

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目	タイヤチップの戸建住宅基礎地盤への適用のための力学的性質の評価に関する研究
氏 名	近者 淳史

2011年東北地方太平洋沖地震による戸建住宅等の甚大な液状化被害の発生以降、こういった宅地における液状化被害の低減を目的とした工法に関心が集まっている。しかし、現時点において、確固たる経済的な有効な対策技術・工法が無いのが実情である。本研究では、リサイクル材であるタイヤチップを用いた地盤改良を、戸建住宅基礎地盤に適用することによる地震時での液状化防止と応答の低減効果を目的にしている。そのためまず、締固め作製したタイヤチップ供試体に対して、一連の排水・非排水条件で単調せん断載荷および除荷試験を行い、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た。その結果、載荷時に発生した体積ひずみや間隙水圧は除荷時には、ほとんど0に戻ることや過剰間隙水圧そのものの発生が砂に比べ低いことが明らかとなった。次に得られた力学特性を勘案し、タイヤチップを戸建住宅基礎下に地盤材料として用いたモデルを想定し、オンライン地震応答解析を行った結果、タイヤチップの液状化防止ならびに震動の低減材としての有効性を確認した。本論文は以下の4章から構成されている。

第1章「序論」では、タイヤチップのリサイクル状況や新しい地盤材料としてタイヤチップを用いた既往の研究について述べ、タイヤチップを地盤材料として用いることの有用性を説明した。また、東日本大震災以降、甚大な被害があった戸建住宅の液状化問題がクローズアップされ、その結果、産官学をあげて様々な研究開発がされている中で、戸建住宅を対象とした液状化対策の現状をまとめ、本研究の背景と目的を述べた。

第2章「タイヤチップの力学特性」では、本研究で用いたタイヤチップ試料の物理的性質や実験方法について説明した。この章では、タイヤチップの最大の特徴である液状化抑制材料としての有効性を生かし実用化するためにまず、タイヤチップの圧縮、せん断特性を調べた。三軸試験機を用いて等方圧縮載荷・除荷試験、排水・非排水せん断載荷および除荷試験、平均主応力一定せん断載荷・除荷試験をそれぞれ実施し、さらに非排水繰返し三軸試験も実施し、液状化には至らないが若干発生する過剰間隙水圧のメカニズムを調べ、それぞれの試験結果の対応で考察を行った。その結果、タイヤチップの力学特性として、タイヤチップのせん断載荷による体積変化は、そのほとんどが粒子移動を伴う非可逆的なダイレイタンスによるものではなく、タイヤチップ粒子の弾性変形による可逆的な事象であることが明らかになった。また、タイヤチップの場合、土のせん断体積変化のように、平均主応力増分とダイレイタンスに起因するものの重ね合せが成立しないことも明らかにした。その他、中空ねじりせん断試験によって得られたタイヤチップの動的変形特性である初期せん断弾性係数は、いずれの有効拘束圧においても珪砂の約1/100程度の値になっており、液状化を起こした状態の砂と同程度の値であり、せん断波が伝搬し難い地盤材料であることを確認した。

第3章「タイヤチップ適用地盤の液状化防止・応答低減効果」では、第2章で確認・評価したタイヤチップの力学特性を勘案し、戸建住宅基礎地盤下の飽和砂地盤上にタイヤチップ適用した地盤改良を想定し、地震時の液状化および応答の低減効果について、せん断による地盤材料の間隙水圧の上昇に伴う有効応力の変化および材料の非線形も考慮でき、液状化過程まで扱える手法であるオンライン地震応答解析にて検討した。その結果、タイヤチップ改良層はもとより、その上層の未改良層の過剰間隙水圧の発生を防止し、応答加速度の最大値が時刻歴応答加速度で1/3に低減したことを確認した。また、英国ブリストル大学でバタチャリア博士の指導のもと、1G場振動台模型実験も実施した結果、液状化事象を防止し、液状化に伴う沈下傾斜が生じていないことを確認した。

第4章「結論」では、各章ごとに得られた知見について要約するとともに、今後の課題を示し本論文の結論とした。

【論文審査結果の要旨】

2011年東北地方太平洋沖地震による戸建住宅等の甚大な液状化被害の発生以降、宅地における液状化被害の低減を目的とした工法に関心が集まっている。しかし、現時点において、確固たる経済的な有効な対策技術・工法が無いのが実情である。本研究では、リサイクル材であるタイヤチップを用いた地盤改良を、戸建住宅基礎地盤に適用することによる地震時での液状化防止と応答の低減効果を目的としている。そのためにタイヤチップを用いて、一連の要素および模型実験を行なった。まず、締固め作製したタイヤチップ供試体に対して、排水・非排水条件で単調せん断载荷および除荷試験を行い、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た。その結果、载荷時に発生した体積ひずみや間隙水圧は除荷時には、ほとんど0に戻ることで過剰間隙水圧そのものの発生が砂に比べ低いことが明らかとなった。次に得られた力学特性を勘案し、タイヤチップを戸建住宅基礎下に地盤材料として用いたモデルを想定し、オンライン地震応答解析を行った結果、タイヤチップの液状化防止ならびに震動の低減材としての有効性を確認した。本論文は以下の4章から構成されている。

第1章「序論」では、タイヤチップのリサイクル状況や新しい地盤材料としてタイヤチップを用いた既往の研究について述べ、タイヤチップを地盤材料として用いることの有用性を説明した。また、東日本大震災以降、甚大な被害があった戸建住宅の液状化問題がクローズアップされ、その結果、産官学をあげて様々な研究開発がされている中で、戸建住宅を対象とした液状化対策の現状をまとめ、本研究の背景と目的を述べている。

第2章「タイヤチップの力学特性」では、本研究で用いたタイヤチップ試料の物理的性質や実験方法について説明した。この章では、タイヤチップの最大の特徴である液状化抑制材料としての有効性を生かし実用化するためにまず、タイヤチップの圧縮、せん断特性を調べた。三軸試験機を用いて等方圧縮载荷・除荷試験、排水・非排水せん断载荷および除荷試験、平均主応力一定せん断载荷・除荷試験をそれぞれ実施し、さらに非排水繰返し三軸試験も実施し、液状化には至らないが若干発生する過剰間隙水圧のメカニズムを調べ、それぞれの試験結果の対応で考察を行った。その結果、タイヤチップの力学特性として、タイヤチップのせん断载荷による体積変化は、そのほとんどが粒子移動を伴う非可逆的なダイレイタンスによるものではなく、タイヤチップ粒子の弾性変形による可逆的な事象であることが明らかになった。その他、中空ねじりせん断試験によって得られたタイヤチップの動的変形特性である初期せん断弾性係数は、いずれの有効拘束圧においても珪砂の約1/100程度の値になっており、液状化を起こした状態の砂と同程度の値であり、せん断波が伝搬し難い地盤材料であることを確認している。また、提案工法による住宅の

不均一静的荷重による傾斜を有限要素法2次元平面ひずみ解析にて検証している。

第3章「タイヤチップ適用地盤の液状化防止・応答低減効果」では、第2章で確認・評価したタイヤチップの力学特性を勘案し、戸建住宅基礎地盤下の飽和砂地盤上にタイヤチップ適用した地盤改良を想定し、地震時の液状化および応答の低減効果について、せん断による地盤材料の間隙水圧の上昇に伴う有効応力の変化および材料の非線形も考慮でき、液状化過程まで扱える手法であるオンライン地震応答解析にて検討した。その結果、タイヤチップ改良層はもとより、その上層の未改良層の過剰間隙水圧の発生を防止し、応答加速度の最大値が時刻歴応答加速度で1/3に低減したことを確認した。また、英国ブリストル大学でバタチャリア博士の指導のもと、1G場振動台模型実験も実施した結果、液状化事象を防止し、液状化に伴う沈下傾斜が生じていないことを確認している。

第4章「結論」では、各章ごとに得られた知見について要約するとともに、今後の課題を示し本論文の結論としている。

公聴会における主な質問内容は、「住宅荷重に対する支持力（沈下・傾斜）問題はどうか」、「実際施工時の地盤改良イメージ図では基礎スラブ周囲に、タイヤチップにて壁も構築しているがその必要性の理由は何か」、「施工時の効果的なレイアウト（施工深度・施工厚）やタイヤチップの単価について。」、「タイヤチップの要素試験に於ける供試体の相対密度によっても体積変化は変わるのか。また施工時に於ける土のうへの詰め方」、「タイヤチップの動的変形特性としてその剛性は液状化した砂と同程度であるとの事であるが、何故オンライン応答実験では液状化した未改良地盤の方が液状化していない改良地盤より、応答加速度が大きいのか。」などであった。これらいずれに対しても、発表者からの的確な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。