

2018年北海道胆振東部地震で被害を受けた斜面に分布する火山灰質土の非排水せん断特性

東北大学 学 橋本拓海 正 加村晃良 非 株木宏明 フ 風間基樹

1. はじめに

2018年9月6日、北海道内では初となる最大震度7を記録した北海道胆振東部地震が発生した。この地震によって多数の地盤災害が確認されたが、特に大規模な斜面崩壊が厚真町で数多く発生した。この斜面崩壊では、厚真町一帯に分布する火山灰質土の影響が大きいとされている。そこで本研究では、現地で採取した樽前降下軽石(Ta-d)や支笏降下軽石(Spfa-1)等の火山灰質土について、地震に相当する履歴を考慮した非排水せん断特性を評価して、北海道胆振東部地震における斜面災害のメカニズムに関する基礎的知見を得ることとした。

2. 試験試料及び実験方法

試料には、斜面崩壊の被害が確認された厚真町周辺に分布する支笏降下軽石(Spfa-1)、樽前降下軽石(Ta-d)を用いた。動的せん断特性および常時のせん断特性を併せて評価するため、中空ねじりせん断試験および三軸非排水圧縮試験を実施した。前者の供試体寸法は外径70mm、内径30mm、高さ100mmであり、後者は直径50mm、高さ100mmである。

Spfa-1の供試体は、原位置の乾燥密度に合わせるよう、空中落下法により作成した。Ta-dの供試体については、原位置密度が比較的高かったため、締固め器具を用いて5層に分けた締固め法により作成した。いずれの試験も飽和条件で実施したが、供試体内の空気を二酸化炭素に置き換え、脱気水を供試体の体積の2倍以上流し、背圧を200kPa与えることで飽和させた。その後現地土の土被り圧に対応する有効応力を载荷して等方圧密した。

中空ねじりせん断試験については、Kimら¹⁾に提案されている試験法に基づき実施した。この試験法はStep1~4の4つのステップからなる試験方法であり、Step1は応力比一定の繰返しせん断、Step2は両振幅せん断ひずみ一定の繰返し载荷である。これはせん断ひずみ-せん断応力のループが定常となったら終了する。Step3は非排水単純せん断試験であり、Step4は単調除荷、排水である。三軸試験については非排水単純せん断試験($\overline{CU}$)を実施した。また、用いた試料は粒子破碎の影響も考えられたことから、繰返しせん断試験の前後でふり分け試験を行った。

表1 実験条件

	試験装置	試験方法	圧密後乾燥密度(g/cm ³)	拘束圧(kPa)	B値	応力比(Step1)
Spfa-1	中空	kim test	0.5	50	0.94	0.4
Spfa-1	三軸	$\overline{CU}$	0.4	50	0.96	
Ta-d	中空	kim test	0.71	30	0.94	0.4
Ta-d	三軸	$\overline{CU}$	0.74	30	0.96	

3. 試験結果

図1~2にTa-dおよびSpfa-1の繰返し载荷の有効応力経路を示す。Ta-dおよびSpfa-1ともに、非排水繰返しせん断载荷に伴って有効応力が減少しているものの、最終的に有効応力がゼロにはならず、狭義の液状化には至らないことがわかる。

図3には、繰返しせん断後の単調载荷と $\overline{CU}$ 試験の結果を併せて示す。繰返しせん断履歴を受けた試料は、Spfa-1、Ta-dどちらも応力-ひずみ関係の初期勾配(剛性)が著しく低く、繰返しせん断を受けたひずみレベルを超えてから強度が発現する傾向にある。Ta-dについては、繰返しせん断履歴を受けると、せん断強度が約1割低下しており、そこに至るまでのひずみも履歴を受けた方が大きく出ていることがわかる。一方、Spfa-1に関しては、せん断ひずみの小さい領域ではTa-d同様、せん断強度が発揮されにくくなっているが、せん断ひずみ約12%以降は履歴を受けた試料のほうが高いせん断応力を発揮していることがわかる。これに関して、特にSpfa-1では粒子破碎が顕著であったことが原因の1つとして考えられる(後述 図4)。また、初期せん断について考えると、厚真町周辺の崩壊斜面は、平均勾配が20度程度であるとの報告があり²⁾、その勾配に対応した初期せん断応力を求めると、およそSpfa-1で20~25kPaとなり、Ta-dで15~18kPaとなった。図3の応力-ひずみ関係においてこの値との対応を見ると、Spfa-1では履歴を受ける前と後で比較するとせん断ひずみで約5%、Ta-dでは約8%異なるという結果になった。このことから履歴を受けた後において、斜面勾配に対応する初期せん断応力を発揮するまでに要するせん断ひずみの量が多いことがわかる。

図4には、試験前後での粒径加積曲線の比較を示す。Ta-dについては繰返し载荷後と三軸試験後であり

変化がないことから、繰り返し载荷による粒子破碎はほとんどなかったと判断できる。Spfa-1 に関しては繰返しせん断後に粒径分布が大きく変わったことが見て取れる。特に粒径 2mm の粒子に関して、試験前は通過質量百分率が約 40%だったのが繰返しせん断後約 60%となり、20%程度の差が出た。また、三軸非排水試験後の粒度分布は試験前とほとんど変わっていないことから、繰返しせん断によって粒径 2mm, 0.85mm のような砂分の粒子が破碎したと考えられる。

写真 1~4 は試験前および繰返しせん断後の粒子を SEM を用いて比較したものである。図 4 より粒径 2mm と粒径 0.85mm の粒子の破碎が顕著に出たため、それぞれの粒子について試験前および繰返しせん断後を比較した。繰返しせん断後の粒子は試験前のものに比べて表面が滑らかになっていることがわかる。

4. まとめと考察

①Spfa-1, Ta-d とともに、繰返しせん断履歴を受けた試料は、応力-ひずみ関係の初期勾配（剛性）が著しく低く、繰返しせん断を受けたひずみレベルを超えてから強度が発現する傾向にある。

②Spfa-1 はあるせん断ひずみを超えると繰返し载荷を受けた試料のほうがせん断強度が大きくなる。これには粒子破碎が影響している可能性があると考えられる。

③Spfa-1 は繰返しせん断を受けると粒径 2mm の粒子などの砂分の粒子が破碎し、表面が滑らかになることがわかった。

5. 参考文献

- 1)Jongkwan , Kim . , Tadashi , Kawai . , Motoki Kazama . :Laboratory testing procedure to assess post-liquefaction deformation potential, Soils and Foundations, vol. 57, No. 6, pp. 905-919
- 2) 中央開発株式会社:平成 30 年北海道胆振東部地震被害調査 報告書 pp. 37-55

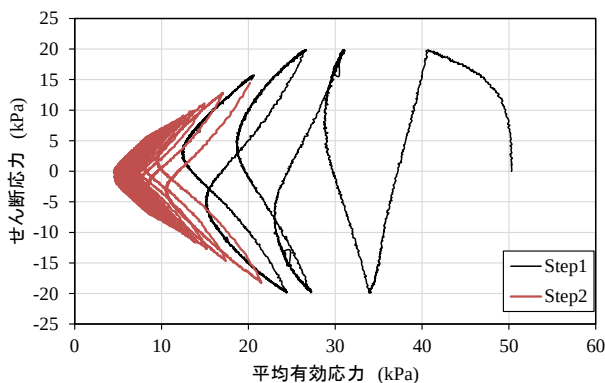


図 1 step1, 2 の有効応力経路(Spfa-1)

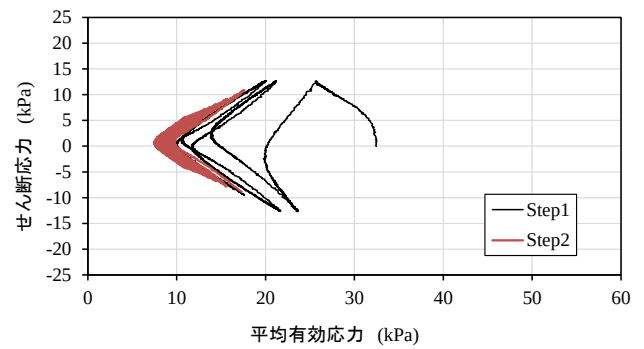


図 2 step1, 2 の有効応力経路(Ta-d)

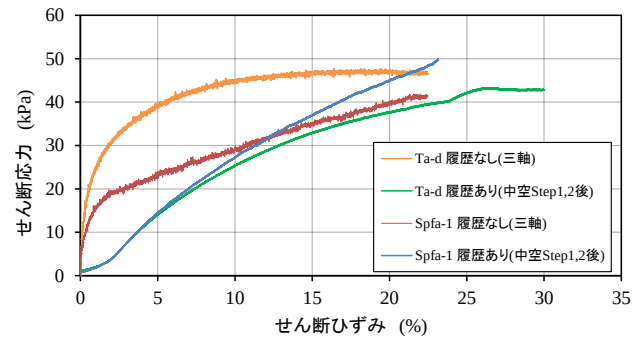


図 3 step3 の応力ひずみ関係

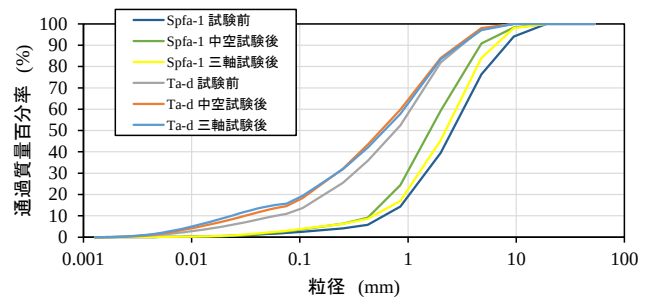
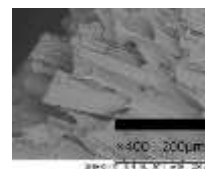
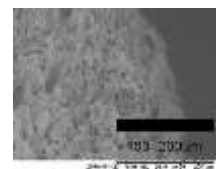


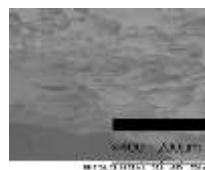
図 4 試験前及び各試験後の粒径加積曲線(Spfa-1)



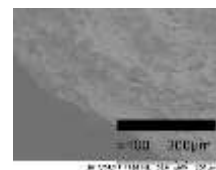
(a) Spfa-1 粒径 2mm 試験前



(b) Spfa-1 粒径 2mm 繰返しせん断後



(c) Spfa-1 粒径 0.85mm 試験前



(d) Spfa-1 粒径 0.85mm 繰返しせん断後

写真 1 試験前後での粒子表面形状の比較(SEM 写真)