

## 1. まえがき

地震動の波動特性を把握する一つの方法として、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。先に、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した。<sup>1)</sup>今回は実地震動の解析をとうして、回転スペクトルを利用した軌跡図ならびに実地震動の波動特性の検討を行うことにする。

## 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  $\phi$  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  $S_{pg}(\omega, j)$ ;  $p=1, 2, g=1, 2$  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うること示している。これら2つのパラメーター  $C_R$  および  $\phi$  を等分割し、周波数および時間軸を直交2軸とする平面に図-1~2に示すように数字および英字を用いて軌跡を表示することにする。

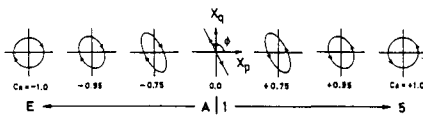


図-1  $C_R(\omega, j)$  とその表示法  
楕円の形状と回転方向

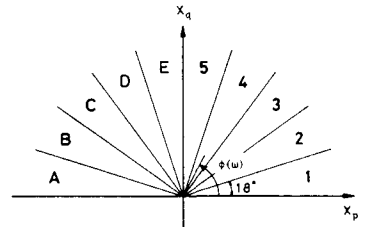


図-2  $\phi(\omega, j)$  の表示法  
楕円の長軸の傾き

## 3. 実地震動の解析例

解析に使用した地震動は図-3に示すサンフェルナンド地震(1971)の際にカリフォルニア工科大学 Millikan 図書館の地階で記録された加速度波形( $\Delta t=0.04$ 秒)である。建物の地階での記録であるので地震波動の解析には必ずしも適した波形とはいえないが、解析方法の検討には十分使用可能と思われる。水平2成分を震央の方位と直角および平行な成分に直せば、Love波とRayleigh波が分離される。したがって、震央方位がわがっている場合、このように座標変換した波形を用いれば表面波の検出等より明らかに波動特性をとらえることができよう。図

3に示す記録波形は図-6に示すように北面約40°の方角にあり、震央距離は約40kmである。そこで、水平2方向の座標軸を反時計方向に回転させ(図-6)、この新座標軸で水平動2成分を表わし、垂直成分(座標変換なし)とあわせて解析した結果を以下に報告する。なお、ここで使用した時系列モデルは2次元のARモデルであり、次数および

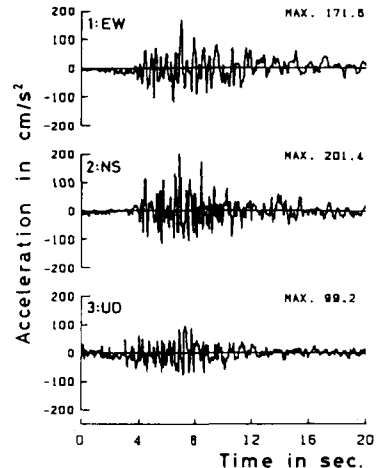


図-3 解析に使用した加速度波形  
サンフェルナンド地震(1971)

片側定常区間はそれぞれ3および3.5である。図-4~5にN'-U面での $C_R$ および $\phi$ を示す。3~4秒での軌跡を見ると楕円の長軸はほぼ垂直に近く、回転は時計廻りとなっている。これを図示すると図-7に示すような振動となる。これはRayleigh波の特徴と良く一致する。すなわち、波の進行方向と逆向きに回る振動をしている。なお約5.5秒以降にも同様な振動をする波群がみられるが、これは約8.5秒で楕円の長軸の傾きが急変している。したがって、同じ楕円運動を示すが、この約8.5秒に他の異なる波群が到着したものと考えられよう。図は省略するが他の成分波についての解析結果においても、 $C_R$ あるいは $\phi$ は約3秒、4秒あるいは8.5秒あたりにおいて大きく変化する。したがって、これらの時刻に異なる波群が到着したものと考えられる。約4秒での変化は記録波形より、この時刻にS波が到着したためと思われる。Heaton<sup>3)</sup>はサンフェルナンド地震は2つのイベントからなり、後のイベントは最初のイベントが発生してから約4秒後に発生したと述べている。ここで解析した観測記録の初動時刻が最初のイベントが観測地点へ到達した時刻と一致しているかどうかは不明であるが、約3秒での $C_R$ および $\phi$ の変化は2番目のイベントによる波が到着し最初のイベントによる波に重畳した時刻を示しているのではないかとと思われる。このように考えると、約8.5秒での波動特性の変化は2番目のイベントのS波に対応するものと考えられよう。これは震央距離が約40kmであることを考えればほぼ妥当な結論といえよう。以上、回転スワフトルの2つのパラメータである $C_R$ および $\phi$ より、各周波数成分波の軌跡の時間的変化が把握できることを示すとともに、異なるイベントの情報もこれらの軌跡図より読みとることができていることを示した。

<参考文献> 1) 千葉, 関東支部研究発表会, 1984.1

2) 星谷・千葉, 土木学会論文報告集, 1980.4

3) Heaton, T.H., BSSA, 1982.12

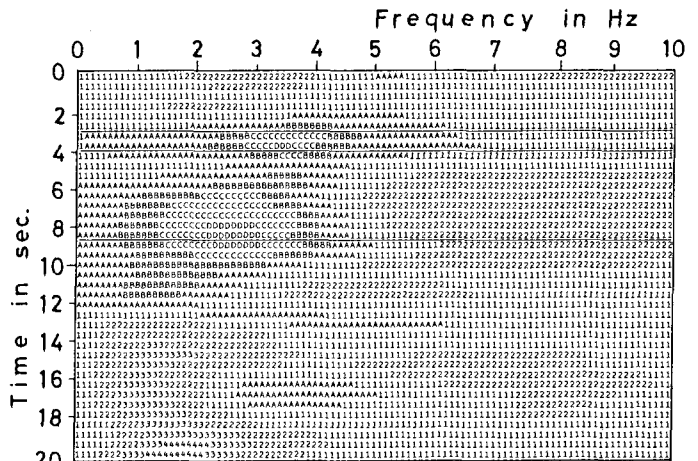


図-4  $C_R-23(\omega, j)$

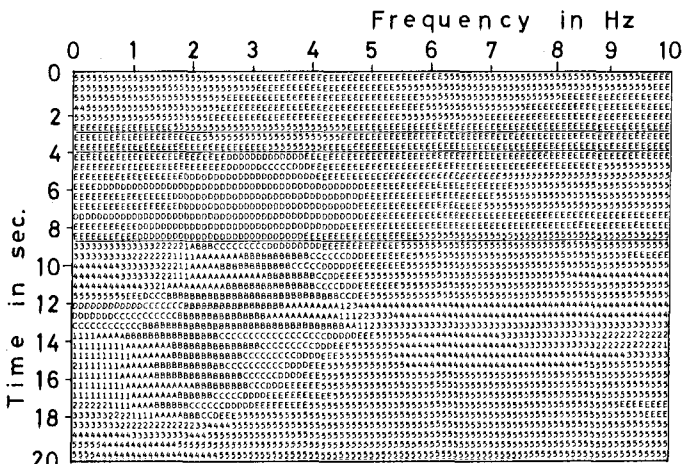


図-5  $\phi_{23}(\omega, j)$

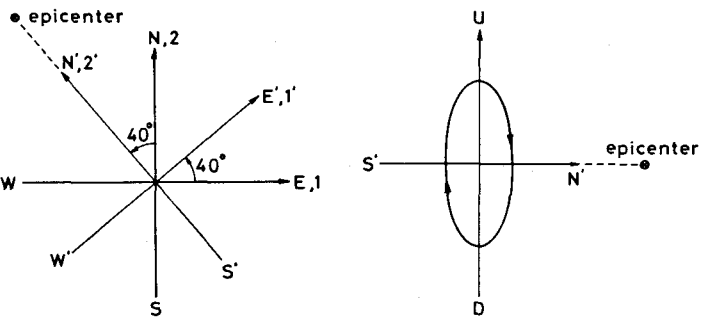


図-6 震央方向と座標変換

図-7 N'-U面上の軌跡 (0~6 Hz, 3~4秒の成分波)