山口大学大学院	学生会員	金子崇	正会員	兵動正幸
山口大学大学院	学生会員	河田慎治朗	正会員	吉本憲正
山口大学大学院	正会員	中田幸男		
秋田県立大学	正会員	ハザリカヘマンタ		

1.はじめに

現在、日本では年間約 100 万 t の廃タイヤが発生 しており、その約 88%がリサイクルされている。し かし、その大半は燃料として利用するサーマルリサ イクルであり、二酸化炭素や焼却灰の発生などの課 題が残っている。そのため、土木分野では大量消費 が可能なマテリアルリサイクルの方法として、新し い地盤材料としての利用が検討されている。今後、 廃タイヤを有効利用した土構造物を構築する際の安 定問題を考える上で、タイヤチップ自体やタイヤチ ップが砂と混ざり合った土の力学特性に関する情報 を蓄積する必要がある。本論文では、中空ねじりせ ん断試験を行い、タイヤチップおよびタイヤチップ 混合砂に対するせん断弾性係数・履歴減衰率のひず み依存性を明らかにすることを目的とした。

2. 実験試料及び供試体

本研究では、廃タイヤの金属・繊維類を除去し、 粒径が 1mm 以下となるように裁断したタイヤチッ プと相馬珪砂、及びタイヤチップと相馬珪砂の混合 砂を用いて実験を行った。各試料の物理的性質を表 -1に示す。図表中の S と T の表記は、それぞれ砂 とタイヤチップを表している。タイヤチップの比重 は Gs=1.150 であり、一般的な地盤材料よりも相当小 さい。また、最大・最小間隙比が大きくなっている のは、タイヤチップの形状とゴム特有の表面摩擦力 の高さによることが考えられる。混合砂は体積比で 相馬珪砂:タイヤチップ=7:3、5:5 となるように 作製した。このとき、乾燥重量比は相馬珪砂:タイ ヤチップ=84:16、70:30 となる。図 - 1 に粒径加 積曲線を示すが、混合砂の粒度分布特性(d50、Uc)は 相馬珪砂のそれに近い。

供試体は初期含水比 10%のもと湿潤突固め法に よって作製した。まず、乾燥した相馬珪砂とタイヤ チップを所定の体積比で混合し、含水比 10%となる



ように水を加え、均一になるように十分に混ぜた。 次に、高さ10cm、外径10cm、内径6cmの中空円筒 供試体に対して試料を5等分に分けて投入し、相馬 珪砂の供試体において相対密度が50%となるエネ ルギーを決定し、そのエネルギーにおいて各試料と も突き固めて作製した。

3.中空ねじりせん断試験機による動的変形試験 (1) 試験条件

動的変形試験は、地盤工学会基準「土の変形特性 を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじり せん断試験方法」(JIS 0543-2000)に定められる方法 に基づいている。圧密条件は各試料に対し有効拘束 圧 'c=50、100、150kPa の3通りの等方圧密状態と し、繰返しせん断は非排水条件で供試体に周波数 f=0.1Hz の正弦波形の繰返し荷重を11回与えて行な った。繰返しせん断後は、排水状態にして過剰間隙 水圧を消散させた。



図-3 せん断応力とせん断ひずみの関

(2) 試験結果

タイヤチップ混合砂に対して行なった動的試験結 果より得られた有効応力経路およびこれに対応した せん断応力とせん断ひずみの関係を図 - 2、図 - 3 に 示す。ここでは、実験結果を代表して、有効拘束圧

'c=50kPa とした時の繰返し載荷 10 回目の片振幅 せん断ひずみが()_{SA}=10⁻²、0.1、0.5%程度となる結 果を挙げている。また、図中の破線は繰返し載荷 11 回目を示している。

片振幅せん断ひずみ()_{SA}=10⁻²%程度の場合、いず れの試料も有効応力の低下はほとんど見られず、せ ん断応力とせん断ひずみの関係においても繰返しせ ん断によるひずみの発達は認められず、剛性を保っ たまま定常ループを描いている。 ()_{SA}=0.1%程度 になると、相馬珪砂および S:T=7:3 では有効応力の 低下が見られるようになり、ひずみが漸増的に発達 する様子が認められる。()_{SA}=0.5%程度の時、相馬 珪砂はある時点から有効応力が急激に低下し、ひず みも増大し液状化に近い挙動を示していることがわ かる。S:T=7:3 および S:T=5:5 では相馬珪砂と比較し て有効応力の低下は抑制されており、ひずみも漸増 的に発達しているのみである。タイヤチップは ()_{SA}=0.5%程度においても有効応力の低下は見ら れず、せん断応力とせん断ひずみの関係も粘弾性的 な挙動を示し、定常ループを描いている。 ()_{s4}=0.5%以降、相馬珪砂は完全に液状化して測定 が不可能となってしまうが、タイヤチップおよびタ イヤチップ混合砂は()s4=10%を超える範囲まで液 状化せず、実験を行うことができた。

図 - 4 に有効拘束圧 c=50kPa とした時の繰返し 載荷 10 回目の等価せん断剛性率 G_{eq} と片振幅せん断 ひずみ()_{SA}の関係を示す。図 - 5 に等価せん断剛性 率 G_{eq} を初期せん断剛性率 G_0 で正規化した G_{eq}/G_0 と片振幅せん断ひずみ()_{SA}の関係を示す。初期せ ん断剛性率 G_0 はそれぞれの曲線から()_{SA}=0.0001% に対する G_{eq} を読み取り決定した。

図 - 4、図 - 5より、タイヤチップを混合する事で 初期せん断剛性率が著しく低下するが、相馬珪砂は 微小ひずみ域から等価せん断剛性率が低下している のに対し、混合砂はタイヤチップの割合が高くなる ほど弾性域は長くなり、等価せん断剛性率の低下も 抑えられる。また、タイヤチップでは片振幅せん断



ひずみ()_{SA}=10%に至っても等価せん断剛性率は半 分程度までしか低下していないことが確認できる。 これらの結果の違いは、試料の液状化の発生の有無 による影響を顕著に受けているためと考えられ、タ イヤチップを混合することによって液状化が抑えら



れることに起因している。

図 - 6 に有効拘束圧 'c=50kPa とした時の繰返し 載荷 10 回目の履歴減衰率 h と片振幅せん断ひずみ ()sA の関係を示す。図よりタイヤチップは微小ひ ずみ域においても高い履歴減衰率を発揮し、混合砂 においてもタイヤチップの割合が高くなるほど高い 履歴減衰率が発揮される。大ひずみ域において、相 馬珪砂は片振幅せん断ひずみ()sA=0.01%程度から 急激に増加するが、これは液状化による剛性の低下 が著しくなるため、結果として履歴減衰率が急激に 増加したものと考えられる。混合砂やタイヤチップ は、タイヤチップの割合が高くなるほど液状化が抑 えられるため、せん断ひずみの増加に伴う履歴減衰 率の増加傾向は緩やかとなる。

図 - 7 にタイヤチップの繰返し載荷 10 回目の *G_{eq}/G₀* および履歴減衰率 *h* と片振幅せん断ひずみ ()_{SA} の関係を示す。既往の研究においてきれいな 砂の場合、有効拘束圧が動的変形特性に影響を与え ること¹⁾が明らかとなっている。本研究においては、 タイヤチップの場合、有効拘束圧は動的変形特性に 影響を与えない結果が示された。

4.まとめ

本研究では、中空ねじりせん断試験機によってタ イヤチップおよびタイヤチップ混合砂の動的変形特 性を把握することを目的とした。その結果得られた 知見を以下に示す。

1) 砂にタイヤチップを混合する事で繰返しせん断による過剰間隙水圧の蓄積を抑制する効果を有し、その効果はタイヤチップの割合が高いほど顕

著である。

- タイヤチップの初期せん断剛性率は砂に比べ非常に低く、砂の剛性率はタイヤチップを混合することで、著しく低下する。
- 3) タイヤチップの混合率が高いほど高いひずみ域 まで弾性的性質を示す。
- 4) タイヤチップの混合率が高いほど微小ひずみ域 においても高い履歴減衰率が発揮され、せん断ひ ずみの増加に伴う履歴減衰率の増加傾向は緩や かとなる。
- 5) タイヤチップは $G_{eq}/G_0 \sim ()_{SA}$ および $h \sim ()_{SA}$ 関係に対する有効拘束圧の影響を受けない。

【参考文献】

1) 千葉隆仁,山下聡,土岐祥介:三軸試験と中空ねじ り試験による砂の繰返し変形特性,地盤および土構 造物の動的問題における地盤材料の変形特性に関す る国内シンポジウム発表論文集,土質工学 会,pp.181-186,1994.