

鉛直アレー観測記録によるQ値の周波数依存性の検出

神戸大学大学院 学生員 ○西川啓二
 徳島大学工学部 学生員 服部 哲
 徳島大学工学部 正 員 沢田 勉

1. はじめに 近年, 多くの研究機関で, 鉛直アレー観測記録を用いて地震時の地盤の動特性(S波速度とQ値)を同定しようとする研究が盛んに行われている。これらの研究において, 地盤の減衰を表すQ値が周波数にほぼ比例して増加するという考えが大半となっている。このことより, Q値の同定において周波数依存性を考慮することが必要となる。本研究の目的は, 地震時の実地盤におけるQ値とS波速度を精度良く同定し, Q値の周波数依存性の検討を行うことにある。

2. 計算手法の概要 本研究の解析の概要を図1に示す。地表付近を含む地盤構造を図2に示す水平成層地盤で近似し, 鉛直下方からSH波が入射するとき, q点, r点で得られた鉛直アレー観測記録より, r点以上の地盤を一括同定をする。層厚(H_m)および密度(ρ_m)は, 事前の地盤調査によって比較的精度良く推定されているため既知とする。図2において重複反射理論より, 地盤内の任意の点であるq点での複素フーリエスペクトルと, 観測記録より得られた最下層のr点での複素フーリエスペクトルから求めた周波数応答関数 $A(f; \alpha)$ を求め, またq点, r点での観測記録より得られた複素フーリエスペクトルから求めた周波数応答関数 $A_0(f)$ を求める。ここで, f は振動数(Hz), α は同定すべきパラメータであり, 各層のS波速度とQ値の未知パラメータである。そして, $A(f; \alpha)$ と $A_0(f)$ の残差平方和を最小とする評価関数を次式のように設定し, α の同定を行う。

$$Se = \sum_{i=1}^{N_f} \{A(f_i; \alpha) - A_0(f_i)\}^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで, f_i は対象とする周波数領域を分割したときの*i*番目の振動点, N_f はその時の離散振動数点の総数である。

本研究では, 式(1)の評価関数の最適化手法として, 従来のMSLP法に改良を加えて1次偏微分係数のみで計算が可能となる。そして, 計算プログラムを作成し, 解析の簡略化と計算時間の短縮を図った。

3. Q値の周波数依存性 Q値には, 未知の点が多く, 従来の研究からQ値は高周波数領域で上限が存在することが指摘されている。また最近の研究では, Q値はひずみ振幅が小さくなる低周波数領域と高周波数領域で大きくなり, ひずみ振幅が大きい中周波数領域で小さくなるという特徴のあることが指摘された。これらの研究を考慮して, 本研究ではQ値の周波数依存性のモデル式を次式のように設定して同定を行った。

$$Q = Q_0 \left[\frac{1}{1 + \exp\{a(f - f_l)\}} + \frac{1}{1 + \exp\{-b(f - f_u)\}} \right] \quad (2)$$

ここで, f は振動数(Hz), Q_0, a, f_l, b, f_u は同定すべきQ値の未知パラメータである。

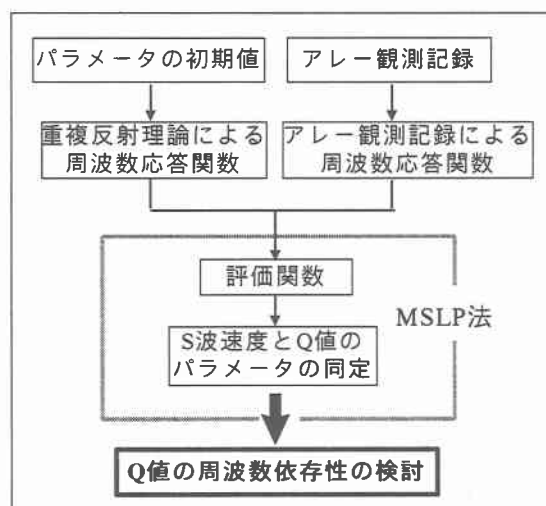


図1 解析の概要

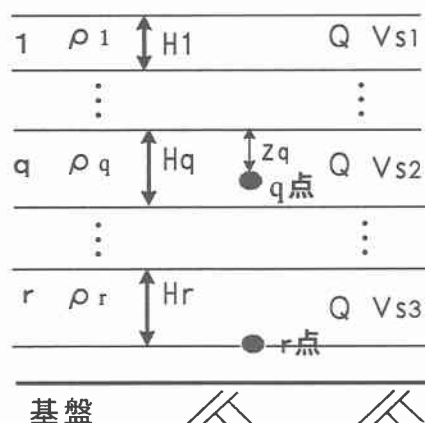


図2 水平成層地盤モデル

4. 同定結果 解析に用いた鉛直アレ観測記録は、強震動アレ観測記録データベースに収録されている記録のうち、西松建設技術研究所(下鶴間観測点)、東京大学生産技術研究所(千葉実験所)、清水建設技術研究所(越中島観測点)、電力共通研究所(富岡観測点)、および電力中央研究(新太田観測点)の5か所の観測点で得られたものである。これらの記録のうち、マグニチュードが大きく、震源深さが震央距離に対して比較的大きい記録を選択し、地震計の埋設方位の補正を行い解析に用いた。図3、図4は、それぞれ下鶴間観測点におけるS波速度とQ値の同定結果を示したものである。図3において、縦軸は地盤の深さを示し、横軸はS波速度を示している。また図中の太線はPS検層値を示している。図4において、縦軸はQ値を示し、横軸は周波数を示している。図5はそれぞれ千葉実験所、富岡観測点、新太田観測点、越中島観測点でのQ値の同定結果を示したものである。縦軸がQ値、横軸が周波数を示している。

下鶴間観測点におけるS波速度の同定結果は、第4層でやや乱れているが、比較的PS検層値に対応した同定結果となった(図3)。また、Q値の同定結果は、ひずみ振幅が小さくなる低周波数領域と高周波数領域で大きくなり、ひずみ振幅が大きくなる中周波数領域で小さくなる特徴が明確に表れた(図4)。

図5より、千葉実験所では、Q値の周波数依存性はあるものの、中周波数領域でQ値が明確に小さくならない同定結果となった。これに対して、その他の3地点の観測点においては、下鶴間観測点と同様なQ値の特徴が明確に表れた結果となった。

5. まとめ 本研究では、地盤の減衰を表すQ値の周波数依存性の式(2)を用いて、モデル化した地盤各層のS波速度と、全層一律としたQ値を決定するパラメータ Q_0, a, f_1, b, f_0 の同定を行い、Q値の周波数依存性を検討した。結果を要約すると次のようになる。

- S波速度の同定結果は、下鶴間観測点のみを示したが、その他の4地点においても、記録によりややばらつきはあるが、比較的安定した同定結果が得られた。
- Q値を決定するパラメータの同定精度は、S波速度の同定精度に比べ幾分劣る結果となった。
- Q値の周波数依存性は、下鶴間観測点、越中島観測点、新太田観測点、および富岡観測点では、明確に確認できる結果となった。しかし、千葉実験所では、Q値が周波数に影響されているものの、Q値の周波数依存性は明確に確認することができなかった。

謝辞 本研究で使用した鉛直アレ観測記録は、(財)震災予防協会が強震動アレ観測記録データベースとして収録したものである。記して関係者の方々に深甚なる謝意を表す次第である。

参考文献 1)澤田他；土木学会論文集, No.495/I-28, 1994 2)土岐憲三；新体系土木工学 11・構造物の耐震解析, 持報堂, 1981 3)(財)震災予防協会；強震動アレ観測記録データベース, No.1, 1993, No.2, 1995 4)山崎他；土木学会論文集, No.432/I-16, pp.231-240, 1992 5)杉戸他；土木学会論文集, No.493/I-27, pp.49-58, 1994

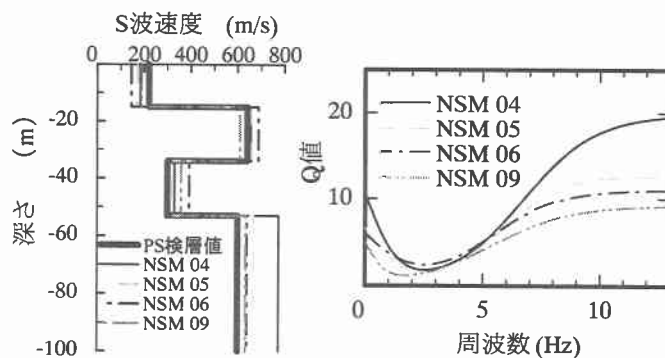


図3 S波速度

図4 Q値の同定結果

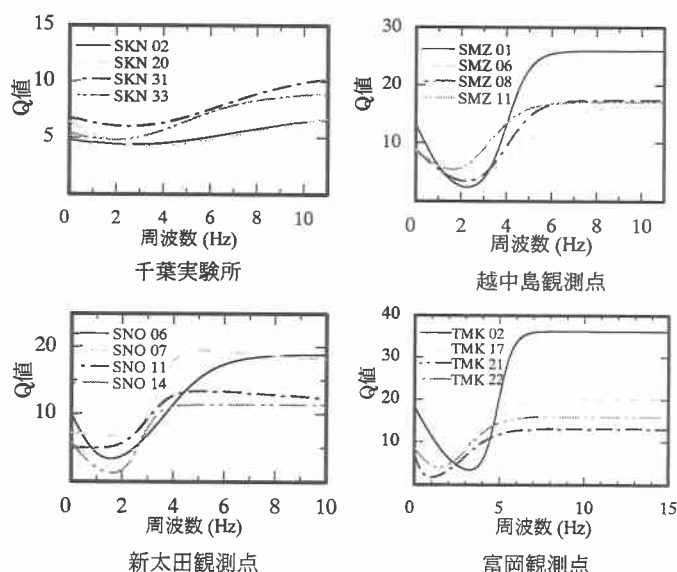


図5 その他4地点におけるQ値の同定結果