

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 呂 金 其

本論文は、地震荷重が配管に加わった場合に、主要な破損モードの一つであるラチェット変形が生じるメカニズムを明らかにした上で、ラチェットの発生を判定する方法を提案したものである。ラチェット変形とは一定の応力と繰り返し応力の組み合わせで生じる累積型の変形のことであり、静的負荷に関してはメカニズムが解明されており、ラチェット発生を判定する設計線図が提案されておる。

第1章では研究の背景と目的が述べられている。原子炉構造設計では、応力を崩壊や延性破壊を起こす荷重制御型と、上記のような破損には至らず疲労などの原因となる変位制御型に分類して、破損のモードと発生を判定する。

従来の設計や地震 PSA においては、地震荷重を荷重制御型応力と仮定している。これに対して、地震は交番荷重であることから、荷重制御型応力と変位制御型応力の両者の性質を持ち合わせており、周波数に応じて特性が変化する。このため、完全な荷重制御型応力の仮定は保守的過ぎる。そこで本研究では、周波数に応じた地震荷重の特性解明と、それに基づくラチェット発生条件の合理的評価法の提案することを目的とした。

第2章では、基本メカニズム解明のため、ビームモデルを対象に、自重、加速度振幅、入力振動周波数を系統的に変化させた場合の振動荷重下のラチェット発生の有無を解析と試験の両面から調べた。その結果、ラチェット発生は、以下の点で静的荷重に対するラチェットと類似することが分かった。すなわち自重による荷重制御型応力と、振動による繰り返し応力の組み合わせで整理される。また相違点としては、振動荷重の影響は同じ加速度でも周波数に依存し、振動数比（入力振動数／固有振動数）が低い場合には荷重制御型応力に近づき、高い場合には変位制御型応力に近くなり、それによってラチェット発生への影響が異なる。次に、波形の影響を、正弦波、正弦波の組み合わせ、不規則な地震波の間で調べた。その結果、ラチェット発生条件に関して低周波成分の影響が大きいことと、地震波の支配周波数成分に着目することで、正弦波と類似の整理ができることを明らかにした。

第3章では、丸棒を曲げて作成した配管モデルを対象として、支持や軸力の有無を系統的に変化させた場合の振動荷重下のラチェット発生の有無を解析と試験の両面から調べた。

軸力による荷重制御型応力と、振動による繰り返し応力の組み合わせでラチェット発生条件が整理され、振動荷重の影響は周波数に依存する点でビームモデルと類似していた。一方、振動数比が1に近い領域で、ラチェットが最も発生し易くなる点が異なっていた。配管モデルはビームモデルに比較して塑性域に伴う減衰が小さいことから、共振の影響が大きくなることが理由である。次に支持の影響であるが、支持追加による高剛性化が単純にラチェット発生の防止にならない場合があることを明らかにした。これは支持の追加が振動数比の低下につながり、地震荷重が荷重制御型に近づくからである。

第4章では、これまでの章で扱ってきたラチェットモデルの比較検討を行った。その結果、形状と材料特性で正規化した荷重制御型応力と、同様に正規化した繰り返し応力の2つの軸で、全てのモデルのラチェット発生条件を同様の線図で整理できることを示した。ビームモデルと配管モデルは、共振周波数近傍を除けば、ほぼ同じ線図となった。

第5章では、結論として、地震荷重は、振動数比により荷重制御型に近い状態から変位制御型に近い性質に変化し、ラチェット発生への影響が異なってくることと、地震波も卓越周波数に着目することで正弦波と類似の整理が出来ることを明らかにした。その結果に基づき、地震荷重下の配管ラチェット発生条件を、一つの正規化した線図で表す方法を提案した。

これら成果は、統一的な設計線図の実用化を示唆するものであり工学に寄与するところが少なくない。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。