

I-B 371

GAを用いた配水管路網被害の復旧最適化

阪神測建（株） 正会員 増山 剛
鳥取大学工学部 正会員 野田 茂

1. まえがき

1995年兵庫県南部地震はライフライン機能に壊滅的な被害をもたらした。中でも、水に替わる代替物がないことから、断水が市民生活に与えた影響は大きい。そこで、本研究では、配水管路網に対して震災後どの被災箇所から復旧を行えば最も最適であるのか、GA（遺伝的アルゴリズム）を用いることにより、配水拠点間を結ぶ配水管ネットワークの連結性を重視したリアルタイム復旧戦略法を考案する。

2. 復旧最適化の方法

被害地域における配水管路網の復旧最適化を考えるため、次の前提条件を設定する。

- 1) 復旧戦略を考えていくためには、配水管ネットワークを把握しておく必要がある。本研究では、西宮市南部の配水管路網を図-1のように単純化し、被害状況を設定する。
- 2) 配水管ネットワークモデル上に漠然と復旧班を配分するのではなく、効率復旧作業を進めなければならない。そのため、図-1のように被害地域のブロック化を行い、復旧班を配分する。
- 3) 復旧ブロック内における未通水ノードの復旧を優先させ、最短時間で孤立ノードの解消を行う。ここでは、この処理のため、最も有効な方法として最小木¹⁾を用いる。配水基地に近いブロックから復旧を優先させる。
- 4) 以上のことを考慮して、被害管路の最適復旧アルゴリズムを構築する。ここでは、スケジューリング問題の解法に有力なGA²⁾を用いて、最適化問題を定式化する。GAの基本プロセスは、繁殖・淘汰、交叉と突然変異の3つである。GAを用いて、各ブロック内の優先管路(3)で決定済)とその他の管路の復旧順位の組み合わせを求める。

復旧進捗状況には復旧率を、復旧過程の最適性の評価基準には累積非復旧率を用いる。累積非復旧率は単位時間当たりの未復旧箇所数の累積和である。この指標はネットワークの連結性を表わす。これが小さくなるにつれ、ネットワークの回復度は大きくなる。ここでは、この累積非復旧率をできる限り小さくするような復旧モデルを求める。ただし、ネットワークの連結性を考慮した上で、復旧班は復旧所要時間の最も小さくなる被害ブロックの作業に従事するようにする。この手続きを時間経過ごとに更新して繰り返す。GAによる復旧計算のフローを図-2に示す。

既往の研究では、復旧完了までのデータが完全に得られた条件下で、復旧の最適化計算をすることが多かった³⁾。一方、ここでは、現時点までのデータを用いて、最適な復旧率を算出し、累積非復旧率をリアルタイムに算出して復旧パラメータを求めている。

3. 数値結果および考察

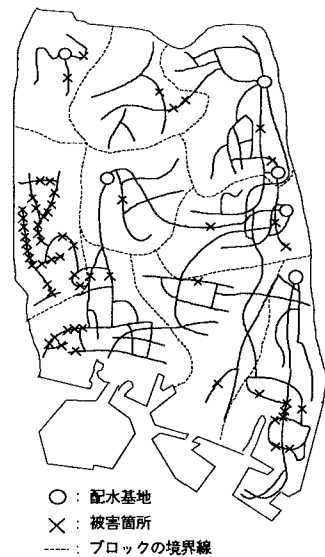


図-1 配水管のネットワークモデル

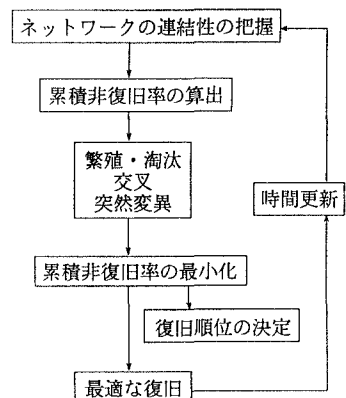


図-2 GAによる復旧計算のフロー

図-2 GAによる復旧計算のフロー

GA の計算に当たっては、交叉率を 0.7、突然変異率を 0.999 に設定した。再生はエリート保存選択、交叉は一点交叉を使用した。ネットワークの連結性を考慮すると、多くの制約により、GA の計算による実行可能解は少なくなる。そのため、ここでは、突然変異率を上げ、実行可能な解空間の探索の幅を広げることを試みた。エリート保存戦略によれば、次世代に適合度の高い個体が必ず残り、ルーレット選択のようにそのような個体を消滅させる恐れのないことが知られている²⁾。このため、この方法を用いた。

本研究ではリアルタイムに最適な復旧を行うことを想定している。そのため、復旧作業時に修理リンクの上位のネットワークとの連結性を考慮する。しかし、下位のネットワークの被害状況は未知であるとしている。これらのことを考慮して、図-1 に示す被害箇所数の最も多い復旧ブロックの最適化を行った。GA による世代数とともに累積非復旧率の変化を図示すると、図-3 のようになる。同図より、3000 世代までの長い過程で着実に進化(累積非復旧率の最小化)していることがわかる。

西宮市南部の配水管路網（160 ノード、176 リンク）に対し、33 カ所のリンクの破損状態は図-1 のようである。図中の各ブロックを総合化し、リアルタイムに累積非復旧率を求めた結果が図-4～図-6 である。復旧開始日から 5 日にかけて、復旧曲線は急な勾配を呈している。これは、複数の復旧班が復旧所要日数の短い被害ブロックに移動し、多数の被災リンクを修復したためである。14 日から 26 日における復旧作業には時間を要した管路が多い。このことから、復旧曲線の勾配は緩やかになっている。この期間における累積非復旧率は小さくなっており、リアルタイムの復旧最適化が効率良く実施されていることがわかる。

4. あとがき

将来にわたって全ての情報を既知とする既往の復旧法（完全な真値）によれば、次のようになる。下位のネットワークに効率良く復旧作業ができる箇所がある場合、そのノードの復旧作業を優先させると、復旧効率上がる。一方、リアルタイム復旧最適化は不完全情報下で実施するので、予測値は真値（完全な最適解）とは必ずしもならず、既往の方法よりも劣るかもしれない。しかし、現実には将来の挙動はわからないので、時々刻々の状況に応じた復旧法を採用しなければならない。その意味で、本アルゴリズムは有用である。給水管の被害箇所数は配水管に比べて多い。このため、今後は配水管から給水管までを一体的に考慮した復旧法の確立が望まれる。

参考文献

- 1) 能島暢呂：地震災害時における都市ライフライン系のリスク評価に関する研究、京都大学提出博士論文、1992 年 9 月。
- 2) 坂和正敏・田中雅博：遺伝的アルゴリズム、朝倉書店、1995 年 9 月。
- 3) 田村 亨・杉本博之・上前孝之：遺伝的アルゴリズムの道路整備順位決定問題への適用、土木学会論文集、No. 482/IV-22、pp. 37～46、1994 年 1 月。

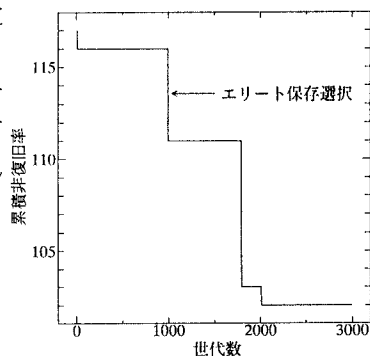


図-3 GA による累積非復旧率の推移

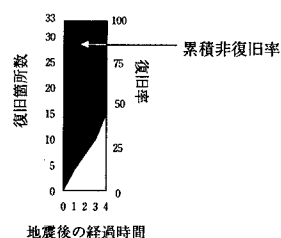


図-4 復旧開始後 4 日目における復旧率

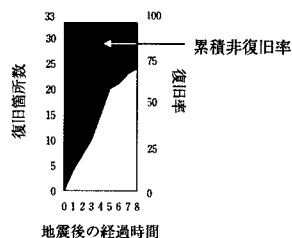


図-5 復旧開始後 8 日目における復旧率

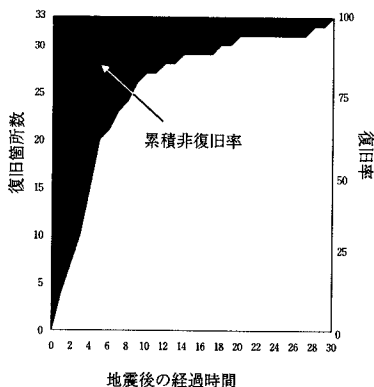


図-6 復旧完了時における復旧率