

れた期間内において、ばい煙測定を行い、法令及び各都道府県条例による排出基準を満たしていることを確認する。

車両系鉱山機械（主にショベル系掘削機、フォークリフトが該当）及びクローラクレーン等使用に当たっては、「特定自動車排出ガスの規制に関する法律（通称：オフロード法）」に準拠した排出ガス適合車（規制の適用日より前に製造されたものは適用しない）を使用することにより大気汚染の抑制に努める。

(3) 給水源の確保

掘削作業においては、作泥用及び洗浄・作業用水、冬期ボイラー水等として多量の水が必要である。（特に逸泥時、大口径掘削時、冬期ボイラー使用時等）

給水源として給水井（水井戸）、水道、河川・湖沼、その他がある。どの給水源を確保するかは、給水源の位置、水量、送水・運搬方法、管理者との協議等から選定し、掘削作業開始前までに必要水量を取水する手法を確立しなければならない。

河川・湖沼、水道等からの取水に当たっては、取水制限等がある場合はそれらを遵守すると共に自然環境への影響を考慮する。給水井からの取水においては周辺に給水井等の有無を調査すると共に取水による影響の有無を調査する。給水運搬等に当たっては、取水箇所及び運搬経路周辺における民家・集落、工場、事業場等の生活環境について配慮する必要がある。

4.2 作井技術

4.2.1 掘削計画

掘削の目的が明らかになり、掘削深度が決定されたら、予想地質構造に基づき掘削計画を立てていく。その際、オフセットウェル（offset well：近隣井）からの各種技術データ収集が重要となる。特に、地層圧・地層破壊圧や掘削トラブルの把握は、計画最適化のキーとなるため、可能な限り正確である必要がある。なお、オフセットウェルの無い場合には、震探データを活用して、地層圧・地層破壊圧を予測する。

掘削計画を立てる順序としては、先ずケーシングのセット深度を決める。これは予想した地層圧・地層破壊圧を元に、想定される泥水比重での掘削作業（キックコントロールを含む）が地層破壊圧を越えないように、地質層序も考慮しながら決定する。一般的にプロダクション・ケーシングは予想仕上げ層に、インターミディエート・ケーシングは予想仕上げ層の直上、およびそれまでの深度の掘削障害を起こす層に設置される。セット深度が決まって、最終坑径とプロダクション・ケーシング径を決めると、それより上部のケーシング径はスタンダードな組み合わせで決まっていく。ケーシング設置深度が決まったら、次に各ケーシングのグレード・材質を決定するが、その手法は4.2.2.4項で詳述する。ケーシング

は、坑壁の崩壊防止、異常高圧・低圧層の隔離、掘削トラブルの防止上、大変重要である。なお、ケーシング降下深度に応じて、それを懸架するのに必要な能力を有する掘削リグを選定することになる。

ケーシング計画が決定されると、それに従って、泥水計画、傾斜掘り計画、ビット計画、掘削編成計画等を立てていく。泥水計画は、想定される逸泥層、崩壊層、異常高圧層、および仕上げ層に対応する必要比重を基に、それに適合する泥水の種類を決定し、必要な調泥剤とソリッドコントロール機器の選定、特に非水系泥水を使用する場合にはリザーブタンクの容量、掘削ザクおよび廃泥の処理方法も検討する。中でも掘削障害が想定されている場合、掘削中の泥水循環時のハイドロリクス、崩壊層のジオメカニクス（geomechanics）、逸泥層のLCM（逸泥防止剤）計画も検討が必要である。傾斜掘り計画は、サーフェス・ケーシング深度と目的坑底位置、それに地質状況に合わせて、KOP（Kick Off Point）、増角率と減角率、最終傾斜角度等を決定していく。傾斜掘り計画は複雑でない方が良いが、坑口位置（起点）と目的坑底位置により複雑になることもある。その際は、井戸に対する掘削編成のトルク&ドラッグ（回転方向および軸方向の運動摩擦抵抗）を計算し、掘削リグの能力及び掘削編成の強度限界を超えないよう注意する必要がある。更にオフセットウェルがある場合は、坑井同士の間衝突（collision）を避け、安全な距離を保つような坑跡設計でなければならない。特に、オフセットウェルがどのようなツールで傾斜・方位を測定されたかによって測定誤差が見込まれるため、予想坑跡の十分な不確実性楕円体（uncertainty ellipsoid）を考慮する必要がある。

ビット計画は、地質条件に適合し掘進率（ROP）を最大・最適化するようなビットを選択する。開発井では、オフセットウェルのビット実績を参照し、物理検層結果を利用して岩石強度を推定、それを基に適切なビットが選定される。また、掘進中のハイドロリクス、ビットノズルのサイズ、及びビット荷重を検討し、ドリルカラーの必要本数及びスタビライザーのサイズと配置などを指定する掘削編成計画を決める。

その他の計画としては、物理検層、コア掘り、仕上げ、フローテスト、酸処理、フラクチャリング等の計画があり、これらを纏めると掘削計画書が出来上がり、その結果として図4.2.1-1 掘削工程チャートが完成する。

廃坑計画は、フローテスト実施の有無、試掘井か生産井か、各ケーシングのセメンチングの状態等で、その仕様が変化する。図4.2.1-2に廃坑図の一例を示す。テスト層もしくは生産層直上にブリッジプラグを設置、その上にセメントを注ぎ足す。上部ケーシング管内で小径のケーシングを切断し、同箇所セメントプラグ（埋め立て）を行う。この手順に従って作業を進め、坑口においては中間ケーシング及びサーフェス・ケーシング管内にセメントを放置し、（陸上の場合）ケーシングに鉄板を

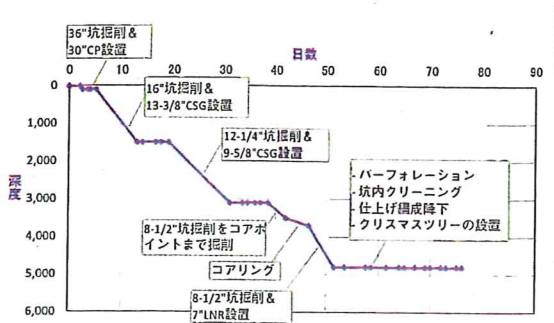


図 4.2.1-1 掘削工程チャート (例)

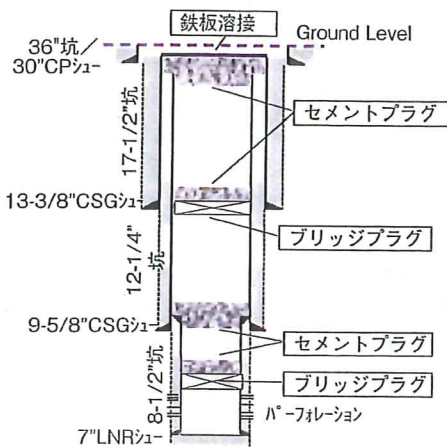


図 4.2.1-2 廃坑計画の例

溶接し、坑井を密閉する。ただし、廃坑基準は各国で異なるため、その法令を最低限満たす必要がある。

4.2.2 掘削エンジニアリング

以下に、前述の掘削計画に必要とされるエンジニアリング作業について、項目毎に順を追って説明する。

4.2.2.1 地層の破壊圧力^{1,2)}

地殻を構成する岩石は、鉄鋼やプラスチックといった均質な物とは異なり、不均質で成因もその環境により異なる。更に岩石中の孔隙にはガス・原油・水などの流体が存在するため、力学的考察が複雑になる。しかし、地下では基本的物理法則(力のつり合い・質量保存則)が成り立っており、力学状態を考察する事が出来る。更に、適用泥水の成分と、岩石の化学的性質を検討すれば、掘削後の岩石の安定性もある程度想定できる。掘削後は、過去の岩石の応力環境との力のつり合いを保つため、坑内が泥水で置換されて坑壁安定性を保持するが、これらがバランスしない場合、地層破壊が生じる。地層破壊圧(≒最小主応力)はリークオフテストで推定されるが、下記の欠点がある。

- ・リークオフ圧力の決定が任意的で、計測されたリークオフ圧力の物理的意味が明確でない。
- ・坑井周辺の応力集中の影響を受けるため、地層破壊

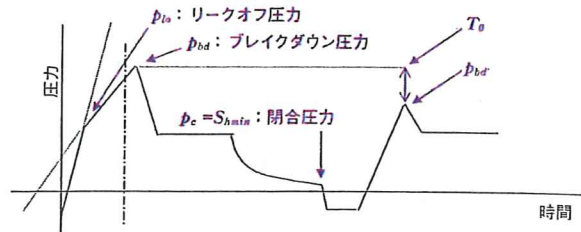


図 4.2.2.1-1 ELOT の圧力挙動

圧を過大あるいは過小評価する危険性がある。

従って、図 4.2.2.1-1 のような Extended Leak Off Test (ELOT) の実施により、精度の高い破壊圧を得る事が出来る。

4.2.2.2 異常高圧層の検知^{1,2,3)}

砂の様に十分浸透率が高い地層が地表から地下へ続く場合、深度 h での間隙流体圧は、単位面積での地表から深度 h までの流体重量に相当し $P_f = \rho_f \cdot h$ と書ける (ρ_f は流体比重)。ここでの間隙流体圧を「静水圧 (hydrostatic) 状態」という。次に、海底で地層が堆積し続ける場合、堆積物と間隙流体の上に新たな堆積物が重なり、重量が古い堆積物に加わり、古い堆積物の孔隙が縮小する。新たな堆積物の浸透率が高ければ、古い堆積物の孔隙流体は地表に向け移動し、静水圧状態に保たれる。この様に、流体が抜け孔隙が縮小する現象を圧密 (compaction) という。圧密過程では粒子間が固結し、未固結 (unconsolidated) の堆積物から固結 (consolidated) の岩石に変化する。しかし、新たな堆積物の浸透率が低い場合、流体は逃げ場を失う。この時、静水圧より高い間隙流体圧となり、これを異常高圧 (abnormal pressure) と呼ぶ。これ以外の異常高圧の原因は、水より軽く圧縮され易い炭化水素の存在が考えられる。これは油層圧を生じさせるメカニズムだが、低浸透率層の下にガスや油等の軽い流体があり、その下に水がある時、軽い流体の底では圧力は水の圧力と釣り合うが、比重が小さい流体中は圧力の垂直勾配が小さく、その上部で圧力が高くなる。その他、テクトニックな水平方向からの押し出し、海底地すべりなど一時的に急速な堆積が起きた場合、断層を通じ地下深部から流体が供給される場合、地熱による流体の膨張、流体の気化による体積増加等も異常高圧の原因となる。地層圧は生産試験で正確に把握できるが、掘削前及び掘削中の異常高圧層の推定は坑壁安定を保つ対策を立てるのに役立つ。異常高圧層は地震探査で低速度層に見られるが、岩石同士の結合が弱いことがその理由である。また、地下からのガス流動がある層が高い構造の時なども、異常高圧層の可能性はある。

(1) 掘削計画時の地層圧の推定

地層圧を推定する手法として、震探データ(地震波)、オフセットウェルの物理検層の計測値等を、Eaton 式に当てはめる方法が広く用いられている。圧密が進んだ地