

モンモリロナイトが粘性土の力学特性に及ぼす影響

名城大学	学生会員	○小寺真人・石樽宏充
名城大学大学院	学生会員	元山泰久
名城大学	正会員	小高猛司・崔 瑛

1. はじめに

我が国においては、地すべり地帯に膨張性の粘土鉱物であるモンモリロナイトを含む粘性土も見られるが、低平地で見られる粘性土にはモンモリロナイトはほとんど含まれておらず、カオリナイトなどの非膨張性の粘土鉱物を主体とする粘土が多勢を占める。そのため、モンモリロナイトを含む粘性土は問題土や特殊土の範疇で扱われてきており、例えば圧密沈下・変形と言った地盤工学の主流の問題の対象としては考えられてこなかったのが実情である。一方、海外においては、低平地においてもモンモリロナイトを含有する粘性土が多く分布しており、ベトナムやアメリカにおいて我が国の最先端の地盤改良技術が苦戦を強いられるなどの報告もある¹⁾。これは、我が国をはじめとして常識と考えてきた粘土の力学が、カオリナイト系の粘土の試験結果を基礎として構築されてきたものであり、実はそれほど常識でも無かったことを示唆している。本研究では、モンモリロナイトの含有率が約50%の粉末ベントナイトをカオリン粘土に混合することにより、モンモリロナイトを含む粘土供試体の力学特性を観察し、我々が常識としてきたカオリナイト系粘土の力学特性との相違点を考察する。



写真1 粉末カオリン

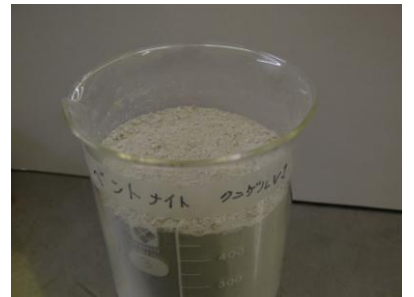


写真2 粉末ベントナイト

2. 試験概要

試験試料には、写真1に示す粉末カオリン（カオリナイト、ソブエクレ製、初期含水比 $w=0\%$ ）と、写真2で示す粉末ベントナイト（クニゲルV1、クニミネ工業製、初期含水比 $w=11.6\%$ ）を用いた。粉末カオリンの最大乾燥密度は 1.40g/cm^3 であり、供試体はカオリンを基準として2つの締固め度85および90%（それぞれ、乾燥密度 1.19 および 1.26g/cm^3 ）で作製した。ベントナイト混合率は乾燥質量比0%、10%および20%と設定し、自然含水比の粉末状態で良く混合してから、霧吹きで加水しながら攪拌し、



写真3 加水および攪拌

含水比25%となるまで慎重に含水調整した（写真3）。団粒化した部分を取り除いた含水調整試料を、直径50mm、高さ100mmのモールドに入れて、5層で突き固めて供試体を作製した。三軸セルに設置後、二重負圧法で飽和化し、背圧200kPa、拘束圧200kPaで圧密後に、载荷速度 0.1mm/min で三軸CU試験を実施した。

3. 試験結果

3.1 背圧時の軸固定条件による違い

図1は締固め度90%、ベントナイト混合率10%の応力～ひずみ関係および有効応力経路である。本研究の三軸試験では、低拘束圧状態で所定の背圧を負荷して30分放置しているが、通常その過程では軸を固定せずに等方応力状態としている。しかし、ベントナイト混合試料で背圧負荷時に軸を固定していない場合には、モンモリロナイトの吸水膨張に伴って供試体が顕著に伸びた。そのため、せん断前に供試体が過度に膨張することを避けるため、背圧負荷時に軸を固定する場合と比較した。

図1に示す試験結果より、いずれの条件でも破壊応力比は同一となったが、軸固定条件での軸差応力の方が軸非固定条件よりも若干大きくなった。これは、軸固定条件ではモンモリロナイト膨潤時にカオリンの部

分が逆に高密度化した可能性が考えられる。あるいは軸固定条件の方がせん断前のモンモリロナイトの膨潤が少ないために、非排水せん断中に発生する過剰間隙水圧の上昇がモンモリロナイトの膨潤によって抑制されることも考えられる。以降の試験結果は、軸固定条件で実施した結果を示す。

3.2 締固め度による違い

図2および図3はそれぞれ、締固め度90%および85%の試験結果である。応力～ひずみ関係より、いずれの締固め度においても、ベントナイト混合試料には若干のひずみ軟化が現れている。有効応力経路に着目すると、ベントナイト混合率が高くなるほど、破壊応力比が小さくなる。これは、モンモリロナイト含有率が高い粘土ほど内部摩擦角が小さくなるとの試験結果²⁾とも整合している。また、ベントナイト混合率が高いほど、せん断中の有効応力の低下が少ないが、これは、せん断中に発生する過剰間隙水圧がベントナイトの膨潤によって抑制されるためと考えている。

締固め度の違いに着目すると、ベントナイト含有率が同じであれば、締固め度によらず破壊応力比はほぼ同一を見なせる。ただし、締固め度が低いほど、せん断中の有効応力の低下量は大きい。

4. まとめ

いずれの締固め度においても、ベントナイト含有率が高いほど軸差応力は大きくなった。これは、第一義的にはモンモリロナイトの吸水膨潤によって有効応力の低下が抑制され、全応力経路に近づくためだと考えられるが、供試体作製前の含水調整時にはベントナイト

が相当量膨潤していることから、供試体作製時にカオリン部分は相対的に密詰めになるため、その密詰め効果によって軸差応力が増加しているとも考えられる。さらに、モンモリロナイトの膨潤の平衡状態は拘束圧や場合によっては背圧にも依存するため、それらの影響についても詳細に検討してゆく必要がある。膨潤試験や膨潤圧計測試験によって、ベントナイトの膨潤特性を別途把握する必要がある。

カムクレイモデルに代表されるように、現代の粘土の構成モデルは、非膨張性粘土鉱物の粘性土の実験事実をベースに構築されている。そのため、モンモリロナイトを含有する粘土の挙動を正確に記述できる構成モデルが、例えばベントナイトを大量に使用する放射性廃棄物処分の分野でも必要とされてきている。

参考文献：1) 野津・中井：海外の河口域堆積粘性土地盤におけるセメント混合時の強度発現特性，第46回地盤工学研究発表会，2011. 2) 土質工学会編：土質工学ハンドブック，42p，1965.

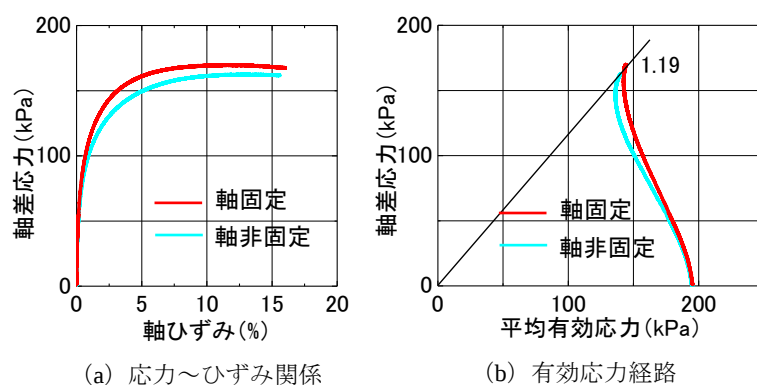


図1 三軸試験結果（背圧負荷時の軸固定・非固定の比較）
（締固め度90%，ベントナイト混合率10%）

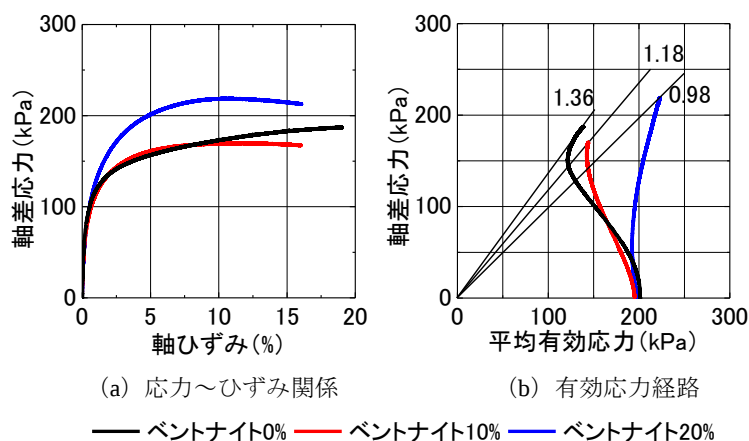


図2 締固め度90%の三軸試験結果

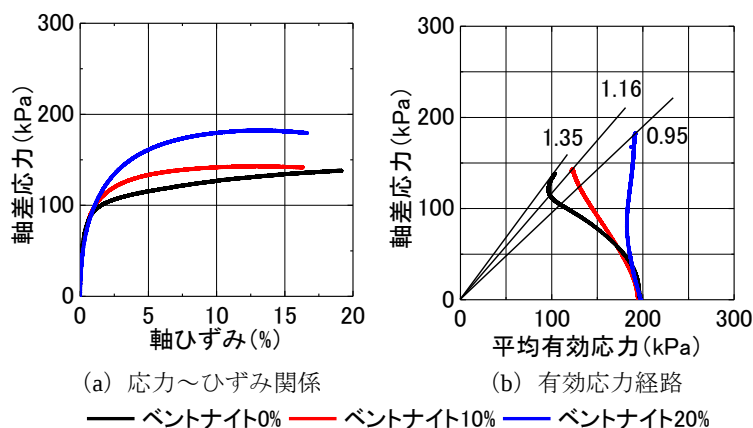


図3 締固め度85%の三軸試験結果