

I - B 422

GA による上水道機能の復旧最適化

正和設計 正会員 中井 達也
鳥取大学工学部 正会員 野田 茂
北海学園大学工学部 正会員 杉本 博之

1. まえがき

大震災が発生すると、上水道の機能は壊滅的な被害を受け、他のライフラインや市民生活に影響を及ぼす。そのとき最適な復旧班の配分と被災箇所の着工順位は復旧作業を行う上で重要な問題である。そこで本研究では、複数の被災を受けたライフラインネットワーク（道路・上水道）を想定し、遺伝的アルゴリズム（GA）を適用して、時間的な階層関係を考慮した復旧班の最適配分（組み合わせ問題）と被災箇所の最適着工順位（スケジューリング問題）の決定を試み、GAの有用性を明らかにする。

2. 問題設定

ここでは、ノードとリンクで構成された道路と上水道ネットワークの簡単なモデルを考える。

道路においては2種類の被害を考える。1つは建物の倒壊物やがれきが道路を塞ぐもので、他は液状化・陥没などの道路自体の被害である。前者を「遮蔽物撤去作業箇所」A、後者を「道路補修作業箇所」Bとする。上水道においては、配水管の接合部分の破損を考え、「管路補修作業箇所」Cとする。ただし、配水基地は破損しないものと仮定する。

上述した3種類の被害A、B、Cに対応して3種類の復旧班を設け、各復旧班はそれぞれの復旧作業を担当する。復旧班は指定したノードに常駐し、最短移動経路を通して被害箇所まで到達する。ただし、最短移動距離の計算にはウォーシャル・フロイド法を用いるが、リアルタイムな状況変化に対応するように、復旧過程の逐次更新アルゴリズムを考案した。

3. 復旧評価関数の計算

本研究では、道路と上水道の複数被災ライフラインの復旧最適化問題を扱っているので、それぞれにおいて別の復旧評価関数を考える。復旧評価指標としては道路に対して各工事箇所の重要度を、上水道においては管網解析によって得られた漏水量を用いる。ただし、道路の重要度は交通量・利用度を表す指標とし、その大・中・小を重要度3・2・1と定義した。

(1) 道路ネットワークの復旧評価

道路ネットワークの復旧率を次式で定義する。

$$R_k = \sum_{i \in J^k} (W_i \times l_i) / \sum_{i \in J^N} (W_i \times l_i) \quad (1)$$

ここで、 W_i は被災箇所*i*の重要度、 l_i は被災箇所*i*のリンク距離を表す。 J^N は総被災箇所の集合で、 J^k は*k*日目までに復旧した被災箇所の集合を表す。ただし、2つの被害（A、B）が同時生起する場合、Aの作業が終了しても重要度は積算されず、A、Bの作業が終了したら、重要度を積算するものとする¹⁾。

式(1)で求めた復旧率と復旧日数を用いると、累積非復旧率は次式で計算される。

$$F_R = \sum_{k=1}^N (1 - R_k) \quad (2)$$

ここで、 F_R は累積非復旧率、 N は復旧完了日数、 R_k は*k*日目の復旧率を表す。この F_R を道路ネットワークにおける目的関数値とする。

(2) 上水道ネットワークの復旧評価

上水道ネットワークの復旧指標としては、管網における漏水量を用いて定義する。漏水量の計算には、配水管網設計における基礎的手法である管網解析法を適用した²⁾。

上水道ネットワークの漏水率は各節点における漏水量、取り出し水量から次式で定義する。

$$W = \sum_{i=1}^M \lambda_i / \sum_{i=1}^M (Q_i + \lambda_i) \quad (3)$$

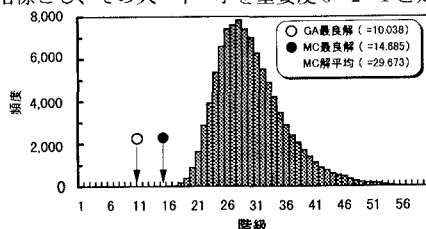


図-1 GAの最良解とMC法(10万回)の解の頻度分布

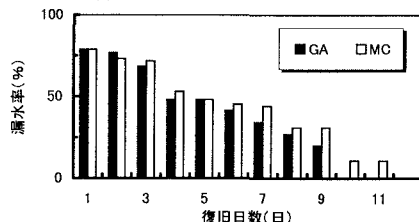


図-2 GAとMC法の最良解における漏水率の比較

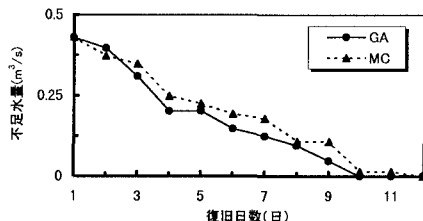


図-3 GAとMC法の最良解における不足水量の比較

GA	ライフライン	復旧最適化	管網解析
〒 520-0806	滋賀県大津市打出浜 3-7	TEL(0775)22-3124	FAX(0775)24-6732
〒 680-0945	鳥取県鳥取市湖山町 4-101	TEL(0857)31-5307	FAX(0857)31-0882
〒 064-0926	札幌市中央区南 26 条西 11	TEL(011)841-1161	FAX(011)551-2951

ただし、 W は漏水率、 λ_i は節点 i における漏水量、 Q_i は節点 i における取り出し水量、 M は節点と被災箇所との総数を表す。

破損箇所が復旧される度に管網計算を行い、式(3)を用いて漏水率の計算を行うと、復旧完了までの復旧率の和は次式で計算される。

$$F_W = \sum_{k=1}^{ND} W_k \quad (4)$$

ここに、 W_k は k 日目の漏水率、 ND は復旧完了日数である。この F_W を上水道ネットワークにおける目的関数値とする。

式(2)および式(4)からネットワーク全体の目的関数を次式で定義する。

$$F = F_R + \alpha F_W \quad (5)$$

問題は式(5)を最小にする復旧順序と復旧班の配分を決定することである。ただし、 α は重み係数で通常は1とする。道路の復旧に重点を置く場合は割り付いた値を、水道網の復旧に重点を置く場合は割り増した値を用いる。

4. 数値計算結果と考察

ここでは、100ノード・180リンクの道路ネットワーク上に、A、B、Cの3種類の被害を想定した。被災箇所数、復旧班数はそれぞれ、Aが14ヶ所・4班、Bが26ヶ所・8班、Cが10ヶ所・4班である。このとき組み合わせ総数は $14! \times 26! \times 12! \times 4!^4 \times 8^{26} \times 4^{12}$ 通り、すなわち 2.29×10^{85} となる。

GAの初期データは、最大世代数を1,000、人工サイズを100、乱数の初期値を13,997、交叉確率を60%、突然変異確率を5%、解更新世代数を30、淘汰係数を1.5とした。

GAで求めた解の精度を評価するため、モンテカルロ・シミュレーション(以下MC)法も実施した。MC法では10万回の解析を行った。MC法による目的関数の頻度分布とGAの最良解を図-1に示した。同図からもわかるように、MC法の最良解における目的関数値は14.685、GAのそれは10.038であった。また復旧完了日数はGAで18日、MC法で24日となった。計算時間はGAで32分に対して、MC法では9時間50分を要した。このことからわかるように、MC法と比べてGAの有効性が理解できる。ただし、計算に用いたコンピュータはVT-Alpha 533(N) 256-2(Alphaチップ533MHz)で、OSはWindows NT4.0、数値計算ソフトはDEC FORTRANである。

上水道ネットワークにおける漏水率と不足水量の時系列変化をGA、MC法の最良解について比較すると、図-2、図-3のようになる。復旧に伴う各節点の水圧、取り出し水量、漏水量の時系列変化は図-4～図-9のようになる。

GAによると、8日目までに8、10以外の被災箇所が復旧していることから、各節点水圧は被災前の数値に近くなり、十分な取り出し水量が得られている。この結果、漏水量、不足水量はMC法に比べて少くなっている。一方、MC法では8日目の時点で4、7、8が未復旧である。各節点の水圧は1、2、3以外で不十分のため、全体的に取り出し水量が少なく、漏水率も高くなっている。GA、MC法の結果を比較すると、配水基地に近い被災箇所1、2、3で早期に復旧を終えているものの、MC法によると、被災箇所4、7の復旧が遅れ、ネットワーク全体の漏水量、不足水量に大きく影響している。ただし、配水基地から離れた被災箇所10、11、12ではほとんど影響が見られない。

5. あとがき

本研究では、上水道ネットワークの復旧最適化を考えるため、GAを適用して復旧箇所の最適着工順位と復旧班の最適配分の決定を試みた。具体的には管網解析法によって漏水率・不足水量、各節点の水圧・取り出し水量・漏水量ならびに管路流量の復旧に伴う時系列変化を計算した。GAとMC法の比較によって上水道機能に及ぼす影響を分析した結果、GAの有用性が明らかになった。

参考文献

- 1) 杉本 博之・片桐 章憲・田村 亨・鹿 麗: GAによるライフライン系被災ネットワークの復旧プロセス支援に関する研究、構造工学論文集、Vol.43A、pp.517-524、1997年3月。
- 2) 田村 重四郎・川上 英二: モンテカルロ法による地中埋設管システムの耐震性評価方法、土木学会論文報告集、No.311、pp.37-48、1981年7月。

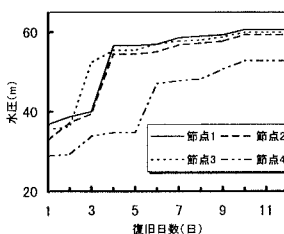


図-4 各節点における水圧の変化 (GA最良解)

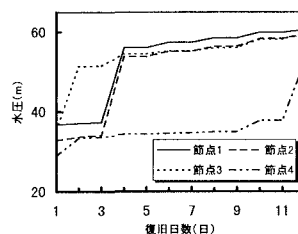


図-7 各節点における水圧の変化 (MC最良解)

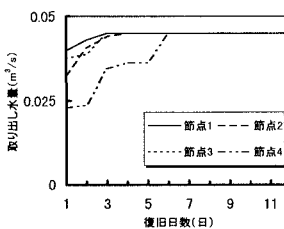


図-5 各節点における取り出し水量の変化 (GA最良解)

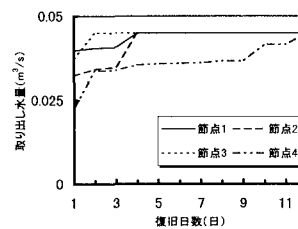


図-8 各節点における取り出し水量の変化 (MC最良解)

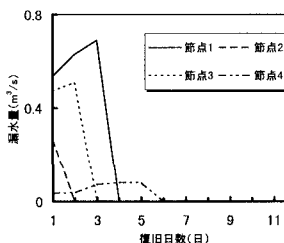


図-6 各節点における漏水量の変化 (GA最良解)

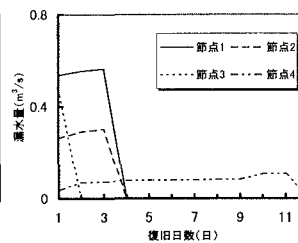


図-9 各節点における漏水量の変化 (MC最良解)