

III-28

ベンダーエレメント試験による練返した泥炭のせん断弾性係数

秋田大学 学生員○鎌田 明子

同上 正会員 荻野 俊寛

同上 正会員 及川 洋

1. はじめに

泥炭は非常に高い圧縮性および不均一性を有することから、砂や粘土に比べ変形特性を評価することは非常に難しく、これまで泥炭の変形係数を求める試験はほとんど行われていない。本報告では秋田市郊外から採取した泥炭についてベンダーエレメント(以下 BE)試験を実施し、せん断弾性係数 G を直接求め、粘土の結果と比較している。

2. 実験の概要

実験には秋田市郊外から採取した泥炭試料の他、比較のために粘土試料を用いている。泥炭試料は含水比約 800% になるように蒸留水を加え、調整したものであり、粘土試料は市販の NSF 粘土に液性限界の 2 倍になるよう、蒸留水を加え攪拌調整したもので、いずれもペースト状態のものである。秋田泥炭の物性値は $\rho_s=1.65\text{g/cm}^3$ 、強熱減量 $L_{ig}=66.2\%$ 、分解度 $H=86.1\%$ であり、NSF 粘土の物性値は土粒子の密度 $\rho_s=2.78\text{g/cm}^3$ 、液性限界 $LL=55\%$ 、塑性指数 $I_p=26$ 、粘土分は 99% である。BE 試験は段階荷重圧密の各段階において、3t 法による圧密打ち切り時に行っている。圧密は一面せん断試験装置にベンダーエレメントを装着し、さらに泥炭試料にも適用可能なように改良したせん断箱内で行っており、試料はせん断箱内に直接流し入れている。圧密応力 σ_v' は 20kPa から 80kPa まで増分 20kPa として設定している。また、一部の実験では圧密後に定体積せん断試験を行っている。なお、せん断波の到達時間 Δt は基本的に受信波のピーク点によって定義しており、図-1 は代表的な送・受信波の波形および Δt の位置を示している。

3. 実験結果および考察

図-2 は NSF 粘土および秋田泥炭の間隙比 e と圧密応力 σ_v' の関係を示している。図中には著者らが過去に実施した実験結果¹⁾も併せて示している。正規圧密線の傾きは泥炭で 1.91~1.98、粘土で 0.206~0.209 となっており、正規圧密線の傾き、間隙比の値とも泥炭の方が著しく大きい。図-3 は図-2 に対応する $e-\ln G$ 関係を示している。泥炭の間隙比と粘土の間隙比の間には大きな開きがあるため、図-3 から G の値の大小関係は直接比較することできないが、両試料とも間隙比が減少すると G は増加傾向にあり、 $e-\ln G$ 関係の傾きは秋田泥炭で 1.63~1.65、粘土で 0.225~0.264 と泥炭の傾きが著しく大きい。図-4 は図-2、図-3 に示したものと同じデータを用いて $\ln \sigma_v'-\ln G$ 関係を示している。同一 σ_v' においては粘土の G は泥炭の G に比べ大きな値を示しているが、 $\ln \sigma_v'-\ln G$ 関係の傾きは秋田泥炭で 1.04~1.15、NSF 粘土で 0.771~0.912 となっており、図-2、図-3 と比較すると試料による差は小さい。これらの図から $e-\sigma_v'-G$ の関係について、泥炭の場合も基本的には粘土と同様の挙動を示すことがわかる。

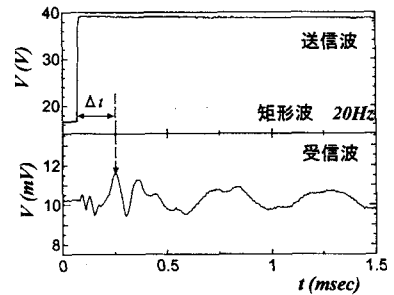


図-1 代表的な波形(泥炭、 $\sigma_v'=80\text{kPa}$)

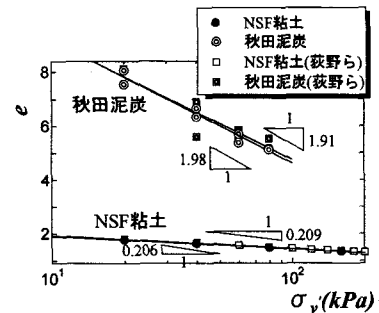


図-2 $e-\ln \sigma_v'$ 関係

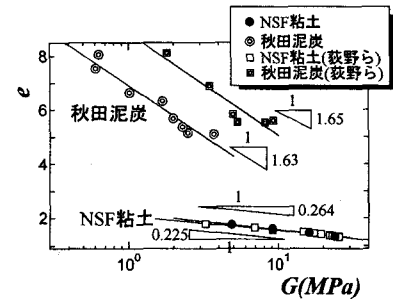


図-3 $e-\ln G$ 関係

図-5は秋田泥炭についてBE試験実施後に引き続き行った定体積せん断試験におけるせん断応力 τ と変位 d の関係を示しており、図-6はせん断強度 τ_{max} と σ_v' の関係を示している。図-5は典型的な泥炭の挙動を示しており、 τ は d とともに増加し続け、ピーク強度を示していないため、 τ_{max} は地盤工学会基準に従って d が7mm以下の τ の最大値として求めている。図-6から、近似線の傾きとして $\tan \phi_{cu}=0.56$ が得られるが、近似線は同時に泥炭に特徴的な傾向として切片 $c_{cu}(=3.7\text{kPa})$ を持っていることがわかる。また、図-7は $\ln G - \ln \tau_{max}$ 関係を示している。位置関係は大きく異なっているが、泥炭、粘土²⁾とも G と τ_{max} の関係は両対数軸上において直線関係を示しているように見える。ここで、図-4から G と σ_v' の関係は式(1)で表される。

$$G = \sigma_v'^{\xi} \exp \zeta \quad (1)$$

ここに、 ξ 、 ζ はそれぞれ図-4における近似線の傾きおよび $\sigma_v'=1\text{kPa}$ に対応する G である。また、図-6から τ_{max} と σ_v' の関係は式(2)で表される。

$$\tau_{max} = c_{cu} + \sigma_v' \tan \phi_{cu} \quad (2)$$

式(1)、式(2)から σ_v' を消去すると τ_{max} と G の関係は式(3)となる。

$$G = \left(\frac{\tau_{max} - c_{cu}}{\tan \phi_{cu}} \right)^{\frac{\xi}{\tan \phi_{cu}}} \exp \zeta \quad (3)$$

したがって図-7において泥炭試料の結果は一見直線関係を示しているように見えるが、 $c_{cu}=0$ の場合以外は τ_{max} と G の関係は厳密には直線関係にはならないことがわかる。正規圧密粘土の場合、一般に $c_{cu}=0$ となるので、NSF粘土については図-7の関係が直線となることは式(3)からも明らかであるが、泥炭では多くの場合 $c_{cu}=0$ とならないため、直線関係を示さないことになる。図-7中の破線は $c_{cu}=0$ 、5、10kPaとして式(3)から求めた G の計算値であるが、 c_{cu} が5kPa以下のときはその影響は小さくほぼ直線とみなせることがわかる。また、 $c_{cu}=10\text{kPa}$ の場合、 τ_{max} が小さい範囲では直線性が保たれていない部分もあるものの、 τ_{max} が20kPa以上の範囲ではおおむね直線とみなすことができる。

4. まとめ

泥炭のせん断弾性係数、間隙比、圧密応力の関係について、定性的には粘土とほぼ同様であることを示した。また、せん断弾性係数と定体積せん断強度の関係についても c_{cu} が小さい場合にはほぼ粘土と同様の直線挙動を示すとみなして差し支えないと判断された。

【参考文献】

- 1) 荻野 俊寛、三田地 利之、対馬 雅己、及川 洋：減衰振動・共振に着目したベンダーエレメント試験による土の変形特性の評価、土木学会論文集、No.743/III-64、135-145、2003。
- 2) 荻野 俊寛、三田地 利之、澁谷 啓、及川 洋：圧密定体積一面せん断試験による粘性土の変形・強度特性－ベンダーエレメントによるせん断弾性係数の測定－、土木学会論文集、No.673/III-54、15-26、2001。

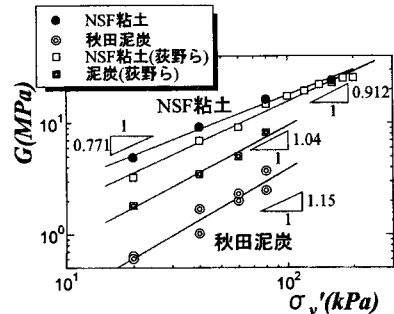


図-4 $\ln \sigma_v' - \ln G$ 関係

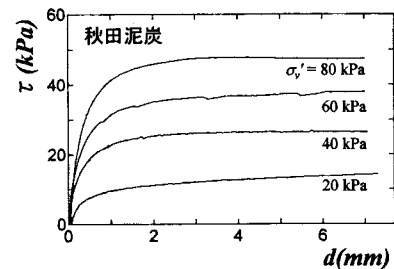


図-5 $d - \tau$ 関係

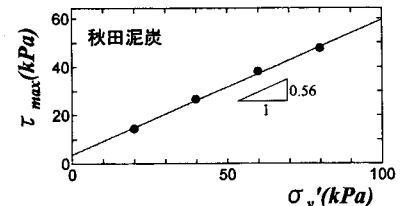


図-6 $\tau_{max} - \sigma_v'$ 関係

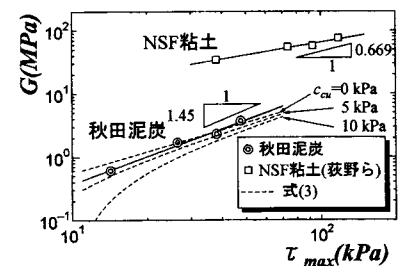


図-7 $\ln \tau_{max} - \ln G$ 関係