

京都大学 正員 松尾新一郎
京都大学 学生員 ○嘉村雅史

I. まえがき

粘性土の圧密構造については、これまで単一粘土鉱物系における形状について2, 3の報告例がみられるが、自然粘性土に対する研究はその含有粘土鉱物系の複雑さによってほとんどなされていない。著者らはすでに粘性土の構造観察の手法としての走査型電子顕微鏡の有用性を明らかにして土構造の観察結果を示しているが、本報告では特に圧密された粘性土の構造と、単一粘土鉱物系の構造との比較の上で説明し、さらに湿潤条件下における走査型電子顕微鏡観察例を述べる。なお用いた試料は大阪ヘドロ、大阪南港粘土、市販のカオリン、ベントナイトである。また走査型電子顕微鏡用試料の作製は既報の凍結乾燥法を用いている。ただカオリン試料では不活性土であることから自然乾燥法によった。観察表面はpeeling操作によって乱れ成分を除去し、C-, Au-蒸着とはどこしている。

表1. 試料の諸元

SAMPLES	LL(%)	PL(%)	IP(%)	γ_s g/cm ³	CEC ²²	ORGANIC %	CLAY MINERALS
Osaka Hedoro	120.6	36.9	83.7	2.658	37.4	5.40	Illite, Halloysite, Montmorillonite, Chlorite, Kaolinite
Osaka Nanko-clay	92.1	31.8	60.3	2.651	21.4	5.09	Kaolinite, Illite, Montmorillonite, Halloysite
Kaolin	50.2	29.1	21.1	2.613	5.3	—	Kaolinite, Halloysite
Bentonite	323.2	44.7	278.5	2.401	89.3	—	Montmorillonite

II. 圧密構造

各試料のe-log P曲線を示すと図1~4のようになる。図中記号の頭は試料略号であり、P1, P2, P3はそれぞれ圧密荷重が0.4, 3.2, 12.8 kg/cm²であることと表わしている。走査型電子顕微鏡試料はこれらの荷重条件下における圧密状態のものを採取している。ここでは除荷時における供試体の膨潤による土構造の変化は微小であると考えている。なお標準圧密試験を行なっているが、ベントナイトの場合24時間では一次圧密が終了しないから、100%圧密を待って次段階の荷重を載荷している。構造の観察面として圧密方向に垂直な面をH-断面、圧密方向に平行な面をV-断面としている。荷重条件P1, P3の場合

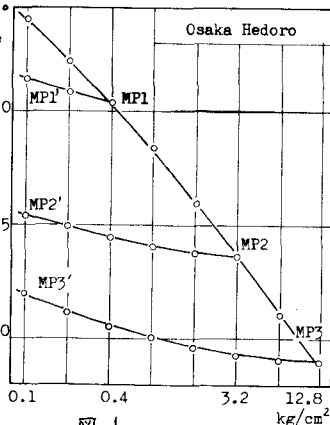


図1

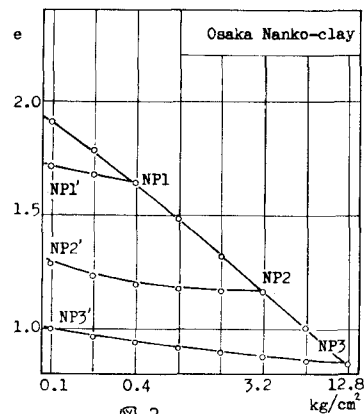


図2

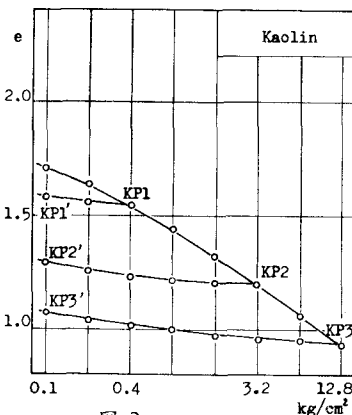


図3

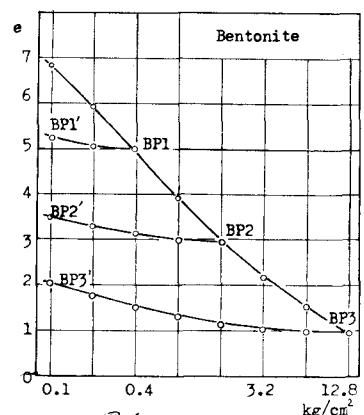


図4

合についての結果を示すと写真1~16のようになる。V-断面は鉛直断面の粒子の配列を表わしているが、写真の上下の方向から圧密荷重が作用しているものである。粒子配向はP1→P3によって定方向を明らかに示している。特にカオリンのV-断面では粒子端部がよくみられる。ベントナイトではモンモリロナイト粒子のゆがみにより構造は明確でないが、ヘドロや南港粘土のように有機物と結

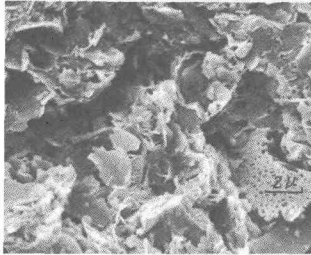


写真1. 大阪ヘドロ
MP1. H-断面

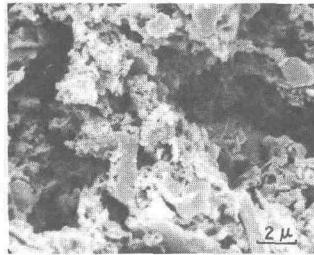


写真2. 大阪ヘドロ
MP1. V-断面

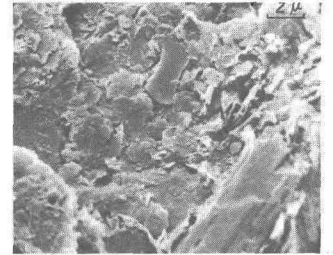


写真3. 大阪ヘドロ
MP3. H-断面

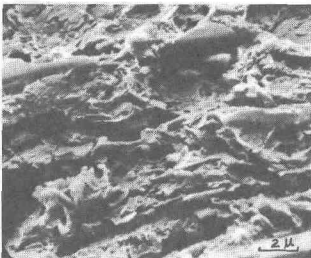


写真4. 大阪ヘドロ
MP3. V-断面

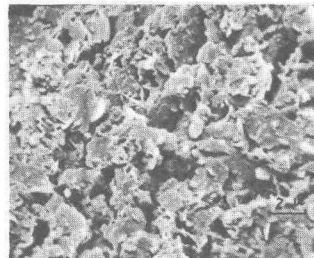


写真5. 大阪南港粘土
NP1. H-断面

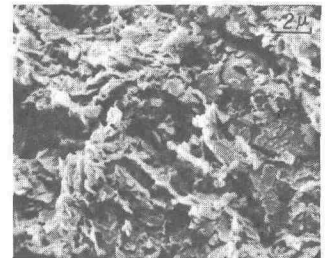


写真6. 大阪南港粘土
NP1. V-断面

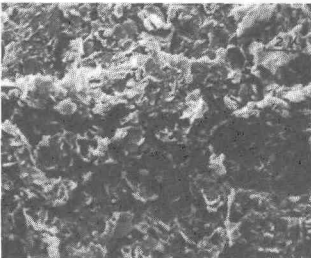


写真7. 大阪南港粘土
NP3. H-断面

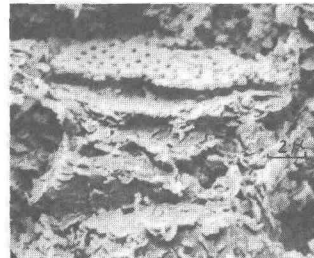


写真8. 大阪南港粘土
NP3. V-断面

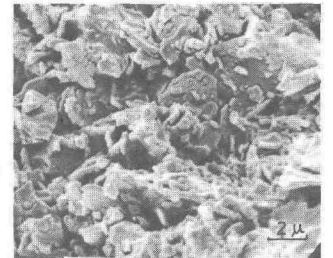


写真9. カオリン
KP1. H-断面

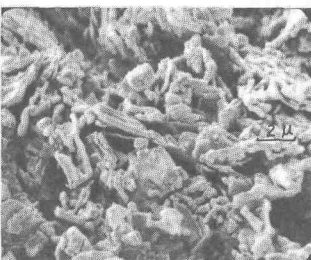


写真10. カオリン
KP1. H-断面

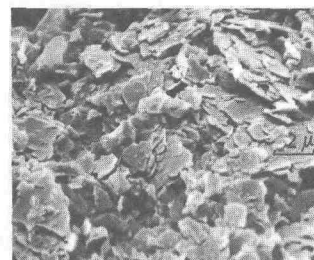


写真11. カオリン
KP3. H-断面

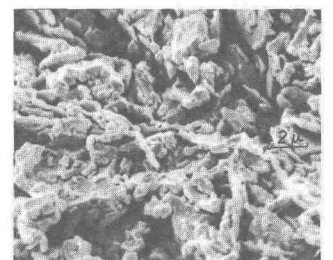


写真12. カオリン
KP3. H-断面

合して凝集体と形成している場合でも P3 までの荷重では定方向を示すようになる。これらのことから土構造の配向には粘土鉱物のうちでもカオリン程度の粒径のものが大きな役割を占めていることが予想される。

Ⅲ. 圧密構造の表現

圧密試験結果から土構造を定量的に示す手段として Kozeny-Carman の式と粒子配向の立場から $\sqrt{K_s} = \left(\frac{1}{k} \cdot \frac{e^3}{n^2} \right)^{1/2}$ のように変形・整理すると図5, 6のようになる。ベントナイトでは間ガキを流れる水の速度がモンモリロナイトの物理化学的作用に強く依存する結果であるが、ヘドロ、南港粘土、カオリンではこの順に傾きが大きくなって

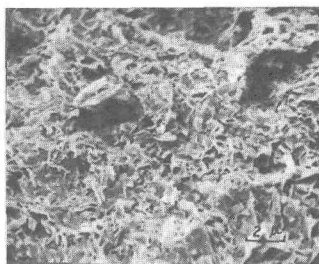


写真13. ベントナイト
BP1. H-断面

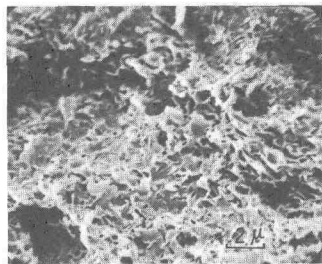


写真14. ベントナイト
BP1. V-断面

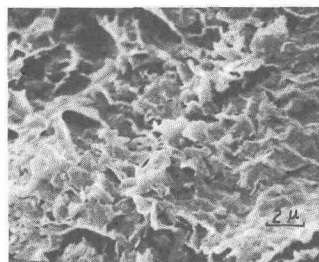


写真15. ベントナイト
BP3. H-断面

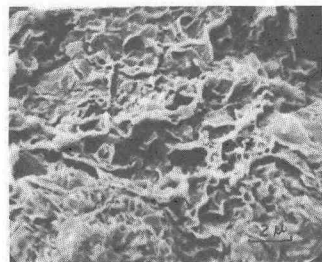


写真16. ベントナイト
BP3. V-断面

あり、図が定配向のしやすさの尺度となっていることを示している。さらに土粒子配向度と粒子の傾きに着目して表わしたものが図7, 8である。いま圧密方向と N-S 軸と定める。そして土粒子の配列と表現するに、各単一粒

子あるいは凝集粒子の長軸または板状粒子の端部線の N-S 軸に対する傾斜角をもってする。図はカオリンの V-断面 (写真10, 12) について 5 度の間隔で傾斜角の出現頻度を視野の粒子総数に対する割合で示したものである。圧密初期にはほとんど定配向と表わしていないが、P3 の荷重領域では圧密面に平行な粒子長軸および端部線の配向が顕著にみられている。

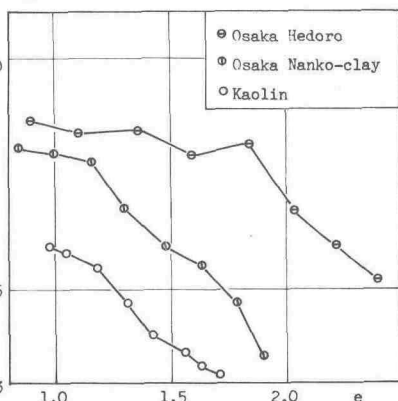


図5.

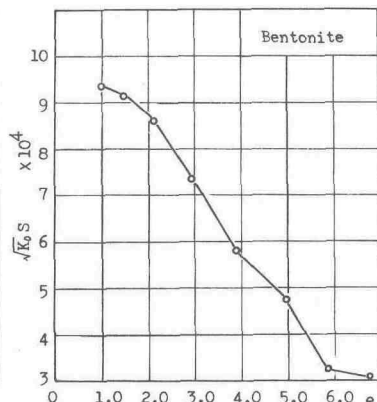


図6

真10, 12) について 5 度の間隔で傾斜角の出現頻度を視野の粒子総数に対する割合で示したものである。圧密初期にはほとんど定配向と表わしていないが、P3 の荷重領域では圧密面に平行な粒子長軸および端部線の配向が顕著にみられている。

Ⅳ. 湿潤条件下における観察

粘性土では土粒子と水との相関がきわめて重要であるが、通常電子顕微鏡観察は乾燥過程を経て水分をなくした状態で実施される。ところが粘性土と走査型電子顕微鏡の特性を検討すると湿潤条件下で観察しうる可能性はある。すなわち粒子表面上の水分子は水素結合で吸着されているから、高真空 (10^{-5} mmHg) に

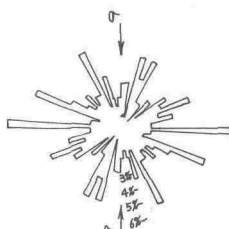


図7. KPI. V-断面

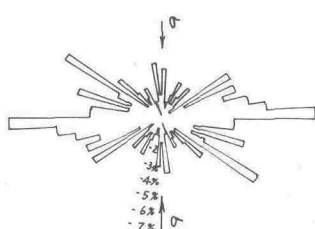


図8. KP3. V-断面

においても粒子表面にとじこまれる。さらに一方、水分子は双極子であるから顕微鏡の加速電圧の低い所では電子線のチャージアップと少なくすることができる。この2点にもとづいてベントナイトの圧密供試体と観察したものが写真17である。モンモリロナイトでは水分子の単層が含水比20%といわれているから、試料を15~20%まで予備排気によって真空乾燥させている。観察終了後の供試体の含水比は5.8%であった。二次電子の発生効率が悪く、分解能も落ちているから粒子形態を明確に示すまでにいたっていないが、写真で輝線の部分が吸着水と示している。さらに加速電圧をさげれば、粘性土と吸着水の保持状態で観察することが容易になると考えられる。なおここで用いた加速電圧は5KVである。

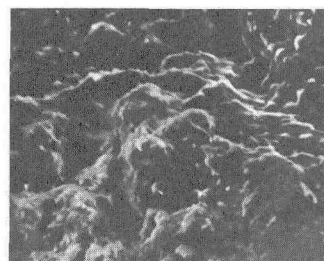


写真17. ベントナイト
BP3. V-断面 2μ
湿润条件下
観察前含水比18.0% 後含水比5.8%

V. 自然粘性土中の不均質体

土の構造を示す場合、さきのような粒子配向図は圧密供試体中に粘土粒子が均一分散している時、すなわちマトリックスと形成している時、有効な手段の一つである。

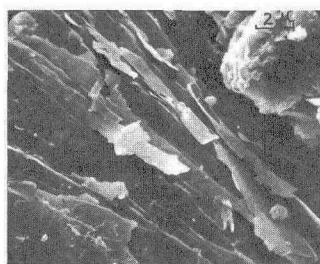


写真18. 石英粒子

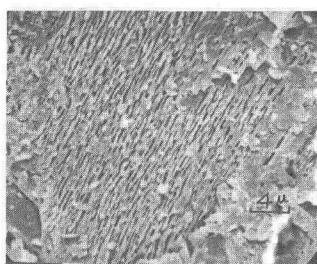


写真19. 長石粒子

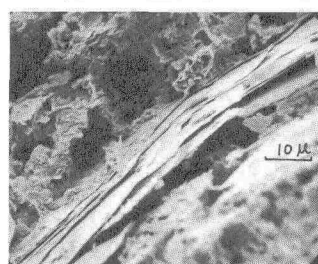


写真20. 雲母粒子

しかしながら、自然粘性土中には粒径が50μ以上の風化の進んだ石英、長石、雲母などの一次鉱物をはじめとして、ケイソウ土、ボール状物質の集合体などがいたる所にみられ、粘土鉱物の連続体的マトリックスに不連続性を与えていて、これらの物質が粘性土の力学特性における不均質性の原因の一つとなっており、粒子配向において定量表現の手法が必要であると考えている。

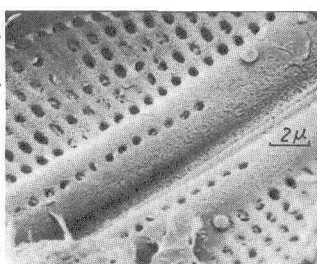


写真21. ケイソウ土

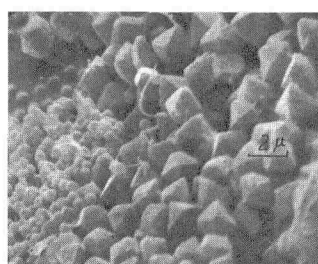


写真22. ボール状物質

質が粘性土の力学特性における不均質性の原因の一つとなっており、粒子配向において定量表現の手法が必要であると考えている。

VI. あとがき

本報告では、走査型電子顕微鏡によって観察した圧密構造と明らかにし、定量的表現の一つとして粒子傾斜角の頻度図と示したが、これは2次元の解析であるから今後はこれと3次元の解析へと拡張する予定である。また粘性土の湿润状態の観察では吸着水との関連の上から、より明確な像と得ることが課題として残されている。

参考文献: 1) Sides, G. and Barden, L. (1971); Canadian Geotechnical Journal, Vol. 8, pp. 391 ~ 399, 2) 松尾新一郎, 土門雅史 (1972); 第7回土質工学研究発表会講演集, pp. 105-108, 3) Friedman, M. (1963); State of Stress in the Earth's Crust, Proc. Int. Conf. pp. 450 ~ 452, 4) Anderson, D. M., and Low, P. F. (1958); Proc. Soil Scie Soc. Amer. Vol. 22, pp. 99 ~ 103.