

セメントを若干混ぜた粘土の e - $\log \sigma_v$ 関係九州大学工学部 正○安福規之 正 落合英俊
九州大学工学部 正 大嶺 聖 正 塚本良道

1. はじめに

地盤改良を施した人工的な地盤材料の支持地盤としての利用が近年増加している。セメントを混ぜた粘土もそのひとつである。本研究では、セメント処理された粘土の力学挙動の体系化とこの種の支持地盤を対象とした実用的な変形予測手法の確立を大きな目標に、その第一歩としてセメントを混ぜた粘土の圧縮性を標準圧密試験を行うことによって実験的に検討した。

2. e - $\log \sigma_v$ 関係の特色

供試体の作成・試料は、液性限界の約2倍の含水比状態に調整したスラリー状の有明粘土 ($w_L=68.8\%$, $w_p=39.5\%$, $I_p=29.3$, $G_s=2.659$) にポルトランドセメント ($G_s=3.16$) を所定の重量比で混合することによって準備された。実験は、スラリー状態の試料を一次元的に49kPaの圧密圧力まで段階的に予圧密した試料を用いて行われた。実験を開始するまでの放置時間は、予圧密終了後1週間とした。圧密試験に供した供試体は、セメントを混ぜないもの(0%供試体)、セメントを1%混ぜたもの(1%供試体)、セメントを5%混ぜたもの(5%供試体)の3種類である。

実験結果・図1は、3種類の供試体の標準圧密・除荷試験の結果をまとめたものである。この図から、スラリー状態から予圧密を行った試料の場合、セメントを多く混ぜた方がより高位の圧密曲線となっていることと圧密降伏応力がより大きくなっていることがわかる。これは、セメント量の多いほど粘土粒子との間での構造が、固結効果によってより高位になるためと判断される。このような傾向は自然粘土とその再構成粘土の間においても見られ、同様な解釈がなされている¹⁾。また、その高位な圧密曲線は、圧密圧力の増加と共に0%供試体のそれに徐々に近づく傾向にあり、圧密圧力の増加に伴う構造の低位化(固結力の減少)が伺える。図2と図3は、図1から求めた各供試体の圧密降伏応力 p_{yi} 、圧縮指数 C_c 、除荷指数 C_s とセメント含有率の関係を示したものである。なお、図中の縦軸は、0%供試体の圧密降伏応力 p_{y0} 、圧縮指数 C_c^* 、除荷指数 C_s^* で正規化した量でそれぞれ示されている。これらの図から、圧密降伏応力と圧縮指数はセメント含有率の増加と共に増加し、また除荷指数はセメント含有率の増加と共に減少する傾向にあることがわかる。圧縮指数が増加するということは、降伏後の変形(間隙比の変化)がセメント含有率の高いほうが急激に起こることを示唆するものである。

3. 圧縮性に関する考察

Burland は、 $w_L \sim 1.5w_L$ で練返した粘土を一次元圧密した時の圧密曲線をもとに自然に堆積した粘土の圧縮特性を考察している²⁾。彼は、基準となる圧密曲線から次式で示す間隙比指数 I_v

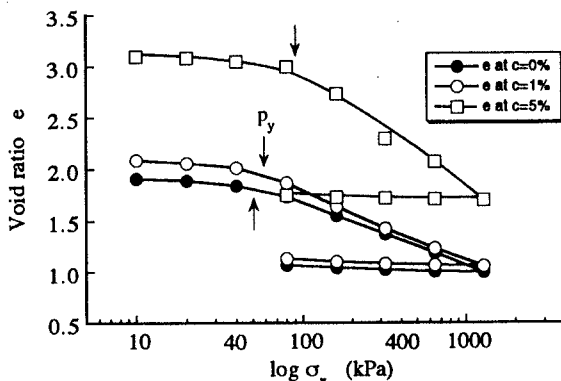


図1 セメントを混ぜた粘土の圧密曲線の比較

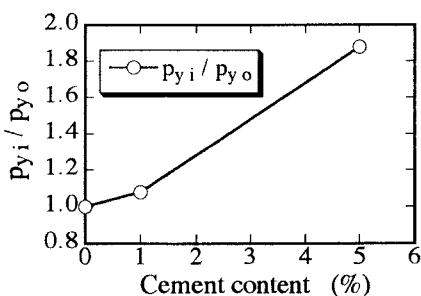


図2 圧密降伏応力とセメント含有率の関係

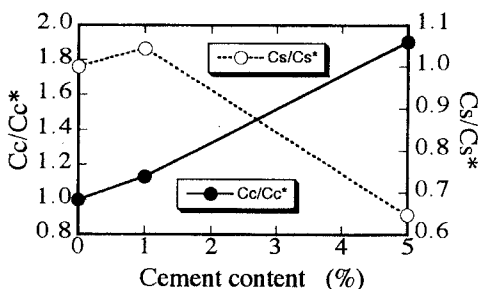


図3 圧縮指数、除荷指数とセメント含有率の関係

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

を定義し、 I_v と圧密圧力の関係が粘土によらず一義的に求まることを見出している。この曲線は固有圧縮曲線 (Intrinsic Compression Line; ICL) と称され、自然に堆積した粘土の圧縮特性を評価する上での基準線として利用されている。図4は、正規化されたICLを概念的に説明したものである。 I_v の定義から、圧密圧力100kPaの時の間隙比 e_{100}^* (基準となる間隙比) においては、 $I_v=0$ 、また圧密圧力1000kPaの時の間隙比 e_{1000}^* (基準となる間隙比) においては、 $I_v=1.0$ である。さらに、Burlandは、自然に堆積した粘土地盤の堆積圧縮関係について詳細に検討し、土かぶり圧 σ_{v0} に対応する間隙比 e_0 から求めた I_{v0} と土かぶり圧の間には、若干のばらつき ($I_{v0}=\pm 0.3$) はあるものの、大部分の自然堆積粘性土地盤においてユニークな関係が存在することを示している。この I_{v0} - $\log \sigma_{v0}$ 曲線は、堆積圧縮曲線 (Sedimentation Compression Line; SCL) と呼ばれ、構造や固結力を持つような自然堆積地盤の圧縮性を評価する曲線として意義づけられている。このSCLとICLは、 $\sigma_{v0}=10$ -1000kPaの範囲においてはほぼ平行であり、1000kPaを超えるとSCLはICLに近づくことが示されている (図5参照)。また、両曲線において平行と見なせる領域で、ある I_{v0} に対するSCL上の圧密圧力の値は、ICL上の値のほぼ5倍となっている。この違いは、練返した粘土と自然堆積粘土の土骨格の構造や固結力の違いに起因する。

図5は、図1に示した実験結果を式(1)を用いて I_{v0} と $\log \sigma_{v0}$ の関係に書き改めたものである。図中にはBurlandによって示されたICLとSCLも併せて示している。この図から、1) 0% 供試体の I_v の変化 (●印) は、 $\sigma_v=100$ kPa付近からICLに沿うような形で変化していること、2) 1% 供試体の圧密曲線 (○印) は、ICLの若干上方を推移し、 σ_v の増加と共に徐々にICLに近づく傾向にあること、3) 5% 供試体の場合 (□印) には、圧密曲線はSCLよりかなり上方に位置し、 σ_v の増加と共に徐々にSCLに近づく傾向にあることがわかる。SCLを基準にすると、1% 供試体の圧縮特性は、練返した粘土のそれに近く、結果として1%程度のセメント含有率では通常自然堆積粘土の有する土骨格構造を過小に評価すること、一方、5% 供試体では、自然堆積粘土が有する標準的な土骨格構造を過大に評価していることがこの図から読み取れる。

4. まとめ

本研究では、液性限界の2倍程度のスラリーな状態でセメントを混ぜた粘土の e - $\log \sigma_v$ 関係を標準圧密試験により求め、その特性を考察した。得られた結果をまとめると次のようである。1) セメント含有率が多いほど、圧密曲線は高位になる。2) セメント含有率の増加と共に、基準圧縮指数 ($e_{100}-e_{1000}$) は増加し、除荷指数は減少する。3) Burlandの基準に従うと、セメント含有率1%程度では、その粘土の構造の強さは、自然堆積粘土のそれよりも劣る結果となる。

参考文献 1) 土田 孝 (1991): A New Concept of e - $\log p$ Relationship for Clays, 第9回アジア会議, Vol. 1, pp. 87-90.
2) Burland, J.B. (1990): On the Compressibility and Shear Strength of Natural Clays, Geotechnique, Vol. 40, No. 3, pp. 329-347.

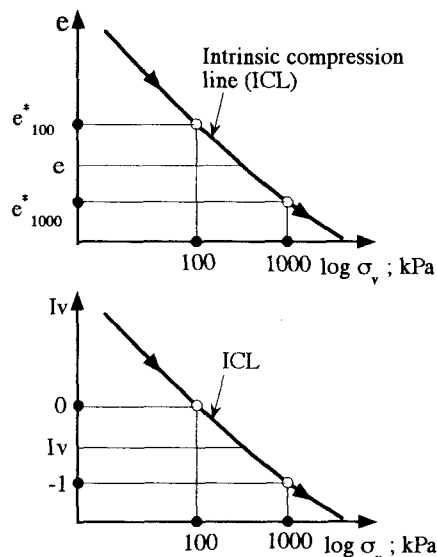


図4 間隙比指数の定義

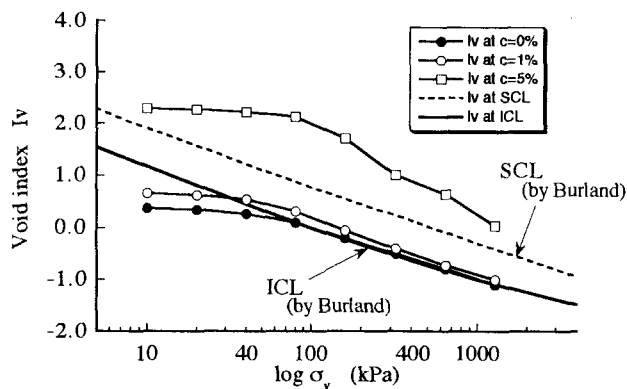


図5 間隙比指数で表わした圧密曲線