

砂・ベントナイト混合材料の応力緩衝性に関するパラメータ・スタディ

東電設計(株) 正会員 ○北爪 貴史, 福井 史朗

東京電力(株) 正会員 土 宏之, 植田 浩義, 木元 崇宏

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、人工バリア概念のもと、廃棄体を包むオーバーバックと岩盤の間に緩衝材を設置することが考えられている。緩衝材には、止水性、自己シール性、核種吸着遅延性、熱伝導性、化学的緩衝性、オーバーバック支持性などと共に、岩盤の変動およびオーバーバックの腐食膨張から人工バリアの機能に有意な影響を与えない応力緩衝性の機能が長期にわたって維持できることが要求される¹⁾。これらの機能を有する緩衝材の候補として、圧縮されたベントナイトや砂とベントナイトの混合材料が提案されている。本報告では、緩衝材として砂・ベントナイト混合材料を対象とし、オーバーバックの腐食膨張挙動に対して、緩衝材厚さ、オーバーバックの腐食膨張量、腐食部の剛性、岩盤のクリープ変位の考慮の有無、をパラメータとした場合の緩衝材内の応力変化について数値解析を行い、パラメータの変動による緩衝材の応力緩衝性を検討した。

2. 検討方法

本検討で想定した人工バリアの仕様は、図-1 に示すような処分孔縦置方式である。解析モデルは、軸対象モデルであり、軸方向の変位を拘束することにより、同方向は平面ひずみ条件となっている。また、考慮したパラメータに応じて2タイプのモデルを設定した。解析モデルを図-2 に示す。オーバーバックは弾性体(炭素鋼製)、岩盤は無限要素(線形挙動)としている。緩衝材の仕様、材料特性及び使用した構成式は参考文献 1)と同様である。表-1 に材料物性値一覧¹⁾を示す。オーバーバックの腐食膨張挙動は熱膨張による体積変化としてモデル化し、全量が5000年後に完全腐食するものと仮定した。また、緩衝材の外周部は排水条件としている。解析コードはABAQUSである。

パラメータは、1)緩衝材厚さ、2)オーバーバックの腐食膨張による体積変化の割合、3)腐食部の剛性、4)岩盤から緩衝材へのクリープ変位を考慮する／しない場合、または緩衝材の膨張を岩盤側に許容する場合、とした。岩盤の剛性は軟岩及び硬岩に相当する2ケースを設定した。表-2 に検討ケース一覧を示す。基本ケース(Case-1)は参考文献 1)において実施されている熱膨張解析の材料仕様ならびに設定条件とほぼ同様である。

3. 検討結果

基本ケース(Case-1)は、参考文献 1)の再現性を試みたものであり、緩衝材がオーバーバックと接触する要素の

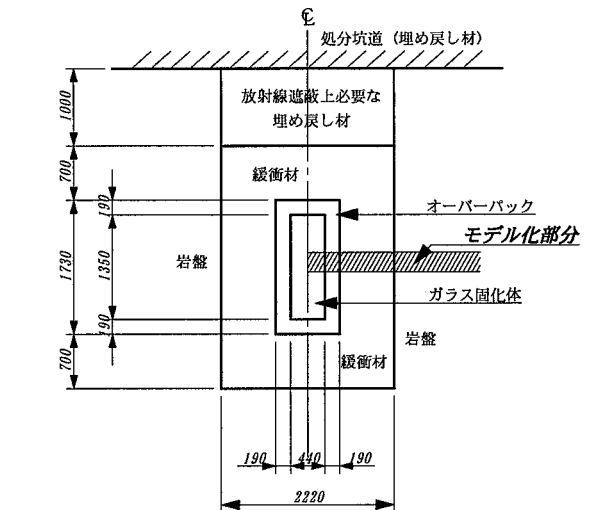


図-1 想定した人工バリア仕様 <単位(mm)>

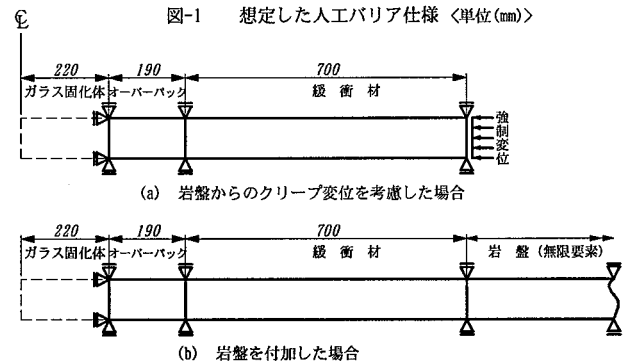


図-2 解析モデル <単位(mm)>

表-1 材料物性値一覧【基本ケース】

材 料	物 性	単 位	定 数
オバ-バック (弾性)	弾性係数	MPa	2.1×10^5
	ポアソン比	-	0.3
緩衝材 (弾塑性)	圧縮指数	-	0.27
	膨潤指数	-	0.16
	限界状態パラメータ	-	0.63
	ポアソン比	-	0.4
	初期間隙比	-	0.7
	透水係数	m/year	1.42×10^{-3}
	初期有効応力(膨潤応力)	MPa	0.5

キーワード：高レベル放射性廃棄物、地層処分、緩衝材、応力緩衝性、パラメータ・スタディ

連絡先：〒110-0015 台東区東上野 3-3-3 東電設計(株)原子力土木部 TEL 03-5818-7664 FAX 03-5818-7585

5000 年後の平均有効応力(p)、せん断応力(q)及び応力比(q/p)は、同文献における 4850 年後の結果とほぼ一致した。

図-3 は、緩衝材厚さを変化させた検討結果である。本検討ケースでは、厚みが小さくなるほど応力は増加するものの、逆に応力比は小さくなっている。このことから、緩衝材の厚みが小さくなる程、せん断挙動に比べ圧密挙動の占める割合が増加するものと考えられる。

図-4 は、オーバーパックの腐食膨張量を変化させた検討における応力及び応力比の変動傾向である。基本ケース(Case-1)の腐食膨張量は元の体積の 3 倍となる場合を、Case-5 では 2 倍となる場合を設定している。体積膨張量が大きいほど発生応力も大きくなるが、応力比はあまり変わらないことがわかる。

図-5 は、オーバーパックの腐食によって発生する腐食生成物の剛性を変化させた検討結果である。基本ケース(Case-1)では腐食生成物の剛性を元のオーバーパックの剛性と同じ値としており、Case-6 及び Case-7 はこの値のそれぞれ 1/10 及び 1/100 とした場合である。図-5 より、今回の解析条件下では腐食生成物の剛性は応力の変動にほとんど寄与しないことがわかる。

図-6 は、岩盤のクリープによる緩衝材側への収縮変位を考慮した基本ケース(Case-1)に対し、これを考慮しない Case-8 と、逆に緩衝材の膨張が岩盤側に作用することを許した Case-9 及び Case-10 の比較結果である。Case-1 に比べ、Case-8、Case-9、Case-10 の方が平均有効応力及びせん断応力は小さいが、応力比は若干大きくなっている。これは、後者 3 ケースの場合は基本ケースに比べて径方向の圧縮量が小さく、圧密挙動よりもせん断挙動の占める割合が若干上回っているためであると考えられる。なお、岩盤の剛性の相違(軟岩と硬岩)による解析結果の差異は認められなかった。

4. おわりに

緩衝材の長期健全性の評価は、高レベル放射性廃棄物の処分効率を最適化(経済性の向上)するために重要である。本報告では、緩衝材の応力等に影響を及ぼす要因を分析し、今後の研究開発における重点項目・課題の抽出の一助とするための検討を行った。

今回の評価結果は、複雑な挙動を示すオーバーパックの腐食膨張や緩衝材・岩盤の材料特性に対し、非常に単純化したモデルにより得られたものである。今後は、超長期にわたる各材料の挙動解析モデルを高度化する必要があるものと考えられる。

<参考文献> 1)核燃料サイクル開発機構:わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次とりまとめ— 分冊2 地層処分の工学技術, JNC TN1400 99-022, 平成11年11月

表-2 検討ケース一覧表

検討ケース	検 討 条 件 (パラメータの変更箇所)
Case-1 【基本ケース】	・緩衝材厚さ: 70cm ・腐食部の剛性: 2.1×10^4 MPa ・腐食部の体積膨張率: 3 倍 ・岩盤クリープ変位(強制変位)を考慮 ・緩衝材の外周部で排水条件
Case-2	・緩衝材厚さ: 60cm
Case-3	・緩衝材厚さ: 50cm
Case-4	・緩衝材厚さ: 40cm
Case-5	・腐食部の体積膨張率: 2 倍
Case-6	・腐食部の剛性: 2.1×10^4 MPa
Case-7	・腐食部の剛性: 2.1×10^3 MPa
Case-8	・緩衝材の外周部を固定
Case-9	・岩盤ヤング率: $E=3500$ MPa ・岩盤ポアソン比: $\nu=0.3$
Case-10	・岩盤ヤング率: $E=37000$ MPa ・岩盤ポアソン比: $\nu=0.25$

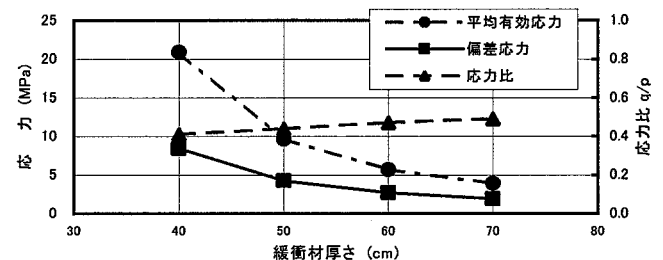


図-3 緩衝材の厚みをパラメータとした場合の結果

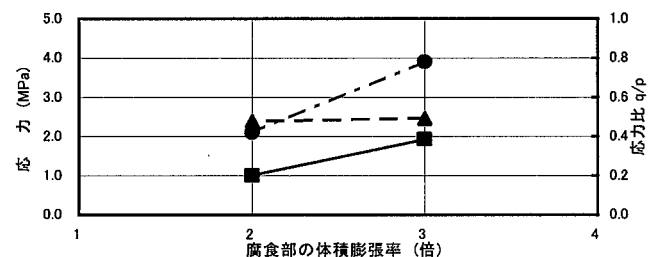


図-4 腐食部の体積膨張量をパラメータとした場合の結果

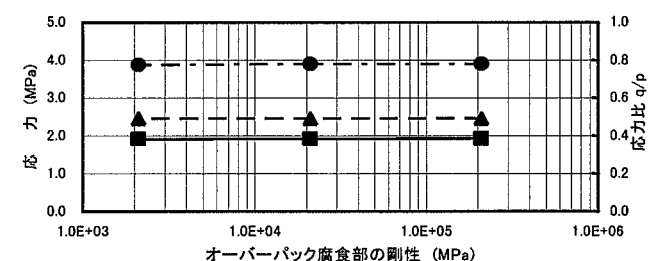


図-5 腐食部の剛性をパラメータとした場合の結果

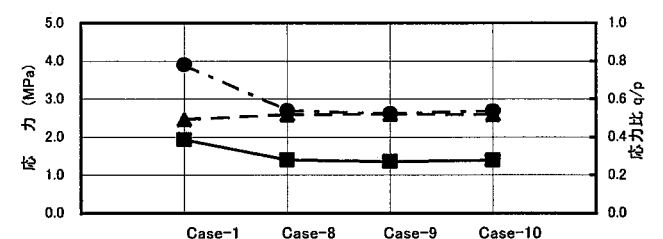


図-6 クリープ変位をパラメータとした場合の結果