

氏 名	お がわ やす お 小 川 安 雄
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2091 号
学位授与の日付	平 成 13 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 土 木 シ ス テ ム 工 学 専 攻
学位論文題目	ガ ス 供 給 系 パ イ プ ラ イ ン シ ス テ ム の 総 合 地 震 防 災 に 関 す る 研 究

論文調査委員 (主 査)
教授 土 岐 憲 三 教授 家 村 浩 和 教授 佐 藤 忠 信

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ガス供給系パイプラインシステムの地震防災に関して、実用的な対策の確立に資することを目的としている。この目的を達成するために、地震防災の全領域を、事前の対策と発災後の対応に分け、さらにそれぞれ耐震化対策（ハード対策）、防災システム（ソフト対策）の4つの領域に分けて、総合的な地震防災必要性を論じ、パイプラインの大変形解析手法や被災予測システムなど、実用的な手法、技術を考案している。本編は8章からなっている。

第1章は序論であり、まず、関西地域の地震切迫度を述べ、地震防災研究の重要性、緊急性を示すとともに、地震防災全領域にわたる質的、量的向上の必要性を論じている。次にガス供給系パイプラインシステムについて、兵庫県南部地震以前の地震防災対策を述べ、兵庫県南部地震での教訓を踏まえて、上記4つの領域における研究課題を抽出している。さらに、実用化研究の観点から、各章の研究課題を実際の地震防災活動の時系列に対応させて論文を構成している。

第2章では、阪神・淡路大震災におけるガスパイプライン設備の被災実態に関して、管材質、管の接合方法、地震動強度、不整形地盤、液状化などの被災要因を明らかにし、被災度を分析し、定量化している。この結果に基づいて、パイプラインの耐震設計において管の屈曲変形が考慮できる大変形解析手法の必要性を論じている。

また、兵庫県南部地震での緊急対応、復旧活動についてその状況を詳細に調査し、発災直後の緊急対応時の意志決定が極めて重要であると結論づけている。そして、この緊急時の意志決定を支援するためのリアルタイムシステムの重要性を述べている。

第3章では、ガス供給系パイプラインシステムの中でも、重要度の高い高・中圧ガスパイプラインの耐震安全性を照査するための解析法として、FEMシェルはりハイブリット解析法を考案している。本手法は曲管など大変形が発生する部位についてはシェル要素で、変形の小さいところは、はり要素でモデル化することにより、解析の精度と計算効率とを両立した点に特徴がある。さらに、遠心模型振動実験を行い、液状化側方流動による地盤の大変位を受ける埋設管の変形挙動を確認し、上記解析手法のモデル化の妥当性を検証している。

また、この解析手法を用いたケーススタディー結果に基づいて、レベル2地震動による地盤ひずみ、及び液状化側方流動による地盤変位を受ける埋設管の変形計算式を提案している。この変形計算式は設計業務での使用を考慮した簡便な式となっている。

第4章は、低圧のガスパイプラインの被災予測システムに関するものである。低圧ガスパイプラインの被災状況をGISを用いて詳細に分析し、被災率曲線を定め、この被災率曲線をもとにした被災件数予測式を提案している。

さらに、被災件数予測式を組み込んだ被災予測システムを構築している。このシステムは、兵庫県南部地震以前の被災予測システムに比べて予測精度の向上が図られている。

第5章では、発災後の最も重大な意志決定であるガスの供給停止に関して、供給停止のための感震自動遮断システムの遮断閾値を設定する手法を提案している。

感震自動遮断システムは、あらかじめブロック化された低圧ガスパイプライン網をブロック単位で供給を停止するシステムである。ブロック内に設置された地震計が、SI値60カイン以上を記録すれば、停止ブロックとする。供給停止は、ブロック内にある低圧ガスの供給ソースである中圧B 整圧器を遮断する方法をとっている。ひとつのブロック内に中圧B 整圧器が20~30ヶ所存在している。感震遮断値を一律に60カインに設定すると各中圧B 整圧器の位置での地盤の地震動増幅特性が異なるため停止しない整圧器が出現する。

そこで、地震計位置、中圧B 整圧器位置での常時微動を計測し、H/V スペクトルのある特定の周波数範囲での積分値を V_i 値と定義し、この V_i 値が地盤増幅特性を表わすことを既往の地震記録、解析によって検証している。 V_i 値を用いた感震遮断値の設定法の妥当性については、第4章の地震動予測システムを用いて、想定地震に対して、停止すべきブロック内の中圧B 整圧器がすべて遮断していることを確認している。

第6章では、発災直後の緊急措置の発動を支援するシステムとして、リアルタイム被災予測システムと供給停止・復旧支援システムを開発している。この2つのシステムは無線通信システムと地震計を用いた地震動モニタリングシステムと第4章の被災予測システムとを連動させたシステムである。発災15分以内に自動的に予測結果が出力されるなど実用上の工夫がなされている。

第7章は、発災後のパイプラインの安全性を非破壊で診断する手法に関するものである。発災後、パイプラインが受けた地盤変位などの外力を定量的に特定することは困難である。そこで、管の応力を測定する技術として磁歪応力測定手法を開発し、第3章のFEM解析手法と組み合わせることで逆解析的に地盤の変位量を推定する手法を提案している。この手法によって、発災後のパイプラインの受けている影響度を精度よく診断できる。

第8章は結論であり、本論文の研究結果をまとめるとともに、今後の研究課題として、断層による地表面変位に対する耐震設計法の確立が重要であることを述べている。

論文審査の結果の要旨

阪神・淡路大震災の経験から、ガス供給系パイプラインシステムの地震防災機能の向上には、地震対策に関わる全ての課題について、システム全体ならびに構成要素の信頼度に関して質的、量的のさらなる向上を図らなければならないことを教訓として学んだ。本論文はこのような研究課題について、実用的な研究成果を提供することを目標としており、得られた主な研究成果は以下の通りである。

1. 兵庫県南部地震でのガスパイプラインの被災に関わる要因を抽出し、それらを定量化することにより、パイプラインの種類ごとに耐震性を明らかにした。また、低圧ガスパイプラインの被災実態をGISを用いて詳細に分析し、この結果に基づいて被災予測システムを完成させ、実用化している。これにより、これまでに比べて著しく予測精度の向上が図られている。
2. 高・中圧ガスパイプラインに用いられている溶接鋼管の大変形解析手法として、解析精度、計算効率の両方を兼ね備えたFEMシェルはりハイブリット解析手法を提案するとともに、遠心力載荷装置による模型振動実験により、地盤を通じて大変位を受ける埋設管の挙動実験を行い、解析モデルの妥当性を検証している。埋設管の大変形実験による解析モデルの検証はこれまでに例のないものである。
3. 低圧ガスパイプライン網の感震自動遮断システムの遮断閾値の設定については、地震計200基、中圧B 整圧器300基の設置位置で常時微動を計測し、地盤の増幅特性の定量化指標としてH/V スペクトルの積分値である V_i 値を指標として提案している。これを用いて中圧B 整圧器の感震遮断値を設定することによって、ブロックごとの確実な供給停止の実現を可能としている。
4. 発災直後の緊急措置の発動を支援するシステムとして、発災直後という混乱した状況においても所要の機能を十分に発揮するような工夫が盛り込まれたリアルタイム被災予測システムならびに供給停止・復旧支援システムを完成させている。
5. 地震後におけるパイプラインの非破壊診断手法を開発している。磁歪応力測定技術とFEM解析手法とを組み合わせることで、逆解析的にパイプラインに作用した地盤変位を推定して、精度のよい診断手法を開発し、パイプラインの地震時の

安全性確保に寄与している。

本論文は、ガス供給系パイプラインシステムの地震防災に関する実用的な対策の確立に資することを目的として、地震防災に関わる領域を事前対策と発災後の対応に分け、さらにそれぞれを耐震化対策と防災システムに分けた、合計4つの領域について総合的な観点から地震防災について論じるとともに、パイプラインの大変形解析手法や被災予測システムなどについて実用的な解析手法の提案と技術開発を行っている。よって本論文は、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認めた。また、平成13年8月23日に論文内容とそれに関する試問を行った結果、合格と認めた。