

I - 404

地震動アレー観測記録の回転スペクトル解析

福山大学工学部 正員 千葉 利晃
 （株）構造技研 正員 ○木村 純三

1. まえがき

大規模構造物や地中構造物の地震時安全性の評価を行う際には、入力地震動の空間変動特性の把握が重要である。回転スペクトルは、地震動の水平2方向、あるいは水平・垂直2方向の軌跡を楕円の形状で表現するものであり、空間変動特性の把握に有効であろう。したがって地震動のアレー観測記録を用いて回転スペクトル解析を行い、地震動の空間変動特性などを把握することができるか否かを検討した。ここで使用した地震動記録は東京大学生産技術研究所の千葉実験所構内において行われている3次元高密度アレー観測により観測された地震動データである。

2. 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る。回転スペクトルは楕円の形状と回転方向を示す C_R および楕円の長軸の傾きを示す角度 ϕ の2つのパラメータにより表現されている。この2つのパラメータ $C_R(\omega, j)$ および $\phi(\omega, j)$ は非定常相互スペクトル $S_{pq}(\omega, j)$ を用いて次のように表せる。

$$C_R \cdot pq(\omega, j) = -\frac{2I_m S_{pq}(\omega, j)}{S_{pp}(\omega, j) + S_{qq}(\omega, j)}$$

$$2\phi_{pq}(\omega, j) = \tan^{-1} \left\{ \frac{2R_e S_{pq}(\omega, j)}{S_{pp}(\omega, j) - S_{qq}(\omega, j)} \right\}$$

ここで、 ω は円振動数を表し、 j は離散時刻を表している。 C_R 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す。また、 C_R は $-1 \leq C_R \leq 1$ の値をとり、 $C_R = \pm 1.0$ で真円となり $C_R = 0$ のときには直線となる。 ϕ は $0 \sim \pi$ の値をとる。この動きを模式的に示したものが図-1である。

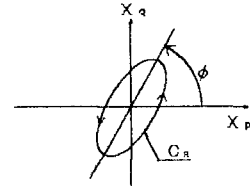
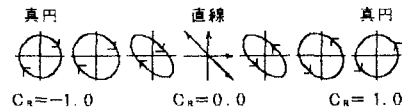


図-1 回転係数 $C_{pq}(\omega, j)$ と $\phi_{pq}(\omega, j)$ の模式図

3. アレー観測記録の回転スペクトル解析

千葉アレー観測記録は、各地震計ごとに設置誤差の補正を行った後に保存されている。この設置誤差の補正は時間領域で2組の波形間の相互相関係数を最大化する方法と、振動数領域で2組の波形間のコヒーレンス関数を最大化する方法によっている⁽¹⁾。ここでは、この地震計の設置誤差の補正が、回転スペクトル解析を通して行えるか否かの検討を行うことにする。水平2成分による回転スペクトルにより求められた C_R および ϕ の内、特に ϕ の動きを調べることにし、その補正が正しく行えているかどうかを調べる。使用した地震動記録は図-2に示すC0地点に埋設されている5つの地震計(GL-1、-5、-10、-20、-40m)の記録波形(千葉県東方沖地震(1987.12.17, M=6.7)の際の加速度記録の内の、(EW-NS)の水平2成分記録)を用いた。

C0地点の地下1m, 10mの2地点における水平2成分(EW-NS)の ϕ を図-3~4に示す。横軸は時間 t (1~16秒)および周波数 f (0.1~1.5Hz)であり、縦軸 ϕ は水平基準軸(東)から反時計回りに計った角度であり、 $0 \sim \pi$ の範囲の値をとる。基準地点は設置方位が正しいと認めら

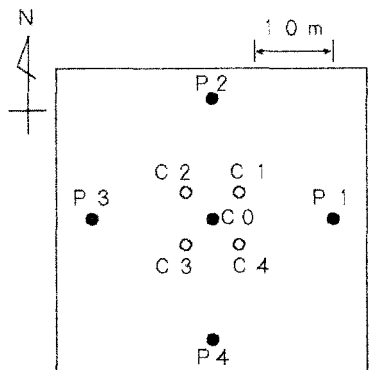
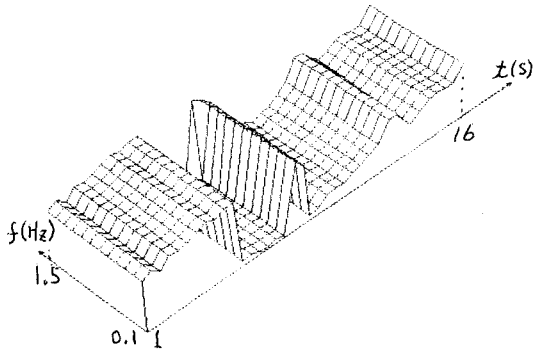
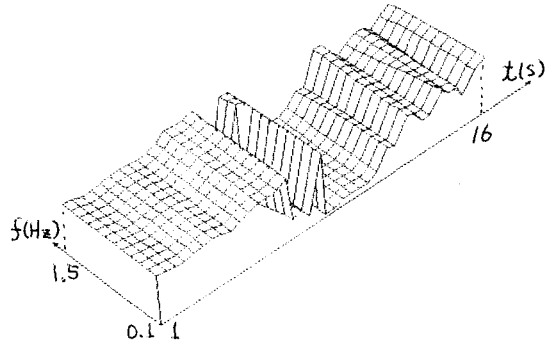


図-2 C0地点を中心としたアレー観測網

図-3 $\phi(\omega, j)$; (GL -1m)図-4 $\phi(\omega, j)$; (GL -10m)

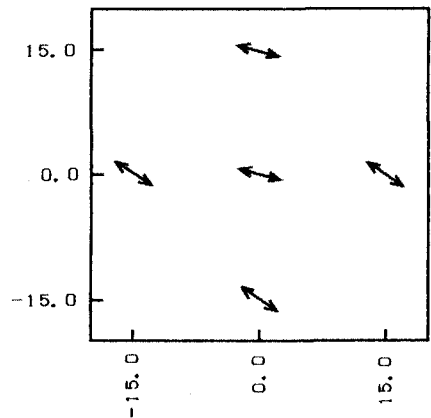
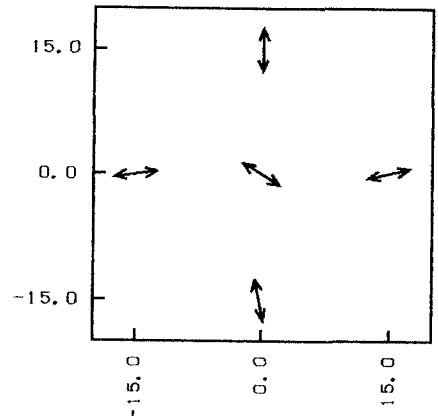
れるC0(GL-1m)地点とする。すなわち、C0(GL-1m)の波形と最も近似した動きをするように地震計の方位(地震記録の軸)を決めている。 $\phi=0$ と $\phi=\pi$ は同一の傾きを示すので、図-3,4より、11秒まではC0地点の深さ1mと10mの ϕ の動きはほぼ同じと見なせよう。したがってこの地震計の設置誤差の補正は正しく行っているものと思われる。今回の解析は、正確な方位補正を行うことを目的としたものではなく、方位補正に回転スペクトルが利用できるか否かの検討を行ったものである。図-3~4を見るかぎり、回転スペクトルは地震動の軌跡を周波数・時間を2軸にし詳細に見ることができるので、特に楕円の長軸の傾き ϕ を利用しても、最適な補正角が見い出せそうである。

平面的な変動特性を調べるために、地下1mの5地点(C0,P1,P2,P3,P4)における記録を用いて回転スペクトルを計算した。周波数範囲が1~2Hzおよび周波数帯域5.0~6.5Hzで、時間が1~21秒の間の回転スペクトル(ϕ)より、3秒付近の動きを示したものが図-5および図-6である。1~2Hzの周波数成分波の動きは震源方向に平行な動きを示すとともに、各地点ともほぼ同一方向の振動を示している。しかしながら、周波数帯域5.0~6.5Hzの振動数領域になると、図-6に示すように、観測点によって空間的に大きくばらつくようになる。このように、回転スペクトルによって地震動の空間的な変動を把握することが可能である。

4. あとがき

今回解析したデータは地震計の設置誤差の補正が行われたものであるが、この地震計の設置誤差の補正に回転スペクトルも利用できよう。また、回転スペクトルにより各周波数成分波の動きを把握することができるので、広い範囲での地盤の動きが把握できる。長大化した土木構造物の設計時には地震動の3次元的な特性の把握が必要であるが、この地盤の動きの把握に回転スペクトル解析は有効であろう。貴重なデータを使用させて頂いた東大生研の片山教授に感謝致します。

[参考文献] 1) 片山、山崎 「地震動のアレー観測とデータベース」、生研セミナーテキスト、H2.7.11

図-5 長軸方向($f=1\sim 2\text{Hz}$, $t=3\text{秒}$)図-6 長軸方向($f=5\sim 6.5\text{Hz}$, $t=3\text{秒}$)