

III-37 逆解析手法を用いた鉛直アレー観測記録に基づく 動的地盤物性の推定に関する研究

日本大学工学部 学 ○西山 映 宮崎 篤志
日本大学工学部 正 中村 晋

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、各種土木構造物の耐震設計を行う上で、断層機構を考慮した地震動の予測が極めて重要となっている。地震動の特性は震源・伝播・増幅特性の3つの因子に支配され、地震動予測式の精度はそれらのばらつき等に依存する。ここで地震動の増幅特性は、地盤内の鉛直アレー観測などの適切な地震観測データが得られればそのばらつきを評価することが可能となる。そのばらつきは地盤構造や地盤物性の不均質性等に依存すると考えられる。両者とも直接的に評価することは困難であるが、観測記録に基づいた地盤物性の同定を行うことにより、地震動の増幅特性のばらつきに及ぼす地盤の動的物性のばらつきに基づき間接的な評価を行うことが可能であると考えられる。

ここでは、地震動の増幅特性のばらつきに及ぼす地盤物性の影響を把握するため、地震観測記録の増幅特性とそれに基づいて同定された地盤物性のばらつきとの比較を行った結果を報告する。地震記録に基づく地震動の増幅特性は、バンド幅の周波数依存性を考慮した最適フィルターを用いて求めたベクトルスペクルの比として算出した。また、地盤物性の同定は拡張ベイズ法を用いて実施した¹⁾。

2. 動的地盤物性の推定方法

2-1 動的地盤物性の推定方法

動的地盤物性の推定方法は、地盤の地震波伝播系のモデル化、観測記録に基づく地震動増幅特性の評価、逆解析手法に基づく地盤物性の同定の3つのプロセスによって構成されている。ここで、地盤の地震波伝播系のモデル化を行う際、地震観測サイトの地盤と地震動の伝播特性は水平成層構造、鉛直方向伝播と仮定する。また、地震動の理論増幅特性は鉛直方向のS波重複反射理論により算出し、観測記録に基づく地震動の増幅特性はベクトルスペクトルの比により算出した。また地盤物性の同定は拡張ベイズ法により実施した。

2-2 周波数特性の推定誤差の最適化手法

ベクトルスペクトルの推定精度を向上することは、その比として評価される増幅特性の推定精度を向上させるために重要である。その際、最適な期待値を推定するためのフィルター処理に用いるバンド幅を適切に設定することが重要となる。スペクトル推定値の推定誤差 ϵ^2 は、式(1)に示すようにスペクトル推定値の分散と偏りの自乗の和として与えられる。ここで Be はバンド幅であり、式(1)に示すように分散及び偏りに対して相反する特性を有している。周波数毎の最適バンド幅 $Be(f)$ は式(1)に示す周波数毎に ϵ^2 を最小化する値、言い換えれば、極小値を与える有意なバンド幅 $Be(f)$ として求めることができる。すると式(2)としてバンド幅 $Be(f)$ が得られる²⁾。

$$\epsilon^2 = \frac{E \left[\left(\hat{G}x(f) - Gx(f) \right)^2 \right]}{G^2 x(f)} \approx \frac{1}{BeT} + \frac{B^4}{576} \left(\frac{G''x(f)}{Gx(f)} \right)^2 \quad (1)$$

$$Be(f) = \left\{ \frac{144}{(Gx''(f)/Gx(f))^2 \cdot T} \right\}^{\frac{1}{5}} \quad (2) \quad G_x : \text{フーリエスペクトルの真の推定値}$$

T : 平均を取る時間

2-3 逆解析手法

拡張ベイズ法では式(1)に示す目的関数を用いた。ここで、共分散マトリックス $[R]$ は幾つかの地震について求めた地震観測記録に基づく周波数応答倍率の分散特性に基づいて設定した。また第1項は各層の未知パラメータ x であるせん断弾性 G_i , h_i , b_i で構成される減衰特性の先見情報に関する項である。ここで $\bar{x}$ はそれら未知パラメータの期待値、 $[M]$ は各未知パラメータの共分散マトリックスを表す。せん断弾性に関する共分散は原位置調査結果に基づいて設定した。

$$J_2 = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \left\{ x_j - \bar{x}_j \right\}^T M_{x_j}^{-1} (x_j - \bar{x}_j) + (S_{ob}(w_j) - S_{cal}(w_j))^T R^{-1} (S_{ob}(w_j) - S_{cal}(w_j)) \} \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$x_j = \{(\dots, G_j, \dots), (\dots, h\sigma, \dots), (\dots, b, \dots)\}^T$$

3. 地震動の増幅特性

ある地点 A⁰ で実施された鉛直アレー観測に対する地表(GL-1.2m)および地中 2 点で観測された記録の周波数応答倍率と、地表および地中 2 点で地震毎に求めた周波数応答倍率の平均値の比較を図-1、各地点における周波数応答倍率の変動係数(1σ)の比較を図-2 に示す。図-1 より、周波数 0.7Hz および 2.0Hz に見られる周波数応答倍率のピークは各地点とも共通に見られる。それより高周波数側について見ると、地中 2 点の周波数応答倍率は 5.0、6.0Hz に 2.0~3.0 倍程度の増幅を示すピークが認められるものの同程度の値となっている。一方、地表の周波数応答倍率は周波数 5.0~10.0Hz において他 2 地点より応答倍率が大きな値となっている。また、周波数応答倍率の変動についてみると、地表と地中 2 点における周波数 2.0Hz より低周波数側では周波数応答倍率のピークを与える周波数近傍での変動係数が 20%程度とほぼ同程度の値となっている。しかし、周波数 5.0~10.0Hz では地表の周波数応答倍率の変動が 30%程度と他 2 地点における変動(20%程度)より大きな値となっている。

4. 動的地盤物性の同定とそのばらつき

地震毎の周波数応答倍率に基づいて行った同定により得られた動的地盤物性のうちせん断剛性を S 波速度に変換し、図-3 に示す。また、せん断剛性の事前情報である初期値は図-1 に示した平均周波数応答倍率に対する同定結果を用いた。また、同定された S 波速度のばらつきは、かなり小さいことが分かる。次に、同定により得られた減衰特性の深度分布について図-4 に示す。ここで減衰定数の逆数として得られる周波数 1.0Hz に対する Q 値は 10 程度、減衰定数に換算し 5%とほぼ現実的な値を得ることができたと考える。

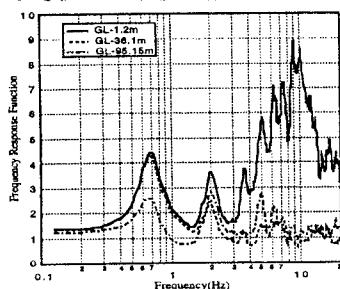


図-1 地表および地中における平均周波数応答

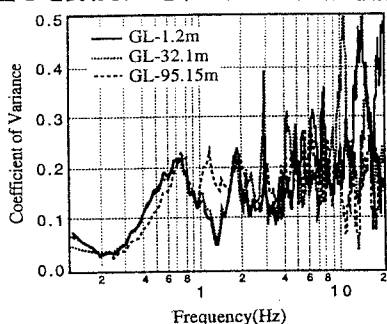


図-2 各周波数応答倍率の変動係数

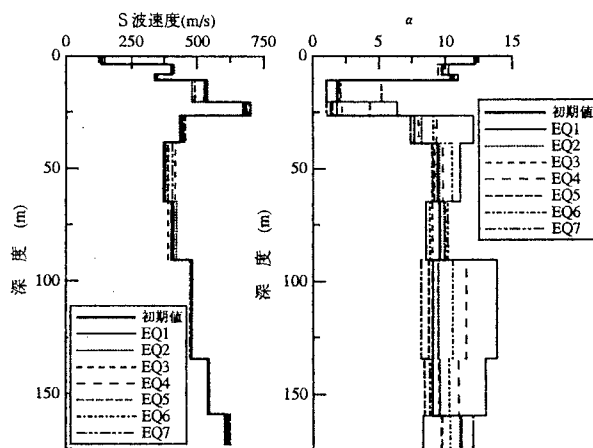


図-3 同定により得られた S 波速度
図-4 同定により得られた Q 値 (=1/2h) 周波数(1.0Hz)

5. おわりに

S 波速度は、初期値にほぼ同程度となっていることがわかり、Q 値について見てみると全体の値が 10 前後となっており、現実的な減衰定数の値が得られていることがわかった。また、今後は他の方法との比較、検討を行いたい。

参考文献

- 1) 中村 晋：鉛直アレー観測に基づく逆解析手法を用いた基盤地震動の推定、地盤工学における逆解析の適用と施工管理におけるシンポジウム 平成 9 年 6 月 P73-78
- 2) 中村 晋：スペクトルの平滑化に用いるバンド幅の最適化に関する一考察、土木学会第 54 回年次学術講演会 平成 11 年 9 月 P244-245