

高有機質土の変形特性における Hardin-Drnevich モデルの適用性

秋田大学 学生会員 原田友博
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

1 はじめに

現在、地震時における地盤の応答解析を行う場合には地盤の変形特性を明らかにする必要がある。しかし泥炭についてはこれまでに報告例が少なく、データの蓄積が望まれる。これまで国内では能登¹⁾らの報告例が代表的であるが、これらは北海道の泥炭についての報告であり、北海道の泥炭は本州の泥炭とは性質がかなり異なることが知られている。そこで、本研究では変形特性に及ぼすこれらの影響を明らかにする端緒として、秋田県および北海道で採取した泥炭について繰返し載荷試験を行い変形特性のうち特に応答解析に必要とされるせん断剛性率 G や減衰比 h のひずみ依存特性を評価し、過去に提案された経験式と比較し検証している。

2 実験概要

本報告で用いている試料は秋田県および北海道で採取された高有機質土試料である。秋田泥炭は塩ビ管を直接地盤に差し込んで採取した試料を、江別泥炭についてはシンウオールサンプリングして採取された試料を、岩見沢泥炭についてはブロック状試料に塩ビ管を貫入してサンプリングしたものを使用した。以後これらを秋田泥炭、江別泥炭、岩見沢泥炭と呼ぶ。なお、供試体作成にあたっては、試料の上下端面のみを形成し、高さを秋田泥炭で 150mm、北海道泥炭で 120mm として供試体とした。また、試料の物性値は秋田泥炭で、密度 $\rho_s=1.64\text{g/cm}^3$ 、強熱減量 $L_{ig}=76.5\%$ 、分解度 $H=75.5\%$ 、岩見沢泥炭で、密度 $\rho_s=1.67\text{g/cm}^3$ 、強熱減量 $L_{ig}=74.5\%$ 、分解度 $H=70.1\%$ 、江別泥炭は深度によって土粒子の密度、強熱減量の値にかなり幅があり、密度 $\rho_s=2.43\sim 1.80\text{g/cm}^3$ 、強熱減量 $L_{ig}=68.7\sim 16.8\%$ 、分解度 $H=96.3\sim 65.8\%$ であった。繰返し載荷は軸ひずみ速度 $0.02\%/min$ で片振幅ひずみ $0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0\%$ と順次増加させるステージ載荷とした各ステージにおける繰返し回数は 11 回とし、学会基準に基づいて 10 回目の軸ひずみ ε -軸差応力 q 関係から、せん断剛性率 G 、減衰比 h 、せん断ひずみ $\gamma=3/2\varepsilon$ として求めた。また、高有機質土の圧縮性から、繰返し載荷の終了後排水バルブを開いて過剰間隙水圧を消散させると排水による体積変化が生じ間隙比が大きく変化するため、各ステージ間で排水バルブは閉じたままとした。

3 実験結果および考察

図-1 は各圧密応力で供試体についての G - γ の関係を各せん断ひずみにおける G の値を $\gamma=0.0075\%$ の時の $G(=G_0$: 初期せん断弾剛性率) で除し、ひずみの増加に伴う G の減少量を示している。図中には過去の高有機質土の報告^{2), 3)}を比較のため重ねて示している。試験に用いた試料において、 G の減少は緩やかであり、高有機質土特有の性質が強い試料であることがわかる。江別泥炭(深度 4.3m)については他の試料より急な G の減少が見られる。これは粘土成分を多く含んでいるためと考えられる。図-2 は h - γ 関係を表した曲線を示している。 h - γ 関係においても、これまでの高有機質土試料を用いた試験の結果を重ねて表している。本研究で得られた試験結果はこれらの報告結果と比べ h の値が同等からやや低くなっている。ただし、本研究の試験結果はひずみの非常に小さい部分で履歴曲線がループ状に求められず h が大きく表わされているところが見られた。

図-3 は図-1 の G/G_0 - γ 関係における $G/G_0=0.5$ に対応する γ を基準ひずみ γ_r として求め、横軸を γ_r で正規化して表している。図中の破線は Hardin-Drnevich モデル(以下 H-D モデル)を示している。実験から得られた G/G_0 - γ_r 関係はおおよ

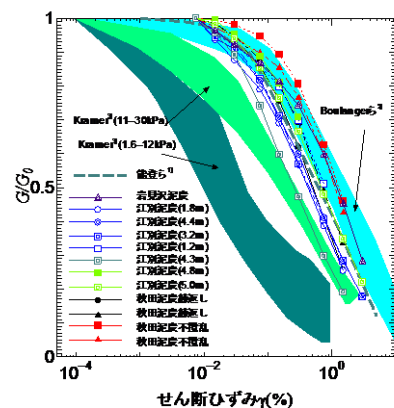


図-1 各試料の G/G_0 - γ 関係

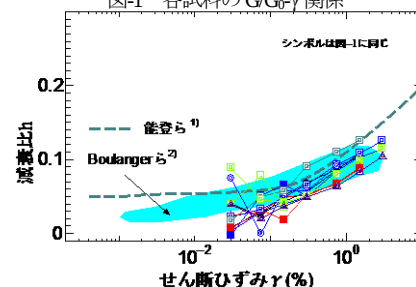


図-2 各試料の h - γ 関係

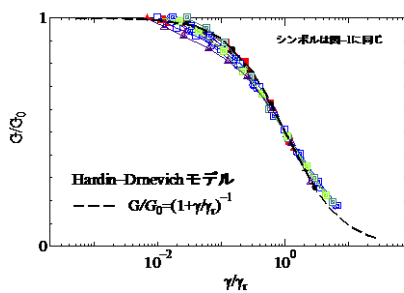


図-3 G/G_0 - γ/γ_r 関係

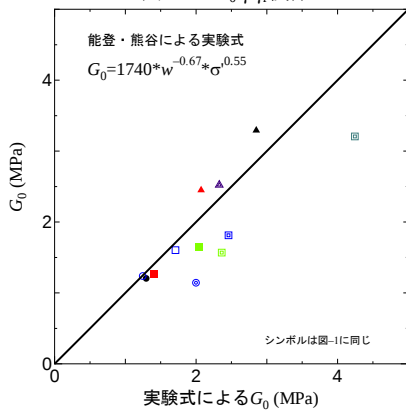


図-6 G_0 の実験値と計算値の比較

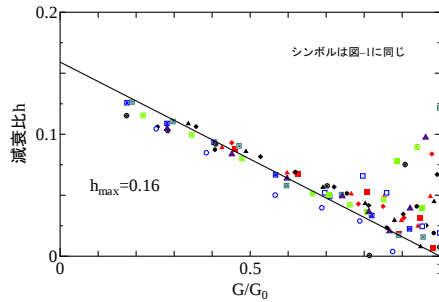


図-4 h - G_0 関係

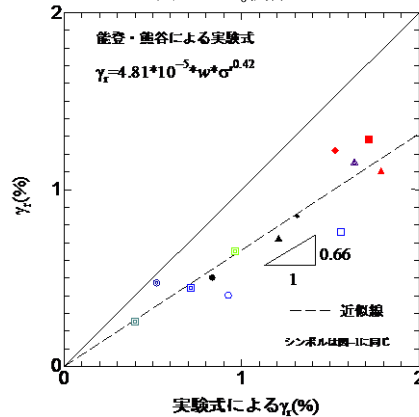


図-7 γ_r の実験値と計算値の比較

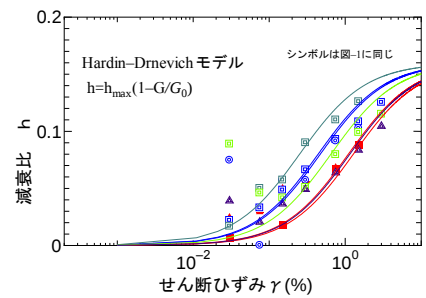


図-5 h のHardin-Dreineichモデル化

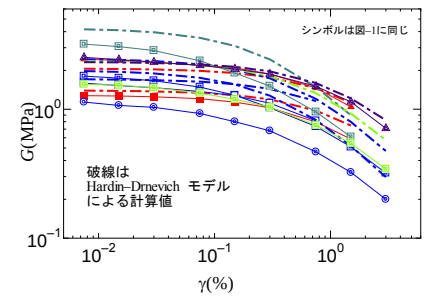


図-8 G - γ 関係の比較

そ破線と一致しており高有機質土の G - γ 関係が H-D モデルによって良く表されることが分かる。減衰比 h についてはまず、 $G/G_0=0$ のときの h となる $h_{\max}$ の値を算出する必要がある。図-4 は縦軸に h を横軸に G/G_0 を示している。 G/G_0 が 1 に近づく微小ひずみの領域で直線関係が崩れているが、近似線の $G/G_0=0$ に対する切片より $h_{\max}=0.16$ が求められる。

図-5 は h について H-D モデル化を行ったものである。モデルでは γ の小さい部分で h が 0 に近づくのに対し試験結果の h は大きく表わされている。高有機質土の G_0 , γ_r については過去に能登・熊谷による実験式が提案されている。図-6 は G_0 、図-7 は γ_r についての繰返し载荷より得られた値と実験式より算出した値を比べている。図中の式において ω_c は圧密終了時の含水比、 σ'_c は初期有効圧密応力である。実験式による G_0 は実際の値をおおむね表現しているが、強熱減量が小さい試料では必ずしも一致せずに G を過大に評価する傾向にある。実験式による γ_r は本研究の結果から導いた γ_r よりやや過大に評価されており、その差を求めたところ γ_r は実験式による値の約 66% 程度を示した。図-8 は G - γ 関係の繰返し载荷試験より求めた値と実験式から求めた G_0 および γ_r を用いた H-D モデルにより計算した値の比較をしている。秋田泥炭および岩見沢泥炭に関しては実験値と計算値との一致度は非常に高くなっているが、江別泥炭の比較的有機分の少ない試料では計算値は実験値よりも大きな値を示しており、その差はおおよそ 1.3~1.7 倍となっている。図-3 において H-D モデル自体は実験結果とほぼ一致しているこ

とを考慮すると、この差は実験式における G_0 あるいは γ_r の値に起因しているものと考えられるが、両者の図上での位置関係が平行に近く差がほぼ一定なことから主に G の実験式の精度によるものと考えられる。実験式は有機質の少ない試料では誤差が大きくなることからこの実験式の精度には試料の物性値が大きく関係していると考えられる。したがって H-D モデルの適用範囲を高有機質土のみならず、比較的有機質の少ない土にまで拡張することを考えた場合には、強熱減量や分解度といった物性値の影響を考慮した G_0 , γ_r の実験式が必要になることが考えられる。

4 結論

本研究から得られた知見は以下の通りである。

- 本研究で用いた高有機質土に対して Hardin-Dreineich モデルの適用は G/G_0 - γ/γ_r 関係については可能であり、必要なパラメータを適切に決定することによって G - γ 関係はよく表現される。 h - γ 関係についても適用可能だと考えられる。
- 過去に提案された実験式によって決定したパラメータは強熱減量が小さい試料では必ずしも妥当な値を与えず、その結果 G を 30~70% 過大に評価する傾向を示した。

【参考文献】

- 1) 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 年 2 月
- 2) Boulanger, R. W., Arulnathan, R., Harder, L. F., Jr., Torres, R. A., and Driller, M. W. (1998). "Dynamic properties of Sherman Island peat." J. Geotech. Geoenviron. Eng., 124(1), 12-20.
- 3) Kramer, S. L. (2000). "Dynamic response of Mercer Slough peat." J. Geotech. Geoenviron. Eng., 126(6), 504-510.