

地盤同定問題における評価関数についての考察 - その2 -

和歌山工業高等専門学校 正会員 辻原 治  
 徳島大学工学部 正会員 澤田 勉

1. 目的

地盤震動の鉛直アレー観測記録を利用した地震時地盤の動特性の同定が数多く行われている。それらの多くは、鉛直アレー観測記録のスペクトル比の絶対値をターゲットとし、地盤モデルの周波数伝達関数の絶対値との残差平方和を評価関数としてモデルパラメータを同定する方法をとっている。しかし、鉛直アレー観測記録のスペクトル比を求める際、一般にそれぞれのスペクトルの平滑化が行われる関係で、減衰パラメータの評価が正しくできないとの指摘がある。スペクトルの平滑化に整合する方法も提案されている<sup>1)</sup>一方で、地盤同定問題を時間領域で解析することによって、この問題に対処する研究<sup>2)</sup>も行われている。

周波数領域による地盤同定の解析法には、手順が単純で計算量も節約できるメリットがあり、捨て難いところもある。「はたして周波数領域の解析では、精度の良い結果は得られないのだろうか？」この命題に対して、筆者らは、周波数領域における新たな評価関数を提案し（後述の評価関数 1）、モンテカルロシミュレーションを行って、時間領域の解析と同等の精度が期待できることを示した<sup>3)</sup>。しかし、モンテカルロシミュレーションによる結果の比較だけでは十分な説明ではない。

そこで本研究では、

- 1) 筆者らが提案した周波数領域における評価関数において、観測記録のスペクトルの実数部および虚数部を考慮することの意義
  - 2) 周波数領域の解析で従来用いられてきた、鉛直アレー観測記録のスペクトル比の絶対値をターゲットとする評価関数との違い
  - 3) 上記2)の評価関数において一般に行われる、観測記録のスペクトルの平滑化を施すことの功罪
- について評価関数の形状から考察することを目的とする。

2. 鉛直アレー観測記録を利用した地盤同定問題と評価関数

鉛直アレー観測記録  $y_1(t)$  ,  $y_2(t)$  が得られているものとする。 $y_2(t)$  より計算したフーリエスペクトル  $Y_2(\omega)$  を地盤モデルへの入力とし、S波の重複反射を仮定して地盤の周波数伝達関数  $\tilde{U}(\omega)$  をこれに乗じると、地震計設置点におけるモデルの周波数応答  $\tilde{Y}_1(\omega)$  が得られる。また、これを式(1)に表すようにフーリエ逆変換することで応答の波形  $\tilde{y}_1(t)$  を求めることができる。

$$\tilde{y}_1(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{Y}_1(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (1)$$

ここに、 $\tilde{Y}_1(\omega) = \tilde{U}(\omega) Y_2(\omega)$

周波数伝達関数  $\tilde{U}(\omega)$  は地盤モ

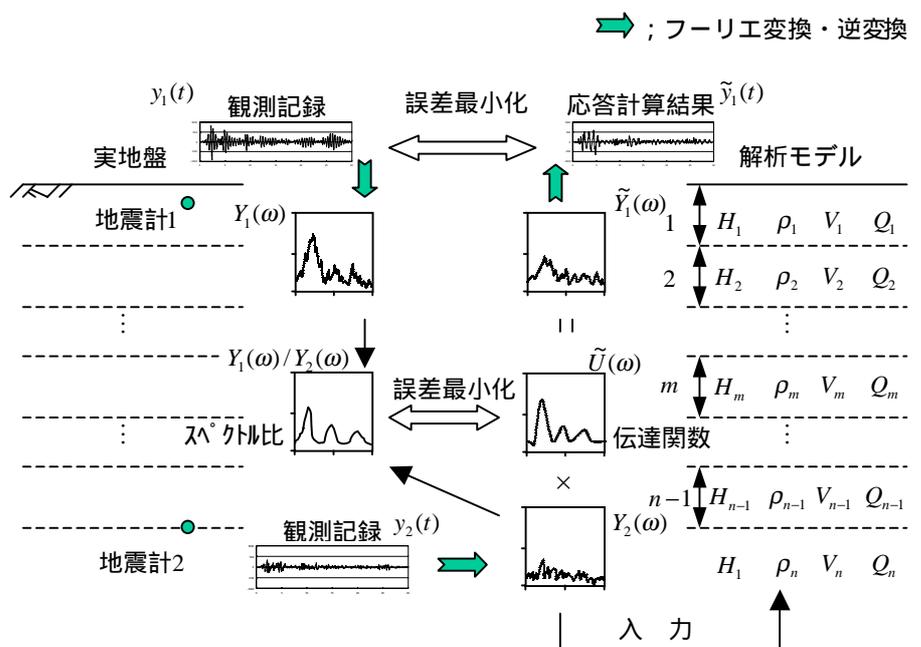


図-1 鉛直アレー観測記録を利用した地盤同定問題の概念図

キーワード 鉛直アレー，地盤，同定

連絡先 〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島 77 和歌山工業高等専門学校 TEL 0738-29-8455

デルのパラメータの関数として表される．パラメータのうち，剛性（S 波速度；V）と減衰（Q 値；Q）を未知数とすることが多い．これらの未知数を同定するために，ここでは次に示す3つの評価関数を考える．

$$\text{評価関数 1: } S_1 = \sum_{i=1}^{n/2+1} \{ \text{Re}[\tilde{Y}_1(\omega_i)] - \text{Re}[Y_1(\omega_i)] \}^2 + \sum_{i=1}^{n/2+1} \{ \text{Im}[\tilde{Y}_1(\omega_i)] - \text{Im}[Y_1(\omega_i)] \}^2$$

$$\text{評価関数 2: } S_2 = \sum_{i=1}^n \{ \tilde{y}_1(t) - y_1(t) \}^2$$

$$\text{評価関数 3: } S_3 = \sum_{i=1}^{n/2+1} \{ |\tilde{U}(\omega_i)| - |Y_1(\omega_i)/Y_2(\omega_i)| \}^2$$

ここに  $\text{Re}[\cdot]$  と  $\text{Im}[\cdot]$  はそれぞれ  $[\ ]$  内の実数部と虚数部を表す．これらのうち，評価関数 1,3 は周波数領域の解析となる．評価関数 1 は筆者らが提案したものであり<sup>3)</sup>，評価関数 3 は地盤震動記録のスペクトル比の絶対値をターゲットとする従来用いられてきた評価関数である．

### 3．評価関数の形状と考察

図-2 に地盤モデルを示す．G.L.および G.L.-20m の模擬観測記録を次のように作成した．G.L.-20m は 0.1 ~ 25Hz の有帯域ホワイトノイズとしてシミュレートし，地盤モデルの G.L.における応答を計算した．そのようにして得られた波形に対して，rms パワーでそれぞれ 10 パーセントのホワイトノイズを付加した．時刻歴のサンプル時間間隔は 0.02 秒，データ数は 1024 個とした．Q 値は各層独立とし，周波数に依存しない性質を持たせている．

図-3 は評価関数の 3 次元表示である．Q 値を図-2 に示す真値に固定して，S 波速度の推定値が種々の値をとるときの評価関数の値を計算し，これを縦軸にしている．ただし，それぞれの評価関数においてターゲットとする物理量が異なるので，縦軸の値はそれぞれの最大値を 100 として基準化している．図の横軸は S 波速度  $V_1$  と  $V_2$  の推定値とし，それぞれの真値で基準化した値を用いており，1.0 が真値を表す．図-3 の(a)に評価関数 1 の形状を示しており，これと評価関数 2 の形状がほぼ同一であることが確かめられた．同図の(b)と(c)は共に，評価関数 3 の形状を示す．(c)は，スペクトルに平滑化の処理（バンド幅 0.8Hz）を施した場合のものである．図-3 の中で(a)が， $V_1$  と  $V_2$  の真値を中心に最もシャープな形状をしている．このことは，評価関数がパラメータの変化に敏感であり，より高精度の推定値が期待できることを意味する．一方， $V_1$  と  $V_2$  の値が真値から離れたところで，評価関数の形状が複雑になっており，初期値の設定に留意する必要があることを示唆する．図-3 の(a)と(b)の違いは，評価関数における情報量の違いに因るものと考えられる．図の(a)と比較して，(b)では評価関数の断面が滑らかになっている．平滑化処理を施した場合の(c)では，さらに評価関数の断面が滑らかになっており，パラメータの変化に鈍感であることがわかる．しかし一方で，初期値の影響を最も受けにくいというプラスの効果も期待できる．

#### 参考文献

- 1) 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, pp.783-792, 1993.
- 2) 中村他；拡張ベイズ法を用いた時間領域で同定された表層地盤の減衰特性，第 11 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.211-216, 2002.
- 3) 辻原他；地盤同定問題における評価関数についての考察，土木学会年次学術講演会講演概要集，I-281, 2003.

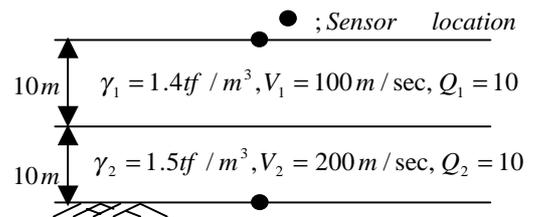


図-2 地盤モデル

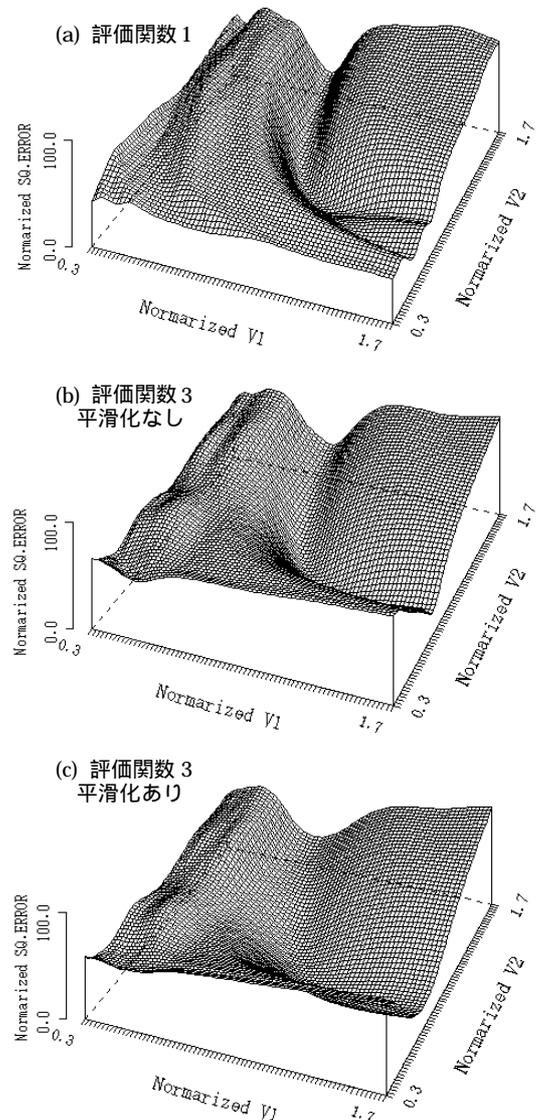


図-3 評価関数の形状