

地震動の回転スペクトル特性について

福山大学大学院 学生員 ○木村純三
福山大学工学部 正員 千葉利晃

1. まえがき

土木構造物の中でも特殊な構造物である埋設管などの耐震設計においては特に、地震動の水平二方向と垂直方向の地震波成分の関係を知る必要がある。スペクトル解析の1つである回転スペクトルは、水平二方向と垂直方向の関係をj知る上で非常に有効であるため、ここではインペリアルバレイ地震(1979年)のデータを用いて地震動の回転スペクトル解析を行い、その特性について考察した。

2. 回転スペクトル

回転スペクトルは、二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る。回転スペクトルは楕円の形状を示す C_R および楕円の長軸方向を示す角度 ϕ の二つのパラメータにより表現されている。この二つのパラメータは非定常相互スペクトル $S_{pq}(\omega, j)$ を用いて次式のように表される。

$$C_R(\omega, j) = -\frac{2 I_m S_{12}(\omega, j)}{S_{11}(\omega, j) + S_{22}(\omega, j)} \quad \dots (1)$$

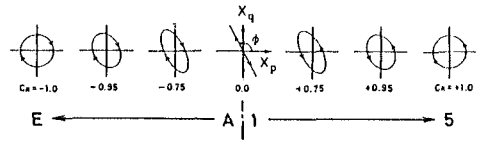
$$2\phi(\omega, j) = \tan^{-1} \left\{ \frac{2 R_e S_{12}(\omega, j)}{S_{11}(\omega, j) - S_{22}(\omega, j)} \right\} \quad \dots (2)$$

また、この二つの式より $C_R(\omega, j)$ および $\phi(\omega, j)$ を円振動数 ω および時刻 j を座標軸として表現すれば、各周波数成分が時間とともに、どのように変化していくかが読み取れるであろう。 $C_R(\omega, j)$ は楕円の形状を示すパラメータであるが、 $C_R(\omega, j)$ が正のときは反時計方向の回転を示し、負のときは時計方向の回転を示す。また、 $C_R(\omega, j)$ は $-1 \sim 1$ の値をとり、 $C_R(\omega, j) = \pm 1$ のとき真円となり、 $C_R(\omega, j) = 0$ のとき直線となる。 $\phi(\omega, j)$ は楕円の長軸方向を示すもので、 $0 \sim \pi$ の値をとる。図-1と図-2は、 C_R と ϕ の二つのパラメータの動きをそれぞれ模式的に表したものである。

なお本研究において、非定常相互スペクトルは、多次元非定常自己回帰モデルを用いて求めている。

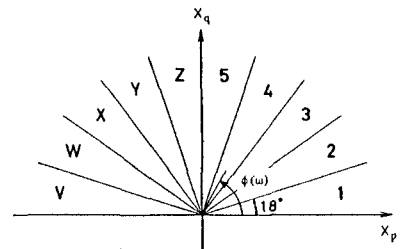
3. 数値解析例

解析に使用した地震動はインペリアルバレイ地震の際に断層から3kmの観測地点で記録された加速度波形(図-3)である。この水平二成分(N230°EとN140°E)の回転スペクトルを解析し、その結果得られた C_R と ϕ のパラメータの動きを示したものがそれぞれ図-4と図-5である。



$C_{R.pq}(\omega, j)$ and its expression.

図-1



Expression of $\phi_{pq}(\omega, j)$.

図-2

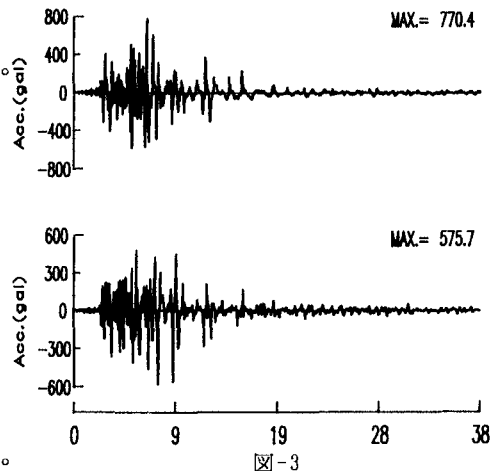


図-3

1.6秒あたりまでの楕円運動を示す C_R は直線に近い時計回りの動きをしており、長軸方向を示す ϕ は断層に垂直の方向を示すが、2.0～3.0秒あたりからは長軸方向を示す ϕ が急激に変化し、断層に平行の方向を示しているのが分かる。楕円運動を示す C_R はこの時刻において回転方向が時計回りから反時計回りへと変化し、さらに真円に近い動きを示している。これらの変化はこの時刻に異なる波群が到着したものと考えられる。8～11秒あたりにも長軸方向を示す ϕ の急激な変化を示し、またこの時刻の楕円の運動を示す C_R においては1～3ヘルツあたりの周波数が反時計方向の真円に近い動きを示し、7.5～10ヘルツの高周波数では時計回りの直線に近い動きを示している。その後、11秒から2.5秒間ほど急激に変化している点が長軸方向を示す ϕ においてみられる。

2つのパラメーターが急激な変化を示す最初の時刻1.6秒から2秒の地震動の加速度波形を見ると、この変化はS波の到着を示していると考えられる。

パラメーターの動きを3次元的に示した図-4と図-5は、これまでの C_R および ϕ を数値で表現した2次元表示よりもパラメーターの動きを1目で把握できるという利点がある。しかし、隠れて見えない点が出てしまうので、パラメーターの細かな動きを調べるには、等高線による図(図-6,7)も利用すべきであろう。

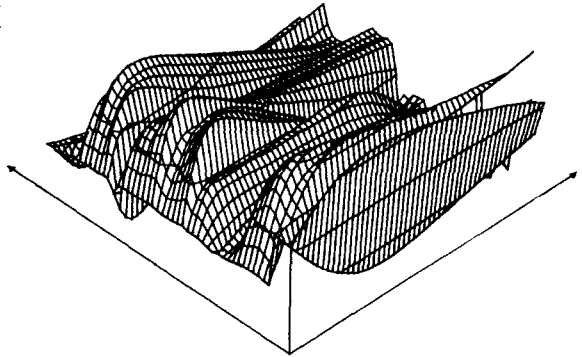


図-4

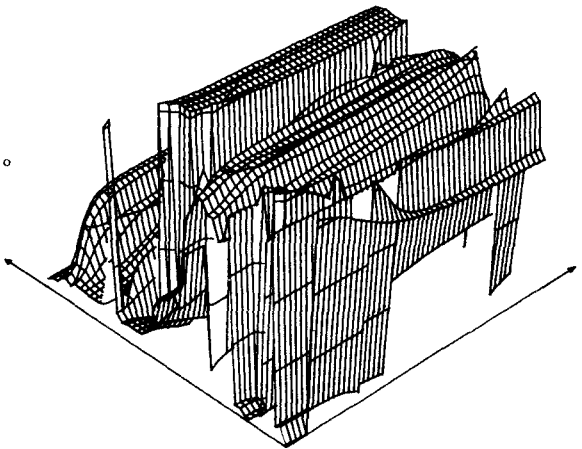


図-5

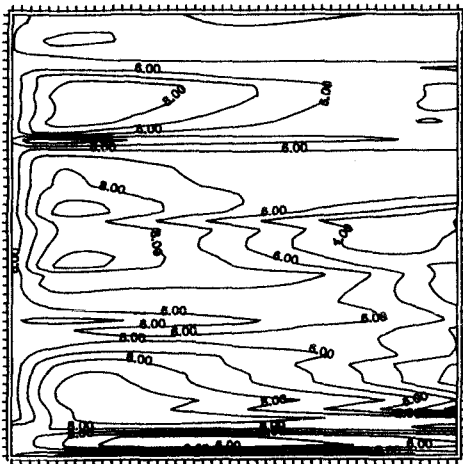


図-6

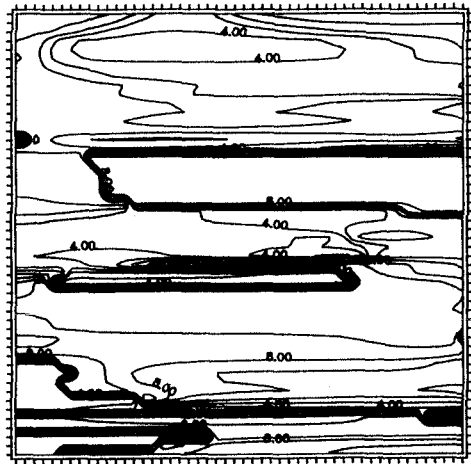


図-7