

不攪乱まさ土の強度・変形特性に及ぼす拘束圧の影響

呉工業高等専門学校 正会員 森脇 武夫

呉工業高等専門学校 学生会員 貫目 美智恵

呉工業高等専門学校 学生会員 ○山根 菜摘

1. はじめに

斜面崩壊の予測法として様々な解析手法が提案されているが、解析精度の向上のためにはとりわけ斜面を構成する土の強度定数の設定が重要な問題となる。一般的に強度定数を求めるのに用いられる三軸試験では、通常攪乱状態で採取した試料を締め固めて使用される。しかし、まさ土と呼ばれる風化花崗岩は、自然状態の場合、母岩の構造を残しつつ風化しているため、攪乱締め固め試料とは異なった強度特性を示す。さらに通常の三軸試験は 50kPa～100kPa の拘束圧で行われているが、実際の斜面崩壊は 5kPa～15kPa の低拘束圧で生ずる。そのため本研究では、表層破壊面に対する強度特性を求めるため、三軸圧縮試験と三軸膨張試験を行い、拘束圧が攪乱試料と不攪乱状態の強度定数に及ぼす影響について検討する。

2. 試験方法

今回使用した試料は呉市大入地区のまさ土で、 $G_s=2.602$ 、 $\rho_d=1.231\text{g/cm}^3$ 、 $w_n=16.17\%$ 、 $e=1.23$ である。不攪乱試料の採取にはネイルサンプリング法を用い、試料作成には凍結法を採用した。供試体寸法は $\phi 50 \times h 100\text{mm}$ とする。そして、試験法は斜面崩壊が起こるときの間隙水圧の上昇を考慮した応力状態を三軸試験によって再現する CD 膨張試験（間隙水圧増加試験）^{1), 2)} と、一般的な三軸 CD 圧縮試験の二種類を用い、拘束圧を 5kPa、10kPa、15kPa の低拘束と 30kPa、60kPa、90kPa の標準的拘束で試験を行った。

3. 実験結果と考察

$\varepsilon_a=15\%$ はまさ土においては十分大きなひずみであるため、軸ひずみ 15% を破壊点と定義する。よって、以下、強度定数を求めるための図をまとめるときには軸ひずみ 15% までの値で整理した。

(a) CD 圧縮試験の応力～ひずみ関係

圧密圧力で正規化した低拘束圧と標準的拘束圧の応力～ひずみ関係を図-1 と図-2 に示す。これらの図より、応力～ひずみ曲線は、試験方法・試料の状態・拘束圧の大きさに依存せず、類似したひずみ硬化型となることが分かる。また図-1 より、低拘束圧では攪乱試料より不攪乱試料の正規化した主応力差が大きく、さらに同じ試料では拘束圧が小さいほど正規化した主応力差が大きくなっていることが分かる。これは、不攪乱試料では地山の粒子構造が、攪乱試料では試料締め固め時の粒子構造が三軸試験で拘束圧が小さいほど残り、尚且つ初期の粒子構造は攪乱試料より不攪乱試料の方が強固であったためと考えられる。一方、図-2 の標準的拘束圧では図-1 と逆な傾向となっている。これは初期の粒子構造に対して比較的大きな圧密圧力で圧密すると、初期の粒子構造が破壊されせん断時には圧密圧力に応じた密な粒子構造となるが、拘束圧が小さいほど、及び不攪乱試料であるほど初期の粒子構造が完全に壊されずにある程度残っていたためと考えられる。

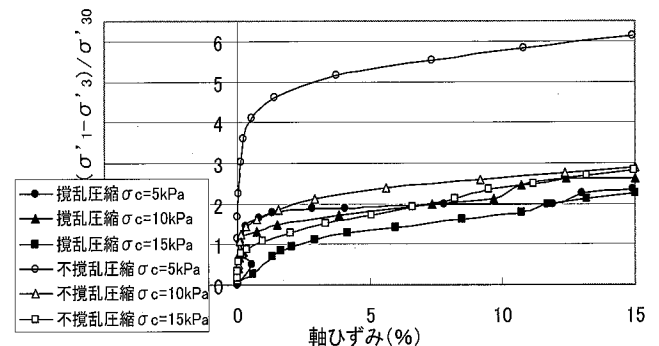


図-1 圧密圧力で正規化した
低拘束圧下での応力～ひずみ関係

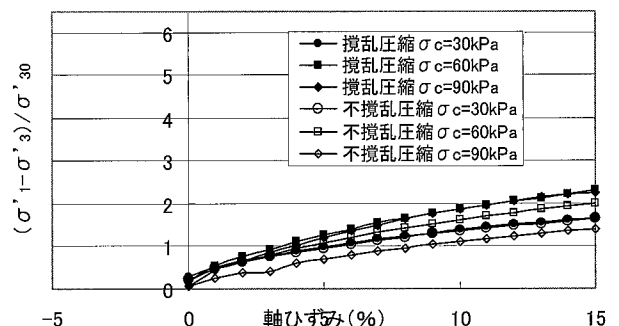


図-2 圧密圧力で正規化した
標準拘束圧下での応力～ひずみ関係

(b)拘束圧、試料の違いによる体積ひずみの変化

図-3 に破壊時の体積ひずみ～拘束圧関係を示す。これから、三軸圧縮試験のほうが三軸膨張試験よりも体積ひずみの発生量が大きいということが分かる。これは、応力増加による破壊より、間隙水圧の増加による土の構造の破壊のほうが、小さな体積ひずみで生じているということである。さらに、低拘束で三軸膨張試験を行うと、大きな体積ひずみが発生していることが分かる。これは、降雨時の表層崩壊が起こる場合は、崩壊時にはかなりの体積膨張が起こり、土石流化しやすいことを示している。

(c)試料、試験法、拘束圧が強度定数に及ぼす影響

図は省略するが、有効応力経路図から、表-1 に示す内部摩擦角 ϕ と、表-2 に示す粘着力 c が得られた。まず、内部摩擦角 ϕ は攪乱試料が不攪乱試料よりも大きな値を示している。さらに標準的拘束圧のほうが低拘束圧よりも高い値を示している。これより内部摩擦角 ϕ は通常行われる三軸圧縮試験で攪乱試料を用いると過大評価していることがわかる。次に粘着力は、攪乱試料の方が不攪乱試料よりも小さい値を示している。それに標準的拘束圧で圧密を行うと、粘着力がゼロとなるが、低拘束で行うとゼロとはならない。これは不攪乱試料が持つ複雑な粒子構造の影響である。さらに圧縮試験では、応力を増加させるので粒子構造が膨張試験よりも壊れやすく、そのため粘着力は低くなっている。このように粘着力は通常行われる三軸圧縮試験では過小評価していることが分かる。

4.まとめ

- (1) 圧密圧力で正規化した主応力差とひずみ関係において、不攪乱試料で拘束圧が小さいほど初期の粒子構造が残り、拘束圧で正規化した主応力差は大きくなる。
- (2) 体積ひずみ～軸ひずみ関係において、試験方法・試料・拘束圧の違いに関わらず、類似した形状となるが、低拘束圧のほうが標準的拘束圧より体積ひずみが大きくなる。
- (3) 内部摩擦角は、試験方法・拘束圧の違いに関わらず、攪乱試料は不攪乱試料よりも大きな値を示す。また、標準的拘束圧のほうが低拘束圧より大きな値を示す
- (4) 粘着力は、標準的拘束圧だとゼロとなり、攪乱試料は不攪乱試料よりも小さい値を示す。

以上のことより、まさ土の強度定数は試験方法、試料、拘束圧で変化することが分かった。実際の斜面崩壊を想定しての強度定数は三軸膨張試験で不攪乱試料を用い、低拘束圧で行った、 $\phi = 25^\circ$ 、粘着力 $c = 4.1\text{kPa}$ である。これは、通常行われる三軸圧縮試験で攪乱試料を用い標準的拘束で行われた $\phi = 32^\circ$ 、粘着力 $c = 0\text{kPa}$ とは大きな差がある。まさ土斜面における降雨時の表面崩壊が起こるときの安定解析を正確に行い、崩壊発生時期を精度良く予測するためには、低拘束圧のもとでの三軸膨張試験を行って強度定数を求める必要がある。

5.参考文献

- (1) 森脇武夫・壬生奈々子：斜面安定解析のための低拘束圧での不攪乱まさ土の強度定数の決定法、土木学会第 60 回年次学術講演会概要集, p p.2029～1030, 2005
- (2) 森脇武夫・貫目美智恵：不攪乱まさ土の強度特性と試験法 土木学会中国支部研究発表会発表概要集、p p.217-218,2006

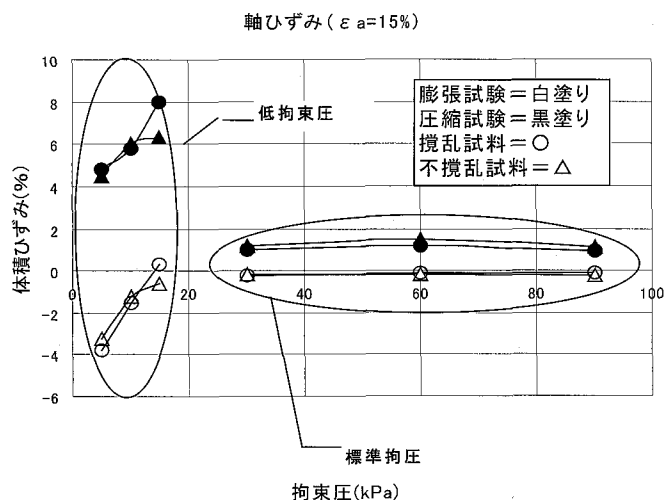


図-3 体積ひずみ～拘束圧関係図

表-1 内部摩擦角 ϕ の比較

		攪乱試料	不攪乱試料
CD圧縮 ($^\circ$)	拘束圧5～15(kPa)	30	26
	拘束圧30～90(kPa)	32	29
CD膨張 ($^\circ$)	拘束圧5～15(kPa)	30	25
	拘束圧30～90(kPa)	38	29

		攪乱試料	不攪乱試料
CD圧縮 (kPa)	拘束圧5～15(kPa)	3	3.5
	拘束圧30～90(kPa)	0	0
CD膨張 (kPa)	拘束圧5～15(kPa)	3.2	4.1
	拘束圧30～90(kPa)	0	0