

鉛直アレー観測記録による地盤のQ値の周波数依存性の検出

徳島大学大学院○学生員 服部 哲 神戸市役所 正 員 谷口智広
徳島大学工学部 正 員 沢田 勉 徳島大学工学部 正 員 平尾 潔

1. はじめに 近年、多くの研究機関で鉛直アレー観測が行われ、それより得られた記録から地震時の実地盤の動特性値（S波速度とQ値）を同定する研究が盛んに行われている。これらの研究において注目されていることは、Q値が周波数に比例して増大すること、すなわち周波数が高くなるほど減衰は小さくなる傾向を示すことである。本研究の目的は、Q値の周波数依存性を精度の良い同定手法（部分同定法¹⁾）に組み込み、鉛直アレー観測記録を用いた解析から、Q値の周波数依存性を検討することである。

2. 地盤の部分同定法の定式化 地表に近い地盤構造を図-1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、地中3点で得られた鉛直アレー観測記録より、記録が得られた最上点と最下点の間の各層のS波速度およびQ値を部分的に同定する問題を考える。層厚および密度は、標準貫入試験等により比較的精度よく推定されるため既知とする。図-1において第p層の上面(p点)、第q層内の任意点(q点)および第r層の下面(r点)において同時観測記録が得られているとき、q点、r点で得られる観測記録の複素フーリエスペクトルを $F_{q0}(f)$ 、 $F_{r0}(f)$ とすると、重複反射理論²⁾よりp点での複素フーリエスペクトル $F_p(f; \alpha)$ を求めることができる。ここで、 α は同定すべきパラメータを一般的に表したものであり、具体的には各層のS波速度 V_m とQ値を決定するパラメータ Q_0, a, b である。未知パラメータ α はp点の観測記録より得られるスペクトル振幅 $|F_{p0}(f)|$ と、上述の理論より求まるp点のスペクトル振幅 $|F_p(f; \alpha)|$ の残差平方和を最小にする次式の評価関数により同定される。

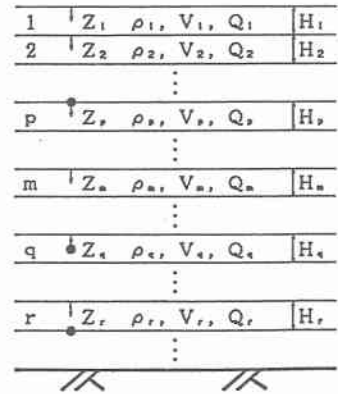


図-1 地盤モデル

$$Se = \sum_{f=1}^{Nf} \{ |F_p(f; \alpha)| - |F_{p0}(f)| \}^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

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番目の振動数点、 Nf はその時の離散振動数点の総数である。なお、 α を決定するための最適化手法として改良SLP法¹⁾を用いる。

3. Q値の周波数依存性の導入 従来の研究から、Q値は高周波数領域で上限を持つことが指摘されている。さらに、低周波数領域では下限が存在すると考えるのが自然であるから、これらのQ値の周波数依存性の特徴を考慮してこれを次式でモデル化する。

$$Q = Q_0 \{ 1 + a \cdot \exp(-b/f^n) \} \quad (2)$$

ここで、 Q_0 は $f=0$ HzのときのQ値、 f は周波数、 n は正の指数であり、 a, b はQ値を決定するパラメータである。本研究では、 n は全層一律の定数として次のような10通りの値を与えて同定を行い、スペクトル振幅の残差（式(1)）が最小になるときの値を最適値として採用する。

$$n = 0.0, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 2.5, 3.0 \quad (3)$$

4. 同定結果 解析に用いた鉛直アレー観測記録は、文献3)の強震動アレー観測記録データベースに集録されている記録のうち、比較的軟らかい地盤である東京大学生産技術研究所(7組)、硬い地盤である電力共通研究の富岡観測点(6組)である。各観測点では多数の地震記録が得れているが、マグニチュードが大きく震源の深い記録を選択し、観測記録は地震計の埋設方位の補正⁴⁾を行った後、Transverse成分に変換

して用いた。図-2(a)，図-3(a)は各観測点のS波速度の同定結果とPS検層値を示す。縦軸が深さを、横軸がS波速度を示しており、PS検層値を太線で示している。図-2(b)，図-3(b)は各観測点のQ値の同定結果を示す。縦軸がQ値を、横軸が周波数を示している。

(1) 東京大学生産技術研究所 東京大学生産技術研究所ではG.L-10m～40mの3層地盤を対象に部分同定を行った。図-2(a)および図-2(b)の結果より次のことがわかる。

- ① S波速度の同定結果はPS検層値との対応が比較的良好、各記録の同定結果にばらつきが小さいことより妥当な結果が得られている。ただし、第2層目はPS検層値より若干小さく評価されている。
- ② Q値の周波数依存性の同定結果は、ばらつきが見られ、一部を除き周波数に依存しないか、2～3 Hz以上の周波数領域ではほぼ一定値に収束することがわかる。

(2) 富岡観測点 富岡観測点ではG.L-100m～660mの5層地盤を対象に部分同定を行った。図-3(a)および図-3(b)の結果より次のことがわかる。

- ① S波速度の同定結果は、記録ごとに多少のばらつきが見られるもののPS検層値との対応も比較的良好、各記録についても安定した結果が得られている。
- ② Q値の周波数依存性の同定結果は、高周波数領域におけるQ値の上限と低周波数領域における下限が顕著に表れ、安定した形で検出されている。

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($Q = Q_0 \{1 + a \cdot \exp(-b/f^n)\}$)を部分同定法に組み込み、鉛直アレー観測記録を用いてS波速度、Q値を決定するパラメータ Q_0, a, b, n を同定し、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。

- ① S波速度の同定結果は、記録ごとに多少のばらつきが見られるが、比較的良好な結果が得られた。
- ② Q値を決定するパラメータの同定結果は記録ごとにばらつき、不安定な結果であったが、周波数領域におけるQ値の変化の形は比較的良好な小さいものとなった。この原因として、Q値を決定する各パラメータが互いに独立ではなく従属関係にあることが挙げられる。本研究のQ値のモデルは自由度の多い関数であるため、パラメータのばらつきおよびその結果の解釈についてはさらに検討する必要がある。
- ③ 富岡観測点では、Q値の周波数依存性が比較的良好な安定した形で得られたが、東京大学生産技術研究所では検出されなかった。これらの結果により、富岡観測点のような硬い地盤(S波速度が1000m/s程度以上)ではQ値の周波数依存性が見られること、東京大学生産技術研究所のような比較的良好な軟らかい地盤(S波速度が300～400m/s程度)ではQ値の周波数依存性を明確に検出できないことなどを指摘した。

〔謝辞〕本研究で使用了鉛直アレー観測記録は、東京大学生産技術研究所、電力共通研究の富岡観測点で得られた記録を(財)震災予防協会が強震動アレー観測記録データベースとして集録したものである。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) 沢田他；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，技報堂，1981，
- 3) (財)震災予防協会：強震動アレー観測記録データベース，No1, 1993, No2, 1995
- 4) 山崎他；土木学会論文集，No. 432/I-16, pp. 231-240, 1992.

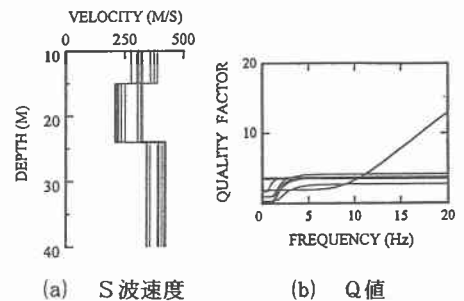


図-2 同定結果

(東京大学生産技術研究所)

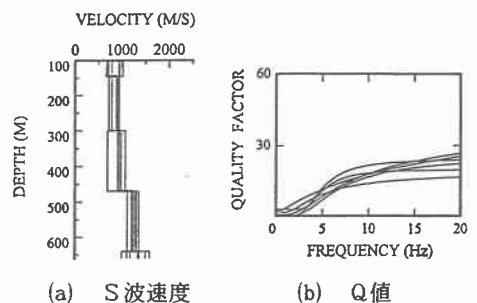


図-3 同定結果 (富岡観測点)