

1. まえがき

地震動の波動特性を把握する1つの方法として、粒子軌跡を利用することが行われる。この粒子軌跡は、震源の方向や、表面波などの波形識別の手掛かりを与えるものとして利用しやすい。また、地震動の3次元的な挙動を知るためにも利用できよう。この軌跡は一般に、2成分の記録をもとにして、その軌跡を直交2軸の平面上にプロットして表わす。軌跡の時間的变化は、地震動を時間方向で分割し、その各区間内その軌跡を描くのが普通であり、また、周波数成分波の軌跡を求めるには、マルチフィルター法等を用いて各周波数成分波に分解し、その成分波の軌跡を求めるのが一般的であろう。しかしながら、この方法は軌跡図が多くなりすぎるため、各周波数成分波の軌跡が時間とともにどのように変化するかを検討するには不適當であろう。このように、上記の軌跡の表現方法は、運動の形態を視察できるという大きな特徴はあるが、利用しにくい点もまた多い。したがって、本報告では、この軌跡を回転スペクトルを利用して表現することにより、各周波数成分波の軌跡の時間的变化等、より詳細な軌跡の情報が得られることを示す。なお、今回は軌跡の表現方法とその妥当性を示すにとどめ、実地震波の解析例は別の機会に報告する。

2. 軌跡と回転スペクトル

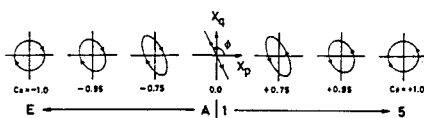
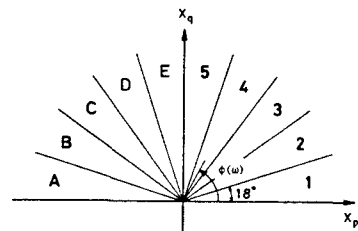
回転スペクトルは2成分の時系列を複素平面で表現し、その位相差を楕円の形状で表現したものであり、楕円の形状および回転方向を示す C_R および楕円の長軸の傾きを示す角度 ϕ の2つのパラメーターにより表現される。この2つのパラメーターは、非定常相互スペクトル $S_{p\bar{q}}(\omega, j)$: $p=1, 2$; $q=1, 2$ を用いて次のように表わされる。

$$C_R(\omega, j) = -\frac{2 \operatorname{Im} S_{12}(\omega, j)}{S_{11}(\omega, j) + S_{22}(\omega, j)}, \quad 2\phi(\omega, j) = \tan^{-1} \left\{ \frac{2 \operatorname{Re} S_{12}(\omega, j)}{S_{11}(\omega, j) - S_{22}(\omega, j)} \right\}$$

非定常相互スペクトルは、時系列モデルであるARあるいはARMAモデルの係数より求めることができる。すなわち、上式は、軌跡の情報すなわち楕円の形状と長軸の傾きの2つの情報が、相互スペクトルを介して時系列モデルの係数により表現されることを示している。 $C_R(\omega, j)$ が正のときには反時計方向の回転を示し、負の場合には時計方向の回転を表わす。また、 $C_R(\omega, j)$ は $-1 \leq C_R(\omega, j) \leq 1$ の値をとり、 $C_R(\omega, j) = \pm 1$ で真円となり、 $C_R(\omega, j) = 0$ のときには直線となる。また、 $\phi(\omega, j)$ は $0 \sim \pi$ の値をとる。これらの動きを模式的に示したものが図-1である。 $C_R(\omega, j)$ の表示法は、図-1に示すように、 $0 \sim \pm 1$ を5等分し、絶対値の小さい方より、正のときには1, 2, ..., 5で表わし、負の場合にはA, B, ..., Eで表わすことにする。したがって、数字が大きいほど(英字がEに近いほど)軌跡は円運動に近くなり、数字の場合には反時計回り、英字の場合には時計回りの運動を表わしている。 $\phi(\omega, j)$ は図-2に示すように $0 \sim \pi$ を10等分し、1, 2, ..., 5およびA, B, ..., Eで表わすことにする。

3. 回転スペクトル表示による軌跡の検討

回転スペクトル、 $C_R(\omega, j)$ および $\phi(\omega, j)$ により、軌跡が

図-1 $C_R(\omega, j)$ とその表示法図-2 $\phi(\omega, j)$ の表示法

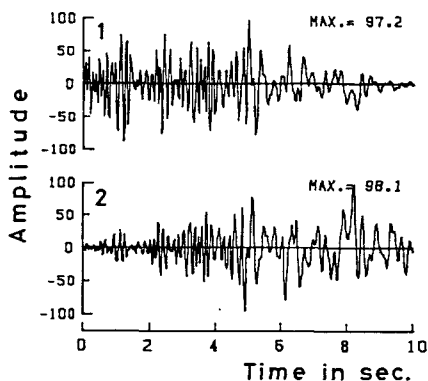


図-3 回転スペクトル解析用モデル波形

精度よく表現できるかなかをモデル波形を用いて検討する。モデル波形(図-3)は三角級数モデルにより作成した。このモデル波形の各周波数成分波は図-4に示すような運動を示すものである。このモデル波形に2次元のARモデルを適用して求めた $C_R(\omega, j)$ および $\phi(\omega, j)$ をそれぞれ図-5および図-6に示す。 $C_R(\omega, j)$ をみると5Hzを境にして回転方向が反時計回りから時計回りへと変化するのが明りように表われ、かつ楕円の形状ももとのモデル波形の形状をよく表現しているといえよう。また、 $\phi(\omega, j)$ についても、2.5Hzおよび7.5Hzを境にして傾きが変化するなど、もとのモデル波形の特徴を良く表わしている。波形の動きを忠実に表わしていない部分も一部見受けられるが、この差異はごく僅かであり、ほぼ全域にわたって、もとの波形の動きを精度よく表わしているといえよう。このように、 $C_R(\omega, j)$ および $\phi(\omega, j)$ は、解析波形の軌跡の特徴を時間方向にも、また、周波数方向にもよくとらえていることがわかる。しかも、多くの成分波の動きを、ごく僅かなスペースで表現できるのど、きめ細かな軌跡の表現が可能である。したがって、地震動軌跡の解析に応用することにより、より詳細な波動特性の検討が可能となろう。この地震動軌跡の解析例については、別の機会に報告する。

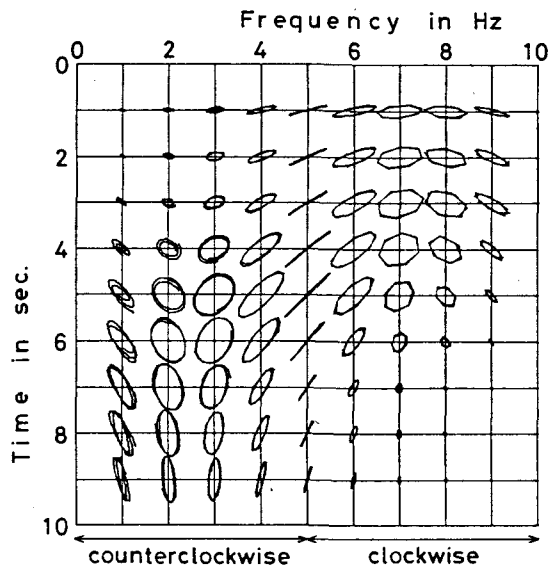


図-4 モデル波形の各周波数成分波の軌跡

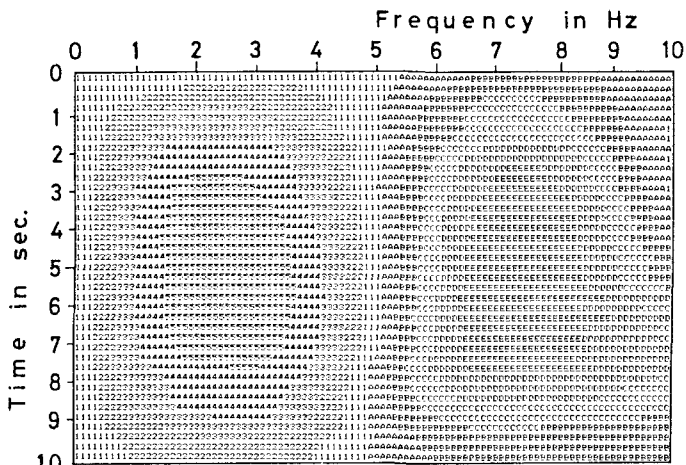


図-5 $C_R(\omega, j)$

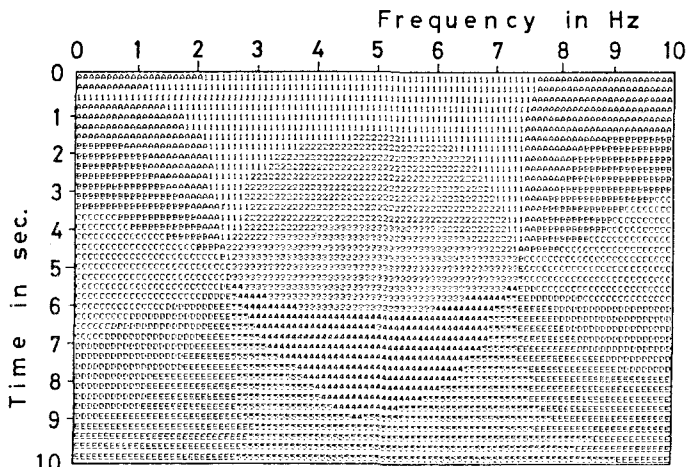


図-6 $\phi(\omega, j)$