

防災科学技術研究所研究資料 第四一一号

土砂災害予測に関する研究集会―熊本地震とその周辺―プロシーディング

防災科学技術研究所

土砂災害予測に関する研究集会 ―熊本地震とその周辺― プロシーディング

Proceedings of the Workshop on the Prediction of Landslide Disasters - The 2016 Kumamoto Earthquake and the Relevant Matters -



防災科学技術研究所研究資料

- 第 341 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 27(平成 21 年 No. 1) (CD-ROM 版). 2010 年 3 月発行
- 第 342 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 28(平成 21 年 No. 2) (CD-ROM 版). 2010 年 3 月発行
- 第 343 号 阿寺断層系における深層ボーリング調査の概要と岩石物性試験結果(付録 CD-ROM) 15pp. 2010 年 3 月発行
- 第 344 号 地すべり地形分布図 第 46 集「札幌・苫小牧」19 葉(5 万分の 1). 2010 年 7 月発行
- 第 345 号 地すべり地形分布図 第 47 集「夕張岳」16 葉(5 万分の 1). 2010 年 8 月発行
- 第 346 号 長岡における積雪観測資料(31) (2006/07, 2007/08, 2008/09 冬期)47pp. 2010 年 9 月発行
- 第 347 号 地すべり地形分布図 第 48 集「羽幌・留萌」17 葉(5 万分の 1). 2010 年 11 月発行
- 第 348 号 平成 18 年度 大都市大震災軽減化特別プロジェクト実大 3 層 RC 建物実験報告書(付録 DVD) 68pp. 2010 年 8 月発行
- 第 349 号 防災科学技術研究所による深層掘削調査の概要と岩石物性試験結果(足尾・新宮・牛伏寺)(付録 CD-ROM)12pp. 2010 年 8 月発行
- 第 350 号 アジア防災科学技術情報基盤(DRH-Asia) コンテンツ集 266pp. 2010 年 12 月発行
- 第 351 号 新庄における気象と降積雪の観測(2009/10 年冬期) 31pp. 2010 年 12 月発行
- 第 352 号 平成 18 年度 大都市大震災軽減化特別プロジェクトⅡ 木造建物実験・震動台活用による構造物の耐震性向上研究・(付録 CD-ROM)120pp. 2011 年 1 月発行
- 第 353 号 地形・地盤分類および常時微動の H/V スペクトル比を用いた地震動のスペクトル増幅率の推定 242pp. 2011 年 1 月発行
- 第 354 号 地震動予測地図作成ツールの開発(付録 DVD) 155pp. 2011 年 5 月発行
- 第 355 号 ARTS により計測した浅間山の火口内温度分布(2007 年 4 月から 2010 年 3 月) 28pp. 2011 年 1 月発行
- 第 356 号 長岡における積雪観測資料(32) (2009/10 冬期) 29pp. 2011 年 2 月発行
- 第 357 号 浅間山鬼押出火山観測井コア試料の岩相と層序(付録 DVD) 32pp. 2011 年 2 月発行
- 第 358 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 29(平成 22 年 No. 1) (CD-ROM 版). 2011 年 2 月発行
- 第 359 号 強震ネットワーク 強震データ Vol. 30(平成 22 年 No. 2) (CD-ROM 版). 2011 年 2 月発行
- 第 360 号 K-NET・KiK-net 強震データ(1996 - 2010) (DVD 版 6 枚組). 2011 年 3 月発行
- 第 361 号 統合化地下構造データベースの構築 <地下構造データベース構築ワーキンググループ報告書> 平成 23 年 3 月 238pp. 2011 年 3 月発行
- 第 362 号 地すべり地形分布図 第 49 集「旭川」16 葉(5 万分の 1). 2011 年 11 月発行
- 第 363 号 長岡における積雪観測資料(33) (2010/11 冬期) 29pp. 2012 年 2 月発行
- 第 364 号 新庄における気象と降積雪の観測(2010/11 年冬期) 45pp. 2012 年 2 月発行
- 第 365 号 地すべり地形分布図 第 50 集「名寄」16 葉(5 万分の 1). 2012 年 3 月発行
- 第 366 号 浅間山高峰火山観測井コア試料の岩相と層序(付録 CD-ROM) 30pp. 2012 年 2 月発行
- 第 367 号 防災科学技術研究所による関東・東海地域における水圧破碎井の孔井検層データ 29pp. 2012 年 3 月発行
- 第 368 号 台風災害被害データの比較について(1951 年～2008 年, 都道府県別資料)(付録 CD-ROM)19pp. 2012 年 5 月発行
- 第 369 号 E-Defense を用いた実大 RC 橋脚 (C1-5 橋脚) 震動破壊実験研究報告書・実在の技術基準で設計した RC 橋脚の耐震性に関する震動台実験及びその解析・(付録 DVD) 64pp. 2012 年 10 月発行
- 第 370 号 強震動評価のための千葉県・茨城県における浅部・深部地盤統合モデルの検討(付録 CD-ROM) 410pp. 2013 年 3 月発行
- 第 371 号 野島断層における深層掘削調査の概要と岩石物性試験結果(平林・岩屋・甲山)(付録 CD-ROM) 27pp. 2012 年 12 月発行
- 第 372 号 長岡における積雪観測資料(34) (2011/12 冬期) 31pp. 2012 年 11 月発行
- 第 373 号 阿蘇山一の宮および白水火山観測井コア試料の岩相記載(付録 CD-ROM) 48pp. 2013 年 2 月発行
- 第 374 号 霧島山万膳および夷守台火山観測井コア試料の岩相記載(付録 CD-ROM) 50pp. 2013 年 3 月発行
- 第 375 号 新庄における気象と降積雪の観測(2011/12 年冬期) 49pp. 2013 年 2 月発行
- 第 376 号 地すべり地形分布図 第 51 集「天塩・枝幸・稚内」20 葉(5 万分の 1). 2013 年 3 月発行
- 第 377 号 地すべり地形分布図 第 52 集「北見・紋別」25 葉(5 万分の 1). 2013 年 3 月発行
- 第 378 号 地すべり地形分布図 第 53 集「帯広」16 葉(5 万分の 1). 2013 年 3 月発行
- 第 379 号 東日本大震災を踏まえた地震ハザード評価の改良に向けた検討 349pp. 2012 年 12 月発行
- 第 380 号 日本の火山ハザードマップ集 第 2 版(付録 DVD) 186pp. 2013 年 7 月発行
- 第 381 号 長岡における積雪観測資料(35) (2012/13 冬期) 30pp. 2013 年 11 月発行
- 第 382 号 地すべり地形分布図 第 54 集「浦河・広尾」18 葉(5 万分の 1). 2014 年 2 月発行
- 第 383 号 地すべり地形分布図 第 55 集「斜里・知床岬」23 葉(5 万分の 1). 2014 年 2 月発行

防災科学技術研究所研究資料

- 第 384 号 地すべり地形分布図 第 56 集「釧路・根室」16 葉(5 万分の 1). 2014 年 2 月発行
- 第 385 号 東京都市圏における水害統計データの整備(付録 DVD) 6pp. 2014 年 2 月発行
- 第 386 号 The AITCC User Guide –An Automatic Algorithm for the Identification and Tracking of Convective Cells– 33pp. 2014 年 3 月発行
- 第 387 号 新庄における気象と降積雪の観測(2012/13 年冬期) 47pp. 2014 年 2 月発行
- 第 388 号 地すべり地形分布図 第 57 集「沖縄県域諸島」25 葉(5 万分の 1). 2014 年 3 月発行
- 第 389 号 長岡における積雪観測資料(36) (2013/14 冬期) 22pp. 2014 年 12 月発行
- 第 390 号 新庄における気象と降積雪の観測(2013/14 年冬期) 47pp. 2015 年 2 月発行
- 第 391 号 大規模空間吊り天井の脱落被害メカニズム解明のための E-ディフェンス加振実験 報告書 –大規模空間吊り天井の脱落被害再現実験および耐震吊り天井の耐震余裕度検証実験– 193pp. 2015 年 2 月発行
- 第 392 号 地すべり地形分布図 第 58 集「鹿児島県域諸島」27 葉(5 万分の 1). 2015 年 3 月発行
- 第 393 号 地すべり地形分布図 第 59 集「伊豆諸島および小笠原諸島」10 葉(5 万分の 1). 2015 年 3 月発行
- 第 394 号 地すべり地形分布図 第 60 集「関東中央部」15 葉(5 万分の 1). 2015 年 3 月発行
- 第 395 号 水害統計全国版データベースの整備. 2015 年発行予定
- 第 396 号 2015 年 4 月ネパール地震(Gorkha 地震) における災害情報の利活用に関するヒアリング調査 58pp. 2015 年 7 月発行
- 第 397 号 2015 年 4 月ネパール地震(Gorkha 地震) における建物被害に関する情報収集調査速報 16pp. 2015 年 9 月発行
- 第 398 号 長岡における積雪観測資料(37) (2014/15 冬期) 29pp. 2015 年 11 月発行
- 第 399 号 東日本大震災を踏まえた地震動ハザード評価の改良(付録 DVD) 253pp. 2015 年 12 月発行
- 第 400 号 日本海溝に発生する地震による確率論的津波ハザード評価の手法の検討(付録 DVD) 216pp. 2015 年 12 月発行
- 第 401 号 全国自治体の防災情報システム整備状況 47pp. 2015 年 12 月発行
- 第 402 号 新庄における気象と降積雪の観測(2014/15 年冬期) 47pp. 2016 年 2 月発行
- 第 403 号 地上写真による鳥海山南東斜面の雪渓の長期変動観測(1979 ～ 2015 年) 52pp. 2016 年 2 月発行
- 第 404 号 2015 年 4 月ネパール地震(Gorkha 地震) における地震の概要と建物被害に関する情報収集調査報告 54pp. 2016 年 3 月発行
- 第 405 号 土砂災害予測に関する研究集会 –現状の課題と新技術 – プロシーディング 220pp. 2016 年 3 月発行
- 第 406 号 津波ハザード情報の利活用報告書 132pp. 2016 年 8 月発行
- 第 407 号 2015 年 4 月ネパール地震(Gorkha 地震) における災害情報の利活用に関するインタビュー調査 –改訂版– 120pp. 2016 年 10 月発行
- 第 408 号 新庄における気象と降積雪の観測(2015/16 年冬期) 39pp. 2017 年 2 月発行
- 第 409 号 長岡における積雪観測資料(38) (2015/16 冬期) 28pp. 2017 年 2 月発行
- 第 410 号 ため池堤体の耐震安全性に関する実験研究 –改修されたため池堤体の耐震性能検証– 87pp. 2017 年 2 月発行

– 編集委員会 –		防災科学技術研究所研究資料 第 411 号
(委員長)	河合 伸一	
(委 員)		編集兼 国立研究開発法人
松澤 孝紀	三輪 学央	発行者 防 災 科 学 技 術 研 究 所
若月 強	平島 寛行	〒 305-0006
中村いずみ	三好 康夫	茨城県つくば市天王台 3 – 1
(事務局)		電話 (029)863-7635
白田裕一郎	横山 敏秋	http://www.bosai.go.jp/
(編集・校正)	樋山 信子	印刷所 前 田 印 刷 株 式 会 社
		茨 城 県 つ く ば 市 山 中 152-4

© National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience 2017

※防災科学技術研究所の刊行物については、ホームページ (<http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/>) をご覧下さい。

■表紙写真・・・平成 28 年 4 月 16 日の熊本地震により発生した阿蘇大橋横の大規模崩壊(深層崩壊)を、黒川を挟んだ対岸から望む(熊本県阿蘇郡南阿蘇村立野)。平成 28 年 5 月 20 日、飯田智之撮影。

土砂災害予測に関する研究集会－熊本地震とその周辺－プロシーディング

飯田智之*・山田隆二*・酒井直樹* 編集

* 防災科学技術研究所

要 旨

平成28年12月8～9日、防災科学技術研究所和達記念ホールにおいて「土砂災害予測に関する研究集会－熊本地震とその周辺－」が開催された。この研究集会は、土砂災害予測技術の現在における到達点を明らかにし、その技術を発展させて実用化するため、多くの研究者・技術者・その他ステークホルダーの情報交換をする場を設けることを目的としたものである。5つのセッションに分かれた29件の研究発表と1件の特別講演に加えて、大地震後の自治体および研究者の対応をテーマとしたパネルディスカッションが行われた。今回は平成28年4月に発生した熊本地震やその後の降雨に伴う土砂災害などに関する学問的・社会的関心の高まりを受け、国や大学の研究者、民間企業の実務者、自治体の防災担当者など約140名が参加した。

キーワード：プロシーディング，土砂災害，地すべり，斜面崩壊，土石流，熊本地震

土砂災害予測に関する研究集会－熊本地震とその周辺－

研究集会の趣旨

2004年の中越地震・2008年の岩手宮城内陸地震・2011年の紀伊半島大雨などによる大規模崩壊(深層崩壊)、2014年の広島災害をはじめとした、集中豪雨による全国の土石流災害など、この10年ほどの間に、地震や降雨による土砂災害が多発するようになりました。2016年4月には熊本地震に伴う土砂災害が発生し、その後の降雨による2次災害も懸念されています。これらの背景として、豪雨の増加や地震活動の活発化が挙げられます。このような大規模な土砂移動現象に対しては、工事による対策には限界があり、事前の避難や移転が防災対策の基本となります。そのため、発生場所や発生時間に関する予測技術の開発が重要な課題です。行政や住民の皆様への適切な助言も期待されています。

このような現状認識から、防災科学技術研究では昨年引き続き、日本地すべり学会・砂防学会・日本応用地質学会・斜面防災対策技術協会の後援を受けて、土砂災害予測に関する研究集会を開催することにしました。ここでは、土砂災害予測技術の現在における到達点を明らかにし、さらにそれを発展させて実用化する契機とするため、多くの学会や組織のメンバーの意見交換をする場として、研究集会を企画しました。

さらに、今回はこれまでに大地震を経験された地方自治体の方や研究者にパネラーとして参加していただき、防災科学技術研究所 気象災害軽減イノベーションセンターとの連携により、大地震後の自治体および研究者の対応を課題としたパネルディスカッションを開催します。

2016年12月8日
防災科学技術研究所 山田隆二
酒井直樹
飯田智之

目次

ページ

■ 土砂災害予測に関する研究集会 - 熊本地震とその周辺 -	
研究集会の趣旨.....	2
■ 特別講演論文	
大規模地震時に発生する土砂災害.....	5
	北海道大学 小山内信智
■ 一般発表論文	
清水寺境内の現地観測における地下水位変動の一考察.....	13
	防災科学技術研究所 檀上 徹
北海道で急増した豪雨により顕著となった寒冷地の斜面堆積物の崩壊 - 2014年, 2016年の豪雨災害による例 -.....	17
	北海道立総合研究機構 石丸 聡
火山灰分布域における斜面上火山砕屑物の地盤工学的特性と表層崩壊について.....	25
	山梨大学 後藤 聡
地震とその後の降雨による表層崩壊 - 東北地方太平洋沖地震による茨城県北部の事例から -.....	27
	筑波大学 八反地 剛
阪神・淡路大震災後の大雨警報の発令基準の変遷及び地震後と降雨後の表層崩壊発生場所.....	33
	一般建設工学研究所 沖村 孝
深層崩壊の発生危険斜面の抽出と警戒避難対応.....	39
	鹿児島大学 地頭菌 隆
空中電磁探査を用いた深層崩壊が発生する恐れのある斜面のリスク評価手法.....	43
	土木研究所 林幸一郎
降雨時斜面のセンシングによる崩壊発生予測の検討.....	47
	防災科学技術研究所 石澤友浩
多数点に設置した MEMS 傾斜計を用いた地すべり土塊の移動状況の詳細な計測.....	51
	高知大学 笹原克夫
地震による斜面崩壊への地質特性の寄与 - 能登半島地震の崩壊面積率より -.....	61
	静岡大学 林 拙郎
熊本地震による阿蘇カルデラ内で起きた特徴的な地すべり変動について.....	75
	防災科学技術研究所 井口 隆
熊本地震土砂災害の特徴.....	95
	株式会社環境地質 稲垣秀輝
震源断層タイプと地震による地すべり・崩壊の分布の特徴.....	109
	アジア航測株式会社 ハスパートル
地震による斜面崩壊危険度評価手法について.....	119
	国土技術政策総合研究所 内田太郎
平成 28 年台風 10 号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出の概要.....	123
	北海道大学 林真一郎
火山砕屑物で構成される斜面の崩壊機構とその共通点.....	131
	群馬大学 若井明彦

国際協力に日本の地すべり防災技術を生かす	133
	帝京平成大学 佐藤 剛
斜面の二次災害事例と対応策.....	143
	応用地質株式会社 上野将司
地域レベルで減災を実現する工夫に関する一連の実施例.....	147
	東北学院大学 宮城豊彦
平成 28 年(2016 年)熊本地震の概要.....	149
	防災科学技術研究所 浅野陽一
干渉 SAR が捉えた小さな地表変位 - 熊本地震を例に -	151
	国土地理院 中埜貴元
活断層近傍の道路斜面防災に関する課題	155
	土木研究所 佐々木靖人
崩壊地の調査, あなたは安全のため, 何に気をつけていますか	157
	消防庁消防研究センター 新井場公徳
熊本地震後の降雨による土砂災害の危険箇所とその観測対応時の課題.....	167
	防災科学技術研究所 酒井直樹
熊本地震後の阿蘇地域における中小河川流域の土砂災害危険度予測の試み.....	169
	エー・シー・エス株式会社 拝崎 昌雄
リモートセンシングによる熊本地震後の斜面・地盤変動の広域的評価.....	177
	防災科学技術研究所 木村 誇
地震地すべりの発生場の状況 - 熊本地震関連地すべり・崩壊の事例から -	183
	琉球大学 中村真也
大峰火山の火山地質, 周辺の斜面崩壊災害について.....	185
	熊本大学 長谷中利昭
熊本地震による土砂災害リスク増大に対すミチゲーション政策	187
	熊本大学 渡邊 勇
■ パネルディスカッションー大地震後の自治体および研究者の対応ー	193
想定した地震災害と発生した地震災害	195
	長野県小谷村 松本久志
新潟県中越地震の芋川河道閉塞に対する警戒避難態勢について	197
	新潟県 三木公一
山地災害等からの復興を契機に活動した栗駒山麓ジオパーク構想	203
	宮城県栗駒市 佐藤英和
ジオパークを通じた防災・減災学習について	209
	宮城県栗駒市 中川理絵
2016 年熊本地震関連地すべり・崩壊の現地調査について.....	213
	日本地すべり学会(琉球大学) 中村真也
パネラーの話題提供・コメント・議論.....	215
	全パネラー

大規模地震時に発生する土砂災害

小山内信智*

Sediment-related Disasters Caused by Large-scale Earthquake

Nobutomo OSANAI

Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Japan

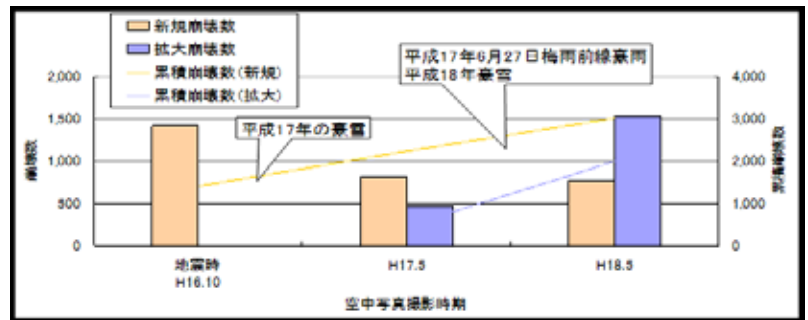
キーワード：大規模地震，土砂災害，震後緊急点検，天然ダム，海溝型地震

Key words: Large-scale earthquake, Sediment-related disasters, Urgent survey after earthquake, Natural dam, Megathrust earthquake

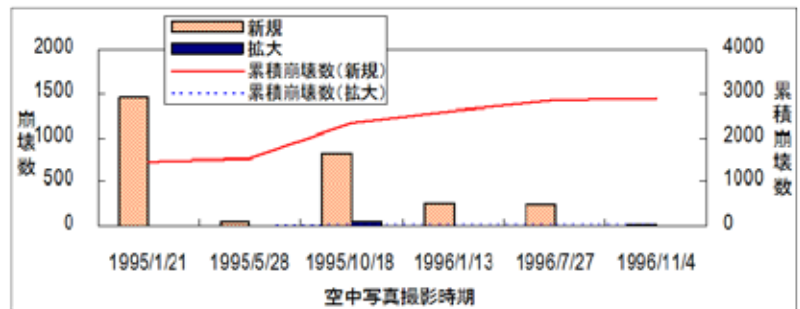
1. はじめに

日本は世界有数の地震国であり，近年の主要なものだけでも，1995年兵庫県南部地震，2004年新潟県中越地震，2008年岩手・宮城内陸地震，2011年東北地方太平洋沖地震，2016年熊本地震など，もはや低頻度とは言えないインターバルで多数の土砂災害を引き起こすような大規模地震が発生している。

地震起因の土砂災害の問題としては，①突発的に発生するために警戒避難が困難なこと，②広域で多数発生する場合があります全体像が把握しにくいこと，③崩壊等の土砂移動現象が最終形態に至っていないものの，緩みなどが発生している斜面はその後長期間に亘って安全度の低下が懸念されること，④凸型地形での発生割合が高くなる傾向などがあり，降雨による土砂災害発生場所・移動形態とは異なる場合があります，事前の対策等がより困難であること，⑤大規模な崩壊を発生させ，天然ダムが形成される場合があること，などが挙げられる。以下に，地震起因の土砂災害に対する研究・対策を行う際の幾つかの視点について整理をしてみる。



(a) 中越地震(2004年10月23日発生)



(b) 兵庫県南部地震(1995年1月17日発生)

図1 中越地震後と兵庫県南部地震後の崩壊数の比較

2. 表層崩壊等と震後緊急点検の必要性

2.1 土砂災害警戒情報の暫定運用

大規模地震時には地震の震動によって斜面崩壊が発生するとともに，その際には崩壊しなかった斜面がそれ以降の比較的小さな降雨によっても崩壊や地すべりを発生させ易くなることは知られている。そのため，降雨によって発生する土石流や集中して発

* 北海道大学大学院農学研究院

生するがけ崩れに対する土砂災害警戒情報は震度5強以上を記録した地域においては、しばらくの間その判断基準線(CL)を引き下げて運用される。実際に、兵庫県南部地震、中越地震などでは地震後の比較的小さな降雨や融雪時期の新規・拡大崩壊が多数あったことが報告されている(図1)。

また2016年4月16日の熊本地震でも、その後の4月、5月、6月の雨などによって崩壊が進行していることが確認されている¹⁾。図2は熊本県南阿蘇村赤瀬地区の4月(本震直後)から7月までの崩壊地の拡大状況である。図3は近年での阿蘇地域での激甚な土砂災害事例である2012年7月11～12日の阿蘇山雨量観測所、および今回の2016年4月21日、5月3～11日、6月16～29日の阿蘇山または南阿蘇雨量観測所におけるスネーク図である。現在、熊本県における土砂災害警戒情報は「連携案(降雨出現確率法)」ではなく「提言案(降雨逓減法)」のAND方式で運用されているためスネーク図のCLは提示できないが、2012年7月と2016年6月のスネークラインは土壤雨量指数200を上回っており、斜面崩壊が多発する状況であったと考えられる。一方で、2016年4月・5月の降雨は特に大きな降雨イベントではなかったにも関わらず、拡大崩壊・新規崩壊・不安定土砂の再移動が多数確認でき、地震動の斜面安定性への影響を窺わせる。

どのくらいの期間、どの程度の引き下げを行わなければならないのかは判断が難しいが、以前は元の基準の5割程度まで引き下げ、その後暫定基準を超過する降雨を経験しても崩壊等が発生しないことを確認することによって、徐々に基準を戻していくという方法を取っていた。現在は、強震度階の地域が広域であった東北地方太平洋沖地震後の追跡調査²⁾を経て、「震度5強の地域で8割、震度6弱以上の地域で7割」に土壤雨量指数の基準を引き下げて運用するケースが多くなっている。影響期間については3～4年程度という報告³⁾もあるが、平松ら(2016)の実験的研究⁴⁾によると、せん断抵抗力の低下については2～3カ月程度で回復するとの結果もある。現状では出水期を経験した上で、1年程度で元に戻すケースが多いようである。今後、事例を重ねることで精度の向上を図る必要がある。

2.2 震後緊急点検

大規模地震によって、広域で多数の土砂移動現象



図2 2016年熊本地震後の崩壊地の拡大状況例(赤瀬地区)

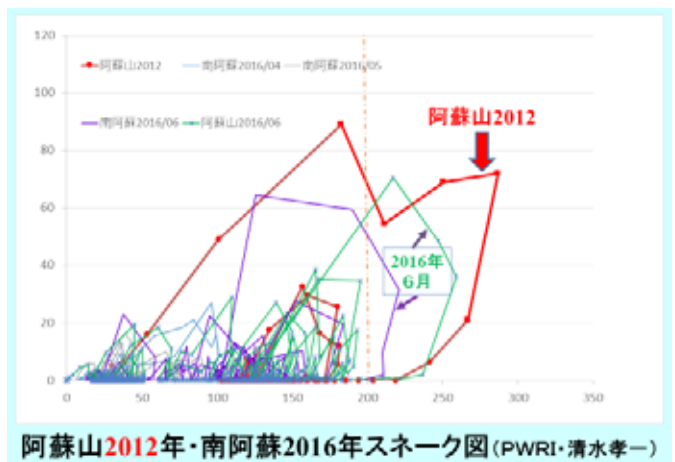


図3 阿蘇山周辺のスネーク図(2012年・2016年)

が発生し、また土砂災害危険箇所等の安全度が低下することで二次的災害が懸念されるようになるため、できるだけ迅速に現状把握を行う必要がある。現在、国土交通省ではTec-FORCEと称して、大規模な自然災害が発生した場合には被災地域以外にも多数の調査班を投入する体制を整えている。その前身となったのが兵庫県南部地震の際に編成された「土砂災害危険箇所緊急点検支援チーム」であるが、その後の実績を見ると、5日間以内に1,000～3,000箇所程度の点検を行っている。対象箇所数が膨大であり、斜面や溪流上部の調査は物理的に困難が伴うため、UAVなどの活用による効果的な調査のあり方を検討する必要がある。

崩壊箇所密度は震度階の高いエリアほど大きく、震度5弱以下の範囲では極めて小さい(図4)。震後緊急点検では土砂災害危険箇所等をA～Cの3段階に評価するが、震度階ごとのA評価(緊急的な対

応が必要)の箇所数は概ね崩壊箇所数に比例している⁵⁾。砂防施設等の被害については、内陸直下型地震の場合の活断層の直近などの加速度 2,000 gal を超過するような状況を除くと、施工目地のズレや、石積み等の古い施設の一部の損傷程度で、比較的軽微なものにとどまっている場合が多い。これは、規模の大きな施設については地震力が設計に反映されていることと、施設が地盤の揺れと一体的に動いているためと考えられる^{6),7)}。

3. 大規模崩壊等と天然ダム

明治期以降に発生した、閉塞土塊の比高 100 m 以上、湛水量百万 m³ 以上の比較的大きな天然ダム 16 事例の発生誘因⁸⁾を見ると、内陸直下型地震によるものが 5 事例であり、海溝型地震によるものは無い(表 1)。ただし、1707 年宝永地震、1854 年安政地震などでは天然ダムを形成したと考えられるものを含む大規模な崩壊も複数確認されている⁹⁾(図 5)。

以前は天然ダムへの人為的対応は困難であったが、近年では重機の投入や監視体制の構築によってある程度の被害軽減が可能になっている。天然ダム決壊の最もクリティカルな状態の 1 つは、満水後に初めて越流が始まる時であると考えられるが、2008 年岩手・宮城内陸地震の際に約 1 週間で製作・現地投入された土研式水位観測ブイ(投入型)(図 6)などは、その後も危機管理のために活用されている。

ハード対策としては、1984 年長野県西部地震(御岳崩れ)で発生した王滝川の天然ダム対策が初期のものとして挙げられるが、これは閉塞土砂の堆積勾配が緩かったために急激な決壊にはつなげにくいものであった。大規模な対策としては 2004 年 10

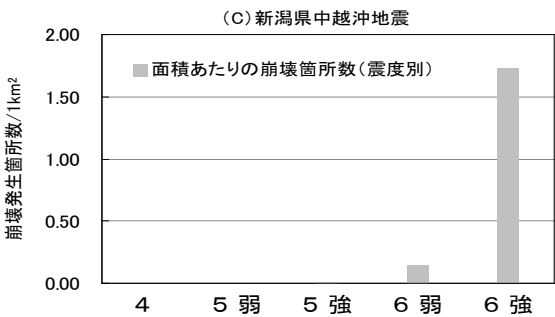
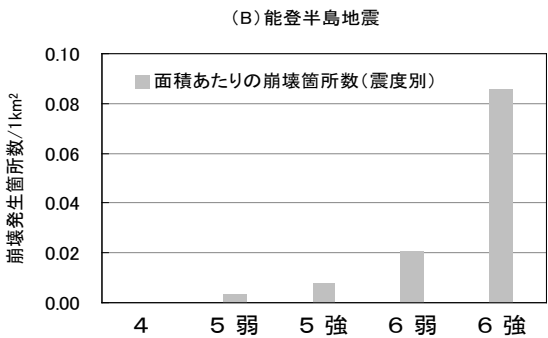
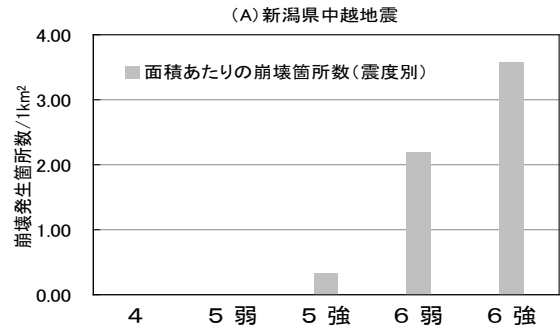


図 4 各地震における単位面積あたりの崩壊発生箇所数と震度階との関係

(A)新潟県中越地震, (B)能登半島地震, (C)新潟県中越沖地震

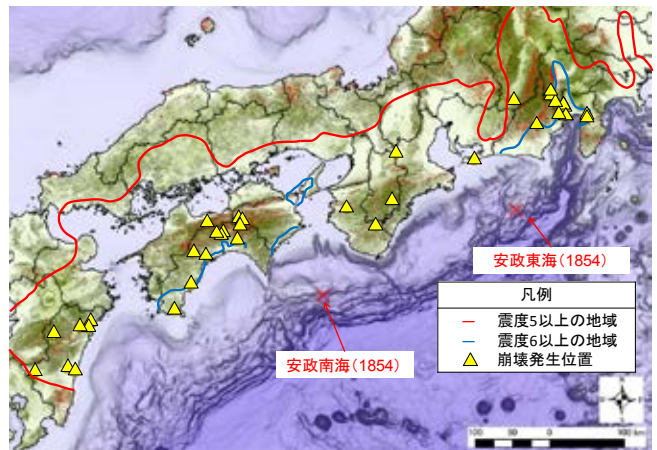
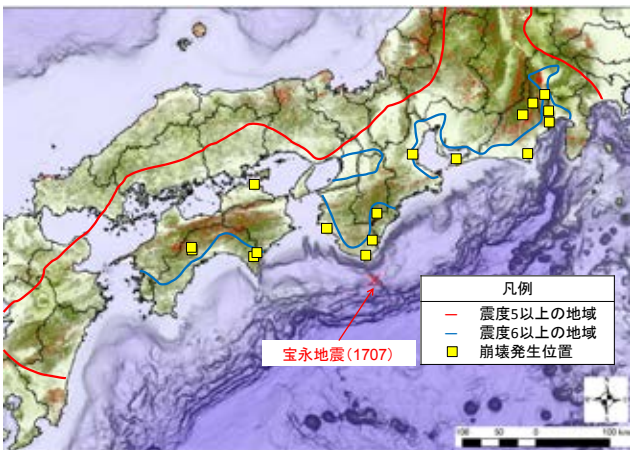


図 5 記録に残る宝永地震・安政地震時の大規模崩壊の分布(土志田ら 2013 に加筆)

表-1 日本の近年の主要な天然ダム事例(日本の天然ダムと対応策2011より作成・加筆、複数ダム発生のは代表事例箇所のみ記載)

発生年月日	発生誘因	名称	東経(度)	北緯(度)	地質	土砂移動の形態	移動土壌量 V1 (百万m ³)	水平距離 (m)	比高 (m)	堰止土砂量 V2 (百万m ³)	湛水高 H2 (m)	湛水面積 A3 (km ²)	湛水量 V3 (百万m ³)	継続時間 年・日・時
1888.7.15	水蒸気爆発	磐梯山・檜原湖ほか	140.06	37.65	第四系火山噴出物	山体崩壊	1,200.0	4,900	800	—	25	10.00	150.0	決壊せず・現存
1889.8.19	十津川水害	十津川・林新湖ほか	135.75	34.08	付加複合体	地すべり	3.7	630	380	3.1	63	2.40	42.0	17時間
1891.10.28	濃尾地震	根尾川・根尾西谷川ほか	136.57	35.69	付加複合体	地すべり	1.5	320	150	1.8	60	0.40	8.1	—
1892.7.25	豪雨	那賀川・高磯山ほか	134.34	33.80	付加複合体	地すべり	4.0	630	400	3.3	80	2.80	75.0	52時間
1896.8.31	陸羽地震、M7.2	雄物川・善知島沢・赤石台	140.67	39.44	新第三系火山岩類	地すべり	2.0	350	140	1.0	45	0.08	1.2	—
1900.12.03	豪雨	富士川・大柳川・十谷	138.40	35.51	新第三系堆積岩類	地すべり	1.5	700	350	0.4	60	0.06	1.3	対策工徐々に決壊
1911.8.08	豪雨	姫川・稗田山崩れ	137.94	36.82	第四系火山岩類	地すべり	150.0	6,000	1,000	1.9	60	1.70	34.0	87時間
1939.4.21	豪雨	姫川・風張山	137.91	36.81	新第三系堆積岩類	地すべり	6.5	350	230	3.0	23	0.22	1.6	3日
1943.9.18	豪雨	番匠川・大刈野	131.66	32.93	付加複合体	地すべり	1.5	230	140	1.5	80	0.52	14.0	決壊日時不明
1953.7.17	有田川水害	有田川・金剛寺ほか	135.56	34.13	付加複合体	地すべり	5.2	830	350	2.6	60	0.84	17.0	42日
1965.9.13	濃尾地震後豪雨	徳山白谷ほか	136.52	35.71	付加複合体	地すべり	1.8	5,000	200	1.0	50	0.12	2.0	一部決壊・開削
1984.9.14	長野県西部、M6.8	木曾川・王滝川・御岳崩れ	137.48	35.80	第四系火山噴出物	土石流	34.0	1,300	650	26.0	22	0.33	3.7	現存、流路工建設
2004.10.23	新潟県中越地震、M6.8	信濃川・芋川・東竹沢ほか	138.90	37.30	新第三系堆積岩類	地すべり	1.3	350	100	0.7	28	0.28	2.6	人工開削
2005.9.06	豪雨	耳川・野々尾	131.30	32.50	付加複合体	地すべり	3.9	500	250	2.0	57	0.14	2.6	50分
2008.6.14	岩手・宮城内陸地震、M7.2	北上川・磐井川・市野々原ほか	140.90	39.00	第四系火山噴出物	地すべり	3.6	430	130	2	29	0.20	1.8	一部人工開削・現存
2011.9.03	豪雨(台風12号)	栗平ほか	135.83	34.08	付加複合体	地すべり	20.2	850	448	10.9	81	0.23	7.2	暗渠等・現存

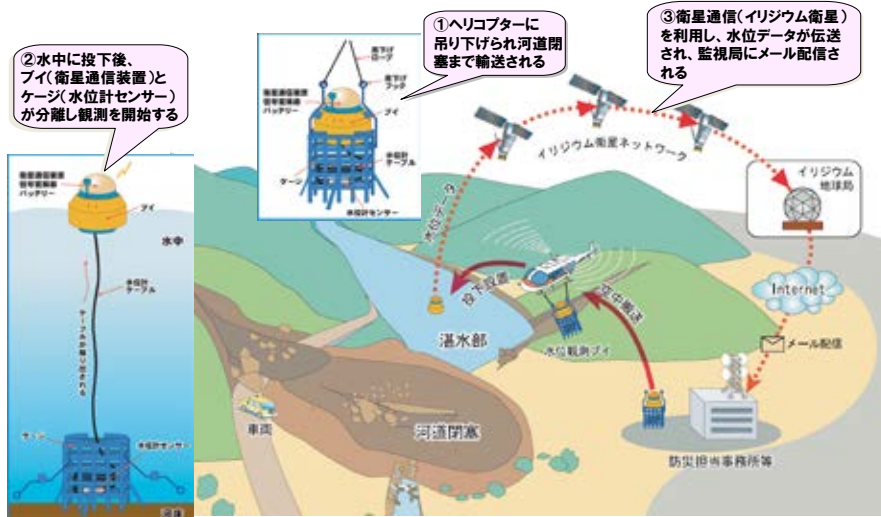


図6 土研式水位観測ブイ(投入型)の概要



写真1 2004年新潟県中越地震で発生した天然ダム(東竹沢地区)における対策状況(左; 2005年, 右; 2006年)

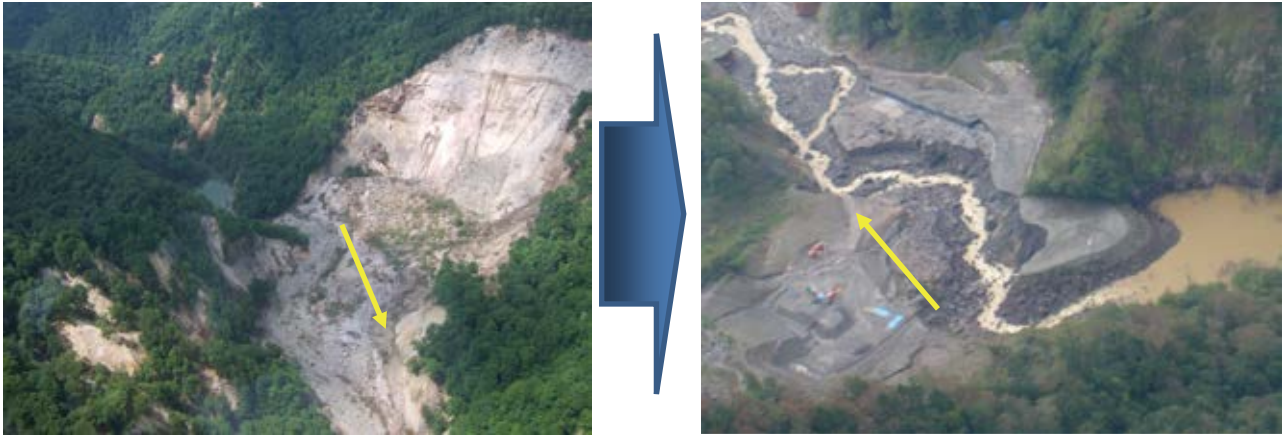


写真2 2008年岩手・宮城内陸地震で発生した天然ダム(湯浜地区)の決壊状況(左;2008年6月河道閉塞直後,右;2013年9月台風による越流浸食後)

月23日に発生した中越地震の東竹沢地区・寺野地区におけるものがエポックメイキングなものと言える。東竹沢地区では毎秒0.5 m³の排水能力のポンプを12台設置し24時間稼働させることで越流を回避し、積雪前に緊急排水路と仮設排水管を完成させた。翌々年までには閉塞土塊を固定するための砂防堰堤と流路工を設置し、ほぼ完璧に対策を遂行したと言える(写真1)。その後発生した2008年岩手・宮城内陸地震、2011年紀伊半島大水害で発生した天然ダムに対してもほぼ同様の方針でハード対策を行っているが、幾つかの箇所では越流による一部決壊や構造物周りの土砂浸食による施設の破壊などが発生している(写真2)。これは、図7に示したように、閉塞土塊下流側の堆積勾配が急である場合などには、土塊脚部から始まった浸食が上流側に遡及して行き、越流浸食を十分にコントロールすることはかなり難しいからであり、閉塞土塊を高い位置まで固定しようとすることは必ずしも最良の方法ではないことを示している。「越流水を利用しながら穏やかに浸食させ、安定的な流路を形成させる」ことが望ましいが、難易度は高い。

4. 海溝型巨大地震への備え

近年、南海トラフ巨大地震の発生が懸念されているが、海溝型巨大地震の特質は地震による建物・インフラ被害、山地・丘陵地等での土砂災害、それに引き続く津波被害といった複合的災害である。宝永地震¹⁰でも和歌山県印南町印定寺の津波溺死霊名合同位牌(図8)などにもそのような様相が記録されている。

侵食現象のメカニズム例

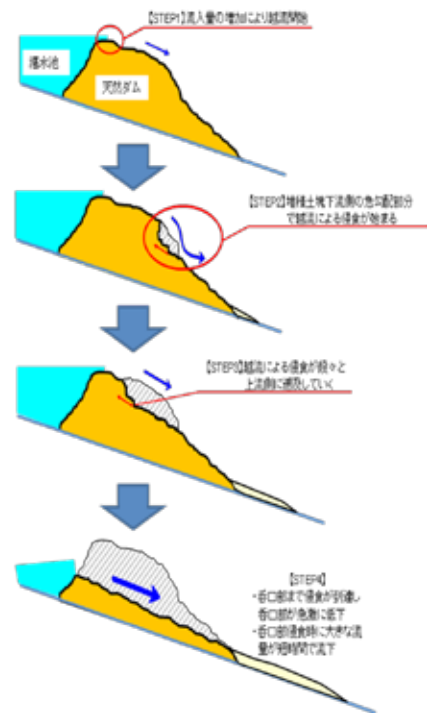


図7 天然ダム(閉塞土塊)の侵食メカニズム概念図



図8 和歌山県印南町印定寺の津波溺死霊名合同位牌

表2 海溝型地震による崩壊密度の比較

地震名		震度範囲	震度範囲別面積 (km ²)	崩壊地数 (個)	崩壊面積 (m ²)	崩壊密度 (個/km ²)
宝永地震		震度5以上	90217	17	-	0.0002
		震度6以上	15277	12	-	0.0008
安政地震		震度5以上	98982	35	-	0.0004
		震度6以上	5620	9	-	0.0016
東北地方太平洋沖地震	全崩壊	震度5以上	56747	514	788,397	0.0091
		震度6以上	12244	317	471,957	0.0259
	崩壊面積1000m ² 以上	震度5以上	56747	171	654,680	0.0030
		震度6以上	12244	118	390,574	0.0096
	崩壊面積5000m ² 以上	震度5以上	56747	31	355,837	0.0005
		震度6以上	12244	21	174,873	0.0017

2008年岩手・宮城内陸地震(内陸直下型)と2011年東北地方太平洋沖地震(海溝型)を比べると、震度5弱以上のエリアでの斜面崩壊の発生数は(写真判読等の精度の違いはあるが)それぞれ約3,500と約500と大きな違いがある。5,000 m²以上の規模の大きなものに限っても、149と31と差がある。これは、同じ震度の範囲での崩壊密度は海溝型地震によるものよりも内陸直下型の方が大きくなる傾向¹¹⁾を支持している。しかし、このことは海溝型地震による土砂災害のリスクが大きくないということを言っているわけではない。

東北地方太平洋沖地震以降、日本の内陸部の断層周辺での圧力バランスが崩れ、内陸直下型地震が発生しやすくなっているとの指摘¹²⁾もあり、海溝型巨大地震が発生した場合には大規模な崩壊が発生するばかりではなく、その何倍もの表層崩壊等も同時に発生しており(表2)、さらにその後誘発される内陸直下型地震によって日本の広い地域で土砂災害が多発する危険性が高まる、ということ想定する必要があると言える。特に、沿岸部においては津波を含む総合的な防災対策のあり方を検討しておくべきと言える。写真3は2011年3月の東北地方太平洋沖地震による津波直後の宮城県女川町堀切山特定利用斜面保全事業箇所(2011年3月)の状況である。これは、市街地に突き出した尾根部の急傾斜地崩壊対策事業を実施する際に、尾根をカットすることで対策すべき斜面高を小さくし、公共利用可能な土地や津波に対する避難場所を創出する全国初のアロケーション事業であったが、この形で事業を実施したことで多くの命が救われた。



写真3 宮城県女川町堀切山特定利用斜面保全事業箇所(2011年3月)

5. おわりに

我が国は、地震災害のリスクは常に高く、一方で人口急減社会への流れが加速することは不可避であり、防災に投入できる資源も限定的になると考えられる。防災を含む公共的事業を統合することによって、より効果的に、住みやすく強靱な国土の形成を図っていく必要がある。

参考文献

- 1) 石川芳治ら(2016):平成28年熊本地震後の降雨による二次移動と二次土砂災害. 砂防学会誌, Vol.69(4), p.25-36.
- 2) 野村康裕ら(2013):地震時の斜面崩壊危険度評価と警戒避難基準雨量基準の検討. 土木技術資料, Vol.55, No.4, p.22-25.
- 3) O Marc *et al.* (2015): Transient changes of landslide rates after earthquakes. *Geology*, Vol.43, No.10, p.883-886.

- 4) 平松晋也ら(2016)：大規模地震発生後の警戒・避難基準雨量の設定とその解除時期に関する研究．平成28年度砂防地すべり技術研究成果報告会講演論文集，p.117-135.
- 5) 伊藤英之ら(2009)：地震による崩壊発生箇所と震度分布との関係．砂防学会誌，Vol.61(5)，p.46-51.
- 6) 砂防設備の耐震設計に関する検討委員会(1996)：砂防設備の耐震設計に関する検討委員会報告．新砂防，Vol.48(6)，p.37-60.
- 7) 武澤永純ら(2010)：地震観測記録を用いた砂防堰堤の耐震性に関する研究．砂防学会誌，Vol.62(6)，p.15-23.
- 8) 小山内信智(2014)：天然ダム(河道閉塞)対策の進展．第42回地すべりシンポジウム講演集，p.16-25.
- 9) 土志田正二ら(2013)：海溝型地震による大規模斜面崩壊発生地域の分布特性．平成25年度砂防学会発表会概要集，p.A2-3.
- 10) 小山内信智ら(2014)：1707宝永地震報告書第4章地震と土砂災害．内閣府(防災担当)，p.187-206.
- 11) 中村浩之ら(2000)：地震砂防．砂防学会地震砂防研究会，古今書院，口絵16p，p.114-115.
- 12) 東京大学地震研究所(2011)：2011年東北地方太平洋沖地震前後の活断層周辺における地震活動度変化．地震予知連絡会会報，Vol.87，p.97-100.

清水寺境内の現地計測における地下水位変動の一考察

檀上 徹*・石澤友浩*・酒井直樹*・藤本将光**・深川良一**・酒匂一成***

キーワード：間隙圧，地下水位，降雨，浸透，現地計測

1. はじめに

降雨時の斜面崩壊の危険度評価を行う上で、地盤内の間隙圧変化を計測し水分特性を把握することは重要である。しかし、実斜面での降雨に伴う地盤内の浸透特性や地下水動態に関する知見は未だ少ないのが現状である。著者らはこれまでに清水寺境内斜面において、雨量計とテンシオメータを用いた降雨量と間隙圧の長期観測を行い、観測データを蓄積してきた。2013年、2015年に観測斜面近傍で崩壊が発生したことから、近傍斜面崩壊時における降雨量および間隙圧変化についてはまとめてきた^{1),2)}。その一方で、これまでの観測データを用いた包括的な検討は未だ行われていないことから、本稿では清水寺境内斜面における間隙圧の計測結果を用いて、降雨量と地盤内の地下水動態との関係について紹介する。

2. 調査方法

本研究では、京都市東山区に位置する清水寺境内の奥之院後背斜面で現地計測を実施した。本斜面の地層は丹波層群に含まれ、基岩は頁岩、砂岩、チャートで構成されている。現在、対象斜面に14地点の観測点(図1)を設けており、51本のテンシオメータを設置している。計測深度については事前に簡易貫入試験を行い、その結果に基づいて基盤層(Nd値 ≥ 50)までの数点を計測地点ごとに設定した(表1)。本稿では、雨水浸透および地下水の発生する箇所を対象としており、14地点の設置箇所から代表点を選定した。既往の研究における、1.0 m 深地温調査³⁾、地中音測定⁴⁾、電気探査⁵⁾より、B、P1、M、P2、P3、Cのライン上には水みちまたは地下水帯が存在する可能性が高いことから(図2)、この測線を対象にデータ整理を行った。対象深度としては、斜面表層と基盤層との境界面に位置する計測点が浸透能

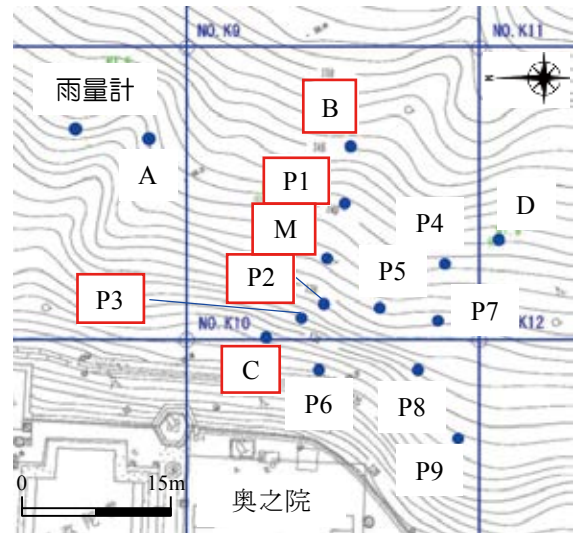


図1 観測点位置

表1 テンシオメータを用いた計測位置

地点	基盤深さ (cm)	計測深度 (cm)	地点	基盤深さ (cm)	計測深度 (cm)
A	100	40,80,100	P3	80	30,80
B	260	40,80,100,200,260	P4	230	30,60,100
C	230	40,80,100,230	P5	320	30,60,100,200
D	400	40,80,100	P6	280	30,60,100,200,280
M	190	20,40,60,80,100,190	P7	220	30,60,100
P1	65	30,65	P8	370	30,60,100,200
P2	200	30,60,100,200	P9	110	30,60,110

の違いから最も雨水が集まりやすいと考えられるため、B-260、P1-65、M-190、P2-200、P3-80、C-230を選定した。

本論文では、降雨の分析対象期間を2013年1月1日～2015年12月2日までとした。なお、一部期間についてはデータの欠損があったことから対象期間から除外した。本稿における1つの降雨イベントの定義は、降雨前後に無降雨期間が12時間継続し総雨量が10.0 mm以上とした。本論文で分析した97件の降雨イベントの総雨量と最大10分間雨量との関係を図3に示す。

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

** 立命館大学

*** 鹿児島大学

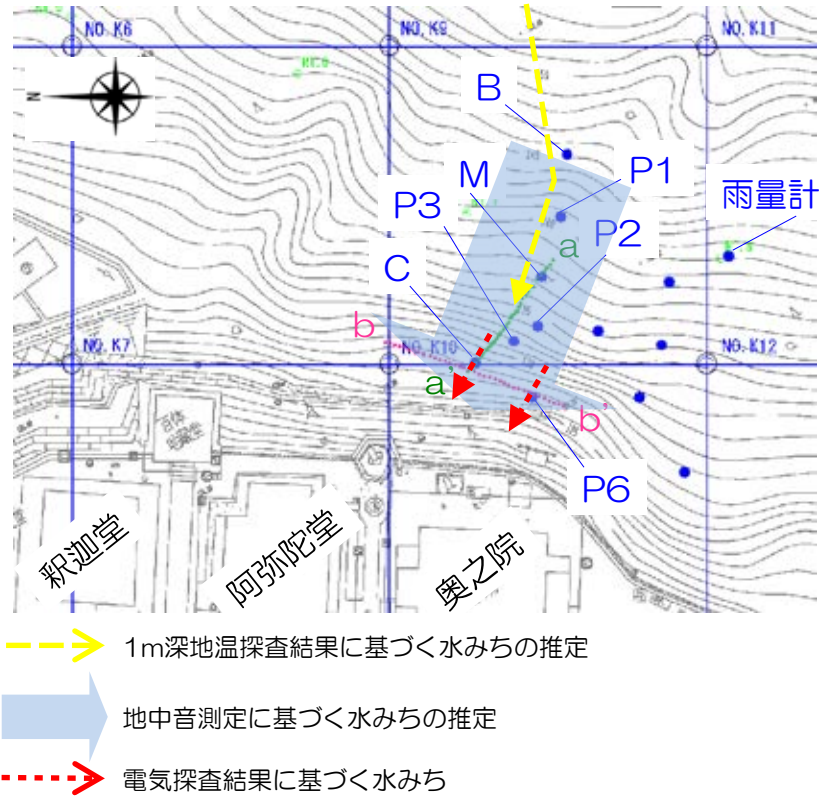


図2 水文調査に基づく水みちの推定位置^{3), 4), 5)}

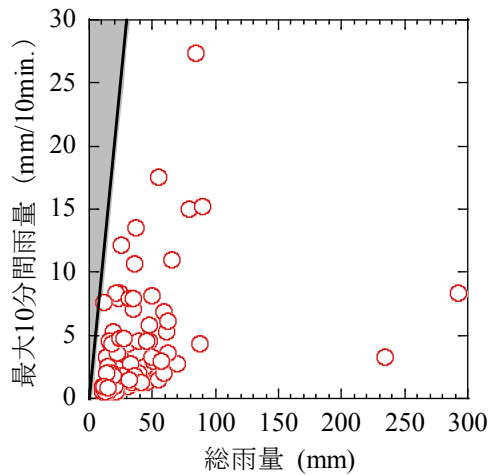


図3 分析降雨イベントの10分間雨量と総雨量との関係

3. 解析結果

図3に降雨開始から最大地下水位比までの累積雨量と地下水位比の最大値との関係について示す。本稿では間隙圧値が正圧(≥ 0 cmH₂O)を超えると計測部が飽和しているとし、正圧以上を示す場合はその数値に相当する地下水位が形成されていると想定した。そのため図3の縦軸で示す地下水位比とは、基盤層までの土層厚に対する地下水位高さの比とする。全降雨イベントの最大10分間雨量、総雨量の

上位10%をそれぞれ降雨強度が大きいおよび総雨量が多いと定義したところ、これら閾値が最大10分間雨量で8.4 mm/10 min.以上、総雨量で62.5 mm以上となった。そのため、図4に最大10分間雨量が8.4 mm/10 min.以上の降雨イベントを青丸で示し、総雨量が62.5 mm以上の降雨イベントを赤丸で示した。さらに、最大10分間雨量が8.4 mm/10 min.以上かつ総雨量62.5 mm以上の降雨イベントを紫色でプロットした。

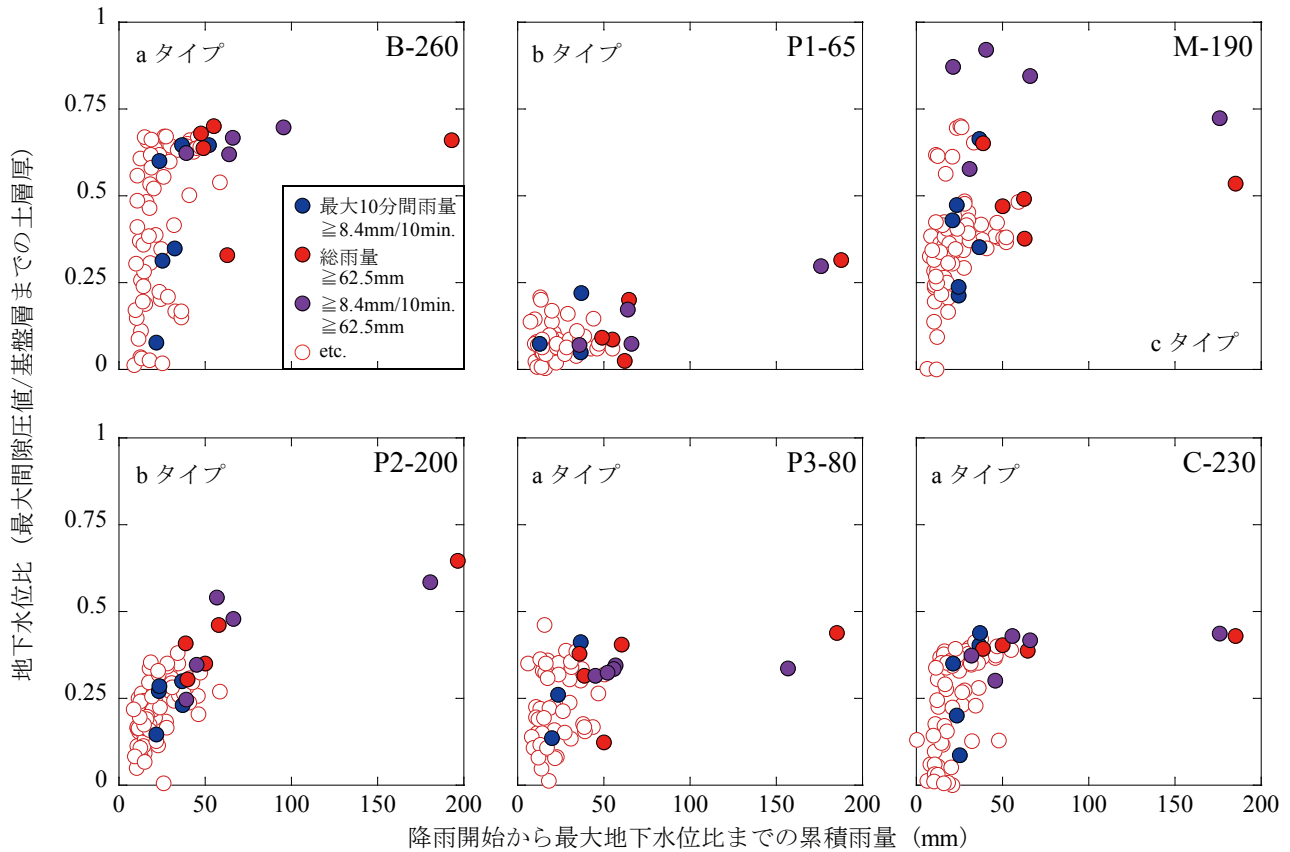


図4 降雨開始から最大地下水水位比までの累積雨量と地下水水位比の最大値との関係

B-260, P3-80, C-230 より、降雨開始から地下水水位比の最大値までの累積雨量が約 40.0 mm を超えると、総雨量や最大 10 分間雨量に関わらず一定値に収束する傾向が見られた。P1-65, P2-200 では、最大 10 分間雨量の影響はないものの総雨量が多い降雨イベントにおいて地下水水位比の最大値が高い傾向があった。M-190 では、最大 10 分間雨量が大きく総雨量が多いイベントにおいて地下水水位比の最大値が高くなることが分かった。

4. まとめ

本稿では、現地斜面における降雨量と間隙圧結果を用いて、降雨に伴う地盤内浸透および地下水位変動特性について分析を行った。その結果、降雨開始から最大地下水水位比までの累積雨量と地下水水位比との関係から、a) 地下水水位比の最大値が一定値に収束するもの、b) 累積雨量の増加に伴い地下水水位比の最大値が増大するもの、c) 10 分間降雨強度および総雨量が大きくなることで地下水水位比の最大値を超過するものの 3 タイプが確認された。そのため、実

際に計測することでしか把握することができない現象、つまり本計測斜面では少なくとも 3 タイプの浸透および地下水位変動特性を有しているという現象を捉えることができた。

参考文献

- 1) 檀上 徹・藤本将光・木村 亘・平岡伸隆・深川良一 (2014) : 2013 年台風 18 号の豪雨に伴う清水寺境内の被害と地盤内水分変動に関する考察. 歴史都市防災論文集, Vol.8, pp.115-122.
- 2) 有光悠紀・藤本将光・平岡伸隆・檀上 徹・石田優子・深川良一 (2015) : 清水寺後背斜面における土層内の間隙水圧値の変動特性の把握. 歴史都市防災論文集, Vol.9, pp.191-194.
- 3) 仲矢順子・深川良一・酒匂一成 (2011) : 清水寺後背急勾配斜面における地盤表層地下水流路の調査と分析. 歴史都市防災シンポジウム, Vol.5, pp.271-278.
- 4) 藤本将光・檀上 徹・土山拓也・木村亘・深川良一 (2014) : 清水寺後背斜面における地中音測

定を用いた地下水流動の把握. 歴史都市防災論文
文集, Vol.8, pp.145-150.

5) 檀上 徹・高倉伸一・有光悠紀・藤本将光・石

澤友浩・深川良一(2015): 重要文化財後背斜面
における比抵抗法電気探査を用いた地下水帯の
把握. 歴史都市防災論文集, Vol.9, pp.9-16.

北海道で急増した豪雨により顕著となった寒冷地の斜面堆積物の崩壊

—2014年、2016年の豪雨災害による例—

石丸 聡*

キーワード：斜面堆積物，周氷河性斜面，5e段丘，斜面崩壊，豪雨

1. はじめに

日本国内でも北海道から東北地方北部にかけて、あるいは標高の高い地域において、1万年以上前の寒冷期（酸素同位体ステージ（MIS）：2～4）に周氷河性斜面が形成された。周氷河性斜面は水流による浸食等の作用が弱く、凍結の強く関与する環境下で形成される。地盤の凍結破砕作用により岩屑およびマトリクスが活発に生産され、凍結融解作用による面的で緩慢な土砂移動によって、地表を厚い斜面堆積物が覆っていく。その結果、水系が未発達で、なだらかな斜面で特徴づけられる地形が形成される（写真1）。国内において北海道は豪雨頻度の低い地域にあたり、特に道北・道東地方では日降水量が100mmを超えるような雨が降ることはほとんどない（図1）。そのため、周氷河性斜面はほとんど開析されることなく、現在も広い範囲で見られる。しかしながら、近年、北海道各地で豪雨頻度が高まるとともに、周氷河性斜面において、これまであまり見

積物が覆っていき、その結果、水系が未発達で、なだらかな斜面で特徴づけられる地形が形成される（写真1）。国内において北海道は豪雨頻度の低い地域にあたり、特に道北・道東地方では日降水量が100mmを超えるような雨が降ることはほとんどない（図1）。そのため、周氷河性斜面はほとんど開析されることなく、現在も広い範囲で見られる。しかしながら、近年、北海道各地で豪雨頻度が高まるとともに、周氷河性斜面において、これまであまり見



写真1 礼文島に広がる周氷河性斜面 段丘堆積物の上に厚い斜面堆積物がのる。

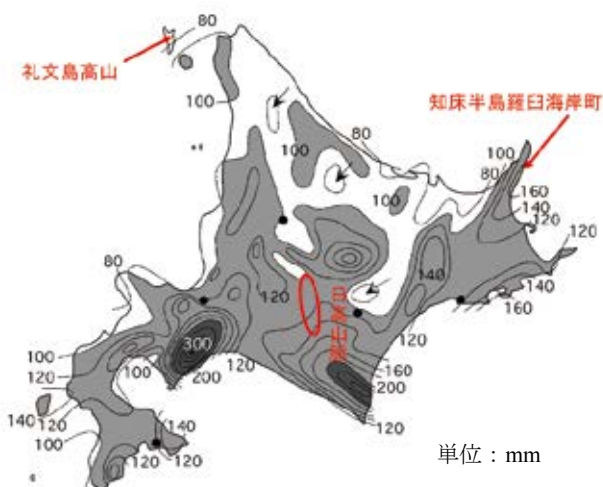


図1 10年確率の最大日降水量
(北海道土木部1989を加筆修正)



写真2 礼文島の周氷河性斜面堆積物
角礫混じりの淘汰の悪いシルトからなる。
局所的に弱い流水の関与した層理構造が見られることもある。

* 北海道立総合研究機構 地質研究所

られることのないタイプの斜面崩壊が、しばしば発生するようになった。このような斜面堆積物の残る地域において、これまで経験したことの無いような豪雨に見舞われた際にどのような斜面災害が発生するか、2014年8月の礼文島と2016年8月の知床半島や日高山脈の斜面崩壊の事例を紹介し、その崩壊の特徴ならびに寒冷地ならではの斜面崩壊の発生場について検討を行う。

2. 2014年8月礼文島高山の斜面崩壊

礼文島を含む北海道北・道東地方は、日降水量が100mmを超えることのほとんどない地域であり(図1)、全国でもっとも豪雨の少ない地域として知

られる。礼文島内のアメダス観測点においても、日降水量が100mmを超える記録は過去1度しかなかった。ところが2014年8月の豪雨災害では、これまでの礼文島内の記録を大きく上回る日降水量160mm、降り始めからの総降水量207mmを記録した(図2)。また、降水ピーク時には3時間半に降水量が100mmに達するなど、降水は短時間に集中した。

この雨により礼文島北東部の海岸に位置する高山地区の斜面で崩壊が発生し、斜面下に建つ住宅が押しつぶされ2名の犠牲者を出した。この被災地は、酸素同位体ステージ(MIS)5eの最終間氷期段丘が点在する箇所にあたる(図3)。ここでは段丘が斜面

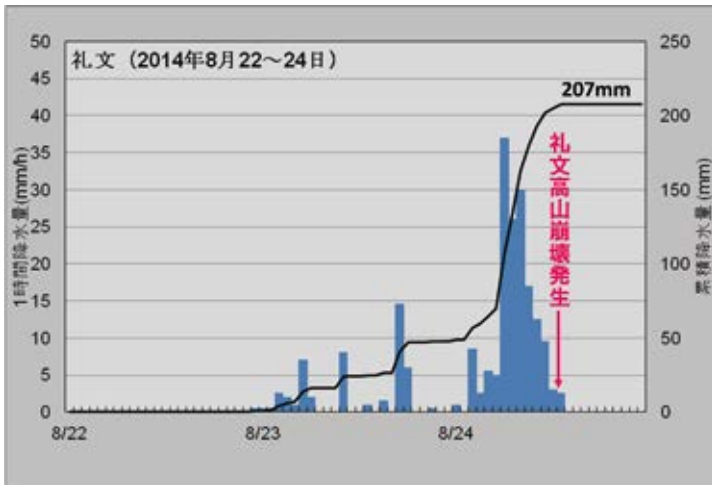


図2 アメダス礼文観測所の降水状況
高山地区の斜面崩壊は、降水ピークから約6時間後に発生した。



図3 斜面堆積物に覆われた最終間氷期(酸素同位体ステージ5e)段丘の分布



写真3 高山地区の崩壊発生源
スプーンでえぐられたような形状をなす。(2014年8月28日撮影)

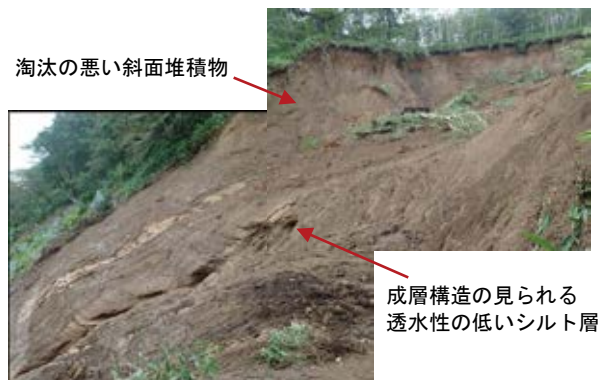


写真4 海食崖中部から抜け落ちた土塊が住宅を押しつぶす(白枠は写真3の範囲)



(株) 開発調査研究所 8月25日撮影

写真5 知床半島 羅白海岸町の崩壊
道道が土砂で塞がれ、6日間集落が孤立した。



淘汰の悪い斜面堆積物

成層構造の見られる
透水性の低いシルト層

写真6 崩壊源の斜面堆積物とその下位の成層
構造の見られる透水性の低い堆積物

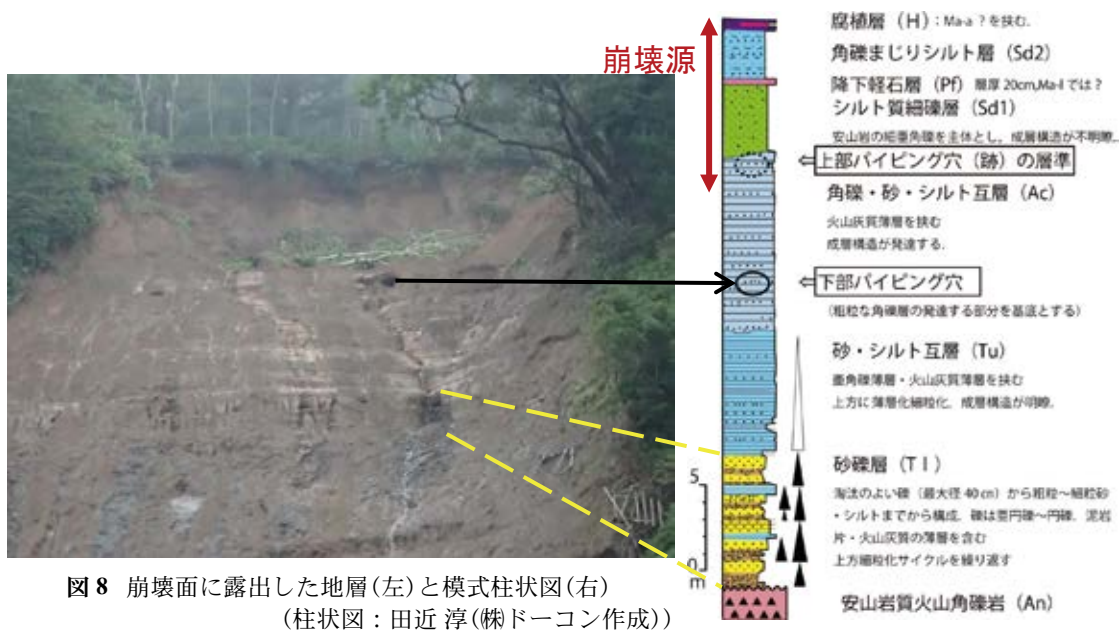


図8 崩壊面に露出した地層(左)と模式柱状図(右)
(柱状図: 田近 淳(株)ドーコン作成)

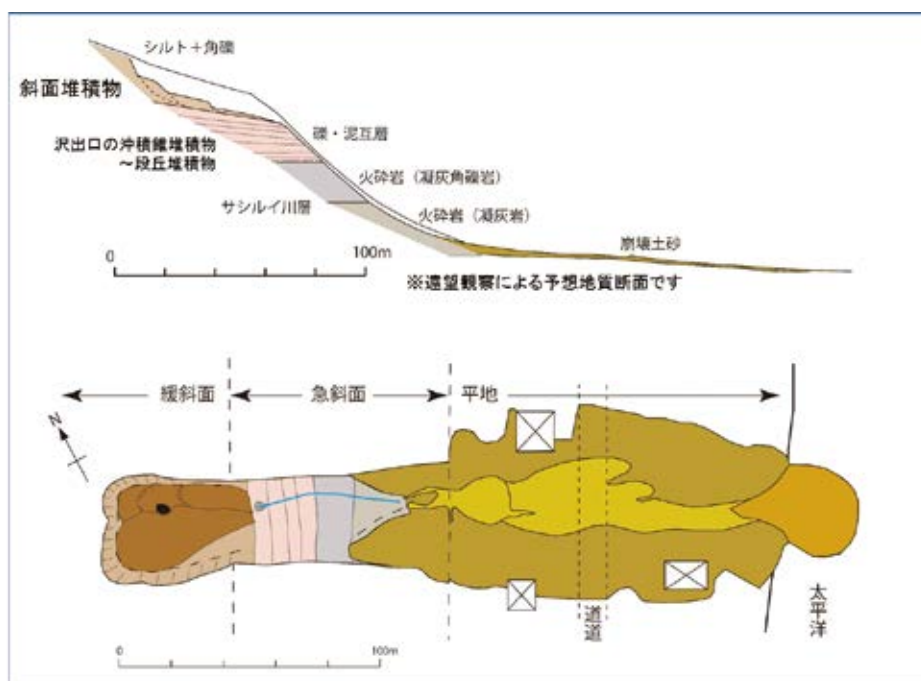


図9 羅白海岸町崩壊の縦断面図(上)と平面図(下)(簡易測量と遠謀観察による)

る(図8)。この垂角礫混じりのシルト層は土石流～土砂流堆積物を主とするものとみられ、シルト主体の部分は透水性が低く、またすべりやすい特徴を持つ。さらに、このシルト層の上位には周氷河性斜面堆積物とみられる淘汰の悪い角礫混じりのシルト層がのり、緩斜面地形を形成する(写真6)。

今回、崩壊したのは、上記の急崖に露出した礫・泥互層上にある淘汰の悪い角礫混じりのシルト層で、海岸に面する急斜面上に広がる緩斜面地形を形成する斜面堆積物である(写真6, 図9)。この堆積物はルーズで水を含みやすく、下位の垂角礫混じりのシルト層(土石流～土砂流堆積物)より透水性が高いため、大雨後には地中水を保持しやすく、特に基底付近は地中水が集中したとみられ、両層の境界付近にはパイピングホール跡がみられた。

4. 2016年8月日高山脈日勝峠・狩勝峠の斜面崩壊

日高山脈では、北海道に台風が接近・上陸した場

合、大雨を降らせることがあるが、それでも日降水量が200mmを超えることは、これまでほとんどなかった。ところが、台風10号の接近により、日高山脈を横断する日勝峠や狩勝峠周辺では8月28日夜から31日朝にかけて400～500mm前後の降水があり、30日から31日未明にかけて多数の斜面崩壊・洗掘が発生した。

この地域は水系未発達で周氷河性斜面が広がり、マサ状に風化した花崗岩質の厚い斜面堆積物が山地斜面を覆っている。この雨による大量の表流水と地中水により、マサ状の強度の低い堆積物が崩壊・浸食され、道路路面が斜面下に崩れ落ちた(写真7)。日勝峠の十勝側(東側)7合目付近では、崩壊面上部に、旧地表面と見られるクロボクをのせる赤褐色のTa-dテフラ(約9,000年前降灰)が、角礫混じりのマサ化した砂層の斜面堆積物を覆っている(写真8)。この角礫混じりの砂層は、この地域に分布する酸素同位体ステージ(MIS)2以前の周氷河性斜面堆積物



(株)シン技術コンサル 9月7日撮影

写真7 日勝峠の十勝側7合目崩壊の垂直写真
マサ状の斜面堆積物が崩壊・浸食



写真8 日勝峠7合目崩壊地の斜面堆積物
クロボク直下の赤褐色テフラは9,000年前降灰



写真9 狩勝峠の十勝側7号目付近における厚い斜面堆積物の崩壊・浸食
国道の片側車線が崩落した。

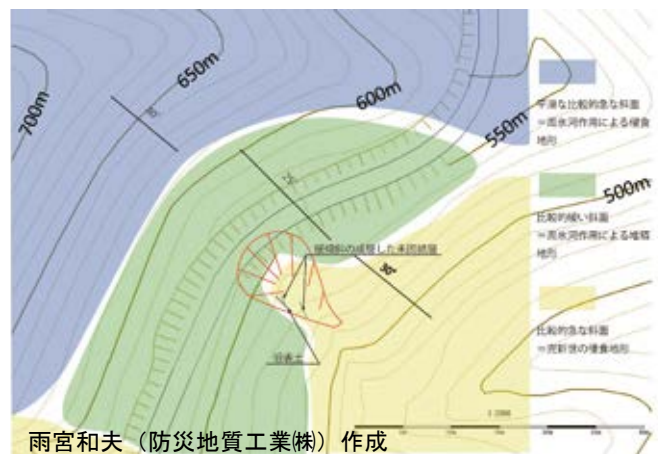


図10 狩勝峠7合目付近の崩壊の発生場
2016年の豪雨により水系未発達で周氷河性斜面(堆積地形)が開析された。

と考えられる(山本, 1989). 同様の崩壊・浸食は狩勝峠周辺でも発生するなど(写真9), 日高山脈の広い範囲で寒冷期に形成された周氷河性斜面が開析された. 狩勝峠の十勝側(東側)7合目の崩壊発生箇所は周氷河性斜面の堆積域にあたる(図10). この地点は, 下流側から谷壁斜面が山地斜面に入り込む“後氷期開析前線(羽田野, 1986)”の直上にあたることから, 1万年以上前の寒冷期に形成された周氷河性斜面が今回の豪雨により浸食され, 開析を受けたことになる. 今後も豪雨が頻発するようであれば, 不

安定な堆積物からなる周氷河性斜面では, 崩壊・浸食がさらに上方へ侵入していき, 開析が進行する可能性がある.

5. おわりに - 寒冷地域において, 今後注目すべき点 -

近年北海道で見られる比較的規模の大きな斜面崩壊は, 厚い堆積物が斜面を覆っているところで発生している. 北海道の斜面は道外にくらべ厚い堆積物に覆われるが, これは1万年以上前(酸素同位体ステージ(MIS): 2~4)の寒冷な時代に活発であった

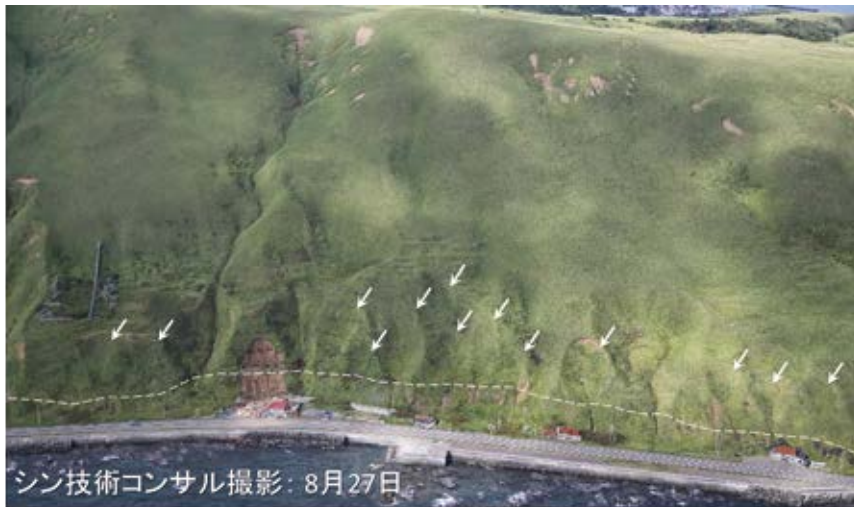


写真10 礼文島高山地区の被災箇所(写真左下)とその周辺の地形
段丘崖上部に並ぶ古い崩壊地形(白矢印). いずれも遷急線・ステップ状平坦面(白破線)に抜ける. 遷急線・平坦面の上位に, 厚い斜面堆積物が分布する.



写真11 知床半島羅臼海岸町周辺の被災前の斜面地形(釧路建設管理部 2006年撮影)
2016年崩壊範囲(白破線)周辺にスプーンでえぐられたような地形(黄破線)が見られる.

地盤の凍結破碎作用と凍結融解による斜面表層物質の移動などによって形成されたものである。北海道は、これまで比較的豪雨が少なかったために、こうした斜面上の不安定な堆積物さえも、なかなか崩れることはなかった。しかしながら、近年のように豪雨頻度が高まると、これらの斜面堆積物が頻繁に崩壊するようになることが予想される。これまで斜面崩壊の発生予測の対象は地すべり周辺を除けば、急傾斜地に限定されていたが、急傾斜地の上の緩斜面上において、厚い斜面堆積物が、どのような場所に存在するのかを把握することが、今後の斜面防災を検討する上で重要なテーマになると考えられる。

また、そのような場所で、これまで低頻度であっても斜面崩壊の発生した形跡がないかを読み取ることが重要となる。礼文島の2014年斜面崩壊地点の周辺を見てみると、海食崖(段丘崖)の直上に遷急線と狭いステップ状の地形が存在する(図4, 写真10)。この遷急線とステップ状地形の上位に斜面堆積物が存在していた。さらに、崩壊地点の周辺には、遷急線上にスプーンでえぐられたような形状がみられる(写真10)。これは、海食崖(段丘崖)の上にある斜面堆積物の基底付近をすべり面末端とした斜面崩壊が繰り返されてきたことを示唆する。たとえ発生頻度は低そうであっても、そのような地形のみられる周辺は、今後崩壊する可能性のある斜面として注目すべきである。ここで改めて知床半島羅臼町の崩壊地周辺に目を向けると、ここでもスプーンでえぐられたような地形がみられる(写真11)。これらの

事例から、今後崩壊する可能性のある斜面の抽出手段として、「遷急線直上のスプーン状地形」に注目することを提案する。

謝辞

礼文島および知床半島羅臼の調査では北海道水産林務部治山課に、日高山脈日勝・狩勝峠では北海道道路管理技術センターおよび北海道開発局帯広開発建設部に大変お世話になりました。また、本報告作成にあたっては、北見工業大学の伊藤陽司准教授、渡邊達也助教、防災地質工業㈱の雨宮和夫氏、㈱ドーコンの田近 淳氏、㈱開発調査研究所の原田卓弘氏、道総研地質研究所の輿水健一氏との情報・意見交換により得られたものが数多く含まれます。以上の方々に厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 羽田野誠一(1986)：山地の地形分類の考え方と可能性。東北地理, **38**, 87-89.
- 2) 北海道土木部河川課(1989)：北海道の大雨資料第8編のⅡ(確率雨量編)。北海道土木協会, 170p.
- 3) 小池一之・町田 洋(2001)：日本の海成段丘アトラス。東京大学出版会。
- 4) 山本憲志郎(1989)：完新世における日高山脈北部の周氷河性斜面堆積物の移動期。第四紀研究, **28**, 139-157.

火山灰分布域における斜面上火山砕屑物の地盤工学的特性と表層崩壊について

後藤 聡*¹・木村 誇*²・若井明彦*³・佐藤 剛*⁴・檜垣大助*⁵・林信太郎*⁶

キーワード：火山灰，クロボク，表層崩壊，阿蘇，豪雨

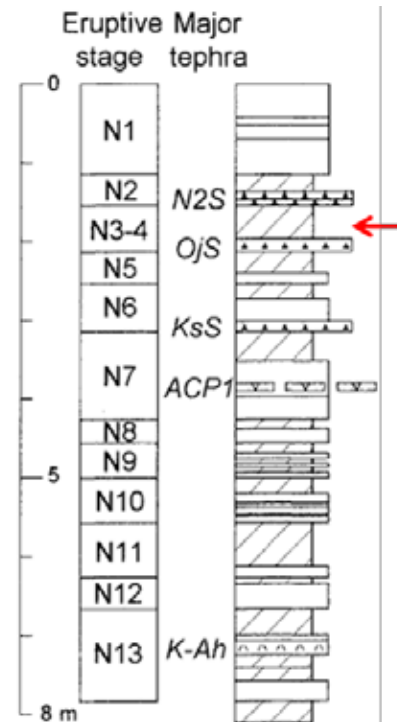
1. はじめに

平成24(2012)年7月九州北部豪雨により、阿蘇火山北部の火山砕屑物(テフラ)に覆われた急傾斜地で多数の表層崩壊が発生し、甚大な土砂災害を引き起こした。阿蘇火山周辺地域では、豪雨による表層崩壊の群発がおよそ10年おき(最近30年間では、1990年、2001年、2012年)に繰り返し発生している。このような土砂災害を防ぐためには、急傾斜地において崩壊予備物質となる火山砕屑物(テフラ)の層厚分布、浸透特性、強度特性等を把握する必要がある。これまでの研究によれば、過去の大雨で発生した崩壊の多くが地表付近のテフラ累層(ロームやクロボクといった火山灰土壌を含む)の中にすべり面をもった崩壊深1~2m程度の表層崩壊であったとみられる¹⁾。したがって、今後の大雨による土砂災害対策を講じる上で、急傾斜地におけるテフラ累層の層序や層厚分布、浸透特性、強度特性等を把握することが重要である。

これまでに筆者らは、阿蘇火山起源のテフラのアイソパックマップを用いてテフラ累層の層厚分布を推定するとともに、実測層厚との比較から、急傾斜地におけるテフラ累層の層厚分布の特徴を明らかにした²⁾。さらに、すべり面と考えられるテフラ累層から乱れの少ない試料を採取して、乾燥・湿潤密度試験、飽和透水試験および一面せん断試験等の土質試験を実施した。本発表では、これらの急傾斜地におけるテフラ累層の層厚分布の特徴、各種土質試験結果、斜面安定解析結果等について報告する。

2. テフラ累層の層厚分布およびすべり面での斜面安定解析

約3,600年前の噴火時に降下した往生岳スコリア



- Nakadake N2 scoria (N2S): 1.5ka
- **Ojodake scoria (OjS): 3.6ka**
- Kishimadake scoria (KsS): 4ka
- Aso central cone pumice 1 (ACP1): 4.1ka
- Kikai Akahoya ash (K-Ah): 7.3ka

(after Miyabuchi, 2009, 2011)

(以下、OjSと表記)より上位にあるテフラ累層の等層厚線図(宮縁ほか、2004)をもとに、スプライン法を用いた空間補間によって阿蘇火山周辺地域の層厚分布を推定し、中央火口丘斜面の高岳地区およびカルデラ内壁斜面の妻子ヶ鼻地区で実測した層厚と比較した²⁾。

等層厚線図から得た推定層厚をOjS層形成以降に降下したテフラの総量と見なすと、推定層厚と実測

*1 山梨大学大学院

*2 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

*3 群馬大学大学院

*4 帝京平成大学

*5 弘前大学大学院

*6 秋田大学大学院

層厚の比は過去約3,600年の期間におけるテフラの残存率と考えることができる²⁾。

現地調査により、すべり面はOjS層より上位のN3-4クロボク層中にあることが多かった(右図中に矢印で示す)。このN3-4クロボク層において乱れの少ない試料を採取して、一面せん断試験を実施した。一面せん断試験結果を用いて無限斜面の斜面安定解析を行い、表層崩壊の発生機構について考察し、危険地抽出方法について提案する。

謝辞

本発表は、(公社)日本地すべり学会が受託した国土交通省平成26～28年度河川砂防技術研究開発課題「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」の成果の一部を用いた。関係各位の方々に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 宮縁育夫・大丸裕武・小松陽一(2004) : 2001年6月29日豪雨によって阿蘇火山で発生した斜面崩壊とラハールの特徴. 地形, Vol. 25, No. 1, pp.23-43.
- 2) 木村 誇・後藤 聡・若井明彦(2016) : 阿蘇火山周辺地域におけるテフラ層厚分布を考慮した斜面安定性と土砂生産ポテンシャルの定量評価. 第55回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.140-141.
- 3) Miyabuchi, Y. (2009) : A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan, *A Sedimentary Geology*, Vol.220, No.3-4, pp.169-189.
- 4) Miyabuchi, Y. (2011) : Post-caldera explosive activity inferred from improved 67–30 ka tephrostratigraphy at Aso Volcano, Japan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol.205, No.3, pp.94–113.

地震とその後の降雨による表層崩壊
— 東北地方太平洋沖地震による茨城県北部の事例から —

川合昭彦*・八反地 剛**

Shallow Landslides Induced by Earthquake and Subsequent Rainfall
— A case of the 2011 East Japan Earthquake in Northern Ibaraki Prefecture, Japan —

Akihiko Kawai * and Tsuyoshi Hattanji **

*Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Japan

** Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Japan

hattan@geoenv.tsukuba.ac.jp

Abstract

We investigated topographic conditions for shallow landslides induced by heavy rainfall or strong earthquake in mountains underlain by granite and granodiorite in northern Ibaraki Prefecture, Japan. Total 311 landslides were triggered by a heavy rainfall event in 1977, 50 were triggered by the main shock of the East Japan Earthquake in March 2011, and 189 occurred in a post-earthquake period from March 2011 to March 2014. Although granite area had higher landslide density than granodiorite area for the rainfall event, the landslide densities in both granite and granodiorite areas were almost same for the earthquake event and the post-earthquake period. Landslides were concentrated in concave slope (valleys) with 35–45° for the rainfall event, while convex slope (ridges) with 35–50° had high landslide density for both the earthquake event and the post-earthquake period. Shallow landslides induced directly or indirectly by earthquake were probably controlled by topographic conditions such as slope angle and plan curvature.

Key words: GIS, Granite, Granodiorite, Plan curvature, Slope angle

1. はじめに

表層崩壊は山地における主要な地形プロセスの 1 つであり、その主な誘因は降雨と地震である。地震による表層崩壊は降雨による表層崩壊に比べて、急傾斜 (45 ~ 55°) であり、尾根型斜面で発生しやすいことが指摘されている¹⁾。また、地頭菌ほか²⁾は鹿児島県北西部の堆積岩山地と花崗岩山地を対象として、直下型地震と地震前の降雨によって発生した表層崩壊を調査した。その結果、降雨と地震のいずれの場合でも花崗岩山地の方が崩壊密度が高いことを示した。地震性崩壊についてこれまでいくつかの研

究例があるものの、地震前後での表層崩壊発生場の違いについて検討した研究は比較的少ない。本研究では、茨城県北部の花崗岩質山地を対象に、2011 年の東北地方太平洋沖地震の前後における表層崩壊発生場の変化や、地質条件が地震性崩壊の発生に及ぼす影響について検討した。

2. 対象地域

調査対象地域は、茨城県北部の大北川、関根川、関根前川、花貫川の各流域を含む山地である。調査地域南西部にある気象庁アメダス観測点「大能」の年

* 筑波大学大学院生命環境科学研究科

** 筑波大学生命環境系

降水量は1,858 mm(1985～2010年)である。植生は主にスギ・ヒノキであり、植林地として利用されている。地質は白亜紀前期に形成された阿武隈花崗岩類であり、調査地域の北部は花崗岩、南部は花崗閃緑岩により構成される。以下では北部の花崗岩地域をGr地域、南部の花崗閃緑岩地域をGd地域と略称する。

1977年9月には台風により北茨城市花園において日降水量266 mmを記録し、崩壊が多発した³⁾。また、2011年東北地方太平洋沖地震の本震に伴って崩壊が発生し⁴⁾、その後の3年間には余震や誘発地震のほか、日降水量200 mmを超える降雨イベントが2回あり、崩壊が多発した。

3. 方法

1975年から2014年にかけて撮影された空中写真(国土地理院、林野庁)および衛星写真(Google Earth, いばらきデジタルマップ)を用いて調査地域内の崩壊地を判読した(表1)。崩壊発生時期を1977年降雨、2011年地震、2011年地震後3年間の3つに区分し、時期毎の崩壊分布図を作成した。2009年国土地理院公開の10 m-DEMを基本図として、ArcGIS 10.3.1のSpatial Analystツールを用いて各崩壊地の傾斜角、平面曲率を算出した。平面曲率の正の値は尾根型斜面、負の値は谷型斜面を表す。

調査地域内の複数の降雨性、地震性および地震後3年間に生じた崩壊地において、傾斜角と崩壊深を現地で測定した。また、Gr・Gd地域内でそれぞれ1箇所ずつ代表的な表層崩壊地(それぞれGr斜面、Gd斜面と略称)を選定し、詳細な現地調査を行った。いずれもすべり面はマサ土内にある。Gr斜面は2011年3月の本震によって崩壊し、Gd斜面は2011年3月18日～同年12月15日までの期間に崩壊した。各崩壊地に隣接する斜面において筑波丸東式簡易貫入試験機を用いて土層構造を把握した。また滑落崖のすべり面に相当する深度において採取された攪乱サンプルを現地と同じ密度に調整して、一面せん断試験を行った。

表1 判読に用いた空中写真の撮影日

Table 1 Date of aerial photos used for interpretation.

Period	Before events	After events
Rainfall in 1977	1 Oct. 1975	24 May 1982
Earthquake in 2011	31 Dec. 2008	18 Mar. 2011
	21 Oct. 2009	
Post-Earthquake period (3 years)	18 Mar. 2011	(15 Dec. 2011) 31 Mar. 2014

4. 結果

1977年降雨、2011年地震、および2011年地震後3年間における崩壊分布図を図1に示す。図1の分布には自然斜面と道路法面の崩壊を含む。崩壊の個数はそれぞれ、311個(1977年降雨)、50個(2011年地震)、189個(2011年地震後3年間)である。なお、道路建設などの人為的な影響を取り除くため、以下では自然斜面の崩壊地に限定して解析を行った。

各地域における時期別の崩壊密度を図2に示す。

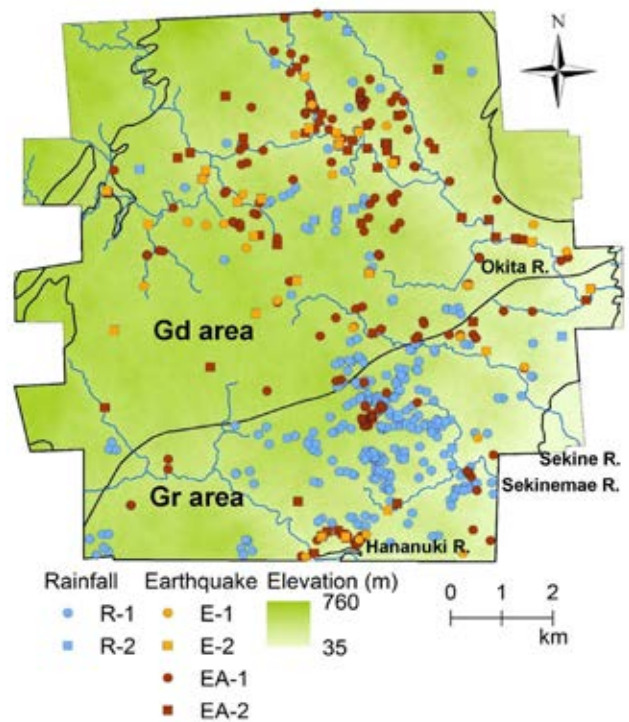


図1 調査地域における崩壊分布図。記号Eは地震、EAは地震後を示し、数字の1は自然斜面、2は法面を示す。

Fig. 1 Distribution of landslides in study area. E is earthquake and EA is post-earthquake landslide. The circle (-1) is natural slope and square (-2) is road cut.

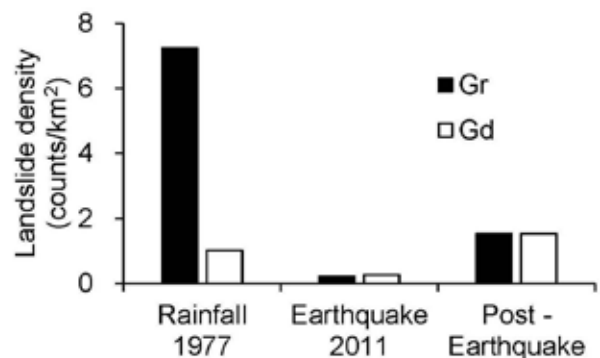


図2 Gr、Gd地域の時期別の崩壊密度

Fig. 2 Landslide density in Gr and Gd areas.

1977年降雨ではGr地域の崩壊密度がGd地域よりも高かったが、2011年の地震および地震後では、Gr・Gd両地域の崩壊密度がほぼ同程度であった。

傾斜と表層崩壊の関係を検討するため、10～55°の5°毎の各区分において、崩壊発生数をその区分の面積で割った値(崩壊密度)を求めた(図3)。1977年降雨の場合、Gr地域では35～40°、Gd地域では35～45°の崩壊密度が高かった。2011年地震の場合、Gr地域では傾斜35～45°、Gd地域では傾斜40～50°の崩壊密度が高かった。地震後の期間では、Gr・Gd両地域において傾斜35～50°の崩壊密度が高かった。

平面曲率と崩壊密度の関係を図4に示す。1977年降雨では谷型斜面(平面曲率が負の領域)において崩壊密度が高かった(図4)。2011年地震では、尾根型斜面(正の領域)の崩壊密度が高かった。地震後の期間には谷型・尾根型斜面の両方に崩壊が生じたが、尾根型斜面の崩壊密度の方が高かった。

現地調査の結果、Gr斜面では土層深が1m程度であったが、Gd斜面の土層深は5m以上であった。すべり面はいずれも40～60cm付近に位置しており、自然含水比条件では、Gr・Gd両地域におけるせん断強度の差異は小さかった(せん断抵抗角:40.9～42.3°、粘着力:54.0～58.7 gf/cm²)。飽和条件の場合、Gr地域のせん断抵抗角が50.5°、粘着力が26.0 gf/cm²であり、Gd地域のせん断抵抗角が33.0°、粘着力が39.5 gf/cm²であった。

5. 考察・まとめ

従来から指摘されているように、降雨性崩壊は谷型斜面に集中して発生しやすい(図4)。また、降雨性崩壊におけるGr地域とGd地域の崩壊密度の違いは、飽和側方流の発生しやすさの違いによって説明される⁵⁾。地震後の崩壊は、降雨による崩壊を含むにもかかわらず、地震性崩壊の傾向と類似した。せん断試験の結果をSkempton and DeLory⁶⁾の無限長斜面安定解析式に適用し、各地域において安全率が1となる傾斜角と崩壊深の関係を求めた(図5)。ここで、 m 値は土層深に占める地下水の相対水深であり、 $m=1.0$ は全土層が飽和していることを意味する。

調査地域において地震後に発生したマサ土斜面の表層崩壊のうちいくつかは、降雨のみでは崩壊が生じない安定側の領域に存在していた(図5)。本震直後に崩壊が発生しなかった場合でも、地震動の影響によりせん断強度が低下し、それらの斜面が地震後の3年間に降雨などをきっかけとして崩壊した可能性がある。実際、鳥居ほか⁷⁾は三軸圧縮試験機を用いて地震動がせん断強度に与える影響を検討し、水浸過程の後繰り返し荷重を加えた条件において強度が低下することを示した。地震性崩壊および地震後の崩壊は、基本的に傾斜と曲率などの地形条件によって規定されており、その結果としてGr地域とGd地域の崩壊密度が同程度になったと考えられる。

参考文献

- 1) 沖村 孝・鳥居宣之・永井久徳(1998)：地震後の降雨により発生した斜面崩壊メカニズムの一考察。建設工学研究所論文報告集, **40B**, 97-114.
- 2) 地頭菌隆・下川悦郎・松本舞恵・寺本行芳(1998)：1997年鹿児島県西北部地震による斜面崩壊の分布と地形的特性。砂防学会誌, **51**(1), 38-45.
- 3) 早川唯弘・酒井高志(1981)：茨城県における雨を誘因とした崩壊災害の発生と崩壊個所の分布。茨城大学教育学部紀要(自然科学), **30**, 1-16.
- 4) 木下祐介・八反地剛・八木勇治・江崎隼輝・奥村大輔(2014)：東北地方太平洋沖地震とそれ以降の降雨による斜面崩壊－茨城県北部の花崗岩山地における事例。地形, **35**, 25-39.
- 5) Wakatsuki, T. and Matsukura, Y. (2008): Lithological effects in soil formation and soil slips on weathering-limited slopes underlain by granitic bedrocks in Japan. *Catena*, **72**, 153-168.
- 6) Skempton, A.W. and DeLory, F.A. (1957): Stability of natural slopes in London Clay. *Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, London, **2**, 378-381.
- 7) 鳥居宣之・沖村孝・加藤正司(2007)：地震後の降雨による斜面崩壊発生機構に関する実験的検討。土木学会論文集C, **63**(1), 140-149.

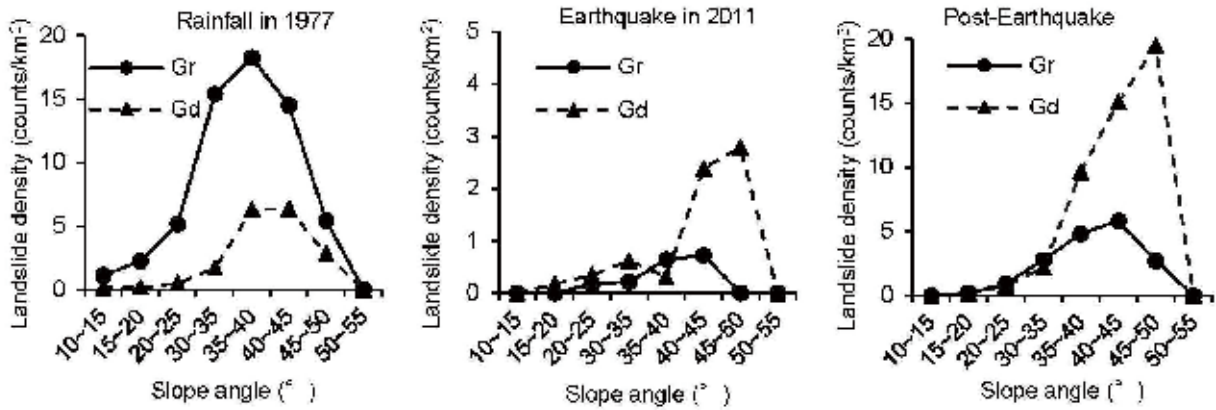


図3 1977年降雨, 2011年地震および地震後における傾斜と崩壊密度の関係
 Fig. 3 Landslide density and slope angle for rainfall event, earthquake event and the post-earthquake period.

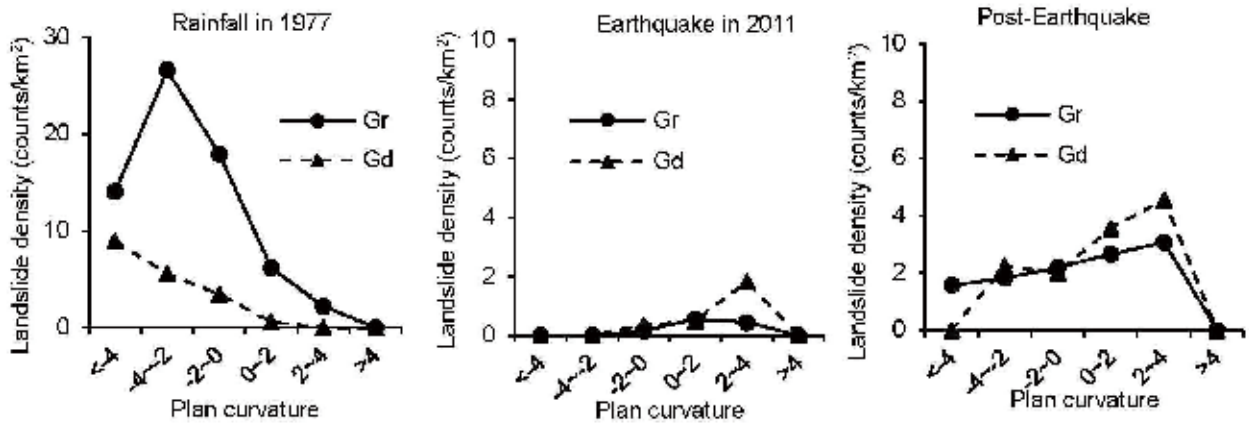


図4 1977年降雨, 2011年地震および地震後における平面曲率と崩壊密度の関係
 Fig. 4 Landslide density and plan curvature for rainfall event, earthquake event and the post-earthquake period.

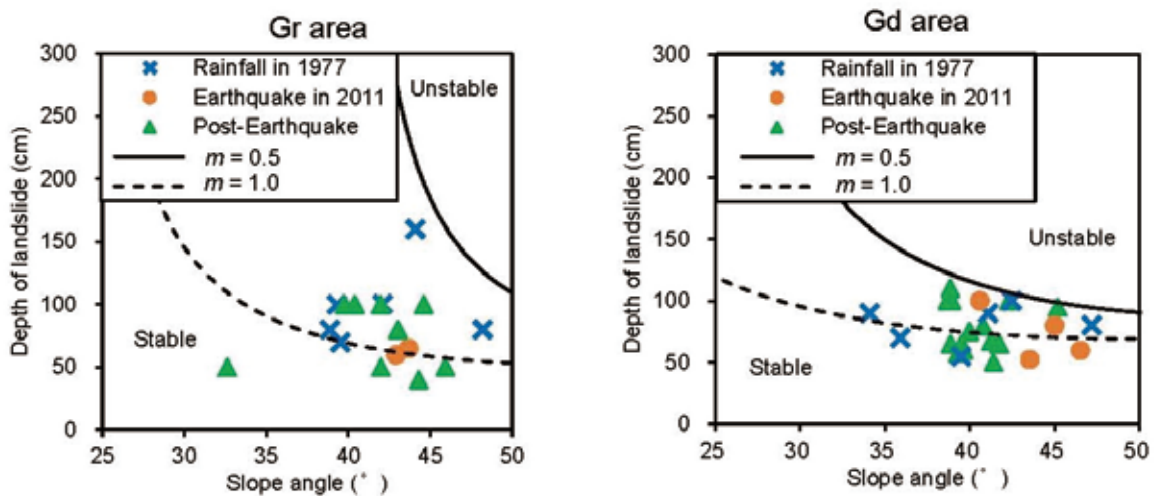


図5 無限長斜面安定解析に基づく傾斜角と崩壊深の関係. プロットはマサ土斜面の崩壊地のデータである.
 Fig. 5 Relationship between slope angle and depth of landslide based on infinite slope stability analysis.
 Plots represent landslides of grus slopes.

要 旨

茨城県北部多賀山地の花崗岩と花崗閃緑岩からなる山地を対象に，降雨と地震によって発生した表層崩壊の地形条件を分析した．この地域では1977年の台風に伴う降雨により311箇所，2011年東北地方太平洋沖地震により50箇所，さらに2011年の本震後から2014年までの3年間に189箇所で崩壊が発生した．1977年の降雨イベントでは花崗岩地域の崩壊密度が花崗閃緑岩地域に比べて高かった．2011年の地震および地震後の期間では，花崗岩地域と花崗閃緑岩地域の崩壊密度がほぼ同じであった．1977年降雨では35～45°の谷型斜面，2011年地震と地震後の期間では35～50°の尾根型斜面において崩壊密度が高かった．地震および地震後における表層崩壊の発生は，斜面の傾斜や曲率などの地形条件によって規定されると考えられる．

キーワード：花崗岩，花崗閃緑岩，GIS，平面曲率，傾斜角

阪神・淡路大震災後の大雨警報の発令基準の変遷及び地震後と 降雨後の表層崩壊発生場所

沖村 孝*

キーワード：阪神・淡路大震災，地震後の降雨，表層崩壊，大雨警報

1. はじめに

2016年は4月14日，16日と48時間のあいだに震度7を2回も観測した熊本地震が布田川断層群や日奈久断層群に沿って出現し，阿蘇外輪山ではカルデラ壁で斜面崩壊が，また南阿蘇村河陽地区では大規模崩壊が出現しJR豊肥本線や国道57号につながる阿蘇大橋に大きな被害を与えた．また同地区の京都大学火山研究所付近では地すべり性の崩壊も発生した．これらの斜面変状周辺では，大きな亀裂も出現し，その後の余震や降雨による被害拡大が心配された．今から21年前に出現した兵庫県南部地震でも六甲山系に747箇所(沖村・鳥居・伊井：1995)の表層崩壊が発生するとともに，多くの亀裂が確認され，その後の余震や降雨による崩壊発生が危惧された．本報では，これらのリスクに対処するために地震直後に採られた対応を改めて紹介するとともに，1995年5月と7月の降雨により発生した表層崩壊発生場所の地震による崩壊発生場所の特徴について報告する．

2. 地震後に採られた警戒対応

兵庫県南部地震により出現した大規模な変状が出た3地区に対しては1月20日から22日にかけて警報装置および伸縮計が8基設置され，他の1地区に対しては1月28日～2月14日に警報装置と伸縮計12基設置，残る1地区には2月1日に伸縮計4基が設置され，監視体制がスタートするとともに，他の地区に対しては，1月22日～26日にかけて実施された建設省緊急支援チームによる1,101地区の危険地域を対象に調査が実施され，71地区が継続的な監視が必要な地域として把握された．この地域に対して重点的にパトロールが実施された．3月6日～31

日にかけて降雨や余震による危険箇所への影響を調査する二次調査が実施された(兵庫県：1996)．

地震後の六甲山系の土砂災害に対する警戒・避難体制を確立するため5人の有識者による「兵庫県震後土砂災害警戒避難基準検討会」が設置され，4月22日に第1回が開かれ，実効雨量と1時間雨量で決められるCLを50%小さくした警戒避難基準雨量が定められ，早めの警報発令を行うことになった(六甲砂防工事事務所：1996)．その後5月11日～12日に連続雨量183ミリと，5月としては神戸海洋気象台の記録となる降雨を経験したが幸いにも大きな土砂災害は発生せず，5月13日に開かれた第2回目の会議で，50%が80%に切り上げられた．さらに，7月2日～5日まで連続雨量232ミリが降る豪雨があり，7月6日には東灘区，灘区の山麓域に避難勧告が発令されたが，この時の雨でも大きな土砂災害は発生しなかった．これらの経緯を経て，その後この基準も変更され平成8年3月には地震前に基準に戻った．

3. 兵庫県南部地震による崩壊とその後の降雨を経験した後の表層崩壊地分布

図1は地震後の表層崩壊地分布(沖村：1996)，図2は5月と7月の降雨を経た後の崩壊地分布(六甲砂防工事事務所：1995)である．図1より崩壊地は東六甲に多く，西六甲では少ない特徴を有していることがわかる．これは，この地震の震央は淡路島北部の瀬戸内海にあり，地震破壊は須磨断層，会下山断層，諏訪山断層，大月断層，五助断層を経て東六甲に進んだものと思われるが，六甲山系は宝塚で切れるため，ここでは破壊エネルギーが進むことなく，この東六甲で増幅したものと思われる．このため，

* 一般財団法人建設工学研究所

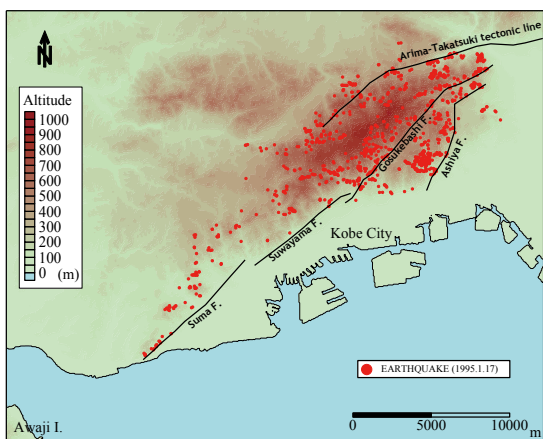


図1 地震後の崩壊分布

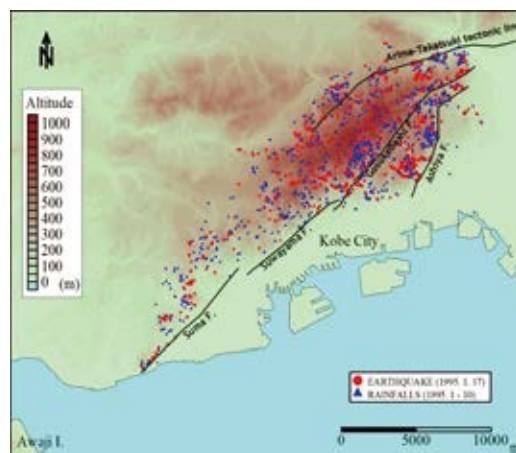


図2 地震後および地震後の降雨による崩壊分布

東六甲で表崩壊が多発したものと推定された。

しかし、上述したように5月、7月の豪雨は六甲山系一帯に降り、地震により緩められていた表土層に雨水が浸透することにより938箇所(六甲砂防工事事務所：1996)と、地震時を上回る数の崩壊が発生したと思われる、地震時に崩壊の少なかった西六甲一帯にも多くの表層崩壊が出現した。地震時に出現した表土層の亀裂が、地震後の降雨による崩壊発生に影響を及ぼしていたかどうかは、キレツの分布を当時、把握していなかったので不明である。しかし、動的モデル実験で、遷急点付近で最初に出現するキレツと表層崩壊の滑落崖とは一致しなかったことが明らかになっており(沖村ほか：2008)、また熊本地震における踏査結果からも、キレツのすべてが崩壊に寄与していなかったことも示されており(石川ほか：2016)、今後、どのような場所の亀裂が、地震後の降雨による崩壊に大きな影響を持つかを明らかにする必要がある。

4. 崩壊地の地形条件(沖村・鳥居・伊井：1995)

地震時に崩壊が出現した地形条件(本報告で使用した地形図は縮尺1/10,000である)を図3に示す。表土層のない露頭崖や、降雨時には表層崩壊が出現しない凸型斜面で崩壊が多発していることがわかる。図4は1967年の豪雨により崩壊した地形条件(沖村：1969)と今回の地震時におけるそれとを比較したものである。降雨時の崩壊は表土層が崩壊するもので、凹型地形で崩壊が多いが、凸型地形では崩壊は少なく、地震時と降雨時では崩壊発生地形条件が異なることがわかる。

5. 地震後の降雨による崩壊発生場所(Okimura & Tori:2000)

地震時の崩壊場所と地震後の降雨による崩壊場所との関係を見るため、図5に示す定義により滑落崖が拡大するか、あるいはまったく異なる場所で崩壊が出現するかを求めた。結果を図6に示す。当初は、拡大型崩壊が多いものと思っていたが、結果は逆で、

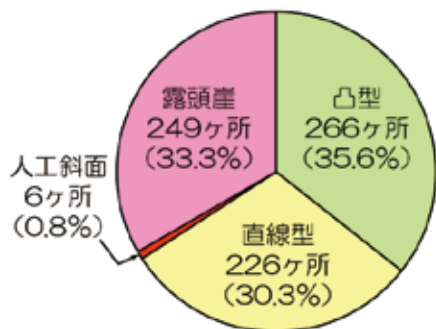


図3 地震時の崩壊発生場所

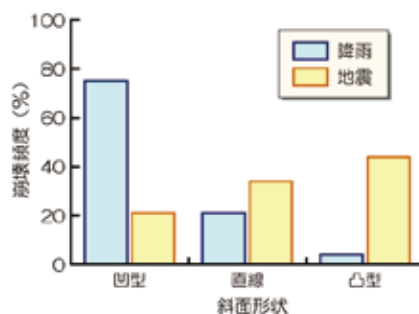


図4 1967年豪雨時と地震時の違い

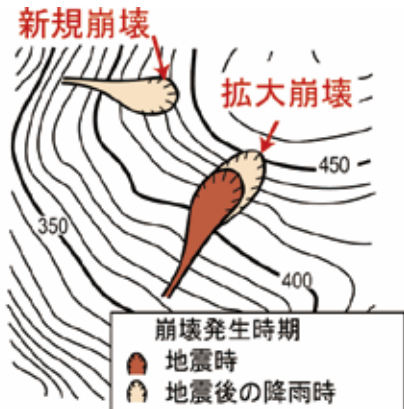


図5 降雨による崩壊の定義

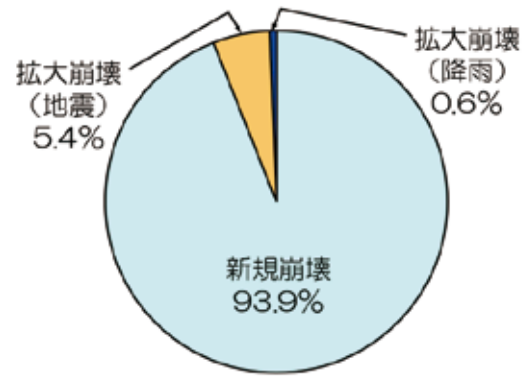


図6 地震後の降雨による崩壊

93.9%は地震時の崩壊場所とは異なる場所で発生していた。地震時に崩壊した場所が拡大したものはわずか6.1%であった。この原因としては、露頭崖では降雨による崩壊が発生しないことに加えて、マサ土が砂質系で大きな透水係数を有していたためではないかと推定された。

6. 地震時の崩壊場所の比高(沖村・鳥居・伊井：1995)

地震時に出現した崩壊は、頂部に近く、いわゆる「9合目崩壊」と称される場所で発生していた。このため図7に示すように、崩壊滑落崖が斜面の比高のどの高さに位置するかを比高率として定義し、谷底が0%、頂部が100%とした。結果を図8に示す。50%以上から多くなり、斜面の上方で数多く発生したことがわかる。これは地震動が斜面の上方で増幅されることによるものと思われる。しかし、尾根近傍では遷急点があり、頂部ほど多くなるとは限らないことを示している。

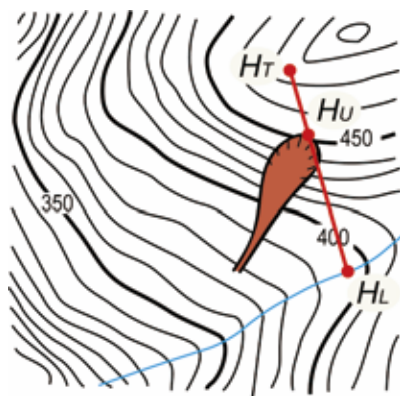


図7 比高の求め方

7. 地震時および地震後の降雨による崩壊発生地形条件

地震時に崩壊が発生した縦断形状としては、図3に示したように、地震時では凸型斜面で35.6%、直線型斜面で30.3%、露頭崖で33.3%、人工斜面0.8%であったが、地震後の降雨による崩壊地の縦断面地形条件を図9に示す。この図より凸型斜面では9.9%、直線型斜面では76.0%、凹型斜面で6.0%、露頭崖で3.2%、人工斜面で4.9%となった。斜面上部の凸型斜面や下部の凹型斜面では崩壊が少なく、その間の直線型斜面で多いことがわかる。また、横断面の地形条件を図10に示す。平行型斜面である直線型で73.9%、尾根型である凸型斜面で9.9%、谷型である凹型斜面で8.1%となり、降雨の集水効果により、凹型斜面で増加していた。

8. 地震時及び地震後の降雨による崩壊の傾斜度(沖村・鳥居・伊井：1995, 鳥居：2008)

兵庫県南部地震が発生した1995年当時は、汎用性のDEMがなかったため、本研究では図11に示すように、滑落崖の10m等高線の間隔を図上で読み

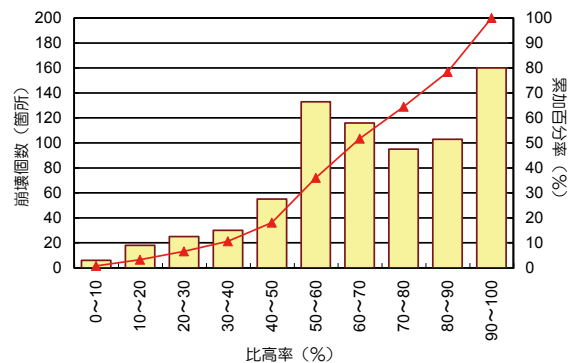


図8 地震時に発生した崩壊の比高率

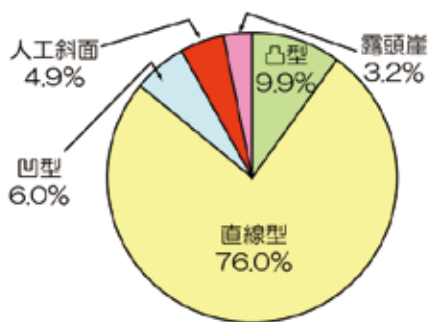


図9 地震後の降雨による崩壊地形条件 (縦断条件)

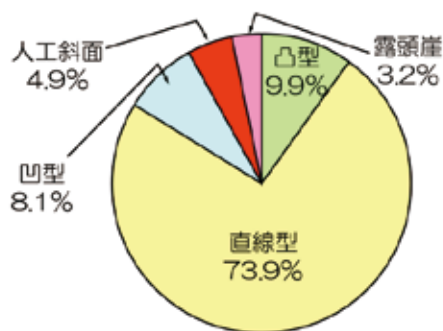


図10 地震後の降雨による崩壊地形条件 (横断条件)

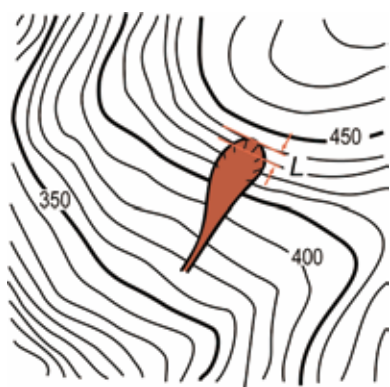


図11 本報告で求めた傾斜度の定義

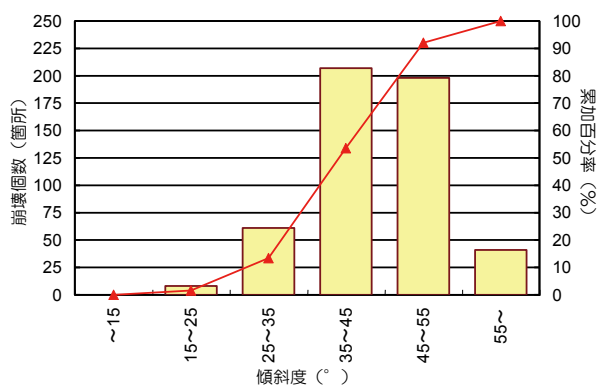


図12 地震による崩壊の傾斜度

取り、これから傾斜度を求めた。地震時に発生した崩壊の傾斜度分布を図12に示す。これより地震後の崩壊では35～45°で全体の約40%が出現、次いで45～55°で約38%となり、両者を合わせた35～55°で約78%の崩壊が出現しており、急斜面で崩壊が多かった。図13は文献から得られた1967年の豪雨による崩壊の傾斜度分布で、30～40°で全体の60～80%の崩壊が見られたことと比較すると、地震時では急斜面での崩壊が顕著であったことがわ

かる。図14は、降雨による崩壊、地震時の崩壊に加えて、地震後の降雨による崩壊も併せて示した。それによると、地震後の降雨による崩壊では35～45°で約32%と最も多く、次いで45～55°で約29%となり、両者をを合わせた35～55°で約70%となり、地震時の約78%よりも少し小さくなり、その分25～35°での崩壊数が多くなっていった。これは降雨による崩壊の影響があったものと推定された。

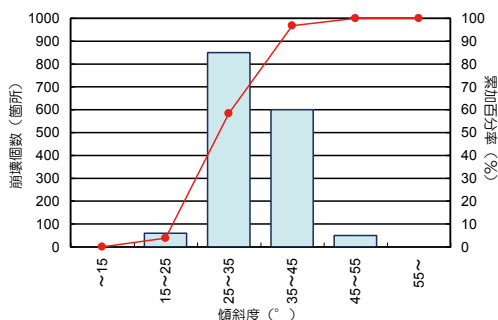


図13 1967年豪雨による崩壊傾斜度

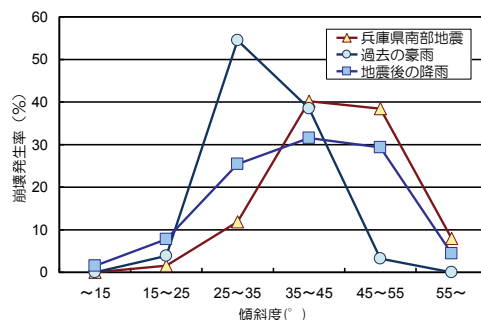


図14 地震時、地震後の降雨、降雨のみの崩壊傾斜度の分布

参考文献

- 1) 沖村 孝・鳥居宣之・伊井政司(1995)：兵庫県南部地震による山腹崩壊の実態．土地造成工学研究施設報告，**13**，147-167.
- 2) 兵庫県(1996)：阪神淡路大震災－兵庫県の1年の記録.
- 3) 六甲砂防工事事務所(1996)：阪神・淡路大震災における六甲山の土砂災害と対策.
- 4) 沖村 孝(1996)：6 六甲山地における山腹斜面の崩壊．兵庫県南部地震と地形災害，古今書院，110-126.
- 5) 建設省六甲砂防工事事務所(1995)：崩壊地拡大分布図.
- 6) 沖村 孝ほか(2008)：振動台実験による耐震治山工法の確立．地すべり，**45**(1)，13-26.
- 7) 石川芳治ほか(2016)：平成28年熊本地震後の降雨による二次土砂移動と二次土砂災害．新砂防，**69**(4)，25-36.
- 8) 沖村 孝(1969)：神戸大学大学院工学研究科修士論文.
- 9) Okimura,T. and Torii, N.(2000): Post-Quake Mountain Slope Failures caused by Rainfalls, Proceedings of the second JAPAN-IRAN Workshop on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation, 77-82.
- 10) 鳥居宣之(2008)：地震を起因とする盛土ならびに自然斜面の崩壊発生機構とその危険度評価に関する研究．神戸大学博士論文，63-83.

深層崩壊の発生危険斜面の抽出と警戒避難対応 —火砕流台地を例にして—

地頭菌 隆*・松本 祐樹*・田中 俊和*・清崎 淳子**

キーワード：深層崩壊，火砕流台地，地下水，危険斜面抽出，警戒避難対応

1. はじめに

2010年，鹿児島県南大隅町の火砕流台地周縁で深層崩壊が発生した(図1)．崩壊した斜面は亀裂の多い溶結凝灰岩層であり，その下位は非溶結凝灰岩層である．崩壊直後，これらの地層境界から多量の湧水がみられたことから，台地上から浸透した雨水は溶結凝灰岩層の亀裂を通過して非溶結凝灰岩層に達し，地層境界を流動して台地周縁から流出していると考えられる．崩壊は多量の降雨に伴う地下水の集

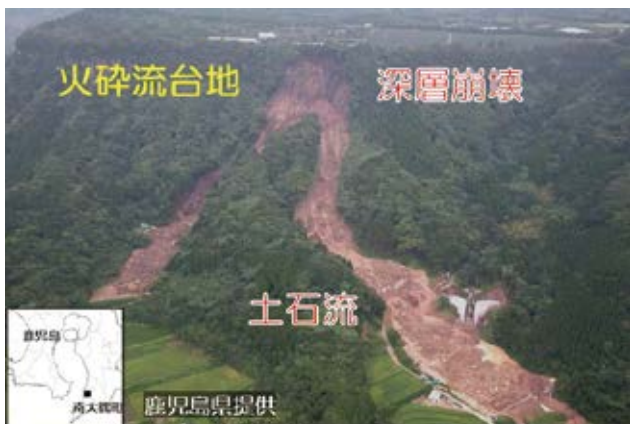


図1 2010年鹿児島県南大隅町で発生した深層崩壊 (鹿児島県撮影)

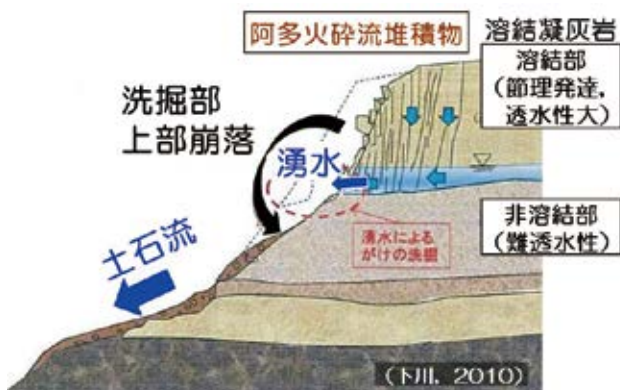


図2 深層崩壊の発生機構(下川, 2010)

中と地下水圧の上昇，湧水付近の侵食による溶結凝灰岩層の不安定化が原因となり発生したと推定される(図2)．ここでは，火砕流台地周縁における深層崩壊の発生危険斜面を地下水の集中という視点で抽出し，さらに湧水を深層崩壊発生時の警戒避難対応に活用する手法を検討した．

2. 深層崩壊の発生予測手法

図3は，渓流水と湧水を活用した深層崩壊発生危険斜面の抽出と警戒避難対応のフローである．台地周縁に小流域を設定して渓流水の流量と電気伝導度(EC)を測定する．ECは渓流水中の溶存イオンの総量を表す指標であり，地下水は流動過程で岩石から溶出したイオンを取り込むため，流動時間が長い地下水はECが高くなる(地頭菌, 2014)．渓流水ECが高くて比流量が大きい流域を抽出し，その上流部の溶結凝灰岩の急斜面を危険斜面とする．さらに，危険斜面の湧水流量を監視して深層崩壊発生時の危険

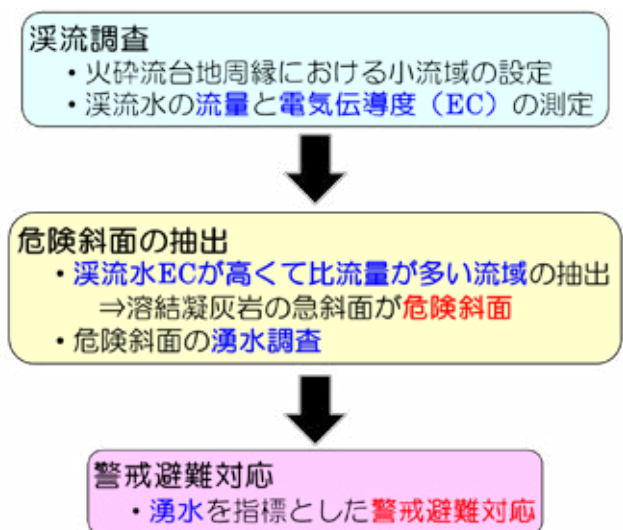


図3 渓流水と湧水を活用した深層崩壊発生危険斜面の抽出と警戒避難対応(松本ら, 2016)

* 鹿児島大学 (saboj@agri.kagoshima-u.ac.jp)

** エネコム株式会社

度を評価する装置(湧水センサー)を用いて警戒避難対応を行う(地頭蘭ら, 2014). 湧水センサーは湧水流量を測定して10分間隔でサーバーに送信する装置であり, インターネットを介してパソコンやスマホで湧水流量の変化を監視できる(図4).

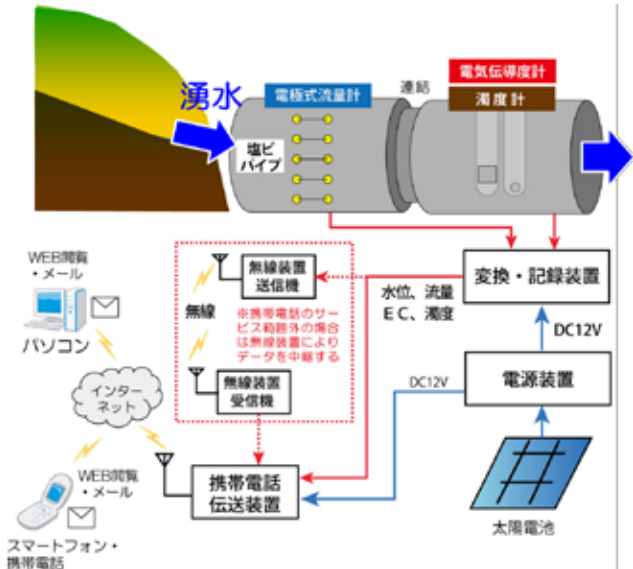


図4 湧水流量を監視して深層崩壊発生の危険度を評価する装置(湧水センサー)のシステム構成(地頭蘭ら, 2014)

3. 深層崩壊発生危険斜面の抽出と警戒避難対応の事例

図5は, 南大隅町の火砕流台地をモデルに深層崩壊発生危険斜面を抽出したものである. 台地周縁の42流域の渓流水ECはほとんど10 mS/m以上で深い地下水が関与していると判断される. 一方, 比流量は一様な分布を示さず, 台地周縁から集中して流出している箇所が抽出される. ここでは渓流水ECが10 mS/m以上かつ比流量が0.032 m³/s/km²以上(42流域の平均流量)の流域を抽出し, その上流部の溶結凝灰岩の急斜面を危険斜面とした. 2010年と1966年の崩壊はこれらの斜面に位置している. 抽出した斜面は深層崩壊の危険性が高く, その下流部では大きな土石流災害が発生する恐れがあると評価することができる.

地下水が集中して流出している斜面に湧水センサーを設置した(図6). 2010年深層崩壊発生時のデータに基づき, 深層崩壊に対する警戒避難対応の基準線を求めた. 図7には, 2015年6月に大雨に見舞われた際の湧水流量の変化を示す.

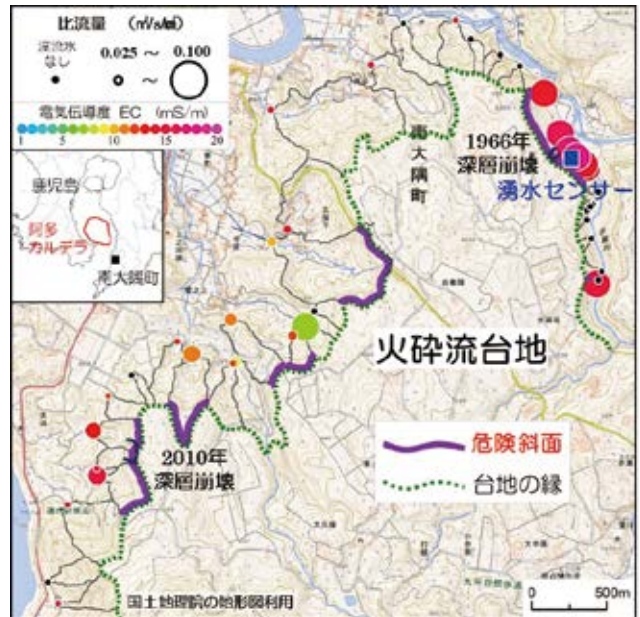


図5 火砕流台地周縁における深層崩壊発生危険斜面の抽出(松本ら, 2016)

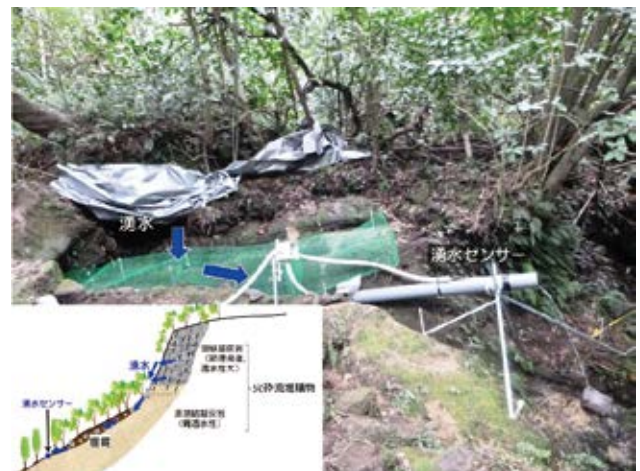


図6 湧水センサーの設置状況

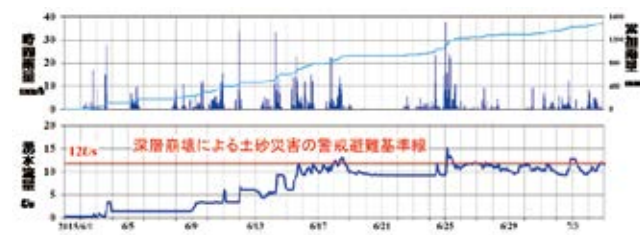


図7 湧水を指標にした深層崩壊発生の警戒避難対応

謝辞

本研究の実施にあたっては鹿児島県と南大隅町にご協力を頂いている. また本研究の一部は文部科学省 SI-CAT および(公財)鹿児島県建設技術センター地域づくり助成事業によるものである. ここに記して謝意を表します.

引用文献

- 1) 地頭菌隆 (2014) : 渓流水の電気伝導度を用いた深層崩壊発生場の予測. 砂防学会誌, **66**(6), 56-59.
- 2) 地頭菌隆・石塚忠範・能和幸範・柳町年輝 (2014) : 深層崩壊警戒対応の湧水センサーの開発. 砂防学会誌, **66**(5), 49-52.
- 3) 松本祐樹・地頭菌隆・今長谷那津美・田中俊和・清崎淳子 (2016) : 火砕流台地周縁における深層崩壊発生危険斜面の抽出. 平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集, A224-A225.
- 4) 下川悦郎・小山内信智・武澤永純・地頭菌隆・寺本行芳・権田 豊 (2010) : 2010 年 (平成 22 年) 7 月鹿児島県南大隅町で発生した連続土石流災害. 砂防学会誌, **63**(3), 50-53.

空中電磁探査を用いた深層崩壊が発生する恐れのある斜面のリスク評価手法

林幸一郎*・木下篤彦*・今森直紀**・田中健貴**

キーワード：空中電磁探査，深層崩壊，危険度評価，崩壊深，リスク評価

1. はじめに

国土交通省と土木研究所では，深層崩壊に起因する土砂災害への対策として，深層崩壊発生のおそれのある斜面を含む流域の抽出を始めとするハード・ソフト対策を研究している^{1), 2)}。詳細な災害シナリオの想定や対策優先度を設定する場合には，深層崩壊が発生する恐れのある斜面の抽出と，そのリスク評価が必要となることから，土木研究所ではそれらに関する技術手法を取りまとめ，「深層崩壊の発生する恐れのある斜面抽出技術手法及びリスク評価手法に関する研究(土木研究所資料第4333号：平成28年3月)」を発行した。その資料では，斜面のリスク評価を①危険度と②崩壊規模の組合せとして評価することとし，それらに関する調査技術，評価手法を取りまとめた。(図1)

このうち空中電磁探査は，地盤の比抵抗を広域的に取得する手法であり，斜面防災の分野において様々な調査に用いられ活用方法を検討^{3)~12)}されてきた。しかし，探査で得られる見掛比抵抗構造から，深層崩壊の発生する恐れがある地盤の危険度と崩壊深を定量的に評価する手法は確立されていない。そこで，紀伊半島において実際に地中変位が確認されている不安定斜面(図2)を検討対象とし，地盤特性を考慮した見掛比抵抗構造からの評価方法を整理するとともに，見掛比抵抗構造と地中変位深度，ならびに崩壊深を規制するとみられる緩み域下端の深度との関係を明らかにした。

2. 地盤特性を考慮した見掛比抵抗構造からの評価

周波数領域空中電磁探査法は，他の探査手法と同様に比抵抗の絶対値を求めることが困難なものの，電気探査などに比べ相対的な低比抵抗を検出しやすい特徴がある³⁾。平成23年台風12号に伴い紀伊半

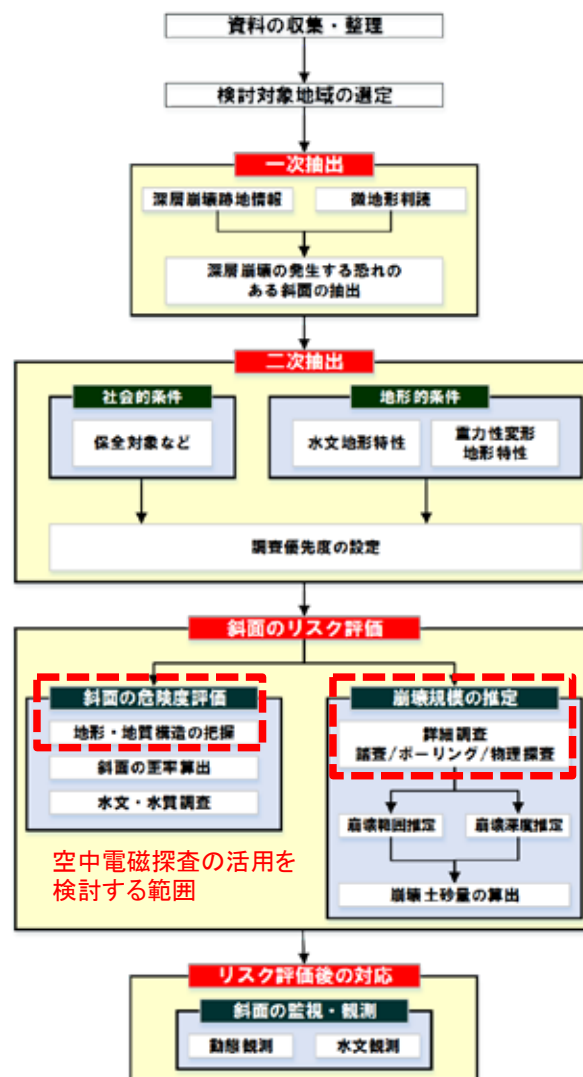


図1 斜面抽出およびリスク評価フローに本検討範囲を加筆

島で発生した深層崩壊8地区について，深層崩壊の素因となる地盤状況(基盤内の弱部，山頂緩斜面の高含水帯，緩み領域下部の飽和層)を示す見掛比抵抗構造が共通して認められることが明らかにされて

* 国立研究開発法人 土木研究所

** 国土交通省 近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター

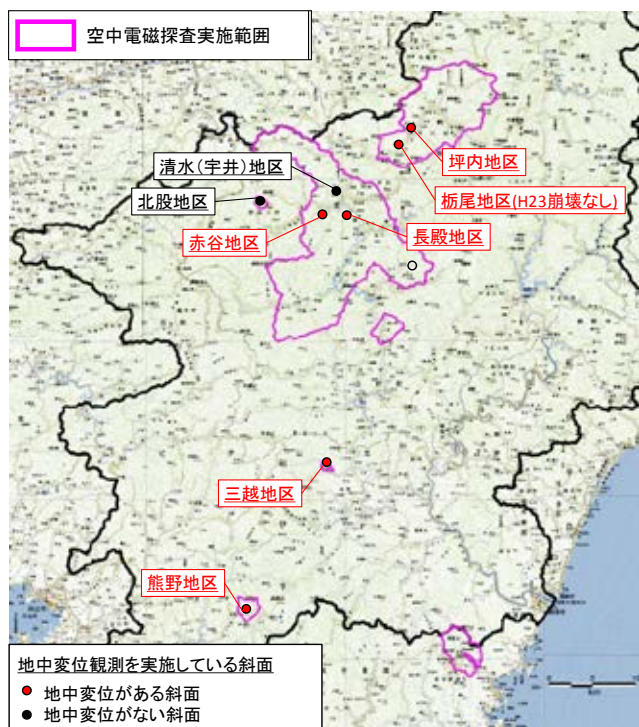


図2 検討対象の不安定斜面位置図

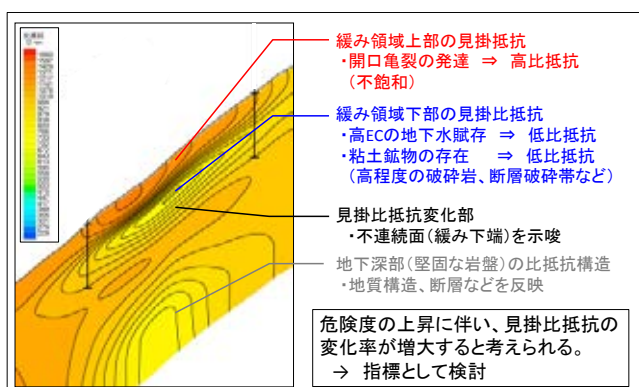


図3 見掛比抵抗構造の明瞭化の概念図

いる¹³⁾。今回検討対象とした不安定斜面においても、これらと同様の見掛比抵抗構造が認められた。そのため紀伊山地の同じ地質帯(四万十帯)においては、特徴的な見掛比抵抗構造がある未崩壊斜面は、深層崩壊の素因となる地盤状況を有し不安定化している可能性があるとして評価できる。さらに岩石と比抵抗の関係から、斜面の劣化、不安定化の進行につれて、この特徴的な見掛比抵抗構造はより明瞭化することが想定される(図3)。そのため、同一斜面内における見掛比抵抗の変化の程度を相対的な危険度評価の指標とできる可能性があり、検討する余地がある。

3. 見掛比抵抗断面を活用した崩壊深の推定手法

3.1 推定手法の検討結果

見掛比抵抗断面¹⁴⁾では、比抵抗の変化面は幅を持った変化帯として表現されるため、変化面の抽出には解釈が必要となる。深層崩壊箇所周辺斜面では、視覚的に捉えられる見掛比抵抗の変化と地下水位、緩み域下端を対比した事例が報告されている¹⁵⁾。

見掛比抵抗の変化から不連続面の深度を定量的に評価する手法として、鉛直方向の解析方法¹⁶⁾を検討した。ボーリング調査と対比した結果、変位深度と見掛比抵抗変化に関する関係性は確認できなかったものの、緩み域下端は概ね共通した見掛比抵抗変化部に合致した。崩壊する可能性のある風化岩が浅部に分離した高比抵抗として出現する斜面(タイプA)では、緩み深度下端は低比抵抗から高比抵抗となる変化部の上部に相当する(図4上)。一方、崩壊する可能性のある崩積土および強風化岩が浅部の低比抵抗として出現する斜面(タイプB)では、緩み深度下端は変化部の下端に相当する(図4下)。

3.2 考察

これらの斜面が崩壊した際は変位深度が崩壊深となると想定されるが、検討の結果、変位深度は見掛比抵抗変化から抽出するのは困難であった。これは変位に伴う地盤の物性の不連続面形成が未発達であることが要因と考えられる。一方、緩み深度下端は鉛直方向の見掛比抵抗変化と関係性が認められた。タイプA、タイプBで認められるいずれの関係性も、

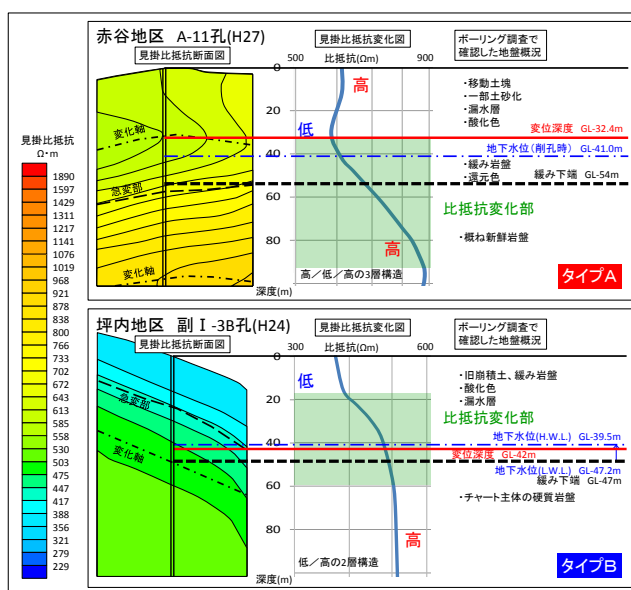


図4 見掛比抵抗変化と地盤構造の対比

低比抵抗を検出しやすい周波数領域空中電磁探査法
の特性が表れているものと考えられ、緩み深度下
端が比抵抗不連続面となり見掛比抵抗構造を規
制しているものと想定される。従って、見掛比
抵抗構造を活用した崩壊深の推定には、緩み
域下端を崩壊深の最大値として評価する方
法が妥当である。

4. 今後の課題

崩壊深は緩み域の下端を最大値とすることで推
定できるが、探査法の特性も踏まえ見掛比抵
抗の鉛直変化タイプごとに解析手法を検討す
る必要がある。またフロー(図1)に則り抽出
した斜面への適用が妥当か、未崩壊斜面で
実施するボーリング調査と推定崩壊深を対
比し、併せて地形から判定される危険度と
見掛比抵抗構造との関係性を整理する。空
中電磁探査法で得られる見掛比抵抗構造が
地盤の比抵抗をどのように表しているのか、
電気検層等で得られる比抵抗値と比較し
検討する。引き続き、インバージョン解析¹⁷⁾
の検討も含め見掛比抵抗の変化面を定量
的に評価する手法の開発を行うとともに、他
の地域、他の空中電磁探査システムでの解
析方法を検討する。

謝辞

研究集会では、高知大学笹原克夫教授、応
用地質株式会社上野将司顧問から今後の
研究に資する貴重なご意見を頂いた。意
見交換をさせて頂いた参加者の皆様と、
発表の機会を与えて頂いた飯田智之博
士をはじめ国立研究開発法人防災科学技
術研究所の皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木研究所(2012): 深層崩壊の発生
の恐れのある溪流抽出マニュアル(案)
。土木研究所資料第4115号, 21pp.
- 2) 蒲原潤一・内田太郎(2014): 深層
崩壊対策技術に関する基本的事項。国
土技術政策総合研究所資料第807号,
40pp.
- 3) 建設省土木研究所環境部地質研
究室・大日本コンサルタント(株)・
同和工営(株)(1995): 新地盤探査
技術の開発, 斜面の探査技術の開発に
関する共同研究報告書(その2)－空
中電磁法による斜面の概査技術－。
土木研究所共同研究報告書第

- 113号, 111pp.
- 4) 小西尚俊・塚田幸広(2001): 空
中電磁法による地質評価への実際
的検証。土木学会論文集, No.680,
p.285-294.
- 5) 野々村敦子・長谷川修一・佐々
木良・河戸克志・小野田敏・千葉
達朗(2012): 地形情報と比抵抗
情報を併用して地震によるトッ
プリング崩壊危険斜面を抽出す
る。京都大学防災研究所特定研
究集会「深層崩壊の実態, 予測,
対応」, p.90-98.
- 6) 桜井 亘・酒井 良・奥山悠木・
奥村 稔・河戸克志・小川内良
人・眞弓孝之・横山 修(2015):
新宮川流域における比抵抗ウェ
ッジとその抽出手法の提案。平
成27年度砂防学会研究発表会概
要集A, p.172-173.
- 7) 有澤俊治・伊藤敦司・北原哲
郎・結城洋一・辻岡秀樹・青木
龍一郎(2014): 空中電磁探査
の深層崩壊調査への適用につ
いて－木曾川上流域を事例とし
て－。平成26年度砂防学会研
究発表会概要集B, p.290-291.
- 8) 木下篤彦・瀬戸秀治・高原晃
宙・水野秀明・西岡恒志・今森
直紀・河戸克志・奥村 稔・影
浦亮太(2016): 空中電磁探査
技術及び水文・水質調査を
活用した大規模表層崩壊予測
技術に関する研究。日本地球
惑星科学連合大会2016年,
MTT30-06。https://confit.atlas.jp/guide/jp
gu2016/subject/MTT30-06/detail
(2016年12月22日参照)
- 9) 鈴木隆司・内田太郎・田村圭
司(2009): 深層崩壊発生斜面
の特定に向けた地盤構造調査
法。土木技術資料, Vol.51, No.7,
p.8-13.
- 10) 小杉賢一朗・高見友佑・正
岡直也・Cristobal Padilla・水
山高久・松四雄騎・山川陽祐・
安井 秀・安永一樹・田中利和・
山内政也・山根 誠・小松慎
二・影浦亮太・奥村 稔・河戸
克志(2015): 地形解析・調査
ボーリング・高密度電気探査・
空中電磁探査ならびに水文観
測を組み合わせた崩壊危険斜
面の特性把握。平成27年度砂
防学会研究発表会概要集B, p.
100-101.
- 11) 坂井佑介・河戸克志・佐藤
耕一郎・平川泰之(2016): 阿
蘇西麓地熱地帯における空中
電磁探査を用いた水理地質構
造の推定。砂防学会誌, Vol.69,
No.1, p.20-29.
- 12) 高原晃宙・瀬戸秀治・野池
耕平・森加代子・木下篤彦・
水野秀明・河戸克志・奥村 稔
・影浦亮

- 太・阿部征輝(2016);岩盤クリーブ斜面で実施された空中電磁探査による比抵抗構造と弾性波探査及びボーリング結果との比較.平成28年度砂防学会研究発表会概要集A, p.246-247.
- 13) 木下篤彦・北川眞一・大山 誠・内田太郎・河戸克志・阿部征輝・奥村 稔(2013):平成23年台風12号により紀伊半島で発生した深層崩壊周辺の広域比抵抗構造特性.平成25年度砂防学会研究発表会概要集B, p.356-357.
- 14) Sengpiel,K.P. and Siemon,B.(2000): Advanced inversion methods for airborne electromagnetic exploration. Geophysics, Vol.65, No.6, p.1983-1992.
- 15) 桜井 亘・酒井 良・奥山悠木・小川内良人・眞弓孝之・横山 修・河戸克志・奥村 稔(2015):平成23年台風12号で発生した深層崩壊の地質・地下水特性と空中電磁探査との関連性について.平成27年度砂防学会研究発表会概要集B, 102-103.
- 16) 瀬戸秀治・高原晃宙・木下篤彦・水野秀明・河戸克志・奥村 稔・影浦亮太(2016):空中電磁探査を活用した崩壊深度の推定に関する研究.日本応用地質学会平成28年度研究発表会講演論文集, p.177-178.
- 17) 奥村 稔・影浦亮太・河戸克志・高原晃宙・瀬戸秀治・木下篤彦(2016):周波数領域型空中電磁探査による比抵抗の深度情報に関する研究.日本地球惑星科学連合大会2016年, STT52-02. <https://confit.atlas.jp/guide/jpgu2016/subject/STT52-02/detail>(2016年12月22日参照)

降雨時斜面のセンシングによる崩壊発生予測の検討

石澤友浩*・檀上 徹*・酒井直樹*・福園輝旗*

Study of Prediction Method of Slope Failure in Rainfall by Multi Sensing

T. Ishizawa*, T. Danjo*, N. Sakai*, and T. Fukuzono*

* Storm, Flood and Landslide Research Division,

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

*ishizawa@bosai.go.jp

Abstract

In normal engineering, the prediction method of the slope failure time is evaluated by a method based on creep velocity of the slope displacement. However, such a method has problems in that the velocity of the tertiary creep is affected by many different conditions, and it is difficult to judge the stage of the tertiary creep. In this study, model test was conducted on a large-scale sand slope during rainfall, and observed a real-time monitoring using the connected-type multi sensor. From some test results, this paper showed the validity of the real-time observation in the ground, and the prediction method of slope failure-time by real-time observation with the soil depth of an arbitrary.

Key words: Rainfall, Slope failure, Sensing, Prediction method, Model test

1. はじめに

降雨時の斜面崩壊発生予測に関する既往の研究として、斜面のクリープ変化に着目した崩壊予測理論や手法^{1),2)}が提案されているが、リアルタイムのセンシングによる崩壊の有無を判断など、課題が多くある。そこで、著者らは3次クリープになる判断基準を検討するため、模型斜面を用いた降雨時の崩壊実験を行った。この実験では、開発したジョイント型マルチセンサ(水分と変位の挙動を検知できる観測センサ)を用いて模型斜面内を観測した。本稿では、模型斜面を用いた実験結果より、ジョイント型マルチセンサを用いた地中内部のリアルタイムなセンシングの有効性の検討と、任意の深度での観測規則を既往の崩壊予測手法に適用し、その有効性も検討した。

2. 実験概要

図1にマサ土を用いた模型斜面の概要図を示す。供試土はマサ土(茨城県笠間産)を用いた。模型斜面の作成方法は、均一な密度となるように層厚15cm毎に湿潤密度 ρ_{sat} 、含水比 ω を確認しながら、人力による締め固めで作成した。

模型斜面は、底面と側面が不透水層の条件の模型土槽(底面:突起のあるモルタル製、側面:鋼製)の中に作成した。模型斜面の形状は、傾斜部が斜面長7.62m、幅3.90m、鉛直深さ1.15m、斜面傾斜角 40° である。斜面下端部の下層(図中の地点A)には斜面表面への湧水を防ぐための採石による排水層や、土槽底面の下流部(図中の地点B)には、すべり面が形成されやすいように高さ0.3mの土留め壁を設置した。

本実験の計測は、計測機器を図1に示す位置に設置した。本実験では図1に示す種々物理量の変化を

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門

測定しているが、本稿では、本実験のために作成した図2に示すジョイント型マルチセンサの計測結果に着目する。ジョイント型マルチセンサは、直径28mmの円筒を連結させた連結式傾斜計に土壌水分計と間隙水圧計を設置しており、任意の深度での地中の水分挙動と変位挙動が計測できる。ジョイント型マルチセンサは、模型斜面の作製後に図1上の地点B、地点Dに設置した。なお、本実験は、広範囲に安定した散水性能を有する防災科学技術研究所の大型降雨実験施設³⁾を利用した。

3. 実験結果

本実験の降雨履歴を図3に示す。降雨実験は4日間で4回の散水(履歴毎に20時間以上の無降雨期間)を行い、模型斜面は降雨履歴4の散水を停止してから約15分後の無降雨状態で崩壊が生じた(図3(b))。本稿では、結果の一例として、ジョイント型マルチセンサの計測結果について以下に整理した。

図4に4日間における地点Bと地点Dのジョイント型マルチセンサの地下水位 WL_{CM} の経時変化を示す。4日間における斜面内の地下水は降雨停止後の無降雨状態において各降雨履歴における最大地下水位に至っている。同図には、地点Bと地点Dの土槽底面(深度-1.15m)に設置した圧力式地下水位計の結果も示している。ジョイント型マルチセンサの水位計と圧力式地下水位計の計測結果は、ほぼ同様な変化傾向であった。降雨履歴毎の最大地下水位の両者の差は約4~8cmあるが、これは両者の設置位置(深度)に0.05mの違いがあるためである。

次に、図5に地点Bと地点Dのジョイント型マルチセンサより計測した体積含水率 SW_{CM} の経時変化を示す。例として、地点Bの計測結果(上図)に着目すると、散水開始から設置深度の浅い土壌水分計から順に、体積含水率の変化が見られ、これは雨水の浸透による湿潤線の降下を表していると考えられる。また、最深部の土壌水分計(深度-1.0m)では、降雨履歴2~4において飽和状態の値を示す場合が見られた。これは地下水が深度-1.0m以上に到達していることを意味しており、図4の地下水位の計測結果と整合性が見られた。以上より、ジョイント型マルチセンサは、斜面内の水分挙動を検知できる可能性が見られた。

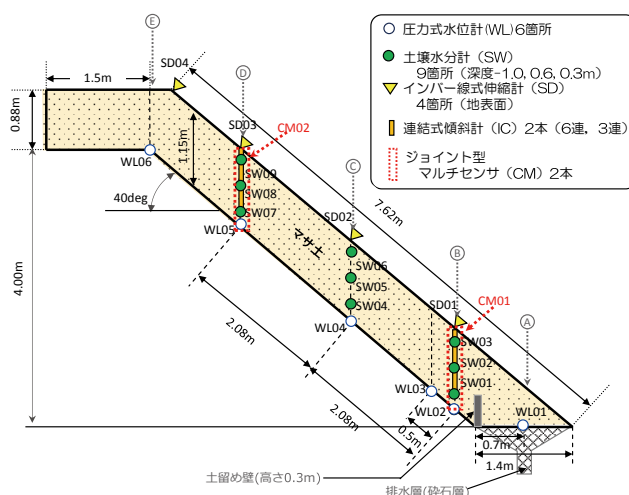


図1 模型実験の概要図
Fig. 1 Model slope and location of sensors.

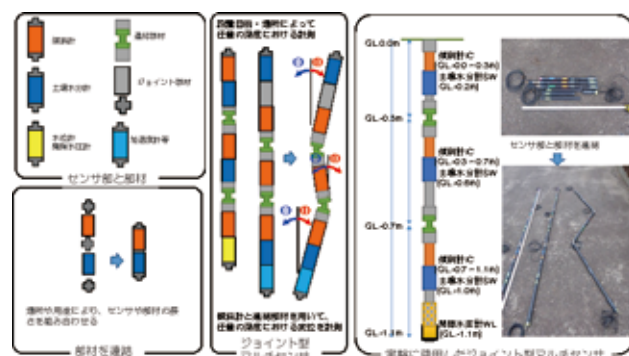
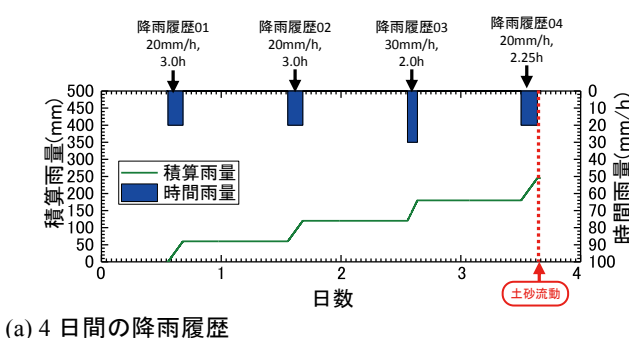
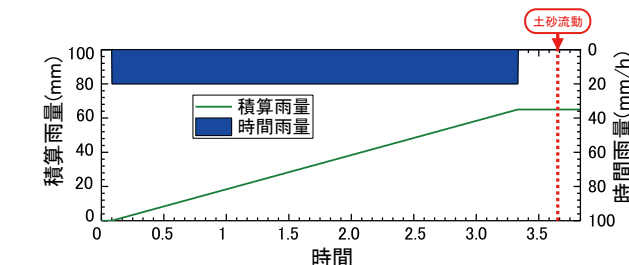


図2 ジョイント型マルチセンサの概略図
Fig. 2 Schematic of the connected-type multi sensor.



(a) 4日間の降雨履歴



(b)降雨履歴4

図3 降雨条件

Fig. 3 Test conditions of (a) all rainfall events and (b) 4th rainfall event.

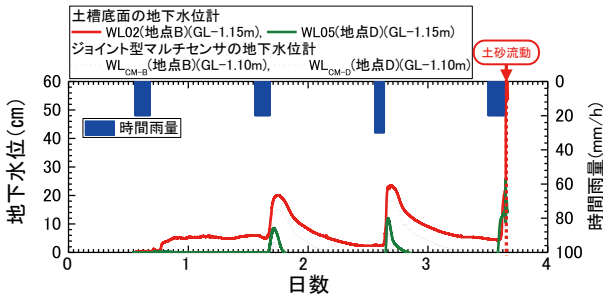


図4 ジョイント型マルチセンサの地下水位 WL_{CM} の経時変化

Fig. 4 Change in groundwater level WL_{CM} measured by the connected-type multi-sensor.

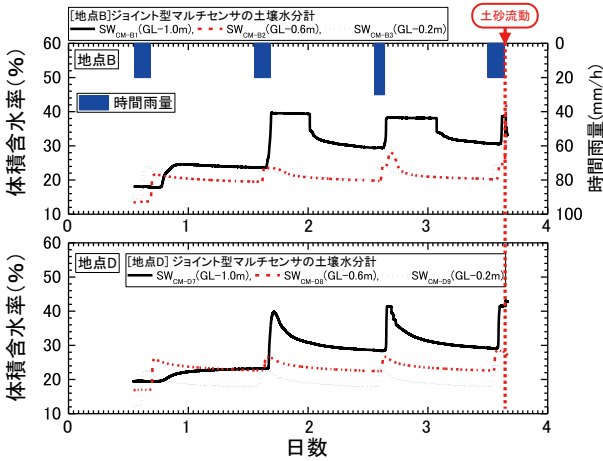


図5 ジョイント型マルチセンサの体積含水率 SW_{CM} の経時変化

Fig. 5 Change in volume water contents SW_{CM} measured by the connected-type multi-sensor.

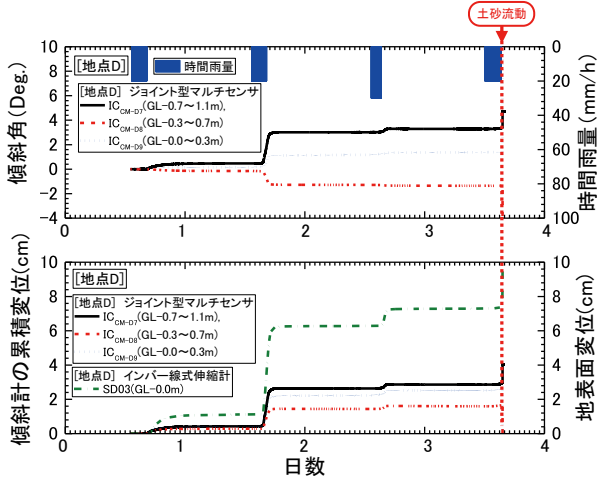
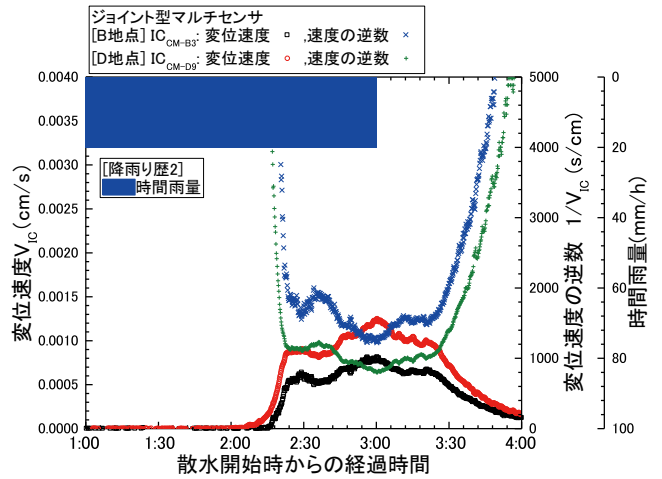


図6 ジョイント型マルチセンサの傾斜角 θ_{CM} と累積変位 δ_{CM} の経時変化

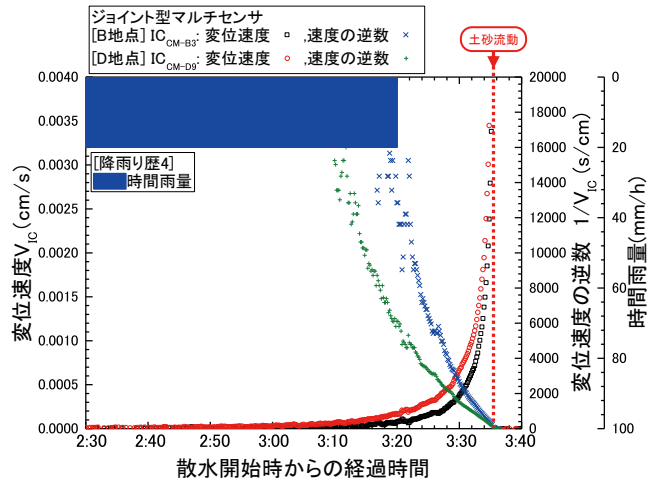
Fig. 6 Change of inclinations θ_{CM} and displacement δ_{CM} measured by the connected-type multi-sensor.

4. 崩壊発生予測法への適用性

ジョイント型マルチセンサによる傾斜角 θ_{CM} の計測結果について、斜面崩壊時期予測法のクリープ崩



(a) 降雨履歴2の変位の速度と速度の逆数



(b) 降雨履歴4の変位の速度と速度の逆数

図7 ジョイント型マルチセンサによる崩壊予測

Fig. 7 Example of reciprocal velocity method applied to the model test of (a) 2nd rainfall event and (b) 4th rainfall event.

壊理論^{1),2)}へ直接適用するために、傾斜角から深度毎の累積変位を算出した⁴⁾。例として、地点Dのジョイント型マルチセンサによる傾斜角 $\theta_{(CM)D}$ の計測結果と、その計測結果から算出した深度毎の累積変位 $\delta_{(CM)D}$ の経時変化を図6に示す。図6の上図は3連の連結傾斜計の傾斜角の計測結果であるが、中段の傾斜計(深度-0.3~0.7m)が負方向に傾斜している点と、最深段の傾斜計(深度-0.7~1.1m)の変化が大きいことから、深度-0.7mより深部ですべり面が発生したことが推察できる。また、図6の下図には地点Dのインバー線式伸縮計による地表面変位 δ_{SD03} も示しているが、傾斜角より算出した深度-0.0~0.3mの累積変位 $\delta_{(CM)D9}$ は、地表面変位 δ_{SD03} の値とは異なるが変化傾向は同じである。

次に、図6の累積変位 $\delta_{(CM)}$ の結果を用いて、著者らが研究を進めてきた変位速度 V と速度の逆数 $1/V$ を算出した⁴⁾。図7に地点Bと地点Dのジョイント型マルチセンサより算出した深度-0.0～0.3 mの累積変位 $\delta_{(CM)}$ の速度 V_{CM} と速度の逆数 $(1/V_{CM})$ を示す。図7(a)に降雨履歴2の結果を示しているが、散水開始から2時間後から急激な変位が見られたが、最終的には崩壊に至らなかった。同図の変位速度 V_{CM} も急激な増加が見られるが、その変位速度の変化傾向は不規則である。その後、散水開始から3.5時間後には、変位速度 V_{CM} に明瞭な減少が見られ、斜面が安定へ向かうことが同図よりわかる。

降雨履歴4では散水停止から約15分後に土砂流動が始まり、崩壊が生じた。図7(b)に崩壊が生じた1時間前からの結果を示す。同図の変位速度 V_{CM} は明瞭な増加が見られ、速度の逆数 $(1/V_{CM})$ も降雨履歴2の場合と明らかに異なることがわかる。降雨履歴4の場合の速度の逆数 $(1/V_{CM})$ は、崩壊の約0.5時間前には明瞭な減少が見られたことから、崩壊に至ることが判断できた。

5. まとめ

本稿ではジョイント型マルチセンサを用いたモニタリングにおいて、斜面内の水分挙動と変位挙動を観測できる可能性が明らかになった。また、ジョイント型マルチセンサによる任意の深度での計測結果を

崩壊予測手法に適用した結果、崩壊予測手法に適用でき、崩壊の有無を検知できる可能性が明らかになった。今後は種々の条件におけるセンシング手法の検討や、リアルタイムのセンシングによる崩壊予測手法について検討する予定である。

謝辞

本研究に当たり、株式会社東洋計測リサーチの皆様には模型斜面の作成、および計測等にご尽力、ご助言を戴きました。ここに記して皆様方に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 斎藤迪孝・上沢 弘(1966)：斜面崩壊時期の予知。地すべり，vol.2，No.2，pp.7-15.
- 2) 福囿輝旗(1985)：表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法。地すべり，Vol.22，No.2，pp.8-13.
- 3) 石澤友浩・酒井直樹・檀上 徹(2014)：大型降雨実験施設の改修に伴う散水性能の向上について。第11回地盤工学会関東支部発表会 GeoKanto2014，防災3-8.
- 4) 石澤友浩・酒井直樹・福囿輝旗(2013)：模型実験による斜面変位速度の経時変化と崩壊予測手法に関する検討。地すべり，Vol.50，No.6，pp.268-278.

要 旨

降雨時の斜面崩壊発生予測に関する既往の研究として、斜面変位のクリープ変化に着目した崩壊予測理論や手法が提案されているが、リアルタイムのセンシングによる崩壊の有無を判断など、課題が多くある。そこで、著者らは3次クリープになる判断基準を検討するため、模型斜面を用いた降雨時の崩壊実験を行った。この実験では、任意の深度における水分と変位の挙動を検知できる観測センサ等を用いて模型斜面内を観測した。本稿では、模型斜面を用いた実験結果より、地中内部のリアルタイムなセンシングの有効性の検討と、任意の深度での観測規則を既往の崩壊予測手法に適用し、その有効性も検討した。

キーワード：降雨，斜面崩壊，センシング，崩壊予測，模型実験

多数点に設置した MEMS 傾斜計を用いた地すべり土塊の移動状況の詳細な計測

笹原克夫*¹・伊藤和也*²・吉川直孝*³・平岡伸隆*³・土佐信一*⁴・大類光平*⁴・板山達至*⁵

Monitoring of the Displacement of Small Blocks in a Landslide Mass by Densely-installed MEMS Tilt Meters

Katsuo Sasahara*¹, Kazuya Itoh*², Naotaka Kikkawa*³, Nobutaka Hiraoka*³, Shinnichi Tosa*⁴, Kohei Orui*⁴,
and Tatsushi Itayama*⁵

*¹ Kochi University, Japan
sasahara@kochi-u.ac.jp

*² Tokyo City University, Japan

*³ National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

*⁴ Japan Conservation Engineers & Co. Ltd.

*⁵ OSASHI Technos, Inc.

Abstract

The result of monitoring of displacement at many points around landslide mass at the Kojima landslide, Kitagawa, Kochi, Japan is reported in this paper. Monitoring by MEMS tilt meters were conducted from July 8 to November 25, 2015 at 12 points around a landslide mass. Displacement of landslide mass started due to a rainfall event from July 15 to 17. According to the result of monitoring, deformation of small landslide-mass block, were categorized into 3 groups. Duration of deformation is mainly different among these groups. The first is large displacement during the rainfall event which means the failure of small soil mass on the head scarp of the Kojima landslide. The second is the deformation continued until 10 days after the rainfall event. This deformation occurred in small landslide block above the headscarp and within a landslide mass of the Kojima landslides. The third is the deformation continued until the end of October and occurred at small landslide block besides the gentle slope above the head scarp of the Kojima landslide. It might be due to the movement of older and larger landslide mass. Landslide mass could be divided into smaller blocks according to the characteristic of deformation measured by densely-installed tilt meters.

Key words: Landslide, Monitoring, Displacement, MEMS, Tilt meter

1. はじめに

近年の ICT 技術の発展に伴い、安価で取り扱いの簡便な MEMS (Micro Electro Mechanical System) 傾斜計が出現し、商品として販売されている(図 1)。これにより多数点での傾斜計による斜面変形の計測が可能となっている。例えば西江ら¹⁾は多点での

MEMS 傾斜計での斜面観測のためのシステム構成(図 2)を紹介すると共に、観測事例を挙げている。この中で台湾高雄市にある一般廃棄物処理場の切土のり面の地すべり性変状に対して、多点に設置した傾斜計により、地すべり土塊の変動方向や変動量が、部位によって異なり、小さなブロックに分割される

*¹ 高知大学 *² 東京都市大学

*³ (独)労働安全衛生総合研究所 *⁴ 国土防災技術(株) *⁵ (株)オサシ・テクノス



図 1 MEMS 傾斜計の例 (中央開発株)
Fig. 1 Example of a MEMS tilt meter.

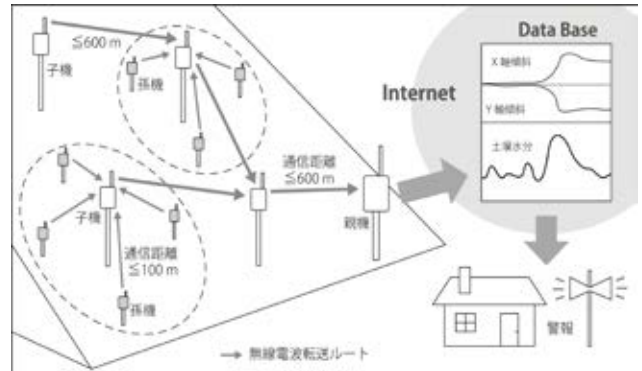


図 2 多点での MEMS 傾斜計での観測システム
Fig. 2 System for monitoring deformation of a slope by tilt meters at multi points.

ことを報告した。この事例のように、安価で取り扱いの簡便な MEMS 傾斜計を多数使用することによって、多数点における高密度な計測が可能になったと言える。本報告ではこのような MEMS 傾斜計を用いた多数点計測が、地すべり計測で果たす新たな可能性を検証すると共に、地すべり土塊の不均質な運動状況の計測事例を紹介する。

2. 計測方法

2.1 計測対象地

計測は高知県安芸郡北川村小島地先の地すべり地周辺で実施した。

計測対象斜面の周辺の地形・地質状況を図 3 により概観すると、奈半利川が北東から南西方向に向かって流れ、それにほぼ平行な方向に標高 600 ~ 1,000 m の主稜線が延びる。主稜線から南東方向に支稜線および溪流が延びている。地質的には新生代第三紀に形成された四万十層群室戸半島層群の奈半利川層の砂岩・泥岩の互層が分布する地域であり、北東～南西方向に延びる断層が地層を多数に区切り、区切られた地層内で様々な大きさの褶曲が発達する²⁾。これにより亀裂が多い破碎された地層となっていることが現地調査でも確認された。

この地域は 2011 年 7 月 19 日の平成 23 年台風 6 号により 3 箇所、そして 2014 年 8 月上旬の台風 12, 11 号により 2 箇所で大規模な崩壊や地すべり性

崩壊が発生した(図 3)³⁾。今回の計測対象斜面はそれらのうちの 1 つの地すべり性崩壊(以降小島地すべりと呼ぶ)周辺である。防災科学技術研究所の地すべり地形分布図(図 4)⁴⁾を見ると、規模の大きな地すべりは多くないが、小島地すべりの近隣斜面が地すべり地形と判読されている。ただし滑落崖が著しく開析されていることから、比較的古い地すべり地形だと判断できる。次に本地域の航空レーザー計測データをもとに標高と傾斜の両方を表示した地形開析図を用いて、概ね幅が 50 m 以上の崩壊跡地と地すべり地形を抽出した(図 5)³⁾。これは国際航業(株)の開発した ELSAMAP⁵⁾と呼ばれ、標高を色の違いで表し、傾斜を濃淡で表している。これを見ると 2011 年と 2014 年に大規模な崩壊が複数発生した平鍋および小島の溪流沿いに多くの崩壊跡地や地すべり地形が存在する。2014 年 8 月に発生した小島地すべりも地すべり地形の中で発生したことがわかる。

2.2 2014 年 8 月の小島地すべり発生状況

2014 年 8 月上旬に発生した小島地すべりの発生状況について述べる。8 月 1 ~ 11 日の台風 12 号および 11 号による降雨状況を図 6 に示す。累積雨量が 1,600 mm を超えるもので、時間雨量が断続的に大きくなったり小さくなったりしたことがわかる。8 月 10 日に時間雨量 30 mm 以上の期間が約 1 日と長く、これにより本地すべりは発生したと考えられ

多数点に設置した MEMS 傾斜計を用いた地すべり土塊の移動状況の詳細な計測－笹原ほか



図3 計測対象地周辺の地形・地質
Fig. 3 Topographical and geological feature of the area around the monitored slope.



図4 「地すべり地形分布図」で抽出された地すべり地形
Fig. 4 Landslides shown in NIED Landslide map.

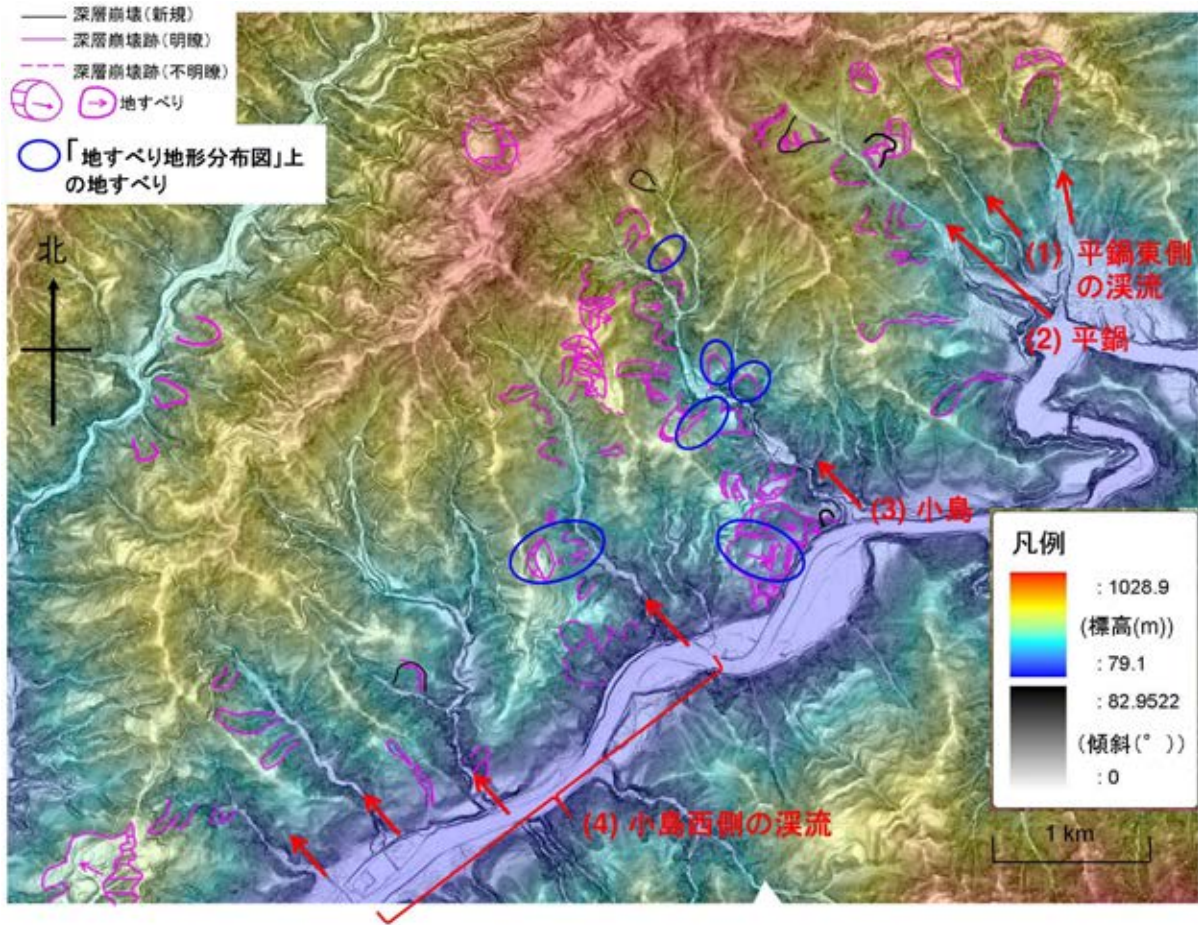


図5 斜面崩壊跡地と地すべりの分布(概ね幅が50m以上)
 Fig. 5 Distribution of old landslides with a width over 50 m.

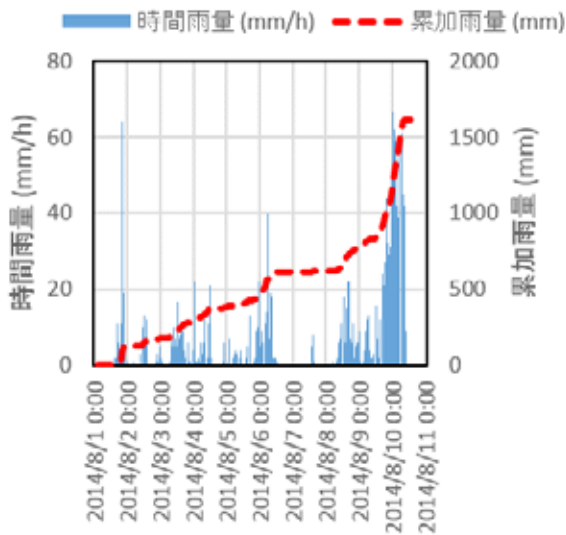


図6 平成26年8月上旬の降雨状況(和田)
 Fig. 6 Hyetograph at August 1~11, 2014 in the area.

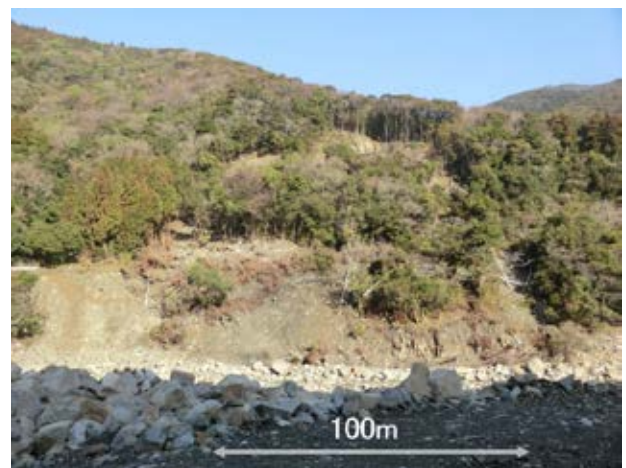


写真1 小島地すべり
 Photo 1 The Kojima Landslide.

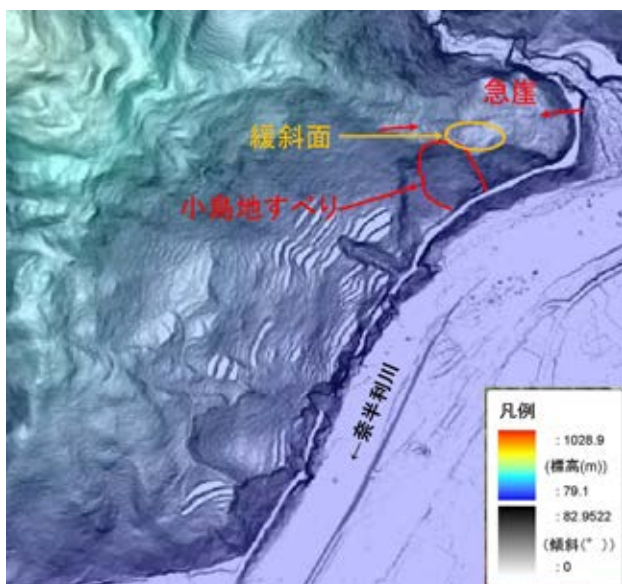


図7 小島地すべり周辺の地形
Fig. 7 Geomorphology around the Kojima landslide.



写真2 緩斜面内の線状凹地
Photo 2 Linear depression at gentle slope above the head scarp of the Kojima landslide.



写真3 線状凹地背後の急崖
Photo 3 Steep slope behind the linear depression.



写真4 ばらまき型傾斜計(株オサシ・テクノス)
Photo 4 MEMS tilt meter used for monitoring.

る。写真1が本地すべりを正面から見たものである。滑落崖の高さが20 m程度であることから、地すべり土塊はその分移動し、その後停止して地すべり地内部に残存していることがわかる。図7が小島地すべり周辺の地形開析図である。これを見ると小島地すべりを含む奈半利川に面した斜面全体が地すべり地形を呈し、また地すべりブロックが小ブロックに分割されていることがわかる。小島地すべりは滑落崖の明瞭な地すべり移動体の内部に位置し、かつその滑落崖直上には小さな緩斜面が存在すること、そしてその背後には小島地すべりの滑落崖と平行な方向に急崖が存在することがわかる。現地調査を行うと、この急崖は線状凹地(写真2)とその背後の急崖

(写真3)で構成されることがわかった。この急崖を古い地すべりの滑落崖であると考え、大きな地すべりの存在が示唆される。つまり小島地すべりはより大きな地すべりの中に位置し、それらの地すべりの運動に影響されて動いたと考えられる。

2.3 計測方法

計測には(株)オサシ・テクノスの「ばらまき型傾斜計」を用いた。これは写真4のように無線部とセンサー部から成り、センサー部は地表面と平行に設置した。計測範囲は±30°、測定精度は0.2°で分解能は0.01°である。また同時に伸縮計も設置した。他のメーカーの傾斜計も設置し、計測を行ったが、それらの説明は本稿では省略する。



図8 計測装置の配置と周辺の地形
 Fig. 8 Arrangement of monitoring devices and the topography around the monitored area.



写真5 傾斜計①を設置したブロック
 Photo 5 Small landslide mass with tilt meter ①.



写真6 傾斜計⑧を設置した砂岩ブロック
 Photo 6 Sand stone mass with tilt meter ⑧.

傾斜計の配置を図8に示す。小島地すべりの移動土塊上端付近に2基(⑩, ⑫), 滑落崖上部の緩斜面に8基(②~⑦, ⑨, ⑩), 現地調査において緩斜面より低い箇所不明瞭な段差で囲まれたブロック(写真5)を確認したのでそこに1基(①), そして緩

斜面脇の砂岩のブロック(写真6)の頂部に1基(⑧)を設置した。緩斜面内にはいくつかの段差が確認されたが, これらは過去に小ブロックの鉛直方向の移動により形成された可能性があり, 今後もこれらの小ブロック毎に移動する可能性があると考えた。そ

多数点に設置した MEMS 傾斜計を用いた地すべり土塊の移動状況の詳細な計測－笹原ほか

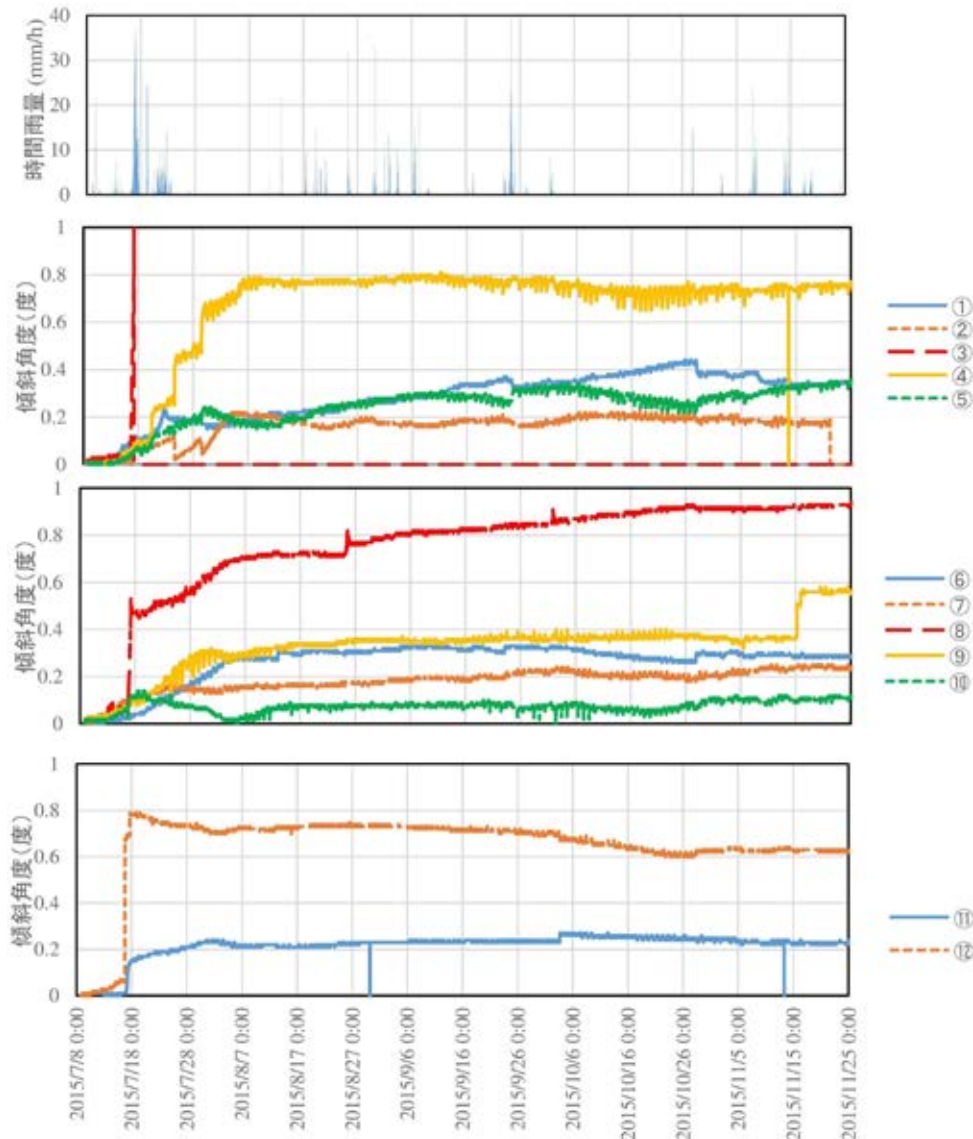


図9 傾斜計の傾斜角度の経時変化
Fig. 9 Time variation of the tilts measured by the tilt meters.

のためこれらの段差をはさむように傾斜計の設置地点を決めた。また緩斜面背後の急崖上端と緩斜面の間に伸縮計 S-2 を、小島地すべりの移動土塊と滑落崖の間に伸縮計 S-4 を設置した。前者は小島地すべりを含み、急崖を滑落崖とする地すべりの移動を、後者は小島地すべりの移動土塊の移動を計測できると考えた。

3. 計測結果

3.1 傾斜計の傾斜変動

図9 に 2015 年 7 月 8 日 0:00 ~ 11 月 25 日 0:00 までの時間雨量と傾斜計の傾斜角度の経時変化を示す。まず傾斜計①~⑤について見ると、7 月 15



写真6 崩落した滑落崖上の小ブロック
Photo 6 Small soil mass on the head scarp.

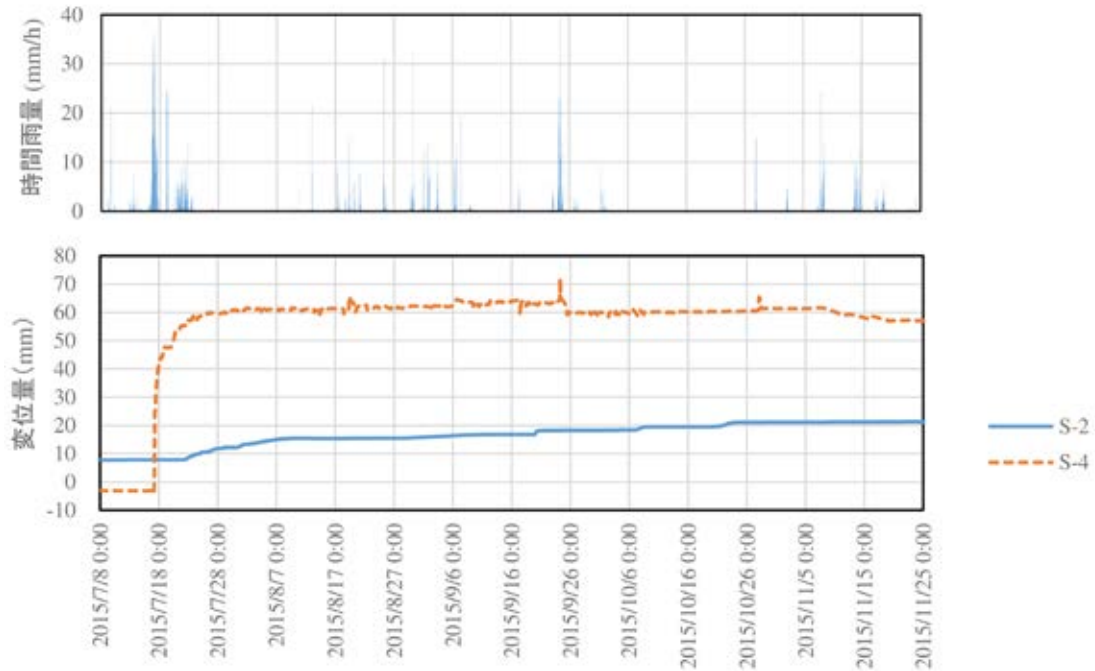


図 10 伸縮計による変位の経時変化
 Fig. 10 Time variation of the displacement measured by the extensometers.

日 23 : 00~17 日 16 : 00 の間に計 440.5 mm の降雨があり、これにより傾斜変動が開始した。その後も降雨イベントがあるが、いずれも 7 月 15 ~ 17 日の降雨イベントより降雨量は小さく、特にそれらの降雨イベントに対応した傾斜変動は確認されていない。よってこの期間において傾斜変動をもたらした降雨は 7 月 15 ~ 17 日の降雨イベントのみと考えられる。この降雨イベントにより傾斜計③は傾斜変動が顕著に増加したが、これは小島地すべりの滑落崖の一部と共に崩落したことが後日の調査で確認された(写真 6)。写真 6 中の赤い線で囲まれた高さ 3 m、幅 2 m および奥行き 1 m の部分が崩落した。この崩落に伴う傾斜変動は他のメーカーの傾斜計でも計測され、既に報告されている¹⁾。傾斜計②④⑤は 7 月 15 ~ 17 日の降雨イベントで傾斜変動を開始したが、遅くとも 8 月 7 日までにはそれらは終了し、累積で 0.2 ~ 0.8° 傾斜変動が増加した。それに対して傾斜計①は 7 月 15 ~ 17 日の降雨イベントで傾斜変動を開始し、その後 10 月 27 日まで傾斜は増加し、累積で 0.4° となった。このように傾斜計の設置位置によって、7 月 15 ~ 17 日の降雨イベントで開始した傾斜変動の継続期間が異なる。

次に傾斜計⑥~⑩の傾斜変動を見る。傾斜計⑧は 7 月 15 ~ 17 日の降雨イベントにより傾斜が 0.5° ま

で急増し、その後も 10 月 27 日まで傾斜変動の増加は継続し、累積で 0.9° となった。8 月以降の降雨イベントに対応した傾斜変動の急増は認められず、傾斜変動の増加は 7 月 15 ~ 17 日の降雨イベントによるものと考えられる。その他の傾斜計もこの降雨イベントにより傾斜変動が開始し始めたが、遅くとも 8 月 3 日までにはそれらは終了し、累積で 0.1 ~ 0.4° 程度であった。

最後に傾斜計⑪⑫の傾斜変動を見ると、やはり 7 月 15 ~ 17 日の降雨イベントにより傾斜が各々 0.2° と 0.8° まで急増したが、その後は有意な変化を示さなかった。

以上のように 7 月 15 ~ 17 日の降雨イベントで崩落した傾斜計③を除くと、いずれもこの降雨イベントで傾斜変動が開始したが、変動が継続する期間が 8 月上旬前までのものと、10 月下旬までのものに分類されることがわかった。

3.2 伸縮計の変位

伸縮計の変位の経時変化を図 10 に示す。伸縮計 S-4 は小島地すべりの移動土塊の変位を計測したと考えられるが、これは 7 月 15 ~ 17 日の降雨イベントをきっかけとして変位増加が始まり、その後の断続的な降雨イベントが終了した 7 月 25 日頃に変位増加は止まった。それに対して小島地すべりを含み、

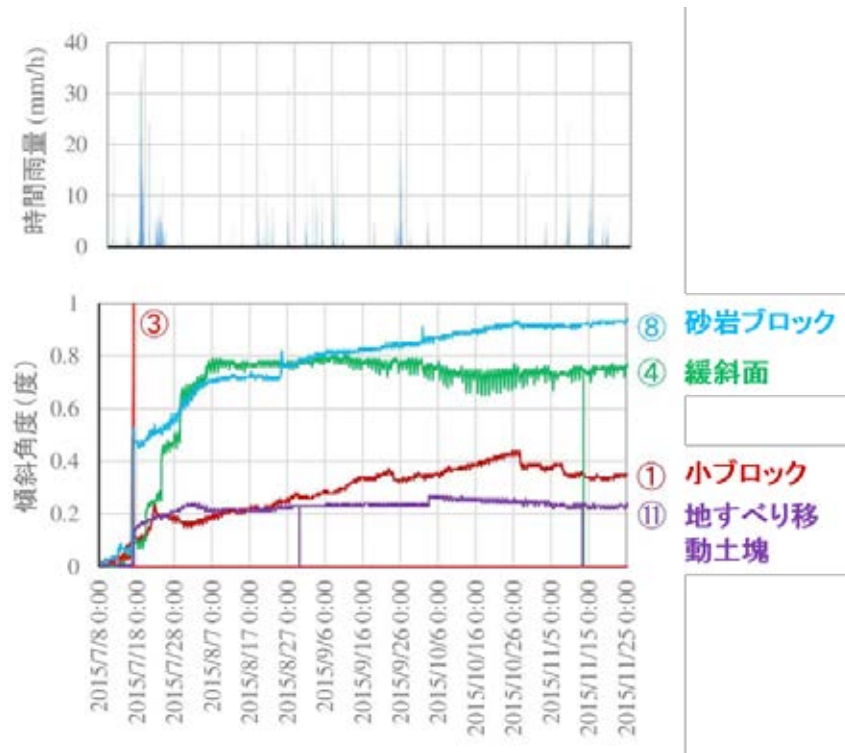


図 11 パターン毎の傾斜計の変動状況
Fig. 11 Time variations of the tilt of each pattern.

背後の急崖を滑落崖とする大きな地すべりの移動を計測したと考えられる伸縮計 S-2 では、7 月 15 ～ 17 日の降雨イベントにやや遅れて 7 月 22 日頃から変位増加を開始し、それは 10 月 23 日まで継続している。

4. 計測された挙動に基づく地すべりブロック分割

傾斜計による傾斜変動の計測結果をもとに、地すべりブロックをさらに小さいブロックに分割し、それらの挙動を分類する。図 11 に傾斜計の傾斜変動状況を分類し、それぞれのパターン毎の代表的な傾斜計のデータを示した。傾斜計③は 7 月 15 ～ 17 日の降雨イベントにより小島地すべりの滑落崖の一部が崩落した挙動を示す。傾斜計④はこの降雨イベントで傾斜変動を開始したが、その後 8 月 7 日で変動が終了した。これは図 8 に示す「緩斜面」の挙動の代表事例である。次に傾斜計②は図 8 に示す「地すべり移動土塊」の挙動を示す。これも「緩斜面」と同様に、7 月 15 ～ 17 日の降雨イベントにより傾斜変動を開始し、その後 8 月 3 日で変動が収束した。傾斜計①は図 8 の中の「緩斜面」の脇の段差で囲まれた「小ブロック」の移動を計測しているが、これは 7 月 15 ～ 17 日の降雨イベント以降 10 月 27 日まで変動

が継続した。同様に傾斜計⑧も「緩斜面」の脇の「砂岩ブロック」の挙動を示すが、上記降雨イベントで傾斜が急増した後、10 月 27 日まで傾斜増加は継続した。これら傾斜計①と⑧の設置された「小ブロック」と「砂岩ブロック」の挙動は伸縮計 S-2 の挙動と同様に 10 月末まで続くことから、傾斜計 S-2 を設置した急崖を滑落崖とする大きな地すべりの運動により、「小ブロック」と「砂岩ブロック」が影響を受けたことが示唆される。それに対してこの滑落崖を背後にした「緩斜面」ブロックの変動は 8 月上旬で終了し、伸縮計 S-2 で計測された移動の継続期間より短い。このため「緩斜面」の移動は、すべり面の浅い小さなブロックの挙動であることが示唆される。

5. まとめ

2014 年 8 月上旬の台風 12, 11 号により移動した小島地すべりの移動土塊とその周辺において、MEMS 傾斜計を多数設置して、2015 年における運動状況を詳細に計測した。このような多数点に傾斜計を設置した、高密度の計測により以下のことが判明した。

- (1) 傾斜計による傾斜変動の経時変化から、小島地すべり移動土塊とその滑落崖上部の緩斜面周辺

は、運動状況の異なるいくつかの小ブロックに分割される。

- (2) 滑落崖上部の緩斜面と小島地すべり移動土塊は平成27年7月15～17日の降雨イベントにより移動を開始したが、10日間程度でそれは終了したことが分かった。小規模で浅い地すべりブロックの運動と考えられる。
- (3) 緩斜面の両脇に位置する小ブロックと砂岩ブロックは7月15～17日の降雨イベント以降10月まで長い期間移動が継続した。伸縮計の計測データも併せて考えると、緩斜面背後の滑落崖で分離される大きく深い地すべりの運動により押された可能性がある。

謝辞

計測箇所の選定と設置にご協力いただいた高知県安芸土木事務所に御礼申し上げます。また共に計測装置の設置作業と計測を行っている埼玉大学内村太

郎教授、中央開発㈱と曙ブレーキ工業㈱に、日頃からの作業と議論へのご協力に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 西江俊作・王林・内村太郎・笹原克夫(2015)：多点における傾斜角の常時計測による斜面崩壊監視システムの概要と事例。基礎工，Vol.43，No.11，pp.40-43.
- 2) 四国地方土木地質図編纂委員会(1998)：四国地方土木地質図，(財)国土開発技術研究センター。
- 3) 笹原克夫(2016)：高知県北川村平鍋周辺の深層崩壊跡地と山頂緩斜面の分布。砂防学会誌，Vol.69，No.3，pp.26-37.
- 4) 防災科学技術研究所：J-SHIS Map，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>，参照 2016-12-11
- 5) 佐々木寿・向山栄(2006)：地形判読を支援する ELSAMAP の開発。先端測量技術，No.93，pp.8-16.

地震による斜面崩壊への地質特性の寄与
—能登半島地震の崩壊面積率より—

林 拙郎*

Contribution of Geological Factors to Slope Failure Triggered by Earthquake
— From the Area Ratio of Slope Failures of the Noto-Hantou Earthquake—

Setsuo Hayashi

**Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards,
Shizuoka University, National Univ. Corp., Japan
hayashi-s@zvtv.ne.jp*

Abstract

Emphasized seismic factors are necessary for the analysis of slope failure triggered by earthquake. These main factors are seismic acceleration, slope angle, and geological soil strength of slopes. Typical slope failures triggered by earthquake happen when the earthquake contains the three factors. The frequency of occurrence of slope failure is checked by its area ratio. To make these clear, this study encompassed a 294 km² square area in a seismic zone of the 2007 Noto-Hantou Earthquake. The 2007 Noto-Hantou Earthquake had a magnitude of 6.9 (11 km deep seismic center), and maximum seismic intensity was a little over six. The area ratio of the slope failures (Sa) of earthquake is determined by slope angle, seismic acceleration and the condition of the geology; specifically, the geological soil strength of the slopes is an important factor for slope failures triggered by earthquake. The area ratio of the slope failures is strongly governed by the inverse of the slope stability index (T_k), which is comprised of slope angle (θ), seismic acceleration and geological factors of C (cohesion and failure depth). This index (T_k) is the driving factor, and is expressed as follows: $Tk = f(\theta, k_h, C)$. Here, k_h is the seismic coefficient. The relation between Sa and T_k is expressed in a power formula as follows: $Sa = A T_k^B$, $B=3$, A is the coefficient. Where, the value of geological factor C obtained is within the range of 0.01-1.2, then this factor have a big influence on slope failure triggered by earthquake.

Key words: Seismic slope failure, Area ratio of slope failure, Seismic acceleration, Driving factor, Geological factor

1. はじめに

最近、日本列島の各地に地震の発生が多くなり、地震による斜面崩壊の発生メカニズムを解明する必要性が高まっている。これまで地震によって発生する斜面崩壊は、地震のメカニズムや災害発生の実態が不明確なこともあり、地震動による地盤の加速度や、斜面傾斜角、地質、断層からの距離、震央からの距離などそれぞれ単独の因子で検討されることが

多かった(石川ほか, 1998; 林ほか, 2002)。地震によって発生する斜面崩壊は複数の因子が関係するため、ある因子が崩壊に関与していると考えられるときでも、実際には他の因子の影響も関係して崩壊が発生している場合がある(川邊ほか, 1997; 地頭菌ほか, 1998; 権田ほか, 2007; 桂ほか, 2016)。一方、2007年3月発生 of 能登半島地震による斜面崩壊は、その面積率に対し、地質的影響には大きいも

* 静岡大学 防災総合センター(客員)

のがあった(林ほか, 2010; 林ほか, 2011).

地震による斜面崩壊の場合, 斜面水分の影響は豪雨の場合に較べて少なく, 地震動の加速度は勿論のこと, 斜面傾斜角やより地質の影響を受けることがある. 特に, 地質的に不均質な場合には, 地盤の破壊に対し地質的な硬軟の影響が前面に現れる可能性がある. 地質・地盤工学における地質との関わりでいえば, 支持力関係に N 値が用いられることはあるが, 豪雨時や地震時の斜面崩壊に対し, 地質に関連する力学的記述はなかなかみることができないのが現状である. このようなことから, 地震時の斜面崩壊に対して地質的因子を崩壊力学の中にどのように組み込むかを考慮した研究はあまり見受けられない.

地表地震断層と崩壊との関係は, 林ほか(2011)に報告されているので, 本研究では, まず力学的に地震性崩壊を解析する上での考え方を述べ, 2007年発生 of 能登半島地震の全体像を概観する. その後, 林ほか(2010, 2011)に基づき, 斜面傾斜角の影響を考慮した急傾斜崩壊面積率を設定し, これに対する傾斜, 加速度, 地質の影響を検討し, 能登半島地震により発生した斜面崩壊の特徴を新たに考察する. 最終的に, 地形特性因子(斜面傾斜角), 地質特性因子(地質), 地震特性因子(震度係数)を組み込んで統合化した駆動因子 T_k を設定し, 駆動因子 T_k と全崩壊の面積率 Sa との関係より地質特性を因子化する.

2. 地震性崩壊の研究方法

以下では, 地震性崩壊を解析する考え方について述べる. 地震時の斜面崩壊に関与する主な作用因子は図1のように表される, ここに, k_h は地震動の加速度に由来する水平震度係数, θ は傾斜角, c はクーロンの破壊基準式における粘着力であり, ϕ は地盤の内部摩擦角である. ここで, 震度係数として水平の震度係数 k_h のみを扱うのは, 小林(1981)の解析によるものである.

この震度係数 k_h が斜面崩壊に関与する程度の範囲は, せいぜい 0.3 ~ 1.2 で最小値と最大値の比は4倍程度である(林, 2002; 桂ほか, 2016). また, 山地斜面の傾斜角は, 15 ~ 60°程度でその比は4倍程度である. これに対して, 山地斜面における地質工学的意味での c, ϕ において, 内部摩擦角 ϕ は 20 ~ 40° と比は2倍程度であるが, 粘着力 c に関して

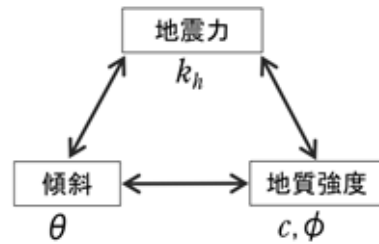


図1 地震時斜面の作用因子
Fig. 1 Factors acting on slope by earthquake.

ははっきりしていないのが, 現状である. また, 山地斜面を対象としているため, 地すべり地を除くと N 値などによる計測は通常行われていない.

一方, 地震時の斜面崩壊が多発する場合, 地震による外力は大きく, 崩壊斜面での安全率 F_s の多くは 1.0 を下回ることになり, 通常, 地震性崩壊における c, ϕ を工学的に決定することはできない. 現場の崩壊データから斜面強度を決定するには, 崩壊斜面の安全率が $F_s = 1.0$ とわかっていることが必要で(近藤・林, 1997), その場合には, ϕ を仮定すれば, 斜面安定計算より地質工学的な c は求められるかもしれない. しかし, 限界 ($F_s=1.0$) の崩壊斜面は探すのが難しいため, 研究もほとんど行われておらず, 別な方法を考える必要がある.

ここまでは, 安全率に関する発生限界を考えてきたが, それが難しいとすれば, 斜面崩壊が多発する場合, 崩壊数や崩壊面積率について検討することが考えられる. 外力に対してより影響を受けるのは, 崩壊個数というより, 大小の崩壊を含む崩壊面積であり, それを比較のために規格化した因子が崩壊面積率だからである.

また, 実験室での斜面崩壊実験などでは, 作用因子を強調したり, 特定の作用因子のみ作用させた実験を行うことができるが, 地震性崩壊のように現場のデータを扱う場合, それは難しいのが通常である. 地山斜面そのものを用いての地質の異なる斜面崩壊実験などは, 現在のところ不可能に近く, 室内実験はメカニズムの確認に用いるのが通常である.

地震によって崩壊するのは, あくまでも現場斜面であるので, 発生状況などから地質的な崩壊特性を明らかにすることが必要とされる. その場合, 現場のデータには図1のような主要な因子やその他の因子が複雑に絡むことが考えられるので, 崩壊のメカニズムを考察するためには, 作用因子をより強調し

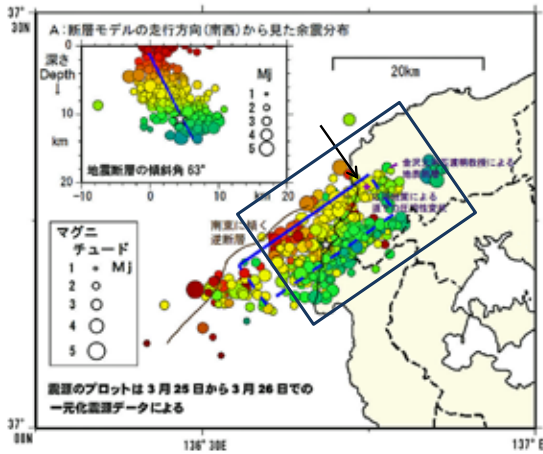


図2 能登半島地震の余震分布と基盤の活構造 (国土地理院, 2007 を修正)

Fig. 2 Distribution of aftershocks on Noto-hanntou earthquake and structure of basement.

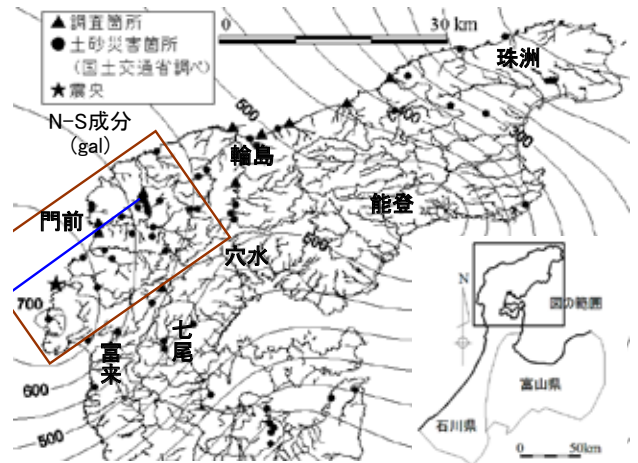


図3.1 等加速度曲線と土砂災害箇所 (N-S) (林ほか, 2008c)

Fig. 3.1 Distribution of earthquake acceleration and sediment related disasters (N-S).

た因子を使用することが重要となる。また、内部摩擦角 ϕ は地山斜面であり、 ϕ の値を平均程度とすれば変化の幅は小さく、一定と考えてもあまり不都合では無い。ここでは、 ϕ ＝一定、と仮定する。

以上筆者は、これまでの地震による土砂災害地を調査し(川邊ほか, 1997; 林, 1999, 2002; 下川, 2005), このような考え方に到達した。以下では、斜面に対する加速度・地質・傾斜に着目し、傾斜に関しては崩壊に対してより鋭敏な急傾斜の斜面を採り上げ、全斜面との比較を行いながら、この3つの因子相互の関係を崩壊面積率との関係から考察する。

3. 能登半島地震の全体的様相

3.1 能登半島地震の概要

平成19年能登半島地震(以下、能登半島地震)は、2007年3月25日9時41分に発生した。この地震は、震源が能登半島の能登金剛北、黒崎海岸沖に位置するほぼ直下型地震であり、震源近くの輪島市門前町に多くの被害が集中した。震源の深さは11 km, M6.9, 最大震度は輪島市門前町にて6強, その他の能登半島各地でもほぼ5弱以上であった(気象庁, 2007, 国総研ほか, 2008)。本震時に観測された最大加速度は、K-NET 富来 (ISK0006) にて945 gal (N-S, E-W, U-D の3成分合成値)であった。

地震断層は、図2に示すような右横ずれを含む逆断層型(平松, 2007)であり、断層面の傾斜角は63°、

走向はN55°Eを示し、概略、南東側の地塊が北西側の地塊にのり上げるような断層運動を起こした。地震断層の地表部北東縁の陸域側は、輪島市門前町で日本海に注ぐ八ヶ川に沿い、東北東(輪島市方面)に向かう方向である。地震断層の平面幅は約6 km, 海域部より陸域部までの地震断層の長さは約21 kmである。地震断層のすべり量は、気象庁(2007)によれば、すべり量1.65 mで横ずれ量1.21 m, 縦ずれ量1.13 mとされている。北側の海岸部で約40 cmの隆起が確認されている(平松, 2007)。

図2の斜め矩形で示した区域は、後で述べる解析区域であり、陸上余震域の分布範囲を含むように設定した。

3.2 土砂災害の崩壊発生状況

能登半島地震による能登半島全体の土砂災害の発生箇所と地震動の加速度分布を図3.1, 図3.2に示す。この図の土砂災害地は、2007年4月12日現在の国土交通省砂防部(2007)調べ(●印)に基づいた図で余震によるものを含んでいる。また、砂防学会調査団が行った調査箇所とその後の調査箇所も同図(▲印)に示しているが、能登有料道路の崩壊のような盛土の崩壊は示していない。

今回の地震による土砂災害発生箇所は、東北東—西南西の断層付近に卓越して分布しているとともに、震源位置から断層方向にほぼ直角の北北西—南南西方向にも若干分布している。

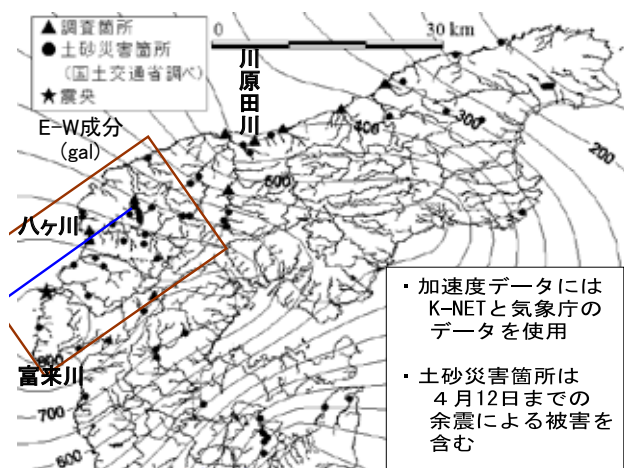


図 3.2 等加速度曲線と土砂災害箇所 (E-W) (林ほか, 2008c)

Fig. 3.2 Distribution of earthquake acceleration and sediment related disasters (E-W).

3.3 地震動の加速度分布

各観測点の最大地震加速度による等加速度分布を図 3.1, 図 3.2 に示す(林ほか, 2008c). 図 3.1 が E-W 成分, 図 3.2 が N-S 成分を表している. E-W 成分に 3 箇所で加速度の高まりがみられるが, 西側で大きいところは, 震源に近い K-NET 富来である. 東側で加速度の大きい K-NET 穴水は軟弱な地盤とされており(宮島, 2007), その東の K-NET 能都の地盤も同様と考えられる. 一方, K-NET 輪島観測点は岩盤上の観測点であることを考えると, 穴水周辺の岩盤上の加速度は距離的にも輪島と程度であったと考えられる.

図 3.1, 図 3.2 に示すように, 加速度の E-W, N-S 成分は, 震源を中心として, 北東の輪島から南の富来町付近までが N-S 成分 500 gal, E-W 成分で 650 gal 程度であり, 目立った斜面崩壊等もこの範囲に多くみられる. ここはいわゆる鳳至山地に相当している. 一方, 七尾市中心付近や, 半島北部東側(珠洲市)の 300 ~ 400 gal 以下の区域にも崩壊等の被害がみられるが, これらの被害は 3 ~ 10 m³ 程度の小崩壊である. これらの斜面は, 地震前より特に指定は無いが不安定な斜面であったり, 危険な崖や斜面として急傾斜地崩壊危険箇所や地すべり危険箇所に指定されていたりした不安定な箇所にそれぞれ個別の発生要因が作用したものとみられる.

3.4 土砂災害発生域の地形地質

震源に近い能登半島北西部は, 標高 200 ~ 400 m の開析が進んだ低山地地形を成し, 鳳至山地と呼ば



図 4 能登半島の地質区分図(鮎野, 1993; 林ほか, 2007)

Fig. 4 Geological map of Noto-Hantou.



図 5 解析区域

Fig. 5 Analysis region.

れている. 鳳至山地は, 北の河原田川と南の富来川を含む南北に長い低山地であり, 中央を西へ八ヶ川が流れている. 輪島市中心部より南側は河原田川により南北方向の低地が形成されている.

能登半島北西部の地質は, 図 4 に示すように輪島市から旧門前町にかけては smg, つまり新第三紀中新世前期の砂岩・泥岩・礫岩層(縄又互層, 道下礫岩層)が分布し, 輪島市中心部より東側, および富来市地保周辺では, 同じく中新世前期の安山岩類 A が広く分布する(鮎野, 1993). 今回の地震断層は門前町鹿磯から中野屋にかけての断層に沿って発生した.

表 1 解析対象地の地質区分(林ほか, 2010)

Table 1 Geology of analysis target region.

記号	地質名	地質時代	面積率(%)
K	黒崎安山岩	後期中新世	3
smg	砂岩・礫岩・凝灰岩等	中期中新世	20
nm	砂岩・礫岩・凝灰岩等	前期中新世	43
A	安山岩質火砕岩・溶岩	前期中新世	32
Gn	古期花崗岩・片麻岩類	ジュラ紀	2

さらに、八ヶ川周辺の道下礫岩層の分布域では、地震前から地すべり地形が発達するものの、本地震による土砂災害の報告は、比較的少ない状況にある。能登半島沿岸は地形の関係もあるが、崩壊物質は岩塊を主体とした崖崩れが多く、内陸部では土砂礫を多く含む崩壊がみられた。また、中野屋の崩壊のように古い火山灰質の表層土が地震動によってゆっくり流下した例もみられた。

4. 解析方法および解析結果

4.1 解析対象区域および解析方法

図 5 に示す解析区域は、2007 年能登半島地震の余震域の分布範囲を含むように設定した(図 2 参照)。その範囲は、門前町全域と輪島市・穴水町・富来町の一部を含み、解析区域面積は 294 km² である。

解析区域内の崩壊地の抽出についての詳細は、林ら(2010)に示すような方法で行った。抽出した解析区域の崩壊地に基づき、GIS (ArcGIS9.0) 上にて斜面崩壊分布、地形・地質および地震特性の解析を行った。各特性データは、数値地図 50 m メッシュ(標高)を用いて 5 m メッシュのラスターデータに変換した。変換したラスターデータを重ねあわせ、条件に応じた斜面傾斜角や地質区分(以下、地質)、加速度など各種の面積や崩壊面積、崩壊面積率を算出した。例えば、地質別の崩壊面積率の算出方法は、該当地質内に点在する崩壊面積を集計し、当該地質面積で除した値とした。

4.2 解析結果

4.2.1 斜面崩壊の概要

解析区域内の最高標高は、山地で 400 m を超えており、標高の分布面積は区分 150 m, 200 m で多く、区分 350 m, 400 m で少ない(図 6 参照)。また解析区域には斜面傾斜角 30° 以下の緩傾斜が 90 % と大部分を占め、急傾斜は 10 % と少ない。

対象区域の地質名や地質面積率は、表 1 の通りで

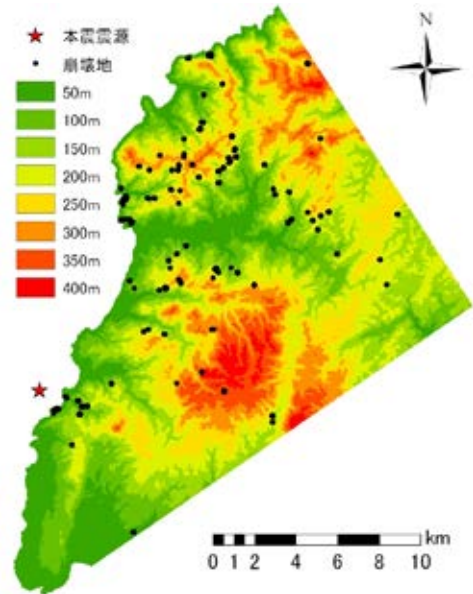


図 6 標高分布と崩壊分布(荒木, 2009)

Fig. 6 Map of altitude and slope failure.

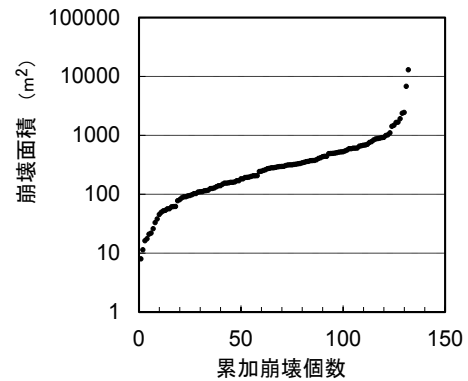


図 7 累加崩壊個数と崩壊面積の関係

Fig. 7 Area and cumulative number of slope failure.

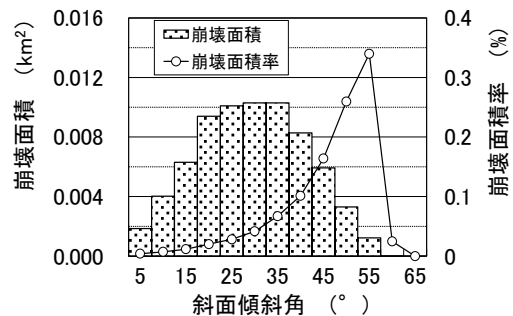


図 8 斜面傾斜角別の崩壊面積と崩壊面積率

Fig. 8 Area and its ratio of slope failure for slope angle.

あり、砂岩・礫岩・凝灰岩等 (nm, smg)、安山岩質火砕岩等(A)で95%を占めている。地質の年代順は、K, smg, nm, A, Gnと古くなっており、Kは第三紀後期中新世、Gnはジュラ紀の深成岩・変成岩である。

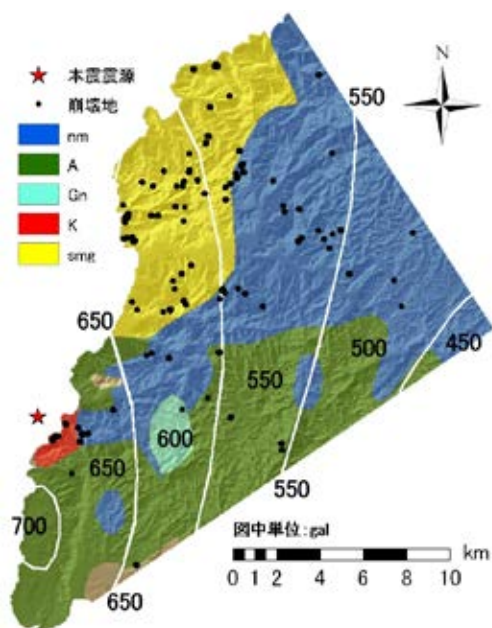


図 9.1 崩壊箇所と地質分布, 加速度 (N-S)
(荒木, 2009)

Fig. 9.1 Slope failure, geological map and acceleration (N-S).

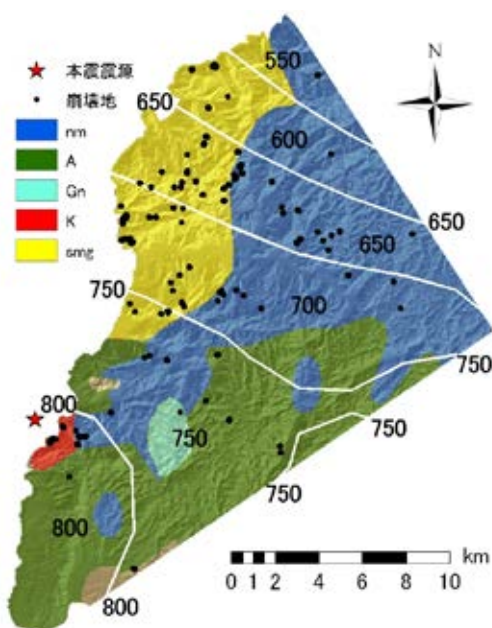


図 9.2 崩壊箇所と地質分布, 加速度 (E-W)
(荒木, 2009)

Fig. 9.2 Slope failure, geological map and acceleration (E-W).

解析区域の崩壊発生とその面積の分布状態を図 7 に示す. 解析区域 294 km² に対して, 崩壊箇所数 132 箇所, 崩壊密度 0.45 個 / km², 崩壊面積 71,025 m², 1 個当たりの平均崩壊面積 538 m² であるが, 崩壊面積率は 0.024 % と小さい値となっている. 同図に示すように 1 個当たりの崩壊面積は, 最小 7.95 m² から最大 12,880 m² と幅広く分布しており, 崩壊面積で 100 ~ 1,000 m² のものが 72 % と多くみられる.

マグニチュード M6.8 の新潟県中越地震による崩壊の特性値は, 崩壊密度 3.4 個 / km², 1 個当たりの平均崩壊面積 3,170 m², 崩壊面積率 1.1 % であった (林ら, 2010). これらの値と比較すると, 今回の能登半島地震のマグニチュードの値は 0.1 大きい, 崩壊面積率などは逆に小さい結果となっている.

4.2.2 斜面崩壊と傾斜および地質との関係

斜面傾斜角に対する崩壊面積の関係は, 図 8 に示すように斜面傾斜角 25 ~ 35° を頂点とする山型の分布を示すが, 崩壊面積率は, 斜面傾斜角 55° まで指数関数的に増加し, 65° 以上は 0 % となった. 崩壊面積率の最大値は斜面傾斜角 55° で 0.34 % を示す. 崩壊発生率としては, 傾斜角の大きい 35 ~ 55° までの崩壊面積率が目立っている.

解析区域の崩壊地の分布と加速度分布を地質分布上に示した図が図 9.1, 図 9.2 である, 加速度分布

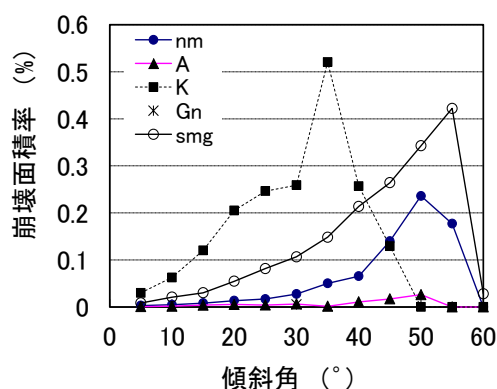


図 10 地質別の斜面傾斜角と崩壊面積率
(林ほか, 2011)

Fig. 10 Area ratio of slope failure in each geological site for slope angle

は図 9.1 に N-S 成分, 図 9.2 に E-W 成分が示されている. E-W 成分が 800 gal まで達しているのに対して, N-S 成分は 700 gal までである. 図中の南端部境界付近の☆印の箇所は, 河口部沖積地の除外した地質であり, 崩壊は発生していない.

ここで, 地質別の崩壊面積率と斜面傾斜角との関係を図 10 に示す. 同図において, 地質 K の崩壊面積率が傾斜角 40° までは最上位に位置している. この地質 K は, 35° にピーク値 0.52 % をもつが, 50° からはほとんどゼロとなっている. 第 2 位の崩壊面積率をもつ地質 smg は, 55° まで徐々に増加し, そ

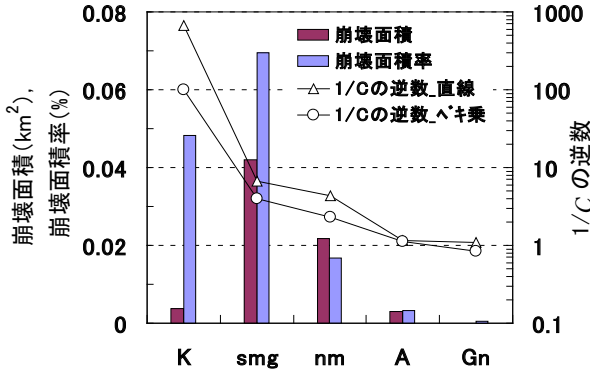


図 11 地質別の崩壊面積と崩壊面積率 (C: 地質特性値) (林ほか, 2011)

Fig. 11 Area and its ratio by slope failure for geological site.

ここでピーク値 0.42 % を採り、60° でほぼゼロとなっている。第 3 位の崩壊面積率をもつ地質 nm は、50° まで徐々に増加し、50°, 55° とピーク値 0.24 %, 0.18 % を示し、60° でほぼゼロとなっている。各地質においてピーク以後の傾斜角の大きい区分域で崩壊面積率が低下するのは、この区分域の斜面の面積自体が少なく、崩壊しやすい部分が欠落していたためと理解することができる。斜面傾斜角のピークが異なるのは各地質の特性であろう。同一地質の崩壊面積率のピークまでは、斜面傾斜角の増加に対して崩壊面積率も増加する傾向がみられる。

図 10 の斜面傾斜角と崩壊面積率からみられる地質的な崩壊寄与への大小関係は、地質 K の 45° 以上を除けば

$$\text{崩壊面積率: } K > \text{smg} > \text{nm} > A > \text{Gn} \quad (1)$$

となっている。この関係は、区分した地質の特性を表すものであり、表 1 に示した地質年代の若い順に対応している。この傾向は、桂ほか (2016) にもみられるものである。同図の地質 K は、斜面傾斜角 40° 以下まで他の地質の崩壊面積率の曲線を上回るが、後に述べるように急傾斜崩壊面積率では最大値を示している。斜面傾斜角が緩いことと、以下に示すように地質 K が震源の近く、加速度が大きいことを考慮すると、余程弱い地質であることがわかる。

地質別の崩壊面積と崩壊面積率を図 11 に示す。左軸の崩壊面積は smg, nm で高い値を示し、同軸の崩壊面積率は smg, K で高く、smg で最大値 0.069 % を示す (右軸 1/C の関係は後述)。今、斜面崩壊が地質的な斜面強度に強く影響を受けるものと考えると、図 11 にみられる崩壊面積、崩壊面積率と地質

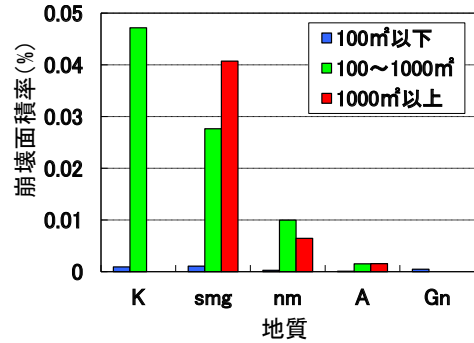


図 12 地質別の崩壊規模と崩壊面積率 (荒木, 2009)

Fig. 12 Area ratio and area scale by slope failure for geological site.

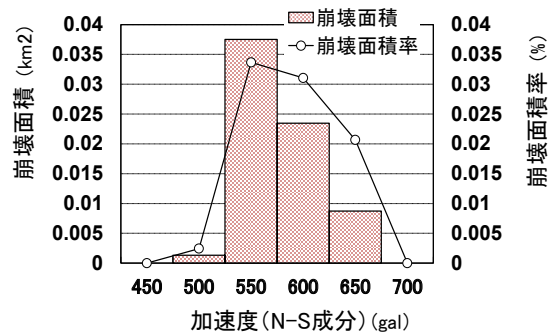


図 13.1 加速度 (N-S) 別の崩壊面積と崩壊面積率

Fig. 13.1 Area and its ratio of slope failure for N-S acceleration.

的な崩壊寄与への大小関係は

$$\text{崩壊面積: } \text{smg} > \text{nm} > K > A > \text{Gn} \quad (2)$$

$$\text{同面積率: } \text{smg} > K > \text{nm} > A > \text{Gn} \quad (3)$$

となっており、K, smg が地質的な斜面強度に小さい傾向をもつように見える。これに対して Gn は、占有面積率は 2 % と狭い範囲にあるが、地質的な斜面強度が大きいため崩壊面積率は低くなっている。地質 A は 32 % あり、A の地質的な斜面強度は小さく、全体への影響も大きいものと考えられる。

各地質に占める崩壊の面積的な規模を図 12 に示す。面積 100 m² 以下の小規模の崩壊は各地質に分布するが、1,000 m² 以上の大規模のものは K と Gn には無い。特に Gn には小規模のみである。地質 A には、中、大規模の崩壊も含まれるが、その面積率はかなり小さい。これらのことから、地質的に古いものの崩壊規模が小さいことがわかる。

4.2.3 斜面崩壊と加速度との関係

先に示した N-S, E-W 成分の加速度分布を示す図 9.1, 図 9.2 をみると、上で述べた地質 K は震源に近く、(2) 式, (3) 式の関係には、地震による加速度の

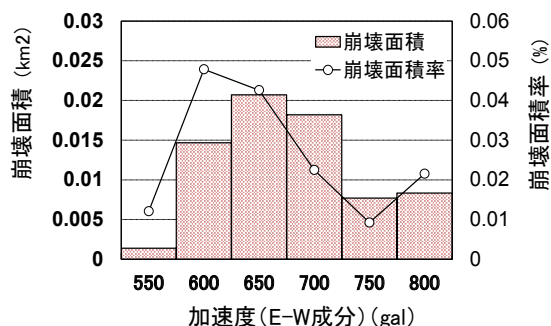


図 13.2 加速度(E-W)別の崩壊面積と崩壊面積率
Fig. 13.2 Area and its ratio of slope failure for E-W acceleration.

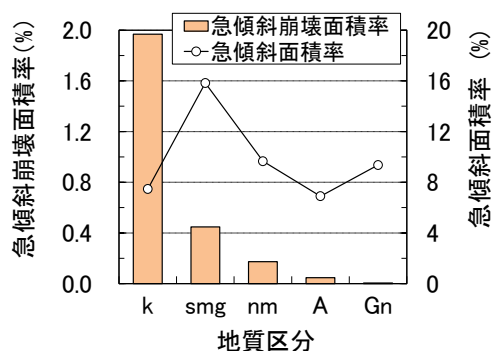


図 14 地質別の急傾斜崩壊面積率
Fig. 14 Area ratio by steep slope failure for geological site.

影響もふくまれているが、地質が弱いのか、加速度が大きいのか、どちらの要因が崩壊発生率に効いているか厳密な判定は難しい。

一方、地震動による加速度と崩壊面積率との関係を図 13.1, 図 13.2 に示す。一般に、同一地質の斜面強度であれば、加速度に比例して崩壊発生率も増加すると考えられるが、加速度 N-S, E-W の両図ともに加速度が大きくなっても崩壊面積率は比例して増加していない。これは、地質的な強度が一定ではなく、加速度の大きい範囲に斜面強度の大きい地質が分布している可能性が高い。これらの関係を明らかにするには、それぞれの加速度区分に対応する各地質の面積を調べる必要がある。実際、斜面強度の大きい地質が加速度の大きい区域に多数分布していることが、図 13.1, 図 13.2 における加速度の大きい範囲での崩壊面積率が増加しなかった原因と考えられる。

4.2.4 急傾斜崩壊面積率との関係

先の図 8, 図 10 をみると、傾斜角 30° 以上の傾斜地において崩壊面積率が高い状況がみられる。この範囲の傾斜地は急傾斜地とされており、急傾斜崩壊

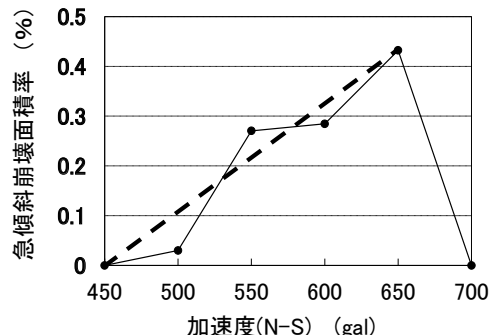


図 15.1 加速度(N-S)と急傾斜崩壊面積率(荒木, 2009)
Fig. 15.1 Area ratio by steep slope failure for N-S acceleration.

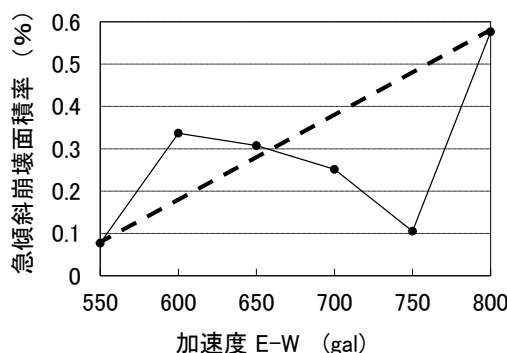


図 15.2 加速度(E-W)と急傾斜崩壊面積率(荒木, 2009)
Fig. 15.2 Area ratio by steep slope failure for E-W acceleration.

面積率は、地震による崩壊のメカニズムを鋭敏に表現していると考えられる。

そこで、次の図 14 に示す急傾斜崩壊面積率と地質との対応関係をみると、急傾斜崩壊面積率は地質区分 K, smg で高く、K で最大値 1.97 % を示す。一方、同図右軸に示すように急傾斜面積率は地質区分 smg で高く、他の地質の 2 倍程度であるが、smg の急傾斜面積率はそれ程高い値ではない。急傾斜面積率は、各地質の値を均してみれば、1 % 程度の値となっている。この図 14 を先の図 11 と比較すると、地質 K と smg の大小関係が全斜面を対象とした崩壊面積率と急傾斜崩壊面積率とで逆転している。図 10 と併せて考えると、急傾斜崩壊面積率の方が各地質に対して鋭敏になっていることがわかる。

地震動による加速度と急傾斜崩壊面積率の関係を図 15.1, 図 15.2 に示す。N-S 成分を表す図 15.1 の場合、加速度 700 gal に対する急傾斜崩壊面積率が低いのは、N-S 成分 700 gal に相当する区域が図 9.1 に示すように狭く、このうち急傾斜地が 0.26 % とほとんど無いに等しいためとみられ、この点は、無視でき

るものと考えられる。したがって、加速度の N-S 成分の場合、700 gal を除くと図中の破線のように加速度と急傾斜崩壊面積率とは、ほぼ線形関係があるようである。この関係は、すべての傾斜を含む図 13.1 では、全くみられない関係であるが、急傾斜崩壊面積率に対しては加速度に対する線形関係が成立しているようである。

次に、E-W 成分を表す図 15.2 の場合、急傾斜崩壊面積率と加速度 E-W 成分との関係は、ほとんど無いようにみえる。しかし、E-W 成分の 750 gal の区域が地質強度として大きい特性のものであるならば、急傾斜崩壊面積率に対しても低い値を取ることとも考えられる。加速度分布図の図 9.2 をみると、加速度 750 gal の地質は Gn, A, nm であり、この地質は、先の図 14 のように急傾斜崩壊面積率がかなり低い値を示しており、地質強度は大きいものとみることができる。このように考えると、加速度 E-W 成分においても両者の関係が線形関係にあることを必ずしも否定できなく、むしろその関係が類推される。

この節(4.2.4)では、急傾斜面積率に着目すると地震動の加速度とそれとの関係が線形関係を持つことが推測される。それには、地質強度の特性を組み合わせたメカニズムを考慮する必要がある。以下にそれを考察する。

5. 考察

5.1 駆動因子と地質特性の導入

前節にて地震による斜面崩壊が地質強度によって崩壊面積率が異なることを示し、また崩壊面積率は斜面傾斜角および地震動の加速度に対応し、かつ地質によって応答が異なることを検討して来た。つまり、ここまで本稿では各素因と誘因を個別に検討して来たが、相互の関係は考慮できなかった。地震動による崩壊現象を包括的に記述するには、斜面傾斜角、加速度、地質等の相互の影響を含めた統合的な因子が必要であり、本考察では、以下に記す「駆動因子 T_k 」を統合的な因子として定義し、崩壊面積率 Sa との関係について考察を行う。

先の「2. 地震性崩壊の研究法」でも述べたように、自然斜面の場合、斜面の安全率 F_s の 1 よりの低下が大きければ、崩壊数が増えて崩壊面積率は増加するはずであるから、斜面ブロックに地震動による水平加速度を導入することにより、斜面の安全率の逆

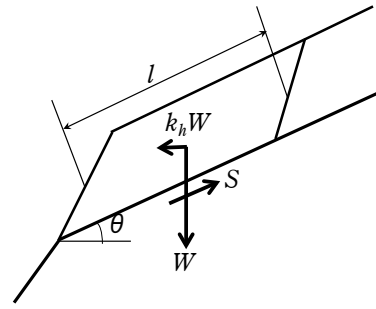


図 16 地震時斜面に作用する諸力
 k_h : 水平震度係数, W : 自重, S : 抵抗力

Fig.16 Forces on slope by earthquake.

k_h : horizontal seismic coefficient, W : Weight, S : Resistance

数 ($1/F_s$) が崩壊面積率 Sa と比例する関係にあると考えることができる。つまり、図 16 のような地震動による水平加速度を導入した斜面崩壊モデルにおいて、統合化した駆動因子 T_k と崩壊面積率 Sa とがどのような関係をとることができるかを以下に検討する。

崩壊面積率 Sa は、図 16 のような地震時の斜面崩壊モデルにおいて安全率の逆数 ($1/F_s$) に比例すると考えると次式が得られる(梅村ほか, 2002)。

$$Sa \propto \frac{1}{F_s} = \frac{\tan \theta + k_h}{(1 - k_h \tan \theta) \tan \phi + cl / (W \cos \theta)} \quad (4)$$

ここに、 θ : 斜面傾斜角, k_h : 震度係数 (= 水平方向の地震加速度 / 重力加速度), ϕ : 地盤の内部摩擦角, c : 地盤の粘着力, l : 崩壊斜面長, W : 崩壊ブロックの重量である。上記 (4) 式右辺の因子 cl/W は、地質によって異なる値をとる粘着力を主とする地質特性値であるとし、 $C (= cl/W)$ で表すと、(4) 式右辺を改めて駆動因子 T_k と記すと次式で表される。

$$T_k = \frac{\tan \theta + k_h}{(1 - k_h \tan \theta) \tan \phi + C / \cos \theta} \quad (5)$$

ここに、 $\tan \theta$, $\cos \theta$ は無次元量であり、 k_h , C も無次元量であるので、数式上はすべて無次元パラメータ (因子) になっている。このような力学的関係式からの誘導とその変形によって地質因子 C が他地域との比較可能な無次元パラメータ (因子) として始めて議論が可能になった。

上の (5) 式で $k_h = 0$ としたものが地震発生前、すなわち崩壊前の駆動因子の状態を表しており、このとき、駆動因子 T_k は $T_k < 1$ であり、崩壊は生じていない。

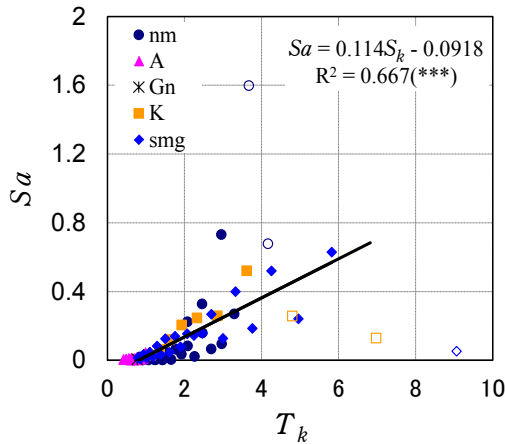


図 17.1 Cを地質ごとに決めた場合の T_k と Sa の関係 (N-S 成分) (○, □, ◇は計算から除外)
 Fig. 17.1 Relationship between Sa and T_k for C calculated by each geology (N-S acceleration).

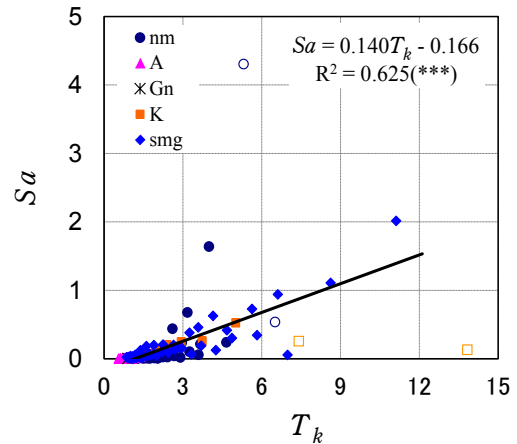


図 17.2 Cを地質ごとに決めた場合の T_k と Sa の関係 (E-W 成分) (○, □, ◇は計算から除外)
 Fig. 17.2 Relationship between Sa and T_k for C calculated by each geology (E-W acceleration).

これらの斜面メッシュに地震による外力 ($k_h > 0$) が与えられ, $T_k \geq 1$ となると, これに該当するメッシュはすべて崩壊することになる。

崩壊面積率 Sa は, 上記駆動因子 T_k を用いると (4) 式より次式

$$Sa = A \cdot T_k + B \quad (6)$$

を考えることができる。あるいは, ベキ乗式を想定すれば次式を設定することができる。

$$Sa = A \cdot T_k^B \quad (7)$$

上記 (6), (7) 式において, 未知の値は係数 A , B , 内部摩擦角 ϕ , 地質特性 C である。係数 A , B は計算される T_k と得られたデータ Sa を上式に回帰することにより求めることができる。内部摩擦角 ϕ は, 山地地山の値 (土木学会, 1989) として土砂災害対策事業などで一般的に使われる 35° をここでは用いる。ところで, 上記 (4) 式は梅村ほか (2002b), 林ほか (2008b) によって提案されてきたが, T_k の全面的適用はなされて来なかった。これまでは (4) 式の部分的な適用が行われてきたのみであり, それは地質特性値 C の設定が難しかったためである。以下に (4) 式を深化させた (5) 式における地質特性 C の推定方法を述べるが, 地質特性値 C は解析区域で一定値とした場合と, 解析区域の 5 つの地質それぞれについて地質特性値 C の値を設定する場合について考察する (林ほか, 2011)。

5.2 地質特性値 C の決定方法および結果

5.2.1 地質特性値 C の最適化法

駆動因子 T_k と崩壊面積率 Sa の関係が, ノーマルグラフあるいは対数グラフを含めて直線関係にあるとみられるため通常の直線式, あるいは両対数上にて直線式 (ベキ乗式) で近似する。そのためには, 式の右辺の変数である駆動因子 T_k を確定させる必要がある。しかし, (4) 式において $C (=cl/W)$ 以外の因子は GIS 上の各メッシュ (斜面) にて確定するが, 地質特性値 C だけは確定しない。そこで, C を変化させて寄与率の最大化を行う。次に, 以下の (8) 式を最小にする C を最適値として採用した。

$$(Sa - A \cdot T_k)^2 \quad (8)$$

地質特性値 C を地質によらず一定とした場合, N-S 成分において 0.08, E-W 成分において 0.09 を得た。地質特性地 $C (=cl/W)$ は, 加速度の方向によって左右されない崩壊斜面固有の値であるので, 以下の平均値 0.085 をこの場合の地質特性値 C の最適値とした。

次に, 先の図 11 で示したように崩壊面積率は地質区分 K , smg で高く, A , Gn で低いことが示されていることから, 地質的な斜面強度の大小が崩壊発生に影響していることが示唆されている。この影響は (5) 式の地質特性値 C に及ぼすことが考えられるので, 以下, 地質特性値 C を地質ごとに与えて考察する。

地質特性値 C の値を地質ごとに C_K , C_{smg} , C_{nm} , C_A , C_{Gn} とし, C を一定にした場合と同様の方法

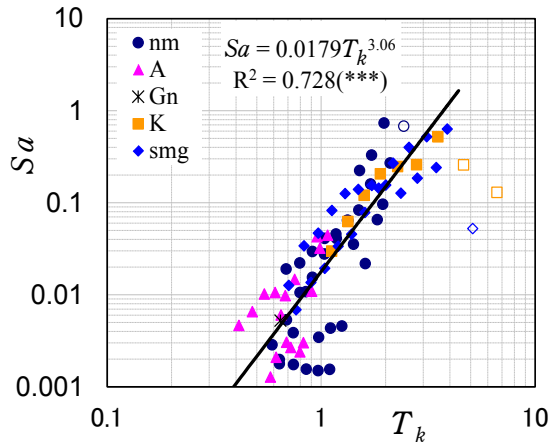


図 18.1 ベキ乗式による N-S 成分における T_k と Sa の関係(○, □, ◇は計算から除外)

Fig. 18.1 Relationship between Sa and T_k for N-S acceleration by power equation.

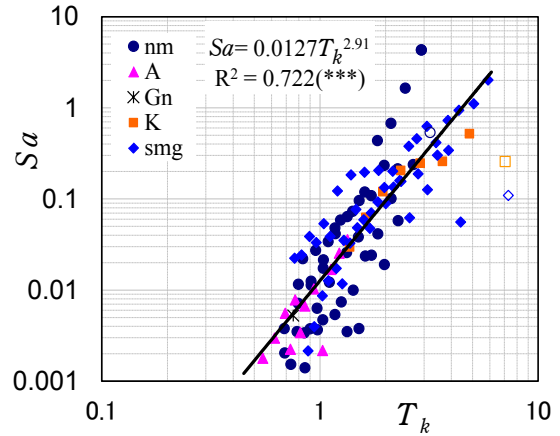


図 18.2 ベキ乗式による E-W 成分における T_k と Sa の関係(○, □, ◇は計算から除外)

Fig. 18.2 Relationship between Sa and T_k for E-W acceleration by power equation.

で最適化を行い、すべての地質を含めて (8) 式が最小となる値を最適値とした。C の値は、N-S 成分、E-W 成分を別々に求めその平均地を個別の地質特性値 C の最適値とした。

線形式の場合：

$$C_K=0.0015, \quad C_{smg}=0.15, \quad C_{nm}=0.23$$

$$C_A=0.86, \quad C_{Gn}=0.93,$$

べき乗式の場合：

$$C_K=0.01, \quad C_{smg}=0.25, \quad C_{nm}=0.43$$

$$C_A=0.90, \quad C_{Gn}=1.2$$

5.2.2 線形式による崩壊面積率 Sa

図 17.1 に C を地質ごとに決めた場合の N-S 成分に対する線形式の駆動因子 T_k と崩壊面積率 Sa の関係を示す。E-W 成分に対する T_k と Sa の関係については、図 17.2 に示す。図 17.1 と図 17.2 の図中のデータには、それぞれの地質において T_k の増加に対して Sa の値が大きくなり、ピーク以後小さくなるものがある。このピーク値やこれ以後の低下するデータの一部は解析から除いた(各マークの白抜きのデータで各地質 1~2 個程度)。これらの白抜きのデータの幾つかは図 10 のピーク以後に対応しているようであり、駆動因子 T_k によって統合化できない部分が含まれているとみられる。

以上の結果において、N-S 成分において地質特性値 C を一定にした場合の寄与率は 0.482 であり、C を地質ごとに決めた場合の寄与率は 0.667 であった(図 17.1)。E-W 成分では C を一定にした場合の寄与率は 0.596 であり、C を地質ごとに決めた場合は

0.625 であった(図 17.2)。よって、地質特性値 C を地質ごとに決めた場合の方が寄与率は高くなり、駆動因子 T_k と崩壊面積率 Sa の相関が高くなることが認められる。

改めて地質別の急傾斜崩壊面積率をみると

$$K : 2\%, \quad smg : 0.45\%, \quad nm : 0.17\%$$

$$A : 0.047\%, \quad Gn : 0.0052\%$$

であり、求められた地質特性値 C と比較すると崩壊しやすい地質ほど C の値は小さい傾向にある。地質特性値 C は (5) 式において分母にあるため C が小さいほど崩壊面積率は高く算出される。先に示した図 11 の右軸に地質ごとの C の逆数の値を示す。C の逆数は対数上で大きく変化し、特に地質 K において特に大きな値をとるが、smg と nm は同程度の値を示し、現実の崩壊面積率をある程度反映しているとみることができる。

5.2.3 ベキ乗式による崩壊面積率 Sa

図 18.1 に N-S 成分による両対数で表した駆動因子 T_k と崩壊面積率 Sa の関係を示し、図 18.2 に E-W 成分による両対数で表した T_k と Sa の関係を示す。寄与率は N-S 成分において 0.728、E-W 成分において 0.722 である。この値は直線式で表した場合より高い値となっている。

べき乗式として N-S 成分では次の (9) 式、E-W 成分では (10) 式が得られる。

$$Sa = 0.0179T_k^{3.06} \quad (9)$$

$$Sa = 0.0127T_k^{2.91} \quad (10)$$

上の両式において、ベキ係数は3.06と2.91であり、ほぼ3.0に近い同程度の値となった。このような方法を用いたベキ乗式による他のベキ係数との比較データはないが、この値は興味ある値である。

駆動因子 T_k の(5)式の意味は、元々抵抗因子に対する駆動因子の比であり、線形式の図17では横軸の切片 T_k はほぼ1となっている。ただし、1を下回るデータもある。この点は、両対数グラフの図18をみると詳しくわかり、横軸の T_k が0.4程度から崩壊面積率のデータが少なからずみられる。この原因として、内部摩擦角 ϕ を 35° と少し高めに設定したことや、現場における局所的な斜面の特性が分割メッシュにうまく拾えないことなどが考えられる。

各メッシュの安全率 $F_s (= 1/T_k)$ の平面分布を考えると、先の(5)式で $k_h = 0$ としたものが地震発生前、崩壊前の安全率の状態を表している。ここで、各メッシュに外力 ($k_h > 0$) が与えられ、実質的に $F_s \leq 1$ となるメッシュが発生すると、その大きさまでのメッシュはすべて崩壊することになる。つまり、安全率 F_s の平面分布を考えると、その積分として崩壊面積率の式が求められる。この関係は、参考文献(林, 2008a)に示すような豪雨の場合と類似した関係にあるようである。

5.3 地質による崩壊特性

さて、先の図11に示した地質別の崩壊面積率と地質特性値 C の逆数が対応しているところをみると、この C は現実の崩壊面積率をある程度反映し、地質的な斜面崩壊の特性を表しているといえることができる。地質 K が急傾斜崩壊面積率で高く(図14)、全体の崩壊面積率で smg より低くなる(図11)のは、傾斜が緩く、かつ地質強度が低いためと考えられる。

地質特性値 C は、ベキ乗式の場合 0.01 ~ 1.2 の範囲にある。この C は、無次元パラメータ(因子)ではあるが、斜面の粘着力 c や崩壊長 l などの因子を含み、次の関係がある。

$$C = cl/W = c/(\gamma D)$$

ここに、 W : 崩壊ブロックの重量、 γ : 単位体積重量、 D : 崩壊ブロックの厚さである。図12の地質 Gn, A の崩壊面積率が小で崩壊規模も小(Gn)であることを考えると、古い地質 Gn では、粘着力 c が大きいのか、崩壊の厚さ D が小さいことが考えられる。地質 A の規模は Gn より少し大きくなるが、発生率が小

さいのが特徴である。

以上、地質特性値 C は、地質的な斜面強度の結果としての斜面崩壊の特性を表すものとみられるが、無次元パラメータ(因子)としての特性をもっており、より広範に他地域標と比較することが可能とみられる。

6. まとめ

地震により発生する斜面崩壊に関する主要な因子を分析し、地震動の水平加速度、斜面傾斜角、地質強度に絞って検討した。検討には、自然現象としての地震性崩壊をより際立たせることが必要で、その方法として、急傾斜地における崩壊面積率を採り上げ、特に地質特性との関係を解析する力学的モデルを設定した。

つまり、崩壊面積率 Sa を求めるこのモデルは、斜面傾斜角・地質・水平震度を含み駆動因子 T_k を因子化したものであり、 T_k に比例する要因とするために安全率の逆数 ($1/F_s$) を用いて統合化した。採り上げた地震は、2007年3月発生 of 能登半島地震である。本研究より以下のことが示された。

- 1) 急傾斜崩壊面積率と加速度との関係から、両者の間に線形関係が示唆され、線形関係を補強する要因として地質的な斜面強度が関係していることが推測された。
- 2) 地震時の駆動因子は、内部摩擦角 ϕ を一定 (35°) とすると、斜面傾斜角 θ 、水平震度係数 k_h 、地質特性値 C の因子を含む統合因子、すなわち以下の駆動因子 T_k によって一般的に議論することが可能とみられる。

$$\text{駆動因子 } T_k = 1/F_s = f(\theta, k_h, C), \quad C = cl/W$$

ここに、 θ に関しては利用上無次元であり、 k_h 、地質特性値 C も無次元であるので、数式上はすべて無次元パラメータ(因子)になっている。

- 3) この T_k 中の因子 C は各地質に対し、今回 0.01 ~ 1.2 の範囲を占めたが、地質的な崩壊特性としての役割は大きく、また他地域との比較も容易である。
- 4) 駆動因子 T_k を用いた崩壊面積率 Sa を求めるベキ乗式 ($Sa = AT_k^B$) のベキ係数は、ほぼ 3.0 で与えられた。

本研究で導入した駆動因子 T_k により 3 因子(斜面傾斜角、震度係数、地質特性)の相補的な関係が示

され、地質的な崩壊への影響を解析することが可能となった。これらの結果は、(5)式で与えられる駆動因子 T_k の統合性の結果を表している。最適化された C の逆数値は、各地質に対応し、崩壊面積率を反映した値を示した。この無次元パラメータ(因子)である地質特性値 C は、斜面の粘着力や崩壊長などを含む地質的な斜面崩壊の特性を表しているものと考えられる。今後、内部摩擦角 ϕ の設定値に関してはさらなる検討を要するが、地質特性値 C に関しては、本解析法によって他地域との比較が可能になるものとみられる。

参考文献

- 1) 荒木敏行(2009)：2007年能登半島地震により発生した斜面崩壊要因の考察。三重大学修士論文，79pp.
- 2) 土木学会編(1989)：土木工学ハンドブック(第四版)，406，1112，技報堂出版。
- 3) 権田 豊・登坂陽介・田中将徳・川邊 洋(2007)：新潟県中越地震により発生した芋川流域の崩壊及び地すべりのGISによる特性解析。新潟大学農学部研究報告，59(2)，108-113。
- 4) 鮎野義夫(1993)：新版・石川県地質図(縮尺10万分の1)石川県地質誌，石川県北陸地質研究所。
- 5) 小林芳正(1981)：地震による二三の斜面崩壊の解釈。京大防災研年報，24(B-1)，1-10。
- 6) 近藤観慈・林 拙郎(1997)：スライス境界にバネを用いた斜面安定解析法。土木学会論文集，561(Ⅲ-38)，33-46。
- 7) 林 拙郎(1999)：地震対する林地の安定性と山地災害に関する総合的研究。平成8～10年度科研費報告書，190pp。
- 8) 林 拙郎(2002)：1999年台湾の地震に伴って発生した山地災害の調査。平成12～13年度科研費報告書，284pp。
- 9) 梅村善信・石橋弘光・林 拙郎・近藤観慈・沼本晋也・川邊 洋・土屋 智(2002)：地震動による崩壊発生分布の地形および加速度と関係。平成12～13年度科研費報告書(代表者・林 拙郎)，108-123。
- 10) 林 拙郎・近藤観慈・川邊 洋・花岡正明・秋山一弥，沼本晋也・鈴木 滋・向井啓司・福田睦寿(2007)：2007年3月25日能登半島地震による土砂災害の発生形態。砂防学会誌，60(2)，51-58。
- 11) 林 拙郎(2008a)：保全砂防学入門，電気書院，299pp。
- 12) 林 拙郎・梅村善信・石橋弘光・土屋 智・近藤観慈・沼本晋也・地頭園 隆・王文能・川邊 洋(2008b)：1999年集集地震により発生した崩壊地の航空写真を用いた解析。平成16～19年度科研費報告書(代表者・川邊 洋)，7-29。
- 13) 林 拙郎・近藤観慈・川邊 洋・花岡正明・秋山一弥，沼本晋也・鈴木 滋・向井啓司・福田睦寿(2008c)：能登半島地震による土砂災害の特徴。砂防学会誌，61(3)，31-36。
- 14) 林 拙郎・荒木敏行・山田 孝・沼本晋也(2010)：2007年能登半島地震による斜面崩壊の発生要因。砂防学会誌，63(3)，19-26。
- 15) 林 拙郎・荒木敏行・山田 孝・沼本晋也(2011)：地震による斜面崩壊の面積率に関する考察-2007年能登半島地震を例にして-。砂防学会誌，64(3)，21-27。
- 16) 平松良浩(2007)：2007年能登半島地震被害調査報告書。土木学会・地盤工学会，1-65pp。
- 17) 石川芳治・小野 彩・水原邦夫(1998)：北丹後地震による斜面崩壊面積率。砂防学会誌(新砂防)，51(4)，27-32。
- 18) 地頭園隆・下川悦郎・松本舞恵・寺本行芳(1998)：1997年鹿児島県北西部地震による斜面崩壊の分布と地形的特性。砂防学会誌，51(1)，38-45。
- 19) 桂 真也・木村 諤・丸山清輝・石田孝司(2016)：2014年11月22日長野県神城断層地震に伴う斜面崩壊・地すべりの分布特性と発生箇所の特徴。地すべり学会誌，53(3)，11-20。
- 20) 川邊 洋・辻本文武・林 拙郎(1997)：兵庫県南部地震による六甲山地の崩壊分布。砂防学会誌，49(5)，12-19。
- 21) 気象庁(2007)：2007年3月25日9時42分ころ能登半島沖で発生した地震について(第4報)。気象庁報道発表資料，1-7。
- 22) 国土地理院(2007)：平成19年(2007)能登半島地震を起こした震源断層の姿。国土地理院資料，1-2。
- 23) 国土交通省国土技術政策研究所・独立行政法人土木研究所・独立行政法人建築研究所(2008)：平成19年(2007年)能登半島地震被害調査報告。

1-50pp.
24) 下川悦郎(2005) : 1999年台湾集集大地震後の土

砂災害の推移と地形変化. 平成14～16年度科
研費報告書, 245pp.

要 旨

地震による斜面崩壊を解析するには、地震による影響を強調した主要な因子を示すことが必要である。主要な因子は、地震動の加速度と急角度の斜面傾斜、斜面としての強度をもつ地質である。これら3つの因子の組み合わせによって典型的な崩壊が発生する。斜面崩壊の発生頻度は、崩壊面積率で確認することができる。これらのことを検証するために、2007年3月発生 of 能登半島地震による地震発生域を斜面崩壊の解析対象地に選定した。この地震の特徴は次の通りである。震源の深さ：11 km，マグニチュード：M6.9，最大震度：6強（輪島市門前町），解析対象面積：294 km²，崩壊箇所数：132箇所，崩壊面積率：0.024%であった。地震時の加速度と崩壊斜面全部に対する崩壊面積率との関係では線形関係は得られなかったが、加速度と急傾斜崩壊面積率との関係には線形関係がみられた。崩壊面積率 Sa のモデルは、駆動因子 T_k ，つまり安全率の逆数 ($1/F_s$) を用いた次のモデルである。駆動因子 $T_k = f(\theta, k_h, C)$ ，ここに、 θ ：傾斜角， k_h ：水平震度係数， C ：地質特性値である。崩壊面積率 Sa と駆動因子 T_k の関係はべき乗式を使う場合、 $Sa = AT_k^B$ となり、べき係数に $B=3$ が得られた。このとき、地質特性値 C の範囲は 1-100 程度であり、斜面崩壊に対し大きな影響力をもつことが示された。

キーワード：地震性崩壊，崩壊面積率，地震加速度，駆動因子，地質特性

熊本地震による阿蘇カルデラ内で起きた特徴的な地すべり変動について

井口 隆*

Characteristic Landslides Occurred in the Aso Caldera by 2016 Kumamoto Earthquake

Takashi INOKUCHI

* National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan,
JSEG Research team for disaster on 2016 Kumamoto-Oita Earthquake disaster and JSEG Research group on
engineering geology for disaster prevention

キーワード：熊本地震，地すべり災害，カルデラ湖沼堆積物，降下火山碎屑物

Key words: 2016 Kumamoto Earthquake, Landslide disaster, Caldera lake deposit, Pyroclastic-fall deposit

1. はじめに

2016年4月16日に発生した熊本地震(M7.3)では阿蘇火山とその周辺地域で多数の斜面変動が発生した。阿蘇山は現在も活動中のカルデラ火山であり、火山地域特有の堆積物が素因となった斜面変動が数多く発生している。今回、特にカルデラ底の傾斜1°

以下の極めて緩い「斜面」において湖成堆積物の滑りによる変動が起きたことは注目される。ここでは熊本地震で発生した斜面変動の中でも火山地域に特徴的に起きたと考えられる2地区の事例を取り上げ、今後の地震時の地すべりに対する注意喚起を行いたい。



スライド1 タイトル

今回発表する内容は、日本応用地質学会熊本・大分災害調査団による調査結果に基づき井口が取りまとめたものである。

背景の写真は、京都大学火山研究所の北斜面で発生した層すべりである。溶岩ドームの上に何枚かの降下火山碎屑物がマントルベッディング状に何枚も堆積しており、そのうちの1枚の火山灰層の最下部が滑り面となって発生している。

この地すべり移動体は3軒の別荘を載せたまま地すべりを起こしたことが、この斜め空撮写真から見て取ることができる。

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 日本応用地質学会熊本・大分地震災害調査団・同災害地質研究部会

日本応用地質学会 2016年熊本・大分地震災害調査団メンバー

田長(所属)	黒木 貴一 (福岡教育大学)	田長名(所属)	田近 淳(近畿工科大学)
副田長(所属)	井口 隆 (防災科学技術研究所)		田村 浩行 (応用地質)
幹事長(所属)	宮崎 精介 (九州地質コンサルタント)		野々村 敦子 (香川大学)
幹事(所属)	磯村 敬 (八千代エンジニアリング)		西山 賢一 (徳島大学)
	加藤 靖彦 (山崎建設)		長谷川 修一 (香川大学)
	中曾根 茂樹 (日本工営)		花村 徳 (九州地質コンサルタント)
	松尾 達也 (土木研究所)		野井 敬明 (九州地質コンサルタント)
	矢野 健二 (ジオテック技術士事務所)		牧野 隆雲 (日経総合コンサルタント)
田長名(所属)	池見 洋明 (九州大学)		松田 隆嗣 (京都大学)
	磯部 有作 (地層科学研究所)		山中 聡 (香川大学)
	稲垣 秀寛 (環境地質)		山本 茂雄 (中央開発)
	江崎 晋郎 (九州大学名誉教授)		釜井 俊孝 (京都大学)
	小俣 雅志 (バスコ)		千木良 舞弘 (京都大学)
	北川 博也 (ダイヤコンサルタント)		伊藤 久敏 (電力中央研究所)
	木村 克己 (防災科学技術研究所)		熊谷 修二郎 (日本応用地質学会)
	佐々木 靖人 (土木研究所)	協力者(所属)	
	横田 克哉 (日本地研)		
	鈴木 弘明 (日本工営)	事務局(所属)	
	高見 智之 (国策戦略)		

応用地質学会災害地質研究部会と九州支部を中心に、各研究部会のメンバーが加わった構成となっている。民間企業社員が多い ※ 下線:災害地質研究部会員

スライド2 地震調査団メンバー

今回の熊本地震調査を担った日本応用地質学会の熊本・大分地震災害調査団のメンバー表。緑色が災害地質研究部会に所属するメンバーで、災害地質研究部会からはこのほかにも千田(敬二)、橋本(修一)、阪口(和之)、末武(晋一)、西村(智博)の各氏が調査に参加している。

日本応用地質学会の会員は地質コンサルタント会社や航測会社など民間企業の社員がその大半を占めており、調査団メンバーも同様である。

現地調査の日程および参加メンバー

- ・ 4月29日(金)～5月1日(日) 井口・高見・加藤・池見
立野周辺・阿蘇大橋・阿蘇長陽大橋・火山研究所・山王谷川・大切畑ダム (九州支部は活断層調査中心)
- ・ 6月3日(金)～5日(日) 井口・高見・田近・加藤・橋本・千田・阪口・田村・西山・末武・西村
立野・阿蘇大橋・火山研究所・阿蘇谷の陥没性断裂・俵山大橋・
- ・ 6月18日(土)～19日(日) 加藤・西村ほか
阿蘇谷の陥没性断裂周辺の補充調査

一部の調査報告や学会でのポスター発表は日本応用地質学会のHPで公開している



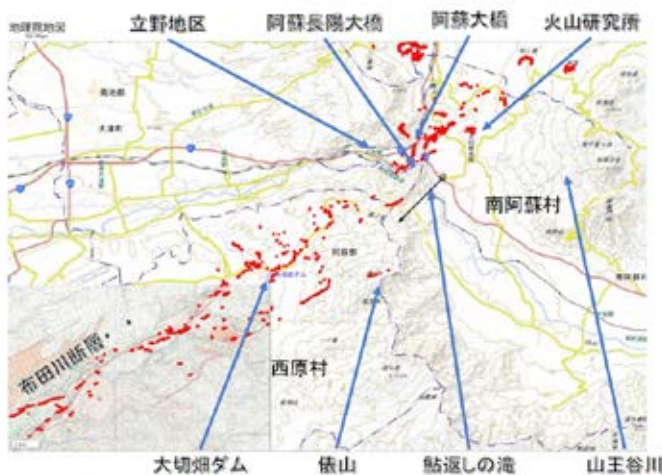
スライド3 調査の日程

先に述べた様に、調査団メンバーには民間企業の社員が多いことから、平日に調査することは難しく、土日祝日を使った複数回の調査となった。

調査団全体に呼び掛けての調査としては2回行なった。1回目は大型連休前半の4/29～5/1に実施し、2回目は6月初旬にの週末に行なった。また補充調査を6月中旬にも実施した。

(【補足】このほか、九州支部に属する地震断層班メンバーなどの方々は、この日程以外にも週末での調査を数回にわたっての実施している。)

1回目の調査地点(南阿蘇村～西原村)



スライド4 斜面調査班の調査地点

これは第1回調査時の調査団斜面班が調査対象とした主な地点を示した図である。

最初に立野地区の3箇所(地すべり・斜面崩壊)を調査し、カルデラ内においては阿蘇大橋、京大火山研究所、山王谷川の土石流などの調査を行なった。

2回目の調査では上記に加え、的石地区の陥没性断裂の周辺域の地変調査や俵山大橋付近の地変なども新たに調査を行なっている。



スライド5 調査成果の公表

応用地質学会熊本地震災害調査団の成果は、6月に開催された応用地質学会シンポジウムと10月開催の学会研究発表会のポスターセッションなどで発表しています。

また防災学術連携体の3回の災害報告会に際しては日本応用地質学会として3回とも発表しており、発表に用いたPPTは防災学術連携体のHPで公開されています。

ここに示したのは日本応用地質学会のシンポジウムのポスターセッションで発表した4件のポスターで、これらは応用地質学会のHPで公開されています。



スライド6

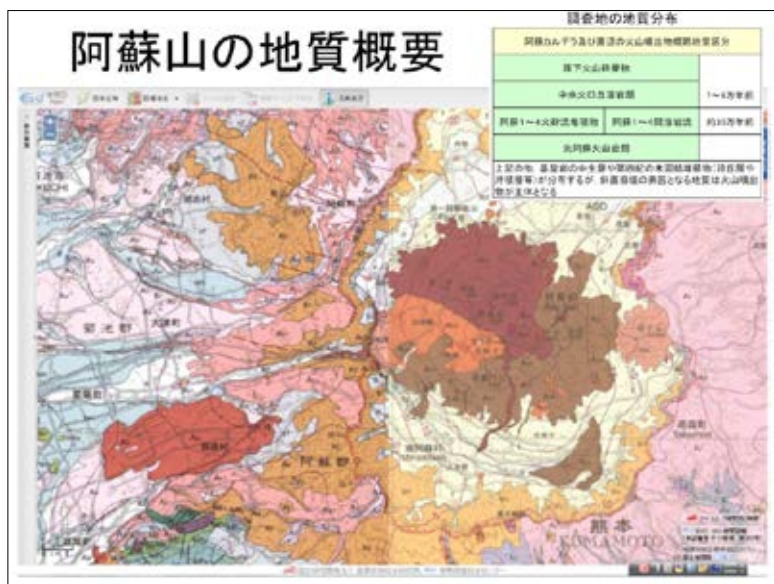
シンポジウムのポスターセッションで発表した4件の後半のポスターです。

今日発表する内容は前のスライドとこのスライドのそれぞれ右側に示すポスターの発表内容に関するものです。



スライド7 本日の発表する地すべりの発生地点

今回の熊本地震は大規模な火砕流噴火によって巨大なカルデラを形成し、さらに中央火口丘からの噴火活動が現まで続いている阿蘇火山の一部をも震源域に含む地域に起きた。そのため熊本地震によって生じた斜面変動はそういった特有の地質状況による特徴的な変動が顕著に発生している。今日の発表では時間の関係で、左図の青楕円と赤楕円で囲んだ範囲に生じた特徴的な「地すべり」について紹介し、今後の同種の地質地域で起きる斜面変動の注意喚起としたい。



スライド8 阿蘇火山の地質概要

この図は旧地質調査所が発行した阿蘇山の地質図である。

阿蘇山の地質は大きく先阿蘇火山岩類、4回の大規模火砕流噴火による火砕流堆積物の時期の地層、そしてカルデラ形成後の中央火口丘からの噴火による堆積物に大きく分けられる。

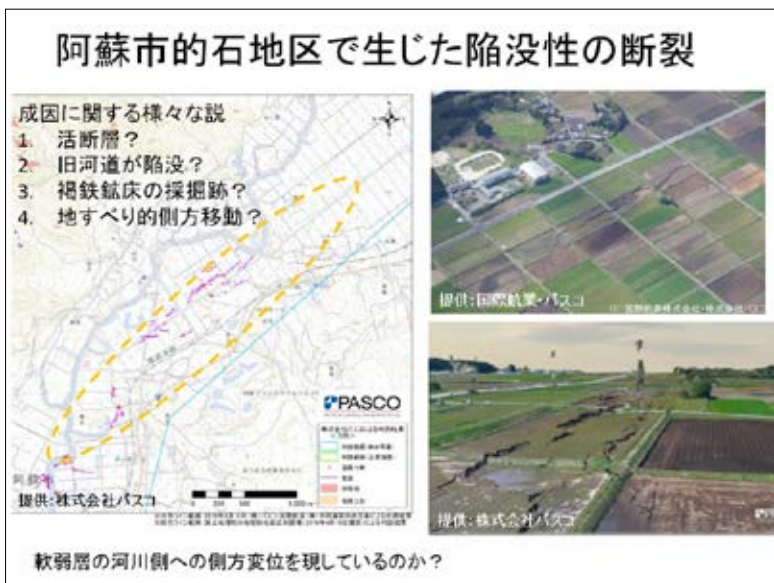
2. 阿蘇カルデラ北部の阿蘇谷内に生じた陥没性断裂を伴う地すべり変動

熊本地震により阿蘇カルデラ北西部の低地には陥没を伴う直線的な断裂群が約10kmにわたり断続的に出現した。発生直後は活断層や旧河道の陥没など諸説が出されたが、学会調査団による調査によって内牧地区、狩尾地区、的石地区の3か所では1.5km×2kmから1km×0.7kmの地盤が北西～北方向に2～5m側方に移動した結果生じたことを明らかにした(応用地質学会HP)。この結果が明らかになった当初は、仮称として側方流動と呼んでいたが、兵庫県南部地震の埋立地で起きた液状化に伴う現象とはかなり相違すると考えられ、混同を避けるために側方移動、陥没性断裂などとも呼んできた。しかし起きた現象の実態としては、ほとんど平坦な場所で起きたという以外は、周辺で起きた変状も含めて説

明が見つくことから、「地すべり」と呼ぶのが最も適当であると考えている。

カルデラ湖内の堆積物が地震で地すべりを起こす同種の地すべり事例としては2008年の岩手宮城内陸地震で発生した荒砥沢地すべりがあり、更には東北地方に分布する巨大地すべりの多くは埋没カルデラ内に堆積した湖成層によるとの大八木の一連の報告(深田研年報No.1～3, 5など)がある。このようなカルデラ堆積物の地震時の変動発生については予想することは難しい。今後の研究が待たれるとともに、今後は埋没カルデラも含めて、こういったカルデラ地域では人為的な改変にあたっては地震時に想定外の変動が起きる可能性についてあらかじめ留意しておく必要がある。

以下、発表で用いたパワーポイントを用いて講演の概略を再現したい。



スライド9 的石地区に出現した陥没性断裂 (空撮)

阿蘇谷に生じた陥没性断裂の亀裂の発生状況とそれを空撮した写真を示す。北東-南西方向に雁行状に伸びており、一見すると活断層による変位の様にも見える。

この断裂の成因については1.活断層説、2.黒川の旧河道に沿ってできた陥没説、3.この付近で昔採掘された褐鉄鉱床跡の陥没説、4.地すべりの側方移動が生じたことでできた地すべりの頭部陥没帯説などの様々な説が提示された。

地表で見る陥没性断裂



黒川側へ向いた小崖が形成され、最大落差約2.5m ➡:河川方向

スライド 10 的石地区に出現した陥没性断裂 (地上)

陥没性断裂を地表から撮った写真によってその状況を見て貰いたい。最大落差は道路を跨ぐ下の写真の地点で2.5 mと大きく、断裂から離れるに従ってその陥没量は小さくなっている。これは活断層で生じる段差とは少し様相が異なっている。

陥没性断裂による被害状況



送電線鉄塔の基礎が抜け上がり、鉄塔全体が南西に傾いている

河川堤防の沈下

農業用ハウスの損壊

災害地質部会応用地形部会による調査

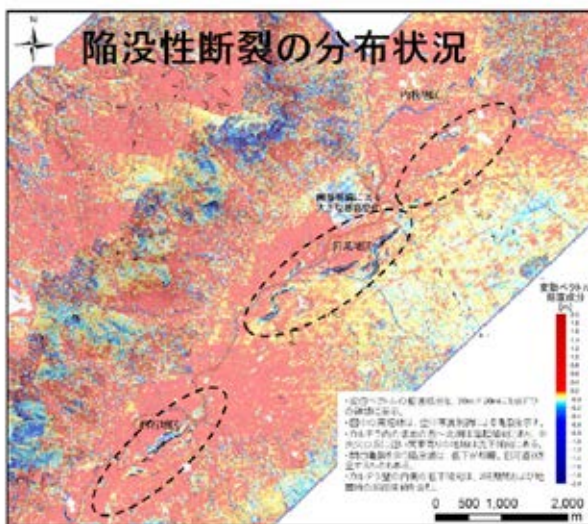
スライド 11 陥没性断裂による被害

陥没性断裂によって起きた被害の状況を示します。送電線の鉄塔の傾き、河川堤防の沈下、農業用ハウスの倒壊、住宅地と道路に生じた溝状の陥没など各所で様々な被害が生じています。

右下の写真にある住家に住む人の話では、本震直後に家から飛び出した際にはこんなに著しい陥没は生じてなかったが、翌朝起きた際には1 mほど陥没しているのに気づき、驚いたということであった。

この陥没はゆっくりと進行したのではないかと推測される。

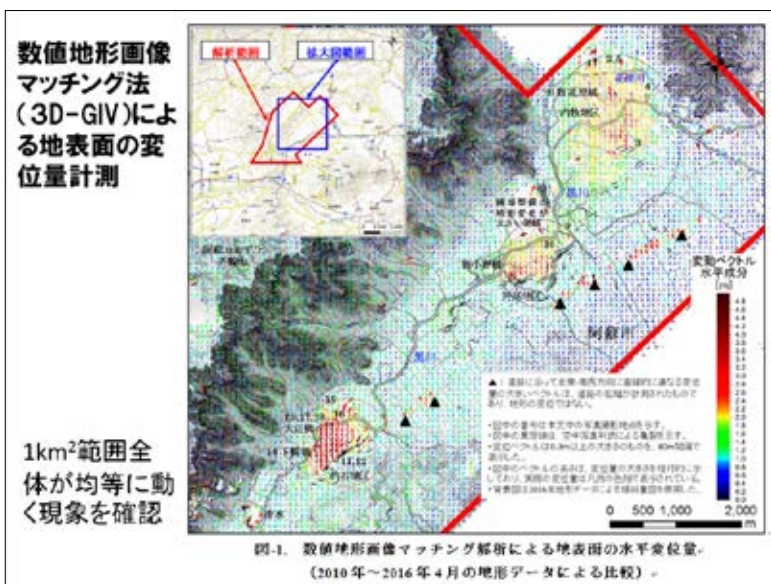
陥没性断裂の分布状況



数値地形画像マッチング解析による地表面の鉛直変位量(2010年～2016年4月)

スライド 12 陥没性断裂の分布範囲

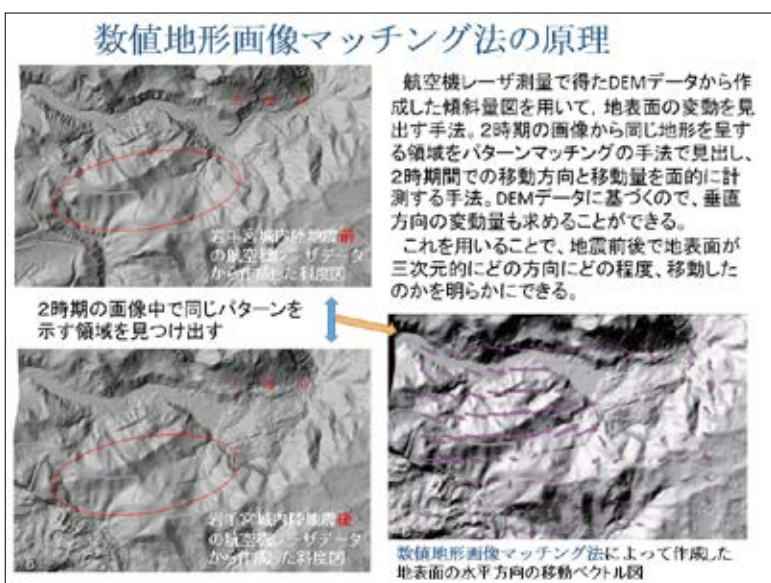
今回取り上げる陥没性断裂はこの図の黒破線で示した範囲の中にあります。この図は後で述べる数値地形マッチング解析によって得られた地震前後の垂直変位を示した図で、青い部分は沈降したところです。黒破線内にある青い線状の部分が陥没した断裂を示しています。陥没性断裂が分布するのは、西からの的石(まといし)地区、狩尾(かりお)地区、内牧(うちのまき)地区の3箇所あります。



スライド 13 地表の水平変位

この図は数値地形画像マッチング法によって作成した地震前後の地表の水平方向の移動ベクトルを表した図です。小さくて見にくいかもしれませんが、小さな矢印が移動方向を示し、その色で移動量を表しています。

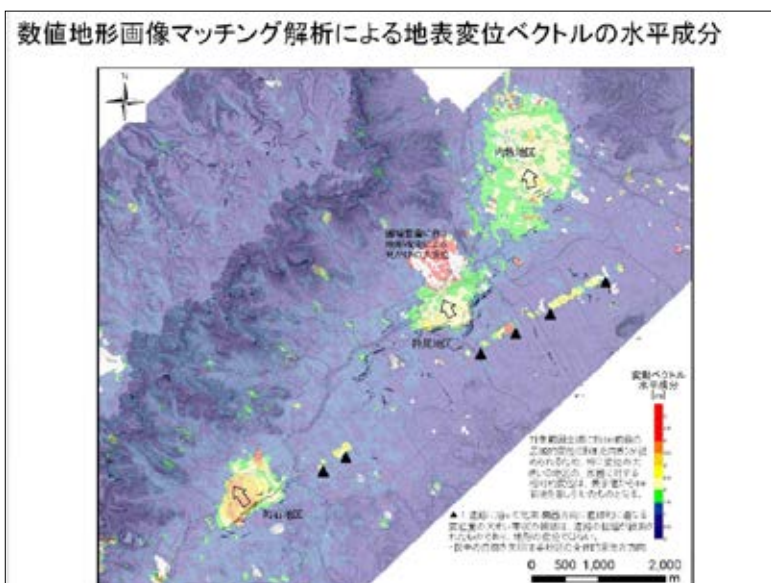
先の図で示した3箇所の陥没性断裂のいずれも北西側に移動量の大きな範囲が認められます。その規模は小さい石でも0.5 km×1 kmあり、内牧地区では1.5×2 kmほどあります。移動方向は北～北西で、その移動量は2 mから4 mほどです。



スライド 14 数値地形マッチング法の原理

数値地形マッチング法は図中の説明にある通り、2時期のDEMデータから作った傾斜量図から同じパターンを示す領域が2時期でどれくらい移動しているかをパターンマッチングの手法によって解析する手法です。

(【補足】当日の講演の時には左側の2枚の図を別スライドにして、それを素早く切り替えて、前後で人間の目でもどの部分がどの方向にどれくらい移動しているかを認識してもらい、原理を体感してもらいました。)

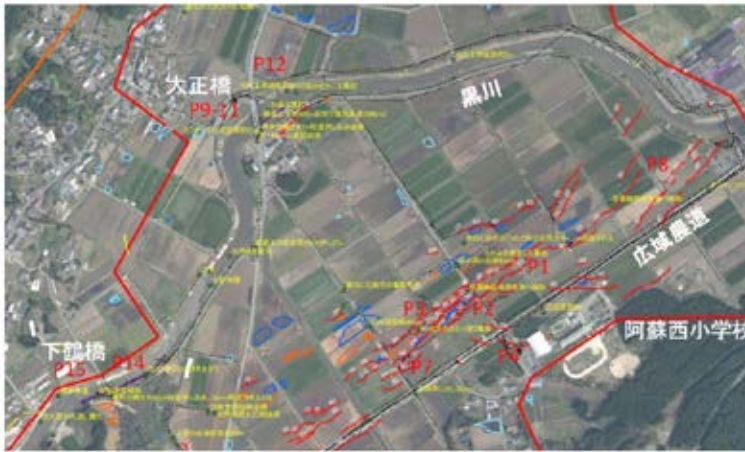


スライド 15 地表変位の水平成分

スライド 13 と同じ内容を違った表現で示した図です。矢印を用いたベクトル表示ではなく、各ピクセルごとに水平移動量を色分けして示したもので、大きく移動した範囲がより鮮明に示されると思います。大きく変動した3地区の平均的な移動方向は中抜きの矢印で示しています。

(【補足】黒三角で示した直線的な領域は、2時期の間に道路改修が行なわれた個所です。また刈尾地区の北側のピンク色の領域は圃場整備によって地形が大きく改変された範囲です。)

変動域周辺部における変状の地表踏査結果



災害地質部会応用地形部会による地表踏査

スライド 16 的石地区の地表踏査結果

前述した地表のまとまった範囲が水平方向で2 m 以上移動した3地区のうち、一番移動量が大きくしかも規模がやや小さくて調査が比較的容易と思われた的石地区に絞って地表踏査を実施しました。

黄色の字で示したのが各地点での変状内容であるが、個々の変状について述べる時間はないので、代表的な大正橋付近の状況についてスライド 19 以降で述べる。

側方移動に伴う地表の変状調査結果



スライド 17 各所での変状調査結果

各所における変状調査結果による変状の状況を調査写真と概要の詳細によって説明したものです。

(時間の関係で発表当日には詳しい説明はスキップした。このスライドを示したのは、変動範囲内の周辺部各所で生じた様々な変状を確認している事実を見てもらうため)

側方移動に伴う地表の変状調査結果



スライド 18 各所での変状調査結果その2

各所における変状調査結果による変状の写真と概要の続き。

左上の大正橋の2枚の写真(P9, P10)については、次のスライドで説明します。

変動域の先端付近の地表変状



スライド 19 大正橋の地震前後

左上の写真が Google Street View で見た地震前(2013年12月)の大正橋の様子。右下は同じ場所を6月の調査時に撮影したもので、橋のたもとにあった石柱と白いガードレールが元の位置にはなく、左方に3mほど移動している。

一見、橋が右方の地盤にめり込んでいる様に見えるが、前述の数値地形マッチング法による結果を合わせると、右方の地盤が黒川に向かって移動してきたため、橋にめり込む形となったと解釈できる。

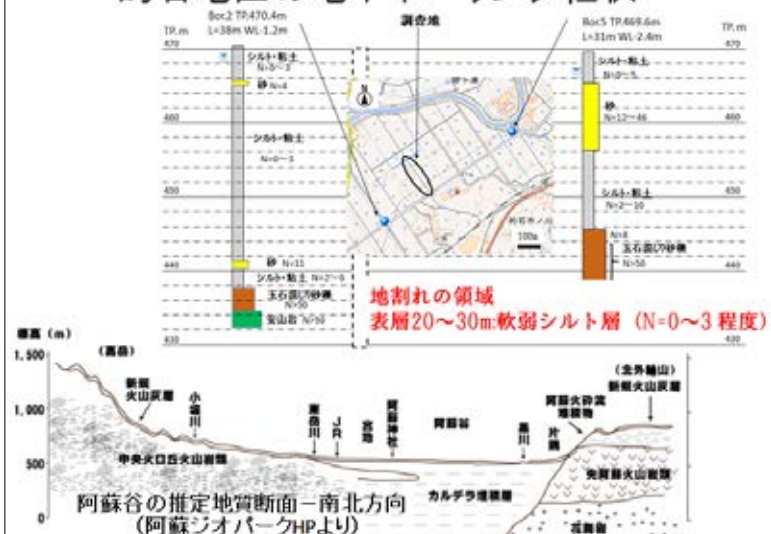
黒川河床に生じた隆起と浚渫工事



スライド 20 黒川の河床の隆起

一方、大正橋の下を流れる黒川の河床は大きく雁行状に隆起している。河岸で浚渫工事を行っていた工事業者に聞くと、地震直後はかなりの範囲の河床が大きく隆起したとの話であった。我々が調査した6月4日は浚渫工事が完了して引き上げる直前であった。浚渫によって隆起した大部分は除去されたが、浚渫し残した部分が水位低下のために水面に顔を出しているのを捉えたのが左の写真である。スライド15と19で述べた変状と合わせて考えると、黒川左岸側の地盤が地すべりの的に側方に移動したとの解釈が一番合理的に説明ができる。

的石地区の地下ボーリング柱状



スライド 21 的石地区のボーリング柱状

外輪山と中央火口丘の間に挟まれた阿蘇谷は厚いカルデラ堆積層に覆われている。この中には湖成堆積物もかなり含まれている。阿蘇谷はほぼ水平であるが、黒川に向かって1度以下のごくわずかな傾斜を持っている。

スライドの上図は大阪市大の原口先生から提供を受けたPPTで、的石地区の地下ボーリング柱状図が示されている。スライド10の地点に近い西側のボーリング柱状では地表から30m深までN値が0~3と極めて軟弱なシルト・粘土の互層である。

熊本地震による温泉の影響調査【抜粋】(九州地方環境事務所)

表 阿蘇くじゅう国立公園(阿蘇地域)における温泉への熊本地震の影響調査結果

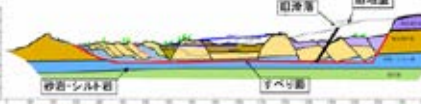
温泉番号	温泉地区	泉源への被害				温泉への被害			温泉施設等への被害			被害・影響の詳細	営業状況
		湧出量 ¹	湧出量 ²	泉温 ³	湧り ⁴	動力施設 ⁵	配管施設 ⁶	浴室施設 ⁷					
1	内牧温泉	-	-	-	-	不明	不明	不明					営業中
2	内牧温泉	-	●	●	-	不明	不明	不明	2本の泉源中、1本のみ温泉が出ている。流量が下がった。				営業中
3	内牧温泉	-	●	-	-	不明	不明	不明	2本ある泉源のうち、1本の温泉は水位が下がっている。				営業中
4	内牧温泉	-	●	-	-	-	-	●	震災前に使用していた3本の泉源から温泉が出なくなった。一方、震災前に温泉が出なかった泉源から温泉が出るようになった。ただし、流量が減少中である。原因は不明である。				営業中
5	内牧温泉	-	●	-	-	不明	不明	不明	泉源から温泉が出ない状態。地下50m付近で井戸がふさがれている模様。				休業中
6	内牧温泉	-	●	-	-	-	-	-	泉源から温泉が出ない状態。地下50m付近で井戸がふさがれている模様。				営業中
7	内牧温泉	-	●	-	-	不明	不明	不明	泉源から温泉が出ない状態。流量は以前の10%程度になっただけである。				営業中
8	内牧温泉	-	●	●	-	●	●	●	泉源の1つは枯死しているが、もう一つの泉源は水中ポンプが破損したものの自噴している。しかし、湧出量が激減し、泉温も低下。配管等も被害を受けている。				一部営業中
9	内牧温泉	-	-	●	-	不明	不明	不明	自噴しているが、泉温が下がっている。				営業中
10	内牧温泉	-	●	-	-	不明	不明	不明	2本ある泉源から温泉が出ない状態。地下50m付近で井戸がふさがれている模様。				営業中
11	内牧温泉	-	●	-	-	不明	不明	不明	流量が安定せず、水位が下がった。				営業中
12	内牧温泉	-	●	-	●	不明	不明	不明	自噴しているが、水位が下がって流量が減っている。また、砂が上がっている状態である。				営業中

スライド 22 内牧温泉の温泉調査結果

これは九州地方環境事務所の HP に掲載された「熊本地震による温泉の影響調査結果」の表である。ここで注目すべきは、内牧温泉において温泉水の湧出が止まった複数の温泉井において、「地下 50 m の深度で井戸がふさがれている模様」との記述がされていることである。ふさがれた原因についての記載はないが、深さ 50 m 付近にすべり面ができて、そこで横滑りしたために温泉井のパイプが破断した可能性も考えられる。

似た事例 荒砥沢地すべり(岩手宮城内陸地震)

栗駒山南麓カルデラの中で発生した



荒砥沢地すべりのすべり面の主体部分では、砂岩・シルト岩の構造を反映して、下部では1~2°の流れ盤、上部では0°~幾分逆傾斜と極めて低角度である。(林野庁東北森林管理局)



スライド 23 カルデラ湖の湖成層

2008年の岩手宮城内陸地震で発生した荒砥沢地すべり(左の写真)は、右下の図で示すように、栗駒山南麓カルデラの東の縁近くで起きている。荒砥沢地すべりのすべり面は右上の断面図に青で示した砂岩・シルト岩の五層中にある。この層は栗駒山南麓カルデラ内に堆積した湖成層である。

この荒砥沢地すべりのすべり面の傾斜は地すべりの下方では1~2°の流れ盤、上部では0°~やや逆傾斜と極めて低角度である(林野庁東北森林管理局, 2010)との調査結果が得られている。

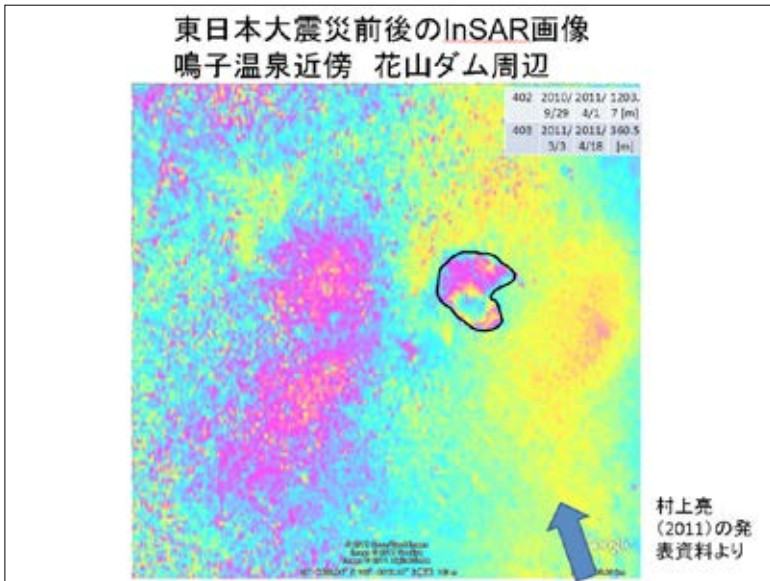
荒砥沢地すべり下部に露出する湖成堆積層



おんづつ露出する湖成層は、細い粒径の同じ物性を持つ層が堆積する場となる。そうした層中に地震動に対して脆弱な層が含まれていた場合、その層準において滑りが生じて大規模な変動に至ると考えられる。カルデラ湖以外にも降下火山砕屑物のように広い範囲に同じ性質を持つ層が広く堆積する場合も似たような状況が生じると考えられる。カルデラや活動火山が多い日本列島においては、このような背景によって地震による巨大地すべりが発生してきたと考えると合理的に説明ができる。

スライド 24 カルデラ湖の堆積層と地震

カルデラ湖の湖底に堆積する湖成層は、広い範囲に同じ物性を持つ層が堆積する場となる特定の層準に地震動に対して脆弱な地層が含まれていた場合、その層準において滑りが生じて大規模な変動に至ると考えられる。カルデラ湖以外にも降下火山砕屑物のように広い範囲に同じ性質を持つ層が広く堆積する場合も似たような状況が生じると考えられる。カルデラや活動火山が多い日本列島においては、このような背景によって地震による巨大地すべりが発生してきたと考えると合理的に説明ができる。



スライド 25 地震による花山カルデラの変状

この図は北大の村上亮先生から提供いただいたもので、東日本大震災前後の鳴子温泉近傍の干渉 SAR の画像である。図の中央やや右寄りに黒実線で囲うまとまった範囲が地震前後で僅かに移動していることが示されている。とある会議の場で村上先生がこの図を示されて、この範囲が何なのかが分からないとの発言を受けて、私が形状などから見て古いカルデラの可能性がある」と指摘したところ、後日、花山カルデラの位置と一致したとのことだった。カルデラ埋める堆積物が地震による変動の要因となったことが推測される。

3. 京都大学火山研究センター周辺における降下火山砕屑層で生じた地すべり変動

熊本地震では、1949年の今市地震、1978年の伊豆大島近海地震 1984年や長野県西部地震などと同様の、火山砕屑物層を滑り面とする斜面変動が多数起きたのも一つの特徴である。特に京都大学火山研究センターが立地する高野尾羽根溶岩ドーム(宮縁ほか、2004)の周辺では多数のアーススライド→アースフローが発生し、多数の人命が失われた。火山研究センター西側の変動は約31,000年前に噴出した草千里ヶ浜軽石層(渡辺ほか、1982 略称 Kpfa)を滑り面として発生したことが確認されているが、調査団によるその他の調査結果では草千里ヶ浜軽石以

外の軽石層・火山灰層で滑った事例も確認されており、いろんなテフラ層が発生の素因となって起きたと考えられる。

降下火山砕屑層を滑り面とするタイプの変動は広い範囲の地盤が一斉に滑り始め、しかも場合によっては長距離流走・流動することが多く、被災域が広いことが特徴である。また火山灰・軽石など広い範囲に堆積する層を滑り面として発生することから、場合によっては例えば1923年関東地震の震生湖のように火山から離れた地域で起きる事例も見られる。



スライド 26 京大火山研究所周辺で起きた地すべりの空撮写真

次に紹介するのは京都大学火山研究センターが立地している高野台の周辺の緩斜面で起きた地すべり(アーススライド)である。

京大火山研究所は溶岩ドームの上に最大12mの厚さで軽石・火山灰層などの風成層が堆積した地質状態にあった。

災害地質研究部会で検討中の熊本地震斜面変動の類型化表(案)

表-1 熊本地震における斜面災害の類型化(案)

タイプ	模式図	主な災害箇所	地形・地質
火山灰層流動型 ・アースフロー ・ロー ・地すべり (原簿)		・火山研究所周辺 ・山王宮川流域 ・立野ダム上流部	<地形> ・30度以下の緩斜面 ・凸状尾根型斜面 <地質> ・降下軽石 ・降下スコリア ・火山灰・ロームの層構造 ・マントルベツティング
緩み岩層原積型		・阿蘇大橋西側 ・黒川第一発電所上流	<地形> ・重力変動斜面 <地質> ・溶岩火砕岩堆積、小断層
急崖崩壊原積型		・白川河岸急崖部	<地形> ・河岸急崖斜面 <地質> ・溶岩堆積
急斜面表層崩壊		・カルデラ壁 ・立野奥山山地	・急斜面 ・尾根型斜面 ・クローボク ・ローム ・溶岩火砕岩風化地
崖土崩壊		・徳山村近道部など ・通称崖土	・谷型斜面 ・崖土
崩壊地拡大型		・立野付近など、 ・震害発生時に発生した崩壊地範囲 ・徳山村付近など	崩壊地が縁部や周辺急崖部 ・崩壊地拡大層、表土

スライド 27 斜面変動の類型化表

このスライドで示す表は災害地質研究部会でまとめた熊本地震斜面変動について類型化を試みた表である。

火山研究所付近で発生した斜面変動の多くは赤枠で囲った「火山灰層をすべり面として発生したタイプ」に分類される。

このタイプの地すべり変動は降下軽石・降下火山灰など火山砕屑物を境界に発生している。降下火山灰砕屑物が斜面に堆積すると流れ盤状の構造となり、地すべりが発生しやすくなる。今回の地震ではこのタイプの変動の一部は斜面下方で流動化して長距離を流下し、人的被害を生じている。

京大火山研究所周辺の斜面変動



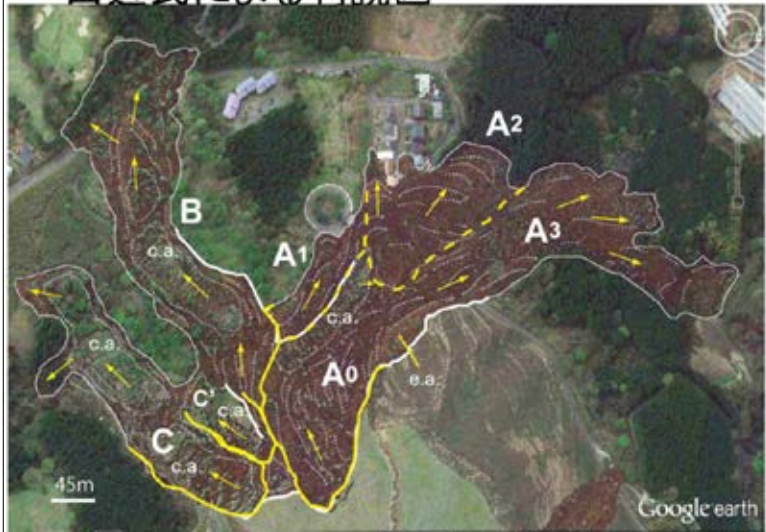
スライド 28 京大火山研究所付近の斜面変動平面図

京都大学防災研究所の釜井俊孝氏が5月3日に学術会議で開催された、防災学術連携体の緊急報告会での発表で用いた斜面変動図である。この図にある火山研究所北側地すべりは井口の指摘によって発表直前に分布の形状に修正が加えられている。

この図のように火山研究所が立地する溶岩ドームの周辺には多数のアーススライド・アースフローが発生している

最初に火山研究所西側地すべりについて述べる。

田近氏による判読図



スライド 29 火山研究所西側地すべりの判読図(田近氏作成)

熊本地震災害調査団の一員である、田近氏が写真判読によって作成した火山研究所西側地すべりの地すべり変動区分図である。大きくA, B, Cの3つのブロックに分かれて発生した状況と移動方向が示されている。一番規模が大きいAブロックはさらにA0からA3まで4つに細分されている。

火山研究所西側地すべりの発生状況



滑落崖を下から望む



滑落崖の上から移動体内部を望む

スライド30 火山研究所西側地すべりの発生状況

火山研究所西側地すべりのAブロックの発生状況です。滑落崖を見上げた写真(上)と滑落崖の上から移動体内部の状況を俯瞰した写真(下)。

滑落崖の直下では元あった地盤がほとんどが滑り落ちている。その表面には地すべり移動体からこぼれ落ちた小土塊が散乱している。

火山研究所西側地すべり(Aブロック各所)



住宅地まで到達した地すべりロープ

滑落崖と背後の亀裂



細かいブロックに分散した移動体(左上は火山研究所) 側方崖

スライド31 西側地すべりの各所の状況

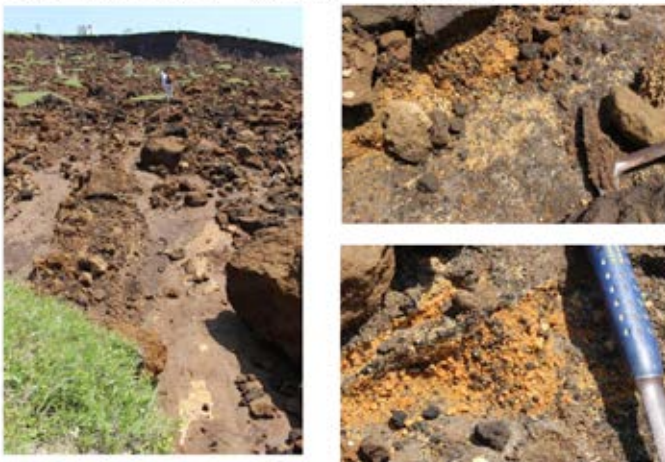
火山研究所の西側地すべりは斜面変動の多様性を反映して様々な状況が確認できる。一部の土砂は住宅地にまで到達しロープ状に乗り上げている。いくつかの住家は土砂に飲み込まれている(左上の写真)。

主滑落崖の背後にも亀裂が生じている(右上の写真)。

地すべり移動体は下方に移動する途上で細ブロックに分かれて分散する状況も(左下)。

側方崖には移動体を構成するローム質の未固結の風成層が厚く堆積している(右下)。

火山研究所西側地すべりのすべり面



すべり面とすべり面に挟まれる厚さ1-2cmの草千里ヶ浜降下軽石層

スライド32 火山研究所西側地すべりのすべり面

地すべりの移動層が抜け落ちた跡の底面は平滑なすべり面が露出している。

すべり面となった草千里ヶ浜軽石

すべり面=16° (15°~18°)
白色地粒軽石(Aso-K)基底が付着

草千里ヶ浜軽石(Aso-Kpfa)
草千里ヶ浜火口から約31,000年前に噴出し、主に火口西側と南側に風成層として厚く堆積している

火山研究所の西側地すべりでは、Aso-Kpfaが溶岩ドームのなだらかな地形を覆って堆積している(マントルベディング)。斜面に堆積した場合には流れ整状に堆積するため、地すべりを起こしやすい構造となる。

削剥部のAso-K

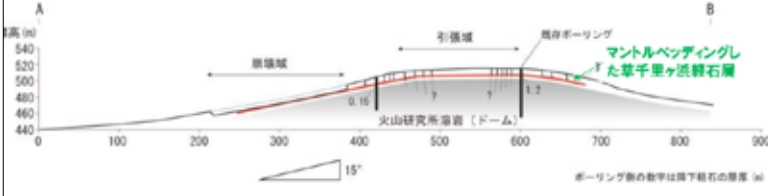



スライド 33 草千里ヶ浜軽石層

火山研究所西側地すべりの発生域の底面には、写真で示すようにオレンジ色を呈する軽石層が広く露出しているのが確認できた。場所によっては地すべりの移動時に圧力を受けて引き延ばされた様に見える場所もあった。

草千里ヶ浜軽石は約3万1千年前に噴出した軽石で、この溶岩ドーム全体にも降り注いだとされる。

地すべりのメカニズム



既存ボーリング(全地連による復興支援)の資料を参照すると、軽石層や黒ボクの連続性をもとに地質断面図を書くことができる。

現時点で推定される地すべりのメカニズムは、以下の通り。



「地すべりは草千里ヶ浜火山降下軽石の底面付近をすべり面として発生し、より上位の厚いテフラ層が、軽石層をすりつぶしながら高速で移動した。すなわち、ほぼ飽和状態の軽石層の急速非排水せん断により、すべり面付近の間隙水圧が上昇、せん断抵抗が急激に低下した。この過程は、移動中もpositiveなフィードバックとして継続したため、流下する間にますますせん断抵抗が減少し、高速で長距離を移動する流動性地すべりとなり、災害を引き起こした」と考えられる。 京大防災研 釜井俊孝氏が防災学術連携体の緊急報告会の発表資料より

スライド 34 地すべりの発生メカニズム

前述した釜井俊孝氏の防災学術連携体緊急災害報告会での発表から借用した図。図中の赤線部が草千里ヶ浜軽石層で、溶岩ドームの上にマントルベディングしている。

(【補足】地すべり発生メカニズムについては左のPPTの説明文に概略が述べられている。)

火山研究所北側地すべり

別荘を3棟載せたまま滑った地すべり移動体

側壁には明瞭な擦痕が残る(ほぼ斜面傾斜に調和的)

オレンジ色の地層は降下軽石層で、西側地すべりではすべり面に関与していた

スライド 35 火山研究所北側地すべり

火山研究所西側地すべりに続いて北側の地すべりについて紹介する。

ここは西側地すべりと異なり移動体はほとんどバラけずに一体化したまま斜面を滑り落ちている(左上写真)。

そのため移動体の上に建っていた3棟の別荘は、倒壊することなく地盤と一体となって原型を保持したまま65mほどの距離を滑り落ちている。



スライド36 本震前の Google Earth 画像

ほぼ原型を保ったまま滑り落ちた地すべり土塊の状況は、地震前後の Google Earth 画像を見比べると良く分かる。

この写真は地震前日の4月15日に撮られた Google Earth の衛星画像。地すべりの変動域の全体はオレンジの実線で示した範囲であるが、このうち赤い実線で示した範囲がほとんど変形せず一体で滑り落ちた範囲である。



スライド37 本震発生後の Google Earth 画像

こちらが地震当日の4月16日に撮られた Google Earth の衛星画像です。前のスライドで赤線で囲んだ範囲は、ほぼその形状を保ったまま水平距離で約65mほど最大傾斜の方向に滑動している。

居住者の証言を聞いたかったので、朝日新聞記者に依頼してインタビューしてもらった

地すべりで人がいたまま移動した別荘

4月15日 4月16日

約65m移動

防災科学技術研究所の山形県 研究員 藤原 由希

地すべりで別荘65m移動、中の夫婦翌朝気づく 熊本地震

熊本県 熊本市 2016年4月16日 10時00分

4月16日午前11時ごろ、熊本地震の発生直後、熊本県熊本市で、60メートルほど地すべりを受けた別荘があった。4月16日午前11時ごろに発見されたが、けがはなく、朝になってから事態に気づいたという。

別荘 熊本地震 ライクアイン別荘など
被害 別荘の約65メートル滑り落ちた
熊本地震 5層建ての別荘被害

別荘で地震が起きた。住人夫妻、消防員が到着した。16日午前、消防員は土崩れした家の地代をよそよそで別荘で避難させた。

「16日の午前11時ごろ、地震するようになると、建物ごと揺れ上がり、30分ほど揺れ続けて避難が完了した。床は揺れなかったという。

揺れが収まり、奥の部屋が壊れた。奥の部屋は「すりばちが壊れた。それでも、地震が止まったと気がつかなかった」と話した。

玄関ドアを開けると先に土が降り、奥の部屋は崩壊した。別荘の道路は崩壊し、奥の部屋は壊れた。奥の部屋は崩壊した。奥の部屋は崩壊した。奥の部屋は崩壊した。

午前9時すぎ、奥の部屋は崩壊し、奥の部屋は崩壊した。奥の部屋は崩壊した。奥の部屋は崩壊した。奥の部屋は崩壊した。奥の部屋は崩壊した。

熊本県熊本県 防災科学技術研究所 山形県 研究員 藤原 由希

スライド38 地震発生時に別荘にいて地すべりと一緒に滑った住人のインタビュー記事

北側地すべりの調査時に、地すべり土塊の上に載ったまま65mの距離を滑り落ちた別荘のうちの一棟には居住者がいたことが分かったので、新聞社にその方を探してもらいその体験についてのインタビューを依頼した。

地すべり発生時刻と地震の関係や地すべりの移動速度についての証言が得られることを期待したが、地すべり発生を知ったのは朝になってからということであった。

火山研究所北側地すべりのすべり面



スライド 39 火山研究所北側地すべりのすべり面の露出状況

火山研究所の北側地すべりの発生時の底面は、西側地すべりと同じく平滑を呈している。表面には一見すると軽石や火山灰は見当たらないが、後で述べる側方崖の掘削調査によってこの層の直上に細粒の火山灰層が確認された。

火山研究所北側地すべり



側壁には明瞭な擦痕が残る(ほぼ斜面傾斜に調和的)

オレンジ色の地層は降下軽石層で、西側地すべりではすべり面に参与していた

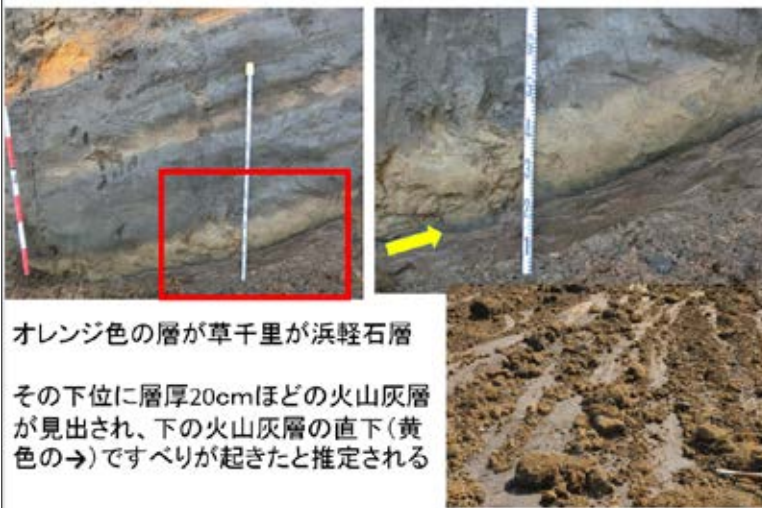
崩壊源域-Earth translational slide
台湾九份二山を思い出す一傾斜20°

スライド 40

研究所西側地すべりにおいてすべり面となった草千里ヶ浜軽石層は側方崖のかなり上位に露出が見られた。これは北側地すべりが草千里ヶ浜軽石より下位の層準ですべりが発生していることを示している。

どこの層準ですべりが発生しているかを確認するため、2回目の調査時に側方崖の下部を掘削して確認した。

側方崖に露出したテフラ層とすべり面



オレンジ色の層が草千里ヶ浜軽石層

その下位に層厚20cmほどの火山灰層が見出され、下の火山灰層の直下(黄色の→)ですべりが起きたと推定される

スライド 41

側方崖の掘削により草千里ヶ浜軽石より下位に2枚の火山灰層が見つかった(淡灰色の地層)。この火山灰層はローカルな火山灰のようで、まだ同定はできていない。

2枚の火山灰層のうち、下位の層の最下部(黄色矢印で示した)が滑り面となったと推定している。この部分の直下には崩壊源の底面に広く認められたのと同じ暗い茶色のシルト層が認められた。

火山研究所北の地すべりは、左上写真の黄色矢印で示した層準で発生したと考えられる。

山王川沿いの林道脇で生じた崩壊



スライド 42

京大火山研究所の周辺だけでなく、かなり離れた山王谷川沿いの林道脇の崩壊も、側方崖にオレンジ色の草千里ヶ浜軽石が確認され、同じタイプの斜面変動であることが確認できた。

軽石層で滑ったと推定される山王谷川長野大橋脇の崩壊



スライド 43

ここまで紹介したいくつかの事例は地表面とすべり面がほぼ平行な関係となるマンテルベディング状にテフラ層が挟在している斜面で発生したケースであるが、これ以外にも地形面と異なる勾配でテフラ層が地中に存在したケースも認められた。山王谷川長野大橋のすぐ下流側で起きた椅子型の形状で発生した地すべりは底面に相当する層準に白色の軽石層が見出され、これが滑り面となって発生したと推測される。

過去の地震の際にも、同じ様に火山灰や軽石層で起きた地すべり災害の事例は多数あります

火山直下もしくは近傍で起きた地震例

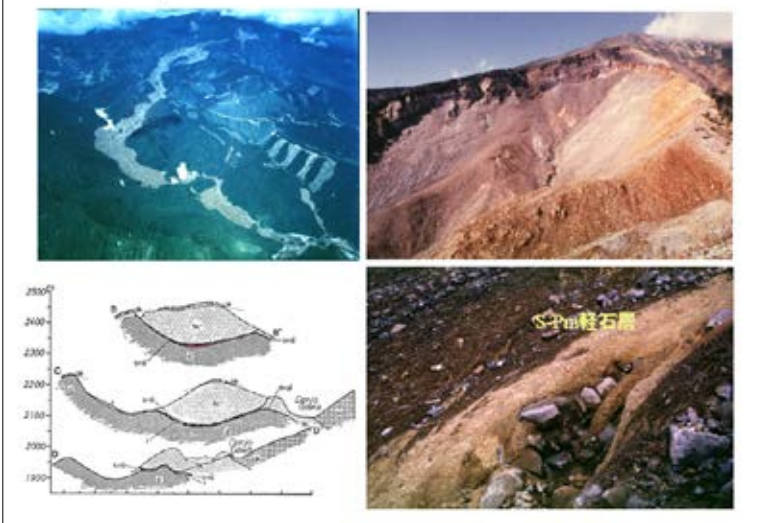
- 1948年 今市地震 男体山
- 1968年 十勝沖地震 八戸 十和田・八甲田
- 1978年 伊豆大島近海地震 伊豆半島
- 1984年 長野県西部地震—王滝村 御嶽火山
- 2008年 岩手宮城内陸地震 栗駒火山
- (2011年 東北日本太平洋沖地震 葉の木平)
- 2016年 熊本地震 阿蘇火山

スライド 44

熊本地震では軽石や火山灰など降下火山碎屑物が地層中に挟在することが、多数の地すべり発生の素因となっていた可能性が指摘できる。

同様の事例は過去の火山地域での地震災害においても発生事例は多数ある。以下時間の許す限りそういった事例を紹介したい。

御嶽山/伝上川 1984年長野県西部地震

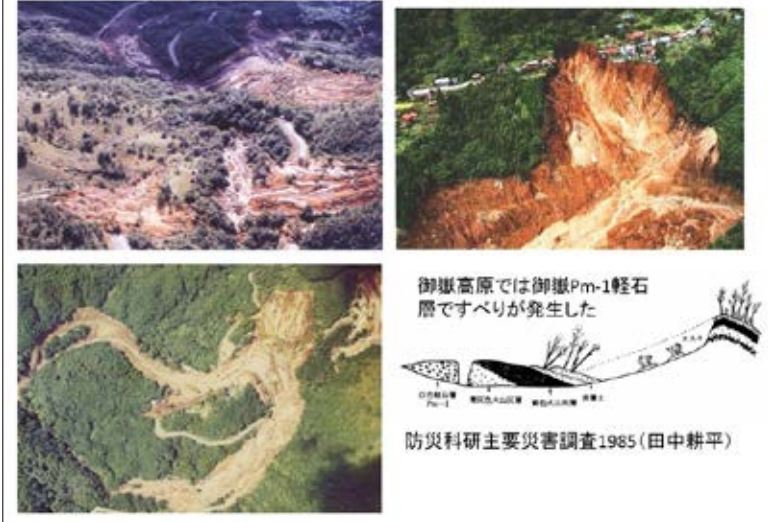


スライド 45 1984年長野県西部地震による御嶽山大崩壊

1984年に御嶽山の南麓直下で起きた長野県西部地震によって多数の地すべり崩壊が起きたが、その最大のもは御嶽山大崩壊である(右上写真)。

この3,600万 m^3 に及ぶ崩壊は千本松軽石層中で剪断されて(右下写真)発生している。左下の図に示すように崩壊した山塊に沿って軽石層が堆積していた。この崩壊で崩れた土砂は岩屑なだれとなって最大12km流下して大きな災害をもたらした(左上写真)

御嶽高原 松越 1984年長野県西部地震



スライド 46 長野県西部地震による御嶽高原・松越の地すべり

同じ長野県西部地震ではその他にも軽石層をすべり面とする多数の地すべりを引き起こしている。左上, 左下の写真は御嶽高原で発生した地すべりで、これはPm-1と呼ばれる軽石層で起きている。この地すべりの模式断面を右下に示す。

伊豆大島近海地震(1978)による見高入谷の斜面崩壊

大八木 URBAN KUBOTA NO.20より



スライド 47 伊豆大島近海地震による見高入谷の斜面崩壊

1978年1月におきた伊豆大島近海地震によって、伊豆半島の稲取に近い見高入谷・大池付近では左上の図に示すように多数の地すべりが発生した。この事例も今回の熊本地震と同様に降下火山碎屑物層が滑り面となって発生した斜面変動である。



スライド 48 十勝沖地震で生じた土砂崩れ

1968年におきた十勝沖地震では八戸市の山間の地域では多数の土砂崩れが発生し、多数の死者を出した。このときの土砂崩れも十和田火山起源の火山灰層をすべり面として発生したことが明らかにされている。

4. おわりに

以上述べてきたように火山地域の直下で起きる地震や火山近傍で火山性の堆積物が飛来してきた地域では、ほかの地質条件の場所より地震地すべりが生じやすい状況にある。

2.で紹介した緩傾斜で発生する湖成堆積物層に起因する地すべりは、カルデラ以外の地質状況で発生した事例も数か所ある。これらについても自然状態のままであればさほど大きく変動することは稀だと思われるが、何らかの改変等によって滑動方向が開けておれば大きく変動する可能性もある。斜面変動は各種の誘因に加えて、不適切な改変等が斜面の不安定化に関与することもあるので、いろんなケースを想定した対応が望まれる。

参考文献

- 1) 朝日新聞(2016)：地滑りで別荘65m移動中の夫婦翌朝気づく 熊本地震(2016年5月14日付記事), <http://www.asahi.com/articles/ASJ5D2VPQJ5DPLBJ001.html>
- 2) 井口 隆・高見智之・加藤靖郎・西山賢一・山本茂雄・矢田 純(2016)：熊本地震による京都大学阿蘇火山研究センター周辺の斜面災害の特徴。平成28年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, 145-146.
- 3) 釜井俊孝(2016)：平成28年(2016年)熊本地震による斜面災害。防災学術連携体熊本地

震緊急報告会, http://janet-dr.com/11_saigaiji/houkokukai/41_jseg.pdf

- 4) 国立防災科学技術センター(1985)：昭和59年(1984年)長野県西部地震災害調査報告。国立防災科学技術センター主要災害調査No.25, 1-141.
- 5) 九州地方環境事務所(2016)：熊本地震による温泉の影響調査結果, <http://kyushu.env.go.jp/>(別添2)湧水温泉調査結果概要.pdf
- 6) 宮縁育夫・増田直朗・渡辺一徳(2004)：溶岩流とテフラとの層序関係からみた阿蘇火山中央火口丘群西部地域の発達史。火山, Vol.49, 267-282.
- 7) 日本応用地質学会 2016年熊本・大分地震災害調査団 陥没性亀裂調査班(2016)：阿蘇カルデラ内に出現した陥没性断裂と周辺の地形変位。平成28年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, 147-148.
- 8) 大八木規夫(2000)：東北地方北部における地すべり地形と後期中新世-更新世のカルデラ。財団法人深田地質研究所年報第3号, 112-127.
- 9) 小野晃司・渡辺一徳(1985)：1:50,000阿蘇火山地質図。通商産業省工業技術院地質調査所。
- 10) 大八木規夫(2001)：東北地方南部における大規模地すべり地形とカルデラー主として会津地域について。財団法人深田地質研究所年報第3号, 121-135.

- 11) 大八木規夫(2002)：南会津地域における大規模地すべり地形とカルデラ．財団法人深田地質研究所年報第3号，119-136.
- 12) 大八木規夫(2004)：郡山盆地北方の高玉カルデラにおける地すべり地形．財団法人深田地質研究所年報第5号.
- 13) 高見智之・井口隆・加藤靖郎・西山賢一・日本応用地質学会九州支部WG斜面災害班(2016)：2016年熊本地震で生じた斜面災害の特徴と類型化．平成28年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集，149-150.
- 14) 東北森林管理局(2010)：岩手・宮城内陸地震に係る荒砥沢地すべり対策と大規模地すべりにより出現した地形・景観の活用に関する検討会報告書．
http://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/koho/saigaijoho/kyoku/h22_kentokai_houkokusho.html

熊本地震土砂災害の特徴

稲垣 秀輝*

キーワード：熊本地震，土砂災害，斜面崩壊，活断層，土石流

1. はじめに

2016年4月に発生した熊本地震による斜面土砂災害では、いろいろなタイプの自然斜面崩壊と人工斜面崩壊があった。これらの斜面変動は、活断層の両側の10 km以内で発生しており、特に活断層の近隣箇所では規模の大きな崩壊を含んでいる。また、斜面崩壊に地表水が絡んだところでは、崩壊土砂が流動化している。これらの斜面崩壊のほとんどは、4月16日の本震時に発生した。また、その後の豪雨による表層崩壊も認められた。

2. 熊本地震による斜面崩壊の特徴

熊本地震による斜面崩壊のタイプは、図1に示した。自然斜面崩壊としては、①キャップロック型岩盤崩壊、②火山灰・軽石の表層崩壊、③活断層の変位と関連した崩壊、④溶結凝灰岩の急崖の崩壊・落石である。地形的には、遷急線付近の凸型斜面に多く、地質的には、火山性の溶結凝灰岩・溶岩や火山灰・軽石層そして活断層などが素因となっている。人工斜面崩壊としては、従来どおりの⑤腹付け盛土・⑥谷埋め盛土の崩壊・変形が多い。

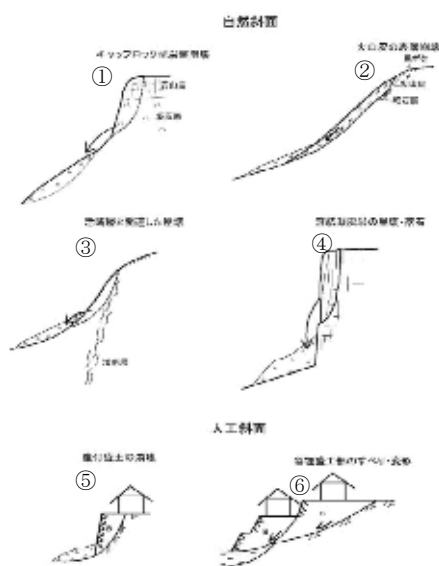


図1 熊本地震による斜面崩壊のタイプ

3. 活断層からの距離と崩壊規模

図2に布田川活断層の変位トレースと斜面崩壊を示した。活断層の両側で斜面崩壊が発生していたが、現地調査と空中写真判読によって土砂量1,000 m³以上の505箇所の斜面崩壊を抽出し、その崩壊規模を求めた。稲垣(2015)によると、地震時の崩壊土砂量と活断層からの距離の間には相関があり、マグニチュード、震源深さ、活断層の種類や上・下

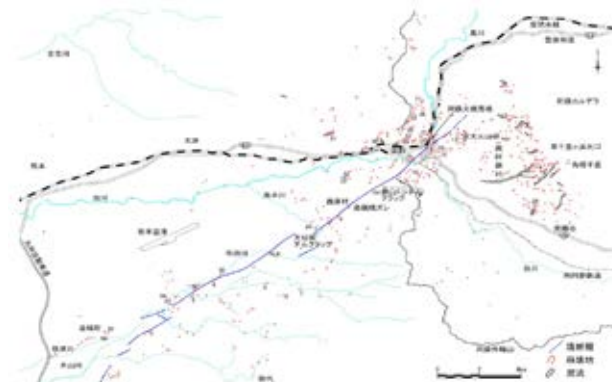


図2 活断層と斜面崩壊分布

盤によって多少異なることが指摘されている。図3の2014年長野県北部を震源とする地震(M6.7)では、崩壊は逆断層の活断層の上盤側で10 kmの範囲で発生し、大規模なものは3 km以内であった。2011年いわき地震(M7.0)では正断層である活断層の上盤側の2 km以内で崩壊が発生しており、特に大規模なものは0.5 km以内であった。これらを比較すると今回の地震では、崩壊範囲は逆断層の長野県北部地震と変わらないが、規模の大きなものは、正断層のいわき地震と長野北部地震の中間に分布しているようである。

4. まとめ

火山性の地形・地質や活断層の位置を考慮したライフライン・宅地斜面の復興計画が必要である。

* 株式会社環境地質

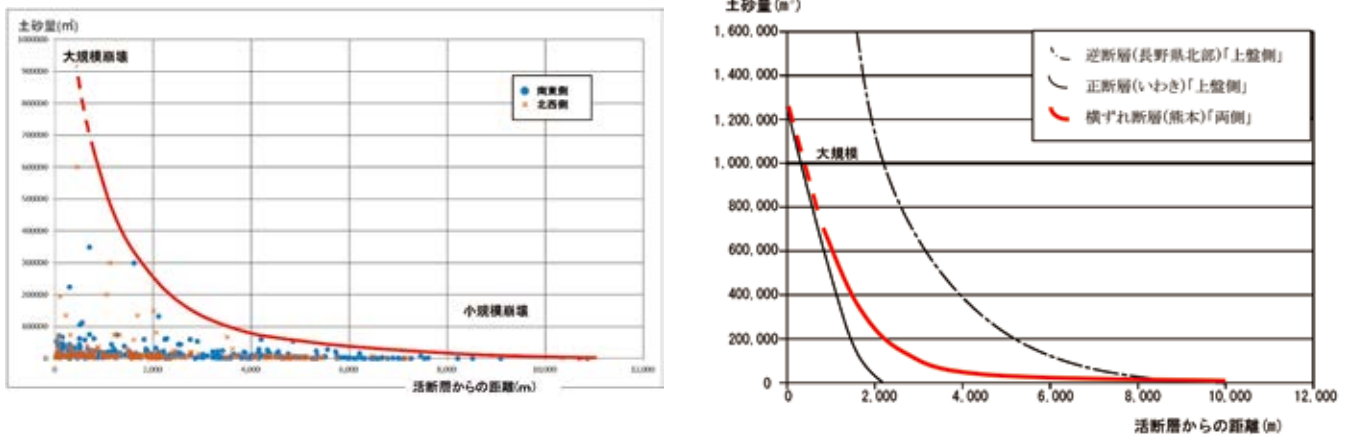


図3 活断層と斜面崩壊の規模(左:熊本地震, 右:既往活断層との比較)

スライド1



スライド2

はじめに

- ・ 2016年4月に発生した熊本地震による斜面土砂災害では、いろいろなタイプの自然斜面崩壊と人工斜面崩壊があった。これらの斜面変動は、活断層の両側の10km以内で発生しており、特に活断層の近隣箇所では規模の大きな崩壊を含んでいる。
- ・ また、斜面崩壊に地表水が絡んだところでは、崩壊土砂が流動化している。これらの斜面崩壊のほとんどは、4月16日の本震時に発生した。また、その後の豪雨による表層崩壊も認められた。

スライド3



スライド4

概要

- 平成28年4月16日M_{JMA} 7.3の熊本地震が起こり、熊本県を中心として各地で多数の斜面崩壊が発生した。この地震は、熊本県内を北東-南西方向に走る布田川断層が活動して発生したものであり、地表に活断層による変位が最大約2mで認められた。
- 斜面崩壊は、この活断層沿いで顕著であるとともに、火山地域独特の軽石層や火山灰層の分布や溶岩のキャップロック構造などが原因の斜面崩壊や、従来から言われている谷埋め盛土や腹付け盛土の崩壊が多かった。これらの地震時の斜面崩壊の特徴をまとめるとともに、活断層から距離と斜面崩壊の規模についてまとめた。

スライド5

熊本地震による斜面崩壊の 地形地質学的特徴

- 熊本地震による斜面崩壊のタイプは、地形地質で異なる
- 自然斜面では、①キャップロック型大規模崩壊・②火山灰の表層崩壊・③活断層の変位と関連した崩壊・④岩盤の急崖の崩壊・落石(①, ②, ④は遷急線付近の凸型斜面に多い)がある。南阿蘇大橋付近では、キャップロック型大規模崩壊があり、高野台(京大火山研究所)付近では、火山灰・軽石層での表層崩壊である。立野付近の河岸では、溶結凝灰岩の崩壊・落石が顕著であった。
- 人工斜面では、宅地や道路などの盛土(⑤腹付け・⑥谷埋め盛土)の崩壊・変形が認められた。

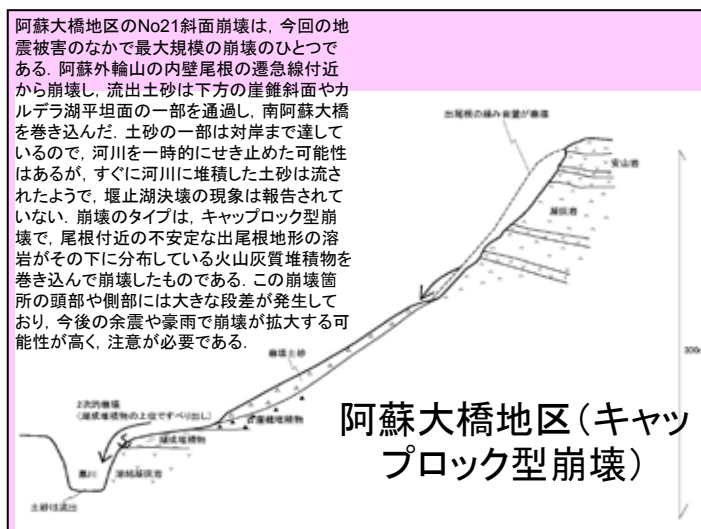
スライド6

熊本地震による 斜面崩壊タイプ

The diagram illustrates six types of slope failure, categorized into natural slopes and artificial slopes. The top two (1 and 2) are under '自然斜面' (Natural Slopes), and the bottom two (5 and 6) are under '人工斜面' (Artificial Slopes). The middle two (3 and 4) are also under '自然斜面'.

- ① キャップロック型大規模崩壊 (Caprock type large-scale failure)
- ② 火山灰の表層崩壊 (Surface failure of volcanic ash)
- ③ 活断層変位と関連した崩壊 (Failure related to active fault displacement)
- ④ 岩盤急崖の崩壊・落石 (Failure of steep rock slopes and rockfall)
- ⑤ 腹付け盛土の崩壊 (Failure of embankment)
- ⑥ 谷埋め盛土の崩壊 (Failure of valley fill embankment)

スライド7



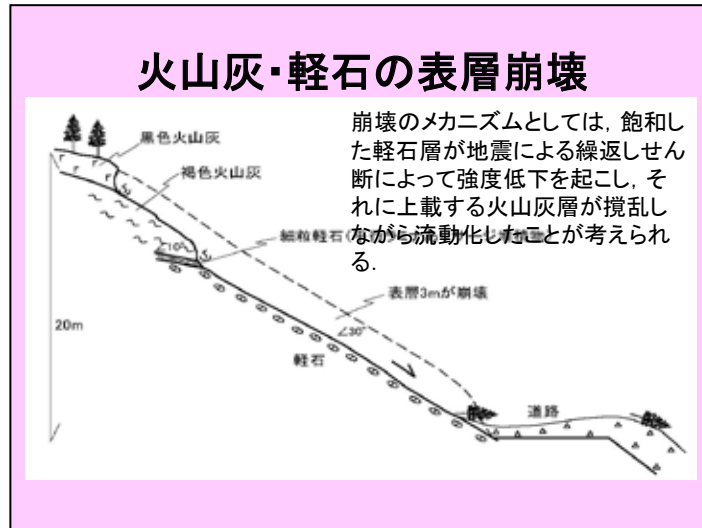
スライド8



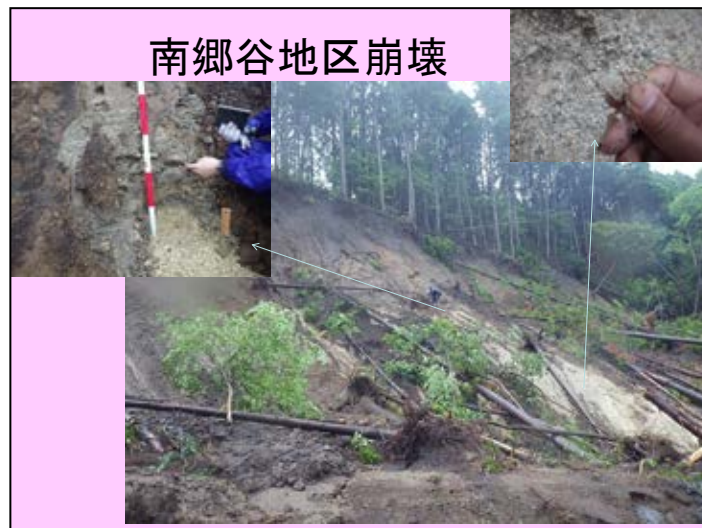
スライド9



スライド 10



スライド 11



スライド 12

南郷谷地区

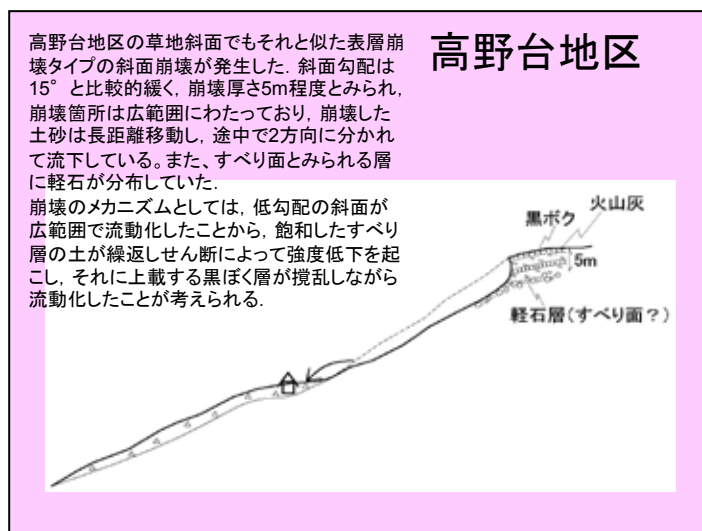
- 南郷谷地区は、草千里ヶ浜火口の南側に位置し、草千里ヶ浜軽石が斜面に沿って厚く堆積している。
- 下から軽石・細粒軽石・褐色火山灰・黒色火山灰が分布しており、すべり面は、細粒軽石層と黒色火山灰層に認められた。
- 両層沿いに湧水が認められたことと土層強度検査棒による細粒軽石層のcの小ささ、黒色火山灰層のφの小ささがすべりの発生になった理由と考えられる

測点No.	地質	深度 m	粘着力C kN/m ²	せん断抵抗角φ 度
1.1	軽石	0.2	3.30	32.0
1.2	細粒軽石	0.2	0.60	31.0
1.3	褐色火山灰	0.2	1.20	16.7
1.4	黒色火山灰	0.2	1.80	10.6

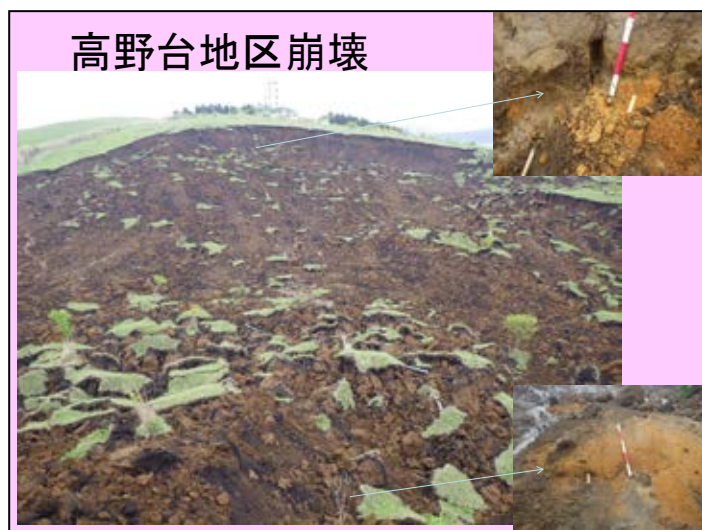
スライド 13



スライド 14



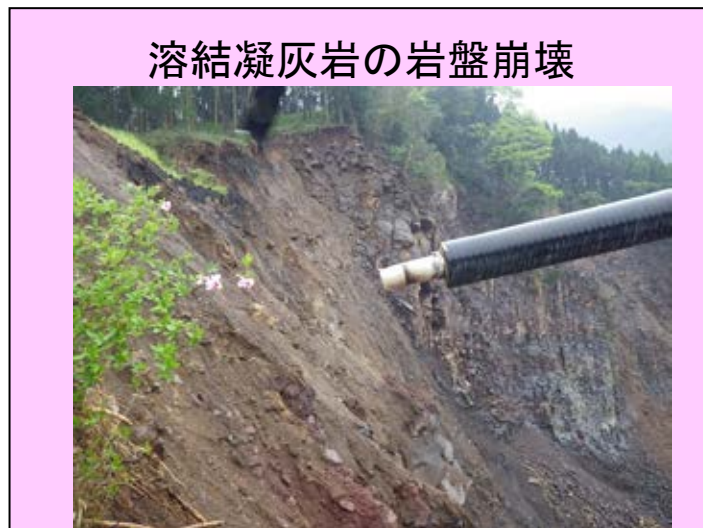
スライド 15



スライド16



スライド17



スライド18



スライド 19

活断層からの距離と崩壊規模

- 活断層の両側で斜面崩壊が発生していたが、現地調査と空中写真判読によって土砂量 1000m^3 以上の505箇所の斜面崩壊を抽出し、その崩壊規模を求めた。その中でも主要な崩壊40箇所をまとめた。最大の崩壊は阿蘇大橋地区のNo21斜面崩壊で約 60万m^3 である。
- また、斜面崩壊に地表水が絡んだところでは、崩壊土砂が泥流化している。
- 今回のM7.3の横ずれ断層による地震において、崩壊は活断層の両側の10km以内で発生しており、特に活断層の近傍では規模の大きな崩壊を含んでいることが分かった。
- 地震動だけでなく地震断層の変位が崩壊の発生に関与した可能性が考えられる。

スライド 20

活断層に関連した崩壊



スライド 21

活断層



スライド 22

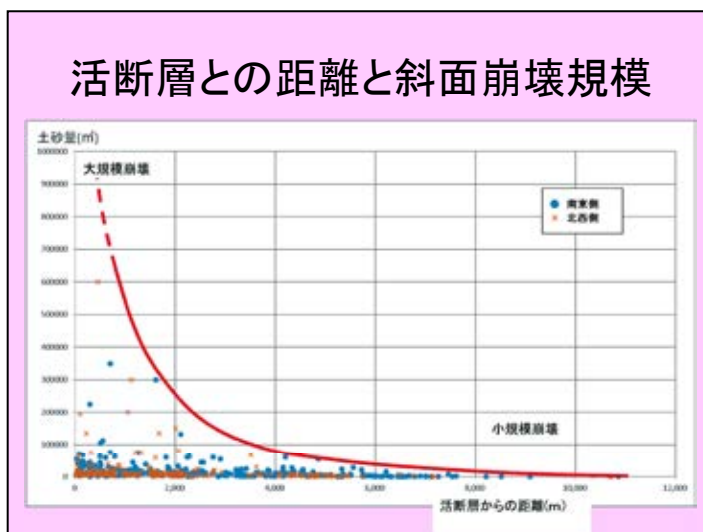


スライド 23

主要な斜面崩壊一覧

南東側						北西側							
番号	活断層からの距離 (m)	土砂量 (m ³)	幅 (m)	長さ (m)	深さ (m)	泥流の有無	番号	活断層からの距離 (m)	土砂量 (m ³)	幅 (m)	長さ (m)	深さ (m)	泥流の有無
1	550	112500	150	150	5		21	450	600000	200	150	20	○
2	50	43200	120	120	3		22	90	68000	170	100	4	
3	150	46800	130	120	3		23	1050	200000	100	200	10	
4	25	54000	120	150	3		24	1120	300000	120	250	10	○
5	1260	75000	100	250	3		25	100	195000	150	260	5	
6	2270	63000	140	150	3		26	1670	81000	180	150	3	
7	2510	45000	150	100	3		27	2060	81900	130	210	3	
8	295	225000	300	150	5	○	28	1310	75000	100	250	3	
9	30	55000	110	100	5		29	1600	59400	110	180	3	
10	295	45000	100	150	3		30	2005	150000	120	250	5	○
11	495	63000	100	210	3		31	3505	67500	150	150	3	○
12	695	75600	120	210	3		32	1460	31500	210	50	3	○
13	125	46800	260	60	3		33	1205	75000	100	250	3	○
14	90	31500	210	50	3		34	220	135000	300	90	5	
15	390	18000	150	40	3		35	160	15000	100	50	3	
16	510	36000	300	40	3		36	55	30000	100	100	3	
17	695	35000	200	350	5	○	37	350	37500	250	50	3	
18	1605	300000	200	300	5	○	38	650	14400	180	40	2	
19	4200	60750	150	270	1.5	○	39	1120	8000	80	50	2	
20	5550	29700	90	110	3	○	40	1205	9000	150	20	3	

スライド 24



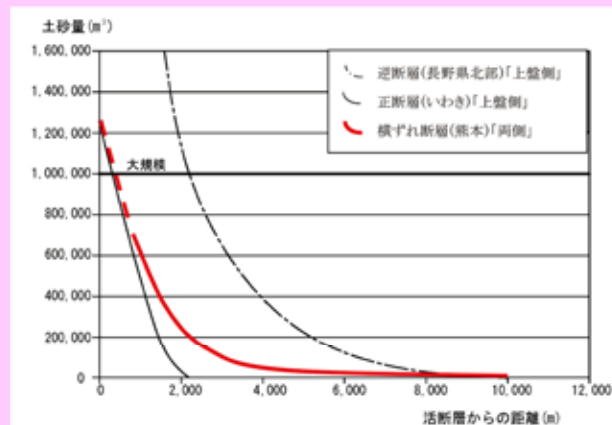
スライド 25

既往結果との比較

- 稲垣(2015)によると、地震時の崩壊土砂量と活断層からの距離の間には相関があり、マグニチュード、震源深さ、活断層の種類や上・下盤によって多少異なることが指摘されている。
- 2014年長野県北部を震源とする地震(M6.7)では、崩壊は逆断層の活断層の上盤側で10kmの範囲で発生し、大規模なものは3km以内であった。
- 2011年いわき地震(M7.0)では正断層である活断層の上盤側の2km以内で崩壊が発生しており、特に大規模なものは0.5 km以内であった。
- これらと比較すると今回の地震では、崩壊範囲は逆断層の長野県北部地震と変わらないが、規模の大きなものは、正断層のいわき地震と長野北部地震の中間に分布しているようである。

スライド 26

活断層の種類と崩壊規模

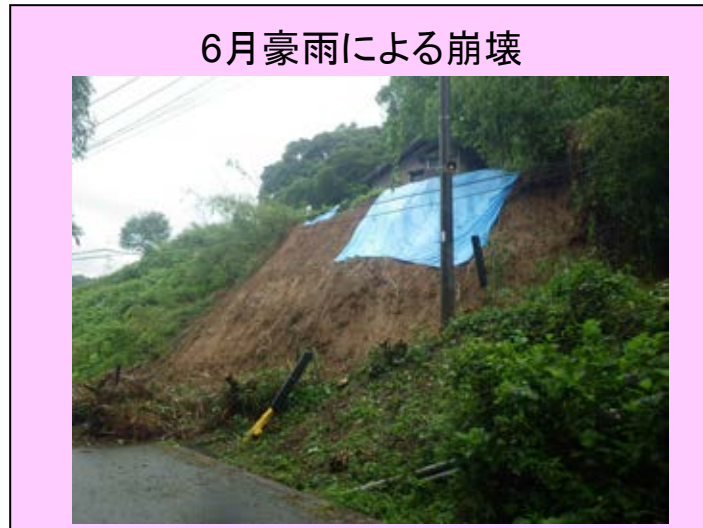


スライド 27

地震後の豪雨による土砂災害の拡大

- 地震後の6月19-25日に連続雨量539mm、最大時間雨量70.5mmの降雨があり、崩壊の拡大や新しい崩壊が発生した。
- 豪雨による崩壊は沢や集水地形箇所で集中的に発生しており、そのほとんどが火山灰や軽石に関連する表層崩壊であった。

スライド 28



スライド 29



スライド 30



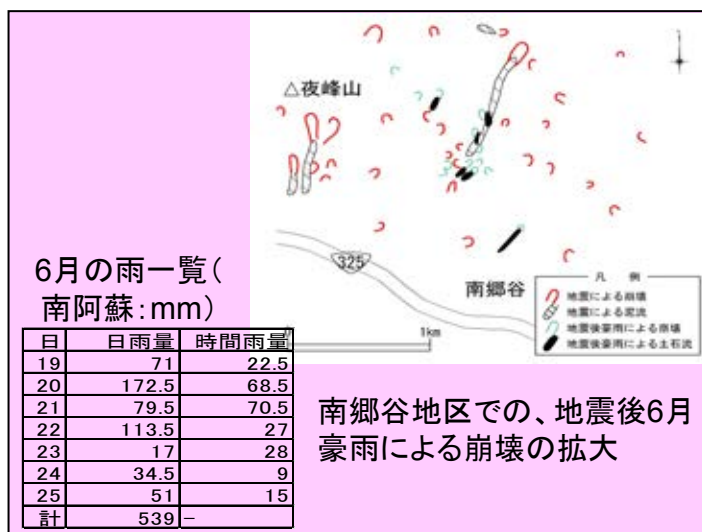
スライド 31



スライド 32



スライド 33



スライド 34

No.	土砂量 (m ³)	幅(m)	長さ(m)	深さ(m)	土石流の 有無
1	25	5	5	1	○
2	600	20	30	1	○
3	100	10	10	1	○
4	150	10	15	1	○
5	1200	20	60	1	
6	800	20	40	1	
7	225	15	15	1	
8	300	15	20	1	
9	400	20	20	1	
10	2000	25	40	2	○
11	400	40	10	1	
12	1800	40	40	1	○
13	1000	50	20	1	
14	10	5	4	0.5	
15	5	5	2	0.5	
16	240	30	8	1	
17	7.5	5	3	0.5	
18	800	20	20	2	○
19	400	20	20	1	
20	500	20	25	1	
21	2000	50	20	2	○
22	600	20	30	1	
23	400	20	20	1	
24	7.5	5	3	0.5	
25	12.5	5	5	0.5	
26	50	5	10	1	
27	400	20	10	2	○
28	25	5	10	0.5	
29	100	10	10	1	○
30	200	10	10	2	○
31	300	10	15	2	○
32	800	20	20	2	○
33	1000	50	20	1	○
34	1000	20	50	1	○
平均	519	19	19	1	15(44%)

豪雨による 斜面崩壊

・表層崩壊が
ほとんどで、
・土石流化の
割合が44%
と高い

スライド 35

まとめ

- 熊本地震では、いろいろなタイプの自然斜面崩壊と人工斜面崩壊があったが、自然斜面崩壊としては、火山地域に特有な崩壊タイプである。
- 斜面崩壊は、活断層の両側の10km以内で発生しており、特に活断層の近隣箇所では規模の大きな崩壊を含んでいる。これらの斜面崩壊の多くは、4月16日の本震時に発生した。
- 本震による崩壊箇所の周辺には地表段差などの崩壊拡大要因が認められる箇所があり、余震や豪雨による被害拡大が認められ、10月には阿蘇火山噴火も加わった。
- 今後、火山の地形・地質や活断層・火山噴火の位置を考慮したライフラインや宅地斜面の復興計画が必要である。

スライド 36



ありがとうございました

震源断層タイプと地震による地すべり・崩壊の分布の特徴

ハスパートル*

キーワード：地震，震源断層，地すべり

1. はじめに

近年，2016年中越地震を始め，2007年能登半島地震，2007年中越沖地震，2008年年岩手・宮城内陸地震，2011年長野県北部地震，2011年福島県浜通り地震，2016年熊本地震などのマグニチュード6.7～7.3，最大震度6弱を上回る強い地震が日本列島の内陸で相次いで発生した。これらの地震の震源断層は，逆断層，正断層と横断層タイプのもので，これらの地震によって地すべりや崩壊が多発し，それにより道路の寸断や河道閉塞が生じ，集落の孤立など中山間地域に深刻な被害をもたらした。

本報告では，日本の内陸における最近十数年での強い地震に伴って発生した地すべりの分布，規模の特徴についてまとめた。地震による地すべりの発生範囲，分布および規模の特徴の把握は，今後の既存活断層周辺における地すべり対策に有益な情報を与えると期待している。

2. 対象地震と方法

本報告では，逆断層型地震として2004年中越地震，2007年能登半島地震，2007年中越沖地震，2008年岩手・宮城内陸地震（ハスパートルほか，2011），2011年長野県北部地震（Has *et al.*, 2012），正

断層型地震として2001福島県浜通り地震（Hasi *et al.*, 2014），横ずれ断層型地震として2016年熊本地震を対象とし，異なるタイプの地震による地すべりの分布範囲や規模の特徴についてまとめた。これらの地震によって発生した地すべりについて，空中写真判読により地すべりを判読し，公表された震源断層モデルとの位置関係を分析し，地すべりの発生範囲，規模の特徴について検討した。

3. 検討結果

本報告では，これまでに日本の内陸で発生した強い地震による地すべりの分布，規模について検討した。日本の応力場は東西または南南東―北北西方向の圧縮場におかれ，逆断層タイプの地震が多い。逆断層型地震の場合は，地すべりの多くは上盤側で発生し，その数も断層に近いほど多く，規模も大きい傾向が見られる（図1）。一方，正断層の場合も上盤側で多く発生するものの，その規模が小さい傾向がある。横ずれ断層型地震については，断層からの距離，規模の関係が不明な場合が多い。今後は日本のみならず，海外における地震による地すべりと比較する必要があると考えられる。

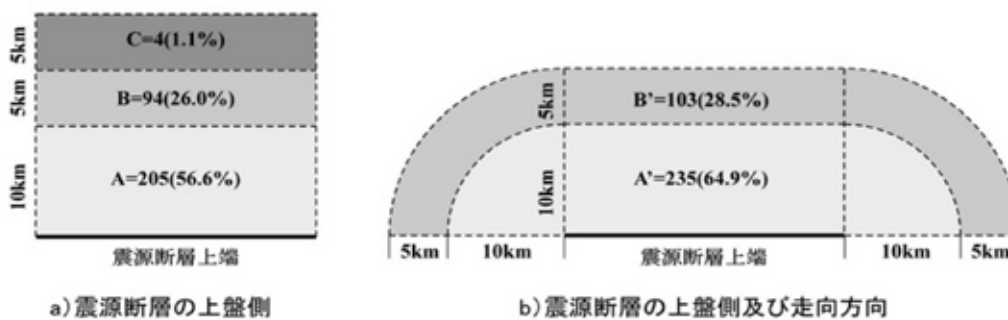


図1 逆断層地震による地すべりの多発範囲（ハスパートルほか，2011）

* アジア航測株式会社

参考文献

- 1) ハスバートルほか(2011)：最近の逆断層地震により発生した地すべりの分布と規模の特徴. 日本地すべり学会誌, Vol.48, No.1, pp.23-38.
- 2) Has *et al.*(2012): Characteristics of earthquake-induced landslides in a heavy snowfall region—landslides triggered by the northern Nagano prefecture earthquake. March 12, 2011, Japan, Vol.9, Issue 4, pp. 539–546.
- 3) Has *et al.* (2014): Characteristics of Deep-Seated Landslides Induced by Different Type Earthquakes in Inland Japan, in book: Landslide science for a safer geoenvironment, Edition: Kyoji Sassa, Paolo Canuti, Yueping Yin, Springer, pp.157-160.

ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.

震源断層タイプと 地震による地すべり・崩壊の 分布の特徴

ハスパートル
(アジア航測株式会社)

1

ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.

今日の内容

- 最近の内陸地震
- 逆断層型地震による地すべりの分布
- 正断層型地震による地すべりの分布
- 横ずれ断層型地震による地すべりの分布
- まとめ

2

ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.

日本の内陸地震

Seno (1999)
Seno (2005)

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/seno/res.upper.plate.eq/off-fukuoka.eq/off-fukuoka.eq.html>

3



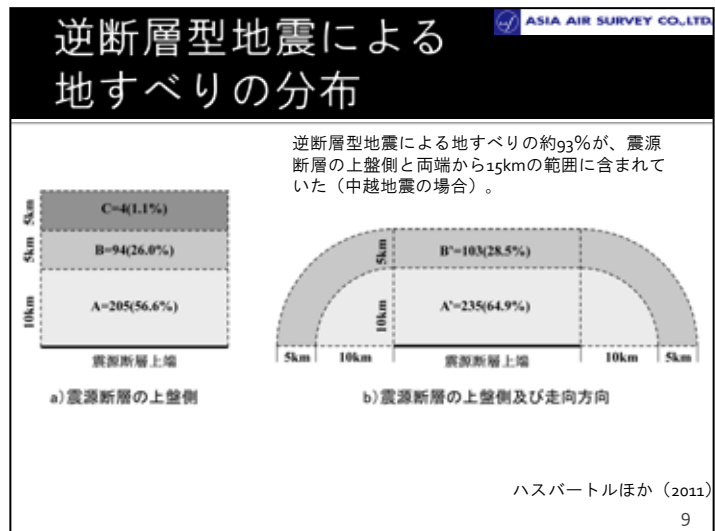
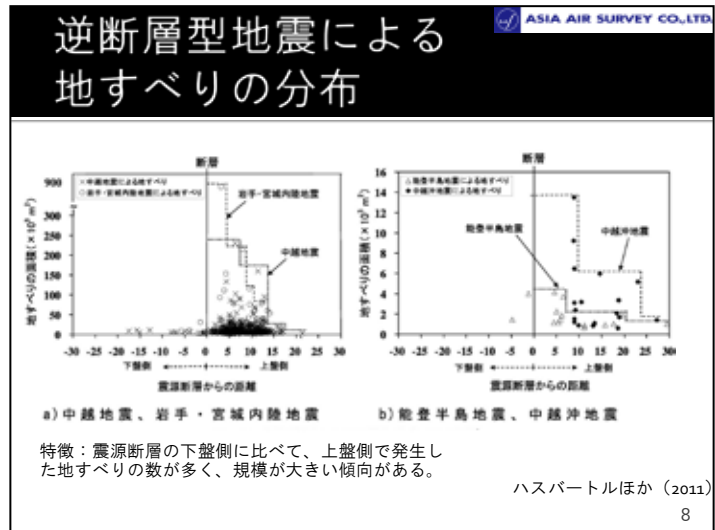
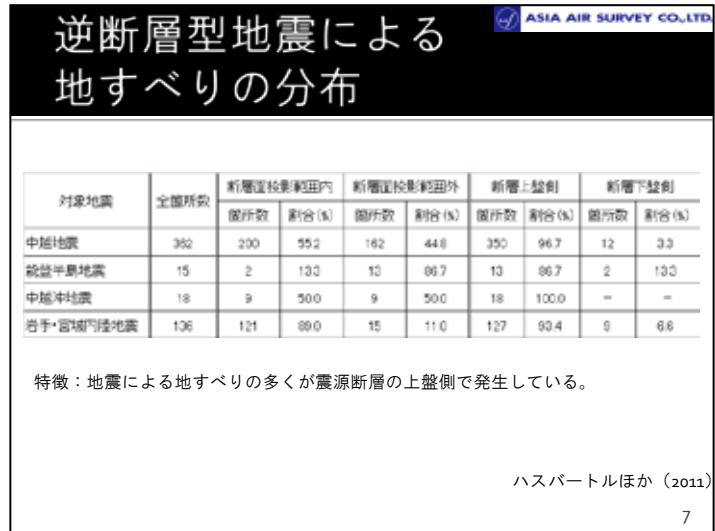
最近の内陸地震

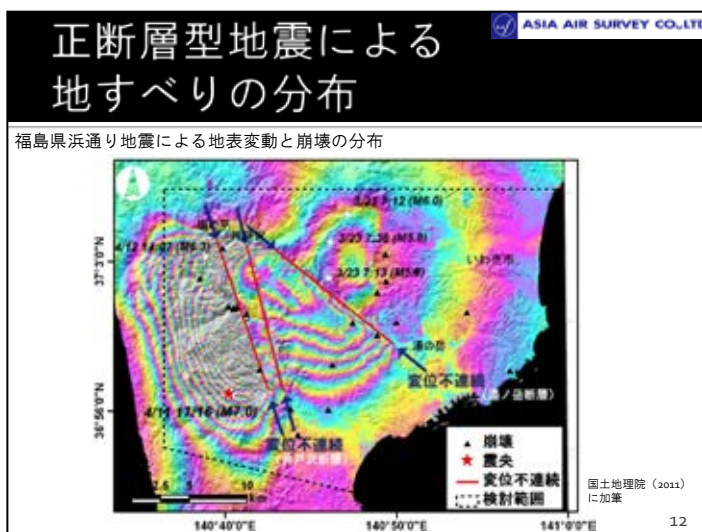
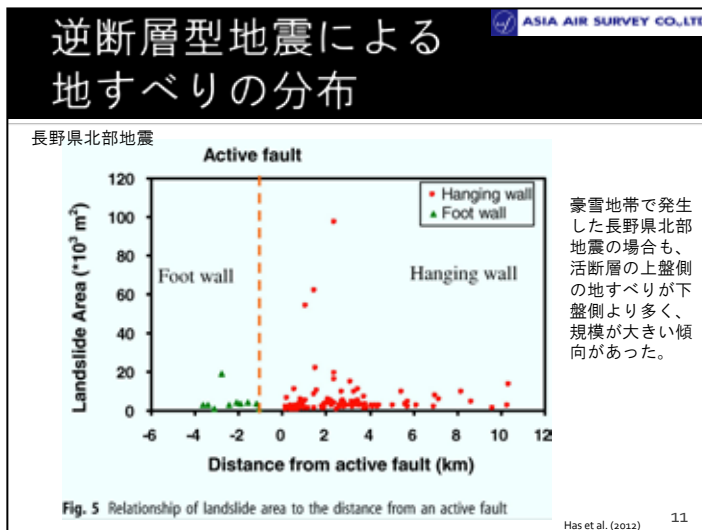
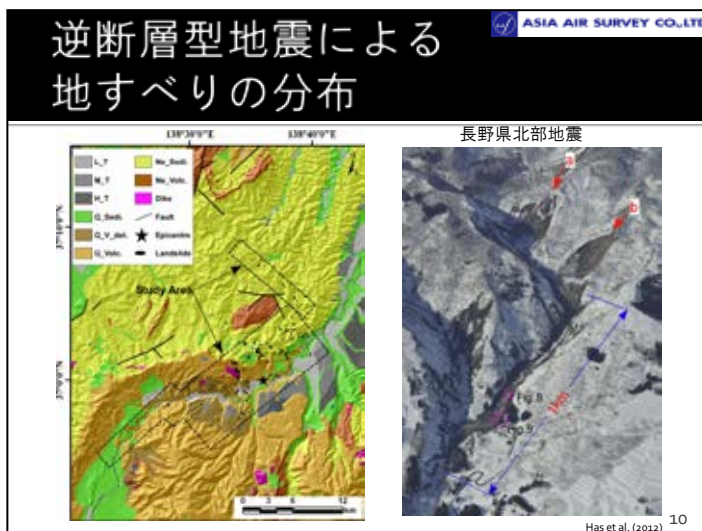
ASIA AIR SURVEY CO.,LTD

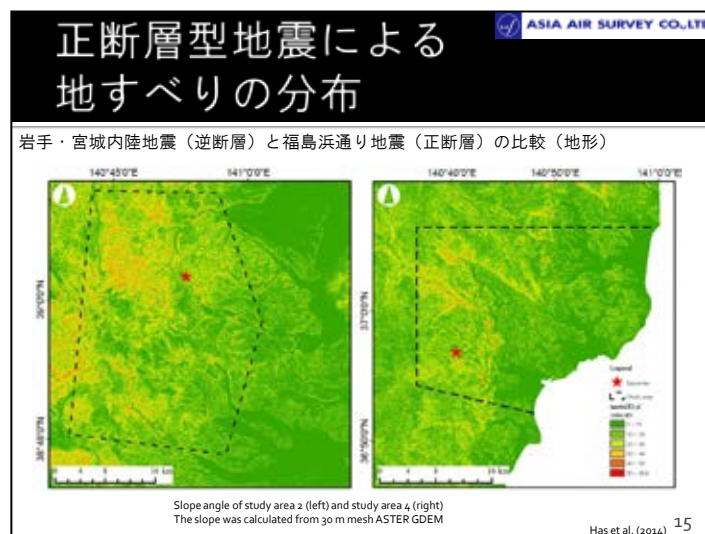
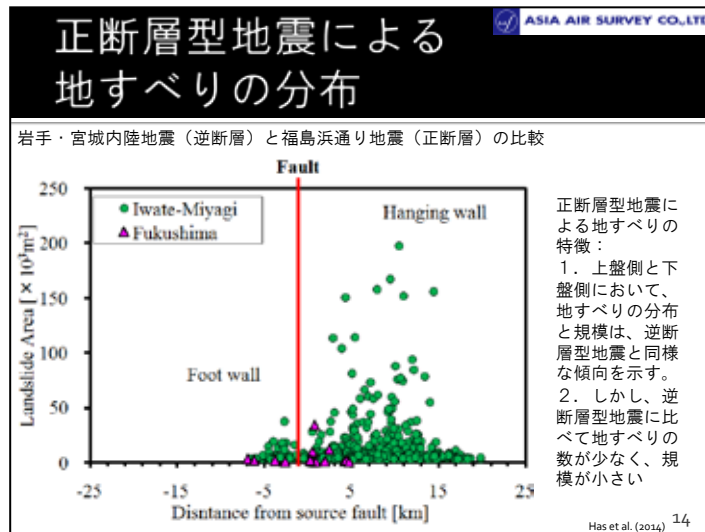
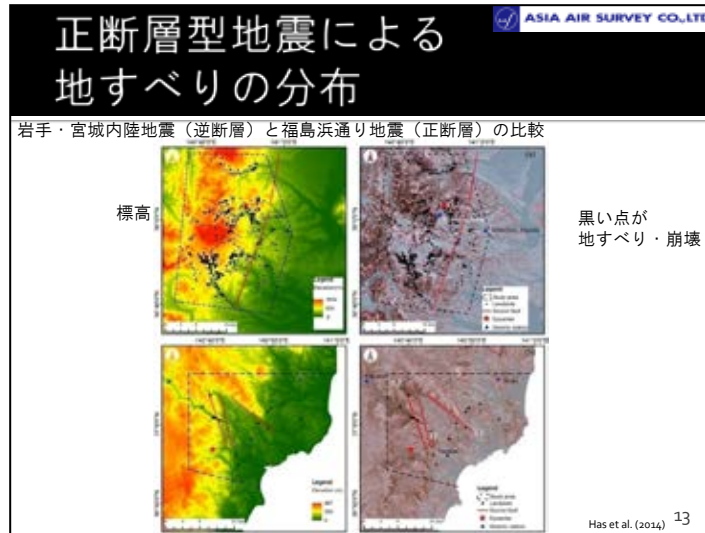
発生年月	地震名	M	震度	震源断層
2004年10月	中越地震	6.8	7	逆断層
2007年3月	能登半島地震	6.9	6強	逆断層
2007年7月	中越沖地震	6.8	6強	逆断層
2008年7月	岩手・宮城内陸地震	7.2	6強	逆断層
2011年3月	長野県北部地震(栄村)	6.7	6強	逆断層
2011年4月	福島県浜通り地震	7.0	6弱	正断層
2014年11月	長野県神城断層地震	6.7	6弱	逆断層
2016年4月	熊本地震	7.3	7	横ずれ断層
2016年10月	鳥取県中部地震	6.6	6弱	横ずれ断層

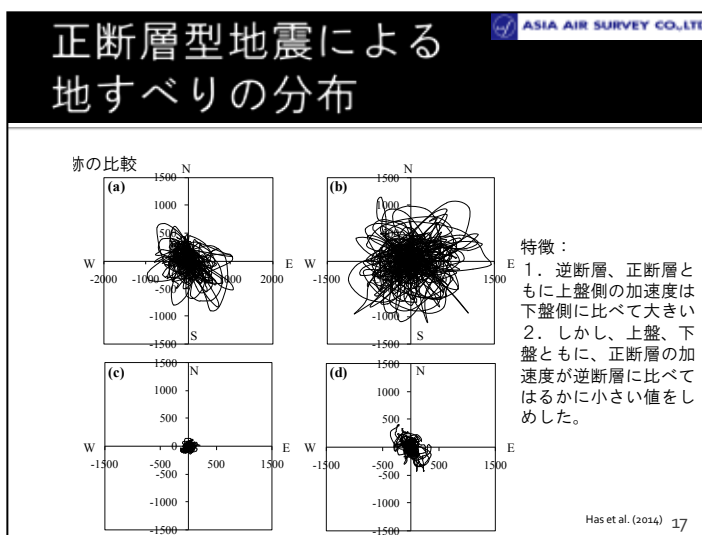
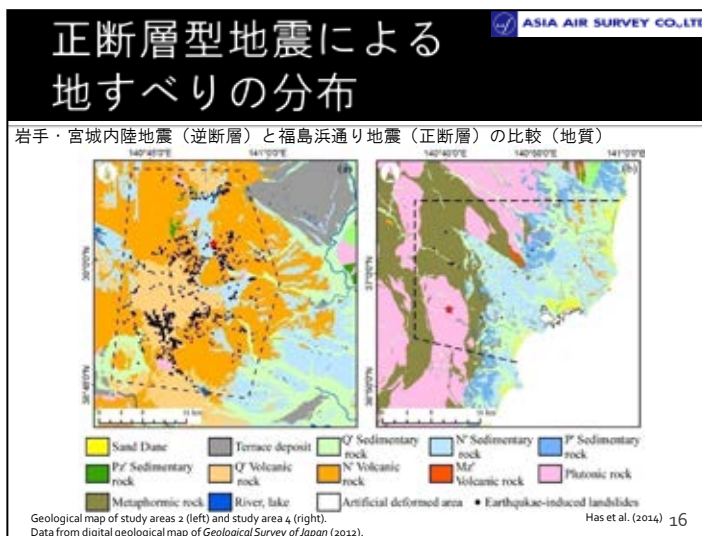
5

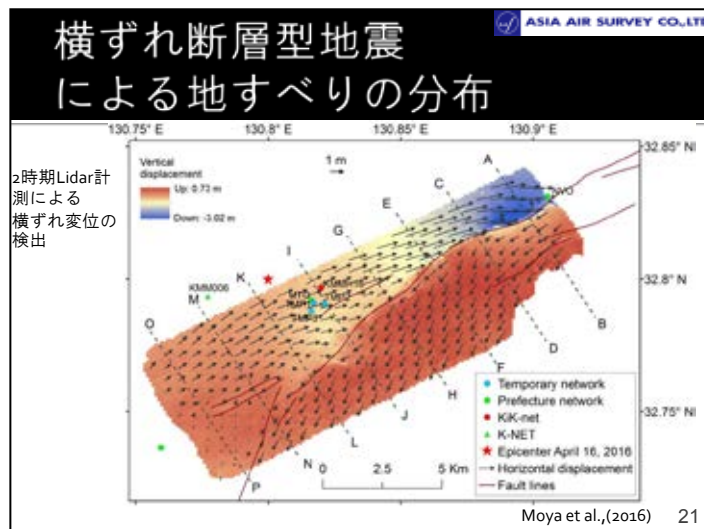
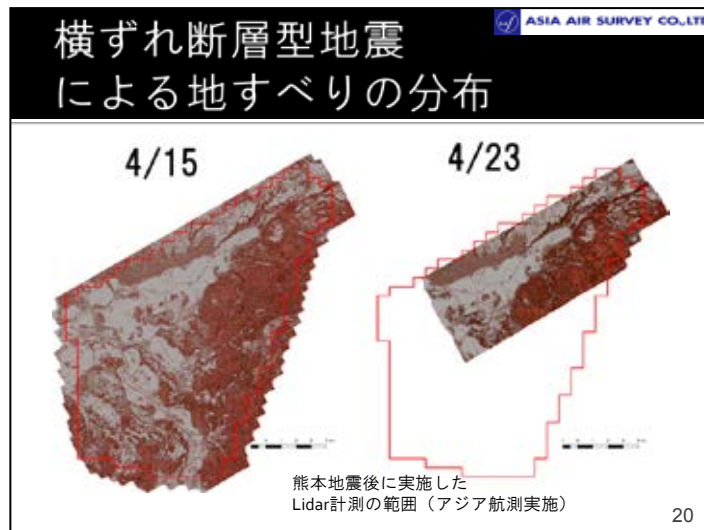
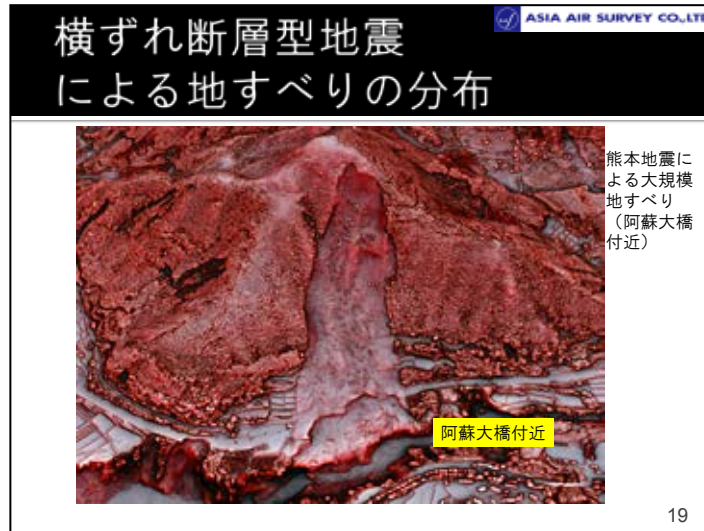


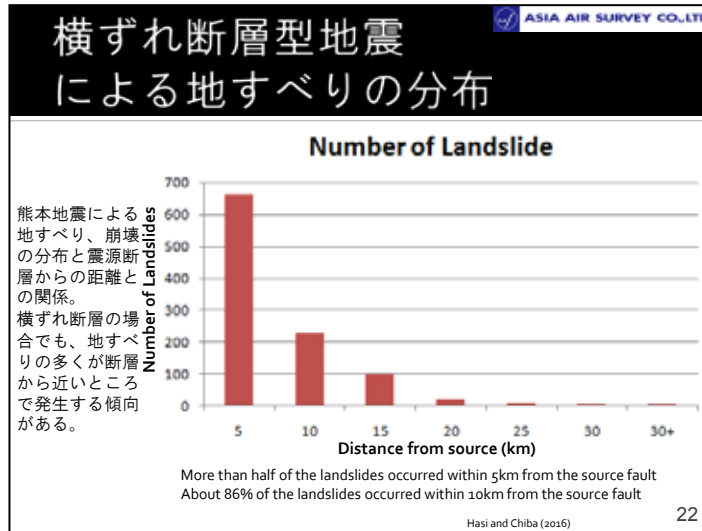












まとめ

ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.

- ▶最近の内陸地震による地すべりの分布の特徴について検討した
- ▶その結果、逆断層型地震の場合は、地すべりの多くが震源断層の上盤側で発生し、その規模も下盤側に比べると大きい傾向が見られる。また、震源断層より遠くなるにつれて地震により発生する地すべりの数が少なくなる傾向が見られる。
- ▶正断層型地震の場合も逆断層型地震と類似した特長が見られた。しかし、逆断層型地震による地すべりに比べて、発生した地すべりの数が少ない上、規模が小さい傾向が見られる。
- ▶横ずれ断層型地震による地すべりについては、熊本地震の例を示したが、今後事例を増やして分析する必要がある。²³

ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.

ご清聴ありがとうございました

24

地震による斜面崩壊危険度評価手法について

内田太郎*・桜井 亘*・松田昌之**・高山陶子**・田中健貴***

A Method for Assessing Seismic Landslide Susceptibility

Taro UCHIDA*, Wataru SAKURAI*, Masayuki MATSUDA**, Toko TAKAYAMA**, and Yasutaka TANAKA***

* National Institute for Land and Infrastructure Management, Japan

tuchida-t92rv@nilim.go.jp

** Asia Air Survey Co., Ltd, Japan

*** Sediment Disaster Prevention Technology Center, Kinki Regional Bureau, MLIT

Abstract

Large earthquake induced a number of landslides in steep mountainous regions. So, to mitigate disasters due to seismic landslide, we proposed empirical equation for assessing seismic landslide susceptibility on 2004. While, recently, new data about spatial patterns of peak ground acceleration and landslides were stored. So, we compiled data about the Mid Niigata Prefecture Earthquake triggered on 2004 and Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake triggered on 2008, to understand effects of slope angle and peak ground acceleration on seismic landslide occurrence. We found that the relationship between slope angle and landslide probability could be described by semi-log liner relationship. The slopes of the fitted line were constant, regardless of peak ground acceleration. Further, there was almost no difference in the slope of the fitted line between The Mid Niigata Prefecture Earthquake and Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake. The intercept of the fitted line increased with the increase of peak ground acceleration in the area where peak ground acceleration was smaller than 1,100 gal. While, in the area where peak ground acceleration was greater than 1,100 gal, the intercept was not related to peak ground acceleration, suggesting that the landslide probability was saturated.

Key words: Seismic landslide, Slope angle, Peak ground acceleration

1. はじめに

直下型地震が山間部で発生すると数多くの斜面崩壊が発生することがある。また、地震後には降雨等により、斜面崩壊が拡大・多発する場合もある。このような地震による土砂災害や2次災害を防止・軽減するためには、斜面ごとに地震による斜面崩壊の危険度を評価することが重要である。そのため、以前から地震時斜面崩壊危険度評価手法の検討が進められてきた。

国土技術政策総合研究所では、兵庫県南部地震の六甲山地の斜面崩壊状況を統計的に分析し、以下の

式(1)に示す評価式を提案した。

$$F = 0.075I - 8.9c + 0.0056a - 3.2 \quad (1)$$

ここで、 F は判別得点でこの得点が高いほど崩壊のおそれが高い、 I は勾配(°)、 c は平均曲率、 a は最大加速度(cm/s^2)である(内田ら, 2004)。以下ではこの式を六甲式と呼ぶ。

六甲式は、図1に例を示すように兵庫県南部地震以降の多く地震に適用され、いずれの地震においても判別得点と崩壊発生率の間には正の相関が見られることが明らかにされてきた(例えば、小山内ら, 2007)。

* 国土交通省 国土技術政策総合研究所

** アジア航測株式会社

*** 国土交通省 近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター

一方で、六甲式には以下のような課題があった。

- ① 兵庫県南部地震における六甲山地では最大加速度が概ね 200 gal 程度であったため、強震域の評価が適当でないおそれがある。言い換えれば、六甲式を用いると加速度の大きい領域では、勾配によらず、判別得点が極めて大きくなるが、この傾向の妥当性については十分検証できていない。
- ② 六甲式では素因と誘因を独立の変数として評価しているが、地形と地震動に相互作用がないのか十分に検証できていない。
- ③ 六甲式から求まる判別得点と崩壊確率の関係に関する情報が十分にない。

兵庫県南部地震後、地震計の観測密度が格段に向上する中、2004年新潟県中越地震や2008年岩手・宮城内陸地震等、兵庫県南部地震よりも格段に大きい地震動が観測され、深層崩壊など大規模な崩壊が多発している。これにより、従来十分な情報がなかった強震域の斜面崩壊の実態が把握されつつあり、①の課題について検証できる可能性が高い。また、強震域の加速度データと斜面崩壊の実績が把握されたことにより、従来以上に幅広い加速度帯の崩壊実績に関して分析可能となり②についても、新たに検証できる可能性が考えられる。そこで、本研究では、①～③の課題について検証することを目的に、地震による地盤の最大加速度が崩壊発生に及ぼす影響について整理を行った。

とし、2004年の新潟県中越地震と2008年の岩手・宮城内陸地震の強震域を中心に、崩壊面積率と加速度と勾配の関係を分析した。対象範囲の面積は新潟県中越地震と岩手・宮城内陸地震でそれぞれ739,530 km²である。地震動は、国立研究開発法人防災科学技術研究所のK-NETより最大加速度の実測値を取得し、クリギング法による内挿補間を行い1 kmメッシュ単位の加速度分布を求めた(図3)。また、勾配は地震発生前の10 mメッシュの数値標高データを使用して算出した。

分析にあたっては、最大加速度および斜面勾配と崩壊発生との関係を把握するため、最大加速度を100 gal単位で区分したうえで、斜面勾配5°単位の崩壊面積率を整理した。崩壊面積率の算出にあたっては、各区分に属する10 mメッシュのグリッドの重心が崩壊地ポリゴン内に属するグリッド数を当該区分に属する全グリッド数で除して求めた。

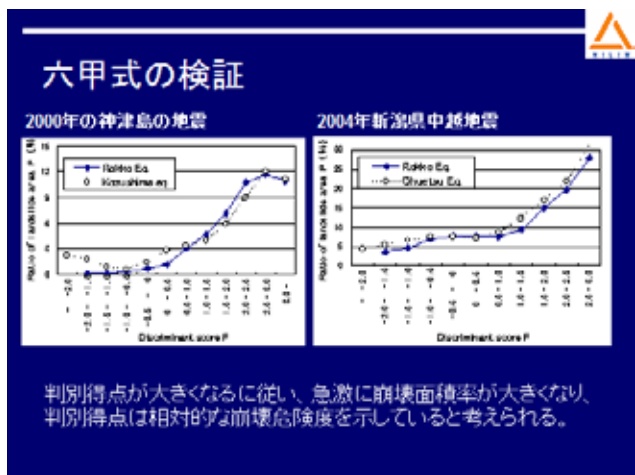


図1 六甲式の適応例
Fig. 1 Examples of results of seismic landslide.

2. 検討対象

本研究では、地震動が斜面に与える影響把握を目的

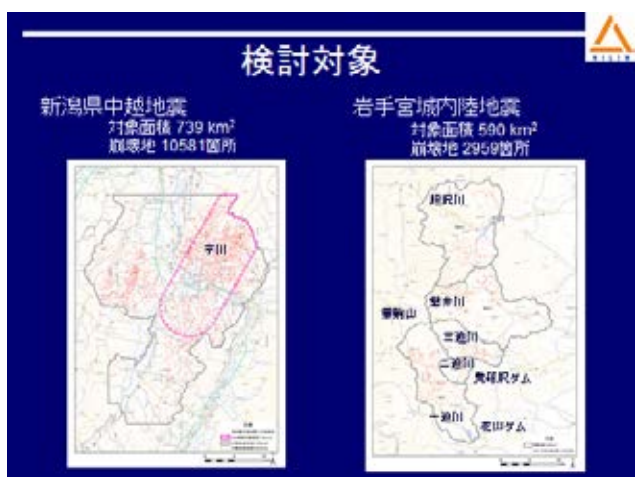


図2 検討対象範囲
Fig. 2 Study area.

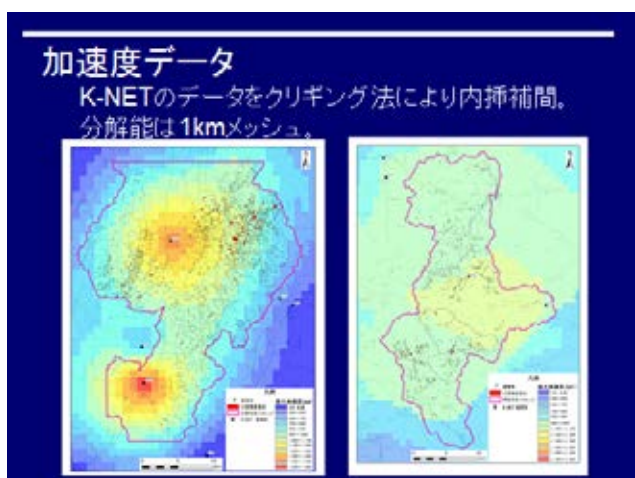


図3 最大加速度の空間分布
Fig. 3 Spatial pattern of peak ground acceleration.

3. 結果と考察

図4, 図5に示したように勾配と崩壊面積率の関係を片対数グラフで表したところ, ほぼ直線関係があることが分かった. そこで, 本研究では勾配 (α [度]) と斜面崩壊面積率 (P) の関係を各地震において加速度帯ごとに以下の式で近似した.

$$\ln(P) = k\alpha + b \quad (2)$$

ここで, k と b は係数である.

図6には傾き k と加速度の関係, 図7には切片 b と加速度の関係をそれぞれ示した. その結果, 中越地震において傾き k は 600 ~ 1,400 gal の領域でほぼ一定であった. さらに, 岩手宮城内陸地震では, データは加速度帯が 700 ~ 1,100 gal に限られているものの, k は中越地震とほぼ同程度であった. この結果は, 加速度と勾配が地震時斜面崩壊に及ぼす影響は独立していることを示していると考えられる. すなわち, 地震による崩壊確率 (= 崩壊面積率) は最大加速度と斜面勾配を独立した2変数として表現できる可能性を示しており, はじめに述べた課題②とした素因(勾配)と誘因(最大加速度)を独立の変数であるとした仮定を支持するものであった.

次に, 切片 b について見てみる. 切片 b は中越地震, 岩手・宮城内陸地震について個別に見た場合, 1,100 gal までの範囲では, 概ね加速度の増加に伴い, 大きくなる傾向が見られた. 一方, 中越地震の 1,100 gal 以上の領域では, 観測度と b の間には明瞭な関係が見られず, 必ずしも加速度が増大するに従い, 単調に斜面崩壊率が上昇するわけではないことが示唆される. このことは, 1,100 gal 程度に達すると, ある程度崩れる可能性のある斜面の大半は崩れてしまうため, それ以上大きな加速度が加わったとしても, 斜面崩壊面積率が增大しない可能性を示していると考えられる. 実際, 勾配 40 度程度の斜面では, 加速度 1,100 gal で崩壊面積率は 10% と近くとかなり高い.

1999年に台湾で発生した集集地震においても, 震源から離れた範囲では, 震源に近づくほど崩壊面積率が増加するが, 震源付近では崩壊面積率の増加傾向が頭打ちになる傾向も確認できる (Meunier *et al.*, 2007). さらに, 同様な傾向は降雨による斜面崩壊でも見られる. 例えば, 2011年の紀伊半島大水害の事例では, 48時間雨量と斜面崩壊面積率には相関が見られた. しかし詳しく見ると, 48時間雨量が 500 ~ 1,000 mm の領域では, 降雨量が増大するに

従い, 崩壊面積率が増大したものの, 48時間雨量が 1,000 mm 以上の範囲では, 斜面崩壊面積率は, ほぼ一定となった (内田ら, 2012).

以上のことから, 強震域においては, 斜面崩壊面積率が飽和するような関係があることが示唆される. すなわち, 加速度が極めて大きい範囲においては加速度の違いが斜面崩壊発生危険度に及ぼす影響は小さくなる可能性が考えられた. 課題①として示した課題に対して, 本研究の成果に基づくと, 強震域では六甲式では加速度の影響が過大に評価される可能性が考えられた.

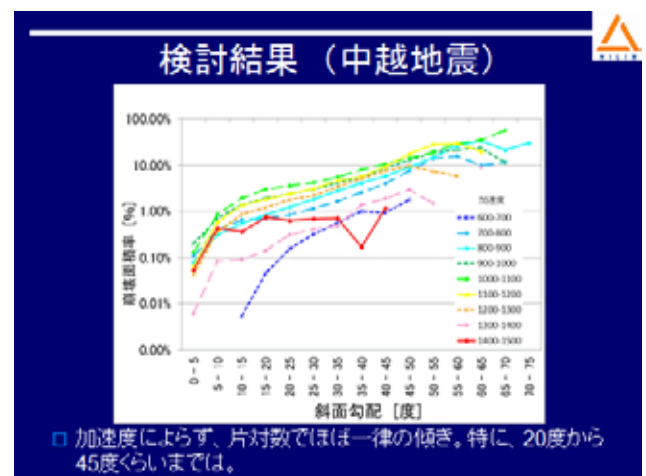


図4 斜面勾配と崩壊発生率の関係(中越地震)
Fig. 4 Relationship between slope angle and landslide ratio (Mid Niigata Prefecture Earthquake).

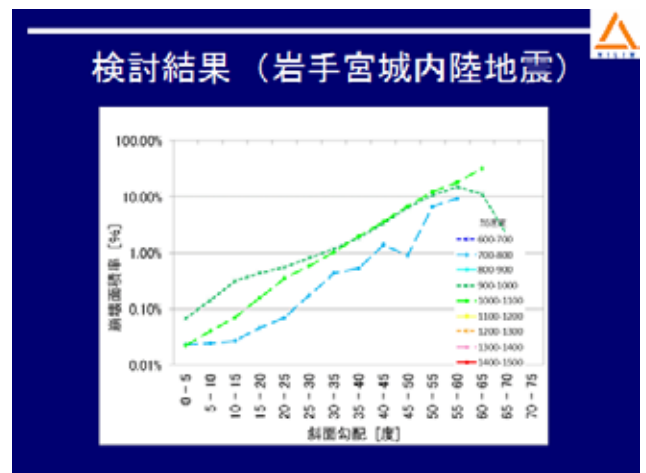


図5 斜面勾配と崩壊発生率の関係(岩手・宮城内陸地震)
Fig. 5 Relationship between slope angle and landslide ratio (Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake).

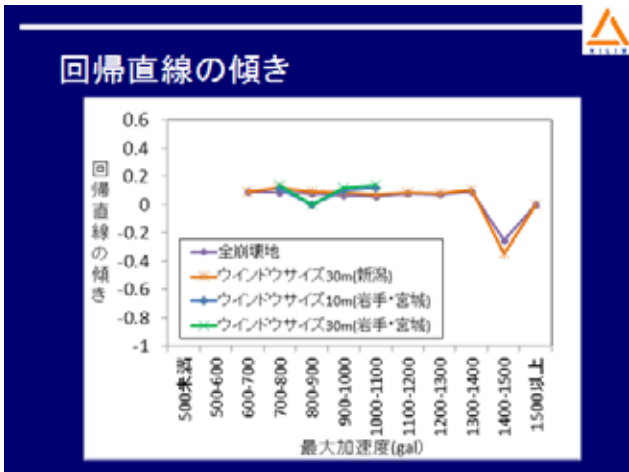


図6 最大加速度と回帰直線の傾きの関係
 Fig. 6 Relationship between the slope of fitted line and peak ground acceleration.

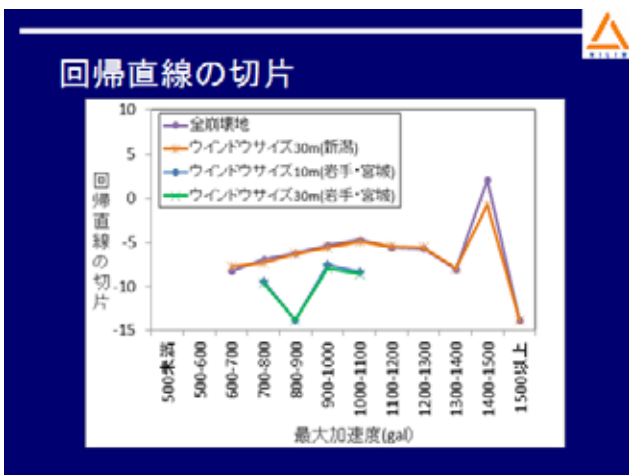


図7 最大加速度と回帰直線の切片の関係
 Fig. 7 Relationship between the intercept of fitted line and peak ground acceleration.

また、地震により切片 b の値は異なり、地質や地震の特性により、絶対的な斜面崩壊危険度は異なる可能性が示唆され、課題③に示した判別特点と崩壊発生確率の関係は地域や地震によって異なる可能性が考えられた。なお、切片 b を決める要因については今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) 内田太郎・片岡正次郎・岩男忠明・松尾 修・寺田秀樹・中野泰雄・杉浦信男・小山内信智 (2004) : 地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究. 国土技術政策総合研究所資料, Vol.204, 91pp.
- 2) 小山内信智・内田太郎・野呂智之・山本 悟・小野田 敏・高山陶子・戸村健太郎 (2007) : 既往崩壊事例から作成した地震時斜面崩壊発生危険度評価手法の新潟県中越地震への適用. 砂防学会誌, Vol.59, No.6, p. 60-65.
- 3) Meunier, P., Hovius, N. and Haines, A. (2007) : Regional patterns of earthquake-triggered landslides and their relation to ground motion. Geophysical Research Letters, Vol. 34, L20408, doi:10.1029/2007GL031337.
- 4) 内田太郎・佐藤 匠・水野正樹・林真一郎・岡本敦 (2012) : 2011年台風12号における降雨量と斜面崩壊特性. 土木技術資料, Vol. 54, No.10, p. 10-13.

要 旨

直下型地震が山間部で発生すると数多くの斜面崩壊が発生することがある。そこで、国土技術政策総合研究所では、兵庫県南部地震の六甲山地の斜面崩壊状況を統計的に分析し、地震時斜面崩壊発生危険度評価式を提案した。一方、近年、強震動を含む、新たなデータが蓄積されてきた。本研究では、斜面勾配と地盤の最大加速度が地震時斜面崩壊に及ぼす影響を考察するために、2004年の新潟県中越地震、2008年の岩手・宮城内陸地震の崩壊状況について調査した。その結果、加速度帯ごとの斜面勾配と崩壊面積率の関係は、片対数グラフ上で直線関係にあることがわかった。この直線の傾きは、加速度、地震によって変化しない固有の値であることを示した。一方、切片は加速度が1,100 gal以下の範囲では、加速度の増加に伴い増大したものの、1,100 gal以上の範囲では、切片と加速度に明瞭関係が見られなくなり、強震域では崩壊面積率が飽和する可能性が示唆された。

キーワード：地震時斜面崩壊，最大加速度，勾配

平成28年台風10号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出の概要

林真一郎*・小山内信智*

An Outline of large Sediment Discharge in the Rainfall Event with Typhoon No. 10 (Lionrock) of 2016 in the Hidaka Mountains, Hokkaido

Shin-ichiro Hayashi* and Nobutomo Osanai*

**Laboratory of National Land Conservation, Research Faculty of Agriculture
Hokkaido University, Japan
shayashi@cen.agr.hokudai.ac.jp, n-osanai@cen.agr.hokudai.ac.jp*

Abstract

In 2016, for the first time since weather observations began in 1951, three typhoons (Nos. 7, 11, and 9) hit Hokkaido within one week in the same year. Then a large discharge of sediment was caused by typhoon No. 10, Lionrock, on the eastern slopes of the Hidaka Mountains and affected railway, expressway, national high way, etc., from August 29 to 31. From the Panke-Shintoku River (Shintoku Town) to the Totsutabetsu River (Obihiro city) on the eastern slopes of the Hidaka Mountains, 9 branch streams of the Tokachi River discharged huge volumes of sediment caused by debris flows. The sites of sediment discharge happened (e.g., Totsutabetsu, with a total precipitation of 530 mm, and Nissho, with 367 mm) coincided not with the heaviest precipitation (e.g., Notsuka, with 713 mm), but with granite geology. At first, most of debris flows were caused by small shallow landslides at upstream and eroded river beds and banks with a plenty of water supply. The sediment was mainly composed by granite boulder, fine material, drift wood which came from gently sloping periglacial terrain. Because huge quantities of unstable sediment were left in river beds and on banks of branch streams where the debris flows happened, it will be necessary to monitor sediment movement there during snowmelt and summer season in the next several years to support disaster management in Hokkaido where has fewer experience of arrival of typhoons than the rest of Japan and may be affected by climate change.

Key words: Hokkaido, Hidaka Mountains, Sediment discharge, Debris flow, Granite

要 旨

北海道では、観測史上初めて1年のうちに3つの台風(台風第7, 11, 9号)が、わずか1週間の内に上陸した後、平成28年8月29日から31日かけて台風第10号が接近した。台風第10号による豪雨により、日高山脈の東側斜面では複数の土石流に伴う土砂流出が発生し、下流域での洪水氾濫、JR・高速道路・国道等への被害が生じた。本稿では災害直後に実施した現地・ヘリ調査結果(砂防学会調査団による調査、速報は砂防学会北海道支部ホームページに掲載)について報告する。

日高山脈の東側斜面を流れるパンケ新得川(新得町)から戸蔭別川(帯広市)にかけて、十勝川水系の9つの溪流で土石流の発生が確認された。降雨は主に29日から31日にかけて降り、日高山脈の標高の高い地域では総雨量は500mmを越えている。土石流の発生した地域(例えば、総雨量:戸蔭別530

* 北海道大学大学院農学研究院 国土保全学研究室

mm, 日勝 367 mm) と降雨の最強降雨域 (例えば, 総雨量: 野塚 713 mm) は一致せず, 一方で, 地質が花崗岩質の深成岩が日高山脈上部に位置する地域とほぼ一致する. 土石流の多くは, 溪流の最上流部における小規模な崩壊・土石流に起因し, 流下の過程で, 周氷河作用により形成された緩い斜面上において, 大量の水による河床洗掘・側岸侵食が起こり, 花崗岩の礫・花崗岩が風化した細かいマサ土・溪畔林の立木を下流へ大量に運搬したと考えられる.

土石流が発生した各溪流の上流域では, 不安定な土砂が大量に供給され, 今後, 土砂の一部が融雪出水・中小出水でも徐々に流下しやすい状態にあると考えられる. また, これまで, 台風の襲来が少なかった北海道での土砂災害の事例であることから, 気候変動の観点からも継続的な調査が重要な災害事例であると考えられる.

キーワード: 北海道, 日高山脈, 土砂流出, 土石流, 花崗岩

講演スライド:

スライド 1

土砂災害予測に関する研究集会 -熊本地震とその周辺-
2016. 12. 9
国立研究開発法人防災科学技術研究所

平成28年台風10号豪雨により
北海道十勝地方で発生した
土砂流出の概要

北海道大学農学研究院
国土保全学研究室

林 真一郎・小山内信智


スライド 2

はじめに

- ・平成28年台風10号豪雨により、北海道十勝地方・日高山脈東側斜面の溪流で土石流が多発。
→ 十勝川水系の9河川で比較的規模の大きな土石流が発生。
- ・下流域での洪水氾濫、JR・高速道路・国道等への被害が生じた。

砂防学会北海道支部による調査

- 9月5日 現地調査
- 7日 ヘリ調査
- 12日 ヘリ調査
- 10月11日、12日 現地調査
- 19日 現地調査



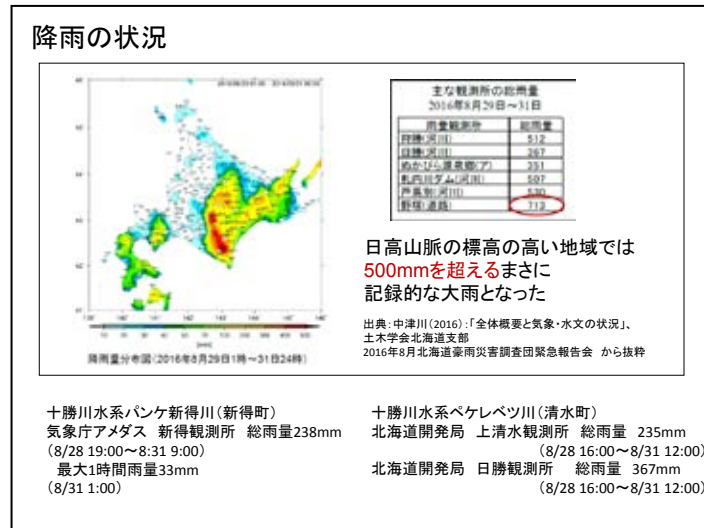
2016.9.5

速報は、砂防学会北海道支部ホームページに掲載。
<http://www.jsece.or.jp/branch/hokkaido/index.html>

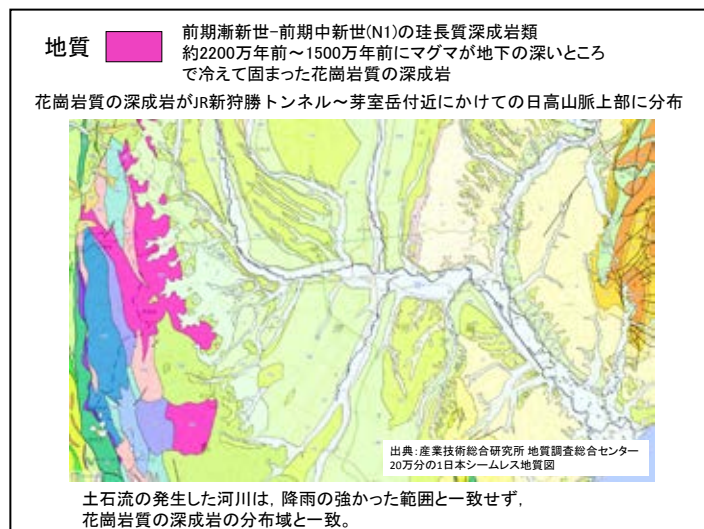
スライド 3



スライド 4



スライド 5



スライド6



スライド7



スライド8



スライド 9

②旧日勝スキー場付近



2016.9.5



2016.9.12



2016.10.11

- ・旧日勝スキー場に向かう橋（標高490m付近）では、左岸側に土石流によると思われる2~3m程の巨礫の堆積が見られた。
- ・兩岸の道路への土砂流出があることから、橋が一旦閉塞したのち、橋側部の側岸侵食、及び、後続流によって土砂が下流へ流出したものと考えられる。河床勾配は7~8°程度。

スライド 10

③第1砂防ダム (S41年度完成)

約12万m³の土砂を捕捉

・第1号砂防堰堤付近
災害前のGoogle衛星写真では、溪流が見えない状態であったが土石流通過後には、溪流の幅は何倍にも広がっている。



2016.9.12

第1砂防ダム はこちら



2016.9.5

上流



2016.9.5

下流

1号砂防ダム（北海道施工，S41年度完成）（標高370m付近）においては、最大礫径を1~2m程度とする花崗岩質の礫、マサ土、流木の堆積が見られた。土砂は勾配3~4°程度で堆積している。最大礫径1~2m程度の礫及び流木の堆積は1号砂防ダム下流においても見られる。

スライド 11

その後の降雨 気象庁アメダス 新得観測所 (2016/9/1~11/30) 時間最大雨量 7.5mm (9/9 1:00)
24時間最大雨量 63mm (9/8 20:00-9/9 20:00)

第1砂防ダム(水通し部)



2016.9.5



2016.10.19



2016.11.18

- ・流水の濁りはほとんどなくなってきた。
- ・礫、流木の状況から、8月末以降、大きな規模の出水・土砂移動は発生していない。

スライド 12

④第2砂防ダム(H5年度完成)
約51万m³の土砂を捕捉
第1号砂防堰堤から第2号砂防堰堤の間の状況、粒径は細かくなっているが、蛇行が激しく、低位段丘の側岸を侵食している部分もある。

2016.9.5 2016.9.5

2016.9.12

2016.9.5

第2号砂防堰堤堆砂敷き
細砂(マサ土)が捕捉されている。

スライド 13

第2砂防ダム(堆砂域)

2016.9.5 2016.10.19

2016.10.19 2016.11.18

スライド 14

第2砂防ダムとその下流の流路工
2016.9.12
大量の細砂が捕捉されており、その下流の流路工部分は殆ど被害はない。

スライド 15



スライド 16



スライド 17



スライド 18



スライド 19

まとめ

- ・台風10号豪雨により、十勝地方東側斜面の溪流では土石流が多発。
- ・源頭部の小規模な崩壊を契機に、溪床・側岸の不安定な花崗岩の巨礫、マサ土が大量に下流に流出。砂防堰堤では、土砂の捕捉・調節が見られる。
- ・河床上昇及び流木による橋梁の閉塞による河積の減少により、洪水氾濫・河岸侵食による被害が発生。溪流保全工・床止工等の構造物がある区間は比較的被害が少ない。
- ・上流域は不安定なマサ土が大量に供給されている状態にある。融雪期・中小降雨でも土砂流出しやすい状況にあり、今後も継続的なモニタリングが重要。

スライド 20

ご清聴ありがとうございました。

速報は、砂防学会北海道支部ホームページに掲載。
<http://www.jsece.or.jp/branch/hokkaido/index.html>

火山碎屑物で構成される斜面の崩壊機構とその共通点

若井 明彦*・後藤 聡**・櫻井 正明***

キーワード：斜面，テフラ，表層崩壊

1. はじめに

気候変動とそれに伴う極端気象の増加により、豪雨による大規模土砂災害が近年頻発化しているという指摘がある。本稿では、最近の2つの事例を題材にして、第四紀火山の降下火砕物に覆われた斜面、特に、内部に火山灰-非火山灰の成層構造を有する斜面の崩壊機構とその特徴をおさらいする。

2. 平成25年台風26号伊豆大島災害

2013年10月15～16日の台風26号の降雨(伊豆大島元町で24時間雨量824mm)により、三原山外輪山の西側斜面を中心に多数の斜面崩壊とそれに伴う土石流が発生した。個々の斜面崩壊の機構は地点

ごとにやや異なる点も考えられるが、元町地区上流の斜面においては、図1のようにY1.0(18世紀)および下位のY4.0(15世紀)の火山砂とそれらを挟む火山静穏期に堆積した風積土(レス)の成層¹⁾が顕著である。総体的に見て、平時には極めて透水性の良い斜面であるものの、今回のような極端な超過降雨時には火山砂層とレス層との間の若干の透水性(粒度)の差異が両者間の帯水を促し、上昇した間隙水圧がこれらの層境界での崩壊をもたらしたと考えられる。加えて、元町地区上流にあたる斜面崩壊の大規模化の要因の1つとして、谷の未発達な地形の影響が考えられる(14世紀元町溶岩)。

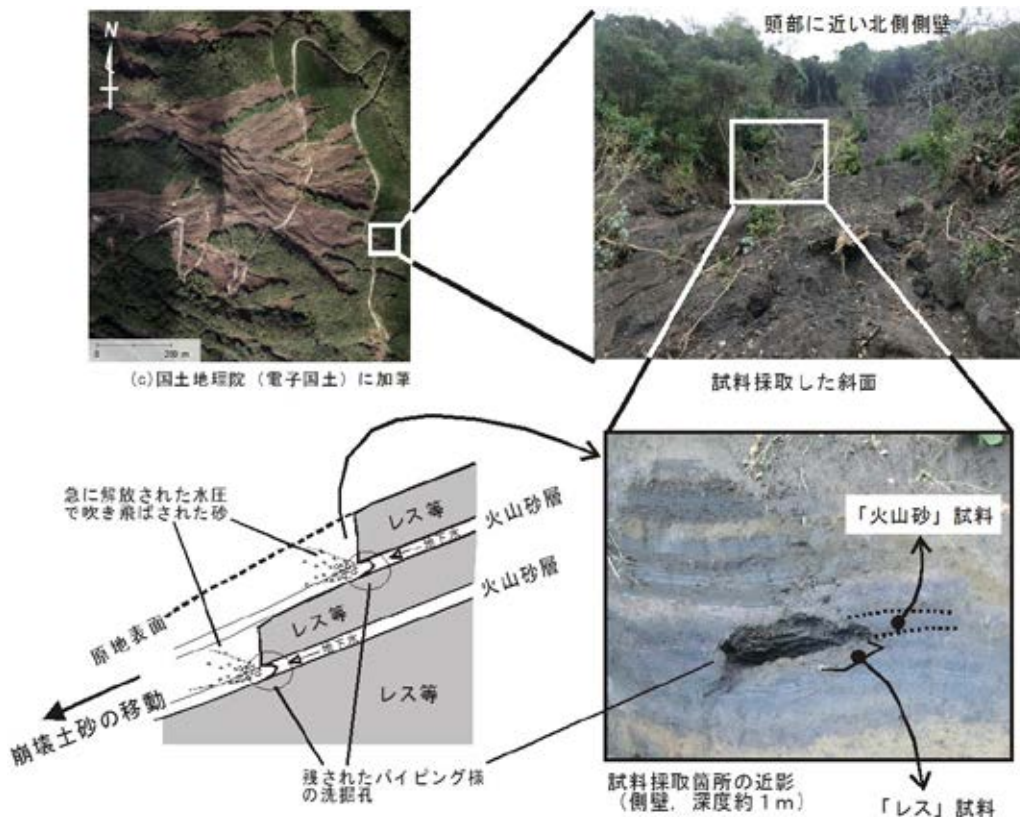


図1 火山砂層とレス層の互層の模式図(伊豆大島元町地区上流の斜面源頭部にて)

* 群馬大学

** 山梨大学

*** (株)山地防災研究所

3. 平成27年9月関東・東北豪雨における栃木県北部の土砂災害

同豪雨時に多数発生した土石流のうち代表的なもの1つは、日光市芹沢地区の土石流群である(図2)。鬼怒川支川の男鹿川の起点に位置する五十里湖の湖尻からさらに5 kmほど上流(近傍の観測所で連続雨量589 mm)の地区である。芹沢に左岸側から注ぐ支沢のうち、例えば中坪上沢の土石流源頭部(道路から水平距離で約300 m離れた上流)の斜面は図3のような状況である。溪流の横断中央部には、角礫を多く含んだ過去のV字状の堆積物が見られ、その上位を6世紀の榛名二ツ岳火山灰が覆っている。火山灰層の基底には大量の地下水が供給されていたことを示すパイピング状の洗掘痕が見られる。これは常時の水みちに相当すると思われるが、豪雨時にはこうした径路からの地下水が透水性の高い火山灰層に沿って拡がるとともに、表層から浸透した雨

水と合流して、帯水層を形成した可能性が高い。

4. まとめ

降下火砕物に覆われた地域では、こうした透水性の異なる層の互層構造が比較的連続性よく、かつ流れ盤に類した構造で存在することが多い。日常的な降雨においては、こうした透水性の良い層が地中の地下水を速やかに流下浸透させる効果は期待されるが、ある一定以上の極端に大量の降雨がこうした層へ浸入する地下水を急増させた場合は、これらの層が帯水するだけでなく、集中した地下水が被圧的な環境を作り出す可能性があるように思われる。このような火山灰層の堆積の可能性がある地域においては、地形解析に基づく災害履歴の確認、テフラの広域分布の把握など、火山地域の特性を意識した斜面の土砂災害リスク診断が有効かもしれない。

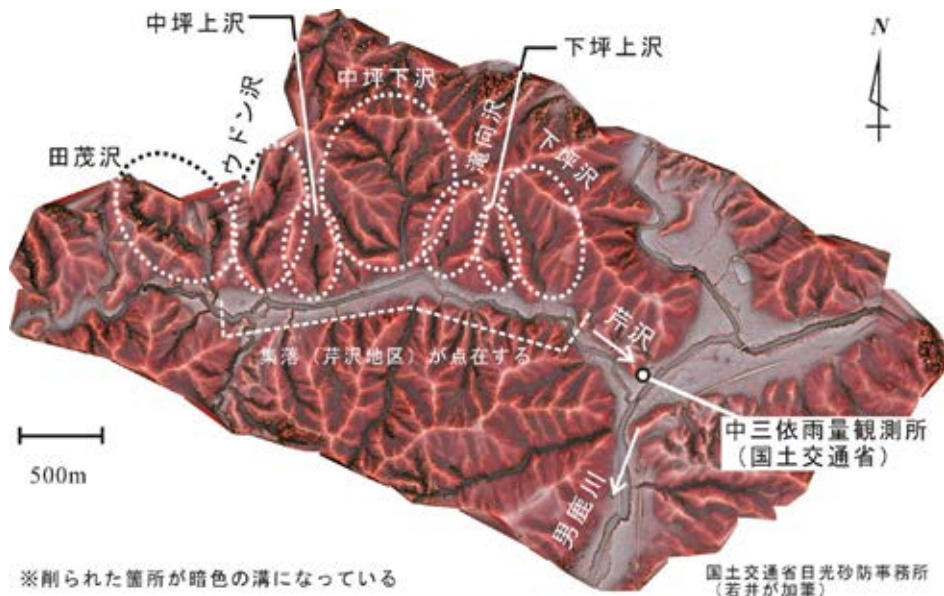


図2 芹沢地区(栃木県日光市)の災害後の地形変化状況(国交省日光砂防事務所)



図3 土石流源頭部に見られる孔状洗掘痕(中坪上沢)

参考文献

- 1) 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, pp.133-162.

国際協力に日本の地すべり防災技術を生かす

佐藤 剛*・島野敏行**・神谷 静***

キーワード：地すべり，国際協力機構，プログラム・アプローチ，中米

1. 国際協力機構による地すべり災害対策案件の動向

国際協力機構（以後、JICA と呼ぶ）は、技術協力事業（技術協力プロジェクト、個別派遣家派遣、地球規模課題対応国際科学技術協力）、ボランティア事業（シニア海外ボランティア、青年海外協力隊）および中小企業海外展開支援事業といったスキームを用いて、土砂災害対策に関わる事業を開発途上国において展開してきた。とくに近年では、技術協力事業において地すべりに関わる案件数が増加している。土砂災害に関わる案件^{注1}の時系列変化と、その

なかで地すべり災害対策を主として実施した案件の動向を示したのが図1である。協力金額は1992年にピークがあるが（図1-A）、その後、5年周期の増減を経て、2008年以降は徐々に増加している。案件数は、1990年以降おおむね増加しており（図1-B）、地すべり災害対策を主とする案件をみると、2000年以降、その数は増え続けている。協力金額においても土砂災害案件に対して占める割合は年々高くなっている（図1-B）。これは、開発途上国に対する有効な支援が実施されてきた結果、他国における類似案件の拡大につながってきた成果だと考えたい。日本の国際協力における「防災の主流化」も踏まえ、今後さらに日本の地すべり研究・対策技術が国際協力に生かされることが期待される。

注1：案件名に「土砂」、「地すべり（地滑り）」、「土石流」、「火山」、「砂防」、「傾斜地」および「斜面对策」が含まれるものを抽出した。土砂災害分野の案件であっても、総合防災能力強化として複数の災害種を対象とし、コンポーネントの1つとして土砂災害対策を行っているなど、ここにあげたキーワードが案件名に入らないものも存在する。

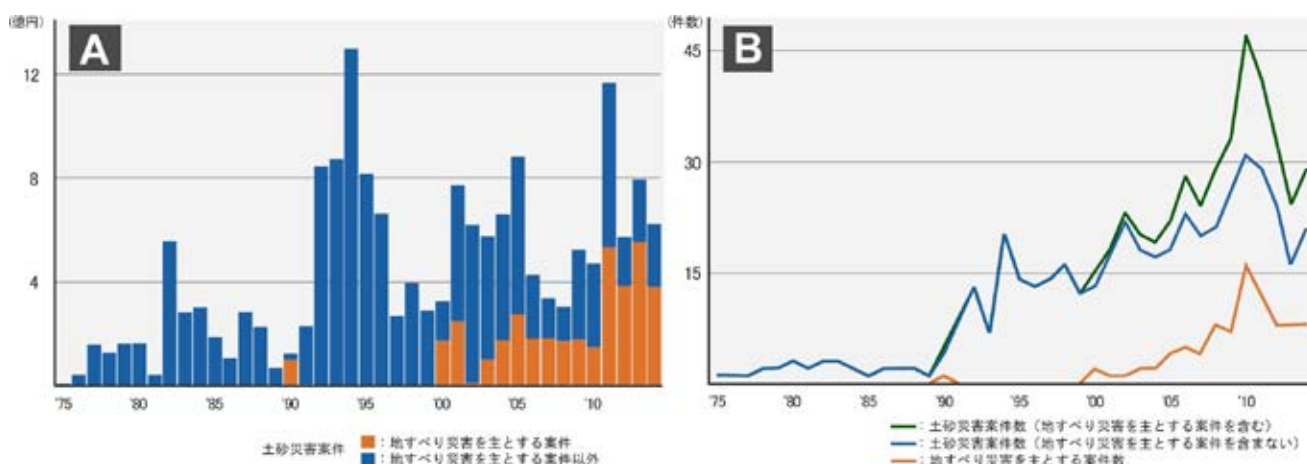


図1 A：技術協力プロジェクトによる土砂災害に関わる案件の協力金額，B-2：技術協力プロジェクトによる土砂災害案件に関わる案件数。毎年度の支出実績を元に本図を作成した。これらの図では、地すべり対策を主とする案件とそれ以外とに分けている。ここでいう地すべり対策を主とする案件とは、案件名に「地すべり（地滑り）」および「斜面災害」が含まれるものとした。

* 帝京平成大学大学院環境情報学研究科

** 世界銀行日本理事室

*** (元)国際協力機構ホンジュラス事務所

2. 中米で行われたプログラム・アプローチの例

日本の経済・財政状況が厳しい中で、国際協力事業において国民の幅広い理解を得ながら、限られた予算を活用して最大限の効果を上げるためには、「選択と集中」による戦略的で効果的な援助を行う必要がある。その文脈の中で、プログラム・アプローチを強化していく方針が打ち出された(外務省, 2011)。プログラム・アプローチは、支援分野における目標の達成に必要な個別プロジェクトについて、無償資金協力、有償資金協力そして技術協力といった様々な援助手法を有機的に組み合わせることで、プロジェクト間の相乗効果を高め、全体としてより大きな成果を上げる取り組みである。プログラム・アプローチに基づき案件形成されたものではないが、その好事例として、発表では JICA がホンジュラス国・テグシガルパ市で実施してきた地すべり災害対策について紹介した。

謝辞・まとめ

データの収集にあたっては、国際協力機構の地球環境部防災グループおよび同支援スタッフにお世話になった。なお、本原稿の内容は、佐藤ほか(2015)日本地すべり学会誌, Vol.52, 161-167 および平成28年度日本地すべり学会シンポジウムにて発表している。

参考文献

- 1) 外務省(2010):開かれた国益の増進－世界の人々とともに生き、平和と繁栄をつくる－
- 2) 外務省(2011):2011年版政府開発援助(ODA)白書 日本の国際協力。

「国際協力に日本の地すべり防災技術を生かす」



佐藤 剛 / 帝京平成大学大学院
島野 敏行 / 世界銀行日本理事室
神谷 静 / (元)JICA駐ホンジュラス事務所



発表内容

- ① はじめに～なぜ国際協力～
- ② JICAによる土砂災害分野の動向
- ③ ホンジュラスにおける地すべり防災事業

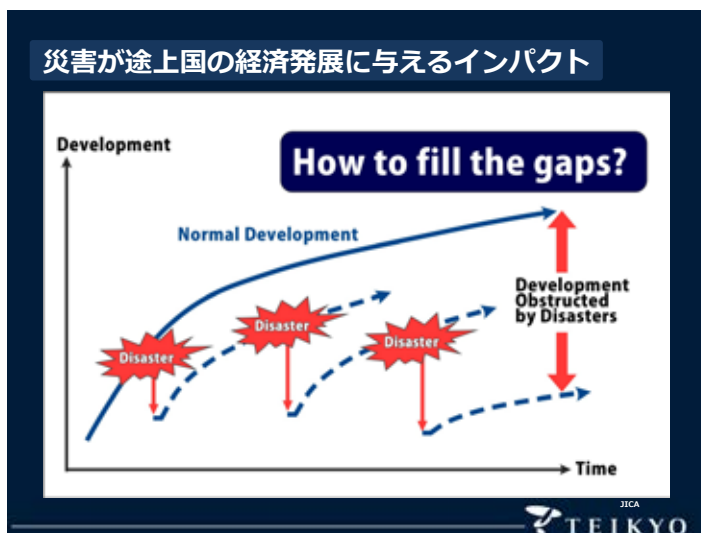


中米・ホンジュラス

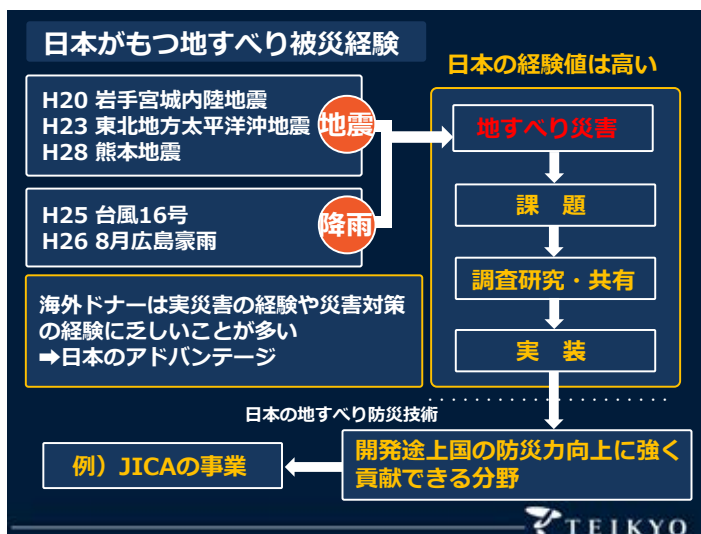


1998年に発生したハリケーン「ミッチ」により首都テグシガルバは大きなダメージを受けた。また、降雨を誘引とした大規模な地すべりが発生し、人的・インフラの被害が生じた。





- ### 防災に対する国際的な動き
- 1987年 国連総会にて1990年代を「国際防災の10年」と決定
 - 1994年 国連防災世界会議（横浜市）
 - 「横浜戦略」を策定
 - 1999年 国連総会にて「国際防災戦略」活動の開始を採択
 - 事後対策から予防中心へ。災害対応力の強いコミュニティ形成
 - 2002年 国連防災戦略 日本政府の協力で「世界防災白書」刊行
 - 2005年 国連防災世界会議（兵庫県）
 - 「兵庫行動枠組み」を策定
 - 2015年 国連防災世界会議（仙台市）**
 - 「仙台防災枠組み」を策定
 - ※ **Build Back Better, 防災の主流化, 防災への事前投資など**
- JICA
TEIKYO



発表内容

- ① はじめに～なぜ国際協力～
- ② JICAによる土砂災害分野の動向
- ③ ホンジュラスにおける地すべり防災事業

TEIKYO

2) JICAの事業

事業スキーム名	
技術協力	技術協力プロジェクト
	開発計画調査型技術協力
	地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム
	個別専門家派遣
	研修員受け入れ
有償資金協力	
無償資金協力	
ボランティア	青年海外協力隊
	青年海外協力隊
	民間連携ボランティア
中小海外展開支援	基礎調査
	案件化調査
	普及実証化事業
草の根技術協力	
調査団派遣	

TEIKYO

日本地すべり学会山形大会 2015

ブラジル

- 2-2 海外での防災防災技術展開事業とその課題について

ベトナム

- 2-3 ベトナムにおける路線交通網の科学的災害危険度評価技術展開事業
- 2-4 科学技術協力地域での地すべり危険評価手法開発の事業
- ベトナムでの地すべり危険評価技術展開事業の紹介
- 2-5 ベトナム自治体への地すべり危険評価技術展開
- 2-6 ハノイに地すべり防止と監視システム構築プロジェクトの開発
- 2-7 ベトナムにおける地すべり危険評価技術展開へのアプローチ
- 2-8 ベトナムにおける地すべり危険評価技術展開へのアプローチ

ホンジュラス

- 2-1 ホンジュラスの地すべり災害と日本の国際協力による地すべり調査・対策の展開
- 2-2 Google Earthデータを用いたホンジュラスの地すべり調査の仕方「アラスター・ロアルタ」の例

エチオピア / スリランカ

- 2-9 海外事業における防災技術展開とその課題
- エチオピア・スリランカを中心に「スリランカ」における地すべり調査・対策の展開
- 2-10 建設工事に伴う地すべり調査・対策の展開
- エチオピア・スリランカにおける地すべり調査・対策の展開

マレーシア

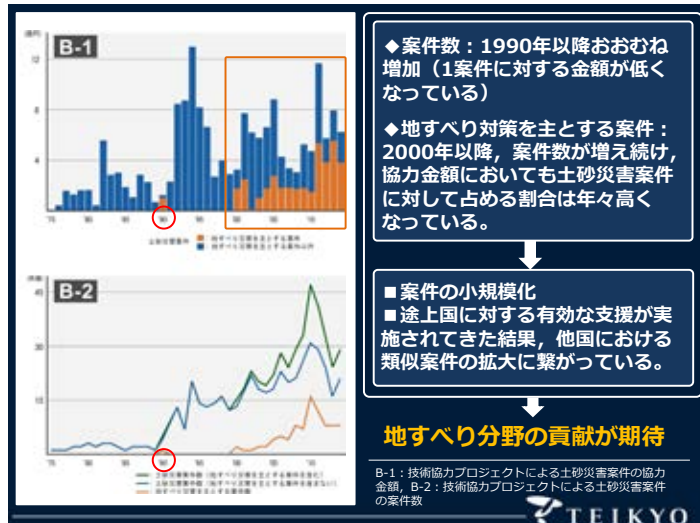
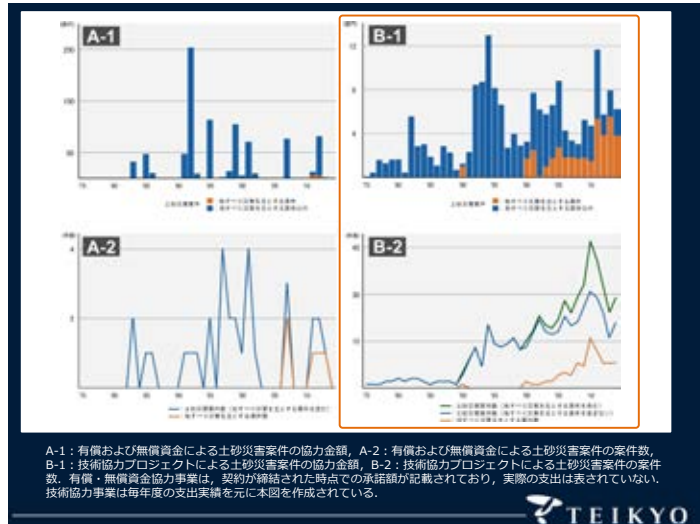
- 2-13 マレーシアにおける地すべり調査分野における国際技術協力
- 2-14 マレーシアにおける地すべり調査分野における国際技術協力

Legend:

- 技術協力プロジェクト
- 有償資金協力
- 個別専門家派遣
- 地球規模課題対応国際協力事業
- シニアボランティア/青年海外協力隊
- 中小企業海外展開支援事業～案件化調査～
- その他

TEIKYO





発表内容

- ① はじめに～なぜ国際協力～
- ② JICAによる土砂災害分野の動向
- ③ ホンジュラスにおける地すべり防災事業



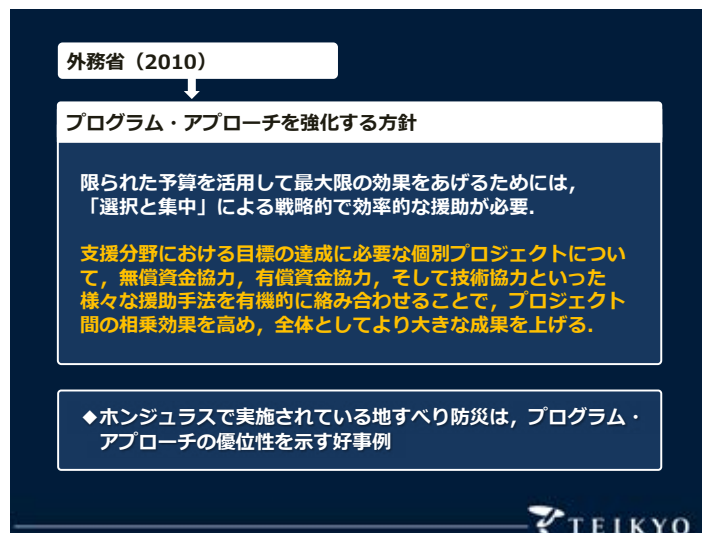
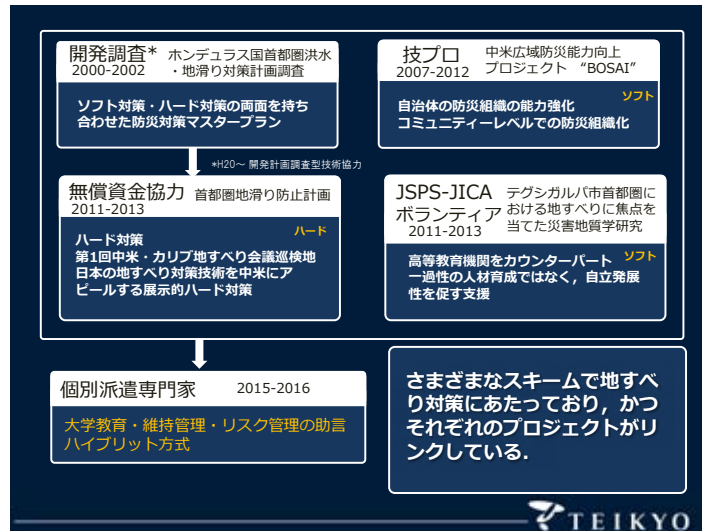
1998年に発生したハリケーン「ミッチ」により首都テグシガルバは大きなダメージを受けた。また、降雨を誘引とした大規模な地すべりが発生し、人的・インフラの被害が生じた。



表 日本のご援助によりホンジュラスで実施された地すべり防災案件

案件名	期間(年度)	スキーム	カウンターパート
1. ホンジュラス国首都圏洪水・地滑り対策計画調査	2000-2002	開発調査	公共事業・運輸・住宅省 (SOPTRAVI) 国際協力庁 (SEPLAND) 国家災害委員会 (COPECODI) 上下水道公社 (SANAA) 天然資源環境省 (SERENA) テグシガルバ市
2. 首都圏地滑り防止計画	2011-2013	贈与資金協力	テグシガルバ市
3. 中米広域防災能力向上プロジェクト「BOSAR」(フェーズ1)	2007-2012	技術協力	国家災害委員会 テグシガルバ市 オマシグエ市 トリウカマ市 マルコピア市
4. テグシガルバ市首都圏における地すべりに焦点を当てた災害地質学研究	2011-2013	科学技術研究員派遣(技術協力)	ホンジュラス地質協会 (IGH) 工科大学 (UP) ホンジュラス国立自治大学 (UNAH)
5. シニア海外ボランティア派遣	2011-2013	シニア海外ボランティア(地質工学)	工科大学 サモラノ農科大学
6. ホンジュラス国首都圏における地すべり対策能力強化支援	2014-2016 (実施中)	個別専門家派遣	ホンジュラス国立自治大学 テグシガルバ市





ホンジュラスとその周辺国の位置図。G: グアテマラ, H: ホンジュラス, E: エルサルバドル, N: ニカラガ, C: コスタリカ, P: パナマ。

(CONRED)
2015年5月11日グアテマラシティー郊外で地すべりが発生。死者・行方不明者は350名

◆**日本で実施された地すべり調査・対策が、周辺各国の地すべり防災の取り組みに対し、波及効果を生むことが期待される。**

TEIKYO

日本がもつ地すべり被災経験

H20 岩手宮城内陸地震
H23 東北地方太平洋沖地震 **地震**
H28 熊本地震

H25 台風16号
H26 8月広島豪雨 **降雨**

海外ドナーは実災害の経験や災害対策の経験に乏しいことが多い
→日本のアドバンテージ

日本の地すべり防災技術

日本の経験値は高い

地すべり災害
↓
課題
↓
調査研究・共有
↓
実装

開発途上国の防災力向上に強く貢献できる分野

JICAの事業の活用

TEIKYO

「国際協力に日本の地すべり防災技術を生かす」

連携協力	事業スキーム名
連携協力	国際協力プロジェクト 国際計画調査型連携協力 地域情報連携型対立国際科学連携協力プログラム 個別専門家派遣 研修員受け入れ
無償資金協力 無償資金協力	
ボランティア	青年海外協力隊 青年海外協力隊 民間連携ボランティア
中小海外展開支援	基礎調査 専門化調査 普及実証化事業
官の連携協力 調査員派遣	

大学・研究所

- SATREPS 協力ベースの研究
専門家派遣 案件形成
- JICA側の理解
- 人材育成 国際協力機関への就職
留学生
- 社会科学との連携 女性の活躍

連携

プロジェクト
技術基準
英文解説書

企業

- スキームの活用の多様化
- 海外展開の機会
無償・技術協力
中小企業海外展開支援
民間連携ボランティア

TEIKYO

斜面の二次災害事例と対応策

上野 将司*

キーワード：土砂災害，二次災害，災害の回避

1. はじめに

斜面での土砂災害発生時に，被災者の救助活動や調査にあたる人が災害地内に立入る等，二次的に発生する崩壊や落石により被災する事例がある．2015年1月の静岡県浜松市における急崖視察中の管理者2名が岩盤崩壊に巻き込まれた災害をはじめ，6事例の二次災害について整理した．その上で土砂災害現場での二次災害回避の対応策についてまとめた．

2. 二次災害の事例

斜面崩壊や落石後に発生する二次的な崩壊によって，調査・救助活動にあたる人や一般交通が被災した事例について以下に概要を示す．

- (1) 高知県繁藤の斜面崩壊
地質：秩父帯の粘板岩，砂岩，凝灰岩
1972年7月5日5:00頃に小崩壊，10:55頃崩壊(土砂量10万 m^3)，死者60名
- (2) 川崎市高津区の崖崩れで住宅埋没
地質：新第三紀の泥岩を覆う関東ローム
1989年8月1日3:15小崩壊，4:29頃に崩壊(土砂量400 m^3)，死者6名
- (3) 上信越自動車道の法面崩壊
地質：新第三紀の堆積岩および新期の火山灰
2001年9月10日小崩壊，点検中の拡大崩壊，死者2名
- (4) 北海道えりも町国道336号の岩盤崩壊
地質：ホルンフェルス
2004年1月12日7:30頃に400 m^3 規模の崩壊，1月13日22:25崩壊(土砂量4万 m^3)，死者1名
- (5) 奈良県上北山村国道169号の斜面崩壊
地質：四万十帯 砂岩および泥岩(混在岩)
2007年1月18日20:50に小崩壊100 m^3 ，1月21日0:00に小崩壊80 m^3

- 1月30日7:40崩壊(土砂量1.1万 m^3)，死者3名
- (6) 浜松市原田橋の岩盤崩壊
地質：花崗岩と砂質片麻岩
2015年1月31日14:10頃に落石，17:10頃崩壊(土砂量8,000 m^3)，死者2名

3. 二次災害への対応策

以下の3条件を考慮して避難することや監視位置を設定することにより，二次災害を回避することができるものと思われる．

- (1) 崩壊土砂の到達距離(図1，図2参照)
崩壊土砂の到達距離は各種のマニュアル等に表示されているように，90%が崖高と同じ距離まで到達し，最大で崖高の2倍程度まで到達する．避難や監視をする場合は，この点を考慮するとともに対象斜面の正面ではなく側方に避難または側方で監視することが望ましい．ただし，斜面下が平坦ではなく傾斜地の場合や崩壊斜面に多量の水が含まれる場合は，崩壊土砂が崖高の2倍よりも遠くまで到達するので注意が必要である．
- (2) 崩壊の前兆から崩壊までの余裕時間(図3，表1参照)
傾斜60°以上の急崖斜面では，落石や小崩壊等の兆候が認められた場合，崩壊までの余裕時間は1日以内と考えて対処すべきである．なお，図3は表1をもとに作成したものである．緩い傾斜の場合はこの図によらず，簡易な方法を含め変位計測を行って精度の良い崩壊時刻の予測をすべきである．
- (3) 小崩壊後の規模の大きな崩壊(図4参照)
地すべり地や不安定化した斜面では，ブロック末端側部の小ブロックが急速な変位を生じる場

* 応用地質株式会社

合や急速に崩壊することがある。逆の立場に立つと、顕著な移動部分に監視や調査の注意が向いていると、背後の大きな動きに気が付かない

ことがあるのでこの点についても留意すべきである。

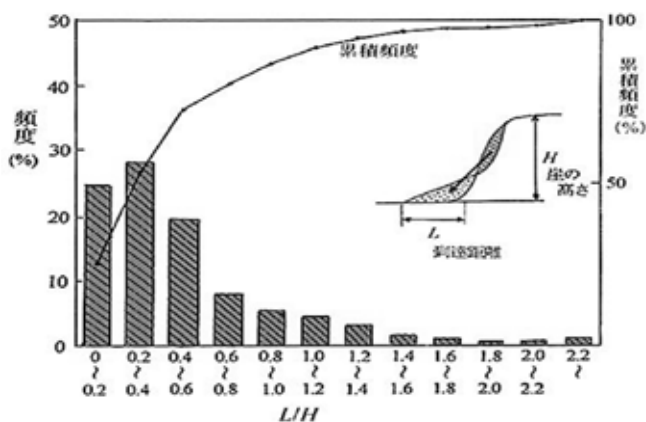


図1 崩壊土砂の崖高に対する到達距離

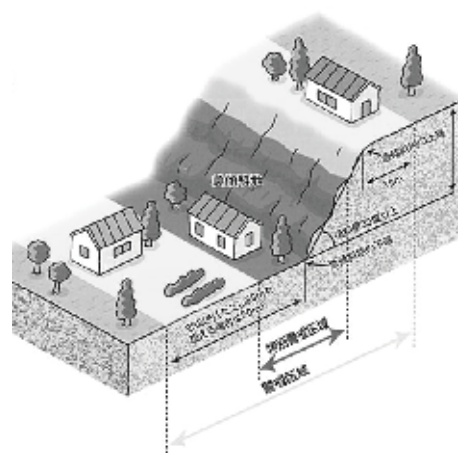


図2 急傾斜地における特別警戒区域と警戒区域

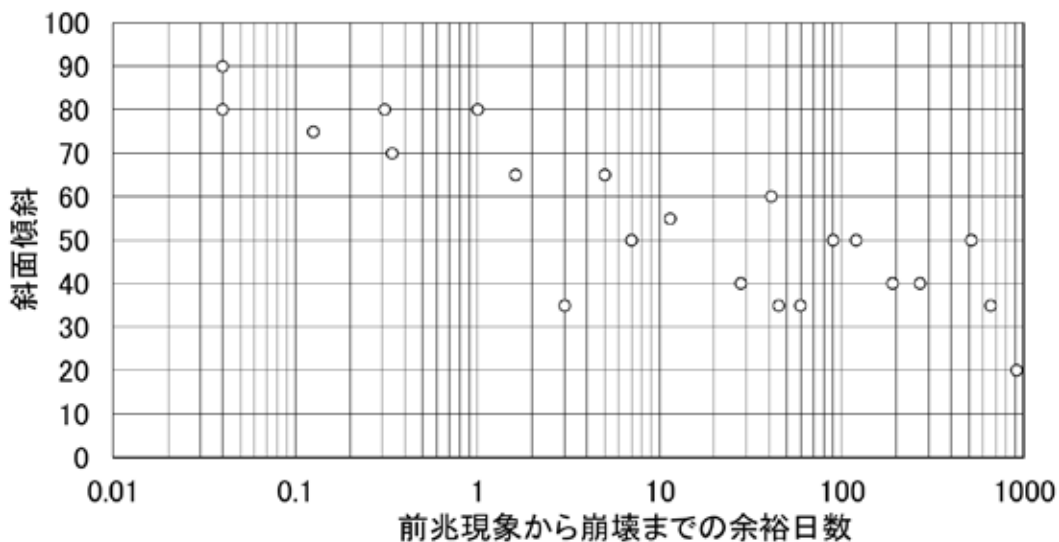


図3 前兆現象から崩壊までの余裕日数と斜面傾斜の関係

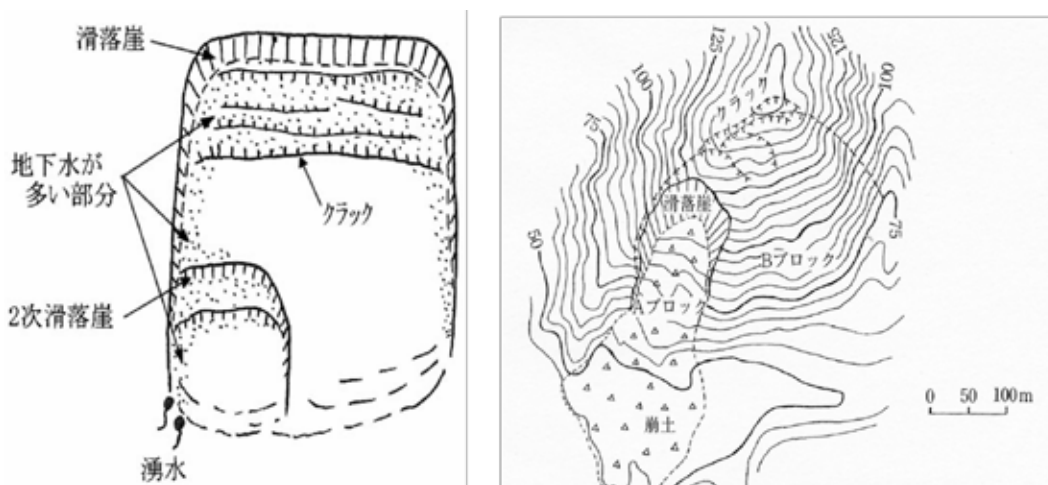


図4 不安定斜面の末端側部は頂部の引張り亀裂から流入した地下水の水圧で崩壊しやすい (左図：模式図 右図：実例)

表1 崩壊事例の諸元(1)

(* : 現地調査)

No.	崩壊名称 位置	年月日 時刻	崩壊 土量 千 m ³	崩壊 箇所 勾配	地質名	前 兆		引用 文献 No.
						現 象	余裕 時間	
1	眉山 長崎県島原市	1792.5.2	216000	35°	石英安山岩	4月頃、地震があり島原城下の井戸で水位の上昇や枯渇、お湯が湧き出る	1.5か月	(1) (2)
2	高磯山 徳島県那賀町	1892.7.25	4000	35°	四万十帯 頁岩	崩壊3日前から付近の湧水が白濁	3日	(3)
3	土讃線土佐岩原・豊 永間 高知県大豊町	1962.2.20	60	50°*	三波川帯 結晶片岩	2月13日に脚部で600m ³ の崩壊 2月17日に脚部で200m ³ の崩壊	7日	(4)
4	東北本線浅虫 青森県青森市	1966.7.27	100	40°	流紋岩質凝灰岩	6月29日台風で73mmの降雨、斜面に数条の亀裂発生、張コンクリート上部2か所で小崩壊(約80m ³)発生 7月4日法面で30m ³ の崩壊	28日	(5) (6)
5	飯山線高場山 新潟県小千谷市	1970.1.22		40°	新第三紀 頁岩砂岩	1969年4月に顕著なトンネル変状、同年8月の豪雨で坑門の変状が急進、坑門上のクラック開口速度17mm/day	9か月	(4) (5) (7)
6	安居山 福井県福井市	1972.12.2	100	35°	新第三紀 凝灰質砂岩・凝灰 岩	10月4日、安居山中腹に延長150m、幅30cmの馬蹄形の亀裂の発生を住民が発見	59日	(5) (8)
7	高德線白鳥・引田間 香川県東かがわ市	1974.7.7	25	35°*	和泉層群 砂岩頁岩	1972年9月の台風20号の降雨の際に擁壁上方の斜面に延長60m、幅50cmの亀裂が発生	22か月	(5) (9)
8	真名川原石山① 福井県大野市	1975.2.18	60	50°	手取層群 砂岩礫岩頁岩	1973年9月22日に吹付け部崩壊(20~30m ³)、以後10月22日~翌年7月26日に合計250m ³ 以上崩壊発生	514日	(10)
9	真名川原石山② 福井県大野市	1975.8.23	94	50°	手取層群 砂岩礫岩頁岩	2月18日の崩壊後、4月にこの崩壊地を取り巻くように延長200m、段差0.3~2.0mの直線状の亀裂を確認	4か月	(10)
10	一の宮町 兵庫県宍粟市	1976.9.13	600	20°	古生代~古第三紀 火成岩ほか	2~3年前に斜面末端の水田が2~3日で10~15cm沈下、半年~1年前から池の水が減少、2~3日前には沢水が減少、前日には沢水が黄色に濁り白い砂が大量に流れる	2年半	(11)
11	国道33号柳谷 久万高原町	1979.7.20	4	50°	秩父帯 砂岩粘板岩	4月に斜面の遷急線より上部の傾斜30°程度のやや緩やかな位置にクラックを確認	3か月	(5) (9) (12)
12	国道305号越前岬 福井県越前町	1989.7.16 15:25	1.5	90°	新第三紀 礫岩砂岩凝灰岩	崩壊当日14:25頃に落石の音を聞く、その後一時間ほどの間に7~8回の落石の音確認	1時間	(13)
13	国道327号小八重 宮崎県美郷町	1990.5.31	56	60°	四万十帯 粘板岩	4月20日、複数の亀裂が吹付け法面に発生、崩壊前には落石や小崩壊が頻発して急増	41日	(14) (15)
14	国道158号猿なぎ 長野県松本市	1991.10.18 7:20	10.5	65°	粘板岩 チャート	10月13日頃からφ3cm程度の落石の発生、17日朝の降雨より落石が頻繁に発生	5日	(14) (16)
15	国道229号豊浜 北海道古平町	1996.2.10 8:00	11.0	80°	安山岩質 水冷破碎岩	崩落の約1時間前、車で通行した人がトンネル内でドーンという音、その後パラパラと石が砕けるような音を聞く 約30分前に通過した人は、坑口約60m手前のトンネル内で、前方に霧がかかったような状態を認め、トンネル天井に雷状のクラックを見る	1時間	(17)
16	国道229号第2白糸T 北海道島牧村	1997.8.28 13:30	3.8	80°	安山岩質 水冷破碎岩	8月26日6:00から落石の発生状況を観測開始、崩壊の1時間20分前から落石の頻度が急激に増加	2日7時間 ~1時間 20分	(18) (19)
17	県道山口徳山線鳴滝 山口市鳴滝	1999.8.27 (時刻不明)	3.3	80°	粗粒雲母花崗岩	6日前に小崩壊、前日に岩盤の「きしむ音」を聞いて測量作業を取りやめ	6日~1日	(20)
18	国道336号えりも 北海道えりも町庶野	2004.1.13 22:25	40.0	65°	ホルンフェルス	1月12日7:30に約400m ³ の崩壊を確認	39時間	(21)

表1 崩壊事例の諸元(2)

(*: 現地調査)

No.	崩壊名称 位置	年月日 時刻	崩壊 土量 千 m ³	崩壊 箇所 勾配	地質名	前 兆		引用 文献 No.
						現 象	余裕 時間	
19	国道 168 号宇井 五條市大塔区宇井	2004.8.10 0:15	200.0	40°	四万十帯 砂岩・泥岩	2004年1月頃、道路沿いの擁壁等の 変状発生	190日	(22)
20	国道 169 号西原 奈良県上北山村	2007.1.30 7:40	1.1	55°	四万十帯 砂岩・泥岩	第1回崩壊1月18日20:50, 100m ³ 第2回崩壊1月21日0:00, 80m ³	9日7時 間40分	(23)
21	国道 140 号大久保 秩父市大滝	2014.7.20 19:30	0.3	70°	石灰岩	7月20日11:15に路線バス運転手 が国道の落石を確認し通報	8時間 15分	(24)
22	国道 473 号原田橋 浜松市天竜区	2015.1.31 17:10	8.0	75°	花崗岩 砂質片麻岩	2日前に吹付けモルタルの剥落発生。3 時間前に落石発生	2日～3 時間	(25)

表1の引用文献

- 1) 高橋博・大八木規夫・大滝俊夫・安江朝光(1986): 斜面災害の予知と防災. 白亜書房, pp.1-10.
- 2) 高橋籠城(1987): 眉山の崩壊. 新砂防, Vol.40, No.2.
- 3) 羽田野誠一(1974): 崩壊性地形(その1). 土と基礎, Vol.22, No.9.
- 4) 山田剛二・渡正 亮・小橋澄治(1971): 斜面崩壊の実態と対策. 山海堂, pp.310-325.
- 5) 斉藤迪孝(1992): 実証土質工学. 技報堂出版, pp.160-170.
- 6) 山田剛二(1967): 浅虫地すべりについて. 応用地質, Vol.8, No.2, pp.77-87.
- 7) 山田剛二・小橋澄治・草野国重(1971): 高場山トンネルの地すべりによる崩壊. 地すべり, Vol.8, No.1, pp.11-24.
- 8) 渡正 亮(1973): 安居山の地すべり運動. 施工技術, Vol.6, No.7, pp.109-112.
- 9) 建設省四国地方整備局(1993): 四国の道路防災について考える.
- 10) 渡正 亮・竹林征三・松田六男(1977): 真名川ダムの原石山切取法面崩壊の特性. 地すべり, Vol.13, No.4, pp.1-10.
- 11) 島通 保(1987): 兵庫県一宮の地すべり. 二次災害の予知と対策, No.2.
- 12) 堀伸三郎・成田 賢・関 信雄(1986): 一般国道33号柳谷地区斜面崩壊の予測. 地質学論集, 第28号, pp.259-272.
- 13) 平野昌繁・諏訪 浩・藤田 崇・奥西一夫・石井孝行(1990): 1989年越前海岸落石災害における岩盤崩落過程の考察. 京都大学防災研究所年報, 第33号B-1.
- 14) 笹原克夫・中村良光(1993): ビデオ画像を利用した岩盤崩壊の運動解析. 土木技術資料, 35-6.
- 15) Suwa.H.(1991): Observed Failure of Rock Slope in Japan. Landslide News, No.5.
- 16) 渡辺正幸・中村良光・笹原克夫(1992): 国道158号猿なぎ洞門の岩盤崩壊について. 土木技術資料, 34-5.
- 17) 豊浜トンネル崩落事故調査委員会(1996): 豊浜トンネル崩落事故調査報告書.
- 18) 山岸宏光・志村一夫(1997): 1997年8月北海道島牧村第二白糸トンネルを破壊した新第三紀ハイアロクラスタイトの岩盤崩落. 地質学雑誌, Vol.103, No.10.
- 19) 三浦均也・西村右敏(1997): 国道229号第2白糸トンネルにおける岩盤崩落. 土と基礎, Vol.45, No.11, pp.33-34.
- 20) 山口県鳴滝地区岩盤崩壊地点における変位とAE測定による不安定岩塊の挙動監視(2002): 土木学会論文集, No722/ III -61, pp.345-355.
- 21) 一般国道336号えりも町斜面崩壊調査委員会(2004): 一般国道336号えりも町斜面崩壊調査報告書.
- 22) 藤澤和範・小原嬢子(2009): 国道168号奈良県五條市大塔町で発生した斜面崩落. 土木技術資料, 51-1, pp.6-7.
- 23) 藤澤和範・小原嬢子(2009): 一般国道169号(上北山村西原地内)で発生した斜面の土砂崩落災害. 土木技術資料, 49-5, pp.4-5.
- 24) 朝日新聞埼玉版2014年8月29日記事.
- 25) <http://www.at-s.com/news/article/social/shizuoka/30953.html>(2016年5月23日確認)

地域レベルで減災を実現する工夫に関する一連の実施例

宮城 豊彦*

キーワード：減災，場所の予測，避難と回避，能力開発，地域レベル

1. はじめに

災害の予測と回避について、「現在(今)を生きて災害を被る地域側からの視点」を設定すると、発災要因のメカニズム解明も大事だが、これまでに分かっている事実とその知識の限界性を踏まえて作る災害回避の処方箋を用意することの方が現実的ではないか。この観点から、発表者が地域と議論を重ね試行錯誤し、経験している避難マップ作りや地域の仕組みづくりについての紹介を行いたい。

2. 災害の予測を再確認

地域での「災害の予知・予測」を端的に記載すると、古くから言われている災害予測の3要素を再認識して、それぞれの要素が持つ地域にとっての使い勝手を位置付けておくことが求められる。災害科学の専門家の方々がしばしば登場して講演会が開催される。「地震発生メカニズムはここまで判っている！」的なものも多い。それは研究者としては当然だ。「科学者は発災した後で、この災害はこうして引き起こされた！」という極めて明晰な説明をして見せる。その度に、「では私達はどんな対策を考えればよいか？」と質問を立てると、途端に10年一日のように繰り返されてきた原則論的な言葉が返ってくる。もどかしいのである。どうも、何かネジレがある。

災害の発生予測は、第1に場所性の予測(Site Prediction)、第2に発生時期の予測(Time Prediction)、第3に災害規模の予測(Size Prediction)の3段階がある。このうち、第2、第3は、これまで常に災害科学研究の最前線にあり、予知や実験・シミュレーション科学の主要課題である。東日本大震災を経て「防災と減災

との協働が不可欠」という中央防災会議における「パラダイムの転換」がなされた。防災と減災の関係を整理すると、減災では「個々人の判断を伴う場面が発生せざるを得ない」。地域レベルでの減災を構想すれば、第1の場所性の予測「何処に、どんな災害脆弱性があるのか」について、災害回避行動をとる1人1人が知っておくことが必要な時代になった。減災科学という枠組みが設定されるとすれば、災害回避行動を「何時・何処に・どのように」とって危険な場所から安全な場所へ逃れるかが大きな課題となるであろう。

これまでの科学技術の進歩の中で、場所性の予測・把握は、他のTimeやSizeに比して圧倒的に進展していると認識している。地震防災における活断層分布情報、斜面防災では地すべり・崩壊・落石・土石流、切土・盛土・腹付け盛土・軟弱地盤、津波防災での沿岸低地帯での地盤高と津波履歴、枚挙に暇がない。

3. 減災の処方箋の必要性

誤解を恐れず敢えて言えば、地域の構成員にとって最低限必要なことは、防災科学の最先端の知識や、地震発生のメカニズムに関する知識もさることなが

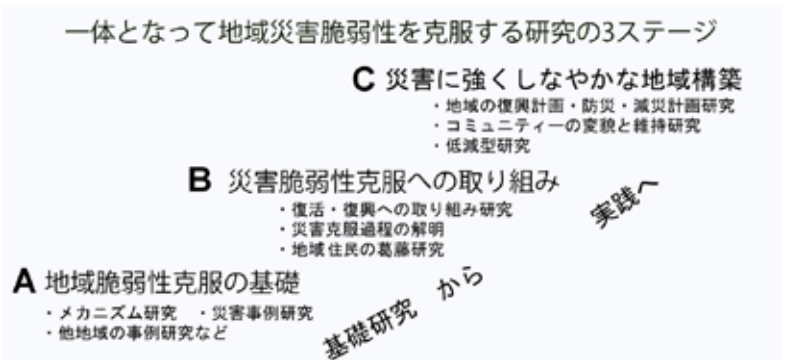


図1 地域の防災と減災を志向する研究の3段階

* 東北学院大学 教養学部地域構想学科

ら、「どのような危険が何処に潜むか」を顕在化させ、それを避ける工夫をするにも「何処にどのように避難するのが良いか?」「それは何故か?」を十二分に考えること、議論すること、実行すること、改善すること、見直すことにある。

「発災時に被災回避はどうしたらよいか」この一点に焦点を当て、明快な達成目標を設定すべきである。対津波なら避難(命をまもる)ことだ。地震動や豪雨による斜面災害回避ならどうかだ。この Site Prediction は、これまでの地盤・地形・地質分野の調査研究の蓄積によって、何処が、何故、どのよう

に危なさそうかはほぼ予測できるようになったと考えている。場所性の予測において、我々は、地域の成り立ちの分析・理解とそのマッピングに長けている。ここで一段の工夫をして、地域住民や学校関係者とともに経験則や原則を具体の地域に適用することは、「減災を目的とするなら可能だ」。地の利や地域の災害特性を時空間的に理解することが土地勘を育むことになり。我らの知識と知恵は減災を達成するために、地域で使うことが、地域から最も求められるものと考えている。

平成28年(2016年)熊本地震の概要

浅野 陽一*

キーワード：平成28年(2016年)熊本地震

2016年4月14日に熊本県熊本地方を震源とするM6.5の地震が発生し、16日にはM7.3の地震が発生した。さらに、これらの地震の後、熊本県阿蘇地方や大分県中部といった離れた場所においても比較的大きな地震が発生し、平成28年(2016年)熊本地震と命名された一連の地震活動による被害は広い範囲にわたる甚大なものとなった。

規模が大きな地震(本震)の後には、それに引き続いて余震とよばれる地震が多数発生することが知られている。余震は本震よりも規模が小さく、本震の震源断層の近くで発生するのが一般的である。しかし、そうした余震ばかりではなく、遠く離れた場所で発生するもの(広義の)余震(誘発地震)もある。平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の発生後には、遠く離れた本州内陸部においても大きな地震が複数発生した。このような誘発地震は、本震の発生による力のバランスの変化(応力変化)によって誘発されたと考えられている。すなわち、応力変化による最後の一押しが既にすべる直前の状態にあった断層のすべりを早めて、地震発生に至るという考え方である。今回の活動においてもこのような誘発があったとみられている。具体的には、まず初めにM6.5の地震が発生し、近接した場所でM7.3の地震を誘発、さらにこれらの地震が熊本県阿蘇地方や大分県中部の地震を誘発したというものである。結果、一連の地震活動域はM7クラスの地震の震源断層よりも明らかに大きく、長さ約150 kmにも達した(図1)。この地震活動域に沿っては、布田川断層帯や日奈久断層帯をはじめとする複数の活断層が分布していることが知られており、それらに沿った地震活動も以前から比較的活発であった。一方で、近年のGNSS観測によると、九州地方北部に対して南部が西なしは南方向に移動する変動が観測されてお

り、その変位速度が急変する場所が上述の地震活動域と対応する。すなわち、断層帯を含む破壊しやすい場所に引張力による変形が集中し、その中で横ずれ断層型や正断層型の一連の地震活動が次々と誘発されたことを示唆している。

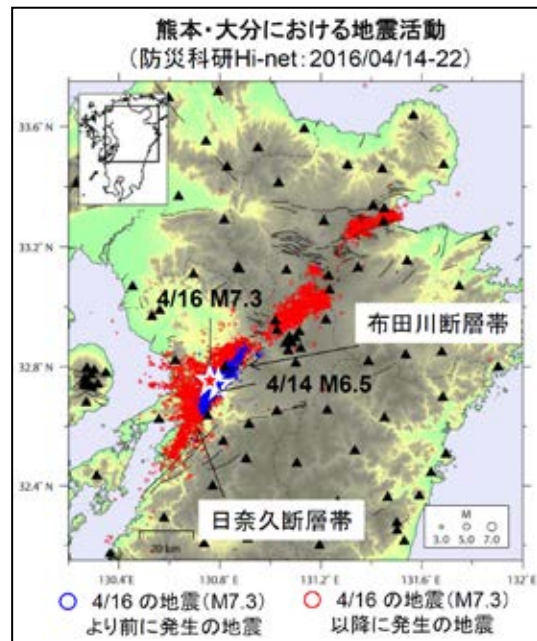


図1 防災科学技術研究所 高感度地震観測網(Hi-net)による震央分布

誘発はM7.3の地震とほぼ同じタイミングでも発生していたことも分かった [Suzuki et al. (2016)]. M7.3の地震時の最大加速度分布を見ると、K-NET湯布院やKiK-net九重を含む大分県で大きな値をとり、標準的な距離減衰式から外れている(図2)。このような特徴は、M7.3の地震の約30秒後に、湯布院付近でM5.5程度の地震が起きたと考えると説明可能である。このような誘発にも留意して、M7.3の地震そのものによる揺れを説明するような震源過程(断層すべりの時空間発展)の推定を行った [Kubo

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター

et al. (2016)]. その結果、震源断層は地震発生(破壊の開始)のおおよそ4から16秒後に大きくすべり、震央の北東約10から30 kmに位置する領域でトータルの地震時すべりが大きかったことが明らかになった(図3)。この領域は地表地震断層が出現した範囲と概ね対応しており、地殻浅部における大きな断層すべりの一部が地表に露出した解釈できる。

注) 本稿では「平成28年(2016年)熊本地震」報告会(平成28年7月)における著者および鈴木亘氏の講演の一部をご紹介します。

参考文献

- 1) Hisahiko Kubo, Wataru Suzuki, Shin Aoi and Haruko Sekiguchi (2016): Source rupture processes of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquakes estimated from strong-motion waveforms, Earth, Planets and Space, 68:161, doi:10.1186/s40623-016-0536-8.
- 2) Wataru Suzuki, Shin Aoi, Takashi Kunugi, Hisahiko Kubo, Nobuyuki Morikawa, Hiromitsu Nakamura, Takeshi Kimura, and Hiroyuki Fujiwara (2016): Strong motions observed by K-NET and KiK-net during the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Earth, Planets and Space, in revision.

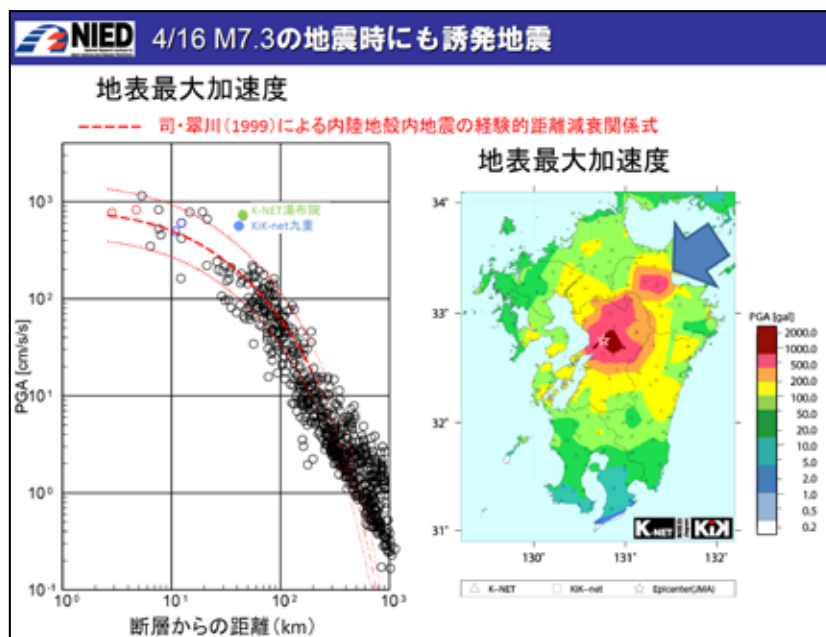


図2 M7.3の地震時の最大加速度の分布(左:震央距離分布, 右:空間分布)

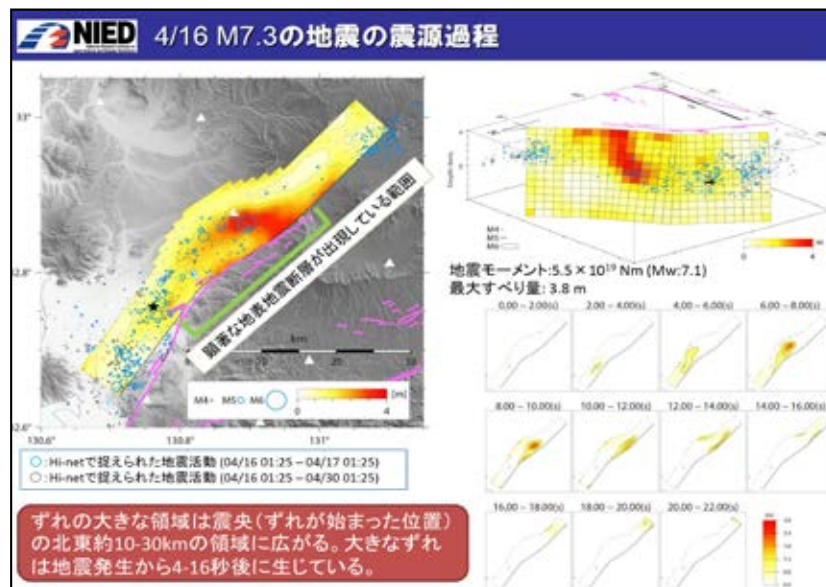


図3 M7.3の地震の震源過程(左:トータルの地震時すべりの空間分布, 右上:地震時すべりの俯瞰図, 右下:それぞれの時間帯における地震時すべり)

干渉 SAR が捉えた小さな地表変位 – 熊本地震を例に –

中埜貴元*・藤原 智*・森下 遊*・小林知勝*

キーワード：平成 28 年熊本地震，干渉 SAR，地表変位，地表地震断層，斜面変動

1. はじめに

平成 28 年 (2016 年) 熊本地震では，熊本市から阿蘇市にかけての広域で地殻変動が生じ，JAXA の ALOS-2 データを用いた SAR 干渉解析によりその全容が明瞭に捉えられた．この SAR 干渉画像においては，広域の地殻変動のほかに，変位量の小さな地表変位を示す位相変化が多数確認された (Fujiwara *et al.*, 2016)．これらの位相変化には，地震に伴い出現した地表地震断層のようにテクトニックな応力場によって発生する断層運動によるもののほか，地震動により発生する地すべり性変動やクリープ，液状化に伴う沈下や側方流動といったノンテクトニックな地表変位も含まれていた．本稿では，干渉 SAR が捉えたこれらの地表変位の事例の一部を，現地調査結果等を踏まえて報告する．

2. 干渉 SAR が捉えた地表変位群

SAR 干渉画像から判読・抽出した地表変位群を 図 1 に示す．線状の地表変位群は，いくつかの地域に分けることができ，特に熊本市水前寺公園周辺や阿蘇外輪山北西部でみられる線状地表変位は顕著である．水前寺公園周辺では，概ね北西－南東方向に伸びる地表変位が確認でき，森下ほか (2016) による SAR データを用いた 3 次元変位量解析では，最大約 10 cm の上下変位オフセットが確認された (図 2)．この上下変位量と周辺のボーリングデータとを併用した検討から，これらの地表変位は北東－南西方向の軸をもつ伸長場における正断層運動によって生じたグラーベン・ハーフグラーベン構造であることが示唆された (中埜ほか，2016)．阿蘇外輪山北西部では，概ね西北西－東南東方向に伸びる地表変位が多数確認でき，3 次元変位量解析により 20～30 cm 程度の上下変位オフセットを伴う，水前寺公園周辺と

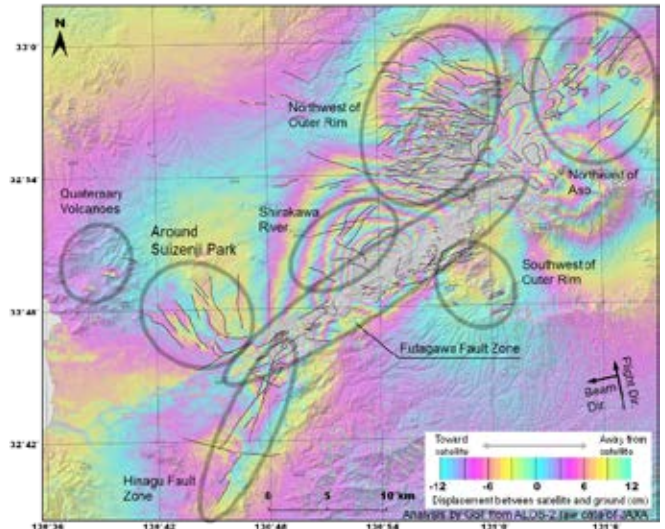


図 1 SAR 干渉画像 (2016/04/15-2016/04/29) 上に示した地表変位群 (黒実線) とノンテクトニック変位領域 (黒点線領域) (Fujiwara *et al.* (2016) より引用・加筆)

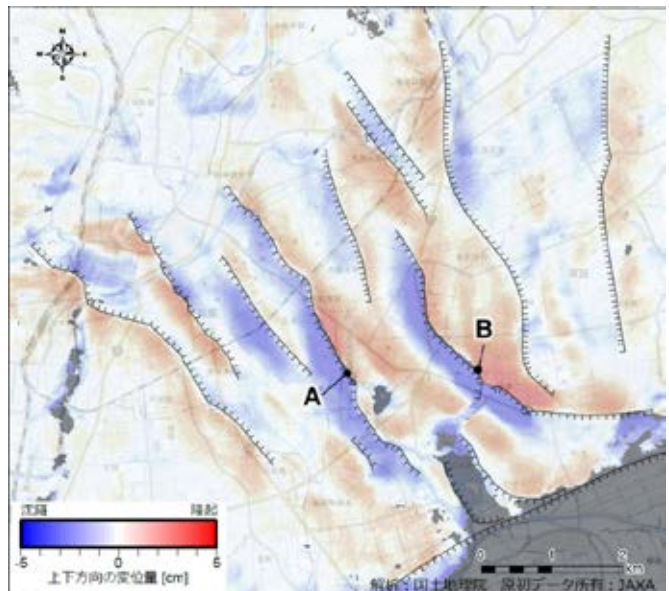


図 2 水前寺公園周辺の SAR データを用いた 3 次元変位量解析による上下変位量図 (森下ほか (2016) より引用・加筆)

* 国土地理院

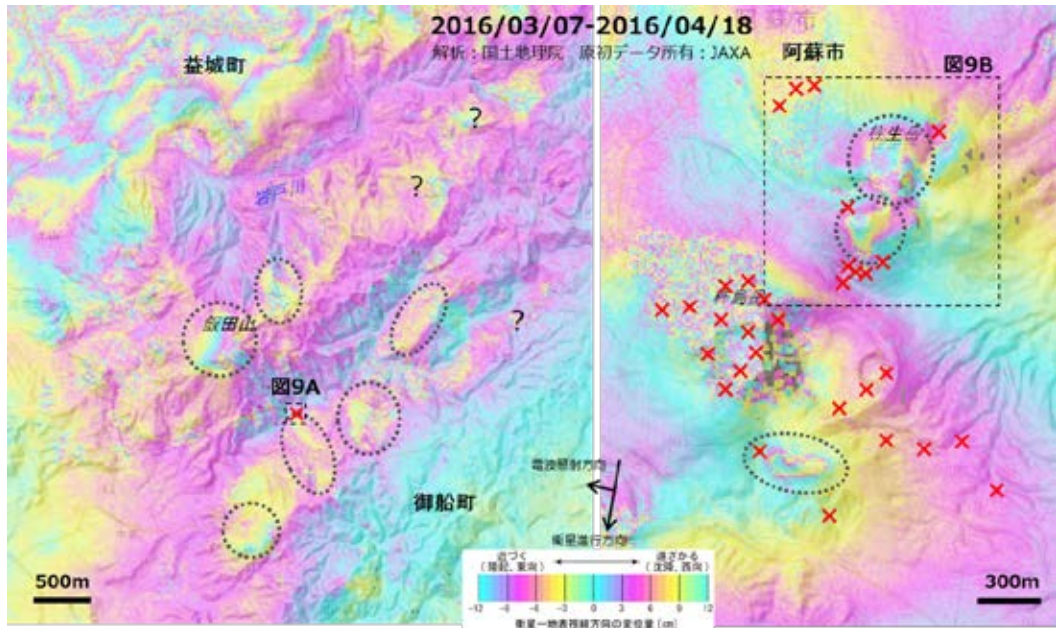


図3 干渉 SAR で捉えた自然斜面の微小変動(黒点線楕円箇所). 赤×印は2016年6月豪雨後に発生したと推定される土砂崩壊地点(国土地理院応用地理部災害対策班(2016)による).

同様のグラーベン・ハーフグラーベン構造が検出された。これらの特徴の詳細については, Fujiwara *et al.* (2016) を参照されたい。

また, 阿蘇山北部の阿蘇谷でみられる同心円状の干渉縞を呈する局所的な地表変位も特徴的である(図1)。この地表変位を対象とした3次元変位量解析では, 上下変位をほとんど伴わず北西方向へ数 m 水平変位したことが確認されている(森下ほか, 2016)。

このほか, 阿蘇山西側の杵島岳や往生岳, 益城町と御船町の境界に位置する飯田山周辺の自然斜面において, 地震に伴う微小な斜面変動を捉えたと考えられる位相変化が確認できた(図3)の黒点線楕円箇所)。さらに, 熊本市内の宅地盛土造成地においても, 地殻変動とは異なるノンテクトニックな地盤変動を示す位相変化がいくつかの地点で確認できた(図4)。これらの地点は宅地盛土造成地に該当するため, 地震に伴って盛土部が変動したことを示していると考えられる。

3. 現地調査や各種情報による地表変位状況の確認

図1に示した地表変位領域のうち, 日奈久断層帯周辺, 熊本市北西部の第四紀火山地域, 水前寺公園周辺, 阿蘇外輪山北西部でみられた線状地表変位や熊本市内の宅地盛土造成地でみられた地盤変動, 阿蘇谷のノンテクトニック変位等の地点において現地

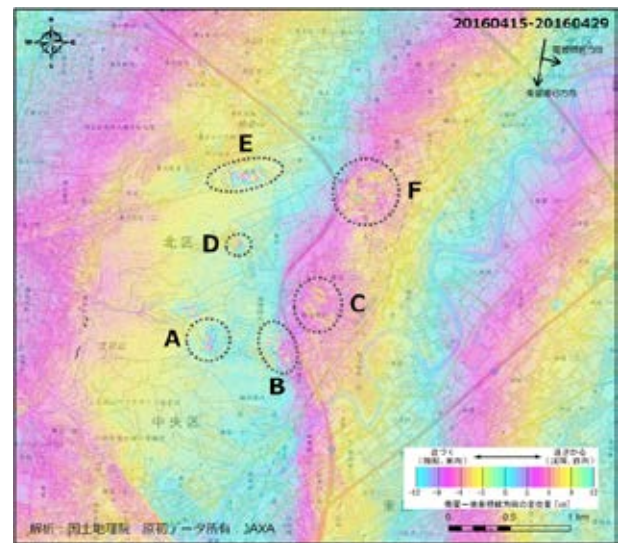


図4 干渉 SAR で捉えた宅地盛土の微小変動

調査を実施し, 変位の状況を確認・計測した。線状地表変位箇所においては, 調査したほぼすべての地点で数~数十 cm レベルの開口亀裂や上下変位を確認し, 上下変位方向も干渉 SAR の結果と調和的であった。本稿では, 水前寺公園周辺, 熊本市内の宅地盛土造成地での現地調査結果を報告すると共に, 自然斜面での微小変動とその後の2016年6月豪雨による崩壊地との関係について報告する。それ以外の調査結果については, 藤原ほか(2016)や Nakano *et al.* (2016) を参照されたい。

3.1 水前寺公園周辺

水前寺公園周辺では、2016年5月10日に図2の地点A(水前寺公園西側)、地点B(健軍神社西側)において現地調査を実施した。その結果、地点Aでは線状地表変位を横切るアスファルト道路等において、線状地表変位と調和的な走向(N20°W～N40°W)の開口亀裂(開口幅5～10mm)が複数地点で確認された(図5)。この地点では3次元変位量解析により、約7cmの上下変位オフセットが検出されていたが、現地では上下変位は確認できなかった。地点Bでは、線状地表変位の位置からややずれた場所ではあったが、走向N30°Wの線上の複数地点で、5mm程度の上下変位(南西落ち)を伴う開口亀裂(開口幅5～10mm)が確認できた(図6)。

3.2 熊本市内宅地盛土造成地

宅地造成地での調査は図4のA地点1箇所に限ったが、道路の開口亀裂や擁壁のはらみ出しなどが確認され(図7)、同様の位相変化が現れている地点B～Fにおいても同様の盛土の変形が生じたと推定される。1978年頃の旧版地形図を見ると、これらの地点はいずれも谷埋め盛土造成地または平坦地盛土地であることが分かる(図8)。盛土の大きさは大きいものでも250m四方程度、小さいものは100m四方程度である。このような地震に伴う宅地盛土の変動は過去の地震でも多数発生しているが、干渉SARにより検出できた事例は今回が初めてと思われる。これは、ALOS-2の高分解能化が大きく寄与していると考えられる。

3.3 自然斜面の微小変動とその後の豪雨による崩壊地との関係

図3で示したように、いくつかの自然斜面で微小変動が確認されたが、これは斜面が地震によりわずかに変動したものの、崩壊までは至っていないことを示している。これらの地点では現地調査が実施できておらず、現地での地表変形は確認できていないが、今後の豪雨や余震による崩壊リスクが高い場所であると考えられる。熊本地震の被災地域では2016年6月の豪雨に伴い、多数の斜面崩壊が発生した(国土地理院応用地理部災害対策班, 2016など)。そこで、干渉SARで検出された微小な斜面変動域と国土地理院応用地理部災害対策班(2016)による2016年6月の豪雨に伴う土砂崩壊地分布とを比較し、地震に伴う微小変動斜面が崩壊に至った地点があるかどうか



図5 水前寺公園西側(図2地点A)の開口亀裂



図6 健軍神社西側(図2地点B)の上下変位を伴う開口亀裂



図7 熊本市の宅地盛土(図4地点A)の地表変形



図8 熊本市の宅地盛土周辺の旧版地形図。(左)現在の地形図、(右)1978年頃の地形図。図中のA～Fは図4のA～Fに対応

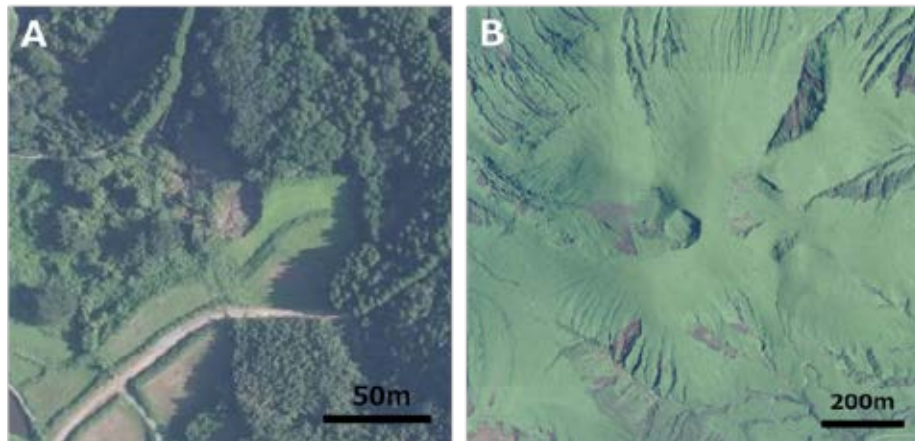


図9 2016年7月撮影の空中写真(国土地理院撮影)。(左)図3左図中に示した地点、(右)図3右図中に示した範囲。

かを検討した。

図3において赤×印で示した地点が2016年6月豪雨に伴うと推定される土砂崩壊地点であり、微小斜面変動域の近辺で崩壊が発生しているが(図9)、表層崩壊が主体であり、微小斜面変動域全体が崩壊に至った事例は、図で示した地域以外も含めて確認されなかった。

4. まとめ

干渉 SAR 技術により、熊本地震に伴うテクトニック及びノンテクトニックな地表変位を多数検出することができ、いくつかの地点では現地において調和的な地表変位を確認した。水前寺公園周辺や阿蘇外輪山北西部においては、伸長場におけるグラーベン・ハーフグラーベン構造が生じていることが示され、これらの地表変位の分布や特徴は、この地域の地震活動や応力場の理解に重要な情報となる。また、従来の地震でも検出されていた微小な斜面変動に加えて、宅地盛土造成地の変動も捉えられ、早期の被害把握や地震後の高リスク域の抽出にも貢献できると考えられる。

謝辞

本研究で使用した ALOS-2 データの所有権は、JAXA にあります。これらのデータは、国土地理院と JAXA の間の協定および地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動に基づいて、JAXA から提供されたものです。

参考文献

- 1) Fujiwara *et al.* (2016): Groups of surface faults with small displacement of the 2016 Kumamoto earthquake sequence detected by ALOS-2 SAR interferometry, *Earth, Planets and Space*, **68**(1), 1-17.
- 2) 藤原ほか(2016)：だいち2号干渉 SAR による熊本地震で生じた小変位の地表断層群の抽出。国土地理院時報, 128 集(小特集：熊本地震への対応)。
- 3) 国土地理院応用地理部災害対策班(2016)：熊本地震に関する応用地理部の対応。国土地理院時報, 128 集(小特集：熊本地震への対応)。
- 4) 森下ほか(2016)：ALOS-2 による 2016 年熊本地震に伴う様々な地表変動の詳細な計測。日本地震学会 2016 年度秋季大会講演予稿集, S21-P33.
- 5) 中埜ほか(2016)：SAR 干渉解析による平成 28 年(2016 年)熊本地震に伴う熊本市内の地表変位と地下構造との関係。日本活断層学会 2016 年秋季学術大会講演予稿集, O-8, 34-35.
- 6) Nakano *et al.* (2016): Field Survey of Non-tectonic Surface Displacements Caused by the 2016 Kumamoto Earthquakes Around Aso Valley, *Bulletin of the GSI*, 64.

活断層近傍の道路斜面防災に関する課題

佐々木靖人*

キーワード：活断層，地震，道路，斜面災害，防災

1. はじめに

2016年熊本地震では活断層近傍の道路において様々な形で基礎や斜面の被災が発生した。そこで本発表では活断層近傍の道路において考えられる配慮事項，防災対策について考察した。

2. 道路施設における活断層への対応の現状

断層変位や地震時の斜面変状への対応を行っている道路施設は橋梁のみである(熊本地震をふまえて事務連絡，表1)。特に切土のり面や自然斜面は，点検や豪雨に対する対策が行われること等から一定の安定性が確保されると考え，通常，耐震設計や断層変位等への対応は行われない。

表1 道路施設の活断層対応(設計指針等による)

道路構造物の種類	地震動対応(L1・L2地震動、液状化)	断層変位対応	強震による斜面変位対応
橋梁	一般に実施	熊本地震を受け、活断層を避けるか設計対応	熊本地震を受け、地震に弱い斜面を避けるか設計対応
山岳トンネル	通常行わないが、場合により地震対策を検討	通常行わないが、場合により地震対策を検討	活断層近傍に特化した対応なし(一般的な斜面对策)
土工構造物	盛土、擁壁、カルバート等で実施。切土では行わない	通常行わない(指針等に記述無し)	活断層近傍に特化した対応なし(一般的な斜面点検・対策)

3. 活断層と道路斜面災害の関係

2016年熊本地震による道路斜面災害は震源断層近傍約10km以内に8割が密集した(法水ほか，2016)。新潟県中越地震，能登半島地震，新潟県中越沖地震，岩手・宮城内陸地震では最も大きな地すべりは震源断層から3.5-9kmの範囲で発生し(野呂ほか，2011)，2011年のいわきでの地震では震源断層から2km，長野県北部地震では断層上盤側で10kmまでの範囲でマスムーブメントが起こった(稲垣，2015)。これらはほぼ震度6弱～6強以上の地域に相当する。一方，道路の全面通行止め規制率は，

新潟県中越地震では震度6弱の領域で0.08(箇所数/総延長距離km)だが，震度6強では0.15-0.24，震度7では0.71(国道)に達する(酒井ほか，2006)。また，同災害における震度6強以上の地域は，震度6弱の地域に比べ30日後の国道通行止め率も高いままである(江川ほか，2005)。これは大規模災害や被災の密集自体が復旧の支障になるためと思われる。以上より，活断層周辺の道路では高い被災率や重篤な被害が想定され，かつこれにより道路復旧も進みにくい領域(概ね震度6強程度以上)がある。これを「活断層近傍」として設定し，道路防災・減災対策において特別な配慮をすることが考えられる。

4. 活断層近傍道路の配慮事項と課題

活断層近傍道路の配慮・対策例，およびその課題として下記が考えられる。

- (1) 活断層近傍に特化した道路施設の地震時危険度点検：地震時を想定した危険度点検・評価を行うものである。課題としては，対象活断層・領域の明確化，地震時斜面安定度評価手法の確立等がある。
- (2) 活断層直上の重要施設を避ける道路計画：活断層部分は復旧の容易でない橋梁等については避け，相対的に復旧のしやすい土工構造物で交差することが考えられる。課題としては避けるべき範囲の設定，地盤変位量の推定等がある。また，既設道路での対応方法も課題である。
- (3) 活断層近傍の優先耐震・耐変位・耐崩落対策：(1)の点検を踏まえ，脆弱箇所に優先対策を行っていくものである。課題としては，特に変位・崩落対応については応用地質学)および土木工学の両面から検討が必要である。また地震動や地盤変位への耐性の高い設計方法の開発も必要で

* 国立研究開発法人 土木研究所

ある。

- (4) リダンダンシーの強化：活断層近傍を交差する道路網について、複数路線の確保・強化を図る。道路に限らず、鉄道・舟運等の他の交通機関も含めて検討する。ただし予算的な課題等がある。
- (5) 活断層近傍道路地域での地震時早期復旧体制：復旧用資材の確保、通行止めを想定した訓練、関係機関や住民との連携体制の強化等（ソフト対応）が考えられる。このためには、「リアル感のある被害想定」が必要である。

- (6) 長期的な地域計画：特にリスクの高い地域は、道路だけでなく公共施設の移転、地域ぐるみの移転等が考えられる。しかしこれは地域・住民等の合意形成など難しい課題を有する。

5. まとめ

活断層近傍道路を設定して防災・減災対策を行う可能性とその技術課題について検討した。予算・行政的な課題、技術的な課題はあるものの、点検やソフト対応から開始することは可能と考えられる。

崩壊地の調査，あなたは安全のため，何に気をつけていますか

新井場公德*

キーワード：斜面崩壊，安全管理，救助活動，遅れ破壊

1. はじめに

2014年8月20日，広島市安佐北区可部東六丁目において，豪雨により土石流が発生した沢で活動中の消防職員が再び発生した土石流に巻き込まれ，救助しようとした住民一名と共に亡くなった．降雨停止約1時間後のことであった．また，同日安佐南区長塚西四丁目では，降雨停止約2時間後（ピークからだと約3時間後）に表層崩壊が発生している．

土砂災害は，繰り返し発生したり，降雨停止や地震の後しばらくして発生することがある．では，初めの土石流や崩壊の後，どの位の時間，何に対して警戒すべきであろうか．搜索救助に従事する者の安全確保のためには，これらの解明が求められる．本稿では，その参考といたく，専門家は災害の調査にあたり，何に気をつけているのだろうか，という問題提起をしたい．施工時の安全性確保については整理されているが，その前の，調査時の安全性はどのように確保されているのであろうか．

2. なぜ注意しなければいけないのか～そもそも論から考えた警戒のポイント～

当初の現象は，地震動，降雨による地下水流動或いは降雨や融雪などによる地下水圧，凍結融解や風化などによる時間進行的な破壊などによって発生するが，本稿では，数が多い降雨および地震動によるものを対象とする．当初の現象後に残された斜面は，発生時の地震動，地下水流動又は地下水圧という外力に対して十分な強度があった（そうでなければ壊れていた）はずである．その斜面が，その後流動するには，当初の外力を上回る外力を受ける，当初の現象後に強度を失う，すでに

当初の現象で破壊条件は満たされており斜面が徐々に滑り出している，のいずれかの機構が働く必要がある．筆者らは，過去の災害事例を基に，斜面が再度崩壊する機構として，下表の通り考えている．

3. いつまで警戒する必要があるのか～考え方くらいはできないか～

いつまで危険かについては，被害を調査する者にとっても現実的な課題である．地盤構造および地下水が不可視であることから，画一的な基準があるとは思えないが，このことが問題になりやすい降雨による崩壊を対象として，考え方を検討することは意味があろう．この場合，崩壊・土石流を予測するのに用いられるスネーク曲線において，半減期1.5時間の実効雨量が縦軸に用いられることを考慮し，我が国の斜面を統計的に見れば，降雨停止後1.5時間後には浅層の水はおおよそ半分減っていることを1つの指標とし，それに対して安全率を考慮することは考えられないだろうか．

4. 代替の手段～前兆と猶予時間～

大規模な地すべりや岩盤崩落においては，亀裂，変形や落石などの前兆が現れる．模型斜面の崩壊実

崩壊を一旦生き残った斜面がその後崩壊する機構		警戒の着眼点
強度が落ちる	吸水膨潤	膨潤性粘土の存在の有無
	スレーキング	スレーキング性の地質の有無
力の向きや大きさが変わる	地下水の斜面下方への流動	時間と共に斜面下方へ（地形的な特徴はあるか）
	地下水の浸透（圧力変動）	地すべり・深層崩壊の要因の有無
	乾燥（サクシオン減）	地表状態（乾燥度合い）
	凍結破砕	地表状態（温度変化）
材料の時間依存	余震・降雨	
	粘土の塑性変形	高塑性粘土の存在の有無，地すべり変動
	人工物の塑性（遅延弾性）変形	アスファルト，鉄骨や樹木の根などの有無

* 消防研究センター

験や加波山における人工崩壊実験など、深さ1 mに満たない崩壊でも前兆変位が崩壊の十分以上前から捉えられており、多くの場合で前兆は現れると理解しても良いのではないか。ただし、小さい現象ほど、前兆は小さく、また、前兆から破局的な移動までの時間は短いと想像される。以上より、大規模な(しかしまれな)崩壊に対しては前兆の把握による危険性管理が、逆に、発生件数が多いが小規模な崩壊に対しては時間による危険性管理が、有利であることを示している、と考えられる。

5. おわりに

現在の知見では完全な安全を達成することは難しいことは論を待たないが、災害直後に人命救助を行いたいという観点から、合理的な警戒の対象、時間などの考え方について、二次的な崩壊についてのデータの蓄積および知見の整理を進めていきたい、ご協力をお願いしたい。

土砂災害予測に関する研究集会ー熊本地震とその周辺ー
2016年12月08日 @防災科研

崩壊地の調査、あなたは安全のため、 何に気をつけていますか

消防研究センター
新井場 公德

本日の内容

熊本地震での土砂災害対応
壊れた斜面が再度壊れる機構と条件
いつ、何に、どう、備えるか

問題意識

- 初めの外力（地震、降水、地下水等）を生き残った斜面が崩れるのはなぜ？
- みなさんは、災害地に入るときに、いつ、何に、どう注意しますか？
- （前兆を見て逃げることはできると思いますか？）

本研究集会では、現状の一例として、熊本地震時の土砂災害現場における安全性評価の事例を初めに紹介し、続いて、筆者らが検討している、一度壊れた斜面が再度崩れる機構とその発現条件についての考察について述べ、最後に、警戒すべき時間、対象、方法についての検討内容を紹介する。斜面崩壊予測に知見や調査経験をお持ちの皆様には、災害現場に入る際、いつ、何に、どう備えているのかを教えて頂ければ幸いある。なお、予稿で提示した「前兆を見て逃げることができるかどうか」という問題提示については、時間の関係から割愛する。

熊本地震による主な土砂災害（人的被害のあったもの）



消防研究センターは、2016年熊本地震後の4月16日から23日に、南阿蘇村内の土砂災害地において、捜索救助活動の安全性確保に関する技術支援を行った。初めに、土砂災害対応の現場の現状を知って頂きたく、高野台および河陽2064における事例を紹介する。

危険性管理事例～熊本地震「高野台」



住宅地高野台をおそった土砂は京都大学火山研究所のある丘陵で発生した幅約150m、滑落崖高さ約10mの崩壊に起因するものであった。崩壊土砂は3方向に流れ、そのうち西向きに流れたものの一部が高野台へ到達した。

高野台 (4/17)



- 大きな懸念無し。亀裂が入った斜面は監視。万一ぼろぼろ落ちたら退避。
- ・表層崩壊。幅約150m、滑落崖高さは約10m。
- ・上部斜面には亀裂多数。等高線方向のほか、等高線に斜行する亀裂も。
- ・崩壊は3方向へ流れている。
- ・西向きへ流れたものの一部が高野台へ。
- ・流動域には、10～12°傾斜の西向きの平滑面（→これが流動に影響）
- ・源頭部や流走部からの地下水の湧き出し、なし。
- ・活動地点の近くから滑落崖。距離約300m。（流速10m/秒で30秒）

4月17日昼に現地へ消防隊とともに入り、調査を行い、安全性を評価した。観察した事項および評価内容は図の通りである。

活動の様子



搜索は当初、元の家屋があった場所を中心に行われた(左上)。住宅の基礎まで確認した後、土砂の流れの方向へ掘削範囲を広げた(右上写真)。右下の写真の通り、長距離流された3軒のうち1軒の屋根は下流で発見されており、そこから家屋の元あった方向へ搜索を進めた。堆積物は火山堆積物で、元の地層構造を保持したままほとんど攪乱されず塊として流れ下っており、要救助者がいるとすれば、堆積土塊と元の地盤の間と考えられることから、堆積土砂を重機で元地盤の数十cm直上まではぎ取り、最後を人力で丁寧に掘削した(左下写真)。21日未明、元地盤と堆積土砂の間から水が湧き出した。流走時に発生した間隙水又は住宅の水道配管から漏れたもののいずれかは不明であったが、いずれにしても掘削面の安全性に影響を与えるものではないと評価した。

万一再崩壊があったときの影響の評価

流下方向	流送長	比高	見かけの摩擦角
河陽 5280 A		不明	
同 B	450m	50m	6.3°
同 C	300m	40m	7.6°
同 滑落崖～サイト	300m	45m	8.5°
河陽 2064	77.3m	18.1m	13.2°

※河陽5280の計測値は4月17、20日の踏査時のGPS (iPhone5) の値による。
 ※河陽2064の計測値はレーザー距離計による。

- ・主に西方向へ流動するとみられる。
- ・水が関与しなければ、見かけの摩擦角として13°程度、水が関与すれば長距離化。
- ・サイトは西への流路を越えて8.5°。流動経路に沿って水が関与した場合には、一部土砂が到達することも。
- ・崩落が発生した場合、300mの距離があるので、その間に住宅地東の道路へ退避する。

火山研の崩壊について、踏査時に滑落崖および流動土砂の先端部の座標を測定し、見かけの摩擦角をもとめた。また、後述する河陽 2064 の崩壊地ではレーザー距離計を用いて求めた。河陽 2064 では地下水はなかったと住民から聞いた。火山堆積物の見かけの摩擦角は、地下水の関与が大きい場合には河陽 5280A の、関与がない場合には河陽 2064 の程度と評価できる。活動地点から滑落崖までの見通し角はこれらの間にあることから、万一再度崩壊した場合に地下水が関与した場合には土砂が到達しうること、ただしかなり角度として低いこと、西向きの平滑な面を利用して主に西向きに流動することが考えられ、到達しても多くはないと評価した。

高野台 (04/22) 危険性評価

発生しうる事象	可能性	影響	軽減策
斜面の再崩壊	小 (余震)	小 (一部到達か)	監視→退避 監視場所：公園 退避先：宅地東道路 目標待避時間30秒
堆積土砂の移動	微小 (堆積域)	中	地震警報器
B、Cの再活動	小	微小	
掘削面の崩落	小 (高強度)	大	監視・地震警報器
アプローチの土石流 (土砂ダム)	微小	中	濁川橋通行注意 (立ち止まらない)

調査結果を基に定性的ではあるが危険性評価を行い、影響の軽減策を提案した。なお、22日に現場へのアプローチで通過する濁川橋の上流に土砂ダムがあることが県災対から消防庁を通じて情報伝達された。きわめて有効な情報共有であったといえる。情報を受け、上空偵察で小規模であることを確認し、さらに地上確認した県職員から詳細な情報提供を電話で頂き、土砂ダム崩壊の危険性は低いと評価したが、念のため濁川橋通過時には注意とすることとした。

河陽2064 (4/19-20)





「トラックの運転手が、『地震の直前に交差点を車が横切った。ひよっとしたら埋まっているかも』」

「直後に水はなかった」



河陽 2064 では、細い尾根の先で崩壊が発生し、車両が埋まっているかもしれない、という情報が住民からもたらされていた。地質はほぼ京大火山研の丘と同じであった。先に述べたとおり、直後にこの場にいた住民から、道路上には水はなかったことを聞き取っている。滑落崖の後背斜面には表土が攪乱された箇所が複数あり、亀裂と判断した。土砂は石垣で作られた宅地に堆積しており、その石垣は亀裂や落石を生じていた。

河陽2064 (4/19-20)

- 4/19 活動の危険性評価
 - がけの一部の再崩壊はおそらくないが、万一あっても活動地点には影響を与えないと見られる。
 - ・表層崩壊（幅約40m、滑落崖高さ2～3m）
 - ・見かけの摩擦角約15°
 - 土砂が堆積している宅地地盤を支持する石垣に変形。重機が接近予定。安定性如何？
 - 地震で生じたとみられる。本震に耐え、その後劣化や変形する地盤ではないため、危険性はごく低い。
 - 念のため、亀裂（0.1mm読み）及び落石の発生有無（マーク）を監視



亀裂の幅の測定（4箇所）
沈下の測定（1測線）
新たな落石

土砂を除去する重機が石垣に接近する計画であったので、その安全性について消防隊より確認を依頼された。念のため、石垣の亀裂の測定（5カ所）および落石を全てマークして増えていないかを間欠的に確認した。

河陽2064危険性評価

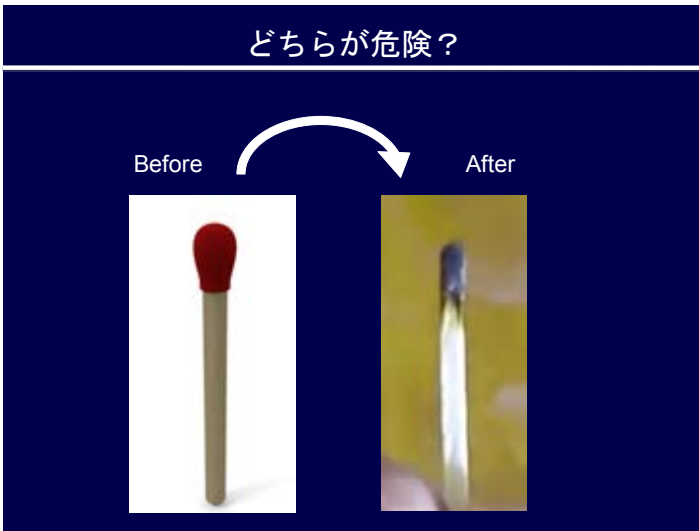
発生しうる事象	可能性	影響	軽減策
斜面の再崩壊	小 (余震)	小 (一部到達か)	監視→退避 監視場所：林道 退避先：道路両側 目標待避時間不設定
堆積土砂の移動	微小 (堆積域)	中	地震警報器
石垣の崩壊	微小	大	亀裂の開口度合い計測 【定規利用0.1mm単位】

河陽2064についてはこのような危険性評価となった。

土砂災害対応に当たり警戒すべき事象

発生しうる事象	可能性に影響を与える因子	影響に影響を与える因子	軽減策の候補
斜面の再崩壊	亀裂の規模 地形 土質 余震 地下水	地形 土質 流域の地下水 距離	活動制限 監視→退避
堆積している土砂の移動	地形 土質 地下水 余震	土砂量 土質 地下水	活動制限 監視→退避 地震警報器等
サイト周辺の掘削箇所の崩壊	地形 土質 余震 地下水	地形 土質 作業状況	活動制限 監視→活動制限 亀裂計・傾斜計等
アプローチの危険	地形 土砂ダム	地形	情報収集 活動制限 (監視→退避)

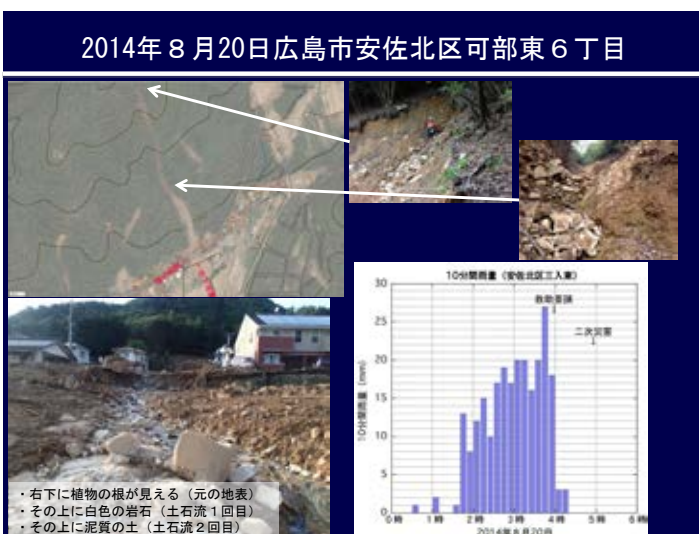
これまで消防研が実施してきた5カ所での技術支援で得た知見および過去の二次災害事例から、土砂災害対応に当たり警戒すべき事象をこのように整理した。



火がつく前のマッチが危険であるか，燃えた後のマッチが危険であるか，どちらを子供に持たせたくないかという，火がつく前のマッチの方が危険であると感じられるのではないかな。



同様に，崩れる前の斜面と崩れた後の斜面ではどちらが危険であると言えるであろうか．崩壊後の斜面は，亀裂も含めて，地震動を生き残った斜面であり，崩れる前よりも，短期的には安全になっているはずである．しかし，過去，土砂災害が短期的に繰り返し発生することがあったことも確かである．



2014年の広島市安佐北区における消防士の殉職事案の発生状況である．土石流で孤立した住民からの救助要請により土石流堆積物上で男児を抱えて移動中の消防隊員が，再度発生した土石流に巻き込まれ，男児共々犠牲になった．土石流は隊員の背後からあふれるようになってきて，その前後で堆積物の高さはそれほど変化していないという証言が得られている．現地状況から，中流で発生した白色の岩塊を中心とする土石流の後に，谷の最上部の城跡で発生した崩壊による泥状の土石流が発生したと考えられる．二次的な土石流は降雨停止後に発生し，初めの土石流から1時間程度の間があった．

一度試験をパスした斜面がなぜ壊れるのか？

崩壊を一旦生き残った斜面がその後崩壊する機構	警戒の着眼点	
強度が落ちる	<ul style="list-style-type: none"> 吸水膨潤 スレーキング 	<ul style="list-style-type: none"> 膨潤性粘土の存在の有無 スレーキング性の地質の有無
力の向きや大きさが変わる	<ul style="list-style-type: none"> 地下水の斜面下方への流動 地下水の浸透(圧力変動) 乾燥(サクション減) 凍結破砕 余震・降雨 	<ul style="list-style-type: none"> 時間と共に斜面下方へ(地形的な特徴はあるか) 地すべり・深層崩壊の要因の有無 地表状態(乾燥度合い) 地表状態(温度変化)
材料の時間依存	<ul style="list-style-type: none"> 粘土の塑性変形 人工物の塑性(弾性)変形 	<ul style="list-style-type: none"> 高塑性粘土の存在の有無、地すべり変動 アスファルト、鉄骨や樹木の根などの有無

※これらで全て？
 ※資源と時間の制約下で、これらをどう評価？

地震や降雨に対して、いったん生き残った斜面が再度崩れる機構としては、斜面の強度がその後低下する、当初の誘因とは力の向きや大きさが変わる現象が発生する、および材料が時間依存性を有しており既に強度的には壊れているが破局的な変位に至る変形途上にある、の3つの機構が考えられる。これらの機構が発現する土質力学的な条件および、その条件を知るために必要な着眼点はこの表の通り考えられる。この表について、斜面崩壊の調査経験がある専門家から見て、不足していることや、改善すべき点などについて指摘をして頂けると幸いです。

工事業・地質調査業向けのマニュアルでは・・・

施工業者のための
斜面崩壊による
労働災害防止ガイドブック

災害例に学ぶ安全管理！

全国地質調査業協会連合会

① 斜面崩壊による労働災害の現状「危険を伴う掘削作業」

労働安全衛生総合研究所が実施した斜面の掘削作業中の崩壊による労働災害131件(1989年～2002年)の統計分析で得られた主な傾向が図られます。

- (1) 掘削途中の災害が約7割を占める
- (2) 法面の勾配1:0.5以上の砂斜面で災害が多発している
- (3) 小規模な崩壊(崩壊土量 40㎥未満)による災害が6割を占める
- (4) 災害発生後3日以内までに崩壊が再発した割合が6割を占める

約63度

掘削作業において、事後的に調査と性格の標準化に基づいた設計が行われるにもかかわらず、崩壊が発生する理由として主として3つの事項があげられます。このため、掘削中の崩壊監視を含めた危険による安全管理が求められます。

- (1) 良好な状態斜面での急り掘削の切土施工では、崩壊の割れ目の傾斜や発達方向により、突れ壁の場合にはクサビ状の破壊、受け壁の場合にはトップリング(転倒崩壊)が発生することがある(写真①)
- (2) 想定外の掘削破砕帯などの脆弱な地質の出現による崩壊の発生(写真②)
- (3) 事前調査で未確認の古い地すべり土塊の掘削による地すべりの再活動(写真③)
- (4) 切土面からの湧水に伴う崩壊の発生(写真④)

工事業者向けに地質調査業協会が作成したガイドブックが参考になる。

工事業向けのマニュアルでは・・・

安全管理レベルチェックシート

土砂法面の主な危険項目	地質法面の主な危険項目
<ul style="list-style-type: none"> ①法面の安定 -はらみ出し、ずれ、亀裂 -崩壊 ②法面の変位性 -隆起 -掘削への阻止介壁 -抜け落ちそうな土石 -パイピング孔の改善 -湧水、しみ出し 	<ul style="list-style-type: none"> ①法面の安定 -ずれ、亀裂 -崩壊 ②法面の変位性 -湧水類 -掘削への阻止介壁 -高低の進行が著しい -湧水、しみ出し -湧水

<共通事項>

- 法面勾配、上部斜面の安定や計測管理による計測結果の異常有無の記録
- 中での観察結果も勘案し異常時の必要措置
- 観察時には亀裂等の大きさ、湧水量、雨量などを記入

「施工業者のための斜面崩壊による労働災害防止ガイドブック」
https://www.zenchiren.or.jp/guide_book/pdf/guide_book.pdf
 全国地質調査業協会連合会

ただし、人的災害が発生した場所においては、チェックリストの評点が大きくなってしまい、現実的ではない。また、再度崩壊する機構との関係が必ずしも明確になっておらず、根拠がわかりにくい項目もある。

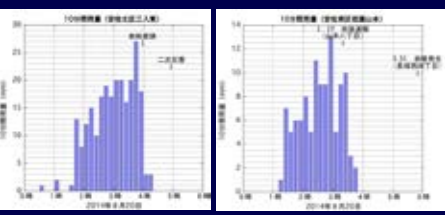
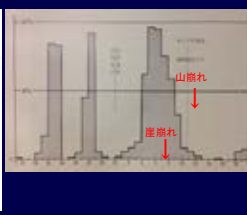
「現場の判断」

- 「土砂災害現場への進入」 「火災家屋への屋内進入」
- 複数人での行動 片手間では無理
 - ・ 監視（周辺警戒）任務の独立
- 全体の把握 「まず、対岸から全体を見なさい」
 - ・ 拡大？ ← 亀裂、樹木の乱れ
 - ・ 地下水？ ← 湧き水、時間
 - ・ 現場進入は必要不可欠？
 - ・ 経路（危険性、容易さ、距離）？
- 行動規範 泥、倒木が移動障害
 - ・ 落石痕跡（頻度）
 - ・ 避難経路（避難時間！）
- 応援要請

※何に、どう、いつまで警戒する？

地下は不可視で危険性の評価の明確な基準がないため、現場の判断に任せがちであるが、現時点で私たちが消防隊員向けにはこのような考え方を伝えている。このときによく聞かれるのは、先の表にまとめた、何に、どう警戒するか、ということの他に、初めの災害後、いつまで警戒が必要か、ということがある。

「いつまで」

(左) 安佐北区可部東六丁目の事例：2回目の土石流は約1時間遅れて流出
 (中) 安佐南区長東西四丁目の事例：降雨が停止して約2時間後に崩壊
 (右) 繁藤災害：当初の崩壊の約4時間後。降雨が弱まって1時間後に崩壊

表層崩壊や土石流の統計的な発生予測に一定の精度を有するスネーク曲線法では、縦軸に半減期1.5時間の実効雨量を用いることが多い。
 ↓
 1.5時間後には地表付近の水はおおよそ半分 → 危険性は十分低い？
 より深い地下水が関与する場合は？ → 地形的特徴や前兆は？

表層で発生する事象については、崩壊予測の統計的な手法で用いられる1.5時間が目安にならないか、ということを考えている。また、繁藤のような深層の崩壊では、地下水が関与することから、地下水の湧き出し状況やその変化に着目して前兆を把握するような手法がとれないかと考えている。昨日の地頭園先生の発表では半減期40日という地下水流出がシラス台地の大規模崩壊に関与しており、その水量や水質変化に着目しているというご発表もあったが、そのような観点も含め、さらに検討を進めたい。

まとめ

- 土砂災害現場への進入は慎重に行う必要
 - 数時間たってから再び現象が起こることも
 - ・ 特に地下水が関与した土砂災害 → 拡大、再発のおそれ
 - ・ 地震による場合、余震・地震後の降雨を警戒
 - 積もったものの再移動
 - 土砂ダム
- 時間・手段の制約下での評価
 - 観察、計測、情報収集
 - 見える範囲での評価
 - 広域・流域評価（地図等）
- 警戒すべき現象の理解
 - 機構・条件と着目点→
 - 情報収集・情報共有

現象	発生メカニズム	警戒の着目点
崩壊が繰り返される	崖崩壊	崩壊性粘土の存在の有無
	スローキング	スローキング地の増長有無
崩壊の発生範囲が広がる	地下水の斜面下方への浸透	斜面下部に浸透下方への浸透の有無(土壌水分)
	地下水の浸透(注水変動)	地すべり・深層崩壊の要因の有無
崩壊の発生頻度が増える	乾燥(サクション減少)	地表面部(乾燥度合い)
	凍結解凍	地表面部(凍結度合い)
崩壊の発生頻度が増える	水害・浸水	地表面部(浸水状況)
	粘土の塑性変形	高塑性粘土の存在の有無、地すべり変動
材料の時間依存性	人工物の塑性(履歴依存性)変動	アスファルト、積雪付帯の凍結による変形

● みなさんは、災害地に入るときに、いつ、何に、どう注意しますか？
 ● (前兆を見て逃げることはできると思いますか？)

斜面崩壊予測を調べたり研究している専門家が、いつなら調査に入れると考えているか、その考え方、入る際には何にどう注意を払っているか、について、忌憚のないご意見を頂ければ幸いです。災害直後の隊員の安全性確保のための検討の参考とさせていただきます。 (araiba@fri.go.jp)

熊本地震後の降雨による土砂災害の危険箇所とその観測対応時の課題

酒井直樹*, 木村 諤*, 上石 勲*, 田中義朗**

熊本県において2016年4月16日に、震度7の揺れを伴った地震(2016年熊本地震)が発生し、特に阿蘇地域においては多くの土砂災害を引き起こした。地震発生後強震が襲ったとされる西原村, 南阿蘇村, 阿蘇市を中心に、土砂災害警戒情報の基準が下げられた。そのため、梅雨期には降雨の度に警報がでて避難を余儀なくされる地域が多く発生した。その最中の6月の梅雨期には、600 mm 超の豪雨が阿蘇地域を中心に発生し、多くの土砂災害が発生し、特に立野地区では大規模な二次災害が発生した。

そこで、熊本県砂防課と相談し、地震後の緊急調査で危険で監視の必要ありとされた渓流を中心に斜面モニタリングによる監視が計画された。西原村1地区, 阿蘇市2地区, 南阿蘇村6地区と計9地区の

監視地域が設定され、杭型の傾斜センサーを1地区10箇所を設置して、1分ごとに傾斜の動きと10分ごとに雨量を計測した。センサーから基地局間の通信は、420 GHz 帯を用いた。基地局には電気回線を引きデータは携帯回線を用いた。データはweb上で監視するとともに、傾斜がしきい値を超えると対象者にメールが飛ぶように設定された。特に西原村のように急傾斜地でも危険渓流でもないが、斜面に多くの段差や陥没があり崩壊の恐れがある斜面においても観測を行い、市や村にも情報を提供した。運用は、7月下旬から始まり、途中台風が3回ほど通り過ぎることがあったが、幸いにも大きな被害は発生しなかった。ここでは、その運用に伴い発生した斜面モニタリング時の課題について報告する。



図1 センサーを設置した9地区



図2 上: センサー設置位置の写真
下: 大峯山(西原村)でのセンサー設置図

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

** 日本工営株式会社

熊本地震後の阿蘇地域における中小河川流域の土砂災害危険度予測の試み

拝崎昌雄*・本島 明*・酒井直樹**

1. はじめに

平成24年の九州北部豪雨災害で熊本県北部の阿蘇市では浸水害、土砂災害により大きな被害が出た。そこで、3年前から市内中小河川流域に対して河川水位予測および土砂災害情報のわかりやすい表示について、阿蘇市、高森町と、富士通、ACSが協力して実証実験を行っている。特に4月熊本地震後は、同地域において土砂災害警戒情報の基準値が下げられ、例年よりも多くの警戒が発令された。しかしこの情報が住民の避難には必ずしも結びつかないことが阿蘇市にとって大きな課題となっている。

そこで、中小河川の流域ごとの河川水位予測情報提供の取り組みとそれらの情報を元にした土石流危険渓流での土砂災害危険度情報としての予測指標の検討を紹介する。

2. 中小河川の河川水位予測と土砂災害

対象領域を10mメッシュ単位に分割し、地表面情報と気象庁の降水予測情報を利用して流出解析を行い、領域内すべての河川、沢での6時間先までの水位予測計算を行った。各渓流27箇所(図1参照)にカメラを設置(図2参照)して水位を24時間モニタリングし、解析結果のキャリブレーションおよび検証を行った。

また対象とする中小河川では、土石流危険渓流とされているところが多く、実際に過去の降雨においても土石流災害が発生している。そこで、流域ごと

の解析結果と過去の崩壊事例を対比して、危険度が高まっていることを示す指標の検討を行った。ここでは、6時間先までの水位予測を利用することで、土砂災害警戒情報発令後の避難情報を後押しする情報としての利用を考えている。

3. 「集落」単位での危険度情報の表示の必要性

特に住民の避難を考えた場合、阿蘇市において避難勧告や指示が発令した後も、避難は進まず、市ではその対策に頭を悩ませている。そこで、中小河川流域ごとに水位予測を行い、集落単位に面的な危険情報として利用できるようにして、市の判断支援となる情報の提供を試みている。これらの危険度情報を河川や流域の下流にあり影響を受ける「集落」ごとに危険度とともに表示する。このことにより「危険な斜面の影響を受ける場所はどこなのか？」の把握が容易になり、市の判断支援を行うことが可能になる。

4. まとめ

各中小河川における水位モニタリングと流域の流出解析を組み合わせることにより、従来よりも細かな集落単位での危険度情報を提供することが可能となり、避難への判断支援の情報としての活用が期待できる。今後も、阿蘇市において実証実験を続けていく予定である。



図1 中小河川流域ごとに設置した簡易水位計



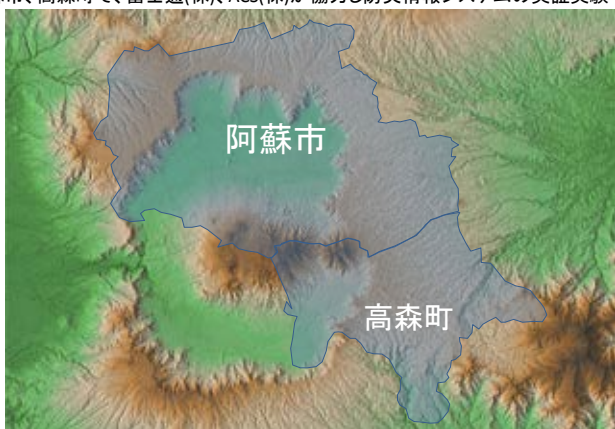
図2 簡易水位モニタリングシステム概観

* エー・シー・エス株式会社

** 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

熊本県 阿蘇地域の特徴

- 阿蘇五岳を中心とするカルデラ内の平坦地と、傾斜地の多い外輪地域が特徴的。
- 阿蘇市、高森町で、富士通(株)、ACS(株)が協力し防災情報システムの実証実験中。



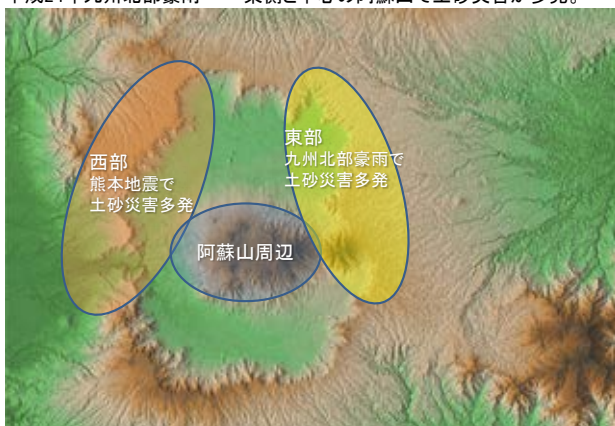
3

阿蘇地域は中央の阿蘇山を中心とするカルデラ内の平坦地と、傾斜地の多い外輪地域が特徴的。

現在、北側の阿蘇市、南東側の高森町と一緒に富士通、ACSが協力して、防災情報システムの実証実験を行っている。

阿蘇地域と土砂災害

- 平成28年熊本地震 …… 西側と中心の阿蘇山で土砂災害が多発
- 平成24年九州北部豪雨 …… 東側と中心の阿蘇山で土砂災害が多発。



4

阿蘇地域ではこれまでに土砂災害が数多く発生。

今年の熊本地震では中央の阿蘇山周辺と西側で、平成24年の九州北部豪雨では阿蘇山周辺と東側で、それぞれ土砂災害が多発。

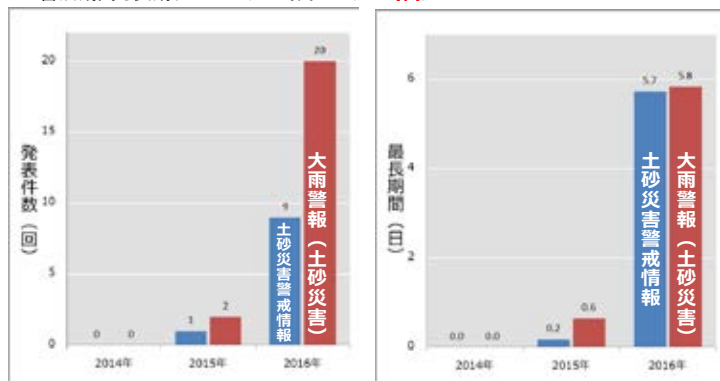
阿蘇地域は土砂災害が以前から多く、人的被害を減らすための情報が求められている。

急増した土砂災害警戒情報

地震後、土砂災害警戒情報、大雨警報(土砂災害)の基準が引き下げに。

阿蘇市の土砂災害警戒情報を2015年と2016年で比較すると、

- 発表件数が急増 (1回 → **9回**)
- 警戒期間も長期化 (4時間 → **5日17時間**)



6

自治体の利用する土砂災害に関する情報は、大雨警報(土砂災害)、土砂災害警戒情報など。

今年は、これらの情報の発表回数が非常に多くなった。熊本地震の影響で判定の基準値が引き下げられ、通常の7割の暫定基準が適用されているため。

発表回数ではおよそ10倍になり、発表された際の警戒期間も最長で5日間以上と長期になり、自治体、住民の負担が大きかった。

難しい「避難情報のタイミング」

- 土砂災害警戒情報は多くの自治体で避難勧告等のトリガーのひとつ
- 今年の阿蘇市での土砂災害警戒情報9件中5件は午前1時～5時の間
→「明るい時間帯」「住民が眠る前の時間帯」に避難情報を出すのは難しい



7

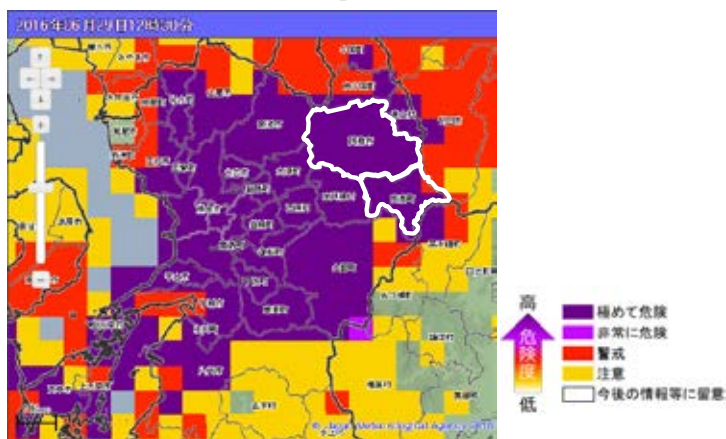
土砂災害警戒情報は多くの自治体で避難勧告等のトリガーのひとつ。

今年の阿蘇市での土砂災害警戒情報の発表状況を見ると、半数以上が夜間になっている。(スライドで赤で書いているものが夜間に発表されたもの)

この情報をトリガーとすると「明るい時間帯」「住民が眠る前の時間帯」に避難情報を出すのが難しい。

「さらなる危険度を知らせる情報」への要望

- 防災担当者「避難の判断が難しい」「さらなる危険度を知らせる情報」が欲しい



8

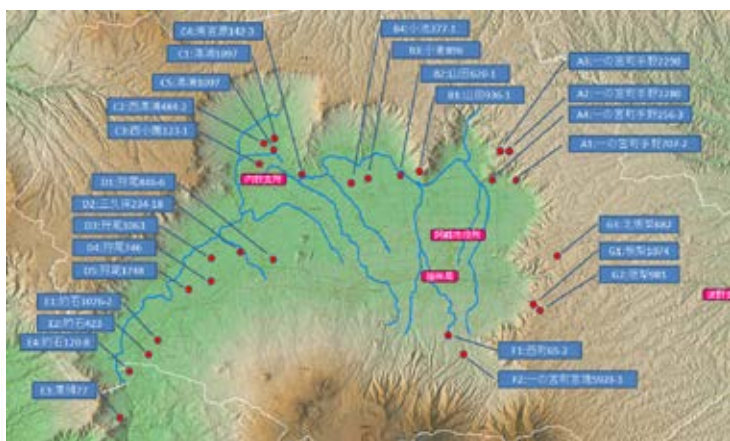
防災担当者からは「避難の判断が難しくなっている」という声が出ている。

たとえば、今年の6月29日の土砂災害警戒判定メッシュ情報では、阿蘇市、高森町だけでなく熊本県内の多くが「極めて危険」(濃い紫)になっている。

この状況下で「特に危険なのはどこなのか?さらなる危険を知らせる情報が欲しい」という声が出ている。

河川氾濫、土砂災害予測のための水位観測

- 仮設水位計を約30ヶ所に設置して観測(中小河川、土石流危険渓流)



10

実証実験では、河川氾濫、そして土砂災害の危険度を予測するために河川水位の観測を行った。

中小河川、特に土石流危険渓流の水位は、氾濫の危険性に加えて、そこで発生する土砂災害を察知するために重要。

しかし、国や県の水位計は一級河川などの大きな河川にしかついていないため、主要な流域の約30カ所に仮設の水位計、雨量計を設置して観測を行った。

仮設水位計・雨量計 外観



仮設水位計，雨量計は非常にシンプル
なつくりで，設置も短時間でできる。

手前のポールの上についているのが雨量計。

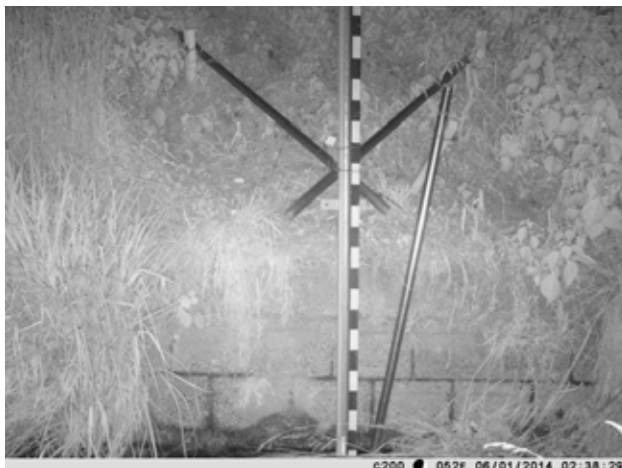
水位計は，河の向こう岸の水位目盛りと，手前のボックス内のカメラで構成されており，5分ごとに画像を撮影。

仮設水位計 撮影画像(昼)



仮設水位計の撮影画像(昼)。

仮設水位計 撮影画像(夜)

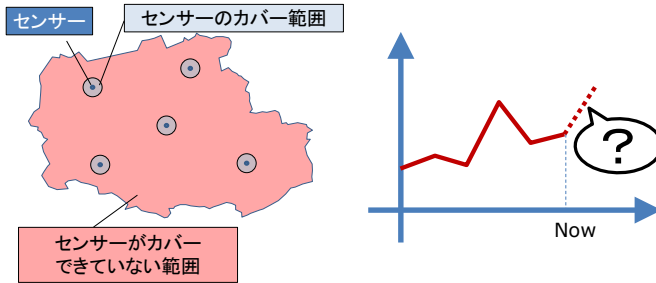


仮設水位計の撮影画像(夜)。

赤外線を使って撮影を行っている。

センサーで全てはカバーできない

- ・ 観測で得られるのは点の情報。全域をカバーするのは現実的ではない。
- ・ 観測では現状は捉えられるが未来の危険度を知るには知識や経験が必要。



⇒ 警戒対象を面的に広げるために計算を活用

17

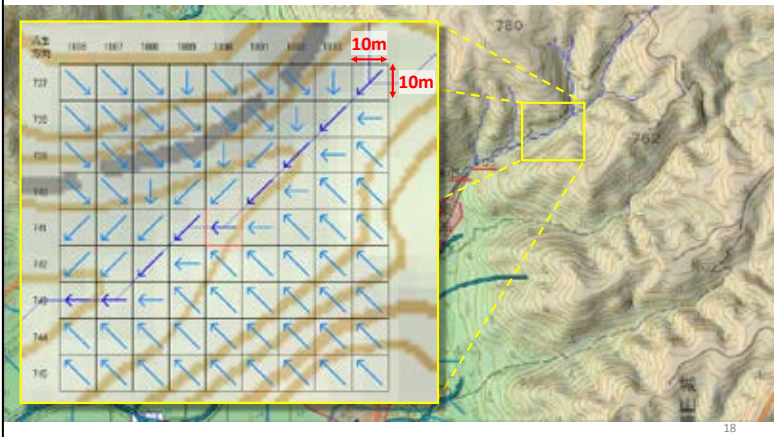
このような方法で多地点の観測を行っているが、それでも危険な箇所すべてをカバーするのは現実的ではない。

また、観測では現状は的確に捉えられるが、未来の危険度を知るには知識や経験が必要。

これらの問題に対応し、警戒対象を広げるために計算を活用している。

危険度をいち早く捉える試み ①中小河川水位予測

- ・ 地形を10m四方のメッシュに区切り、各メッシュの水の流れる方向を計算。



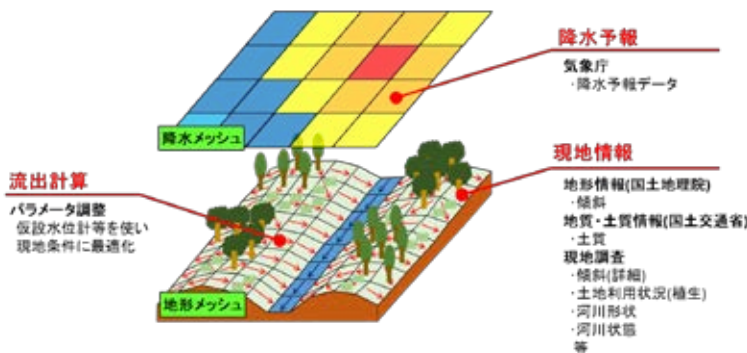
18

中小河川水位予測の計算内容。

地形を10m四方のメッシュに区切り、各メッシュの水の流れる方向を計算。

危険度をいち早く捉える試み ①中小河川水位予測

- ・ 降水情報には気象庁の情報を使用。
- ・ 植生など現地の情報を加味し、各メッシュの水の流れを計算で再現し水位を予測。



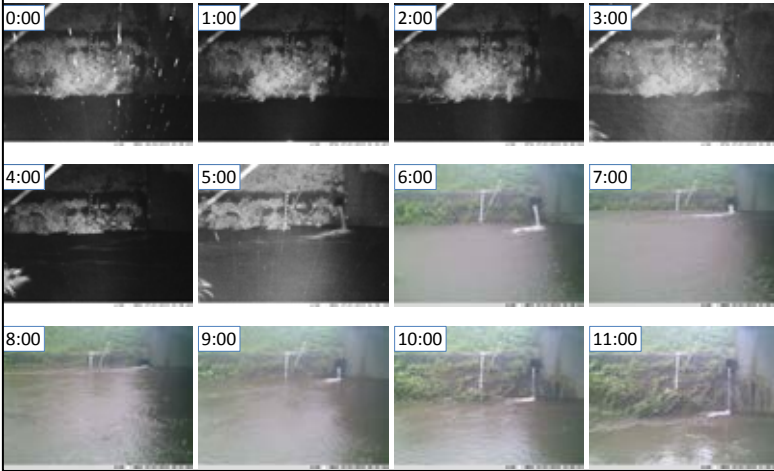
19

降水情報には気象庁の情報を使用。

そこに現地で調査した植生などの情報を加味し、各メッシュをどのように水が流れていくのかを計算で再現し、水位を予測する。

実測に基づいたキャリブレーション

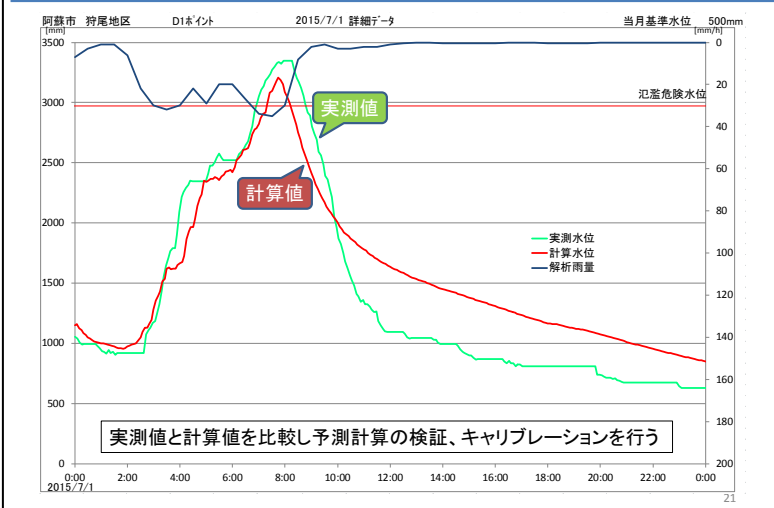
• 取得画像の例 (2015年7月1日0:00~11:00)



計算結果は仮設水位計を使い、キャリブレーションを行っている。

この例では午前2時ごろから水位が上昇し、8時ごろにピークを迎え、その後一気に水位が下がっている。

実測に基づいたキャリブレーション

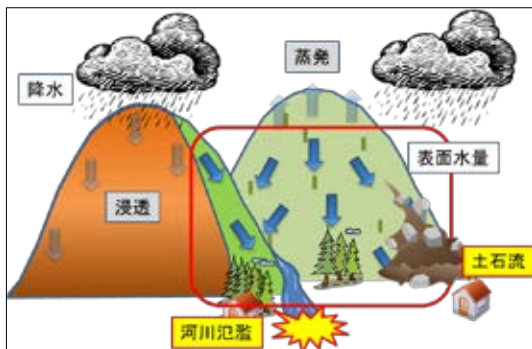


この水位の実際の変化をプロットしたものがグラフの緑線。計算で求めた水位は赤線。

このようにしてそれぞれの値の変化を調べることで、水位予測計算の検証、キャリブレーションを行い、精度を高めている。

危険度をいち早く捉える試み ②表面水量

- 土砂災害を捉えるために、河川水位だけでなく別の指標にも着目。
- 表面水量=山の斜面の降水量から蒸発・浸透を除いた、地表面に存在する水量
→ 河川の氾濫や土石流を引き起こす可能性をいち早く捉えられる。

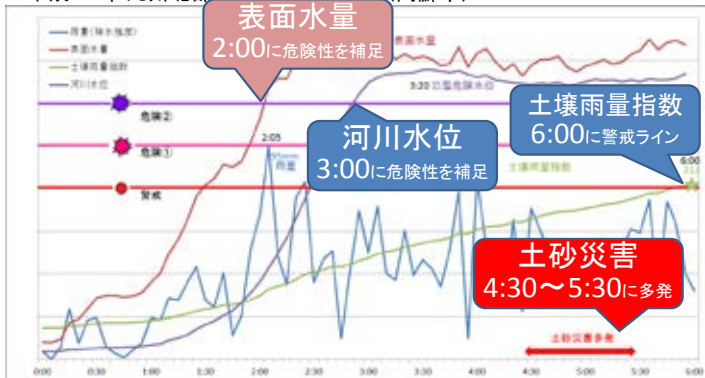


現在、さらに的確に危険を捉えるための方法はないか、と検討し、「表面水量」という新しい指標での評価を試みている。

「表面水量」は簡単に説明すると降った雨から浸透、蒸発分を除き、現在斜面に存在している水分量を計算で求めたもの。

適切なタイミングでの情報提供

平成24年 九州北部豪雨災害時の手野(阿蘇市)



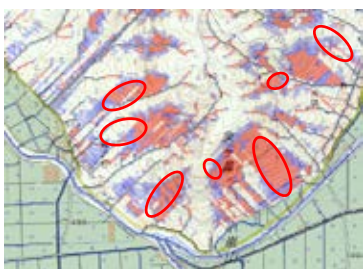
・表面水量により、これまでよりも早く危険を捉えられた例

23

この事例では土砂災害が5:00 ごろに多発したのに対して、土壌雨量指数では6:00に警戒ラインを越え、河川水位では3:00に危険性を捕捉、表面水量では2:00に危険性を捕捉、となっている。

表面水量により、これまでよりも早く危険を捉えられる可能性があるのではないか?と検討している。

表面水量による危険箇所と土砂災害発生箇所



表面水量に傾斜を考慮した危険箇所



平成24年豪雨時の土砂災害発生箇所

この例では、表面水量による危険箇所と土砂災害発生箇所に一致が多く見られる。

表面水量を活用した土砂災害の発生時刻・発生箇所の捕捉について検証中

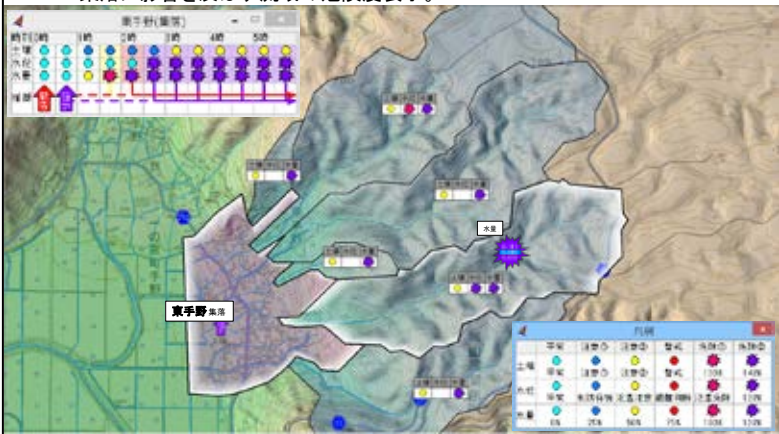
24

こちらの例では表面水量による危険箇所と実際に土砂災害の発生した箇所を比較している。一致している箇所が多く見られた。

このように、表面水量を活用した土砂災害の発生時刻・発生箇所の捕捉について実証実験の中で検証を行っている。

集落を主体とした表示

- ・ 集落単位で推奨される避難情報を表示。
- ・ 集落に影響を及ぼす流域の危険度表示。



26

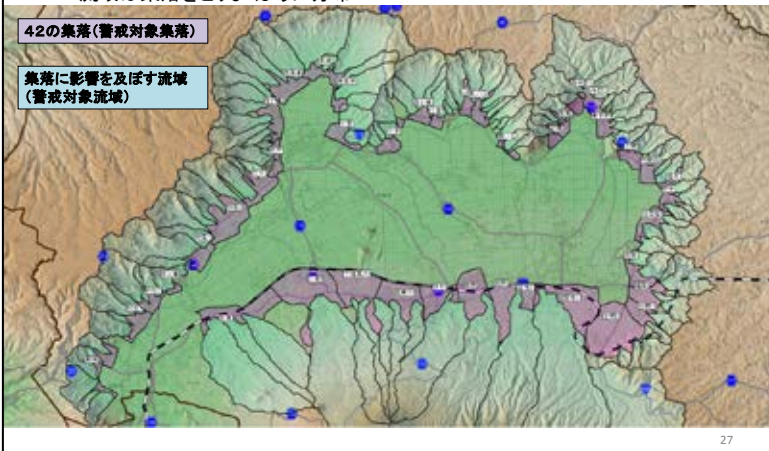
「集落」に危険を及ぼす斜面の情報をいち早く提供できると、地区の防災リーダーの的確な避難活動が支援できる。

スライド中央付近の「東手野集落」に対して、右側に影響する流域(斜面)が存在。流域毎に土壌雨量指数、河川水位、表面水量のそれぞれの危険度を表示。

画面左上には、6時間先までの集落の危険度の変化を30分ごとにシンボルマークを使い表示している。

市全域から見る警戒対象集落

- 市全域では42の集落を設定
- 流域は集落をとりまくように分布



阿蘇市全体では現在42の集落を設定しており、それを取り巻くように影響を及ぼす流域(斜面)が分布している。

阿蘇地域での実証実験の内容と今後

- 流域ごとの細かな危険度情報
水位観測と流出解析の組合せにより実現
今後の実証実験では・・・
 - 情報の精度向上
 - 新しい指標「表面水量」の検討
- 「集落」を主体とした情報表示
利用者(自治体職員)の使いやすい情報の提供方法
今後の実証実験では・・・
 - 自治体と協力して
よりわかりやすい、使いやすい情報提供

実証実験では、水位観測と流出解析の組合せにより、流域ごとの細かな危険度情報を提供している。今後は情報精度の向上と、新しい指標「表面水量」の検討に取り組む。

また、「集落」を主体とした情報表示を行い、自治体と一緒に、自治体職員の使いやすい情報提供方法を目指している。今後も自治体と協力し、よりわかりやすい、使いやすい情報を提供できるように検討を続ける。

リモートセンシングによる熊本地震後の斜面・地盤変動の広域的評価

木村 誇*・酒井直樹*

キーワード：熊本地震，亀裂，地震後の降雨，土砂移動，二次災害，航空レーザ測量

1. はじめに

2016年4月の熊本地震によって，熊本県内では，阿蘇大橋背後の大規模な斜面崩壊をはじめ，多数の土砂災害が発生した(石川ほか，2016a；宮縁，2016；奥野ほか，2016；若月，2016)．これにより，崩壊地周辺の斜面や溪流沿いに大量の崩土が堆積したほか，崩壊地外にも多数の亀裂が形成されており(石川ほか，2016a)，今後も二次災害の発生が懸念される．事実，本震後の降雨によって新たな崩壊が発生しているが(石川ほか，2016b；若月，2016)，これらは亀裂の形成によって土層が緩んだことや，雨水の地下浸透が促されたことが原因の可能性がある．そこで，地震で多数の亀裂が形成された阿蘇カルデラ壁から中央火口丘西側山麓にかけての約

70 km² の範囲を対象に，亀裂の位置と本震後の降雨によって発生した崩壊等の位置を比較し，亀裂の形成が二次災害の発生にどの程度関与していたかを明らかにした．

2. 解析方法

解析には，2012年11月(本震前)と2016年4月(本震後)計測の航空レーザ測量データより構築した1 mメッシュDEM，2016年8月計測の航空レーザ測量データより構築した0.5 mメッシュDEM，防災科学技術研究所の判読による土砂移動分布図(<http://www.bosai.go.jp/mizu/dosha.html>)，ならびに林野庁の判読による崩壊・亀裂位置図(<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kouhou/jisin/rezakohyo2.html>)を用いた．

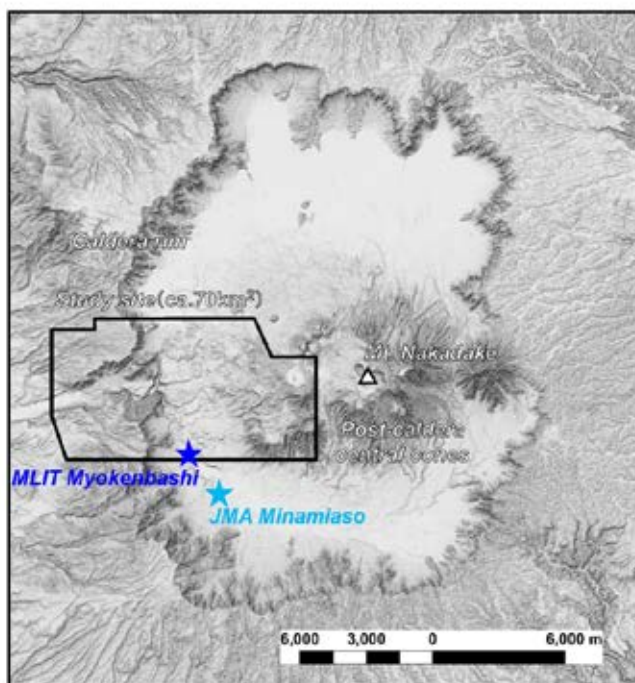


図1 解析範囲の位置図

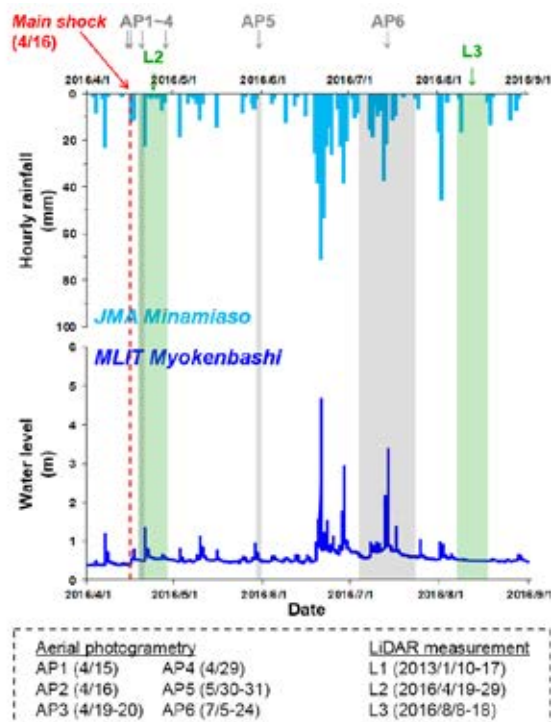


図2 2016年4～8月の降雨・水位変動と航空レーザ測量等の実施時期

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

図1に解析対象範囲と雨量・水位データを取得した2つの観測所(気象庁アメダス・南阿蘇観測所, 国土交通省・妙見橋水位流量観測所)の位置を, 図2に航空レーザ測量の実施期間, 土砂移動判読に用いた空中写真・衛星画像・航空機 SAR 画像の撮影期間における時間雨量と水位の変動を示す。

本震後, 熊本県内では, 4月21日の降雨と6月19~29日にわたる降雨によって崩壊等の二次土砂災害が発生したことが報告されている(石川ほか, 2016b; 若月, 2016)。林野庁が崩壊・亀裂の判読に用いた航空レーザ測量の計測期間は2016年4月19~29日(図2のL2)のため, 本震と4月21日の降雨によって生じた崩壊を完全に分離することは難しい。一方で, 6月19~29日にわたる降雨の後(2016年8月8~18日: 図2のL3)にも航空レーザ測量が実施されているため, 防災科学技術研究所が2016

年5月30~31日, 7月5~24日に撮影された空中写真(図2のAP5, AP6)より判読した土砂移動分布図と重ね合わせることで, 5~7月の約3カ月間に新たに発生した崩壊が正確に捉えられる。そこで, 上記のDEMから本震前後と本震後の約3カ月間に生じた標高変化量を1mメッシュ単位で算出し, 標高低下域と上昇域の分布を土砂移動分布図と重ね合わせることで, 5~7月の降雨によって発生した崩壊地の分布を特定した。

次に, 本震時に形成された亀裂の位置を, DEMを用いて作成した傾斜陰影図から読み取れる凹凸形状と傾斜の緩急より, 「尾根型斜面」, 「直線斜面」, 「谷型斜面」, 「平地」に区分した。図3にその一例を示す。最後に, 亀裂の分布と本震後の5~7月の降雨によって発生した崩壊地の分布を重ねて, どの位置に形成された亀裂が崩壊していたかを調べた。

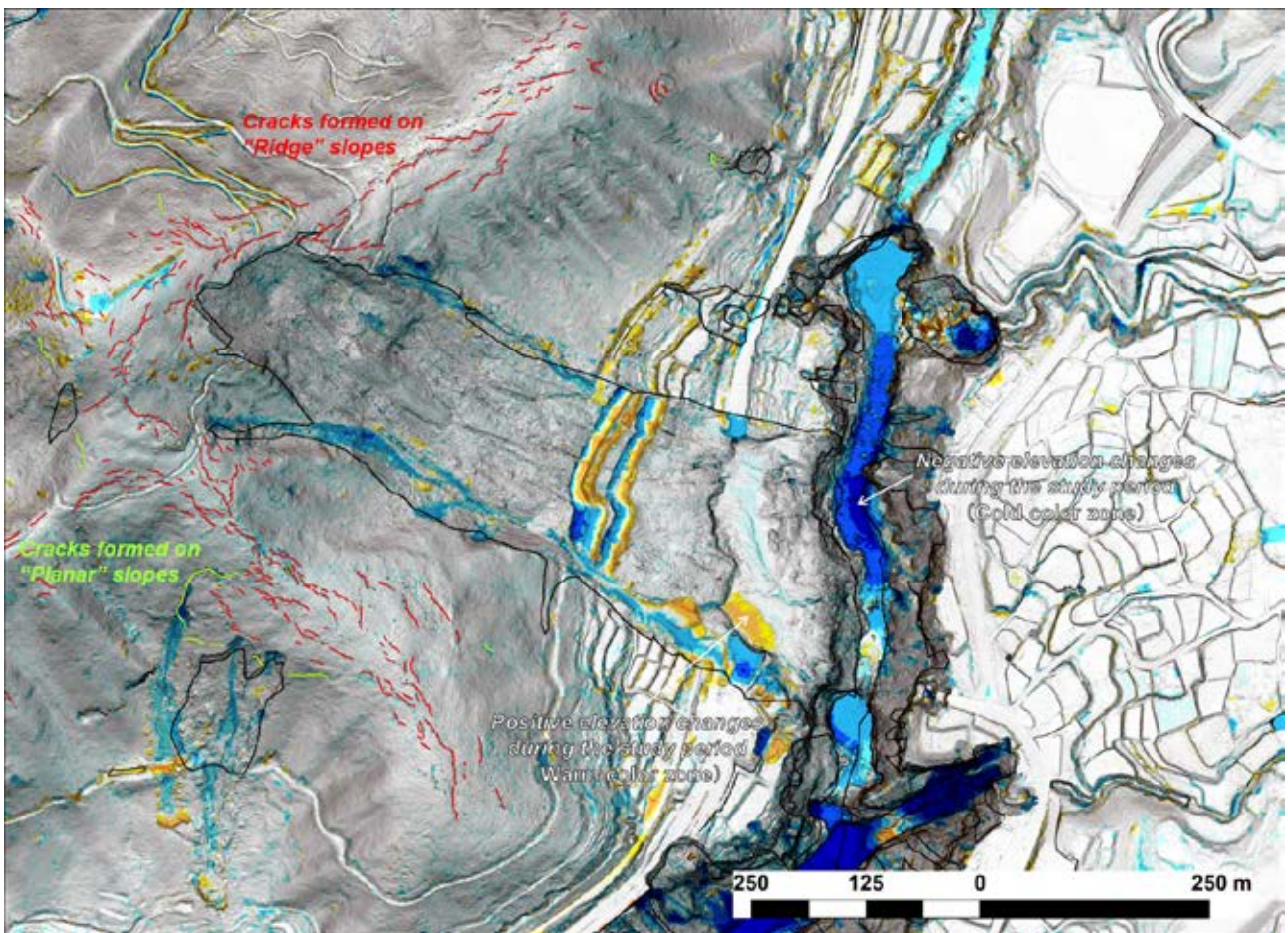


図3 本震による亀裂の形成位置と本震後の約3カ月間に生じた標高変化量
 図中の寒色で示された領域が標高低下域を表しており, 斜面崩壊等による侵食が生じたことがわかる。

3. 結果と考察

解析範囲内には計 2,466 箇所、総延長 41.8 km の亀裂が形成されていた。個々の亀裂の長さは中央値で 12.1 m (最小 1.2 m, 最大 161.6 m) の短いものだったが、例えば、図 3 に示したように、阿蘇大橋背後で発生した大規模崩壊地の滑落崖上部斜面には数百箇所の亀裂が集中的しており (0.03 m/m²)、土層が面的に乱されているものと考えられた。図 4 に亀裂の箇所数と総延長を形成位置ごとにまとめた結果を示す。内訳は、尾根型斜面が 1,436 箇所 (22.2 km)、直線斜面が 551 箇所 (8.8 km)、谷型斜面が 54 箇所 (0.9 km)、平地が 425 箇所 (9.9 km) となっていた。

本震後の 5～7 月の降雨によって発生した崩壊は、地震時に崩壊した斜面の再崩壊を含めて 684 箇所 (総面積 1.4 km²) 見つかった。図 5 に本震時に形成された亀裂と 5～7 月の降雨によって発生した崩壊地の分布を示す。684 箇所のうち、亀裂が形成された斜面で発生したものは 59 箇所 (9%) に止まった。図 6 に崩壊発生箇所数を亀裂の形成位置ごとにまとめた結果を示す。内訳は、尾根型斜面が 21 箇所、直線斜面が 33 箇所、谷型斜面が 3 箇所、平地が 2 箇所となっていた。尾根型斜面に形成された亀裂は箇所数、延長でそれぞれ全体の 58% と 53% を占めていたのに対し、直線斜面におけるそれらは全体の 22% と 21% であったことを踏まえると、亀裂が形成された直線斜面での崩壊が相対的に多かったと考えられる。

続いて、解析範囲を白川および黒川河道を挟んで西側約 32 km² のカルデラ壁エリアと東側約 38 km² の中央火口丘エリアに分け、亀裂の形成位置や本震後の降雨によって崩壊した亀裂の割合を比較した (図 7)。カルデラ壁では、856 箇所の亀裂のうち 658 箇所 (77%) が尾根型斜面に集中していたのに対し、亀裂が形成された斜面での崩壊は 17 箇所中 6 箇所 (35%) が尾根型斜面で 11 箇所 (65%) が直線斜面だった。一方、中央火口丘では、1,610 箇所の亀裂のうち尾根型斜面に形成されたものは 778 箇所 (48%) で、直線斜面 (392 箇所, 24%) や平地 (393 箇所, 24%) に形成されたものの割合が相対的に高かった。亀裂が形成された斜面での崩壊は 42 箇所中 15 箇所 (36%) が尾根型斜面で 22 箇所 (52%) が直線斜面、残りの 5 箇所 (12%) が谷型斜面と平地だった。

以上の結果より、本震時に形成された亀裂は滑落崖上部の斜面などの尾根型斜面に多く、その傾向はカルデラ壁エリアで特に顕著だったこと、一方で、地震後の降雨による崩壊発生場となったのはカルデラ壁、中央火口丘の両エリアで直線斜面に多かったことが明らかになった。カルデラ壁エリアと比べて中央火口丘エリアで尾根型斜面以外の場所に形成された亀裂の割合が多くなった要因として、中央火口丘では、火口周辺の起伏に富んだ地形を降下テフラからなる未固結土層が厚く覆っているため、地震動でこれが破断して地表面に亀裂が生じやすいことが考えられる。また、本震後の降雨による崩壊は、

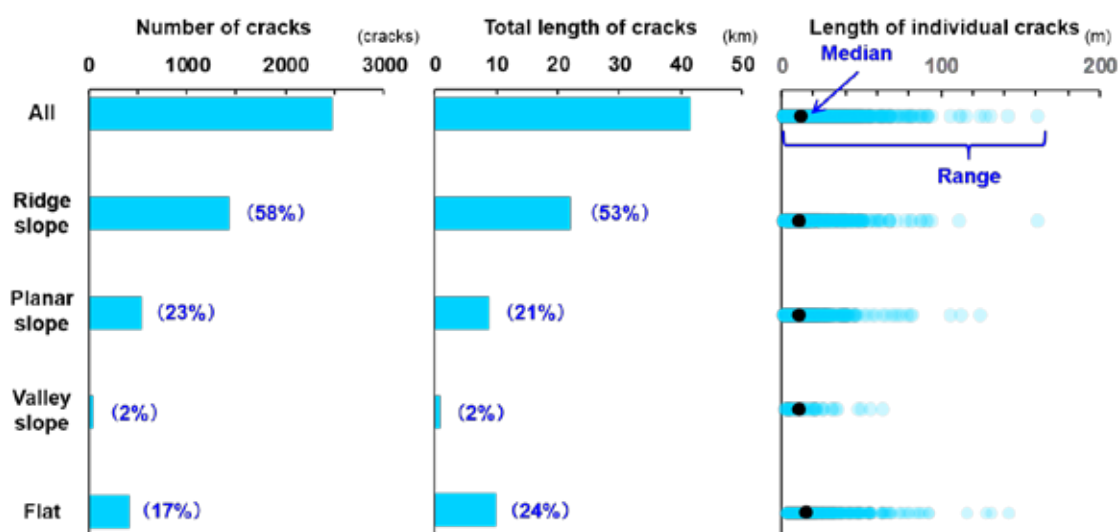


図 4 本震時に形成された亀裂の箇所数、総延長、個々の亀裂の長さ (中央値および範囲)

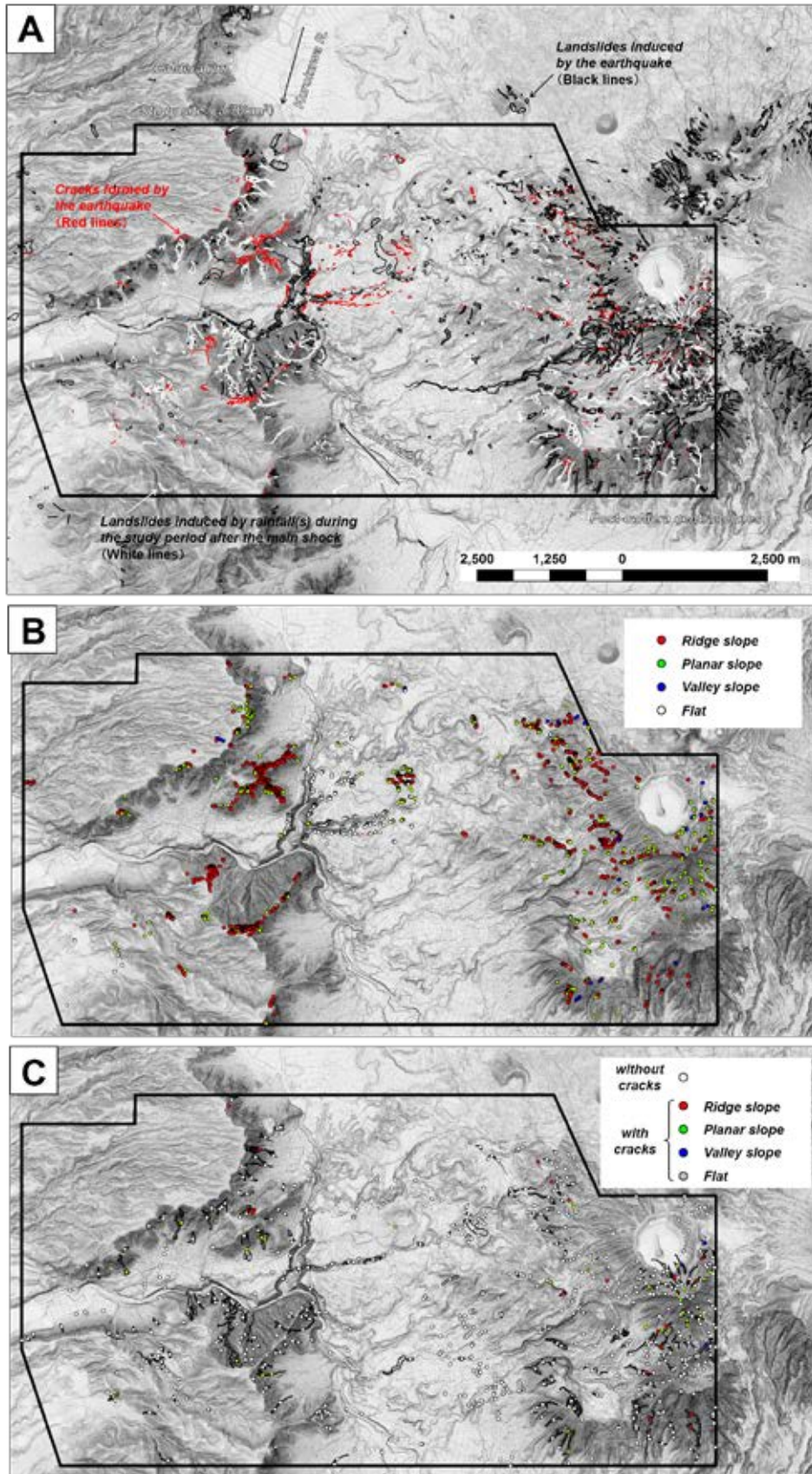


図5 本震時に発生した亀裂および崩壊と本震後の降雨によって発生した崩壊地の分布 (A) 亀裂および崩壊地の分布, (B) 亀裂の形成位置の区分, (C) 亀裂の形成位置と崩壊地との関係

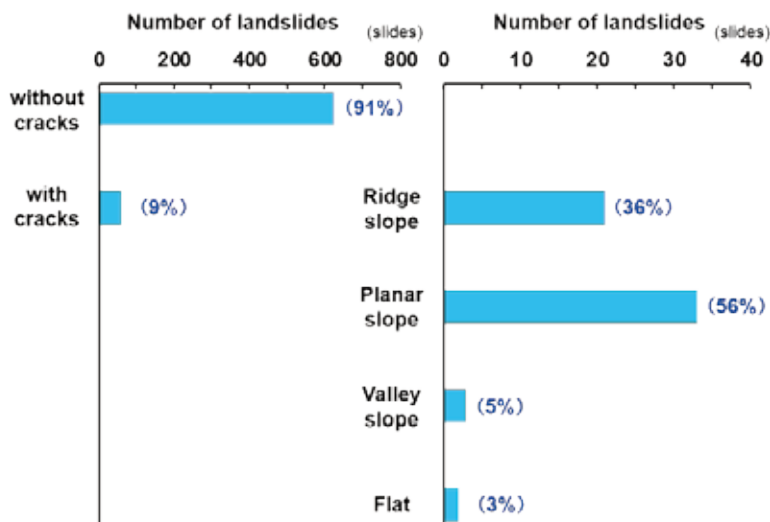


図6 本震後の降雨によって亀裂形成箇所が発生した崩壊地の割合

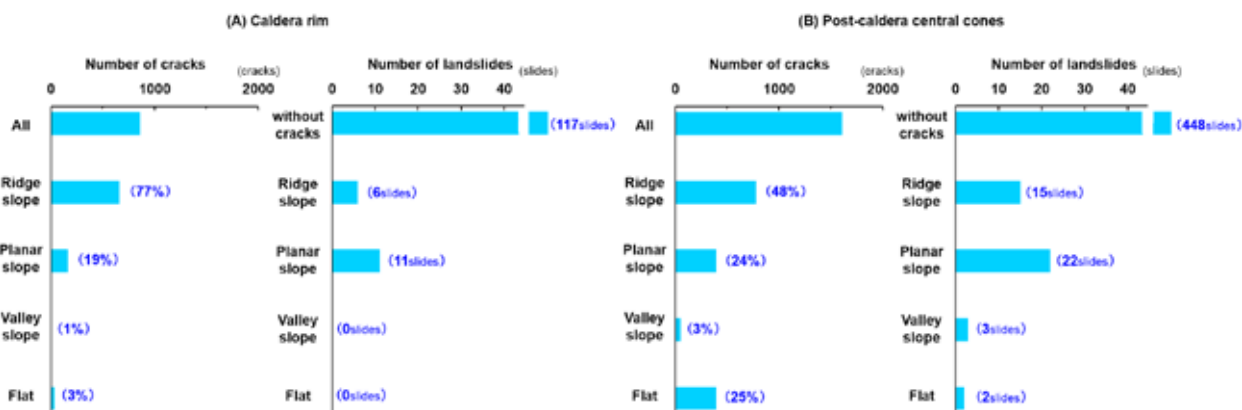


図7 カルデラ壁 (A) と中央火口丘 (B) の2地区に分けて集計した亀裂形成箇所が発生した崩壊地の割合

大半が亀裂形成箇所外で発生していたことや、尾根型斜面より直線斜面の亀裂形成箇所に多かったことを踏まえると、亀裂の多寡のみで地震後の二次災害発生危険性を評価するのは不十分と考えられる。今後は、崩壊の引き金となった降雨の降雨強度や雨量の空間分布とも比較することによって、本震時に形成された亀裂の二次災害発生への影響をさらに検討する必要がある。

謝辞

本稿には、平成28年度文部科学省「熊本地震復旧等予備費」による地形・地盤情報調査の一部を用いた。現地調査・観測にあたり、熊本県砂防課、熊本県阿蘇地域振興局、阿蘇市、西原村、南阿蘇村の方々

に多くの御協力と御理解を賜った。また、熊本県砂防課ならびに林野庁治山課からは、航空レーザ測量成果等のデータを提供いただいた。記してお礼申し上げたい。

参考文献

- 1) 石川芳治・久保田哲也・青戸一峰ほか43名(2016a)：平成28年熊本地震による土砂災害。砂防学会誌 69(3), p.55-66.
- 2) 石川芳治・赤澤史顕・植弘隆ほか20名(2016b)：平成28年熊本地震後の降雨による二次土砂移動と二次土砂災害。砂防学会誌 69(4), p.25-36.
- 3) 宮縁育夫(2016)：平成28年(2016年)熊本地震によって南阿蘇村周辺域で発生した斜面災害。

地学雑誌 **125**(3), p.421-429.

- 4) 奥野 充・鳥井真之・西山賢一ほか 8名および九州応用地質学会熊本地震 WG (2016) : 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震で誘発された阿蘇カルデラ内のアースフロー堆積物. 日本応用地質学会九州支部・九州応用地質学会平成 28 年度 (第 32 回)

研究発表会論文集, p.47-50.

- 5) 若月 強 (2016) : 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震による土砂災害の特徴. 「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震」報告会～防災科学技術研究所最初の 3 ヶ月間の取組み～講演要旨集, p.6.

地震地すべりの発生場の状況－熊本地震関連地すべり・崩壊の事例から－

中村真也*・松尾竜也**・平良 健**

キーワード：すべり面，褐色火山灰土，スコリア，草千里ヶ浜軽石

1. はじめに

2016年熊本地震に伴って発生した土砂移動現象には様々なタイプのものであり，地震を誘因とする共通点を有するものの，その発生メカニズムや土質強度特性には違いがあることが推察された．より効率的・合理的な地震地すべり災害の防止・軽減のためには，発生メカニズムや移動形態に関する特徴を把握し，タイプ別に対応方策を検討する必要がある．本報では，2016年熊本地震に伴って発生したいくつかの地すべり・崩壊事例について，発生場の状況とすべり面が位置する土層を主として整理した．

2. 地すべり・崩壊の発生場の状況

火の鳥温泉地区：大きく分けて3つの地すべりが発生し，斜長，幅，すべり面深度は，地すべりAでそれぞれ約285 m，約65 m，約15 m，B-1で約30 m，約30 m，約4 m，B-2で約45 m，約45 m，約3 mであり，いずれも遷急線を頭部としている．地質および構造は，上から黒ぼく土，褐色火山灰土で構成され，乙ヶ瀬軽石や阿蘇中央火口丘第4軽石(ACP4)と推察される降下火山碎屑物を挟む．移動土砂は褐色火山灰土を主とし，流動化した．地すべりの発生には，乙ヶ瀬軽石やACP4とみられる降下火山碎屑物がキーになると現段階では考えられている．地すべりB-2は，頭部と移動土塊先端の標高差が約33 m，それらの水平距離は約135 mで，見かけの摩擦角はAおよびB-1でそれぞれ約17°，約20°であったのに対し，約14°と小さかった．

大切畑地区：崩壊性地すべりの斜長，幅，すべり面深度は，それぞれ約145 m，約250 m，平均約9 m(最大20 m)である．大峰山分離丘の北側斜面の崩壊で，崩壊末端の鳥子川から崩壊頂部への勾配は37°～39°とかなり急である．崩壊の上方斜面から尾根部

にかけて，崩落崖に平行な段差を有する亀裂が連続しており，さらなる不安定化が懸念されている．地質および構造は，表層の崩積土，その下に火砕岩となっていて，火砕岩は非溶結のスコリア層が主で，弱溶結スコリアが挟在している．移動土砂は崩積土に加え，火砕岩が一部含まれていると考えられる．

高野台地区：円頂丘において，建造物(京都大学火山研究所)のある頂部を中心として放射状に複数の地すべり(A～F)が発生している(写真1)．円頂丘の北側斜面は20°～35°の傾斜角である一方，南側斜面は10°～20°の比較的緩い傾斜となっている．地質および構造は，表層から黒ボク土，褐色火山灰土，草千里ヶ浜軽石等の降下火山碎屑物を挟み，高野尾羽根溶岩と続く構成を基本とし，これらは斜面に概ね平行な層構造をなしていることが分かっている．発生源を含む地すべりAの規模は，斜長約100～370 m，幅約30～100 m，すべり面深度約10～15 mで，移動土砂は黒ボク土・褐色火山灰土である．



写真1 高野台地区の地すべり群

* 琉球大学

** 熊本県砂防課

3. すべり面(破壊面)の位置する土層

火の鳥温泉地区：地すべり A は地形および地質に基づいて斜面下方部から順に A-1, A-2, A-3 の 3 ブロックに分けられる。すべり面は、A-1 ブロックでは ACP4 層と乙ヶ瀬軽石の強風化層と推察される下面付近に跨り、A-2 ブロックでは乙ヶ瀬軽石強風化層(未確定)の下面付近に、A-3 ブロックでは褐色火山灰土と乙ヶ瀬軽石強風化層(未確定)下面付近を切る形で位置していると現段階では考えられている。地すべり B-1 および B-2 では ACP4 とみられる層がすべりの発生に主導的に関与したと考えられ、すべり面のメインはその層の下面付近に位置している。

大切畑地区：分離丘はスコリアで形成されており、すべり面もスコリア層中に位置すると考えられる。無数に形成された地割れについて、土塊の移動現象に今後移行するかの検討が必要と考えられている。

高野台地区：すべり面は、地すべり A および B では草千里ヶ浜軽石層下面あるいはその下位の褐色火山灰土層上面付近、地すべり C～F では褐色火山灰土層中に位置していた。地すべり A では、草千里ヶ浜軽石層の上面や、軽石層中に形成された強く破碎を受けた構造が残存していたことから、これらの土層もすべり面の一部となったことが考えられた。

謝辞

本報は、日本地すべり学会の 2 回の現地調査(2016 年 5 月 3 日～5 日, 同年 9 月 13 日～15 日)の結果を整理したものである。現地においては調査メンバーの多大なご助力を頂いた。ここに著者を除く調査メンバーの氏名を記し、謝意を表す。

岩部司(熊本高専), 上妻良昌((株)アイエスター), 鳥井幹郎(同), 西窪文敏(国土防災技術(株)), 川嶋睦義(同), 藤野修二(日本地研(株)).

大峰火山の火山地質、周辺の斜面崩壊災害について

長谷中利昭*

キーワード：熊本地震，阿蘇カルデラ，大峰火山，斜面崩壊，布田川断層

1. はじめに

熊本地震本震(2016.4.16)を起こした布田川断層帯の活動は10万年以上前まで遡ることができる。阿蘇カルデラの西側にある大峰火山(9万年前)、赤井火山(14万年前)はこの断層帯上に位置し、阿蘇カルデラが西に開いている箇所、すなわち立野火口瀬もこの断層帯の延長上にある(渡辺ら, 1979)。阿蘇カルデラ火山は27万年前に最初のカルデラ噴火をして以来、合計4度の大規模噴火(阿蘇-1, 阿蘇-2, 阿蘇-3, 阿蘇-4)を起こしているが、火山活動と断層運動は密接に関係しているように思われる。とりわけ大峰火山は阿蘇-4の直前に、赤井火山は阿蘇-2の直前に噴火しているため、大規模カルデラ噴火の前兆噴火、断層活動を記録した重要な火山活動だと思われる。今回の熊本地震では大峰火山周辺で地震動による斜面崩壊、道路の損傷、家屋倒壊など大きな被害が出た。これらの地震災害を火山地質や断層運動との関係で考える。

2. 大峰火山の火山地質

大峰火山は阿蘇カルデラ外に噴火した比高150mの火砕丘で、西方に高遊原溶岩を流出している。高遊原溶岩は厚さがほぼ一定(約80m)で、平坦面上に阿蘇くまもと空港の滑走路が作られている。東西9km、南北4km、体積は2.0km³、溶岩流としては規模が大きい。溶岩流の南端では布田川断層を挟んで北側が落ちており100m近い変位が認められる。また俵山付近から見ると溶岩流の平坦面の北側が高くなる傾動が認められる(渡辺・小野, 1969)。高遊原溶岩は時間間隙を示す土壌を挟まず、阿蘇-4テフラに覆われている。下位には布田層堆積物、さらに下位に阿蘇-3テフラがある。ボーリングコアで観察する限り、溶岩流は上端・下端の破砕部を除き

大部分が塊状の1枚のフロー・ユニットと思われる(熊本河川国道事務所, 1997, 2001)。大峰火砕丘は溶結したスコリアや火山灰から成り、高遊原溶岩流出とほぼ同時に形成したと考えられる。大峰スコリア、高遊原溶岩の多くはSiO₂=63-65重量%のデイサイトである(黒川ら, 2012; 椎原ら, 2015)。大峰火山の南西にある布田の滝では、高遊原溶岩と下位の布田層の間に厚さ1mの大峰火山起源の軽石が認められる。

3. 西原村、大峰火山周辺の地震被害

地震によって規模の大きい斜面崩壊が大峰火山2箇所で行った。1つは県道28号線、大切畑大橋沿いの大峰火砕丘北斜面の崩壊。もう1つは大峰山の南西、布田の滝北岸の高遊原溶岩の崖である。前者では火砕丘を形成するスコリア、火山灰の表層が崩壊したもので、後者は過去の断層運動で亀裂が入ったと思われる溶岩流が崩壊したものである。斜面崩壊の堆積物が起源となる土石流は起こらなかった。大峰火山を含む阿蘇郡西原村は震度7を記録し、熊本県下では上益城郡益城町について地震被害が大きい地区である。地震直後には村内の6割以上の住宅が全壊・半壊と報告され、梅雨の豪雨を過ぎた8月になるとその数はさらに増えた。被害は断層帯のすぐ近くの小森地区大切畑、布田地区で特に多かった。それに対して、すぐ近くの高遊原溶岩台地上の住宅の被害が比較的少なかったことは注目に値する。大峰山北東、県道28号には布田川断層帯の地表地震断層(北向山断層)が見られた。

4. 地震被害と地形、地質、断層の関係

Asano and Iwata (2016) は波形インバージョンによる熊本地震の震源破壊過程を明らかにした。熊本地

* 熊本大学大学院先端科学研究部

震本震の震源は益城町役場の南西であるが、破壊は北東方向に伝播し、益城町役場を過ぎ、さらに北東の西原村役場付近で最大になったことが示された。震源周辺ではなく、ずっと離れた西原村で被害が大きかったことが説明できる。斜面崩壊が起こった場所は地表断層近くで、断層運動による変位が蓄積されたと考えられる。高遊原溶岩台地は末端崖、側端崖が切り立った崖を形成しているが、大部分の箇所は地表地震断層上にないためか、斜面崩壊は起こらなかった。また過去にも起こった地形的証拠は少ない。高遊原溶岩流は厚さ100 m近い堅固な台地を形成しているので、断層に近く地震動が激しかったにも関わらず、台地上では被害が少なかったと考えられる。これに対して台地周辺の小森地区大切畑、布田地区などは、未固結火砕流堆積物および河川堆積物上にあるために地震動による被害が大きかったのであろう。

参考文献

- 1) 渡辺一徳・粕倉克幹・鶴田孝三(1979)：阿蘇カルデラ西麓の活断層群と側火口の位置。第四紀研究, **18**, 89-101.
- 2) 渡辺一徳・小野晃司(1969)：阿蘇カルデラ西側、大峰付近の地質。地質学雑誌, **75**, 365-374.
- 3) 熊本河川国道事務所(1997)：高遊原地下浸透ダム図面修正及び資料作成業務 報告書。
- 4) 熊本河川国道事務所(2001)：高遊原台地既往調査資料整理業務 報告書。
- 5) 黒川 聖・長谷中利昭・森 康(2012)：阿蘇-4火砕流噴火の直前に流出した高遊原の岩石学的特徴。日本地球惑星科学関連学会 2012年合同大会, SVC52-P04.
- 6) 椎原航介・長谷中利昭・森 康(2015)：阿蘇-4火砕流噴火直前に活動した高遊原溶岩の定置過程。日本地球惑星科学連合, 2015年大会 SVC47-P02.
- 7) Asano, K. and Iwata, T. (2005) Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from the kinematic waveform inversion of strong motion data. *Earth, Planets and Space*, Vol. 68, 147-157.

熊本地震による土砂災害リスク増大に対すミチゲーション政策

渡邊 勇*・藤見俊夫*・北園芳人*・鳥井真之*・稲本義人*

Disaster Mitigation Policies for Landslide Risk Increased by the Kumamoto Earthquake

Isamu Watanabe, Toshio Fjimi, Yoshito Kitazono, Masayuki Torii, and Yoshito Inamoto

*Implementation Research and Education System Center for Reducing Disaster Risk, Kumamoto University,
2-39-1 Kurokami, Chuo-ku, Kumamoto, 860-8555, Japan.
w-isamu@kumamoto-u.ac.jp

1. はじめに

熊本県南阿蘇村は、平成24年九州北部豪雨で多くの土砂災害が発生し、特に南阿蘇村立野地区の新所川3では、死者2名、全半壊6棟の大規模な土石流災害が発生した。

熊本県は、災害発生直後から砂防堰堤等によるハード対策に着手するとともに、平成25年度より深夜に大雨が予想される場合、危険の差し迫っていない明いうちから自主避難を行う「予防的避難」によるソフト減災対策を開始した(図1)。

これらを受けて、熊本大学大学院自然科学研究科附属減災型社会システム実践研究教育センター(以下「減災センター」という)では、熊本県と防災・減災に関する共同研究を締結し、多くの研究を行うとともに、熊本県が推進する「予防的避難」の促進にも努めた。

平成28年4月16日(本震)の熊本県熊本地方を震源とするマグニチュード7.3の熊本地震は、南阿蘇村において、震度6強を記録し一連の地震活動により、阿蘇の外輪山や中央火口丘周辺などで大規模な山腹崩壊や地すべりなどの多くの土砂災害を発生させた。

また、今回の地震では、土砂災害に至らなくても亀裂や地割れなど地盤の変状が斜面に発生し、地盤が緩み強度が低下するとともに、雨水が地中に浸透するなどして土砂災害リスクが非常に増大している

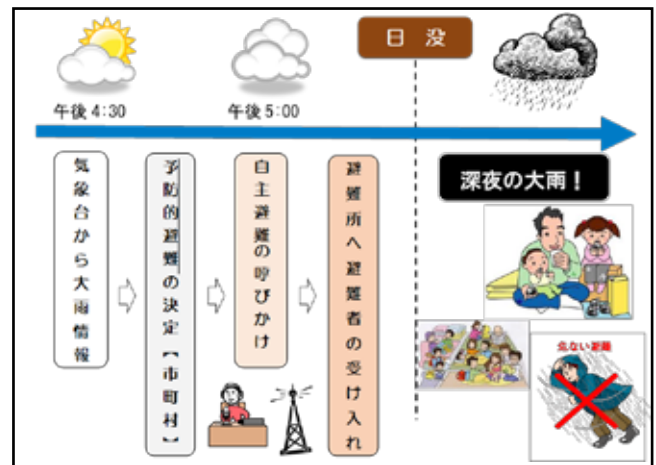


図1 予防的避難イメージ(熊本県提供)

と予測された。

一方、南阿蘇村は、気象条件的にも非常に厳しく、阿蘇山の年間降水量は、約3,200mmで、梅雨期間にあたる6月から7月の2カ月間で、年間の1/3にあたる1,200mmが集中的に発生する気象環境にある。

この状況を鑑み、減災センターでは、南阿蘇村において「熊本地震による土砂災害リスク増大に対するミチゲーション政策」を実施して、梅雨期間の土砂災害による2次災害防止に努めた。本書では、この取り組み内容について論述する。

* 熊本大学大学院自然科学研究科附属減災型社会システム実践研究教育センター (IRESC)

2. 熊本地震の概要

熊本地震は、日本で存在が知られている活断層上で発生し、一連の地震活動で震度7を初めて2回記録した国内最大規模の内陸(直下型)地震であった。

4月14日からの震度1以上の地震発生回数は、延べ4,191回で、震度7が2回、震度6が5回(弱3, 強2)、震度5が17回(弱12, 強5)(気象庁発表資料12月14日時点)となっており、過去に類を見ないほどの短期間で、しかも余震の発生回数が異常に多い状況となっている。

熊本県における熊本地震による被害は甚大で、内閣府の熊本地震の影響試算によると地域住民の生活基盤、地域経済を支える生産施設・設備や社会インフラ等のストック毀損額は、約1.8～3.8兆円に上る試算が出ている。

次に、熊本県の熊本地震による人的・物的被害状況は、表1のとおりとなっている(内閣府発表資料)。

加えて、公共土木関係の施設災害も甚大で、道路橋梁、トンネル、下水道、公園等の多くの施設が被災している。

特に2次災害に直結する熊本地震直後の土砂災害・河川災害発生状況は表2のとおりである(内閣府発表資料)。

表1 熊本地震による人的・物的被害状況

死者	重傷	軽傷	合計(名)
137	974	1,433	2,544
(内直接死50)			11月14日時点
全壊	半壊	一部損壊	合計(棟)
8,320	31,475	135,613	175,408
			11月14日時点
最大避難所	最大避難者(人)		県人口比率10%
855	183,882		4月17日記録

表2 熊本地震直後の土砂災害・河川災害発生状況

土砂災害			
土石流	地すべり	崖崩れ	合計(件)
54	10	94	158
			6月16日時点
河川災害			
国管理	県管理	熊本市管理	合計(件)
172	318	3	493
			6月16日時点

3. 南阿蘇村での土砂災害発生状況

熊本地震による土砂災害は、土石流、地すべり、がけ崩れなど、阿蘇地域の中山間部において、多数

発生しており、災害報告がなされているだけで、約158箇所発生している。地元住民のヒヤリング調査によると、その殆どは、4月16日の本震直後に発生している。なお、南阿蘇村での代表的な土砂災害の発生場所、形態等は表3のとおりで、大きく3災害形態に分類できる(写真1～4)(熊本県土木部砂防課被害状況パンフレット、監修：熊本大学)。



写真1 Aタイプ：山王谷川



写真2 Bタイプ：阿蘇大橋付近



写真3 C-1タイプ：北外輪山カルデラ壁



写真4 C-2タイプ：阿蘇山中央火口丘群

表3 熊本地震による土砂災害の崩壊分類

崩壊分類タイプ	土砂災害形態	地質分類	崩壊のメカニズム	代表的な箇所
A	土石流	降下火砕物	表層崩壊からの堆積土砂流下	山王谷川
B	大規模斜面崩壊	先阿蘇火山岩類	上部斜面表層と中部崖錐堆積物の崩壊による複合大規模崩壊	立野阿蘇大橋付近
C-1	斜面崩壊	先阿蘇火山岩類およびAso-1~3火砕流堆積物	落石、トップリング岩盤崩壊	立野火口瀬 北外輪山カルデラ壁
C-2		降下火砕物	表層崩壊	中央火口丘群 烏帽子岳、小烏帽子岳
C-3		降下火砕物	地すべり性崩壊 アースフロー	高野台地区

4. 土砂災害の災害リスク

土砂災害により被害が発生するためには、①ハザード (hazard)、②エクスポージャ (exposure)、③バルナラビリティ (vulnerability) の3要素が深く関わっている(図2)。

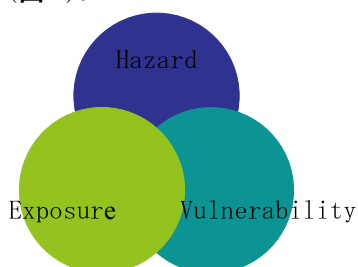


図2 被害発生3要素

まず、地震や台風といった自然現象<ハザード>が災害を引き起こす、ハザードは、地形や地質的要因、資産の種類など脆弱性<バルナラビリティ>が高い箇所では災害規模が大きくなる。また、その災害から被る対象である人口や資産<エクスポージャ>が存在することで、被害が発生することになる。つまり、ハザードとバルナラビリティがどれだけ大きくても、エクスポージャが存在しなければ、人命や資産が損失する被害は発生しない。したがって、災害による被害を最小限に抑えるには、防災・減災対策によって、バルナラビリティやエクスポージャをコントロールすることが重要である。

バルナラビリティをコントロールするのが砂防堰堤や山腹工、法面保護工などのハード対策となり、その一方で、避難勧告等による住民の避難や危険箇所からの住宅移転などのソフト減災対策は、ハザードからエクスポージャを避ける対策と言える。

今回のケースでは、熊本地震発生から2か月で、県内は梅雨期間に入ることが見込まれるため、ハード対策を実施する時間的猶予がない。

このため、ソフト減災対策を行う事で、梅雨期間の土砂災害による2次災害防止を目指すことが必要不可欠であった。

5. 南阿蘇村における土砂災害リスク増大に対するミチゲーション政策

5.1 南阿蘇村の土砂災害警戒区域

南阿蘇村には、土砂災害防止法による土石流の土砂災害警戒区域が65箇所、急傾斜の土砂災害警戒区域が42箇所の合計107箇所存在する(図3)。

このように、多くの土砂災害警戒区域がある南阿蘇村は、毎年のように土砂災害が発生している。加えて、熊本地震により土砂災害警戒区域と、それ以外の場所でも地震動による影響で、土砂災害の発生リスクが非常に高くなっていったと考えられた。

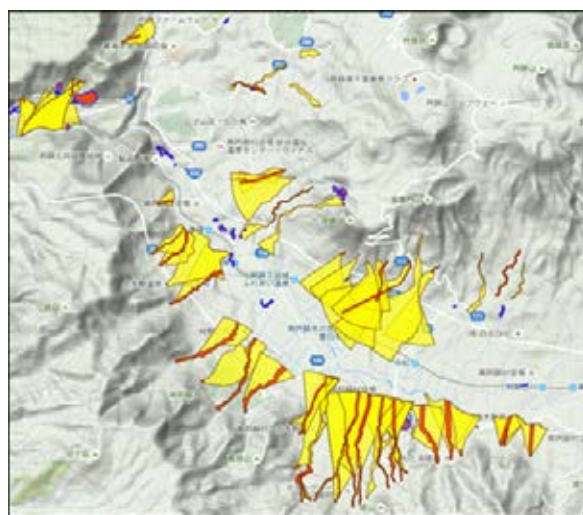


図3 南阿蘇村土砂災害情報マップ ※熊本県 HP 資料

5.2 熊本地震発生後の梅雨期間の被害状況

今年、熊本県の梅雨期間は、6月4日から7月17日であった。梅雨期間の降水量は、宮崎県えびの市で2,000 mm、熊本県阿蘇市で1,621 mmを記録し九

州地方では平年の2倍を超える所もあった。

また、時間雨量においても、熊本県甲佐町では、6月21日0時19分までの1時間に150mmを観測し全国で観測史上4位を記録する豪雨となった。

これらの梅雨期間の豪雨による熊本県の人的・物的被害状況(表4)および土砂災害発生状況(表5)(内閣府発表資料)は以下のとおりとなり、熊本県内では死者6名、重軽傷者6名の甚大な被害も発生した。

表4 梅雨期間の人的・物的被害状況(8月1日時点)

死者	重傷	軽傷	合計(名)
6	2	4	12
全壊	半壊	一部損壊	合計(棟)
12	12	28	52

表5 梅雨期間の土砂災害発生状況(8月1日時点)

土石流	地すべり	崖崩れ	合計(件)
17	0	48	65
南阿蘇村 8		南阿蘇村 1	

5.3 南阿蘇村での2次災害発生状況

減災センターでは、熊本地震発生直後から土砂災害や火山の専門家を中心に、阿蘇地域を継続的に調査しており、6月20日の梅雨前線豪雨後に、多くの山腹崩壊の拡大や新たな土石流発生を確認した。

現地調査の結果、南阿蘇村の夜峰山と立野地区では、熊本地震直後の崩壊地は、格段に拡大し、一部では、土石流化して、保全施設である国道や人家まで到達していた。(写真5~8)。(熊本県土木部砂防課被害状況パンフレット, 監修:熊本大学)。



写真5 南阿蘇村夜峰山 地震発生後

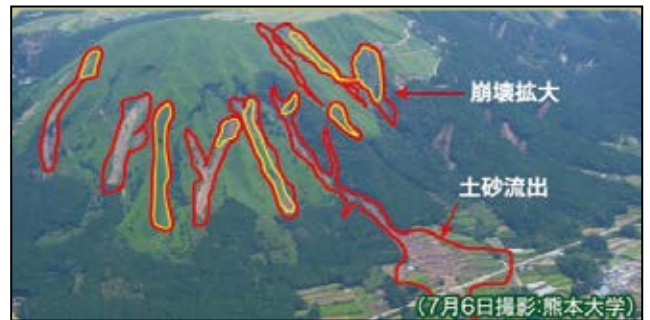


写真6 南阿蘇村夜峰山 梅雨期間の豪雨後



写真7 南阿蘇村立野 地震発生後



写真8 南阿蘇村立野 梅雨期間の豪雨後

5.4 ミチゲーション政策の内容

減災センターでは、南阿蘇村での地震発生後の土砂災害による2次災害防止のために、以下のフローを策定し政策展開を行った(図4)。

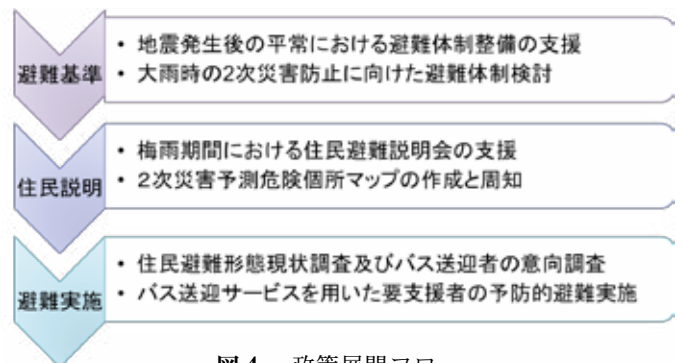


図4 政策展開フロー

まず、目標フェーズを「避難基準」、「住民説明」、「避難実施」の3階層に設定した。

「避難基準」フェーズでは、地震発生後の各行政区毎の災害発生リスクレベルに対応した平時と大雨時の避難体制整備である。

次に、「住民説明」フェーズでは、梅雨期間を前にしての住民説明会の開催、2次災害予測危険個所マップによる地震発生後の危険個所や避難経路、避難所などを住民と行政等の関係機関が情報共有する。

最後に、「避難実施」フェーズでは、実際に避難する住民を支援する事を行った。全フェーズの具体的な内容は、「熊本地震の影響による梅雨期間の住民避難説明会の開催支援」、「住民避難に役立つ2次災害予測危険個所マップの作成と周知」、「土砂災害リスク増大に対するバス送迎サービスを用いた要支援者の予防的避難促進」などである。

ここでは、今回の政策の中で特徴的な「2次災害予測危険個所マップ」と「バス送迎サービスを用いた要支援者の予防的避難」について紹介する。

2次災害予測危険個所マップ(図5)は、ハザードマップの一種で、熊本地震による最新の災害リスク情報を掲載するとともに、避難勧告等発令に必要な情報を掲載した。具体的には、航空写真判定による山腹や斜面の荒廃情報、現地調査による2次災害危険ゾーン、避難勧告等発令に必要な土砂災害警戒区域や行政区界である。この2次災害予測危険個所マップは、熊本地震による最新の災害リスク情報を掲載した事で、住民や防災関係の関心が非常に高く住民説明会終了後に、住民が自宅周辺の状況を詳しく確認する場面も多かった。

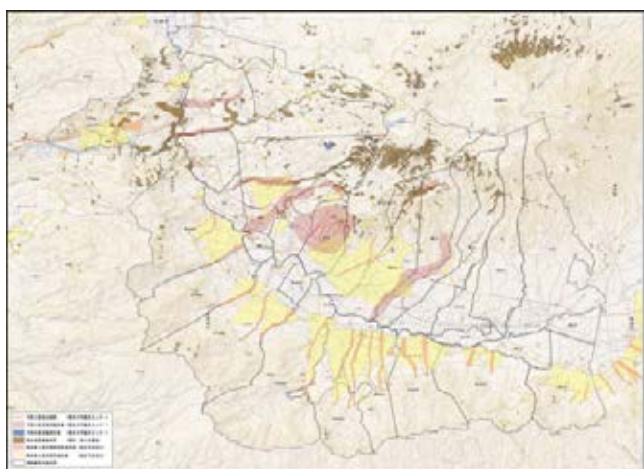


図5 2次災害予測危険個所マップ

次に、バス送迎サービスを用いた要支援者の予防的避難は、まず、熊本地震後の住民避難形態状況調査により住民の避難状況を把握した。次にその結果をもとに自宅で生活し自力で避難所へ行けない要支援者をリストアップし訪問調査により、バス送迎サービス参加意向調査をすることで、避難経験の有無や避難時に支援が必要かどうかを判断した。

また、自宅と避難所間の送迎に利用するバスは、今後の事業継続のためコスト削減が可能となるように平常時から既存サービスとして南阿蘇村が運用している予約型乗り合いタクシー(写真9)の仕組みの活用を図った。加えて、行政の防災担当者の事務軽減のため、乗り合いタクシーの受付センターにバス送迎時の要支援者への連絡調整を依頼した。

結果的に要支援者の顔見知りである受付センターの職員の避難呼びかけにより、避難の促進にもつながった。



写真9 バス送迎サービスに使用する乗り合いタクシー

6. おわりに

減災センターでは、熊本地震発生後に熊本大学が全学部で取り組んでいる熊本復興支援プロジェクトの一環として、熊本地震による土砂災害リスク増大に対するソフト減災政策の研究を進めている。

防災・減災対策には、防災工事によるハード対策と警戒避難によるソフト対策が欠かせない。土砂災害の特徴は、いつ発生するか分からない、発生すると避難する時間がない、一度発生すると被害が甚大である。このため、他の自然災害に比べて、土砂災害から人命を守るには、やはり早めの避難が重要となってくる。

行政は、自力では避難できない高齢者や身体の不自由な方については、何らかの避難支援が必要となる。つまり、土砂災害の危険な時に家族や近隣コミュニティからの避難支援が必ずしも受けられない要支援者については、公的な避難支援サービスが求められる。こうしたニーズに対応するため、自宅と避難所間にバス送迎サービスを運行し予防的避難を実施するバス送迎サービスは、住民避難の選択肢を広げ

る先進的な取り組みとしても期待できる。

謝辞

本研究に協力いただいた南阿蘇村の住民の方々並びに南阿蘇村役場の関係職員の方々、また、減災センターと協力して、現地調査や熊本地震に関する被害情報パンフレットを策定した熊本県土木部砂防課に敬意を記します。

要 旨

南阿蘇村には、熊本地震により土砂災害警戒区域以外の場所においても、地震動による影響で、土砂災害の発生リスクが非常に高くなっていった。このため、減災センターでは、地震発生後の土砂災害による2次災害防止のため、「熊本地震の影響による梅雨期の住民避難説明会の開催支援」、「避難勧告等発令基準の策定支援」、「住民避難に役立つ2次災害予測危険個所マップの作成と周知」、「土砂災害リスク増大に対するバス送迎サービスを用いた要支援者の予防的避難」等の総合的な減災支援を実施した。

行政は、日頃から住民のひとり一人の安全・安心な生活を確保するために、防災・減災活動を実施している。今回、南阿蘇村は、県内で最も熊本地震で土砂災害リスクが高まったにもかかわらず、梅雨期間の豪雨や台風時において、土砂災害による人的被害は全く発生しなかった。

このことは、現地の災害リスクに応じたミチゲーション対策による避難行動が、減災型社会づくりに大いに貢献できる証である。

今回の熊本地震を経験し、多くの犠牲を乗り越えた先には、公助の強化とともに、県民の防災意識の向上や地域コミュニティの形成などが促進され、自助、共助による真に災害に強い、安全・安心な県土づくり構築が実現することを願いたい。

キーワード：熊本地震，土砂災害リスク，ミチゲーション，斜面崩壊，避難勧告

パネルディスカッション—大地震後の自治体および研究者の対応—

パネルディスカッションに際しては、当日の議論をスムーズに進めることを目的として、自治体関係のパネラーの皆さんに話題提供論文を事前に作成していただいた。

当日のパネラーの話題提供・コメント・議論の要点を文章化したものと併せて以下に掲載する。

パネラー

- | | |
|--------------------------------|-------|
| ・ 熊本大学大学院附属減災型社会システム実践研究教育センター | 渡邊 勇 |
| ・ 熊本大学大学院自然科学研究科理学専攻地球環境科学講座 | 長谷中利昭 |
| ・ 琉球大学農学部地域農業工学科 | 中村真也 |
| ・ 新潟県糸魚川地域振興局地域整備部 | 三木公一 |
| ・ 長野県北安曇郡小谷村 | 松本久志 |
| ・ 宮城県栗原市産業経済部ジオパーク推進室 | 佐藤英和 |
| ・ 宮城県栗原市産業経済部ジオパーク推進室 | 中川理絵 |
| ・ 東北学院大学教養学部地域構想学科 | 宮城豊彦 |

司会

防災科学技術研究所 酒井直樹

想定した地震災害と発生した地震災害

松本 久志*

キーワード：想定地震被害と対策，発生被害，想定被害と異なる部分，現在の土砂災害の懸念

1. はじめに

小谷村のほぼ中央を南北に糸魚川静岡構造線が縦断しており，以前から糸静線北部の直下型地震を想定し防災計画を進めていた．平成26年11月22日発生した長野県神城断層地震の状況と，想定との差異そして地震から2年が過ぎた現在の懸念を述べる．

2. 想定地震被害と対策

小谷村の地域防災計画は震度6弱から6強，死者21名 重傷9名 軽傷362名 避難者2,437名 木造全壊872棟 非木造大破152棟 交通不能18か所 電力復旧9日 電話復旧6日．

平成16年10月発生の中越地震の土砂災害危険箇所緊急調査に参加した経験から，村長に就任した平成23年から深層崩壊等の土砂災害による集落孤立を想定し対応に力を入れてきた．具体的には村外組織との災害時応援協定，指定避難所と一時避難所の耐震化，発動発電機や照明そして防災無線の集落配備，消防団の強化と自主防災組織の育成など．

3. 発生被害

村役場(姫川左岸)で震度6弱の地震 重傷2名 軽傷2名 全壊住宅33棟 半壊住宅75棟 一時避難者351名，土砂の崩壊により 国道17日間通行止 鉄道15日間運休 村道6路線交通不能 集落の安全や生活に影響する地すべり発生10カ所．その他に山腹崩壊多数．

4. 地域防災計画の想定と異なる部分

全村でなく姫川の右岸(主たる地質は新第三紀層の堆積岩類)に帯状に被害集中．大規模崩壊や地滑りが発生したが集落や生活に影響を与える箇所は少



写真1 地震により発生した，泥流化した地滑り土塊を止めた砂防えん堤

なく孤立集落は1集落で，地震動や地すべりにより古民家が多く全壊したが，大きく変形しながらも形状を保持．なによりも死者ゼロで電気通信施設の被害が微少であった．

5. 現在の土砂災害に対する懸念

発災後2年が過ぎたが現在も単発的に突然土砂崩壊が発生する．斜面に無数に発生したクラックに変状は認められないが経過観察が必要．また地震後に湧水が止まる少なくなる，新たに湧水が発生するなどの情報も多数聞かれるが地すべりや崩壊の発生につながることを懸念．

なによりも，この地震は想定していた糸静線北部の活断層地震と無関係で，この程度の直下型地震は「いつでも，どこでも」発生しうるとの情報に，次に同じ規模の地震があったときは過去に発生したとされる深層崩壊など大規模な土砂災害が発生するのはと不安を抱いています．

* 小谷村

新潟県中越地震の芋川河道閉塞に対する警戒避難態勢について

三木 公一*

キーワード：河道閉塞，初動対応，監視・警戒避難態勢，解除基準

1. はじめに

2004年(平成16年)10月23日17時56分、新潟県中越地方を震源とするマグニチュード6.8、最大震度7を観測する大規模な地震が発生した。その後も震度6クラスの余震が頻発し、60余名の尊い命が失われるとともに、公共施設はもとより、地すべり等による河川の埋塞など甚大な被害が多数発生した。特に芋川流域の長岡市古志東竹沢地区や同古志寺野地区では、大規模な河道閉塞が発生し、そのため芋川上流部の木籠集落では一部が水没し、また下流部では河道閉塞の決壊による土石流の発生が懸念されたため、芋川の最下流に位置する魚沼市竜光地区(101世帯、436人)と復旧工事関係者などを二次災害から守るため、新潟県が土石流発生や流下による水位異常を検知するために水位計、ワイヤーセンサーを設置し、これらの情報を基に広域的な警戒避難体制を構築した。その後、土砂災害対策工事の進捗により土石流に対する安全度が向上したため、地震から2年後に土石流に対する警戒態勢を解除した。

2. 河道閉塞の概要

河道閉塞の中でも特に旧山古志村寺野地区と東竹沢地区では芋川本川に大規模な河道閉塞が発生した。両地区とも左岸側斜面で発生した大規模な地すべりが河道を閉塞したもので、閉塞土塊の高さはいずれも30mを超える規模であった。このため水位上昇により越流すれば河道閉塞土塊が決壊し、土石流となって下流域に流下し二次災害を発生する危険

性があった。なお芋川は信濃川水系魚野川の右支川に位置し、流域面積38.4km²、流路延長17.2kmの河川で、流域は旧山古志村(現長岡市)、旧堀之内町(現魚沼市)、小千谷市からなる。

3. 河道閉塞対策(初動対応)

地震による土砂災害が同時多発的に発生したことで、旧山古志村は道路がことごとく寸断されたため、陸路ではこれらの現場に入れない状況が続いた。また、全国的にも未曾有の規模の河道閉塞であり、閉塞土塊の決壊による二次災害発生の危険性を時間的制約の中で技術的な判断を下さなければならないことから、全面的に国土交通省本省および北陸地方整備局のアドバイスを受けながら進めた。

(1) 県で実施した初動対応の主な項目(地震直後～10日程度)

- 芋川天然ダム緊急調査チーム(国、県、学識経験者)による検討会での初動対応の検討
- 専門技術者の派遣要請、災害対策用機械類(国土交通省所有等)の借用
- ヘリコプターによる上空調査および人員輸送による現地踏査
- 自衛隊へりによる人員および機械類輸送打ち合わせ
- 航空写真等による地形測量および地形データ解析：天然ダムの規模等を解析
- 湛水域の水位測定：当初はへり写真から推定、10月30日から現地計測
- 河道閉塞越流時間の予測：水位上昇量、想定越

表1 芋川河道閉塞箇所規模

箇所名	高さ(m)	最大長(m)	最大幅(m)	堰止め土砂量(m ³)	最大湛水量(m ³)
東竹沢地区	31.5	320	168	655,940	2,560,500
寺野地区	31.1	260	123	303,340	387,500

* 新潟県糸魚川地域振興局地域整備部

流水位等から越流(余裕)時間を予測

- 危険度(安定性)判定: せき止め土量と湛水量から天然ダムの決壊の可能性を判定
- 決壊による影響範囲の推定: 決壊時のピーク流量, 泥水氾濫範囲, 最大流動深の推定
- 避難勧告の検討と関係市町(旧堀之内町, 小千谷市)への説明
- 警戒避難態勢の構築(監視態勢, 緊急連絡態勢等)
- 関係市町村への情報提供, 危険度の周知(旧山古志村, 魚沼市, 小千谷市, 川口町)
- 緊急仮排水路の施工(排水路, 排水ポンプの設置等)

(2) 河道閉塞土塊の決壊予測

東竹沢, 寺野において河道閉塞土塊が越流により決壊する危険性が非常に高いと判断されたため, 越流時間から応急対策工事の完成期限を設定することになったが, いずれも余裕時間がほとんどないことがわかった。

- 東竹沢: 11月7日15時頃越流(10月28日15時から248時間, 約10日間)
- 寺野: 10月29日18時頃越流(10月28日13時から29時間, 約1日と4時間)

また, 決壊した場合の泥水氾濫範囲は, 堀之内町(現魚沼市)竜光地区住民に氾濫予測図を配布して説明した。最大流動深は集落内で3~4mに達し, 人家等に被害が出ることも想定されたため, これらの結果を関係市町(旧堀之内町, 小千谷市)へ説明し, 避難勧告を検討することを要請した。

(3) 河道閉塞部の緊急対策工事

河道閉塞土塊決壊防止のために新潟県で施工した緊急対策工事は次の通り。

なお, 11月6日に直轄砂防災害関係緊急事業採択され国交省北陸地方整備局湯沢砂防事務所にて工事を引き継いだ。(県は11月9日の排水ポンプ稼働まで関わった)

① 竹沢地区

- 緊急排水路工: 開水路(下幅2m, 上幅5m, H2m)
L250m(仮排水路)
排水ポンプ(0.5 m³/s)6基設置

② 寺野地区

- 仮排水路工: 開水路(下幅3m, 上幅5.5m, H2.5m)
L120m
ダブルプレスト管2連(φ1,200mm)L250m
排水ポンプ(0.033 m³/s)4基設置

(4) 下流域(竜光地区)における緊急対策工事



写真1 芋川(東竹沢)緊急排水路工事状況



写真2 東竹沢緊急対策工事完了(H16.11.6)

閉塞土塊が決壊した場合に備えて, 仮設ブロックえん堤の施工と, 大型土嚢による堤防かさ上げを施工した。(県単砂防工事費で実施)これにより, 土石流等が流下してきた場合に, 住民が避難する時間を少しでもかせぐ事が出来るように対応した。

① 仮設ブロックえん堤(遊砂地)

- 高さ5m, 上幅4m, 下幅8m, 堤長62m, 貯砂量27,600 m³
- 異形ブロックは, 県に備蓄ブロックが無いことから国土交通省信濃川河川事務所(堀之内出張所)から借用した。

② 大型土嚢

- 芋川堤防上に2段重ねで大型土嚢を設置。
- 右岸544m(1,344個), 左岸632m(1,498個), 全体延長1,176m(2,842個)

4. 芋川警戒避難態勢の構築

河道閉塞土塊の状況を常時監視するために, 国土交通省の支援を受けて監視カメラ, 水位計, 監視モニターを設置し, 電話, 電気が断線し復旧の目途が

立たないことから、通信手段として ku-sat と防災テレメーターを設置した。また、下流の竜光地区の安全を確保するために、寺野、東竹沢および小芋川大橋に河道閉塞土塊の決壊の有無を検知する土石流検知ワイヤーセンサーを設置し、ワイヤーセンサーからの情報を基に警戒避難態勢を構築し、竜光集落、魚沼市堀之内総合事務所、魚沼地域整備部等にデータを配信した。竜光区民会館には監視局を設置して、集落内に警報機(サイレン)を設置した。また、同報無線による個別受信機を集落内の全世帯に設置し、サイレンと音声により警戒情報を通報した。

なお、河道閉塞警戒監視システムについては、「**図1** 芋川警報システム概略図」のとおり。

(1) 河道閉塞監視システム

① 東竹沢観測局(当初：梶金橋，H17年7月～十二平橋)

- 水位計(当初は水晶式水位センサー→電波式水位計に変更)
- 土石流検知ワイヤーセンサー：土石流等で切断されると信号が発信される
- 災害対策テレメーター(発信機)：発信信号を竜光監視局に送信

② 小芋川大橋観測局

- 水位計(電波式水位計)，土石流検知ワイヤーセンサー(東竹沢と同じ)

③ TVカメラによる監視映像

- 東竹沢観測局3箇所，寺野観測局1箇所，小芋川大橋観測局1箇所に設置
- 映像はKU-SAT(衛星通信)，およびメタルケーブルにより，竜光区民会館，魚沼市堀之内総合事務所，魚沼地域整備部，長岡地域整備部，砂防課等に配信。

④ 竜光監視局

- 災害対策テレメーター(受信機)により受信した信号，データ，画像が集約され，ここからNTT回線を経由して魚沼市堀之内総合事務所に送信し，各機関に配信。

⑤ 警報局

- ワイヤーセンサー切断により土石流等を関知した場合に集落内の4箇所に設置したサイレン，回転灯で伝達

⑥ 緊急通報メールシステム

- 土石流検知ワイヤーセンサーの信号と連動し，

関係機関の登録した端末に土石流発生 of 信号をメールで一斉送信するシステム。

表2 センサー等設置諸元

	小芋川大橋	梶金橋 (十二平橋)
ワイヤーセンサー設置高	3.8 m	3.8 m
センサー本数	2 本	2 本
水位計設定高	3.8 m	3.8 m
センサー等設置高	99.54 m	147.45 m
最深河床高(基準高)	95.74 m	143.65 m
竜光集落上流端からの距離	約 2 km	約 6 km
土石流到達時間(竜光集落)	約 4 分	約 15 分



(2) 平常時，緊急時の警戒行動(新潟県砂防課，魚沼地域振興局，魚沼市)

① 平常時(自然流下水路完成まで)

ア) 注意態勢

- 東竹沢地区の越流想定標高 -1.5 m に水位が達した時点(水位 EL158.5 m)

イ) 常時監視態勢

- 越流想定標高 -1.0 m に水位が達した時点(水位 EL159.0 m)
- 大雨警報発令時，県関係機関は水位の常時監視態勢に入り，今後の水位の変化を予測し魚沼市に連絡。

ウ) 越流1時間前態勢

- 越流想定水位に達するまで1時間程度と想定された時点で魚沼市に越流のおそれが高いことを連絡，形跡

エ) 非常態勢

・越流開始時点(現地および監視カメラで確認)で魚沼市に連絡。越流開始後は非常態勢として随時状況に対応。

② 緊急時(土石流発生時、震度4以上の地震、大雨警報発令時、東竹沢工事現場から以上の通報時)

ア) 竜光地区

・土石流発生はワイヤーセンサー切断により感知し、警報機(サイレン)および回転灯が作動した場合に住民は速やかに指定された避難場所(4箇所)に避難する。また、同報無線による個別受信機を全世帯に設置した。

イ) 関係機関

・土石流発生情報を緊急連絡網により関係機関に速やかに連絡する。魚沼地域整備部は現地調査を行い土石流の有無を確認し、連絡網により関係機関に連絡する。

(3) 警報機の作動に応じた避難態勢

警報機が鳴れば必ず避難行動を始めることとしたため、誤報を防ぐために2重、3重にチェックして警報を発信することとした。

また、約100世帯(400人余)の地区住民が参加して避難訓練を実施。(平成16年11月28日)

① 小芋川大橋観測局における警報作動の場合(L=2km, 土石流到達想定時間 4分)

ア) ワイヤーセンサー, 水位計の一方のみが作動した場合

- ・竜光集落の警報機は鳴らさない
- ・各家庭の同報無線機はアナウンスする
- ・魚沼地域振興局, 魚沼市堀之内総合事務所の警報機は作動する

イ) ワイヤーセンサー, 水位計の両方が作動した場合

- ・すべての警報機が作動する

② 梶金橋(十二平橋)観測局における警報作動の場合(L=6km, 土石流到達想定時間 15分)

ア) ワイヤーセンサー, 水位計の一方のみが作動した場合

- ・すべての警報機が無作動
- ・同報無線機ではアナウンスしない

イ) ワイヤーセンサー, 水位計の両方が作動した場合

- ・すべての警報機が作動する

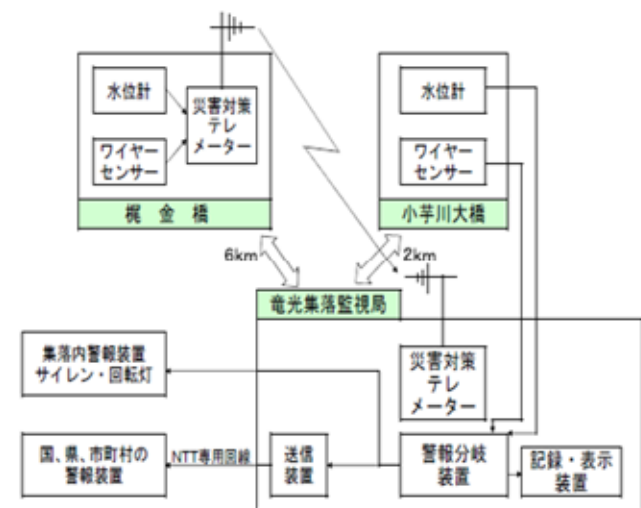


図1 芋川警報システム概略図

(4) 監視態勢・警戒避難態勢における課題

- ・ワイヤーセンサー類は誤作動が多かったため、そのたびに地元住民、市町村職員に迷惑をかけた。また、市町村職員は警報発令による避難誘導に慣れておらず一時的にパニックになることもあった。(市職員の避難誘導訓練等が必要)
- ・誤作動対策: ワイヤーセンサーの2重化, ワイヤーセンサーと水位データの連携, 災害対策テレメーターの送受信機器の改良等(使用しないチャンネルの除去, 雷対策, 等)
- ・芋川では土石流センサー設置までの期間, 監視員を竜光集落上流に配置したが, 監視員の安全確保が十分だったかどうかは疑問がある。
- ・センサー設置位置から竜光集落までの距離は, 東竹沢から約6km, 15分。小芋川大橋から約2km, 4分。警報が鳴ってから時間的余裕がなく住民は常時素早く避難することが求められた。(多くの皆様が衣服を着たままで寝ていた)
- ・発動発電機等の燃料(ドラム缶入り軽油)の輸送は, 当初自衛隊によるヘリ輸送としていたが, 対策工事に係る資材等も輸送していたため, 必要量を予定通りに運ぶことが難しかった。
- ・大雨警報発令の基準が地震後低減されていたため, 大雨警報のたびに避難することは住民にとって困難であった。(大雨警報ではほとんど避難行動を起こさなかった)

5. 避難勧告および解除と警戒避難態勢の状況

(1) 避難勧告と解除

東竹沢の河道閉塞土塊の決壊による二次災害(土石流)から芋川下流に位置する竜光地区住民の安全を確保するため、県は当時の堀之内町長に避難勧告の検討を要請した。

堀之内町長は県から示された情報に基づき平成16年10月30日18時、竜光地区に避難勧告を出した。

竜光地区においては強い地震動による家屋等の損壊が広範囲に発生したため、10月25日には自主避難していたが、集落内において大きな土砂災害の危険性がないことから上流域で発生した河道閉塞により土石流発生のおそれがあることについては、なかなか理解にくいものであった。そこで10月31日19時に魚沼地域整備部と砂防課が避難住民を対象に河道閉塞の状況と今後の見通しについて説明会を行った。以後、11月9日に避難勧告が解除されるまで、魚沼地域整備部は毎晩、避難所(宇賀地小学校)で芋川河道閉塞の湛水状況と工事の進捗状況を説明した。

河道閉塞現場では県により緊急対策工事が進められ、11月6日には直轄砂防災害関連緊急事業が採択されて直轄工事に引き継いだ。この際に県庁において記者会見を開き、「竜光地区の住民避難勧告解除の目安」を発表した。内容は次の通り。

- ① 東竹沢地区の天然ダムに対処するための排水ポンプの設置が完了していること。
- ② 東竹沢地区の大型土嚢による、越流防止工事が完了していること。
- ③ ワイヤセンサーの設置が完了していること。

以上が整い、地区住民の避難態勢が確立すれば、安全が確保されたものとして避難解除が出来るものとした。この後、北陸地方整備局、県(魚沼地域整備部、砂防課)、県災害対策本部、魚沼市(旧堀之内町)は避難勧告解除後の警戒避難態勢と緊急連絡態勢について協議を重ね11月9日9時に魚沼市長は避難勧告を解除した。

(2) 避難勧告解除後の警戒避難態勢

県による緊急対策工事は一応終わったものの、閉塞土塊決壊の危険性は依然として残っていたため、国、県(魚沼地域整備部、砂防課)は24時間警戒避難態勢を継続した。また、関係機関による警戒避難態勢に関する協議と芋川流域における事業調整を繰

り返すとともに、関係機関による緊急連絡網の情報伝達訓練や、竜光地区では避難訓練を実施した。

河道閉塞現場においては湯沢砂防事務所により対策工事が進められ、融雪出水に対応できる規模の仮排水路開削工事が完成したため、平成16年12月28日に24時間態勢を解除した。

平成16年から17年にかけて19年ぶりの豪雪となり、地震によって激しい地震動にさらされた地域では地盤のゆるみが想定されたことから、県危機管理課と協議し消防防災ヘリコプターにより融雪状況、土砂流出状況等を上空から調査した。(2月18日から実施)その結果、積雪期および融雪期においてはいくつかの小規模な崩壊地を確認したが、下流に大きな影響を及ぼす新たな土砂流出は確認されなかった。なお、融雪時期においても24時間態勢で警戒を強めるなどの対応をとった。

平成17年、18年は芋川流域において災害復旧工事が本格的に実施されていたことから、土石流等に対する警戒態勢、情報連絡態勢をより確実なものにするために「芋川流域における復旧工事および警戒態勢に関する打ち合わせ会議」を適宜開催して連絡調整を密に行うとともに、関係機関による工事現場の巡回も実施した。

また、竜光地区住民には随時説明会を開催し、工事の進捗状況と工事完成の見通しを説明した。

(3) 河道閉塞決壊による土石流警戒態勢の解除

地震から2年が経過した平成18年10月、国土交通省による土石流対策工事が進捗し、下流集落に対する安全度が向上したことから、10月17日に関係行政機関と竜光地区代表者が合同で現場の状況を確認し土石流に対する警戒態勢の解除について検討会議を開催した。

その結果、次の4点が確認された。

- ① 東竹沢地区砂防えん堤の進捗により河道閉塞土塊が決壊して土石流化する恐れが無くなったこと。
- ② 竜光地区の遊砂地の進捗により土石流に対する土砂捕捉機能を十分発揮できる状態になったこと。
- ③ 芋川本川(東竹沢、十二平)と支川(塩谷川等)の砂防えん堤の進捗により、土石流に対する土砂捕捉機能を十分発揮できる状態になったこと。
- ④ 融雪や集中豪雨等による災害を未然に防止する

ために、今後も引き続き関係機関での情報共有を図り、流域住民の安全安心を第一とした措置を講じていくこと。

これを受けて、地震直後に警戒態勢を構築した状況から、現在は下流集落に対する安全度が向上し、土石流に対する警戒態勢を解除する条件が整ったとして、10月23日竜光地区住民にこれを説明し了承を得たため、平成18年10月24日9時に、地震発生後2年間にわたった警戒態勢を解除した。

6. おわりに

大規模河道閉塞に対する警戒避難態勢は、災害発生直後の住民避難の判断、監視態勢、情報伝達態勢を迅速かつ的確に行うことと、国、県、自治体、研究機関、調査・工事施工業者等の緊密な連携が必要であり、平時から情報の共有化や危機管理計画の策定などを行い備えることが重要である。

山地災害等からの復興を契機に活動した栗駒山麓ジオパーク構想

佐藤 英和*

キーワード：防災教育，復旧復興，ジオパーク

1. はじめに

平成20年6月14日、穏やかな田園地帯の生活を、突如震度6強の激震が襲った。16名の犠牲、数千を超える斜面・河川・山地の破壊、耕英地区などの大規模・長期避難など幾多の困難な災害から既に8年を経過した。この間、平成23年3月には東日本大震災と巨大津波によって東北は激烈な災害に見舞われた。極めて過酷な状況は現在も継続している。

この地域に住む私たちは、自然の猛威を目の当たりにして、人と自然の関わり、災害と生活について、改めて考えることとなった。とりわけ荒砥沢ダム上流で発生した国内最大規模の地すべりは、自然の底知れぬ脅威を垣間見せた。これを機に、栗原市は自然と向き合う姿勢を転換し、ジオパーク宣言を行うこととなった。私たちは山地災害のみならず、市域全体にわたる人と自然の営みを見つめ直すことを通して、自然への畏敬や感謝、安全・安心に十分な配慮を持った、喜びに満ちた地域社会の構築へと新たな一歩を踏み出した。

ジオパークとは、地学の現象のみならず、地球とその上にある自然や動植物、人類の歴史や文化などあらゆるものを楽しみながら学ぶ「ジオツーリズム」を実現する試みで、栗原という地域に新しいコンセプトの旅の世界を創造する壮大な企画である。栗駒山麓ジオパークの大きな特徴は、自然がもたらす過酷な災害を紹介することや、珍しい地学現象の紹介に止まらず、これらと向き合う人の生活、更には自然災害の克服に取り組む人の営みや防災・減災への地域の取り組み、時の経過とともに育まれる豊かな自然と地域文化の姿まで、それらの全体像までも踏まえてのジオパーク化を目指していく点に象徴されている。

自然と人間の営みを「自然災害との共生と豊穡の

大地の物語」というコンセプトとして加え、ジオパークの認定に向けた取り組みを紹介し、栗駒山麓ならではの個性豊かなジオパークを目指して活動を開始した。

2. 平成20年岩手・宮城内陸地震

発生日時 平成20年6月14日(土)午前8時43分

震央地 岩手県内陸南部

震央の深さ 約8キロメートル

地震規模 マグニチュード7.2

栗原市内各地の震度(地震発生直後の震度計測定値)

【震度6強】一迫地区

【震度6弱】栗駒・築館・高清水・鶯沢・金成・志波姫・花山地区

人的被害状況

死亡者…13人(栗原市内)、行方不明者…4人

負傷等…180人



図1 荒砥沢ダム上流部地すべり

3. 復興に向けて「栗駒山麓ジオパーク構想」を開始

平成20年岩手・宮城内陸地震による災害からの1日も早い復興を成し遂げるため策定した、栗原市震

* 栗駒山麓ジオパーク推進協議会(栗原市ジオパーク推進室)

災復興計画「水と緑、山の再生へ」で、産業・経済の再建を図るべくジオパーク検討事業を位置づけた。その計画に基づき、具体的な検討を開始するため、「栗駒山麓崩落地・景観活用検討委員会」を設置し、栗駒山麓崩落地の地形・景観の活用を検討した。この委員会からの将来ビジョンに基づき、ジオパーク活動を通じ、震災から復旧・復興した姿を、支援を受けた方々に発信することと、震災による記憶と経験を風化させず後世に伝えていく手法として活用しようとして取り組んだことが栗駒山麓ジオパーク構想の始まりだった。

栗原市は、度重なる巨大震災により甚大な被害を受け、この震災の記憶と経験を風化させず、後世に伝えていくためにも、震災により生じた無数の崩落地という新たな地形や景観を貴重な遺産または資源として位置づけ、「防災と減災」を目標にした新たなジオパークの創出を掲げた。

4. ジオパーク推進組織と運営

平成20年岩手・宮城内陸地震および東日本大震災で、甚大な被害に見舞われた栗駒山麓の記憶と経験を風化させることなく、後世に伝えるため、震災で生じた崩落地という新たな地質遺産や、伊豆沼・内沼など栗駒山を水源とする迫川水系に沿った豊かな自然環境と、栗原市が取り組んできた田園観光都市創造事業の成果を結びつけたジオパークとして、学術研究、防災教育および観光に活用し、栗原市の活性化に寄与する活動を行うことを目的として、平成25年7月7日に栗駒山麓ジオパーク推進協議会(以下、「推進協議会」という。)を設立した。推進協議会は、市内の教育機関、観光関係者、NPO等の団体と栗駒山麓ジオサイトに関連のある県内の国、県などの行政機関を合わせ36団体で構成している。

【役員】

推進協議会員から会長1名、副会長2名、監事2名を選任する。

【総会】

推進協議会の最高意思決定機能を有する総会は通常総会が年1回行い、年次計画・予算の策定、重要案件協議を行う。ジオパーク加盟申請やジオサイトの決定などの重要案件はその都度、臨時総会を行う。

【運営委員会】

推進協議会には5名の学術アドバイザーと関係機

関の実務担当者を交えた運営委員会を置き、4つの専門部会の意見収集を行い、総会への付議案件等の協議を行っている。

【専門部会】

4つの専門部会と栗原市部長級職員で構成する市役所庁内推進会議で構成し、運営委員会から付託された事項については専門部会が調査並びに検討を行う。市役所庁内推進会議は専門部会から提出される案件について相談に応じ、市役所内のコンセンサスを図っている。

(1) 広報・宣伝部会

- ① 市民に対するジオパークの普及啓発を図る。
- ② 観光客向けジオパークの情報発信を図る。
- ③ 普及啓発のための仕掛け素材の開発を行う。

(2) 防災・教育部会

- ① 震災の経験と記憶を後世に伝える。
- ② ジオと環境、防災の普及啓発を図る。

(3) 観光・ツーリズム部会

- ① 新たな観光等の在り方をジオの視点で確立する。
- ② 受入れ体制を確立します。(宿泊・移動・飲食・土産など)
- ③ 観光関連団体との連携を図る。

(4) ガイド部会

- ① ジオと人の暮らし・文化・歴史を結びつけるストーリーと栗原流の表現・伝え方を確立する。
- ② ジオガイドのスキルアップを図る。
- ③ ホスピタリティーの醸成を図る。



図2 組織体制図

- ④ 来訪者およびジオガイドの安全管理の確立を図る。
- (5) 市役所庁内推進会議
 - ① 市役所内の各部局との連絡調整を行う。
 - ② 市役所職員への浸透と普及啓発による市職員や関連部局間の一体感の醸成を図る。

5. ジオパーク活動開始

栗駒山麓ジオパーク推進協議会設立後、関係行政機関や市民、教育機関、観光関係者、NPO、ガイド団体など、官民一体となったジオパーク推進事業が本格的に稼動し、地域住民へのジオパークの理解向上と周辺地域への栗駒山麓ジオパーク構想のPRのため、各種普及活動を積極的に行った。

解説板等の整備

栗駒山麓ジオパークにおける看板等の整備は、推進協議会ガイド部会（以下、「ガイド部会」という。）が中心となって、必要な看板の種類、設置位置、盤面案原案を検討した。

看板の種類は、多くの人々が往来し、目の付きやすい場所に栗駒山麓ジオパークを総合的に紹介する「総合案内看板」と、ジオポイントを解説する「説明看板」、ジオサイトやジオポイントまでの道のりを案内する「道標」の3種類を設置する。特に解説看板



図3 ジオサイト説明看板

は、ガイド部会が中心となり、設置箇所の検討や盤面原案を作成。推進アドバイザー監修のもと、平成25年度、栗駒山麓ジオパークの目玉となる「荒砥沢地すべり」に1基設置。平成26年度は13基の設置を行い、今後も順次設置を行う。解説看板は、日本語と英語、中国語（繁体語）韓国語の4ヵ国語表記とし、2次元バーコードからウェブサイトへリンクする。解説看板には写真や図を多用し、専門用語を多用せず、できるだけ平易な表現で解説を行うとともに、地形や地質、植生といった自然環境に関する解説のほか、関連する歴史や文化、そこで起きた災害履歴などの解説も加える。

ジオガイド養成の取り組み

平成24年度から栗駒山麓ジオガイド養成講座（初級）を開始し、市民を問わず、ジオパークやガイドなどに興味のある方の受講を受け付けた。初年度は55名が参加、30名が初級の課程を修了し、中級講座に進んだ。平成25年度から初級講座を修了した者および観光ガイド実践者を対象に現地研修を中心とした中級講座を開始した。30名が受講し、その内20名が栗駒山麓ジオガイドとして活躍していきたい旨の意思を示した。実際に中級講座の課程を修了した受講者が、栗駒山麓ジオガイドとして活躍している。平成26年度から、中級講座を修了した受講者を対象に、活動希望エリア毎の少人数のグループに分かれたスキルアップ講座を開催している。

将来的に崩落地など危険な箇所をガイド出来る、安全管理、危機管理能力等の知識を持った「プロフェッショナルジオガイド（上級講座）」の養成が必要となる。時間管理手法や危険予知、天候への対応など高度な危機管理に対応出来るようマニュアルの整備、ガイドへの教育活動のほか、装備品の整備、情報通信手段を導入する事も検討し、ソフト面、ハード面からリスクマネジメントを図る必要がある。

区分	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度
初級講座	10回開催	8回開催	8回開催	8回開催
中級講座		10回開催	10回開催	10回開催
スキルアップ講座			8回開催	10回開催
上級講座				内容を検討
合計	10回	18回	26回	28回

図4 ジオガイド養成講座の年度別開催状況



図5 地すべり体験



図6 小学生と栗駒山登山



図7 火山爆発大実験

教育活動

栗原市内の小・中学校を中心に、総合的な学習の時間や防災教育の中で、栗駒山麓ジオパーク構想を取り入れたジオパーク教育活動(ふるさと教育)を実施している。市外の子ども達向けのジオパーク教育は、ジオツアーを提供して実施している。平成27年度は市内の小・中学校10校、県内の小学生を対象に1回実施した。また、ジオパーク学習で学んだ成果を、総合学習発表会や栗駒山麓ジオパークフェアなどで発表する機会を設けてきた。

その他、子ども達にジオパーク教育を身近に行える人材の育成として、市内小・中学校防災担当教諭研修会や新規採用教員向けのジオパーク研修会の実施、出前講座による教員向け研修会など、教育現場へのジオパーク活用に向けた連携も進めている。

6. 地域経済の発展に向けて

栗原市は現在、優良な農業生産地であるが、人口減少、高齢化等の問題を抱えている。今後、現状を踏まえながらも、6次産業化、観光・サービス化といった新たな要素を加えながら、地域の産業の構造転換を進めていくことが求められている。今回のジオパーク構想でもこの課題は重点を置いて検討されており、既存企業の貢献を引き出すことに加え、地域住民の中に事業機会を提供することで、新たな産業の育成を進めることを検討している。

ジオパークにより観光機会が高まることが想定されるが、その受け皿として必要となる多様なサービスを、広く地域の力を活用しながら育成していくことを、地域の大学と連携して取り組んでいる。ジオパークが多くの市民にとって「関係のあるもの」にすることで、その経済効果が広く長く行き渡ることが想定されているのが本ジオパークの特徴である。地

域包括的な効果が期待できるという点で、多くのジオパークの参考になるモデルになると期待される。

(そのための主な取り組み例 一部掲載)

- ジオツアーで栗駒山を活用したツアーのうち、登山やトレッキングなどを盛り込んだアウトドア要素の強いツアーは、アウトドアメーカーと連携し協賛を受け実施している。そのメーカーの商品を、栗駒山麓ジオパーク公認又は推薦の装備品として選定することで、訪れる方の安全性を向上させるほか、地域の経済効果が期待できる。更にメーカーから顧客に当該ジオツアーを発信することで、栗駒山麓ジオパークの周知・浸透を図り、更なる誘客が期待できる。
- 地元食や特産品、地場産業への応援を行い、地域と関連深いジオ食、ジオグッズなど栗駒山麓ジオ関連商品を開発し、今後整備を進めていく拠点施設等での販売やジオ食の提供を図っていく。そして既存のツーリズムにジオパークの要素を織り込みながら、ジオ食、特産品の普及を図っていく。
- ジオパークに取り組むことで、多様なジオツアーの運営、観光資源の洗い出しなどの整理が進み、今後、本格的な観光・ツーリズムの仕組みを構築しジオパークとして発信することで、人を集め、リピーターを呼び、継続的な観光資源開発が自力で進められる仕組みを構築して地域の経済的発展を図る。

7. 経済発展と自然環境保全の両立に向けての戦略

栗駒山麓ジオパークは、平成20年岩手・宮城内陸地震と東日本大震災の2度の巨大地震災害から復旧・復興を成し遂げ、現在は発展の段階にある。地域の持続的・計画的な活用を図っていくためには、

震災によって生じた崩落地などの地形・地質資源を「貴重な資源」として位置づけ保護し、積極的に活用していくことで、ジオパークとしての経済効果を生み出していく必要がある。

栗駒山麓ジオパークには崩落地などの地形・地質資源のほか、栗駒国定公園やラムサール条約登録湿地の伊豆沼・内沼、肥沃な田園風景といった地域資源が数多く存在する。既存の地域資源を活用していくには、それと同じように自然に配慮した保全を地域ぐるみで図っていく取り組みが必要である。そのため、この地域に住む私たち一人ひとりが地域資源の価値を見つめ直し、再認識することが重要である。



図8 内陸地震前と直後の荒砥沢ダム周辺

更には、直近の災害で発生した地形・景観といった大地のダイナミックな変動を間近に見られるのは、栗駒山麓ジオパークの最大の特徴であり、林野庁が指定する特定地理等保護林といった保護制度などで適切に保護し、景観を保全しながら安全に、且つ安心して活用出来るような基盤づくりを強化していく。

8. 日本ジオパークに立候補する背景と理由

日本ジオパークネットワークへの貢献

国内の多くのジオパークには、過去の災害の事象を盛り込んだストーリーやジオサイトが掲げられているが、数千年から数万年前という太古の事象が多く活用されている。栗駒山麓ジオパークには約8年前に起きた震災の爪跡が多数現存しており、間近に見える災害事象や大地の変動をテーマにしたジオパークとして、新たな取り組みを日本ジオパークネットワーク(以下、「JGN」という。)に発信し、活用されるものと考えている。また、巨大地震により発生した山地災害地への立ち入りについて、栗原市と

安全管理や危機管理能力等を備えたジオガイドが責任を持って案内するという、これまでに例を見ない方法を「くりはら方式」として発信する。東北森林管理局と連携し共に考え取り組んできたこの方法は、他のジオパークでも活用出来るものと感じている。

更に「くりはら方式」としてそれ以外に特筆したいことは、ジオパークを推進する以前から、平成20年岩手・宮城内陸地震で生じた崩落地を、ジオパークという手法で後世に継承し防災・減災に役立てていくため、震災で亡くなられた方の遺族の理解を得た上で進めてきた。その上でジオパーク認定だけを目標とせず、活動実績を着実に積み重ね、来訪者をおもてなし出来る体制が整った段階でジオパーク申請することとし、市内のコンセンサスを図ってきた。震災の出来事をマイナスからプラスへと転換することで、被災地のままでは終わらせず、復興した姿を遅く発信し、防災・減災に役立てていく姿と長い時間をかけて積み上げてきたジオパーク活動重視の姿勢をJGNに発信し、新たにジオパークを目指す地域の参考として活用されたい。

日本ジオパークネットワーク加盟後の展望

日本ジオパーク認定までは、栗原市単独でジオパーク活動に取り組み、同じ栗駒国定公園を市域に持つ秋田県ゆざわジオパークと、将来的に連携していくことを視野に入れながら、双方のジオガイド養成講座やジオフェア等での協力、連携したジオツアーなど事業協力を行ってきた。更には、栗駒山を中心とした豊かな自然資源、動植物、温泉、歴史と文化など多彩な観光資源を有する市村(宮城県栗原市、秋田県湯沢市、秋田県東成瀬村、岩手県一関市)の観光振興について、県域を越えて広域的に連携し、地域の活性化を図るため、「ゆっくりひとめぐり栗駒山麓連絡会議」という観光協定を締結している。

日本ジオパーク認定後は、その大きな枠組みの中で、ジオパーク活動を行うようエリアの拡大を視野に入れ活動していく。

9. 終わりに

震災からの復旧・復興と、そこから推進してきた、これまでのジオパーク活動が評価され、栗駒山麓ジオパーク構想は平成27年9月、日本ジオパークに認定された。

以下、日本ジオパーク委員会からのコメント

「奥羽脊梁山脈に栗駒火山がそびえ、3本の迫川に育まれる地域であり、栗駒山及びその周辺の火山活動など活発な地殻変動と侵食・堆積運動により、特徴的な地形・地質を有している。海拔1,626mの栗駒山頂から海拔2m程の低地域の中に植生、歴史、産業など極めて多彩な地域資源がある。地震で生じた地形・景観と地域の人々が災害からの復興に取り組む姿を新たな貴重な資源と位置づけ、防災・学術研究、観光などへ幅広く活用する取り組みやジオパーク理念の普及がなされてきた。それが現在のジオパーク活動の基盤となっており、活動を継続していく体制は十分に構築されている。相次ぐ地震災害を乗り越え、栗駒山麓の特徴ある地域資源を持つジオパークとして将来の発展が期待できる。

以上のことから、日本ジオパークに認定するものとする。」

日本ジオパーク認定後、地域住民や団体、店舗などの意識の変化のほか、小・中学校のジオパーク学習(ふるさと学習)などの意識の変化が現れてきている。そのことはジオパーク視察団体数やジオパーク学習実施校数にも顕著に現れている。

その結果、ジオガイドの活躍機会の創出にも繋がり相乗効果として現れてきている。持続可能なジオパーク活動の推進を目指し、交流人口の拡大と震災で落ち込んだ地域経済と産業の再生、再建を図りながら、震災の出来事を風化させないようジオパークという手法を通じて未来の子ども達にしっかりと継承していきたい。



図9 震災の出来事を後世に伝える取り組み(ジオパーク学習)

ジオパークを通じた防災・減災学習について

中川 理絵*

キーワード：土砂災害，地すべり，防災教育，ジオパーク

1. はじめに

ジオパークを通じた学習活動は，全国のジオパークにおいて

栗駒山麓ジオパークでは，平成25年度より，ジオパークを通じた学習プログラムの提供を行っている。ジオパークを目指すきっかけが平成20年岩手・宮城内陸地震であることから，防災・減災学習には特に注力している。

2. 栗駒山麓ジオパーク学習のねらい

栗駒山麓ジオパークにおける学習活動のねらいは次の2つに設定している。

a) ジオパークを活用した学習をとおして，栗原市の理解，よさの発見等，ふるさとを学び理解していく。

b) ジオパークを活用した学習をとおして，岩手・宮城内陸地震の記憶を後世につなぎ，防災教育を推進するための学習。

a) は，いわゆるふるさと教育にあたるもので，自分たちの住む地域の特性(地質・地形・歴史・文化・産業など)について知り，理解を深めるために行うものである。

b) は，震災の経験を後世に語り継ぎ，より災害に強い地域づくりを行っていくという我々のジオパークが持つテーマの実現に向け，特に注力して活動を推進している。地域の災害特性を理解した人材へと成長できるよう，我々が教材・フィールド・人材の提供や紹介をしていくもの。さらに，そうして得られた知識をもとに，災害発生時に個々人が状況に応じた行動ができ，その後も自主的に行動を起こすことができるよう，減災の実現に向けた教育活動も行うものである。

3. 栗原市におけるジオパーク学習の実施状況

平成25年度から開始し，今年度で4年目となる栗駒山麓ジオパーク学習は，**図1**のグラフのように実施回数・参加人数が増えてきている。

上記 a) および b) の学習については，市内ジオサイトをジオガイドとともに見学するフィールド学習や，事務局が学校を訪問して行う出前授業など，学校側の要望に沿う方法で行っている。過去2年間に渡る実施回数は，座学並びにフィールド学習を合わせて平成26年度が11回，平成27年度が22回，今年度は23回(11月現在)である。こうした実践の中で，先生方の意見を基に教科単元と関連する学習プログラムを作成してきたことで，学校教育に取り入れやすい学習プログラムの提供が可能になってきている。

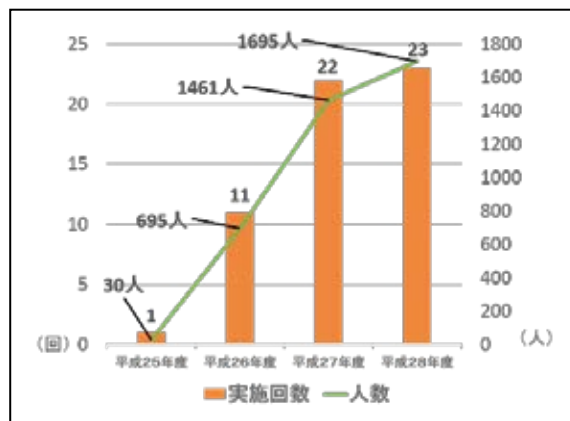


図1 グラフ ジオパーク学習の実施回数と参加人数の変化

例えば，小学校6年生の理科の単元である「大地のつくり」，並びに「変わりつづける大地」は，地層や岩石，火山といったジオパークが得意とする分野にあたるので，学習意欲の向上に繋がるような実験道具，教材の提供が可能である。さらに，地質学の専門員が常時事務局におり，プログラム作成や

* 栗宮城県栗原市産業経済部ジオパーク推進室

フィールド学習時に、科学的根拠に基づいた知識を提供できることも、ジオパークを活用することの良さにあたるだろう。以上のように、ジオパークの性質と合わせやすい理科と関連させたジオパーク学習の実施数は、今年度が特に多くなっている。

また、学校ごとのカリキュラムで実施される総合的な学習の時間におけるジオパーク学習も、理科と同様に実施回数が多い。その理由として、ジオパークにおいてジオサイトに設定するものが、地質・地形・岩石などの地学的要素に加え、それらを基礎とする生態系、地域の歴史・文化・産業といった人々の暮らしまで多岐に渡るため、学校ごとの要望に応じたプログラム提供が可能で活用しやすいからと考えられる。

4. 防災・減災教育のための学習プログラム

活用件数の最も多い学習プログラムは、栗駒山麓・山腹部の荒砥沢地すべりをはじめとする斜面崩壊・崩落地見学を中心としたプログラムである。このプログラムは、理科で扱われることが多く、藍染湖公園⇒冷沢崩落地⇒行者滝を回るものである。学習時には、必ず養成講座を修了したジオガイドが説明を行う。見学先までの道中では、平成20年岩手・宮城内陸地震に関する説明を行い、導入の学習をする。藍染湖公園では、地すべりという現象の理解や、荒砥沢地すべりの特徴として、発生メカニズム、規模、周辺の地質・地形の構造などを学んでいく。続く冷沢崩落地では、斜面災害の発生と治山工事、この場所で被災をした方のエピソード等を紹介する。最後の行者滝では、内陸地震当初の河川の様子から、なぜこの場所に滝が形成されたのかを、地質構造から紐解いていく。このプログラムには、理科要素に加えて防災・減災教育において基礎となる(写真1)。

こうした学習をより楽しく学ぶためのツールとして、栗駒山麓ジオパークでは以下のような実験や体験学習も併せて行っている。

- a) 岩石観察をして地すべりが発生した原因を探る
これは、ワークシートを活用し、観察する機会の少ない岩石に実際に触れながら、岩石ごとの特徴を押さえて荒砥沢地すべりのエリアにおける地層構造を学ぶというものである。体験で使用する岩石は4種類で、実際に荒砥沢地すべりのすべり面とされる地層から採取したシルト岩

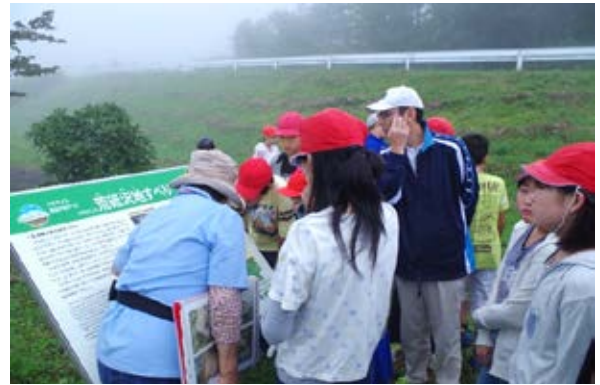


写真1 ジオパーク看板の前で説明を受ける子どもたち (2016年9月29日筆者撮影)



写真2 栗駒山麓部を構成する岩石を観察し地すべりの原因を考える子どもたち (2016年9月28日筆者撮影)



写真3 地すべりシミュレーション装置ユレオで実験をする子どもたち (2016年9月30日筆者撮影)

にも触り、握りつぶしてもらい、砕けやすさを体感し、斜面災害が発生しやすい要因があることにも気付いてもらうことがねらいである。(写真2)

- b) 地すべりシミュレーション装置・ユレオ
これは秋田大学教育文化学部教授・林信太郎氏から提供を受けたものである。簡単に実験内容を紹介すると、2枚の板(600×450×5.5mm)

の間に、押しバネを計9本仕込んだ地震発生装置の上に、培養土で小さな山をつくり、山の中に地すべりを発生しやすくする仕掛けとして丸く切りすべり面に見せた紙を差し込む。その後、装置を手で揺らすと地すべりが発生するというものだ。地すべりを視覚的に捉えることによって、その現象をより分かりやすく学ぶことが可能である。(写真3)

以上のように、現地見学では自然現象そのものに興味を持たせ、その上で実験等の体験学習を併せて行い災害の発生メカニズムや、地域の災害特性への理解を深めるという学習を行っている。

また、ジオパーク学習を実施当初の反省点として、子どもたちが受け身になってしまうという課題があったが、毎回配布する現地学習用資料を書き込み式のものに変更することなどで姿勢が変わってきている。こうした課題の発見と改善を積み重ねることで、よりよい学習プログラムを構築することができている。

5. 副読本の作成と防災教育の推進

ジオパーク学習の推進活動のひとつとして、教材の開発も行っている。昨年から1年間をかけて完成した「ジオ読本 くりはら大地の物語(理科編)」は、小学校5年生、および6年生の理科の授業における活用を見込んで制作した。教科書と併用し利用する資料として、教科書で取り上げられている事象に加えて、栗原の事象を追加して児童生徒へ提示するなどし、興味や関心を持たせたり、理解させたり、考えさせたりすることを目的としている。(写真4)

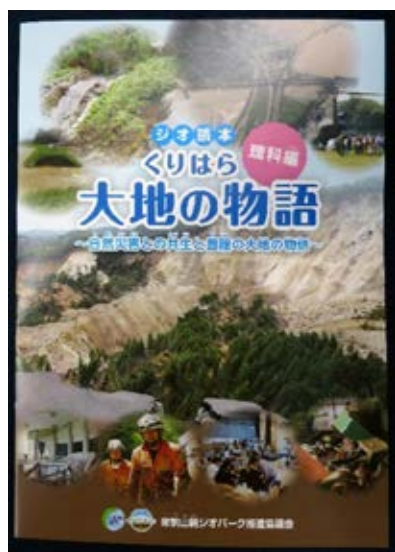


写真4 ジオ読本表紙

栗原市内の小中学校では、東京書籍出版の理科の教科書を使用している。その中でも、5年生は「天気の変化」、「台風と天気の変化」、「流れる水のはたらき」、並びに6年生は「大地のつくり」、「変わり続ける大地」の単元における防災・減災の学習分野において活用できるよう制作している。

5.1 読本作成における工夫

読本を作成するにあたり、以下の工夫を凝らすことで、学校教育現場の性質との反発を防ぎ、授業に取り入れやすい読本づくりを目指した。

a) 小中学校の先生方によるワーキング設置

取り入れやすさを実現するためには、教育現場をよく知る先生方の意見を優先的に取り入れる必要があると考え、栗原市教育委員会および校長会を通じ、ワーキング委員選出を行った。選出されたワーキング委員は、栗原市教育研究センター、並びに栗原市教育委員会、市内小中学校教員の計9名である。市内小中学校教員はすべて各学校において防災担当をしている。

ワーキング開催は月1回のペースで計10回に渡って実施し、毎回のワーキングには編集業者に参加いただき、編集上の意見を踏まえながら読本の構成や原稿作成を行った。編集業者は、防災・教育部会員3名、および推進アドバイザーの東北学院大学教授・宮城豊彦氏により、プロポーザル方式で選出した。

b) 単元活用計画案の作成

読本作成ワーキングにおいて、初回から先生方より出された意見の中に、「学校教育現場には副読本等の教材が毎年いくつも届くが、それらに目を通す時間を取ることは大変難しい」というものがあった。したがって、ジオ読本の作成・配布はこうした現状に追い打ちを掛けてしまう可能性があった。こうした現状に配慮し、また前述したような授業への取り入れやすさを考慮した結果、単元活用計画においてジオ読本の活用方法を記入した資料を作成し、読本と併せて配布することとした。

5.2 読本の構成について

前述した通り、この読本の活用場面は理科の授業であり、また地域目線の防災・減災を実現していくための一助として読本を活用していきたいとの考えがベースにある。したがって、構成の中心は栗原の災害特性である地震災害・土砂災害・火山災害・水害の4つである。具体的には、それぞれの自然災害

について、過去の災害史や発生メカニズムについて記載している。さらに、栗原の地形的特徴である1,626 mの栗駒山から、標高平均5 mの平野部までの地形条件に応じた災害特性についてイラストを用いて記載し、自分の住む地域がどういった自然環境にあるのかを理解した上で、その自然災害への備えとなる知識を得ることができる内容である。さらに、栗原の自然環境への理解を深めるため、巻末にはイラスト鳥瞰図も掲載している。

以上に記載した、ジオ読本くりはら大地の物語(理科編)は、今年度中に活用に関するアンケートを実施する予定で、先生方の意見を集約し、続編の作成についても検討していきたいと考えている。

6. ジオパーク学習の今後

最後に、ジオパークで防災・減災教育において支

援できることとして、防災・減災の基礎となる、自然災害のメカニズムをはじめとして、地域の自然環境、災害や防災についての基礎的・基本的事項の理解をうながすための科学的知見に基づく知識や教材の提供がまず挙げられる。さらに、ジオガイドによる解説を含んだ現地案内もある。これらは全て、ジオパーク活動が栗原市にもたらした貴重な財産である。

また、栗原市では平成20年岩手・宮城内陸地震から10年という月日が流れているにも関わらず、「ジオパーク」というツールを活用し、震災による崩壊・崩落地を教育や観光に活かし、震災未経験の子どもたちを含めた地域住民に対し、今なおその経験が語り継がれている。地域の復興、災害に強い地域づくりのためのツールという視点で、ジオパークを今後も有効活用していくべきと考える。

2016年熊本地震関連地すべり・崩壊の現地調査について

中村 真也*

キーワード：団体調査，調査時期，住民感情

1. はじめに

2016年熊本地震に伴って発生した地すべり・崩壊について，日本地すべり学会は調査団を編成し現地調査を行った。被災地が混乱状況にある中，調査は，現地関係機関との連携の下，混乱の増長，住民不安の増大等の不本意な影響を及ぼすことのないよう留意しつつ実施された。現地調査時には，住民からの緊急調査の要望がもたらされ，事前準備がほとんどない状況で踏査を実施し，地すべり性変状か否かの判断を迫られる難しい場面もあった。本報では，この度の現地調査の概要を記すとともに，調査に当たって浮かび上がったいくつかの課題について整理した。

2. 日本地すべり学会の現地調査

日本地すべり学会の現地調査として，会員による初動調査(4/17-4/19)と九州支部主体の2回の調査(5/3-5/5, 9/13-9/15)が挙げられる。前者は緊急時の被災地調査に秀でた会員によって会員独自の財源に基づいて実施され，後者は学会・支部の拠出金を財源として日本地すべり学会九州支部が編成した調査団によって行われたものである。このほか多くの会員が現地に足を運んでいる。

- 4月17日 初動調査
～19日
- 4月26日 現地調査に関する最終打ち合わせ
(熊本県土木部河川港湾局砂防課)
- 5月3日 第一回現地調査 熊本県砂防課，斜面
～5日 防災対策技術協会九州支部と連携
- 6月17日 熊本地震緊急現地調査報告会
(東京，日本地すべり学会主催)
- 7月16日 熊本地震・3ヶ月報告会(東京，日本学
術会議(防災学術連携体)主催)
- 9月13日 第二回現地調査 熊本県砂防課，斜面
～15日 防災対策技術協会九州支部と連携

11月24日 日本地すべり学会九州支部現地調査報告会(沖縄，九州支部主催)

11月25日 日本地すべり学会災害報告会
(東京，日本地すべり学会主催)

初動調査では被災地の広域的な状況把握を行っている。「防災減災のための課題の抽出」，「学術的・技術的側面からの対策に関する知見の供与」，「中長期的対応の検討に必要な事項の抽出」を目的とした5月の現地調査では，関係機関，九州支部熊本県幹事，学会員等からの情報収集，関係機関との綿密な打ち合わせを経て，技術的な検討を要する現場を調査地に選んだ。調査地は，南阿蘇村河陽(高野台地区)，南阿蘇村長野(火の鳥温泉地区)，西原村小森(大切畑地区)，宇土市花園台町および御船町辺田見の土砂災害および不安定化斜面の現場である。11月の現地調査では，5月に調査した高野台地区，火の鳥温泉地区および大切畑地区において，現地の経過状況の把握，関係機関による調査結果の確認，課題への対応等を行った。

3. 調査時期，結果報告および事前通知について

① 現地調査の時期

2度目の震度7の地震が発生した日(4/16)の翌日から，支部熊本県幹事の安否確認，情報収集および調整のための連絡を取り，混乱状況が比較的落ち着くタイミングを見定め，最終打ち合わせを経て調査時期を決定した。有益な現地調査とするためには平面図，断面図等の資料が不可欠であり，学協会主催の団体調査においてはその準備を関係機関に依頼することが多い。準備作業により関係機関の本来の業務を妨げてしまうため，その影響をできるだけ小さくするような配慮が必要である。土砂移動現象による災害現場の場合，その後の降雨や続発地震の強さ・

* 日本地すべり学会(琉球大学)

頻度によっても異なるが、その形状的特徴や地形はそれなりに維持されるため、学協会による団体での調査の目的を鑑みると、発災直後にすぐさま現地に入る意味はさほど大きくないと考える。

② 短期の調査に基づく判断の難しさと結果報告

5月の現地調査では、住民からの要望に応じて斜面の変状調査を行った。「山が動いてきているようだ」と住民から指摘のあった箇所について、農地周辺、山側斜面および山頂付近の踏査を行い、当該斜面については緊急対応を要するような地すべり現象は発生していないと判断した。ただし、斜面全域に地震の影響が及んでいる様子が見受けられたことから、後の地震動や降雨により地すべりや崩壊に至る可能性がないとは言えなかった。避難勧告等が発表されている状況で、梅雨期を間近に控えた行政機関や住民の今後の対応を考えると、起こり得る土砂災害に対して、この判断に至るには調査が不十分であった。このため、踏査結果の報告(文書化)は困難を伴った。最終的には、調査団代表が文案を作成し、その内容について調査メンバー全員の同意を得て、宛先を定めないうまま文書化し、日本地すべり学会本部に報告した。

③ 住民感情への配慮

5月の調査では、盛土を含む造成宅地の変状についての調査も行った。調査は住宅や施設の周辺で実施され、変状の確認のために、家屋周囲の普段は人が立ち入らないエリア(私有地)に足を踏み入れることもあった。ある箇所では住民から苦言を呈される場面があり、住民感情に配慮して活動することは調査メンバーの共通認識であり慎重な行動を心がけていたが、激甚な災害下にある場合は、より丁寧な対応が必要であることを再認識させられた。調査についての工事関係者への通知は事前に関係機関に依頼していたが、調査地周辺住民への連絡までは手がまわらなかった。住民に調査の目的や内容を示した文書を配布して調査実施を事前に周知することは、住民感情の刺激を緩和する1つの方法となり得る。

4. おわりに

知的探求を主目的とする調査に関して、発災後、どのタイミングで現地に入るべきかについては様々な意見がある。私見になるが、土砂災害関係の調査に関しては、発災直後は「現地関係機関が助力を求

めた研究者・技術者」、「現地で研究活動・公的事業を実施してきた研究者・技術者」および「緊急時の被災地調査に秀でた研究者・技術者」が、現地関係機関(自治体)あるいは学協会の依頼を受け、少人数で現地入りすることが望ましいと考える。この調査の主目的は、早急に対応すべき課題の抽出、その対応についての助言、および土砂移動現象発生直後の状況の記録である。初動調査で概要を掴んだ後に、研究的・技術的課題の把握・解決に人員が必要な場合、関係機関あるいは学協会により調査団を編成する段階に移る。ここでキーとなるのは、関係機関・学協会が主導し誰がいつどこで調査しているか把握できていること、調査結果を公的資源として対策や研究活動に活用できるようにすることである。

いくつかの意見交換の場では、慎重な行動を支持するコメントに加えて、「現地にはできるだけ早く入るべき」、「自己責任での現地入りは問題ない」といった意見ももたらされた。研究課題によっては、発災直後に現地に入る必要がある場合も十分に考えられ、画一的にルール化することは難しい。様々な思惑の下で現地入りする多様な研究者・技術者を完全にコントロールするのは非現実的である。しかしながら、「自己責任で現地入り」したとしても何らかの事故があった場合は、捜索や救出といった新たな活動が必要になる。研究課題を鑑みて、早急に現地入りする必要性が高くない場合は、2次被害の危険性が小さくなるのを待つのが賢明である。

2次被害発生や住民との関係性を考えた場合、関係機関(自治体)が全く把握できていない状況で調査が実施されることは避けた方がよいと思われる。発災直後から数週間の調査に関しては、「関係機関への申請により現地入りの情報を提供し、関係機関の許可と許可証を得て、調査の際に求められる場面では許可証を提示する。」といった仕組みを整えることは、住民の不信感を軽減する助けになる。手続き対応の負担増大(関係機関)や許可の基準設定の難しさにより、実現には困難を伴うことが考えられるが、2次被害発生時の対応、防犯、住民感情等を考えると検討の余地がある。

一知半解の身でありながら、今後の改善に繋がることが少しでもあればとの思いで書き連ねた。どうかご理解願いたい。

パネラーの話題提供・コメント・議論

酒井 次はパネルディスカッションです。『大地震後の自治体および研究者の対応』というテーマで行いたいと思います。パネラーはここにおられる計8名の皆様です。それぞれの立場から話していただきたいと思いますが、まず自己紹介を順に一言お願いします。

中村 琉球大学の中村です。日本地すべり学会の現地調査の代表を務めさせていただいた関係でこちらに呼ばれていると理解しています。

渡邊 最後に発表しました熊本県の渡邊です。きょうは行政の立場で参加したいと考えております。

長谷中 最後から2番目に発表させていただきました熊本大学の長谷中です。地元の大学の立場でお話をさせていただきます。

松本 長野県小谷村長の松本と申します。きょうは地域防災計画と、実際に起こった地震の災害対応について説明させていただきます。

三木 新潟県糸魚川地域振興局の三木と申します。平成16年に発生しました中越地震の際に、県庁の砂防課で砂防係長として、芋川の大規模河道閉塞に対する警戒避難態勢の構築を行いましたので、それについて報告させていただきます。

中川 宮城県の栗原市役所ジオパーク推進室専門員をしております中川理絵と申します。本日はジオパークを通じた、防災減災の話についてお話をさせていただきます。

佐藤 中川と同じく、宮城県の栗原市から参りました、ジオパーク推進室の佐藤英和と申します。私も渡邊さんと同じく行政の職員でございます。平成22年から、ジオパークといいますが、観光のほうに携わっておりまして、平成20年の岩手・宮城内陸地震の震災からの復興経験ということで、ジオパーク構想の立ち上げから現在に至るまで、など話をさせていただきます。

宮城 宮城といえます。津波防災、復興、それから岩手・宮城内陸地震の災害対応や復興についてずっと関わっておりまして、少し大きな目で発言させていただけたらと思います。

酒井 ありがとうございます。このメンバーで行いたいと思います。司会進行は酒井が勤めます。よろしく願いいたします。

まず、パネラーの皆様も多様かつ多彩ですので主な討論課題を簡単にまとめました。

最初の、地震の発生直後は、どんな情報が集まるかということが課題になりますので、地震直後の応急対策、すなわち土砂災害への対応と、命を守るための防災情報とは何かということで、さっき渡邊先生のお話にもありましたが、どんな情報が必要なのか、またその場合、連携が重要であろうということで、ここでは熊本地震を中心として、渡邊先生、長谷中先生、中村先生から話題提供をいただきたいと思います。

2番目の、地震から6カ月後、ちょうど今熊本がそのような時期なのですが、地震の土砂災害対策はどのように進んだか、そして、住民の生活を守る防災情報は地震直後と随分変わってきているだろうということで、中越地震については三木さんに、神城断層地震については松本さんに、それぞれ話題提供をいただければと思います。

3番目の、地震発生後数年すると、ジオパークや震災遺構という課題が出てきますので、そういうのを利用した地域おこしや防災教育をどう活用していくかが問題になります。これに対しても、住民の考え方や関わり方がありますので、研究者、住民、自治体等がどう関わっていくかを考えていこうと思います。話題提供としては、岩手・宮城内陸地震の佐藤氏、中川氏、宮城先生にお願いをしたいと思います。

まず、地震直後からお話しいただきます。渡邊氏から先ほど発表がありましたが、このテーマに関連して話していただければと思います。

渡邊 地震発生後の防災情報ということですが、私は危機管理防災課にいましたので、まず全般的なお話をさせていただき、その後、土砂災害の2次災害防止情報の話をさせていただきます。

まず、皆さんが地震で避難所に避難したということを想定して、その時にどういう情報が一番知りたいかという、まずは、家族の安否、それから支援物資であるとか食料、水とか食べ物、そして今後余震がどうなるのか、といった自分や家族の生命に関わる情報です。

しばらく時間が経つと、ガス・電気・水道といった、いわゆるライフラインの復旧情報、それからスーパーとか小売りの店が開いているのか、という情報、さらに道路とか交通関係の復旧情報関係など、日常生活に必要な情報を欲しくなると思います。その次のステップとしては、実際に生活再建をしていかないといけません。そのときに必要になるのが、まず家に帰って生活ができるかという問題です。先ほどのライフライン情報とか、いつ調査に来ていつ罹災証明書をもらえるのかという情報、また被災された方については、仮設住宅にいつ入られるのか、さらに仮設住宅ができる前には避難所での生活がずっと続いていきますが、それが統合化されたりしますので、避難所がどう変わっていくのかというような、今後生活を再建していくときに必要な情報です。このように、地震発生後、時間の経過とともに、必要な情報は変わっていくと思いますが、その情報の一部が防災情報になると考えています。

土砂災害の危険が迫るような地域、いわゆる山間地では、まず行政として住民の方々に避難勧告とか避難指示を出さないといけません。そのためには、どこが危険なのか、いつ危険なのか、それが今後どういうふうに変化していくのかという形で、先ほど民間のACSさんのご説明でもありましたように、要は自分たちの住んでいる町の危険度、リスクがどのように変化していくか、それを住民の方々に如何に迅速に正確に伝えるか、ということが必要です。

一方、住民の方々にとりましては、そういう行政機関の避難などの情報が確実に伝わる、それが無理であれば、気象台の気象関係情報とか、自分で避難をするかどうか判断できる情報を取得していく、といった体制が必要になると考えています。

酒井 貴重な話題提供をありがとうございます。引き続き、長谷中先生に、熊本地震に関連する話題提供をお願いいたします。

長谷中 私は大学の立場として、地震直後に大学としてどういうことをしたか簡単に述べさせていただきます。まず学生の安否確認です。時間がかかりましたが、全員と連絡を取り、被災者あるいは負傷者がいないかを調べて、全員の無事を確認しました。大学施設の被害調査では、五高記念館など煉瓦造りの建物だけでなく工学部一号館という、理学部、工学部、大学院の事務機能が集中している建物の柱が6本も折れて使えない状況だと分かりました。そこにいる人は全員避難しなければいけなくなりました。私どもの理学部棟も調査をすると随分ひびが見つかりました。一番深刻だったのは、実験に使う機器類が随分たくさん壊れてしまったことです。被害を1つ1つ確認して報告したものを事務の方達が台帳を作っていく作業が大変でした。

大学はすぐに3週間の休校を決めましたので、帰省できる学生はできるだけ地元に戻ってもらうことになりました。熊本に残る学生は、自分の生活の場をなおしたり、ボランティアに参加したりする学生が多かったです。我々は博物館ネットワークと協力関係がありましたので、熊本県内にある阿蘇火山博物館や県立博物館な

ど、被災した所に学生を連れてボランティアに出て行き、倒れた展示物を直す、散乱した標本を元に戻すなどの作業をしました。

先ほどの渡邊さんの講演の中で良い試みだと思ったのは、「あなたが実際にこの地震を経験して、もしその前の日に戻ったら、自分はどうしたらよかったかとか、これをやっていたよかった」などの感想を、実際にアンケートで情報を吸い上げた、ということです。これは後世に非常に役に立つと思って、感心して聞きました。内閣府の一日前プロジェクトというサイトでも、これまでの地震、それ以外の災害について、「もし自分が1日前に戻ったらどういふことをしただろう」という情報をたくさん載せています。これは本当に重要な情報源だと思っています。個人的に学生の震災経験談を聞きましたが、組織的に収集しておけば良かったと反省しています。「熊本で地震があるなんて思っていなかった」という感想がテレビなどでよく流されていましたが、住民の意識や備えとしてどれだけ震災に対する知識があったか、など正確な情報を集めて次世代の人たちに伝えるべきだと思っています。実際に被災して、頼りになる情報と思ったのは道路通行情報でした。当時、通れる道路情報が車のナビを元にネット上に上げられていて、非常に役にたち、ありがたかったです。それから私や近所の方を含めて、避難所には行かず、車でコンビニや公園などの駐車場に来て車中泊をした人は随分たくさんいます。そういう人たちが夜中ずっといて一番困ったのは、もちろん水や食料もですが、トイレがないことでした。トイレ対策は本当に重要だとつくづく感じました。

地震断層、地震被害の調査では全国の大学の調査団が熊本に殺到しました。熊本大学が突発災害の調査団に含まれなかったことはとても残念でした。請われた場合には現地で地質案内などし、共同調査をしました。被災地を調査して気付いたのは、阿蘇山中の斜面崩壊のひどさでした。阿蘇山の崩壊地はあまり震災調査が入っていなかったのので、減災センターの先生方と協力して、崩壊地の地質調査、土石流の怖れがある箇所のリストアップ、調査結果を地方自治体に知らせる、住民説明会に参加するなど、地元大学としての責任が果たせるように努力しました。

酒井 ありがとうございます。3人目の中村先生、引き続きお願いいたします。

中村 少し資料を準備してきましたので、それを基に話をしていきます。日本地すべり学会が現地調査を行うということで、本部から要請があり九州支部が対応することになりました。渡邊先生、長谷中先生のお話にありましたように、住民の皆さんの生活が大変な状態で、安否確認は終わったものの、人のことを構ってられないような現場に、のこのこ研究者が出て行って、その辺をうろろろするのはいかがなものか、という気持ちも少しありまして、災害発生直後の研究活動をどうすべきか、ということも以前から考えておりました。現場に行ってくれという話があったときにも、少し違った取り組み方をしたいということで、行政の方と連携しながら対応したという一例をご紹介します。また、学会の調査団という形で行くとなると、マスコミの皆様からいくつかの連絡がくるのですが、今回は現地での取材はすべてお断りし、全て事後の報告とさせていただきます。これに対して、どのように対応すべきだったのかについて、皆さまからアドバイス、要請、要望等お伺いできればと思っています。

さらに、住民の方からの要請で、ある現場に急遽行かないといけなくなるということがありました。その現場でどういったことをしたのか、現地を見た責任として、どう報告すればよいのか、あるいは報告の相手先についてもいろいろ迷うところがありました。これらのお話を10分ぐらいしようと思います。短めに、少し速めにやります。

まず学会の取り組みの流れですが、4月の14、16日に地震がありました。最初の段階で、学会による初動調査ということで、酒井さんと、新潟大学の福岡浩先生の調査がありました。実際は、個別に活動された研究を、学会を通しての活動とさせてくれという形での初動調査だったと思います。そういった中で共同会見がありましたが、その頃からずっと電話連絡をしながら熊本県砂防課とやりとりをしていました。現地に入るのはいつのタイミングがいいか、どういったことをしたらいいかをずっと電話で連絡取りながら検討していました。現

地調査に関する最終打ち合わせで、どういった所に行くのかは資料を基に決めることになりました。現地調査のメンバーとして、県の方、あるいは民間の方にも入っていただきました。その中でどういったことをやるという目的をはっきりさせていきました。まずは、防災減災のための課題を抽出しましょう、対策に関する学術的、技術的側面から協議しましょう、など中長期対応に必要なことを抽出して、協議しながらやっていくことになりました。調査場所としては、実際、今現在困っている場所を選んでいただきました。判断に困る課題のあるような場所についても、皆で見て何でもサポートすることになりました。第2次調査も同じようなことをやってきています。

私はこれでいいことをしたと思っていましたが、研究としてはいち早く行っていち早く見ないといけないということもあります。早く見ないといけないような調査と、こういった少し団体で行くような調査が現場の混乱を招いてしまうということのトレードオフというのか、交通整理が必要だろうなと思いました。

ある方にこういう話をしたところ、早く見ないといけないような調査は自己責任でいいのでは？と言われました。調査の際に研究者が被災しても、それはそれでいいじゃない？という話も実際ありました。ただ、それは少し違うなという気持ちがあります。調査の際に2次被害に遭ったら、またそこに対応人員を充てないといけないし、そういった考え方はできないだろうということで、何回かの交通整理をしながら現場に向かうというような、なんらかの体制づくりが必要だとも感じました。

さらに、これから現地調査に向かうという時に、メールが飛び込んできて、住民から、山が押し寄せてきているから見てくれということがありました。その現場を急遽、調査に追加しました。現場は、先ほどの大切畑ダムの横の崩壊地の東側の北向き斜面です。この写真はGoogle Earthからで、その当時のものです。拡大して見ていくと、何か地面の開きがあったりして気になる所があります。現場に行ってみると、法肩が崩れているような所がずっとあり、気になるのです。こういう電柱が倒れたりしているので、山が押し寄せて来ていると住民が心配していると理解しました。そういう状況になっている箇所の中に入ると、全体として地すべりの動きがあるのかどうかを踏査しました。酒井さん達が観測をされているところです。当時は強い雨もありましたので、何かあったら困るからということで気をつけながら、斜面に向かってチェックしていくと、少なくとも山全体が押し寄せてくるようなブロック的な移動はないことが確認されました。

調査に入ったからには、要請先に対して報告をすることになるのが自然ですが、住民からの要請という漠然とした内容のメールに基づいた行動でしたので、要請した先が分からない。メンバーに熊本県さんがいたので、取りあえず熊本県さんにこの情報を託すという形で整理をしました。文書として整理し、この山裾の移動については、調べた範囲では山側から押し寄せてくる兆候が認められなかったとしました。ただし、わずか1、2時間見ただけでこういう判断をしないといけないというのは非常に難しく、実際には、その後、亀裂が拡大していくことも十分考えられたので、どのように書くかということもすごく難しいことでした。

文書の内容に関連しては、「今回の調査だけで判断すれば、山全体が動く兆候は認められなかった、」と安易に断定しないような表現とし、現時点ですぐ全住民が避難するような緊急性はおそらくないだろうということで、避難する必要はないという判断は一応はできたと思います。ただ、今後警戒のための観測はしておきたいというところで、観測機器を入れて監視することが望ましいと書きたかったところですが、現実には、他に実際に崩壊した多くの現場がある中で、本音で言えば、崩れるかどうか分からない所にそういう機器を入れることは優先順位として難しいということがありました。そのため、実際の地すべりとか崩壊が起こった場所の周辺斜面や下方斜面に保全対象が多くある所を優先して監視体制を整えていくほうがよいというように示しました。とても難しい対応でした。

酒井 それぞれ立場も違えば対応も異なるという話題提供を3人のパネラーの方からいただきました。それについて何かご意見等ございますか？

宮城 今の中村先生の話に関連して、僕は原則主義者ですけど、原則的もしくは本質的には、発災時直後の対

応は、その地域、場所を前から知っている人がやるべきだと思います。現実的には難しいのですが、せめて災害地に入るときには、自分はどのような知識を持った人間なのかということを書き記す。そして、地域の人のためにやっていることが伝わるような行動をとることが、忘れてはいけないことではないかと思います。それを忘れていなければ、調査に勇敢に入っていくべきだと思います。

中村 ご意見をありがとうございます。ただし、勇敢に入っていくという、タイミングはどういうふうにとらえたら良いのでしょうか？

宮城 できるだけ災害直後が良いと思います。現場の状況はどんどん変化します。時々刻々と変化するので、早いのであれば翌日とかそういう形が良いのですが、ただ、ルールがあると思います。自分がこの現地をよく知っていると、自分はこういう立場の人間だということを書き記す。例えば、TEC-FORCEのような制服を来た人が入ると、住民は自分たちのために来てくれたのだと思うからです。それに類するようなことを自分がどうできるかということが問われるのではないかと思います。

渡邊 行政の立場から言わせていただければ、まだ人命救助が続いているとか、行方不明者の方々の捜索をしているとか、また大量の方がお亡くなりになった場所、そういう所をすぐに調査するかとなると、やっぱり行政の立場からは止めてほしいとお伝えすると思います。研究者の皆さんは今後のためにそういう所も調査は必要だと思うのですが、行政とか県民の気持ちを考えて、調査は少し間を置いたほうが良いかなと考えております。いかがでしょうか。

宮城 おっしゃるとおりだということも重々承知しております。ただ、僕は東北の津波のときのことが思い出されて、やっぱり自分として、学者としてやることは常にあると思うのです。もちろん、捜索をしている脇や救助をしている脇で調査することはできません。ですから、やれるところを見える形でやるというふうなことではないかと思います。

松本 今のテーマに関連して、私も現場に入っていると思います。ただし、しっかりと看板を背負って入っていただきたい。どういう立場の方だということが分かれば、住民も安心します。ただし、得体の知れないやつが来たという話になりますと別です。災害直後は、住民の間に疑心暗鬼が広がり、空き巣などの噂が必ず流れます。ですから、しっかりと看板を背負って来ていただきたい。

新井場公德 消防研究センターの新井場と申します。非常に難しい話題ではあると思うのですが、私も宮城先生と一緒に、やはりきちんと学問的に見てほしいと思います。亡くなった方のいる場所に入るかどうかは別として、早いうちに見てもらわないと、現象を理解するうえで大切な細部が失われてしまい、現場を見たという観光のような調査になってしまいます。大学の先生方には、ぜひなるべく早く来て、将来の防災に役立つ学問的なデータをきちんと持って帰ってほしいと思います。

一方で、その早い時期に入ると何が問題かということ、多分、県の方とか市の方とか市町村の方がお感じだと思いますけど、住民のニーズはたくさんあるし、これからどうなるのか分からないといったことがずっと続き、研究者に構ってられない。そのため、調査を遠慮して欲しいという話になる。その辺の見極めというのか、看板背負って、我々はこういう機関でこういうことを明らかにするというのを、行政と連絡をとりながら明らかにして調査したほうが良いのではないかと、思います。

行政の方は、逆にその後すごく忙しくなってしまうと、一現場を見るのも大変なのに、うちの裏山を見て欲しいというようなニーズはおそらくたくさんあったと思うのです。そのあたりも含めて今回の学会調査団は、課題はあったもののうまく機能した。一研究者だけの問題ではなくて、行政との連携というのはやっぱり平常

時からつくらないとうまくいっていかないのかなというふうに感じます。

酒井 行政のほうのお話もいろいろ出てきたのですが、2004年の中越地震や2014年の神城地震でも同じようなことがあったと思います。災害発生後、半年ぐらいまでにいろんなことが起こると思うのですが、まず三木さんから話題提供をいただければと思います。

三木 平成16年に発生した中越地震では、皆さんもご存じのことと思いますが、山古志村の芋川で大規模な河道閉塞が発生しました。特に東竹沢地区が最も大きく、高さが31.5メートル、長さが約320メートル、せき止めの土砂量は約65万 m^3 、湛水量は約250万 m^3 の規模で、その上流側には木簞(こごも)集落があり、湛水により水没したという状況です。またその約6キロ下流には堀之内町の竜光(りゅうこう)集落がありましたので、河道閉塞土塊の決壊による土石流に対する避難勧告と解除の対応について堀之内町長さんと一緒に悩みました。

初動対応として、まず閉塞土塊の危険度(安定性)判定を行った結果、越流により決壊する恐れが非常に高いと判断されました。これを受けて決壊時間の推定、決壊による土石流の氾濫範囲の検討も行いました。越流させないために、とにかく速やかに排水しなければならないということでしたので、まずは緊急仮排水路工事に着手しました。地震により現地までの道路が被災して全く通れませんでしたので、自衛隊のヘリコプターを使って資材を運び、湛水をポンプでくみ上げて下流に排水する作業を11月9日まで県が行った後に国交省に工事を引き継ぎました。その後、国では融雪出水にも対応できる排水路工事を完成させ、また閉塞土塊の脚部に砂防堰堤を築造して決壊を防止することができました。

また、発災直後、竜光地区においては強い地震動による家屋等の損壊が広範囲に発生したため、10月25日には自主避難していましたが、集落内において大きな土砂災害の危険性がないことから上流域で発生した河道閉塞の決壊により土石流発生のおそれがあることについては、なかなか理解しにくいものでしたので、住民は自宅に帰ろうとしていました。そこで、土石流発生の危険性が高いことを町長さんに説明して避難勧告の検討を要請し、10月30日に竜光地区への避難勧告を町長さんに出してもらいました。

避難勧告を出したものの、その解除の時期については非常に悩みました。11月9日に町長さんは避難勧告を解除したわけですが、当時、県ではまだ十分に安心できる状況ではないと考えていたので、町長さんの所に朝早く押しかけて、「町長さん、解除はしばらく待ってください。今の状況では、まだいつ土石流が発生するかわかりません」というお話をしました。集落からは河道閉塞の現場が見えるわけではありませんし、それがどんなに危険な状態かということも写真を見せて説明してもなかなか理解していただけなかったということもありました。ただ当時は緊急対策工事がある程度進んでいたことと、監視態勢と警戒避難態勢が確立できたことで、概要書に記載した条件がそろったということでやむを得ず避難勧告を解除できるという判断になったわけです。ただし、砂防えん堤等の工事が完了するまでは土石流災害が発生する恐れもあり、正直言って心配していました。避難勧告と解除の基準については、現場ごとに条件が異なるため統一した基準づくりは難しいと思いますが、何らかの判断基準を整理しておく必要があると思っています。

今回の警戒避難態勢では、監視カメラ、水位計、ワイヤーセンサーなどを設置し、土石流が発生した場合には警報器等で知らせる警報装置を集落内に複数設置しました。ただ、何度も誤報により警報器が鳴ったため、そのたびに住民の方が避難することになりました。その際、一軒一軒回って住民に謝ったりもしています。概要書に警報機の作動状況を記載しました。出水により警戒値を超えたため正常に作動する場合もありましたが、センサーが雷を感知して警報機を鳴らしたこともありました。このため、誤作動対策としてセンサーの二重化、複数の計測値の連携、送受信機の改良などを行い誤報を減らしました。

このようなことを繰り返しながら、地震から2年間、警戒避難態勢を継続しました。この間に国土交通省さんのおかげで、複数の砂防えん堤、遊砂地などが進捗してきましたので、地域の皆さんに対策工事の状況を説明し、工事関係者や我々防災の担当者と一緒に、地域の方にも砂防堰堤等の進捗状況について現地を回って確

認していただきました。その上で、地震から2年後の平成18年10月23日に河道閉塞の決壊による土石流に対する警戒態勢を解除しました。なお、解除基準として、芋川本川の砂防堰堤により土石流の発生の恐れが低くなるとともに土石流の捕捉効果が発現できること、芋川の支川にも大きな河道閉塞がありましたが、これについても対策工事により土石流の防止効果が発現できること、また竜光地区の遊砂地が概成したことで土石流の捕捉効果が発現できることを示しています。

このように大規模河道閉塞に対する警戒避難態勢は、災害発生直後の住民避難の判断、監視態勢、情報伝達態勢を迅速かつ的確に行うことと、国、県、自治体、研究機関、調査・工事施工業者等の緊密な連携が必要であり、平時から情報の共有化や危機管理計画の策定などを行って備えることが重要だと考えています。

なお、中越地震以降、国では「土砂災害警戒避難ガイドライン」を策定しましたし、TEC-FORCEが創設され、土砂災害防止法による緊急調査も始まりました。また「避難勧告等の判断伝達マニュアル作成ガイドライン」も作られました。このようなことで、避難に対する考え方が自治体や住民の方にも徐々に浸透していったと思います。新潟県においても、土砂災害警戒情報を本格的に導入したり、災害時の応援態勢の構築、土砂災害警戒区域の指定も促進したりしていますし、土砂災害に対する啓蒙活動も行っている状況です。

酒井 ありがとうございます。引き続き松本村長に話題提供をお願いします。

松本 実は私も中越地震のときに緊急調査で現地を見させてもらった経験がありまして、村長になってから地震災害対策をずっとやっておりました。この写真が神城断層地震で唯一、地すべりでつぶれたお宅です。私の村はこの地図の矢印の所なのですが、糸静線(糸魚川—静岡構造線)の上にあります。もともと糸静線北部の直下型地震では震度6強から6弱ぐらいになるという想定になっていました。これは私が村長になった頃の被害想定ですが、相当の人が死ぬよ、相当の住宅がつぶれるよということで、当時の人口は3,000人ぐらいですが、避難者数2,400人は一体どこへ行くのという問題がありました。それで、できるだけことはやろうということで、いろいろなことをやってきました。私どもの所は多分、大規模崩壊が起こると集落が孤立するだろう、その場合は村の職員は現地に絶対行けないので、バラバラにいっぱい避難場所をつくろうということになりました。また、そのときに誰が先頭に立って現地を指示するかが問題になりましたが、消防団しかないということで、実は住民10人当たり1人ぐらいの割合で消防団員を確保しようとずっと頑張ってきました。消防団に頼らざるを得ないということです。現在の人口は2,900人ぐらいなのに消防団メンバーは257人ぐらいおります。彼らが率先して、自主防災組織等の防災教育をやってきています。また、集落が孤立してもいいように、発電機だとか、冬だったら困るから除雪機だとか、どんどんと備えています。それらの機材が1つの集落には必ず一式あるように、頑張っています。

実は過去に大規模崩壊で、ある集落が完全に消滅したことがあります。この表に死者30名という記載があるのですが、これが集落全滅の記録です。過去にそういうことが何回もあったわけです。そんな中で、今回実際に神城断層地震による震災が起りましたが、被害は想定よりもかなり少なかったです。本パネルディスカッションで発表された中で、死者がなかったのは私の所だけ、神城断層地震だけだと思います。なんでそうなのかと言うと、被害を想定した地域防災計画というのがあるのですが、その想定以上のことについては、実際に災害が起こっても一切対応できません。だから、想定はできるだけ大きく、不確かなことがあったら少しでも大きめに考えたほうがいいのではないかと考えています。

この地震でも崩壊で集落が孤立し、鉄道もしばらく不通になったのですが、これが奇跡といわれる白馬村の堀之内地区です。家が完全につぶれたのですが、地域の人たちが消防団員と共にジャッキアップして、中から人を全員助け出しました。家が潰れても1人も死ななかったことで有名なところですが、実は小谷村のほうは古い民家が多かったのですが、毎年雪が2メートルも降る所なので家もともと頑丈で、地震の際にはものすごく変形しながらも何とか持ちこたえたということもあったと思います。いずれにしても、被害想定を考えるときはできるだけ大きくするべきだというのが私の考えです。同時に、想定した以上の災害については、実際に

は何もできません、ということ強く言いたいと思います。

今一番困っているのは何かといいますと、実は地盤変状の問題です。この写真は地すべりなのですが、このような地形変化等もいっぱいあります。こういうものが、今後動くかもしれないというのが一番心配です。特に、大規模崩壊、深層崩壊といわれるものがどこで起きるのか、地震の時どこで起きるのか、分からない場合は、対応の取りようがないです。その場合は、どこかの集落が消滅してもしようがないと、それぐらいの覚悟でやらざるを得ないのかなと思っています。ですから、この問題の解決を研究者の皆さまにぜひお願いしたいです。危ない所を見つける手法を考えていただければと期待しています。

酒井 どうもありがとうございます。非常に貴重なお言葉をいただいたと思います。想定してないことは対応できない。だからマニュアルが必要だということで我々もずっとやっているのですが、地震が起きた直後もやっぱりそういうことはあるのではないかと思います。今の三木さん、松本さんのご発表に対して、何かご意見等ございませんか。

松本 少し言い忘れたのですが、地震の直後に一番困るのは安否確認です。地震の場合は全員の安否確認が必要です。例えば家屋が正常な形状をしていても、中で家財が倒れることによって亡くなれるとか、負傷したまま動けないという方もいますので、安否確認は全員する必要がありますが、これが非常に大変です。同時に地震直後というのは不安になりますので、山が動いているとか、空き巣・泥棒がいっぱい来ている、セクシャルハラスメントもあるなど様々な噂が必ず出てきます。これは、避難している住民は、たいてい悪いほうへ悪いほうへ考えるためです。そういうことがないように、責任ある人ができるだけ定期的に住民に情報を流すことも必要だと思っています。被災直後に私は情報を毎日流しましたが、そういうことをすることで、住民の不安を少しでも取り去ることが非常に大切です。

宮城 ありがとうございます。今のお話に関連して、松本さんに2つ聞きたいのですが、1つは、地域の被害想定をできるだけ大きくというお話がありましたが、その根拠として、例えばハザードマップであるとか、危険箇所のデータとか、たくさん基本データがございますよね。それを地域の人にどんなふうに提供していくのか、地域の人がどうやって理解するのかについて、お考えを聞かせてください。

松本 例えば土砂災害防止法関係のハザードマップなどは当然、個人に配ったりします。また、小谷村の場合は公民館が多いのですが、集落の公民館に貼り出すとかやっていますが、実はそれ以上はあまりやってないです。

宮城 分かりました。もうひとつの質問として、実はこっちのほうが僕はすごく聞きたいのですが、先ほどすごいことをおっしゃいました。3,000人弱の村民の中に消防団の人が260人ぐらい、つまり10人に1人いますということでしたね。僕らもそれが実現できるなら、とんでもない、すごく安全な社会に近づくとおもいますが、どんな工夫でこの人数をつくり上げたのかをお伺いしたいです。

松本 消防団には非常に大きな優遇措置があります。例えば小谷村へ外から来られた方が消防団に入られると、今1ポイント1万円なのですけど、10ポイントぐらい与えるとか、様々な優遇措置をしています。また、消防団の操法大会では懸賞を多くするなどもしています。消防団に入るということは、地域の絆をつくることだと私は思っており、絆をつくっていただくために消防団に入ってくださいと若い人たちにいつも言っています。

酒井 ありがとうございます。その他、ご意見等ございますか。

古谷尊彦 元千葉大学の古谷です。小谷村の小谷温泉の背後はものすごく大きな地すべり地ですよ。それが今後動くか動かないかは分かりませんが、歴史時代に動いたことは¹⁴C年代測定で分かっています。実はあそこは環境省が国立公園にしたので調査ができません。それをやる前に、長野の砂防課へ少しお話したことがあります。指定区域になるまでは、まだ災害の状況が出ていないというのがあって、しなかったということなのです。中谷川沿いに集中豪雨があったときに災害もあったのですが、そういう所でもし大きな地すべりが起こり始めたときに、どういう対応を考えるかという課題がまずあります。

それからもう1つは、栗原のジオパークについてです。ジオパークになっていると、地すべりしても、いつも観測下に置かれているようなもので、いつもそういう意識で見ているということになります。しかし、小谷村の辺はほとんどそういうものがなく、観光地としていいような場所ですし、その上のほうにもキャンプサイトもあります。このような場合、行政としてどのように考えていったらいいかということを知っておきたいと思ひまして... 多分、行政の扱いも難しいと思うのですが。

松本 今「ズキッ」とするようなことを言われました。小谷村には国立公園が2つもありまして、その中に入っている大きな地すべり、今話にあった、小谷温泉の上の大きなブロックもありますし、梅池のスキー場のずっと上にも大きな地すべりがあります。その地すべりに対する災害対応は、ある程度環境省も認めています。地すべりというのは、ある日突然、急激に動くということがなく、じわじわと動くような例がほとんどなので、じわじわと動く所に対しては対策工事をしてもらっています。小谷温泉の上は国有林野で対応いただいておりますし、その梅池の上の地すべりは長野県の砂防のほうで監視をしながら対応してもらっています。狭義の地すべりについてはその対応があると思いますが、崩壊や崖崩れは急激に動くものですから、違う対応を考えないといけないと思っています。

酒井 貴重な情報をありがとうございます。今ジオパークの話も出てきましたが、ジオパーク専門の方に来ていただきましたので、まず佐藤さんに話題提供をお願いいたします。

佐藤 私と中川の2人で、栗駒山麓ジオパーク構想の立ち上げと今後の活用と分けてお話させていただきます。お手元の配布資料の中に、2人で9ページぐらいの論文がありますので、概要はそれでご覧いただければと思っています。

栗駒山麓ジオパークのスタートですが、まず平成20年岩手・宮城内陸地震があり、この震災からの復興を契機に活動を始め、昨年9月に、日本ジオパークとしてめでたく認定をされました。簡単に経緯を話しますと、平成20年に岩手・宮城内陸地震がありましたが、この震災の後、3年くらいかかったと思うのですが、その間は人命救助と行方不明者の捜索を行ってまいりました。震災から3年が経過して、地すべりとか山腹崩壊を、言葉が悪いのですが、活用できないかということで、検討を開始しました。その当時いろいろお世話になっておりました宮城先生と、これを活用するためには、どういった方法がいいかということは何度も議論してまいりました。単に震災遺構として残すだけでは、観光地化して将来的には残らないというふうに思っていましたのでジオパークという手法を考えました。また、物だけではなく、それを伝えていく人、伝承する人がいなければ長続きしないだろうというところから、活用から活動へという具合に展開を切り替えさせていただきました。

これからジオパークという話をさせていただきますが、ジオパークというのはまさに活動と言えます。認定されても、4年に一度再審査があります。活動が停滞しているとジオパークの認定を取り消されることがあります。たまたま本日は日本ジオパーク委員会が開催されておりまして、各地域のジオパークが再認定審査を受けているところです。ジオパークを外されるような地域も初めて出てくるのではないかと考えています。

平成24年の2月からジオパークの活動を正式に開始しましたが、私たちは活動実績を大事にしてきました。このようにジオガイドが話をしていますが、昨年度、日本ジオパークに申請書を提出した結果、厳正な審査を

通りめでたく認定をいただきました。

岩手・宮城内陸地震の際にはこのような被害があり、栗原市の山間部では震度6強を観測しました。その後、東日本大震災で震度7、そしてその後の余震でも震度6強ということで、3年間のうちに震度6強を越える強震を3度も経験したということで、全国でもまれに見る試練を受けた地域なのかなと思っております。

ジオパークを一言で言えば大地の公園ということですが、地域の大事な地形や地質を活用しながらジオパークを学ぶ学習であったり、観光に生かしたり研究に生かしたりというものです。私たちは、ジオパークとは地域振興だと思っております。多くの人にこの地域に訪れていただき、賑わいを創出し地域の人も活性化することです。ただし、私たちのジオパークの一番大事な部分は防災教育です。そういう学習の面が特に注目されております。現在、日本の中には43のジオパークがありますが、まだまだ広がっていくと思っています。

このように、栗原市がジオパークに取り組んだ背景というのは震災がきっかけでした。さらに、全国でもまれだったのですが、平成17年に10の町村が合併しまして、地域住民の一体感の醸成のためにもジオパークに取り組んできました。これが地震によって姿を変えた栗駒山です。

ジオパークということで、そういう資源を活用してさまざまなジオツアーを実施したり、そういった資源を子どもたちの学習に活用したりしております。昨年度ジオパークの認定によりどのように変化したかというところ、それによって多くの方が訪れてくれるようになりました。本年度も72の団体の視察受入れや、ジオパークの学習も年々増加しており、視察と合わせて100回ぐらいジオパーク案内を行っております。大体6月から11月の間にこういう回数をこなしておりますので、半年間、180日のうち100回以上はこういうことをしております。ほぼ毎日のようにこういうジオパーク案内をしているということです。

私たちはどちらかというと、栗駒山麓ジオパークは防災や学習に強いジオパークだと思っておりますが、これだけでは正直言って長続きしないと思っております。やはりこれをもとに観光や経済を発展させていかないと、地域のにぎわいが創出されないと思っておりますので、ジオパークというツールを通じて地域の活性化につなげていきたいというところで、私から簡単に話題提供をさせていただきました。ジオパーク認定後の取り組みについてはこの後中川から紹介させていただきます。

中川 佐藤のほうからジオパーク設立の経緯の話がありましたので、私は実際のジオパーク活動の中から防災・減災のための教育活動についてお話をさせていただきます。

まず、ジオパークにおける教育の位置付けです。ジオパーク活動推進上の基本理念は、保護保全、教育と持続可能な開発・発展とあります。保護保全については、学術的な価値のある大地の遺産や美しい景観を後世でも活用していけるよう、国や県、市の法令を基に保護したり、人と自然の共生を実現するための措置を取ったりすること、これがジオパーク活動のベースとなります。そうやって保護保全した地域の資源を、例えば教育であったり、先ほど紹介がありましたジオツアーを含めた観光であったり、調査研究活動などに活用していきながら、地域の持続的な開発・発展につなげるのがジオパーク活動です。

そしてこの3つの中で特に重要なのが、持続可能な開発・発展です。持続可能な開発のためには、まず地域住民たちがジオパークの視点を通じて、自分たちが住んでいる地域がいかなる学術的価値を持っていて、そうした意味でいかに重要な場所であるか、ということを理解していく必要があります。そのためには、教育活動がやはり重要です。地域住民がその地域の地球科学的、文化的、または歴史的な価値に気付くには、学習機会をまずこちらから提供しなければなりません。

また、日本のジオパークの多くは地殻変動が非常に活発な場所に位置していますので、そういった観点からも、防災減災教育のためにジオパークが持つ役割は大きいと考えられています。平成28年熊本地震のときもそうでしたが、例えば、災害が起きたときに日本ジオパークとしてどういった対応をしているかというところ、まず災害地調査のために研究者や調査員派遣をしたりしています。また、全国のジオパークに義援金を募り、被災地に送るといったようなことも日本ジオパークとして実施しています。

ただし、発災時の対応は、基本的に行政が中心となり、避難所の運営や被災者のための救済措置といったこ

とで復旧・復興に向けて動いていくので、ジオパークとして発災時にできることにはかなりの制限があります。なかなか難しいところですが、現在も議論が重ねられている状態です。しかし、平時の防災減災教育という観点でいくと、ジオパークが支援できることは大きいと考えています。その理由については、今から紹介する地域の子供達への教育活動であるジオパーク学習の取り組みを見ていただければ分かります。

はじめに、ジオパーク学習が学校教育の中でどんな位置付けになるかという図です。主に、栗原市では市内の小学校を中心に、社会や理科の中で「ジオパーク学習」を取り入れていただいています。例えば、社会の授業で日本有数米どころ庄内平野を取り上げて日本の農業について学ぶとすれば、ジオパーク学習は、ジオパーク関連の地域教材を用いて、じゃあ栗原の農業はどうか、自分が住む地域ではどうかを学ぶという特徴があります。理科においても同じようなことがいえます。要するに、学校教育という広い枠の中で、学びのスケールを自分の地域に狭め、より深く自分の地域について学べる。それがジオパーク学習です。

以上から、私たちが行っているジオパーク学習のねらいは主に2つに定めています。ジオパークでは、栗原市全域の地学的な、もしくは歴史的・文化的な価値のある遺産を、地域の重要な資源として見ていくので、それらを活用した「ふるさと学習」が1つ。もう1つは、「防災減災のための教育」です。やはり、私たちのジオパークは平成20年岩手・宮城内陸地震をきっかけにジオパークを目指したということもあるので、防災減災教育を特に重要な位置付けにしています。

実施回数については先ほど佐藤からも紹介ありましたが、今年は27回で2,332人ということで、年を経るごとに、地域の中でジオパーク学習を実施する学校が増えてきています。

次に、ジオパークで防災減災教育を推進していくことの必要性についてです。

金沢大学の青木賢人先生の「防災教育」は「防災基礎教育」と「防災応用教育」の2つに分けられるという考え方に基づいて話を進めます。この場合の防災応用教育は避難訓練など、実際地震が起きたときや他の災害が起きたときにどんな対応を取るかというのを理解するための教育です。もう1つは、発災時の避難行動のベースとなる、自然現象の理解や災害が起こる原因そのものの理解をする教育です。どちらも発災時の適切な判断と行動のために必要な教育ですが、この内ジオパークの特徴に合い、支援しやすいのは防災基礎教育だと考えています。ジオパークは地質学、地形学における調査研究結果をベースに地学現象を子どもや大人に分かりやすく伝え、その価値を多くの人と共有することが活動において求められるので、自然現象や自然災害メカニズムといった地学現象を理解しやすくする工夫が各地で積み重ねられています。ジオパークがある地域は、そうした意味で、大人も含め、地域の災害や自然現象を学ぶための土台ができてきているということで大変恵まれていると思います。

これは、ジオパーク学習時の写真ですが、先ほど紹介がありました、日本でも見えるものの中では最大級といわれている荒砥沢地すべりの末端部まで見える場所に子どもたちを連れて行ったときのものです。こうしたフィールド学習時に重要なのが、私たちのジオパークで養成したガイドさんです。この方たちは地域の語り部さんでもあります。地すべりが起きたメカニズムだったり、被災当時のお話だったり、この荒砥沢地すべりがある周りには実はたくさんの地すべりがあって、過去にも何度も地すべりが繰り返されてきたことなど、地域の地学的な特徴や人の営みにまつわるお話をガイドさんがしてくれます。ガイドの説明があることで、子供たちは目の前に広がる景観が持つ意味を理解していくことができます。

また、実際見るだけではなく、より深く理解するための手法として、このように体験が学習や実験も行います。地すべりの起こるメカニズムを理解するための実験装置地すべりシミュレーションユレオを用いたり、荒砥沢地すべりが発生した要因とされる、くずれやすくもろいシルト岩に触ったりします。さらに、冷沢崩落地という所で土石流に巻き込まれてちぎれ残った道路に行くと、カーブミラーが曲がったまま残されていたり、電柱が倒れたりしている場所を見学します。栗原は水害の多い場所なので、他にも、実際の川を訪れて水害についても学習したりもします。

こういったフィールド学習の他に教材も作成しています。この写真は今年完成した『ジオ読本くりはら大地の物語』というのですが、市内の小学校の5、6年生の理科の授業で使ってもらえるように配布しています。

このジオ読本の特徴は、栗原の災害特性に合わせて構成したところです。例えば、栗原は内陸部なので、津波については記載がありません。自分の地域の災害の特徴は何か、過去どんな災害が起こってきたかに着目して作成をされています。

栗駒山麓ジオパークにおける活動経験を基に、ジオパークが地域や学校における防災減災活動のために支援できることというのを最後にまとめました。まず、ジオパーク活動が地域にあることで、学習フィールド、地域の地学現象や歴史などにかかる知識や資料といった地域教材、そしてそれらを楽しく学ぶための人材がそろっていきます。また、ジオパークでは地域の自然・歴史遺産を保護保全していきますので、学習フィールドを持続可能に活用していくことができます。さらに、ジオパーク活動は科学者の方たちが調査研究した成果をベースにしていますので、科学的根拠に基づいた情報提供ができます。

こうしたジオパークが築き上げてきた成果は、平成20年岩手・宮城内陸地震の震災の経験の後世につないでいく仕組みづくりに繋がっています。今後も、ジオパークを有効活用していきながら、栗原地域全域を巻き込んだ、防災減災のための活動を行っていきたいと考えています。

酒井 ジオパークについて詳細にお話ししていただきありがとうございます。これについて宮城先生からも願います。

宮城 私もジオパークに関わらせていただいています。いろいろな展開の可能性があるということとムーブメントであるということ、僕はすごく大事だと思っています。地震があったのは2008年で今から8年前ですが、去年やっとジオパークに認定されました。その間に2011年に東日本大震災がありましたが、昨年、仙台で国連防災世界会議、ユネスコの会議がありました。岩手・宮城内陸地震は大変な災害でしたが、数千にわたる発表の中で、我々に関わる岩手・宮城内陸地震の話は、僕たちがしゃべった2件しかなかったことは非常に残念でした。完全にメディアは忘れてます。僕は、どうしたら忘れないようにすることができるのかを考える必要性を強く感じました。

それについては、去年あるいはその前から考えていますが、伝承とか言い伝えもありますが、現代の日本の地域理解と記憶のシステムは、極めて物販のほうを整っていますので、それを使うということができる状態にある。これはもう大変なアドバンテージ(有利)だと思います。しかし、記憶と記録をきちんと使う、それによって忘れ得ぬようにするためにはどうするか、これは言わずもがなですが、災害自体の理解、それからその災害を引き起こす背景も含めて理解する。これは、先ほど2人が話をしてくれたジオパーク活動にそのまま適用できると思います。従って、ジオパーク活動をすること自体が、忘れ得ぬ行動ではないかと僕は思っています。

東日本大震災の際には僕も自分の町のことでいろんな人と関わったのですが、とても忘れられないことがあります。町が復興計画を作ってそれを最初に地域の人たちに説明をするのですが、その時、400人の定員の所に600人の市民が詰めかけました。説明を始めると、配布資料の紙をめくるのですが、その紙をめくる音がまるでさざ波のように我々に押し寄せてくるのです。いろんな質問も出て、それに対していちいち答えてゆきました。一部怒号もありましたが、最後は皆でこれから頑張っていこうと復興計画に賛成してくれました。町が1つにまとまった瞬間だと思います。それによって、その後の復興計画は、他の自治体と比べればかなり順調に進みました。でも、忘れないようにするということはまだまだ道半ばです。岩手、宮城をベースにして、我々はジオパークというものを作り上げましたが、運命ですから、これからもずっと努力していきます。そのことが忘れ得ぬ構造をつくり、ひいては新しい文化をつくることにつながるのではないかと、力説させてもらいました。

酒井 ありがとうございます。今みたいな話は初めて聞きました。災害記憶の伝承という今のお話の関連で、中越地震を経験された三木さんにお話しいただければと思います。

三木 先ほどお話しした芋川東竹沢地区の河道閉塞の上流に木簞(こごも)という集落がありまして、地震後水位が上昇して家屋が水没していく状況が毎日のようにテレビで放映されましたが、中越地震から12年経過して今では震災遺構として新潟県と長岡市によって水没家屋2棟を保存する工事が完成しています。また、大出水の際には河川水位も上がりますので、万一家屋が流れた場合に備えて流出を防ぐ防御柵も今年の10月に完成しました。周辺一帯は震災のメモリアルパークになっております。

このような震災遺構のメモリアルパークは三つあります。1つ目は先ほどの木簞のメモリアルパーク「記憶の公園」で水没家屋があります。2つ目は地震の震央に当たる地域ですが、そこは震度7でしたので震央メモリアルパークということで「はじまりの公園」という名前が付いており、震源地として保存されています。3つ目は妙見メモリアルパークで「祈りの公園」です。地震のときに親子3人が乗った車が地震で発生した道路脇の崩壊に飲み込まれ、男の子は奇跡的に助かりましたが、お母さんとお姉さんが亡くなりました。そこは今もそのままに残してあります。これを作るにあたっては、新潟県の震災復興基金が充てられたというふうに聞いております。これらのメモリアルパークと別に、中越メモリアル回廊という4施設が作られました。それは、山古志の復興交流館、長岡の震災アーカイブセンター、小千谷の震災ミュージアム、川口のきずな館です。これら4施設がそれぞれオープンして、今では大震災の記憶を思い起こすとともに、地域振興のために活用されており、現在でも見学者が絶えない状況になっております。

酒井 ありがとうございます。やはり復興には大変な年月と努力が必要だということがよく分かってきたと思います。いろいろお話を聞いた中で、今の話題に関連について何かご質問ご意見等ございますか。

大八木規夫 防災科研の大八木です。いろいろな貴重なお話をありがとうございました。特に宮城先生を始め、荒砥沢地区、栗原地区の方が非常に努力されたということがよく分かりました。これから先々の震災復興としてのみならず、防災教育をさらに広げていくためには、遺構を設定するだけではなく、何より人を育てることが重要ではないかと考えるのですが、それを今後どういうふうに進めようという考えやアイデアをお持ちでしょうか。

佐藤 ありがとうございます。まさに、これを今後も傳承していくためには人の存在が不可欠です。今の、人ということに関しましては、栗駒山麓ジオガイドということで、40名のガイドが誕生しています。栗原市というのはもともと観光地ではございませんでしたので、ガイドはほとんど皆無でした。平成24年からこういうガイド養成を始めて、今までにガイドが40名誕生しております。本日も初級講座の修了式がありまして、また新しいガイドが誕生するというので、年々10人ぐらいずつガイドが誕生しております。そういうガイドの方々を中心として、子どもや来訪者に観光案内だけでなく地震の説明もします。それを聞いた子どもや来訪者自らが、震災の語り部となって伝えていくということで、人材育成に関してはこういった部分に力を入れております。

あとは学校教育という部分です。これは学校の先生方の理解がないと伝わっていきませんので、子どもたちにジオパーク学習をするだけでなく、先生方に対しても同じように、ジオパークの案内やジオパーク学習を行っていますので、だんだんと先生方の理解も深まってきたなと思っております。

ただし、私たちのこのジオパークは岩手・宮城内陸地震の震災から8年経過して、まさに既に風化しつつあります。今、私たちの学習は、ほとんどが5年生、6年生を中心に行っております。5年生、6年生というと今11歳、12歳ですが、震災当時は3歳、4歳だったということで、「岩手・宮城内陸地震、覚えている？」と聞いても、ほとんど記憶がありません。その後東日本大震災がありましたので、それによって忘れ去られているというふうな状況です。震災を風化させないためにも、ジオガイド1人1人が語り部となって伝えていく、先ほどの話にもありましたが、防災ジオ読本といったものを活用しながら伝えていく努力をしています。

今後必要になってくるのは、ビジターセンターの設置です。そこには震災のアーカイブという機能もありま

すので、そこできっちりと岩手・宮城内陸地震を伝えてゆく、また、もちろんそれだけではなく、水害などその他の災害もきっちりと継承していきたいと思っております。

酒井 ありがとうございます。皆さんのお話を全部聞いたわけですが、地震直後の問題、それから数カ月たった後の問題、さらに何年もたった後の問題と、時間の経過とともに土砂災害の影響がかなり変わってくるというのがよく分かったかと思えます。

それでは最後の時間になってきましたので、パネラーの皆さんと会場の皆さんから質問やコメントを受けながら議論を進めたいと思います。ここからは自由に質問や発言をしていただければと思いますのでよろしくお願いいたします。

石丸聡 北海道の地質研究所という所におります、石丸と申します。今、最後のほうに防災教育の話が出て、前からちょっと気になっていることもあったので、幾つかお話しさせていただきます。2年前に広島土砂災害がありましたけれども、その場所がまさに扇状地という場所でした。我々土砂災害を研究している者にとっては、そういう所で土砂災害が起こりやすいということは常識になっているわけですが、まさにそういう場所に家を建てた多くの住民が犠牲となりましたので、一般の人はなかなかそのようなところが危険な場所とは思っていないということを改めて感じました。住む人がそれを知らないというのと同時に、自治体側もそこを開発するにあたって、もう少し考え方があったかなと思います。日本は非常に災害が多い地域でもありますし、教育、特に、小学生への教育が非常に重要だと思います。命の問題ですから、まず小さい頃からそういう教育をある程度身に付けさせて、興味を持たせることが重要です。また、子どもに教え、伝えるのと同時に、小中学生への防災教育で非常に効果的なのは、子供にそれを家に持ち帰ってもらい家族で話をしてもらうことで、親や祖父母の世代にも防災教育が進むことです。このような話は、特に火山周辺の自治体などでよく聞く話ですが、そういった小学生への教育を、ジオパーク活動ではもちろん、それが無い地域でもどんどん進めていただくことが大事です。一方、教育という制度上、市町村の役割も大きくなってきますので、ぜひ市町村の職員の方々にも、そういう防災だけでなく、もっとその基礎となる、我々研究者なら皆が知っているような地形や地質等の自然環境についても学習する場を設定していただきたいと思っておりますので、そのようなことを含め、ぜひみんなでいろいろ考えていけたらいいなと思っております。

酒井 ありがとうございます。それについてパネラーの方、いかがでしょう。

佐藤 ありがとうございます。うちの例をまた少し話させていただきますと、やはり子どものうちに、防災という部分を学習することは、非常に大事だと思っております。5年生、6年生に対しては、防災に重点を置いてジオパーク学習をしております。それだけではなく、小学校低学年からジオパーク学習という部分を実施しております。小さいうちからそこまで踏み込むのはどうかという意見も少しはあるのですが、ジオパークへの理解と防災の理解というものについて、カリキュラムも含めて教育委員会とも協議をしながらジオパーク学習を年々展開させていただいております。

いずれにしても、今話したように、子どもたちに伝えることが一番の近道で、それが親にも伝わっていると理解しております。これまで、子どもたちの授業を使ってジオパーク学習を展開してまいりましたが、どんどん幅が広がり、PTAの親子行事、学年行事、全体交流会などからも、ジオパークの防災学習をして欲しいと声を掛けていただくようになってきました。子どもたちだけでは、例えば100人だったものが、親も加わり200人に対して、現地に行ったり、体験プログラムを提供したりと広がってきましたので、子どもたちにこういう防災教育をやることは本当に一番の近道で、それを通じて親のほうも勉強してくれるというふうに、私たちは理解して活動を展開しております。

酒井 ありがとうございました。次は別の話題で質問等あればお受けしたいと思います。

Cー 発表概要集を見せていただき、一番感心というか感激したのは、ユレオです。ローカルな問題としての防災教育じゃなくて、普遍的なコンテンツを練り上げて、決して栗駒だけの問題ではなくて、全国に通用するコンテンツを作ってください、それでこそ普及ができるのではないかと考えていますので、これからもそういう活躍を期待しております。インターネットで見られるかもしれないと調べていろいろ検索したのですが、なかなかユレオくんに辿りつけなくて少し残念でした。

佐藤 では、少しPRさせていただきます。そのユレオなのですが、インターネットでは見られませんが、栗駒山麓ジオパークはFacebookもやっております、ほぼ2日に1回、いろんな情報発信、活動の発信をしております。その中で動画を見ることができまして、ユレオのコーナーもあります。ぜひ、そちらでメカニズムをご確認ください。

酒井 ありがとうございます。今回1時間超にわたって、パネラーの皆さんや会場の皆さんから、いろいろ話題提供やご意見を伺ってまいりました。地震という1つの災害が起きたら、災害はそこで終わりではないということがよく分かってきたなと思います。今後もこういうことを踏まえながらも、土砂災害予測に取り掛かっていければという期待を最後の言葉としたいと思います。パネラーの皆さん、質疑応答してくださった会場の皆さん、ご参加いただいた皆さんに、拍手をいただきたいと思います。ありがとうございました。

Proceedings of the Workshop on the Prediction of Landslide Disasters - The 2016 Kumamoto Earthquake and the Relevant Matters -

Edited by Tomoyuki IIDA*, Ryuji YAMADA*, and Naoki SAKAI*

**National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention*

iida@bosai.go.jp, ryamada@bosai.go.jp, sakai@bosai.go.jp

Abstract

On December 8-9, 2016, “Workshop on the Prediction of Landslide Disasters - The 2016 Kumamoto Earthquake and the Relevant Matters -” was held at the Wadachi Memorial Hall of National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience. This workshop aimed to offer the occasion for researchers, engineers and all stakeholders to share the perceptions, to find out the status quo of the landslide prediction technologies, and to discover the practical application. It consisted of 29 presentations in five sessions, a special lecture, and a panel discussion on the responses of local governments and researchers after major earthquakes. In particular, many landslides caused by the Kumamoto earthquake in April 2016 and subsequent heavy rains, have drawn great concerns nationwide, and consequently ca. 140 people participated in this workshop.

Key words: Proceedings, Sediment disaster, Landslide, Slope failure, Kumamoto Earthquake