持つ斜面であった。遷緩線を持つ斜面は、被圧水化しやすい可能性がある。
 - ・細粒分の含有率：坂梨上流崩壊地は28%（シルト26.4+粘土2.0）であるのに対し、被圧水化した箱石峠は59%（シルト35.4+粘土24）であり、2倍程度含有率が高い。細粒分含有率の高い土質は、透水性が低いことが推定され、被圧水化しやすい可能性がある。
- 3) 土石流堆積物中の木片を掘り出して放射性炭素年代測定を行った。その結果、坂梨地区では1974年と2006年、箱石峠では1986年となり、頻繁に土砂移動が生じていることが明らかとなった。
- 4) 坂梨地区では土石流中に巨石が含まれる理由として、①節理面に沿った岩盤（溶結凝灰岩）が開口・分離して崩壊し、崩落した岩塊がそのまま土石流として下流域に流出する形態のものと、②崖錐堆積物の流出、谷底堆積物の流出および谷底堆積物（狭窄部閉塞土砂）の流出する形態のもの、に大別できる。
- 5) 箱石峠では植生に着目すると、急峻にもかかわらず未崩壊な斜面は道路の反対側のヤマヤナギーツクシヤブツツギ群団、スギ・ヒノキ・サワラ植林に占めていることがわかった。
- 6) 箱石峠の崩壊は表層の黒ぼく層で、赤ぼく層との境界がすべり面として発生し、ススキ等の根系の侵入がみられない深度から発生していることから、崩壊の要因は土壌や斜面勾配等によると考えられる。

参考文献

- 1) （公益社団法人）地盤工学会 平成24年7月九州北部豪雨による地盤災害調査団：平成24年7月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書，437pp，2013
- 2) 小野晃司・渡辺一徳：阿蘇火山地質図1:50000，地質調査所，1985
- 3) 北園芳人：繰り返される阿蘇地域の土砂災害，特定非営利活動法人熊本自然災害研究会 第22回(平成25年度)研究発表会要旨集 pp.17-22
- 4) 大見多佳人：九州北部豪雨に伴う阿蘇土砂災害の現地状況と対策の事例，特定非営利活動法人熊本自然災害研究会 第21回(平成24年度)研究発表会要旨集 pp.61-66
- 5) 梅崎基考・井形秀一・岩内明子：国道265号および県道別府一の宮線道路災害調査報告，特定非営利活動法人熊本自然災害研究会 第21回(平成24年度)研究発表会要旨集 pp.35-39

3.4 土石流・泥流の構成式とシミュレーションモデルの課題

ICHARM

江頭進治

京都大学防災研究所 竹林洋史

3.4.1 伊豆大島における泥流の形成

崩壊によって生産された崩壊土砂がいかに泥流に遷移したかは、場の境界条件を定める上で極めて重要である。写真 3.4.1 は、崩壊源頭部および泥流堆積域の写真であり（竹林ら 2014）、これより斜面の構成材料は主に細粒土砂であることが分かる。図 3.4.1 は、崩壊斜面の粒度分布調査結果を参考にして作成した粒度分布である（Egashira et.al 2015）。これは、崩壊土砂及び泥流を構成した材料の平均的なものである。同図において、 d_f は土石流や泥流において流体相として挙動する粒子径の上限値、 p_f はその含有率（通過率）である。斜面を構成する土砂濃度と間隙率および細粒土砂とそれ以外の含有率には次の関係がある。

$$c_* + \lambda = 1 \quad (1)$$

$$p_c + p_f = 1 \quad (2)$$

ここに、 c_* : 土砂の体積濃度、 λ : 間隙率、 p_c : 土砂のうち固相として作用する粗い成分率である。仮に斜面土層が水で飽和しているとすれば、間隙を含む斜面土層のうち、流体として振る舞う成分 c_{fld} と固体として振る舞う成分 c_{sld} は、それぞれ次のようになる。

$$c_{fld} = \lambda + p_f c_* = 1 - (1 - p_f) c_* \quad (3)$$

$$c_{sld} = p_c c_* = (1 - p_f) c_* \quad (4)$$



写真 3.4.1 崩壊源頭部（左）および堆積領域（右）における泥流の材料の状況（竹林ら，2014）

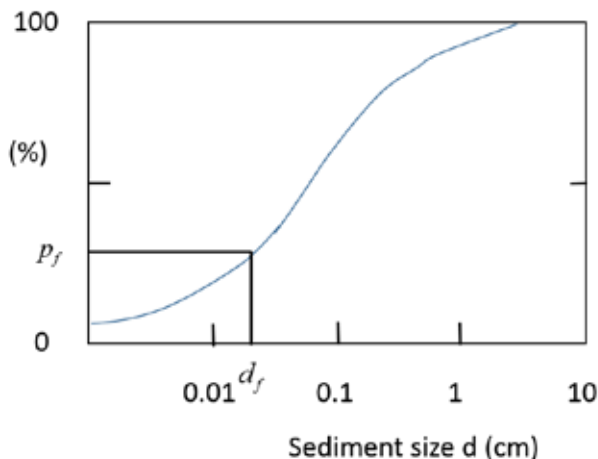


図 3.4.1 崩壊斜面材料の粒度分布（Egashira, et.al）

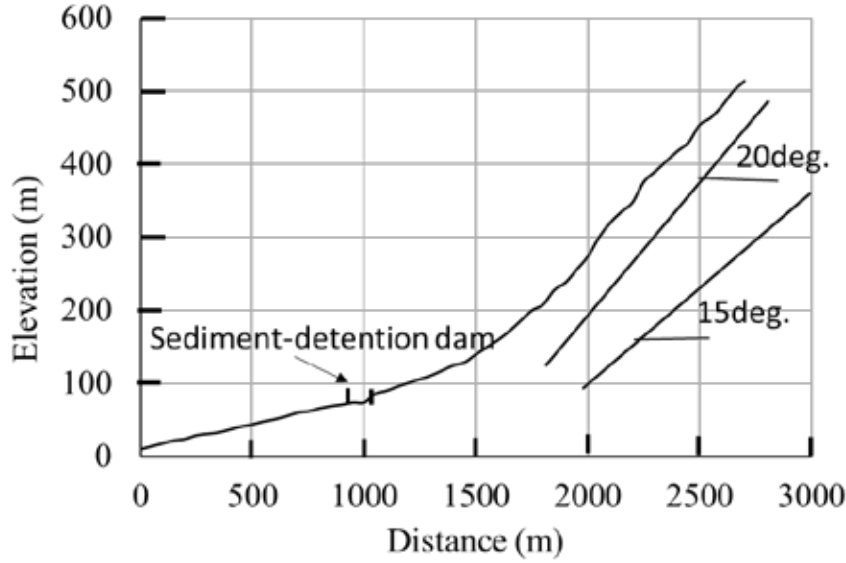


図 3.4.2 大金沢の縦断形状(Egashira et.al 2015)

この時，流体相の質量密度は次式で与えられる．

$$\rho = \frac{1}{1 - (1 - p_f)c_*} [(1 - c_*)\rho_w + p_f c_* \sigma] \quad (5)$$

この取扱いは崩土が流動化していることが前提である．芦田ら（1983）の解析によれば，水で飽和した非粘着性材料の場合，崩壊土砂が流動化するための移動距離は，崩壊土砂の移動深さの 5～6 倍程度である．したがって，伊豆大島の崩壊は，表層の 1m 以浅で発生しており，数メートルの移動で流動化したものと推察される．このような流れ，あるいは崩壊土砂の停止限界勾配は次式で与えられる．

$$\tan \theta = \frac{(\sigma / \rho - 1)c_{sld}}{(\sigma / \rho - 1)c_{sld} + 1} \tan \phi \quad (6)$$

ここで， $c_* = 0.6$ ， $p_f = 0.2 \sim 0.4$ とすれば， $c_{sld} = 0.36 \sim 0.48$ となる．さらに式（5）を用いて流体相の質量密度を算定し，材料の摩擦角を 37 度としてこれらを式（6）に代入すると，停止限界勾配は 13～8 度程度になる．

ところで，伊豆大島の泥流の形成については，次の二つの可能性に関する議論がある．

- ① 崩壊土砂は，その移動過程において連続的に泥流に遷移した．
- ② 崩壊土砂は，谷のどこかに停止し（あるいは天然ダムが形成され），上流から水が供給されて泥流を形成した．

図 3.4.2 は，大金沢の河床縦断形状である．標高 200m 以上高のところでは勾配が 15 度よりも急になっている．崩壊の大部分は標高 400～500m の領域で発生しており，崩壊土砂はこのような縦断形状を持つ溪床へ移動したものと推察される．ここで，溪床の勾配と上述の崩土の停止限界勾配の値を比較すれば，溪床勾配のほうが急であって，溪床には上述②にかかわる崩土の停止条件は存在しないことが分かる．一方，崩壊土砂に対して水の供給がなくても，斜面が飽和していれば，表土の浸食によって規模の大きい泥流は形成される．このことは理論的に保証されている．

以上要するに、伊豆大島の泥流は崩壊土砂の移動過程において形成されたものと推察される。このことは、泥流のシミュレーションを行うとき、上流端の境界条件を崩壊の源頭部近傍に設定することの合理性を示唆している。

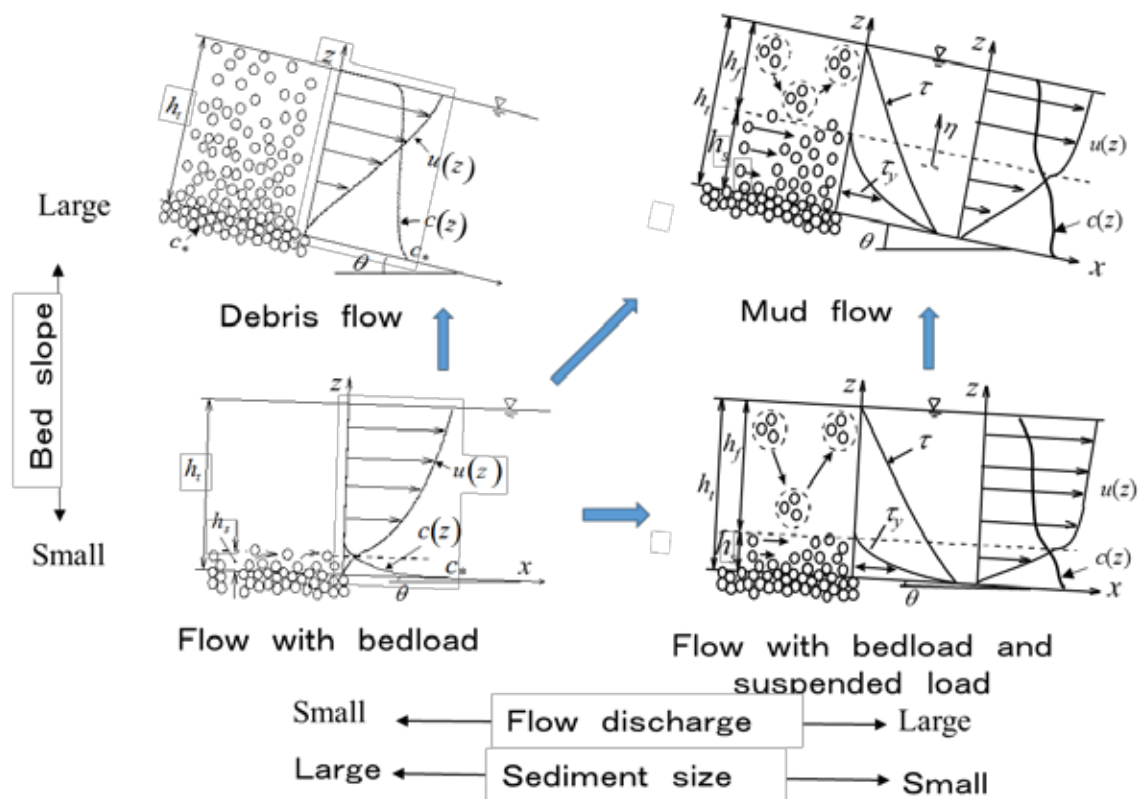


図 3.4.3 流砂を伴う流れの模式図 (Egashira et.al 2015)

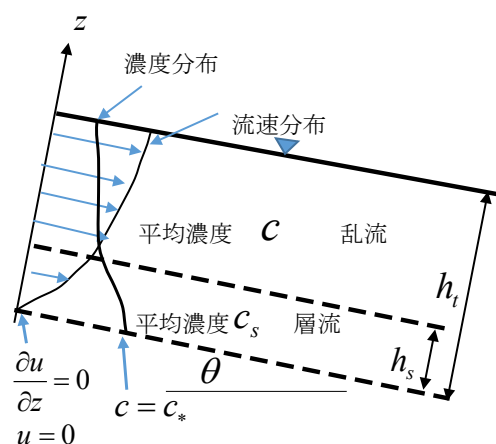


図 3.4.4 伊豆大島泥流のモデル化 (Egashira et.al 2015)

3.4.2 泥流の流動機構

図 3.4.3 は流砂を伴う流れの模式図である (Egashira et.al 2015) . 図の左下は、一般に見られる掃流砂を伴う流れである。この状態において勾配が増加すると掃流砂層が厚くなり、さらに勾配が増

加すると、流れ全体が掃流砂層になる。これが土石流である。図の左側の二つの流れでは、砂粒子は粒子間の接触と衝突のみによって支えられており、砂粒子層の中の水圧は自由表面の位置のみによって定まる。一方、掃流砂を伴う流れにおいて粒子径を小さくしていくと、右下の図のように掃流砂層の上部に乱流拡散によって浮遊砂流が形成される。この流れの間隙水圧は、自由水面の位置ばかりでなく浮遊砂濃度にも依存する。この状態から勾配を増加させると、掃流砂層が増加して浮遊砂層の厚さは減少するが、流れ全体が掃流砂層に置き換わるかどうかについては判然としない。現状では、これを実験で確かめるのはかなり困難である。判然としない流れに命名するのは、無責任かもしれないが、ここでは便宜上、これを泥流と呼ぶことにする。なお、図 3.4.3 の乱流域において、粒子は乱れによって支えられているから、固相として振舞う粗い粒子が有意に含まれていても、この領域では降伏応力は無視できる。粒子濃度に関するこのような議論の複雑さを避けるため、以下の議論における粒子濃度の定義は、断らない限り全粒子を対象としたものである。

伊豆大島で形成された流れは砂・微細砂と水との混合体の流れである。このことおよびこれまでの実験的研究（江頭ら 1994）や斜面を構成する材料の粒度分布を参考にすると、上述の図の右上の流れ、すなわち泥流であったものと推察される。ところが、このような流れについては研究の蓄積がなく、ほとんど分かっていない。ここでは取りあえず、掃流砂層を伴う流れとの相似性を考慮して、流れを図 3.4.4 のようにモデル化する。図中、層流域の流れは、クーロン型の降伏応力および粘性応力に支配され、乱流域においてはレイノルズ応力に支配されるものとする、応力構造は次のように表現される。

$$0 \leq z \leq h_s \quad \tau = \tau_y + \mu(c, d, \sigma, \rho_w) \frac{\partial u}{\partial z} \quad (7)$$

$$h_s \leq z \leq h_t \quad \tau = \rho \varepsilon \frac{\partial u}{\partial z} \quad (8)$$

ここに、 τ_y はクーロン型の降伏応力で、これは次式で推定される。

$$\tau_y(z) = \rho_w (\sigma / \rho_w - 1) c_s (h_s - z) g \cos \theta \tan \phi \quad (9)$$

μ : 粘性係数で、これは粒子濃度 c 、粒子径 d 、粒子の質量密度 σ 及び水の質量密度 ρ_w の関数である。 ε は、渦動粘性係数であって、これは壁法則等を用いて推定される。

層厚比 h_s / h_t は、河床面におけるクーロン力と外力（せん断力）の釣り合いから次式のように求められる。

$$\frac{h_s}{h_t} = \frac{\{(\sigma / \rho_w - 1) c + 1\} \tan \theta}{(\sigma / \rho_w - 1) c_s \{\tan \phi + (1 - c / c_s) \tan \theta\}} \quad (10)$$

c_s は、層流域の土砂濃度で、江頭ら（1997）の土石流の議論を参考にすれば、これは次式で近似できるはずである。

$$c_s = (c_* + c) / 2 \quad (11)$$

砂・微細砂と水との混合体の流れの構造については上述のような状況にある。実際の流れを解析する際には、流速係数について多くの実験データや観測データをまとめた Julien らの研究（2010）は参考になるものと思われる。

3.4.3 泥流のシミュレーション

(1) 基礎方程式

2013 年 10 月に伊豆大島で発生した山腹崩壊にともなう泥流は、我々がこれまでにあまり経験したことがなく、前述したように、流れの構造に関する研究も進展していない。そのため、シミュレーションを行うためのモデルも持ち合わせていない。一方、前述の図 3.4.3 の左側に示す石礫型の土石流については、かなり研究が進展しており、いくつかのシミュレーションモデルも提案されている。土石流と今回の泥流との違いは、構成則すなわち流れの抵抗および侵食・堆積機構のところにある。このことに留意して、土石流に関する江頭・伊藤（2003）のシミュレーションモデルを参考にし、泥流のシミュレーションモデルの開発を試みているところである。

泥流の支配方程式は、土石流の場合と同様で、流れに関する質量及び運動量保存則、河床材料の質量保存則である。これらは、それぞれ次のようである。

流れ全体および土砂に関する質量保存則：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = \frac{E}{c_*} \quad (12)$$

$$\frac{\partial ch}{\partial t} + \frac{\partial cuh}{\partial x} + \frac{\partial cvh}{\partial y} = E \quad (13)$$

運動量保存則：

$$\frac{\partial uh}{\partial t} + \frac{\partial uuh}{\partial x} + \frac{\partial vuh}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} \quad (14)$$

$$\frac{\partial vh}{\partial t} + \frac{\partial uvh}{\partial x} + \frac{\partial vvh}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_m} \quad (15)$$

河床材料の質量保存則：

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{E}{c_* \cos \theta} \quad (16)$$

ここに、 t :時間、 x, y :流れを含む面、 u, v :流速の x, y 成分、 h :流動深、 c :土砂の体積濃度、 c_* :静止堆積層の土砂濃度、 E :侵食率(侵食速度)、 z_b :河床位、 P :圧力、 τ_b :河床せん断力、 ρ_m :混合体の質量密度、 θ :河床勾配である。 ρ_m, P, θ は次のように定義されている。

$$\rho_m = (\sigma - \rho_w)c + \rho_w \quad (17)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho_m gh^2 \cos \theta \quad (18)$$

$$\theta = \sin^{-1}(\sqrt{(\partial z_b / \partial x)^2 + (\partial z_b / \partial y)^2}) \quad (19)$$

以上、侵食率および河床せん断力が与えられると方程式系は閉じる。侵食率については、次式で与えられる。

$$\frac{E}{\sqrt{u^2 + v^2}} = c_* \tan(\theta - \theta_e) \quad (20)$$

ここに、 θ_e ：図 3.4.4 の濃度 c および c_s に対応する平行勾配であって、次式で与えられる。

$$\tan \theta_e = \frac{(\sigma / \rho_w - 1)c_s}{(\sigma / \rho_w - 1)\{c - c_s(1 - \frac{c}{c_s})\frac{h_s}{h_t}\} + 1} \frac{h_s}{h_t} \tan \phi \quad (21)$$

ここに、 h_s/h_t は、式(10)で与えられている。

河床せん断力については、前述の式(7),(8)を解く段階ではないので、取りあえず次の形式のものを使うことにする。

$$\tau_{bx} = \rho_m \frac{f}{8} \sqrt{u^2 + v^2} u \quad (22)$$

$$\tau_{by} = \rho_m \frac{f}{8} \sqrt{u^2 + v^2} v \quad (23)$$

ここで、抵抗係数には、Julien ら(2010)の成果を参考にして、水深平均の渦粘性係数を用いて推定される次の値を用いる。

$$f = 72\alpha^2 (\alpha = 1/15) \quad (24)$$

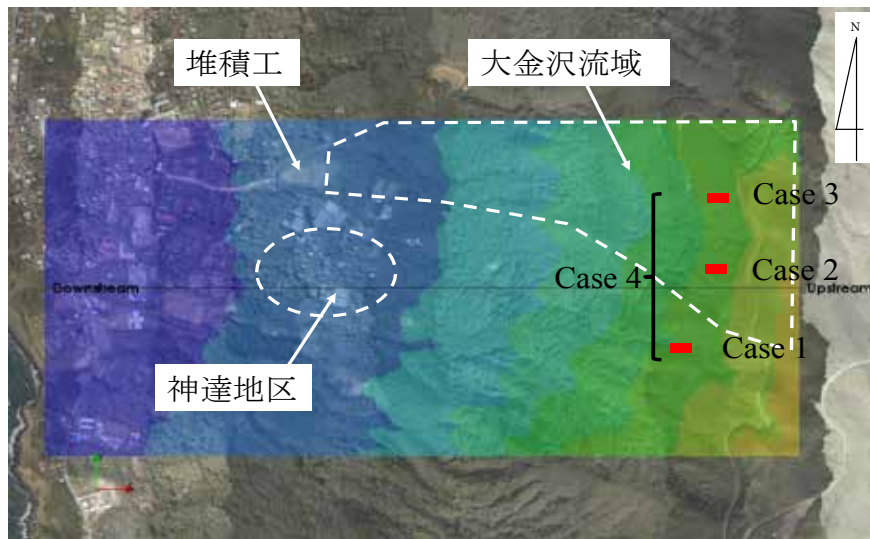


図 3.4.5 伊豆大島泥流の解析領域（竹林ら，2014）

（２）解析条件

解析領域は、図 3.4.5 にコンターを色分布で示した領域である。この領域には神達地区及び大金沢を流れた泥流の流動域が含まれている。図の背景写真は国土地理院より提供、コンター図には iRIC の GUI を用いている。初期地形データは、平成 24 年度に計測された国土地理院による 5m メッシュデータである。解析格子は、東西方向に 15m、南北方向に 12m とした。斜面崩壊は 3 ヶ所を想定した。Case 1 は最も南側の斜面崩壊であり、神達地区に多くの土砂が流れ込むと想定したものである。Case 2 は神達地区の真東に位置している場所からの斜面崩壊であるが、大金沢流域内に位置している。Case 3 は最も北に位置している斜面崩壊であり、多くの土砂が大金沢に流れ込むことを想定したものである。Case 4 は 3 ヶ所の崩壊が同時に発生した場合である。各斜面崩壊の崩土の大きさは同一であり、厚さ 0.5m、東西方向の長さ 45m、南北方向の長さ 36m、体積は 810m³ とした。

なお、地盤は水で飽和しており、崩壊土砂の移動過程で泥流が形成されたものと考えている。したがって、数値計算においては、上流端境界において $uh = 0, vh = 0$ とし、初期条件として速度 $u=v=0$ 、土砂濃度 $c=0.4$ 、水深 $h=0.5$ の泥流を Case1~Case4 のような場所に設定している。また、泥流の流下過程において斜面の表土層を侵食しながら泥流は発達するが、計算において侵食可能な表土の厚さ(侵食可能深 D_p)を 1 m と 0.5m としている。

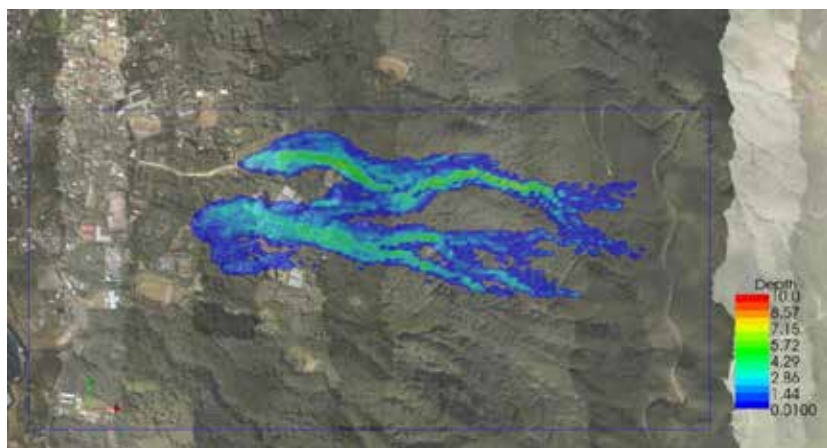
泥流の発達減衰は式 (12) , (14) , (15) で記述される質量保存則と運動量保存則を通じて起こり、濃度変化は式 (15) を通じて起こるが、濃度変化については層流域と乱流域の濃度の決定機構に関する課題が残されているため、ここではこれを一定として扱うことにする。そのため、ここでは方程式系において式 (15) は使われていない。

(3) 計算結果

抵抗則や濃度変化の扱い等解明すべき課題は残されているが、以上のような条件の下でシミュレーションを行ない、泥流の発達過程、流動過程、氾濫範囲などの妥当性を検討した(竹林ら 2014)。

それによれば、これらは、ほぼ再現されることがわかっている。ここでは、最大流動深および侵食・堆積深の空間分布について体積侵食可能深 $D_p = 0.5$ m 及び 1.0m としてシミュレーションを行った結果を見ておこう。これらを図 3.4.6~図 3.4.7 に示す。侵食可能深の大小は、泥流の土砂量を直接的に支配するため、両者における侵食堆積量の空間分布の違いが顕著に現れている。一方、流動深については、注意深く比較すると D_p の大きい計算において流動深も大きいものの、それほど顕著な違いは見られない。これは、流動深のクラス分けにも原因がある。

今後、構成則に関する研究を深め、其の成果をシミュレーションモデルに組み込んでいく。同時に計算精度に及ぼすグリッドサイズの影響等についても究明していくつもりである。



侵食可能深=0.5m のときの結果

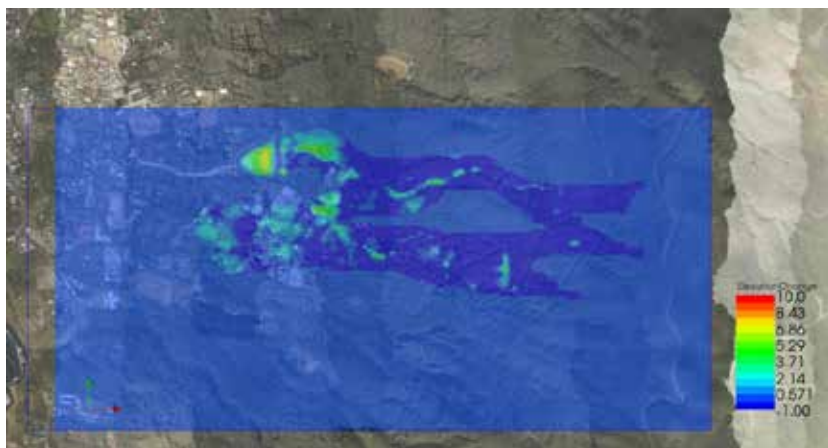
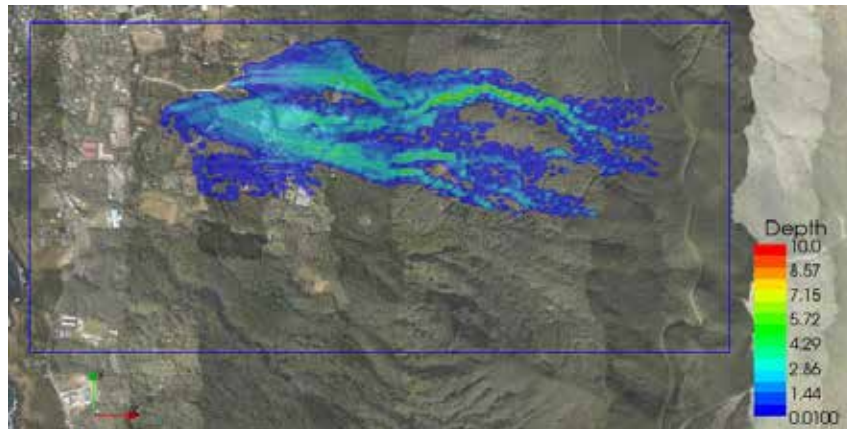


図 3.4.6 泥流の最大流動深（上段）及び最大侵食・堆積深（下段）の空間分布（竹林ら 2014）



侵食可能深=1.0mのときの結果

図 3.4.7 泥流の最大流動深（上段）及び最大侵食・堆積深（下段）の空間分布（竹林ら 2014）

3.4.4 おわりに

伊豆大島の泥流は、本文で述べたように、粘土・シルトを主成分とする流れと石礫を主成分とする流れとの中間的な性質を持っており、このような流れの構成則については未解明な部分が多い。構成則に関する研究は本テーマの中心課題の一つであって、構成則が明らかにならない限り、シミュレーションモデルを確立することはできない。今後、構成則の解明に努めるとともに、泥流の挙動に及ぼす微地形、侵食可能深およびグリッドサイズの影響等に関する考察を深める必要がある。

上述の課題に加えて、崩壊によって解放された土塊がいかに流れに遷移するかを明らかにすることは、流れの場を及び境界条件をいかに設定するかにかかわる重要な課題である。これについても検討を深める必要がある。

引用文献

芦田和男・江頭進治・大槻英樹（1983）：山腹崩壊土の流動機構に関する研究，京大防災研年報，26号 B-2, pp.315-327.

Egashira, S., Takebayashi, H., Sekine M. and Osanai, N.(2015): Sediment runoff processes and possibility of sediment control structures in the 2013 event at Izu-Ohsima, Proc. DFHM6, Tsukuba, Japan (in reviewing).

江頭進治・佐藤隆弘・千代啓三(1994):砂粒子を高濃度を含む流れに及ぼす粒子径の影響，京大防災研年報，37B-2, pp.359-369.

江頭進治・宮本邦明・伊藤隆郭(1997):掃流砂量に関する力学的解釈，水工学論文集，41 巻，pp.789-794.

江頭進治・伊藤隆郭(2004)：土石流の数値シミュレーション，日本流体力学会数値流体力学部門Web 会誌，第12巻，第2号，pp. 33-43.

Julien, P. Y. and Paris, A.(2010): Mean velocity of mudflows and debris flows, Jour. Hydraulic Eng., Vol.136, No.9, pp. 676-679.

竹林洋史・江頭進治・藤田正治(2014)：2013 年 10 月に伊豆大島で発生した泥流の平面二次元解析，河川技術論文集，20 巻，pp.391-396.

4 広域化する土砂災害を軽減するための社会的対応

4.1 土砂災害での宅地の保険と補償

M&K コンサルタンツ株式会社 大串 豊

4.1.1 土砂災害に対応できる「保険」とは

平成 26 年は広島県広島市をはじめ多くの場所で土石流や地すべり、がけ崩れなど多くの土砂災害が発生した。

そこで、土砂災害に際して宅地に関する保険はあるのか？という問いに対しては、建物が建てられていない宅地を対象として保険に加入することはできない、ということになる。それは、一般的に宅地（土地）自体を保険の対象とする保険が存在しないことによる。しかし、宅地に建設された住宅など建物の所有者が、火災保険や地震保険に加入することによって、宅地が抱える土砂災害リスクに備えることはできる。以下そのポイントを簡単に説明する。

4.1.2 火災保険について

建物の火災保険は、①火災リスク②自然災害リスク③日常災害リスクの 3 つのリスクを補償するものであるが、②の「自然災害リスク」に対応するものとして水災事故への補償がある。これは「台風、暴風雨、豪雨等による洪水・融雪・土砂災害等によって保険の対象（建物等）が損害を受け、その損害が一定以上生じている場合に保険金を支払う」ものである。

広島市で発生した土砂災害のような災害により建物が被災した場合、建物の火災保険の「水災による事故を補償する部分」で対応することになるが、この水災事故部分を不担保（損害が発生しても補償しない）に設定して火災保険を契約するケースも少なからず見受けられる。特にマンションの高層階に居住する場合などは洪水や土砂災害に被災する確率が低いため、居住部分の火災保険に加入する場合は「水災不担保」にして支払保険料を削減することも多く見受けられる。近年、異常気象に伴う局地的な豪雨災害に見舞われる事故が話題となることが多いが、今後は火災保険に加入する建物が所在する場所、宅地の状況を十分に把握して、自然災害リスクをきちんと見極めることが必要であろう。

4.1.3 地震保険について

いわゆる地震保険とは、地震・噴火・津波を原因とする火災、損壊、埋没、流失による建物・家財の損害を補償するもので、居住用の建物（併用住宅を含む）と建物に収容される家財を保険の対象とする。平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災のような巨大地震が発生すると、支払い保険金は大きく膨らむ。このため地震保険は政府と損害保険会社が共同で運営し、政府のバックアップによる官民一体のシステムが構築されている。したがって、地震保険の内容や保険料については損害保険会社ごとでの違いはなく、保険料は所在地と建物の構造により異なっている。なお、1 回の地震等による保険金の総支払限度額は最大 7 兆円（2014 年 9 月現在）に設定されており、大規模な地震では政府が大きな負担をする仕組みとなっている。（東日本大震災での地震保険支払保険金は 1 兆 2,579 億円（2014 年 3 月現在）であり、限度額は超えていない。）

近年は地震災害のリスクが高まっている場所が多くなってきており、また火山の噴火災害が頻繁に発生している傾向にもある。すでに建物の火災保険を契約している場合は火災保険の契約期間途

中からでも地震保険に加入することができるので、あらためて地震や噴火による災害リスクを見直すことが必要と言える。

4.1.4 まとめ

近年、日本列島における異常気象の発生や頻発する地震などの地殻変動の予兆をみると、宅地の土砂災害リスクの高まりを感じずにはいられない。火災保険や地震保険は自然災害等による建物の損害を補償する保険であるが、宅地の土砂災害リスクを全てカバーすることは難しい。しかし、宅地が持つ特性をきちんと把握し、発生するとダメージが大きいリスクに対して、有効な保険を加入することによりリスクの軽減を図ることができる。そのためにも、宅地が持つ「地盤情報」が国民に幅広く情報公開される仕組みの構築は有用であるといえる。

以上

4.2 土砂災害について 弁護士の視点から

弁護士 吉 岡 和 弘

4.2.1 自然災害と防災関連法

- (1) 火山については、活動火山対策特別措置法（１９７３）がある。同法は、避難施設、防災営農施設等の整備、降灰除去事業を行うことにより、国民の安全と農業経営等を守る目的を持ち、避難施設緊急整備地域の指定、同整備計画(退避壕、学校等の不燃堅牢化)、農林漁業者への長期低利の資金融通、降灰事業費負担(国は３分の２)、治山水事業、水質汚濁防止、健康影響調査、火山現象の研究観測体制の整備（努力義務）、警戒避難体制の整備、火山情報の伝達（国→知事→市町村長→公私の団体に伝達）、財政上の措置への国の配慮等について規定されている。
- (2) その他、防災に関する主たる法律には以下のようなものがある。

災害対策基本法、建築基準法、罹災都市借地臨時借家法処理法、水防法、砂防法、森林法、海岸法、地すべり等防止法、台風常襲地帯における災害の防除に関する特別措置法、宅地造成等規制法、河川法、都市計画法、急傾斜地の崩壊による災害防止に関する法律、被災者生活再建支援法、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、水防法の改正、特定都市河川浸水被害対策法、大規模地震対策特別措置法、地震防災対策特別措置法、東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法、津波防災地域づくり法。なお、阪神大震災では、約１６本の法律が、東日本大震災では約４５本の法律が作られている。

4.2.2 自然災害による被災者の救済

自然災害が発生し、被害が発生した場合、同被害が不可抗力(天災)による被害か、人的被害(人災)かによって対応が異なる。

(1) 人的被害の場合

- 1) 自然災害が発生し被災者又は遺族が登場した場合、いわゆる過失責任主義を採用する我が国では、加害者と目される者に落度(過失)があることが賠償責任の前提となる。そして、加害者と目される者と被災者との間に契約関係があり、加害者と目される者に契約上の安全配慮義務違反が問い得る場合は、同契約法理に基づく損害賠償責任が問われ、両者に契約関係はないものの加害者と目される者に課せられた注意義務を履行していなかった場合には不法行為（国家賠償）に基づく損害賠償責任が問題となる。
- 2) これら注意義務違反が問われる前提として、加害者と目される者に被害発生の見込み可能性と、結果回避可能性が存在していなければならない。とりわけ、見込みの対象事象が人間には制御できない自然現象による場合、同現象により危険にさらされる者を保護すべき義務を負う立場にある者の過失判断においては、見込み可能性が規範化して理解され、「予見義務」ともいうべき義務が認められる（潮見佳男『不法行為法Ⅰ〔第２版〕』（信山社）２９６頁）。その場合、保護すべき義務を負う立場にある者が積極的に情報を収集する行動や事前の配慮、思慮の義務を尽くせば予見できた事情にある場合、その者には単に予見できなかったというだけでは足りず、これら情報収集行動等を尽くしても結果発生は予見できなかったことを証明しない限り、具体的危険に関する見込み可能性があったものとして評価され、過失があったと取り扱われる。

- 3) また「人間の営み・存在は、周囲の環境とまったく切り離して捉えられることができないものである以上、自然力が権利・法益侵害に寄与したからといって当然にそれが因果関係(条件関係)を切断して損害賠償の成否に影響を及ぼすことにならない」(潮見佳男・「不法行為Ⅰ(第2版)」(甲51)370頁)、「加害者に故意・過失があり、かつ、責任設定の因果関係も認められるにもかかわらず、自然力を理由とする減責を認めたのでは、事前力による損害リスクを加害者ではなく、被害者に課すことになり、適切でない」(同371頁)。「自然力の競合そのものは責任の成否に影響を及ぼさない場合の方が多い」(窪田充見・「過失相殺の法理」(甲52)89頁)、「不可抗力は、なんらかの特別な理由による特殊な免責事由というわけではなく、問題となるのはあくまで瑕疵の存否の判断であるということになる」(同90頁)とされる。例えば、神戸地判平成10年6月11日(欠陥住宅判例第1集318頁)は、阪神大震災で9階建て鉄骨建物に溶接不良があり同建物が全壊した事案で、施工業者は大地震による不可抗力の天災と主張したが、裁判所は「大半の建物が地震による滅失したわけではないから未だ不可抗力とは言えない」と判示している。以下には、自然災害や地盤に関する裁判例を紹介しておく。
- 4) 落雷とクラブ活動の引率者
最判平成18年3月13日(判時1929号41頁)は、私立高校のクラブ活動としてのサッカー試合中に落雷により負傷した事故につき、「本件落雷事故当時、雷鳴が聞こえ、雲の間で放電が起きるのが目撃されていたという状況にあったというのであるから、引率教諭としては、右知見を基に、落雷事故発生の危険が迫っていることを具体的に予見することが可能であったというべきであり、また、予見し得なかったとすれば、予見すべき注意義務を怠ったものというべきである」と判示する。
- 5) 雪崩と引率者
最判平成2年3月23日(判時1345号73頁)は、公立高校の春山登山(木曾駒ヶ岳)で雪崩に遭い、生徒6人及びOBが死亡した山岳遭難の事案における引率教員の過失につき「学校行事も教育活動の一環として行われるものである以上、教師が、その行事により生じるおそれのある危険から生徒を保護すべき義務を負っており、事故の発生を未然に防止すべき一般的注意義務を負うものであることは言うまでもない」とし、引率教師に「同合宿に参加した学生をその実施により生じるおそれのある危険から保護すべき注意義務があるとした原審の判断は正当」と判示している。
- 6) 地震による地すべりと宅地造成者
仙台高裁平成12年10月25日判決(判時1764号82頁)は、地裁で「当時の造成に関する一般的技術水準を満たす施工をしていた」とした1審判決を覆し、「震度5の程度の地震動に対し、地盤上の建築物に軽視できない影響を及ぼすような地盤の亀裂、沈下などが生じない程度の耐震性を備えることが要求されている」との判断基準を示し、宅地造成をした仙台市に建物の補修費相当額の支払いを命じた判決
- 7) 地盤沈下と造成地販売業者
仙台高裁平成22年10月29日判決は、「宅地上に建築される住宅等の建物は、その建物の利用者等の生命、身体又は財産を危険にさらすことがないよう建物としての基本的な安全性を備えていなければならないところ、その敷地の地盤の性状がその上に建築される建物の基本的な安全性に大きな影響を与えることは明らかであるから、宅地の地盤は建物の建築に適した強度や安定性を有していなければならない、このような強度や安定性は、宅地としての基本的な安全性というべきである。そうすると、宅地の造成販売を行う者は、宅地の造成販売に当たり、直接の契約関係にない建物建築主等に対する関係でも、当該宅地に宅地としての基本的安全性が欠けることがないように配慮す

るなど第三者が不測の損害を被ることがないように注意すべき義務を負うと解するのが相当である。そして、宅地の造成販売者がこの義務を怠ったために造成された宅地に宅地としての基本的な安全性を損なう瑕疵があり、それによりその土地上に建物を建築した者等の生命、身体又は財産が侵害された場合には…（中略）…これによって生じた損害について不法行為による賠償責任を負うというべきである」と判示する。

8) 地震による液状化と宅造地販売会社

東京地裁平成26年10月8日判決「87年千葉県東方沖地震（M6.7・最大深度5）では浦安市内で多くの液状化被害が出たにもかかわらず本件分譲地には液状化による被害はなかった。これはベタ基礎を採用したことによる液状化対策の効果である可能性が高い。一方、東日本大震災のような継続時間が極めて長い地震動が液状化のしやすさに大きな影響を与えていることについての研究はこの地震以降に進んだのであり、本件建物の建設当時には今回のような液状化被害は想定できなかった。・・・よって本件分譲地の販売時に、今後発生する相当程度規模の地震に因り本件分譲地に液状化による被害が発生することについて予見可能性があったとは認めることはできない」と判示。

9) 津波と幼稚園

仙台地判平成25年9月17日（判時2204号57頁）は、私立日和幼稚園の送迎バスが津波被災をして園児5名と添乗員が死亡した事案につき、「幼稚園には園児の安全に係る自然災害等の情報を収集し、自然災害発生の危険性を具体的に予見し、その予見に基づいて被害の発生を未然に防止し、危険を回避する最善の措置を執り、在園中又は送迎中の園児を保護すべき注意義務を負う」とした上で、「約3分間にわたり最大震度6弱を園長ら職員は体感した・・・のだからバスを海沿いの低地帯に向けて発車させたら途中で津波により被災する危険性があることを考慮し、ラジオで情報を積極的に収集し、防災行政無線にも耳を傾け、・・・ラジオで津波の高さが6mと報道されていたのだから津波被害を回避するために高台に位置する幼稚園にとどまる契機となる程度の津波の危険性を予見することが出来た」などと判示する。

(2) 不可抗力による被害

- 1) 自然災害による被害が不可抗力(天災)とされる場合、被災者は救済されるのか。この点、従来、公費の支出は公平かつ公共のために用いられるものでなければならず、自然災害に遭遇した被災者は、自助努力をもって復興することが原則とされていた。憲法25条は、「全て国民は健康で文化的な最低限度の生活を営む権利を有する」とあるが、同条は社会権と呼ばれ、プログラム規定(宣言的規定)と解され、また、憲法13条は、「すべて国民は個人として尊重される。生命、自由及び幸福追求に対する国民の権利については公共の福祉に反しない限り、立法その他の国政の上で最大の尊重を必要とする」とあるが、これは専ら国家からの自由（国は個人の自由を侵害してはならない）をいう条項として理解され、憲法上、自然災害からの救済は認められないかの如き解釈が通説的見解とされ、従って、自然災害による被災については、自助努力が原則とされてきた。
- 2) しかし、火山国・地震国であり、台風・豪雨等、常態として自然災害に見舞われる災害国の我が国にとって、自然災害からの被災者に自助努力を強要し、他からの援助や救済を消極に捉える考え方は、「棄民」に等しく、とりわけ、阪神大震災や東日本大震災などの大被害を経験するうち、国家は、憲法上、個人の尊厳、幸福追求権（憲法13条）を災害対策の基本原理に据え、国家による被災者への基本権保護義務ないしは基本権支援義務を負担するとの見解が有力になりつつある。そし

て、被災国の国民がともに相協力して被災者を救済しようとする試みとして、雲仙普賢岳災害で災害対策基金が創設（１９９１）や、日弁連による国民全員に強制加入を義務づける共済制度の提言（１９９４）など、「共助」の思想を前提とした取組みが始まり、その後、阪神大震災（１９９５）の発生を契機として被災者に公的資金を援助する制度として被災者生活再建支援法（１９９８）が成立し（当初は１００万円を上限とする補助金交付）、鳥取県西部地震（２０００）では当時の片山善博鳥取県知事が私有財産である住宅関連費用を公金で支援する復興補助金支給制度を創設（２００１）、新潟中越沖地震では盛土面積が３０００㎡以上かつ盛土上の建物が１０戸以上等の大規模造成地の崩壊防止に自治体が費用を助成する大規模盛土造成地滑動崩落防止事業（２００７）が創設され、東日本大震災では、さらに要件を緩和して、盛土上の家屋が５戸以上、市町村道、家屋１０戸以上の場合、国の補助２分の１（特別の場合３分の２）とする造成宅地滑動崩落緊急対策事業（２０１１）が創設されるに至っている。

- 3) このように、かつての「自助」を原則とする考え方から、私有財産の補修等に公金を支出する制度へと救済の理念が変化し、今日では、「共助」、「公助」へと被災者の救済原理が移行しつつある。

4.2.3 今後の課題

(1) 危険情報に関する意識転換の必要性

- 1) これまで、土地所有者は、資産価値の下落、観光上の支障等を理由に不利な危険情報の公開に反対する意向を示す傾向が強かった。また、前述のとおり、私的所有権絶対の思想が行政を消極にさせてきた。その結果、例えば、ハザードマップの作成にあたって、意図的に民家等が混在する場所を避けたり、警戒区域指定を躊躇する傾向が見られた。
- 2) しかし、近時は、人の生命・身体の安全を最優先し、人間を守り、豊かな自然と危険との調和をはかる視点への転換と人間の復興をめざす法律や制度の確立を求める声が高まっている。そして、国民からは、危険情報を知り又は知らされる権利を確立する声も上がり、その一環として、危険情報に消費者が容易にアクセスする仕組みの確立を求める声も高まっている。例えば、火山噴火のように被害累積型災害の特徴を踏まえ、土砂災害想定範囲、発生時期、レス、パイピングホール等を事前告知できないか、深層崩壊、表層崩壊の特徴がある土石流については、土砂災害警戒情報、土砂災害発生危険基準線（ＣＬライン）、スネークラインを消費者がＩＴでアクセスする方法などを構築できないか議論されるようになってきている。そうした取組みは、土地・建物の所有者らは危険情報の告知に対し異議を出してはならないとの共通認識を育み、行政も危険情報は積極的に国民に開示していくことこそ国民の命や財産を守る道であるとの確信を強めることになろう。
- 3) 具体的には、日弁連が２０１２年３月１５日付け「宅地被害者の救済及び予防のための法改正等を求める」意見書中で、宅建業法３５条の重要事項説明の一内容として土地の売買に際し、地盤工学会が創設した「地盤品質判定士」制度を活用するなど地盤の専門家が関与する仕組みを前提として地盤の性状に関する情報が記載された書面や図面等を交付し合う制度の提言がなされている。また、滋賀県・流域治水推進条例（２０１４）には、宅建業者に想定浸水深及び浸水想定区域に関する情報提供する努力義務が創設されている。その他、民間と行政とが相協力し合い、学習登山、地元説明会、老人クラブ等で自然災害に関する勉強会の開催、避難訓練の必要性も強調されている。
- 4) 国民には、プロアクティブ（先を見越した）の３つの原則（疑わしいときは行動せよ。最悪事態を想定し行動せよ。③空振りは許されるが見逃しは許されない）を周知徹底させる努力も不可欠である。しかし、言うは易しで、同原則を実施することはとても難しい。しかし災害国日本では必須の

原則であることを国民全体が共有し、率先して行動する者が称賛される意識改革も求められている。その意味で、国民には、地学を必修科目とし、自然災害を学ぶ機会を充実させる努力が不可欠となる。

- 5) 最後に、行政・研究者には、自然災害に関する迅速なデータの取得と開示体制を早期に確立することを望みたい。少ないデータで噴火予知は困難とか、一旦噴火警戒レベルを上げると下げることが難しいとか、予算削減による測候所の廃止、無人化の問題があるとか、様々な人的物的障害が存在するのだろうが、これらの障害や悩みを積極的に国民に問題提起することにより、障害は解消されるはずと信じたい。

以上

5 日本の国土の脆弱地盤の特質と宅地の品質

5.1 日本国土の脆弱地盤の特質～自然災害に関する国土の安全性指標「GNS」の策定～

(独) 労働安全衛生総合研究所 ○正 伊藤和也

横浜国立大学 正 菊本統, 学 下野勘智

(株) 環境地質 正 稲垣秀輝

(株) 土質リサーチ 正 大里重人

茨城工業高等専門学校 フェロー 日下部治

Key Words: 自然災害安全性指標 GNS, 脆弱性, 曝露量, 統一的指標

連絡先: (独) 労働安全衛生総合研究所 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6 TEL 042-491-4512 (Ex.421)

5.1.1 はじめに

東日本大震災の被害総額は、内閣府による推計によると 16 兆 9 千億とされている。また、南海トラフ巨大地震では、被害額が最大ケースで東日本大震災の 10 倍超規模の 220 兆 3 千億円となると試算されている。日本政府は、国土強靱化の推進に関する関係府庁連絡会議を開催し、平成 25 年 12 月 11 日に「強くしなやかな国民生活の実現を図るための防災・減災等に資する国土強靱化基本法」(以下、「国土強靱化基本法」という。)を施行した。国土強靱化基本法は、第 2 条に基本理念を定めるとともに、国土強靱化推進本部において、「国土強靱化の推進を図る上で必要な事項を明らかにするため、脆弱性評価の指針を定め、これに従って脆弱性評価を行い、その結果に基づき、国土強靱化基本計画の案を作成しなければならない」(第 17 条第 1 項)としており、「大規模自然災害等に対する脆弱性の評価の指針」を平成 25 年 12 月 17 日に決定している。この中で、「起きてはならない最悪の事態」を想定した上で、科学的知見に基づき、総合的かつ客観的な脆弱性評価を示し、国土強靱化に関する施策の優先順位を定めて重点化を図ることとしている。国土強靱化基本法に係る脆弱性評価は、どのように自然災害に対して安全な国土を形成するか、そのための費用をどのように配分するかといった社会意志の決定に委ねられることになる。その社会意志の決定には、立法・行政あるいは防災関係の学術分野のみでなく、広く国民が理解でき、意志決定過程で活用可能な指標が必要不可欠である。国土全体の防災・減災の整備およびその投資は、国民の合意形成のもとに長期間かつ巨額な公的資金が必要なことから、国土計画・地域計画策定や防災投資規模に関する科学的根拠が不可欠である。しかし各地方自治体が独自に自然災害種別にハザードマップ等が整備されつつあったが、自然災害に対する国土の安全性・脆弱性の定量的な評価指標は存在しなかった。このような背景の下で、著者らは統一的な数量的指標として Gross National Safety for natural disasters (自然災害安全性指標: GNS) を提案している^{1)~4)}。本報では、GNS 指標策定に関する現在までの進捗状況について概説する。

5.1.2 防災・減災対策への統一的指標に関する既往研究

2005 年の The World Conference on Disaster Reduction in Kobe (兵庫宣言) で採択された Hyogo Framework for Action 2005-2015 の中で、主要な活動の一つとして Disaster risk (災害リスク) と Vulnerability (脆弱性) の指標化が明記されている⁵⁾。世界各国の自然災害に対するリスク指標として World Risk Index (WRI) という指標がある。これは、国連大学が主導し Alliance Development Works が毎年発行している「World Risk Report」にて公表されているリスク指標である⁶⁾。WRI の指標決

定方法は、災害の頻度や程度を表す曝露量指数 (Exposure) と災害に対する脆弱性指数 (Vulnerability) の掛け合わせで与えられており、曝露量指数や脆弱性指数自体も点数化した幾つかの統計データと重み係数の積和で与えられている。WRI は様々な要素の相互作用として災害リスクの定量化を試み、より効果的な防災・減災対策のために早急に対処すべき地域、対処すべきファクターを明らかにすることを第一目的としている。一方、筆者らは、WRI をはじめとする海外の様々なリスク指標を分析し、分析結果⁷⁾を参考にしながら、我が国の防災・減災対策の合理化のためには、改善に取り組むべきポイントを明確に示す数値指標が必要との観点から、国内自治体の自然災害に対するリスク指標 Gross National Safety for Natural Disasters (GNS) の構想を提案するとともに、都道府県レベルでの自然災害に対するリスク指標 GNS の開発を進めてきた。

5.1.3 WRI を参考とした GNS の算出方法

WRI は、自然災害に対する曝露量指数と脆弱性指数の融合により自然科学と社会科学の両面からバランスのとれた体系を成すものの、自然科学的側面としては自然災害に晒される人口比を曝露量指数の計算に採用しているに過ぎず、災害発生の際の自然的要因はほとんど考慮されていなかった。一方で、我が国の昨今の地震災害や豪雨災害を振り返ると、沖積地盤（液状化、軟弱地盤）、付加体地盤（断層破碎帯・メランジュ）、火山性地盤（火山灰・変質帯・風化帯）等の地質や急峻な地形との強い相関は明らかである。したがって、我が国の自然災害に対するリスク指標 GNS の開発にあたっては、地質や地形、気候といった要因を自然科学的観点から適切に考慮して曝露量指数を評価する必要がある。

ところで、WRI はフリーアクセス可能なデータを活用して算出されている一方で、多くの国で統計データが存在しない、あるいは取得できない指標は WRI の計算から除外する現実的な手法がとられている。これは世界各国のリスク指標を定量化した WRI では、特に途上国の統計データが質・量ともに十分ではないこと、地域によって考慮すべき自然災害の種類や性質が大きく異なることが理由であろう。例えば、World Risk Report では住宅事情や災害への備え、早期警報、ソーシャルネットワーク、災害への戦略といったインデックスを WRI に反映させる必要性が指摘されているものの、各国のデータの乏しさやデータ取得の難しさを理由に実際のリスク評価には含まれていない。一方、国内自治体（都道府県や市町村）は統一的な枠組みで様々な統計データを収集しており、多くのデータの更新頻度は1年（国勢調査による一部のデータは5年）であり、データの信頼性が高く、緻密かつ豊富である。そのため、都道府県レベルの自然災害リスク指標 GNS は、統計データの信頼性が高く、都道府県間の相对比较が可能であることや、GNS 値の変動を正確に把握できるよう継続的に更新されるデータであることに留意しながら用いるデータを選定することが必要である。また、WRI では国家間比較を目的として採用されている栄養失調、ジェンダー格差、国政に対する不信度など、国内自治体間では大きな差が生じないデータについては GNS の計算過程からは除外した。

本研究では、WRI のリスク評価体系を参考にしつつ、上述した WRI の課題や世界と国内の条件・状況の違いに留意しながら、図 5.1.1 のような枠組みに沿って我が国の都道府県の自然災害に対するリスク指標 GNS の開発を目指した。ここで、脆弱性を算出するために使用したソースデータを表 5.1.1 に、曝露量を算出するために使用したソースデータを表 5.1.2 にそれぞれ示す。

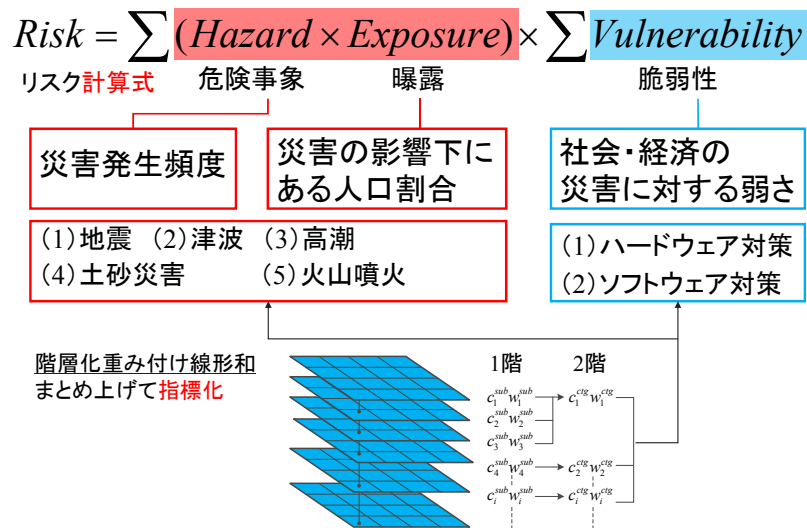


図 5.1.1 GNS 算定方法フロー

表 5.1.1 脆弱性に関するソースデータ

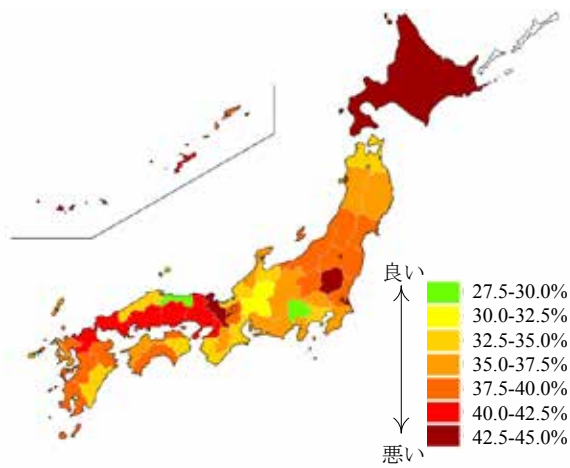
	ハード	住宅・公共施設	耐震化率（戸建て・公共）／木造割合／腐朽・破損
		上水道	上水道耐震化率（管路・浄水施設・配水池）／40年超過管率
		交通	道路指数／橋梁修繕率
		情報・通信	防災無線施設整備率／Jアラート整備率
	ソフト	物資・備蓄	食料備蓄（5項目）／飲料水備蓄／毛布備蓄／スーパー指数／コンビニ指数
		医療サービス	10万人当たり医師数／10万人当たり病床数
		経済と人口構成	財政力指数／ジニ係数／高齢者人口指数／被保護実人員割合
		保険	地震保険加入率
		条例・自治	土砂災害警戒区域指定率／ハザードマップ公開率／自主防災組織カバー率

表 5.1.2 自然災害に関するソースデータ

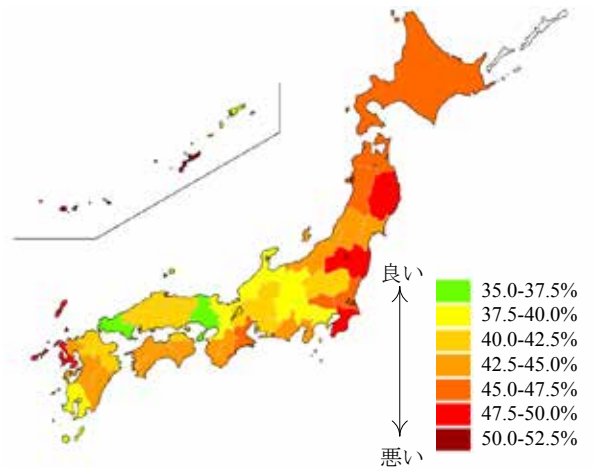
曝露量	海溝型地震，直下型地震，津波，高潮，土砂災害，噴火
-----	---------------------------

5.1.4 GNS 算出結果 ～GNS2015

図 5.1.2 に脆弱性に関するサブカテゴリーのハード（図 5.1.2(1)）とソフト（図 5.1.2(2)）の都道府県別分布を示す。ここで，ハード対策は主に社会インフラ・住宅・情報通信等の脆弱性について評価しており，山梨県，鳥取県，岐阜県が良い評価となり，京都府，北海道，栃木県が悪い評価となった。一方，ソフト対策は経済・社会・医療等の脆弱性について評価しており，山口県，兵庫県，大阪府が良い評価となり，沖縄県，千葉県，岩手県が悪い評価となった。図 5.1.3 は，図 5.1.2 で示したハード対策とソフト対策の脆弱性評価を線形和として取りまとめた都道府県別脆弱性指数である。脆弱性評価は，山梨県，鳥取県，富山県，福井県が良い評価となっており，沖縄県，北海道，福島県が悪い評価となっている。次に，図 5.1.4 は，自然災害への曝露の都道府県別分布を示したものである。徳島県，東京都，大阪府の曝露量が高く，宮崎県，栃木県，鳥取県の曝露量が低い結果となった。得られた脆弱性と曝露量を積算することで本研究課題の成果である GNS 指標が得られる。図 5.1.5 は，本研究にて取りまとめた GNS 指標である。表 5.1.3 は都道府県別の GNS 指標と曝露量，脆弱性の結果を示したものである。GNS 指標の上位，下位ともに曝露量の都道府県順位が上位 5 位もしくは下位 5 位以内にあり，GNS 指標が曝露量に大きく影響されている傾向が見られる。



(1) ハード対策



(2) ソフト対策

図 5.1.2 脆弱性を算出するためのサブカテゴリー

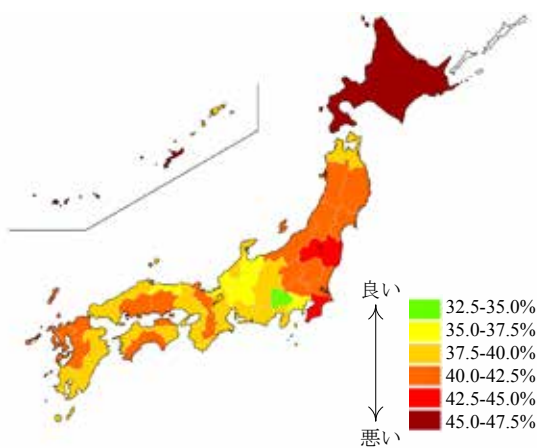


図 5.1.3 脆弱性

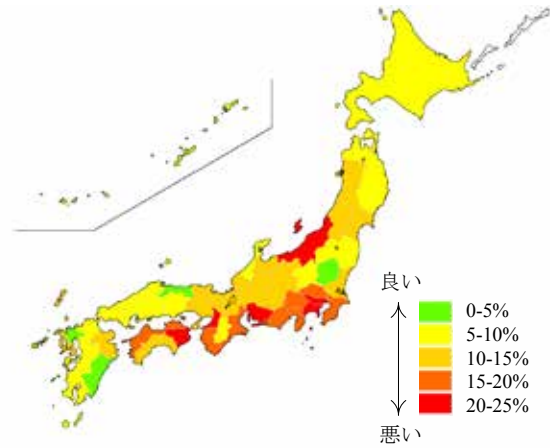


図 5.1.4 曝露量

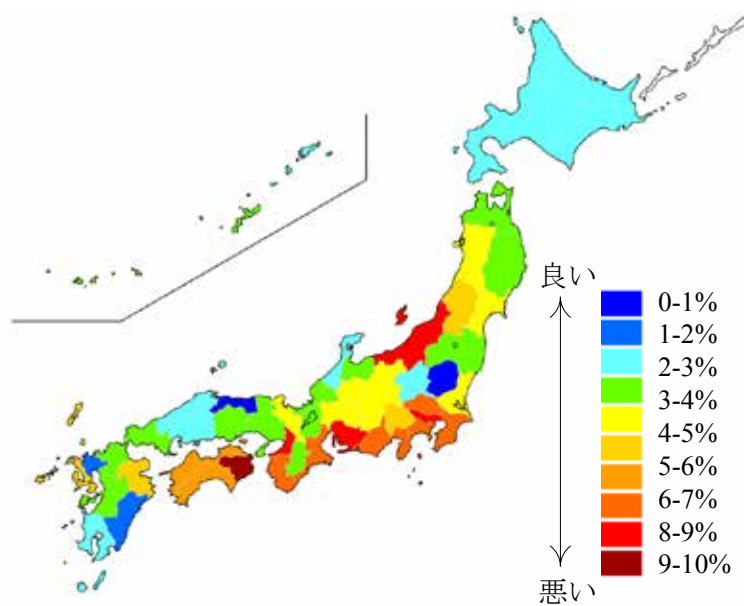


図 5.1.5 GNS 指標

表 5.1.3 GNS 指標と曝露量，脆弱性の結果

順位		GNS [%]	曝露量 [%]	脆弱性 [%]	ハード [%]	ソフト [%]
1	徳島県	9.2	23.7	38.9	34.9	43.0
2	愛知県	8.6	21.6	39.7	37.4	42.0
3	大阪府	8.5	21.8	39.2	40.6	37.8
4	新潟県	8.4	20.4	41.4	38.2	44.6
5	東京都	8.1	21.9	37.2	34.9	39.4
6	三重県	7.9	20.0	39.6	33.6	45.7
7	千葉県	7.8	18.2	42.7	35.9	49.6
8	埼玉県	7.4	17.6	42.1	36.7	47.5
9	神奈川県	7.4	20.2	36.4	34.6	38.2
10	和歌山県	7.2	18.1	39.7	34.5	44.9
11	静岡県	7.1	17.9	39.6	35.5	43.7
12	愛媛県	6.9	17.2	39.8	35.7	43.9
13	香川県	6.7	16.6	40.2	39.5	41.0
14	高知県	6.2	15.0	41.1	37.5	44.7
15	山梨県	5.6	16.8	33.4	27.7	39.2
16	山形県	5.5	13.2	41.4	39.5	43.3
17	大分県	5.1	13.1	39.3	37.5	41.0
18	長崎県	5.0	12.0	42.0	35.0	49.0
19	岐阜県	4.8	13.0	36.6	31.0	42.3
20	宮城県	4.7	11.4	41.2	39.5	43.0
21	秋田県	4.3	10.4	41.5	36.0	47.0
22	茨城県	4.3	10.2	42.1	38.6	45.5
23	長野県	4.3	11.2	38.1	36.5	39.7
24	京都府	4.2	10.1	41.3	43.6	39.1
25	滋賀県	4.0	10.0	39.6	38.3	40.9
26	兵庫県	4.0	10.2	39.1	40.8	37.5
27	熊本県	3.9	9.7	40.5	37.8	43.1
28	富山県	3.9	10.9	35.9	33.5	38.4
29	福井県	3.8	10.7	35.9	33.7	38.0
30	福島県	3.8	8.7	44.0	40.0	48.0
31	奈良県	3.7	9.2	40.3	37.2	43.5
32	沖縄県	3.7	7.9	46.8	42.5	51.1
33	山口県	3.6	9.0	39.7	42.4	37.1
34	岡山県	3.6	8.6	41.5	40.8	42.3
35	岩手県	3.4	8.0	42.3	35.1	49.5
36	青森県	3.3	8.4	39.3	32.8	45.8
37	福岡県	3.0	7.3	41.2	41.6	40.9
38	石川県	2.9	7.6	38.1	36.9	39.3
39	鹿児島県	2.5	6.3	39.5	39.4	39.7
40	北海道	2.4	5.3	45.2	43.5	47.0
41	島根県	2.3	6.2	38.1	34.9	41.4
42	群馬県	2.1	5.3	40.1	38.1	42.2
43	広島県	2.1	5.1	41.3	40.8	41.8
44	佐賀県	1.4	3.4	41.3	38.0	44.7
45	宮崎県	1.2	3.2	39.3	34.3	44.2
46	栃木県	0.9	2.2	41.6	43.0	40.2
47	鳥取県	0.8	2.2	35.0	29.5	40.6

5.1.5 まとめ～GNS 指標の利用方法と役割

本研究にて開発した GNS 指標の利用方法と役割は、下記の 2 点に集約されると著者らは考えている。

1) 戦略的な防災・減災投資のための科学的判断基準

我が国の防災・減災の整備とその投資は、長期的かつ巨額の公的資金（税金等）によって実施されるため、国民の合意形成を得る上ではある定量的な評価指標が必要である。GNS 指標は、その定量的評価指標に資するために利用することができる。

2) 着実かつ継続的な防災能力向上

GNS 指標は都道府県の順位が重要ではなく、どの項目に弱点があるのかを一元的に把握するためのものであり、都道府県別の弱点箇所を強化することによって日本全体の防災・減災能力の向上を目指すものである。

以上のことを鑑みて、今後は開発した GNS 指標（GNS2015）の現実との乖離部分の把握およびその改善作業、継続的な更新・公開作業を行いたいと考えている。

謝辞

本研究は、科学研究費 挑戦的萌芽研究 「自然災害安全性指標（GNS）の開発」（研究代表者：日下部治，課題番号 25560184）および地盤工学会関東支部「地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する研究委員会」脆弱性 WG の成果である。

参考文献

- 1) 日下部治，伊藤和也，小梅河博之，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，61-2, 12-15, 2013.
- 2) 日下部治，伊藤和也，稲垣秀輝，大里重人，菊本統，渡邊康司：自然災害に対する脆弱性の計測-世界の動向-，地盤工学研究発表会発表講演集，Vol. 49, pp. 67-68, 2014.
- 3) 下野勘智，菊本統，伊藤和也，大里重人，稲垣秀輝，日下部治：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，第 11 回地盤工学会関東支部発表会 (Geo-kanto2014)，2014.
- 4) 菊本統，下野勘智，伊藤和也，大里重人，稲垣秀輝，日下部治：自然災害に対するリスク指標 GNS の開発～World Risk Index を参考にした都道府県の災害感受性 Susceptibility の算出～，第 11 回地盤工学会関東支部発表会（Geo-kanto2014），2014.
- 5) International Strategy for Disaster Reduction: Hyogo Framework for Action 2005-2015, Building the Resilience of nations and Communities to Disasters, 2005.
- 6) UNU-EHS (The United Nation University, the Institute for Environment and Human Security): World Risk Report 2012, 2012.
- 7) Jorn Birkmann ed.: Measuring Vulnerability to Natural Hazards towards Disaster Resilient Societies (1st edition) , United Nations University Press, 2006.

5.2 脆弱地盤に関する宅地の品質

公益社団法人 地盤工学会 関東支部

地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する研究委員会 幹事長

(株)大林組技術研究所 渡邊康司

キーワード：宅地地盤、品質、判例、法令

連絡先：〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 大林組技術研究所地盤技術研究部 TEL:042-495-0921

5.2.1 はじめに

これまで宅地については、地盤工学の分野では大きく取り扱われてこなかった。これは、地盤工学分野の事業が公共事業を中心に行われてきたからである。公共事業では、地盤に関係する工事の品質を官民合わせて確保する仕組みが出来上がっている。また、不備が出た場合の責任のあり方もほぼ確立している。さらに、業務の中では保険や保障の制度も用意されている。しかし、民間事業である造成宅地では、事業者側がその責任を取らなければならない。我が国は、地盤が複雑であり、それを評価するのが難しいのにもかかわらず、地盤を評価する技術者は少ない。このため、宅地地盤に関して多くの不具合が出てきている。さらに、それらに関する保険や補償制度も建築物の付帯的な取り扱いに終始しているため、地盤に不具合が生じた場合に宅地の所有者や購入予定者は誰に宅地の安全性を確保してもらえばよいのかが課題となる。近年、宅地に関する訴訟が増えているのは、これらの事情によるのではないかと考えられる。これまでの宅地の不具合を見てくると、自然災害への対応の不備と人的瑕疵がある。自然災害を見ると、山間部の宅地は崖くずれや土石流の被害が多い。一方、都市部の宅地は盛土のすべりや液状化の被害が多い。また、地盤工事の不備や周辺の地盤工事によって宅地が影響を受けることもたびたび発生している。もともと宅地は安全であるという認識の上で建物が作られているが、予想外の外力や地盤内部の崩壊には弱いのである。司法的には、度重なる豪雨災害や地震災害によって宅地が被災してきた事実の上に、様々な法律が作られ、その予防が行われてきた経緯があることから、実際に発生した事故については訴訟等で解決がなされている。しかし、東日本大震災などを契機に宅地の安全性がより注目され、宅地の安全性を確保する新しい仕組みが必要となっている。

本研究委員会は、地盤工学の個別専門分野だけではなく、他業界を含めた分野横断的に地盤リスクを扱いながら、現在直視しなければならない宅地地盤の問題も含めて検討を行うものである。具体的には、下記のような4項目の研究内容を進めている。また、図 5.2.1 に本委員会の WG および SWG の構成を示す。

1. 判例と地盤リスクに関する研究
2. 法令と地盤リスクに関する研究
3. 宅地地盤の品質確保のための研究
4. 地盤の脆弱性に関する研究

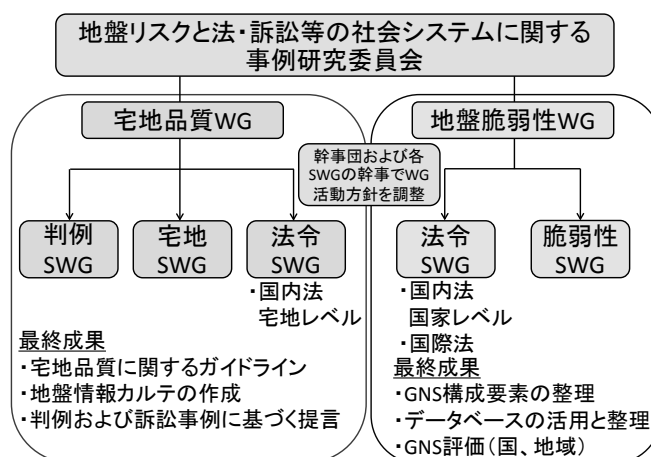


図 5.2.1 WG および SWG の構成

5.2.2 宅地品質 WG の活動概要

宅地品質 WG では、最終成果目標である‘宅地地盤の品質確保に関するガイドライン’および‘地盤情報カルテ’の整備に向けて活動を進めている。活動概要は以下に示す通りである。

①自治体の条例および技術指針の収集・整理

宅地安全性確保に関して、各自治体の条例や技術指針類の整備状況を把握することを目的として、情報提供依頼書を送付し関連資料の収集を行なっている。

②地盤情報カルテ

宅地地盤の品質を確保する際に必要となる地盤情報カルテに関して検討を進めている。地盤情報カルテに記載すべき項目を検討し、地盤情報カルテの整理を進めている。

③判例データベース

現在、宅地に関する判例を 50 例程度収集した。今後、収集した判例を分析し、データベース化を図る。判例を分析し、宅地品質確保に関するガイドラインに記載すべき項目の洗い出しを行なう。

5.2.3 各 SWG の活動成果

(1) 宅地品質 SWG

宅地安全性確保に関して、各自治体の条例や技術指針類の整備状況を把握することを目的として、図 5.2.2 に示す情報提供依頼書を送付し関連資料の収集を行なっている。調査対象は、宅地造成、地盤、がけ、擁壁、液状化等の安全確保に関して規定する条例、規則、運用基準等である。現在、47 都道府県に依頼書を送付し、収集した条例および技術指針類を整理および分析を進めている。さらに、地形や地盤条件が特徴的な市町村などへ情報提供依頼書を送付し、データを収集している。収集した事例のうち詳細な技術指針が示されている横浜市の事例を示す。横浜市では、宅地に関連する技術指針

県知事 殿
 (ご担当 御中)
 平成26年 6月 日
 公益社団法人地盤工学会 関東支部長 龍岡 文夫

宅地地盤安全性確保及び評価に関する調査へのご協力をお願い(照会)

謹啓。時下ますますご清祥のこととお慶び申し上げます。

当会は、地盤工学の進歩及び地盤工学に関する技術者の資質向上を図り、学術・科学技術及び文化の振興と社会の発展に寄与することを目的とし、調査・研究を重ねておりますところ、平成23年3月11日発生の大東日本震災による甚大な宅地被害及び今後発生が予想される南海トラフ地震等を受け、当会関東支部地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する事例研究委員会(委員長 稲垣秀雄)を中心に、宅地地盤安全性確保及び評価に関する調査・研究を盛んであります。

この点、宅地地盤については、各自治体での条例等により安全性確保が図られていると思料されますところ、係る事項に関する貴自治体の取扱いにつき、別紙の事項をご照会させて頂きたいと、誠にお手数ですが宜しく御願い申し上げます。また、甚だ恐縮ですが、検討等の関係上、6月 日()までに当会宛てご回答頂けますよう宜しく御願い申し上げます。

以上、何卒宜しく御願い申し上げます。

謹白

【回答・問合先】
 〒112-0011 東京都文京区千石4-38-2 JGS会館内
 公益社団法人地盤工学会関東支部
 TEL: 03-3946-9070 FAX: 03-3946-8099
 E-mail: jgskantou@jiban.or.jp

【担当】
 地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する事例研究委員会 幹事長
 新大塚組技術研究所 渡邊康司 (watanabe_koji_ro@chayashi.co.jp)

図 5.2.2 情報提供依頼書

地盤判定結果報告書

建築会社	住吉建築建設株式会社		
物件名	結土部二階新築工事		
住所	〇〇県〇〇市〇〇〇1-2-3		
地盤情報	北緯	36 °	58 ' 22.0 "
	東経	138 °	38 ' 26.5 "
計測建物及び基礎形式	☒ 予定 ☐ 決定 ☒ 本造 ☐ 軽量鉄骨造 ☐ その他: () 階数 2 階建 設計地圧 20 kN/m ² ☐ 布基礎 基礎幅 mm ☐ ベタ基礎(シリング基礎) ☐ ベタ基礎(ダブル配筋) ☐ その他の基礎形式 ()		

地盤調査会社	〇〇△地盤建設株式会社		
地盤会社登録番号	12345678		
調査日	2011 年	5 月	9 日
調査品名	地盤二部		
住宅地盤(調査部門)	☐ 柱土	☒ 本柱土	12345 4
	☐ 柱土	☐ 本柱土	4
	☐ 柱土	☐ 本柱土	4
住宅地盤調査依頼者	その他		
調査日	2011 年 5 月 10 日		
所見検査者	地盤三部		
住宅地盤(調査部門)	☐ 柱土	☒ 本柱土	12340 4
住宅地盤調査依頼者	☐ 柱土	☒ 本柱土	4
その他	その他		

◆判定に際して考慮したポイント

調査方法 ☒ 8mm ☐ ボーリング調査 ☐ Ram ☐ その他: ()

地盤材料・地層区分 丘陵地中層付土。

地盤の種類・位置 南西斜面で急傾斜、敷地内および西側に隆起あり。

土地利用の履歴 旧山林、旧盛土造成を有しない程度経過している。

周辺の状況 ☐ 無 ☒ 有 (隆起の盛み部分の沈下あり)

造成後の造成年数 3 年程度経過している。

造成の盛土 ☐ 無 ☒ 有 厚さ 1.2 m 経過年数 3 年 ☐ 不明

新填の盛土予定 ☒ 無 ☐ 有 厚さ m

既存の盛土 ☐ 無 ☒ 有 高さ 1.2 m 経過年数 3 年 ☐ 不明

新填盛土の計画 ☒ 無 ☐ 有 高さ m

特記事項

所見と所見の範囲

〇〇丘陵地内に位置します。旧地盤封固より古くは山林、南西に傾斜する丘陵地中層に造成された地盤である。造成後3年程度経過していると推定される。敷地内は隆起造成に伴い固結された南西斜面が隆起部、1.2m 付近まで傾斜な状態である。現状地盤では埋め戻し部分の支持力不足による沈下が予想され、なんらかの補強工事が必要と判断されます。また、建物敷地と隆起、底版を考慮した補強計画が必要。

◆地盤補強工事の必要の有無 (検査工後は設計書通りに実施になる場合があります。)

☐ 不要	☒ 必要	☐ 表層地盤改良 ☐ 柱状地盤改良 ☐ 小口柱鋼管 ☐ PC、RC杭 ☐ その他法定工法	☐ 検討保留
-----------------------------	--	--	-------------------------------

◆審査項

審査物件番号:

審査日

年 月 日

検討記録

審査印

別添事項

tsbznkyo-hantei_ver1.0 20110603

注1 敷地及び隣地において盛土や掘削などの地盤改良が行われた場合は、この検査判定は無効となりますのでご注意ください。

注2 隆起の有無や変形などがないように、設計担当者等の責任において基礎確認を行ってください。

注3 未記入、チェック票は、審査対象外になる場合がありますのでご注意ください。

図 5.2.3 地盤情報カルテの例

として、横浜市斜面建築物技術指針（平成 4 年 4 月発行）¹⁾および横浜市がけ関係小規模建築物技術指針-がけ上編-（平成 17 年 11 月発行）²⁾が整備されている。各指針の意義は以下に示す通りである。

①横浜市斜面建築物技術指針

建築基準法や条例等の規定では、宅地に関する具体的な安全性確認が判断できない。また、個々の建築物の安全性に関しては、各設計者の判断となる。上記を考慮して、本指針は敷地・建築物に関する安全性確保のための技術的事項が体系化して示されている。

②横浜市がけ関係小規模建築物技術指針-がけ上編-

がけ上の戸建住宅の基礎を立ち下げる方法として、直接基礎、細径鋼管杭を中心とする杭基礎および地盤改良工法などが挙げられる。本指針では、上記の工法を用いて基礎を構築する場合の技術的事項を整理し、設計者に提供されている。

宅地品質 SWG では、地盤情報カルテの検討も進めている。地盤情報カルテは、宅地地盤の品質を確保する際に必要となる情報を整理したものである。

地盤情報カルテの例を図 5.2.3 に示す。地盤情報カルテに宅地の現在と過去の状況（土地の履歴）を示すことで宅地の安全性を確認することが可能となる。さらに、地盤調査結果を記載することで宅地の品質が明確となる。この地盤情報カルテを宅地売買時や地盤に関する保険・保証制度に加入する際の資料として活用することを目的としている。

(2) 判例・法令 SWG

判例 SWG では、判例データベース（図 5.2.4）の整理を進めている。これは、宅地に関する判例を収集し、収集した判例を分析したうえで、データベースを作成するものである。現在、宅地に関する判例を 50 例程度収集した。これらの判例を分析し、宅地品質確保に関するガイドラインに記載すべき項目の洗い出しを行なう。さらに、法令 SWG においては、宅地品質に関連する法令を整理し、法令に対する提言の作成を行なう予定である。

図 5.2.4 判例データベース

5.2.4 まとめ

公益社団法人地盤工学会関東支部“地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する研究委員会”のうち宅地地盤の品質に確保に関する活動内容に関して示した。今後、最終成果である宅地地盤の品質確保に関するガイドラインおよび地盤情報カルテの整備に向けて活動を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 横浜市（1992）：横浜市斜面建築物技術指針，
<http://www.city.yokohama.lg.jp/kenchiku/shidou/anzen/toriatukai/syamentidata/syamentiall.pdf>
- 2) 横浜市（2005）：横浜市がけ関係小規模建築物技術指針-がけ上編-，
<http://www.city.yokohama.lg.jp/kenchiku/shidou/anzen/toriatukai/gakeue/mokuji.pdf>

6 総 合 検 討

6. 総 合 検 討

安養寺 信夫

本研究においては主として火山地域で近年に発生した土砂災害を事例として、災害の特徴、土砂移動現象のメカニズムへのアプローチを試みた。さらにソフト対策を効果的に進めるための様々な方策に関する端緒として保険や法律の課題、また宅地の安全性や品質の評価について専門家の協力を得て現状と課題をとりまとめた。

それぞれの個別研究成果を総括するとともに、この研究から浮かび上がってきた新たな課題などを以下に述べる。

1 火山地域の抽出と土砂災害の特徴

① 全国の火山地域の分布特性とそこでの土砂災害の特徴

土砂災害を発生させやすい火山地域（第四紀，新第三紀）の分布を調べると，国土の1／4を占めることが分かった。

火山地域の土砂災害を発生原因別に，①火山噴火に伴う2次的土砂災害，②地震による土砂災害，③豪雨による土砂災害に分類し，それらの中から③豪雨による土砂災害事例を分析した。

白河豪雨（1998.8，RT=1250mm，r1=90mm/hr，火砕流堆積物）

水俣豪雨（1997.7，RT=429mm，r1=91mm/hr，新第三紀火山岩類）

庄原豪雨（2010.7，RT=174mm，r1=91mm/hr，第四期テフラ）

神奈川県北部豪雨（2010.9，RT=495mm，r1=70.5mm/hr，富士山宝永スコリア）

九州北部豪雨（2012.7，RT=1199.5mm，r1=106.0mm/hr，阿蘇黒色火山灰）

伊豆大島豪雨（2013.10，RT=824mm，r1=122.5mm/hr，降下火山灰・レス互層）

主要な共通事項として見いだされたのは以下の事項である。

地形：不明瞭な集水地形，遷急線の存在

地質：降下火砕物が主体で，斜面に沿った透水性の異なる地層が互層に分布

土砂発生形態：表層崩壊あるいは根系層崩壊，パイピングホールの存在

土砂流送形態：高速で流下し土石流化，大量の流木を含む

その他の特徴として，溪流下部に古い土石流堆積物が存在するなど土砂災害の反復性を示唆

以上のことから，2013年10月の伊豆大島土砂災害は特異な現象が発生したのではなく，火山地域に共通の要因によって発生したことが理解される。このような災害事例の分析により，今後火山地域で発生することが想定される土砂移動現象の特性が整理された。

② 阿蘇土砂災害で見られた火山地域の土砂移動の特徴

2012年7月の災害は，量的にも強度的にも非常に大きい雨によって，様々な崩壊タイプが発生した。

雨量が非常に多かったことで、相対的に崩れにくいと考えられる崖錘斜面や丘陵地の緩斜面も崩壊した。

雨量が多く大量の表流水が発生したために、土砂・巨礫・流木が長距離を移動した。

土石流は溪流の1次谷を発生して流下しただけでなく、河道形状の不明瞭な扇状地面を長距離にわたって流れた事例や、崩壊土砂がそのまま長距離を移動した事例が多く認められた。

このような場所は土砂災害の危険箇所ではあるが、谷地形が不明瞭であることなど通常のハード対策が実施困難であり、人的被害を伴う甚大な災害が発生した。

阿蘇災害の分析によっても、極端な異常降雨に加えて火山地域特有の地形条件により土砂移動現象の影響範囲が拡大して被害を大きくしたことが明らかとなった。

③ 火山地域における災害がれき

土砂災害では大量の崩壊土砂や流木等が排出され、2013年の伊豆大島災害では11万トンに達した。

これらのうち、流木や焼却可能な家屋ゴミ量が年間処理量の10倍となり、島外処理をせざるを得なかった。土砂は島内処理が可能であった。離島であることも踏まえ、衛生環境保全・復興のために期限を設けて処理されたことが特徴的である。

災害がれきの処分過程においては一次集積（仮置場）の役割が大きいことが判明した。

近年の火山活動による環境変化を整理した結果、フッ素の増大、ホウ素・ヒ素の地下水環境基準超えなどが生じた事例があった。また、集積された災害がれき周辺から環境基準を超える鉛、カドミウム、六価クロムの検出された例もあった。

このような問題が生じることを踏まえ、周辺の表流水や地下水の飲用に対するリスク、経口摂取のリスクを考慮した災害廃棄物等の仮置場の選定が必要であることを提案した。

この調査によって、災害がれきの処理問題は災害規模が大きくなると指数的に増加すると想定され、復旧・復興を効率よく進めるためには事前の対応が必要であることが示された。

④ 御嶽山 2014 年噴火速報 これまでの活動履歴との関係

2014年9月に噴火した御嶽山の噴火史と最近250年間の活動から今回の噴火災害を分析し、最近生じている水蒸気噴火であることが理解される。今回の噴火の特徴として低温火砕流、火口溢出泥流の発生が挙げられる。

水蒸気噴火のような火山噴火は突発的に発生することがあるが、過去の噴火履歴から発生する噴火現象を想定することが可能であること、そのためには詳細な調査が重要であることを示唆している。

2 火山地域における土砂災害メカニズムの検討

① 伊豆大島土石流災害地の現状と強度・地下水流音特性及び土石流発生履歴について

土砂災害後1年を経過した伊豆大島の状況：崩壊地を除いて復旧が進む

崩壊地調査の土層強度の測定から、崩壊発生時の水位(間隙水圧)を逆算した結果、地表面より 0.29m 高くなった。これより、崩壊機構に関して、地盤内の被圧水圧が崩壊に関与したと推定される。

地下水流音調査を実施し、谷地形と推定される箇所地下水流音が大きくなっていたことから、その箇所の地層が集水構造を有していると推定された。地下水流音の測定によって地下水の流れを把握できる可能性があることが示唆された。

地域の文献・資料調査ならびに下流部での堆積物の露頭観察から、大金沢では土石流が繰り返し発生していることが分かった。

本調査では火山地域に特徴的な表層崩壊のメカニズムに関する理解が進み、とくに地中浅部の地下水流の有無を把握することで水文条件を校了した崩壊プロセス研究の方向性が見いだされた。

② 伊豆大島の降雨変動に伴う地盤変動と住民の避難行動に関する一考察

1946 年以降の 10 年移動平均気温は 1989 年頃から顕著な上昇傾向にある

時間雨量 50mm 以上の非常に激しい雨の年間発生日数は 2000 年頃から増加傾向にある

砂層と粘土層の降雨浸透を比べると降雨強度が大きい場合には砂層の浸透が速く、降雨強度が小さい場合には粘土層の浸透が速いことから雨の降り方によって浸透に変化があり、土の強度も変わる被災住民のヒアリングにより、災害情報はマスメディアからが多い。避難行動に関しては 9 割近くが未実施で、その理由として外に出るより自宅の法が安全と判断したことが主要因と考えられる。

この調査では砂層と粘土層で降雨強度によって雨水の浸透速度が異なることを示し、このような地盤工学的特性を災害情報の発表タイミングに応用できる方向性を示唆した。

③ 平成 24 年 7 月阿蘇山における土砂災害調査と発生メカニズム

土質試験による実測値を用いて地下水位を再現した安定解析を行った結果、坂梨上流崩壊地は地下水位が地表面付近まで上昇して崩壊するパターンと、箱石峠は地下水位が地表面を越え、被圧水圧となるまで上昇し崩壊するパターンの 2 種類が再現された。

被圧水化する条件は、下記 2 点が関連していると考えられる。

- ・地形の横断形状：坂梨上流崩壊地は一樣な斜面であるのに対し、箱石峠は崩壊斜面に遷緩線を持つ斜面であった。遷緩線を持つ斜面は、被圧水化しやすい可能性がある。
- ・細粒分の含有率：坂梨上流崩壊地は 28% (シルト 26.4+粘土 2.0) であるのに対し、被圧水化した箱石峠は 59% (シルト 35.4+粘土 24) であり、2 倍程度含有率が高い。細粒分含有率の高い土質は、透水性が低いことが推定され、被圧水化しやすい可能性がある。

土石流堆積物中の木片を掘り出して放射性炭素年代測定を行った。その結果、坂梨地区では 1974 年と 2006 年、箱石峠では 1986 年となり、頻繁に土砂移動が生じていることが明らかとなった。

坂梨地区では土石流中に巨石が含まれる理由として、①節理面に沿った岩盤(溶結凝灰岩)が開口・分離して崩壊し、崩落した岩塊がそのまま土石流として下流域に流出する形態のものと、②崖錐堆積物の流出、谷底堆積物の流出および谷底堆積物(狭窄部閉塞土砂)の流出する形態のもの、に大別できる。

箱石峠では植生に着目すると、急峻にもかかわらず未崩壊な斜面は道路の反対側のヤマヤナギーツクシャブウツギ群団、スギ・ヒノキ・サワラ植林に占めていることがわかった。

箱石峠の崩壊は表層の黒ぼく層で、赤ぼく層との境界がすべり面として発生し、ススキ等の根系の侵入がみられない深度から発生していることから、崩壊の要因は土壌や斜面勾配等によると考えられる。

本調査では火山地域の表層崩壊メカニズムを地形（遷急線）と表土の細粒分含有率に着目し、地下水位と被圧水が崩壊発生に関与していることを指摘した。また、過去の崩壊履歴や巨石の流出形態を調べて土砂災害の被害形態想定への応用性を示した。さらに現存植生の崩壊への関与条件を調査して今後の予測への情報とした。

④ 土石流・泥流の構成式とシミュレーションモデルの課題

伊豆大島土砂災害で発生した泥流について、崩壊土砂から泥流への遷移過程を議論し、崩壊土砂の、移動過程において泥流が形成されたことを推察した。この泥流は、粘土・シルトを主成分とする流れと石礫を主成分とする流れの中間的な性質をもつという特徴がある。

このような流れの構成則を明らかにすることにより、数値シミュレーションモデルを確立することができ、土砂災害の影響範囲予測につながる。

本研究ではその第一歩として泥流のシミュレーションモデルを仮定し、2014年の大金沢の再現を試み、抵抗則や濃度変化の扱い等解明すべき課題を残すものの泥流の発達過程、流動過程、氾濫範囲などの妥当性を検討した。

今後、構成則の解明に努めるとともに、泥流の挙動に及ぼす微地形、侵食可能深およびグリッドサイズの影響等に関する考察を深める必要がある。

さらに、崩壊によって解放された土塊がいかに流れに遷移するかを明らかにすることは、流れの場を及び境界条件をいかに設定するかにかかわる重要な課題である。

土砂水理学の立場で土砂移動現象の発生・移動・停止を議論する上で、既往の研究成果を踏まえつつ新たな構成則を追及している。この研究は土砂災害の予測と被害範囲の的確な想定を目指すための方法論の方向性を与えた。

3 広域化する土砂災害を軽減するための社会的対応

① 土砂災害での宅地の保険と補償

土砂災害に対応できる既存保険制度として火災保険と地震保険を挙げ、自然災害リスクに対応するための水災事故への補償について解説した。また地震保険では巨大地震時の問題点を挙げた。

宅地の土砂災害リスクが高まっているが上記の保険によってすべてをカバーできるわけではないので、宅地の特性を把握した上で有効な保険を適用する。宅地の地盤情報が広く公開される必要がある。

土砂災害への備えとしての保険の現状と宅地の地盤情報に基づく有効な保険制度へ向けての課題を提案した。

② 土砂災害について一弁護士の立場から

自然災害により被害が生じた場合その被害が不可抗力によるものか、人的被害によるものかによって対応が異なる。

自然災害に関する過去の判例を提示して、それぞれの判断根拠を解説した。

危険情報に関する意識の転換

土地所有者：豊かな自然と危険との調和をはかる視点への転換

消費者：危険情報にアクセスする仕組みの確立

研究者：十分なデータ取得体制、プロアクティブの3原則、保有する危険情報の公開、防災教育
自然災害に関する法律理論の抜本的転換の必要性

防災関連法は事後救済から被害予防の視点からの積極的立論の法文化

土砂災害に関する法整備と運用の現状と課題について、とくに土地所有者や消費者、研究者がなすべき意識転換と被害予防を基本とした法律の課題を提案した。

4 日本の国土の脆弱地盤の特質と宅地の品質

① 自然災害に関する国土の安全性指標「GNS」の策定

著者らが提案する統一的な数量的指標 Gross National Safety for natural disasters（自然災害安全性指標：GNS）の解説とその算出結果

$$\text{リスク} = \Sigma (\text{災害発生頻度} \times \text{災害の影響下にある人口割合}) \times \Sigma (\text{脆弱性})$$

これらを階層化重み付け線形和としてまとめあげて指標化

脆弱性はハード対策とソフト対策をソースデータとする。

本研究にて開発した GNS 指標の利用方法と役割は、下記の 2 点に集約される。

1) 戦略的な防災・減災投資のための科学的判断基準

我が国の防災・減災の整備とその投資は、長期的かつ巨額の公的資金（税金等）によって実施されるため、国民の合意形成を得る上ではある定量的な評価指標が必要である。GNS 指標は、その定量的評価指標に資するために利用することができる。

2) 着実かつ継続的な防災能力向上

GNS 指標は都道府県の順位が重要ではなく、どの項目に弱点があるのかを一元的に把握するためのものであり、都道府県別の弱点箇所を強化することによって日本全体の防災・減災能力の向上を目指すものである。

以上のことを鑑みて、今後は開発した GNS 指標（GNS2015）の現実との乖離部分の把握およびその改善作業、継続的な更新・公開作業を行いたいと考えている。

② 脆弱地盤に関する宅地の品質

これまで宅地品質について、地盤工学の分野では大きく取り扱われてこなかった。このため、宅地地盤に関して多くの不具合が出てきている。（公社）地盤工学会・関東支部・宅地品質 WG では、最終成果目標である‘宅地地盤の品質確保に関するガイドライン’および‘地盤情報カルテ’の整備に向けて活動を進めている。

- ・自治体の条例および技術指針の収集・整理

- ・地盤情報カルテ：宅地地盤の品質を確保する際に必要となる地盤情報カルテに記載すべき項目の整理

地盤情報カルテに宅地の現在と過去の状況（土地の履歴）を示すことで宅地の安全性を確認することが可能となる。さらに、地盤調査結果を記載することで宅地の品質が明確となる。

宅地の自然災害に対する情報を公開することにより、土砂災害などからの回避が可能となる重要なアプローチといえる。

参考資料

火山地域における土砂災害発生メカニズムと 社会的対応に関する研究集会

発表資料

火山地域における土砂災害発生メカニズムと社会的対応に関する研究集会

開催日時：平成 26 年 12 月 17 日（水）13：00～17：00

会場：地盤工学会館地下会議室

共催：土木学会 地盤工学委員会 火山工学研究小委員会、斜面工学小委員会

地盤工学会関東支部 地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する研究委員会

参加者総数：76 名

司会進行：研究副代表 鈴木素之（山口大）

1. 開会挨拶 研究代表 安養寺信夫（（一財）砂防・地すべり技術センター）

2. 話題提供

(1) 火山地域の土砂災害の特徴（阿蘇山、伊豆大島をおもな事例として）

① 全国の火山地域の分布特性とそこでの土砂災害の特徴

稲垣秀輝（環境地質）

② 御嶽山 2014 年噴火速報 これまでの活動履歴との関係

千葉達郎（アジア航測）

③ 火山地域における災害がれき／廃棄物等からの有害物質について

大野博之（環境地質）

④ 阿蘇土砂災害で見られた火山地域の土砂移動の特徴

清水 収（宮崎大）・地頭菌隆（鹿児島大）

(2) 火山地域の土砂災害発生メカニズムを解明するための課題

① 伊豆大島土石流災害地の現状と強度・地下水流音特性及び土石流発生履歴について

鈴木素之・阪口和之・楳原京子・吉川修一・美馬健二・櫻井正明・大野博之

② 大島土砂災害時の崩壊土砂の土質工学的な考察

後藤聡・荒木功平（山梨大）

③ 土石流・泥流の構成式とシミュレーションモデルの課題

江頭進治（土研）・竹林洋史（京大）

④ 伊豆大島の降雨変動に伴う地盤挙動と住民の避難行動に関する一考察

荒木功平・後藤聡（山梨大）

(3) 広域化する土砂災害を軽減するための社会的対応

① 土砂災害での宅地の保険と補償

大串豊（M&K コンサルタンツ株式会社）

② 土砂災害について弁護士の視点から

吉岡和弘（弁護士）

(4) 日本国土の脆弱地盤の特質の研究と脆弱地盤に関する宅地の品質

① 日本国土の脆弱地盤の特質

伊藤和也（労働安全衛生研究所）

② 脆弱地盤に関する宅地の品質

渡邊康司（大林組）

休 憩

1. 総合討論

コーディネータ 安養寺 信夫

2. 閉会挨拶

稲垣秀輝 地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する事例研究委員会代表者

●脆弱な火山国日本での土砂災害の発生メカニズムの究明と法制度も考慮した総合的防災・減災対策に関する研究

研究集会 共催

(公社)土木学会 地盤工学委員会

(公社)地盤工学会 関東支部

背景

- 火山国日本といわれる中で、国土の脆弱地盤の一つである火山地域では土砂災害が頻発している。
- 最近では2012年九州北部豪雨(阿蘇カルデラ災害)、2013年10月の伊豆大島土砂災害など地盤災害が相次いで発生している。
- 脆弱火山地盤における土砂災害の発生メカニズムは十分に解明されていない。
- 近年、極端豪雨による集中的・複合的災害が頻発しているが、工学的対応とともに社会的対応の重要性が指摘されている。

研究目的

国土強靱化に資することを目標として

1. 最近頻発する火山地域での土砂災害の発生メカニズムを具体的に究明
→ 火山地域の土砂災害対策を進めるために留意すべき特徴とは?
2. 火山国日本の中で代表的な脆弱地盤分布する火山地域での土砂災害を防災・減災するための技術的課題と法制度の運用課題の提案
→ 工学的課題と社会的対応との関係性を提示

研究内容

1. 火山地域の抽出
2. 問題となる火山地形・地盤の抽出
3. 火山地域での土砂災害事例の選定と技術的検討
4. 特に、最近発生した2012年九州北部土砂災害(阿蘇地域)と2013年伊豆大島土砂災害の発生メカニズムの詳細な検討
5. 火山地域での土砂災害発生メカニズムや災害後の諸問題(土砂や流木を多量に含む災害廃棄物処理、長期的な災害リスクの算定など)を考慮した防災・減災の技術的な提案
6. 防災・減災の法制度、たとえば土砂災害防止法に関する技術的課題や宅地安全に関する法制度の技術的課題、法制度の運用方法(土砂災害警戒情報等の発表と首長支援など)等の提案

成果の方向性

- 研究集会による討議を経て、成果の高度化や客観性を高める。
- 調査結果や本研究集会で得られた知見や課題などを報告書としてとりまとめる。
- 土木学会全国大会において研究討論会を開催し、研究成果を広く還元することにより汎用化を図る。



背景

- 近年、地球温暖化などと関連して気象現象が大きく振れ動くことが多くなり、異常気象に伴う豪雨災害が激甚化している。特に、時間雨量が100mmを超え、連続雨量が500mmを超えるような局地的な想定を超える豪雨は、地域に大きな災害を与える。ここで、地殻の変動帯に属する我が国には火山が多く、火山地域では従来から局地的な豪雨による多くの土砂災害が記録されている。近年、特にこのような火山地域特有の豪雨土砂災害が頻発するようになってきている

種別	年代	災害名	論文発表等
豪雨	1998.8	白河土砂災害	○
	1998.9	七宗土砂災害	○
	2004.10	水俣土砂災害	○
	2009.7	山口土砂災害	○
	2010.7	中濃土砂災害	○
	2010.7	庄原土砂災害	○
	2010.9	鳥根土砂災害	○
	2011.9	足柄・小山土砂災害	○
	2011.9	紀伊半島土砂災害	○
	2012.8	九州北部土砂災害	○
	2013.8	岩手・秋田土砂災害	○
	2013.9	京都・滋賀・福井土砂災害	○
	2013.11	伊豆大島土砂災害	○
	2014.7	南本曾土砂災害	○
融雪	2014.8	広島土砂災害	○
	2014.10	横浜土砂災害	○
地震	2010.7	七五三掛地すべり災害	○
	2012.3	関川地すべり災害	○
	1995.1	阪神・淡路大震災	○
	2000.7	伊豆諸島地震災害	○
	2000.10	鳥取県西部地震	○
	2004.10	新潟県中越地震	○
	2005.3	福島県西方沖地震	○
	2007.3	能登半島沖地震	○
	2007.7	中越沖地震	○
	2008.6	岩手・宮城内陸地震	○
火山噴火	2011.3	東日本大地震	○
	2011.3	長野北部地震	○
	2011.4	いわき地震	○
	2014.11	長野県北部(白馬村)地震	○
	1991.6	雲仙普賢岳	○
	2000.3	有珠山	○
	2000.8	三宅島	○
	2011.1	新燃岳	○
	2014.9	御嶽山	○

概要

- 我国における火山地域の分布は、国土の1/4を占めている。この火山地域では、火山噴火災害の他、地震時や降雨時に土砂災害が発生しやすい。ここでは、火山地域の自然災害を概観し、その上で近年発生した6つの異常気象時の土砂災害についてまとめ、豪雨災時の斜面崩壊が、火山地域特有の地形・地質に基づく表層崩壊が主であり、特に浸食に弱い火山灰層は斜面に平行に堆積しており豪雨時に崩壊しやすいことを示す。また、規模の大きな災害としてはキャップブロック型の崩壊がある。火山地域は、土地利用上林地になりやすく、表層崩壊が発生した場合には立木が流木となり、流木は下流域被害の増大や災害廃棄物処理の課題となる。
- 最後に、激甚化する豪雨災害を対象とした火山地域での土地利用のあり方や法的制度のあり方等について論じた

火山国日本

- 活火山(1万年以降の活動)は110箇所あり
- 世界の約1割を占める(1位はインドネシア)
- 活火山の多い県(1位北海道31、2位東京21、3位鹿児島11、4位秋田・福島・長野6)
- 土砂災害では火山地域ってどこを指すの？
- 火山地域はどこにあるの？
- 火山地域はどのくらいあるの？
- 火山地域で何が怖いの？
- 火山地域では如何対応したらよいの？



新第三紀以降の火山岩類等の分布割合

火山性の地盤	面積km ²	割合
新第三紀以降の火山岩類	65,205	17.3%
新第三紀以降の火砕流堆積物	21,253	5.6%
新第三紀以降の貫入岩類	1,766	0.5%
第四紀を中心とした火山岩屑・テフラ	8,333	2.2%
合計	96,557	25.5%

産総研ソームレス地質図から計算

産総研シームレス地質図から計算

火山噴火に伴う2次災害も怖い



火山地域は地震時も弱い



火山地域の豪雨災害事例								事例掲載	
番号	発生年	災害	気象	連続雨量 (mm)	最大時間雨量 (mm)	死者・行方不明者	地質	地域	
1	1958年9月	狩野川台風豪雨(大島) ⁽¹⁾	台風	455.8	87.5	2	第四紀火山砂	伊豆諸島	△
2	1982年7月	長峰豪雨 ⁽²¹⁾	梅雨	572	187	299	新第三紀火山岩類	九州	◎
3	1990年7月	阿蘇豪雨 ⁽³⁾	梅雨	448	118.5	8	第四紀火山灰	九州	△
4	1998年8月	白河豪雨 ⁽⁴⁾	台風	1250	9	0	第四紀低溶結火砕流堆積物	東北	○
5	1998年9月	鹿部・南茅渚豪雨 ⁽²²⁾	台風	300(24h)	73	-	新第三紀火山岩類	北海道	◎
6	2003年7月	水尻豪雨 ⁽⁵⁾	梅雨	429	91	15	新第三紀火山岩類	九州	○
7	2010年7月	広島豪雨 ⁽²³⁾	梅雨	174	91	1	三瓶火山灰	山陰	○
8	2010年9月	神奈川県北部豪雨 ⁽⁷⁾	台風	495	70.5	0	富士山主成スコア	フォッサマグナ	○
9	2012年7月	九州北部豪雨 ⁽⁸⁾	梅雨	508	108	32	第四紀火山灰	九州	○
10	2013年10月	伊豆大島豪雨 ⁽¹⁾	台風	824	122.5	39	第四紀火山砂	伊豆諸島	○

番号	発生年	災害	気象	連続雨量 (mm)	最大時間雨量 (mm)	死者・行方不明者	地質	地域	事例 掲載
1	1958年8月	狩野川台風豪雨(大島) ⁽¹⁾	台風	455.8	87.5	2	第四紀火山砂	伊豆諸島	△
2	1982年7月	長峰豪雨 ⁽²⁾	梅雨	572	187	299	新第三紀火山岩類	九州	◎
3	1990年7月	阿蘇豪雨 ⁽⁴⁾	梅雨	448	118.5	8	第四紀火山灰	九州	△
4	1998年6月	白河豪雨 ⁽⁴⁾	台風	1250	90	8	第四紀低浸性砂・砂岩堆積物	東北	○
5	1998年9月	鹿部・南茅部豪雨 ⁽²⁾	台風	300(24h)	73	-	新第三紀火山岩類	北海道	◎
6	2003年7月	水尻豪雨 ⁽⁴⁾	梅雨	429	91	15	新第三紀火山岩類	山陰	○
7	2010年7月	石碓豪雨 ⁽²⁾	梅雨	174	91	1	三瓶火山灰灰	九州	○
8	2010年9月	神奈川県北部豪雨 ⁽⁷⁾	台風	495	70.5	0	富士山至永スロア	フォッサマグナ	○
9	2012年7月	九州北部豪雨 ⁽⁴⁾	梅雨	508	108	32	第四紀火山灰	九州	○
10	2013年10月	伊豆大島豪雨 ⁽¹⁰⁾	台風	824	122.5	39	第四紀火山砂	伊豆諸島	○

白河豪雨災害による根系層崩壊一覽

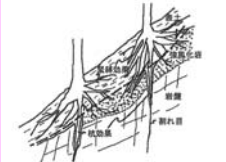
NO	雨量の観測地点(前線)からの距離(m)	降雨量(mm)	土壌中の水分の深度(g/cm ³)	植生	調査日	発災時刻	地質	標高目	土壌の浸透距離(m)	土の浮上した角度(°)	集水地域	調査地点	調査地点の所在地
	(We)	(mm)	T		(cm)			(m)					の地図
①	20	16	55	38	コナラ	17	4.0	沖津流地帯(無樹し)(低湿林)	20	0	△	○	○
②	17	14	55	39	コナラ	17	4.3	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	15	0	△	○	○
③	11	15	50	40	スギ、コナラ	21	2.5	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	15	0	△	○	○
④	12	10	45	40	スギ、コナラ	15	4.4	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	70	0	○	○	○
⑤	26	31	50	42	スギ、コナラ	17	1.9	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	41	0	△	○	○
⑥	12	10	49	41	コナラ	19	2.5	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	22	0	△	○	○
⑦	9	27	55	40	スギ、コナラ	18	2.2	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	28	0	○	○	○
⑧	15	13	50	40	スギ、コナラ	23	4.5	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	32	0	○	○	○
⑨	22	11	7	45	スギ	18	1.5	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	0	x	○	○	○
⑩	7	30	50	46	コナラ	12	2.5	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	45	0	△	○	○
⑪	17	28	51	44	コナラ	15	2.1	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	50	0	△	○	○
⑫	16	15	70	39	スギ、コナラ	13	2.2	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	38	0	△	○	○
⑬	14	24	45	46	スギ	14	2.2	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	15	0	△	○	○
⑭	9	8	45	45	コナラ	9	2.1	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	15	0	△	○	○
⑮	20	25	80	49	スギ	19	1.5	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	40	0~3	○	○	○
⑯	11	27	45	40	スギ	16	2.1	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	40	0	○	○	○
⑰	9	41	55	41	スギ	15	1.8	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	45	0~3	○	○	○
⑱	8	30	77	45	スギ	15	2.0	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	50	3	○	○	○
⑲	8	10	77	45	スギ	15	2.1	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	50	0	○	○	○
⑳	10	31	78	45	スギ	18	2.2	沖津流地帯(無樹し)(低湿林)	25	0	○	○	○
平均	13.1	19.9	51.7	42.3	—	16.4	2.6	火冲流地帯(無樹し)(低湿林)	32.3	0.0	—	—	—

注) ○：明確に認められる。△：不明確ながら認められる。

[illegible]

注)○:明瞭に認められる。△:不明瞭ながら認められる。

植生に関連した火山地域特有の根系層崩壊事例



根の分布
根の層
土壌
斜面

1998年8月台風4号の記録的な豪雨によって発生した根系層崩壊

植生の根系による崩壊防止効果の概要図

上方斜面は集水地形
崩壊土壌
湧水穴へ
根のない崩壊地で樹根が入らない
(不浸水層)

- ・ 白河豪雨災害時に発生した根系層崩壊事例
- ・ 白河地域は、火山地域であり、レスとよく似た性格をもつ弱溶結火砕流堆積物が広く分布しており、この火山地質特有の地盤が根系層崩壊を発生させたのである

根系層崩壊概念図

根垣秀輝:根系崩壊, 地盤工学会, Vol.50, No.5, pp.5-7, 1996 による



植生の根系による崩壊防止効果の概要図

根系層崩壞概念區

- ・白河豪雨災害時に発生した根系崩壊事例
- ・白河地域は、火山地域であり、レスとよく似た性格をもつ弱溶結火砕流堆積物が広く分布しており、この火山地質特有の地盤が根系崩壊を発生させたのである

稲垣秀輝:根系崩壊, 地盤工学会, Vol.50, No.5, pp.5-7, 1996 による

水俣豪雨 集地区土砂災害



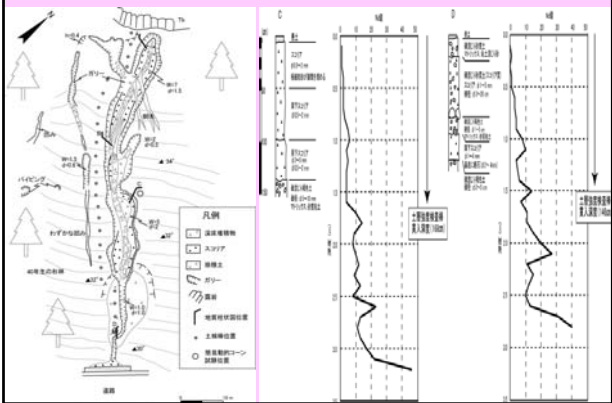
庄原豪雨災害図



庄原豪雨災害の表層崩壊と黒ボク



神奈川県北部豪雨災害時の崩壊地



九州北部豪雨災害阿蘇地方表層崩壊

番号	場所	幅(m)	高さ(m)	深さ(m)	傾斜(°)	崩壊の種類	崩壊の規模	崩壊の地質	土石流化	記事
1	三久保	40	70	1.5	25	表層崩壊・崖崩	表層崩壊	黒色火山灰	有	2名死亡
2	三久保	45	80	1	42	崖崩・一部表層崩壊	崖崩	黒色火山灰	有	2名死亡
3	三久保	35	85	2	35	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
4	三久保	35	70	2	40	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
5	三久保	5	10	1.5	50	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
6	三久保	5	7	1.5	45	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
7	三久保	5	7	1	40	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
8	三久保	15	30	2.5	45	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
9	三久保	40	80	3	35	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
10	三久保	5	7	1	40	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
11	三久保	60	80	2	40	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
12	三久保	7	7	1.2	38	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
13	三久保	3	5	0.7	40	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
14	三久保	3	7	1	40	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
15	三久保	5	10	1	35	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
16	三久保	10	15	1.5	40	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
17	三久保	8	10	1	40	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
18	三久保	7	5	1	40	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
19	三久保	6	6	1	38	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
20	三久保	5	10	1	40	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
21	三久保	7	10	1.5	40	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
22	三久保	5	5	1	35	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
23	三久保	5	10	1.5	58	崖崩・崖地	崖崩	黒色火山灰	有	
24	三久保	5	10	1.5	55	崖崩・崖地	崖崩	黒色火山灰	有	
25	三久保	15	15	1.5	50	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
26	三久保	8	10	1.5	60	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
27	三久保	10	10	2	55	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
28	三久保	5	5	1	60	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
29	三久保	8	10	1	48	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
30	三久保	5	5	1	45	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
31	三久保	5	15	1.5	38	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
32	三久保	10	15	1.5	50	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
33	三久保	30	40	2	58	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
34	三久保	20	30	2	55	崖崩	崖崩	黒色火山灰	有	
35	三久保	35	70	2	60	崖崩・崖地	崖崩	黒色火山灰	有	
平均		15.1	24.7	1.2	46.1	崖崩・崖地	崖崩	黒色火山灰	有	

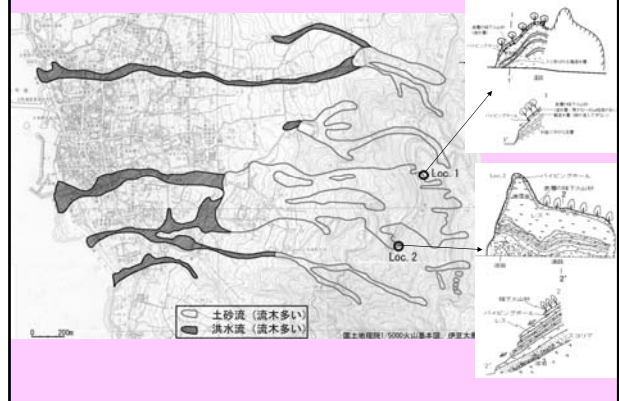
九州北部豪雨災害での黒色火山灰層基底に見られるパイピングホール



大島災害事例：崩壊は表層崩壊



伊豆大島豪雨での土砂災害平面図



崩壊部(表層でパイピング)



滑落面は難透水層のレス



斜面崩壊の素因と誘因

- ①素因：斜面表層に斜面と平行したゆるい降下火山砂が堆積しており、その直下に不透水層で植根の侵入を妨げるよく締った降下火山灰層(レス)が斜面に平行に分布している火山地域特有の地質構造を示す。
- ②誘因：時間雨量100mmを越え、連続雨量約800mmの豪雨。

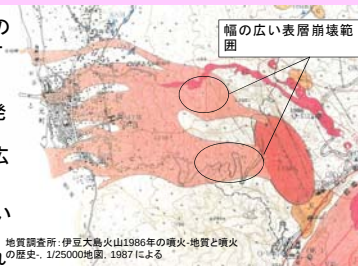


表層崩壊の発生メカニズムの概要



幅の広い表層崩壊の起った原因

- 今回多くの犠牲者を出した神達地区を中心とした斜面は先に述べた1338年の元町溶岩流下部とほぼ一致している
- しかし、今回の表層崩壊は元町溶岩の直上では発生していない
- すると、この元町溶岩が広範囲に表層崩壊を発生しやすい大きなすべり台の基礎を作ったからではないかと考えられる
- つまり、この溶岩がなければ谷の発達した通常の火山麓斜面となり、幅の広い表層崩壊は起こりえない



地質調査所・伊豆大島火山1986年の噴火・地質と噴火の歴史、1/25000地図、1987による
1338年に流下した元町溶岩と幅の広い表層崩壊

火山地域での6つの豪雨災害事例の共通点と相違点

番号	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6
事例	白河豪雨	水俣豪雨	庄原豪雨	神奈川北部豪雨	九州北部豪雨	伊豆大島豪雨
線状降水帯		○			○	○
集水地形	○		○	○	○	○
遡急線	○	○			○	○
地質	低層結火砕流堆積物	安山岩溶岩凝灰岩	風化火山灰(クロボク)	宝永スコリア層	黒色火山灰	火山灰
斜面に沿った透水路の異なる地層分布		○	○	○	○	○
表層崩壊	○		○	○	○	○
キャップロック型崩壊		○				
根系層崩壊	○		○		○	○
幅の広い表層崩壊						○
パイピングホール	○		○	○	○	○
高速流下	○	○	○	○	○	○
土石流化	○	○	○	○	○	○
流木が多い		○	○	○	○	○
土砂災害防止法の対象外領域での災害の出現						○

火山地域での土砂災害の特徴

全般	全国の約1/4の面積を占め、土砂災害に弱い
火山噴火二次災害	火山噴火に伴う二次災害として、噴火後の地表の不安定土砂量の増加や地表の浸透性の低下に関連する後続豪雨による土砂災害が急増する
地震時	地震時、軽石層などの火山砕屑物層をすべり面とした斜面崩壊や地すべりが発生しやすく、先行雨量があった場合は被害が大きくなる
豪雨時	- 火山地域の地質・地質構造上豪雨時に火山灰層等の表層崩壊が多発する - キャップロック型の大規模な崩壊が発生する。この場合には下流部で想定を超える被害が発生することがある - 反復した、土砂災害が発生しやすい - 根系層崩壊が発生しやすい - 崩壊した土砂が、土石流や泥流として速くまで流下し、被害を広げる - 流木を含むことが多く、被害を大きくする - 災害廃棄物として流木が多い - 広い溶岩流の分布斜面では、土砂災害防止法の警戒区域の適用外で土砂災害が発生することがある

火山地域での災害廃棄物の特質

区分 種類	原因	災害の呼称名	廃棄物の状態			
			水分	土砂	燃焼	
気象 災害	豪雨・水害	浸水災害	外水氾濫(河川水の氾濫)	◎	△	×
			内水氾濫(下水等の氾濫)	◎	△	×
		土砂災害	土石流	◎	◎	△
			地すべり	◎	◎	△
			がけ崩れ(急傾斜地崩壊)	△	◎	△
	大雪・融雪	雪崩		◎	○	×
		低気圧や台風による風、暴風、竜巻などの突風	倒木被害	△	△	△
			構造物の破損・倒壊	△	△	△
			高潮・高波		○	△
		雷害や雹	感電事故・火災	△	×	△
火災	異常乾燥などによる火災	自然発火による山火事	×	×	◎	
火山災害	火山活動(噴火等)	火山脱流・土石流	◎	◎	△	
		火砕流・火砕サージ	×	◎	△	
		降下火砕物(噴石、降灰)	△	◎	△	
		溶岩流	×	◎	◎	
		地殻変動	△	○	△	
		山体崩壊・崩落	○	◎	○	
		津波・洪水	◎	○	△	
		火山ガス・噴煙	×	×	△	

(備考) ◎:良くある, ○:ある, △:まれにある, ×:ないと考えてよい

備考) ◎：良くある、○：ある、△：まれにある、×：ないと考えてよい

火山地域での時間概念を入れた土地利用のあり方

自然災害の頻度	災害規模	自然災害の種類	土地利用のあり方	人的対応
1ヶ月	極小	河川内の増水	レクリエーション(日帰り)	短期予測、避難のための情報伝達
1年	小	小落石、河川内増水	小滞在	短期予測とハードな対策工、予防・避難のための情報伝達
1世代(25年)	中	斜面崩壊、落石、流水、土石流、火山性地震、小噴火、降灰	別荘地、観光、畑	中期予測とハードな対策工、避難計画と復旧計画
100年	大	斜面崩壊、岩石崩壊、小火砕流、大洪水、火山噴火、泥流、降灰	住居、集落、水田	長期予測とハードな対策工、避難計画と復旧計画、法的規制や支援
1000年	大	斜面大崩壊、岩屑なだれ、火山噴火、火砕流、溶岩流	都市、文化	長期予測、避難計画と復旧計画
10000年～	超大	火山大噴火、気象変化	人類の生存、文明	過去の災害事例の研究による長期予測、災害情報の世代を超えた伝達

土砂災害の軽減・廃棄物の課題

- この元町溶岩を作り出した斜面地形は、土砂災害防止法に基づく土石流や急傾斜地の警戒区域や特別警戒区域の対象域とはならないところに注目したい。火山地域ではこのように通常の土砂災害の想定を越えた地質構造があるものであり、今後の防災・減災上の課題である(土木学会での重点研究課題に採択される)
- このような地域でのハード対策の検討やソフト対策での火山地域での特殊な土砂災害ハザードマップ作りや流木の軽減・土砂災害防止法の問題点などを提言したい
- 島嶼部での流木の処理方法



土砂災害防止法に基づく土石流や急傾斜地の警戒区域や特別警戒区域の対象域



千葉達朗

謝辭

- ・岩波の科学に寄稿（及川輝樹・鈴木雄介・千葉達朗）
- ・岐阜県の火山防災関係業務及び、多治見砂防事務所の御嶽山火山噴火緊急減災の仕事に従事。そこで得られた、地質学的新知見を砂防学会、JPGU、火山学会、産総研シンポジウムなどで報告してきた。その内容をわかりやすく整理し、2014年噴火の速報を加え、防災上の問題を整理したもの。
- ・2014年噴火後、御嶽山火山灰総合観測班による噴出量の調査成果を紹介
- ・11月8日に山頂に登山して調査を行った御嶽山火山灰総合観測班地質グループによる現地写真を紹介、噴火前の写真と比較

1. 過去1万年間の噴火

平成14年の火山防災マップ作成時の理解より、
活発な火山であることがはっきりしてきた

1mメッシュの航空レーザ計測と最新地形表現手法による微地形把握、
野外調査の精度と効率の向上、GPS、GISの利用、放射性炭素年代測定
法の進歩、化学分析の精度の向上、防災目的の調査の実施が背景

	平成14年の火山防災マップ作成時	近年の調査結果をふまえた整理
マグマ噴火	三ノ池溶岩が最後のマグマ噴火 (2万年前)	1万年前以降に 4回 の マグマ噴火
水蒸気噴火	1979年および1991年	1979年規模の 水蒸気噴火が過去 7500年間に少なくとも1.1回 (700年に1回程度)
火口分布	三ノ池・五ノ池・地獄谷付近	三ノ池・五ノ池・地獄谷付近に加え 獅子岳周辺および東山腹部 でも 噴火が生じていた

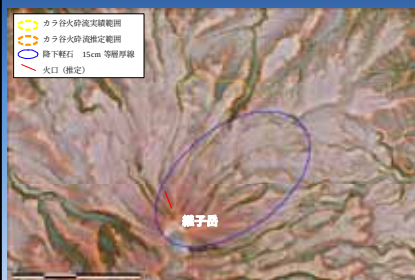
三ノ池溶岩の噴火年代が、約9500年前であったことがわかった。

水蒸気噴火 マグマ噴火

■カラ谷火砕流・軽石 2000万m³

発生年代: 10,050±30および9,685±35yrBP
 噴出量: 約1,740～1,880万m³DRE
 (降下軽石1,500万m³DRE 火砕流241～380万m³DRE)
 影響地域: 北～北西

影響地域：北～北西



噴火は降下軽石の放出から始まり、火砕流の噴出、融雪型火山泥流の発生へと推移した。

溶岩片が多く含まれることから、急斜面に形成された火砕丘（あるいは溶岩丘）の崩壊に伴う火砕流と考えられる。
火砕流堆積物の定置温度は、350～400℃程度。

■三ノ池溶岩 5億m³

発生年代：9,273±117yrBP（産総研による）、
9,570±30および9,545±30yrBP（多治見砂防による）
噴出量：約4～5億m³DRE
影響地域：東側



三ノ池溶岩

四ノ池

三ノ池火口

溶岩流の地形が明瞭なので、もっと新しいのではないかと予想。溶岩の下位の地層や、周辺の噴出物を調査

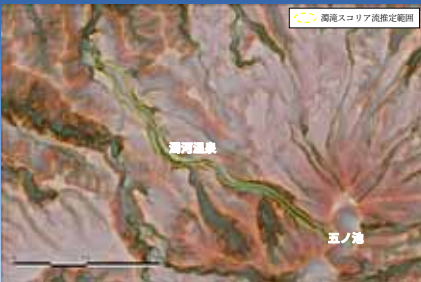
これまでは、K-Ar年代測定で、約2万前の噴火と考えられていた。御嶽山における過去約1万年間で最大の噴火。溶岩流の流下距離は約5km

四ノ池湖成層にめり込む三ノ池溶岩と同質の火山弾、直下の材木片の14C年代 9,570±30yrBP



■濁滝火砕流 (スコリア流)

発生年代：5,205±117yrBP
噴出量：35～75万m³DRE
影響地域：北西側



濁滝温泉

五ノ池

濁滝温泉の下流、標高1,520m付近で確認された火砕流堆積物。火砕流の定置温度は620度以上と推定される。

溶岩片が多く含まれることから、急斜面に形成された火砕丘（あるいは溶岩丘）の崩壊に伴う火砕流と考えられる。

■女人堂スコリア 黒岩火口

発生年代：4,540±40yrBPおよび5,620±30yrBP
噴出量：約140万m³DRE
影響地域：東側



黒岩火口

降下スコリア 15cm 等層厚線

御嶽山東山腹の黒沢口登山道沿いに分布するスコリア。

スコリア層の直下には水蒸気爆発による堆積物が認められることから、噴火は水蒸気爆発から始まり、その後、火山弾の放出、スコリアの放出へと噴火が推移したと考えられる



●1979年水蒸気噴火

発生年代：西暦1979年10月28日
噴出量：約18万トン（約7.2万m³DRE）最近の見直しで100万立方m
影響地域：東側（群馬県でも降灰を確認）



月 日 時 間	活 動 観 測
4月頃～	三ノ池の水の白濁化（真っ白に変色）池の中から、ぶくぶくと泡の吹き出す音が発生
10月28日 午前5時頃	噴火開始（小さな水蒸気噴火）
7時40分頃	地盤谷で火山灰による白濁した水流出（土石流）
（時間不明）	噴石の放出（御嶽山の山火の規模を被爆）
8時30分頃	噴火の再発化（噴煙、灰色～黒灰色）
10時頃	火口周辺に堆積した火山灰が重力的に崩壊、火砕流（火山灰サージ）発生。地盤谷を流下
14時頃	噴煙活動劇大増。御嶽山噴煙が足下。噴煙柱の崩壊による火砕流（火山灰サージ）発生。地盤谷を流下
山頂への噴煙 本格的	
夕刻	噴煙活動 衰えはじめる
10月29日 朝	噴煙活動 沈静化
	（1980年1月12日撮影の写真より）火口から硝化水素噴出を確認

地獄谷で発生
1列に並んだ火口列
一部で噴煙柱崩壊で火砕サージ発生

●1991年水蒸気噴火 数十トン

発生年代：西暦1991年5月12日
噴出量：数十トン（4m³DRE）
影響地域：サイノ河原周辺

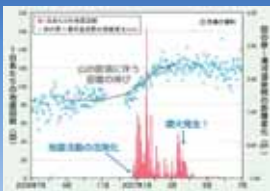


月 日 時 間	活 動 観 測
4月20日	地震多発（1988年の観測開始以来最高）
5月27日	地震多発
5月12日	観測開始以来最大の噴火発生
時限不明	地盤と微動同時多発
5月20日（登山調査）	数十トン（約10万立方m）に火山灰の堆積確認

1979年噴火でできた火口のうち、第7火口での再噴火

●2007年水蒸気噴火

発生年代：西暦2007年3月？
 噴出量：数10トン(4m³DRE)
 影響地域：サイノ河原周辺
 時期：雪の中の黄砂の層から噴火時期を推定

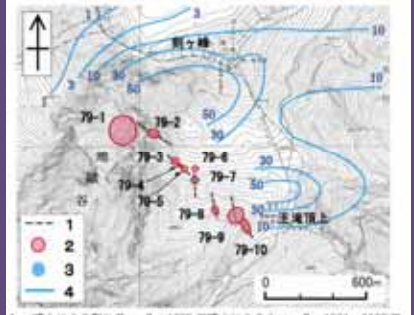



年月日時	活動概要
2006年 12月頃～	山頂部下層部での火山性地震が活発化
2007年 1月中旬	火山性地震の頻度が増加(1月17日・18日) 国土院のGPS観測により12月頃から山体膨張が生じていたことが判明
1月19日	火山観測情報第1号
1月下旬～	地震活動が活発化、火山性地震の発生 噴火活動の発生
3月中旬	2007年噴火・火山性地震の発生
3月中旬(日付不明)	2007年噴火・火山性地震の発生
5月29日(日付不明)	2007年噴火・火山性地震の発生

1979年噴火でできた火口のうち、第7火口での再噴火

ごく小規模な噴火だったが、噴火に先行して、複数の前兆現象が観測された

国土院技術資料 D2-No.57「1:25,000火山土地条件図解説書(御嶽山地区)」、平成24年3月、国土交通省国土院。



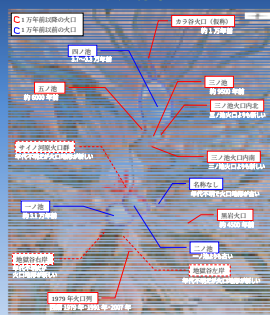
1: 噴火による新火口 2: 1919年噴火による火口 3: 1981～2007年の火口 4: 降下火山灰の厚さ (cm)

図-8 1979年噴火による火口と降下火山灰の厚さ

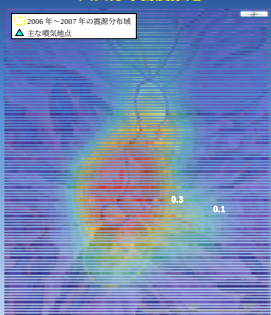
想定火口形成領域

約1万年前以降の火口分布をもとに、御嶽山の火口分布密度を推定し、近年の噴気・地震活動分布を考慮して決定した。

火口分布



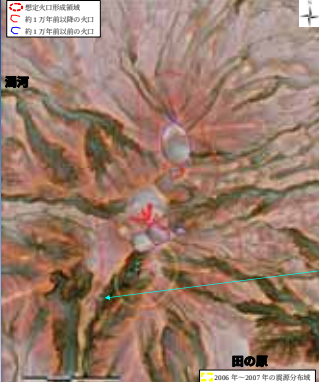
火口分布密度推定



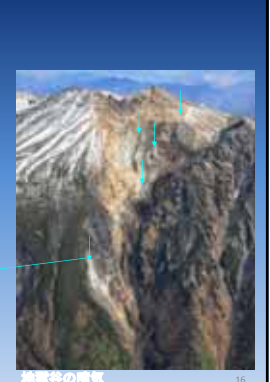
想定火口形成領域

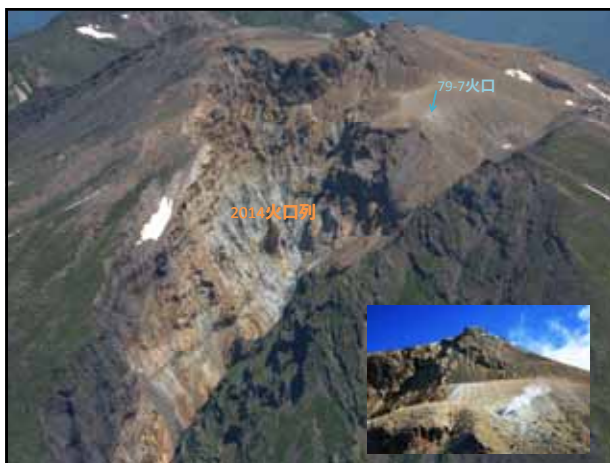
約1万年前以降の火口分布をもとに、御嶽山の火口分布密度を推定し、近年の噴気・地震活動分布を考慮して決定した。

火口分布

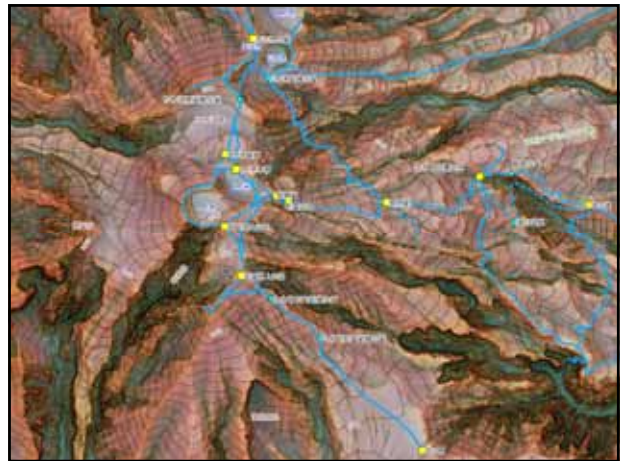


火口分布密度推定

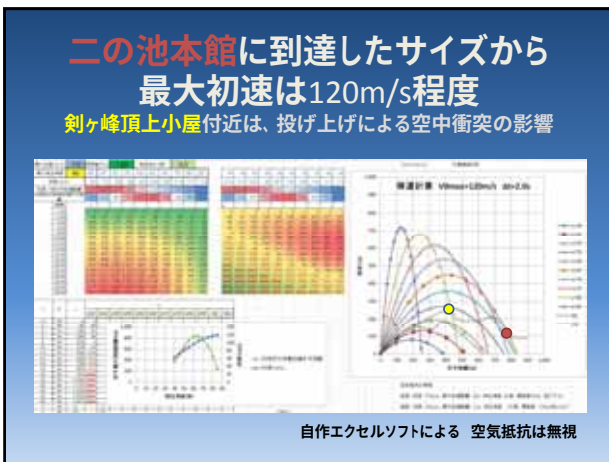




2. 2014年噴火 山頂調査比較写真 2014.11.8 - 2010.8







現地調査とコンプライアンス、安全確保、火山学者の責任、ホームドクターとは

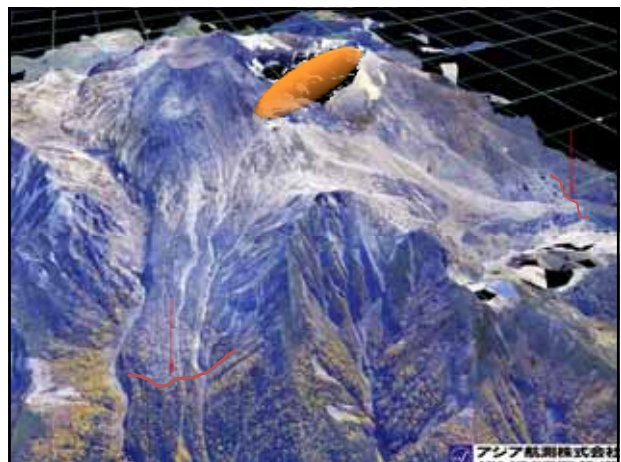
噴火の翌日に、4km風下の山麓で採取、洗浄した火山灰
(塩谷による採取 千葉撮影)

11月に、剣ヶ峰頂上山頂付近で観察した断面。
火砕サージ堆積物が降下火砕物が判断が難しい(火山灰合同観測班地質グループによる)

- 火山灰の表面には黄鉄鉱が自生しているものがある
- 断面を観察すると、本質物質の可能性のあるガラスが確認される
(宮城ほかによる火山学会での講演による)

3. 低温火砕流 噴煙柱崩壊



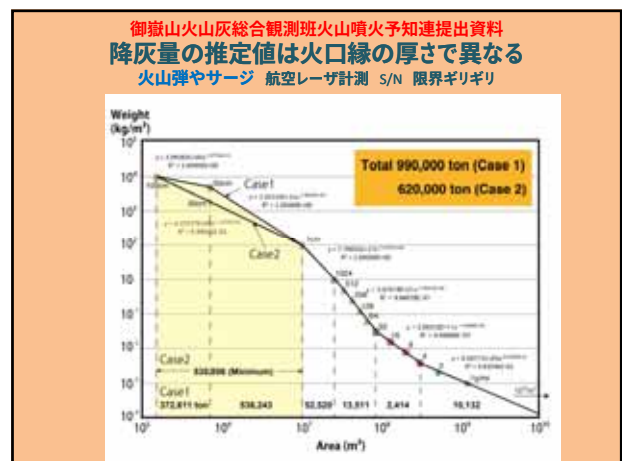


4. 火口直接流出 型泥流による被害





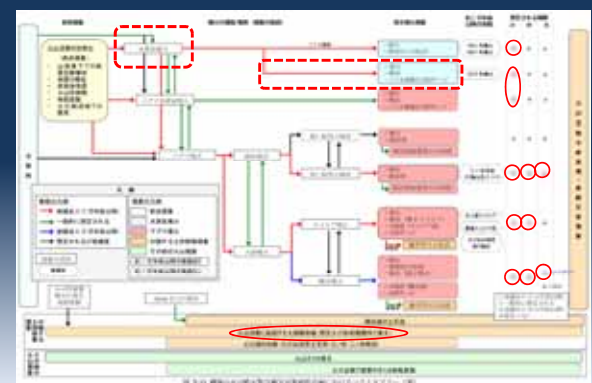
5. 噴出量計算 層厚-面積曲線



まとめ

- ・ 前兆が少なく短時間、水蒸気噴火が発生、警戒レベル1。
- ・ 休日、昼時、晴天のため、多数の登山客
- ・ 火口から1kmの範囲に水蒸気爆発による放出岩塊到達
 - － 頂上付近では、投げ上げ空中衝突、破片化
- ・ 噴煙柱崩壊で火砕流が発生
 - － 噴煙が低温で浮力不足で上昇できず、横方向、斜面下方に流下
- ・ 火口から直接泥流が流下、下流で濁り水
- ・ 火口列の位置は想定範囲内
 - － 1979年火口列より南西側にずれた位置
- ・ 総噴出量は1979年と同等レベル
 - － 今後、民家に被害をもたらすような土石流が発生する可能性は低いのではない
- ・ 2007年のマグマ上昇イベントとの関連性に注目
- ・ 観測体制の問題、大学の独立行政法人化移行、観測予算が減った。気象庁24時間体制で観測するも、御嶽山での経験不測。

11ケースのシナリオ 火山噴火緊急減災対策砂防



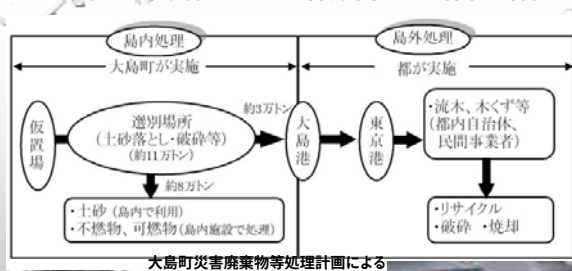
火山地域における 災害がれき/廃棄物等から の有害物質について

株式会社 環境地質
大野 博之

災害時のがれき/災害廃棄物

- ・ 災害時のがれき⇒復旧・復興の妨げになる
 - ⇒ 早急な災害現場からの撤去
 - ⇒ 一次仮置場の設置とそれへの運搬
 - ・ 仮置場での一時保管 (6か月間)
 - ⇒ 個人のものでなくなった時に、災害廃棄物
 - ・ 復旧・復興をはかる
 - ・ がれきや災害廃棄物による環境変化
- なるべく両立

大島町及び東京都における災害廃棄物処理計画の所管



一次仮置場の状況 (平成25年11月14日現在)



火山活動による環境変化

- ・ 火山活動によるふっ素(F)の増大 ⇒ 過去阿蘇地域などでの斑歯病 (0.3mg/L以上でよくないという過去の意見もある (現行法0.8mg/L))
- ・ 火山活動直後に、地下水中の鉛や砒素が、環境基準以上になったことがある
- ・ 表流水中のふっ素の濃度が通常より増大する例もある。
- ・ 活動が沈静化している時期においても、ふっ素や砒素が地下水の環境基準をオーバーすることがある。

しかし、
そもそも環境は変化するのが自然の摂理

三宅島の例－火山噴火

- ・ 災害がれきの周辺のたまり水から、環境基準を超える鉛 (0.08～0.23mg/L > 0.01)、カドミウム (0.03mg/L > 0.003)、六価クロム (0.06mg/L > 0.05) が検出された。



伊豆大島の例－土石流災害

- ・土石流の発生箇所の堆積物では、環境基準値以下のふっ素 (0.1mg/L) が検出されるものの、鉛、水銀、砒素などの溶出や含有は、定量下限値未満。
- ・樹木やがれきの混じった災害発生土も、基準を超える溶出や含有は見られない (ふっ素 0.1～0.3mg/L 以外は定量下限値未満)。



伊豆大島の例－火山噴火

- ・噴火後 (1986年11月) の飲用の地下水より、鉛 (0.02～0.03mg/L > 0.01) や水銀 (0.0029mg/L > 0.0005)、砒素 (0.013mg/L > 0.01) が地下水の環境基準を超過したことがある。
⇒今は、地下水は飲用に供していない。
- ・昭和25・26年の火山噴火時には、火口付近の湧水で環境基準の3倍程度のふっ素 (2.6mg/L > 0.8) が検出された事例もある。
⇒火口茶屋付近が超過したのみで、それ以外は基準以下

雲仙普賢岳の例－火砕流災害

- ・1991年の家屋等を飲み込んだ後、数年後の地下水に鉛や砒素などの環境基準以上の検出はなし。
- ・噴火当初の河川水中でも、ふっ素 (0.03～0.32mg/L < 0.8) は検出されたものの鉛や水銀は定量下限値未満で、環境基準を超過したものはなし。



仮置場等の環境汚染の例

- ・仮置場のたまり水から、鉛が環境基準以上検出 (0.016mg/L > 0.01) された例もある。
- ・濃度の高いがれきや土砂などからは、基準値以上のものが出る可能性があると思われる。しかし、災害時の発生物は自然由来がほとんど。

仮置場は、土壌汚染対策法の適用される場と考えるべきなのか？ ⇒すなわち、目標か、規制か？

- ・復旧・復興が最優先 ⇒ では、仮置場はどうあるべきなのか？

**仮置場の汚染防止というのは、本当に必要なのか？
環境基準の100倍以上の大値に超えた例 (災害がれき周辺やその仮置場) は、これまでの災害ではない**

火山災害により発生する有害物質

- ① 火山災害により発生する有害物質
- ② 基準は、毎日2リットルを生産に渡って連続的に飲み続けても人の健康に害を及ぼさない水準を基にしているものであって、一時的に基準値をある程度超えても直ちに健康上の問題に結びつくものではない。 (『厚生労働省(2002)：現行の水質基準の考え方について』の見解)
- ③

**環境基本法の目標値である
環境基準で捉えるべきものなのか？**

リスクをどのように捉えるのか？

- ・複数あるリスクのすべてを回避することはできないのでは？
- ・災害後のリスクに対して優先順位をつけることも。。。
- ・例えば、
 - ・「災害リスク」：ミネラルウォーターなどは食品衛生法で規程されている。よるり基準値：ふっ素2mg/L
 - ・「考え方」：そもそもふっ素の基準は、3mg/L以上を飲んでいてとる所で95%が斑状歯、1mg/Lでは15%、0.8mg/Lで斑状歯が見られなくなる、という「宇宮・津野(1999)：環境水質学、コロナ社」の見解による。
 - ・「復旧とは」：例えば、「ふっ素：斑状歯や骨への付着と骨の内部構造変化による骨折のリスクの増加。こうしたことを考慮して、0.8mg/Lとしている。」さて、どうする？

地域による基準の考え方の違い？

- 地域によっては、
 - 災害がれき/廃棄物やその仮置場には、土壌汚染対策法の第二溶出基準 (3～30倍基準) のようなもので対応しても良いのでは？
- 何をどのように捉えるのかを議論していくことが必要な時代になったのではないだろうか？
 - 砒素は？
 - ふっ素は？
 - 水銀は？
 - 鉛は？
 - その他の有害物質は？

現行法の基での仮置場のあり方

- 地下水・土壌汚染の可能性はゼロではない。
 - 地下水の飲用に對するリスク
 - 利用状況と地下水流動を災害以前に把握する必要あり
EX: 伊豆大島は地下水の引用はほとんどない。
阿蘇の麓の熊本市は飲用多数
 - 経口摂取のリスク
 - 仮置場の稼働時に経口はあり得ない⇒散水等により粉じん等はなくす
 - 仮置場の閉鎖後の対応 (覆土やアスファルト舗装で対応)
⇒閉鎖後の土地利用に影響される
- 海岸埋立地の仮置場の利用⇒塩水なので飲用はあり得ない
⇒通常、覆土やアスファルト舗装されている
- 最終処分場も仮置場にできる⇒管理型であれば漏えいはない
⇒処分場内で経口摂取はあり得ない

土木学会・地盤工学会共催：火山地域における土砂災害発生メカニズムと社会的対応に関する研究集会 (2014年12月17日)

阿蘇土砂災害で見られた火山地域の土砂移動の特徴

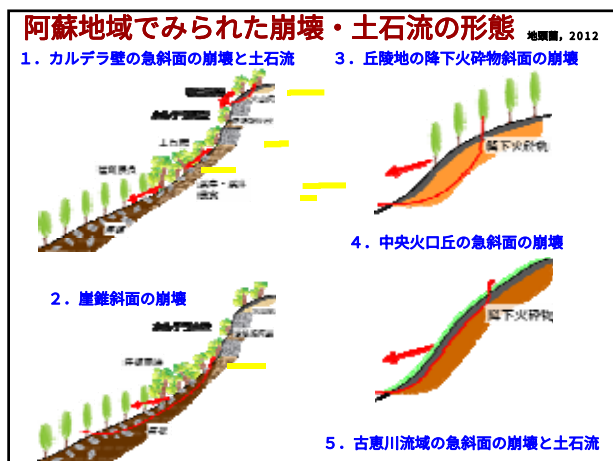
清水 収 (宮崎大学)・地頭 蘭 隆 (鹿児島大学)

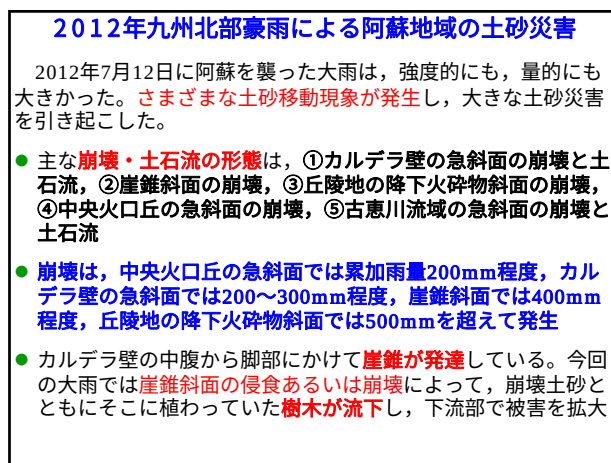
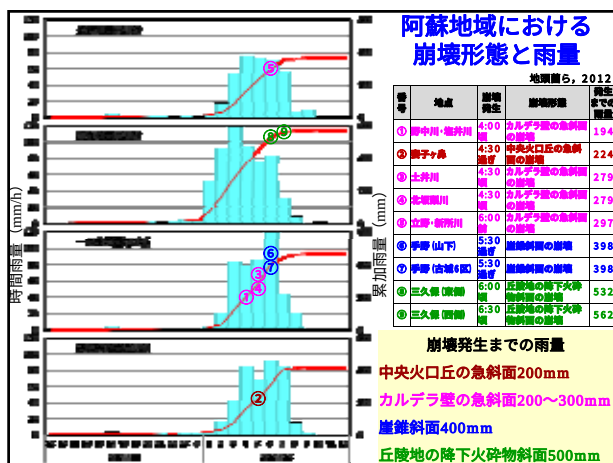
発表内容

2012年7月12日に発生した阿蘇カルデラ地域の土砂災害

梅雨前線による「平成24年7月九州北部豪雨」
最大1時間 108mm/h, 午前0時～8時の合計 491.5mm
(阿蘇乙姫)

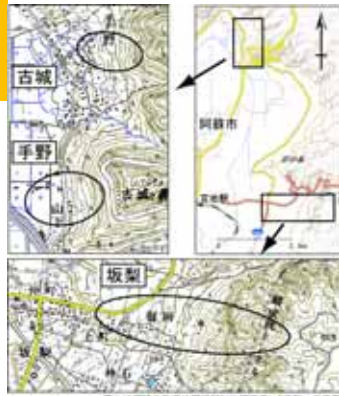
1. 阿蘇でみられた崩壊・土石流の形態
2. 川がない場所を石礫や流木が長距離移動





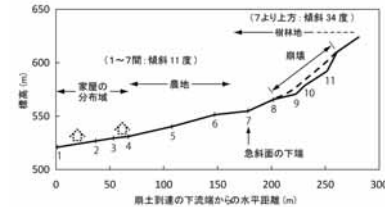
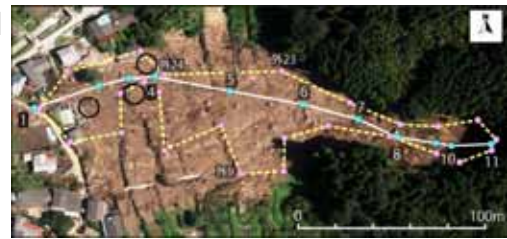
石礫や流木の長距離移動

調査地は、移動土砂に含まれた礫や流木の到達距離が長かった事例で、それらの移動が途中で人工障害物の影響を強く受けていないものを選択。



古城

黒い円は全壊した家屋の位置を示す



崩壊の長さ70m
幅10～20m
深さ4～10m
土砂量2,800m³



厚さ5～12m
径0.5～3m
の礫が多量

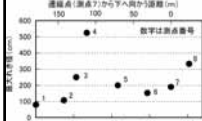
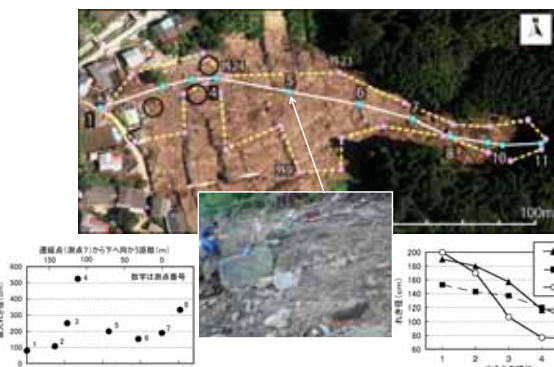
厚さ3m
割れ目が開き
緩んでいる

湧水の孔 (径20cm) あり
災害時は、地中流が溶結凝灰岩の割れ目を通して下まで浸透した

古城

下流端の測点1
には、80cm位
の礫が多く到達

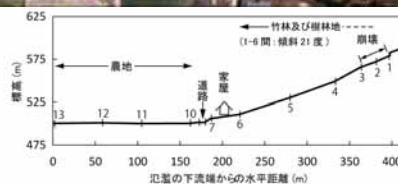
元の場所から押し流
された全壊家屋
土砂中に礫多くあり



災害後に改変を受けていない場所
での礫の調査結果、斜面下端から
70mまでの範囲では、径2～0.8mの
礫が方形区に5個以上の密度

手野

黒い円は全壊した家屋の位置を示す



崩壊長さ30m
幅25～30m
深さ2～6m
土砂量2,300m³

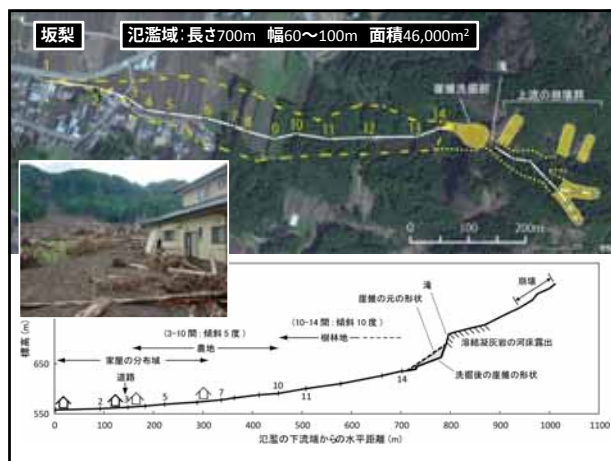
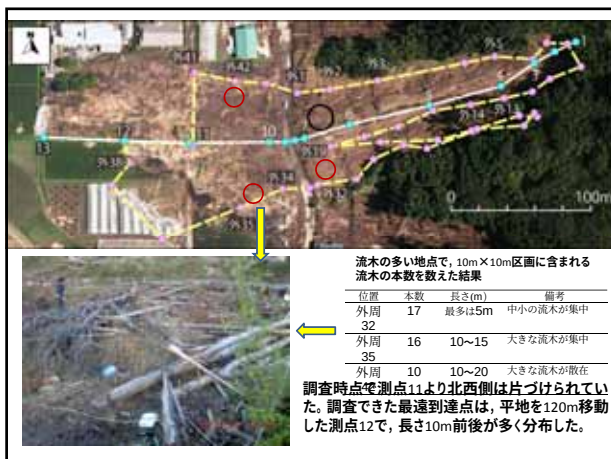


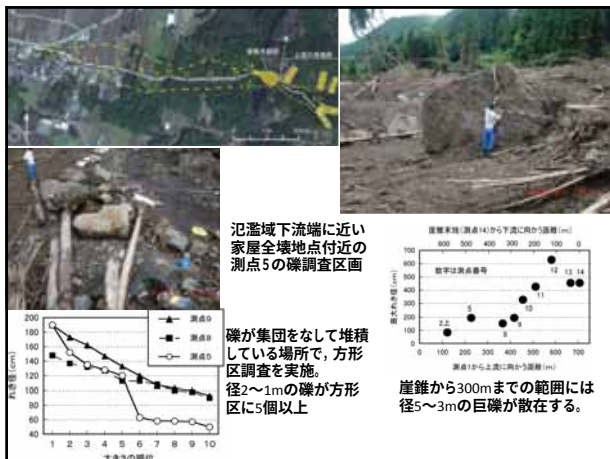
滑落崖の断面 固結砂礫層が基盤となり上の崖錐堆積物と火山灰層が崩壊。固結砂礫層の凹凸に応じて、崖錐堆積物の厚さがほぼ0から最大5mと場所により異なる。

手野

崩壊地の下に続く長さ150mあまりの斜面では、スギ・竹林が一掃された。
また、この斜面上に上方の崩壊地からの土砂や大礫の多くが停止、堆積した。(崩壊土砂のうち、8割が斜面上に堆積)

下の平地には、流木と細粒土砂が大きく拡がって氾濫堆積した。
流木は氾濫の外縁に沿って舌状に分布することから、段波のような流れの先頭に含まれて放射状に拡がった、と推測される。





現象のまとめ

□ 古城

- 崖錐斜面が深く崩れ、崖錐を構成する大量の巨礫と地下の溶結凝灰岩の割れた岩塊とが、斜面下方へ流れた。
- 巨礫を含む土砂は、下部緩斜面 (傾斜11度) の家屋を全壊させながら遠くまで流れ、最も遠くには、径80cmの礫が急斜面下端から180mの距離まで到達した。【警戒区域の範囲の問題】

□ 手野

- 傾斜21度の長大斜面の中腹で崩壊が発生し、下に続く斜面の立木も全て流れに取り込まれた。【緩斜面の崩壊、長大斜面の中腹以上の崩壊は流下域の立木を取り込み流木を増やす】
- 大量の流木が、恐らく流れの先頭に含まれて、斜面下の平地を長距離にわたり流動し、最も遠くには平地を120m移動した。

□ 坂梨

- 滝による地形の不連続のため、渓流として認識されなかった。
- 滝を流れ落ちる水で崖錐が大きく洗掘され、大規模な土石流に。
- 土石流が川のない扇状地を幅約80mで長さ700m流下。

今回認められた火山地域に特徴的な地形的・地質的な特性 (素因)

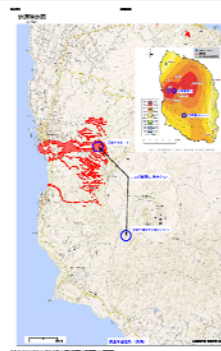
1. 谷が発達していない未開析の地形：長大斜面、0次谷が卓越
 - ・ 溪流 (1次谷) として認識されないため、土石流のような規模の大きい土砂移動現象が想定されていない。
 - ・ 「がけ崩れ」よりも、はるかに規模の大きい現象が起こる。中腹で崩れると、下に続く斜面の立木を取り込む。
2. 火砕流堆積物に由来する巨礫を含む崖錐が発達
 - ・ 侵食され移動すると、破壊力が大きい。
3. 厚い降下火山灰層
 - ・ 崩壊土砂となる表土が厚く蓄積されていると共に、透水性の異なる土層が互層を成している。

伊豆大島土石流災害地の現状 と強度・地下水流音特性及び 土石流発生履歴について

鈴木素之(山口大学) 阪口和之(アジア航測)
椿原京子(山口大学) 吉川修一(八千代エンジニアリング)
美馬健二(太田ジオリサーチ) 櫻井正明(産地防災研究所)
大野博之(環境地質)

調査概要

- 平成26年11月1日～2日の2日間、大島町元町地区を中心に実施
- 土石流の崩壊部およびその周辺部の変化(1年経過時の復旧状況)の把握
- 崩壊・土石流の発生状況およびメカニズムの推定
- 土石流(火山泥流)の発生履歴
- 災害廃棄物処理状況とその影響



出典: 国土地理院

1年経過時の復旧状況

吉川修一担当

崩壊地の復旧状況



(崩壊部)

崩壊斜面は、当時のままの状態にあり、復旧は進んでいない。また、新たな崩壊も生じていない。一方、堆積部の土砂は取り除かれ、整地まで行われている。

(堆積部)

流木の状況



源頭部付近の樹木はそのまま残っており、表層崩壊であったことが確認できる。河道閉塞が生じた元町橋付近の流木は取り除かれ、橋梁は通行可である。

(生産部: 大金沢上流)



(堆積部: 元町橋周辺)

1) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会: 平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査報告書: H26.1.23

道路の復旧状況



(御神火スカイラインで唯一通行できない箇所)

1) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会: 平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査報告書: H26.1.23

御神火スカイライン上に堆積した土砂、流木はほぼ取り除かれているが、大金沢中流部の1箇所道路が寸断したままであり、通行ができない状況にある。

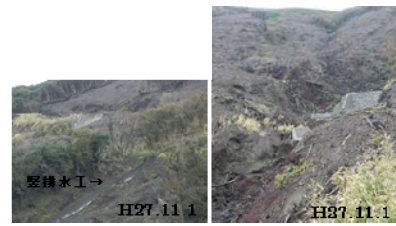
切土のり面工の復旧状況



1) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会：平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団報告書：H26.1.23.

現地では切土法面に法枠工が多く用いられているが、ほとんど損傷は見られず、現在は植生が繁茂している。

道路排水施設の復旧状況



道路排水工が完全に復旧していないため、雨水排水は主に縦排水工や沢を經由して流れると見られる。

砂防施設の復旧状況



(神達地区上流部の導流堤)

大金沢本川堆積工の上流には多くの土砂流木が堆積した。自衛隊による復旧活動により透過型砂防堰堤は原状回復している。また、鋼製のフレームに損傷は見られない。

1) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会：平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団報告書：H26.1.23.

(大金沢本川堆積工)

崩壊地調査による崩壊機構の推定

櫻井正明、美馬健二、鈴木素之

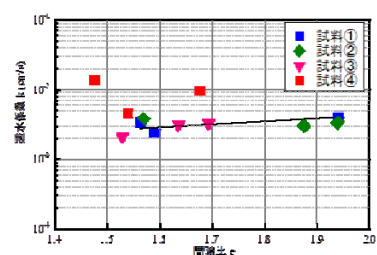
表層崩壊地の状況



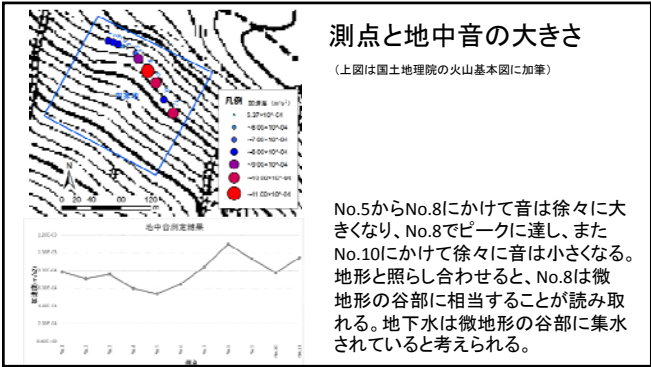
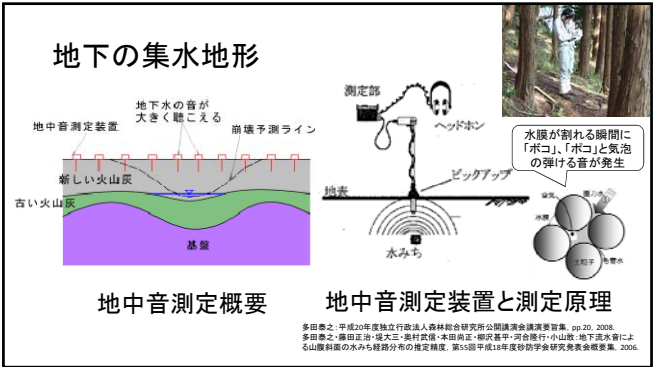
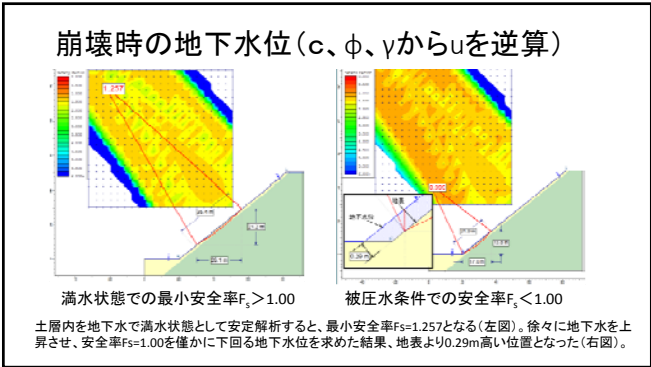
谷頭部の表層崩壊地の状況 遷急線付近から崩落した表層崩壊地 崩落土砂が流下した斜面の状況

表層崩壊地の多くは、谷頭部の遷急線付近から崩落しており、崩壊深は0.5～0.8m程度である。崩落した土層は黒色火山灰(上層と呼ぶ)であり、下部に灰褐色火山灰(下層と呼ぶ)があり、その境付近をすべり面として崩落している。

間隙比 e と透水性係数 k の関係



表土層に近く試料内に細根が観察された試料(④)を除いて、間隙比の変化に対して透水性係数がほぼ一定である。



元町地区における主な台風災害(下記文献の表を修正)

西暦(和暦)	災害の概要
1856/9/23 (安政3年8月25日)	暴風雨により、伊豆大島に災害が発生しており、同日、江戸においても被害が出ている。新嶋村(現元町地区)においては、家屋流出6軒、倒壊破損は村内の8~9分、漁船流出2隻、破損19隻、作物も7分程度の被害を受けた。
1932/11/14 (昭和7年11月14日)	強い台風により、東海地方から東北地方にかけて、暴風雨に見舞われ、全国で死者・行方不明者257名の人的被害を出した。元村(現元町地区)においては、全壊42戸、半壊70戸、破損350戸の被害を出した。
1958/9/26 (昭和33年9月26日)	台風による豪雨により、狩野川が氾濫した伊豆半島を中心に全国で死者・行方不明者1269名の被害が発生した(狩野川台風)。元町地区においては、山津波(土石流)により、死者1名、行方不明者1名の被害を出した。大島町の住宅被害は、全壊24戸、流失5戸、半壊22戸であるが、ほとんどが元町地区とみられる。
2013/10/16 (平成25年10月16日)	平成25年台風26号による豪雨により、伊豆大島を中心に全国で死者・行方不明者43名の人的被害を出した。元町地区においては、土石流により、死者36名、行方不明者3名の被害を出した。大島町の住宅被害は、全壊71戸、半壊25戸である。

注)新嶋村(明治41年改称)及び元村(昭和30年合併)は元町地区の旧称
出典:土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団,9-10,2014

降水量の比較(大島アメダス)

区分	降水量(mm)	
	2日間	1時間最大
狩野川台風	1958年9月25-26日	455.8 87.5
平成25年台風26号	2013年10月15-16日	824.0 118.5

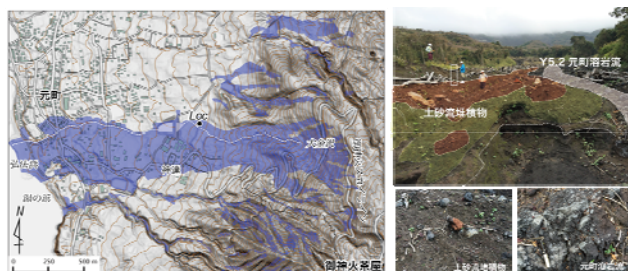
出典:土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団,9-10,2014

元町地区の移転に関する伝承(下記文献から作成)

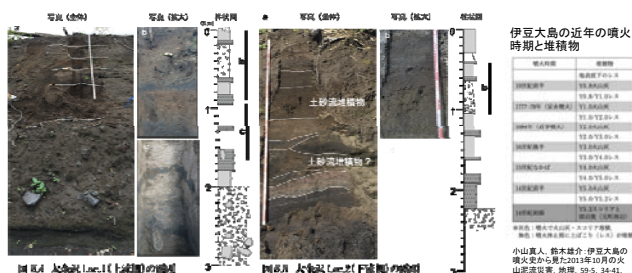
文献	発行年	時期	原因
風俗画報臨時増刊253号伊豆七島図会(風俗画報編集部)	1902	貞享(1684～1687年)	海嘯(津波)の難より
伊豆大島圖誌(山口貞夫)	1936	未記載	噴火のため
伊豆大島志考(立木猛治)	1961	文禄(1592～1596年)の頃	びやく(山津波)に押されて埋没 *伝承を掲載しているが、「びやくの押した事実を証するものは見当たらない。」としている

出典:土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団,9-10,2014

調査地点の位置図と大金沢の様子



大金沢(上流側と下流側)の露頭観察



まとめ

今回の調査結果をまとめると、以下のようである。

1. 災害から1年が経過し、崩壊地を除けば着実に復旧が進んでいる印象を受けた。ただし、崩壊地の復旧は規模が大きいために相当の時間を要すると思われる。
2. 崩壊地調査での土層強度の測定から、崩壊発生時の水位を逆算した結果、地表面より0.29m高くなった。これより、地盤内の被圧水圧が崩壊に関与したと推定される。
3. 谷地形と推定される箇所地下水流音が大きくなっていたことから、その箇所地層が集水構造を有していることが推定された。地下水流音の測定によって地下水の流れを把握できる可能性があることが示唆された。
4. 地域の資料調査ならびに下流部での堆積物の露頭観察から、この箇所では土石流が繰り返し発生していることがうかがえた。

最後になりますが、本災害でお亡くなりになった方々に哀悼の意を表しますとともに、被害に遭われた方々に改めてお見舞いを申し上げます。

『火山地域における土砂災害発生メカニズムと社会的対応に関する研究会』
主催：(公社)土木学会 平成26年度重点研究課題

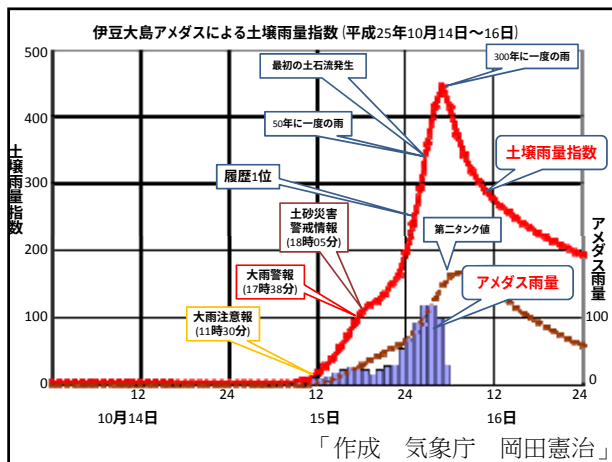
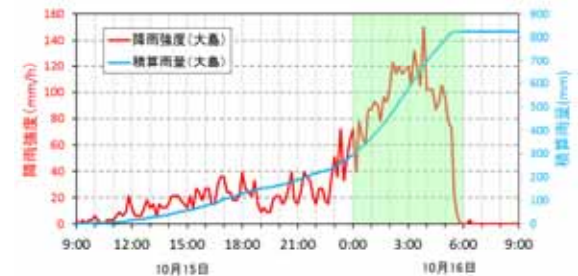
場 所：地盤工学会地下講堂
日時：平成26年12月17日(水) 午後

伊豆大島土砂災害時の 崩壊土砂の土質工学的な考察

後藤 聡 (山梨大学)
荒木 功平 (山梨大学)

災害発生時の雨量 (元町)

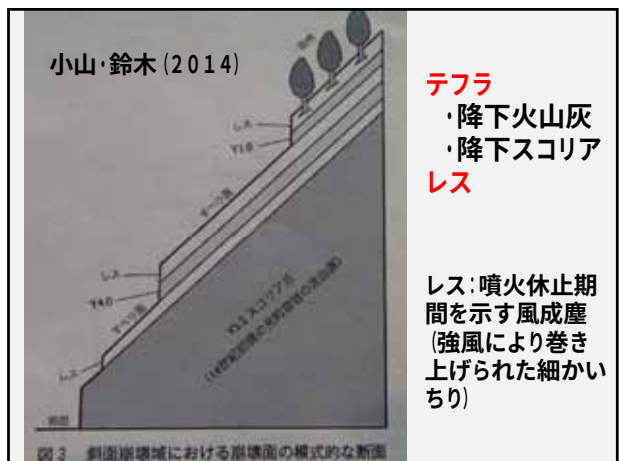
土石流は累積雨量450～550mmで発生 (午前3時頃まで)
その後も約250mmの強雨が継続



表層崩壊

谷地形の未発達な平滑斜面において
多数の表層崩壊が並列で発生

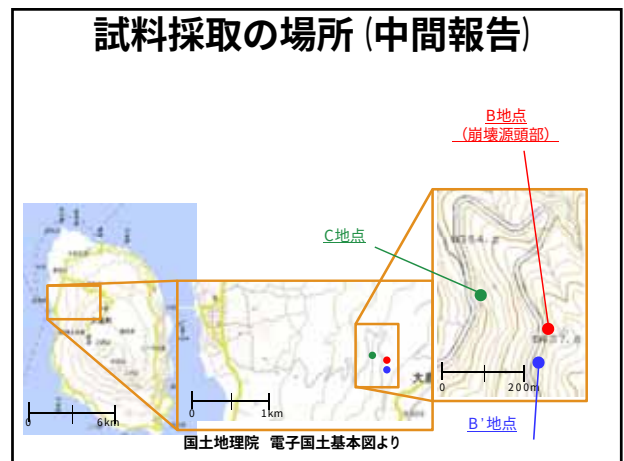
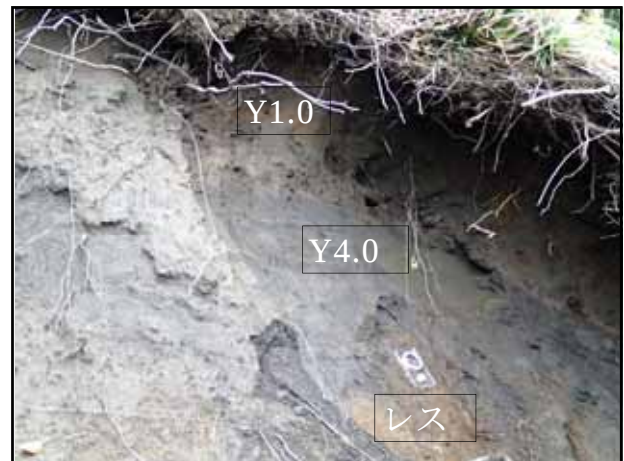
崩壊の規模：幅10～50m
斜面長：20～50m 崩壊深度：1m以下

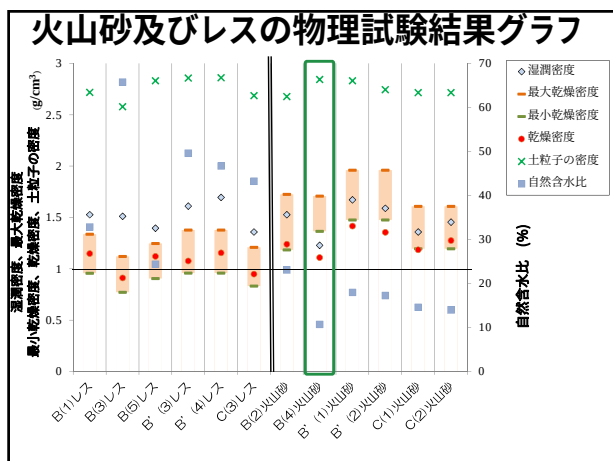
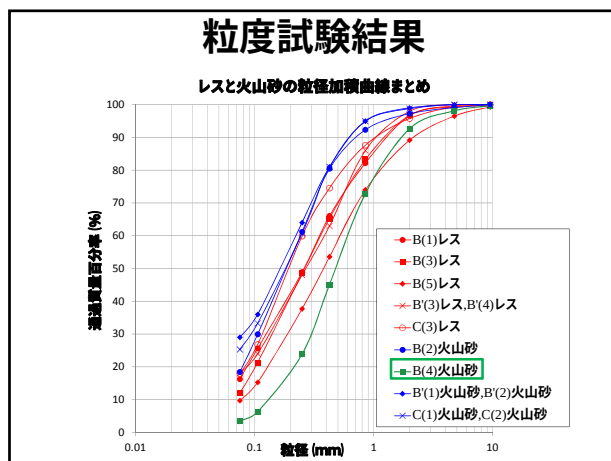
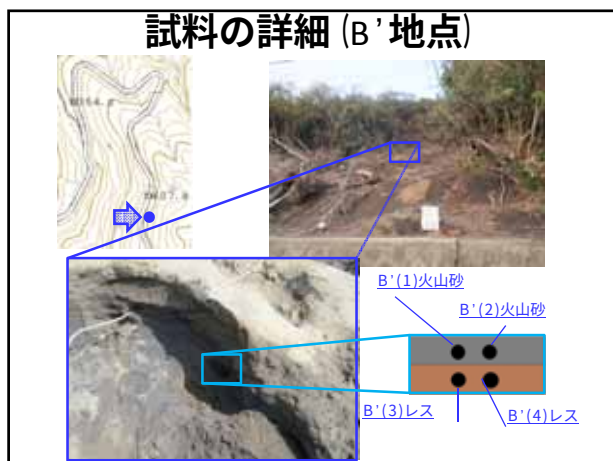
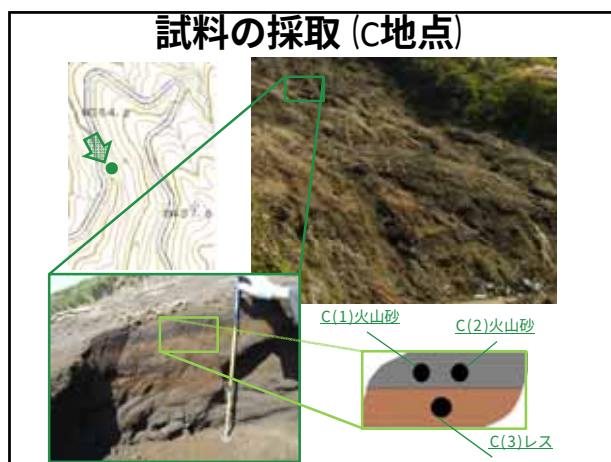


テフラ
・降下火山灰
・降下スコリア
レス

レス：噴火休止期間を示す風成塵
(強風により巻き上げられた細かいちり)

図3 斜面崩壊域における崩壊面の模式的な断面





まとめ

素因
 [地形] 遷急線の下方斜面
 [地質・地盤]
 ・斜面表層に斜面と平行したゆるい降下火山砂(灰)が堆積しており、その直下に相対的に透水性の低いまたは相対的にせん断強度の大きいレス層が斜面に平行に分布している火山地域特有の地質構造(流れ盤)
 ・火山砂(灰)は相対密度がマイナスになるほど軟弱

誘因: 時間雨量100mmを越え、連続雨量約800mmの豪雨。

発生メカニズム: 豪雨が表層のゆるい降下火山砂に多量に浸透し、表層の降下火山砂層内の下位のレス層の上面に水みちを作りながら、レス層上面をすべり面として表層崩壊が発生した。

課題: (1) パイピングのモデル化 (2) 火山砂, レスの土質力学的特性 (3) 火山地域における表層崩壊の危険度評価

- 台風26号の災害により亡くなられた方々のご冥福をお祈りいたしますとともに、行方不明者のご家族、被災された方々に心からお見舞い申し上げます。
- 一日も早い被災地の復興を心よりお祈り申し上げます。

謝辞

大島町役場、東京都大島支庁、島民の方々には、情報提供、現地調査等において、ご協力いただきました。深く御礼申し上げます。

伊豆大島ジオパーク推進委員会の皆様には、現地調査および島民説明会、現地説明会等で大変お世話になりました。ここに謝意を表します。

環境省伊豆諸島自然保護官事務所には、ボーリング調査、試料採取等の申請で大変お世話になりました。謝意を表します。

本研究の一部は、文部科学省科学研究費助成金(特別研究促進費:平成25年台風26号による伊豆大島で発生した土砂災害の総合研究(研究代表:東畑郁生、課題番号:25900002)の補助により実施したものです。メンバーとの有意義な議論に謝意を表します。

平成26年度 河川砂防技術研究開発公募 砂防技術分野 「局地的大雨による大規模表層崩壊発生機構の解明と危険地抽出技術の開発」に、謝意を表します。

現地共同調査等に際して意見交換等いただいた、4学会合同(土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会)伊豆大島豪雨災害緊急調査団の皆様、ここに記して謝意を表します。

土石流・泥流の構成式とシミュレーションモデルの課題

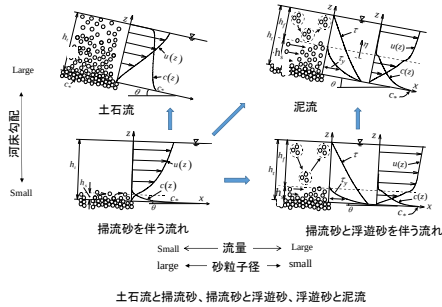
江頭進治 (土木研究所 ICHARM)・竹林洋史 (京大 防災研究所)
s-ekeshira77@nwr1.go.jp yakebayashi.hiroshi.66@kyoto-u.ac.jp

1. 台風26号伊豆大島豪雨災害からの教訓
2. 土石流および泥流の構成則
3. 2013年伊豆大島泥流の解析モデル
4. 泥流の解析結果 (グリッドサイズ及び)

1. 2013年10月台風26号伊豆大島豪雨災害からの教訓

- ・ マルチイベント (崩壊→泥流の流動・氾濫→洪水氾濫)
- ・ 古典的な課題: 崩壊危険斜面、崩壊・泥流等による土砂災害発生の限界降雨条件
- ・ 崩壊・泥流の移動・流動場: 未発達谷を含む領域→土砂移動経路の予測が難しい (特定の難しい保全対象が被災)
- ・ 火山灰を主構成材料とする泥流流動性が高い。氾濫・堆積領域が広い
流動機構 (構成則) の研究が急務
- ・ 流木が異常に多い→流動阻害、流路閉塞、およびそれらによる氾濫、被害の拡大要因
- ・ 極端な降雨特性 (降雨強度、雨量、雨域)→外力に及ぼす降雨特性の変化の影響

伊豆大島豪雨災害を引き起こした流れは？



2. 土石流および泥流に関する構成則

土石流

Coulomb Type
 Iverson & Denlinger(2001), Savage & Hutter(1989, 1991)
Fluid Type (Non-Newtonian Fluid)
 Takahashi(1980), Tsubaki, Hashimoto & Suetsugu(1982), Hunt(1994)
Coulomb Type + Fluid Type
 Egashira & Ashida(1992), Egashira, Miyamoto and Itoh(1997)

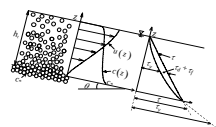
構成則の適否は、次の2点を説明できるかどうかによる。
 ・移動床と固定床の流れの違い
 ・固定床上の流れに見られる濃度の逆転現象

江頭らによるエネルギー散逸関数の定式化 (1989, 1997)

$$\tau \frac{\partial u}{\partial z} = \Phi_s + \Phi_p + \Phi_f = p_s \tan \phi_s \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) + k_d (1 - e^2) d^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + k_f \frac{(1 - e^2)^{5/3}}{c^{2/3}} d^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^3$$

これによれば、せん断力は

$$\tau = p_s \tan \phi_s + k_d (1 - e^2) d^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + k_f \frac{(1 - e^2)^{5/3}}{c^{2/3}} d^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^3$$



p_s : static pressure resulting from particle-particle contact
 $k_d = 0.0828$
 $k_f = 0.16 \sim 0.25$

圧力は

$$p = p_s + p_d + p_w$$

$$\frac{p_s}{p_s + p_d} = \left(\frac{c}{c_s} \right)^{1/n}, (n=5)$$

$$p_d = k_d \sigma e^2 c^{2/3} d^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2$$

$$p_w = \rho g (h_t - z) \cos \theta$$

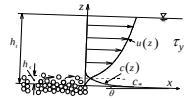
p_s : static pressure resulting from particle-particle contact

p_d : dynamic pressure

p_w : pore pressure

c_s : sediment concentration of stationary layer

掃流砂層の厚さ



$$\tau_y(z) + \tau_d(z) + \tau_f(z) = \rho g \sin \theta \int_z^h \left\{ (\sigma / \rho - 1) c + 1 \right\} dz \quad (8)$$

$$p_s(z) + p_d(z) = \rho g \cos \theta \int_z^h (\sigma / \rho - 1) c dz \quad (9)$$

$$\tau_y(0) + \tau_d(0) + \tau_f(0) = \rho g \sin \theta \int_0^h \left\{ (\sigma / \rho - 1) c + 1 \right\} dz + \int_0^h \left\{ (\sigma / \rho - 1) c + 1 \right\} dz$$

$$p_s(0) + p_d(0) = \rho g \cos \theta \int_0^h (\sigma / \rho - 1) c dz + \int_0^h (\sigma / \rho - 1) c dz$$

$$\frac{h_s}{h_t} = \frac{1}{(\sigma / \rho - 1) \bar{c}_s} \frac{\tan \theta}{\tan \phi_s - \tan \theta}$$

$$\frac{h_s}{d} = \frac{1}{\bar{c}_s \cos \theta} \frac{1}{\tan \phi_s - \tan \theta} \tau_s$$

$$\bar{c}_s = \int_0^{h_s} c dz / h_s \approx c_s / 2$$

泥流

Bingham Type

Chen(1988), Julien & Lan(1991), O'Brien and Julien(1988)

戸田・山野(宮本)・神田(1985,1986) 一電気化学的現象の導入

$$\tau = \tau_y + \mu \frac{du}{dz} \quad \tau_y = -\frac{3}{ad} c (e^{a\tau/\mu} - 1) \Theta_j + \phi_j e^{\frac{\mu}{2a}}$$

$\phi_j e^{\frac{\mu}{2a}} < \tau_j < \phi_j$ において

$$\frac{\mu}{\mu_0} = (1 + \lambda) \frac{1 - \frac{\phi_j}{\tau_j} e^{\frac{\mu}{2a}}}{1 - \frac{2\lambda}{ad} (1 + \log \frac{\phi_j}{\tau_j} e^{\frac{\mu}{2a}})}$$

$\phi_j \leq \tau_j$ において

$$\frac{\mu}{\mu_0} = (1 + \lambda) \frac{1 - \frac{\phi_j}{\tau_j} e^{\frac{\mu}{2a}}}{1 - \frac{2\lambda}{ad} \frac{\phi_j}{\tau_j} (1 - e^{\frac{\mu}{2a}})}$$

τ_y 降伏応力

μ 粘性係数

Θ_j 一つの接触の結合エネルギー

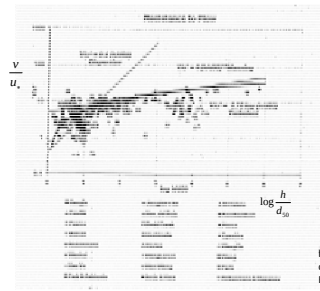
ϕ_j 水分子間の結合力(電気2重層における電位に対応する)

c 粒子濃度

λ 粒子の線濃度

d 粒子径

K Debye-Huckel のパラメータ



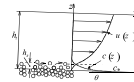
P. Y. Julien and A. Paris (2010): Mean velocity of mudflows and debris flows, Jour. Hydraulic Eng., Vol.136, No.9, 676-679.

3. 伊豆大島泥流の解析モデル

土石流 ← 掃流砂流

相似性

伊豆大島の泥流



乱流 (領域hfの流れ)

層流 (領域hsの流れ)

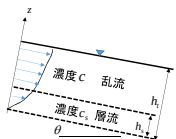
微細砂高速度乱流
濃度c
微細砂高速度層流
濃度cs

$$\frac{h_s}{h_t} = \frac{1}{(\sigma / \rho - 1) \bar{c}_s} \frac{\tan \theta}{\tan \phi_s - \tan \theta}$$

$$\bar{c}_s = \int_0^{h_s} c dz / h_s \approx c_s / 2$$

$$\frac{h_s}{h_t} = \frac{\left\{ (\sigma / \rho - 1) c + 1 \right\} \tan \theta}{(\sigma / \rho - 1) c_s \left\{ \tan \phi + (1 - c / c_s) \tan \theta \right\}}$$

$$c_s \equiv \frac{c_s + c}{2}$$



構成関係式

$$0 \leq z \leq h_t \quad \tau = \tau_y + \mu \frac{du}{dz} + \int_z^h (d, c, \sigma, \rho) \left(\frac{du}{dz} \right)^2$$

$$h_t < z \leq h \quad \tau = \rho_s g \left(\frac{du}{dz} \right)$$

ϕ 土砂の内部摩擦角

τ_y 降伏応力

μ 粘性係数

ϵ 滑動粘性係数

θ 河床勾配

θ_c 濃度cに対応する平衡勾配

c_s 静止堆積層の土砂濃度

$$\frac{h_s}{h_t} = \frac{\left\{ (\sigma / \rho - 1) c + 1 \right\} \tan \theta}{(\sigma / \rho - 1) c_s \left\{ \tan \phi + (1 - c / c_s) \tan \theta \right\}} \quad c_s \equiv \frac{c_s + c}{2}$$

抵抗則

$$\tau_s = \tau_y + \rho_s f v^2$$

$$f = 9\alpha^2 (\alpha = \kappa / 6 = 1/15) \quad \tau_y = \rho (\sigma / \rho - 1) c_s g h_t \cos \theta \tan \phi$$

侵食率

$$\frac{E}{v} = c_s \tan (\theta - \theta_c)$$

$$\tan \theta_c = \frac{(\sigma / \rho - 1) c_s}{(\sigma / \rho - 1) \left[c - c_s \left(1 - \frac{c_s}{c} \right) \frac{h_s}{h_t} \right] + 1} \frac{h_s}{h_t} \tan \phi$$

支配方程式

流れの質量保存

水と土砂

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial u h}{\partial x} + \frac{\partial v h}{\partial y} = \frac{E}{c_s}$$

土砂

$$\frac{\partial \bar{c} h}{\partial t} + \frac{\partial \bar{c} u h}{\partial x} + \frac{\partial \bar{c} v h}{\partial y} = E$$

運動量保存則

$$\frac{\partial h u}{\partial t} + \frac{\partial h u u}{\partial x} + \frac{\partial h u v}{\partial y} = -g h \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{1}{\rho_a} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_a}$$

$$\frac{\partial h v}{\partial t} + \frac{\partial h u v}{\partial x} + \frac{\partial h v v}{\partial y} = -g h \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{1}{\rho_a} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_a}$$

河床材料・堆積土砂の質量保存

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{E}{c_s \cos \theta}$$

Z_b 河床の標高

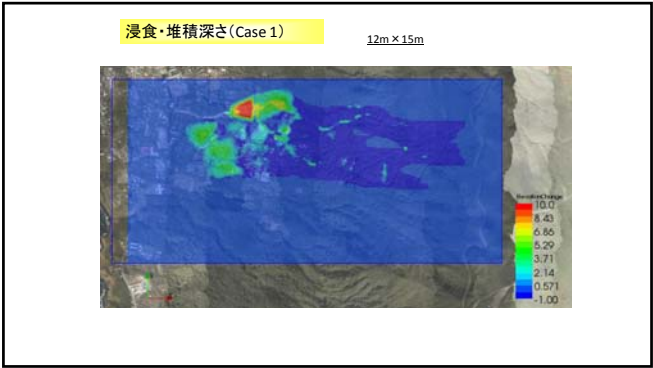
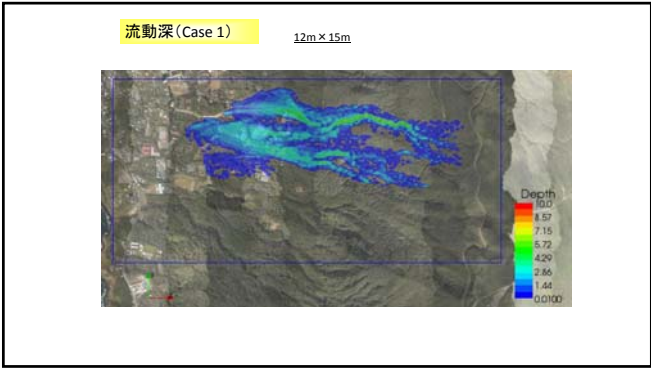
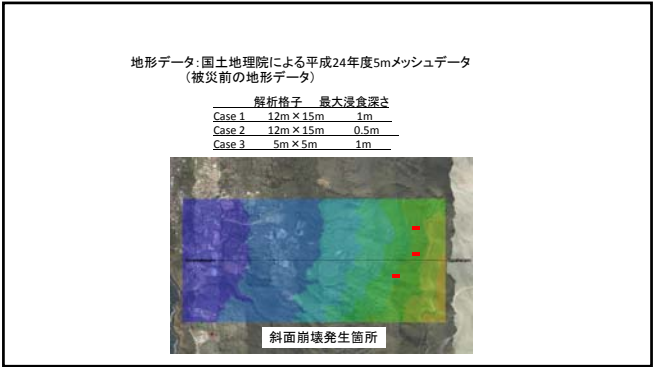
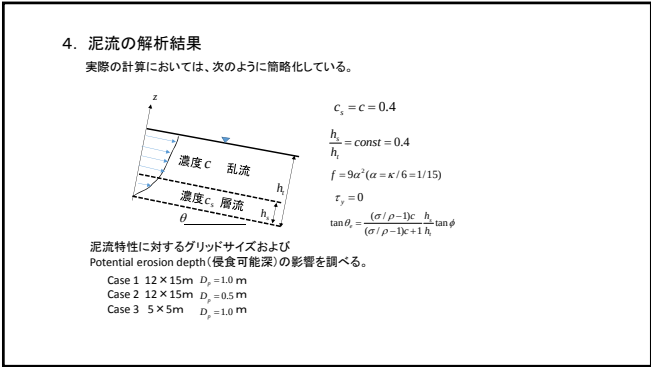
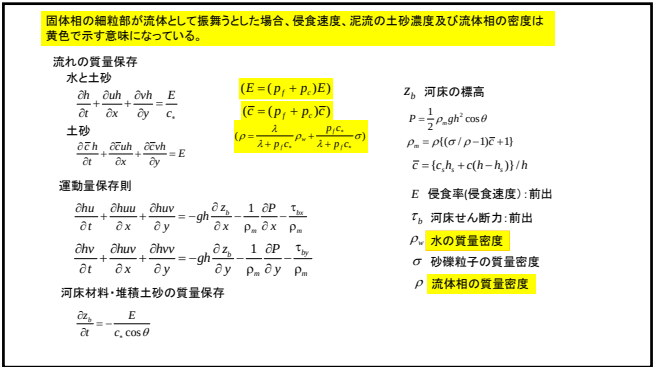
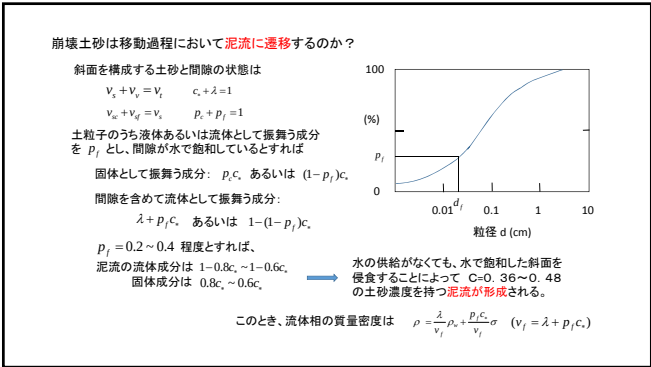
$$P = \frac{1}{2} \rho_a g h^2 \cos \theta$$

$$\rho_a = \rho \left\{ (\sigma / \rho - 1) \bar{c} + 1 \right\}$$

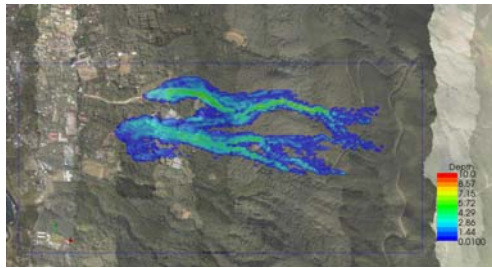
$$\bar{c} = \{ c_s h_t + c (h - h_t) \} / h$$

E 侵食率(侵食速度): 前出

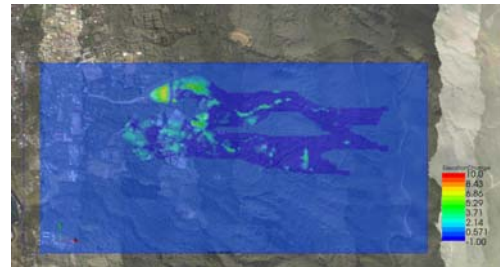
τ_b 河床せん断力: 前出



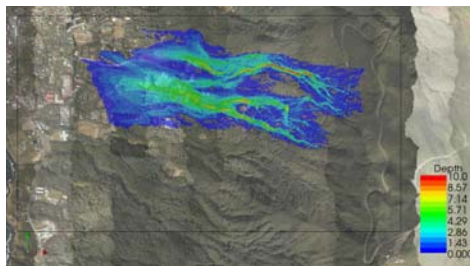
流動深 (Case 2)



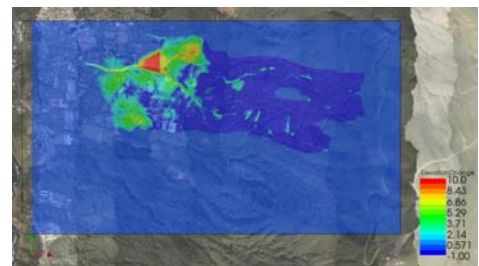
浸食・堆積深さ (Case 2)



流動深 (Case 3)



浸食・堆積深さ (Case 3)



伊豆大島の降雨変動に伴う地盤挙動と
住民の避難行動に関する一考察

山梨大学 大学院 総合研究部 荒木 功平



UNIVERSITY
OF
YAMAGUCHI

背景と目的

背景

地球温暖化等の気候変動に伴う大雨の頻度増加が指摘されるようになり、経験したことのない災害の発生、各種産業への影響等が懸念されている。

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は、2007年の第4次評価報告書で「地球温暖化には、もはや疑う余地がない」と断定し、世界中に人の活動が原因で起こる地球温暖化の認知を高めたことが評価され、同年の「ノーベル平和賞」を受賞した。

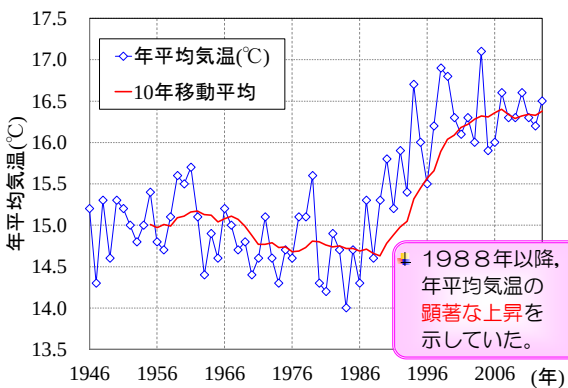
目的

大島特別地域気象観測所（以下、大島観測所）の気温変動と降雨特性の関連性を概観する。

地盤と降雨の関係を明らかにする研究の必要性について一考察を述べる。

大金沢周辺でヒアリング調査を行い、課題を抽出する。

大島観測所（元町）の平均気温の変動



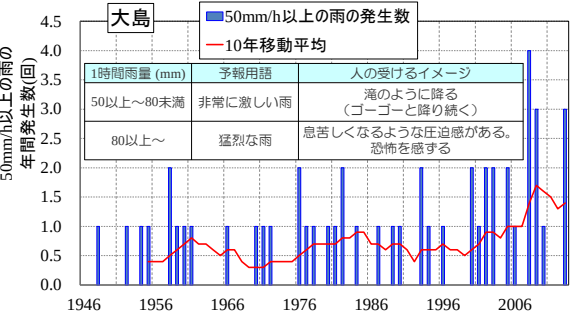
年平均気温(°C)

◆ 年平均気温(°C)

— 10年移動平均

1988年以降、年平均気温の顕著な上昇を示していた。

大雨の頻度（大島観測所）



大島

■ 50mm/h以上の雨の発生数

— 10年移動平均

1時間雨量 (mm)	予報用語	人の受けるイメージ
50以上～80未満	非常に激しい雨	滝のように降る（ゴーゴーと降り続く）
80以上～	猛烈な雨	息苦しくなるような圧迫感がある。恐怖を感じる

2000年頃から、非常に激しい雨・猛烈な雨の頻度は上昇傾向を示していた。

雨の降り方と土への浸透の例

砂の方が早く浸透する？

大雨

粘土

砂

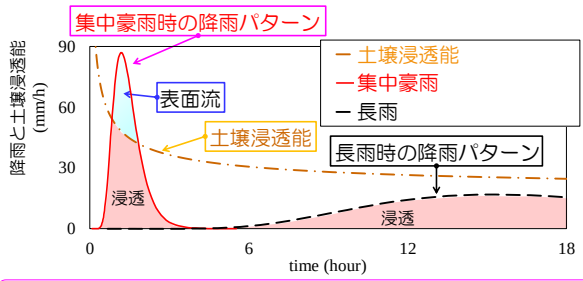
砂：豊浦砂

粘土：DLクレー

(a) 如雨露

(b) 霧吹き

降雨特性と土壌浸透能の関係の模式図



集中豪雨時の降雨パターン

表面流

土壌浸透能

集中豪雨

長雨

長雨時の降雨パターン

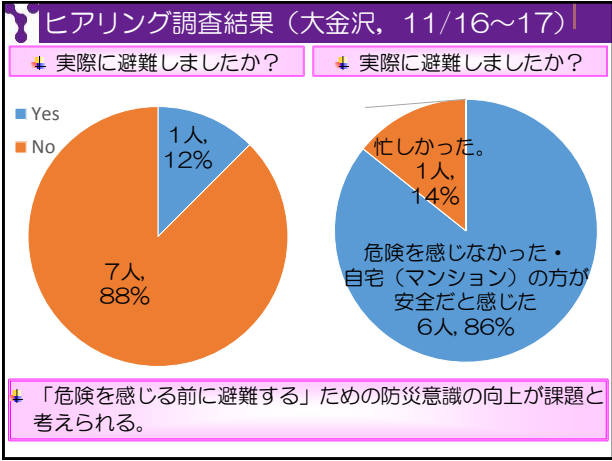
浸透

time (hour)

長雨に比べ集中豪雨が、表面流を発生させやすいことを示している。

土壌浸透能等の地盤物性（土質）を踏まえた調査・研究が必要。→火山砂、レス等の保水性・透水性の研究が必要。

参-36



結論と提言	
内容	- 大島観測所における気候変動について概観した。 - 住民へのヒアリング調査を行った。
結果	2000年以降、非常に激しい雨・猛烈な雨の頻度は上昇傾向にあった。 - 危険を感じる前に避難する確率が低かった。
提言	- 記録的降雨は今後も発生すると想定する必要がある。 - 地盤への雨水の浸透は雨の降り方と土質の影響を強く受けるため、地盤情報を取り入れた計画や対策の立案が必要である。 「危険を感じる前に避難する」ための防災意識向上などが課題と考えられる。

火山地域における土砂災害発生メカニズムと社会的対応に関する研究集会
(2014年12月17日)

土砂災害での宅地の保険と補償

M&K コンサルタンツ株式会社



地盤工学会 正会員 大串 豊



【「土砂災害」に対応できる“保険”とは】

平成26年 全国の土砂災害発生状況



【「土砂災害」に対応できる“保険”とは】



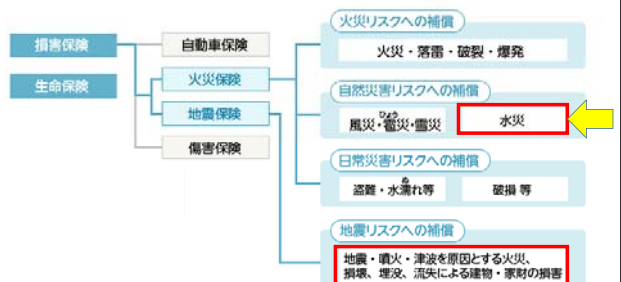
宅地のみに対応する保険なし



保険は「建物あり」で対応できる



【「火災保険」と「地震保険」について】



【火災保険&地震保険 パンフレット例】

ご希望の補償範囲に応じて4つの契約プランをご用意しました。その他の契約プランにつきましては、取扱代理店または損保ジャパン 日本興業にお問い合わせください。

補償内容	火災	地震	水災	落雷・破損	盗難	自己負担額
火災	○	○	○	○	○	0円
地震	○	○	○	○	○	0円
水災	○	○	○	○	○	0円
落雷・破損	○	○	○	○	○	0円
盗難	○	○	○	○	○	0円
自己負担額	0円	0円	0円	0円	0円	0円
契約プラン	ベーシック (A)	ベーシック (B)	ベーシック (C)	ベーシック (D)	ベーシック (E)	ベーシック (F)
ベーシック (A)	○	○	○	○	○	0円
ベーシック (B)	○	○	○	○	○	0円
ベーシック (C)	○	○	○	○	○	0円
ベーシック (D)	○	○	○	○	○	0円
ベーシック (E)	○	○	○	○	○	0円
ベーシック (F)	○	○	○	○	○	0円



【建物の火災保険「水災」の補償内容例】



台風、暴風雨、豪雨等による洪水・融雪洪水・高潮・土砂崩れ等の水災によって、保険の対象が損害を受け、その損害の状況が次の(ア)または(イ)のいずれかに該当する場合

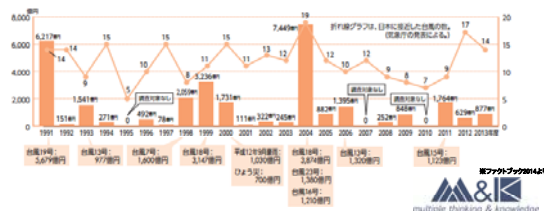
- (ア) 建物に、協定再調達価額の30%以上の損害が生じた場合
- (イ) 建物が床上浸水を被った結果、建物に損害が生じた場合

※床上浸水：居住の用に供する部分の床を超える浸水または地盤面（床面が地盤面より下にある場合はその床面をいう）より45cmを超える浸水をいう。



【風水害における保険金支払関係データ】

発生年月日	災害名	支払保険金(補償対象額) (億円)			
		火災・地震保険	自動車保険	海上・航空保険	合計
1991 9.26~28	台風19号(全国)	5,225	269	185	5,680
2004 9.4~8	台風18号(全国)	3,564	259	51	3,874
1999 9.21~25	台風18号(熊本、山口、福岡等)	2,647	212	88	3,147
2014 2.14	平成26年2月雪害(関東、山梨)	2,318	217	-	2,536
1998 9.22	台風7号(広島中心)	1,514	61	24	1,599
2004 10.20	台風23号(広島等)	1,112	179	89	1,380
2006 9.15~20	台風13号(福岡、佐賀、長崎、宮崎等)	1,161	147	12	1,320
2004 8.30~31	台風16号(全国)	1,038	138	35	1,210
2011 9.15~22	台風15号(静岡、神奈川等)	1,064	100	19	1,123
2000 9.10~12	平成12年9月豪雨(愛知等)	447	545	39	1,030



【広島市土砂災害での保険金支払関係】



2014年8月に広島市で発生した大規模な土砂災害に絡む保険金支払いが約35億円に上る見込み。(2014年9月現在)内訳は自動車保険が12億円、火災保険が21億円とのこと。

【火災保険の「水災」を付帯していたか？】



【火災保険&地震保険 パンフレット例】

火災保険		地震保険		合計
火災	火災・水災・雷・雹・風・雪・雹・地震・噴火・津波・その他	地震	地震	火災・水災・雷・雹・風・雪・雹・地震・噴火・津波・その他
水災	水災	水災	水災	火災・水災・雷・雹・風・雪・雹・地震・噴火・津波・その他
雷・雹	雷・雹	雷・雹	雷・雹	火災・水災・雷・雹・風・雪・雹・地震・噴火・津波・その他
風・雪	風・雪	風・雪	風・雪	火災・水災・雷・雹・風・雪・雹・地震・噴火・津波・その他
雹	雹	雹	雹	火災・水災・雷・雹・風・雪・雹・地震・噴火・津波・その他
地震	地震	地震	地震	火災・水災・雷・雹・風・雪・雹・地震・噴火・津波・その他
噴火	噴火	噴火	噴火	火災・水災・雷・雹・風・雪・雹・地震・噴火・津波・その他
津波	津波	津波	津波	火災・水災・雷・雹・風・雪・雹・地震・噴火・津波・その他
その他	その他	その他	その他	火災・水災・雷・雹・風・雪・雹・地震・噴火・津波・その他

【「火災保険」について一構造級別】

(構造級別(イメージ))

	専用住宅 (住宅物件)	店舗など (一般物件)	具体例(住宅物件の場合)
保険料低い ↑ ↓ 保険料高い	M構造	—	コンクリート造の共同住宅 など
	T構造	1級	コンクリート造の戸建住宅(耐火建築物) など
	T構造	2級	鉄骨造の戸建住宅(準耐火建築物)、省令準耐火建築物に該当するツーバイフォー住宅 など
	H構造	3級	木造の共同住宅、戸建住宅 など



【「火災保険」について一住宅:基本料率】

住宅物件基本料率

都道府県	M構造	T構造	H構造
北海道	0.24	0.53	1.62
東京都	0.24	0.57	1.32
神奈川県	0.24	0.57	1.32
大阪府	0.24	0.62	1.70
福岡県	0.24	0.78	2.22
沖縄県	0.24	0.74	2.84

2倍以上の差

未配布資料

構造級別 H構造 保険期間 1年間

【所在地】沖縄県

70,750円

経過措置対象
(38,790円)

株式会社ニッセイ生命 住まいの保険「全3」にて対象



未配布資料

①住宅総合保険の参考純率を平均で3.5%引き上げます。
②火災保険の参考純率は保険期間が10年までの契約に適用できることとします。

※この値は、預金するすべての契約の改定率を平均した値です。したがって、契約条件（保険金額や増物の構造など）によって改定率（引上げ率・引下げ率）は異なります。

改定の主な背景は次のとおりです。

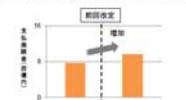
①自然災害や水濡れ損害による保険金の支払が近年、増加していること

自然災害の増加

自然災害の増加
自然災害による保険金の支払が増加しています。

(1) 台風災害による保険金の支払が前回の改定以降（平成16年度以降）、多く発生していることから、この支払の増加を参考純率に織り込む必要があります。

会社風気調査は年々による変動が非常に大きいため前年度に
前後での支払保険金を集約して比較しています。比較
にあたっては、1年あたりの平均支払保険金としてい
ます。



本書の解説は、ホームページより



損害保險

生命保險



東京海上火災保険株式会社ホームページより



地震・噴火・津波

地震保険では、地震、噴火またはこれらによる津波を原因とする損害(火災・損壊・埋没・流失)に対して保険金をお支払いします。

■故意もしくは重大な過失または法令違反による損害
 ■地震などの原因における損失または盗難による損害
 ■戦争、内乱などによる損害
 ■地震などの発生日の翌日から起算して10日経過後に生じた損害

京都府立総合資料館蔵書・シズレットより

[illegible]

※原簿長崎協会パンフレットより



未配布資料

保険料は、お住まいの地域(都道府県)と建物の構造によって決まります。

2014年7月1日以降に保険期間が始まる契約に適用

〈年間保険料例(地震保険ご契約金額100万円あたり)〉

〈年間保険料例(地震保険ご契約金額100万円あたり)〉

建築物の所在地(都府県別)		1階部分	2階部分
東京都、神奈川、山形県、宮城県、秋田県、岩手県、青森県、山梨県、長野県、新潟県、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、岡山県、広島県、山口県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、鹿児島県		660円	1,060円
北海道、青森県、岩手県、秋田県、山梨県、長野県、新潟県、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、岡山県、広島県、山口県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、鹿児島県		650円	1,300円
北海道、青森県、岩手県、秋田県、山梨県、長野県、新潟県、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、岡山県、広島県、山口県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、鹿児島県		840円	1,650円
北海道、青森県、岩手県、秋田県、山梨県、長野県、新潟県、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、岡山県、広島県、山口県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、鹿児島県		1,180円	2,440円
北海道、青森県、岩手県、秋田県、山梨県、長野県、新潟県、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、岡山県、広島県、山口県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、鹿児島県		1,160円	2,490円
北海道、青森県、岩手県、秋田県、山梨県、長野県、新潟県、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、岡山県、広島県、山口県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、鹿児島県		1,360円	2,740円
北海道、青森県、岩手県、秋田県、山梨県、長野県、新潟県、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、岡山県、広島県、山口県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、鹿児島県		2,020円	3,260円

※イ構造:主として鉄骨・コンクリート造の建物

※2010年1月の改定に伴い、償還区分が変更となり保険料が引き上げとなる場合には、経過措置が適用され保険料負担が軽減されます。
適用条件など詳しくは損害保険代理店または損害保険会社までお問い合わせください。

写真提供：日本生命保険協会のウェブサイトより



【土砂災害での宅地の保険と補償:まとめ】

土砂災害リスクを

全て「保険」で賄うことは難しい



その宅地が持っている特性を把握し、
ダメージの大きいリスクを保険に転嫁

宅地の「地盤情報」公開の仕組みを！

【火山地域における土砂災害発生メカニズムと社会的対応に関する研究集会】

～土砂災害について弁護士の視点から～

平成26年12月17日

弁護士 吉岡和弘

第1 火山災害の予防

1 従来の災害対策法制

- (1)被災者の復興は自助努力が原則
- (2)公費の支出は公平かつ公共のためでなければならない
- (3)社会権(憲法25条)はプログラム規定であり、自由権(憲法13条)とは国家からの自由(国は個人の自由を侵害してはならない)をいう。
- (4)法令→別紙参照。
- (5)火山の場合→活動火山対策特別措置法(1973)
 - ① 目的・避難施設、防災営農施設等の整備、降灰除去事業で安全と経営守る。
 - ② 避難施設緊急整備地域(指定、同整備計画(退避壕、学校等の不燃堅牢化)、農林漁業者への長期低利の資金融通、降灰事業費負担(国は3分の2)、治山水事業、水質汚濁防止、健康影響調査、火山現象の研究観測体制の整備(努力義務)、警戒避難体制の整備、火山情報の伝達(国→知事→市町村長→公私の団体に伝達)、財政上の措置への国の配慮

2 近時の災害対策法制

- (1)国家は、憲法上、基本権保護義務・基本権支援義務を負うとする見解
- (2)個人の尊厳、幸福追求権(憲法13条)を災害対策の基本原理に据える
- (3)主として事後的救済法(自助から公助へ)。しかし予防法的視点が薄い。
 - ① 雲仙普賢岳・災害対策基金の創設(1991)
 - ② 日弁連・強制加入の共済制度の提言(1994)
 - ③ 被災者生活再建支援法(1998)10世帯以上の住宅が全半壊等の場合
 - ④ 鳥取県西部地震→片山善博知事が復興補助金支給制度を創設(2001)
 - ⑤ 「大規模盛土造成地滑動崩落防止事業」(2007)
盛土面積が3000㎡以上かつ盛土上の建物が10戸以上等の大規模造成地の崩壊防止に自治体が費用を助成する場合、国は費用4分の1を補助
新潟・柏崎市山本団地の暗渠工1億6000万円(国4000万円補助)
 - ⑥ 「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」(2011)
上記③の要件緩和→盛土上の家屋が5戸以上、市町村道、家屋10戸以上
国の補助2分の1(特別の場合3分の2)

第2 自然災害からの救済

1 設問→火山噴火で被災した者又は遺族は、誰かに損害賠償を求め得るか

契約関係にあれば契約上の安全配慮義務違反、契約関係にない場合、誰かの注意義務違反を根拠に不法行為(国家賠償)請求が一応考えられる。

2 予見可能性(予見義務)

- (1)予見の対象事象が人間には制御できない自然現象する場合、同現象により危険にさらされる者を保護すべき義務を負う立場にある者の過失判断においては、予見可能性が規範化して理解され、「予見義務」ともいうべき義務が認められる(潮見佳男『不法行為法I(第2版)』(信山社)296頁)。予見義務が問われる場合、予見義務(具体的には情報収集のほかに事前の配慮、思慮の義務)を尽くせば予見できた結果については、行為者に結果発生(具体的危険)に関する予見可能性があったものとして評価され、過失があったと取り扱われる(同297頁)。
- (2)情報収集義務・調査義務
結果発生(具体的危険)が存在している段階で、具体的危険についての情報収集義務・調査義務や事前の配慮、思慮の義務が認められ、これら情報収集義務に違反すること＝具体的予見可能性がある。
- (3)判例→別紙参照

3 自然力の関与と因果関係(自然力により因果関係は切断されない)

- (1)「人間の営み・存在は、周囲の環境とまったく切り離して捉えられることができないものである以上、自然力が権利・法益侵害に寄与したからといって当然にそれが因果関係(条件関係)を切断して損害賠償の成否に影響を及ぼすことにならない」(潮見佳男・「不法行為I(第2版)」(甲51)370頁)、「加害者に故意・過失があり、かつ、責任設定の因果関係も認められるにもかかわらず、自然力を理由とする減責を認めたのでは、事前力による損害リスクを加害者ではなく、被害者に課すことになり、適切でない」(同371頁)。
- (2)「自然力の競合そのものは責任の成否に影響を及ぼさない場合の方が多いのである」(窪田充元・「過失相殺の法理」(甲52)89頁)、「不可抗力は、なんらかの特別な理由による特殊な免責事由というわけではなく、問題となるのはあくまで瑕疵の存否の判断であるということになる」(同90頁)としている。
- (3)神戸地判平成10年6月11日(欠陥住宅判例第1集318頁)は、阪神大震災で9階建て鉄骨建物が溶接不良があり同建物が全壊した事案で、施工業者は大地震による不可抗力の天災と主張したが、裁判所は「大半の建物が地震による滅失したわけではないから未だ不可抗力とは言えない」と判示。

第3 今後の課題

1 危険情報に関する意識を転換しなければならない

(1) 土地所有者

- ① 資産価値の下落、観光上の支障等、不利な危険情報は公開するな。
→私的所有権絶対の思想が行政を消極にさせてきた。
・民家を避けたハザードマップの作成
・警戒区域指定への躊躇
- ② 豊かな自然と危険との調和をはかる視点への転換
人の生命・身体の安全が最優先 人間を守り、人間の復興をめざす法律へ

(2) 消費者→危険情報を知り又は知らされる権利の確立を

- ① 危険情報に消費者がアクセスする仕組みの確立を
・火山噴火→被害累積型災害の特徴。土石流→深層崩壊、表層崩壊あり。
・土砂災害想定範囲、発生時期、レス、バイピングホール等を事前告知できないか。
・土砂災害警戒情報、土砂災害発生危険基準線(CLライン)、スネークラインを
消費者がITでアクセスする方法などどうか。
- ② 具体的方策例
・日弁連2012年3月15日付け「宅地被害者の救済及び予防のための法改正等を
求める」意見書
→宅建業法35条の重要事項説明の一文とて地盤の性状に関する情報が記載
された書面や図面等を交付せよと提言。
地盤工学会は、「地盤品質判定土」制度を提案。専門家の関与
・滋賀県・流域治水推進条例(2014)29条「宅建業者に想定浸水深及び浸水想定
区域に関する情報を提供するよう努めよ」と規定(努力義務)
・学習登山、地元説明会、老人クラブ等での説明
・プロアクティブの原則への理解を深める。

(3) 行政・研究者

- ① 十分なデータの取得体制の確立
・悩み→少ないデータで噴火予知は困難、一旦噴火警戒レベルを上げると下げる
ことが難しい、予算削減による測候所の廃止、無人化
・火山近隣住民(退職関係者等)に測定管理を依頼し中央で全体把握どうか。
- ② プロアクティブ(先を見越した)の3つの原則(疑わしいときは行動せよ。
最悪事態を想定し行動せよ。③空振りには許されるが見逃しは許されない)
・当然のこととして実施することはとても難しい。しかし災害国日本では必須
- ③ 保有する危険情報を積極的に公開
・誰もが危険情報にアクセスし得る仕組み、及び、プロアクティブの原則を
消費者に理解させれば、土地所有者・消費者は、危険情報の告知に対
し抗議できない。そうした仕組みを確立する。
- ④ 避難施設(避難小屋、避難家、シェルター、避難倉等の設置)の充実
シェルター作りの限界あり。環境破壊になるとの声との調和をはかる。
- ⑤ 防災教育の必要性 学習指導要領等

2 自然災害に関する法理論の抜本的転換の必要性

- (1) 地震、津波、豪雨等々、事故が発生する都度、防災関連法が立法されてきた。
しかし、主として事後的救済に比重が置かれる法文が多く、事前の警戒区域
指定やハザードマップには土地所有者の抵抗があって消極となりがちだった。
被害予防の視点からの積極的立論を法文化する必要があるのではないかと。
- (2) 津波防災地域づくり法(2011)は参考にならないか(同条文中の「津波」の
文言を「火山」ないし「自然災害」に置き換えてみる)。
① 同法の目的は、津波による災害防止・軽減(1条)
② 基本方針(3条)に基づき基礎調査(6条)を行い、津波浸水想定を設置(8条)
する。
③ 国は基礎調査に要する費用の一部を補助する(9条)。
④ 市町村は津波防災地域づくりを総合的に推進する計画を定める(10条)。
⑤ 津波防災住宅等建設区の創設(12～14条。区画整理の換地、照応の原則
の例外)、集団移転促進の事業に関する特例(16条。市町村ではなく都道府
県が主体)、課税の特例、津波防護施設(18～23条)
⑥ 損失補償(28条)、受益者負担金(45条)、津波警戒区域(53～71条)、
特別警戒区域(72～92条)の設定

【判決紹介】

1 落雷と引率者

最判平成18年3月13日(判時1929号41頁)は、私立高校の
クラブ活動としてのサッカー試合中に落雷により負傷した事故に
つき、「本件落雷事故当時、雷鳴が聞こえ、雲の間で放電が起
きるのが目撃されていたという状況にあったというのであるから、
引率教諭としては、右知見を基に、落雷事故発生の危険が迫っ
ていることを具体的に予見することが可能であったというべきであり、
また、予見し得なかったとすれば、予見すべき注意義務を怠っ
たものというべきである」と判示する。

2 津波と幼稚園

仙台地判平成25年9月17日(判時2204号57頁)は、私立
日和幼稚園の送迎バスが津波被災をして園児5名と添乗員
が死亡した事案につき、「幼稚園には園児の安全に係る自然
災害等の情報を収集し、自然災害発生の危険性を具体的に
予見し、その予見に基づいて被害の発生を未然に防止し、危
険を回避する最善の措置を執り、在園中又は送迎中の園児
を保護すべき注意義務を負う」とした上で、「約3分間にわたり
最大震度6弱を園長ら職員は体感した……のだからバスを海
沿いの低地帯に向けて発車させたら途中で津波により被災す
る危険性があることを考慮し、ラジオで情報を積極的に収集し、
防災行政無線にも耳を傾け、……ラジオで津波の高さが6m
と報道されていたのだから津波被害を回避するために高台に
位置する幼稚園にとどまる契機となる程度の津波の危険性を
予見することが出来た」などと判示する。

3 雪崩と引率者

最判平成2年3月23日(判時1345号73頁)は、公立高校の春山登山(木曾駒ヶ岳)で雪崩に遭い、生徒6人及びOBが死亡した山岳遭難の事案における引率教員の過失につき「学校行事も教育活動の一環として行われるものである以上、教師が、その行事により生じるおそれのある危険から生徒を保護すべき義務を負っており、事故の発生を未然に防止すべき一般的な注意義務を負うものであることは言うまでもない」とし、引率教師に「同合宿に参加した学生をその実施により生じるおそれのある危険から保護すべき注意義務があったとした原審の判断は正当」と判示している。

4 地震による地すべりと宅地造成者

仙台高裁平成12年10月25日判決(判時1764号82頁)は、地裁で「当時の造成に関する一般的技術水準を満たす施工をしていた」とした1審判決を覆し、「震度5の程度の地震動に対し、地盤上の建築物に軽視できない影響を及ぼすような地盤の亀裂、沈下などが生じない程度の耐震性を備えることが要求されている」との判断基準を示し、宅地造成をした仙台市に建物の補修費相当額の支払いを命じた判決

5 地盤沈下と造成地販売業者

仙台高裁平成22年10月29日判決は、「宅地上に建築される住宅等の建物は、その建物の利用者等の生命、身体又は財産を危険にさらすことがないよう建物としての基本的な安全性を備えていなければならないところ、その敷地の地盤の性状がその上に建築される建物の基本的な安全性に大きな影響を与えることは明らかであるから、宅地の地盤は建物の建築に適した強度や安定性を有していなければならない。このような強度や安定性は、宅地としての基本的な安全性といふべきである。そうすると、宅地の造成販売を行う者は、宅地の造成販売に当たり、直接の契約関係にない建物建築主等に対する関係でも、当該宅地に宅地としての基本的な安全性が欠けることがないように配慮するなど第三者が不測の損害を被ることがないように注意すべき義務を負うと解するのが相当である。そして、宅地の造成販売者がこの義務を怠ったために造成された宅地に宅地としての基本的な安全性を損なう瑕疵があり、それによりその土地上に建物を建築した者等の生命、身体又は財産が侵害された場合には…(中略)…これによって生じた損害について不法行為による賠償責任を負うといふべきである」と判示する。

6 地震による液状化と宅造地販売会社

東京地裁平成26年10月8日判決「87年千葉県東方沖地震(M6.7・最大深度5)では浦安市内で多くの液状化被害が出たにもかかわらず本件分譲地には液状化による被害はなかった。これはベタ基礎を採用したことによる液状化対策の効果である可能性が高い。一方、東日本大震災のような継続時間が極めて長い地震動が液状化のしやすさに大きな影響を与えていることについての研究はこの地震以降に進んだのであり、本件建物の建設当時には今回のような液状化被害は想定できなかった。…よって本件分譲地の販売時に、今後発生する相当程度規模の地震に因り本件分譲地に液状化による被害が発生することについて予見可能性があったとは認めることはできない」と判示。

【防災関連法】

- 1 阪神大震災で緊急に作られた法律は約16本、東日本大震災では約45本
- 2 防災に関する主たる法律は以下のとおり
 - 建築基準法(1945)、震災都市借地臨時借家法処理法(1946)
 - 水防法(1949)、砂防法(1955)、森林法(1951)
 - 海岸法(1956)、地すべり防止法(1958)
 - 台風常襲地帯における災害の防除に関する特別措置法(1958)
 - 災害対策基本法(1961)、宅地造成等規制法(1962)、河川法(1964、)
 - 都市計画法(1968)、急傾斜地の崩壊・災害防止法(1969)
 - 活動火山対策特別措置法(1973)
 - 被災者生活再建支援法(1995→2007改正)
 - 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(1999)
 - 水防法の改正、特定都市河川浸水被害対策法(2003)
 - 大規模地震対策特別措置法(1978)
 - 東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法(2002)
 - 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法(2004)
 - 地震防災対策特別措置法(1995)
 - 被災者生活再建支援法(1995→2007改正)
 - 津波防災地域づくり法(2011)

【朝日新聞・御嶽山関連報道】

気象庁・2007年12月1日～活火山において「噴火警報」、「噴火警戒レベル」の発表開始。火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会は、全国110の活火山のうち、監視・観測の充実が求められる47火山を選定し、観測施設の整備を行う。

→ 国の火山開通予算は年間数十億円。科学技術・学術審議会が建議する観測研究計画に基づき大学が実施する噴火予知研究予算は年1億円)、大学法人化で大学の観測所が無人化され、研究者の減少

御嶽山・気象庁は、平成26年9月11日から27日までの間、噴火警戒レベルは平常の1とし、火山性地震の日回数が50回を超えたのは2007年以降とする「解説情報」をHPに掲載していた。同情報は気象庁から地元市町村に電話やメールで伝えている。高山市の問い合わせに対し、気象庁は「地震の回数は増加しているが(噴火につながる可能性のある)火山性微動はないので大丈夫と思う」と言われ、対策をとらず。

木曽町は「山小屋には伝えたが登山者に伝えるという発想はなし。浅間山を抱える長野県小諸市は2010年から「事前登録者に気象庁の火山情報をメールで転送する」サービスを始めた。

阿蘇市は、「加工付近のガスドや風向きを常時観測し、基準値を上回ると加工付近の赤色灯を回転させ、監視員も拡声器で下山を呼びかける」体制をとっている。

御嶽山→木造小屋あるが、コンクリート製の避難家やシェルターはない。

桜島→避難家が幹線道路沿いに32基、緊急避難用の避難家が21基ある。

小諸市→最大300人収容できる鉄板製の避難家や地下の避難施設がある。

少ないデータで噴火予知は困難。一旦、噴火警戒レベルを上げると下げることが難しくなる。2008年、御嶽山を観測強化対象から外した。2009年東京・大島の測候所が廃止されるなど、気象庁の測候所が96箇所廃止・無人化されている。

一方、情報提供するだけでは公かいは期待できない、シェルターもどこまで作れば安全か。かえって環境破壊になる。

委員会活動報告（進捗状況）

②脆弱性評価WG

(1) 自然災害に対する国土安全性指標の整理

自然災害に対する安全性指標（GNS）の評価方法を確立することを目的として、国連レポート等の既往Indexの整理を進めている。また、GNSの指標算出方法や世界の様々の国のGNSと日本の位置づけに関しても検討を開始した。

(2) 法令の整理

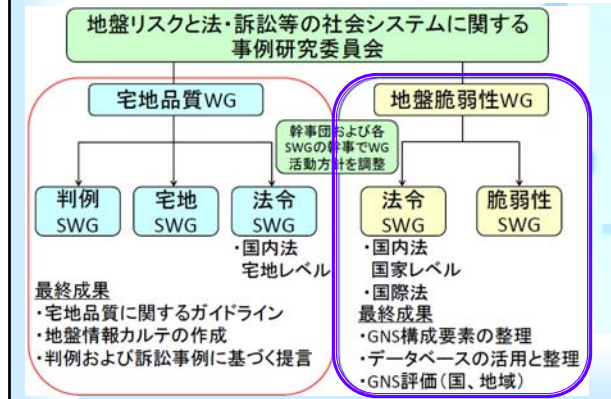
GNSの評価においては、関連する法令も数多くある。そこで、関連する法令を収集・整理するとともにGNS評価への反映を検討している。ここで、脆弱性WGでは、国際法に着眼して整理を進める。

成果① 自然災害に関する国土の安全性指標

GNS(Gross National Safety for Natural Disasters)

- ・世界版
- ・都道府県版

委員会活動状況



日本国土の脆弱地盤の特質とその統一的評価手法の必要性 GNS策定状況

脆弱国土“日本”

中央公論 1998年6月号
「脆弱国土を誰が守る」



「日本の自然条件は特殊だという久しく忘れていた認識が、兵庫県南部地震によって改めて思い起こされた。その特殊性を諸外国との比較の中できちんと認識することこそ国土の有効利用と適正管理を実現していくために必要とされている」

**災害脆弱性の観点から
日本の自然条件は極めて特殊であると指摘**



大石久和
建設省大臣官房技術審議官(当時)
元 国土交通省技監



川島一彦
東京工業大学教授(当時)

脆弱国土“日本”

日本と欧米の地質の違い

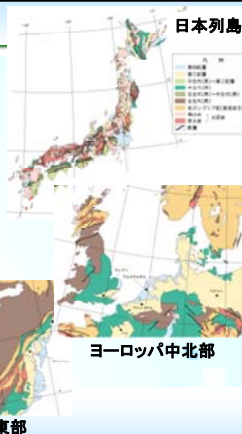
日本と欧米の地質図(同縮尺)

✓ 日本の地質

→花崗岩(赤色系統)、火山岩類、新期の堆積岩類がモザイク模様のように複雑に分布

✓ 欧米の地質

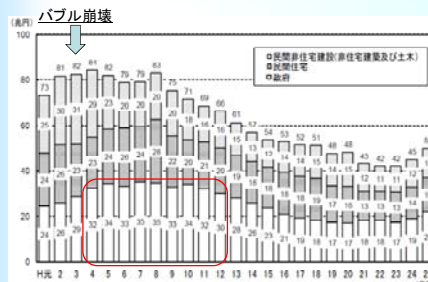
→古期の片麻岩類や古生代以降の堆積岩類を主体とし、地層構造が単調であり安定した大陸地殻を形成



出典先: 全地通「豊かで安全な国土のマネジメントのために」p.15, 1998

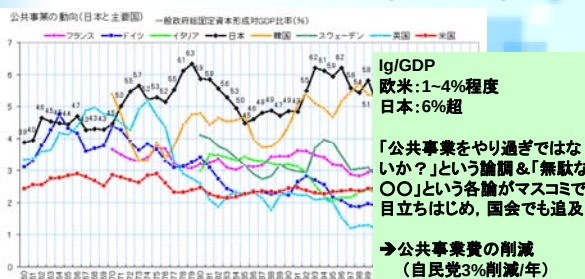
公共事業への評価

建設投資額の年度別推移



バブル崩壊後の財政出動→30兆円超の公共投資
対GDPに対する公的固定資本形成(Ig)の比率(Ig/GDP)

対GDPに対する公的固定資本形成(I_g)の比率(I_g/GDP)



(注) 数字は日本の値。1991年までのドイツは西ドイツの値
 (資料) OECD, "National Accounts of OECD Countries" 1999(CD-ROM), OECDStat(data extracted on 27 Dec 2012)
 内閣府「平成21年度国民経済計算速報」(日本1980～1993年)/平成23年度国民経済計算速報「日本1994年以降」
 国研院「平成21年度国民経済計算速報」(日本1980～1993年) http://www2.tir.nyu.edu/nikkeiaes/ 2013.06.

民主党政権「コンクリートから人へ」



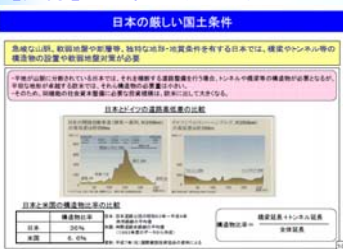
公共事業費 3割削減
費用対便益(B/C)を根拠とする事業凍結 等々

脆弱地盤に対応した統一指標の必要性

自然災害に対する防災・減災投資の配分方法

- ・一般政府固定資本形成対GDP比(Ig/GDP)
- ・費用対便益(B/C)

【実際】→単純比較では説明できない



国交省等は国土条件の比較からlg/GDPが欧米より高いことを説明

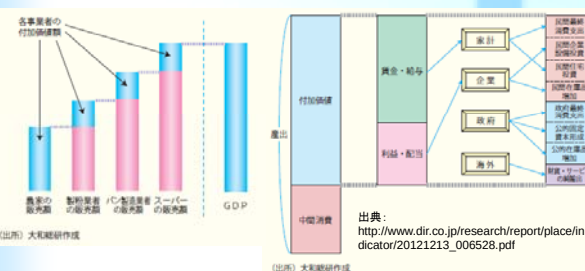
社会意思の決定の
には(世界的な)統
標が必要

<http://www.mlit.go.jp/singikai/koutusin/koutu/planning/4/images/shiryou7.pdf>

地盤リスクに対応した 統一的評価方法の必要性

地盤リスクに対応した統一的評価方法の必要性

世界の統一的指標: GDP (Gross Domestic Product)
国内総生産: 国内で生産された財貨やサービスの合計



国全体の経済的生産及び物質主義的な側面での「豊かさ」のみに注目して国民生活を(金額で)数値化

地盤リスクに対応した統一的評価方法の必要性

世界の統一的指標:GNH(Gross National Happiness)
国民総幸福量:伝統的な社会・文化や民意,環境にも配慮した「国民の幸福」の実現を目指す考え方



<http://www.mofa.go.jp/mofaj/press/pr/wakaru/topics/vol79/>

1970年代にブータン王国のジグミ・シンゲ国王が「国民総幸福量(GNH)は国民総生産(GNP)よりも重要である」と提唱

その他、人間開発指数、平和度指数・・・色々とある

地盤リスクに対応した統一の評価方法の必要性

自然災害に関する国土の安全性指標: GNS
Gross National Safety for Natural Disasters

- ✓ 経済指標 (GDP) のみの国際比較からの脱皮
- ✓ 防災・減災投資規模の意思決定への科学的判断基準の提供
- ✓ 国の目標設定と着実・継続的な安全性向上への投資と行動計画の数値化

↓
どのように数値化するか？ 構成要素は？

↓
様々な指標について調査を実施

地盤リスクに対応した統一の評価方法の必要性

World Risk Index (国連大学が主導)
自然災害の減災は、国連の掲げる Millennium Development Goals (ミレニアム開発目標) と密接に関連

- ✓ Hyogo Framework for Action
減災研究・政策には自然科学・工学的対応のみではなく、社会経済的側面を含めた総合的なアプローチが必要

- ✓ 主要な活動の一つとして
Disaster risk (災害リスク) と Vulnerability (脆弱性) の指標化

↓
World Risk Index という指標

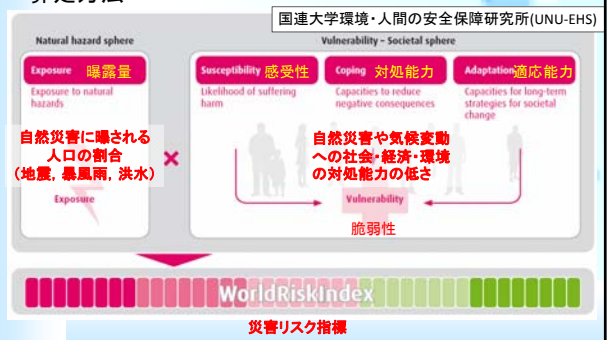
地盤リスクに対応した統一の評価方法の必要性

World Risk Index (国連大学が主導)
Alliance Development Works が発刊している「World Risk Report」にて世界ランキングを表示し、世界各国が直面するリスクを解説している



地盤リスクに対応した統一の評価方法の必要性

World Risk Index
算定方法



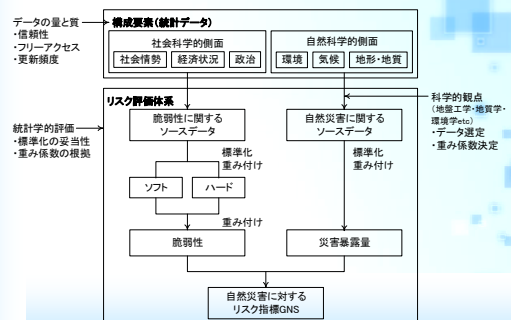
地盤リスクに対応した統一の評価方法の必要性

自然災害に関する国土の安全性指標 (GNS) の算定方法
→ WRI を参考に算出 (当初)



地盤リスクに対応した統一の評価方法の必要性

自然災害に関する国土の安全性指標 (GNS) の算定方法
→ 脆弱性を改良……ハードとソフトに分類 (現状版)



地盤リスクに対応した統一的评价方法の必要性

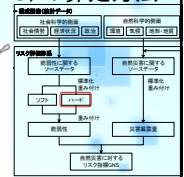
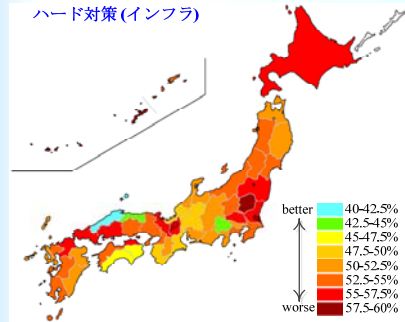
自然災害に関する国土の安全性指標(GNS)の算定方法
脆弱性指標→ハードとソフトの項目

ハード	ソフト
耐震化率(戸建+公共)	自治体備蓄(食料+飲料水+毛布)
木造率(非防火木造)	食料品店舗(コンビニ+スーパー)
腐朽・破損率	医師数
管路耐震化率	病床数
40年超過管率	経済力指数
一人当たり道路密度	ジニ係数
橋梁修繕率	高齢者人口指数
防災行政無線(同報系+移動系)	被保護実人員割合
Jアラート受信機整備率(通常+自動起動可能)	地震保険加入率
一人当たり携帯基地局数	土砂災害指危険区域定率
	ハザードマップ公開率(洪水+土砂災害)
	自主防災組織カバー率

地盤リスクに対応した統一的评价方法の必要性

自然災害に関する国土の安全性指標(GNS)の算定方法
ハードの脆弱性

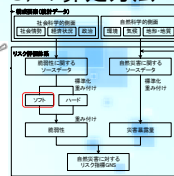
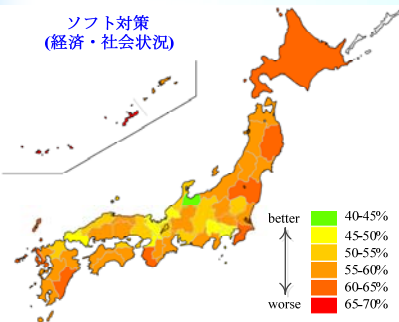
ハード対策(インフラ)



地盤リスクに対応した統一的评价方法の必要性

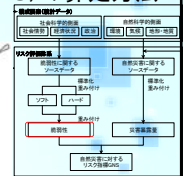
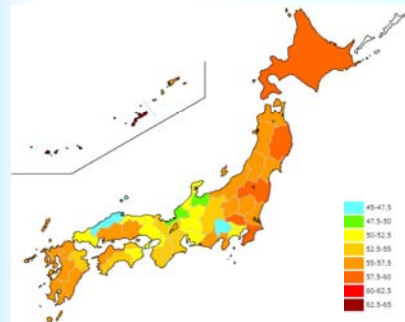
自然災害に関する国土の安全性指標(GNS)の算定方法
ソフトの脆弱性

ソフト対策
(経済・社会状況)



地盤リスクに対応した統一的评价方法の必要性

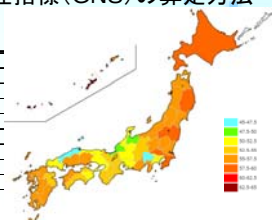
自然災害に関する国土の安全性指標(GNS)の算定方法
脆弱性(ハード+ソフト) × 0.5



地盤リスクに対応した統一的评价方法の必要性

自然災害に関する国土の安全性指標(GNS)の算定方法
脆弱性(ハード+ソフト) × 0.5

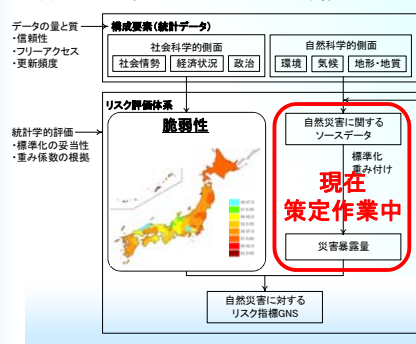
順位	脆弱性[%]	ハード[%]	ソフト[%]
1	63.6	58.6	68.6
2	59.6	56.3	62.9
3	59.0	55.2	62.8
4	58.2	51.5	65.0
5	58.0	56.3	59.7
6	57.8	53.8	61.8
7	57.2	51.4	63.1
8	56.5	54.4	58.7
9	56.5	56.5	56.6
10	56.4	54.5	58.2
...	...	...	...
38	52.2	55.8	48.7
39	52.2	45.8	58.5
40	51.2	52.8	49.7
41	50.9	54.1	47.7
42	50.5	52.1	49.0
43	50.1	44.3	55.9
44	47.9	51.9	44.0
45	47.6	48.5	46.7
46	46.2	42.5	50.0
47	46.1	43.0	49.2



脆弱性が
高い: 沖縄, 北海道...
低い: 山梨, 島根...

地盤リスクに対応した統一的评价方法の必要性

自然災害に関する国土の安全性指標(GNS)の算定方法
→脆弱性は試算完了...災害暴露についての算定作業



【謝辞】

自然災害に関する国土の安全性指標(GNS)の算定は、科学研究費補助金(挑戦的萌芽研究)「自然災害安全性指標(GNS)の開発」(課題番号25560184, 代表研究者: 日下部治)の補助を受けて実施している。

都道府県版GNSの策定は、横浜国立大学理工学部 菊本統先生、学部4年生下野勘智氏のPPT資料を使用しました。末筆ながら謝意を表します。

脆弱地盤に関する宅地の品質

公益社団法人 地盤工学会 関東支部
地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する研究委員会
幹事長
(株)大林組技術研究所 渡邊康司

活動体制

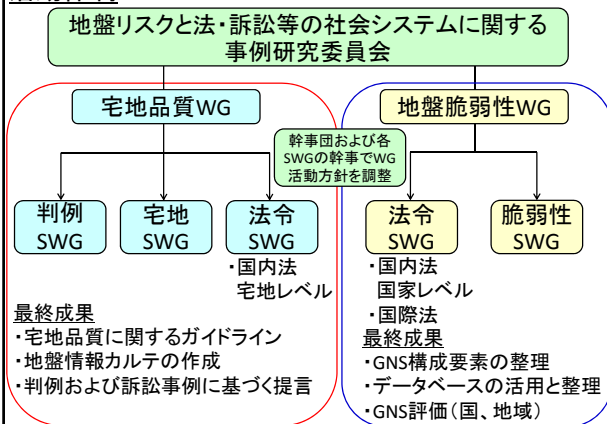
2013年7月
「地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する研究委員会」活動開始

委員長: 稲垣秀輝
副委員長: 伊藤和也
幹事長: 渡邊康司
→委員総数39名で活動中

【活動】

- ・宅地品質WG
- ・地盤脆弱性WG

活動体制



宅地品質WGの活動内容

○宅地SWG

- ・自治体の**条例および技術指針**の収集・整理
- 宅地安全性確保に関して、各自治体の**条例や技術指針類**の整備状況を把握することを目的として、情報提供依頼書を送付し関連資料の収集を行なっている。
- 47都道府県に依頼書を送付
- 収集した条例および技術指針類を整理・分析
- 地形や地盤条件が特徴的な市町村などへ情報提供依頼書を送付

宅地品質WGの活動内容

○宅地SWG

情報提供依頼

“宅地地盤安全性確保及び評価に関する調査へのご協力をお願い”

【調査対象】

宅地造成、地盤、がけ、擁壁、液状化等の安全確保に関して規定する条例、規則、運用基準等

The image shows a sample of the information request form sent to municipalities. It includes the title '宅地地盤安全性確保及び評価に関する調査へのご協力をお願い (調査)' (Request for Cooperation in Survey on Ensuring and Evaluating Residential Geotechnical Safety). The form is dated '平成24年4月' (April 2012) and is from the '公益社団法人地盤工学会 関東支部' (Geotechnical Engineering Society of Japan, Kanto Branch). It contains a detailed explanation of the survey's purpose, which is to collect and analyze local regulations and technical guidelines related to residential geotechnical safety. It also lists the survey targets, including land development, ground conditions, slopes, retaining walls, and liquefaction. The form concludes with contact information for the research committee and a request for cooperation.

横浜市における技術標準①

平成4年4月発行

横浜市斜面建築物技術指針

【指針の意義】

- 建築基準法、条例等の規定
 - 具体的な安全性確認が判断できない
- 個々の建築物の安全性
 - 各設計者の判断
- 本指針:敷地・建築物に関する安全性確保のための技術的事項を体系化

横浜市斜面建築物技術指針

【構成】

- 第1章 総則
- 第2章 斜面地建築物の評価
- 第3章 地盤調査
- 第4章 斜面地建築物の構造計画
- 第5章 検討方法
- 第6章 排水計画及び維持管理
- 第7章 斜面地利用建築物の安定に関する対策工法

7

横浜市斜面建築物技術指針

【適用範囲】

- ・斜面地に建つ建築物
- ・斜面地に近接する建築物
- ・上記の建築物の敷地

当該敷地以外を含めた調査・検討が必要な場合
例) 斜面の安全性を検討

- ・斜面が隣地の内外に渡る場合
- ・敷地外の斜面が当該建築物に影響する場合
- ・当該建築工事により斜面の安全性に影響

8

横浜市における技術標準②

平成17年11月発行

横浜市がけ関係小規模建築物技術指針 - がけ上編 -

【指針の意義】

- がけ上の戸建住宅の基礎を立ち下げる方法
 - ・直接基礎
 - ・細径鋼管杭を中心とする杭基礎
 - ・地盤改良工法
- 上記の工法を用いて基礎を構築する場合の技術的基準

9

横浜市がけ関係小規模建築物技術指針-がけ上編-

第1章 適用範囲・目的

第2章 地盤調査等

第3章 がけの危険性対策

第4章 立ち下げ基礎の基本的考え方

第5章 直接基礎による立ち下げ

第6章 杭基礎による立ち下げ

第7章 地盤改良〔浅層混合処理工法〕による立ち下げ

第8章 地盤改良〔深層混合処理工法〕による立ち下げ

第9章 敷地内の排水処理

資料編

- 1 「擁壁・がけ調査票」及び「既存擁壁外観チェックシート」
- 2 「建築基準法第12条第5項に基づく工事計画書（一杭基礎による立ち下げ）」
- 3 「木造住宅標準重量表」及び「木造住宅標準重量表荷重算出根拠」
- 4 「がけ面平行タイプ立ち下げ基礎標準図」
- 5 「がけ面平行タイプ立ち下げ基礎標準図」及び「木造住宅標準重量表」を使用する場合の考え方
- 6 「回転圧入細径鋼管杭 杭間隔表」
- 7 「基礎立ち下げ関係工事監理・工事施工状況（添付）報告書」

10

横浜市がけ関係小規模建築物技術指針-がけ上編-

計画から施工完了までの 検討フロー



11

宅地品質WGの活動内容

○宅地SWG

・地盤情報カルテ

宅地地盤の品質を確保する際に必要となる**地盤情報カルテ**に関して検討を進めている。地盤情報カルテに記載すべき項目を検討し、地盤情報カルテの整理を進める。

宅地品質WGの活動内容

○宅地SWG

・地盤情報カルテ

宅地の現在と過去の状況

→宅地の**安全性**

地盤調査結果を記載

→宅地の**品質**

・**宅地売買時**や地盤に関する
保険・保証制度に加入の際の
資料として活用

地盤情報カルテの一例

The image shows a sample of a 'Land Information Card' (地盤情報カルテ). It is a form with multiple sections for recording data about a plot of land. Key sections include:

- 地盤調査結果概要** (Summary of Land Survey Results): Fields for survey date, method, and results.
- 地盤調査結果の詳細** (Detailed Land Survey Results): A table for recording specific survey data.
- 地盤調査結果のまとめ** (Summary of Land Survey Results): A section for overall findings and conclusions.
- 地盤調査結果の活用** (Use of Land Survey Results): A section for recording how the survey results are being used.

宅地品質WGの活動内容

○判例・法令SWG

・判例データベース

現在、**宅地に関する判例**を50例程度収集した。今後、収集した判例を分析し、**データベース化**を図る。判例を分析し、**宅地品質確保に関するガイドライン**に記載すべき項目の洗い出しを行なう。

・宅地品質に関連する法令の整理

宅地品質WGの活動内容

○判例・法令SWG

The image shows two examples of 'Land Information Cards' (地盤情報カルテ). The left card is a detailed form with many fields and checkboxes, likely for a comprehensive survey. The right card is a simpler form with fewer fields, possibly for a more basic or preliminary survey. Both cards are designed to capture detailed information about the land's condition and survey results.

宅地品質WGの成果目標

成果①

宅地地盤の品質確保に関するガイドラインの整備

成果②

地盤情報カルテの整備

火山地域における土砂災害発生メカニズムと
社会的対応に関する研究集会

総合討論

総合討論のすすめ方

1. 火山地域の土砂災害を発生させる要因
2. 土砂移動現象の発生危険性と危険範囲を設定するための課題(メカニズムからのアプローチ)
3. 土砂災害による被害を軽減するための課題
4. とりまとめ

火山地域の土砂災害を発生させる要因

- ・火山地域に特徴的な地質と地形
- ・表層土の土質
- ・斜面の水文特性

土砂移動現象の発生危険性と危険範囲を設定するための課題(メカニズムからのアプローチ)

- ・動的な斜面崩壊や土石流発生の危険度判定
- ・土石流・泥流の流動特性から危険範囲を絞り込めるか？

土砂災害による被害を軽減するための課題

- ・ハード対策の有効性と限界
- ・土砂災害情報で避難は充分か？
- ・自然災害における補償と法的救済
- ・宅地地盤リスクを土地利用にどのように活かすか？

土砂災害を防止・軽減するために

- ・わが国における火山地域の生活基盤・防災上の位置づけ
- ・火山地域の土砂災害特性
- ・被害を大きくする原因は？
- ・土砂災害対策の評価と展望
 - ハード対策
 - ソフト対策の必要性

日本列島には絶対安全な居住地域はないことを認識
火山のみならず多様な地質・地形条件の特性を踏まえ、
外力条件の相違によるリスク評価によって厳しい自然
と共生し大災害を軽減・回避できるような方策を探るこ
ことが重要

総合討論

1. 火山地域の土砂災害を発生させる要因

火山地域に特徴的な地質と地形

表層土の工学的特性

斜面の水文特性

2. 土砂移動現象の発生危険性と危険範囲を設定するための課題（メカニズムからのアプローチ）

動的な斜面崩壊や土石流発生の危険度判定

土石流・泥流の流動特性からの危険範囲の絞り込み

3. 土砂災害による被害を軽減するための社会的対応と課題

ハード対策の有効性と限界

土砂災害警戒情報と避難行動

土砂災害における補償と法的救済

地盤リスクの土地利用への活用

総合討論概要（敬称略）

安養寺：工学的に複雑な現象をまとめるのは難しいが、今後の研究や調査に対する方向性を出したい。まずは、前半8課題について、土砂災害の要因を絞りこみたい。現象、対策、危険性定量化などについて課題を出していきたい。土砂災害対策では絶対的な安全はないし、安全と危険の単純な線引きもない。いかなる土砂災害にも対処可能な方法はないので、適用可能な方法を探ることが必要と考える。土砂災害の特徴、評価、アプローチ、保険、法律、住んでいるところの安全性評価、水文、火山地域の地質と地形、表層土の特徴などについて意見が欲しい。

鈴木：透水性に関してはレスと表層土中の透水係数の変化は無かった。別機関の調査でも同様の結果が得られている。これから詳しく調査する必要がある。伊豆大島は自然公園法の保護地域なので、調査も難しい面がある。

透水性の評価は重要であり、さらに地盤の強度についても調査が必要である。

安養寺：地中音探査は興味深い方法だが、深さもわかるか？

鈴木：深さまではわからない。流れているか、流れてないかがわかる。

安養寺：地表面からの深さがわかり、3次的にわかるようになると有効であろう。

江頭：実際に流れているか、流れてないかの証拠がいる。大事な調査方法で非常に可能性を持った調査法だとも思う。

稲垣：地中音探査について、深さはでないの、表面波探査と組み合わせて計測したことがある。水みちで音圧が高くなる。S波速度が高くなり、水みちが一致する。

江頭：現在の水みちが一致するのか？

稲垣：現在の水みちです。

伊藤：崩壊メカニズムの一要因であるパイピングホールの影響が、設計、解析にフィードバックされていない。学会として検討しなければならない。地下水音の検討などについて、精度いいものができるとうい。

安養寺：この分野は進歩しているが、広範囲で調査が実施できることが望まれる。

安養寺：清水先生や稲垣さんの発表であったような谷地形が発達していない場合に、伊豆大島で発生したような幅広い崩壊は火山地域に限らず起こるのだろうか？

稲垣：水系が発達しないのは、地表土の透水性が高いところ。斜面と平行に層状に土砂が堆積するのは他の地質では難しい。こういう地域は火山特有で、この問題を真剣に研究する必要がある。沢地形ができないと溪流として扱われないので、現行土砂法の土石流危険溪流の対象とならない。勾配 30 度以下の斜面でも崩壊することに着目すべきであろう。

安養寺：いずれにしても経験しながら理解進んでいる。全国的な対応を考えていきたい。

江頭：伊豆大島は全国でも一番強い雨にあっている。熊本の災害はその半分の雨で起こっている。この相違を検討する必要がある。火山地帯の表層土は強いところも弱いところもある。その違いを議論する必要がある。

安養寺：伊豆大島では元町上流だけでなく、溪流源頭部も沢抜け状に崩壊している。崩壊現象の特徴をトレースして客観的な評価をしないと対策も追いつかない。

土質、安全率、土砂水理学、計算手法、応用するためにはどこまで表現すればよいか。雨の降り方に応じて評価できればいいか、土壌雨量指数は全国一律になっている。非常に難しい。

江頭：付け加えると、どう危険斜面を抽出するか、どう危険度をつけるか、区別して考えていかなければならない。

崩壊が発生するシミュレーションについて、構成則をきちっとすればある程度それらしく表現できるようになった。

安全側で、住民にとっては危険側で、評価できるレベルまではきている。

清水：強い雨、降雨に依存する。危険斜面が増えてくる可能性はある。

安養寺：起こる場所と降雨形態が違ってくる。議論を進めていく。

土砂災害の被害軽減について、砂防堰堤など有効性が評価されているが、津波に伴う破堤のようにいつでも安全というわけでない。ソフト対策との組み合わせ、災害警報で避難ができるか？

畑山：伊豆大島で現地調査を行っている。土砂災害警戒情報でなかったが、深夜でもやはり知らせるべきだった。しかし、町のどこが安全か、は言えない。台風 27 号のときは島外避難。もっと事前に明るいうちに避難したいところだが、中々危険性を感じないと動かない。もう少し早目に避難できればとおもう。熊本大学で検討されている例がある。明るいうちに避難するのが望ましいが、反応してくれない。

空振りには許されるが、見逃しは許されないという発表があったが、伊豆大島では災害後、通常の基準の 8 割の雨量で発令されるようになってしまった。店を閉めないといけなし、生活が厳しくなった。昨今あまりに報道等でたたかれるので、市町村が都道府県の指示でそのまま発令するようになった。都道府県レベルだと空振りだらけ。確証持てるレベルまで精度を上げられるかが課題とおもう。

安養寺：土砂災害に関する訴訟事例はありますか？

吉岡：最近の事例はない。訴えを起こすほうも慎重。勝てる見込みがあるか、地盤の研究者の協力が得られるか、といった問題がある。

発令について、住民が「またか」とおもってしまう。評価を交えるからわかりにくい。事実を示すのがいい。店を閉めるか閉めないかはその人に任せる。雨量と地盤挙動の変化を

うまく伝えていく。例えば各家庭に地震計など、変化がわかるようなものをつくれないうろうか。工夫がいる。

安養寺：評価そのものが中々絶対的なものでないところに課題がある。調査を行い、可能な限り客観的にしていく必要がある。

()：事実を受け止める側の知識を育てていかないといけない。生きていくための基礎的な教育がいる。現実に対してどう行動するか「リスクマネジメント」までふみこまないと。

畑山：ニューメラシーnumeracy（数字を読みぬく力）が日本人は弱いといわれる。評価を聞かないと動けない。しかし、天気予報をみて傘を持つようになったように、毎日繰り返してれば行動できるようになる。

安養寺：数字の意味をわかるようにならないといけない。地域として危険性がある場合に、自分の家に結びつけないといけない。危険なところに住むなというすむところが無くなる。広島災害や東日本大震災を経験したが、危険とわかっていても住まないといけない。その認識を持たないと。日本列島に絶対的な安全なところはない。地質も複雑で、地震、火山、津波など厳しい自然と共生する方法を探る具体的な対策・方法論を議論することが望まれる。

稲垣：地殻変動ふくめわからないことは沢山ある。土木学会重点研究課題は今年度末成果を上げる。JGS 関東支部は1年余裕がある。宅地に対して、どういうパラメータを考えるか検討し、GNSを適用することで危険性曝露し、保険料を決めるなど、そういう時代になってきているのでは。色んな提言をしていくべきであろう。

(以上)

研究集会記録写真（撮影：伊藤和也）



写真-1 会場の様子



写真-2 開会挨拶（安養寺氏）



写真-3 講演 1（稲垣氏）



写真-4 講演 2（千葉氏）



写真-5 講演 3（大野氏）



写真-6 講演 4（清水先生）



写真-6 講演 5 (鈴木先生)



写真-7 講演 6 (荒木先生)

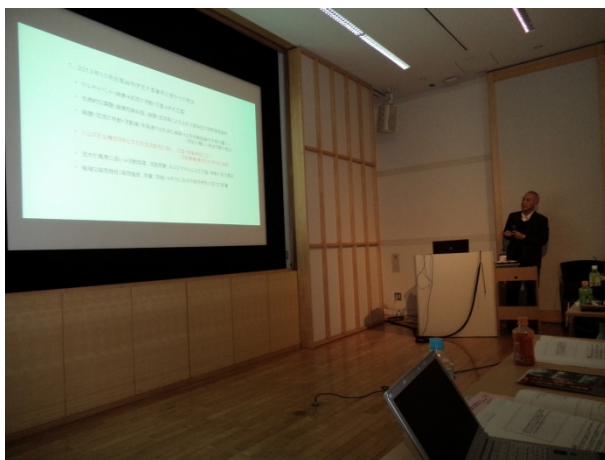


写真-8 講演 7 (江頭氏)

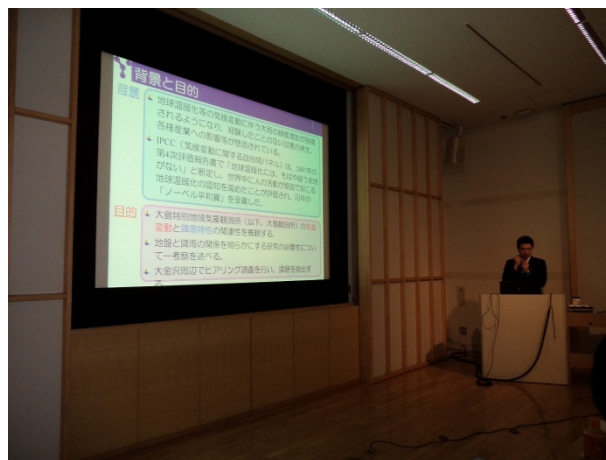


写真-9 講演 8 (荒木先生)



写真-10 講演 9 (大串氏)

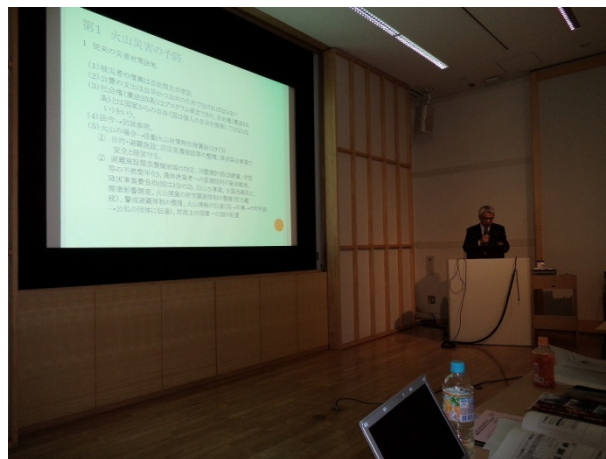


写真-11 講演 10 (吉岡先生)



写真-12 講演 11 (伊藤氏)



写真-13 講演 12 (渡邊氏)



写真-14 総合討論の様子



写真-15 閉会の挨拶 (稲垣氏)

あとがき

2014 年は 8 月に広島市西部において甚大な土石流災害が発生し、死者行方不明 74 名、全壊家屋 133 戸という近年にない多数の犠牲者を生じた。この災害は花こう岩地帯のマサ土で発生したもので、1999 年には隣接した地区で発生した土石流災害の犠牲者 20 名を大きく上回った。

このようにわが国では近年の極端豪雨の頻発が誘因となって各地で土砂災害が生じている。地質特性をみても花こう岩地帯や火山地域のみならず第三紀堆積岩や破碎帯地域など脆弱な素因が大規模な土砂災害をもたらす一因になっている。

本研究では、火山地域に焦点をあて、地形や地質条件と崩壊や土石流などの土砂移動現象のメカニズムを議論した。さらに、土砂災害に対する保険と訴訟に関する社会的対応を紹介した。そして、国土の自然災害に対するリスク評価や住居となる土地の品質の問題についても研究の現状を紹介した。本研究の成果は土砂災害被害を防止軽減するための解決策までは至っていないが、自然特性と社会対応を適切に組み合わせることによる抜本的対策の方向性を示すことができたと考える。

このような研究が積み重ねられ、土砂災害による犠牲者ゼロの日が一日も早く到来することを願ってあとがきとします。

2015 年 3 月

研究代表 安養寺 信夫

(公社)土木学会平成 26 年度重点研究課題
「脆弱な火山国日本での土砂災害の発生メカニズムの究明と
法制度も考慮した総合的防災・減災対策に関する研究 報告書」

発行年月 2015 年 3 月

発行者 (公社)土木学会 地盤工学委員会

火山工学研究小委員会委員長 研究代表：安養寺信夫