

ベントナイト・珪砂混合土の膨潤特性

Swelling Characteristics of Bentonite-Sand Mixtures

北海道大学大学院
北海道大学大学院
北海道大学大学院
北海道大学工学部

○学 生 員 谷 村 匡 哉 (Masaya Tanimura)
フェロー会員 三田地 利 之 (Toshiyuki Mitachi)
学 生 員 戎 剛 史 (Takeshi Ebisu)
学 生 小 松 賢 司 (Kenji Komatsu)

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分に際し、緩衝材の材料として想定されているベントナイトは、その役割に適した様々な特性をもつ。その中のひとつである高い膨潤性は、地上で成型された個々のベントナイトブロックの間、またそれらと処分孔内での周辺地盤やオーバーバックとの間隙を埋める働きを期待されており、その性質を把握することは重要であると考えられる。

本研究報告では、供試体の体積変化を拘束した状態で膨潤圧を測定することにより得た試験結果から、ベントナイトの膨潤性について考察するほか、特に基準が定められているわけではない試験機・試験方法についての概要を述べる。

2. 膨潤圧測定試験機

本研究で試作した膨潤圧測定試験システムは、試験容器、制御装置、データ記録装置、給水装置等からなり、概要を図-1に示す。

試験容器にはステンレス製の圧密容器を用いたが、透水係数の低いベントナイトの性質を考慮し、長期間に及ぶと予想される試験期間の短縮を図るため、供試体内部に上下から背圧を負荷できるものである。制御装置からの軸力を伝え、供試体高さを拘束するピストンはベアリングとペロフラムにより滑らかに作動し、供試体との接触側の先端部には剛性の高いポーラスメタルを用いた。また、同様のポーラスメタルが容器下部にも設置されている。

制御装置は次のように働く。供試体に脱気水が浸透してくると、ベントナイトの持つ膨潤性により体積を膨張させようとする。このとき、供試体の変位変化をダイヤルゲージが読み取り、そのアナログデータはADボードによりデジタル変換され、データ記録装置に定期的に保存される。他方で高さ方向の変位増分を無くすように、逆方向から相応の軸力を載荷する命令がDAボードを介してEP変換機により伝達され、ペロフラムシリンダーへと送られるとともにピストンの動きを制御する。変位増分が0、すなわち元の供試体高さに戻ったらそのとき加えている軸力を維持し続ける。実際には後述のように0～-0.007mm（負号は圧縮変位を表す）の範囲では制御を行わない。時間が経過し、供試体の膨潤がさらに進めば高さ方向の変位増分が発生し、これを抑えるために再び軸力が増加する。膨潤圧はこのようにして測定された軸力を断面積で除し、kPa単位で求めたものである。

給水装置は試験開始後から供試体内に脱気水を浸透さ

せるためのもので、脱気水タンクと、背圧を漸次増加させることができるようエアコンプレッサーに配管されたレギュレーターからなる。

3. 試験方法

試験に使用した試料はベントナイト（クニゲル V1）および珪砂7号を混合したもので、供試体によりその混合割合はそれぞれ質量比で1：1，7：3とした。これをCBR試験機により供試体高さ20mmになるよう1次的に静的な締め固めを行い供試体とした。

このようにして作製された供試体は内径60mm、高さ20mmのステンレスリングに収まっており、両端面にろ紙を設けた後、膨潤圧測定試験容器に設置する。その後圧密容器のピストン上端と載荷用ペロフラムシリンダーロッドの先端を接触させるため、初期載荷として10N程度の軸力を作用させ、試験を開始する。試験開始後、背圧を500kPaまでゆっくりと手動で上昇させると同時に軸方向変位の自動制御が始まる。以後、本研究では5000分を目安に試験を継続し、その間は定期的に軸力・供試体高さ方向の変位・背圧の各データを自動記録した。試験終了後、供試体を回収し含水比を測定した。

表-1 使用試料の物性値

	混合土	ベントナイト	珪砂
ρ_s ：土粒子密度 (g/cm ³)	2.745	2.799	2.692
ω_L ：液性限界 (%)	235	498	—
I_P ：塑性指数	213	459	—
スメクタイト含有率 (%)	—	60	—

表-2 供試体試験結果

NO.	1	2	3	4	5
ベントナイト混合率 (%)	50	50	50	70	70
乾燥密度 (g/cm ³)	1.40	1.60	1.81	1.44	1.60
飽和度 (%)	104.2	99.1	99.3	108.0	92.5
最大膨潤圧 (MPa)	0.23	0.42	0.61	0.42	0.57

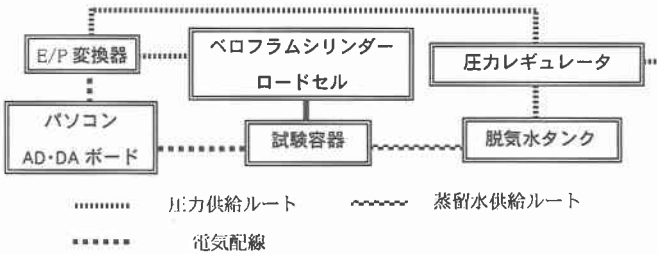


図-1 試験システム概略図

4. 結果と考察

図-2 は鉛直変位量と経過時間の関係の一例である。原理的に変位を完全にゼロに制御することは本来不可能であり、また試験機周りのわずかな振動やノイズをできる限りとらえないよう配慮し、本研究では $0 \sim -0.007\text{mm}$ の範囲で制御を行わないよう設定した。図-2 から本実験の結果は設定制御範囲内で制御できていることがわかる。

図-3 に膨潤圧と経過時間の関係を示す。膨潤圧は全体を通して測定値に若干の乱れが見られるものの、実験開始直後から上昇し 2000～3000 分でほぼ最大値を迎え、その後一定値を刻むという挙動をとっている。経過時間の前半に注目すると、膨潤圧の上昇率が減少から上昇に転ずる部分が存在しているが、これは供試体とステンレスリングの周面に働く摩擦の影響ではないかと考えられる。すなわち、試験初期ではベントナイト粒子の膨潤が摩擦力の影響により供試体内部にまで進行せず、主として供試体表面付近が膨潤するが、膨潤圧が静止摩擦力を上回ると供試体内部への膨潤の進行による高さ方向の変位増分が発生し、膨潤圧が増大するという考えである。また、乾燥密度の増加もしくはベントナイト混合率の増加に伴い、最大膨潤圧が増大する傾向がみられるが、これは膨潤性を有する粘土鉱物のスメクタイト含有量の増加によるものと考えられる。

図-4 は乾燥密度と最大膨潤圧の関係を示したものの、さらに図-5 はベントナイト混合率と最大膨潤圧の関係を示したものであるが、これらから共通していえることとして、最大膨潤圧は乾燥密度の増加もしくはベントナイト混合率の増加に伴い、増大する挙動をとるということである。既往の試験結果による最大膨潤圧の大きさは、乾燥密度 $1.43 \sim 1.63 \text{ g/cm}^3$ 、ベントナイト混合率 50% でおおよそ 200 kPa ¹⁾、乾燥密度 1.60 g/cm^3 、ベントナイト混合率 70% でおおよそ 500 kPa ²⁾ 付近である。文献 1) では、ベントナイトのスメクタイト含有率 (48%) や供試体寸法 (高さ 5mm) に本試験との相違があり、本試験結果と単純な比較はできないが、本研究で試作した膨潤圧測定試験システムにより測定された膨潤圧は、既往の試験結果と比較して妥当な値を示していると判断される。

図-6 は膨潤圧をその供試体の最大膨潤圧で除すことにより正規化したものと経過時間の関係である。全ての供試体において、どの時間帯においてもその挙動がほぼ重なり同一経路をとっているといえる。このことから、膨潤圧の最大膨潤圧に対する割合は供試体の乾燥密度やベントナイト混合率といった条件によらず一定であることがわかる。

5. まとめ

ベントナイト・珪砂混合土の膨潤特性を調べることを目的で実施した試験結果から、以下の結論を得た。

- 1) 試作したベントナイト・珪砂混合土の膨潤圧測定試験システムは妥当な試験結果を与える。
- 2) 最大膨潤圧は、乾燥密度およびベントナイト混合率の増加とともに増大する。
- 3) 最大膨潤圧で正規化した膨潤圧—経過時間関係は乾燥密度・ベントナイト混合率によらない。

6. 参考文献

- 1) 小峰秀雄, 緒方信秀: ベントナイトを含有する緩衝材の膨潤評価式と自己シール性評価, 土と基礎, Vol.46 No.10, No.489, pp. 23-26, 1998.
- 2) 高治一彦, 鈴木英明: 緩衝材の静力学特性, 核燃料サイクル開発機構東海事業所 技術資料, JNC TN8400 99-041, pp. 22-25, 1999.

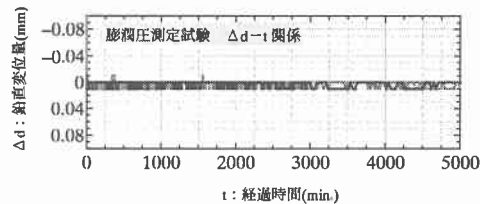


図-2 鉛直変化量—経過時間関係

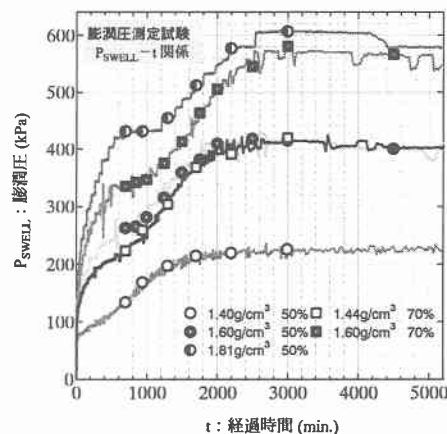


図-3 膨潤圧—経過時間関係

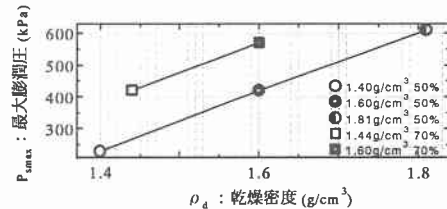


図-4 最大膨潤圧—乾燥密度関係

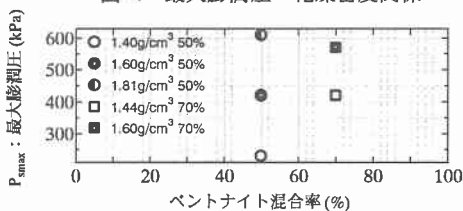


図-5 最大膨潤圧—ベントナイト混合率関係

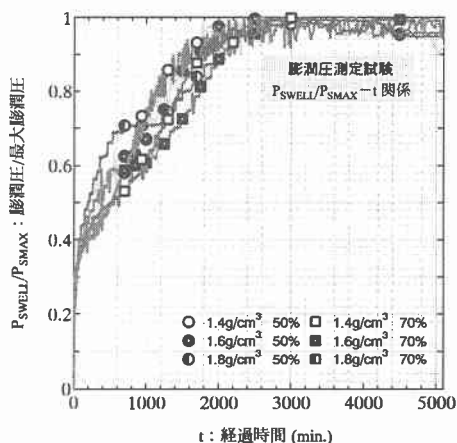


図-6 膨潤圧/最大膨潤圧—経過時間関係