

部分リング補強材を有する鋼製原子炉格納容器の 弾塑性座屈解析による耐震強度評価について

Seismic evaluation of partial ring-stiffened steel containment vessel by an elastic-plastic buckling analysis

*岡藤 孝史¹, 三浦 一浩¹, 中村 光博¹, 箱田 德行¹, 小江 秀保², 辻井 秀², 原 達矢²

¹三菱重工業株式会社, ²関西電力株式会社

既設原子炉格納容器に追加補強を実施する場合を想定し、縮尺模型を用いた座屈試験から部分補強の有効性を検証した。また試験に対応する FEM 静的弾塑性座屈解析を実施したところ、部分補強材の有無に関わらず解析から座屈強度を安全側に評価可能であり、耐震強度評価に解析を用いる事の妥当性を確認した。

キーワード：鋼製原子炉格納容器, 円筒シェル構造, リング補強材, 耐震強度, 弾塑性座屈解析

1. 緒言 鋼製原子炉格納容器 (SCV) の耐震座屈評価手法としては、各種円筒の座屈試験結果を基に JEAG4601^[1]の座屈評価式を適用する手法があるが、近年 JEAG4601 の評価手法に加えて、静的弾塑性座屈解析による SCV の耐震強度評価手法^[2]が開発された。JEAG4601 の座屈評価式は過去の座屈試験結果を体系的に整理して一定の安全裕度を考慮した保守的かつ簡便な評価法であるが、弾塑性座屈解析では地震荷重の分布や初期不整量を直接考慮できるため、より現実的な座屈挙動を踏まえた評価が実施できる。このため、新規基準 (平成 25 年制定) に対する既設原子力発電所の適合性評価においては、近年の技術知見を積極的に取り入れる観点から、静的弾塑性解析も耐震座屈評価手法として適用している。また補強の観点では、格納容器を全周リング補強した構造に対する評価手法はもんじゅ^[3]等で実績があるが、本報では、部分的に補強した場合についても座屈挙動及び補強効果を確認するため、縮尺模型試験及び解析 (補強材無、及び部分リング補強材有の 2 条件) を実施し、補強効果の検証及び弾塑性座屈解析の耐震強度評価への適用性を確認する。

2. 座屈試験及び解析結果 図 1 に示す試験装置を用いて、リング補強材が無い試験体及び補強を実施した試験体について座屈試験を実施した。図 2 に試験及び解析から得られた荷重-頂部変位曲線及び最大荷重時の応力分布図を示す。本報で採用した静的弾塑性解析手法は、既設原子力発電所の適合性評価において採用している手法 (材料特性: JSME 発電用原子力設備規格^[4]、初期不整形量: 弾性座屈モード、初期不整形量: 計測値) とした。試験結果から部分補強により座屈荷重が 21~28% 増加したことが分かる。また試験と解析結果を比較したところ、座屈荷重が 3.6~13.0% 安全側であることを確認した。

3. 結論 格納容器の縮尺模型試験体を用いた座屈試験を実施した結果、部分的にリング補強材を追加した試験体では座屈耐力が増加しており、補強の有効性を確認できた。また、試験に対応する静的弾塑性解析を実施した結果、部分的にリング補強材を有する格納容器についても、新規基準に対する既設原子力発電所の適合性評価において採用している静的弾塑性座屈解析手法を適用することの妥当性を確認した。



図 1 座屈試験状況
(試験体は補強材無)

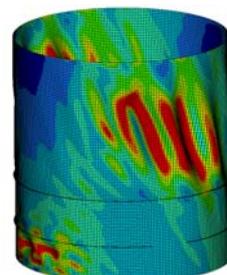
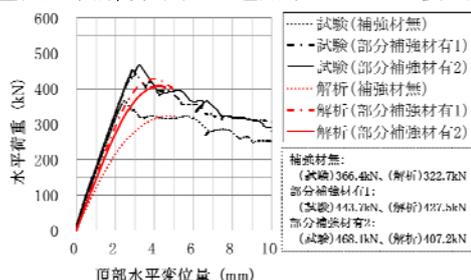


図 2 荷重-頂部変位曲線及び最大荷重時の応力分布図
(注: 応力分布図は、「部分補強材有 1」の解析結果を示した)

- 参考文献：** [1] 日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987
 [2] 原田達之ら、高速増殖炉型炉もんじゅの新指針に照らした耐震安全性評価 (2) 原子炉格納容器の耐震安全性評価、日本原子力学会「2010 年春の大会」
 [3] 高橋忠男ら、「もんじゅ」原子炉格納容器の大型座屈実験、三菱重工技報 Vol.23 (1986)
 [4] 日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 2005/2007

*Takashi Okafuji¹, Kazuhiro Miura¹, Mitsuhiro Nakamura¹, Noriyuki Hakoda¹, Hideyasu Ogo², Syu Tsujii² and Tatsuya Hara²

¹Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., ²The Kansai Electric Power Company, Incorporated