

ベンダーエレメント法を適用した安定処理土の測定手法に関する研究

秋田大学大学院 学 ○角田隆行 正 田口岳志 正 荻野俊寛 学 鳥山哲

1. 研究背景および目的

室内試験でせん断弾性係数 G を求める方法にベンダーエレメント（以下 BE と略記）試験がある。これは簡易的に取り付けが可能で容易に実施できることから広く普及しつつある。一方で BE 試験は硬質な材料に対しては不向きとされ、特に圧電素子と供試体の接合方法について十分に議論されていない。硬質材料に対し BE 試験を用いた例として、Marcos Arroyo et al.¹⁾が泥質岩に対して小型ドリルを使用し、ベンダーエレメントのスロットを掘削して BE 試験を実施している。また、張ら²⁾や浅香ら³⁾は、ベンダーエレメントを用いたセメント安定処理土地盤の非破壊検査方法を提案・検討している。しかしながら、本研究のように供試体と圧電素子の接合方法に焦点を絞って検討した例は少ない。せん断弾性係数は測定手法によって幾ばくかの誤差を生じることから、種々の実験方法でデータを蓄積し、安定処理土のような硬質試料に対しての適切な測定手法を提案することが本研究の目的である。

2. 実験概要

試料は岡山県産のカオリン粘土を用い、セメント系固化材は一般軟弱土用固化材（宇部興産社製）を用いた。乾燥状態のカオリン粘土を所定の含水比になるように加水し、ミキサーで混合した。含水比を調整した土試料に粉体のセメント系固化材を所定の添加量 C で混合した。その後、プラモールド： $D/H=50/100$

(mm) に安定処理土を 3 層に分けて詰め、各層毎に軽く打撃を与え気泡を除去した。その後、恒温・恒湿条件下（温度 20℃、相対湿度 95%）において静置し所定の期間養生した。なお、固化材の配合は地盤工学会基準「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法」⁴⁾に準じた。ベンダーエレメント試験においては、図-1 の模式図に示したとおりに供試体をセットした。図-2 には安定処理土に sin 波を流した時の送受信波の波形図を示す。このときの送信波が受信側に到達するまでの時間を計測し、せん断波速度 V_s を求め、せん断弾性係数 G を求めた。

3. スロットの作製方法について

ベンダーエレメントを差し込むためのスロットの作製方法について下記条件で検討した。スロットの作成方法は差し込み養生型、くり抜き型の 2 種類で検討した。図-3 は 3D プリンターで作製した凸型模型である。差し込み養生型とは、この凸型模型を図-4 の様に養生段階でそれぞれ上下に差し込みながら養生させる事で、固化未了の段階においてスロットを作成する方法である。気泡除去の際に衝撃で底の凸型模型が移動しないようにモールド底部と凸型模型を両面テープで接着した。凸型模型を取り外した後に、試験に適切なスロットができていることを確認した。この方法はモールドから脱型後も凸型模型の再利用が可能

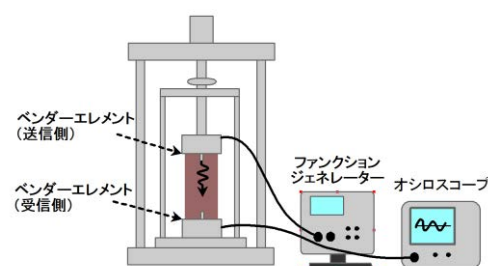


図-1 ベンダーエレメント試験の模式図

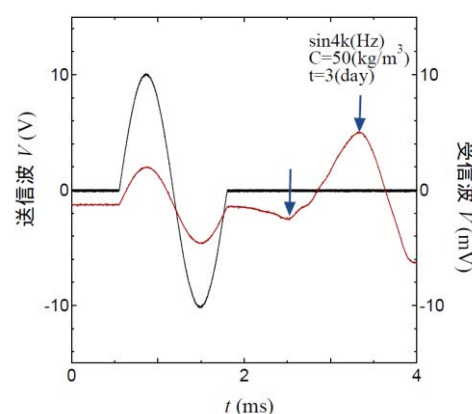


図-2 送受信波の波形図



図-3 凸型模型

である。図-5 は、くり抜き型のスロット作製に使用した長方形の穴付き円盤と貫入針である。くり抜き型とは、図-6 は、養生後（固化後）の供試体に対して貫入針を用いて少しずつスロットを作製するものである。（このとき、図-6 の写真は、本研究とは別ケースの泥炭処理土のものである。）また、スロットの幅や深さ等のサイズはベンダーエレメントよりもやや大きくしている。

さらに、充填材を充填することで、ベンダーエレメントと供試体の間に隙間ができないように充填剤を注入して両者を密着させた。充填材は歯科用石膏（新日本造形社製）で検討した。別ケースでエポキシ樹脂やラテックスを充填材として用いた。これらの充填材はベンダーエレメントとの剥離実験も良好であることを確認しているものの、硬化時間が異なり、扱い易さの点で差がみられた。本報告では、歯科用石膏をくり抜き型で作製したスロットに充填してベンダーエレメント試験を行った結果を示す。

4. 実験結果

図-7 に 3 日養生させたカオリン安定処理土に、くり抜き型でスロットを作製し、歯科用石膏を充填しベンダーエレメント試験を行ったときのせん断弾性波速度 V_s と固化材添加量 C の関係を示す。また、図-8 はせん断弾性係数 G と固化材添加量 C の関係を示す。これらの図から、せん断弾性波速度 V_s とせん断弾性係数 G が添加量の増加に伴って増加することが確認できた。今後は、他の充填材のケース、充填材の有無、スロットのサイズ、養生日数を変えたケース、固化材を変えたケースなど種々の条件によるベンダーエレメントと試験を行い、安定処理土への適切なベンダーエレメント試験の適用方法を調べていく予定である。

5. まとめ

硬質な安定処理土供試体に対するベンダーエレメント試験の手法として、くり抜き型スロットに歯科用石膏を充填する方法を採用し、BE 試験を行ったところ、セメント系固化材添加量の増加に伴い、断弾性波速度 V_s とせん断弾性係数 G の増加傾向が確認できた。

【謝辞】本研究は 2019 年度 土科学財団研究助成を受けて実施した。また、用いた固化材は宇部興産建設資材カンパニーからご提供頂きました。両社に対して謝意を表します。

【参考文献】1) Marcos Arroyo, Jubert A. Pineda, and Enrique Romero: Shear Wave Measurements Using Bender Elements in Argillaceous Rocks, Geotechnical testing Journal, Vol.33, No.6, pp.488-498, 2010 2) 張ら：安定処理土の弾性波速度測定システムの開発－弾性波速度の測定方法の検討－, 平成 27 年度 日本大学理工学部 学術講演会予稿集, pp.129-130, 2015. 3) 浅香ら：ベンダーエレメントを用いたせん断波速度測定によるセメント系改良地盤の非破壊検査方法, 日本建築学会構造系論文集, 第 612 号, pp.103-110, 2007. 4) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説, 地盤工学会, pp.426-434, 2009.



図-4 差し込み養生型



図-5 長方形穴付き円盤（左）と貫入針（右）

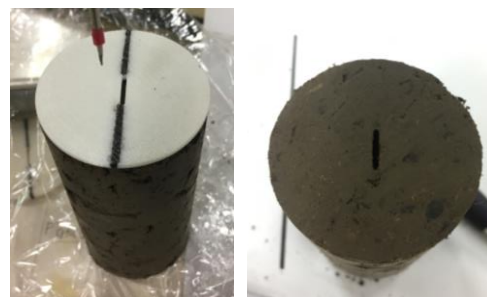


図-6 くり抜き型

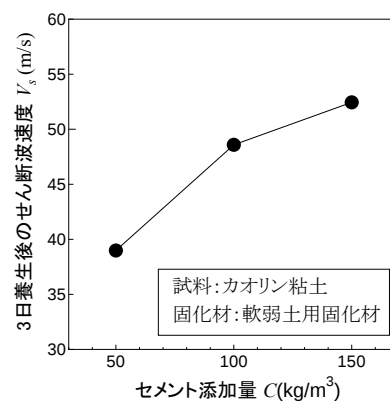


図-7 V_s と C の関係

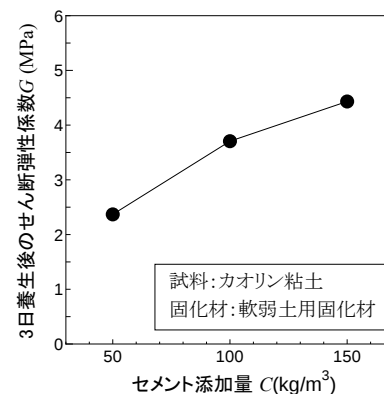


図-8 G と C の関係