

ライフライン系の地震時信頼性向上のための構成要素の重要度評価法

京都大学防災研究所 正員 土岐 憲三
 京都大学防災研究所 正員 佐藤 忠信
 京都大学大学院 学生員 ○藤田 裕介

1. 概説 地震時信頼性を向上させる際の構成要素の改善順序を決定するための指標である重要度は評価基準により異なる。評価基準は様々あるが、それ単独で重要度を評価するとその評価に偏りが生じると考えられるので、多基準分析を行うことにより総合的に評価した。特に、工費を評価基準にとり入れ、かつ予算に制約がある場合について、各構成要素の最適改善率を動的計画法を用いて決定した。

2. 重要度評価法と多基準分析 構成要素の影響圏と潜在的断層発生域を利用した信頼性解析のアルゴリズムに従い信頼度の計算を行う。いま、構成要素 i を改善することにより限界震源域距離を単位の量だけ短縮に要する仕事量は等しいとし、信頼度基準を満足しない影響域によってつくられる、小領域の面積の減少量を重要度 K_i とし、これの大きい構成要素から改善することにする。実際は、限界震源域距離を単位量縮める条件が全ての要素について同じではなく、種々の制約条件を考えなければならないので、ここでは改善に要する費用について考える。液状化対策工法としてグラベルドレーン工法を採用し、その際かかる費用 W_i を算出し $100000K_i/W_i$ で重要度を与えるものとする。

また、考えている構成要素から到達することのできる需要点の数 d_n が多いほどその構成要素が破壊した時、システムの信頼性に与える影響は大きいと考えられる。そこで重要度を $\ln(d_n+1) \cdot K_i$ で与える場合も取り上げた。他に、リンクの長さ l_i を考慮した重要度評価法、クリティカリティ重要度²⁾評価法についても考察の対象とした。

以上、重要度評価法について列挙したが、これら単一の評価基準で改善順序を決定すると、その評価基準による偏りが生じると考えられる。そこで各評価基準に重みを与えて多基準分析を行い、総合的に解析した。構成要素を改善する際にどの評価基準を重視するかは、この重みを代えることによって表すことが可能である。

解析対象ネットワーク（湘南地区）を図(1)に示す。まずマグニチュード6.6の場合、液状化のみが構成要素の破壊を支配する要因になっていた時、需要点数を考慮して重要度を考えた場合の改善順序は図(2)、工費を考慮した場合は図(3)のようになった。次に、クリティカリティ重要度、リンクの長さを考慮した重要度、工費を考慮した重要度、需要点数を考慮した重要度を多基準分析し、改善順序を求めた。工費に重点をおいて重みを順に0.1, 0.1, 0.6, 0.2として解析すると改善順序は103→102→277→217→193→195→194→192→215→218→196→197となった。

3. 予算の制約がある場合の改善率について 2.では改善順序を決定したが、次に改善率について考える。ここでは簡単のために次の仮定をおく。

- ① 一度に全ての要素について改善率を求めるのではなく、改善すると信頼度が向上する要素について動的計画法を用いて改善率を決定する。
- ② 改善費用の総和が予算内ならそれらの要素は100%改善する。
- ③ 解析対象ネットワーク（湘南地区）は影響域が同心円になっており改善して信頼度が向上する構成要素は少なく、また改善率が微小であると指標関数 I の値が変化する領域がなく、複数の要素 i を $X_i\%$ 改善

Kenzo TOKI, Tadanobu SATO, Junji KIYONO, Yusuke FUJITA

した時のシステムの信頼度の向上量が各要素を単独で改善した場合の向上量の和で表せる。

④ 対象ネットワークは改善率が比較的小さい部分で信頼度の向上量が頭打ちになるため、改善率が微小である時以外でも③の仮定が適用できる。

いま構成要素*i*を100%改善する際に要する費用を*W_i*として、*X_i*%改善するのに要する費用を、係数*Y_i*を用いて*Y_i·W_i*と表す。この時*Y_i*は、改善率*X_i*の下に凸なる関数であるが、簡単のため図(4)の様に表されるとし、フローチャート(図(5))に従い解析をする。

仮定③④の妥当性について、対象ネットワークにマグニチュード6.1の地震が発生した時について回帰分析を行い(図(6))真の信頼度の向上量を表すと考えられるグラフと、上の仮定に従って求めたグラフを図(7)に示す。この場合の予算と最適改善率についての解析結果を図(8)に示す。このグラフを用い、予算から最適な改善率を求める。

4. むすび まず多基準分析により構成要素の改善順序を決定し、次に予算を考慮して要素の改善率をもとめた。

参考文献 1) Sato T.: Seismic Reliability Analysis Of Lifeline Network, Natural Disaster Science, Vol6, No. 2, 1984, pp51-72. 2) 井上威恭: F T A安全工学, 日刊工業新聞社, pp1-118, 1979年

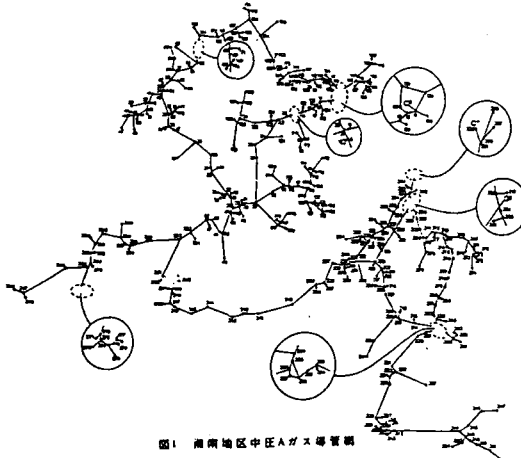


図1 関東地区中圧Aガス導管網

step	構成要素
1	103
2	102
3	277 → 217 → 193 → 195
4	192 → 194 → 215
5	196 → 218
6	197

図2 重要成分を考慮

step	構成要素
1	103
2	102
3	277 → 217 → 193 → 195
4	194 → 192 → 215
5	218 → 196
6	197

図3 費用を考慮

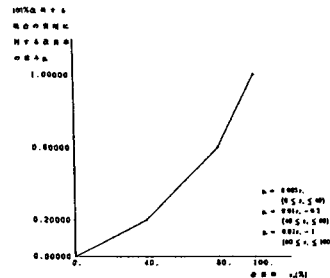


図4 改善率と100%改善する場合の費用に及ぼる重みの関係

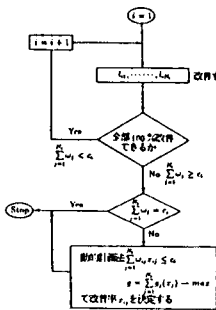


図5 予算制約のある場合の動的計画法のフローチャート

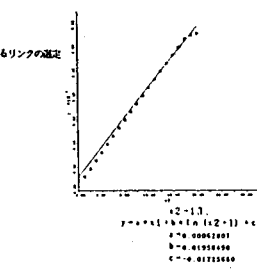


図6 G(1997, 1998)の回帰分析

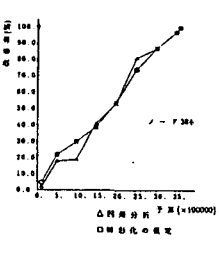


図7 予算と改善率の関係

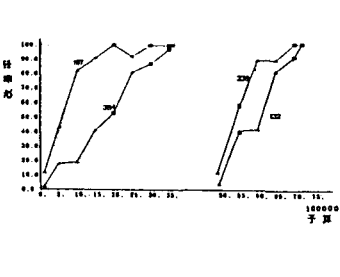


図8 予算と最適改善率