

# 2018年北海道胆振東部地震で被害を受けた 火山灰質土の物理特性および力学特性

緑川 雄介<sup>1</sup>・海野 寿康<sup>2</sup>・加村 晃良<sup>3</sup>・仙頭 紀明<sup>4</sup>・風間 基樹<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 宇都宮大学大学院 地域創生科学研究科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)  
E-mail: mc196260@cc.utsunomiya-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 宇都宮大学 地域デザイン科学部 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)  
E-mail: unno@cc.utsunomiya-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)  
E-mail: akiyoshi.kamura.a4@tohoku.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 日本大学 工学部 (〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地)  
E-mail: sentou.noriaki@nihon-u.ac.jp

<sup>5</sup>フェロー会員 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)  
E-mail: motoki.kazama.b2@tohoku.ac.jp

2018年北海道胆振東部地震において、火山灰質土の液状化や斜面崩壊といった地盤災害が多発した。本研究では、被災地における現地調査を実施することで斜面崩壊の特徴を把握するとともに、現場近傍の自然堆積地盤より土を採取し、崩壊土砂の物理特性や力学特性を把握するために室内試験を実施した。また、発生した斜面崩壊は表層崩壊の特徴を有することから不飽和繰返しせん断試験を実施した。飽和状態における支笏降下軽石および恵庭降下軽石の液状化強度は非常に低く、不飽和状態においても依然として低い液状化強度が示された。以上のことから、斜面崩壊は主に支笏降下軽石層の液状化による強度低下が引き金となると同時に、ひずみ軟化挙動によってせん断破壊が進行したものと推定された。

**Key Words:** *slope failure, liquefaction, partially saturated soil, volcanic soil*

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景

2018年9月6日午前3時7分頃に発生した北海道胆振東部地震は北海道胆振中東部を震源とし、マグニチュード6.7を記録した。特に、勇払郡厚真町では最大震度7に達する非常に強い揺れを観測した。この地震の特徴として、火山灰質地盤において大規模な斜面崩壊や液状化などの地盤災害が発生し、大きな被害をもたらしたことが挙げられる。平成31年1月28日時点における内閣府の報告<sup>1)</sup>によれば、227件の土砂災害が発生しており、特に厚真町では一部長距離流動を伴う全201件の斜面崩壊が広範囲で生じており、全体の約90%の土砂被害が集中している。そのような斜面崩壊によって、厚真町では特に人的・人家被害が多く生じた。また、新設したばかりの富里浄水場が破損し、断水が発生したとの報告が挙げられている。一方で、札幌市清田区で発生した土砂

災害は5件のみであり、幸い人的・人家被害は生じなかった。しかし、里塚地区において液状化による地盤災害が発生した。この地区は昭和30年代に宅地造成が進められ、元来沢地であった場所を火山灰質土である支笏火砕流堆積物によって埋立てた歴史があり、1968年十勝沖地震<sup>2)</sup>、2003年十勝沖地震<sup>3)</sup>においても2018年北海道胆振東部地震同様に液状化が生じている。

火山大国である日本は火山灰質土が全国に分布しており、その種類や工学的性質は多岐にわたる。特に北海道は活発な火山活動によって火山噴出物が広域に堆積し、面積の約50%以上に火山灰質土が分布している<sup>4)</sup>。2018年北海道胆振東部地震によって被災した地域も複数の火山灰質土が堆積した土地であり、火山灰質土の特殊性が大規模な地盤災害の発生・甚大化に関与していると考えられる。以上の様な状況であるため、被災地域に分布する火山灰質土について物理特性および繰返しせん断特性を詳細に把握し、将来の地震に向けたデータの収集が求

められている。著者らは、地震発生から約1ヶ月半後に大規模な地盤被害が確認された札幌市清田区勇払郡厚真町および安平町の現地調査を実施した。その際、勇払郡厚真町で発生した斜面崩壊現場近傍でブロックサンプリングによる現場密度試験を実施するとともに試料を採取した。

本研究は、特に勇払郡厚真町で起きた斜面崩壊に着目し、被災地に堆積する火山灰質土の物理特性および非排水繰返しせん断試験による力学特性を報告するものである。

## (2) 火山灰質土における過去の地震被害

2018年北海道胆振東部地震と同様に、近年の大地震は火山灰質地盤において斜面崩壊や液状化等の地盤災害が確認されており、被害が多発・甚大化することが知られている<sup>9)</sup>。図-1、表-1に著者らが整理した既往の地震による火山灰質地盤における被害事例を示す<sup>9)</sup>。例えば、前述した2003年十勝沖地震<sup>3)</sup>では、震源から約260kmに位置する札幌市清田区において液状化による宅地被害が発生している。宅地造成に用いられた支笏火砕流堆積物が液状化し、地表に噴出することで地盤沈下による人家等への被害がもたらされた。

2008年岩手・宮城内陸地震<sup>7)</sup>では、宮城県栗原市に位置する荒砥沢ダム上流部で崩壊長1.3kmにおよぶ巨大地すべりが発生した。この地すべりの崩壊深度近傍は溶結凝灰岩・軽石凝灰岩が堆積しており、すべり面は軽石凝灰岩下部であると推定されている。一方で、2011年東日本太平洋沖地震<sup>9)10)</sup>では、斜面崩壊が福島県中通

り・浜通り全域で見られたが、特に中通り南部において多発した。代表的な被害例として、2011年東日本太平洋沖地震で発生した地すべり被害において最大の犠牲者を出した白河市葉ノ木平地すべりが挙げられる。この地域は白河火砕流堆積物が分布しており、地すべり部には強変質を受けた未溶結層、その上部にスコリア層や軽石層が確認された。

2016年熊本地震<sup>11)12)</sup>では、赤ぼく・黒ぼくと呼ばれる火山灰質粘性土や軽石層において様々な形態の斜面崩壊が生じた。その中で、白河市葉ノ木平地すべりに類似した崩壊形態を持つ斜面崩壊が発生しており、これは高含水状態の草千里ヶ浜火山降下軽石層がすべり面と推定されている。

以上、火山灰質土分布地で大規模な地震が起こると多くの場合、地盤災害が発生するような状況である。

## 2. 被災地区への現地調査の実施

### (1) 現地調査の概要

著者らは、地震発生から約1か月半後の2018年10月19日～21日の3日間に渡り、2018年北海道胆振東部地震によって特に大きな被害を受けた札幌市清田区、勇払郡厚真町および勇払郡安平町の被害状況を把握するため、現地調査および現場密度試験を実施した。特に厚真町に関しては、斜面崩壊のデータ収集のため崩壊近傍で試料の採取を行った。調査ルートは図-2に示す。

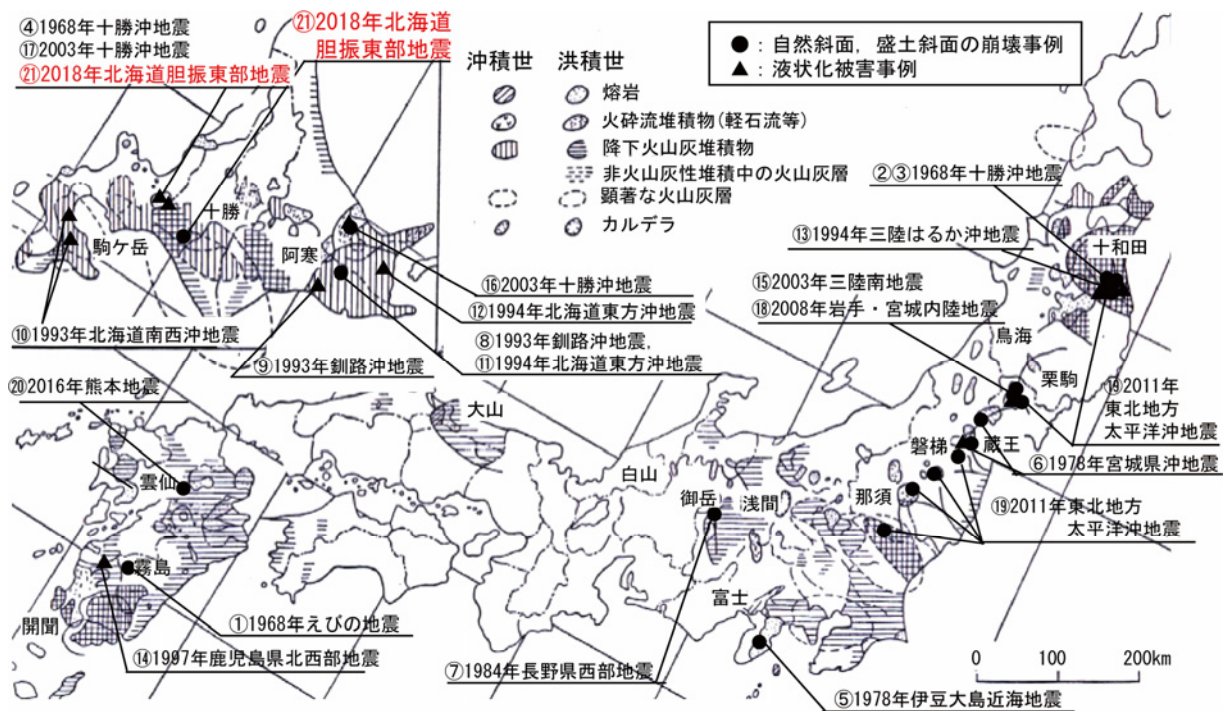


図-1 火山灰質土における既往の地震被害 (参考文献6に加筆)

表-1 火山灰質土における既往の地震被害（参考文献6に加筆）

| 年    | 月             | 日 | 地震名           | M          | 図中番号                   | 被害発生箇所            | 震央距離       | 震度           | 被害                  | 火山灰土の起源         | 備考（斜面崩壊の概要）   |  |                       |                  |          |          |        |
|------|---------------|---|---------------|------------|------------------------|-------------------|------------|--------------|---------------------|-----------------|---|--|-----------------------|------------------|----------|----------|--------|
|      |               |   |               |            |                        |                   |            |              |                     |                 | 被害箇所  | 含水比  | 崩壊土量                  | 地震前傾斜勾配          | 崩壊長      | 崩壊幅      | 崩壊深さ   |
| 1968 | 2.21          |   | えびの地震         | 6.1        | ①                      | 宮城県<br>えびの町       | 約35km      | IV           | 斜面崩壊<br>液状化         | 加久藤火砕流          | 自然斜面  | 18-42%   | 不明                    | 30-40度           | 不明       | 不明       | 不明     |
| 1968 | 5.16          |   | 十勝沖地震         | 7.8        | ②                      | 青森県三戸町            | 約200km     | V            | 斜面崩壊                | 十和田・八甲田<br>軽石流  | 道路盛土  | 不明   | 不明                    | 33度              | 約45m     | 110m     | 5m     |
|      |               | ③ |               |            | 青森県五戸町                 | 約200km            | V          | 斜面崩壊         |                     | 自然斜面            | 不明  | 不明   | 20-25度                | 約200m            | 200m     | 不明       |        |
|      |               | ④ |               |            | 北海道札幌市清田               | 約310km            | IV         | 液状化          | 支笏軽石流               | 宅地              | -   | -  | -                     | -                | -        | -        |        |
| 1970 | 5.31          |   | ペルー地震         | 7.8        | -                      | ペルー ワスカラン山        | 約130km     | -            | 斜面崩壊                | 噴出地未確認          | 自然斜面  | 不明   | 約2000万m <sup>3</sup>  | 不明               | 20km以上   | 不明       | 不明     |
| 1978 | 1.14          |   | 伊豆大島近海地震      | 7.0        | ⑤                      | 静岡県河津町<br>見嵩入谷    | 約20km      | V            | 斜面崩壊                | 火山砕屑物           | 自然斜面  | 100-125%<br>(ローム)  | 約10万m <sup>3</sup>    | 約30度             | 400-450m | 最大200m   | 3.5m   |
| 1978 | 6.12          |   | 宮城県沖地震        | 7.4        | ⑥                      | 宮城県白石市寿山          | 約140km     | IV           | 斜面崩壊                | 浮石質火砕流<br>堆積物   | 宅地用<br>沢埋め盛土  | 20-30%   | 80,000m <sup>3</sup>  | 20度              | 450m     | 250m     | 5-25m  |
| 1984 | 9.14          |   | 長野県西部地震       | 6.8        | ⑦                      | 長野県王滝村<br>(御岳山)   | 約5km       | VI           | 斜面崩壊<br>山体崩壊        | 千本松軽石層          | 自然斜面  | 99-110%  | 3,360万m <sup>3</sup>  | 20-30度           | 約1300m   | 300m     | 最大150m |
|      |               |   |               |            | 長野県王滝村<br>(松越地区)       | 約1km              | VI         | 斜面崩壊<br>山体崩壊 | 御岳第3軽石層             | 河岸段丘            | 99-118%   | 29万m <sup>3</sup>  | 17-33度                | 約300m            | 約150m    | 約30m     |        |
| 1993 | 1.15          |   | 釧路沖地震         | 7.8        | ⑧                      | 北海道<br>標茶町        | 約40km      | 不明           | 斜面崩壊                | 軽石流             | 沢埋め盛土   | 28-52%   | 不明                    | 約30度             | 最大約45m   | 約200m    | 10m未満  |
|      |               | ⑨ |               |            | 北海道釧路市<br>緑ヶ岡          | 約15km             | VI         | 斜面崩壊         | 噴出地未確認              | 宅地用盛土           | 不明  | 不明   | 約45度                  | 最大約<br>100m      | 90m      | 不明       |        |
| 1993 | 7.12          |   | 北海道南西沖地震      | 7.8        | ⑩                      | 北海道 森町            | 約145km     | 不明           | 液状化                 | 駒ヶ岳岩層なだれ<br>堆積物 | 宅地、埠頭、岸壁  | 12-24%<br>(填砂)   | -                     | -                | -        | -        | -      |
| 1994 | 10.4          |   | 北海道東方沖地震      | 8.1        | ⑪                      | 北海道 標茶町           | 約250km     | V            | 斜面崩壊                | 軽石流             | 宅地用盛土   | 不明   | 不明                    | 不明               | 不明       | 不明       | 不明     |
|      |               | ⑫ |               |            | 北海道 中標津町               | 約220km            | V          | 斜面崩壊         | 摩周降下軽石              | 自然堆積地盤          | 不明  | 不明   | 不明                    | 不明               | 不明       | 不明       |        |
| 1994 | 12.28         |   | 三陸はるか沖地震      | 7.5        | ⑬                      | 青森県新郷村            | 約230km     | VI           | 斜面崩壊                | 十和田・八甲田<br>軽石流  | 沢(谷)埋め盛土  | 不明   | 不明                    | 平均3度             | 1000m    | 不明       | 不明     |
| 1997 | 3.26          |   | 鹿児島県北西部地震     | 6.2        | ⑭                      | 鹿児島県 流入末町         | 約30km      | IV           | 斜面崩壊<br>液状化         | 入戸火砕流           | 宅地盛土  | -  | -                     | -                | -        | -        |        |
| 2001 | 1.13          |   | エルサルバドル地震     | 7.6        | -                      | エルサルバドル<br>ラスクリナス | 不明         | -            | 斜面崩壊                | 軽石、凝灰岩質土        | 自然斜面  | 不明   | 75,000m <sup>3</sup>  | 約51度             | 700m     | 110m     | 不明     |
| 2003 | 5.26          |   | 三陸南地震         | 7.1        | ⑮                      | 宮城県<br>釜石町館下      | 約35km      | V            | 斜面崩壊                | 鬼首火砕流           | 農地用<br>沢埋め盛土  | 25-55%   | 8,100m <sup>3</sup>   | 7度               | 180m     | 40m      | 5m     |
| 2003 | 9.26          |   | 十勝沖地震         | 8.0        | ⑯                      | 北海道端野町協和          | 約230km     | V            | 斜面崩壊                | クツチャロ軽石流        | 農地用<br>沢埋め盛土  | 42-56%   | 10,000m <sup>3</sup>  | 約2度              | 270m     | 60m      | 1.5m   |
|      |               | ⑰ |               |            | 北海道札幌市<br>美しが丘         | 約255km            | IV         | 液状化          | 支笏軽石流               | 宅地盛土            | 40-76%<br>(填砂)  | -  | -                     | -                | -        | -        |        |
| 2008 | 6.14          |   | 岩手・宮城内陸地震     | 7.2        | ⑱                      | 岩手県一関市<br>宮城県栗原市  | 約30km      | VI           | 斜面崩壊                | 栗駒山<br>火山噴出物    | 自然斜面<br>盛土斜面  | 東西10-20km、南北約40kmの範囲に浅層崩壊を中心に約3,000箇所を<br>越える斜面災害が発生している。被災箇所多数の為省略。 |                       |                  |          |          |        |
|      |               |   |               |            | 栗駒山ドノウ沢<br>源頭部         | 約10km             | 不明         | 土石流          | 栗駒山<br>火山噴出物        | 自然斜面            | 不明  | 150万m <sup>3</sup>   | 30-35度                | 約200m<br>約10km流下 | 300m     | 30m      |        |
|      |               |   |               |            | 荒戸沢ダム上流                | 約15km             | 不明         | 地すべり<br>山体崩壊 | 噴出地未確認<br>軽石凝灰岩など   | 自然斜面            | 不明  | 6,700万m <sup>3</sup>   | 約14度                  | 1300m            | 900m     | 100m     |        |
|      |               |   |               |            | 宮城県栗原市<br>釜石町館下        | 約35km             | VI         | 斜面崩壊         | 鬼首火砕流               | 農地用<br>沢埋め盛土    | 47-55%  | 4,000m <sup>3</sup>  | 13度                   | 115m             | 45m      | 3m       |        |
| 2011 | 3.11          |   | 東北太平洋沖地震      | 9.0        | ⑲                      | 青森県田子町            | 約300km     | IV           | 護岸移動                | 噴出地未確認          | 宅地、河川護岸   | 不明   | 不明                    | 不明               | 14m      | 29m      | 1.4m   |
|      |               |   |               |            | 福島県福島市<br>伏拝           | 約210km            | VI弱        | 斜面崩壊         | 伏拝火山砕屑流<br>堆積物      | 谷埋盛土            | 不明  | 不明   | 不明                    | 100m             | 90m      | 10m      |        |
|      |               |   |               |            | 福島県中通り南部(郡<br>山、白河)    | 約250km            | VI強        | 地すべり         | 白河火砕流堆積物            | 自然斜面            | 被災箇所多数の為省略。   |  |                       |                  |          |          |        |
| 2016 | 4.14,<br>4.16 |   | 熊本地震          | 6.5<br>7.3 | ⑳                      | 熊本県南阿蘇村<br>(阿蘇大橋) | 約30km      |              | 斜面崩壊<br>深層崩壊        | 阿蘇噴火<br>火砕流堆積物  | 自然斜面  | 不明   | 500,000m <sup>3</sup> | 35-25度           | 750m     | 120-200m | 20m    |
|      |               |   |               |            | 熊本県南阿蘇村新所              | 約30km             | V弱<br>VI強  | 斜面崩壊<br>土石流  | 不明                  |                 |   | 45,000m <sup>3</sup>   | 10-30度                | 100m             | 90m      | 5m       |        |
|      |               |   |               |            | 熊本県南阿蘇村.<br>夜峰山        | 約30km             |            | 斜面崩壊<br>山体崩壊 | 被災箇所多数の為省略。         |                 |   |  |                       |                  |          |          |        |
|      |               |   |               |            | 熊本県熊本市、嘉島<br>町、益城町、阿蘇市 | 5-40km            | VI<br>~VII | 斜面崩壊<br>液状化  | 阿蘇カルデラ起源<br>火砕流堆積物他 |                 |   | 市街地(宅地、<br>道路、堤防)  | 被災箇所多数の為省略。           |                  |          |          |        |
| 2018 | 9.6           |   | 北海道<br>胆振東部地震 | 6.7        | ㉑                      | 北海道札幌市清田          | 約50km      | VI弱          | 斜面崩壊<br>液状化         | 支笏軽石流           | 宅地盛土  | 4500m <sup>3</sup> もの流出土砂が発生し、9000m <sup>3</sup> 以上の範囲に堆積した。         |                       |                  |          |          |        |
|      |               |   |               |            | 北海道厚真町吉野               | 約10km             | VII        | 斜面崩壊         | 調査中                 | 自然斜面            | 傾斜角15~40度の斜面において崩壊面積13.4km <sup>2</sup> 、崩壊土砂量3000万m <sup>3</sup> に<br>およぶ斜面災害が発生している。被災箇所多数の為省略。 |  |                       |                  |          |          |        |

(2) 札幌市清田区の液状化による被害

札幌市清田区は震源より約 50 km に位置し、震度 5 強を記録した。液状化が発生した地区は住宅地であり、マンホールの浮上など代表的な液状化被害が確認された(写真-1, 2)。また、液状化範囲内において水道管の破裂が 3 箇所発生しており、破裂箇所付近で大量の土砂の流出跡が確認できた。これより、被害地域で生じた地盤沈下は水道管の破裂による土砂の掃き出しの影響を受けたものと推定する。

表-2、図-3 に液状化被災地で採取した支笏火砕流堆積物（以下、Spfl）および同種の土として札幌市清田区

に隣接する北広島市で採取した火山灰質土の土粒子密度と粒径加積曲線を示す。対象土の土粒子密度は約 2.400 g/cm<sup>3</sup> と小さく、火山灰質土の特徴である多孔質性を示す。また粒径加積曲線より、細粒分含有率は 28 % 程度であり、細粒分混じりの砂質土である。

(3) 勇払郡安平町の地震被害

震源に位置する勇払郡安平町では、震度 6 強を観測した。内閣府の報告<sup>9)</sup>によれば、土砂災害は 3 件だけであり人的・人家被害は生じなかった。一方でマンホール等の管路破損は約 85 箇所確認されており、この被害件数

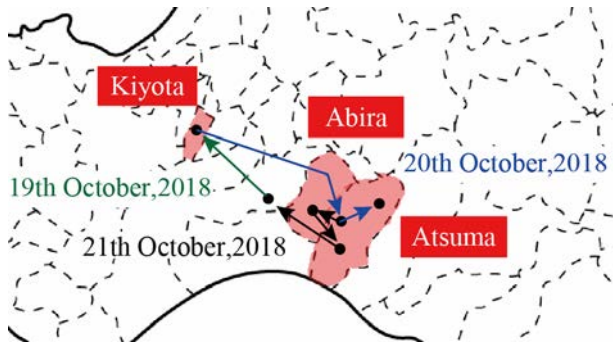


図-2 調査ルートマップ

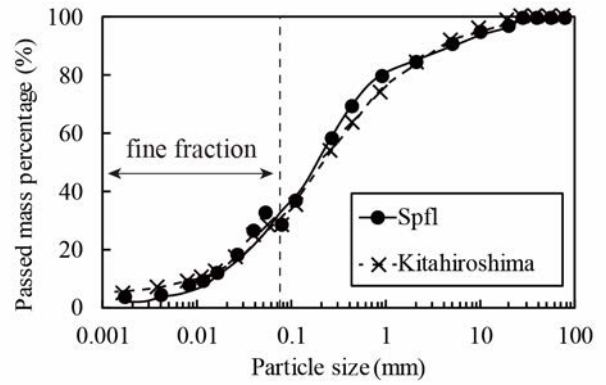


図-3 札幌市清田区で採取した試料の粒径加積曲線

表-2 札幌市清田区で採取した試料の土質特性

| Sample   | Spfl  | Kitahiroshima |
|--|-------|---------------|
| Soil particle density $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup> | 2.380 | 2.457         |
| Fine fraction content $F_c$ %                    | 28.8  | 28.5          |



写真-1 札幌市清田区の液状化被害(1)



写真-2 札幌市清田区の液状化被害(2)



写真-3 勇払郡安平町の建物被害



写真-4 勇払郡安平町の地盤沈下被害



写真-5 勇払郡厚真町の斜面崩壊被害(1)



写真-6 勇払郡厚真町の斜面崩壊被害(2)

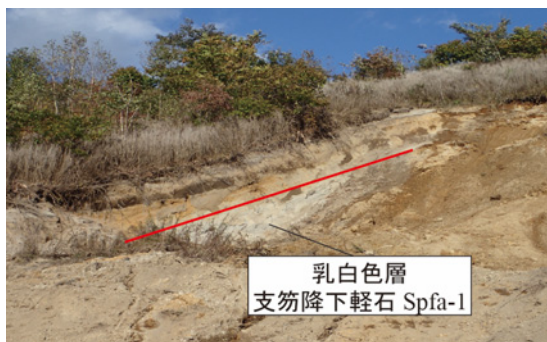


写真-7 勇払郡厚真町の斜面崩壊断面



写真-8 勇払郡厚真町の斜面崩壊土砂

は液状化によって水道管の断裂、マンホールの浮上およびマンホール周辺の陥没などの約 180 箇所に入る管路破損が生じた札幌市に次ぐ数字である。

現地調査によって、上述したマンホール周辺の変形等の被害を確認した。また、札幌市清田区のような大規模な変位ではないが地盤沈下による石壁の崩壊、道路上の亀裂・沈下が見られた(写真-3,4)。

#### (4) 勇払郡厚真町の斜面崩壊による被害

勇払郡厚真町は震源より約 15 km に位置し、最大震度 7 に達する非常に強い揺れに見舞われた。現地調査により、厚真町で発生した人家被害の大部分が山間部を中心に多発した斜面崩壊によるものであり、山の裾に位置する住居や浄水場への被害が確認できた。現地で撮影した被災写真を写真-5,6 に示す。これらの斜面崩壊には比較的浅い位置を崩壊部とするものと、比較的深い位置を崩壊部とする異なる 2 種類の崩壊形態の存在が確認できた。一部の崩壊現場では崩壊土砂が長距離まで流出し、道路を塞いだ跡があり、北海道胆振東部地震で生じた斜面崩壊は長距離流動を伴う流動性崩壊の特徴を持つようである。崩壊断面の観察により、最も深い位置において乳白色の層が確認できた。また、崩壊土砂は茶褐色、黄褐色および乳白色の土が混在している状態にあった。

これらの崩壊箇所の観察を踏まえて、筆者らが観察・調査した範囲においては比較的深い位置を崩壊部とする斜面崩壊は乳白色の層に起因すると推定できそうである。写真-7,8 に現地調査の際に観察された崩壊土砂および崩壊断面の一部を示す。気象庁の発表<sup>1)</sup>によれば、地震前日は台風 21 号の影響で約 12 mm の降雨があり、通常時よりも地表付近の飽和度が高かったことが予想され、流動性崩壊の発生に関与すると推定されるが、今回の調査は地震発生から 1 か月半後ということもあり、十分な情報は得られなかった。

ここで著者らは、崩壊現場近傍の堆積状態を調査するため被災地にてブロックサンプリングによる現場密度試験を実施した(写真-9)。この時、崩壊部と推定された乳白色層および崩壊深度近傍に堆積する全 3 種類の火山灰質土を対象とし、円筒状のモールド管を各層に挿入することで試料を採取した。試験結果については次章にて詳細を述べる。

### 3. 勇払郡厚真町の崩壊土砂の土質特性

#### (1) ブロックサンプリングによる堆積状況の把握

採取および現場密度試験を行った勇払郡厚真町の火山灰質土を写真-10 に示す。これらの試料は厚真町で発生した斜面崩壊の崩壊深度近傍に堆積する火山灰質土であり、2 種類の樽前降下軽石(以下、Ta-bc, Ta-d)、恵庭降下軽石(以下、En-a)、支笏降下軽石(以下、Spfa-1)

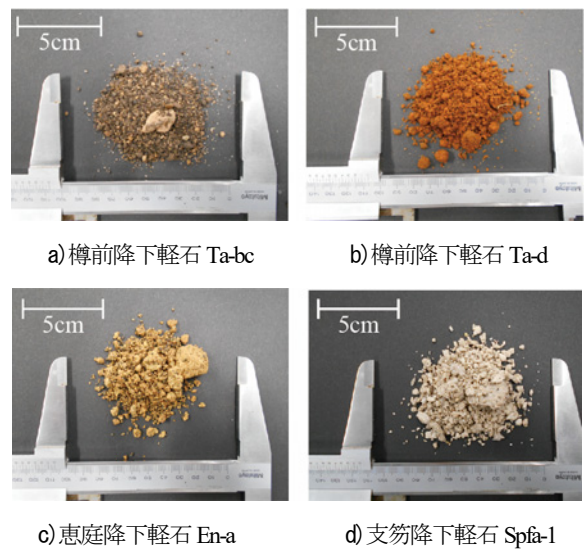


写真-10 厚真町で採取した火山灰質土



a)ハンマーによるモールド管の挿入



b)ブロックサンプリング終了時

写真-9 厚真町で行ったブロックサンプリングの様子

の合計 4 層から構成される。ここで、写真-7,8 で示した乳白色の土とは、4 層目に位置する Spfa-1 である。本研究では、大規模な斜面崩壊を起こした厚真町に堆積する上述の 4 種類の火山灰質土を崩壊現場近傍においてブロックサンプリングによる現場密度試験（2018 年 10 月 21 日実施）を行うとともに 50 kg ほど採取し実験室に搬入、土質試験を実施した。

現場密度試験は、自然状態の対象土に対して直径 5 cm、高さ 8 cm の円筒状のモールド管にハンマーで打撃を与えて各層に挿入し、不攪乱試料を採取した。その後、粒子破碎等の危険があるため 40 度で炉乾燥を行った。なお、1 層目に位置する Ta-bc は高所に堆積しており、ブロックサンプリングが困難であったため現場密度試験はできていない。

現場密度試験の結果を表-3 に示す。厚真町に堆積する火山灰質土は、表層付近では地下水より浅いため自然状態において不飽和状態であるが、全体的に含水比は高く、特に Ta-d は 156 % と非常に高い含水状態にある。また、道路橋示方書<sup>14)</sup>によれば一般的な自然地盤の湿潤密度は 1.800~2.000 g/cm<sup>3</sup> であるのに対し、崩壊現場近傍の火山灰質土層は 0.800~1.300 g/cm<sup>3</sup> と非常に小さい値を示し、後述する土粒子自体の軽さに加え緩く堆積していることが分かる。

## (2) 崩壊土砂の土粒子密度と粒度分布

電子顕微鏡（SEM：Scanning Electron Microscope）による土粒子表面の観察を行った（写真-11）。Spfa-1 は土粒子表面に針状の凹凸が確認され、多孔質であることが分かる。対して、Ta-bc、Ta-d および En-a は火山灰質土であるが土粒子表面に凹凸は少なく滑らかである。

表-3 厚真町で実施した現場密度試験結果

| Sample               |                            | Ta-d  | En-a  | Spfa-1 |
|----------------------|----------------------------|-------|-------|--------|
| Water content        | w %                        | 78.1  | 156.3 | 83.1   |
| Wet density          | $\rho_t$ g/cm <sup>3</sup> | 1.312 | 0.864 | 0.789  |
| Dry density          | $\rho_d$ g/cm <sup>3</sup> | 0.737 | 0.337 | 0.431  |
| Void ratio           | e                          | 3.00  | 7.40  | 4.30   |
| Degree of saturation | $S_r$ %                    | 76.7  | 59.8  | 44.3   |

表-4 厚真町で採取した火山灰質土の土質特性

| Sample   | Ta-bc | Ta-d  | En-a  | Spfa-1 |
|--|-------|-------|-------|--------|
| Soil particle density $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup> | 2.953 | 2.948 | 2.830 | 2.283  |
| $\rho_{sensh}$ g/cm <sup>3</sup>                 | 3.013 | 2.883 | 2.736 | 2.362  |
| Fine fraction content $F_c$ %                    | 2.4   | 16.6  | 5.4   | 5.2    |
| Plasticity index $I_p$                           | NP    | 18.4  | NP    | NP     |

各種室内試験により求めた土質特性を表-4 に示す。土粒子密度は、被災地で採取した試料はそれぞれ火山灰質土であるため多孔質であり、一般的な砂試料と比較して空気を多分に含むことが指摘される。そこで、本研究では事前に 12 時間以上の脱気を行い、煮沸時間を 4 時間以上として丹念に気泡の除去を行った。Spfa-1 の土粒子密度は火山灰起源であることから 2.283 g/cm<sup>3</sup> と小さい値を示す。その他 3 試料は 2.830~2.950 g/cm<sup>3</sup> と比較的大きな値を示した。Spfa-1 の土粒子密度の小ささは、SEM による観察で確認した土粒子の多孔質性を裏付ける結果となった。

一方で、荒巻ら<sup>15)</sup>は火山灰質粗粒土を用いた土粒子密度試験では多孔質な軽石を多く持つため閉塞内間隙空気を取り除くことが非常に困難であるとして、事前に試料をすりつぶすことで計測値のばらつきを小さくし、煮沸時間の短縮が可能になることを指摘している。そこで、事前すりつぶしを実施した土粒子密度を  $\rho_{sensh}$  とする（表-4）。すりつぶすことで閉塞内間隙空気を取り除くことが可能となり、 $\rho_{sensh}$  は  $\rho_s$  と比較して大きくなると予測されたが、有意な差は見られなかった。よって、本研究で用いた 12 時間以上の事前脱気および 4 時間以上の煮沸は閉塞内間隙空気を取り除くために有効な手段であることが明らかとなった。

粒度試験により求めた各試料の粒径加積曲線を図-4 に示す。採取試料は全体的に粗粒であり、特に Ta-bc、En-a および Spfa-1 は細粒分含有率が約 5 % と非常に低い値を示した。

## (3) 崩壊土砂の保水性試験と水分特性曲線

図-5 は En-a および Spfa-1 の水分特性曲線を示したものである。この時、斜面崩壊現場近傍の自然堆積状態に

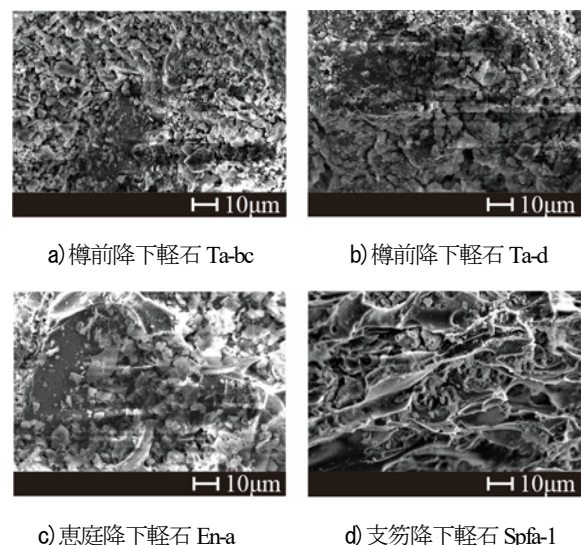


写真-11 厚真町で採取した火山灰質土の SEM による観察

おける乾燥密度を参考に供試体作製を行ったため非常に緩い状態にある。現場の飽和度が Spfa-1 は 44.1 %、En-a は 59.8 % であることから、斜面崩壊近傍は低サクシオン状態にあることが分かる。風間ら<sup>19)</sup>は細粒分を多く含む火山灰質土は多孔質性により保水性が高くなることを指摘している。被災地で採取し、保水性試験を実施した火山灰質土はどちらも細粒分含有率が 5 % 程度と非常に低く、比較的保水性の悪い試料であると考えられる。

#### 4. 崩壊土砂の繰返しせん断変形特性

##### (1) 繰返しせん断試験の概要

本研究に用いた繰返し三軸試験機は空圧式であり、荷重計は±2 kN/m<sup>2</sup> の範囲で圧力を制御可能である。繰返しせん断は軸差応力一定の正弦波を振動数 f=0.05 Hz で与えた。また、体積変化は二重ビュレット管を用いて排水量を測定することで把握した。なお、本研究では両振幅ひずみ DA=10%が生じた段階で試験終了とした。

##### (a) 飽和繰返し三軸試験装置

試験に用いた飽和用繰返しせん断試験装置は上下双方のペDESTALにポーラスストーンを装着し、供試体下部で間隙水圧  $u_w$  を測定する。一方で、体積変化は供試体

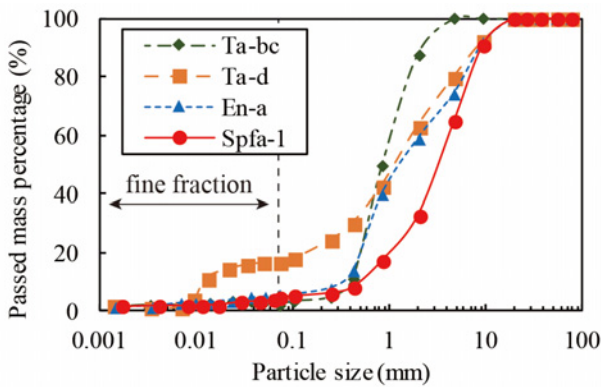


図-4 粒径加積曲線

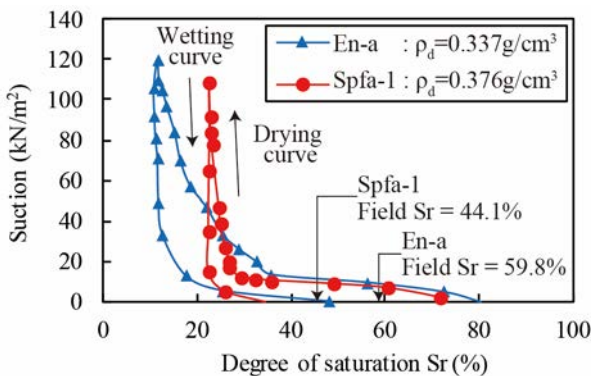


図-5 水分特性曲線

下部と接続した二重ビュレット管を用いて測定する。

##### (b) 不飽和繰返し三軸試験装置と有効応力の定義

試験に用いた不飽和用繰返しせん断試験装置を図-6に示す。下部ペDESTALにセラミックディスク (AEV=50 kN/m<sup>2</sup>)、上部ペDESTALと供試体の境界にフッ素コーティングガラスフィルタおよびガラスフィルタを装着し、供試体上部で間隙空気圧  $u_a$ 、供試体下部で間隙水圧  $u_w$  を測定する。一方で、体積変化は三軸室内に設置した内セルの水位変化から間接的に測定する。また、本研究における不飽和土の有効応力は下記の Bishop の有効応力式で示される。ここで、サクシオンパラメータ  $\chi$  は、飽和度 ( $\chi = S_r/100$ ) とする。

$$\sigma'_{mc} = (\sigma_c - u_a) + \chi(u_a - u_w) \quad (1)$$

本研究は非排気非排水条件下で繰返しせん断を与えている。

##### (2) 試験試料と供試体作製方法について

繰返しせん断試験に用いた供試体は直径 5 cm、高さ 10 cm の円筒形で、試験試料には崩壊部と考えられる Spfa-1 および Spfa-1 の上部に堆積する En-a の 2 mm ふるい通過試料を用いる (写真-12)。繰返しせん断前の乾燥密度は表-3 に示す現場の乾燥密度を参考にし、所定の初期含水比になるようにバット上で事前に脱気蒸留水と十分に練り混ぜたものをスプーン等を用いてモールド内に投入した。ただし、不飽和試験の際には、図-5 に示す水分特性曲線を考慮し、地震発生時の現地の飽和度を想定して初期含水量を設定した。なお、初期乾燥密度

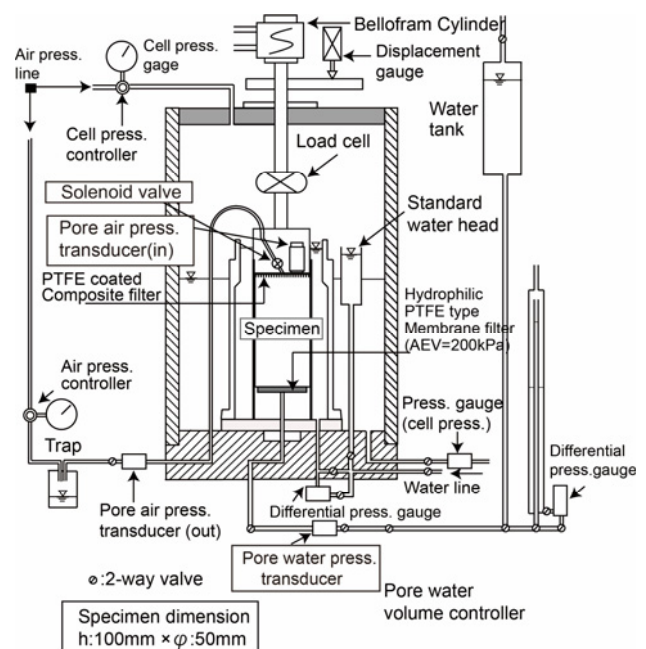


図-6 不飽和三軸試験機

は供試体作製時に密度が不均一にならない最緩の密度とした。本研究では上記の2試料に対して、繰返しせん断前の飽和度を100%とする飽和状態、飽和度65%および82%とする不飽和状態において試験を実施した。飽和試験と不飽和試験の具体的な試験方法は以下の通りである。

(a) 飽和試験 (せん断前飽和度  $S_{rc}=100\%$ )

所定の初期含水比 (En-a :  $w_0=20\%$ , Spfa-1 :  $w_0=60\%$ ) で供試体を作製後、地盤工学会基準の試験方法に基づき間隙空気を  $CO_2$  で置換した後、脱気蒸留水を供試体内に循環させることで飽和させる。なお背圧  $100\text{ kN/m}^2$  を載荷させることで飽和度  $S_r=100\%$  (B 値 : 0.95 以上) を確保した。続いて初期有効拘束圧  $\sigma'_{mc}=20\text{ kN/m}^2$  として、十

分に圧密し、等方応力状態において非排水条件で繰返しせん断を与える。表-5 に飽和供試体の試験条件を示す。

(b) 不飽和試験 (せん断前飽和度  $S_{rc}=65\%$ ,  $S_{rc}=82\%$ )

所定の初期含水比 (En-a :  $w_0=35\%$ , Spfa-1 :  $w_0=130\%$ ) で供試体を作製後、自立用拘束圧  $10\text{ kN/m}^2$  を与え、基底応力  $\sigma_{mc}$  ( $\sigma'_{mc}-u_a$ ) を一定に保ち間隙空気圧を与える。間隙空気圧が定常状態になったことを確認し、基底応力を  $20\text{ kN/m}^2$  まで上昇させ、所定の飽和度になるまで排水させた。等方応力状態の供試体に非排水非排水条件で繰返しせん断を与える。表-6 に不飽和供試体の試験条件を示す。



写真-12 2mmふるい通過試料 (左 : En-a, 右 : Spfa-1)

表-5 飽和繰返しせん断試験の試験条件一覧

| Sample     | Case No.         | Dry density                | Void ratio | Mean skeleton stress          |      |
|------------|------------------|----------------------------|------------|-------------------------------|------|
|            |                  | $\rho_{dc}(\text{g/cm}^3)$ | $e_c$      | $\sigma'_{m0}(\text{kN/m}^2)$ |      |
| A)SERIES A | A-S-1            | 1.210                      | 1.34       | 21.5                          |      |
|            | A-S-2            | 1.267                      | 1.23       | 21.0                          |      |
|            | Saturated En-a   | A-S-3                      | 1.205      | 1.35                          | 18.2 |
|            |                  | A-S-4                      | 1.215      | 1.33                          | 22.2 |
|            |                  | A-S-5                      | 1.279      | 1.21                          | 21.8 |
| B)SERIES B | B-S-1            | 0.552                      | 3.14       | 21.0                          |      |
|            | B-S-2            | 0.575                      | 2.97       | 19.6                          |      |
|            | Saturated Spfa-1 | B-S-3                      | 0.578      | 2.95                          | 18.2 |
|            |                  | B-S-4                      | 0.577      | 2.96                          | 20.6 |
|            |                  | B-S-5                      | 0.506      | 3.51                          | 18.3 |

表-6 不飽和繰返しせん断試験 試験条件一覧

| Sample     | Case No.                   | Suction              | Pore water pressure     | Pore air pressure       | Dry density                | Void ratio | Degree of saturation | Mean skelton stress                                  | Cell pressure             |      |
|------------|----------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|------------|----------------------|--|---------------------------|------|
|            |                            | $s_c(\text{kN/m}^2)$ | $u_{wc}(\text{kN/m}^2)$ | $u_{ac}(\text{kN/m}^2)$ | $\rho_{dc}(\text{g/cm}^3)$ | $e_c$      | $S_{rc}(\%)$         | $\sigma'_{m0}=(\sigma_c-u_{ac})+Xs_c(\text{kN/m}^2)$ | $\sigma_c(\text{kN/m}^2)$ |      |
| A)SERIES A | A-P-1                      | 1.2                  | 0.6                     | 1.8                     | 1.332                      | 1.13       | 65.8                 | 19.4   | 20.4                      |      |
|            | A-P-2                      | 1.2                  | -0.1                    | 1.0                     | 1.304                      | 1.17       | 64.1                 | 20.2   | 20.4                      |      |
|            | A-P-3                      | 1.0                  | 0.2                     | 1.2                     | 1.329                      | 1.13       | 65.4                 | 21.5   | 22.2                      |      |
|            | Partially Saturated En-a   | A-P-4                | 1.3                     | -0.1                    | 1.2                        | 1.328      | 1.13                 | 67.0   | 20.9                      | 21.2 |
|            |                            | A-P-5                | 0.7                     | 0.2                     | 0.9                        | 1.296      | 1.18                 | 61.7   | 22.0                      | 22.5 |
|            |                            | A-P-6                | 1.2                     | -0.3                    | 0.9                        | 1.349      | 1.10                 | 82.5   | 20.8                      | 20.7 |
|            | A-P-7                      | 0.9                  | 0.1                     | 1.0                     | 1.326                      | 1.13       | 81.7                 | 21.1   | 21.4                      |      |
|            | A-P-8                      | 1.0                  | 0.0                     | 1.0                     | 1.349                      | 1.10       | 82.5                 | 20.3   | 20.5                      |      |
|            | A-P-9                      | 1.2                  | -0.2                    | 1.1                     | 1.346                      | 1.10       | 83.4                 | 20.1   | 20.2                      |      |
| B)SERIES B | B-P-1                      | 1.4                  | 0.2                     | 1.6                     | 0.463                      | 3.93       | 64.6                 | 18.4   | 19.2                      |      |
|            | B-P-2                      | 1.2                  | 0.6                     | 1.8                     | 0.501                      | 3.55       | 67.4                 | 18.7   | 19.7                      |      |
|            | B-P-3                      | 1.8                  | -0.6                    | 1.1                     | 0.480                      | 3.76       | 70.7                 | 20.7   | 21.0                      |      |
|            | Partially Saturated Spfa-1 | B-P-4                | 0.8                     | 0.9                     | 1.6                        | 0.507      | 3.50                 | 72.6   | 18.6                      | 19.7 |
|            |                            | B-P-5                | 0.4                     | 0.8                     | 1.2                        | 0.515      | 3.44                 | 72.5   | 19.9                      | 20.9 |
|            |                            | B-P-6                | 0.5                     | 0.6                     | 1.2                        | 0.495      | 3.62                 | 81.9   | 19.1                      | 19.8 |
|            | B-P-7                      | 0.3                  | 1.8                     | 2.1                     | 0.490                      | 3.66       | 82.5                 | 19.8   | 21.8                      |      |
|            | B-P-8                      | 0.7                  | 3.6                     | 4.4                     | 0.514                      | 3.44       | 83.4                 | 18.4   | 22.2                      |      |
|            | B-P-9                      | 0.5                  | 0.3                     | 0.9                     | 0.529                      | 3.32       | 84.3                 | 21.0   | 21.4                      |      |



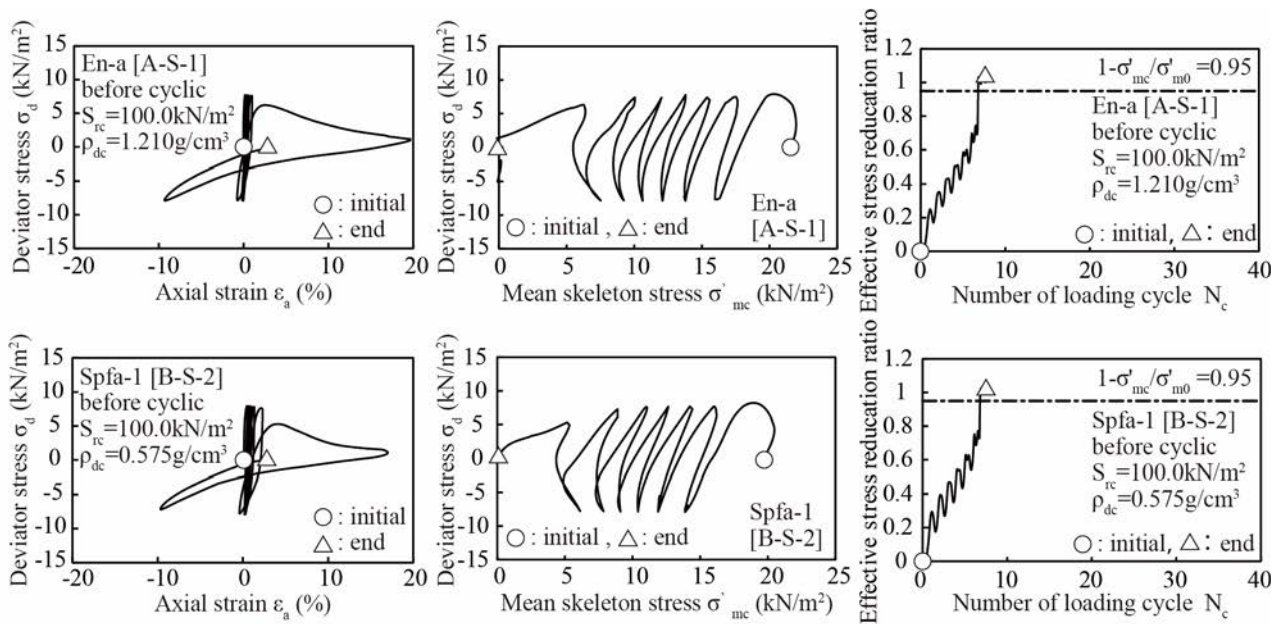


図-7 飽和状態における繰返しせん断挙動

応力～ひずみ関係、有効応力経路、有効応力減少比の各時刻歴

(1段目：En-a Src=100%，2段目：Spfa-1 Src=100%)

### (3) 繰返しせん断変形特性

#### (a) 飽和状態における繰返しせん断変形特性

図-7 は飽和繰返しせん断試験における応力～ひずみ関係、有効応力経路および下記に示される有効応力減少比の各時刻歴を近い繰返し応力振幅比（≒0.19）のもとで比較している。

$$\text{有効応力減少比} = 1 - \sigma'_{mc} / \sigma'_{m0} \quad (2)$$

対象土である En-a, Spfa-1 のどちらの有効応力経路においても、繰返し载荷に伴い、平均有効主応力が減少し最終的にゼロに達しているため液状化が生じている。また変形挙動においては、どちらの飽和供試体も圧縮方向への顕著な変形が見られ、試験終了に至った。

#### (b) 不飽和状態における繰返しせん断変形特性

繰返しせん断前の飽和度が 65 %および 82 %となる代表的な供試体について、図-8 に飽和供試体と同様にせん断挙動を示した。対象土である En-a, Spfa-1 のどちらの有効応力経路においても、繰返し载荷に伴う平均有効主応力の減少は見られるがゼロには至らない。有効応力減少比の時刻歴によれば、繰返し载荷の進行に伴い有効応力減少比は増加するが 0.8 程度を境に傾きが緩やかになり、0.95 には至らず試験が終了した。また変形挙動においては、どちらの不飽和供試体も平均有効主応力の低下・回復を繰返しながら軸ひずみが累積する傾向にあり、両振幅ひずみ DA=10 %に達したところで試験終了に至った。

飽和度による平均有効主応力の挙動の差について明らかにするため、繰返し载荷回数  $N_c$  を両振幅ひずみ DA=10 %を示す時の繰返し载荷回数で正規化した値と有効応力減少比の関係を図-9 に示す。En-a, Spfa-1 のどちらの火山灰質土においても有効応力減少比が 0.95 以上の値を示したのは飽和供試体のみである。また、不飽和供試体は繰返しせん断を与えると飽和供試体よりも早く有効応力が減少するが、0.95 に至らず頭打ちになる傾向がある。

#### (4) 崩壊土砂の液状化

斜面崩壊深度近傍で採取した En-a および Spfa-1 の飽和・不飽和状態における両振幅ひずみ DA=10 %に達する繰返し応力振幅比とその時の繰返し载荷回数の関係を図-10 に示す。また、繰返し载荷回数 20 回に対する繰返し応力振幅比を  $R_{L20}$  とし、各供試体の値を表-7 に示す。上記の 2 試料は飽和・不飽和供試体に関わらず、非常に低い繰返し応力振幅比を示し、不飽和供試体は飽和供試体と比較して繰返し応力振幅比がわずかに増加する。

飽和度と繰返し応力振幅比の関係を図-11 に示す。Yoshimi ら<sup>17)</sup>は、一般的な中密な砂試料は飽和度を 100 %から 70 %まで低下させると液状化抵抗が約 3 倍になることを示した。一方で、飽和度が低下するほど液状化抵抗の増加率は小さくなると指摘している。しかし、En-a および Spfa-1 は飽和度が 100 %から 82 %まで低下しても  $R_{L20}$  は約 1.3 倍に留まった。さらに、飽和度を 82 %から 65 %まで低下させたところ有意な差は見られなかった。

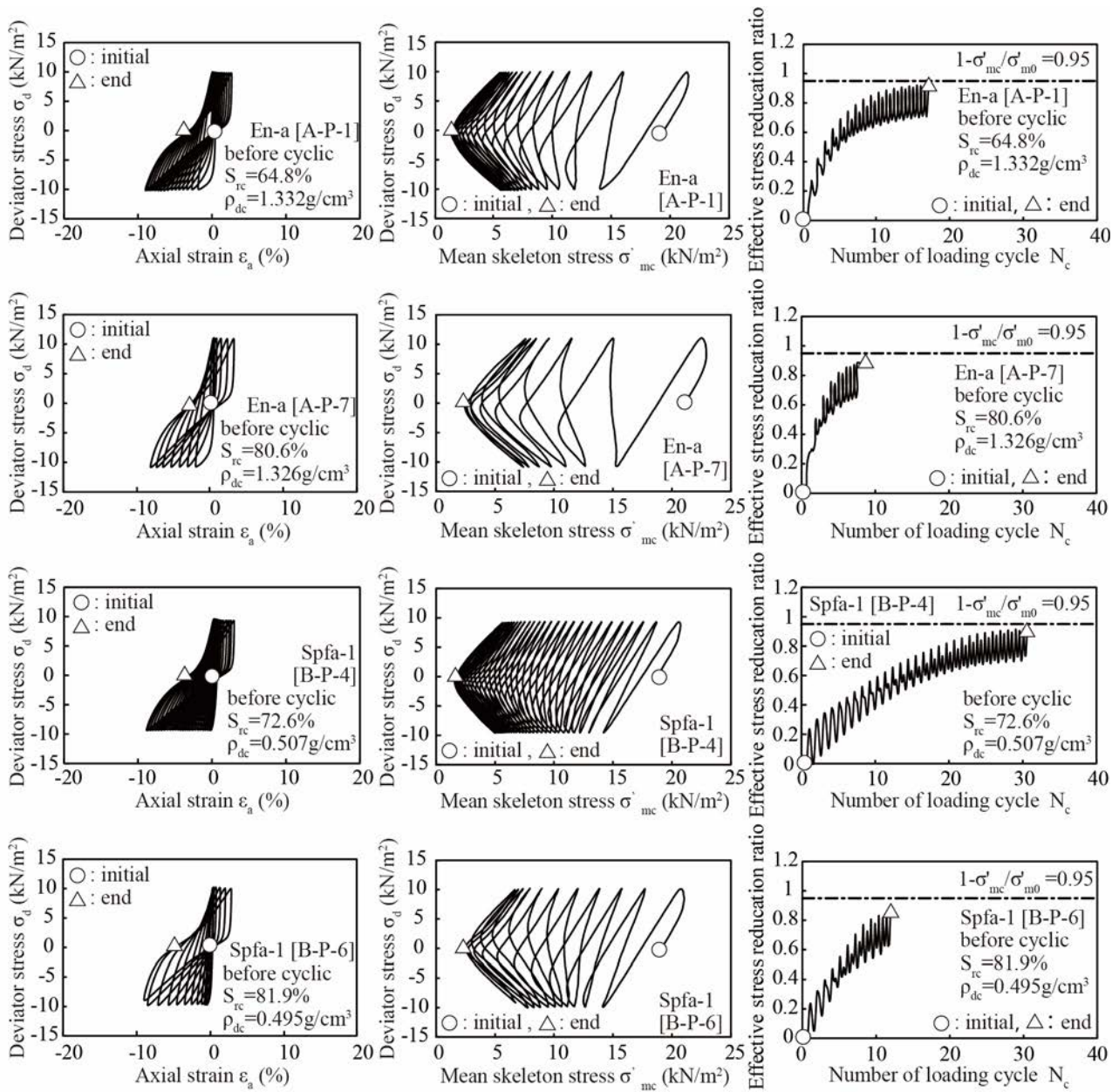


図-8 不飽和状態における繰返しせん断挙動

応力～ひずみ関係，有効応力経路，有効応力減少比の各時刻歴

(1段：En-a  $S_{rc}=64.8\%$ ，2段：En-a  $S_{rc}=80.6\%$ ，3段：Spfa-1  $S_{rc}=72.6\%$ ，4段：Spfa-1  $S_{rc}=81.9\%$ )

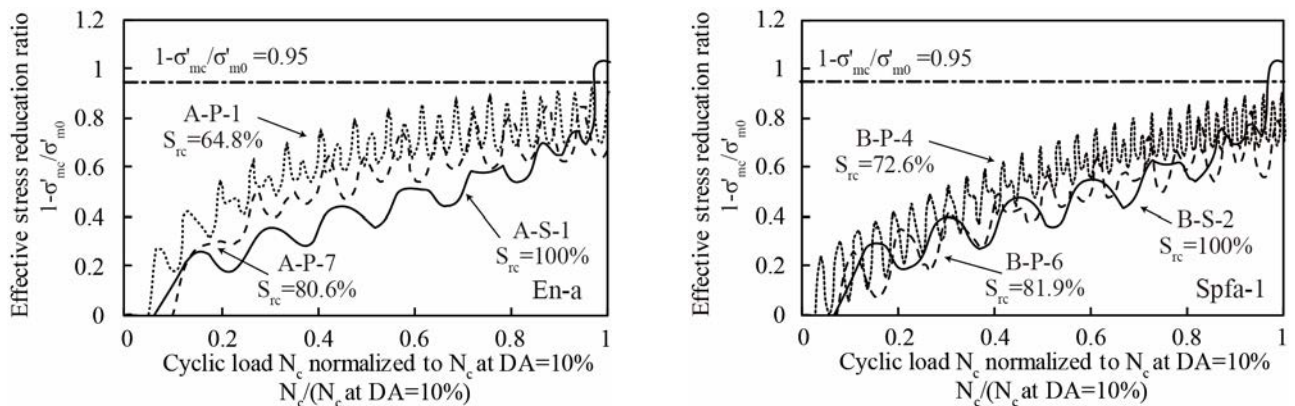


図-9 繰返しせん断に伴う有効応力減少比の比較 (左：En-a，右：Spfa-1)

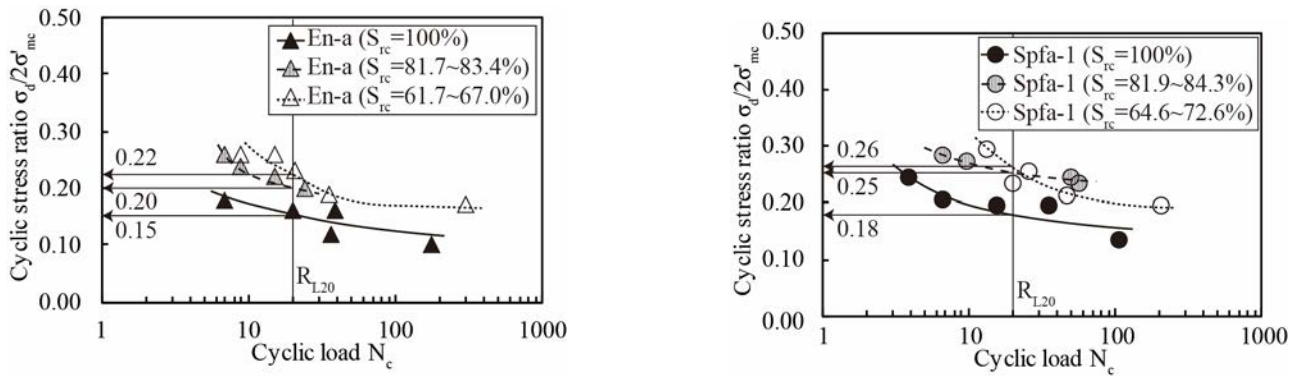


図-10 繰返し载荷回数と繰返し応力振幅比の関係 (左: En-a, 右: Spfa-1)

表-7 繰返し载荷 20 回に対する繰返し応力振幅比  $R_{L20}$

| Sample                                    | En-a  |           |           | Spfa-1 |           |           |
|---|-------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|
| Degree of saturation $S_{rc}$ (%)         | 100.0 | 81.7~83.4 | 61.7~67.0 | 100.0  | 81.9~84.3 | 64.6~72.6 |
| Cyclic stress ratio at $N_c=20$ $R_{L20}$ | 0.15  | 0.20      | 0.22      | 0.18   | 0.25      | 0.26      |

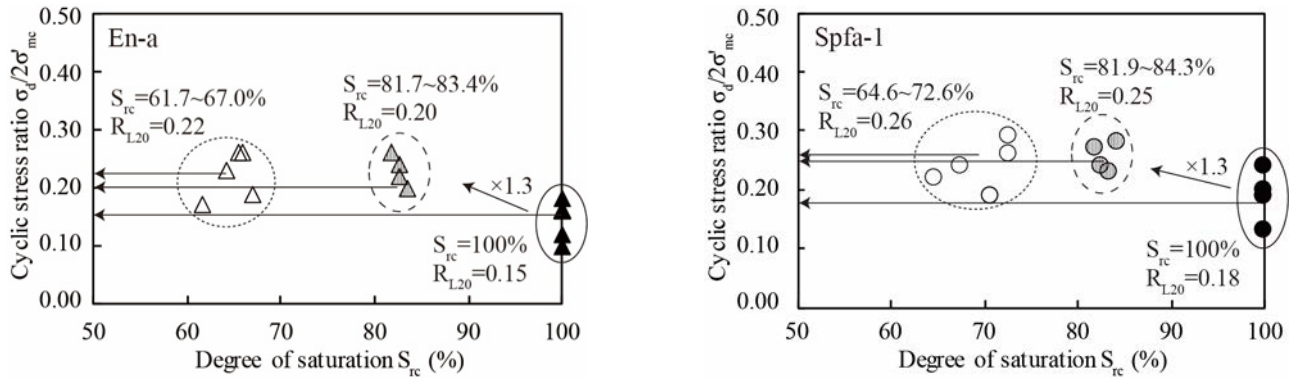


図-11 飽和度と繰返し応力振幅比の関係 (左: En-a, 右: Spfa-1)

### (5) 不飽和土の液状化について

応力制御による繰返しせん断試験を行い、斜面崩壊深度近傍で採取した En-a および Spfa-1 の繰返しせん断挙動を考察した。しかし、応力制御による繰返しせん断試験では両振幅ひずみ  $DA=10\%$  で整理したため、不飽和供試体は有効主応力がゼロに至っていない。そこで、ひずみ制御による繰返しせん断試験を実施し、不飽和状態における各火山灰質土の液状化に至るかどうか観察する。

ひずみ制御による繰返しせん断試験では、応力制御時と同様に供試体作製を行った後、軸ひずみ片振幅  $\varepsilon_{dmax}=0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0\%$  の正弦波をそれぞれ 10 波ずつ振動数  $f=0.05$  Hz で与えた。試験結果を図-12 に示す。被災地で採取した火山灰質土は、不飽和状態においても十分な繰返しせん断を与えることで平均有効主応力が減少し、最終的にゼロに至った。また、有効主応力減少比は载荷回数 40 回程度で 0.95 を超えており、液状化が生じることが示された。

以上、北海道胆振東部地震で生じた斜面崩壊の被災地より採取した En-a および Spfa-1 の飽和繰返しせん断試験および不飽和繰返しせん断試験の結果を受けて、斜面崩壊の一部は Spfa-1 層らの液状化による強度低下が引き金となると同時に、ひずみ軟化挙動によってせん断破壊が進行したと推定される。

### 5. 結論

北海道胆振東部地震において勇払郡厚真町の広域で斜面崩壊が多発した。筆者らは地震発生から約 1 か月半後に現地調査を実施し、斜面崩壊深度近傍に堆積する火山灰質土を採取した。飽和・不飽和による繰返しせん断試験を行い、地震時挙動や繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数の関係を検討した。主な結論は次のようである。

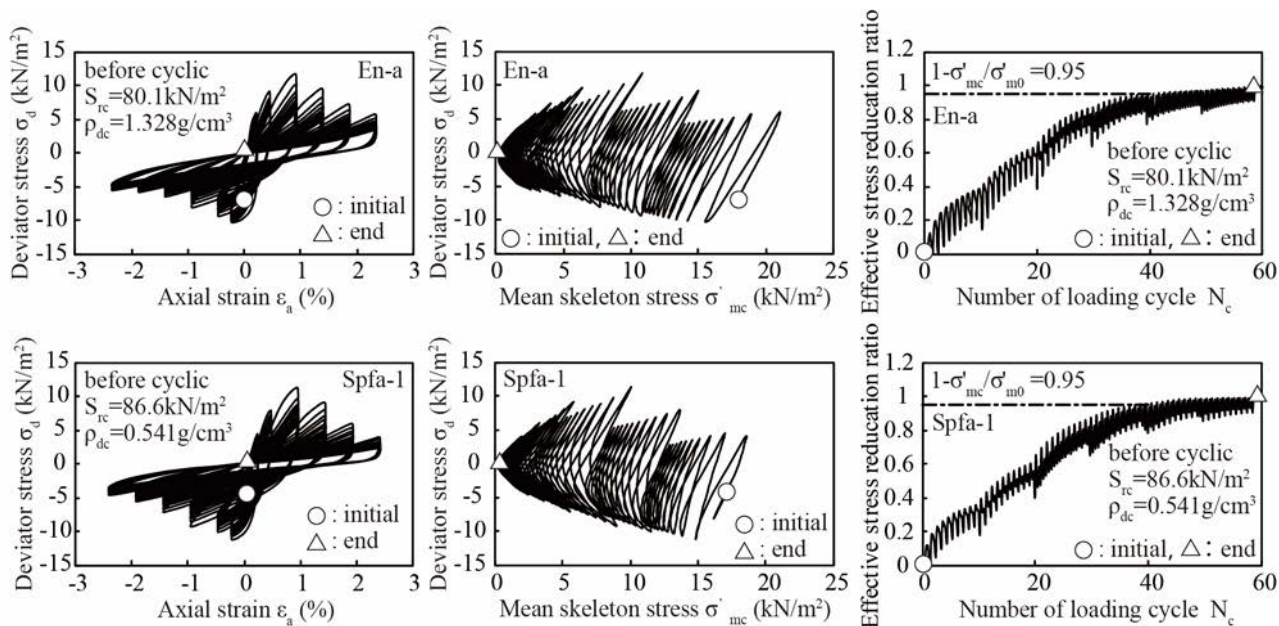


図-12 ひずみ制御における繰返しせん断挙動

応力～ひずみ関係，有効応力経路，有効応力減少比の各時刻歴

(上段：En-a  $S_{rc}=80.1\%$ ，下段：Spfa-1  $S_{rc}=86.6\%$ )

- 火山灰質土を主因とする流動性崩壊によって甚大な被害がもたらされた。斜面崩壊現場近傍は緩く堆積しており，特に Spfa-1 の乾燥密度は  $0.431 \text{ g/cm}^3$ ，En-a は  $0.337 \text{ g/cm}^3$  と非常に低い値を示した。
- 崩壊断面および崩壊土砂の観察により，Spfa-1 層の露出が確認できた。現場密度試験の結果も踏まえ，Spfa-1 層が崩壊部となり斜面崩壊が生じたと推定できそうである。
- En-a および Spfa-1 は飽和・不飽和に関わらず少ない回数で軸ひずみが卓越する。飽和供試体は繰返し载荷に伴い，平均有効主応力が減少し最終的にゼロに至り，液状化が生じた。対して不飽和供試体は，平均有効主応力の減少は見られたがゼロには至らず，繰返し载荷に伴い徐々に軸ひずみが累積するひずみ軟化が生じた。
- 勇払郡厚真町で生じた斜面崩壊は，Spfa-1 層らの液状化に伴う強度低下が引き金となると同時に，ひずみ軟化によってせん断破壊が進行したと推定される。
- 液状化被害がもたらされた札幌市清田区で採取した Spfa-1 は火山灰質土特有の多孔質性が見られ，細粒分混じりの砂質土であった。

謝辞：八木一善博士（岩田地崎建設）には現地調査および崩壊土砂の扱いについて多大な助力を頂きました。また，データの整理，実験について吉直卓也氏（宇都宮大学地域デザイン科学部）に協力いただきました。本研究

は，科研費 18K19952（代表：高橋浩晃），科研費 18H01529（代表：海野寿康）および 15H02263（代表：風間基樹）支援を受けて実施いたしました。

#### 参考文献

- 内閣府：平成 30 年北海道胆振東部地震に係る被害状況等について，2018.10。  
[http://www.bousai.go.jp/updates/h30jishin\\_hokkaido/pdf/301030\\_jishin\\_hokkaido.pdf](http://www.bousai.go.jp/updates/h30jishin_hokkaido/pdf/301030_jishin_hokkaido.pdf)（最終閲覧日：2019.9.8）
- 国立防災科学技術センター：1968 年十勝沖地震災害調査報告，防災科学技術研究資料第 5 号，1969.3.
- 三浦清一，安田進，山下聡，規矩大義：2003 年十勝沖地震による地盤災害について，土木学会 2003 年十勝沖地震被害調査報告書。  
<https://www.jsce.or.jp/report/25/pdf/ziban.pdf>（最終閲覧日：2019.9.8）
- 北海道の火山灰質土の性質と利用に関する研究委員会：実務家のための火山灰質土～特徴と設計・施工，被害事例～，地盤工学会北海道支部，pp.9-20，2010.
- 風間基樹，三浦清一，八木一善，海野寿康，鈴木輝之，伊藤陽司：講座 火山灰質土—その性質と設計施工—6.火山灰質地盤の被害事例，土と基礎，Vol.54, No.2, pp.45-54，2006.
- 海野寿康，八木一善，酒匂一成：地震災害時における火山灰粗粒土の被災事例について，地盤工学会誌 Vol.66, No.11/12, pp.18-21，2018.

- 7) 風間基樹, 渦岡良介, 仙頭紀明, 森友宏 : 2008 年岩手・宮城内陸地震の特徴と課題, 第 3 回近年の国内外で発生した大地震の記録と課題に関するシンポジウム, pp.89-98, 2010.
- 8) 平成 20 年岩手・宮城内陸地震によって発生した土砂災害の特徴, 土木技術資料, Vol.50, No.10, pp.34-39, 2008.
- 9) 笹原克夫, 内村太郎, 中井真司, 向井信之, 山部哲, 柳崎剛 : 東北地方太平洋沖地震による福島県および栃木県の斜面崩壊について, 砂防学会誌, Vol.64, No.2, pp.31-38, 2011.
- 10) 中村晋, 仙頭紀明, 梅村順, 大塚悟, 豊田浩史 : 2011 年東北地方太平洋沖地震による福島県中通りおよびいわき地域における地盤災害一造成盛土や自然斜面の崩壊と変状, および液状化一, 地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp91-101, 2012.
- 11) 浜田友康, 宇津野衛, 松下智昭 : 2016 年熊本地震における斜面崩壊形状の調査, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.73, No.4, I\_827-I\_831, 2017.
- 12) 笠間清伸, 北園芳人, 矢ヶ部秀美 : 平成 28 年熊本地震に起因した斜面災害に関する現地調査報告, 地盤工学会誌, Vol.65, No.4, No.711, pp.8-11, 2017.4.
- 13) 気象庁 : 厚真 2018 年 9 月 (日ごとの値) 降水量, [https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily\\_a1.php?prec\\_no=21&block\\_no=0124&year=2018&month=09&day=&view=g\\_](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_a1.php?prec_no=21&block_no=0124&year=2018&month=09&day=&view=g_) (最終閲覧日 2019.9.8)
- 14) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編), pp.38-42, 2002.3.
- 15) 荒巻憲隆, 清松潤一, 岡林巧, 藤井治雄 : 火山灰質粗粒土の物理試験測定値のばらつきに及ぼす影響因子の検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.9, No.3, pp359-373.
- 16) 風間基樹, 高村浩之, 海野寿康, 仙頭紀明, 渦岡良介 : 不飽和火山灰質砂質土の液状化機構について, 土木学会論文集 C, Vol.62, No.62, pp546-561, 2006.6.
- 17) Yoshimi, Y., Tanaka, K. and Tokimatsu, K.: Liquefaction Resistance of a Partially Saturated Sand, Soils and Foundation, Vol.29, No.3, pp.157-162, 1989.

(Received ?)  
(Accepted ?)

## PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF VOLCANIC SOILS DAMAGED IN THE 2018 HOKKAIDO IBURI EASTERN EARTHQUAKE

Yusuke MIDORIKAWA, Toshiyasu UNNO, Akiyoshi KAMURA  
Noriaki SENTO and Motoki KAZAMA

In the Hokkaido Iburi Eastern Earthquake, ground disasters such as liquefaction of the volcanic soils and slope failure were caused frequently. In this study, the characteristics of slope failure were grasped by conducting a field survey in the disaster area. So laboratory tests were conducted to grasp the physical and mechanical properties of the soils collected near the site. Because the slope failure had the characteristic of surface failure, triaxial tests on partially saturated soils were conducted. The laboratory test show that the liquefaction resistance of partially saturated as well as saturated Shikotsu and Eniwa was very low. From the above, it was estimated that slope failure was caused by a decrease in strength mainly due to the liquefaction of Shikotsu and the shear failure progressed by strain-softening.