

CS - 137 大規模都市ガス供給網の地震時緊急遮断システムの開発

東京大学生産技術研究所 正会員 山崎文雄 片山恒雄
 東京ガス(株)防災・供給センター 吉川洋一
 (株)富士総合研究所 大谷泰昭

1. はじめに 都市ガスは地震による二次災害の危険性があるため、その地震防災対策は極めて重要である。わが国の大規模都市ガス事業者は、過去の地震災害の経験も生かして各種の安全対策を行っている。中圧導管網については、数十万件の需要家を含むブロック単位で供給停止が可能になっている。現在、供給停止は中圧管網の被害確認情報に基づき判断し、本社から遠隔操作で行うことになっている。しかし供給区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システム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し、事例解析結果を示す。

2. 地震動モニタリング・システム 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は東京ガス供給区域の中圧ブロック分割である。モニタリングの中核をなすのは、全地域で331箇所の観測点を持つSIセンサー網であり、地震が発生すると地震動のSI値と最大加速度を観測し、本社へ無線でリアルタイムに送信する。また、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な目的として、供給区域の外周部に5箇所、地表と地中に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、無線で波形を送信する。さらに、液状化危険性の高い地区には、液状化センサーを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する。これらのモニタリングシステムは、計器の設置と無線システムの構築が現在ほぼ終了し、本格稼働できる体制になっている。

3. 緊急遮断システムの構成 全体システムは、被害推定システム、震源推定システム、スペクトル評価システム、意志決定システムの4つのサブシステムから成り、事前に対象地域の地盤ゾーニングを行い基本データを準備する。

(1) **地盤ゾーニングと基本データ**：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。したがって、事前に全域の地盤ゾーニングを地理情報システム(GIS)上で行い、各センサーの分担区域を定めておく。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固有周期によりさらに2つに区分し、計5通りとする。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、中圧導管と低圧導管の延長・管種・管径などと需要家建物の軒数・構造形式なども準備しておく。

(2) **被害推定システム**：無線で得られるSI値と最大加速度を用いて、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極めて少ないため、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。建物や埋設管の被害要因としては、震動被害と液状化などの地盤被害が主に考えられるが、ここでは液状化の影響は、震動被害を増加させるという考えに立ち、増加率を液状化層厚の関数として与える。また宅地造成地や急傾斜地など、地すべりや地割れなどの地盤変状の起こりやすいと考えられる地域は、事前の地盤ゾーニングで指定し、同様に被害率を割り増す。

システムでは、まず観測SI値を入力として、各SIセンサー分担区域ごとに埋設管および建物の被害率を推定する。この被害推定には、実地震被害事例にもとづいて構築したSI値と家屋・埋設管被害率の関係¹⁾を用いる。推定された建物および埋設管被害率は、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、中圧ブロックの平均被害率を求める。また、低圧ブロックおよび中圧ブロック単位で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、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、これらを知ることは、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²⁾は、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) **スペクトル評価システム**：5地点からの加速度波形を用いて、応答スペクトルや主要動の継続時間も計算する。各地点での地震動の卓越周期などから、被害を受ける可能性のある構造物の周期帯域をある程度特定できる。また過去の被害地震の応答スペクトルや継続時間との比較で、地震動のおおよその破壊力をイメージできる。しかし、波形

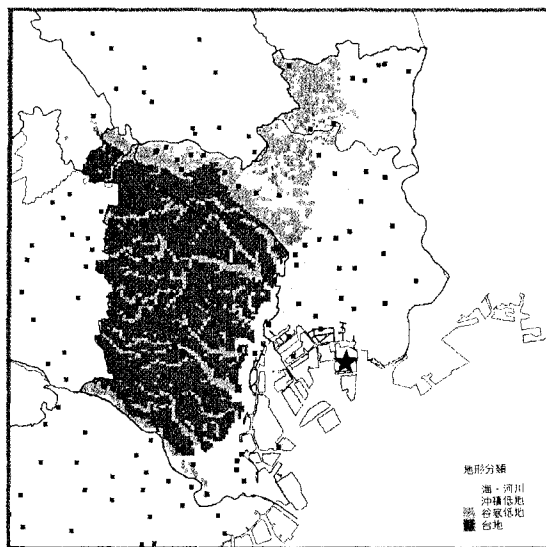
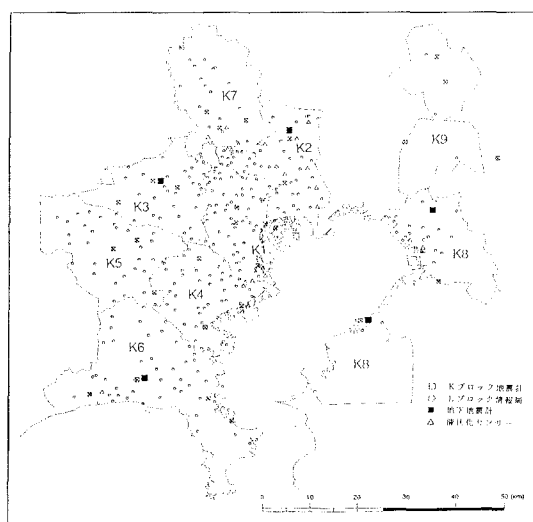


図1 都市ガス供給網の中圧ブロックと地震動モニター配置

図2 地形分類とSIセンサー配置および想定地震の震央

は5地点のみでしか得られないので、この計算結果は意志決定において参考程度の位置づけとする。

(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。意志決定の方法は、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」の三段階の判断を下す。効用関数を決めるのは容易でないが、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、震源推定結果とスペクトル評価結果を加味して二次判定を行い、緊急遮断システムとしての最終判断とする。実際のシステム制御は、その他の情報も加味して、供給責任者が判断する。

プロトタイプ・システムの開発と事例解析 緊急遮断システムのプロトタイプについて、現在までに基本的な開発を終えた。地盤ゾーニング・データベースは、250m×175mメッシュを単位としたGIS上で、まず都心の隣接する2つの中圧ブロック(K1, K2)を例に構築した。図2は地形分類であるがSIセンサー位置も示している。SIセンサーの分担地域の決定は、各センサーから地盤分類と固有周期が等しいメッシュを順次広げ、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。事例解析は、東京都の地震被害想定³⁾でも用いられた安政江戸地震を対象とした。この地震は荒川河口付近を震源とする典型的な直下型地震で、ここではマグニチュード7.0、震源深さ20kmと仮定した。地震動強度は、距離減衰式により工学的基盤における最大加速度と最大速度を推定し、これに対数正規乱数によるばらつきと、表層地盤による増幅率を乗じて与えた。SI値は最大速度より推定¹⁾した。こうして決めたSI値を震源距離に対してプロットすると、震源近傍で40~120 cm/sという大きな地震動となる。したがって、震源近傍で大きな家屋被害が予測され、中圧ブロック全体の被害は、K1ブロックで被害率0.87%。被害棟数23,033件、K2ブロックで同じく6.32%、98,103件であった。また埋設管についても、家屋被害の発生と同様の場所で大きな被害が生じている。

6. まとめ 大規模都市ガス供給システムの地震による二次災害防止のため、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遮断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地点での水位上昇量を観測し、無線でデータ収集するシステムは、世界でも例がない大規模で高密度なものである。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、スペクトル評価、意志決定の4つのサブシステムから成るシステムの開発を行っている。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解析事例を紹介した。

参考文献 1) 童・山崎・佐々木・松本：実地震被害事例に基づく家屋被害率推定式の構築，土木学会44回年次大会，I，1994。
2) 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。
3) 東京都防災会議：東京における地震被害の想定に関する調査研究，1990。