

東北大学工学部 学生員 ○黒田 孝貴

東北大学工学部 正 員 佐武 正雄

東北大学工学部 正 員 中川 昌美

1. はじめに

供給システムとしての各種のライフラインシステムは、それぞれの特徴（内容物の相異、システムの規模、流れの速さ、安全性等）を有している。ライフラインシステムが地震などによる地域的被害を受けた場合、その被害状況を各々の特徴に応じ数学的に表現するとともに、復旧の方法、時系列過程を数量的に示すことが要望されている。ここでとり扱う低圧管を含むガスライフラインシステムは、その管路網の複雑さが特徴であり、従来のノード・リンクの連結性に基づいた解析手法は必ずしも適当でない。そこで、自然界に存在する現象である樹木の枝分れ、あるいは、血管の枝分れなどの複雑かつ機能的な形を表現できるフラクタルを用いた手法が有効であると思われる。

2. フラクタル及びフラクタル次元について

フラクタルとは、特徴的な長さをもたないような図形や構造、現象などの総称である。例えば、身近なものでは、海岸線や山の起伏や川の形などがそうである。特徴的な長さをもたないような図形の大切な性質に幾何学的あるいは統計的な意味での自己相似性がある。自己相似性とは、考えている図形のどの部分もが全体と同じような形あるいは、複雑さを有しているということである。このようなフラクタルを定量的に表現する量に、フラクタル次元がある。ある幾何学的相似性を持つ図形を例にとると、その図形が、全体を $1/a$ に縮小した相似図形 a^D 個によって構成される時、この指数 D が次元の意味をもつ。ここで研究の対象としたガス低圧管路網のフラクタル次元の算定には、粗視化の度合いを変える方法を用いた。縮尺 $1/5000$ の地図上で、一辺が $1\text{mm} \sim 20\text{mm}$ の格子で管路をおおったとき、管路を含んでいる格子の個数を数え、格子の大きさに対して $\log\text{-}\log$ プロットした。最小二乗法による回帰直線の傾きからフラクタル次元を求めた。

3. 解析結果と考察

宮城県沖地震時に特に被害が大きかったと言われている、黒松・泉パーク・南光台・緑ヶ丘・将監の5つの住宅団地を選択した理由は、これらの地区についての資料が豊富なことと、工場あるいは商業地域などの管路網に比べると高い値のフラクタル次元が予想されたためである。（参考文献）これらの地区の管路網において被害箇所一件につき低圧管 50m が供給不可能となると仮定し、被災前の管路網から取除くことにより被災後の管路網を得た。



図3 シミュレーションによる被災後の南光台団地の管路網図 $D=1.251$, 接点数:198

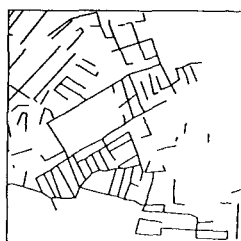


図4 シミュレーションによる被災後の南光台団地の管路網図 $D=1.090$, 接点数:95

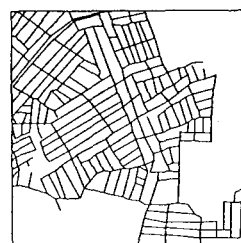


図1 被災前の南光台団地の管路網図 $D=1.308$, 接点数:273

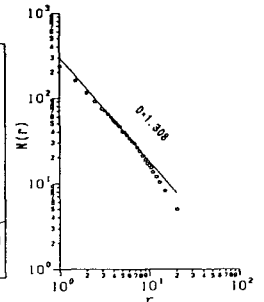


図2 被災前の南光台団地の管路網図の $\log\text{-}\log$ プロット

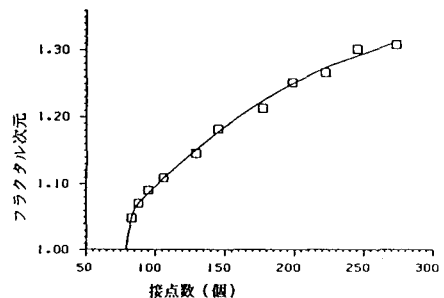


図5 シミュレーションによるフラクタル次元と接点数の関係

先ず南光台団地の被害前の管路網（図1）及びそのフラクタル次元（図2）をもとにして被害発生シミュレーションを行った。図3、4は、フラクタル次元が1.25と1.09のもので、これらの被災後のフラクタル次元の減少率はそれぞれ4%と17%であり、これをみると、管路網についてのフラクタル次元と、その変化との関係を視覚的にとらえることができる。フラクタル次元は、管路網の幾何的形狀を表す量であり、その値の変化が比較的小さいにもかかわらず、管路網の形状が大きく変化していることがわかる。また、図5はこのシミュレーション結果を基に、フラクタル次元と接点数の関係を表したものである。フラクタル次元の減少率が4%及び17%の管路網における、各々の接点数減少率は27%と65%であり、フラクタル次元減少率が与える管路網上における被害の視覚的認識と対応している。また、このシミュレーションにより、被害前後のフラクタル次元に変化が見られるという仮定に対する裏付けが行われた。

表1 各団地のフラクタル次元と経歴

団地名 NO.	黒松 1	泉パーク 2	南光台 3	緑ヶ丘 4	将監 5
被災前のフラクタル次元	1.245	1.363	1.308	1.310	1.212
被災後のフラクタル次元	1.235	1.345	1.293	1.270	1.196
被災前後のフラクタル次元の減少率(%)	0.803 (5)	1.32 (2)	1.15 (4)	3.05 (1)	1.32 (2)
管路長(km)	11.37	21.30	29.68	16.27	38.32
面積(k㎡)	0.433	0.617	0.965	0.572	1.398
管路長/面積 (件/k㎡)	26.26 (5)	34.52 (1)	30.76 (2)	28.44 (3)	27.41 (4)
節点数(個)	113	222	273	181	283
被害件数(件)	14	10	40	21	34
被害件数/面積 (件/k㎡)	32.33 (3)	16.21 (5)	41.45 (1)	36.71 (2)	24.32 (4)
節点数/面積	261	360	283	316	202
被害件数/管路長 (件/km)	1.231 (3)	0.468 (5)	1.348 (1)	1.281 (2)	0.887 (4)

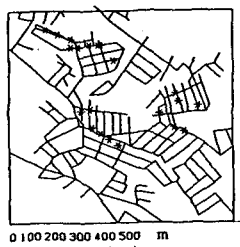


図6 緑ヶ丘団地の管路網図

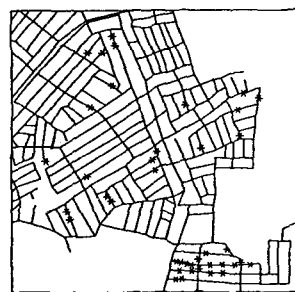


図7 南光台団地の管路網図

次に管路網の持つ特性とフラクタル次元について考える。南光台と緑ヶ丘のフラクタル次元はほぼ等しいが、図6、7に見られるようにその配置に違いがみられる。緑ヶ丘の管路網には、網密度に不均一さ、南光台には均一さが認められる。南光台の被害件数は40件で、緑ヶ丘のその2倍近くあるにもかかわらず、緑ヶ丘のほうが被害前後のフラクタル次元の減少率が高いのは、被害発生箇所が、網密度の高いところに集中しているからであると思われる。ここで観察された網密度の不均一性などをも考慮した、フラクタル次元の減少率が被害を評価するのに有効であると考えられる。

4. おわりに

以上の解析により得られた各団地におけるフラクタル次元の減少率及び、従来の被害率を表1にまとめた。次元の減少率が被害の大小を表すという仮定のもとに、各団地ごとの被害に順位付けを行った。被害の大きい順から緑ヶ丘、将監、泉パーク、南光台、黒松といった結果が得られ、この被害順位は従来のそれとは異なっている。フラクタル次元の減少率が、被害評価についてすべての情報を含んでいるとは考えられず、その他の指標、例えば、上記の網密度の不均一性を表現するパラメータ等を新たに導入し、面的な被害評価の方法を確立していく必要があると思われる。こうした低圧管路網についての新しい被害評価の確立は復旧過程順序の決定に役立ち、さらに、総合的な最適復旧過程を確立するのに役立つであろう。本研究にあたり、心良く資料を提供くださった仙台市ガス局の関係諸氏に深く感謝の意を表します。最後に本研究は、科学研究費（重点領域研究(1)62601005 佐武正雄）の補助を受けて行われたことを付記する。

参考文献 小林信也：埋設管路網の分布特性解析とその応用，東北大学土木工学科昭和61年度卒業論文