

正規圧密泥炭の動的変形特性とその定式化

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 (正) ○林宏親、(正) 西本聡、(正) 橋本聖、(正) 梶取真一

1. まえがき

地盤の動的解析において、微小ひずみにおけるせん断剛性率 G_0 およびせん断剛性率 G や履歴減衰率 h のひずみ依存性（動的変形特性）が重要であるが、特殊土である泥炭については、まだ不明な点が多い。そこで、北海道において採取した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い、 G_0 と動的変形特性を調べた。このうち G_0 に関しては、既に報告¹⁾していることから、本文では動的変形特性について述べる。

2. 実験方法

北海道内 5 箇所（当別町、江別市、猿払村、共和町、天塩町）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 7 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 σ'_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²⁾。したがって、30, 50, 100, 150kN/m² 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 σ'_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 σ'_c を与えた。試料の物性や実験方法については、文献 3) に詳しい。

3. 実験結果と考察

3.1 せん断剛性率および履歴減衰率のひずみ依存性

代表的な結果として、物性が異なる 3 試料（共和町の泥炭、江別市の泥炭と有機質粘土）における $\sigma'_c=100\text{kN/m}^2$ のせん断ひずみ γ とせん断剛性比 G/G_0 の関係を図 1 に示す。繊維質が多く、圧密後含水比 ($W_c=430\%$) や強熱減量 ($L_i=94\%$) の高い共和町の泥炭では、 $\gamma=0.05\%$ 程度から G/G_0 の低下が見られ、 $\gamma=1\%$ の時には初期の 0.5 程度の G であった。一方、泥炭と比べ含水比や有機物の少ない江別市の有機質粘土 ($W_c=122\%$, $L_i=22\%$) では、 $\gamma=0.01\%$ 程度から G/G_0 の低下が現れ、 γ の増加に伴う G/G_0 の減少が比較的大きい。やや分解の進んだ泥炭である江別市の泥炭 ($W_c=259\%$, $L_i=67\%$) では、両者の中間的な結果であった。すなわち、含水比や強熱減量の大きい泥炭ほど、 G のひずみ依存性（非線形性）が弱いといえる。また、泥炭のひずみ依存性は、粘土・シルト⁴⁾よりも弱いものであった。

図 2 に図 1 と同じ試料と σ'_c の γ と h の関係を示す。およそ 0.05% 以下の γ においては、試料の違いによる h の差が見られない。また、いずれの試料においても、0.1% 程度より大きな γ では、 γ が増加するにつれて h が増加した。粘土・シルト⁴⁾と比較して、泥炭や有機質粘土の h は小さく、その傾向は γ が大きい領域において著しい。

3.2 規準ひずみおよび最大履歴減衰率の定式化

動的変形特性の単純化には、 $G/G_0 = 1/(1 + \gamma/\gamma_r)$ と $h = h_{\max} (1 - G/G_0)$ で表現される Hardin-Drnevich モデル⁵⁾（以下、H-D モデル）が良く用いられる。ここで、 γ_r は $G/G_0=0.5$ における γ （規準ひずみ）、 $h_{\max}$ は最大履歴減衰率である。なお、 G のひずみ依存性は γ_r で比較することができる。ここでは、先に述べた結果を基に H-D モデルを適用

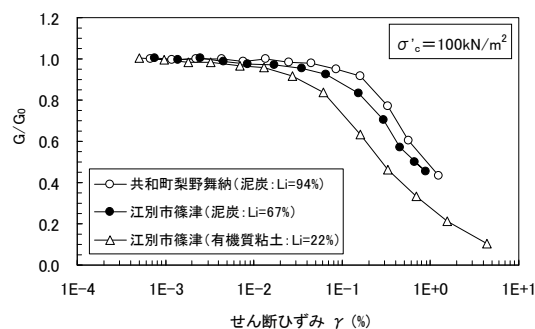


図 1 せん断ひずみとせん断剛性比

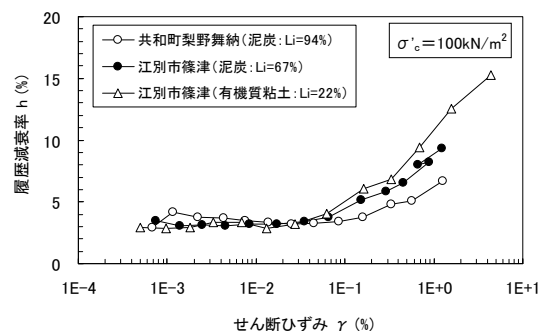


図 2 せん断ひずみと履歴減衰率

泥炭、有機質粘土、動的変形特性、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)

し、泥炭や有機質粘土の動的変形特性の定式化について検討する。

図3に W_c と γ_r の関係を示す。泥炭の γ_r は0.4~2.1%の範囲にあり、有機質粘土の γ_r は0.2~0.3%と泥炭と比べ小さい値であった。また、ばらつきはあるものの、同じ σ'_c であれば W_c が高いほど大きな γ_r であった。泥炭と有機質粘土にわけて σ'_c と γ_r の関係を図4と図5に示す。いずれも σ'_c と γ_r は両対数上で比例関係にあることがわかる。 σ'_c の指数 m を見ると、泥炭が $m=0.42$ 、有機質粘土が $m=0.34$ であった。 γ_r が W_c や σ'_c と両対数上で直線的な関係にあったことから、 γ_r を σ'_c の m 乗で除した値($\gamma_r/\sigma'_c{}^m$)と W_c の関係を図6に示す。ここで、図4や図5の関係から有機質粘土は $m=0.34$ 、泥炭は $m=0.42$ と仮定した。 W_c と $\gamma_r/\sigma'_c{}^m$ の関係は、土質に関係なく図中に示した式で近似できる。以上の関係を利用すると、有機質粘土および泥炭の γ_r は、次式で表すことができる。ここで、 W_c の単位は%、 σ'_c の単位は kN/m^2 である。

$$\text{有機質粘土: } \gamma_r (\%) = 0.0023 W_c^{0.69} \sigma'_c{}^{0.34}$$

$$\text{泥炭: } \gamma_r (\%) = 0.0023 W_c^{0.69} \sigma'_c{}^{0.42}$$

図7に $\sigma'_c=100\text{kN/m}^2$ における G/G_0 と h の関係を示す。 $h=h_{\max}(1-G/G_0)$ で表現されるとすれば、図7において G/G_0 と h は直線関係となり、 $G/G_0=0$ の時の切片が $h_{\max}$ を示す。実験結果は、 $G/G_0=0.8$ より大きい領域を除いて概ね直線関係にあり、 $h_{\max}$ は16.4%であった。また、土質の違いによる明瞭な差は認められなかった。次に $h_{\max}$ と σ'_c の関係を図8に示す。 σ'_c の増加に伴いわずかに $h_{\max}$ が増加し、両者の関係は次式で近似できる。ここで、 σ'_c の単位は kN/m^2 である。

$$h_{\max} (\%) = 0.012 \sigma'_c + 15.5$$

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結果、これらの土の物性がせん断剛性率 G や履歴減衰率 h のひずみ依存性(動的変形特性)へ与える影響が明らかとなった。さらに、H-Dモデルを適用した場合に必要なパラメータ(規準ひずみ γ_r と最大履歴減衰率 $h_{\max}$)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：微小ひずみにおける正規圧密泥炭のせん断剛性率、第48回地盤工学研究発表会発表講演集(投稿中)、2013。2)林宏親、西本聡、橋本聖、梶取真一：異方圧密応力比が泥炭の動的変形特性に与える影響、第46回地盤工学研究発表会発表講演集、pp.745-746、2011。3)林宏親、西本聡、橋本聖、梶取真一：中空ねじり試験による正規圧密泥炭の動的変形特性、地盤工学会北海道支部技術報告集 No.53、pp.89-96、2013。4)安田進、山口勇：種々の不攪乱土における動的変形特性、第20回土質工学研究発表会発表講演集、pp.539-542、1985。5)Hardin, B.O. and Drnevich, V.P.: Shear Modulus and Damping in Soils; Design Equations and Curves, Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, 98(SM7), pp.667-692, 1972。

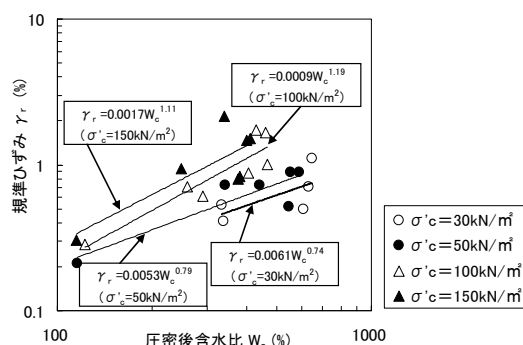


図3 圧密後含水比と規準ひずみ

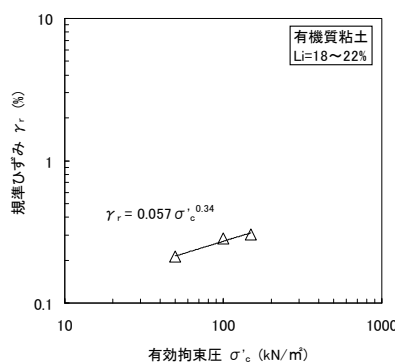


図4 有効拘束圧と規準ひずみ (有機質粘土)

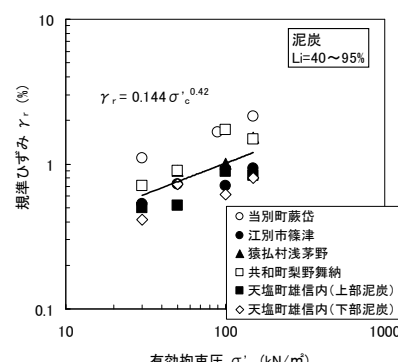


図5 有効拘束圧と規準ひずみ (泥炭)

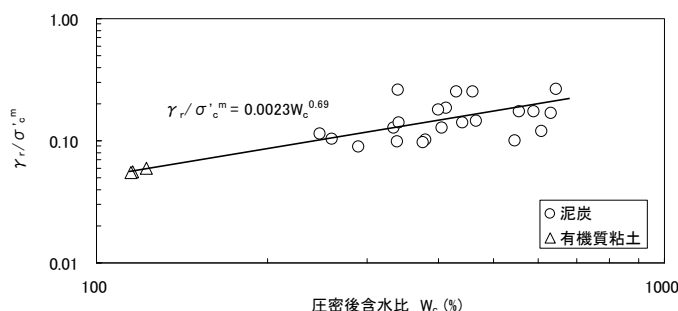


図6 圧密後含水比と $\gamma_r/\sigma'_c{}^m$

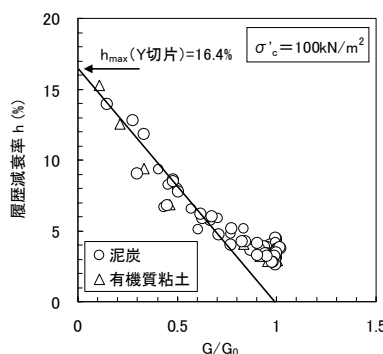


図7 せん断剛性比と履歴減衰率 (有効拘束圧 100kN/m²の場合)

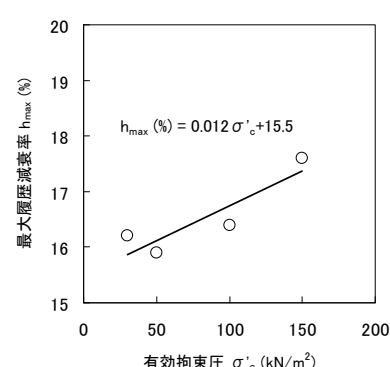


図8 有効拘束圧と最大履歴減衰率