

遅れ圧密沈下を引き起こした自然堆積粘土に見られる弾塑性諸特徴

名古屋大学 正会員 ○田代むつみ 中野正樹 野田利弘 浅岡顕
 中日本高速道路株式会社 正会員 稲垣太浩

1. はじめに

表-1 は、軟弱粘土を含む地盤上に高速道路用盛土が施工された結果、長期に亘る遅れ圧密沈下を示した代表的な地区の例である¹⁾。通常、軟弱粘土を含む現場では、原位置から極力『乱さない』で採取した乱れの少ない粘土試料（以下、サンプリング試料と略記）を用いて室内試験を実施し、沈下量を予測して設計が行われる。しかし、表-1 に示した3地区では予測値を大きく超えた沈下量が観測されており、

このような現場では従来の設計法に基づく、室内試験結果からの原位置挙動の予測の精度は十分ではないことが分かる。サンプリング試料は、原位置からの採取～試験機へのセットまでの過程で何らかの乱れを受けており、また乱れは原理的には不可逆な現象であるため、室内試験で原位置の状態を再現することは不可能である。しかし、乱れは粘土の「状態」こそ変化させるものの「種類」は変えないため、最も原位置の状態に近いサンプリング試料の室内試験結果から粘土の弾塑性諸特徴を把握することは、原位置粘土の状態やそこからの力学挙動の把握のためには必要不可欠なことである。

本報では、表-1 の3地区の自然堆積粘土のサンプリング試料による室内力学試験結果を、土の骨格構造²⁾（構造・過圧密・異方性）の働きを記述する弾塑性構成式(SYSカムクレイモデル³⁾)を用いて再現する。詳細は参考文献³⁾に譲るが、この構成式に基づけば、自然堆積粘土の力学特性を大きく支配するのは「構造」であり、

軟弱粘土 構造 SYSカムクレイモデル

表-1 軟弱粘土地盤地区の遅れ圧密沈下の例

地区	神田	長島	伊勢
道路名	常磐自動車道	東名阪自動車道	伊勢自動車道
予測沈下量	194cm	120 cm	221 cm
現在までの実測沈下量	343.0 cm	311.7 cm	288.2 cm
供用後の残留沈下量	188.3 cm	122.4 cm	109.4 cm
軟弱粘土層厚	20m	40m	27m

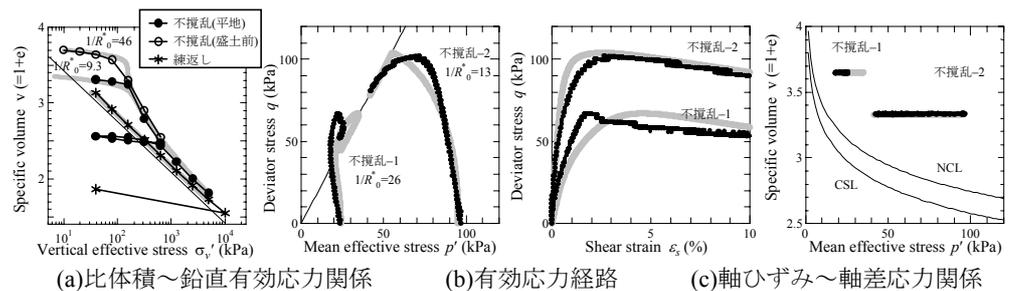


図-1 神田地区の粘土の室内試験結果とSYSカムクレイモデルによる再現

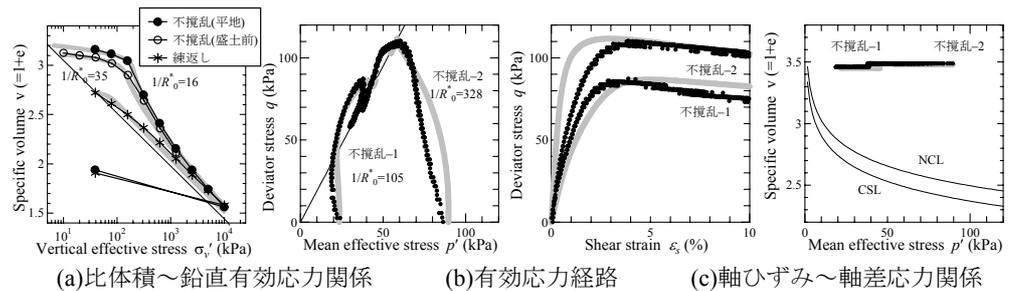


図-2 伊勢地区の粘土の室内試験結果とSYSカムクレイモデルによる再現

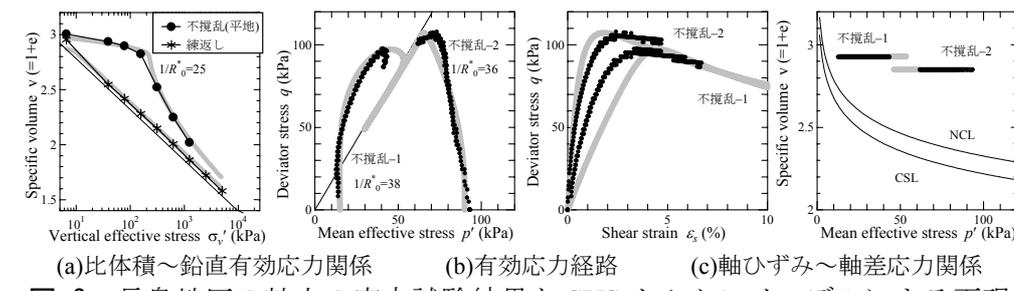


図-3 長島地区の粘土の室内試験結果とSYSカムクレイモデルによる再現

構造が高位な粘土は同じ応力下ではより大きな間隙比を持ち、同じ間隙比ではより大きな強度を発揮する。この「構造」の劣化のしやすさが遅れ圧密沈下を引き起こす原因になる。本報では、構造の劣化に及ぼす影響として、塑性せん断と塑性圧縮増分の両方を考慮した構造の発展則を新たに提案し、これらの粘土に共通して見られる弾塑性諸特徴を把握する。

2. SYS カムクレイモデルに基づく室内試験結果に見られる弾塑性諸特徴

図1～図3は、3地区の粘土の標準圧密試験結果((a))と、側圧一定非排水三軸試験結果((b)~(d))である。図中、「不攪乱(盛土前)」は盛土建設前に採取されたサンプリング試料であり、「不攪乱(平地)」および「不攪乱-1,2」は盛土後に盛土法尻から十分離れた平地部より採取されたサンプリング試料、また「練返し」はサンプリング試料を液性限界程度の含水比で十分に捏ねくり返した試料の試験結果である。すべての粘土の圧密試験結果(各図(a))に共通して、サンプリング試料は練返し試料の上側に位置し、構造高位な嵩張った状態にあることがわかる。また、圧密圧力の増加に伴い練返し試料の圧縮曲線に漸近することから、圧縮過程で構造が低位化し、練返し状態に近づいていることがわかる。一方非排水せん断過程では、低拘束圧では硬化後の軟化挙動(巻き返し挙動)、高拘束圧では軟化挙動と、構造高位な自然堆積粘土に特有の挙動が見られる。しかし、10%のせん断変形を与えても、いずれの不攪乱試料もNCLの上側に状態を取り続け(各図(d))限界状態付近の高応力比下でも構造低位化が十分には進んでいないことがわかる。このような特徴を表現するため本報では R^* の発展則として、塑性測度に塑性ストレッチングの体積成分(等方成分) $-D_v^p$ と偏差成分 $\|D_s^p\|$ の線形和となる形を新たに提案し、両者の比率を c_s ($0 \leq c_s \leq 1$)で与えた。

$$\dot{R}^* = JU^* \left\{ c_s \sqrt{\frac{2}{3}} \|D_s^p\| + (1 - c_s) (-D_v^p) \right\} \quad (1)$$

図1～図3には、(1)式に基づくSYSカムクレイモデルによる各試験の再現結果を灰色線で示す。圧縮挙動もせん断挙動も非常に精緻に再現できている。各図中(a)(b)には、サンプリング試料の試験開始時における初期構造の程度 $1/R_0^*$ を示すが、遅れ圧密の原因となる粘土は構造が高位な状態にあることが分かる。このときの各粘土の材料パラメータは表-2のようになり、計算に用いた c_s (式(1))はすべての粘土において0.3以下の値であり、せん断より圧縮で構造劣化が卓越する特性を持つことが分かる。また、ここで示す3つの粘土はすべて海成の沖積粘土であるが、表-2の弾塑性パラメータは非常に類似した値となった。これより、粘土の弾塑性諸特性は、堆積環境に応じた骨格構造の程度(初期骨格構造の程度)とその働き(発展則パラメータ)に大きく支配され、その特性を把握することが重要であることが分かる。

3. おわりに

サンプリング過程の乱れを考慮すれば、原位置ではより構造高位な状態にあることが予想される。原位置初期状態の推定とそれに基づく遅れ圧密沈下の再現は参考文献⁴⁾に示す。なお、紙幅の都合上省略したが、式(1)の帰結として、低拘束圧にある過圧密粘土は、せん断途中一時的に構造の高位化($1/R^*$ の上昇)を示した。

参考文献 1) 高速道路技術センター(2004)軟弱地盤の設計・施工に... 2)三笠(1964)土の工学的性質の分類表と..., 土と基礎, 12(4), pp.17-24. 3) Asaoka et al. (2002) An elasto-plastic description ..., S&F, 42(5), pp.47-57. 4)中野他(2006)原位置で遅れ圧密..., 国際地盤工学会第13回アジア地域会議(投稿中)。

表-2 各粘土の材料定数

		神田	伊勢	長島
パラメータ 弾塑性	圧縮指数 $\tilde{\lambda}$	0.29	0.23	0.20
	膨潤指数 $\tilde{\kappa}$	0.050	0.050	0.045
	限界状態定数 M	1.90	1.90	1.70
	NCLの切片 N	2.75	2.50	2.33
	ポアソン比 ν	0.1	0.1	0.1
パラメータ 発展則	正規圧密土化指数 m	2.0	3.0	5.0
	構造劣化指数 a	0.22	0.20	0.30
	b	0.65	0.65	0.80
	c_s	0.20	0.05	0.30
	回転硬化指数 b_r	0.001	0.001	0.001
	回転硬化限界定数 m_b	1.0	1.0	1.0