

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—

Development of Elastic Wave Velocity Measurement System of Cement-Treated Soils

—Examination of method for determining of elastic wave velocity—

○張文思¹, 山田雅一², 安達俊夫², 富山稀恵³Bunsi Chou¹, Masaichi Yamada², Toshio Adachi², Kie Tomiyama³

Abstract: The objective of this study is to develop the simple elastic wave measurement system and to establish the technique to inspect the quality of cement-treated soils. In previous paper, measurement system using the bender element test has been developed, and the relation between elastic wave velocity of the bender element test and unconfined compressive strength are investigated. While there is high degree of uncertainty and subjectivity in the interpretation. In this paper, the bender element testing procedures are reviewed, and the relation between initial shear modulus and unconfined compressive strength are investigated by performing the bender element tests to cement-treated clays.

1. はじめに

セメント安定処理地盤の設計や品質管理は一軸圧縮強度 q_u に基づいて行われることが多い。浅香ら²⁾はベンダーエレメント(BE)を用いたセメント安定処理地盤の非破壊検査方法を提案している。前報³⁾では簡易な弾性波速度システムを構築し発泡スチロールを用いて、BE 試験結果から弾性波速度測定システムの有効性を確認した。前報⁴⁾では安定処理土に対して、弾性波速度と q_u の関係ならびに弾性波速度の経時変化について検討した。しかし適切な送信周波数を用いていなかったために送信波と受信波の周波数が適合しなかったことからせん断波速度 V_s を過大評価した。

本研究ではこのような問題点に対処するために、リサーチユースを確認した上で適切な周波数を用いて試験を行うことにより、弾性波の伝播時間を確実に同定する方法を試みる。さらに初期せん断弾性係数 G_{max} と q_u の関係から提案する測定方法の妥当性を検討する。

2. 試験概要

2.1. 試料

本試験で用いられた試料は M カオリンである。安定材にはセメント系固化材を用い、表 1 にセメント系固化材の配合条件を示した。同表の含水比 w は粉体のカオリンを調整する含水比であり、固化材添加量 C は乾燥試料土 $1m^3$ に対する固化材量である。試験供試体の作製方法については、文献⁵⁾

Table 1. Production conditions of sample

試料	含水比 w (%)	固化材添加量 C (kg/m ³)	水・固化材質料比 W/C (%)	材齢 (年)
Mカオリン	90	200	60	5
		150		
		100		
		50		
	120	200		
		150		
		100		
		50		

を参照されたい。供試体は直径 5cm, 高さ 10cm の円柱供試体である。BE 試験後、一軸圧縮試験を JIS A 1216 に準じて実施した。

3 試験結果

3.1 測定方法の提案

本報告では時間領域法(T.D.法)を用いてせん断波速度 V_s のデータ解析を行うこととする。T.D.法を使用する際、受信波到着の判断には高度な工学的判断が求められるため伝播時間の同定に個人差が生じやすいことが報告されている⁶⁾。それを改善するために下記の測定方法を提案する。

まず供試体を BE 測定システムに設置した後、オシロスコープの X-Y モードでリサーチユースを観察し、ファンクションジェネレータを手動で 2-50kHz の帯域幅を有する連続的な正弦波の入力信号を掃引する。図 1 のように $X=Y$ の直線となる時の周波数を決定する(共振周波数)。BE 測定システムについては文献³⁾を参照されたい。

本報告では、含水比 $w=90\%$, $C=150$ (kg/m²)の供試体の試験結果例について説明する。本試験での共振周波数は 18.64kHz であった(図 1)。

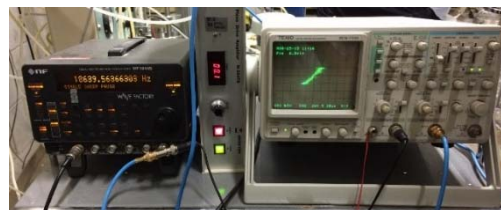


Fig.1. X-Y plots in the oscilloscope

その後、受信波の伝播時間の読み取りを容易に判断するために、共振周波数前後の周波数といくつかの予め設定した周波数(例えば 3, 5, 10, 15, 20kHz 等)で試験し、受信波を記録する。本試験では図 2 に示すような試験結果が得られた。5kHz 時の最初に到達した波動は周波数が大きくなるととも

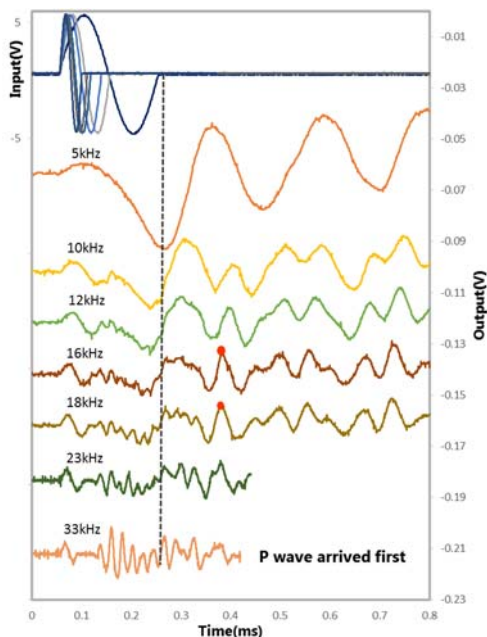


Fig.2.T.D. results for input sine waves for 5,10,12,16,18,23,33kHz に波形が崩れていくことがわかる。図 2 より共振周波数前後 (16,18kHz)の受信応答から赤印の位置が受信波のピーク点であると判断できる。33kHz 時では送信した直後に現れた受信応答はノイズ,あるいはP波による near-field-effect 現象によるものと考えられる。

したがって,せん断波速度 V_s は 16kHz と 18kHz のデータを基に T.D.法により求める。T.D.法で得られたせん断波速度 V_s の平均をこの供試体のせん断波速度 V_s とする。また,平均せん断波速度 V_s から G_{max} を算出する。

3.2 初期せん断弾性係数 G_{max} と一軸圧縮強度 q_u の関係

図 3 に,本試験で得られた G_{max} と q_u の関係を示す。同図には中浜ら⁷⁾が行った中空ねじり試験による静的載荷法で得られた安定処理粘土の G_{max} と q_u の試験結果 [$G_{max} = 1102q_u^{0.81}$ (kN/m²)]を実線(黒色)で示した。また,小泉ら⁸⁾によって超音波試験で得られた粘性土改良土と砂質土改良土の試験結果

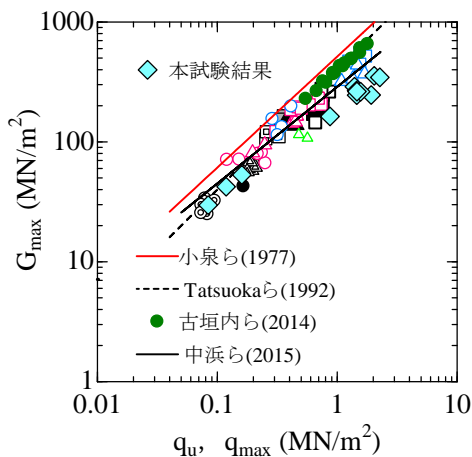


Fig.3.Relations of G_{max} and q_u

[$G_{max} = 859q_u^{0.926}$ (kN/m²)]を実線(赤色)で示し, Tatsuoka ら⁹⁾によって,三軸試験による人工的に固化した試料の下限值とし

て示された $G_{max} = 400q_{max}$ を破線で表し,古垣内ら¹⁰⁾の流動化処理した建設発生土に対する超音波伝搬速度測定試験結果を併せ示した。図 3 より,本試験結果は,上述した既往の研究結果に近い位置にプロットされていることがわかる。このことから提案した測定方法の有効性が確認された。以上のことから,安定処理粘土に対する弾性波速度の測定方法を図 4 に提案する。

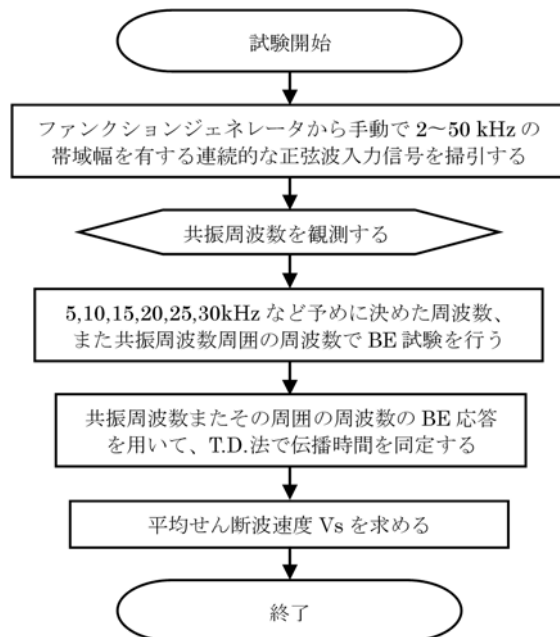


Fig.4.Method for determining of time-domain method

4. まとめ

本研究では安定処理粘土に対して,弾性波速度システムを用いたせん断波速度の測定方法を提案した。

今後は試験データの蓄積を計り,提案したせん断波の測定方法の妥当性を検証し,さらに圧縮波についても検討する予定である。

【参考文献】

- 1) 例えば,日本建築センター:改訂版 建築のための改良地盤の設計及び品質管理指針-セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法-, pp.238-255, 2002.
- 2) 浅香美治他:バ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.
- 3) 原川哲他:安定処理土の弾性波速度システムの開発,第 53 回理工学部学術講演会, pp.225-226, 2009.
- 4) 井上信裕他:安定処理土の弾性波速度測定システムの開発-粘性土改良土の弾性波測定, 54 回理工学部学術講演会, pp.205-206, 2010.
- 5) 伊東結也他:粘性土改良土の強度・変形特性-一軸圧縮強度の評価方法-第 52 回理工学部学術講演会, pp.168-169, 2008.
- 6) António Viana da Fonseca et al.: A Framework Interpreting Bender Element Tests, Combining Time-Domain and Frequency-Domain Methods, Geotechnical Testing Journal, Vol. 32, No. 2, 2009.
- 7) 中浜悠史:中空ねじりせん断によるセメント改良粘土の力学特性,第 50 回地盤工学研究発表会, pp.665-666, 2015.
- 8) 小泉泰通他:セメントスラリーの軟弱地盤への適用について,第 12 回土質工学研究発表会, pp.1289-1292,1977.
- 9) Tatsuoka,F. et al.: Deformation Characteristics of Soils and Rocks from Field and Laboratory Tests, Theme Lecture 1, Proc.Ninth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.2, pp.101-170, 1992.
- 10) 古垣内靖他:流動化処理土のヤング率に関する考察,日本建築学会大学学術講演会梗概集, pp.591-592, 2014.