令和７年４月１１日

JOGMEC 再生可能エネルギー事業本部

地熱技術部技術課

令和６年度地熱井掘削監督者養成講座　ご質問・講師からの回答

いただいた質問のうち、講義内容に直接関係があるものについて、以下に回答いたします。

ご質問１：　掘削用語講座

質問内容：

講座内容から逸れてしまいますが、リグのドローワークス能力に関し、掘削長さが示されていることがあります。

この掘削長さは、一般的な掘削編成を想定し、そのときの重さをドローワークスが引っ張れるかどうかで決めているのでしょうか。

また、その他で掘削距離を決める要因はございますでしょうか。

回答：

ドローワークス能力に対して示されている掘削長は、そのリグで通常使用されている機材を用いた場合に達成可能な深度の“目安“と考えていただければよいかと思います。

基本的に、掘削長を決定する主な要因はドローワークスが対応できる掘削編成の重量ですが、その重量は使用する DP や編成によって異なり、井戸の坑跡や掘削する地層などの影響も考慮する必要があります。

また、抑留などの坑内トラブルが発生した際には掘削編成の重量以上の力をかける「強引」を行う場合があり、その際には掘削櫓の耐荷重も考慮する必要があります。

そういったものを考慮した場合に、ここまでなら掘れるであろうと示されているのが掘削長だと理解しております。

ご質問２：　検層技術と坑井評価技術

質問内容①：

（p23）ポンプダウンが可能と記載がありますが、ポンプダウンすることで冷却効果も出てくるのではないかと感じています。そこで、本講座の中で紹介された検層機器の中で Pump Down に適さない検層種目があれば教えてください。また、逸泥がない場合は温度限界で検層不可となるのでしょうか。それとも魔法瓶みたいなもの（ヒートシールド？）を装着することで検層が可能になるのでしょうか。

回答：

検層をポンプダウンで実施するためにはターゲット付近で逸泥していることが必須条件になります。坑内に加圧送水するために地層温度を把握するための温度検層、ツールを頻繁に上げ下げする必要のあるフローメータ検層等には適しません。ポンプダウン後は坑内冷却の効果が見られますが、検層ツールを高傾斜のターゲット深度に降下させることを目的にしており、坑内冷却を目的にしているものではありません。地熱で使用される検層ツールには機器の耐熱が問題になることがありますが、質問者の記述にあるような魔法瓶とヒートシンク（蓄熱部）を活用して電子回路や機構部品を保護することが通常です。魔法瓶を使用することで、外部の高温環境から一定時間、電子回路等を保護することは可能ですが、反面、電子回路の発熱の影響による魔法瓶内部の高温化が問題になり、連続使用時間が決まってきます。ちなみに、弊社で使用しているプロダクション検層ツールは 300℃の環境下で 4 時間の連続使用が可能です。この時間は魔法瓶内のヒートシンクの蓄熱容量によって制限されています。

質問内容②：

（P55）光ファイバーについて、

・温度限界が出てきませんでしたが、どれくらいなのでしょうか。

・DTS および DAS を測定したい場合でもキャピラリーケーブルの中には 1 本の光ファイバーケーブルだけでいいのでしょうか。それとも種目ごとに 1 本ずつ必要になるのでしょうか。

・DAS を測定する際、振動を取得するためにキャピラリーチューブが坑壁に接触している必要はあるのでしょうか？坑内流体を介するだけでも（CBL のように?）DAS は取得可能なのでしょうか。

回答：

・近年、坑内計測・モニタリングで使用される光ファイバの温度仕様は 300℃耐熱と称した市販品を使用することが多いです。ただし、光ファイバの耐熱性能は坑井内の環境下で長期間耐熱性能を維持し続けると考えてはいけないということは、経験上、学んでいます。高温、高圧の環境下で流体に暴露された光ファイバは、時間とともに、特性の劣化が進みます。特に光ファイバの被覆の劣化による減衰率の増加が、地熱坑井でのモニタリングの課題になっています。

・キャピラリーチューブの内部はφ数 mm の空間があるので、複数本の光ファイバを収納することが可能です。弊社のこれまでの作業では、シングルモードファイバ 2 本＋マルチモードファイバ 2 本が入ったキャピラリーチューブを良く使用しています。一本のキャピラリーチューブを DAS にも DTS にも活用できる利点があり、長期間の計測で、光ファイバが断線したり劣化したりした場合に地上で別ファイバに切り替えることができることを見込んでいます。基本的には、ひとつの計測には 1 本の光ファイバが必要になります。DAS と DTS を同一坑井で同時に計測したい場合には、基本的には、それぞれ 2 本の光ファイバが必要です。

・過去の経験上、坑壁との接触状態がよければ良いほど、データ品質が向上することはあるかと思いますが、適切な信号処理をすることによって、キャピラリーチューブが坑壁に接触していなくても、弾性波の取得は可能です。

ご質問 3： 地熱井におけるカッティングス分析

質問内容：

私は、掘削事業者（地熱）に 7 年前から所属しており、地質調査が専門です。

荒井様も強調されていましたが、地質調査者としてドリラーとのコミュニケーションをどのようにしたらよいかということです。毎回、掘削現場に行ったときに、自分は何ができるのだろうかと自問しながら、ドリラーとコミュニケーションをとっていましたが、荒井様の講義でのご指摘を受けて、改めてコミュニケーションの重要性を感じました。

2 つめはオンサイトでの地質調査者の役割ですが、これを荒井様がイメージされているレベルを行うには、相当な費用とエネルギー、そして地質屋の再教育が必要だと感じました。私が危惧しているのは、現在の大学では、昔のように山を歩いて地質図を書けるような教育を行っているところはきわめて少ないと感じています。このため、オンサイトでの地質調査を行うには、現場の始まる前に、実際的で具体的な教育を現地で行う必要性を再認識しました。

3 つめですが、地熱調査で使われている「キャップロック」という言葉についてです。私が地熱調査に関わるようになったのは、7 年ほど前に現在の会社に転職して JOGMEC のヒートホール調査で地質解析部分を担当するようになり、そこで地熱調査の勉強をやり始めたのですが、気になったのは「キャップロック」という言葉です。JOGMEC の地熱関係のパンフレットには、「キャップロック（難透水性）：高温の蒸気や熱水を閉じ込めておくための蓋の役割をします。」と定義されており、地熱貯留層の上部に熱水変質を受けて低比抵抗帯となった部分を指しているように見えます。そもそも「キャップロック」という用語は、難透水性の泥岩層などが背斜構造をなし、原油や天然ガス等の揮発成分を閉じ込めるための必須条件と認識しています。 ところが、地熱貯留層の近傍に生じた熱水変質帯（低比抵抗体）は、地熱貯留層が高温であるため、その周囲が熱水変質した結果生じたものとなります。必ずしも難透水性である必要はありません。 石油地質や CCS の分野で「キャップロック」という用語は良いかと思うのですが、地熱の分野では「キャップロック」の定義から外れるのではないでしょうか。 地質を勉強し始めてすぐの頃、学会の席上で、ある先生から用語の使い方で手厳しく指摘されて以来、ターミノロジーの問題はちょっと気になるのです。

回答：

・（通常、掘削会社に許可頂いてドリラーから情報収集されていると思いますが、）ドリラーも色々な性格の方がいます。多くのパラメータを見ながら掘削しているので、話しかけるタイミングは重要です。情報をいただくわけですから、挨拶と気配りが重要だと思います。ドリラーなくして掘削はなく、ドリラー情報なくして地下地質の想定もうまく行かないと思っています。毎日一緒に仕事をし、丁寧に話しかけていれば、よいコミュニケーションができるようになるのではないでしょうか。

・講座資料の最後に、オンサイト地質調査に役立つ「参考図書」・「参考文献」を添付させていただきました。また、掘削現場をご提供いただければ、オンサイトでの地質調査研修を実施することは可能です。さらに、ご希望があれば、半日程度になりますが、岩石試料を使って、室内での坑井地質調査体験や、より良い方向に改善するための意見交換も可能です。

・「キャップロック」については、概念モデルとご理解ください。若い熱水活動地帯では、地熱貯留層より浅部で粘土化変質による低比抵抗帯を形成していないことがあります。浅部に広がる低比抵抗帯が、実は地熱貯留層から上昇した NaCl 型熱水帯水層（温泉）であるといったことも考えられます。坑井地質調査にあたり、地質調査者は、当該地域の地熱徴候地の情報（温泉の比抵抗）をしっかりと把握しておくことが重要です。低比抵抗の粘土化変質帯が貯留層上位に蓋状に広がっていれば、概念的には「キャップロック（難透水層）」になりえます。また、地熱貯留層の浅部で伝導的な温度構造を示すエリアが蓋状に広がって「難透水層」となっていることもあります。この場合は、まさに地質調査者が伝導的な温度構造を示す理由（地質・鉱物的な特徴）を明確にしなければなりません。ゆえに、地質調査者は、つねに検層データ・掘削情報と地質情報を結び付けて解釈し、次の掘削指針に活かせるように総合的に解析する必要があります。

　なお、最近の論文では、炭酸塩鉱物帯が広域的に蓋状に広がって、難透水層になっていることもあるようです（Mao et al(2025)）。この場合は、難透水層が必ずしも低比抵抗になるとは限らないものと考えます。

以上