

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 乙 第 7367 号
------	--------------

氏 名 菅 沼 淳

### 論 文 題 目

局部変形を有する鋼管パイプラインの地震時の変形特性に関する研究

(Study on Seismic Deformation of Locally deformed Steel Pipes)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	館石 和雄
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	野田 利弘
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	判治 剛
委員	愛知工業大学	工学部	教授	鈴木 森晶

## 論文審査の結果の要旨

菅沼淳君提出の論文「局部変形を有する鋼管パイプラインの地震時の変形特性に関する研究」は、建設重機や土荷重などの外力が加わって局部変形（デント）が形成された鋼管パイプラインの耐震性評価を目的として、デントを有する鋼管に地震などの大きな外力が作用する場合の変形特性を研究した成果をとりまとめたものである。

第1章「序論」では、デントの定義、デントの存在で想定されるリスクを提示し、地震時の変形特性について研究するに至った背景を述べている。次に、デントに関する既往の研究内容についてまとめるとともに、本研究の位置づけを明確にした。

第2章「鋼管の軸圧縮座屈実験と解析による再現」では、デントを有する鋼管パイプラインの軸圧縮座屈実験を実施し、実験結果を有限要素解析で再現する手法について検討した。実験では、都市ガス事業者にて供用中の都市ガス導管において、デントが存在する箇所から部分的に切り取った鋼管を供試体として使用した。実験により応力-ひずみ曲線や軸ひずみの分布を明らかにした上で、それらを再現できる有限要素解析モデルの確立を試みた。解析モデルにおいては、デントが形成された部分の残留ひずみに着目し、残留ひずみを導入した場合としない場合を比較した結果、両モデルとも実験結果を十分な精度で再現できることが明らかとなった。また、地中に長大に埋設されている鋼管パイプラインの挙動を再現でき、かつ計算が高負荷となり過ぎないモデルの長さを見極めるため、軸圧縮座屈解析に用いる鋼管モデルの長さについても検討した。理論上十分に長いとみなせる解析モデルと、それよりも短い長さのモデルの軸圧縮解析結果を比較した結果、解析モデル長さは管径の20倍以上あれば十分であることが明らかとなった。

第3章「デントを有する鋼管パイプラインの軸圧縮座屈パラメータスタディ」では、第2章で確立した解析モデルを使用して、特に都市ガスのパイプラインに使用されている鋼管を対象として、デントの形状、深さ、運用圧力（内圧）や埋設条件などを組み合わせた軸圧縮座屈解析パラメータスタディを行った。デントの形状は、鋼管パイプラインの敷設環境やデントが形成される過程を勘案し、線状デントと面状デントとした。デントの深さについては、海外では深さが管径の10%を超えるケースでは速やかに補修が行われることを参考に、デント深さを管径比の10%、6%、3%とした。デントの深さ別に軸圧縮解析を行い、局部座屈開始ひずみを求めた結果、デントが深いほど、鋼管パイプラインに生じる局部座屈開始ひずみが小さくなり、座屈に至りやすいことが判明した。さらに、鋼管パイプラインの実際の運用状況を考えた内部圧力の有無にも着目した。また、実際の埋設されている環境から土圧および地盤ばねを設定した。それぞれ、考慮・未考慮の違いによる局部座屈開始ひずみを算出した結果、内部圧力の有無による局部座屈開始ひずみの違いはごくわずかであること、土圧および地盤ばねを考慮することで局部座屈開始ひずみが増加することがわかった。また、内部圧力と土圧および地盤ばねを同時に考慮すると、それぞれ別々に考慮した場合に得られた局部座屈開始ひずみの足し合わせ以上に、局部座屈開始ひずみが増加する効果も確認された。デント形状の違いに関しては、深さが同じ場合、常に線状デントの方が局部座屈開始ひずみが小さくなることが明らかとなった。

第4章「鋼管の曲げによる局部座屈実験と解析による再現」では、デントを有する鋼管パイプラインの実管を使用した曲げによる局部座屈実験を実施し、それを有限要素解析によって再現する手法について検討した。実験には管径200mmの鋼管を使用した。鋼管パイプラインが曲げ変形を受ける条件として、液状化による地盤の側方流動や沈下を想定した上で、デントが形成され得る位置との関係より、デントがない場合（健全管曲げ）、デントが曲げ圧縮領域にある場合（管腹側曲げ）、デントが中立軸位置付近にある場合（管側方側曲げ）の3通りの実験を行った。曲げ載荷試験の結果、健全管曲げと管側方側曲げは最大曲げモーメントまではほぼ同じ挙動をしたが、管腹側曲げは曲げ荷重およびひずみがデント部に集中し、他の2つに比べて小さい曲げモーメントで曲げ座屈が始まった。いずれものケースでも、実験装置の限界まで曲げ変形を与えても管体のき裂などは生じなかった。次に、実験により得られた曲げ角度-曲げモーメント曲線や軸ひずみ分布のデータを把握した上で、実験結果を再現できる有限要素解析モデルの確立を行った。第2章と同様に、デントが形成された部分の残留ひずみの影響について検討したが、残留ひずみを考慮したモデルの方が実験結果を精度よく再現でき、第2章とは異なる結果となった。これは、デント部がひずみ硬化し、その硬化した部分を曲げ変形させるためにより多くの荷重が必要となっていることが発現してきたためである。

第5章「デントを有する鋼管パイプラインの耐震性検討」では、第3章で示した軸圧縮座屈パラメータスタディ結果を用いて、鋼管パイプラインの耐震性を判定する手法について検討した。解析対象とした鋼管について、実際の敷設環境（運用圧力（内圧）や埋設条件）を考慮した上で、地震時に鋼管パイプラインに発生し得るひずみと、局部座屈開始ひずみの大小の比較を行うことにより耐震性が判定できるものとした。結果として、レベル1地震動に対しては対象とした全ての鋼管で耐震性を有していたが、レベル2地震動に対しては、デント深さによっては耐震性が不足する場合があることが明らかとなった。

第6章「結論」では本論文の結論をとりまとめている。

以上のように、本研究の成果により、不慮の外力により局部変形を生じた鋼管パイプラインの変形特性が明らかになり、その結果を基にして耐震性評価を行うことが可能となった。これは、鋼管ガスパイプラインの信頼性向上や、合理的で経済的な維持管理策の構築につながるものであり、工学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文の提出者である菅沼淳君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。