

間隙水圧消散による液状化対策工法へのタイヤチップの適用に関する実験的検討

福井工業高等専門学校 正会員○吉田雅徳  
 福井工業高等専門学校 巨椋裕務  
 広島大学工学部 小関隆行  
 金沢大学工学部 正会員 宮島昌克  
 金沢大学工学部 フェロー会員 北浦 勝

1. はじめに

液状化対策工法の一つに、各種ドレーン材を地盤中に設置することにより地盤の透水性を高め、地震時に砂層内で発生する過剰間隙水圧を早期に消散させることを目的とした、いわゆる間隙水圧消散工法がある。ドレーン材としては碎石や砂利等の自然材料を用いる場合が一般的であるが、排水機能付きの合成樹脂や鋼管等の人工材料を用いる工法も提案されており、多様化する構造物や設計法に応じて様々なドレーン材の検討がなされている。

本研究は、このドレーン材として廃タイヤを破碎して作製したタイヤチップ（写真-1参照）を適用することを目的としており、タイヤチップのドレーン材としての諸特性を明らかにし、その液状化対策効果について検討を行うものである。

ここで、日本での廃タイヤのリサイクル率は2001年において約89%と高く<sup>1)</sup>、例えば土木材料への適用例としては、駐車場やテニスコートの暗渠排水材としてこのタイヤチップを活用する<sup>2)</sup>など様々なリサイクル利用がなされている。しかしながら、廃タイヤの発生量は年間1億本以上と非常に多いため、廃タイヤ蓄積量は年々増加傾向にあり、その再資源化に関する対応が急務となっているのが現状である。

2. タイヤチップの透水特性

まず、タイヤチップのドレーン材としての諸特性を明らかにするため、図-1に示す模型地盤を用いて振動実験を行った。同図の右側は珪砂7号を用いて水中落下法により作成した緩詰め飽和砂地盤であり、左側の網掛け部分がドレーン部となっている。ドレーン材としては、50mmふるいを通し19mmふるいに留まるタイヤチップ（写真-1の左側）と本実験で用いた砂に適した碎石7号の2種類を用いた。表-1に各材料の物理定数を示す。また、各ドレーン部の表面上に980Nの上載荷重を作用させた場合とドレーン部を設置しない飽和砂層だけの場合の計5ケースの実験を行った。入力波は図-2に示すように5Hzの正弦波を20波とし、80gal, 100gal, 100gal, 120gal, 100gal, 80galと最大加速度を順次変化させ、同一地盤に対し計6回の加振を行った。

過剰間隙水圧の時刻歴波形を示したものであり、加振2回目（100gal）の結果の一例である。同図よりドレーン材を設置した場合には、いずれのケースも飽和砂層部における水圧の消散時間が短縮されていることが分かるが、その最大値や継続時間に着目すると、タイヤチップの場合では碎石に匹敵する消散効果は確認できず、さらにドレーン部では加振中に動水圧が発生しその後水圧が上昇する現象が見られた。一方、上載荷重を作用させた場合では、特にタイヤチップの場合において過剰間隙水圧が大きく低減される結果となった。

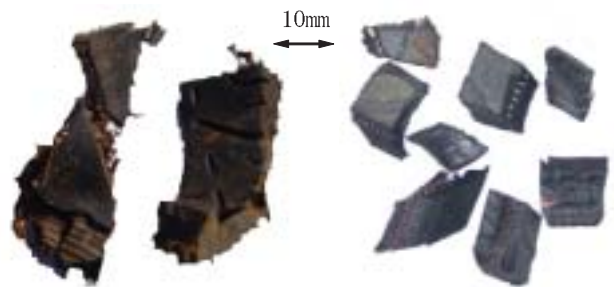


写真-1 タイヤチップ

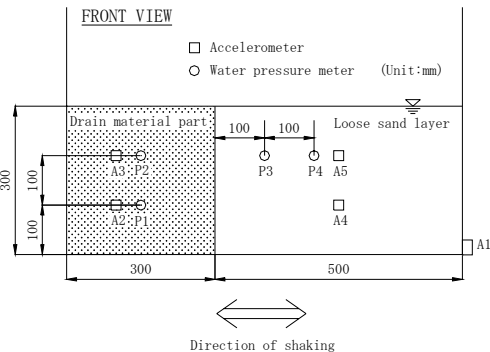


表-1 各材料の物理定数

材料	砂		ドレーン材	
	珪砂7号	碎石7号	タイヤチップ	小さいタイヤチップ
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.63	2.67	1.26	1.15
平均粒径D <sub>50</sub> (mm)	0.16	3.65	50	8.05
透水係数 (cm/s)	4.79×10 <sup>-3</sup>	1.18	3.79	2.20

図-3は飽和砂層内のP3とドレーン部内のP2の位置における

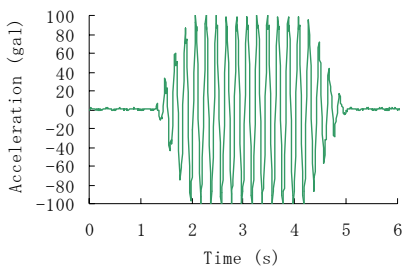
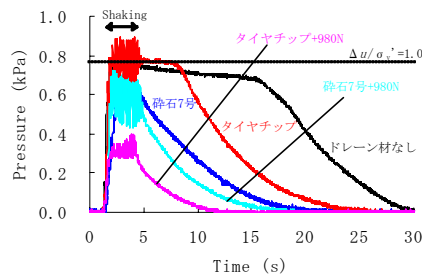
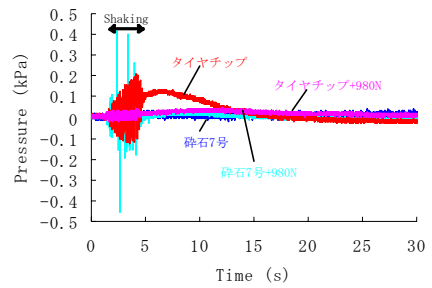


図-2 入力加速度の時刻歴波形



(a) 飽和砂層部:P3



(b) ドレーン部:P2

図-3 過剰間隙水圧の時刻歴波形

キーワード： 液状化, 対策, 振動台実験, 廃棄物, タイヤ

連絡先： 〒916-8507 福井県鯖江市下司町 Tel&Fax: (0778)62-8305 Email:masaho@fukui-nct.ac.jp

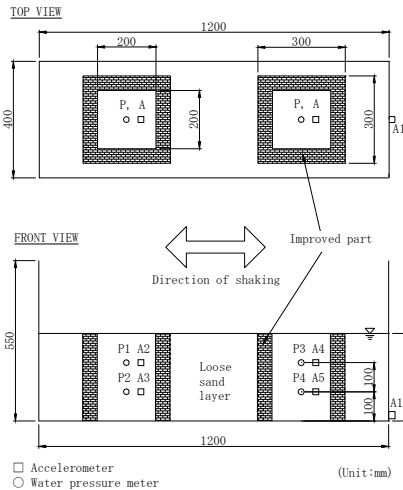


図-4 模型地盤の概要

表-2 改良体の条件

改良体の種類	ドレーン材の混合割合	
	小さいタイヤチップ(kg)	砕石7号(kg)
混合比1:3	6.0	18.0
混合比1:5	4.5	22.5
混合比1:7	3.5	24.5
砕石7号	0.0	32.0

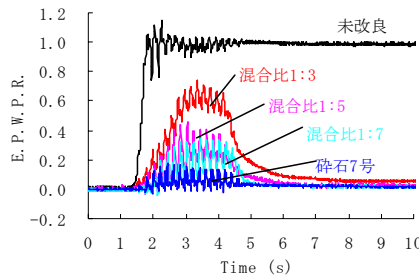


図-5 過剰間隙水圧比の時刻歴波形

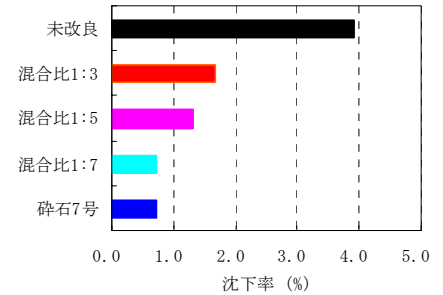


図-6 地表面沈下率

これらの現象の原因として以下のようなことが推測される。タイヤチップは砕石に比べて密度が小さく弾性があり、また粒径が大きいのでドレーン部として形成した時の間隙が大きい。したがって、大きな地震力を受けるとタイヤチップの粒子構造が不安定となり、例えば加振2回目におけるドレーン部のA2の位置での入力加速度に対する加速度応答倍率を見ると、タイヤチップは砕石と比べて10%程度大きな応答倍率を示していた。これにより、タイヤチップ層内でも過剰間隙水圧が発生し、飽和砂層で発生した過剰間隙水圧との動水勾配が相対的に小さくなり、水圧消散効果が低減したと考えられる。一方、上載荷重を作用させたケースでは、粒子結合が強固になりドレーン部での過剰間隙水圧の発生が抑制され、かつ元来有するタイヤチップの高い透水性能により飽和砂層における過剰間隙水圧の発生が抑制されたと考えられる。先の応答倍率を見ると、タイヤチップ層に上載荷重を作用させた場合には砕石と同等の値に低減されていた。なお、本実験で用いた980Nの荷重は飽和砂地盤の約60cmの土被りに相当するものであり、タイヤチップを土中に設置することによりこの問題は解消されるものと考えられる。また、上載荷重を作用させた状態での各材料の透水試験を行った結果、タイヤチップの場合には弾性体であるゴムの特性により、荷重の増加に伴い透水性能が低下する傾向が見られたものの、980N載荷時でも砕石の透水係数を上回る値を示すことを確認している。

3. タイヤチップと砕石の混合材料による対策

前述ならびに既往の実験結果<sup>3)</sup>より、粒径の大きいタイヤチップを単体で利用することには種々の問題があることが明らかとなった。そこで、タイヤチップによる液状化対策工法として砕石との混合材料を利用し、図-4の網掛け部分に示すように地盤中にロの字形の改良体を設置する工法を提案し、その有効性について実験的に検討を行った。改良体はステンレス製の網(網目間隔2mm)をロの字型に組んで中空の籠を作製し、内面には目詰まり防止用のナイロン製のネット(網目間隔276μm)を施し、その中にドレーン材を突き棒で敷き詰めて作製した。なお、本実験では前述の実験で用いたタイヤチップをさらに細かく切断し、粒径を10～16mmに調整した小さいタイヤチップ(写真-1の右側)を用いており、その他の材料は前述の実験と同様である。なお、本実験では改良体の種類をタイヤチップと砕石の重量比で定義し、表-2に示すように計4ケース設定した。入力波は前述の実験と同様であり、80gal、

100gal、120gal、140gal、160galと最大加速度を順次変化させ、同一地盤に対し計5回の加振を行った。

図-5は各ケースのP1の位置における過剰間隙水圧比の時刻歴波形を示したものであり、加振2回目(100gal)の結果の一例である。同図より、未改良の場合には過剰間隙水圧の消散が終了するまで約40秒を要したが、改良体を設置した場合には、いずれのケースも約4秒間に短縮されており、著しい消散効果が確認できた。混合材料の場合には砕石7号に比べてその効果が低減していたが、混合する砕石の割合を増加することによって、その効果が向上することが明らかとなった。

図-6は各ケースの改良体で囲まれた内側にある砂層の加振2回後の地表面沈下率を示したものである。同図より、図-5に示したように未改良地盤では完全液状化状態となり、そのため大きな地盤沈下が発生したが、改良体を設置した場合にはいずれも液状化に至っておらず、地盤沈下も大きく低減されたと考えられる。また、過剰間隙水圧比の上昇傾向と同様に、砕石7号の場合が最も沈下率が小さく、混合材料の場合では砕石の割合の増加に伴い地盤沈下も低減されることが分かった。以上より、本実験条件の範囲内では、混合比1対7の場合において砕石単体と同程度の液状化対策効果が期待できることが明らかとなった。

4. おわりに

以上より、タイヤチップを砕石と混合利用することにより、液状化対策工法としての活用の可能性を示すことができ、その混合割合を適切にすれば砕石単体と同等の効果が得られることが明らかとなった。今後はタイヤチップの大きさによる影響や対策効果の影響範囲について検討していく予定である。なお、タイヤチップは北陸リトレッド株式会社よりご提供頂いた。また、本研究は文部科学省科学研究費補助金(若手研究(B), No. 14750421)の補助を受けて実施されたものである。ここに、記して謝意を表する。

参考文献 1)ブリジストン トラックバスネット [http://www.bs-truck-bus.net/ra2002.11\\_01.html](http://www.bs-truck-bus.net/ra2002.11_01.html) 2)渡辺康二, 辻子裕二, 三村義雄, 井上隆宣, 松井尚子:地盤材としての廃タイヤの再資源化に関する実験的研究, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, 第7部, pp. 496-497, 1999. 3)吉田雅穂, 宮島昌克, 北浦 勝:タイヤチップを利用した液状化対策工法に関する基礎的実験, 第37回地盤工学研究発表会平成13年度発表講演集, pp. 2055-2056, 2002.