July 2021

防災科学技術研究所研究資料

第四六三号

2

匥

度土砂災害予測に関する研究集会

プロシー

ディング

防災科学技術研究所

# 2019/2020 年度土砂災害予測に関する研究集会 プロシーディング

Proceedings of the Workshop on the Prediction of Landslide Disasters, 2019/2020





National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience Tennodai 3-1, Tsukuba, Ibaraki 305-0006, Japan 第463号

### 防災科学技術研究所研究資料

Technical Note of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience: No.463



### 防災科学技術研究所研究資料

| 第 411 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 231pp. 2017 年 3 月発行   |
|-------------------------------|---|
| 第 412 号                       | 衛星画像解析による熊本地震被災地域の斜面・地盤変動調査 -多時期ペアの差分干渉 SAR 解析による地震後の   |
|                               | 変動抽出- 107pp. 2017 年 9 月発行   |
| 第 413 号                       | 熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備 -航空レーザ計測と地上観測調査に基づいた防災情報データ  |
|                               | ベースの構築- 154pp. 2017 年 9 月発行   |
| 第 414 号                       | 2017 年度全国市区町村への防災アンケート結果概要 69pp. 2017 年 12 月発行  |
| 第 415 号                       | 全国を対象とした地震リスク評価手法の検討 450pp. 2018 年 3 月発行予定  |
| 第 416 号                       | メキシコ中部地震調査速報 28pp. 2018 年 1 月発行   |
| 第 417 号                       | 長岡における積雪観測資料(39)(2016/17 冬期) 29pp. 2018 年 2 月発行   |
| 第 418 号                       | 土砂災害予測に関する研究集会 2017 年度プロシーディング 149pp. 2018 年 3 月発行  |
| 第 419 号                       | 九州北部豪雨における情報支援活動に関するインタビュー調査 90pp. 2018 年 7 月発行   |
| 第 420 号                       | 液状化地盤における飽和度確認手法に関する実験的研究 -不飽和化液状化対策模型地盤を用いた模型振動台実  |
|                               | 験 - 62pp. 2018 年 8 月発行  |
| 第 421 号                       | 新庄における気象と降積雪の観測(2016/17 年冬期) 45pp. 2018 年 11 月発行  |
| 第 422 号                       | 2017 年度防災科研クライシスレスポンスサイト(NIED-CRS)の構築と運用 56pp. 2018 年 12 月発行  |
| 第 423 号                       | 耐震性貯水槽の液状化対策効果に関する実験研究 -液状化による浮き上がり防止に関する排水性能の確認-   |
|                               | 48pp. 2018 年 12 月発行   |
| 第 424 号                       | バイブロを用いた起振時過剰間隙水圧計測による原位置液状化強度の評価手法の検討-原位置液状化強度の評   |
|                               | 価に向けた土槽実験の試み- 52pp. 2019 年 1 月発行  |
| 第 425 号                       | ベントナイト系遮水シートの設置方法がため池堤体の耐震性に与える影響 102pp. 2019 年 1 月発行   |
| 第 426 号                       | 蛇籠を用いた耐震性道路擁壁の実大振動台実験および評価手法の開発-被災調査から現地への適用に至るまで   |
|                               | <ul> <li>— 114pp. 2019 年 2 月発行</li> </ul>   |
| 第 427 号                       | 津波シミュレータ TNS の開発 67pp. 2019 年 3 月発行   |
| 第 428 号                       | 長岡における積雪観測資料(40)(2017/18 冬期) 29pp. 2019 年 2 月発行   |
| 第 429 号                       | 配管系の弾塑性地震応答評価に対するベンチマーク解析 72pp. 2019 年 3 月発行  |
| 第 430 号                       | 津波浸水の即時予測を目的とした津波シナリオバンクの構築 169pp. 2019 年 3 月発行   |
| 第 431 号                       | 土砂災害予測に関する研究集会 2018 年度プロシーディング 65pp. 2019 年 3 月発行   |
| 第 432 号                       | 全国を概観するリアルタイム地震被害推定・状況把握システムの開発 311pp. 2019 年 3 月発行   |
| 第 433 号                       | 新庄における気象と降積雪の観測(2017/18 年冬期) 51pp. 2019 年 3 月発行   |
| 第 434 号                       | SIP4D を活用した災害情報の広域連携に関する取り組み -南西レスキュー 30 における活動報告- 158pp.   |
|                               | 2019年6月発行   |
| 第 435 号                       | SIP4D を活用した災害情報の広域連携に関する取り組み – みちのく ALER 12018 における活動報告 – 140pp.  |
|                               | 2019年7月発行   |
| 第436号                         | 平成30年7月豪雨(西日本豪雨)の被災目治体における災害情報システムの沽用実態に関する調査 60pp.   |
|                               |   |
| 弗 437 号<br>体 499 日            | SIP4D 利活用ン人アム技術任禄書・问解説 142pp. 2019年10月発行  |
| 弗438 亏                        | SIF4D を活用した次書情報の広域連携に関する取り組み 一かもしか RESCUE2019 における活動報告 – 40pp.<br>2010 年 12 日発伝   |
|                               | 2019年12月光付  |
| 弗 439 亏(1)                    | 南西トフノ沿いの地震に対する唯平神的洋波ハリート評価 第一部 本編 575pp. 竹琢編 514pp. 2020 年 4 月  |
| 笠 110 旦                       | 元1」<br>乾癬を用いた様準拠の今期的な恐斗手注のための亦取メカニブノに阻する宇殿研究「乾癬の理染体を構築に向  |
| 分 <del>11</del> 0 万           | ип с пинеи и и и и и и и и и и и и и и и и и и  |
| <b>第</b> //1 早                | ()      ()      ()      (2020 平 1 月元]     [三〇日 2020 平 1 月]     [三〇日 2 |
| か <sup>+++</sup> ク<br>答 //9 旦 | 式回していていていては当転(内目(T1)(2010/13 (水川) 20pp. 2020 + 5 月光日<br>新広になける気気と隆珪重の細測(2018/10 年友期) 47nn 9090 年 9 日発行  |
| ₩ ++4 与<br>筆 4/2 早            | MILについ $\Im$ X(赤) (平慎目) V 既(() (2010) 12 十 $\langle$ 州) (1) (1) (2020 + 2 月 九])<br>カラウドファンディングを注田した研究車励 = マパール組積浩住宅の耐電站論宝融た風レーア = 29m   |
| AT TTU /J                     | フラフィフラフラフラフラフ CID ロレルツル TPD アハール 祖倶坦王 七の 順 最 冊 强 天 歌 て 凹 に し に $- 34 \mu$ .   |

- 2020年3月発行
- 第444号 南海トラフで発生する地震・津波を対象とした広域リスク評価手法の検討 163pp. 2020年3月発行

▶ 表紙写真・・・「幌内川地すべり」:2018年北海道胆振東部地震による最大の岩盤地すべり. 日高幌内川流域において,南北に延び た幅 400m,長さ 1200m の尾根全体が南方(写真左下から右上方向)に 350m 移動し,行き場を失った尾根の先端部が 破砕され、左右に拡がっている様子を読み取ることができる. 初生地すべりであるため、防災科研の地すべり地形分 布図には示されていないが、すぐ西側の斜面には過去の地震によると推定される大規模な地すべり地形がある. 撮影 当初、地すべり変動の全体像を把握できず、尾根全部がすべった地すべりである可能性に気付いたのは撮影翌日のこ とであった.(撮影者:井口隆.同行取材のため搭乗した朝日新聞社機より,地すべりの北西側から末端方向を撮影)

### 防災科学技術研究所研究資料

| 第 445 号 | SIP4D を活用した災害情報の広域連携に関する取り           |
|---------|--------------------------------------|
|         | 23pp. 2020年6月発行                      |
| 第 446 号 | 災害関連情報の効果的アーカイブ方法の検討 -都              |
|         | に- 81pp. 2020 年 7 月発行                |
| 第 447 号 | 土のう構造体を用いた道路盛土の新たな耐震補強工              |
|         | と中長期的な維持に向けての検証- 68pp. 2020年         |
| 第 448 号 | E-Defense を用いた実大 RC 橋脚 (C1-2 橋脚) 震動破 |
|         | 性に関する震動台実験- 46pp. 2020 年 8 月発行       |
| 第 449 号 | E-Defense を用いた実大 RC 橋脚 (C1-6 橋脚) 震動  |
|         | トを用いた高耐震性能橋脚の開発- 36pp. 2020年         |
| 第 450 号 | 令和元年東日本台風(台風第19号)による各県の被害            |
| 第 451 号 | 地震と降雨の作用を受ける蛇籠擁壁の安定性に関す              |
|         | 年 11 月発行                             |
| 第 452 号 | 令和元年台風15号 千葉県における高齢者被災状況             |
| 第 453 号 | 2018 年度防災科研クライシスレスポンスサイト(NI          |
| 第 454 号 | 新庄における気象と降積雪の観測(2019/20年冬期)          |
| 第 455 号 | ISUT による災害情報の統合と共有 – 令和元年台風等         |
|         | 例- 92pp. 2021 年 2 月発行                |
| 第 456 号 | 有珠山壮瞥火山観測井コア試料の岩相と層序 36pp            |
| 第 457 号 | 降雨と地震の作用下におけるため池堤体の変形・               |
|         | 29pp. 2021年1月発行                      |
| 第 458 号 | SIP4D を活用した災害情報の広域連携に関する取給           |
|         | 告- 19pp. 2021 年 2 月発行                |
| 第 459 号 | 米国の連邦および地方政府と地方自治体の災害対応              |
|         | を対象に- 66pp. 2021 年 2 月発行             |
| 第460号   | 地震による直接被害額のリアルタイム推計方法の検              |
| 第 461 号 | 長岡における積雪観測資料(42)(2019/20冬期) 16       |
| 第 462 号 | SIP4D を活用した災害情報の広域連携に関する取            |
|         | 2021 年 5 月発行                         |

| - 編集委  | 員会 -                             | 防災 |
|--|----------------------------------|----|
| (委員長)  | 下川 信也                            |    |
| <ul> <li>(委員)</li> <li>木村武志</li> <li>河合伸一</li> <li>山崎文雄</li> <li>藤原 淳</li> </ul> | 姫松 裕志<br>三浦 伸也<br>平島 寛行<br>川嶋 一浩 | 編発 |
| <ul> <li>(事務局)</li> <li>三浦伸也</li> <li>池田千春</li> </ul>                            | 前田佐知子                            | 印  |
| (編集・校止)  | 樋山 信子                            |    |

© National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience 2021

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

)組み - 01TREX/南海レスキュー 01 における活動報告-道府県の公式ホームページから発信される情報・資料を対象 E法に関する実大震動台実験 - 地震災害後の道路の早期復旧 年7月発行 :壊実験研究報告書 -主鉄筋段落としを有する RC 橋脚の耐震 b破壊実験研究報告書-ポリプロピレンファイバーコンクリー 年9月発行 害概要および受援設備の整理 85pp. 2020 年 9 月発行 「る実験的研究 -蛇籠擁壁の粘り強さの検証- 40pp. 2020 2調查報告 83pp. 2021 年 2 月発行 IED-CRS)の構築と運用 43pp. 2021年2月発行 41pp. 2021 年 2 月発行 第15号(房総半島台風)および台風第19号(東日本台風)の事 p. 2021 年 2 月発行 破壊に関する実験研究 -ため池の安全性向上に向けて-組一令和2年度長野県大規模風水害図上訓練における活動報 Sに関する現地調査報告 – FEMA Region 9, カリフォルニア州 討 88pp. 2021 年 2 月発行

6pp. 2021 年 2 月発行 10組み-沖縄県 SIP4D 連接実証実験の活動報告- 48pp.

### 災科学技術研究所研究資料 第463号

令和3年7月8日発行

靠兼 国立研究開発法人 〒 305-0006 茨城県つくば市天王台3-1 電話 (029)863-7635 https://www.bosai.go.jp/

印刷所 松 枝 印 刷 株 式 会 社 茨城県常総市水海道天満町2438

### 2019/2020 年度 土砂災害予測に関する研究集会 プロシーディング

山田隆二\*・飯田智之\*・佐藤昌人\*・井口隆\*編集

\* 防災科学技術研究所

#### 要 旨

令和2年12月3-4日,「2019/2020年度土砂災害予測に関する研究集会」が国立研究開発法人防災科 学技術研究所,国土交通省国土技術政策総合研究所,国立研究開発法人土木研究所による共催および 4つの学協会の後援により開催された.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,それをさらに発展させるため,多くの研究者・技術者・その他ステークホルダーの意見交 換をする場として毎年開催されている.新型コロナウイルス感染拡大のため2019年度研究集会は延期 となったが,2019/2020年度合併の研究集会は,感染拡大防止策としてオンライン形式を採用して開催 され,国や大学の研究者,民間企業の実務者など285名が参加した.1日目の「地すべり地形分布図の 高度利活用に向けて」を主題とした第1部では,前地すべり学会会長・山形大学の八木浩司氏による「地 すべり地形分布図の今後の活用に向けて」と題した特別講演と、「すべり地形分布図が抱える課題と要 望」および「地すべり地形分布図のハザード評価に向けた活用」をテーマとした2つのセッションが開催 された.2日目の「最近の土砂災害の実態」を主題とした第2部では,株式会社ドーコンの田近淳氏によ る「2018年北海道胆振東部地震による地すべりのタイプ・発生場・メカニズム」と題した特別講演と、「最 近の地震による土砂災害の実態」および「最近の降雨による土砂災害の実態」をテーマとした2つのセッションが開催

キーワード:土砂災害予測,地すべり地形分布図,利活用,近年の地震と降雨

### 目 次

|    |   |             | ^-            | ージ |
|----|---|-------------|---------------|----|
|    | 2019/2020 年度 土砂災害予測に関する研究集会               |             |               |    |
|    | 研究集会の趣旨と開催概要                              |             |               | 4  |
|    | 研究集会のプログラム                                |             |               | 5  |
|    |   |             |               |    |
| (¢ | 第1部】 地すべり地形分布図の高度利活用に向けて                  |             |               |    |
|    | 故大八木規夫氏を偲ぶ(2019年度研究集会開催に寄せて)              |             | •••••         | 7  |
|    | 井口 隆・                                     | 飯田智         | 】之            |    |
|    | 特別講演                                      |             |               |    |
|    | 地すべり地形分布図の今後の活用に向けて                       |             |               | 11 |
|    |   | 八木浩         | 討             |    |
| _  | 笠 1 <b>刘</b> 逝 丘                          |             |               |    |
|    | <b>第1 即咫日</b><br>地すべり地形八本回の宣産和任用に向けたす礼無亜  |             |               | 12 |
|    | 地9个り地形分布凶の高度利活用に回りた力封機委                   |             | ·····         | 13 |
|    |   | 田田属         | È—            |    |
|    | 地すべり地形分布図の刊行と web 公開の経緯 – 30 年の歩みをふり返って – |             | •••••         | 15 |
|    |   | 井口          | 隆             |    |
|    | テーマ1 地すべり地形分布図が抱える課題と要望                   |             |               |    |
|    | 砂防分野における地すべり地形分布図の活用に向けて                  |             |               | 17 |
|    |   | 中谷洋         | 的             |    |
|    | 歴中的十月増土砂災実調本での地すべり地形分本図の利用                |             |               | 25 |
|    | 歷史的八規模工99代音調査での地9309地形力和因の利用              |             | \_ <u>+</u> : | 23 |
|    |   | 开上ン         | 入             |    |
|    | アイトラッキングを用いた地すべり地形判読プロセスの可視化              |             |               |    |
|    | -効率的な地形判読技術の伝承を目指して-                      | •••••       | •••••         | 41 |
|    | 佐藤 剛・土志田正二・                               | 八木浩         | 吉司            |    |
|    | 森林域の地すべりの活動度評価の試み                         |             |               | 43 |
|    | 大丸裕武・村上 亘・戸田堅一郎・世                         | 古口竜         | É—            |    |
|    | コンサルカントは街老かと目た地すべり地形公本図の証価・調節・屋切          |             |               | 15 |
|    | コンリルタント技術有から見た地9个リ地形分布図の評価・課題・展室          | →.□□₹       | ट राष<br>इ.स. | 43 |
|    |   | 水田旁         | 6回            |    |
|    | 砂防分野における微地形分類図の活用と実際について                  |             |               | 47 |
|    |   | 深澤          | 浩             |    |
|    | テーマ2 地すべり地形分布図のハザード評価に向けた活用               |             |               |    |
|    | 事前防災対策に向けた地すべりの危険度評価を目指して                 |             |               | 57 |
|    | 杉本宏之・神山嬢子・野坂隆幸・藤原一啓・                      | 和田佳         | 記             |    |
|    | 防災プラットフォームを日指す地理院地図                       |             |               | 61 |
|    | <u> </u>                                  | <b>止</b> 率可 | 上公司           | 01 |
|    |   | 1/11旅日      | L不C           |    |
|    | 地すべりハザードマップの法的指定地への適用性と課題                 |             | •••••         | 63 |
|    |   | 稻垣秀         | 彭輝            |    |

|    | 地すべり地形分布図から"活"地すべり地形分布図へ             | (       | 65 |
|----|--------------------------------------|---------|----|
|    | 木村                                   | 誇       |    |
|    | 海底地すべりによる津波発生検証-1771年八重山地震津波の再現-     | ····· , | 75 |
|    | 大角恒                                  | 雄       |    |
| 【贫 | <b>宮2 部】 最近の土砂災害の実態</b>              |         |    |
|    | 特別講演                                 |         |    |
|    | 2018 年北海道胆振東部地震による地すべりのタイプ・発生場・メカニズム | 8       | 89 |
|    | 田近 淳・千木良雅弘・雨宮和夫・石丸                   | 聡       |    |
|    | テーマ1 最近の地震による土砂災害の実態                 |         |    |
|    | 2018 年北海道胆振東部地震における崩壊斜面の地下構造について     |         | 95 |
|    | 土井一生・東 良慶・前中裕貴・釜井俊                   | 孝       |    |
|    | 北海道胆振東部地震で発生したテフラ層すべりの特徴             |         | 97 |
|    | 石丸 聡・千木良雅弘・田近 淳・小安浩理・地質研究所胆振東部地震調査   | 班       |    |
|    | 新潟県中越地震・北海道胆振東部地震における崩壊特性の比較         | 10      | 03 |
|    | 千代田和馬・権田                             | 豊       |    |
|    | 2018年9月6日北海道明振東部地震による斜面災害            |         |    |
|    | - 地形・地質判読と GIS & LP 解析でどこまでわかったか     | 10      | 05 |
|    | 山岸宏光・岩橋純子・山崎文                        | 明       |    |
|    | 大規模地震に起因する斜面変動の地質的特徴                 | 1(      | 07 |
|    | 小嶋孝徳・持田七海・長谷川陽一・佐藤亜貴夫・山崎             | 勉       | 0, |
|    |                                      |         |    |
|    | テーマ 2 最近の降雨による土砂災害の実態                |         |    |

- 2019年台風19号よる宮城県丸森町における斜面崩壊発生場の分布特性......119
   119

   林
   一成・八木浩司・大河原正文・瀬野孝浩・渡辺 修
- 令和2年7月九州豪雨における熊本県南部地域の斜面災害について......121 山崎新太郎・荒井紀之
- 広域を対象とした豪雨時の土砂流出に関する危険度評価.....123 北爪貴史・遠藤秀祐・阿部峻大・西村 聡・後藤 聡
- 兵庫県箇所別土砂災害危険度予測システムの活用に向けた取り組み......125 鳥居宣之・鎗水正和・沖村 孝・中川 渉・原口勝則・鏡原聖史
- 2019 年台風 19 号の豪雨特性と斜面崩壊......129林 拙郎・山田 孝

### 2019/2020 年度 土砂災害予測に関する研究集会

### 研究集会 趣旨と開催概要

#### 趣旨

2015年に全国版が刊行された 1:50,000 地すべり地形分布図は、土砂災害の専門家への認知度が高まるとと もに、地形図や地質図同様に山地調査における基礎資料としての活用が進んでいる.一方、地域ごとの判読結 果における揺らぎの指摘や、地図作製後に新たに発生した地すべりの追記,GIS 解析に利用しやすい形態での データ頒布など、ユーザーから更新・改善の要望が挙がっている.

今後,地すべり災害リスク評価とその対策における活用範囲を拡げるためには,抽出された地すべり地形からハザード情報を読み出す手法の開発が必須である.また,地すべり地形分布図の高度利活用に向けて,新しい情報を追加できる次世代型プラットフォームへの更新・改善も並行して実施しなければならない.

また,2016年熊本地震に引き続き,2018年北海道胆振東部地震による甚大な土砂災害が発生した.降雨に よる土砂災害では,梅雨時の線状降水帯や台風による豪雨が毎年のように記録され,土砂災害も多発するよう になった.近年について見ると,2017(平成29)年7月九州北部豪雨では線状降水帯が形成・維持され,記録 的な大雨を同じ場所に継続して降らせたことから,福岡・大分両県を中心に土砂災害が多数発生した.また, 2018(平成30)年7月豪雨や2019(令和元)年台風19号では,強い雨による土砂災害も広域で発生し,地域によっ て災害の様相が異なるという特徴の違いも見られた.

2020年の特異な社会現象として,新型コロナウイルスの感染拡大防止のため,人が集まるイベント開催の徹底した抑制が挙げられるが,2019年度の当研究集会も開催延期となった.同様に,各調査報告会や学会・研究会も低調となり,多発する土砂災害について議論すべきテーマが多数あるにもかかわらず,関係者間の情報共有が以前に比べて十分になされていないようである.

これらの課題について、関連する問題意識を持つ研究者・技術者が集って議論し、情報の共有を進め、それ らの成果を防災・減災対策に生かすことが重要である. できるだけ多くの参加者による情報共有や意見交換を 行う場として、オンライン形式の研究集会を企画した. なお、2020年度の研究集会は延期となった 2019年度 の当研究集会と合わせて開催する.

テーマ :地すべり地形分布図の高度利活用に向けて/最近の土砂災害の実態

- 主 催 :国立研究開発法人 防災科学技術研究所
- 共催:国土交通省 国土技術政策総合研究所 国立研究開発法人 土木研究所
- 後 援 :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
- 開催日時: 2020年12月3日(木) 9:25~16:25

2020年12月4日(金) 9:30~17:00

- 開催場所: Zoom によるオンライン開催
- 発表形式:特別講演・招待発表・総合討論
- 参加者 : 285 名

### 2019/2020 年度 土砂災害予測に関する研究集会 プログラム

### 第1部 地すべり地形分布図の高度利活用に向けて

12月3日(木)9:25~16:25

| 9:25~9:30   | 開会挨拶・趣旨説明  |                |            |
|-------------|--|----------------|------------|
| 9:30~9:45   | 地すべり地形分布図の高度利活用に向けた方針概要                                | 防災科学技術研究所      | 山田隆二       |
| 0.45 10.00  | 地すべり地形分布図の刊行と web 公開の経緯                                |                |            |
| 9:45~10:00  | - 30 年の歩みをふり返って -                                      | 防災科子技術研究所      | 井口 隆       |
|             | テーマ 1 地すべり地形分布図が抱える                                    | <br>課題と要望      |            |
| 10:00~10:20 | 砂防分野における地すべり地形分布図の活用に向けて                               | 国土技術政策総合研究所    | 中谷洋明       |
| 10:20~10:30 | 休憩   |                |            |
| 10:30~10:50 | 歴史的大規模土砂災害調査での地すべり地形分布図の利用                             | 砂防フロンティア整備推進機構 | 井上公夫       |
| 10:50~11:10 | アイトラッキングを用いた地すべり地形判読プロセスの可視化<br>- 効率的な地形判読技術の伝承を目指して - | 帝京平成大学         | 佐藤 剛       |
| 11:10~11:30 | 森林域の地すべりの活動度評価の試み                                      | 森林総合研究所        | 大丸裕武       |
| 11.20 11.50 | コンサルタント技術者から見た地すべり地形分布図の評価・                            |                | う.四禾出      |
| 11:30~11:50 | 課題・展望  |                | 水田労回       |
| 11:50~12:10 | 砂防分野における微地形分類図の活用と実際について                               | 砂防エンジニアリング株式会社 | 深澤 浩       |
| 12:10~12:50 | 昼休憩  |                |            |
|             | 特別講演   |                |            |
| 12.50~13.30 | 地すべい地形公布図の今後の洋田に向けて                                    | 山形大学・          | 八木浩司       |
| 12.30~13.30 |  | 前日本地すべり学会会長    | / \/\/□ □] |
| 13:30~13:40 | 休憩   |                |            |
|             | テーマ 2 地すべり地形分布図の八ザード評                                  | 価に向けた活用        |            |
| 13:40~14:00 | 事前防災対策に向けた地すべりの危険度評価を目指して                              | 土木研究所          | 杉本宏之       |
| 14:00~14:20 | 防災プラットフォームを目指す地理院地図                                    | 国土地理院          | 佐藤壮紀       |
| 14:20~14:40 | 地すべりハザードマップの法的指定地への適用性と課題                              | 環境地質           | 稲垣秀輝       |
| 14:40~14:50 | 休憩   |                |            |
| 14:50~15:10 | 地すべり地形分布図から"活"地すべり地形分布図へ                               | 愛媛大学           | 木村 誇       |
| 15.10~15.30 | 海底地すべりによる津波発生検証  | 吃然到金珠海田空品      | 十名后雄       |
| 15:10~15.30 | - 1771 年八重山地震津波の再現 -                                   |                |            |
| 15:30~15:40 | 休憩   |                |            |
| 15:40~16:20 | 総合討論<br>司会:飯田智之(防災科学技術研究                               | 2所)            |            |
| 16:20~16:25 | 閉会挨拶   |                |            |
| 17:30~      | 有志による大八木規夫氏追悼の   |                |            |

### 第2部 最近の土砂災害の実態

### 12月4日(金)9:30~17:00

| 9:30~9:40   | 開会挨拶・趣旨説明  |              |       |
|-------------|--|--------------|-------|
|             | 特別講演   |              |       |
| 9:40~10:20  | 2018 年北海道胆振東部地震による地すべりのタイプ・発生場・メカニズ<br>ム                           | 株式会社ドーコン     | 田近 淳  |
| 10:20~10:30 | 休憩   | •            |       |
|             | テーマ1 最近の地震による土砂災害の実態   |              |       |
| 10:30~10:50 | 2018年北海道胆振東部地震における崩壊斜面の地下構造について                                    | 京都大学         | 土井一生  |
| 10:50~11:10 | 北海道胆振東部地震で発生したテフラ層すべりの特徴   | 北海道立総合研究機構   | 石丸 聡  |
| 11:10~11:30 | 新潟県中越地震・北海道胆振東部地震における崩壊特性の比較                                       | 新潟大学         | 権田 豊  |
| 11:30~11:40 | 休憩   |              |       |
| 11:40~12:00 | 2018 年 9 月 6 日北海道胆振東部地震による斜面災害<br>-地形・地質判読と GIS & LP 解析でどこまでわかったか- | シン技術コンサル     | 山岸宏光  |
| 12:00~12:20 | 大規模地震に起因する斜面変動の地質的特徴   | 国土防災技術株式会社   | 小嶋孝徳  |
| 12:20~13:20 | 昼休憩  |              |       |
|             | テーマ 2 最近の降雨による土砂災害の実態  |              |       |
| 13:20~13:40 | 令和元年台風19号及び令和2年7月豪雨による土砂・洪水氾濫                                      | 国土技術政策総合研究所  | 坂井佑介  |
| 13:40~14:00 | 2019 年台風 19 号よる宮城県丸森町における斜面崩壊発生場の分布特性                              | 奥山ボーリング      | 林一成   |
| 14:00~14:20 | 令和2年7月九州豪雨における熊本県南部地域の斜面災害について                                     | 京都大学         | 山崎新太郎 |
| 14:20~14:30 | 休憩   |              |       |
| 14:30~14:50 | 広域を対象とした豪雨時の土砂流出に関する危険度評価  | 東電設計         | 北爪貴史  |
| 14:50~15:10 | 兵庫県箇所別土砂災害危険度予測システムの活用に向けた取り組み                                     | 神戸市立工業高等専門学校 | 鳥居宣之  |
| 15:10~15:30 | 2019年台風 19号の豪雨特性と斜面崩壊  | 静岡大学         | 林 拙郎  |
| 15:30~15:50 | 2019年台風19号による群馬県富岡市内匠地区の斜面災害                                       | 日本サーベイ株式会社   | 関晴夫   |
| 15:50~16:00 | 休憩   |              |       |
| 16:00~17:00 | <b>総合討論</b><br>司会:内田太郎(筑波大学)土志田正二(消防庁                              | ;)           |       |

【第1部】

地すべり地形分布図の高度利活用に向けて

### 故大八木規夫氏を偲ぶ(2019 年度研究集会開催に寄せて)

防災科学技術研究所 井口隆·飯田智之

大八木さんは本年2月27日に急性の心筋梗塞のためご自宅 にて逝去されました。その直前までは80歳台後半とは思えな いほど精力的に研究を継続されておられ、ご本人も「少なくと もあと5年は研究を続けたい」と言っておられましたので、あ まりにも突然の逝去に我々一同は驚きとショックに打ちのめ されてしまいました。

大八木さんは「ウサギとカメ」の寓話に例えると、まさに典型的なカメさんのようなタイプの方だったと思います。ウサギのような瞬発力やスピード感はないけれど、粘り強くコツコツと研究を進めてこられました。その際の集中力は人並みはずれていて、話しかけても耳に入らないようでした。ただ論文などの締め切りにはあまり頓着されず、学会の予稿集など締め切り日になってようやく書き始めるという風で、その意味では迷惑をおかけしたことも多々あったと思いますが、長い目で見ると

長期的な展望に立って目標に向かって研究にまい進することで数々の研究成果を出してこられたのだと思い ます。

「地すべり地形分布図」を主題に取り上げた今回の研究集会に参加されることを楽しみにしておられました ので、非常に残念に思います。この集会は必ずしも追悼の会ということではありませんが、地すべり地形分布 図に関する大八木さんの多大な貢献を偲んで活発な発表と討論の場にできればと考えています。

(2020.02.28 井口 隆)

<追記>大八木さんは 2019 年度の研究集会への参加を心待ちにしていたこともあり、当初の研究集会後に追 悼の会を急遽催す予定でしたが、新型コロナ感染拡大を受けて延期となりました。改めて開催された 2019・ 2020 年度の研究集会後に Zoom 会議を併用する形で「有志による追悼の会」を開きました。直前の呼びかけに も関わらずつくばの会場に 10 名、オンライン参加で 20 名に参加いただき、大八木さんの思い出や感謝の言葉 などを披露していただきました。



つくば会場の様子



Zoom 参加者の画面

#### 大八木規夫氏の略歴(地すべり地形判読法より抜粋)

1932 年長崎市に生まれる。その後,第二次大戦前は函館,戦中は韓国釡山,戦後は大分県の日出などを経て 広島市に。1958 年広島大学理学部地学科を卒業,大学院を終了して 1964 年に「愛媛県佐々連鉱山の三波川結 晶片岩帯の構造岩石学的研究」で博士号取得。同年,科学技術庁国立防災科学技術センター(現国立研究開発 法人防災科学技術研究所)に入所。

以来,地すべりなどの土砂災害に関わる研究に従事した。1979年同研究室室長となり,空中写真判読に基づ く地すべり地形分布図の作成を計画,その第1集は地表変動防災研究室の研究員の協力により1982年に新庄・ 酒田地域を刊行。以後,同室研究室の研究員らにより刊行が継続された。この間,1988年から第3研究部部 長,防災総合研究部部長を務めるとともに,日本地すべり学会,日本応用地質学会,日本地形学連合などの委 員として,また,国際地すべり研究会議(ICFL)の創始者の一人としてその推進に尽力した。

1992 年から防災科学技術研究所客員研究員を勤めるとともに,公益財団法人深田地質研究所の理事に就任 した。同所では,関連企業の技術指導を行うとともに,新第三紀更新世のカルデラと地すべりとの関係に関心 を持ち研究を進めてきた。また,近年は大雨や地震によって発生する崩壊や地すべり性崩壊,とくにそれらの 発生場の予測に向けた研究を進めている。2007 年から同所客員研究員,2015 年から同所特別研究員。2002 年 には「地すべり構造の研究」により地すべり学会論文賞を受賞。2003 年勲四等瑞宝章を叙勲。日本地質学会, 日本応用地質学会,および日本地形学連合の名誉会員。論文,著書多数。



2005~2007 年ごろ中越地震調査時

2019 年度研究集会告知ポスター



## 地すべり地形分布図の今後の活用に向けて

### Toward practical utilization of landslide inventory map issued by NIED

八木浩司 (山形大)

Hiroshi YAGI (Yamagata Univ.)

キーワード:地すべり地形分布図,スケールと対象,活用,高精度地形図,斜面災害情報

Keywords: Landslide inventory map, scale and target, practical utilization, precise topo-map, slope-disaster information

### 1. はじめに

防災科学技術研究所の地すべり地形分布図は,2010 年代初めに全国整備が完了された.この情報は同研究 所の Web サイトで閲覧できることから、地すべり斜 面災害時の発災箇所の確認や周辺地形との関連性を 検討する際には強い情報源となっている.また,地す べり地形分布図の pdf ファイルや位置情報を含んだ shp ファイルがダウンロード可能となっていることか ら,大学・地域における防災教育関連の授業・講演の 際には、地域による地すべり・斜面災害の起こりやす さ・頻度を説明する資料として欠くことの出来ないも のとなっている.他の資料との重ね合わせ出来ること から, 産総研のシームレス地形図サイトでの活用も重 宝している.むしろ,筆者の場合は、地質データとの 関連を見たいことが多いので,こちらのサイトを重宝 しているところもあり,情報供給源の防災科研には申 し訳ないところである. 惜しむらくは, 現時点では国 土地理院の地理院地図とのリンクがないことから,詳 細な地形情報との重ね合わせが出来ないことがユー ザー側として残念なことである.

ただ、地すべり地形分布図の利用が、上述したよう なある程度広がりのある地域の斜面特性を知る場合 に限定され、個々の場における斜面の susceptibility を 考える道具として活用されていない感がするのは、筆 者に限らないのではなかろうか.

### 2. 地すべり地形分布図の意味と限界

防災科学技術研究所の地すべり地形分布図は,日本 全国をカバーすることを目指して 30 年間以上に亘る 期間をかけて,大八木規夫,清水文健,井口隆の三氏 によって作成されてきた.同じ縮尺の空中写真,地形 図を使って同じ研究室の研究者が統一された判読基 準で判読を重ねてきたことに大きな意義がある.判読

基準がぶれないことがその成果物に対する社会での 信頼性を高めている.一時期,筆者や宮城豊彦氏,檜 垣大助氏が、このプロジェクトに協力者として参画し 中部地方を担当した.しかし当初は、クロスチェック において、従前から判読を続けてこられた方々から, 我々の判読結果について多数の修正を加えられた.こ れは、判読に際して、このプロジェクトの初期に発表 された「仙台」「新庄」図幅を参照して、地すべり移 動体内部の微地形の記入などの程度を参考に判読し たが、地すべり地形分布図作りの判読基準が10数年 の間に大きく変化しており、岩盤クリープなどの概念 を入れ込んだ「進化した」判読基準となっていたから である. 誤解していただきたくないことは, 現在公開 されている地すべり地形分布図には,空中写真判読に 熟達した人なら必ず抽出するであろう地すべり地形 が網羅されている.

では、空中写真判読が何を捉えているのか、そして その優れている点を確認する必要がある.それは、遷 急線・遷緩線で画され空間的に連続する地形面や異な る位置に発達する地形面の垂直的配置、そして山地斜 面に於いては斜面の連続性の途切れを 3D イメージか ら瞬時に把握・直感出来ることである(図1).この地 形面の連続性に表れる不連続性こそが異常地形であ



図1 地形界線を用いて表現した鳥瞰図的地形概念図

り、活断層や地すべり地形の認定の根拠となってくる. それは地形図判読でも可能であるが,等高線の配列を 読む作業の結果として表れてくるものであり,高縮尺 の高精度地形図であればあるほど,空間的な広がりを 瞬時には把握しにくくなる.従って、地すべり地形分 布図は,全国を網羅する必要性と効率性のバランスか ら1/4万空中写真判読で地形学的に把握した異常地形 を1/2.5 万地形図上で等高線配列を確認しながら記入 する作業を通して完成されたものと言える.筆者の場 合,大まかな変位の位置を空中写真で確認しながら, 地形図上に表現された崖や,等高線の屈曲を探しなが ら最終的な冠頂部の位置や移動帯の広がりをプロッ トしてきた.感覚的ではあるが、それら資料への依存 の度合いは、空中写真判読が6割、地形図判読が4割 程度である.当然,変位量の小さくなる滑落崖や副次 崖の縁辺部・翼部の連続性が少し曖昧になっているこ とや、ブロックの区分でも限界がある.空中写真では



図2 長野県小谷温泉周辺の地すべり地形



図3 小谷温泉周辺の5m 等高線地形図

比高数mの変 位を捉えても 地形図にはそ の正確な位置 を表現しにく い.

図 2,3は,長 野県小谷温泉 周辺の等高線 間隔 10m およ び 5m の地形図 を示したもの である. 図2に は地すべり地 形の 1/2 万空中 写真の判読結 果を記入した. それはほぼ防 災研の地すべ り地形分布図 と大きな差異 はない. 図3か ら地すべり移 動体 A や小谷 温泉の位置す る斜面には,図 2 では表現出来 なかった地すべり変位地形が多数存在することが判る.これより,地すべり地形分布図の精度は用いられた地形図の解像度に大きく依存していることが判る.

#### 3. 地すべり地形分布図をいかに活用していくか

高精度地形図が利用可能になってきたことで地す べり地形分布図はその存在意味がなくなってしまっ たのだろうか. もちろん,高精度地形図と AI の導入 で斜面災害の susceptibility map の新たな進展は予想さ れる.しかし、既にある一次資料としての地すべり地 形分布図について、その地すべり移動体・地すべりブ ロックの末端の浸食されやすさ、比高や傾斜などの地 形条件を判断基準としていけば簡便に susceptibility map を示すことが可能となる.筆者は、地すべり地形 の susceptibility mapping に AHP 法を導入してきたが, その際もっとも重視した判断基準は、上記の地すべり 移動体末端の地形的特徴である(Yagi,2016).移動体 末端が現河床に接した地すべり地形について,そのう ち末端の比高や勾配は高精度地形データが利用すれ ば地すべりの再活動性 susceptibility が算出可能となる. 判定基準となる勾配や比高については,地すべり地形 分布図に示されたもので近年再活動したものを教師 データとしてその発生場の地形条件を捉えることも 考えられる. 簡便には急傾斜地崩壊危険区域の指定基 準を参照・改良することもあろう.本シンポジウムで の林一成氏の提案が期待される.

危惧される東南海トラフ地震に伴う斜面災害につ いて、当該地域において地すべり地形分布図で岩盤ク リープに認定されている斜面が広く分布する.それら に対しては、起伏量や地上開口度の組み合わせから斜 面崩壊の susceptibility を算出する手法(林ほか、2015) などの適用で、susceptibility の高い斜面を抽出してい くことが考えられる.また、その斜面下部で表層崩壊 が認められる場合は、斜面が限界歪みに達していると 見なし、警戒していくことが必要かも知れない.

#### 引用文献

- 林一成・濱崎英作・八木浩司・檜垣大助(2015)バッファ移動 解析と過誤確率分布法を用いた地震地すべりの危険度 評価モデルの構築. 日本地すべり学会誌, 52-2, pp.12-18.
- Yagi, H. (2016) Landslide susceptibility mapping adopting AHP method. Spec. Issue 2<sup>nd</sup> Cent. Amer. & Carib. Landslide Cong., pp.177-182.

第1部趣旨

### 地すべり地形分布図の高度利活用に向けた方針概要

1山田隆二
 1防災科学技術研究所
 キーワード:地すべり地形分布図,利活用,防災

2015年度に全国版が刊行された 1:50,000地すべり 地形分布図は、土砂災害分野における認知度が高まる とともに、地形図や地質図同様に山地調査時の基礎資 料として活用されるだけでなく、ハザードマップ作成 や発災時の初動対応など、行政においても利用が進ん でいる.一方、地域ごとの判読結果における揺らぎの 指摘や、地図作製後に新たに発生した地すべりの追記, GIS 解析に利用しやすい形態でのデータ頒布など、ユ ーザーから更新・改善の要望が挙がっている.

今後,地すべり災害リスク評価とその対策における 活用範囲を拡げるためには,抽出された地すべり地形 からハザード情報を読み出す手法の開発が必須であ る.特に,来たる南海トラフ地震による大規模土砂崩 壊に備えるために,海溝型地震を誘因とする地すべり 地形を抽出する手段を講じることが急務である.また, 地すべり地形分布図の高度利活用を加速するために は,新しい情報を追加できる次世代型プラットフォー ムへの更新・改善も並行して実施しなければならない.

防災科学技術研究所は、これらの課題を解決するために以下のような改良を計画している.

1 つめは公開プラットフォームの再整備である.地 すべり地形分布図データベースは現在,防災科研の地 震動予測地図の公開システムである地震ハザードス テーション (J-SHIS) に統合し公開されている.これ を地理院地図の「他機関の情報」と重ねて表示するな ど,より使いやすい形態として公開することを検討し ている.あわせて,傾斜・面積などの地形情報や滑落 崖-移動体のペア認定などの GIS データの高度化や, 各地すべりの地形判読・調査結果などユーザーデータ 入力およびカルテ表示など情報統合機能の追加を図 る. 2 つめはハザードポテンシャルの評価である.地す ベり地形分布図の判読を実施していた当時と比較し, 昨今では航空レーザ測量(LP)による数値標高モデル (DEM)が各地で拡充している.これらを活用した滑 落崖・移動体の微地形解析によって,移動体内部の小 規模土砂移動の発生状況や活動的な地すべりの特徴 抽出,誘因分類が可能となる.あわせて,活動的な地 すべりや災害発生箇所に見られる特徴を既存の地す べり地形分布図の凡例と対比することで,推定活動度 に応じて地すべり地形を再分類する.それらの検証の ために,物理探査による土層・岩盤構造の把握や高精 度測量による地すべり活動度の直接評価を行う.

加えて、将来的に目指すべきは地すべり地形判読法 の標準化である.航空写真を用いた地形判読は習得に 多くの経験を要する高度な技術であり、現在公開され ている地すべり地形分布図の基礎ともなっている.新 たに発生した地すべりの追記や地域ごとの判読結果 の揺らぎの減少のためにも、作業者の判読技術の評 価・検証・伝承を通じた人材育成が必要である.また、 LP データを用いた滑落崖・移動体の微地形判読の成 果を広く活用するためには、判読対象や地域・地質ご との判読基準や凡例の整理など判読結果の標準化に 向けた議論が必要となる.

防災科学技術研究所はこれらの改良を通じて地す べり地形分布図の高度利活用を実現したいと考えて いる.研究集会では、「地すべり地形分布図が抱える課 題と要望」と「地すべり地形分布図のハザード評価に 向けた活用」について議論を深め、今後の研究開発に 活かしていきたい.



図1 防災科研プロジェクト研究:各種自然災害のハザード・リスク評価研究の概要

地すべり地形分布図は、各種自然災害のハザード・リスク評価を統合したマルチハザード・リスク評価 手法や災害事例データベースの基盤情報に位置付けられる.



図2 地すべり地形分布図の高度利活用に向けた開発フレームワーク案

# 地すべり地形分布図の刊行と Web 公開の経緯

-30年の歩みを振り返って-

1井口 隆

<sup>1</sup>防災科学技術研究所 キーワード:地すべり地形分布図,主題地形学図,Web-GIS

防災科学技術研究所の前身の国立防災科学技術研 究所科学技術センターの時代から開始した「地すべ り地形分布図」刊行は、足掛け 30 数年を経て、2015 年に低地および北方領土・離島など一部の島嶼を除 いてほぼ日本全国をカバーするに至った.

この「事業」は元々、研究所として位置づけられ たものではなく、各研究者に配分された経常研究費 を用いて研究部内で「試行的」に開始したものであ る. 当時,研究室長であった故大八木規夫氏が作成 された地すべり地形の凡例(図1)は全国刊行を想 定していたこともあって「初期的変形斜面」に相当 する地形の凡例も加えられていた. 刊行された地す べり地形分布図は地形学的には「主題地形学図」と されるもので、従来の分布図にはない様々な特長を 有している. その特長を表1にまとめた. しかし刊 行開始当初は所内ヒアリングにおいて「地形判読は 職人芸であって研究ではない」とか「地すべりとい ったローカルな現象ではなく、もっとグローバルな 現象を研究対象にしてください」などと批判される ことも多々あったが、中断を挟みながらも信念を曲 げることなく粘り強く地形判読と刊行を続けてきた.

転機は 1997 年に起きた八幡平の澄川地すべりの 発生で、その変動範囲を的確に判読・図示していた 実績を受け、科学技術振興事業団(当時)のデータ ベース化支援事業に採択され、刊行済みの地すべり 地形のWeb公開のための外部資金を得ることができ た.そして 2000 年 10 月に当時ではまだ目新しかっ たWeb-GISを用いてのWeb公開を開始することがで き、地すべり地形分布図の認知度を一挙に高めるこ とができた(図2).その後研究所が独立行政法人化 される中で毎年確実に成果を出すことが期待できる テーマということで、土砂災害プロジェクトの一翼 を担う役割が課せされて、判読体制の強化と刊行作 業の迅速化を実現することができた.

その後は 2004 年の新潟県中越地震での東竹沢地 すべりや 2008 年の岩手宮城内陸地震での荒砥沢地 すべりなどでの発生場所の的中によって,地震地す べりの発生場所の予測や研究にも活用分野が広がり 注目度が高まった.そのほか高圧送電鉄塔を倒壊さ せた石川県羽咋市の福水地すべりの発生時には全国 の電力会社からアクセスが集中するなど,地すべり 変動の発生場所の的中事例が積み重ねられ(表 2), そのたびごとに注目度が増すとともに期待が高まっ た.

30年の経験による判読技術の向上によって最初 期に作成した図面に精度的な見劣りを感じたり,地 すべり地形の区分の表現が変化したりする差異は否 めないが,ほぼ同一時期撮影の同縮尺の空中写真を 用いて,全国を同じ凡例で作成した主題地形学図は 限定された地域を対象に作られた分布図に比べて高 い価値を持つと思われる.

地すべり地形分布図のWeb公開に伴い作成した地 すべり地形 GIS データに関しては滑落崖の領域がポ リゴン化されていないなど様々な注文が寄せられて いる.これは地すべり地形のデジタル化に際して, 従来の印刷図と同等の図をデジタルデータから再現 する目的で行ったためで,地すべり地形分布図の凡 例の策定時には想定できなかった事態であった.

分布図の刊行が完了により自前のWebサイトが閉 鎖に追い込まれ,地震ハザードステーションからの 公開に移行したため,独自のコンテンツが発信でき なくなったことは残念である.今後の地すべり地形 分布図の展開に関しては,研究集会参加の皆様から の要望や指摘を受け止めて,新たな技術や手法を取 り入れていきたいと考える.

#### 防災科学技術研究所研究資料 第463号 2021年7月



図1 刊行開始当初の地すべり地形分布図の凡例(墨1色印刷図)

現在は多色刷りや Web 公開に対応して多 色化しているが,全国の統一性を保持する ため基本的に凡例区分は変えていない

表1 地すべり地形分布図の特長

| 分布図の特徴   | それによって得られるメリットなど  |
|--|---|
| 地すべい地形を清落崖と移動体を<br>明確に区別して図示している。                    | 絶すべり絶形の基本構造である滑落崖と移動体を区別することで、斜面における地すべり地形の状態が図上でイメージしやすくなった。   |
| 地すべり地形を実際の形状 (実形)<br>で地形図上に図示している。                   | これにより地すべり地形の形状や規模を正確に知ることができ、注<br>意すべき範囲の招援と今後影響する可能性のある範囲の推定などが<br>可能となった。また地形図、地質図、相生図、土壌利用図<br>など他の地図情報と組合わせての解析が容易になった。 |
| 単位地すべり地形とその後の二次<br>的変動によってできた地形を区分<br>している。          | これにより個々の地すべり地形の基本構造が明確に示され、単位地<br>すべりとその後に二次的に生じた地形などの関係から、地すべりの<br>発達史を読み解くことも可能となった。                                      |
| 滑落崖を開析度に応じて利効する<br>とともに、移動体の相互関係を明<br>示している。         | これにより地すべり地形の発生時期の新旧にめやすをつけることが<br>可能となった。また複数の地すべり地形が隣接している場合、地す<br>べり相互の前後関係が読問可能になった。                                     |
| 流れ整型の層すべりの滑落準を異<br>なる凡例で図示している。                      | ・ 地震によって発生することの多い、流れ盤での層すべり型の地すべ<br>りに特有の明瞭な単を持たない滑落単を区別して図示することで、捨<br>慣地すべりの可能性のある地すべりを探索しやすくなった。                          |
| 尾根近傍の二重山稜や山腹斜面の<br>はらみ出しといった、地すべり変<br>動の初期段階も図示している。 | 地すべり変動の初期段階を示すと考えられる地形についても判認を<br>行い、不安定化が進行しつつあると推定される範囲を短破線の凡例<br>によって図示している。   |
| 同じ判読基準により日本全国の地<br>形判読を進めている。                        | これにより日本全国における地すべり地形の比較検討が可能となっ<br>た。ただし判認基準は同一であるが、判読経験が蓄積されることに<br>よる判読技術の流度化の側面もあって、後に判読した地域ほどより<br>精度の高い図面となっている。        |
| 現実の地形がイメージされるわか<br>りやすい見俗を用いている。                     | 凡例に用いた地図記号は、従来から用いられている表現法をできる<br>だけ尊重すると共に、実際の地形をイメージできるように整合性を<br>図っている。  |



図2 地すべり地形分布図 Web 公開サイト

#### 表2 地すべり地形分布図が的中した主な地すべり変動事例

| 地すべりの名称<br>(発生場所) | 発生年月     | 分布図<br>発行年            | 主たる発生誘因   | 発生規模(m)<br>奥行き×幅   | 的中度合 | 発生当時の行政名 |
|-------------------|----------|-----------------------|-----------|--|------|----------|
| 黑部川祖父谷 ※          | 1995年7月  | 2000年                 | 豪雨        | 450×700  | 0    | 富山県宇奈月町  |
| 寒風田地すべり           | 1996年5月  | 1987年                 | 融雪        | 1,300×1,100  | 0    | 山形県大蔵村   |
| 澄川地すべり            | 1997年5月  | 1984年                 | 融雪        | 700×350  | 0    | 秋田県鹿角市   |
| 猿田沢地すべり           | 2001年7月  | 1984年                 | 豪雨(280mm) | 200×300  | 0    | 秋田県五城目町  |
| 熊池地すべり※           | 2001年9月  | 2003年                 | 台風13号豪雨   | 250×260  | 0    | 群馬県嬬恋村   |
| 石南花トンネル           | 2002年7月  | 1997年                 | 台風6号豪雨    |  | 0    | 福島県西郷村   |
| 片野尾地すべり           | 2003年1月  | 1986年                 | 融雪        | 220×80   | 0    | 新潟県両津市   |
| 白屋地すべり※           | 2003年4月  | 2005年                 | ダム湖湛水     | 200×300  | 0    | 奈良県川上村   |
| 平地区地すべり           | 2004年4月  | 1987年                 |           | 75×100   | 0    | 宮城県村田町   |
| 東竹沢地すべり           | 2004年10月 | 2004年                 | 新潟県中越地震   | 350×300  | 0    | 新潟県山古志村  |
| 寺野地すべり            | 2004年10月 | 2004年                 | 新潟県中越地震   | 360×230  | 0    | 新潟県山古志村  |
| 福水地すべり            | 2005年4月  | 2001年                 | 融雪        | 400×200  | 0    | 石川県羽咋市   |
| 内久保地すべり           | 2007年9月  | 2003年                 | 台風豪雨      | 600×180  | 0    | 群馬県甘楽町   |
| 荒砥沢地すべり           | 2008年6月  | 1982年                 | 岩手宮城内陸地震  | 1,300×900  | 0    | 宮城県栗原市   |
| 市野々原地すべり          | 2008年6月  | 1982年                 | 岩手宮城内陸地震  | 430×250  | 0    | 岩手県一関市   |
| 七五三掛地すべり          | 2009年4月  | 1986年                 | 融雪        | 700×390  | 0    | 山形県旧朝日村  |
| 宇井地すべり            | 2011年9月  | 2005年                 | 台風12号豪雨   | 830×430  | 0    | 奈良県五條市   |
| 熊野地すべり            | 2011年9月  | 2005年                 | 台風12号豪雨   | 550×420  | 0    | 和歌山県田辺市  |
| 国川地すべり            | 2013年3月  | 2004年                 | 融雪        | 750×150  | 0    | 新潟県上越市   |
| 利賀村地すべり           | 2017年1月  | and the second second | 融雪        | and the second s | 0    | 富山南砺市利賀村 |
| 井出川地すべり           | 2017年5月  |                       | 商生雪       |  | 0    | 長野県飯山市   |
| 喜多方地すべり           | 2018年5月  |                       | 商生雪?      |  | 0    | 福島県喜多方市  |

第1部・テーマ1 地すべり地形分布図が抱える課題と要望

### 砂防分野における地すべり地形分布図の活用に向けて

1中谷洋明

1国土交通省 国土技術政策総合研究所

キーワード:土砂災害警戒情報,補足情報,地形・地質情報,災害素因,被覆面積率

要旨

土砂災害による被害軽減のためには、砂防施設等の施設整備及び土砂災害防止法に基づく警戒避難対策等, 統合的に取り組むことが必要である.警戒避難のため、気象庁と都道府県から降雨に基づく土砂災害警戒情報 に加え,詳細な補足情報が提供されている.国土交通省国土技術政策総合研究所では、土砂災害警戒情報のさ らなる予測精度向上のため、線状降水帯に関する研究や地形・地質情報等の素因情報と災害との関係性等につ いて研究を進めている.本稿では、砂防分野における地すべり地形分布図の活用事例として、土砂災害警戒情 報の補足情報となる地形・地質等の素因情報への活用を紹介する.また、地すべり地形分布図の更なる活用性 の向上を目的とした地震地すべりに関する補備データ作成についての取り組みを紹介する.

1. はじめに

土砂災害の発生場の予測を目的として,降雨など の誘因と地形・地質的な素因の両面から多くの研究 が行われてきた.特に土砂災害の被害低減のために は土砂災害の発生タイミングと場所の予測が重要で あり,災害の予測を目的とした研究は数多く行われ てきた.

【誘因に関する研究成果】

誘因に関する研究成果のうち,警戒避難対策として 全国的に運用されている事例として土砂災害警戒情 報がある.土砂災害警戒情報はレーダー雨量をもとに 実測の雨量計のデータで補正された解析雨量(60分間 積算雨量)と,降雨により蓄積された土壌中の水分量 の指標となる土壌雨量指数の2つから判断される CL (Critical Line)を発表基準に用いて発表される(図



図1 土砂災害警戒情報の発表基準

#### 【素因に関する研究成果】

素因に関する研究は、地域毎の研究成果が多数ある ものの、地質や地形の特性が多岐にわたるため、日本 全国を統一的に扱うことが困難な場合が多く、課題が 残っている.

そこで、国土交通省国土技術政策総合研究所では、 日本全国を対象に統一的手法に基づき調査・作成され た成果に着目した.中でも地形・地質的な調査・評価 を踏まえて作成された土砂災害警戒区域や地すべり 地形分布図等の情報から二次的な素因情報として活 用する方法を検討した.

### 2. 地形・地質に関する主題図を用いた全国における 土砂災害リスク推定

日本全国で整備されたデータのうち,表1に示す地 形・地質に関する3つの主題図を検討対象に用いた. これらの主題図の作成には,地形・地質的な検討を踏 まえているため,一定量の素因情報が反映されている ものと考えられる.そこで,この主題図を二次的な素 因情報をして利用し,災害履歴との比較検討により, 土砂災害リスクが高い領域のマップ化を行った.

#### 2.1 地形・地質主題図のラスタ化

全国を対象として主題図の情報を活用する際には, 利便性の観点から情報量の圧縮も必要である.そこで, 日本全国の主題図を3次メッシュ(1km メッシュ)毎 の被覆面積率の情報に変換した.

また,地すべり地形分布図の情報は,多角形で示さ れる地すべり移動体と線で示される滑落崖が混在す るなど,各主題図において,情報の特性が異なってい る.そのため,それぞれの状況に合わせて素因情報の ラスタ化が必要である.本検討では、3つの主題図に ついて、図2に示す手法で3次メッシュ毎の被覆面積 率という形でラスタ化を実施した.また、利用した主 題図の諸元を表2に示す.

表1 使用した地形・地質に関する主題図

| 資料名             | 概要  | 特性   |
|-----------------|---|--|
| 地すべり地形<br>分布図   | 写真判読による地すべり地形の分布<br>図。過去の地すべりの痕跡。日本全<br>国を5万分の1縮尺で網羅している。   | 地すべりの再滑動や末端崩<br>壊等との関係性が高い可能<br>性がある。<br>地形的要因(災害地形)   |
| 土砂災害警戒<br>区域等   | 過去の土砂災害の分析に基づく設定<br>手法を用いており、砂防基盤図に基<br>づく地形情報・地質的な情報を踏め<br>えて土石等の力の計算を行い、 土路<br>災害警戒区域等が設定されている。 | 災害が発生する可能性が高<br>い地形が反映されていると<br>考えられる。<br>地形的要因・地質的要因  |
| 深層崩壊推定<br>頻度マップ | 過去の深層崩壊の事例と地質情報と<br>を組み合わせて、深層崩壊の危険性<br>の高い領域を推定したマップ   | 地すべりや大規模崩壊等と<br>の関係性が高い地質区分を<br>反映した結果となっている。<br>地質的要因 |



④で算出される素因の被覆面積と3次メッシュの面積から被覆率を算出する。 ※1:面積は UTM 座標系に変換したのち GIS にて算出した。

図2 主題図のラスタ化方法

#### 表2 利用した主題図の諸元

| 主題図名            | 諸元・出典   |
|-----------------|---|
| 地すべり地形<br>分布図   | 防災科学技術研究所の地すべり地形分布図デジタル<br>アーカイブ<br>https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_<br>tech_note/landslidemap/gis.html |
| 土砂災害<br>警戒区域等   | 国土数値情報(土砂災害警戒区域等)<br>https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html<br>データ基準日 : 2018年8月1日                                    |
| 深層崩壊<br>推定頻度マップ | 深層崩壊に関する全国マップについて(プレスリリース)<br>https://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_00025<br>2.html<br>土木研究所所有のGISデータを活用     |

2.2 地形・地質に基づく素因データ作成結果

図 2 に示す手法に基づき作成した地形・地質に基づ く素因データを図 3~図 7 に示す.



図3 地すべり地形分布図(S)の被覆面積率



図4 土砂災害警戒区域等(Wy)の被覆面積率



図5 土砂災害特別警戒区域(WR)の被覆面積率



図 6 深層崩壊推定頻度マップ (特に高い: D<sub>A</sub>)の被覆面面積率



図 7 深層崩壊推定頻度マップ (特に高い+高い: D<sub>AB</sub>)の被覆面積率

### 2.3 素因情報と災害情報の検証に用いた災害データ

各地形・地質に基づく素因情報と過去の災害履歴との 関係を検証するため、両者の分布を比較した.検証対象 とする災害データは、国土交通省の砂防部が保有する土 砂災害データベースのうち、災害位置が特定され、降雨 による災害として整理されている約 24 年間の土砂災害 データである(表3,図8).なお、国土交通省に報告さ れない山間地の土砂移動などは含まれない.

また,深層崩壊等大規模な崩壊についても同様の検 証を行うため,1885年以降の降雨による深層崩壊に 加え,近年の災害の中で特に規模の大きかった災害を 抽出し,顕著な大規模災害のデータを作成した(表 4, 図 9). 表3 検証に用いた災害データ一覧

| 災害種別 | 箇所数      | データ集計期間         |
|------|----------|-----------------|
| 土石流  | 3,643    | 1996~2018(23年間) |
| がけ崩れ | 11,088   | 1995~2018(24年間) |
| 地すべり | 1,487    | 1996~2018(23年間) |
| 災害合計 | 16,218箇所 |                 |

※降雨による土砂災害・災害位置が特定されているもの



図8 降雨による土砂災害分布

表4 収集した顕著な大規模災害

| 災害種別    | 箇所数 | データ集計期間          |
|---------|-----|------------------|
| 大規模土砂災害 | 223 | 1885~2018(134年間) |
|         |     |                  |



図9 顕著な大規模災害分布

### 2.4 地すべり地形分布図との災害履歴の比較事例

過去 23 年間の地すべり災害箇所と地すべり地形分 布図の被覆面積率を比較すると,四国北部や北陸~東 北地方の日本海側など,地すべり地形分布図の面積率 の高い地域に災害箇所が集中しており,地すべり地形 分布図の被覆面積率は,地すべりの災害発生率と関係 性が高いことが確認された(図 10).



図 10 地すべり地形分布図と地すべり箇所の比較

#### 2.5 素因情報と災害との関係性整理方法

主題図のラスタ化の際には,情報種別をかえること で一つの主題図から複数の素因情報を得ることがで きる場合がある.例えば,土砂災害警戒区域図からは, 土砂災害警戒情報等(いわゆるイエローゾーン+レッ ドゾーン)と土砂災害特別警戒区域(レッドゾーン) などである.

そこで、3つの主題図から得られる以下の6種類の 地形・地質の素因情報について、被覆面積率と災害事 例との関係を整理した。

```
検討対象とした素因分類

W<sub>Y</sub>: 土砂災害警戒区域等(Y+R)

W<sub>R</sub>: 土砂災害特別警戒区域(R)

D<sub>A</sub>: 深層崩壊推定頻度マップ(特に高い)

D<sub>AB</sub>: 深層崩壊推定頻度マップ(特に高い+高い)

S: 地すべり地形分布図

S': 地すべり地形分布図移動体の面積率

(土志田2015の手法)
```

ここで、ある素因が災害の発生率に寄与する場合、 メッシュにおける素因の被覆面積率が高くなればな るほど、そのメッシュにおける災害発生確率は高くな る.そのため、災害の発生に寄与する素因であれば、 その被覆面積率の増加に伴い、災害が発生したメッシ ュ数(災害メッシュ数)の割合が増加することが想定 される.そこで、6種類の素因情報について、この観 点で災害との関係性を整理した.

なお,地すべり地形分布図のラスタデータ化につい ては,既存研究がある(例えば土志田(2015)など). 本研究では,土志田(2015)では対象外としている地 すべり滑落崖を含めた地すべり地形を対象にラスタ 化を行った.



図 11 各素因の被覆率と事象別の 災害メッシュ率の変化

### 2.6 素因情報と災害との関係性整理結果

各素因情報のうち,主要な3事例における素因の被 覆率と災害メッシュ率の変化のグラフを図11に示す.

素因の被覆面積率の変化と災害メッシュの変化の 関係に着目すると、土砂災害警戒区域等(Wy)では、 土石流(青)・がけ崩れ(赤)・地すべり(緑)がとも に右上がり(被覆面積率の増加に応じて災害メッシュ 率が増加する)の傾向がみられる.特にがけ崩れに関 しては、その増加の傾きが大きく、顕著である.また、 土石流・かけ崩れ・地すべりを合計した災害全体(橙) も顕著な右上がりの傾向がみられる(図 11-Wy).

深層崩壊推定頻度マップ(D<sub>AB</sub>)では、ほとんどの 災害種別で横ばいとなるのに対して、大規模崩壊(紫) だけが右上がりの傾向がみられる(図 11-D<sub>AB</sub>). 地すべり地形分布図(S)は地すべり(緑)で右上が りの傾向がみられる.一方,がけ崩れ(赤)は右下が りの傾向がみられる(図11-S).

このように、素因毎に被覆面積率の増加に対して、 災害メッシュ数が増加傾向を示すかどうかを基準と して、素因情報と災害種別との関係性を評価した結果 が表5である.土砂災害擎戒区域等の分布は、降雨に よるすべての土砂災害項目に共通して災害事例と整 合的である.一方、深層崩壊推定頻度マップ(DAB) は、大規模土砂災害との関係だけが整合的であり、地 すべり地形分布図(S)は、地すべり災害との関係性と 整合的であった.

| 表5 美 | 素因情報 | と | 災害 | 21 | の関 | 係性整 | 埋結 | 果 |
|------|------|---|----|----|----|-----|----|---|
|------|------|---|----|----|----|-----|----|---|

| S   | S' |
|-----|----|
| Ä   | V- |
| 443 | ×  |
| ×   | ×  |
| Δ   |    |
| 0   | 0  |
| Δ   | Δ  |
|     |    |

- ◎:適合性「高」⇒被覆面積率の増加に伴い災害
- メッシュ率の増加が顕著(傾きが大きい) 〇:適合性「やや高い」⇒被覆面積率の増加に伴い
- 災害メッシュ率が増加(傾き小さい)
- △:判断つかず ⇒被覆面積率の増加に対して、災害 メッシュ率が横ばいや乱高下し、適合性が判断 できない
- ×:適合性「低」⇒被覆面積率の増加に伴い災害 メッシュ率が減少傾向

このように、土砂災害警戒区域など、被覆面面積率 の変化と災害事例の関係性が良い素因と地すべり災 害だけや大規模崩壊だけに個別に良い関係性を示す 素因など、素因によって傾向が異なる.また、深層崩 壊推定頻度マップでは、評価する3次メッシュに比べ て該当するエリアが広域であるため、素因の被覆面積 率が0%または100%に二分される傾向が強く、被覆 面積率と災害の関係の評価が困難な場合があった.そ こで、土砂災害全体の関係性を統一的に整理する方法 として、メッシュ単位での素因の有無に着目し、それ ぞれ素因及び素因の組合せで、災害事例との適中率と 捕捉率を算出して比較した.適中率と捕捉率の算出方 法は次のとおりである.



### 2.7 素因の該当有無に着目した素因の組み合わせに よる評価結果

主題図から求めた5つの素因情報(SとS'はほぼ 同じ結果を示すため、本検討では、Sのみを検討対象 とした)について、3次メッシュ単位の素因の該当の 有無に着目し、単独の素因と素因の組合せそれぞれで 災害との適中率及び捕捉率を算出した.組合せ毎の適 中率と捕捉率の集計結果を表6に示す.

適中率及び捕捉率ともに高い素因が災害との関係性 が高いと考えられる.そのため降雨による土砂災害全 体(土石流・がけ崩れ・地すべりの合計)と大規模崩壊 とを別々に関係性の高い素因の組合せを検討した.

表6 素因の組合せによる適中率と捕捉率



#### 3. 地形・地質に基づく土砂災害発生確率マップ(案)

先の素因の該当有無に着目した素因同士の組合せ の適中率・捕捉率に基づき,土砂災害発生確率マップ (案)を作成した.

#### 3.1 土砂災害発生確率マップ(案)の概要

土砂災害発生確率マップ(案)における災害発生確 率区分は以下の方針に従い決定した.

#### 【発生確率区分1】

広域で素因の考慮により土砂災害のリスクが高く

なると推定される領域.

適中率が素因を考慮しない場合の発生率以上であ り,かつ捕捉率が最大の素因の組合せを選定

【発生確率区分2】

特に降雨災害のリスクの高い領域として,捕捉率が 比較的高く,適中率もともに高い組合せ(適中率を 優先)を選定

【発生確率区分3】

大規模崩壊のリスクの高い領域として,大規模崩壊 に関する適中率と捕捉率がともに高い組合せを選 定

これらの区分の選定方針に基づき検討した結果が 表7である.

表7 発生確率区分毎の素因の組合せと適中率・捕捉率

| 設定区分                    | 組合せ条件                             | 適中率   | 捕捉率    |
|-------------------------|-----------------------------------|-------|--------|
| 発生確率区分1                 | $W_{Y} \cup D_{AB} \cup S$        | 4.01% | 94.46% |
| 発生確率区分2                 | W <sub>R</sub> (単独)               | 7.94% | 76.12% |
| 発生確率区分3<br>(大規模崩壊の発生確率) | $\mathbf{D}_{AB} \cap \mathbf{S}$ | 0.32% | 66.02% |

ここで、素因の組合せにおける適中率は、その条件 を満たす(素因を持つ)メッシュ数に対する災害メッ シュの割合である.素因の分布域における災害発生確 率を一定と仮定すると、災害の適中率は素因の分布域 における災害発生率とみなすことができる.また、捕 捉率はその組合せの適用性の指標と考えることがで きる(捕捉率が高い場合には、見逃し災害が少ないこ とを示しており、広く適用可能であることを示してい る).これらの検討結果を踏まえて地形・地質素因に基 づく土砂災害発生確率マップ(案)を作成した(図 12).

また,各発生確率区分は24年間の災害データから 算出した結果であるため,100年間における災害発生 確率(1回以上災害が発生した確率)に換算し,100年 あたりの発生確率としてマップ化に示した.

100年間における災害発生確率の算出方法

N 年間で1回以上の災害が発生する確率 P<sub>N</sub>とする. ⇒24 年間一度も災害が発生しない確率:(1-P<sub>24</sub>) ⇒100 年間の災害確率:P<sub>100</sub>=1-(1-P<sub>24</sub>)<sup>(100/24)</sup> これによると,100年あたりの土砂災害発生確率は, 災害発生区分1で約15%,災害発生区分2で約30% であった.また深層崩壊の発生確率である災害発生区 分3は100年で約0.24%であった.



図 12 地形・地質素因に基づく土砂災害発生確率マップ (案)

### 3.2 地形・地質素因に基づく土砂災害発生確率マップ の検証

作成した土砂災害発生確率マップ(案)の実際の災 害における適用性の検証のため、令和元年台風 19 号 災害による土砂災害発生箇所に対して、土砂災害発生 確率マップの各発生確率区分における土砂災害の捕 捉状況を比較した.

令和元年の台風 19 号災害では、土砂災害箇所の 97.4%は土砂災害警戒情報が発表された市町村で発 生していた(図13).



図13 令和元年台風19号における災害箇所

また、土砂災害発生確率マップ(案)の各発生確率 区分における令和元年台風 19 号による災害箇所の捕 捉率の割合と、過去 24 年間での災害捕捉率の割合を 比較すると、両者の捕捉割合は整合的であった.これ から、素因条件に基づく災害の捕捉精度は大きな差は なく、単独の災害についても一定量の適応性があるも のと考えられる(表 8, 図 14).

| 表 8 | 令和元年台風 19 | 号災害と | の比較検証結果 |
|-----|-----------|------|---------|
|-----|-----------|------|---------|

| 登生確率     |         | 土砂災害発生      | R1台風19号による被害 |       |           |       |
|----------|---------|-------------|--------------|-------|-----------|-------|
| 区分       | メッシュ総数  | 土砂災害<br>箇所数 | 適中率          | 捕捉率   | 災害<br>箇所数 | 全体割合  |
| 区分0(その他) | 131,601 | 593         | 0.45%        | 5.5%  | 62        | 7.6%  |
| 区分1      | 117,876 | 1,686       | 1.43%        | 15.8% | 84        | 10.2% |
| 区分2      | 91,990  | 7,426       | 8.07%        | 69.4% | 619       | 75.5% |
| 区分3      | 42,411  | 996         | 2.35%        | 9.3%  | 55        | 6.7%  |
| 総計       | 383,878 | 10,701      | -            | -     | 820       | _     |

土砂災害発生確率マップ(案)の捕捉率と災害箇所の割合が整合的



図 14 令和元年台風 19 号災害による 土砂災害発生箇所の集計結果

### 4. 地すべり地形分布図の増補版データの整備

地すべり地形分布図は、地形改変前の 1960~1970 年代の空中写真判読を用いた判読結果であり、日本全 国の地すべり地形を5万分の1の図として整備したも のである.また、GISデータとしても公開されている.

これらには近年発生した地すべりは含まれておら ず,古い地震地すべりも十分には反映されていない. また,近年の地震(中越地震,岩手・宮城内陸地震な ど)で発生した地震地すべりも反映されていない.今 後の地すべり地形分布図の活用性の向上のためにも, これらを補備するデータの整備の取り組みが必要で ある.

国土技術政策総合研究所では,現在公開されている 地すべり地形分布図の補備データの整備の取り組み として,地すべり学会編の書籍「地震地すべり」に記 載されている地すべり地形の追加データ作成し,増補 版の地すべり地形分布図データの整備を行った.

増補データの作成に際しては,現行の地すべり地形 分布図から形状変更は行わず,新しく追加する地すべ り地形は別ファイルのデータとして作成し,属性情報 を付し,補備データのみを作成した(図15).

#### 4.1 データ整備方針

また, 地震地すべりに関する補備データの整備は, 以下のデータ整備方針に従って実施した.

- 対象:日本地すべり学会発行書籍「地震地すべり」に掲載されて いる地震による地すべり地形のうち、防災科学技術研究所 が公開している地すべり地形(「付属資料1」と「付属資料 2」)を対象とし、追加のGISデータとして整備を行う。
- 属性情報:地すべり地形分布図と同等の属性情報を付す。 また、形状の明瞭度などの区分は実施しない。 地震地すべりに対応するものとわかるように属性情報を整 備する。
- データ形状:対象資料に示された図面からブロックをGIS上で移写 する。ブロックの大きさは、周囲にみられる地すべり地形 と同程度の大木になるように、ブロックをまとめるなどし た。既存の地すべり地形分布図の形状は変更しない。



図 15 補備データの整備イメージ

### 4.2 補備データ追加事例

上記のデータ整備方針に基づき,地震地すべりに関 する補備データを作成した.図16に補備データの整 備例を示す.データの作成の際には、参照資料におい て詳細なブロック区分を行われている地すべりの場 合には、周囲の地すべり地形分布図との精度を合わせ るため、比較的小さなブロックはまとめるなどの対応 を実施した(図16).

作成した補備データは ESRI 社のシェープファイル 形式で作成し,滑落崖データ (ライン),地すべり移動 体データ (ライン),地すべり移動体データ (ポリゴン) など,地すべり地形分布図のデータ整備方針に準じて 整備した (表 9).



図16 補備データ整備例(市野々原地すべり)

表9 整備データ構成一覧表

| 要素             | 構成  |
|----------------|---|
| ファイル形式         | シェーブ形式<br>(ESRI社 AreGIS形式)  |
| データ形式<br>および名称 | <ul> <li>· Als100.shp:地すべり滑落崖データ(ライン)</li> <li>· Als200.shp:地すべり移動体データ(ライン)</li> <li>· Als300.shp:地すべり移動体データ(ポリゴン)</li> <li>※属性構成は地すべり地形分布図に準ずるが、明瞭度などの区分は実施していない。</li> </ul> |
| 座標系            | 緯度経度(JGD2000)   |

#### 5. まとめ

1) 地形・地質に関する主題図を用いた全国における土 砂災害リスク推定

- a)日本全国が網羅されている地形・地質に関する3 つの主題図(地すべり地形分布図,土砂災害警戒 区域等,深層崩壊推定頻度マップ)から1kmメ ッシュ単位の被覆面積率を算出し,地形・地質に 関する素因とした.
- b)国土交通省砂防部の保有する過去 24 年の降雨に よる土砂災害履歴と地形・地質素因とを比較・分 析.
  - ・土砂災害特別警戒区域の分布と降雨による土砂 災害分布が高い一致度を示す.
  - ・地すべり地形分布図及び深層崩壊推定頻度マップの組合せが大規模土砂災害との関係が高い 傾向がみられる.
- c)24 年間の災害履歴による素因の組合せ毎の災害 発生率から地形・地質に基づく土砂災害発生確率 マップ(案)を作成
  - 今後,斜面勾配や起伏量などの地形的要素の追 加も必要

- 2) すべり地形分布図の増補版データの整備
  - a)地すべり地形分布整備後に発生した地震地すべ りや歴史時代の地震地すべりを補足するための 増補データを作成.
    - ・日本地すべり学会発行の「地震地すべり」掲載の補足データを作成
    - ・既存の地すべり地形分布図に追加するデータと して整備

なお、当研究成果の詳細は技術政策総合研究所資料 第 1120 号「地形・地質に関する主題図を用いた全国 における土砂災害発生リスク推定法に関する考察」と して公表している.さらに地すべり地形分布図の増補 版データと合わせて以下の ULR にて公開されている. http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1120.h tm

### [参考資料]

- 国立研究開発法人防災科学技術研究所(2014):地す べり地形分布図, http://www.j-shis.bosai.go.jp/ news-20140724, 参照 2019/08/15
- 土志田正二(2015):地すべり地形分布図と地質との 関係,地すべり学会誌, Vol.52, No.6, p.271-281
- 国土交通省(2010): 深層崩壊に関する全国マップに ついて, http://www.mlit.go.jp/report/press/ river03\_hh\_000252.html,参照 2019-0815
- 公益社団法人日本地すべり学会編(2012):地震地す べり Earthquake-induced Landslides-地震地すべ りプロジェクト特別委員会の総括編-,日本地すべ り学会,300p.
- 松田昌之・中谷洋明(2020):土砂災害危険度に関す る主題図に基づく地形・地質特性のラスター化手法 の検討,砂防学会誌,Vol.73,No.3,p.15-24
- 松田昌之・中谷洋明(2020):地形・地質に関する主題 図を用いた全国における土砂災害発生リスク推定 法に関する考察,国土技術政策総合研究所資料, No.1120

### 歴史的大規模土砂災害調査でのすべり地形分布図の利用

井上 公夫

### The Use of the Landslide Topography Distribution Map for Study of the Historical Major Sediment Disasters

#### Kimio INOUE\*

\*Sabo Frontier Foundation, Japan k-inoue@sff.or.jp

Key words: Landslide Distribution Map, Historical Sediment Disasters, Geomorphology, Yumoto Landslide

### 1. はじめに

私は,歴史的大規模土砂災害について,50年前か ら調査しており,2015年4月から2020年3月まで, 一般土木情報サービス「いさぼうネット」でシリー ズコラム『歴史的大規模土砂災害地点を歩く』と題 して,コラム66まで公表してきた.いさぼうネット は誰でも無料で閲覧できる便利なサイトである.ま た,丸源書店より2018年6月にそのI(コラム1~ 30),2019年8月にそのII(コラム31~50),2020年 8月にそのII(コラム51~66)として上梓した.

これらの調査に関しては,防災科学技術研究所が 作成した「地すべり地形分布図」を参考にして,古 文書・絵図などから判断した歴史的土砂災害地点の 確認を行っている.

ここでは、これまでの歴史的大規模土砂災害の調 査の経緯について紹介するとともに、「地すべり地形 分布図」の利点と改善点について説明する.

### 2. 砂防調査における微地形調査

現国立研究開発法人防災科学研究所に改組され る前の国立防災科学技術センターは,東銀座の工業 技術院の中にあった.私は東京都立大学理学部地理 学科の3年生の頃から,地表変動防災研究室の大石 道夫室長の下でアルバイトを行い,空中写真の微地 形判読などを教えて頂いた.

大石道夫先生は,長年砂防調査における微地形調

査・写真判読を実践してきた.これらの成果は1974
年~1981年に「空中写真シリーズ」,No.1~27として,新砂防,27巻1号から33巻3号に連載された.
これらの成果をまとめて,鹿島出版より大石道夫(1985)『目で見る山地防災のための微地形判読』が刊行された.私は立体視写真の整理など,この本の編集作業の手伝いをするとともに,写真22,24,25,32,48,57,61を大石氏の指導を受けて執筆した.

また,2014年に『微地形砂防の実際 微地形判読 から砂防計画まで』が鹿島出版会から刊行された. このような大石先生の微地形判読の成果が防災科学 技術研究所の「地すべり地形分布図」の判読方法に 反映されていると思われる.

防災科学技術研究所が1982年3月に,第1集「地 すべり地形分布図,新庄・酒田」を刊行して以来, 私のところに箱入りの地すべり地形分布図が送られ てきた.日本工営株式会社から15年前に砂防フロ ンティアに移ってからも送られてきたので,砂防F の地下室に保管していた(現在は砂防図書館に寄贈). 地すべりや大規模土砂災害などの現地調査に行く時 には,事前にこれらの分布図を参考にしている.

#### 3. 東頸城丘陵松之山町湯本の地すべり地形

私の卒論(1971)は「東頸城丘陵松之山町の地す べり地形」である(コラム 25,井上,1971,1995, 2006,2018;大石,1985).図1は,新潟県十日町市

\*一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構

(旧松之山町)の湯本地すべりと西側の地すべり地 形(1/2.5万「松之山温泉図幅」)を示している.この 地域は,新潟県の南部,東頸城丘陵に位置している. 大松山(標高 672m)から△738.1mを通り,東西に 延びる尾根は「松之山ドーム」と呼ばれるドーム構 造で,ドーム構造の背斜軸周辺には多くの地すべり 地形が認められる.湯本地すべりは,松之山ドーム の南側に発生した典型的な地すべり地形である.

松之山地すべりは、日本で発生した最大規模の地 すべり地で、昭和 37 年(1962) ~38 年(1963) に 最も激しい地すべり変動を起こした地区である(幸 田、1991). 大松山から越道川までの長さ 4km,幅 2km,面積 850ha もの広大な範囲が活動した.地す べり被害は、人家 371 戸・農地 428ha・道路 20km に も達し、その後多くの対策工事が実施された.

写真1は国土地理院が1989年5月31日に撮影し た立体視写真で,湯本地すべりの立体構造が良く分 かり,地すべり地形の末端部は越道川に押し出して いる.図2は,湯本の地すべり地形判読図で,卒論 時に国立防災技術センターのステレオマイクロメー ター(4級図化機)を使用させて頂き,地すべり地 形を判読したものである.この時に写真判読に使用 した写真は林野庁が1965年9月23日に撮影した山 -390(C15-15,16,17)写真である.図3は,清水ほか (2004)が判読した地すべり地形分布図(松之山温 泉)である.

湯本地すべりは典型的な地すべり地形で,頭部に 何本も並行して走る尾根型地形と,中央部の人家や



図1 湯本地すべりと西側の地すべり地形(1/2.5万「松之山温泉」図幅) Fig.1 Map of Yumoto landslide and westside of landslide topography



写真1 湯本地すべりの立体視写真(国土地理院1989年5月31日撮影) (CB-89-2X, C9-29-30)

Photo 1 Stereoscopic photograph of Yumoto landslide

水田の存在する平坦地が あり,舌端部は越道川を閉 塞している.本地すべり地 の直下には,700年前に発 見された松之山温泉の温 泉街が越道川に沿って存 在する.地すべり変動が活 発化した場合,温泉街はど うなるであろうか.

新潟県治山課(1960)に よれば,湯本地区の江戸時 代の集落は,温泉街の上流 側,湯本地すべりの舌端部 に立地していたが,明治20 年(1887)に地すべり変動が 活発化した.このため,集落 は地すべり地中央部の平 坦地と温泉街に移転した. その後も,明治30年(1897) と大正4年(1915)に大規 模な地すべり変動が生じ たため,住民は舌端部に瀬 替工や丸太による砂留堰 堤を構築した.

古老の話によれば,「幼時,馬で耕した田が今では深さ2mの沼になり,子供が入れなかった亀裂が4mにも拡がった」という.当



地区は日本でも有数の豪雪地帯(最大積雪深 4~6m) であるので,融雪期には宅地や道路に亀裂が入り, これに馬の足が落ち込むことが多くあった.このような現象を地元では,「馬の足を取られる」と表現し ている.

本格的な地すべり防止対策は、大正12年(1923) から県営荒廃林野復旧事業として開始され、昭和5 年(1930)までに堰堤工と地下水排除工が施工され た.しかし、地すべり地の末端部では、地下水の湧 出が続き、融雪期には決まって地すべり変動が活発 化した.このため、越道川の河道閉塞の進行を防ぐ 目的で、戦争中の昭和18年(1943)から3ヶ年で排 水トンネル(図2参照)を舌端部南側の岸壁に掘削・ 完成させた.この工事の完成によって、越道川の侵 食は少なくなり、地すべり変動は小さくなった.

しかし,昭和26,27年(1951,1952)の融雪期には, 再び地すべり変動が再発し,5000m<sup>3</sup>の土砂が流出し たが,地すべり地末端の堰堤を越えて押出すことは なかった.その後,昭和33年(1958)の地すべり等 防止法の制定などもあって,集水井等の近代的な地 すべり防止工が施工されるようになった.現在では, 地すべり変動は徐々に小さくなっている.

写真1の立体視写真に示したように、湯本地すべ りの西側にもほぼ同規模の地すべり跡地形が認めら れる.しかし、地すべり土塊はほとんど流出してお り、上部の地すべり地形のみ残されている.湯本地 すべりも自然状態のまま放置されれば、越道川の侵 食によって次第に地すべり土塊は下流に流出し、地



図3 地すべり地形分布図「松之山温泉」(清水ほか, 2004) Fig.3 Landslide topography map of Matsunoyama Spa. (Shimizu et al., 2004)

すべり跡地形に変わっていくと思われる.

松之山温泉は山奥の秘湯として有名な温泉地である.温泉でくつろいだら,ぜひ大松山大池から大松 山まで登り,地すべり地の全体像をつかんで欲しい.

### 4. 姫川流域の巨大地すべり地形と天然ダム

長野県白馬村から小谷村を通って新潟県糸魚川 市に向かって北流する姫川流域は、フォッサマグナ 西縁の糸魚川-静岡構造線に位置している. 姫川は 南北に連なる北アルプスの東側を並行して流れる川 で,流域面積722km<sup>2</sup>,本川延長50kmである. 西側 山地は大起伏山地で,中古生層や第四紀の火山砕屑 岩類からなるのに対し,東側山地は新第三紀の砂岩 や泥岩が分布する. これらの地域の地質は,構造線 沿いの広い範囲で地殻構造の影響を受け,活断層が 多く脆弱化している. これに加えて,姫川の侵食速 度は大きく,河谷は急斜面の区間が多く,地すべり や崩壊地形が多数認められる.

このため, 姫川は日本でも天然ダムの発生・決壊 事例のもっとも多い河川である(国土交通省北陸地 方整備局松本砂防事務所, 2021). 図4は, 姫川と支 流の河床縦断面図で,7箇所の天然ダムの位置を示 している(稗田山崩れ100周年実行委員会, 2011). 文亀元年十二月十日(1502年1月28日)の越後南 西部地震で, 姫川本川の右岸・真那板山(井上, 2006; コラム15参照)と姫川右支・中谷川の清水山の地す べりで, 天然ダムが形成された. 岩戸山の天然ダム



図4 姫川と支流の河床縦断面図と天然ダム(稗田山崩れ 100 年実行委員会, 2011) Fig.4 Riverbed vertical section of Hime River, tributary streams, and landslide dams





図5 姫川流域の地形分類図(井上, 1997, 2018) Fig.5 Topography classification map of Hime River

図6 地すべり地形分類図「小滝」,「白馬岳」(清水ほか, 2000) Fig.6 Landslide topography map of Kotaki and Shiroumadake

小谷地震によって,姫川の右岸斜面が崩壊して形成 された(鈴木ほか,2009;井上・鈴木,2013;コラ ム16参照).

稗田山崩れは明治44年(1911)8月8日に数日前 からの豪雨によって、巨大な稗田山崩れが発生し、 崩壊土砂が姫川支川の浦川を岩屑なだれとなって流 下し、姫川との合流点付近で、天然ダムが形成され た(横山、1912;町田、1964、稗田山崩れ100年実 行委員会、2011;井上、2011;コラム35参照).

図5は、姫川流域の地形分類図(井上,1997;田畑ほか,2002)で、社団法人地盤工学会の蒲原沢災害(1996年12月6日)の調査団員として現地を訪れ、航空写真判読を行って作成した地形分類図である.この図には真那板山(1502)と稗田山(1911)の大規模崩壊によって形成された天然ダムの湛水範囲が図示されている.また、蒲原沢の上流部には、

蒲原沢災害の土石流の原因となった崩壊地が示され ている.

図6は図5とほぼ同じ範囲の地すべり地形分類図「小滝」,「白馬岳」である(清水ほか,2000).これらの図を詳細に比較すると,判読した地すべり地形の表現が少し異なる地区があることが判る.

#### 5. 新潟県中越地震による地すべり地形

平成 16 年 (2004) 10 月 23 日の新潟県中越地震 (マグニチュード 6.8) によって,新潟県中越地方は 激甚な地すべり・崩壊現象が各地で発生し,激甚な 土砂災害が発生した. 図 7 は,もっとも被害の大き かった地域の 1/2.5 万「小平尾」図幅 (2006 年 1 月 1 日に発売された「新潟県中越地震対応版」)をもと に,土砂移動状況(赤色)と天然ダムの湛水範囲を 追記したものである(井上, 2007 の裏表紙,コラム



図7 新潟県中越地震による土砂移動状況(赤色)と天然ダムの湛水範囲(緑色)

Fig.7 Landslide area (red) induced by Chuetsu Earthquake and flooding area of landslide dams(green)



 図8 10月24日撮影の写真判読による土砂移動分布図 (国土地理院, 2004年10月24日撮影写真による)
 Fig.8 Landslide topography map by Oct. 24

55,56). 復旧未定の道路不通区間と破損個所を×印 で示した. 道路不通区間を赤色のペンでトレースし て示した.このように新潟県中越地震で土砂移動(地 すべり・崩壊・土石流)が多く発生したのはなぜで あろうか.

図8は,国土地理院が地震翌日の平成16年(2004) 10月24日に撮影した航空写真を判読して作成した 崩壊地・地すべり地分布図(元縮尺1/3万,中越地 震前の1/2.5万地形図に追記)で,地震から6日後の 10月29日に公開された.中越地震で発生した非常 に多くの崩壊地,地すべり地や土石流などの土砂移 動が赤線で示されている.旧山古志村(現長岡市) や小千谷市などの境界が緑線で示されている.北陸 地方整備局中越地震対策室・湯沢砂防事務所(2004 年12月)によれば,山古志村芋川流域では842箇所 で崩落が起き,52箇所で河道閉塞を生じ,一部では 湛水による被害が始まった.地震発生当時,各河川

 図 9 11 月 8 日撮影による土砂移動分布図 (同,11 月 8 日撮影写真による)
 Fig.9 Landslide Topography map by Nov. 8

の水位が低かったため、大きな被害はでなかったが、 信濃川の堤防の一部には亀裂が生じた. 電気・ガス・ 水道・電話・携帯電話・インターネットなどのライ フラインが破壊されたほか、新潟県内に電話が集中 したため、交換機が輻輳し、発信規制がかけられた. また、山間部を繋ぐ通信ケーブルが破壊され、山古 志村は外部から孤立する事態となった.

北陸自動車道や関越自動車道などの高速道路,国 道8号,17号,291号などの一般国道,多くの県道 や生活道路は,亀裂や陥没,土砂崩れ・崖崩れ・地 すべりによって寸断された.このため,山間部の集 落は全ての通信・輸送手段を失って孤立した.とり わけ,古志郡山古志村は村域から外部に通じるすべ ての道路が寸断されたため,全村民が村内に取り残 された.山古志村の長島忠美村長は,全村民に対し 村外への避難指示を出し,自衛隊のへリコプターな どにより,地震から3日後の10月26日までに隣接 する長岡市などに避難させた.避難者の多くが長岡 ニュータウン内の仮設住宅での生活を余儀なくされ た.その後,山古志村は平成17年(2005)4月1日 に長岡市に合併した.

図9は、国土地理院が地震から16日後の11月8 日に撮影した航空写真を判読して作成した崩壊地・ 地すべり地分布図で、11月12日に公開された.地 震から16日経って、河道閉塞地点の背後に天然ダ ムの満水位に近い高さまで湛水している状況が示さ れている.特に、東竹沢の大規模地すべりによる天 然ダムは規模が大きく(高さ31.5m,最大湛水量256 万m<sup>3</sup>)、湛水量が最も大きくなっている.この頃に は北陸地方整備局湯沢砂防事務所による様々な排水 対策が実施され、満水となって決壊することはな かった.芋川上流の寺野地区でも地すべりによる天 然ダムが形成され、湛水範囲が拡大したため、天然 ダムの排水対策が実施された.

図 10 は、防災科学技術研究所が新潟県中越地震 以前に清水ほか(2004年3月)が判読した 1/5 万地 すべり地形分布図(中越地震直前に,地すべり地形 分布図,第17集「長岡・高田」として刊行)をもと に,中越地震後の平成16年(2004)11月にカラー の1/2.5万の立体図として,公開されたものである. 東頸城丘陵・東山丘陵の地域では,無数の地すべり 地形が表現されている.この地域では,多くの地す べり地形を利用して,集落が形成され,天にまで達 する棚田と溜池が構築され,こしひかりや錦鯉の産 地として栄えていた(詳しくはコラム55,56参照). 図10と図8,図9を比較すると,元々地すべり地形 であった地区が新潟県中越地震の激震によって,再 移動している箇所が多いことが判る.大日山や東竹 沢,寺野も古い地すべり地形とほぼ同じ範囲が再移 動した.

図 11, 12 は, 大八木 (2007, 2018) が, 1976 年 11 月に国土地理院撮影の航空写真 (CCB-76-3, C-34, 35) と中越地震から 5 日後に国土地理院撮影の航空写真 (CCB-20041, C26-916, 917)を用いて, 東竹沢地区 の地震前後の地すべり地形を判読したものである.



図10 山古志地区の地すべり地形分布図と凡例(清水ほか,2004年3月;防災科学技術研究所,2004年11月) Fig.10 Landslide topography map of Yamakosi area and the legend (Shimizu et al., Mar. 2004; NIED, Nov. 2004)


図11 東竹沢地区の1976年写真による地すべり地形 図12 同地区の2004年地震直後の地すべり地形 (写真判読は大八木実施(大八木,2007,2018) Fig.11 Landslide topography map of Higashitakezawa by 1976 photo Photo interpretation by Oyagi (Oyagi, 2007, 2018)



写真2 東竹沢の中央部付近に現れたすべり面 (2004 年 11 月 25 日井上撮影) Photo 2 Surface of landslide plane in Higashitakesawa (photo by Inoue, Nov.25, 2004)

中越地震直後の現地調査結果から判断すると,当地 区は新第三紀の泥岩・砂岩互層が 17~22 度西側に 傾斜した流れ盤斜面で,過去に地すべり変動を起こ した地区であることがわかった.

写真2は,砂防学会中越地震調査団で現地調査し た平成16年(2004)11月25日に井上が撮影したも のである.台船で天然ダムの湖水を渡らせて頂き, 地すべり変動域を歩いた時に,河道閉塞を起した地 すべり地の背後に現れたすべり面を撮影した.すべ り面の右側は地すべり移動土塊で,移動土塊の上に 繁茂していた樹木は山側に傾斜していた.

## 6. 群馬県北東部尾瀬沼南東部の巨大地すべり地形 群馬県北東部の尾瀬沼南東部には尾瀬沼とほぼ

同じ大きさの巨大地すべり地形が存在する.昭和46 年~47年(1971~72)に群馬県林務部沼田林業事務 所が「復旧治山事業」として地すべり調査を計画し, 日本工営㈱が受注した.私は夏から秋にかけて新入 社員の2年間,本業務を担当した.片品村戸倉の旅 館に泊まり,毎日大清水を経由して,林道を片道40 分かけて調査現場に通っていた.

図 13 は,国土地理院昭和 53 年(1978)編集,昭 和 54 年 1 月発行の 1/5 万集成図「尾瀬」の一部で北 西部から至仏山・尾瀬ヶ原・燧ケ岳・尾瀬沼が並ん でいる。片品村尾瀬戸倉は群馬県側最後の集落で, 尾瀬沼には戸倉から大清水までバスか車で行き三平 峠経由で行く人が多い。



図 13 1/5 万修成図「尾瀬」(昭和 53 年 (1978) 編集),赤丸が調査地の巨大地すべり地形 Fig.13 Collection map "Oze" scaled in 1:50,000 (1978), Red circle is the huge landslide of the investigation area



図14 地すべり地形分布図「燧ケ岳」「藤原」図幅(清水ほか, 1996) Fig.14 Landslide topography map of Hiutigatake & Fujiwara (Shimizu et al., 1996)

図 13 に赤丸で示した箇所が調査地の巨大地すべ り地で,48年後の令和元年(2019)7月27日(土)~ 29日(月)と11月1日(金)~2日(土)の2回, 有志で現地調査を行った.戸倉から2班に分かれて 赤線のルート(鳩待峠から尾瀬ヶ原経由の班と大清 水から三平峠を経由する班)を通り尾瀬沼の長蔵小 屋で1泊した.翌日小淵沢田代経由で巨大地すべり 地の滑落崖に向かった.

図 14 は、防災科学技術研究所の地すべり地形分 布図「燧ケ岳」「藤原」図幅(清水ほか,1996)で, 図の北部に尾瀬ヶ原と尾瀬沼が存在する.赤丸の範 囲が巨大地すべり地形(大八木,1974)で,大きさ は尾瀬沼とほぼ同じ南北1.2km,東西1.0kmである. 頭部滑落崖は落差 80~100m で半円形に続いている. 図 14 を見ると,この地域には調査地域と同様の巨 大地すべり地が多く存在することが判る.

図 15 は,尾瀬沼東南部の巨大地すべり地周辺の 赤色立体図(国土交通省利根川水系砂防事務所提供 の DEM データをもとに足立勝治作成)である.図 13 と比較すると判るが,巨大地すべり地の西側に は,小淵沢田代から小淵沢(ニゴリ沢),中ノ岐沢(奥 鬼怒林道が通る)を経由して大清水に至る登山道(白 点線)がある. 巨大地すべり地の東側には奥只見ダム(高さ157m,総貯水容量6.01億m<sup>3</sup>,電源開発株 建設,1960年完成)から首都圏を結ぶ只見幹線(高 圧送電線鉄塔)が建設されている.

写真3は,大八木(1974)に掲載された林野庁1974 年10月25日撮影の山703, C-26,27,28の立体視写 真である.写真上の記号は大八木(1974)が写真判 読した結果の記号であるので,「地すべり技術」,1974 年10号を参照されたい.この写真の撮影時期は私 が現地調査していた頃の状況を示しており,大八木 様と色々議論したことを覚えている.

巨大地すべり地内の No.130 鉄塔は,地すべり変動 によって,数m移動したと言われており,鉄塔の補 強工事が行われている.小淵沢林道終点の地すべり 地の尖端部から No.130 鉄塔を通り, No.129, 128, 127, 126, 125 を通る巡視路があり,2回目の現地調 査ではこのルートを通った.送電線に沿って,幅 100m が刈り払われて地表面が良く見えるため,2回 目の調査ではドローンで撮影を行った.図 15 と空 撮写真を比較すると,巨大地すべり地は現在でも地 すべり変動が継続しており,多くの地すべり亀裂が 発達していることが分かった.



図 15 尾瀬沼東南部の巨大地すべり地形の赤色立体図(足立勝治作成,利根川水系砂防事務所の1mDEM利用) Fig.15 Red three dimensional map of the huge landslide in the southeastern part of Ozenuma (created by Adachi)



**写真3** 尾瀬沼東南部の巨大地すべり地形の立体視写真(林野庁 1974 年 10 月 25 日撮影,山-703, C5-26,27,28) **Photo 3** Stereoscopic photograph of the huge landslide in the southeastern part of Ozenuma (by the Forest Agency)



写真4 No.128 鉄塔から燧ケ岳,小淵沢田代,地すべり地上部を望む 写真5 地すべり変動を受けた No.130 鉄塔(防 災科学技術研究所,佐藤昌人がドローンにて撮影)

**Photo 4** Hiutigatake, Kobutisawa Tashiro and the upper huge landslide. **Photo 5** No.130 transmission tower and landslide cracks (These photos were taken with a drone by M. Sato, NIED)

新型コロナウィルス問題が落ち着いたら、本年の 水芭蕉の咲く頃に3度目の現地調査を行いたいと計 画を初めている.

## 7. いさぼうネット「歴史的大規模土砂災害地点を 歩く」のアクセス数の変化

2015 年 4 月 16 日から一般土木情報サービス「い さぼうネット」で、「歴史的大規模土砂災害地点を歩 く」のシリーズコラムを連載していた. 2020 年 4 月 2 日のコラム 66 で休止していが、2021 年 1 月から 再開した(後述).いさぼうネット事務局の計らいで、



図 16 シリーズコラムの土砂災害の発生箇所一覧図(本州中央部),消防庁消防研究センター 土志田正二作成 Fig.16 Map of the historical major sediment disasters in central Japan created by Doshida S., Firefighting Research Center



図17 シリーズコラムの日別アクセス数の変化(2015年4月~2021年3月) Fig.17 Change of the number of the Series column access according to the day (Apr. 2015 – Mar. 2021)

本コラムは誰でも無料で閲覧できるサービスが現在 も続けられている.

図16は、私が調査したシリーズコラムの土砂災 害の発生箇所一覧図(本州中央部)で、消防庁の消 防研究センターの土志田正二研究官に発生箇所をプ ロットしていただいた.この図を見ると、土砂災害 が多い地域がどこかわかるが、まだ紹介していない 箇所や私の調査していない地域も多くある. Web 公開しているので,コラムにアクセスして頂 くと,毎日コラム別にアクセス数がカウントされ, 集計することができる.令和3年(2021)3月末現 在,総アクセス数は33万5562件である.図17は, 日別アクセス数の変化(2015年4月~2021年3月) を示しており,時々アクセス数が飛び出しているの はコラムが公表された日か,激甚な土砂災害が発生 した日に相当する. 歴史的大規模土砂災害調査での地すべり地形分布図の利用-井上







**Fig. 19** Change in the number of the access of main columns

図 18 は,毎月のコラムのアクセス数を示してお り,主な自然災害の発生月を示した.Web 配信が始 まった平成 27 年 (2015) 4 月から平成 28 年 (2016) 10 月までのアクセス数は,1000 件/月以下であるが. 11 月からアクセス数は増加し,平成 29 年 (2017) 1 月以降は 2000 件/月を超えるようになった.平成 30 年 (2018) 6 月に (その I)の出版後,毎月のアクセ ス数は 4000 回/月を超えるようになった.

とくに,平成30年(2018) 7月8日の西日本豪雨災害 直後の7月には、アクセス 数は1万1256件となった (もっともアクセスの多 いコラム 46 は 2830 件). また, 令和元年 (2019) 10 月12日の台風19号襲来に よる日本各地の激甚な土 砂<br />
・<br />
洪水災害直後の<br />
10 月 には,アクセス数は1万 6994件にも達した(コラム 18で1398件, コラム42で 1360件, コラム 43 で 1230 件). これは上記の災害直 後に関心をもった方々が アクセスして頂いたお陰 である. 令和 2 年 (2020) 2~4 月は「第一回新型コロ ナウィルス緊急事態宣言」 が発令されて、アクセス数

令和2年(2020)7月の 梅雨線豪雨は,日本各地に 激甚な被害を受けたが,ア クセス数も1万7713件と 今まででもっとも多く なった.その後もアクセス 数は高水準を続けていた が,令和3年1~2月に「第 二回新型コロナウィルス 緊急宣言」が発令されて, アクセス数が少し減少し ている.

が減少している.

図 19 は、アクセス数の

多い(コラム1,3,5,6,7,18,19,27,28,35,38,42,43,44,45,46) の18 事例について,月別のアクセス数の変化を示 している.初期に公開したコラムのアクセス数が多 いが,詳しく見ると色々なことがわかる.「コラム3 北八ヶ岳の天然ダム」(総アクセス数1万5364件, 1位)は、平成29年(2017)8月に2515件のアクセ スがあった.この時期に開催された上毛新聞社主催 のシンポジウム・講演や日本地すべり学会などで, 私の話を聞いた方がアクセスしたためであろう. 2021年2-3月で2352件のアクセスがあったが,NHK の番組「日本人のおなまえっ!」の影響であろう.

「コラム 5 バイオントダム」(同 1 万 4576 件, 3 位)は、平成 30 年 (2018) 9 月に 503 件, 令和元年 (2019)10 月に 796 件, 令和 2 年 (2020)7 月の梅 雨前線豪雨時に 2147 件にも達した.「コラム 7 島 原大変肥後迷惑」(同 1 万 2151 件, 4 位)は、平成 28 年 (2016)4 月の熊本地震以降アクセス数が多く なり、平成 30 年 (2018)12 月のインドネシア津波 時に 1283 件にも達した.

「コラム 46 広島の災害伝説」(同 1 万 5276 件, 1 位)は、平成 30 年 (2018)7月の西日本豪雨災害 によって激甚な災害が発生したため、2830 件にも達 した.また、令和 2 年 (2020)7月の梅雨前線豪雨 によって、1368 件にも達した.図 19 を詳しく見る と、それぞれのコラムが災害の種別によってアクセ ス数が大きく変化していることが分かる.

1 年近く休止していたが,いさぼうネットのシリ ーズコラムを1月5日から再開した.

- コラム 67 地形・地質特性からみた沖縄本島中南部 の土砂災害
- コラム 68 天和三年(1683)の鬼怒川流域の葛老山 崩壊と天然ダムの形成,40年後の決壊による享保 八年(1723)の五十里洪水
- コラム 69 アルプスにおける大規模土砂災害の事 例紹介

今後も少し間隔をあけてコラムの執筆を続けていく 積りなので、時間のある時に閲覧して下さい.

### 8. むすび

私は 50 年間にわたって発生場所と発生年月日が 判明している歴史的大規模土砂災害地点の調査を実施してきた.資料(史料)や絵図で大規模土砂災害 地点を見つけた時に,地すべり地形分布図で地すべ り地形との関係を把握することは,その後の調査で 非常に役に立つ.その結果,大規模土砂移動の状況 が分かることもあるし,地すべり地形分布図との差 異に気が付くこともある.日本全国で地すべり地形 分布図が完成したことは大変喜ばしいことである. 今後の希望として,地すべり地形分布図の利用者の 気が付ついた修正すべき点を書き込めるメールボッ クスを防災科学技術研究所内に設置して欲しい.そ して,1/5 万の図幅毎に利用者がこれらのデータを 閲覧できる場を構築して欲しい.これらの情報が集 約されて,地すべり地形分布図に反映され修正され ることが希望する.

引用・参考文献

- 井上公夫(1971):東頸城丘陵東部松之山町の地すべ り地形,昭和 45 年度東京都立大学理学部地理学 科卒論,本文,65p.,別冊図面集,19p.
- 井上公夫(1993):地形発達史からみた大規模土砂移 動に関する研究,京都大学農学部学位論文,269p.
- 井上公夫(1995a):応用地形学と防災調査,「自然環 境論の窓から」,門村浩教授退職記念出版事業会 編, p.111-130.
- 井上公夫(1995b):写真24 新潟県松之山町湯本地 すべり,大石道夫:目で見る山地防災のための微 地形判読, 鹿島出版会, p.62-64.
- 井上公夫(1997):流域の地形特性と土砂災害,1996 年12月6日蒲原沢土石流調査報告書,地盤工学 会蒲原沢土石流調査団, p.2-11.
- 井上公夫(2006):事例3 1502年?の姫川流域・真那 板山の大崩壊と天然ダム;建設技術者のための微地 形判読実例問題 中・上級編,古今書院, p.21-23.
- 井上公夫(2007):建設技術者のための地形図判読演 習帳 初・中級編,古今書院,83p.
- 井上公夫(2011):2.11 姫川左支・浦川の稗田山崩 れ(1911)と天然ダムの形成・決壊;水山高久・ 森敏勇・坂口哲夫・井上公夫:日本の天然ダムと 対応策,古今書院, p.88-103.
- 井上公夫(2018a): コラム 15 1502 年の姫川流域・ 真那板山の大崩壊と天然ダム, p.99-104, ; 歴史的 大規模土砂災害地点を歩く, 丸源書店, 264p.
- 井上公夫 (2018b): コラム 16 1714 年の信州小谷地 震による姫川・岩戸山の天然ダム, p.105-111.; 歴 史的大規模土砂災害地点を歩く, 丸源書店, 264p.
- 井上公夫(2019): コラム 35 姫川左支・浦川の稗 田山崩れ(1911)と天然ダムの形成・決壊, p.51-65.; 歴史的大規模土砂災害地点を歩く,そのII, 丸源書店, 306p.
- 井上公夫(2020a):コラム55 映画『掘るまいか 手 掘り中山隧道の記録』の地形的背景, p.44-60.;歴 史的大規模土砂災害地点を歩く,そのⅢ,丸源書 店,268p.

- 井上公夫 (2020b): コラム 56 新潟県中越地震 (2004) による地形変化, p.61-76.; 歴史的大規模土砂災害 地点を歩く, そのⅢ, 丸源書店, 268p.
- 井上公夫(2020c):コラム 64 群馬県北東部尾瀬沼 南東部の巨大地すべり地形, p.196-213.;歴史的大 規模土砂災害地点を歩く,そのⅢ,丸源書店,268p.
- 井上公夫・鈴木比奈子 (2013):2.4 信州小谷地震 (1714)による姫川・岩戸山の天然ダム,水山高 久ほか:日本の天然ダムと対応策,古今書院, p.52-57.
- 大石道夫 (1974-81): 空中写真シリーズ, No.1~27, 新砂防, 27巻1号~33巻3号
- 大石道夫 (1985):目で見る山地防災のための微地形 判読, 鹿島出版会, 267p.
- 大石道夫 (2014): 微地形砂防の実際一微地形判読か ら砂防計画まで一, 鹿島出版会, 288p.
- 大八木規夫 (2007): 地すべり地形の判読法一空中写 真をどう読み解くか一,防災科学技術ライブラリ ー・シリーズ, Vol.1,近未来社, 316p.
- 大八木規夫 (2018): 増補版 地すべり地形の判読法 一空中写真をどう読み解くかー,防災科学技術ラ イブラリー・シリーズ, Vol.1,近未来社, 368p.
- 国土交通省北陸地方整備局松本砂防事務所(2021): 姫川流域大規模土砂災害史,124p.
- 幸田文 (1991):崩れ,講談社,講談社文庫 (1994), 206p.

- 清水文健・大八木規夫・井口隆(1996):地すべり地 形分布図,第7集「日光」,「燧ケ岳」「藤原」図幅, 防災科学技術研究所
- 清水文健・井口隆・大八木規夫 (2000): 地すべり地 形分布図,第11集「富山・高山」,「小滝」「白馬 岳」図幅,防災科学技術研究所
- 清水文健・大八木規夫・宮城豊彦・井口隆(2004 年 3月):地すべり地形分布図,第17集「長岡・高 田」、「小千谷」図幅、防災科学技術研究所
- 鈴木比奈子・苅谷愛彦・井上公夫(200)正徳四年(1714) 姫川流域信州小谷地震における岩戸山崩壊とそ れによる塞き止め湖の浸水範囲,第48回日本地 すべり学会予稿集, p.63-64.
- 新潟県治山課(1960):地すべり調査報告書(東頸城 郡松之山町湯本地すべり地)
- 稗田山崩れ100年事業実行委員会(2011):稗田山崩 れ100年シンポジウム,40p.
- 防災科学技術研究所(1982~2015):1:50,000 地すべ り地形分布図,第1集~60集
- 北陸地方整備局中越地震対策室・湯沢砂防事務所 (2004年12月):平成16年(2014)新潟県中越 地震芋川河道閉塞における対応状況,16p.
- 町田洋(1964): 姫川流域の一渓流の荒廃とその下流 に与える影響, 地理学評論, 37巻, p.477-487.
- 横山又次郎(1912)長野県下南小谷村崩視察報告,地学雑誌,24巻,5巻3号,p.608-620.

# アイトラッキングを用いた地すべり地形判読プロセスの可視化

# - 効率的な地形判読技術の伝承を目指して-

<sup>1</sup>佐藤 剛・<sup>2</sup>土志田正二・<sup>3</sup>八木浩司 <sup>1</sup>帝京平成大学,<sup>2</sup>消防研究センター,<sup>3</sup>山形大学 キーワード:数値標高モデル,地形表現図,ゲイズプロット,ヒートマップ

### 1. はじめに

地震や豪雨を誘因とした地すべり災害は、日本の各 地で毎年発生している.地すべりは、一度停止しても 再び動き出す性質を有することから、地すべりによっ て形成された地形を抽出し, その分布を地図上に表現 する「地すべり地形分布図」を作成することは、山間 域の防災計画や山地の地形発達を考察するのに役立 つ. 近年は航空レーザ測量が盛んに実施されるように なり、高精度の DEM を用いた詳細な地形表現図(陰 影図や赤色立体地図など)が作成できるようになった. これをもとに詳細な地すべり地形判読も行われてい る.地形判読ツールの充実化が急速に進むとともに, 地形判読手法の転換期を迎えている.しかしながら, 地形判読におけるハード面の整備が進む一方で, ソフ トの面での課題が浮き彫りになってきている.防災科 学技術研究所が発行した地すべり地形分布図を作成 してきた地形判読の専門家のほとんどが 60 歳代以上 となった.また、地すべり地形判読を自ら行い、地す べり地形の分布特性を議論するといった研究手法を 用いる中堅・若手の研究者の数も極めて限定される状 況にある.地すべり地形判読技術の伝承は今,危機的 状況にある.この課題を克服するためには、地すべり 地形判読の熟練者(以後,熟練判読者と呼ぶ)の技術 を後進に理解しやすい形で伝える手法を開発し、高度 な地すべり地形判読者をもつ人材を確保することが 求められる. そのための基礎データを取得するため, 発表者らは地形表現図とアイトラッキング技術を用 いて, 熟練判読者の視線追跡データを収集し, 地形判 読プロセスの可視化を試みた.

## 2. 方法

本研究では長野県白馬村に位置する姫川水系松川 および平川流域を判読対象地に設定し、2 つのエリア の地形表現図を作成した.ひとつは 5 m メッシュの DEM から作成した縮尺 1:25,000 のもので、広域の調 査地のなかで判読者がどのように地すべり地形を抽 出するのかを把握するために、もうひとつは1mメッ シュの DEM から作成した縮尺 1:7,500 のもので, 判読 者が地すべり地内部の地形構造をどのように判読す るのか知見を得るために作成した.次に DNP ヒュー マンリサーチラボにおいて, 熟練判読者(檜垣大助氏 /元・弘前大) に視線追跡装置(Tobii Pro Glasses 2) を装着してもらい、上記2種の地形表現図を判読して もらった.また,熟練判読者と判読の初心者(以後, 初心判読者と呼ぶ)の判読プロセスの差異についても 明らかにするため、建設コンサルタントで地すべり調 査業務を担当する若手技術者にも同様の判読を行っ てもらった.この実験で得られた視線入り動画と発話 内容から判読者の地形判読プロセスを把握するとと もに、視線追跡データから Tobii Pro ラボを用いて解 析処理することでゲイズプロット(どこからどの位置 を見たか、どの順番で見たか、どの程度見たかを線と 数字と円の大きさで表現するもの)やヒートマップ (視点が置かれた箇所ほどより濃い色で示される)も 作成した.

#### 3. 結果と考察

縮尺1:25,000の地形表現図を用いた熟練判読者の視 線動画からは、谷線の形状が直線から非直線になると ころに視点を置き、そこに緩傾斜面が存在していない か確認しているのが読み取れた.緩斜面が存在してい れば、その形状から地すべりの可能性がないか検討す るといった一連のプロセスがあることが明らかとな った.また、3分以内で調査域全体の地形を谷線にそ って観察し、そのなかで地すべりに関わる地形の空間 分布を把握していることも判明した.縮尺1:7,500の 地形表現図を用いた判読からは、地すべり地形の輪郭 を押さえることから始まり、次に移動体と非移動体斜 面との境界に視点が移動していること、また判読が容 易な箇所から判読を進めていることが明らかとなっ た.また、熟練判読者は、最初の3分で地形判読をす るうえでの重要な地点を押さえ、その箇所について重 点的に見直しをしていることも分かった.練判読者と 初心判読者の視線計測データから作成されたゲイズ プロット(例えば図1)やヒートマップの比較からは, 熟練判読者が地すべり地および地すべりによって形 成された地形・微地形を的確に押さえ判読を進めてい くのに対し,初心判読者は地形表現図全体をくまなく みながら判読を進めていることが理解できた.この違 いは,地形判読の経験値の差にあると考えられる.

本研究を実施するにあたり、大日本印刷㈱にご協力 いただいた.また、2018年度国土地理協会学術研究助 成および JSPS 研究費 JP20K01146 を用いた.



図 1 熟練判読者(I)および判読初心者 (II)の判読開始後3分間のゲイズプロット.

## 森林域の地すべりの活動度評価の試み

1大丸裕武・1村上 亘・2戸田堅一郎・3世古口竜一

1(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所・2長野県林業総合センター・3朝日航洋株式会社 キーワード:地すべり、変形樹、干渉 SAR、LiDAR、ビッグデータ

#### 1. はじめに

防災科研が構築してきた地すべり地形分布図は地すべりの概況を知る上で不可欠の情報となっているが,林野 地すべりの多くは山地の奥部にあって日常的な調査が困難な場合が多く,地すべりの活動度を効率的に把握する 技術が必要となっている.これまで,筆者らは干渉 SAR のデータから活動的な地すべりを抽出することを試み てきたが,道路等のインフラが少ない森林域ではコンクリート製施設の変状から変位を検出するのが困難な場合 も多く,干渉 SAR データの解釈に迷うケースも多い.

一方,森林域では地すべり活動によって変形した樹木がしばしば見られることが古くから知られてきた.しか し、樹木の変形は地すべりだけでなく、強風や雪圧など他の要因によっても発生するために、変形樹の存在から 地すべりの活動度を評価するには、変形樹を地盤運動の指標とするための技術が必要であり、そのためには多数 の樹木変形を効率的に計測する技術が重要になる.以下では、近年急速に発達した、レーザー計測技術を用いて、 活動度が極めて高い長野県の小塩地すべりにおいて変形樹木の計測を試みた結果を報告する.

#### 2. 調査地域と調査方法

今回調査を行った長野県大鹿村の小塩地すべりは、中央構造線周辺の蛇紋岩分布で発生したもので、中部森林 管理局が地すべり対策工事を行っている(図1).すべり面の深さは100mを超えると推定され、現在でも恒常的 な地すべり活動が見られる.今回の調査では、多数の線状地形が発達する滑落崖直下の緩斜面において、林業用 地上型レーザープロファイラー(株式会社森林再生システム製の OWL)を用いて植林されたカラマツの計測を 行った(図2).OWLは元々林業用に開発されたもので、林内の複数個所から計測した点群を合成して林分全体 の点群モデルを作成する(図3).付属ソフトを用いると合成された点群から樹木毎に、根元(地上高1m)以上 の幹中心の座標が高さ毎に XML 形式で出力することができる.この XML データを元に Python3.6の Pandas を用いて高さ毎の変位量(根元の座標との差分)を計算して、断面図や方位図(図4)を作成した.さらに、地 上高1mと4mの幹中心の位置の変位量をベクトル分布図として出力した(図5).

#### 3. 結果

図5に示すように、変形樹を計測したエリアでは、南部のブロックで樹木の変位量の大きいなど、地すべりブ ロック毎の活動度の違いを検出することが出来た。今回の調査地では積雪が少ないため雪圧の影響はほぼ無視で きたが、多雪地域では雪圧の影響を考慮することも重要になる。また、今回は冬季に落葉するカラマツ林を計測 したが、高密度のスギやヒノキ林での樹形の解析はより困難になることも予想される。それでも、従来多大な労 力を要していた、変形樹木の計測を極めて効率的に行うことができることは明らかであり、レーザー計測技術を 活用しながらデータを蓄積していくことで、地すべり地の変形樹木の評価技術が大きく進展すると期待される。



図1 小塩地すべりの CS 立体図 矢印は計測地点の位置を示す



図2 OWL による計測



図3 出力された点群データ



図4 樹幹形態の断面図と方位毎の樹幹傾斜(角度)



図5 樹幹の変位量の分布 地上高1mと4mの幹中心の位置の変化量を示す. 調査区の南側で樹木の変形が顕著なことがわかる. 縦横軸の数字は相対座標(単位はm)

## コンサルタント技術者から見た地すべり地形分布図の評価・課題・展望

## 1永田秀尚

#### 1有限会社風水土

### キーワード:誤判読,表現,統合データベース,精細 DEM, リスクマネジメント

#### はじめに

コンサルタント地質技術者として、さまざまな建設計画や災害・防災の調査に携わってきた立場から地すべり 地形分布図の意義と評価、現況での課題、今後の展望と期待について私見を述べる.

#### 評価

防災科研の地すべり地形分布図は、国土地理院から提供される地形図や空中写真、産総研の発行している地質 図とならんで、あるプロジェクトに参画しようとする場合に最初に参照する資料となっている.たとえば構造物 の位置選定、線状構造物(道路、鉄道、送電線など)の路線計画や防災点検、ダム貯水池斜面の安定性評価や深 層崩壊調査といった面的領域の評価や管理、といった業務では、見落としを防ぐために、広域的な観点から地す べり地形分布図をチェックしておくことが重要な作業となっている.

地形図や空中写真の利活用については古くから意義が認められ、教科書も少なくない.地質図の利活用は、5万分の1図幅の未整備もあって必ずしも現状で十分とはいえない.地すべり地形分布図も同様に、利活用は始まったところといってよい段階にあると思われる.これは、2015年に全国的な完成を見、それがウェブサイトに掲載されて多くの人に閲覧可能となったという条件の整備が大きいといえよう.

#### 課題

上記のように、重要な意義をもち、かつ有用な地すべり地形分布図だが、全国的な整備が進んでくると課題というべきものも見えてきた.ここでは、以下の2つについてとりあげて検討する.

1) 誤判読の問題 地すべり地形分布図が空中写真判読の結果であるために, 誤判読の問題は避けて通れない. どんなエキスパートが判読してもそれはついて回るものである.

誤判読には、地すべり地形をそうではないと判断する「判読漏れ・見落とし」と、逆に、地すべり地形でな いものを地すべり地形と判断してしまう「誤認」がある.前者は、たとえば地すべり災害が発生した場合に 想定外事象ということになってしまい、実害がある.後者も、信頼性を低下させるという意味で問題がある. 誤判読にはいくつかのパターンがあるらしいこともわかってきた.判読漏れ・見落としは、地形表現の弱い 初成的な地すべり・重力変形でしばしば発生している.誤認としてはケスタ、断層鞍部といった差別削剥地形、 開析された緩斜面周辺、氷河・周氷河地形といった類似地形がある.移動体の範囲、とくに末端の認定も広 めになることが多い.火山体では判読漏れと誤認の両方が見られ、ばらつきがやや大きいようである.

2) 表現・伝達の問題 分布図としてある領域を地すべりと認定すると、単純な二値論理の下では、そうでない 領域は地すべりではないということになる.詳細地形図で地すべり地形が明らかなのに、「防災科研の分布図 では計画地点は地すべりではない」と指摘を無視された経験があるが、このような問題は活断層図など、他 の分布図にも共通する情報伝達上の課題である.地すべり地形分布図では、「特に重要な留意事項」として、 「地図上に地すべり地形が表示されていないことが、地すべりや地すべり地形が存在しないことを意味しな い」と明記はされているが、あまり目立つ場所に示されてはいない.

さらに、地すべり地形分布図では、凡例に明瞭さによる区分が示され、滑落崖で5つの、移動体の輪郭で4 つの区分がなされている.滑落崖では開析による明瞭さが、推定のものまで含んで区別されているが、移動 体の輪郭については、明瞭さのほかに活動ステージや確実度でも区分されているような表現もある.「明瞭さ」 は地形の表現としては適切なものと考えられるが、「明瞭である」ことは「活動時期が新しい」「活動が活発 である」「地すべり地として存在が確実である」といった多義的な意味をもち、逆に「明瞭でない」ことは「活 動時期が古い」「現在活動していない」「地すべり地であるかどうか確実ではない」ということになって、ど れを評価しているのかわからなくなってしまうとともに、読図者の勝手な解釈を許してしまうおそれがある.

#### 展望

期待をこめて、地すべり地形分布図の今後の方向を考えてみる.

1) 統合データベースへ 全国版として整備された地すべり地形分布図は防災科研のものだけだが、地域を限ると地すべり地形分布図はいろいろなものがある.たとえば高野秀夫の北陸地方の分布図や、防災科研の分布図のはじまりとなった東北地方、あるいは北海道で独自にまとめられたものなどである.これに、さまざまな建設計画にともなって作成された分布図などを加えると、非常に多くの情報が存在している.GIS 化された防災科研の地すべり地形分布図は、これらの統合的なプラットフォームになり得る(現在は J-SHIS Mapに統合されているが、むしろ災害年表マップとの統合がよいのではなかろうか?).この際、それぞれが地すべりであるかどうか、あるいはその範囲の正誤について改めて評価する必要はない.すべてに通し番号を付して、実際に災害が発生すればそれを記録する.また調査が実施されればその結果を集積する.ここに、「調査してみたら地すべりではないことが明らかになった」ことが記されていればよい.このためには防災科研のみならず、関連する行政機関や学会などからの情報も集約されることが望ましい.

現在の地すべり地形分布図に示された各ユニットについて、たとえば活動度や危険度といった評価を与える という方向性はとらない方がよいというのが私の意見である.「評価を評価する」という迷路に入り込むこと になるためである.そのような評価図が不必要だと言っているわけではない.何らかのプロジェクトがあれ ばその目的に合致した評価図を作成すればよい.

2) 精細 DEM による再判読 この 20 年ほどで空中レーザ測量による精細な地表面情報も広範に取得されるようになってきた.これによって作成された地形図はこれまでにない解像度で地形を表現できており、地すべり地形や重力変形地形の判読もより容易に、精度よくおこなうことができるようになってきた.精細 DEM ベースの地すべり(重力変形)地形判読図によって、大規模岩盤崩壊や、逆に小規模でも災害につながりやすい危険箇所の抽出が可能になるだろう.空中写真ベースのものと同様に表現技術も検討が必要だし、判読技術の確立と技術者養成も求められる.

防災科研の地すべり地形分布図によって、日本列島の山地丘陵地が広範に地すべり移動体に覆われていること が明らかになってきた.精細 DEM によればさらに広い範囲が重力変形体に相当することが明らかになってくる だろう.そうなれば建設計画、維持管理のリスクマネジメントという視点が明確になってくる.つまり、リスク 回避(地すべりを避ける)のみならず、リスク受容(地すべり内でどのように対処するか)を含めた方向性が求 められるようになる.今路面に見えている変状は本当にその区間だけのものなのか? 地すべり地形中にどんな 構造物なら作ることができるのか? そのためにはどのような調査が必要なのか? さまざまなことを考える ための基礎資料としての充実が今後の地すべり地形分布図に望まれる.

## 砂防分野における微地形分類図の活用と実際について

深澤 浩\*

# A New Approach to SABO Planning Based on Microgeomorphological Analysis

Hiroshi FUKASAWA

Sabo Engineering Co., Ltd., Japan h fuka@saboengi.co.jp

#### Abstract

As an alternative or supplement to the current planning method, therefore, the author proposes a new sabo planning procedure based on microgeomorphological analysis. As the first step, a microgeomorphological classification map is compiled by interpreting aerial photographs of an appropriate scale. On the other hand, field surveys are carried out concurrently. And draft facility layout plans to be carried out for first term of Sabo works. The functional requirement for the facilities being planned are clarified automatically from this map. The basic policy for control measures on the draft facility layout is then drawn up, taking into consideration the realities in the drainage basin such as ecological and social environments. it is considered that the use of classification of microtopographic characteristics by using airborne LIDAR DEM is an effective method for predicting potential and process mass movements.

Key words: Microgeomorphological analysis, Microgeomorphological classification map, Sabo planning, Sabo works, LIDAR DEM

砂防分野において地形の見方が取り上げられ始 めたのは,1955(昭和 30)年頃からである<sup>1)</sup>.

1950年代から1970年代にかけて土砂移動の理論 的・実験的研究が手がけられ、その成果も整理され ていく中、一方で砂防技術者の現場では実務的な立 場から、それら研究成果と事業実施に必要な実現象 との情報に開きのあることが次第にわかってきた. これを埋めるための新しい試みとして、土砂移動現 象を地形学的な考え方から考察<sup>2)</sup>し、その特性把握 のために有効な微地形を基本とした調査方法につい ての提案がなされ、検討が続けられ成果が蓄積され てきた(本稿目次(I)に該当).

本稿では,前述の(Ⅰ)経緯に引き続き,(Ⅱ)

地すべり地形を含む新たな砂防調査計画手法の中心 手法となる微地形分類図の成果が砂防分野(調査・ 計画・設計などの事業,ハード対策およびソフト対 策などの施策)に対し,どのような利用方法を提案 し,実際にそこで活用されてきたかを事例とともに 紹介する.そして,最後に(Ⅲ)課題と今後の活用 方法などを整理した.

【本稿の構成】

- (I) 砂防で微地形が取り入れられた経緯
- (Ⅱ) 微地形から出発する砂防計画の流れ
- (Ⅲ)課題と今後の活用方法







(I)砂防で微地形が取り入れられた経緯(1)

大石道夫氏は、微地形解析から出発 する砂防計画立案手法の提案につい て主導的な役割を担った.

大石道夫氏は,昭和 49 年から昭和 56 年の7 年 27 回にわかり砂防学会誌 「新砂防」に「空中写真判読シリーズ」 を紹介し,これらにいくつかの事例を 補足して昭和 60 年に『目で見る山地 防災のための微地形判読』<sup>1)</sup>を上梓し た.そして,微地形に基づく砂防計画 論の集大成として平成 26 年に『微地 形砂防の実際』<sup>2)</sup>を上梓した.

(I)砂防で微地形が取り入れられた経緯(2)

砂防における微地形の活用で有効 的なものは計画論への反映である.

個々の地形要素の形成される時間 的規模<sup>4</sup>は,砂防計画で対象とすると ころの大規模土砂生産発生から土砂 流出の継続する期間を10年以上とし ている事<sup>3)</sup>とは時間スケールが大きく 異なる.この点を理解した上で,地形 発達過程における現象の位置付けと 土砂移動予測を行っている.

(I)砂防で微地形が取り入れられた 経緯 -微地形分類図の作成実績-

微地形分類図は,全国の国土交通省 の直轄砂防事業区域を中心に平成7年 から平成20年頃までの約13年間で集 中的に作成された.主要直轄砂防事業 区域約21,000km<sup>2</sup>のうち約85%の区域 で微地形分類図が作成された(平成24 年4月時点). (Ⅱ) 微地形から出発する砂防計画の流れ

本稿で解説する微地形から出発する砂防計画の立 案方式(図 1)は,文献調査,空中写真判読(LP 判読 を含む),現地調査から得られた流域の特性を踏まえ, 土砂移動現象の場所と様態を予測して,ハード,ソ フト両面から対策を検討することを基本とする.

図1内の②広域微地形分類図と④詳細微地形分類 図の違いは、「②広域」が検討対象とする大流域や複 数流域から荒廃が著しく土砂移動の危険度の高い要 対策の渓流や箇所の優先度評価(③)に主に用いられ るのに対し,「④詳細」は②,③で抽出された重点流 域・地域について現地情報も含め,砂防施設配置を 検討するため 1/10,000 地形図以上相当の精度で作成 する.

なお,図1内の⑩に砂防施設計画以外のハード対 策・ソフト対策の両面からの微地形分類図の活用(特 に土砂移動予測による危険箇所抽出)が有効である と思われる事項を整理した.対象地域の土砂移動特 性や荒廃特性の把握が全ての防災対策の出発点にな るという理念から活用を提案したものである.



図1 微地形分類図から出発する砂防計画の考え方<sup>1)</sup>



(Ⅱ) 微地形から出発する砂防計画の

流れ - ②空中写真判読による広域

広域微地形分類図は、対象流域の災

害発生年や空中写真の縮尺などを考

慮し, 密着印画紙の空中写真の実体視

判読により国土地理院作製の縮尺

1/25.000 地形図上に移写を行い作成す

対象流域全体の荒廃特性や土砂移

動特性を把握し,要対策優先渓流や重

点流域を抽出するのに用いられる.

微地形分類図作成-

る.



6 ④要対策優先地域 の詳細微地形解析 ●"詳細微地形 要対策優先地域では、 さらに詳細な空中写真 (倍率の引き伸ばし等) 判読、現地調査を行い、 詳細微地形分類図を作 成する(分類の細分化も 進ませる)。 広域と詳細の微地形 分類図を比較すると、抽 出の精度がかなり異な ることがわかる。 詳細微地形分類図と施設配置計画図 《新庄工事事務所 (Ⅱ)微地形から出発する砂防計画の流れ -③要対策優先地域の抽出-

要対策優先渓流・地域や重点流域を 抽出するにあたり,抽出した微地形要 素の分布や河道・渓床への影響など, 今後の土砂移動予測を総合的に考慮 して,荒廃性が強く,対策を優先して 検討すべき「重点流域」や特にインフ ラや保全対象などの安全確保が要求 される「特定地域」などを絞りこむ.

左の図では太青線で囲まれた流域 が重点流域となる.

(Ⅱ)微地形から出発する砂防計画の
 流れ -④要対策優先地域の詳細微
 地形解析-

要対策優先地域では, さらに詳細な 空中写真(倍率の引き伸ばし等)判読 と現地調査を行い, 詳細微地形分類図 を作成する(微地形分類の細分化を行 う). そこでは, 新規施設計画の素案 に結び付く対策を微地形の分布から 立案することが可能になる.

広域(②,③)と詳細(④)の微地 形分類図を比較すると,抽出の精度が かなり異なることがわかる.



(Ⅱ)微地形から出発する砂防計画の
 流れ -⑥微地形から見た土砂移動
 予測 その1-

微地形判読(崩壊地判読)の的中率 を検証するため,災害(平成17年台 風14号による土砂災害,宮崎県別府 田野川)前後の空中写真を入手し,ベ テランの技術者(大石道夫)により事 前情報を全く知らせずに判読を行っ た結果,その的中率は68.7%であった.



(Ⅱ)微地形から出発する砂防計画の
 流れ -⑥微地形から見た土砂移動
 予測 その2-

上記の崩壊地判読の的中率検証実験の際に,崩壊予測の判断基準についても詳細についてデータを整理し,今後の判読技術向上に役立てた.

その結果,崩壊予測に関する微地形 情報には,ある共通した特徴のあるこ とがわかった.



(Ⅱ)微地形から出発する砂防計画の
 流れ -⑥微地形から見た土砂移動
 予測 その3-

平成30年7月豪雨災害の高知県奈 半利川や平成11年6月豪雨災害の広 島県での崩壊現象に関する分析から, 崩壊が発生した後の二次災害の危険 性を空中写真判読による崩壊の形状 判読から予測することができる.



O. UNERCAPONO CONSCIONATION OF BID CONSImage: Description of the sector of the s



(Ⅱ)微地形から出発する砂防計画の
 流れ –地すべり地形分布図との比
 較一

地すべり地形に関する微地形判読 作業時は、参考資料として防災科学技 術研究所「1:50,000 地すべり地形分布 図」を入手し、活用している.ただし、 移写スケールが2倍と異なっているこ と、また凡例が砂防対策に重点を置い たことにより区分の精度に違いがあ るため、細部では相違がみられる.

(Ⅱ)微地形から出発する砂防計画の
 流れ – 地形スケールと砂防スケー
 ルの時間 その1-

微地形判読の分類結果に時間編年 の考察を取り込むための試みを行っ ている.栃木県大谷川ではテストピッ トを掘り,流下堆積物の年代測定を実 施(腐食土層)した<sup>7)</sup>.その結果,寛 文2年(1662年)相当の堆積層を同定 し,堆積範囲や土砂量を推定すること に寄与した.また,阿蘇カルデラ内壁 での土石流堆の露頭では土石流発生 履歴を解明した<sup>6)</sup>.

(Ⅱ)微地形から出発する砂防計画の
 流れ – 地形スケールと砂防スケー
 ルの時間 その2-

土砂移動実績(土砂移動履歴)を把 握することは,土砂移動の反復性の観 点から土砂移動予測を試みる際に大 変有用な資料となる.

現在(2021年)からは,1950年前 後の米軍撮影空中写真から,場所にも よるが平均5回以上の崩壊推移図が作 成できるものと推定される.



(Ⅱ) 微地形から出発する砂防計画の 流れ – 微地形から量・質の把握 そ の1-

空中写真では,特に渓床沿いの状況 について斜面や渓流の立木で隠れて 見えにくい場合が非常に多いが,レー ザープロファイラーにより作成され た等高線図の等高線配列の読図<sup>5)</sup>より 河床構成物の質や土砂量<sup>9)</sup>,相対的な 土砂堆積の厚い区間の推定が出来る.



(Ⅱ)微地形から出発する砂防計画の
 流れ -微地形から量・質の把握 その2-

レーザープロファイラー(LP)に より作成された等高線図の判読では, 堰堤,流路工などの人工物(平滑な等 高線配列),土石流堆などの部分的な 堆積地形(等高線の凸部),段丘崖(段 差の連続),巨礫堆積(円筒状の等高 線)など,明瞭に判別できる.

(Ⅱ)微地形から出発する砂防計画の流れ –砂防分野における微地形分類図が抱える課題と展望–

砂防の側面からは、微地形解析手法 で対応する必要のある施策上の場面 が減少してきたという現状がある.

一方, 航測等技術分野からは, 解析 して得られた情報・結果の要因等の解 明がデジタル解析からは解決できな い部分がある.







(Ⅲ)課題と今後の活用方法 -LPデータの判読技術向上-

LP 等高線図では,特に斜面の地形 情報が非常に複雑である.データ取得 条件が良好な LP 等高線図では,斜面 の露岩部,根曲がりによる段差,巨岩 などの微細な地形を投影している.そ のため,判読の技術的には,土砂移動 に関わる地形とそうでないものとを 区別する必要がある.近年,AI の汎 用により自動抽出技術が飛躍的に進 歩しているが,教師データの提供を含 め技術者の判読技術に委ねられてい る場合が多い.

(Ⅲ)課題と今後の活用方法 -LP データの判読技術向上-

LP等高線判読技術の1例を示した. 斜面上の崩壊跡地について,今後の土 砂移動予測の推定方法の見方のひと つである.この崩壊跡地は下部に崖錐 地形を形成するほど土砂生産の活発 な崩壊であったが,等高線図では跡地 直上に広い露岩部が連続的に配列し ており,これ以上の崩壊拡大はないも のと推定される.



(Ⅲ)課題と今後の活用方法 -デジタル化-

既存の微地形分類図は,平成 10 年 前後から平成 20 年頃にかけて多く作 成されており,そのうち初期のものは 国土地理院 1/25,000 地形図上に直接 手書き・塗色された微地形分類図が原 図になっている.

今後の更新,応用による迅速活用(Web 公開,GIS 化等)のためにデジタル化が望まれる.







(Ⅲ)課題と今後の活用方法 - 流域監視(土砂移動特性図)-

従来,流域の土砂移動状況を把握す るために,河床変動測量等を実施し, 土砂の動きに関する情報を得てきた. しかし,測量区間が部分的であり流域 全体の状況把握は困難であった.

そこで、土砂の生産源から流下・堆 積に至るまでの一連の土砂・土塊の動 き("動的な情報")を土砂移動の特性 (微地形判読等)を用いて土砂災害発 生の切迫度把握が可能な活きた流域 診断が可能となり施設の維持管理等 へ活用する<sup>8)</sup>.

(Ⅲ)課題と今後の活用方法 - 流域
 監視(土砂移動危険度区分イメージ
 図)-

土砂移動危険度の切迫性の具体な1 例を左スライドに示す.流域全域にわ たり土砂生産の活発性や侵食前線の 上・下部斜面等の条件に応じて土砂移 動発生の可能性の度合いを「土砂移動 危険度」としてA~Cの3ランクに区 分した.その中でも特に危険性の高い 斜面ブロック及び河道区間は,AAラ ンクとして抽出した.

(Ⅲ)課題と今後の活用方法 - 流域監視(土砂移動監視区分図)-

監視頻度分類〔I~Ⅲ〕は, 土砂移 動危険度〔AA~C〕と対応させ概ね三 段階区分とする.移動の激しい河道及 び斜面(I:高頻度)は, 監視頻度を 高くし,移動の少ない安定斜面と考え られるエリア(Ⅲ:低頻度)は, 監視 頻度を低くした.特に危険性が高い斜 面(AA)については, 微地形判読に よりさらに絞り込んだ重要監視箇所 (クラック等)について, その移動量 を GPS 等によって測定する.

### 参考文献

- 1) 大石道夫(1985):目でみる山地防災のための微地形判読, 鹿島出版会, 267pp.
- 2) 大石道夫(2014): 微地形砂防の実際 微地形判読から砂防計画まで, 鹿島出版会, 287pp.
- 3) 国土交通省水管理保全局(2014): 国土交通省河川砂防技術基準基本計画編, 平成31年3月版
- 4) 島博保, 奥園誠之, 今村遼平 (1981): 土木技術者のための現地踏査, 328pp.
- 5) 深澤浩,渡部真,大石道夫(2014):微地形解析の精度向上についての事例研究,平成 23 年度砂防学 会研究発表会概要集
- 6) 深澤浩ほか(2002): 阿阿蘇カルデラ内壁斜面における土石流堆の分布と形成過程, 平成 14 年度砂防 学会研究発表会概要集
- 7) 建設省日光砂防工事事務所(1985):大谷川流域地形発達史調査業務委託報告書(その2)
- 8) 中谷洋明・深沢浩ほか(2015): 流域における面的土砂移動変化の監視について, 平成 27 年度砂防学会 研究発表会概要集
- 9) 深沢浩・大石道夫ほか(2004): 航空レーザー計測による出力図を用いた詳細微地形解析その2-渓流 調査への応用-,平成16年度砂防学会研究発表会概要集

第1部・テーマ2 地すべり地形分布図のハザード評価に向けた活用

## 事前防災対策に向けた地すべりの危険度評価を目指して

杉本宏之\*・神山嬢子\*・野坂隆幸\*・藤原一啓\*・和田佳記\*

## Aiming at the Risk Assessment of Landslide for Preliminary Disaster Measures

Hiroyuki SUGIMOTO\*, Joko KAMIYAMA\*, Takayuki NOSAKA\*, Kazuhiro FUJIWARA\*, Yoshiki WADA\*

\*Erosion and Sediment Control Research Group, Landslide Research Team, Public Works Research Institute, Japan

#### 1. はじめに

頻発する自然災害に対して被害を防止・減少させ るためには,災害が発生した後の事後対策だけでなく, 事前対策も講じていくことが重要である.地すべりの 場合,活動の初期段階は緩慢な移動から始まることが 多く,地すべり活動の徴候が確認された地すべり地に 対して調査・対策が行われていることが多い.初期の 緩慢な状態から,豪雨や地震等の何らかのきっかけに よって活動の度合いを増していくことも少なくない ため,対策が間に合わずに地すべりが滑落に至る事例 もある.そのため,地すべり地においては早期に事前 対策を進めることが重要である.

実際に、東名高速道路、国道1号,JR 東海道本線 が集中する由比地区(静岡市)や役場、中学校、診療 所等の地区の核となる施設が集中する天竜川中流地 区(長野県天龍村)等の保全対象が極めて重要な地区 では、事前防災対策として地すべり対策が進められて いる.このように保全対象が極めて重要な場合は予防 的な事前対策が必要と考えられるが、地すべり活動が 明瞭でない地すべりの場合は、危険性(発生する可能 性)や切迫性の評価が難しく、事業化の判断において も対策の緊急性の判断が難しいという課題がある.

平成10年公表の地すべり危険箇所調査では,地す べり地形・地質,地すべりの徴候,地すべり履歴等の 項目に重み付けした点数を与え,合計点数によって危 険度を3段階に区分している.しかし,この手法では, 地すべりの徴候と地すべり履歴に重点が置かれてい るため,地すべり活動が明瞭でないが突発的に発生す る地すべりの評価は難しい. そのため, 事前防災対策 の必要性や緊急性の判断を目的とする場合は, 地すべ りの徴候や履歴に依存しなくても地すべり災害が発 生する危険度を評価できる手法が必要であると考え られる.

本稿では、事前防災対策に活用するための危険度 の評価という観点から既往の研究をレビューし,課題 等について検討を行ったので、その結果を報告する.

#### 2. 既往研究のレビュー

レビューの対象とした文献は日本地すべり学会誌 に掲載されたものを中心とし,地すべり(崩壊は除く) の広域的な危険度の評価を行ったものを対象とした. 図1に示すように,誘因について通常時と地震時の地 すべりに分け,評価手法を統計的手法と力学的手法, 評価アイテム(要因)を定性的と定量的に分けた.な お,広域的な評価についての研究のため,評価が地す べりの徴候や履歴に依存するものはなかった.

通常時の地すべりについては,経験的な従来手法 の态意性を排除するという方向で1970~1990年代に 統計的手法による危険度の評価が試みられ(吉松ら, 1979<sup>1)</sup>;杉山ら,1987<sup>2)</sup>,1990<sup>3)</sup>;吉澤・石井,1990<sup>4)</sup>), 2000年代になってからはGISを用いてより広域的な 解析が行われるようになった(齊藤ら,2007<sup>5)</sup>;小林・ 三箇,2005<sup>6)</sup>,2007<sup>7)</sup>).一方,経験的手法に含まれる エキスパートの経験をより客観的に評価して取り込 む方向としてAHP 法を用いた研究も試みられている (八木ら,2009<sup>8)</sup>;河野・前田,2013<sup>9)</sup>;伊藤ら,2014<sup>10)</sup>; 河野ら,2020<sup>11)</sup>).力学的手法を用いた研究としては

<sup>\*</sup> 国立研究開発法人 土木研究所

安定解析を用いた研究が行われている(周ら, 2005<sup>12)</sup>;森脇・佐々木, 2007<sup>13)</sup>).

地震時の地すべりについては,2004 年新潟県中越 地震以降に複数の研究が実施され(ハスバートルら, 2012<sup>14)</sup>;林ら,2011<sup>15)</sup>;森脇,2011<sup>16)</sup>,2011 年東北 地方・太平洋沖地震後にも複数実施されている(濱崎 ら,2015<sup>17)</sup>;林ら,2015<sup>18)</sup>;檜垣ら,2015<sup>19)</sup>).地震 時の地すべりを対象としたものは,評価・検証データ を地すべり発生箇所としたものが多い.これは,地す べり発生箇所のデータが比較的収集しやすいためと 考えられる.

#### 3. 事前防災対策に活用するための課題

既往研究をレビューした結果,事前防災対策に活 用するための課題として,評価結果の「危険度」の意 味,評価アイテムと評価ウエイト(評価アイテムごと の重み付け)が重要であると考える.

評価結果としての危険度は、分析、解析の手法や 用いる評価・検証データによって、以下にまとめるよ うに意味が異なってくると考えられる.

安定解析によるものは、危険度が安全率で表現され、地すべり発生の可能性を評価している。

- ② 評価・検証データを従来手法とした統計的手法も、 地すべり発生の可能性を評価しているとみなせる。
- ③ 評価・検証データを地すべり地とした統計的手法は、地すべり地である可能性を評価している.地すべり地以外では初生地すべりである(となる)可能性を評価しているという可能性がある.
- ④ 評価・検証データを地すべり発生箇所としたものは、地すべり発生の可能性を評価している。

評価アイテムと評価ウエイトについては恣意性を 排除する方向の統計的手法,エキスパートの経験を客 観的に取り込む方向の AHP 法,どちらであっても評 価結果が妥当なものと検証されていれば実務には用 いることが出来ると考えられる.また,評価アイテム と評価ウエイトについては,地域ごとの地形や地質等 の差異によって地すべりの様態が異なることから,地 域ごとに適切に選定する必要があることが指摘され ている.全国的に危険度評価を行う場合,細分化され た範囲毎に評価アイテムと評価ウエイトを人力で設 定していくことは作業効率の面から望ましくなく,可 能であれば広域的に設定できるか自動で設定できる ことが望ましい.



図1 地すべり(崩壊は除く)の広域的な危険度の評価に関する研究

上記を踏まえると,事前防災対策を目的とした広 域的な危険度評価手法は,以下のような条件を有する ことが望ましいと考えられる.

- 地すべり発生の可能性(危険度)の大小を評価で きること
- ② 評価結果の妥当性が検証されていること
- ③ 全国的に実施する場合は評価アイテムと評価ウ エイトを自動で設定できることが望ましい
- ④ 通常時の地すべりと地震時の地すべりの評価が
   できることが望ましい

## 4. おわりに

現在, 土木研究所地すべりチームでは, 上記の考 察を踏まえ,防災科学技術研究所の地すべり地形分布 図,過去の地すべり災害発生情報を主なデータとして ディープラーニングを用いた地すべり発生危険度の 評価手法について共同研究を実施している.引き続き, 事前防災対策への活用を目指して地すべりの危険度 評価に関する研究を進めてまいりたい.

#### 参考文献

- 吉松弘行・清水清文・坂元靖秀(1979):地すべ り斜面の地形解析による地すべりの判読と危険 度判定,日本地すべり学会誌,vol.15,No.4,12 -19.
- 杉山和一・後藤恵之輔・棚橋由彦(1987):地すべりの危険度評価における数量化理論適用の試み,日本地すべり学会誌,vol.23, No.4, 24-28.
- 杉山和一・後藤恵之輔・吉住龍也・棚橋由彦(1990) 数量化理論による地すべりの危険度評価法の一 試案,土木学会論文集,第424号,Ⅲ-14,69-74
- 4) 吉澤孝和・石井哲(1990):地形図から得られる 地形情報を用いた地すべり危険地域の判別に関 する基礎的研究,日本地すべり学会誌,vol.27, No.3, 1-10.
- 5) 齋藤仁・中山大地・松山洋(2007): Decision tree による地すべり発生流域の推定とその検証-ASTER データを用いて-,日本地すべり学会誌, vol.44, No.1, 1-14.
- 6) 小林裕之・三箇智二 (2005): GIS と空間統計解 析を利用した地すべり危険地のマッピング,日本 地すべり学会誌, vol.42, No.4, 281-292.
- 7) 小林裕之・三箇智二 (2007): GIS と空間統計解

析による富山県の地すべり危険度評価一規模別, タイプ別要因解析と全県危険地マップの作成一, 日本地すべり学会誌, vol.43, No.6, 384-390.

- 8) 八木浩司・檜垣大助・(社)日本地すべり学会平成14年度第三系分布域の地すべり危険箇所調査 手法に関する検討委員会(2009):空中写真判読 と AHP 法を用いた地すべり地形再活動危険度評価手法の開発と阿賀野川中流域への適用,日本地 すべり学会誌, vol.45, No.5, 358-366.
- 9) 河野勝宣・前田寛之(2013):熱水変質岩の点載 荷強さを考慮した AHP 法に基づくランドスライ ドハザードマッピングの試み-北海道黄壁沢-シケレベンベツ川地すべり地域の例-,日本地す べり学会誌, vol.50, No.3, 121-129.
- 伊藤陽司・石丸聡・中村研・川上源太郎 (2014): 北海道東部,津別地域での AHP 評価シートを用 いた地すべり活動性の評価,日本地すべり学会誌, vol.51, No.3, 100-105.
- 河野勝宣・野口竜也・西村強(2020): AHP 法お よび GIS を用いた中国地方における地すべりハ ザードマッピングの試み,日本地すべり学会誌, vol.57, No.1, 3-11.
- 周国云・江崎哲郎・謝謨文・佐々木靖人 (2005):
   GISを用いた山地地形から三次元すべり危険斜面 を抽出する方法の開発と適用,応用地質 vol.46, No.1, 28-37.
- 13) 森脇 寛・佐々木良宜 (2007): 斜面安定解析による地すべり地形斜面の危険度評価,日本地すべり 学会誌,vol.44,No.1,25-32.
- 14) ハスバートル・丸山清輝・野呂智之・中村明 (2012):ロジスティック回帰分析を用いた既存 地すべり地形の地震時の危険度評価,日本地すべ り学会誌, vol.49, No.1, 12-21.
- 15) 林一成・若井明彦・田中頼博・阿部真郎 (2011) 地形・地質解析と有限要素解析の連携による地震時の地すべり危険度評価手法,日本地すべり学会 誌, vol.48, No.1, 1-11.
- 16) 森脇寛(2011):地すべり地形斜面の地震時危険
   度評価と崩壊予測システムの構築,日本地すべり
   学会誌,vol.48, No.6, 305-317.
- 17) 濱崎英作・檜垣大助・林一成(2015): GIS に基 づく斜面変動予測評価のためのバッファ移動解 析と過誤確率分析法-2008 年岩手・宮城内陸地震

での事例研究-, 日本地すべり学会誌, vol.52, No.2, 51-59.

- 18)林一成・濱崎英作・八木浩司・檜垣大助(2015): バッファ移動解析と過誤確率分析法を用いた地 震地すべりの危険度評価モデルの構築,日本地す べり学会誌,vol.52,No.2,60-66.
- 19) 檜垣大助・林一成・濱崎英作・(公社)日本地す べり学会河川砂防技術研究開発実施チーム・ 蒲 原潤一(2015):日本地すべり学会による国土交 通省河川砂防技術研究開発課題の実施-地震に よる斜面変動発生危険地域評価手法の開発-,日 本地すべり学会誌, vol.52, No.2, 85-92.

#### 要 旨

頻発する自然災害に対して被害を防止・減少させるためには,災害が発生した後の事後対策だけでなく, 事前対策も講じていくことが重要である.地すべり活動が明瞭でない地すべりの場合は,危険性(発生す る可能性)や切迫性の評価が難しく,事業化の判断においても対策の緊急性の判断が難しいという課題が ある.本報告では,地すべり危険度評価に関する既往研究のレビューを行い,課題を抽出し,事前防災対 策を目的とした広域的な危険度評価手法について検討した.

キーワード:地すべり,危険度評価,事前防災対策

# 防災プラットフォームを目指す地理院地図

## <sup>1</sup>佐藤壮紀 <sup>1</sup>国土地理院 キーワード:災害リスク,地形分類,自然災害伝承碑,地理空間情報

### 1. 地理院地図とは

地図は、防災、教育、都市計画、まちづくり、環境 など、あらゆる業務、場面において必要不可欠なプラ ットフォームである.国土地理院では、明治時代より 国土の基本図として地図(地形図)を整備してきた. 従来、地図は紙で提供されてきたが、近年では、イン ターネットの普及により、ウェブ地図の利用が主とな ってきている.国土地理院が2003年から運用してい るウェブ地図「地理院地図(旧称:電子国土 Webシス テム)」(図1)は、国土地理院が整備する地図、空中 写真、災害情報など、我が国の国土を表す地理空間情 報を提供する新たなウェブ地図プラットフォームと なっている.

ウェブ地図では、従来の紙地図ではできなかった 様々なことができる.地図は「見る」だけの時代から、 「使う」時代になってきているのである.特に地理院 地図は、防災や教育など様々な場面で「使う」ことの できる情報や機能が豊富にそろっている.本稿では、 皆様の日ごろの、特に防災業務に役立つ地理院地図な らではの地理空間情報と機能について紹介する.

#### 2. 防災に役立つ地理院地図の地理空間情報や機能

地理院地図では,地図や空中写真,防災情報,地形 の把握に役立つ情報などの国土地理院が整備する多 様な地理空間情報を,自由に重ね合わせて表示するこ とができる.例えば,年代別の昔の空中写真や土地が どのようにできたか(すなわち,地盤の脆弱性)を知 ることのできる「地形分類」,災害履歴を示す「自然 災害伝承碑」はその場所の災害リスクを知るうえで重 要な情報である.

また、「自分で作る色別標高図」という標高の階級 と色を自由に設定して標高地図を作る機能がある. 広 域の標高地図を作るときは 100m おきに色分けし、狭 域の標高地図を作るときは 1m おきに色分けするとい ったことができる. 図2は自分で作る色別標高図の機 能を使用して、東京の荒川沿いの地域で標高 1m ごと に色分けしたものである. この地図を見ると 0m 地帯 の広がりがよくわかると思う.



図1 地理院地図



図2 自分で作る色別標高図(荒川河口付近)

#### 3. 他機関の情報

地理院地図には、「他機関の情報」という形で、国 土地理院以外の機関が整備した地理空間情報を掲載 している.「他機関の情報」には防災に役立つ地理空 間情報を中心に掲載を行っている.例えば、産業技術 総合研究所が整備している「地質図」(図3)、地震調 査研究推進本部の「全国の主要活断層帯」(図4)がそ の例である.これらの情報を「地形分類」等と組み合 わせながら確認することで、災害リスクの検討に役立 てることができる.



図3 地質図 (産業技術総合研究所)



図4 全国の主要活断層帯(地震調査研究推進本部)

#### 4. 地理院地図の「地図データ」だけを使う

ここまでは、地理院地図の活用例について述べてき たが、地理院地図という「ウェブサイト」を使わずに、 地理院地図で見ることのできる「地図データ」だけを 使うことも可能である.

図5は、広島県が運営している「土砂災害ポータル ひろしま」である.このサイトの背景に利用している 地図は、地理院地図の「地図データ」であるが、この データは国土地理院のサーバに置かれている.一方で、 地図上に重ねて表示している土砂災害警戒区域等の 上乗せデータは、広島県のサーバに置かれている.こ のサイトを見ている人のパソコンの画面上には、異な るサーバから配信された2つの情報(地図データと上 乗せデータ)が重ねられて表示される.

このように, 独自のウェブ地図サイトを作るときに, 国土地理院のサーバから配信される地理院地図の地 図データを使えば良いので, 自前で地図データ準備す る必要ない. 地図データは国土地理院が最新の状態に 更新しているので, 独自のウェブ地図サイトでも常に 最新の地図が表示される.

このような地理院地図の「地図データ」を使ったウ ェブサイトを、国・地方公共団体等が容易に作成でき るよう、国土地理院では地理院地図の「地図データ」 を使ったウェブサイトを業務発注で作成する際の標 準 的 な 仕 様 書 を 公 開 し て い る (https://maps.gsi.go.jp/help/). ぜひご活用いただきたい.



図 5 土砂災害ポータルひろしま (広島県 HP より引用)

### 5. おわりに

国土地理院では、今後も利用者の声を聞きながら地 理院地図の改善に努めていく.防災、教育など様々な 場面で地理院地図を活用いただきたい.

## 地すべりハザードマップの法的指定地への適用性と課題

## 1稲垣秀輝

#### 1株式会社環境地質

### キーワード:地すべりハザードマップ,防災・減災,法的指定地,土砂災害防止法,LP図

土砂災害に係わる法令は表-1のとおりである.この中でいわゆる土砂3法は砂防法・地すべり等防止法・急傾 斜地災害防止法で 1897 年から 1969 年にかけて制定された.これらの法令では、それぞれの危険個所を指定し て、ハード対策を実施することを目的としていた.しかし、近年予算などの影響から土砂災害の防災・減災対応 としてハード対策からソフト対策に移行する考え方が増えてきている.つまり、2000 年に制定された土砂災害 防止法の登場である.

この土砂災害防止法では, 渓流・急傾斜地・地すべり地の危険な箇所をある一定の地形・地質・対策施設条件 で抽出し,土砂災害警戒区域(イエローゾーン)と土砂災害特別警戒区域(レッドゾーン)を設けるものであり, 現時点では土砂災害のハザードマップとして活用されている.ここで,危険個所や実際に発生した土砂災害の多 い順は,崖崩れ・土石流・地すべりとなる.これらの区域の公表はまだまだ遅れており,全国で毎年のように土 砂災害が発生していることを考慮すると,早期の公表が望まれている.しかし,近年多発している豪雨や地震に よる土砂災害では,これらの警戒区域外で災害が発生することがあり,問題となっている.

本報告は、土砂災害のハザードマップとして活用されている土砂災害防止法に基づく土砂災害警戒区域と土砂 災害特別警戒区域と土砂3法に基づく危険個所そして防災科学研究所の発行している地すべり地形分布図につい て、本来のハザードマップとしての適用性と課題についてまとめる.

法令 (制定年) 海地 日的日 地域指定 許可等と 制限行為 許可等基準 技術基準 く規定無し> 想定年しと 防指定地 規定無し 事が指定する 為(4条) 砂防法 (1897) 言形 地すべ 防止法 (1958) 申すべり防止 域(3条) 地すべり防止崩 設(12条) 地すべり等の( 止(1条) 地下水排除阻 害等の行為(18 規定 宅地造成等 規制法 (1961) 急傾斜地災: 防止法 宅地造成災害の防止(1条) 宅地造成工事 (8条) 規定無し L事の技術基準 宅地造成工事規 制区域(3条) 防止工事の施 基準(令3条 急傾斜地崩滅危 除区域(3条) 急傾斜地の崩壊 防止(1条) 地下水浸透助長 塗の行為 (7条) 1969 土砂災害 防止法 (2000) 土砂災害の防止 (1条) 土砂災害特別警 該区域(6条) 特定開発行為 (9条) < 規定有り: (11条) 対策工事等の計画の技術的基準 公有水面 埋立法 <規定無し> <規定舗し> 規定無しい 知事免許<公有 水面の埋立>(2 < 規定有り: (4条、則5、6条 利 森林の保続済養 日 と森林生産力の 増進(1条) 地域森林計画> 象地(5条) 開発行為 (10 余 の 2) 規定有り> 0条の2第 、34条3~ 泰林法 (1951) 規定有り> 3条、34条 都市の健全な発 展等(1条) 都市計両区域 (5条) 都市計画社 (1968) 海岸法 (1956) 津波、地盤変動 海岸保全区( 等からの海岸防条) 土砂探 海岸保全施設の 技術上の基準 11 2 t水、高潮等に 、る災害発生の j止(1.4) 河川区域(6条 規定無し> 工作物の新築等 (24 条〜 29 条 河川法 (1964) 同川管理施設等 の構造基準(E

表-1土砂災害に係わる法令一覧表<sup>1)</sup>

図-1 土砂災害特別警戒区域と土石流の被害<sup>2)</sup>



土砂災害防止法に基づく土砂災害警戒区域と土砂災害特別警戒区域は運用上では、土砂3法に基づく危険個所 や防災科学研究所の発行している地すべり地形分布図は網羅するようになっていることが多い.先にも少し述べ たが、現状で著者が感じている土砂災害防止法の課題等として以下のことがあげられる.

まず、①レッドゾーン・イエローゾーンは本当にハザードマップに使えるか. ②適用できない例外の地形や地 盤がある. ③30 度無い崖は地すべりとして対応してはどうか. ④レッドゾーンは対策をすれば、消える. 県によ っては、運用を変えているところがあるが、イエローゾーンはどんなにハード対策を行っても、崖を無くさない と消えない. ⑤イエローゾーンの中には危険の少ないところが含まれている. ⑥行政境界で整合性の取れていな いものがある. ⑦レッドゾーン・イエローゾーンには発生頻度や正確な規模のリスクの考え方がない. ⑧レッド ゾーン・イエローゾーンは法令による色塗りであり、7-8 割は使える(図-1)が、地形・地質のよくわかる地 盤技術者によるハザードリスクマップつくりが待たれる.

たとえば、②適用できない例外の地形や地盤としては、大島豪雨災害時や熊本地震・胆振東部地震の際の火山灰や

軽石層のある地盤などがある.ここでは,傾斜が 30 度以下の斜面で崩壊が発生している.最近発生した 19 号台風の 例では,図・2 に示した富岡市内匠地区の例がある.ここでは,浅間山の軽石層や AT 火山灰がすべり面になり,30 度 以下の斜面で崩壊が発生した.図・3 は相模原市牧野地区の例である.やはり,30 度以下の斜面で崩壊が発生した.こ れらの箇所は,傾斜が 30 度以下の斜面であり,土砂災害防止法の急傾斜地にはならないにもかかわらず,死者の出 たところである.いずれの箇所も現地や LP 図をよく見ると地すべり地形や重力変形地形が判読される.次に,2名 が亡くなった台風 21 号による千葉市誉田地区の崩壊箇所を図 - 4 に示した.この崖は,航空写真測量では,傾斜が 30 度以下の斜面と判断され,土砂災害防止法の急傾斜地対象外であった.しかし,著者の現地調査では,傾斜が 30 度以上あったし,国機関が LP 図を利用して判読すると傾斜が 30 度以上としている.

家の密集する都市部では、航空写真測量の精度が落ちるのかもしれない. この3 例を教訓に、LP 図を利用す ると傾斜が30 度以下の斜面でも、地すべり地形や重力変形地形が判読できる可能性がある. ここで、提案があ る. 都市部近郊や火山地域を中心に傾斜が30 度以下の斜面について防災科研の地すべり分布図に LP 図を利用 した重力変形地形や規模の小さい地すべり地形の判読を追加してはどうだろうか. 大変な作業になるので、多く の地すべり技術者参加のもとで行うことが考えられるが、土砂災害防止法で抽出漏れした傾斜が30 度以下の危 険な斜面を地すべりとして土砂法でのハザードマップに追加できるのではないかと考えている. さらに、将来的 には既往の地すべり地形を含めて規模と発生頻度を評価した地すべりリスクマップとすると住民避難や土地利 用の在り方に大きく貢献できる. たとえば、図-5 に示した災害時避難所に指定されていた小学校の体育館が裏山 の沢出口に位置していて、豪雨による土石流被害にあっていた. 防災・減災上の観点から、谷出口のような土石 流が直接流下する範囲などに留意し、避難所の立地要件を考えることが重要となる.



#### 引用文献

1)地盤工学会役立つ地盤リスクの知識編集委員会,2013,役立つ地盤リスクの知識,丸善,192p. 2)稲垣秀輝,2020,VI-3.自然災害に係わる法制度と減災に向けた提案と課題,2019年台風19号(令和元年東日本 台風)等災害調査団報告書,日本応用地質学会,364p.

3) 稲垣秀輝, 2020, V-1. 土砂災害からの住民避難行動, 2019 年台風 19 号(令和元年東日本台風)等災害調査団報 告書,日本応用地質学会, 364p.

## 地すべり地形分布図から"活"地すべり地形分布図へ

木村 誇\*

## From Landslide Map to "Active" Landslide Map

Takashi KIMURA\*

\*Graduate School of Agriculture, Ehime University, Japan kimurat@agr.ehime-u.ac.jp

#### Abstract

The NIED landslide maps and many other landslide inventory maps have been created in Japan. Various methods have been developed for the landslide susceptibility assessment using such maps. However, reliable measures for landslide hazard risk assessment that consider the frequency of landslide occurrences have not been proposed. This is because of the difficulty to obtain information on ages and past activities of landslides necessary for estimating the frequency of landslide occurrences. This paper summarized the Japanese research trends on the relative and absolute age estimation of landslides and pointed out the importance of following two research subjects in geomorphic chronology: 1) developing a method to differentiate between old and new landslides based on the freshness and dissection classifications of the boundary structure shown in the NIED landslide maps, 2) clarifying the dissection process (gully erosion and channel incision) in the landslide body based on the Yanagida and Hasegawa (1993)'s study.

Keywords: Boundary structure, Dissection, Landslide age, Geomorphic chronology, Landslide activity

## 1. はじめに

地すべりの発生やその運動様式には、山地斜面の 地形,地質,水文環境などが深く関わっているため、 過去に地すべりが起こった斜面と類似した条件をも つ斜面を把握することが地すべりの発生予測につな がるはずである(Varnes and IAEG, 1984; Hutchinson, 1995; Aleotti and Chowdhury, 1999; Guzzetti et al., 1999).また,地すべりには、過去に地すべり変動を 起こした斜面において移動体が再活動(再滑動)し たり、周期的、あるいは断続的な変動を繰り返した りする性質がある(Cruden and Varnes, 1996).この ようなことから、地すべり変動の痕跡である地すべ り地形を判読し、その位置や大きさ、形状を示した 分布図 (landslide inventory map: Guzzetti et al., 2012) を作成することが地すべりの調査研究や地すべり災 害の危険度評価の基礎となってきた.

日本国内での研究動向をみると,1970年代頃より 空中写真で判読した地すべり地形を図示した分布図 が作成されるようになった(例えば,羽田野ら,1974). そのような中,国立研究開発法人防災科学技術研究 所の前身である国立防災科学技術センター(1963~ 1990)は,国土開発等に際して地域特性を把握する ための基礎資料を提供することを目的に,地すべり 地形分布図の作成を開始した.この取り組みは,1982 年の図幅集第1集「新庄・酒田」(清水ら,1982)の 刊行を皮切りに全国で展開され,2015年に図幅集第 60 集「関東中央部」(大八木ら, 2015) が刊行され たことで,日本の国土の約99%をカバーした全国版 の防災科学技術研究所「1:50,000 地すべり地形分布 図」(以下,防災科研・地すべり地形分布図とする) が完成した.同年には,図幅集と同じ情報をもった GIS データが公開された.

こうした分布図が作成されたことで、日本の山地 斜面では地すべり変動が過去にも頻繁に起こってき たことが広く認識されるようになり、地すべり地形 の分布に基づいた地すべり災害の危険度評価の研究 も多く取り組まれるようになった(例えば、八木ら、 2009;森脇,2011;ハスバートルら、2012;河野ら、 2020).しかしながら既往の危険度評価手法は、地す べり地形の有無や地すべり地形がもつ地形的特徴に 基づいて、力学的、あるいは統計学的手法で地すべ り変動が起こる蓋然性を評価したものがほとんどで あり、地すべり変動がどのくらいの頻度(時間間隔) で発生するかを考慮して地すべり災害のハザードリ スク評価を試みた研究例は見当たらない.

地すべり変動は様々な時間-空間スケールで生 じるため(Cruden and Varnes, 1996; Glade and Crozier, 2005),変動の規模に応じた頻度の特徴を明らかにす ることが重要であり、そのためには、地すべり地形 がいつ形成されたかや地すべり変動がいつ、どれく らい起こったかという変動履歴に関する情報を集め る必要がある(Corominas and Moya, 2008, 2010; Bell et al., 2012).個々の地すべりの形成年代や変動履歴 の推定には、様々な年代測定技術が適用されており

(Lang et al., 1999; Fuchs and Lang, 2009; Van Den Eeckhaut et al., 2009; Páneka et al., 2010; Yamada et al., 2018),数年から数10万年にわたる範囲で年代 測定が可能となっている.しかしながら,広域を対 象に変動履歴を把握しようとする場合には,撮影時 期の異なる空中写真の比較や史料等に残された災害 記録に頼ることになるため(Glade, 2001; Guzzetti et al., 2006; Bell et al., 2012), 100年以上の長期に及 ぶ情報は得られにくい.この点は防災科研・地すべ り地形分布図も同様であり,地すべり地形の形成年 代や変動履歴に関する情報は決定的に不足している. 大八木 (2016)は同図を今後,地すべり災害の発生 予測に利活用していくための課題のひとつとして 「地すべり地形の年代を明らかにして地すべり地形 分布図を四次元化すること」を挙げている. そこで本稿では,特に日本国内で地すべり地形の 相対年代(新旧),絶対年代の推定に関してどのよう な研究がなされてきたのかを述べる.そして,山地 斜面に広がる地すべり地形の特徴から,その山地の 地すべり変動履歴を明らかにしていくために,防災 科研・地すべり地形分布図のどのような情報が利活 用可能か,今後さらにどういった改良や検討が必要 になるか,の2点について考察する.

# 2. 地すべり地形形成の相対年代を推定する(新旧を 判別する)ための解析手法の検討

#### 2.1 防災科研・地すべり地形分布図がもつ情報

大八木ら(2015)は、防災科研・地すべり地形分 布図における地形判読の方針として次の4つの条件 を挙げている.

- (1) 地すべりあるいは地すべり地形の範囲を,実 形で正確に5万分の1地形図上に記載する.こ れにより,地すべりの形態・規模に関する諸量 を正確に知ることができる.また,地籍・地形・ 地質・植生・土壌・土地利用などの諸条件との 正確な対比も可能になる.
- (2) 個々の地すべりの基本的構造を記載する.特 に,滑落崖と移動体を明確に区別して図示する.
- (3) 地すべりの新旧の程度を表す目安として,地 すべり地形の新鮮度・開析度を数段階で示す.
- (4) 複数の地すべり地形が接している場合において,新旧の相互関係が明瞭に読みとれるように記載する.これによって,地すべり相互の位置的・時間的関係を読み取ることが可能になる.

したがって、(3)の条件にある地すべり地形の新鮮 度・開析度の段階区分を比較することで、地すべり 地形の新旧が判別できるはずである.また、(4)の 条件にあるように、地すべり地形が密集する地域に おいては、地すべり地形の切合い、重なり順序も新 旧判別の基準になる(大八木、2018).形成年代の判 明している段丘面との切断・被覆関係がわかるよう な場合には、形成年代の範囲を絞り込むことも可能 になる(鈴木、2000).防災科研・地すべり地形分布 図作成のための空中写真判読と図化の方法を最初に まとめた論文(清水、1983)においても、地形面の 開析程度の違いをどのように判読して表記するかが 詳しく解説されており、地すべり地形の新旧判別が 当初より重要視されてきたことがわかる.
# 2.2 既往研究における防災科研・地すべり地形分布 図の利活用

それでは、輪郭構造の新鮮度・開析度や隣接する 地形面との切断・被覆関係のような地すべり地形の 新旧を示す情報は、これまで、どの程度使われてき ただろうか.情報利活用の実態を把握するために 行った文献調査の結果を述べる.

文献調査の方法は次の通りである.電子ジャーナ ルプラットフォームのひとつである J-STAGE (科学 技術情報発信・流通総合システム)の検索エンジン を用いて,2019年までに発行された論文等の中から, 本文中に「地すべり地形」または「地すべり地形分 布図」の語が含まれる論文等を検索した.特に防災 分野における利活用の動向を把握するため,検索対 象は,砂防学会誌(前身誌の「新砂防」を含む),応 用地質,日本地すべり学会誌(前身誌の「地すべり」 を含む)の3誌に絞った.

各誌の検索ヒット件数を期間全体で集計した結 果を表1に,論文等の発行年ごとに集計した結果を 図1にそれぞれ示す.新砂防/砂防学会誌では 1948~2019年に発行された計3,579件のうち89件, 応用地質では1960~2019年に発行された計1,421件 のうち85件,地すべり/日本地すべり学会誌では 1964~2019年に発行された計1,935件のうち519件 が該当した.これらの件数はあくまで本文キーワー ド検索によるヒット件数であるため,すべてが地す べり地形分布図を用いた調査解析に関する研究論文 とは限らないが,何らかのかたちで「地すべり地形」 や「地すべり地形分布図」に言及したものである.

該当した論文等の内容を確認したところ,実際に 地すべり地形の判読結果を用いた調査解析を行って いるものが3誌合計で239件あり,そのうち防災科 研・地すべり地形分布図を用いたものが 60 件あるこ とが確認できた.

この 60 件の論文等について,地すべり地形のど ういった情報が使われているかを分析した.ここで は地すべり地形に含まれる情報を輪郭構造,内部構 造,移動方向および移動様式に区分し,輪郭構造に ついては滑落崖を表すものか移動体を表すものかで さらに二分して,使われている情報区分が共通する ものをグループ化した.その結果を図2に示す.

輪郭構造として滑落崖と移動体の両方を使った もの(Cグループ)が49件と最も多く,全体の約 82%を占めた.ただし、Cグループの中で滑落崖や 移動体の新鮮度・開析度の違いを区別して使ってい たもの (C2 グループ) は4 件のみだった. 例えば, 井口(1998)は、1997年5月に秋田県鹿角市で発生 した澄川地すべり周辺の地すべり地形分布を図示し, この地すべりが開析の進んだ大規模地すべり地形の 移動体末端部で生じた二次すべりとみられる地すべ り地形で発生しており、大規模地すべり地形の開析 過程で形成された二次すべりブロックの再滑動で あったことを明らかにしている. その他の 45 件 (C1 グループ)については,輪郭構造の新鮮度・開析度 の区分を明記していないか,区分によって凡例を分 けずに、単に地すべり滑落崖や移動体を図示してい た.

次いで多かったのが移動体の輪郭構造のみを 使ったもの(グループB)で9件あった.例えば, 土志田(2015)は、地すべり移動体のポリゴンデー タと日本シームレス地質図を重畳し、地質区分ごと の地すべり移動体面積率を算出することで、地すべ り地形分布の地域間差を量的に表そうとしている. しかしながら、地すべり移動体の開析度や、地すべ

| Table 1        | Results of a literature survey on the use of landslide distribution maps. |               |       |                  |  |  |  |
|----------------|---|---------------|-------|------------------|--|--|--|
| 学術誌            | 検索期間  | 収録件数*         | ヒット件数 | 地すべり地形分布図の利活用事例† |  |  |  |
| 新砂防/砂防学会誌      | 1948~2019   | 3,579 (3,579) | 89    | 9 (28)           |  |  |  |
| 応用地質           | 1960~2019   | 1,421 (1,426) | 85    | 5 (42)           |  |  |  |
| 地すべり/日本地すべり学会誌 | 1964~2019   | 1,935 (1,964) | 519   | 46 (169)         |  |  |  |
| ≓ <del> </del> | _   | 6,935 (6,969) | 693   | 60 (239)         |  |  |  |

表1 地すべり地形分布図の利活用事例に関する文献調査の結果

\* 検索期間 (~2019 年) に発行された論文等の収録件数を示す. 括弧内は 2020 年 12 月時点での J-STAGE 総収録件数.

\* 防災科研・地すべり地形分布図を利活用した事例の件数を示す. 括弧内は, 独自に作成された地形学図など, その 他の判読図を利活用した事例も含めた件数.

#### a)「地すべり地形」や「地すべり地形分布図」に言及があった論文等(N=693)





図1 地すべり地形分布図の利活用事例に関する論文等の発表件数. Fig.1 Number of articles on the use of landslide distribution maps.





り移動体であるか初期的な斜面変動の領域(重力変 形斜面)であるかといった区分の違いは考慮されて いない.

残りの2件のうち1件(荒井ら,2013)は輪郭構 造と内部構造を使ったもの(グループD)であり, もう1件(山岸ら,2015)は輪郭構造と移動方向お よび移動様式を使ったもの(グループE)であった. 荒井ら(2013)は秋田県南東部の三途川カルデラ内 にある山葵沢地域を対象に,滑落崖や移動体の開析 度,移動体末端部における河川流路との関係などに 基づいて地すべり地形の新旧を区分し,テフロクロ ノロジーや放射性炭素年代測定法と組み合わせて, 地すべり地形形成過程を推定している.今回調査し た文献の中では,地すべり地形の開析度による地形 学的年代推定(新旧判別)を試みた唯一の事例であ る.山岸ら(2015)は北海道南部の褶曲構造をもつ 新第三紀堆積岩地域を対象に,地すべり移動体の移 動方向と地層の走向傾斜分布を比較することで,地 すべり地形の分布と地層の面構造との対応関係を分 析している.

以上により,防災科研・地すべり地形分布図の利 活用方法としては,地すべり地形の位置と斜面範囲 の把握が大半であり,輪郭構造の新鮮度・開析度や 隣接する地形面との切断・被覆関係のような地すべ り地形の新旧を示す情報はほとんど使われていない 実態が浮き彫りとなった.

# 2.3 相対年代推定のための今後の課題

防災科学技術研究所が日本全国の地すべり地形 分布図幅集を印刷刊行し,GIS データを公開したこ とで,地すべり地形分布図そのものは広く普及する ようになった.しかし,地すべり地形の判読技術や 読図解釈の方法が広く定着した訳ではない.地すべ りに関係する地表面の変形構造を判読し,それぞれ の大きさや形状,位置関係などをもとに個々の地す べり地形の輪郭(地すべり変動域の範囲)と変動履 歴の特徴を解釈していく作業は,依然として熟練技 術者の経験知によるところが大きく,高精細測量デ ータが得られるようになった現在でも定量的な尺度 で表すのが難しいものが多い.結果として,地すべ り地形の位置と斜面範囲という理解しやすい情報の 利活用が先行し,新旧を示す情報が認知されない状 況が続いてきたと考えられる.

様々な用途で防災科研・地すべり地形分布図の利 活用が進んでいることは一面では望ましいが、判読 者が明確に区分していたはずの地形的特徴が利活用 の段階で欠落してしまうという問題は十分に認識さ れるべきだ.特に地すべり災害のハザードリスク評 価において、地すべりの活動性(安定性)に関わる 新旧の違いは重要である. さらに言えば、地すべり 移動体の輪郭構造の区分には「斜面体の移動の初期 状態・基岩から分離していないとしても不安定域・ 移動域と推定される範囲」や「斜面移動体かどうか 判定できない山体・小丘」が含まれている. 前者は 初期的な斜面変動の領域(重力変形斜面)と考えら れるものであり (大八木 (1992, 2004) や横山 (2004) が示した地すべり発達過程の「漸移期」にあたる), 後者は地すべり地形としての確実度が低い「推定地 すべり地形」とでも呼ぶべきものである. これらは 確実度の高い地すべり地形と同列には扱えないはず だが、既往研究では区別せずに使われていることが 多い. 重力変形斜面や「推定地すべり地形」に区分 された斜面の混同や誤用を避けるためにも、輪郭構 造などの区分の考え方を改めて周知する必要がある のではないだろうか.利用者の判断に委ねるべきと ころなのかも知れないが、ここでは、敢えてこの問 題を指摘しておきたい.

他方で,地すべり地形分布図の情報がどのような かたちで提供されているかということも利活用方法 に影響している可能性がある.現在公開されている GIS データは地すべりの滑落崖および移動体の輪郭 構造や内部構造を表すポリラインデータ,地すべり 移動体の領域を表すポリゴンデータ,地すべりの移 動方向および移動様式を表すポイントデータで構成 されており,輪郭構造の新鮮度・開析度などの区分 がそれぞれのフィーチャ(1つのデータを構成する 個々の地物のこと)に属性情報として付与されてい る.しかし,個々の地すべり地形の情報が紐付けさ れていないため,近接する地すべり地形の間で新鮮 度・開析度などにどのような違いがあるのかを比較 するのが難しい.こうしたデータの頒布形式がボト ルネックとなって,新旧を示す情報の利活用が進ま なかった側面もあるのではないだろうか.

今後は、GIS データの利活用事例がさらに増えて いくことが予想される.その際に、各フィーチャに 個体識別番号(ID)が付与されて個々の地すべり地 形の情報が紐付けられていれば、地すべり地形の新 旧判別が容易になり、地すべり地形が分布する斜面 範囲の中でも特に最近の変動履歴がある領域を抽出 できるようになる.また、地すべり地形単位での地 形量の比較が可能になることで、より客観的な尺度 での新旧判別に道筋が立つことも期待できる.

# 3. 地すべり地形形成の絶対年代を推定するための 地形発達モデルの検討

#### 3.1 地すべり地形の開析度と形成年代の関係

地すべり地形形成の絶対年代がわかれば,地すべ り地形として認識されるような大規模な斜面変動の 発生頻度を定量的に見積もれるようになるため,ハ ザードリスク評価の観点からも有用である.しかし, 日本全国に 40 万箇所以上あるとされる地すべり地 形(大八木ら,2015)のひとつひとつに対して年代 測定を行うのは現実的ではない.

柳田・長谷川(1993)は、地すべり移動体(柳田・ 長谷川は「地すべり土塊」としているが、前節まで の表記との統一をはかるため、ここでは「地すべり 移動体」の語を用いる)に対する開析谷の面積比で ある開析度(D,%)と地すべり地形の形成年代(T, year)との間に正の相関があり、両者の関係が次式 の累乗関数でよく表されることを明らかにした.

#### $D = 0.02 T^{0.60}$ .....(1)

式(1)の関係からは、開析度を説明変数とする推定 式を導くことができ、地すべり地形の形成年代を地 形判読のみから簡便に推定できる.

ln(T) = 1.67 ln(D) + 6.52 .....(2) 式(2)は限られた数のサンプルへの近似で得られ た帰納的推論モデルではあるが,絶対年代が得られ にくい地すべり地形に対して,広域にわたる形成年 代推定を行う上では非常に有用な手法である.

# 3.2 開析度の時間的変化のモデリング

一方で、開析度による年代推定手法の精度や確か らしさを高めていくためには、サンプル数を増やし てフィッティングパラメータを見直す帰納的アプロ ーチを繰り返すだけでなく、開析度の時間的変化と してより妥当なモデルを構築しようとする、演繹的 アプローチも必要になる.

演繹的アプローチとしては,斜面(重力)プロセ スや河川プロセスの物理学的な規則を用いて開析度 の時間的変化が説明可能かという点と,帰納的推論 によって導いた数理モデルが開析度の特徴を矛盾な く表しているかという点の,2 つの観点からの議論 が必要である.物理学的な規則の適用可能性につい ては別稿に譲るとして,ここでは開析度を累乗関数 モデルで近似することの問題点を指摘し,別の数理 モデルによる近似を試みることで,開析度の時間的 変化の特徴を考察してみたい.

開析度が,地すべり移動体内部に形成された開析 谷の面積を地すべり移動体の面積で除した百分率で あることを考えると,その上限値である100を超え て増加する累乗関数は現実に則したモデルとは言え ない.また,地形判読をする際のことを考えると, 開析谷が発達して地すべり移動体の大部分が消失し た段階にある地すべり地形を認識し,その輪郭を的 確に判読できるのかという問題もある.

これらの点を踏まえると,式(1),(2)による推定は 開析度が上限値に近づくほど信頼性が低くなる.地 形判読の確実度が高い開析度の小さな区間の推定に のみ適用すればよいという考え方もあるかも知れな いが,どのようなモデルを選択するか,上限値付近 のデータを含めるか否か,によって,近似の結果が 全体に変わってくるため,推定精度に及ぼす影響も 無視できない.

開析度の上限値を超えてしまう問題に対する最 も単純な解決方法は、上限値に収束させることがで きるモデルを選択することである.そうした数理モ デルの代表的なもののひとつにロジスティック関数 がある.この関数の一般形を用いると,地すべり形 成からの経過時間 *t* における開析度 D(*t*)は次式のよ うに表される.

$$D(t) = \frac{K}{1 + (K/D_0 - 1) \cdot \exp(-rt)}$$
.....(3)

式(3)において, Kは開析度の上限値,  $D_0$ は開析度 の初期値 (t=0 のときの開析度), rは開析度の増加 率を表すパラメータである.開析度の時間的変化を 表しているために相対的ではあるが,増加率rは地 すべり移動体の開析(侵食)速度,あるいは地すべ り移動体における開析谷の発達速度を反映すると考 えられる.

柳田・長谷川(1993)が収集した 46 事例を累乗 関数の式(1)で近似した結果を図 3a に、ロジスティ ック関数の式(3)で近似した結果を図 3b にそれぞれ 示す.式(3)には経過時間 tのほかに3つのパラメー タがあるが、ここではまず、開析度の上限値Kと初 期値 D<sub>0</sub>を一定にして, 増加率 r のみを変えた近似を 行った.図 3b に示した 3 つの曲線は,46 事例のデ ータをおおむね包絡するように, r の値をそれぞれ 2.7×10<sup>-4</sup>, 0.9×10<sup>-4</sup>, 1.5×10<sup>-5</sup>に設定したもので, 増加率に3~18倍の開きがある.これらの曲線と46 事例のデータの分布を比較すると、46事例の中には rが大きいときの近似曲線によく一致するもの, rが 小さいときの近似曲線によく一致するもの、さらに その中間に位置するものがある. こうした分布の特 徴をみると,開析度の時間的変化は必ずしも一様で はなく、むしろ開析速度に関わる環境条件の違いを 反映して、場所や時代によって大きく異なるのでは ないかと考えられる.

仮に, r が大きいときの近似曲線によく一致する ものを開析速度が速い集団とみなすと,この集団は 地すべり地形形成から1万年が経過した段階で開析 度が10%を超えており,このまま近似曲線に従って 開析度が増加するようであれば,3.6万年程度で地 すべり移動体が消失することになる.これに対して, 開析速度が遅い集団は,地すべり地形形成から10~ 25万年が経過した段階で開析度が9~33%の範囲に あり,開析度の増加がこのまま近似曲線に従うよう であれば,地すべり移動体が消失するまでに66万年 程度かかると予測される.

もちろんこのモデルは、開析度の増加が収束する よう便宜的にロジスティック関数を当てはめたもの



- 図3 地すべり移動体の開析度と地すべり地形の形成 年代との関係. (a) 累乗関数による全46事例の近 似(式(1), R<sup>2</sup>=0.81), (b) ロジスティック関数に よる近似(式(3), 各パラメータ値はK=100, Do =0.01, r=2.7×10<sup>-4</sup>, 0.9×10<sup>-4</sup>, 1.5×10<sup>-5</sup>). 柳田・ 長谷川(1993)の表-1に示された開析度と年代 値をもとに作図.
- Fig. 3 Relationship between degree of dissection of landslide body and landslide formation year (age).
  (a) Approximation of the all 46 cases by exponential function (Equation (1), R<sup>2</sup>=0.81), (b) Approximation by logistic function (Equation (3), parameter setting: *K*=100, D<sub>0</sub>=0.01, *r*=2.7×10<sup>-4</sup>, 0.9×10<sup>-4</sup>, 1.5×10<sup>-5</sup>). Based on the values shown in Table 1 of Yanagida and Hasegawa (1993).

であって、現実に則さない部分もある.例えば、式(3)を用いて開析度 D(t)を計算できるようにするためには、開析度の初期値  $D_0>0$  とする必要があるが、これは地すべり地形形成後すぐに地すべり移動体上に開析谷が形成されることを仮定している.しかし現実には、地すべり移動体上に開析谷が形成されるまでに時間を要する場合があるとも考えられる.

このように課題は残るものの、累乗関数の代わり

にロジスティック関数を当てはめることで,開析度 という上限値をもった年代指標を適切に扱えるよう になる.また,開析度の増加率rを変えた近似を行 うことで,開析速度の違いを考慮に入れた絶対年代 の推定が可能という利点がある.

# 3.3 絶対年代推定のための今後の課題

柳田・長谷川(1993)が提案した地すべり地形の 開析度と形成年代との関係は地すべり地形の絶対年 代推定の鍵となる重要なアイデアである.柳田・長 谷川は収集した 46 事例の全体的な傾向を表すため に, 開析度が経過時間とともに累乗関数的に増加す るというモデルを当てはめた.しかし、前節におい て、ロジスティック関数を用いて46事例のデータを おおむね包絡するように増加率のパラメータを調整 した場合、上側と下側の増加率に18倍の開きが生じ たことからも,開析速度が互いに大きく異なる事例 を含んでいるのではないかと考えられる.46事例の 地すべりは北海道から九州までの広い範囲に分布し ており、地形・地質条件なども多様である.地すべ り移動体の面積も 2.3×10-2~5.3×10°km2 と 2 桁以 上の開きがある.これらの場所や規模の違いはいず れも開析(侵食)作用に関わるものであり,開析度 の時間的変化に顕著な差をもたらす可能性がある. また、更新世から完新世にかけての環境変化によっ て開析速度が大きく変化しており、そのことが開析 度の差に表れている可能性も考えられる. こうした 観点で46事例の開析度を比較し直すことで、式(3) のような数理モデルにおけるパラメータの大小を規 定する環境条件が明らかになり,より妥当な年代推 定が可能になっていくものと期待される.

一方で、この開析度を実際に測定して年代推定を 試みた研究はごく少ない(ただし、地すべりが発生 の何年後まで地形として残存するかを推定するため に、地すべり地形の残存期間と規模との関係を調べ た研究があり(例えば、Guthrie and Evans, 2007; Bell et al., 2012)、これらの研究結果は柳田・長谷川が示 した地すべり移動体が開析されて消失するまでの期 間とも対比できる可能性がある).前章で取り上げた ように、従来は、開析谷の発達により地すべり滑落 崖や移動体の輪郭がどれほど不明瞭、不連続になっ ているかを定性的に区分しただけのものが多い.防 災科研・地すべり地形分布図における輪郭構造の新 鮮度・開析度もそのような定性的区分のひとつであ り、この区分から柳田・長谷川の開析度がどの程度 になるかを判定することは難しい.そのため、本章 で議論したような絶対年代推定手法の検討を進めた としても、既存の地すべり地形分布図や地形学図に そのまま適用できるわけではなく、開析谷の面積を 測定するために再判読が必要になる.

したがって今後は、開析度の時間的変化を予測す る数理モデルの構築と並行して、柳田・長谷川が提 案した開析度と従来行われてきた地すべり地形の新 鮮度・開析度の定性的区分がどのようなかたちで対 応しているかを詳しく分析していく必要がある.も ちろん、既往研究で測定された年代情報の収集や新 規の年代測定を進めて、年代推定手法の精度や確か らしさを検証するための事例を増やしていくことも 重要である.

# 謝辞

本研究を進めるにあたり,檜垣大助氏には地すべ り地形の形成年代に関わる文献資料を提供していた だきました.ここに記して御礼申し上げます.

# 参考文献

- Aleotti, P. and Chowdhury, R. (1999) : Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 58, No. 1, 21–44.
- 2) 荒井融・河野啓幸・上杉公一・檀原徹 (2013):
   秋田県南東部山葵沢地域における地すべり分布
   図の年代学的検討.応用地質, Vol. 54, No. 3, 114–121.
- Bell, R., Petschko, H., Röhrs, M. and Dix, A. (2012) : Assessment of landslide age, landslide persistence and human impact using airborne laser scanning digital terrain models. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, Vol. 94, No. 1, 135–156.
- Corominas, J. and Moya, J. (2008) : A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes. Engineering Geology, Vol. 102, No. 3–4, 193–213.
- Corominas, J. and Moya, J. (2010) : Contribution of dendrochronology to the determination of magnitude–frequency relationships for landslides.

Geomorphology, Vol. 124, No. 3-4, 137-149.

- Cruden, D.M. and Varnes, D.J. (1996) : Landslide types and processes. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds), Landslides: Investigation and Mitigation. National Academy Press, Washington D.C., 36–75.
- 1 土志田正二 (2015):地すべり地形分布と地質との関係.日本地すべり学会誌, Vol. 52, No. 6, 271-281.
- Fuchs, M. and Lang, A. (2009) : Luminescence dating of hillslope deposits—A review. Geomorphology, Vol. 109, No. 1–2, 17–26.
- Glade, T. (2001) : Landslide hazard assessment and historical landslide data—An inseparable couple? In: Glade, T., Frances, F. and Albini, P. (eds), The Use of Historical Data in Natural Hazard Assessments. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 153–168.
- Glade, T. and Crozier, M.J. (2005) : A review of scale dependency in landslide hazard and risk analysis. In: Glade, T., Anderson, M.G. and Crozier, M.J. (eds), Landslide Hazard and Risk. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 75–138.
- Guthrie, R.H. and Evans, S.G. (2007) : Work, persistence, and formative events: the geomorphic impact of landslides. Geomorphology, Vol. 88, No. 3–4, 266–275.
- 12) Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P. (1999) : Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. Geomorphology, Vol. 31, No. 1–4, 181–216.
- 13) Guzzetti, F., Galli, M., Reichenbach, P., Ardizzone, F. and Cardinali, M. (2006) : Landslide hazard assessment in the Collazzone area, Umbria, Central Italy. Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 6, No. 1, 115–131.
- 14) Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci,
  F., Santangelo, M. and Chang, K.T. (2012) : Landslide inventory maps: New tools for an old problem. Earth-Science Reviews, Vol. 112, No. 1–2, 42–66.
- 15) 羽田野誠一・岡部文武・渡辺征子(1974): 「1/50,000 北松地域地すべり地形分類図」の作成.

防災科学技術総合研究報告, No. 32, 3-6.

- 16) ハスバートル・丸山清輝・野呂智之・中村明 (2012):ロジスティック回帰分析を用いた既存 地すべり地形の地震時の危険度評価.日本地す べり学会誌, Vol. 49, No. 1, 12–21.
- Hutchinson, J.N. (1995) : Keynote paper: landslide hazard assessment. In: Bell, D.H. (ed), Proceeding 6th International Symposium on Landslides. Balkema, Rotterdam, 1805–1841.
- 18) 井口隆(1998): 澄川地すべりの発生前の地す べり地形と地すべり変動.地すべり, Vol. 35, No. 2, 11-19.
- 19)河野勝宣・野口竜也・西村強(2020): AHP 法 および GIS を用いた中国地方における地すべり ハザードマッピングの試み.日本地すべり学会 誌, Vol. 57, No. 1, 3–11.
- Lang, A., Moya, J., Corominas, J., Schrott, L. and Dikau, R. (1999) : Classic and new dating methods for assessing the temporal occurrence of mass movements. Geomorphology, Vol. 30, No. 1–2, 33–52.
- 21) 森脇寛(2011):地すべり地形斜面の地震時危険 度評価と崩壊予測システムの構築.日本地すべ り学会誌, Vol. 48, No. 6, 305–317.
- 大八木規夫(1992):土砂災害.萩原幸男(編) 「災害の事典」,朝倉書店,179-252.
- 23) 大八木規夫(2004): I.3章 地すべり構造. 社 団法人日本地すべり学会 地すべりに関する地 形地質用語編集委員会(編),「地すべり-地形 地質的認識と用語-」,社団法人日本地すべり学 会, 29-45.
- 24) 大八木規夫・内山庄一郎・小倉理(2015):地 すべり地形分布図第60集「関東中央部」地す べり地形:地すべり地形分布図の作成方法と活 用の手引き.防災科学技術研究所研究資料,第 394号,14 pp.
- 25) 大八木規夫(2016):地すべり地形分布図-その展望と課題-.飯田智之・山田隆二・酒井直樹(編)「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」,防災科学技術研究所研究資料,第405号,201-204.
- 26) 大八木規夫(2018):第1章地すべり地形とその構造.「〔増補版〕地すべり地形の判読法-空

中写真をどう読み解くか-」,近未来社,9-22.

- 27) Pánek, T., Hradecký, J., Smolková, V., Šilhán, K., Minár, J. and Zernitskaya, V. (2010) : The largest prehistoric landslide in northwestern Slovakia: Chronological constraints of the Kykula long-runout landslide and related dammed lakes. Geomorphology, Vol. 120, No. 3–4, 233–247.
- 28)清水文健・大八木規夫・井口隆(1982):地す べり地形分布図第1集「新庄・酒田」.国立防災 科学技術センター研究資料,No.69.
- 29) 清水文健(1983):空中写真判読による地すべり地形の認定と表現方法-新庄地域を例として
  -.地すべり, Vol. 19, No. 3, 10–18.
- 30) 鈴木隆介 (2000):15.5 地すべり地形.「建設技 術者のための地形図読図入門 第3巻 段丘・丘 陵・山地」、古今書院、811-848.
- 31)八木浩司・檜垣大助・(社)日本地すべり学会平成 14 年度第三系分布域の地すべり危険箇所調査手 法に関する検討委員会(2009):空中写真判読と AHP 法を用いた地すべり地再活動危険度評価手 法の開発と阿賀野川中流域への適用.日本地す べり学会誌, Vol. 45, No. 5, 358–366.
- 32) Yamada, R., Kariya, Y., Kimura, T., Sano, M., Li, Z. and Nakatsuka, T. (2018) : Age determination on a catastrophic rock avalanche using tree-ring oxygen isotope ratios—The scar of a historical gigantic earthquake in the Southern Alps, central Japan. Quaternary Geochronology, Vol. 44, 47–54.
- 山岸宏光・土志田正二・畑本雅彦(2015):最近の豪雨崩壊および既往の地すべりにおける地形・地質要因の GIS 解析.日本地すべり学会誌, Vol. 52, No. 6, 282–292.
- 34)柳田誠・長谷川修一(1993):地すべり地形の 開析度と形成年代との関係.社団法人土質工学 会四国支部(編),地すべり機構と対策に関する シンポジウム論文集,9-16.
- 35)横山俊治(2004): I.4章 進化系列と進化階程. 社団法人日本地すべり学会 地すべりに関する 地形地質用語編集委員会(編),「地すべり-地 形地質的認識と用語-」,社団法人日本地すべり 学会,46-52.
- 36) Van Den Eeckhaut, M., Muys, B., Van Loy, K., Poesen, J. and Beeckman, H. (2009) : Evidence for

repeated reactivation of old landslides under forest. Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 34, No. 3, 352–365.

37) Varnes, D.J. and IAEG Commission on Landslides and other Mass-Movements (1984) : Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, The UNESCO Press, Paris, 63 pp.

#### 要 旨

日本国内では、防災科研・地すべり地形分布図をはじめ、多くの地すべり地形分布図が作成され てきた.これに伴い、地すべり地形の分布に基づいた地すべり災害の危険度評価も様々な手法が提 案されるようになったが、地すべり変動の頻度を考慮して地すべり災害のハザードリスク評価を試 みた研究例は見当たらない.その要因として、頻度の見積りに必要な地すべり地形の形成年代や変 動履歴に関する情報が得られにくいことが考えられる.本稿では、国内における地すべり地形の相 対年代(新旧)、絶対年代の推定に関する研究動向を整理し、今後の課題を考察した.そして、防 災科研・地すべり地形分布図にある輪郭構造の新鮮度・開析度の区分をもとに地すべり地形の新旧 判別を進めること、柳田・長谷川(1993)の先行研究をもとに地すべり移動体における開析谷の発 達過程を明らかにすることの重要性を指摘した.

キーワード:輪郭構造,開析,地すべり地形の形成年代,地形学的年代推定,地すべり活動性

# 海底地すべりによる津波発生検証 -1771年八重山地震津波の再現-

# 大角恒雄\*

# Verifications of the Effects of Submarine Landslide Duration on Tsunamis — Related to the Yaeyama earthquake in 1771 with tsunami propagation analysis—

Tsuneo OHSUMI\*

\*Multi-Hazard Risk Assessment Research Division, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan t\_ohsumi@bosai.go.jp / tsuneo.ohsumi@gmail.com

#### Abstract

In assuming the tsunami caused by the 1771 Yaeyama earthquake was associated with a submarine landslide, the present study reconstructed the shape of the shelf area around Yaeyama Islands and calculated the seabed deformation before the submarine landslide occurred. The maximum tsunami heights in the coastal area were calculated by applying the change directly in tsunami propagation analysis. We analyzed the tsunami propagation caused by landslides using duration of landslides and found that the influence of duration affects coastal maximum tsunami heights, significantly.

Key words: Yaeyama earthquake, Submarine landslides, Shimajiri-mudstone, Newmark sliding block method

# 1. 背景

1771年(明和8年)に地震に伴う津波が八重山・ 宮古諸島で発生し,犠牲者は1万人を超えた.この 地震は幾つかの再現性の検証がなされ,今村ら<sup>1)</sup>は, 1771年八重山地震津波の再現として,琉球海溝の宮 古・八重山沿岸域に関して,*Mw*8.8の最大クラスの マグニチュードを想定している.一方,この津波が, 海底地すべりによる津波として,岡村ら<sup>2)</sup>は,波源 モデルを海溝沿いの地形図と反射断面を検討し,付 加体が大規模に崩壊していることを見いだし,地す べりが津波波源になりうることを示している.また, 平石ら<sup>3)</sup>は,円弧すべり法を利用した地すべり津波 波源を想定し,海底地すべりの継続時間が不明であ るとして,30秒から90秒に変化させて,数値計算 を実施している.この継続時間の影響が沿岸の最大 水位に大きく影響することに着目し,定量的な算定 を目的とした.

本研究は、八重山地震津波を日本周辺海域で実施 した情報を基に、再整理した.その調査結果から海 底地質構造を適用し、八重山地点における海底島棚 の形状を復元することで、海底地すべりが発生する 前の海底地質形状を想定した.その変化を直接、津 波伝搬に適用して、沿岸の最大水位を推定した.そ の際、これまで解析上の検討が十分なされていな かった海底地すべりの継続時間を、ニューマーク法 により算定した.このニューマーク法は、斜面の残

\*国立研究開発法人 防災科学技術研究所 マルチハザードリスク研究部門

留変形量の定量的な予測を,斜面の変形量予測手法 として,多くの設計基準で斜面の地震時安定計算と して動的荷重を作用させニューマーク法により算定 することが基本とされており,特定の応力状態に基 づき,当該手法により地震時安定性解析を実施した.

海底島棚の形状の復元は,平成 25 年度に開始さ れた,文部科学省「海域における断層情報総合評価 プロジェクト」(以下,「文科省プロジェクト」と称 す)の成果を活用した.本「文科省プロジェクト」 は,日本海周辺海域の地震と津波のハザード評価に 資することを目的に,断層情報が不足している海域 について,これまでに様々な機関が日本海周辺海域 で実施してきた調査から得られた反射法探査データ などを収集し,最新のデータ処理技術を統一的に適 用した再解析を行い,統一的な基準で断層情報を整 備している.

本プロジェクトは国立研究開発法人海洋開発機 構 (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology: JAMSTEC)が実施する複数の機関で取得 されている海底地下構造データを再解析し,有識者 による一定の解釈を行う成果を用い,南西諸島南部 地域の沿岸域の断層情報を整理した.

また,強度物性は,対象海域の島弧は島尻層群の 砂岩泥岩が斜面に分布している.広域海底地質図で は斜面に古第三紀から古生界の古い地質が露出して いるとなっている.断面の基盤がこれに相当すると 考えられるので,中村真也ら<sup>4)</sup>の陸上での強度試験 結果を用いた.

# 2. 非地震性津波

1771年八重山地震津波に関しては,松本・木村<sup>15)</sup> による八重山諸島周辺の精密地形調査で,海底地す べり跡が確認され,地震規模に基づく断層変位のみ では津波痕跡高を説明することは困難であるとして いる.

平石ら<sup>3)</sup>では, 土砂移動を含む地すべりで地震を トリガーとして発生した土砂移動として, 円弧すべ り法を利用した地すべり津波波源による明和八重山 地震を考慮し, 地震断層による津波波源に加え, 斜 面の安定計算に適用される円弧すべり法を利用した 海底地すべりモデルを導入している.

#### 2.1 津波の発生源の分類

地震時の断層運動による海底地殻変動による海

面変動であるが、それ以外の要因による津波として、 以下の非地震性津波が分類される.代表的な事例を 表1に示す.このうち、当該八重山地震波は地震活 動に伴う、土砂移動と位置付けられる.

# 2.2 火山活動に伴う海面変動

火山活動であり地震をトリガーとして発生した 山体崩壊を含むもので,海底火山噴火は,日本周辺 では,1779-1881 年安永桜島噴火<sup>5)</sup>.国外では1881-1883 Krakatoa, Indonacian<sup>7)</sup>.陸上火山噴火は,1640 年北海道駒ヶ岳<sup>8)</sup>,1741 年渡島大島<sup>9)</sup>,1791-1792 年 島原半島眉山崩壊<sup>10)</sup> に代表的される.

# 2.3 地すべりなどの土砂移動による海面変動

土砂移動を含む地すべりで地震をトリガーとして 発生した土砂移動を含むもので,国内では,2009年 駿河湾地震<sup>11)</sup>に代表的され,海外では,1958 Lituya Bay, Alaska<sup>12),13)</sup>に代表的される.

# 2.4 隕石の落下による海面変動

国内では隕石の降下による津波の発生は知られていないが、恐竜が絶滅した白亜紀末の大量絶滅 (Cretaceous-Tertiary: K-T境界<sup>14)</sup>)を引き起こした もっとも有力な原因と考えられている.

# 3. 海底地すべりの分類

大八木<sup>16)</sup>は,海底地すべりとして,1929年 New Foundland 南方の Grand Banks 地震 (*Ms* 7.2)によって 発生した海底ケーブル切断を海底地すべりから発生 する混濁流 (turbidity current) に起因するものと Heezen and Ewing<sup>17)</sup>を引用して紹介している.また, 海底地すべりを以下のように巨視的に分類し,1)堆 積物密度流:高密度の移動体の流動する,2) 混濁流: 移動体が粒子として渦動する,3)液化堆積物流:粒 子間の流れ,4)粒子流:粒子間衝突,5)土石流:基 質の摩擦力が重要となるものとし,海底地すべりの 主となるものは混濁流としている.

宜保ら<sup>18)</sup>は,沖縄,島尻層群岩盤斜面の崩壊形態 を以下のように,1)強風化泥岩崩壊:泥岩斜面表層 が風化状態,2)破砕泥岩崩壊:斜面が破砕帯で脆弱 化している状態,3)堆積岩崩壊:崩壊土砂が正規圧 密状態となっている状態,4)地質弱層すべり面崩 壊:風化により地質弱面が流れ盤構造となっている 状態,と分類している.この分類は陸上斜面を対象 としたものであり,海底下の風化が進行していない 状況で,強風化泥岩及び破砕泥岩の崩壊を除外する と、堆積岩の崩壊は、正規圧密状態の強度低下が想 定でき、地質弱層をすべり面が崩壊に寄与したもの として、すべり面を地質弱面が存在したと仮定して、 本研究では、後述のすべり面を設定した.

土塊移動形態 津波事例 火山活動 海底火山 1779-1881 安永桜島噴火 1881-1883 Krakatoa 火山 1640 北海道駒ヶ岳 1741 渡島大島 1791-1792島原半島眉山崩壞 地震活動 土砂移動 1771 八重山地震 2009 駿河湾地震 1958 Lituya Bay, Alaska 隕石落下 岩塊降下 ca.65Ma Chicxulub crater

表1 非地震性津波の分類

#### 4. 海底地形

#### 4.1 海面変動海底地すべり位置

平成 27 年度文科省プロジェクト(以下 H27 年度 プロジェクト)<sup>19)</sup>では,海底地形データを赤色立体 地図の手法で表示したものを南西諸島南部海域に対 して構築した.

この手法は斜度をグレースケールで表し, 崖や谷 などの地形の起伏を明暗で識別できるようにしたも のである.この手法では平面的に見ても地形が容易 に判読できる.別の手法に陰影図があるが, 方向依 存性が高く, 特定の地形だけを強調し, または除外 視できるため斜度によって地形を表す赤色立体地図 は地形判読のより適当な手法であると考える.これ により地震探査断面で解釈した断層の微小な変位も 平面図上で認識でき, 断層が何処まで延びているか の空間的な広がりが特定可能となる.

この赤色立体の海底地形データにおいて,八重山 周辺の海底地盤を選定した.当該地点は,前弧海盆 の島棚斜面が存在し,地すべりにより移動した土砂 が堆積し,海底扇状地形を形成している地点を解析 対象と選定した.

研究のモデル化対象とした島棚位置を図1に示す. 図中に示す白実線線内は海底扇状地形の広がりの見 られる海底地すべり発生 A 領域.と黄色破線内は同 じく広がりが連続して見られる海底地すべり発生 B 領域を示す.

#### 4.2 解析断面

上記実線で示した領域内の代表断面を解析断面と する.地すべり位置の海底面形状は現在のものであ るため,地すべり発生後の断面である.安定性評価 は地すべり発生前の海底面形状に対して実施するた め,地すべり発生前の海底面形状を類推する(図 2). 前述の大八木<sup>10</sup>は,海底地すべりを混濁流としてい るが,当該手法の簡素化を考慮し,円弧すべり・複 合すべりの形状とし,崩壊土量と堆積土量が等価と なるように設定した.

#### 4.3 地すべり発生領域

岡村ら<sup>2)</sup>は,最新の知見であるが,詳細な記載は 未発表である.一方,松本・木村<sup>15)</sup>はJAMSTEC調 査船「かいよう」・「よこすか」を用いて,八重山沖 南西諸島海域の広域にわたる精密地形調査に基づき, 明和八重山地震津波の発生メカニズムを以下のよう に考察している.

1) 地すべりにより移動した土砂が堆積し, 海底扇状 地形を形成している.

2) 底泥採取から, 海底扇状地形は複数回の地すべり により形成されている.

3) 最も新しい陥没や地すべりについては,底泥採取 地点が明和八重山地震津波の震央と一致しているこ とにより,津波に関連している可能性が極めて大き い.

 4) 海底地すべりに関しては、八重山沖を震源とする 大地震が過去に発生している記録があることから、 地すべり地形は地震に関連して形成されたと推定し ている。

以上の調査結果をもとに、本研究では、上記に示 した海底面形状に対応する断面位置(図1)から、海 底扇状地形の広がりから東西方向の地すべり発生領 域を仮定した.解析断面は「6.解析条件」に示す.

# 5. 荷重条件

島棚斜面位置における最大水位を津波伝播解析 から算定した.

外力としては,地震動と津波による波力が考えられるが,大日本地震史料<sup>20)</sup>によれば,石垣島の推定 震度4程度で,地震動による被害軽微なものであっ



図1 島棚位置図(JAMSTEC提供)白実線線内:海底地すべり発生A領域,黄色破線内:海底地すべり発生B領域



海底水位変動量の時刻歴の算定一は図1のA領 域の中央で代表した. 地すべり発生前・後の海底地形の断面形状の推定

は,海底地すべりを円弧すべり・複合すべりの 形状とし,崩壊土量(褐色)と推定土量(青色) が等価となるように設定した.

図 2 八重山島棚地点の海底地形

たとされている. H27 年度プロジェクト<sup>19)</sup> において も,石垣島の推定計測震度は IV 程度である.

また,地震動の継続時間は津波の継続時間に比べ限 定的であるので,津波による波力とした.

以下の2ケースから波源断層モデルを設定し,島棚 斜面位置における最大水位の時刻歴を算定し.水平 成分の流速を加速度に変換して,動的荷重の外力と した.

計算領域については,外洋から沿岸へ3対1の割 合で計算領域を細分化した.各計算領域の格子サイ ズは外洋から順に 1,350 m,450 m:(八重山諸島), 150 m:(石垣島・西表島付近),50 m:(波照間島付 近,西表島付近)である(図3).

# 5.1 波源断層

Casel として, 平成 23 年度 沖縄県津波被害想定 調査業務委託報告書(平成 24 年 3 月)(以下 H23 年 度沖縄県被害想定)<sup>21)</sup>にて使用した波源断層モデル のうち, 宮古・八重山諸島沿岸域で 1771 年八重山地 
 震津波の痕跡比較より再現性が得られている P1 断

 層,想定断層(Mw8.8)を設定した(表 2,図 4).
 Case2 として,H27 年度プロジェクト<sup>19)</sup>に示された

 最も近傍の断層(case01.NI-trench-S)を波源断層モデ

 ルとして選定した.また,H23 年度沖縄県被害想定
 <sup>21)</sup>を参考に Mw が 8.1 になるようにすべり量 D を

 調整して使用した(表 3,図 5).



| 緯度    | 経度     | 上端<br>深度<br>(km) | 走<br>向<br>(°) | 傾<br>斜<br>(°) | すべり角 (^) | 長さ<br>(km) | 幅<br>(km) | 平均<br>すべ<br>り量<br>(m) | Mw  |
|-------|--------|------------------|---------------|---------------|----------|------------|-----------|-----------------------|-----|
| 23.24 | 125.99 | 2.0              | 265           | 12            | 90       | 300        | 70        | 20                    | 8.8 |

表 2 波源断層パラメータ(case1: Mw8.8地震)<sup>21)</sup>

表 3 波源断層パラメータ(case2: Mw8.1地震)<sup>19)</sup>

| 緯度    | 経度     | 上端深<br>度<br>(km) | 走向<br>(°) | 傾斜<br>(°) | すべ<br>り角<br>(°) | 長さ<br>(km) | 幅<br>(km) | 平均すべり<br>量<br>(m) | Mw  |
|-------|--------|------------------|-----------|-----------|-----------------|------------|-----------|-------------------|-----|
| 24.26 | 125.41 | 0.0              | 239       | 45        | 90              | 64         | 36        | 22                | 8.1 |

表4 津波予測計算の計算条件

| 支配方程式  | 非線形長波理論                          |  |  |  |
|--------|----------------------------------|--|--|--|
| 数值解法   | Staggered Leap-frog 差分スキーム       |  |  |  |
| 計算領域   | 沖縄本島及び南西諸島の沿岸                    |  |  |  |
| 計算領域格子 | 外洋から 1,350 m, 450 m, 150 m, 50 m |  |  |  |
| 境界条件   | 陸域遡上を考慮,海側は無反射透過境界               |  |  |  |
| 各種施設取扱 | 各種施設は考慮しない                       |  |  |  |
| 計算時間   | 12 時間                            |  |  |  |
| 初期水位   | Okada <sup>22)</sup> で算出,海底地盤変動量 |  |  |  |
| 潮位     | T.P. 0 m                         |  |  |  |
| 打ち切り水深 | 10 <sup>-2</sup> m               |  |  |  |
| 粗度係数   | 0.025                            |  |  |  |

#### 5.2 津波予測計算条件

表4の条件で非線形長波解析を実施した.

# 5.3 海面変動量の時刻歴

島棚斜面位置における海面水位変動量の時刻歴の 算定位置を示す.

Casel の荷重条件は,海面変動量の時刻歴をベー スに設定する. 図6に海面水位の時刻歴を示し,図 7に流速(NS方向),図8に海面水位のフーリエスペ クトルを示す.海面水位変動量の時刻歴データは時 間刻み∆tが5秒であるため,ナイキスト振動数は 0.1Hzであり,図8より,0.1Hz以下の振動数成分が 主成分であることがわかる.卓越振動数は,0.00165 Hz (10.1 min)であった. Case2の荷重条件は,図9 に海面水位の時刻歴を示し,図10に流速 (NS方向), 図12 に海面水位のフーリエスペクトルを示す.卓 越振動数は, Casel に比べ, 長周期側の 0.000781 Hz (21 min) であった.

両ケースともすべり土塊重心付近の深度におけ る南北方向の流速の時刻歴を荷重として用いた.

#### 6. 解析条件

#### 6.1 3次元速度構造データ

H27 年度プロジェクト<sup>19)</sup>では,速度構造モデル は南西諸島南部海域に対して構築した.速度構造モ デルを作成するにあたり,反射法地震探査の処理過 程で得られる重合速度と,海上保安庁が実施した地 殻構造探査の OBS データ解析で得られた速度デー タを使用した.

地質構造を把握するためのホライゾン解釈としては,音響基盤と第三紀の不整合面の解釈を南西諸 島南部海域に対して実施した.3次元速度構造の構



築は、南西諸島全域での海底面、解釈した A-horizon, B-horizon のデータを用い、surface を作成し層構造を 構築した.速度情報とし計(OBS)データ及び坑井 の速度データなどを使用して、基本となる速度キュ ーブを作成している.反射法地震探査データや地殻 構造探査の海底地震を与え、速度構造モデルが構築 されている.速度構造モデルは水平方向1 km グリ ッド、鉛直方向100m間隔の解像度で作成し、この 速度構造モデルを用いて、反射法地震探査データ及 び断層面の深度変換を実施している.断層解釈作業 は、調査実施時期や調査仕様の異なる様々な反射断 面図を用い、時間断面上で解釈を行い、統一的な三 次元速度構造モデルを用いて深度変換し、断層の形 状を確認して、最終的な断層解釈とした.

#### 6.2 変形係数

上記,H27年度プロジェクト<sup>19)</sup>では,速度構造モ デルは南西諸島南部海域に対して構築した.速度構 造モデルを作成するにあたり,反射法地震探査の処 理過程で得られる重合速度と,海上保安庁が実施し たOBSデータ解析で得られた速度データの海底面付 近の海底地盤のせん断波速度として550 m/s とした.

抽出された断層データを基に,既往の資料もふま え,日本海海域,南西諸島海域(南部)について断 層モデルの構築を実施した.特に南西諸島海域につ いての津波予測のための網羅的な断層モデルの設定 した.この検討においては断層パラメータのパラメ ータ・スタディーにより断層モデルの不確実性も評 価した.構築した断層モデルのうち,M7程度以上の 地震規模と推定されるもので,断層モデルに基づく 津波や地震動のシミュレーションを行うことにより 当該地域の津波規模を概略把握した.

# 6.3 強度物性

中村ら<sup>4)</sup>, 陳ら<sup>23)</sup> は, すべり面平均強度定数の合理 的決定について検討するため, せん断試験で得られ たせん断強度の適切な適用による安定解析を実施し ている.対象海域の島弧は島尻層群の砂岩泥岩が斜 面に分布していると認識し, 断面の薄く被覆する層 に相当すると考える.広域海底地質図では斜面に古 第三紀から古生界の古い地質が露出しており, 断面 の基盤がこれに相当すると考える.島尻層群泥岩の 強度について,中村ら (2011)<sup>4)</sup>, 陳ら (2006)<sup>23)</sup> の 試験結果では,島尻層群砂質泥岩の $c=23.2\sim26.7$  $kN/m^2$ ,  $\phi=28.6\sim36.6^\circ$  を得ている.本研究では, こ の室内試験結果をもとに,水深2,000m程度の海底地 すべり地点に対し,岩盤の強度は陸上泥岩の強度の 中間的な数値で強度(島尻層群泥岩 c=25 kN/m<sup>2</sup>,  $\phi$ =30°)を初期値として設定し,沈下が海底面2,400 mまで生じるように強度を $\phi$ =20°まで低減した. 三軸圧縮試験は,スリープ内蔵式3重管コアチューブ で採取した不攪乱資料を用いピーク強度を求め,再 調整正規圧密状態試料にて圧密し,定応力下のリン グせん断試験機にて,崩壊土のピーク強度に対応す る正規圧密強度及び弱面強度の相当する残留強度を 求めている.

# 6.4 解析用物性值

解析用物性値を表5及び表6に整理した.表6は 海水も液体要素としてモデル化するため海水の解析 用物性値を示す.対象海域の島弧は島尻層群泥岩が 斜面に分布しており,断面の薄く被覆する層に相当 する.広域海底地質図では斜面に古第三紀から古生 界の古い地質が露出しているとなっている.断面の 基盤がこれに相当すると考えられ,海底地盤全体と しての挙動に着目していること,また海底地盤全体 から考えると堆積層はごく薄く一様物性とし表層の 堆積層の密度 ρ を 2.5 g/cm<sup>3</sup> とした.

#### 表5 海底地盤の解析用物性値

| 項目                           | 設定<br>値 | 設定根拠      |  |
|------------------------------|---------|-----------|--|
| 密度 p(g/cm3)                  | 2.5     | 島尻層群泥岩表層  |  |
| せん断波速度 Vs                    | 550     | OBS データ解析 |  |
| (m/s)                        | 550     | 最小値       |  |
| ポアソン比 ν                      | 0.45    | 堆積國泥亗動的枷树 |  |
| 減衰 h (%)                     | 2.0     | 堆積層化石動的物性 |  |
| 内部摩擦角 φ(deg)                 | 30      |           |  |
| 粘着力 c (kN/m <sup>2</sup> )   | 25.0    | 甲和りが, 陳りが |  |
| 引張強度 σt (kN/m <sup>2</sup> ) | 0       | 見込まない     |  |

表6 海水の解析用物性値

| 項目               | 設定値   | 設定根拠        |  |  |
|------------------|-------|-------------|--|--|
| 密度 p(g/cm3)      | 1.03  | 海水の密度を設定    |  |  |
| 剛性               | 0.001 | せん断剛性として微   |  |  |
| $(0.001 kN/m^2)$ | 0.001 | 小な値を設定      |  |  |
| ポアソン比 ν          | 0.49  | 0.5 に近い値を設定 |  |  |
| 減衰 h (%)         | 2.0   | 海底地盤と同じ減衰   |  |  |







図 13 外力として作用させる水粒子の加速度

せん断波速度 Vs は, 海底面近くの OBS データ解 析からせん断波速度 Vs (550 m/s~4400 m/s) の最小 値 550 m/s とした. 堆積層泥岩の動的物性として, ポアソン比 v を 0.45, 減衰 h を 2 %とした. 岩盤の 強度は中村ら<sup>3)</sup>, 陳ら<sup>23)</sup>に基づき,陸上泥岩の強度 の中間的な数値で強度(島尻層群泥岩 c=25 kN/m<sup>2</sup>,  $\varphi$ =30°)を初期値として設定した. 引張強度 6t は見 込まないこととして 0 kN/m<sup>2</sup> とした.

#### 7. 地すべり継続時間の算定

平石ら<sup>3)</sup>は、海底地すべりの継続時間が不明であるとして、30秒から90秒に変化させて、数値計算を 実施しているが、本研究では、ニューマーク法<sup>25)</sup>を 適用し、海底地すべり継続時間を算定した。

# 7.1 3次元速度構造データ

ニューマーク法<sup>24)</sup>は、安定計算に用いるパラメ ータに地震波形を追加で設定することで計算できる 簡易ニューマーク法と動的有限要素法にて応答加速 度を算定する詳細ニューマーク法.が設計で用いら れている<sup>25)</sup>.詳細ニューマーク法は円弧すべり面上 のモーメントのつり合いから回転変位量を求める方 法に発展させ、鉄道盛土の耐震性能照査(変形性能 照査)<sup>26)</sup>に用いられている.必要な入力パラメータ が円弧すべりの安定解析法と同じため、実務的な方 法とされている.盛土の破壊形態を円弧と仮定し、 すべり円弧に対して地震波を動的荷重として入力し、 運動方程式を積分して盛土の沈下量を求める.その



図14 海底面形状から類推した地すべり発生前の 海底面形状の解析メッシュ図

時, すべり安全率 1.0 を下回る時刻歴が算定され, 滑動力が小さくなりすべり安全率が 1.0 以上となり 安定した時刻を継続時間とした.

# 7.2 2次元動的有限要素法解析

解析コードは地盤-構造物連成系の動的相互作用 解析プログラム Super-FLUSH/2D Ver.6.1<sup>27)</sup>を用い た.当該解析コードは液体要素のモデル化が可能で, 海水を液体要素とした.本解析で用いる解析コード

「Super-FLUSH/2D」は周波数応答解析で,有限要素 メッシュサイズを振動成分が適切に伝播するように 以下のような式(1)で設定する.この液体要素が斜面 に物体力として作用するように,外力として図7 に 示した Case 1 (NS 方向),図10の Case 2 (NS 方向) の流速波形を加速度波形に変換して「Super-FLUSH/2D」に作用させた(図12, 13).

Vs: せん断波速度, n: 定数 (5以上), Fmax: 解析

$$H \leq Vs / n \cdot F_{max} \tag{1}$$

振動数の上限

両ケースとも 1G を超える荷重であり,地震波に 比べ継続時間も津波による水粒子が斜面に作用する 時刻歴の継続時間が数時間継続することとなる.外 力の海面変動量の時刻歴は時間刻み $\Delta t$  が 5 秒の時 刻歴波形であるため,ナイキスト振動数が 0.1Hz と なる.よって,上記 *Fmax* は 0.1Hz とし,定数 n は 5 とする.一方, Vs は対象とする海底地盤のせん断 波速度は 550 m/s とするため,要素サイズ H は 1,100 m以下となる.メッシュサイズは100mメッシュを 想定しているため、本研究に用いる海面変動量の時 刻歴が持つ振動成分に対しては100mメッシュで対 応可能と判断した.図14に海底面形状から類推し た地すべり発生前の海底面形状の解析メッシュを示 す.断面は図1に示した白実線線内:海底地すべり 発生A領域とした.

7.3 ニューマーク法海底地すべり継続時間の算定7.3.1 すべり安全率

すべり安全率の時刻歴を図15,図16に示す.







# 7.3.2 残留変形量

残留変形量の時刻歴を図 17, 図 18 に示す.残留変 形量は両 Case とも最終的に 2,400 m の残留変形が発 生し,発生時刻: Case 1:45 秒(経過時間 660 秒-705 秒), Case2:276 秒(経過時間 1,356 秒-1,632 秒)の 算定結果から Case1 は 45 秒, Case2 は 280 秒を継続 時間とした.

# 8. 地すべり継続時間の算定

上記算定された斜面崩壊継続時間の異なる2ケー



図18 Case 2: 残留変形量の時刻歴

|             | 地点名         | 津波痕跡高[m] |
|-------------|-------------|----------|
| 平久保         | Hirakubo    | 4.0      |
| 伊士名         | Itona       | 4.0      |
| 吉原          | Yoshihara   | 4.5      |
| 名蔵          | Nagura      | 5.0      |
| 四箇          | Shika       | 10.0     |
| 登野城         | Tonoshiro   | 10.0     |
| 宮良湾         | Miyarawan   | 30,0     |
| 白保崎         | Shirahozaki | 30.0     |
| 伊野田         | Inoda       | 15.0     |
| 岩崎          | Iwasaki     | 30.0     |
| 下地島         | Shimojijima | 10.0     |
| 平良湾         | Hirarawan   | 4.5      |
| 宮国 Miyaguni |             | 18.0     |
|             |             |          |

図19津波痕跡高の代表地点

ス(Case 1:45秒, Case2:280秒)に対し,津波伝播解 析を実施した.両ケースはA領域が破壊したケース を想定し,計算沿岸波高の評価作業を実施した.津 波波源算定では,海底地形変動量は,通常の断層変 状による地形の変化に代わり,斜面崩壊前と崩壊後 の海底地形データを用い,Okada<sup>22)</sup>による海底地盤 変動量に代わり,図14に示した海底面形状から類推 した地すべり発生前の海底面形状の変化を直接地形 の変動量を入力した.また,継続時間をライズタイ ムとして入力した.

斜面崩壊継続時間は、2ケースにて津波伝播計算 を行った.津波痕跡高の代表地点(図19)は、羽鳥 <sup>28)</sup>に示された加藤<sup>29)</sup>及び川奈、中田<sup>30)</sup>等をもとに 整理した痕跡高の石垣島(10地点)と宮古島(3地点) において、津波痕跡高と計算値を比較した.津波痕 跡高と計算値の空間的な適合度を表す指標として、 相田31)による幾何平均*K*及び幾何標準偏差 κ を用 いた定量的な比較をした(表7,図20,21,22,23).

8.1 Case 1: 斜面崩壊継続時間 45 秒

図 20 に水位スナップショットを示す.石垣島東岸 の津波痕跡高 30 m の地点において,岩崎にて最大 沿岸波高 20.86 m,宮良湾にて 19.14 m,白保崎にて 21.02 m を得た. *K*=0.944, κ=1.519 と算定された. なお,津波痕跡高は遡上高で岩崎,白保崎は,海岸 線から 1 km 以上内陸地点である.

#### 8.2 Case 2: 斜面崩壞継続時間 280 秒

図 21 に水位スナップショットを示す. 岩崎にて最 大沿岸波高 5.01 m, 宮良湾にて 6.65 m, 白保崎 8.69 m を得た. *K*=2.217, κ=1.677 と Casel に比べ水位は 少なく算定された.

#### 8.3 Case 2+: 斜面崩壞継続時間 280 秒

図 22 に水位スナップショットを示す. 上記検討 では継続時間の短い Casel ではよい適合度が得られ たが, Casel は Mw8.8 で 1771 年八重山地震はこれ を下回る Mw であると考えられる. たとえば羽鳥<sup>28)</sup> は津波伝播の視点から, M7.4 程度の地震としてい る.

Casel の*Mw*8.1においても海底地すべりが生じる ことと,図1に示した海底扇状地形の広がりが連続 して見られる海底地すべり発生B領域も考えられる ことと,石垣島東岸の痕跡高が30m程度であるこ とと,海底地すべりの痕跡が東側に伸びていること から,A領域とB領域の同時破壊したケース,具体 的には地すべり発生地点の東方向に2倍の領域延長 した Case2+において津波伝播計算を実施した.その 結果,Case2+では,伊野田にて最大沿岸波高15.57m, *K*=1.418,  $\kappa$ =1.655と向上した.さらに,残留変位の 主要な時間履歴とし,1,380秒から1,578秒間の約 200秒の Case2++では,最大沿岸波高20.13m, *K*=1.131,  $\kappa$ =1.559とさらに向上した.

#### 9. まとめ

1771年八重山地震に関する波源断層に基づき,津 波伝播解析を実施した.八重山地点島棚地点におけ る断面において,波力相当を荷重として作用させ, 応力状態に基づき,ニューマーク法により動的安定 性を評価した.得られた海底地すべり崩壊継続時間 の差異による最大水位と津波痕跡を比較して,継続 時間の差異による水位上昇の傾向を把握した. なお,本検討は認識論的不確定要素が多く,以下に 示す幾つかの仮定で検討を進めた(図 24).

| 地点名 |             | 津波痕跡高 | 最大水位 [m] |        |         |          |  |  |
|-----|-------------|-------|----------|--------|---------|----------|--|--|
|     |             | FKKMM | Case 1   | Case 2 | Case 2+ | Case 2++ |  |  |
| 平久保 | Hirakubo    | 4.0   | 6.22     | 3.08   | 4.60    | 5.59     |  |  |
| 伊土名 | Itona       | 4.0   | 7.88     | 3.59   | 5.47    | 5.61     |  |  |
| 吉原  | Yoshihara   | 4.5   | 8.08     | 2.65   | 4.84    | 6.17     |  |  |
| 名蔵  | Nagura      | 5.0   | 3.52     | 2.87   | 4.71    | 5.07     |  |  |
| 四箇  | Shika       | 10.0  | 9.91     | 3.72   | 7.30    | 11.60    |  |  |
| 登野城 | Tonoshiro   | 10.0  | 15.35    | 7.87   | 10.58   | 12.92    |  |  |
| 宮良湾 | Miyarawan   | 30.0  | 19.14    | 6.65   | 13.08   | 17.89    |  |  |
| 白保崎 | Shirahozaki | 30.0  | 21.02    | 8.69   | 11.74   | 15.74    |  |  |
| 伊野田 | Inoda       | 15.0  | 21.45    | 9.81   | 15.57   | 20.13    |  |  |
| 岩崎  | Iwasaki     | 30.0  | 20.86    | 5.01   | 10.76   | 15.30    |  |  |
| 下地島 | Shimojijima | 10.0  | 15.7     | 3.99   | 5.34    | 7.29     |  |  |
| 平良湾 | Hirarawan   | 4.5   | 3.21     | 2.84   | 4.14    | 3.88     |  |  |
| 宮国  | Miyaguni    | 18.0  | 12.99    | 4.76   | 5.02    | 6.61     |  |  |

表7 津波痕跡高と各ケースの沿岸地点最大水位

1) 津波発生源を島棚斜面崩壊と仮定

2) 斜面崩壊は地震の加速度ではなく, 津波の波力と 仮定

 3) 津波波力は今村ら<sup>1)</sup>及び H27 年度プロジェクト
 <sup>19)</sup>の波源断層モデルから非線形長波理論から島棚斜 面位置での海面水位変動量,線流量,速度の時刻歴 データから設定

4) 島棚崩壊は現状の断面形状から 2 次元すべり面 を仮定

5) 崩壊位置に生じた津波による波力と設定

 6) 斜面崩壊は液体要素を考慮した2次動的 FEM 解
 析 (Super-FLUSH)<sup>27)</sup>を適用

7)崩壊継続時間はニューマーク法による地震時残 留変形解析から算定

8) 強度物性は, 島弧は島尻層群の砂岩泥岩が斜面に 分布しているとして, 琉大の陸上の試験結果を初期 値として設定し, 沈下が海底面まで生じるように強 度を低減した結果, 設定したすべり安全率が 1.0 を 下回り, 残留変形量が発生した. 残留変形量は最終 的に海底面の 2,400 m の残留変形が発生した.

9) 海底地すべり痕跡は、A 領域のみの破壊とA 領域とB 領域の同時破壊した2ケースを仮定

10) 崩壊継続時間を 45 秒と 280 秒を仮定

11) 地すべり発生地点の東方向に領域延長し津波伝播計算を実施した結果,最大沿岸波高と津波痕跡との比較 (*K*, κ) が向上した.

島棚斜面堤とみなし,津波波力による荷重の算定 に「防波堤の耐津波設計 ガイドライン 国土交通省 港湾局(平成25年9月)」<sup>32)</sup>に示されている修正谷 本式を海底すべり時に作用する津波波力による荷重 を考えたが,適用範囲の「津波高さが水深の60%以 上」かつ「海底勾配 1/100 程度以下の遠浅」と示さ れており,適用外と判定した.「津波波力による荷重 の算定に防波堤の設計波力算定式についての比較検 討」<sup>33)</sup>に示されている合田式適用を検討したが,動 圧力の最大値に対して5分の1程度の外力であるこ とが判明した.

津波波源算定は,海底地形変動量は,Okada<sup>22)</sup>で はなく,直接地形の変動量を入力することで,津波 痕跡高と各ケースの沿岸地点最大水位の比較を実施 した.その結果,1771年の八重山地震津波の傾向を 再現把握するとともに,また,地すべりの継続時間 を用いて,地すべりに起因する津波伝播解析を行 なった結果,継続時間の影響が沿岸の最大水位に大 きく影響することがわかった.

また,海底扇状地形の広がりの連続域が同時に地 すべり発生すると仮定すると,反射法によって得ら れ断層に基づく*Mw*8.1の規模の津波によって生じる 海底地すべりで津波伝播解析を実施すると,20m程 度の沿岸波高が得られた.また,石垣島東岸の伊野 田では,津波痕跡高15mと,Case2++で得られた最大 水位15m程度,さらに,Case2++では津波痕跡高20 mと良い再現性が得られた.津波痕跡高30mは遡 上高で石垣島東岸の白保崎では,海岸線から1km 以上内陸地点であることから,今回の精度の解析に おいても規模の再現は評価できる結果と考えられる.

今後は、国内外の非地震津波事例を参考に、さら に簡易的な手法でのアプローチを検討していきたい.

謝辞:本解析にあたり, JAMSTEC からは, 赤色立体 地図等の提供を受けた.また, ニューマーク法によ る海底地すべり継続時間の算定を株式会社構造計画 研究所 防災・環境部 地盤・構造室の協力を得た. 津波伝播解析の算定を三菱スペース・ソフトウエア 株式会社 つくば事業部 第四技術部の協力を得た. 記して御礼申し上げます.なお,本研究は文部科学 省 「海域における断層情報総合評価プロジェクト」 の資金等の提供を受けたものです.

# 参考文献

今村文彦,吉田功,アンドリュームーア:沖縄
 県石垣島における 1771 年明和大津波と津波石移動の数値解析,海岸工学論文集,第48巻,pp.346-350,2001.

 2) 岡村行信,西澤あずさ,藤井雄士郎:1771年八重 山津波の波源,日本地球惑星科学連合2018年大会, HDS10-03,2018.

3) 平石哲也,柴木秀之,原信彦:円弧滑り法を利用 した地滑り津波波源による明和八重山地震津波の再 現,海岸工学論文集,第48巻, pp. 351-355, 2001.

4) 中村真也, 宜保清一, 木村匠, ブッディ シワン タ ヴィタナ:各種地すべり形態におけるすべり面平 均強度定数, 48巻, 5号, pp. 251-262, 2011.

5) 都司嘉宣,上田和枝:安永桜島噴火に伴う鹿児島 湾内の津波,日本火山学会講演予稿集, Vol. 1996(2), p. 186, 1996. 6) Normanbhoy, N. and Satake, K.: Generation mechanism of tsunamis from the 1883 Krakatau eruption, Geophys. Res. Lett., Vol. 22, No. 4, pp. 509-512, 1995.

7) Lander, J. F. and Lockridege, P. A.: United States Tsunamis 1690-1988, Pub. 41-2, National Geophysical Data Center, 265 pp., 1989.

8) 吉本充宏, 宝田晋治, 高橋良: 北海道駒ケ岳火山 の噴火履歴, 地質学雑誌, Vol. 113, 補遺, pp. 81-92, 2007.

9) Satake, K.: Volcanic origin of the 1741 Oshima-Oshima tsunami in the Japan Sea, Earth Planets Space, Vol. 59, pp. 381-390, 2007.

10) 都司嘉宣, 日野貴之: 寛政四年(1792)島原半島眉 山の崩壊に伴う有明海津波の熊本県側における被害, および沿岸遡上高, 東京大学地震研究所彙報, Vol. 68, pp. 91-176, 1993.

11) Baba, T., Matsumoto, H., Kashiwase, K., Hyakudome, T., Kaneda, Y. and Sano, M.: Micro-bathymetric evidence for the effect of submarine mass movement on tsunami generation during the 2009 Suruga Bay earthquake, Japan, In: (ed. Yamada et al.) Submarine Mass Movements and Their Consequences, Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol. 31, pp. 485-495, Springer, 2012.

12) Friz, H. M., Mohammed, F. and Yoo, J.: Lituya Bay Landslide Impact Generated Mega-Tsunami 50th Anniversary, Pure Appl. Geophys., Vol. 166, pp. 153-175, 2009. (doi:10.1007/s00024-008-0435-4)

13) Weiss, R., Fritz, H. M. and Wunnemann, K.: Hybrid modeling of the mega-tsunami in Lituya Bay after half a century, Geophys. Res. Lett., Vol. 36, L09602, 2009. (doi:10.1029/2009GL037814)

14) Chicxulub - Earth Impact Database (2011), http://www.

passc.net/EarthImpactDatabase/chicxulub.html (2018.10. 25 閲覧)

15) 松本剛,木村政昭:1771年八重山地震津波発生域における精密地形調査と津波発生のメカニズムに関する考察,地震第2輯,第45巻,pp.417-426,1993.
16) 大八木規夫:II.9章 海底・湖底の地すべり,地すべり一地形地質的認識と用語,日本地すべり学会地すべりに関する地形地質用語委員会 編,pp.187-201,2004.(ISBN4902628007)

17) Heezen, B. C. and Ewing, M.: Turbidity currents and submarine slump, and 1929 Grand Banks earthquake, Am. Jour. Science, Vol. 250, pp. 849-873, 1952.

18) 宜保清一, 中村真也, 比嘉優, 吉沢光三: 安定解 析に必要な強風化・破砕泥岩の強度, 農業土木学会 論文集, No. 227, pp. 113-118, 2003.

19) 平成 27 年度海域における断層情報総合評価プロジェクト,地震調査研究推進本部,文部科学省20) 大日本地震史料:増訂,第2巻自元禄7年至 天明3年,文部省震災予防評議会編,震災予防協

大明 5 年, 又部有晨灭了防評議会 編, 晨灭了防湿 会, 1943.

沖縄県津波被害想定調査業務委託報告書,
 2012.3.

22) Okada, Y.: Internal deformation due to shear and tensile in a half-space, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 85, pp. 1018-1040, 1992.

23) 陳伝勝, 宜保清一, 佐々木慶三, 中村真也:沖 縄, 島尻層群泥岩分布地域の地すべり類型区分の試 み一地すべりの危険度評価に関連して一, 日本地す べり学会誌, 43 巻 6 号, pp. 339-350, 2006.

24) Newmark, N. M.: Effects of earthquake on dams and embankments, Geotechnique, Vol. 15, No. 2, pp. 137-160, 1965.

25) 堀井克己, 舘山勝, 内田吉彦, 古関潤一, 龍岡文夫: ニューマーク法による鉄道盛土の地震時滑動変位予測, 第32回地盤工学研究発表会, pp. 1895-1896, 1997.

26)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・ 同解説耐震設計, 1999.

27) SuperFLUSH/2D Ver.6.1:株式会社 地震工学研究 所, 2014.

28) 羽鳥徳太郎:琉球列島における津波の規模と波 源域,地震第2輯,41巻,pp.541-547,1988.

29) 加藤祐三:八重山地震津波(1771)の遡上高, 地震 第2輯, 40巻, pp. 377-381, 1987.

30) 川奈俊男,中田高:明和地震と海底地殻変動, 歴史地震, No. 3, pp. 181-194, 1987.

31)相田勇:三陸沖の古い津波のシミュレーション, 東京大学地震研究所彙報, Vol. 52, pp. 71-101, 1977.
32)防波堤の耐津波設計 ガイドライン 国土交通省 港湾局, 2013.9.

33) 合田良実:防波堤の設計波圧に関する研究,港 湾技術研究所報告,第12巻第3号,pp,31-69,1973.



-X 8 N. 6,2 63.21 6.2 à 0 0180 5 100 0060 s 0120 \$ nX. 2 nX. 11 17:25 and. -0240 5 0600 s 0300 s -2  $-\lambda_{\rm c}$ -2 34 5.21 10 0900 s 1200 s 1500 s An in the state ale. 8 Call 00 7.50 5.00 2.50 0.00 2.50 5.00 2.50 10.00 (m) 1800 s 2700 s

図20 水位スナップショット (Case1:斜面崩壊継続 45 秒, A 領域破壊)

図21 水位スナップショット (Case2: 斜面崩壊継続 280 秒, A 領域破壊)



図22 水位スナップショット(Case2+:斜面崩壊継続280秒, A+B 領域破壊)



図23 津波痕跡高と各ケースの沿岸地点最大水位の比較



図24 本検討の不確定要素の仮定

# 【第2部】

最近の土砂災害の実態

# 2018 年北海道胆振東部地震による地すべりのタイプ・発生場・メカニズム

田近 淳\*・千木良雅弘\*\*・雨宮和夫\*\*\*・石丸 聡\*\*\*\*

# Type, Source Area and Mechanism of Landslides Induced by the 2018 Hokkaido Eastern Ibri Earthquake

Jun TAJIKA<sup>\*</sup>, Masahiro CHIGIRA<sup>\*\*</sup>, Kazuo AMEMIYA<sup>\*\*\*</sup> and Satoshi ISHIMARU<sup>\*\*\*\*</sup>

\*Docon Co. Ltd., \*\*Fukada gological Institute, \*\*\*Bousai Chishitsu Kogyo Co. Ltd. and \*\*\*\*Hokkaido Research Organization

**キーワード:**火山灰被覆丘陵,テフラ層すべり,岩屑なだれ,岩盤すべり,すべり面液状化 **Key words**: Volcanic ash-covered hills, Tephra slide, Debris avalanche, Rock slide, Sliding surface liquefaction

#### 1. はじめに

2018年北海道胆振東部地震(以下,胆振東部地震) により発生した地すべり(広義)は明治以降最大規 模の土砂災害(国土交通省)となった.被災地は第 四紀テフラが被覆する新第三紀堆積岩山地・丘陵で あり,これらの地形・地質的な特性がこのような甚 大な災害に関与したと考えられる.

この報告では、筆者らの調査結果および、日本地 すべり学会・日本応用地質学会の災害調査団とその 関係者によりまとめられた「地震による地すべり災 害-2018 年北海道胆振東部地震」(「地震による地す べり災害」刊行委員会編<sup>1)</sup>)などをもとに、斜面変 動の主なタイプをしめし、発生場の特徴と発生のメ カニズムを考える.

# 2. 発生した斜面変動の分布とタイプ

地震による斜面変動は主として震央の北~北北 西側の概ね 15 km×20 kmの地域に多発した.この地震 は東北東-西南西に圧力軸をもつ高角な逆断層型で, 多発地域は地震波の放射特性からみてS波の増幅す る方向に相当すると考えられている.一方,この地 域は褶曲した新第三紀堆積岩を基盤として,西方の 支笏・恵庭・樽前火山に由来する第四紀テフラに広 < 覆われる.特に樽前 d 降下火砕物 (以下 Ta-d:9ka) や恵庭 a 降下火砕物 (以下 En-a:19-21ka)の降下の 主軸はこの多発域に重なる. 但し,実際には多発地 域の中には粗密があり,テフラの分布や組織地形の 影響のほか,基盤の構造が地震動の増幅などに関与 した可能性も考えられる<sup>2)3)</sup> (図 1).

厚真地域で発生した発生した斜面変動は,斜面構 成物質(地質)により大まかに3タイプに区分でき る.これに札幌など都市周辺の造成地の斜面変動を 加えると4タイプになる.図2はそれらをフローチ



(左),および層厚と褶曲軸,崩壊頻度の関係<sup>3)</sup>(右)

\*㈱ドーコン \*\*深田地質研究所 \*\*\*防災地質工業㈱ \*\*\*\*北海道立総合研究機構





ャート的に示したものである.すなわち,山地や丘 陵の斜面を広く覆う降下火砕物は,地震によりスラ イドし流動化して岩屑すべりや岩屑なだれ(合わせ て「テフラ層すべり」と呼ぶ)となった.厚真市街 地南方などの開析された台地では風化した火砕物や それに由来する段丘堆積物(シルト)をすべり面と して移動量の小さな「土のすべり」が発生し住宅地 に深刻な被害を与えた.山地の基盤を構成する新第 三紀の堆積岩類では主に層理面にそった並進すべり である「岩盤すべり」が多発した.

これらのタイプは,最近の地震地すべりに関する 経験や知見(例えば,日本地すべり学会編<sup>4)</sup>)に基 づけば,ある程度の規模の内陸地震が発生すれば, ほとんど必ず起こると予想されたタイプの変動で あった.胆振東部地震による地すべりが最大規模の 災害となったのはテフラ層すべりの群発と岩盤すべ りの発生によるものである.

# 3. テフラ層すべり

テフラ層すべりはおもに斜面を覆う Ta-d (層厚 1~2m) とそれを覆う樽前火山由来のテフラ(主に Ta-c, Ta-b)と黒色土壌からなる土層(合わせて1.5~ 3m)が, Ta-d基底直上附近をすべり層としてスライ ドしたものである(図3).厚真町における地震によ る直接的な犠牲者36名はすべてこのタイプによる. 筆者らは,厚真川の本支流域の低地に押し出したテ フラ層すべり40数箇所の調査を行い,すべり層準 やテフラの風化作用<sup>5</sup>,発生場および移動体の移動 堆積状況を検討した<sup>6</sup>.

Ta-dの軽石は風化し上半部が酸化して赤褐色,下



図3 テフラ層すべりの一例

半部が灰色になっていることが多く両者の境はしば しばカーテン状(一部はつらら状)に白色粘土が形 成されている.もともと自然含水比は異常に大きい.



図4 移動体の構成地質とTa-dのX線回折結果



図5 すべり層の形成層準(厚真地域)

白色部と灰色部にはハロイサイトが形成され,主に 下底に近い灰色細粒部がすべり層になった(図 4).

Ta-d が薄い場合(赤褐色部のみ)や下位に En-aや 支笏第1降下火砕物(Spfa-1)などやそれを含む風化 火山灰土がある場合にはそこにすべり層が形成され た(図5).テフラ層の軽石のサイズは「岩屑」なの で, Varnesの分類の update<sup>7)</sup>では岩屑すべりであり, それらの多くは流動して岩屑なだれとなった.

テフラ層すべりはごく緩い斜面から谷型斜面,そ して平滑な急斜面まで様々な斜面で発生した.筆者 らはこれを緩斜面型,谷型(浅谷,深谷,懸谷型), 平滑型,および複合型に細区分した(図6,図7). このように様々な斜面で発生したのは,この地域の 斜面はおよそ1万年前までに形成され<sup>8)</sup>,その上に Ta-d がマントルベッデングしたため全方位斜面が 流れ盤となっていたこと,Ta-dの火山ガラスが9千 年という風化進行時間<sup>9)</sup>を経て粘土鉱物化(ハロイ サイト化)していたこと,厚真川流域の谷壁斜面に



図6 テフラ層すべりの様々な発生場<sup>60</sup>



図7 テフラ層すべりの発生場(複合型)

は広範に遷急線が発達するうえ<sup>5</sup>,下刻などによる 斜面の下部切断も起こっていたことによる(図 8). なかでも,谷型斜面での発生が多かったのは,テフ ラが集積しやすいことに加え集水地形で粘土鉱物化 が進みやすかったためと想像される.強震動に加え, 斜面の形成時期とテフラの堆積時期そして風化の進 行などの条件がそろったことがこのような地すべり の群発を引き起こすことになった原因と考えられる. なお,地震動によるテフラ層すべりの発生のメ カニズムとしては,すべり面の液状化<sup>10)</sup>が考え られる<sup>11)</sup>.



図8 下部切断と懸谷での不連続なテフラの堆積<sup>6)</sup>

#### 4. 岩盤すべり

岩盤すべりは新第三紀中新世の成層した泥岩・砂 岩・礫岩など成層構造の明瞭な堆積岩からなる並進 すべりである.ほとんどが山地内で発生しており, 発災当初は空中写真だけでは表層のテフラ層すべり と区別が難しいこともあってその実態はあまりよく



**図9** 岩盤すべりの分布と主な10か所の位置<sup>1)</sup> 赤:尾根型,青:斜面型,茶:浅部型



図10 発生場による岩盤すべりのタイプ<sup>12)</sup>

わかっていなかった.しかし航空レーザー測量による DEM を用いた地形判読から,震央付近から北側を中心に広い範囲に分布することがわかり,現在では約 300 箇所以上が確認されている<sup>12</sup>.

その代表例が厚真町日高幌内川,ショロマ川, むか わ町ルベシベ川右岸などの成層泥岩・硬質泥岩の地 すべりである.なかには河道を閉塞したものもある. これらの具体的に調査された事例 10 箇所をみると (図 9), すべり面の傾斜 (層理面) は数度~22°と緩 いが, 急傾斜な場所でも発生している. 既存の地す べり地形の中やその隣接地で発生しているものが多 いが, 同じすべり面は使っていないように見える.

一方,岩盤すべりは DEM を用いた地形判読に基 づき,発生場の特徴から,尾根を切断するもの(尾 根型),すべり面が尾根を越して移動するもの(斜面 型),比較的浅いすべりの 3 タイプが区別されてい る(図 10).尾根の切断や尾根の移動などは従来指 摘されている地震による岩盤すべりの特徴に共通す る.この判読結果によれば,必ずしも流れ盤斜面に 多いということはなく,また,ほとんどが初生すべ りとされている.既存地すべり地形との関係などを 含め,これらの点は必ずしも調査者の意見が一致し ておらず,もう少し議論が必要かもしれない.

成層泥岩で発生した並進すべりの中で最大のも のが日高幌内川地すべりである.日高幌内川地すべ りは,幅約400m,長さ約850mの尾根状の斜面が約 350m移動し,幅約200mの日高幌内川の谷底低地を 閉塞し対岸に乗り上げるとともに上下流に流下した ものである(図11).発生場所は防災科学技術研究 所の地すべり地形分布図によると,既存の大規模な 地すべり地形に挟まれた尾根部分である(図12). 地質はごくゆるい傾斜の新第三系中新統軽舞層の泥 岩である(図13).ここでは岩盤すべりのメカニズ ムを考える上で重要な事実が観察されている.



図11 日高幌内川地すべり



図12 日高幌内川地すべりの発生場所(点線)





**図15** 日高幌内川地すべりのすべり層<sup>1)</sup>

移動体の中心部で実施されたボーリング(図14)で は深さ 75.15~75.3m 付近でほとんど乱されていな い状態の「すべり層」のコアが採取された(図15). すべり層はスメクタイト化した火山ガラスを主とす る葉理の発達した凝灰質砂岩と下位の砂まじりシル

ト岩に挟まれた厚さ 4.5cm の部分である. 径 2~14 mmのやや角の取れた亜円礫や剥片状の凝灰質砂岩や シルト岩の礫を含み、火山ガラスが破断して細粒化 しているように見える. すべり層は凝灰質砂岩に高 角で注入しているのが観察された.また,地すべり 末端の乗り上げ部分が掘削された仮排水路のり面 (図 16) では、移動体先端部の状況が観察できる. ここでは移動体の基底に厚さ数 10 cmの軟質部が認 められ、やはり円磨された円礫が含まれていた(図 17). すべり層の注入構造や角礫の混入現象はすべり 層に過剰間隙水圧が発生し液状化状態が生じていた ことを示す.しかし、注入現象やシルト岩のせん断 構造に見られるように、過剰間隙水は亀裂に沿って 消散するため, 滑動の開始後連続的に過剰間隙水圧 状態が維持されるのは難しい.長距離移動のメカニ ズムの解明にはそのあたりの検討が重要である.



図16 日高幌内川地すべり仮排水路のり面の地質<sup>1)</sup>



図17 移動体の下底の粘質土(仮排水路のり面)

# 5. まとめ

北海道胆振東部地震では,第四紀テフラ層のテフ ラ層すべりの群発と第三紀堆積岩の岩盤すべりの発 生が甚大な被害をもたらした.

テフラ層すべりの発生はこの地域に Ta-d テフラ (および En-a, Spfa-1) が分布していたことによる. Ta-d は、9 千年前に堆積し、ごく緩い斜面や谷型の 斜面などの多様な斜面を覆って、風化し粘土(ハロ イサイト)化していた.また下刻などによる下部切 断や、懸垂谷への堆積など、地震に対しては不安定 となっていた.このため谷型の斜面などの多様な斜 面で崩壊が群発した.これらを考慮すると我々は概 ね1万年前後以前のテフラのリスクに注目する必要 がある.

新第三紀堆積岩山地では多数の岩盤すべりが発 生したことが明らかになってきた.主に地層の傾斜 10~20°の緩い流れ盤の場所の場所で初生的に,あ るいは新たなすべり面で発生したものが多かった. 日高幌内川地すべりでは,スメクタイトを含む凝灰 質砂岩で,すべり面液状化が発生して長距離移動し たことが確認された.

テフラ層すべりや岩盤すべりの群発はこれまで の地震でも繰り返し確認されている.第四紀テフラ の被覆した新第三紀堆積岩丘陵はわが国において必 ずしも珍しい地域ではない.同様の地形地質条件で は地震時同様の土砂災害が発生する.専門家は改め てリスクとなる条件をマッピングするとともに,そ れを住民や行政に伝える努力が必要である.

#### 参考文献

(詳細は文献1)の引用文献を併せて参照されたい.)

- 「地震による地すべり災害」刊行委員会編 (2020):地震による地すべり災害-2018年北海 道胆振東部地震,北海道大学出版会,355p.
- Wang, F., X. Fan, A.P. Yunus, S. S. Subramanian, A. Alonso-Rodriguez, L. Dai, Q. Xu & R. Huang (2019) : Coseismic landslides triggered by the 2018 Hokkaido, Japan (Mw 6.6), earthquake: spatial distribution, controlling factors, and possible failure mechanism. *Landslides* vol.16, p.1551–1566.
- 3) 川上源太郎・輿水健一・小安浩理(2020):地質 構造に規制された胆振東部地震による地震地す べりの分布,令和2年度研究発表会講演予稿集,

日本応用地質学会北海道支部・北海道応用地質 研究会, no.40, pp.9-12.

- 4) 日本地すべり学会編(2010):地震地すべり,302p.
- 5) 千木良雅弘・田近淳・石丸聡 (2019): 2018 年胆 振東部地震による降下火砕物の崩壊: 特に火砕 物の風化状況について,京都大学防災研究所年 報,vol.62B, pp348-356.
- 6)田近淳・千木良雅弘・小池明夫・金秀俊・石丸聡・ 雨宮和夫(2020):2018年北海道胆振東部地震に よるテフラ層すべりと人的被害,日本地すべり 学会誌,vol.57, no.6, pp. 15-21.
- Hungr, O., Leroueil, S. & Picarelli, L. (2014): The Varnes classification of landslide types, an update. Landslide, vol. 11, pp.167-194.
- 柳井清治(1989):テフロクロノロジーによる北 海道中央部山地斜面の年代解析,地形,vol.10, pp.1-12.
- 9) 井上厚之(1996):水を媒介とした粘土鉱物の生成と変化、鉱物学雑誌,vol.25,pp.184-197.
- 10) 佐々恭二 (2007) 地すべりダイナミクスの発展, 京都大学防災研究所年報, no.50A, pp.93-109.
- 11) Kameda, J., Kamiya H., Masumoto, H., Morisaki, T, Hiratsuka, T. & C., Inaoi (2019): Fluidized landslides triggered by the liquefaction of subsurface volcanic deposits during the 2018 Iburi-Tobu earthquake, Hokkaido, Sci. Rep. 9: 13119. Doi: 10.1038/s41598-019-48820-y.
- 12) 山崎秀策・伊東佳彦・倉橋稔幸(2020):平 成30年北海道胆振東部地震による岩盤すべ りの分類と分布,令和2年度研究発表会講 演論文集,日本応用地質学会,pp.127-128.

第2部・テーマ1 最近の地震による土砂災害の実態

# 2018 年北海道胆振東部地震における崩壊斜面の地下構造について

1 土井一生・2 東良慶・2 前中裕貴・1 釜井俊孝 1 京都大学防災研究所・2 大阪工業大学工学部 キーワード:テフラ層,谷埋め盛土,表面波探査,S波速度

# 1. はじめに

2018年北海道胆振東部地震(Mw 6.6)に伴って,特に厚真町において多数の斜面が崩壊した.これらの崩壊 斜面のほとんどはTa-dやEn-aなどのテフラ層の中にすべり面を持つことが指摘されており(例えば,石丸ほか, 2019),脆弱なテフラ層が強震動によって崩れたことが考えられる.一方,厚真町内の造成地においても一部崩 壊が発生した.これらの中にはテフラ層に覆われた谷を埋めることで造成された盛土もあり,他の多くの自然斜 面と同じくテフラ層にすべり面が存在するのか,盛土がすべっているのか,どのようにしてすべり面が形成され たのかなどの崩壊メカニズムを明らかにすることは、同様の地質条件を持つ他地域も含め、今後の地震時の減災 を考慮する際に重要となる.そこで、本研究では、厚真町の造成地において表面波探査をおこない、崩壊がどの ように生じたかについて考察をおこなった.

#### 2. 調查地概要

調査は、周囲の土地を切土し小規模な谷を盛土して作られた造成地において、横断・縦断測線を設けることに よっておこなった(図 1). この調査地におけるボーリング調査結果等(黒沢ほか,2019)によると、盛土の下 層にはテフラ層が存在し、すべり面は Ta-d 層に位置するとされる. 地震計を 24 個 1 メートル間隔で埋設し、そ の片端をハンマーで起振することによって生じた震動を記録した(写真 1). 続いて地震計の位置を 1 メートルず らし起振する作業を、測線の終端にたどりつくまで繰り返した. 得られた記録から表面波の分散性を計算し、測 線における 2 次元的な S 波速度構造を推定した(表面波探査).





図1:調査地の地図(左:1983年、中:2006年)および空中写真(右).国土地理院提供に加筆.

# 3. 結果・考察

横断・縦断測線に双方おいて,地表から深さ 5-10 m 程度までは 90-140 m/s 程度の低速度層が検出された(図 2). この低速度層と旧地 形面を重ねて比較したところ,低速度層の底は旧地形面よりもおおむね 2-5メートル程度下に位置することがわかった. このことから,盛土と 地山のテフラ層(の少なくとも上部)の S 波速度には大きな違いがな いことが推定される.先述のとおり,ボーリング調査結果等(黒沢ほか, 2019)から,すべり面はテフラ層内の Ta-d 層に位置するとされること から,崩壊は盛土とテフラ層の両方を含む S 波の低速度帯で生じ,下 層の S 波の高速度帯との強度のコントラストが大きく異なる境界で発 生したことが推察される.

**謝辞**:(株)ドーコンの田近淳博士,厚真町まちづくり推進課の小松豊直 参事,厚真中学校の堀田裕之教頭には調査場所の使用などについてご協 力いただきました.地理院地図および国土地理院の旧版地形図を使用さ せていただきました.記して感謝いたします.



写真1:表面波探査の調査風景



図2:表面波探査の結果. 点線, 破線はそれぞれ低速度帯の下限, 旧地形面を示す.

# 2018年北海道胆振東部地震で発生したテフラ層すべりの特徴

石丸 聪\*·千木良雅弘\*\*·田近 淳\*\*\*·小安浩理\*·地質研究所胆振東部地震調查班\*\*

# Characteristics of Tephra Slides Caused by the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake

Satoshi ISHIMARU\*, Masahiro CHIGIRA\*\*, Jun TAJIKA\*\*\*, Hiromichi KOYASU\*, and Geological Survey of Hokkaido\*

\*Hokkaido Research Organization, Research Institute of Energy, Environment and Geology, Japan ishimaru-satoshi@hro.or.jp, koyasu-hiromichi@hro.or.jp \*\*Fukada Geological Institute, Japan chigira@fgi.or.jp \*\*\*Docon Co., Ltd., Japan jt1727@docon.jp

#### Abstract

The landslides caused by the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake were mostly concentrated on the northern side of the epicenter. The area was thickly distributed with En-a tephra layer and Ta-d tephra layer which erupted from Mt. Eniwa and Mt. Tarumae respectively. The main source of landslides was each of these tephra layers. The northern area covered by thick En-a tephra layer witnessed landslides either on the valley head hollows, which flowed down the valley below them or on the foot slopes, which deposited on the terrace surface. On the other hand, the southern area covered thick Ta-d tephra layer witnessed landslides on various slopes, especially on the upper valley-side slopes. The sliding surfaces were made within the volcanic soil with Spfa1 pumice beneath the En-a layer in the northern area. However, in the southern area, the sliding surfaces were made either at the bottom of the Ta-d layer or within the volcanic soil with the En-a pumice beneath the Ta-d layer. In addition, a soft layer of the water-rich volcanic soil with pumice sometimes exists at the bottom of the landslide body deposited under the slope. This forms when the lower volcanic soil is involved during the landslide and acts as a fluidized bed.

Key words: Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, Tephra, Volcanic soil, Micro-landform of hillslope, Sliding surface

# 1. はじめに

2018年(平成30年)9月6日3時7分に,北海 道胆振地方中東部の深さ37kmを震源としたM6.7の 北海道胆振東部地震が発生した.震度7や6強を記 録した厚真町や安平町では斜面崩壊が多発し,斜面 直下の住宅が土砂に巻き込まれ,多くの犠牲者を出 した.この地震による斜面崩壊の件数は,歴史上最 多規模の10,000箇所以上にのぼる(山岸・岩橋, 2020). 斜面崩壊のタイプは, Varnes (1978) の分類に 従えば, "岩盤すべり"や"落石"も震源に比較的近 い地域では発生したが,その大多数は火山軽石・火 山灰等の火山噴出物(以下、テフラと呼ぶ)を主体 とする"岩屑すべり"であった.本報告では,この ようなテフラを主体とする岩屑すべりを"テフラ層 すべり"と呼び,その発生場・すべり面・堆積物に ついて取りまとめた結果を紹介する.なお本稿は,

<sup>\*</sup>地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所 \*\* 公益社団法人 深田地質研究所

<sup>\*\*\*</sup> 株式会社 ドーコン

<sup>\*</sup>廣瀬 亘・川上源太郎・加瀬善洋・輿水健一・高橋 良・高見雅三

石丸ほか (2020a; b), 千木良ほか (2019; 2020)で一部 報告済みの内容に, 若干の情報を新たに加えたもの である.

# 2. テフラ層すべりの発生した丘陵斜面の微地形

テフラ層すべりが多発した地域は震源を中心に 分布せずに、北側に偏在する.その理由として、崩 壊した物質のほとんどがテフラ層を主体とすること、 震源南側の丘陵斜面には厚いテフラ層が分布しない ことから(図1)、厚いテフラ層が斜面上に分布する かどうかが地すべり発生の大きな要因となっている と考えられる(石丸ほか、2020a; b).テフラ層すべ りが多発したのは、北部では恵庭 a 火山噴出物(Ena:約2万年前噴火)が厚く分布する地域、南部では



図1 震央と崩壊分布(桃色の範囲)・テフラ層分布の 関係

樽前 d 火山噴出物(Ta-d:約9千年前噴火)が厚く 分布する地域(北海道火山灰命名委員会, 1972;町 田・新井, 2003)にあたる.

ここで,丘陵斜面の一般的な微地形分類を示す (図2:田村,1996).北部のEn-a分布域では,谷頭 斜面(図2のd,f)で地すべりが発生し,その下方に 続く谷を流下するもの,あるいは段丘背後の山麓斜 面で発生し,段丘面上に堆積するものが多く見られ た.一方,南部のTa-d分布域では,様々な斜面で発 生したが,特に上部谷壁斜面(図2のc)や一部の 下部谷壁斜面(図2のg)を中心に発生した.

En-a は最終氷期の最寒冷期に降下したテフラで, 斜面表層物質は凍結融解の影響を受け削剥・移動し たため,厚く堆積するのは尾根付近の緩斜面を除け



a:頂部平坦面, b:頂部斜面, c:上部谷壁斜面, d:上部谷壁凹斜 面, e:谷頭斜面, f:谷頭凹地, g:下部谷壁斜面, h:下部谷壁凹 斜面, i:麓部斜面, j:小段丘面, k:谷底面, l:水路

図2 丘陵斜面の微地形分類 水色の斜面は最終氷期 に形成された地形場

(田村(1996)に追加・修正)



図3 丘陵斜面と被覆するテフラ層分布のイメージ断面

ば,斜面表層物質の集まる谷頭斜面(図3),あるい は斜面物質の堆積域にあたる山麓緩斜面などに限ら れる.その後,完新世に入り丘陵斜面下部(図2の g)の浸食が卓越した.完新世初頭に降下した Ta-d は,浸食されやすい下部谷壁斜面の攻撃斜面側や急 傾斜地を除き,地震時に広く斜面上に堆積していた (図3).すなわち,En-a,Ta-dを主体とする地すべ りの発生した斜面微地形は,それぞれのテフラ層が 厚く分布する斜面と一致する.

テフラ層すべりは傾斜 30 度前後の比較的緩い斜 面で発生している(山岸・岩橋, 2020). これは雨や 融雪,あるいは通常規模の地震では崩壊しにくい傾 斜のためテフラ層が斜面上に残っていたものが,今 回の地震により一斉にすべり落ちたことに起因する ものである.

## 3. 斜面の表層地質層序とすべり面の生じた層準

テフラ層すべりのすべり面は同一層準で生じた ものではなく、いくつかの特定の層準に生じた(千 木良ほか、2019;2020).以下、北部の En-a 層を主 体とする地すべりと、南部の Ta-d 層を主体とするも のに分けて記述する.それぞれの地域の頭部崖や側 方崖で確認した斜面の模式柱状図を図4に示す.

En-a 層を主体とする地すべりが発生した北部地 域の斜面には,層厚約 lm 以上の En-a 層が堆積する. En-a 層は粒径 lcm 以下の黄褐色軽石を主体とし輝 石に富む. En-a 層の下位には Spfal まじりの火山灰



図4 南部と北部の丘陵斜面の模式柱状図

土が見られる.発生域の崩壊斜面を見ると,褐色~ 桃色の Spfal まじり火山灰土が露出しており,その 上に崩壊時に置き残された En-a 軽石が薄く散在す る(図 5).この状況から En-a 層を主体とするテフ ラ層すべりは, En-a 層の底面付近を境に生じたもの と考えられる. En-a 層最下部には輝石を多く含む細



図5 すべり面となった Spfa1 まじり火山灰土最上 部(矢印)とその上に散在する En-a 軽石



図6 Spfa1まじり火山灰土と En-a 層境界付近



図7 En-a まじり火山灰土と Ta-d 層境界付近

粒軽石が見られる(図6). この細粒軽石層は粘着力 が低いため,振動により破壊されやすい特性を持つ. 一方,テフラ層直下の, Spfal まじりの火山灰土の最 上部(図5,6の矢印)は,褐色~桃色で極めてすべ りやすい特徴を持つ.

Ta-d 層を主体とする地すべりが発生した南部地 域の斜面上には, 層厚約 50cm 以上の Ta-d が堆積す る. Ta-d 層の上部は酸化して赤褐色となるが、下部 の弱風化部は灰白色~緑灰色を呈する. テフラ層最 下部の軽石は強度が低く、水分を多く含み、それを 破砕しながら流下したことが報告されている(雨宮・ 中川, 2020 など). さらに, Ta-d 層の直下には, Ena まじりの火山灰土があり、これがすべり面となっ た事例も多く見られた(図7).一方, Ta-d 層直下の 火山灰土もしくは角礫層を含む斜面堆積物の最上部 に粒径数 mm 以下の軽石まじりの砂層(図 8,9 矢 印) がよく見られる. この Ta-d 層直下の砂層は, Tad 降下直前の斜面表層物質であり、この部分がすべ り面となった可能性もある.また、Ta-dの最下部や 中部には強度の低い白色のクリーム状の粘土がみら れることがあり、崩壊に関与した可能性があるが、 その連続性は悪い.



角礫斜面堆積物

図9 Ta-d層直下の軽石まじりの斜面堆積物

## 4. 斜面上・堆積域の移動土塊の特徴

En-a 層主体の地すべりの底面には En-a 軽石を置 き残しつつ(図5),その下位の Spfal まじり火山灰 土上に擦痕を残す.斜面下に堆積した移動土塊は, En-a 層以上の層序を概ね保ちながらも En-a 層はか なり薄くなる.これは En-a の粘着力が低いため,流 走過程で層がほぐされていったことを示唆するもの で,崩壊斜面上に En-a 軽石を置き残していることも このことを支持する.瑞穂ダム左岸付近の地すべり の堆積域では, Spfal まじり火山灰土層が元の地表



図10 不動地盤を覆う Spfa1 まじり火山灰



図11 擦痕を残す Ta-d 層底部のすべり



図 12 Ta-d 層のすべりで下位の火山灰土と黒土を巻 き込む(草の上の矢印範囲)
面である不動地盤を直接覆った(図 10). この火山 灰土より上位の層準に En-a 軽石を含むことから,こ の移動体のすべり面は En-a 層より下位の Spfal まじ り火山灰土に生じたものとみられる. この Spfal ま じり火山灰土の底部には不動地盤起源の角礫が混合 する(図 10 の混合層).

Ta-d 層主体の地すべりの移動体底面では,露出した崩壊面上に擦痕を残し,軽石まじりの厚さ数cm程度の粘土が張り付く(図11).これは,崩壊後数日はクリーム状ですべりやすいものであった(雨宮・中川,2020).一方,斜面下の堆積域や崩壊斜面上に残る移動土塊の底面付近には,軽石と下位の土層が混合し(図12),水分を多く含む軟弱な土層がしばしば見られる.これは上述のEn-a層を主体とする地すべり移動体底部付近の混合と同様のものとみられ,土塊の移動によりせん断面下の物質が移動体と混合したものと考えられる.

Ta-d 層主体の地すべりの堆積域でも,多くの場合, 移動土塊は Ta-d 層およびその上位の層序を概ね保っ たまま堆積しており,流れ山状の高まりとなる.また, 移動土塊が次々とスタックし, Ta-d 層が繰り返し重 なる覆瓦構造がよく見られた.一方, Ta-d 層主体の地 すべりであっても,谷から出てきた移動体の場合は, 円磨された Ta-d 軽石混じりの土砂からなり,大量の 水を含み撹拌されて流下したことが読み取れる.

## 5. まとめ

北海道胆振東部地震で発生したテフラ層すべ りについて、その発生場・すべり面・堆積物の特 徴を検討した結果、以下のことが判明した.

地すべりの発生場は En-a 層, Ta-d 層が厚く分 布する斜面で,北部の En-a 分布域では,谷頭斜面 や山麓斜面,南部の Ta-d 分布域では,特に上部谷壁 斜面や一部の下部谷壁斜面であった.

すべり面は,北部地域では En-a 層直下の Spfal 混 じり火山灰土に,南部地域では Ta-d 層最下部あるい はその直下の En-a 混じり火山灰土に生じた.

堆積域に定置した移動体の底部には,水を多く含む軽石混じりの火山灰土の軟弱層がしばしば存在する.これは地すべり移動体が流下する過程で下位の 火山灰土を巻き込むことにより形成され,流動層の 役割(雨宮 2008;田近ほか,2016)を果たしたもの とみられる.

## 謝 辞

本稿は「地形」誌(石丸ほか,2020a)に執筆した 論説をベースとしたものである.本研究において は,文部科学省科学研究費助成金「平成30年北 海道胆振東部地震とその災害に関する総合調査 (代表:北海道大学)」の一部を使用した.

日本地すべり学会北海道支部,日本応用地質学 会北海道支部の多くの関係者からは,現地調査や 討論等を通じて有益な情報を得ることができた. 以上の方々に深く感謝申し上げる.

## 参考文献

- 1)雨宮和夫(2008):小規模岩屑なだれの事例と特徴.北海道の地すべり研究30年,北海道地すべり学会,67-75.
- 7) 雨宮和夫・中川雄平(2020):地震によるテフラ 層の高速地すべり機構.地震による地すべり災 害,北海道大学出版会,210-219.
- 3) 千木良雅弘・田近 淳・石丸 聡 (2019):2018
   年胆振東部地震による降下火砕物の崩壊:特に 火砕物の風化状況について.京都大学防災研究 所年報,62B,348-356.
- 4) 千木良雅弘・田近 淳・石丸 聡 (2020): すべり面の形成層準:風化・粘土鉱物. 地震による地すべり災害,北海道大学出版会, 62-68.
- 5) 北海道火山灰命名委員会(1972):北海道の火山 灰分布図:佐々木龍男編,北海道農業試験場.
- 6)石丸 聡・廣瀬 亘・川上源太郎・輿水健一・小 安浩理・加瀬善洋・高橋 良・千木良雅弘・田近 淳(2020a):2018年北海道胆振東部地震により 多発したテフラ層すべり:地形発達史的にみた 崩壊発生場の特徴.地形,41,147-167.
- 7) 石丸 聡・田近 淳・千木良雅弘・地質研究所胆振東部地震調査班(2020b):地形発達史的にみたテフラ層すべりの発生場.地震による地すべり災害,北海道大学出版会,220-230.
- 町田 洋・新井房夫(2003):新編火山灰アトラ ス一日本列島とその周辺.東京大学出版会,336p.
- 9) 田近 淳・大津 直・乾 哲也 (2016): 成層し た降下火砕堆積物からなる地すべり移動体の内 部構造と形成過程: 石狩低地東縁, 厚幌1遺跡の 例:地質学雑誌, 122, 23-35.
- 10) 田村俊和(1996): 微地形分類と地形発達一谷

頭部斜面を中心に一.水文地形学,古今書院, 177-189.

- Varnes, D. J. (1978) : Slope movement types and processes . In Landslides: Analysis and control, Transportation Research Board Special Report, 76, 11-33.
- 12) 山岸宏光・岩橋純子 (2020): 地震による斜面災 害の GIS を用いた地形・地質解析. 地震による 地すべり災害, 北海道大学出版会, 104-112.

#### 要 旨

2018年北海道胆振東部地震による地すべりは震源北側の丘陵斜面に集中して発生した.その範囲 は恵庭岳起源の En-a 層と樽前山起源の Ta-d 層が厚く分布する地域にあたり,それぞれを主体とす るテフラ層すべりが生じた.北部の En-a 分布域では谷頭斜面で地すべりが発生し,その下方に続く 谷を流下するもの,あるいは山麓斜面で発生し,段丘面上に堆積するものが多く見られた.南部の Ta-d 分布域では様々な斜面,特に上部谷壁斜面や一部の下部谷壁斜面を中心に発生した.すべり面 は,北部地域では En-a 層直下の Spfal 混じり火山灰土に,南部地域では Ta-d 層最下部あるいはその 直下の En-a 混じり火山灰土に生じた.斜面下に堆積した移動体の底部には水を多く含む軽石混じり の火山灰土の軟弱層がしばしば存在する.これは地すべり移動体が流下する過程で下位の火山灰土 を巻き込むことで形成され,流動層の役割を果たしたものとみられる.

キーワード:北海道胆振東部地震,テフラ,火山灰土,斜面微地形,すべり面

## 新潟県中越地震・北海道胆振東部地震における崩壊特性の比較

## 1千代田和馬·1権田豊

## 1新潟大学農学部

## キーワード:地震,崩壊,規模,GIS,数量化理論Ⅱ類

## 1. はじめに

わが国は国土の7割が山地で占められており、大規模な地震や豪雨の際には、土砂災害が頻発する.わが国に おいて土砂災害による被害を最小限にとどめるためには、地震による崩壊の危険性がある場所を予測し、崩壊に 対する警戒避難を事前に呼びかけたり、被害が少なくなるようインフラの配置を変更したりすることが必要であ る.しかし、各地震による崩壊地の特性解析を行い、その結果に基づいて崩壊発生危険度を評価するモデルが提 案されているものの(篠田ら、2018)、複数の地震による崩壊地の特性を同一の視点から評価した研究は少なく、 十分な汎用性を備えた地震による崩壊発生危険度評価式は提案されていない.

そこで本研究では,汎用性の高い崩壊発生危険度評価式の構築を最終的な目的とする.その第1段階として, 地震による崩壊の発生に寄与する要因を明らかにすることを目的に,複数の地震による土砂災害地域を対象とし, 全国的に配布されているデータを用いて,統計的な手法で崩壊地の特性解析を行った.

## 2. 研究対象地と解析方法

研究対象地は、新潟県中越地震の際に崩壊・地すべりが頻発した芋川流域と、北海道胆振東部地震の際に崩壊 が頻発した厚真川流域である.芋川流域では、崩壊地と地すべり地が混在しているが、厚真川流域では、崩壊が 卓越した.このため、芋川流域では崩壊と地すべり、厚真川流域では崩壊の特性について解析した.解析に用い る環境因子として、対象地の標高値、傾斜角度、傾斜方向、断面曲率、平面曲率、地質、植生のデータを準備し た.これらを ArcGIS 上で重ね合わせ、格子状に発生させたポイントで各環境因子のデータを抽出し、各因子と 崩壊・地すべりの関係を単解析または数量化理論により解析する際に用いた.この2種類の解析を通じて各解析 対象地の特性を比較し、その違いが生じる要因について考察した.

#### 3. 解析結果

各対象地で特筆すべき特徴がみられた単解析の結果を述べる.芋川流域の斜面崩壊地においては,傾斜角度と占有面積率には正の相関が見られたが,厚真川流域においては,傾斜角度と占有面積率の間に明瞭な相関はみられなかった.両解析対象地ともに,砂岩と泥岩を含む地質において,崩壊・地すべりの占有面積率が最大だった.植生については,厚真川流域においては針葉樹の崩壊占有面積率が大きかった(図1).一方芋川流域では,広葉樹の崩壊占有面積率が比較的大きかった.

次に数量化理論の解析結果について述べる. 芋川流域の斜 面崩壊地では, 傾斜角度とカテゴリースコアに相関がみられ た(図2). 各因子のカテゴリースコアの最大値と最小値の差 であるレンジを算出した結果, 傾斜角度(レンジ2.988), 地 質(レンジ1.065), 植生(レンジ0.708)の順に大きくなっ た. これらがこの流域における崩壊の発生に関わる主要因子



占有面積率(植生)

である. 厚真川流域の解析対象地においては, 傾斜方向(レンジ2.262), 傾斜角度(レンジ1.195), 標高値(レ ンジ1.092)の順に大きかった. これらがこの流域における崩壊の発生に関わる主要因子である.

#### 4. 考察

数量化理論Ⅱ類による解析結果から,崩壊が発生している地域によって各環境因子の崩壊への寄与度が異なる ことが判明した.また各対象地において,崩壊に大きく関与する主要な因子で共通のものは少ないこともわかっ た.芋川流域と厚真川流域における崩壊地の比較に関しては,崩壊地面積の規模が大きく異なっていため,そも そも各対象地域の崩壊を支配する要因が異なっている可能性がある.

## 5. おわりに

本研究では、汎用的な崩壊の発生危険度評価基準の作成の研究に資することを目的として、芋川流域と厚真川 流域の2つの対象地域において、単解析や数量化理論II類を用いた統計的な解析を行った.各対象地の特性を比 較した結果を踏まえると、地震による崩壊を対象とする場合、汎用性のある危険度評価基準を作成することは厳 しい可能性がある.今後の崩壊発生危険度予測を進展させるためには、さらなる研究対象(熊本地震など)を増 やすこと、各研究対象地の崩壊予測式をそれぞれの対象地に当てはめてみること、新たなデータや使用するデー タの取捨選択をして環境因子を追加・変更することも必要である.

| 項目名  | カテゴリー名                       | ň     | カテゴリー<br>スコア | -1      | -0.5 | 0    | 0.5 | 1 1 | .5   | 2 3 |
|------|------------------------------|-------|--------------|---------|------|------|-----|-----|------|-----|
| 標高値  | ~200m                        | 2480  | -0.110       |         |      | -    | 1   |     |      |     |
|      | 200m~300m                    | 4137  | 0.267        |         |      |      |     |     |      |     |
|      | 300m~                        | 3234  | -0.258       |         | 1    |      |     |     |      |     |
| 傾斜角度 | 0° ~10°                      | 1321  | -0.746       | 1       |      |      | 1   |     |      | 1   |
|      | 10°~20                       | 2701  | -0.720       | 0       |      |      |     |     |      |     |
|      | 20° ~30°                     | 30.48 | -0.072       |         |      |      |     |     |      |     |
|      | $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ | 2161  | 0.814        |         |      |      |     |     |      |     |
|      | 40° ~                        | 620   | 2-242        |         |      |      | -   | 1   |      |     |
| 倾斜方向 | 北                            | 92.4  | -0.267       |         | 1    |      |     |     |      |     |
|      | 北東                           | 922   | -0.277       |         | 1    |      |     |     |      |     |
|      | 栗                            | 1300  | 8.872        |         |      |      |     |     |      |     |
|      | 南東                           | 1498  | -0.021       |         |      |      |     |     |      |     |
|      | 南                            | 1454  | 0.108        |         |      | 1    |     |     |      |     |
|      | 南西                           | 1423  | 0-223        |         |      | -    |     |     |      |     |
|      | 西                            | 1377  | 0.263        |         |      |      |     |     |      |     |
|      | 北西                           | 953   | -0.414       | 1.1.1.1 |      |      | 1   |     |      |     |
| 断面曲率 | ~~2                          | 1639  | 0.043        | \$20    |      | 1    | -   |     |      |     |
|      | -2~2                         | 6525  | -0.052       |         |      | 4    |     |     |      |     |
|      | 2~                           | 1687  | 0.158        |         |      |      |     |     |      |     |
| 平面曲率 | ~~-2                         | 82.4  | 0.011        |         |      |      | 1   |     |      |     |
|      | -2~2                         | 8130  | -0.001       |         |      |      |     |     |      |     |
|      | 2~                           | 897   | -0.001       |         |      | 1    |     |     |      |     |
| 地質   | 塊状泥岩                         | 1147  | -0.020       | 555     |      | 1    |     |     | 1000 |     |
|      | 海成シルト・砂及び碟                   | 1041  | -0.049       |         |      | 1    |     |     |      |     |
|      | 砂岩                           | 1705  | 0.133        |         |      |      |     |     |      |     |
|      | 砂岩泥岩互屬                       | 4170  | 0.294        |         |      | -    |     |     |      |     |
|      | その他                          | 1788  | -0.771       |         |      |      |     |     |      |     |
| 植生   | 計算樹                          | 864   | -0.456       |         | -    |      | 1   | 1   |      |     |
|      | 広葉樹                          | 6788  | 0.029        |         |      | 1    |     |     |      |     |
|      | 草生地                          | 386   | 0.252        |         |      |      |     |     |      |     |
|      | その他                          | 1813  | 0.054        |         |      | Ϊu – |     |     |      |     |

図2 数量化理論Ⅱ類による解析結果(芋川流域)



図3 数量化理論Ⅱ類による解析結果(厚真川流域)

## 2018年9月6日北海道胆振東部地震による斜面災害 -地形・地質判読とGIS&LP解析でどこまでわかったか-

<sup>1</sup>山岸宏光・<sup>2</sup>岩橋純子・<sup>3</sup>山崎文明

<sup>1</sup>シン技術コンサル、<sup>2</sup>国土地理院、<sup>3</sup>可視化 vision

キーワード:北海道胆振東部地震、ランドスライド、地形地質判読、GIS 解析、LP 解析

## 1. はじめに

本講演では国土地理院のオルソ画像を用いた判読,(株)シン技術コンサルタントの地貌図(CBZ;以後,CBZ という)を用いた修正・追加判読結果をもとに,発生したランドスライドと地形・地質に関する GIS の解析結果 の概要を報告する.

## 2. 国土地理院オルソ画像と CBZ の判読

#### 2.1 地理院地図のオルソ画像の判読

発災直後は国土地理院がオルソ画像を公開し、それを道庁の喜多耕一氏、(株)地域環境計画の浜田拓氏のグ ループがランドスライドを判読した.以上のうち,喜多耕一氏と浜田拓氏は scarp と堆積部を区分して判読した. 両者とも複合した scarp は一連のものとしたが、筆者の一人山岸は、今回のランドスライドの発生源と地形地質 条件を探るため、個々のランドスライドの上部を scarp として図示した.

#### 2.2 オルソ画像と地貌図(CBZ)の判読

このオルソ画像のみの判読結果による scarp は 8,200 箇所(2019 年 3 月時点)であったが、この判読では、谷 地形の西側斜面は濃い影となり、判読しづらかったため、北海道林務部の航空 LP 50cm\_DTM を基に(株)シン 技術コンサルが作成した 2m\_CBZ(地貌図)により、樹林下や影部分の判読が可能となったことから、追加・修 正して合計 10,125 箇所(2019 年 6 月時点)の scarp が判読できた.

## 2.3 ランドスライドの形態分類と判読数

判読結果をポリゴン化する際に,ランドスライドを 1) スプーンタイプ (S タイプ), 2) 平滑タイプ (P タイ プ), 3) 地すべりタイプ (Jタイプ) に 3 区分した (図-1). 地すべりタイプ (J) の堆積部 (崩積土) は空中写真 では森林が邪魔して判読が困難であったが, CBZ を用いると, 1,076 箇所の地すべりの崩積土が判読できた. 発 生源の scarp の数はスプーンタイプ (S) が最も多く 5,601 箇所,平滑タイプ (P) は 2,563 箇所,地すべりタイプ (J) は 1.946 箇所であった.



 図-1 地理院地図オルソ画像のランドスライド タイプ.(a)スプーンタイプ(SType;右)と 平滑タイプ(PType:左),(b)地すべりタイプ (JType; 図-2 とほぼ同じ範囲:画像左側に 見える大規模地すべりなど)

## 2.4 各タイプの特徴

スプーンタイプ(Sタイプ;図-la 右)は豪雨災害にもよく見られるもので,浅い凹地状地形や谷頭部などから のランドスライドで,scarp がスプーン状を呈するものである(Yamagishi and Iwahashi,2007;Yamagishi and Yamazaki,2018). 平滑タイプ(Pタイプ;図-la 左)は、平滑な直線状の斜面が,斜面下部まで全体的にすべり 切ったものである.この二つのタイプは、被害地域全域に広がっていて(図-3),主に火山灰層が滑ったもので ある.地すべりタイプ(Jタイプ;図-lb)は、やや急な scarp とそれに対応する崩積土(debris)からなる.被害 地域の北西部の段丘地形末端などが滑ったものと、南東部の日高幌内川周辺で多い.植生の多い地域では、オル ソ画像判読では樹木が邪魔して判読しづらかったが、CBZを使うと明瞭に判読できた.特に、日高幌内川周辺で は、新規の地すべりタイプ(J)のほかに、古い地すべり地形も分布していて(山岸,2012など)、CBZでは、 今回の新規の地すべりと古い地すべり地形との関係もよく識別できた(図2).

## 3. GIS 解析に使用したデータ

**ラスタデータ:**1) 国土地理院による高解像度オルソ画像, 2) 国土地理院基盤地図情報標高データ(10m\_DEM),3) 5万分の1地質図「追分」「紅葉山」「早来」「穂別」「富 川」「鵡川」),4) 北海道林務部 LP による 50cm\_DEM, 5)4) から作成された 2m\_DEM の CBZ(地貌図)

ベクタデータ:1) 北海道地方土木地質図および同説明書 (北海道土木地質データ集作成委員会編,2017),2) 北海 道の地すべり地形デジタルマップ(山岸,2012),3) 恵庭 岳と樽前山のテフラマップを元に GIS 化したもの,4) 今 回作成したランドスライド shp ファイル

#### 4. DEM を使った地形解析

地震直後の 2m\_DEM による傾斜分類図を, 5°毎にカテゴ ライズし, ランク毎のランドスライド密度を計算すると, ピ ークは 25~35°であった. さらに, 地震発生前の 5m\_DEM が 存在する範囲について, 2m\_DEM を bilinear で 5m メッシュ



**図-2** 地理院地図オルソ画像によるランドスライド (Landslide scarp) と CBZ で判読した地すべり崩積土 (debris) に, 古い地すべり地形 (Old debris; 山岸編, 2012) を追加したもの.図-1b とほぼ同じ範囲.日高幌内川周辺. 背景の画像は CBZ.

に内挿補間した発災前後の DEM から,傾斜ヒストグラムを計算した.それによると,発災前ではカウント数のピークが 20~25°にあるが,発災後 25~30°に移行した可能性がある.S及び P タイプのランドスライドについて,傾斜方向毎のランドスライド密度を計算したところ,210~300°(南西向き)の斜面でやや高い傾向にあった.

## 5. テフラ分布とランドスライドの関係

胆振東部地域は,西方に位置する樽前山と恵庭岳などからの第四紀の降下軽石などが広範囲に分布しており, それらのテフラ層が,浅いランドスライドの発生物質となった.特に,樽前山由来の火山灰(Ta-d)が100cm以上かつ恵庭岳由来の En-a が100cm 以上で重なった部分に多く1,565 個となった.

## 6. 基盤地質図を使った地質解析

#### 6.1 5万分の1地質図幅を使った解析

地層傾斜をポイントデータとして読み取り, ArcGISのIDW (Inverse Distance Weighting;逆距離 加重法)で等傾斜分布図を作成し,地層傾斜10°ゾ ーン毎の新規地すべりポリゴン (J タイプの崩積 土)と古い地すべり地形ポリゴン (山岸編, 2012) の数を計算した.ランドスライドが集中する地域 では,新規地すべりの合計は160個で,古い地すべ り崩積土は計224 個であった.これらの古い地す べり崩積土は,地層傾斜10~20°のゾーンに多く, 新規地すべりは10~30°に多い.一方,ランドスラ イドSタイプとPタイプの合計数は地層傾斜10~ 20°にピークがあり,また,5万分の1地質図の向



図-3 デジタル土木地質図とランドスライド scarp すべての分布 範囲.(凡例の記号:N系は新第三紀層,P系は古第三紀層)

斜軸には少なく,背斜軸周辺に集中しているように見える. 図-3 は,デジタル土木地質図(北海道土木地質図,2017)に、ランドスライドの分布を重ねたものである. これらの地質図や scarp のデータを用いて、図-3 の赤枠の範囲について、基盤地質毎のランドスライド密度と面積占有率の計算を実施した. その結果、ランドスライドは、新第三紀層の砂岩シルト岩層(特に図3のN3,N4fの分布域)に集中している. また、最大の岩盤地すべりについて、高精度地上 LP などのデータを使用して現在、運動シミュレーションを実施中である.

文献:山岸宏光・岩橋純子(2020)地震による斜面災害の GIS を用いた地形・地質解析.「地震による地すべり災害」刊行委員会編.地震による地すべり災害-2018 年北海道胆振東部地震一,北大出版会, pp.104-112.

## 大規模地震に起因する斜面変動の地質的特徴

小嶋孝徳\*·持田七海\*·長谷川陽一\*·佐藤亜貴夫\*·山崎 勉\*

## Geological Features of Slope Failures Caused by Large-scale Earthquake

Takanori OJIMA\*, Nanami MOCHIDA\*, Youichi HASEGAWA\*, Akio SATO\*, and Tsutomu YAMAZAKI\*

\*Engineering Management Department, Engineering Headquarters, Japan Conservation Engineers & CO.,LTD ojima@jce.co.jp

#### Abstract

The 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake occurred in eastern Iburi town region. Many slope failures with amount of mass sediments were induced by Mw6.6 earthquake. Slope sediment is composed of pyroclastic sediments (volcanic ash, pumice, and partly lava breccia) above Paleogenic sedimental rock basement. In the results of surveys, we recognized slope failure is not only occurred in steep slope but also gentle slope and subsutantially-flat plane. In addition, topographic analysis also suggests same results showing most frequent slope angle is. <30 deg. Well known as recently researches, pyroclastic layer is often collapsed at gentle slope due to unconsolidated component, weathering, and unexperience of Earthquake (e.g. 2016 Kumamoto Earthquake).

In this paper, We organized avalanche cases from 10 past-largescale Earthquakes in Japan, and classified slope failures in geological setting, scale of Earthquake, and distance from epicenter. From these, We suggest Georegional risk hazard map for prevention and restoration.

Key words: Slope Failure, Mass Movement, Georisk, Largescale Earthquake

## 1. はじめに

## 1.1 北海道厚真町周辺で発生した斜面災害

2018年9月に発生した北海道胆振東部地震では 多くの箇所で斜面災害が発生し,震央に近い安平町 東部~厚真町やその周辺の山地部では特に斜面崩壊 が集中した.これらは一般的に斜面災害が起きにく いとされている緩斜面地域でも斜面変動が多く発生 しており,危険性の認識の困難さから甚大な被害に つながりやすい背景があった.このような災害は, 東北太平洋沖地震や熊本地震などでも同様の斜面条 件での崩壊事例があり,報告事例は多くないものの 大規模地震で発生する斜面変動の特徴の一つと認識 が深まっている(たとえば王ほか(2016)).

また,山地部の山腹斜面や渓流河床部には大量 の崩積土が残留しており,今後の台風や大雨などで 土砂が流出し,2次災害につながる危険性が伏在す る.熊本県阿蘇地方では熊本地震で発生した山腹亀 裂が地域住民の帰村率に影響していたため,調査・ 亀裂対策等が実施されており,潜在的危険性が社会 に与える影響も喫緊の課題といえる.

1.2 大規模地震による斜面災害事例

これまで大規模地震によって発生した斜面災害

\*国土防災技術株式会社 技術本部



figure. 1 distributions of slope failures at survey area

については多くの報告事例があり,その統合的な整 理についていくつか報告されている(阿部・林,2011 など).大規模地震で発生する山地斜面災害リスクに ついて整理することは,地震災害の対応指針になる だけでなく,事前防災の視点でも有用な情報に資す るといえる.本報告では,厚真町周辺で発生した斜 面災害についてその崩壊様式と土砂動態の特徴につ いて報告し,これに加えて過去の大規模地震の災害 報告事例を参考に,斜面変動の運動様式や地質的特 徴について整理し,大規模地震で生じうる地質リス クの検討結果を報告する.

## 2. 厚真町周辺の地形地質と斜面変動特性

## 2.1 地形地質

調査地周辺の地域は,新第三紀の砂礫を含む珪質 シルトや砂泥互層の砂礫を含む海成堆積層を基盤と しており,北海道の現地形を形成した隆起運動によ る北北西一南南東方向に主軸を持つ断層・褶曲構造 による低起伏山地を形成している.また,調査地西 方では第4期以降に支笏カルデラを形成する活発な 火山活動があり,山地斜面の上位に約4万年前以降





に噴火した支笏軽石層をはじめとする降下火砕物類 が被覆している.

なお,降下火砕物の分布域については同心円では ないため,テフラ層序による層厚分布により分布域 が推定されている.調査地周辺では支笏降下軽石層 (約4万年前),恵庭火山効果軽石層(約2万年前 ~),樽前火山降下軽石層(約9千年前~)などが被 覆している.

## 2.2 斜面変動特性

現地調査では,事前に航空レーザ測量で得られた LP データを元に作成した崩壊分布図 (figure.1)を用 い,崩壊の密度,規模,地形地質,土砂動態などの 比較検討項目に着目し,現地の崩壊や斜面状況の調 査を行なった.

調査結果では、本地域の斜面変動を特徴づける降 下火砕物による崩壊(以後、テフラすべり)が最も 多く、事例数は少ないが岩盤地すべりなど他の運動 タイプの地すべりも確認された.

LP データを用いた地形解析において, テフラす べりが発生した斜面傾斜量を集計したところ, 傾斜 は 20~30°に集中し, 35°を超える急斜面は全体の 10%であった(table.1).なお,今回の地形解析で使 用したデータは厚真町東方の山地部のみであり,同 様にテフラすべりの発生が報告されている厚真町周 辺の市街地や丘陵地を考慮に入れると,傾斜のピー クはさらに低くなると考えられる.

## 3. 大規模地震による斜面変動の傾向分析 3.1 既往の報告事例整理

前章の北海道胆振東部地震の調査では,基盤となる褶曲構造の卓越した堆積岩の上位に降下火砕物が 被覆していることで,表層崩壊や地すべりに加えテ フラすべりといった斜面変動が発生することがわ

table. 2 historical large-scale Earthquakes

described in scientific report

| 発生年  | 地震名             | M   | 最大 震度 |
|------|-----------------|-----|-------|
| 1995 | 平成7年兵庫県南部地震     | 7.3 | 7     |
| 2000 | 平成12年鳥取県西部地震    | 7.3 | 6強    |
| 2004 | 平成16年新潟県中越地震    | 6.8 | 7     |
| 2007 | 平成19年新潟県中越沖地震   | 6.8 | 6強    |
| 2008 | 平成20年岩手・宮城内陸地震  | 7.2 | 6強    |
|      | 平成23年東北地方太平洋沖地震 | 9   | 7     |
| 2011 | 長野県北部地震         | 6.7 | 6強    |
|      | 福島県浜通りの地震       | 7   | 6弱    |
| 2016 | 平成28年熊本地震       | 7.3 | 7     |
| 2018 | 平成30年北海道胆振東部地震  | 6.7 | 7     |



figure. 2 surveyed seismic intensity map

かっている.これまでの大規模地震による斜面変動 も同様に,地震動と地質条件によって特徴づけられ ることが報告されており,その際の斜面変動の運動 様式についても整理され,危険斜面抽出の一つの指 標となっている(地すべり学会,2014).特に阿部・ 林(2011)や野呂ほか(2011)では,地震動の強さと 発生規模についてはある程度線形的な相関が見られ ることが示されており, さらに地質条件によって斜 面変動の規模や運動様式が異なる場合があることが 示唆されている.

そこで,近年の地震による斜面変動事例を整理し, 各地質条件(地域)に伏在する地質リスクの重要性 について検討した.

#### 3.2 斜面変動事例の収集・整理方法

斜面変動事例は、1995年以降に発生し最大震度6 強以上となる 10 地震(table.2) を対象とし, 130 件 の関連文献から位置情報が確認できる125事例を抽 出した.なお、抽出事例を整理するにあたり、地質 の区分は構造的な区分として堆積岩・火山岩類・花 崗岩類·玄武岩と分け、さらに堆積岩と火山岩類に ついては風化の進行度を鑑み,地質時代ごとに細分 した8区分とした.また、斜面変動の分類について は、土塊の移動様式や破壊面の状況など、これまで いくつかの区分方法が提唱されているが、ここでは 崩壊した土砂の運動様式に着目し、地すべり・崩壊 性地すべり・岩盤崩落・表層崩壊・テフラの崩壊の 5区分に分類した(table.3). また,斜面変動と地震 動の影響範囲を見積もる位置関係については、地表 投影点である震央よりも、断層変異が最大となる地 表面の方が適していると考えられる. 東北太平洋沖 地震を除く9地震では、震源域の位置について震源 断層からの距離を用いた.

## 4. 地震時の地質リスクの整理と活用

## 4.1 大規模地震発生時の地質リスク

大規模地震で発生する斜面変動について,運動タイプと震源域との距離関係(figure.3)でみると,表

| 原稿様式             | 移動様式 | 1710   |   |
|------------------|------|--|---|
| テフラの厳雄           |      | <ul> <li>✓ 除下火山噴出物などの「アフラ」が含まれる崩壊</li> <li>✓ 主に開土はアフラであるが、旧崩壊地にアフラが堆積した場合はテフラ<br/>以外の岩帯物も含まれる場合がある</li> <li>✓ 比較的緩利面でも発生し、流動性が高い</li> </ul>                    |   |
| 8. <b>0</b> .010 | 完落   | 完落   | <ul> <li>✓ 土層厚の薄い表層付近で発生する崩壊</li> <li>✓ 崩土は表層の土壌もしくは基岩の風化層となる</li> </ul>                      |
| 岩盤崩落             |      |  | <ul> <li>✓ 地質構造に規制され、亀裂や節理によって念崖部近辺で発生する崩壊</li> <li>✓ 崩土は岩塊を中心とし、土砂を含まないことがほとんどである</li> </ul> |
| 崩壊性地すべ<br>り      |      | <ul> <li></li></ul>  |   |
| 地すべり             | 残留   | <ul> <li>地質構造によって規制されることが多く、並進や回転などのすべり面を<br/>持って土塊が移動する現象</li> <li>基本的には流動性が低く、制爆地内に移動土塊がとどまる(一部未端部<br/>が流動化する場合がある)</li> <li>再活動地すべりと初生地すべりの両者がある</li> </ul> |   |

table. 3 classification by mass movement types



figure. 3 slope failure correlations between seismic intensity and distance from epicenter

Colors; geology, Shape; movement type, Scale; scale of failure

Upper figure: slope failures in broad area

Middle figure: slope failures within 30 km of epicenter

Bottom figure: landslide (circle and lozenge) within 30 km of epicenter

層崩壊のように地震動の大きさに比例して遠方でも 発生するような相関性や,テフラの崩壊のように強 振動時には距離によらず発生するような地域性など がみられた.

次に地質条件と震源域の関係に着目すると,新第 三紀堆積岩では造構作用の影響が小さく岩石の連続 性が良いため,地震動の規模に応じて規模が大きく なりやすい傾向がある.また,破壊面にある程度の 強度があったことで,崩壊が広域にわたって発生し ている事を示唆している.火山岩類については,構造の不連続性や節理の発達などから規模はやや小さい傾向があるが,集水地形など地形的要因が影響し,強震域から距離が離れていても崩壊が発生することが示唆される.また第四紀堆積岩のように未固結な地盤や,古第三紀以先のような造構作用を受けている古い堆積岩は,弱部が多く存在し,構造が不均質な場合が多いため,斜面変動は局所的かつ小規模なものが多く,遠方でも発生している傾向がみられた.

#### 大規模地震に起因する斜面変動の地質的特徴-小嶋ほか

| 地質 |          |  | 堆積岩  |                                       |                                      |   |   |   |   |   |  |  |  |
|----|----------|--|--|---------------------------------------|--------------------------------------|---|---|---|---|---|--|--|--|
|    |          | 第四紀堆積岩   |  | 新第三紀堆積岩                               |                                      |   |   | 古第三紀堆積岩                                   | 先第三紀堆積岩   |   |  |  |  |
| #± | 運動<br>様式 | 地すべり(並進性)  | 地すべり(回転性)  | 岩盤崩落                                  | 崩壊性地すべり                              | 地すべり  | 地すべり(回転性)                                       | 岩盤崩落                                      | 岩盤崩落  | 崩壊性地すべり   |  |  |  |
| 役  | 斜面<br>条件 | <ul> <li>・ 役丘斜面の沖積量</li> <li>・ 第四紀以降の山地線辺距</li> </ul>                                      | ・ 南橋王などの無構造な<br>製造<br>・ 戦時付近などの山地丘<br>地名の南部に集中                       | ・急損料の受け着新運<br>・沿岸部などの風化作用<br>の強い値所で多い | ・「朝鮮が急な流れ着斜面<br>・切土などの人工料面で<br>ら発生する | ・斜面積斜よりも地層の<br>線斜に規制される<br>・両活動加が分でなく、<br>初生地すべりも発生する | <ul> <li>急車に至らない40° 前<br/>後の受け無料面に多い</li> </ul> | ・新聞家などの教護師の際                              | <ul> <li>治岸部など波流振化が<br/>卓越する斜面</li> <li>急運線辺路に集中</li> </ul> | ・斜面や傾斜によらず、<br>片岩の片環構造に規制<br>される                      |  |  |  |
|    | 移動体      | <ul> <li>第三系増積器に比べる<br/>と規模は小さく、移動<br/>量もわずか</li> <li>組織性地すべりに比べ、<br/>ると解壊深度は深い</li> </ul> | ・期後深度は迷く、規模<br>も小さい<br>・移動量はわずかだが、<br>ためオYA圏場付近で<br>は近勤性を示す場合が<br>ある | ・崩積土は風化岩や土砂<br>が主体となり、流動性<br>流動性は低い   | ・急強料のため、土砂は<br>満下する                  | ・修理現現は大きい傾向<br>・演洒内では土砂ダムを<br>形成することがある               | ・料面中に大量の不安定<br>土塊が残留する                          | ・ 岩間が主体となるため、<br>急塵下部に埋積する<br>・ 岩積の移動性は低い | ・岩塊が主体となるため、<br>急度下部に埋積する<br>・岩塊の移動性は低い                     | <ul> <li>古く変質(片岩化)・<br/>風化が進行しているため一気に崩壊する</li> </ul> |  |  |  |

## table. 4 at-a-glance chert of potential failure types in each geology

| 地質 |          |   | 火山岩類   |   |   |   |   |   |  | 地震に共通する崩壊  |  |
|----|----------|---|--|---|---|---|---|---|--|--|--|
|    |          | 第四紀火山岩類   | 新第三紀   | 火山岩類  | 古第三紀火山岩類 玄武岩                                |   | 花崗岩   |   |  | 1  |  |
| 特徴 | 運動<br>様式 | 地すべり(並進性)   | 崩壊性地すべり  | 地すべり  | 岩盤崩落  | 岩盤崩落  | 表層崩壊  | 岩盤崩落  | テフラの崩壊   | 表照崩壊   |  |
|    | 斜面<br>条件 | <ul> <li>・火砕造堆積物で構成される侵食谷園停</li> <li>・板状師習に沿って御場<br/>するため位置予測が困難</li> </ul> | <ul> <li>比較的急な斜面</li> <li>- 岩質的に不均算で、屋</li> <li>化に伴う節理が発達</li> </ul> | <ul> <li>キャップロック構造の<br/>縁辺部時面</li> <li>上載する火砕洗堆積物<br/>により、潜在的な弱係<br/>が発達している</li> </ul> | - 急遽線辺跡に集中<br>- 新羅崖などの連続した<br>- 地形では線帯密度が高い | <ul> <li>急運種辺形に集中</li> <li>・敵理に沿った尚化が進<br/>行し、急遽節で領落する</li> </ul> | <ul> <li>山豊幹面の種植料地など</li> <li>原位重用化によりマサ<br/>化し素量している</li> <li>コアストーンを伴う</li> </ul> | <ul> <li>新層単や切土時面などの急車線辺部</li> <li>地面動が集中しやすい、<br/>尾根形地形</li> </ul> | <ul> <li>漁畑料地に該当しない<br/>緩利面でも発生する</li> <li>頭塔とテフラの厚さに<br/>は傾向は見られない</li> </ul> | <ul> <li>・10、以上の原料的できくに<br/>より実現な利用に多いが、<br/>株式の成果が用に多いが、<br/>技術的現実上のり運動知能<br/>とや自然利用できんまする。</li> <li>・20、第二条単う場合がある。</li> <li>・20、第二条単う場合がある。</li> <li>・20、第二条単う場合が、</li> <li>・20、第二条単の、</li> <li>・20、第二条単の、</li></ul> |  |
|    | 移動体      | ・移動体は漢面に至り。<br>土砂タムを形成  | ・重化度は終重で一種で<br>はない<br>多れ質な組織の場合は<br>私土化が進み、消動化<br>しやすい               | ・ 単化度は料面で一様で<br>はない<br>多売賞な相信の場合は<br>粘土化が進み、清動化<br>しやすい                                 | 整理が高先となる58%。<br>影響で高先となる58%。<br>お我の移動性は低い   | ・岩塊が主体となるため、<br>急座下部に増増する<br>・岩塊の移動性は低い<br>・未用落部にも亀裂が発<br>達する     | <ul> <li>通常の表展現境と異なり、水分を含むと洗動<br/>性が増す</li> </ul>                                   | ・風化しやすいため深部<br>まで都理が発達し、大<br>規模に崩落する<br>・注動性は低いがマサを<br>伴う場合がある      | ・時面の広さに比例する<br>ように土砂量が増大する<br>・土粉は流動化すること<br>が多く、表題環境より<br>土粉は毎距離移動する          |  |  |

## 4.2 地質リスクの活用

前章のように,地質,崩壊の規模や震源域との距 離関係などを整理すると,今回現地調査を行なった 北海道胆振東部地震の崩壊集中域では,テフラすべ りと大規模地すべりが同時に発生していたが,大規 模地すべりが発生しやすい新第三紀の堆積岩と,緩 斜面でも崩壊しやすいテフラ層が重複して分布する 地域であったためである.

このように地質条件で発生しうる斜面災害の特 徴を抽出・整理することで、地域に伏在する地質リ スクを把握することができる(table.4).これらの 整理結果については、危険箇所抽出の資料としてだ けでなく、効果的・効率的な予防・復旧対策検討材 料として活用が期待でき、事前防災や二次災害対策 への応用も期待できる(figure.4).

## 5. 謝辞

本報告には林野庁森林整備部治山課発注の令和 元年度流域山地災害等対策調査業務(大規模な地震 による山地災害の発生形態等分析調査)の成果の一 部を利用させていただいた.



figure. 4 draft of geohazard risk map for prevention and restoration for forest disasters

## 参考文献

- 千木良(2006)地すべり・崩壊の発生場所予測-地質と地形からみた技術の現状と今後の展開, 土木学会論文集, 62-4, 722-735
- 阿部・林 (2011) 近年の大規模地震に伴う地震地 すべりの運動形態と地形・地質的発生の場,地す べり学会誌 Vol.48, No.1, p52
- 3) 野呂ほか (2011) 既存地すべり地形における地震 時地すべり発生危険度評価手法に関する研究, 土木研究所資料第 4204 号
- 地すべり学会(2014)類型化に基づく地震による 斜面変動発生危険箇所評価手法の開発,国土交 通省国土技術政策総合研究所受託業務報告書 (H25)
- 5) 王ほか(2016)平成28年(2016年)熊本地震時に生じた南阿蘇村の流動性崩壊,第55回日本地すべり学会研究発表会講演集,p56-57

## 要 旨

2018年に発生した北海道胆振東部地震では、震源近くの厚真町周辺の山地斜面において多くの斜面崩壊が発生した.この地域一帯は支笏カルデラ由来の降下火砕物で覆われており、崩壊は一般的に崩壊が起きやすいとされている急斜面よりも緩い傾斜でも多く発生し、崩落した土砂が長距離移動するという特徴があった.そのため、危険性が認識しにくい地形的要因や未固結で崩れやすい地質的要因に、突発的に発生した地震動が加わったことによって甚大な被害につながったと考えられる.

筆者らは過去の大規模地震で発生した斜面災害事例を収集し,地域地質ごとの地震規模と崩壊の 特徴について整理を行った.さらにこれらの整理結果をもとに,事前防災に有用と考えられる地質 リスク一覧および地質リスクのハザードマップとしてとしてまとめた.

キーワード:斜面変動,崩壊土砂,地質リスク,大規模地震

第2部・テーマ2 最近の降雨による土砂災害の実態

## 令和元年台風 19 号及び令和 2 年 7 月豪雨による土砂・洪水氾濫

坂井佑介\*·山越隆雄\*·西脇彩人\*·平田育士\*·對馬美紗\*·永谷直昌\*

## Sediment and Flood Damage Events Due to Typhoon Hagibis, 2019 and the Heavy Rainfall, July, 2020

Yusuke SAKAI, Takao YAMAKOSHI, Ayato NISHIWAKI, Ikushi HIRATA, Misa TSUSHIMA, and Naomasa NAGATANI

\*Sabo Planning Division, National Institute for Land and Infrastructure Management, Japan 1 sakai-y28y@mlit.go.jp

## Abstract

Sediment and flood damage occurred in the Gofukuya River (Marumori-machi, Igu-gun, Miyagi) due to Typhoon Hagibis, 2019 and in Kawauchi River (Kuma-mura, Kuma-gun, Kumamoto) due to the heavy rainfall, July, 2020. In the Gofukuya River, one of the tributaries of Abukuma River, sediment filled the river channel and flooded extensively. Sediment and muddy water flooded in the section with small bed slope. In the Kawauchi River, one of the tributaries of Kumagawa River, one of the causes of sediment and flood damage was considered to be the backwater from the Kumagawa River and the influence of sediment discharge from the tributaries. We considered that sediment and flood damage didn't occur in other two rivers catchment with heavier rainfall area in the west side of the Kawauchi River, because bed slope was very gentle.

Key words: Sediment and flood damage, Sediment yield, Typhoon Hagibis, 2019, The heavy rainfall, July, 2020

## 1. はじめに

近年,気候変動の影響の顕在化で豪雨が集中化・ 頻発化し,全国で土砂災害が頻発している.特に, 山地域で大量に生産された土砂が河道に供給され, 下流域に流下して土砂や泥水が氾濫する,土砂・洪 水氾濫が毎年のように発生している.

国土技術政策総合研究所では、これまで継続的に 土砂・洪水氾濫に関する研究を行ってきており、近 年発生した現象についてもその都度調査を実施して いる(例えば、内田ら<sup>1)</sup>).本稿では、令和元年台風 19号及び令和2年7月豪雨により発生した2つの土 砂・洪水氾濫の実態について調査した結果を報告する(国土技術政策総合研究所<sup>2)</sup>;地頭菌ら<sup>3)</sup>).

## 2. 阿武隈川水系内川支川五福谷川流域(令和元年台 風 19 号)

阿武隈川水系内川支川五福谷川流域は宮城県伊 具郡丸森町に位置し,流域面積約24km<sup>2</sup>を有してい る.内川合流点まで全川に渡ってほぼ南西から北東 方向に流下し,主な地質は花崗岩・花崗閃緑岩であ る(図1).内川流域では,本川や別の支川である新 川でも土砂・洪水氾濫が発生しているが,五福谷川

\*国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 砂防研究室

において最も広範囲に氾濫し,甚大な被害をもたら した.

土砂・洪水氾濫は,最大1時間雨量74.5 mm,降 り始めからの総雨量594.5 mm (AMeDAS 筆甫)を 記録した同観測所の既往最大値を超えた降雨により 発生し,当該地域周辺を含めても内川流域が最も雨 量が多い範囲と重なっている(図2).土砂生産状況 について,内川流域全体で約162万m<sup>3</sup>と報告され ている(山影ら<sup>4)</sup>).また,国土地理院による判読結 果(国土地理院<sup>5)</sup>)によると,斜面崩壊・堆積範囲 は内川流域内に490箇所あり,面積で見ると五福谷 川が最も多く,その面積が流域面積に占める割合で 見ると,他の流域よりも2倍以上大きかった.

土砂・洪水氾濫の発生状況について,五福谷川と 県道45号が交差する周辺(内川合流点から約0.7km) から谷出口(内川合流点から約2.3km)までの谷底 平野や平野部で土砂が河道を埋塞し,広範囲に土砂 や泥水が氾濫した.河床勾配は平野部で約1/150~ 1/100,谷底平野で約1/50であり,堆積した土砂に大 きな礫は少なく,砂を主体とする花崗閃緑岩由来の 土砂と考えられる(図3).一方で,谷出口から薄平 地区(内川合流点から約3.0km)までの狭窄部が続 く区間では土砂はほとんど堆積していない(図4). 狭窄部上流にある比較的開けた地形を有する薄平地 区では,平野部と同様に河道を埋塞するほど土砂が 堆積していた(図5).目視ではあるが,薄平地区に 堆積した土砂は平野部・谷底平野に堆積した土砂よ りも礫を多く含んでいた.

## 3. 球磨川支川川内川流域(令和2年7月豪雨)

球磨川支川川内川流域は熊本県球磨郡球磨村に 位置し,流域面積約11km<sup>2</sup>を有している.球磨川合 流点から上流約3km地点まで,ほぼ北東から南西 方向にまっすぐに流下しており,この区間に集落が 点在している(図6).

土砂・洪水氾濫は,2020 年 7 月 3~4 日の最大 1 時間雨量 78 mm,累積雨量 564 mm(神瀬雨量観測 所)を記録した降雨により発生した(図 7).一方, 最も雨量が多い範囲は当該流域西側の芦北町周辺で あった.土砂生産状況について,災害直後のヘリ動 画や現地調査から確認された斜面崩壊は,大岩地区 上流の右岸渓流における比較的規模の大きな崩壊 (約 20,000 m<sup>3</sup>),松野地区の左岸渓流における崩壊 に伴う土石流(約13,000 m<sup>3</sup>)の他に,日當橋直下流 の左岸渓流からの土石流や川内川沿いの渓岸崩壊が 複数確認できたが,数はそれほど多くない(図 8). また,川内川上流域では,渓床が侵食されている箇 所もあったが,多量の土砂が通過したような痕跡は 確認できなかった.

土砂・洪水氾濫の発生状況について、球磨川合流 点周辺に堆積した土砂は背水により沈降して堆積し たと考えられる細かい粒径の土砂が数十 cm の厚さ で堆積している (図9). また、神瀬地区内 (球磨川 合流点から約0.2km)から松野地区(球磨川合流点 から約1.2 km)の区間では河道が埋塞するほど土砂 が堆積しており、家屋周辺には川内川の自流によっ て運搬されたと考えられる比較的粗い礫を含む土砂 が1mを超える厚さで堆積している(図10).この 区間の河床勾配は約1/35であった.一方で、松野地 区から日當地区(球磨川合流点から約2.6km)の区 間では渓岸が侵食されたような箇所はあるが、土砂 が厚く堆積したような箇所は見られなかった. そし て、日當地区から大岩地区(球磨川合流点から約3.0 km)の区間では、左岸渓流で崩壊に伴う土石流が発 生し,河道断面が縮小したことにより土砂・洪水氾 濫が発生している箇所があった(図 11).日當地区 から大岩地区に堆積した土砂には大きな礫を含む土 砂が堆積している.この区間の河床勾配は約1/15で あった.

## 4. 土砂・洪水氾濫の発生・非発生に関する一考察

3. で記載したとおり, 球磨川支川川内川流域の事 例において, 最も雨が強い範囲は当該流域の西側に 位置していた. 川内川流域よりも最も雨が強い範囲 に近い地域には, 吉尾川と天月川という球磨川水系 の別の支川が位置している. しかし, この2支川で は, 下流まで多量の土砂が流出するような状況は確 認できていない. このことから, 川内川流域との違 いを確認するため, 河道の縦断形状として流域平均 の河道勾配を把握した(図 12). ここで, 流域平均 の河道勾配は球磨川合流点を下流端, 集水面積 0.005 m<sup>3</sup>になる地点を上流端として算出している. この結 果から, 流域平均の河道勾配が吉尾川では約 1/50, 天月川では約 1/60 となっており, 川内川の約 1/10 に 比べて非常に勾配が緩いことがわかった. このよう に, 河道勾配が非常に緩かったことが雨量が多いに も関わらず土砂・洪水氾濫が発生しなかった要因と 考えられる.

## 5. おわりに

本稿では、令和元年台風 19 号及び令和 2 年 7 月 豪雨で発生した土砂・洪水氾濫の実態を報告した. 土砂・洪水氾濫の発生には様々な土砂移動プロセス が影響していることから、今後とも更に検討を進め て行きたい.



- 図1 五福谷川流域の位置図と被害の概要
- Fig. 1 Location and overview of disaster in Gofukuya River



- 図2 台風 19 号による降雨状況 Ea 2 Provisitation due to Turkson Hagiki
- Fig. 2 Precipitation due to Typhoon Hagibis, 2019



図3 土砂・洪水氾濫の発生状況(平野部~谷出口) Fig. 3 Sediment and flood damage in the Gofukuya River



図4 土砂・洪水氾濫の発生状況(谷出口~薄平地区)

Fig. 4 Sediment and flood damage in the Gofukuya River



図5 土砂・洪水氾濫の発生状況(薄平地区) Fig. 5 Sediment and flood damage in the Gofukuya River



- 図6 川内川流域と被害の概要
- Fig. 6 Overview of disaster in the Kawauchi River



- 図9 土砂・洪水氾濫の発生状況(神瀬地区~球磨 川合流点)
- Fig. 9 Sediment and flood damage in the Kawauchi River



- 図7 令和2年7月豪雨による降雨状況
- Fig. 7 Precipitation due to the heavy rainfall, July, 2020



図8 川内川流域における土砂生産状況 Fig. 8 Sediment yield in the Kawauchi River



- 図10 土砂・洪水氾濫の発生状況(神瀬地区~松野 地区)
- Fig. 10 Sediment and flood damage in the Kawauchi River



- 図11 土砂・洪水氾濫の発生状況(日當地区〜大岩 地区)
- Fig. 11 Sediment and flood damage in the Kawauchi River



図12 強い雨域に位置する流域の比較

Fig. 12 Comparison of longitudinal profiles of the rivers located in the heavy rain areas

## 謝辞

本研究にあたり合同で調査した鹿児島大学地頭 園教授,一般財団法人砂防・地すべり技術センター, 動画を提供いただいた国土交通省九州地方整備局に 感謝申し上げます.

## 参考文献

- 内田ら (2018): 平成 30 年西日本豪雨災害にお ける土砂災害-土砂・洪水氾濫被害の実態と課 題-,土砂災害予測に関する研究集会 2018 年度 プロシーディング, p.19-22
- 国土技術政策総合研究所(2020): 令和元年(2019年) 房総半島台風および東日本台風による土木施設・建築物等災害調査報告, 国総研資料第1111号, p.191-230
- 地頭薗ら (2020): 令和2年7月豪雨による熊本県の土砂災害,砂防学会誌, Vol.73, No.4, p.41-50
- 4) 山影ら (2020): 令和元年台風 19 号により発生
   した土砂移動の実態について, 2020 年度砂防学
   会研究発表概要集, p.427-428
- 国土地理院:令和元年台風第19号に伴う斜面崩 壊・堆積分布図(丸森地区), https://www1.gsi.go.jp/geowww/201910/houkai/hou kai l.pdf,参照2020-3-11

## 要 旨

近年,土砂・洪水氾濫の発生が頻発しており,令和元年台風19号では阿武隈川水系内川支川五福 谷川(宮城県伊具郡丸森町),令和2年7月豪雨では球磨川水系川内川(熊本県球磨郡球磨村)にお いて土砂・洪水氾濫が発生した.五福谷川では,谷底平野や平野部,狭窄部上流に位置する薄平地 区で土砂が河道を埋塞し,広範囲に土砂や泥水が氾濫した.川内川では,土砂・洪水氾濫発生の一 つの要因として,球磨川本川による背水,支渓からの土砂流出による影響などが考えられた.また, 川内川より西側のより雨量が多かった地域に位置する2つの河川で土砂・洪水氾濫が発生しなかっ た一つの要因として河道勾配が非常に緩かったことが考えられた.

キーワード:土砂・洪水氾濫,土砂生産,令和元年台風19号,令和2年7月豪雨

## 2019 年台風 19 号よる宮城県丸森町における斜面崩壊発生場の分布特性

<sup>1</sup>林一成・<sup>2</sup>八木浩司・<sup>3</sup>大河原正文・<sup>4</sup>瀬野孝浩・<sup>5</sup>渡辺修 <sup>1</sup>奥山ボーリング(株),<sup>2</sup>山形大学,<sup>3</sup>岩手大学,<sup>4</sup>(株)新東京・ジオシステム,<sup>5</sup>(同)水文企画 キーワード: 2019 年台風 19 号,豪雨による斜面崩壊,花崗岩,風化,侵食

## 1. はじめに

2019年10月の台風19号による豪雨に伴って,丸森町の山間部では多くの斜面崩壊が発生したが,それらの分布傾向には偏りが認められた.ここでは,崩壊地の分布と雨量,地質,地形との関係について分析した結果を述べる.なお本稿は(公社)日本地すべり学会東北支部が参加した2019年台風第19号災害に関する東北学術合同調査団の報告書および2020年度日本地すべり学会研究発表会(山梨大会)講演集に記載した内容を加筆・修正したものである.

## 2. 斜面崩壊発生場の特徴

対象地における雨量,地質,崩壊地の分布を示した のが図-1である.現地の基盤は阿武隈山地北端部に 分布する白亜紀の花崗岩であり,中新統の霊山層玄武 岩類がキャップロック状にそれらを覆っている.花崗 岩は NNW-SSE 方向に延びる畑川破砕帯により,東側 の北上花崗岩と西側の阿武隈花崗岩に分けられる.崩



図 -1 対象地における崩壊地と雨量および地質の分布図 日雨量コンターは防災科学技術研究所クライシスレスポ ンスサイト<sup>1)</sup>地質データは産業技術総合研究所<sup>2)</sup>,崩壊地 の判読と背景は国土地理院地理院地図<sup>3)</sup>による.

壊地の分布は、日雨量 300mm 以上の範囲に集中して おり, それ以下の範囲では極端に密度が小さくなるこ とがわかる.また、雨量の集中域であっても、地質や 地形の違いによる分布の隔たりが認められ,特に花崗 岩の分布域で多く発生していることがわかる. GIS に よる集計では,崩壊箇所数の82%が日雨量300mm以 上の範囲で、85%が花崗岩の分布域で発生していた。 現地調査の結果, 前述のように, 崩壊地の多くはコア ストーンを伴う表層のマサ土において、1m 程度の深 さで発生した浅い表層崩壊であり,風化の厚い部分で はやや深い崩壊もみられた. さらに図-2は、雨量と 地質の条件がおおむね同等である図 -1 の中央部にお いて,崩壊が集中して発生した範囲とそうでない範囲 の地形を対比したものである. すなわち, 崩壊は阿武 隈川の本流や五福谷川などの支流に沿った傾斜が急 な範囲で多く発生しているが,谷が未発達で傾斜が緩 く起伏が小さい場所では発生が少ない.ただし,霊山 層との地質境界部においては、 廻倉地区周辺のように、 例外的に崩壊が集中する箇所もみられる.

このように、水系(谷地形)の発達やそれによる急 傾斜地の存在が崩壊の集中に寄与した可能性がある ため、これらの傾向を把握するために以下の分析を実 施した.日雨量が 300mm 以上かつ花崗岩の分布域に 該当する範囲において、平均的な崩壊地を概ね抱合す るサイズとして設定した半径 R=100mの円形の窓領域





**MIN** 

を 50m ずつ移動させながら,窓領域の内部における ①崩壊地の面積率,②傾斜量の平均値,③落水線の密 度(谷密度)を集計した(図-3).この際,傾斜量と 落水線は国土地理院<sup>4)</sup>による10mメッシュ単位の標高 データから作成したものを用いた.谷密度は,落水線 と重なるメッシュが窓領域内の全メッシュに占める 割合として算出した.結果として,全体では平均傾斜 が大きく,谷密度が大きいほど,崩壊面積率の高い窓 領域が多くなる傾向がみられる.一方で数は少ないも のの,平均傾斜が10°~20°ないし谷密度が3%程度 以下の窓領域であっても,崩壊面積率がやや大きくな るものが存在する.前述した廻倉地区のような例外的 な崩壊集中域が,これにあたると考えられる.



図 - 3 崩壊地と地形量の統計データ収集方法<sup>5)</sup>と結果 日雨量が 300mm 以上かつ花崗岩の分布域において, 窓領 域を 50m ずつ移動させながら,

- ① 崩壊面積率
- ② 傾斜量の平均値(10m メッシュ)
- ③ 谷密度(落水線と重なる 10m メッシュの割合)
   を集計した.

## 3. まとめと今後の課題

以上から、今回の豪雨災害における斜面崩壊発生場 の特徴を総括的に示したのが図-4 である.この地域 が日雨量 300mm 以上の豪雨に見舞われていたことを 前提として、その中の特に花崗岩の分布域において、 風化した表層のマサ土が流出することによる崩壊が 発生した.加えて、雨量と地質が同等な条件下におい ても、地形条件等の違いにより崩壊の発生密度に著し い差がみられた. すなわち,崩壊は河川の侵食・下刻 により水系の発達した阿武隈川の本流および支流の 河川沿いの急傾斜地周辺に集中しており,このほか, 霊山層との地質境界においても,局所的な崩壊の集中 域や崩壊物質の長距離流動が認められた. 他方,水系 の発達していない比較的緩傾斜・小起伏な場所では, 崩壊は少なかった.

花崗岩分布域における水系発達や侵食の差異,地質 境界における局所的な崩壊の集中には,地質構造や地 下水の関与が考えらえるが,これらの分析は今後の課 題である.



図-4 丸森町における斜面崩壊の発生要因と発生場の特徴

#### 引用文献

- 防災科学技術研究所(2019): 2019 年台風 19 号に 関するクライシスレスポンスサイト. https://crs.bosai.go.jp/
- 2) 産業技術総合研究所(2019):地質図 Navi, https://gbank.gsj.jp/geonavi/
- 国土地理院 (2019): 令和元年東日本台風, 地理院 地図, https://maps.gsi.go.jp/
- 国土地理院 (2019): 基盤地図情報,数値標高モデ ル. https://www.gsi.go.jp/kiban/
- 5) 濱崎英作・檜垣大助・林一成(2015): GIS に基づ く斜面変動予測評価のためのバッファ移動解析と 過誤確率分析法,日本地すべり学会誌, Vol.52, No.2, pp.51-59. https://doi.org/10.3313/jls.52.51

## 令和2年7月九州豪雨における熊本県南部地域の斜面災害について

<sup>1</sup>山崎新太郎・<sup>1</sup>荒井紀之

1京都大学防災研究所

## キーワード:令和2年7月豪雨,岩盤崩壊,深層崩壊,断層破砕帯,付加体

## 1. はじめに

2020年7月3日から4日にかけて熊本県南部を中心に活発な梅雨前線による降雨があり、熊本県南部沿岸部 および球磨川流域において洪水被害と土砂災害が発生した.熊本地方気象台によると解析雨量において4日未明 から明け方にかけて時間110ミリ~120ミリ超の雨が連続的に八代市、芦北町、球磨村、津奈木町などで観測さ れた.また、熊本県南部における7月3日と4日の2日間の総降水量は400ミリから500ミリ前後であった. 豪雨災害で最も甚大な被害は球磨川の氾濫によって生じたが、特に芦北町と津奈木町においては、土砂災害によ り人命が奪われている.筆者らは豪雨災害の発生1週間後から同地の調査を実施し、その後も継続的に土砂災害 の発生場を解明すべく調査を行っている.本報告では、筆者らが比較的規模の大きかった土砂災害地の地質・地 形的背景について検討した結果を報告する.

## 2. 崩壊の分布と地形・地質

災害発生直後から国土地理院および航空測量会社によって緊急調査が行われ、多くの情報がインターネット上 に公開された.筆者らがそれらを分析し、さらに現地調査結果を総合すると、崩壊の発生場が地質構造に起因す ると思われる崩壊深度 2、3 メートル以上の比較的規模の岩盤崩壊(深層崩壊)は八代海に近い芦北町周辺で少 なくとも 6 カ所以上で発生した.一方で、球磨村や八代市坂本等、山間地では数が少なかった. また表層崩壊 は花崗岩地域などと比べると明らかに少なかった.

芦北町および津奈木町の周辺は、リアス式海岸となっており、海岸からの比高差 200 m 程度の山地が連なる. 一方で内陸部の球磨村や八代市坂本町などは比高差最大 600 m 程度の大起伏山地となっている. 20 万分の1地 質図「八代」によると、芦北町、球磨村、八代市坂本周辺にはジュラ紀付加体が分布する.また、芦北町と球磨 村の南部、および津奈木町周辺には付加体を覆う後期中新世〜中期更新世の肥薩火山岩類が分布するとされる.

#### 3. 代表的な崩壊地とその特徴

本章では3項目に分けて4カ所の岩盤崩壊箇所について説明する.3.1.および3.2で述べる芦北町牛淵 および宮浦の崩壊,そして八代市坂本町葉木の崩壊はジュラ紀付加体地域の中で発生したものであった.3.3 の津奈木町福浜で発生したものは肥薩火山岩類とその下位の堆積岩類が崩壊したものであった.記載されている 位置は崩壊の源頭部付近の経緯度である.

## 3.1 芦北町牛淵 (32°17.4'N, 130°31.4'E) および宮浦 (32°18.1'N, 130°31.3'N) の崩壊

いずれの崩壊も20万分の1地質図「八代」において高角度の断層線が記載されている場所の近傍で発生した ものであった.いずれの崩壊の頭部にも複数の平滑な断層面が認められ、断層面が崩壊のすべり面または分離面 を形成したものと考えられる.

牛淵の崩壊地は最大幅約 50 m である. 断層面には条線を持つ断層ガウジが付着していた. また, 断層面は複数あり平行に発達するもの, そして, 主たる面から分岐するものがあった. 崩壊の給源, つまり断層の周辺には破砕されたチャートや白色の鉱物脈が発達した砂岩が認められた.

宮浦の崩壊は、幅約50mであり、同じく頭部に平滑な断層面があり、これが分離面となったと考えられる. また、黒色の鉱物脈が充填した砂岩が分布していた.いずれの崩壊でも、崩壊物質の表面には長さが1mを超え るような巨角礫は少ない.また、崩壊物質は多量の水を含み流動的であったと推定される.

## 3. 2 八代市坂元町葉木(32°25.0'N, 130°39.9'E)

西北西-東南東に延びる尾根の南面で稜線直下を頂部として発生した最大幅約 60 m の崩壊である. この尾根 の走向は、20万分の1地質図「八代」に記載されている多数のレンズ状地質体の長軸方向や大規模断層の走向 と一致している. 稜線より 20 ~ 50 m 程度南下方に林道があり,崩壊はこの林道を含んで発生した. なお林道 沿いには複数の法枠工が斜面を覆って設置されており,林道沿いに繰り返し崩壊が発生してきたことが示唆され る. また,周囲の地質調査でも尾根の頂部周辺が強く風化していることが判明した. 崩壊物質は風化した砂岩, 泥岩およびブロックとして含まれるチャートである. この崩壊でも複数の走向・傾斜の異なる断層面が認められ, 断層面が崩壊のすべり面または分離面となっていると考えられる.

## 3.3 津奈木町福浜(32°16.5'N, 130°27.3'E)

付加体を覆う成層した礫岩・砂岩・泥岩からなる堆積岩と、その上を覆う灰白色の火山岩が崩壊したと考えら れる.堆積岩と火山岩の境界は斜面上に遷急線を形成している.調査時、湧水が堆積岩と火山岩との境界付近に 認められた.この境界付近の岩石はその材質は不明であるが湧水の侵食を受け脆弱である.地理院地図において 公表されている高密度地形図には馬蹄形の崩壊地とその下方の谷が観察されていた.主な崩壊物質は球状風化し た火山岩である.頭部の滑落崖は火山岩を切断して形成されていた.崩壊直後には幅約10m厚さ4m以上の崩 壊物質が滑落崖直下に残留していた.

## 4. 考察とまとめ

7月3~4日にかけての降雨強度は全体的に海側の芦北町付近で最大であった.これが岩盤崩壊の多くが海岸 付近の斜面で発生していることの理由の一つであると考えられる.しかし,総降雨量においては大きな差が無く, 比高差の大きさゆえに集水効果が大きいと考えられる球磨川沿いの斜面上で岩盤崩壊はほとんど発生していな い.この理由を説明するには,さらなる調査が必要であるが,今回崩壊が発生した場所を観察する限り,海岸地 域では滑落崖,崩壊物質共に強く風化しており,岩盤が崩壊前に強度を失っていた可能性が高い.海岸地域は長 期にわたり風化の影響を受けていたと考えられる.また,葉木の崩壊で認められたように尾根の頂部も侵食を免 れて比較的長期間にわたり風化を受けていたと思われる.厚い風化は今回の岩盤崩壊の素因の一つである.

断層破砕帯が岩盤崩壊において分離面やすべり面をもたらし、さらに破砕された岩盤が形成されているために、 崩壊物質が強く風化の影響を受けている.従って断層破砕帯が岩盤崩壊の素因になっているのは明らかであるが、 一方で、断層破砕帯は必ずしも顕著な地形の差を地域において作り出していない.断層破砕帯と岩盤崩壊の関係 に関してはさらなる検討が必要である.また、砂岩が強風化すると降雨により飽和・流動化しやすい物質が形成 されると考えられる.そしてこの風化の促進にも断層による破砕が関係している可能性がある. 2018年の平成 30年7月豪雨で発生した愛媛県宇和島市吉田町畦屋地区の崩壊では幅10m程度の砂岩の強風化物が崩壊し長距 離流動した結果、人命を奪う大被害が生じた.断定はできていないものの、この畦屋の崩壊においても砂岩の強 い風化をもたらした理由として断層破砕帯の存在が示唆される.

津奈木町福浜の崩壊は、キャップロック状の地質構造で発生したものであり、湧水の存在位置から考えても透水性の良い火山岩の直下の堆積岩層上が飽和して発生したものと思われる.湧水地点の脆弱な物質は岩石-水反応や溶岩の堆積による変質可能性もあるが現時点では特定はできておらず今後分析を進めたいと考えている.高密度地形図では崩壊前に顕著な谷や崩壊地形が認められていた.同地点では繰り返し崩壊が発生してきたことが示唆される.その理由としては埋没した水系などの地下構造が関係している可能性がある.

## 広域を対象とした豪雨時土砂流出の危険度評価

1北爪貴史・1遠藤秀祐・2阿部峻大・2西村聡・3後藤聡
 1東電設計(株)・2(株)ユニック・3山梨大学
 キーワード:土石流,危険度評価,フラジリティ曲線,広域

## 1. はじめに

平成 29 年(2017 年)7月の九州北部豪雨や平成 30 年(2018 年)7 月の西日本豪雨では広範囲にわたって同時多発する土砂災害が認 められた.気象の極端化が顕在化してきていると言われており, 今後もこのような事象・事態が生じ得るものと考えられる.その ため,広域を対象とした土砂流出の危険度評価が必要であると考 えている.本報では,土砂流出の危険度評価に関して数値シミュ レーションを介して行う.土砂流動シミュレーションは,セルラ オートマトン(Cellular Automaton: CA)法とマルチエージェント (Multi Agent: MA)法を組み合わせて構築したツール(CA/MA シミ ュレーション)を用いる<sup>1),2)</sup>.

広域において同時多発する土砂流動を数値シミュレーションに よって表現する場合,計算資源の制約を考慮して,物質は高いと ころから低いところに移動する,土砂は含水量によって流れ方が 変化する,などの簡易なルールだけで現象の概要や傾向を把握す ることに注視する.土砂流動の規定ルールの簡易化により大規模 な連立方程式を解く必要がなく高速演算が可能となること,すな わち広域モデルを対象とできること,また,必要に応じたルール の変更を容易に行えるために地質や地形の専門家の知見・経験を 導入し易くなること,土砂流動のルール記述や初期条件に用いる パラメータの変動やばらつきを考慮した検討を多ケース行えるこ と,などの特徴を活かしたい.土砂流動を規定するルールの簡易 化による解析精度の低下を,上記の特徴を持たせることで補完す るものである.

## 2. シミュレーション対象領域と検討条件

土砂流出の危険度評価対象領域を図-1 に示す. 東西方向 4.85km, 南北方向 4.90km の領域である. 同図の右下から中央上にかけて河 川が流れる低地部があり,市街地が散在する. 西側の山地部から いくつかの渓流が北東の低地部の河川に向かっており,土砂流動 の経路となり得る.

解析モデルは一辺が 10×10m の正方形セルが東西方向(X 方向) に 485 個,南北方向(Y 方向)に 490 個の合計 237,650 個で構成さ れ,各セルは基盤の標高(Z 方向座標)と降雨時に流出可能性のあ る表層の厚さの情報を有する.本シミュレーションでは,流出可 能性のある表層厚の初期値をセルごとに傾斜角(図-2)に応じて 0.5~2.0m の範囲で設定している.



図-1 評価対象地点 (国土地理院地図を基に作成)





土砂および水エージェントの流動特性は、水/土砂の 体積比 $V_r$ が増加するとそれぞれの最小流動勾配 $P^s$ が変化 するトリリニア関係を設定した( $\square-3$ ). 土砂および水の 初期最小流動勾配を同一 ( $P_2^s = P_2^w$ ) とし、パラメータ  $V_{rl}^s = V_{rl}^w$ とすれば水エージェントと土砂エージェントは 同じ挙動となる. これは水エージェントが土砂エージェ ントにトラップされる状況を模擬している.  $V_{rl}$ 以上では 異なる挙動となるよう設定した.

#### 3. 危険度評価事例

全領域のセルに総量100または400mmの水が地盤浸透 した際に50cm以上の土砂が分布するシミュレーション 結果を図-4に示す.浸透量100mmの場合,土砂はA地 点に到達するが,B地点には到達しない.浸透量400mm の場合は両地点に到達する.

評価対象領域内の A, B の両地点に厚さ 50cm 以上の土 砂が到達する危険度をフラジリティ曲線として表す.具 体的な手順は次のとおりである.

- ある地盤浸透量に対して、土砂および水エージェントの初期最小流動勾配(P<sup>2</sup> = P<sup>2</sup><sup>w</sup>)と、流動可能性のある表層の初期配置および初期厚さについて、表-1に示すケースを設定したパラメトリック・スタディを行う. 6×5=30ケースのシミュレーションを行い、各ケースにおいて A、Bの各地点に 50cm 以上の土砂が到達するか否かを判定する.
- ② 4 パターンの地盤浸透量 100, 150, 300, 400mm を想 定して、それぞれ①の計算を実施する.
- ③ 4 パターンの地盤浸透量~到達確率の関係から対数正 規分布を仮定した累積分布関数を求める.これを,横 軸を地盤浸透量,縦軸を到達確率としたフラジリティ 曲線とする.

A, B それぞれの地点において 50cm 厚さ以上の土砂が 到達する確率を表-2に, フラジリティ曲線を図-4に示す. 同図より, A, B 両地点における土砂の到達危険度を定量 的に比較することができる.こうした危険度評価からは, 対策の絞込みや優先順位付けなどに有益な情報・知見が 得られるものと考える.また,外力(降雨量や浸透量)に 応じたハザードマップの作成などにも適用可能であろう.

## 参考文献

 北爪貴史,西村聡,阿部峻大,佐藤恭兵,後藤聡:土石流シ ミュレーション・ツールの開発(その1),日本地すべり学会第 57回研究発表講演集,pp.69-70,2018.

2) 阿部峻大·西村聡·北爪貴史·佐藤恭兵·遠藤秀祐·後藤聡:

MA/CA 法による土石流シミュレーション・ツールの拡張(その1),土木学会第74回年次学術講演会概要集,III-470,2019.



**図-4** 水の浸透量ごとの土砂流動範囲の比較 (左:浸透量100mm,右:浸透量400mm)

表-1 パラスタ・ケース

| パラメータ            | パラメータの値   | ケース数 |
|------------------|---|------|
| 初期最小流動勾配         | 30, 31, 32, 33, 34, 35°   | 6ケース |
| 表層の初期配置<br>と初期厚さ | <ul> <li>・傾斜角 20~55°のセル<br/>に 2.0~0.5m</li> <li>・傾斜角 20~55°のセル<br/>に 1.5~0.5m</li> <li>・傾斜角 20~55°のセル<br/>に 1.0~0.5m</li> <li>・傾斜角 15~40°のセル<br/>に一律 1.0m</li> <li>・傾斜角 10~35°のセル<br/>に一律 1.0m</li> </ul> | 5ケース |

表-2 50cm 厚さ以上の土砂の到達確率

| 地 点<br>地盤浸透量 | A 地点          | B 地点          |  |  |  |
|--------------|---------------|---------------|--|--|--|
| 100mm        | 12/30 = 40.0% | 2/30 = 6.7%   |  |  |  |
| 150mm        | 13/30 = 43.0% | 3/30 = 10.0%  |  |  |  |
| 300mm        | 20/30 = 66.7% | 13/30 = 43.3% |  |  |  |
| 400mm        | 25/30 = 83.3% | 22/30 = 73.3% |  |  |  |



## 兵庫県箇所別土砂災害危険度予測システムの活用に向けた取り組み

鳥居宣之\*· 鎗水正和\*\*· 沖村 孝\*\*\* · 中川 涉\*\*\* · 原口勝則\*\*\* · 鏡原聖史\*\*\*

## Efforts to Utilize Real-time Sediment-related Disaster Risk Forecasting System in Hyogo Prefecture

Nobuyuki TORII<sup>\*</sup>, Masakazu YARIMIZU<sup>\*\*</sup>, Takashi OKIMURA<sup>\*\*\*</sup>, Wataru NAKAGAWA<sup>\*\*\*</sup>, Katsunori HARAGUCHI<sup>\*\*\*</sup>, and Satoshi KAGAMIHARA<sup>\*\*\*</sup>

 \* Kobe City College of Technology, Japan torii@kobe-kosen.ac.jp
 \*\* Hyogo Prefectural, Japan Masakazu\_Yarimizu@pref.hyogo.lg.jp
 \*\*\* Construction Engineering Research Institute Foundation, Japan okimura@kensetsuk.or.jp, nakagawa-wataru@oyonet.oyo.co.jp, katsunori haraguchi@kk-grp.jp, s.kagamihara@diaconsult.co.jp

## 1. はじめに

兵庫県では、警戒避難の判断に資するため、土砂 災害警戒区域毎の危険度を 10m メッシュの DEM を 用いた浸透流解析と無限長斜面安定解析によってリ アルタイムに予測するシステムを表六甲山系にて構 築し、二年間の試験運用期間を経て平成24年4月 より「箇所別土砂災害危険度予測システム」(以下, 本システム)」として本運用を開始した<sup>1),2)</sup>.その後, 市町ごとに整備を進め現在までに 13 の市町で運用 中となっている (図 1). 前報<sup>3)</sup>では, 兵庫県内の様々 な地形・地質を対象とした予測モデルを検討し、過 去の崩壊や土石流を 80%程度再現できるレベルの システムを構築したことやその過程で得られた知見 について報告した.本報告では,全国各地に甚大な 被害をもたらした平成30年7月豪雨におけるシス テム運用の経験から新たに確認された課題や今後の 展開について述べる.

# 2. 平成 30 年 7 月豪雨で確認された課題 2.1 降雨及び災害発生状況

平成 30 年 7 月豪雨は,7月2日から9日にかけて兵庫県下に総降水量 500mm を超える降雨を



図1 システム整備済みの市町 Fig. 1 Municipalities that have already installed the system

<sup>\*</sup> 神戸市立工業高等専門学校

<sup>\*\*</sup> 兵庫県県土整備部土木局砂防課

<sup>\*\*\*</sup> 一般財団法人 建設工学研究所

もたらした(図 2). 最大時間雨量は, 30~50mm/h と比較的少ないものの長期間継続したことで非 常に大きな総降水量となった(図 3).

この豪雨により兵庫県内では 73 件の土砂災害 が発生した(図2,兵庫県砂防課調べ).この内, システム整備済みの市町で発生したものは 39 事 例であった.その殆どは人為的な影響を受けた崩 壊等(35 事例)で,その他は自然斜面における崩 壊(35 事例)で,その他は自然斜面における崩 壊(100m<sup>2</sup>未満)と土石流2事例であった (図4).本システムは,10mメッシュのDEMを 用いて解析するため100m<sup>2</sup>未満の小規模な崩壊 は対象外としている.また,人工改変地や道路等 の排水不良による崩壊や地すべりもメカニズム が異なるため対象外である.このため,対象災害 は養父市と丹波市で発生した土石流2 事例に絞 られた.

## 2.2 本システムによる判定状況と課題

養父市の土石流は既崩壊地の拡大崩壊に起因 したもので本システムの予測が適中した(図 5). 丹波市の土石流は谷底の堆積土砂が流水や側方 からのパイプ流が合わさって流出した事例で本 システムでは見逃した(図 6).本システムにおけ る土石流の判定は,流域内の崩壊面積率と谷出口 流量の予測値が過去の土石流発生レベルに達し たときに「危険」と判定しており,上述の災害事 例を検証したところ,渓床堆積土砂の流動メカニ ズムを考慮する必要性が示唆された.

他方, 土砂災害警戒情報は多くの市町に発表さ れており, 1km メッシュの土砂災害警戒判定情報 をもとに土砂災害警戒区域単位での空振率を求 めると 75%であった. 本システムによる空振率は 10%であり, 土砂災害警戒情報に比べ危険な場所 を絞り込めている状況が確認された(表 1).

平成 30 年 7 月豪雨における本システムの判定 結果は,解析モデルで対応可能な現象に対しては 概ね良好な結果であることが確認された.しかし ながら,情報の利用者の多くは,上述の小規模崩 壊などの対象外の現象も土砂災害と認識してお り,小規模崩壊等にも対応するための改良の要望 があがった.また,本システムの導入に踏み切れ ない状況の市町からは,その理由にシステムの信 頼性(精度)への不安があげられ,避難を促すた めの防災情報として「災害の見逃し」は許容しが たいという意見があった.







図3 代表箇所のハイエトグラフ(神戸市灘区) Fig. 3 Hyetographs of representative locations (Nada-ku, Kobe City)



Fig. 4 Number of incidents by disaster type

| Table T Comparison of miss fales |            |       |       |       |       |        |                       |  |
|----------------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------------------|--|
| 擎武桂起 / 灾垢壮识                      | 空振判定の警戒区域数 |       |       | 土砂    | 災害警戒  | 空振率(%) |                       |  |
| 言成旧報/ 上版1八儿                      | 急傾斜        | 土石流   | (a)合計 | 急傾斜   | 土石流   | (b)合計  | $=(a)/(b) \times 100$ |  |
| 本システム                            | 888        | 121   | 1,009 | 0.574 |       |        | 10                    |  |
| 土砂災害警戒情報<br>(1kmメッシュ)            | 4,913      | 2,762 | 7,675 | 6,571 | 3,663 | 10,234 | 75                    |  |

表1 空振率の比較 Table 1 Comparison of miss rates

これらのことから,利用者の目線で土砂災害と 認識される現象については,本来のシステム整備 の趣旨を勘案したうえ,できるだけ本システムの 対象に含めていくことが本システムの普及や活 用につながるものと考えられた.また,システム の制作側と利用者側には対象現象の理解など認 識のギャップが見られることから,システムの仕 組みや精度,適用範囲などの理解促進のための継 続的な活動を並行して実施することが必要と考 えられた.さらに,全県域で統一した情報による 警戒避難行動の推進を目標に,早期に全ての市町 への導入が望ましいと考えられた.

#### **3.** 今後の展開

## 3.1 対象外現象への対応

対象外現象については,道路や排水路の不良に よるものや地すべりなど全くメカニズムが異な る現象は対応できないものの,小規模な斜面(自 然・人工)における崩壊については 5m メッシュ での解析を併用することで,捕捉できることが確 認できている(図7)<sup>4)</sup>.また,土石流の判定手法 については渓床堆積土砂の流動メカニズムを考 慮した手法の検討を進めている<sup>5)</sup>.今後,後述す る全県整備の中で適宜導入を進めたい.

## 3.2 早期の全県整備と活用のために

これまで、市町ごとに順次システム整備を進め てきたが、運用開始から8年が経過した現在、25 市町(約66%)で未だシステム導入に着手できて いない現状にある.既に整備を終えた地域におい て多種多様な地形・地質への対応方法を検討して いるため、その知見を準用すれば未整備地域で あっても概略的かつ早期にモデルを構築するこ とが可能である.また、全県域で統一された情報 が整備され、全ての市町の足並みが揃えば、豪雨 後の検証と見直しを通じて、システムの精度向上 と利用者の理解促進を効果的に進められるもの と考えられる.



図5 土石流発生の適中事例(養父市) Fig.5 Example of a case where the occurrence of a debris flow could be predicted (Yabu City)



図6 土石流の見逃し事例 (丹波市) Fig.6 Example of a case where the occurrence of a debris flow could not be predicted (Tamba City)



図7 5 mDEM による試算事例 Fig.7 Example of trial calculation by 5mDEM

このため、図8に示す「従来」のシステム構築 の流れを組み替えて、未整備市町を一体的に「初 期」に示す流れにて基礎となるモデルを構築し、 これを豪雨後の検証と見直しを通じて適宜モデ ルの精度向上を図る段階的整備への転換が望ま れる.また、このような整備を進めることで、全 県域での精度評価が可能となり、地形・地質の類 似する市町の検証結果が有効に活用できるほか、 豪雨の経験を全県で共有しながらシステム整備 と活用促進を同時に進められるものと考えられ る.

#### 4. おわりに

本システムの運用開始以降,数多くの再現計算 と改良を繰り返し,様々な降雨・地形・地質に対 応できる予測システムを構築してきた.また,実 運用を通じて豪雨の度に課題の把握と改良を 行ってきた.

平成 30 年 7 月豪雨では,本システムの利用促進のためにこれまで対象外としていた人工斜面の小規模崩壊等も可能な限り対象に加えることの必要性や,利用者に向けた継続的な理解促進のための活動の必要性などが確認された.今後,さらなるシステム改良を重ねつつ,未整備地域への早期導入と行政内での活用を促進するとともに,住民に発信する情報としても活用されるように取り組んでいきたい.

## 参考文献

- 沖村孝・鳥居宣之・尾崎幸忠・南部光広・原口勝 則(2011):豪雨による土砂災害を対象としたリ アルタイムハザードシステムの構築.新砂防,63 (6),4-12.
- 2) 沖村孝・市川龍平(1985):数値地形モデルを用 いた表層崩壊危険度の予測法,土木学会論文報 告集.
- 3)沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則・鏡原聖史・ 高谷和彦(2016):兵庫県で進めているリアルタ イム表層崩壊予測モデルの構築とその過程で得 られた検討結果,防災科学技術研究所研究資料, 第405号,101-106.
- 沖村孝・鳥居宣之・石田博彰・中川渉・原口勝則・ 鏡原聖史(2019):兵庫県箇所別土砂災害危険度



段階的整備



予測システムの活用に向けた取り組み-平成 30 年7月豪雨の検証-,砂防学会研究発表会概要 集,743-744.

5) 沖村孝・中川渉・原口勝則・鏡原聖史・鳥居宣之・ 石田博彰・鎗水正和(2019): 兵庫県箇所別土砂 災害危険度予測システムの活用に向けた取り組 み-土石流判定手法の課題整理(その2)-,砂 防学会研究発表会概要集,421-422.

# 2019年台風 19号の豪雨特性と斜面崩壊 - 斜面崩壊に関する豪雨度と地質的地盤の役割-

林 拙郎<sup>\*</sup>·山田 孝<sup>\*\*</sup>

## Slope Failures and Characteristics of Heavy Rainfall by Typhoon No. 19 in 2019 — Role of geological ground and degree of heavy rainfall related to slope failures —

Setsuo HAYASHI\* and Takashi YAMADA\*\*

\*Shizuoka Univ. Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards (Guest professor), Japan hayashi-s@ztv.ne.jp \*\*Hokkaido Univ., Research Faculty of Agriculture, Japan tyamada@for.agr.hokudai.ac.jp

## 1. はじめに

豪雨については集中豪雨が有名であったが,その 特性については明らかとなっていない.筆者らは, 2018年頃より,土砂災害の発生豪雨に関する活動特 性の分類を行い,各豪雨は,時間的・活動的特性か らの分析に基づき,3種の豪雨(激性豪雨・活性豪 雨・長大豪雨)に分けられることを示した(林ら, 2019).一方,豪雨性の土砂災害に対しては,各地で 発生する降り始めからの総雨量の極大雨量よりも, 地震の震度と同様に扱える地域雨量に基づく豪雨度 による分析法の有用性が示されている(林ら,2018).

さて,2019年の台風 19号は10月12日19時前に 伊豆半島に上陸後,13日にかけて関東,福島県東部 を通り抜け,同日12時太平洋上にて温帯低気圧と なった(気象庁,2019).この間の降雨状況は,10月 10日から13日までの間,箱根町に総雨量10001.5mm の極大雨量を降らし,関東・甲信から東北にかけて 豪雨をもたらした(図1).このため,神奈川県・埼 玉県・宮城県,その他に土砂災害が発生した.

以下に述べる調査対象地に発生した豪雨の活動 特性は「活性豪雨」に相当し,地域雨量は 120~ 220mm/d,豪雨度は 4~5 であった.

## 2. 2019 年台風 19 号の経過と豪雨の活動特性

## 2.1 台風 19 号の経過と被害の概要

台風 19 号の経路と大雨・被害の概要を図1に示 す.図中の台風の進路と累積の解析雨量はウエザー ニュース(2019)によっている(後の図8 も同様であ る).この台風の通過に伴う豪雨のため,神奈川県の 相模原市には多くの斜面崩壊が発生し,宮城県丸森 町の山地に土石流を伴う多数の斜面崩壊が発生した. また,相対的に総雨量が多く,極大雨量となった箱 根町や豪雨度が高い値を示した埼玉県秩父市では,



図1 2019年台風19号の豪雨と特性

<sup>\*</sup> 静岡大学防災総合センター(客員)

<sup>\*\*</sup> 北海道大学農学研究院

道路,鉄道などに関係する施設災害が発生した.し かし,斜面崩壊や土砂崩れは幾つかみられたものの 土砂災害としての被害はそれほどでもなかった.

ここでの報告は以上の4箇所(図1)を調査対象 地(以下,対象地)に設定する.

2.2 豪雨に関する活動特性の分析法と結果

## **2.2.1 活動特性の分析法**

最近発生した大雨を対象に土砂災害を発生させ た豪雨の分類結果とその特性を図2に示す.図の縦 軸は豪雨の雨量強度を表し,横軸は一般的には気象 スケールを意味する.ここで,気象スケールという 場合,時間と広がりをもつ現象を対象とし,通常用 いられる集中豪雨他3種の豪雨形態が挙げられる. この分類は図2の空間特性の分類に含まれる.ここ で用いるのは,図2の豪雨の継続時間と豪雨強度に よって分類される活動特性であり,次のように分類 される(林ら,2019;林,2021).

## 激性豪雨・活性豪雨・長大豪雨

台風 19 号の豪雨の活動特性は,箱根・相模原・秩 父・丸森のすべてが活性豪雨に該当し,以前に良く みられた時間的に中間の豪雨に相当する.

さて,活動特性の分類は図3のような考え方から 行うことができる(林ら,2019;林,2021).土砂災害 の発生した豪雨に対し,同図のように時間雨量のハ イエトグラフを描く.ここで,始めと終わりに時間 雨量 15mm/h 以上の強雨によって挟まれる大雨を豪 雨とし,その時間を豪雨の継続時間 taとする.ただ し,2時間までの無降雨は継続時間に含めることと し,0.5mm/h 未満は無降雨とする.こうして継続時 間が決まると,その間の累積雨量が累積豪雨量 R<sub>H</sub>と なりこれを継続時間 taで除すと,次式より豪雨強度 *i*が求められる.

## i=R<sub>H</sub>/t<sub>d</sub> 2.2.2 豪雨の活動特性の分析結果

これまで求められた土砂災害の発生豪雨に対す る継続時間と豪雨強度の関係を図4に示す.今回の 台風19号の活動特性のデータ(図中の▲印)は,す べて活性豪雨に含まれる.豪雨強度の最大値は,今回, 総雨量が最大となった箱根(アメダス)において発 生した.他の値は従来の上限値36mm/h程度に含ま れている.図4中の他の豪雨データ(●印と■,◆) のうち,主立った豪雨については略称を付した.こ れより名称は類推が可能で,後の表1も参考になる.



図2 土砂災害を発生させた豪雨の分類



図3 豪雨の継続時間 ta と累積豪雨量 RH



図4 土砂災害発生豪雨の継続時間と豪雨強度



-130 -

(1)

ところで,これまで述べた豪雨強度は,地域に よって偏在する降雨の因子を含んでいるので,次章 で説明する地域雨量を用いて基準化する必要があ る.それが基準化(豪雨)強度*I*であり,豪雨強度*i* に対し,次章で説明する地域雨量*R*1/2を時間雨量 に直した因子より,次式で求められる.

*I=i/(R*<sub>1/2</sub>/24) (2) この因子 *I* を今回の対象地域の豪雨に対し示した ものが図 5 である.この図より丸森(県笠松雨量) の値だけが少し大きいが,他はほぼ従来の領域に入 る値である.以前の研究(林ら,2019)によれば, 2017 年と 2018 年の各地の豪雨は,それぞれ激性・ 活性・長大に相当する豪雨特性を示している.図 4,図 5 からは,従来の豪雨に対する今回の豪雨の 活動特性の特色が位置付けられる.

今回の 2019 年台風 19 号の降雨は, 10 月の台風と いうこともあり, 4 調査地ともに先行降雨が少なく トリガー降雨に集中した.その結果,発生豪雨の分 類としては,すべての地点おいて従来型の活性豪雨 の分類範囲に含まれる(図 4,図 5,表1参照).活 性豪雨に含まれる顕著な豪雨としては,表1のよう に,伊那谷(集中)豪雨や,長崎豪雨,東海豪雨, 宮川豪雨,伊豆大島などの各豪雨が含まれる.一方, 線状降水帯で注目された 2014 年広島豪雨や 2017 年 の九州北部豪雨は,顕著な激性豪雨である.さらに, 2018 年の西日本豪雨は,わずかな継続時間の関係で 活性豪雨と長大豪雨に分かれた.長大豪雨は多雨地 域に多く,紀伊半島豪雨や,徳島,鰐塚などの各豪 雨があるが,1938 年の六甲豪雨なども含まれる.

## 3. 台風 19 号による豪雨度と斜面崩壊の状況

豪雨度の説明に入る前に,地震の場合と比較を行いたい.地震の場合には,被害発生因子として速度,加速度,計測震度,さらにはマグニチュードまであり,被害の程度と地震との関連が詳しく研究されている.これに対し,豪雨による土砂災害の発生の程度を研究する場合,従来,災害発生の全体に対応する豪雨の因子が確立されておらず,筆者らは,以下のような豪雨度*H*を提案している(林ら,2017;2019).

さて,豪雨によって発生する斜面崩壊やその後の 土砂災害はどのように生じるのでろうか.図6は先 行降雨から斜面崩壊の発生に関する降雨と崩壊発生 の状況を示している.ある時からの累積雨量が

表1 2019年台風19号および近年の土砂災害発 生豪雨の豪雨の分類

| 激性豪雨        | 活性豪雨         | 長大豪雨         |
|-------------|--------------|--------------|
| 3h~12h      | 12h~36h      | 36h~63h      |
| 1967佐世保     | 1961伊那谷(飯)   | 1938六甲(神戸)   |
| 1983島根(浜田)  | 1967六甲(神戸)   | 2004徳島(沢谷)   |
| 1999広島(魚切ダ) | 1982長崎       | 2005鰐塚       |
| 2003水俣(深川)  | 1998福島(真船)   | 2011紀伊風屋(同)  |
| 2004美山      | 2000東海(稲武)   | 2011紀伊那智(色川) |
| 2009防府(真尾)  | 2004宮川(宮ダ)   | 2018年7月(野呂ダ) |
| 2010庄原(大戸)  | 2013大島(茶屋)   | 2018年7月(熊野町) |
| 2010八百津(伽藍) | 20187月(呉)    | 2018年7月(宇和島) |
| 2012阿蘇(阿城山) | 2018年7月(警固屋) | 2018年7月(宇和)  |
| 2012大津(大石)  | 2018年7月(吉田)  |              |
| 2014広島(上原)  | 2019年丸森(県笠松) |              |
| 2017九州北部(鶴) | 19年県曽根坂皆野町   |              |
| 2017九州北部(北) | 2019神奈川県下関戸  |              |
|             | 2019年アメダス箱根  |              |



図7 斜面崩壊を発生させた豪雨 C と A, B 横軸,縦軸は地域雨量で基準化

250~300mm 程度(小雨地域の場合)に達すると斜 面崩壊などが始まり,さらに豪雨が続けば,被害が 拡大する.斜面崩壊などが終了するまでの豪雨がト リガー豪雨であり,被害が夜半の24時をまたぐこ ともよくある.そこで,2日間の降雨をトリガー豪 雨とし,その雨量をトリガー雨量 *R*0-1 としている. 一方,その前の先行雨量 *R*2-15 は2週間をとれば良 いことが判明している(林ら,2017,2019).

## 3.1 豪雨度 H の算定法

豪雨度 H は,先行雨量 R<sub>2-15</sub> とトリガー雨量 R<sub>0-1</sub> を地域雨量 R<sub>1/2</sub> によって「豪雨量」を基準化したも ので,地震の震度に相当する豪雨指標である(林, 1985, 2012).

豪雨度の算定は次のように行う.上で述べた *R*<sub>2-15</sub> と *R*<sub>0-1</sub> は,豪雨の偏在性があることを考慮し,地域 雨量 *R*<sub>1/2</sub>を用いて基準化すると,先行水分度 *x*<sub>*R*</sub>,ト リガー度 *y*<sub>*R*</sub> という 2 因子設定される.これより,豪 雨度 *H* は次式で表される.

 $H = \{x_R^2 + y_R^2\}^{1/2}$ (3)  $x_R = R_{2-15}/R_{1/2}, \ y_R = R_{0-1}/R_{1/2}$ ここに、 $R_{2-15}$ :先行雨量、 $R_{0-1}$ :トリガー雨量、

 $R_{1/2}$ :地域雨量,H:豪雨度

豪雨度と崩壊個数の有用性の確認については,呉市 における 1951 年~1972 年までの有効なデータにお いて両者がべき乗関係にあり,きわめて高い寄与率 (*R*<sup>2</sup>=0.94)をもつことから確認されている(林ら, 2019).

今回の台風 19 号の場合,トリガー雨量の発生日 は 10 月 12 日と 13 日であり,その前 2 週間が先行 雨量の期間となるが,これまでみたように先行雨量 は非常に少ないものであった.

## 3.2 各地の豪雨度 H と斜面崩壊の発生状況

台風 19 号の豪雨特性(豪雨の継続時間,豪雨強 度,トリガー雨量,地域雨量,豪雨度)を図8にま とめて示した.全体の特徴として,継続時間は14~ 18時間の間にあり,活動特性としては活性豪雨の領 域にある.豪雨強度は箱根だけが50mm/hであり, 他は,37mm/h付近にまとまっている.地域雨量をみ ると,箱根が最多222mm/dであり,最少は丸森の 120mm/dである.豪雨度は4.1~4.9の範囲にある. 3.2.1 神奈川県箱根町の場合

箱根は総雨量が多く極大値を示すため(図1),ト リガー雨量  $R_{0-1}$ の値も大きいが,地域雨量  $R_{1/2}$ も大 きく,豪雨度 Hは4.4と調査地の中で第3位である. 被害は,箱根鉄道が土砂崩れ,土砂流出により寸断 された(どちらかというと施設災害)が,斜面崩壊 として目立ったものはなかった(図9参照).また, 流木による被害の報告もないようである.

多くの豪雨災害では、この箱根の場合のように、



図8 2019年台風19号豪雨と特性



図9 台風19号による箱根鉄道の被害

総雨量が大きく,周辺に比して極大値をとるような ことが多々みられるが,実際の山地崩壊の発生数を みるとそれ程でないことが多い.例えば,2018年の 西日本豪雨における高知県内のアメダス魚梁瀬(総 雨量1852.5mm (気象庁,2018))の場合もそれにあ たる.豪雨時に極大雨量をとるような地点は,地域 雨量も大きいので,豪雨度は大とならない.このよ うな現象の理解にも豪雨度Hの利用は役立つものと 思われる.

## 3.2.2 神奈川県相模原市の場合

相模原の豪雨度と斜面崩壊の状況を図10に示す. 楕円で囲った区域が土砂災害の発生した範囲である. 雨量は大きい所から道志・下関戸・底沢の順であり, 道志の豪雨度は4.1を上回っている.これに対し, アメダス相模湖は少し低い値であるが,牧野の雨量 は極端に低い値となっている.これは南あるいは南 東からの風が強く,雨量計が山の陰になり,降雨が 雨量計に補足されなかったためとみられる. 新聞報道などによれば,斜面崩壊は相模湖の北側 3地区と南側の3あるいは4地区において発生した. 森 (2019)によれば,相模原市内で96箇所以上,牧 野地区(図10の道志-牧野の範囲)で16箇所の土 砂災害が発生したとされる.

特に牧野の崩壊は規模も大きく、人命が失われた こともあり、マスコミなどで大きく報道された(図 11).この崩壊は、斜面上部の安山岩の直下に浸透孔 があり、ここから浸透流(湧水)が豪雨時流出した ためとみられる(千木良、2019).図11の写真にも 浸透流の流出跡が明確である.

この付近の地質は,道志一牧野地区が丹沢層群で 牧野の崩壊地付近で愛川層群が覆い,相模湖の北側 は相模湖層群と小仏層群からなっている.また,丹 沢層群の火山岩(安山岩)に亀裂や,上部の傾斜変 換点に開口亀裂がみられ,道志一牧野地区に断層も 知られており(小池,1997),脆弱性が認められる. さらに,道志川に沿っても断層があり(小池,1997), この地域一帯の脆弱性が伺える.相模原の土砂災害 の特徴は,豪雨度の割に被害が大きく,地質的地盤

の脆弱性によるものと考えられる.

## 3.2.3 埼玉県秩父市の場合

台風 19 号の影響は北関東にも及び,埼玉県秩父 の最大豪雨度は 5.5 まで達した.ただし,図 12 に示 すように被害地区直近の代表地点における豪雨度は 4.9 である.それでもこの値は,4箇所の対象地域の 中では最大値を示す.

ここにおける目立った崩壊は秩父市別所の崩壊 と秩父ミューズパークの大崩壊(南北約230m,東西 約100m)の2箇所あり,両者とも新第三紀~第四紀 の地層での崩壊である.他は図12右下の東秩父村 の段差の発生や土砂流出による鉄道,その他の施設 災害が主な被害のようである.それは,流木の流出 被害の報告が少ないことからも伺える.このように, 豪雨度が大きい割に被害が小さいのは,周辺が三波 川帯・秩父帯であり,地質的地盤の強度が強いこと が理由として挙げられる.

## 3.2.4 宮城県丸森町の場合

丸森の斜面崩壊などは風化花崗岩を主とした地 質区域にあり,崩壊発生状況は図 13 に示すように 多数の斜面崩壊が発生した.この状況は 2018 年西 日本豪雨の広島県呉市の崩壊状況と非常に類似して いる.呉の豪雨度が 4.0~5.2 程度であるのに対し,



図10 相模原の豪雨度と崩壊状況



図11 牧野の斜面崩壊の発生状況



図12 秩父周辺の豪雨度と斜面崩壊の発生状況

丸森では被災地直近の県笠松雨量計の豪雨度は 4.6 である.この他,アメダス筆甫とアメダス丸森の豪 雨度はランクが少し下がる.県笠松雨量計より大き い値をもつ県大内雨量計の豪雨度は 5.0 であるが, 大内の雨量計は対象崩壊地より離れているので,崩 壊発生地の豪雨度としては笠松雨量計の 4.6 を採用 する.大内周辺での崩壊発生が少ないのは別途検討 する必要はある.

ここでは、2018年の呉周辺の豪雨度で呉周辺と同 程度の被害が発生したことになる(後の図14参照).

## 4. 台風 19 号の豪雨と崩壊発生の考察

豪雨度に関連する台風 19 号の特徴としては,図 14 の▲印で示すように先行水分度は小さく,0.01~ 0.28 である.しかし,トリガー度は大きく,結果, 代表地点の豪雨度 H の範囲は 4.0~4.9 であり,すべ てが豪雨階 4 の範囲に入る.良く似た豪雨として 2014 年の徳島豪雨(図中の徳)がある.また,この 豪雨階(H4)には2度の六甲豪雨や伊那谷豪雨,鰐 塚の地すべり性崩壊時の豪雨の他,島根豪雨,庄原 豪雨,1969 年の呉の豪雨など著名なものが含まれる. 図中の◆の豪雨名は類推されるので,詳細は省くが, 林・山田(2018)などの文献あるいは先の表1をみ れば,了解されるであろう.また,図中の●印はす べて呉のデータである.

今回の台風 19 号の丸森の豪雨度と崩壊状況が 2018 年の呉周辺の状況と類似していることを先に 少し述べたが,図 14 中の 18 呉と 18 広島安浦の豪 雨階 (H4) に呉周辺の豪雨データが入ることをみれ ば,類似性は理解されることである.ちなみに,こ の図には示されていないが,これまでの豪雨度の最 大値は 2017 年の北小路公民館で観測された値 6.9 が 最大である.

豪雨階 H4 の各調査地の豪雨は,名だたる災害の 発生した豪雨階の範囲にあるにもかかわらず,丸森・ 相模原を除くとそれらしい土砂災害がないのはどう してであろうか.各調査地にこのような豪雨階の豪 雨が発生するとすれば,伊那谷 36 災害級の被害が 発生してもよいように考えられる.伊那谷 36 災害 の被害多発地は花崗岩が多く,他の地質も含まれる が,中央構造線もあり,崩れやすい地質区域にある.

一般に,全体の被害発生は発生率の高い区域に支配 される.したがって,地質的地盤の強度の強い区域 があったとしても弱いところがあれば,全体の被害 の様相は強いところではなく弱いところによって決 定的になるということに注意する必要がある.

今回の場合は,調査地が4箇所に分かれており, 丸森・相模原は被害が大きいが他はそうでもなく,



図13 丸森の豪雨度と崩壊地(地理院)



図14 2019年台風19号および近年の土砂災害発 生豪雨の豪雨特性

| 表 2 | 2019 年台區 | 虱 19 号にお | ける各地の総雨量と |
|-----|----------|----------|-----------|
|     | 豪雨度,     | 災害状況,    | 地質的強度の比較  |

| 発生地<br>の | 総雨量    | 地域雨<br>量            | 豪雨<br>度 | 土砂災<br>害の | 地盤<br>の | 地質他  |  |  |
|----------|--------|---------------------|---------|-----------|---------|------|--|--|
| 名称       | R      | $R_{ m 1/-2}$       | H       | 状況        | 強弱      | 特徴   |  |  |
| 単位       | mm     | mm/d                |         |           |         |      |  |  |
| 丸森       | 577.0  | <sup>*1</sup> 119.9 | 4.6     | 多数        | 弱       | 風化   |  |  |
| 秩父       | 680.0  | <sup>*2</sup> 136.4 | 4.9     | 少−中       | 強       |      |  |  |
| 相模原      | 623.0  | <sup>*3</sup> 159.6 | 4.1     | 多数        | 弱       | 亀裂あり |  |  |
| 箱根       | 1001.5 | 222.3               | 4.4     | 少−中       | 弱       | 耐性あり |  |  |
|          |        |                     |         |           |         |      |  |  |
| 筆甫の      | 総合     |                     |         |           |         |      |  |  |
| *2:アメダン  | 因子     |                     |         |           |         |      |  |  |

\*3:アメダス相模

調査地が広く分かれているために,全体の印象もそれ程ではない.4箇所が1地域にまとまっていれば, 被害発生の様相は,印象として伊那谷 36 災害級に みられたとも考えられる.この視点は,各土砂災害 の発生豪雨を評価する上で重要な視点である.

これらの考察の結果をまとめれば,表2のように なる.結果は,これまでにもみたように総雨量の大 小でみると,箱根・秩父が大きいが,被害状況は少 -中である.これに対し,総雨量の順位が第4位と第 3位である丸森・相模原の被害が大きくなっている.

これは、豪雨の地域的な偏在性を除去した豪雨度 でみると少しは良くなるが、似たような状況にある. 丸森・相模原の地質的地盤は弱く、被害が多発した のに対し、秩父の地質的地盤は強いために被害が少 なかったものと理解できる. 箱根の地質的地盤の強 度は明確でないが、それより豪雨に対する耐性も大 きく、豪雨が抜けやすい構造を内部にもっているよ うに見受けられる. この点は豪雨度をみると第3位 であり、豪雨度よって数量的な把握は可能となって いる. 今後は、それでも残る土砂災害に対する地質 的地盤の強弱の影響を数量的に把握することが重要 となる.

#### 謝辞

降雨データ入手にあたり,神奈川県と同企業局, 国交省相模川水系管理事務所,および埼玉県,宮城 県の各職員の方々の通常の仕事を煩わした.ここに 記してお礼を申し上げる次第である.

## 参考文献

- 林 拙郎(1985):崩壊面積率と水文データとの二,三の関係,日本林学会誌,67(6),209-217
- 林 拙郎(2012):保全砂防学入門, 電気書院, 292p.
- 林 拙郎・山田 孝(2017):土砂災害を発生させた豪雨 のファクターとスケールの設定法,自然災害科学, 36(3), 307-320.
- 林 拙郎・山田 孝(2018):土砂災害に関する豪雨度, 豪雨階の設定法,防災科学技術研究所研究資料 第418号,107-113.
- 林 拙郎・山田 孝・川邉 洋(2019):土砂災害を発生 させた豪雨の時間的・活動的特性,自然災害科学, **38**(3), 377-387.
- 林 拙郎・山田 孝(2019):土砂災害に関する大雨の豪 雨度と崩壊個数の関係,砂防学会誌, **72**(4), 15-20.
- 林 拙郎(2021):土砂災害の発生構造(仮称),技報堂, 印刷中.
- 気象庁(2018):平成 30 年 7 月豪雨(前線及び台風第 7号による大雨等),災害をもたらした気象事例, 平成 30 年 7 月 1 3 日, 1-53.
- 気象庁(2019): 台風第 19 号による大雨, 暴風等(令和 元年(2019年)10月10日~10月13日), 災害を もたらした気象事例, 令和元年10月15日, 1-65.
- ウエザーニュース(2019): https://jp.weathernews.com /news/29409/, 2020.1.5.
- 森 伸一郎(2019): 2019 年台風19号による土砂災害と 山地被害,愛媛大学令和元年台風 19 号に係る災 害調査報告会, 12-17.
- 小池敏夫(1997): 丹沢山地の地形, 丹沢大山自然環境 調査報告書, 12-17.
- 千木良雅弘・荒井紀之(2019):台風19号による相模原 市緑区牧野の斜面崩壊について、1-18, https://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web\_j/saigai/ 20191115\_syamen\_sagamihara.pdf.
#### 要 旨

2019年の台風 19号により発生した土砂災害に対し斜面崩壊を中心に報告する.土砂災害の調査 地として4箇所,すなわち箱根町・相模原市・秩父市・丸森町の被害地を選定している.豪雨の活 動的特性として時間的分類から次の3種,すなわち激性豪雨・活性豪雨・長大豪雨が設定されてい る.今回の豪雨の継続時間は,14h~18hの間にあり,すべて活性豪雨に含まれる.一方,斜面崩壊 を発生させる直接的要因を表す豪雨度の大きさは4.1~4.9であり,1~6までの豪雨階 H の中では H4に相当する.このランクは,これまでの土砂災害の豪雨階の中では,全6階級のうち上から2番 目のランクに相当する.この4箇所の調査地のうち,丸森町と相模原市の被害の状況は,従来のH4 の被害状況と類似しているが,他の2箇所の被害状況はそれよりかなり低い状況にある.この原因 として地質的地盤の強度と豪雨への耐性が挙げられる.後者には豪雨度によって把握が可能である が,地質的地盤の強度の評価法が不明のまま残されている.これらを解決するために,地質的地盤 の強度に対する数量的把握が今後の課題である.

キーワード:時間特性,活動特性,豪雨度,豪雨階,地盤の地質的強度

# 2019 年台風 19 号による群馬県富岡市内匠地区の斜面災害

1関 晴夫・2若井明彦

1日本サーベイ(株)

#### キーワード:地すべり,軽石,鋭敏粘土,緩斜面

#### 1. はじめに

2019年10月12日から13日にかけて東日本を縦断した台風19号の集中豪雨では,洪水氾濫や土砂災害など各地に甚大な被害が生じたが,群馬県富岡市内匠(たくみ)地区では,10月12日16時半頃に集落背後の斜面2か所が崩壊し(写真-1),土砂により住宅1棟が全壊,5棟が半壊,住民3人が犠牲となった.同斜面の傾斜角度は20°程度しかなく,土砂災害警戒区域(急傾斜地)の指定要件である30°には満たなかったこともあり,斜面下の住民に対する避難勧告等は自治体から発災前には発令されなかった.地球規模の気候変動の影響により極端気象の頻度が増え,想定を超える降雨量が比較的緩い傾斜の斜面ですら崩壊に至らしめる危険性は近年無視できなくなりつつある.ここでは,この現場斜面の不安定化機構を簡単に考察する.

#### 2. 斜面崩壊の概要

現場は、上信越自動車道の富岡 IC からほど近い、段丘外縁部にあたる西向斜面である. 富岡市内には鏑川の 右岸側をはじめ、段丘地形のよく発達した地区が分布し、周辺を構成する褐色ローム層はしばしば浅間山起源の 軽石層を挟在する. 現場から約 3km 西方に離れた群馬県富岡土木事務所での観測によると、当該地域での発災時 の累積雨量は 400mm ほどに達していたとみられる. 図-1 は現場付近の平面図である. 2 か所の崩壊部は隣接して おり、いずれも幅が約 20m、深さ約 3m である. 両者の間に未崩壊部があるが、地表面に引張り亀裂などが見ら れ、すでに不安定化していると考えられる. ボーリング調査に基づいて推定した断面 A-A'(崩壊部)と B-B'(未 崩壊部)の地層構造を図-2 に示す. 崩壊部には硬く固結した粘土層の上面が斜面の傾斜とほぼ並行に傾斜角度 20° ほどで連続性よく露出しており、一部には軽石の風化物に由来する上位の白色粘質土が表面に残留付着して いた. この軟弱な粘質土層が"流れ盤"様に連続的に存在していたことが伺える.



写真-1 崩壊斜面の状況(撮影:群馬県)



図-1 崩壊斜面付近の地形(平面図)

<sup>2</sup>群馬大学



図-2 斜面の地層構造(図-1のA-A'およびB-B'縦断測線)

図-3 滑落崖の露頭の状況

#### 3. 斜面を構成する材料

2 か所の崩壊の源頭部は段丘上の平坦地の外縁部に当たる.両崩壊部の地層構造は類似しているため,以降の 説明では斜面下方から見上げて左側(北側)の崩壊の調査結果のみを詳述する.源頭部の滑落崖の露頭の状況を 図-3 に示す.約1.5mの厚さの表土層の下に約0.9m厚の火山灰質のローム層があり,その下面が褐色軽石層に接 している.この軽石は浅間板鼻褐色軽石群(As-BP Group,約2.4~2.9万年前)の最下部の室田軽石(MP)と見 られ,上半分の厚さ300mmほどは粒状が明瞭な一方,下半分の厚さ200mmほどの部分は下方に行くにつれて強 く風化して粒が不明瞭となり,白色に近い色調で粘質化している注).この粘質化した部分の一部は,指圧して 貫入できるほど非常に軟弱であった.同層下面は先述の硬い固結粘土層に接していることから,固結粘土層の直 上にあるこの薄い軟弱層が今回の崩壊の基底深度であったと推定される.源頭部の滑落崖の基部すなわち軽石層 の周辺から地下水が湧出していたことから,粒状の明瞭な未風化の軽石層とその下位の風化した軟弱層との透水 性の大きな違いが,この深度での滞水を助長したと考えられる.なお,この粘質の軟弱層は,約3万年前の姶良 Tn火山灰(AT)と見られる細粒火山灰層を挟在する.

発災後4日目,すべり面の構成材料と想定される白色の風化軽石層内の上部と下部で試料採取して物理試験を 実施するとともに,それぞれの原位置での自然含水比を測定した.試験結果の詳細は割愛するが,特筆すべき点 としては,より軟質な触感を呈している上部の試料の試験結果によると,自然含水比(55.3%)が液性限界(50.2%) を超えていることである.外力で攪乱された場合に容易に流動化する鋭敏な軟弱土の特徴である.この層にせん 断変形が生ずると程なく強度が消失し,せん断抵抗が低下したことを示唆している.

#### 謝辞

現場調査および調査結果の分析などにあたり,村上 誠氏(群馬県富岡土木事務所),石井康彦氏(富岡市危機 管理課),早田 勉先生(㈱火山灰考古学研究所)の他,国土交通省関東地方整備局利根川水系砂防事務所とアジ ア航測株式会社の関係者の皆様に大変お世話になりました.また,現場調査と土質試験等では,群馬大学地盤工 学研究室の学生の皆さんに多大なるご協力をいただきました.記して謝意を表します.





# <u>〇崩壊後の斜面全景</u>

2箇所で崩壊が発生.いずれも幅 が約20m, 深さ約3mである. 両 者の間に未崩壊部がある.

## <u>〇崩壊土砂の流動範囲</u>

崩壊土砂は斜面下部より約 90m 流下し 150m 先の県道に達した.

## <u>〇斜面直下の被災建物</u>





## <u>〇斜面上部の流水後</u>

上部の畑より斜面に向かって流 水の跡が見られた.



# 〇滑落崖の状況

崖面に上位より黒褐色の表土, ロ ーム, 軽石(赤褐色),風化軽石 (灰白色),固結粘土が露出して いる.







段丘の外縁(浅い沢状の集水地形に表流水が集中)

# まとめ

【素因】

・流れ盤様の鋭敏な軟弱層(軽石の風化物)
【誘因】
・大量の降雨(発災前までの24hrに400mm弱)
【崩壊機構】
・"表流水"による浸食・その部位から表土層に水が浸透、 →表土層の不安定化
・鋭敏な風化軽石にせん断変形の集中
・地下水位上昇による風化軽石層のせん断強度低下
・風化軽石がすべり面となり崩壊が発生
(緩傾斜面に限って、こうした軟弱層が残っている?急傾斜面 では過去にほとんど淘汰されている?)

# 〇被災地の地形的特徴

赤色立体図で崩壊前の斜面形状 を見てみると、凹状の集水地形 となっている.

#### Proceedings of the Workshop on the Prediction of Landslide Disasters 2019/2020

Edited by Ryuji YAMADA\*, Tomoyuki IIDA\*, Masato SATO\*, and Takashi INOKUCHI\*

\*National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

#### Abstract

On December 3-4, 2020, "Workshop on the Prediction of Landslide Disasters 2019/2020" was held under the joint hosting of three research organizations of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (NIED), the National Institute for Land and Infrastructure Management, and the Public Works Research Institute, together with the supports of four related academic societies. This is an annual workshop aimed to offer the occasion for researchers, engineers, and stakeholders to share the perceptions, to find out the current status of landslide prediction technologies, and to discover the practical application to reduce damages. Although the 2019 workshop had been postponed due to COVID-19 pandemic spreading, the 2019/2020 workshop was held online as a social distancing measure, and about 285 researchers from national institutions, universities, and private enterprises participated in this workshop. The first part, themed "Toward higher utilization of the NIED Landslide Maps", consisted of; one special lecture, entitled "Toward practical utilization of Landslide Maps issued by NIED" by Prof. Koji Yagi of Yamagata Univ., the former chairman of The Japan Landslide Society, and two sessions on the topic of "Inherent problems in the concurrent Landslide Maps" and "Utilization of the Landslide Maps for hazard assessment". The second part, themed "Actual situation of the recent landslide disasters", consists of; one special lecture, entitled "Type, source area and mechanism of landslides induced by the 2018 Hokkaido Eastern Ibri earthquake" by Dr. Atsushi Tajika of Docon Co. Ltd., and two sessions on the topic of "Recent landslide disasters induced by earthquakes" and "Recent landslide disasters induced by rainfalls".

Key words: Disaster prediction, Landslide Maps, Utilization, Recent earthquakes and rainfalls