

粘土鉱物の構造の違いに着目した岩質材料の一軸圧縮強度に関する一考察

鳥取大学 学生会員 ○竹原 裕太
 鳥取大学 正会員 河野 勝宣
 鳥取大学 フェロー 西村 強

1. 緒言

一般的に、岩質材料の物性は、含水量や粘土鉱物の含有量によって大きく変化することが知られている。しかし、どの程度の粘土鉱物含有量で物性が変化するのか、また、粘土鉱物の膨潤の有無や種類の影響については明らかになっていない。そこで、粘土鉱物と石膏を様々な割合で混合した石膏供試体を作製し、粘土鉱物の種類と含有量の違いによって、供試体の物性がどのように変化するのかについて実験を行った。その結果、岩質材料の一軸圧縮強度は

含まれる粘土鉱物の種類および含有量によって異なることが明らかとなった。本発表では、一軸圧縮強度の違いを粘土鉱物の構造の違い（シート電荷の組み合わせ）に基づいて考察した結果について報告する。

2. 供試体の作製方法および実験方法

本研究では、石膏と粉末試料（粘土鉱物および石英）を混合した円柱供試体（直径 30 mm、高さ 60 mm）を作製した。供試体の配合は、石膏：粉末試料=7：3 とし、それらに対して 5 割の蒸留水を加えてスラリー状にした後、固化させて作製した。供試体の粘土鉱物の混合率は、0, 10, 20, 30%とした。本研究で用いた粘土鉱物は、図-1 に示すように、カオリナイト、1.0 nm ハロイサイト、タルク、雲母粘土鉱物およびスメクタイトの構造の異なる 5 種を用いた。また、非粘土鉱物としてカルサイトについても検討した。試料はいずれも 75 μm ふるいを通した試料である。

試験項目は、各種物理試験および一軸圧縮試験を行った。一軸圧縮試験は乾燥状態（本研究では供試体を 70°C で 24 時間乾燥させた状態）および飽和状態の 2 つの含水状態の供試体について行った。一軸圧縮試験の軸ひずみ速度は 0.1%/min とし、供試体本数は、各粘土鉱物混合率につき 5 本ずつの計 190 本について試験を行った。

3. 粘土鉱物－石膏混合供試体の物理特性と一軸圧縮強度

(1) 供試体の物理特性 乾燥状態および飽和状態の供試体密度は、それぞれ、およそ 1.2 g/cm³ および 1.6 g/cm³ であり、粘土鉱物の種類、混合率の違いによる密度の大きな差は見られなかった。有効間隙率は、 $n_e=40.3\sim50.3\%$ の範囲、吸水率は、 $Q=32.5\sim44.4\%$ 範囲となり、P 波速度は、乾燥状態では、 $V_p=2.19\sim2.60$ km/s の範囲、飽和状態では、 $V_p=1.55\sim2.38$ km/s の範囲となった。

(2) 粘土鉱物混合率と一軸圧縮強度との関係 図-2 は粘土鉱物混合率と一軸圧縮強度 S_c との関係であり、供試体 5 本の試験結果の平均値と近似直線を示している。乾燥状態における粘土鉱物混合率 0% の S_c は 16.5 MPa であり、飽和状態における粘土鉱物混合率 0% の S_c は 7.4 MPa である。乾燥状態における雲母粘土鉱物およびスメクタイトの混合率 10, 20%を除き、乾燥状態、飽和状態ともに粘土鉱物を混合することで粘土鉱物混合率 0%より強度は低

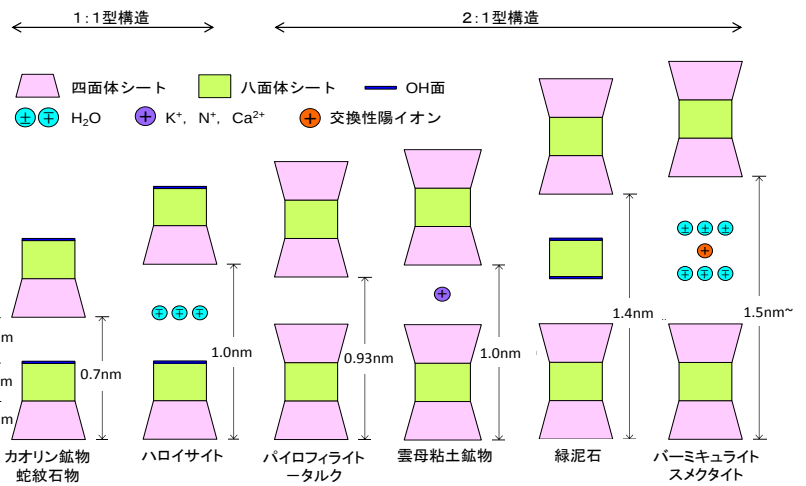


図-1 層状珪酸塩鉱物の構造模式図（上原¹⁾に修正・加筆）

キーワード 粘土鉱物の構造、一軸圧縮強度、石膏供試体

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101

T E L 0857-31-5297

下した。また、乾燥状態、飽和状態のいずれにおいても、非粘土鉱物であるカルサイトは混合率の増加に伴い強度も増加傾向を示している。一方、粘土鉱物を混合した供試体は混合率の増加に伴い低下傾向を示し、その様相および強度は粘土鉱物の種類により異なる。最も強度の差が見られたのは、乾燥状態における混合率 10%の雲母粘土鉱物とタルク混合供試体との間に 8.5 MPa の差が見られた。飽和状態では、すべての混合率において乾燥状態のような大きな差は見られなかった。

4. 粘土鉱物の構造と一軸圧縮強度についての考察

乾燥状態における粘土鉱物混合供試体について、近似直線位置関係に着目し、一軸圧縮強度の値が同程度のものをグルーピングした。一軸圧縮強度が大きいものから、雲母粘土鉱物およびスメクタイトをグループ①(図-2▲)、カオリナイトおよび 1.0 nm ハロイサイトをグループ②(図-2■)、タルクをグループ③(図-2◆)とした。グループ①の雲母粘土鉱物とスメクタイトは、層間に陽イオンを持つ 2:1 型の構造であり(図-1)、層間には層電荷による結合力(イオン結合)が働いている粘土鉱物である。グループ②のカオリナイトと 1.0 nm ハロイサイトは、1:1 型の構造であり(図-1)、層間には水素結合による結合力が働いている粘土鉱物である。グループ③のタルクは、層間に何も持たない 2:1 型の構造であり(図-1)、層間にはファンデルワールス力による結合力が働いている粘土鉱物である。

グループ①とグループ②について、それぞれのグループにおいて一軸圧縮強度の値が同程度になったことについて考察する。まず、グループ①におけるスメクタイトについて、層間水が脱水し、底面間隔が小さくなり、雲母粘土鉱物の構造と同様の構造となったと考えられる。また、スメクタイトおよび雲母粘土鉱物の層電荷は、それぞれ 0.2~0.6, 0.6~1.0 であり²⁾、層間の結合力も同程度の値であることから、同程度の一軸圧縮強度の値を示したと考えられる。次に、グループ②における 1.0nm ハロイサイトについても、層間水が脱水して底面間隔が小さくなり、カオリナイトとほぼ同様の構造となるため²⁾、同程度の一軸圧縮強度の値を示したと考えられる。

一般的に、層間にはたらく結合力の大小関係は、イオン結合、水素結合、ファンデルワールス力の順に大きい。本実験で得られた一軸圧縮強度の違いも、これらの結合力の大きさを反映している。すなわち、主にイオン結合が形成されているグループ①(雲母粘土鉱物とスメクタイト混合供試体)、水素結合が形成されているグループ②(カオリナイトと 1.0nm ハロイサイト混合供試体)、ファンデルワールス力がはたらいっているグループ③(タルク混合供試体)の順に一軸圧縮強度が大きい結果が得られた。

5. まとめ

(1) 粘土鉱物を含む供試体は、混合率の増加に伴い、一軸圧縮強度は低下する傾向が見られ、その低下の様相は、粘土鉱物の種類および含水状態によって異なる。

(2) 粘土鉱物を含む供試体の一軸圧縮強度は、含まれる粘土鉱物の層間にはたらく結合力の大小関係を反映するような結果が得られた。これは、粘土鉱物を含む岩質材料の一軸圧縮強度の違いは、粘土鉱物の構造の違い(シート電荷の組み合わせ)と関係があることを示唆するものであると考えられる。

引用文献

- 1) 上原誠一郎：粘土の構造と化学組成，粘土科学，Vol. 40, No. 2, pp. 100-111, 2000.
- 2) 白水晴雄：粘土鉱物学，朝倉書店，185p.，1988.

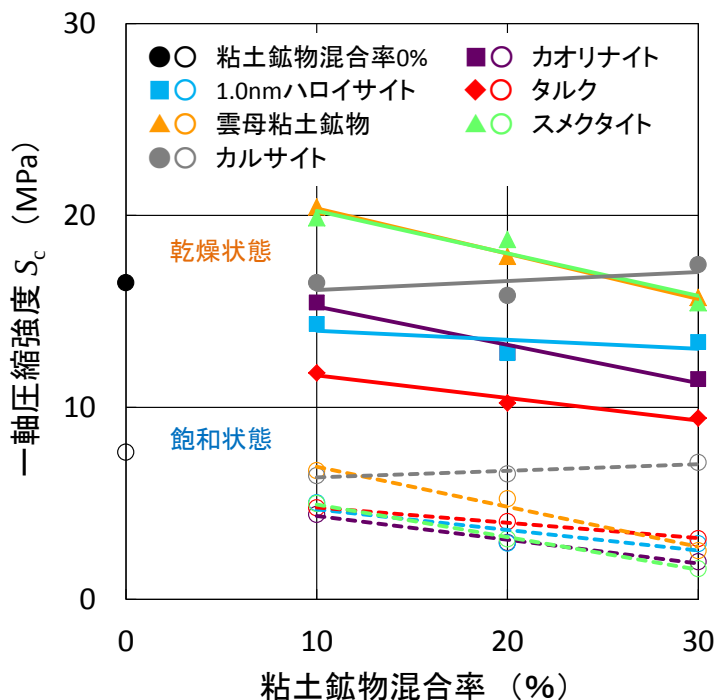


図-2 粘土鉱物混合率と一軸圧縮強度の関係