

水分供給と地震動により崩壊したしらす地盤の不飽和強度試験

八戸工業高等専門学校 建設環境工学科 学生会員 ○古舘 正大
八戸工業高等専門学校 建設環境工学科 正会員 清原 雄康

1. はじめに

岩手県 N 市では、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震の本震により、水道管が破裂し水分量が非常に多くなっていた状況下で余震が発生し、軽石混じりのしらすからなる高さ 5m の宅地盛土斜面の泥流状崩壊が長さ 37m にわたって発生した。しらすは保水性が高く、不飽和な状態でも液状化しやすい特性があるが、当該地域での強度特性については知られていない。

そこで斜面崩壊発生メカニズム解明の第一歩として、崩壊現場から採取した試料の不飽和三軸圧縮試験を行い、盛土斜面の水分量の違いによる強度特性の把握を行った。

2. 試料土の諸性質

表 1、図 1 に採取試料の諸性質、粒度分布を示した。現場密度は、崩壊した斜面のすぐ脇にてカッターリング法により採取した試料を用いて測定した。粒度分布図より、多孔質で軽石混じりの砂質火山灰土（しらす）の性状であると考えられる。

3. 三軸圧縮試験

(1) 試験装置

試験機は、セル圧、間隙水圧、間隙空気圧をそれぞれ独立に制御できるようにして、供試体下部には空気侵入圧 300kPa まで耐えられるセラミックディスクを使用した。飽和三軸試験時には、セラミックディスクの代わりにポーラスストーンを用いた。

(2) 試験方法

供試体は、風乾後 2mm ふるいを通過した試料を現場での含水比に近づくように加水調整し、 $\phi 5 \times 10 \text{cm}$ のモールドで 3 層 $\times$ 15 回で突き固めて作製した。三軸試験条件を表 2 に示す。水分量を制御するために、所定のサクシオンを与え、地震動などの短期安定問題を想定し圧密非排水条件で行った。土被り厚さ 5m とその中間を想定し、基底応力を 45kPa と 90kPa に設定した。また、表 3 に供試体作製時からせん断までの基礎性状を示す。設定サクシオン 90kPa では、圧密後の飽和度は 70% 程度であった。



写真 1 崩壊現場の状況

表 1 試料土の諸性質

測定項目	測定値
自然含水比(%)	25.4 (20.9-34.7)
土粒子密度(g/cm^3)	2.57
現場乾燥密度(g/cm^3)	1.15~1.31
現場湿潤密度(g/cm^3)	1.48~1.65
現場間隙比	0.967~1.167
現場飽和度(%)	51.4~74.0

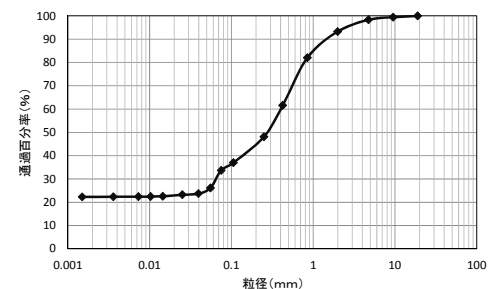


図 1 試料土の粒度分布

表 1 不飽和三軸試験条件

初期サクシオン (kPa)	0 (飽和), 30, 60, 90
基底応力 (kPa)	45, 90
せん断時排水排水条件	排気, 非排水
ひずみ速度 (%/min)	0.03

表 3 試験各過程での供試体性状

排水条件	供試体名称	せん断条件		供試体作製時					圧密後 (せん断前)		
		空気圧 (kPa)	拘束圧 (kPa)	含水比 (%)	$\rho_t (\text{g}/\text{cm}^3)$	$\rho_d (\text{g}/\text{cm}^3)$	間隙比 e	S_r (%)	間隙比 e	S_r (%)	$U_a - U_w$ (kPa)
飽和非排水	Uc45s0	0	45	23.3	1.937	1.571	0.636	94.1	0.542	100	-0.901
排気非排水	Uc45s30	30	45	24.7	1.944	1.559	0.648	97.9	0.574	88.75	27.155
排気非排水	Uc45s60	60	45	24.5	1.938	1.551	0.657	97.7	0.584	79.36	48.943
排気非排水	Uc45s90	90	45	26.0	1.943	1.542	0.666	100	0.561	73.53	80.538
飽和非排水	Uc90s0	0	90	23.6	1.938	1.567	0.640	95.0	0.569	94.51	-0.756
排気非排水	Uc90s30	30	90	24.9	1.917	1.535	0.674	94.8	0.553	88.46	28.665
排気非排水	Uc90s60	60	90	25.1	1.937	1.549	0.659	97.8	0.554	80.27	55.502
排気非排水	Uc90s90	90	90	26.0	1.933	1.535	0.675	98.8	0.575	68.83	83.570

キーワード 不飽和土, 三軸試験, 火山灰質粗粒土

連絡先 〒039-1192 青森県八戸市田面木字上野平 16-1 八戸工業高等専門学校 TEL0178-27-7367

有効応力の算出には、次に示す Bishop の有効応力式を用いた。

$$\sigma' = (\sigma - U_a) + \chi \times (U_a - U_w)$$

$$\chi = \frac{S - S_r}{S_s - S_r}$$

ここで、 σ' ：有効応力， σ ：全応力， U_a ：空気圧， U_w ：間隙水圧， S ：飽和度， S_r ：残留飽和度(=65%とした)， S_s ：最大飽和度である。

4. 不飽和三軸圧縮試験結果と考察

(1) 応力-ひずみ関係

図 2、図 3 に初期サクシヨン 0, 30, 60, 90kPa，基底応力 45, 90kPa での応力-ひずみ関係を示した。

基底応力 45kPa では、設定サクシヨン 0kPa の飽和化試料はひずみ硬化型の挙動を示し、せん断初期から収縮する傾向にあった。それ以外のケースはいずれも明確なピークが現れるひずみ軟化型の挙動を示し、ピーク時を境に膨張する傾向にあった。また、軸差応力の最大値は設定サクシヨン値の増大に伴い大きくなる傾向にあり、残留状態では 240kPa 付近に収束する傾向にあった。

次に、基底応力 90kPa では、全ての試験条件でひずみ軟化型の挙動を示した。軸差応力の最大値は、設定サクシヨン値の増大に伴い軸差応力の最大値も大きくなる傾向にあり、残留状態には 450kPa 付近に収束する傾向にあった。体積ひずみは、初期サクシヨン 0kPa では常に収縮する傾向にあった。他の設定サクシヨンはいずれもピーク時までは収縮する傾向にあったが、その後は 30, 60kPa では膨張した後再び収縮する挙動を示したが、90kPa については膨張し続けた。

(2) 変形係数 E_{50}

設定サクシヨンと変形係数 E_{50} の関係を図 4 に示す。 E_{50} は設定サクシヨンに比例し大きくなっている。また、基底応力 45, 90kPa について比較すると 90kPa は 45kPa より約 50%大きい値を平均的にとっている。また、サクシヨン 90kPa の不飽和状態に比べサクシヨン 0kPa の飽和状態では E_{50} が 2.3~2.6 倍低下することが分かった。よって、サクシヨン増大により供試体を拘束する力が大きくなるほど、土粒子間の結合力がより強くなっていることが確認できる。

(3) せん断定数

本試験の軸差応力の最大値とその時の有効応力から求めた内部摩擦角 ϕ' は 51° ，粘着力 c' は 0kPa であった。

5. まとめ

地震時に崩壊した火山灰質土からなる宅地盛土の不飽和強度特性は、サクシヨンが低くなるほど（水分量が多くなるほど）強度、変形係数が低下することが分かった。この結果より、宅地盛土は水道管破裂による過剰な水分供給後の余震により、泥流状崩壊しやすい状況にあったことが考えられる。

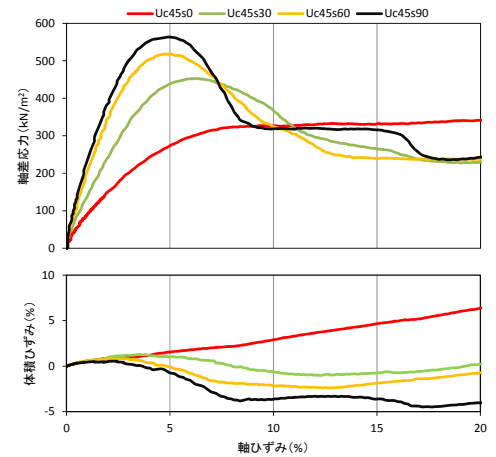


図 2 基底応力 45kPa での応力-ひずみ関係

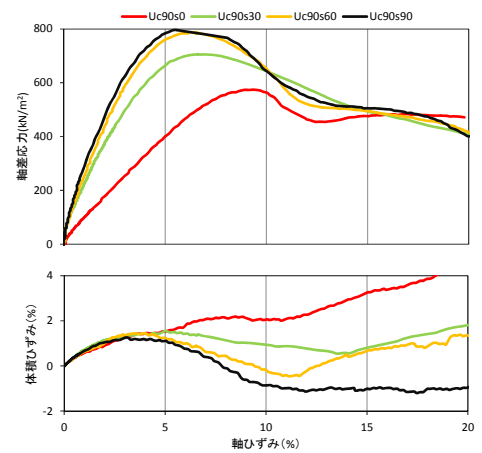


図 3 基底応力 90kPa での応力-ひずみ関係

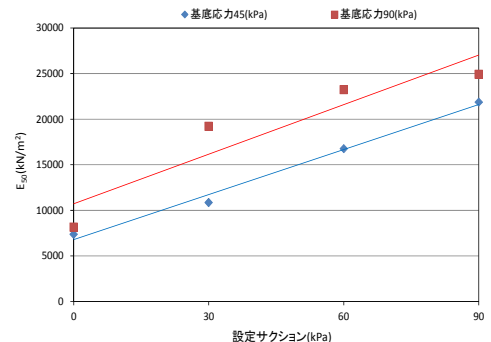


図 4 設定サクシヨンと E_{50} の関係

参考文献

- 1) 地盤工学会：不飽和地盤の挙動と評価，2004.
- 2) 清原 雄康，村木 秀美，相坂 亮太：不攪乱八戸ロームの不飽和力学挙動，八戸工業高等専門学校紀要，第 43 号，pp.95-101，2008.