

I-698

ベクトルスペクトルによる水平地震動の周波数特性評価の提案

佐藤工業(株) 中村 晋

1. はじめに

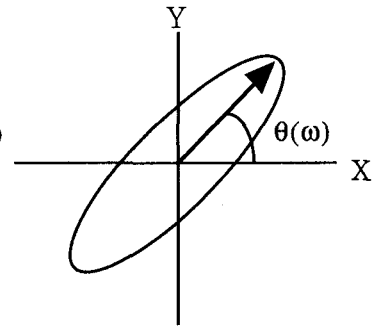
地震動つまり地盤の動きを表す量は本来ベクトル量であるはずである。その周波数特性は、回転スペクトルによる振動方向等に関する研究や水平2成分のフーリエスペクトルや速度応答スペクトルの2乗平方和に基づく簡易的な手法を除くと、ほとんど観測された各成分のスペクトル特性の評価に留まっており、ベクトルとしての評価がなされていないのが現状である。一方、地盤や地盤～構造物系の動的解析法の急速な進歩に基づく設計用入力地震動の精度向上に対する要求からも、地震動特性の適切な評価が必要になるものと考えられる。

ここでは、水平面における地震動の動きに着目し、その周波数特性を評価する手法を提案すると共に既往の簡易な評価手法との比較を行った結果を報告する。また、対象とする地震動の特性は、取扱や解釈の容易さから水平成分のみとした。

2. ベクトルスペクトルの評価手法

地震動の水平2成分の動き $z(t) = x(t) + i y(t)$ を複素平面で表すことにより、その周波数特性はGonella⁹⁾が示した複素数のフーリエ変換として求めることが出来る。フーリエ変換により得られたある周波数における地震動の動きは、正と負の周波数において得られたスペクトルの絶対値および位相が異なることから図-1に示す様に楕円となる。Gonellaはそのスペクトル特性を時計回りと反時計回りスペクトルの平均つまり水平2成分のパワースペクトルの平均により定義される全スペクトルとして表した。しかし、図-1に示した水平面における地震動の動きをみるとその長軸方向が振動卓越方向に対応している。つまり、振動卓越方向における振幅をスペクトルとして定義することは、物理的意味が明確であるとともにその値が用いる水平2成分の方向に依存しない不変量であることから、地震動の周波数特性評価という観点で有用であると考ええる。そのスペクトルは、パワースペクトルの定義に基づき次式により表される。

$$\begin{aligned}
 S(\omega) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \left\langle \frac{2\pi |\tilde{Z}(\omega)|^2}{T} \right\rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \left\langle \frac{2\pi (|\tilde{Z}_+(\omega)| + |\tilde{Z}_-(\omega)|)^2}{T} \right\rangle \\
 &= \lim_{T \rightarrow \infty} \left\langle \frac{2\pi |\tilde{Z}_+(\omega)|^2}{T} \right\rangle + \lim_{T \rightarrow \infty} \left\langle \frac{2\pi |\tilde{Z}_-(\omega)|^2}{T} \right\rangle + \lim_{T \rightarrow \infty} \left\langle \frac{4\pi |\tilde{Z}_+(\omega)| \cdot |\tilde{Z}_-(\omega)|}{T} \right\rangle \\
 &= \frac{1}{4} [P_x(\omega) + P_y(\omega) + 2Q_{xy}(\omega)] + \frac{1}{4} [P_x(\omega) + P_y(\omega) - 2Q_{xy}(\omega)] \\
 &\quad + \frac{1}{2} \sqrt{[P_x(\omega) - P_y(\omega)]^2 + 4[K_{xy}(\omega)]^2} \\
 &= \frac{1}{2} [P_x(\omega) + P_y(\omega)] + \frac{1}{2} \sqrt{[P_x(\omega) - P_y(\omega)]^2 + 4[K_{xy}(\omega)]^2} \quad (1)
 \end{aligned}$$



ここで、 $\tilde{Z}_+(\omega)$ 、 $\tilde{Z}_-(\omega)$ は時計回りと反時計回りスペクトル、図-1ある周波数における地震動の動き $\tilde{Z}(\omega)_p$ はそれらの絶対値の和つまり長軸方向の長さを表す。また、 $P_x(\omega)$ 、 $P_y(\omega)$ 、 $K_{xy}(\omega)$ および $Q_{xy}(\omega)$ はX、Y方向成分のパワースペクトル、X方向とY方向成分間のコスペクトルおよびクオドラスペクトルである。

3. 適用事例

ここでは、まず設計でよく用いられる八戸波(1968十勝沖地震)とエルセントロ波(1940インペリアルバレー地震)の水平2成分(NS,EW)を用い、ベクトルスペクトルと各成分のスペクトルの比較を図-2に示す。図中のスペクトルは継続時間で割ったパワースペクトルの平方根とし求めたフーリエスペクトルである。また、各パワースペクトルは、継続時間をいずれの波も40.96秒とし、Parzen Window(バンド幅0.4HZ)処理により求めた。ベク

トルスペクトルは各成分を包絡していることが分る。

次に、ベクトルスペクトルと他の簡易手法である水平2成分(NS,EW)に関するフーリエスペクトルの2乗平方和および水平2成分(NS,EW)の応答速度の2乗平方和の最大値として定義される速度応答スペクトルの比較を図-3に示す。応答速度は減衰定数0.0%として算出した。いずれも、定性的な傾向はよく似ているが、スペクトル振幅は手法により異なっている。特に、フーリエスペクトルの2乗平方和はベクトルスペクトルより周波数によって若干異なるものの2~3割程度大きな値となっている。

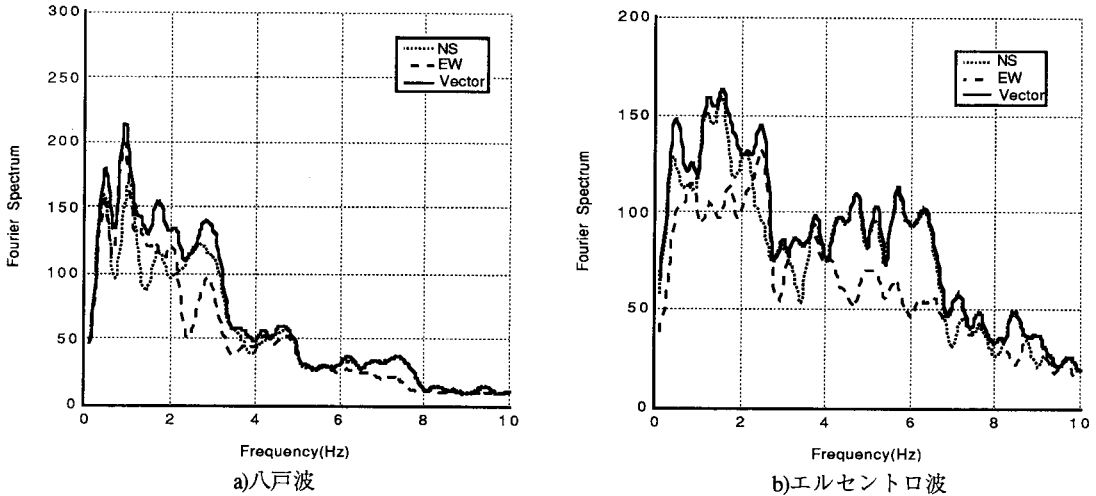


図-2 ベクトルスペクトルとNS,EW成分のフーリエスペクトルの比較

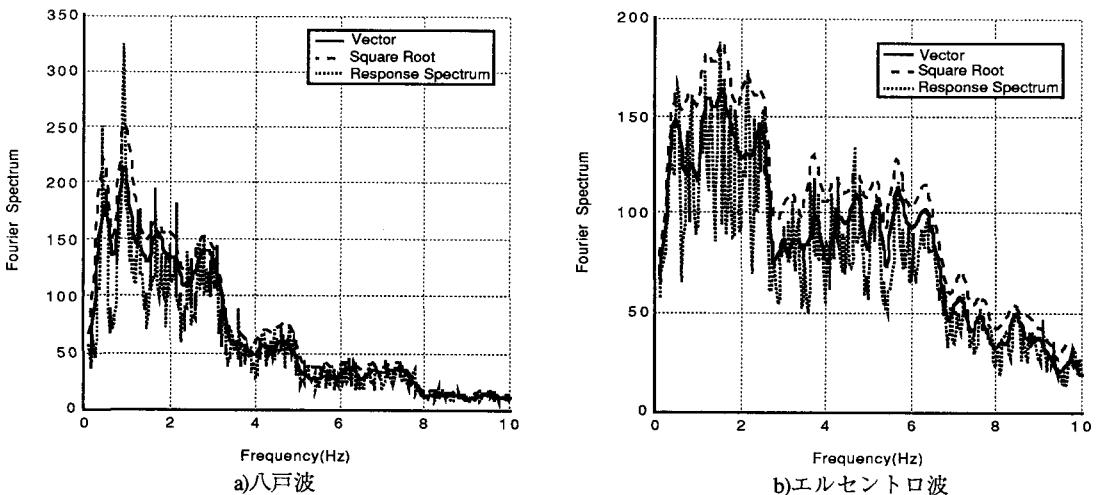


図-3 ベクトルスペクトル、2乗平方フーリエスペクトルおよび2乗平方速度応答スペクトルの比較

4. あとがき

ここでは、水平面における地盤の動きを考慮したベクトルスペクトルにより水平地震動の周波数特性を評価する手法を提案し、実地震記録に適用性することにより地震観測の対象とする成分に周波数特性や振幅が依存しないことや振幅を評価する上で既往の簡易的な評価手法との差異が認められること等の有用性を確認した。

参考文献

1)Gonella,J., A Rotary-Component Method for Analysis Meteorological and Oceanographic Vector Time Series, Deep-Sea Research, Vol.19,pp.833~846,1972