

マルチフィルターによる地震動非定常相互スペクトルとコヒーレンスの解析

京都大学防災研究所 正員 亀田弘行 徳島大学工学部 正員 沢田勉
東急建設 正員 ○亀井紀幸

1. 概要

近年長大橋梁やライフラインのように空間的拡がりのある構造物の耐震問題が重要になっており、そのための入力として地震動の3次元の把握が注目されている。本研究は、地震動の非定常相互スペクトル特性の解析にマルチフィルターを用いる方法を定式化し、その有用性を確かめたものである。以下では、非定常パワースペクトルに用いられたマルチフィルターの方法¹⁾を非定常相互スペクトル問題に拡張した²⁾。マルチフィルターはウィンドー幅が振動数に比例するという特徴があるため、非定常解析に適している。数値計算例にはSMART-1アレーデータ³⁾を用いた。さらに、非定常コヒーレンスを振動数のみの関数に簡略表示するための方法を示した。

2. マルチフィルターによる非定常スペクトル及び非定常コヒーレンスの定式化

地震動 x_i , x_j の非定常パワースペクトル $G_{ii}(t, \omega_\theta)$, 非定常相互スペクトル $G_{ij}(t, \omega_\theta)$, 位相差 $\theta_{ij}(t, \omega_\theta)$, 非定常コヒーレンス $\text{coh}_{ij}^2(t, \omega_\theta)$ をマルチフィルターの手法を用いて定式化すると以下ようになる。すなわち、 $x_i(t)$, $x_j(t)$ に対する線形1自由度系の相対変位応答を $y_i(t)$, $y_j(t)$ とすると、

$$G_{ii}(t, \omega_\theta) = \frac{2h_\theta \omega_\theta^3 r_i^2(t)}{\pi} \quad ; \quad r_i^2(t) = y_i^2(t) + \dot{y}_i^2(t) / \omega_\theta^2 \quad (1)$$

$$G_{ij}(t, \omega_\theta) = C_{ij}(t, \omega_\theta) + i Q_{ij}(t, \omega_\theta) \quad (2)$$

$$\theta_{ij}(t, \omega_\theta) = \tan^{-1} \left\{ \frac{Q_{ij}(t, \omega_\theta)}{C_{ij}(t, \omega_\theta)} \right\} \quad (3)$$

$$|G_{ij}(t, \omega_\theta)| = \frac{2h_\theta \omega_\theta^3}{\pi} r_i(t) r_j(t) \quad ; \quad r_j^2(t) = y_j^2(t) + \dot{y}_j^2(t) / \omega_\theta^2 \quad (4)$$

$$\text{coh}_{ij}^2(t, \omega_\theta) = \frac{|G_{ij}(t, \omega_\theta)|^2}{G_i(t, \omega_\theta) G_j(t, \omega_\theta)} \quad (5)$$

ただし、 $C_{ij}(t, \omega_\theta)$ と $Q_{ij}(t, \omega_\theta)$ はそれぞれ非定常のco-spectrum及びquad-spectrumで、次式で表される。

$$\begin{cases} C_{ij}(t, \omega_\theta) = \frac{2h_\theta \omega_\theta^3}{\pi} \{y_i(t)y_j(t) + \dot{y}_i(t)\dot{y}_j(t) / \omega_\theta^2\} \\ Q_{ij}(t, \omega_\theta) = \frac{2h_\theta \omega_\theta^3}{\pi} \{y_i(t)\dot{y}_j(t) / \omega_\theta - \dot{y}_i(t)y_j(t) / \omega_\theta\} \end{cases} \quad (6)$$

3. 数値計算結果

以上の式よりSMART-1のevent-5³⁾のデータについて非定常パワースペクトル、非定常相

Hiroyuki KAMEDA Tutomu SAWADA Noriyuki KAMEI

互スペクトル，非定常コヒーレンスの値を算出した．なお，SMART-1は3つの同心円から成っているが，これらのうち本研究で用いたデータは0-06, M-06, I-06, C-00によるものである．これらのうち0-06とC-00の算定結果を図-1, 2に示す．またここでは，2つの地震動の非定常2乗平均強度の相互相関関数により，地震動の時間軸のずれ⁴⁾を補正している．

また，非定常コヒーレンスを非定常相互スペクトルを重み関数として時間軸方向に加重平均すると次式が得られる．

$$c o h^2(\omega) = \frac{\int_0^t c o h^2(t, \omega) |G_{ij}(t, \omega)| dt}{\int_0^t |G_{ij}(t, \omega)| dt}$$

$G_{ij}(t, \omega)$: 非定常相互スペクトル

$c o h^2(t, \omega)$: 非定常コヒーレンス

t : 継続時間

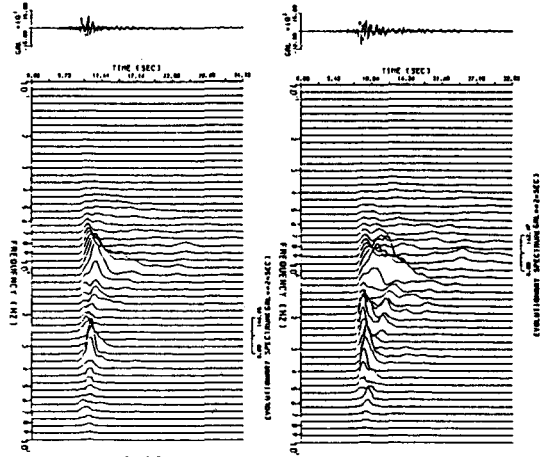


図-1 SMART-1の地震波形と非定常パワースペクトル

観測地点間距離 d の3つのケースについて重みつき平均によるコヒーレンスを図-3に示した．この図を見ると距離が近いほど，低振動数ほどコヒーレンスは大きくなっている．

参考文献

- 1) 亀田弘行：強震地震動の非定常パワースペクトルの算出法に関する一考察，土木学会論文報告集，第235号，1975.3, pp.55-62.
- 2) 亀井紀幸：マルチフィルターによる多地点・多方向地震動の非定常相互特性の解析，京都大学修士論文，昭.62.

3) Bolt, B. A., Loh, C. H., Penzien, J., Tsai, Y. B., and Yeh., "Preliminary Report on the SMART 1 Strong Motion Array in Taiwan," Report No. UCB/EERC-82/13 August 1982.

4) 川上英二・佐藤精彦：コヒーレンスの性質および算定方法に関する一考察，構造工学論文集，V o 1. 3 2 A, 1986.3, pp.749-762.

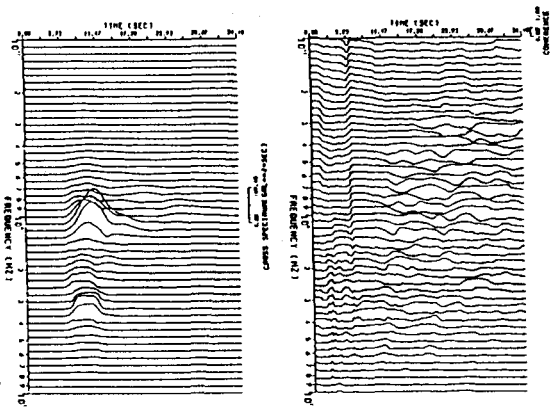


図-2 SMART-1による非定常相互スペクトルと非定常コヒーレンス (0-06とC-00)

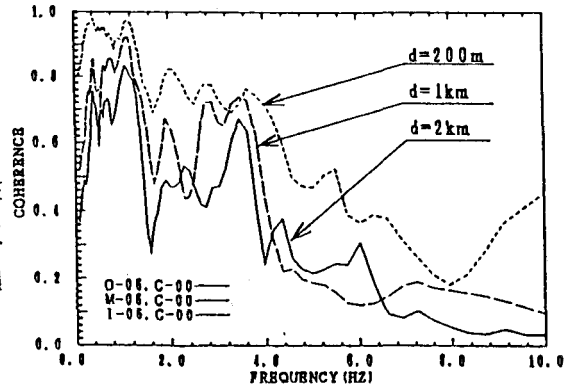


図-3 重みつき平均によるコヒーレンス