

## スペクトル確率手法による 構造系と入力波の不確定性を考慮した非線形動的解析

京都大学防災研究所  
京都大学地球工学科

本田利器  
村上裕宣

### 1. はじめに

合理的な耐震設計には、地震動シミュレーションや構造物の応答等に高精度な解析が求められる。しかし、地震動の諸要因や構造物特性自体が不確定性を含むことは不可避であるため、不確定性を定量的に考慮した解析が重要となる。

本研究では、入力波と構造パラメタに不確定性がある問題を解析する手法を提案する。提案する手法では、効率的な解析を行うために、Ghanem and Spanos<sup>1)</sup> らの提案したスペクトル確率手法を用いる。ここでは、非線形系等の応答解析に適用し、その有用性について検討する。

### 2. 解析手法

#### 2.1 スペクトル確率手法

スペクトル確率手法<sup>1)</sup>は、不確定性を有するパラメタや解となる変位量等を均質カオス (Homogeneous Chaos) と呼ばれる空間内で展開する。そして、それらの不確定性を有するパラメタを用いて記述されるシステム方程式を、均質カオス空間内で最良近似するような解を算出するものである。均質カオス空間は無限大の次元を有するが、スペクトル確率手法においては、考慮する均質カオス空間の次元は有限の値（以下、HC と表す。）で打ち切る。

#### 2.2 不確定性を考慮した時刻歴応答解析

入力の不確定性は、解析信号ウェーブレットを用いて定義される、時間周波数軸上で局在性を有する位相（以下、ウェーブレット位相と呼ぶ。）の不確定性を考える。このウェーブレット位相の不確定性としてガウス分布を仮定する。

また、構造系は、剛性に不確定性を有する問題を考え、その不確定性を有限次元の均質カオス空間に属する確率過程としてモデル化する。

### 3. 数値解析例

ここでは、不確定性を有する入力が、不確定性を有する線形一質点系に与えられる問題を考える。この系を対象に、提案手法による結果とモンテカルロシミュレーション（以下、MCS と呼ぶ。）による結果の比較を行い、妥当性の検証を行う。対象とする系の各諸元は、質量は 0.1、剛性は  $1.0 [1/\text{sec}^2]$ 、減衰定数は 0.1 とする。剛性のばらつきは、期待値の 10% として与える。入力として、兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された強震記録（NS 成分）を用いる。離散時間間隔は 0.04 秒とし、合計 512 ステップの解析を行うものとする。入力の不確

定性として、本解析では、最大振幅を有するウェーブレット成分 ( $t=2.0 [\text{sec}]$  付近の成分) のウェーブレット位相が不確定性を有するとし、その標準偏差は  $0.2\pi$  とする。MCS の試行回数は 10,000 回とする。

図-2 に応答変位の分散の時刻歴を示す。提案手法は MCS の結果を良く評価できており、また、高い HC 次数を考慮することで解析精度が上がっていることが分かる。図-3 には、 $t=4.0 [\text{sec}]$  における変位の確率密度関数を示す。HC=2 では評価精度が高くないが、HC=4 とすることにより MCS の結果を高く評価できていることが分かる。

非ガウス問題や非線形系等への適用結果については別途報告する。

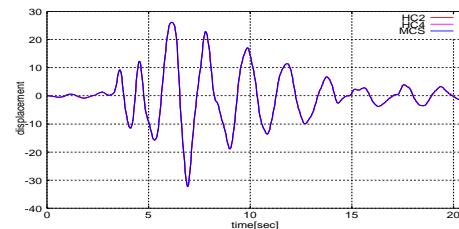


図-1 变位の期待値の時刻歴

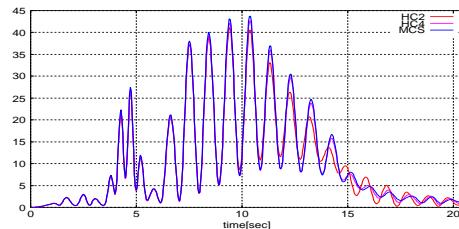


図-2 变位の分散の時刻歴

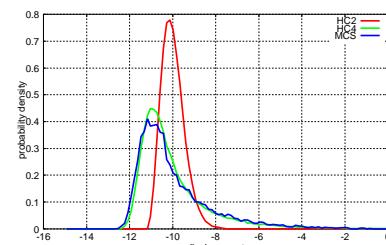


図-3 变位の確率密度関数 ( $t = 4.0 \text{ sec}$ )

1. Ghanem, R. G. and Spanos, P. D., Stochastic Finite Elements – A Spectral Approach, Springer, Verlag NY, 1991