

三軸供試体側面での加速度計測を利用した弾性波速度測定システムの開発

東京大学大学院工学系研究科 学生会員 ○橋口 智子

(株) 東京ソイルリサーチ 正会員 飯島 正敏

東京大学生産技術研究所 正会員 LeQuang AnhDan, 佐藤 剛司, 古関 潤一

1. はじめに

圧電素子を用いたアクチュエーターで振動を制御し、三軸供試体の側面に貼り付けた超小型の圧電式加速度計を用いて振動を計測することにより、P波速度とS波速度を比較的容易に計測できる測定システムを開発した。大型供試体では多点間や異方向への計測を行うことにより、供試体の不均一性や異方性の検討に適用することもできる。ここでは、試験装置の概要と小型供試体を対象とした測定結果例を報告する。

2. 試験装置の概要と特徴

大型矩形供試体（高さ 58cm, 断面 23cm×23cm）を対象としたセンサー配置の例を図 1 に示す^{1,2)}。鉛直方向に伝播する弾性波を測定する場合には振動源をキャップ側面に接着し、供試体側面に鉛直測線を設けてメンブレンの上から加速度計をいくつか接着する。水平方向に伝播する弾性波を測定する場合は振動源も供試体側面に接着し、同じ側面と反対側の側面の水平測線に加速度計を接着する。

振動源はセラミック製の圧電素子を積層構造としたアクチュエーター（寸法 10×10×20mm, 質量 35 g, 共振周波数 69kHz）で、±50 volt の電圧信号で駆動する。大型供試体を加振する場合には図 2 に示すように反力用の U 字型鋼材（質量 60 g）と 2 種類の形状の

鋼板の間にこれを挟み込んで使用する。鉛直・水平方向に伝播する P 波（ P_v および P_h ）を発振する場合には、それぞれキャップ側面・供試体側面に接着する。鋼板の形状を変更することにより、S 波も同様に発振することができる。

加速度計も圧電素子を用いた超小型のもの（寸法 4×4×13 mm, 質量 1.3 g, 共振周波数 4 kHz 以上, 測定最大周波数 1.3kHz と寸法φ3.6×3 mm, 質量 0.16 g, 共振周波数 60 kHz 以上, 測定最大周波数 20kHz の 2 種類）をメンブレンに接着する。

本測定システムは、以下のような特徴を有する。

- 1) 供試体側面やキャップなどの任意の位置に振動源と加速度計を設置できるので、鉛直・水平に加えて、傾斜した方向に伝播する弾性波の測定も可能であり、弾性波速度の異方性を調べることができる。なお、セル圧を加えずに供試体に負圧を作用させて拘束圧とする試験では、試験中にセンサーの設置位置を任意に変更できる。
- 2) 鉛直測線をいくつかの区間に分割し、それぞれにおける鉛直方向の弾性波速度を測定すること（図 1 参照）や、水平測線をいくつか設けて、異なる高さにおける水平方向の弾性波速度を測定することができる。
- 3) 振動源に入力する駆動電圧の波形と周波数を変化させることができるので、これらが固定される打撃法と比較して、弾性波の伝播時間の判定を精度よく行うことができる。

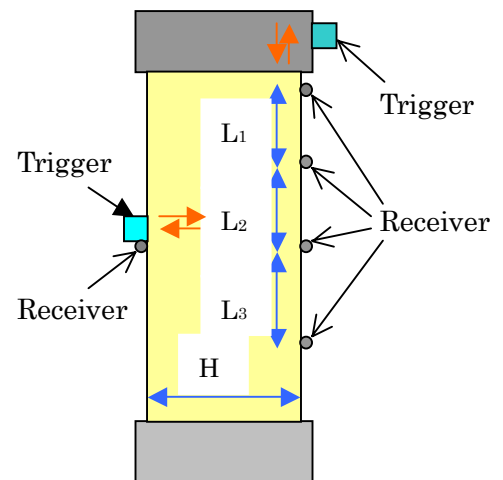


図 1 大型供試体に対するセンサー配置の例

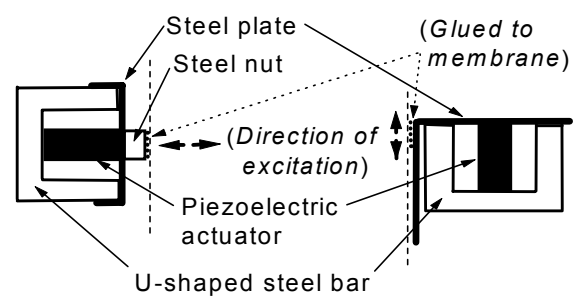


図 2 振動源の模式図

キーワード 弾性波速度, 加速度計, 圧電素子, 三軸試験

連絡先 〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 (Tel. 03-5452-6421, Fax. 03-5452-6423)

4) ベンダーエレメントのように供試体中に発振・受振素子を挿入する必要がある。

加速度記録の計測は、大型供試体を対象とする場合には最大 4ch の同時サンプリング（最大 100 kHz）が可能な A/D 変換モジュールをパソコンに接続して行う。一方、これよりも高い周波数領域での加振が必要となる小型供試体を対象とする場合には、2ch の同時サンプリング（最大 1MHz）が可能なモジュールに変更して計測を行う。振動源の加振電圧（±10 volt で出力後に高速バイポーラ電源で増幅）と周波数の設定や任意波形の出力が可能なファンクションジェネレータ・D/A 変換モジュールの制御も同じパソコンで行う。

3. 小型供試体を対象とした測定結果の例

小型供試体を対象とする場合にはアクチュエーターをキャップに取付けて鉛直方向に伝播する P・S 波を発振する。高さ 10cm、直径 5cm の円柱供試体に対するセンサー配置の例を図 3 に示す。図 4 は乾燥豊浦砂の三軸圧縮試験中の連続正弦波発振による P 波速度の測定例である。また、飽和砂質土の非排水繰返し三軸試験中に S 波速度を測定を実施し、微小繰返し载荷による静的なヤング率や原位置での S 波速度と比較した結果を別途報告している³⁾が、その測定波形例を図 5 に示す。連続正弦波を用いる場合には一周期分以上の位相差が生じる場合があるため、正弦波の周波数を変えた計測や、図 6 に示すようにパルス波発振を用いた立ち上がり波形の計測を併用して確認する必要がある、現在検討している。

4. まとめ

小型のアクチュエーターと供試体側面のメンブレンに接着した加速度計を用いて、弾性波速度を測定するシステムを開発した。簡単な操作で最適な波形を選択しながら、種々の試験条件に適用することができる。

参考文献 1) AnhDan ら (2001): Comparison of Young's moduli of dense sand measured by dynamic and static methods, 第 36 回地盤工学会. 2) 同上 (2002): Effect of particle sizes on dynamic and static small strain deformation properties, 第 37 回地盤工学会. 3) 飯島正敏ら (2002): 凍結サンプリング試料と再構成試料の液状化特性と変形特性の比較, 第 37 回地盤工学会.

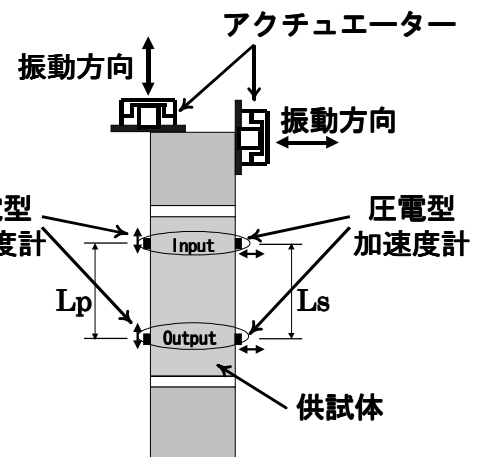


図3 小型供試体に対するセンサー配置の例

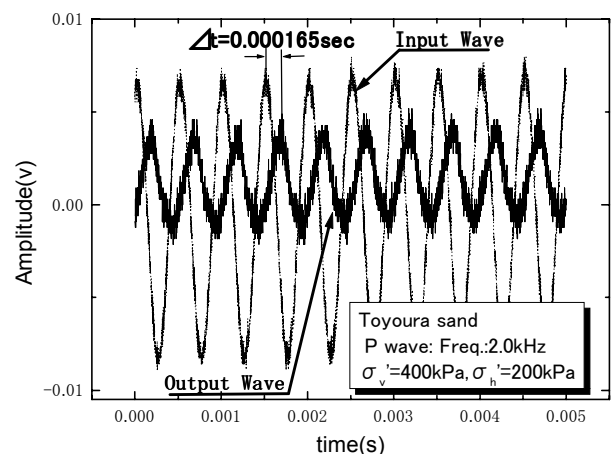


図4 正弦波発振によるP波測定の例

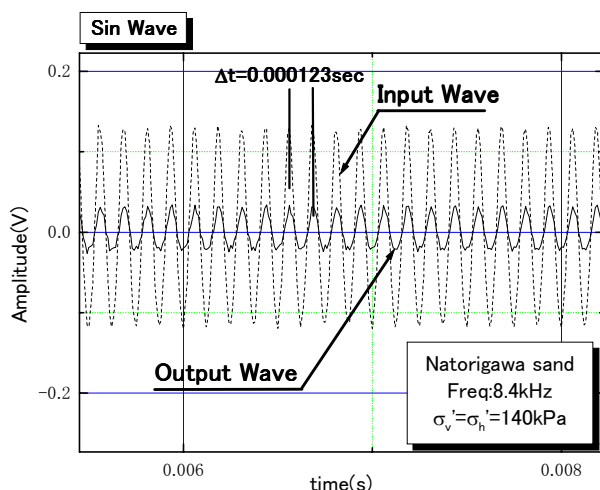


図5 正弦波発振によるS波測定の例

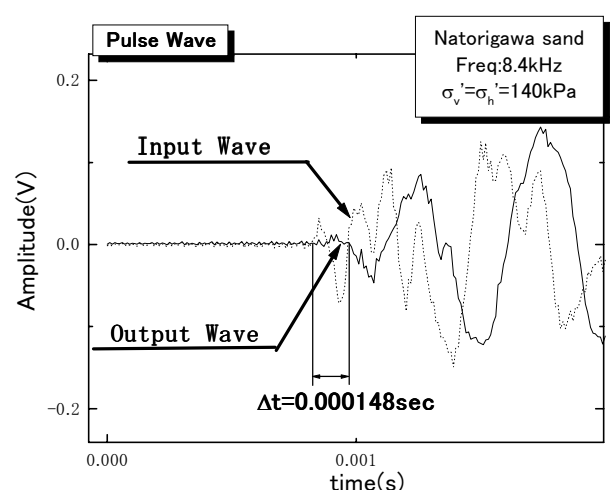


図6 パルス波発振によるS波測定の例