

# 砂-粘土混合土の圧密沈下特性と微視的構造

## Consolidation characteristics and microstructure of sand-clay mixed soils

金山 素平\* 大平 剛士\*\* 東 孝寛\* 大坪 政美\*  
Kanayama.M\*, Ohira.T\*\*, Higashi.T\* and Ohtsubo.M\*

### 1. はじめに

自然の土は様々な大きさの土粒子から構成されており、その力学的性質は粒度に大きく依存する。土構造物などの設計や施工などにおいては、対象とする土の支配的な土粒子の大きさをもとにして土を分類し、通常、砂と粘土に区分して、それぞれ別個の考え方を適用している。しかし、実際の土は幅広い粒径の土粒子を含んでいるため、砂か粘土かにはっきり分類できないような土を対象としなければならない場合も多い。このような土の圧密沈下の算定にあたり、土木技術者は苦慮することがしばしばある。

本研究では、有明粘土に豊浦標準砂を種々の割合で混合した試料を用いて、段階荷重による一次元圧密試験を行い、圧密定数および二次圧密速度について検討した。さらに、走査型電子顕微鏡 (SEM) と水銀圧入型ポロシメータを用いて試料の微視的構造を観察し、混合土の圧密や砂分含有量に起因する間隙構造の変化と圧縮性や二次圧密速度との関係について検討した。

### 2. 試料および試験方法

有明干拓地 (佐賀県杵島郡白石町) の表層部から採取した有明粘土に、混合土の乾燥土質量に対して 0, 20, 40, 47, 60, 80% の割合で豊浦標準砂を混ぜ、試料を作製した。液性指数が 0.7 となるように含水比を調整した。各試料を用いて段階荷重による一次元圧密試験を行った。走査型電子顕微鏡による観察には、砂分 0, 40, 60% の試料を各々 4.9, 19.6, 157kN/m<sup>2</sup> で圧密したものをを用いた。水銀圧入型ポロシメータには、砂分 0, 40, 60% の試料を各々 4.9, 9.8, 19.6, 39.2, 78.5, 157kN/m<sup>2</sup> で圧密したものをを用いて、間隙径分布の測定を行った。

### 3. 試験結果および考察

Photo.1 は、砂分 0, 40, 60% の SEM 観察画像である。左上の観察画像は砂分 0% 試料を 157kN/m<sup>2</sup> で圧密したもので、倍率は 5000 倍である。有明粘土は団粒と団粒間隙を有する団粒構造を示すことが確認できる。団粒間隙は圧密の影響で水平につぶれた形状となっているものが多い。また、所々に珪藻の存在が確認できる。下の観察画像は砂分 40, 60% 試料の場合で、倍率は 50 倍である。砂分 60% では多くの砂が互いに接触していることが確認できる。

次に、圧密圧力 4.9, 157kN/m<sup>2</sup> のときの間隙径に対する間隙容積率の分布を Fig.1 に示す。間隙容積率とは、各間隙径の間隙容積を全間隙容積で除した値である。4.9kN/m<sup>2</sup> で圧密した試料では、砂分が多いほど 1~2μm の間隙が多くなり、間隙径分布のピークはなだらかな形状となった。これは砂粒子の接触間隙、もしくは砂と粘土による間隙によるものと考えられる。Delage and Lefebvre (1984) は Champlain clay は団粒内部間隙と団粒間隙を有する団粒構造を持ち、団粒は繰返しによって破壊されないと報告している。Fig.1 において、圧

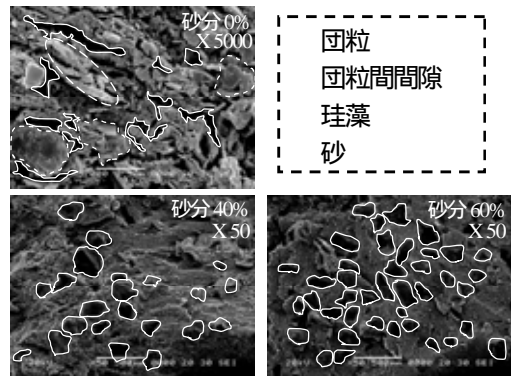


Photo.1 SEM 観察画像  
Photograph of samples by using SEM

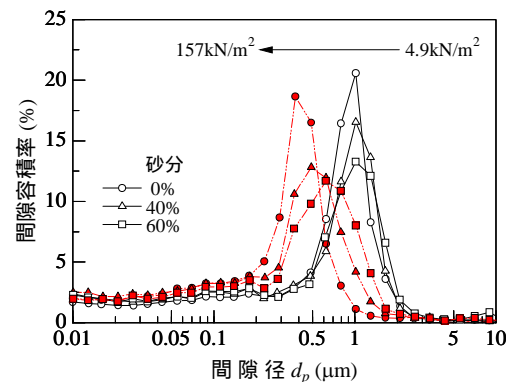


Fig.1 間隙径分布  
Pore size distribution of samples

\*九州大学大学院農学研究院, \*\*日技クラウン株式会社  
\* Faculty of Agriculture, Kyushu University, \*\* Nichigi Crown Inc  
キ-ワ-ド: 圧密, 間隙径分布, 微視的構造

密の影響を受けて間隙径分布が変化している  $0.3\sim 3\mu\text{m}$  の間隙は団粒間隙であり、圧密の影響を受けていない  $0.3\mu\text{m}$  以下の間隙は団粒内部の間隙（団粒内部間隙）であると推察される。各試料とも、圧密が進むと間隙径分布は小さな間隙径へと移行する。これは、圧密によって大きな間隙が崩壊し、間隙径が小さくなったためである。このことから、間隙の崩壊は大きな間隙から起こり、その後、小さな間隙の崩壊が起こることが分かる。

圧密による体積圧縮係数  $m_v$  と圧密係数  $c_v$  の変化を Fig.2 に示す。各試料とも、圧密が進むと  $m_v$  は減少し、 $c_v$  は増加する傾向にある。圧密による間隙の崩壊が大きな間隙から起こることから、 $m_v$  と  $c_v$  の変化を説明することができる。すなわち、崩壊する間隙が大きければ体積圧縮は大きく、圧密速度は  $c_v = k / (m_v \gamma_w)$  の関係から小さい値を示す。同様に、崩壊する間隙が小さければ体積圧縮は小さく、圧密速度は大きくなる。

Fig.3 は圧密の影響を受けて変化する間隙に注目し、 $1\sim 10\mu\text{m}$  間隙と  $0.1\sim 1\mu\text{m}$  間隙に区分して、圧密によるこれらの間隙容積率の変化を示したものである。各試料とも、圧密によって  $1\sim 10\mu\text{m}$  間隙が崩壊し  $0.1\sim 1\mu\text{m}$  間隙に推移しており、その対応は明らかである。砂分 60% 試料では、圧密圧力  $39.2\text{kN/m}^2$  までは  $1\sim 10\mu\text{m}$  間隙の減少がほとんどなく、間隙容積率の変化に遅れが生じている。これは、 $e\text{-log } p$  曲線の変化とも一致している。 $4.9\sim 19.6\text{kN/m}^2$  の圧密圧力下では砂粒子による構造骨格が圧密圧力を受け持っているためと考えられる。圧密圧力が  $39.2\text{kN/m}^2$  では、構造骨格が圧密圧力を受け持たなくなり、団粒間隙の崩壊につながると考えられる。また、各試料の圧密による区間圧縮指数  $C_c$  の変化を示したのが Fig.4 である。前述したように、圧密による間隙の崩壊は大きな間隙から起こる。このことと Fig.4 における  $C_c$  の変化から、崩壊する間隙が小さくなるほど、 $C_c$  の増加量は小さくなるのが分かる。また、Fig.4 においても、砂分 60% では  $C_c$  の変化に遅れが生じており、Fig.3 における間隙容積率変化の遅れとも対応している。さらに、ここでは省略しているが、二次圧縮係数  $C_\alpha$  と間隙容積率の関係についても  $C_c$  とほぼ同様の傾向が得られた。

#### 4. まとめ

砂分含有率の違いにより、混合土の間隙径分布は大きく異なった。有明粘土は団粒構造を有しており、間隙は団粒間隙と団粒内部間隙に分けられる。圧密によって崩壊するのは団粒間隙であり、団粒内部間隙は圧密の影響を受けず、圧密による間隙の崩壊は大きな間隙から起こる。このことから、体積圧縮や圧密速度等の粘土の圧縮性を示すパラメータと崩壊する間隙の大きさの間に相関があることを認めた。

謝辞 本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（若手研究(B)、課題番号 18780184）の補助を受けました。また、ポロシメータと SEM の使用を快諾し、指導していただいた（独）港湾空樹技術研究所の田中政典氏に厚く御礼申し上げます。実験に際し、ご協力いただいた島根大学大学院総合理工学部の小川清弘さん、長岡技術科学大学建設工学課程の田邊寛典さんに厚く御礼申し上げます。

参考文献 Delage, P. and Lefebvre, G (1984): Study of the structure of a sensitive Champlain clay and of its evolution during consolidation, *Canadian Geotechnical Journal*, 21, 21-35.

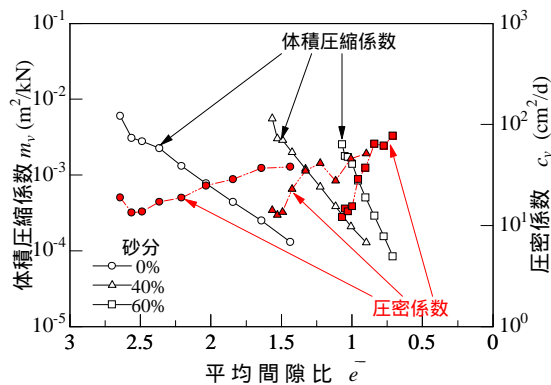


Fig.2 体積圧縮係数と圧密係数の変化  
Variations of consolidation constants

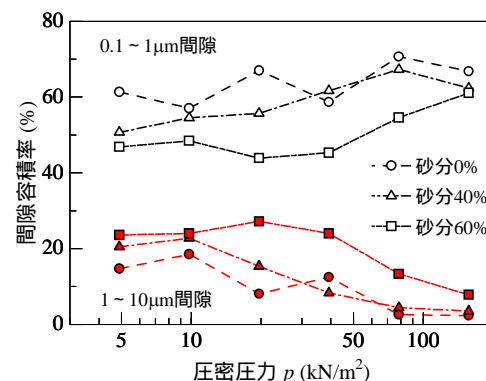


Fig.3 圧密による間隙容積率の変化  
Change of pore volume ratio due to consolidation

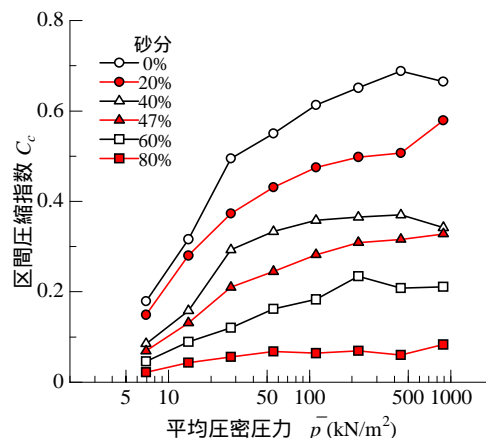


Fig.4 圧密による区間圧縮指数の変化  
Change of interval compression index due to consolidation