

I-510 大規模ライフライン網の地震時信頼性解析プログラムの開発

佐藤工業(株)	正会員	末富 岩雄
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

1. まえがき

上下水道、電力、ガス等のライフラインは社会生活において大きな役割を果たしており、この耐震性を向上させることは、地震時防災対策上重要な課題である。こうした観点から、ライフラインの地震時信頼性解析が精力的に行われてきたが、従来の方法ではネットワークの要素数を n とした場合、 2^n 個の損傷状態を考える必要があり、大規模ライフライン網への適用は困難であった。本研究では、影響圏の概念を提案しこれを用いると損傷状態数をおよそ $2n^2$ 個に削減できることを示し、ネットワーク網の地震時信頼度計算を行うためのアルゴリズムを開発した。

2. 影響圏

ネットワークを構成するノードおよびリンクの破壊レベルを支配する変量を Y とし、 Y は断層からの最短距離 r 、マグニチュード M 、地盤等のパラメータ C_k の関数として次式のような減衰則で与えられるとする。

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

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)から逆に要素が破壊に至る臨界の距離 r^* が得られる。

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

この r^* 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。この球内でマグニチュード M の地震が発生すると要素は破壊する。リンクの影響圏は図-1のように球を連ねたものとなる。

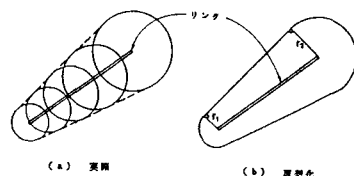


図-1 リンクの影響圏

3. ネットワークの信頼度

わが国においては地震の発生源となるべき断層位置を明確にできないことが多いので、図-2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。断層と影響圏が交わる領域内では、その要素が破壊した状態になるが、こうした領域を定量的に評価するためには、断層の発生位置をその中心で表すと簡単になる。図-3は、そのような系への変換を表している。

断層が発生する確率分布は、潜在的断層発生域内において一様であるとする、信頼度 $R(G|m)$ はネットワークが安全である領域の面積の総和を潜在的断層発生域の面積で除することによって表現できる。いま、潜在的断層発生域が影響域によって N 個の領域に区分されているとし、 i 番目の領域の面積を A_i 、 i 番目の領域が信頼度基準を満たすか満たさないかを表す指標を I_i とする(信頼度基準を満たせば $I_i = 1$ 、満たさなければ $I_i = 0$ である)。すると、信頼度 $R(G|m)$ は次式で表せる。

$$R(G|m) = \left\{ \sum_{i=1}^N I_i A_i \right\} / \sum_{i=1}^N A_i \quad (3)$$

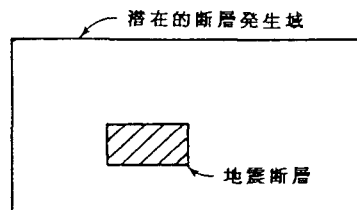


図-2 潜在的断層発生域と地震断層

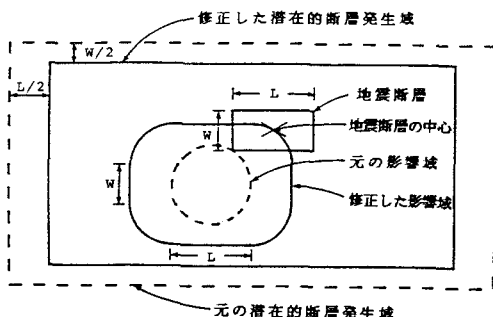


図-3 影響域と潜在的断層発生域

4. ネットワークの損傷状態数の削減

いま、図-4の実線で示すように3つのノードの影響域(円)が交わっている場合を考える。8つの領域により起こりうるすべての損傷状態が表現されている。いま、破線のような円を加え円を4個にすると、8個の領域すべてと交わるようには円を描くことができない。したがって破線の円が加わると3個の円で構成されていた領域の数が最大で6個増えることになる。これは既存の円と破線の円との交点数に等しい。一般に n 個の円で構成されている領域に $(n+1)$ 番目の円が加えられると、領域の数は最大で $2n$ 個増加することは明白であるから、 n 個の円から構成される領域の数は最大で等差2の等差級数で表される。リンクの影響域を考えると、状態数は最大で等差4の等差級数で表され $2n^2-2n+2$ となる。しかもこれは上限の値であるから、実際に考慮すべき状態数はこの値よりもはるかに少なくなる。

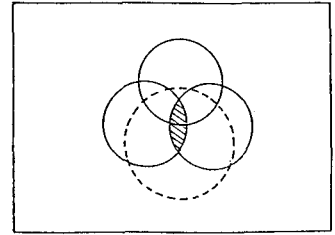


図-4 損傷状態数の削減

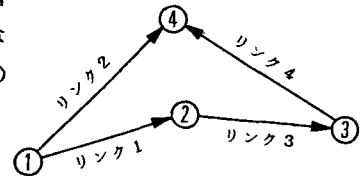


図-5 ネットワークモデル

5. 信頼度計算のためのアルゴリズム

図-5に示すネットワークを例にとり簡単に信頼度計算手順を示す。まず潜在的断層発生域を影響域によって領域に分割する必要がある。領域は交点番号、影響域番号、影響域上の進行方向により表現される。進行方向は時計回りか反時計回りかによって影響域の内側にあるか外側にあるかを表す。図-6に示すように潜在的断層発生域に影響域を1つずつ加えていき、領域との交点を求めて番号付けを行い、以下の手順を繰り返す。

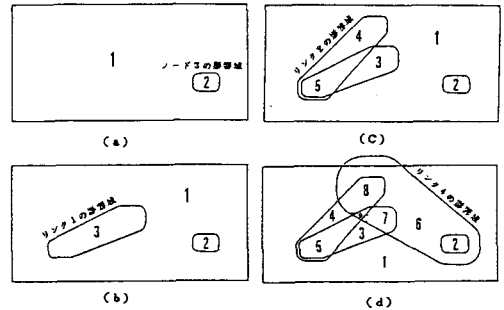


図-6 潜在的断層発生域の分割例

- 1) 対象影響域上の交点を順番に並べる。
- 2) 最初の交点を出発点として、対象影響域上を進むか領域上を進むかを判定する。
- 3) 対象影響域の内側にある領域を作成する。この場合対象影響域上を時計回りに進む。例を図-7(a)に示す。点Pが出発点の場合、対象影響域上を時計回りに進むと元の領域から出てしまうので、2)での判定により領域の境界上を進む。4で点Pに戻ると領域が1つ出来上がるが、まだ全交点を使い終わっていないので点Qを新しい出発点として新しい領域を作成する。9で点Qに戻ると新しい領域が完成し、全交点を使い終わったので次へ進む。
- 4) 対象影響域の外側にある領域を作成する。この場合対象影響域上を反時計回りに進む。例を図-7(b)に示す。3)と同様にして順番に進むと領域を作成できる。
- 5) 図-6の(a), (b)のように、対象影響域と領域が交わらない場合にはその処理を行う。

上述の手順により領域の分割が終わると、各領域で地震断層が生じた場合のネットワークの損傷状態を検査し、信頼度基準が満たされているかどうかを調べて、信頼度基準を満たしている領域の面積を求め、信頼度を計算する。この手法を用いることによってかなり大規模なライフライン網の解析も可能となる。

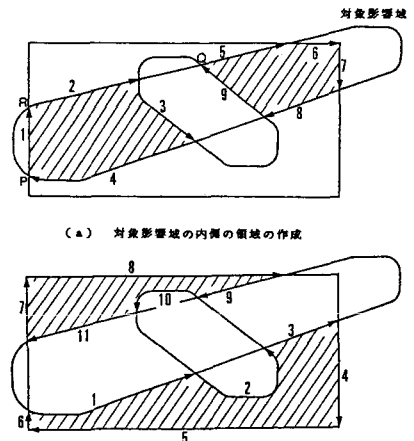


図-7 領域作成の例