

珪藻土の微視的構造と力学特性

立石義孝¹・鬼塚克忠²・廣澤茂³・根上武仁⁴

¹正会員 博士(工) 大分県立日田林工高等学校教諭 土木科 (〒877-8691 日田市吹上町30番地)

²正会員 工博 佐賀大学教授 理工学部都市工学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³正会員 工修 若築建設株式会社 (前佐賀大学大学院博士前期課程土木工学専攻)

⁴学生会員 工修 佐賀大学大学院博士後期課程システム生産科学専攻

植物起源の有機質珪質土である珪藻土は、普通の粘土鉱物とは成因が異なり、土粒子の超微細多孔質な構造とセメンテーション作用が強度特性を支配している。乱さない状態では軟岩的な力学挙動を示し、岩と土の中間的な力学的性状を呈する。本論文ではセメンテーション作用により固結した珪藻土の微視的構造特性と力学的挙動の関係を調べるために、走査型電子顕微鏡と水銀圧入型ポロシメーター細孔分布測定装置を併用した。電子顕微鏡写真と間隙分布より珪藻土の微視的な構造特性について解明し、珪藻土の脆的な破壊現象は珪藻遺骸の粒子破壊と骨格構造の破壊によって生じることなどを明らかにした。

Key Words : diatom earth, soil structure, void distribution, cementation, particle breakage scanning electron micrograph

1. まえがき

珪藻土は超微細多孔質な構造とセメンテーションによる固結力の影響が顕著であり、岩と土の中間的な軟岩状を呈する。その力学的挙動などは未知な部分が多い。すなわち、表-1に示すように自然含水比が高く、密度が小さく、間隙比が大きいかもかわらず大きな強度特性、高い間隙水圧の挙動、大きな圧密降伏応力と、この降伏応力を境に過圧密と正規圧密域での挙動、および脆的な破壊形態などである。

上記のような挙動は珪藻遺骸の性質、続成作用、珪藻遺骸によるセメンテーション効果、および骨格の配列による土構造などにより、発現していることが十分想像できる。

珪藻土の基本的な物理・化学的性質やセメンテーション作用による力学的性質^{1), 2), 3)}などが解明されつつある。しかし、珪藻土の微視的な構造と力学的挙動の関係などは十分に明らかにされていない。

これらを解明するため等方圧密および三軸圧縮の各試験を行ない、乱さない珪藻土の変形と強度特性について考察した。次に走査型電子顕微鏡と水銀圧入型ポロシメーター細孔分布測定装置を併用して珪藻土の構造を明らかにし、力学的挙動を微視的な観点からも考察を試みた。

表-1 試験に使用した珪藻土の性質

試料の状態	乱さない供試体
土粒子の密度 (g/cm ³)	2.07
含水比 (%)	165.6
湿潤密度 (g/cm ³)	1.306
乾燥密度 (g/cm ³)	0.492
間隙比	3.20
圧密降伏応力 (kPa)	1893

(採取地：大分県玖珠郡九重町野上)

2. 珪藻土の微視的構造

(1) 珪藻土の電子顕微鏡写真

乱さない珪藻土の試料を走査型電子顕微鏡を用いて撮影したものが写真-1(倍率200倍)であり、5000倍に拡大したものが写真-2である。写真から明らかに単一粒子の珪藻遺骸が複数集まって、一つの集合体を形成しベッド化が見受けられる。

また、珪藻土の間隙は、集合体の周りの間隙と珪藻遺骸の相互間の間隙および写真-3に示すように珪藻遺骸自身の微細孔の間隙から構成されている(図-16の珪藻土の構造モデルを参照)。珪藻土の構造モデルは、粘土において提案されている土構造⁴⁾と同様にベッドとポアで表わせる。

しかし、粘土の場合は凝集した団粒化構造であ

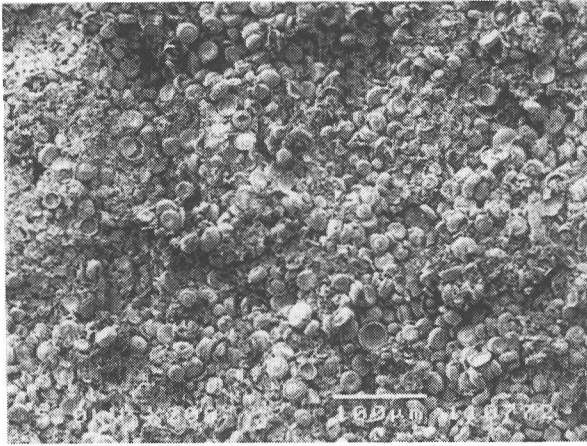


写真-1 珪藻土中の遺骸 倍率200倍(—— 100 μm)

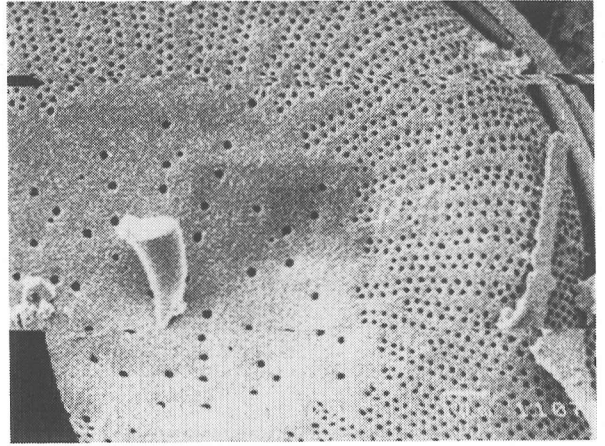


写真-3 珪藻自身の微細孔 倍率10000倍(—— 1 μm)

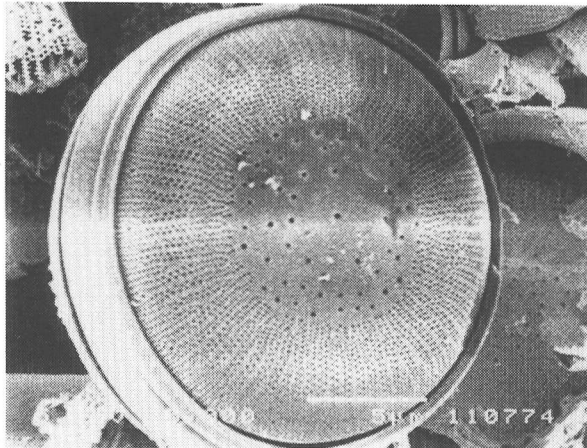


写真-2 珪藻土を構成している単一遺骸
倍率5000倍(—— 5 μm)

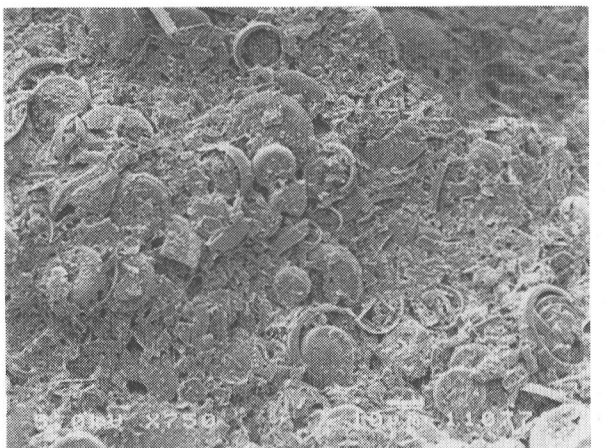


写真-4 乱した珪藻土 倍率750倍(—— 10 μm)

るが、珪藻土は珪藻遺骸の単一粒子の集合体であり、単一粒子間のセメンテーションなどによる固結力の作用を無視できない。

外的作用などで珪藻土が乱され、粒子破碎や構造の破壊を生じた場合は、粘土の団粒化構造モデルが有用である。乱した(供試体作製時に削り取ったもの)珪藻土を写真-4、乱さない珪藻土に等方圧9807kPaを載荷したものを写真-5に示す。

これらの写真から乱された珪藻土は、珪藻遺骸が破碎し、輪郭や遺骸片が入り乱れ、特に写真-5の高い拘束圧では団粒化しているように見える。

(2) 珪藻土の間隙分布

約0.0064~400 μmの細孔径が測定可能な水銀圧入型ポロシメーター細孔分布測定装置(以後は単にポロシメーターと呼称する)で珪藻土の間隙分布を測定した。

a) 水銀圧入法による間隙分布測定法

水銀圧入法は「水銀はほとんどの物質の細孔壁を濡らさない(接触角 $\theta > 90^\circ$)」ので、強制的に加圧しないと細孔中に水銀が浸入していかない」という簡単な物理的原理に基づいている。



写真-5 等方圧9807kPaを載荷した珪藻土
倍率750倍(—— 10 μ m)

すなわち、

$$p \cdot d_p = -4\gamma \cdot \cos\theta \quad (1)$$

ここで、

- p : 圧力
- d_p : 細孔直径
- γ : 水銀の表面張力
- θ : 水銀と試料の接触角

式(1)はウォッシュバーン(Washburn)の提案式⁵⁾である。式(1)の右辺は測定物質固有の定数となり、圧力および細孔直径に対する水銀の浸入量を求める。水銀の浸入量は直径d_pより大きい細孔の累積容積を示す。水銀の表面張力 γ と水銀と試料の接触角 θ の値は研究者により異なる。各種土を対象にした研究報告⁶⁾を参考に、珪藻土の場合は $\gamma=480\text{dyne/cm}$, $\theta=140^\circ$ を用いる。

水銀圧入法で使用する細孔分布関数に容積基準を用いた。容積基準の細孔分布関数をDv(r)とすると、細孔半径rと(r+dr)間の細孔容積dVは、

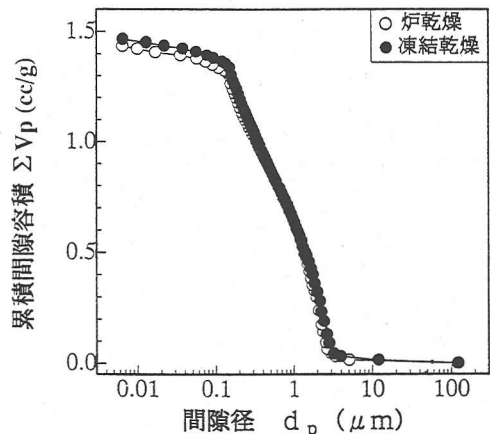
$$Dv(r) = dV/dr \quad (2)$$

と定義される。

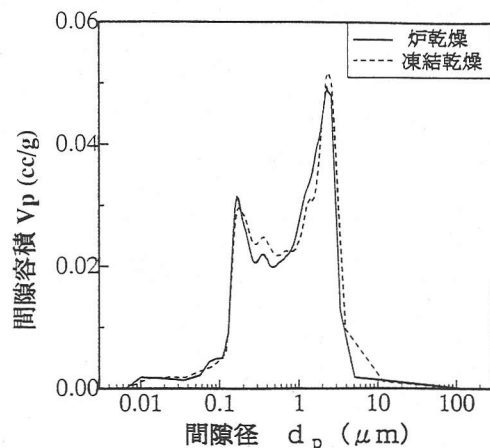
容積基準の指数細孔分布関数をDv(log r)とすると、細孔半径(log r)と(log r)+d(log r)間の細孔容積dV(log r)は、

$$Dv(\log r) = dV/d(\log r) = r \cdot dV/dr \quad (3)$$

と定義される。



(a)累積間隙容積曲線



(b)間隙分布曲線

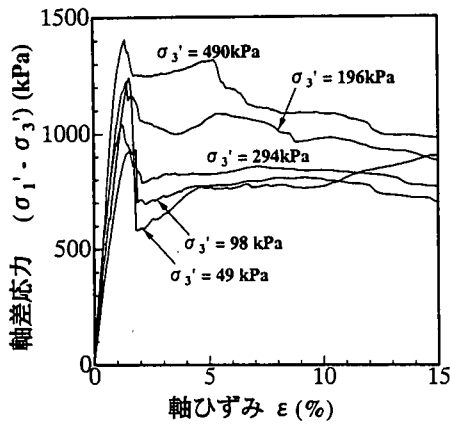
図-1 乾燥方法の違いによる珪藻土の間隙の差異

この分布関数をもとに累積間隙容積 $\Sigma v_p \sim$ 間隙径d_pと間隙容積v_p～間隙径d_pの関係を求めた。

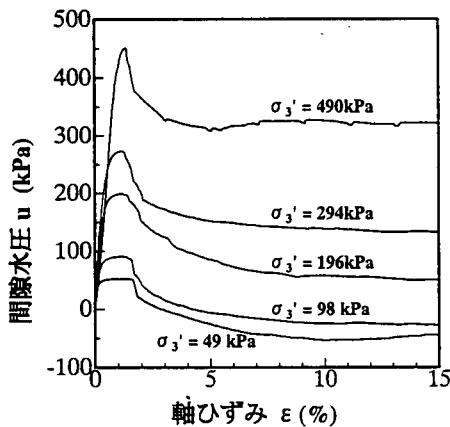
b) 乾燥方法の違いによる間隙分布の比較

一般に間隙分布測定に用いる試料は、乾燥収縮による影響を抑えるため凍結乾燥したものを用いる⁷⁾。しかし、珪藻土の場合は間隙分布測定に及ぼす炉乾燥収縮の影響は図-1(a), (b)に示すように非常に少ない。炉乾燥法と凍結乾燥法の両試料ともほぼ同様な曲線形状を示す。同図(a)の累積間隙容積は凍結乾燥試料に比べ炉乾燥試料が約2.1%収縮している。

また、同図(b)の間隙分布曲線も同様であり、乾燥方法の違いによる間隙分布の差はほとんどないと判断できる。粘土などに比して剛性の大きい珪藻土は乾燥収縮による影響を無視できるものとして、測定試料には全て炉乾燥試料を用いた。

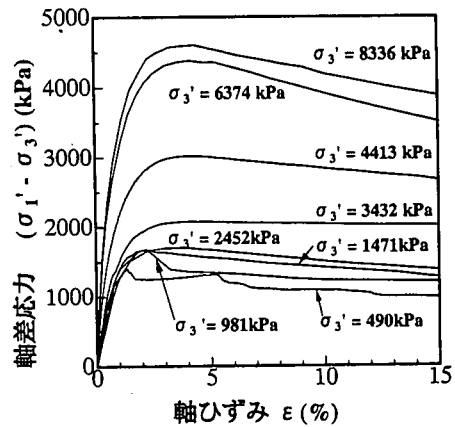


(a) 軸差応力～軸ひずみ曲線

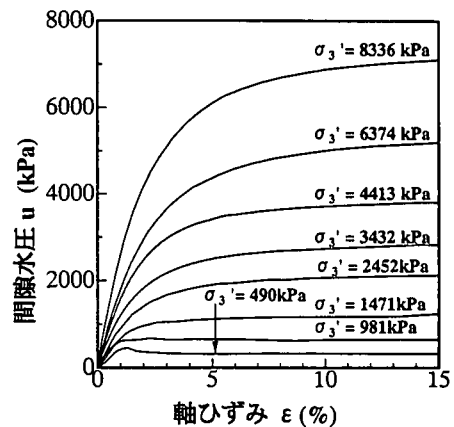


(b) 間隙水圧～軸ひずみ曲線

図-2 低拘束圧域におけるCU三軸圧縮試験結果 ($\sigma_3' = 49 \sim 490 \text{ kPa}$)



(a) 軸差応力～軸ひずみ曲線



(b) 間隙水圧～軸ひずみ曲線

図-3 高拘束圧域におけるCU三軸圧縮試験結果 ($\sigma_3' = 490 \sim 8336 \text{ kPa}$)

c) 珪藻土の間隙容積と間隙分布特性

採取した状態での珪藻土の間隙容積と間隙径は図-1(b)のように二つのピークを示す。

粘土構造のベッドとポアの種類⁴⁾によると、左側の間隙径の小さいピークはマイクロポア (0.01～1 μm) であり右側の間隙径の大きいピークはメソポア (1～10 μm) と推定できる。

珪藻土においてマクロポア (10 μm以上) はほとんど存在せず、珪藻遺骸の相互間の間隙であるメソポアと、珪藻遺骸自身が持つ微細孔のマイクロポアにより構成されている。

これらのポアにより間隙比が2.89～3.54 (間隙率70%以上) と超微細多孔質土であることが分かる。

多孔質であるにもかかわらず、透水係数が $10^{-6} \sim 10^{-8} \text{ cm/s}$ と低いのは透水経路が超微細孔で複雑な岐路状態を呈しているためである。

3. 珪藻土の三軸圧縮特性

(1) 供試体の作製と試験方法

乱さないようにブロックサンプリングした試料 (地下水表面近くに位置し、ほぼ飽和状態である) をトリマーと直ナイフ、ワイヤーソーなどで直径3.5cm、高さ約7.0cmの円柱供試体に成形した。

その平均的な物理的性質は表-1に示す。両端・側面排水させるため供試体周囲にペーパードレーンを巻き、試験前にはB値が0.95以上となるよう真空引きなどにより脱気水を24～48時間程かけて通水した。この供試体を用いて背圧490kPa、有効拘束圧 $\sigma_3' = 49 \sim 8336 \text{ kPa}$ 、圧縮速度0.04%/minの条件下で圧密非排水(CU)三軸圧縮試験を行った。

(2) 軸差応力・間隙水圧と軸ひずみ曲線の関係

等方圧密試験による圧密降伏応力 p_c は1893kPaである。以下、この p_c を基準に過圧密域と正規圧

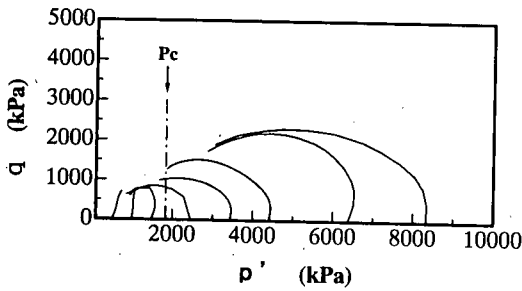


図-4 珪藻土の有効応力経路

密域に分けて考察する。

$\sigma_3' = 49 \sim 490$ kPaの低拘束圧域の軸差応力($\sigma_1' - \sigma_3'$) \sim 軸ひずみ ϵ 曲線と間隙水圧 $u \sim$ 軸ひずみ ϵ 曲線を図-2(a), (b)に示す。また、 $\sigma_3' = 490 \sim 8336$ kPaの高拘束圧域における($\sigma_1' - \sigma_3'$) $\sim \epsilon$ 曲線と $u \sim \epsilon$ 曲線を図-3(a), (b)に示す。

図-2(a), 図-3(a)の($\sigma_1' - \sigma_3'$) $\sim \epsilon$ 曲線においては過圧密と正規圧密どちらの領域においても、軸ひずみ約2%前後までは急激に応力が立ち上がる。その後、過圧密域のものは脆性的破壊を示す。

正規圧密域においては拘束圧の増大ともなってピーク時の軸ひずみも増大し、その後は徐々にひずみ軟化の傾向を示している。また、間隙水圧の上昇が著しいと、間隙水圧の大きさが拘束圧の大きさ付近まで達することが特徴である。

(3) 有効応力経路と非排水せん断強度特性⁹⁾

有効応力経路を図-4に示すように、過圧密域は直線的に立ち上がり、正規圧密域においては左に大きく弧を描き、間隙水圧の上昇が著しいことが分かる。有効拘束圧 $\sigma_r' (= \sigma_3')$ と非排水せん断強度 $c_u = (\sigma_1' - \sigma_3')/2$ の関係を図-5に示す。後述の三軸圧縮試験後の電子顕微鏡写真(図-11(a) \sim 図-14(a))とともに考察する。

多孔質でセメンテーション作用に依存する本珪藻土の過圧密域から正規圧密域への移行過程は、セメンテーション依存型から応力依存型へ移行する過程でもある。この移行過程の説明はセメンテーションが特定の応力や変形量を境にして瞬時に消滅するのではなく、変形を伴いながら順次に応力依存型へ性状を変える¹⁾という考察に加え、微視的な観点から次のように説明できる。

低い拘束圧における過圧密域の珪藻土を図-11(a)に示す。珪藻の輪郭部の欠損がごく一部に見受けられるが、せん断強さはセメンテーション作用に依存しているため、破碎の影響はなく土構造

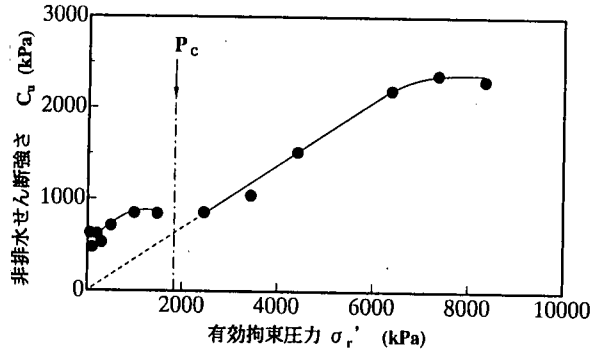


図-5 珪藻土の非排水せん断強さ

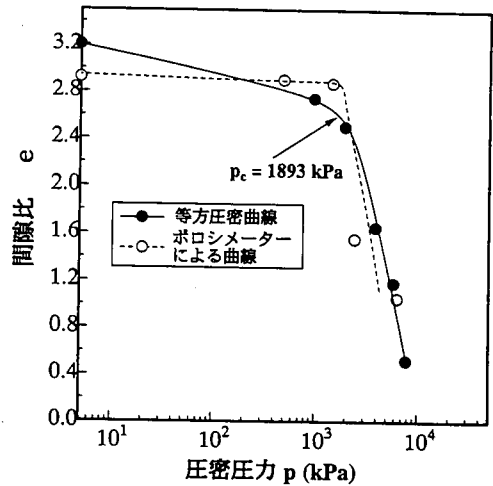


図-6 ポロシメーターによる間隙比と等方圧密曲線の関係

を維持している。しかし、圧密降伏応力直前の過圧密域の状態を図-12(a)に示すように、珪藻自身と輪郭にひび割れや破損が生じている。粒子破碎の様相を呈しているが、図-6の等方圧密曲線から推察すると、土構造はセメンテーション作用により保たれつつ、せん断強さを発揮していると考えられる。せん断強度の増加は認められず拘束圧の影響を受けない。

正規圧密域でのせん断強さは、土構造の破壊と珪藻遺骸の破碎がセメンテーションを消失して、破碎した遺骸の再配列と骨格構造の変形の両者が高密度化(図-13(a)参照)を促進しながら強度を増加する。さらに、拘束圧が6374 kPa以上になる

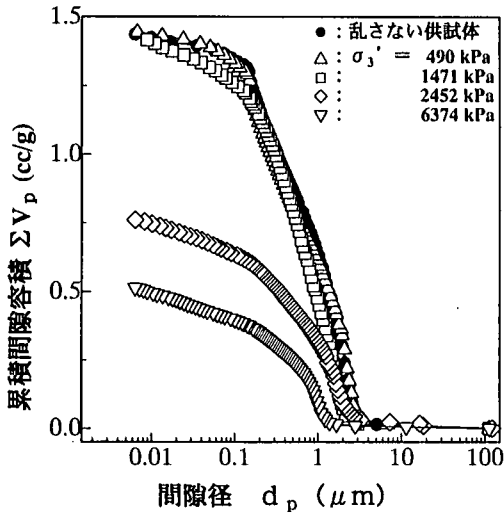


図-7 三軸圧縮試験後の累積間隙容積曲線

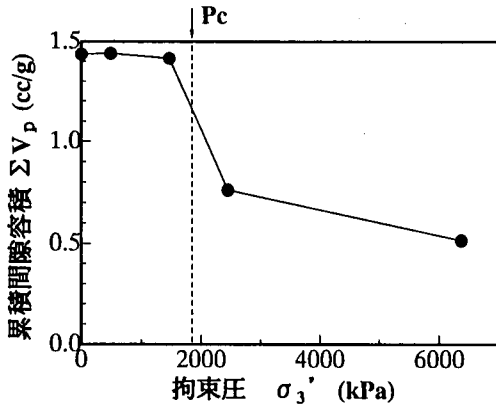


図-8 三軸圧縮試験後の累積間隙容積と間隙径の関係

と図-14(a)のように著しい粒子破碎を生じるため性状が変化し、せん断強さは増加しなくなる。粒子破碎が進むと図-5から分かるように拘束圧が増えてもせん断強さがほぼ一定値に近づく。

せん断特性に及ぼす粒子破碎の影響については、高圧下における砂、しらす、まさ土などでも報告されている⁹⁾。

4. 珪藻土の構造と力学的挙動特性¹⁰⁾

(1) 圧密した珪藻土の間隙分布特性

圧密降伏応力値の大きさの前後で、各2通りの拘束圧レベルによる三軸圧縮試験後の供試体の間隙分布を測定した。水銀圧入法によるポロシメーターで得られた間隙比と等方圧密曲線を図-6に示す。同図よりポロシメーターと等方圧密試験によ

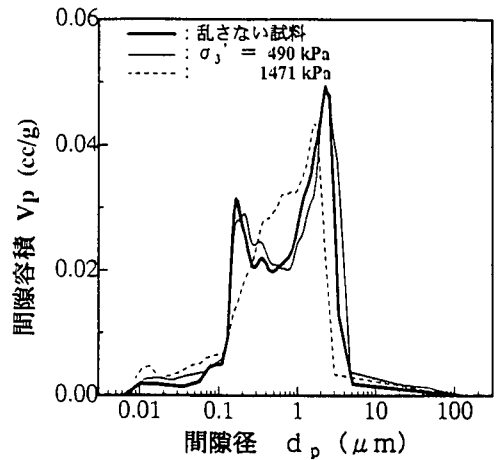


図-9 拘束圧が過圧密域の間隙分布曲線

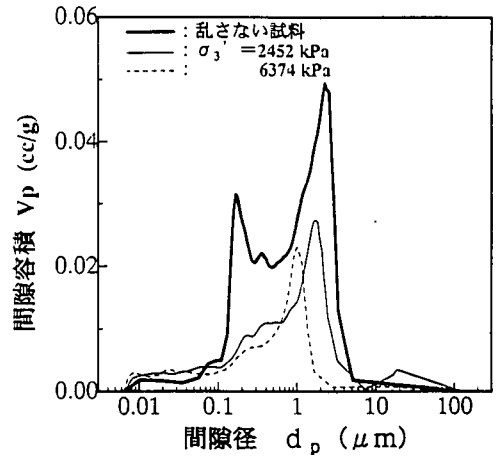


図-10 拘束圧が正規圧密域の間隙分布曲線

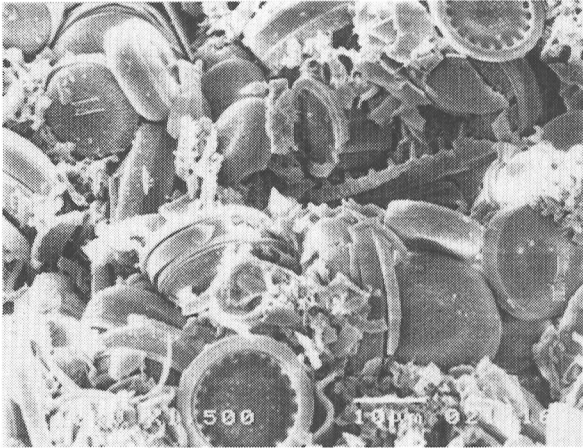
る間隙比の関係は、高い相関性を示していることが分かる。超微細多孔質でセメンテーション作用に依存する珪藻土では、過圧密域から正規圧密域への移行過程において、大きな圧密沈下を呈することになる。

(2) 三軸圧縮試験後の間隙分布と拘束圧の関係

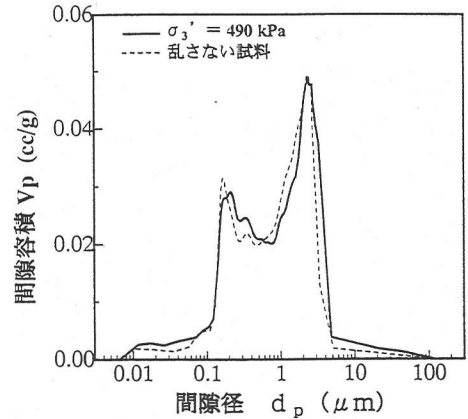
三軸圧縮試験後に過圧密域で有効拘束圧が490 kPaと1471 kPa、正規圧密域で有効拘束圧が2452 kPaと6374 kPaの4通りの供試体についてポロシメーターにより間隙分布を測定した。

累積間隙容積と間隙径の関係を図-7に示す。拘束圧条件が過圧密域での累積間隙容積曲線の立ち上がりや収束状況などは、乱さない供試体 ($\sigma'_3 = 0$) のものと非常に類似した形状となっている。

一方、正規圧密域での累積間隙容積曲線では極



(a) 電子顕微鏡写真 倍率1500倍 (—— 10 μm)



(b) 間隙分布曲線

図-11 低い拘束圧状態で三軸圧縮試験後の微視的土構造 ($\sigma_3' = 490 \text{ kPa}$)

端に立ち上がりが緩やかとなり、累積間隙容積が拘束圧に依存する。乱さない供試体に比べて有効拘束圧 $\sigma_3' = 6374 \text{ kPa}$ の供試体の累積間隙容積が、約1/3に減少して高密度化が進行している。

この曲線をもとに、累積間隙容積と有効拘束圧 σ_3' の関係を示したものが図-8である。拘束圧が圧密降伏応力 1893 kPa の値を越えるまで、累積間隙容積の値はほぼ横ばいで一定であるが、拘束圧が圧密降伏応力を超えると急激に累積間隙容積が減少している。

上述の累積間隙容積は4. (1)において考察したように、過圧密域内の圧密度は極めて少ない。

しかし、圧密降伏応力を超えると様相は一変し、圧密度は大きくなることを示している。過圧密域と正規圧密域における間隙容積と間隙径の関係を示したのが図-9と図-10である。

これらについては、電子顕微鏡写真と対比させて、次の(3)節で詳しく論ずることにする。

(3) 三軸圧縮試験後の微視的構造

a) 低拘束圧状態での土構造

三軸圧縮試験において、圧密降伏応力よりかなり小さい過圧密域における拘束圧のもとで、せん断破壊した供試体の微視的土構造を図-11(a), (b)に示す。多数のきれいな円盤形状の珪藻遺骸が比較的ランダムに配列しているのが確認できる。

また、珪藻遺骸自身に無数の細孔が存在する。この細孔の存在とランダムな配列が高間隙の原因である。

$\sigma_3' = 490 \text{ kPa}$ の低拘束力状態の間隙分布曲線は、

採取した状態の乱さない試料と同様に、間隙径が $1 \mu\text{m}$ を境に約 $0.2 \mu\text{m}$ と $3.0 \mu\text{m}$ 付近の2箇所ピークを有する分布である。このときの変形は弾性的な挙動を示す。

b) 圧密降伏応力付近での土構造

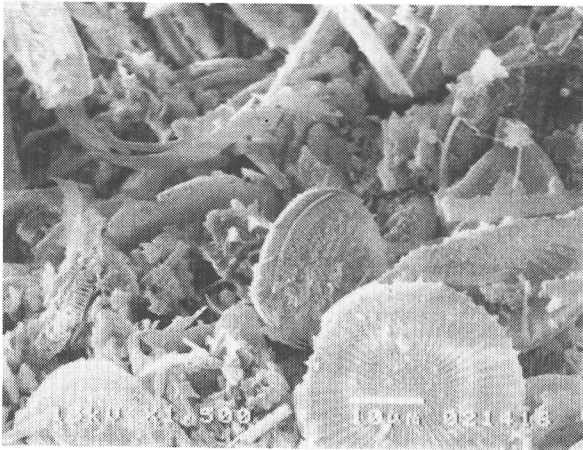
過圧密応力状態で圧密降伏応力よりやや小さい応力下 ($\sigma_3' = 1471 \text{ kPa}$) が作用した場合の微視的土構造を図-12(a), (b)に示す。

電子顕微鏡写真では円盤形状を保ってはいるものの、その外殻などが欠落し散乱している。間隙分布曲線で二つ存在していたピークは左側のミクロポアを中心としたピークが無くなり、ピークとピークの谷間に移行してメゾポア域である右側の方に偏った形状となる。

この要因として、応力が増加しても珪藻遺骸間のセメンテーションの一部は残存しているが、珪藻遺骸の外殻の欠落および遺骸のクラックにより、ミクロポアの減少分がメゾポアを増加させ、累積間隙容積はあまり変化せずメゾポアを主体とした間隙分布になると考える。

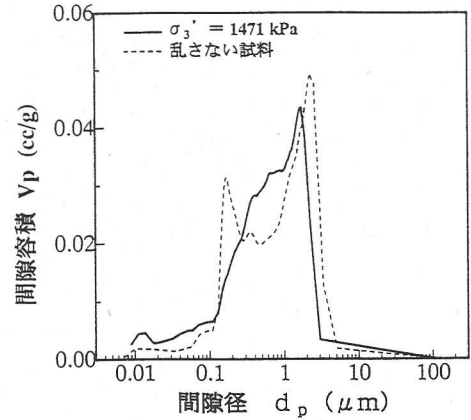
正規圧密応力状態で圧密降伏応力よりやや大きい応力下 ($\sigma_3' = 2452 \text{ kPa}$) が作用した場合の微視的土構造を図-13(a), (b)に示す。

円盤状を保った粒子は少なくクラックが発生し、遊離した外殻は細分化しより高密度化している。圧密非排水三軸圧縮試験においては明確な応力依存型の強度特性、および間隙水圧の著しい増大などの挙動を呈する。この挙動は構造を形成している珪藻遺骸自身の破碎とセメンテーションを有する土構造の破壊などによるものであり、過圧密域



(a) 電子顕微鏡写真 倍率1500倍 (—— $10 \mu\text{m}$)

図-12 圧密降伏応力よりやや小さい拘束圧状態で三軸圧縮試験後の微視的土構造 ($\sigma_3' = 1471$ kPa)

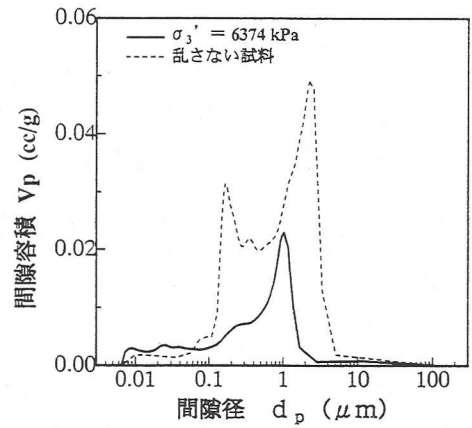


(b) 間隙分布曲線

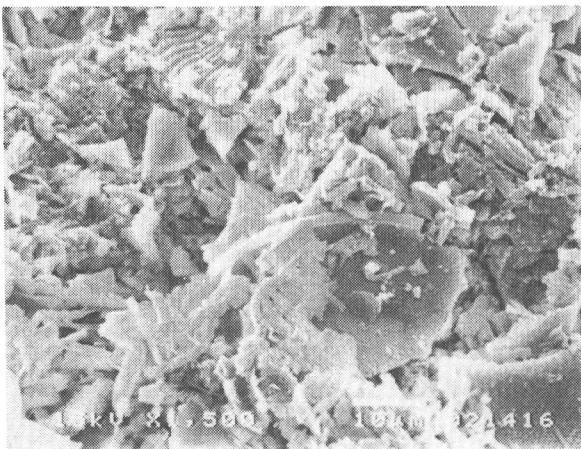


(a) 電子顕微鏡写真 倍率1500倍 (—— $10 \mu\text{m}$)

図-13 圧密降伏応力よりやや大きい拘束圧状態で三軸圧縮試験後の微視的土構造 ($\sigma_3' = 2452$ kPa)

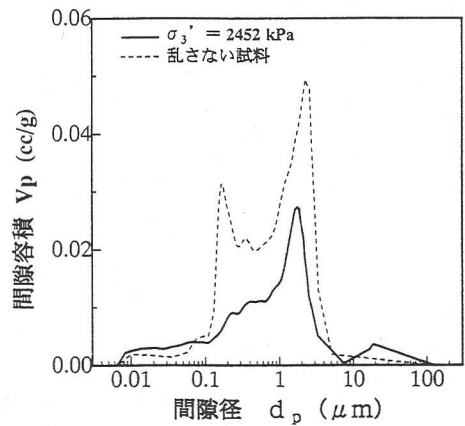


(b) 間隙分布曲線



(a) 電子顕微鏡写真 倍率1500倍 (—— $10 \mu\text{m}$)

図-14 高い拘束圧状態で三軸圧縮試験後の微視的土構造 ($\sigma_3' = 6374$ kPa)



(b) 間隙分布曲線

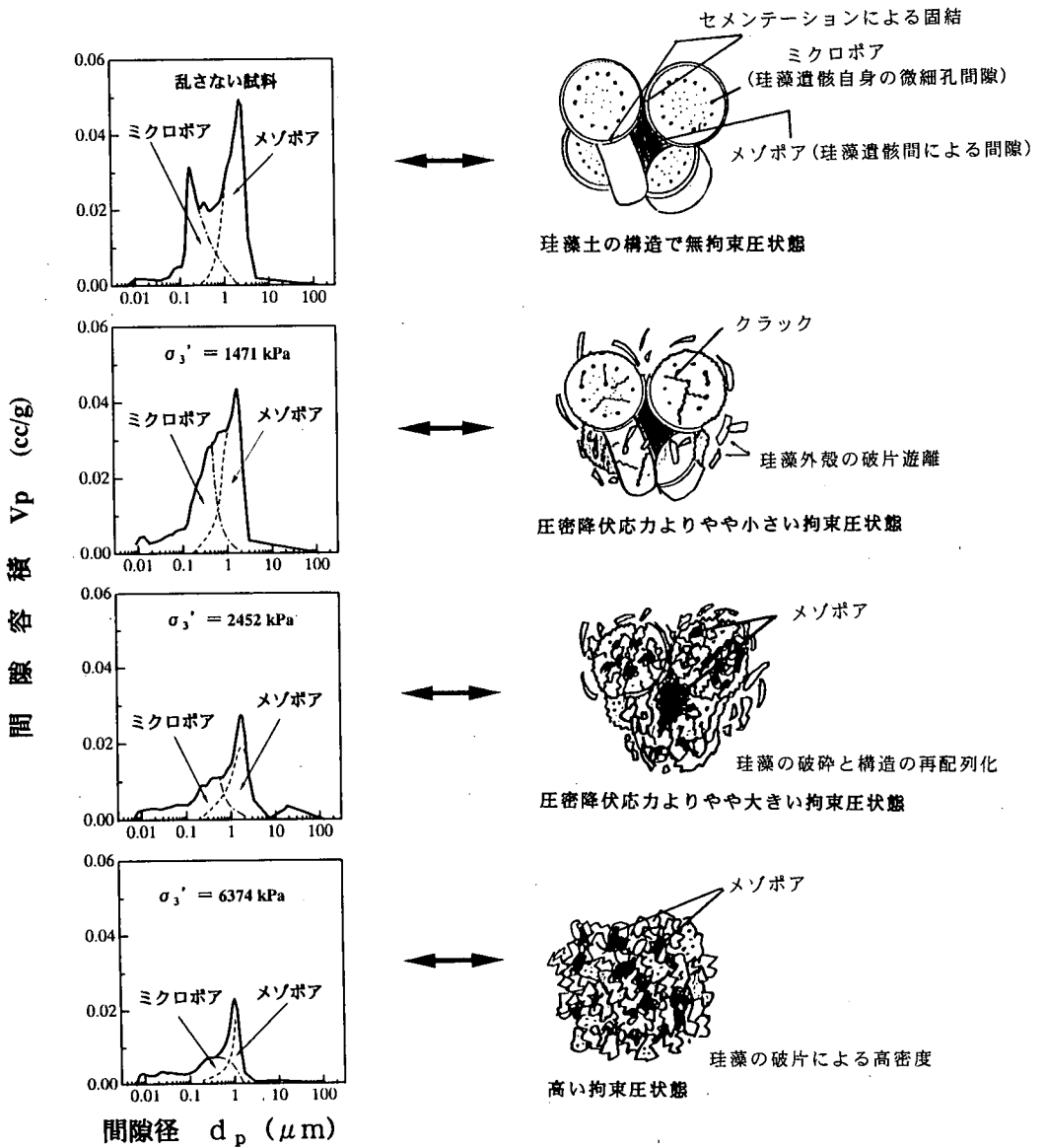


図-15 各拘束状態における三軸圧縮試験後の土構造の概念図と空隙分布の関係

と正規圧密域との力学的挙動の違いがより明確に生じている。

累積空隙容積は圧密降伏応力を境に急激に減少する。マイクロポア域のピークも完全に消失し、メソポア域のピークの方もその空隙容積は大きく減少している。過圧密域と正規圧密域での挙動の違いは、この範囲の空隙分布の差による。

応力増加によって珪藻遺骸間のセメンテーション効果が希薄になると珪藻遺骸がさらに破碎し、土構造が全体的に破壊する。

c) 高拘束圧状態での土構造

正規圧密応力状態で圧密降伏応力よりかなり大きい応力下 ($\sigma'_3 = 6374 \text{ kPa}$) が作用した場合の視的な土構造を図-14(a), (b)に示す。

完全な円盤形状の珪藻遺骸は全く見受けられず、破碎した粒子の細片が密に再配列し、さらに高密度化が進行している。

低拘束状態における試料の図-11(a)のものとは全く別の様相を呈している。

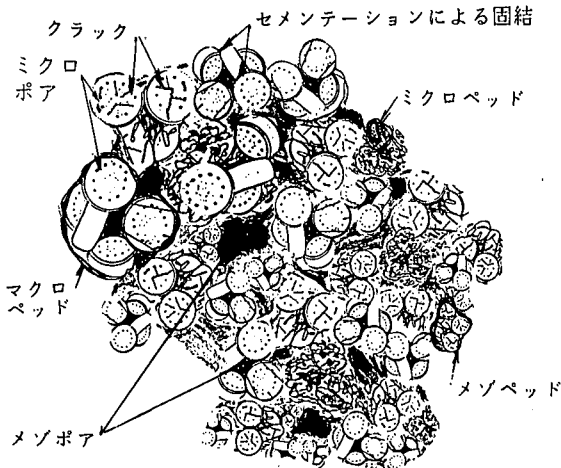


図-16 珪藻遺骸からなる珪藻土の構造

間隙分布曲線は $\sigma_3' = 2452 \text{ kPa}$ の分布曲線の間隙容積よりさらに小さくなる。全体的に左に移行して間隙が一様に収縮した形状となる。セメンテーション作用の影響は消失して、間隙分布も縮小し均一化する。

前述したように拘束圧の大きさが過圧密域から正規圧密域になるとセメンテーションの影響は消失する。土構造も破壊し典型的な応力依存型の挙動となる。

d) 各拘束圧下の三軸圧縮試験後における土構造と力学的挙動特性

各拘束圧レベルによるベッドの変化および破壊概念図を示すと図-15のようになる。この図と図-2~図-3に示す($\sigma_1' - \sigma_3'$)~ ϵ 曲線、および u ~ ϵ 曲線とともに考察する。

低拘束圧状態で円盤状の珪藻遺骸がランダム的に接触し、接触部のセメンテーション作用により固結しているため、間隙水圧はほぼ有効拘束圧と同じ大きさまで上昇し、脆性的な破壊とともに間隙水圧が徐々に減少する。この構造の間隙分布はメソポアとマイクロポアとの二つの分布の組み合わせによる。

圧密降伏応力よりやや小さい応力下の拘束圧状態では珪藻遺骸は円盤状を保っている。外殻の欠落やクラックなどにより、小さい径の間隙が消失し大きな径のみの間隙分布となる。セメンテーションの一部は消失するが、土構造は維持されている。このため脆性的な破壊を示すが、軸ひずみが増加しても間隙水圧のみ一定値を保つ。

圧密降伏応力よりやや大きい応力下の拘束圧状態においては、珪藻遺骸のほとんどが破損して土

構造も破壊するため、セメンテーションは完全に消失する。このため軸ひずみが増加しても軸差応力および間隙水圧ともに一定値を保っている。

高拘束圧状態では応力増加により、さらに珪藻遺骸の破碎と再配列構造によって高密化が進行し、間隙分布は縮小均一化する。これにより珪藻土は性状を変え、軸ひずみ増加にともなって、間隙水圧は徐々に上昇し続けるが、軸差応力はピークを示し徐々に低下する。

以上の微視的構造の考察から珪藻土の構造モデルを図-16に示す。珪藻土のベッドはセメンテーションにより、珪藻自身の単一遺骸が相互の接触部分で固結したものと考えられる。これらのベッドが集合化し、さらに固結化した配列状態からなるものが珪藻土の構造と考える。

5. 結論

はじめに珪藻土の圧密および三軸圧縮の各試験を行ない、続いて各試験試料を走査型電子顕微鏡とポロシメーターを併用して微視的構造を明らかにし、珪藻土の構造と力学的挙動の関係を考察した。得られた結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 珪藻土の構造モデルは粘土と同様な構造で表わせるが、珪藻遺骸の単一粒子の集合体である。粘土構造に見られるマクロポアがほとんど存在せず、珪藻土の間隙は、珪藻遺骸の相互間のメソポアと珪藻遺骸自身の微細孔のマイクロポアにより構成される。また、間隙径は $0.1 \sim 5.0 \mu\text{m}$ の間に分布し、二つの頂点が現われるユニークな形をしている。
- (2) ポロシメーターで得られる間隙と等方圧密曲線は高い相関性を示す。圧密降伏応力付近において間隙が急減する要因は粒子破碎と構造の破壊による。過圧密域でも粒子破碎が生じ、遺骸間のセメンテーションを徐々に消失しながら、次第に土構造全体の破壊に至り、急激にひずみが増大し、脆性的な破壊を示すことを推察した。
- (3) セメンテーション作用に依存する過圧密域から応力(密度増加)に依存する正規圧密域への移行過程における力学的特性は、珪藻遺骸の破碎の影響を受けている。
- (4) 拘束圧が増大するにつれ、遺骸自身のマイクロポアの減少がメソポアの減少より顕著である。また、各応力状態における珪藻土の力学的挙動と破壊に至る構造モデルを提案した。

謝辞：本論文の間隙分布測定において、佐賀大学理工学部 三浦哲彦 教授および通商産業省工業技術院九州工業技術研究所 井上耕三 氏のご指導とご配慮を賜りました。また、佐賀大学理工学部 洪振舜博士にご協力頂きました。ここに記して感謝の意を表わします。

参考文献

- 1) 前川晴義：軟質泥岩の力学的特性とその適用に関する研究，京都大学学位論文，1992。
- 2) 立石義孝，鬼塚克忠，落合英俊，林重徳：大分県地方における珪藻土の工学的特性，土と基礎，Vol. 42, No. 5, pp. 47-52, 1994。
- 3) 鬼塚克忠(研究代表者)：多孔質珪藻軟岩の工学的特性の解明と切土斜面の合理的設計法の確立(課題番号04452229)，平成6年度科学研究補助金(一般研究(B))研究成果報告書，1995。
- 4) 松尾新一郎，嘉門雅史：粘土構造に関する用語について，土と基礎，Vol. 24, No. 1, pp. 59-64, 1976。

- 5) Washburn, E.W. : Note on a method of determining the distribution of pore sizes in porous material, Proc., National Academy of Sciences, Vol. 7, pp. 115-116, 1921.
- 6) 山口晴幸，池永均：土構造評価への水銀圧入型ポロシメーター装置の利用，土と基礎，Vol. 41, No. 4, pp. 15-20, 1993。
- 7) 山口晴幸，黒島一郎，福田誠：第三紀泥岩の空隙分布，土と基礎，Vol. 36, No. 12, pp. 55-60, 1988。
- 8) 立石義孝，鬼塚克忠，廣澤茂：大分県玖珠地方の珪藻土の三軸圧縮特性，土木学会第51回年次学術講演会，pp. 760-761, 1996。
- 9) 三浦哲彦，山内豊聡：砂のせん断特性に及ぼす粒子破碎の影響，土木学会論文集，第260号，pp. 109-118, 1977。
- 10) 立石義孝：珪藻土の工学的特性と切土斜面表層の安定に関する研究，佐賀大学学位論文，1997。

(1997. 10. 9 受付)

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF DIATOM EARTH

Yoshitaka TATEISHI, Katsutada ONITSUKA,
Shigeru HIROSAWA and Takehito NEGAMI

Both scanning electron microscope and mercury intrusion porosimetry are used in parallel to identify the pores of the cemented diatom earth. Triaxial compression tests are carried out to investigate the mechanical behaviors of the cemented diatom earth.

The structural characteristics of cemented diatom earth are illustrated clearly. The microstructure of the cemented diatom earth is also schematically proposed. The mechanical behaviors of the cemented diatom earth are explained based on the microstructure. Failures of the diatom earth are caused by particle crushing and structural breakdown.