

有明粘土における微視的土構造の 観察法について

根上武仁
日野剛徳
山寺 彰
立石義孝

佐賀大学理工学部都市工学科

佐賀大学低平地研究センター

日本工営(株)

大分県立中津工業高等学校土木科

1. はじめに

粘性土の微視的構造を調べる手法として、走査型電子顕微鏡などによる直接的な土構造の観察と、間隙径分布測定などによる半定量的なものがある^{1)~3)}。しかし、これらの手法を用いる際の供試体作製方法が研究者毎に異なっているなどの問題がある⁴⁾。本研究では有明粘土を対象に、微視的土構造観察および間隙分布測定のための供試体作製方法について述べる。また、この方法によって得られた観察結果について言及する。

2. 有明粘土の性質と供試体の作製法

表-1は、本研究で用いた有明粘土の物理化学的性質の一例を示したものである。サンプリング時に貝殻片が確認されたことから海成の有明粘土であると判断できるが、塩分濃度が低い。自然含水比が液性限界を超える高鋭敏性（高位の構造）の状態にあり、塩分溶脱の典型的な例を示している。このような粘土が佐賀低平地の各地に潜在している。

走査型電子顕微鏡（以降はSEMという）による観察と後述の水銀圧入型ポロシメーターによる間隙分布測定を行う際には、供試体をあらかじめ乾燥させておく必要がある。本研究で用いた有明粘土は含水比が高く、乾燥収縮の影響が大きいいため、凍結乾燥法による乾燥を行った。真空ポンプは排気速度50l/min、真空到達度 1×10^{-3} torrのものを使用した。

供試体を凍結乾燥させる場合、試料中の水分の凍結による膨張量を考慮する必要がある。通常、水が凍る際には約10%の体積膨張が生じるので、膨張量の少ない小さな供試体寸法が好ましい。ワ

表-1 有明粘土の物理的性質

土粒子の密度	ρ_s (g/cm ³)	2.57
自然含水比	w (%)	133
液性限界	w _L (%)	126
塑性限界	w _p (%)	81
塩分濃度	(g/l)	9.0
粒度組成	砂 (%)	1.5
	シルト (%)	33.0
	粘土 (%)	65.5

イヤーソーやカッターナイフなどで供試体を成形する際に生じる乱れの影響も考慮し、約5mm×5mm×7mmの直方体状に供試体寸法を設けた。この供試体を液体窒素中に浸して瞬結させた後、凍結乾燥器セル内に供試体を入れ、乾燥を行った⁵⁾。乾燥終了の目安は、試料に含まれる水分が完全に気化し、凍結乾燥器のセル室が室温状態となったときとした。

3. 走査型電子顕微鏡(SEM)による有明粘土の微視構造の観察

微視的土構造の観察の際は、観察倍率に注意する必要がある。日本統一分類法では、粒径5 μ m以下の粒子を粘土と定義している。本研究で用いた有明粘土は約70%の粘土粒子で占められている。そこで、観察倍率は粘土粒子5 μ mが明確に判別できる3000倍とし、スケールを併記することとした。図-1に示すように堆積方向と垂直な断面に対して観察を行った。

写真-1(a), (b), (c)は、有明粘土の炉乾燥および凍結乾燥試料の電子顕微鏡写真を示したものである。写真-1(a)に示す炉乾燥の場合は、土粒子やその集合体が凝集した様相を示している。これ

に対し、写真-1(b)に示す凍結乾燥の場合は、土粒子やその集合体が強く凝集したような部分が少ない。

凍結乾燥を行う際の真空ポンプの性能が低い（真空到達度が低い、または排気容量が小さい）場合、凍結乾燥が行き届かない場合がある。写真-1(c)は凍結乾燥したものであるが、凍結乾燥時に室温状態で真空到達度が低い場合の状態を示したものである。炉乾燥試料ほどではないにせよ、微細な粒子が互いに凝集してあかかも団粒化したような様相を呈しており、微視的土構造の観察には不適當である。このような凍結乾燥の失敗については、供試体表面に肉眼で確認できる微小なクラックが無数に生じることからも判断できる。

写真-2は、詳細にわたって微視的土構造を観察するため、連続して撮影したSEM写真を並べマップ状にしたものである。右上部分に珪藻遺骸とパイライトが確認できる。また左側には珪藻遺骸の破砕片があり、中央付近にはシルト粒子に相当する粒子が確認できる。これらの他に、様々な形状の土粒子、その集合体であるアグリゲーション(aggregation)や空隙(pore)があることがわかる⁶⁾。

日本の沖積粘土には、珪藻遺骸が多く含まれることが知られている^{7),8)}が、パイライト(FeS)の存在に関する議論は多くない。写真-1(b)や写真-2に認められるパイライトは生物活動に由来するものであり、珪藻遺骸中あるいはその付近によく見られる⁹⁾。

また写真-5は、有明粘土中に含まれるペレット¹⁰⁾のSEM写真である。本試料は有明海湾奥における潮下帯(水深-3m~-10m)の海底地盤から得られたものであるが、有明粘土中にはペレットと呼ばれる微生物の糞も含まれていることがわかってきた。

4. 水銀圧入型ポロシメーターによる間隙径分布測定

図-2は、水銀圧入型ポロシメーターによる有明粘土の間隙径分布測定の一例を示したものである。同図には、間隙への水銀注入曲線および水銀注入量から求めた間隙径分布曲線を併記している。圧密降伏応力が $1.8\text{MN}/\text{m}^2$ 程度の珪藻土の場合、炉乾燥法と凍結乾燥法による間隙分布測定結果の差はほぼ認められない状態であった³⁾が、軟弱な有明粘土の場合は、乾燥法の違いで水銀注入量にかなりの差が生じている。また、炉乾燥した

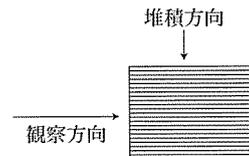


図-1 微視的土構造の観察断面

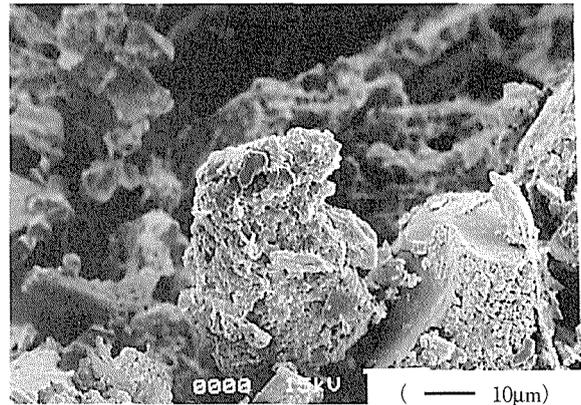


写真-1(a) 炉乾燥した試料

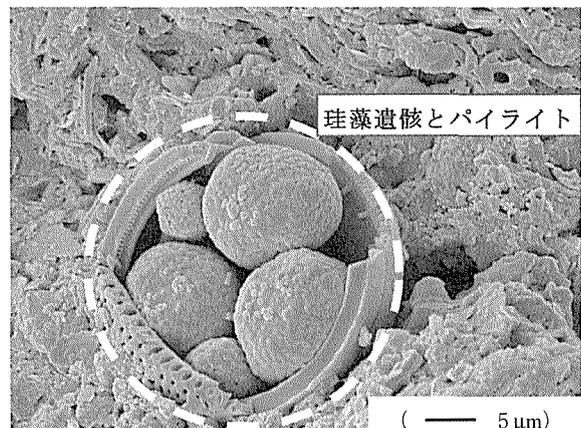


写真-1(b) 凍結乾燥した試料

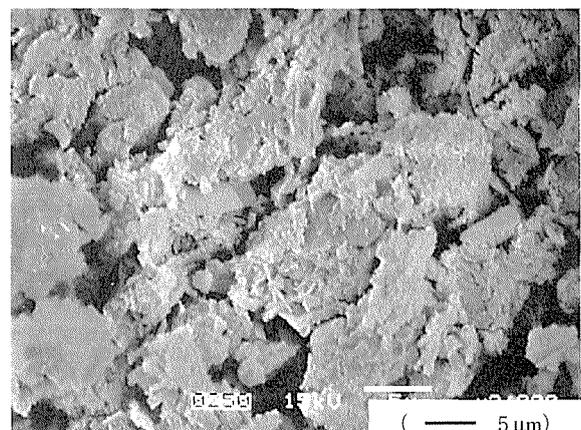


写真-1(c) 凍結乾燥した試料
(十分に低温が保てず、真空度も低い場合.)

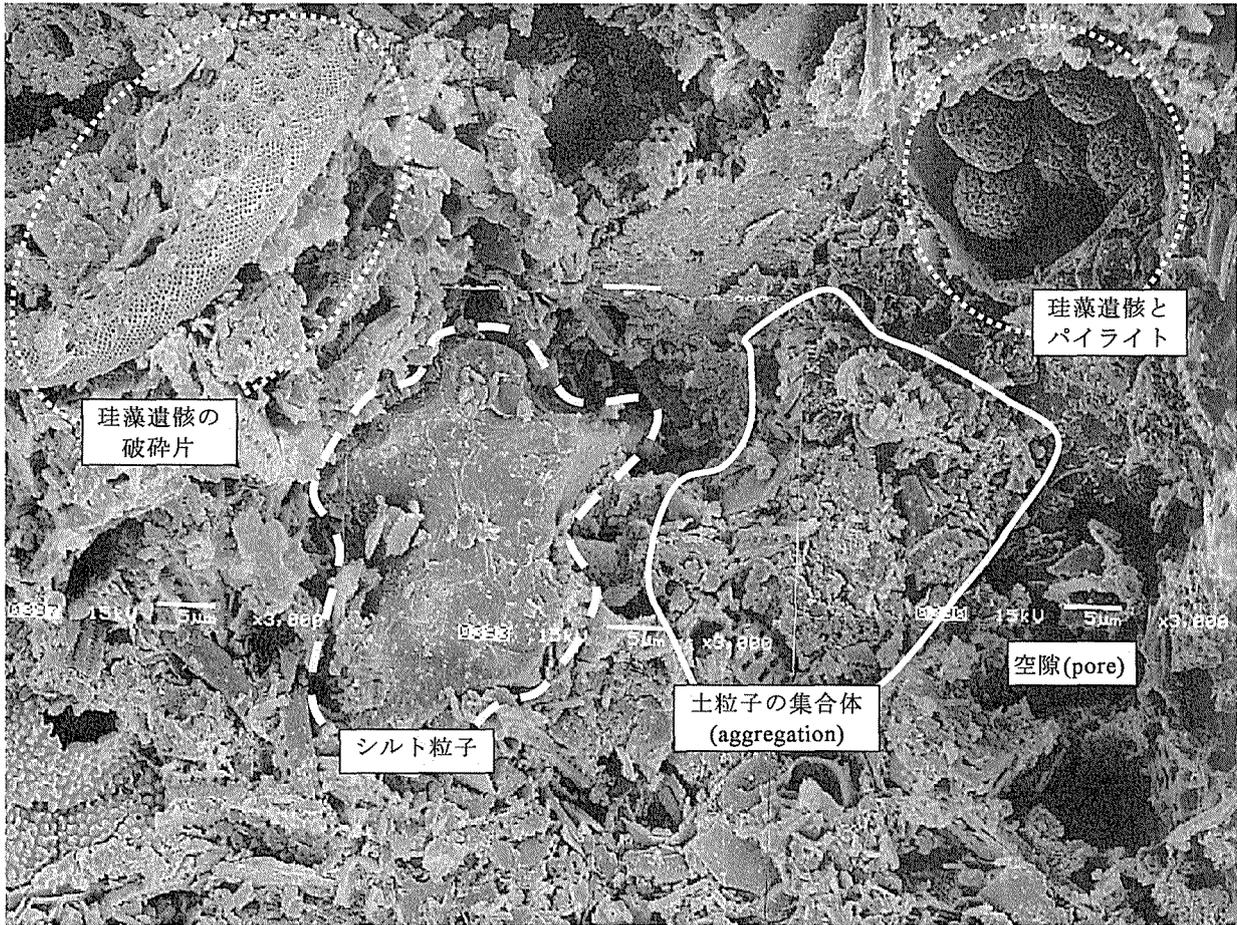


写真-2 有明粘土の乱さない試料のSEM写真
(連続撮影した写真をつなぎ合わせ、マップ状にしたもの)

(— 5μm)

場合は1~10μmの大きさに相当する間隙径の部分が収縮による影響を顕著に受けていることがわかる。このような間隙分布の測定結果からも、乾燥に伴う収縮の影響が大きいと考えられる試料は、炉乾燥法よりも凍結乾燥法がより適切であるといえる。

以上の検討結果に基づいて、有明粘土の微視構造観察用供試体作製法とその後の利用についてまとめると、図-3のようなフロー図が得られる。

5. 結論

本研究で得られた知見を要約すると、次のとおりである。

- 1) 乾燥収縮の影響が大きい試料は、凍結乾燥法で乾燥させる方がよいが、供試体寸法に十分注意する必要がある。
- 2) 珩藻土のような固結力の発達した堅固な試料の場合、必ずしも凍結乾燥を行う必要はない。
- 3) SEM観察を行う場合は、対象試料の粒径に注意する必要がある。粘土を観察する場合には、5μmの粒子形状が判別できる観察倍率とし、

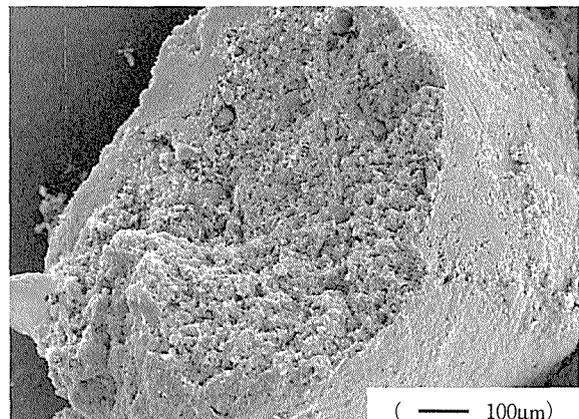


写真-3 有明粘土中のペレット

(— 100μm)

さらにスケールも併記することが望ましい。

- 4) 有明粘土を炉乾燥すると、主に1~10μmの大きさに相当する間隙が収縮による影響を受ける。
- 5) 有明粘土の微視構造観察用供試体作製法とその後の利用に関するフロー図を提示した。

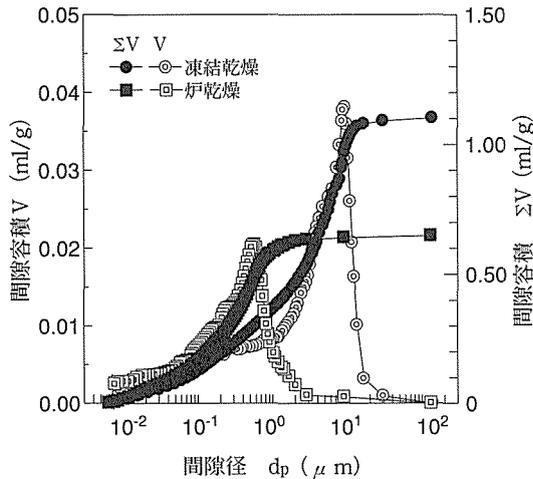


図-2 凍結乾燥および炉乾燥試料の間隙分布曲線

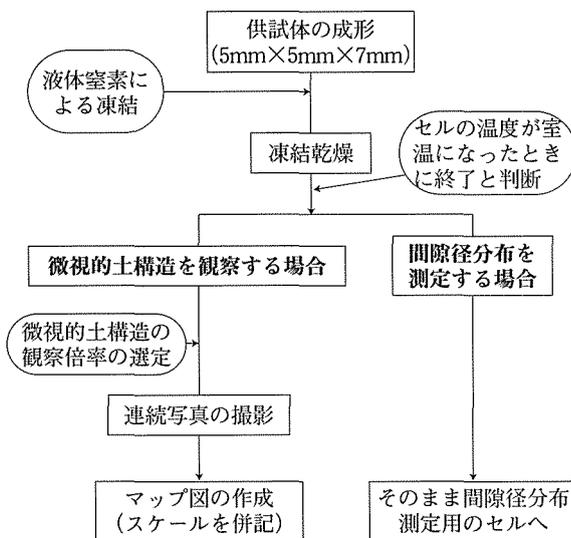


図-3 有明粘土の微視的土構造の観察方法とその利用

参考文献

- 1) 鬼塚克忠, 根上武仁: 有明粘土の乱さない試料および再圧密試料の微視的土構造, 土と基礎, Vol.46, No.4, pp.17-20, 1998.
- 2) 立石義孝, 鬼塚克忠, 廣澤茂, 根上武仁: 珪藻土の微視的構造と力学特性, 土木学会論文集, No.610/Ⅲ-45, pp.19-29, 1998.
- 3) 三浦哲彦, 山寺彰, 日野剛徳: 間隙分布の測定に基づく海成粘土の圧縮特性に関する考察, 土木学会論文集, No.624/Ⅲ-47, pp.203-215, 1999.
- 4) 日野剛徳, 三浦哲彦: 「講座」土の構造とメカニクス—マクロからマイクロへ— 2. 土の微視的構造を探るための実験的研究 (その4), 土と基礎, Vol.50, No.5, pp.36-40, 2002.
- 5) 多目的電子顕微鏡編集委員会編: 多目的電子顕微鏡一見, 測る, 確かめる一, 共立出版株式会社, 474p, 1991.
- 6) 松尾新一郎・嘉門雅史: 粘土の構造に関する用語について, 土と基礎, Vol.24, No.1, pp.54-64, 1976.
- 7) 山内豊聡, 前田隆: 本邦各種粘性土の土構造と工学的性質, 多賀出版, p.253, 1985.
- 8) 田中洋行, Locat, J.: 塑性指数に関する再考察, 土と基礎, Vol.46, No.4, pp.9-12, 1998.

- 9) 下山正一: 有明海北岸低平地の成因と海岸線の変遷, 文明のクロスロード Museum Kyushu, 博物館等建設推進九州会議, Vol.14, No.2, 1996.
- 10) 嘉門雅史, 曾我健一, 木山正明, 井上啓司: 大阪湾海成粘土のペレットの出現特性とその土質工学的性質への影響, 土質工学会論文報告集, Vol.29, No.2, pp.181-189, 1989.



著者略歴

根上 武仁

(ねがみ たけひと)

- 2000年 佐賀大学大学院工学系研究科博士後期課程修了
- 2000年 佐賀大学理工学部助手
- 博士 (工学)



著者略歴

日野 剛徳

(ひの たけのり)

- 1997年 佐賀大学大学院工学系研究科博士後期課程修了
- 1997年 佐賀大学低平地防災研究センター助手
- 2001年 佐賀大学低平地研究センター講師
- 博士 (工学)



著者略歴

山寺 彰

(やまでら あきら)

- 1999年 佐賀大学大学院工学系研究科博士後期課程修了
- 1999年 日本工営株式会社
- 博士 (工学)



著者略歴

立石 義孝

(たていし よしたか)

- 1976年 日本大学理工学部土木工学科卒業
- 1976年 日本大学理工学部土木工学科副手
- 1979年 大分県立日田林工高等学校教諭
- 1997年 佐賀大学大学院工学系研究科後期課程修了
- 1997年 大分県立中津工業高等学校教諭
- 博士 (工学)