

膨張性の風化軟岩を模擬したベントナイト混合試料の締固め特性

電源開発	正会員	工藤 寛史, 中村 洋一
応用地質	正会員	○山本 有雅, 植村 一瑛
	非会員	亀谷 裕志
早稲田大学	正会員	小峯 秀雄, 王 海龍, 伊藤 大知

1. 背景と目的

著者らは風化した火山礫凝灰岩（風化軟岩）を対象に，膨張特性の検討を行っている^{1),2)}．膨張特性にはスメクタイト含有率，骨格構造，上載圧などの要因が影響するが，乾燥密度等のばらつきが大きな風化軟岩で系統的な検討を実施することは難しい．そこでベントナイトと珪砂を混合した模擬試料の締固め特性から風化軟岩を模擬できる材料を選定するとともに，供試体作製時および上載圧載荷時の応力状態について検討した．

2. 模擬試料の締固め特性

これまで砂・ベントナイト混合試料によりスメクタイトの膨張特性を評価している事例があるが³⁾，間隙構造が発達した風化軟岩を模擬する場合，粒度の均一な砂を使用することは難しい．これは一般に粒度の均一な砂の最大間隙比は1以下であり，土粒子の密度を 2.6 Mg/m^3 とすると最小密度は 1.3 Mg/m^3 以上と計算されるため，対象となる風化軟岩の密度（代表値 1.2 Mg/m^3 ）の再現が困難なためである．

図-1に模擬材料の粒度特性を示す．既報²⁾で示したように，対象地盤の交換性陽イオンに Ca^{2+} が多いことからベントナイトとしてカルシウム型ベントナイトのクニボンド（クニミネ工業(株)製）を選定した．また，対象地盤のメチレンブルー吸着量等からベントナイト配合率は35%とした．母材には珪石粉を選定し，珪砂8号（均一粒度）との締固め特性を対比した．本検討で用いた珪石粉（商品名Lビフン⁴⁾）は珪石を微粉碎した工業製品で，農薬キャリアーやセメント骨材として使用されている．珪砂8号と珪石粉の最大粒径は概ね等しいが平均粒径は大きく異なる．また，クニボンドと珪石粉の粒径は概ね等しく，両者は混合時に分離しにくいという試験上の利点も有する．

図-2に混合試料の静的締固め特性を示す．図は標準圧密容器に静かに乾燥した混合試料を投入し，静的荷重を載荷した時の変位量から締固め応力と乾燥密度の関係を求めたものである．図中の設定乾燥密度 1.20 Mg/m^3 は上述の代表値である．珪砂との混合試料は，静的締固め前の試料投入時点で設定乾燥密度を上回っており，対象地盤相当の乾燥密度を再現することが難しい．一方，珪石粉との混合試料は締固め応力約 800 kPa 載荷で設定密度に達する．したがって，所定の載荷能力を有する装置を使用すれば安定した模擬試料作製が可能となる．

3. 吸水膨張特性試験の概要

周辺地盤に膨潤が生じた際，構造物側面に作用する応力を評価する目的で上述のように締固めた模擬試料を

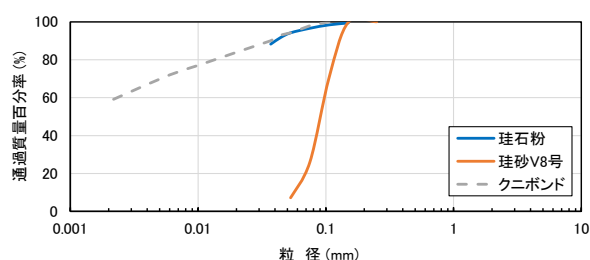
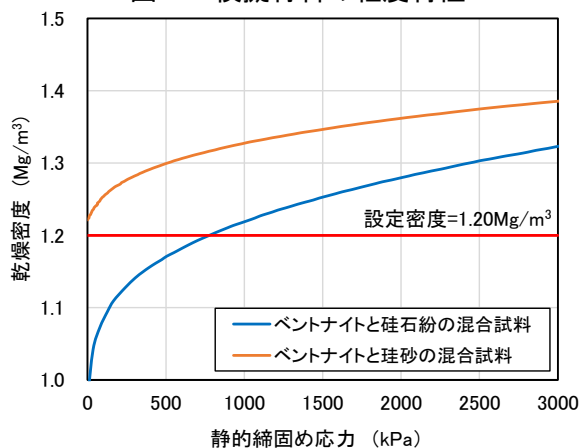
図-1 模擬材料の粒度特性⁴⁾

図-2 混合試料の静的締固め特性

キーワード 粘土鉱物，ベントナイト，膨張特性，締固め特性

連絡先 〒104-8165 東京都中央区銀座 6-15-1

電源開発株式会社 (J-POWER) TEL : 03-3546-2211

用いて、吸水膨張時の側方応力の測定を行った。実験装置は市川ら⁵⁾と同じものを用いた。実験は、乾燥状態の模擬試料を用い、①静的締固めによる供試体作製過程、②上載圧載荷過程、③吸水膨張過程の手順で実施したが、本報告では①および②の過程について述べる。なお、上載圧は15, 50, 150, 200, 300 および 400 kPa の6ケースとし、供試体作製時の乾燥密度は1.20 Mg/m³となるように作製した。

4. 供試体作製時および上載圧載荷時の応力状態

図-3 に①供試体作製過程の垂直応力と側方応力の関係を示す。供試体ごとのばらつきは小さく、供試体作製過程の静止土圧係数 (K_0) は概ね 0.3 であった。なお、供試体作製後に垂直応力を完全に除荷した時点で残留した側方応力（以下、残留側圧）は平均 19.2 kPa (12.8~26.0 kPa) であった。

図-4 に②上載圧載荷過程における上載圧載荷終了時の垂直応力と側方応力の関係を示す。上載圧載荷時の垂直応力と側方応力の関係は概ね直線関係であり、その切片に相当する側方応力は 24.6 kPa となり上述の残留側圧とおおむね一致するものであった。

図-5 に上載圧載荷時における過圧密比 (OCR: ここでは、供試体作製時の最大垂直応力/上載圧載荷時の垂直応力で定義) と K_0 の関係を示す。同図には菊池ら⁶⁾による三軸試験機を用いた海成粘土の試験結果も併記した。本検討の試験結果は菊池らによる試験結果と調和的であり、本試料の上載圧載荷時の応力状態は過圧密海成粘土に近いものであった。

5. まとめと今後の課題

珪石粉と Ca 型ベントナイトの混合試料を用いて静的締固めにより風化軟岩相当の試料を作製し、原地盤を想定した上載圧を載荷して応力状態を検討した。得られた成果を以下に示す。

- (1)クニボンドおよび珪石粉を使用することにより対象地盤相当の乾燥密度を持つ模擬試料を作製できる。
- (2)模擬試料の供試体作製過程の静止土圧係数は 0.3 程度であった。また、垂直応力を完全に除荷しても残留側圧が残り、その値は平均 19.2 kPa であった。
- (3)本模擬試料の場合、上載圧載荷による応力状態は過圧密海成粘土に近いものであった。

今後は、系統的に試験を実施することにより考察を深めると共に、構造物の設計に生かせる資料として整理していきたいと考えている。

参考文献

1)工藤寛史, 中村洋一, 藤縄凱, 伊藤大知, 王海龍, 小峯秀雄, 亀谷裕志, 若林徹: 風化の影響を受けた自然地盤材料を対象とした膨潤特性の評価, 土木学会第 76 回年次講演会, III-321, 2021. 2)工藤寛史, 中村洋一, 藤縄凱, 伊藤大知, 王海龍, 小峯秀雄, 亀谷裕志, 若林徹: 風化の影響を受けた自然地盤材料を模擬したベントナイト混合材料の膨潤特性の評価, 土木学会第 77 回年次講演会, III-87, 2022. 3)小峯秀雄, 緒方信英: 砂・ベントナイト混合材料および各種ベントナイトの膨潤特性, 土木学会論文集, No.701/III-58, pp.378-385, 2002. 4)製品カタログ, 三河珪石株式会社 HP (<https://www.mikawakeiseki.co.jp/%E8%A3%BD%E5%93%81%E3%82%AB%E3%82%BF%E3%83%AD%E3%82%B0>), 2023.3.22 閲覧. 5)市川雄太, 小峯秀雄, 後藤茂, 王海龍, 関口高志, 北原慎也: 変形拘束下の締固めたベントナイトの吸水状態と鉛直・側方発生応力の関係, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2020. 6)菊池喜昭, 土田孝, 中島謙二郎: 三軸試験機による粘性土の静止土圧係数の測定, 運輸省港湾技術研究所, 港湾技研資料 No.577, 1987.

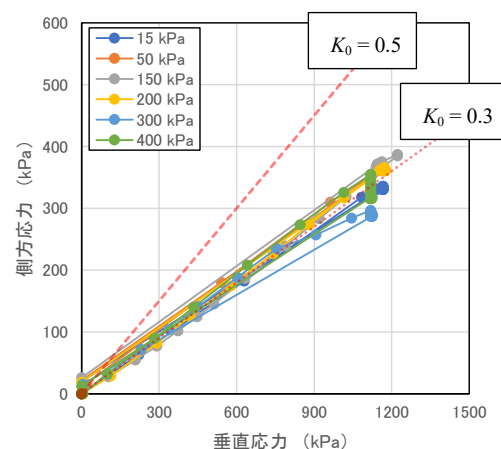


図-3 供試体作製時の垂直応力と側方応力の関係

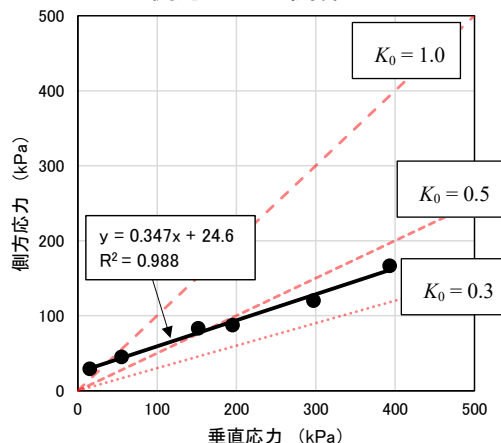


図-4 上載圧載荷終了時点の垂直応力と側方応力の関係

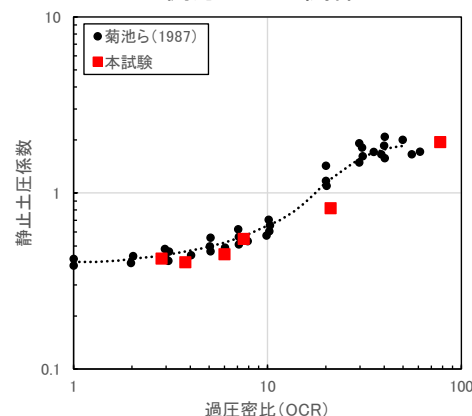


図-5 過圧密比 (OCR) と K_0 の関係