

分布式光ファイバーによるセメント試料の温度・ひずみ測定 Distributed fiber optic temperature and strain sensing in a cement specimen

小暮 哲也^{1*}, 薛 自求¹
Tetsuya Kogure^{1*}, Ziqiu Xue¹

¹ 公益財団法人 地球環境産業技術研究機構
¹RITE

CO₂の圧入に伴い貯留層内の間隙水圧が上昇すると、圧入井周辺の地表面が隆起することが知られている。地層の変形量が大きくなると地層に亀裂が生じる可能性があり、CO₂の安全な貯留に影響を与える。したがって、CO₂圧入時には地層の安定性をモニタリングする必要がある。

地層の安定性を評価するためには、貯留層から地表面までさまざまな地層の変形を一括してモニタリングできることが望ましい。変位計を埋設することにより地層の変形を捉えることはできるが、変位計の埋設数には限りがあり深度方向に連続的なデータを取得できない。そこで我々は、石油天然ガス開発分野などで発展してきた、光ファイバーを使用したモニタリング手法をCCSに適用するための研究を行ってきた。光ファイバーは石油開発分野において水蒸気圧入を制御するために、温度分布を数千mの坑井内で連続して把握する技術として使用され始め、現在ではケーシングの変形をモニタリングするためにも使用されている。ケーシングの変形モニタリングではひずみが測定されており、この技術を応用して地層のひずみ変化を測定できれば、地層の安定性モニタリング技術として利用可能となる。

光ファイバーによりひずみ・温度などを計測する技術(以下、光ファイバーセンシング技術とする)は、点センサー方式と分布式センサー方式に分けられる。点センサー方式は光ファイバーセンシング技術の中で最も普及しており、あらかじめ光ファイバーに加工された特定のポイントにおいて高感度・高精度なデータ取得が可能である。代表的なものにFBG(Fiber Bragg Grating)があり、FBGを用いて地盤の変形を観測する研究が行われている。しかし、点センサー方式では光ファイバー上に測定ポイントを加工するたびに光が損失するため、分布式センサー方式に比べ測定ポイントの数が少なくなる。一方、分布式センサー方式は、光ファイバーそのものに加工をすることなく光ファイバー全体でデータを取得するため、測定ポイント数に限りがない。近年計測機器の発達により、温度およびひずみ測定の分解能はそれぞれ0.0096℃、0.078μmと、FBGと遜色ないレベルに到達してきた。したがって、点センサー方式の短所である、センサーの加工に伴う値段の高さや測定範囲の狭さを補う手法として、分布式センサー方式によるモニタリング手法が目ざされている。

これまでの岩石試料を用いた実験により、分布式センサー方式によって岩石の圧縮・膨張変形をひずみゲージと同等の精度で計測できることが分かっている。実用化する場合、光ファイバーは坑井に沿ってセメンチング中に埋設されることが予想される。したがって、埋設される光ファイバーはセメンチング中でも切れない強度を持ち、かつ周囲の地層の変形を測定できる感度を有する必要がある。市販されている埋設型光ファイバーは温度を測定するために開発されており、光ファイバーはらせん状に編み込まれた3重のステンレスワイヤーにより周囲を頑丈に保護されている。こうした被覆構造のため、既存の埋設型光ファイバーはケーシング周囲のひずみを測定できない可能性がある。

本研究では、既存の埋設型光ファイバーによるひずみ測定の有効性を検討するため、坑井への光ファイバーの設置を模擬した室内実験を行った。そして封圧変化時にひずみを測定したので、詳細な結果を報告する。

キーワード: 光ファイバー, 分布式センサー, 温度・ひずみ測定

Keywords: optical fiber, distributed sensor, temperature and strain measurement