

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手法の研究

秋田大学 学 ○高橋拓弘 正 田口岳志 正 荻野俊寛 学 石川侑吾

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 と称す）試験がある。これは簡易的に取り付けが可能で容易にできることから広く普及しつつある。一方で BE 試験は予め硬質な供試体に対しては不向きとされており、ベンダーエレメントの破損や故障に繋がる。予め硬質な試料に対し BE 試験を用いた例としては、Marcos Arroyo et al.¹⁾ が泥質岩に対して炭化物でコーティングされた小型ドリルを用い、ベンダーエレメントのスロット（溝穴）を掘削して BE 試験を行った例がある。このように実際に予め硬質な試料に対しての BE 試験の報告例は少ない。せん断弾性係数は試験方法によって大きな誤差が生じると考えられることから様々な試料・方法で計測データを蓄積することで安定処理土のような硬質材料に対して最適な測定手法を提案することが本研究の目的である。

角田ら²⁾の研究では安定処理土供試体の端面に BE を挿入するスロットを作成し充填材で間詰めを行い、BE 試験を行う方法（くり抜き法）が提案されている。この研究ではセメント系固化材添加量 $C=50\text{kg/m}^3$ （BE を直接挿入できる程度）の比較的軟弱な供試体に対してのみ“くり抜き法”が行われている。本研究ではこの方法を用い、硬質な安定処理土供試体に対する本手法の妥当性を検討する。

2. 実験概要

本研究では、比較的改良効果が高い粘土³⁾とされているカオリン粘土を用いた。乾燥状態のカオリンに加水し、ミキサーで混合し、初期含水比が約 80%になるよう調整したカオリン粘土を試料土とした。試料土にセメント系固化材を所定の添加量 C で混合した。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、 $20\pm 3^\circ\text{C}$ で恒温恒湿状態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」³⁾に準じた。モールドから脱型後、作成した供試体に対してベンダーエレメント試験を行った。BE 試験は図-1 に示すように供試体をセットした後、ファンクションジェネレーターからせん断波を送信し、オシロスコープでせん断波を受信することで波形を得た。BE 試験の方法は地盤工学会基準(案)「ベンダーエレメント法による土のせん断波速度測定方法」⁴⁾に準じた。

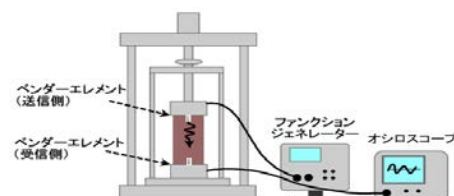


図-1 BE 試験機の概要

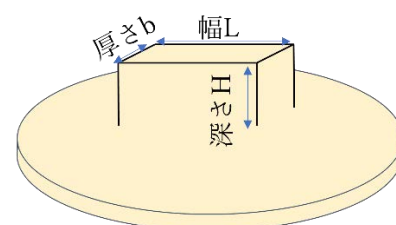


図-2 BE 模型



写真-3 凸型模型を用いたスロット

2.1 スロットへの充填材の詰まり具合の検討

角田ら²⁾の研究では各充填材（石こう、エポキシ充填材、ラテックス）の詰まり具合の検討が行われた。この研究ではスロットに充填材のみを入れて充填材を硬化させているが、実際の BE 試験では、充填材に満たされたスロットに BE を差し込むため、充填材の詰まり具合がさらに良化するはずである。そこで、図-2 のような BE 模型を 3D プリンターで作成し BE 試験時の充填材が詰まったときのスロットの状態を再現し、溝穴への充填材の詰まり具合について検討した。写真-3 のように紙粘土に凸型を押し込むことでスロットを作成し、充填材を竹串で詰めた。充填材にはエポキシ樹脂、石こうを使用した。スロット、硬化した充填材は直方体とみなし、ノギスで深さ H 、幅 b 、厚さ L を計測しそれらの体積から充填率を算定した。

キーワード ベンダーエレメント、セメント安定処理土、充填材、測定手法

連絡先

〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 TEL 018-889-2360

2. 2 硬質な

供試体に対するくり抜き法の検討

BE を直接安定処理土供試体に

表-1 実験条件

テストケース	固化材添加量 $C(\text{kg}/\text{m}^3)$	養生日数 $t(\text{days})$	充填材注入後からの 測定時間(min)	測定時の周波数 (Hz)
充填材：エポキシ樹脂	250	42	10,20,30,40,50,60,120, 180, 240,300,360,1440	14k,16k,18k,20k
直刺し	250	27		14k,16k,18k,20k

対して直接挿入出来ない程度の強度を発現させるように固化材添加量 $C=250\text{kg}/\text{m}^3$ として $D/H=50/100$ (mm) の供試体作成を行い,所定の期間養生し端面を整形後, 硬化後の供試体の端面に溝穴を作成した. BE 試験を行った際の各実験条件を表-1 に示す. 各測定時で 14k,16k,18k,20k(Hz) の sin 波で測定を行いそれぞれの測定結果から算定されたせん断波速度を平均し,その測定時のせん断波速度とした. 固化未了の状態では BE 試験機に設置し,そのまま養生させたものを比較用として固化材添加量 $C=250\text{kg}/\text{m}^3$ の真値とした.

3. 実験結果・及び考察

3. 1 スロットへの充填材の詰まり具合の検討

表-2 は各充填材の充填材の充填率を示している. 充填率が 100%を越えてしまっているのは,スロットサイズとして用いている値がスロット作成に使用した凸型の大きさであるため実際のスロットの大きさよりも一回り程小さいと考えられる. しかしどちらの充填材でも充填率が 100%を越え,十分に充填材が詰まっていることが分かる.

表-2 スロットの充填率

		H(mm)	b(mm)	L(mm)	体積(mm ³)	充填率(%)
スロットサイズ		5	4	15	300.0	
充填材	エポキシ	4.6	4.5	15.1	312.6	104.2
	石こう	4.85	4.65	14.55	328.1	109.4

3. 2 硬質な供試体に対するくり抜き法の検討

図-3 に硬質な供試体（固化材添加量 $C=250\text{kg}/\text{m}^3$ ）に対しくり抜き法を行い,充填材を注入後,BE 試験を行い,せん断波速度を算定した結果を示す. 充填材が硬化していくにつれてせん断波速度が安定するようになった. しかし直刺しで得た値とは最大で 1.26 倍の差が生じた.

4. 結論

固化の段階で大きく収縮しないエポキシ樹脂および石こうを充填材に用いることで, スロット内部で十分に BE と土試料の間隙を埋めることができる. 硬質な供試体に対しくり抜き法を行った結果充填材の硬化時間が 100 分を越えた辺りからは安定するが,BE 試験を行う対象の試料によって充填材を使い分ける必要がある可能性がある.

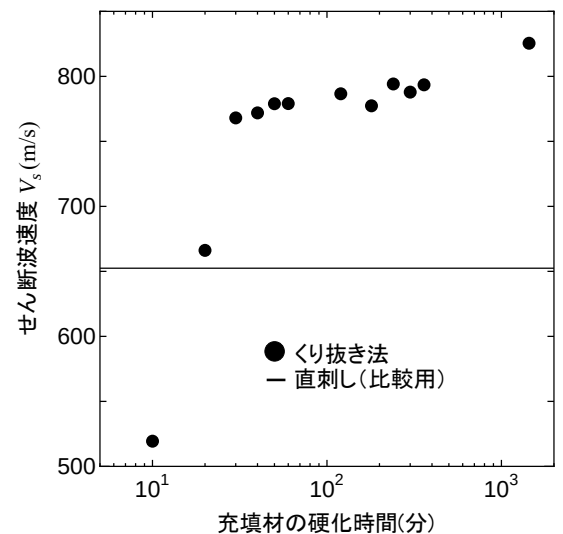


図-3 硬質な供試体に対しくり抜き法を適用した BE 試験結果

[謝辞] 本研究は JSPS 科研費 JP21K04248(代表: 田口岳志)の助成を受けたものです. 関係各位に謝意を表します.

【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) 角田ら, 硬質な安定処理土供試体に対してのベンダーエレメント試験手法の研究. 3) 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説, 地盤工学会. 4) 地盤工学会基準(案), ベンダーエレメント法による土のせん断波速度測定方法, 地盤工学会.