

1. まえがき

1971年に起きたサン・フェルナンド地震以来、ライフラインシステムの被害が注目され 様々な方面から研究されるようになった。特に耐震信頼性評価に関しては、ネットワーク理論やモンテカルロ法などの手法を用いることにより研究が進められている。しかし現実のシステムは巨大で、あまりに複雑であることから、ひとつのノード・リンクに着目して解析する前記の手法ではやや合理性を欠くように思われる。そこでシステム全体の特性を巨視的に表現するパラメータを考えて、ライフラインシステムを解析することが必要である。筆者らはガスパ管路網の解析等にフラクタル幾何学を応用することを試みたので、その結果や考察について述べる。

2. フラクタル幾何学について¹⁾

1975年にB.B.マンデルブロが提唱し、今なお発展途上にあるこの学問は、フラクタル—複雑で特徴的な長さをもたない図形や分布の総称—を解明しようとするもので、すでに多くの分野に应用されている。例えば土木工学の分野では乱流におけるエネルギー散逸領域はフラクタル構造であるという事実が実験によって確かめられている。フラクタルの表現あるいは評価について、数量化という目的から「フラクタル次元」なる概念が導入されているが(以下F次元と略す)、F次元は普通の次元が整数であるのに対して非整数となり、フラクタルとしての特性を示す。F次元の求め方は、例えば分布について、図1に示すように、ある尺度 t の正方形でそれを被覆する粗視図を描き、分布に関わる正方形(斜線部)の数を $N(t)$ とする。 t をかえて $N(t)$ を求め、 $\log t$ と $\log N(t)$ の関係を求めると、ほぼ直線となりこの傾きがF次元となる。なお本研究で取り扱う管路網—平面的曲線分布—のF次元は1.~2.までの値をとる。

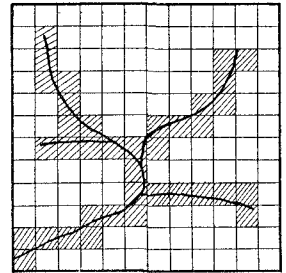


図-1 粗視図の例

3. 解析手法

解析の対象として仙台市におけるガスの、A)現在使用されている本管・支管の管路網の特性、B)宮城県沖地震(1978)以後の本管・支管の管路網について同地震の影響を取り扱った。解析の項目は、I)管径ごとの管路の延長の分布及びII)管路網のF次元でこれらの具体的な内容を以下に述べる。

I)-A) 管路網面上の $1^{km} \times 1^{km}$ の領域についてギルメーターを用いて延長量を求める。なお解析は計15ヶ所の領域について行った。

II)-A) I)-A)と同様の領域について、管路網をトレーシングペーパーに写し、粗視化の尺度 $t=10, 50, 100^{mm}$ について粗視図を描きF次元を求めた。

I)-B) 被害の集中した5つの領域(1.緑ヶ丘2.黒松3.南光台4.泉パークタウン5.持盤)の管路網とその被害実情に関する個別の資料²⁾($18^{km} \times 125^{km}$)についてI)-A)と同様の操作を被災前の健全な状態での分布と被災直後、破壊され使用できなくなったリンクを除いた(被災を免れた)管路網の分布に対して行った。

II)-B) I)-B)と同様の領域についてII)-A)と同様の操作を行った。

4. 解析結果及び考察

I)-A)の結果 ガスパ管路網の分布には幾つかのパターンがあり、主としてa)新興住宅地b)伝統的住宅地c)商業地の3つに大別される(図2)。a)は水量多分配に適した小径管突出型の分布をなし、c)は大口供給に適した分布であるなど、地域的な特性に対応した機能を可視的に把握できると思われる。因みに宮城県沖地震にお

る主要な被災地はA)タイプの分布型であろう(図3参照)。

II) - A)の結果を表1に示す。これにガス管路網のF次元を管路の総延長及び小径管($\phi 50^{mm}$ 以下)の比率とともに載せたが、この表よりF次元は比較的管路の特性をよく表現して

いると思われるこの2つの量に対して小径管率とは独立、総延長とは従属ではないがおおよその比例関係の量であると思われる。

II) - B)の結果を図4に示す。この目的は被害の大きかった地域で被災前後の管路網を比較することにあるが、これらの図より被災によって管径分布の傾向に著しい変化は見られないが、 $\phi 100^{mm}$ 以下の管については全て減少していることが注目される。

II) - B)の結果を表2に示す。表中の1~5は図4の1~5に対応するものである。この表から総延長・被害率(被災管延長を総延長で除いた百分率)・F次元減少率の間に以下に述べる相関があることがわかる。
①総延長が小さいと被害率に対してF次元減少率が小さい。
②総延長が大きいと①とは逆に被害率に対するF次元減少率が大きい。

F次元を用いた解析については以下に述べるように考えられる。供給すべき戸数が多い地域では総延長は当然大きくなるが、管路によって平面を網羅する割合(=F次元)が高くなると機能的となる。また戸数が少ない地域ではそれが低い(即ち簡潔な)分布であると機能的だといえるのではないが。

以上の考察から、被災時に総延長の大きい分布では地震による被害がF次元の減少によって評価される。これに対し、総延長の小さい分布では被害を受けても余り変化しない。

5. あとがき

本文に示したように、埋設管路網の分布の解析にフラクタル次元を応用することは有用であることが分った。今後、フラクタル解析の自動化を計り、より大きな(あるいは複雑な)システムの解析を行いたいと考えている。なお本文では解けなかった仙台市の水道についても同様の解析を行い、ガスの場合とほぼ同じ傾向を得た。また資料の提供を頂いた仙台市ガス局及び水道局の関係の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 高安秀樹著「フラクタル」1986年朝倉書店
- 2) 仙台市ガス局編「宮城県沖地震とガス復旧の記録」1978年

図2 (計を100とした相対値)

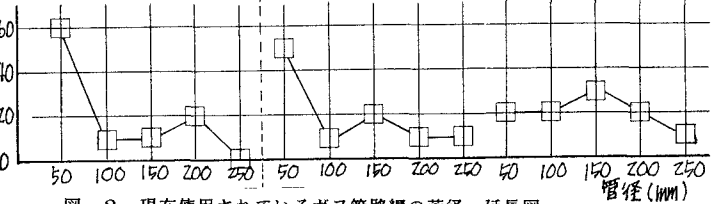


図2 現在使用されているガス管路網の管径-延長図

表1 現在使用されているガス管路網のF次元

	1	2	3	4
総延長 (km)	28.8	20.2	42.0	58.0
小径管率 (%)	52.2	56.6	17.7	62.0
フラクタル次元	1.43	1.38	1.53	1.52

図3 (計を100とした相対値)

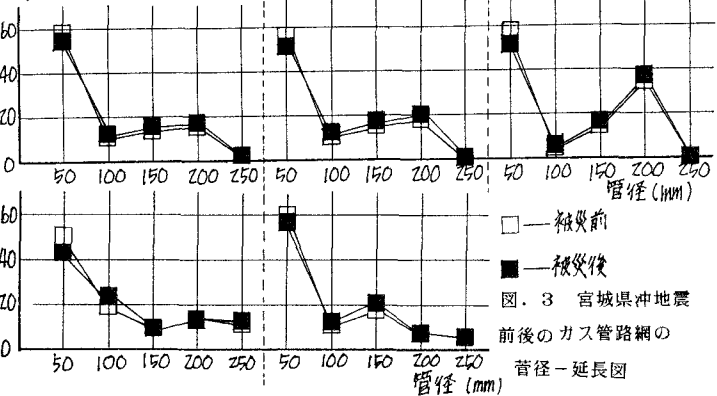


図3 宮城県沖地震前後のガス管路網の管径-延長図

表2 宮城県沖地震前後のガス管路網のF次元

	1	2	3	4	5
総延長 (km)	33.4	15.4	36.6	16.9	33.8
小径管率 (%)	58.4	56.3	56.2	56.2	61.0
被害率 (%)	3.1	7.4	12.0	9.2	5.3
フラクタル次元 (前)	1.28	1.23	1.31	1.28	1.28
(後)	1.26	1.20	1.24	1.27	1.25
同一減少率 (%)	1.6	2.4	5.3	0.8	2.3