

ベンダー・エレメントによる土のせん断弾性係数の測定

福山大学 工学部 正員 西原 晃
 福山市役所 正員○竹井 幹晴
 半北測量設計 武田 昭彦

1. はじめに

初期せん断弾性係数 G_{max} は、地盤の動的問題を解析するうえで非常に重要なパラメータであり、これまでに数多くの研究がなされている。 G_{max} を測定する方法には種々の方法があるが、最近ではベンダー・エレメントを用いて、せん断波の速度から G_{max} を測定する方法がその簡便性から注目を浴びている。本報告では、このベンダー・エレメントを三軸試験装置に組み込み、粘性土の圧密ならびにせん断過程における G_{max} の変化を測定した結果について述べる。

2. 実験概要

ベンダー・エレメント(Bender Element)はピエゾ・セラミックスでできた薄い板を2枚貼り合わせたもので、電圧を加えると曲がり変形を生じて振動し、逆に変形を受けると電圧を生じるという特性を有している。したがって、エレメントを土試料の両端に差し込み、一方のエレメントに起電圧を与えるとエレメントが振動してせん断波を生じ、試料内部を伝播したせん断波を他端のエレメントで感知することができる。このせん断波の伝播速度を用いて、土試料の初期せん断弾性係数は、次のようにして求めることができる。

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (1)$$

ここに、 ρ : 土の密度、 V_s : せん断波の伝播速度である。

図-1 は実験装置の概要を示したものである。三軸圧縮試験機のペDESTALならびにトップキャップの中央には、図-2 に示すように、幅10mm、長さ15mm、厚さ1mm のベンダー・エレメントが埋め込まれ、防水のためエポキシでコーティングされている。せん断波の計測システムは、発振器 (FUNCTION GENERATOR) からトップ・キャップのエレメントに起動信号 (矩形波、10-20Hz) を送って振動させ、ペDESTALのエレメントで受信した信号をオシロスコープで観測するシステムとなっている。発振器からは、エレメントと同時にオシロスコープにも信号が送られ、起動信号と受信信号の時間差としてせん断波の伝播時間を測定できる。また、両端のエレメントの先端から先端までの距離を伝播距離として、伝播速度を求めることができる。

今回の実験に用いた土試料は、ニュージーランドのオークランドで採取されたシルト質粘土 ($G_s=2.671$ 、 $I_p=30-40\%$) と笠岡干拓地で採取された軟弱粘土 ($G_s=2.625$ 、 $I_p=70-90\%$) である。

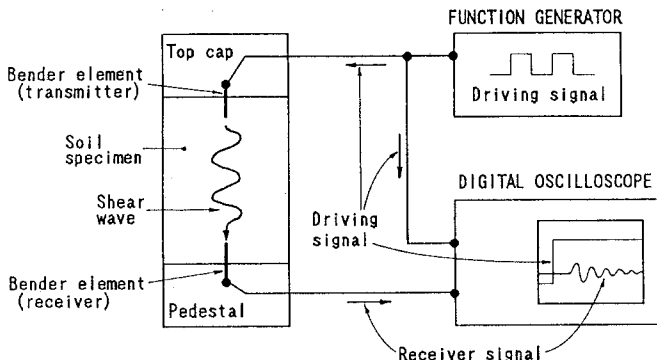


図-1 ベンダーエレメントによるせん断波の計測システム

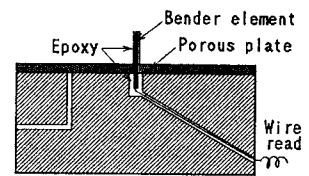


図-2 ベンダーエレメントを組み込んだ三軸試験用ペDESTAL

3. 実験結果

G_{max} に関してはこれまでに数多くの実験が行われ、一般に次のような経験式が成り立つとされている。

$$G_{max} = AF(e)\sigma'_m{}^n \quad (2)$$

ここに、 A : 実験定数、 $F(e)$: 間隙比 e の関数、 σ'_m : 平均有効主応力であり、指数 n としては多くの場合0.5が採用されている。 $F(e)$ の関数形に関しては、いくつか提案されているが、たとえば、Hardin and Blandford(1989)は粒状体に対して、

$$F(e) = 1 / (0.3 + 0.7e^2) \quad (3)$$

を提案している。図-3は、等方圧密・膨潤試験における G_{max} と σ'_m 、 e の測定結果を式(3)の関数を用いて整理したもので、正規圧密状態では次の関係式がほぼ成り立つことがわかる。

$$\frac{G_{max}}{p_a} = 500 \frac{1}{0.3 + 0.7e^2} \left(\frac{\sigma'_m}{p_a} \right)^{0.5} \quad (4)$$

ここに、 p_a は標準大気圧(101.325kPa)で G_{max} と σ'_m を無次元化するために導入したものである。一方、過圧密状態における G_{max} は正規圧密状態に比べて大きく、その程度は過圧密比が大きいほど大きくなる傾向が見られる。

図-4は、非排水三軸圧縮試験における G_{max} の変化を調べたものである。今回の実験では、せん断の初期ならびに破壊に近づいた時点で除荷・再載荷のサイクルを与え、載荷履歴の影響も調べた。図中の直線は圧密試験で得られた式(4)の関係を示したもので、せん断時においても式(4)の関係がほぼ成り立つことがわかる。ただし、破壊に近づくにつれて、せん断応力の増加とともに G_{max} が低下しており、せん断応力の影響については今後さらに検討する必要がある。また、圧密試験の場合と同様、除荷にともない、 G_{max} は若干大きくなる傾向が見られる。

4. おわりに

ベンダーエレメントは小さく薄い板で出来ているため、各種の実験装置に容易に組み込むことができ、またせん断波の計測も簡単であることから、その応用範囲は広い。今後さらに、土の種々の特性や応力状態とせん断波の伝播特性ならびに G_{max} の関係について実験を進めていく予定である。なお、紙面の都合上、実験結果の詳細については当日報告する予定である。

参考文献

Hardin and Blandford (1989) : J. of ASCE, Geotech. Eng. Division, Vol.115, No.6, pp.788-805

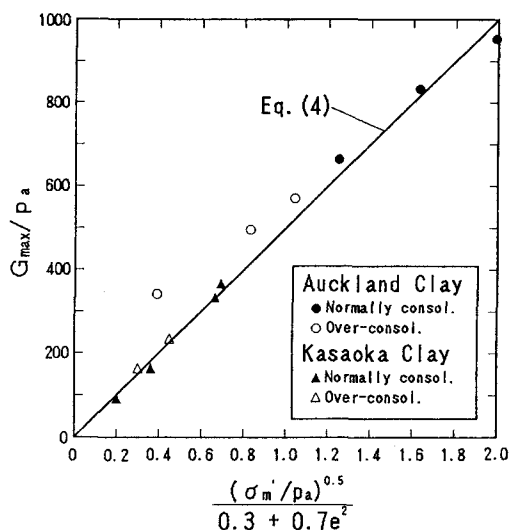


図-3 圧密・膨潤過程における G_{max}

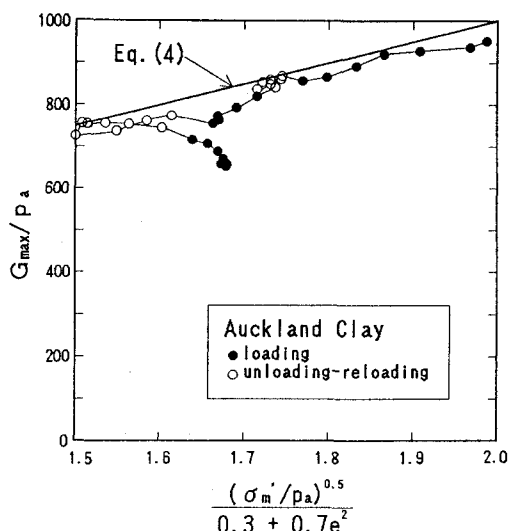


図-4 せん断過程における G_{max}