

真空による地下水の汲み上げにおける気泡の影響

信州大学大学院 正員○塩野敏昭

信州大学工学部 正員 梅崎健夫

1. はじめに

軟弱地盤改良工法の1つである真空圧密工法は、地盤中に打設した排水材の頭部を地上の真空ポンプに連結し、内部に負圧を作用させることによって気密シートで覆った改良区域内の圧密排水を促し、密度の増加を図る工法である

本工法の適用性と改良効果は、地盤構成や施工管理の精度に左右される。また、改良深度についても真空ポンプを用いることから大部分の施工はGL-数m程度であったが、近年ではGL-20mに及ぶ施工例が報告されている¹⁾。

本研究では、深部における排水機構を解明する基礎的研究の一環として、真空下の鉛直管内の静止水中に空気を供給し、気泡の流れの形態と揚程の変化について考察した。

2. 実験方法および実験条件

図-1に実験装置の概要を示す。

実験装置は、真空ポンプ（オイルロータリー型、50l/min、達成圧力 7.5×10^{-4} mmHg、消費電力 200w）と揚水管、水を供給するための水槽と気泡を送り込むコンプレッサーから構成される。

揚水管は、内径 24.6mm のビニール製サクシオンホースで、水面から頂部までの高さは 11.30m である。気泡は、ロータリーコンプレッサー(30l/min)によって圧縮された空気をニードルバルブにより圧力調整した後、流量計を経てエアホース（市販、500~1000ml/min）から吐出させる仕組みとなっている。

実験では、供給空気量・気泡の形・大きさ・揚程を計測した。

実験条件は、初期の真空度を $P = -8.00 \text{ tf/m}^2$ に設定し供給空気量を $Q = 0 \sim 500 \text{ CCM}$ （1気圧 25℃に換算した流量、cc/min）に変化させたときの揚水の状況と供給空気量を 250CCM に設定し真空度を変化させたときの揚水の状況を観測した。

実験を行った日（午前 9:00）の気圧は 966.3hp、気温 9℃、水温 13.0℃である。また、流量計の吐出口における空気圧は実験中を通じて $P = 0.30 \sim 0.35 \text{ tf/m}^2$ でほぼ大気圧に近い値であった。

3. 実験結果および考察

図-2に供給空気量と揚程の関係を示す。揚程は、空気量に比例してほぼ一定の割合で増加している。管内に供給された空気は、最初直径 1~2mm 程度の微細な気泡となって上昇するが、次第に大きさを増し、近傍の気泡と合流しながらやがて管径一杯に広がる大気泡に成長していく様子が観察された。

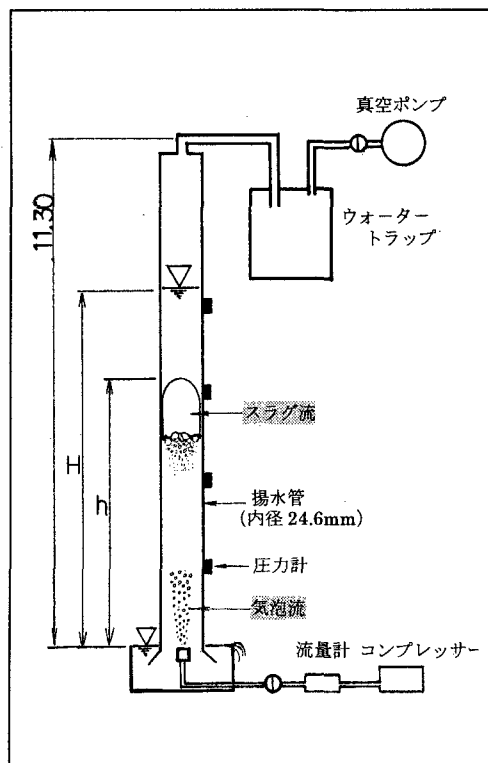


図-1 実験装置の概要

一般に鉛直管内の液相における気泡の流れは気相部分の増加に従って、気泡流（連続した液相中に小気泡が分散した流れ）からスラグ流（管路断面を満たすような大きい特徴的な砲弾型の気泡と小気泡を含む液体部分が交互に存在する流れ）に漸移的に変化する²⁾。図-3によるとスラグ流は、供給空気量の増加に伴ってより低い位置から発生する。図-4に供給空気量を一定($Q=250\text{CCM}$)にした場合の真空度と揚程の関係を示した。揚程は、真空度が高くなるほど上昇し、 $P=-9.0\text{tf/m}^2$ 以上において $H=10\text{m}$ 以上を記録した。揚程と真空度の相関式（傾き $\alpha=1.65$ ）によると、载荷した負圧以上の揚水効果が得られており、供給空気量が一定でも真空度が高いほど揚水効果が発揮されることが確認された。これは、真空度の増加に伴って気泡の成長が促進されるためと推定される。

気液の密度差を利用した押し上げ作用による揚水システムは、気泡ポンプに応用されているが、今回の実験は、真空場において大気圧に近い低圧の空気を供給した場合にも同等あるいはそれ以上の効果が期待できることを示唆している。

4. まとめ

真空による揚水においては、空気の供給量が多いほどスラグ流の発生が顕著であり揚程は増加する。また、空気の供給量が一定でも、真空度が高いほど揚程は増加する。さらにこのとき供給される空気の圧力は、大気圧程度で十分である。

一方、通常の水には2%程度の空気が混入している（水道水2.48%、海水1.94~2.06%）³⁾。飽和地盤の間隙比を1.5、単位体積重量を 1.5t/m^3 と仮定した場合、含まれる地下水量（ 1m^3 あたり約900 m^3 ）から、 $900 \times 0.02 = 18\text{l}$ の空気が溶存すると試算される。また、沖積平野の地下水にはメタンを含む10%近いガスの溶存が報告されている地域もある。

以上のことから真空圧密工法においては減圧された排水材の内部でガスキャビテーションによる気泡流が発生し、これによって揚水効果が生じている可能性があると考えられる。

【参考文献】1)梅崎ら：新しい真空圧密工法による軟弱地盤改良の効果，第33回地盤工学研究発表会，1998。

2) 日本機会学会編：気液二相流ハンドブック，コロナ社，1989年。3)山崎卓爾：キャビテーション工学，新日本出版社，昭和57年。

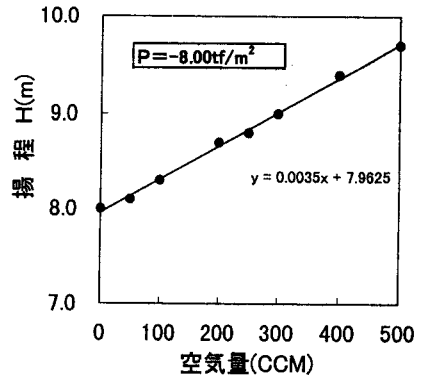


図-2 空気量と揚程の関係

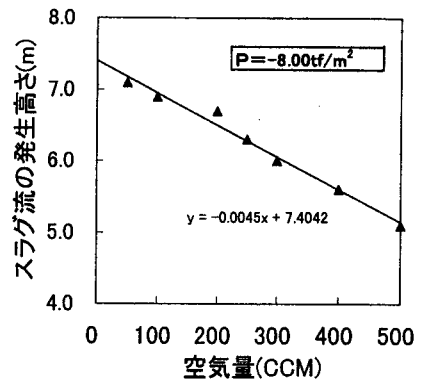


図-3 空気量とスラグ流の発生高さの関係

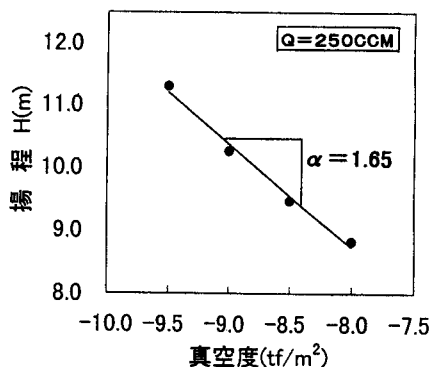


図-4 真空度と揚程の関係