

小規模地域の水道事業統合に伴う施設巡回作業の効率化

細井由彦・増田貴則・Dagnachew Aklog・佐々木秀和*
鳥取大学工学部社会開発システム工学科・* (株) 新菱冷熱

Optimal Inspection Route for Scattered Water Supply Facilities in Rural Area

Yoshihiko HOSOI, Takanori MASUDA, Dagnachew AKLOG, Hidekazu SASAKI*

Department of Social Systems Engineering, Faculty of Engineering

Tottori University, Tottori, 680-8552 Japan

E-mail: hosoi@sse.tottori-u.ac.jp

* Shinryo-reinetsu Co. Ltd.

Abstract: In low urbanized areas, waterworks undertakings are managed with small scales and encounter shortages of finance and staffs. To improve this situation, the unification of small scale waterworks undertakings is planned. Following the unification, the way of maintenance patrol of water supply facilities should be rationally revised. In a low urbanized area, residential areas are scattered, therefore waterworks undertakings have lots of small water supply systems. It means there are lots of widely scattered facilities to be inspected. Therefore after unifying undertakings, efficient way of inspection should be considered. This study investigates the method to inspect scattered water supply facilities. The method to find the route which takes the minimum total time to go round all facilities with restriction of daily working time was examined. Genetic algorithm was applied to find the optimal route. The way of estimating the fitness value was particularly devised to solve this problem.

Keywords: Facility inspection, Genetic algorithm, Water supply system

1. まえがき

人口の少ない小規模市町村における水道事業は脆弱な財政や専門的職員の不足などにより、維持管理が十分に行われているとは言い難い。また居住地域が分散しており多くの小さい水道システムが存在しているのが普通である。このことがさらに維持管理作業を困難にしている。行政の効率化が求められている中で、安全な飲料水を供給していくためには、水道事業の統合を進め、財政基盤や技術力の強化、安定した水源の確保を図ることなどが求められる。現在全国的に進められている市町村合併によっても、水道事業の統合化が促進されるものと考えられる。

事業の統合化により各施設の規模や配置、老朽化の程度などを勘案して、システム構成を合理的に改善していくことが必要である^[1]。事業の統合化により日常の施設巡回点検作業も、それまで各事業体ごとに行われていたものが、一つの事業体として実施されることになる。とくに小規模市町

村の場合には、人口が低密であることを反映して施設も広く分散しており、効果的な巡回点検方法を検討することが必要である。

そこで本研究では、小規模水道事業の統合計画において、施設の巡回を効率的に進める経路の決定方法および巡回拠点の決定方法について検討した。

2. 事業統合後の施設巡回点検作業の効率化

2. 1 水道施設の巡回点検作業の特徴

水道は水源から取水した原水を浄水施設まで送り、飲料水としての処理を行った後配水池に蓄えられ消費者へと給水される。小規模な水道事業の場合、施設も小さく、また原水水質も良好な場合が多く浄水施設も簡単な場合が多い。したがって各施設が無人で運転されている場合がほとんどである。これらの施設に対し定期的な巡回点検が行われ、設備の維持管理や水質のチェックなどが行

われている。人口の多い都市部とは異なり集落が分散しているので、水道システムも分散しており、結果として点検する施設も分散して多数存在することとなる。点検作業は職員あるいは委託により実施されるが、できるだけ短時間で完了できる計画を立てることがコストの削減につながる。

2. 2 問題の定式化

拠点から全ての施設を1回ずつ回り点検することで一巡が終了する。各施設においてそれぞれ所定の点検時間が必要とされる。また施設間の移動にも時間を要する。作業は勤務時間内に行われ、勤務時間内に一巡が終了しなかった場合は、いったん拠点に戻り翌日新たに作業が行われる。

したがって決められた1日当たりの時間内に作業を行いつつ、全施設の点検作業にかかる時間を最小化するような巡回順序を決定することとなる。以下のように定式化される。

$$\sum_n T_n \rightarrow \min. \tag{1}$$

ただし T_n は第 n 日目の1日当たりの作業時間で、つぎのように表される。

$$T_n = t_{n0} + t_{n1} + \sum_{k \in f_n} (t_{ik} + t_{mk}) \tag{2}$$

ここで f_n は第 n 日目に点検される施設の集合を表している。 t_{ik} は施設 k の点検時間、 t_{mk} は施設 k から次の施設までの移動時間である。 t_{n0} 、 t_{n1} はそれぞれ n 日目に点検する最初の施設までの拠点からの移動時間と、最後の施設から拠点までの移動時間である。

制約条件は以下のようになる。

$$T_n \leq T_* \tag{3}$$

ただし T_* は1日当たりの作業可能時間である。

最適化手法でしばしば用いられる巡回セールスマン問題は各点を1回ずつ巡る最短経路を見つける問題であるが、ここでの問題は1日当たりの作業時間に制約があり1日ごとに拠点から出発して拠点に戻ってくる必要があること、各点において種々の作業時間が発生することなどの制約が存在する。

3. 遺伝的アルゴリズムによる解法

3. 1 制約条件のない場合

式(1)～(3)を解いて最適な巡回方法を求

めるために遺伝的アルゴリズムを適応する。最初にまず制約条件(3)のない場合について考える。この場合には途中で作業拠点に引き返すことなく全施設を一巡する最適経路を探せばよい。

全施設に番号をつけ、施設を巡回する順に並べたものを遺伝的アルゴリズムにおける表現型(PTYPE)とする。したがってその長さは全施設数に等しい。それぞれのPTYPEによる適合度の値は、その情報にしたがって施設を一巡する総時間とする。

このようなPTYPEを遺伝子コード(GTYPE)に変換するにあたり、致死遺伝子の発生を抑えるために遺伝的アルゴリズムによる巡回セールスマン

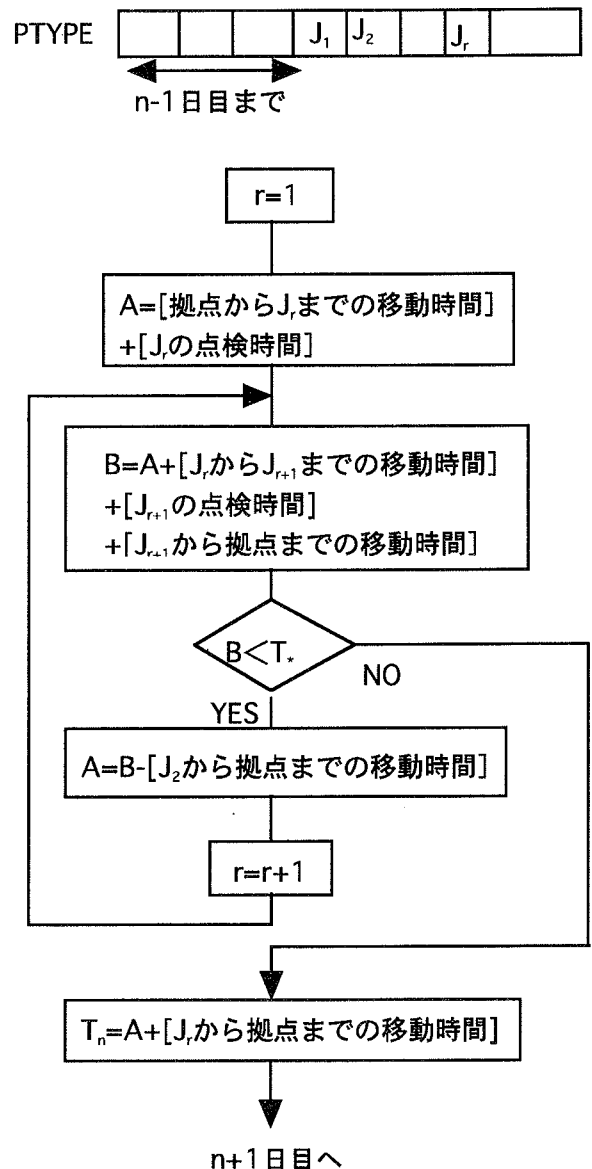


図1 適合度の計算方法

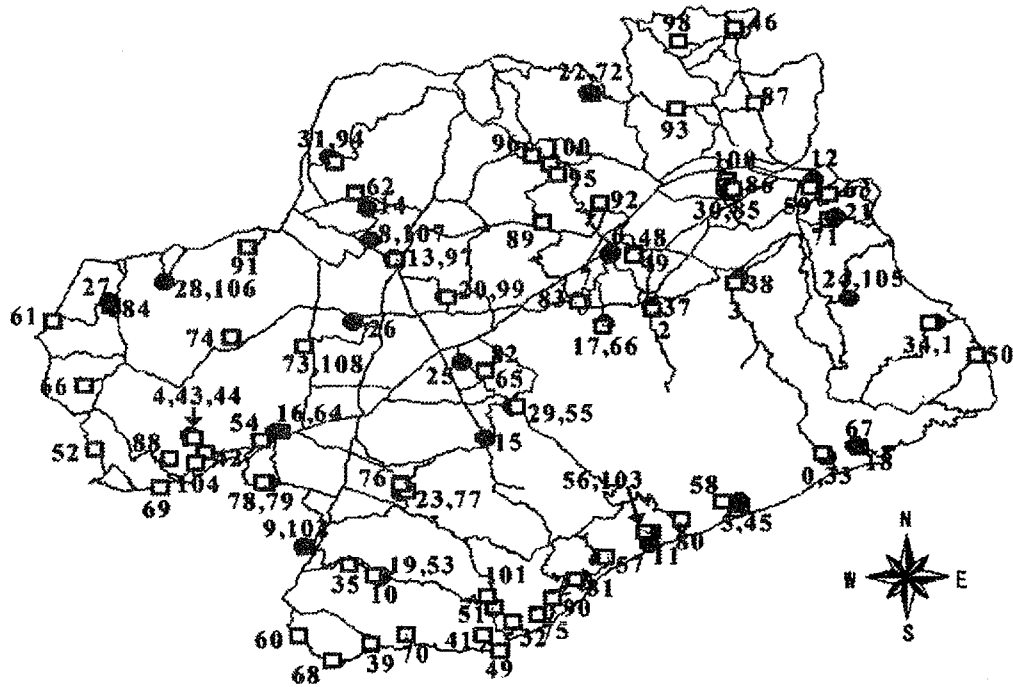


図2 検討対象とした地域と浄水施設、配水池の位置

問題の解法で用いられる順序表現^[2]を用いた。

3. 2 制約条件のある場合

本題である制約条件のある場合について検討する。巡回する順序によって各1日当たりの巡回施設数が異なってくる。もしPTYPEにおける遺伝子配列の順序が施設巡回の順序を示すならば、1日の作業のはじめと終わりに拠点を示す遺伝子を配置する必要がある。しかし巡回方法が変化するたびに1日の点検箇所数が変化するので、拠点を示す遺伝子の配置場所も変化させる必要がある。したがって1日ごとの作業区分まで含めてPTYPE上で表現することは難しいと考えられる。

そこで遺伝子型列は制約条件のない場合と同様の形とし、適合度の計算方法を新しいものとする。PTYPE上の遺伝子配列にしたがって施設巡回を行い、1カ所の点検が終了するごとに、そこから拠点まで引き返した場合の累積時間を計算する。もしそれが1日当たりの最大可能作業時間未満であれば、次の施設まで進み同様の計算を行う。これを繰り返し、総所要時間が最大可能作業時間以上になる場合に、その一つ前の施設までで1日の作業を終え、その日の総所要時間を適合度

値に加えていく。この過程を図1に示す。

4. ケーススタディ

4. 1 施設状況及び巡回条件

検討の対象とした地域を図2に示す。この地区内には点検を必要とする施設として浄水施設が32、配水池が78ある。図中の●印は浄水施設を□印は配水池を示しており、実線は道路を示している。

1日当たりの作業時間は最大で8時間とした。各施設の点検時間は浄水施設で30分、配水池で15分とした。施設間の移動の速さは実績より時速37 kmとした。

この地域で最も大きい浄水場が図2中のNo.15で示されている。事業統合後もここを作業拠点とすることが総合的な観点から最も現実的であると考えられる。そこでNo.15を拠点として巡回点検を行う最適経路を検討する。さらに巡回時間の最小化のみに着目して、作業拠点とする施設位置の決定も含めて最適な経路を検討する。

4. 2 開発された手法の適用

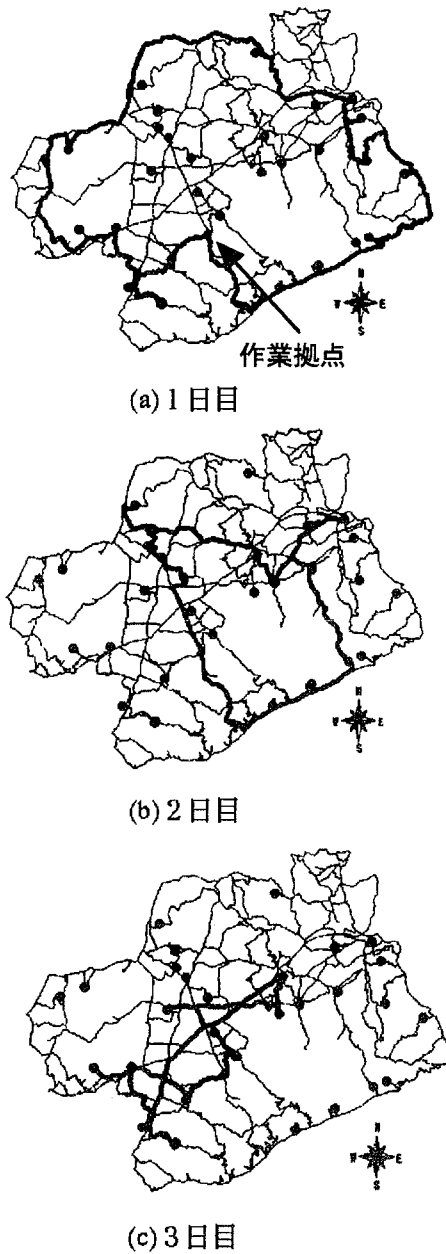


図3 作業拠点が所与の場合の浄水施設の最適巡回経路

作業拠点が与えられている場合には遺伝子配列の一番目は常に作業拠点の番号が来るようにしておく。集団数は100とした。個体の選択にはエリート保存方式を用い、エリート数は40とした。交叉は交叉率0.9で2点交叉とした。突然変異率は浄水施設の場合は0.04、配水池の場合は0.01とした。なおこれらのパラメータ値は予備的検討により決定した。

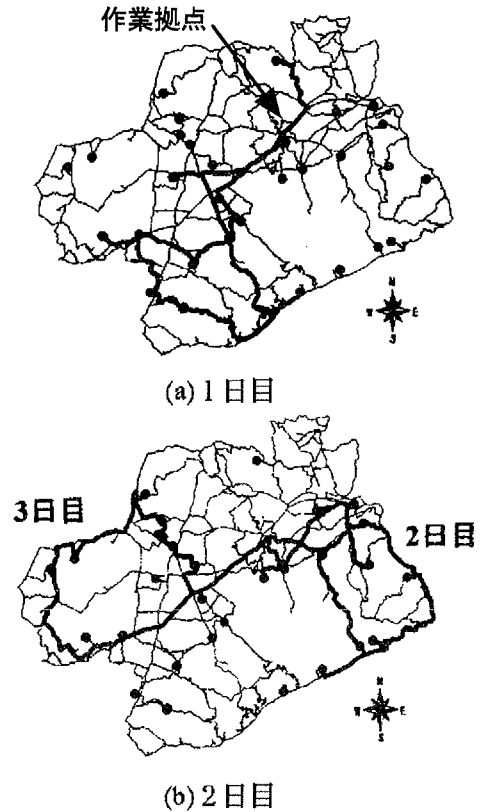


図4 作業拠点が与えられない場合の浄水施設の最適巡回経路

4.3 結果と考察

作業拠点が決まっている場合の浄水施設の巡回経路を求めた結果を図3に、作業拠点が未定の場合の結果を図4に示す。いずれの場合も3日を要するが、所要時間合計では作業拠点がNo.15に決まっている場合には22.3時間であったのが、作業時間も未定の場合には、作業拠点がNo.7で、所要合計時間は21.7時間となり若干削減された。作業拠点がNo.15の場合には周辺から中央へと作業が進む傾向があるのに対し、作業拠点がNo.15の場合には、東部、中部、西部にわけて作業を行う傾向にある。

配水池に関して同様に作業拠点が決められている場合と、未定の場合について最適経路を求めた結果をそれぞれ図5、6に示す。いずれの場合も6日間を要する。作業拠点をNo.15とした場合の所要合計時間は41.4時間であった。作業拠点未定の場合には、最適拠点はNo.82となり所要合計時間は40.1時間となった。

浄水施設と配水池を分けずに巡回する場合の最

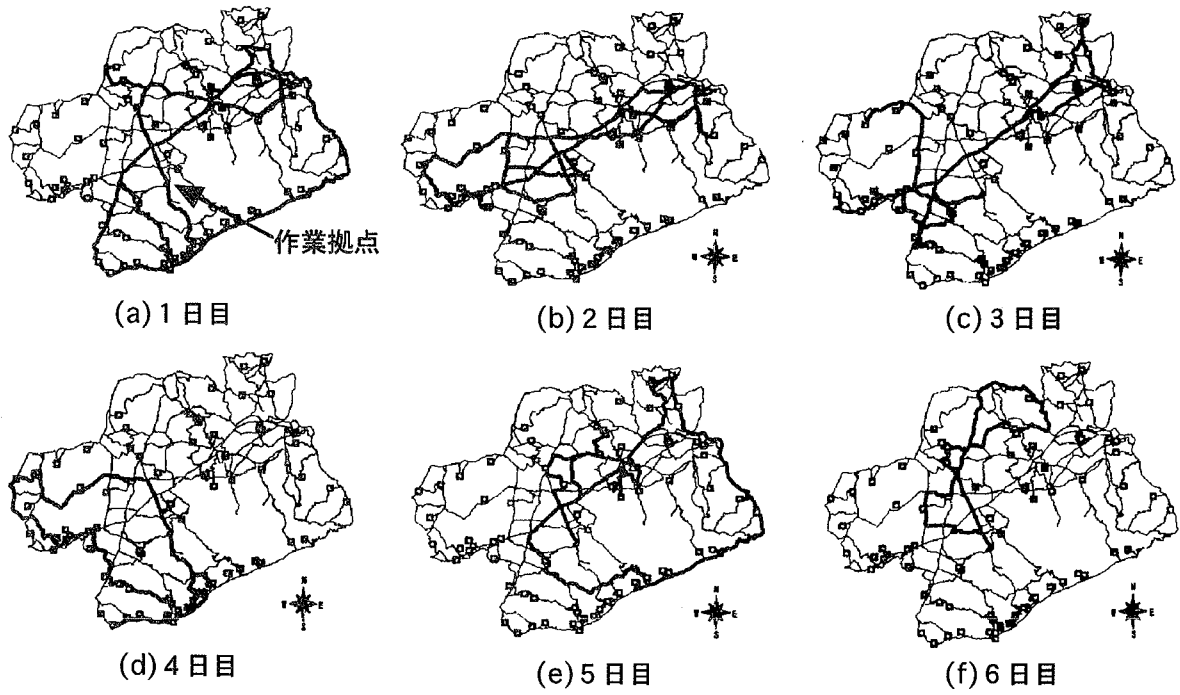


図5 作業拠点が所与の場合の配水池の最適巡回経路

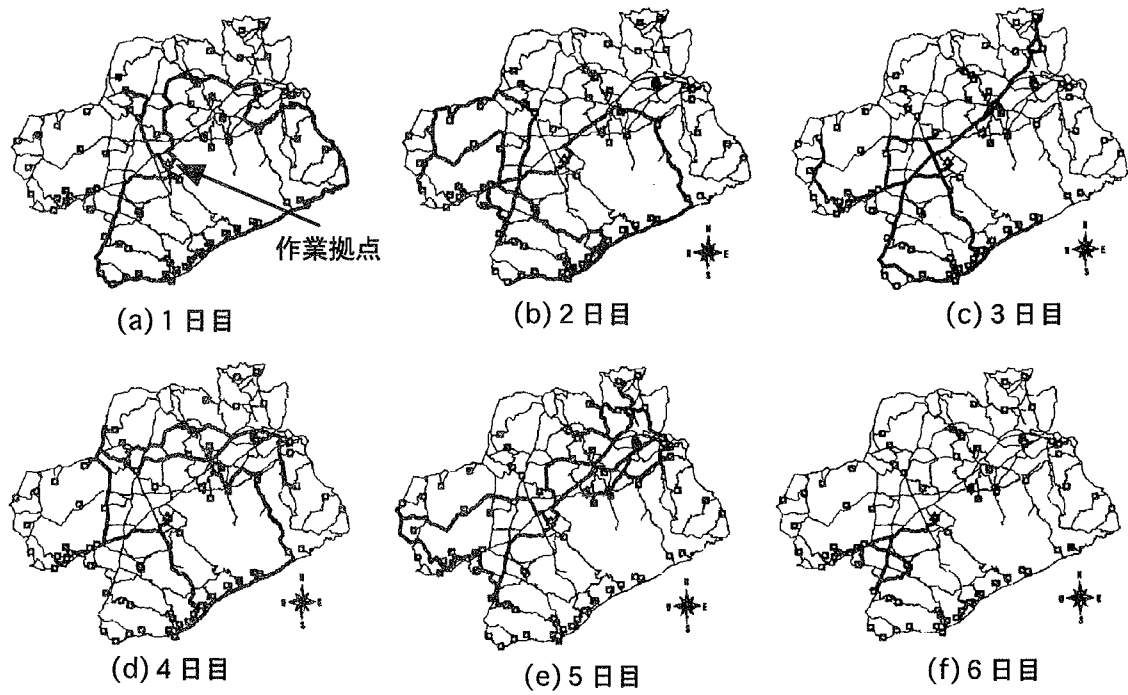


図6 作業拠点が与えられていない場合の配水池の最適巡回経路

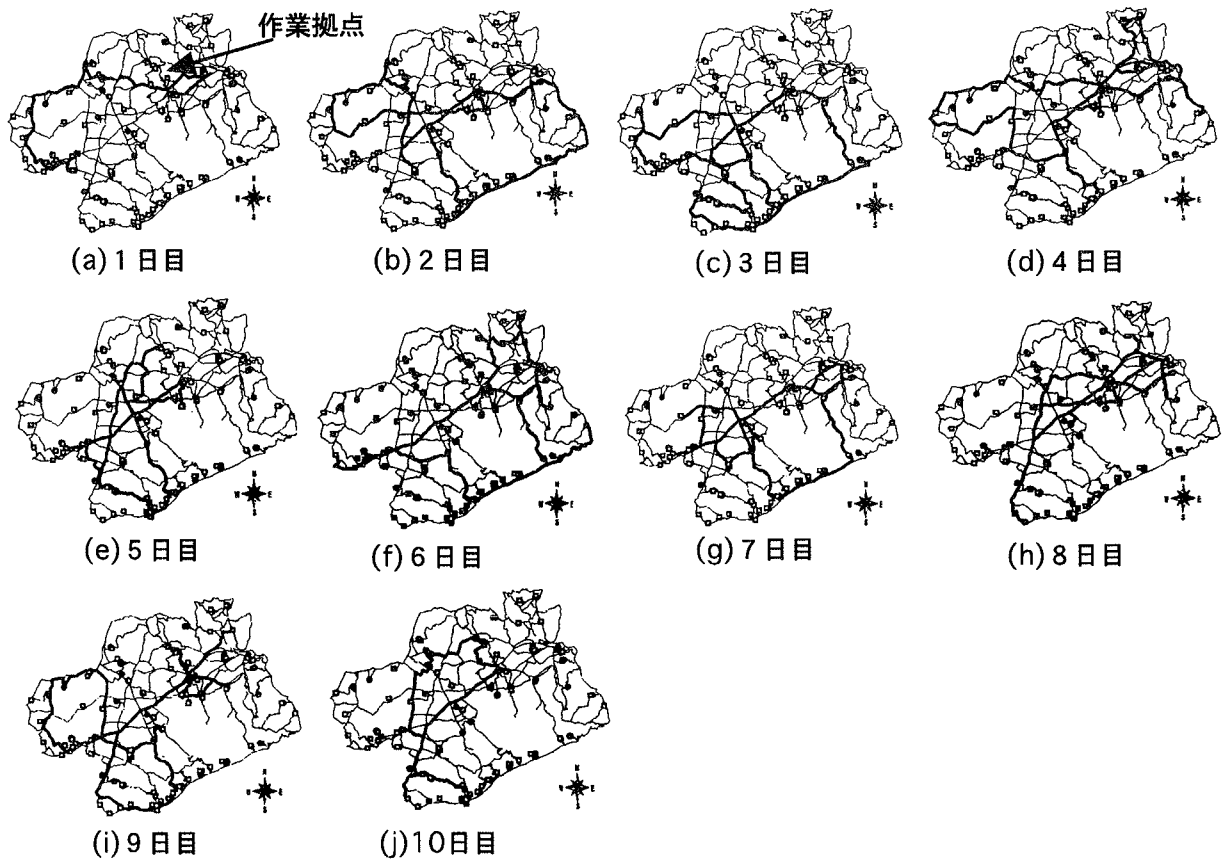


図7 浄水施設と配水池を同時に巡回する場合の最適経路

適経路が図7である。作業拠点はNo.6、作業日数は10日間、所要合計時間は56.2時間となった。図4で示された結果と図6で示された結果を合計すると、作業日数は9日間、所要合計時間は61.8時間となる。したがって浄水施設と配水池を同時に巡回する場合、日数では別にした場合より1日多く要するが、所要合計時間は5.6時間短くなる。これは最適化問題の目的が所要時間の合計を最小化することになっていることが一つの理由であると考えられる。また浄水施設と配水池を別にした場合は作業拠点が2カ所であるのに対し、両施設を同時に巡回するとした場合には、作業拠点は1カ所である。したがって1カ所の場合の方が拠点との往復に要する時間が多くなり、1日の中で作業に関わらない時間が多くなったと考えられる。

5. あとがき

1日の作業時間に制限のある場合の施設巡回点検の経路を遺伝的アルゴリズムにより最適化する

方法を検討した。制約条件が付いたため通常の巡回セールスマン問題の解法を適用することはできないために、適合度の計算に工夫を加えることで対処した。さらに実用的にするためには各施設の重要度や、道路の閉塞可能性などをも考慮した検討へとすすめる予定である。

本研究は（財）水道技術研究センター「環境影響低減化浄水技術開発研究」の基礎研究として実施されたことを付記する。

参考文献

- [1] 武市久仁彦，細井由彦：水道事業統合効果の評価に関する研究，第6回水道管路国際シンポジウム講演集，pp.303-306，2003.
- [2] Dewdney, A. K. : Exploring the field of genetic algorithms in a primordial computer sea full of flibs, Scientific American, Vol. 85, No. 5, pp.16-21, 1985.

(受理 平成15年9月3日)