

極限荷重に対する原子炉構造物の破損メカニズム解明と破局的破壊防止策

(17) SUS304 円管の超高温外圧座屈

Failure mechanism under extreme loadings and prevention of catastrophic failure

(17) External pressure buckling of SUS304 circular tubes at super high temperature

*岩田 耕司¹, 唐木田 泰久¹, 金 伝栄¹, 笠原 直人²

¹伊藤忠テクノソリューションズ株式会社, ²東京大学大学院

超高温下の SUS304 円管の外圧座屈弾塑性理論解に基づく座屈評価線図を作成した。この座屈理論解と有限要素法による非線形座屈解析結果及び実験値と比較した。

キーワード：外圧座屈、円管、SUS304、超高温、弾塑性理論解、有限要素法

1. 緒言 極限荷重に対する原子炉構造物の破壊メカニズム解明のための研究の一環として、シビアアクシデント時の超高温下の炉内円管の外圧座屈の研究を実施している。本研究では、有限長円管の外圧による弾性座屈理論解に換算係数を導入し SUS304 の超高温（700～1000℃）での弾塑性座屈荷重を算出し評価線図を作成する。

2. 円管の外圧座屈理論解 外圧を受ける有限長の円管に対しては Mises の弾性座屈荷重理論解¹⁾がよく知られている。塑性座屈に対しては、弾性理論解の弾性係数を換算係数で置き換える簡便な方法（換算係数法）が有効である。本研究では、SUS304 円管に対して、弾性座屈荷重理論解と、国産材の機械的強度データに基づき作成した超高温の応力ひずみ関係式（修正 ASME 式）を用いて、換算係数法による塑性の座屈荷重を数値的に算出した。ここでは円管は両端開放（外圧による軸力なし、軸方向変位自由）条件とした。

3. 座屈評価線図 座屈荷重の評価線図は各温度レベルで、円管の半径板厚比 R/t (R :板厚中心半径, t :板厚) と細長比 L/R (L :長さ) をパラメータとして作成した。円管の周方向座屈波数 $n=2$ と $n=3$ (図 1) の弾性及び塑性の座屈荷重理論値を計算し、それら 4 つの値の最低値が座屈荷重となる。図 2 は、実験データが報告²⁾されている $R/t=22.2$ (厚め) と $R/t=37.3$ (薄め) の 2 つの円管を取り上げ、900℃における座屈荷重 p_{cr} と細長比の関係を示す。円管は細長くなるに伴い塑性座屈から弾性座屈へと遷移し、座屈モードも $n=3$ から $n=2$ へと変化する。厚めの円管は薄めの円管に比べて座屈荷重が高く、また細長比のより大きい領域まで塑性座屈を生じる。図中に理論値と実験値及びシェル要素を用いた FEM 弾塑性座屈解析結果との比較を示した。FEM 解析は座屈評価線図とほぼ良好な一致を示した。実験値は解析値より著しく低かった。その原因として、両者の超高温材料特性の隔たりや、実験での温度や端部の理想条件からの隔たりの可能性が考えられる。

本研究は文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業原子力システム研究開発事業の成果である。

本研究は文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業原子力システム研究開発事業の成果である。

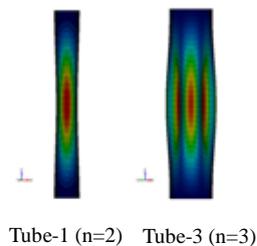


図 1 円管の座屈モード

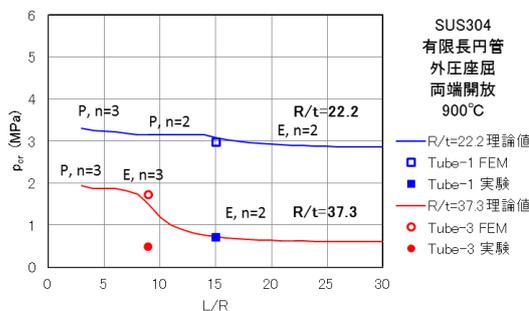


図 2 円管の外圧座屈評価線図

参考文献 [1] Timoshenko, S.P. and Gere, J.M., *Theory of elastic stability*, McGraw-Hill Book CO., Inc., 1961

[2] Jo, B., Sagawa, W. and Okamoto, K., ICONE23-1605, JSME, 2015

*Koji Iwata¹, Yasuhisa Karakida¹, Jin Chuanrong¹ and Naoto Kasahara²

¹ITOCHU Techno-Solutions Corporation, ²The University of Tokyo