

1. まえがき

都市におけるガス・水道等の供給施設の耐震信頼性を解析するために配管網をノードとリンクからなるネットワークシステムと考えた耐震信頼性の解析が行なわれている¹⁾²⁾。しかし、その解析においてリンクの非破壊確率の算定の方法に問題があり、またノードについてはその非破壊確率の算定が困難なため全くノードは破壊しないと仮定してその影響度については未だ検討されていない。そこで本文ではノードがシステムにどのような影響を与えるかということを検討するため仙台市ガス中圧配管網を対象としてモンテカルロ法によるシミュレーション解析を行なった。

2. 解析手法

本研究においては、地盤を考慮したリンクの非破壊確率の決定には、高田・高橋による方法を用いた³⁾。即ち、1km四方のメッシュ内の地盤ひずみを正規分布の確率変数とみなし、単位長さのリンクの破壊発生がポアソン分布に従うと仮定すると、長さLのリンクの非破壊確率 P_L は次のようになる。

$$P_L = \left[\int_0^\infty \left\{ \frac{E_f - \beta E_0}{\beta E_0} \right\}^{2n} \cdot \dots \cdot \left[\int_0^\infty \left\{ \frac{E_f - \beta E_0}{\beta E_0} \right\}^{2n} \right]^{2n} \right] \quad \text{式(2): 正規確率分布関数}$$

ここで、 E_f は管体の破壊ひずみ、 E_0 と σ_0 はそれぞれメッシュ内の地盤の平均ひずみおよびその分散、 β は管体と地盤の相互作用・管体の材質等による定数(ここでは $\beta=1.0$ とした)を表す。なお任意の基盤入力加速度 α に対する地盤のひずみスフト⁴⁾は、表層の剪断波速度⁴⁾、厚さから求まる表層の卓越振動数、さらにその卓越振動数から求まる表層の増幅倍率等を用いて求められる。またノードの非破壊確率は地盤の種類に対応して、100%の値を仮定した。なお、システムの信頼性はノード間のパスの存在確率をもって表わすものとする。

3. ガス配管網のモデル化

図-1は仙台市のガス配管網を沖積層基底の深度とともに示したものである。この際、中圧管の中でもループを描いているものだけを取上げトリー状になっているものは除外した。図-1の配管網に対応させて図-2のようなモデル化を行なった。モデル化においては、ノードとして供給点①、分岐点③~⑤、交差②・④を選んだ。

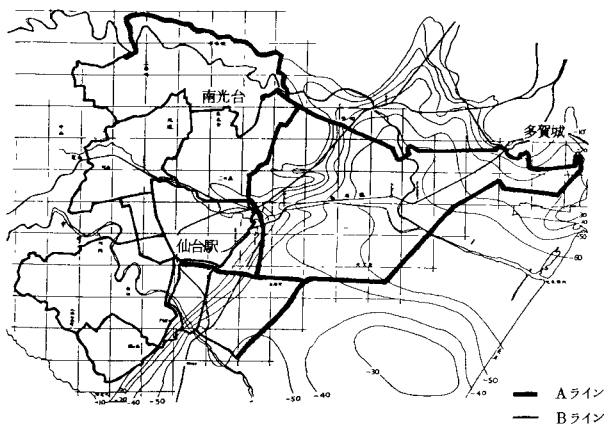


図-1 仙台市の中圧ガス配管網と沖積層基底の深度の概要

4. 計算結果と考察

1) ノードの非破壊確率を考慮した場合の信頼性の減少率

ノードの非破壊確率を決定するにあたり、具体的な値を与えることは資料不足であり、適当な評価方法がまだ存在しないために困難である。そこで図-2に示すようにノードの存在する地盤の影響を考慮に入れてその非破壊確率を仮定した。基盤入力加速度 $\alpha=100\text{gal}$ とした場合について計算した結果を表-1に示す。表から分かるようにノードの非破壊確率を考慮しない場合に比べてノードの非破壊確率を考慮した場合には全体的にその信頼性が低下しており、破壊確率を考慮しているノードでは特に著しい。これはノードの破壊確率互いに影響を及ぼし合、信頼性を低下させるため

ある。次にその信頼性の低下にどのノードの破壊確率が影響を及ぼしているかを調べるために、一つのノードだけ破壊確率を考慮した場合を考える。

2) 非破壊確率を特定の1ノードだけ考慮した場合の他のノードの信頼性

非破壊確率を考慮するノードを①(供給点)・③(架橋)・⑦、変化させる範囲を100%~80%とした場合の計算結果を表-2に示す。①の場合は非破壊確率の減少率以外のすべてのノードにそのまま影響を及ぼしている。③の場合は⑤への影響が特に大きく、他のノードに対しては比較的影響は小さい。このことは図-2から分かるように⑤に供給可能なパスは①→③→⑤の1本しか存在しないために生じるもので⑤の信頼性は③に全く依存していること分かる。⑦の場合は①・③の場合とは異なり、影響する範囲は極く限られており、④・⑥・⑧に影響を及ぼすにすぎない。この際⑦よりも供給点に近い④・⑥に影響が及び⑦より遠い①と直接結ばれている④・⑥に影響がないということが注目される。このことは①→③→⑦→④という信頼性の高いパスが存在することを示し、また⑦・⑥に対しては⑦とは関係のない信頼性の高いパスが存在していることを示している。このように個々のノードの他への影響を考えた場合、供給点に近いノードはシステム全体に影響を与え供給点から遠いノードになるにつれて影響は局所的になっていく。そこで特定のノードの影響がシステム全体の信頼性に大きな影響を及ぼすことを避けるためには供給点を2カ所以上設ける必要があると思われる。

5. あとがき

供給点から1カ所である配管網ではノードの非破壊確率を考慮するとノードが相互に影響を及ぼし合うため信頼性は一般に低下するが、供給点付近のノードの影響が最も大きい。なお今後の信頼性の解析にはネットワークの方向性および流量を考慮した場合を検討する必要がある。終りに、お世話になった仙台市ガス局関係諸氏及び仙台市ボーリング調査資料等を提供して下さい東北工業大学神山 真氏に感謝の意を表します。

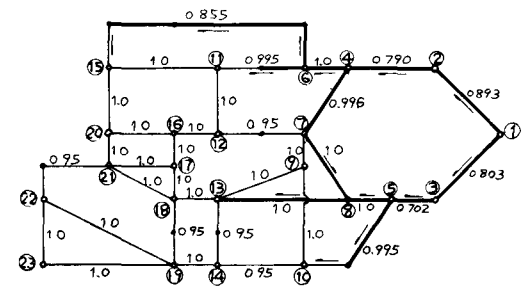
表-1 ノードの非破壊確率を考慮した場合の信頼性の減少率

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
R	1.000	0.897	0.809	0.867	0.556	0.867	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868	0.868
R ₀	1.000	0.809	0.733	0.758	0.486	0.726	0.756	0.748	0.792	0.792	0.752	0.792	0.792	0.757	0.792	0.792	0.792	0.792	0.756	0.792	0.792	0.792	0.792
Y ₀	0.0	9.8	9.4	12.6	12.6	16.3	12.9	13.8	8.8	8.8	13.4	8.8	8.8	12.8	8.8	8.8	8.8	8.8	12.9	8.8	8.8	8.8	8.8

表-2 特定のノードの信頼性への影響

		1	2	3	4	5	6	7	8
1	R	1.000	0.897	0.809	0.867	0.556	0.867	0.868	0.868
	R ₁	0.894	0.802	0.717	0.773	0.486	0.773	0.774	0.774
	R ₂	0.800	0.716	0.641	0.688	0.428	0.688	0.689	0.689
	Y ₁	10.6	10.6	11.4	10.8	12.6	10.8	10.8	10.8
	Y ₂	20.0	20.2	20.8	20.8	23.0	20.6	20.6	20.6
3	R ₁	1.000	0.897	0.733	0.852	0.551	0.852	0.853	0.853
	R ₂	1.000	0.897	0.644	0.832	0.449	0.832	0.832	0.832
	Y ₁	0.0	0.0	9.4	1.7	8.1	1.7	1.7	1.7
	Y ₂	0.0	0.0	20.4	3.7	19.2	3.7	4.0	4.0
	7	R ₁	1.000	0.897	0.809	0.852	0.556	0.852	0.834
R ₂		1.000	0.897	0.809	0.835	0.556	0.835	0.807	0.868
Y ₁		0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	1.7	8.9	8.9
Y ₂		0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	3.7	19.5	7.0

R: ノードの非破壊確率を考慮しない場合の信頼性
R: ノードの非破壊確率を考慮した場合の信頼性
(R₀は図-2, R₁は10%, R₂は20%の場合)
Y: 信頼性の減少率 ((R-R_i)/R)



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.00	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	1.00	1.00	0.95	1.00
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	---
1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	---

(上段は節点番号, 下段はその非破壊確率)

図-2 仙台市ガス中圧配管網及びバリンクの非破壊確率

参考文献

- 1) 田村川上, ライフラインシステムの耐震性の一評価方法について, 生産研究, Vol.30, NO.7, P290~P293, 1978.
- 2) 鈴木, 佐々, 岸野, モンテカルロ法によるガス配管網の耐震信頼性の解析, 土木学会第34回年次学術講演会講演概要集第1部, P342~P343, 1979.
- 3) 高田, 高橋, 地中ライフラインの地震危険度解析, 建設工学研究報告, P167~P198, 1979.
- 4) 今井, 麓, 横田, 日本の地盤における弾性波速度と力学的性質, 第4回日本地震工学シンポジウム, P89~P95, 1975.
- 5) 金井, 多治見, 大沢, 小林, 地震工学, P13, 彰国社.
- 6) 阿部, 仙台市若竹地域地質ボーリング柱状図集.