

D-1 廃止坑井位置確認等実証調査の成果について

石黒修一

(財団法人エンジニアリング振興協会 石油開発環境センター 研究主幹)

青野哲雄

(株式会社ダイヤコンサルタント ジオエンジニアリング研究本部 主任技師)

1. 研究目的

我が国の油田地帯には数多くの廃止坑井が放置されている実態が明らかになっている。これらは昭和 24 年 8 月の石油鉱山保安規制が制定される前の坑井であり、中には明治及び大正時代に遡ると思われる坑井も含まれる。

それらの廃止坑井の中には、地表から坑口位置が確認できない坑井が多数あり、その坑井に起因した鉱害問題が発生している地域が存在している。このような鉱害問題を解決するためには、坑井位置を特定し、坑井を封鎖する必要がある。

本研究では既存の地下探査技術を応用し、坑井位置の特定に重点を置き、安価でかつ効果的な坑井位置確認手法を確立することを目的として調査が実施された。

平成 16 年度は、鳥海山鉱山（山形県八幡町）及び安田鉱山（新潟県柏崎市）を候補地として調査を実施した。本発表では、鳥海山鉱山における調査内容及び坑口確認作業結果を報告する。

2. 研究内容

鳥海山鉱山は、山形県と秋田県の県境に位置する鳥海山山麓の山形県側の八幡町に位置し、大正元年頃には地元住民が手掘りにより原油を採取し「草津油」と称し、塗料として販売するなど、古くより原油の利用がなされた地区である。1934 年には油田開発が始まり、最盛期には日産 56kl の産油を記録するほどであったが、その後急激に産油量が衰退していき、1964 年には 30 年間の生産が閉じた。

生産を停止してから、産油会社の鳥海山石油株が解散する 5 年間に、地上設備の解体撤去及び坑井の廃坑措置が講じられるべきであったが、実態は坑井を完全に抜管することは困難なため、途中で切断され地中に残存したままの状態になっていると予想される。また抜管後、完全に封鎖がなされているかどうか不明である。このように廃坑措置が不十分であったため、徐々に地中に蓄積された原油が地表部まで達し、複数箇所において湧出してきているものと考えられる。

本研究では、当地区の中でもっとも油漏洩が顕著な C-9、C-12、C-14 及び C-14(2)号井を主な調査対象とし、坑井埋設物探査（スウェーデン式サウンディング法）、地中レーダー、金属埋設物探査、電磁探査、比抵抗探査および地震探査による各種調査を実施し、地下に埋没している廃止坑井の位置の特定を行った。

3. 研究成果（結果）

各種探査によって廃止坑井位置が特定され、掘削およびボーリング調査により坑井跡が確認された C-14 号井地区についてその概要を述べる。当地区は、地表にコンクリート構造物や基礎また枕木等が残存しており、過去に何らかの作業がなされた形跡が残っている場所である。

この地区では各探査において、最も多くの異常が検出されている。

深度 3 m 以浅の表層域では、地中レーダーや金属埋設物探査によって人工構造物を示唆する異常が検出され、坑井埋設物探査により地中からガスの自噴及び原油の湧出も確認されている。また表層から深度 30m 程にかけては、比抵抗及び電磁法により、低比抵抗部が検出されており、ケーシングパイプまたは石油に付随して産出されるかん水（塩水）の存在を示唆する異常が検出された。さらに、深部域では、地震探査により反射波の乱れが生じる領域が検出され、また電磁探査から石油溜りを示唆する高比抵抗異常が検出された。

これら探査結果の実証を行うため、次に坑口確認作業を実施した。まず、坑井埋設物探査による油湧出箇所、および比抵抗・電磁探査による異常領域を含む 5m×5m の領域を選定し、開削した。その結果、表層に原油を多く含む層、またそれと共に塩分濃度が高い湧水が確認され、その湧水源がコンクリート構造物の中からであることが判明した。そのためコンクリート構造物の上盤を除き内部を調査したところ、中は原油と坑内水で満たされたピットになっており、その中心部には、φ800mm のヒューム管がピット底から深部に向かって設置されていることが確認された。さらに詳細に情報を得るため、ヒューム管内の掘削を行ったところ、表層部では人的に敷き詰められたような玉石や木材などが発見され、その後埋め戻されたようなルーズな砂礫層が現れてきたことから、当地点が廃止坑井跡であると断定した。

以上のような各種探査及び坑口確認作業の結果により、各種地下探査技術を応用した廃止坑井の位置特定は可能であることが実証されたと考える。

4. 今後の課題

本調査結果により、C-14 号井の埋没位置が確認され、地元自治体による封鎖工事に移行できるとの判断がされた。当地域ではこの他にも複数に渡り原油が湧出する箇所が残存し、また全国的に見ると原油湧出地区は多数存在する。今後、このような問題を抱える自治体がこの成果を基に、確認調査を行うことも十分考えられるため、本研究によって確認された個々探査技術の問題点や課題を改善し、技術レベル向上を図る必要があると考える。各探査における技術課題を以下にまとめる。

・ 坑井埋設物探査

探査領域及び探査密度の決め方が難しい。細密にすれば情報量は増えるがコスト高になる。

・ 電磁探査

さらに深い深度情報を得るためには、強い送信装置が必要である。また取得データが大量であるため、データ処理及び解析時間を要する。これは今回の測定で、ルーチ

ン化することにより改善できると考える。

- ・ 比抵抗探査

電磁探査と若干異なる比抵抗分布を示した領域があった。シミュレーション検討などにより、比抵抗法と電磁法の解析結果の比較検証を行うことが望ましい。

- ・ 地中レーダー

測線設定など検討する余地はあるが、探査深度が多手法と比べ大きくことなるので、その扱いに注意する必要がある。

- ・ 地震探査

本調査地域では軟弱地盤であったため、発震強度が地盤に伝わらず、満足できるデータを取得できなかった。今後はあらかじめ地盤状況を考慮した発震手法を選択する必要がある。

D-2 二酸化炭素地中貯留技術研究開発 ーモニタリング手法としての坑井間弾性波トモグラフィー

東 宏幸

(応用地質株式会社 エネルギー事業部 技術センター所長)

二酸化炭素地中貯留技術研究開発(平成12年より実施中)の一環として、陸域帯水層に対するわが国初の二酸化炭素圧入実証試験が、南長岡ガス田(新潟県)にて行われた。

圧入実証試験では、平成15年7月から平成17年1月にかけて、累計約10,400tの二酸化炭素が地下1,100mの帯水層に圧入され、地下における温度・圧力等の基礎データが取得されるとともに、圧入された二酸化炭素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観測井を利用した物理検層および弾性波トモグラフィを選択し、実施した。

弾性波トモグラフィによるモニタリング調査では、二酸化炭素圧入前にベースライン測定を行い、その後は圧入の各段階に応じて測定を実施した。その結果、二酸化炭素圧入により生じた帯水層内の速度低下領域を捉えることができた。本発表会では、弾性波トモグラフィによる調査結果について報告する。また、調査結果の評価を目的として実施した数値実験についてもあわせて報告する。

1. 研究目的

二酸化炭素地中貯留技術研究開発におけるこれまでの室内実験により、二酸化炭素によって岩石内部の孔隙水が置換されると弾性波速度が小さくなることが確かめられていた。図-1は砂岩試料における測定結果である。

これらの実験結果を踏まえて、弾性波トモグラフィは実証試験フィールドで地中の二酸化炭素圧入範囲を弾性波の速度低下領域としてとらえることを目的として計画された。

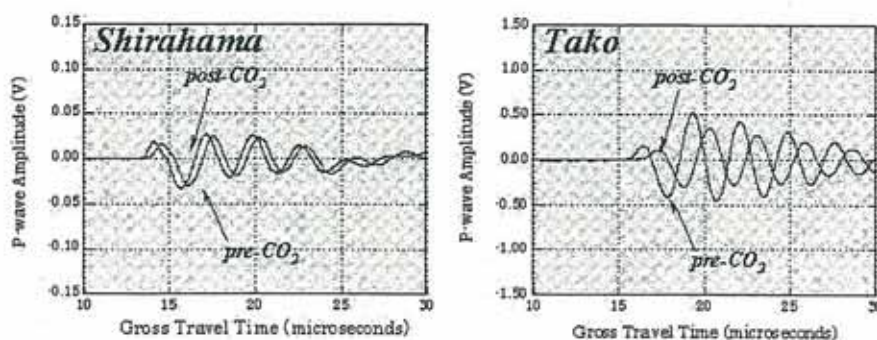


図-1 二酸化炭素置換による弾性波速度の変化

(RITE ホームページより)

2. 研究内容

2.1 弾性波トモグラフィ仕様

弾性波トモグラフィは、調査地に掘削された観測井のうち、CO₂-2坑およびCO₂-3坑(坑々間約160m)で実施した。また、振源には石油探査用に開発されたパネ式機械型震源であるOWS振源を用いた。OWS振源は高周波の発生が可能であり、再現性が良いという特徴に加え、商用電源のみで稼働できるという特徴を有する。また、受振には24連のハイドロフォンを用いた。

測定は、まず、二酸化炭素圧入前にベースラインを測定し、二酸化炭素の圧入量が増えるとともにそのモニタリングを目的として、各段階について実施した。図-2に二酸化炭素圧入量と弾性波トモグラフィの実施時期について示す。

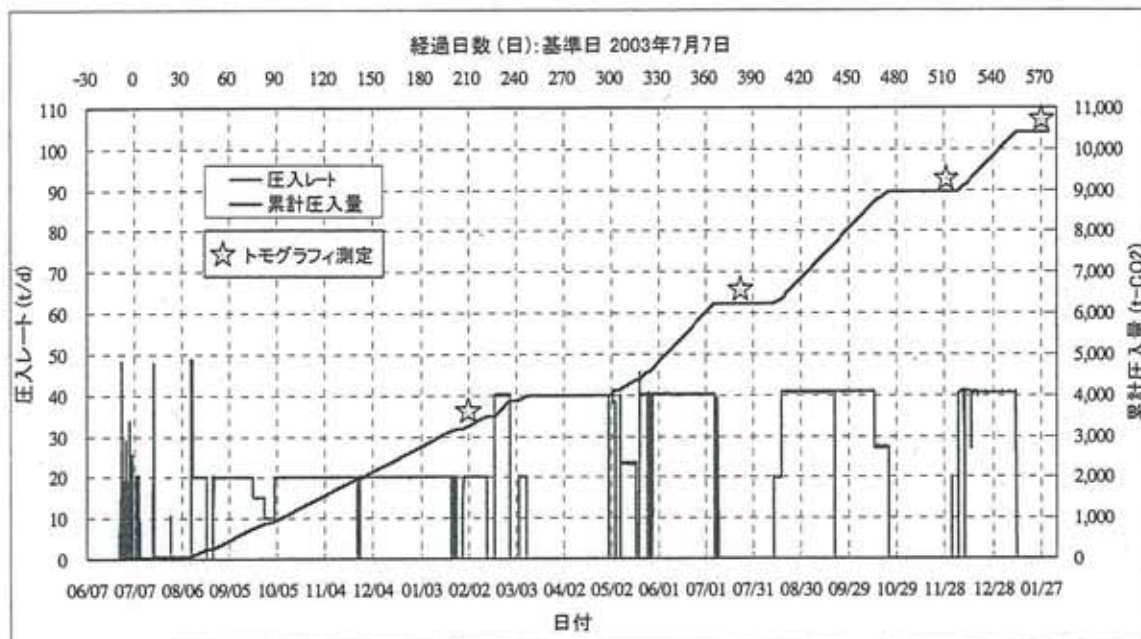


図-2 弾性波トモグラフィ実施時期と二酸化炭素圧入量の関係

2.2 調査結果

図-3 に調査結果の1例としてベースライン測定と 6,200t 圧入時測定結果との速度比を示す。図からわかるように、圧入坑近くを中心に弾性波速度低下領域を把握できている。

また、得られた結果を解釈するために数値実験を行なった。結果の1例を図-4 に示す。与えた速度層構造とインバージョン結果を比較することで、本調査地の速度構造や観測ジオメトリーでは、速度低下の範囲、速度の絶対値や偽像の発生などについて知見を得ることができ、調査結果の解釈に役立った。

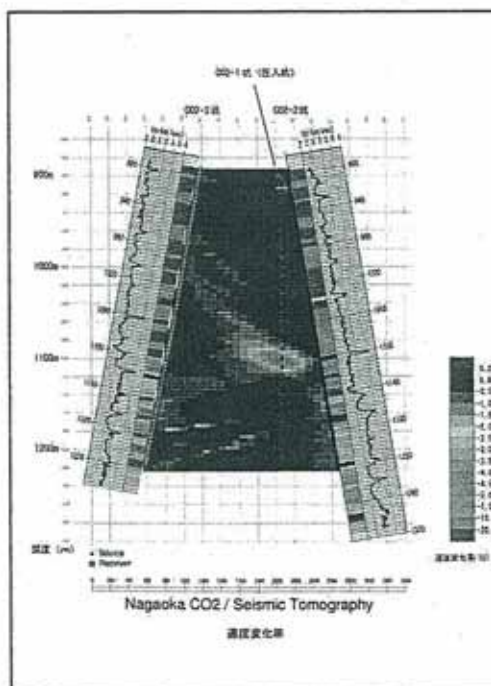


図-3 二酸化炭素圧入前後の速度比 (6, 200ton)

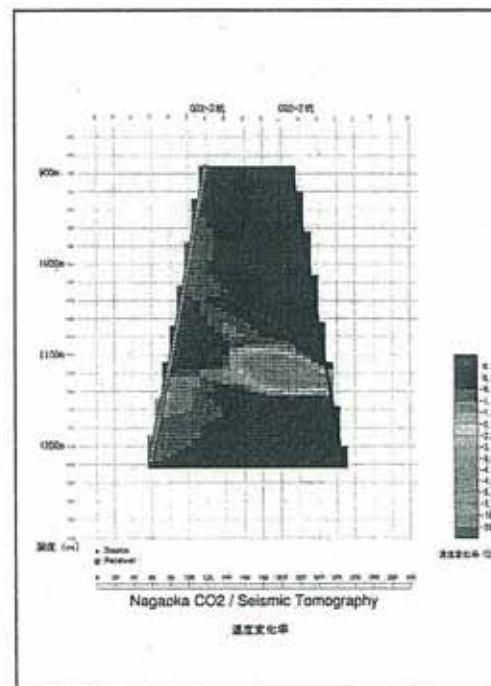


図-4 数値実験結果

3. 課題と展望

二酸化炭素の圧入範囲として弾性波速度の低下領域を把握できたが、より定量的理解に進むためには二酸化炭素飽和度のイメージとする必要がある。しかしながら、本地域のような地質、岩盤で二酸化炭素飽和度と弾性波速度の低下量の関係がまだわかっていない。今後、室内試験や物理検層結果からその関係が得られれば、トモグラフィで得られた速度イメージから二酸化炭素飽和度のイメージに変換することが可能となる。

D-3 メタンハイドレート資源開発環境影響評価に関する研究 —地層変形予測技術について—

西尾 伸也・荻迫 栄治

環境影響評価グループ 地層変形予測技術サブグループ
(清水建設(株) 技術研究所 先端技術開発センター)

1. はじめに

メタンハイドレートは次世代資源として注目されており、日本周辺海域にも日本が消費している天然ガスの約100年分の量が存在すると推定されている。経済産業省主導によるメタンハイドレート資源開発研究が平成13年度に発足し、(財)エンジニアリング振興協会は環境影響評価分野を担当している。この分野について、4つのサブグループを設けて研究を進めているが、このうち、地層変形予測技術サブグループはメタンハイドレート生産に伴う周辺海底地盤の変形の発生する可能性を評価するための技術について研究開発を進めている。平成16年度は、基礎試錐「東海沖～熊野灘」で採取されたコア試料を対象とした各種試験を実施し、その試験結果を基に、これまでの各種研究結果をベースとしたさまざまな検討を行った。ここでは、その検討結果を中心にこれまでの主な研究調査結果の概要を報告する。

2. 研究目的と主な研究内容

メタンハイドレート生産に伴う地盤変状の事前・事後対策の検討や地盤変状のモニタリングを行う際に、周辺海底地盤への影響を予測・評価することが必要となる。地層変形予測技術サブグループの研究目的は、その影響を予測・評価可能な地層変形シミュレータを開発することにある。そのために、以下のような項目について研究・開発を行っている。

- (1) 海底地盤の環境条件(温度・圧力)を再現して人工メタンハイドレートを地盤材料の中に生成する技術の開発
 - (2) 海底地盤のコア試料や海底地盤を模擬した試料の力学特性の把握
 - (3) 地層変形に影響を及ぼすパラメータの抽出
 - (4) 海底地盤の力学的特性を表現する構成式の構築
 - (5) プロトタイプの地層変形予測プログラムの開発
- 以下に、上記項目中の主要な内容について述べる。

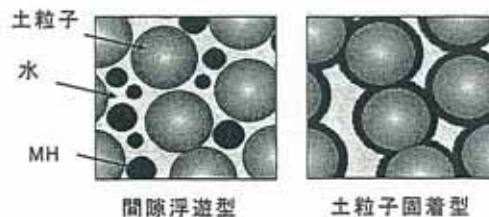


図-1 メタンハイドレート(MH)の存在状態

2.1 海底地盤模擬試料の力学試験とそのシミュレーション

地盤中におけるメタンハイドレートの存在状態は、その起源や地層条件により大きく異なることが知られている。そこで、間隙浮遊型(状態A)および土粒子固着型(状態B)のメタンハイドレート(図-1)を模擬した氷試料を作成し、排気条件下で三軸圧縮試験を行い、力学特性に与える氷の存在状態の影響について検討を行った。

図-2は、状態Aの試料についての軸差応力-偏差ひずみおよび体積ひずみ-偏差ひずみの関係を示したものである。軸差応力は最大強度に達した後はほぼ一定か若干増加しており、いわゆるひずみ硬化挙動を示している。また、拘束圧が大きいほど最大強度は大きくなる。一方、図-3は、状態Bの試料についての結果である。拘束圧が小さい場合、軸差応力は最大強度に達した後はゆるやかに減少しており、いわゆるひずみ硬化-軟化挙動を示している。また、拘束圧が大きいほど最大強度および残留強度は大きくなっている。図-2と図-3を比較すると、特徴的な点は、状態Bは状態Aに比べて最大強度が大きいことと、ひずみ軟化挙動を示すことである。これは、土粒子固着型は間隙浮遊型に比べてセメンテーション

の効果が卓越しており、そのため残留強度に達するまでの変形の初期の段階で、粘着力による強度が発現されるためと考えられる。また、図-2、図-3には、この三軸圧縮試験結果について、岡らの提案する凍結砂のひずみ軟化型弾粘塑性構成式を用いてシミュレーションを行った結果についても同時に示している。シミュレーション結果は、上述した試験結果にみられる応力-ひずみ関係の特徴をよく表現できていることがわかる。

2.2 大水深海底地盤から採取したコア試料の力学試験とそのシミュレーション

メタンハイドレートの資源フィールドの一つとして期待される南海トラフの大水深海域において基礎試験が行われた。基礎試験で採取したコア試料を用いて三軸圧縮試験を行い、その力学特性について検討を行った。また、この三軸圧縮試験を対象に、木元・岡らの提案する粘性土の弾粘塑性構成式を用いてシミュレーションを実施し、試験結果との比較・検討を行った。

図-4に、正規圧密状態と過圧密状態(OCR=1.6)の2種類の試料についての有効応力経路を示す。過圧密の場合、平均有効応力が増加しながら、また、正規圧密の場合、平均有効応力が減少しながら限界状態線に接近している。過圧密と正規圧密の違いはこのような有効応力経路の違いに明確に現れており、試験結果に見られる応力履歴の違いの影響をシミュレーション結果はよく表していることがわかる。

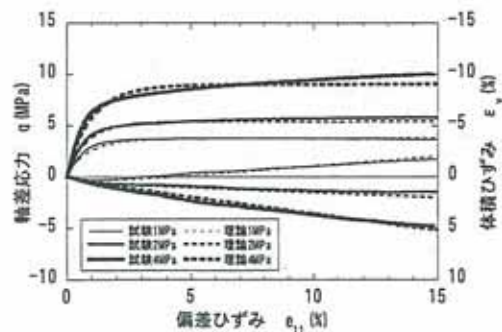


図-2 模擬試料の応力-ひずみ関係(状態 A)

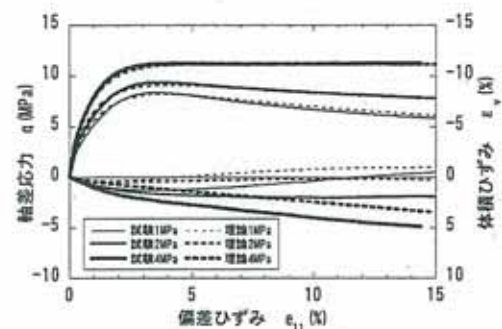


図-3 模擬試料の応力-ひずみ関係(状態 B)

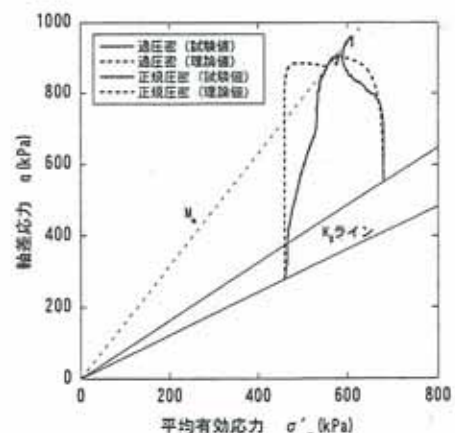


図-4 基礎試験コア試料の有効応力経

3. おわりに

今後さらに海底地盤試料の力学試験を通して、その特性を把握するとともに、海底地盤の力学的特性を適切に表現できる構成式の改良・構築を行っていく予定である。そして、メタンハイドレート開発計画フェーズ1終了時までには、地層変形プロトタイプシミュレータを開発するとともに、フェーズ2に向けたさらなる技術の作り込みを行っていきたい。