緩衝材長期挙動構成モデルの検討(その1)

- ベントナイトの力学特性に関する弾粘塑性構成モデルの適用性 -

(株)竹中工務店 正会員 高治一彦、重野喜政 非会員 並河努核燃料サイクル開発機構 非会員 油井三和 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に わたり作用すると考えられる。これらの外力に対する緩衝材の力学変形挙動を明らかにすることは安全評価上重要 である。本研究では緩衝材として用いられる圧縮成型ベントナイトを対象に、これまで実施された室内力学試験結 果を、一般粘土に用いられている構成式を用いてシミュレーションを行い、その適用性について検討した。 2.試験概要

シミュレーション対象とした室内力学試験は、一次元圧密試験(以下「圧密試験」)、圧密非排水三軸圧縮試験 (以下「三軸試験」)、圧密非排水三軸クリープ試験(以下「クリープ試験」)である¹⁾。試験に用いた供試体は、 ベントナイトに重量比で 30%のケイ砂を混合し、乾燥密度 1.6g/cm³に圧縮成型した飽和状態の供試体である。ベン トナイトにはクニゲル V1 を用いた。本報告では、三軸試験、クリープ試験の結果についてまとめる。

3.シミュレーション概要

圧縮成型ベントナイトの力学挙動を解析するための力学モデルとして、粘性土を対象に開発された弾粘塑性モデルの適用性について検討を行った。本研究では、流動曲面モデルの代表として関ロ - 太田モデル²⁾を、超過応力モデルの代表として足立 - 岡モデル³⁾を取上げた。各モデルを用いて前述した室内試験結果のシミュレーションを行い(FEM 解析コード MuDIAN⁴⁾を使用)その適用性の検討を行った。本検討モデルにおいて必要な入力パラメータの内、弾塑性パラメータは圧縮指数 Cc、膨潤指数 Cs、限界状態パラメータ M である。これらは、圧密試験、三軸試験結果より決定した。ただし、圧密試験における間隙比 e と圧密応力 p の関係(e-log p)より Cs は除荷時と再載荷時でその傾きが大きく異なっており(図1参照)、本研究では、除荷時初期の傾き、再載荷時の傾き、その平均値の3 種類のパラメータでシミュレーションを実施した。初期せん断剛性 G₀は、解析対象試験ケースの有効拘束圧に応じて各試験の初期剛性が3 種類の Cs で一定になるように設定した。表1に解析に用いたパラメータを示す。

また、粘性パラメータの内、関口 - 太田モデルの粘性パラメータである二次圧密係数 は圧密試験の載荷 100 時間以降の傾きより決定し、初期体積ひずみ速度v₀は一次圧密の終了に要する時間を目安に特性時間 t_eを用い、



表1 解析パラメータ

パ・ラメータ		関口 - 太田モデル	足立 - 岡モデル
弾 性	Cs	0.16, 0.092, 0.023	
	G ₀	三軸試験:78800kPa (平均有効応力 2.41MPa)	
		クリープ試験:93500kPa (平均有効応力 2.90MPa)	
塑	Cc	0.27	
性	Μ	0.63	
茽 艿		1.2×10^{-3}	-
	V ₀	1.9×10^{-6}	-
	m'	-	24
	С	_	3.0×10^{-5}

Cs: 膨潤指数 G₀: せん断弾性係数 Cc: 圧縮指数 M: 限界状態線の傾き : 二次圧密係数 v₀: 初期体積ひずみ速度(単位 h-¹)

m':粘性パラメータ1 C:粘性パラメータ2(単位 h-1)

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:〒104-8182 東京都中央区銀座 8-21-1 TEL:03-3542-7612 FAX:03-3545-0974

CS7-045

次式により設定した。

 $v_0 = /t_c$

(1)

ここで、圧密試験の供試体寸法が 60×h20mm、両面排水なので、排水距離が 10mm、三軸試験、クリープ試験 の供試体寸法が 50×h100mm、周面排水なので、排水距離が 25mm であることから、三軸試験、クリープ試験 の特性時間は、100 時間×2.5²=625 時間とした。足立 - 岡モデルの粘性パラメータは、二次圧密係数と初期体積ひ ずみ速度より次式により設定している。

$$m' = \frac{\lambda - \kappa}{\alpha (1 + e_0)} \qquad C = \frac{\dot{v}_0}{M}$$
(2)

<u>4.シミュレーション結果</u>

三軸試験は、初期有効拘束圧 0.5~3.0MPa の範囲で6ケース実施 したが、この内、図2、図3に初期有効拘束圧 2.41MPa のシミュ レーション結果(応力経路、応力-ひずみ曲線)を示す。載荷条件 は、ひずみ速度 0.01%/min、軸ひずみ 15%までである。

図より、同等なパラメータにおいては、足立 - 岡モデルの方が関 ロ - 太田モデルに比して若干過剰間隙水圧の発生による平均有効 応力の低下が大きい。また、Cs が試験結果に及ぼす影響は大きく、 両モデルとも粘塑性ひずみはCcとCsの差で算出されることから、 Cs が小さくなるほどひずみが大きくなることがわかる。実験結果の 応力経路はCs=0.16とCs=0.092のシミュレーション結果の間に位 置している。これは、各試験ケースでほぼ同様な傾向である。

クリープ試験は、初期有効拘束圧 3.0MPa で、ピーク強度の 30%、 50%、70%の載荷荷重で約5ヶ月間実施したが、この内、図4にピ ーク強度の 70%載荷試験のシミュレーション結果(軸ひずみの経時 変化)を示す。図より、いずれのケースでもせん断クリープ量が過 大に評価されており、特に Cs=0.023 のケースではクリープ破壊が 生じている。同等と考えられるパラメータにおいては、クリープ破 壊が生じない範囲では、両モデルのシミュレーション結果に大きな 差は見られなかった。

<u>5.おわりに</u>

本研究では、既存の構成モデル(関口 - 太田モデル、足立 - 岡モ デル)を用いて三軸試験、クリープ試験のシミュレーションを行っ た。構成モデルに必要なパラメータの内、限界状態パラメータ M 以





図3 三軸試験シミュレーション結果(応力-ひずみ曲線)



外は圧密試験の e-log p 関係より設定し、Cs は除荷時と再載荷時での傾きの違いを包含した3ケースを設定した。 その結果、せん断クリープ量は若干過大評価であるものの、Cs が再載荷時の傾きに近いほど実測値に近くなり、せ ん断に伴うダイレタンシー挙動はある程度適切に表現できることが分かった。また、モデル間の挙動の差は小さい。 粘性パラメータが挙動に及ぼす影響も大きいと考えられることから、これらを総合的に考慮したパラメータ範囲の 設定、試験データの蓄積によるパラメータ精度の向上、人工バリアの長期力学挙動への影響評価を実施中である。 【参考文献】

1) 核燃料サイクル開発機構:地層処分研究開発第2次取りまとめ-分冊2、1999.11

2) Sekiguchi, H., Ohta, H. : Induced anisotropy and time dependency in clays. Proc. 9th ICSMFE, special session9, pp.229-237,1997

3) 岡二三生: 地盤の粘弾塑性構成式, 森北出版, pp.44-62,2000

4) Siomi,T., Shigeno,Y., Zienkiewicz, O.C. : Numerical prediction for model No.1. Proc. of the Int. conf. on the Verification of Numerical Procedures for the Analysis of Soil Liquefaction Problems /Davis California USA/ pp.218-220, 1993