

投稿論文 (和文)
PAPERS

高有機質土の三軸試験方法に関する考察

山口晴幸*

不攪乱泥炭を対象として、寸法の異なる三種類の円柱供試体を用いて三軸試験を実施し、等方圧密と排水せん断過程での供試体周面形状の実測結果について詳述している。特に、供試体周面に発生する凹凸状況を定量的に評価するために周面凹凸率を提案し、供試体寸法や圧密圧力が異なる場合の周面形状について、数値化して比較考察している。また、不均質性の度合を鑑み、供試体寸法と圧密圧力範囲を限定すれば、通常の断面積算定方法が泥炭供試体にも適用し得ることを報告している。

Keywords : cross-sectional area, cylindrical specimen, isotropic consolidation, triaxial test, undisturbed peat

1. まえがき

最近、土質試験法¹⁾が改訂され、土の三軸試験方法に関する学会基準が制定された²⁾。土質工学会基準での三軸試験法では円柱供試体を用い、圧密やせん断過程での供試体の断面補正方法は供試体が円柱形のまま一様に變形すると仮定のもとに成立している。即ち、体積変化量や軸方向の變形量に基づき、供試体の断面積が決定され、各種の応力・ひずみパラメータの値が計算される。しかし、腐植化途上の未分解の植物性有機物を多量に含んでいる高有機質土は繊維性有機物を主体とした多孔質な土構造を形成しており、極めて圧縮性に富んでいる。そのため、圧密やせん断過程で生じる大きな体積変化によって供試体周面に著しい凹凸が発生し、供試体断面積の算定にかなりの不明確さが懸念されている。しかし、このような問題は従来無視され、どのような対策あるいは工夫を講じれば良いのか否かについて論じた研究は皆無である。

本研究では、不攪乱泥炭を対象として、寸法の異なる三種類の円柱供試体を用いて三軸試験を実施し、まず、等方圧密と排水せん断過程で生じる供試体の周面形状について詳細に記述する。次に、供試体周面に発生する凹凸状況を定量的に評価するために周面凹凸率を定義し、供試体寸法と応力範囲との関連から供試体断面積の算定方法について検討し、高有機質土を対象とした三軸試験方法の基準化に必要な基礎的資料の提供を目的とする。

2. 試料と実験

(1) 実験に用いた泥炭試料

北海道岩見沢市郊外に分布する泥炭地において、地表面下約 0.5~1.2 m の範囲から直径 100 mm と 75 mm の

シンウォールチューブを鉛直に貫入して採取した不攪乱泥炭試料を用いた。物理的性質を表-1 に示す。初期含水比が 526~828%、試料に混在する有機物含有量の指標となる強熱減量 (L_i) が 55~78% であった。有機物の分解度 (D_d) は 34~38% と低く、かなりの未分解の繊維質の有機物を含んでいるため、液性及び塑性限界の測定は不可能であった。写真-1 に泥炭試料の状況を示している。試料には繊維質の有機物の他に、腐植した木片がかなり混在している。腐植木片の含有量は全有機物含有量の約 15~20% であった。

(2) 三軸試験と供試体周面形状の測定方法

圧密や排水せん断過程での体積変化に起因する供試体周面の凹凸状況と供試体寸法との関係を調べるために、初期直径 (D_i) が約 100 mm, 75 mm, 50 mm で初期高さ (H_i) と D_i の比が約 2 の 3 種類の円柱供試体を用いた。 $D_i=100$ mm と 75 mm の供試体では試料の上下端面のみを、 $D_i=50$ mm の供試体では 75 mm シンウォールチューブでの採取試料を用い、上下端面及び周面をトリミングして作製した。供試体の周面にろ紙を巻きゴムスリーブをかぶせて三軸試験装置にセットした。表-2 に各供試体の実験条件を示している。No. 1~No. 3 と No. 6-0~No. 6-4 の供試体では等方圧密試験 (IC-試験) を、No. 4-0~No. 4-3 と No. 5-0~No. 5-3 の供試体では圧密排水圧縮せん断試験 (CD-試験) を定ひずみ速度 (軸ひずみ速度が約 5×10^{-4} %/min) 下で実施した。No. 1~No. 3 の供試体での IC-試験では、それぞれ一本の供試体を用いて、圧密圧力 (p'_c) を段階的に増加し、各応力段階での圧密完了後、排水ルートを閉じ拘束圧力を解放し、セルを解体して供試体の周面形状を測定した。CD-試験では、まず、所定の圧力 (p'_c) で圧密が完了した後上述の操作を行い周面形状を測定し、再び三軸セルを組立てセル解体時の応力状態にもどし 1 日間放置して排水圧縮せん断試験を実施した。その後、

* 正会員 工博 防衛大学校助教 土木工学教室
(〒239 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

表-1 泥炭試料の物理的性質

Properties		Amounts
Initial water content	w_i (%)	526 - 828
Specific gravity	G_s	1.61 - 2.02
Degree of saturation	S_r (%)	100
Ignition loss	L_i (%)	55 - 78
Degree of decomposition	D_d (%)	34 - 38
Liquid limit	w_L (%)	-
Plastic limit	w_p (%)	-
Preconsolidation pressure	p'_y (kPa)	2 - 6
Sampling depth	h (m)	0.5 - 1.2

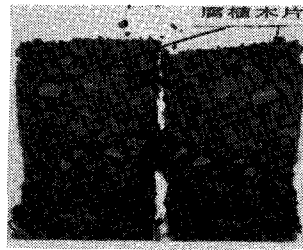


写真-1 泥炭試料の状況

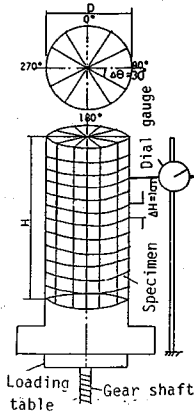
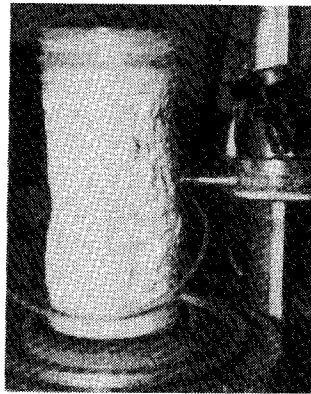


図-1 周面形状の測定方法 写真-2 周面形状の測定状況



再度セルを解体して周面形状の測定を行った。即ち、CD-試験では、等方圧密完了とせん断終了時点において、供試体の周面形状の測定を行った。全ての供試体において、圧密過程からキャップを介して100 kPaの背圧を作用した。圧密及びせん断過程では変位量と排水量を、また供試体底端面での間隙水圧を計測し、圧密の完了と排水条件が満足されているか否かのチェックを行った。ちなみに、 $D_i=100$ mm, 75 mm, 50 mm 供試体での各圧密圧力 (p'_c) での圧密時間はそれぞれ約7~10日, 3~5日, 1~3日であった。なお、供試体はかなりの未分解の有機物を含んでいることから、圧密過程において供試体が偏心する恐れがあることから、キャップとピストンロッドを連結して圧密を実施した。

供試体の周面形状の測定は、図-1と写真-2に示すように、ダイヤルゲージを用いて実施した。ダイヤルゲージを水平にロッドに固定し、半径方向の測定位置を定めるために、あらかじめベダスタルの中心から放射方向に角度 (θ) を30°毎に三軸セル底盤にマーキングした。高さ方向の測定位置は、載荷台のギアシャフトを上昇させ、その移動量をコントロールして定めた。即ち、供試体の放射方向に30°毎、高さ方向に1 cm 間隔で供試体周面の凹凸状況の測定を実施した。測定は直接ゴムスリートを介し、測定値から紙とゴムスリーブの厚さを差し引くことにした。凹凸状況は紙とゴムスリーブの厚さと対比してオーダ的に大きく異なるので、それらの

表-2 供試体及び試験条件

No. of Specimen	No. of Test	w_i (%)	L_i (%)	D_i (mm)	p'_c (kPa)	Test condition
	1-0				0	
	1-1				14.3	
	1-2				33.8	
No.1	1-3	710.2	54.3	101.99	55.1	IC-Test
	1-4				103.9	
	1-5				266.4	
	2-0				0	
	2-1				19.2	
	2-2	623.7	54.4	73.53	45.3	IC-Test
	2-3				101.7	
	2-4				240.7	
	3-0				0	
	3-1				21.8	
	3-2				64.7	
No.3	3-3	688.9	52.5	50.65	130.1	IC-Test
	3-4				239.6	
	3-5				404.4	
No.4-0	4-0	721.9	72.6	101.33	49.0	
No.4-1	4-1	672.0	69.0	100.63	99.8	
No.4-2	4-2	627.8	62.7	99.53	191.9	CD-Test
No.4-3	4-3	525.9	56.7	101.35	298.3	
No.5-0	5-0	638.7	63.7	73.25	47.1	
No.5-1	5-1	682.8	63.5	74.48	97.6	
No.5-2	5-2	661.7	55.1	74.07	192.3	
No.5-2	5-2	661.5	62.7	74.92	194.3	CD-Test
No.5-3	5-3	805.1	66.1	74.80	293.6	
No.6-0	6-0	602.3	50.0	74.18	19.2	
No.6-1	6-1	827.6	62.8	73.65	44.3	
No.6-2	6-2	717.7	58.9	73.89	98.2	IC-Test
No.6-3	6-3	762.8	67.5	75.15	196.4	
No.6-4	6-4	668.8	59.8	75.20	290.0	

Note: w_i =initial water content, L_i =ignition loss, D_i =initial diameter, p'_c =consolidation pressure

厚さを厳密に考慮する必要はなかった。また測定に際し、排水ルートを閉じ拘束圧力を解放して三軸セルを解体するが、その際、応力解放に伴う供試体の膨張が懸念される。そこで、各寸法の供試体でのIC-とCD-試験終了後の応力解放に伴う膨張量を軸ひずみ (ϵ_a) の変化で示したのが図-2である。 ϵ_a の値は供試体寸法 (D_i) 及び圧密圧力 (p'_c) に依存するが、実施した応力範囲では最大で約1.1%であり、後述する供試体周面に発生する凹凸状況に比較してオーダ的にかなり小さいことから、周面形状の測定結果には膨張量を無視している。

3. 等方圧密に伴う供試体形状変化

(1) 供試体周面形状の変化状況と周面凹凸率

各供試体での等方圧密後の含水比 (w) と圧密圧力 (p'_c) との関係を図-3に示す。初期含水比 (w_i) が約525~827% 範囲の各供試体 (表-2 参照) は p'_c の増加に伴って急激な圧縮を呈し、 p'_c が約100 kPa で w が300% 付近までに低下する。このような体積変化に起因する供試体の周面形状の変化状況を示したのが図-4~7である。図-4と5では供試体を立体表示している (供試体上下端面の形状は接触するキャップとベダスタルの形状、後述する図-12も同様)。図-4は同一供試体 (No.1, No.2, No.3) での p'_c の増加に伴う供試体形状の推移を、また、図-5は、 $D_i=75$ mm 供試体の各圧密圧力での圧密終了時の供試体形状を、 $\theta=0^\circ$ 方向から観察した結果である。いずれの寸法の供試体においても、 p'_c の増加に従い供試体周面に激しく凹凸の発生しているのが明瞭に理解できる。No.1 ($D_i=100$ mm), No.2 ($D_i=75$ mm), No.3 ($D_i=50$ mm) の供試体についての側面形状 ($\theta=0^\circ \sim 180^\circ$) 及び供試体の上部、中心部、下部付近の円周形状 (l は供試体の底端面からの高さ) の変化を示した図-6と7によると、実施した圧力範囲において、 $D_i=100$ mm, 75 mm, 50 mm 供試体では最大でそれぞれ約

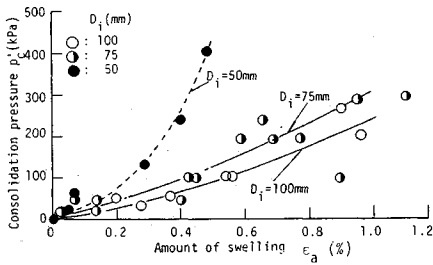


図-2 拘束圧力解放による供試体の膨張量

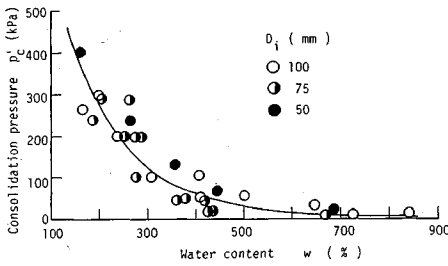
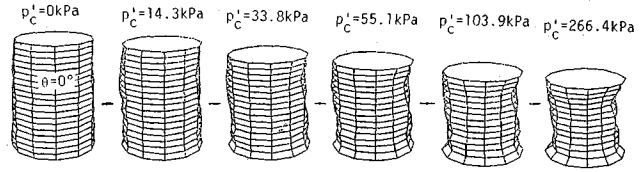
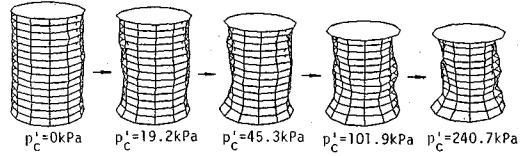


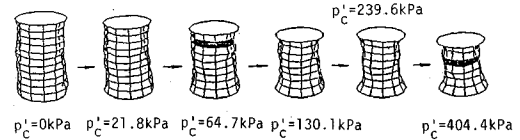
図-3 等方圧密に伴う含水比変化



(a) $D_i=100$ mm 供試体 (No. 1, $\theta = 0^\circ$)



(b) $D_i=75$ mm 供試体 (No. 2, $\theta = 0^\circ$)



(c) $D_i=50$ mm 供試体 (No. 3, $\theta = 0^\circ$)

図-4 等方圧密に伴う供試体の形状変化

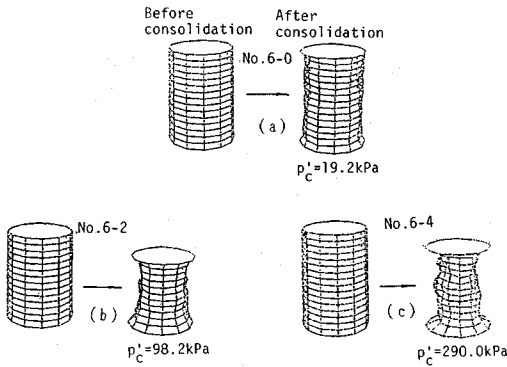


図-5 各供試体での等方圧密に伴う形状変化 ($D_i=75$ mm, $\theta = 0^\circ$)

25 mm, 20 mm, 15 mm 直径が減少する箇所が存在している。特に、供試体中心付近での断面形状に顕著な変化が認められ、泥炭供試体は等方圧密過程において、凹凸の発生のみならず、側面形状や円周形状がかなり複雑に変化していることがわかる。

そこで、供試体周面の形状変化を数値化し、凹凸化の進展状況や凹凸状況と供試体寸法との関連を定量的に論じるために、供試体周面の形状変化を表す尺度として周面凹凸率 (μ) を次式で定義する。

$$\mu(\theta, l) = \frac{R(\theta, l) - D^*/2}{D^*/2} \times 100(\%) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $R(\theta, l)$ 、 D^* 、 A^* は次式で表示される。

$$R(\theta, l) = D_i/2 - \Delta R(\theta, l) \dots \dots \dots (2)$$

$$D^* = 2\sqrt{A^*/\pi} \dots \dots \dots (3)$$

$$A^* = (V_i - \Delta V)/(H_i - \Delta H) \dots \dots \dots (4)$$

即ち、図-8 に図式化するように、供試体底端面から任意の高さ (l) での水平断面に着目する。式 (1) での $R(\theta, l)$ は任意の (θ, l) 位置での供試体の放射方向の長さ (供試体半径) で、供試体の初期半径 ($D_i/2$) と放射方向の実測した半径の変化量 ($\Delta R(\theta, l)$) との差である。 D^* は式 (3) で表され、供試体の体積変化量 (ΔV) と鉛直軸方向の沈下量 (ΔH) を用いて、圧密後の供試体が初期供試体の形状と相似的に円柱形に変化すると仮定した式 (4) での断面積 (A^*) から算定される。 $\Delta R(\theta, l)$ 、 D_i 、 H_i は直接実測され、サフィックス i を付したパラメータは初期供試体の形状を表している。そこで、式 (1) で定義される周面凹凸率 $\mu(\theta, l)$ は図-8 (b) での圧密後の実際の断面形状 (実線) と式 (3) で表される円と仮定した平均断面形状 (一点鎖線) との偏差率を百分率で表示したものである。

$D_i=100$ mm (No. 1), 75 mm (No. 2), 50 mm (No. 3) の初期寸法の異なる供試体について、等方圧密の進展に伴う周面形状の変化を凹凸率 (μ) で示したのが図-9 (a) ~ (c) である。なお、各図中の一点鎖線で表示した水平線は、式 (1) 右辺での $R(\theta, l)$ を $D_i/2$ で置き換えた、初期直径 (D_i) に対する円と仮定した平均断面直径 (D^*) の偏差率 (図-8 (b) 参照) を意味している。ここでは供試体下部、中心部、上部での水平断面を取り上げ、各水平断面での μ を θ との関係で示している。圧密圧力 (p'_c) の低い段階では供試体下部 (○印)、中心部 (□印)、上部 (△印) 付近での $\mu \sim \theta$ 関係は各寸法の供試体でほぼ一致する傾向を示し、一点鎖線で示す水平線とかなり近似していることから、供試体の周面形状変化が比

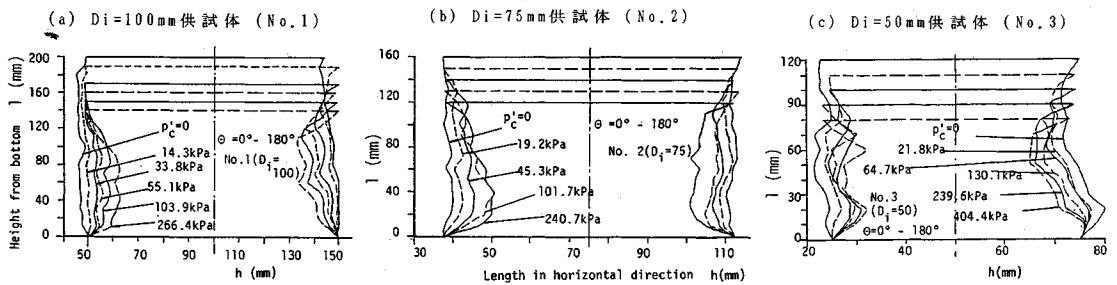


図-6 等方圧密に伴う側面形状の変化

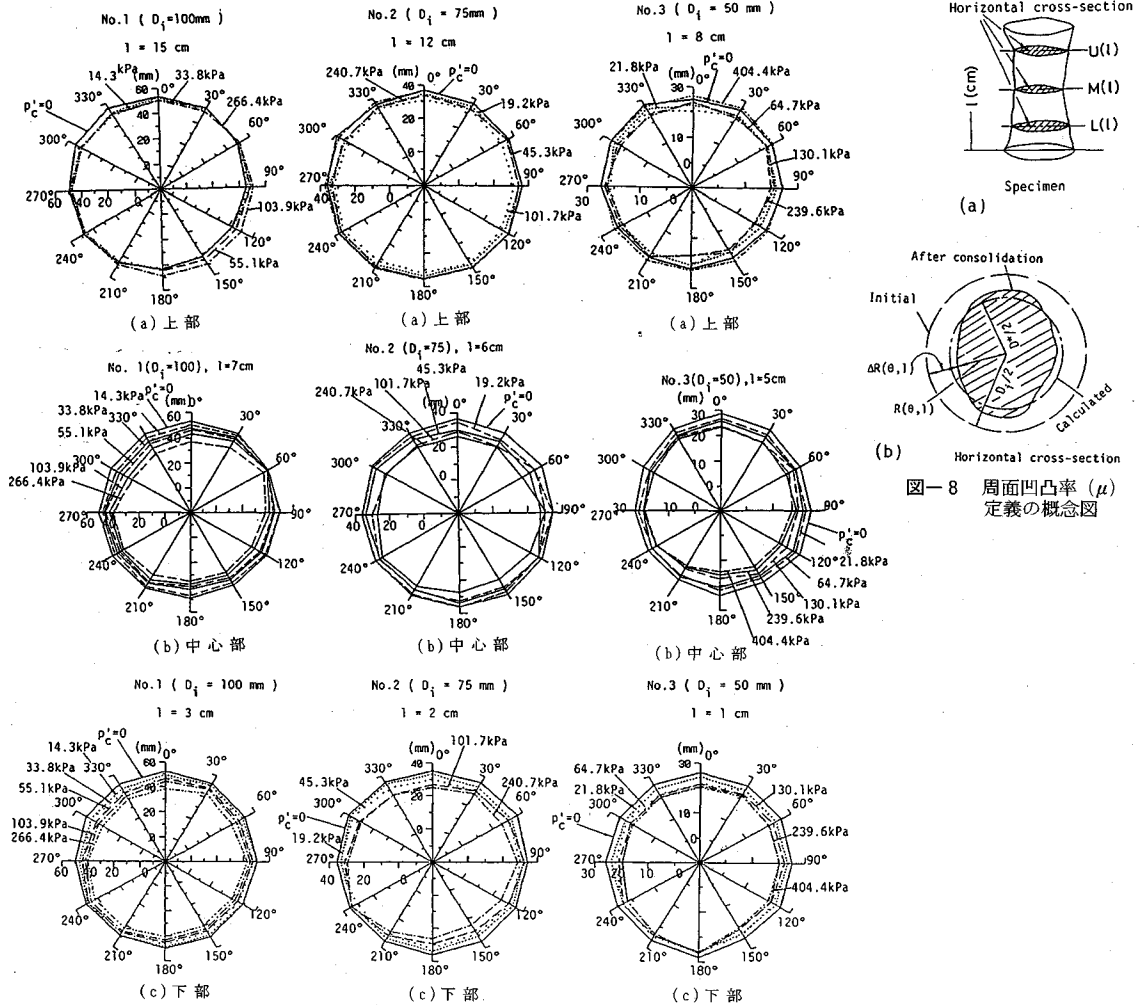


図-7 等方圧密に伴う円周形状の変化

較的一様に生じていることがわかる。しかし、 p'_c の増加に伴い各水平断面での μ の変動にかなり相違が現れ、しかも、水平線で表示した μ の値とも掛け離れ、 $\mu-\theta$ 関係は供試体の初期寸法によってかなり左右される。図-9(c)に見られるように、 $D_i=50$ mm 供試体の場合には、供試体の周面形状に及ぼす凹凸化の効果が拡大される。即ち、 $D_i=100$ mm と 75 mm 供試体では μ が

-20~30% 範囲で変動しており、 p'_c の増加に伴って μ の変動が多少大きくなる傾向にある。これに対して、 $D_i=50$ mm 供試体では、同一水平断面での μ の変動が大きく $p'_c=404.4$ kPa では μ が100%以上に達する箇所が存在する。しかも、供試体上部、中心部、下部付近での水平断面間での $\mu-\theta$ 関係にも大きな相違が認められる。なお、 $D_i=50$ mm 供試体での μ は、圧密圧力の

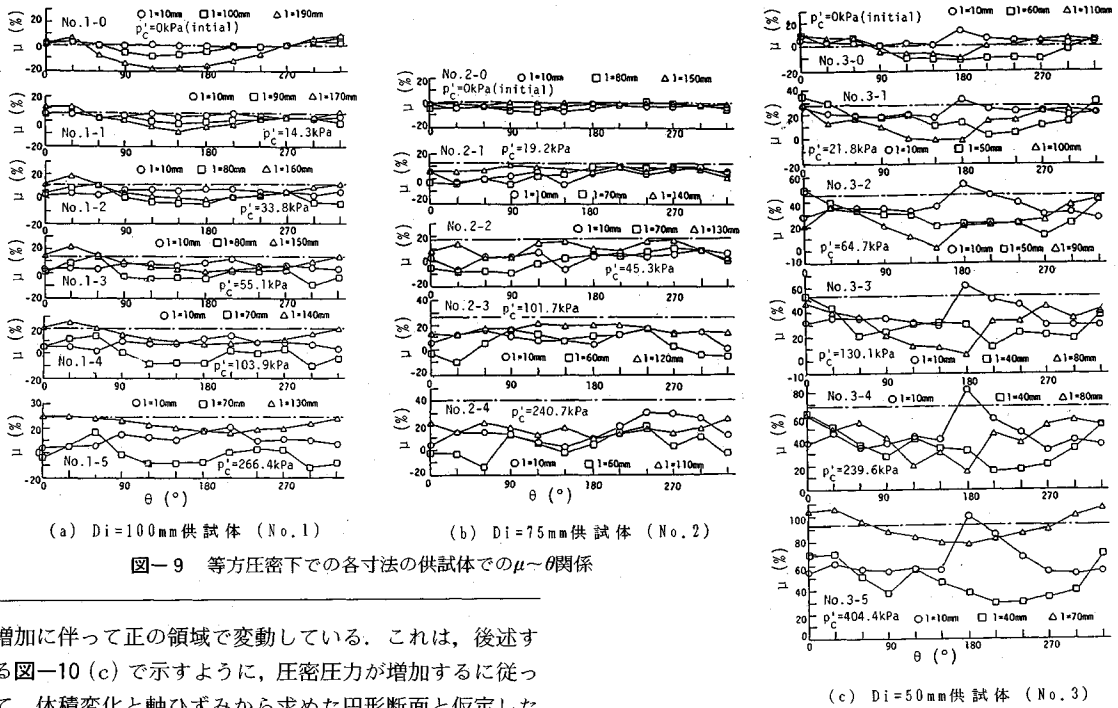


図-9 等方圧密下での各寸法の供試体での $\mu-\theta$ 関係

増加に伴って正の領域で変動している。これは、後述する図-10 (c) で示すように、圧密圧力が増加するに従って、体積変化と軸ひずみから求めた円形断面と仮定した半径 ($D^*/2$) と実測された半径 ($R(\theta, l)$) との差が大きくなり、後者が小さく見積られるためである (式 (1) 参照)。 $\mu-\theta$ に関する上述の結果から、供試体周面に発生する凹凸の絶対量を供試体半径 ($D^*/2$) で無次元化した周面凹凸率 (μ) で評価すると、供試体周面形状に及ぼす凹凸効果は寸法の小さな供試体ほど拡大されて現われると言える。

(2) 供試体断面積の算定

下記に示す 5 種類の供試体断面積を試算し、各断面積相互間の関係について検討する。

- ① A_1 : 供試体高さ l での実測された半径 $R(\theta, l)$ の平均値 $R_{ave}(l)$ を用い、 l 点での水平断面を円形と仮定した断面積 ($A_1 = \pi R_{ave}^2(l)$) である。
- ② A_2 : 式 (4) での A^* に等しく、排水量 (ΔV) と軸方向の沈下量 (ΔH) に基づき供試体が円柱形を保持し一様に圧縮したと仮定した断面積 ($A_2 = A^*$) である。
- ③ A_3 : 供試体周面での任意の (θ, l) 点で実測された全半径 $R(\theta, l)$ の平均値 (R_a) を用いて求めた断面積 ($A_3 = \pi R_a^2$) である。
- ④ A_t : 供試体下部、中心部、上部での 3 つの水平断面での A_1 の平均値 ($A_t = (A_l + A_m + A_u)/3$) で表した断面積である。
- ⑤ A_{min} : 供試体の高さ方向に求めた A_1 の内で、最小の A_1 を示す断面積である。

なお、上記②項での圧密前の初期供試体 ($p_c^0 = 0$ の場合、 $\Delta V = 0, \Delta H = 0$) での A_2 は、トリミング後 $\theta = 0^\circ \sim 180^\circ$ と $90^\circ \sim 270^\circ$ 方向でそれぞれ供試体下部、中

心部、上部での直径を測定し、それらの平均値から求めた断面積とした。

$D_i = 100$ mm (No.1), 75 mm (No.2), 50 mm (No.3) 供試体について、上述した手法で試算した断面積 A_1, A_2, A_3 をそれぞれプロットしたのが図-10 である。まず、高さ方向における断面積の変化状況を示した A_1 (図中の●印) に着目すると、いずれの寸法の供試体の場合にも、 A_1 は供試体の高さ (l) 方向に亘ってかなり変化しており、この傾向は圧密圧力 (p_c^0) の増加と共に顕著となっている。各 p_c^0 における A_1 の変化は図-6 で示した側面形状の変化とかなり良く対応している。また各供試体で、 A_1 の最小値は供試体中心部付近に存在する傾向にある。各断面積間の関係に注目すると、 A_2 は、 p_c^0 の増加に伴って A_1 とかなり掛け離れる箇所が存在する。特に、図-10 (c) での $D_i = 50$ mm 供試体の場合には、 $p_c^0 = 0$ では A_2 (一点鎖線) は A_3 (点線) とかなり近い値を示しているにもかかわらず、 p_c^0 の大きい時には A_2 は A_1 及び A_3 と大きく異なっている。本実験で用いた試料には腐植木片がかなり混在 (写真-1 参照) しており、寸法の小さい供試体では腐植木片の混在が圧密後の供試体形状を大きく左右していると考えられ、形状測定点数の少ない $D_i = 50$ mm 供試体では $D_i = 100$ mm と 75 mm 供試体に比較して A_3 の精度も低くなり、供試体断面積を円形と仮定して求めた A_1 にも問題があるためと思われる。そのため、 A_2 が A_1 及び A_3 と大きく掛け離れたものと考えられる。また図-10 (a) 中の $p_c^0 = 0$ の場合

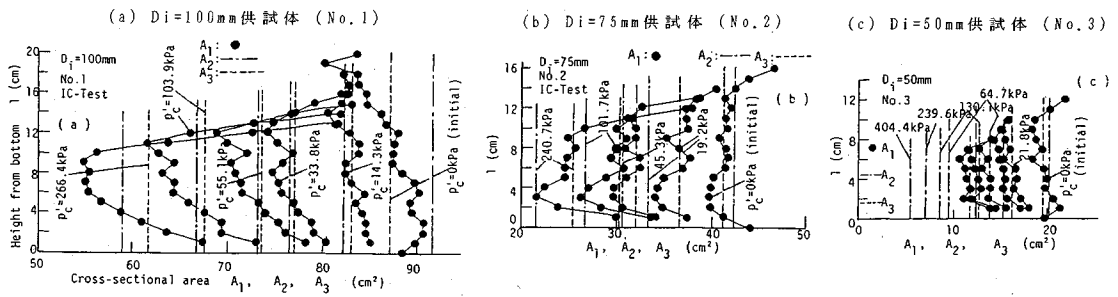


図-10 等方圧密に伴う供試体の断面積 (A_1, A_2, A_3) 変化

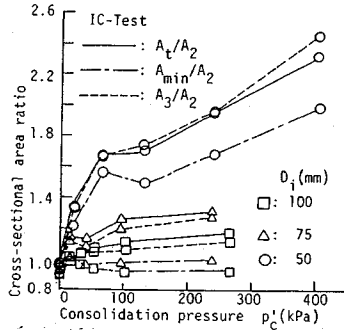


図-11 断面積比と圧密圧力との関係 (IC-試験)

での A_2 と A_1 との相違は、圧密前の供試体が非常に軟弱なため、形状測定までの間に生じた供試体の変形や落水による乱れの影響が大きく現われたためと思われる。

通常の土の場合には A_2 を用いて供試体断面積を算定し、応力・ひずみの値を計算する機会が多い。しかし、泥炭の場合、特に小さな寸法の供試体を用いて A_2 を算定した際には、計算される応力・ひずみの値にかなりの誤差が含まれることを念頭に入れる必要がある。そこで、 A_2 を基準として他の平均的断面積 (A_3, A_1, A_{min}) との比を取り、圧密圧力 (p'_c) との関係でプロットしたのが図-11である。 $D_i=100$ mm と 75 mm 供試体では各断面積比が 0.9~1.35 以内にあり、寸法の大きな供試体ほどその比が 1 に近づく傾向にある。そこで、供試体内の A_1 の分布は、当然、供試体の不均質性に依存していることから、その不均質性の度合 (後述する 5 節参照) を鑑み、供試体寸法及び応力範囲を限定することによって通常的手法によって求められる断面積 (A_2) を泥炭等を対象とした高有機質土にも適用できる可能性が唆される。

4. 排水圧縮せん断に伴う供試体形状変化

(1) 供試体形状の変化状況

$D_i=100$ mm (表-2 での No. 4-0 ~ No. 4-3) と 75 mm (No. 5-0 ~ No. 5-3) 供試体の場合について、排水圧縮せん断試験 (CD-試験) 終了後の供試体周面形状をせん断開始時 (圧密完了時) のそれと比較したのが図

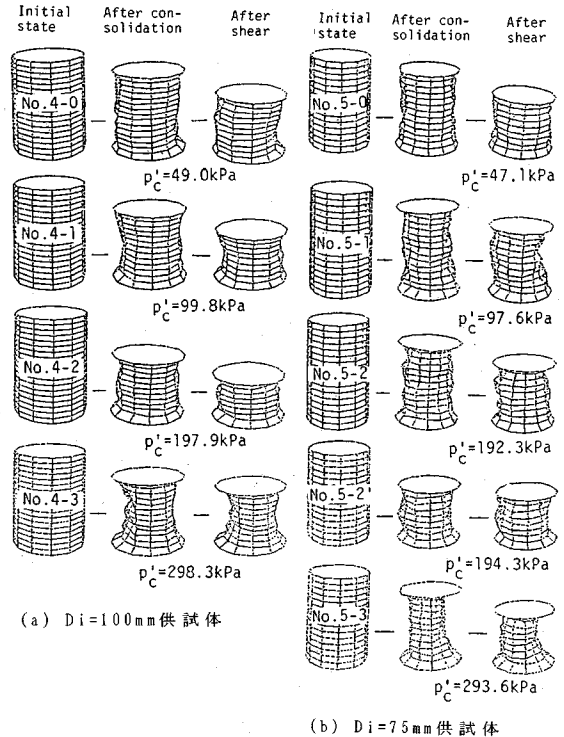


図-12 CD-試験での供試体形状の変化 ($\theta=0^\circ$)

図-12と13である。図-12 (a) と (b) は $\theta=0^\circ$ 方向から見た供試体形状を立体表示したもので、図-13 (a) と (b) は約 50 kPa と約 300 kPa の圧密圧力 (p'_c) の場合での供試体の下部、中心部、上部付近の円周形状を見たものである。図-12 に示す等方圧密完了と排水せん断終了時点での両供試体形状の比較から明らかなように、排水せん断過程では鉛直軸方向への圧縮がかなり起こっていることがわかる。ちなみに、いずれの供試体においても排水せん断過程において A_2 の供試体断面積を用いて試算したせん断ひずみ (ϵ_s) と体積ひずみ (v) は 15% 以上で、特に、体積ひずみ (v) は 19~32% であった。CD-試験での特徴的な現象は、排水せん断後の側面形状にはあまり変化が認められず、圧密完了時の側面形状とほぼ近似していることである。このことは、供試

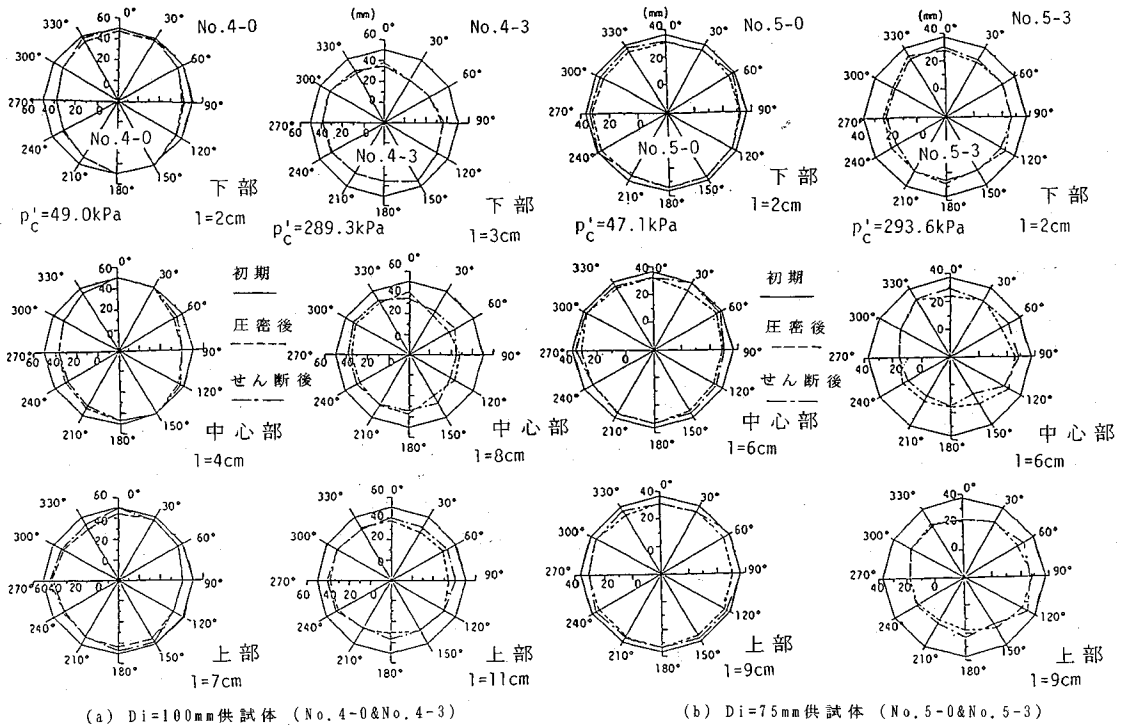


図-13 CD試験での円周形状の変化

体の代表的な高さ (l) での円周形状を描いた図-13より明瞭に理解できる。このようなことから、泥炭供試体での排水せん断過程で生じる体積変化やせん断変形に起因する供試体の形状変化は、等方圧密過程での形状変化に比較してかなり小さいと言える。即ち、排水せん断過程では、周面形状にあまり変化を起こさずに、せん断変形や体積変化量(排水量)に相当する分だけ鉛直軸方向への圧縮を生じ、三軸試験にもかかわらず、いわゆる一次元的な圧縮変形の形態を示している。この傾向は $D_t = 100\text{ mm}$ と 75 mm 供試体の場合で同様に認められ、供試体寸法に依らない泥炭に固有な現象と考えられる。このようなことから、排水せん断過程での周面形状の変化を凹凸率 (μ) で示した図-14の結果では、圧密完了とせん断終了時点での各圧密圧力 (p'_c) 及び供試体箇所 (l) における $\mu-\theta$ 関係にほとんど差異は認められない。即ち、泥炭供試体の周面に発生する凹凸状況は圧密圧力の大きさによってほとんど支配されていることが示唆される。

そこで、排水せん断終了時点での供試体断面積 (A_1 と A_3) を求めせん断開始時点でのそれと比較したのが図-15である。せん断終了時点での断面積 A_1 (●印) の高さ (l) 方向の分布に着目すると、それはせん断開始時点での A_1 の分布によく対応している。即ち、せん断開始時点での分布とほぼ類似の分布型を保有して、軸方向への圧縮量に相当する分だけ収縮される様な分布型

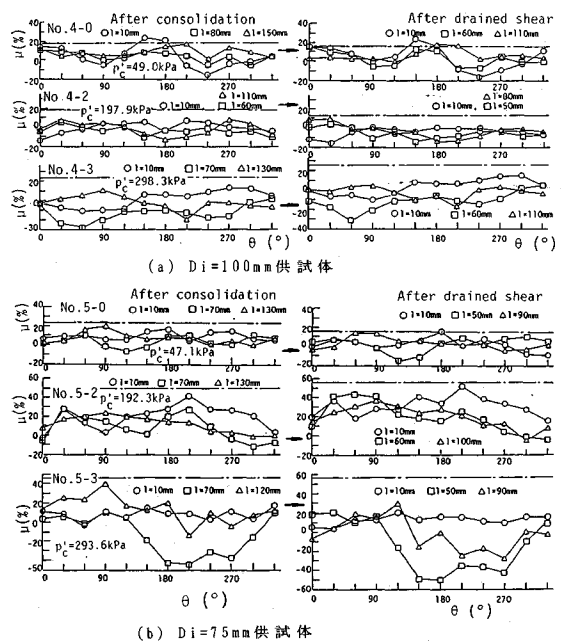


図-14 CD試験での $\mu-\theta$ 関係

を示している。しかし、圧密圧力 (p'_c) の比較的低い ($p'_c < 200\text{ kPa}$) 場合には、せん断終了時点での A_1 はせん断開始時点でのそれに比較して、高さ方向に亘って多少大きくなる傾向にあり、供試体がせん断過程において周

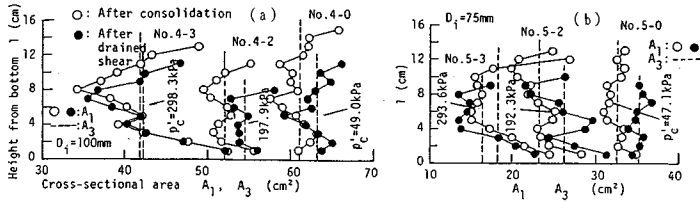


図-15 CD-試験での断面積変化

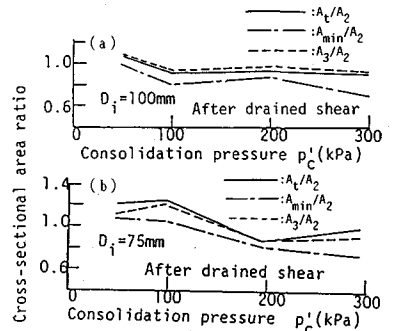


図-16 断面積比と圧密圧力との関係 (CD-試験)

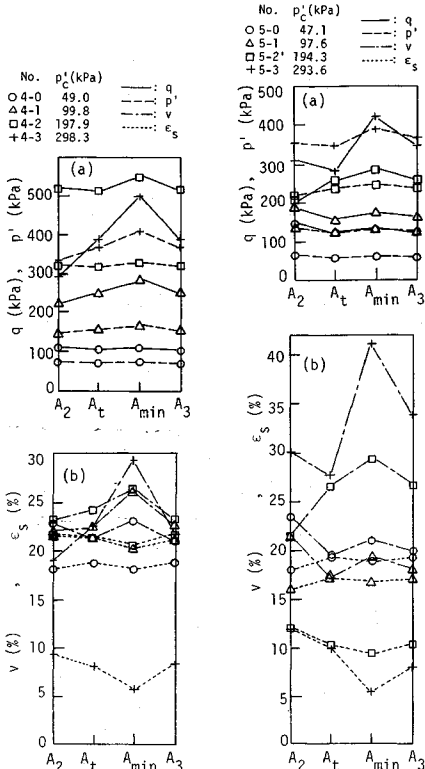


図-17 応力・ひずみ値の比較 (D₁=100 mm)

図-18 応力・ひずみ値の比較 (D₁=75 mm)

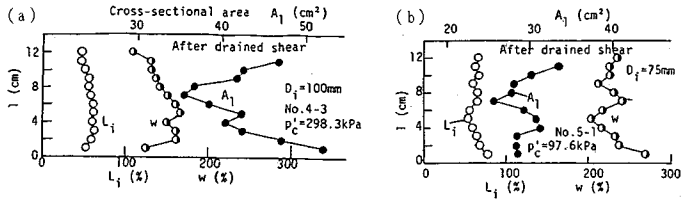
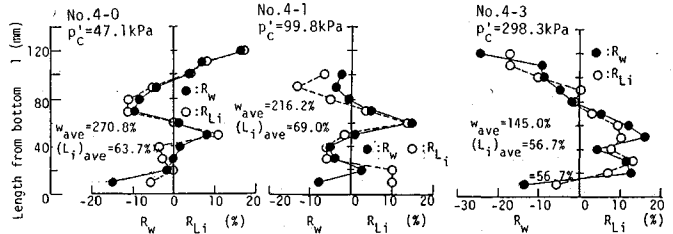
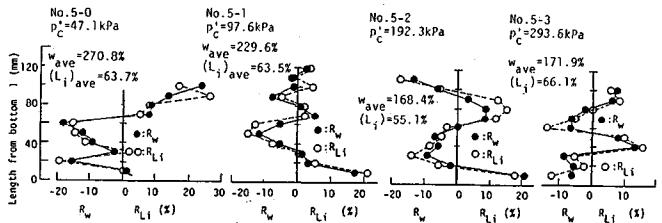


図-19 供試体内での L_i , w , A_1 分布の対応性



(a) D₁=100mm 供試体 (CD-試験)



(b) D₁=75mm 供試体 (CD-試験)

図-20 R_{Li} と R_w 分布の一貫性

面方向に多少膨らむ傾向が認められる。また、図-15中の破線で示す A_3 は、いわゆる供試体の高さ方向における A_1 の平均値に相当している。No. 4-0 ($D_1=100$ mm) と No. 5-0 ($D_1=75$ mm) 供試体で見られるように、圧密圧力 ($p'_c \approx 50$ kPa) の比較的小さな応力条件では、 A_3 は A_1 の分布を代表し得る断面積として近似し得る。しかし、 $p'_c \approx 300$ kPa の場合には、No. 4-3 ($D_1=100$ mm) と No. 5-3 ($D_1=75$ mm) の供試体では A_3 と A_1 の差がかなり大きくなる箇所が存在することから、 A_1 の分布を代表し得る断面積として A_3 を採用し得るか

否かについては応力・ひずみパラメータの計算値 (図-17 と 18 参照) 及び供試体の不均質性 (図-19 参照) を鑑みて判断する必要がある。なお、 A_3 を得るためには、周面形状の測定結果が必要となり実用的には非常に複雑である。そこで、供試体が円柱形のまま一様に変形すると仮定して求める A_2 の採用の可能性を調べるために、 A_2 を基準として排水せん断終了時点での各断面積比 (A_3/A_2 , A_t/A_2 , A_{min}/A_2) を圧密圧力 (p'_c) との関係でプロットしたのが図-16 (a) ($D_1=100$ mm 供試体) と (b) ($D_1=75$ mm 供試体) である。当然、最小断面

積との比である A_{min}/A_2 と p'_c との関係は他の関係の下方に位置することになる。しかし、両寸法の供試体において、各 p'_c での A_3/A_2 と A_1/A_2 の値は約 0.97~1.2 範囲にあり、ほぼ 1 に近似している。よって、図-15 で示したように、 A_3 は供試体の高さ方向における A_1 の平均的な値であることから、 A_3/A_2 の値が 1 に近似することは A_2 によって供試体断面積を算定し得る可能性が示唆される。しかし、 $A_2 \approx A_3$ と見なし A_2 を供試体断面積として採用し得るか否かは、 A_1 の平均値として A_3 を用いて良いか否かの判断によっている。以上のことから、供試体寸法、圧密圧力範囲を限定し、供試体周面に凹凸が発生しても、 A_3 が A_1 の平均値と見なせる試験条件が設定されるならば、泥炭供試体の場合にも断面積算定に軸方向の圧縮量と体積変化量から求める通常の手法が適用し得ることになる。

(2) 応力・ひずみパラメータ値の比較

泥炭の様な高有機質土の場合にも、適切な供試体寸法と応力範囲が設定されるならば、通常断面積算定方法で求められる断面積 (A_2) を応力・ひずみ計算に採用し得る可能性が示唆されることから、各断面積を用いて試算した応力・ひずみパラメータ値の比較から、 A_2 を採用し得る設定条件について検討する。

三軸試験でのデータ整理でよく用いられる代表的な応力・ひずみパラメータである軸差応力 ($q = \sigma_1 - \sigma_3$) 平均有効主応力 ($p' = (\sigma'_1 + 2\sigma'_3)/3$)、体積ひずみ (v)、せん断ひずみ ($\varepsilon_s = \varepsilon_a - v/3$, ε_a は鉛直軸ひずみ) を取り上げ、排水せん断終了時点での各パラメータの値を 4 種類の断面積 (A_2, A_1, A_{min}, A_3) を用いて試算した結果の比較について示したのが図-17 ($D_i=100$ mm 供試体) と図-18 ($D_i=75$ mm 供試体) である。 $D_i=100$ mm と 75 mm の各供試体において、図-16 に示した断面積間の相違によって計算される各応力・ひずみパラメータ値にも差異が認められる。ほぼ等しい圧密圧力 (p'_c) でもせん断終了時点での各供試体の応力・ひずみ状態が異なるので、 $D_i=100$ mm と 75 mm 供試体の結果を直接比較することは出来ないが、 p'_c の比較的小さい領域 ($p'_c < 100$ kPa) では応力・ひずみパラメータ値の各断面積間での変動は小さく、 A_2 と他の断面積を用いた場合とでは変動の傾向は類似している。しかし、 p'_c が増大 ($p'_c > 100$ kPa) するに従い特に、寸法の小さな $D_i=75$ mm 供試体において各断面積間での変動幅が大きくなり、 A_2 を用いて応力・ひずみパラメータの値を決定することが難しくなる。また、両寸法の供試体の場合において、応力パラメータ (q, p') よりもむしろひずみパラメータ (v, ε_s) の値が計算に用いる断面積によってかなり左右され易いことがわかる。以上のことから、本実験で用いた泥炭供試体の場合には、 $D_i=100$ mm 供試体では p'_c が約 200 kPa まで、 $D_i=75$ mm 供試体では p'_c が約 100 kPa

までに圧密圧力の設定範囲を限定することによって、 A_2 を用いた応力・ひずみパラメータ値は他の断面積 (A_1, A_{min}, A_3) での場合と概ね近似しており、妥当な値が得られているものと考えられる。

5. 供試体内の有機物含有量及び含水比分布

本研究で対象とした泥炭では写真-1 に示したように繊維質な有機物の他にかなり腐植した木片が混在していることから、有機物含有量や含水比が供試体内でかなり不均質に分布していることが予想でき、これが供試体周面の形状変化やそれに起因する断面積の非一様性の主因をなしていると考えられる。そこで、IC-と CD-試験終了後、供試体の高さ方向 (l) に 1 cm 間隔で供試体を輪切にして有機物含有量 (L_i) と含水比 (w) を求め周面形状との対応性について調べた。

図-19 (a) ($D_i=100$ mm 供試体) と (b) ($D_i=75$ mm 供試体) は CD 試験後の供試体での L_i と w の分布に並記して、実測した断面積 A_1 の分布を示した代表例である。なお、 L_i と w では変化する数値の範囲にかなりの相違があるため、次式で示す平均値 ($(L_i)_{ave}, w_{ave}$) からの偏差率 (R_{L_i}, R_w) で再度プロットしたのが図-20 (a) と (b) である。

$$R_w(\%) = \frac{w - w_{ave}}{w_{ave}} \dots\dots\dots (5)$$

$$R_{L_i} = \frac{L_i - (L_i)_{ave}}{(L_i)_{ave}} \dots\dots\dots (6)$$

図-20 から明らかなように、いずれの供試体の場合にも R_{L_i} と R_w の分布は互いによく対応しておりほとんど一致していることがわかる。即ち、供試体内の含水比 (w) は有機物含有量 (L_i) の高い箇所で大きく、 w の分布は有機物の混在量の分布に支配されている。対象とした泥炭供試体の場合には約 $\pm 30\%$ 範囲で R_{L_i} と R_w が変動している。そこで、図-19 において w と A_1 分布に着目すると、 A_1 分布は w 分布と概ね逆の対応性がある。 A_1 の値が大きな箇所では w の値が小さく、逆に A_1 の値が小さな箇所では w の値が大きくなる傾向にある。即ち、有機物含有量 (L_i) の高い箇所では圧縮後の含水比 (w) は高く保たれているが、しかし、形状変化が顕著に起こり断面積 (A_1) の減少が大きくなる。故に供試体周面の形状変化は有機物の混在状況から生じる不均質性に強く依存している。このようなことから、応力・ひずみパラメータの計算値を鑑みると、供試体の不均質性が R_{L_i} (あるいは R_w) で約 $\pm 30\%$ 以内であれば、前節で記述したように、供試体寸法によって圧密圧力の設定範囲を限定することによって、供試体の A_1 分布を代表し得る断面積として A_2 を採用することが可能と考えられる。

6. ま と め

(1) 泥炭供試体の周面形状の変化は等方圧密過程において卓越し、排水せん断過程でもかなりの体積変化やせん断変形を生じるにも関わらず、等方圧密過程でのそれに匹敵するほどではない。なお、供試体周面に発生する凹凸の絶対量を供試体半径で無次元化した周面凹凸率で評価すると、供試体周面形状に及ぼす凹凸効果は寸法の小さな供試体ほど拡大されて現われる。

(2) 本研究で対象とした不均質の度合いが R_{Li} (あるいは R_w) で約±30% 以内の泥炭供試体の場合には、 $D_i=100$ mm 供試体では圧密圧力が約 200 kPa まで、 D_i

=75 mm 供試体では圧密圧力が約 100 kPa までは圧縮量と排水量から算定される供試体断面積 (A_2) を用いた応力・ひずみ値は他の断面積 (A_3, A_i, A_{min}) の場合と近似した値を示すことから、不均質性の度合 (R_{Li} と R_w) を鑑み、供試体寸法と圧密圧力の設定範囲を限定することによって、通常の断面積算定方法が泥炭供試体の場合にも適用し得ることがわかった。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会編：土質試験法，第2回改訂版，第9刷，1984.
- 2) 土質工学会編：土質試験の方法と解説，1990.
(1991.3.26 受付)

CONSIDERATION ON METHOD OF TRIAXIAL TEST ON HIGHLY ORGANIC SOIL

Hareyuki YAMAGUCHI

The cylindrical specimens with three different dimensions, 100 mm, 75 mm and 50 mm in initial diameters, were trimmed from the undisturbed samples of peat. These specimens were set in triaxial apparatus and then were isotropically consolidated under different consolidation pressures. Also, after isotropic consolidation, drained compression shear tests were performed under constant lateral stresses. After the end of isotropic consolidation and drained shear tests, the measurements of the changes in shapes of cylindrical specimens were carried out with digital dial gauge. In the case of peat, unevenness is remarkably observed in the surface of specimen with the development of compression. In order to represent quantitatively the state of irregular surface of specimen, unevenness ratio was defined. The effect of unevenness on the shape of specimen is increased with the increase in consolidation pressure and the decrease in specimen size. It was indicated that the change in shape of specimen due to the occurrence of unevenness almost corresponded to the distributions of organic matter content and water content in specimen. Moreover, based on the calculated values of typical parameters of stresses and strains, the method for obtaining the crosssectional area after consolidation was discussed on the cylindrical specimen of peat.