

地層処分における止水プラグ設計の考え方

原子力発電環境整備機構 正会員 ○山本 陽一 窪田 茂 鈴木 寛

1. はじめに

地層処分場において、廃棄体を定置した後の処分坑道は、操業期間中に埋め戻される。また、閉鎖段階では処分場を地上から隔離することを目的として、連絡坑道、アクセス坑道などの埋め戻しを行う。これらの埋め戻しの施工と処分場の隔離を確実にするため、力学プラグと止水プラグを設置する。ここでは、原子力発電環境整備機構において検討中の、止水プラグ設計の考え方を、設計仕様例とともに示す。

2. 設計の考え方

閉鎖後のアクセス坑道およびその周辺が放射性核種の移行経路になることを防ぐために、アクセス坑道に接続する連絡坑道に止水プラグを設置する。止水プラグにより掘削前の母岩相当となる低透水性の領域を設けることで、連絡坑道とアクセス坑道間に天然バリアと同等の水理的な状態を作り出して、掘削損傷領域（EDZ）を含む坑道を通じた地上への移行経路を分断する（図-1）。

止水プラグには、高い低透水性を確保可能な圧縮したベントナイトとケイ砂の混合土を使用する。止水プラグの構造を図-2に示す。ここで、止水プラグは坑道を拡幅して施工する止水プラグ端部とそれらに挟まれるプラグ埋め戻し材から構成される。止水プラグ端部とプラグ埋め戻し材は、同じ材料仕様とする。また、EDZ幅を上回るように岩盤への切り欠きを設けることで、坑道周辺を通じた放射性核種の移行経路を遮断する。

止水プラグの設計手順（案）を図-3に示す。まず、検討対象とする止水プラグの材料を選定した後、「低透水性」、「施工の実現性」を設計要件として、材料仕様の成立範囲を検討する。ここで絞り込まれた仕様範囲の中から、暫定的に止水プラグの材料仕様（配合と密度）を設定する。その設定は、降水系および海水系地下水への対応とともに、支保工等の坑道内コンクリート残置物によるベントナイトのCa型化を考慮する。次に、止水プラグ端部の形状と設置間隔について感度解析による検討を実施し、「低透水性」の設計要件を満足する構造仕様を設定する。この仕様に対し止水プラグの長期健全性の評価として、

「自重沈下に対する隙間充填性」の評価項目に対する仕様の成立性の可否について検討する。「自重沈下に対する隙間充填性」については、止水プラグの自重沈下量を簡易法により算定し、止水プラグの膨潤により岩盤との間に隙間を生じないことを確認する。この評価において、評価項目の基準を満足しない場合は、止水プラグの仕様を見直し、再度仕様の成立性を確認する。

3. 仕様の検討

キーワード 放射性廃棄物処分、ベントナイト、有効粘土密度、埋め戻し、地下施設設計

連絡先 〒108-0014 東京都港区芝 4-1-23 三田 NN ビル 2F 原子力発電環境整備機構 技術部 TEL 03-6371-4004

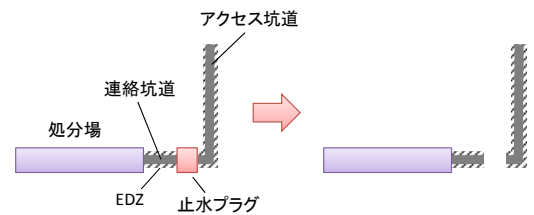


図-1 止水プラグによる坑道シーリングの概念

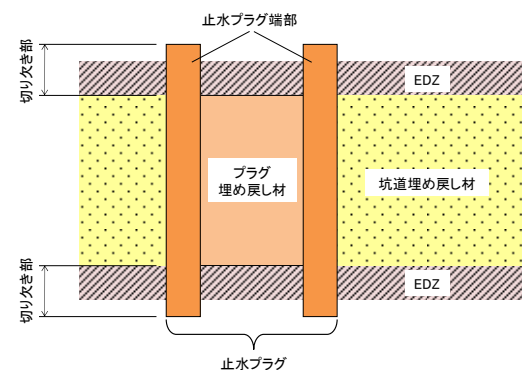


図-2 止水プラグの構造

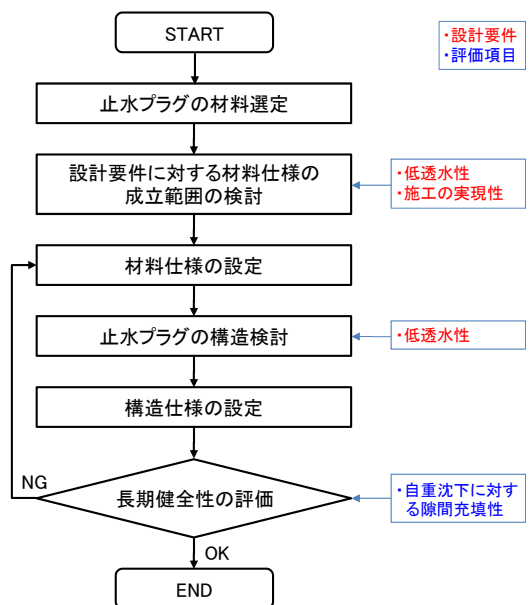


図-3 設計手順（案）

(1) 材料仕様

ここでは、使用するベントナイトに Na 型のクニゲル V1 を選定する。プラグ材料に求める「低透水性」の設計要件に対しては、止水プラグ中の放射性物質の移行が拡散によって支配されるように、密度を設定する。ペクレ数 0.1 以下を低透水性の判断基準として透水係数を試算した結果、 $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ 以下であれば設計要件を満足すると考えられた。この場合、設計要件を満足するベントナイトの有効粘土密度は、既往の透水試験結果から、降水地下水に対して 0.4 Mg/m^3 、海水系地下水および Ca 型化に対して 1.1 Mg/m^3 が下限値に設定できた。止水プラグの施工は、締固めたベントナイトブロックを積み上げる方法が有力である。岩盤との境界面はベントナイト吹付けを行い、隙間を充填する。この方法は、実規模の原位置試験¹⁾により、施工性と期待される性能が確認されている。増田ほか²⁾は、ベントナイト・ケイ砂混合土を対象に静的締固め試験を実施し、製作可能なベントナイトブロックの密度について検討している。これより、「施工の実現性」に対しては、配合条件によらずに製作可能なベントナイトブロックの有効粘土密度の上限として、 1.8 Mg/m^3 を設定する。これらの結果から、降水系・海水系地下水および Ca 型化の条件に対応した共通の仕様成立範囲は、有効粘土密度 $1.1 \sim 1.8 \text{ Mg/m}^3$ となる。そこで、仕様範囲の平均的な密度を目標として、配合：ベントナイト 70wt%，ケイ砂 30wt%，乾燥密度 1.60 Mg/m^3 ，有効粘土密度 1.37 Mg/m^3 を材料仕様に設定する。

(2) 止水プラグの構造

止水プラグ端部の厚さは緩衝材厚さの設定を参考に、1.0m に設定する。次に、止水プラグ端部の岩盤への切り欠き深さについては、地下水流動解析による感度解析を実施して検討した。その結果、EDZ 幅を上回るように岩盤への切り欠き深さを設定することで、切り欠き深さの違いによるプラグの止水効果に大きな差はないと考えられた。そこで、止水プラグ端部の切り欠き深さを「EDZ の幅+0.5m」に設定する。

止水プラグ端部の設置間隔は、プラグに挟まれた EDZ を含む透水性改良領域(図-4 の破線で囲まれた領域)が、母岩相当の低透水性を有する領域となるように設定する。その設定にあたり、地下水流動解析による感度解析を実施した。坑道は直径 8.0m の円形坑道を、止水プラグ端部は厚さ 1.0m、切り欠き深さ 1.5m (EDZ 幅 1.0m+0.5m) を仮定した。解析結果の一例として、図-5 に EDZ を含む坑道断面(止水プラグ端部の断面に相当)の地下水通過流量を示す。図中には、掘削前の母岩の状態、埋め戻し・プラグ設置後、透水性改良領域の平均流量を示した。図-6 に透水性改良領域の地下水通過流量の平均値と止水プラグ端部の設置間隔の関係を示す。図の関係からは、概ね 3.0m 以下の止水プラグ端部の設置間隔で掘削前の母岩の地下水通過流量以下になることが分かる。図-1 の止水プラグの設置概念にしたがい、アクセス坑道前に設ける天然バリア相当の低透水性の領域は広いほどプラグの止水効果は高いと考える。そこで、低透水性を確保できる最大の設置間隔として、止水プラグ端部の設置間隔 3.0m を標準的な仕様に設定する。この仕様に対して長期健全性の評価を実施し、止水プラグが自重沈下を生じたとしても、自身の膨潤により十分に隙間充填可能であることを確認した。

参考文献 1) 藤田ほか：結晶質岩における粘土プラグの閉鎖性能に関わる原位置試験および解析評価，原子力バックエンド研究，Vol.14, No.1, pp.13-30, 2007. 2) 増田ほか：ベントナイトを用いた緩衝材の材料仕様と締固め特性の関係，土木学会論文集，No.771/III-68, pp.157-171, 2004.

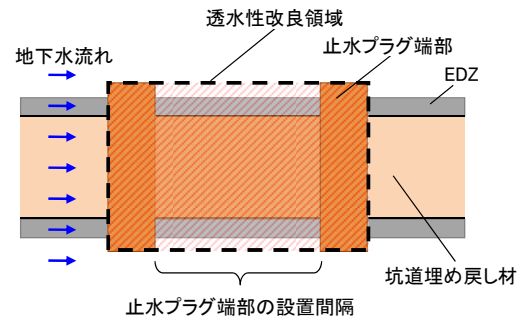


図-4 止水プラグ設置による透水性改良領域

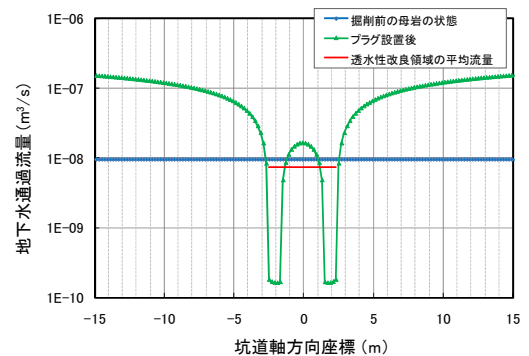


図-5 坑道の地下水通過流量（設置間隔3m）

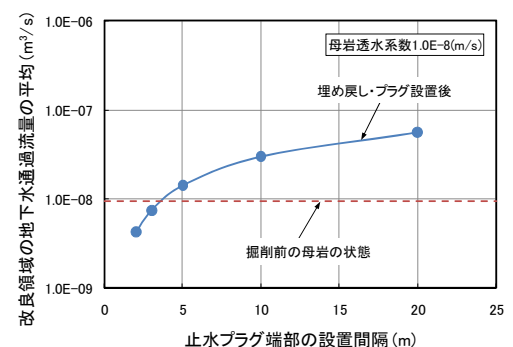


図-6 プラグ設置間隔に対する感度解析結果