

I-634 地盤のS波速度とQ値の同定に関する 2, 3の考察

徳島大学大学院 学生員○山本英史 徳島大学工学部 正 員 沢田 勉
徳島大学工学部 正 員 平尾 潔 和歌山高専 正 員 辻原 治

1. まえがき

近年、鉛直アレー観測記録の充実とともに¹⁾、実記録を用いて地盤の動特性を同定しようとする研究が盛んに行れるようになった。筆者らも、観測記録から得られる伝達関数とモデルの自乗和誤差を最小にするという評価基準を用いて、地盤のS波速度とQ値を推定した²⁾。しかし、この手法では、観測記録より伝達関数を求める際にスペクトルの平滑化が必要であり、この平滑化は地盤動特性の同定精度に影響を及ぼすことが指摘されている。また、同定問題の解析に用いる最適手法や記録に含まれるノイズが同定結果に及ぼす影響等に対する検討も必要である。本報告では、重複反射法と反復線形計画法(SLP法)を用いた従来の方法²⁾の改良を目的として、評価関数およびSLP法の改良、ノイズが同定結果に及ぼす影響等について、数値計算による検討を行った。

2. 同定問題の定式化

図-1に示す水平成層地盤において、各層の層厚 H_m および密度 ρ_m を既知として、S波速度 V_m とQ値 Q_m を同定する問題を考える。いま、地盤内の第 m 層および第 n 層の上面で同時観測記録が得られているとする。これら記録の複素フーリエスペクトルを $X_m(f)$, $X_n(f)$ とし、SH波の重複反射を仮定すると、それらと地表面の複素フーリエスペクトル $X_1(f)$ の間には次の関係がある。

$$X_m(f) = \gamma_m(f; \alpha) X_1(f) \quad , \quad X_n(f) = \gamma_n(f; \alpha) X_1(f) \quad (1)$$

ここで、 f は振動数、 $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_N)$ 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、 γ_m および γ_n は地表に対する第 m 層および第 n 層上面のスペクトルの複素低減率で、文献(3)の $R_{m-1}(1, 1)$ および $R_{n-1}(1, 1)$ に対応する。 α が真値の場合には、式(1)は厳密に成立するが、一般には α は未知であるので、上式は近似的にしか成立しない。

地盤同定問題では、式(1)より次のような評価関数が考えられる。

$$Se = \sum_{i=1}^{Nf} |X_m(f_i) / \gamma_m(f_i) - X_n(f_i) / \gamma_n(f_i)|^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

$$Se = \sum_{i=1}^{Nf} \{ |X_m(f_i) / \gamma_m(f_i)| - |X_n(f_i) / \gamma_n(f_i)| \}^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

ここで、 Nf は離散振動数点の数、 f_i は i 次の離散振動数点である。これらの評価関数のうち式(2)は複素フーリエスペクトルの一致を基準とし、式(3)はスペクトル振幅の一致を考えた場合である。数値計算では、式(2)と(3)による同定結果を比較する。

3. SLP法による同定問題の解析とその改良

上述の評価関数を最小にするような未知パラメータ α を求めるため、SLP法(反復線形計画法)を用いた。評価関数 Se を初期値 α_0 のまわりにテラー展開して、2次以上の項を省略し、Move Limitの制約を並記すると、

$$Se \approx Se_0 + \sum_{j=1}^N [\partial Se / \partial \alpha_j] \Delta \alpha_{j0} \rightarrow \min : -\xi \alpha_{j0} \leq \Delta \alpha_{j0} \leq \xi \alpha_{j0} \quad (4)$$

式(4)をLP(線形計画法)により解くと、変化量 $\Delta \alpha_{j0}$ が得られるので、次の段階では $\alpha_{j1} = \alpha_{j0} + \Delta \alpha_{j0}$ を初期値として、変化量 $\Delta \alpha_{j1}$ を求める。この過程を収束するまで繰り返すと最終的な解が得られる。以上のような方法を地盤同定問題に適用した場合、最適解近傍での解の収束性があまりよくない。そこで、評価関数をテラー展開して、2次までの項を導入した。

$$Se \approx Se_0 + \sum_{j=1}^N [\partial Se / \partial \alpha_j] \Delta \alpha_{j0} + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N [\partial^2 Se / \partial \alpha_j \partial \alpha_k] \Delta \alpha_{j0} \Delta \alpha_{k0} \rightarrow \min \quad (5)$$

上式はSLP法により解くことができる。数値計算では、式(4)と(5)による解の収束性を比較する。

4. 数値計算および考察

以上のような方法により、地盤のS波速度とQ値を同定した場合の解の

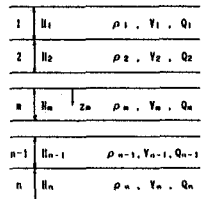


図-1 表層地盤モデル

収束性を検討するため、計算機シミュレーションによる数値計算を行った。解析に用いた地盤モデルのS波速度およびQ値の深さ方向の分布を、図-3の太線で示す。この地盤モデルの基盤加速度波は、0.1～20Hzの有帯域ホワイトノイズとし、地中または地表の応答加速度を求めた。そして、これらの加速度波に、同じ振動数域をもつ有帯域ホワイトノイズ（振幅は応答最大振幅の0%および5%）を加えたものを観測記録とした。図-2に、観測記録の一例（図-3の○印の点の観測記録）を示す。数値計算では、まず式(2)と(3)の評価関数を用いた場合の解の精度を比較した。その結果、両者の同定精度にはほとんど差のないことがわかったので、評価関数として式(3)を用いることにした。次に、式(4)の従来のSLP法と式(5)の改良SLP法による解の収束性を比較するため、ノイズを含まない観測記録を用いて、S波速度とQ値を同定した。パラメータの初期値は、真値（図-3の太線）の1.2倍とし、SLPおよび改良SLPにおける繰り返し回数は100回とした。図-3および4は、SLPおよび改良SLPによる同定結果（左図はS波速度、右図はQ値）を示したものである。図中の細線、中線および太線は、それぞれ、初期値、収束値、および真値に対応する。これらの図より、改良SLPを用いた同定結果（図-4、収束解が真値とほぼ完全に一致している）は、精度の面で優れていることがわかる。収束性については紙面の都合で割愛するが、改良SLPでは約30回の繰り返しで、各パラメータとも1%以内の誤差で真値と一致した。最後に、観測記録に5%のノイズが含まれる場合について、同定を行った。図-5は、S波速度とQ値の同定結果を示したものである。図-4（ノイズを含まない場合）と図-5の比較より、S波速度は精度よく同定されているのに対し、Q値の収束解にはかなりの誤差が生じることがわかる。

5. 終わりに

地盤同定問題における評価関数および手法を改良し、あわせて観測記録に含まれるノイズが同定結果に及ぼす影響を検討した。その結果、SLP法を改良することにより解の収束性および精度が改善されること、ノイズはQ値の同定精度を低下させることがわかった。

参考文献 (1) Katayama, et. al.: Strong Motion Database for the Chiba Seismometer Array, 1990. (2) 辻原他：構造工学論文集, Vol. 36A, 1990. (3) 土岐：構造物の耐震解析, 1981.

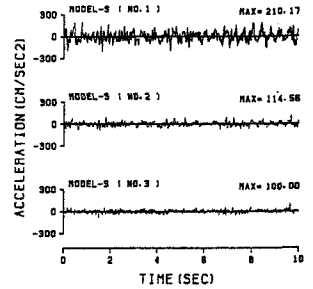


図-2 観測記録の一例

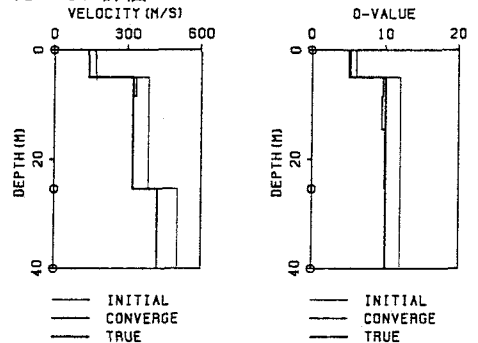


図-3 S波速度とQ値の同定結果（SLP法、ノイズなし）

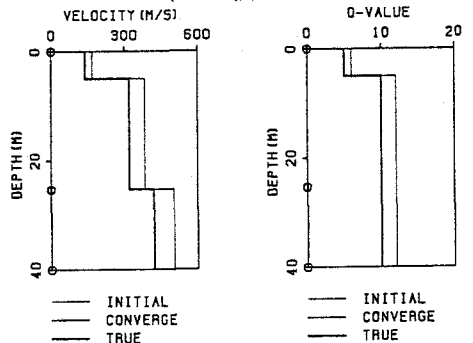


図-4 S波速度とQ値の同定結果（改良SLP法、ノイズなし）

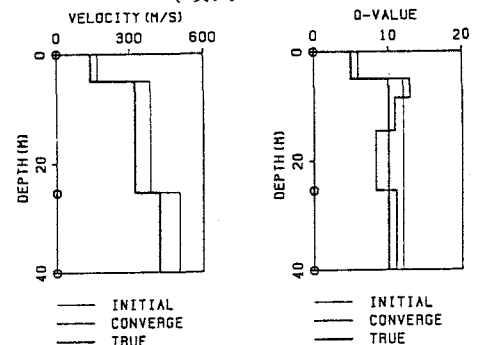


図-5 S波速度とQ値の同定結果（改良SLP法、ノイズ5%）