

I-204

フラクタル次元によるガス埋設管ネットワークの地震被害評価

○三菱総合研究所 正会員 猪股亮裕
 東北大学工学部 正会員 中川昌美
 東北大学工学部 正会員 佐武正雄

はじめに

1971年のサンフェルナンド地震や1978年の宮城県沖地震等により、国内外におけるライフラインシステムの震害が注目されている。ライフラインシステムの末端部(例えば、ガス低圧管レベルの供給部であるブロックあるいはセクター)での被害は、通常多数発生し、システムのネットワーク形態の相違なども考慮すると、それらの物理的被害による機能障害を評価することは容易ではない。一方、ライフラインの末端部について正確な復旧対策をたてこれを遂行して行くためには、複雑で時間的に変化して行くネットワークの被害を正しく評価し、それを復旧対策に取り入れて行くことが要求される。

このように、ライフラインの幹線部のみならず末端部においても適切な被害評価のできることの重要性を踏まえ、本研究では復旧に最も時間を要する供給領域の末端部で発生した「被害」の持つ意味を正確に理解し、システムの連結性だけでなくネットワーク形状の特性を考慮した上で、「被害」を評価できる方法を提案し、実際のガスネットワークシステムを用いてその評価方法の妥当性を検討する。

フラクタルを用いた解析手法について

図1は仙台市南小泉地区の宮城県沖地震当時の配電網であるが、これを見ると、骨格をなすループ構造に加え、細部に供給するツリー構造が複雑に絡み合い統計的な意味での自己相似性即ちフラクタル性を形成しているようである。図2は、同じく仙台市郊外の南光台団地のガス低圧管網であり、ネットワークとしてのツリー構造はなく、全体がループ構造により形成されている。ガス配管網は道路網に支配され、このネットワークは比較的新しい造成団地の道路網を表現しているとも考えられる。なお、図3は、藤沢市の上水道網である。末端部においては同様にループ構造により水の供給がなされており、ガス低圧管網と似ている。なお、配電網はネットワーク形態としては、ループ構造を備えているが、電気の流れは様々なスイッチ類により調整されており、電流の経路としてはツリー型であることを記しておく。以上3つの異なったライフラインシステムから各々代表的な配管分布を示す3地域をとりあげたが、ここに見られるように電気の場合はツリー型、ガス・上水道の場合はループ型のネットワーク形態をもって細部を供給しているものが多い。ツリー型ネットワークの場合はその複雑な分岐の仕方が平面を埋め尽くす様子が、また、ループ型ネットワークの場合にはループを最小単位とするループの集合が平面を埋め尽くす様子がフラクタル性を反映しているようである。

このように様々な形態特性を持つネットワークであるが、フラクタル図形の持つ形態の複雑さを定量化する指標にフラクタル次元がある。フラクタル次元の算定方法などの詳細については他⁽¹⁾⁽²⁾で述べているためここでは省略するが、フラクタル次元の定義を少々拡張してはいるが、客観的で信頼性の高い次元の算定方法を確立したことを述べておく。

実際のガス低圧管網を用いての震害評価に関する解析結果

1978年の宮城県沖地震時に特に被害が大きかったといわれている黒松・南光台・緑が丘・将監の若い盛土に於ける仙台市の4つの造成住宅地域についてフラクタル次元を用いた震害評価に関する考察を行なった。本解析では、ノードに発生した被害は、そのノードを一端とする



Fig.1 Electric powerline network of Minami Koizumi



Fig.2 Gas pipeline network of Nankodai



Fig.3 Water pipeline network of Fujisawa

全てのリンクが供給不可能になるとし、さらに、リンク上に被害が発生した場合にはそのリンクが供給不可能になるとして震害前のネットワーク図からそれらのリンクを消去することで、被災後のネットワーク図を得た。ここで、供給率をこのようにして得られた被災後のネットワークの総延長と被災前のそれとの比であると定義する。図4 a・b・c・dに被災前の上述のガス低圧管網を示す。尚、図中の○は実被害、●は仮想被害を示し、実被害に基づいて得られたフラクタル次元と供給率の関係を図5 a・b・c・dに示す。なお、各グラフ上には、仮想被害に基づいたフラクタル次元と供給率の関係をも示している。各々、フラクタル次元の低下と供給率の減少には強い相関関係のあることを示している。緑が丘を例にとると被災後には供給率が74%まで低下し、その減少の様子を示す関係がほぼ直線で近似される。その際、仮想被害に基づいて算出されたフラクタル次元と供給率を示す点は、ほぼ上述の直線近傍に集中する。このことより、宮城県沖地震と同様な規模の地震が発生し、同様な被害が他の地域に発生したとしても、フラクタル次元と供給率の関係は、この直線で表現できるものと思われる。予想される地震に対する供給率の低下とフラクタル次元の関係は、ここで得られたグラフによって表現される。将監地域の図において、1.64(被災前)から1.61(被災後)の実被害によるネットワークのフラクタル次元の変化にたいして、供給率が100%から87%に変化するが、実被害箇所を様々にとって次元の変化を見てみると、いずれもその直線上にあることがわかる。さらに、宮城県沖地震よりも大規模な地震に見舞われたと仮定したときの被害(仮想被害)はいずれも実被害のみにより決定された直線上にあることから、この相関関係が被害規模の推定に用いられる可能性があることを示している。

あとがき

本研究では、非常に複雑なネットワークを形成しているガス低圧管などの末端部を含むネットワークシステムにおける震害の新しい評価方法について考察した。現在、このレベルでの作業は、現場のエキスパートの判断に基づいた被害の大きさの評価により、復旧対策が計画され、実施されている。ここでは、ネットワーク自身の持つ形状特性を考慮し、ネットワーク上における個々の物理的被害とそれによって生じる局所的な機能障害から供給領域全体についてのマクロな機能障害を求めた。その結果、震害によるシステムの供給率の低下とフラクタル次元の低下の間には強い相関関係のあることがわかった。

今後、地盤特性やネットワーク構造物の材料特性などと被害分布の関係を解析過程に取り込み、ここで提案された被害評価方法をより汎用性のあるものにしたい。

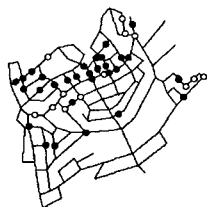


Fig. 4a Kuromatsu



Fig. 4b Nankodai

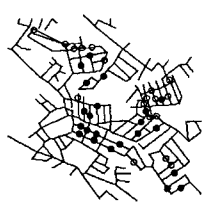


Fig. 4c Midorigaoka

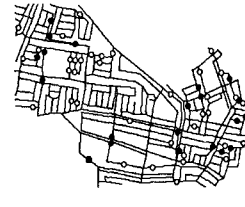


Fig. 4d Shougen

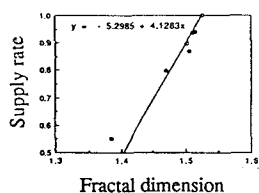


Fig. 5a Kuromatsu

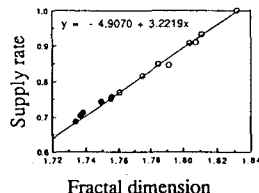


Fig. 5b Nankodai

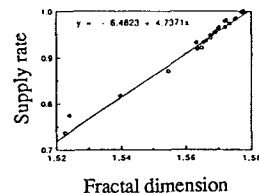


Fig. 5c Midorigaoka

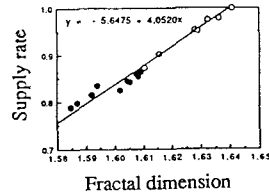


Fig. 5d Shougen

参考文献

- (1)猪股亮裕・佐武正雄・中川昌美：ライフラインネットワークのフラクタル次元による地震被害評価、土木学会第44回年次学術講演会概要集I、平成元年。
- (2)猪股亮裕：ライフラインネットワークの幾何学的特性を考慮した震害評価方法、東北大学修士論文、平成2年。