

山口大学大学院 学生会員 ○今田光一

山口大学大学院 正会員 兵動正幸

山口大学大学院 正会員 中田幸男

報国エンジニアリング(株) 正会員 近者淳史

山口大学大学院 正会員 吉本憲正

山口大学大学院 学生会員 野田翔兵

表-1 試料の物理的特性

試料	タイヤチップ	豊浦砂
$F_c(\%)$	0	0
$\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	0.456	1.645
$\rho_{dmin}(\text{g/cm}^3)$	0.322	1.335
e_{max}	2.658	0.973
e_{min}	1.583	0.635
e	1.261	0.804
U_c	3.049	1.325
$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	1.178	2.635

1. まえがき

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震における関東地方沿岸部における戸建住宅の液状化被害¹⁾に注目し、タイヤチップを住宅基礎の改良材として有効利用できないかと考えた。筆者らは、前報²⁾でオンライン地震応答実験により、住宅基礎にタイヤチップを層状に配置することで液状化の抑止効果を確認した。しかしながら、タイヤチップのせん断特性については、矢島ら³⁾の研究成果があるが、その力学的性質にはまだ不明な点も多い。本研究では、タイヤチップの液状化防止材料としての有効性を調べるため、タイヤチップの供試体に対し三軸試験機を用いて等方圧縮除荷試験および側圧一定および平均主応力一定条件下でCU、CDせん断試験及び除荷試験をそれぞれ行い、タイヤチップの圧縮とせん断による体積変化挙動を明確にし、さらに間隙水圧の発生機構を調べた。また、非排水繰返し三軸試験も行い、液状化には至らないが若干発生する過剰間隙水圧について調べ、単調せん断との対応で考察を行った。

2. 試料及び実験概要

本研究では、大型トラックの廃タイヤを粉状に細かく裁断した粒径1mm以下のタイヤチップを用いた。この粒径のタイヤチップを使った理由は、大きな粒径のタイヤチップにはワイヤーを抜いた小穴があり、粒子そのものの圧縮性がせん断特性に影響を与える³⁾ことを避けるためである。表-1に用いたタイヤチップの物理的特性、図-1に試料の粒度分布を比較のため豊浦砂と共にそれぞれ示す。タイヤチップに対して、三軸試験によりCU、CD条件下で、平均主応力一定せん断試験、側圧一定せん断試験及び除荷試験、等方圧縮除荷試験をそれぞれ行った。三軸試験供試体は、直径5cm、高さ10cmであり、突固め法により13層に分けて突固めて作製した。その際、相対密度 $Dr=170\%$ を目標に突固めた。しかし、材料が非常に軽量で細かいことから供試体作製段階で試料が飛散してしまい相対密度を調整するのに困難を要したため数回試行錯誤の上供試体を作製した。飽和供試体作製のために、 CO_2 ガスを注入し、その後脱気水を通水し、背圧200kPaを与え、B値0.95以上を確保した。その後、所定の拘束圧で圧密を行い、軸ひずみ速度0.1%/minでせん断を行った。さらに、軸ひずみが $\varepsilon_a=20\%$ に達したのち除荷を行った。

3. CU, CD 条件での単調せん断試験及び除荷試験結果

図-2に側圧一定排水単調せん断試験による軸差応力-軸ひずみ関係を示す。拘束圧50、100、200kPaにおいて実験を行ったが、試料の圧密前の相対密度はそれぞれ $D_r=176.24\%, 181.87\%, 165.61\%$ であった。図より、いずれの拘束圧条件においてもやや逆反りの硬化傾向を示し、体積変化も圧縮側に線形的に増加している様子が観察できる。拘束圧100kPaと200kPaの挙動はほぼ同様であるが、 $\varepsilon_a=20\%$ 時点での軸差応力は拘束圧100kPaの場合の方がやや大きく現れている。これは、拘束

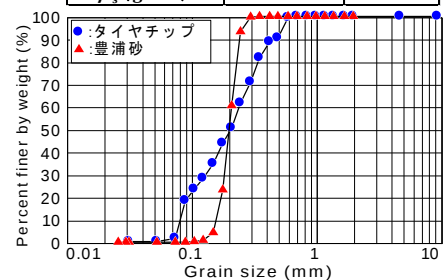


図-1 試料の粒度分布

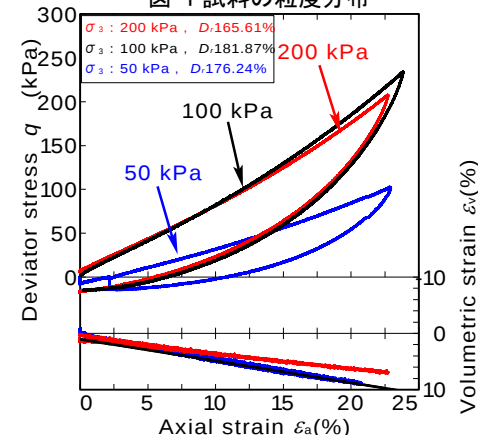


図-2 排水単調せん断試験軸差応力-軸ひずみ

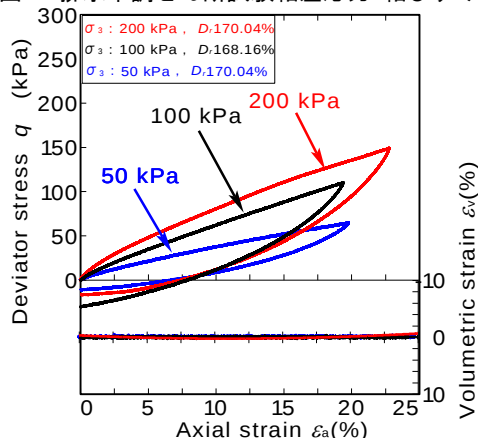


図-3 非排水単調せん断試験軸差応力-軸ひずみ

圧 100kPa の場合の方が試料の相対密度が 15%程大きかったためと考えられる。除荷試験時の軸差応力軸ひずみ関係は、全体的に非線形弾性的挙動を示すが、 $q=0\text{kPa}$ のとき数%の塑性軸ひずみを残すが、体積変化は除荷時も載荷時と同様線形挙動を示すことが明らかである。

図-3 に非排水単調せん断試験による軸差応力-軸ひずみ関係を示す。拘束圧、相対密度はそれぞれ、50kPa で $D_r=173.50\%$ 、100kPa において $D_r=168.16\%$ 、200kPa では $D_r=170.04\%$ である。いずれの拘束圧においてもピークは現れず線形的挙動を示し、除荷時には排水単調せん断試験と同様な非線形弾性挙動を示している。

4. 平均主応力一定せん断試験と等方圧縮除荷試験結果

図-4 (a) に拘束圧 100kPa における平均主応力一定せん断試験の軸差応力-軸ひずみ関係を、図-4 (b) にその有効応力経路と比較のために側圧一定試験による有効応力経路をそれぞれに示す。平均主応力一定せん断試験における体積ひずみは通常の土ではダイレイタンスーによるものであるが、タイヤチップにおいてもそうなのか否かを調べた。また、図-5 には等方圧縮・除荷試験による体積ひずみと有効応力の関係を示している。図-4 (a) より、平均主応力一定試験いずれの試験結果も $\varepsilon_a=20\%$ に至ってもピークは現れず線形的増加傾向を示し、排水試験では体積変化も圧縮側にほぼ直線的な増加傾向を示している。しかし、排水条件下での平均主応力一定試験と側方応力一定試験での、 $\varepsilon_a=20\%$ の時点では体積変化の差が 2~3%であるのに対し、図-5 の等方圧縮試験結果では側圧一定試験における平均主応力増分による体積ひずみはそれより大きいことが判明した。また、せん断除荷時に体積変化が元に戻っているため体積変化は粒子の移動によるものではないと考えられる。このような理由から、せん断による体積変化はダイレイタンスーによるものではなく、タイヤチップ粒子の変形によるものと考えられる。また、図-4 (b) から非排水平均主応力一定せん断試験結果をみると間隙水圧が発生している。この間隙水圧も除荷により消失することから、間隙水圧発生も弾性的体積ひずみによるものと考えられる。

5.繰返し三軸試験結果

図-6(a), (b) に応力比 $\sigma_d/2\sigma_c=0.23$ の非排水繰返し三軸試験による有効応力経路、軸差応力-軸ひずみ関係を示している。図-6(a)から繰返し回数の増加に伴い間隙水圧はわずかに増加している。また、図-6(b) から初期載荷で非常に大きなひずみが発生するが、その後も同じヒステリシスループを描くことがわかる。このようにタイヤチップは液状化を生じる材料ではないことが明らかである。

5.繰返し三軸試験結果

図-6(a), (b) に応力比 $\sigma_d/2\sigma_c=0.23$ の非排水繰返し三軸試験による有効応力経路、軸差応力-軸ひずみ関係を示している。図-6(a)から繰返し回数の増加に伴い間隙水圧はわずかに増加している。また、図-6(b) から初期載荷で非常に大きなひずみが発生するが、その後も同じヒステリシスループを描くことがわかる。このようにタイヤチップは液状化を生じる材料ではないことが明らかである。

まとめ

せん断載荷及び除荷試験からタイヤチップは非線形弾性挙動をとる材料であることがわかった。また、平均主応力一定せん断試験を行い、発生した体積変化も除荷試験を行うことで限りなく 0%に戻ったことからダイレイタンスーによるものではなく、粒子の変形によるものと判断された。

参考文献

- 1) 安田進, 原田健二: 東京湾における液状化被害, 地盤工学会誌, Vol.59 No.7 Ser.No.642, pp.38-41, 2011.
- 2) 今田光一, 兵動正幸, 中田幸男, 近者淳史, 野田翔兵: オンライン地震応答実験による戸建住宅基礎地盤の液状化について, 第 47 回地盤研究発表会, pp.493-493, 2012.
- 3) 矢島寿一, 小倉一利, 山田忠幸, 小林展誠, 丸井祐司, 竹内基樹: タイヤチップスのせん断特性と液状化特性, 地盤工学ジャーナル Vol. 4, No. 1, pp.81-90, 2009.

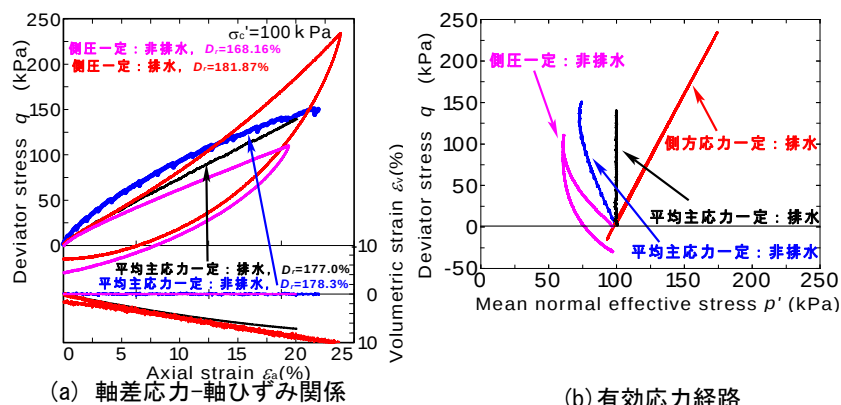


図-4 平均主応力一定試験結果

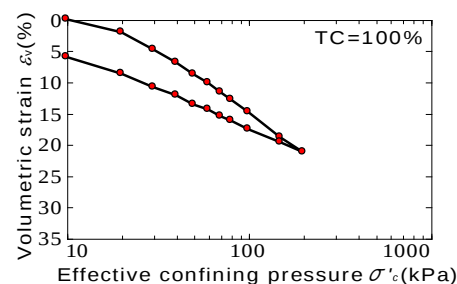


図-5 等方圧縮除荷試験結果

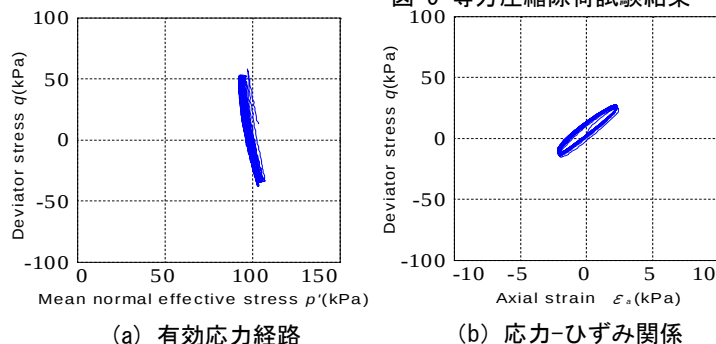


図-6 繰返し三軸試験結果