

薬液供試体の非破壊試験としてのベンダーエレメント試験の導入

東京都市大学学生会員 長谷川 裕己

東京都市大学学生会員 中川 健太郎

東京都市大学正会員 末政 直晃

1. はじめに

液状化対策工法の一つである薬液注入工法は、ゲル化する性質を有する化学薬品を地盤中の所定の箇所にボーリング等で設置した注入管を通じて注入し、地盤の止水性の向上または強度を増加させることを目的とする工法である。低圧で注入材を土粒子間に浸透する為、土の骨格構造を壊すことなく注入材を土の粒子間に浸透させ、間隙水を薬液に置き換えて団結することが基本原理となる。これにより、サンドゲルを形成し、地盤の透水性を低下させ強度が増加する¹⁾。従来では仮設工法としてしか用いられていなかったが近年では本設工にも用いられるようになってきている。しかし、薬液注入に伴う強度発現メカニズムが不明確であり、地盤特性の違いが薬液改良体の出来型や改良強度に及ぼす影響が把握されていないなどの課題もある。このような問題を解明することにより、施工時間が短縮され、コスト削減、性能面での向上にも繋がり、優れた薬液注入を行なうことが可能となる²⁾。そこで本研究では、改良強度の発現メカニズムの解明を目的とし、波動試験の一つであるベンダーエレメント試験を実施している³⁾。ここでは、一軸圧縮試験の供試体に対してベンダーエレメント試験が実施できるように試験方法を改良したので報告する。

2. ベンダーエレメント試験

図1にベンダーメカニズムを示す。中心にあるニッケルで構成されたシム材は弾性補強かつ電極の役割を果たし、この両面に厚み方向に分極された圧電素子を張り合わせている。このような構造はバイモルフと呼ばれ、ベンダーエレメントとは振動子の呼称である。これに電圧を印加することで圧電効果により上部の圧電素子は縮み、下部の圧電素子は伸びる。その結果、上部方向に曲がる。また、変形を加えると電圧を発生する特性を有している。この特性を利用して、キャップやペDESTALに取り付けたベンダーエレメント（送信用ベンダー）に電圧を加えることで土中にせん断波を発生させ、他方のベンダーエレメント（受信用ベンダー）でせん断波を受信することで土中を伝播するせん断波速度を計測する。式(1)に G を求める式を示す。求めたせん断波速度を(1)式に代入することにより砂の初期せん断弾性係数を求めることができる。初期せん断弾性係数は微小なひずみレベルにおける変形係数であり、破壊試験で考慮しなければならないダイレイタンス効果の影響を受けないため、密度や応力レベルに依存する材料固有の定数とされている。一般に土が真に弾性挙動を示すのは極めて小さなひずみレベル(10^{-6} 以下)である。そのため、初期せん断弾性係数は地盤の変形問題を扱う場合に有効なパラメータとされている。

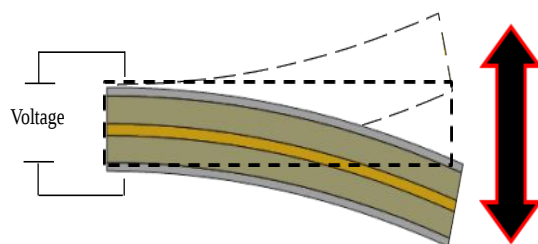


図1 ベンダーメカニズム

また、変形を加えると電圧を発生する特性を有している。この特性を利用して、キャップやペDESTALに取り付けたベンダーエレメント（送信用ベンダー）に電圧を加えることで土中にせん断波を発生させ、他方のベンダーエレメント（受信用ベンダー）でせん断波を受信することで土中を伝播するせん断波速度を計測する。式(1)に G を求める式を示す。求めたせん断波速度を(1)式に代入することにより砂の初期せん断弾性係数を求めることができる。初期せん断弾性係数は微小なひずみレベルにおける変形係数であり、破壊試験で考慮しなければならないダイレイタンス効果の影響を受けないため、密度や応力レベルに依存する材料固有の定数とされている。一般に土が真に弾性挙動を示すのは極めて小さなひずみレベル(10^{-6} 以下)である。そのため、初期せん断弾性係数は地盤の変形問題を扱う場合に有効なパラメータとされている。

$$G = \rho V_s^2 \quad (1)$$

ここで G は初期せん断弾性係数、 ρ は土の湿潤密度、 V_s はせん断波速度である^{2,3)}。

3. ベンダーエレメント試験の改良

3.1 目的

ベンダーエレメント試験の利点としては、他の試験方法と違い非破壊で土の強度を測定できるという点である。しかし、これまで用いていたベンダーエレメント試験は図2（左）のように土槽とベンダーエレメントが一体となっていたため一つの供試体に一組のベンダーエレメントを用いていた。そのため他の供試体に対して測定ができず、測定効率が悪いという点が問題視されていた。そのため今回のベンダーエレメント試験の改良ではこのような問題点の改善を行った。

キーワード 液状化、ベンダーエレメント試験、初期せん断弾性係数

3.2 改良結果

従来のベンダーエレメント試験では土槽を使用していた。しかし、この土槽を使用する際、受信ベンダーと送信ベンダーの二つのベンダーを土層に固定し、測定を行わなければならないため、付け替えることが出来ず一度に複数の測定を行うことが出来なかった。そこで土槽を使用せずに測定を行えるように改良した。新たな測定方法では、三軸圧縮試験で使用している直径 5cm、高さ 10cm の円柱型土塊を用いた。測定の方法としては、この円柱型土塊の左右にベンダーエレメントが設置されているゴムバンドを取り付ける測定を行う。その結果、課題であった複数の同時測定が可能となった。しかし、改良したベンダーエレメントでは受信機と送信機共にベンダーエレメントの固定が不十分だったため、S 波の発生、また受信が出来なかった。この問題点を解決するためベンダーエレメントの固定をするための改良を行った。改良後のベンダー設置器を写真 2 に示す。この改良では前回の改良で問題が発生したゴムバンドの固定部分に改良を加えた。この改良によりベンダーエレメント試験での S 波の送受信が可能になった。また従来の S 波送信では 3cm 受信限界距離だったが電圧を上げることで供試体の距離 5cm でも受信可能となり、図 3 のように受信波形がしっかりと表示できるようになった。これにより、多くの試験体を同時に測定が可能になった。この装置を使用し、2 ケースの供試体を各 2 つ、計 4 つの供試体の測定を行った。供試体の概要は表 1 に示す。

3.3 実験結果

測定結果を、図 3 に示す。結果のグラフから見てわかるようにシリカ濃度 3% よりも 4% の方が初期せん断弾性係数の値が低いことが分かった。また試験結果から改良を加えたベンダーエレメント試験での初期せん断弾性係数の測定が可能であることが分かった。

<謝辞>

本研究を行うにあたり、労働安全総合衛生研究所の原氏に、丁寧なご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) matome.naver.jp/ 2) 高木雄太：初期せん断弾性係数を用いた薬液固化過程に関する検討，武蔵工業大学卒業論文，2010。
- 3) 山下直人：初期せん断弾性係数による薬液の固化過程の評価，武蔵工業大学論文 2011

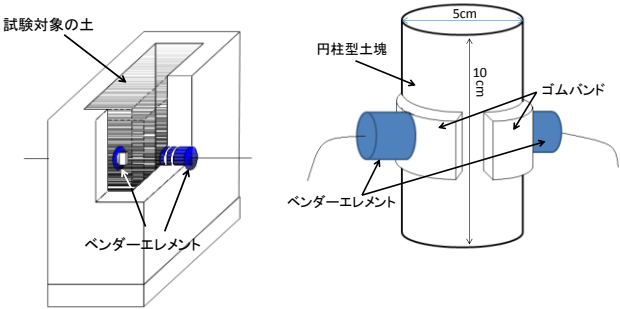


図 2 ベンダーエレメント試験
((左) 改良前, (右) 改良後)

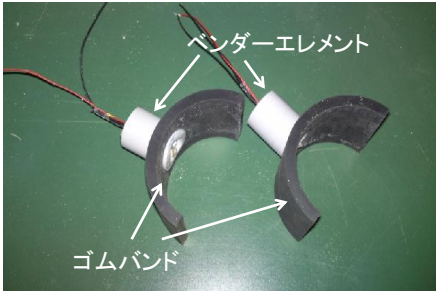


写真 1 ベンダー設置機 1

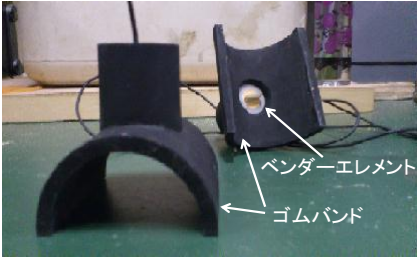


写真 2 ベンダー設置機 2

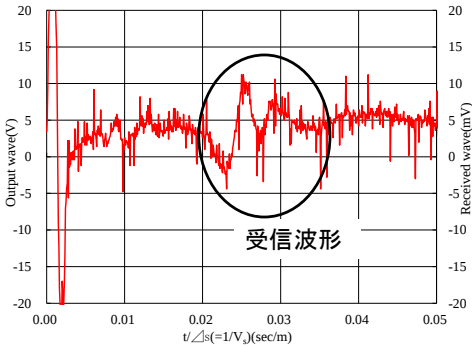


図 3 送信波と受信波

表 1 各供試体の値

(相対密度, シリカ濃度)		
名前	相対密度	シリカ濃度
供試体A	60%	3%
供試体B	60%	3%
供試体C	40%	4%
供試体E	40%	4%

図 3 各供試体の初期せん断弾性係数

