

# タイヤチップスドレーンによる砂地盤の液状化後変状低減

Tire-chips Drain for Mitigation of Liquefaction-induced Deformation in Sand

安原 一哉 (やすはら かずや)

茨城大学教授 工学部都市システム工学科

大塚 友樹 (おおつか ゆうき)

茨城県庁

小峯 秀雄 (こみね ひでお)

茨城大学助教授 工学部都市システム工学科

田岡 憲太 (たおか けんた)

日特建設㈱

増田 拓哉 (ますだ たくや)

茨城大学大学院理工学研究科 大学院生

村上 哲 (むらかみ さとし)

茨城大学講師 工学部都市システム工学科

## 1. はじめに

グラベルドレーン工法は、排水工法の一つで、砕石のような透水性の高い材料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の上昇を抑えて液状化を防止する工法である。ドレーン材としては砕石や砂利等の自然材料を用いる場合が一般的であるが、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、様々なドレーン材の検討がなされている<sup>1)</sup>。

一方、環境負荷低減の立場から、都市内やその周辺地域において正しい処分が求められている古タイヤを建設分野において様々な形で適用することを目指した技術開発が試みられるようになってきた<sup>2),3)</sup>。本研究では、その一環として、古タイヤを碎片化したタイヤチップス(20 mm から50 mm 程)を液状化に伴う地盤変状対策のドレーン材料として利用する方法を提案し、その妥当性を室内模型実験によって確認した。

## 2. 液状化に伴う変状低減のためのグラベルドレーン工法

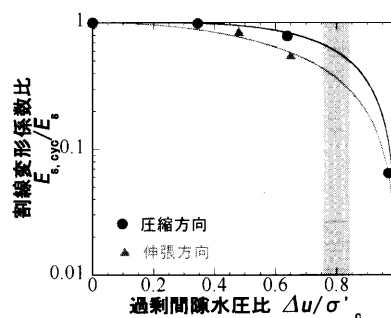
液状化工法の中で特に過剰間隙水圧低下を促進させるのに有用な工法の一つであるグラベルドレーン工法は、液状化低減とともに液状化後の側方流動低減にも効果があると予想される。そこで本研究では、この工法を砂地盤の側方流動の対応策として選択することにした。これまでの著者らの研究では、室内試験結果によって得られた剛性低下と過剰間隙水圧比の関係を用いて液状化対策としてだけでなく、側方流動対策にも応用できるようこの工法の既成の設計法を改良することに成功した<sup>4)</sup>。

その設計法の考え方は、単調荷を伴う繰返し三軸試験において観測される過剰間隙水圧比がほぼ0.8程度まで到達するまでは単調荷における剛性は顕著には低下しないという事実<sup>5)</sup>に着目し、従来のグラベルドレーンにおいて観測される間隙水圧の大きさを、側方流動を許容しうる値まで低下させることができれば経済的な側方流動低減対策のためのグラベルドレーン工法を提案する

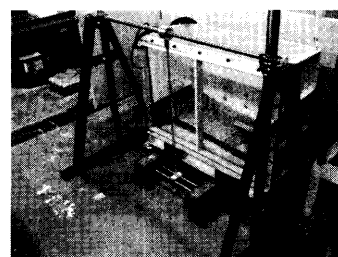
ことができる。

すなわち、従来のグラベルドレーン工法では液状化対策として行われるため、地震時に発生する許容過剰間隙水圧比は0.5未満の低い値で設定され、通常、最大許容過剰間隙水圧比  $(u/\sigma'_{v0})_{max}$  は0.25を目指して設計されている。これに対し、本研究では、前述の繰返し三軸試験より過剰間隙水圧比が0.8程度までは剛性が高い値が維持されているが、これを過ぎるあたりから急激な剛性低下を示すということが確かめられていること<sup>4)</sup>から側方流動低減の対策の設計において許容される最大許容過剰間隙水圧比として従来の規制値より大きな値、 $(u/\sigma'_{v0})_{max} \leq 0.8$ を採用し、設計することを目指した。

グラベルドレーン工法の設計で最も注目すべきことは、許容する設計過剰間隙水圧比が高ければグラベルドレーンの打設間隔を大きくすることができる点である。本研究で提案した側方流動対策としてのグラベルドレーンは、液状化対策と比べて地盤内の許容する過剰間隙水圧比としては高い値を用いる。このことから、ドレーンの打設



図一 割線変形係数比～過剰間隙水圧比関係間隔の比較



写真一 模型試験装置

## 論文

間隔は従来の液状化対策のものとは大きくなり、経済的な施工が可能になると考えられる。

## 3. タイヤチップスドレーンに関する模型実験

本研究では、地震を模擬した荷重をカケヤによる衝撃荷重で模型土槽に負荷し、瞬時に砂地盤を液状化させた<sup>5)</sup>。これまでの結果では、模型地盤の地表面または地盤下部の非液状化層が傾斜している場合、衝撃により液状化した地盤は傾斜面に沿って大きな変位を生じることが確認されている。地盤の側方流動方向とカケヤによる衝撃荷重の作用方向が直交している。そのため、実験は衝撃加速度による地盤の移動はほとんどない条件で実施されていることになる。

液状化に関する模型試験を行う場合、液状化層厚を1/3以下の厚さに設定しなければ流動が発生しないという過去の実験事例<sup>6)</sup>から、模型土槽100 cmに対し、液状化層厚を20 cmとした。模型地盤に用いた試料は豊浦砂を試作した堆積装置により水中落下法によって堆積させ、模型地盤を作製した。この堆積装置により、全ての試験で乾燥密度は平均的にほぼ一定 ( $\rho_d = 1.44 \text{ g/cm}^3$ ) で、毎回同じ条件の緩い地盤が作製可能である<sup>7)</sup>。

本研究に用いるドレーンの間隔および配置を図-2に示す。模型地盤の底面、表面ともその傾斜角度は変えることが可能であるが、本研究では地表面上部、下部とも7.5°の角度を持つ地盤とした。また、間隙水圧計の配置は出来るだけ広範囲で計測できるようにするため34ヶ所の設置孔を側板に設けている。本研究における間隙水圧計は図-3のように配置した。さらに傾斜下方端部には、側方変形を発生しやすくさせるために発泡ウレタンを緩衝材として側面に入れている。緩衝材がないと地盤が側方変位しないためである。また、グラベルドレーン工法におけるドレーン材(直径3 cm)は廃タイヤを細

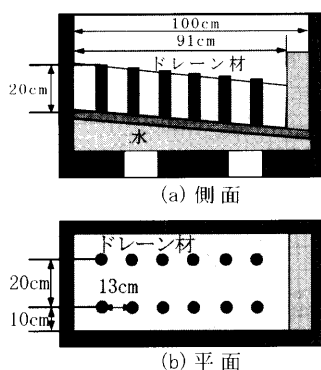


図-2 ドレーン配置図

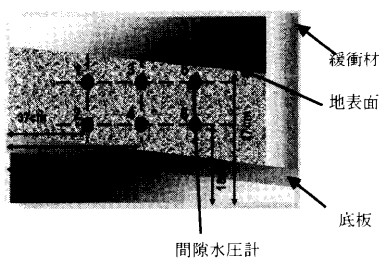


図-3 間隙水圧計配置図

かく破碎したタイヤチップ600 H (平均粒径4~5 mm)を用いた。写真-1は模型試験装置である。

## 4. 実験結果と考察

タイヤチップスドレーンの効果を確認するために、液状化対策のドレーン工法として利用されているグラベルドレーン工法との効果の比較を行った。表-1に用いたそれぞれの材料の透水係数を、図-4に、粒径加積曲線を図-4、写真-2、3に今回用いたドレーン材を示す。これによって両者を比較してみると粒度分布も透水係数もほとんど変わらないことがわかる。

## 4.1 変位量の測定とその挙動

側方よりデジタルビデオカメラにて液状化に伴う流動の様子を撮影し、その動画を用いてビデオ解析を行った。配置した着色砂は、縦3列、横5行の計15点である。ここでは地表面に配置した着色砂5点に着目し、液状化後の変位量を求めた結果を考察する。

(1) 図-5は砂地盤の地表面上部、下部とも傾斜角7.5°の砂地盤で対応策の無い場合と、対応策がある場合の側方変位の位置による変化を示したものであるが、いずれもそれぞれの側方変位は土槽中央が最も大きく変位している。また、二つのドレーン工法を施した地盤の側方変位量は無対策地盤に比べて3分の1程度に軽減されており、効果の差異はほとんど見られない。

(2) 図-6は砂地盤の地表面上部、下部とも傾斜角7.5°を有する地盤で対応策のある場合と無い場合の砂地盤の鉛直変位を比較したものであるが、土槽端におけるそれぞれの鉛直変位の絶対値はほぼ等しくなっている。しかし、対応策を施していない地盤では衝撃によるせん断応力によって傾斜模型地盤表面が水平になろうとする

表-1 ドレーン材の透水係数

グラベル(碎石7号)	タイヤチップス
1.80 cm/sec	2.29 cm/sec

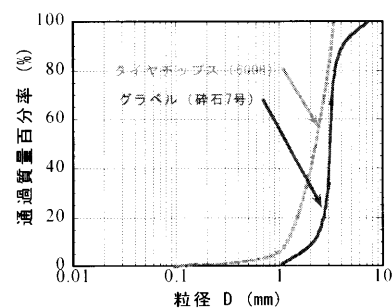


図-4 粒径加積曲線

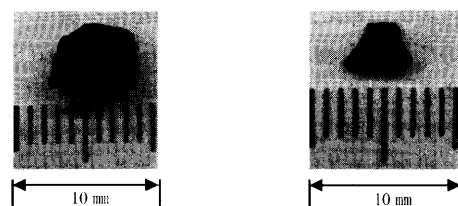


写真-2 グラベル(碎石7号) 写真-3 タイヤチップス

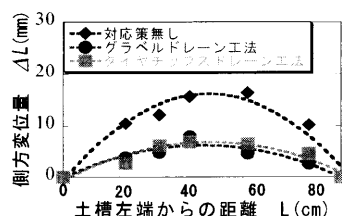


図-5 側方変位量

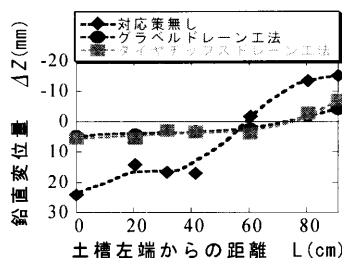


図-6 鉛直変位量

ため隆起量，沈下量ともに大きいのに対し，対応策を施した地盤では隆起量，沈下量とも極めて小さい。この傾向は，両工法とも共通している。

(3) 図-7は，側方変位，鉛直変位を合成したベクトル量の時刻歴を示したものである。それぞれを比較すると，変位量は違うもののほぼ一定の速度で変化している。また，砂の場合，変位は液状化直後（約2秒ほど）に生じた後，すぐに定常状態に至っている。また，対応策のない地盤に比べ変位量は極めて少なく，二つのドレーンを施した地盤ともほぼ同様の傾向を示している。

#### 4.2 過剰間隙水圧の挙動

地盤の側方流動には過剰間隙水圧の発生・消散が大きく関係することから，精度の高い間隙水圧の測定が必須である。本研究では，地盤地表面中央部に設置した高性能間隙水圧計による測定結果を中心に考察する。

図-8は傾斜角 $7.5^\circ$ の砂地盤の過剰間隙水圧比の時刻歴の一例を示したものである。衝撃荷重入力後，対応策の無い地盤は完全に液状化を起こしている（過剰間隙水圧比が1.0になる）が，対応策を施した地盤では，過剰間隙水圧比のピークが0.8程度に達した後はそれ以上には上昇していないことから液状化には至っていないと考えられる。また，過剰間隙水圧の消散過程を比べてみると，対応策の無い地盤に比べて対応策のある地盤の方が消散に向かう時間が極めて早いこともわかる。このように，タイヤチップスドレーン敷設砂地盤は，液状化および液状化後変状に対しても，グラベルドレーン同様に有効であることが分かる。

#### 5. まとめ

タイヤチップスドレーンを敷設した砂地盤に衝撃荷重を付加した模型実験を行った結果，以下のことが明らか

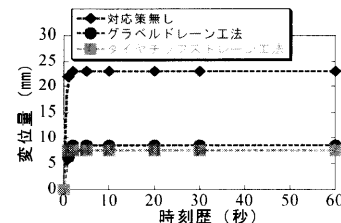


図-7 変位量の時刻歴

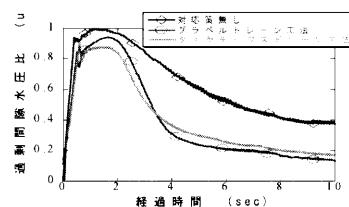


図-8 過剰間隙水圧比の時刻歴

になった。

(1) タイヤチップスドレーンは，砂地盤の液状化および液状化後の地盤変状（側方変位と鉛直変位）抑制対策に効果がある。特に鉛直変位の低減に効果的である。

(2) タイヤチップスドレーンは従来のグラベルドレーンと変わらない液状化後地盤変状の低減効果がある。

なお，都市域にこのような方法でリサイクル材料を適用する場合には，環境への影響（化学的および生物学的な安全性）の実証が今後の課題としてとりわけ重要である。

本研究を進めるに当たって，東亜建設工業技術センター及びブリヂストンタイヤ研究開発部の各位に協力いただいた。付記して謝意を表したい。

#### 参考文献

- 1) たとえば，伊藤・中島・大北・大石：締固めを伴うグラベルドレーン工法，土と基礎，Vol. 39, No. 2, pp. 41～46, 1991.
- 2) 吉田・宮島・北浦：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発表講演集，pp. 2055～2056, 2002.
- 3) 安原・岸田・御手洗・川合・カルモカル・菊池：港湾事業におけるゴムチップの活用事例，基礎工，平成16年7月号，pp. 79～83, 2004.
- 4) Yasuhara, K. Unno, T. Komine, H. Murakami S.: Gravel Drain for Mitigation of Earthquake-induced Lateral Flow of Sand, No. 146 (CD-ROM), 13th WCEE, 2004.
- 5) 安原・海野・村上・小峯：飽和砂の繰返し履歴後圧縮・伸張非排水せん断挙動に及ぼす初期せん断の影響，土木学会論文集，No. 785/III-70, pp. 51～69, 2005.
- 6) 豊田浩史：液状化地盤の側方流動模型実験と動的予測法の開発，東京大学学位請求論文，1995.
- 7) 大塚・田岡・安原・小峯・村上：1g室内模型実験のための傾斜非塑性シルト地盤の作製法とその液状化特性，日本地震工学会・大会-2004梗概集，pp. 224～225, 2005.

(原稿受理 2005.5.10)