

CCS における CO₂ 漏えいモニタリングに関する基礎的実験

電源開発	正会員	○三宮 明
北九州市立大学	フェロー	伊藤 洋
電源開発	正会員	多田康一郎

1. 背景と目的

地球温暖化対策の一つとして二酸化炭素の地中貯留プロジェクト (CCS: Carbon Capture and Storage) が世界中で進められている¹⁾. CCS は、工場や発電所で発生する CO₂ を大気中に拡散する前に回収し、地中に臨界状態にして貯留する技術である. CCS を実現するに当たって、CO₂ の圧入・輸送・運用における安全確保・効率化などに加えて、周辺への環境影響評価およびモニタリングといった課題があるが、このうち後者については環境シミュレーションや大気・地表面 CO₂ 観測や弾性波トモグラフィ等の転用といった段階にあつて有用な手法は見いだされていない²⁾.

本論では、伊藤らが開発した土壌中でのダイレクト CO₂ 濃度測定システムを応用して³⁾、この CCS における CO₂ 漏洩モニタリングに適用させるための手法を提案し、基礎実験とフィールド実験を実施した. その結果、工学的に有用な成果が得られたので報告する.

2. モニタリングシステムの概要

まず、ベースとなる土壌中の CO₂ モニタリングシステムは、円筒管内に特殊な超小型赤外線 CO₂ センサーを設置し、土壌と内部空間の隔離に 0.1 μm 孔隙の無機系透過膜 (止水・透気性を有する) を用いることで、土壌中に埋設した状態でガスのみを通過させて CO₂ 濃度を測定するといったものである³⁾. つぎに、CCS における CO₂ 漏洩モニタリングではこのシステムを観測用のボーリング孔内の地下水位付近に設置し、地下深部で漏えいした CO₂ を観測井内で気泡として上昇させ、地下水面から不飽和帯に拡散する瞬間を検出しようとするものである⁴⁾.

3. 実験方法

3.1 室内実験

図-1 は、室内実験装置の概要を示したものである. 塩化ビニル製の土壌容器内に市販の培養土を充填し、CO₂ センサー (精度 0.1~30% と 0~5,000ppm の 2 種類) を内蔵した円筒容器を中心に設置している. 実験ケースは、図-2 に示したようにセンサーの中心位置を $h=\pm 0\text{cm}$ (中水位) として、センサーより上に水位がある状態を $h=+8\text{cm}$ (高水位)、下に水位がある状態を $h=-8\text{cm}$ (低水位) とした 3 水準を設定した. また、比較のために無機系透過膜より止水性に優れ、CO₂ の透過性が比較的大きいシリコンシート (厚さ 0.5mm) で円筒容器を被覆した実験も併せて実施した. CO₂ の注入量は、1 回 115mL とした.

3.2 フィールド実験

図-3 は、フィールド実験の概要を示したものである. 観測井を模擬した深度 100cm 程度の孔内に水位変動によってセンサー位置が水位より +8cm となるような浮力を有する円筒容器を設置した. 孔内の水位変動が安定した状態で CO₂ の注入を行って CO₂ 濃度の自動記録を実施した. CO₂ 注入は、45 秒間で約 1280mL とした. 地表面から地下水位までの距離を $H(\text{cm})$ とし、 $H=40, 50, 60, 70\text{cm}$ の 4 水準の実験を行った.

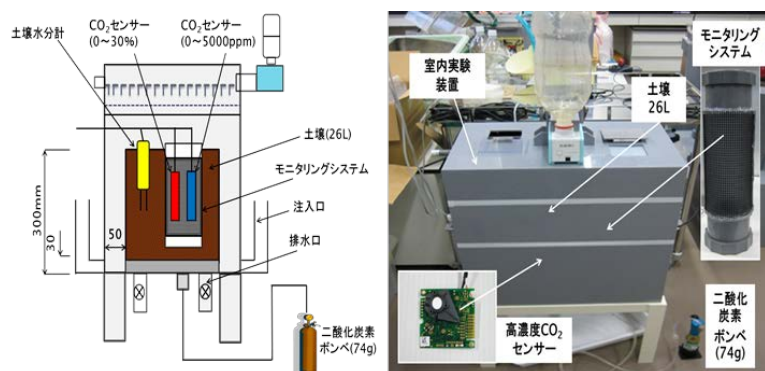
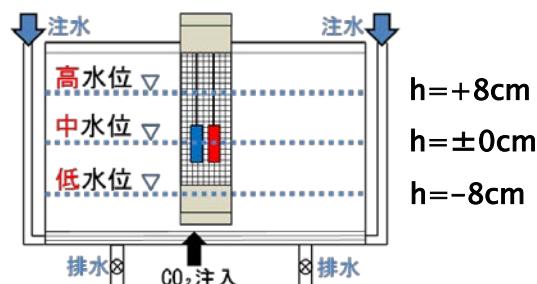


図-1 室内実験装置の概要

図-2 CO₂ センサーと水位の関係

キーワード 二酸化炭素, 土壌, 測定センサー, 地球温暖化, 地中貯留, モニタリング

連絡先 〒253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎 1-9-88 電源開発(株)技術開発部茅ヶ崎研究所 TEL 0467-87-1211

4. 実験結果

図-4 は、室内実験における CO_2 濃度の経時変化を示したものである。 CO_2 注入後、無機系透過膜の $h=\pm 0\text{cm}$ と $h=-8\text{cm}$ では、 CO_2 濃度が急激に上昇していることがわかる。また、 $h=-8\text{cm}$ のケースでは、その後も漸増している。一方、 $h=+8\text{cm}$ のケースでは、緩やかな CO_2 濃度の上昇となっている。これは、センサーが水位より同位置か若干上に位置していると水面から拡散した高濃度の CO_2 を短時間で検知できることを示唆しているものと考えられる。また、センサーが水位より若干でも下にあると気泡が無機透過膜から地下水を通して通過するのに抵抗が大きいことと水面から放出された CO_2 が下方へは拡散しにくいことによるものと推定される。一方、比較のために実施したシリコンシートでは、いずれも無機透過膜に比較して CO_2 濃度の上昇が緩やかであり、こうした状態での止水・透気膜としては感度に劣ることが確認された。

図-5 は、フィールド実験における漏洩 CO_2 の濃度変化を示したものである。同図から室内実験と同様にセンサー位置を水位より若干上に保つことで CO_2 の漏えい後、約 60～120 分以内にいずれのケースでも CO_2 濃度が急激に上昇しピーク濃度（初期 3.3% 前後⇒5.60～9.71%）に達していることが明確に確認できる。 CO_2 濃度は、その後は低下しているが、途中で一旦上昇に転じているのは降雨による影響と考えられる。室内実験でも確認されたように漏えい後に気泡が上昇し、水面から不飽和帯へ拡散する瞬間を捉え、急激な CO_2 濃度上昇となっているものと推察される。ただし、水位と漏えい位置との距離 H が大きくなると CO_2 のピーク濃度が低下する傾向が見られた。

以上、ここで提案した測定方法により、CCS における CO_2 漏えいモニタリングが観測井の水位付近で可能であることが示唆された。しかし、実際の観測井は 100m 程度を想定しており、気泡の上昇速度から漏えい後 10 分程度（別途実験実施）での観測は可能と考えられるもののピーク濃度は、漏えい位置と地下水面の距離が大きくなると低下する傾向が認められた。今後、こうした点についても研究を進める予定である。

なお、本実験に際しては、北九州市立大学国際環境工学部の須田明博君の協力を得た。

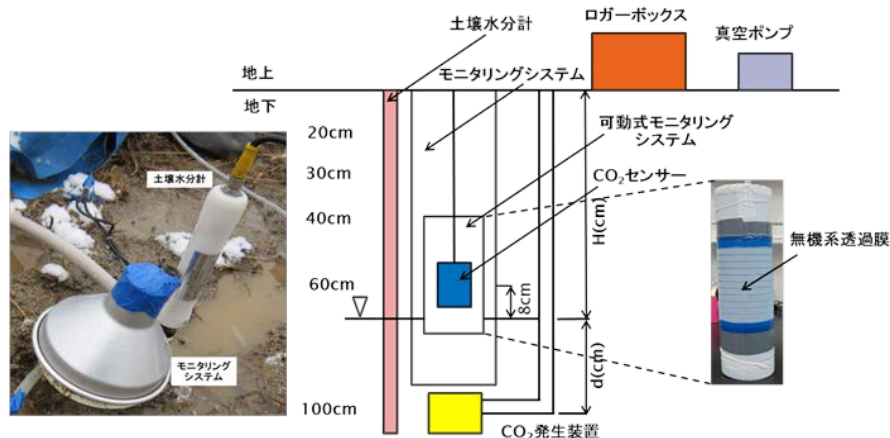


図-3 フィールド実験の概要

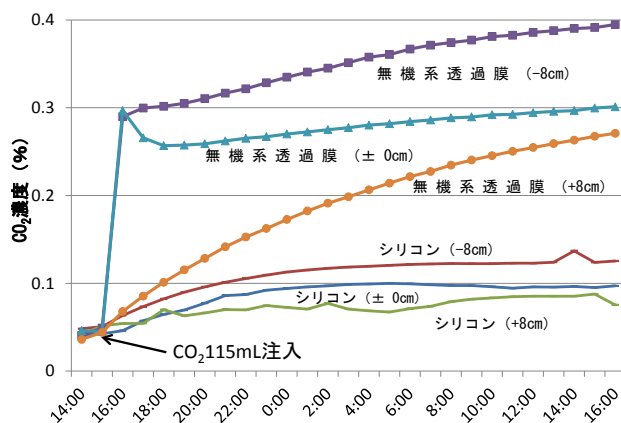


図-4 室内実験における CO_2 濃度の経時変化

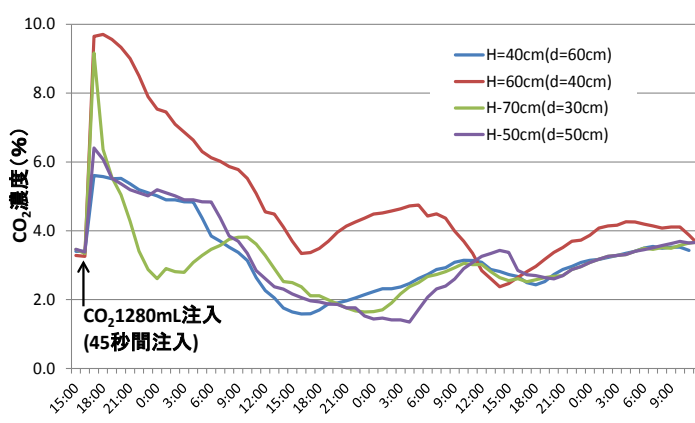


図-5 フィールド実験における CO_2 濃度の経時変化

参考文献

- 1) 日本 CCS 調査会 (2013) : <http://www.japanccs.com/index.html>
- 2) 薛自求・中尾信典(2008) : CO_2 地中貯留, 地学雑誌, Vol.117, No.4, pp.722-733.
- 3) 伊藤洋・山田百合子(2010) : 土壌中の CO_2 濃度のリアルタイム測定, 土木学会第 65 回年次学術講演会, pp. 179-180.
- 4) 三宮明・伊藤洋・染矢元記・多田康一郎 (2012) : 二酸化炭素地中貯留における CO_2 漏えいモニタリング (I), 第 18 回地下水・土壌汚染とその防止に関する研究集会, pp. 291-296.