

余裕深度処分施設におけるベントナイト層の飽和期間に関する検討

(株)大林組 正会員○林 秀郎, 正会員 武内邦文, 正会員 山本修一
日本原燃(株) 正会員 伊藤裕紀
東電設計(株) 正会員 谷 智之

1. はじめに

余裕深度処分においては埋設処分施設閉鎖後、周辺の岩盤から地下水が次第に処分施設内部へ浸入し、低透水層(ベントナイト)が飽和に至るとともに膨潤圧が発生する。このため、埋設後の人工バリアシステムの状態を想定する上で、飽和までに至る期間は重要な要素となる。本研究では、二相流解析コードであるTOUGH2により、地下水の流れだけでなく施設内部の間隙空気移動や溶解も考慮した浸潤飽和過程を予測し、主としてベントナイト低透水層の飽和時間の予測と浸潤飽和プロセスの特徴(偏膨潤等)把握を試みた。

2. 解析条件(モデル、パラメータの設定)

2.1 解析対象の施設モデル

本研究では図-1に示す断面構成を想定した。低透水層の厚さは1mである。

2.2 モデル化領域および境界条件

本解析では、動水勾配の浸潤プロセスへの影響は無視でき、坑道は離間距離2D(D:坑道径)で複数存在し、かつ同時に閉鎖されると仮定して、図-2に示すように坑道から側方1D(19.7m)までの二次元半断面モデルとして解析を行った。

側部の境界条件はモデルの対称性を考慮して左右ともに不透水境界とした。上部は地表面までモデル化し、地下水面が地表面で維持されるものと仮定し、水圧を大気圧に固定した。底部は坑道下部から2Dの深さまでモデル化し、静水圧に固定した。なお、坑道壁面から3mの領域をEDZと仮定し、母岩の岩盤特性との違いを考慮することとした。解析に用いた差分法のメッシュを図-3に示す。また、操業期間は50年と仮定し、この間の地下水は図-4に示すように止水シートが完全に機能し(不透水境界)、坑道底部の一部からのみ排水される(大気圧境界)条件とした。

2.3 材料特性及び不飽和特性データ

材料特性、とくに不飽和特性データとして、ベントナイトについてはクニゲルGXの100%配合を対象とした室内試験結果を適用するものとし、その他の材料に関しては、既存の研究成果を活用することとした¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。解析に用いた各部材の透水係数、毛管圧及び相対透過係数等を表-1、表-2に示す。

3. 解析ケース

表-2、表-3に示す材料特性値を用い、閉鎖直後に防水シートが機能を失い坑道全周から浸潤すると仮定した基本ケースの他に、影響評価解析

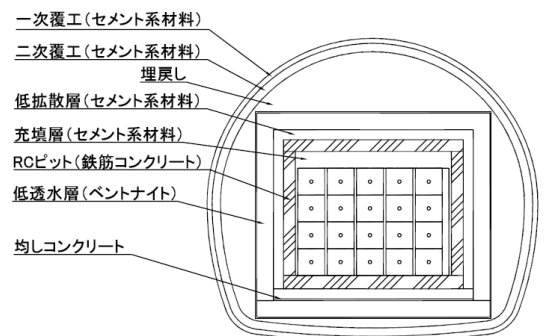


図-1 検討対象断面構成

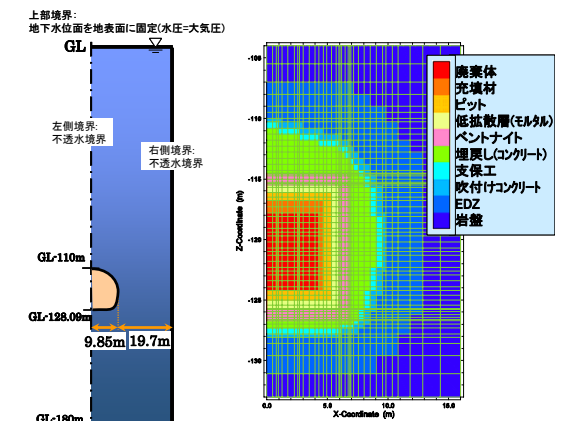


図-2 モデル化領域

図-3 解析メッシュ
(施設周辺部)

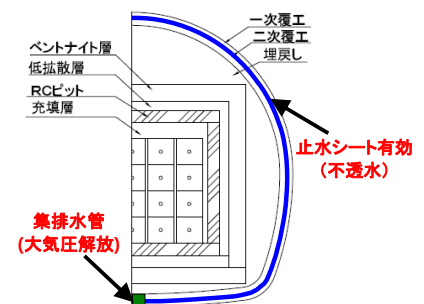


図-4 操業期間の解析条件

キーワード ベントナイト, 浸潤飽和, 飽和期間, 透水係数, 二相流解析, 不飽和特性, 防水シート
連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組 土木技術本部 技術第四部 TEL 03-5769-1309

として2ケース（底部浸潤ケース、密度 1.7 ケース）を設定した。底部浸潤ケースは、施設閉鎖後も防水シートが機能し続けると仮定して、底部中央のみから浸潤すると仮定したケースである。このケースは極端な状態設定であるが、浸潤条件がベントナイト低透水層の飽和時間および浸潤形態（偏膨潤）に及ぼす影響を検討するケースである。密度 1.7 ケースは、ベントナイトの密度および透水係数のバラツキの可能性を考慮して、密度 1.7g/cm³（透水係数：0.8×10⁻¹³m/s）と仮定したケースで、飽和時間が長くなる可能性を想定したケースである。

4. 解析結果

基本ケースにおける坑道閉鎖直後からの各構成部材の飽和度経時変化を図-5 に、全ケースにおける施設全体の飽和度分布の推移を表-3 に示す。基本ケースの低透水層は閉鎖 0.5 年後に外側から飽和が始まり、約 50 年ではほぼ飽和する。また、他の部材は当初、不飽和特性の違いにより部材間で水およびガスの交換があるがベントナイト低透水層の飽和後、順次最終の飽和過程に移る。底部浸潤ケースでは、側部及び上部の埋戻し部の飽和が遅くなり、ベントナイト低透水層も上部で浸潤に遅れが見られるが、そのような極端な仮定の場合でもベントナイト低透水層は約 100 年程度ではほぼ飽和する。また、密度 1.7 ケースはベントナイト低透水層の透水係数が小さいため、基本ケースよりも浸潤過程が遅延する状態であるが、この場合にも約 100 年程度で低透水層の飽和度は97%以上になり、その後はガスの溶解過程が支配的な段階に移行する。

5. まとめ

本研究により以下の結論を得た。

- ①現実的と考えられる基本ケースでは約 50 年程度でベントナイト低透水層がほぼ飽和状態に達する。
- ②極端な状態設定である底部浸潤ケースおよび密度 1.7 ケースにおいてもほぼ 100 年程度でベントナイト低透水層は飽和し、極端な偏膨潤は生じない。

表-1 材料の不飽和特性(毛管圧)

構成要素	透水係数	近似モデル	Pa(Pa)	Sls	Sgr	n	PO(Pa)	η	間隙率
1 岩盤	1.00E-08	Narasimhan	3.40E+04	-	0	-	8.00E+05	0.35	0.3
2 EDZ	1.00E-08							0.4	0.3
3 吹付け(コンクリート)	1.00E-08		1.00E+05	-	0	-	1.20E+06	1.3	0.13
4 支保工	1.03E-10	Van Genuchten							0.13
5 埋戻し(ベントナイト)	1.03E-10								0.13
6 ベントナイト	2.00E-13		-	1	0	1.7	3.27E+06	-	0.4
7 ビット	1.03E-11	Narasimhan	1.00E+05	-	0	-	1.20E+06	1.3	0.13
8 低拡散層(モルタル)	8.59E-14		6.90E+04	-	0.15	-	5.00E+06	1.05	0.182
9 充填材	1.03E-10		1.00E+05	-	0	-	1.20E+06	1.3	0.13
10 廃棄体	1.03E-10		1.00E+05	-	0	-	1.20E+06	1.3	0.13

表-2 材料の不飽和特性(相対透過係数)

構成要素	絶対透過係数	近似モデル	Sls	Sgr	n	m	初期飽和度
1 岩盤	水 1.16E-15 ガス 1.10E-14	Corey(変形)	0.6	0	3	4	1
2 EDZ	水 1.16E-13 ガス 1.16E-12						
3 吹付け(コンクリート)	水 1.16E-15 ガス 9.68E-14						1
4 支保工	水 1.20E-17 ガス 1.00E-15		0.3	0.18	2	4	0.9
5 埋戻し(コンクリート)	水 1.20E-17 ガス 1.00E-15						
6 ベントナイト	水 2.32E-20 ガス 2.32E-20		0	0	2	2	0.7
7 ビット	水 1.20E-18 ガス 1.00E-16		0.3	0.18	2	4	0.9
8 低拡散層(モルタル)	水 9.98E-21 ガス 7.31E-18		0.15	0.075	2.3	25	0.9
9 充填材	水 1.20E-17 ガス 1.00E-15		0.3	0.18	2	4	0.9
10 廃棄体	水 1.20E-17 ガス 1.00E-15		0.3	0.18	2	4	0.5

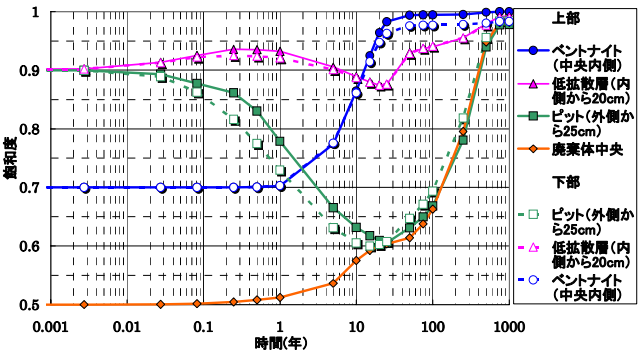


図-5 モデル中央部に於ける各部材の飽和度経時変化（基本ケース）

表-3 浸潤飽和のプロセス(飽和度)

	飽和度 0.7 0.8 0.9 1.0	閉鎖直後	閉鎖 0.5 年後	閉鎖 10 年後	閉鎖 50 年後	閉鎖 100 年後	閉鎖 250 年後
基本ケース							
底部浸潤ケース (防水シートの底部中心のみから浸潤した場合)							
密度 1.7 ケース (低透水層の乾燥密度が 1.7g/cm³とした場合)							

参考文献

1) 安藤賢一ほか(2005)：TRU 廃棄物処分におけるガス発生・移行解析，JNC TN8400 2005-026。
2) 核燃料サイクル開発機構・電事連(2005)：TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－，JNC TY1400 2005-013。
3) 核燃料サイクル開発機構(2000)：TRU 廃棄物処分概念検討書，JNC TY1400 2000-001。
4) G.Mayer,etal.(1992)： Experimental determination and numerical simulation of the permeability of cementitious materials, Nuclear Engineering and Design 138。
5) 山本幹彦ほか(2004)：地層処分におけるガス移行影響評価－人工バリア内のガス移行解析手法とデータ取得－，原子力バックエンド研究，Vol.10 No.1-2。