

本論文では、大規模都市ガス供給網の地震時安全性を確保するための、防災情報システムの開発に関する総合的な研究を行っている。超高密度リアルタイム地震防災システム“SUPREME”の開発に関連するテーマとして、液状化センサーの開発、新SIセンサーの開発、地震波形に基づく液状化検知手法の開発、湘南地区、横浜市、台北市などにおける地震観測データを用いた地盤増幅特性の評価、防災GIS等の要素技術の開発などを行い、それらを実際のシステムに組み込むための実用的な研究を実施している。

論文は全9章から構成されている。

第1章では、これまでの大地震時における都市ガス施設の被害や二次災害を防ぐための対応を示し、都市ガス供給網におけるリアルタイム地震防災システムの重要性について述べ、同システムの開発の現状についてサーベイした。また、東京ガスにおける地震防災対策の現状と開発動向について述べるとともに、本研究の構成と位置づけを明らかにした。

第2章では、現在、稼働している「地震時導管網警報システム-SIGNAL-」について概要を記述した。SIGNALはガス供給停止の緊急措置判断を支援するために1994年に実用化されたもので、地震発生時に無線を使って357基の地震センサーからの情報を収集し、事前に整備されたデータベースと組み合わせられて被害推定を行うシステムである。

第3章では、SIGNALで使用されている液状化センサーの開発について述べた。1964年新潟地震等で液状化現象が発生し多数の埋設管が被害を受け、都市ガスの緊急措置のためには液状化発生の把握の重要性が認識された。しかし、間隙水圧計を地中に設置する既往の液状化検知法は、耐久性に課題があり、長期間耐用するセンサーの開発が望まれた。そこで本研究において「地中内に埋設された中空管内の水位上昇量を地上部で測定することにより液状化を検知する」方法を提案した。模型実験によって測定原理の検証を行った結果、水位上昇量は過剰間隙水圧比にほぼ比例し、この方式が液状化センサーとして有効であることが示された。プロトタイプを使用した実規模振動実験を実施して適用性の検証を行うとともに、実際に設置した液状化センサーの小地震による挙動を分析し、同センサーの性能を確認した。液状化センサーの情報はSUPREMEにも取り込む予定となっている。

第4章ではSUPREMEにおいて3,700箇所配備される予定の新SIセンサーの開発について述べた。兵庫県南部地震以降、都市ガス供給網における地震防災レベル向上の社会ニーズが高まり、既存センサーの更新時期に当たったこともあって新しい地震計の開発を行うことになった。既存センサーはSI値と最大加速度を測るだけの機能でありながら、高価かつSI値観測精度において問題があった。既存のセンサーの更新に際して、新センサーは高機能・高精度かつ安価であることが要請されたため、リアルタイムかつ高精度にSI値の計算が可能な計算アルゴリズムを提案した。これに加えて第5章述べるリアルタイム液状化検知法も搭載し、加速度波形のメモリー保存、感震遮断機能などの多機能を有する地震センサーを開発し、振動台実験による機能の検証を行った。

第5章では、「地震波形から液状化の発生をリアルタイムに検知する方法」の開発とその新センサーへの装着について述べた。従来の間隙水圧計や液状化センサーを用いる方法では、高精度に液状化の発生や程度を検知できる反面、コストや設置スペースから都市部に高密度に配備することは困難であり、液状化発生の有無を簡易に検知する方法の開発が望まれていた。液状化が実際に観測された地点

近傍での強震記録の特徴を検討した結果、振動周期が長くなることと最大変位が大きいことが液状化発生時の特徴であることが分かった。既往の液状化および非液状化地盤での観測波形を用いて、地震動指標の特徴について検討し、加速度の最大ゼロクロス周期、推定最大地盤応答変位、最大地盤加速度、SI 値の4つの指標に閾値を設定し液状化検知条件とした。これに同時性と方向性の条件を加えてリアルタイム液状化検知方法とし、新 SI センサーにそのロジックを搭載した。液状化波形を再現した振動台実験によってこのセンサーが十分な精度であることを確認した。本方法によって、高密度液状化検知を SUPREME において実現することが可能となった。

第6章では、高精度に地震動空間分布と埋設管・建物被害を推定する際に必要となる SI 値の地盤増幅度について検討した。湘南地域に設置した新 SI センサーの観測データを用いて、SI 値増幅度と現在 SIGNAL で使用している4種類の地盤分類の相関が低いことを示した。次に横浜市が設置した150地点の地震観測データを用いて、SI 値増幅特性と相関の高い因子について検討し、深度20mまでの平均S波速度 AVS(20)がSI 値増幅度と相関が高いことが分かった。また、PS 検層データから求めた平均S波速度とボーリングデータからの推定値が近似していることを確認し、防災 GIS 上で50,000本を越えるボーリングデータがあることから、ボーリングデータから AVS(20)を算出し SI 値増幅度を求めることにした。さらに中小地震記録を用いた SI 値増幅度が、液状化が生じない条件では大地震時にも適用できることを確認した。これらの結果に基づいて、地盤ゾーニング方法の検討を行い SUPREME の地震動空間分布推定に適用することにした。

第7章では、台湾台北市に設置された31基の新 SI センサーによる1999年集集地震の観測記録と常時微動観測及び地盤情報の分析を行い、台北市域における地盤増幅特性について検討した。その結果、集集地震とその余震における SI 値増幅度はあまり変化しないことが確認され、中小地震観測の重要性を示した。また AVS(20)と揺れ易さとは相関が高く、これを地盤ゾーニングや地震動の空間補間に利用可能なことを示した。また新 SI センサーと台湾中央気象局の強震計データは大きな差異がないことを確認し、新 SI センサーの地震観測記録の妥当性を示した。

第8章は、新地震防災システム SUPREME の開発目的を示し、その基本構成について紹介した。大地震の発生後は通信の輻輳が起きるため、一般回線を用いて3,700点の地震計等の情報を迅速に収集するために、防災テレメータ装置(DCX)を開発した。またこの通信網を用いて、地区ガバナの遮断を遠隔で確実・迅速に行うこと、地区ガバナ遠隔遮断技術の開発を行い、地震時緊急措置の信頼性が大幅に向上することを示した。次に、ボーリングデータベースなど、膨大な情報量を事前整備した防災 GIS を開発し、これを用いて地盤増幅度と液状化層厚データベースを構築した。この防災 GIS とリアルタイム超高密度地震情報に基づく、高精度被害推定方法について検討した。地震動分布を高精度に推定するために、地盤増幅度データベースを用いた SI 値の空間補間方法を開発した。液状化情報に関しても、同様に SI 値と液状化限界層厚データを用いて、液状化層厚分布を推定する方法を提案した。これらの技術を統合して、超高密度リアルタイム地震防災システム SUPREME が2001年に稼働を開始する予定である。

第9章では、本研究の概要をまとめるとともに、得られた成果と今後の展望を示した。

以上のように、本論文では、大規模都市ガス供給網の地震時安全性を確保するための、防災情報システムの開発に関する総合的な研究を行っている。地震センサーの開発や実験を含むさまざまな要素技術の研究開発を行い、それらを実際のシステムに組み込んで実用化にまでつなげている。このように本研究の結果は、今日の都市地震防災において重要な課題であるライフライン・システムの地震時安全性確保において、きわめて有用かつ実用的な情報を与えている。

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。