

2018 年北海道胆振東部地震で発生した テフラ層すべりにおいて異なる場所で採取した Ta-d 層の定体積繰返し一面せん断特性

CHARACTERISTICS OF CONSTANT VOLUME CYCLIC DIRECT BOX SHEAR TESTS
ON TA-D TEPHRA LAYERS SAMPLED FROM DIFFERENT PLACES CAUSED
BY 2018 HOKKAIDO EASTERN IBURI EARTHQUAKE

大川原 優希¹・後藤 聡²・小幡 隼士³・陳 柯宇¹・石丸 聡⁴・小安 浩理⁴・渡部 直喜⁵

Yuki OKAWARA, Satoshi GOTO, Shuji OBATA, Keyu CHEN, Satoshi ISHIMARU,

Hikomichi KOYASU and Naoki WATANABE

1 山梨大学大学院医工農学総合教育部土木環境工学コース (〒400-8511 山梨県甲府市武田四丁目 3 番 11 号)

2 山梨大学大学院総合研究部工学域土木環境工学系

E-mail : goto@yamanashi.ac.jp

3 山梨大学工学部土木環境工学科

4 北海道総合研究機構 (〒060-0819 北海道札幌市北区北 19 条西 12 丁目)

5 新潟大学災害・復興科学研究所 (〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐 2 の町 8050 番地)

Key Words: cyclic direct box shear tests, Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, tephra layered landslide

1. はじめに

2018 年 9 月 6 日に北海道胆振地方中東部を震源とする北海道胆振東部地震が発生した。この地震により北海道勇払郡厚真町を中心に、テフラ層をすべり面とする斜面崩壊(以下、テフラ層すべり)が群発した。この地域周辺では降下テフラが厚く堆積しており、上位より、樽前火山から約 300~400 年前に飛来した樽前 a,b 降下火砕堆積物(以下、Ta-a, Ta-b)、同じく 3000 年前の樽前 c 降下火砕堆積物(以下、Ta-c)、同じく 9000 年前に飛来した樽前 d 降下火砕堆積物(以下、Ta-d)¹⁾、さらに、恵庭岳火山から約 2 万年前に飛来した恵庭 a 降下火砕堆積物(以下、En-a)²⁾、そして約 4 万年前の支笏カルデラ形成噴火により飛来した支笏 a 降下火砕堆積物 1 (Spfa-1)³⁾から形成されている。

石丸ら⁴⁾は、胆振東部地震で大多数を占める崩壊様式となったテフラ層すべりを対象として、テフラ層の発達する丘陵地において、地形発達史的観点から、斜面崩壊の生じ

やすい地形場や表層地質について検討し、その特徴を報告している。多くの犠牲者を出した Ta-d 層が厚く分布する吉野地区や朝日地区の側壁の土層観察を行ったところ、すべり面となったのは Ta-d 最下部の水分を含む細粒軽石層であったことを確認している。

Goto and Okada⁵⁾は、草千里ヶ浜降下軽石を対象に、地時における繰返しせん断特性を把握するため、定圧・定体積条件下での繰返し一面せん断試験を実施した。

Li et al.⁶⁾は、胆振東部地震によって発生したテフラ層すべりを対象に、厚真町朝日地区で採取した Ta-d 層を対象に、各種物理試験及びび力学試験を実施した。Ta-d 層を色、粒径、強度を基に 4 種類に分類し、加えて Ta-d 層の下位に堆積する Paleosol(シルト岩起源の古土壌)において三軸圧縮試験及び繰返し三軸試験を実施した。

荒牧ら⁷⁾は、火山灰土が特殊土として扱われることが多く、物理的諸性質の測定には、ばらつきが多くなることが予想されると報告している。土粒子内間隙を有する火山灰

土を対象に、土粒子の密度試験及び粒度試験を実施し、試験の準備状況や実験方法における測定の際のばらつきに及ぼす影響因子について検討している。

胆振東部地震によって発生したテフラ層すべりのすべり面ならびに、テフラ層の層厚及び風化の仕方や程度はテフラ層すべりの発生場によって異なる。本すべりに関する力学特性について、王ら⁸⁾の単調載荷の現場一面せん断試験及び緑川ら⁹⁾や Li et al.⁶⁾の繰返し非排水三軸圧縮試験による研究が報告されているが、異なる場所において物理的性質やせん断特性を比較検討した研究はほとんどない。広域斜面において斜面安定解析を行うためには、テフラ層すべりの異なる場所における物理特性及びせん断特性を評価検討する必要がある。

本論文では、厚真町で発生したテフラ層すべりを対象に、厚真町東和地区東和川北支流（以下、東和川北支流）、東和地区東和川南支流（以下、東和川南支流）、幌内地区シュルク沢中流（以下、シュルク沢）で採取した Ta-d 細粒の試料から、異なる場所における物理的性質や定体積繰返し一面せん断特性について考察した。Ta-d 分布域のうち、Ta-d 層厚のほぼ同じ場所を選んで比較検討した。

2. 現地調査

2021年10月に東和川北支流、2021年11月に東和川南支流及びシュルク沢で、現地調査及び試料の採取を実施した。図-1^{10), 11)}に調査地点及び Ta-d 層のアイソパックマップを示す。アイソパックマップは古川・中川¹⁰⁾が作成した Ta-d のアイソパックマップをもとに作成した。なお、背景の地図は、国土地理院地図より引用した。

図-2(a)に東和川北支流で調査した露頭の層序・層厚を示す。上位から、表土、Ta-c、Ta-d ローム、褐色風化 Ta-d、クリーム状風化 Ta-d、Ta-d 粗粒、Ta-d 細粒、En-a ロームが堆積する。東和川北支流の褐色風化 Ta-d、クリーム状風化

Ta-d 及び未風化の Ta-d は調査した崩壊斜面において層が大きく湾曲し、層厚が変化していることが確認できた。著者らは、2020年10月に東和川北支流の同じ崩壊斜面において露頭調査を実施している¹²⁾。2020年と2021年に観察した露頭が数メートルしか離れていないにもかかわらず、Ta-d の風化層の層厚が大きく異なる結果となった。

図-2(b)に東和川南支流で調査した露頭の層序・層厚を示す。上位から、表土、Ta-b、Ta-c、Ta-d ローム、褐色風化 Ta-d、Ta-d 粗粒、Ta-d 細粒、En-a ロームが堆積する。ほとんどの層境界が地表面とほぼ平行になっていることが確認でき、東和川北支流とは異なる特徴を示した。

図-2(c)にシュルク沢で調査した露頭の層序・層厚を示す。上位から、表土、Ta-b、クロボク、Ta-c、Ta-d ローム、褐色風化 Ta-d、クリーム状風化 Ta-d、Ta-d 粗粒、Ta-d 細粒、En-a ロームが堆積する。シュルク沢ではクリーム状風化

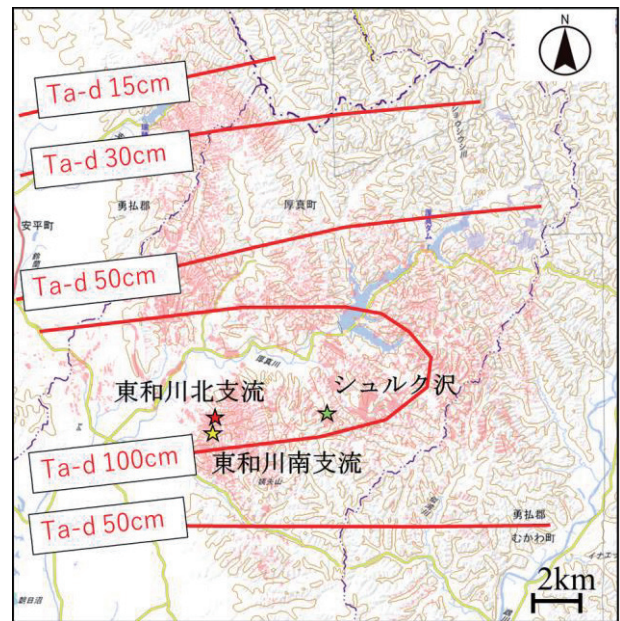


図-1 現地調査の地点及びアイソパックマップ^{10), 11)}

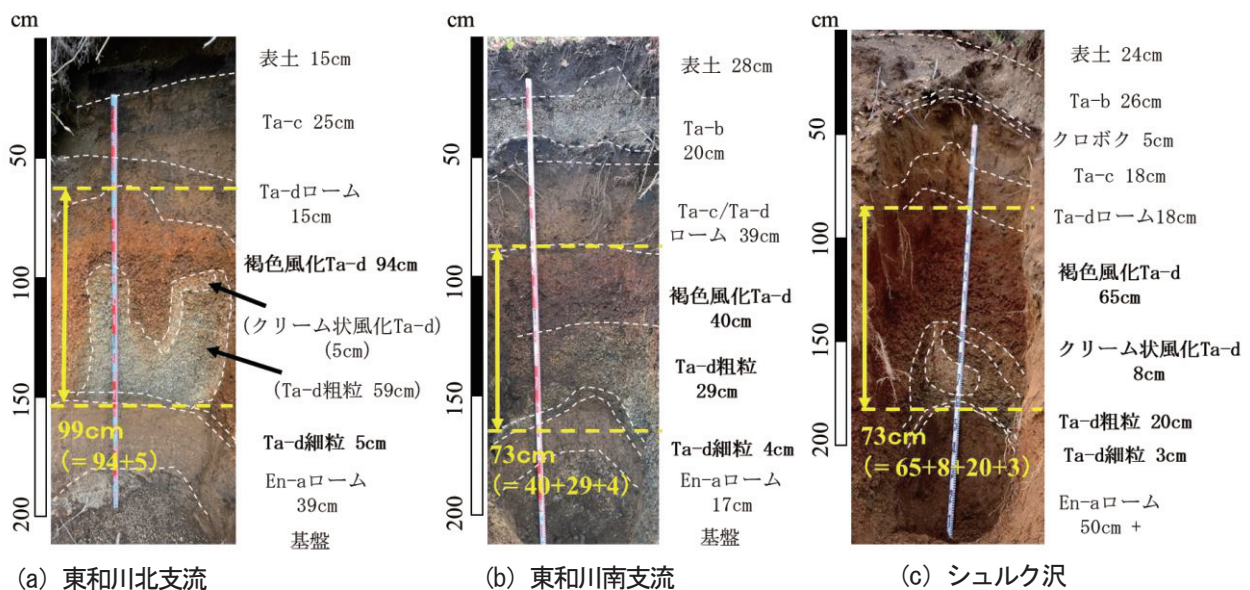


図-2 試料採取した地点の層序・層厚

Ta-d が不規則に存在し、En-a ロームが厚く堆積していることが分かる。

図-2 より、3 地点における層序は、概ね一致し、Ta-d の層厚が非常に厚いことが確認できた。図-1 のアイソパックマップによれば調査した 3 地点は Ta-d 層厚がすべて 100cm 以上の範囲にあるが、実際測定した層厚は、東和川北支流で 99cm、東和川南支流で 73cm、シュルク沢で 96cm と 100cm を下回った。なお、Ta-d ロームは再堆積物のため、Ta-d 層の実測厚から除いた。未風化の Ta-d 層は粒径に大きな違いがみられたため、Ta-d 層の底部を Ta-d 細粒、それより上を Ta-d 粗粒と区別した。

3. 粒度分布

JIS 法による粒度試験方法は、2mm ふるいの通過試料を用いて沈降分析を行うが、土粒子内に空隙があれば大きい粒子よりも先に小さい粒子が沈降する可能性が大きい。また、テフラの土粒子は脆く、解きほぐしの際の試料への打撃、恒温乾燥炉での過熱等によって破碎・断片化するため、原位置の粒度の再現は難しい。そこで本論文では荒牧ら⁹⁾による試験方法で粒子が破碎しないように工夫し粒度試験を実施した。

図-3 に東和川北支流における Ta-d 粗粒及び Ta-d 細粒の粒径加積曲線を示す。3 つの異なる場所で採取した Ta-d 細粒と Ta-d 粗粒は明らかに異なる粒度分布を示した。粒径が 0.075mm 以下の粒子は 20% から 30% 程度であった。粗粒土に付着した細粒土が水洗いの工程で流失したためだと考えられるが、Ta-d 細粒は粒径が 0.075mm 以上で同様な粒度分布を示した。つまり、異なる場所に分布している Ta-d 細粒において粒度分布が類似することが確認できた。

4. 採取した試料の定体積繰返し一面せん断特性

(1) 定体積繰返し一面せん断試験

本論文は、東和川北支流及び東和川南支流、シュルク沢の計 3 地点において Ta-d 細粒の乱れの少ない試料を採取した。

地震時の繰返しせん断における地盤状態は定圧及び定体積条件下でせん断されていることは定かではないため、本論文では、定体積条件と仮定し、繰返し一面せん断特性を比較検討した。なお、せん断速度は、1.55mm/min、初期垂直応力は、100kPa、せん断応力振幅を±60kPa とした。せん断振幅応力に達さない場合はせん断変位が±10mm でせん断方向を反転させた。

(2) 試験結果および考察

図-4 に異なる場所で採取した Ta-d 細粒の定体積繰返し一面せん断試験結果を示す。図-4 (a) にみられるとおり、3 つのストレスパスが重なる結果を示した。つまりせん断抵抗角 ϕ 及び粘着力 c が類似した値を示すことになった。図

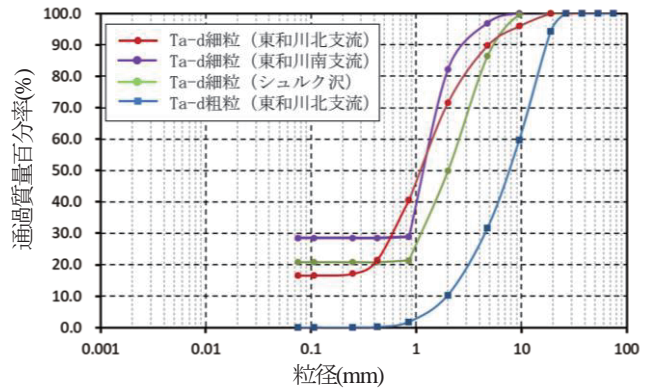
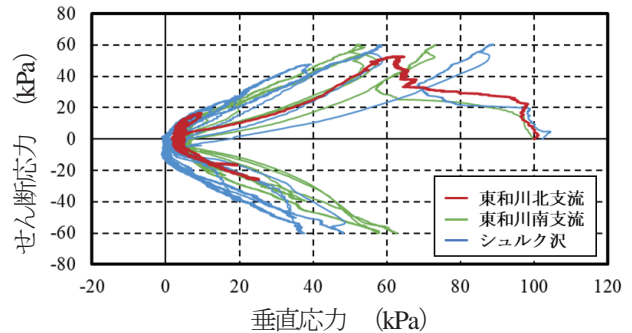
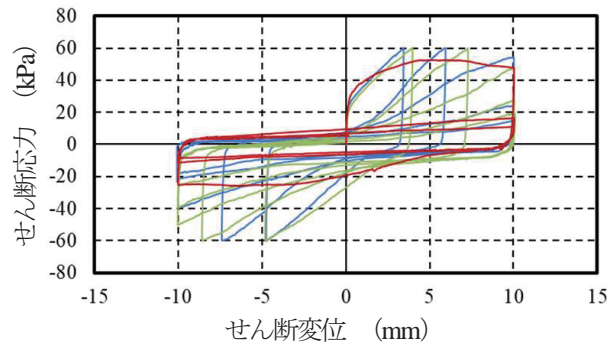


図-3 異なる場所における Ta-d 細粒の粒径加積曲線



(a) ストレスパス



(b) せん断変位とせん断応力の関係

図-4 異なる場所における Ta-d 細粒の定体積繰返し一面せん断試験結果

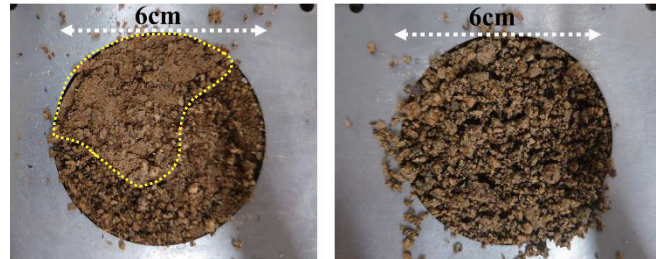
図-4 (b) のせん断変位とせん断応力の関係より、東和川南支流及びシュルク沢の試料では、せん断回数 2 回目までは、所定のせん断応力振幅に達したがせん断回数 3 回目以降は繰返しせん断によりせん断応力が低下した。東和川北支流の試料は、所定のせん断応力振幅に到達せず強度が低下する現象がみられた。いずれも最終的にはせん断応力が小さな値での繰返し挙動となった。東和川北支流の試験後供試体のせん断面を図-5 (a) に示す。せん断面に粘性土に類する細粒物がみられ、En-a 起源ロームが混在していた。図-5 (b) に東和川南支流の試験後供試体のせん断面を示す。Ta-d 細粒層でせん断していることが確認できた。東和川北支流のせん断応力の低下は、強度が弱い En-a 起源ローム¹³⁾の混在が原因と推測される。東和川北支流及び東和川南支流の試料は、垂直応力はゼロに到達せず、シュルク沢よ

り繰返し荷重への抵抗力は大きい。東和川北支流の試料は、繰返しせん断時においてせん断応力はほとんど回復しなかった。

表-1 に試験に用いた Ta-d 細粒の物理的性質を示す。なお、土粒子の密度試験は現地調査で採取した試料から求めた。乱れの少ない試料の乾燥密度は、東和川北支流、東和川南支流及びシュルク沢で非常に小さい値を示し、3 地点において類似する物理的性質を示した。含水比はすべて 80% 以上で不飽和状態でありながら高含水比であった。

表-1 試験に用いた Ta-d 細粒の物理的性質

	土粒子の密度 (g/cm ³)	湿潤密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	間隙比	飽和度 (%)
東和川北支流	2.615	1.033	0.566	82.74	3.624	59.70
東和川南支流	2.675	0.936	0.490	91.01	4.459	54.60
シュルク沢	2.725	0.964	0.519	85.95	4.254	55.06



(a) 東和川北支流 (b) 東和川南支流

図-5 せん断面の様子

5. 結論

本論文では、北海道胆振東部地震により発生したテフラ層すべりを対象に、現地調査を行い、異なる場所における Ta-d 細粒の物理的性質及び定体積繰返し一面せん断特性を比較検討した。現地調査の露頭観察では、Ta-d 層の層序・層厚が場所によって異なり、特徴的な層境界が確認できた。Ta-d 細粒の粒度特性及び物理的性質は異なる場所において類似する結果を示した。東和川南支流及びシュルク沢で採取した Ta-d 細粒は、3 回目の繰返しによりせん断応力の低下を示し、東和川北支流は繰返しせん断時において、せん断応力はほとんど回復しなかったが、ストレスパスは 3 つの経路が部分的に重なる結果を示した。

Ta-d 粗粒は風化状態を含めて層相は多様であるが、最下部の Ta-d 細粒については胆振東部地震で発生した多様な崩壊を検討する際に重要であり、En-a ロームも含めて今後すべり面の発生しやすさや移動速度等についての検討を行っていく必要がある。

謝辞：本研究の一部は、(一財)砂防・地すべり研究センター令和 3 年度研究開発助成及び、新潟大学災害・復興科学研究所共同研究費(2021-1)の助成によって行われた。また、現地調査及び室内実験については山梨大学地盤工学研究室の学生より協力を得た。関係各位に感謝します。

参考文献

- 1) 長谷川健, 花岡正光, 古川竜太, 重野聖之, 七山太, 中川光弘, 安藤寿男: 北海道東部, 釧路地域における樽前 d 降下火砕堆積物の発見とその意義, 地質学雑誌, 第 119 巻, 第 7 号, pp.446-456, 2013.
- 2) 梅津謙: 恵庭 a 降下軽石及び樽前 d 降下軽石の年代に関する資料, 東北地理, 第 39 巻, 第 2 号, ppt.141-143, 1987.
- 3) 勝井義雄: 支笏降下軽石堆積物について, 特に支笏カルデラ形成直前の活動について, 火山, 第 2 集, 第 4 巻, 第 1 号, pp.33-48, 1959.
- 4) 石丸聡, 廣瀬亘, 川上源太郎, 奥水健一, 小安浩理, 加瀬善洋, 高橋良, 千木良雅弘, 田近淳: 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, Vol.41, pp.147-167, 2020.

- 5) Goto, S., Okada, K.: Monotonic and Cyclic Behaviour of Tephra Layer Landslide at Takanodai from the 2016 Kumamoto Earthquake, WLF 2020: Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk, vol.4, pp.357-364. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60706-7_36, 2021
- 6) 緑川雄介, 海野寿康, 加村晃良, 仙頭紀明, 風間基樹: 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, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.76, No.4 (地震工学論文集第 39 巻), L741-L754, 2020.
- 7) 荒牧憲隆, 清松潤一, 岡林巧, 藤井治雄: 火山灰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, pp.359-373, 2014.
- 8) Li R., Wang F., Zhang S.: Controlling role of Ta-d pumice on the coseismic landslides triggered by 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake, Landslides, <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01349-y>, 2020.
- 9) 王功輝, 古谷元, 渡辺直喜, 土井一生, 馬寧: 平成 30 年北海道胆振東部地震による土砂災害の特徴, 京都大学防災研究所年報, 第 62 号 A, pp.48-56, 2019.
- 10) 国土地理院: 平成 30 年 (2018 年) 北海道胆振東部地震に関する情報
<<https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html>> (2022/04/30 アクセス).
- 11) 古川竜太, 中川光弘: 樽前火山地質図, 火山地質 15, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2010.
- 12) 大川原優希, 後藤聡, 岡田健杜(2021): 2018 年北海道胆振東部地震における厚真町に分布する Ta-d 層の定体積繰返し一面せん断特性, 第 60 回日本地すべり学会研究発表会講演集, P-6, pp. 130-131.
- 13) 岡田健杜・後藤聡(2021): 厚真町東和地区に分布する降下火砕堆積物の定体積繰返し一面せん断特性 -拘束圧依存性に関する考察, 第 56 回地盤工学研究発表会, 13-4-5-07. (2022. 5. 30 受付)