

審査の結果の要旨

氏名 新海元

本論文「高・中圧ガス導管における長菅座屈防止のための耐震設計法に関する研究」は、他のライフラインと比較したガス導管の特殊性を整理する点から始まる。可燃物を輸送するという目的のため高い耐震性が必要であるが、延長が長い場合合理的な設計・施工も必要となる。また、ガス事業者の規模が大小さまざまであり、各事業者に極めて高い技術を要求するような基準が適さない現状もある。この特殊性のもと、2007年中越沖地震で発生した、高・中圧ガス導管のガス漏洩事故に対する対応の方針を考案することが本論文の枠組みである。この漏洩事故は、土中に埋設されたガス導管に座屈が発生し、座屈後の更なる変形の結果、導管一部に局所的な座屈が発生したことによるもので、未経験の事故であった。この一連の座屈を「長菅座屈」と称し、原因を究明し、ガス事業者全体で利用できる効果的な対策案を考案することが、本論文で検討した対応の方針である。

ガス導管全体の座屈と局所的な座屈という二段階を経る長菅座屈の変形過程と、それを数値解析するためのモデルを考案したことが説明された。ガス導管全体の座屈では、外力となる地震動そのもののモデルも必要となるため、地震動を含めた全体解析モデルが説明された。局所的な座屈に関しては、全体解析モデルの一部に対応する部分解析モデルを提案していることが説明された。

考案された解析モデルの妥当性を検証するため、実際のガス導管を使った実験が行われたことが説明された。100mm程度の径を持つガス導管を土中で座屈させるためには大きな荷重が必要であるため、最初に、小口径のガス導管を使った土層実験を行い、多数の観測機器を使った計測結果と比較することで、部分解析モデルの基本的な妥当性を検証したことが説明された。ついで、大口径のガス導管を使ったフィールド実験を行い、その結果と比較することで、部分解析モデルが長菅座屈の解析に十分利用できることが説明された。

妥当性が確認された解析モデルを使い、ガス導管や地盤をさまざまに想定し、長菅座屈の発生の有無を網羅的に検討したことが説明された。この検討結果が、長菅座屈を防ぐ対策を考案する根幹のデータとなる。

最後に、長菅座屈の防止のための、詳細耐震設計と標準耐震設計という二つの設計法を考案したことが説明された。詳細耐震設計は主に部分解析モデルを使うもので、モデル構築や非線形有限要素法に対する技術を有している事業者が利用する。標準耐震設計法はガス導管の材質・線形や地盤特性から長菅座屈の発生の有無が簡便にわかるもので

ある。特に後者を使う場合、座屈後にも応力が増加する鋼材を使うことや、直線部が長く座屈荷重が低下するガス導管に適切な曲り部分を設けることで、長菅座屈を防止できることが説明された。

上記の説明に関して質疑が行われた。主な論点は、地盤工学の観点と構造工学の観点でみた長菅座屈の発生要因と防止策である。地盤工学の観点では、鋼材からなるガス導管に対する地盤の取り扱いが質疑の中心であった。ガス導管の埋設には、一定品質の埋め戻し土が使われること、締固めの基準もあることが説明された。埋め戻し土を使うため、長菅座屈の部分解析モデルでは、サイトの地盤によらず、特定の性能を持つ非線形地盤バネに置き換えることができることが説明された。

構造工学の観点では長菅座屈の考え方が論点となった。ガス導管そのものの座屈を防ぐことが指摘された。長菅座屈を除き過去の事例ではガス導管の座屈は起きていないこと、長菅座屈も多くのガス導管に共通して発生するというよりも、地盤や管径・長が特殊な条件を満たす場合に限定されていることが説明された。さらに、残留変形は許容されるが漏洩は許容されないというガス導管の性質上、座屈そのものを防ぐことは過度に安全側過ぎるため、漏洩に繋がる局所座屈を防ぐ長菅座屈の防止が合理的であることが説明された。局所座屈を扱うため、梁要素ではなくシェル要素を使った大変形解析が可能な非線形有限要素法が必須であることも説明された。

最後に、長菅座屈に関するガス導管の技術動向が質疑の対象となった。ガス事業者の規模の多様性から、全ての事業者に詳細耐震設計を要求することは現実的ではなく、このために簡易な標準耐震設計を考案したことが説明された。技術力のあるガス事業者は、部分解析モデルを主に使う詳細耐震設計によって、より合理的なガス導管の設計が可能であることが説明された。

本論文は、長菅座屈という稀な地震時損傷現象に対し、実用性が高く合理的な耐震設計法を提案している点が特徴である。長菅座屈の解析と大型実験の結果も貴重である。以上の理由をもって、本論文を合格と判定した。また、学位申請者が学位に値する専門的な学識を有していることも了解された。この結果、学位にふさわしい論文であると判断された。

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。