

Ⅲ-189

主応力軸の回転を伴うせん断による正規圧密粘土の微視的構造変化

早稲田大学理工学部 正会員 赤木寛一
東京電力 正会員 ○ 斉藤 仁
(元早稲田大学大学院)
早稲田大学大学院 中込剣吾

1. まえがき

粘土の応力～ひずみ～強度特性はその粘土の構造に強く依存していることは広く知られている。そして、粘土の構造の変化は粘土の圧密とせん断に伴う体積変化特性をモデル化して組み立てられた Cam-Clay モデルを始めとする構成則によって表される。その Cam-Clay モデルでは、主に主応力軸の固定された三軸試験結果をもとに定められた限界状態線が重要な役割を果たしている。しかし、実際の地盤では常に3次元応力状態にあり、主応力軸の連続した回転を伴うせん断を受ける場合が多い。そこで、本研究では排水三軸試験及び主応力軸が回転する中空ねじり試験を行うことにより、これら2つの排水せん断試験から得られる粘土の体積変化特性をもとに、主応力軸の回転を伴うせん断中の粘土の構造変化について考察する。

2. 試料及び試験方法

表1 試料の物性値

	羽田粘土
密度 ρ_s (g/cm ³)	2.641
液性限界 w_L (%)	107.2
塑性指数 I_P	57.46

2.1 試料

用いた試料は東京羽田の現場から採取し、液性限界の約2倍で十分練り返した

後、最終圧密圧力 98 kN/m²まで段階的に圧密した。粘土の物性値を表1に示す。

2.2 三軸試験

供試体(外径5cm, 高さ10.5cm)を三軸試験機にセットした後、軸圧が117.7kN/m²及び137.3kN/m²の値となるまで約2日間漸増増荷により等方圧密を行った(軸圧増加速度: 8.17×10^{-3} kN/m²/s)。圧密終了後、側圧一定条件のもとひずみ制御(軸ひずみ速度: 4.0×10^{-5} %)により排水三軸圧縮試験を行った。なお、三軸試験は軸ひずみが15%に到達するまで行い、限界状態とした。

2.3 中空ねじり試験

供試体(外径7cm, 内径3cm, 高さ10cm)を中空ねじり試験機にセットした後、軸圧が所定の値となるまで、決められた応力比($\eta = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3}$), 平均主応力($p' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3}{3}$), 中間主応力係数($b = \frac{\sigma'_2 - \sigma'_3}{\sigma'_1 - \sigma'_3}$)及び主応力比($K = \frac{\sigma'_2}{\sigma'_1}$)になるよう外セル圧と内セル圧で制御しながら約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う。圧密終了後、応力比及び平均主応力一定条件下で排水ねじり試験を行った(せん断速度: 1.14×10^{-3} kN/m²/s)。これらの試験条件を表2に示す。

図1(a),(b)は試験中の応力経路を示しており、原点中心、半径一定の円を描いていることから平均主応力、応力比が一定に保たれていることがわかる。従って、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。

表2 試験条件

ケース	A1	A2	B1	B2
圧密終了荷重 (kN/m ²)	141.2	153.0	176.5	198.4
主応力比 K	0.667	0.538	0.667	0.538
平均主応力 p' (kN/m ²)	117.7	117.7	137.3	137.3
応力比 η	0.2	0.3	0.2	0.3
中間主応力係数 b	0.5	0.5	0.5	0.5

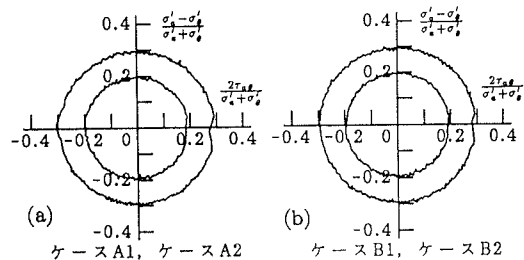


図1 応力経路

3. 限界状態モデルに基づく異方圧密粘土の微視的構造状態の評価

図2, 3は三軸試験及び中空ねじり試験時の供試体の体積変化挙動を $v \sim \log p'$ 平面上で表したものである。応力比 η の大きい場合の方が中空ねじりせん断時の体積減少が大きく、三軸試験で決まる限界状態線に近づくが、三軸試験の限界状態線には到達していない。図4は三軸試験時の供試体の体積ひずみとせん断ひずみの関係を示したものである。体積ひずみ ϵ_v は初期平均主応力に無関係にせん断ひずみ ϵ_s の増加とともに単調に増加し、限界状態で約9%の体積ひずみが発生している。一方、図5は中空ねじり試験時の主応力軸の回転角度とせん断ひずみの関係、図6(a),(b)はせん断ひずみと体積ひずみの関係を示している。 p', q, b が一定であるにもかかわらず、主応力軸の回転のみによってせん断ひずみに増減が生じるとともに、せん断ひずみの増減(繰返し)によって体積収縮が生じている。また、ケースA1の試験条件で図1の応力経路を3サイクルさせた場合(ケースA1₍₃₎)の供試体の体積変化挙動は図7および図8に示すとおりである。せん断ひずみ ϵ_s の最大値は0.4%であるにもかかわらず、3回の繰返しせん断によって生じる体積減少により三軸試験時の限界状態線上にほぼ到達している。

以上のことから、主応力軸の回転を伴う中空ねじりせん断による粘土供試体のせん断及び体積変化特性は三軸試験時のものとは異なり、 p' 、 q 、 b が一定のもとでわずかなせん断ひずみの繰返しによって限界状態に相当する体積変化を示すことがわかる。せん断に伴う体積ひずみ量が粘土の構造変化の度合いを表すと考え、せん断前の初期状態が等方圧密と異方圧密で異なることを考慮しても主応力軸の回転のみによって構造変化を生じさせることが分かる。しかしながら、今回の結果でみる限りそのせん断による構造変化の行き着く先である限界状態はほぼ同じである。

4. まとめ

- (1) 応力比 η の大きい場合の方が中空ねじりせん断時の体積減少が大きい。
- (2) 主応力軸の回転のみによって、せん断ひずみに増減が生じるとともに、せん断ひずみの増減（繰返し）によって体積収縮を生じる。
- (3) 主応力軸の回転を伴うせん断と三軸せん断による構造変化の行き着く先である限界状態はほぼ同じである。

参考文献

- (1) H. Akagi, J. Saitoh: Dilatancy characteristics of clayey soil under principal axis rotation, Proc. of the International Symposium on Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Vol.1, pp.311-314, 1994
- (2) 赤木、齊藤: 異方圧密粘土のダイレイタンス特性について、第49回年次学術講演会講演概要集第3部, pp.406-407, 1994

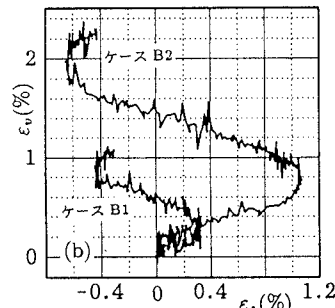


図6 中空ねじり試験時のせん断ひずみ ϵ_s と体積ひずみ ϵ_v の関係

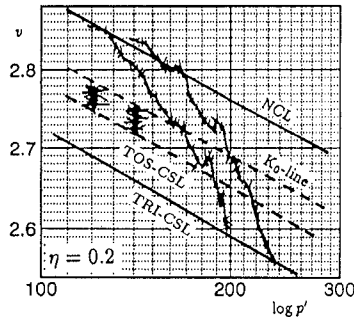


図2 $v - \log p'$ 関係（ケースA1,B1）

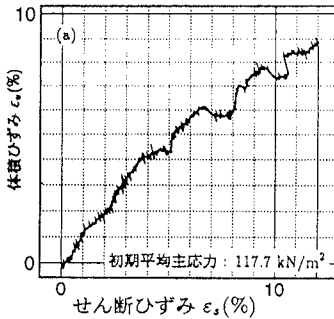


図4 三軸試験時のせん断ひずみ ϵ_s と体積ひずみ ϵ_v の関係

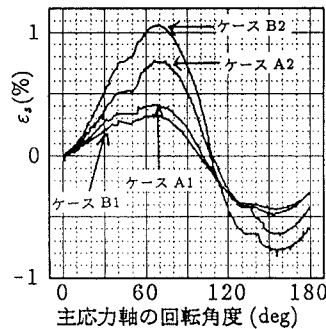


図5 主応力軸の回転角度とせん断ひずみ ϵ_s の関係

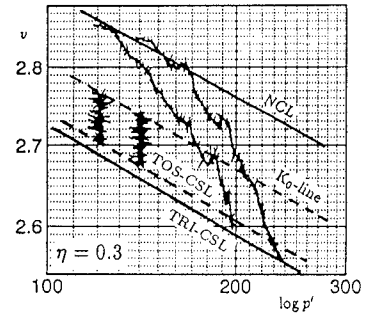


図3 $v - \log p'$ 関係（ケースA2,B2）

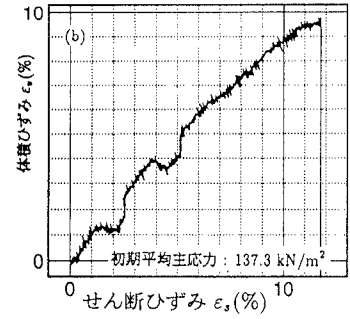


図6 中空ねじり試験時のせん断ひずみ ϵ_s と体積ひずみ ϵ_v の関係

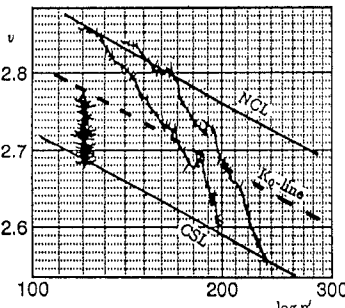


図7 $v - \log p'$ 関係（ケースA1(3)）

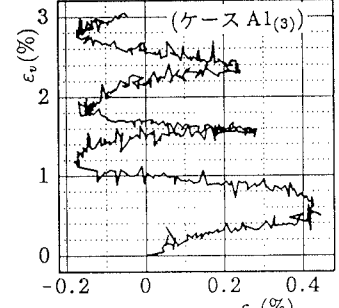


図8 繰返し中空ねじり試験時のせん断ひずみ ϵ_s と体積ひずみ ϵ_v の関係