

ベンダーエレメントを組み込んだ繰返し三軸試験装置による泥炭の弾性係数の評価

秋田大学	学生員	○三川啓吾
同上	正会員	及川 洋
同上	同上	荻野俊寛
同上	同上	高橋貴之

1. 目的

地震時における地盤の応答解析を行なう際、土の変形特性を把握することは必要不可欠である。従来、砂や粘土ではその特性について明らかにされてきたが、高有機質土では室内試験が困難であるということもあり、このような報告はほとんどみられない。そこで、本研究は繰返し三軸試験およびベンダーエレメント試験によって高有機質土のせん断弾性係数 G を評価することを目的とする。

2. 試験概要

供試体に用いた試料は練返した泥炭である。鉛直応力 40kPa で 7 日間ほど一次元圧密を行ったものを供試体として用いた。試料の物性値は $\rho_s = 1.64 \text{ g/cm}^3$, 強熱減量 $L_{ig} = 76.5\%$, 分解度 $H = 75.5\%$ であり、比較的繊維質の少ない、分解の進んだ試料である。また、試験にはベンダーエレメント (以下、BE と略記) を組み込んだ三軸圧縮試験機を使用している。本装置は軸変位制御にメガトルクモータを用いており、微小ひずみ域での繰返し载荷試験および BE 試験の両方で変形係数の評価が可能である。実験では、所定の圧密応力 (80, 100, 200, 300kPa) で等方圧密を行い、3t 法にて圧密を打ち切った後、繰返し载荷試験および BE 試験を行った。BE 装置は装置上部の送信 BE からせん断波が送信され、発生したせん断波を下部の受信 BE で波形としてデジタルオシロスコープによりモニタリングする仕組みとなっている (図-1 参照)。なお、送信波は DA コンバータによって生成される。

試験手順は以下の通りである。送信波に $20V_{p-p}$ の矩形波、 $20V_{p-p}$, 100 ~ 5000Hz の正弦波 (sin 波) を用いて BE 試験を行う。せん断弾性係数 G_{BE} は式(1)より与えられる。その後、振幅速度 $\dot{\epsilon}_{sa} = 0.005\%$ または 0.01% , 振幅速度 $\dot{\epsilon}'_a = 0.02\%/min$, 繰返し回数 $n = 11$ 回の条件下で、三軸試験装置による繰返し载荷試験を行った。試験結果より得たヤング係数 E から、せん断弾性係数 G_{cyc} は式(2)より与えられる。

$$Vs = L/\Delta t, G_{BE} = \rho_t \cdot Vs^2 \quad \dots (1) \quad , \quad G_{cyc} = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \dots (2)$$

ここに、 ν はポアソン比であり、等方弾性、非排水条件を仮定し、 $\nu = 0.5$ とする。

3. 試験結果および考察

図-2 は繰返し载荷試験における軸応力-軸ひずみ曲線である (圧密応力 100, 300kPa)。変形係数は、地盤工学会の基準に従い繰返し回数 10 回目のデータを用いて評価した。得られたデータの近似線から傾きを E として、式(2)より

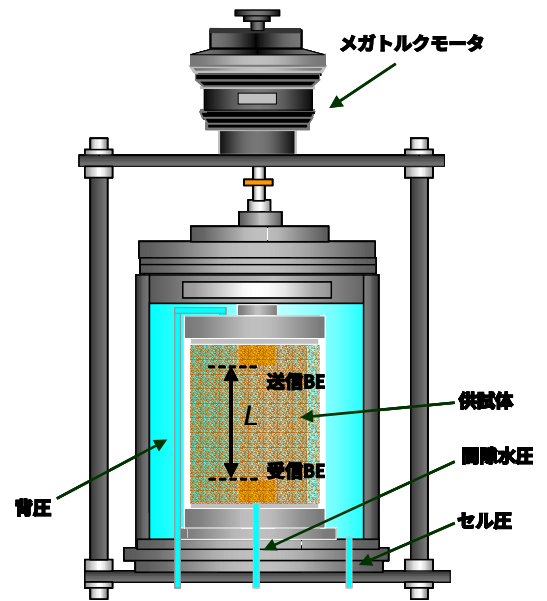


図-1 BEを組み込んだ三軸試験装置

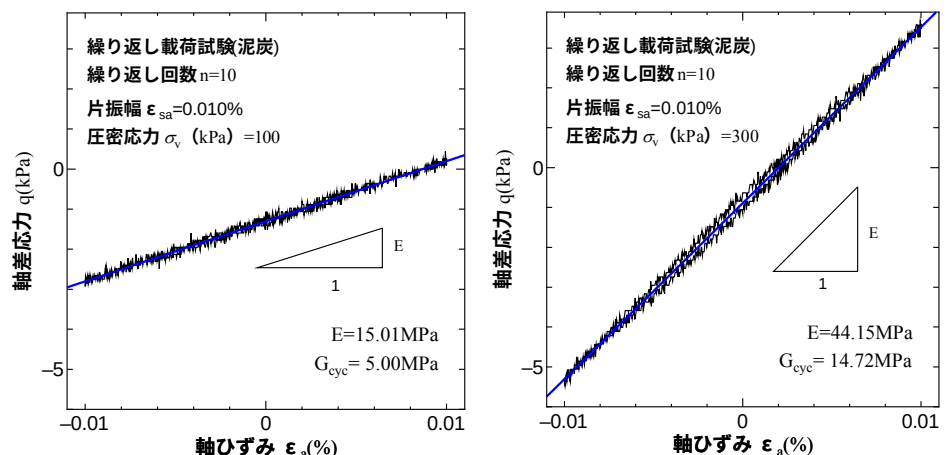


図-2 繰返し载荷試験 q - ϵ_a 曲線 (圧密応力 100, 300kPa)

G_{cyc} を算出すると、 E , G_{cyc} 共に圧密応力の増加にほぼ比例していることがわかる(図-4 参照).

一方、図-3 は代表的な BE 試験の送受信波形であり、同条件下の振動数が異なる 2 種の波形を示している。振動数 500Hz における Δt は 1.15msec を示し、振動数 2000Hz における Δt は 0.998msec を示した。このように振動数の増加に伴い Δt の値は小さくなる傾向にある。この Δt より、せん断波速度 V_s を導き、式(1)から G_{BE} を算出した。

矩形波と各振動数の sin 波における G_{BE} と σ_v の関係を図-4 に示した。sin 波形を送信波とした場合の G_{BE} と繰返し載荷試験から導いた G_{cyc} は、圧密応力の増加に伴い、ほぼ直線になる傾向を示し、その傾きは概ね等しいといえる。これに対し、矩形波形を送信波とした場合の G_{BE} は直線性が低いことがわかる。よって、sin 波による G_{BE} は、矩形波による G_{BE} に比べ、 G_{cyc} と相関性が高いことを示している。

さらに図-4 から G_{cyc} と G_{BE} を比較してみると、図に示した実験の結果では送信波の振動数 2000~3000Hz とした場合、 G_{BE} と G_{cyc} が最も近い値を示していることがわかる。図-5 は G_{cyc} と G_{BE} の比 G_{BE}/G_{cyc} と L/λ の関係を示したものである。ここで、 λ は送信波の波長である。Sanchez-Salinero et al.²⁾ は適切な G_{BE} の値を得るための条件として $2 < L/\lambda < 4$ を提案している。図から $2 < L/\lambda < 4$ のとき、 $0.91 < G_{BE}/G_{cyc} < 1.17$ となっており、Sanchez-Salinero et al. の提案する条件と、本報告において $G_{BE} = G_{cyc}$ となる条件、すなわち BE 試験および繰返し載荷試験による G が一致する条件がおおよそ一致していることがわかる。

4. 結論

今試験より得られた主な知見は以下のとおりである。

(a) BE 試験および繰返し載荷試験から導いた G と圧密応力の関係はいずれも両対数軸上でほぼ比例関係にあることを確認した。また、繰返し載荷試験による G_{cyc} は圧密応力 80~300kPa において、5.0~15.0MPa となった。

(b) BE 試験による G_{BE} は、sin 波形を送信波とした場合、振動数の増加にともなって大きく見積もられる傾向を示し、送信波の振動数 1000~5000Hz の条件下で、繰返し載荷試験による G_{cyc} と比較すると、 $0.80 < G_{BE}/G_{cyc} < 1.27$ であった。

(c) 本報告では振動数 2000Hz の sin 波を用いた場合、 G_{cyc} と G_{BE} の差は最も小さく 3.0% であった。このとき、送信波の波長と BE 間の距離との比は 1.96 であり、Sanchez-Salinero et al. の提案する条件と概ね一致した。

【参考文献】

- 1) 能登繁幸, 加治屋安彦: 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.406 1987 年 3 月
- 2) Sanchez-Salinero, I., Roesset, J. M. & Stokoe, K. H.: Analytical study of body wave propagation and attenuation, Geotechnical engineering report No GR86-15, Civil Engineering Department, University of Texas at Austin, 1986.

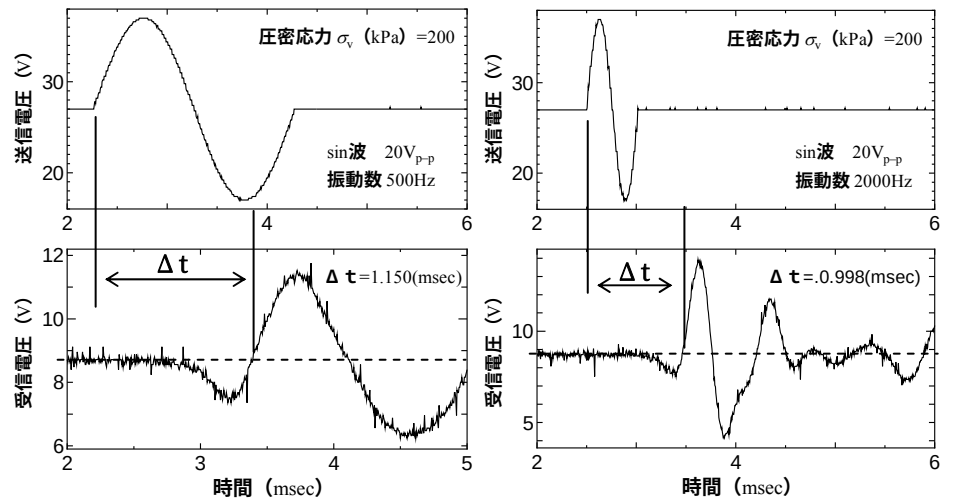


図-3 BE 試験 送受信波形(sin 波)

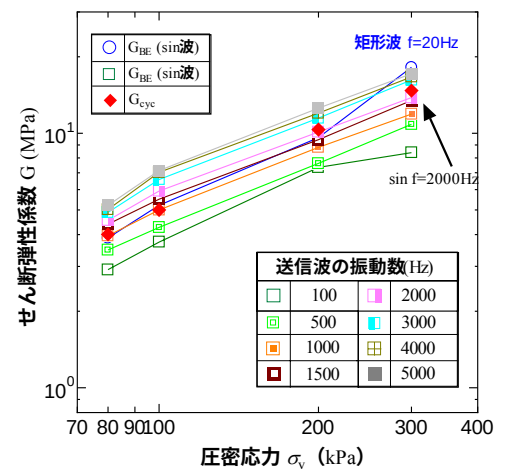


図-4 両実験により導いた G の比較

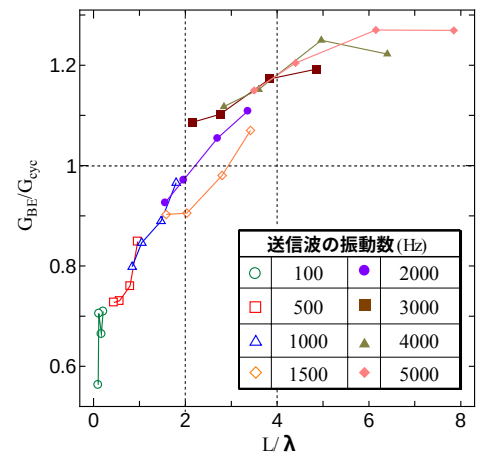


図-5 両実験による G の比と BE の関係図