

人工固結粘土と自然堆積粘土の圧縮特性の比較

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

自然に堆積した粘土は粘土粒子間の付着力が発達することによるセメンテーションや二次圧密などによる年代効果のため、練返した粘土とは異なる圧縮特性を有する。そのため、自然堆積粘土のように固結力を持つ粘土の力学特性を明らかにすることは極めて重要であると考えられる。しかしながら、不攪乱粘土を採取することの困難さゆえに力学的にも工学的にも十分な解明がなされているとは言えず、さらなる研究が必要となっている。近年、自然粘土を模擬した人工固結粘土の作製に関する研究が頻繁に行なわれている。例えば、ケイ酸ナトリウムやポルトランドセメント等を添加する方法^{1) 2)}や高温再圧密による方法³⁾などがある。本研究では、以上の観点から粘土にセメントを混入し人工的にセメンテーションを与えた人工固結粘土を作製し自然堆積粘土との類似性を圧縮指数とBurlandの示す間隙比指数 I_v に着目して考察する。

2. 供試体 および試験方法

人工固結粘土・・・まず425 μ mのふるいを通過した有明粘土($w_L=86.5\%$ 、 $I_p=51.3$ 、 $\rho_s=2.609\text{ g/cm}^3$)を液性限界の約2倍の含水比状態に調整し、次にポルトランドセメントを粘土の乾燥重量に対してそれぞれ0%、1%、3%混合し、1次元圧密装置により49kPaの圧密圧力で予圧密した供試体を作製した。なお、圧密終了は3t法により決定した。

自然堆積粘土・・・実験には、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、これを練返し、1次元圧密装置で圧密降伏応力に相当する19.6kPaで再圧密し粘土供試体を用いた。ここでは、以上の手順により作製した5つの供試体に対して標準圧密試験を行った。

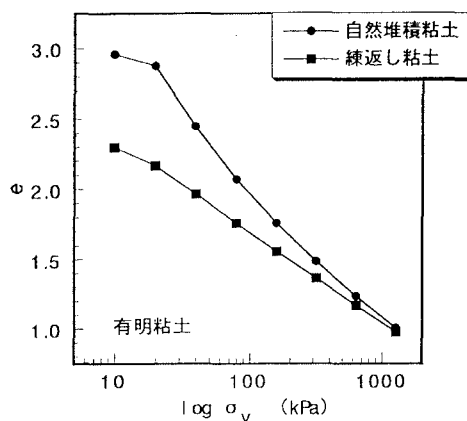
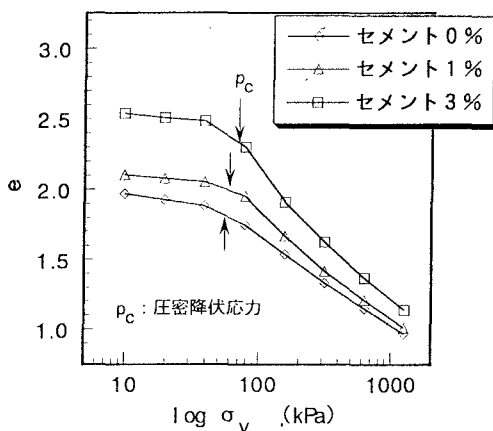
3. 標準圧密試験の結果

自然堆積粘土と人工固結粘土の $e-\log \sigma_v$ 関係をそれぞれ図1、図2に示す。また圧縮曲線の変化をわかり易くするために各圧密応力段階ごとに圧縮係数 C_p ($=\Delta e/\Delta \log \sigma_v$)を求めプロットしたのがそれぞれ図3、図4である。これらの図より自然堆積粘土は固結効果によって練返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。さらに人工固結粘土においてもセメント混入が圧縮曲線を高位なものにし、圧密降伏応力 p_c を増加させることがわかる、特に図4からはセメントを混ぜることにより圧縮係数 C_p が大きくなり圧縮曲線が突き出たものになることがわかる。

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⁴⁾。間隙比指数 I_v は次式で定義される。

$$I_v = \frac{e}{e_{100}} \dots \frac{-e_{100}^*}{e_{100}^* - e_{1000}^*} = \frac{e - e_{100}^*}{C_c} \quad (1) \quad \begin{array}{l} \text{ここに、} e_{100}^* : \text{基準となる圧密曲線の圧密圧力100kPaでの間隙比} \\ e_{1000}^* : \text{基準となる圧密曲線の圧密圧力1000kPaでの間隙比} \end{array}$$

図1 自然堆積粘土の $e-\log \sigma_v$ 図2 人工固結粘土の $e-\log \sigma_v$

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。

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。

今回の人工固結粘土と自然堆積粘土の標準圧密試験を間隙比指数 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 σ_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) セメント混入率が大きくなると圧縮曲線は高位なものになり圧密降伏応力は増加する。

2) セメントを混ぜると圧縮係数 C_p の変化が激しくなり明確なピーク持つようになる。

3) 粘土にセメントを混入しセメンテーションを与えた人工固結粘土は圧密降伏応力付近で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った自然堆積粘土の圧縮曲線の特性と類似した形をなす。

今後は、固結した粘土の力学挙動の体系化という観点から検討を行なっていく予定である。

参考文献

1) 嘉門雅史、長尾毅 (1986): 人工的にセメンテーション効果を与えた粘土の土質工学的特性について、「第21回土質工学研究発表会」

2) 嘉門雅史、佐野郁雄、陶秀珍 (1987): 人工的に粒子間にセメンテーションを与えたカオリン粘土の物理化学的特性、「土木学会第42回年次学術講演会」

3) 土田孝、水上純一、小林正樹、平良聡 (1988): 高温で再圧密した海成粘土の力学特性、「第23回土質工学研究発表会」

4) Burland, J.B (1986): On the Compressibility and Shear Strength of Natural Clays, Geotechnique, Vol.40, No.3, pp.329-347.

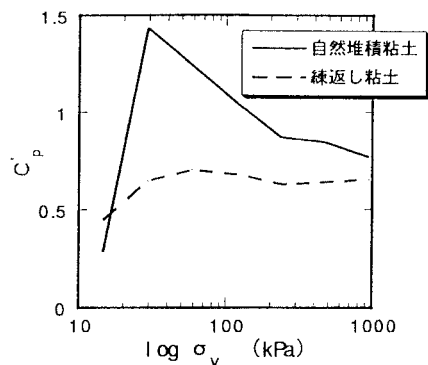


図3 各応力段階での C_p (自然堆積粘土)

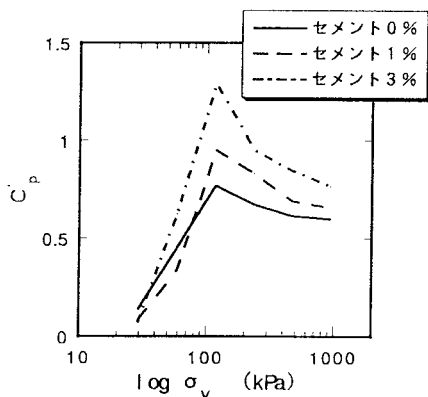


図4 各応力段階での C_p (人工固結粘土)

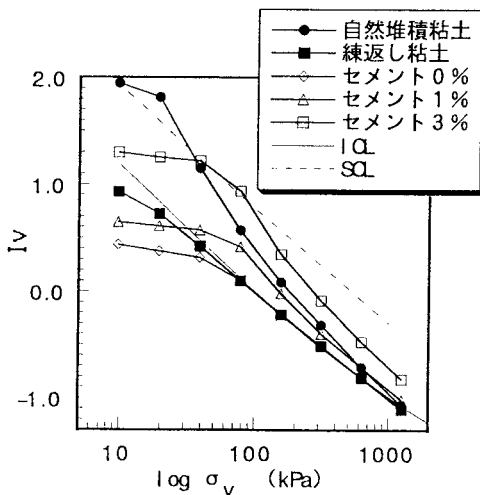


図5 $I_v - \log \sigma_v$ グラフ