

瞬時周波数による地震動の非定常性の考察

藤原建築設計事務所 正員 ○藤原豪紀
 広島工業大学 正員 中山隆弘

1. まえがき 著者らは既にcomplex demodulation法を用いた地震波の非定常スペクトル解析法¹⁾を提案している。この方法によれば、非定常スペクトルと、時間と共に変化する位相（以下時間位相という）が計算される。この両者を用いると地震動波形がほぼ完全に再合成できることから、時間位相も何らかの情報を有していることは明らかである。しかし、Granger²⁾が指摘しているように時間位相の形状は着目周波数近傍のスペクトルの対称性の影響を受けるため、波形の非定常性を時間位相から捉えることは難しい。筆者らも時間位相について十分な検討を行ってはいない。

ここでは、時間位相をFM検波におけるinstantaneous frequency³⁾（以下瞬時周波数という）によって捉え直すと共に、瞬時周波数を用いて地震動帯域波の周波数特性について若干の検討を加えた。

2. 時間位相 非定常確率過程の標本関数は近似的に次式によって表すことができる¹⁾。

$$x(t) \cong \sum_i \sqrt{2f_x(t, \omega_i) \Delta \omega_i} \cos(\omega_i t + \varphi(t, \omega_i)) \quad (1)$$

ここで $f_x(t, \omega)$ が非定常スペクトル、 $\varphi(t, \omega)$ が時間位相である。

添字 i は各帯域波に対応する。

3. 瞬時周波数 時系列 $x(t)$ が次式で表される時、

$$x(t) = a(t) \cos(\omega t + \varphi(t)) \quad (2)$$

$\Psi(t) = \omega t + \varphi(t)$ とおき、 $\Psi(t)$ をtotal phase angleという。また、

$$\frac{d\Psi(t)}{dt} = \omega + d\varphi(t)/dt \quad (3)$$

をinstantaneous frequency（瞬時周波数）と定義する。

例として図1に周波数変調波 $f(t) = \cos(20\pi + 5\sin 2\pi t)$ の波形と

瞬時周波数を示す。

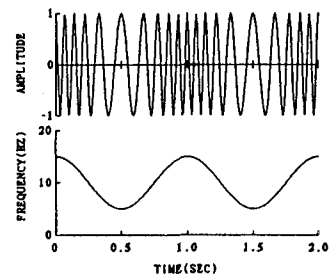


図1 周波数変調波と瞬時周波数

4. 数値計算 解析データとして、El Centro NS(1940), Taft EW(1952)および日向灘沖地震(1968)の際の板島橋での地震動記録（総て時間間隔0.02秒）を用いた。図2に各地震動波形を示す。

非定常スペクトル解析に用いるバンドパス、ローパスフィルターのパラメータは文献1)に示すものを用いた。図3と図4にTaftと板島橋の地震動記録に対する解析結果の例を示す。図にはそれぞれ、非定常スペクトル、時間位相、瞬時周波数および非定常スペクトルを一定値1として位相のみ（時間位相または時間位相の初期値）を用いて再合成した波形（以下位相波という）を示した。なお、瞬時周波数は隣合うデータの差を時間間隔で割った値を近似値とした。

これらの図から以下のことがわかる。瞬時周波数の時間変化は一様ではなく、非定常スペクトルの谷の部分で変化し、特に非定常スペクトルの値がほぼ0になる時刻で急変しているものがある。さらに位相波は滑らかに変化しているものとピークをもって急変するものがある。また位相波と瞬時周波数との対応から帯域波における周波数の時間変化が直観的に把握できる。

図5にはEl Centro波と時間位相を用いた位相波のフーリエスペクトルを示した。両者は相似しており、時間位相が波形の周波数特性に関する情報を有していることがわかる。

5. まとめ 解析結果の要点をまとめると次のようになる。

1) 瞬時周波数により地震帯域波の周波数の時間変化が直観的に理解できる。

- 2) 瞬時周波数と位相から地震帯域波における周波数の時間変化が一様ではないことがわかる。
- 3) 位相は滑らかに変化しているものとピークをもって急変するものがある。

参考文献 1) 小松定夫・藤原豪紀・中山隆弘：コンプレックス・デモデュレーション法による地震動の非定常スペクトル解析，土木学会論文報告集，第368号，1986年4月。

2) Granger, C.W.: Spectral Analysis of Economic Time Series, Princeton Univ. Pres, 1964.

3) Cramer, H. and Leadbetter, M.R.: Stationary and Related Stochastic Processes, John Wiley and Sons, 1967.

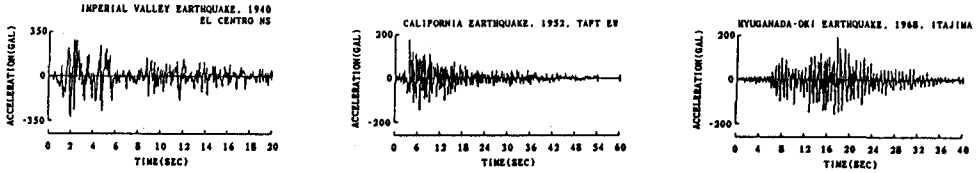


図2 解析に用いた地震動記録

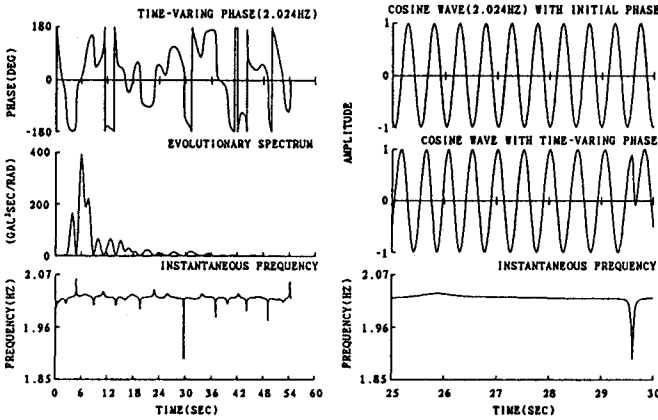


図3 Taft EW 解析結果

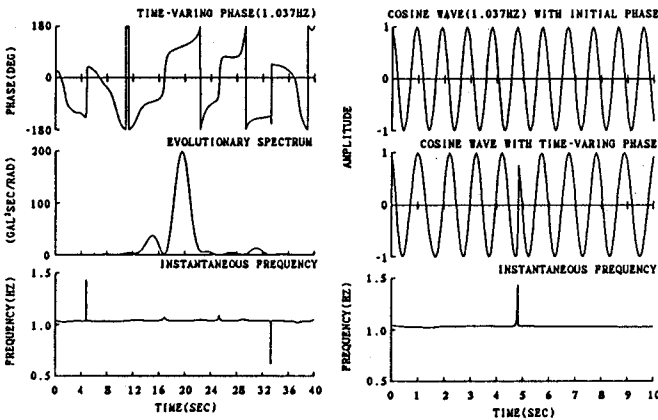
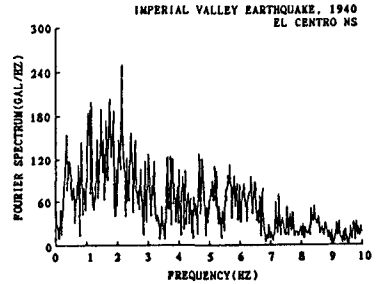


図4 板島橋解析結果

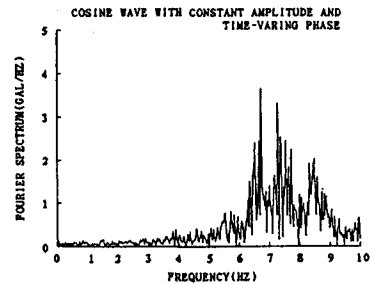


図5 原波形と位相波のフーリエスペクトル