

空気注入不飽和化工法の開発 その2：注入孔間隔設定実験

オリエンタル白石(株) 正会員 ○ 藤井 直 東亜建設工業(株) 正会員 三枝 弘幸
 (株)不動産テトラ 三好 朗弘 (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

本実験は、実施工規模の空気注入実験の予備実験として、注入孔間隔を設定するために実施した。地盤中の1点から空気を注入し、空気が地盤へ侵入する状況を比抵抗測定によりモニタリングした。さらに、空気観測孔により地表へ漏出する空気についても確認した。これらの結果と得られた知見について示す。

2. 実験概要

図-1に平面配置を、図-2に構成断面をそれぞれ示す。注入孔は、ボーリング孔内に注入管と電極ケーブルを一体にして挿入し、フィルター層となる珪砂2号及びシール層となるベントナイトペレット、セメントベントナイトで埋戻し設置した。比抵抗測定に用いる電極孔は、注入孔を中心に半径方向1断面に1.0m間隔で注入孔より5.0m離れまでとし、ボーリング孔内に電極を挿入しセメントベントナイトで埋戻し設置した。電極の鉛直方向の間隔は50cmである。また、測定は鉛直方向に隣合う電極を電流電極・電位電極とする2極法で行った。空気観測孔は、ボーリング孔を砕石と塩ビパイプで保孔し、地下水位より上方にビデオカメラを設置した。図-3に実験に用いた空気注入設備を示す。コンプレッサーから送られた空気は、減圧弁で注入圧力を制御し空気注入管に送った。注入圧力の制御は、室内試験より注入圧力が有効上載圧力 σ_{v0}' の0.5倍を超えると割裂が生じる可能性があり¹⁾、実地盤における注入圧力はこれ以下とすべきであるが、ここでは試験的に大きな注入圧力とし、実地盤における割裂の有無も検証した。

3. 実験結果

(1) 注入圧力と注入流量； 空気注入時の注入口における注入圧力 $p-u_0$ と注入流量 Q を図-4に示す。ここで、 u_0 は水位変動が無いものとしてG.L.-2.0mとした。注入圧力は、注入開始から有効上載圧力程度とし、約20分間の保持の後、有効上載圧力の1.8倍程度に大きくした。図から、注入流量の急増等の挙動は見られず割裂は無かったと考える。また、地表面の注入孔近傍でレベル測量を行ったが、地盤の浮上がりも確認出来なかった。図-5に注入圧力と注入流量の関係を示す。時間の経過とともに、注入圧力は低下し、注入流量は増加する傾向が見られた。この注入圧力と注入流量の関係から透気係数 k_a を求める。透気係数は定常法の井戸公式を準用して式-1と定義した。ここに、 L :フィルター層の鉛直長さ、 r :フィルター層の半径である。注入圧力が有効上載圧力程度の段階における透気係数は、 $5.5 \times 10^{-4}(\text{cm/s})$ と地盤の飽和透水係数と比較して小さな値であり²⁾、過去の事例のように一致しなかった³⁾。これはボーリング孔内の洗浄を行わなかったこ

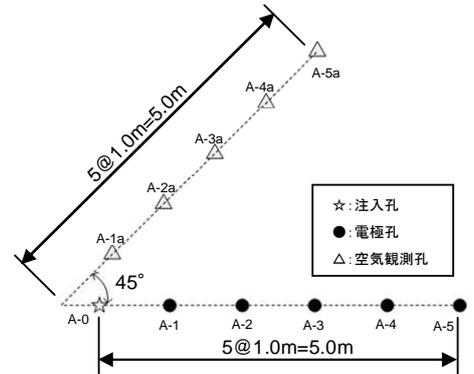
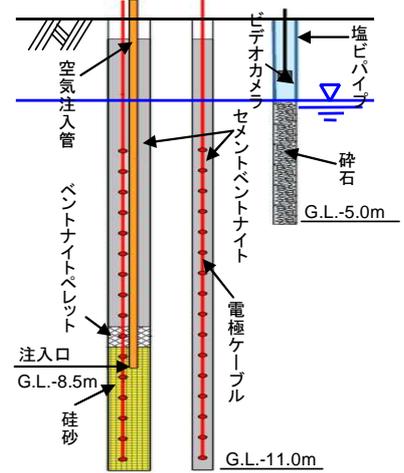


図-1 平面配置



(a)注入孔 (b)電極孔 (c)空気観測孔

図-2 注入孔,電極孔,空気観測孔の構成断面

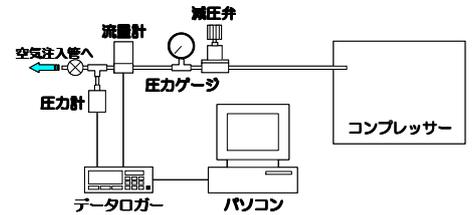


図-3 空気注入設備

キーワード 液状化, 不飽和土, 現場実験, 比抵抗値

連絡先 〒135-0061 東京都江東区豊洲5-6-52 オリエンタル白石(株)施工技術本部 TEL 03-6220-0637

とが要因の一つと考えられる。その後、時間の経過に伴い透気係数は $2.3 \times 10^{-3}(\text{cm/s})$ と注入開始時の約 4 倍になり、地盤が不飽和化されていることが伺えた。

(2) 比抵抗変化率； 比抵抗変化率と飽和度の間には一定の関係（アーチの式）があることが知られており、比抵抗変化率から飽和度が求められることが望ましい⁴⁾。電極ケーブルはセメントベントナイトで埋戻しており、セメントベントナイトは今回のような注入圧力では不飽和化されず電極近傍の感度の高い領域の飽和度は変化しない。このように電極近傍の飽和度が極端に不均一なために、本研究では比抵抗変化率から飽和度を求めることはしていない。

図-6 に空気注入前を基準とした空気注入終了直前の比抵抗変化率を示す。注入した空気は、注入孔から半径方向に 5.0m まで全ての電極孔で変化が見られた。注入孔より鉛直上方へは、GL.-7.0m までの範囲で変化が大きく、GL.-5.0m までは、少なからず変化が見られた。A-1 電極孔で実施したオールコアボーリングの試料を確認したところ、GL.-7.0m 付近に粘性土の薄層が確認され、この層が難透気層であると考えられる。また、比抵抗変化率の分布は半径方向、注入孔深度より上方方向ともに距離減衰が見られた。

(3) 目視観測； 空気注入開始から、約 2.5 時間経過後に A-1a, A-2a の 2 孔より微量の空気漏出が観測され、その 0.5 時間後に A-3a, A-4a, A-5a から微量の空気漏出が観測された。これは、GL.-7.0m 付近の粘性土層の薄層の影響により、注入した空気は水平方に大きく広がり、上方への侵入は少ない状況のためと考えられ、比抵抗変化率の分布を裏付けた。

4. まとめ

本稿では地盤中の 1 点から空気を注入する実験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 空気注入圧力が有効上載圧力に対して大きくなると地盤に割裂が発生するものと考えられるが、本現場実験では見受けられなかった。
- (2) 注入圧力と注入流量の関係から得られる透気係数の解釈から、地盤の不飽和化を伺い知ることができた。
- (3) 比抵抗測定結果から空気注入の範囲を求めたが、比抵抗変化率の小さかった浅層は、粘性土の薄層が存在し測定結果と一致した。さらに、漏出空気の観測結果とも一致した。測定結果は空気の侵入した範囲を示していると考えられる。
- (4) 本実験現場において、GL.-8.5m から注入した空気は、GL.-7.0m 付近の粘性土の薄層が難透気層となり、これより上方には侵入しづらいが、難透気層の影響により水平方向には 5.0m 程度広がることがわかった。

参考文献 1) 緒方ら：飽和地盤中に対する空気注入時の空気挙動に関する実験的研究，土木学会四国支部平成 18 年自然災害フォーラム論文集，pp.89-92，2006. 2) 岡田ら：空気注入不飽和化工法の開発 その 1：現地実験（徳島県鳴門市）の概要，土木学会第 67 回年次学術講演会，2012(投稿中). 3) 例えば土質工学会：土質調査法，pp.725-752，1982. 4) 今里ら：空気注入による液状化対策工に対するモニタリング-三次元比抵抗トモグラフィによる空気注入範囲の可視化-，地盤工学会誌，Vol.57，No.5，pp.20-23，2009.

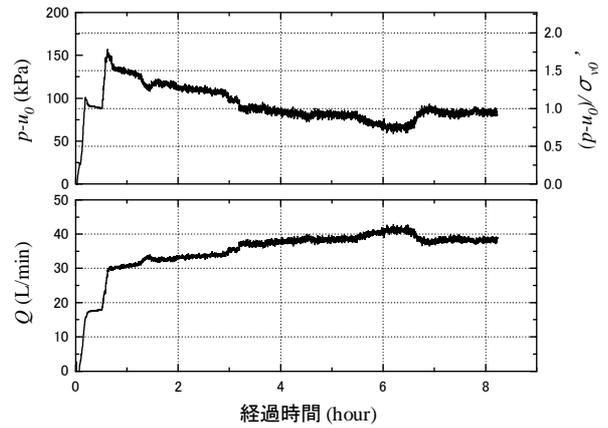


図-4 注入口における注入圧力と注入流量

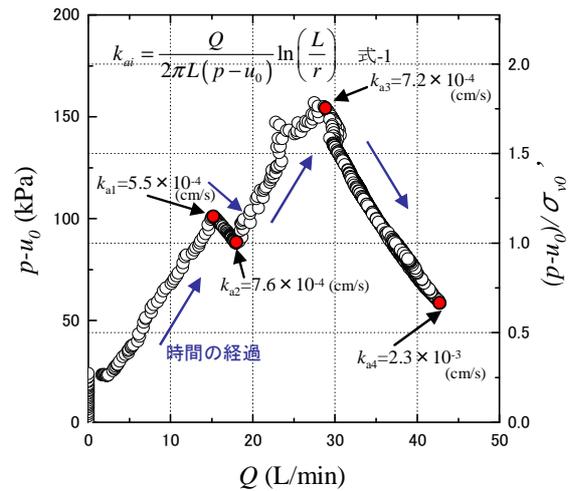


図-5 注入圧力と注入流量の関係

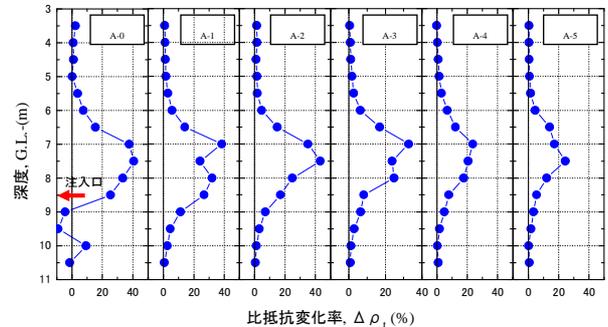


図-6 比抵抗変化率