

多点地震動シミュレーションに関する2, 3の考察

徳島大学大学院 学生会員 青井 英幸
 徳島大学工学部 正会員 沢田 勉

1. 緒言 原子力施設などの重要構造物や長大橋梁、パイプライン系のように空間的広がりを持つ構造物の耐震設計を行うにあたっては、地震動の多次元性を考慮しなければならない。そのため、地震動の非定常性を考慮して多次元成分間の相関性を評価することが必要となってくる。亀田ら¹⁾はマルチフィルタによる非定常相互スペクトル解析法を開発し、アレー観測記録の解析より地震動の空間相関性について有用な情報を得た。これら解析結果を耐震設計に役立てるためには、地震動の空間相関性を簡単な形でモデル化しなければならない。本報告では、非定常多地点地震動シミュレーション²⁾に紐込む地震動の空間相関性を表すモデルのうち、とくに多次元に拡張した条件付コヒーレンスについての物理的意味とその問題点を考察する。

2. シミュレーション理論の概要 非定常パワースペクトルおよび相互スペクトルのモデル関数³⁾を用いて、非定常な相互相関性を有する多地点地震動をシミュレートする方法について述べる。多次元非定常確率過程 $x_j(t)$, $j=1 \sim n$ は、非定常パワースペクトル G_{jj} および相互スペクトル G_{jk} を要素とする相互スペクトル行列 $G(t, \omega)$ を用いて、次式によりシミュレートできる³⁾。

$$x_j(t) = \sum_{l=1}^N \sum_{p=1}^j \sqrt{2\Delta\omega} |B_{jp}(t, \omega_l)| \cos\{\omega_l t + \beta_{jp}(t, \omega_l) + \phi_{pl}\} \quad (1)$$

ここで、 $B_{jp} = |B_{jp}| \exp(i\beta_{jp})$ は相互スペクトル行列 $G(t, \omega)$ を三角行列の積に分解したときの (j, p) 要素であり、複素関数である。また、 ϕ_{pl} は $0 \sim 2\pi$ の独立な一様乱数である。

3. 多次元における条件付コヒーレンスの物理的意味 上式の物理的意味を明確にするため、次の2つの係数 b_{jp} および g_{jp} を導入する。

$$b_{jp} = B_{jp} / \sqrt{G_{jj}} \quad , \quad g_{jp} = G_{jp} / \sqrt{G_{jj}G_{pp}} \quad (2)$$

式(1)を、式(2)の係数を用いて変形すると、次式が得られる。

$$x_j(t) = \sum_{l=1}^N \sqrt{2G_{jj}\Delta\omega} \sum_{p=1}^j |b_{jp}| \cos(\omega_l t + \beta_{jp} + \phi_{pl}) \quad (3)$$

この式より、係数 b_{jp} が $x_j(t)$ と $x_p(t)$ に共通に含まれる要素波の条件付複素コヒーレンスになることがわかる。条件付コヒーレンスは、群遅れ時間および位相遅れ時間¹⁾とコヒーレンスの絶対値を表すモデル²⁾からなる複素コヒーレンスの漸化式で求めることができる。

$$b_{jj} = \sqrt{1 - \sum_{p=1}^{j-1} b_{jp}^2} \quad , \quad b_{jp} = \frac{g_{jp} - \sum_{n=1}^{p-1} b_{jn} b_{pn}^*}{b_{pp}} \quad (4)$$

数学的に誘導された多次元の相互相関性を表す条件付コヒーレンスの物理的意味は次のようである。多地点間で相関性を有する波は、共通な要素波すなわち乱数項が同じ波を含んでおり、それらの波を含む割合すなわち要素波のパワーにかかる係数として条件付コヒーレンスが定義できる。これらのことより、式(3)よりシミュレートされる多次元非定常確率過程の物理的意味が明確となる。すなわち① $x_j(t)$ の非定常パワースペクトルは $G_{jj}(t, \omega)$ であり② $x_j(t)$ には j 種類の独立な要素波(余弦波)が $|b_{jp}|$ の割合で含まれ③ $x_j(t)$ と $x_k(t)$ に共通に含まれる要素波は $|b_{jk}|$ なる相関をもち、それらの位相差は β_{jk} で表される。

なお、式の表現を簡単にするため、引数 (t, ω) を適宜省略して表してある。

4. 数値計算結果および考察

数値計算では、Fig.1の台湾のSMART-1アレー観測記録¹⁾⁵⁾で得られたevent5の地震記録を用い、多次元での条件付コヒーレンスの変化を求めてモデルについて考察を行う。ここでは、アレーの中心C00とほぼ震央方向に位置するI06、M06、O06で得られた観測記録による解析結果を示す。Fig.2には、模擬波形および観測記録の重み付平均コヒーレンスを示した。太線は模擬波形に、細線は観測記録に対応する。また図中には、重み付平均コヒーレンスのモデル関数も示した。図より、模擬地震動と観測記録の重み付平均コヒーレンスにはよい一致が見られる。また、多点で相関性を有する、すなわち多数の要素波と相関をもつ波形は、次元（地点数）

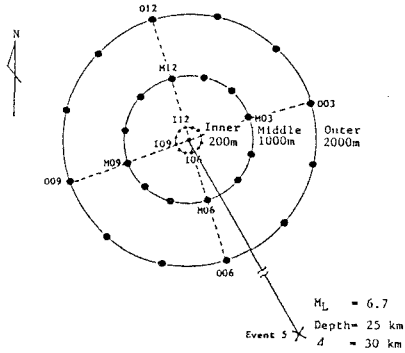


Fig.1 The SMART-1 Array

が上がればその条件付コヒーレンスはFig.3のような変化をしており、各要素波のパワー寄与率を表す指標となっている。詳しくは当日発表する予定である。

5. 結言

周波数強度型シミュレーション法を拡張し、数値解析によりその妥当性を検討した。その結果、距離と振動数の関数であるモデルが規定する地震動の非定常性、相互相関性などの工学的特性はほぼ妥当なものであることがわかり、その物理的意味が明らかになった。さらに地盤条件（層厚、硬さなど）といったローカル特性をどのように定量化してモデルに組込むかなどは現在検討中である。

最後に、本研究を進めるにあたって京都大学防災研究所 亀田弘行教授には貴重な御助言を賜り、また京都大学工学部 杉戸真太助手にはデータ処理についてお世話になりました。解析に使用したアレー観測記録は台湾National Central大学のDr.Lohに提供していただきました。記して感謝の意を表します。

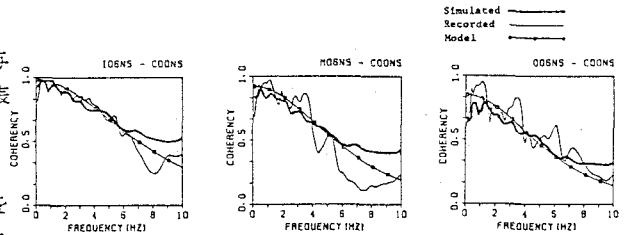


Fig.2 Ensemble Average of Weighted Average Coherency

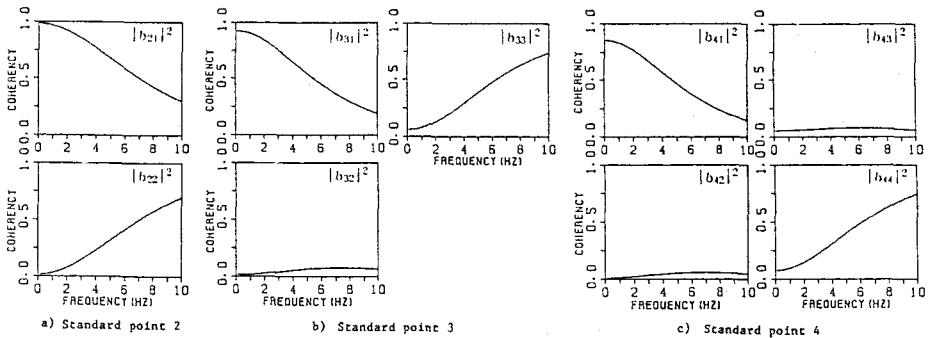


Fig.3 Conditional Coherency

【参考文献】 1)亀田・沢田・亀井；京都大学防災研究所年報30号、1987。 2)沢田・亀田・青井；土木学会第43回年報、1988。 3)星谷；土木学会論文集第253号、1976。 4)Loh, C-H；Earthq. Engr. Struct. Dyn., 1985。 5)N. A. Abrahamson；USB/EERC-85/02, 1985。