

Pisa 粘土の圧密特性

防衛大学校（正） 蛭崎大介・市野宏嘉・正垣孝晴

1. はじめに

Pisa 粘土の地盤工学的性質は多くの研究者によって検討されてきた^{1),2)}。著者らも倍圧サンプラー³⁾で採取したPisa 粘土に対して一軸圧縮強度，三軸強度特性を検討してきた⁴⁾。本稿ではPisa 粘土の圧密特性が試料の乱れの観点で検討される。

2. 供試土と実験方法

Pisa の斜塔下には，深さ $z=(10 \sim 21)m$ に沖積， $z=(29 \sim 40)m$ に洪積粘土が堆積している。倍圧サンプラー（45-mm と 50-mm サンプラー）³⁾で採取した45mm と 50mm の試料径から，段階載圧密試験(IL)（供試体径 $d30mm$ ，高さ $h10mm$ ）と小型精密三軸試験機⁵⁾を用いた K_0 三軸圧密試験(CK_0)（ $d15mm$ ， $h35mm$ ）を行った。

図-1 は初期間隙比 e_0 に対する有効土被り圧 σ'_{v0} 下の間隙比の変化量 Δe の比 R_e と I_p の関係である。 R_e は採取試料の品質が評価できる指標の1つとされ，Lunne ら⁶⁾は0.04以下（優秀），0.04～0.07（良好～適正），0.07～0.14（貧弱），0.14以上（極めて貧弱）を与えている。Laval（ラバル）サンプラーは品質の良好な試料が採取できるサンプラーとして世界で広く認められているが，このサンプラーで採取したPisa粘土の R_e ⁷⁾ は0.02～0.1の範囲であり，平均値は0.05である。一方，45-mm と 50-mm サンプラーの R_e は0.024～0.087であり，平均値は0.06である。すなわち，45-mm と 50-mm サンプラーで得た試料の品質は“優秀～適正”に区分される。これらは45-mm/50-mm サンプラーがLaval サンプラーと同等以上の品質であることを意味する。

3. IL と CK_0 による圧密特性と原位置の圧密パラメータの推定

IL と CK_0 から得た圧密降伏応力 σ'_p を図-2 に比較した。同図には Busan new port 粘土の結果⁸⁾を併せてプロットしている。Pisa 粘土の $z=18,21,33,39m$ の CK_0 の σ'_p はILのそれらより小さい。これらの供試体の体積ひずみ ε_{v0} は1.5%程度 CK_0 の供試体が大きいが，これは試料の乱れと圧密時の供試体の拘束方法に起因していると考えている。Busan new port 粘土を含む他の深度の供試体の σ'_p は試験方法に関係なく同等と判断される。 $z=35m$ の試料の σ'_p と ε_{v0} の関係を，一例として図-3に示す。 σ'_{v0} 下の CK_0 の σ'_p のプロットは250kPaと小さいが，これを除く他のプロットの回帰線から原位置の圧密降伏応力⁹⁾ $\sigma'_{p(0)}$ として580kPaを得る。

図-4 は ε_{v0} ， σ'_p ，圧縮指数 C_c を z に対してプロットしている。原位置の圧縮指数 $C_{c(0)}$ は ε_{v0} を用いて $\sigma'_{p(0)}$ と同様に得た。 CK_0 の圧密荷重 σ'_a が σ'_{v0} の1～2倍のプロットは σ'_p と C_c の値が小さい。これは σ'_p と C_c 値を得るために必要な

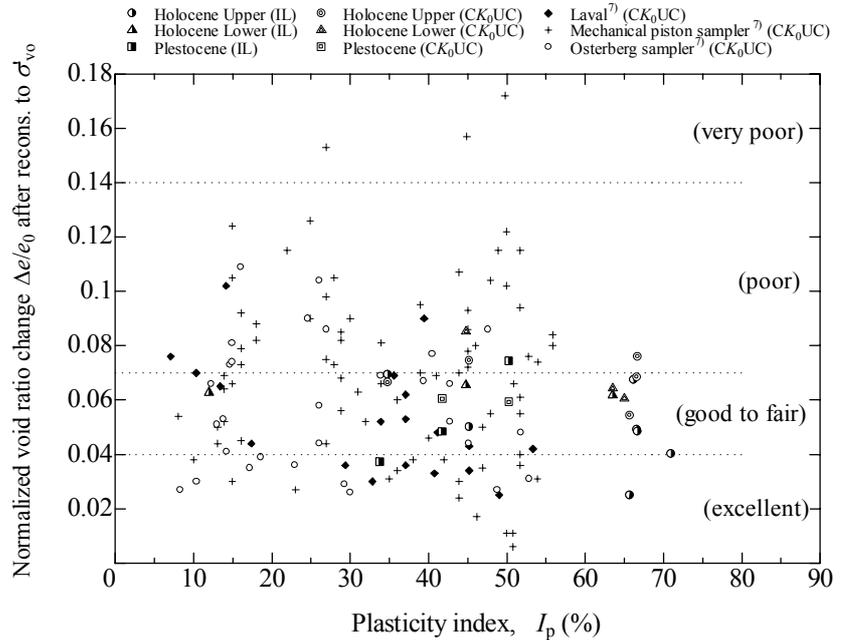


図-1 I_p と R_e の関係

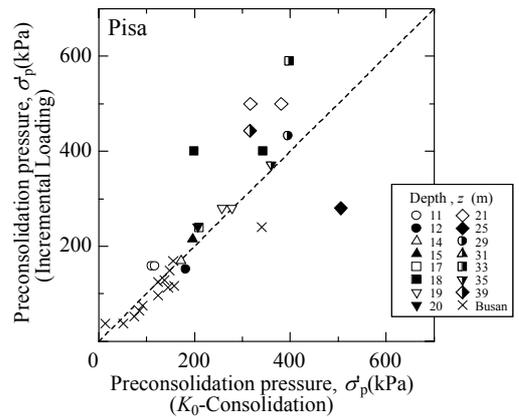


図-2 σ'_p の比較

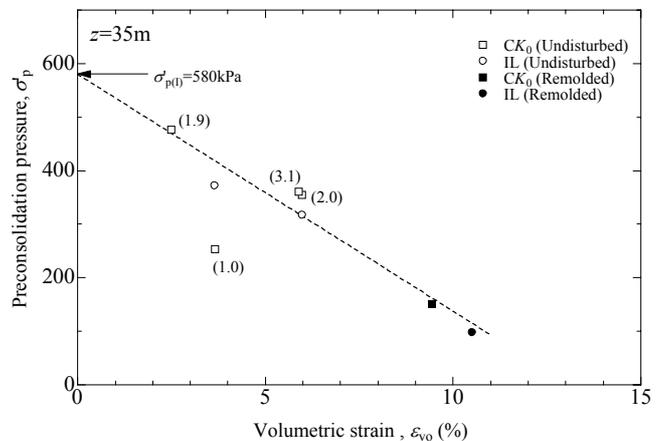


図-3 σ'_p と ε_{v0} の関係 ($z=35m$)

キーワード：Pisa 粘土，圧密試験，試料の乱れ

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL 046-841-3810

σ'_a まで圧密が進行していないのが原因である。

4. 圧密特性

図-5 は圧密パラメータに関する土性図である。
 $\sigma'_p, \sigma'_p/\sigma'_{vo}, C_c$ は $\sigma'_a/\sigma'_{vo} > 3$ のデータのみをプロットしている。また、これらの値には原位置の推定値に加え、田中ら¹⁰⁾による 75-mm (○), オスターバーグ(OS: ▼), シェルビーチューブ(SS: □) サンプラーによる結果も併せて示している。試料の乱れに起因して¹⁰⁾OSとSSサンプラーによる $\sigma'_p, \sigma'_p/\sigma'_{vo}, C_c$ 値は他のそれらより小さい。45mm/50mm サンプラーによる σ'_p/σ'_{vo} は 1.2~2.8 であるが、 $\sigma'_{p(l)}/\sigma'_{vo}$ は沖積で 1.8~3.3, 洪積で 1.9~2.5 である。体積圧縮係数 m_v と圧密係数 c_v は IL の結果のみでは供試体数が少なく乱れの影響が検討できなかった。したがって、図-5 には正規圧密領域の平均値をプロットしている。

図-6 は $\sigma'_a/\sigma'_{vo} > 3$ のデータから得た $\sigma'_{p(l)}/\sigma'_{p(l)}$ と $C_c/C_{c(l)}$ を深度に対してプロットしている。各深度の σ'_p の平均値 (●) は $\sigma'_{p(l)}$ の 45~80% であり、同じく C_c は $C_{c(l)}$ の 7~95% である。サンプリング等に起因した応力開放や機械的攪乱による σ'_p と C_c の低下は大きい。

5. おわりに

45mm/50mm サンプラーによる σ'_p/σ'_{vo} は 1.2~2.8 であるが、 $\sigma'_{p(l)}/\sigma'_{vo}$ は沖積で 1.8~3.3, 洪積で 1.9~2.5 であった。各深度の σ'_p の平均値は $\sigma'_{p(l)}$ の 45~80% であり、同じく C_c は $C_{c(l)}$ の 7~95% であった。Pisa 粘土はサンプリング等に起因した応力開放や機械的攪乱による σ'_p と C_c の低下が大きい。

謝辞：Pisa への資材の運送や試料採取の実施、また、それらの調整等で強力なお骨折りを頂いた（独）港湾空港研究所土質研究室と神戸大学の溢谷啓先生に深甚の謝辞を表します。

参考文献：1) Jamiolkowski, M.: The leaning tower of Pisa: end of an Odyssey, *Terzaghi Oration, Proc. 15th ICSMGE, Vol.5*, pp.2979-2996, 2001. 2) Burland, J. B., Jamiolkowski, M. and Viggiani, C.: The stabilization of the leaning tower of Pisa, *Soils and Foundations, Vol.43, No.5*, pp.63-80, 2003. 3) Shogaki, T. and Sakamoto, R.: The applicability of a small diameter sampler with a two-chambered hydraulic piston for Japanese clay deposits, *Soils and Foundations, Vol.44, No.1*, pp.113-124, 2004. 4) 正垣・蛭崎・菅野・中野・北田：ピサの斜塔下の粘性土の地盤工学的性質，*土と基礎*，Vol.53, No.3, pp.26-28, 2005. 5) Shogaki, T. and Nochikawa, Y.: Triaxial strength properties of natural deposits at K_0 consolidation state using a precision triaxial apparatus with small size specimens, *Soils and Foundations, Vol. 44, No.2*, pp.41-52, 2004. 6) Lunne, T., Berre, T. & Strandvik, S. Sample disturbance in soft low plastic Norwegian clay, *Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, Almeida (ed.)*, pp.81-102, Rotterdam, 1997. 7) Lo Presti, D.C.F., Jamiolkowski, M. and Pepe, M.: Geotechnical characterization of the subsoil in Pisa Tower, *Characterization and Engineering Properties of Natural Soils-Tan et al. (eds.)*, Vol.1, pp.113~124, 2004. 8) Shogaki, T., Nochikawa, Y., Jeong, H., Suwa, S. and Kitada, N.: Strength and consolidation properties of Busan new port clays, *Soils and Foundations, Vol. 45, No.1*, pp. 153-169, 2005. 9) Shogaki, T.: A method for correcting consolidation parameters for sample disturbance using volumetric strain, *Soils and Foundations, Vol. 36, No.3*, pp.123-131, 1997. 10) 田中・渡部・椎名・白石・村上：ピサにおける地盤調査（その2），*第39回地盤工学研究発表会*, pp. 151-152, 2004.

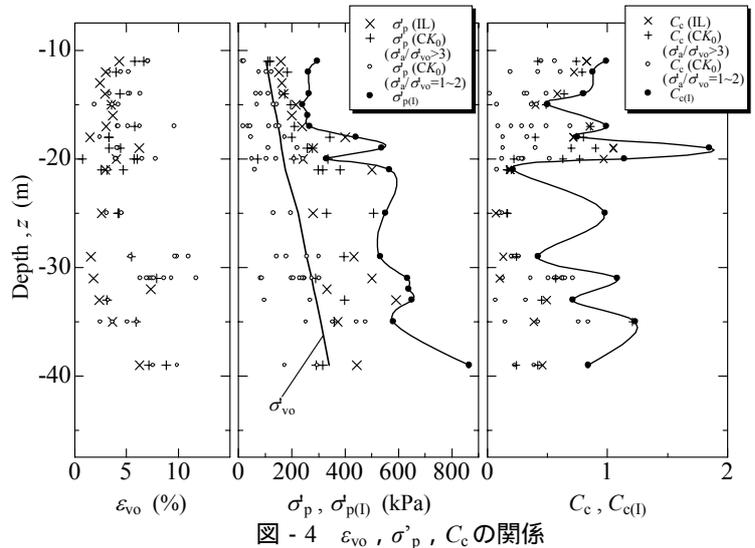


図-4 $\epsilon_{vo}, \sigma'_p, C_c$ の関係

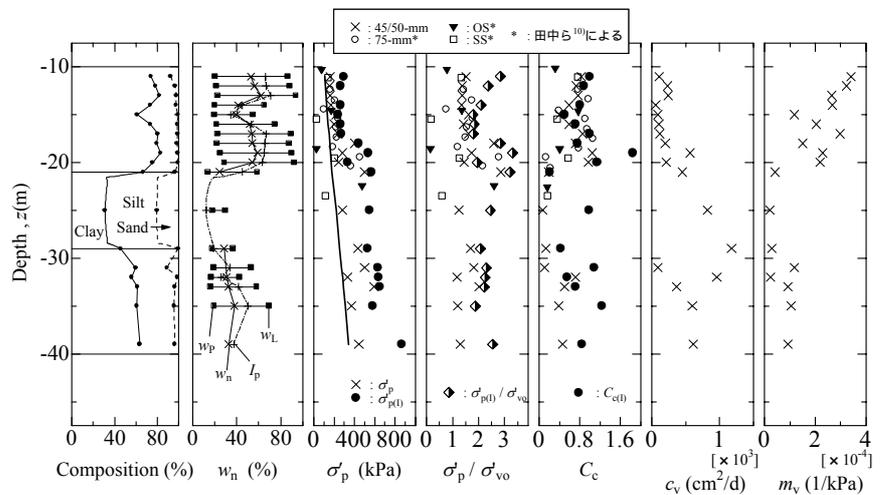


図-5 圧密パラメータに関する土性図

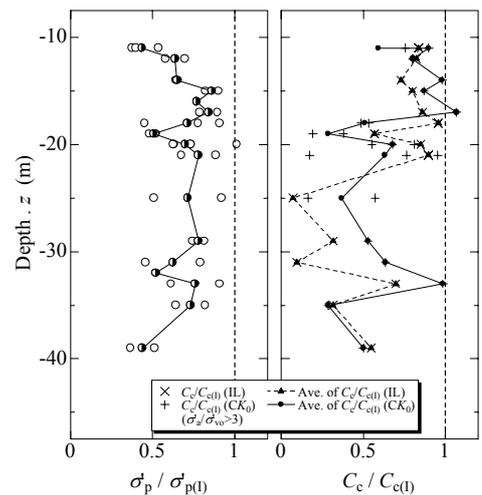


図-6 $\sigma'_p/\sigma'_{p(l)}, C_c/C_{c(l)}$ と z の関係