

Bender element試験による弾性せん断速度の測定方法

北海道大学院 学生員 ○ 三野 秀作
北海道大学工学部 正 員 澁谷 啓
同上 正 員 三田地利之
運輸省港湾技術研究所 正 員 田中 洋行

1. 研究の目的

地震時の現地盤の応答解析を行うには、地盤の疑似弾性せん断剛性率 G_{max} を求めることが不可欠である。そのための原位置試験方法の一つとしてサイスミックコーンがある（図1参照）。

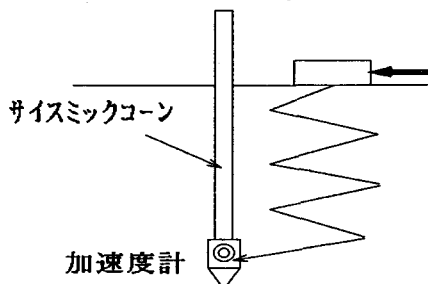


図1 サイスミックコーン試験

この試験ではサイスミックコーンと呼ばれる先端部分に加速度計を設置したコーンを地盤に貫入し、地盤にせん断波を与えて受信するまでの時間と発信源からの距離からせん断波速度 V_s を求め、疑似せん断剛性率を $G_{max}=\rho_s V_s^2$ の式を用いて測定する。この方法は、現地盤から採取した不攪乱試料を用いて行った室内試験（繰り返し三軸試験、繰り返し中空ねじり試験etc）に比べ、比較的簡単に G_{max} を求めることができ、試料の乱れも少なく、経済的である。本研究ではbender elementを用いた簡単な室内試験からせん断波速度 V_s を求めて疑似せん断剛性率 G_{max} を予想し、その値と繰り返し三軸試験、繰り返し中空ねじり試験から求めた疑似せん断剛性率 G_{max} との比較検討を行うことにした。

2. 実験試料と実験装置

実験に用いたカリソ粘土と豊浦砂の物性値を表1に示す。

表1 試料の物性値

	G_s	LL	PL	C_c	C_u
NSFカリソ	2.78	55	29	0.32	.051

	G_s	e_{max}	e_{min}	$D_{50}(mm)$	U_s
豊浦砂	2.64	0.97	0.618	0.18	1.50

また本研究に用いた実験装置を図2に示す。この装置は圧密リグ部分を入れ替えることにより供試体の初期高さ h_0 を変化させることができる。

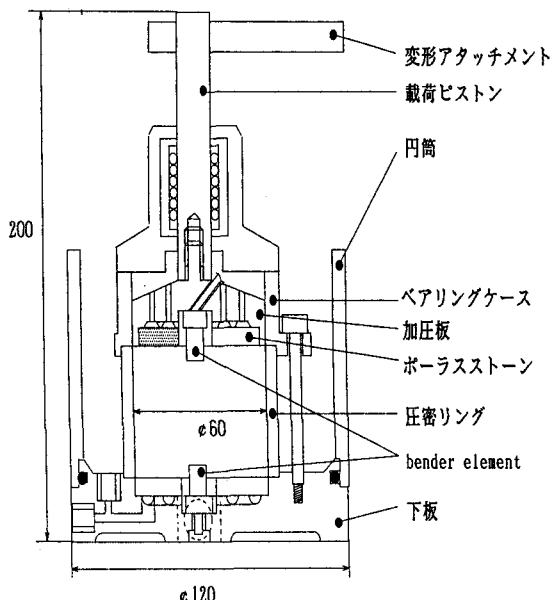


図2 室内せん断波測定装置

3. 実験手順

NSF-カリソを有効鉛直応力 $\sigma_v' = 130kPa$ で一次元予圧密し、圧密リグ内にシリコングリスを塗り刃付きカップラーをかぶせ偏心荷重をかけないように供試体を圧密リグ内に押し込んだ。また豊浦砂については、圧密リグと供試体の間に摩擦軽減層を設け空中落下法により堆積面が水平になるように圧密リグ内に砂を降らせ、その後バンプレーターを用いて締め固めを行った。相対密度は $D_r = 80\%$ を目標とした。圧密リグに供試体を設置した後、所定の有効鉛直応力 σ_v' で圧密を行い、3t法で圧密を打ち切る。次に加圧板に取り付けたbender elementに電気的信号を与えて振動させてせん断波を発生させ、発生したせん断波を下板に取り付けたbender elementで受信し、入力波と受信波の波形をオシロスコープで読みとる。

4. 実験結果

読みとった入力波と受信波の時間のずれから、せん断波の伝達時間 ΔT を読みとり、それに対応する伝達距離 L を推定してせん断波速度 V_s を決定するが、どのような ΔT と L の組み合わせが適切であるのかが明確でない（図3参照）。そこで本研究では供試体の高さを変えることにより、正しい ΔT と L の組み合わせを検討した。

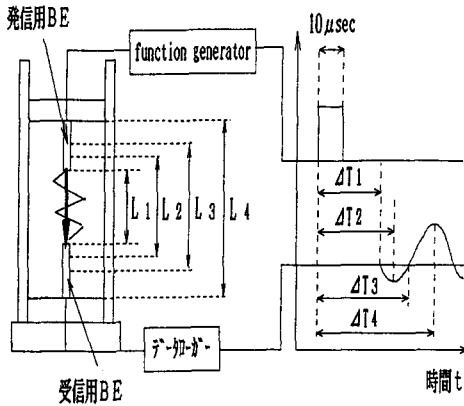


図3 ΔT と L の定義

(1) 豊浦砂を用いた実験

豊浦砂のせん断ひずみ $\gamma_{SA} = 1 \times 10^{-6} \text{V} \cdot \text{H}$ の擬似弾性せん断剛性率 G_{max} は、Hardin-Richtartの式を用いて次式で求められる。

$$G_{max} = 919 \times \frac{(2.17e)^2}{1+e} \sigma_m'^{0.43} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (1)$$

(係数は山下の実験結果¹⁾を用いている) $K_0 = 0.52e^{(2)}$ として平均有効応力 σ_m' を求め、式(1)から求めた擬似弾性せん断剛性率を $G_{e,1}$ とし、bender element試験でのせん断波速度 V_s から

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

を用いて導いた擬似弾性せん断剛性率を $G_{e,2}$ とする。 $G_{e,1}$ の値と、 ΔT と L の組み合わせを変えて求めた $G_{e,2}$ の値を比較した。その結果 ΔT_4 (入力波の立ち上がりから受信波の卓越波の頂点間の時間) と L_2 (bender elementの先端から1/3の間の距離) として組み合わせたせん断波速度 V_s から求めた $G_{e,2}$ が最もよく $G_{e,1}$ の値に一致している(図4参照)。

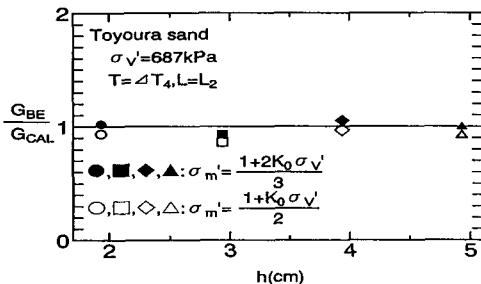


図4 豊浦砂の $G_{e,2}$ と $G_{e,1}$ の比較

(2) NSF-カリツを用いた実験

NSF-カリツについても同様に ΔT と L の組み合わせを変えてせん断波速度 V_s を求め、各供試体高さについてプロットした。その結果から ΔT_4 (入力波の立ち上がりから受信波の卓越波の頂点間の時間) と L_1 (bender elementの先端間の距離) の組み合わせにより真のせん断波速度 V_s となることが推測される。

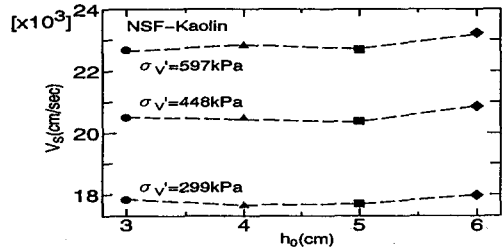


図5 せん断波速度と供試体高さの関係

またNSF-カリツを用いて行った繰り返し三軸試験試験からも求めた G_{max} と $G_{e,2}$ を比較したものを図6に示す(ただしNSFカリツの $K_0 = 0.57^{(3)}$ とし平均

有効応力 $\sigma_m' = \frac{\sigma_v' + K_0 \sigma_v'}{2}$ (4) とした)。

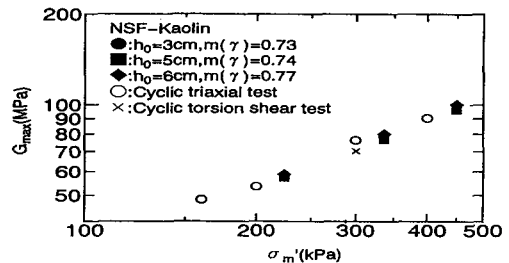


図6 NSFカリツの G_{max} と $G_{e,2}$ の比較

5. 結論

Bender elementを用いた室内弾性波測定試験を行い、測定されたせん断波速度 V_s を用いて求められた擬似弾性せん断剛性率 $G_{e,2}$ の値と、繰り返し中空ねじり試験または繰り返し三軸試験から求められたせん断ひずみ $\gamma_{SA} < 2 \times 10^{-6}$ の擬似弾性せん断剛性率 G_{max} はほぼ同じ値を示した。ただし V_s を求める場合において伝達時間 ΔT は入力波の立ち上がりから受信波の卓越波の頂点間とするが、実験に用いる試料の種類により伝達距離 L について変化させる必要があり、豊浦砂の場合はbender elementの先端から1/3間を、NSF-カリツを用いた場合はbender elementの先端間を伝達距離 L として V_s を求める必要がある。

謝辞:本研究を行うにあたって、北見工大の山下聡助教授と運輸省港湾技研の田中政典氏には多大な助言を得た。ここに記して感謝します。

参考文献:1) 千葉ら(1994):三軸試験と中空ねじり試験による砂の繰り返し変形特性, 土質工学会士の動的変形数値試験方法標準化委員会編, 「地盤および土構造物の動的問題における地盤材料の変形特性-試験法・調査法および結果の適用-」に関する国内シンポジウム, pp. 181-186. (2) 福田ら(1993):一般応力条件下における粘性土のダイレイタンスと非排水強度, 北海道支部技術報告集, 第33号, pp. 137-146.

3) Okochi, Tatsuo (1984): Some Factor Affecting K_0 -value of Sand Measured In Triaxial Cell, S&F, Vol. 3, pp. 52-68.

4) P. Yu and F. E. Richart (1984) Stress Ratio Effect on Shear Modulus of Dry Sand, Jr², F. ASCE, pp. 331-345.