

鉛直アレー観測記録による地盤のS波速度とQ値の同定

徳島大学大学院 学生員 ○谷 高博
 徳島大学工学部 正 員 沢田 勉
 徳島県 坂本耕一

1. まえがき 土木・建築構造物のほとんどは地盤に支持されているため、地震時の地盤の動特性を明らかにすることは、構造物の耐震設計において重要である。最近、国内および国外において、地表・地中の同時観測、すなわちアレー観測が多く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つつある。このようなアレー観測記録を用いて地盤の動特性を推定することは、地震時の地盤の動特性を明らかにするうえで有用である。本研究では、地震時地盤の同定問題を定式化し、地中の観測点のいくつかの情報を同時に用いた解析から得られた同定結果とPS検層による結果を比較することにより、地震時地盤の同定の可能性を検討する。ここで、同定の対象にした地盤定数はS波速度とQ値である。また、本研究では、観測記録の強震部のみをとりだして強震時の土の剛性低下も検討した。

2. 定式化 図-1 に示す水平成層地盤を考える。地盤定数が既知の場合には、地盤の任意の2点M、N間の周波数伝達関数 $H''(\omega; \alpha_1, \dots, \alpha_n)$ は重複反射法により求まる。ここで、 $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ は地盤各層のS波速度およびQ値を一般的に表したものである。一方、点M、Nで得られた観測記録からこの地盤の周波数伝達関数 $H(\omega)$ は、2点MとNの観測記録によるクロススペクトル $S_{mn}(\omega)$ と点Nでの観測記録によるパワースペクトル $S_{nn}(\omega)$ との比から求められる。したがって、観測記録による地盤の同定問題は、重複反射法より得られる周波数伝達関数と観測記録より得られる周波数伝達関数の残差平方和を最小にするような地盤定数 $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ を求める問題となる。また、本研究では地中のいくつかの観測記録を同時に用いているため評価関数を次式とした。

$$S = \sum_{k=1}^{N_k} \left(\frac{H_{maxk}}{H_{minNk}} \right)^2 \sum_{j=1}^{N_f} \{ H''_k(\omega_j; \alpha_1, \dots, \alpha_n) - H(\omega_j) \}^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで、 N_k は最下点の観測記録をのぞいた観測記録の個数、 ω_j は離散角振動数点、 N_f は振動数点の個数である。また、 H_{maxk} は最下点とその上の点での周波数伝達関数の最大値、 H_{minNk} は最下点と任意点での周波数伝達関数の最大値である。また、観測記録による周波数伝達関数は次式となる。

$$H_k(\omega_j) = S_{mnk}(\omega_j) / S_{nnk}(\omega_j) \quad (2)$$

3. 観測地点と観測記録 解析で用いた記録は、東京大学生産技術研究所の鉛直アレー観測より得られたものである。この地点ではPS検層が行われており、S波速度の深さ方向の分布が図-2 のように得られている。地震計は、図中のNo1 ~ No5 の位置に設置され、5つの地震計による同時記録が得られる。これらの観測記録はSHAR¹⁾としてデータベース化されている。

4. 解析結果および考察 本研究では強震時の土の剛性低下の検討を行うため観測記録により得られた地震波形より強震部だけを取り出すために余弦テーパデータウィンドウを用いた。余弦テーパデータウィンドウを用いた地震波形の1例を図-3 に示す。本研究では、7組の地震記録を用いて同定を行ったが、ここでは紙面の都合により1組の記録による解析結果のみを示す。同定の際のS波速度の初期値としてはPS検層で得られた値、Q値は10とした。また、解の発散を防ぐため上限値を設けS波速度は600m/s、Q値は20とした。図-4 は、観測点No.1と観測点No.5、および観測点No.4と観測点No.5を用いたときの周波数伝達関数を示している。観測点No.1と観測点No.5を用いた場合には、高振動数成分が極端に卓越し観測点No.4と観測点No.5を用いた場合と比べ大きな誤差が含まれていると考えられる。また、感度分析結果により観測点No.1を用いた場合には対象地盤の同定は困難であると報告されているため²⁾、本研究では観測点No.1は除いて解

析を行った。図-5 は、S波速度の同定結果をPS検層と比較したものである。第1層目はPS検層の値とよく一致しているが、第2、3層目はやや小さめ、第4層目はやや大きめになっている。他の地震記録の解析についても同様な結果が得られており、この結果は妥当であると思われる。しかし、この解析結果を見る限り土の剛性低下に起因するS波速度の差異は地震ごとに生じなかった。これは、観測点No.5の観測記録の振幅が小さかったためと考えられる。図-6 はQ値の初期値と収束解を示す。Q値に対する真値の目安となる値がないので判断できないが一般にQ値は20以下と考えられていることよりQ値の推定値は妥当であると考えられる。以上のことより地中のいくつかの観測記録を同時に用いた場合には、S波速度およびQ値とも精度よく同定できることがわかった。しかし、観測記録の振幅が小さかったために土の剛性低下はみられなかった。

5. おわりに 本研究では、地盤の動特性を明らかにするために地震記録により各層のS波速度およびQ値を推定する方法を提示した。地中の数点の観測記録を用いた場合にS波速度はPS検層の値とよい対応を示す同定結果を得た。また、Q値についても妥当な値を得た。しかし、観測記録の地震の振幅が小さいため強震時の土の剛性低下は見られなかった。これについては、今後検討したい。

謝辞 本研究を進めるにあたり、京都大学防災研究所 亀田弘行教授、および東京大学生産技術研究所 片山恒雄教授に貴重な御指導を賜った。また、解析で使用した地震記録は京都大学工学部 杉戸真太助手より提供していただいた。記して謝意を表します。

【参考文献】1) 高山 聡：地震動アレー観測記録データベース (SERM- II (SHARD))に関する基礎的研究，京都大学大学院 修士論文，1987 2) 辻原 治：鉛直アレー観測記録による成層地盤構造の同定、土木学会第43回年次学術講演会，pp998-999，1988

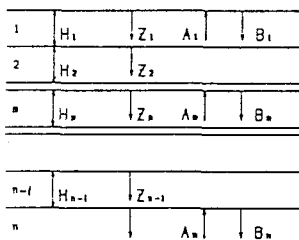


図-1 成層地盤モデル

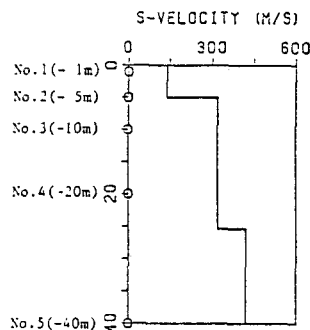


図-2 S波速度と観測点深さ

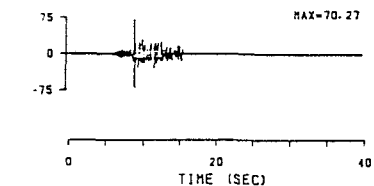


図-3 余弦データベースデータウィンドウを用いた加速度波形

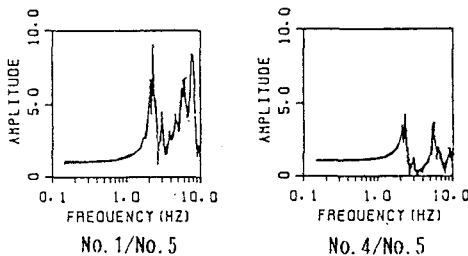


図-4 周波数伝達関数

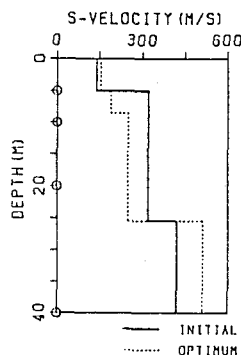


図-5 S波速度の初期値と収束解

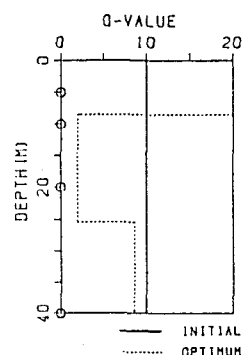


図-6 Q値の初期値と収束解