

坑井取得データによる応力計測の実際 - 総合的検討の一部として

In-situ stress measurement using borehole data: a part of comprehensive evaluation

山本 晃司 [1]

Koji Yamamoto[1]

[1] 資源機構

[1] JOGMEC

<http://trc.jogmec.go.jp/>

1. はじめに

石油開発において地下の力学的情報の重要性が増している。これは、石油開発が難地域に移行してきてテクトニックストレスが原因の掘削障害などの事例が生じていることと、坑井刺激や増進石油回収 (Enhanced Oil Recovery, EOR) の技術の進歩で、人工的に地下の力学状態を変化させる開発手法が一般的になってきたこと、などのためである。これらの情報は開発計画に利用され、Petroleum Geomechanics という分野が誕生している。このため、貯留層や掘削対象の地層の応力を計測する技術が必要になっている。

地下の応力は、定性的には震源メカニズム、広域のテクトニクス、地質構造の状況などから推定できるが、我々が必要とするのはより局所的で定量的な情報である。そのため、実際にその深度に掘削された坑井の原位置における情報が必要となる。そのための一つの手法は、コアを取得してその特性から試料の受けていた応力を評価する方法で、ASR (Anelastic Strain Recovery) 法, DSCA または DSA (Differential Strain Curve Analysis) 法, AE (Acoustic Emission) 法などがあるが、測定できる応力が点であること、コアリングの費用が高額であること、適用できる条件 (岩種など) が限られることなどから、実施する機会は比較的少ない。

一方、物理検層や坑井内で行われる試験の中には、通常の貯留層評価に必要な地質や石油物理 (Petrophysics) の情報を得ると同時に、応力に関する情報も得られるものがある。

これらの手法の適用により、油田開発のルーチン的な作業の中から地下の有益な情報が得られている。

2. 坑内原位置での応力評価手法

1) 坑壁の破壊状況に関する情報

坑井掘削時に坑壁が圧縮あるいは引張破壊して、掘削時の障害につながる場合がある。これは、地下の応力と坑内の泥水圧力がバランスしないために生じる現象である。従って、坑径を計測するキャリパーログや、比抵抗を用いた坑壁イメージングツールを用いて坑壁の破壊状況を知ることから、主応力の方位や応力度の評価を行うことができる。また、イメージングツールから坑井を横切る天然き裂や断層の情報も得られるため、当該地層が受けてきた応力履歴を評価することも可能である。

2) S波速度異方性による情報

弾性波検層ツールの中には一定の偏向のS波を生じさせることができるものがあり、そのツールで捉えたS波速度の異方性から応力の異方性の評価を行うことができる。S波速度の異方性の原因には、応力の異方性の他に、地層の走向・傾斜及び岩石き裂の配列といった地層の構造が持つ異方性と、掘削時に生じた坑壁破壊の方向がある。後者もまた応力に関する情報を与えるが、応力自体から生じる異方性とは方向が90度異なる。これらの原因は、各方向の位相速度の分散性から分析することができる。

3) 水圧破砕法による応力計測

水圧破砕法は最小主応力の直接計測法として多くの科学技術の分野で様々な深度で行われている。坑井内では、裸坑にバッカーを利用して特定区間のみ加圧する方法が用いられるが、時間がかかることとトラブルのリスクが考えられることから、石油生産用の坑井で行われることは少ない。このため、ワイヤーラインの圧力検層用ツールを用いる方法、ケーシング・セメンチング終了時にその直下を加圧する Extended Leak-Off Test (ELOT) などが行われる。また、坑井刺激やEORの圧力データ、掘削中の逸泥、PWD (Pressure While Drilling) ツールによるまれに偶発生じたフラクチャリングなども応力の情報を与える。

3. 応力評価の留意事項

これらの原位置での応力評価には次のような留意事項がある。

1) 水圧破砕法以外の手法は応力度に関して間接的な評価であり、定量評価をする上では、岩石強度といった別個に計測されるデータ、経験的法則、地層の均質性や等方性、主応力軸が鉛直及び水平面内にあるといった応力状態に関する仮定などが含まれる。

2) 坑井の傾斜・方位の影響を受ける。

3) 坑壁破壊を利用する手法はそのプロセスに坑内圧力の地層への移動による多孔質弾性 (Poroelasticity) 効果を考慮する必要がある。この場合、破壊現象は時間依存の問題となる。

また、いずれの手法も単一で応力状態を記述に必要な情報（3つの主応力軸の向きと主応力度）を与えるものではない。そのため、ここに述べた方法だけでなく、構造地質学的情報やコア法による情報を組み合わせて、それぞれの情報の特性（添付表）を理解して総合的な評価が必要である。

手法	測定可能項目	特徴	当所における実施内容
震源メカニズム	主応力方位、応力タイプ*	地震活動の活発な地域に限られる	基礎試験、ケーススタディ対象地域の文献調査
構造地質史、地質構造	主応力方位、応力タイプ*	過去の応力履歴	基礎試験、ケーススタディ対象地域の調査
GPS 観測による地表面変位	主応力方位	短期的な応力の変化の状況、地表面での値である。地震等の影響を受ける。	基礎試験周辺地域の調査
水圧解除法（エウステンディブリークオフテスト他）	最小主応力の大きさ・方位	原位置の正確な値が計測可能。生成されたき裂の向きがわかれば応力方位を決定可能	基礎試験「チカップ」、「新井」、「東海沖～熊野灘」、その他内外油田で実施・分析
坑井破壊の信頼による方法（ITF、ブレイクアウト）	主応力方位、最大・最小主応力の取り得る範囲	検層ログ（イメージツール、キャリバー）によるので、深度ごとの情報が取得可能。岩石強度の情報が必須。	基礎試験「富倉」「チカップ」「東海沖～熊野灘」他内外油田で実施
ε 弾性相速度異方位の分析	最大主応力方位、異方位の程度	検層ログ（弾性波検層ツール）によるので、深度ごとの情報が取得可能。位相速度分散の分析が必要。	基礎試験「東海沖～熊野灘」他内外油田で実施
コア法・OSCA	主応力各成分の大きさの比	定方位コアであれば方位の測定が可能。高圧容器が必要	基礎試験「新井」において実施（実施：常国石油、産協研）
コア法・ASR	主応力各成分の大きさの比	定方位コアであれば方位の測定が可能。コア取得直後に坑井元で実施	基礎試験「新井」において実施（実施：常国石油、ダイヤコンサルタンツ）

*応力タイプ：正断層型、換ずれ断層型、逆断層型の区別