

強震時における配水管路網の使用性に及ぼす要因分析

京都大学工学部 正員 山田 善一 京都大学工学部 正員 家村 浩和
京都大学工学部 正員 〇野田 茂 フジタ工業 (株) 正員 池見 拓

1. まえがき

地震によるライフライン系の被害要因は数多く考えられるが、これまで都市内供給システムの使用性に及ぼす影響についての定量的な分析はほとんど行われていない。本研究ではFig.1に示すような地下埋設配水システムを例にとり、地震危険度解析と数値実験を適用した管路網解析で得られたデータ群に数量化理論第1類を用いた。その特徴はネットワークモデルの震害評価と住民の生活の糧である水量を予測することである。本研究の目的は適確な要因分析を統計的に実施する方法を提案することにより、地震被災後のシステムの性能について検討を加えようとするところにある。

2. 解析手法

本研究はFig.2に示す手続に従う流量予測の一連の方法を提案する。文献1)2)と共通点もあり、一種のDamage Probability Matrix³⁾は本解析で重要な意味をもっている。

(I) まずFig.2のようにネットワークシステムに地震危険度解析を適用し、各管路 i の破壊確率 P_{fi} を管種の差違による破壊歪 ϵ_{fi} の関数として算定する。そのためにFig.1のように各管路 i (長さ l_i)を単位長に分割(要素)し、面的な地盤特性を考慮して次式のように求める。

$$P_{fi}(l_i) = 1 - (1 - \lambda_{fi})^{l_i} \quad (1)$$

λ_{fi} は管の単位長当

りの破壊確率であり、Site j での地盤特性(卓越周波数 f_{1j} 、増幅係数 m_{1j} 、表層厚 H_{1j})と基盤の速度スペクトル $S_{v0}(f_{1j})$ (M, Δ の関数)より決定される。

$$\lambda_{fi} = P[S_v(f_{1j}) \geq \frac{4H_{1j}\epsilon_{fi}}{\beta m}]_{ij} \quad (2)$$

β は補正係数である。上式を全ての管路に繰り返し適用する。

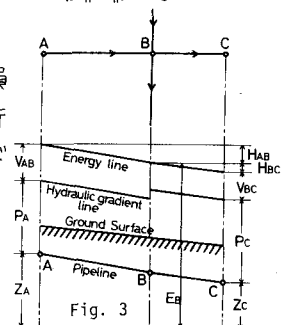
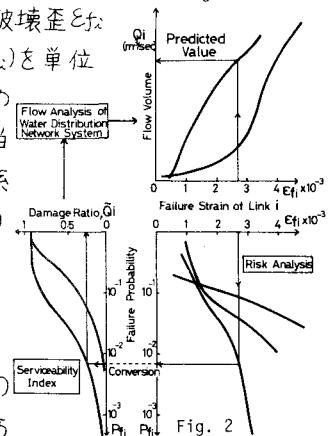
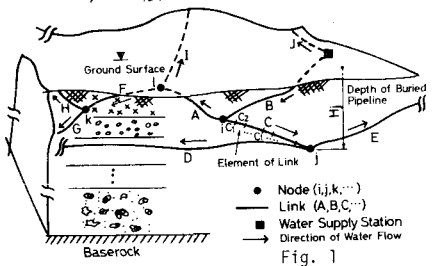
(II) (I)で得られた管の破壊確率からFig.2に示す使用性指数の確率分布の仮定又はランダムシミュレーションによって、流量の次元に変換する管 i の被害率(DR_i)を求める。例えば単一管路であれば $DR=0.5$ は正常時供給量の半分の流量を意味する。

(III) 次に得られた地震被害率を用いて、管路が様々な程度の欠損を生じた場合、漏水量 Δ_i の考慮と水圧不足時の管路網流量解析³⁾を行なう。以下にその解析の基本方程式を示す。管中心高さ z とエネルギーはFig.3に示す関係にある。隣り合った節点番号 i, j について、

$$Q_{ij} = R_{ij} |E_i - E_j|^{a-1} (E_i - E_j), \quad a \text{ と } R \text{ は Hazen Williams 式による}$$

$$\sum_j Q_{ij} + Q_{it} + \Delta_i = 0 \quad (4)$$

ここで、 $Q_{it} \geq \frac{P_i}{\rho g}$ のとき、 $Q_{it} = 0$



$Q_{it} < P_{it}$ のとき, $Q_{it} = \frac{P_{it}(E_i - G_i)}{\sqrt{R_{P_{it}}(E_i - G_i)}}$, E と G はエネルギー, 管中心高さ, P_{it} , $R_{P_{it}}$ は節点 i での正味の需要水量, 許容地盤上残存水頭, $R_{P_{it}}$ に対応する取り出し水量である。

(IV) 得られたデータ群をもとに林の数量化理論第1類を用いた回帰分析を行ない, 外的基準としての各管路の流量を予測し, さらに各要因が及ぼす影響の程度を検討する。

3. 数値計算例および考察

モデルはFig.4に示す節点・管路(Link)番号, 自然流下方向とトポロジカルデータをもつシステムである。Fig.3に示すデータと需要水量を既知とすると, 無被害時のサンプル流量はFig.5のようになる。Fig.4の地盤条件を考慮して管路134が同時破壊したケースを議論する。被害率, 管径, 流速係数(管径)を要因I, II, IIIと考え, 各範疇には幅をもたせず特定の値を取り, 10回の数値実験を行った。数量化理論の適用結果の一例がFig.6である。図中P.C.C.とCOR.COEFF.は偏相関係数, 重相関係数を意味する。正規化したカテゴリー-数量 x_{jk} を示した図より, 次のような考察ができる。

このケースでは流速係数よりも被害率あるいは管径が流量を支配する要因となっている。これはP.C.C.で明らかであり, 凡10, 14, 23と欠損した管路は要因Iに, 他の管路は要因IIに比重をもつ。反応のパターンは管路2と18に代表される2つが認められ, 当然ながら前者では被害率が小さいほど管径・流速係数が大きいほど流量を多くする。特に負の重み係数 x_{jk} をもつカテゴリーの組み合わせで, Fig.4の自然流下方向に対し逆流の現象を生じた。これは管路の水圧不足に原因している。後者のパターンは, 供給点2と3がシステムに与える流量を保証する分岐点でのシリーズ・パラレルの特性によっている。不静定系にかかわらずかなり高い予測精度を与えたが, Fig.6の結果より供給点に連結した管路補強が特に重要であることがわかる。

(参考文献) 1) Oppenheim, I. et al., "Water System Network Analysis under Seismic Hazard," submitted to ASME Pressure Vessel and Piping Technology Conference, SF, August 1980. 2) Whitman, R.V., "Methodology and Pilot Application," MIT-CE-R74-15, July 1974. 3) 高桑, "配水管網の解析と設計", 森北出版, 1978年8月 4) 林ほか, "情報処理と統計数理", 産業図書, 昭和45年5月。

