

軟岩を想定した高レベル放射性廃棄物処分施設における空洞埋戻し後超長期安定性の検討

鹿島建設株式会社 正会員 羽根 幸司
 東京電力株式会社 正会員 小野 文彦
 鹿島建設株式会社 正会員 田部井和人

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分における人工バリアおよびその周辺岩盤を含むニアフィールドの長期安定性を検討する上で重要な現象として、岩盤のクリープ変形やオーバーパックの腐食膨張、緩衝材の圧密挙動がある¹⁾。ここでは、対象岩種を軟岩と考え、縦置き方式の処分孔を対象とした岩盤クリープ解析、及びオーバーパックの腐食膨張を考慮した緩衝材の圧密挙動解析を実施し、ニアフィールドにおける長期安定性について検討した。

2. 検討手法

岩盤クリープ解析では以下に示すコンプライアンス可変型構成方程式²⁾によりその挙動を表現する大久保モデルを採用し、緩衝材が充填された閉鎖後状態をモデル化して1万年後までの計算を実施した。なお、緩衝材の膨潤圧及びオーバーパックの腐食膨張圧については考慮しないこととした。

$$\frac{dI^*}{dt} = a(\Delta S^*)^n (I^*)^m \quad (I^* \text{は初期値で規格化したコンプライアンス、} \Delta S^* \text{は破壊限接近度、} a, n, m \text{は定数)}$$

一方、緩衝材の圧密挙動解析については、関口・太田の弾粘塑性モデル³⁾を用い、オーバーパックの腐食膨張変形と岩盤クリープ変形を考慮し、腐食膨張開始後1万年後までの計算を行った。

3. 解析条件

(1) 岩盤クリープ解析

処分孔径1.7m、オーバーパック径0.8mの仕様(緩衝材厚さ45cm、乾燥密度2.0Mg/m³)に対して処分孔外径の5倍までを解析領域とした平面ひずみモデルでFEM解析を行った。荷重は処分深度を500mとした場合の初期地圧を想定した9.25MPaとし、表1に示す物性を基本条件とした。

表1 岩盤クリープ解析の基本物性

岩盤	湿潤密度	[Mg/m ³]	1.85
	一軸圧縮強度	c [MPa]	6.66
	引張強度	t [MPa]	0.47
	弾性係数	E [MPa]	690
	ポアソン比		0.40
	大久保モデルパラメータ	n ₀	25
		m	25
緩衝材	弾性係数	E [MPa]	50
	ポアソン比		0.355
オーバーパック	弾性係数	E [MPa]	220,000
	ポアソン比		0.30

(2) 緩衝材の圧密挙動解析

JNCの第2次とりまとめ¹⁾を参考に、表2に示す粘弾塑性パラメータを基本物性として平面ひずみモデルによるFEM解析を実施した。オーバーパックの腐食膨張については、腐食速度0.04mm/年で相似形に体積が3倍まで膨張するものと仮定した。オーバーパックの弾性定数は腐食膨張にともなって低下すると考えられるが、ここでは剛性が変わらないと仮定した。

表2 緩衝材圧密挙動解析における基本物性

圧縮指数	0.27
膨潤指数	0.16
限界状態パラメータ	0.63
二次圧密係数	5.0 × 10 ⁻⁴
初期体積ひずみ速度	2.0 × 10 ⁻⁸ 1/h
有効応力に基づくポアソン比	0.4
初期間隙比	0.7
先行圧密時の静止土圧係数	1
現在の静止土圧係数	1
初期有効応力(膨潤応力)	1.0 MPa
間隙水密度	1.0 Mg/m ³
透水係数	4.5 × 10 ⁻¹³ m/s
初期全水頭	0

4. 解析結果

(1) 岩盤クリープ解析

大久保モデルのクリープ特性である n₀、m、緩衝材の弾性係数、偏圧比をパラメータとして岩盤クリープ解析を実施した。図1は等圧条件下で n₀、m をパラメータとした解析結果の例で、横軸は経過時間、縦軸は岩盤壁面のクリープ変位量である。n₀が小さいほど、mが大きいほどクリープの進展が早くなるが、等圧条件下では1万年後のクリープ変位は最大でも数mm程度となった。図2は緩衝材に作用する応力の初期地圧に対する割合を経時的に示したものである。軟岩ではクリープの進展によって最終的には初期地圧が緩衝材に作用すると予想されるが、閉鎖後数万年程

キーワード：高レベル放射性廃棄物処分、軟岩、クリープ、長期安定性

連絡先：〒107-8502 東京都港区赤坂6-5-30 鹿島土木設計本部 Tel.03-5561-2169 Fax.03-5561-2151

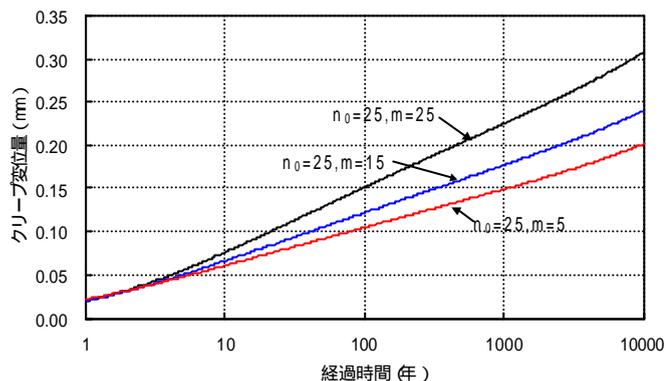


図1 岩盤壁面クリープ変位量の経時変化(等圧)

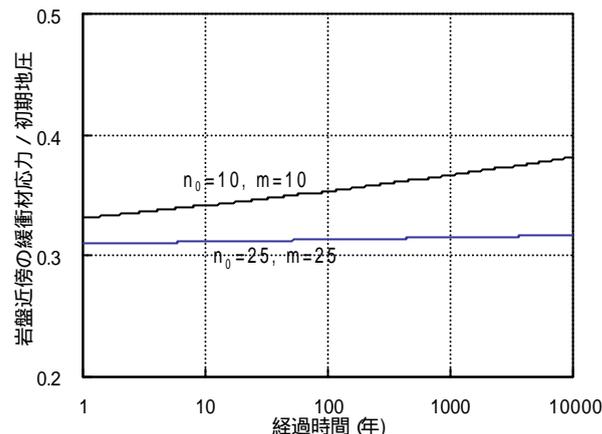


図2 緩衝材に作用する応力 / 初期地圧

度では緩衝材に作用する応力は初期地圧の 30 ~ 40%程度の結果となった。図 3 は緩衝材の弾性係数をパラメータとした結果であり、横軸を緩衝材の弾性係数、縦軸を 1 万年後のクリープ変位量とした。緩衝材の弾性係数が小さくなるほどクリープ変位は急激に大きくなることから、緩衝材の設置によって岩盤クリープが抑制される効果は大きいと判断される。

以上までは等圧条件の結果であるが、偏圧条件とした場合の一例を図 4 に示す。偏圧比が大きくなるとクリープの進行は早くなり、パラメータ (n_0, m) によっては急激に破壊が進むケースもあった。

(2) 緩衝材の圧密挙動解析

岩盤クリープ解析で得られたクリープ変位を強制変位として緩衝材の圧密挙動解析を実施したところ、オーバパックの腐食膨張によって緩衝材は大きく圧縮変形を生じたが破壊には至らなかった。

5. 処分場の安全性からの考察とまとめ

今回の圧密挙動解析結果を評価したところ、緩衝材厚さは減少するが、密度の増加により拡散場は担保できると考えられ、緩衝材の変形については問題ないと考えられる。一方、岩盤クリープ変形にともなって緩衝材外側周辺岩盤の透水性が変化し、人工バリアを通過する地下水が増加する可能性があるが、上記の岩盤クリープ解析結果によれば、処分場の閉鎖後等圧条件下ではクリープ変形は小さいものと予想される。

なお、本研究は、電力 10 社による電力共通研究の成果「高レベル廃棄物処分における空洞の力学的安定性評価手法に関する研究」の一部である。

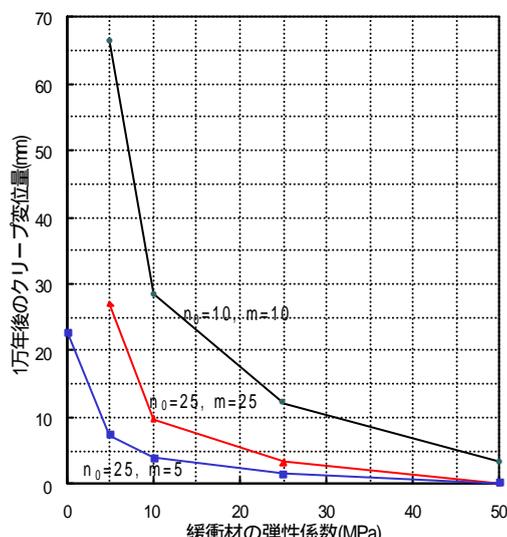


図3 緩衝材の弾性係数とクリープ変形量

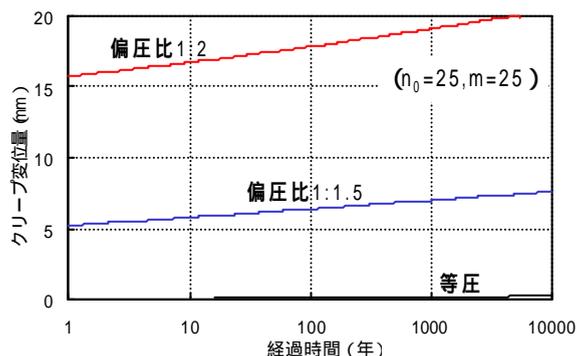


図4 岩盤壁面クリープ変位量の経時変化(偏圧)

参考文献

- 1)核燃料サイクル開発機構(1999)；地層処分研究開発第 2 次取りまとめ
- 2)大久保他(1993)、非線形粘弾性モデルによる円形坑道周辺岩盤挙動のシミュレーション、資源と素材 Vol.109、p209-214
- 3)飯塚敦；軟弱地盤の変形・安定解析に関する基礎的研究、昭和 63 年 6 月