

I - 1 鉛直アレー観測記録による地盤特性値の同定とQ値の周波数依存性の検出

徳島大学工学部○学生員 岩本 竜也 (株)大林組 正 員 服部 哲
徳島大学工学部 正 員 澤田 勉

1. はじめに 近年、鉛直アレー観測記録を用いて、地震時の実地盤における S 波速度や Q 値を同定する研究が数多くなされている。それらの研究では、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であり、Q 値の同定においては周波数依存性を考慮する必要があることが指摘されている。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 値の周波数依存性を検討することにある。

2. 地盤同定問題の定式化 地盤表層部を図-1 のような水平成層地盤とし、SH 波の鉛直入射を仮定した 1 次元重複反射理論に基づいて同定を行う。層厚 H_m および密度 ρ_m は各種の地盤調査より比較的精度よく推定されているため既知とする。

図-1 における第 p 層内任意点(p 点)および第 q 層内任意点(q 点)で得られた鉛直アレー観測記録を用いて、重複反射理論と最適化手法を用い、地表面から q 点までの地盤の動特性値を同定する。また、最適化の対象には周波数応答倍率の対数を用い、未知のパラメータ α を同定するために (1) 式のような評価関数を設定する。ここで、周波数応答倍率とは地盤中の鉛直 2 点間における加速度フーリエスペクトルの比である。また、 α は同定すべきパラメータを一般的に表したもので S 波速度 ($V_{sm} : m=1,2,\dots,q$) と Q 値を決定するパラメータ (Q_0, a, f_l, b, f_u) を表す。この評価関数は、2 種類の周波数応答倍率の残差平方和を最小にするもので、 $Se(\alpha)$ が最小値のときの α を同定値として採用する。

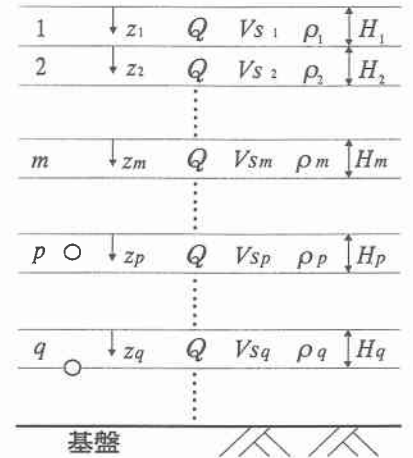


図-1 地盤モデル

$$Se(\alpha) = \sum_{j=1}^{N_f} \{ \ln A(f_j; \alpha) - \ln A_o(f_j) \}^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで、 $A(f_j; \alpha)$ は解析より得られた周波数応答倍率、 $A_o(f_j)$ は鉛直アレー観測記録より得られた周波数応答倍率、 N_f は対象とする周波数領域での離散振動数点の総数を意味する。このように周波数応答倍率の対数を最適化の対象としたのは、スペクトルの 1 次ピークのような絶対値の大きな箇所だけでなく、速度構造の決定に対しても同等の意味を有すると考えられる絶対値の小さな箇所についても均等に評価し、各パラメータの同定を行うためである。

3. Q 値の周波数依存性 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、Q 値と周波数との関係を深く考えるならば、低周波数領域あるいは中周波数領域において Q 値に下限が存在すると考えるのが自然である。しかし、従来の研究では Q 値の増加傾向のみに視点を置いたモデルを用いるため、Q 値の上限あるいは下限を考慮できなかった。そこで、これらを考慮した Q 値の周波数依存性の特徴を考慮した (2) 式を用いる。

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

ここで、 f は周波数、 Q_0, a, f_l, b, f_u は Q 値を決定するパラメータである。また、本研究では全層一律とした Q 値を想定し、これらのパラメータを求めることで Q 値の同定を行う。

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収録されている東京大学生産技術研究所の記録 (4 組) である。この観測点では過去に観測された強震記録が多数あるが、マグニチュードおよび最大加速度が比較的大きな記録を用いた。さらに、SH 波の鉛直入射の仮定を満足する記録として、近距離地震で、かつ震源深さに対する震央距離が小さな記録であることなどを考慮して選択した。ただし、対象地震には上述の条件に従う記録の他に、最大加速度の小さな 2 つの記録を用い、地震動強度の大小が同定値に及ぼす影響を検討した。また、観測記録は地震計の埋設方位の補正を行った後、水平 2 成分より変換した震央直角成分の主要動部を抽出し用いる。

東京大学生産技術研究所の GL-20.0m 以浅の地盤を 3 層地盤でモデル化し、GL-1.0m、GL-20.0m の 2 箇所の地震計で得られた観測記録を用いて同定を行った。図-2 は S 波速度の同定結果と PS 検層値を示す。縦軸は深さ、横軸は S 波速度である。図-3 は各観測点の Q 値の同定結果を示す。縦軸は Q 値、横軸は周波数である。図-2 および図-3 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 検層値によく対応しており妥当な結果が得られました。ただし、第 2 層で 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、各パラメータの同定結果に多少のばらつきがみられるが、すべての結果で 2~4(Hz) 付近の極小点が確認でき、そのときの値が 2~3 とほぼ等しい Q 値を同定できた。また、Q 値の上限に対しても 12~13 と比較的まとまった Q 値が同定された。

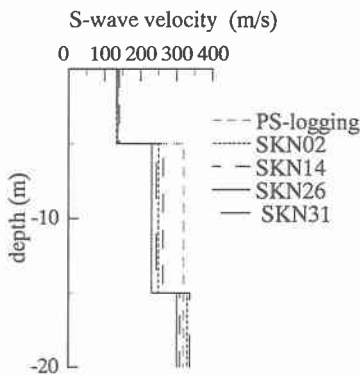


図-2 S 波速度の同定結果(千葉)

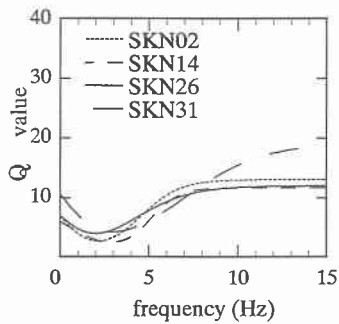


図-3 Q 値の周波数依存性の同定結果 (千葉)

5. Q 値と地盤ひずみの関係 本研究では、応答解析より求めたひずみのフーリエスペクトルと Q 値の周波数依存性がどのように対応しているかについて検討した。図-4 は、ひずみのフーリエスペクトルと Q 値を対比して示したものである。横軸は周波数、縦軸は Q 値を示す。図-4 の結果より、ひずみが小さい低周波数領域と高周波数領域では Q 値が大きく、ひずみが大きい中周波数領域では Q 値が小さく評価されることがわかる。

6. まとめ 本研究では、Q 値を高周波数領域および低周波数領域で大きく、中周波数領域で小さく評価し、上限値、下限値を設定できる Q 値の周波数依存性モデルを同定手法に組み込み、鉛直アレー観測記録を用いて S 波速度と Q 値を決定するパラメータ (Q_0 , a , f_l , b , f_u) を同定し、Q 値の周波数依存性を検討した。得られた結果を要約すると次のようになる。

- 1. S 波速度は、多少のばらつきが見られたが比較的安定した結果が得られた。
- 2. Q 値を決定するパラメータの同定結果は記録ごとに多少ばらついてはいたが、周波数領域における Q 値の極小点および上限値は比較的安定しており、Q 値の周波数依存性が確認できた。
- 3. Q 値と地盤ひずみの関係については、図-4 の結果より、ひずみ振幅が小さい低周波数領域と高周波数領域では Q 値を大きく、ひずみ振幅が大きい中周波数領域では Q 値を小さく評価するというひずみスペクトルの特性に対応した同定結果が得られた。

〔謝辞〕 本研究で使用した鉛直アレー観測記録は、東京大学生産技術研究所で得られた記録を (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) 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, 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

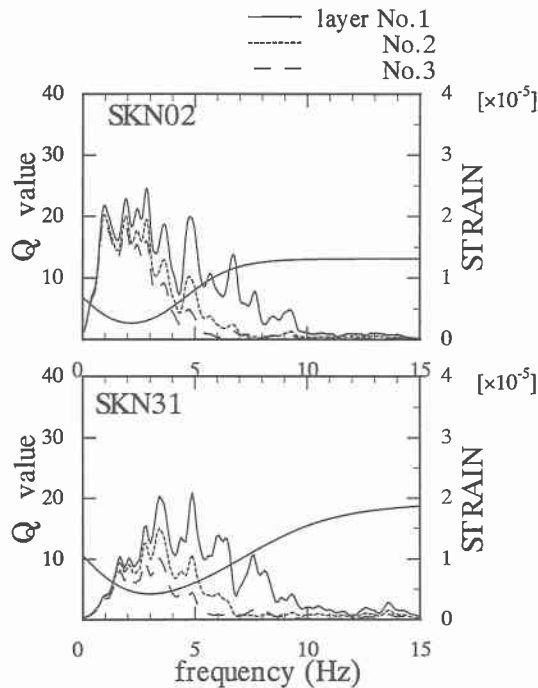


図-4 ひずみのフーリエスペクトルおよび Q 値の周波数依存性