

Ⅲ-A94

ベンダーエレメントによる砂の液状化時のせん断波速度の測定

大成サービス 正会員 横山正利
大成建設技術研究所 正会員 森井慶行
山梨大学工学部 正会員 後藤 聡

1. はじめに

兵庫県南部地震以来、液状化中および液状化後の地盤の挙動に関する研究が多くに行われているが、液状化中の地盤の特性がどのように変化するかについては未解明である。そこで、液状化中および液状化後の地盤の物性の変化としてせん断波速度の変化に注目した。せん断波速度を求めるために、三軸試験装置のキャップ・ペダスタルにベンダーエレメントを設置し、せん断波速度を計測するシステムを構築^{1) 2)}し、液状化時のせん断波速度を測定したので報告する。

2. 試験方法

試験に用いた試料は、豊浦標準砂であり、 $e_{max}=0.950$ 、 $e_{min}=0.611$ である。三軸供試体の寸法は、高さ／直径が10cm／5cmであり、空中落下法により作成した。作成した供試体は、9.8kN/m²の負圧により自立させ、CO₂および脱気水により飽和させた。飽和完了後、有効拘束圧を98kN/m²まで9.8kN/m²間隔で等方圧密し、圧密完了後2.94kN/m²まで除荷した。除荷後、98kN/m²まで再び等方圧密した。各圧密応力レベルにおいてベンダーエレメントによりせん断波速度を測定した。

圧密完了後、B値が0.96以上であることを確認し、繰返し非排水三軸試験を行なった。なお、せん断前の供試体の間隙比は

0.666（相対密度Dr=84%）であった。液状化試験中のせん断剛性を求めるためにベンダーエレメントを用いてせん断波速度を測定した。なお、載荷周波数は、試験中の計測精度を高めるために0.01Hzとした。

軸ひずみ両振幅が5%以上となったことを確認し、試験を終了した。試験終了直後のせん断波速度も測定した。さらに、有効拘束圧がゼロに近い状態から試験装置の排水コックを開閉し、供試体を排水させ、有効応力が回復する時のせん断波速度の変化を測定すると同時に供試体の体積変化も測定した。

3. 計測方法

ベンダーエレメントを設置した試験装置の構成図を、図-1に示す。ベンダーエレメントへの入力波は電圧を10Vとし、ファンクションジェネレータを用いて5kHzのパルス波を発信させた。受信波はベンダーエレメントの出力電圧をプリアンプで100倍に引き伸ばして測定した。なお、データのサンプリングは圧密中および試験後は200kHz、試験中はデジタルレコーダーのチャンネル数の制約により100kHzとした。

ベンダーエレメントによるせん断波速度の測定における、せん断波伝播の有効距離と到達時刻については統一的な見解が無いようであるが、本報告では、次のように定義した。①せん断波伝播の有効距離は図-1に示すように、2つのベンダーエレメントの先端端間の距離とした。圧密中および、繰返しせん断後の有効距離は、キャップ上端に取りつけた非接触型変位計を用いて測定し、液状化試験中の有効距離は、セル

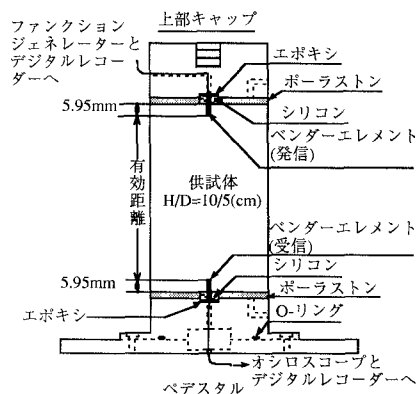


図-1 せん断波速度測定装置

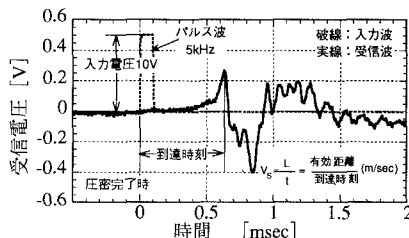


図-2 せん断波到達時刻の測定例

キーワード：液状化／せん断波速度／ベンダーエレメント／有効応力／砂質土

連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成サービス TEL 045-812-0901 FAX 045-814-7257

外に設置した変位計を用いて測定した。②到達時間は、図-2に示すように、発信の開始時刻と受信した波形における最初の山の時刻とした³⁾。

4. 計測結果

図-3および図-4に、繰返し载荷中の有効応力経路と応力-ひずみ関係をそれぞれ示す。なお、図中には、ベンダーエレメントによりせん断波速度を測定した状態もプロットしてある。図-3より、繰返しせん断応力による過剰間隙水圧の発生によって、平均有効応力の低下が認められるが、密な砂の特長であるサイクリックモビリティが顕著に現れており、せん断応力がゼロの時だけ有効応力はゼロとなるが、繰返しせん断応力によって有効応力は回復している。また、図-4より、圧縮側では軸ひずみがあまり生じず、伸張側でのみ軸ひずみが増加していることが分かる。

図-5に、繰返しせん断中に測定したせん断波速度と平均有効応力の関係を示す。図中には、液状化試験前および液状化試験直後のせん断波速度の値もプロットしている。図-5より、平均有効応力の低下に伴いせん断波速度が小さくなっていることが分かる。繰返しせん断中の圧縮側のせん断波速度は、せん断応力がゼロの時とはほぼ同じ値を示しているが、伸張側のそれは、同じ有効応力下でも小さい値を示している。また、液状化試験終了後の供試体 ($p' = 0.5 \text{ kN/m}^2$, $\epsilon_a = 2.5\%$ 時) のせん断波速度を測定した結果、42m/sec という小さい値であった。図-5中にはひずみに関する情報が含まれていないが、同じ平均有効応力下でも圧縮側と伸張側でせん断波速度が異なることから、せん断波速度はひずみ履歴の影響も受けているものと考えられる。

なお、等方圧密時および液状化試験後の有効応力の回復時のせん断剛性の拘束圧依存性については別報⁴⁾で報告する。

5. まとめ

豊浦標準砂を用いて繰返し非排水三軸試験を実施し、液状化試験前、液状化中および液状化後の供試体のせん断波速度を精度良く求めることが出来た。その結果、せん断波速度は平均有効拘束圧と相関があったが、圧縮側と伸張側でせん断波速度の拘束圧依存性の傾向が異なることが分かった。

【参考文献】

- 1) Tanizawa, F., Teachavorasinsun, S., Yamaguchi, J., Sueoka, T. and Goto, S.: Measurement of shear wave velocity of sand before liquefaction and during cyclic mobility, Proceedings of the International Symposium on Pre-failure Deformation of Geomaterials, Sapporo, Japan, pp.63~68., 1994.
- 2) 後藤聡, 森井慶行, 岡本晋, 末岡徹: ベンダーエレメントおよび繰返しせん断試験による砂のせん断剛性の測定, 第33回地盤工学研究発表会, 投稿中
- 3) 湯怡新, 土田孝: 大阪湾洪積粘土の微小変形特性について, 第32回地盤工学研究発表会, pp.601~602., 1997.
- 4) 後藤聡, 森井慶行, 末岡徹: 砂の液状化時のせん断剛性の拘束圧およびひずみ依存性, 第53回年次学術講演会, 投稿中

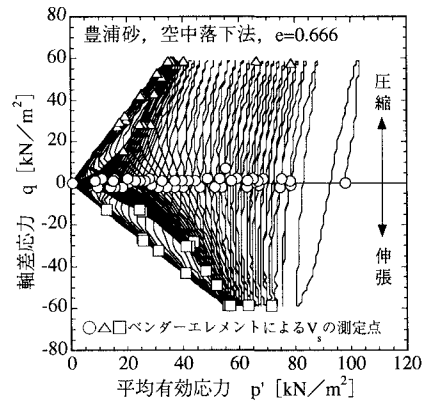


図-3 応力経路とベンダーエレメント測定点

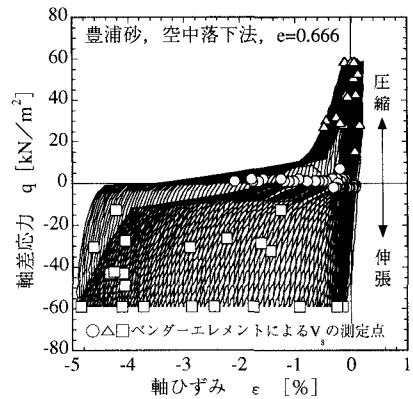


図-4 応力-ひずみ関係とベンダーエレメント測定点

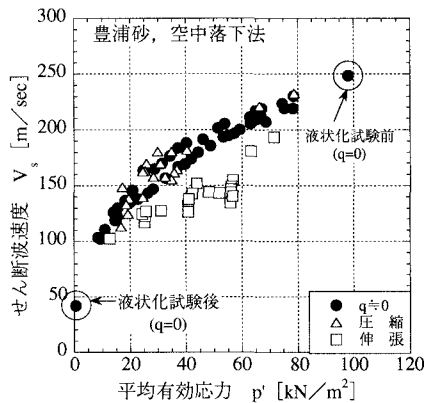


図-5 せん断波速度と平均有効応力の関係