グリムゼル試験場 FEBEX におけるベントナイトの熱-水挙動の18年間モニタリング

Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) 〇神 利博, Florian Kober, Irina Gaus SCHLAEGER mathematical solutions & engineering Stefan Schlaeger

1. 試験概要

スイスのグリムゼル試験場の FEBEX (Full-scale Engineered Barrier Experiment) は、結晶質岩中で圧縮ベント ナイトブロックを緩衝材としたスペインコンセプトの実規模人工バリア実証試験である. ニアフィールドの人 エバリアおよび岩盤中の挙動の理解を主目的とし、ENRESA (1998)の主導および各国のサポートのもと図1 のような2体の模擬廃棄体 (ヒーター、表面温度 100°C)を含む形で始動した. 5 年後の 2002 年に1回目の 解体でヒーター1を取出し (ENRESA, 2006)、その後もヒーター2の加熱を継続した (Lanyon and Gaus, 2013). 計測値に変化がみられなくなった 2015 年4月にヒーター2を含む解体作業を開始し同年9月に終了した. 1997 年の加熱開始から約 18 年間継続した世界で最長の実規模ヒーター試験である. 同試験では、さまざまな計測

機器によってモニタリングを 実施してきたが,本論ではベ ントナイト中の温度および水 分の18年間のモニタリング結



果について解体時の知見図1FEBEX 試験概要. 坑道径 2.28 m, ヒーター周辺ベントナイトの半径方
とあわせて述べる.とあわせて述べる.向の幅 65.5 cm, 赤線は後述の温度・水分データ測定断面

2. ベントナイトブロックの初期特性

使用したベントナイトはスペイン産の Serrata Clay でモンモリロナイト含有率は約 93 %, 粒子密度 2.70 Mg/m³である. これを初期含水比 13.6 % で乾燥密度 1.77 Mg/m³ に圧縮してブロックを作成した. 設置断面 では約 6.25 % の隙間があるため, これを含めた仕上りでの乾燥密度の断面平均は 1.65 Mg/m³ である.

3. 温度および含水量の経時変化

図1中の赤線で示す断面内の10箇所(WT-M2-3~12)にてベントナイトブロック中の温度および水分を計測 した.水分は図2中の凡例に示す位置に坑道軸に平行に設置した長さ50cmのTDRプローブで計測した.温 度センサーはTDRプローブの始点近傍に設置した.18年間の計測におけるセンサーの生存率は温度センサー が40%,TDRが70%(うちーつは図2のように損傷の影響あり)であった.ベントナイト内の温度は,ヒー ター点火後2ヶ月ほどでほぼ定常状態に至り,ヒーターから15cmの計測点で約80°C,60cm離れた地点で約 45°Cであった.ベントナイトの飽和過程は岩盤から供給される水分によるもので,坑壁から20cmの地点で 1-2年,30-40cm地点で10-12年,ヒーターから15cmの計測点で17年ほどかかった.



図2 18年間のベントナイト内の温度(左)および体積含水率(右)の経時変化.

連絡先 Nagra 〒5430 Hardstrasse 73, P.O. Box 280, Wettingen, Switzerland, Phone: +41-56-437-1337 キーワード グリムゼル試験場, FEBEX, 実規模人工バリア試験,長期原位置計測,ベントナイト, TDR

4. 解体時サンプリングデータとの比較

図3はヒーター2の解体時における当該計測断面 の写真を示す. センサー近傍よりベントナイト試料

(B-C-46-1~10)をサンプリングし、室内試験にて密度、空隙率、含水量などを求め(Plötze, 2016)、TDR
による含水率の計測結果と比較した。

図4(左)に示す乾燥密度は、半径方向に複数の計 測点がある3時および12時方向では岩盤に近い外側 ほど低い傾向が見られる.岩盤からの地下水によって 外側のブロックが内側より先に近傍の円周・半径方向 の隙間を埋めながら膨潤し乾燥密度が低下する.その 時点で内側のブロックは半径方向の膨潤が拘束され、 後の湿潤に伴う膨潤は主に円周方向に卓越すると推 察される.その結果、膨潤に起因する内側のブロッ クの乾燥密度の初期状態からの低下量は外側に比べ て小さい.



図3 解体時における計測断面の写真. ヒーターは 取出し済み. 図中の黒字はセンサー位置, 黄字はサ ンプリング箇所(2015 年 6 月)

図4(右)の試料の体積含水率は、ヒーターに近いほど低い値を示す傾向がみられる.体積含水率は膨潤に よる乾燥密度の低下に伴う空隙率の上昇の影響も受けるが、飽和度を調べてみるとヒーターから 30 cm 以上 離れた箇所ではほぼ 100 %、ヒーターから 15 cm の箇所では 80-90 % 程度と推定された.別途実施した様々 な断面からのサンプルの分析結果(Villar and Iglesias, 2016)でも同様の傾向が確認されている.

サンプル採取直前の TDR によるの含水率計測値では,12時方向のヒーターから15 cm 地点の TDR プロー ブが長期の高温・高湿条件下の計測によって水分がセンサー内に浸入した形跡が認められ,図中の高い含水率 はその影響を受けたものと推定される.それ以外の TDR プローブより得られた含水率はサンプルの結果とよ く一致しており,図2の18年間の挙動は正しく評価できているものと推察される.



図4 解体時における乾燥密度の分布(左)ベントナイトの含水量(右)凡例は測線の位置を示す.

参考文献

• ENRESA (1998), FEBEX: Final Design and Installation of the In Situ Test at Grimsel, Enresa Tech Publication 12/98.

• ENRESA (2006), FEBEX Full-scale Engineered Barriers Experiment, Updated Final Report 1994–2004. Publicación Técnica ENRESA 05-0/2006.

• Lanyon GW and Gaus I, Eds. (2013), Main Outcomes and Review of the FEBEX In Situ Test (GTS) and Mock-Up after 15 years of operation, Nagra Arbeitsbericht, NAB 13-096.

- Plötze, M (2016), FEBEX DP Bentonite Characterization, IGT Report CL1053/1.
- Villar, MV and Iglesias, RJ (2016), FEBEX-DP: Onsite Determinations Report, Nagra Arbeitsbericht, NAB 16-012.