三軸繰返しおよび室内弾性波試験による微小ひずみ域での泥炭の変形特性

秋田大学 学生会員 ○畑下侑輝 正会員 荻野俊寛 正会員 高橋貴之 秋田工業高等専門学校 正会員 山添誠隆

1.研究背景・目的

土地利用の高度化にともない,近年,泥炭地盤においても近接施工を余儀なくされる事例が増加している.近接施工において周辺構造物への影響を考えるとき,小ひずみ域よりも小さい範囲の変形特性が重要になる.このようなひずみ域での変形特性として,これまで,*G*-/関係や*h*-/関係)のデータが蓄積されているが,本研究は静的な荷重載荷による泥炭の変形問題を念頭に,その端緒として微小ひずみ領域における変形挙動について検討する. 2.試料および試験概要

実験に用いた試料は,秋田県横手市郊外で 採取した大雄泥炭であり,深度 1m 程度の泥 炭層に直径 70mm の塩ビ管を貫入して採取し た.採取した試料の上下端面を成形し,高さ約

 試料
 含水比
 土粒子密度
 強熱減量 L(%)
 分解度

 w(%)
 $\rho_8(g/cm^3)$ H(%)

 大雄泥炭
 637.8
 1.662
 70.18
 88.40

140mmの供試体とした.表-1に試料の物性値を示す.

上記の試料に対し、三軸試験装置内で圧密応力比を K=1.0 として初 期圧密応力の=30kPa で圧密を行い、圧密打切り後に非排水条件下でベ ンダーエレメント(BE)試験および微小ひずみ域での繰返し載荷試験に よって弾性係数を求めた.

圧密試験の打ち切りは軸ひずみ速度 $d\varepsilon_a/dt=0.0001\%/min$ になった時 点とした.これはその後行う繰返し載荷試験において、二次圧密の影 響を相対的に小さくするためである.圧密中の軸ひずみおよび軸ひず み速度の変化を図1に示す.BE 試験に用いた送信波は 1~2 kHz の正弦 波であり、式(1)を用いてせん断弾性係数 G_{BE} を定義した.

$$G = \rho_t V_s^2 = \rho_t \left(\frac{L}{\Delta t}\right) \tag{1}$$

ここに、 ρ_t は湿潤密度、 V_s はせん断波速度、Lは BE 間の距離、 Δt はせん 断波伝播時間である。 Δt は JGS 規準に従い、送受信波の立ち上がり間と ピーク間の平均より求めた(図-2). 繰返し載荷試験は BE 試験後、片振幅 軸ひずみ 0.005%、軸ひずみ速度 0.005%、0.05%、0.5%/min で実施した. 3.実験結果および考察

図-1 の圧密沈下曲線から,供試体はおよそ 2 時間で 3t 法による 一次圧密の終了時間(*tEOP*)を迎えている.この時点での軸ひずみ速度 は約 0.006%/min であり,本研究で設定した圧密打切りの軸ひずみ 速度に達するまでにはおよそ 300 時間を要した.

図 2 は BE 試験から得られた送受信波の波形を示している.式(1) によって求めた G_{BE} は 5.6MPa であり、図-7 で述べるように、送信 波の振動数による影響は見られなかった.

次に,繰返し載荷に使用した軸変位制御用モーターの精度について検証する.図-3は繰返し載荷中の軸ひずみ*Ea*と時間 *t*の関係を示している.右軸には軸変位量を示している.繰返し載荷は全部で11サイクル行っているが,図中には10サイクル目(*n*=10)のみ抜き出し

キーワード 泥炭 せん断弾性係数 繰返し載荷試験 ベンダーエレメント 連絡先 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 TEL 018-889-2364





表-1 試料の物性値

て示している.繰返し載荷時のデータ測定はおよそ 10 点/秒である.そ のため、測定点は軸ひずみ速度が大きくなるほど疎らになっていくが、 dsa/dt=0.005 および 0.05%/min の場合,測定点は密に分布しており,変位 (縦軸)の分解能も十分に高いため、ほぼ連続した測定データが得られて いる. 近似線の傾きは軸ひずみ速度とほぼ一致している. ds/dt=0.5%/min の場合,1 サイクルに要する時間が約 2.5 秒と短いため,測定点の間隔 が疎らになっているが、近似線の傾きは 0.45~0.55%/min であり、設定 した軸ひずみ速度はほぼ達成されていることがわかる. なお, dɛ/dt=0.5%/minの結果において、データが横に二つ連続して並んでいる 測定点が見られるが、これは変位(縦軸)の分解能に起因するものではな く、モーターの変位データの更新がおよそ5回/秒とデータ測定間隔(10 点/秒)よりも遅いためである.このことは、繰返し載荷中の変位が最大 で 0.2 秒の時間遅れを含むことを示唆しているが、履歴曲線はおおむね 描けていることから(図-6),弾性係数の評価に及ぼす影響は小さい と判断した.

図-4 は繰返し載荷中の軸応力Δσa/3 (全応力)および過剰間隙水圧 △uの変化を示しており、図-5は10サイクル目(n=10)の拡大図であ る.過剰間隙水圧は全応力の変化によく追随しており、いずれの軸 ひずみ速度においても時間遅れはほとんど認められないが, d ɛa/dt=0.005%/min の載荷において約 0.3kPa の過剰間隙水圧の蓄積 が見られる. それぞれの振幅を見ると(図-5), Δσa /3 とΔuの振幅は ほぼ等しく,弾性的な挙動を示している.これは主に供試体から間 隙水圧計までの経路における圧力損失によるものと考えられるが, その差は 0.3kPa 程度である. これらの過剰間隙水圧の値は圧密応 力(σ=30kPa)のおよそ 1%であり、繰返し載荷中の有効応力の変化は 小さく、弾性係数の評価には影響しないと判断される.

図-6 は 10 サイクル目における軸ひずみと偏差応力の関係を示し ている. dɛ/dt=0.5%/min の場合, 前述の理由から履歴曲線がややい びつになっているが、近似線の傾きから得られる Eo はいずれもほ ぼ等しく、弾性的な挙動が確認できる。図-7は弾性係数と軸ひずみ 速度の関係を示している. 図中には EBE=3GBE として得られた BE 試 験の結果も合わせて示している.軸ひずみ速度は BE 試験のせん断 ひずみを 1×10⁻⁶ として送信波の振動数から計算した. 算出された BE 試験の軸ひずみ速度は 10¹ から 10² %/min オーダーに相当し, 繰返し載荷試験よりも 10 倍以上大きいが,弾性係数の値は繰返し 載荷試験結果とほぼ等しく、10⁻³~10²%/min にかけての広範囲な載

荷速度において砂や粘土をはじめ多くの材料で確認されている載荷速度に 依存しない弾性域 ¹⁾が示されている.

6.まとめ

本研究から得られた知見は以下のとおりである.

・ひずみレベル10-5以下の範囲で、泥炭についても他の地盤材料と同様な、

ひずみ速度に依存しない弾性域の存在が確認された.

1) Tatsuoka, F., et al.: Characterising the pre-failure deformation properties 【参考文献】 of geomaterials, Theme Lecture for the Plenary Session No. 1, Proc. of XIV IC on SMFE, Hamburg, September 1997, 4, 2129-2164, 1999.



図-4 繰返し載荷中のσaおよびΔuの変化



図-5 繰返し載荷中の Ga および Au の変化(10 サイ クル目)





図-7 弾性係数におよぼす軸ひずみ速 度の影響