B-71

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（その 2）－
Development of Elastic Wave Velocity Measurement System of Cement-Treated Soils
－Examination of method for determining of primary wave speed －

○高橋香那子 [1]，張文思 [2]，山田雅一 [3]

*Kanako Takahashi [1], Bunsi Chou [2], Masaichi Yamada [3]

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, the method for measurement of shear wave velocity of cement-treated soils which runs the bender element test by the resonant frequency of the specimen was reported. In this method, a continuous input sine wave will be swept by function generator initially and then the Lissajous figures, which give an indication of the phase relationship between the transmitted and received signals, will be showed on an oscilloscope directly to find the resonant frequency of the specimen. In this paper, the measurement method should be applied to primary wave.

1. はじめに

セメント安定処理工法を構造物の基礎地盤や地盤災害の対策として積極的に活用するためには，安定処理地盤の強度・変形特性を正確に評価する必要がある．地盤材料の変形特性を求める室内試験法として、波動試験法であるベンダーエレメント(BE)試験はせん断波(S 波)速度と疎密波(P 波)速度を測定することで，弾性係数であるせん断弾性係数 G，ポアソン比 ν，ヤング係数 E を算出することができる．地盤工学会では，BE 法を用いた S 波速度の測定方法が基準化された．前報 [1]では安定処理粘土に対して，連続的な正弦波の入力信号によるリサージュ応答を確認することで適切な周波数を求めてから BE 試験を行うことにより，S 波の伝播時間を確実に同定することができる測定方法を提案した．しかし，ポアソン比 ν とヤング係数 E を求めるには，P 波速度を求める必要がある．本報告では，前報 [1]で提案した安定処理土の S 波速度の測定方法を P 波速度の測定方法に適用し，その適用性について検討する．

2. 試験概要

本試験で用いた試料はカオリンである. 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．

供試体は直径 5cm，高さ 10cm の円柱供試体である．供試体の養生方法は，モールドに充填した混合試料から水分が蒸発しないように，ビニール膜で密封し約 24 時間静置した．その後，供試体上端面をソイルナイフで平滑に成形し，モールドから供試体を脱型した後，表 1 に示した所定の材齢まで，地下水面下の安定処理地盤を想定した水中養生と地下水面上の安定処理地盤を想定した湿潤養生とした. BE 試験後，一軸圧縮試験を JIS A 1216 に準じて実施した．

Table1.Production conditions of sample

含水比 w(%)	固化材添加量 C(kg/m^3)	・固化材質量 W/C (%)	材齢 (日)	養生条件
120	50,100,150,250	80	10～85	水中養生
	50,100,150	60	1314～1388	
			988～1048	湿潤養生
	100		1281～1341	

3. 試験結果

3.1　P 波の BE 試験方法の適用性の検討

前報 [1]で提案した S 波速度に対する測定方法を P 波速度の測定に適用する．P 波の受信電圧の波長は S 波の受信電圧の波長よりかなり短いため，比較的高い周波数の入力信号でないと P 波の受信電圧の第一波を観測するのは難しい．従って，リサージュ応答は 20～55kHz の帯域幅を有する連続的な正弦波の入力信号を与えることとした．測定方法の詳細は前報 [1]を参照されたい．

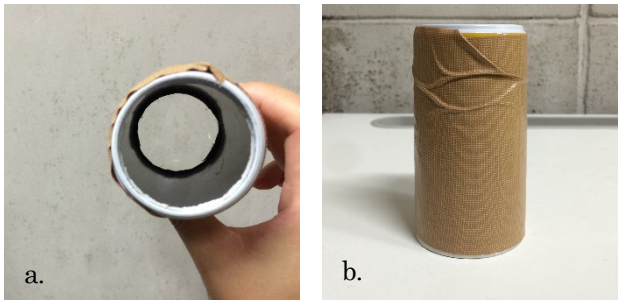

Fig. 1.Container of a made cylinder

砂質土では P 波速度は飽和度の影響を受けることがわかっている [2]．周知のように水の P 波速度 V_P は 1500 (m/s)である．そこで，最初に水の P 波速度を測定することで，本測定システムの妥当性を検討する. 水の測定は図 1-a.b.に示すように直径 5.28cm 高さ 12.80cm の円筒で，下部をラップで塞いで，内部に水を注げる容器を用いた．

1：日大理工・学部・建築　2：日大理工・院・建築　3：日大理工・教員・建築

BE 試験装置の上部のベンダーが浸る程度まで水を注ぎ，2 名の測定者でそれぞれ BE 試験を実施した．BE 試験で測定した水の P 波速度 V_P の試験結果はそれぞれ 1572 (m/s)と 1579 (m/s)であった．測定者が異なっても，同程度の試験結果が得られることから，前報で提案した S 波速度の測定方法が，P 波速度の測定にも適用できることが確認された．

次にセメント安定処理土供試体に対する実施例を述べる．この実施例ではリサージュ応答で得られた共振周波数は 51.18kHz であった．次いで，共振周波数付近の周波数(51，52，53kHz)と，受信波を比較するために設定した任意の周波数(20，30，40，45kHz)による 1 波長の正弦波の電圧波形で BE 試験を行った．図 2 はこれらの周波数から得られた送信波と受信波を示したものである．同図中の矢印は受信波のピーク点を表している．図 2 に示す共振周波数付近の周波数(51，52，53kHz)で行った BE 試験の受信波のピーク点から求めた V_P はそれぞれ 1720 (m/s)，1723 (m/s)，1730 (m/s)でほぼ同じ値であった．一方，それ以外の周波数では，P 波の受信電圧の第一波の判別は困難であった．

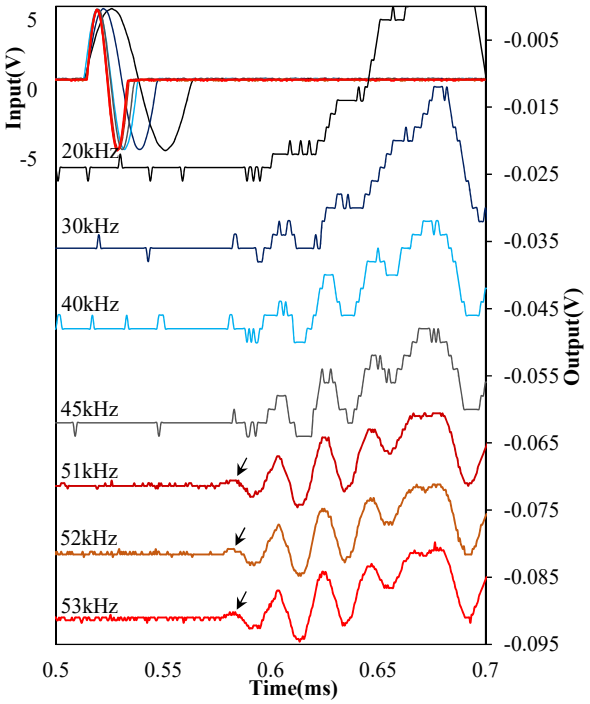

Fig. 2.Example of a BE test of primary wave

共振周波数周辺の周波数で実施した BE 試験の結果がほぼ同じ値を示したことより，前報[1]で提案した S 波速度の測定方法で測定した P 波速度の試験結果の妥当性が確認された．以上のことから，共振周波数付近の周波数による BE 試験で得られた送信波と受信波から，S 波の伝播時間の同定法と同様に T.D.法により，P 波速度 V_P を求める．これらを平均した P 波速度 V_P 値と S 波速度 Vs 値からポアソン比 ν とヤング係数 E を算出する．

3. 2 P 波の BE 試験方法の妥当性の検討

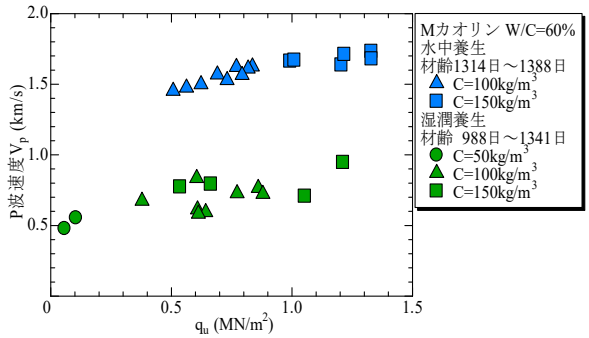

Fig. 3. Relationship of V_P and q_u

図 3 には本報告で得られた P 波速度 V_P と一軸圧縮強度 q_u の関係を示す．本報告では水中養生した供試体は飽和に近い状態で，湿潤養生は不飽和状態であると考えられる．図 3 から飽和している供試体における P 波速度は，水の P 波速度付近の V_P=1500～1700 (m/s)にプロットされていることから，P 波は供試体内の間隙水を通って測定されているものと考えられる．一方，不飽和の供試体において，V_P は q_u に依存しており P 波は間隙水ではなく土粒子や結合物質などの固体の部分を通り測定されているものと考えられる．このことから，前報[1]で提案した BE 試験方法で得られた P 波速度の試験結果の妥当性が確認された．以上のことより，図 4 に安定処理粘土に対する弾性波速度の測定方法を提案する．

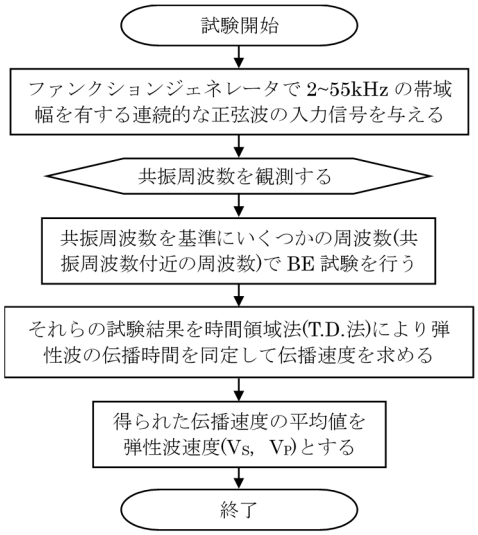

Fig.4. Method for determining of time-domain method

4. まとめ

本報告では前報[1]で提案した S 波速度の測定方法が P 波速度の測定法に適用できることを示した．今後はデータの蓄積を計り，安定処理土の飽和度との関係性を詳細に検討していく予定である．

[参考文献]

1) 張文思他：安定処理土の弾性波速度システムの開発，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.

2) 畑中宗憲他：砂質土 P 波速度と液状化強度に及ぼす飽和度の影響，日本建築学会構造系論文集, Vol.74 No.645，pp.2029-2037，2009.