

気泡シールド工法に用いる気泡の圧力下における性状（その3：気泡混合土）

鹿島建設(株) 正会員 ○吉迫和生 川野健一 佐藤一成
(株)タック 正会員 瀧川信二 吉田智哉

1. はじめに

気泡シールド工法は、起泡剤を発泡させることで発生させた気泡をチャンバ内に注入しながら掘進する工法である。実施工時は土水圧が作用する圧力下で気泡を使用する。そのため、気泡単体や気泡混合土の性状を評価する場合は圧力下での実験が必要であるが、従来は圧力下での実験が困難であり、大気圧下での実験がほとんどであった。そこで、昨年、筆者らは0.2MPaでの圧力下での実験ができるような実験装置（写真-1、2）を製作し、0.2MPaの圧力下における気泡単体の持続性と気泡混合土の性状を報告¹⁾した。

一方で、近年のシールド工事の大深度化にともない、さらなる高圧下での起泡剤の性能評価が求められている。そこで、写真-2の圧力容器を0.5MPaに耐えられるように改良し、0.5MPaの圧力下における気泡混合土の性状確認実験を実施したので、その結果について報告する。

なお、実験には従来型起泡剤および新型起泡剤「マジカルラスティングフォーム²⁾（以下、MLF）」を使用し、濃度1%溶液、10倍発泡、注入率20%の条件で比較した。

2. 気泡混合土の性状確認実験

写真-2に示す圧力容器（内径200mm×高さ320mm、内容積10L）を使用し、圧力下における気泡混合土の性状を確認した。圧力容器内の圧力条件は、前報（投稿中）³⁾と同様に、3条件（0.5MPa、0.2MPa、大気圧）とした。

実験は図-1に示すように、①圧力容器に試料土を入れて突固め、②圧力容器内の試料土上部に空間を残して蓋を取付、③残した空間に所定の圧力下で発泡した気泡を注入、④気泡混合土実験装置全体の上下を反転、⑤気泡溜まりが試料土の下部に存在している状態から攪拌翼を回転、⑥圧力容器を上下に動かして気泡と試料土を混合、⑦回転軸に取り付けたトルク計によって回転トルク（以下、攪拌抵抗）を測定、⑧⑥～⑦を所定の回数だけ繰り返す、という手順で実施した。なお、圧力容器内はエア抜き部に取り付けたリリーフバルブで内圧が一定に保たれるようにしている。

実験で使用した試料土は三河珪砂6号（土粒子密度： $\rho_s=2.659\text{g/cm}^3$ 、最適含水比： $w_{opt}=20.6\%$ ）で、含水比が19.4%になるように調整した。含水比調整した試料土を圧力容器内に入れて突き固める際の乾燥密度は、想定している実際の地山乾燥密度に近い $\rho_d=1.318\text{g/cm}^3$ とした。



写真-1 実験装置

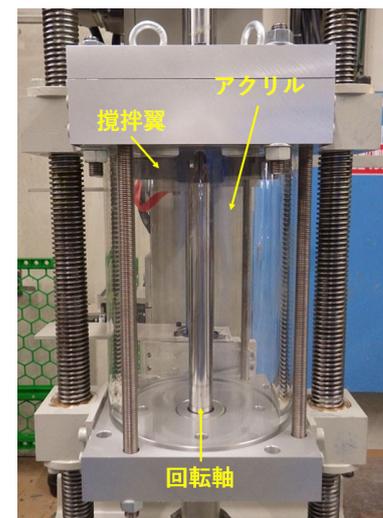


写真-2 圧力容器

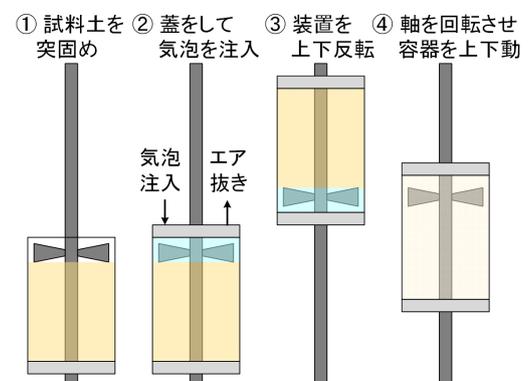


図-1 気泡土実験の概要

キーワード：気泡シールド、MLF、気泡混合土、攪拌抵抗

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6492

3. 気泡混合土の性状確認実験結果

写真-3 に実験状況を示す。写真-3 (a) の実験状況は実験手順における④の直後の状態であり、気泡混合土実験装置全体を上下に反転した状態である。写真-3 (b) はこの後の状況であり、攪拌翼を回転させて試料土と気泡を攪拌し、攪拌抵抗を継続的に測定した。

実験結果を図-1 に示す。図-1 は、圧力容器内の圧力を3条件 (0.5MPa, 0.2MPa, 大気圧) に変化させた時の攪拌抵抗の経時変化を示している。図-1 に示すように、全体的な傾向として、圧力容器内の圧力が高くなればなるほど従来型と MLF の効果の違いが明確になっていることが分かる。すなわち、起泡剤に MLF を使用することによって、圧力下での土砂 (気泡混合土) の攪拌抵抗の低減が期待できる。これは、圧力が高くなればなるほど直径 $50\mu\text{m}$ 以下の気泡の数が増大すること³⁾と、MLF を使用すれば消泡しにくい気泡を生成することができること³⁾による効果と考える。この状態は、一般的に言われている気泡のベアリング効果によって流動性が高まっている状態にある⁴⁾と考えている。

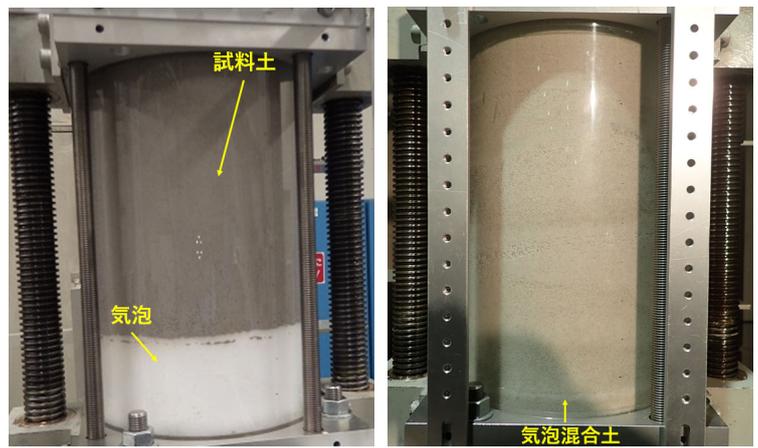
一方で、従来型の起泡剤に着目すると、圧力容器内の圧力が変化しても、攪拌抵抗の絶対値はどの圧力条件においても概ね一定の値 ($5.0\text{N}\cdot\text{m}$ 程度) を示している。従来型は MLF と異なり、時間の経過に伴って気泡混合土中の気泡が消泡しやすく、直径 $50\mu\text{m}$ 以下の気泡の数が少ない傾向がある。そのため、MLF とは異なり、気泡のベアリング効果が十分に発揮されず、攪拌抵抗低減の効果が明確ではないと考える。

4. おわりに

高圧力下での気泡混合土の性状を確認し、圧力容器内の圧力の違いが攪拌抵抗に及ぼす影響を確認した。今後も起泡剤や圧力条件を変更した実験を継続して実施し、施工に有益となるデータを蓄積していく予定である。

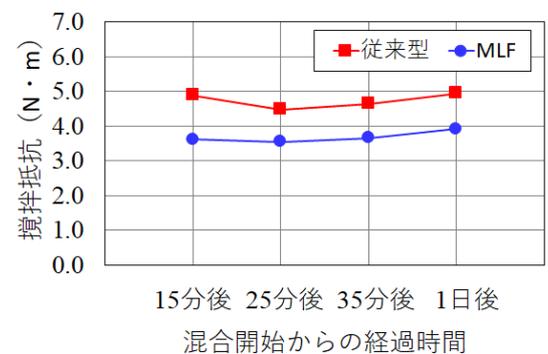
参考文献

- 1) 吉迫和生, 辻良祐, 瀧川信二, 吉田智哉: 気泡シールド工法に用いる気泡の圧力下における性状, 土木学会第 74 回年次学術講演会概要集, VI, pp.808-809, 2019.
- 2) 生川寛之, 紀伊吉隆, 吉迫和生, 瀧川信二, 渡辺真介, 松川直史: 気泡シールド工法に用いる新型起泡剤の開発, 土木学会第 72 回年次学術講演会概要集, VI, pp.304-305, 2017.
- 3) 川野健一, 吉迫和生, 佐藤一成, 瀧川信二, 吉田智哉: 気泡シールド工法に用いる気泡の圧力下における性状(その2:気泡単体), 土木学会第 75 回年次学術講演会概要集 (投稿中), 2020.
- 4) シールド工法技術協会: 気泡シールド工法—技術資料—, p.1, 2011.

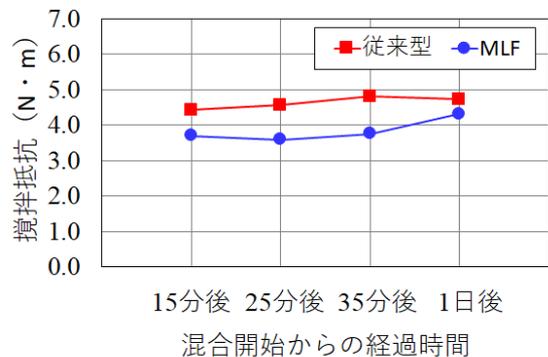


(a) 攪拌前 (b) 攪拌後

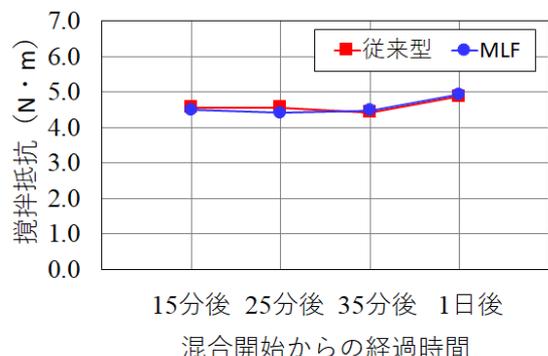
写真-3 実験状況



(a) 0.5MPa



(b) 0.2MPa



(c) 大気圧

図-1 攪拌抵抗の経時変化