

1 はじめに

最近、耐震工学の分野では地震動の非定常性の把握が重要となってきた。強震記録の蓄積とともに、多くの非定常スペクトル解析法が提案されてきた。強震動のもつ非定常性の幾つもの特徴が次第に明らかとなりつつある。一方、地震の断層モデルの発展とともに、非定常性をもつ地震記録の合成もしくは再現の問題も重要となってきた。さらに、強震記録の非定常性の多くの部分が広帯域の波動の種類に大きく影響を受けることから、地震記録の波動種別による分離合成も重要な課題となってきた。以上の観点から、本小文は著者がここ数年、用いてきたマルチフィルタリングによる非定常スペクトル解析による地震記録の合成法を述べるとともに、その一つの応用として波動種別による地震記録の分離合成の例について示したものである。

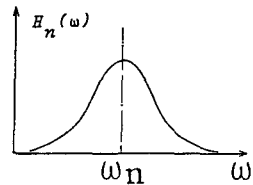
図-1 フィルター

2 マルチフィルタリングによる非定常地震記録の合成法

いま、図-1のような中心円振動数 ω_n を有するガウシ型フィルタを n 本 (カット振動数を有する)。このフィルタに任意の地震記録 $f(t)$ を入力すると、その出力 $g_n(t)$ は次のような周波数変調された信号となる。

$$H_n(\omega) = \begin{cases} e^{-\alpha \left(\frac{\omega - \omega_n}{\omega_n} \right)^2} & (1-\beta)\omega_n \leq \omega \leq (1+\beta)\omega_n \\ 0 & \text{他} \end{cases}$$

α, β : 定数



$$g_n(t) = A(\omega_n, t) \cos(\omega_n t - \phi_n(\omega_n, t)) \quad \dots \textcircled{1}$$

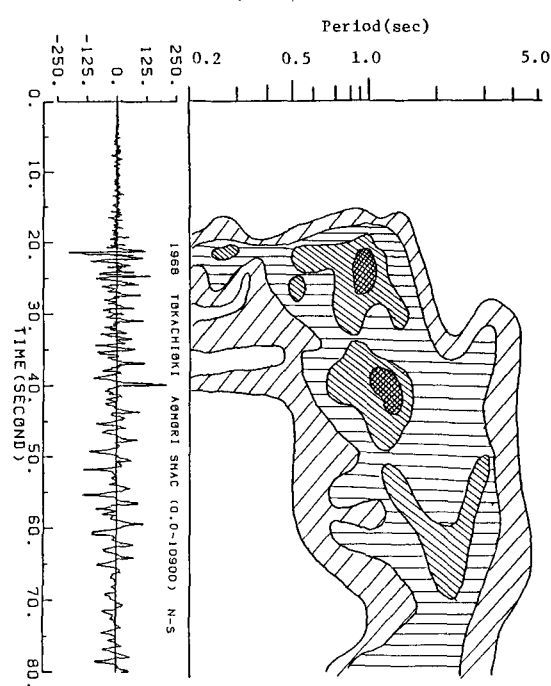
ここに

$$A(\omega_n, t) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) h_e(t-\tau) e^{-i\omega_n \tau} d\tau \right|$$

但し、 $h_e(t-\tau)$ は図-1のフィルタの等価低域通過フィルターのインパルス応答、 τ は時間である。

図-2 非定常スペクトル

著者がこれまで用いてきた非定常スペクトルは式①の振幅 $A(\omega_n, t)$ を ω_n (もしくは λ の周期) と t (時間) の変数として2次元的に表わしたものである。これまでの解析ではおもに $f(t)$ が与えられたとき、 $A(\omega_n, t)$ を求める問題について考えてきたが、逆に $A(\omega_n, t)$ 及び $\phi_n(\omega_n, t)$ が与えられたときに、 $f(t)$ を求めることも必要な場合がある。本文の問題は後者に相当するものであり、一種の逆変換問題である。



逆変換問題の場合、理論的には処理を逆に行えば、元の記録の再現は可能である。しかし、ここでのマルチフィルタリングの場合、フィルタにカット周波数を設けてあるので単純でない。結論の対称せば、式①の $g_n(t)$ が与えられたとき、元の地震記録 $f(t)$ は次式で再現される。

$$f(t) = \sum_{n=1}^N \int_{-\infty}^{\infty} g_n(\tau) \bar{h}_n(t-\tau) d\tau \quad \dots \textcircled{2}$$

ここで、 $\bar{h}_n(t-\tau)$ はフィルタ $H_n(\omega)$ の逆数の

フーリエ逆変換。また、このときのフィルタは角目 ω の $n+1$ 番目のフィルタの中心角振動数 ω_n , ω_{n+1} と $\omega_{n+1}/\omega_n = (1+\beta)/(1-\beta)$ の関係を満足するように設定する必要がある。以上の手法が代表的な強震記録に適用した例を以下に示す。

図-2は1968年十勝沖地震の際に青森港湾で得られた強震記録(N-S成分)に対して非定常スペクトルを求めた結果である。一方、図-3は図-2の非定常スペクトルが与えられたとき求められた再現記録を元の地震記録とともに示したものであり、再現記録は元の記録にほぼ完全に一致することがわかる。

3. 地震記録の波動種別による波形分離

図-4は図-2の非定常スペクトルに各周期毎のスペクトルの局所的なピーク時間を付したものである(・印)。局所的なピークの分布傾向が時間30秒付近、及び周期1.6秒付近を境として大幅に変化することがわかる。ところが、このピークの分布傾向には強震記録に含まれる波動特性が反映されている。従って、このピーク分布を参照して、非定常スペクトルを分割することにより波動種別毎に非定常スペクトルを求め、さらにこれに上述の逆変換法を適用すれば波動種別毎の地震記録を得ることができると期待される。

文献(2)によれば図-4のA領域は明らかに実体波によるピーク分布であり、逆にD領域は表面波のピーク分布と考えられる。これを考慮して、図-4の非定常スペクトルを実体波によるものと表面波によるものに分離したのが図-5である(分離の詳細は講演時に譲る)。

図-5の非定常スペクトルから実体波、表面波の各々の記録を求め、元の記録とともに示したのが図-6である。この例では表面波の記録が意外と大きな加速度を有していることが注目される。

(参考文献) 1) 神仏: 工学論文報告集, No. 284, 2) 神仏: 第6回地震工学研究発表会

図-5 非定常スペクトルの波動種別毎の分離

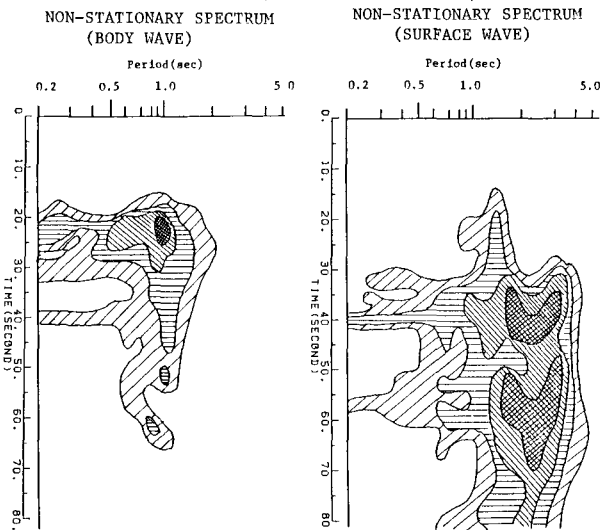


図-3 元の記録と計算による再現記録

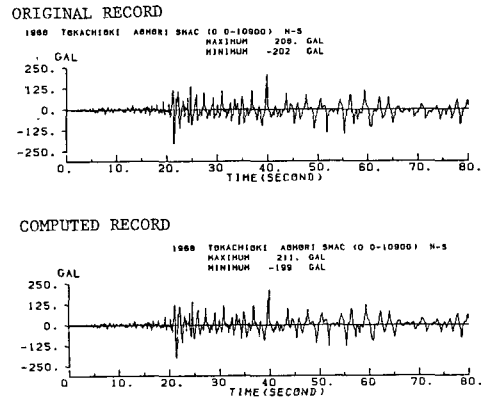


図-4 非定常スペクトルの極値分布

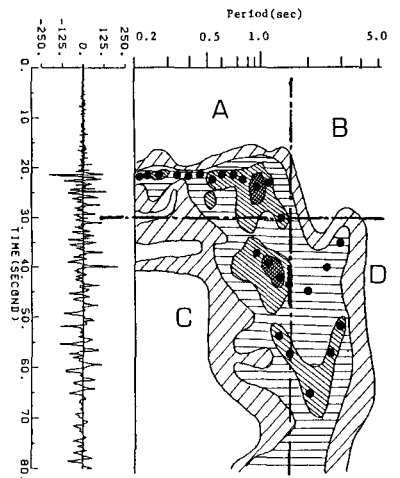


図-6 地震記録の分離合成

