

ベントナイト・珪砂緩衝材の膨潤特性

Swelling characteristics of bentonite-sand mixture

北海道大学大学院 ○学生会員 外 舘 友 彦 (Tomohiko TODATE)

北海道大学大学院 フェロー会員 三 田 地 利 之 (Toshiyuki MITACHI)

北海道大学大学院 学生会員 小 松 賢 司 (Kenji KOMATSU)

1. はじめに

原子力発電所で発生する使用済み燃料等の高レベル放射性廃棄物を地層処分する際に、地下水の侵入や核種の漏出を防ぐために、ベントナイト・珪砂混合土を緩衝材として利用することが期待されている。本研究では、圧密試験機を改良した装置を用いて、変位を許さない状態での応力を測定する膨潤応力測定試験を行い、緩衝材として特に期待される性質である膨潤特性について検討した。また、膨潤応力測定試験結果の妥当性を検討するために、新たに応力一定の下で発生する変位を測定する膨潤変位測定試験を行った。

2. 供試体作製条件

本研究で用いるベントナイトは、わが国で緩衝材としてのベントナイトの研究に最も多く用いられているクニミネ工業製クニゲル V1 である。珪砂は珪砂 7 号に分類されるものを用いている。ベントナイト・珪砂混合土（ベントナイト配合率 $\alpha=30, 50, 70, 100\%$ ）を所定の乾燥密度（ $\rho_d=1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 \text{ g/cm}^3$ ）、高さ（ $H=10, 20 \text{ mm}$ ）、直径（ $\phi=60 \text{ mm}$ ）になるように側方拘束状態で静的に締め固め、供試体を作製している。

3. 実験条件

3.1 膨潤応力測定試験

供試体を定ひずみ速度圧密試験容器にセットし、剛性の高い載荷装置に搭載後、30kPa のプレロード（ISRM の指針¹⁾（10kPa 程度）を参考）を加えて、載荷ピストンと供試体を確実に接触させる。これを変位の原点とし、容器の上下から通水を行う。膨潤応力の測定方法としては、膨潤側に発生する変位量が 0.007mm 以内になるようにパソコンで自動制御しながら測定するフィードバック方式（FB）と、ロードセルを反力板に直接固定した状態で供試体を拘束し、ロードセルによる測定値を膨潤応力とするノンフィードバック方式（NFB）の 2 種類で行っている。

3.2 膨潤変位測定試験

膨潤応力測定試験と同様、供試体を定ひずみ速度圧密

試験容器にセットし、載荷装置に搭載後、30kPa のプレロードを加えて載荷ピストンと供試体を確実に接触させ、変位の原点とする。その後、供試体に荷重を載荷し、荷重を一定に保ったまま容器の上下から通水を行う。膨潤応力測定試験と同じ時間にわたって通水させ膨潤変位を測定し、その試験結果を膨潤応力測定試験結果と照合することにより、それぞれの試験の妥当性を検討している。

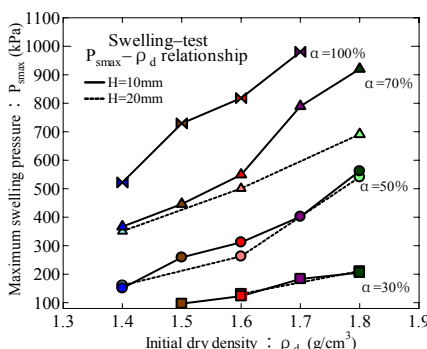
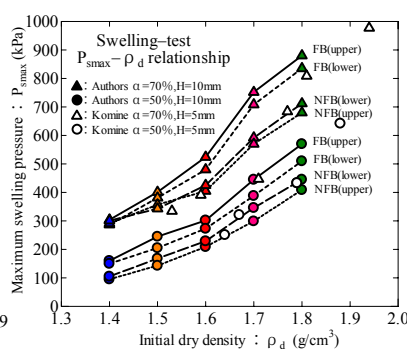
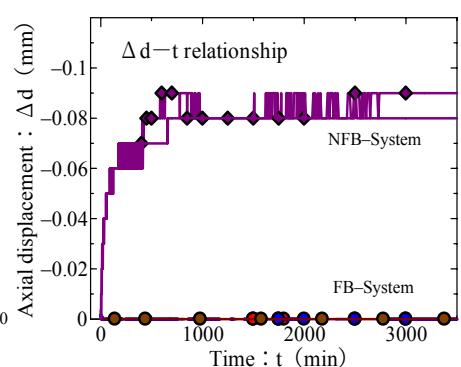
4. 実験結果と考察

4.1 膨潤応力測定試験

現在のところ、膨潤応力測定試験に関する明確な規程は存在していない。そこで本論文では、供試体作製条件や測定方法の違いが、最大膨潤応力に及ぼす影響について検討する。

Fig. 1 に最大膨潤応力と初期乾燥密度の関係（ $P_{smax}-\rho_d$ 関係）を示す。図において実線が供試体高さ $H=10 \text{ mm}$ 、破線が $H=20 \text{ mm}$ の実験結果であり、いずれも供試体上部に設置されたロードセルによる測定結果である。図より、ベントナイト配合率、初期乾燥密度の増加に伴い、最大膨潤応力は増加する傾向が見られる。これは膨潤性粘土鉱物であるスメクタイト含有量の増加によるものと考えられる。また、それぞれの初期乾燥密度において $H=10 \text{ mm}$ と $H=20 \text{ mm}$ を比較すると $H=10 \text{ mm}$ の方が大きな値を示した。この理由としては、供試体とステンレスリングとの間に生じる摩擦が減少したことによると考えられる。ベントナイト配合率が低く、初期乾燥密度が小さいものでは、 $H=10 \text{ mm}$ と 20 mm の間にあまり差異は見られないが、反対にベントナイト配合率が高く、初期乾燥密度が大きいものほど大きな差が見られたことから、周面摩擦が原因と判断される。

また、このような摩擦の影響や測定方法の違いによる影響を検討するために、新たに供試体の下部にもロードセルを設置して実験を行った。**Fig. 2** に $\alpha=50, 70\%$ 、 $H=10 \text{ mm}$ の供試体で上部・下部 2 つのロードセルによる測定から得られた、 $P_{smax}-\rho_d$ 関係を示す。図より、上下ロードセルとも最大膨潤応力は FB 方式の方が NFB

Fig.1 $P_{smax}-\rho_d$ relationshipFig.2 $P_{smax}-\rho_d$ relationshipFig.3 $\Delta d-t$ relationship

方式より大きな値を示している。これは、FB 方式では変位の発生を妨げるように応力を制御しているのに対し、NFB 方式ではロードセルを反力板に直接固定した状態で供試体を変位拘束し測定しているため、反力板やロードセルにわずかながらもたわみが生じ、膨潤応力が過小評価されている可能性が考えられる。また Fig.2 で△、○で示している小峯ら²⁾の試験結果は NFB 方式（供試体高さ 5mm）で得られたものであり、本研究の NFB 方式（供試体高さ 10mm）の結果とほぼ同様の値をとっている。そこでたわみの影響を検討するために FB と NFB の鉛直変位量を比較した。Fig.3 に鉛直変位量と経過時間の関係（ $\Delta d-t$ 関係）を示す。図より、FB 方式では鉛直変位量がほとんど生じずに一定であるのに対し、NFB 方式では鉛直変位量が最大で 0.09mm（供試体の膨潤側）も生じている。この結果からも、NFB 方式では試験機等に生じるたわみによって、膨潤応力が過小評価されていると考えられる。

また、Fig.2 において FB、NFB の上部と下部のロードセルの測定値を比較すると、FB では上部の方が大きな最大膨潤応力の値を示し、反対に NFB では下部の方が大きな値となった。FB 方式では変位を抑えるように応力を制御しているため、供試体の膨潤による変位を押し戻すように鉛直下向きの圧縮力が作用する。そのため、ステンレスリングと供試体の間に鉛直上向きの摩擦力が働き、下部ロードセルでは上部よりも小さな膨潤応力が測定されることが考えられる。NFB 方式では、供試体の膨潤に伴って、ステンレスリングと供試体の間に鉛直下向きの摩擦力が働き、上部ロードセルでは下部よりも小さな値を示すと考えられる。

以上のように、供試体高さや測定方法の違いによって最大膨潤応力に差が生じた。膨潤応力測定試験を行う際に FB、NFB のどちらの方式が適しているのか、また、上部ロードセル、下部ロードセルのどちらの値を用いるべきかなどの検討が必要となる。そこで、これらの問題を検討するために、新たに膨潤変位測定試験を行った。

4.2 膨潤変位測定試験

FB・NFB 方式の膨潤応力測定試験において上部ロードセルで測定された最大膨潤応力に相当する荷重を供試体に載荷し、その荷重を一定に保ったまま通水を行い、膨潤応力測定試験と同様の期間、供試体を膨潤させた。（ $\alpha=70\%$, $H=10\text{mm}$ ）

Fig.4 に膨潤応力と経過時間の関係（ $P_{\text{swell}}-t$ 関係）を示す。これより、いずれの試験においても載荷した初期荷重が一定に保たれていることがわかる。

Fig.5 に供試体の鉛直変位量と経過時間の関係（ $\Delta d-t$ 関係）を示す。図より、載荷初期の段階で 0.2~0.3mm の圧縮が生じ、その後膨潤に転じて、一定の変位量に落ち着く傾向が見られる。FB 方式で得られた最大膨潤応力の荷重をかけた場合（RFB）においては、最終的に $\pm 0.04\text{mm}$ 程度の一定の変位量に落ち着いた。それに対し、NFB 方式で得られた最大膨潤応力の荷重をかけた場合（RNFB）においては、 $\rho_d=1.6\text{g/cm}^3$, 1.7g/cm^3 のどちらの供試体においても、供試体初期高さと、圧縮・膨潤後の供試体高さを比較すると約 0.1mm の差が生じて

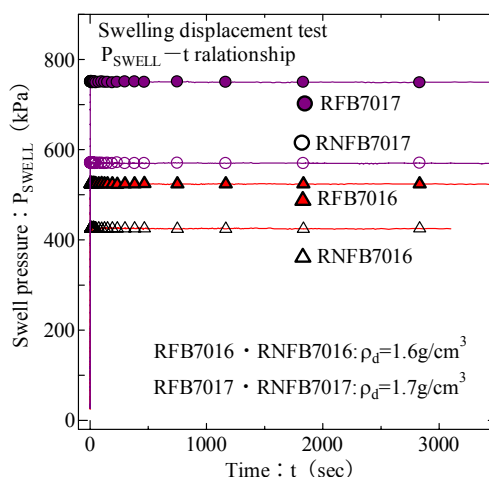


Fig.4 $P_{\text{swell}}-t$ relationship

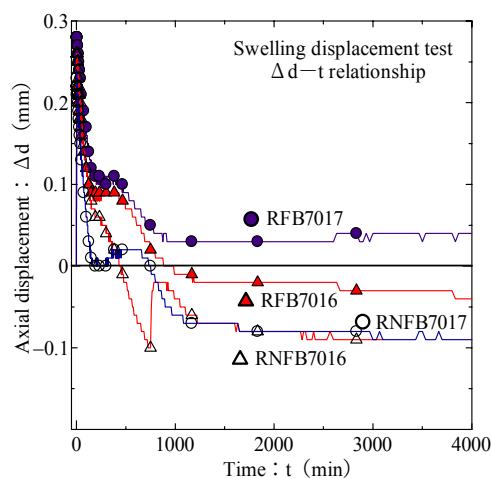


Fig.5 $\Delta d-t$ relationship

いる。供試体に載荷された荷重が真の膨潤応力の値であるとする、初期の供試体高さと圧縮・膨潤後の供試体高さの間に変化を生じないと考えられる。よって、膨潤応力測定試験において NFB 方式で得られた値よりも、FB 方式で得られた値の方が膨潤応力として妥当であると考えられる。

5. まとめ

本報告は膨潤応力および膨潤変位の試験結果を比較検討し、膨潤応力の測定方法の確立を目指した研究の第一報である。現段階においては以下のようなことが言える。

1. 膨潤応力の測定試験は FB 方式によるべきである。
2. 供試体の高さおよび膨潤応力の測定位置（ロードセルと供試体の相対位置）の違いが膨潤応力の測定値に影響を及ぼす。

今後さらに条件を変えて膨潤変位測定試験のデータを蓄積し、膨潤応力・膨潤変位の適切な測定方法提案したいと考えている。

参考文献

- 1) 岩の調査と試験：土質工学会，pp423-pp425，1989
- 2) 小峯秀雄・緒方信英：砂・ペントナイト混合材料および各種ペントナイトの膨潤特性，土木学会論文集 No.701/III-58, pp373-pp385，2002