

鉛直アレー地震観測記録に適用される伝達関数推定法の特徴

日本大学 正会員 ○仲村 成貴
日本大学 正会員 鈴村 順一

1. はじめに

鉛直アレーで検討される伝達関数（または、FRF：周波数応答関数）は、観測点間の挙動の比を周波数領域で表現し、深度方向における伝達特性を示す指標として用いられる。地震時の地盤特性を逆解析により検討する場合、アレー記録から推定された伝達関数に最適化手法を適用してS波伝搬速度や減衰定数を同定することが多い。つまり、伝達関数の推定精度は物性値の同定精度に大きな影響を与える。本稿ではアレー観測記録から伝達関数を推定する手法の特徴について整理することを目的とする。

2. 1入力1出力系伝達推定法¹⁾

図1において、1入力1出力系の入力信号 x 、出力信号 y にそれぞれ雑音 v_1, v_2 が混入して w_1, w_2 が観測され、これを N 回繰り返したとする。この系のある周波数における入出力関係は、 H_1 推定と H_2 推定の幾何平均である H_v 推定で推定される。

$$\hat{g}_v = \sqrt{\hat{g}_1} \sqrt{\hat{g}_2} = \sqrt{\frac{\mathbf{w}_1^* \mathbf{w}_2}{\mathbf{w}_1^* \mathbf{w}_1} \cdot \frac{\mathbf{w}_2^* \mathbf{w}_2}{\mathbf{w}_2^* \mathbf{w}_1}}$$

ここに、振幅は入力のパワースペクトルの計測回数 $\mathbf{w}_1^* \mathbf{w}_1$ と出力のパワースペクトル計測回数 $\mathbf{w}_2^* \mathbf{w}_2$ との比の平方根、位相は入出力間のクロススペクトルの計測回数 $\mathbf{w}_1^* \mathbf{w}_2$ で表される。 \hat{g}_1 は H_1 推定であり、

$$\hat{g}_1 = \frac{\mathbf{x}^* \mathbf{w}_1}{\mathbf{x}^* \mathbf{x}}$$

分母は入力のパワースペクトルの計測回数、分子は入出力間のクロススペクトルの計測回数である。 \hat{g}_2 は H_2 推定であり、

$$\hat{g}_2 = \frac{\mathbf{y}^* \mathbf{y}}{\mathbf{y}^* \mathbf{w}_2}$$

分母は入出力間のクロススペクトルの計測回数、分子は出力のパワースペクトルの計測回数に対応する。

H_1 推定は出力のみ（図2）に、 H_2 推定は入力のみ（図3）に雑音の混入を想定していることから、アレー観測記録の処理では、入出力ともに雑音が入っているととして H_v 推定により伝達関数を推定することが多い。

3. 数値モデルによる検討

(1) 設定した信号と雑音

図4に示す水平成層地盤を対象とし、1次元重複反射理論に基づいて線形解析した観測点の応答加速度信号（継続時間 10.24s, $dt=10\text{ms}$ ）に、白色雑音を混入させて観測値とした。白色雑音は、平均値 0、標準偏差 0.5 の正規分布を持つ乱数に、観測点 6 における応答信号の RMS 値を乗じて表現した。観測点 1, 5 の応答信号および雑音のパワースペクトルを図5に、それらの比をとった雑音比の設定値を図6に示す。乱数の値を変化させて、異なる雑音を含む観測値をそれぞれ 100 組作成した。

(2) 伝達関数の推定結果

観測点 1 を入力点、観測点 5 を出力点とし、100 回分の観測値を用いて上記 3 手法で推定した伝達関数を図

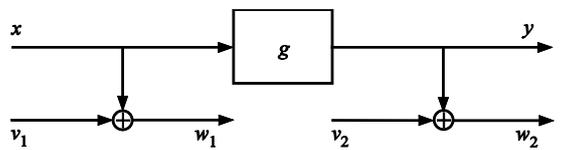


図1 入出力双方に雑音が入る系

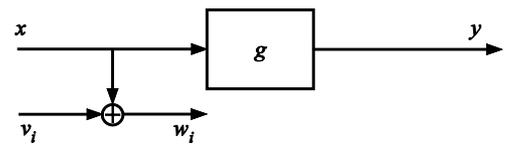


図2 出力のみに雑音が入る系

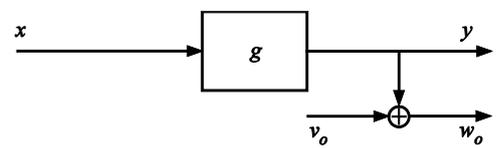


図3 入力にのみ雑音が入る系

キーワード 伝達関数, 周波数応答関数, 鉛直アレー地震観測, 雑音

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 TEL03-3259-0689

7に設定値と併せて示す. 顕著な特徴が現れた3つの周波数帯域(0~2Hz, 1次共振点付近, 逆共振点付近)に着目する.

(a) 0~2Hz: 図8(1)に0~2Hzを拡大して示す. この帯域の信号振幅は小さく, 出力は入力と等しいか, やや大きい. また, 信号成分に比べ雑音成分が大きい(図5). H_1 推定と H_2 推定では設定値から大きく外れる. H_1 推定では対象点挙動を過小に推定し, H_2 推定では過大に推定する. 両者の幾何平均を採る H_v 推定が結果として設定値に近い.

(b) 1次共振点付近: 入力より出力の信号振幅が極端に大きい帯域である. 図8(2)に1.8~2.8Hzを拡大して示す. 共振点では入力の信号成分が大きく, 出力の雑音比が伝達関数形状を支配する. H_2 推定では, 雑音の影響が少なく適切に評価される. H_v 推定と H_1 推定では, この順に雑音の大きさの影響を強く受ける. ピークでは出力の信号成分が大きく, 入力の雑音比が伝達関数形状を支配する. このため入力の雑音を考慮する H_2 推定の精度は高い. H_2 推定とは逆に, 入力に混入する雑音の影響を受けて H_1 推定の推定精度は極めて低く, 雑音の大きさに対応してピーク値も大きく変動する.

(c) 逆共振点付近: 入力より出力の信号振幅が極端に小さい帯域である. 任意に選択される基準点の採り方によっては, 出力の逆共振点は他の点のピークに相当するので, 逆共振点における推定精度の検証も重要である. 図8(3)に8~10Hzを拡大して示す. 逆共振点では入力より出力の信号が大きいため, 出力の雑音比が伝達関数形状を支配する. よって出力の雑音を評価する H_1 推定の精度は高い. 逆に入力の雑音を考慮する H_2 推定の精度は低く, H_v 推定はこれらの平均を採る.

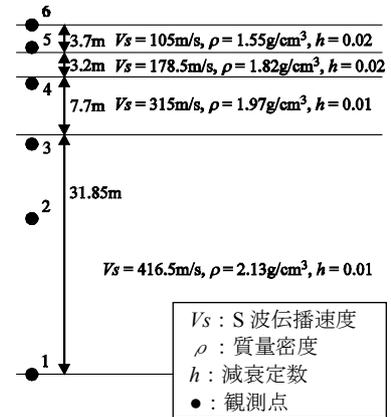
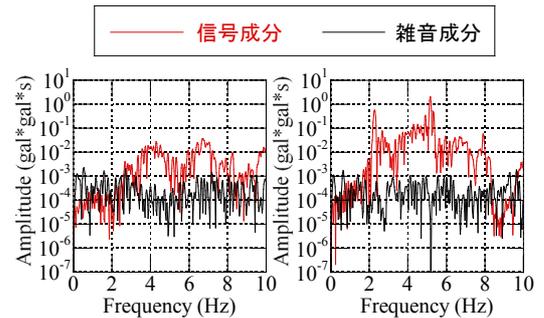
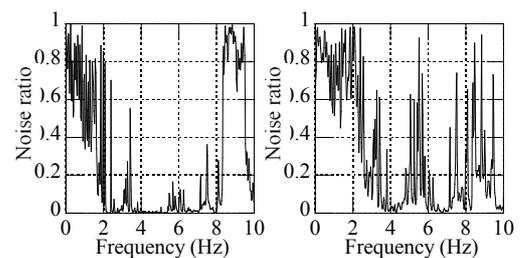


図4 地盤モデル



(a) 観測点2 (b) 観測点5

図5 信号と雑音のパワースペクトル



(a) 観測点2 (b) 観測点5

図6 設定した雑音比

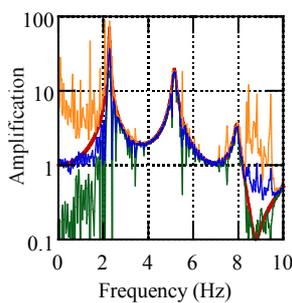
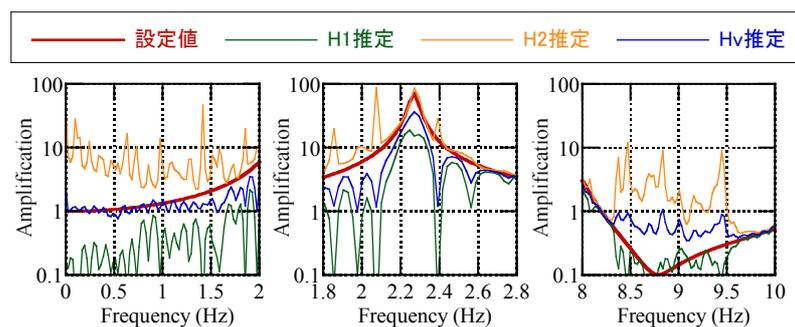


図7 推定伝達関数



(1) 0~2Hz (2) 1次共振点付近 (3) 逆共振点付近

図8 推定伝達関数(拡大)

4. おわりに

1入力1出力系の伝達関数推定法である H_1 推定, H_2 推定, H_v 推定では, 入出力間の信号振幅の大きさの比と, 雑音の混入程度により伝達関数の推定精度が左右されることを確認した. 適切に伝達関数を推定する手法が望まれる.

参考文献

1) 花田和史: 地盤一構造物系の動特性と動剛性の同定法, 電力中央研究所総合報告, UO5, 1988.