

泥炭のせん断弾性係数に及ぼす練り返しの影響

秋田大学 学生員 ○福嶋基徳
同上 正会員 荻野俊寛
同上 同上 高橋貴之
同上 同上 及川 洋

1. 目的

従来、泥炭のせん断弾性係数はほとんどの場合、他の土と同様に繰返し载荷試験によって求められてきた 1)～3)。しかし堆積過程に起因する顕著な構造的異方性を有する泥炭の場合、せん断弾性係数におよぼす土の微視的構造の影響が大きいと考えられる。本報告では泥炭試料を用い、繰返しおよび不攪乱供試体について非排水繰返し三軸試験およびベンダーエレメント試験を実施してせん断弾性係数を求め比較している。これらの比較から不攪乱試料と繰返した試料の構造の差異に着目してせん断弾性係数に及ぼす繰返しの影響について検討している。

2. 実験概要

供試体に用いた試料は秋田市郊外から採取した泥炭で、繰返し、不攪乱の状態で行っている。不攪乱試料は直径 70mm の塩ビ管を直接地盤に差し込んで採取している。繰返し試料は鉛直応力 20、あるいは 40kPa で予圧密したものを供試体として用いた。供試体サイズは直径 73mm、高さ 150mm である。また、供試体の物性値は、土粒子密度 $\rho_s=1.63 \text{ g/cm}^3$ 、強熱減量 $Li=66.2\sim79.7\%$ 、分解度 $H=79.0\sim86.1\%$ であり、比較的繊維質の少ない分解の進んだ試料である。

試験にはベンダーエレメント（以下、BE と略記。）を組み込んだ三軸圧縮試験装置を使用している。図-1 は装置の概略図を示している。本装置は軸変位制御にメガトルクモーター用いており、微小ひずみ域での変形係数の評価が可能である。実験では所定の圧密応力 (20, 40, 60, 80, 100, 200, 300kPa) で等方圧密を行い、3 t 法によって圧密を打ち切った後、BE 試験および非排水繰返し载荷試験を行った。BE 装置は、トップキャップに組込まれた装置上部の送信 BE からせん断波を送信し、発生したせん断波を下部の受信 BE で受信し、送・受信波をデジタルオシロスコープによりモニタリングする仕組みとなっている。なお、送信波は DA コンバータによって生成される。

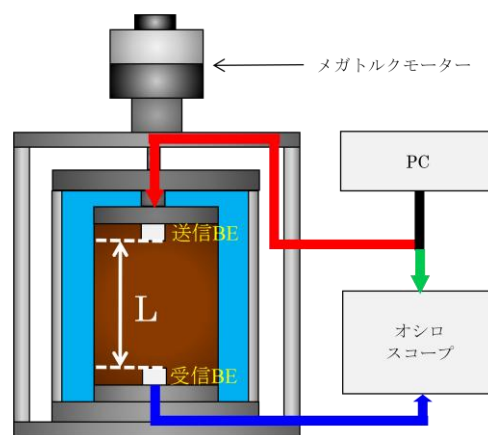


図-1 BE を組み込んだ三軸試験装置

80, 100, 200, 300kPa) で等方圧密を行い、3 t 法によって圧密を打ち切った後、BE 試験および非排水繰返し载荷試験を行った。BE 装置は、トップキャップに組込まれた装置上部の送信 BE からせん断波を送信し、発生したせん断波を下部の受信 BE で受信し、送・受信波をデジタルオシロスコープによりモニタリングする仕組みとなっている。なお、送信波は DA コンバータによって生成される。

試験条件は以下の通りである。BE 試験については、送信波は振幅 $20V_{p-p}$ の矩形波および、 $20V_{p-p}$ 、振動数 500～5000Hz の正弦波(sin 波)を用いる。BE 試験により得られるせん断弾性係数 G_{BE} は式(1)より与えられる。その後、方振幅軸ひずみ $\epsilon_{sa}=0.005\%$ 、振幅速度 $\dot{\epsilon}_a=0.02\%/min$ 、繰返し回数 $n=11$ 回の条件下で、三軸試験装置による繰返し载荷試験を行った。試験結果より得たヤング係数 E より、せん断弾性係数 G_{cyc} は式(2)より与えられる。

$$G_{BE} = \rho \cdot Vs^2 = \rho \left(\frac{L}{\Delta t} \right)^2 \quad \dots(1) \quad , \quad G_{cyc} = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \dots(2)$$

ここに ρ は土の密度、 Vs はせん断波速度、 L は供試体高さ、 Δt はせん断波の伝播時間である。また、 ν はポアソン比であり、等方弾性非排水条件を仮定し、 $\nu=0.5$ とする。

3. 実験結果および考察

図-2 は代表的な BE 試験の送受信波形である。この図において、振動数 1000Hz における Δt は 2.300msec を示すが、他の振動数では Δt の値は異なる。このように、BE 試験では、送信波の振動数の増加に伴い Δt の値が見かけ上変動する傾向にあるため、本報告では Sanchez-Salinero et al.¹⁾の提案する適切な G を得るための条件である、 $2 < L/\lambda < 4$ となるように送信波の振動数を設定し、この条件を満たすものから得た Δt を平均して、式(1)から G を算出した。

図-3は G と σ' の関係を示しており、BE試験によって求めた G_{BE} と繰返し載荷試験によって求めた G_{cyc} を、繰返し試料と不攪乱試料について比較したものである。繰返し試料ではBE試験、繰返し載荷試験ともかなり近い値が得られたが、どちらの試験方法でも不攪乱試料のほうが G の値が小さい。また、図-4は圧密応力 σ' と比体積 $f(=1+e)$ の関係であるが、ここでは圧密応力が大きくなるごとに比体積は小さくなる傾向にある。ここで、不攪乱試料および繰返し試料それぞれについて正規圧密線を引き比較すると、同じ圧密応力でも不攪乱試料のほうが比体積が大きいことがわかる。したがって、図-3の繰返し試料と不攪乱試料の G の差には間隙比の差が大きく影響していると考えられる。

他の実験と比較すると、本実験の G はWehling et al.²⁾やArulnathan et al.³⁾の値の80%程であり、やや小さな値を示したが、 G の傾きはほぼ等しい。また、不攪乱試料の G_{cyc} はNoto et al.⁴⁾と近い値を示すことがわかる。

図-5は、繰返し試料および不攪乱試料について、圧密応力ごとに G_{BE} と G_{cyc} を比較したものである。BE試験と繰返し載荷試験では主応力軸が 45° 異なる。そのため、不攪

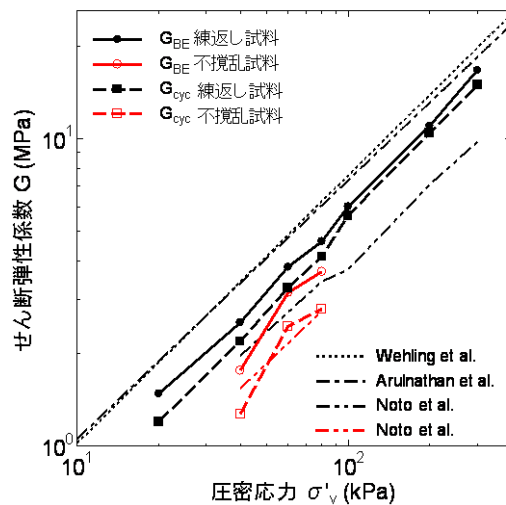


図-3 各実験より求めた G の比較

乱試料については泥炭の繊維の方向に起因する構造の異方性により、各試験方法によって G の値が変化しているのではないかと考えられる。しかし本報告で用いた試料については不攪乱試料については G_{cyc} に比べ G_{BE} のほうがやや大きい値を示しているものの、繰返し試料との差は小さく、顕著な差は認められなかった。

4. 結論

今報告より得られたおもな知見は以下の通りである。

- 繰返し試料と不攪乱試料を比較すると、繰返し試料のほうが G の値は大きくなる傾向がある。この理由として、不攪乱試料を繰返すことによって泥炭の有機物の構造を乱しているため、繰返し試料は間隙比が小さくなるためと考えられる。
- 不攪乱試料について G_{BE} と G_{cyc} を比較すると、 G_{BE} のほうが大きくなる傾向がある。これは、試験方法による主応力軸の違うことから、泥炭の繊維方向に起因する構造異方性の影響と考えられる。

【参考文献】

- Sanchez-Salinerio, I., Roeset, J. M. & Stokoe, K. H.: Analytical study of body wave propagation and attenuation, Geotechnical engineering report No GR86-15, Civil Engineering Department, University of Texas at Austin, 1986.
- Wehling, T. M., Boulanger, R. W., Arulnathan, R., Harder Jr., L. F. and Driller, M. W.: Nonlinear Dynamic Properties of a Fibrous Organic Soil, J. Geotech. and Geoenviron. Engrg., ASCE, Vol. 129, No. 10, pp.929-939, 2003.
- Arulnathan, R., Boulanger, R. W., Kutter, B. L. and Sluis, W. K.: NewTool for Shear Wave Velocity Measurements in Model Tests, Geotechnical Testing Journal, Vol. 23, No. 4, pp. 444-453, 2000.
- 能登繁幸, 加治屋安彦: 泥炭の動的変形特性に関する実験的研究, 土木試験所月報 No.406 1987年3月

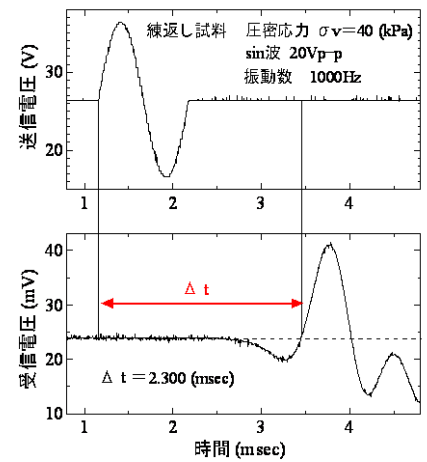


図-2 BE試験 送受信波形

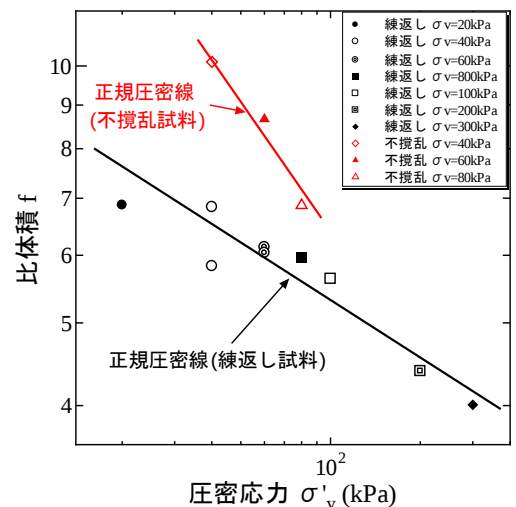


図-4 圧密応力と比体積の関係

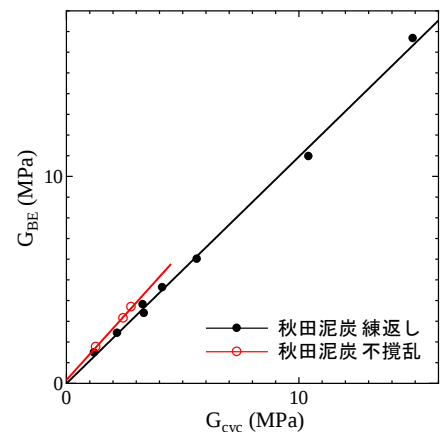


図-5 G_{BE} と G_{cyc} の相関図