

II-159

ガス地下貯蔵における亀裂岩盤中の
気泡浮上速度に関する基礎的研究

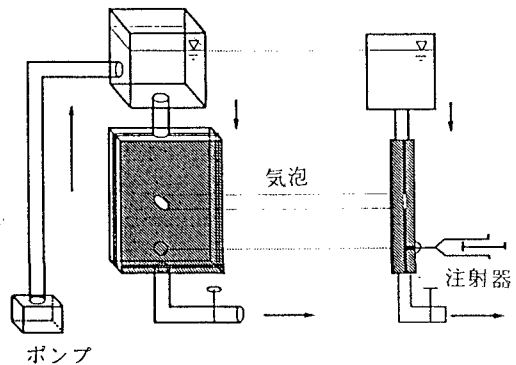
東京理科大学大学院 学生員 森 竜馬
東京理科大学理工学部土木工学科 正会員 大西 外明

1. 研究の背景と目的

わが国において多くの天然資源を大部分が、外国からの輸入に依存している．そのため天然資源を貯蔵しておく空間が不可欠である．特に 1970 年代のオイルショックから石油備蓄の重要性が再認識された．そこで国土を有効に利用できる水封機能式の岩盤内地下備蓄方式の貯蔵プラントが建設されつつある．しかし、近年それらの貯蔵空間からいくつか望ましくないガス漏出が報告されている．このような背景のもと本研究では、この方式の漏気に関する安全性を究明するために単純な亀裂を想定して実験を行いその結果を考察して実用上で有効な資料を提供することにした．

2. 実験装置および方法

本研究は、2 枚のガラス板にスペーサーをはさんで間隙を一定に保ち岩盤節理をモデル化しておこなった．また、この間隙内の水に流速を発生させ亀裂内の地下水の諸条件を与えた．スペーサーの厚さは、(0.5mm 1.0mm 1.5mm 3.0mm) として測定した．気泡は、ガラス板下方の小孔から発生させ気泡浮上の様子は、ビデオで撮影した．また、実験開始時と終了時で水温変化が小さくなるように室内にて実験を行った．



3. 気泡運動に関する基礎理論

図 1：実験装置全体図

気泡が完全流体中で気泡が球形をたもつ場合には、気泡の運動は鉛直上向きの一様な重力場における等加速度運動となる．今、速度 U の一様流が気泡に当たり気泡が静止するとき、気泡の前面は近似的に半径 a の球面で表せるものとして気泡内の圧力と気泡の表面で液体の圧力は等しく液体中では、ベルヌーイの定理が成り立つ．この条件のもとで

$$U = \frac{2}{3}\sqrt{ga}$$

が成り立つ．一方 1943 年に Dumitrescu は、静止流体で満たされた垂直管を下部から管壁に沿って上昇する砲弾形の長い気泡の速度 q_a をポテンシャル理論と実験から次のように求めた．

$$q_a = K_1\sqrt{ga} = 0.351\sqrt{ga}$$

なお、Davis と Taylor は式 (2) の係数を $K_1 = 0.328$ としている．さらに気泡と液体が同時に動く場合、Griffith が次式で定めた．

$$q_a = K_1K_2\sqrt{ga} + K_3(w_{a0} + w_{w0})$$

これらの既存の研究を考慮にいれて今回の実験結果について検討を行なった．また、抵抗係数については、気泡に働く外力は、浮力と抗力のみが働くものとし、それらの釣り合いから抵抗係数を定めた．

4. 実験結果および考察

図2に静止流体中における気泡の換算半径と終端浮上速度との関係を図示する。図中の曲線は、式(2)を示したものである。同一気泡体積のとき式(2)で得られる気泡浮上速度は、今回の実験値と異なり、スリット幅が狭くなると式(2)による気泡浮上速度の計算値に近くなることが分かる。実際、幅が狭くなると気泡は歪んだものとなり流速方向のスリット断面に占める空気の割合が多くなる。そのため、気泡背面に水が回り込みにくくなり気泡の浮上速度が小さくなると推測できる。このように考えるとスリット壁面に沿って気泡が移動する場合、式(2)の計算値は、今回得られた実験結果より小さくなっていることが理解できる。

図3にスリット幅を0.5mm～3.0mmに変化させた時の気泡の換算半径とその気泡上昇を抑制するための流速の関係を図示する。図中の実線は、広い静止水域内で気泡を発生させた時の換算半径と浮上速度に関する既往の実験より得たものであり、また、点線は、式(1)をそれぞれ示したものである。この図より気泡上昇を抑制するには、スリット幅に関係なく図中の実線であらわされる流速を与えればよいことが分かる。

図4に気泡が静止するときのレイノルズ数と抗力係数の関係を図示する。これからスリット幅に関係なく抗力係数はほぼ一定値 (Re が 1000～10000 で C_d は 1～2 程度) になることがわかる。さらにこれは、二次元における円柱の抵抗係数の抵抗係数とほぼ一致する。

5. まとめ

天然資源である石油やLPGガスを岩盤内に水封機能式で備蓄した時の安全性を基礎的現象から究明するために比較的広い平行平板内での単一気泡について実験を行った。その結果以下の結論を得た。

1. 従来、静止流体中での気泡の浮上速度は、気泡静止時の流速と等しいとされていたが平行平板内では静止流体中での浮上速度と等しい流速でも気泡は静止しない。
2. 気泡浮上を抑制するためのスリット内の流速は、無限に広がりをもつ静止流体中での浮上速度にほぼ等しくなる。
3. 気泡浮上を抑制するときの抵抗係数は間隙幅に関係なく二次元での円柱の抵抗係数とほぼ等しい。

- 参考文献： 1. 赤川 浩爾:機械工学大系 11, 気液二相流, pp53-57
 2. 今井 功:14 流体力学 (前編), pp153-155
 3. 大西 外明:最新水理学, 森北出版, pp54-58
 4. Bent Aberg: Prevention of Gas Leakage from Unlined Reservoirs

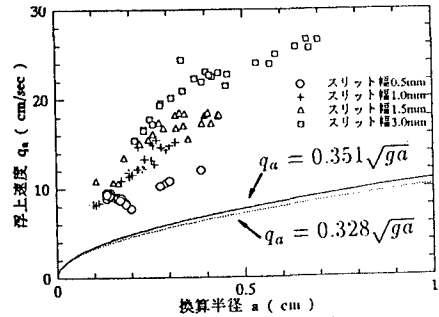


図2：静止流体中の気泡浮上速度

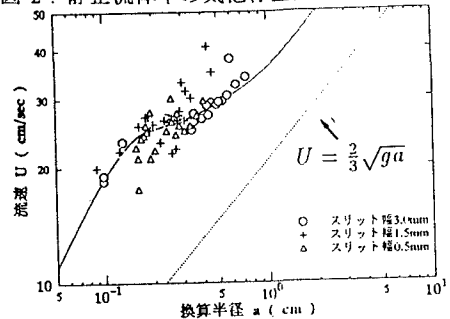


図3：気泡静止時の流速

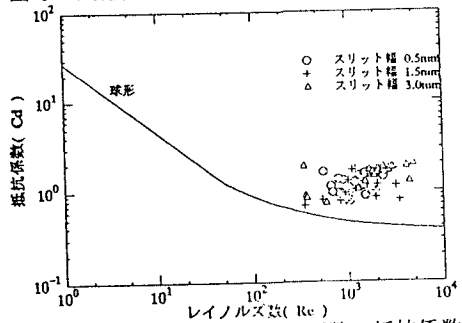


図4：気泡静止時のレイノルズ数 抵抗係数