常時微動の位相速度と H/V スペクトルに基づく動的地盤特性の推定

○福井大学工学部	正会員	小嶋	啓介
福井大学大学院		辻森	卓実
福井大学大学院		苖加	一典

1. はじめに

地震被害予測を行う際に,地域の動的地盤構造を明 らかにすることは最重要課題の一つである.地盤構造 評価には,弾性波探査法やPS検層を用いるべきである が,コストなどの面から,広い領域を高密度で実施す ることは容易でない.これに対し,計測が容易な常時 微動に基づいて地盤構造を推定する試みが数多く提案 されている.本研究では,福井平野の東西軸に沿って 実施した,1点3成分常時微動観測とアレイ観測から 求められた,位相速度とH/Vスペクトルに基づいて, 観測点直下の層構成,S波速度およびQ値を推定し, 既存資料との比較を行い,その信頼性を検討する.

2. 常時微動測定

図1は、福井平野周辺の地形図上に、強震および常 時微動観測点を示したものである.観測点は, PS 検層 が行われている,福井土木事務所前(FDO)と,弾性波 探査測線の延長上にある, 宮ノ下グラウンド (MIY), 河合小学校 (KAW),ハートピア春江 (HTH),丸岡スポ ーツランド (MSL), 丸岡高校 (MHS) である. 各観測点 で,常時微動のアレイ観測と1点3成分観測を行った. 観測には、アカシ製のJEP-6A3を1台とJEP6A1を3台、 ならびに白山工業製の DATAMARK-LS8000SH を組み合わ せて用いた. アレイ観測の半径は 5m, 15m, 40m の 3 セットを基本とし、サンプリング周期 0.01 秒で、約 350 秒を収録した. 位相速度の算出には空間自己相関 法(SPAC法)を採用した.1点3成分観測データとし ては、ノイズを避けた81.92秒ずつ5区間を抽出し、 フーリエ解析を行い, Parzen ウィンドウ処理を行った 後,H/Vスペクトルを算出した.



図-1 常時微動観測地点

3. 動的パラメータの同定手法の定式化

常時微動のアレイ観測から,動的地盤特性を同定す る場合には,観測位相速度をターゲットとし,S波速 度および層厚を求める場合が多いが,その場合には減 衰特性の推定はできない.本研究では,微動を表面波 ならびにS波の重複反射の両側面から捉え,位相速度 とともに地盤の増幅率を目的関数とした同定を試みる. ただし,微動観測は地表面のみでしか行っていないた め,H/V スペクトルが観測増幅率に代用できるものと 仮定する.この時,目的関数は次式で表される.

$$\frac{1}{F} = \alpha \sum_{i=1}^{N_c} \left(\frac{c_i^O - c_i^C}{\sigma_i} \right)^2 + (1 - \alpha) \sum_{j=1}^{N_t} \left(\frac{T_j^O - T_j^C}{T_j^O} \right)^2$$

ここに、F: 適応度関数、 α : 位相速度と増幅率の寄与 を調整する係数(0~1:ここでは 0.8)、 C_i^o : i番 目の周波数の観測位相速度、 C_i^c : C_i^o に対応する計算 位相速度、 σ_i : 観測位相速度の分散、 T_j^o : j番目の 周波数の基準化した観測 H/V スペクトル、 T_j^c : T_j^o に 対応する基準化した計算増幅倍率を示している. なお、 最適地盤構造の検索には、グレイコードによって遺伝 子を表現し、トーナメント法による抽出、一様交叉と エリート選択を利用した遺伝的アルゴリズムを採用し た.パラメータの同定に際し、密度は一定とし、P 波 速度は、S 波速度と Vp=1.11Vs+1290の関係があるとし、 推定対象とはしない、逆解析を行う場合の初期の地盤 モデルは、観測位相速度の形状から設定した.

4. 解析結果

図-2の〇印は,FD0 におけるPS検層に基づく層 構成とS波速度ならびに設定したQ値に基づく理論位 相速度と、増幅倍率をそれぞれ示している.これらを 位相速度と地盤増幅率の観測値とみなし、初期値を設 定値の±50%以内に想定し、最適化計算を行った.パラ メータの最適化に伴い、灰色線の初期値から、実線の 最適値となり、正解である〇印を精度良く再現できる パラメータが推定されていることがわかる.

図-3は,FD0 での常時微動観測から求められた位 相速度とH/Vスペクトルに対し,同様の計算を行った ものである.位相速度においては観測値と逆解析結果 が非常に良く一致し,増幅倍率においては,形状は異



なっているが,観測 H/V ス ペクトルのピークは推定結 果が捉えているのがわかる.

図-4は、図-1の▲で 示した5つの微動観測点に 対し、FD0 と同様の最適化 計算を行い、求められたS 波速度とQ値の深さ方向の 分布を示している.S波速 度 400m/sec 以下の沖積層 は、平野西側で厚く推定さ れているのに対し、S波速

Vs (m/sec) Vs (m/sec) Vs (m/sec) Vs (m/sec) Vs (m/sec) ٥ 1000 2000 ٥ 1000 2000 ٥ 1000 2000 ٥ 1000 2000 ٥ 1000 2000 0 0 0 0 0 50 50 50 100 100 100 100 100 150 150 150 150 150 S波速度 Q值 200 200 200 200 200 250 250 250 250 250 10 20 30 20 0 10 20 20 30 10 30 20 30 10 0 10 0 0 MHS KWA Q Q Q нтн MD Q MSI



度 2000m/sec の基盤深度は,平野の中央で深く 推定されている.Q値については,どの推定点 に対しても,沖積層で7前後,洪積層では 20 前後の値として推定されている.

Ê

Depth

図-5は,推定された福井平野東西断面の沖 積層の構造を,既存のボーリングおよび弾性波 探査結果と比較したものである.MHS を除く地 点は,沖積層は2層でモデル化しているが,そ の最深部はボーリングデータに基づく沖積層深 さに近い値として推定されている.MHS では沖 積層を1層でモデル化したが,推定値はボーリ ングデータより,弾性波探査に基づく反射面 I に近く推定されている.図-6は第四紀層構造 の比較である.中央では第4紀層が厚くなり, 東西の山地に向かうにしたがって薄くなる構造 として推定されている.中央のHTH 地点ではや や浅めであるが,推定された第四紀層最下面に ついては,ボーリングデータならびに,弾性波 探査による反射面IVと良好に対応している.

5. あとがき

常時微動観測から求めた位相速度とH/Vスペ クトルに基づき,層厚,S波速度およびQ値を 同時に推定する手法を提案した.H/Vスペクト ルを増幅率の近似値と見做す点はやや大胆では あるが,推定された地盤構造は,既存資料と矛盾が少 なく,S波速度構造と減衰特性を同時に推定する方法 として利用できる可能性を確認できた.



図-6 福井平野東西方向の第四紀構造の比較

参考文献:長尾・紺野:常時微動アレー観測に基づく表層地 盤の平均 S 波速度推定精度による研究 土木学会論文集 No.696/I-58, 225-235, 2002.

1-759