

三主応力制御試験装置による堆積軟岩の異方的弾性変形特性

東京大学生産技術研究所 正 早野 公敏, 古関 潤一
前田道路 須藤 朗宏

1. はじめに 近年、橋梁・LNG タンク・ダム等の基礎工事が堆積軟岩地盤を対象とする事例が増加しており、都心部においても地下鉄等の地下深部掘削を伴う施工で対象となる場合が増えている。これらの設計・施工では上部構造物の安定性や周辺環境への配慮から地盤の変形挙動を正確に把握することが重要な検討課題となる場合が多い。そこで本研究では「比較的均質な堆積泥岩地盤を対象に三主応力制御試験装置を用いて堆積軟岩の異方的弾性変形特性」について明らかにする。

2. 試料及び試験装置・方法 上総層群の堆積軟岩で地下約 50m の深さからブロックサンプリングにより採取された試料から角柱供試体を整形した。実験装置には三主応力制御試験装置を用いた^[1](図 1)。角柱供試体の寸法を一方の水平応力 σ_x 面:幅 80mm、これと直交する水平応力 σ_y 面:幅 60mm、高さ 160mm とし、3 方向の主ひずみは供試体側面で局所的な方法により測定を行った。鉛直応力 σ_z 方向の軸ひずみ ϵ_z を一対の縦 LDT で、 σ_y 方向の水平ひずみ ϵ_y を 2 対の横 LDT で測定し、 σ_x 方向の水平ひずみ ϵ_x は三対の非接触変位計(Proximeter)で測定を行った。上下端面と拘束板と接する側面には摩擦軽減層を設けている^[2]。飽和化は二重負圧法により行った。背圧 $p_B=196\text{kPa}$ を加えた後、1.6MPa まで等方圧密($\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$)を行い、その後 $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z=0.47\text{MPa}$ まで等方的に除荷して排水条件でせん断した。せん断は σ_x と σ_y を基本的に一定に保ったまま軸ひずみ速度 0.001%/min で行い、 $\sigma_z=3.4\text{MPa}$ まで鉛直方向に载荷した後、 $\sigma_z=0.1\text{MPa}$ まで一度目の除荷を行い、 σ_z を再び 5.4MPa まで増加させた後、再び $\sigma_z=0.1\text{MPa}$ まで 2 度目の除荷を行った。その後、圧縮破壊に至るまで σ_z を増加させて载荷した。

3. 試験結果 図 2 に等方圧密中の各主ひずみと平均主応力 $p'=(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3$ の関係を示す。 $(\epsilon_x)_{\text{Gap}}$ は

$(\epsilon_z)_{\text{LDT}}$, $(\epsilon_y)_{\text{LDT}}$ と比較すると明らかに不自然である。载荷初期に急激にひずみが大きくなるのはメンブレンペネトレーションの影響が、 p' の増加に伴い次第にひずみが減少するのは Gap Sensor を固定したセル支柱のたわみの影響がそれぞれ大きいと考えられる。従って、拘束圧が変化する時には $(\epsilon_x)_{\text{Gap}}$ には多くの誤差が含まれる。図 3 にせん断中の軸差応力 $q = \sigma_z - \sigma_x$ と各主ひずみの関係を示す。 $(\epsilon_x)_{\text{Gap}}$ と $(\epsilon_y)_{\text{LDT}}$ は一致せず、 σ_z の増加に伴いその違いは大きくなる。また大きな繰返し载荷に伴い生じる残留ひずみは $(\epsilon_x)_{\text{Gap}}$ が $(\epsilon_y)_{\text{LDT}}$, $(\epsilon_z)_{\text{LDT}}$ に比

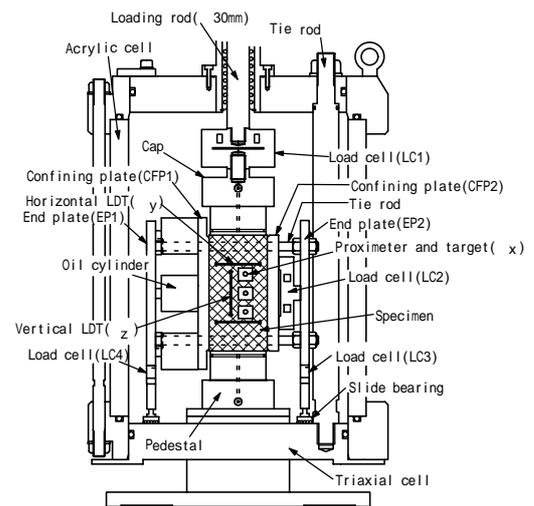


図 1 三主応力制御試験装置

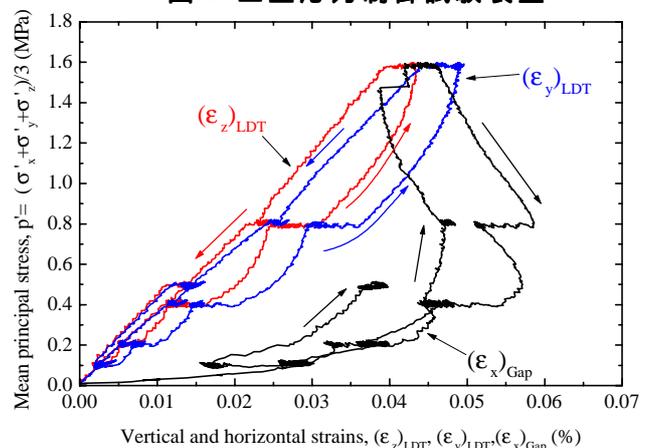


図 2 等方圧密中の各主ひずみと p' 関係

キーワード: 堆積軟岩, 三主応力制御試験, 異方的弾性変形特性

〒106-8558 東京都港区六本木 7-22-1 Tel:03-3402-6231 Fax: 03-3402-6231

べて大きい。これは供試体の構造が、 ϵ_z が増加するときy方向よりもx方向に弱くなる傾向にあることを示唆している。

ヤング率の応力状態誘導異方性 等方圧密中やせん断中の異なる応力状態でヤング率の応力状態依存性を調べるために鉛直・水平二方向にひずみ振幅 0.001%レベルの繰返し载荷を行った。

(1) $\epsilon_x = \epsilon_y$ を一定に保ったまま、微小な ϵ_z を繰返し与え、 $\epsilon_z \sim (\epsilon_z)_{LDT}$ 関係の勾配から鉛直方向ヤング率 E_v を求めた。(2) ϵ_z と ϵ_x を一定に保ったまま、 ϵ_y を作用させる繰返し载荷を行い、 $\epsilon_y \sim (\epsilon_y)_{LDT}$ 関係の勾配から水平方向のヤング率 E_h を求めた。図4に各応力状態で求められた E_v と E_h を ϵ_z に対してプロットしたものを示す。等方圧密中における E_v と E_h もあわせてプロットした。等方圧密では $\epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_z$ の増加に伴い、 E_v 、 E_h ともに増加していくことが認められる。せん断時における E_v は破壊に近い応力レベルを除いて ϵ_z の増加に伴い、緩やかに増加している。この傾向は三軸試験においても確認されている^[3]。一方でせん断時の E_h は基本的に ϵ_z の影響を受けていない。異方応力状態におけるヤング率の異方性は、ヤング率はその方向の有効直応力に基本的に依存していると考えることにより合理的に説明できる。ただし、大きな繰返し载荷の進行に伴い、同じ ϵ_z で比較すると E_v 、 E_h ともに次第に低下して大きな繰返し载荷の影響を受けている。これは繰返し载荷をうける場合の地盤変形を予測する際に重要な影響をもつと考えられる。

まとめ 堆積泥岩の微小ひずみレベルにおける鉛直と水平方向のヤング率をそれぞれ一つの角柱供試体から求めた。その結果、ヤング率は応力状態に依存した異方性を示すことが明らかになった。この特性は鉛直方向のヤング率が鉛直応力に、水平方向のヤング率が同じ方向の水平応力に基本的に依存していると考えられることにより説明できる。ただし、大きな繰返し载荷履歴によりヤング率は同じ応力状態で比較すると低下する。さらに非接触変位計で求めた水平ひずみは拘束圧が変化すると誤差を含むことが明らかになった。

参考文献 [1]佐藤ら(1998), “軟岩の三主応力制御試験装置の開発”, 第33回地盤工学研究発表会, pp.1191-1192. [2]佐藤ら(1999), ”鉛直・水平ヤング率を測定する三主応力制御試験における端面摩擦の影響”, 第34回地盤工学研究発表会, pp.679-680. [3]早野ら(1997), ”堆積軟岩の弾性係数の応力状態依存性”, 第32回地盤工学研究発表会, pp.1221-1222.

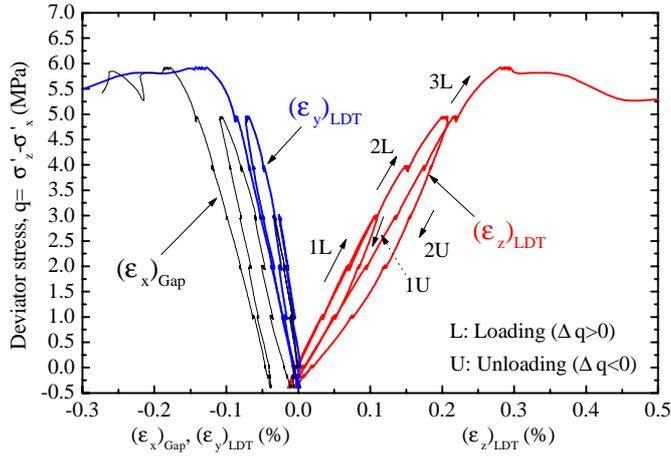


図3 せん断中の各主ひずみとqの関係

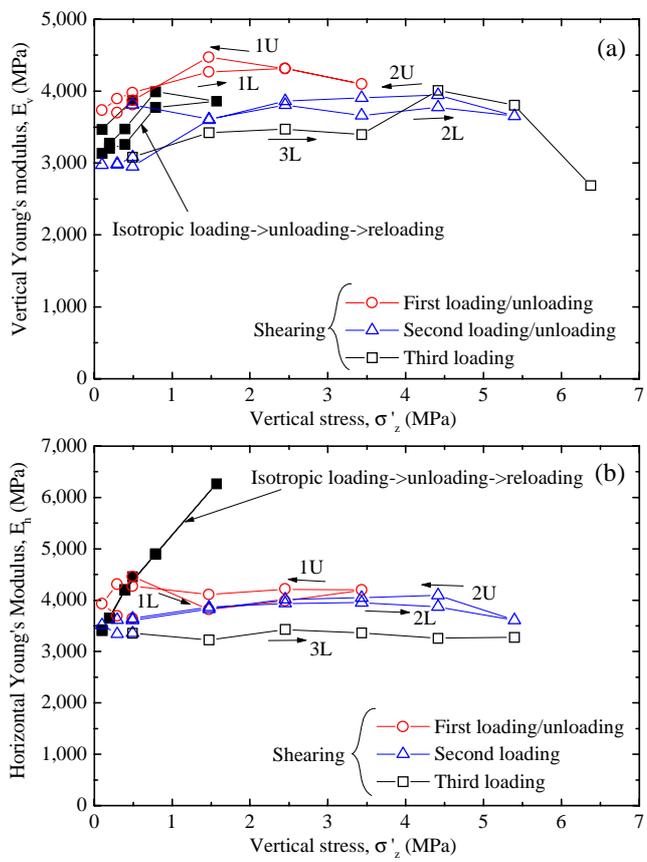


図4(a)鉛直ヤング率 E_v と鉛直応力 σ'_v の関係
(b) 水平ヤング率 E_h と水平応力 σ'_h の関係