

表層が高速度の地盤における P-SV 波動場の分散曲線

The dispersion curve of P-SV wave propagation with a high velocity top layer

林 宏一[1]; 齋藤 正徳[1]

Koichi Hayashi[1]; Masanori Saito[1]

[1] 応用地質

[1] OYO

<http://www.oyo.co.jp/>

Rayleigh 波の伝播速度は地盤の S 波速度構造の影響を強く受けることから、Rayleigh 波の位相速度を求めその分散曲線を解析することにより地盤の S 波速度を求めることが試みられてきた。これらの Rayleigh 波の位相速度を用いた物理探査手法として、微動アレイ探査や表面波探査が実用化されつつある。従来、これらの表面波 (Rayleigh 波) を用いた物理探査手法の解析においては、地表で上下動受振器により観測される表面波は主として Rayleigh 波の基本モードが卓越していると仮定し、観測された分散曲線を Rayleigh 波の基本モードの分散曲線とみなして解析する場合が多かった。しかし近年、表面波には高次モードが多く含まれている場合もあることが指摘され、高次モードも含めた解析も行われるようになってきた。

筆者らは、カケヤや重錘落下のようなインパルス振源により励起された表面波を多数の受振器で測定し解析する手法 (MASW: Multi-channel Analysis of Surface Waves) を用いて、主に浅部の S 波速度構造を求めることを試みている。筆者らの手法の特長の一つは、多数の受振点を用いることにより複数のモードを分離することができる点である。本手法を様々な地盤に適用してきたが、特に表層が高速度の場合や高速度の挟み層が存在する場合など、いわゆる逆転層が存在する複雑な地盤においては、顕著に高次モードと思われる波が発生し、複雑な分散曲線となることがわかった。そこで本稿では、表層が高速度と推定される地盤における観測記録例を示し、その分散曲線の解釈を試みる。

図 - 1 は、地盤改良により表層付近 1 m ほどが高速度となっていると考えられる地盤において観測された上下動の波形例である。振源は重さ約 10kg のカケヤであり、受振点は振源から 1 m の地点から 2.4 m の地点まで 1 m 間隔に 2.4 個設置した。受振器は固有周波数 4.5Hz の速度型ジオフォンである。図 - 2 は、観測波形を周波数 - 見かけ速度の領域に変換したものであるが 5Hz 以上では周波数が高くなるにつれて位相速度も高くなる基本モードでは説明できない分散曲線となっていることがわかる。また、分散曲線は連続しておらず 10Hz 付近や 15Hz 付近などで不連続となっていることもわかる。このような分散曲線を与える S 波速度構造モデルをフォワードモデリングにより試行錯誤的に求めた。

図 - 3 に推定した S 波速度構造モデル、図 - 4 に推定した速度構造モデルと観測したジオメトリーに対する理論波形 (離散化波数積分法により計算) から計算した理論分散曲線を示す。なお、本計算は全波形を区別せずに計算したものであり、起振点 - 受振点距離が小さいことから理論波形には直接波や反射波などの実体波も含まれている。波形には理論分散曲線は、周波数とともに速度が高くなる点や不連続となる点など、観測された分散曲線の特徴を良く再現していることがわかる。図 - 5 に推定した速度構造モデルに対して、特性方程式の零点を求めることにより計算した基本モードおよび高次モードの分散曲線を示す。本計算は、振源は無限遠にあると仮定したものである。図中、実線は位相速度、破線は各モードの振幅を示し、黒丸は各周波数において最も振幅が大きくなるモードの位相速度である。図 - 5 を見ると、観測された分散曲線は、各周波数において最大振幅となるモードの位相速度により説明できることがわかる。また分散曲線の不連続は、最大振幅となるモードが別のモードに移ることにより生じると考えることができる。

以上の検討から、表層が高速度であり逆転層となる地盤においては高次モードが卓越するが、観測される分散曲線は各周波数において最大振幅となる位相速度をつないだものになると考えられる。したがって、各周波数において最大振幅となる位相速度を理論分散曲線と考えて、観測された分散曲線と比較することにより、浅部地盤などで高次モードが卓越する複雑な地盤においても、表面波を用いた物理探査手法により地盤の S 波速度構造モデルを求めることが可能であると思われる。

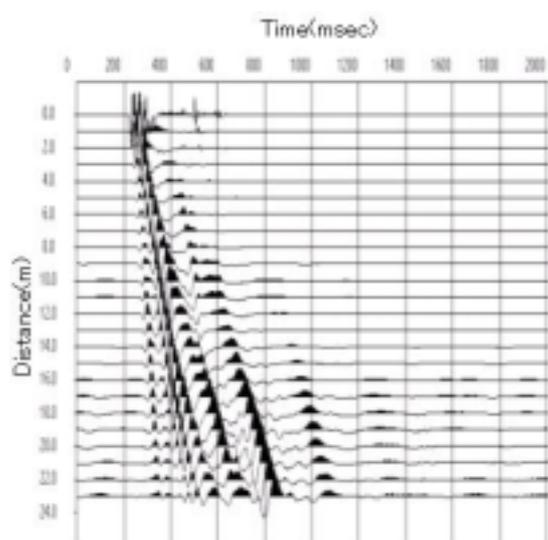


図-1 観測波形例

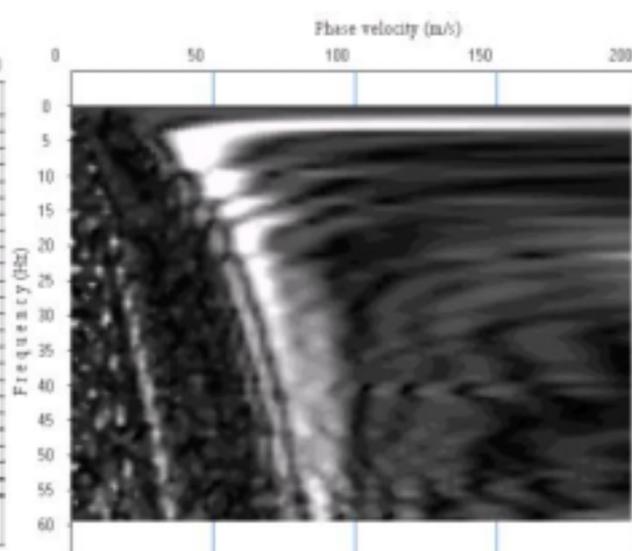


図-2 観測分散曲線

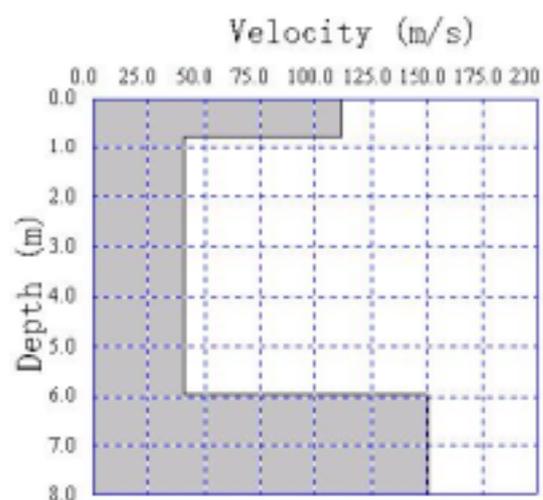


図-3 推定S波速度構造モデル

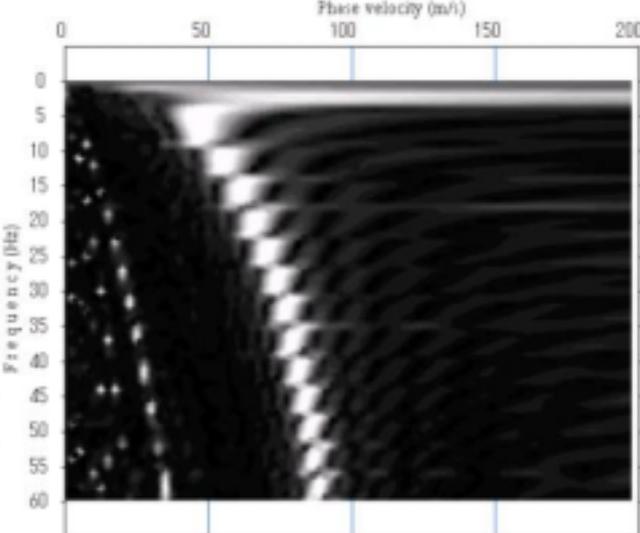


図-4 理論波形より求めた分散曲線

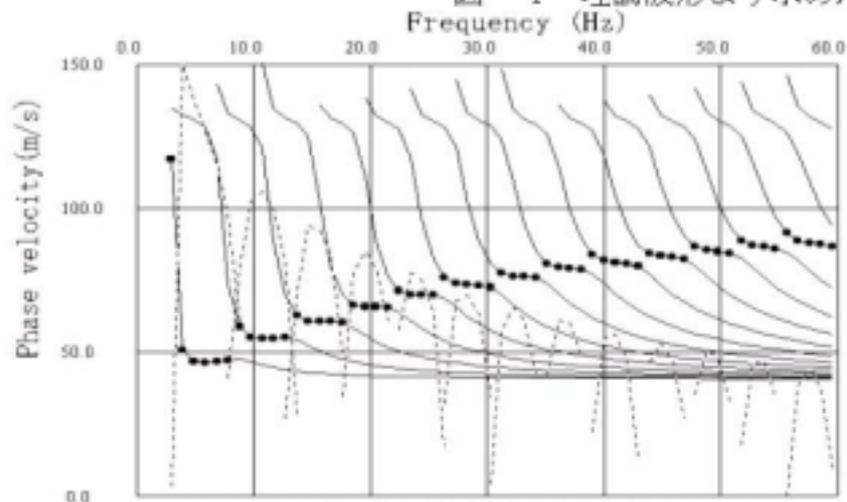


図-5 理論分散曲線と振幅