

地震動の回転スペクトル特性とその出力方法について

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。先に報告した回転スペクトルは、地震動の水平2方向と水平・垂直2方向の軌跡を楕円の形状で表すものであり、この空間変動特性の把握に有効であろう。今回、地震動の回転スペクトル解析を行い、判断し易い出力方法について検討を行ったので報告する。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。

$$C_{R.pq}(\omega, j) = -\frac{2I_n S_{pq}(\omega, j)}{S_{pp}(\omega, j) + S_{qq}(\omega, j)}$$

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

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。

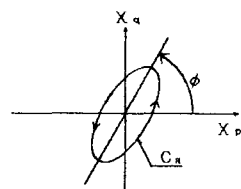
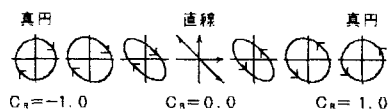


図-1 回転係数 $C_{R.pq}(\omega, j)$ と $\phi_{pq}(\omega, j)$ の模式図

3. 回転スペクトルの表示例

今回の解析には千葉県東方沖地震(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(地下1m)を用いた。この地震加速度記録を図-2に示す。図-3は C_R を表すが、横軸は時間 t (1~21秒)および周波数 f (0~10Hz)であり、縦軸は C_R (-1~+1)である。また、-0.1~0.1までの C_R の値を0.0として表している。このように図示すると、直線に近い運動($C_R=0.0$)を示す所ではフラットになり、直線運動を判断し易くなるとともに、 $C_R > 0$ および $C_R < 0$ が判別し易くなるため、時計回りおよび反時計回りの運動をする部分が把握

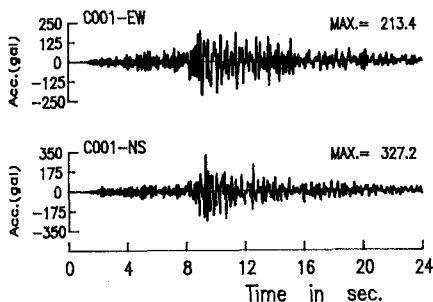


図-2 解析波形(地震加速度)

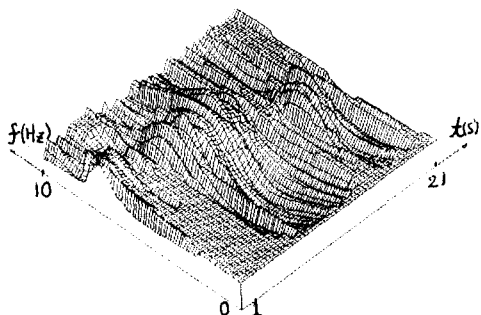


図-3 $C_R(\omega, j)$; (-1~1)

し易くなる。あるいは、図-4および図-5に示すように0~1までの C_R (図-4)および-1~0までの C_R (図-5)のように、 C_R を2つに分けて表示すれば、より一層把握し易くなる。

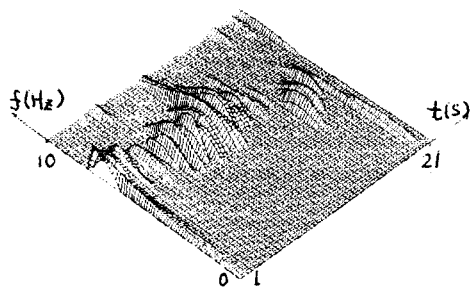


図-4 $C_R(\omega, j); (0 \sim 1)$

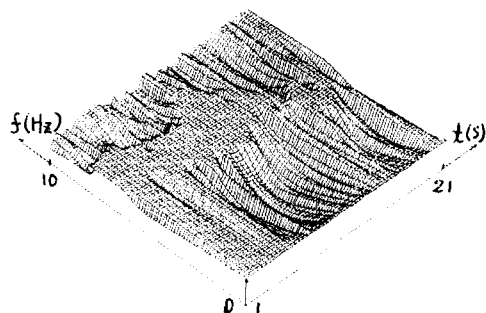


図-5 $C_R(\omega, j); (-1 \sim 0)$

図-6および図-7は楕円の傾きを表す ϕ である。横軸は図-3と同じであり縦軸が ϕ を表すが、図-6は ϕ の値が $\pi/2 \sim \pi$ までの図であり、図-7は ϕ の値が $0 \sim \pi/2$ までの図である。なおこの解析には加速度波形の基準軸(E-W-N-S)を回転させ、震源方向に垂直および平行な直交2軸で表した加速度波形を用いたものである。これらの図より、約8秒までのp波の部分では7Hzまでの成分波の ϕ は約 $\pi/2$ (震源方向)であり、震源と観測点を結ぶ軸に平行な振動を表している。これは粗密波であるp波の動きをよく表現しているといえよ

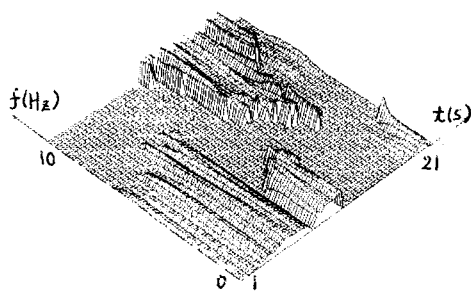


図-6 $\phi(\omega, j); (\pi/2 \sim \pi)$

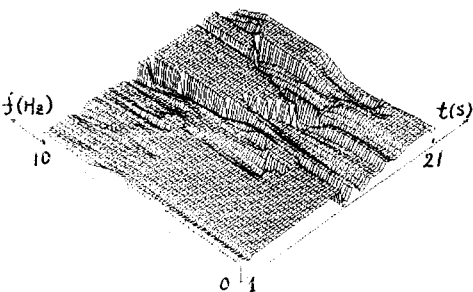


図-7 $\phi(\omega, j); (0 \sim \pi/2)$

う。このように $0 \sim \pi/2$ および $\pi/2 \sim \pi$ の2つに分けて ϕ を表現すれば、 ϕ の変化もよりはっきりしたものになってくる。

より正確に各成分波の軌跡を表現するには、図-8に示すように周波数および時間を区切って図示すれば良い。図-8は震源方向に地震動記録を回転させた加速度記録の0.1~1.5Hz、1~16秒の間の ϕ を表したものである。このようにすればより詳細な軌跡を把握することができよう。

4. あとがき

今回示した回転スペクトルの表示方法の他にも、 ϕ の値を $\pi/2$ で折り返して表示すれば、基準軸に水平あるいは垂直な動きが判断し易くなるなど、さまざまな方法が考えられ、地震動の軌跡を詳細に検討することができる。したがって、回転スペクトルは地震動の3次元的な特性の把握に有効であろう。

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謝意を表します。

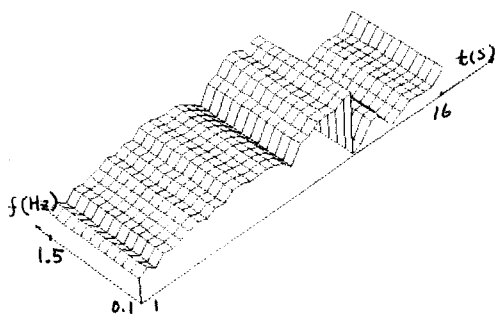


図-8 $\phi(\omega, j); (0 \sim \pi)$
(1~1.5Hz、1~16秒)