



骨格構造の働きに基づく砂と粘土の違いの表現

名古屋大学工学研究科社会基盤工学専攻

中野正樹

1. はじめに

同じ種類, 同じ密度の土であっても, 自然堆積粘土と実験室で人工的に作製された練返し粘土とでその力学的性質が異なるのは, 鋭敏比の例を挙げるまでもなく, 誰もが知っていることである. 両者の違いは, セメンテーションとか時間効果とかを挙げて説明されるが, それでは言葉による説明に留まってしまう. 本稿では, この「土の構造骨格」の概念を導入した弾塑性構成モデル Super/subloading Yield Surface Cam-clay model with Rotational Hardening (略してSYS カムクレイモデル) を用いた計算結果を示しながら, 自然堆積粘土の挙動を説明しようと思う¹⁾. また, 「土の構造骨格」の概念を導入することにより, 砂から粘土までの力学挙動を統一的に表現できることも示したいと思う.

2. 構造を有する粘土の一次元圧縮挙動と「構造」の定義

SYS カムクレイモデルは, 土の骨格構造を, 「構造」「過圧密」「異方性」の3つで表現する. ここでは主に「構造」と「過圧密」について説明する. 「構造」は「張り子の虎」のイメージで捉えられる. 図1は自然堆積粘土の標準圧密試験結果である. 図中の実線はこの同じ粘土を, 十分に練返してから実験して得られた正規圧密線である. この図で特徴的な点は, 自然堆積粘土は, 練返し粘土にとっては不可能領域(正規圧密線の上側)に状態をとることができることにある. この「嵩張り」を「構造」と定義する. つまり構造の程度が大きい粘土は, 間隙比が同じなら練返し粘土に較べてより大きな荷重を支えることができ, また 荷重が同じならより大きい間隙比でいることができる. つぎにこの図からは, しかし十分に圧縮が進むと(塑性変形が進むと)徐々に圧縮曲線は上から練返し粘土の圧縮曲線に漸近してゆき, ついには練返し粘土と変わらなくなる.

正規圧密粘土を除荷すると過圧密粘土となり, 再度負荷すると, いずれその粘土は再び正規圧密状態に至る(過圧密の解消). しかし先行圧密圧力は, 除荷時の応力よりも大きくなることはよく観察されることである. この事実は, 過圧密の挙動が弾性挙動ではないことを示しており, 過圧密の解消には塑性ひずみ(非可逆変形)が必要であると考えられる.

以上をまとめると, 自然堆積粘土の力学挙動はせん断(塑性変形)によって, 「構造」を壊しながら, また過圧密を解消させて, 構造のない練返し正規圧密粘土へと近づいてゆく挙動と捉えることができる. SYS カムクレイモデルは, 構造の劣化と過圧密の解消を記述するモデルである(異方性は省略).

図2には, 同じ粘土, 同じ初期密度で, 初期の構造の程度の違う一軸圧縮試験の計算結果であるが, 構造の程度が高位であるほど軸差応力のピークは大きくなって, せん断とともに構造が劣化してゆき, やがて低位な構造の練返し粘土と同じ「残留強度」を示す. いわゆる「鋭敏比」を計算で示すことができる例であり, この結果は, 地盤の乱れを計算で表現できることを示唆している.

3. 骨格構造の働きに着目した粘土と砂の違い

2. では自然堆積粘土の挙動を説明したが, 「構造」の概念は, 粘土に限ったものではない. ここでは砂の「構造」を考えてみる. 構造を「張り子の虎」とイメージして, 相対密度の小さい, 緩い砂を想像すると, その構造は「高位」と捉えることができる. 逆に, 密詰

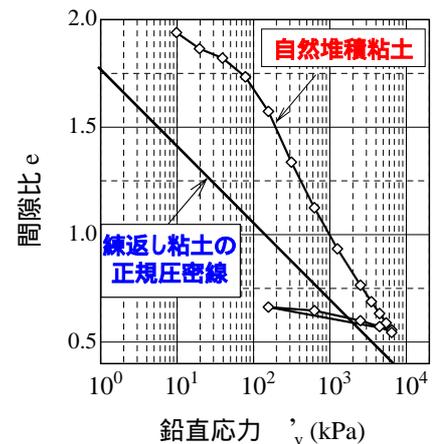


図1 自然堆積粘土の一次元圧縮挙動

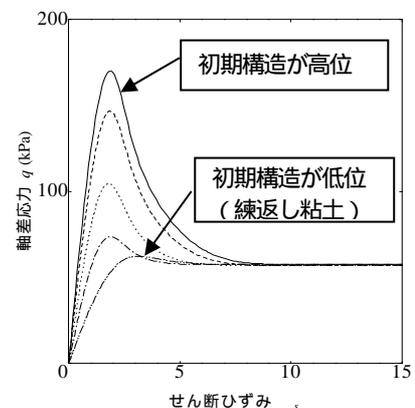


図2 構造の程度の異なる粘土の一軸圧縮試験計算結果(鋭敏比)

め砂は、構造が低位であり、さらには超過圧密土と捉えられる。砂と粘土の「構造」の生成過程は全くこととなるが、「嵩張り」として捉えると同じ指標でその程度を示すことはできる。では砂と粘土では何が違うのであろうか？それは「構造」の喪失のしやすさ、過圧密の解消のしやすさで表現される。緩い砂はとんとんと軽く振動を与えると、すぐに締め固まってしまう。つまり構造が劣化しやすい。しかし粘土はセメンテーションなどの効果により、せん断を受けてもなかなか構造が喪失しない。一次元圧縮挙動をみると、過圧密が先に解消し、いわゆる先行圧密圧力を示した後、構造が劣化して繰返し圧縮線に近づく（図1）。

このように、構造の喪失、過圧密の解消のしやすさの違いで、砂と粘土両方を表現するのである。図3には、ゆる詰め砂を高位的な構造をもつ正規圧密土としてそれを初期値とし、とんとんと振動を与える過程を繰返し排水せん断過程と近似し、5種類の密からゆる詰めまでの砂を計算により作製し、非排水せん断を与えた計算結果である。図4の実験結果をうまく表現している。同じ砂であるのでもちろん、密詰めからゆる詰めまでを同一の材料定数で計算している。それらの違いは構造の程度と過圧密比である。

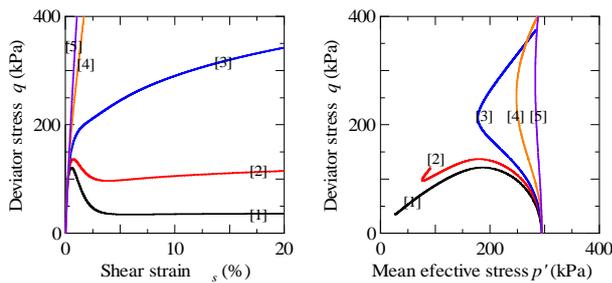


図3ゆる詰めから密詰めまでの砂の非排水せん断挙動（計算）

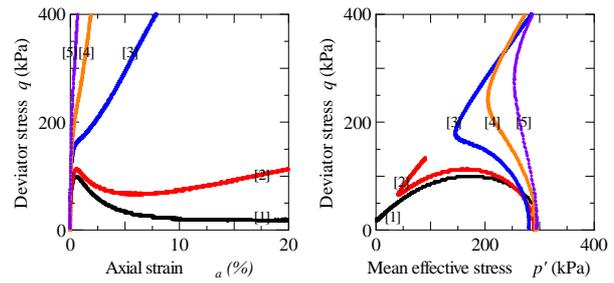


図4ゆる詰めから密詰めまでの砂の非排水せん断挙動（実験）

SYS カムクレイモデルでは、このような粘土と砂の力学挙動の違いを、構造の喪失、過圧密の解消、異方性の発達/消滅の概念を用いて記述することができる。そのことを図5に示した。SYS カムクレイモデルの最大の特徴は、構造の喪失、過圧密の解消のしやすさの違いで、粘土から砂までを統一的に表現できる点である。さらに砂と粘土の中間、シルト質砂や粘土混じりシルトなど、現場で常に遭遇する土についても、本モデルで表現することが可能であることを示唆している。

4. おわりに

骨格構造の概念を取り入れ、「構造」「過圧密」「異方性」それぞれの発展の仕方を変えることにより、物理的なイメージを持ちつつ、砂から粘土までの力学挙動を表現、理解できる。現在は中間土や特殊土、さらには石灰系の改良土の力学挙動の記述を行っている。地盤の乱れも計算にのるようになると、土質調査結果の理論的解釈もできるようになり、技術者との議論を今後してゆきたいと考えている。最後に、昨年度（平成17年度）の冬に、ジオラボ中部で中型三軸圧縮試験機を利用させられました。加藤さんを始め、いろいろな方にお世話になりました。この場をお借りして御礼申し上げます。今後ともよろしくお願ひします。

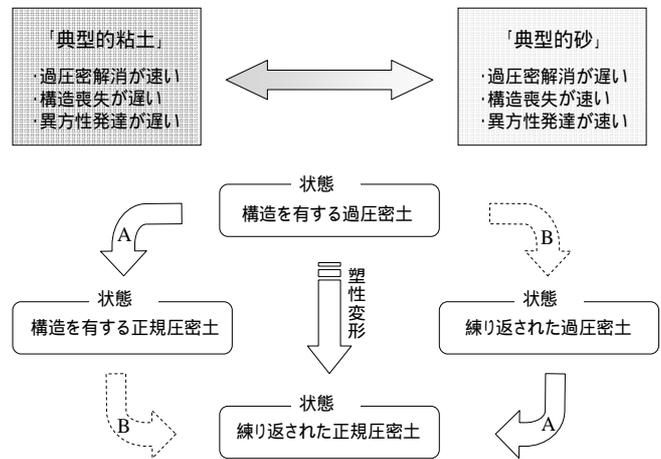


図5 粘土と砂の違い

問合せ先：名古屋大学工学研究科社会基盤工学専攻（住所：〒464-8603 名古屋市千種区不老町）中野正樹

Tel：052-789-4622

Fax：052-789-4624

E-mail：nakano@civil.nagoya-u.ac.jp

1) Asaoka A. (2003) : Consolidation of Clay and Compaction of Sand-An elasto-plastic description-, Keynote lecture, Proc. of 12th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Leung et al. Singapore, Aug., Vol.2, pp.1157-1195.