# 各種室内試験によるベントナイト・珪砂混合土の力学特性

北海道大学大学院	学生会員	小松	賢	司
北海道大学大学院	フェロー会員	三田地	利	Ż
国土防災技術(株)	正会員	戎	剛	史
北海道大学大学院	学生会員	谷 村	王	哉

# 1.はじめに

筆者らはこれまで緩衝材としてのベントナイト・珪砂混合 土の力学特性について段階載荷圧密試験および圧密非 排水三軸圧縮試験を中心に調べてきた<sup>[1]</sup>.本研究は従来の 報告に最新の実験データを加え,かつ新たに実施した膨潤 圧測定試験に基づく膨潤特性についても考察を加えたも のである.

### 2. 使用試料

本研究で用いる混合土は粉末状ベントナイトと珪砂 7 号 を乾燥質量が等しくなるように 1:1 の配合割合で混合したも のを用いた.以下に供試体作製方法を示す.

(CIP)・・・粉末混合土を等方圧 5MPaで圧縮成形し, 飽和容器に入れ, 3~5ヶ月通水させて作製した供試体.

(**COM**)・・・・粉末混合土を異方圧 3MPa で静的に締め固め, 飽和容器に入れ,3~5ヶ月通水させて作製した供試体.

(PC)…液性限界の 1.5 倍の含水比から予圧密したもので ある.圧密方法として予圧密セルに 500kPa,排水側の小タ ンクに-90kPa の負圧を載荷して,約 150 日間予圧密した. なお,予圧密中の排水は上下方向の他に,セルの内周面 に貼り付けたろ紙による半径方向の排水も行っている.

## 3.実験条件・手順

## ・圧密非排水三軸圧縮試験(CU 試験)

=35mm,H=70mm の CIP·COM·PC 供試体に対して[初 期等方圧制御 B 値測定 (目標 0.95 以上) 等方圧密 (4kPa/min.) 2t 打ち切り 非排水せん断(0.001%/min.) 軸ひずみ 15%で終了]

# ・段階載荷圧密試験(IL 試験)

=60mm,H=10mm の COM·PC 供試体に対して段階載 荷/除荷の圧密試験.

# ・<u>膨潤圧測定試験(SWELL 試験)</u>

所定の乾燥密度に締め固めた供試体に背圧(0~500kPa) を容器の上下から載荷して通水を行い、そのときの変位量 を0.007mm以内にパソコンで自動制御しながら膨潤圧を測

## 定. ( =60mm,H=10,15,20mm)

#### 4. 結果・考察

## ()ペントナイト・珪砂混合土の圧密特性

図1に IL 試験により得られた e-logp 関係を示す.ベントナ

イト・珪砂混合土の e-logp 関係は,低圧側の圧密降 伏応力の他に 1.0MPa 前 後に変曲点が見られ,正 規圧密領域の粘性土に一 般的に見られるような線形 挙動を示さなかった.この 原因として以下の2点の理 由を考えることができる.



#### ベントナイトの膨潤圧の影響

1.0MPa前後の低圧領域では,膨潤圧の影響により大きな 間隙比のまま平衡状態に至る可能性が考えられる.ただ,予 備的に乾燥密度: d=1.6g /cm<sup>3</sup>の COM 供試体(通水し, 飽和完了後)に背圧を載荷せずに膨潤圧を測定してみたと ころ,約 120kPaと小さな値であったことから,膨潤圧は e-logp 関係に大きく影響していないと考えることができる.

## 高圧領域での、混合土中の珪砂の挙動

粒度試験を行った結果から,珪砂粒子の平均粒径は D<sub>50</sub>=0.157mmで,均等係数U<sub>c</sub>=1.7を得ている.また,珪砂粒 子に着目した間隙比を砂間隙比 e<sub>s</sub> と定め,混合土が圧縮 を受けて珪砂粒子同士が初めて接触するときの砂間隙比

を算出したところ es=0.910 2.7 圧密非排水三軸圧縮試験 e; - p'関係 であった.図2に圧密非排 2.4 水三軸圧縮試験の圧密段。 階における砂間隙比 - 平 2018 拿 1.5 均有効主応力関係を示し 1.2 た.これにより, es-p'関係 が es=0.910 に収束してい 平均有効主応力: p'(MPa) るように見ることができる.こ 图2 砂間隙比 平均有効主応力関係

キーワード 高レベル放射性廃棄物, ベントナイト, 圧密, せん断, 膨潤圧

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科 地盤物性学分野 TEL.011-706-6196

れは,砂粒子同士が接する領域の間隙比であるために供 試体の剛性が増し,間隙比の減少率が低下したことによると 考えられる.また, es-p'関係における上記のような 挙動が生じ始めるときの平均有効主応力は1.0~1.5 MPa付近であり,この値は図1の e-logp関係の正規圧密領 域に見られる変曲点の圧力付近に相当する.すなわち,低 圧領域では粘性土的挙動を示し,高圧領域では珪砂粒子 同士の接触点の増加によって土粒子構造の骨格を珪砂粒 子が成したため,砂質土的挙動を示したと考えられる.

# ()ペントナイト・珪砂混合土のせん断特性

圧密非排水三軸圧縮試験における,有効圧密圧力で正 規化した軸差応力 - 軸ひずみ関係を図 3 に示す.高密度

供試体である CIP・COM は PC よりも高い強度を示 す.同じ作製方法の供試 体同士の挙動は近似して <sup>苔 0.4</sup> いるが, PC の挙動につい 🏭 て見てみると,有効圧密圧 力が大きなものほどせん 断後期において緩やかな 上昇傾向を示す。このこと から,高い有効圧密圧力 になれば間隙比の減少に より砂粒子同士が接し合う ことで,供試体の強度増加 につながったということが 考えられる.また,図4に有 効応力径路を示す.せん 断抵抗係数(M)に関し



て,CIP と COM は一定値を示すが,PC は有効圧密応力が 約1.5MPaまでの低圧領域では M=0.55,それよりも大きいと きは圧力とともに増加し,最終的には CIP・COM と同等の M=0.81 となる.このことから,混合土のせん断特性において も珪砂粒子の詰まり方が供試体の強度増加に影響を及ぼ すと考えられる.

# ()ベントナイト・珪砂混合土の膨潤特性

図 5 に最大膨潤圧 - 乾燥密度関係,図 6 に最大膨潤圧 - ベントナイト配合率()関係を示す.これらの図から,最大 膨潤圧は乾燥密度,もしくはベントナイト配合率の増加に伴 い増大する傾向<sup>[2]</sup>がみられる.乾燥密度・ベントナイト配合 率の増加がいずれも供試体のスメクタイト含有率の増加を もたらすことから,図5,6の挙動はスメクタイト含有率の増大

に起因するものと考えら れる.図7は初期乾燥密 度を一定(1.6g/cm<sup>3</sup>)として , 🎬 供試体高さと背圧の有無 の影響を調べるために行 った実験の膨潤圧 - 経 過時間関係である.実験 条件は図に示すとおりで ある.sw11,sw16,sw17 の比較から sw16, sw17 の方が sw11 よりも 50kPa ほど膨潤圧が大きいこと が見てとれる.供試体高 さが高くなれば供試体と ステンレスリングとの間の 摩擦が増加し,膨潤圧の 過小評価につながってい るという可能性が考えら れる、次に,背圧載荷の



有無による膨潤圧の違いについて検討してみる.背圧 300kPaの sw10 と背圧なしの sw11 は通水開始後約 2000 分までの膨潤圧の上昇率に差異は生じているものの,最終 的には両者とも約 250kPa で平衡状態に達している.すな わち,膨潤圧の最大値は前述のようにスメクタイト含有率に 依存するが,膨潤圧 - 経過時間関係における初期部分の 膨潤挙動は含水状態に依存し,背圧によって含水比の増 加速度が加速されている sw10 では,初期の膨潤圧の増加 速度が減少するものと推測される.

### 5.まとめ

筆者らは,各種室内試験により以下の知見を得た. ベントナイト・珪砂混合土の圧密特性・せん断特性はとも に高圧領域において,混合土中の珪砂粒子の接触点が 増加することにより,砂質土的挙動を示すと考えられる. ベントナイト・珪砂混合土の最大膨潤圧はスメクタイト含 有率に依存する.一方,供試体高さの違いによる膨潤圧 の差異は,供試体とステンレスリングの間に生じる摩擦の 影響によるものと考えられる.

### 参考文献

[1] 戎剛史・三田地利之・谷村匡哉・小松賢司: 緩衝材としてのペントナイト・珪砂混合土の力学特性(第3報), 地盤工学会北海道支部技術報告集第43号、pp206-pp214、2003
[2] 谷村匡裁・三田地利之・戎剛史・小松賢司:ペントナイト・珪砂混合土の膨漏特性、土木学会北海道支部論文報告集(第59号), pp500-pp501、2003