

地震 PRA における耐震多様性の評価

その 4 : 応答曲面法を使った耐震多様性システムの効率的評価法

Evaluation of Seismic Diversity of SSC system in PRA / Part4 : An Efficient Procedure Using the Response Surface Method for Evaluating the Seismic Diversity of SSC System

*片山 吉史¹, 大鳥 靖樹², 牟田 仁², 酒井 俊朗³, 中島 正人³

¹中電技術コンサルタント, ²東京都市大, ³電中研

耐震多様性システムの地震リスク評価における計算負荷を軽減するために、応答曲面法を適用した効率的な手法について検討したので報告する。

キーワード : 耐震多様性, 地震 PRA, 応答スペクトル, 免震, 応答曲面法

1. はじめに

原子力発電所の重大事故等の対処設備は、設置方向や免震などを含めた耐震多様性を図ることで共通の機能喪失リスクを低減させることが重要であることが指摘されている[1]。著者らは、免震の導入による耐震多様性を対象として、地震動の応答スペクトルの周期特性と周期間相関に着目して、耐震多様性を有するシステムのリスク評価手法を開発した[2]。また、同手法を国内 11 地点の実際の地震環境に適用して、耐震多様性の有効性を定量的に評価した[3]。一方で、同手法による評価は、地震動予測モデルのばらつきや周期間相関等を考慮した多数のモンテカルロシミュレーション(MCS)が必要となるため、計算時間が課題となっている。そこで、本検討では、計算負荷低減のために、応答曲面法を適用した効率的な手法について検討した。

2. 検討方法

本検討における応答曲面法は、X 軸を地震規模(M), Y 軸を震源距離(R), Z 軸を損傷確率(P)として、YX 平面上の格子点における P を曲面で近似し、任意の M 及び R における P を効率的に算定する。なお、本検討では固有周期が 0.3 秒の耐震機器と 3 秒の免震機器から構成される 2 基の並列システムが、一様ランダムな地震環境にあると仮定して解析を行った。また、各機器の耐力は年超過頻度 10^{-5} (年⁻¹)の一様ハザードスペクトル(UHS)に対して設計され、UHS を超過する地震が起こった時に各機器は損傷し、システム内の全ての機器が損傷するとシステム全体が損傷するとした。

3. 検討結果

4×4 の格子点の損傷確率を使って設定した多様性システムの応答曲面を図 1 に、地震リスクの算定結果を表 1 に示す。多様性システムの損傷確率が応答曲面法で大きいのは、損傷確率の過小評価を避けるため、損傷確率ゼロの格子点に微小な値を与えているためである。これを除き、両手法で同様の結果となる。なお、直接法は MCS を 10^8 回、応答曲面法では曲面設定に MCS を $4 \times 4 \times 10^6$ 回、曲面使用を 10^7 回実施している。以上より、対象地震が約 40 万の実際の地震環境に適用した場合には計算負荷の大幅な軽減が期待される。

参考文献

- [1] 原子力学会：原子力安全の基本的考え方について 第 I 編別冊 2 深層防護の実装の考え方, 技術レポート, 2015
 [2] 大鳥靖樹, 牟田仁, 中島正人, 田村伊一郎, 蔵増真志, 酒井俊朗：地震 PRA における耐震多様性の評価, 2019 年春の年会
 [3] 片山吉史, 大鳥靖樹, 酒井俊朗, 牟田仁, 安中正：RI-PB に基づく新しい耐震設計体系のフレームワーク, その 5 : 原子力発電所の耐震多様性とロバストネスの評価, 2020 年秋の年会

*Yoshifumi Katayama¹, Yasuki Ohtori², Hitoshi Muta², Toshiaki Sakai³ and Masato Nakajima³

¹Chuden Engineering Consultant., ²TCU, ³CRIEPI

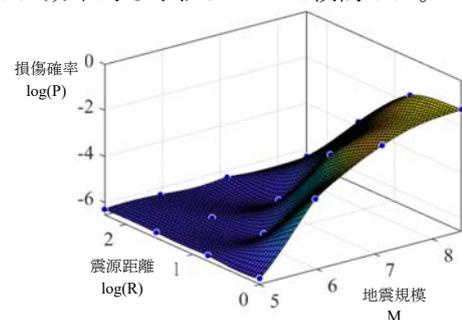


図 1 応答曲面(耐震+免震)

表 1 地震リスク評価結果

評価手法	損傷確率(年 ⁻¹)		
	①耐震1基	②耐震2基(多重化)	③耐震+免震(多様性)
応答曲面法	3.5×10^{-5}	1.1×10^{-5}	4.1×10^{-6}
直接法	3.7×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.6×10^{-6}