ベントナイト材料の実験結果から得た構成モデルを用いた各種室内試験の解析

電源開発株式会社	正会員	○前田	圭介
神戸大学	正会員	飯均	₹ 敦
神戸大学	正会員	河井	克之
神戸大学	学生会員	高山	裕介

図-1 解析領域

Test result

Analysis result

Unloading

8

Δ

4

5

Water absorption

Δ

3

Vertical pressure (MPa)

図-2 載荷圧と間隙比の関係

20mm

20mm

0.8

0.7

Void ratio 9.0

0.5

0.4

1

2

<u>1. はじめに</u>

放射性廃棄物地層処分施設における緩衝材にベントナイト材料の 利用が検討されている.施設の安全性を検討するためには、ベントナイ ト材料の力学挙動を精度よく表現できる構成モデルが必要である.本研 究では、前田ら¹⁾の提案した構成モデルを土/水/空気有限要素解析プロ グラム(DACSAR-MP)に組み込み、各種室内試験の再現シミュレーショ ンを行い、ベントナイト材料の力学挙動の再現性を検証した.

2. 膨潤量試験シミュレーション

鈴木・藤田²⁾が行った膨潤量試験の再現シミュレーションを行った. 鈴木・藤田が行った試験手順を示す.

- ある初期状態 (ρ_d=1.8Mg/m³, w=10%)の不飽和ベントナイト (クニ ゲルV1) 材料に対して載荷圧 4MPa を与える.
- 2. 圧縮による体積変化が落ち着いたところで,載荷圧一定条件下で供 試体下端から注水を行う.
- 3. 吸水膨潤による体積変化が落ち着くまで放置を行う.
- 4. 載荷圧を 2MPa まで除荷し、体積変化が落ち着くまで放置する.
- 5. 手順4と同様の作業を1MPa, 0.5MPa について行う.

解析に用いたパラメータを表-1 に,解析領域は図-1 のような軸対象条件を設定した.変位境界として解析領域下端は水平方向・鉛直方向とも

に固定とし、左端・右端は水平方向のみ 固定とした.また、解析領域下端に排水 境界を、解析領域上端に排気境界(大気 圧)をそれぞれ設定した.下端排水境界 における全水頭を上昇させることで吸水 を表現した.また吸水後の放置期間につ いては実験に合わせて、2MPaまで除荷 →1000時間放置→1MPaまで除荷→500 時間放置→0.5MPaまで除荷→1500時間 放置とした.解析結果の内、初期載荷後・ 吸水後・各除荷後の載荷圧と間隙比の関 係図を図-2に示す.これを見ると、実験

表-1 解析に使用したパラメータ						
$k_w(m/day)$	$k_a(m/day)$	М	v	Gs		
7.0×10 ⁻⁸	6.8×10 ⁻⁶	0.45	0.454	2.73		
а	п	n_E	λ	e _{ref}		
10	2.0	1.6	0.125	0.46		
p' _{ref} (MPa)	A^D	B^D	A^W	B^{W}		
10	-24	3.2	-20	2.9		
Sr_0	l	κ_0	<i>K</i> sat			
0.1	10.0	0.01	0.1249			

※*A*,*B*はサクションの単位 kPa に対する値

結果と解析結果では、間隙比変化は非常に近い値となっている.

キーワード ベントナイト 構成モデル 数値シミュレーション

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 神戸大学都市安全研究センター・地盤環境リスク評価研究室 Tel:078(803)6029

3. 静的締固め試験シミュレーション

ベントナイト材料の締固め特性について,静的締固め試験 の再現シミュレーションを行った.想定した材料はクニゲル V1で,用いたパラメータは表-1のものを,解析領域につい ては図-3のような軸対象条件を設定した.全面非排水条件で, 上端を排気境界とした.静的締固め圧力は20MPaとし,1時 間かけて載荷と除荷を行った.解析ケースとして含水比を 5~17%まで2%毎に行った.静的締固め試験の解析結果の内, 締固め曲線を図-4の左図に示す.図中には千々松³⁾らが行っ たクニゲルV1の締固め曲線も併せて示す.これをみると, 締固め曲線がピークを持つ傾向など,実験値を概ね再現でき ているのが分かる.しかし締固め曲線は実験と比べると全体 的に左側にずれていることがわかる.





4. 膨潤圧試験シミュレーション

静的締固め試験シミュレーション終 了後の供試体に対して,上端を変位固 定境界に切り替え,締固めたベントナ イトの膨潤圧を計算した.吸水につい ては下端の全水頭を上昇させることで 表現し,その時に生じる膨潤圧を計算 した.ここでは,上端節点における鉛 直反力を膨潤圧と見做している.解析 結果の内,飽和時に発揮している膨潤 圧を図-4の右図に示す.図中には,鈴 木・藤田²⁾が行った膨潤圧試験結果も 併せて示してある.これをみると,膨



図-4 締固め曲線と乾燥密度毎の膨潤圧

潤圧が乾燥密度の上昇とともに非線形的に増加する傾向を表現できているのが分かる.また,生じる膨潤圧も実験 結果と同等の値を示しているのが分かる.

5.結論

本研究ではベントナイトの飽和化を、粒状体としての性質の消失と解釈し、ベントナイト材料の不飽和弾塑性構成モデルの構築を行った.さらに提案した構成モデルを土/水/空気有限要素解析プログラムに組み込み、各種室内試験の再現シミュレーションを行った.その結果、ベントナイト材料の力学挙動をある程度精度よく評価できることが分かった.今後は、締固め曲線のズレの解消など、より再現精度の高いパラメータを見つけていき、処分施設の再冠水現象を解析していきたい.

参考・引用文献

1)前田圭介,飯塚敦,河井克行,高山裕介:土質力学から見たベントナイト材料の特異性と構成モデル化,全国大 会第 68 回年次学術講演会,2013

 2) 鈴木 英明,藤田 朝雄:緩衝材の膨潤特性,核燃料サイクル開発機構業務報告書,JNC-TN8400 99-038, 1999
3) 千々松 正和,杉田裕,雨宮 清:緩衝材の製作・施工技術に関する検討,核燃料サイクル開発機構業務報告書, PNC TN8400 99-035, 1999