

I-B 196 非常に簡便なレイリー波分散曲線の近似計算法の提案と地下構造推定への応用

芝浦工業大学 正員 紺野克昭

1. はじめに

平行多層地盤におけるレイリー波の分散曲線算定には、一般にハスケルのマトリックス法が用いられている。この際、計算パラメータとしてS波速度、P波速度、密度、層厚が必要であり、対象地盤が半無限体を含むN個の層からなる場合、 $4N-1$ 個のパラメータと多くの計算量が必要となる。そこで、本研究では、各層のS波速度と層厚のみで基本モードレイリー波の位相速度を近似計算する手法を提案し、その推定精度を検討する。次に、この近似計算方法を利用して、任意の分散曲線から地下構造を逆解析することを試みる。

2. 基本モードレイリー波の分散曲線近似計算法

(1) 計算方法

半無限体上にN-1個の層がある場合を考える（図-1）。i層でのS波速度、層厚をそれぞれ V_{s_i} 、 H_i とおき、地表面からi層下面までの深さを Z_i とする。時刻0に地表を発生した鉛直S波がi層下面に到着する時刻 t_i は、

$$t_i = \sum_{j=1}^i \frac{H_j}{V_{s_j}} \quad (i=1, 2, \dots, N-1) \quad (1)$$

とかける。時刻tでのS波の先端は、

$$t_{m-1} < t \leq t_m \quad (m=1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

を満たすm層内にある。ただし、 $t_0=0$ 、 $t_N=\infty$ とする。このとき、S波の先端の深さ $D(t)$ は、

$$D(t) = Z_{m-1} + V_{s_m} (t - t_{m-1}) \quad (m=1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

と書ける。ただし、 $Z_0=0$ とする。

ここで、「時刻tにおける深さ $D(t)$ と周期 $T=t$ におけるレイリー波の波長 $\lambda(T)$ とが等しい（仮定I）」と仮定することにより、周期Tにおけるレイリー波の位相速度 $C_R(T)$ は、次式のように計算することができる。

$$C_R(T) = D(T)/T \quad (4)$$

なお、理論位相速度 $C(T)=\lambda(T)/T$ と区別するために、式(4)で求まる位相速度 $C_R(T)$ を疑似位相速度と呼ぶことにする。疑似位相速度は、周期、S波速度、層厚のみの関数となり、長周期の極限では半無限体のS波速度に収束し、短周期側では、表層のS波速度に一致する。

(2) 計算例

図-2の2つの地盤モデルに対して求めた疑似位相速度（実線）と理論位相速度（破線）を図-3に示す。model 1では、両者はよく一致しているが、model 2では、一致度は低い。したがって、S波速度が深さ方向に単調に増加する地盤構造に対してのみ、この近似計算法は有効であると考えられる。

3. 地下構造推定への応用

この近似計算法を利用して分散曲線から直接、S波速度構造を推定する方法を提案する。

(1) 解析方法

地盤のS波速度が深さ方向に連続的に変化していると仮定する。このとき、深さzでのS波速度を $V_s(z)$ とおく。時

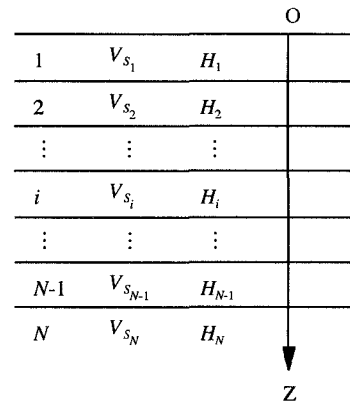


図-1 平行多層地盤

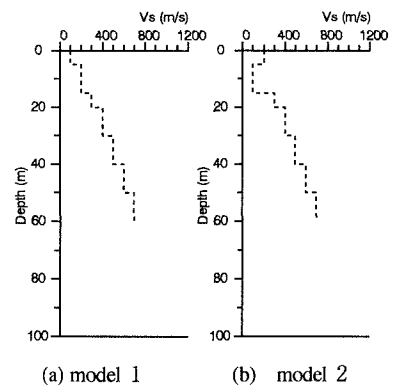


図-2 地盤モデル

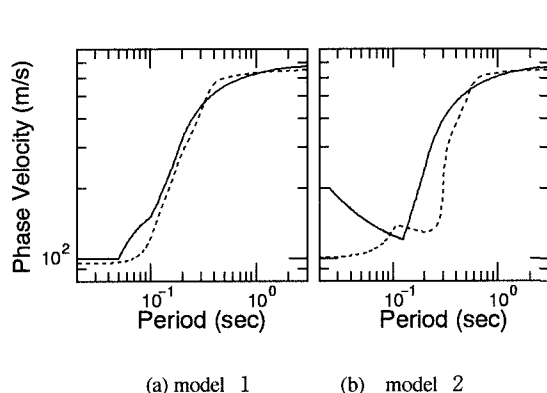


図-3 疑似位相速度（実線）と理論位相速度（破線）

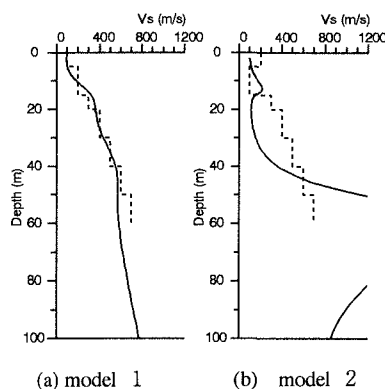


図-4 推定S波速度構造（実線）と地盤モデル（破線）

時刻0に地表を発生した鉛直S波が深さ D に到着する時刻 $t(D)$ は、次式ようになる。

$$t(D) = \int_0^D \frac{dz}{V_s(z)} \quad (5)$$

上記2. (1)と同様に「時刻 $t(D)$ における深さ D と周期 $T = t(D)$ におけるレイリー波の波長 $\lambda(T)$ とが等しい（仮定Ⅱ）」と仮定すると、深さ D は理論位相速度 $C(t)$ を用いて、

$$D = C(T) \cdot T \quad (6)$$

と書くことができる。式(5)は、 $t(D) = T$ と式(6)を用いて、次式のように書き改めることができる。

$$T = \int_0^{C(T) \cdot T} \frac{dz}{V_s(z)} \quad (7)$$

次に、式(7)の両辺を周期 T で微分し整理すると、次式が得られる。

$$V_s(C(T) \cdot T) = \frac{d}{dT} \{C(T) \cdot T\} \quad (8)$$

したがって、仮定Ⅱが成り立てば、深さ $D = C(T) \cdot T$ におけるS波速度は、理論位相速度と周期の積 $C(T) \cdot T$ を周期 T で微分することによって求めることが出来る。なお、周期 T の代わりに振動数 f を用いれば、式(8)は次式のようにになる。

$$V_s(C(f)/f) = -f^2 \frac{d(C(f)/f)}{df} \quad (9)$$

(2) 適用例

図-3の理論分散曲線に対し、式(8)から推定したS波速度構造を図-4の実線で示す。破線は、理論分散曲線を求めるのに用いた地盤構造(図-2)である。model 1では推定速度構造と破線で示した速度構造とは比較的良好な対応が見られるが、model 2では対応は良くない。

4. まとめ

本来、S波速度、P波速度、密度、層厚の関数である分散曲線をS波速度と層厚のみで近似することを試みた。その結果、S波速度が深さ方向に単調に増加する地盤構造には、本提案方法が有効であることが分かった。

次に、この近似計算法を利用して、分散曲線から直接、S波速度構造を求めることを試みた。その結果、分散曲線と同様に、S波速度が深さ方向に単調に増加する地盤構造については、提案した地下構造推定法が有効であることが分かった。

謝辞：本研究は、筆者が東京工業大学に在籍中に行ったものである。東京工業大学大町達夫教授には種々のご助言、ご意見を賜りましたこと厚くお礼申し上げます。