

分散した水道施設の巡回点検の効率化

鳥取大学 正会員 ○細井由彦・増田貴則

鳥取大学大学院 正会員 Dagnachew Aklog (株)イズミ 石津昌彦

1. はじめに

本研究では小規模な水道施設が分散して存在している場合に、これを巡回して点検、維持管理を行う作業を効率的に実施するための手法を検討する。巡回作業員の1日当たりの勤務時間が決まっており、巡回拠点から施設までの往復も含めて決められた勤務時間内に作業を実施しながら、合計の作業時間を最小化するような巡回経路を探索する。さらに作業の効率化を進めるために、無人施設における水質や機器の状況などを計測してデータを搬送する自動計器を設置して巡回作業を軽減化することが考えられる。装置の設置に当たっては、巡回作業が最も軽減化されるところを選んで設置することが必要である。また装置の設置箇所数については、装置の費用と削減される人件費を考慮することが必要である。このような点を考慮して、自動化装置を設置する施設と施設数を決定する方法についても検討を行う。

2. 問題の定式化

管理拠点を出発して各施設を1回ずつ巡回することで一巡が終了する。各施設においては所定の時間点検が必要とする。勤務時間内に終了しない場合にはいったん管理拠点到引き返してその日の作業を終了し、翌日再び続きを行うこととする。すなわち決められた1日あたりの作業時間内に点検作業を行いながら、全施設の点検にかかる時間を最小にするような巡回経路を決定することが目的になる。

目標はつぎのように定式化される。 $\sum_n T_n \rightarrow \min$ (1)

ただし T_n は第 n 日目の作業時間でつぎのように表される。

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

ここで f_n は第 n 日目に巡回する施設の集合、 t_{ik} 、 t_{mk} はそれぞれ第 n 日目に巡回する施設の集合と施設 k の点検に要する時間、 t_{n0} 、 t_{n1} は第 n 日目に最初に巡回する施設までの拠点からの移動時間と、最後に巡回する施設から拠点までの移動時間を示している。

1日当たりの作業可能時間を T_* とし、制約条件はつぎのように示される。

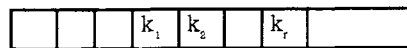
$$T_n \leq T_* \quad (3)$$

さらに自動監視装置を導入する場合の費用比較を行った。自動監視装置を設置する箇所数を決め、それ以外のところを巡回監視するものとし、上記と同様に総巡回時間を最小にするように自動監視装置の設置施設と、巡回経路を決定した。そのときのコストをつぎのように計算した。

$$TC(k) = \sum_{s=1}^N CI(m-k) I(N) \frac{1}{(1+r)^s} + CAi(k) + \sum_{s=1}^N CA_m(k) \frac{1}{(1+r)^s} \quad (4)$$

ここで $CI(m-k)$ は $m-k$ カ所を巡回するのに必要な費用で、最適な経路で巡回する場合の時間に対応する人件費で求められる。 N は自動計測装置の耐用期間であり、 $I(N)$ はその期間内の1年当たりの巡回回数である。 $CAi(k)$ は k カ所に装置を導入する場合の初期費用、 $CA_m(k)$ は1年当たりのそれらの維持管理費用である。 r は割引率である。式(4)の $TC(k)$ を最小にするような k の値と、そのときの設置箇所を

表現形遺伝子



n-1日目まで

$$A = [\text{拠点から } k_1 \text{ までの移動時間}] + [k_1 \text{ の点検時間}]$$

$$B = A + [k_1 \text{ から } k_2 \text{ までの移動時間}] + [k_2 \text{ の点検時間}] + [k_2 \text{ から拠点までの移動時間}]$$

NO

YES

$$A = B - [k_2 \text{ から拠点までの移動時間}]$$

r=2

$$B = A + [k_r \text{ から } k_{r+1} \text{ までの移動時間}] + [k_{r+1} \text{ の点検時間}] + [k_{r+1} \text{ から拠点までの移動時間}]$$

NO

YES

$$A = B - [k_{r+1} \text{ から拠点までの移動時間}]$$

r=r+1

$$T_n = A + [k_r \text{ から拠点までの移動時間}]$$

n+1日目へ

図1 適合度の計算方法

表1 最適巡回経路の探索結果

総巡回距離		135.9km							
総巡回時間		16.5時間							
巡回経路	1日目	37	25	34	42	41	0	43	30
		40	46	4	26	47	19	39	36
		10	9	2	45	15	14	8	6
	2日目	20	5	44	23	21	7	29	35
		24	3	1	22	18	12	33	17
		28	13	27	16	32			
	3日目	31	11	38					

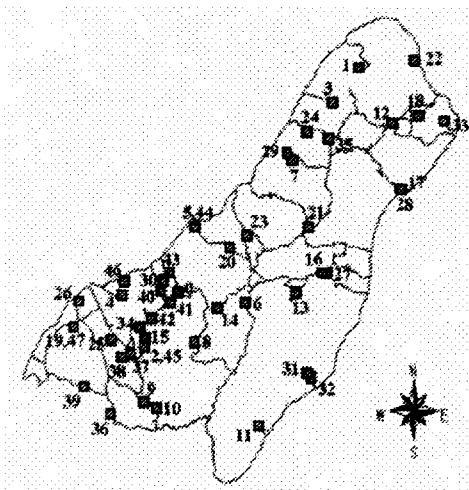


図2 事例研究の施設配置

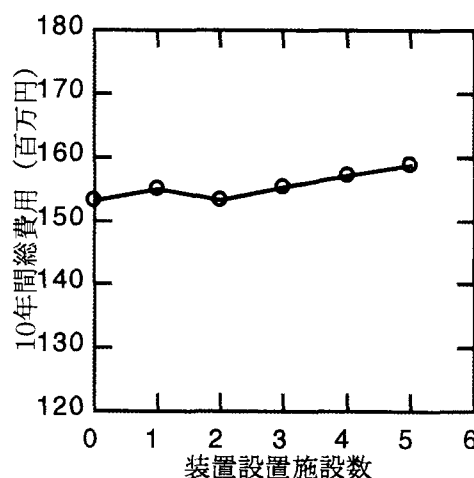


図3 自動化装置設置施設数と総費用

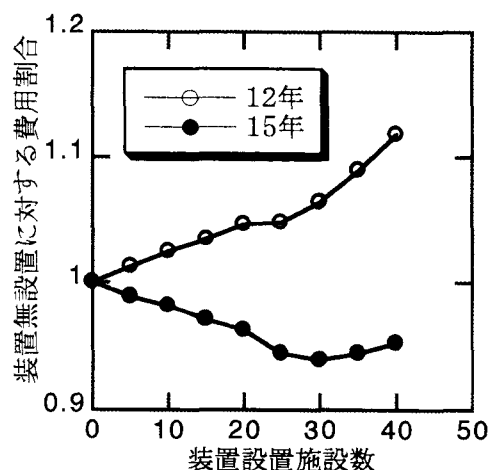


図4 耐用年数が異なる場合の装置設置数と費用

求めることが目的となる。

3. 遺伝的アルゴリズムによる解法

2で定式化した問題を遺伝的アルゴリズムによって解いた。図1に示すように一つの遺伝子が一つの施設を表しており、巡回は左側から遺伝子配列の順に沿って行われるものとする。本問題の場合、1日当たりの巡回時間に制約があるために、経路により巡回する施設数が異なり、1日当たりの巡回施設数を固定し染色体長を一定にして遺伝操作を行うことができない。そこで全施設の巡回経路を1本の染色体で表現し、制約条件については適応度の計算方法を工夫することで対応することにした。図1に示すような方法で第n日目の巡回に要する時間を求めた。

4. 事例研究

図2に示すような48箇所の配水施設がある場合について事例研究を行った。拠点施設は中心的な浄水場であるNo.37とし、1日の労働時間は8時間、移動速度は時速30km、1カ所あたりに要する時間は15分とした。

求められた最適巡回順路を表1に示す。合計の巡回延長は135.9km、合計の所要時間は16.5時間であった。拠点近くの施設集中地区を回り、北部のやや低密地区をそれぞれまとめてほぼ1日ずつをかけてまわり、最後に東部のまばらなところを回るという結果になった。北部地区についてはまず西側から回って、東側の縁を南下し東部の1カ所までを巡回する。また拠点近くのNo.38は東部を終了した帰りに立ち寄ることになった。

つぎに自動監視装置を設置する場合を考える。自動監視装置をxカ所に導入する場合に必要なコストは実績例を参考に、イニシャルコストを $(3000 + 3720x)$ 千円、ランニングコストを1年当たり $(200 + 56x)$ 千円とする。巡回をする場合の費用として、人件費は1人1時間あたり2500円、1km当たりの車の燃費を5円とする。自動監視装置は毎日1回データを送信するので、人による巡回も各施設に毎日1回の巡回が行われるように巡回班を配置するものとする。

自動監視装置を1カ所に導入すると考えた場合、最も費用が安くなる設置場所はNo.8となった。No.8は拠点から離れた場所ではない。計算結果では、施設No.15のつぎにNo.14、No.8、No.6の順で巡回することとなっていた。すなわちNo.14からNo.8に行った後再度引き返してNo.6に行く必要がある。一方、例えば遠方で孤立しているように見えるNo.11の場合、No.31のつぎに立ち寄り、続いてNo.38をまわって拠点に戻るようになっていた。遠方であっても数カ所を巡る必要がある場合には、必ずしも遠方の点に自動監視装置を設置するのが得策ではないことが分かる。

図3は自動監視装置の耐用年数を10年とおいて、自動監視装置を設置する施設数と総費用の関係を示したものである。2カ所に設置する場合が最も費用が少ない。しかし今回の場合には設置しない場合より小さくなることはなかった。

耐用年数が12年、15年の場合についての計算結果を図4に示す。15年の場合、装置を導入する方が費用が安くなる。30カ所に設置すると最小となることが分かる。

5. あとがき

本研究では単純な場合の計算例を示したが、提案した手法の有効性が確認されたのでより実用的な検討を進めていく。本研究に協力していただいた元本学学生佐々木秀和氏（現在(株)新菱冷熱）に謝意を表する。