

Bender Elementおよび繰返し載荷試験による粘性土のせん断剛性率の比較

横浜国立大学大学院 学生会員 ○ 上野 恭宏
 横浜国立大学工学部 正会員 ブラダン テージ
 運輸省港湾技術研究所 正会員 田中 洋行

1. はじめに

極微小ひずみレベル(10^{-6} ~ 10^{-5})におけるせん断剛性率を求める試験方法の1つに、Bender Elementを用いた室内弾性波速度測定試験(BE)がある。これは欧米では広く行われているが、我が国において用いられた例は少ないようである。今回BEより求めたせん断剛性率 G_{BE} と繰返し載荷試験(CLT)より求めた最大せん断剛性率(10^{-5} のひずみレベルにおけるせん断剛性率) G_{max} の比較を行ったので報告する。

2. 実験の方法および条件

試料:東京湾海底より採取した海成粘土を $74\mu m$ のふるいで濾し、液性限界の2倍の含水比で練り返して 0.5kgf/cm^2 で予圧密したものを試料($\gamma_s=2.69\text{gf/cm}^3$, $w_L=80\%$, $I_p=45$)として用いた。

実験方法:CLT;試料を高さ10cm、直径5cmに成形し、等方あるいは異方圧密後非排水繰返し載荷を行った。繰返し載荷はステージ載荷とし、各ステージ11波のうち10波目のヒステリシスループから等価せん断剛性率 G_{eq} を定義した。また $\gamma_{SA}=10^{-5}$ における G_{eq} を最大せん断剛性率 G_{max} と定義した。BE;圧密リング内の供試体(高さ3cm、直径6cm)を一次元圧密した後せん断弾性波速度 V_s を測定し、次式によってせん断剛性率 G_{BE} を求めた。

$$G_{BE} = \rho V_s^2 \quad \text{ここに } \rho \text{ は土の密度である。}$$

実験条件:以下に実験条件を示す。(K= σ'_h / σ'_v)

繰返し載荷試験(CLT)	σ'_v (=0.8, 1.0, 1.5kgf/cm ²)一定, p' (=1.0kgf/cm ²)一定 それぞれの場合に対してK=0.5, 0.7, 0.85, 1.0 載荷周波数0.1Hz
Bender Elementを用いた せん断弾性波速度測定試験(BE)	σ'_v =0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.25kgf/cm ²

3. 実験の結果および考察

BEの場合、せん断弾性波の伝達距離(D)および伝達時間(T)の決定方法に関する統一的な見解はまだ得られていない。Dについては、Viggianiは供試体の高さを変えて実験を行うことによって、Bender Elementの先端間をDとするのが適当であるとの結論を得ている¹⁾。しかし三野らは同様の方法によって、Dは用いる試料の種類によって変化させる必要があるとしている²⁾。Tについては、JamiolkowskiらはTの判断基準として論文中次のように述べている: "The identification of the first arrival is facilitated by the fact that the expected signal is directed upward."³⁾しかしその理由については不明である。また三野らは三軸試験の結果と最もよく合うという理由で、入力波の立ち上がりから受信波の卓越波の頂点間をTとしている²⁾。しかしいずれの理由も理論的根拠に欠けると言わざるを得ない。そこで本研究では図-1に示すようにDをI, IIの2種類、TをA, B, D, Eの4種類に変化させ、これらの組み合わせによって得られる8種類の結果をCLTの結果と比較した。一般に G_{BE} および G_{max} はKが一定であれば σ'_v に比例する。表-1はBEおよびCLT

表-1 条件別にまとめたAおよび α の値

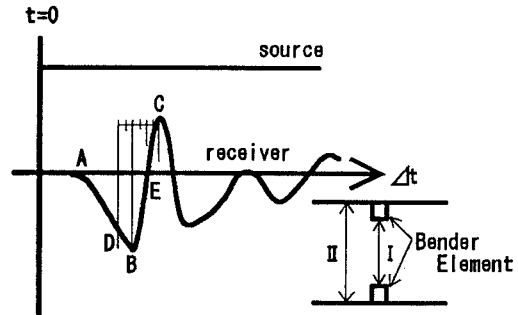
による G_{BE} , $G_{max} \sim \sigma'_v$ 関係を、次式に示すべき関数で近似したときのAおよび α をまとめたものである。

$$G_{BE} \text{ or } G_{max} = A \cdot F(e) \cdot \sigma_v'^{\alpha}; \text{ここで } F(e) = e^{-1.3}$$

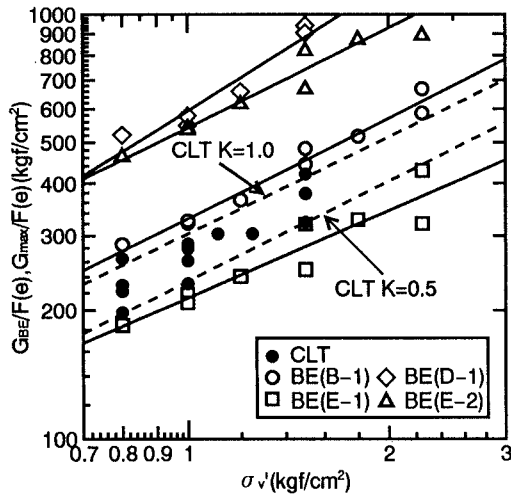
また図-2にBEの1部およびCLTの実験結果を示した。BEにおいてCLTに比較的近い値が得られているのはMethod B-1あるいはMethod E-1の場合であることがわかる。図-3は過去に同じ試料に対して求められた静止土圧係数 $K_0=0.54$ を仮定して、 G_{BE} と G_{max} を比較したも

条件	A	α	条件	A	α
CLT K=0.5	235	0.78	BE Method B-1	329	0.79
CLT K=0.7	263	0.83	BE Method B-2	845	0.89
CLT K=0.85	277	0.79	BE Method D-1	593	0.99
CLT K=1.0	303	0.77	BE Method D-2	1501	1.08
BE Method A-1	7170	1.37	BE Method E-1	214	0.68
BE Method A-2	18148	1.46	BE Method E-2	542	0.63

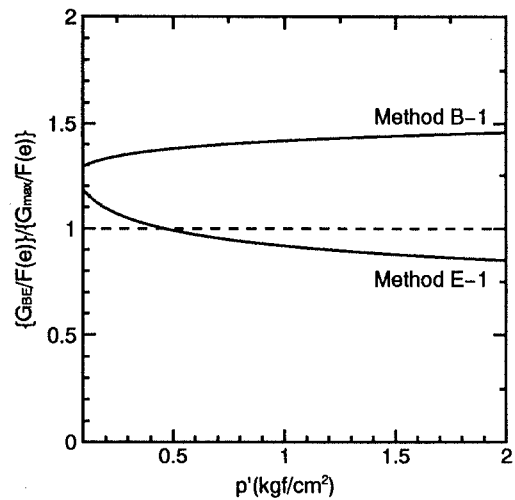
のである。Method E-1の場合は G_{BE} と G_{max} がほぼ一致しているのに対して、Method B-1の場合、すなわち Jamiolkowskiらあるいは田中らの方法による場合では G_{BE} は G_{max} の1.3～1.5倍程度となっている。従って過去の研究例に本研究の結果を合わせて考慮すると、Dとして Bender Elementの先端間を取り、Tとして入力波の立ち上がりから受信波の第1ピークまでを取れば、 G_{BE} と G_{max} は互いにそれほどかけ離れた値にはならないと言える。しかしTとしてはやはり入力波の立ち上がりから受信波の立ち上がりまでを取る方が自然であると思われる。にもかかわらずこの方法では妥当な結果が得られない理由は現在のところ不明であり、この問題を解決することはBEの信頼性を高めるためにも至上課題であると思われる。



図－1 セン断弾性波の伝達時間および伝達距離の決定方法



図－2 BEとCLTによるせん断剛性率の比較



図－3 G_{BE} と G_{max} の関係

4. 結論

伝達距離としてBender Elementの先端間を取り、伝達時間として入力波の立ち上がりから受信波の第一ピークまでを取ると、Bender Elementを用いたせん断弾性波速度測定試験によって得られるせん断剛性率は繰返し載荷試験によって得られる最大せん断剛性率の1.3～1.5倍程度となる。なお伝達距離および伝達時間の決定の仕方によって結果に大きな差が出たことから、できるだけ供試体の高さを大きくして実験を行うことが望ましいと思われる。

謝辞

本研究を行うにあたって運輸省港湾技術研究所の実験装置を使用させて頂いたと同時に、田中 政典氏、横山 裕司氏の多大な協力を得た。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) Viggiani: 東京大学生産研究所内研究発表会, 1994. 9
- 2) 三野ら: "Bender Element試験による弾性せん断波速度の測定方法" 「土木学会第49回年次学術講演会講演集 pp. 502～503 (1994)」
- 3) Jamiolkowskiら: "Remarks on the stiffness at small strains of six Italian clays" 「IS-Hokkaido'94 SPECIAL AND KEYNOTE LECTURES GENERAL REPORTS pp. 95～114」