

光ファイバーを用いた地層変形監視技術の開発

CCSサイトにおいて、CO₂圧入時に地層の状況をモニタリングすることはプロジェクトの安全性を評価するうえで重要である。RITEでは、光ファイバーセンシングによる地層変形の監視技術を開発している。深部坑井に光ファイバーを設置し、地表から地下までの地層変形(ひずみ)を深度方向に連続的にモニタリングすることを目指すものである。

1. 背景

- In SalahのCCSサイトでは、CO₂圧入で圧入坑周囲の地表が隆起 → 間隙水圧の上昇で生じた貯留層内の変形が地表面まで伝播
- 貯留層の変形が大きくなると上位の遮蔽層の安定性にも影響が及ぶ
- 深度方向に地層変形を連続的に把握することが重要
- 従来のモニタリング手法は計測点が限定、新しい測定技術開発が求められている

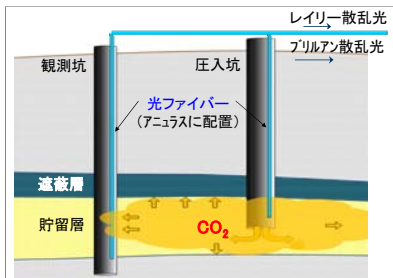


図-1 光ファイバーによる地層変形監視

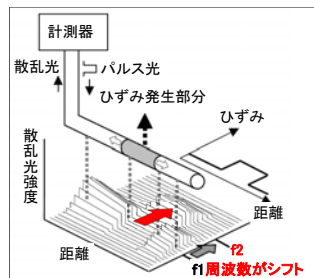


図-2 ひずみの計測原理

2. 計測方法

- 光ファイバーにパルス光を入射した時の後方散乱光が、物理量に比例し周波数シフトする特性を利用して地層変形(ひずみ)を計測する。
- 周波数シフトは温度、圧力、ひずみの影響を統合的に受けるため、データ解析ではそれぞれを分離する必要がある。
- 従来のブリルアンだけでなく、レイリー散乱も計測することにより複合的な影響の分離が可能となる。(図-4)

$$\Delta V_B^1 = C_{11}^1 \Delta \epsilon + C_{12}^1 \Delta T + C_{13}^1 \Delta P$$

$$\Delta V_R^1 = C_{21}^1 \Delta \epsilon + C_{22}^1 \Delta T + C_{23}^1 \Delta P$$

$$\Delta V_B^2 = C_{11}^2 \Delta \epsilon + C_{12}^2 \Delta T + C_{13}^2 \Delta P$$

$$\Delta V_R^2 = C_{21}^2 \Delta \epsilon + C_{22}^2 \Delta T + C_{23}^2 \Delta P$$

> 2本のファイバーでブリルアン(V_B)とレイリー(V_R)を計測(4つのデータセット)
 > 温度、圧力、ひずみの3つのパラメータに対して式が4つあり解が求まる

図-3 温度・圧力・ひずみ分離手法(特許)

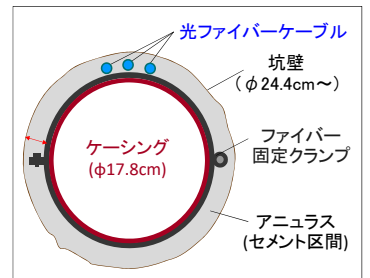


図-4 坑井への光ファイバーの設置

3. 揚水による地層変形の計測試験

- 地下水の汲上げで生じる地層変形を、ケーシング外側に設置した光ファイバーで計測できるか検証するために、揚水試験を行った(図-5)。
- その結果、揚水によって生じた帯水層(深度150~230m付近)の圧縮ひずみを光ファイバーで計測することに成功した。圧縮ひずみは揚水を開始してからすぐに帯水層中に生じ始め、時間が経つにつれて徐々に大きくなり、揚水終了後は元にもどる傾向を示した(図-6)。
- 帯水層の浅部・深部では、揚水による間隙水圧の一時的な増加に伴って難透水層の地層膨張(Reverse water level fluctuation)が計測された(図-7)。

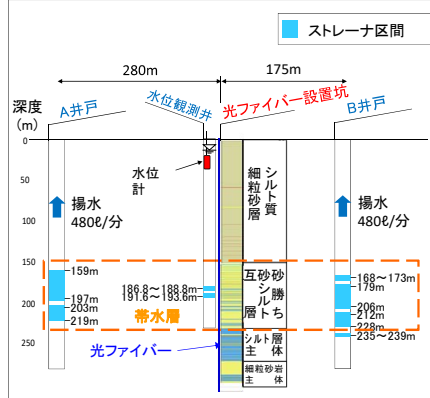


図-5 光ファイバー設置坑と農業用水井戸の配置

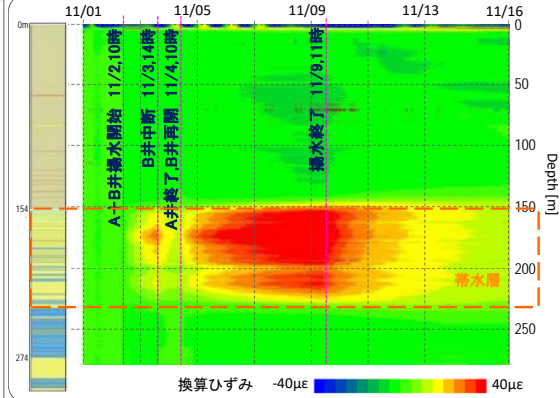


図-6 揚水時の地層変形結果

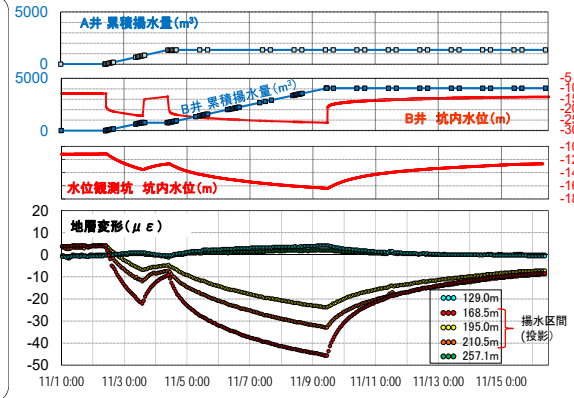


図-7 揚水量・坑内水位・地層変形の対比

4. 弾性波の計測試験 (DAS; Distributed Acoustic Sensing)

- 光ファイバーは、温度・圧力・ひずみの計測だけでなく、弾性波計測(DAS計測)も可能である。
- 地層変形計測に設置済みの光ファイバーケーブルを活用して弾性波の計測試験を行った。
- スタック後のDAS計測結果は、ジオフォンの波形記録に比べてノイズを多く含むものの、P波初動を追跡可能な記録が得られた。

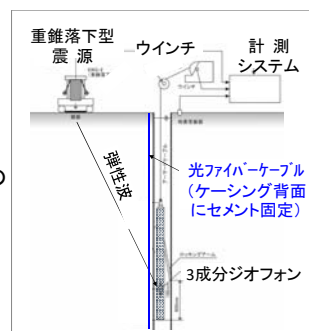
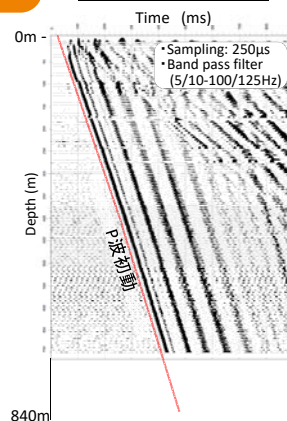
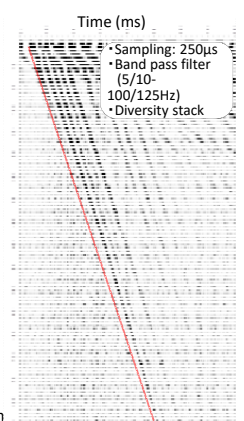


図-8 ジオフォンと光ファイバーDASの波形記録の対比

Geophone (one stack)



DAS (36 stacks)



5. 今後の課題

- 高感度と高強度を備えた地中埋設型光ファイバーケーブルの開発・改良
- レイリー散乱光とブリルアン散乱光を用いた温度・圧力・ひずみ分離技術の高度化
- データ処理・解析の自動化・リモート化、計測システムのパッケージング化等

(本資料は経済産業省からの委託事業の成果をもとに作成しています。)