

含水量と密度の異なるモンモリロナイトの超音波伝播速度測定

岡山大学 学生会員 ○橋本 侑弥
岡山大学 正会員 木本 和志

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、ベントナイト緩衝材の使用が検討されている。ベントナイトの主成分はモンモリロナイトで、緩衝材の水分や物質輸送特性にはモンモリロナイト含水系の性質が強く影響すると考えられている。しかしながら、モンモリロナイトは非常に微細な粘土鉱物で、間隙構造の観察や評価が難しく、水分や密度に応じてどのような微視的組織構造が現れるか明らかでない。そこで本研究では、モンモリロナイト含水系の微視的多孔質構造に関する情報を得るための基礎研究として、超音波速度と水分および密度の関係を調べた。超音波は弾性波の一種で、媒体の剛性や密度によって弾性波速度が決まる。剛性や密度は水分配置や多孔質構造に依存すると考えられるため、超音波速度に微視構造の影響が現れることが期待される。このような観点のもと、本研究では、カラム状に圧縮した不飽和モンモリロナイトの超音波計測を透過法で行い、P波速度と含水比および乾燥密度の関係を調べた。なお、既往の研究¹⁾では、供試体の圧縮軸方向の超音波伝播速度が主として計測されているが、ここでは、圧縮軸直角方向のP波速度を、従来よりも広い含水比と密度範囲で測定する。

2. 試料作成方法

試験容器を図-1に示す。この容器はポリカーボネートとアルミニウム板を積層して接着した、厚板に、直径11mmの穴をあけて作成したもので、その内部に約30mmの粘土試料を圧縮して封入する構造になっている。モ



図-1 粘土供試体を含む試験セル

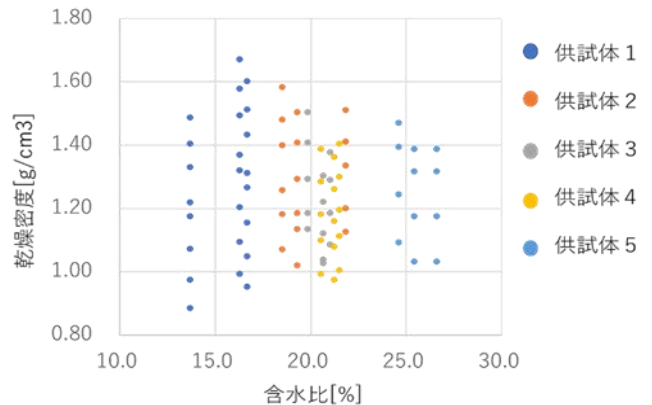


図-2 作成供試体の含水比(%)と乾燥密度(g/cm³)の関係

ンモリロナイト供試体の作成には、クニミネ工業(株)製クニピアFを用い、以下、クニピアFを単に粘土と呼ぶ。はじめに、粘土を110°Cで24時間乾燥して絶乾状態にする。次に、乾燥粘土と純水を、目標とする含水比と乾燥密度になるように、供試体体積から各々の質量を決定しミキサーで均一に混練する。これを、図-1の容器に入れ、所定体積までプレス機で圧縮する。この方法によって、含水比が15~25%の5つの供試体を作成する。これら5つの供試体は、超音波測定を行う度にさらに圧縮を行って段階的に乾燥密度を0.1(g/cm³)ずつ変化させる。このようにして圧縮と超音波測定を、最終的には飽和度が約70%程度となるまで繰り返し行う。なお、試料の圧縮は、試料内の密度に大きな偏りができないように、試料の上下を各圧縮段階で2回以上入れ替えながらプレス機を用いて少しずつ進めた。ただし、試料内の不均一性を完全に解消することはできないため、各圧縮段階で1つの試料に対し、試料の長さ方向の三か所において、試料直径方向に透過する超音波を計測した。図-2に、以上の方法で超音波測定を行った含水比と乾燥密度を示す。

3. 超音波測定方法

3.1 計測装置

超音波計測は圧電探触子、パルサー/レシーバ、オシ

キーワード モンモリロナイト 超音波計測 含水比 密度

連絡先 〒700-8530 岡山市北区津島中3丁目1-1 TEL: 086-251-8801 FAX: 086-251-8808

ロスコープを用いた。今回の実験で使用した探触子は、接触型の縦波、垂直入射超音波探触子(M106, 公称中心周波数 2.25MHz, 振動子: 直径 12.7mm)である。

3.2 モンモリロナイトの超音波速度測定

モンモリロナイトの超音波速度の決定には、試験容器を水で満たした状態で得た透過波形を参照波形として利用する。粘土供試体を透過する超音波と、参照波形の到達時間差を $\Delta t(\mu\text{s})$ とし、それぞれの波形のピーク時間から求める。供試体の直径を $d(\text{mm})$ 、水中の音速を $c_w(\text{km/s})$ とすれば、粘土試料の超音波速度 $c(\text{km/s})$ は

$$c = \frac{d}{d/c_w + \Delta t} \quad (1)$$

で求められる。

4. 超音波速度と乾燥密度、含水比の関係

本実験では5つの供試体を使い、含水比と乾燥密度の異なる84通りの状態で超音波波形を取得してP波速度を求めた。乾燥密度と含水比の二つの要因がP波速度に与える要因を調べるために、その結果を、横軸を含水比、縦軸を乾燥密度にとりP波速度をカラーマップで色分けしたものを図-3に示す。

図-3によると、同じ含水比であっても乾燥密度が増加するにつれてP波速度も増加することがわかる。一方、同じ乾燥密度であれば、含水比が変化してもP波速度の変化は少なく、含水比がP波速度に与える影響は小さいといえる。ただし、含水比が13~17%付近では、P波速度が含水比の増加に伴い若干増加している。これは、含水比15%前後でモンモリロナイトが一層膨潤から二層膨潤に移行するためと考えられる。一層から二層膨潤に移行する間は、層間距離の変化が比較的大きい。そのため、含水した粘土鉱物が互いに強く圧迫しあ

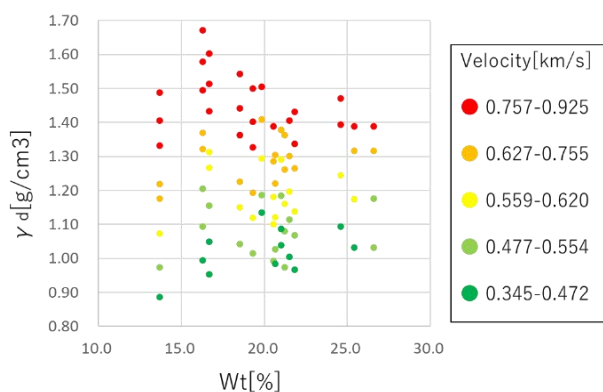


図-3 乾燥密、含水比とP波速度の関係

うことで圧縮剛性が増し、結果的にP波速度が増加すると考えられる。一方、二層膨潤状態に到達した直後は層間距離の変化が緩慢になるため、水分の増加が粘土試料の剛性やP波速度に与える影響が小さくなると考えられる。

水分によるP波速度の変化には、粘土含水系の微子構造の変化が関与すると考えられる。モンモリロナイトは平板状の分子で、陽イオンを挟んで積層している。モンモリロナイトが水分に触れると、はじめに層間に水分が吸着されて積層体が膨張し、さらに多くの水分が供給されると積層体外の間隙も水分で満たされている。今回の実験では、一軸圧縮して試料を作成しているため、積層体は圧縮軸垂直方向に配向していると予想される。その場合、圧縮軸直角方向の剛性は、粘土積層体間の絡み合いによるすべり抵抗で発現することになる。液体水分はせん断剛性をもたず、また、少量の水分量変化では積層体の配置も大きく変化しない。このことが、乾燥密度に比べ、含水比がP波速度に与える影響が小さいことの原因と考えられる。

5. 結論

本研究では、モンモリロナイトのP波速度と含水比および乾燥密度の関係を超音波測定によって調べ、以下の結果を得た。

圧縮軸直角方向に伝わるP波速度には、乾燥密度に比べて含水比の影響が小さい。ただし13~17%付近の含水比範囲では、含水比に対してP波速度が若干増加し、これは一層膨潤状態から二層膨潤状態への移行によるものと考えられる。また、圧縮軸直角方向へのP波速度が水分の影響を受けにくいことは、粘土分子の積層体が配向し圧縮剛性が積層体間の滑り抵抗によって生じることを反映していると予想される。

今後は、より広い水分と密度範囲でP波速度を行うこと、P波に加えS波についても、同様にして伝播速度計測を行うことが課題となる。

参考文献

- (1) 木村 駿, 北山 一美, 高橋 秀治, 木本 和志, 河村 雄行, 木倉 宏成, “超音波音速を用いた圧縮ベントナイト緩衝材の含水比及び弾性特性計測に関する基礎研究” 粘土科学討論会講演要旨集, 61巻 A14, 2017