

鉛直アレー観測記録による実地盤のS波速度とQ値の部分同定

西松建設(株) 正 員 岡本 康 徳島大学工学部 正 員 沢田 勉
 徳島大学工学部 正 員 平尾 潔 徳島大学大学院 学生員○谷口智宏

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るようになり、それより得られた記録はデータベース化されている。このような鉛直アレー観測記録を用いて地震時の表層地盤定数を推定することは、耐震設計の応用面を考えると重要である。本研究では、地中の3点で得られた鉛直アレー観測記録を用いて、記録が得られた最上点と最下点の間の各層のS波速度とQ値のみを部分的に同定する、いわゆる部分同定法を提案し、その実地盤への適用性を検討する。

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、基盤から鉛直上方にSH波が入射するときに、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 V_m およびQ値 Q_m 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。いま、図-1において第p層上面(p点)、第q層下面(q点)および第r層下面(r点)において同時観測記録が得られているとする。p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 $F_{p0}(f)$ 、 $F_{r0}(f)$ とすると、重複反射理論¹⁾よりq点での複素フーリエスペクトルを以下のように表すことができる。

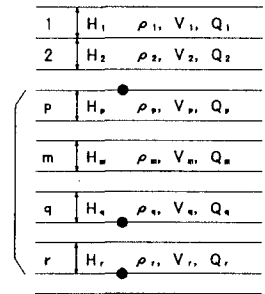


図-1 地盤モデル

$$F_q(f; \alpha) = \frac{R_{r12}(f; \alpha) F_{p0}(f) - R_{p12}(f; \alpha) F_{r0}(f)}{R_{r12}(f; \alpha) R_{p11}(f; \alpha) - R_{r11}(f; \alpha) R_{p12}(f; \alpha)} \quad (1)$$

ここで、 f は振動数点、 α は同定すべきパラメータ V_m 、 Q_m を一般的に表したものである。また、 R_{p11} 、 R_{p12} および R_{r11} 、 R_{r12} は、次式の行列 $[R_p]$ および $[R_r]$ の(1,1)、(1,2)成分である。

$$[R_p] = [S_p]^{-1} [S_{p+1}]^{-1} \cdots [S_m]^{-1} \cdots [S_{q-1}]^{-1} [S_q]^{-1}, [R_r] = [S_r] [S_{r-1}] \cdots [S_m] \cdots [S_{q+2}] [S_{q+1}] \quad (2)$$

式(2)に含まれる行列 $[S_m]$ は第m層の状態を表す行列であり、行列 $[S_m]^{-1}$ は $[S_m]$ の逆行列である。これら行列は、点p~rの間の地盤各層の未知パラメータ α を含むから、式(1)の $F_q(f; \alpha)$ は、同定すべきパラメータの非線形関数となる。したがって、未知パラメータ α は、q点の観測記録より得られるスペクトル振幅 $|F_{q0}(f)|$ と式(1)より求まるスペクトル振幅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。

$$Se = \sum_{i=1}^{Nf} \{ |F_q(f_i; \alpha)| - |F_{q0}(f_i)| \}^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

ここで、 f_i は対象とする振動数領域を分割したときのi番目の振動数点、 Nf はそのときの離散振動数点の数である。ところで、観測記録には種々の原因によりノイズが含まれるため、式(3)を用いて同定を行う場合、記録に含まれるノイズがパラメータの推定精度に影響を及ぼすと考えられる。本研究では、観測記録に含まれるノイズの影響を低減するために、式(3)における観測スペクトルと理論スペクトルの両者をParzenのウィンドウを用いて同様に平滑化する²⁾。なお、パラメータ α を決定するための最適化手法として改良SLP法³⁾を用いる。

3. 実地震記録による部分同定法の検証 解析に用いた観測記録は、東京大学生産技術研究所千葉実験所構内の地点C0で得られた鉛直アレー観測記録である⁴⁾。地点C0の鉛直アレーでは、地表より深さ1m, 5m, 10m, 20m および40mの計5カ所に地震計が埋設されているが、本研究では地中5m, 10mおよび20mの3点での観測記録を用いて地中5m~20mの部分のみを対象として同定を行う。PS検層によるC0の地中20mまでの地盤条

件⁵⁾を表-1に示す。この地点では過去に多くの地震記録が得られているが、地震マグニチュードが比較的大きく、震源が深い地震による記録であることに着目して記録を選択した。表-2には今回使用した地震の諸元を示す。ここでは、これらの地震をSE1~SE3で表す。解析では、地中5m, 10mおよび20mの3点での観測記録の水平2成分より震央直角方向成分を求め、それらの主要動部のみを用いて同定を行った。同定の際に用いるパラメータの初期値としては、S波速度を表-1に示すPS検層より得られた値とし、Q値は全て10とした。評価関数では、0.0~20Hzの振動数領域を100等分した振動数点を

対象とし、スペクトルの平滑化バンド幅は0.6Hzとした。以下では、表-1に示す地盤の第2層および第3層のS波速度とQ値の部分同定結果を示す。

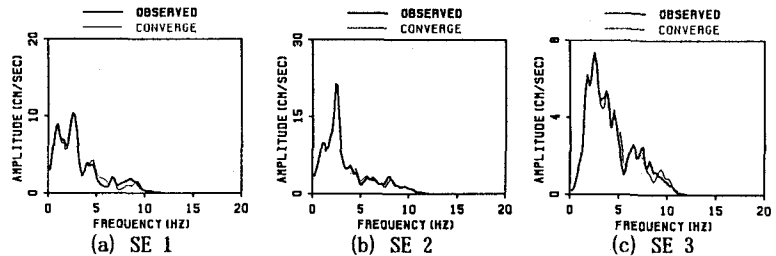


図-2 観測値と収束値のスペクトル (地中10m)

図-2には、地中10mの点での観測スペクトル(太線)と同定された理論スペクトル(細線)を示す。図(a)~(c)は、それぞれSE1~SE3の記録による結果である。これらの図より、観測スペクトルと理論スペクトルは、比較的良好に一致することがわかる。図-3は、SE1~SE3の各記録を用いて地中5m~20mのS波速度とQ値を同定した結果である。SE1~SE3による同定結果は、図中の線種によって区別している。図より、S波速度については同定値がPS検層値(図中のPS)よりも小さくなるが、SE1~SE3の各記録による推定値は互いによく対応していることより、妥当な推定値が得られたと考えられる。Q値については各記録による推定値にばらつきがあり、また、かなり小さく推定されたことより、いくぶん信頼性にかけると考えられる。

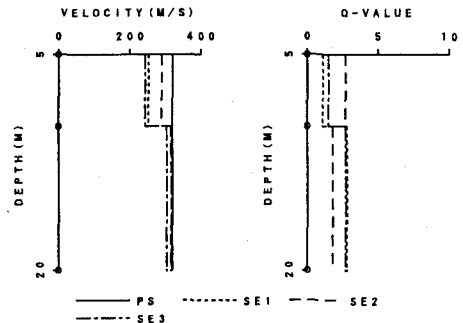


図-3 同定結果

定値にばらつきがあり、また、かなり小さく推定されたことより、いくぶん信頼性にかけると考えられる。

4. まとめ 本研究では、地中3点で得られた鉛直アレー観測記録を用いて、特定の層のS波速度とQ値を部分同定する手法を提案し、実地盤への適用性を調べた。その結果、部分同定法により、S波速度は比較的精度よく同定できたが、Q値については、信頼できる値が得られなかった。

本研究で使用した地盤震動記録は、東京大学生産技術研究所・片山研究室によって観測および各種の補正がなされ、(財)震災予防協会の強震動アレー観測記録データベースに登録されているものであることを記して、関係の方々に感謝の意を表します。

参考文献 1) 土岐憲三; 新体系土木工学11・構造物の耐震解析, 技報堂, 1981, 2) 辻原他; 地盤のS波速度とQ値の同定精度に及ぼすスペクトルの平滑化の影響, 構造工学論文集, Vol. 39A, 1993, 3) 沢田他; 地盤のS波速度とQ値の同定問題におけるSLP法の改良とその適用, 土木学会論文集, No. 446/I-19, 1992, 4) (財)震災予防協会; 強震動アレー観測記録データベース, 1992, 5) 片山他; 千葉実験所における地震動観測-その5 自由地盤の伝達特性について-, 第20回地震工学研究発表会, 1989