

繰返し載荷条件の違いが粒子破碎に及ぼす影響

北海道大学大学院 学生会員 ○堀田 大介
 北海道大学大学院 フェロー 三浦 清一
 北海道大学大学院 正会員 石川 達也

1. はじめに

北海道に広く分布する火山灰土は多孔質で脆弱な粒子で構成され、比較的低い応力レベルにおいても無視し得ないほどの粒子破碎が生じることが明らかになっている。著者らは繰返し載荷場における粒子破碎挙動について把握するため種々の条件について調べ、破碎性の有無による体積変化挙動の違いや、変形のレベルの違いによる粒子破碎挙動の変化について幾つかの知見を得ている^{1),2)}。本報告では、同一地点から採取した試料を異なる粒度分布になるよう調整し、一連の排水繰返し中空ねじりせん断試験を行った。繰返し載荷中の軸変位または軸応力を固定した条件について検討を行い、繰返し載荷中の応力変化や変形状について調べた。さらに、これらの要因が粒子破碎挙動に及ぼす影響について考察を試みた。

2. 試験試料および試験方法

試験に用いた試料は、北海道中標津町当幌地区から採取された当幌火山灰土である。このうち供試体寸法の制約のため9.5mm ふるいを通させた試料を自然粒度分布試料(NATURAL DISTRIBUTION)、5.6mm ふるいを通し4.75mm ふるいに残留したものを単一粒度分布試料(UNIFORM DISTRIBUTION)として試験に用いた。各試料の物理的性質を Table1 に示す。なお、当幌火山灰土は既往の研究において強い粒子破碎性が認められている試料である。試験供試体は空中落下法により試料を堆積させ、二酸化炭素、脱気水を通し、196kPa の背圧供給を経て供試体の飽和化を図っている。この方法によりすべての供試体において間隙水圧係数 B 値が 0.96 以上であることを確認したのち、有効拘束圧 $\sigma'_c = 98\text{kPa}$ で等方圧密を行った。所定の圧密時間が経過したのち、排水条件下で繰返しねじりせん断試験(DRAINED CYCLIC TORSIONAL SHEAR TEST: Fig.1 参照)を行った。試験は、鉛直変位固定($\dot{\epsilon}_a = 0$)または鉛直応力一定($\dot{\sigma}_a = 0$)いずれかの条件下において、内外側圧一定、両振幅せん断ひずみ一定、載荷周期 10 秒で載荷している。なお、当幌火山灰土は粗粒土を含むためメンブレンペネトレーションの影響は少ないがこれに対する補正は行わず、メンブレン張力についてのみ補正を行った。

また、本研究においては粒子破碎を評価するための指標として細粒分増加量 ΔF_c を用いた。細粒分増加量 ΔF_c は試験前後の試料に対しふるい分析を行い、初期状態の細粒分含有率 F_{ci} と圧密およびせん断後の細粒分含有率 F_{cf} の差により求められる。

3. 試験結果と考察

Fig.2 には鉛直変位固定試験における鉛直応力緩和挙動を示した。本試験における鉛直応力緩和は、繰返し載荷に伴

キーワード 火山性粗粒土、繰返し載荷、ねじりせん断、粒子破碎、主応力回転

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学研究科 TEL 011-706-6203

Table1 Physical properties

SAMPLE NAME	TOUHORO VOLCANIC SOIL	
	NATURAL DISTRIBUTION ($D \leq 9.5\text{mm}$)	UNIFORM DISTRIBUTION ($5.6 \leq D < 4.75\text{mm}$)
$\rho_s (\text{g/cm}^3)$	2.55	2.55
$e_{\max}$	4.258	9.805
$e_{\min}$	2.899	8.206
$D_{50} (\text{mm})$	4.48	5.17
U_c	3.5	1.1
$F_c (\%)$	2.2	0.0

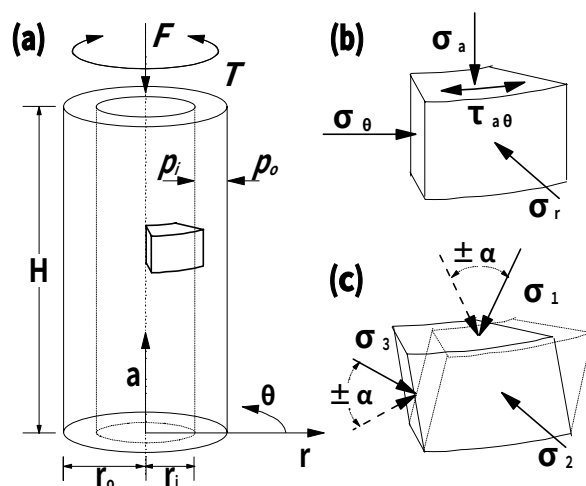


Fig.1 (a) Definition of load and stress, (b) Normal stresses, (c) Principal stress state at cyclic torsional shearing

う粒子の充填作用によるものであり、ここで用いた鉛直応力値は繰返し載荷回数 N 回目の載荷終了時点(せん断ひずみ $\gamma=0\%$ のとき)における値を代表値として用いている。図より載荷初期(繰返し載荷回数 $N_c=1\sim10$)における鉛直応力値に隔たりが見られるものの、密度や粒度分布の違いによらず繰返し載荷回数の増大に伴いほぼ一定の値に収束している。これは既報りに示したように破碎性の有無や、粒度分布、密度に依存しない材料固有の収束値をもつためと考えられる。つまり、粒度構成の違いが粒子充填化に与える影響は非常に小さいものといえよう。

Fig.3 には鉛直応力一定試験における軸ひずみ挙動を示した。ここで、本報告における試験は先述のように中空円筒供試体に作用する内外側圧が一定であるので、鉛直応力を一定に保持した試験は平均有効主応力一定となっている。図より、単一粒度分布試料に比べて粒度にバラツキのある自然粒度分布試料の方が僅かながらに収縮が卓越している。これが、有意な差か否かについては今後更なる検討が必要と思われるが、粒度にバラツキのある自然粒度分布試料は、繰返し載荷によって粒子再配列および充填化が起こり易いことを示しているように思われる。

次に、応力状態、変形状の相違が粒子破碎挙動にどのような影響を及ぼすかについて調べるため、任意の繰返し載荷回数で試験を停止し、試験後の試料に対してふるい分析を行った。こうして得られた粒径加積曲線より求めた細粒分増加量を Fig.4 に示す。これによると、繰返し載荷中の載荷条件の違いによらず、粒子破碎量には明瞭な違いが認められない(繰返し載荷回数 $N_c=10$ および 100)。この要因として、鉛直応力について考えると Fig.2 に示すように大きな差があるように思われるが、平均有効主応力に置き換えて考えると鉛直応力緩和の影響は3分の1に軽減されるためそれ程大きな差があるとはいえなくなる。また、軸ひずみについても Fig.3 におけるひずみ差が有意なものか否かについては今後の検討に委ねる必要がある。更に、本試験ではせん断ひずみ振幅を一定として載荷しているため、せん断応力振幅の値にはバラツキがある(例えば Fig.2, 3 に示した繰返し載荷回数 $N_c=100$ までの試験において $|\tau_{a0\max}|=27.3\sim37.6\text{kPa}$)。粒子破碎に及ぼすせん断応力の大きさの寄与度について明らかにすることも今後の課題といえる。

4. まとめ

- 1) 鉛直変位固定試験において粒度構成の違いが粒子充填化に及ぼす影響は僅かであることが示された。
- 2) 鉛直応力一定試験において自然粒度分布試料は粒子再配列および充填化が起こりやすいことが示唆された。
- 3) 軸変位または軸応力を固定した試験において生じる粒子破碎には明瞭な違いは見られない。

《参考文献》1)堀田・三浦・石川：繰返し載荷を受ける粒状体の体積変化特性に及ぼす粒子破碎の影響，地盤工学会北海道支部技術報告集第44号，pp.253-258,2004. 2)堀田・三浦：繰返し応力を受ける破碎性粒状体の力学挙動，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，DISC 1,III-386, 2003.

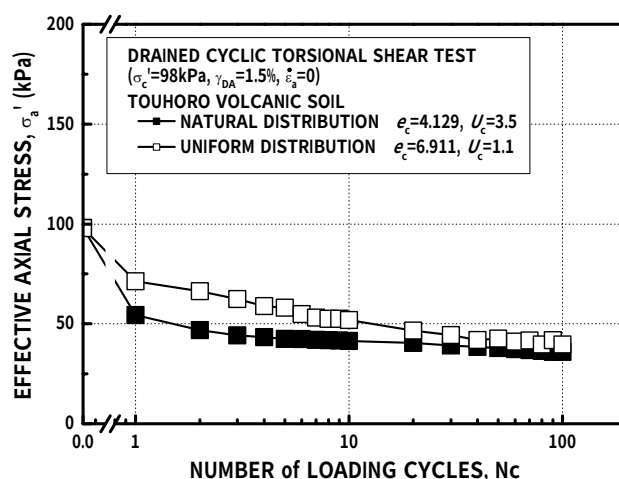


Fig.2 Stress relaxation behavior

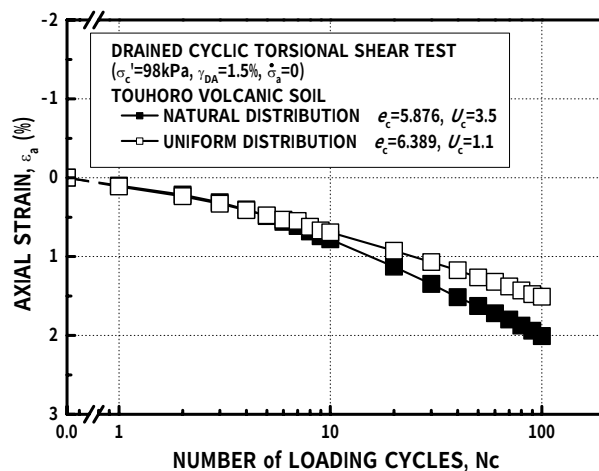


Fig.3 Axial strain behavior

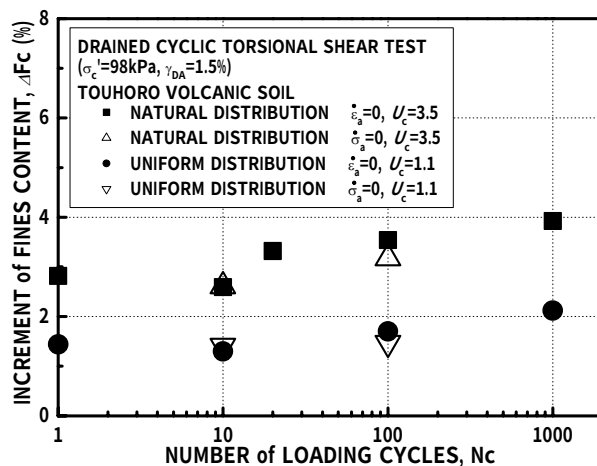


Fig.4 Particle breakage