

有機分を含む土の $G-\gamma$ 関係における γ_r の定式化

秋田大学 学生会員 ○長瀬靖佳 秋田大学 正会員 荻野俊寛

秋田大学 正会員 及川洋 秋田大学 正会員 高橋貴之 (独)寒地土木研究所 正会員 林宏親

1. はじめに

地盤の応答解析をするにあたって土の変形特性の把握が必要となるが、高有機質土についての報告は国外を含めても少なく、データの蓄積が望まれる。本研究では北海道および秋田県の高有機質土試料について実施した三軸およびねじり繰返し載荷試験の結果と国内外の文献から引用した実験結果を用いて、高有機質土から有機分を含む粘性土までを対象とした広範囲な土のせん断剛性率 G - せん断ひずみ γ 関係における規準ひずみ γ_r の定式化を試みている。

2. 実験概要

実験で用いた試料は北海道および秋田県で採取された高有機質土試料で幌向川泥炭、夕張泥炭、秋田 B 泥炭、当別泥炭、その他 11 種類の試料(以下、幌向川、夕張、秋田 B、当別、その他の試料)である。実験に用いた試料のうち幌向川、夕張、秋田 B は塩ビ管を直接地盤に差し込んで採取し、試料の上下端面のみを成型し供試体とし、当別はシンウォールチューブから取り出した試料を適当な長さに切断した後供試体側面を整形し、三軸繰返し載荷試験を行った。当別についてはねじりせん断試験も行っており、試料の上下端面を整形し、先行孔を空けた後、内孔を整形して外径 70mm、内径 30mm の供試体とした。また、物性値を表-1 に示す。三軸試験条件は所定の圧密応力 σ_c で等方圧密した後、繰返し載荷回数 11 回、片振幅ひずみ $\varepsilon_{sa} = 0.001 \sim 2.0\%$ 、軸ひずみ速度 $0.004 \sim 0.1\%/min$ で繰返し載荷試験を行った。ねじりせん断試験条件は所定の圧密応力 σ_c で等方圧密した後、繰返し載荷回数 11 回で繰返し載荷試験を行った。また、学会基準に基づいて 10 回目の偏差応力 $q-\varepsilon_{sa}$ 関係によるヒステリシスループから得られる直線の傾きからヤング率 E を出し、 $G=E/3$ 、 $\gamma=3/2\varepsilon_{sa}$ として求めた。その他の試料の物性値と試験条件については荻野ら¹⁾を参照されたい。

3. 実験結果および考察

図-1 に代表的な $G-\gamma$ 関係を、図-2 に一連の実験から得られた $G/G_0-\gamma$ 関係を示す。今回の試験に用いた試料において G は緩やかに減少している。幌向川、夕張、秋田 B の各試料については $\gamma=0.0075\%$ 以下の G が収束しなかったため、 $\gamma>0.0075\%$ の結果を外挿して G_0 を求めた。 $\sigma_c=30kPa$ 、 $150kPa$ の三軸およびねじりせん断試験の両方を行ったケースでは三軸試験から得られた G_0 の方が大きくなっているが、 $G-\gamma$ 関係の比率で見ると σ_c による大きな違いはない。試験に用いた試料において G の減少は、過去のデータとほぼ一致している。また、試験方法の違いによる影響はみられない。図-2 において $G/G_0=0.5$ に対応する γ として γ_r が求められる。Hardin-Drnevich モデルによれば γ_r は式(1)

表-1 試料の物性値

試料	初期含水比 $w_0(\%)$	土粒子密度 $\rho_s(g/cm^3)$	強熱減量 $L_{ig}(\%)$	分解度 $H(\%)$	圧密応力 $\sigma_c(kPa)$
幌向川	509	1.61	73.6	54.5	40
夕張	604	1.48	97.7	60.7	40
秋田 B	730	1.60	81.3	80~90	40
当別	—	1.53~1.62	87~95	—	30 90 150

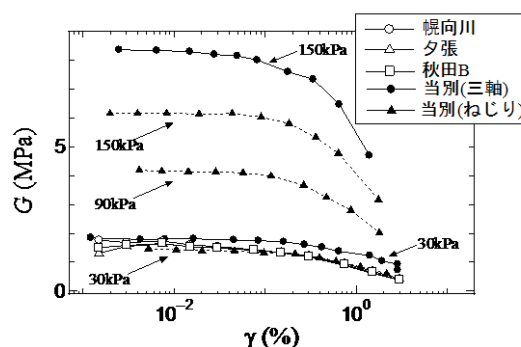


図-1 せん断剛性率 G とせん断ひずみ γ の関係

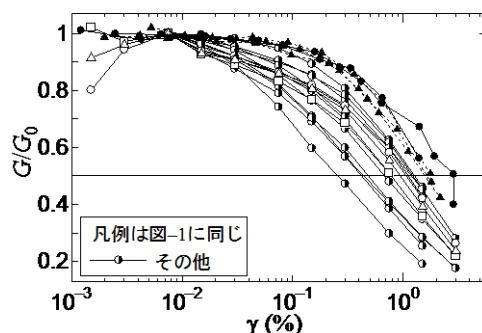


図-2 G/G_0 とせん断ひずみ γ の関係

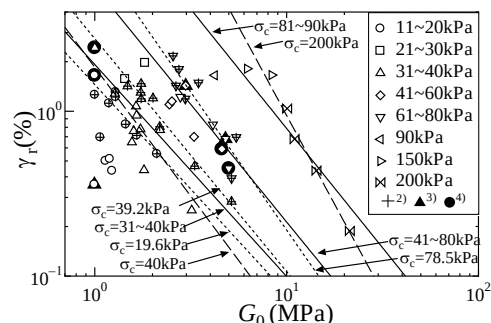


図-3 規準ひずみ γ_r と初期せん断剛性率 G_0 の関係

で与えられる.

$$\gamma_r = \tau_f G_0^{-1} \quad (1)$$

ここで, τ_f は土の強度であり, τ_f を非排水強度とすると τ_f は, 式(2)で表される.

$$\tau_f = \alpha \cdot \sigma_c \quad (2)$$

ここで, α は非排水強度増加率である. 式(1), (2)から γ_r は式(3)のように σ_c と G_0 の関数で表すことができる.

$$\gamma_r = \alpha \cdot G_0^{-1} \cdot \sigma_c \quad (3)$$

以上のことから式(4)を基準に定式化を進める.

$$\gamma_r = A \cdot G_0^n \cdot \sigma_c^m \quad (4)$$

ここに, A , n , m は定数である. 図-3 は G_0 と γ_r の関係を示している. 著者らの実験結果に加え, 能登・熊谷²⁾, Wehling et al.³⁾, Kishida et al.⁴⁾ から有機分を含む土の実験データも合わせてプロットしている. G_0 と γ_r の関係は σ_c が大きくなるほど右側に位置する傾向にあるが, 同一の σ_c では G_0 が大きいほど γ_r は小さくなっている. 近似線の傾きは -2.15~ -1.27 であり, σ_c によってあまり変化しないことがわかる. このことから式(4)の n は σ_c によらないと仮定し, 図-3 の近似線の傾きの平均値 $n = -1.53$ を得た.

図-4 は γ_r / G_0^n と σ_c の関係を示している. 図-4 の近似線の傾きから $m = 1.43$, 切片から $A = 1.46 \cdot 10^{-2}$ が求められる. 以上のことから γ_r は式(5)となる.

$$\gamma_r = 1.46 \cdot 10^{-2} \cdot G_0^{-1.53} \cdot \sigma_c^{1.43} \quad (5)$$

ここに単位は G_0 が MPa, σ_c が kPa である. ところで, 有機分を含む土の G_0 は荻野ら¹⁾によって式(6)で与えられている.

$$G_0 = 2.39 \cdot w^{-0.67} \cdot \sigma_c^{0.81} \quad (6)$$

式(5), (6)から G_0 を消去すれば γ_r は w および σ_c の関数として式(7)のように表される.

$$\gamma_r = B \cdot w^j \cdot \sigma_c^k \quad (7)$$

ここに, B , j , k は定数である. 図-5 は図-3 に示す実験結果について, w と γ_r の関係を示したものである. w と γ_r の関係は同一の σ_c では w が大きいほど γ_r は大きくなっている. 近似線の傾きは 0.709~1.08 であり, 図-3 と同様で σ_c によってあまり変化しないことがわかる. このことから式(7)の j は σ_c によらないと仮定し, 図-5 の近似線の傾きの平均値 $j = 0.840$ を得た.

図-6 は γ_r / w^j と σ_c の関係を示している. 図-6 の近似線の傾きから $k = 0.176$, 切片から $B = 0.169$ が求められる. 以上のことから γ_r は式(8)となる.

$$\gamma_r = 0.169 \cdot w^{0.84} \cdot \sigma_c^{0.176} \quad (8)$$

図-7 は式(5)および式(8)から求めた γ_r の計算値と実験値の比較を示している. 図-7 より式(5), (8)における γ_r の計算値は実験値の 0.5~2 倍にほぼ分布しており, これは, 実験値の範囲が土の種類や応力状態によって 10 倍以上となっていることを考慮すると, 式(5)および式(8)は γ_r の実験値をおおむね表せているといえる.

4. 結論

本報告で得られた知見は以下の通りである.

- ・有機質粘土から泥炭に至るまでの広範囲な有機分を含む土について, γ_r の実験式として式(5)および式(8)を求めた.
- ・これらの式から求めた γ_r の計算値は実験値の 0.5~2 倍であり, 実験値をおおむねよく表現できる.

参考文献 1) 荻野俊寛, 及川洋, 高橋貴之, 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 2) 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, 1986. 3) Wehling, T.M., Boulanger, R.W., Arulnathan, R., Harder Jr., L.F. and Driller, M.W.: Nonlinear Dynamic Properties of a Fibrous Organic Soil, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 129, No. 10, pp. 929-939, 2003. 4) Kishida, T., Wehling, T.M., Boulanger, R.W., Driller, M.W. and Stokoe II, K.H.: Dynamic Properties of Highly Organic Soils from Montezuma Slough and Clifton Court, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 135, No. 4, pp. 525-532, 2009.

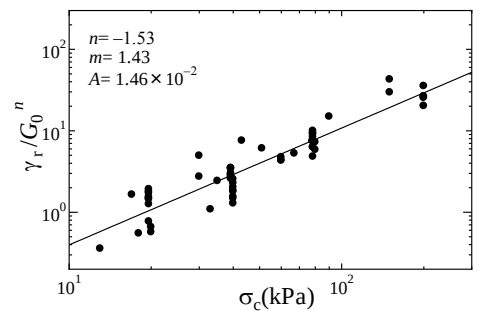


図-4 γ_r / G_0^n と圧密応力 σ_c の関係

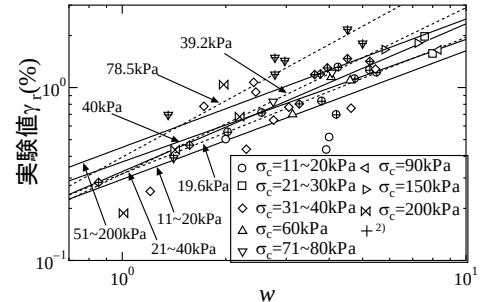


図-5 実験値 γ_r と含水比 w の関係

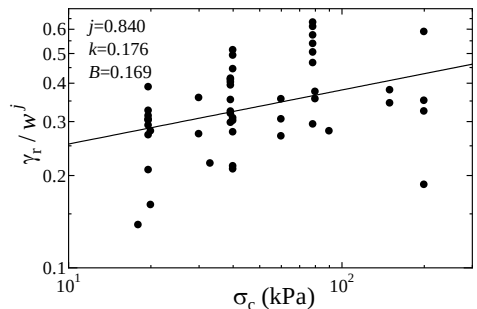


図-6 γ_r / w^j と圧密応力 σ_c の関係

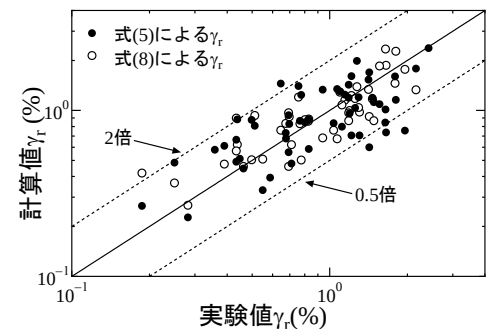


図-7 計算値 γ_r と実験値 γ_r の関係