

強震記録による地盤定数の推定に関する一考察

徳島大学大学院
徳島大学工学部

○ 谷 高博
沢田 勉

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、アレー観測記録から得られる同定結果と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。同定の対象にした地盤定数はS波速度とQ値である。

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、この地盤の任意の2点U、L間の周波数伝達関数 $U''(\omega; \alpha_1, \dots, \alpha_n)$ 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、U、Lで観測記録が得られている場合には、この地盤の周波数伝達関数 $U(\omega)$ は、観測記録のフーリエ変換 $X_U(\omega)$ 、 $X_L(\omega)$ 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少にする地盤定数 $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ を求める問題となり、次式のように定式化される。

$$S = \sum_{j=1}^N \{U''(\omega_j; \alpha_1, \dots, \alpha_n) - U(\omega_j)\}^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで、 ω_j は離散角振動数点、Nは振動数点の個数である。また、 $U(\omega_j)$ は、観測記録のフーリエ変換の比より得られる周波数伝達関数である。

$$U(\omega_j) = X_U(\omega_j) / X_L(\omega_j) \quad (2)$$

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No.1 ~No.5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SMARD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 本研究では地震記録による地盤定数の同定の可能性および精度の検討を目的として次の2ケースについて解析を行った。

Case A; 観測点No.1 と観測点No.5 の観測記録を用いた場合

Case B; 観測点No.4 と観測点No.5 の観測記録を用いた場合

Case Aは、基盤に対する最上層地盤の周波数伝達関数が目的関数となり、Case Bは、地中2点の周波数伝達関数が目的関数となる。ただし、Case Aでは、観測点No.1 が地表面に設置されていると仮定し、Case Bでは、観測点No.4 と観測点No.5 の間を1層と仮定した。同定の際のS波速度の初期値としてはPS検層から得られた値を用い、Q値の初期値は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10を上限値とした。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で、1組の記録による解析結果のみを示す。図-3 は、5個の地震計による観測記録を示したものである。これらの記録のうち、No.1 とNo.5 (Case A)、およびNo.4 とNo.5 (Case B)のフーリエ変換の比より周波数伝達関数が得られる。このようにして得られた周波数伝達関数を図-4 に点線で示す。Case Aの周波数伝達関数は、5~6Hz付近に顕著なピークをもち、このピークは2~3Hzの1次ピークに対して、Case Bよりも大きくなっている。これは

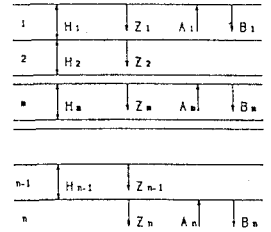


図-1 成層地盤モデル

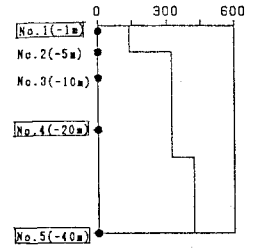


図-2 S波速度と観測点深さ

No.5 の記録にほとんど含まれない高振動数成分がNo.1で卓越したためと考えられる。したがって、Case Aの周波数伝達関数の高振動数部には推定誤差が含まれる割合が大きいかと考えられる。他方、Case Bの周波数伝達関数にはこのような傾向は現れていない。図-4の周波数伝達関数(点線)を目的関数として、前述の初期値を与えてS波速度とQ値を同定した。その結果、収束解に対応する周波数伝達関数が図-4の実線のように得られた。図より、周波数伝達関数の一致性は、Case Bでは良いが、Case Aではあまり良くないことがわかる。図-5は、Case AとCase BのS波速度の同定結果をPS検層と比較したものである。Case Bの解析結果はPS検層とよい対応を示しているが、Case Aでは対応していない。Case Bの解析結果での2~4層目のS波速度が、PS検層の値よりも小さくなっているのは、地震動による地盤の非線形化やPS検層の推定精度が悪いことによると考えられる。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、一般にはQ値は10以下と考えられていることより、Case Bの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、Case B、すなわち、地中の2点の観測記録を用いた場合には、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。

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2点の観測記録を用いた場合には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。しかし、地表と基盤の記録を用いた場合には、精度よい同定ができなかった。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：地震動アレ観測記録データベース((SERM- II (SMARD))に関する基礎的研究、京都大学大学院 修士論文、1987

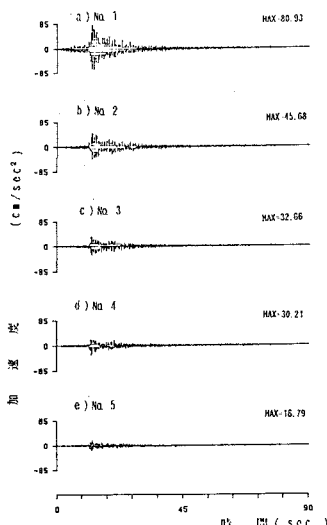


図-3 加速度波形

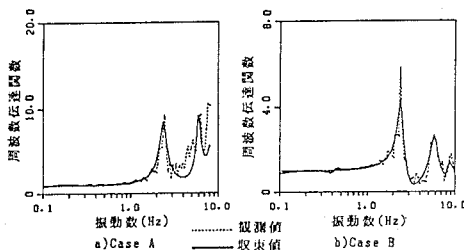


図-4 周波数伝達関数

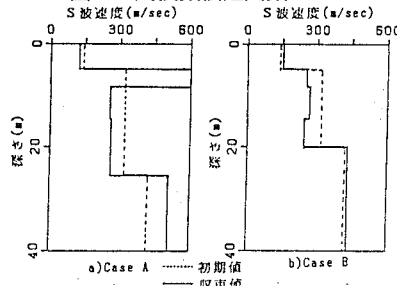


図-5 S波速度の初期値(PS検層値)と収束解

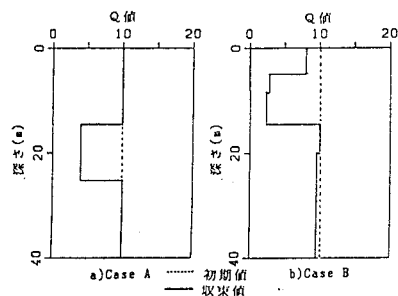


図-6 Q値の初期値と収束解