

Numerical and experimental study on failure mode classification of piping components under seismic loading

その他のタイトル	地震荷重を受ける配管構造物の破損モード分類に関する解析および実験による研究
学位授与年月日	2017-09-15
URL	http://doi.org/10.15083/00077623

審査の結果の要旨

氏名 バリ モハマド アブドラ アル

本論文は、設計想定を超える過大地震入力配管に加わった場合に、どのような破損モードが生じるかを明らかにした上で、支配的な破損モードを判定する方法を提案したものである。

第1章では研究の背景と目的が述べられている。従来の配管設計や地震 PSA においては、配管の破損モードとして、最大加速度による崩壊や破断が想定されている。これは建屋から入力される加速度の最大値が荷重制御型応力として作用することで破損が生じるという仮定に基づいている。これに対して、実際に配管の破壊試験を行うと、ラチェット変形、崩壊、疲労のそれぞれの破損モードが出現する。その理由は、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、さらに破損は地震荷重と自重などの他の荷重との組み合わせで生じるからである。これらの理由により、配管の破損モードは、周波数に応じて変化する地震荷重の性質と、地震荷重と組み合わせられる自重などの荷重との組み合わせによって、変化する。そこで本研究では、地震荷重による破損現象を明らかにし、また地震荷重の性質を解明し、それらに基づき地震荷重下の破損モードマップを提案することを目的とした。

第2章では研究の方法論が説明されている。本研究では、メカニズム分析のための解析的アプローチと、現象把握と解析モデル検証のための実験的アプローチの両者を組み合わせる方針としている。また、基本メカニズム解明のため、理論解の存在するビームモデルで現象を分析し、その後、実機適用性確認のため形状の複雑な配管エルボモデルの分析に進む、段階的アプローチをとることとしている。

第3章ではラチェット現象の解明を行う。まず、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ラチェット変形の有無を解析と試験の両面から調べた。その結果、ラチェット発生の限界は熱

応力に対するラチェット線図（Bree 線図）と類似の自重による 1 次応力と、地震力による繰り返し 2 次応力の組み合わせで整理される線図で表現でき、相違点は地震荷重の影響は同じ加速度でも周波数に依存する点であることを明らかにした。具体的には、地震荷重は、低周波の場合には荷重制御型応力に近づき、高周波になると変位制御型応力に近くなり、それによって各破損モードへの影響が異なることを明らかにした。これらの周波数に依存したメカニズムは、荷重と変位の位相差、塑性サイクルによるエネルギー消費、塑性化による共振周波数の低下などから説明される。さらに、エルボモデルの解析を行ったところ、基本的にはビームモデルの結果と同じであり、ビームモデルに基づく分析やラチェット限界線図の実機への適用性が確認できた。

第 4 章では、その他の破損モードである崩壊と疲労の解明を行う。初通過破壊である崩壊は、半サイクルの地震波により発生の有無を、解析と実験により調べた。崩壊が生じる限界は、ラチェット線図と同様に、自重による 1 次応力と、地震力による繰り返し 2 次応力の組み合わせで整理可能であることが分かった。得られた結果は、ラチェット限界に比較すると、崩壊の限界レベルは遥かに高く起こりにくいことと、1 次応力(自重や内圧)が降伏応力に近づくと、崩壊レベルが急に下がること明らかにした。疲労については、ラチェットの整理と同様に、周波数によって破損への寄与が異なることを明らかにした。

第 5 章では、これまでの破損モード毎の限界線図を組み合わせることで、破損モードマップを提案する。これにより、固定荷重、加速度振幅、入力振動周波数の組み合わせによって、出現する破損モードを判定することが可能となる。実際の破損クライテリアはひずみをベースとした方が高精度であるが、破損モードマップの目的はモードの判定であることから、設計者にはなじみがあり理解と算出が容易な応力をパラメータとしている。

第 6 章では、結論として、地震荷重は、共振周波数に比較して周波数が低いと荷重制御型に近く高いと変位制御型に近い性質を示すことと、最大地震荷重と周波数、および自重との組み合わせで、ラチェット、崩壊、疲労の各破損現象が生じることを明らかにし、共通の応力軸で表した線図に整理した。

最終的にこれらの線図を統合した破損モードマップを提案したことが述べられている。これら成果は、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。