

## I-422

## 多点地震動シミュレーションにおける要素波のパワー寄与率について

徳島大学工学部 正 員 〇沢田 勉  
 京都大学防災研究所 正 員 亀田弘行  
 徳島大学大学院 学生員 青井英幸

1. はじめに 長大橋梁やパイプラインのような空間的拡がりをもつ構造物の耐震設計では、多点入力地震動の相互相関性を考慮することが必要である。著者らは、マルチフィルタによる非定常相互スペクトル解析法を用いてアレー観測記録を解析し、多点地震動の相互相関性をモデル化するとともに、非定常な多点地震動のシミュレーション法を提示した<sup>1)</sup>。本報告では、多点地震動において重要な役割をする要素波のパワー寄与率に注目し、考察を加える。

2. 多点地震動のシミュレーション理論と要素波のパワー寄与率 非定常な多点地震動の確率構造は、次に示す非定常相互スペクトル行列  $G(t, \omega)$  により規定される(ここで、 $t$  = 時間、 $\omega$  = 各振動数)。

$$G(t, \omega) = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & \cdots & G_{1n} \\ G_{21} & G_{22} & \cdots & G_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{n1} & G_{n2} & \cdots & G_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ B_{21} & B_{22} & & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{n1} & B_{n2} & \cdots & B_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{11}^* & B_{21}^* & \cdots & B_{n1}^* \\ 0 & B_{22}^* & \cdots & B_{n2}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & B_{nn}^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $G_{jk} = G_{jk}(t, \omega)$  は地点  $j$  と  $k$  の地震動  $x_j(t)$  と  $x_k(t)$  の非定常相互スペクトル、 $B_{jk} = B_{jk}(t, \omega)$  は  $G(t, \omega)$  を UD 分解したときの下三角行列の  $j$   $k$  要素である。非定常な多点地震動  $x_j(t)$ ,  $j=1 \sim n$  は、上式の  $B_{jk}$  を用いて、次式によりシミュレートできる<sup>2)</sup>。

$$x_j(t) = \sum_{l=1}^N \sum_{p=1}^j \sqrt{2\Delta\omega} |B_{jp}(t, \omega)| \cos [\omega_1 t + \beta_{jp}(t, \omega) + \phi_{p1}] \quad (2)$$

ここで、 $N$  は離散振動数点の数、 $\beta_{jp}(t, \omega)$  は  $B_{jp}(t, \omega)$  の位相角、 $\phi_{p1}$  は  $0 \sim 2\pi$  の独立な一様乱数である。上式の物理的意味を明確にするため、式(1)より  $B_{jp}(t, \omega)$  を求めた後、次の2つの係数を導入する。

$$b_{jp}(t, \omega) = B_{jp}(t, \omega) / \sqrt{G_{jj}(t, \omega)}, \quad g_{jp}(t, \omega) = G_{jp}(t, \omega) / \sqrt{G_{jj}(t, \omega) G_{pp}(t, \omega)} \quad (3)$$

上式を用いて式(2)を変形すると次式が得られる。

$$x_j(t) = \sum_{l=1}^N \sqrt{2G_{jj}(t, \omega) \Delta\omega} \sum_{p=1}^j |b_{jp}(t, \omega)| \cos [\omega_1 t + \beta_{jp}(t, \omega) + \phi_{p1}], \quad j=1 \sim n \quad (4)$$

ここで、 $b_{jp}(t, \omega)$  は複素関数であり、式(3)の  $g_{jp}(t, \omega)$  が与えられると次の漸化式より計算できる。

$$b_{jp} = (g_{jp} - \sum_{m=1}^{p-1} b_{jm} b_{pm}^*) / b_{pp}, \quad b_{jj} = [1 - \sum_{p=1}^{j-1} b_{jp}^2]^{1/2}, \quad j=1 \sim n, \quad p=1 \sim j-1 \quad (5)$$

式(4)の多点地震動シミュレーションモデルより、第  $j$  地点の地震動には  $j$  種類の独立な要素波(余弦波)が  $|b_{jp}|$  の割合で含まれ、 $x_j(t)$  と  $x_p(t)$  に共通に含まれる要素波の相関性は  $|b_{jp}|$  で表されることがわかる。 $|b_{jp}|$  の自乗、すなわち  $b_{jp}^2$  は、 $x_j(t)$  に含まれる要素波のパワーの割合を表し、式(5)より次の関係を満足することがわかる。

$$\sum b_{jp}^2 = 1, \quad j=1 \sim n \quad (6)$$

以下では、 $b_{jp}^2$  を  $x_j(t)$  に含まれる要素波のパワー寄与率と定義する。

3. 数値計算および考察 前節で定義したパワー寄与率  $b_{jp}^2$  を計算する。ところで、複素関数  $b_{jp}(t, \omega)$  および  $g_{jp}(t, \omega)$  は時間および振動数の関数であり、このままでは繁雑であるので、文献(3)の重み付平均コヒーレンスによりモデル化して振動数のみの関数として表す。モデル化された複素コヒーレンス  $g_{jp}(\omega)$  は次式より求められる<sup>3)</sup>

$$g_{jp}(\omega) = \gamma_{jp}(\omega) \exp[i\theta_{jp}(\omega)], \quad \gamma_{jp}^2(\omega) = [a\omega^2 f^2 + 1]^{-1/2} \cdot \exp(\beta X) \quad (7)$$

ここで、 $\gamma_{jp}(\omega)$ および $\theta_{jp}(\omega)$ はそれぞれ、コヒーレンスおよび位相角のモデル関数である。 $x_j(t)$ に含まれる要素波のパワー寄与率は式(5)および(7)を用いて計算される。数値計算では、5地点を対象にして、Fig.1に示すような異なる位置関係にある4つのケース(Case A~Case D)について解析した。それぞれのケースにおいて、Site 1は規準点であり、 $x_1(t) \sim x_5(t)$ が式(4)により順次シミュレートされる場合を考える。Fig.2は、Case A~Case Dについてそれぞれ5地点の地震動の要素波のパワー寄与率を示したもので、各図の横軸は振動数である。この図をみると、全てのケースについて、 $x_j(t)$ に含まれる要素波のパワー寄与率は、 $b_{j1}^2$ および $b_{jj}^2$ が他に比べて大きいことがわかる。このことは、第j地点のシミュレーション波 $x_j(t)$ には、規準点1と相関する要素波および $x_j(t)$ にのみ独立に含まれる要素波が他に比べて多く含まれることを示している。

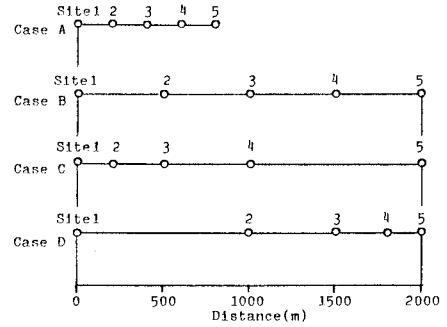
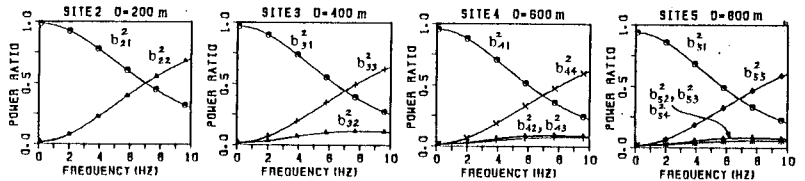
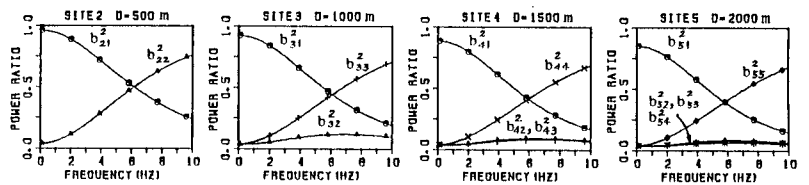


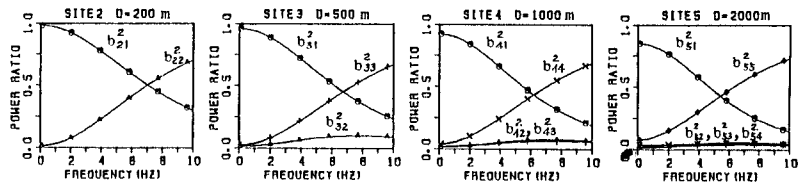
Fig.1 Site Location for Multivariate Earthquake Simulation



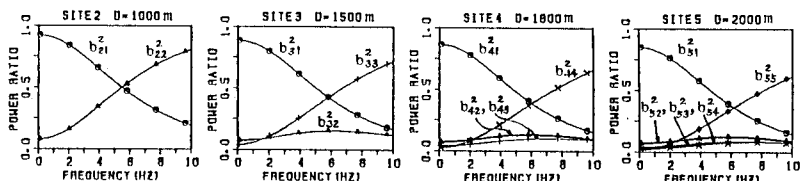
(a) Case A



(b) Case B



(c) Case C



(d) Case D

Fig.2 Power Contribution Rate for Multivariate Earthquake Simulation

4. おわりに 多点地震動シミュレーションにおいて重要な役割をする要素波のパワー寄与率に注目し、考察を加えた。その結果、第j地点のシミュレーション波 $x_j(t)$ には、規準点1と相関する要素波および $x_j(t)$ にのみ独立に含まれる要素波が他に比べて多く含まれることがわかった。

#### 【参考文献】

- 1) 亀田・沢田・青井;  
土木学会第43回年講,  
1988.
- 2) 星谷;土木学会論文集  
第253号、1976.
- 3) 亀田・沢田;土木学会  
第43回年講、1988.