

# 岩石コアを用いた地殻応力評価に関する研究

林 為人\*

## 1. 研究の目的

水圧破砕技術を利用したシェールガス・タイトオイル開発において、地殻応力の大きさやその主応力の方向は、坑井配置やフラクチャーの伸展形態、既存断層再動等の検討・評価に不可欠な情報である。一般的に、単一の手法のみで必要十分な地殻応力の情報を得ることができず、また、各手法には誤差や不確実性が含まれる問題もある。そのため、地殻応力のモデルは、複数の方法を組み合わせ、それらの結果を総合的な分析・評価するもとの、構築される必要がある。本研究では、北秋田地区での地殻応力の総合評価の一環として、掘削コアを用いてコア法による応力の測定を行い、当該地区の地殻応力の総合評価を研究の目的とした。具体的には、当該地区にて取得した女川層の岩石コア試料を用いた、①DSCA (Differential Strain Curve Analysis) 法の測定・解析、②DCDA (Diametrical Core Deformation Analysis) の測定・解析を行い、ならびに③ASR (Anelastic Strain Recovery) 法の測定結果の分析を実施した。また、これらの測定と合わせて、坑壁画像に基づく Borehole Breakout (BBO) 解析を実施し、最大水平主応力の大きさや方向についてコア法による測定結果との整合性を評価した。

## 2. 研究の方法

DSCA 法は、ボーリングによって採取された定方位コア内部の三次元的な見かけ微小き裂の分布を計測し、その微小き裂分布と原位置地圧とを幾つかの仮定のもとで関連づけて地圧を評価する応力計測法である (及川ほか, 1995)。この方法では応力の絶対値は求められないが、三次元主応力の方向と各主応力値の比 (主応力比) を求めることができる。本委託研究では、計 7 個のコア試料を用いて DSCA 法による応力の測定を実施した。これらのコア試料は女川層の第 VIII、IX、XII 層からそれぞれ、3、1、3 個採取した。

従来の DCDA 法では、コア軸に直交する平面内の二次元主応力の方向と、二次元主応力の差を得ることしかできなかった (Funato et al., 2017)。また、この従来の DCDA 法では、鉛直方向が主応力方向となっている場合の傾斜坑井のコア試料に適用できないという制限がある。本委託研究では従来法に合わせて、最近考案された傾斜坑井にも適応でき、かつ逆解析手法によるカーブフィッティングの最適解という新しい解析手法を導入して、最大と最小主応力の値を個別に決める新解析方法 (Kayamoto et al., 2017) を用いた。DCDA の測定には、女川層の第 VIII、IX、XII 層からそれぞれ、5、4、4 個のコア試料を使用した。

コア試料は掘削により原位置応力から解放されると、弾性ひずみが瞬時に発生するほか、非弾性ひずみ (anelastic strain) は数日～数週間の時間をかけて少しずつ回復する。弾性ひずみの瞬時に回復するプロセスは、コア試料が地上に回収される前にすでに終了しており測定できないが、非弾性ひずみ回復 (ASR) はコア回収後にも続くので、その部分が測定可能である。この非弾性ひずみの回復プロセスを測定して、原位置応力を得るのが ASR 法による応力測定である (Lin et al., 2006)。ASR 法のひずみ計測は、掘削コア試料の円柱表面にひずみゲージを瞬間接着剤で張りつけて行っており、計 9 方向 (そのうち、6 方向が独立した方向である) での計測を 1～2 週間程度連続的に行った。ASR 法による応力計測は計 10 個のコア試料 (女川層の第 VIII、IX、XII 層から、それぞれ 4、3、3 個) を用いて、掘削サイトの現地実験室にて行った。

## 3. 得られた成果

ASR、DSCA、DCDA そして Borehole Breakout (BBO) 解析によって推定した最大水平主応力 ( $S_{Hmax}$ ) の方向の結果の結果を図 1 に示す。コアの異方性や表面の傷により測定精度が低いものを除

---

\*京都大学大学院工学研究科・教授

けば、目的の3つの貯留層である3つの層では、 $S_{Hmax}$ 方向は概ねNW-SE方向を示している。第VIII層では1コア試料のASR結果が他の結果とほぼ直行しているが、大局的に言えば各種手法の応力方向の測定結果は概ね一致していると考えられる。この結果により、対象地域の貯留層のよって、考案したDCDAの主応力方向推定精度が十分あることが示されたと同時に、最大水平主応力方向がN135°前後であると結論付けることができた。一方、水平主応力の絶対値の測定結果は、それぞれ手法により異なる結果になった。そこで、Stress Polygonを用いて応力範囲の評価ならびに上限と下限の値を見積もった。その結果、当該地域の応力場は、横ずれ断層型の応力場が卓越していることが判明した。

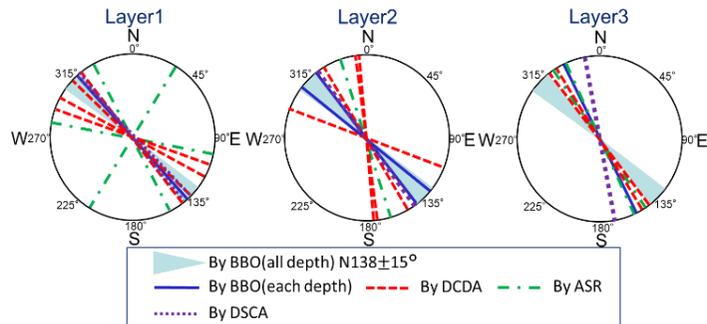


図 1 第 VIII、IX、XII 層 (Layer 1, 2, 3) の最大水平主応力方向の測定結果

#### 4. 謝 辞

本研究は、国際石油開発帝石株式会社により委託されたものである。

国際石油開発帝石株式会社ならびに独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構の関係各位のご協力とご助言をいただいた。ここに厚く感謝申し上げます。

#### 発 表 論 文

Kayamoto, Y., Lin, W., Tsusaka, K., Nagano, Y., and Mura, M., 2017: Estimation of Stress Field in a Reservoir in the Onnagawa Formation, Akita Region, Japan, 2017 AGU Fall Meeting, Abstract No. T11B-0457, New-Orleans, USA

栢本 悠大、林 為人、津坂 仁和、村 美樹、古田 康平、長野 優羽、古賀 大晃、2018、八橋油田北部地域における掘削コアを用いた地殻応力場推定、平成 30 年度 石油技術協会 特別講演会・春季講演会 (シンポジウム・個人講演)、口頭発表、発表番号 057。

林 為人、杉本 達洋、長野 優羽、津坂 仁和、2017、コアを用いた地下の応力状態の評価手法 - 最適な水圧破砕のデザインを目指して -、石油技術協会誌、Vol.82, pp.428-437。

#### 参 考 文 献

Funato, A. and Ito, T., 2017: A new method of diametrical core deformation analysis for in-situ stress measurements, Int. J. Rock Mech. & Mining Sci., Vol.91, pp.112-118.

Lin, W., Kwasniewski, M., Imamura, T., and Matsuki, K., 2006: Determination of three-dimensional in-situ stresses from anelastic strain recovery measurement of cores at great depth, Tectonophysics, Vol.426, pp.221-238.

及川 寧己、山口 勉、松永 烈、佐藤嘉晃、1995 : DSCA による肘折高温岩体実験場の地圧評価、資源と素材、Vol.111, pp.587-594.