

論文の内容の要旨

論文題目 高・中圧ガス導管における長管座屈防止のための耐震設計法に関する研究

2007年新潟県中越沖地震では、口径100A以下の溶接接合された高・中圧ガス導管で、過去に前例のない座屈現象が15箇所を確認された。15箇所の事例には、1)小口径管、2)長延長、3)厚い軟弱地層という特徴があり、現状のガス導管耐震設計では対応しきれない被害であった。以下、本研究では、座屈から漏えいに至る現象を「長管座屈」と称し、新たな事象として確認された長管座屈のメカニズムについて真相を解明し、長管座屈が生じることのないよう対応策の検討を行い、これをガス導管耐震設計の方法として整理することを目的とする。

大地震の際にも長管座屈が生じることのない設計法を提案するためには、高・中圧ガス導管における長管座屈のメカニズムを解明する必要がある。そこで、鋼管の座屈開始以降の変形過程を解析するための解析モデルを構築した。ガス導管は地中に埋設された線上で細い構造物ある。前述したように、被害事例の大多数は、ガス導管の直線長が100m以上と比較的長い区間で発生している。このようなガス導管の地震解析を実施する際に一般的に用いられる地震波の1波長区間のうち、最大圧縮荷重が生じる地震波の節を中心とした15m区間を抽出して解析モデルを構築した。

解析モデルが実際の座屈開始以降の変形過程を模擬できているかを確認するために、実管実験（土槽実験及びフィールド実験）との比較を実施した。実験結果と解析モデルによる解析結果は良好な一致を示すことが分かり、このことから解析モデルが実管実験の代替えとなり得ると判断した。

ガス事業者が耐震設計を行う際に用いる「高圧ガス導管耐震設計指針」（JGA指-206-03）では、地震動による相対変位の発生に起因して直管の軸方向に変形が生じる場合を想定し、直管に発生するひずみ（管ひずみ）が提灯座屈の発生する変形量（座屈開始ひずみ）を下回るよう設計するための手法が示されている。本検討においては、「高圧ガス導管耐震設計指針」の考え方を踏襲し、有限要素解析の結果から座屈及び局部座屈の開始の判定を実施し、その条件を整理した。

座屈及び局部座屈の開始の判定に基づき、長管座屈防止のための耐震設計手順を考案した。これは「詳細耐震設計」と「標準耐震設計」という二つの方法である。詳細耐震設計は、設計条件を適切に設定した解析モデルを用いた有限要素解析を行うことで、ガス導管の座屈開始以降の変形過程をより現実に近い形で評価する。その結果、経済的合理性のある設計を可能とする（なお、詳細耐震設計には、鋼管の材料特性、既存の耐震設計、有限要素解析等の高度な知識と技術の習得が不可欠である）。標準耐震設計の方法は、簡易的に

耐震設計を行うことが可能である。ガス導管を埋設する地盤の固有周期がある一定の範囲に該当する場合、ガス導管の直線長に上限を設けることが主眼である。新たに埋設される口径 100A 以下の供給上重要な溶接接合された高・中圧ガス導管に対して、長管座屈防止のための具体的な耐震設計がこの二つの方法である。

本研究における実験や有限要素解析による一連の検討においては、耐震設計の条件について安全側の設定を行い、想定される最も厳しい条件下でのガス導管の耐震性評価を採用したものである。安全性の確保は十分である反面、経済性等の面に課題が残っていることは事実である。しかし、長管座屈というガス導管の新しい被害事例に対し、数値解析と実験によって発生メカニズムを分析し、防止のための対策を具体的な耐震設計法として整理した。兆巻大規模数値解析手法を実際の大型ランプトンネルに適用して得られた本研究の知見は、今後、ガス導管の耐震工学の実務に貢献するものと考えられる。