

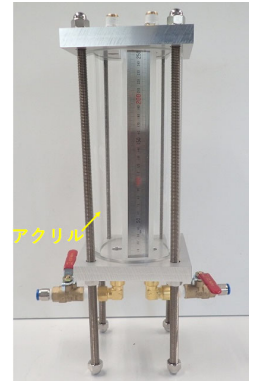
気泡シールド工法に用いる気泡の圧力下における性状（その2：気泡単体）

鹿島建設(株) 正会員 ○川野健一 吉迫和生 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、昨年は0.2MPaでの圧力下での実験ができるように圧力容器（写真－1）を製作し、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、さらなる高压下での起泡剤の性能評価が求められている。そこで、新たに0.5MPaの圧力下において気泡単体の性能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。



写真－1 圧力容器

2. 実験方法

2.1 気泡残存率の確認実験

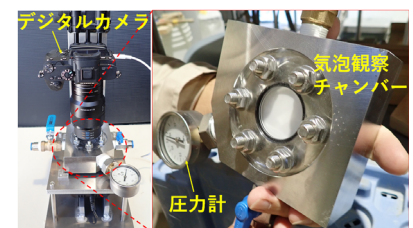
写真－1に示す圧力容器（内径100mm×高さ260mm、内容積2L）を使用し、圧力下における気泡残存率の経時変化を確認した。なお、圧力は3条件（0.5MPa、0.2MPa、大気圧）とした。実験は、①所定の圧力下にある起泡溶液（起泡剤を水で希釈して使用できる状態にした溶液）で容器内部を充填、②容器上部から気泡を注入して起泡溶液と置換、③底部のリリースバルブからの排出溶液が完全に気泡に変わったことを確認、④バルブを閉じて容器を密閉、⑤密閉直後から容器底部に気泡が液化してたまる起泡溶液の高さ（写真－2）を測定、⑥気泡残存率を計算、という手順で実施した。



写真－2 液化状況

2.2 気泡径の観察実験

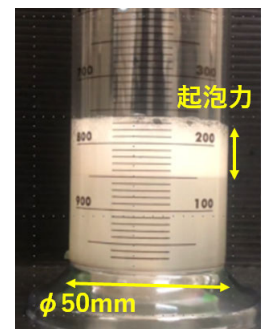
発泡させた気泡の大きさの経時変化を観察するため、写真－3に示す気泡径観察実験装置を用いて気泡径の経時変化を観察した。写真に示すように、当該装置はデジタルカメラと圧力計を備えた気泡観察チャンバで構成されている。気泡観察チャンバ内に0.5MPaでの圧力下で発泡した気泡を封入後、デジタルカメラでインターバル撮影し、気泡径ならびに気泡数の経時変化を確認した。



写真－3 気泡径観察実験装置

2.3 起泡力の確認実験

ロスミルス法をもとに設定³⁾された家庭用合成洗剤試験方法（JIS K 3362）に準拠して、起泡剤（原液）の起泡力（泡立ちやすさ）を大気圧下で定量的に評価した。当該試験では、①φ50mmのメスシリンダーに50mLの起泡剤を用意、②①で用意した起泡剤の液面上に起泡剤200mLを900mmの高さから30秒間で落下、③その時に生じる気泡の高さ（写真－4）を測定、という手順で実施した。このJIS基準では、③で測定した泡の高さを起泡力として規定している。



写真－4 起泡力

キーワード：気泡シールド、MLF、気泡残存率、気泡径、起泡力、気泡の持続性

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 042-489-6552

3. 実験結果

3.1 気泡残存率の経時変化

気泡残存率の実験結果を図-1に示す。気泡残存率の経時変化から、MLFは従来型よりも消泡速度が遅く、気泡が残存しやすいことが確認できた。また、既往の研究⁴⁾と同様、圧力上昇に伴って気泡残存率が高くなる傾向にあることもあわせて確認した。これは、圧力が高くなればなるほど、気泡膜を拡げるために必要なエネルギーを温存できるためと考える。

3.2 気泡径・気泡数の経時変化

気泡の観察結果を写真-5に示す。写真に示すように、従来型とMLFによる気泡の経時変化には明確な違いがあることが視覚的に確認できた。すなわち、気泡発泡直後における気泡径はMLFの方がきめ細かく、1時間後においてはその大きさの違いが明確となっている。さらに、20時間後において、従来型で発泡させた気泡はMLFで発泡させた気泡よりも明らかに大きくなっていることが分かる。

また、気泡をインターバル撮影した写真から、気泡数の経時変化の違いも確認した。図-2に示すとおり、起泡剤にMLFを使用した場合、全体の傾向として直径50 μ m以下の気泡の数が従来型よりも多くなっていることが分かる。さらに、圧力が高くなればなるほど、この直径50 μ m以下の気泡の数の違いが明確になることが判明した。特に、0.5MPaの圧力下においては、図-2(a)に示すとおり、従来型で発泡した気泡数が減少しやすい傾向を確認できる。

3.3 実験結果に基づく起泡力の評価

起泡剤の大気圧下における起泡力は、家庭用合成洗剤試験における気泡の高さで示される(写真-4)。従来型は108mm、MLFは94mmと、従来型の方がMLFよりも1.15倍高かった。しかしながら、図-1、2に示したように、圧力下では従来型の方がMLFよりも消泡しやすく、実施工における圧力下での気泡の使用を想定すると、MLFの方が優位と判断できる。

4. おわりに

高圧力下での気泡単体の性状を確認した。今後も起泡剤や圧力条件を変更した性能確認実験を実施し、施工に有益となるデータを蓄積していく。

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: 起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) 田村隆光: 起泡と消泡の試験法, 油科学, 42巻10号, pp.737-745, 1993.
- 4) Yuanli Wu, Michael A. Mooney and Minsu Cha: An experimental examination of foam stability under pressure for EPB TBM tunneling, Tunnelling and Underground Space Technology, 77, pp.80-93, 218.

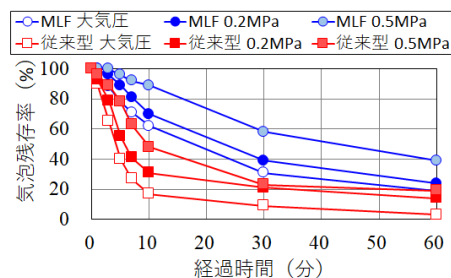


図-1 気泡残存率の経時変化

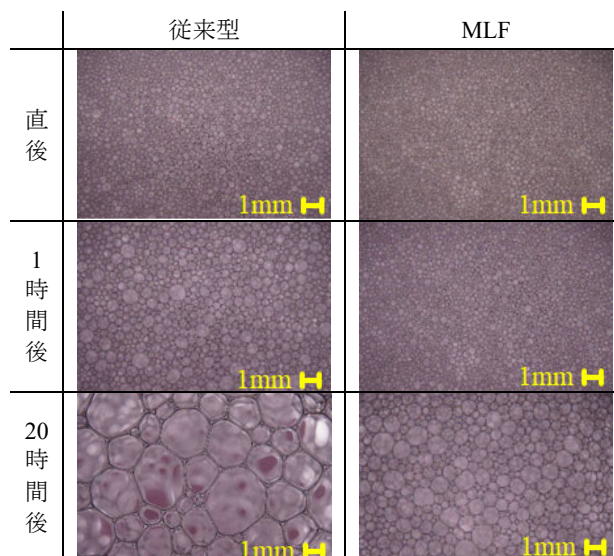
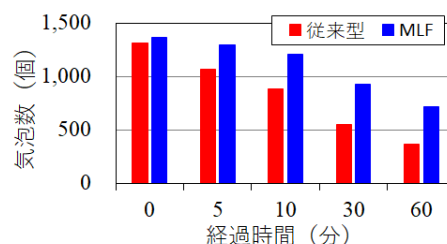
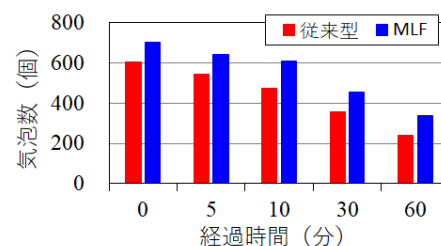


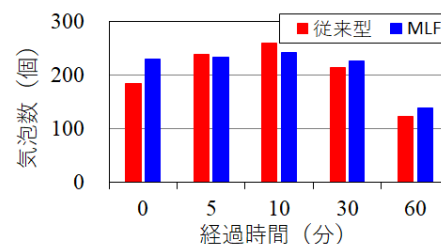
写真-5 気泡の大きさの経時変化 (0.5MPa 圧力下)



(a) 0.5MPa



(b) 0.2MPa



(c) 大気圧

図-2 気泡数 (径: 0~50 μ m)