

福井大学文京キャンパスでの6成分地震観測と位相速度の算定

福井大学大学院 非会員 松本 和樹
福井大学大学院 正会員 ○小嶋 啓介

1. まえがき

従来の微動・地震観測は並進3成分を対象とし、アレイ観測やH/Vスペクトルに基づいて地下構造の推定が行われてきた。回転3成分についてはその有用性が指摘されていながら、観測が難しいことから、利用実績は少ない。本報告では、最新の可搬型の回転速度計を用いた地震動観測とその応用について検証を行う。

2. 福井大学文京キャンパス6成分観測

本研究室では、2022年初頭から6成分観測を開始し、現在は図1に示す文京キャンパス内の5か所で、観測を継続している。図2は使用している計測器であり、Lennartz社LE-3D/Lite並進速度計、eentec社R2型回転速度計の外観を示して



図2 並進速度計と回転速度計



図1 福井大学6成分観測点

いる。データ収録は白山工のLS8800を用い、200Hzで常時観測を行っている。2023年2月時点で、15個程度の地震が記録されている。

3. 解析手順の概要

本報告では対象を、鉛直方向の並進速度 v_z と鉛直軸周りの回転速度 Ω_z が次式で例示するような、角度 θ で入射する角周波数 ω の Rayleigh 波と Love 波の集まりであると仮定する。他の成分は省略。

$$v_z^R(r, t) = A_z^R \sin(\omega t - \kappa_R r + \phi_R) \quad (1)$$

$$\Omega_z^L(r, t) = -A_L \kappa_L \cos(\omega t - \kappa_L r + \phi_L) \quad (2)$$

ここに、 t は時間、 r は入射方向の距離、 A : 振幅、 κ は波数、 ϕ : 位相、 R, L : 表面波の種類である。

本報告での解析手順を以下に示す。

- 1) 観測地震動を 20.48 秒ごとの小区間に分割する。
- 2) 区間ごとにスペクトル解析し、周波数成分ごとの表面波の到来方向を次式で推定する。

$$\theta(\omega) = \tan^{-1} \left(-\frac{\Omega'_X(\omega)}{\Omega'_Y(\omega)} \right) \quad (3)$$

ここに、 Ω'_X, Ω'_Y は水平軸 X, Y 回りの回転速度振幅である。これは、水平軸周りの回転が、Rayleigh 波のみに依存することを利用している。

- 3) 水平方向の並進速度と、水平軸周りの回転速度の座

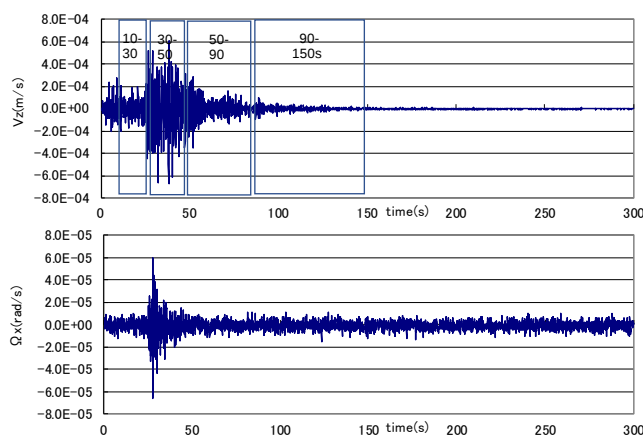


図3 並進および回転速度の時刻歴波形

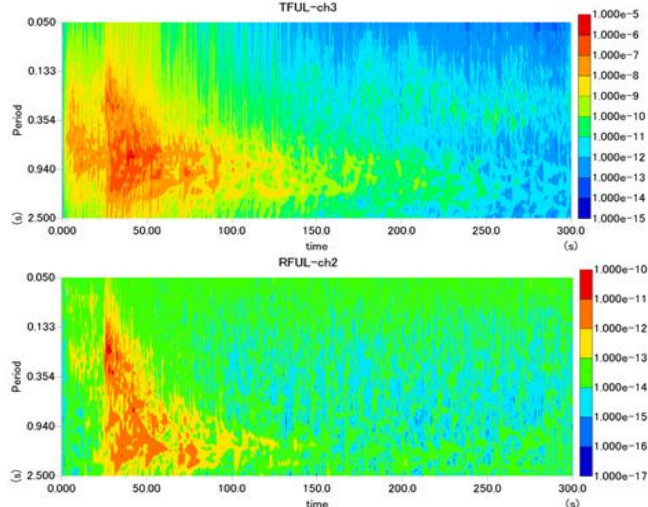


図4 並進(上)と回転(下)の非定常パワースペクトル

キーワード 並進・回転6成分観測、地震動、表面波、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

標変換を行い、動径、接線方向データを作成する。

4)並進加速度と、回転速度のフーリエスペクトルを求め、次式を用いて表面波の速度 c_R , c_L を推定する。

$$\frac{\alpha_Z^R(\omega)}{\Omega_T^R(\omega)} = \frac{\omega A_V^R}{A_V^R \kappa_R} = \frac{2\pi}{T} \bigg/ \frac{2\pi}{c_R T} = c_R(\omega) \quad (4)$$

$$\frac{\alpha_T^L(\omega)}{\Omega_Z^L(\omega)} = \frac{\omega A^L}{A^L \kappa_L} = \frac{2\pi}{T} \bigg/ \frac{2\pi}{c_L T} = c_L(\omega) \quad (5)$$

ここに、 A は並進速度振幅、 κ は波数、 R, L は Rayleigh 波と Love 波を表す添え字、 T は周期である。

4. 解析結果

本稿では 2022 年 6 月 19 日 15 時 08 分ごろ能登地方で発生したマグニチュード 5.2 の地震の解析について記述する。図 3 は対象地震の上下並進動と、東西軸 X 回りの回転速度の時刻歴である。図 4 は非定常パワースペクトルである。並進速度を見ると、25 秒付近で主要動が始まり、0.6s から 1.2s 程度にピークを持ちながら減衰していることが読み取れる。回転速度は並進動より長周期側の成分が多く、75 秒付近では 1 から 2s 前後の狭い範囲に集中している。また、150s 以降は明確な集中が見られなくなっている。

図 5 はそれぞれの区間でのフーリエスペクトルで、左上から右下に、図 3 に□枠で囲んだ 10-30s, 30-50s, 50-90s, 90-150s の区間に対応している。左軸が並進の水平と鉛直加速度、右軸が回転速度に対応している。主要動を含むと思われる 10~50s では 0.3s 以下の短周期成分が卓越しているのに対し、以降では短周期成分が減少し、0.7 から 1.5s 程度の成分の卓越が読み取れる。

式(4),(5)を、各区間に適用して求めた Rayleigh 波位相速度と Love 波位相速度を図 6 に示す。図中の黒い太線は、キャンパス内で実施された PS 検層と、グラウンドで実施したアレイ観測結果などから作成した地盤モデルによる基本モードの理論速度である。Rayleigh 波位相速度は、表面波の仮定が成り立たないと思われる 10~50s ではランダムな値が得られている一方で、50-90s 区間に着目すると、2Hz 以上で、連続的な正の分散性が見られ、理論速度との一致度も高いことがわかる。一方、Love 波は Rayleigh 波以上に変動の大きな結果となった。式(4)の分子の鉛直加速度は Rayleigh 波のみに依存するのに対し、(5)の分子の並進加速度には、両表面波の影響が含まれており、厳密な接線成分の分離が必要なこと、すなわち伝播方向に関する要件が厳しいことが、ばらつきが大きい要因と思われる。

6. あとがき

単点での並進・回転の 6 成分を対象とした強震動データを用いて、並進加速度と回転速度の振幅比をとることによって、表面波位相速度の推定を試みた。実体波が減衰し表面波が優勢となったと考えられる区間では、Rayleigh 波速度が求められる可能性が示された。一方で微動に近い微弱な振動区間では、位相速度が求められず、回転速度の観測精度の向上が必要であることが示唆された。

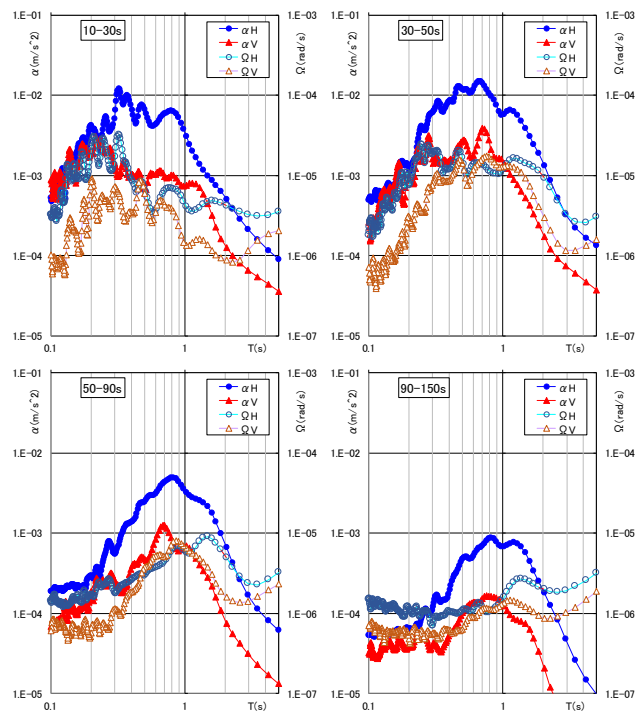


図 5 区間ごとの並進・回転成分のスペクトル

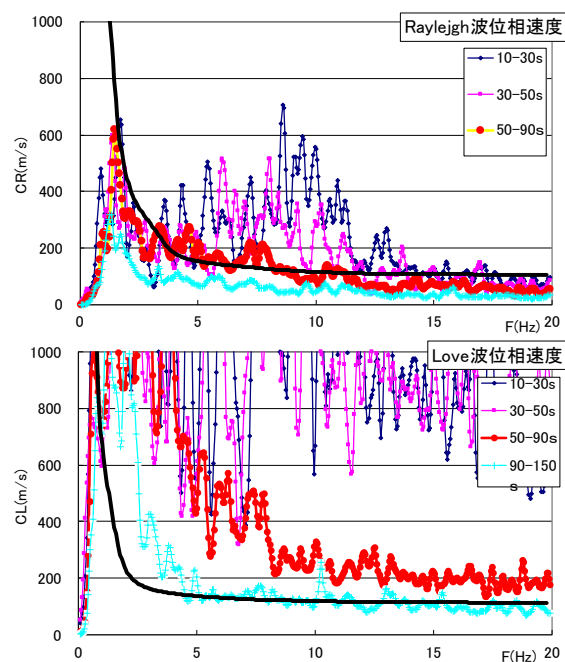


図 6 Rayleigh 波(上)と Love 波速度