

限界状態に着目した人工処理粘土の固結力の評価

九州大学工学部○学 笠間清伸 学 森嶋武宏
九州大学工学部 正 落合英俊 正 安福規之

1.はじめに

軟岩や固結土は土粒子間に固結力を有しており、その力学特性が固結力の程度に大きく依存しているため材料力学的に特殊な材料として取り扱われている。また、近年のセメント安定処理された人工処理土なども混合する固化材によって固結力を有する材料である。著者らは、これからの大深度での地下開発や人工処理土を用いたウォーターフロント開発を考え、このような土粒子間に固結力を有する材料の力学挙動の体系化と固結力を考慮した構成式を提案することを目的とした研究を行っている^{1)~3)}。本文では、人工的に土粒子間の固結力を変化させた4種の人工処理粘土を用いて、非排水せん断特性に与える固結力の影響を限界状態に着目して評価している。

2.人工固結粘土の非排水せん断特性

2.1 供試体および試験方法 本研究では、土粒子間の固結力の程度を定量的に変化させるために、ボルトランドセメントを有明粘土($\rho_s=2.609\text{g/cm}^3$, $w_L=86.5\%$, $I_p=51.3$)の乾燥重量に対してそれぞれ0,1,3及び5%混合した試料を供試体として用いている。詳しい試料作成方法及び実験方法は参考文献1)を参照されたい。また、本文では、セメント混合量に合わせて、それぞれの粘土を0%粘土,1%粘土,3%粘土,5%粘土と略して表現する。

2.2 固結力に着目した非排水せん断特性 図1に実験より得られた非排水応力経路を示している。図中の実線は0%粘土の限界状態線である。この図より、固結力を有する粘土は0%粘土の限界状態線を超えて限界状態に至っていることがわかる。また、その程度は固結力が増加するとともに大きくなる傾向にあることも見て取れ、固結力を有する粘土の限界状態線が原点を通らず切片を持つことも理解できる。

ここで、固結力を有する粘土の限界状態線が0%粘土の限界状態線に平行で左側にシフトすると考え、実際の試験結果よりその移動量 p_r を求めセメント量との関係をプロットしたのが図2である。これより、混合したセメント量と切片の値 p_r は良い対応をしており、 p_r の大きさが固結効果を定量的に評価できる一つのパラメーターであることを示している⁴⁾。

図3に非排水せん断時の応力ひずみ曲線を示している。これより、0~3%粘土はひずみ硬化挙動を示すが、5%粘土は明確なピークを持ち、その後軟化挙動を示すことが分かる。さらに、最大軸差応力 q_f と初期の勾配 E_{30} をセメント量に対してプロットしたのが図4である。最大軸差応力 q_f はセメント量が3%までは減少し、5%になると急激に増加するというユニークな傾向を示している。一方、初期の勾配 E_{30} については、全く逆の傾向を示している。

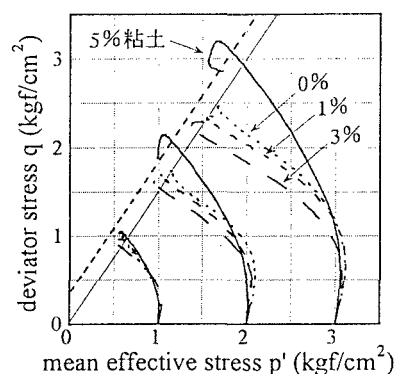


図1 非排水応力経路

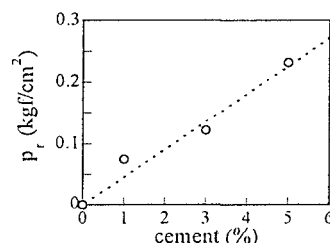
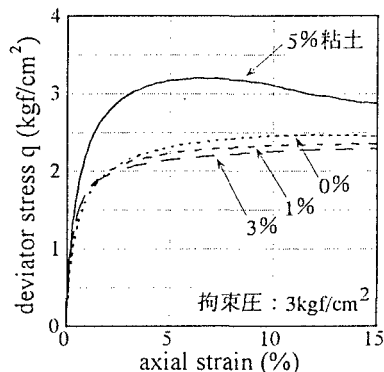
図2 p_r とセメント量の関係

図3 応力ひずみ曲線

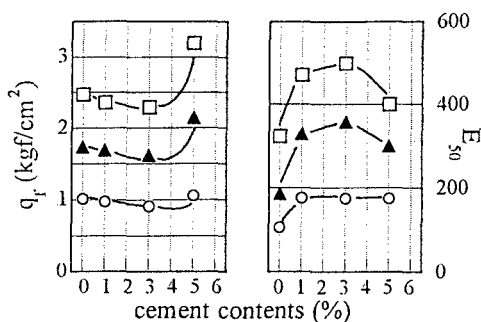


図4 最大軸差応力 q_r と初期の勾配 E_{50}

これらの関係は、せん断時の間隙比と大きく関係しているものと考えられるので、最大軸差応力 q_r と非排水せん断時の間隙比 e の関係をプロットしたのが図5である。これより、固結力を有する粘土の最大軸差応力 q_r は作用する応力と間隙比 e に大きく依存しているが、図に示す正規圧密領域では間隙比 e と一義的な関係があることが分かる。また、その関係は固結効果により変化し、同じ間隙比で比較をすると、セメント量が大きいほど最大軸差応力 q_r が大きくなり、この点から見ると固結力が材料の強度を増加させることを示している。次に、図6に拘束圧 2kgf/cm^2 における応力比と軸ひずみの関係を示している。これより、セメント量が大きくなるほど、せん断の初期からの応力比が大きくなることが分かる。また、5%粘土においてはピークを持つことが分かる。さらに、図7に $e\text{-ln}p$ 空間における限界状態線を示している。この図より、固結力を有する粘土の $e\text{-ln}p$ 空間における限界状態線は直線で表すことができることが分かる。また、セメント量が大きな粘土ほど限界状態線の傾き λ が急になり、一定の応力以上になるとそれらは固結力を持たない粘土の限界状態線に一致するような傾向がある。

3.まとめ 本研究では、土粒子間に働く固結力を変えた試料を用いて非排水三軸圧縮試験を行い、固結力に着目して非排水せん断特性を評価している。得られた結果をまとめると次のようである。1) 固結力を有する粘土の $p\text{-}q$ 空間における限界状態線が固結力を持たない粘土のものに平行で固結効果の分だけ切片を持つという考えは、固結力を持つ材料に対して有効である。2) 固結力を有する粘土の非排水せん断強度と間隙比のには一義的な関係があり。しかも、関係は固結力の大きさにより変化する。3) $e\text{-ln}p$ 空間における限界状態線の勾配は、固結効果により勾配が大きいものに変化する。しかし、ある応力レベル以上になると固結力を持たない粘土のものに一致する。

【参考文献】

- 1) 富永ら (1993) :限界状態に着目した人工固結粘土の非排水せん断特性、「第 51 回年次学術講演会講演概要集」、Ⅲ-A73,pp. 146-147. 2) Kasama, K. et. al., (1997) :Experimental and Theoretical Study on Mechanical Properties of Lightly Cemented Clay, China-Japan Joint Symposium on Recent Development of Theory & Practice in Geotechnolgy, pp. 81-86. 3) Yasuhuku, N. et. al., (1997) :The dissipated energy equation of lightly cemented clay in relation to the critical state model, 9th IACMAG'97, Vol.2, pp.917-922. 4) 八島ら (1997) :正規・過圧密セメント改良土のせん断特性と破壊規準, 土木学会論文集, No.561/Ⅲ-38, pp. 205-214.

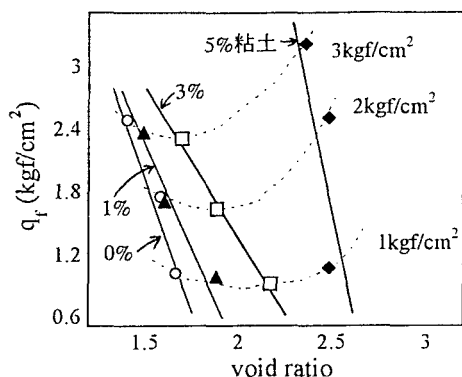


図5 最大軸差応力と間隙比の関係

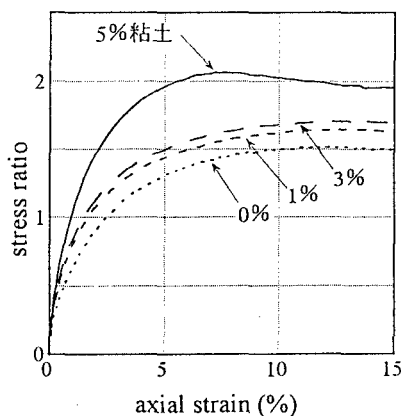


図6 応力比ひずみ関係

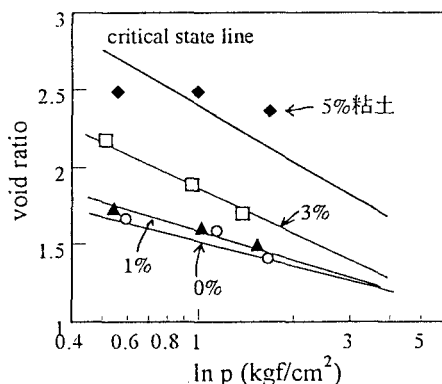


図7 $e\text{-ln}p$ 空間における限界状態線