

空気注入不飽和化工法の開発 その5：事後調査結果

東亜建設工業（株） 正会員 ○浅田 英幸，
オリエンタル白石（株） 正会員 藤井 直，
国土交通省四国地方整備局 正会員 岡田 克寛，
(株) 不動テトラ
(株) ダイヤコンサルタント 正会員 山浦 昌之
愛媛大学 正会員 岡村 未対
(株) 東京ソイルリサーチ 正会員 吉田 正

1. はじめに

空気注入不飽和化工法(Air-des 工法)の液状化対策としての適用性を確認することを目的に、徳島県鳴門市撫養港海岸において現地実証実験をおこなった。全体の実験概要、注入孔間隔を設定するための事前注入試験、気液二相流解析シミュレーション、複数同時注入実験および斜め注入実験の結果については、一連の関連報文の中で述べられている。本稿では、空気の地中残留状態と地盤改良効果を確認することを目的に、空気注入から一定期間経過後に実施した事後調査結果について報告する。

2. 事後調査の内容

事後調査は、複数同時注入をおこなった B エリアを対象に実施した。事後調査の項目を表-1 に、調査位置を図-1 にまとめる。この内、空気残留状態の確認を目的とする飽和度測定は、不飽和化対象深度(GL-6.0～-14.5m)を含む領域範囲の試料を採取する凍結サンプリング、およびトリプルチューブサンプラーを 0.5m カットして用いたサンプリング(以下、短尺サンプリング)により行った。また速度検層は、空気注入後にボーリング削孔して孔壁保護用の塩ビ管を設置し、ダウンホール法により弾性波速度を計測した。

3. 短尺サンプリングの概要

地盤の飽和度測定には、土壌水分計などを用いた原位置測定手法や、サンプリング試料を用いた室内試験がある。ただし通常のチューブサンプリングでは、試料を地上に引き上げる際に脱水が生じるため、凍結サンプリングなどの方法以外で比較的精度良く測定することは困難とされている。しかしながら、試料採取から飽和度計測までの一連作業を、脱水を防止しながら行うことができれば、安価で高い精度のもとに飽和度測定を行うことができるともいえる。今回、試料を保水用具で密封した状態で孔内から引上げ、予めボーリングマシン横に設置した大型水槽内でサンプラー解体、試料成形を行う手法を考案した(図-2)。これにより、試料自体は気中に晒されることなく、水中状態が常に保持されることになる。加えて、通

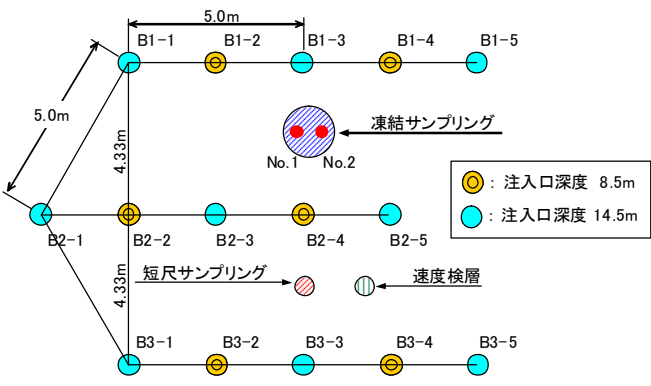


図-1 調査位置平面図

表-1 事後調査の項目一覧

実施内容	測定項目	数量	注入後経過日数
飽和度測定 (凍結サンプリング)	供試体の飽和度	2孔(14深度)	約40日
飽和度測定 (短尺サンプリング)		1孔(13深度)	約40日
速度検層 (ダウンホール法)	弾性波(V_p , V_s)	1孔(20m)	約35日

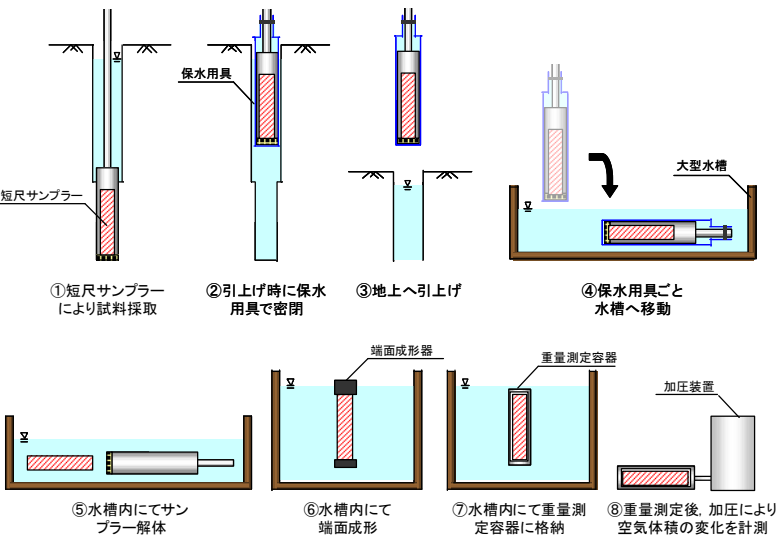


図-2 短尺サンプリングの作業フロー

キーワード 空気注入不飽和化工法, 飽和度, 凍結サンプリング, 速度検層
連絡先 〒163-1031 東京都新宿区西新宿 3-7-1 東亜建設工業（株）エンジニアリング事業部 TEL 03-6757-3861

常 1.6m 以上あるトリプルチューブサンプラーを 0.5m カットし、1.1m 程度として用いることで、一連の作業性を向上させている。成形した試料は寸法測定後、重量測定容器に格納して重量を求めた。重量測定容器を加圧装置に接続後、10kPa 程度で加圧しながら試料内に流入する水の量を測定し、空気を体積を求めて飽和度を算出した。なお飽和度算出の際には、試料採取深度に応じた静水圧下の状態に補正を行っている。

4. 飽和度および速度検層の測定結果

凍結試料および短尺サンプリング試料を用いて測定した飽和度 S_r の深度分布を図-3 に示す。凍結試料では、ややばらつきがあるものの、2 孔とも GL-6.0~13.0m 付近までは S_r の低下が明瞭に確認できる一方で、GL-13.0m 以深は有意な低下傾向が見られない。この傾向は、サンプリング地点と下部注入口 (GL-14.5m) からほぼ等しい平面距離にある B2-4 孔において、空気注入中に測定した同深度の比抵抗値に変化が生じなかった結果と整合しており、注入口からの空気の到達が不十分であった可能性も考えられる¹⁾。なお、不飽和化対象深度の平均飽和度は $S_r = 94\%$ であった。同図には TOUGH2 による気液二相流解析から得られた注入完了時 (8 時間注入) の飽和度分布も併せて示す。解析結果と実測値との比較から、注入中に $S_r \leq 90\%$ まで飽和度低下が生じたと推定される範囲では、注入後 40 日を経過した残留状態でも概ね $S_r \leq 95\%$ を確保していると考えられる。

一方、短尺サンプリングから得られる飽和度 S_r は、不飽和化対象深度の大部分で $S_r < 100\%$ の傾向を示しており、空気注入による不飽和化の傾向が現われている。しかしながら、凍結サンプリング結果と比較すると S_r は過大に評価されている。当サンプリング時のボーリング削孔において、孔内から気泡の湧出が多数確認されており、この現象が S_r の過大評価に少なからず影響しているものと想定される。これは、気泡が湧出し易い礫混じり砂層の GL-9.0~11.0m の一部で、 S_r が 100% に近い結果となっていることから理解できるが、同層のような礫混じり土を対象とした場合は、チューブサンプラーの適用自体に問題がある可能性もある。

また、速度検層 (V_p , V_s) の結果を図-4 に示す。空気注入範囲では S 波に変化が見られない一方で、注入後の P 波は、 $V_p = 500\text{m/s}$ 程度以下の値を示しており、既往の知見²⁾と同様に明確な減少傾向が確認された。

5. まとめ

今回の事後調査結果に基づき、以下の考察が与えられる。

- ① 飽和度測定値と気液二相流解析結果との比較から、空気注入時に $S_r \leq 90\%$ まで脱水した不飽和化領域では、残留状態で液状化防止に有効とされる概ね $S_r \leq 95\%$ を確保できる³⁾。
- ② 短尺サンプリングによる試料を用いれば、空気注入による不飽和化の傾向を概ね把握することができる。ただし、削孔時の気泡湧出の影響を受け、飽和度を過大評価する傾向がある。
- ③ 速度検層は、空気注入により不飽和化された領域を定性的に評価できる比較的簡易な測定ツールになり得る。

参考文献: 1) 新川直利, 三枝弘幸, 藤井直, 山田直之, 岡田克寛, 岡村未対, 空気注入不飽和化工法の開発 その 4 空気注入とそのモニタリング, 第 67 回土木学会年次学術講演会, 2012(投稿中)。2) 例えば, 畑中宗憲, 増田剛美: 砂地盤の飽和度と P 波速度及び液状化強度との関係についての一考察, 日本建築学会論文集, Vol.75, No.650, pp.817-823, 2010。3) 田村直登, 萬行淳, 岡村未対: 保水性試験の吸水過程における吸水速度が残留飽和度に及ぼす影響: 第 17 回技術研究発表会, 土木学会四国支部, 2011。

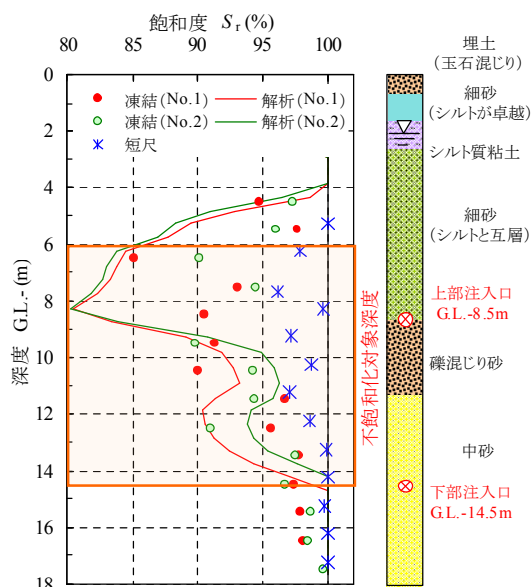


図-3 飽和度の深度分布

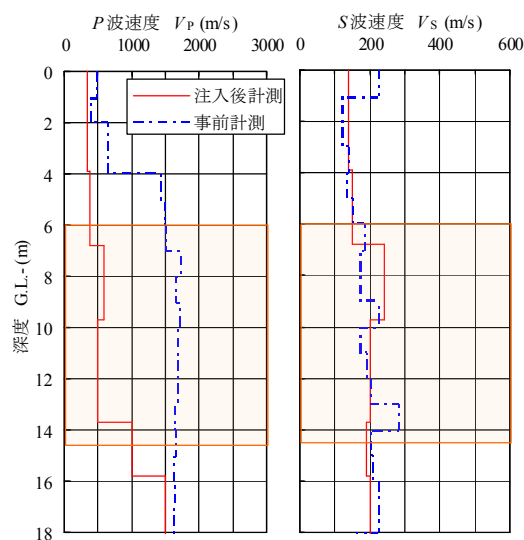


図-4 速度検層結果