

III - A 54

不攪乱粘土の主応力軸回転時の応力-ダイレイタンス特性

早稲田大学理工学部 正会員 赤木寛一
 同 大学院 学生員 山本永朗
 同 大学院 中込剣吾

1. まえがき

現場に自然状態で存在するいわゆる不攪乱状態の粘土の力学的性質が、実験室内で試料を繰り返して再圧密して作成した再構成粘土とは異なることがよく知られている。また、現場で観測された粘土地盤に関する不可解な現象の多くは、しばしば自然の鋭敏比の大きな粘土特有の構造に起因するものとして説明される場合が多い。すなわち、高位の構造であり、Open Cardhouse Structureである。しかしながら、その構造を定量的に表す尺度は、鋭敏比または液性指数の大小のみである。

本研究の目的は、構成式の枠組に基づく不攪乱粘土の有する高位の構造の定量的評価である。その尺度は、主応力軸回転を伴う排水せん断時の塑性体積ひずみ量である。その理論的枠組の基礎を塑性体積ひずみ量におくケムクレイモデルでは、主応力軸が固定された三軸試験時の塑性体積ひずみ量が使われた¹⁾。このときの塑性体積ひずみ量は、主応力差と平均主応力の大きさと関連づけられている。ところが、実際に排水中空ねじり試験で実験的に調べてみると、主応力差や平均主応力が一定のままでも、塑性体積ひずみ量は増大することが示されている²⁾。本報告は、現場より採取した不攪乱粘土試料の排水中空ねじり試験に基づいて、せん断時の体積ひずみ量と各種の応力-ひずみパラメータの関係を調査したものである。

2. 実験の概要

2.1 試料

試料は東京、平和島の深さ約20mのシールド立坑工事現場から採取した不攪乱粘土である。試料には、貝殻や砂が含まれているものもあったが、供試体にはそれらがなるべく含まれないよう注意して切り出した。試料の基本的性質は、表1に示すとおりである。

2.2 実験方法

中空円筒供試体(外径7cm, 内径3cm, 高さ10cm)を試験機に設置した後、軸圧が所定の値となるまで応力比($\eta = (\sigma_1' - \sigma_3') / (\sigma_1' + \sigma_3')$), 平均主応力($p' = (\sigma_1' + \sigma_2' + \sigma_3') / 3$), 中間主応力係数($b = (\sigma_2' - \sigma_3') / (\sigma_1' - \sigma_3')$)を制御しながら、約2日間漸増増荷(軸圧増加速度: 8.17×10^{-3} (kN/m²/s))により、異方圧密を行った。圧密終了後、応力比及び平均主応力一定条件下でせん断応力変化速度: 1.14×10^{-3} (kN/m²/s)で排水ねじり試験を行った。用いた試験条件を表2に示す。

図1は、ケース2の試験中の応力経路を示しており、原点中心、半径一定の円が描かれていることから、

表1 試料の基本的性質

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.69
液性限界 ω_L (%)	97.5
塑性指数 I_P	56.6

表2 試験条件

実験ケース	1	2
圧密終了軸圧 (kN/m ²)	188.4	235.2
応力比 η	0.2	0.2
中間主応力係数 b	0.5	0.5
平均主応力 (kN/m ²)	157.0	196.0

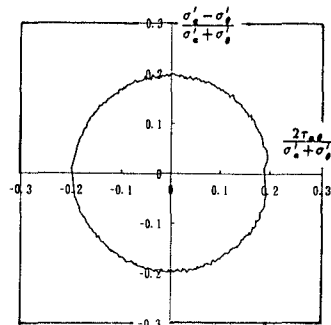


図1 ケース2の応力経路

平均主応力、応力比がほぼ一定に保たれていることがわかる。したがって、各試験とも良好な応力制御によりせん断が行われたといえる。

3. 不攪乱粘土の応力-ダイレイタンス-関係

図2は、供試体の体積比 v と平均主応力 p' の関係を2種類の試験条件別に示したものである。図中には、比較のために再構成粘土の v と p' の関係が図中に示されている²⁾。同等の主応力軸の回転に伴う体積比変化は、不攪乱試料の方が初期体積比が小さいにも関わらず同等ないしはわずかに大きくなっており体積ひずみ増分としては大きい。

図3は、ケース2の試験条件における不攪乱粘土の排水ねじりせん断時の体積ひずみ ϵ_v を主応力軸の回転角度 $\alpha\sigma'$ に対してプロットしたものである。体積ひずみの発生にかなり不連続な点が見られるが、おおむね主応力軸の回転に伴って体積ひずみは単調に増加して約2%の値に達している。

図4は、ケース2の体積ひずみ ϵ_v をせん断ひずみ ϵ_s に対してプロットしたものである。せん断ひずみの繰り返しとともに、塑性的な体積ひずみが累積していくことが明らかである。

図5は、主応力軸の回転を考慮する応力パラメータとして偏差応力テンソル($s_{ij} = \sigma_{ij} - p' \delta_{ij}$)の第2不変量 $\sqrt{2J_2}$ を選んで、ケース2の体積ひずみ ϵ_v との関係を図示したものである。図4ほど明瞭ではないが、 $\sqrt{2J_2}$ の増減の繰り返しに伴って ϵ_v が増大している。

4. まとめ

本報告は、現場より採取した不攪乱飽和粘土の排水中空ねじり試験時の応力-ダイレイタンス-関係について実験的に調査したものである。

(1)同等の主応力軸回転によって生じる体積ひずみ増分は、不攪乱試料の方が再構成試料よりも大きい。

(2)主応力軸回転に伴う偏差応力テンソルの第2不変量 $\sqrt{2J_2}$ の増減の繰り返しに伴って、体積ひずみ ϵ_v が増大する。

(参考文献)

1) Schofield, A. and P. Wroth: Critical State Soil Mechanics, McGraw Hill, 1968

2) 赤木, 斎藤, 中込: 主応力軸の回転を伴うせん断による正規圧密粘土の構造変化, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集, III-A 189, pp. 378-379, 1995

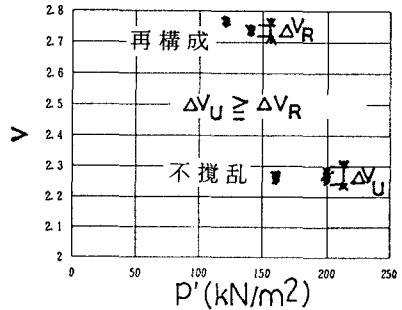


図2 ねじりせん断時の v と p' の関係

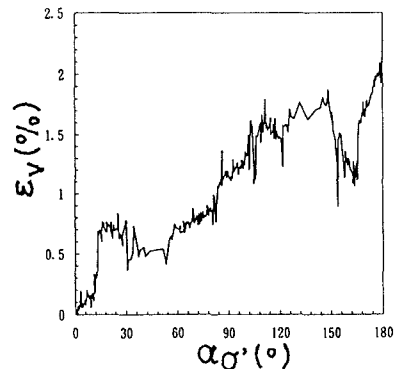


図3 ケース2の ϵ_v と $\alpha\sigma'$ の関係

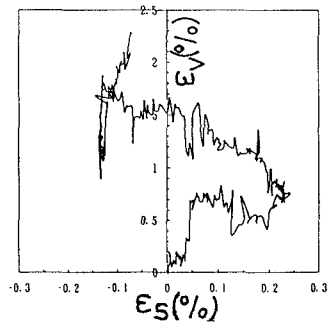


図4 ケース2の ϵ_v と ϵ_s の関係

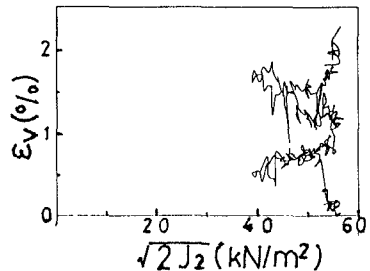


図5 ケース2の ϵ_v と $\sqrt{2J_2}$ の関係