

気泡マクロ挙動把握に関する基礎的実験

早稲田大学 学生会員 ○高野颯平 平田光彦 加藤麻衣
 早稲田大学 フェロー会員 赤木寛一
 鹿島建設(株) 正会員 坂本 諭 川野健一 永谷英基

1. はじめに

近年、シールドトンネル掘削に泥土圧シールドの一種である気泡シールド工法(写真-1)が適用されている。しかし、気泡シールド工法の要である気泡(写真-2)の性状についての知見は十分にあるとは言えない。気泡は圧力変動に応じて体積が変化するため、高圧かつ圧力変動のある環境下において、発揮される性能が変化することが考えられる。ここでは気泡の性状確認を目的として、気泡性能の基礎的実験や、圧力変化に対する挙動をマクロ的観点から観察した結果について報告する。

2. 特殊起泡材水溶液の濃度による表面張力変化

はじめに、毛管式表面張力計(写真-3)を使用して、特殊起泡材水溶液の表面張力を測定、臨界ミセル濃度の確認を行った。界面活性剤水溶液はある濃度よりも高くなると表面張力は一定となる性質がある。これは水溶液中の界面に一定以上存在する界面活性剤がミセルと呼ばれるコロイド粒子を形成することによるもので、この時の濃度を化学的に臨界ミセル濃度と定義している(図-1)。臨界ミセル濃度よりも濃度が高ければ、発泡気泡として存在する基本的な条件は満足していると言える。実験には特殊起泡材 A と B、2 種類の起泡材を使用した。実験は室温 25°C で行い、水溶液の溶媒には蒸留水を使用した。

実験結果を図-2 に示す。濃度 0% では、一般的に水の表面張力は 72mN/m の値を示すが、溶液濃度 0.0125% の状態で急激に 40mN/m 程度まで減少し、以降大きな変動はなく表面張力はほぼ一定の値を示している。従って、これら特殊起泡材の臨界ミセル濃度は 0.01% 程度であり、これ以上の濃度であれば発泡気泡として成立する条件は変わらないと言える。ただしこれは発泡が可能である条件に過ぎず、時間経過に伴う消泡速度や、その他環境条件による耐久性とは異なることに注意が必要である。

3. 発泡気泡と空気気泡の挙動の違い

特殊起泡材を発泡させた発泡気泡(以下気泡)と、単に空気によって発生した気泡(以下空気)を、水を満たした容器下部から注入した場合の、それぞれの上昇挙動について観察した(写真-4)。どちらも注入速度を一定としており、気泡は濃度 3%、発泡倍



写真-1 気泡シールド 写真-2 気泡

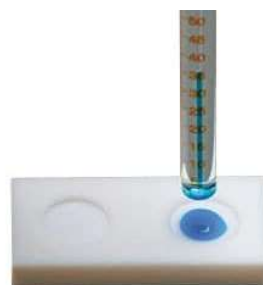


写真-3 毛管式表面張力計

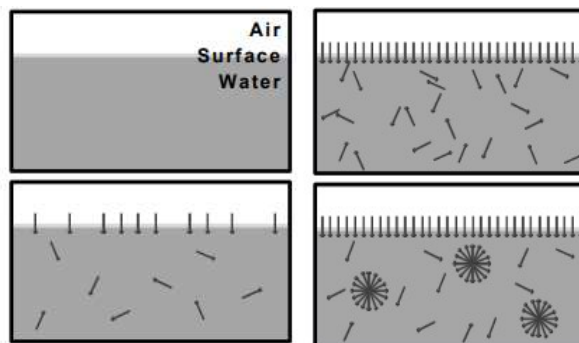


図-1 ミセル形成過程

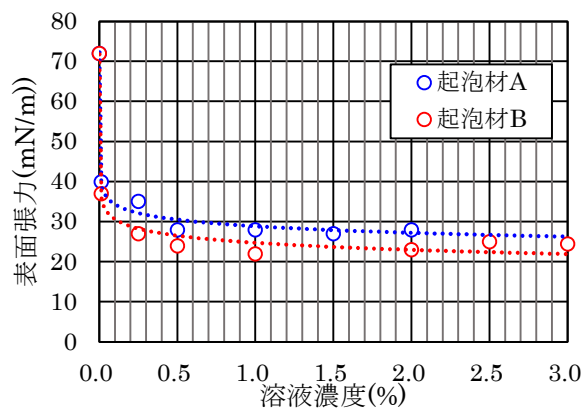


図-2 溶液濃度による表面張力の変化

キーワード 気泡混合土, 圧力変動, 気泡シールド, マクロ挙動

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 205 号室 早稲田大学赤木研究室 TEL 03-5286-3405

率 10 倍とした。どちらの場合も浮力が働くことから上昇するものの、気泡は空気と違い上昇速度が遅い。これはそれぞれの気泡の体積に対する気泡表面の粘性の大きさが関係していると考えられ、気泡径が小さく、かつ表面粘性が界面活性剤の影響で水よりも高い気泡の場合は、結果として浮力が少なく、上昇速度が遅くなっていると考えられる。

また透明模擬土としてガラスビーズ(粒径 1.2~2.0mm)を円筒容器(内径 100mm)に高さ 200mm となるように満たし、同様に容器下部から気泡と空気を注入した(写真-5)。先の実験とは異なり、ガラスビーズが上昇挙動に対する障害物となるが、この場合でも空気は上面へ漏気した。一方で、気泡はガラスビーズ中に留まり、上昇し抜けてしまうことはなかった。従って、空気と気泡は土中・水中では同様に見えても、性質・挙動は全く異なるものと言える。

4. 圧力変動に対する気泡の体積変化

空気は定温条件下であれば、圧力と体積の積は一定であるというボイルの法則が成立する。特殊起泡材を発泡させた気泡単体の外圧を変化させた場合は、図-3のようにボイルの法則に従うが、これに対し、ガラスビーズ模擬土中の気泡は圧力変化に対してどのような挙動を示すのかを確認した。1L の飽和ガラスビーズ模擬土を所定の圧力(p_0)まで加圧し、気泡 50ml を注入する。これを大気圧まで段階的に減圧(p_i)した場合に、気泡の体積膨張(減圧後体積 V_i)はボイルの法則に従うかを確認した。初期圧(p_0 , この時の体積を V_0 とする)は大気圧に対し+0.1MPa~0.3MPaとした。

結果を図-4 に示す。どの初期圧でも、大気圧との圧力比に応じて体積変化を生じており、ガラスビーズ土中だとしてもボイルの法則に従って体積変化を生じていることが確認できた。

5. おわりに

本研究で得られた結果は以下の通りである。

- 1) 特殊起泡剤は 0.01%程度で臨界ミセル濃度に達する。
- 2) 空気と発泡気泡の水中・土中での性質や挙動は異なる。
- 3) ガラスビーズ土中の気泡はボイルの法則に従う。

ただし、繰り返し生じる圧力変動により、気泡の消泡が静置条件よりも早まるとされていることから、今後は試験条件を変化させた場合についても検討を実施する予定である。

6. 参考文献

- 1) 石井保夫：界面活性剤の基礎と産業への応用，色材，76[1]，pp. 9-14，2003。

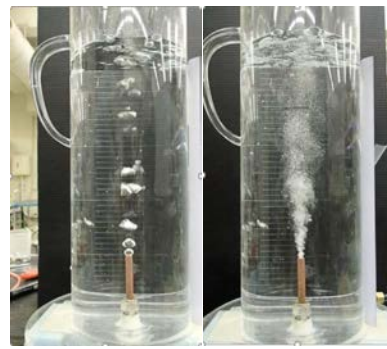


写真-4 気泡と空気の上昇挙動



写真-5 ガラスビーズ土中での上昇挙動

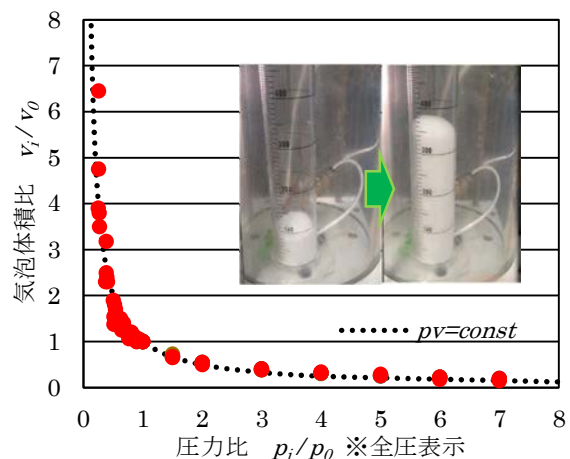


図-3 圧力変化と気泡の体積変化の関係

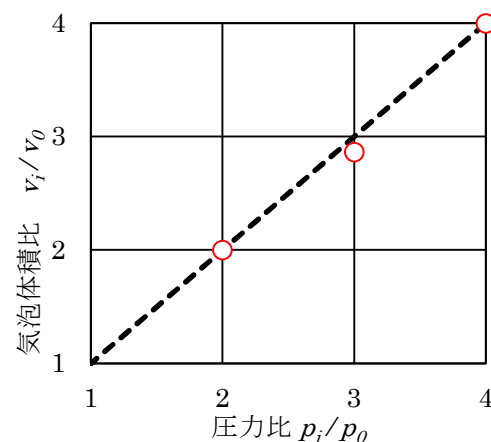


図-4 ガラスビーズ土中での圧力と気泡体積変化の関係