タイヤチップの単調および繰返しせん断特性

山口大学大学院　学生会員　○渕山美怜
山口大学大学院　正会員　兵動正幸
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　中田幸男
山口大学大学院　正会員　吉本憲正
報国エンジニアリング(株)　正会員　近者淳史

1.はじめに

世界中で年間約 10 億本の廃タイヤが発生しておりその本数は年々増加傾向にある．[1)]そこでタイヤチップを新しい地盤材料として再利用することが検討されている．タイヤチップのせん断特性については矢島ら [2)]や菊池ら [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．また砂の液状化を防止するために砂にタイヤチップを混合し施工する方法も検討されている．本研究では，粒径の異なる 2 種類のタイヤチップを対象にタイヤチップ単体のせん断特性を調べ，さらにタイヤチップを砂と混合して CU, CD 条件で単調せん断試験を行った．その結果から，タイヤチップのせん断挙動およびそれに伴う体積変化挙動を調べ間隙水圧の発生機構を考察した．また，非排水繰返し三軸試験も行い，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細かく裁断した粒径 0.5mm 以下のタイヤチップ(tc)と粒径 2mm 以下のタイヤチップ(TC)を用いた．表 1 に用いたタイヤチップ単体および砂との混合試料の粒子密度と最大最小間隙比をそれぞれ示した．表中の tc，TC に付した添字はタイヤチップ体積配合割合 0%~100%を 0~1.0 で表したものである．図 1 に砂よりも細粒の tc と砂よりも粗粒の TC と三河硅砂の粒度分布をそれぞれ示す．tc，TC に対して三軸試験より CU，CD 条件下で側圧一定単調せん断試験を行った．供試体は，高さ 10cm，直径 5cm であり，突固め法により 13 層に分けて突固めて作製した．初期間隙比 e は tc で 0.76～0.88，TC で 0.65～0.70 をとし供試体を作製した．飽和供試体作製のために，CO_2 ガスを注入し，脱気水を通水，背圧 200kPa を与え，B 値 0.95 以上を確保した後，所定の拘束圧で圧密を行った．軸ひずみが ε_a=20%に達するまでせん断を行い，その後除荷試験も行った．

表 1　試料の物理的特性

Tire chips fraction	e_{max}	e_{min}	ρ_s(g/cm³)
tc:0	1.02	0.68	2.64
tc:0.3	1.33	0.78	2.21
tc:0.5	1.51	0.89	1.91
tc:0.7	1.89	1.05	1.62
tc:1.0	2.69	1.57	1.18
TC:0	1.02	0.68	2.64
TC:0.3	1.13	0.77	2.2
TC:0.5	1.21	0.85	1.89
TC:0.7	1.28	0.85	1.6
TC:1.0	1.59	1.07	1.15

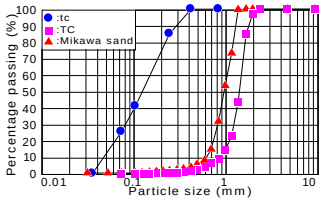
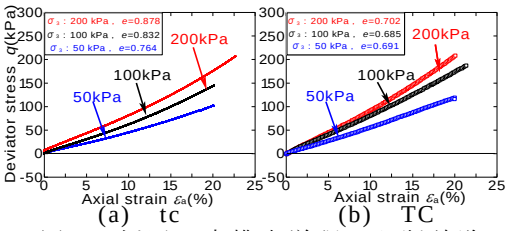
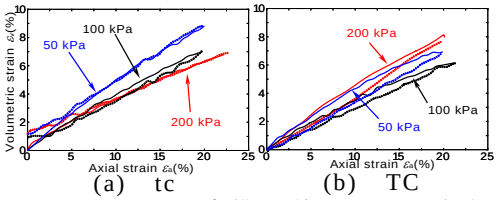


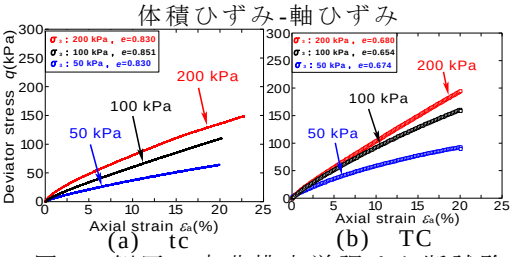
図 1　試料の粒度分布



(a)　tc　(b)　TC
図 2　側圧一定排水単調せん断試験
軸差応力-軸ひずみ



(a)　tc　(b)　TC
図 3　側圧一定排水単調せん断試験
体積ひずみ-軸ひずみ



(a)　tc　(b)　TC
図 4　側圧一定非排水単調せん断試験
軸差応力-軸ひずみ

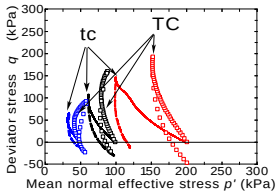
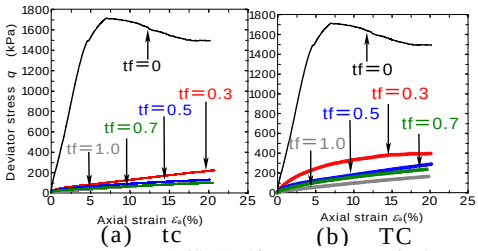


図 5　側圧一定非排水単調せん断試験
有効応力経路図

3.CU,CD 条件下での単調せん断試験及び除荷試験

図 2 に側圧一定排水単調せん断試験における (a)tc，(b)TC の軸差応力-軸ひずみ関係を示す．いずれの拘束圧条件においても軸ひずみの進行に伴い，若干逆反り状態で線形的に応力が増加している．図 3(a),(b)に側圧一定排水単調せん断試験および除荷試験における体積ひずみ-軸ひずみ関係を示す．体積ひずみは除荷により載荷時と同じ経路をたどりほぼ 0%に戻ることが観察される．このことより，タイヤチップのせん断による体積変化は粒子の移動を伴うダイレイタンシーによるものよりも，個々の粒子の変形により生じた間隙の変化によるものの影響が大きいと推察される．図 4(a),(b)に側圧一定非排水単調せん断試験における軸差応力-軸ひ

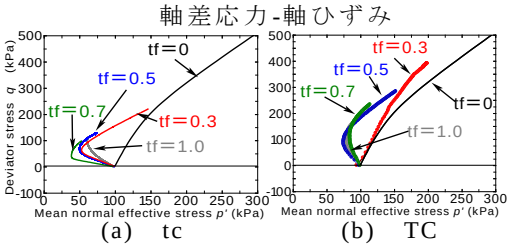
ずみ関係を示す．間隙水圧の発生に伴いやや応力の低下が見られるものの，ほぼ線形的な挙動を示している．図 5 に側圧一定非排水単調せん断試験における有効応力経路を示す．tc に比べ TC の載荷による間隙水圧発生量が少なく，除荷時においても TC の方が tc より残留間隙水圧量は少ない．



(a) tc (b) TC
図 6 非排水単調せん断試験
軸差応力-軸ひずみ

4.タイヤチップ混合砂の非排水単調せん断試験

供試体作成時の突固めエネルギーを統一し，tc，TC の試料を用いて混合砂全体に対するタイヤチップ体積率 tf=0，0.3，0.5，0.7，1.0 とした混合試料の非排水単調せん断試験による軸差応力-軸ひずみ関係を図 6(a),(b)にそれぞれ示す．図中 tc，TC いずれの混合試料においても砂のみの試料に比べ，初期剛性，強度ともに大きく低下しており，混合試料においては，せん断中終始ひずみ硬化の挙動を示している．tc に比べ TC 混合試料の方が強度は若干高いが，tf=0.7 以下ではほぼ同程度の強度を示し，いずれもタイヤチップ含有量が増加するほど強度が減少する傾向となっている．図 7(a),(b)に有効応力経路を示す．tc の混合試料は砂のみに比べ総じてせん断中に有効応力が低下するのに対し，TC においては tf=0.3 までは砂に近い挙動をとるが，tf=0.5 以上では有効応力が低下する挙動を示している．このことより，tc 混合試料の場合には，tf=0.3 以上では tc が砂の間隙を充填し構造の主体がタイヤチップになったものと考えられる．一方 TC の場合，タイヤチップの粒子サイズが砂の粒径よりも大きいため，tf=0.3 では砂粒子がタイヤチップ粒子をとり囲む形となり，砂構造の影響が残り tf=0.5 以上ではタイヤチップが構造の主体となったものと推察される．



(a) tc (b) TC
図 7 非排水単調せん断試験
有効応力経路

5.繰返し三軸試験

図 8 に，tc，TC を tf=0，0.3，0.5，0.7，1.0 で混合した試料の非排水繰返し三軸試験の有効応力経路を示す．tc の tf=0，0.3，0.5 では有効応力は完全に 0 までは至らないが，大きく減少し液状化に至っていることが分かる．一方，TC においては，tf=0，0.3 では有効応力の低下が大きく，液状化に至っていると考えられるが，tf=0.5 では 50%程しか有効応力の低下は見られない．いずれの試料も tf=0.7，1.0 では有効応力は大きく低下せず，タイヤチップ含有率が増加するにつれ過剰間隙水圧の発達が抑制されていく傾向が認められる．これは tf の増加に伴いタイヤチップにより供試体の骨格が形成され，タイヤチップ粒子の性質が顕著に表れ軸ひずみは発達するが過剰間隙水圧は抑制されたためと考えられる．

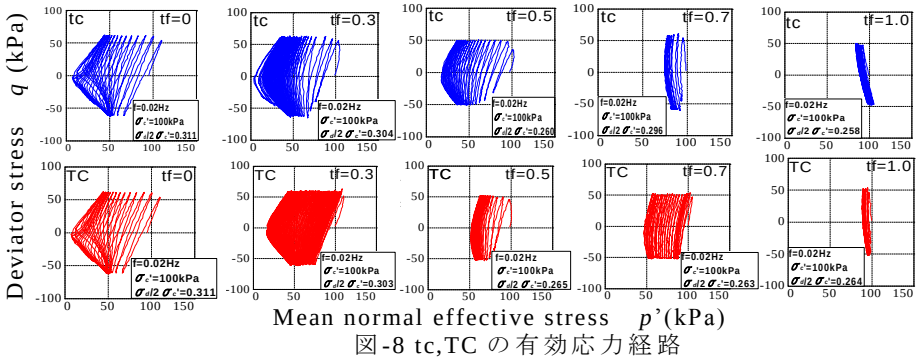


図-8 tc,TC の有効応力経路

6.まとめ

(1)単調せん断試験において，タイヤチップは軸差応力および体積ひずみともに軸ひずみの増加とともに線形的に増加する．また，せん断除荷により発生した体積ひずみはほぼ消失することから，タイヤチップのせん断による体積変化はダイレイタンシーによるものでなく個々の粒子の変形によるものと考えられる．

(2)非排水繰返しせん断試験において，tc，TC どちらの混合試料も体積混合率 tf=0.5 を超えると有効応力は 0 まで低下せず液状化には至らない．

参考文献 1)(社)日本自動車タイヤ協会，http://www.jatma.or.jp/ ：環境への取り組み WBCSD の活動，2010．2)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. 81-90，2009．3) 菊池喜昭，佐藤宇紘，Hemanta HAZARIKA：ゴム球集合体の三軸圧縮時の変形特性に関する検討，ジオシンセティックス論文集 Vol.23，pp.89-94, 2008.