

III-A 190

人工固結粘土の圧縮特性について

九州大学工学部○学 笠間清伸 学 富永哲男  
 九州大学工学部 正 落合英俊 正 安福規之  
 九州大学工学部 正 大嶺 聖 正 大野司郎

1. はじめに

著者らは、これまでに1) 固結力を有する粘土の力学挙動を体系化すること、2) 固結力を考慮した粘土の構成式を提示することを目的とした研究を行ってきた<sup>1)~4)</sup>。本文では、これら一連の研究の流れの中で、粘土にセメントを混入し、人工的に固結力を与えた人工固結粘土を対象に、標準圧密試験を行いその結果を基に圧縮特性について考察し、その特色について言及した。また、この人工固結粘土の特色をBurlandの示す間隙比指数 $I_v$ に着目し、その圧縮特性が一般的なものであるかどうか検証した。

2. 供試体 および試験方法

人工固結粘土・・・425 $\mu$ mのふるいを通過させた有明粘土 ( $w_L=86.5\%$ 、 $I_p=51.3$ 、 $\rho_s=2.609\text{ g/cm}^3$ ) を攪拌機によってスラリー状にした後、粘土の乾燥重量の0%、1%、3%になるようにポルトランドセメントを混入した。その後液性限界の約2倍の含水比状態に調整し、両面排水の1次元圧密装置により49kPaの圧密圧力で圧密した。なお、圧密終了時間は31法により決定した。

自然堆積粘土・・・佐賀空港建設予定地深度1.1mより採取した不攪乱粘土 ( $w_L=97.2\%$ 、 $I_p=40.0$ 、 $\rho_s=2.597\text{ g/cm}^3$ ) と、これを繰り返し、1次元圧密装置で圧密降伏応力に相当する19.6kPaで再圧密した粘土供試体を比較のために用いた。本研究では、以上の手順により作成した5つの供試体に対して標準圧密試験を行った。

3. 人工固結粘土の圧縮性の特徴

図1の人工固結粘土の $e-\log \sigma_v$ 関係より、人工固結粘土はセメントによる固結力によって単純に繰り返し再圧密した粘土よりも高位な圧縮曲線を描き、圧密降伏応力 $p_c$ をすぎると急激な圧縮が起こることがわかる。また、セメント混入率が増加するにつれて圧密降伏応力 $p_c$ が増加することも分かる。なお、 $p_c$ の値はCasagrande法に基づき決定されたものである。一方、自然堆積粘土の $e-\log \sigma_v$ 関係においても、図2に代表されるように、年代効果によって繰り返し再圧密した粘土よりも高位な圧縮曲線を描き、圧密降伏応力 $p_c$ をすぎると急激な圧縮が起こることが多くの研究者によって指摘されている。

ここで、セメントの固結力による圧縮曲線の変化を定量的に表すために、各載荷段階ごとに圧縮指数 $C_c'$  ( $=\Delta e / \Delta \log \sigma_v$ ) を求めプロットしたのが図3である。この図より、固結力を与えた粘土の圧縮指数 $C_c'$ は圧密降伏応力を過ぎても一定ではなく、明確なピークを持つことがわかる。また、セメント混入率が大きくなるにつれ、ピーク値も増大することがわかる。

さらに、この圧縮指数 $C_c'$ を0%セメント混入した粘土の圧縮指数 $C_{c0}'$ で正規化を行いプロットしたのが図4である。図4よりセメントにより固結力を与えた粘土の $C_c' / C_{c0}'$ が圧密降伏応力 $p_c$ 付近で激しく変化しており、圧密降伏応力 $p_c$ よりも小さい圧密圧力ではいずれの粘土においても $C_c' / C_{c0}'$ は1よりも小さく、圧密降伏応力 $p_c$ をこえるとその値は急激な増大を示すことがわかる。また、その値は圧密圧力の増加と共に徐々に減少し、

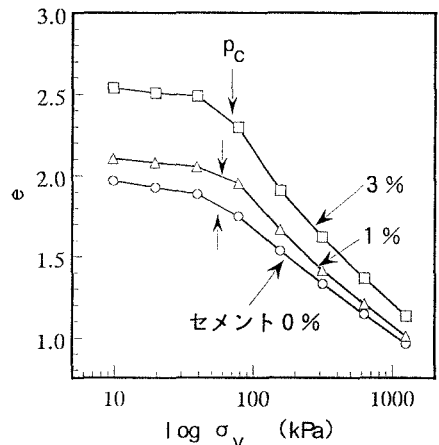


図1 人工固結粘土の $e-\log \sigma_v$

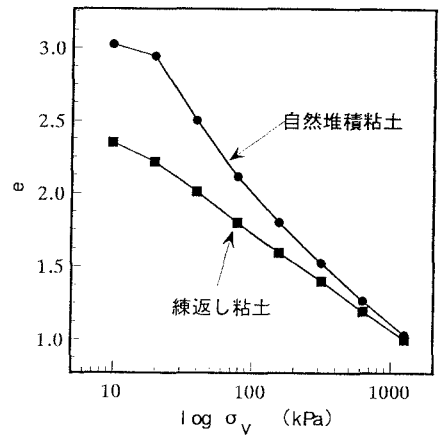


図2 自然堆積粘土の $e-\log \sigma_v$

最終的に1に近づく傾向にあることも理解できる。

4. Burlandの間隙比指数 $I_v$ による考察

Burlandは練返した粘土を1次元圧密した時の圧縮曲線に基づいて定義される間隙比指数 $I_v$  (Void Index)を用いて自然堆積粘土の圧縮特性を考察している<sup>5)</sup>。間隙比指数 $I_v$ は次式で定義される。

$$I_v = \frac{e - e^*_{100}}{e^*_{100} - e^*_{1000}} = \frac{e - e^*_{100}}{C_c^*} \quad (1)$$

ここで、 $e^*_{100}$ 、 $e^*_{1000}$ はそれぞれ基準となる圧縮曲線の圧密圧力100kPa、1000kPaでの間隙比である。

Burlandは間隙比指数 $I_v$ と圧密応力の関係が粘土の種類によらず一義的に求まることを見出し、この曲線を固有圧縮曲線 (Intrinsic Compression Line; ICL)と呼んでいる。(図5参照)

彼は、このICLを導入することにより違った種類の粘土の圧縮曲線を統一した方法で比較することを試みている。さらに彼は自然堆積粘土の $I_v - \log \sigma_v$ がICLとほぼ平行な直線になることを示し、この直線を堆積圧縮曲線 (Sedimentation Compression Line; SCL)と呼んでいる。

今回の図1、図2に示した人工固結粘土と自然堆積粘土の標準圧密試験の間隙比指数 $I_v$ を用いて表したものが図5である。

これよりまず自然堆積粘土の $I_v$ は圧密降伏応力付近でSCLに近づき、圧密降伏応力を超えると圧密応力 $\sigma_v$ の増加とともにICLに漸近してゆくことがわかる。同様に3%セメント混入した人工固結粘土は圧密降伏応力付近でSCLに近づき、圧密降伏応力を超えるとICLに徐々に近づく傾向にあり、自然堆積粘土の圧縮曲線の特性と類似した形をなすことがわかる。

5. まとめ

本研究ではセメントを混入し、固結力を与えた粘土の圧縮特性を標準圧密試験をもとにBurlandの間隙比指数 $I_v$ を用いて考察した。得られた結果をまとめると次のようである。

- 1) 人工的に固結力を与えた人工固結粘土の圧縮曲線は練返し粘土に比べて高位なものになり圧密降伏応力は増加する。
- 2) 人工固結粘土と練返し粘土の圧縮指数の比は、圧密降伏応力を境に急激な変化を示す、しかしその値は圧密応力の増加と共に徐々に1に近づく。
- 3) 3%セメントを混入した人工固結粘土は圧密降伏応力付近でBurlandの示す堆積圧縮曲線に近づき、圧密降伏応力を超えると固有圧縮曲線に徐々に近づくという特性を示した。

【参考文献】

1) 富永、笠間、落合、安福 (1995): 粘土の構造骨格と圧密速度の関係、「平成7年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集」, pp.548-549. 2) 笠間、富永、落合、安福 (1995): 人工固結粘土と自然堆積粘土の圧縮特性の比較、「平成7年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集」, pp.550-551. 3) 安福、兵動、村田 (1994): 粘着成分を有する粘土の限界状態の概念と消散エネルギー式について、「土木学会第49回年次学術講演会」, pp.408-409. 4) 富永、笠間、落合、安福 (1996): 限界状態に着目した人工固結粘土の非排水せん断特性、「土木学会第51回年次学術講演会講演概要集」, 投稿中. 5) Burland, J.B (1990): On the Compressibility and Shear Strength of National Clays, Geotechnique, Vol.40, No.3, pp.329-347.

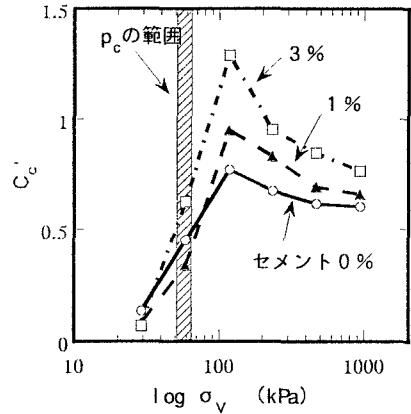


図3 各応力段階での $C_c'$ と $\log \sigma_v$ の関係

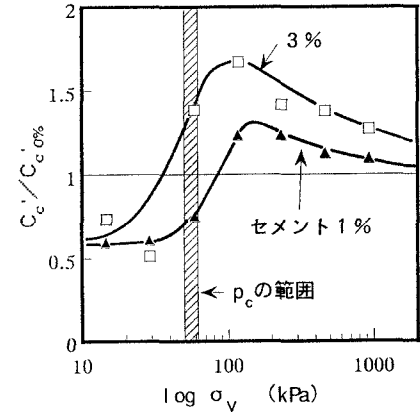


図4 正規化した $C_c'$ と $\log \sigma_v$ の関係

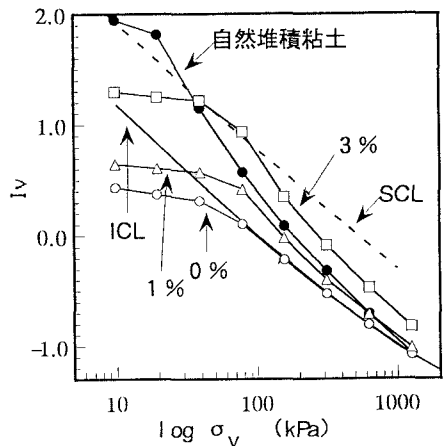


図5 間隙比指数 $I_v$ と $\log \sigma_v$ の関係