I－710　空間変換法による二次元定常時空間確率場のシミュレーション

鳥取大学工学部　正会員　白木　渡　　鳥取大学工学部　正会員　松　保　重之
鳥取大学大学院　学生員○田　　浩　　日本電炉㈱　　阿波根　重孝

1. まえがき　長大構造物を対象に、確率論的手法を用いて動的地震応答解析、耐震設計を行う場合、入力地震動としては、構造物の各支点に互いに相関を有する地震動が作用することを考えなければならない。そこで、多点入力の適切な確率過程モデルを作成することが重要となる。本研究では、地震動を波動の伝播に伴う波形の変形を考慮した時空間確率場として考え、その三次元時空間確率場(空間二次元)を容易に算出するために、空間変換法を用い、その有効性を示した。

2. 空間変換法の概説　　空間変換法とは、既知の二次元時空間確率場のパワースペクトル密度関数を一次元時空間確率場のパワースペクトル密度関数に変換し、一次元時空間確率場のシミュレーションを行い、これを利用して二次元時空間確率場のシミュレーションを行う方法である[1]。その手順の概要を以下に示す。

(1)　既知のパワースペクトル密度関数をもつ二次元空間場を座標化し、変位を求める点を設定する。
(2)　座標の中心を原点とし、原点から任意の１方向において一次元時空間確率場のパワースペクトル密度関数を求める。この時の回転角を0とする。原点回りにϕ だけ反時計回りに回転した方向についても同様に、一次元時空間確率場のパワースペクトル密度関数を求める。これを、$\frac{2\pi}{\phi}$ 回繰り返す。
(3)　求めたパワースペクトル密度関数を用いて一次元時空間確率場のシミュレーションを行う。
(4)　求めた一次元時空間確率場のシミュレーション結果を用いて二次元時空間確率場のシミュレーションを行う。

空間変換法において、次式により、二次元から一次元へ次元変換を行う。

$$f_{1,\vec{\theta}}(t)=\int_{R^2} f_2(\vec{S})\,\delta_t(\vec{S},\vec{\theta})\,d\vec{S} \tag{1}$$

ここで、　δ_t　はデルタ関数を表し、$\vec{\theta}$ は$\theta(\cos\phi,\sin\phi)$ で表される単位ベクトルであり、$\vec{S}$　は$\vec{S}(X,Y)$　を表す。式(1)が、周波数領域において、特に二次元の場合、次式のようになる。

$$S_{1,\phi}(\omega)=\pi|\omega|S_2(\vec{W}) \tag{2}$$

ここで、　$S_{1,\phi}(\omega)$ は二次元空間場において各方向の一次元確率過程のパワースペクトルで、$S_2(\vec{W})$ は既知した二次元確率場のパワースペクトルである。本研究では、$S_2(\vec{W})$ が式(3)となる[2]。

$$S_{f0f0}(\kappa_1,\kappa_2)=\frac{\sigma^2_{yy}}{8\pi}b_1^3b_2\kappa_1^2\,\exp\left[-\left(\frac{b_1\kappa_1}{2}\right)^2-\left(\frac{b_2\kappa_2}{2}\right)^2\right] \tag{3}$$

ここで、　κ_1、κ_2は、それぞれ、x, y方向の波数である。$\sigma_{yy}=0.0124$m、　b_1=65m、　b_2=175m。
式(2)と、式(3)との関係より

$$S_{1,\phi}(\omega)=\frac{\sigma_{yy}^2}{8}\,b_1^3\,b_2\,\omega^3\,\cos\phi\,\exp\left[-\left(\frac{b_1\omega\cos\phi}{2}\right)^2-\left(\frac{b_2\omega\sin\phi}{2}\right)^2\right] \tag{4}$$

3. 確率場シミュレートする手法　一次元確率場(地盤変位)が次式によって得られる。

$$X_{1,\vec{\theta}}(s_i,t)=\sqrt{2}\sum_{j=1}^{M}\sqrt{S_{1,\phi}(\omega j)\Delta\omega}\cdot\cos(\omega_j{}'S_i+c\kappa_jt+\phi_j) \tag{5}$$

ここで、　　$S_i=\vec{S}\cdot\vec{\theta}=X\cos\phi+Y\sin\phi$　、　cは地震波の伝播速度で、ϕ_jは0～2πの一様分布乱数である。
式(5)で得られた一次元時空間確率場の変位成分を用いて、次式により二次元時空間確率場に帰還させる。

$$X_2(\vec{S},t)=X_2(X,Y,t)=\frac{1}{\sqrt{P}}\sum_{i=1}^{P}X_{1,\vec{\theta_i}}(s_i,t) \tag{6}$$

ここで、Ｐは、$P=\dfrac{2\pi}{\phi}$ で表される、一次元時空間確率場のパワースペクトル密度関数の所要方向数である。

4.　数値計算例及び考察　本研究では、500m×500mの確率場において、地震動の時間的及び空間的振動特性をモデル化するため一次元時空間確率場のパワースペクトルの方向を、P=8, 16, 32, 48, 64方向にとり、それぞれについて0秒から2秒まで、0. 125秒刻みに二次元確率場のシミュレーションを行った。既知とした二次元パワースペクトルを図-1に示し、変換した各方向の一次元パワースペクトルを図-2に示す。図-2で突起の大きい部分の位置が重要視べきパワースペクトルの方向を示している。P=16についてシミュレートした結果を図-3に示す。結果の平均値と分散などに注目してみると、P=16から、結果が近い値をとっているので、一次元確率場のパワースペクトルの必要方向数は16方向で十分であると考えられる。また、図-4に一地点での地盤変位を示す。これが、波動の伝播する主方向の空間変動性を示している。

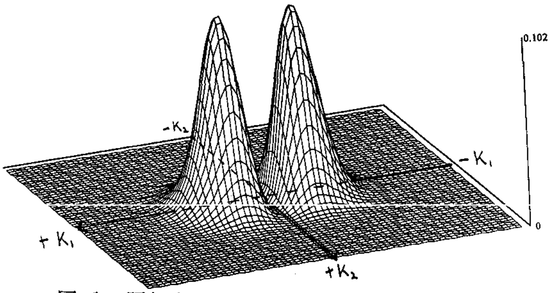

図-1　既知とした二次元パワースペクトル

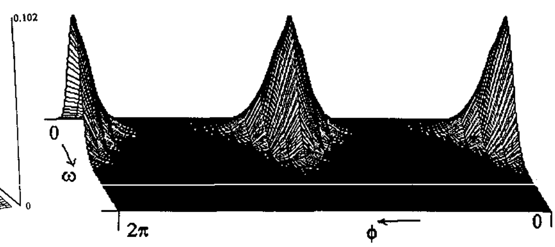

図-2　変換した一次元パワースペクトル

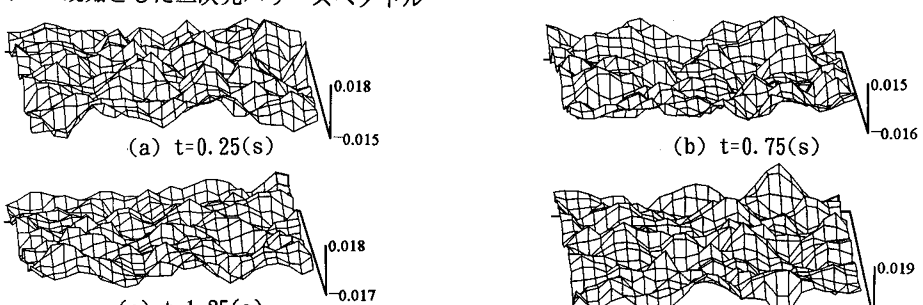

図-3　シミュレートした二次元時空間確率場(P=16)

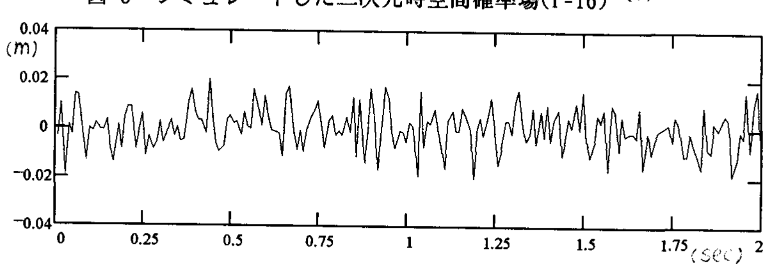

図-4　シミュレートした一地点での地盤変位

参考文献　1) George Christakos: Randomfield Models in Earth Sciences, Academic Press, 1992
2) R. Harichandran and E. Vanmareke: Stochastic Variation Earthquake Ground Motion, J. of Engineering Mechanics ASCE, 112, No. 2, 1986