

# 硬岩地下研究施設における模擬処分孔への加熱浸透試験の数値解析

澤田 昌孝<sup>1\*</sup>・岡田 哲実<sup>1</sup>・西本 壮志<sup>1</sup>

<sup>1</sup>財団法人電力中央研究所 地球工学研究所（〒270-0021 千葉県我孫子市我孫子1646）  
\*E-mail: sawada@criepi.denken.or.jp

スウェーデンの硬岩地下研究施設では、使用済み核燃料の処分を想定した各種原位置試験が実施されている。本稿では実スケールの模擬処分孔で実施された加熱浸透試験の熱・水・応力連成解析を実施し、計測データとの比較を行った。その結果、温度、飽和度、ベントナイトの乾燥密度の変化等について数値解析により試験時の挙動を概ね再現することができることを確認した。  
また、岩盤の透水特性が処分孔の再冠水時の挙動に与える影響について感度解析により検討した。

**Key Words :** coupled analysis, radioactive waste, bentonite, sensitivity analysis, insitu test

## 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、処分孔に廃棄体を收容したオーバーパック（金属製容器）を定置する際、オーバーパックと岩盤の間にベントナイトを主材料とする緩衝材を配置する。この周辺では、廃棄体の発熱、周辺岩盤からの地下水の浸入、緩衝材の膨潤などの現象が相互に影響する。これらの連成現象を的確に予測し、緩衝材の温度履歴や飽和過程、膨潤後の密度分布・透水係数分布を評価することは合理的な設計、安全評価のために重要である。この予測評価のために、著者ら<sup>1)</sup>はベントナイトの膨潤挙動モデルを含む熱・水・応力連成解析コードを開発し、実験結果との比較を通して、モデルの検証・高度化に取り組んでいる。

本稿では、スウェーデンの硬岩地下研究施設で実施された実スケールの処分孔への加熱浸透試験の数値解析を実施した結果について報告する。また、岩盤の透水特性が処分孔再冠水時の挙動に与える影響について感度解析により検討した結果を合わせて示す。

## 2. 地下研究施設での原位置加熱浸透試験

SKB（スウェーデン核燃料廃棄物管理会社）は自身の地下研究施設で使用済み核燃料処分のための技術開発に関わる種々の実験を実施している。そのうち、Canister Retrieval Test (CRT)<sup>2,3)</sup>は、将来より優れた処分概念が考

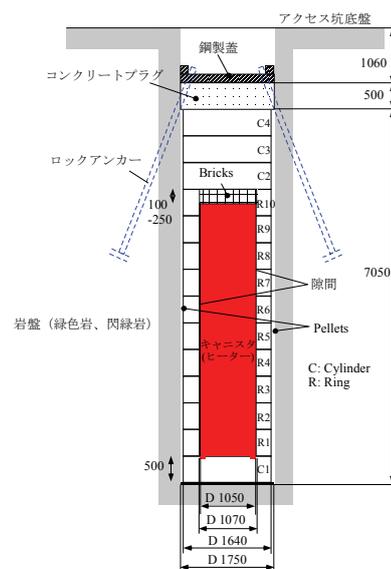


図-1 Canister Retrieval Test (CRT)の模式図（単位：mm）

案された場合に新たな処分方法に移行することを想定し、使用済み燃料を内蔵したキャニスタを圧縮ベントナイトで充填された処分孔から取り出す技術を実証することを目的に実施された。

図-1にCRTの概要を示す。緑色岩および閃緑岩の岩盤中に縦置きの処分孔を想定し、深さ約8.5mの縦孔を掘削し、その中にキャニスタと緩衝材（圧縮ベントナイト）による人工バリアシステムを構築する。本試験では緩衝材を飽和する過程が必要である。その際の実現象を想定し、キャニスタ内にヒーターを設置し加熱するとともに、

緩衝材外側に水圧を与え、人為的に浸透を加速した。図-1に示したようにキャニスタが存在しない部分には圧縮ベントナイトの円柱状ブロック（以下、Cylinderとする）を、キャニスタが存在する部分はキャニスタと岩盤壁を埋めるようにリング状圧縮ベントナイト（以下、Ringとする）を配置した。これらの圧縮ベントナイトと岩盤の間はベントナイトを錠剤状にしたベントナイトペレット（以下、Pelletsとする）で充填した。また、キャニスタ直上にできる空間は煉瓦状ベントナイト（以下、Bricksとする）を配した。なお、キャニスタとベントナイトの間には隙間が残る。ベントナイト上部は、膨潤変形を拘束するために、コンクリートと鋼製蓋を介して、9本のロックアンカーで固定した。

ベントナイトを飽和させる間、ベントナイト中の温度、相対湿度、応力、岩盤の温度、ロックアンカーの軸力、鋼製蓋の変位を測定した。飽和までの期間は6年に及んだ。試験終了後には、ベントナイトの重量測定、鉍物分析により最終的な含水比、変質の程度を確認するために機械的にベントナイトを掘削・回収した。

本稿では、解析結果との比較のため、温度、相対湿度の経時変化<sup>2)</sup>と試験後の重量測定から得られる乾燥密度のデータ<sup>3)</sup>を使用した。

### 3. 数値解析モデル

#### (1) 熱・水・応力連成解析

放射性廃棄物処分における処分孔周りの熱・水・応力連成挙動の数値モデル化は世界的に取り組まれている<sup>4)</sup>。著者ら<sup>1)</sup>は、熱や水の影響を受ける地下施設の長期的な挙動を予測するための熱・水・応力連成 FEM 解析コード“LOSTUF”を開発した。本報ではこの LOSTUF を CRT に適用する。LOSTUF では、地盤を粒子骨格と水・空気で満たされた空隙で構成される多相システムとして取り扱い、地下水の連続式、エネルギーの保存則、力の釣り合い式と各種構成則から支配方程式を導く。ただし、間隙ガス圧は一定（大気圧）として定式化し、ガスについては解いていない。以下にその支配方程式について簡単に記す。

地下水の連続式から以下の式が導かれる。

$$\begin{aligned} & \rho_l S_l \frac{\partial(\nabla \cdot \mathbf{u})}{\partial t} + (\rho_{l0} \phi S_l \beta_{Pl} (\rho_l - \rho_v) C_{IP} + \rho_l C_{VP}) \frac{\partial P}{\partial t} \\ & - (\rho_{l0} \phi S_l \beta_{Pl} - \rho_l C_{VP}) \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot \left[ \left( -\rho_l \frac{\mathbf{k} \mathbf{k}_{rl}}{\mu_l} - \rho_l D_{Pv} \mathbf{I} \right) \nabla P \right] \\ & + \nabla \cdot ((-\rho_l D_{Tv} \mathbf{I}) \nabla T) = Q_B + \nabla \cdot \left( \rho_l \frac{\mathbf{k} \mathbf{k}_{rl}}{\mu_l} \mathbf{g} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $\rho_l$ は地下水の密度、 $\rho_v$ は水蒸気の密度、 $S_l$ は飽和度、 $\rho_{l0}$ は初期条件での地下水の密度、 $\phi$ は間隙率、 $\beta_{Pl}$ は水の圧縮係数、 $\beta_{Pl}$ は水の熱膨張係数、 $\mathbf{k}$ は固有透過度テンソル、 $\mathbf{k}_{rl}$ は相対透水係数、 $\mu_l$ は水の動粘性係数、 $\mathbf{I}$ は単位テンソル、 $\mathbf{g}$ は重力加速度ベクトル、 $Q_B$ はソース項である。未知量は変位ベクトル  $\mathbf{u}$  ( $\varepsilon = 0.5 (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T$ ),  $\varepsilon_v = \nabla \mathbf{u}$ ), 間隙水圧  $P$ , 温度  $T$  である。 $C_{IP}$ は水の貯留係数であり、水分特性曲線から算出される。 $C_{VP}$ は等温条件下の水蒸気の貯留係数、 $C_{VT}$ は温度変化に対する水蒸気の貯留係数であり、 $D_{Pv}$  および  $D_{Tv}$  は多孔質媒体中における等温下での水蒸気拡散係数、温度勾配による水蒸気拡散係数であり、それぞれ次のように書ける。

$$D_{Pv} = \frac{D_v \rho_v}{\rho_l^2 R_v T} \quad (2)$$

$$D_{Tv} = D_v \left( \frac{RH}{\rho_l} \frac{\partial \rho_{vs}}{\partial T} - \frac{\rho_v P_l}{\rho_l^2 R_v T^2} \right) \quad (3)$$

ここで、 $RH$  は相対湿度、 $R_v$  は水蒸気の比気体定数、 $\rho_{vs}$  は飽和水蒸気密度である。また、 $D_v$  は水蒸気の分散係数であり、

$$D_v = \phi(1 - S_l) \tau D_m \quad (4)$$

と書ける。 $\tau$  は屈曲度を表し、 $D_m$  は大気圧下での水蒸気の分子拡散係数である。

エネルギー保存則からは次の支配方程式が導かれる。

$$\begin{aligned} & ((1 - \phi) 3K_D \beta_{TD} T) \frac{\partial(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T)}{\partial t} + (\rho c)_m \frac{\partial T}{\partial t} \\ & + \nabla \cdot \left\{ \phi S_l \left[ T \left( \frac{\beta_{Pl}}{\beta_{Pl}} \right) \frac{\mathbf{k} \mathbf{k}_{rl}}{\mu_l} + \rho_l L D_{Pv} \mathbf{I} \right] \nabla P \right\} \\ & - \nabla \cdot (\lambda_m \mathbf{I} \nabla T) + (c_l q_l) \cdot \nabla T = Q_{TB} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 $K_D$  は体積弾性係数、 $\beta_{TD}$  は固相の熱膨張係数、 $L$  は単位体積あたりの水蒸気の潜熱、 $Q_{TB}$  はエネルギーのソース項である。 $\lambda_m$ ,  $(\rho c)_m$  はそれぞれ地盤の熱伝導率、熱容量である。

また、応力の釣り合い式は次式となる。

$$\begin{aligned} & \nabla \cdot \left( \mathbf{D} : \frac{\partial(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T)}{\partial t} \right) + \nabla \cdot \left( -\mathbf{I} \chi \frac{\partial P}{\partial t} \right) \\ & + \nabla \cdot \left( (-\mathbf{D} : \mathbf{I} \beta_{TD}) \frac{\partial T}{\partial t} \right) = \frac{\partial}{\partial t} (\rho_m \mathbf{g}) + F_B \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、 $\mathbf{D}$  は剛性テンソルで等方線形弾性体の場合、ヤング率  $E$  とポアソン比  $\nu$  で表せる。また、 $\chi$  は不飽和パラメータ、 $\rho_m$  は地盤の湿潤密度、 $F_B$  は外力項である。

#### (2) ベントナイトの膨潤モデル

ベントナイトの膨潤挙動については、拡散二重層理論

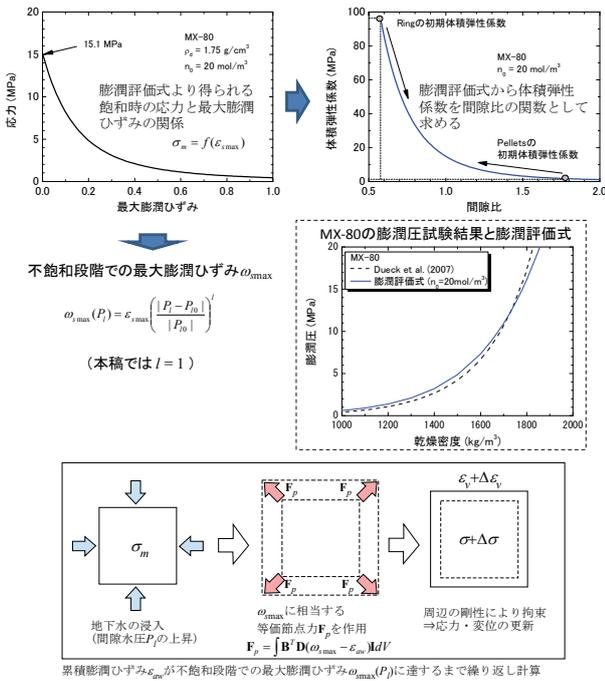


図-2 拡散二重層理論に基づく膨潤評価式を用いた膨潤挙動計算の流れ

に基づく膨潤評価式<sup>9)</sup>から、作用している平均応力・間隙水圧での最大膨潤ひずみを評価し、それに相当する節点力を各要素に与えることで表現した<sup>1)</sup>。不飽和時の最大膨潤ひずみは飽和時の最大膨潤ひずみに間隙水圧の変化率を乗じることで求められると仮定した。さらに、膨潤評価式から得られる応力-最大膨潤ひずみ関係からベントナイトの体積弾性係数を間隙比の関数として導き、解析に用いた。図-2に膨潤モデルの解析の流れを示す。

#### 4. CRTの解析

##### (1) 解析条件

CRTの解析は軸対称モデルで実施した。模擬処分孔を中心に半径50.875m、高さ114.61mを2926節点、2912要素にメッシュ分割した(図-3)。初期温度および外側境界での温度を20°Cとし、図-4に示すヒーター発熱量履歴をヒーターを構成する要素の節点に与えた。ベントナイトの岩盤との境界には図-4に示す水圧履歴を与えた。岩盤を解析領域に含めたのは主として温度計算のためであり、岩盤部では変位を固定し、水圧を0MPaで固定した上で剛体、不透水材料として設定した。ベントナイトの初期間隙水圧は42MPaであるが、水が初期から浸入したと考えられる内側隙間では0MPaとした。また、ベントナイトの初期応力を等方に0.1MPaとした。さらに膨潤による浮き上がり抑止のためのロックアンカーをバネ要素でモデル化し、その上端で変位を固定した。

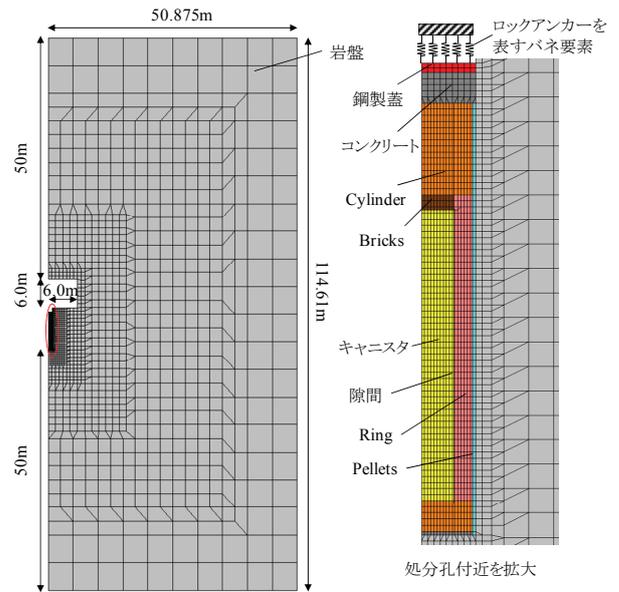


図-3 有限要素メッシュ (CRTの解析)

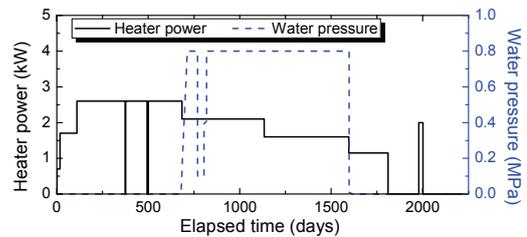


図-4 ヒーター発熱量および外側水圧の履歴

CRTに用いられた米国産ベントナイトMX-80については、熱・水・力学的性質について多くの実験データが取得されている<sup>9)~9)</sup>。各材料に与えた解析用物性値を表-1に示す。CRTにおいて岩盤とヒーターの間に充填された各種ベントナイト (Cylinder, Ring, Bricks, Pellets) は、密度が異なるため各種物性にやや差がある。

##### (2) 解析結果および計測との比較

温度と相対湿度の経時データは、キャニスタ中間高さ (R5) とキャニスタ最上部 (R10)、さらにキャニスタから約1000mm上部のC3の計測点で比較を行う。また、試験終了時の乾燥密度分布について、R6 (R5の一つ上のRing)、R10、C3の位置で計測を行う。

温度の経時変化について図-5に示す。凡例のハイフン後の635などの数値は試験孔中心軸からの距離 (単位: mm) を表している。キャニスタ外縁は525mm、処分孔外縁は875mmである。解析結果は温度変化を概ね再現している。しかし、温度は全体的にやや高めに計算されており、特にR10-685では約12°C高い温度が得られた。図-6に相対湿度の経時変化を示す。解析は、計測における相対湿度の上昇を基本的に捉えているが、R5のヒータ

表-1 解析パラメータ (CRTの解析)

パラメータ	単位	緩衝材(ベントナイト)						キャニスタ			
		Cylinder	Ring	Bricks	Pellets	隙間	均質*	鋼製蓋	コンクリート	埋戻し材*	岩盤
<b>初期条件</b>											
乾燥密度	kg/m <sup>3</sup>	1699	1782	1616	1001	926	1605	7800	2400	1750	2770
間隙率	-	0.39	0.36	0.42	0.64	0.67	0.42	0.0001	0.0001	0.38	0.0001
間隙水圧	MPa	-42	-42	-42	-42	0	-42	0	0	-1	0
<b>熱特性</b>											
熱伝導率(乾燥)	W/m K	1.3	1.3	1.3	1.0	1.3	1.3	47	2.7	1.4	2.6
熱伝導率(飽和)	W/m K	0.6	0.6	0.6	0.1	0.6	0.6	47	2.7	0.4	2.6
比熱(固相)	J/kg K	800	800	800	800	800	800	465	770	800	770
屈曲度	-	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
熱膨張率	1/K	1.0×10 <sup>-6</sup>	1.0×10 <sup>-6</sup>	1.0×10 <sup>-6</sup>	1.0×10 <sup>-6</sup>	0.0	1.0×10 <sup>-6</sup>	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>水理特性</b>											
固有透過度 k <sub>0</sub>	m <sup>2</sup>	5.0×10 <sup>-21</sup>	3.5×10 <sup>-21</sup>	7.0×10 <sup>-21</sup>	4.32×10 <sup>-19</sup>	1.0×10 <sup>-18</sup>	7.0×10 <sup>-21</sup>	不透水	不透水	5.71×10 <sup>-19</sup>	不透水
相対透水係数 k <sub>rl</sub>	S <sub>i</sub> <sup>3</sup>	-	-	S <sub>i</sub> <sup>3</sup>	-						
水分特性曲線, P <sub>0</sub>	MPa	32.3	25	19.7	1.0	25	19.7	-	-	0.12	1.74
水分特性曲線, λ	-	0.306	0.26	0.306	0.4	0.26	0.306	-	-	0.18	0.6
水分特性曲線, P <sub>1</sub>	MPa	600	800	400	-	800	400	-	-	-	-
水分特性曲線, λ <sub>1</sub>	-	1.1	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	-	-	0.0	0.0
<b>力学特性</b>											
ヤング率	GPa		膨潤評価式より算出(図-2)					200	30	0.3	70
ポアソン比	-	0.49	0.49	0.49	0.49	0.1	-	0.2	0.2	0.3	0.2

**熱伝導率**

$$\lambda_m = (1 - S_i)\lambda_{dry} + S_i\lambda_{sat}$$

λ<sub>m</sub>: マスとしての熱伝導率  
λ<sub>dry</sub>: 乾燥時の熱伝導率  
λ<sub>sat</sub>: 飽和時の熱伝導率

**固有透過度 (Kozeny モデル)**

$$k = k_0 \frac{\phi^3 (1 - \phi_0)^2}{(1 - \phi)^2 \phi_0^3}$$

k<sub>0</sub>: 初期固有透過度  
φ<sub>0</sub>: 初期間隙率

**水分特性曲線 (改良 van Genuchten モデル)**

$$S_i = \left( 1 + \left( \frac{s}{P_0} \right)^{1-\lambda} \right)^{-\lambda} \left( 1 - \frac{s}{P_1} \right)^{\lambda_1}$$

λ<sub>1</sub>=0.0のとき、通常の van Genuchtenモデルに等しい

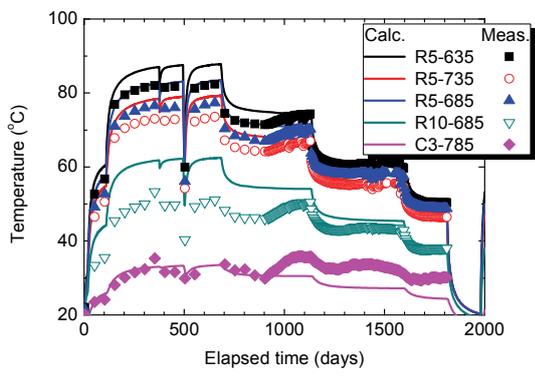


図-5 温度の経時変化 (CRT)

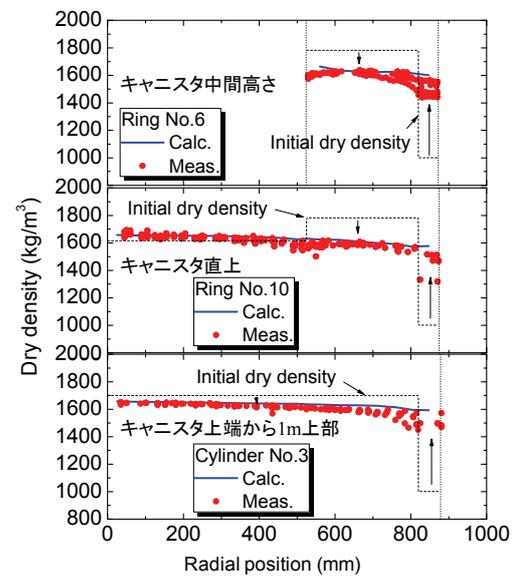


図-7 試験終了後の緩衝材の乾燥密度分布 (CRT)

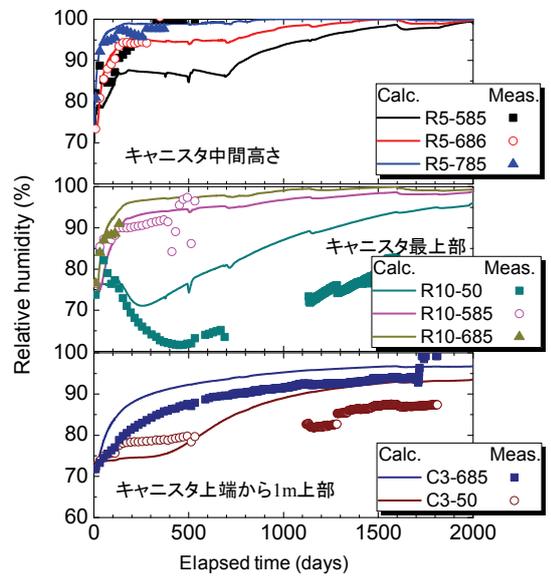


図-6 相対湿度の経時変化 (CRT)

一に比較的近い585mm, 685mmの位置では120日~700日に相対湿度が上昇しない(浸透が進行しない)傾向がみとめられる。これは温度がやや高めに計算されることと関連していると考えられる。温度が高めに計算されることで高温側から低温側への水蒸気の移動が顕著になる。

図-7に試験終了時の乾燥密度分布を示す。ベントナイトの膨潤挙動により、乾燥密度の均質化が見られるが、解析でもこの傾向を再現できた。この時の膨潤圧はその箇所での乾燥密度の飽和膨潤圧に概ね対応した値となった。

以上の比較から、直径1.75m, 高さ8mの処分孔においてキャニスタ中間高さ, キャニスタ頂部, 孔上部におけるTHM連成挙動に対してLOSTUFにより概ね再現できており、実スケールの問題にも適用性のあるモデル化ができていますと評価できる。

### 5. 再冠水に対する岩盤部の透水性の影響

#### (1) 解析の目的と条件設定

CRTおよびその解析では、主として処分孔内での挙動に着目したが、さらに岩盤からベントナイトへの水の移動に着目した数値解析検討を実施した。したがって、

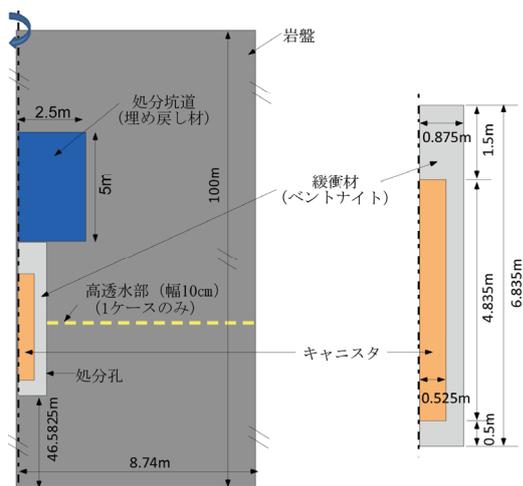


図-8 解析領域と材料配置

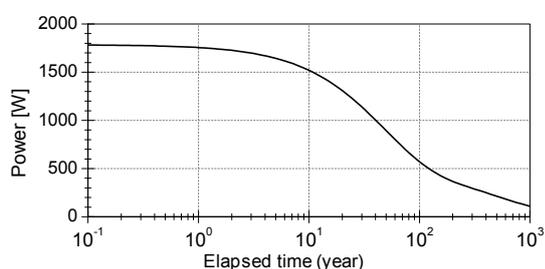


図-9 使用済み燃料中間貯蔵 (37年) 後の発熱量履歴<sup>9)</sup>

CRTの解析と異なり、ここでは岩盤の透水係数を考慮する。図-8に示すようなスウェーデンにおける実際の処分孔周辺を想定した軸対称問題を考える。解析は熱・水連成で実施し、材料の力学挙動は考慮しない。初期温度および上下境界での温度を20℃とし、側方境界では断熱条件とする。ヒーターを構成する要素には図-9に示す発熱量履歴を与える。また、水理境界については、上部境界の間隙水圧を3.5MPa、下部境界を4.5MPaで固定し、側方境界は不透水とする。処分坑道および処分孔が空洞となっている条件で定常解析を実施し、得られた間隙水圧分布を初期値として用いる。解析用物性値は基本的に表-1に示す値を用いる。ベントナイトについては、CRTの結果を参考に、乾燥密度の均質化が予め達成されているとした。初期飽和度は0.58である。CRTの解析では岩盤は不透水としたが、ここでは表-2に示すように当該サイトの透水係数データのバラツキ<sup>8)9)</sup>を考慮し、固有透過度等の値を変化させた複数ケースを実施し、結果の比較を行う。また、幅10cmの高透水路(割れ目などを想定)がキャニスタ中間高さに水平に存在するケース<sup>9)</sup>の解析も実施した。

## (2) 解析結果

図-10に固有透過度 $1.0 \times 10^{-17} \text{ m}^2$ の場合のベントナイト部の温度の経時変化を示す。約20年経過時に最高温度83℃

表-2 解析パラメータ

材料	健岩部	高透水路
固有透過度 $k \text{ (m}^2\text{)}$	$10^{-16} \sim 10^{-20}$	$5.0 \times 10^{-16}$
相対透水係数	$k_{r,i} = \sqrt{S_i} \left( 1 - \left( 1 - S_i \frac{1}{0.06} \right)^{0.06} \right)^2$	
間隙率	0.003	0.03

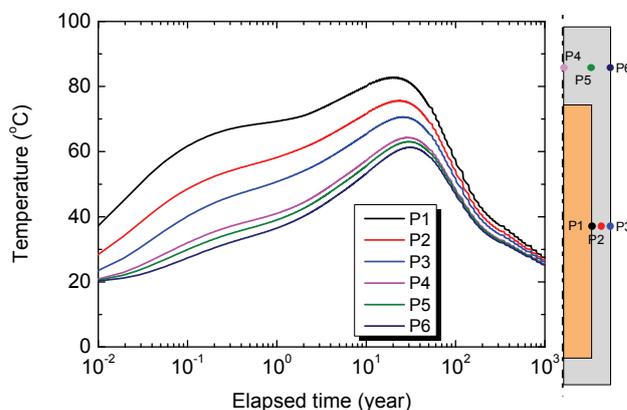


図-10 温度の経時変化 ( $k=1.0 \times 10^{-17} \text{ m}^2$ )

表-3 岩盤の固有透過度と飽和に要する時間の関係

$k \text{ (m}^2\text{)}$	P1	P3	P4
$10^{-16}$	1.6年	0.001年	4.4年
$10^{-17}$	1.95年	0.028年	4.9年
$10^{-18}$	3.41年	1.45年	7.3年
$10^{-19}$	20.1年	18.3年	23年
$10^{-20}$	144年	142年	132年

となる。最高温度は83～86℃で岩盤の固有透過度が小さい方が高くなる傾向があるが、その影響は限定的である。

表-3に岩盤の固有透過度と飽和に要する時間の関係を示す。飽和度が0.99となった時点で飽和を達成したと判定した。固有透過度が $10^{-18} \text{ m}^2$ より大きいときは10年以内に再冠水が完了し、ベントナイトの内側では固有透過度による差が大きい。一方、 $10^{-19} \text{ m}^2$ 以下になると、急激に再冠水に時間がかかるようになり、 $10^{-20} \text{ m}^2$ では100年以上となる。

図-11に設置完了から1年後の飽和度のコンター図を示す。固有透過度が $1.0 \times 10^{-17} \text{ m}^2$ のケースではベントナイトの外側から順調に再冠水が進行しているが、 $1.0 \times 10^{-19} \text{ m}^2$ のケースでは岩盤のベントナイトとの境界部に飽和度が0.5程度の不飽和層ができる。この層では相対透水係数が著しく小さくなるため、再冠水を大きく遅らせる働きをする。一方、健岩部の固有透過度が $1.0 \times 10^{-19} \text{ m}^2$ であるが、高透水路が存在するとした場合は、高透水路からベントナイトに水が廻り込むように浸透する挙動が見られる。高透水路が低透水の岩盤に囲まれているため、

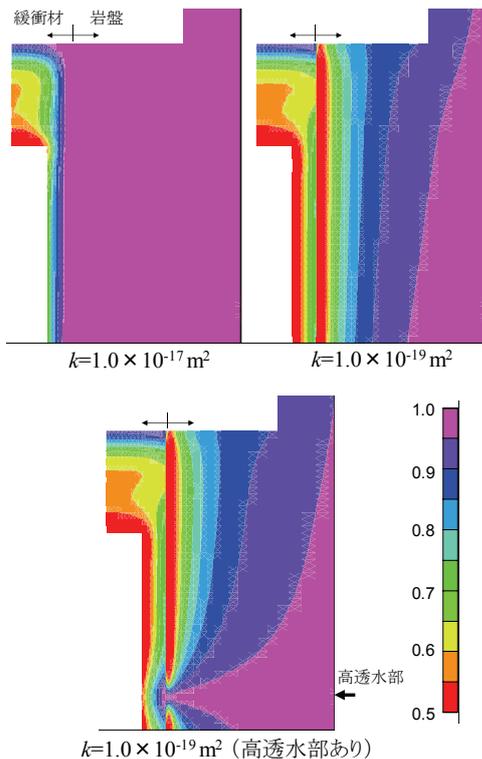


図-11 設置1年後の飽和度のコンター図

全体の再冠水時間が大きく短縮されることはなかった。岩盤・割れ目系の不飽和浸透特性については未解明な点も多く、実際にこのような現象が発生するか確認する必要がある。

## 6. まとめ

スウェーデンの硬岩地下研究施設で実施された処分孔への加熱浸透試験（CRT）の熱・水・応力連成解析を実施し、計測された温度、相対湿度、乾燥密度の変化などを概ね再現することを確認した。

さらに、実際の使用済み燃料の処分環境を想定した熱・水連成解析により、岩盤の透水特性が処分孔の再冠

水挙動に与える影響について検討した。割れ目を含む岩盤の不飽和浸透特性は不明な点も多く、今回得られた不飽和帯の形成などが実際発生するかどうかについては、現在実施されている処分孔を模擬した自然再冠水試験の解析等を通して検討したいと考えている。

謝辞：本稿の内容の一部は、SKBが主催する国際共同研究の中で実施した。ここで関係各位に感謝を表す。

## 参考文献

- 1) 澤田昌孝, 岡田哲実, 長谷川琢磨：高レベル放射性廃棄物処分地下施設の長期挙動予測評価プログラムの開発, 電力中央研究所 研究報告 N05028, 2006.
- 2) Goudarzi, R., Börgesson, L., Röshoff, K. and Edelman, M. : Canister Retrieval Test, Sensors data report (Period 001026-060501), Report No.12, SKB International Progress Report, IPR-06-35, 2006.
- 3) Johannesson, L-E. : Canister Retrieval Test, Dismantling and sampling of the buffer and determination of density and water ratio, SKB International Progress Report, IPR-07-16, 2007.
- 4) 例えば, Jing, L., Tsang, T.-F. and Stephansson, O. : DECOVALEX – An international co-operative research project on mathematical models of coupled THM processes for safety analysis of radioactive waste repositories, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol.32, No.5, pp.389-398, 1995.
- 5) 小峯秀雄, 緒方信英：高レベル放射性廃棄物処分のための緩衝材・埋戻し材の膨潤評価式の提案, 電力中央研究所 研究報告 U99013, 1999.
- 6) Börgesson, L., Johannesson, L-E, Sandén, T. and Hemelind, J. : Modelling of the physical behavior of water saturated clay barriers. Laboratory tests, material models and finite element application, SKB Technical Report, 95-20, 1995.
- 7) Dueck, A. and Börgesson, L. : Model suggested for an important part of the hydro-mechanical behavior of a water unsaturated bentonite, *Engineering Geology*, Vol.92, pp.160-169, 2007.
- 8) Chen, G. J. and Ledesma, A. : Coupled thermo-hydro-mechanical modeling of the full-scale in situ test “Prototype Repository”, *J. Geotech & Geoen. Eng.*, Vol.135, No.1, pp.121-132, 2009.
- 9) Åkesson, M., Börgesson, L. and Kristensson, O. : SR-Site Data Report, THM modeling of buffer, backfill and other system components, SKB Technical Report, TR-10-44, 2010.

## NUMERICAL ANALYSIS FOR HEATING AND INFILTRATION TEST AT MODEL DEPOSITION HOLE IN UNDERGROUND HARD ROCK LABORATORY

Masataka SAWADA, Tetsuji OKADA and Soshi NISHIMOTO

Various insitu tests for the safety disposal of radioactive waste are conducted in the Swedish underground hard rock laboratory. Canister Retrieval Test (CRT) is a heating and infiltration test at a full-scale deposition hole. In this paper, we conducted thermo-hydro-mechanical coupled analysis for CRT and compared the results with measured data. The evolution of temperature and relative humidity and the profiles of bentonite's dry density were well reproduced by numerical analysis.

Sensitivity analysis was also conducted in order to investigate the influence of hydraulic properties of surrounding rock mass on re-saturation behavior of bentonite in a deposition hole.