

# (191) 都市ガスネットワークの地震動モニタリングと緊急遮断システムの開発

東京大学生産技術研究所 山崎文雄 永田茂 片山恒雄  
日本技術開発(株) 地震防災室 磯山龍二  
東京ガス(株) 防災・供給センター 根岸七洋 吉川洋一

## 1. はじめに

都市ガスは、市民生活にとって重要なエネルギー源であるが、地震などによる二次災害の危険性を秘めている。したがって、とくに東京首都圏のように密集度が高く地震活動度も高い地域では、その地震防災対策は極めて重要な課題といえる。わが国の大規模都市ガス供給システムでは、過去の地震災害の経験も生かして、いろいろなレベルで供給を停止する仕組みを構築している。東京ガスを例にとると、末端の需要家レベルでは、感震器を内蔵したマイコンメータによって、震度5程度以上の揺れに対しガス供給を自動停止することになっている。また需要家に直接ガスを送る低圧導管網は、需要家3万~10万件を単位として常時ブロックを形成し(低圧ブロック)、地区ガバナに取り付けられたSIセンサー<sup>1)</sup>(各低圧ブロックに約30箇所)がSI=30 Kineを感知すると、供給を自動遮断する仕組みになっている。さらに、ガバナステーションやガスホルダーと地区ガバナを結ぶ中圧導管網については、数十万件の需要家を含む大きな地域(中圧ブロック)で、ブロック化と供給停止が行えるようになっている。この中圧ブロックの供給停止は、現在のところ、中圧管網の被害確認情報に基づき判断し、本社の防災・供給センターからの遠隔操作で行うことになっている。しかし地域が広いために、被害確認に時間を要する恐れがあり、地震動モニタリング結果のみから中圧ブロックの地震被害を推定し、緊急措置判断を支援するようなシステム(以下、緊急遮断システムと呼ぶ)の開発が急務となっている。本報告では、現在開発を進めているこのシステムの概要を紹介する。

## 2. 地震動モニタリング・システム

中圧導管網の緊急遮断システムには、大規模な地震動モニタリングが不可欠である。図1は東京ガスの供給区域の中圧ブロック分割であるが、現在9のブロックが設けられている。地震動モニタリングの中核をなすものは、全地域で331箇所(各低圧ブロックに3箇所)の観測点を有するSIセンサー・ネットワークである。この地震動モニタリング用SIセンサーは、地震が発生すると地震動のSI値と最大加速度を観測し、本社の防災・供給センターへ無線によりこれらの値をリアルタイムで送信する。このうち31箇所における最大加速度値は、NHKにも提供されており、関東地方で地震があった場合には、地震速報としてテレビ放送されている。

また、地震の震源やマグニチュードを独自に迅速に推定することを主たる目的として、供給エリアの外周部に5箇所(図1)、地表および地中の地震計を設置している。地中地震計は、深さ20~40mの比較的固い地盤に埋設され、3方向成分の加速度を観測し、無線で本社に波形を送信する。さらに、液状化の危険性の高い地区には、新たに開発した液状化センサー<sup>2)</sup>を20箇所程度設置し、地震時のセンサー内の水位上昇量を本社に無線連絡し、液状化発生の有無を知らせる仕組みとなっている。これらの地震動リアルタイム・モニタリングシステムは、平成5年度中に計器の設置と無線システムの構築がほぼ終了し、本格稼働する予定となっている。

## 3. 緊急遮断システムの構成

現在構築を進めている緊急遮断システムの全体構成を図2に示す。全体システムは、被害推定システム、震源推定システム、損傷度評価システム、意志決定システムの4つのサブシステムから成っている。また事前に、対象区域の地盤ゾーニングを行い、埋設管や需要家建物などの基本データを準備しておく必要がある。

**(1) 地盤ゾーニングと基本データ:** 地震動強さは地盤条件に大きく左右されることから、基本方針として、各SIセンサーの観測値は、センサー近傍の同種の地盤での地震動強さを代表すると考えることにする。したがって、事前に対象区域全域の地盤ゾーニングを行い、各SIセンサーの分担区域を定めておく必要がある。地盤分類は、地形により台地、谷底低地、沖積低地の3つに分類したあと、谷底低地と沖積低地についてはさらに固有周期により2つに区分し、計5通りの地盤分類とする。またボーリング柱状図に基づき、観測SI値と液状化層厚の関係を地図として準備しておく。各SIセンサー分担区域における被害推定の基本データとして、埋設管については中圧導管と低圧導管の延長、管種、管径などを、また建物については軒数、構造形式などを準備しておく。

**(2) 被害推定システム:** 緊急遮断システムの中核をなすもので、SIセンサー無線ネットワークからのSI値と最大加速度の情報を用いて、各中圧ブロックの被害程度を推定する。中圧ブロックの供給停止は、中圧導管網の被害を前提としているが、過去の地震による被害事例は少ない。そこで、需要家建物や低圧導管の被害多発といった状況から、間接的に中圧管被害を予測することにする。ここで建物や埋設管の被害要因としては、震動被害と液状化被害が主として考えられるが、ここでは液状化の影響は、震動被害を増加させることで評価できるという考えに立ち、

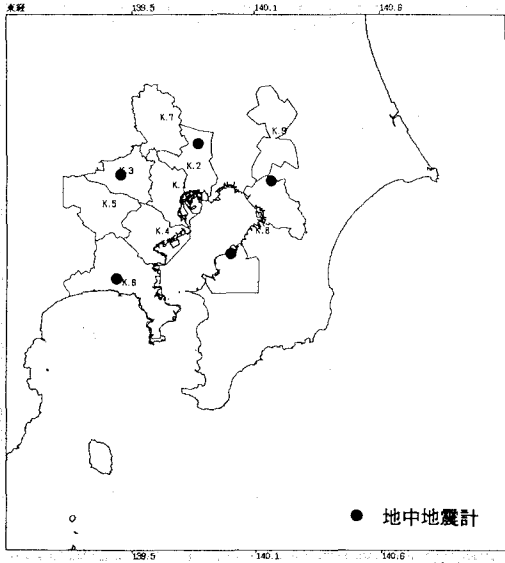


図1 都市ガス供給区域の中圧ブロック

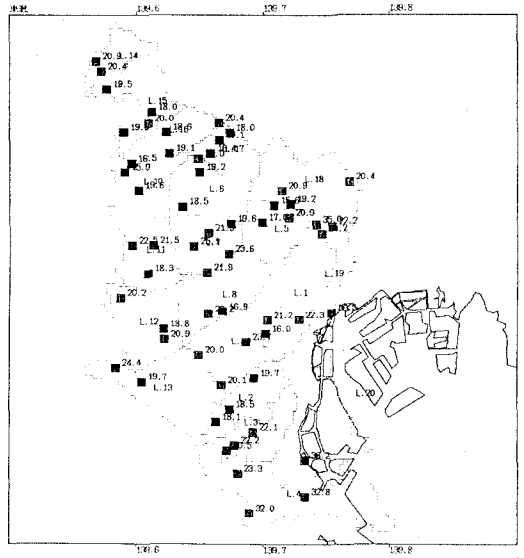
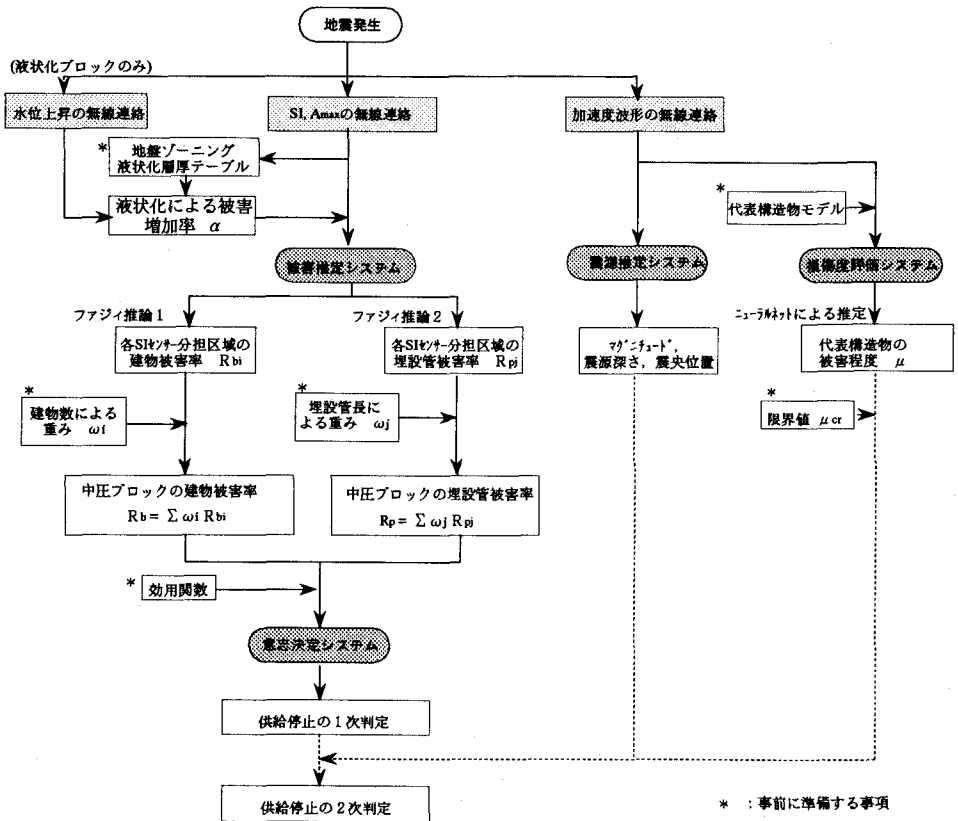


図3 都心中圧ブロックの低圧ブロック境界とSIセンサー設置地点(図中の数字はEQ3におけるSI値)



\* : 事前に準備する事項

図2 中圧ブロックの緊急措置判断支援システムの構成

その増加率を液状化層厚の関数として与える。システムでは、まず観測SI値と最大加速度を入力として、各SIセンサー分担区域ごとに埋設管および需要家建物の被害率を推定する。この被害推定の方法として、ファジィ推論<sup>3)</sup>に基づくものを既に提案しているが、今後システムの実用化に向けて、もっと簡単な手法に変更することも考えている。つぎに、各SIセンサー分担区域で推定された建物および埋設管の被害率を、建物棟数や埋設管延長を重みとして中圧ブロック単位で加重平均し、平均被害率を求める。また、被害建物数と埋設管被害箇所数も計算する。

(3) 震源推定システム：本システムのように高密度な地震動モニタリングを行った場合、各供給区域内の地震動強さは観測値で代表できよう。したがって被害推定の目的からは、震源位置やマグニチュードを推定する必要性はさほど高くない。しかしながら、震源位置やマグニチュードを知ることは、供給停止の意志決定を行う上で極めて重要と考えられる。震源推定<sup>4)</sup>は、多重無線で送られてくる5地点の加速度波形を用いてリアルタイムで行う。まずP波とS波の初動時刻を求め、つぎに理論走時と観測走時を比較して震央と震源深さを決定し、さらに気象庁の算定式に準じてマグニチュードを決定する。

(4) 損傷度評価システム：損傷度評価システムは、無線連絡される加速度波形を用いて、需要家建物の被害程度を詳細に評価しようとするものであり、緊急遮断システムの中核をなす被害推定システムとは、かなり性格が異なる。後者がSI値と最大加速度から建物と埋設管の被害率を大まかに推定するのに対し、前者は加速度波形に基づいて、代表的な需要家建物の被害を詳細に推定する。また後者は供給区域全体で331地点の記録が得られるのに対し、前者は5地点でしか記録が得られない。したがって損傷度評価システムの推定結果は、詳細ではあるが地点数が少ないため、被害推定システムの推定結果を補正するという位置づけとなる。損傷度評価システムの詳細な仕様については、現在検討を進めている途中であるが、代表構造物モデルのリアルタイム弾塑性応答計算、もしくは地震動と構造物のパラメータを入力としたニューラルネットワークによる被害予測<sup>5)</sup>を考えている。

(5) 意志決定システム：被害推定システムでは、各中圧ブロックの建物被害率と埋設管被害率が求められ、供給停止の一次判定は、これらの2つの次元の異なる量を考慮して行う。意思決定の方法は、2次元の効用関数を仮定して、供給停止の場合の期待効用と、供給継続の場合の期待効用の大きさを比較し、「供給停止」、「様子を見る」、「供給継続」の三段階程度の判断を下す。効用関数を決めるのは容易ではないが、現在のガス事業者の判断基準などを参考にしたいと考えている。この一次判定結果に、震源推定結果と損傷度評価結果を加味して二次判定を行い、緊急措置判断支援システムとしての最終判断とする。

#### 4. プロトタイプ・システムの開発と事例解析

エンジニアリング・ワークステーション上で、緊急遮断システムのプロトタイプの開発を行っている。現在までに、被害推定システムと震源推定システムについては基本開発をほぼ終えた。地盤ゾーニング・データベースは、250m×175mのメッシュを単位とした地理情報システム(GIS)上で、まず都心の1つの中圧ブロックを例に構築した。図3は、この中圧ブロックのSIセンサー配置状況と低圧ブロック境界を示している。SIセンサー分担地域の決定は、各センサーからの距離を漸増させながら、地盤特性(地形分類と固有周期)が等しいメッシュを順次広げて行き、各メッシュがいずれかのセンサーで分担されるようにした(図4)。

事例解析は、1992年2月2日の早朝に東京・横浜地域を襲った地震<sup>6)</sup>をベースに、3つの規模の地震を想定して行った。EQ1の地震動強度は、この地震で観測されたSI値と最大加速度の組を用い、観測値のない地点では、地盤分類と距離減衰を考慮して仮定した。EQ2の地震動強度は、EQ1に対してSI値が4倍、最大加速度が2倍となるように設定した。これはEQ1が短周期が卓越した波形であり、実際には被害がなかったことから、被害が多少出るようにSI値の倍率を最大加速度より大きめに与えた。またEQ3の地震動強度は、EQ1に対してSI値、最大加速度ともに5倍となるように設定した。図5にこれらのSI値と最大加速度の組み合わせを示す。ファジィ推論を用いて想定3地震による各SIセンサー分担区域の建物被害率を推定し、観測SI値に対して図6に、観測最大加速度に対し図7にプロットした。この図中には、1966年松代地震、1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震、1983年日本海中部地震による建物被害率も比較のため示した。被害推定は対数軸上で行っているため、地震動が小さくても被害率はゼロにはならないが、0.001%、すなわち十万棟に1棟の割合の被害をほぼ被害なしと考えると、被害発生はSIで20 Kine程度から、最大加速度で250 Gal程度からとなり、過去の地震の経験に近い。なお被害推定関数については、最近の地震による被害データと地震動記録を収集し、これらと推定結果を照合することによって、さらに検討する予定である。

#### 5. まとめ

地震による大規模都市ガス供給システムの二次災害防止のためには、甚大な被害が予測される場合、中圧導管網のブロック化と供給停止が必要となる。首都圏においてこの緊急措置判断を迅速に可能とするため、地震動モニタリングシステムの展開と、それからの地震動情報に基づく緊急措置判断支援システムの開発を進めている。331地点における地震動のSI値と最大加速度、5地点における加速度波形、さらに液状化の予想される20地点における水



図4 都心中庄ブロックの各SIセンサーの分担地域

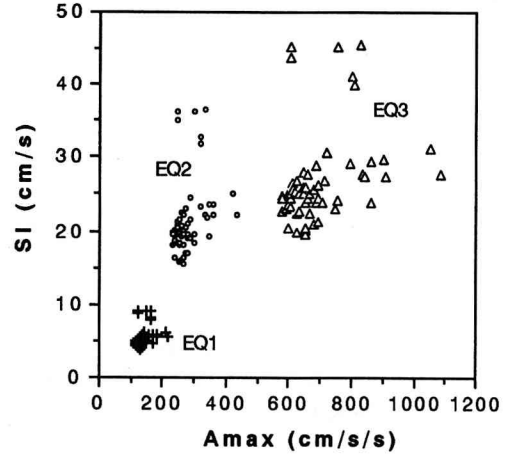


図5 想定3地震におけるSI値と最大加速度の関係

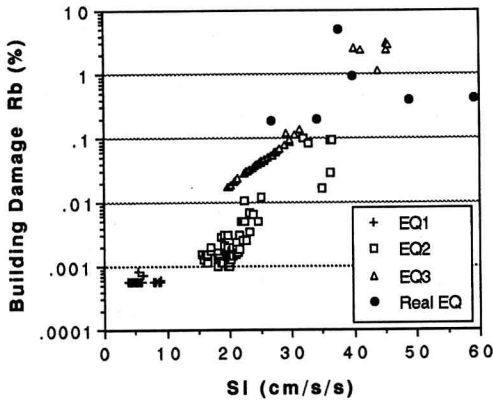


図6 想定3地震によるSI値と建物被害率の関係

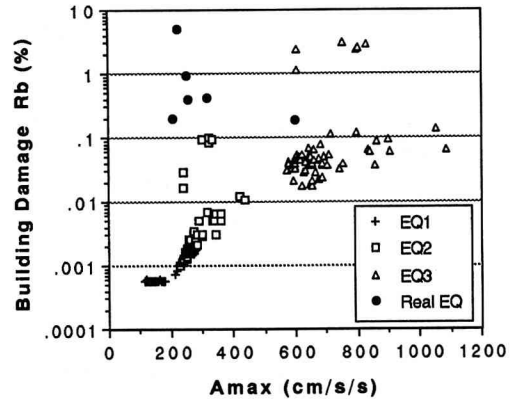


図7 想定3地震による最大加速度と建物被害率の関係

位上昇量を観測し、無線でデータ収集するシステムは、世界でも例がないであろう。これらの情報をリアルタイムに処理し、供給地域の地震被害を推定するため、地理情報システム上に、地盤条件、埋設管、需要家建物などのデータベースを構築し、被害推定、震源推定、損傷度評価、意志決定の4つのサブシステムから成る緊急遮断システムの開発を進めている。本文では、このシステムの基本的考え方を示すとともに、開発したプロトタイプを用いた事例解析例を紹介した。今後、モニタリングシステムの配備、地盤ゾーニングの実施、システム開発などをさらに進めながら、いろいろなケーススタディを行って、緊急遮断システムの実証性を高めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 佐藤・片山・大保・川崎：新しい制御用地震センサーの開発と試作，第18回地震工学研究発表会，1985。
- 2) 安田・吉川・森本：1992年2月2日の地震による液化化センサーの記録，土木学会第47回年次大会，III-122，1992。
- 3) Cret, Yamazaki, Nagata, Katayama: Earthquake damage estimation and decision analysis for emergency shut-off of city gas networks using fuzzy set theory, Structural Safety, Vol.12, 1-19, 1993。
- 4) 野田・狩野：強震観測データからのオンライン自動震源推定システムの開発，構造工学論文集，Vol.39A, 629-642, 1993。
- 5) Molas, Yamazaki: Quick structural damage estimation by neural networks, 第22回地震工学研究発表会，1993。
- 6) 片山・根岸：1992年2月2日・浦賀水道付近の地震の概要，土木学会第47回年次大会，I-662，1992。