

# 新潟地域のガス田フィールドの砂岩コアを用いた DCDA 測定

林 為人\*

## 1. 研究の目的

石油や天然ガスの開発においては、ガス田の出砂リスクを評価するなどの際に、地殻応力の大きさやその主応力の方向は重要な情報となる。本調査研究では、新潟地域のガス田フィールドにおける 1DMEM (1D Mechanical Earth Model) の不確実性の低減を目的として、コアを用いた応力測定である DCDA (Diometrical Core Deformation Analysis) を実施する。この測定により、最大水平主応力 ( $S_{Hmax}$ ) と最小水平主応力 ( $S_{Hmin}$ ) の差である差応力 ( $S_{Hmax} - S_{Hmin}$ ) を評価する。なお、補足の参考情報を得る目的として、関連する対象坑井で得られたキャリパー検層結果から最大水平主応力方向の解析も実施したが、ここでの報告を割愛する。

## 2. 研究の方法

### 2.1 砂岩コア試料

国際石油開発帝石株式会社が新潟地域におけるガス田フィールドで採取した 4 本の岩石コア試料を用いて、DCDA 法による応力測定を実施した。これらのコアの直径は約 4 インチ (約 10 cm) である。コア試料の観察を行った結果、コア試料 B1 と B2 は表面に顕著な傷などはほとんど認められなかったが、A1 と A2 の表面には多数の擦り傷が存在することが分かった。これらの傷は、縦方向、つまりコアの軸に平行する方向のものであり、コアキャッチャまたはコアバレルの中での滑動により形成された可能性が高いと思われる。なお、これらのコア試料は定方位コアではないため、コア試料から得られる主応力の方向を原位置の方位に変換することが不可能であった。

### 2.2 DCDA 解析による応力測定の方法

コア試料は掘削により原位置応力から解放されると、弾性ひずみを主とする変形が発生する。コア軸が 1 つの主応力方向と同じである場合 (例えば、鉛直掘削で、かつ鉛直方向が 1 つの主応力方向となる場合) において、コア軸に直交する平面内では、一般的に最大主応力と最小主応力の大きさが異なる。したがって、応力解放に伴って発生する変形が方向によって異なるため、コアの断面は最大主応力の方向でその“直径”が最大となり、最小主応力の方向では“直径”が最小となる。また、最大と最小コア直径の差は、等方均質弾性体の場合、最大と最小主応力値の差に比例する。DCDA 法は扱う岩石コア試料を、等方均質な線形弾性体と仮定して、差応力を次の式を用いて算出する (Ito et al., 2013)。

$$S_{Hmax} - S_{Hmin} = [E/(1+\nu)](d_{max} - d_{min})/d_0 = 2G(d_{max} - d_{min})/d_0 \approx 2G(d_{max} - d_{min})/d_{min} \quad (1)$$

ここで、 $S_{Hmax}$  と  $S_{Hmin}$  は、鉛直掘削、かつ鉛直方向が 1 つの主応力方向となっている場合の、それぞれ最大と最小水平主応力の絶対値である。E、 $\nu$ 、G はそれぞれ、コア試料のヤング率、ポアソン比、剛性率であり、本研究では国際石油開発帝石株式会社から提供された値を用いた。また、 $d_{max}$ 、 $d_{min}$  はコアの最大直径と最小直径であり、 $d_0$  はコアの初期直径、すなわちコア試料を地層から切り出す前の“仮想直径”である。実際は、この応力解放前の仮想直径は求めることができないものの、 $d_{min}$  で代用しても顕著な差は生じないものである。

### 2.3 応力測定の結果

図-1 に示される DCDA 測定システムを用いて、コアの周方向における直径分布を測定し、三角関数を用いてフィッティングを行った。A 坑コアの直径分布の測定結果が大きく変動し、フィッティング結果の  $R^2$  は 0.6 程度であった。それに対して、B 坑コアの  $R^2$  は 0.9 以上となり、比較的信頼性の高い結果であった。A 坑コア直径測定の結果について大きく変動した原因は、コア表面にある擦り傷のためであった。一方、B 坑のコア試料は表面に傷などの欠陥がほとんど認められなかったため、コア直径の周方向に伴う変動のカーブは理想的な三角関数となり、精度よくフィッティングす

ることが可能であった。コア試料 A1 と A2 は多くの擦り傷があり、測定結果の補正を行った。生データと傷補正データの両方による解析結果では、差応力値はそれほど大きく変わらなかったが、カーブフィッティングの  $R^2$  は顕著に向上した (0.3~0.6 から 0.7~0.9 に)。式 (1) からわかるように、DCDA 法で評価される差応力はヤング率などの物性に大きく依存し、物性測定の場合 1 と Case 2 のヤング率は大きく異なっているため、それぞれによる差応力結果も相応して大きく変動した。概略的に、A 坑コアの採取深度では、差応力が 10~20MPa と見積もることができると考えられた。コア試料 B1 と B2 は、擦り傷がほとんどなく、その影響がなかったと考えられる。生データによるカーブフィッティングの  $R^2$  は 0.93~0.99 であった。よって、B 坑コアの採取深度では、差応力が 30~60MPa として見積もられた。この値は、岩石の強度や横ずれ断層型の応力状態と整合すると考えられる。

### Optical micrometer

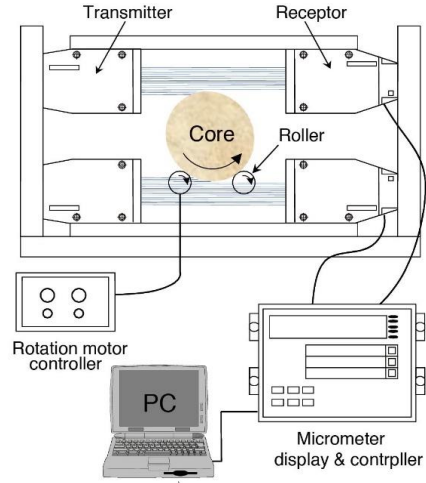
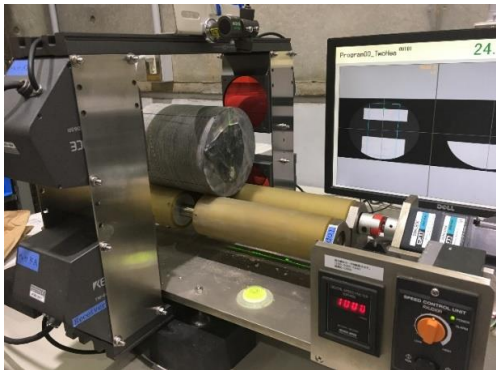


図-1 左図は本研究で用いた DCDA 測定システム、右図は当該測定システムの模式図 (林ほか, 2017 より改訂)

### 3. 得られた成果

本委託研究では、新潟地域のガス田フィールドにある A 坑と B 坑のコア試料を用いて、コアを用いた応力測定法である DCDA を実施し、最大水平主応力 ( $S_{Hmax}$ ) と最小水平主応力 ( $S_{Hmin}$ ) の差応力 ( $S_{Hmax} - S_{Hmin}$ ) を評価した。A 坑のコア試料による DCDA の測定結果としては、コア表面の擦り傷が多く、測定データの質は中程度 (高、中の上、中、中の下、低の 5 段階とすれば、中間に相当) と評価される。測定コアの深度付近の差応力は、10~20 MPa 程度と見積もられた。また、B 坑の DCDA の測定結果としては、コア表面の擦り傷がほとんどなく、測定データの質が高いと判断される。当該コアの採取深度付近での差応力は、30~60 MPa 程度と見積もられ、A 坑と比べると大きい結果となった。

### 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。また、国際石油開発帝石株式会社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。

### 参考文献

Ito, T., Funato, A., Lin, W., Doan, M.-L., Boutt, D. F., Kano, Y., Ito, H., Saffer, D., McNeill, L.C., Byrne, T. and Moe, K.T., 2013: Determination of stress state in deep subsea formation by combination of hydraulic fracturing in situ test and core analysis: A case study in the IODP Expedition 319, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, Vol. **118**, pp.1203-1215.  
 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, No.6, pp.428-437.