

緩衝材長期力学挙動の検討（その2）

—オーバーパック腐食膨張模擬試験の解析的評価—

(株)竹中工務店

正会員 ○ 重野喜政、高治一彦、下河内隆文

核燃料サイクル開発機構

非会員 棚井憲治

正会員 平井卓

1. はじめに

緩衝材には、オーバーパックの腐食膨張、自重による沈下及び周辺岩盤のクリープ変形等による外力が長期間作用すると考えられる。これらの外力に対して人工バリア中の緩衝材の変形などを評価することは設計や安全評価上の基盤情報を得る上で重要である。JNCでは、再冠水後の緩衝材の長期力学的挙動を表す構成モデルとして、既往の構成則から抽出された関口 - 太田モデル¹⁾と足立 - 岡モデル²⁾の適用性を検討している³⁾。本論文では、「その1」で両モデルが室内試験に対して概ね良好な適用性を示したことを受け、両モデルによりオーバーパックの腐食膨張模擬試験の解析的評価を行い、境界値問題への適用性を検討した。

2. オーバーパック腐食膨張模擬試験

オーバーパック腐食膨張模擬試験装置(DEFORMと呼ぶ)は、オーバーパックの腐食膨張による円筒軸方向の変形を模擬するもので、第1次取りまとめ仕様の1/20縮尺模型である。試験体は、図1に示す形状とし、鋼製ピストンの貫入により膨張を模擬する。円筒外周部を排水条件とする。図1に計測点の配置を示す。

緩衝材は、ケイ砂混合ベントナイトであり、混合率30%、ベントナイトはクニゲルV1、ケイ砂は3号と5号(1:1の割合)、乾燥密度は 1.6Mgm^{-3} である。

始めに、緩衝材を飽和膨潤させる。緩衝材を設置した容器を真空脱気した後に0.2MPaで加圧注水し、計測される膨潤圧の安定をもって飽和判定を行う。

貫入速度が異なる2ケースを実施した。Case1は載荷速度0.15mm/day、期間122日間の低速試験である。Case2は載荷速度1.5mm/day、期間14日間の高速試験である。Case2は貫入終了後14日間計測を継続した。尚、試験は常温での力学的挙動を調べるものである。

3. 解析モデル及び解析条件

解析モデルおよび境界条件を図2に示す。解析モデルは軸対象モデルとする。ピストンの貫入は、ピストン上部における強制変位により与える。貫入量はCase1で18.0mm、Case2で21.6mmである。

構成モデルには関口 - 太田モデルと足立 - 岡モデルを用いる。モデルのパラメータは、「その1」で設定した値を用いる。ただし、パラメータAの初期体積ひずみ速度は、排水距離を50mmとして一次圧密終了時間を換算することにより設定している。ピストン貫入直前の各土圧計データの平均値(Case1では450kPa、Case2では750kPa)を初期有効拘束圧とし、 $e_0 = 0.62 - 0.27 \log \sigma'_0$ から初期間隙比を算出する。初期状態は、正規圧密状態であると仮定する。緩衝材のパラメータを表1に示す。解析には、有効応力解析プログラムMuDIANを用いる。

4. 試験結果及び解析結果

ピストン部における載荷重について、試験結果と解析結果を図3、図4に示す。図中の載荷荷重増分とは、ピストン荷重と緩衝材の膨張圧との差である。全体的に解析値が大きいのが、Case2における貫入停止後の応力緩和挙動も含めて、概ね良好な結果が得られている。

各構成モデルにおける粘性パラメータの差(AB間の比較)については、Case2における貫入後のAO-A以外には大きな差異がない。これは、DEFORMの試験期間が、粘性パラメータで設定した一次圧密終了時間と比較して短期間であり、粘性による変形が卓越していないためであると考えられる。

構成モデル間の比較では、足立 - 岡モデルの応答が大きい傾向があるが、全体的な傾向は両モデルとも概ね良好に表せている。これは、Cam Clayモデルを基本にした構成モデルが示す挙動から大きく逸脱していないことを示している。

キーワード：放射性廃棄物、ベントナイト、力学特性、構成モデル、弾粘塑性

連絡先：〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1

TEL:0476-47-1700 FAX:0476-46-6688

載荷終了直後の各土圧計の実測値(増分)と解析値の乖離を図5に示す。図示したのは、足立 - 岡モデルの結果である。ここで、乖離率とは、解析値と実験値の差を実験値で除した値である。なお、Case1の土圧3及びCase2の土圧2は、著しく乖離が大きいため、図示していない。

各観測点の乖離率から、解析結果は概ね良好であると言える。ただし、除外した観測点など、乖離の大きな点もあり、実験開始時における膨張圧のばらつきや、解析時の境界条件などが影響していると考えられる。

図6に破壊接近度(q/M_p)のコンター図を示す。構成モデル間やパラメータ間で同様の傾向を示すことから、足立 - 岡モデルAの結果を示す。杭の貫入により生じる圧力球根と同様の形状で限界状態に近い領域が生じていることがわかる。

5. まとめ

緩衝材の構成モデルに、関口 - 太田モデルと足立 - 岡モデルを用い、オーバーパック腐食膨張模擬試験を対象とした解析を行った。構成モデルのパラメータは室内試験に基づいて設定した。解析結果は、試験結果の傾向を概ね良好に表しており、両構成モデルが境界値問題に対して適用可能であること示すことができた。

今後は、「その1」で述べたように、体積クリープとせん断クリープを統一的に表現できない問題等があり、この点を含めて、緩衝材の長期力学的挙動に関する研究を進めていく予定である。

参考文献

1) Sekiguchi,H., Ohta,H. : Induced anisotropy and time dependency in clays. *Proc. 9th ICSMFE*, special session9, pp.229-237,1997
2) 岡二三生：地盤の粘弾塑性構成式，森北出版，pp.44-62,2000
3)重野，並河，高治：緩衝材長期力学挙動構成モデルの検討(II)，JNC TJ8440 2003-002, 2003

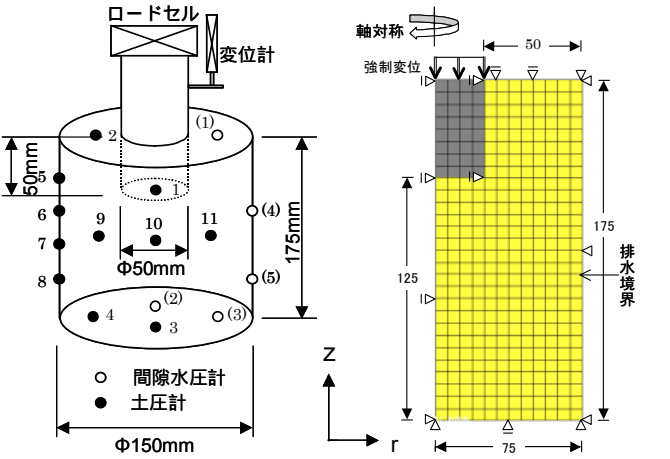


図1 試験体と観測点 図2 解析モデル(単位mm)

表 1 構成モデルのパラメータ

パ ラメータ		関口 - 太田モデル		足立 - 岡モデル	
弾性	Cs	0.16			
	G ₀	Case1：16.6MPa (拘束圧0.45MPa) Case2：26.7MPa (拘束圧0.75MPa)			
塑性	Cc, M	0.27, 0.63			
粘性	A	α	2.0 × 10 ⁻³	m'	14.0
		$\dot{\gamma}_0$	2.15 × 10 ⁻⁶ (h ⁻¹)	C	4.16 × 10 ⁻⁶ (h ⁻¹)
	B	α	2.86 × 10 ⁻⁴	m'	98.0
		$\dot{\gamma}_0$	1.23 × 10 ⁻¹² (h ⁻¹)	C	2.4 × 10 ⁻¹² (h ⁻¹)

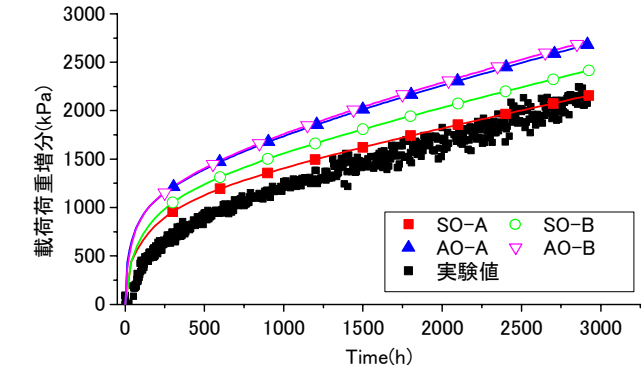


図3 Case1における載荷荷重増分の経時変化

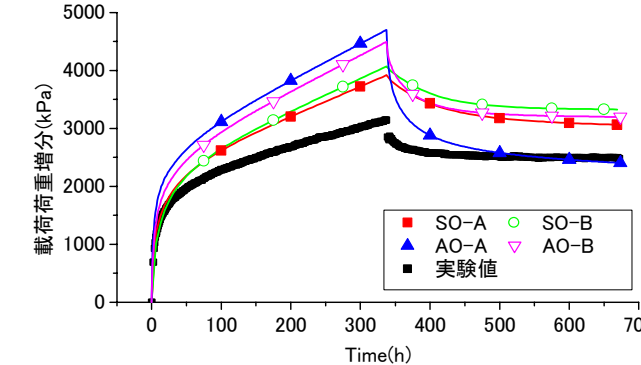


図4 Case2における載荷荷重増分の経時変化

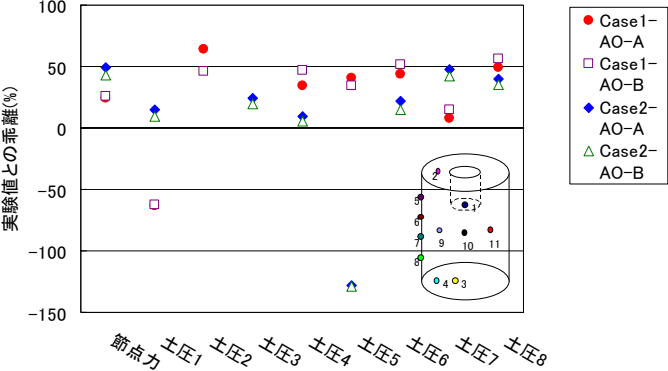


図5 実験値と解析値の乖離率(足立 - 岡モデル)

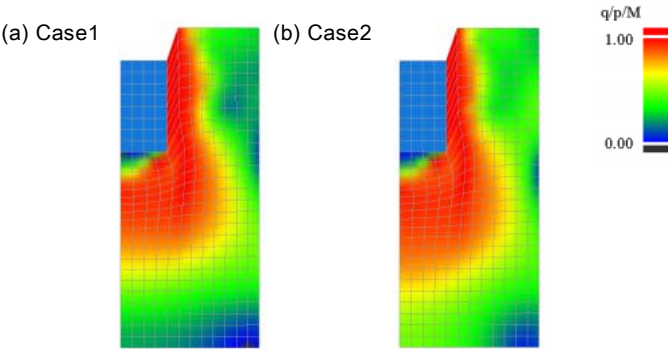


図6 貫入完了後の破壊接近度 (足立 - 岡モデルA)