

BE 試験から得られる S 波速度におよぼす波の到達時間決定法の影響

秋田大学 ○林崎亮 秋田大学 正会員 荻野俊寛

北見工業大学 正会員 川口貴之 秋田大学 正会員 高橋貴之 秋田大学 正会員 及川洋

1. はじめに

本研究では、様々な試料に対して sin 波, sweep 波を用いたバンダーエレメント試験(BE 試験)を行い、これまでに到達時間同定手法として提案されている Time Domain 法(TD 法), Cross-Correlation 法(CC 法), Frequency Domain 法(FD 法)の 3 つの手法によって弾性波速度評価を行っている。本報告では CC 法, FD 法による一定法により求めた弾性波速度と, TD 法により求めた弾性波速度をそれぞれ比較し, CC 法, FD 法の正確性を検証している。

2. 試験概要

実験は BE を組み込んだ圧密容器, 三軸試験装置による BE 試験であり, 試料には豊浦砂, ピサ粘土, 改良土, ガラスビーズ(0.4mm, 2mm), 稲城砂, NSF 粘土および秋田, 北海道より採取した高有機質土, 泥炭を用いている。所定の圧密応力で圧密を行い, 3t 法により圧密を打ち切ったのち, BE 試験を行い送・受信波形を観測している。BE 試験では以下に示す 2 種類の実験を行っている。

1. 所定の振動数の sin 波(1 波長分)を送信波とした BE 試験を実施し, 受信波を観測する。2. スイープ波を送信波とした BE 試験から受信波を観測する。

3. せん断波到達時間の同定方法

3.1 Time Domain (TD) 法

図-1 は代表的な sin 波の送・受信波形を示している。TD 法によるせん断波の到達時間は図-1 に示す送受信波の開始点の時間差 Δt_s およびピーク点間の時間差 Δt_p の平均を Δt_{TD} として定義した。

3.2 Cross-Correlation (CC) 法

図-2 は代表的な粘性土の受信波のクロスコリレーション関数, 図-3 は図-1 の受信波のクロスコリレーション関数である。CC 法によるせん断波の到達時間は図-2 に示すクロスコリレーション関数の最大ピーク点によって定義した。ただし, 図-3 に示した豊浦砂のような砂質土のクロスコリレーション関数では最大ピーク点が第一ピーク点と一致しない。図-3 のような砂質土の場合は CC の最大ピーク点に対応する時間として Δt_{CC1} を, CC の第一ピーク点に対応する時間として Δt_{CC2} を定義した。

3.3 Frequency Domain (FD) 法

図-4 はスイープ波の送・受信波形を示しており, 図-5 は, 図-4 の送・受信波のクロススペクトルから求めた位相スペクトルと振幅スペクトルを表している。FD 法によるせん断波の到達時間は図-5 の位相角の近似線の傾き n から下式より求める¹⁾。

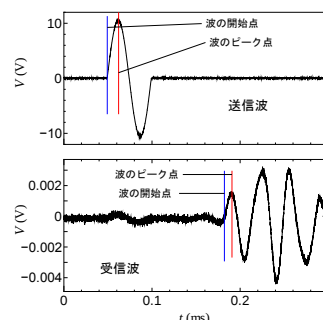


図-1 豊浦砂の代表的な送受信波形 ($\sigma_v=200\text{kPa}$, sin 波)

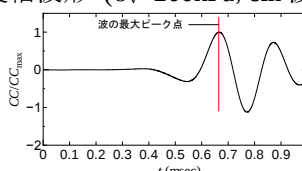


図-2 ピサ粘土の代表的なクロスコリレーション関数($\sigma_v=150\text{kPa}$, sin 波)

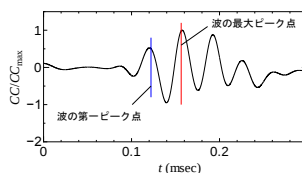


図-3 図-1 の受信波のクロスコリレーション関数

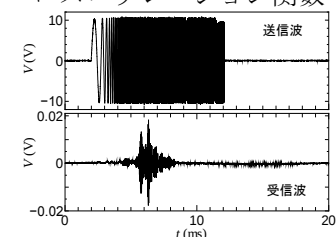


図-4 豊浦砂の代表的な送受信波形 ($\sigma_v=200\text{kPa}$, sweep 波)

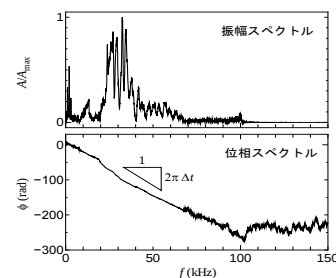


図-5 図-4 の受信波の位相スペクトルと振幅スペクトル

$$\Delta t_{FD} = \frac{n}{2\pi}$$

上記の同定方法によって求めた到達時間 Δt から下式によってせん断波速度 V_s を求めた。

$$V_s = \frac{L}{\Delta t}$$

ここに、 L はベンダーエレメント間の距離である。

4. 試験結果および考察

図-6 は粘性土における CC 法により求めた V_{sCC} と TD 法によって求めた V_{sTD} を比較したもので送信波の周波数とせん断速度の関係を示している。CC 法による V_s は周波数が大きくなるにつれやや減少しているものの TD 法による V_s との差は最大でも 10% 程度と両者は比較的近い値を示している。一方、図-7 は砂質土について、CC 法の最大ピーク点により求めた V_{sCC1} 第一ピーク点から求めた V_{sCC2} と TD 法によって求めた V_{sTD} を図-6 と同様に比較したものである。TD 法による V_s は周波数がおおよそ 10kHz 以上の範囲において約 300m/s とほぼ一定の値を示している。この値は Iwasaki&Tatsuoka²⁾ による実験式から得られる値ともほぼ一致しており妥当であると考えられる。これに対し、CC 法による V_s はクロスコリレーション関数の最大値で定義した場合 250m/s 以下と TD 法と比べると著しく小さな値を示している。したがってクロスコリレーション関数の最大振幅と最初のピークが一致しない場合最大値で定義した Δt は V_s を過小評価することがわかる。一方、第一ピーク点で定義した場合 TD 法による V_s とほぼ一致した値が得られているが、クロスコリレーション関数の第一ピーク点は必ずしも明瞭ではないため、その見極めには実験者の判断が必要になると考えられる。

図-8 は用いたすべての試料について TD 法による V_{sTD} と CC 法による V_{sCC} を比較している。CC 法による V_{sCC} は図-6 で採用した Δt の平均値から求めた。図中には $V_{sTD} = V_{sCC}$ とした直線に加え、 $V_{sTD} = 1.1V_{sCC}$ 、 $V_{sTD} = 0.9V_{sCC}$ とした直線を示している。データはほぼこれらの直線間にあり、主に V_s の小さい場所では CC 法による V_s が小さい値を示す傾向がみられるが、両者の差はおおよそ 10% 以内に収まっていることが分かる。

また、図-9 は図-8 と同様に TD 法と FD 法による V_s をすべての試料で比較している。図-8 に比べ多くのデータは $V_{sTD} = V_{sFD}$ を示す直線よりも下側に位置しており、TD 法による V_s に比べ FD 法による V_s が小さくなっていることがわかる。その差は多くの試料で 10% を超えており、特に、豊浦砂とオホーツク土では 20% 以上の差が生じている。また、試料ごとにその差を見ると、泥炭や粘土といった軟弱な試料に比べ、比較的硬質な砂質系の試料で大きくなっていることがわかる。

5. 結論

本報告から得られた知見は以下の通りである。

1. CC 法のクロスコリレーション関数において比較的軟弱な試料では第一ピーク点と最大ピーク点が一致するが、砂質土などでは第一ピーク点と最大ピーク点が一致しない。この場合、最大ピーク点に対応する Δt により求めた V_s は適切な値にはならず、 Δt の決定は実験者の判断を必要とする。
2. CC 法によって求めた V_s と TD 法によって求めた V_s を比較すると、主に V_s の小さい所で CC 法によって求めた V_s がやや小さい値となるが概ね一致する。
3. FD 法により求めた V_s は TD 法により求めた V_s と比べると小さい値が出る。

参考文献 1) Paul D.Greening and David F.T.Nash : Frequency Domain Determination of G_0 Using Bender Element, Geotechnical Testing Journal, Vol. 27, No. 3 2) Iwasaki, T. and Tatsuoka, F. ; Effect of Grain Size and Grading on Dynamic Shear Moduli of Sands, Soils and Foundation, Vol. 17, No3, pp19-35, 1977.

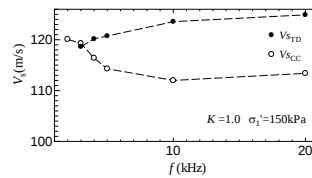


図-6 代表的な粘性土(ピサ粘土, $\sigma_v=150\text{kPa}$)における V_{sCC} 、 V_{sTD} の比較

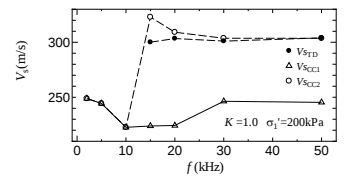


図-7 代表的な砂質土(豊浦砂, $\sigma_v=200\text{kPa}$)における V_{sCC1} 、 V_{sCC2} 、 V_{sTD} の比較

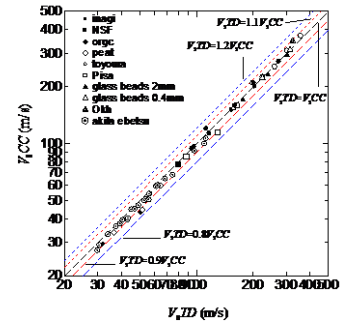


図-8 様々な試料の V_{sCC} 、 V_{sTD} 比較

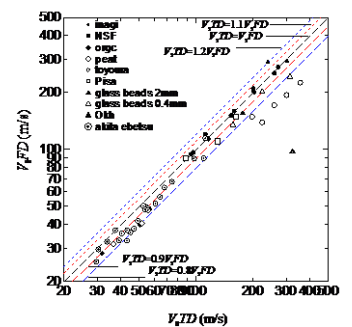


図-9 様々な試料の V_{sFD} 、 V_{sTD} 比較