

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

近年人工的に掘削された地下空洞に圧縮性ガスを封入することによりエネルギーを貯蔵する施設の建設が立案され、基礎実験が行われている。世界的には岩塩層を利用したものが多いが、我が国ではそのような地層が存在しないので地下岩盤内に圧縮空気貯蔵を行うことになるが、その際、エネルギー貯蔵効率、安全性、付近の環境への影響などの評価において、高压ガスの地盤、岩盤内への浸透の漏気が問題になる。一般にはこの漏気を防止する対策としてグラウト、水封などが考えられている。

このことに関連して筆者らは先に水封による漏気防止効果について検討するために比較的広い間隔の水流中における気泡浮上と気泡に働く流体抵抗について研究¹⁾を行った。これに引き続き本研究では、実際の現場の岩盤を考慮してさらに狭い $0.1\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$ といった間隙幅で実験を行い、圧縮性を持つ空気とそれによって流動を始める地下水の二つの流体の流れについて実験的、理論的に取り扱い、主たる漏気経路である岩盤不連続面中をつたって漏出する圧縮性流体の挙動を解明することを目的とする。

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挟むことで間隙幅を一定に保ち岩盤節理を仮定したHele-Shawモデルにより実験を行った。(図1)

まず始めに図の水槽(A)を上下させて勾配を変化させることにより流速を変化させ亀裂内の地下水の諸条件を与えた。次にスリット内に流速を生じさせない状態でガラス板下方の小孔から気泡を発生させその気泡が浮上する様子を、ビデオで撮影することにより観測した。同様にスペーサーの厚さを $0.1\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$ と変化させて測定した。流動する地下水の特性と間隙内の気泡の挙動及び特性をそれぞれ観測し、それらを総合して考察を試みた。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。

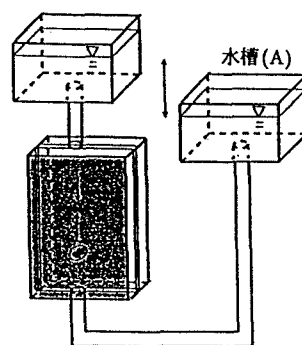


図1: 実験装置

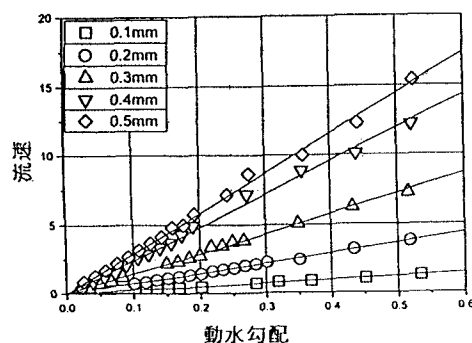


図2: 動水勾配と流速の関係

3. 実験結果及び考察

一般に地下水の流れは、地表の水の流れに対して比較的に遅く多くの場合層流として取り扱われる。まず、間隙幅の変化に対する裂か水の挙動の特性を調べるため、間隙 $0.1\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$ において動水勾配と流速を測定した。その関係を図2に示す。

キーワード 水封式 動水勾配 透水係数 レイノルズ数 抵抗係数

連絡先 〒278 千葉県野田市山崎2641

(0471)24-1501 内線4055

この図から0.5mmまでの狭い間隙幅において動水勾配が流速に比例するダルシー則が成立するものと仮定して透水係数を求めた。また、表1に図2から回帰直線により得た実験値の透水係数と理論値を比較検討した結果を示す。この理論値は、ここで本研究が対象としている狭い二次元的流れであること、慣性力よりも粘性による効果が卓越することを考慮にいれてN-S方程式を解いたものである。この表から0.4mm以下では、ほぼ理論値に一致しているが、0.5mmでは差が生じることが分かる。これは、0.4mm以下では慣性力を無視できるすなわち粘性が卓越した層流状態の流れとして求めた理論解の仮定条件が成立するが、0.5mmでは、N-S方程式の慣性項を無視できないような流れとなるためであると考えられる。

次に岩盤内を移動する気泡の挙動を説明するためにRe数と抵抗係数の関係を求めた。その結果を図3に示した。なおここでは、狭い間隙における流れであることを考慮して次式で与えられるRe数²⁾を使用した。

$$Re = \frac{vd}{\nu} \left(\frac{\delta}{d} \right)^2 \quad (1)$$

ここで d は、気泡をガラス面上に投影した時の半径、 V をその時の気泡の浮上速度、 δ は間隙幅である。また、抵抗係数は、気泡の浮上時における浮力と抗力との釣り合いの条件により求めた。

この図より間隙幅が狭く、半径が大きいとRe数と抵抗係数は、式(2)で与えられる関係が成立することが分かる。これは、間隙幅が狭く壁面との接触面積が大きい気泡が安定し、気泡自体の振動や気泡背後にはく離などの外部からの影響を伴わないためであると考えられる。

$$Cd = \frac{10^{1.466}}{Re^{0.71}} \quad (2)$$

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追求するために平行平板内における地下水の流動特性および単一気泡の挙動について実験を行い以下の結論を得た。

1. 間隙幅0.5mm以下において動水勾配と地下水の流速に、ダルシーの法則を適応し理論値と比較した結果0.4mm以下においては、粘性の効果が卓越し、理論的に求めた透水係数とほぼ一致する。
2. 狭い間隙においては、Re数を $\frac{vd}{\nu} \left(\frac{\delta}{d} \right)^2$ と定義するとRe数と抵抗係数は、以下の関係式が成り立つ。

$$Cd = \frac{10^{1.466}}{Re^{0.71}}$$

- 参考文献： 1. 大西 外明, 森 竜馬: 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 第51回年次学術講演会概要集(1996)
2. 日野 幹雄: 流体力学, p241

表1：透水係数の比較

間隔 (mm)	理論値	実験結果
0.1	1.47	2.4
0.2	5.89	7.3
0.3	13.25	14.4
0.4	23.56	23.9
0.5	36.81	28.9

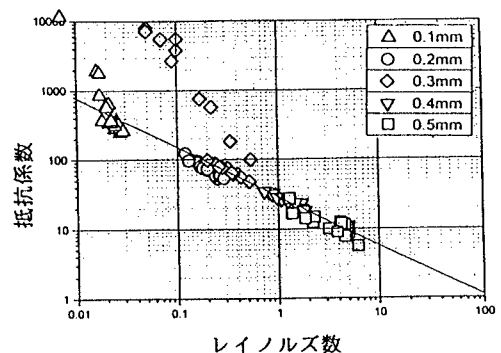


図3：レイノルズ数と抵抗係数の関係