

# 空気注入不飽和化工法の開発 その7：千葉県袖ヶ浦市での現場実験（品質確認）

東亜建設工業(株) 正会員 ○三枝 弘幸 (株)不動テトラ 三好 朗弘  
 オリエンタル白石(株) 藤井 直 (株)ダイヤコンサルタント 山田 直之  
 四国地方整備局 正会員 岡田 克寛 愛媛大学大学院 正会員 岡村 未対

## 1. はじめに

千葉県袖ヶ浦市にて、地盤内に空気を注入するだけで液状化抵抗を増大させる空気注入不飽和化工法の開発を目的とした現場実験を実施した<sup>1)</sup>。当工法は、多くの原理のもとにすでに実用化されている既存工法に比べ、安価で、環境負荷も小さく、既設構造物の直下地盤をも対象にできる工法になり得るとして期待されている<sup>2)</sup>。本報では当実験のうち、比抵抗変化率を用いたモニタリング技術の検討、注入後に各種調査方法によって実施した品質確認結果を報告するものである。

## 2. 比抵抗変化率による注入空気のモニタリング

地盤の電気抵抗は、含まれる粘土鉱物の種類やその含有量、地盤の水分量など多くの要因に支配されている<sup>3)</sup>。当工法のように比較的短時間で土粒子構造を乱すことなく空気の注入を行えば、これら要因のうち飽和度のみが支配要因になると予想される。そこで本開発では、注入した空気の拡がりを、以下(1)式に示す比抵抗変化率 $\Delta\rho_t$ にてモニタリングすることとした。なお当式で、 $\rho_t$ は注入中の地盤の比抵抗値、 $\rho_{t0}$ は注入直前の地盤の比抵抗値(初期値)を示している。

$$\Delta\rho_t = \{(\rho_t - \rho_{t0}) / \rho_{t0}\} \times 100 \quad \text{— (1) 式}$$

比抵抗の測定概念を図-1に示す。当手法は隣接する上下電極の1つを電流電極、もう1つを電位電極とした二極法電極配置であり、ボーリング孔を利用した電気検層の代表的な手法である。しかしながら、比抵抗電極を装備したゾンデを挿入していく一般的な手法とは異なり、予めケーブル加工した比抵抗電極を地中に埋設して測定を行うことで、測定時間の短縮が図れるところに特徴がある。

空気注入前の地盤において、初期値取得から3～5時間経過後に測定した比抵抗変化率の深度分布を図-2(a)に、空気注入中の比抵抗変化率の深度分布を図-2(b)にそれぞれ示す。なお空気注入中の

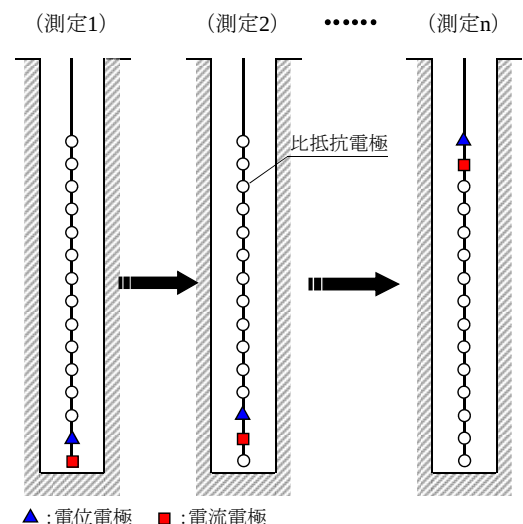
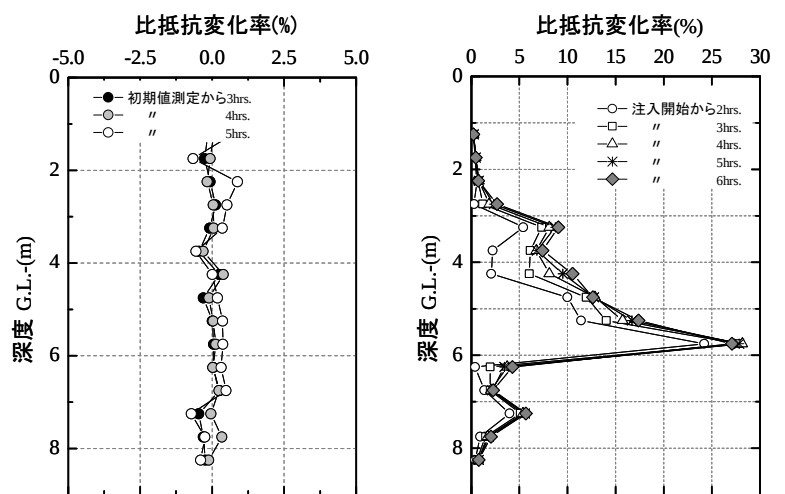


図-1 比抵抗測定概念



(a) 空気注入前

(b) 空気注入中

図-2 比抵抗変化率の深度分布

キーワード：液状化、不飽和土、空気注入、凍結サンプリング、P波速度

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1丁目3 東亜建設工業 技術研究開発センター TEL045-503-3741

が一様に低下するのであれば、比抵抗値から飽和度を算定することも可能である。しかしながら、電極を設置したボーリング孔はセメントベントナイトなどの充填材にて埋め戻しており、周辺地盤と構造が異なっているために、一様と評価することは困難である。したがって、比抵抗値から飽和度の算出を行うことはせず、不飽和化された領域の把握のみに比抵抗測定結果を用いている。

### 3. 品質調査結果

#### (1) 残留空気の見視確認

空気注入1ヵ月後に地盤をボーリングにて削孔し、その際に孔内から湧出する気泡を観察した。空気注入孔 1.5m 地点での G.L.-4.5~5.0m, G.L.-5.5~6.0m の観察結果を写真-1 に示す。空気注入から1ヶ月経過した時点でも地盤内には多くの気泡が残留しており、空気注入によって地盤が確実に不飽和化されていることが確認された。

#### (2) 凍結サンプリングによる飽和度確認

空気注入4ヶ月後に凍結サンプリングを実施した。試料は、注入孔から 1.5m 位置の 2 箇所 (Area-1, 2) にて、G.L.-3.5~8.5m 区間で採取した。試料を用いた室内試験結果を図-3 に示す。注入対象深度である G.L.-3.3~6.5m では、高い細粒分含有率  $F_c$  を示す G.L.-5.0m 以浅の一部で飽和度  $S_r$  の低下が小さいが、それ以外では概ね 95%以下を示しており、改良対象外の G.L.-6.5m 以深と明瞭な違いが見られる。これは、当工法での空気注入によって、長期に亘り安定した品質が保持できることを示めす結果である。

#### (3) P 波検層による不飽和化の評価

注入後1ヶ月後に実施した P 波検層 (ダウンホール) の結果  $v_p$  と、凍結サンプリングにより得られた  $S_r$  の関係を、既往の結果<sup>4)~7)</sup>と併せて図-4 に示す。全ての条件で飽和時の  $v_p$  は 1500m/s 程度を示しているが、 $S_r$  がわずかに 2%程度低下するだけで  $v_p$  は著しく低下する傾向にある。また、 $S_r$  の低下によって収束する  $v_p$  は、有効上載圧力  $\sigma'_v$  や相対密度  $D_r$  により異なっている。しかしながら、液状化を防止するために必要となる飽和度  $S_r$  が、全ケースで比較的ユニークな傾向を示している 97~100%程度までの範囲内であれば、P 波検層が不飽和化の品質評価に適用できる可能性も示唆される。

### 4. おわりに：千葉県袖ヶ浦市での現場実験を通じ、空気注入不飽和化工法の開発に寄与する以下の結論を得た。

- 1) 空気注入中に比抵抗測定を行うことで、注入空気の流れをモニタリングすることができる。
- 2) 空気注入後の目視観察や凍結サンプリング結果から、当工法にて地盤を確実に不飽和化できる。
- 3) P波検層により、空気注入にて飽和度が低下していることを把握できる。

【参考文献】【参考文献】1) 太田正規, 磯谷修二, 大内正敏, 高野仁, 岡田克寛, 岡村未対: 空気注入不飽和化工法の開発 その6: 現地実験 (千葉県袖ヶ浦市) の概要, 第67回土木学会年次学術講演会, 2012(投稿中)。2) 岡村未対: 空気注入による液状化対策の実用化に向けて, 基礎工, 2008, pp.54-62, 1942。4) 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。5) 黄永男, 土谷尚, 石原研而: P 波速度を用いた不飽和砂の液状化抵抗の評価, 液状化メカニズム・予測法と設計に関するシンポジウム論文集, pp.431-434, 1999。6) 鎌田邦夫, 大山敦郎, 黄永男, 石原研而, 塚本良道: P 波速度を用いる不飽和砂の液状化抵抗の評価, 土木学会第55回年次学術講演会, III-A90, 2000。7) Yoshimichi Tsukamoto, Kenji Ishihara, Hiroshi Nakazawa, Kunio Kamada, and Yongna Huang: Resistance of partly saturated sand to liquefaction with reference to longitudinal and shear wave velocities, Soil and Foundations, Vol.42, No. 3, pp.93-104, 2002。

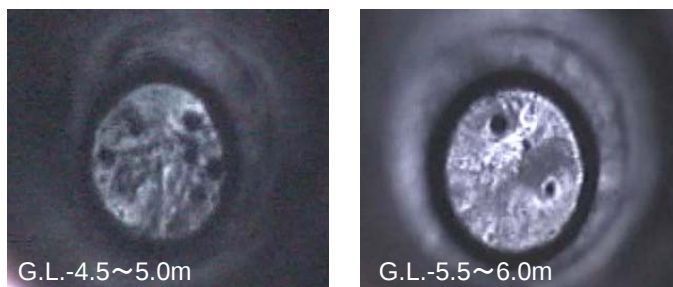


写真-1 ボーリング削孔時の孔内での気泡観察結果

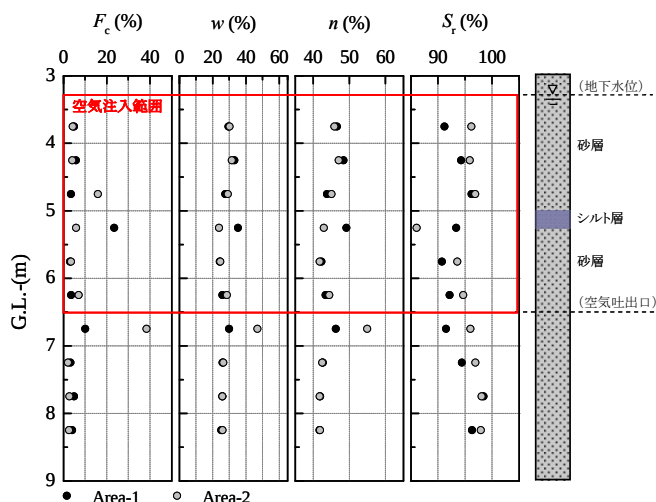


図-3 凍結サンプリング試料の飽和度深度分布

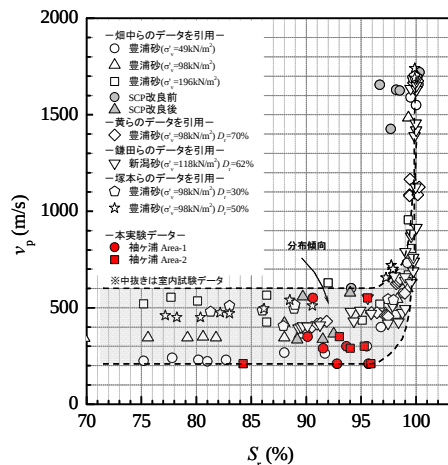


図-4  $v_p$ - $S_r$ 関係