

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。

筆者らは、Ghanem and Spanos¹⁾らの提案したスペクトル確率手法を用いて、入力波と構造パラメータに不確定性がある問題を解析する手法を提案しているが、従来の手法ではパイリニア応答などの非線形性の強い系の応答は高精度に算出することができなかった。本研究では、モンテカルロシミュレーションとのハイブリッド化により、精度を向上させる方法を提案する。

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¹⁾は、不確定性を有するパラメー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ー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次元の次元を有するが、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 MCS-SSA ハイブリッド法

非ガウス性の強い非線形系の応答を解析した場合の精度が低下するというスペクトル確率手法 (SSA) の問題を改善するため、モンテカルロシミュレーション (MCS) との並列化による手法 (MCS-SSA ハイブリッド法) を提案する。これは、SSA で扱う均質カオス空間を構成する正規ガウス確率変数 ξ が、数学的な整合性を失うことなく 2 つの正規ガウス確率変数 ξ_1, ξ_2 とパラメータ α を用いて、

$$\xi = \sqrt{1 - \alpha^2} \xi_1 + \alpha \xi_2 \quad (0 < \alpha < 1) \quad (1)$$

と表されることにより可能となる。ここで、 ξ_1 に基づく不確定性については SSA で、また、 ξ_2 による不確定性については MCS で解析することになる。本手法は、MCS の各実現値の周りの不確定性のばらつきを SSA で解析するという解釈も可能である。

2.3 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

不確定性を有する入力、不確定性を有するパイリニア非線形復元力を有する一質点系に与えられる問題を考える。この系を対象に、SSA 法、MCS-SSA ハイブリッド法及びモンテカルロ法による結果の比較を行う。対象とする系は、質量が 0.1、初期剛性が 1.0 [1/sec²]、二次剛性は初期剛性の 80%、減衰定数は 0.1 とする。剛性のばらつきは、期待値の 10% とする。入力には、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 秒として 512 ステップの解析を行う。入力の不確定性として、最大振幅を有するウェーブレット成分 ($t = 2.0$ [sec] 付近の成分) のウェーブレット位相が標準偏差は 0.2π のガウス分布の不確定性を有するものとする。MCS の試行回数は 10,000 回とする。

図-1 に応答変位の確率密度関数を示す。SSA 法は、MCS の結果から分離した結果を与えているのに対し、提案手法 (MCS-SSA ハイブリッド法) は、MCS の結果を良く評価できており、提案した手法の有効性が示されている。

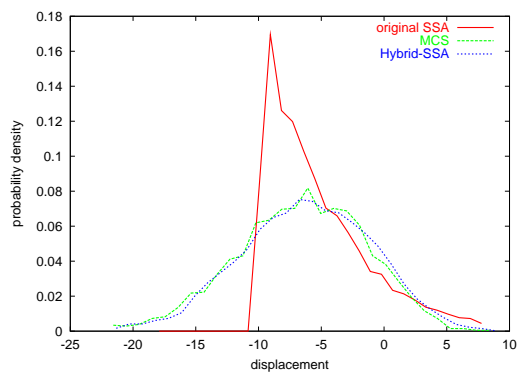


図-1 変位の確率密度関数

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