

不飽和化工法における現位置地盤の飽和度モニタリングについて

首都高速道路
茨城大学大学院
エーバイシー
エーバイシー

正会員
正会員
フェロー会員
正会員

○太田信之介
小林 薫
本多顕治郎
宮崎 航

1. はじめに

近年、液状化対策として新たな不飽和化工法が環境面や経済性等から注目されている^{1),2)}。不飽和化工法は、地盤への空気注入やマイクロバブル水等による地下水置換で地盤の飽和度 S_r を低下させることで液状化の発生を抑制する工法である。吉見らは、豊浦砂を用いて飽和度 S_r が 100 % (飽和) から 80 %, 70 %まで低下すると液状化強度比は 2 倍, 3 倍程度にまで増加することを明らかにした³⁾。不飽和化工法は、液状化対策として有効であるが、液状化強度比は飽和度 S_r と密接な関係があり、液状化強度比の推定の際に飽和度 S_r の測定誤差が大きな影響を及ぼすことから、現地盤の飽和度 S_r を長期間に渡り精度良く把握し、維持管理することが極めて重要となる。現状では、現地盤の飽和度 S_r を直接把握することは極めて困難であるため、土壌水分計で体積含水率 θ を測定し、含水比 w , 乾燥密度 ρ_d 等を基にして飽和度 S_r を間接的に評価している。地盤の体積含水率 θ に関する測定法の研究は、農学分野で積極的に進められている^{4),5)}。農学分野では、地表面近傍で低飽和度領域 ($S_r<50\%$) が主な対象である。しかし、現地盤における地表面下十数 m までの、高飽和度領域かつ比較的高圧力下における体系的な研究はほとんどない。太田らは、ADR 土壌水分計⁶⁾を用いた室内実験を基に、体積含水率 θ の測定精度は高飽和度領域 ($S_r>70\sim80\%$) で 3 %以内であること⁹⁾、比較的高圧力下での長期的安定性についても明らかにしている⁷⁾。

以上より、本稿では ADR 土壌水分計を現位置のボーリング孔底を想定した塩ビ管を用いた室内実験により、試作した ADR 土壌水分計の孔底設置治具の適用性と設置後の体積含水率 θ の経時的な測定結果について述べる。

2. 設置治具を使用した ADR 土壌水分計の実大設置実験

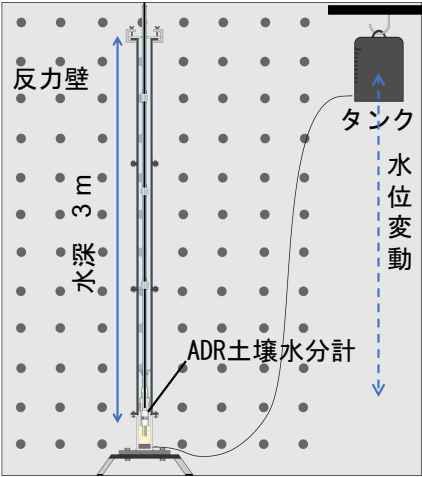
2.1 実験概要とその手順

ADR 土壌水分計の設置治具の適用性を検証するために、現地におけるボーリング孔を模した 3 m の円筒装置 (直径 7.5 cm, 長さ 1 m の塩ビ管×3 本) を用いて ADR 土壌水分計の実大設置実験を実施した。

図—1 に設置実験の概略図を示す。透明アクリル円筒 (直径 7.5 cm, 高さ 30 cm) に、高さ 5 cm になるように礫を敷き詰め、ろ紙と金網を挟み、その上に珪砂 6 号を高さ 15cm, 相対密度 50 %になるように水中落下で供試体を作製した。その後、透明アクリル円筒と塩ビ管 (全 3 本) を連結し、タンクと供試体下部をシリコンチューブで繋ぎ、タンクの高さを段階的に上昇させることで、徐々に円筒装置内の水位を上げ、供試体の水深が 3 m になるように調整した。その際、地盤の飽和透水係数を目安にした上で、供試体の状態を目視で確認しながら、徐々に水位を上昇させた。高さ約 3 m の円筒は反力壁に固定させた。開口部 (上部) から設置治具を取り付けた ADR 土壌水分計を下降させ、水深 3 m の供試体内に設置した。下降過程では、設置治具の継ぎ手に直径 7 cm 程度 (円筒と同程度の径) のプレートを取り付けることで、ADR 土壌水分計やケーブルの揺れを抑えた。供試体への設置状況は透明アクリル円筒側面から目視で確認し、ADR 土壌水分計の測定値が定常になることを確認した。自由排水による水位低下後、スポイトを用いて供試体内の間隙水を排水させ、供試体の体積含水率を低

表—1 珪砂 6 号の物理的性質

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.689
最大間隙比 e_{max}		1.043
最小間隙比 e_{min}		0.629
粒 度	最大粒径 D_{max} (mm)	0.85
	均等係数 U_c	1.64
	曲率係数 U'_c	1.01
	50%粒径 D_{50} (mm)	0.182



図—1 土壌水分計の孔底設置実験の概略図

キーワード 執筆要領, 書式, PDF ファイル, 電子投稿, 年次学術講演会

連絡先 〒160-0004 東京都新宿区四谷 1 丁目 (外濠公園内) (公社) 土木学会 全国大会係 TEL 03-3355-3442

下させた。上記の排水過程と水位を回復させる給水過程を計 3 回繰り返し、その体積含水率の変化を ADR 土壤水分計で測定した。

2.2 実験結果

図—2 に設置後の ADR 土壤水分計の計測結果を示す。初期体積含水率 $\theta_i = 0.525 \text{ m}^3/\text{m}^3$ は、開口部から入れた ADR 土壤水分計が水中に吊られながら供試体の深さまで下ろしていく過程の測定値である。この測定値を見ると、供試体まで下ろす過程において、衝撃等による異常値は確認できないことから、設置治具が適切に機能していることがわかる。供試体内に設置完了後は、体積含水率 $\theta = 0.435 \text{ m}^3/\text{m}^3$ で一定となった。その後、3 m の水位を徐々に低下させたが、ADR 土壤水分計の測定値は変動が小さかった。また、繰返し排水過程・給水過程における体積含水率の変動を計測できていることがわかる。3 回の排水・給水過程における測定値の拡大図については図—3 に示す。

2.3 実大設置実験における測定値の再現性検証

図—3 に実大設置実験の再現性検証結果を示す。実大設置実験の繰返し排水・給水過程における ADR 土壤水分計の測定値の変動の再現性を検証することで、実大設置実験において ADR 土壤水分計が適切に設置できていたか明らかにする。

透明アクリル円筒を利用して、再現性検証実験を実施した。供試体は実大設置実験時と同様に作製した。排水過程では -10 kPa の負圧を与えて排水させ、水位回復過程は 50 cm の水頭差で水位を上昇させた。本実験の測定値の変動と実大設置実験時の測定値の変動を比較すると、出力値はほぼ同様の変動を示していることがわかった。ただし、図—3 において再現性検証実験の排水過程の方が、より体積含水率が低下している原因は、再現性検証実験時において排水時に供試体に与えた負圧が大きいことが考えられる。しかし、給水後の体積含水率はどちらも同程度の値を示した。以上より、現地を想定したボーリング孔底に概ね適切に ADR 土壤水分計を設置できた。

3. まとめ

大型室内実験を含めた各種実験結果を基に、以下の知見が得られた。

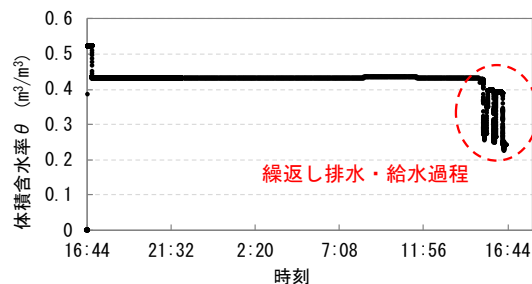
- ① 開発した設置治具を装着することで、ADR 土壤水分計をボーリング孔底に適切に設置できる。
- ② 繰返し変動する体積含水率も ADR 土壤水分計を用いることで適切に評価できる。

以上により、不飽和化工法の飽和度管理法として、ADR 土壤水分計と設置治具を活用して、ボーリング孔底へ適切に埋設し、現位置地盤の飽和度を高精度に測定することを提案する。土壤水分計で適切に体積含水率を測定できれば、不飽和化工法の維持管理が容易になり、社会実装の弾みとなる。

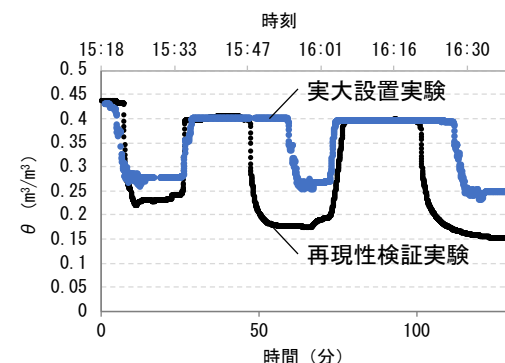
謝辞：本研究における室内実験においては、(有) TNS の田口勝夫氏、染谷 昇氏に多大なるご支援を戴いた。ここに、紙面を借りて感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 地盤工学会：アカデミーロードマップと発展史・人物史<https://www.jiban.or.jp/images/file/AR_PDF/7-1AR.pdf> (2019 年 3 月 11 日閲覧)
- 2) 岡村未対, 武林昌哉, 西田克司, 藤井直, 神宮司元治, 今里武彦, 安原英明, 中川恵美子：空気注入による地盤不飽和化の現場実験とそのモニタリング, 土木学会, Vol.65 No.3, pp.756-766, 2009.
- 3) Yoshimi.Y, Tanaka.K: Liquefaction Resistance of a Partially Saturated Sand, *Soil and Foundations*, Vol.29, No.3, pp.157-162, 1989.
- 4) 井本博美, 西村拓, 宮崎毅：EC-5 センサーのキャリブレーションとその適用, 土壌の物理性, pp.27-31, 2010.
- 5) 井上光弘：ユーザーから見た市販マルチセンサー（水分—塩分—温度）の評価, 土壌の物理性, pp.31-39, 2016.
- 6) 太田信之介, 小林薫, 本多顕治郎, 宮崎航：高飽和度領域における ThetaProbe を用いた体積含水率の測定精度, 第 52 回地盤工学会, pp.751-752, 2017.
- 7) 網干寿夫, 佐々木康：脱気水の圧縮性について, 地盤工学会, 土と基礎 14, pp.39-42, 1966.
- 7) 鈴木海里, 太田信之介・・・・, 2019 年度春季地下水学会要旨 (投稿中)



図—2 設置後の ADR 土壤水分計の計測結果



図—3 実大設置実験の再現性検証結果