

ライフラインの地震時信頼性に関する一解析法

京都大学防災研究所 正会員 土岐 憲三

京都大学防災研究所 正会員 佐藤 忠信

京都大学大学院 ○学生員 末富 岩雄

1. まえがき 近年、各種ライフラインシステムの耐震性を向上させることが、地震時における都市防災対策上、極めて重要な課題であると言われている。本研究では、地震時における大規模なライフラインの信頼性解析を行うためのプログラムを開発する。ライフラインの構成要素の数を n とすれば、システムの破壊状態は 2^n 個の組み合わせが考えられるので、 n の値が大きくなれば信頼性解析は実質的に不可能になる。ここでは構成要素の機能損失に及ぼす地震断層の影響圏を評価することにより、ライフラインシステムの破壊状態を $(2n-1)$ に減少できることを示し、これを信頼性解析に組み込んだものである。

2. 影響圏 図-1 に示すように、2次元的な広がりを持つ潜在的断層発生域を想定する。そして、断層の発生する確率分布は断層発生域内において一様であると仮定する。ただし、簡単のために断層発生域と断層はともに長方形であり、かつ相似でしかも各辺は平行であるとする。

さて、ネットワークを構成する要素の破壊レベルを支配する変量 Y が、断層からの距離 r 、マグニチュード M 、発震機構を表すパラメーター C_k との関数とした減衰則で次式のようにならされるとする。

$$Y = F(r, M, C_k) \quad (k = 1, 2, \dots) \quad (1)$$

いま、要素の破壊に対する許容レベルとして Y^* が与えられれば、式(1)から逆にある限界の距離 R が得られる。

$$R = F^{-1}(Y^*, M, C_k) \quad (k = 1, 2, \dots) \quad (2)$$

この距離を影響距離、これを半径とする球を影響圏として定義する。

いま、図-1の破線で示したような影響圏と断層発生域との交線を考える。そして、断層の一端が破線内にはいれば、その構成要素は破壊すると考える。いま断層の一端が破線上に来るような断層の中心の軌跡をとると実線のようになる。こうして、影響圏を断層の中心に着目した系に移すことによって、以下の信頼度計算を行う。

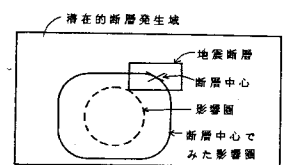


図-1 断層の中心位置と影響圏

3. 信頼度の計算法 断層発生域は影響圏によって、ネットワーク状態の異なるいくつかの領域に区分される。その各状態において、ネットワークが信頼度基準を満たしているかどうかを表す指標として、 I_i を考える。

$$I_i = \begin{cases} 1 & i \text{ 番目の領域の表す状態において} \\ & \text{信頼度基準を満たしているとき。} \\ 0 & \text{信頼度基準を満たしていないとき。} \end{cases} \quad (3)$$

そして、信頼度基準を満たしている、すなわち、 I_i が 1 となるような領域の面積の総和

を求める。ネットワークの信頼度はこの総和と潜在的断層発生域の面積との比に地震の発生確率 $f(m)$ を乗ずることにより与えられる。いま断層発生域が影響圏によって N 個の領域に区分されていて、 i 番目の領域の面積を $S_i(m)$ とすると、ネットワーク G のマグニチュード m での信頼度は次式のように表せる。

$$R(G|m) = \left\{ \sum_{i=1}^N I_i \cdot S_i(m) \right\} \cdot f(m) / \sum_{i=1}^N S_i(m) \quad (4)$$

4. 埋設管網への適用 図-2に示すような簡単な埋設管網を設定する。断層発生域は、長さ120km、幅60km、dip angle 75° とする。図-3は、断層発生域に対して垂直方向の断面図である。平行な方向に関しては地盤構造の変化は少ないので図は省略した。表層地盤は、A層、B層、C層、D層の4層から成り、各層におけるせん断波速度と相対密度を表-1に示す。各層とも砂質地盤とし、単位体積重量 1.8 t/m^3 、粘着力 0.01 t/m^2 、内部摩擦角 35° 、地下水位 0.5 m とする。

埋設管の強度レベルを表す基準を地盤の速度振幅とする。リンク3と8は 20 cm/s 、リンク2と10は 40 cm/s 、他のリンクは 30 cm/s 以上になると破壊するとした。この値を用いて、地震時における表層地盤の増幅度を考慮して各々のリンクに対する影響圏を算出した。また疲労破壊の概念を準用して地盤の液状化危険度を影響圏で表現した。両者の大きい方を信頼性解析に使用した。ここでは、ネットワークの結合性に関して信頼度計算を行った。信頼度基準をノード1からノード6へと伝達できることとし、また式(4)の $f(m) = 1$ とした結果が表-2である。図-4は、マグニチュード7.2における断層発生域面上での影響圏の図である。点線部分では、信頼度基準を満たしておらず、指標 $I_1 = 0$ である。

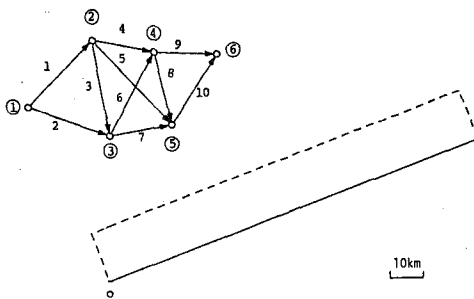


図-2 埋設管網と断層発生域の位置

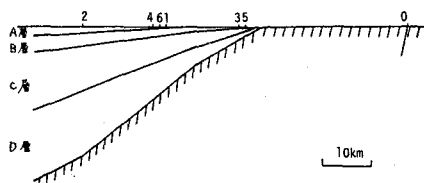


図-3 埋設管網近傍の地盤構成

表-1 各層のせん断波速度と相対密度

層	せん断波速度 (m/s)	相対密度
A層	140	0.40
B層	180	0.80
C層	250	0.80
D層	400	0.80

表-2 埋設管網の結合性に関する信頼度

マグニチュード	信頼度
7.0	1.000
7.1	0.866
7.2	0.581
7.3	0.438
7.4	0.053

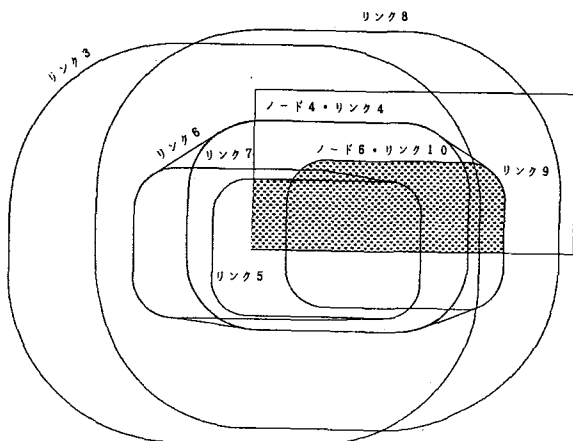


図-4 埋設管網の影響圏 (M=7.2)