

GAによる配水管網の更新計画に関する一考察

東京都立大学大学院	正会員	稲員とよの
東京都立大学大学院	フェロー	小泉 明
東京都立大学大学院	学生会員	古川 唯一
東京都立大学大学院	正会員	小棚木 修
日水コン環境事業部	正会員	渡辺 晴彦

1. はじめに

わが国における水道管路の多くは昭和 30 年代から 40 年代の建設拡張時代に布設されており、老朽化が進んできている。今後、管路の経年化に伴い、水道供給における障害の発生及び機能低下が予測されている。このような状況下においても、安定かつ安全に水道供給を維持するためには、長期的な計画のもとで管路を適切に更新する必要がある。適切な管路更新を計画するために、更新による効果を定量化する方法及び給水収益を考慮した費用制約条件の下で更新対象管路とその更新時期の組合せから、計画期間内の効果を最大化する方法としてモデル化し、最適化手法である LP を用いた更新順序の決定方法¹⁾、さらには、より現実的な解を得ることが可能な IP モデルによる研究がある²⁾。しかし、これらのモデルには目的関数を線形化して捉えているという限界があり、一般的な更新計画に適用することができない。

そこで本稿では、非線形な関数を扱うことが可能であり、組合せ最適化問題に有効であると言われている遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithms) を用いた汎用的な方法を提案する。以下では、管網更新順序最適化 GA モデルを作成し、IP モデルとの解が一致することを田型モデル管網で検証する。そして、ケーススタディとして、モデル化された実管網に GA を適用することによって、管路更新順序最適化問題への適用可能性について検討を試みる。

2. モデルの定式化

(1). **GA モデル** 遺伝的アルゴリズム (GA) とは、生物を遺伝子のみで表現し、選択、交叉、突然変異といった操作を用いて、比較的忠実に進化をモデル化した組合せ問題最適化手法のひとつであり、目的関数の形状に依存せず、個体の優劣を適応度という単一の指標で評価を行う。また、組合せに対応する個体の適応度 (目的関数の値) が高い程、その遺伝子 (組合せ) が継続されやすく、比較的少ない試行により最適な組合せが求められやすいと言う利点を持つ。そこで、各管路の更新時期を整数の遺伝子として表現し、管路を更新しないときの被害額期待値から更新したときの被害額期待値を差し引いたもの (便益) を適応度関数とする。管路更新費用の超過による実行不可能解に対するペナルティを (2) 式とし、適応度を (3) 式とする。

$$f_v = \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^N (L_i^t(0) - L_i^t(x_i)) \quad \dots (1) \quad p = \sum_{i=1}^T \left(\sum_{i=1}^N (c_i^t) - \tilde{c}^t \right) \quad \dots (2) \quad f = \frac{f_v}{p^{1/3}} \quad (p \geq 1) \quad \dots (3)$$

T : 更新期間 (期 = 5年)、 N : 管路数、 x_i : 管路 i の更新時期、 $L_i^t(x_i)$: 更新による被害額期待値
 \tilde{c}^t : t 期での費用制約、 c_i^t : 管路 i の更新費用

(2). **IP モデルとの整合性** (1) でモデル化した管網更新順序最適化 GA モデルが、IP と同等の解を出力することが出来るかどうかを、IP と同等の目的関数を用いて、1 配水池、9 需要点、12 管路からなる田型モデル管網 (給水人口 31,104 人、給水量 7,776 (m³/日)、更新計画期間 25 年 (5 期)) にて検討を行った。GA のパラメータとして、個体数 500、交叉確率 0.8、突然変異 0.01、世代数 2000 で計算したところ、547 世代目で IP と同じ解を出力した。即ち、IP と同等の目的関数でモデル化された管網更新順序最適化 GA モデルは、IP と同等の解空間探索能力があることが確認された。

【キーワード】 配水管網 更新計画 遺伝的アルゴリズム 組合せ最適化 費用便益

【連絡先】 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1 - 1 Tel. 0426-77-2789

3. 実配水管網に於けるケーススタディ

次に、ケーススタディとして、図1に示す配水管網(管路数 40 本)を対象とし、計画期間 5 期(25 年)における管路更新順序について、提案した GA モデルを適用した。ここで、更新対象管路と更新時期の組合せの数(2^N : N = 管路数 × 計画期間)は 2²⁰⁰ 1.6 × 10⁶⁰ となっているが、管路更新による費用制約より、更新することのできる管路の数は限られる。

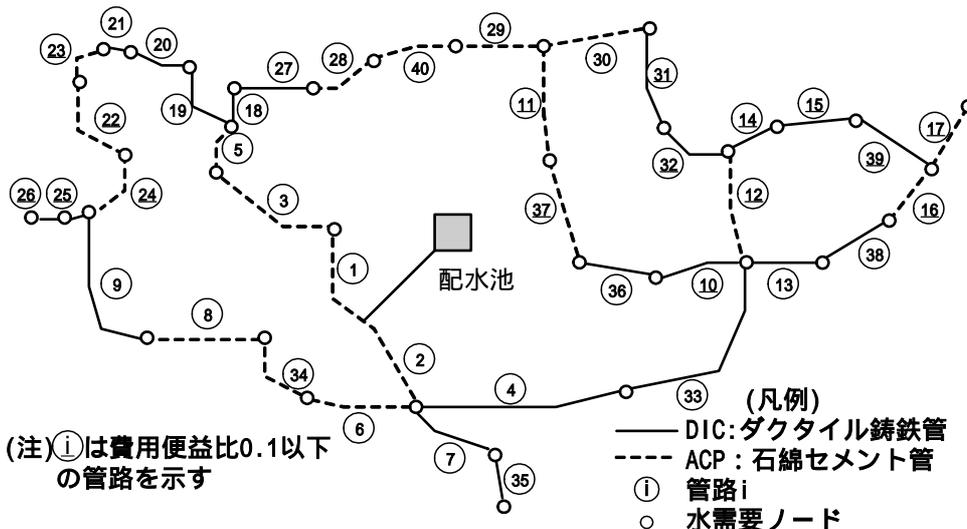
そこで、(2)で定義した各管路の便益とその管路の更新費用との比、即ち、各管路の費用便益比を求め、各期の費用便

益比の最大値が 0.1 を下回る管路については、初期個体の生成の時点で非常に小さい確率で更新を行うことにより、管路更新順序最適化を効率的に行えるような操作を施した。その結果として、解析対象管路数は 23 本となり、更新対象管路と更新時期の組合せの数も 2¹¹⁵ 4.1 × 10³⁴ に削減することができた。これにより、管網更新順序最適化 GA モデルは、個体数 500、世代数 10000、交叉確率 0.8、突然変異確率 0.01 の GA パラメータにおいて、3720 世代目に IP と同等の解、即ち、最適解を出力し、本稿で提案した GA の適用は可能であると考察することができる。

表1 最適管路更新パターン

管路属性				期数						
番号	経過年数	管路長	口径	1	2	3	4	5		
1	50	1,000	400							
3	50	1,320	400							
5	45	400	400							
6	45	1,420	400							
8	40	1,080	300							
18	25	320	300							
19	25	740	200							
28	30	680	300							
29	30	760	300							
34	45	800	400							
40	30	900	300							
				便益	1,062,797	1,241,591	872,215	372,372	98,682	3,647,657
				累積便益	1,062,797	2,304,388	3,176,603	3,548,975	3,647,657	
				更新費用	223,080	306,160	307,580	272,360	276,880	1,386,060
				累積費用	223,080	529,240	836,820	1,109,180	1,386,060	
				費用制約	281,000	281,000	281,000	281,000	267,000	1,391,000
				累積費用制約	281,000	562,000	843,000	1,124,000	1,391,000	
				収支	57,920	32,760	6,180	14,820	4,940	-
				便益比	4.764	4.354	3.796	3.200	2.632	18.746
				累積便益比	4.764	9.118	12.914	16.114	18.746	

管路長(単位:m)
口径(単位:mm)
費用:(単位:千円)
:管路の更新



ケーススタディの概要

- 給水人口 : 71,400(人)
- 水需要量 : 28,800(m³/日)
- 計画期間 : 5 期(1 期=5 年)
- 管路数 : 40(本)
- 費用制約 : 給水収益の 3%
- 総便益 : 3,647,657(千円)

図1 対象地域の配水管網とケーススタディの結果

4. おわりに

本稿では、適切な管路更新順序を提案するモデル式を線形化し、整数計画法を用いて管路更新順序の便益が最大となるような投資順序が、遺伝的アルゴリズムを用いた場合でも同等な結果が得られるかどうかについて、田型管網にて検証した。最後にケーススタディの結果から、管路更新による費用便益比に応じて、管路を更新する確率を変化させることにより、効率的に最適解に到達することが確認された。今回提案した方法は整数計画法では解くことが困難な大規模な管網についても適用が可能であることが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 小棚木・小泉・渡辺 : 水道管路の更新順序と投資水準の適正化に関する研究、土木学会環境システム研究論文集 Vol.31、pp.169-177、2003
- 2) 朝倉・小泉・稲員・小棚木・渡辺 : 整数計画法を用いた管路更新順序の適正化に関する一考察、第 55 回全国水道研究発表会講演集、2004
- 3) 古川・稲員・小泉 : 水道施設計画への GA 手法の適用に関する一考察、第 54 回全国水道研究発表会講演集、pp.338-339、2003