

備ジオトップ 正会員 ○桑山晋一  
東京工業大学 正会員 時松孝次

1. はじめに

レーリー波探査は人為的に地表面で振動を起こしレーリー波の卓越した振動を発生させ、その分散性より地盤構造を推定するものである。従来より行なわれている手法<sup>1)</sup>は起振源を含む直線上の2地点で測定した波形に対して、スペクトル解析を行なうものである。しかし、この方法では特に測定波長が短い場合に安定した分散曲線が得られないことがある。本報告では起振源に対して複数のセンサーを直線状に配置する探査システムを開発し、従来手法と比較してその有効性を検討する。

2. 解析手法

表層付近の層構造を反映する波長数mのレーリー波には高次のモードが卓越することがある。高次のモードが混在したレーリー波は起振源からの距離によってフェイズが変化する。したがって、空間的に変化するレーリー波を多点で測定するほうが有効だと考えられる。起振源を含む直線上にn個のセンサーを並べた場合、各々の周波数fにおいて次式でF-Kスペクトル解析を行ない波数スペクトルP(f,k)が計算できる。

$$P(f,k) = \sum_{l,j=1}^n \overline{C_{xy_{lj}}} \exp(-ik(r_l - r_j)) \quad (1)$$

ここに、 $\overline{C_{xy_{lj}}}$ はセンサーl,jのクロススペクトル比、kは波数、 $r_l, r_j$ はセンサーl,jの起振源からの距離である。P(f,k)が最大になるときのkがレーリー波の卓越した波数となり、次式からその時の位相速度cと波長λが計算できる。

$$c = 2\pi f / k \quad (2)$$

$$\lambda = c / f \quad (3)$$

測定対象とする周波数fに対して上記の操作を繰り返せば位相速度と波長の関係すなわち分散曲線が計算できる。

3. 測定装置と概要

図-1は測定システムの概要を表わす。起振源を含む直線上に複数のセンサーを並べる。センサー間隔は測定波長に応じて換え、対象とする最小波長内にセンサーが少なくとも2~3個程度になるようにする。今回の測定では10mより短い波長を対象としているため、起振源からの距離3mより50cm間隔で7点のセンサーを置いた。起振源に動電型の起振機を置き20~80Hzのランダム起振を行なう。

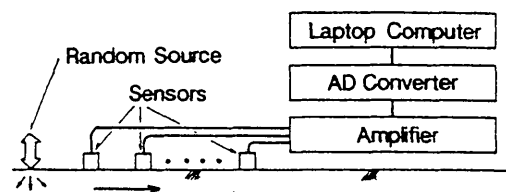


図-1 測定システム概要

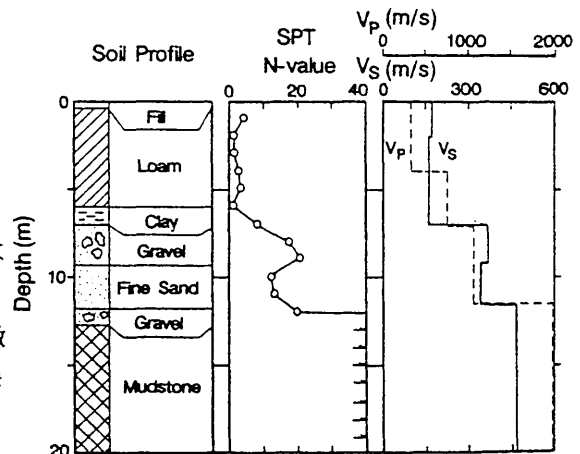


図-2 テストサイトの地盤構造

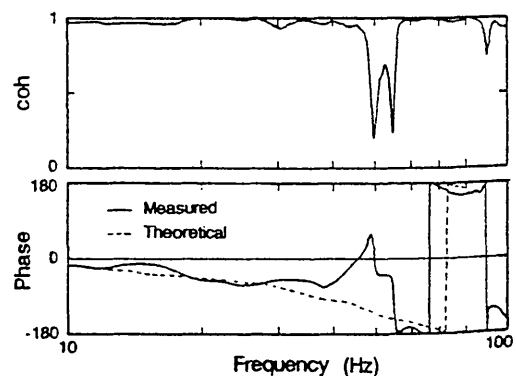


図-3 コヒーレンスとフェイズ (4m-5m)

図-2はテストサイトのPS検層及び地盤柱状図を示す。この層構造をもとにして参考文献<sup>2)</sup>のレーリー波の重ね合せ手法を用いて理論波形を計算する。以下に用いた理論波形は5次の高次モードまで重ね合せたものである。

#### 4. 実験結果

従来の手法は2点のセンサー間のフェイズから位相速度を計算している。図-3はこの一例として起振源からの距離4m及び5mにおいたセンサー間のコヒレンス、フェイズを求めたものである。破線は理論波形より求めたフェイズを示す。理論波形との対応が悪いところほどコヒレンスが低下していることが分かる。従来の手法ではコヒレンスが0.99以上となるフェイズ $\theta$ とそのセンサー間隔 $d$ から位相速度 $c=2\pi fd/\theta$ と波長 $\lambda$ の関係性を計算している<sup>1)</sup>。

図-4の丸印は7点のそれぞれのセンサー間のコヒレンスが0.99以上のフェイズから求めた位相速度と波長の関係である。図中の破線、実線、一点鎖線は起振源からの距離が3m-4m、4m-5m、5m-6mにおいて理論波形から計算した分散曲線を示す。理論曲線のほうは距離によって変化しているものの安定した曲線になっている。測定値のほうは安定したラインが見えない。このことは測定されたどのセンサーの組合せにおいてもフェイズが正確に求められていないことがわかる。したがって、ランダム起振源を用いた従来の手法では安定した位相速度と波長の関係性が得られない場合がある。

図-5は同じ測定波形データに対して(1)式に基づいて求めた位相速度と波長の関係である。実線は図-3と同じ4m-5mにおける理論曲線を示す。測定結果は一部に乱れがあるものの理論とも比較的良い対応を示しており、全体に安定した分散曲線となっている。測定データの乱れている部分は図-3でコヒレンスが低下している50Hz前後の部分に対応する。これらのことから直線アレイを用いたF-Kスペクトル解析を用いればランダム起振源でも安定した位相速度と波長の関係性が得られる可能性がある。

#### 5. まとめ

ランダム起振源を用いたレーリー波探査において、従来行なわれている2点観測では安定した位相速度と波長の関係性が得られない場合があることを示した。この問題を解決するために直線アレイで観測された波形に対してF-Kスペクトル解析を適用したところ安定した位相速度と波長の関係性が得られた。

#### 《参考文献》

- 1) Stokoe, K. H. and Nazarian, S.(1984) "In situ shear wave velocity from spectral analysis of surface waves," 8th WCEE
- 2) 田村、時松(1991)：高次モードを考慮したレーリー波分散曲線逆解析、第26回土質工学研究発表会

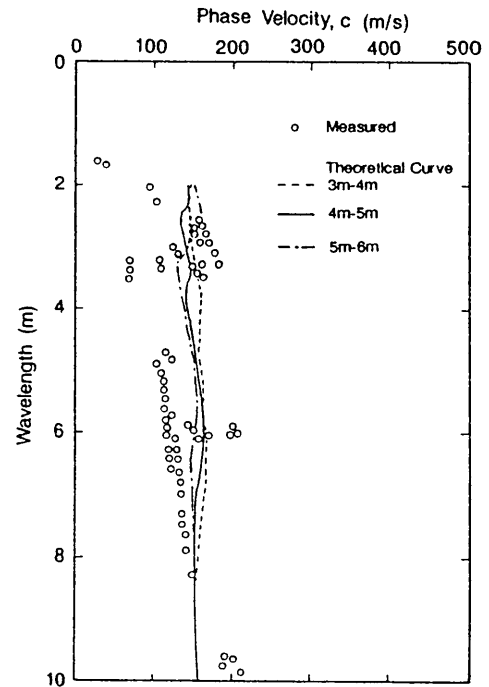


図-4 従来手法の理論との比較

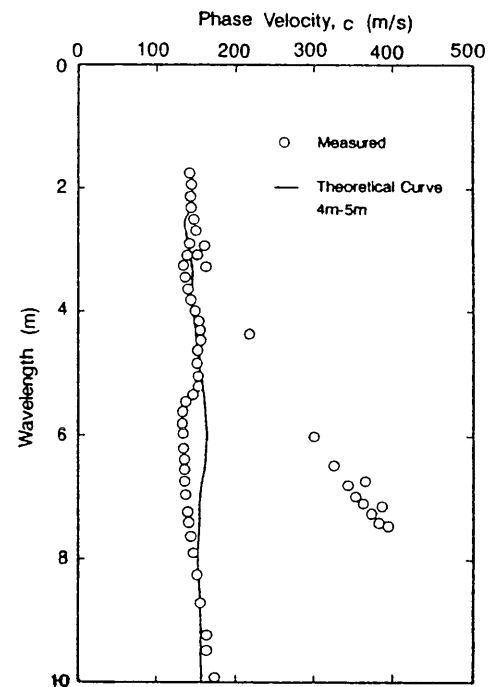


図-5 本手法の理論との比較