

堆積性軟岩の一次元膨潤変形特性および内部固結力が  
一軸圧縮強度へ及ぼす影響

茨城大学

学生会員○大森慎哉，正会員 小峯秀雄  
フェロー会員 安原一哉，正会員 村上哲  
戸田建設株式会社 正会員 中村隆浩

1. はじめに

堆積性軟岩は，工学的に土と岩石の中間的な性質をもち，不連続面が少なく掘削が容易であることから，ダムやトンネルなどの各種構造物の地盤材料として利用されている．しかし，堆積性軟岩にはスメクタイトと呼ばれる膨潤性粘土鉱物が含まれることがあり，乾燥・湿潤の変化によりスレーキングや膨潤を起こしやすい．そのため，支持地盤の変形や切土地盤の崩壊などの被害が報告されており<sup>1)</sup>，構造物に与える影響が懸念されている．しかし現状では，堆積性軟岩の膨潤挙動を定量的に評価する方法が確立されていない．本研究では，堆積性軟岩の膨潤挙動メカニズムを解明するために，風化による内部固結力の低下を模擬した供試体を用いた一次元膨潤変形実験を行った．また，一軸圧縮強度を測定し，内部固結力との比較を行った．

2. 実験概要, 使用した試料および供試体作製方法

本研究で用いた一次元膨潤変形実験装置は，載荷板に錘を直接載せる方法により，供試体に一定の鉛直圧を作用させる構造になっている．試験期間は7日間，供試体寸法は直径28mm，高さ10mmを目標に作製した．また，供給水は蒸留水を使用し，鉛直圧は，試料採取地の1つの後期更新世の地盤の上載圧を想定して9.8kPaとした．

使用した試料は，珪藻質泥岩，海底部から採取した火山礫凝灰岩および陸上部の火山礫凝灰岩である．これらは，Na型およびCa型スメクタイトを含有する試料である．各試料を以下，珪藻質泥岩(Ca型)，海底部凝灰岩(Na型)，陸上部凝灰岩(Ca型)と記述する．表-1に試料の基本的性質を示す．供試体作製については，軟岩の内部固結力による膨潤抑制効果を確認するために，成形供試体および，一度粉末状態にしたものを静的に締固めて再調整した供試体（以下，再調整供試体と記述する）を作製した．成形供試体は，トリマーとマイターボックスを用いて作製した．再調整供試体は，成形供試体と同様の乾燥密度になるように試料の重量を算出し，静的に締固めて作製した．締固めには，茨城大学でベントナイト供試体作製において使用されている締固め装置<sup>2)</sup>を用いた．

表-1 試料の基本的性質

| 試料名                       | 珪藻質泥岩     | 海底部凝灰岩    | 陸上部凝灰岩    |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 採取地点                      | 石川県珠洲市    | 青森県大間町    | 青森県大間町    |
| スメクタイトの種類                 | Ca 型      | Na 型      | Ca 型      |
| スメクタイト含有率(%)              | 21        | 15        | 15        |
| 土粒子密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 2.298     | 2.609     | 2.696     |
| 乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )  | 0.64～0.67 | 1.17～1.25 | 1.04～1.05 |
| 含水比(%)                    | 87～96     | 32～37     | 55～60     |

一軸圧縮強度の測定は以下の方法で行った．成形供試体の作製が比較的容易な珪藻質泥岩（Ca型）と海底部凝灰岩（Na型）の一軸圧縮強度は，JIS A 1216で規定される一軸圧縮試験に準拠した．供試体寸法は直径28mm，高さ50mmを目標として作製し，1試料あたり3回の試験を行った．一軸圧縮試験に供する成形供試体の作製が困難な陸上部凝灰岩（Ca型）は，丸東製作所製軟岩ペネトロ計を用いた針貫入試験により一軸圧縮強度を求めた．本実験では，試料の岩塊を手で固定し，任意に20地点を選択し針を貫入し，貫入量10mm時点の貫入力量から一軸圧縮強度を推定した．

3. 結果の整理方法

実験より得られた鉛直方向変形量は，初期の供試体高さで除して百分率で表示し，膨潤率(%)として整理した．また，供試体の最終的な膨潤率を双曲線近似により求め，その漸近線の値を最大膨潤率として算出し，実験結果を整理した．さらに，内部固結力の膨潤抑制効果を調査するために，式(1)を用いて最大膨潤率の増加率  $I_{\varepsilon_{\text{max}}}$  を定義し，成形供試体の一軸圧縮強度との比較を行った．

$$I\varepsilon_{s\max} = \frac{\varepsilon_{s\max-rm} - \varepsilon_{s\max}}{\varepsilon_{s\max}} \times 100 \quad (\%)$$

...

(1)

ここで、 $\varepsilon_{s\max-rm}$  : 再調整供試体の最大膨潤率(%),  $\varepsilon_{s\max}$  : 成形供試体の最大膨潤率(%)

4. 内部固結力による膨潤抑制効果

図-1～図-3に、各試料の成形および再調整供試体の膨潤率の時間変化曲線を示す。また、各供試体の最大膨潤率も加えて示す。いずれの供試体も測定開始直後に膨潤率が急激に増加し、約1000分経過後は緩やかに増加している。成形供試体と再調整供試体を比較すると、再調整供試体は、測定開始直後から成形供試体の膨潤率を大きく上回っている。最大膨潤率は、成形供試体では0.47～2.02%の範囲にあるのに対して、再調整供試体では4.35～6.41%の範囲へ増加した<sup>3)</sup>。海底部凝灰岩(Na型)は、図-2に示すように再調整供試体の最大膨潤率が6.41%となり、成形供試体の最大膨潤率0.73%と比較して大きく増加している。これは、海底部凝灰岩(Na型)が、岩組織が緻密で風化の程度が小さい試料であることに起因していると考えられる。一方、陸上部凝灰岩(Ca型)の成形供試体の最大膨潤率は2.02%となり、珪藻質泥岩(Ca型)の成形供試体と比較すると、最大膨潤率が約4倍大きい。これは、陸上部凝灰岩(Ca型)が風化の程度が大きい試料であることから、内部固結力が相対的に弱いことに起因すると考えられる。

表-2に各試料の最大膨潤率の増加率  $I\varepsilon_{s\max}$  および得られた一軸圧縮強度の平均値  $q_u$  を、図-4に、 $I\varepsilon_{s\max}$  および  $q_u$  の関係を示す。風化の程度が大きく、 $I\varepsilon_{s\max}$  が141%と小さい陸上部凝灰岩(Ca型)は、 $q_u$  が702kN/mm<sup>2</sup>と小さい。一方、風化の程度が小さく、 $I\varepsilon_{s\max}$  が800%程度と大きい珪藻質泥岩(Ca型)および海底部凝灰岩(Na型)は、 $q_u$  も大きい値を示している。これにより、一軸圧縮強度が大きいと、内部固結力が大きいと推察され、それに起因して最大膨潤率の増加率も大きくなると考えられる。

5. まとめ

本研究では成形および再調整供試体を用いた一次元膨潤変形実験を行い、成形供試体の一軸圧縮強度と比較した。その結果、最大膨潤率の増加率が大きいと一軸圧縮強度が大きくなることが明らかになった。今後、様々な種類の堆積性軟岩の最大膨潤率と一軸圧縮強度の関係を把握することにより、内部固結力の膨潤抑制効果を定量的に評価できるインデックスが得られると考えている。

参考文献

1) 地盤工学会：堆積軟岩の工学的性質とその応用，社団法人地盤工学会，pp.327-330，1998。 2) 直井優，小峯秀雄，安原一哉，村上哲，百瀬和夫，坂上武晴：各種ペントナイト系緩衝材の膨潤特性に及ぼす人工海水の影響，土木学会論文集 No.785，p.41，2005.3。 3) 大森慎哉，小峯秀雄，安原一哉，村上哲，関根一郎：堆積性軟岩の一次元膨潤変形特性に及ぼす内部固結力の影響，第41回地盤工学研究発表会講演発表集，No.254，2006。

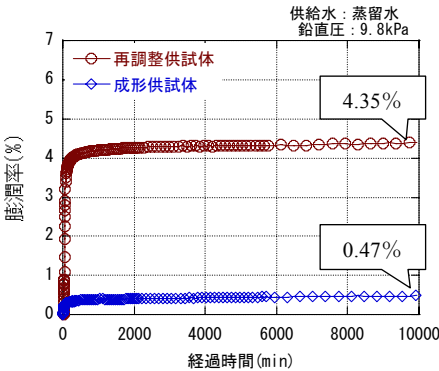


図-1 珪藻質泥岩（Ca 型）の膨潤率の時間変化

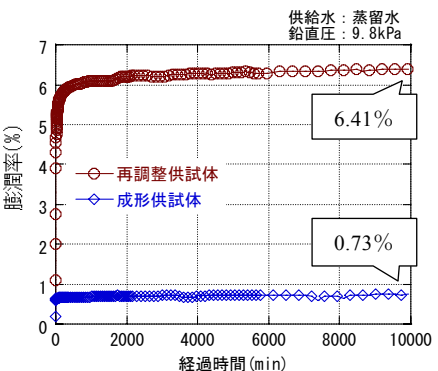


図-2 海底部凝灰岩（Na 型）の膨潤率の時間変化

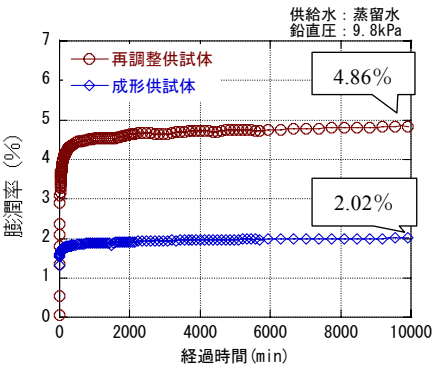


図-3 陸上部凝灰岩（Ca 型）の膨潤率の時間変化

表-2 各試料の最大膨潤率の増加率および一軸圧縮強度

|               | 最大膨潤率の増加率 $I\varepsilon$ (%) | 一軸圧縮強度 $q_u$ (k/mm <sup>2</sup> ) |
|---------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 珪藻質泥岩 (Ca 型)  | 827                          | 1461                              |
| 海底部凝灰岩 (Na 型) | 778                          | 3935                              |
| 陸上部凝灰岩 (Ca 型) | 141                          | 702                               |

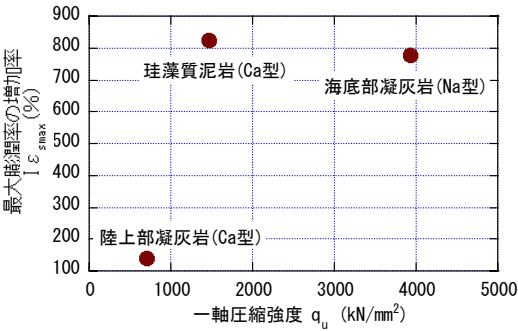


図-4 最大膨潤率の増加率と一軸圧縮強度の関係