

[別紙2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名

福 山 満 由 美

高速増殖炉は高温の液体ナトリウムを使用しており、主要な機器類は熱的条件から薄肉化されるため耐震強度が問題となる。炉壁保護構造物である炉壁冷却ライナー構造は、直径 10m、半径対板厚比 200 から 400 で液体冷却材中に設置された上端開放の薄肉円筒であるが、地震時には、流体と構造が連成振動により発生する流体圧が円筒周りに非一様分布外圧として作用する。さらに、既往研究では正弦波作用下での現象として報告されているが、地震下でも半径方向振動モードのパラメトリック励振の発生にも配慮しなければならない。

本研究では炉壁冷却ライナーの耐震設計において、外圧による座屈及びパラメトリック励振による有意な面外変形の発生を損傷モードと考え、これを防止するための耐震設計法を検討する。これらの損傷発生メカニズムを把握し、適切な評価法及び評価体系を構築するために以下の研究を行った。

- (1) 液中上端開放薄肉円筒の振動発散現象の基本安定判別法
- (2) 液中上端開放薄肉円筒の地震波作用下での振動発散現象
- (3) 上端開放薄肉円筒の非一様分布圧力下の座屈強度
- (4) 炉壁冷却ライナーの耐震設計法の提案

第 1 章で序論を述べ、第 2 章で既往研究に触れ研究課題を明確にしている。

第 3 章で液中上端開放薄肉円筒の振動発散現象の基本安定判別法に関する研究の結果を示している。

液体を含む円筒が特定振動数の正弦波で加振された場合に、径方向振動のパラメトリック励振の発生が報告されており、その発生条件は安定判別解析により推定できることが示されている。炉壁冷却ライナーの寸法形状は既往研究で検討された円筒より厚肉であり、著者は正弦波の振動数と振幅をパラメータとする加振実験を行ってパラメトリック励振の

発生条件を調べている。実験結果を安定判別解析結果と比較し、よく一致することを確認し、既往研究で提案されている手法が炉壁冷却ライナーの発散振動評価に適用できることを明らかにしている。また、パラメトリック励振は加振振動数が径方向振動モードの固有振動数の約2倍の場合のみ選択的に発生すること、それ以外の振動数では加振振動数と面外変形の振動数が一致する準静的な座屈が発生することを確認した。耐震設計では、両者を分離して扱い、いずれか厳しい方により規定する方法が有効であることを示した。

第4章では地震波作用下での振動発散現象に関する研究結果を示している。

一般的に、パラメトリック励振は正弦波作用下での現象として報告されているが、地震波作用下でもこれに関連する径方向振動モードが発生する場合があることを実験的に明らかにした。地震波作用下で発散振動が発生する条件を明らかにすることは重要であるが、著者は正弦波作用下の安定判別解析結果を活用することに着目した。正弦波作用下で振動発散現象が現れる圧力は加振振動数に依存する。地震時における安定判別結果も加振振動数と圧力の関係で表わすことを検討している。加振振動数として地震波の卓越振動数を取り、圧力として地震波作用下での発生圧力の代表値を取り、これらを比較することで安定判別ができることを示した。圧力の代表値を決めるために、基本的にはある振幅の正弦波で繰り返し加振されることが発散振動の発生要因であるため、地震波作用下での圧力波形のピーク分布に着目している。発生確率が0.1のピーク圧力を地震波作用下の代表圧力とすると、正弦波作用下での発散振動発生圧力とよく一致することを確認し、地震波作用下での安定判別に適用できると結論している。

第5章では非一様分布圧力下の上端開放薄肉円筒の座屈強度に関する研究を行っている。

非一様分布外圧を受ける薄肉円筒の座屈の発生メカニズムを実験的に検討したところ、座屈発生直前までは線形応答状態とみなすことができ、線形状態での圧力の増加により円筒が耐力を失う現象と扱うことができることを示した。従って、非一様分布圧力下の上端開放薄肉円筒の座屈圧力を求める方法として、線形解析などで求まる圧力分布を円筒モデルに付加する座屈解析で算出する方法を提案している。実験より推定した座屈圧力を弾性座屈固有値解析結果と比較したところ、実験結果は解析結果の1.2倍から1.6倍程度であり、座屈解析により座屈圧力を安全側

に評価できるので実用上で有効であることを示した。

第6章において炉壁冷却ライナーの耐震設計法に関する研究結果を示している。

炉壁冷却ライナーの耐震設計では、著者は、現行の原子力発電設備の耐震設計基準に従い準静的な座屈を防止するための耐震裕度を確保した上で、さらに振動発散現象による有意な面外変形を防止するよう規定している。発散振動発生防止は地震動の特性がある条件を満たす場合のみ必要となるが、直接変形を算定するか、第4章にて述べた安定判別法で確認し、座屈圧力は第5章で述べた静的座屈解析で評価する方法を示した。著者は、座屈の判定における水平地震応答と上下地震応答の相互作用については、数値解析を行い線形和で表されることを確認したが、最大地震応答の同時発生確率等を考慮し二乗和平方根を適用することが適切であることを示した。また、形状不整と座屈荷重の関係を数値解析により求めて設定した強度安全係数を用いると、耐震裕度が確保されることを確認した。

以上の研究により、高速増殖炉の炉壁冷却ライナーを対象とする液中上端開放薄肉円筒の地震時の発散振動及び準静的な座屈発生による変形の増大を防止するための設計手法を構築することができた。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。