

琉球大学農学部 正・新城俊也

小宮康明

1. はしがき

堆積土は堆積過程を通して上載荷重増加のもとに長年月にわたリ一次的に圧密されて水平方向に配向する。このような地盤は堆積方向とそれに直交する水平方向の性質が異なる軸直交方向等方性(transversally isotropic)を示すことが多い。特に泥炭堆積物や著しい過圧密状態にある硬質粘土ではその傾向が著しく、しかも破壊に至らない作用応力下では弾性的挙動が卓越するので、異方弾性体とみなして地盤の変形挙動を把握できる場合が多い。著者の一人は以前に島尻層泥岩について供試体軸を変化させて圧密圧力25 kgf/cm²までの非排水せん断、及び鉛直方向供試体のみに同じ圧密圧力までの排水せん断を行って強度異方性を調べたが、その際有効応力に基づく異方弾性パラメータは推定にとどまった。ここでは、それはいくらか粒度組成の異なる島尻層泥岩について低拘束圧での排水せん断を行い、変形特性と異方弾性パラメータについて示す。

2. 異方性地盤の応力～ひずみ関係とパラメータの決定

堆積方向にZ軸、それに直交する平面にX, Y軸をとると、応力～ひずみ関係は次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_z &= \frac{\sigma_z'}{E_v} - \frac{\nu_{vh}\sigma_x'}{E_h} - \frac{\nu_{hv}\sigma_y'}{E_h} & \gamma_{zx} &= \frac{\tau_{zx}}{G_{vh}} \\ \varepsilon_x &= \frac{\sigma_x'}{E_h} - \frac{\nu_{vh}\sigma_z'}{E_v} - \frac{\nu_{h}\sigma_y'}{E_h} & \gamma_{yz} &= \frac{\tau_{yz}}{G_{vh}} \\ \varepsilon_y &= \frac{\sigma_y'}{E_h} - \frac{\nu_{vh}\sigma_z'}{E_v} - \frac{\nu_{h}\sigma_x'}{E_h} & \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G_h} = \frac{2(1+\nu_h)}{E_h} \tau_{xy} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 E_v :鉛直方向のヤング率、 E_h :水平方向のヤング率、 ν_{vh} :鉛直応力による水平ひずみのポアソン比、 ν_{hv} :水平応力による鉛直ひずみのポアソン比、 ν_h :水平応力による水平ひずみのポアソン比、 G_{vh} :鉛直面におけるせん断定数。これらのパラメータは有効応力に基づく量である。また、ヤング率比 $\pi = E_h/E_v = \nu_{hv}/\nu_{vh}$ ……(2)の関係があるから、応力～ひずみ関係は5個のパラメータで記述できる。

これらのパラメータは次のように求まる。供試体軸と堆積方向Z軸のなす角度を θ とする。側圧を一定に保って軸応力だけを増加させる排水型軸対称三軸圧縮試験では、応力～軸ひずみ関係からヤング率が求まり、また体積ひずみ $\varepsilon_v (= \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$ と軸ひずみ ε_z の関係は次式で示される。

鉛直供試体 ($\theta = 0^\circ$)

$$(\varepsilon_v/\varepsilon_z)_v = 1 - 2\nu_{vh} \quad (3)$$

水平供試体 ($\theta = 90^\circ$)

$$(\varepsilon_v/\varepsilon_z)_h = 1 - \nu_h - \pi\nu_{vh} \quad (4)$$

また、軸方向角 θ に切出した供試体に対して次式より G_{vh} が求まる。^{2),3)}

$$\frac{\varepsilon_\theta}{\sigma_\theta} = \frac{1}{E_\theta} = \frac{1}{E_v} \cos^4\theta + \frac{1}{E_h} \sin^4\theta + \left\{ \frac{1}{G_{vh}} - \left(\frac{\nu_{hv}}{E_h} + \frac{\nu_{vh}}{E_v} \right) \right\} \sin^2\theta \cos^2\theta \quad (5)$$

表1 物理諸量

G_s	2.76	
ρ_t	1.95 Mg/m ³	
w_n	29.8 %	
e	0.84	
S_r	100 %	
粒度組成	砂分	7 %
	シルト分	47 %
	粘土分	46 %

3. 試料及実験方法

試料は琉球大学敷地内からブロッツサンプルとして採取した。物理諸量を表1に示す。

この試料は島尻層泥岩の中でも砂・シルト分を多く含有し、含水比が高めである。供試体はブロッツサンプルより供試体軸と堆積方向のなす角 θ が 0° (鉛直供試体)、 45° 、 90° (水平供試体)になるように、直径5cm、高さ10cm

の円柱形に切出した。せん断試験は供試体の側面にベーパーレインを巻き、back pressure = 3.0 kgf/cm² を作用させながら等方圧密した後、側圧を一定に保って軸応力だけを增加させる排水型軸対称三軸圧縮試験を行った。圧密圧力は 0.5 kgf/cm² と 5.0 kgf/cm² で、軸ひずみ速度は 0.002 %/min である。

4. 実験結果

図1は側圧 5.0 kgf/cm² の場合の $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon_1$ 関係を、図2は鉛直供試体と水平供試体について $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon_v$ 関係を示す。

$(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon_1$ 関係はおおよそ軸ひずみ 0.5% まで直線関係にあり、その勾配は供試体軸の傾きによって異なっている。 $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon_v$ 関係は $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon_1$ 関係に対して初期の段階で体積圧縮を伴う直線関係にあるが、その後応力の増加に伴って体積圧縮が著しくなり、その傾向は最大強度点まで持続されている。すなわち、初期の段階では骨格構造の弾性挙動を示し、その後骨格の局部的破壊を伴った体積圧縮傾向にある。この傾向は $\theta = 45^\circ$ の供試体に対しても、また側圧 0.5 kgf/cm² の場合も同じである。しかしこの挙動は、粘土分の多い島尻層泥岩に見られるように軸差応力の増加に伴って初期の体積圧縮から正のダイレイタンス¹⁾を伴う体積膨張傾向に移行する挙動とは異なっていて、砂・シルト分の含有量の多い島尻層泥岩に対する変形特性のようである。なお、この程度の側圧では破壊後の応力²⁾ $\sim$ 軸ひずみ関係はひずみ軟化と体積膨張を伴う。

Atkinson⁴⁾ は応力²⁾ $\sim$ 軸ひずみ関係の線型、非線型にかかわらず、土の弾性挙動は体積ひずみ³⁾ $\sim$ 軸ひずみ関係の線型性で定義している。図3は各側圧における鉛直供試体と水平供試体の $\epsilon_v \sim \epsilon_1$ 関係を示す。図中、矢印は図1の $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon_1$ 関係の線型限界を示す。この限界まで $\epsilon_v \sim \epsilon_1$ 関係は直線関係にあり、続いて体積圧縮傾向を伴いながら勾配を異にするか、ほぼ同じ勾配の直線関係が認められ、その後非線型に移行する。すなわち、骨格構造の弾性挙動と骨格の局部的破壊を伴う弾性挙動が考えられるが、その区別はこの実験結果だけでは明確でない。

ここでは、 $\epsilon_v \sim \epsilon_1$ 関係における初期の弾性挙動に対して異方弾性パラメータを求める。その結果を表2に示す。

5. 考察

泥岩堆積岩からなる地盤は異方性である場合が多く、変形挙動には異方性を考慮する必要がある。ここでは、低側圧での弾性パラメータを求めたが、ヤング率比 μ が側圧によって異なっており、拘束圧の影響を明らかにする必要がある。

参考文献 1) 新堀俊也: 弱固結粘土の異方弾性挙動, 環状岩学報. Vol. 26, pp.307~327, 1979 2) Lo, K.W. and Hori, M.: Deformation and strength properties of some rocks in southern Ontario, Can. Geotech. J. Vol. 16, pp.108~120, 1979 3) Uziel, A.O.: Discussion on prediction of undrained deformation and pore pressures in weak clay under two embankments, Geotechnique, Vol. 23, pp.294~301, 1973 4) Atkinson, J.H.: Anisotropic deformation in laboratory test on undisturbed London clay, Geotechnique, Vol. 23, pp.317~327, 1975

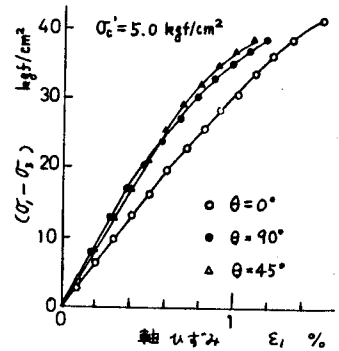


図1 軸差応力²⁾ $\sim$ 軸ひずみ関係

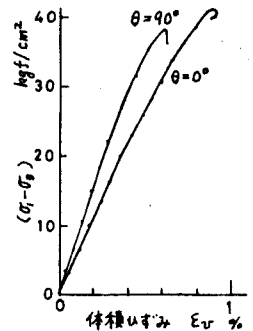


図2 軸差応力²⁾ $\sim$ 体積ひずみ関係

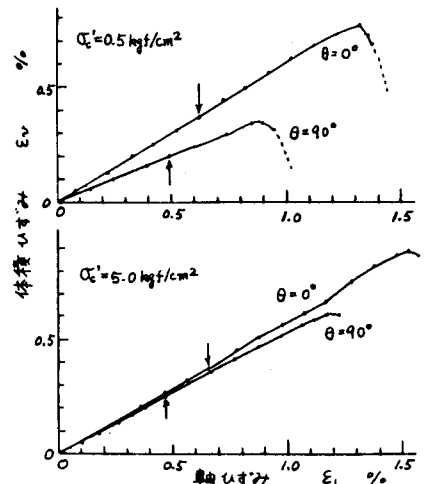


図3 体積ひずみ³⁾ $\sim$ 軸ひずみ関係

表2 弾性パラメータ

σ_3' kgf/cm ²	ヤング率 $\times 10^3$ kgf/cm ²			μ	ν_{vh}	ν_h	G_{vh} $\times 10^3$ kgf/cm ²
	E_v	E_h	E_θ				
0.5	3.54	3.89	4.09	1.10	0.20	0.37	1.81
5.0	3.29	4.65	4.36	1.41	0.22	0.14	1.88