

日本技術開発（株） 正会員 小川基樹・磯山龍二
東京大学生産技術研究所 正会員 山崎文雄・片山恒雄・永田茂

1. はじめに

最近、各種のセンサーを無線網で結び、コンピュータを利用して管理中枢においてリアルタイムに施設の状況を把握するシステム、いわゆる被害早期検知システムが提案・計画されている^{1), 2)}。被害を把握するためのセンサーとしては、地震計が最も一般的であるが、この場合、観測値が周辺の地震動を代表しているか、地震動の大きさと被害の関係を明確に規定しうるかなど、推定にまつわる“あいまいさ”がつかまとう。被害の直接的な検知が容易でない現状においては、これらのあいまいさを適切に評価し、被害を推定、システム制御の指針を与える方法が必要となる。本研究では大規模な都市ガス供給システムを例にとり、最近、あいまいさを含むシステムの制御に用いられ始めたファジィ推論を応用した被害推定、システム制御の方法を提案する。ファジィ推論を用いることにより、より柔軟で実際の被害推定、ならびにシステム制御が可能になると考える。

2. システム制御と地震観測の概要

地震時における大規模都市ガス施設の供給遮断、供給停止の判断は需要家数にして数十万件にあたるブロック単位で行なうのが一般的である。ブロック内には一定の密度でセンサーを配置するが、本研究では最大加速度と比べて被害との相関が高いSI値を測定するセンサーを用いている。

ブロック内に密にはりめぐらせた導管網の被害を推定するには、点的なSIの観測値を面的に拡張して解釈する必要がある。このため、ブロックは事前に地盤種別に関してゾーニングを行なっており、1地点のSIセンサーの観測点はその周辺の同一地盤ゾーンを代表するものとする。（Fig. 1）

3. ファジィ推論を用いた被害推定

ブロック全体の被害程度をファジィ推論によって推定する方法を示す。まず、各観測点の被害推定を行なう。具体的には、地盤条件を考慮した基準によって観測SI値の大小判断を行い、この結果をもとに各観測点の被害を表わすメンバーシップ関数を計算する。次に、全ての観測点についてこのようなメンバーシップ関数を求め、これに各観測点が受け持つ面積比率を掛けした後、これらの代数和を求めてブロック全体の被害を表わすメンバーシップ関数を求める。

①被害推定のための規則—各観測点のSI値を入力情報とした以下のような規則を設定した。

規則(1) if (条件) SI値=小さい then (結論) 被害=小さい, 規則(2) if (条件) SI値=中程度 then (結論) 被害=中程度, 規則(3) if (条件) SI値=大きい then (結論) 被害=大きい

②観測SI値のメンバーシップ関数—個々のセンサーによる観測値は、設置地点周辺の同種地盤の観測値の代表値であるため、観測値そのものがあいまいさを含んでいる。観測SI値のあいまいさは、地盤条件等によって与えることが考えられるが、ここでは全ての観測SI値について±2cm/sのあいまいさを与えている（Fig. 3(a)参照）。

③観測SI値の大小判断に用いるメンバーシップ関数—このメンバーシップ関数は、①の規則の条件部で使用するものである。片山ら³⁾は、SI値と被害の間のおおよその関係を調べ、木造家屋などにSI=25～30 (cm/s)で被害が発生することを見いだしている。この関係は地盤条件を特に考慮していないが液状化等の地盤破壊も考えれば、Fig. 2(a)～(c)に示すように、地盤条件を考慮してメンバーシップ関数を設定するのが妥当である。

④被害程度の判断に用いるメンバーシップ関数—①の規則の結論部に用いるものである。この判断も当然ファジィ的であり、Fig. 2(d)のようにメンバーシップ関数として設定する。

Fig. 1に示す例題ブロック、観測SI値を用いて、上で述べた推論を行った。その結果をFig. 3に示す。図中の(a)には、中間地盤に属するある1つの観測点でSI=18cm/sが観測された場合について①の規則ごとに推論したものである。同図(b)はこれらを合成して、このブロックの被害を推論した結果である。同じ被害推定をFig. 2のブロック内の全ての観測点について行い、その結果をZ、Z'、Z''の面積比率をもとにブロック全体の被害推定を行った。こ

の結果をFig. 3(c)に示す。この図に示したメンバーシップ関数とその重心値から、ファジィ推論的な結論としては”このブロックは大きな被害の可能性を含んだ中程度の被害(38%)がある”と推定される。

この研究の遂行にあたり、有意義な意見をくださった野田茂先生（鳥取大学）、安田進先生（九州工業大学）に深く感謝の意を表します。

参考文献 1)池田鉄哉、片山恒雄、佐藤暢彦：地震時応急制御システム案、土木学会第44回学術講演会概要集，第1部、pp. 1084-1085、1989. 2)美藤恭久、中村豊、富田健司：新幹線の新しい地震警報システムUrEDAS(エドラス)について、第18回地震工学研究発表会講演概要集、土木学会、pp. 509-512、1985. 3)佐藤暢彦、片山恒雄、大保直人、川崎勝幸：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講演概要集、土木学会、pp. 105-108、1985. 4)三矢直城、田中一男：C言語による実用ファジィブック、リテック社、1989

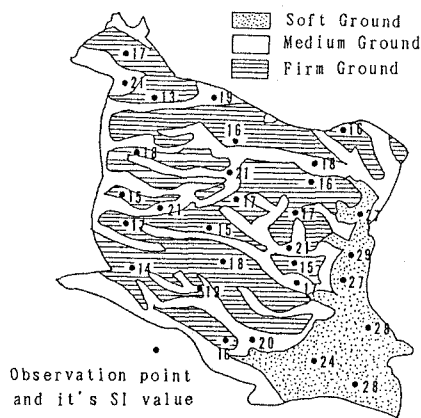


Fig. 1 An example Block of Gas System

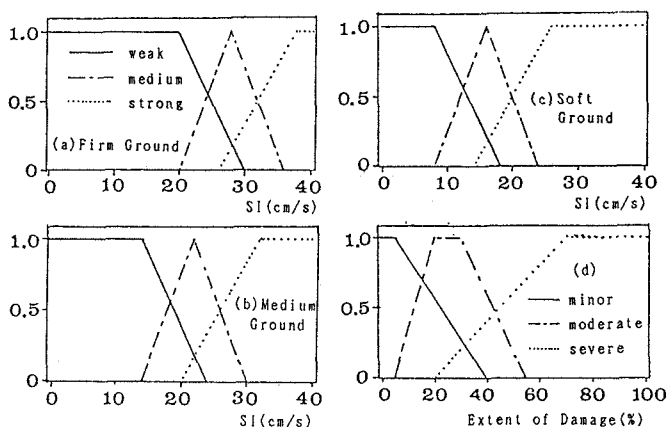
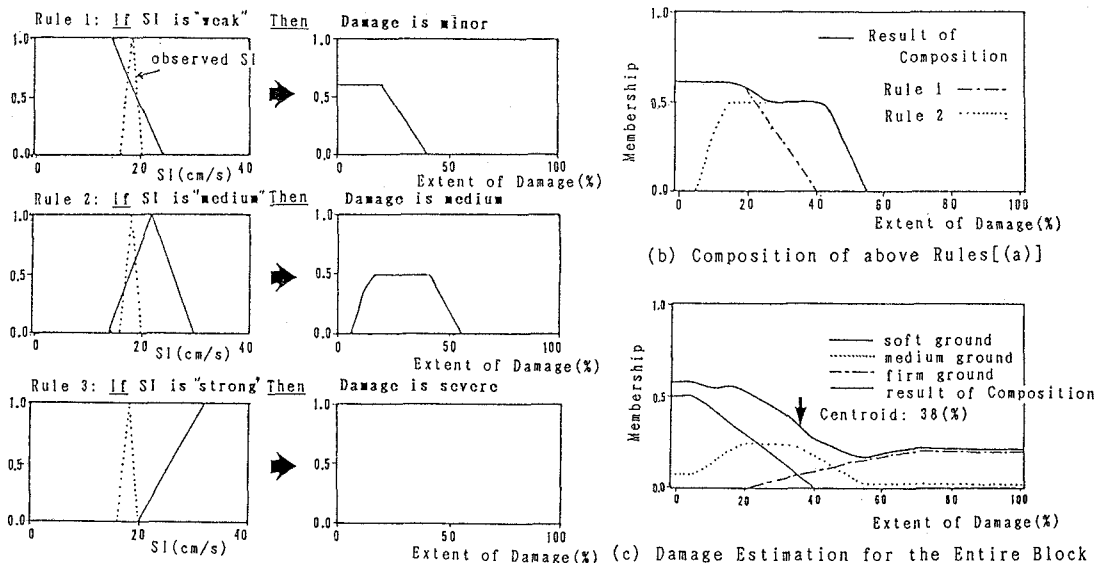


Fig. 2 Membership Functions Used in Example Calculation



(a) Logical Products on Each Rule for Medium Ground when SI=18(cm/s) is Observed

Fig. 3 Damage Estimation for the Example Shown in Fig. 1 by Fuzzy Reasoning