

神戸大学 正員 高田至郎
日立造船(株) 正員 ○川村大蔵

1. まえがき ライフライン・システムの地震時信頼性評価にあたっては、地盤の震動特性や構成要素の地震時挙動などの不確定要素を考慮した解析手法を確立する必要がある。また、システムが複雑なネットワークを形成していることなどを考え合わせると、モンテカルロ法を適用することが有効であると考えられる。ここでは、都市内のガス供給システムのうち、主要管路とそれに付随した施設（貯蔵施設、整圧施設）とからなる基幹ネットワークを取り上げ（図1）、モンテカルロ法を用いた方法論FAST⁽¹⁾を応用することによって、想定地震のマグニチュードの関数としてシステムの残存確率を算定した。また、分布パラメータに対する残存確率のSensitivityについても考察を加えた。

2. 解析手法 本解析においては、システムを構成する各要素ごとに、入力群（埋設管要素に対しては地盤のひずみ、他の要素に対しては地表面加速度）、伝達関数（入力群から管体ひずみあるいは各施設の構造物応答加速度へと変換するもの）ならびに破壊確率分布曲線をモデル化した。すなわち、入力群は対応する伝達関数によって各要素の応答へと変換され、これと破壊確率分布曲線とから要素の破壊確率が算定できる。さらに、モデル化したネットワーク特性に基づいてシステムの残存確率が得られる。また、入力、伝達特性、ならびに破壊基準は不確定量として扱うことが妥当と考えられ、ここでは2種類のばらつき（ランダム変動とシステムティック変動）を設定してモンテカルロ・シミュレーションを実施した。

入力群としては、Esteveの Attenuation Law⁽²⁾に基づいて次式を用いた。要素iについて、

$$E_i = \alpha_i \cdot C_w \cdot e^M (R_i + 0.17e^{0.59M})^{-1.7} / \bar{C}$$

$$\alpha_i = \alpha_i \cdot C_a \cdot e^{0.54M} (R_i + 25)^{-2}$$

ここに、 E_i は地盤ひずみ、 α_i は地表面加速度(g), M , R_i は想定地震のマグニチュードならびに震源距離(km), C_w , C_a は係数である。また、 α_i と $\bar{C}$ は地震動シミュレーションの結果⁽³⁾から得られた震層地盤増幅率および表面波の伝播速度(約600 m/sec)であり、 α_i は図1に示す地盤種別ごとに得られた分布特性のうちのひとつをひくものである。式中の M 以外はすべて正規分布パラメータとして扱った。なお、想定地震としては、震央位置をシステムより北東に40~55km程度離れた地点、震源深さを40km程度とした近地型地震を取り上げた。

ひずみの伝達関数は石油パイプライン地震対策要綱に基づく値の変動（地盤特性のばらつきに起因するもの）をふまえて、直管部や曲管部・丁字管部を含んだ埋設管要素に対して適用できるように配属した。また、貯蔵施設については、1質点弾

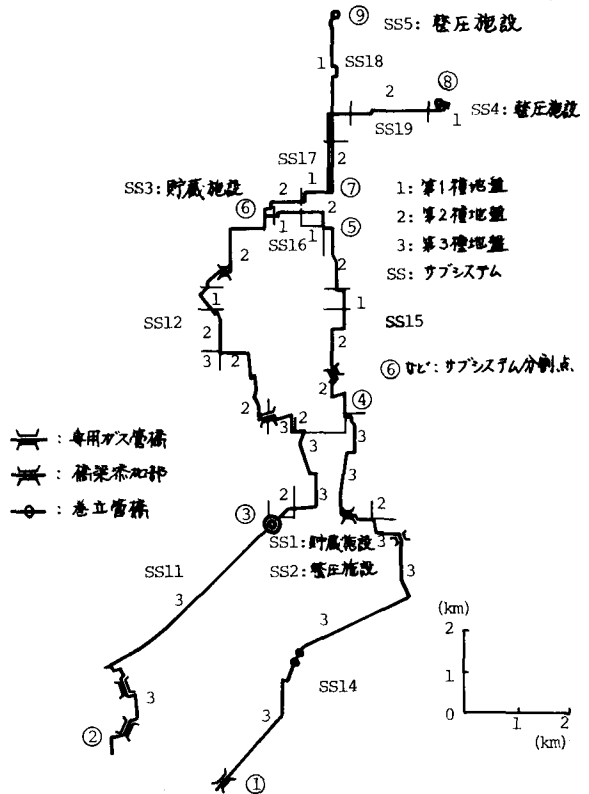


図1 解析ネットワーク

塑性系の応答計算結果を参照した。これらの伝達関数はベータ分布にしたがうものとして扱った。

また、ネットワーク構成のモデル化は次のように行なった。まず、管路については、橋梁部と埋設管部に大別し、さらに図1の地盤境界線によって埋設管を要素へ分割した。次に、貯蔵施設構造物については、構造物支持部、基礎部ならびに安全弁といった直列の3要素を、また、整圧施設については、並列に設置した2つの整圧器と建屋が直列関係にあるものとして3つの要素を設定した。これらの要素に対して、破壊確率分布曲線をモデル化したものが概略を図2に示す。

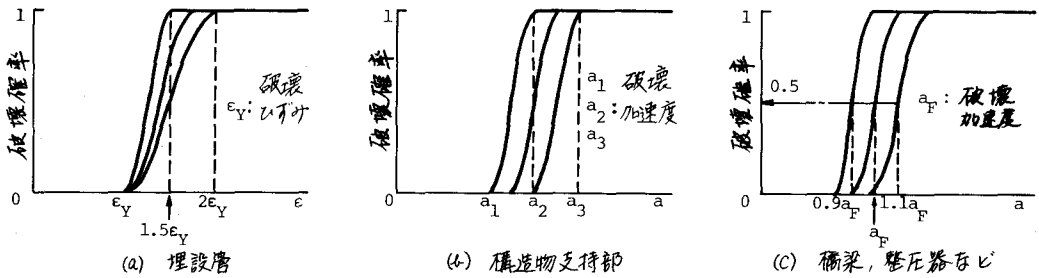


図2 破壊確率分布曲線のモデル

3. 数値計算結果と考察

システムの機能としては、図1中の地点①②まで供給されたガスが地点④の整圧施設を経てそれ以降の管路に供給されるか否かに注目した。なお、貯蔵施設については、取り上げたラインには直接関係しないので、サブシステムとしての評価を行なうにとどめた。計算結果の一部を図3に示す。図より、ここでもり上げたシステムは想定地震のマグニチュードが7.5~8.0と変化するにつれて破壊側へ推移するこじがわかる。当該地域における地震危険度を考慮すると、再現期間100年に対応する地震の発生規模は想定した震源域においてM=7.3程度となり、この程度の地震発生に対しては残存確率は1となっている。次に、各サブシステムについてみると、システム全体の信頼性を決定しているのはサブシステム14(南部のライン)および2(地点③の整圧施設)であることがわかる。

また、入力群、伝達関数、破壊確率分布曲線の分布を移動させてシステムのSensitivityを調べた結果などをまとめることになる。(i)取り上げたシステムの耐震信頼性は比較的に脆弱な南部の地盤に発生する地震動(とくに加速度)に対してSensitiveである。したがって、橋梁部などの耐震性改善がシステム全体の信頼性向上につながる。(ii)幹線ルートに構成する埋設管については、ひずみの伝達関数の分布を移動させた影響は全く認められない。(iii)本解析モデルでは、システムは整圧施設の建屋の破壊確率分布曲線に対してもSensitiveである。

参考文献

- (1) TRW Systems Group, "Failure Analysis by Statistical Techniques (FAST)," sponsored by the Defense Nuclear Agency, 1974.
- (2) Newmark, N.M. and Rosenbluth, E., "Fundamentals of Earthquake Engineering," Practice Hall, 1971, p.233.
- (3) 後藤ら, "埋設管の震害予測のための地震動の推定法について," 第16回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 郡山, 1979, pp.517~520.

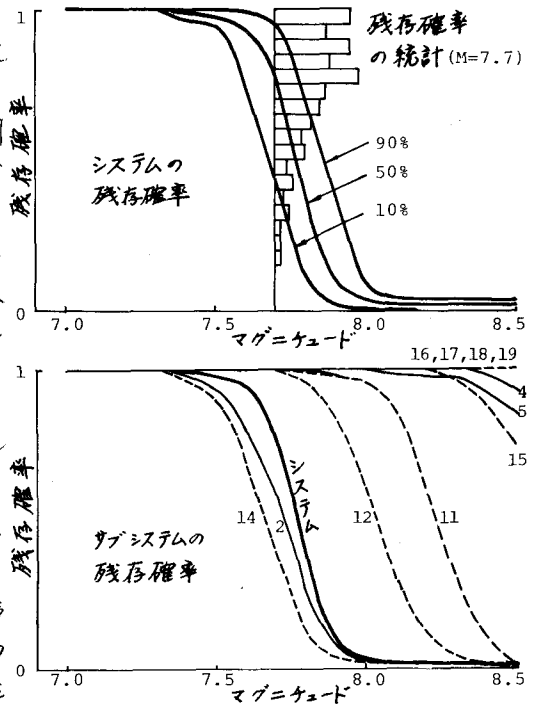


図3 システムとサブシステムの残存確率の推移