

# 有明粘性土の圧密異方性と微視的土構造に関する実験的研究

佐賀大学院工学系研究科 学〇 聶集祥 正 柴錦春 正 根上武仁  
佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 正 日野剛徳 正 加瑞

## 1. はじめに

有明海沿岸には軟弱な粘性土層が厚く堆積しており、圧密特性の異方性が認められる<sup>1)</sup>。粘性土地盤上の構造物を設計する際、地盤の圧密特性を考慮するために、定量的に異方性の評価、影響要因とそのメカニズムの究明が必要となる。本研究は、乱さない試料の堆積面に対し垂直排水および水平排水（径向）の条件で室内定ひずみ速度圧密試験を行い、圧密特性の異方性を定量評価した。さらに、同圧密試験に用いた試料の微視的土構造を電子顕微鏡によって観察し、圧密異方性と微視的土構造との関連性について検討した。

## 2. 試料、試験装置および試験手順

2.1 試料 本研究では、佐賀市川副町大字犬井道における深さ 7~7.85m (T7), 9~9.85m (T9), 13~13.85m (T13) の乱さない粘性土試料を用いた。試料の自然含水比 ( $W_n$ )、液性限界 ( $W_L$ ) および塑性限界 ( $W_p$ ) を表-1 に示す。

表-1 試料のコンシステンシー性質

深さ (m)	7.0~7.85 (T7)	9.0~9.85 (T9)	13.0~13.85 (T13)
$W_n$	103.80%	91.50%	113.50%
$W_L$	106.10%	83.60%	107.60%
$W_p$	53.70%	50.50%	59.80%

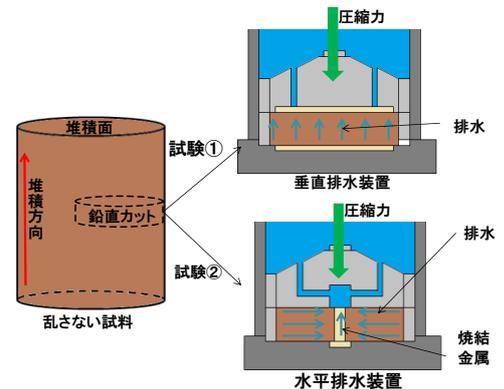


図-1 供試体と試験機の断面図

2.2 試験装置 本研究では定ひずみ速度試験装置<sup>2)</sup>を使用し、図-1 に示すような垂直方向排水と水平方向排水の二種類のものを用いた。ひずみ速度は 0.02%/min を採用した。また、微視的土構造の観察には JEOL 製の走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた。

2.3 試験手順 図-1 に示すように、採取した乱さない試料を土の堆積面に対して直径 6cm、高さ 2cm にカットし、圧密リングに収める。垂直排水試験の場合、試料をそのまま圧密装置にセットし、片面排水条件で圧密試験を行う。水平排水試験の場合、セットした試料の中心に直径 8mm の穴を空け、直径 8mm のドレーン（焼結金属）を差し込む。ドレーン方向に対して水平排水をさせる試験を行う。また、供試体の飽和度を上げるため、供試体内に 200kPa の背圧を 12 時間保った後に圧密試験を開始する。

微視的土構造の観察については、圧密試験前後の試料を用いて、堆積面に対して水平と垂直の両断面を対象に実施した。観察用試料の作製に際しては液体窒素による凍結乾燥法を用いた。

## 3. 試験結果と考察

3.1 圧密係数の異方性 水平と垂直排水の圧密係数の比  $c_h/c_v=I_{cv}$ 、同様に水平と垂直排水の透水係数の比  $k_h/k_v=I_k$ 、水平と垂直排水の体積圧縮係数の比  $m_{vh}/m_{vv}=I_{mv}$  と定義する。図-2 に試料 T13 の  $I_{cv}$ 、 $I_{mv}$  と  $I_k$  の値とひずみとの関係を示す。図-2 より、まず  $I_{mv}$  の値はほぼ 1 であり、排水方向は体積圧縮係数に影響しない。次に、ひずみが 30% まで増加すると  $I_k$  と  $I_{cv}$  の値はそれぞれ約 2.8~3.5 になっている。つまり、圧密係数には明確な異方性があり、垂直方向のひずみの増加に伴って大きくなるといえる。また、 $I_{mv}$  の値は約 1 であり、 $I_{cv}$  と  $I_k$  の値は近い数値を示していることから、圧密係数の異方性は主に透水係数の異方性によるものと考えられる。三つの深さにおける  $I_{cv}$  と垂直方向ひずみの関係を図-3 に示す。T9 (9 ~9.85m) の  $I_{cv}$  が T7 と T13 のものより小さいが、同じ傾向を示し

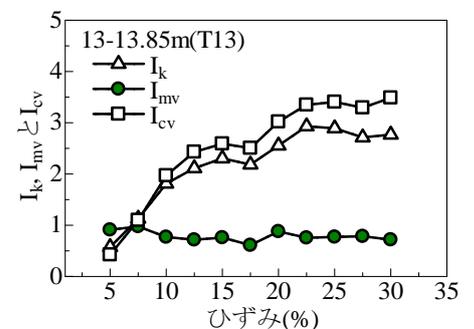


図-2 ひずみによる異方性の変化

ている。一般に、粘土粒子は片状である。片状の粒子がランダムに配列すれば圧密の異方性がほぼないが、片状粒子の面が一定の方向に配列すると異方性が卓越する<sup>3)</sup>。圧密ひずみの増加に伴い、粘土粒子の配列がさらに定方向になり異方性が大きくなると考えられる。

**3.2 異方性と塑性指数の関係** 図-4(a)に各深さにおける試料の塑性指数  $I_p$  の値を示し、図-4(b)に有効圧密応力が 300kPa 時における各深さの  $I_{cv}$  を示す。これらの結果から、 $I_p$  が大きくなると、 $I_{cv}$  も大きくなる傾向が認められる。 $I_p$  は粘土の種類が同じ場合、粘土含有量にほぼ比例する。異方性の基本的な原因は片状粘土粒子の配向であるため、 $I_p$  は粘性土の異方性に影響を与えるものと考えられる。

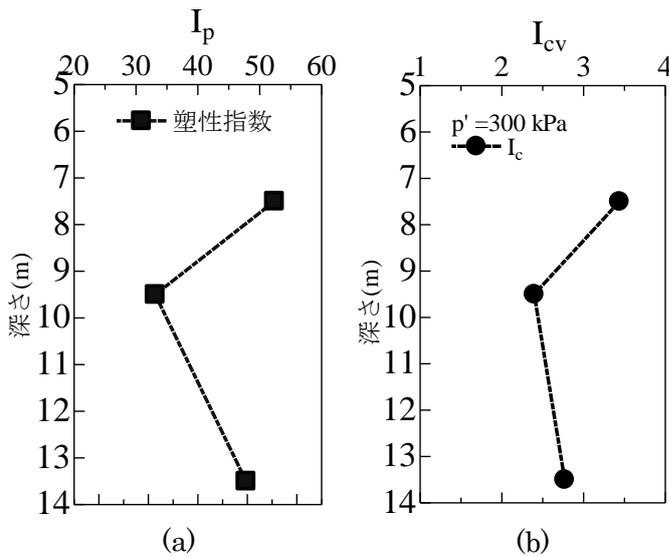


図-4 異方性と塑性指数の関係

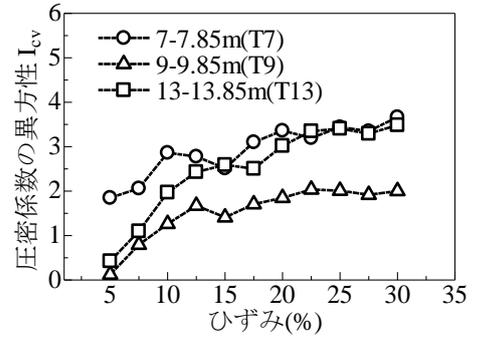


図-3 ひずみと圧密係数の異方性

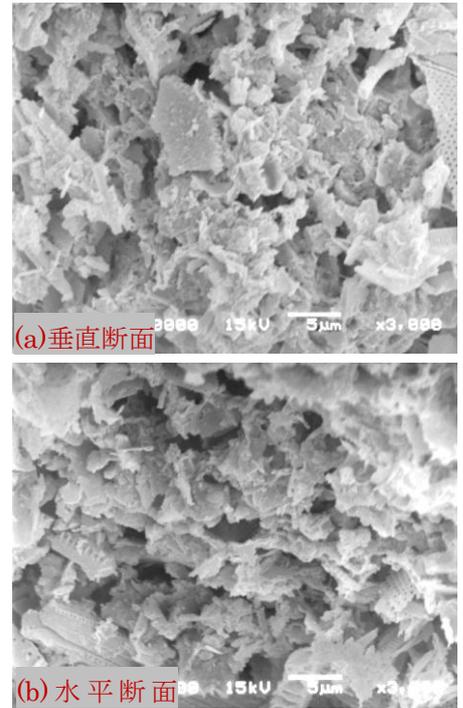


図-5 T7 試料実験前の SEM 写真 (5 μm)

**3.3 微視的土構造観察結果** 試料中の粘土粒子あるいは粘土粒子の集合体の配向性の有無を検討するため、試料の微視的土構造を走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真によって観察した。土の堆積面に対して垂直方向から見た面を“垂直断面”，水平方向から見た面を“水平断面”と呼ぶ。図-5 は試料 T7 における典型的な垂直断面 (図-5(a)) と水平断面 (図-5(b)) の SEM 写真である。水平断面の場合、片状の粘土粒子あるいは集合体をカットした様子、ならびに奥行き方向に間隙が発達している傾向がうかがえる。垂直断面の場合は片状の粘土粒子が面に沿っている様子が見える。このような微視的土構造は異方性を示し、圧密特性の異方性に影響していると考えられる。

#### 4. まとめ

排水方向を変化させた定ひずみ速度圧密試験の結果から、次のことがわかった: 1) 有明粘土の圧密係数に異方性が認められ、水平方向の圧密係数は垂直方向のものより大きい。さらに、圧密係数の異方性は主に透水係数の異方性によるものである; 2) 垂直圧縮ひずみの増加に伴い、粘土粒子の配向傾向が強くなり、圧密係数の異方性が増加する; 3) 試料の塑性指数 ( $I_p$ ) が大きいほど、圧密係数の異方性も大きい。

謝辞: 本研究は、(独) 日本学術振興会・学科研究費補助金・基盤研究 (B) (一般)・課題番号 23360204。挑戦的萌芽研究・課題番号 23656300 による助成および研究内容も関連した。記して感謝の意を表します。

参考文献: 1) Chai, J. -C., R. Jia and Hino, T. (2012). Anisotropic consolidation behavior of Ariake clay from three different CRS tests. *Geotechnical Testing, ASTM*, 35(6): 1-9. 2) Jia, R., J. -C. Chai, Hino, T. and Hong, Z. -S. (2010). Strain rate effect on the consolidation behavior of Ariake clay. *Geotechnical Eng., Proc. of Institute of Civil Engineers, UK*, 163(GE5): 267-277. 3) 轟ら: 地盤工学会 (2012) 有明海地域における軟弱な粘性土の圧密異方性と微視的土構造に関する研究。第47回地盤工学研究発表会 (八戸), 概要集: 271-272.