

I-457 多地点地震動の非定常相互相関性のモデル化

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

1. まえがき 長大橋梁やライフラインのような空間的広がりをもつ構造物の地震応答解析では、多地点地震動の相互相関性を簡単な形でモデル化することが必要である。筆者らはこれまで、マルチフィルターによる非定常相互スペクトル解析法を用いてアレー観測記録を解析し、地震動の相互相関性に関するいくつかの知見を得た。^{1), 2)} 本報告では、非定常な多地点地震動の相互相関性を表す非定常コヒーレンスおよび非定常相互スペクトルのモデル化を考える。

2. 非定常コヒーレンスのモデル化 2つの地点jとkの地震動 $x_j(t)$, $x_k(t)$ の相互相関性は、次式の非定常コヒーレンス $\gamma_{jk}^2(t, \omega)$ により表される。

$$\gamma_{jk}^2(t, \omega) = |G_{jk}(t, \omega)|^2 / \{G_{jj}(t, \omega)G_{kk}(t, \omega)\} \quad (1)$$

ここで、 $G_{jj}(t, \omega)$, $G_{kk}(t, \omega)$ および $G_{jk}(t, \omega)$ はそれぞれ、 $x_j(t)$, $x_k(t)$ の非定常パワースペクトルおよび非定常相互スペクトルであり、マルチフィルターの方法より算出される。上式の非定常コヒーレンスは、振動数および時間の関数であるから、これをそのままモデル化すると非常に複雑になる。そこで、次式に示すような非定常相互スペクトル振巾で重み付けした非定常コヒーレンスの平均値を求め、これを非定常コヒーレンスの代表値とする。

$$\bar{\gamma}^2(\omega) = \int_0^T \gamma^2(t, \omega) |G_{jk}(t, \omega)|^2 dt / \int_0^T |G_{jk}(t, \omega)|^2 dt \quad (2)$$

ここで、 T = 継続時間、 $|G_{jk}(t, \omega)|^2$ = 非定常相互スペクトル振巾である。上式は、非定常相互スペクトル振巾が大きい時間帯のコヒーレンスを強調するという考え方に基づくものである。以後、これを重み付平均コヒーレンスと呼ぶ。以下では、アレー観測記録による解析結果より、重み付平均コヒーレンスの特徴を述べる。

数値計算では、SMART-1 アレー観測 (Fig. 1 参照) の event5 の観測記録のうち、震央方向 (006~012) および、震央直角方向 (003~009) に位置する観測点で得られた記録を用いる。Fig. 2 は、式 (1) より計算される非定常コヒーレンスの一例 (I06NS, M06NS および O06NS と COONS のいくつかの振動数成分の非定常コヒーレンス) を示したものであり、図中の点線は式 (2) より得られる重み付平均コヒーレンスである。この図より、重み付平均コヒーレンスが波形強震部付近の非定常コヒーレンスとよい対応を示すことがわかる。Fig. 3 には、震央方向 (Epicentral) および震央直角方向 (Transverse) の各観測点と COONS 成分の重み付平均コヒーレンスを、観測点間距離 (D) をパラメータとして示す。この図より、コヒーレンスが振動数 f および地点間距離 D の増大とともに減少すること、震央方向の

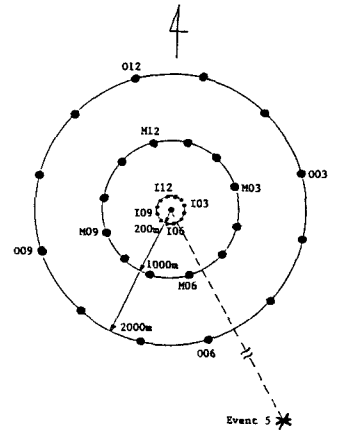


Fig. 1 The SMART-1 Array

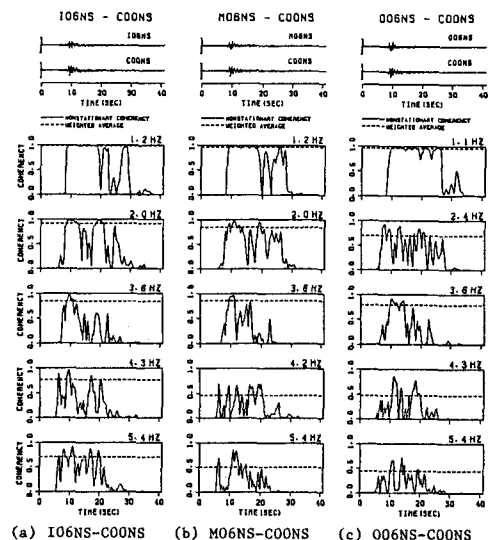


Fig. 2 Nonstationary Coherencies

ヒーレンス(図(a))が震央直角方向のコヒーレンス(図(b))に比べて全体的に若干小さいこと、震央直角方向では、1 Hz以下の低振動数領域で地点間距離Dがコヒーレンスを低下させる割合が小さいこと等がわかる。これらのことより、重み付平均コヒーレンスを次式の振動数の有理関数でモデル化した。

$$\hat{\gamma}^2(2\pi f) = \exp(-\beta X) / (aD^\alpha f^2 + 1)^2 \quad (3)$$

ここで、 f は振動数、 D は地点間距離、 X は地点間距離 D の震央方向への投影長(波動伝播距離と呼ぶ)、 a 、 α 、 β は係数である。上式は、振動数の有理関数であるため構造物の理論応答解析に適用可能なこと、波動伝播距離を変数に含むためコヒーレンスの異方性が考慮できること等の特徴を有している。前述の記録より得られる重み付平均コヒーレンスを観測値として最小自乗法より係数 a 、 α 、 β を決定した結果、次の値が得られた。

$$a=0.00234, \alpha=0.236, \beta=0.0000816 \quad (4)$$

式(3)、(4)より、重み付平均コヒーレンスのモデル関数の値を算出し、地点間距離 D をパラメータとしてFig.4に示した。この図は、Fig.3の観測値と対応する。Fig.3とFig.4の比較より、式(3)および(4)のモデル関数が観測記録の重み付平均コヒーレンスの特徴をよく捉えていることがわかる。

3. 非定常相互スペクトルのモデル化

前節のコヒーレンスのモデル関数を用いると、非定常相互スペクトルのモデル関数が次式のように得られる。

$$\hat{G}_{jk}(t, \omega) = \hat{\gamma}_{jk}(\omega) \sqrt{\hat{G}_{jj}(t, \omega) \hat{G}_{kk}(t, \omega)} \exp[i\hat{\theta}_{jk}(t, \omega)] \quad (5)$$

ここで、 $\hat{G}_{jj}$ および $\hat{G}_{kk}$ は文献(2)で与えられる非定常パワースペクトルのモデル関数であり、 $\hat{\theta}_{jk}(t, \omega)$ は波動伝播距離と波の位相速度および群速度から確定的に求められる位相差である。²⁾

Fig.5には、記録より得られる非定常相互スペクトル振巾と式(5)のモデル関数の絶対値の一例(006NS-COONSおよび106NS-COONS)を示した。図より、モデル関数が観測値とよい対応を示すことがわかる。

4. おわりに 多地点地震動の相互相関性を表す非定常コヒーレンスと非定常相互スペクトルのモデル化について述べた。提案したモデル関数は、簡単な形をしており、観測記録との対応性もよいことから、多地点地震動の相互相関性を表すモデルとして妥当であると考えられる。

謝辞 SMART-1 アレー観測記録は台湾のNational Central大学・Dr.Lohに提供していただいた。また、京都大学工学部・杉戸真太助手には、データ処理で大変お世話になりました。記して感謝の意を表します。

参考文献 1)Kameda et al.:Proc.of 7th JEES,1986. 2)亀田他:京大防災研年報,第30号,1987年.

3)後藤・亀田・杉戸:土木学会論文集, No.286, 1987年.

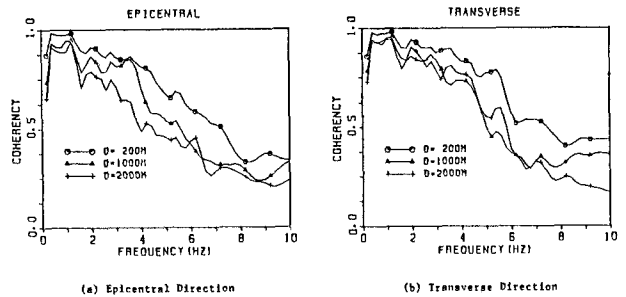


Fig.3 Weighted Average Coherencies

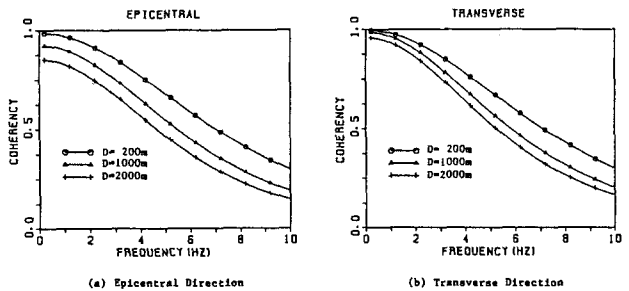


Fig.4 Model Functions of Weighted Average Coherencies

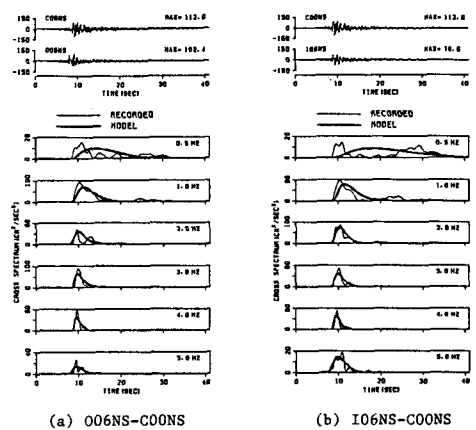


Fig.5 Model and Recorded Nonstationary Cross Spectra