

埼玉大学 正員 川上英二
東京大学生産技術研究所 正員 田村重四郎

1. 序論 著者等は、ライフラインのネットワークシステムの合理的な耐震設計法の確立を目的として、ライフラインの供給地点と需要地点とが連結の場合には安全であると定義し、非連結の場合には破壊であると定義する基準を耐震性の評価基準として、モンテカルロ法を用いたライフラインの耐震性の評価方法を展開した。この基準は、ネットワークシステムの特性を簡単明瞭に表現するため、その基準が一般的であるために非常に適切なものと思われる。しかし、この評価はそれぞれのライフラインシステムの評価基準としては不十分である事は明らかであって、各々のシステムの特性を十分に表現する評価基準を設定し耐震性を評価する必要がある。

ここでは、ライフラインシステムの具体的な1つの例として上水道システムを選び、機能上の耐震性の評価基準として水圧低下及び水量不足を設定し、簡単な解析用モデルに対して、地震後の給水能力を解析した。

2. 破損箇所と破損度とのシミュレーション ある水道システムを考えた場合、地中埋設管等の構造物の破損箇所は、地震動の強さ・地盤条件・構造物の材質・強度等の関数として求められている単位距離当りの破損箇所数を用いて、モンテカルロ法によりシミュレートできる。一方、破損度は無被害で0、完全破損で1の値をとるSで表わされると考え、その密度関数を

$$P(S) = (w+1)(1-S)^w \quad (w: \text{パラメータ}) \quad \text{---(1)}$$

と仮定し、破損箇所 i の破損度 S_i をシミュレートする。そして、破損孔を $S_i A_i$ (A_i は管の断面積)が孔の断面積であるオリスと考え、漏水量と水圧と破損度との関係を仮定する。

3. 管網解析 高桑²⁾は平常時における漏水防止及び給水制限という立場から漏水を考慮した管網解析法を提案している。地震の場合の漏水は、平常の漏水の場合とは異なり、漏水量の程度により漏水に伴う二次災害の発生、送水停止、仮設配管等が行われ複雑である。しかし、ここでは、簡単のため、漏水量の増加による状態の変化は考慮せず、漏水があった場合の管網システムの性状の調査を試みた。

管網解析法における基礎方程式は、①各管路の流量 Q [m^3/sec]を節点又は破損箇所の水頭 E [m]で表示した流量式と、②各節点又は破損箇所に接続する管路の流量 Q が満たすべき連続式とがあり、それぞれ次のように表わされる。

$$Q_{ij} = R_{ij} |E_i - E_j|^{a-1} (E_i - E_j) \quad \text{---(2)}$$

$$\sum Q_{ij} + P_i + \Lambda_i = 0 \quad \text{---(3)}$$

ただし、 ij は隣り合った節点又は破損箇所を表わし、 P_i は i が節点の場合は節点 i の給水量 [m^3/sec]であり、必要水量及び地盤上水頭の関数と考える。また i が破損箇所の場合は、 $P_i = 0$ である。また、 Λ_i は破損箇所 i からの漏水量を表わす。 R, a としてはHazen-Williams式を用いる。

4. 数値計算例 前報に用いた東京都の水道管網モデルをもとにして、節点の地盤高・必要水量・管路長・管路直径は、図1及び表1に示す様に仮定して簡単な解析モデルを組み立て、上に示した解析方法を適用した。各節点は、単なる管路の分岐・合流点とし、水はA③C3点でシステムに入り、管路を流れて自然流下するものとした。地盤高はなるべく実際の地形を反映するように、また管路直径を適当に決める事によりすべアの節点、リンクにおいて地盤上の水頭(水圧)が丁度20mとなる様にした。供給節点A③C3の水圧は地震後も一定値(20m)に保たれると仮定した。また、破損箇所は地盤条件を考慮に入れて、久保・片山³⁾により東京都の1km四方の区画毎に提案された水道管の破損被害率補正係数を重みとする密度関数を用いて、ランダムにシミュレートした。また、需要節点では水圧15mで必要水量が最高100%給水可能であると仮定した。

図-1 のシステムに破損度 $S_i = 0.3$ の破損が1箇所生じた場合を22回シミュレートした結果得られた破損箇所1~22を図-1にX印で示した。また、その各々の破損箇所に対して、破損が1箇所生じた場合の管網計算をおこなった縦軸に節点①~②のとり、横軸に水圧を折れ線で、不足水量を棒グラフで示した図を、15個横に並べたものが図-2である。供給節点④⑤を除く、すべての節点で水圧は減少し、水圧が15m以下となった節点では、水量不足が生じている。破損度 S_i を一定値(0.3)としたにもかかわらず、破損箇所と需要節点との位置関係により被害程度が大きく影響される事がわかる。

次に、破損箇所の数を10箇所とし、破損度 S_i が式(1)の密度関数に従い分布する($w=10$)と仮定して、シミュレーションを50回繰り返し、各節点での水圧累積確率分布関数を求め、これを図-3に示す。システムにおける各節点での水圧低下・水量不足はある分布をもつ確率量として求まるがその分布は節点により異なる事がわかる。例えば、節点④⑤における水圧の平均値は約10mであるのに対し、節点④では約15mである事が読み取れる。この事から節点④の方が節点⑤より機能上の耐震性に富んでいる事がわかる。以上に述べた結果は、管路を流れる水量が全体に増加する事により下流地域で水圧の低下する現象、破損箇所の近くの節点での水圧が著しく低下する現象、または、管路直径、地盤高、及び破損被害率補正係数の場所による分布等が複雑に影響し合った結果生じた現象を反映していると思われる。

参考文献 (1) 川上・田村「ライプラインのネットワークシステムの機能上の耐震性の評価方法について」第33回年次学術、1部、1978。
(2) 高桑「治水管理のための管網解析プログラム」水道協会雑誌、第488号、1975。(3) 久保・片山「地中埋設管被害に関する調査」東京都防衛会議、1975。

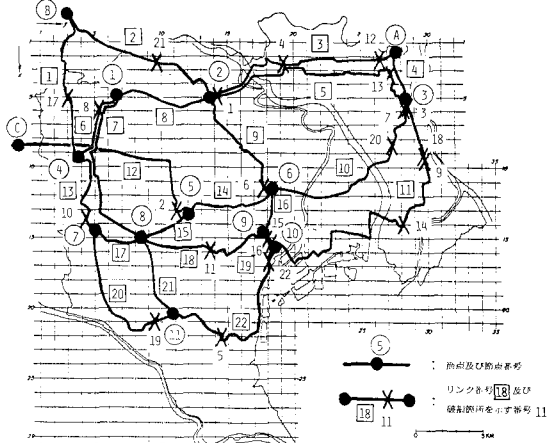


図-1 解析対象ネットワークモデルと破損箇所のシミュレーション

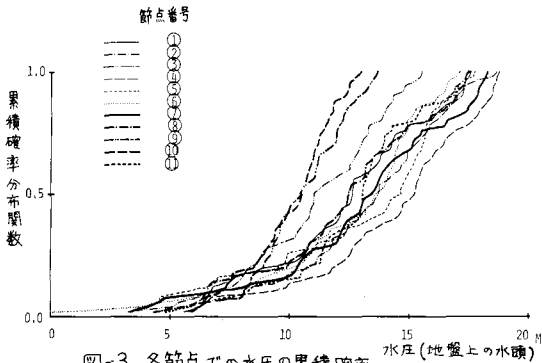


図-3 各節点での水圧の累積確率

(破損箇所 10 箇所、破損度分布 $w = 10$)

表-1 節点条件・管路条件

節点番号	管線径 G_i [mm]	必要水圧 P_i [m ² /sec ²]	リンク番号	管線径 D [mm]	管線長さ L [m]
①	40.59	2.49	1	11.7	4.0
②	20.73	5.28	2	13.9	1.2
③	9.79	4.00	3	16.6	2.0
④	50.18	2.03	4	3.7	1.0
⑤	30.94	5.84	5	19.0	1.8
⑥	20.10	5.41	6	6.1	2.3
⑦	45.37	2.26	7	13.8	2.4
⑧	40.59	1.84	8	7.7	1.8
⑨	13.57	0.86	9	9.3	1.4
⑩	7.47	2.72	10	15.0	1.0
⑪	30.91	8.11	11	25.9	1.0
⑫	20.00	—	12	16.7	2.9
⑬	62.00	—	13	6.8	3.6
⑭	47.00	—	14	7.4	2.9
⑮	—	—	15	3.7	1.2
⑯	—	—	16	3.1	1.0
⑰	—	—	17	3.5	2.4
⑱	—	—	18	10.3	1.0
⑲	—	—	19	1.1	1.0
⑳	—	—	20	11.8	2.2
㉑	—	—	21	5.8	1.6
㉒	—	—	22	14.9	1.0

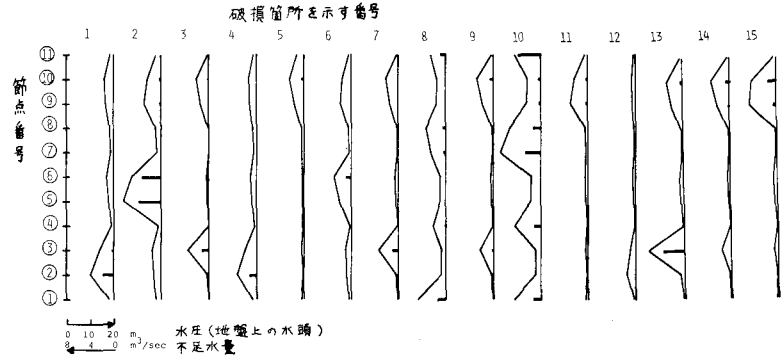


図-2 各節点での水圧低下と水量不足