

京都大学工学部	学生員	○大谷俊輔
原環センター	正会員	安藤賢一
京都大学大学院	学生員	操上広志
京都大学大学院	正会員	西山 哲
京都大学大学院	正会員	大西有三

1. はじめに

近年、世界的に様々な環境問題が注目を集め、その中でも地球温暖化現象の原因となる温室効果ガスに関する問題意識が高まってきている。これをうけて、温暖化防止に対する打開策の一つとして検討が進んでいるのが、温室効果ガスの代表である CO₂ の地中貯留である。地中貯留にはいくつかの方式があり、世界的には超臨界方式と呼ばれる方式の研究が進んでいる。しかし、我が国では地形的な条件から、超臨界方式は適応性が低く、CO₂ を水に溶解させたものを地中に封入する溶解方式が主に検討されている¹⁾。

本研究は、溶解した CO₂ の岩盤内における移行挙動を解析的に検討するものである。溶存ガスを粒子として取り扱い、ランダムウォーク法²⁾を用いて CO₂ 溶存ガス移行解析とした。解析において、CO₂ を圧入貯留する際の圧入圧力と地表へ移行する経路、および地表到達時間に着目して考察を行う。

2. 解析手法

(1) 浸透流解析

本研究では亀裂中の流れが卓越する花崗岩に代表される亀裂性媒体に対して検討する。亀裂を一次元のパイプと見なし、亀裂性岩盤を連結したパイプの集合としてモデル化する。溶存ガスの移行を考える際に用いる物理現象は、水および溶存ガスの質量保存則である。この時パイプの連結部(節点)における水の質量保存則は式(1)のようになる。

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0 \quad Q_i : \text{パイプ } i \text{ を通る流量、} n : \text{接点に連結するパイプ本数} \quad (1)$$

$$Q_i = -A \nabla h = -T_f \nabla h \quad A : \text{パイプ断面積、} h : \text{全水頭、} T_f : \text{透水量係数} \quad (2)$$

また、パイプ内の流れを層流と仮定し、パイプ半径と透水量係数の関係を得る。

(2) ランダムウォーク法

本研究では2次元ランダムウォーク法を用いる。フレーム要素における水の質量保存則を用いて浸透流解析を行い、各節点における水の流出入量をそれぞれのパスごとに求める。そして、この各パスの流量より各格子点におけるパスの選択確率を与える(Fig.1)。各パスを選ぶ確率 p_k は節点に対して流入を正、流出を負とすると次式(3)によって決まる。

$$p_k = \frac{Q_k}{\sum Q_k} \quad (k|Q_k \geq 0)$$

$$= 0 \quad (k|Q_k < 0) \quad (3)$$

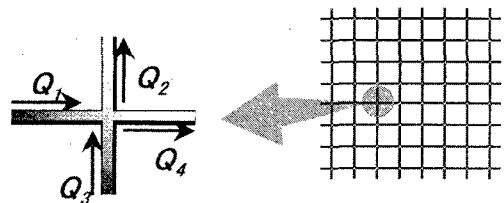


Fig.1 ランダムウォーク法概念

ここで、仮定として溶存ガス粒子は水の流れに対して逆流しないとしている。上記の確率過程に従い、溶存ガス粒子が地表に到達するまでの経路と時間を解析により求める。ただし、吸脱着による遅延や圧力開放による再ガス化等は考慮していない。

3. 地盤モデル

対象とする地盤モデルとして、Fig.2に示す地盤を用いた。透水量係数は 2.0×10^{-6} [m³/sec]とし、境界条件はFig.2に示す。また、地下1500mを基準面とし、鉛直上向きを正とする。

節点数 19000 (250×76)

要素数 37425 (水平方向要素 75×249 鉛直方向要素 75×250)

4. 結果および考察

溶存ガスの移行経路について Fig.2 に解析結果より得られたもののうち代表的な3本のパスを描いた。これは圧入点全水頭を1540(m)としたときのものである。パス①はより深いところを通ったもので、②③と順に地表への距離が短くなっている。圧入圧力を大きくしていくと、自然動水勾配に対して、圧入圧力による人工の動水勾配が卓越しだし、パスは①から③へとその発生確率が上がって行くことが分かった。また、Fig.3 に溶存ガスの地表到達時間と圧入圧力の関係を示した。 r_walk はランダムウォーク法解析を1000回行った際における地表到達時間の最短のものであり、 $r_walk(ave)$ は1000回の平均値である。これらにより、圧入量を増やすために圧入圧力を上げる際にパスがどのように変遷し、地表到達時間が短くなっていくかを知ることができ、圧入圧力と圧入量および地表到達時間に関する最適な条件を決定する手がかりとなると考えられる。本研究で対象とした透水量係数の地盤モデルにおいては、ランダムウォーク法の解析結果より、圧入圧力を1900(m)まで上げても地表に出てくる時間は約30年かかる結果が出た。しかし、今回の解析では圧入を継続し続けると仮定しているので、実際には地表に到達する時間は解析結果よりも長くなると思われる。

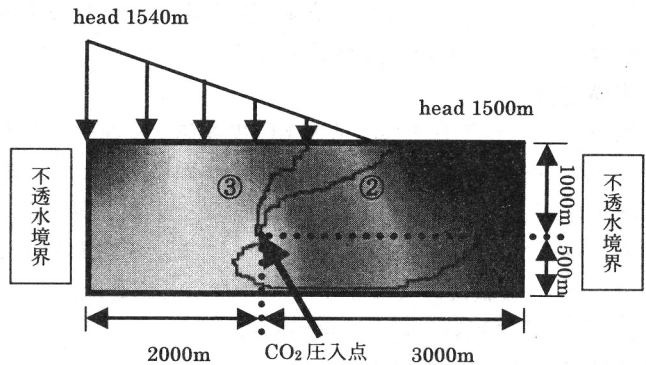


Fig.2 CO₂移行経路

5. まとめ

CO₂の地中貯留において、貯留後のCO₂およびそれを含む地下水の挙動の評価は非常に重要である。本研究では溶存したCO₂の移行に対してランダムウォーク法を用いて評価し考察した。この解析手法は移行が主に移流によって生じることを対象とした、非常にシンプルな手法であるが、それでもCO₂地中貯留の計画に対して定性的な検討は行えることができると言える。特に、本研究で対象とした、地下水に溶解したCO₂の挙動解析は、溶存ガスの移行経路や移行時間のメカニズムの解明や最適な圧入圧力の決定に寄与するものと考えている。

参考文献

1) X. Li, T. Ohsumi, H. Koide, and

K. Akimoto, H. Kotubo: Near-Future Perspective of CO₂ Aquifer Storage in Japan: Site Selection and Capacity (投稿中)

2) 志賀徳造: ルベーク積分から確率論 共立出版, 2000

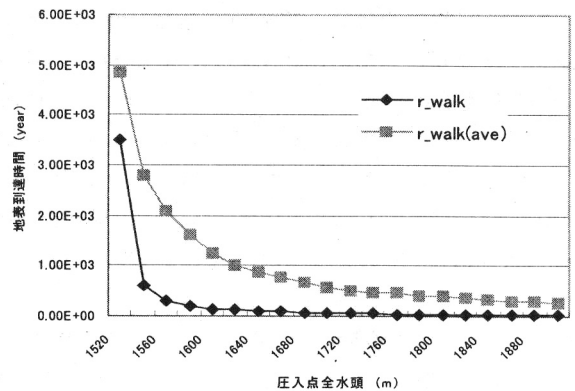


Fig.3 地表到達時間・圧入圧力関係