

## 地盤の不飽和化による液状化対策工法に関する大型土槽実験

JR 西日本 正会員 ○坂本 寛章, 近藤 政弘  
(公財)鉄道総研 正会員 仲山 貴司, 澤田 亮

## 1. はじめに

筆者らは、開削トンネル施工時に実施されるディープウェル工法等による揚水により、周辺地盤が不飽和化しその状態を維持することによる液状化対策を検討している<sup>1)</sup>。このような対策工に関して、模型地盤を作製し揚水・復水による飽和度変化やその領域が把握されている<sup>2)</sup>。一方、揚水・復水による対策工の効果を実地盤レベルで正確に評価するためには、一定程度の深さ方向の水位変化に伴う飽和度変化を確認する必要がある。そこで本稿では、一定の深さを有する砂地盤を用いた揚水・復水試験を行い、飽和度やP波速度の変化について考察したので、報告する。



図-1 実験装置の概要

## 2. 実験の概要

大型土槽として高さ4mの円柱の鋼管(φ30cm)内に地盤を構築する。図-1に試験装置の概要を示す。模型地盤の諸元は、相対密度 $D_r=60\%$ とし、1層200mm毎に突固めにより作製する。地盤は自然砂である掛津鉾山表土を使用する。掛津鉾山表土の最大密度 $\rho_{dmax}=1.483\text{g/cm}^3$ 、最小密度 $\rho_{dmin}=1.156\text{g/cm}^3$ 、細粒分含有率は25.1%である。図-2に土槽内の計測機器設置状況を示す。GL-3.4mまでの範囲に、土壤水分計、ベンダーエレメントを配置した。ベンダーエレメントはP波速度を測定するための装置であり、一对のベンダーエレメントの一方を発信側、もう一方を受信側としてこの間に弾性波を伝播させる。また、同様の鋼管を用いた水槽をパイプを用いて下部で接続し、水槽の水位を上下させることで土槽内水位を制御する。実験ではGL以下約4mの範囲において、図-3に示す行程で地盤内の水位を変化させた。水位低下・上昇速度は1m/日とした。最初に土槽・水槽を真空状態とし脱気水により地盤を飽和させた。前半で水位を2m低下・復水させ、後半では水位を4m低下・復水させるサイクルとし、復水後6ヶ月程度放置した。

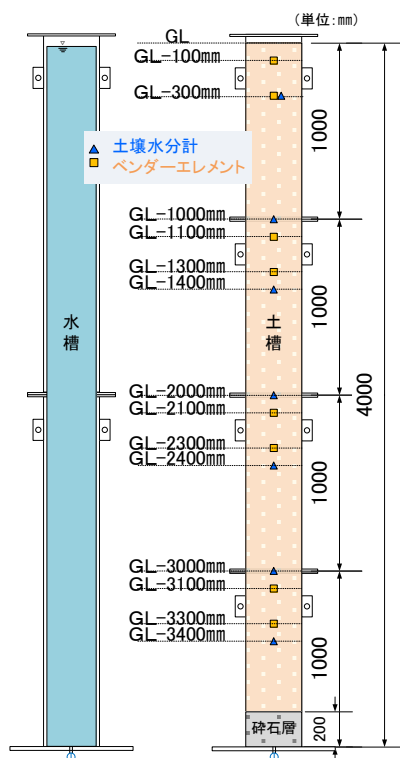


図-2 土槽内の計測機器

## 3. 実験結果および考察

図-4に、各計測深度(GL-0.3m, -1.4m, -2.4m, -3.4m)の飽和度変化の時刻歴を示す。また、図-5に、各段階における飽和度およびP波速度の深度分布を示す。図中の①～⑧は図-3で示した各段階の番号に対応している。飽和度の变化に関しては、①～④の過程において、

復水後もGL-2m以浅の上部は不飽和状態となり飽和度が90%程度まで下がった。また、④～⑥の過程においては、飽和状態を維持していたGL-2m以深の範囲においても不飽和状態となった。復水後約200日放置した⑥～⑧の過程においては、地盤内の飽和度はばら

キーワード 液状化, 飽和度, P波速度, 保水性試験

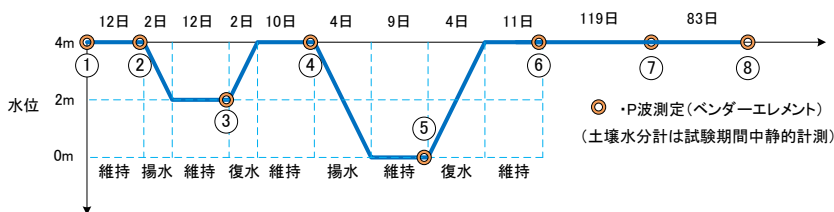


図-3 揚水・復水行程

つきがあるものの、最上部（G.L-300mm）の測点を除けば不飽和状態が維持されている。一方、P波速度は不飽和状態において、200m/s 前後の低い値が得られたことから、完全飽和状態でなければP波速度は大きく低下することがわかる。

#### 4. 残留飽和度の推定

同地盤条件の保水性試験結果から、再飽和後の残留飽和度の推定するため、式（1）の Land の式の適用性を検証した。

$$S_r^* = \frac{1 - S_j}{1 + R(1 - S_j)} \quad R = \frac{1}{S_{r\max}^*} - 1 \cdots (1)$$

ここに、 $S_r^*$ ：残存飽和度、 $S_{r\max}^*$ ：最大残存飽和度、 $S_j$ ：排水・吸水中の最小飽和度、 $R$ ：係数

同式は、保水性試験結果において求まる最大残存飽和度  $S_{r\max}^*$  を用いて、ある飽和度  $S_j$  まで一度不飽和化して再飽和した場合の残存飽和度  $S_r^*$  を求めるものである（図-6）。

実験と同一の地盤条件の保水性試験から得られた水分特性曲線を図-7 に示す。この結果から、最大残存飽和度を  $S_{r\max}^*$  は 13.4% であり、これより式（1）で係数  $R$  を求めると  $R=1/0.134-1=6.46$  となる。一方、実験中の最小飽和度  $S_j$  は 48% 程度であり、式（1）から残存飽和度  $S_r^*=(1-0.48)/(1+6.46 \times (1-0.48))=0.119$  となり、実験中の残留飽和度 90% 程度と概ね一致することがわかる。

#### 5. まとめ

模型地盤で地下水位低下・復水試験を実施した結果、復水後地盤は不飽和化し P 波速度が大きく低下することが確認できた。また、復水後一定期間における不飽和状態の持続性も確認できた。また、Land の式を用いた残存飽和度  $S_r^*$  を推定した結果は実験結果と一致することが確認できた。今後はこれらの結果を踏まえ、現場適用するための検討方法を体系化していく予定である。

**参考文献** 1)澤田, 仲山, 藤原, 水野, 近藤, 坂本:トンネル工事に伴う地下水位低下による飽和度変化を考慮した液状化対策に関する研究, 第 36 回地震工学研究発表会, 2016. 2)山根, 吉田, 藤原:不飽和化による液状化地盤対策工法の基礎実験, 土木学会第 71 回年次学術講演会, III-226, pp.451-452, 2016.

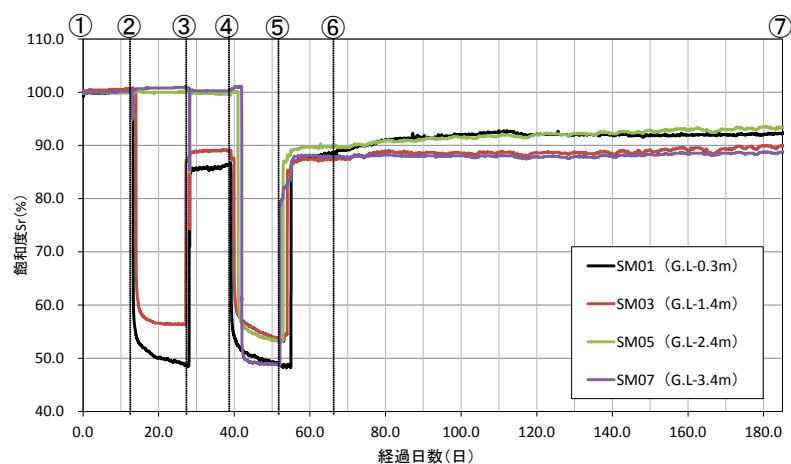
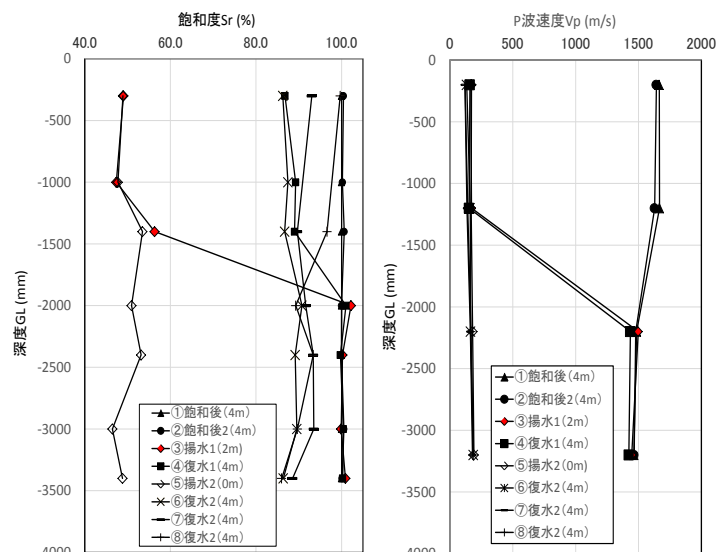


図-4 飽和度の変化



(a) 飽和度 (b) P波速度

図-5 飽和度および P 波速度

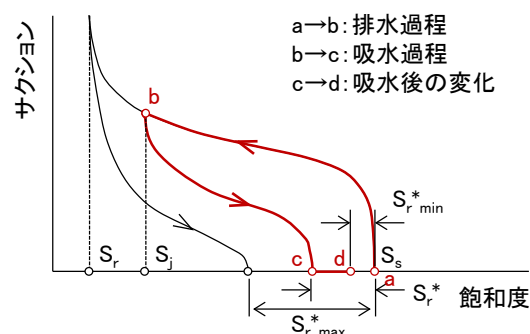


図-6 水分特性曲線の概念図

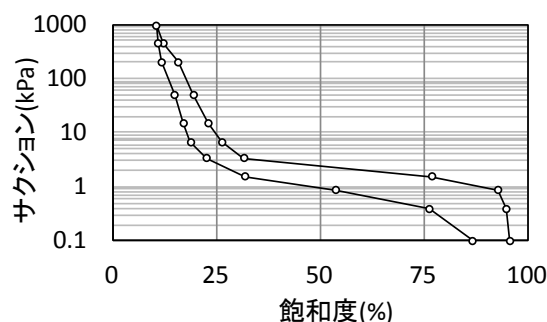


図-7 保水性試験結果