

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

テフラ土層の粘性土における地震地すべり発生メカニズムの解明

研究代表者 後藤 聡¹⁾
研究分担者 渡部 直喜²⁾、石丸 聡³⁾、小安 浩理³⁾

1) 山梨大学大学院 2) 新潟大学災害・復興科学研究所 3) 北海道立総合研究機構

研究要旨

2018年9月6日の北海道胆振東部地震によって、北海道勇払郡厚真町を中心にテフラ層すべりが多数発生した。この地域では、約9千年前に飛来した樽前d降下火砕堆積物(以下、Ta-d¹⁾)や約2万年前に飛来した恵庭a降下火砕堆積物(以下、En-a²⁾)などの様々な降下火砕堆積物が広く分布している。すべり面は、Ta-dやEn-aと報告されている³⁾⁴⁾中、これらTa-dやEn-aの物理的性質を把握することは重要であるが、土粒子内空隙を有するなどの要因により、JIS法による物理的性質の把握には課題があると考えられる。さらに、厚真町東和地区東和川北支流におけるTa-d層およびEn-aローム層を対象として定体積繰返し一面せん断試験を実施している⁵⁾⁶⁾。本研究では、厚真町で発生したテフラ層すべりにおける異なる地点の地震時挙動を把握するため、複数地点におけるTa-d層の物理特性および定体積繰返し一面せん断特性について考察した。

A. 研究目的

2018年9月6日の北海道胆振東部地震によって、北海道勇払郡厚真町を中心にテフラ層すべりが多数発生した。この地域では、約9千年前に飛来した樽前d降下火砕堆積物(以下、Ta-d¹⁾)や約2万年前に飛来した恵庭a降下火砕堆積物(以下、En-a²⁾)などの様々な降下火砕堆積物が広く分布している。すべり面は、Ta-dやEn-aと報告されている³⁾⁴⁾中、これらTa-dやEn-aの物理的性質を把握することは重要であるが、土粒子内空隙を有するなどの要因により、JIS法による物理的性質の把握には課題があると考えられる。

そこで本研究では北海道厚真町東和地区北支流(以下、東和地区)で2021年10月及び11月に現地調査を行い、その際に採取した試料の粒度試験を、荒牧ら⁷⁾によって提案された土粒子内空隙を考慮した改良法で行った。粒度特性を報告すると共に、JIS法と改良法の比較をし、試験結果を考察することとした。

著者らは厚真町東和地区東和川北支流におけるTa-d層を対象として定体積繰返し一面せん断試験を実施している⁵⁾⁶⁾。

本研究では、厚真町で発生したテフラ層すべりにおける異なる地点の地震時挙動を把握するため、複数地点におけるTa-d層の定体積繰返し一面せん断特性について考察した。

B. 研究方法

本研究では厚真町で発生したテフラ層すべりを対象として、2021年10月に東和地区東和川北支流、11月に厚真町東和地区東和川南支流及び幌内地区シュルク沢中流において現地調査を実施した。図-1に調査した地点の層序・層厚を示す。東和川北支流の層序は上位から、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。東和川南支流では上位から、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。シュルク沢中流では上位から、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。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粗粒とTa-d細粒に区別した。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. シュルク沢中流ではクリーム状風化 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.

C. 研究結果およびD. 考察

(1) 物理特性

Ta-c, Ta-d 起源ローム, 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 起源ロームにおいて内体積 100cm^3 の採土円筒で採取した乱れの少ない試料を用いて各種物理試験を実施した. 表-1 に採取した試料の物理特性を示す. 全体的に乾燥密度が $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 以下と小さく, 間隙比が 1.0 以上であり, 緩い状態で存在していたことがわかった.

(2) 粒度特性

a. 試験方法(JIS 法と改良法)

本研究以前にも現地調査を実施し試料を採取したが, その試料の粒度試験では, 乾燥試料を用いて JIS 法(JIS A 1204)にて実施した. 試料の炉乾燥後, 団粒化しているものは解きほぐしを行い, そうでないものは解きほぐさない状態で試験を実施した. 一方, 今回の現地調査で採取した試料は, 炉乾燥させず湿潤状態で図-2 に示す荒牧ら⁴⁾によって提案された

改良法にて, 試験を実施した. 改良法は土粒子内空隙の存在により土粒子の密度が大きく異なる可能性があることを考慮して提案されたものである.

b. 粒度試験結果

図-3 に改良法で実施した粒度試験結果を示す. 最も細粒分(粒径 0.075mm 以下)が多かったのは, クリーム状風化 Ta-d で, 細粒分含有率が 80%以上と非常に細粒分を多く含む試料であった. 次いで, 細粒分が多かったのが En-a 起源ロームで, 細粒分含有率が 50%以上であった. 一方で, 褐色風化 Ta-d, Ta-d 粗粒では, 細粒分含有率が 0%と細粒分を全く含まなかった. さらに, 褐色風化 Ta-d と Ta-d 粗粒では, ほぼ同じような粒度特性を示すことが確認された.

表-1 採取した試料の物理特性

	土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	含水比 w (%)	間隙比 e	飽和度 S_r (%)
Ta-c	2.738	1.236	0.922	34.17	1.973	47.31
Ta-d起源ローム	2.769	1.137	0.625	82.02	3.433	66.08
褐色風化Ta-d	2.825	0.797	0.248	222.1	10.420	60.17
クリーム状風化Ta-d	2.673	0.880	0.322	174.1	7.336	63.57
Ta-d粗粒	2.597	0.726	0.294	146.8	7.821	48.71
Ta-d細粒	2.615	0.911	0.445	108.1	5.018	56.10
En-a起源ローム	2.696	1.255	0.702	78.80	2.844	74.83

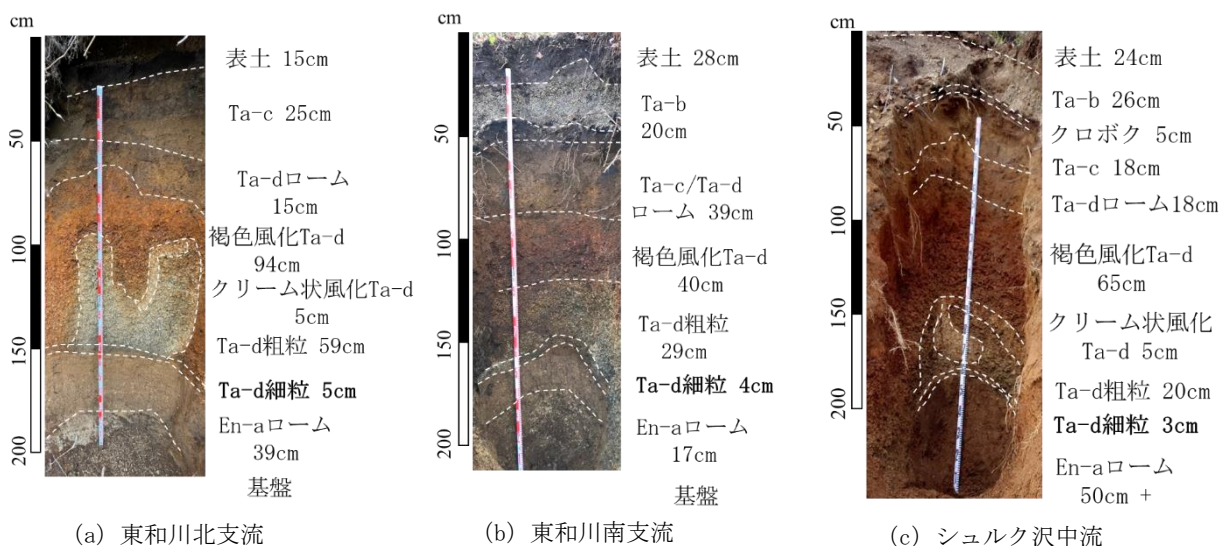


図-1 試料採取した地点の層所・層厚

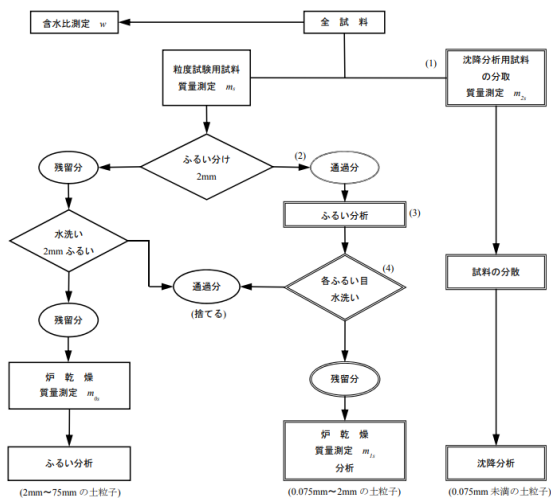


図-2 改良法のフロー図⁴⁾

c. JIS法と改良法の比較

対象の試料は、クリーム状風化 Ta-d、Ta-d 細粒、En-a 起源ロームである。試料の様子を図-4 に示す。図-5 から図-7 はそれぞれの試料の粒径加積曲線である。クリーム状風化 Ta-d は、概ね似たような粒度分布を示し、JIS 法(解きほぐし)で見られた不連続な粒度分布が改良法においても見られた。Ta-d 細粒は、JIS 法で見られた不連続な粒度分布が改良法では見られなかった。En-a 起源ロームでは、JIS 法(解きほぐし)と似たような粒度分布となったが、不連続な粒度分布は改良法では見られなかった。全体的に解きほぐしを行った試料の粒度分布には、不連続な曲線が見られた。また、クリーム状風化 Ta-d や En-a 起源ロームなどの細粒分を多く含む試料では、JIS 法と改良法では似たような粒度分布を示し、大きな相違が見られなかった。粗粒分を多く含む試料に関しては、改良法と解きほぐしを行わない JIS 法で似たような粒度分布となったが、解きほぐしを行った JIS 法では大きく粒度分布が異なった。

(3) 採取した試料の定体積繰返し一面せん断特性

a. 定体積繰返し一面せん断試験

本研究に用いた Ta-d 細粒の乱れの少ない試料は、東和地区の東和川北支流及び東和川南支流、幌内地区のシュルク沢中流の計 3 地点において採取した。

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

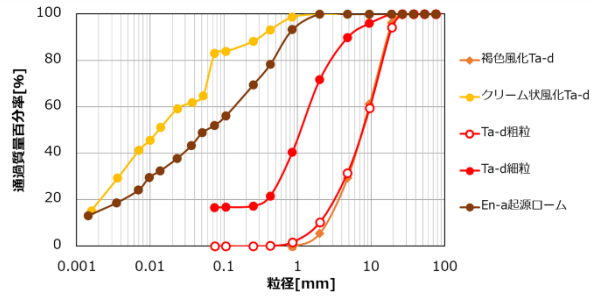


図-3 改良法による粒径加積曲線



(a) クリーム状風化 Ta-d (b) Ta-d 細粒 (c) En-a 起源ローム

図-4 採取した試料の様子

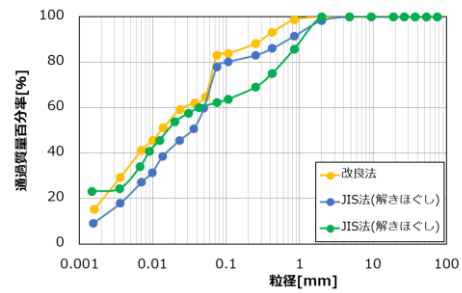


図-5 クリーム状風化 Ta-d の粒径加積曲線

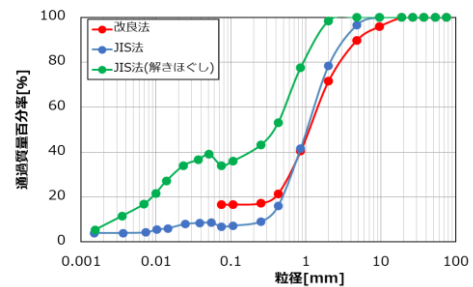


図-6 Ta-d 細粒の粒径加積曲線

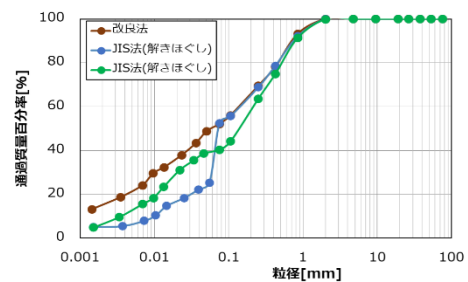


図-7 En-a 起源ロームの粒径加積曲線

定かではないため両者のせん断特性を把握する必要がある。本論文では、定体積条件と仮定し、繰返し一面せん断試験を実施した。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。

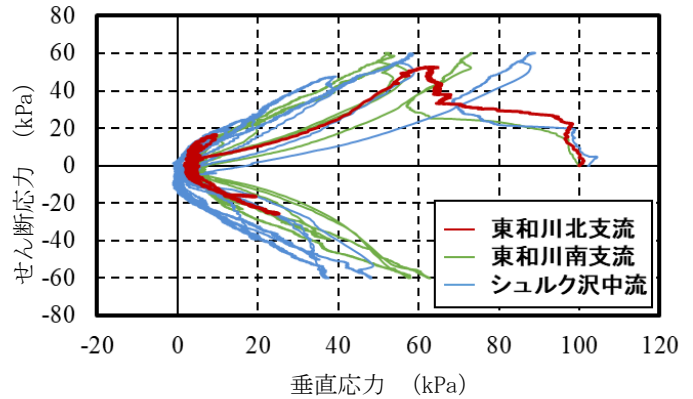
b. 試験結果および考察

図-8に定体積繰返し一面せん断試験結果を示す。図-8(a)に示したストレスパスより、三つのストレスパスが重なるような結果を示した。つまりせん断抵抗角 ϕ 及び粘着力 c が同じような値を示すことになる。図-8(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中流では、せん断応力が回復する現象がみられた。東和川北支流は、せん断初期にはせん断応力が急増するが、せん断応力振幅である60kPaに到達せず減少し、最終的にはせん断応力が小さい値でせん断が繰返すという低い強度を示した。東和川北支流の試験後供試体のせん断面を図-9(a)に示す。せん断面に粘性土のようなものが見られ、En-a 起源ロームが混在していた。図-9(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が低下した原因として強度が弱い En-a 起源ローム⁵⁾が混在していたからだと推測される。

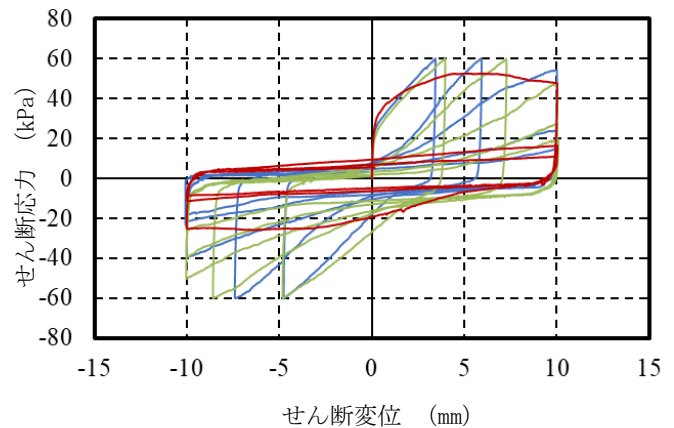
表-2 に試験に用いた試料の物理的性質を示す。乾燥密度は東和川北支流、東和川南支流及びシュルク沢中流で 0.566g/cm³、0.490g/cm³、0.519g/cm³ と非常に小さい値を示し、間隙比は 3.624、4.337、4.042 と非常に大きい値を示した。含水比はすべて 80%以上で不飽和状態でありながら高含水比であった。

E. 結論

2021年10月に現地調査を実施し、その際に採取した試料の粒度試験を改良法にて行いJIS法との比較を行った。細粒分を多く含むものは解きほぐしを行ったJIS法と改良法での大きな相異は見られず類似した粒径加積曲線となった。粗粒分を多く含む試料に関しては解きほぐしを行わないJIS法と改良法で粒径加積曲線が類似していたが、解きほぐしを行うと粒径が変化し大きく異なる粒度分布を示す結果が得られた。

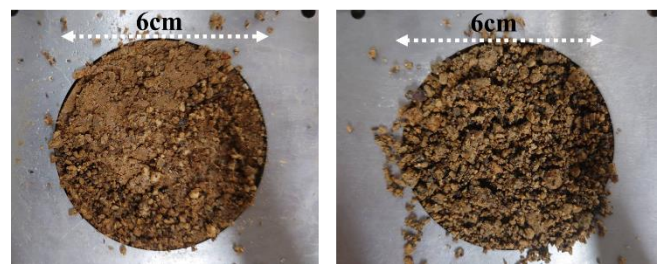


(a) ストレスパス



(b) せん断変位とせん断応力の関係

図-8 定体積繰返し一面せん断試験結果



(a) 東和川北支流

(b) 東和川南支流

図-9 せん断面の様子

表-2 試験に用いた試料の物理的性質

	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

本研究では、テフラ層すべりが発生した異なる地点において Ta-d 細粒の定体積繰返し一面せん断試験を実施した。現地調査の露頭観察では、Ta-d 層の層序・層厚が地点によって異なることが確

認できた。採取した試料の定体積繰返し一面せん断試験を実施し、東和川南支流及びシュルク沢中流では、同様な繰返しせん断特性を示し、東和川北支流では強度が低下する現象がみられた。

謝辞

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。学生諸君に感謝します。

参考文献

- 1) 古川竜太・中川光弘：樽前火山地質図，火山地質図 15，産業技術総合研究所 地質調査総合センター，2010。
- 2) 梅津譲：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，pp.141-143，1987。
- 3) 千木良雅弘，田近淳，石丸聡：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，第 62 号 B，pp.348-356，2019。
- 4) 石丸聡，廣瀬亘，川上源太郎，興水健一，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) 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。
- 6) 岡田健杜・後藤聡・ISTIYANTI Mega Lia・HA Do Ngoc(2020)：北海道胆振東部地震におけるテフラ層の定体積繰返し一面せん断特性，第 17 回地盤工学会関東支部発表会，防災 2-3，2020。
- 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。

F. 研究発表

1. 論文発表

大川原優希，後藤聡，小幡隼士，陳柯宇，石丸聡，小安浩理，渡部直喜(2022)：第 11 回土砂災害に関するシンポジウム，pp. 49-52。

2. 学会発表

1. 大川原優希，後藤聡，岡田健杜，日吉優米，小安浩理，石丸聡，渡部直喜(2021)：北海道胆振東部地震において安平町で発生したテフラ層すべりにおけるすべり面の定体積繰返し一面せん断特性，第 56 回地盤工学会研究発表会，pp. 13-9-2-08。
2. 岡田健杜，後藤聡，日吉優米，Mega Lia Istiyanti，石丸聡，小安浩理，渡部直喜(2021)：北海道胆振東部地震において厚真町東和地区に分布する降下火砕堆積物の物理的性質，令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会，第 III 部門，III-338。
3. 日吉優米，後藤聡，岡田健杜，大川原優希，石丸聡，小安浩理，渡部直喜(2021)：すべり面となったローム層の土壌硬度特性および物理特性の考察，第 60 回日本地すべり学会研究発表会講演集，P-5，pp. 128-129。
4. 山本実友，後藤聡，大川原優希，望月光輝，岡田健杜，日吉優米，小安浩理，石丸聡，渡部直喜(2021)：北海道胆振東部地震により安平町で発生したテフラ層すべりにおいて残存する移動土塊の物理的性質，第 60 回日本地すべり学会研究発表会講演集，P-7，pp. 132-133。
5. 山本実友，後藤聡，Ngoc Ha Do，日吉優米(2021)：振動台を用いた地震時の不飽和斜面地盤の挙動と間隙水圧の関係，第 18 回地盤工学会関東支部発表会，防災 6-7，pp. 48。
6. 大川原優希，後藤聡，岡田健杜，日吉優米，小安浩理，石丸聡，渡部直喜(2021)：北海道厚真町東和地区に分布する En-a 起源ロームの飽和度の異なる定体積繰返し一面せん断特性，第 18 回地盤工学会関東支部発表会，防

災 5-8, pp. 45.

7. 岡田健杜, 後藤 聡, 小安浩理, 石丸 聡, 渡部直喜, 日吉優米, 大川原優希(2021): 斜面に堆積するテフラ層厚の推定および斜面安定性に関する研究, 第 18 回地盤工学会関東支部発表会, 防災 4-4, , pp. 36.
8. 日吉優米, 後藤 聡, 小安浩理, 石丸 聡, 渡部直喜(2022): 振動台を用いた地震時のテフラ層すべりにおける降下火砕堆積物の水分保持特性, 土木学会関東支部 第 49 回関東支部技術研究発表会, III-15.
9. 小幡隼士, 後藤 聡, 日吉優米, 大川原優希, 石原奨真, 石丸 聡, 小安浩理, 渡部直喜(2022): 北海道胆振東部地震の幌内地区で発生したテフラ層すべりの露頭観察及び物理的性質, 第 57 回地盤工学研究発表会, 20-2-1-04.
10. 大川原優希, 後藤 聡, 日吉優米, 岡田健杜, 石丸 聡, 小安浩理, 渡部直喜(2022): 北海道胆振東部地震における東和地区及び幌内地区に分布する Ta-d 層の定体積繰返し一面せん断特性, 第 57 回地盤工学研究発表会, 21-4-1-06.
11. 石原奨真, 後藤 聡, 日吉優米, 大川原優希, 陳 柯宇, 小幡隼士, 石丸 聡, 小安浩理, 渡部直喜(2022): 北海道厚真町東和地区に分布する降下火砕堆積物の粒度特性-JIS 法と改良法の比較-, 第 57 回地盤工学研究発表会, 21-10-3-01.
12. 後藤 聡, 岡田健杜, 日吉優米, 大川原優希, 陳 柯宇, 石原奨真, 小幡隼士, 石丸 聡, 小安浩理, 渡部直喜(2022): 残存率による広域テフラ斜面の地震時安定解析, 第 57 回地盤工学研究発表会, 22-11-1-05.
13. 日吉 優米, 後藤 聡, 山本 実友, 小安 浩理, 石丸 聡, 渡部 直喜(2022): 振動台を用いた地震時のテフラ層における最大せん断ひずみ分布によるすべり挙動の考察, 令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会,

III-369.

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得
無し
2. 実用新案登録
無し
3. その他
無し