

Pisa 粘土の三軸強度特性

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、圧密特性を試料の乱れの観点で検討してきた⁴⁾。Pisa 粘土の三軸強度特性が本稿で検討される。

2. 供試土と実験方法

Pisa の斜塔下には、深さ $z=(10\sim21)\text{m}$ に沖積、 $z=(29\sim40)\text{m}$ に洪積粘土が堆積している。これらの粘性土は粘土分が沖積で(61～83)%, 洪積で(46～64)%含まれることを反映して塑性指数 I_p も、それぞれ(35～71), (19～50)と高い⁴⁾。しかし、X 線回折の結果によると、Pisa 粘土は石英・斜長石・緑泥岩・雲母鉱物・石膏・赤鉄鉱等の造岩鉱物を主体とし、粘土鉱物はほとんど含まれていなかった⁴⁾。三軸強度特性は、小型供試体を用いた小型精密三軸試験機⁵⁾を用いて検討する。

3. 静止土圧係数の特性

図-1 は静止土圧係数 K_0 と I_p の関係である。また、表-1 に図-1 で用いたプロットの凡例を示す。図-1 には σ'_{v0} の3倍以上の σ'_a の正規圧密領域で求めた Pisa 粘土に加え、Bothkenner と我が国の11堆積地の粘土⁵⁾や Pusan new port 粘土⁶⁾に対する筆者らの結果、Ladd らによる正規圧密領域の不攪乱土($\otimes$)とその練返し土($\oplus$)、さらに渋谷らが不攪乱土に対して σ'_{v0} 下で得た K_0 値⁵⁾をプロットしている。Alphan が Kenney の実験結果を整理して得た回帰曲線⁵⁾も図-1 に併せて示した。Pisa 粘土のプロットに対する回帰式(相関係数 $r=0.76$)を破線で示しているが、Bothkenner と我が国の11堆積地の粘土⁵⁾のプロットの上部に位置し、平均的には Alphan の回帰式の近傍に位置している。 I_p が大きくなると K_0 値が大きくなるのはいずれの回帰式も同じである。

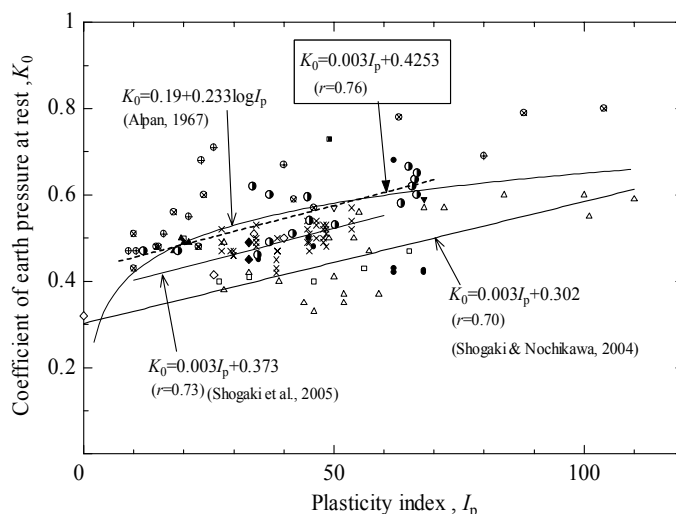
図-1 K_0 と I_p の関係

表-1 図-1 の記号凡例

*	Soil	Reference
●	Pisa	This paper's outhor
×	Pusan new port	Shogaki et al. ⁶⁾
⊗	U.S.A. etc. (Undisturb)	Ladd et al.
⊕	U.S.A. etc. (Remold)	
□	Japanese	Tsuchida
△	Japanese	Shogaki & Nochikawa ⁵⁾
▽	Bothkennar	
◇	Kimhae	
●	Japanese	Shibuya et al.
▲	Drammen	
■	Louiseville	
▼	Bothkennar	
◆	Pusan	

*:Symbol

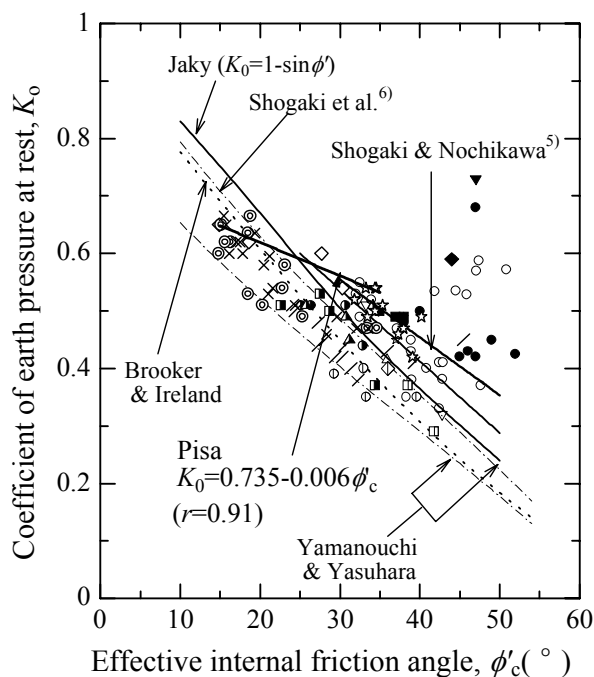
図-2 は、 K_0 と $(\sigma'_a/\sigma'_r)_{\max}$ の応力で整理した有効内部摩擦角 ϕ' の関係である。ここに、 σ'_r は供試体の側方向有効応力である。表-2 に図-2 の記号凡例をまとめた。図中には、 $3\sigma'_{v0} < \sigma'_a$ の正規圧密領域下の $\dot{\epsilon}_s=0.05\%/min$ で得た Bothkenner, Kimhae 粘土と我が国の11堆積地の粘土⁵⁾や Pusan new port 粘土⁶⁾に対する筆者らの結果と、渋谷らが σ'_{v0} 下で求めた値⁵⁾をプロットしている。また、Jaky, Brooker & Ireland, 山内・安原が提案した式も併せて示している⁵⁾。Kimhae、河北潟、水戸粘土については、 σ'_{v0} の1と2倍の結果もプロットしている。Pisa 粘土のプロットに対する回帰式として $K_0=0.735-0.006\phi'$ ($r=0.91$)を得た。Pisa 粘土は他の回帰式とは異なる傾きを有している。しかし、Pisa 粘土の練返し土の K_0 値は、他の土のそれらと同様に Brooker & Ireland の式や山内・安原の式の範囲でよく説明できる。

4. 強度増加率の特性

図-3 は $CKoUC$ で得た c_u/p を I_p に対してプロットしている。ここで、 p は圧密圧力である。図-3 のプロットの凡例を表-3 に示す。Pisa 粘土の c_u/p は 0.21～0.42 の範囲にあり、Bjerrum & Simons⁷⁾ が示した範囲内にあるが、 I_p 70 でその下限域に位置する。 $I_p > 30$ の領域では我が国の c_u/p より小さく、0.2 程度の値になる。 c_u/p が小さいのは、やはり造岩鉱物と低位構造に起因して、圧密圧力の増加に伴う c_u の増加が大きくな

キーワード：Pisa 粘土，三軸圧縮試験，静止土圧係数，内部摩擦角

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

図-2 K_0 と ϕ'_c の関係

いことに起因していると推察している。

5. おわりに

Pisa 粘土は高塑性の粘性土であるが、 c_u/p が小さく国内外の他の粘性土と異なる三軸強度特性が明らかになった。しかし、これらの原因の究明には更なる検討が必要である。

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澁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) 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.2*, pp. 153-169, 2005.
- 7) Bjerrum, L. and Simons, N.E.: Comparison of shear Strength Characteristics of Normally Consolidated Clays, *Proc. ASCE Research Conf. On Shear Strength of Cohesive Soils*, pp. 711-726, 1960.

表-2 図-2 の記号凡例

Condition	*	Soil	ε_s (%/min)	σ'_a / σ'_{vo}	Reference
Undisturbed	◇	Pisa	0.05	3~4	This paper's outhur
	×	Pisa	1		
	☆	Pusan new port	0.05	3	Shogaki et al. ⁶⁾
	○	Japanese			
	△	Bothkennar	0.05	3~4	Shogaki & Nochikawa ⁵⁾
	▽	Kimhae			
Remolded	◎	Pisa	0.05	4~	This paper's outhur
	/	Pusan new port	1	3	Shogaki et al. ⁶⁾
	●	Kimhae	1		
	▲	Kimhae	0.2		
	⊕	Kimhae	0.05		
	□	Kahokugata	1	3~4	Shogaki & Nochikawa ⁵⁾
	△	Kahokugata	0.2		
	□	Kahokugata	0.05		
	◇	Mito1	0.05		
	●	Ariake			
	■	Drammen			
	▼	Louiseville	?	1	Shibuya et al.
	◆	Bothkennar			
	◇	Pusan			

*:Symbol

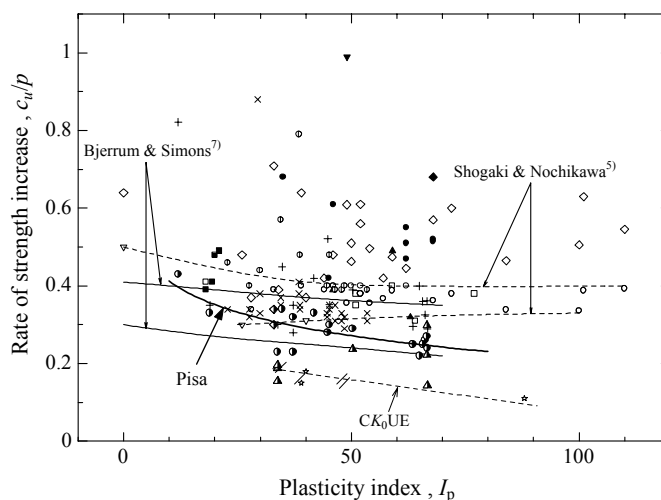
図-3 I_p と c_u/p の関係

表-3 図-3 の記号凡例

*	Soil	Reference
+	Pisa ($1\sigma'_{vo}$)	This paper's outhur
●	Pisa (NC)	
▲	Pisa (CK_0UE)	
⊕	Pusan new port ($1\sigma'_{vo}$)	Shogaki et al. ⁶⁾
×	Pusan new port (NC)	
/	Pusan new port (CK_0UE)	
□	Japanese	Tsuchida et al.
◇	Japanese ($1\sigma'_{vo}$)	Shogaki & Nochikawa ⁵⁾
○	Japanese (NC)	
△	Bothkennar (NC)	
▽	Kimhae (NC)	
☆	Japanese (CK_0UE)	
●	Japanese	Shibuya et al.
▲	Bangkok	
■	Drammen	
▼	Louiseville	
◆	Bothkennar	
◇	Pusan	

*:Symbol