

I - 6 1 地点での微動の H/V スペクトル比に基づく工学的基盤深さの同定

徳島大学大学院 学生員 ○柏原弘幸
徳島大学工学部 正会員 澤田 勉
徳島大学工学部 正会員 三神 厚

1. はじめに

現在、当該地点の地盤構造および地盤震動特性の多くは、ボーリング調査や PS 検層などの物理探査による方法を用いて推定されているが、最近では地盤の常時微動を測定し、それを用いて地盤卓越周期などの動特性を推定する方法が注目されてきている。微動観測による方法の特徴は、簡便に実施でき、労力および費用がはるかに少なくすむという点である。

微動にはレイリー波が多く含まれ、微動の H/V スペクトル比および分散特性はレイリー波のそれらにより説明できることが知られている。このため、微動の H/V スペクトル比および分散特性は、表層の地盤特性を推定する有用な情報源となる。本研究は、1 地点での微動記録の H/V スペクトル比に基づいて工学的基盤までの深さを同定する方法を提案し、PS 検層などから得られたそれらと比較することにより、提案手法の妥当性を検討する。

2. 研究対象

徳島市内では、過去に多数のボーリング調査が行われ、工学的基盤までの深さがある程度わかっている。例えば、図 1 に示すように、A 断面、D 断面および E 断面の測線上では、地層断面図が得られており工学的基盤までの深さがわかっている。本研究では、これらの測線上で微動観測を行い、微動記録の解析より得られる H/V スペクトル比を用いて工学的基盤までの深さを同定した。

図 1 において白丸を付けた地点は PS 検層がなされた地点、また白三角を付けた地点は微動観測を行った地点である。

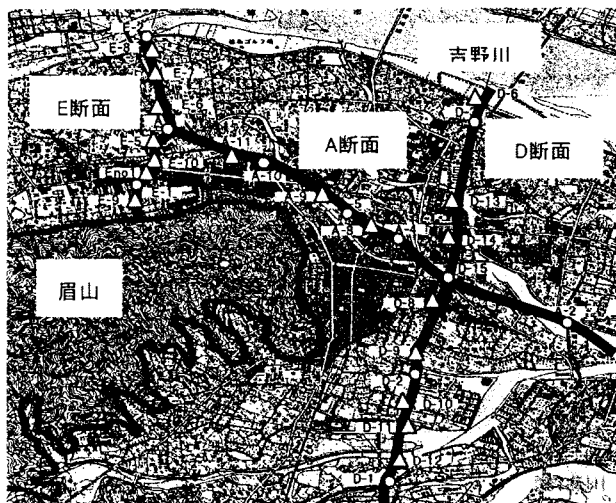


図 1 観測地点地図

3. 同定手順

まず対象とする地点の地表面で微動観測を行い、水平 2 成分および鉛直成分の微動を観測する。得られた微動記録のうち、レイリー波が卓越する方向と時間帯を抽出し、微動の水平/鉛直スペクトル比 (H/V スペクトル比) を算出する。一方で対象地盤を 2 層地盤、すなわち表層と基盤からなる 2 層地盤でモデル化し、適当な地盤パラメータを用いてレイリー波の水平/鉛直振幅比 (H/V 振幅比) を算出する。そして微動の H/V スペクトル比とレイリー波の H/V 振幅比の残差平方和が最小となるような層厚と S 波速度を同定し、工学的基盤までの深さを推定する。最後に得られた基盤深さと S 波速度をボーリング調査から得られたそれらと比較し、提案手法の妥当性を検討する。

上で述べた H/V スペクトル比と H/V 振幅比の例として観測地点 D-15 で得られたものを図 2 に示す。実線が微動の H/V スペクトル比、破線が PS 検層値を用いて求めたレイリー波の H/V 振幅比、鎖線は両者の残差平方和が最小になるように求めた H/V 振幅比である。

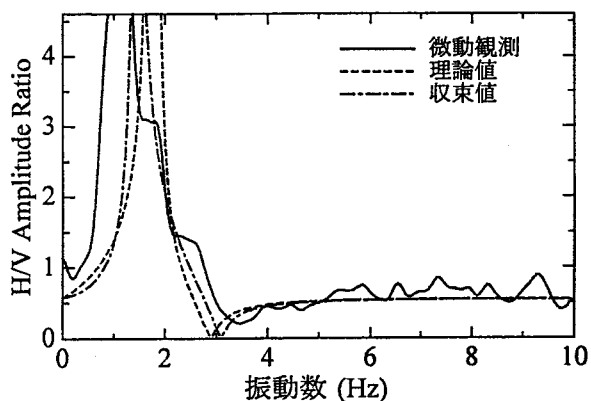


図 2 地点 D-15 の H/V 振幅比

4. レイリー波卓越方向

本研究ではH/Vスペクトルを求める際、レイリー波が卓越する方向を考慮している。ここではその方向補正について述べる。水平2成分を合成した $x'(t)$ と鉛直成分 $z(t)$ の位相特性を考慮するため、そのクロススペクトルを考える。

$$S_{x'z}(f) = F_{x'}(f) \cdot F_z(f)^* / T \quad (1)$$

ここで、 $S_{x'z}(f)$ は $x'(t)$ と $z(t)$ のクロススペクトル、 $F_{x'}(f)$ は水平成分 $x'(t)$ の複素フーリエスペクトル、 $F_z(f)^*$ は鉛直成分 $z(t)$ の共役複素フーリエスペクトル、 T は継続時間である。一般に、式(1)から計算した $S_{x'z}(f)$ は凸凹が激しいので、平滑化を行う。さらにクロススペクトル $S_{x'z}(f)$ は、その実数部 $C_{x'z}(f)$ と虚数部 $Q_{x'z}(f)$ を用いて次のように表わすことができる。

$$S_{x'z}(f) = C_{x'z}(f) + iQ_{x'z}(f) \quad (2)$$

レイリー波の水平動と鉛直動の間には $\pm 90^\circ$ の位相差があり、水平動と鉛直動のクロススペクトルが虚数になることが知られている。このことより、微動の水平2成分を座標変換して作成したある方向の水平動 $x'(t)$ と鉛直動 $z(t)$ のクロススペクトル $S_{x'z}(f)$ において、その虚数部が卓越する方向はレイリー波の進行方向になると考えられる。そこで、クロススペクトル全体に占める虚数部の割合を表わす指標として次の $IQ(\theta)$ を定義し、この $IQ(\theta)$ が最大になる方向よりレイリー波の卓越方向を求めた。

$$IQ(\theta) = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} |Q_{x'z}(f)| df / \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} |S_{x'z}(f)| df \quad (3)$$

ここで、 θ は水平2成分の座標変換に用いる方位角、 $f_{\min}$ および $f_{\max}$ は対象とする振動数領域の下限および上限振動数であり、本研究では $f_{\min} = 1.0\text{Hz}$ 、 $f_{\max} = 10\text{Hz}$ を用いた。

5. 解析結果

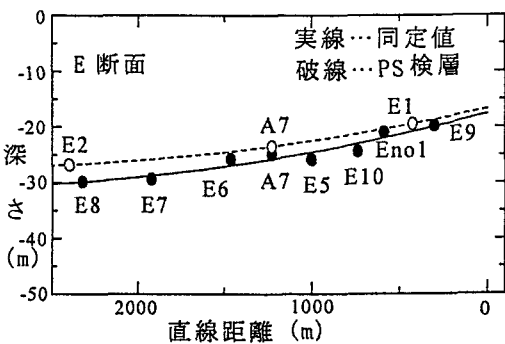


図3 解析結果(E断面)

解析結果の例として、図1に示すE断面で得られた同定結果を示す。E断面の工学的基盤の同定値は、PS検層のそれとほぼ対応しており、精度的には10%程度の誤差となっている。全体的に見ても、推定した基盤面とPS検層の結果もよく似た形をしており、深さの誤差もあまりない。良好な結果が得られたのは、E断面の周辺は交通量の多い道路もなく、比較的安定した微動記録を得られたからだと考えられる。同定精度が悪い観測地点では、微動記録の安定性に問題があると考えられ、その原因として観測地点周辺に交通量が多い道路があるということが考えられる。この問題は、

10分程度の観測を行い、その中で比較的安定した微動記録を用いて解析すれば解決すると考えられる。

6. 結論

本研究で提案した手法を用いて同定した基盤深さをPS検層の結果と比較すると、両者はほぼ10%程度の誤差内で一致した。また安定した微動記録、すなわちレイリー波が卓越した微動記録を用いた場合には、基盤深さの同定精度は良い。

解析で地盤パラメータの初期値を与えるとき、特に、層厚の初期値が重要になり、これによって同定される基盤深さが大きく変わってくることがわかった。この時、初期値として微動のH/Vスペクトル比とレイリー波のH/V振幅比の残差平方和がある程度小さくなるような値を選ぶ必要がある。

参考文献

- 1) Haskell, N. A. : The dispersion of surface waves on Multilayered media, Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 43, No. 1, pp. 17-34, 1953
- 2) 澤田勉, 不可三広和, 三神厚, 辻原治, 砂田尚彦 : 常時微動に含まれるレイリー波のH/Vスペクトル比の位相特性について, JCROSSAR2000(第4回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム), 43-A, pp. 261-269, 2000. 11