

## 審査の結果の要旨

氏名 曲 強 (QU QIANG)

(論文題目)

### Development of Reliability Based Assessment Method for Piping Containing Local Metal Loss Existing at Structure Discontinuity

(不連続部に局部減肉を有する配管の信頼性基準評価手法の開発)

(論文審査結果の要旨)

近年、石油化学プラントで高経年化プラントのメンテナンスに対する重要性が高まっており、経年化した圧力設備を的確にメンテナンスする技術の向上が求められている。圧力設備に発生する代表的な損傷が減肉である。減肉の健全性を評価する手法は、供用適性評価 (Fitness-For-Service assessment, FFS) と呼ばれ、検査時に損傷が発見された設備に対して、損傷を残したまま次回検査時期まで継続供用が可能か、又は補修や取替えが必要かの判断指標を与えるものである。国内外で、局部減肉評価に対する規格・規準の開発が活発に行われているが、その中でもASMEとアメリカ石油協会が合同で作成したAPI579-1/ASME FFS-1が世界的に注目を集めている。これまでの関連研究は、不連続部を近傍にもたない局部減肉評価が大半であるが、本論文では、石油化学プラントで不連続部に局部減肉が発見された配管を対象とし、API579手法の適応性を調べ、さらに利便性の高い信頼性手法を用いた供用適性評価手法を新たに提案するものである。

第1章 序論では、日本の化学プラント分野におけるメンテナンス技術、供用適性の重要性について述べた。次に、不連続部に局部減肉を有する配管を評価する際、供用適性評価海外規格の *API579/ASME FFS-1 2007* の評価手法の問題点を要約し、本論文の意義と目的を明らかにしている。

第2章では、不連続部局部減肉評価に信頼性手法を適用する方法を提案している。まず、必要となる解析テクニックや方法論などを要約している。局部減肉の破裂現象に非線形有限要素解析を適用する場合、塑性域に入ると解析の不安定性により解析が不能となる。そこで、本論文では ANSYS に塑性不安定性が生じても解析が継続できるようダッシュポット要素の適用を提案している。さらに三曲線真応力ひずみ曲線とダッシュポットのエネルギー急増化により、有限要素法解析で圧力容器のバースト現象を新たに定義している。直接的に構造の破損確率を計算するモンテカルロ有限要素法に対して、本論文では破損確率計算に応答曲面法を新たに提案している。この手法は少ない解析結果から限界状態関数を近似し、一次信頼性手法で破損確率を計算することで解析時間とコストを減少する利点がある。さらに、変数の不確定性の影響度を調べるために確率的

感度の手法を提案している。

第3章では、他機関で実施された T 継手破壊試験を題材とし、T 継手に対して有限要素法で解析した後、破壊圧力を計算している。有限要素法で T 継手の不連続部にある減肉の寸法や材料の引張強さを変えて破壊圧力を計算した。解析結果と実験結果が一致していることから、有限要素法解析モデルとダッシュポットにより提案したバーストの定義は合理であることを明らかにしている。さらに解析で求まる破壊圧力と API579 手法で計算した最大許容運転圧力と比較し、過度に保守的な評価手法となっていることを明らかにしている。

第4章では、応答曲面法を活用して限界状態関数とする方法を提案しており、さらに信頼性手法を用いて T 継手の評価を部分安全係数法により評価する方法を提案している。応答曲面を用いることで、広範囲の T 継手の減肉を簡易に評価できることとなる。

第5章では、感度解析を行い、簡易化した限界状態関数と部分安全係数を提案した。感度解析で、減肉寸法と材料の引張強さと運転圧力のばらつきの破損確率に対する影響度を調べ、感度の低い運転圧力の影響を無視できることを明らかにしている。

第6章では、第3、4、5章で特定形状の T 継手 (T 継手1) に対する評価であったが、その一般性について調査している。T 継手1の評価において得られた限界状態関数と部分安全係数をこれと異なる寸法の主管を持つ T 継手2に適用した。破壊圧力と信頼性指標は同一の減肉形状に対して異なる評価値を与えることから、異なる寸法の T 継手に対して、一般性をもつわけではないことを示した。一方で、第2章に提案した評価手法の一般性を調べた。T 継手2においても、提案手法で精度が高い限界状態関数が得られ、T 継手2の部分安全係数を計算することができ、手法論としては提案手法が一般性を有することを示した。

第7章では、結論とその意義について述べている。本提案法の採用により、利便性の高い信頼性手法を用いた供用適性評価手法の実機への適用が可能となり、信頼性手法を用いた供用適性評価手法の標準化と普及が進むことが考えられる。

以上、本論文は信頼性に基づく不連続部に局部減肉を有する配管の評価手法を提案した。先進的な解析技法と応答曲面法の組合せにより、新たな健全性評価手法を提案するものであり、その評価手法は精度と便利性が高いものである。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。