

ネットワークシステムの地震時信頼性解析

宮崎大学工学部 学生員 海江田正

宮崎大学工学部 正会員 原田隆典

1. はじめに ガスおよび上水道の地震時機能特性を解析するために、これらの流量解析手法を開発する。このような流量解析の方法そのものは目新しいものではないが、ここにガス及び上水道の解析手法を統一的に整理し、同じコンピュータコードにより両者が解析できるようにしている。これらは、上水道については地震直後の消火可能水量の算定に役立ち、ガスについては、2地点間の連結性の指標を作成するのに役立つ。一般に節点数が多くなると連結性による信頼性解析は不可能となるが、流量解析の結果を利用すると、節点数が多くなっても計算が可能となるものと思われる。

2. 基本式 流量解析は次の各節点の流量の連続条件を表す節点方程式(1)と、各節点管の流量とエネルギー一位の関係を表す流量式(2)の2つで構成される。

$$\sum_{j \in I} Q_{ij} + q_i + p_i = 0 \quad \dots (1) \quad Q_{ij} = R_{ij} |E_i - E_j|^{a-1} (E_i - E_j) \quad \dots (2)$$

Q_{ij} = ij 節点間の流量 (m^3/sec) q_i = i 節点取り出し流量 (m^3/sec) p_i = i 節点の漏水量 (m^3/sec)

R_{ij} = ij 節点間の抵抗係数 E_i = i 節点のエネルギー一位 (m)

上水道において、流量に Hazen Williams 式、漏水量式に末石・雄倉の式を採用すれば、

$$R_{ij} = 0.27853 C_{ij} D_{ij}^{2.63} L_{ij}^{-a}, \quad a = 0.54 \quad \dots (3a) \quad p_i = c_i |E_i - G'_i|^{\kappa-1} (E_i - G'_i), \quad \kappa = 1.15 \quad \dots (3b)$$

C_{ij} = 流速係数 D_{ij} = 内径 (m) L_{ij} = 管路長 (m) c_i = 漏水係数 G'_i = i 節点の管中心高 (m)

ガスにおいては、低圧導管 ($1kgf/cm^2$ 未満) の場合には、

$$R_{ij} = 22.33 S^{-0.5} D_{ij}^{2.5} L_{ij}^{-a}, \quad a = \kappa = 0.5 \quad \dots (4)$$

S = 空気を1とするときのガスの比重 ($0.5 \sim 0.6$)

高・中圧ガス導管 ($10kgf/cm^2$ 以上, $1kgf/cm^2 \sim 10kgf/cm^2$) の場合には、

$$R_{ij} = 145.3 S^{-0.5} D_{ij}^{2.5} L_{ij}^{-a}, \quad a = \kappa = 0.5 \quad \dots (5)$$

高・中圧ガス導管のみ(2),(3b)式において E_i を $(E_i + E_a)^2$, G'_i を $(G'_i + E_a)^2$ とする。また、 E_a は空気のエネルギー一位 (m) である。

流量は、(2)式を(1)式に代入して得られる節点エネルギー一位 E_i , E_j に関する非線形連立方程式を解いて求められる。

3. 計算例 図1と表1, 2, 3, 4に計算例に使うネットワーク及び諸条件を示す。その他の条件について、 $C_{ij} = 100$, $S = 0.5$ を与えた。また、地震時の物理的破壊状態を大、中、小の次のような3つの損傷度に分類し、漏水係数を与えた。

$c_i = 0.05$ 小損傷: $0.8r_{ij} \sim r_{ij}$, $c_i = 0.005$ 中損傷: $r_{ij} \sim 1.2r_{ij}$, $c_i = 0.0005$ 大損傷: $1.2r_{ij} \sim 1$

ここに、 r_{ij} = ij 間の信頼性

図2は、上水道の取り出し水量に関する結果である。また、図3は、ガスの(平常時-地震時の平均値)のエネルギー一位を示す。図4, 5に節点12-9間の管路の信頼性を0.65から0.85に改良したときの上水道の取り出し水量に関する結果とガスの(平常時-地震時平均値)を示す。

4. まとめ これらの図より、平常時と地震時における各節点への供給量及び管路の信頼性の関係を調べることができる。例えば、節点12-9間の管路の信頼性を上げることによって、地震時の各節点への供給量はきわめて大きく改善されることが分かる。このようなコンピュータコードにより、上水道、ガスの地震時供給特性を具体的に調べる事が可能となる。

図1

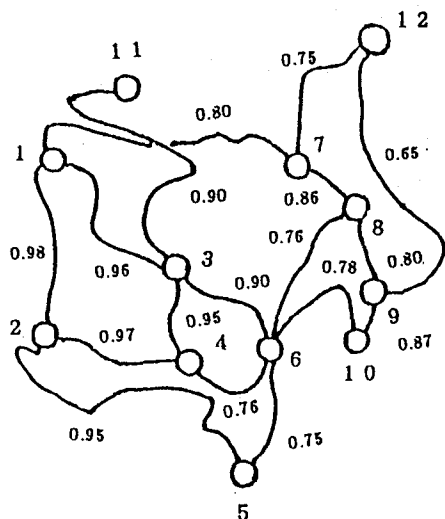


表 2: 上水道の管路条件

隣接節点		管路長	内径
up	down	$L_{ij}(m)$	$D_{ij}(m)$
11	3	22000	1.5
1	2	11000	1.2
1	3	10000	1.2
2	4	8000	1.0
2	5	21000	1.0
3	4	5000	0.9
1	7	16000	1.3
3	6	7000	1.0
4	6	7000	1.0
6	5	7000	1.0
8	6	9000	1.1
10	6	9000	1.1
7	8	3000	1.0
12	7	10000	1.5
8	9	5000	1.1
9	10	2000	1.0
12	9	20000	1.5

表 4: 高圧・中圧ガスの管路条件

隣接節点		管路長	内径
up	down	$L_{ij}(m)$	$D_{ij}(m)$
11	3	22000	0.30
1	2	11000	0.24
1	3	10000	0.24
2	4	8000	0.20
2	5	21000	0.20
3	4	5000	0.18
1	7	16000	0.26
3	6	7000	0.20
4	6	7000	0.20
6	5	7000	0.20
8	6	9000	0.22
10	6	9000	0.22
7	8	3000	0.20
12	7	10000	0.30
8	9	5000	0.22
9	10	2000	0.20
12	9	20000	0.30

表 1: 上水道の節点条件

節点	管中心高 $G'_i(m)$	取り出し水量 $q_i(m^3/s)$	既知エネルギー位 $E_i(m)$
1	38.59	2.5	-
2	-	-	200
3	28.94	2.5	-
4	28.91	2.5	-
5	20.21	2.5	-
6	5.47	2.5	-
7	18.73	2.5	-
8	11.57	2.5	-
9	7.79	2.5	-
10	18.10	2.5	-
11	-	-	200
12	-	-	200

表 3: 高圧・中圧ガスの節点条件

節点	管中心高 $G'_i(m)$	需要量 $q_i(m^3/s)$	既知エネルギー位 $E_i(m)$
1	38.59	2.5	-
2	43.37	2.5	-
3	28.94	2.5	-
4	28.91	2.5	-
5	-	-	40
6	-	-	40
7	18.73	2.5	-
8	11.57	2.5	-
9	7.79	2.5	-
10	-	-	40
11	10.00	2.5	-
12	10.00	2.5	-

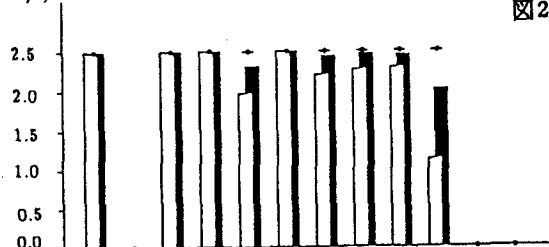
 (m^3/s) 

図2

(m)

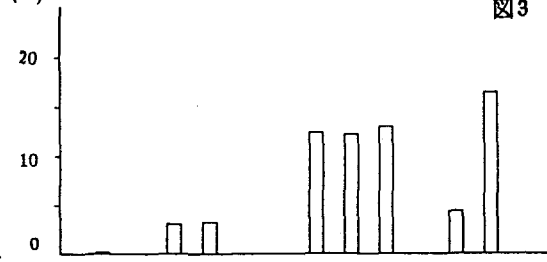
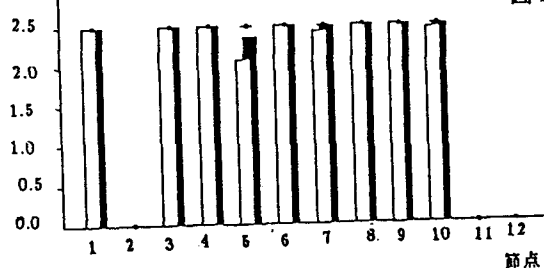


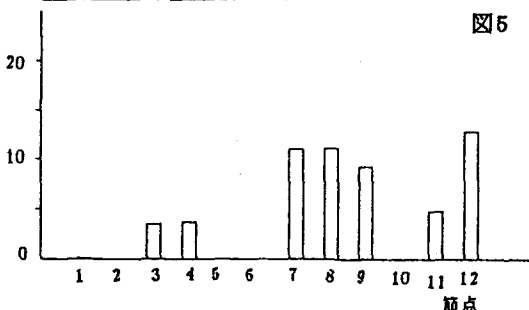
図3

図4



節点

図5



節点