

東京工業大学 ○田中敬三 時松孝次
 榊武智工務所 桑山晋一

1. はじめに

レーリー波を用いた物理探査手法¹⁾は、地表面から簡便かつ迅速に地盤のS波速度構造を同定できる可能性を持っており、木造家屋の耐震診断、広域的な地震被害予測等に有効であると考えられる。ところが、従来のレーリー波探査では、①起振源にランダム波を用いているために、SN比が悪く、現場で分散曲線を求められない。②センサーと起振源の距離が近いために、レーリー波を観測できない可能性がある等の問題点が指摘できる。そこで本研究では、これらの点を改良した、S波速度構造同定のためのレーリー波探査システムを開発し、その有効性を検討した。

2. 計測システムの概略

レーリー波を用いた物理探査が可能な理由は、層構造内を伝播する時、波長によって位相速度が変わるという分散性に起因する。ここで、レーリー波位相速度を V_R 、周波数を f 、波長を λ とすると

$$V_R = f \cdot \lambda \quad \text{----- (1)}$$

という関係が成り立つため、ある特定の周波数 f に対して V_R を測定し波長 λ を計算するという操作を、周波数を変えて繰返すことにより分散曲線 ($V_R - \lambda$) が得られる。

実際の計測では、図-1のように、まず周波数 f のsin波で、250kgfのマスをもつ円形の起振機を鉛直振動させる。ある一定の距離 (D_1) だけ離れた2つの地震計によってこの振動の鉛直成分を受信し、AD変換してデータをパーソナルコンピュータに取込む。つづいて、図-2のように、FFT演算後、クロススペクトルを求め、起振源に対応する周波数成分をぬきだす。この成分の位相差 ϕ から、2つのセンサーに到達する波の時間差 ΔT を計算し、さらに位相速度 V_R を求めると、(1)式から波長 λ が得られる。この操作を繰返すことにより、図-3左側の分散曲線がリアルタイムで求められる。 D_1 の距離は解析精度に影響を及ぼすが、ここでは1~4m程度とした。

一方、測定している波がレーリー波であることを確認するために軌跡の観測も行う。センサーの一台で鉛直成分を、もう一台で水平成分を受信し、縦横にそれぞれ表示させることにより、地表面上の一点における粒子運動の軌跡を描くことができる。

3. システムの適用

レーリー波を観測するための、起振源と測定ポイントの間の距離に関する最適な条件を調べ、また、地盤探査としての妥当性を検討するため、東京都目黒区大岡山において測定を行なった。起振源から測定ポイントまでの距離 (D_2) の条件は、

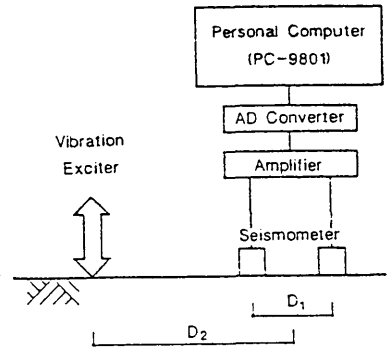


図-1 計測システムの概略

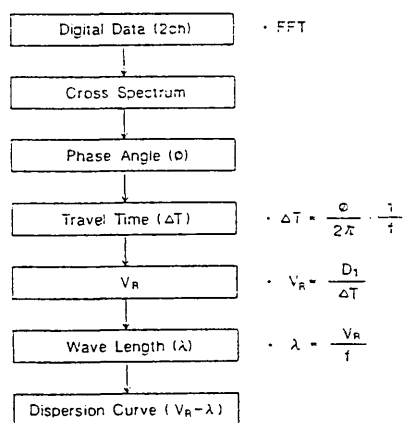


図-2 分散曲線作成の手順

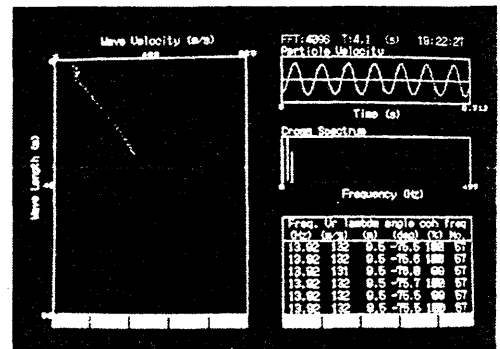


図-3 計測中のコンピューターディスプレイ

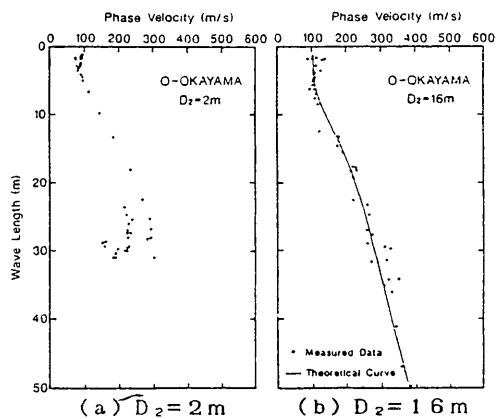


図-4 レーリー波分散曲線

2m、4m、8m、16mの4種類を設定したが、ここでは、2m、16mの結果を示す。それぞれの位置における分散曲線の結果が図-4中の点である。距離 D_2 が2mの時には、分散性に異常を生じているが、距離が16mの時は、波長が伸びるにしたがって位相速度が増す傾向の分散曲線を描いている。

次に地表面上の一点における軌跡を距離および周波数ごとに整理したのが図-5である。この図は、起振源が左側にあると仮定して描いたもので、記号“R”は回転の向きが進行方向と逆回転(Retrograde)であることを表している。2mの時は楕円の形が常に縦長の傾向を示し、回転の方向は9Hz～8Hz付近で逆回転から順回転に変わっている。一方、16mの時は必ずしも縦長の楕円ではなく、 f が低い所で、横長の楕円を描く。また、14Hz～13Hz付近で回転の向きが変わっている。

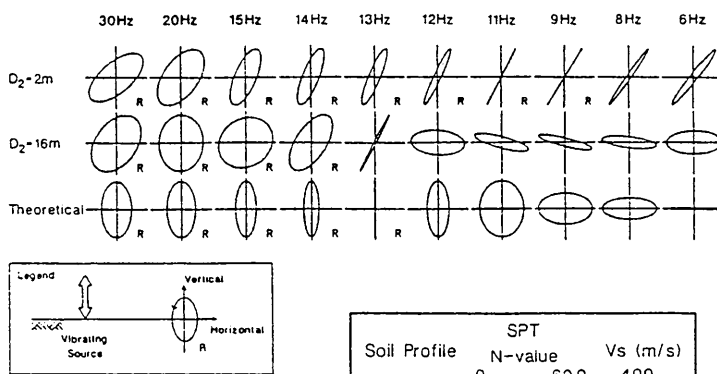


図-5 地表面の一点における軌跡

求められた分散曲線に対して、ハスケルの理論に基づく逆解析を行なって、最適な地盤構造を決定した²⁾。距離が16mにおける計測結果に対する、理論分散曲線の結果を図-4(b)に実線で示してある。また、図-6は、本システムにより得られたS波速度構造を、標準貫入試験および板叩きを震源とする屈折法の結果と比較したものである。本システムによるS波速度構造は、これらの地盤調査結果と良く対応している。一方、理論的な軌跡についても、ハスケルの手法で分散曲線を求める際に計算される。この結果は図-5に示してある。理論的な軌跡は、13Hz付近で逆回転から順回転に変わっている点、また f が低い時には横長の楕円になっている点で、距離が16mの時と同様な傾向を示している。以上の結果から考えて、測定距離 D_2 が、16mの時については、レーリー波を捉えて、分散曲線を描くことができたが、2mの時は、周波数が低い部分、すなわち波長の長い部分で、レーリー波を観測できなかった可能性が高い。距離8m程度までは、同様の問題があった。これは、距離が近い所では、実体波の影響が大きいことによるものと考えられる。以上のことから、軌跡を観測することによって、分散曲線の結果の妥当性を別の観点から評価できることがわかった。

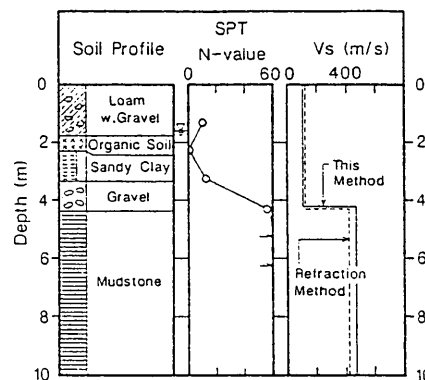


図-6 他の地盤調査結果との比較

4. 結論

パーソナルコンピュータを用いて、リアルタイムで簡便にレーリー波分散曲線を求めるシステムを作成した。この分散曲線から逆解析によって得られた地盤構造は、標準貫入試験や板叩きの結果とよく対応していた。また、実測で求められた軌跡も理論と良く対応していたため、このシステムの有効性が示されたといえる。さらに、波長に応じて、起振源と測定ポイントの距離を決定する必要があること、および、軌跡によって、求められた分散曲線結果の妥当性を別の点から評価できることが示唆された。

※参考文献※

- 1)Stokoe, K.H, II and Nazarian, S.(1984): "In Situ Shear Wave Velocity from Spectral Analysis of Surface Waves," Eighth World Conference on Earthquake Engineering, "Vol.III, pp.31-38
- 2)田村、時松、大岡(1989): "レーリー波探査とPS検層結果との比較", 第24回土質工学研究発表会