

ベントナイト緩衝材の膨潤特性

Swelling characteristics of bentonite-buffer material

北海道大学大学院 ○学生会員 外 館 友 彦 (Tomohiko TODATE)
 北海道大学大学院 正 会 員 田 中 洋 行 (Hiroyuki TANAKA)
 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 非 会 員 浅 野 純 (Jun ASANO)

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は、現在地層処分が最適な処分方法であるとされている。高レベル放射性廃棄物をガラス固化体にしてオーバーパックに封入し、地下深部に埋設する方法であるが、地下水の侵入や核種の漏出等といった危険があるため、周辺地盤との間に緩衝材を詰めることにより安全確保を図る必要がある。そこで、膨潤性、自己シール性、核種吸着性等に優れたベントナイト・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。しかし、300m以深の岩盤中では、ベントナイトは地下水によって飽和状態になることや、地盤の変形や膨潤応力によって非常に大きな圧力が作用するといった環境が考えられるため、このような環境を想定したベントナイトの変形・強度特性を把握する必要がある。これまで筆者らは圧密試験、膨潤応力測定試験、圧密非排水三軸圧縮試験から力学特性について調べてきた¹⁾。本論文では、飽和状態および乾燥状態での段階載荷圧縮試験を行い、ベントナイトの体積変化について調べた。

2. 実験方法

本研究で用いる段階載荷圧密試験機はペロフラムシリンダーに空気圧を載荷することによって、最大5MPaまでの圧密圧力を載荷することができる。圧密容器はJISに定めるものを用い、上下の排水用の多孔板には荷重によるひずみが少ないポラスメタルを使用している。供試体の変位測定の誤差を小さくするために、供試体の上下には圧縮性の高い紙ではなく、高分子薄膜を用いている。また、圧密容器のひずみ補正を行うことで、より

正確な沈下量が測定可能となっている。試験機の概要図をFig.1に示す。

本研究で用いるベントナイトはクニミネ工業製クニゲルV1である。供試体の作製は、2種類の方法で行った。1つは初期の乾燥密度が $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ となるようにベントナイト粉末を締め固めずに圧密リングに入れ、載荷ピストンを接触させそのまま圧縮試験を始める方法である(方法A)。もう1つは圧縮試験前にモールド内で側方拘束状態で1次元的に静的に締め固める方法で、成型圧は5MPa、成型後の乾燥密度は $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ である(方法B)。

3. 実験結果と考察

ベントナイトの浸水による膨潤・圧縮変化挙動を把握するために、以下に述べるような方法で飽和状態および乾燥状態での段階載荷圧縮試験を行った。

Fig.2に方法Aによる供試体について行った試験より得られた乾燥状態(dry)と飽和状態(wet)のe-logp関係を示す。飽和状態の試験は、0.01MPaの一定荷重を載荷して供試体に水を通し飽和(3日間)させた後、段階載荷を行った。図より、初期段階では飽和状態の方が間隙比が大きくなっているが、圧力が増加するにつれ間隙比の差が小さくなり、圧縮圧力約0.4MPaを越えると乾燥状態の方が間隙比が大きくなった。乾燥状態の供試体が浸水されると飽和状態の間隙比に近づくと考えられるので、圧縮圧力が0.4MPa以上の状態においては、乾燥状態の供試体が浸水されると膨潤せずに圧縮すると予想される。また、除荷過程を見てみると、乾燥状態では除荷後もほぼ間隙比が変化しないが、飽和状態では除荷によって間隙比が大きくなり、飽和と乾燥状態では膨潤曲

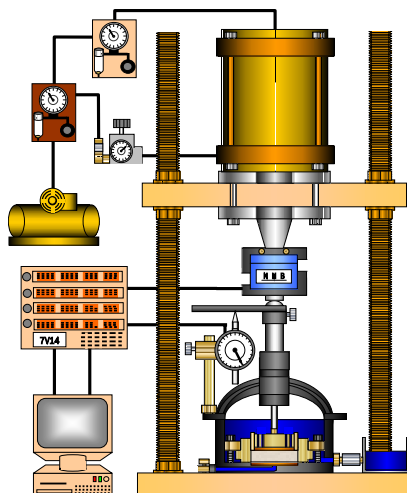


Fig.1 consolidation test apparatus

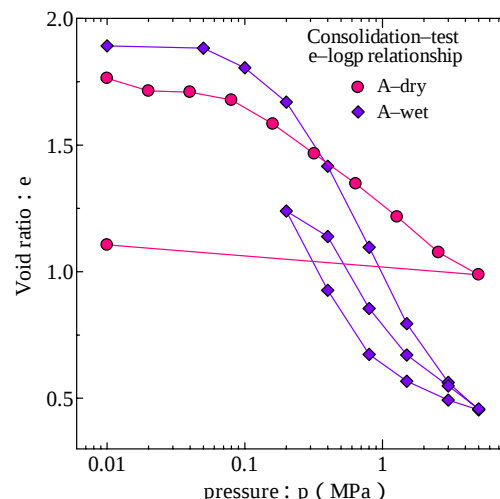


Fig.2 e-logp relationship

線は大きく異なった。

Fig.3 に乾燥状態で所定の荷重 (0.16, 0.32, 0.64MPa) の下で浸水させた後の間隙比の変化を示す。P=0.16, 0.32MPa では、飽和状態より乾燥状態の方が間隙比が小さいので、浸水により膨潤すると考えられる。しかし、供試体は膨潤せず、 $p=0.64\text{MPa}$ の場合も含めて全ての段階において供試体は圧縮する結果が得られた。飽和したベントナイトの膨潤特性から判断して、浸水後の体積は大きくなると考えられたが、いずれの段階においても供試体は膨潤せずに圧縮し、圧縮後の三点が一直線上で表せる傾向が見られた。

Fig.4 に 5MPa で締め固めた供試体に対して、荷重を一定にして浸水させた試験より得られた膨潤・圧縮挙動を示す。飽和状態での段階的圧密試験では最大圧力 5MPa までの範囲で荷重しているため、5MPa で締め固めた供試体を用いて乾燥状態の圧縮試験を行い比較した。0.2, 0.4MPa の各段階で荷重を一定に保って浸水した場合には供試体は膨張した。一方、0.8MPa 一定で浸水した場合には供試体は圧縮した。すなわち、浸水後の供試体は、飽和状態での試験における再載荷で得られたものとほぼ同様の間隙比の値となった。

次に垂直変位拘束条件で浸水させた試験結果を述べる。Fig.5 に示すように、飽和状態の再載荷試験より左側に位置する 0.2, 0.4MPa の段階で、それまでに生じた変位を一定に保つように応力を制御しながら浸水させると、載荷圧力は上昇し、荷重一定の試験と同様、飽和状態での試験における再載荷の点に近づいた。一方、右側に位置する 1MPa の段階で変位一定で浸水させると、圧力は減少し飽和状態の再載荷試験の関係に近づいた。また、過去に行った膨潤応力測定試験より、間隙比約 1.0 の供試体で最大膨潤応力 0.52MPa という値が得られている²⁾。これらの試験より、乾燥状態の供試体に変位一定で浸水させることにより、載荷圧力はほぼ膨潤応力の値に収束すると言える。これより、ベントナイトの乾燥密度や載荷圧力から、通水後の体積変化や圧力変化の挙動を予測することが可能であると考えられる。

以上の結果より、ベントナイトを実際に緩衝材として使用する際、地下水による影響や周辺地盤やオーバーバック、また膨潤応力による圧力の影響を検討する上で、ベントナイトの乾燥密度や飽和度等から、どのような影響を受けどのような状態になるのかといった予測ができる可能性が考えられる。しかし間隙比の大きな供試体に関しては、浸水後の間隙比が飽和状態の間隙比に近づかず一様に圧縮する傾向が見られた。サクシジョンの減少による体積の減少や、摩擦の影響といったものが考えられるため詳しい検討が必要である。

4. まとめ

- ・ベントナイトは膨潤性の高い粘性土であるが、密度や圧力の条件によっては浸水すると圧縮する。
- ・ベントナイトの密度や載荷圧力から、飽和後の状態や体積変化・応力変化の挙動を推測できる可能性が考えられる。
- ・間隙比の大きな供試体では浸水によって一様に圧縮する傾向が見られたので、サクシジョンの減少による影

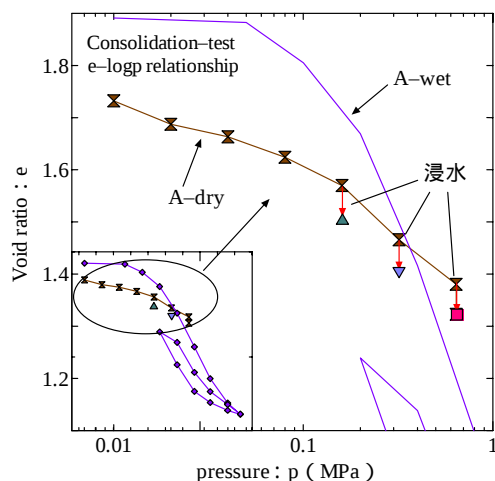


Fig.3 e-logp relationship(constant pressure)

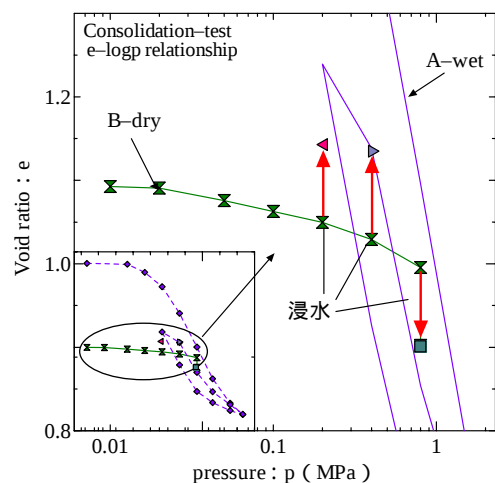


Fig.4 e-logp relationship(constant pressure)

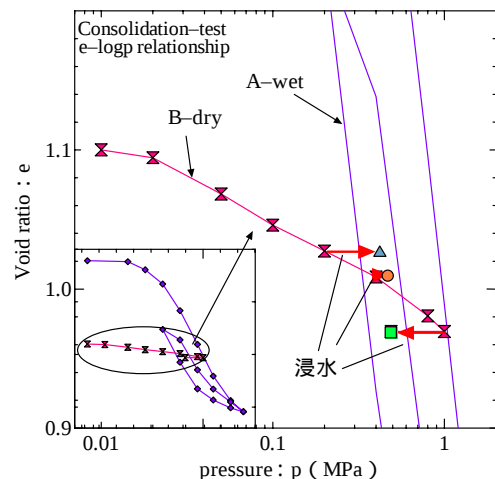


Fig.5 e-logp relationship (constant displacement)

響など詳しい検討が必要である。

【参考文献】

- 1)小松賢司・三田地利之・外館友彦：ベントナイト・珪砂混合土の膨潤およびせん断特性（第2報），第40回地盤工学研究発表会，pp429-pp430，2005
- 2)外館友彦・三田地利之・小松賢司：ベントナイト・珪砂緩衝材の膨潤特性，平成16年度土木学会北海道支部，論文報告集第61号 -3