

Air-des 工法による残存空気の確認調査事例（その1）

大日本ダイヤコンサルタント(株) 〇杉山 詠一, 甲斐 誠士, 伊藤 諒
 (株)不動産テトラ 鈴木 亮彦
 東亜建設工業(株) 浅田 英幸
 オリエンタル白石(株) 小宅 知行

1. はじめに

空気注入不飽和化工法(以下、Air-des 工法とする)は、地盤内に空気を注入することにより地盤を不飽和化させ、液状化強度を増加させる液状化対策工法である。従来の対策工法と比較して、施工設備や仮設等が小規模となることから、コスト削減や工期短縮が期待されている。

しかしながら、Air-des 工法の施工実績は少ないため、Air-des 工法の適用性の検証や注入空気の長期持続性の検証が必要とされている。

本稿では、過去に道路盛土の液状化対策として Air-des 工法を施工した箇所において、ボーリング調査および PS 検層を実施し、注入空気の残存状況を確認した結果を報告する。

2. 空気注入不飽和化工法(Air-des 工法)の概要

図-1に Air-des 工法の概略図を示す。Air-des 工法により、注入した空気がまんべんなく土中に5~10%程度含まれると、地盤の基本的な性質をほとんど変えずに液状化抵抗だけが增加するとされている。

Air-des 工法の主な特徴として、以下の点が挙げられる。①注入材料として大気中の空気を使用するので、他工法に比べ安価となり、施工に伴う環境負荷も軽減することができる。②構造物直下の地盤の液状化対策が可能であり、かつ施設を使用したまま施工できる。③材料調合などのプラントを設ける必要がなく、仮設ヤードが十分取れない狭隘な箇所でも施工が可能である。本工法の改良効果は図-2に示すように遠心模型実験¹⁾により確認されている。

一方で、Air-des 工法の施工実績は未だ少なく、空気を注入して一旦不飽和化した地盤に対して、長期間経過後の飽和状況を検証した事例はほとんどない。

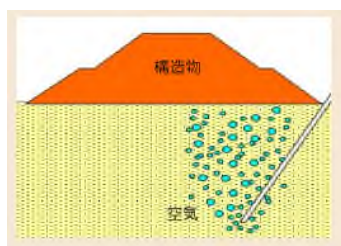
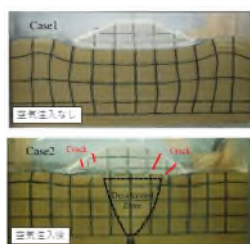


図-1 Air-des 工法概要図

図-2 遠心模型結果図¹⁾

3. 調査概要

図-3に調査位置平面図、図-4に地質断面図に空気注入位置を記載したものを示す。2013年に道路盛土の液状化対策として Air-des 工法を施工した A-1' 地点近傍にお

いて、今回ボーリング調査および PS 検層を実施した。ボーリング地点は A-1' から1m 程度離れた位置とした。また、図-5に調査地周辺の土性図を示す。既往調査結果より、調査地周辺の主な地層構成は以下のとおりである。T.P. -12m 程度まで N 値2~10程度の砂質土層 (As1層) が分布している。T.P. -12m~-16m 程度までシルト質砂~砂質シルト (Asc 層) の中間土が分布している。T.P. -16m 以深は粘性土層 (Ac2層) となる。

Air-des 工法による空気注入は、①T.P. -4.8m 付近、②T.P. -8.3m 付近、③T.P. -9.3m 付近、④T.P. -11.0m 付近の砂質土を対象とした4深度で実施されている。



図-3 調査位置平面図

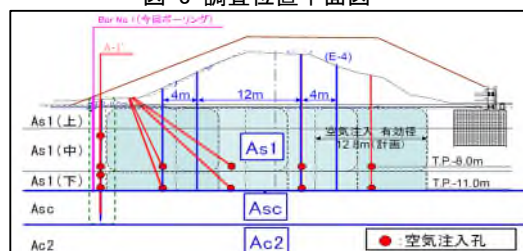


図-4 地質断面図

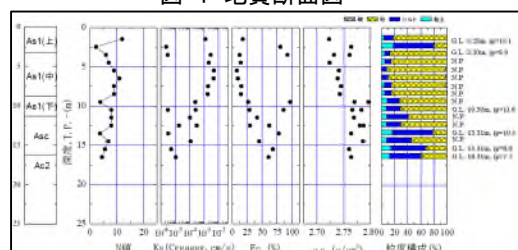


図-5 調査地周辺の土性図

今回の調査では、不飽和状態であるかを評価する手法として PS 検層を採用した。地盤が不飽和化されると、いくつかの地盤の特性が変化するが、その1つとして「地盤の P 波速度」の変化が挙げられる。不飽和化すると、P 波速度が大きく減少する性質がある。図-6に P 波速度と飽和度の関係²⁾を示す。P 波速度が600m/s 程度であれば、

飽和度は概ね95%以下を示す傾向にある。

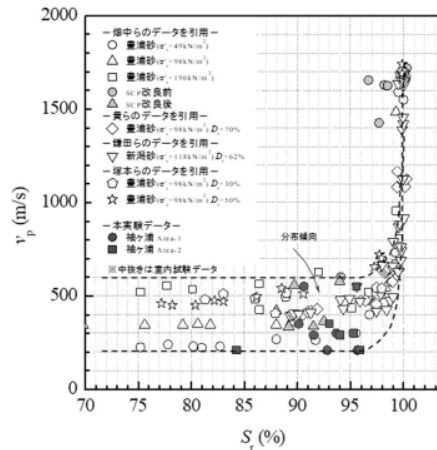


図-6 P波速度と飽和度の関係²⁾

図-7に既往調査における空気注入後のPS検層結果を示す。T.P. -1.0～-6.0m程度まで500m/s程度、T.P. -6.0～-12.0mでは700m/s程度のP波速度が確認されていることから、本調査では、T.P. -12.0m程度（P波速度：700m/s程度）まで掘削を行い、現時点の不飽和状態の評価を行った。

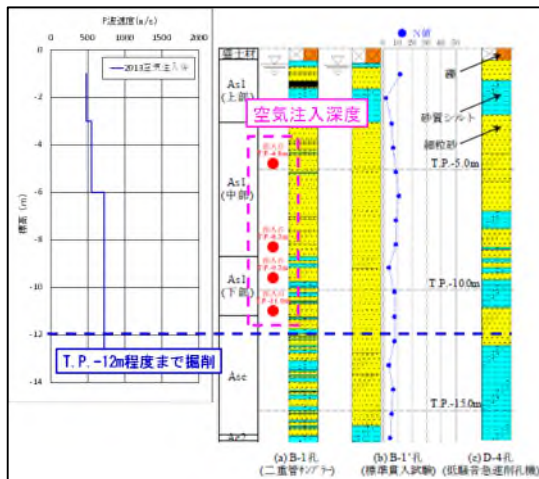


図-7 既往調査におけるPS検層結果図

4. 調査結果

図-8にP波検層結果図を示す。同図には2013年の空気注入前後の測定結果を併せて示している。2013年の空気注入前の結果では、T.P. -1.0～-4.0mまで1,000m/s程度、T.P. -4.0～-14.0mまで1,500m/s程度であることから、空気注入前の地盤は飽和状態であることが確認されている。今回PS検層を実施した結果、地下水で深のT.P. -1.5m～-7.5mまで1,200 m/s程度、T.P. -7.5m～-14.5mまで860m/s程度のP波速度が確認された。T.P. -1.5～-7.5m区間では、2013年空気注入後よりもP波速度が大きくなったものの、T.P. -7.5m以深においては $V_p=860\text{m/s}$ と2013年空気注入後とほぼ同様の大きさとなっていることがわかった。

この結果、T.P. -7.5mより深部においては空気注入後10年以上経過した現在においても、不飽和化状態は持

続していると考えられる。一方、T.P. -1.5m～-7.5m区間において、P波速度は1,200 m/s程度を示し、飽和に近い状態と考えられる。上部側のP波速度が大きくなった理由として、以下の2点が推察される。

①地下水流動の影響

上部の地盤の透水係数が下部より大きく、水の流れにより地盤内の残存空気が水に溶解されたためと考える。図-5で示

したとおり、T.P. -7.5m～-14.5m区間の透水係数は、 $10^{-7}(\text{m/s}) \sim 10^{-5}(\text{m/s})$ オーダー程度であるのに対し、上部のT.P. -1.5m～-7.5m区間では、 $10^{-5}(\text{m/s}) \sim 10^{-4}(\text{m/s})$ オーダー程度を示し、全体的に上部側の方が透水係数は大きい。

②降雨の影響

図-9に示す通り、地表面から降雨が浸透し、上部地盤に流入することで空気が溶解されたためと考える。

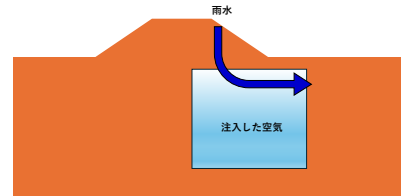


図-9 降雨による空気溶解イメージ図

5. まとめ

2013年にAir-des工法により空気注入を実施した箇所近傍においてPS検層を実施した結果、地層下部においてP波の低下が継続されており、不飽和化状態が10年以上持続している状況が確認された。

この結果、当工法は液状化対策の1つとして、長い期間効果が期待できることが把握できた他、地下水流が遅い場所、降雨浸透が少ない場所等、より適した条件の場合は、より高い液状化抑制効果が見込まれることが示唆されたものである。

《引用・参考文献》

- 1) 空気注入不飽和化工法（Air-des工法）技術マニュアル参考資料(改訂版) (2019.6) : Air-des工法研究会, p145.
- 2) 三枝弘幸, 三好朗弘, 藤井直, 山田直之, 岡田克寛, 岡村未対 (2012) : 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), 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, III-252.