

## P 波速度検層による不飽和状態の持続性確認

(株)ダイヤコンサルタント 山田 直之 東亜建設工業(株) 正会員 御手洗義夫  
 オリエンタル白石(株) 正会員 大石 雅彦 (株)不動テトラ 正会員 〇深田 久  
 四国地方整備局 正会員 小泉 勝彦 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 (Air-des 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>。本報告では、P 波速度検層から空気注入による飽和度の長期間の変化について調査した結果を述べる。

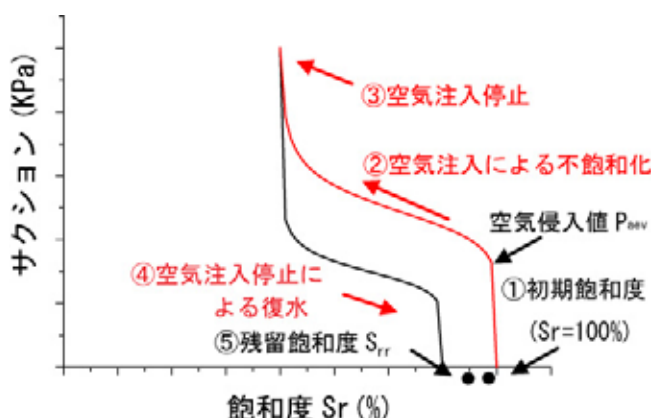
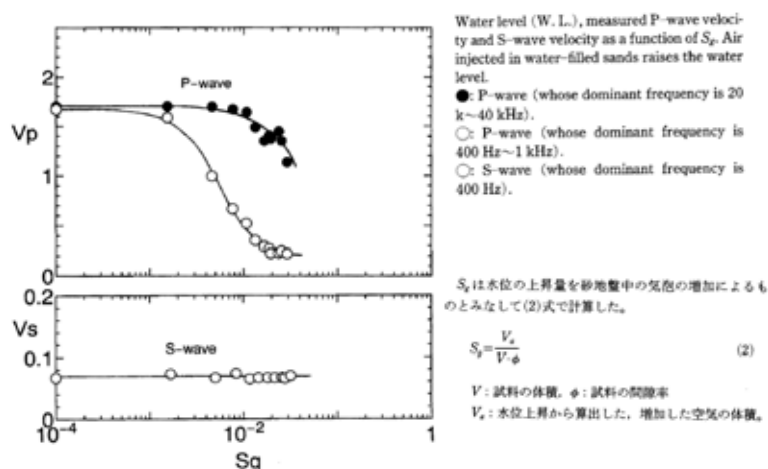
## 2. 飽和度と P 波速度の関係

水分特性曲線による不飽和化のメカニズムを示したものが図-1<sup>3)</sup>である。地盤中に空気を注入することにより、飽和度は大きく低下するが、空気の注入を停止すると、自然に復水し、飽和度は再び上昇して、初期飽和度よりも低い飽和度で安定する。

空気注入不飽和化工法では、①施工管理のために空気注入中の不飽和化された領域を特定するモニタリングと、②品質を確認するために空気注入後に改良した地盤の飽和度のモニタリングが必要となる。

これまでの袖ヶ浦実験報告<sup>4)</sup>では、飽和度が大きく低下し比抵抗変化も大きい空気注入中は、比抵抗モニタリングによって、空気注入範囲を把握している。比抵抗モニタリングは短時間で多数のデータを取得できるため、飽和度の時系列変化の把握に適している。しかしながら、停止後は飽和度が戻り比抵抗変化もごく小さくなるため、比抵抗モニタリングでは空気の残留状態を確認することが困難である。

一方、P 波速度  $V_p$  は、地盤の硬軟や岩盤での亀裂の程度、風化・破碎の程度、含水（飽和度）や含ガスの状態を反映する。これまでに、飽和度が2%程度低下するだけで  $V_p$  が著しく低下する結果<sup>5)</sup>が報告されている。地下水位以下の地盤は飽和層であり、 $V_p$  は 1.5km/s 程度を示し、空気注入により不飽和化された地盤では  $V_p$  は 1.0km/s 以下を示す (図-2 参照)。この  $V_p$  の大きなコントラストにより、地盤の不飽和化 (98%程度以下) が実現されたかどうかを評価できると考えられる。

図-1 水分特性曲線による不飽和化のメカニズム<sup>3)</sup>図-2 弾性波速度と空気飽和度の関係<sup>5)</sup>

キーワード：空気注入不飽和化工法、液状化、飽和度、モニタリング、P 波速度

連絡先 〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町7番2号 株式会社不動テトラ 地盤事業本部開発部 TEL 03-5644-8533

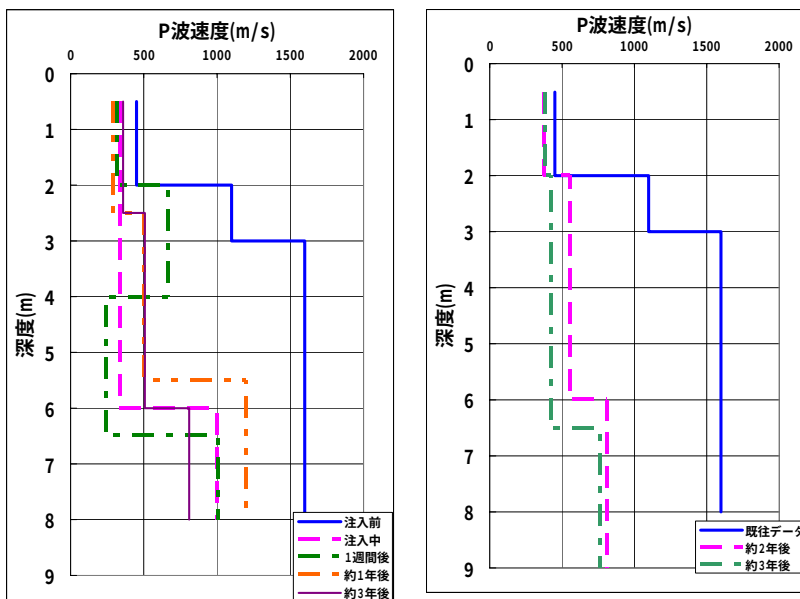
### 3. 実験結果

実施箇所は2箇所あり、P波観測孔は空気注入孔から1.5m離れた位置にある。長期にわたって使用できるように塩ビ管を設置している。空気吐出深度は6.5mである。V<sub>p</sub>深度分布を図-3に示す。

(1)注入孔①では、P波検層は空気注入前、注入中、1週間後、約1年後および約3年後の計5回実施した。

深度2～6mは、空気注入前の計測では、地下水位以下で飽和状態と考えられるためV<sub>p</sub>は1600m/sであったが、空気注入後は500m/s程度に低下し、空気注入の影響が現れていると考えられる。空気注入から約3年経過した後の計測でもV<sub>p</sub>が低い状態であることから、不飽和化が保持されていると確認できた。

(2)注入孔②では、P波観測孔を空気注入後に設置したため、P波検層を約2年後、約3年後の計2回実施した。グラフには注入孔①の注入前のV<sub>p</sub>を既往データとして示した。注入孔②の近傍で空気注入4ヵ月後に実施した凍結サンプリングによる残留飽和度S<sub>r</sub>(図-4参照)と比較すると、S<sub>r</sub>が約90%に低下した深度3.5～6.5mでV<sub>p</sub>は500m/s程度に低下している。注入後約3年経過した後の計測でも不飽和化が保持されていると確認できた。



(1)注入孔①

(2)注入孔②

図-3 V<sub>p</sub> 深度分布

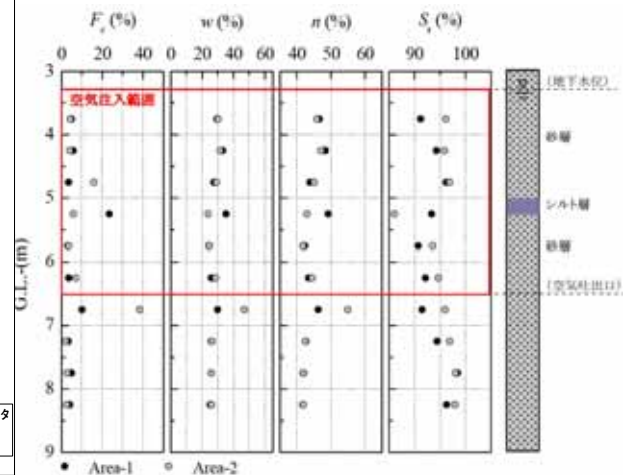


図-4 凍結サンプリング試料の飽和度深度分布

### 4. おわりに

空気注入不飽和化工法 (Air-des 工法) による改良地盤の不飽和状態の持続性確認を目的とした現場実験を通じ、以下の結論を得た。

- 1) P波検層によって、空気注入により飽和度が低下していることを把握できる。
- 2) P波検層を定期的実施することにより不飽和状態の持続性を確認でき、施工後の品質評価に適用できる可能性が示された。

今後も P波検層を継続的に実施し、長期間の不飽和状態の持続性を確認するとともに、サンプリングなど他の手法で飽和度を計測し、モニタリング精度の向上を図っていく予定である。

#### 【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.
- 2) 岡村未対, 神宮寺元治, 今里武彦: 地盤の不飽和化による液状化対策工法における比抵抗モニタリング, 最近の物理探査適用事例集, pp227-232, 2008.
- 3) Air-des 工法研究会: 空気注入不飽和化工法 (Air-des 工法) 技術マニュアル, pp15, 2012.
- 4) 三枝弘幸, 三好朗弘, 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7: 千葉県袖ヶ浦市での現場実験 (品質確認), 第67回土木学会年次学術講演会, 2012.
- 5) 兼間強: 不完全飽和状態の含水砂試料を伝搬する弾性波速度と減衰に及ぼす空気飽和度の影響, 物理探査第50巻第3号, pp229-245, 1997