

## 正規圧密泥炭および有機質粘土の微小ひずみ時せん断剛性率の定式化

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 (正) ○林宏親、林憲裕

## 1. まえがき

地震などによる地盤の動的問題を扱う場合、土の微小ひずみにおけるせん断剛性率や動的変形特性の把握が重要となる。しかし、泥炭や有機質粘土に関する研究は、砂や粘土などの無機質土に比べ事例が少なく、未だ不明確な部分を残しているのが現状である。そこで、北海道において採取した有機質粘土から繊維質に富んだ泥炭までの広範囲な物性を有する試料に対して繰返しねじりせん断試験を行い、有効拘束圧 $\sigma'_c$ 、強熱減量 Li と微小ひずみにおけるせん断剛性率  $G_0$  の関係を調べた。

## 2. 実験方法

北海道内 7 箇所（当別町蕨岱、江別市篠津、同江別太、猿払村浅茅野、共和町梨野舞内、土塩町雄信内、豊頃町豊頃）においてシンウォールサンプリングを行い、有機質粘土から繊維質泥炭までの広範囲な物性を持つ 10 種類の不攪乱試料（自然含水比  $W_n=143\%\sim 970\%$ 、強熱減量  $L_i=18\%\sim 95\%$ ）を採取し、繰返しねじりせん断試験を行った。泥炭の動的変形特性は有効拘束圧  $\sigma'_c$  の異方圧密応力比にあまり関係ないことが明らかとなっている<sup>1)</sup>。したがって、30, 50, 100（一部、90kN/m<sup>2</sup>）、150kN/m<sup>2</sup>で等方圧密し、3t 法により圧密を打ち切った後、その圧密圧力を  $\sigma'_c$  として非排水条件下で正弦波（0.5Hz）の繰返しねじり力を 1 载荷段階につき 11 波载荷した。なお、正規圧密状態での挙動を調べるために、すべての試料において圧密降伏応力より十分に大きい  $\sigma'_c$  を与えた。実験の方法については、文献 2) に詳しい。

### 3. 実験結果と考察

砂や粘土における既往の研究(例えば 3) 4) 5) では、 $G_0$  を間隙比  $e$  および  $\sigma_c'$  との関数で表現することが多い。しかし、能登・熊谷<sup>6)</sup> および荻野ら<sup>7)</sup> は、砂や粘土と比較して極めて大きな間隙を有する泥炭に対して、 $e$  を使うタイプの実験式の適用性が低いことを指摘している。一方、泥炭の力学的特性は、 $L_i$  や含水比と関連付けて整理されることが多い。今回の実験結果の整理を考えると、

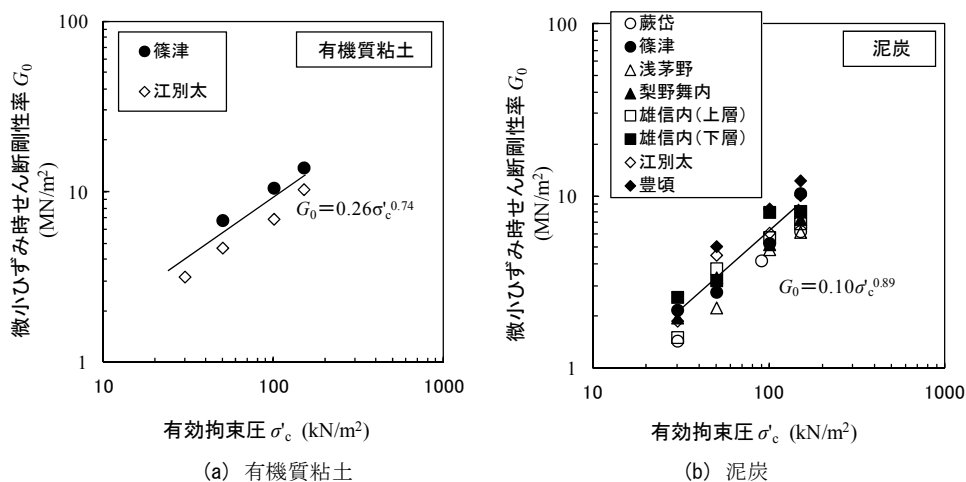


図2 有効拘束圧と微小ひずみ時せん断剛性率

圧密の前後で変化しない値である強熱減量が便利である。そこで、今回の実験で得られた  $L_i$  と  $G_0$  の関係を両対数上に整理したのが図 1 である。ここで、 $G_0$  はせん断ひずみ  $\gamma < 10^{-3}(\%)$  におけるせん断剛性率である。同じ  $\sigma_c'$  であれば、 $L_i$  が高くなるにつれて  $G_0$  がほぼ直線的に小さくなることがわかる。また、 $\sigma_c'$  が異なっても傾きは大きく

泥炭、有機質粘土、微小ひずみにおけるせん断剛性率、正規圧密

寒地土木研究所 寒地地盤チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3 TEL: 011-841-1709)

変わらない。

次に、 $G_0$  と  $\sigma'_c$  の両対数上の関係を、有機質粘土と泥炭ごとに図2に示す。有機質粘土の  $G_0$  は、 $\sigma'_c$  が  $30 \sim 150 \text{ kN/m}^2$  の範囲において、 $3.2 \sim 13.9 \text{ MN/m}^2$  であり、 $G_0$  は  $\sigma'_c$  の 0.74 乗（以下、この指数を  $n$  とする）に比例して増加した。泥炭の  $G_0$  は、有機質粘土と比べて小さく、 $\sigma'_c$  が  $30 \sim 150 \text{ kN/m}^2$  の範囲では、 $1.5 \sim 12.3 \text{ MN/m}^2$  であった。また、泥炭の  $G_0$  と  $\sigma'_c$  も概ね比例関係にあり、 $n$  の平均値は 0.89 であった。砂の  $G_0$  は、 $\sigma'_c$  の 0.5 乗に比例して増加することが知られている<sup>3)4)</sup>。粘土では、 $n=0.5 \sim 0.6$  との報告がある<sup>5)8)</sup>。一方、有機質粘土と泥炭の  $n$  は、砂や粘土よりも大きく、無機質土と比べて  $\sigma'_c$  の影響を強く受けることがわかる。

$G_0$  を物理インデックスから簡便に推定することができれば、工学的に有用な情報となる。そこで、前述した実験結果に基づいて、有機質粘土と泥炭を対象にした  $G_0$  の定式化を検討する。図1および図2において  $G_0$  が  $L_i$  や  $\sigma'_c$  と両対数上で直線的な関係にあったことで、 $G_0$  を  $\sigma'_c$  の  $n$  乗で除した値 ( $G_0/\sigma'^n_c$ ) と  $L_i$  の関係を図3に示す。ここで、 $n$  は土質別に一定の値と仮定し、各々の平均値（有機質粘土： $n=0.74$ 、泥炭： $n=0.89$ ）を用いた。 $L_i$  と  $G_0/\sigma'^n_c$  の関係は、土質ごとに図中に示した式で近似できる。この結果から、有機質粘土および泥炭の  $G_0$  は、式(1)と式(2)で表すことができる。ここで、 $G_0$  の単位は  $\text{MN/m}^2$ 、 $L_i$  は%表示、 $\sigma'_c$  の単位は  $\text{kN/m}^2$  である。

$$\text{有機質粘土} : G_0 = 2.3 L_i^{-0.75} \sigma'^{0.74}_c \quad (1)$$

$$\text{泥炭} : G_0 = 2.3 L_i^{-0.75} \sigma'^{0.89}_c \quad (2)$$

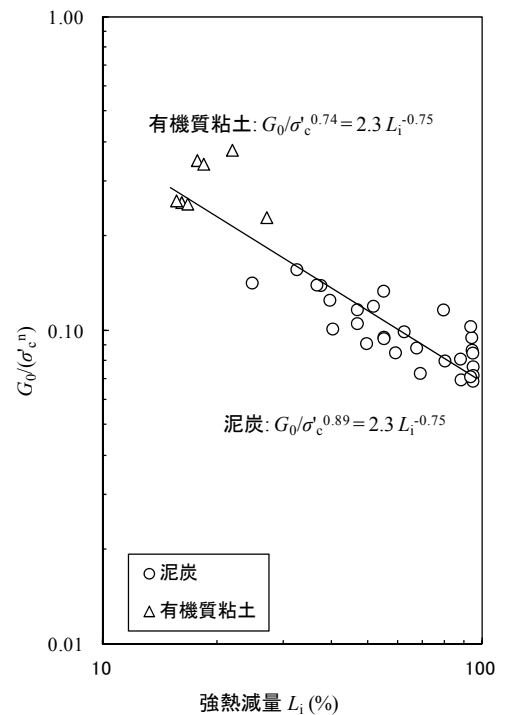
式(1)および式(2)は、簡便な土質試験から得られる  $L_i$  から  $G_0$  を推定できる式であり、工学において有用と考える。しかし、これらはいくつかの近似関係や仮定に基づいた実験式であり、その精度を確認する必要がある。図4に実験から得られた  $G_0$  と式(1)および式(2)から推定した値の関係を示す。有機質粘土ならびに泥炭とも概ね実験値と推定値が一致し、推定値は実験値の 0.6～1.5 倍の範囲にあった。

#### 4. まとめ

正規圧密状態の有機質粘土および泥炭に対して繰返しねじりせん断試験を行った。その結果、 $L_i$  が  $G_0$  へ与える影響を明らかにするとともに、 $G_0$  の  $\sigma'_c$  依存性が無機質土と比べ強いこともわかった。さらに、 $L_i$  と  $\sigma'_c$  から  $G_0$  を推定する実験式を提案した。

#### 【参考文献】

- 1)林宏親、西本聡、橋本聖、梶取真一：泥炭の動的変形特性に及ぼす圧密条件の影響、地盤工学会北海道支部技術報告集 No.51、pp.1-6、2011。
- 2)林宏親、林憲裕、橋本聖、山木正彦：泥炭のせん断剛性と減衰に与える過圧密履歴の影響、寒地土木研究所月報 No.760、pp.53-59、2016。
- 3)Hardin, B.O. and Richart, F. E.: Elastic Wave Velocities in Granular Soils, Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, 89(SM1), pp.33-65, 1963。
- 4)Kokusho, T.: Cyclic Triaxial Test of Dynamic Soil Properties for Wide Strain Range, Soils and Foundations, 20(2), pp.45-60, 1980。
- 5)Kokusho, T., Yoshida, Y. and Esashi, Y.: Dynamic Properties of Soft Clay for Wide Strain Range, Soils and Foundations, 22(4), pp.1-18, 1982。
- 6)能登繁幸、熊谷守晃：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.393、pp.12-21、1986。
- 7)荻野俊寛、高橋貴之、及川洋、三田地利之：土粒子密度によって有機分の影響を考慮した高有機質土のせん断弾性係数の定式化、第45回地盤工学研究発表会発表講演集、pp.201-202、2010。
- 8)Zen, K., Umehara, Y. and Hamada, K.: Laboratory Tests and In-situ Seismic Survey on Vibratory Shear Modulus of Clayey Soils with Various Plasticities, Proceedings of 5th Japanese Earthquake Engineering, pp.721-728, 1978。



縦軸の有効拘束圧  $\sigma'_c$  の指数  $n$ : 有機質粘土  $n=0.74$ 、泥炭  $n=0.89$

図3 強熱減量と  $G_0/\sigma'^n_c$

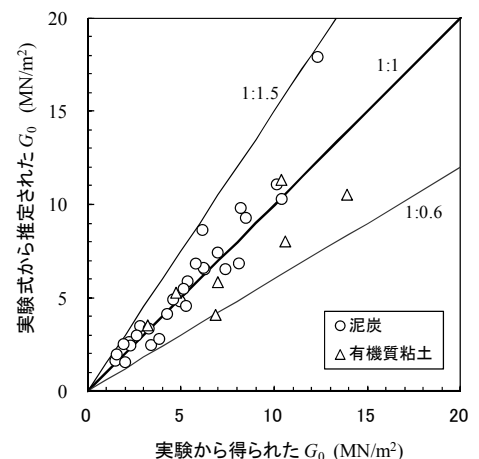


図4  $G_0$  の実験値と推定値