

Ⅲ－19 時間引き延ばしパルスを用いた泥炭のベンダーエレメント試験

秋田大学	正会員	○荻野俊寛
同上	同上	及川 洋
秋田工業高専	同上	対馬雅己

1. はじめに

ベンダーエレメント(以下 BE)試験では用いる送信波の波形によって、受信波形の形状が変化する。このことはときに弾性波の速度を求める際の到達時間の評価に大きな影響を及ぼす。このようなことを回避するため、筆者らはこれまでインパルス応答を利用したいくつかの送信波形に依存しない方法を提案している。本報告では、泥炭試料に対して行った BE 試験から、これらの方法によってせん断波速度を求め、これまでの実験結果と比較している。

2. 実験概要

BE を組込んだ圧密容器 ($\phi 60 \times h 120 \text{ mm}$) 内において室内で含水比を調整し、攪拌した泥炭試料を用いて供試体を作成し、所定の圧密応力 ($\sigma'_v = 50, 100 \text{ kPa}$) で段階的に圧密を行った。各段階で 3t 法によって圧密を打ち切った後、時間引き延ばしパルス(TSP) ¹⁾ を送信波とした BE 試験を行い、送・受信波形を観測した。なお、波形は DA コンバータによって送信し、計測にあたってはオシロスコープによってアベレージング処理 (4 回) を施している。また、波形の送信および記録には PC を用いている。インパルス応答は TSP を送信した場合の受信波にその逆フィルタを畳み込むことで求めている ²⁾。

3. 実験結果および考察

図-1 は $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$ の場合について tsp の送・受信波の時刻歴を示している。図-2 は図-1 の受信波に TSP 逆フィルタを畳み込んで得られたインパルス応答 ($\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$) であり、図-3 はそのパワースペクトルおよび位相スペクトルを示している。インパルス応答の波形は減衰振動となっており、後述の式(2)における減衰振動の固有振動数 f_d は図-3 のパワースペクトルのピークから求めている。 f_d は $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$ (図-2) の場合 1709 Hz 、 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$ の場合 2637 Hz であり、 σ'_v の増加に伴って f_d も増加するという傾向は砂や粘土の場合も定性的に一致している。

これまで筆者らは砂や粘土を用いたいくつかの弾性波速度の測定手法について検討している ^{3), 4)}。図-4 はこれらの手法のうち、方法(1)インパルス応答から到達時間を求める方法、方法(2)インパルス応答の固有振動数を利用する方法、方法(3)インパルス応答の位相スペクトルを利用する方法(分散性なし)、方法(4)インパルス応答の位相スペクトルを利用する方法(分散性あり)を泥炭試料に適用し、求めたせん断波速度 V_s を従来の矩形波を送信波とした BE 試験(方法(5))と比較している。ここで、方法(3)、(4)ではいずれも位相スペクトルを利用して V_s を求めているが、方法(3)では V_s は振動数に依存しないものとして算出され、方法(4)では依存するものとしてそれぞれの f に対して算出される。なおこれらの方法における V_s は方法(1)、(3)および(4)の場合、式(1)により、方法(2)の場合式(2)により計算している。

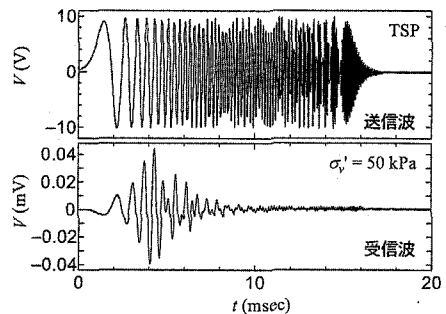


図-1 TSP による送・受信波の時刻歴

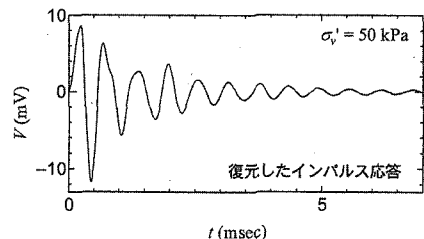


図-2 復元したインパルス応答

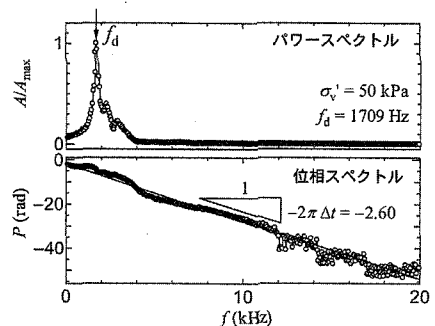


図-3 パワースペクトルと位相スペクトル

$$V_s = \frac{l}{\Delta t} \quad (1)$$

$$V_s = 2hf_d \quad (2)$$

ここに、 l はBE先端間の距離、 Δt はせん断波の到達時間、 h は供試体高さである。なお、 Δt について方法(1)ではインパルス応答の波形の第一ピーク点から求めており、(3)では図-3に示す位相スペクトルの傾きから、(4)では図-3の位相スペクトルの値 $P(f)$ を利用して式(3)の関係から求めている。

$$P(f) + \Delta P = 2\pi \cdot f \cdot \Delta t \quad (3)$$

ここに、 ΔP は f が最も小さい一次の f に対する $P(f)$ と送信波の位相の差である。図-4においてそれぞれの方法による V_s の大小関係は、固有振動数を用いる方法(2)が最も大きな値を示し、続いてインパルス応答による方法(方法(1))、従来の方法、位相スペクトルによる方法(方法(3))の順となっている。分散性を仮定した方法(4)では V_s は f に依存し、 f の値によって V_s に100m/s以上の差が生じていることがわかる。また、方法(1)~(3)による V_s は方法(4)による V_s の範囲内にあることがわかる。図-5は豊浦砂を用いて別途行った実験結果について同様の関係を示したものである。豊浦砂の場合も V_s の大小関係は泥炭の場合と同じく、定性的に同様の傾向を示していることがわかる。

図-6は過去に行った方法(5)による泥炭のBE試験結果と図-4から求めた V_s を比較したものである。図中のエラーバーは方法(1)~(5)による V_s の値の範囲を示しており、○印は方法(5)の値を示している。方法(5)の V_s は過去の実験による V_s とほぼ直線関係にあり、方法が同じ場合、 V_s の値は整合していることがわかる。また、それぞれの方法による V_s のばらつきは σ'_v による V_s の変化に比べて無視できない大きさであり、方法の違いや f の影響が V_s に及ぼす影響が大きいことがわかる。

4. まとめ

泥炭試料についてTSPによるインパルス応答を利用し、数通りの方法で V_s を求めた。また、これらの方法で求めた V_s と矩形波を用いた従来のBE試験による V_s と比較した。その結果、 V_s の値は用いる方法によってそれぞれ異なる値となったが、この差は分散性(振動数依存性)を考慮した場合の、振動数に伴って変化する V_s の範囲と重なっていた。また、これらの影響による V_s の範囲は σ'_v の変化による V_s の変化と比べても無視できない大きさであった。

【参考文献】

- 1) Y. Suzuki, F. Asano, H.-Y. Kim, and Toshio Sone : An optimum computer-generated pulse signal suitable for the measurement of very long impulse responses, J. Acoust. Soc. Am. Vol.97(2), pp.1119-1123, 1995.
- 2) 荻野俊寛, 及川 洋, 三田地利之, 対馬雅己, 西田浩太 : 種々のベンダーエレメント試験方法によるせん断弾性係数の比較, 第40回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.223-224, 2005.
- 3) 荻野 俊寛, 三田地 利之, 対馬 雅己, 及川 洋 : 減衰振動・共振に着目したベンダーエレメント試験による土の変形特性の評価, 土木学会論文集, No.743/III-64, pp. 135-145, 2003.
- 4) 荻野俊寛, 及川 洋, 三田地利之, 対馬雅己, 西田浩太 : 時間引き延ばしパルスを用いたベンダーエレメント試験による砂のせん断波速度, 土木学会論文集, (印刷中), 2006.

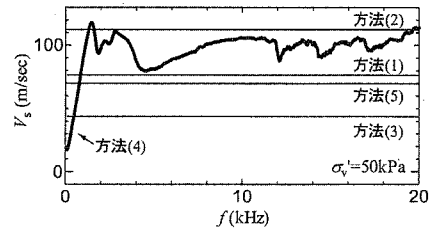


図-4a 各種法による V_s の比較($\sigma'_v=50\text{kPa}$)

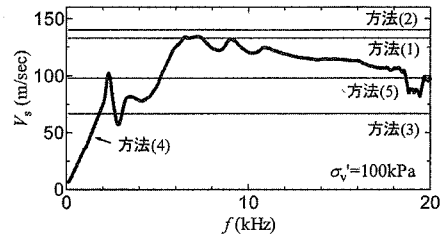


図-4b 各種法による V_s の比較($\sigma'_v=100\text{kPa}$)

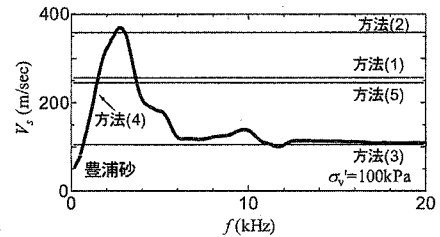


図-5 各種法による V_s の比較(豊浦砂, $\sigma'_v=100\text{kPa}$)

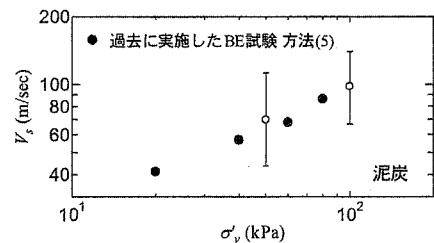


図-6 過去に行ったBE試験結果との比較