

## 審査の結果の要旨

氏名 三津谷 維基

本研究は天然ガス輸送高圧ガスパイプラインの構造健全性評価手法について非線形有限要素解析によってその高度化を図るものである。

第1章の緒論では、天然ガスをめぐる世界情勢と其中でのガスパイプラインの重要性、パイプラインの構造信頼性を確保するために必要な事項、さらに、其中での本研究の位置付けについて説明した。

第2章と第3章では、地震動による鋼管軸圧縮座屈に関する検討を述べた。まず、第2章で、小径管の長柱座屈に対する検討を行った。この形態の座屈はこれまで耐震設計において評価対象外であったが、中越地震でその事例が報告されたことがその研究の発端となった。鋼管材料の応力歪曲線がラウンド型である場合と降伏棚を有する場合とに分け、前者については座屈開始歪の簡易評価式を提案し、その妥当性を有限要素法により検証した。後者では、鋼管と地盤の相互作用を考慮したモデルを提案し、周辺地盤との摩擦の影響で鋼管は一定の変形レベルに留まることを考慮して、実被害と整合する評価手法を提案した。

第3章では、減肉を有する鋼管の繰り返し挙動に関する検討を行った。繰り返し変形における材料抵抗を移動硬化成分を考慮することにより、減肉部からガス漏洩が起きる限界状態を有限要素法で精度よく再現できることを示した。このモデルを用いてパラメトリック解析を行うことにより、座屈に至る繰り返し数の簡易評価式を提案した。

第4章と第5章では、地震における地盤液状化時の地盤変位に伴う鋼管の曲げ破断に関する検討について述べた。第4章では、高周波バンド管の外曲げ破断研究に対する検討を行った。まず、実管曲げ試験を行い、曲げ変形時の引張り側破断には歪の局所化を伴うことを確認した。これを有限要素解析で再現するにあたり、高精度の応力-歪曲線を入力する必要がある。引張り試験において絞り変形後の挙動を逆解析することにより大歪を含む応力-歪曲線を精度よく取得することができた。さらに、降伏曲面に関する考察を行い、二軸引張り試験の結果を用いてヒル降伏関数のパラメータを決定した。これらの入力情報を基

に内圧を受けるベンド管の座屈解析を行い、実験を高精度で再現できることを実証した。座屈部における歪の局在化は破断の直前に急激に進行することから、材料としての破壊限界は構造としての破断限界にあまり影響を与えないことも明らかとした。

第5章では、超高压で運用される直管の曲げ破断限界に対する検討を行った。18MPaの内圧を受ける直管の実大曲げ試験を実施し、低圧の場合とは異なり、曲げ背側で破断が生じること、その破断限界が材料の応力-歪曲線に大きく依存することを明らかとした。また、有限要素解析において、液圧バルジ試験の二軸応力状態から求めたヒル降伏関数のパラメータを用い、実大試験の結果を精度よく再現できることを確認した。この手法を用いて応力-歪曲線の形状を変化させたパラメトリック解析を行い、その結果から、鋼管の曲げ変形能を確保するために必要な材料指標として一様伸びを抽出し、この値を規定することが液状化における鋼管の耐震性能を確保するために有効であることを示した。

第6章では、大歪域を対象とした非線形有限要素解析に必要な一様伸び以降の真応力-真歪曲線を実験的に求める方法を検討した。引張り試験にて一般的に取得される降伏応力、引張り強さ、及び、一様伸びの3つの材料特性から、スイフト式の各係数を陽に定めることができる回帰式を得た。

第7章では、他工事損傷等に起因する大規模脆性破壊に対する検討を行った。内圧を受ける鋼管の軸方向に高速で伝播するき裂に対する動的応力拡大係数を動的弾性有限要素解析により算定する手法を開発した。高速域においては応力拡大係数の簡易式が適用できること、また、低速域では応力拡大係数は鋼管壁のバルジ変形の影響を受けることを明らかとした。さらに、き裂伝播経路について動的拡張有限要素解析を行い、き裂が蛇行する現象を初めて計算機上で再現した。き裂蛇行のメカニズムをき裂前方の周方向及び軸方向応力の非定常分布から説明した。

第8章では、前章までに述べた結果に基づいて、地震動、液状化、及び、他工事損傷に対する鋼管の安全性を確保するための評価手法を総括した。

審査委員会で審議の結果、委員全員、合格の判定であった。

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。