

I-393

瞬時周波数による地震動帯域波の周波数の非定常性に関する考察

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⁾と、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)を用いた地震波のシミュレーション法²⁾を提案した。特に後者においては、従来の非定常スペクトルと一様乱数を用いた方法と異なり、非定常スペクトル理論から誘導された式に基づいて計算が行われる。したがって、上記2つの物理量の中、時間位相に関する研究が不可欠となる。

時間位相に関しては、瞬時周波数によってその特性が直観的に理解できることを報告した³⁾が、ここでは地震動帯域波の周波数の非定常性と時間位相についてさらに詳細な検討を行っている。

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⁾。

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

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 $x(t)$ が次式で表されるとき、

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

$\Psi(t) = \omega t + \varphi(t)$ 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 $f(t) = \cos(20\pi t + 5\sin 2\pi t)$ の波形と瞬時周波数を示す。

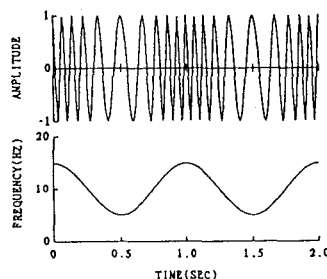


図1 周波数変調波と瞬時周波数

4. 数値計算 解析データとして、日向灘沖地震(1968)の際の板島橋での地震動記録(時間間隔0.02秒, 継続時間40秒)を用いた。図2に地震動波形を示す。非定常スペクトルの解析に用いたバンドパス, ローパスフィルターのパラメーターは文献1)と同様とした。図3に中心周波数1.037Hz, 帯域幅0.346Hzのバンドパスフィルターを用いて計算した非定常スペクトルと時間位相および瞬時周波数を示す。さらに図4に地震動帯域波, (1)式に非定常スペクトルと時間位相または時間位相の初期値のみを代入して再合成した波形を示す。これらの図から次のことがわかる。時間位相を用いて再合成した波形は、原帯域波にほぼ完全に一致する。一方、時間位相の初期値を用いて再合成した波形は、帯域波の包絡線の谷にあたる時刻で原帯域波との差が比較的顕著となる。これらの時刻では、時間位相の変化が大きくなっているが、瞬時周波数によれば、その変化を定量的に把握できる。図5には、(1)式において振幅を1とし、時間位相または時間位相の初期値のみを用いて再合成した波形(以下位相波という)を示す。この例では、時間位相を用いた位相波が時刻約4.8秒でピークをもって変化している。図6には帯域波, 帯域波の包絡線および2つの位相波のフーリエスペクトルを示す。図から包絡線(振幅の絶対値)が帯域波のパワーに、時間位相が帯域波の周波数特性に関する情報をそれぞれ有していることがわかる。

5. まとめ 時間位相が地震動帯域波の周波数の時間変化に関する情報を有していることがわかった。特に地震動帯域波の周波数の時間変化は、帯域波の包絡線の谷にあたる時刻で顕著となる。そしてその変化の程度は、瞬時周波数によって定量的に把握できる。

- 参考文献** 1)小松定夫・藤原豪紀・中山隆弘：コンプレックス・ディ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)中山隆弘，藤原豪紀：非定常スペクトル理論に基づく地震波のシミュレーション，平成6年度土木学会中国四国支部年次学術講演会講演概要，1994年5月。
 3)藤原豪紀，中山隆弘：瞬時周波数による地震動の非定常性の考察，平成6年度土木学会中国四国支部学術講演会講演概要，1994年5月。

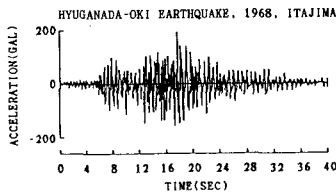


図2 地震動記録

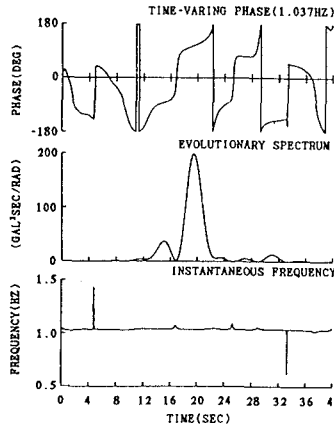


図3 非定常スペクトル，時間位相および瞬時周波数

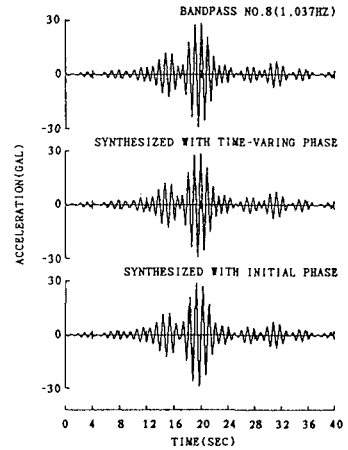


図4 地震動帯域波と再合成波形

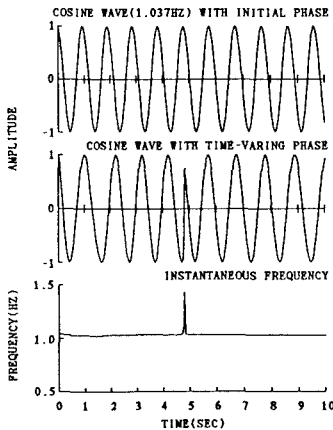


図5 位相波

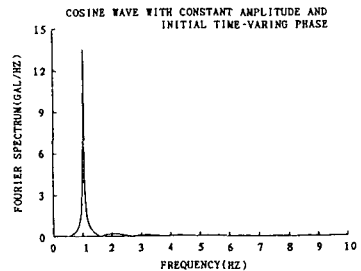
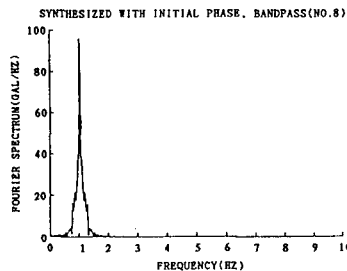
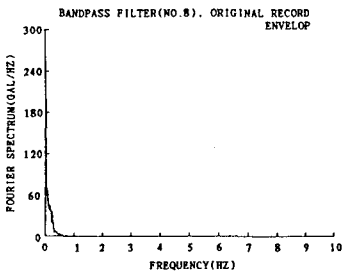
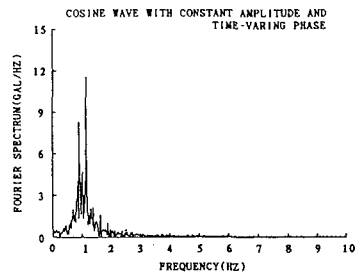
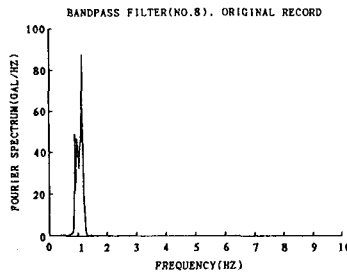


図6 地震動帯域波，帯域波の包絡線および位相波のフーリエスペクトル