

## 二酸化炭素地中貯留における坑井間弾性波トモグラフィによるモニタリング

### Crosswell seismic tomography for the monitoring CO<sub>2</sub> geological sequestration

# 齋藤 秀樹 [1]; 信岡 大 [2]; 東 宏幸 [3]; 薛 自求 [4]; 棚瀬 大爾 [5]

# Hideki Saito[1]; Dai Nobuoka[2]; Hiroyuki Azuma[3]; ziqiu xue[4]; Daiji Tanase[5]

[1] 応用地質; [2] 応用・エネ; [3] 応用地質・エネルギー; [4] RITE・貯留研; [5] エン振協・石油開発環境安全センター

[1] Oyo Corp.; [2] OYO,Energy Business Division; [3] Energy, Oyo Corp.; [4] RITE; [5] SEC, ENAA

#### 1. はじめに

近年、地球温暖化対策のひとつの方策として大気中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 削減技術に関する研究開発が各国で行われている。その有効な手段の一つとして、大規模発生源から分離・回収した CO<sub>2</sub> を地下深部に圧入する地中貯留が注目されている。我が国では 2003 年 7 月に、実際に CO<sub>2</sub> を地下深部の帯水層に圧入し、その挙動を把握することを目的として、新潟県長岡市の南長岡ガス田にて実証試験が開始された。2003 年 7 月から 2005 年 1 月までに、地下 1,100m の帯水層に約 10,400t の CO<sub>2</sub> が圧入され、帯水層内の温度や圧力変化等の基礎データが取得されるとともに、圧入された CO<sub>2</sub> の挙動をモニタリングするための調査が実施された。モニタリング手法としては、観測井を利用した物理検層や坑井間弾性波トモグラフィが採用され、繰返し観測が実施された。本稿では、CO<sub>2</sub> 圧入前、圧入中、圧入後に実施した計 5 回の坑井間弾性波トモグラフィ結果について報告する。

#### 2. 坑井間弾性波トモグラフィ

長岡実証試験サイトにおける坑井間弾性波トモグラフィは、圧入井を囲むように掘削された 3 本の観測井のうち、OB-2 号井および OB-3 号井を利用して実施した。CO<sub>2</sub> が圧入された深度約 1,100m における両坑井の間隔は、約 160m である。起振点は、深度 900m ~ 1,284m に 4m 間隔で、受振点は深度 900m ~ 1,228m に 4m 間隔で、それぞれ配置した。

弾性波の発振源には、石油探査用に開発された OWS 振源を用いた。OWS 振源は高周波数の弾性波の発生が可能であり、再現性が良いという特徴を有する。受振には 24 連ハイドロフォンアレイケーブルを使用し、最大 24 回のスタッキングにより、初動付近で約 500Hz の弾性波記録を取得することができた。

トモグラフィ解析の速度モデルは、対象とする 2 次元断面を深度方向 4m、横方向 8m の四辺形セルに分割し、各セルに単一の速度値を与えることによって表現した。トモグラフィの入力データは、観測波形記録から初動走時を目視にて読み取り、走時曲線を念にチェックした上で作成した。解析は、波線の屈折を考慮したイタレーション計算によって、断面内の速度分布を修正する方法によった。なお、トモグラフィに使用した 2 本の坑井は、厳密には同一平面上にはないが、鉛直面からのずれは小さいため、すべての起振点・受振点座標を鉛直断面に投影し、解析は 2 次元で実施した。

#### 3. 繰返し探査結果

圧入前に実施したトモグラフィ (BLS) による速度分布を基準とし、3,200t 圧入後 (MS1)、6,200t 圧入後 (MS2)、8,900t 圧入後 (MS3) 10,400t 圧入終了直後 (MS4) の速度変化率断面図を求めた。その結果、圧入位置 (深度 1,100m) の周囲で速度低下域が確認できた。また、CO<sub>2</sub> 圧入量の増加に伴い、速度低下率・低下領域ともに拡大傾向にあることが確認できた。このことから、圧入された CO<sub>2</sub> の分布域を速度低下域として捉えられたと考える。

#### 4. 考察

弾性波トモグラフィで検出された速度低下域が、実際にこの領域を通過した弾性波の走時遅れによってもたらされたものであるかどうかを確認するため、波形記録に戻って検討した。その結果、速度低下域を透過する波線を持つ起振点・受振点の組み合わせデータには、初動となる波の波形に時間遅れが観測されていることがわかった。

また圧入対象層以外に見られる速度低下域が偽像であることを確認するため、波線経路について調べるとともに、数値実験による検討を行った。その結果、圧入対象層より浅部に伸びている速度低下域は、この領域を透過した波に時間遅れが観測されていないことがわかり、偽像であると判断できた。また、偽像の発生形状を数値実験により再現することができ、見かけの速度低下域は本実験のジオメトリ特有の偽像であることがわかった。

#### 5. 結論

わが国初の深部帯水層内への CO<sub>2</sub> 地中貯留実証実験において、地中に圧入された CO<sub>2</sub> に起因する弾性波 (P 波) 速度の低下域を坑井間弾性波トモグラフィによって可視化することに成功した。また、坑井間弾性波トモグラフィを繰返し実施することにより、CO<sub>2</sub> 圧入量の増加に伴って弾性波速度の低下領域および速度低下率が拡大する様子をとらえることができた。これらのことから、圧入された CO<sub>2</sub> の分布を弾性波トモグラフィでとらえることができたと言える。CO<sub>2</sub> 地中貯留の実証実験においてモニタリング技術が重要な課題であることを考えると、今回の坑井間弾性波トモグラフィの成果は、意義のあるものといえる。なお、本研究は、経済産業省の「二酸化炭素地中貯留に関する研究開発」の一環として実施したものである。地中貯留実証試験に携わった、地球環境産業技術研究機構、エンジニアリング振興協会、帝国石油の関係各位に感謝いたします。