

令和 5年 4月 28日

公益信託 NEXCO関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ信託銀行株式会社 宛

研究概要書

研究課題：緩勾配斜面において大規模な土砂流動を引き起こす火山灰土のせん断強度特性に関する研究

研究代表者： 東京大学大学院工学研究科 教授 渡邊 健治

はじめに

近年の地震・豪雨により、高速道路に隣接する斜面・切土のり面が崩壊する災害が多発している。近年の斜面崩壊の特徴的かつ予測の難しい被災パターンとして「緩斜面における大規模な土砂流動」が挙げられる。令和2年度の研究助成により、この被害が「大ひずみレベルにおける火山灰土の極端な強度低下」に起因し、それにより「斜面がその自重すら支えられなくなったため」であることを特定した。しかしながら、この極端な強度低下に影響を及ぼすとされた火山灰土特有の高い体積収縮性および粒子破碎性の影響を十分に検討できなかった。そこで、本研究では、特に日本に広く分布する「火山灰土」に着目し、その強度・変形特性に及ぼす粒子破碎性の影響を評価する。

1. 研究の目的

これまでに全国各地で発生した地震動や大雨によって、火山灰土が厚く堆積している地域で大規模な斜面崩壊が多数報告され、その原因の1つとして火山灰土特有の高い体積収縮性および粒子破碎性の影響が挙げられている。地震力のようなせん断力が作用した際に発生する粒子破碎性については、地盤材料試験（三軸圧縮試験等）の前後においてふるい分け試験を行い粒度分布を比較することは可能であるが、実験中に継続的な破碎量計測を行うことは不可能である。そのため、土の応力-ひずみ関係と粒子破碎の関係はいまだ明らかではない。

そこで本研究では、緩勾配斜面において大規模な土砂流動を引き起こす火山灰土のせん断強度特性、特に繰返し載荷に伴うひずみの累積性に及ぼす粒子破碎の影響を検討することを目的として、繰返し載荷中に供試体から発生する音（弾性波）をアコースティックエミッション（以下、AE）技術により計測し、粒子破碎量の継続的計測を行った。

2. 現地調査および実験に用いた試料

本研究では、緩斜面での大規模斜面崩壊事例として、2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震において震源近くの厚真町において多数発生した斜面崩壊に着目した。現地には降下火山灰層である樽前d層(Ta-d)や支笏層(Spfa-1)等が存在し、過去の調査からこれらの層のいずれかがすべり面となった可能性が指摘されている。そこで、本研究では、現地調査および現地で採取した試料（2種類、表1）を用いた室内試験を行った。

3. 地盤材料試験（三軸試験）におけるAEと破碎量の関係

AE技術は破壊に伴って生じる弾性波を捉え、音源位置を推定する技術であるが地盤材料への適用

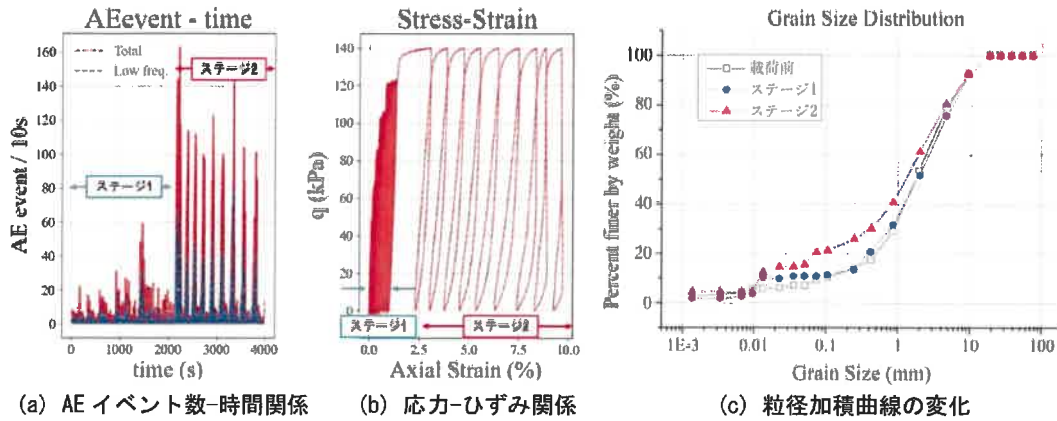
表1 実験に使用した試料の物理特性

試料名	自然含水比 (%)	現地乾燥密度 (g/cm ³)	コンシステンシー特性			供試体条件 乾燥密度 (g/cm ³)
			w _L (%)	w _I (%)	I _p	
Ta-d(樽前d)	189.1	0.34	169.2	139.5	29.7	0.32
Spfa(支笏)	107.7	0.59	49.0	40.0	9.0	—

表 2 実験条件と実験結果の概要

Case	土の種類	排水条件	初期拘束圧 (kPa)	実験全体での AE イベント数	細粒分増加率 ΔF_c (%)
Ta-1	Ta-d (火山灰土)	排水	100	約 45,000	8.45
Ta-2			200	約 62,000	17.61
Ta-3		非排水	200	約 16,000	7.22
S-1 (Dr=44%)	珪砂 7 号	排水	100	約 10,300,000	-0.8
S-2 (Dr=94%)				約 31,400,000	非測定

※軸ひずみ 30%までの単調載荷； 載荷速度 1%/min, 飽和条件



(a) AE イベント数-時間関係 (b) 応力-ひずみ関係 (c) 粒径加積曲線の変化
 図 1 繰り返し載荷試験の結果 (Ta-d, 拘束圧 200kPa, 載荷速度 1%/min, 飽和非排水条件)

事例は非常に限定的である。本研究では、最初に土粒子同士が擦れあう「滑動」及び土粒子が潰れる「破碎」によって生じる音を計測し、「滑動」時は 100kHz 程度の低い周波数帯が卓越する一方、「破碎」時には 500kHz 程度の高い周波数帯の音が生じていることを明らかにした。

次に、火山灰土及び珪砂 7 号を用いて作成した三軸圧縮試験を行い、単調載荷時に発生する AE の継続的計測を実施した。さらに、載荷試験後にふるい分けを行い、粒度分布の変化を評価することによって AE イベント数の粒子破碎量計測指標としての適用可能性を検討した。その結果、表 2 のように同じ土の種類かつ同じ排水条件下 (例えば CaseTa-1 と CaseTa-2) であれば AE イベント数の増加と粒子破碎 (細粒分含有率の増加) が対応していることが明らかとなり、AE イベント数は粒子破碎量を示す指標として適用可能であることがわかった。

さらに Ta-d を用いた供試体に対して地震を模擬した段階的な繰り返し載荷を行なった。図 1(a), (b)において、ステージ 1 では軸差応力 20~120kPa の繰り返し載荷を 15 回ずつ段階的に与え、ステージ 2 では 140kPa の繰り返し載荷を 9 回与えた。図 1(c)で確認されるように、ステージ 1 において粒度分布にはほとんど変化が見られない。しかし、繰り返し載荷中に供試体のひずみが増加するステージ 2 においては AE イベント数と破碎量がともに増加していることが確認された。これらのことから、繰り返し載荷中のひずみ増加に対して粒子破碎が与える影響は大きいということが確認された。

4. まとめ

本研究により、AE 技術が地盤材料に対しても適用可能であることが明らかとなり、AE イベント数という指標が、破碎量を示す指標の一つとして利用可能であるということも明らかになった。これにより、地震時のようにせん断力が繰り返し作用する場合には供試体内で粒子破碎が発生し、それによりひずみが累積することが明らかになった。これらの成果は、研究背景となった火山灰土地盤における斜面崩壊のみならず、液状化などさまざまな地盤問題に対し、土粒子破碎が及ぼす影響を考察する新たな切り口となることが期待される。