

加圧漏気試験による気泡混合土の消泡と漏気への影響の検討

早稲田大学 学生会員 ○平田 光彦
早稲田大学 国際会員 赤木 寛一
早稲田大学 学生会員 大山 哲也

1. 概要

気泡シールド工法は、土圧式シールド工法の添加剤として気泡を使用したものである。近年では、大深度地下を利用した大規模プロジェクトにも多く用いられている。気泡を掘削用安定液に適用している場合は、気泡を吐出しながら地山の貫入掘削を行うことで、気泡混合土を造成する。これにより、環境負荷が少ない、施工品質が高い、施工費の低減、施工および施工管理が容易といった特徴がある¹⁾。

大深度での気泡シールド工法の施工時、切羽土圧が大きくなることにより気泡混合土が受ける圧力も大きくなっている。また、近年ではシールド径 10m 以上の大規模なプロジェクトも増加傾向にあり、チャンバー上部と下部で圧力に無視できない程度の差が生じているものと考えられる。しかしながら現在の気泡シールド工法の設計、施工においては、チャンバー内の圧力差が気泡混合土に与える影響はあまり考慮されていない。

また、気泡シールド工法の実施工において、注入した気泡が切羽から地盤内に漏れ、地表面に漏気していると考えられる場合がある。これは、チャンバー内の気泡混合土に含まれる気泡が破泡し、その空気が漏出していることに起因すると考えられる。このような消泡現象についても、チャンバー内にかかる高い圧力が影響している可能性がある。そのため圧力载荷時の、気泡混合土の性状への影響を検討する必要がある。

本研究では、圧力载荷時の気泡混合土の消泡の発生の有無、ならびに消泡していた場合のその発生量に着目し、加圧漏気試験を実施した。その結果について報告する。

2. 試験内容

本実験で用いた試料土は現場より採取した4種類であり、それらの基本物性を表-2.1 に示す。表-2.2 の試験条件のとおりに試料土を含水比調整し、同一の起泡剤を所定の希釈率、起泡倍率で起泡し添加した。その際、気泡添加率が30%となるように気泡を添加している²⁾。圧力条件は430kPaであり、大深度地下の施工時における土かぶり圧の影響を想定している。このときの含水比は、それぞれの試料土の最小含水比を用いている³⁾。最小含水比は、土と気泡を混合、攪拌した際に消泡が生じない最小の含水比である。既往の研究において、実用的な流動性の範囲内では、含水比の増大による完全な消泡の防止は困難であることが確認されている。しかし本研究では、圧力のみによる消泡、漏気への影響を測定するため、含水比による影響を無視することができるよう、最小含水比の条件下で試験を実施した。

使用した試験装置の概要図を図-2.1 に示す。装置の上

部に設置されたモールドの下段、矢印に示す部分に気泡混合土を充填して圧力の载荷を行い、圧力の変化による漏気の発生量を空気流量計により測定した。また、チャンバー内の圧力変動による消泡への影響を確認するために、繰り返し圧力载荷を行った。繰り返し载荷回数は10回とし、それぞれの载荷ごとに漏気の収束が確認されるまで最大10分ほど载荷を続けた。

表-2.1 各試料土の基本物性

試料土の種類	自然含水比 w_n [%]	液性限界 w_L [%]	塑性限界 w_P [%]
A:砂質細粒土	28.6	47.59	30.26
B:砂質細粒土	28.4	42.28	30.68
C:細粒分まじり砂	13.8	NP	NP
D:砂礫質細粒土	29.8	46.52	31.92

表-2.2 試験条件

Case No.	土質	圧力条件	最小含水比 w_{min} [%]
1	A	拘束圧(430kPa)	116.4
2	B	拘束圧(430kPa)	93.9
3	C	拘束圧(430kPa)	27.7
4	D	拘束圧(430kPa)	59.8

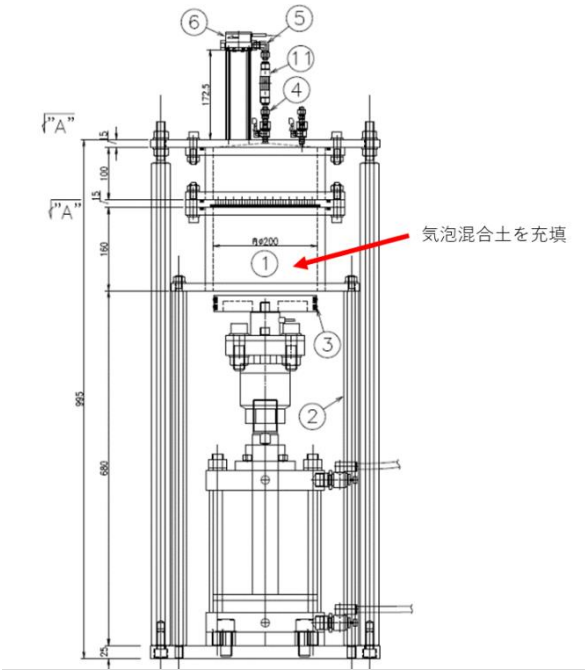


図-2.1 加圧漏気試験装置概要図

3. 試験結果と考察

加圧漏気試験時の試料土の状況を図-3.1 に示す。加圧前の写真(上)と除圧後の写真(下)を比較すると、除圧後の体積のほうが明らかに小さくなっている。これは、圧力を载荷した際に気泡が消泡し、気泡混合土中から抜け出ていったためと考えられる。

初期気泡体積に対する各载荷ごとの漏気量の比率[%]の変化を図-3.2 に示す。それぞれの载荷ごとに、漏気の収束が確認されるまで最大 10 分ほど载荷を続けたと前述したが、どのケースについてもおよそ 2~3 分ほどで漏気の収束がみられた。したがって消泡、漏気の発生は、圧力载荷ではなく圧力変動に大きな影響を受けていると考えられる。また図-3.2 より、1 回目の载荷により大部分の気泡が消泡し、2 回目以降は 1 回目よりはるかに少ない漏気量となることが確認された。回数を重ねるごとに漏気量は徐々に減少していき、载荷回数をさらに増やしていけば最終的には完全に消泡するものと考えられる。

载荷回数と消泡率の関係を図-3.3 に示す。このときの消泡率は、次式より求めている。

$$\text{消泡率} [\%] = \frac{\text{漏気量の合計} [\text{cm}^3]}{\text{容器内初期気泡体積} [\text{cm}^3]}$$

消泡率の推移は土質によってそれぞれ異なることが確認された。この要因については未解明であるが、今回の試験では底板が上昇することにより機械的に圧力载荷を行う装置であったことから、不飽和状態での締固め特性や圧縮特性が影響してくるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、4 種類の試料土による気泡混合土に圧力を载荷し、そのときの消泡量、漏気量の測定とその比較検討を行った。そのなかで得られた成果を以下に列記する。

- 1) 圧力を载荷すると気泡混合土の消泡、漏気が発生し、これは圧力変動がより大きく影響していると考えられる。
- 2) 繰り返し载荷を行うと、1 回目の载荷によりほとんどの気泡が消泡し、回数を重ねるごとに漏気量は徐々に減少した。圧力変動を繰り返すと、最終的には完全に消泡するものと考えられる。
- 3) 消泡率の推移は土質によってそれぞれ異なることが確認されたが、不飽和土の締固めや圧縮特性が関係しているものと考えられる。

今回の一連の結果より、どのケースにおいても圧力载荷による消泡と漏気を確認された。したがって気泡シールド工法の実施工において、チャンバー内土砂の気泡が破泡する可能性は高いと考えられる。また本研究では、試料によって消泡率の推移に差異が生じる原因を明らかにすることはできなかった。今後はその他の土質や起泡剤の影響においてもさらに検討を重ね、消泡率に影響を与える条件を解明していくことも課題となる。

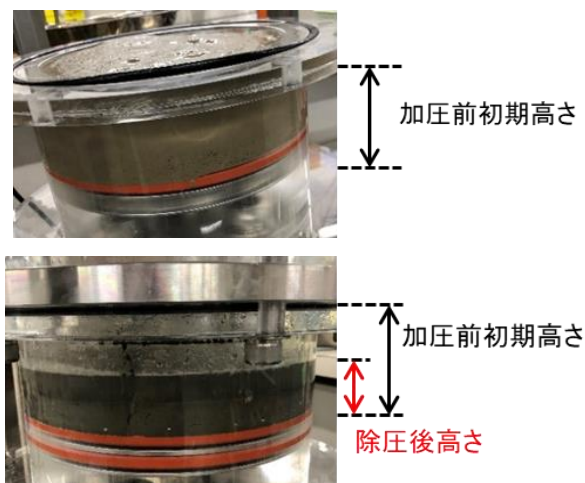


図-3.1 加圧漏気試験時の状況(上:加圧前, 下:除圧後)

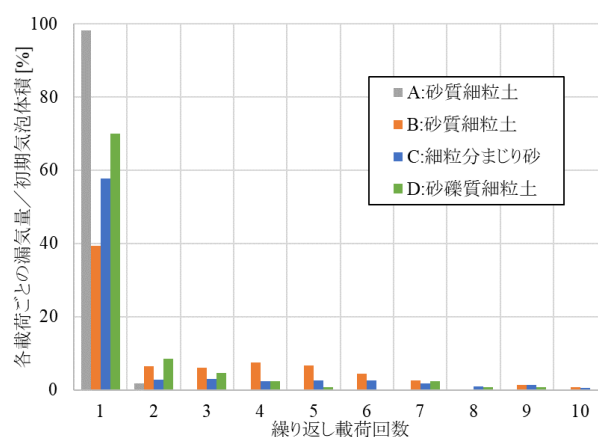


図-3.2 各载荷ごとの初期気泡体積に対する漏気量の比率

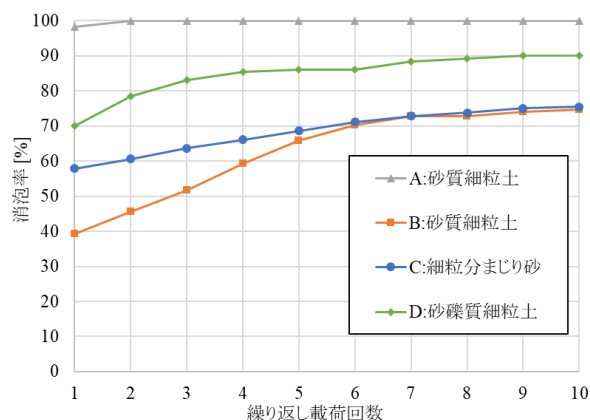


図-3.3 载荷回数と消泡率の関係

5. 参考文献

- 1) 近藤義正, 仲山貴司, 赤木寛一: 掘削土砂に気泡と水を添加した地盤掘削用安定液の開発と適用, 土木学会論文誌 Vol.64 No.3, pp505-518, 2008, 7
- 2) 気泡シールド工法-技術資料-, シールド工法技術協会, 2011, 8
- 3) 平田光彦, 赤木寛一, 大山哲也: 最小含水比試験による気泡混合土の性状の把握, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2020, 7