

PWR 鋼製原子炉格納容器の地震時における動的座屈挙動に関する数値解析的検討

Numerical Analysis for Clarifying Dynamic Buckling Behavior of PWR-CV during a Seismic Excitation

*日高 慎士郎¹, 庄司 学¹

¹筑波大学

本研究では、PWR 鋼製原子炉格納容器(PWR-CV)を対象として、機器搬入口等の構造不連続部を FEM でモデル化し、Oval モードの発現による現実的な座屈荷重を算出するため、数値解析的検討を実施した。

キーワード：動的座屈挙動，FEM モデル，多質点系はりモデル，PWR-CV，耐震信頼性実証試験

1. 緒言

PWR-CV の座屈評価手法においては、多質点系はりモデルを介して得られる等価な地震荷重を FEM モデルに静的に作用させて座屈挙動を評価する方法が採用されている。ただし、多質点系はりモデルは、振動理論を適用できるよう構造物を理想化したものであり、座屈モードを表現できない。また、FEM モデルを用いた静的弾塑性座屈評価は、地震時の応答に伴う連続体の動的な現象である座屈を静的な荷重に置き換えた評価であり、動的な挙動の影響を座屈荷重へ考慮できない。リスク評価に対応する観点から現実的な評価を行うには、FEM モデルの基礎に地震力を作用させて動的座屈挙動を評価し、静的な座屈評価方法からは評価し得ない Oval モードの発現による現実的な座屈荷重を把握することが重要となる。

2. FEM による座屈評価の解析条件

2-1. 解析モデル及び入力地震波の設定

本検討では、既往研究^[1]の解析モデル及び改良標準化の高地震地帯用設計用基準地震動 S2 に基づく PWR-CV の基礎応答波を用いた。

2-2. 解析条件の設定

FEM モデルは、初期不整を考慮せず、座屈モードを表現するのに約 13 万の節点と要素で構成した。線形動的解析において、下端固定として基礎に地震力を作用させて、モーダル法を用いて応答を算出した。

3. 動的座屈挙動に関する数値解析的検討

3-1. 固有値解析結果の比較

図 1 に水平方向の刺激係数が最も大きい質点系モデル(1st)及び FEM モデル(32nd)の固有モードを示す。リングガーダにより円筒胴上部が円形保持されていることから多質点系はりモデルと多少モード形状が異なるものの、FEM モデルの固有振動数は多質点系はりモデルとほぼ一致した。また、図 2 に示す 30Hz 以下の FEM モデルの固有モードは、Oval モードを含めて 596 次存在する。

3-2. 座屈評価結果に対する Oval モードの影響

図 3 に示す JEAG4601・補-1984 に記載される座屈評価式を用いた評価において、FEM モデルの座屈評価値は多質点系はりモデルより約 2 割低減した。これは、図 2 に示すように FEM モデルにおける 1 次曲げ振動の刺激係数が Oval モードに寄与する分低下するため、FEM モデルの応答が多質点系はりモデルの応答より小さくなるからと推測される。

4. 結言

FEM モデルにおいて、1 次曲げ振動数は多質点系はりモデルと一致するものの、水平方向の刺激係数は Oval モードに寄与する分低下した。従って、FEM モデルの座屈評価値は多質点系はりモデルより約 2 割低減した。

参考文献

[1]日高慎士郎,東喜三郎,庄司学,入力地震波の相違による PWR 鋼製原子炉格納容器の座屈耐力への影響,日本原子力学会 2022 春の年会

謝辞

本研究の成果は、原子力規制庁より提供いただいた解析データを用いて得られたものである。

*Shinjiro Hidaka¹ and Gaku Shoji¹

¹University of Tsukuba.

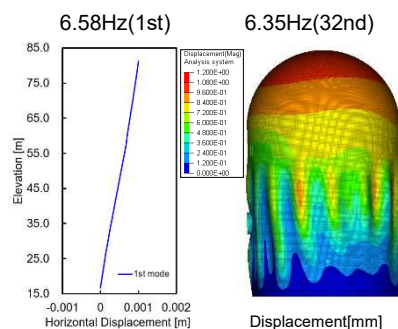


図 1 固有値及び固有モード

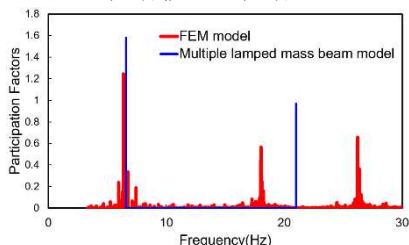


図 2 刺激係数の比較

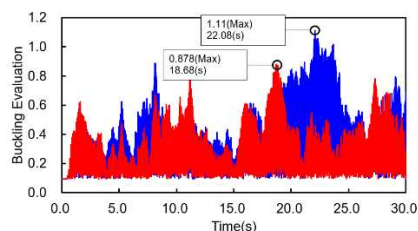


図 3 座屈評価値の比較