

外的事象を対象とした統合的リスク評価手法の開発

その3：ベイズ推定を用いた原子力発電所屋外重要土木構造物のフラジリティ曲線算定

Development of Integrated Risk Assessment Methodology for External Event

Part3:Bayesian estimation for generating fragility curve of high fidelity structure model

*片山 吉史¹, 酒井 俊朗¹, 大鳥 靖樹², 牟田 仁²

¹電力中央研究所, ²東京都市大学

ベイズ推定を用いてフラジリティ曲線算定に必要な地震応答解析の回数を低減可能な手法を検討した。本手法を原子力発電所の取水系土木構造物に適用した結果、原子力学会「地震PRA標準」^[1]の詳細法と比べて、少ない解析回数で、同程度のフラジリティ曲線を得ることができた。

キーワード：フラジリティ曲線，ベイズ推定，地震PRA，屋外重要土木構造物，耐震設計

1. はじめに

フラジリティ曲線は、一般に、耐力中央値 A_m とばらつき β の2つの母数をもつ対数正規累積分布関数で表され、 A_m と β を精度良く推定することが重要である。また、フラジリティ曲線算定には、物性値や地震動をばらつかせた多数回の地震応答解析が必要であるが、解析モデルは年々詳細化しており、計算時間の問題が出てきている。本検討では解析回数の低減を目的としたフラジリティ曲線算定手法を検討する。

2. ベイズ推定を用いたフラジリティ曲線算定手法

(1) **ベイズ推定**：本検討では、ベイズの定理に基づく式(1)において、 f_0 および f_1 を A_m と β を確率変数とする結合確率密度関数と考えると、 f_1 の周辺確率密度関数の期待値として A_m と β を推定する。

$$f_1(A_m, \beta | \varepsilon) = k \times P(\varepsilon | A_m, \beta) \times f_0(A_m, \beta) \quad \text{式(1)}$$

ここで、 f_0 ：事前確率密度関数、 f_1 ：事後確率密度関数、 k ：係数、 P ：尤度関数

(2) **尤度関数**：式(1)の尤度関数 P は A_m と β がある値をとるときの解析結果 ε が生起する確率を表し、尤度関数をフラジリティ曲線とした場合(従来法)と、限界加速度の確率密度分布とした場合(改良法)を検討する。

(3) **事前分布**： A_m と β は対数正規確率密度関数に従うとして式(1)の事前分布 f_0 を設定する。 A_m の中央値は、中央値物性値を用いた裕度解析から算定した限界加速度を設定し、それ以外のパラメータは、事前に実施したフラジリティ曲線の A_m と β を仮定したパラメータスタディを踏まえて設定した。

(4) **原子力発電所屋外重要土木構造物への適用**：土木学会

「原子力マニュアル」^[2]における取水ピットおよび海水管ダクトに対して上記手法を適用した。地震応答解析は2次元FEM非線形時刻歴解析とし、破壊基準は層間変形角1/100とし、地盤のS波速度のばらつきを考慮した。

3. 計算結果と結論

解析回数700回の詳細法、解析回数10回の従来法と改良法のフラジリティ曲線を図-1に示す。改良法ではS波速度

のサンプリングをモンテカルロ法(MCS)ではなくラテン超方格法(LHS)とした場合には、詳細法のフラジリティ曲線を概ね再現できており、3次元モデルに適用した場合に解析コストを大幅に低減できる可能性がある。

参考文献 [1] 日本原子力学会：原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準 2015

[2] 土木学会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル, 2005年6月

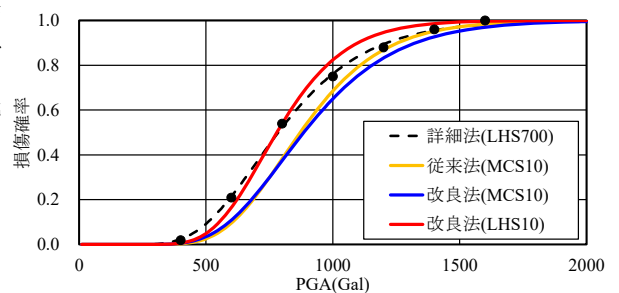


図-1 フラジリティ曲線(海水管ダクト)

*Yoshifumi Katayama¹, Toshiaki Sakai¹, Yasuki Ohtori² and Hitoshi Muta²

¹Nuclear Risk Research Center, CRIEPI, ²Tokyo City University