

並進・回転6成分を用いた表面波の位相速度推定

○福井大学大学院 学生員 森 健人

福井大学大学院 正会員 小嶋啓介

1. はじめに

微動アレイ観測を用いた地下構造探査が行われているが、従来の観測対象である並進成分に回転成分を加えることにより、推定精度の向上が期待できる。本研究では、従来の観測対象である並進3成分に加えて、回転3成分を活用した表面波特性の算出法などを検討する。回転成分については、回転速度計による直接観測と、並進3成分の空間微分による近似計算値を比較する。

2. 微動アレイ観測の概要

アレイ観測は福井大学グラウンドで実施し、配置は図1に示すような2重正三角形アレイとした。□とTで示す3成分並進速度計6台と、○とΩで表す3成分回転速度計4台の、合計10台による同時観測を行った。図に示すアレイ半径R2として、2, 10, 20, 40mを採用し、合計4回観測した。並進速度計はLennartz社LE-3D/Lite、回転速度計はeentec社R2型回転速度計であり、白山工業のLS8800を用い、200Hzで各回約10分の記録を収録した。

3. 空間微分による回転成分の算出

回転速度の直接観測値の精度確認の意味もあり、並進成分の空間微分による加減成分の算出も行った。高次成分を無視すると、三角形の3頂点の並進速度 $\mathbf{v}$ から、重心位置での値 $\mathbf{v}_0$ と、空間微係数 $\partial v/\partial x$ 、 $\partial v/\partial y$ が式(1)から求められる。ここに、下添え字は成分、上添え字は頂点等の位置を示す。式(1)を解いて $\mathbf{v}_0$ と微係数を求め、地表面で上下方向に関連する応力がゼロである条件を導入すれば、三軸回りの回転速度 Ω は式(2)から求められる。

$$\begin{bmatrix} v_x^1 & v_y^1 & v_z^1 \\ v_x^2 & v_y^2 & v_z^2 \\ v_x^3 & v_y^3 & v_z^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & dx^1 & dy^1 \\ 1 & dx^2 & dy^2 \\ 1 & dx^3 & dy^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x^0 & v_y^0 & v_z^0 \\ \partial v_x/\partial x & \partial v_y/\partial x & \partial v_z/\partial x \\ \partial v_x/\partial y & \partial v_y/\partial y & \partial v_z/\partial y \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{Bmatrix} \Omega_x \\ \Omega_y \\ \Omega_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -\partial v_z/\partial x \\ \partial v_z/\partial y \\ (\partial v_y/\partial x - \partial v_x/\partial y)/2 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

図2は半径R2を2mとした時の、図1のΩ3とΩ4の位置の

回転計と対応する位置の空間微分による回転速度のスペクトルの比較である。Ωx成分については類似しているが、ΩyとΩz成分については、場所と計算法による違いが大きい。また、回転速度計では、全体的に空間微分による値より小さく、 $0.5 \times 10^{-7}(\text{rad/s})$ 程度のノイズのような振幅が、全周期体で認められる。

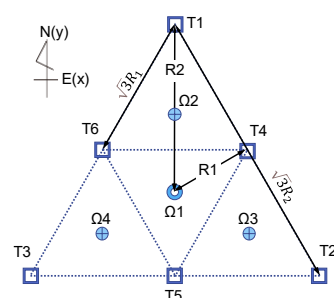


図1 並進・回転計アレイ配置

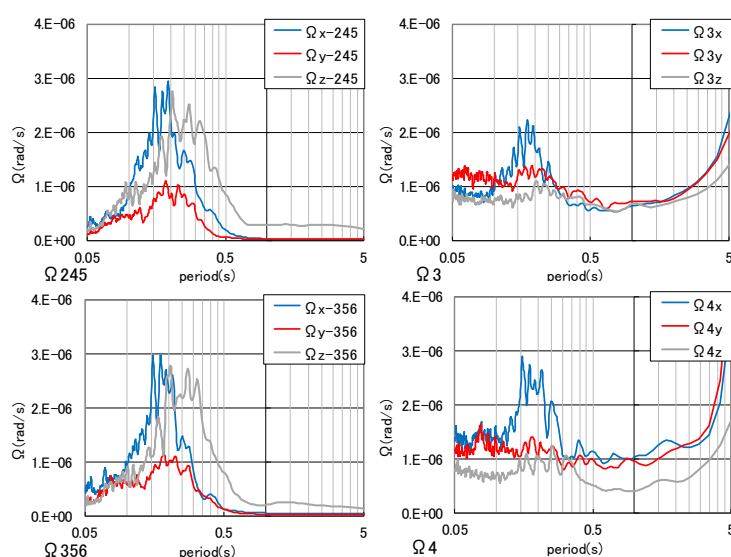
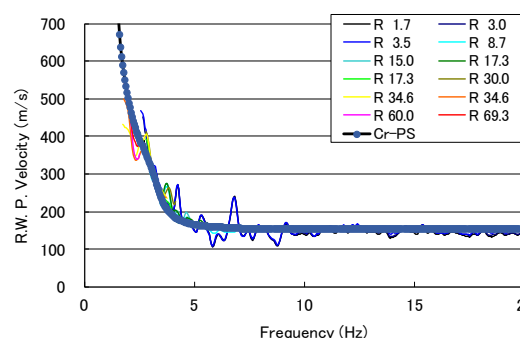
図2 回転速度スペクトルの比較
(Ω3:上段, Ω4下段, 左:空間微分, 右:回転計)

図3 SPAC法によるRayleigh波速度

キーワード 並進・回転6成分観測, Rayleigh波, Love波, 到来方向, 位相速度

連絡先 〒910-8507 福井市文京 3-9-1 福井大学工学研究科 TEL 0776-27-8592

4. 位相速度

本研究では、従来の SPAC 法、拡張 SPAC 法ならびに 6 成分による並進加速度と回転速度の比を用いる、3 種類の方法によって表面波位相速度の算出を試みる。なお、回転速度については、並進速度の空間微分と回転計による直接測定値の比較を行う。図 3 は従来の SPAC 法による Rayleigh 波位相速度である。図 1 に示す 4 回のアレイ半径、1m から 69.2m までの結果を統合した結果である。同図のプロットは周辺の PS 検層などによって作成したモデルによる理論速度である。図-4 は拡張 SPAC 法による結果である。両手法ともモデル地盤との整合性は高いと判断できる。

単点 6 成分記録から表面波の位相速度の算出法は下記の通りである。Rayleigh 波と Love 波が同一方向から伝播する平面波であると仮定する。水平軸周りの回転速度 Ω_x と Ω_y は Love 波の影響を受けないことから、伝播方向に卓越性がある場合には、その伝播方向が推定でき、座標変換を行い動径と接線方向成分が求められる。並進加速度と回転速度のフーリエ振幅比をとることにより、 α_z/Ω_T 、 α_T/Ω_z から両表面波の速度を求めることができる。図 5 は並進加速度と回転速度から算出した Rayleigh 波位相速度である。同図には、半径 1~20m までの 4 種の観測による結果を重ね書きしているが、ばらつきは大きいものの、PS 検層モデルによる理論値周辺に対応している帯域が認められ、SPAC 法と同様に半径が小さくなるにつれて、高周波側にその帯域がずれるような傾向が見受けられる。空間補間によって回転角を求める場合は、補間点間距離を波長の 1/5 程度以下に設定する必要があると思われる。例えば 5Hz で波長を 35m 程度とすれば、補間距離は 7m 程度以下にする必要があり、アレイ半径 10, 20m では大きすぎることになる。図 7 は、同様に Love 波速度の推定結果である。Rayleigh 波と同様の傾向があるが、低周波数側でずれが大きく、ばらつきはより大きい。これは、有意な伝播方向が評価できない場合には、接線方向の並進加速度に Rayleigh 波の影響が混在することもある原因のひとつと考えられる。

図 8 は、回転計の観測値を用いて算出した両表面波速度であるが、ばらつきが大きく PS 検層モデルと比較して Love 波は過大、Rayleigh 波は過小評価となっている。これは、図 2 に示したとおり、使用した回転速度計が微動レベルの回転成分を十分な精度で観測できていないことに起因していると思われる。

5. おわりに

常時微動を対象とし、並進回転の 6 成分アレイ観測を行い、表面波位相速度の算出を試みた。並進加速度と回転速度の比から位相速度が算出できる可能性があることを確認した。一方で、使用した回転速度計は、微動レベルを対象とする場合には精度が不十分であり、観測方法や補正法の改善が必要であることがわかった。

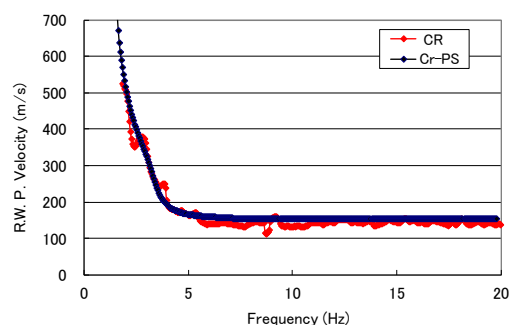


図 4 eSPAC 法による Rayleigh 波速度

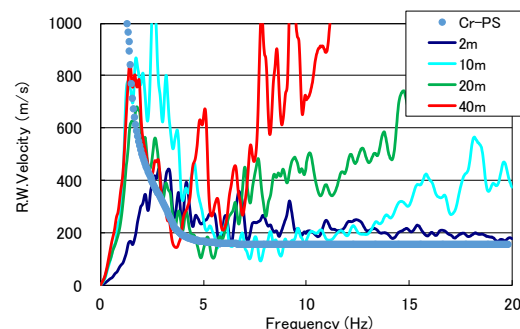


図 5 アレイ重心位置の並進加速度と空間微分による回転速度を用いた Rayleigh 波速度

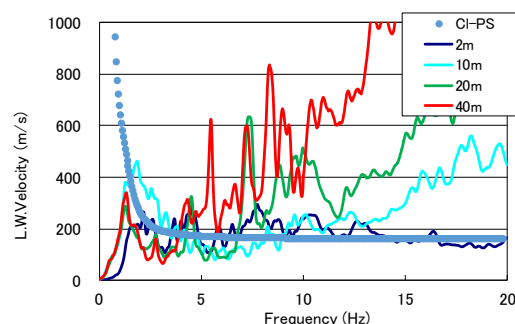


図 7 アレイ重心位置の並進加速度と空間微分による回転速度を用いた Love 波速度

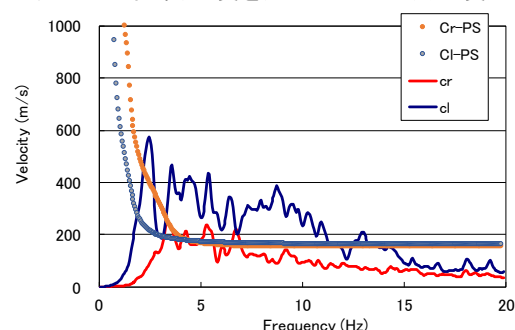


図 8 回転計の観測速度を用いた位相速度