

京都大学 学生員 渡部泰介
 京都大学 フェロー 岡二三生
 京都大学 正会員 小高猛司, 木元小百合
 大成建設 正会員 谷崎史織

1. はじめに

自然堆積粘土は年代効果により、固有の構造を持つが、その構造が粘土の静的および動的特性に及ぼす影響については未解明な点も多い。本報では、大阪市北区中之島の沖積粘土層 Ma13 (G.L.-11.00m ~ -17.80m) から採取された不攪乱自然堆積粘土(以下、中之島粘土と呼ぶ)を用いた各種三軸試験結果から、静的および動的特性について考察した結果を示す。圧密降伏応力 p'_c は 175 ~ 195kPa である。

2. 中之島粘土の静的変形・強度特性

表 1 に中之島粘土の物理特性を示す。図は三軸圧縮および伸張試験結果である。初期有効拘束圧 200kPa で非排水せん断した実験では、すべての供試体において、ひずみ軟化が観察される。図 1(a)の有効応力経路を見ると、破壊応力比は圧縮試験の方が伸張試験よりも大きい。また、ひずみ速度 0.05%/min と 0.005%/min の試験においては、ひずみ速度依存性挙動が明確にあらわれており、破壊線よりも小さな応力比でピーク強度を迎えた後に軟化しながら破壊線に漸近してゆくことがわかる。一方、ひずみ速度 0.5%/min のピーク強度は最も大きくなっているものの、図 1(a)の有効応力経路、図 1(b)の軸差応力~軸ひずみ関係のいずれにおいても、ひずみ速度 0.05%/min と 0.005%/min の試験結果とは若干傾向が異なる。これは、ひずみ速度 0.5%/min の実験にはサンプリング深度が他より浅い試料を用いているため物性が異なったためと考えている。この試料を除けば、図 1(b)の圧縮時の応力~ひずみ関係において、軸ひずみ 2%以下でピーク強度を示した後に軟化しており、構造を有する自然堆積粘土特有の脆性的な変形・強度特性を示していることがわかる。

表 1 中之島粘土 物理特性

採取深度(m)	土粒子密度 (g/cm ³)	湿潤密度 (g/cm ³)	自然含水比(%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数 (%)	間隙比
-11.00 ~ -11.60	2.649	1.716	47.3	60.35	26.49	33.86	1.275
-12.00 ~ -12.50	2.645	1.682	51.9	68.23	26.70	41.53	1.390
-13.00 ~ -13.45	2.643	1.648	58.7	70.30	24.43	45.87	1.545
-15.00 ~ -15.35	2.639			80.33	33.45	46.88	
-16.00 ~ -16.50	2.641	1.628	62.0	76.88	26.94	49.74	1.627

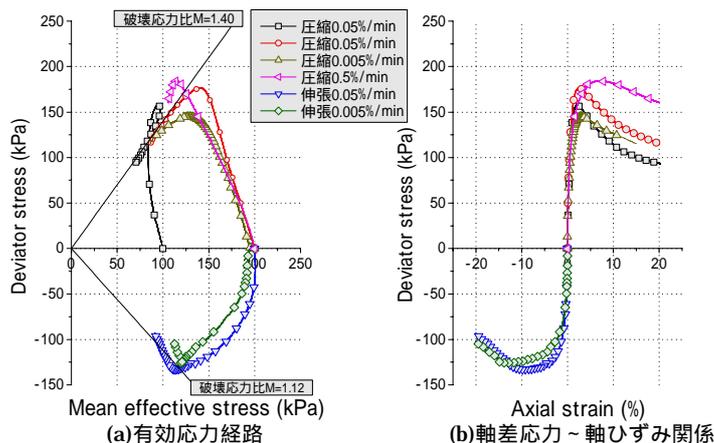


図 1 中之島粘土 単調載荷試験結果

3. 中之島粘土の動的変形・強度特性

図 2 および 3 は初期有効拘束圧 200kPa, 0.1Hz の正弦波で実施した繰返し三軸試験の結果であり、それぞれ繰返し応力比が 0.25 および 0.3 の場合の有効応力経路と応力~ひずみ関係である。有効応力経路より、いずれの繰返し応力比においても、圧縮軸ひずみ 2%付近で急激にひずみが増加する箇所があることがわかる。この軸ひずみは、図 1 (b)に示した静的載荷試験において、ピーク強度を示す軸ひずみのレベルとほぼ一致している。また、静的載荷のピーク強度時と繰返し載荷のひずみが急激に増加する時にはそれぞれの応力比も近い値である。以上のことより、自然堆積粘土が繰返し載荷時に呈する急激な不安定化挙動は、静的な変形・強度特性でも見られた構造の劣化に起因すると考えられる。図 4 は繰返し三軸試験から得た繰返し強度曲線を、再構成深草粘土の繰返し強度曲線¹⁾と併せて示したものである。

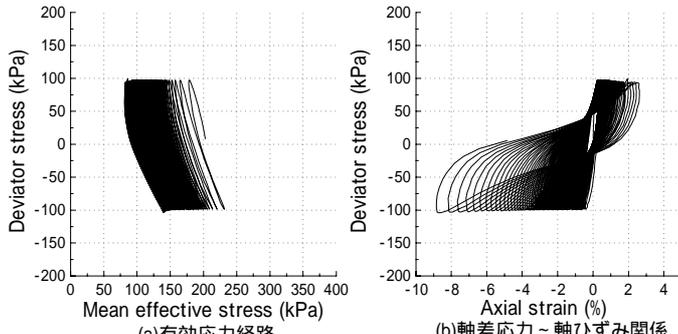


図2 繰返し载荷試験結果（応力比 0.25）

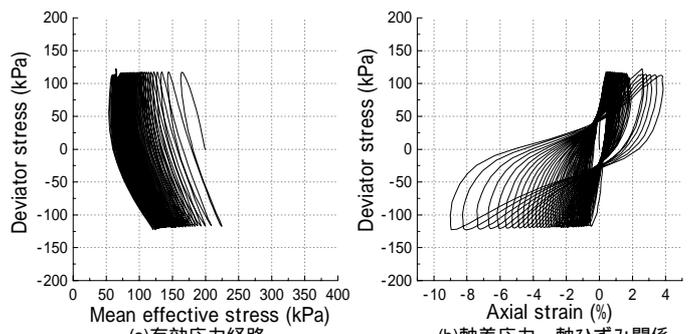


図3 繰返し载荷試験結果（応力比 0.30）

中之島粘土が正規圧密状態で実験を行っているため、再構成粘土の OCR=1.0 の繰返し強度曲線と非常に近い。しかし、両振幅軸ひずみ 5%で整理した結果では、繰返し応力比が小さい場合には、中之島粘土の繰返し強度の方が若干大きいことがわかる。これは、両振幅軸ひずみ 5%の範囲内では、構造の劣化が顕著でないために、再構成粘土よりも大きな剛性を保っていたからと考えられる。図5の動的変形試験の結果を見てもそのことが分かる。図5より、等価ヤング率は、片振幅軸ひずみ 0.01%までの領域ではほぼ一定であり、弾性挙動を示している。またそれ以降のひずみレベルにおいても、剛性は減少しつつも再構成粘土よりも大きな剛性を保ち続けることがわかる。履歴減衰率も小ひずみレベルの範囲までにおいては、再構成粘土よりもはるかに小さく、構造の存在が動的変形・強度特性にも大きな影響を与えていることがわかる。

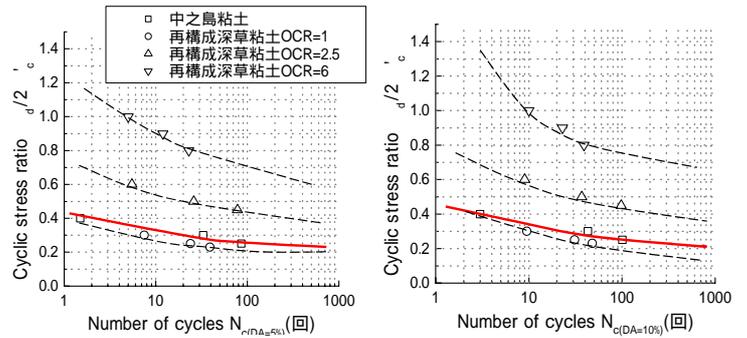


図4 繰返し強度曲線 (a)両振幅軸ひずみ 5% (b)両振幅軸ひずみ 10%

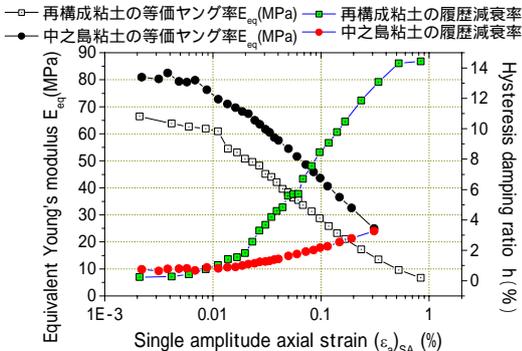


図5 動的変形試験結果

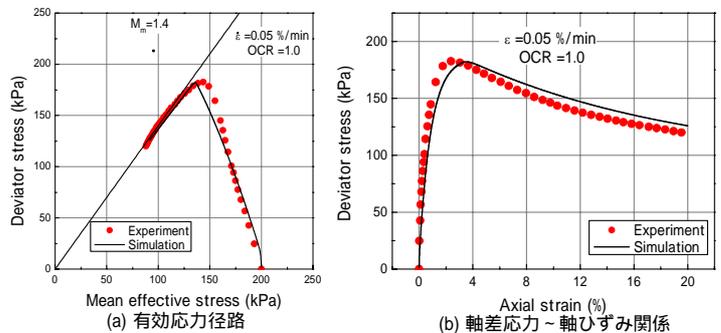


図6 解析結果との比較

4. 自然堆積粘土のシミュレーション

足立・岡の超過応力型の弾粘塑性構成式に内部構造の劣化を考慮した構成式²⁾に、さらに非線形移動硬化則を適用して繰返しモデルに拡張した³⁾。図6は図1に示した軸ひずみ速度 0.05%/min の三軸圧縮試験のシミュレーション結果である。明確なピーク強度を示した後に軟化する挙動を、有効応力経路、応力～ひずみ曲線ともによく説明できていることが分かる。今後は繰返し試験のシミュレーションを行う予定である。

5. まとめ

自然堆積沖積粘土（中之島粘土）を用いて行った各種三軸圧縮試験より、静的および動的な変形・強度特性について考察した。いずれの条件においても、構造の劣化が不安定化に大きく寄与していることが確かめられた。その特性を取り入れた高精度の構成式の開発を進める必要がある。なお中之島粘土試料については京阪電気鉄道（株）の泉谷氏、向井氏にお世話になり、大変感謝しています。

参考文献 1)山村誠司:再構成過圧密粘土の変形・強度特性に関する研究,京都大学大学院修士論文,2002. 2)Kimoto, S.(2002): Constitutive models for geomaterials considering structural changes and anisotropy, D.Th. Kyoto Univ 3)谷崎史織:土の繰返し非弾性構成式に関する研究,京都大学大学院修士論文,2005.