

(5-3)種々の最適化手法による配水管網のバルブ最適水圧制御の比較検討

○河村 明(九州大学大学院) 久野 祐輔(九州大学大学院)
 神野 健二(九州大学大学院) Haytham Awad(九州大学大学院)

1. はじめに

水道普及率が 2001 年度末には 96.7%に達し、日本中に水道が行き渡っていると考えられる一方で、多くの都市では上水道の配水システムの大規模・複雑化に伴い、配水管網の最適運用(適正水圧による漏水の低減、火災時・漏水時の流量調整等)を行うことが困難となってきた。現在、福岡市で用いられている配水制御システムは、2001 年 3 月現在、120 の水圧計・68 の流量計からの情報をもとに、水管理センター監視員のマニュアル操作によって 150 の電動バルブを遠隔操作・制御するものであるが、今後、より安定した圧力制御が容易に行える自動水圧制御システムの構築が望まれている。配水管網におけるバルブによる水圧制御の問題は、局所的な準最適解が複数存在する多峰性の問題であるため、そのバルブ制御量の算出は容易でない。これまで著者らは、SCE-UA 法を用いた最適バルブ開度の探索について検討を行ってきた¹⁾²⁾。本報では、SCE-UA 法と、近年注目されている RCGA (Real-coded GA: 実数 GA) および SFLA 法 (Shuffled Frog Leaping Algorithm) の 3 つの最適化手法をモデル管網に適用し、これらの比較検討を行った。

2. 用いた最適化手法について

RCGA : 遺伝的アルゴリズム (GA) は生物進化の遺伝的な法則を工学的にモデル化した学習アルゴリズムである。この中でビット列ではなく実数値を遺伝子とする手法である。ここで交叉法には BLX- α を用いている³⁾。
SCE-UA 法 : シンプレックス法にランダム検索、GA に類似した競争進化、新たに開発された集団混合の概念を組み合わせた大域的探索法である⁴⁾。最適バルブ開度探索については、著者らによって有益な手法であることが確認されている¹⁾。
SFLA 法 : SCE-UA 法の大域的探索と PSO (Particle Swarm Optimization) の局所探索を組み合わせで作られた大域的探索法であり、離散的な解探索に特化した手法である⁵⁾。

3. モデル管網への適用

図-1 に示すような単純かつ代表的なモデル管網の 3 つのバルブの最適開度を探索した¹⁾。表-1 にその管径・管路長を、表-2 に各節点における需要量及び外部流出量を示す。固定節点 1 を除く 3 つの節点における水頭 H_j の目標値を H_j^* として、式(1)の平方根平均二乗誤差 (RMSE) を最小とするような 3 つのバルブ開度 (探索範囲は、0~100%の 1%きざみ) を、上記 3 つの最適化手法を用いて探索した。

$$J = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{j=2}^4 (H_j - H_j^*)^2} \quad (1)$$

表-3 に、10 パターン (A~J) の初期個体群 (個体数 70) を 1000 世代まで進化させ、その結果、最適解に収束した場合はそのときまでの評価回数を、収束しなかった場合はスラッシュとして表している。なお最適解は 1030301 通りの全組み合わせで

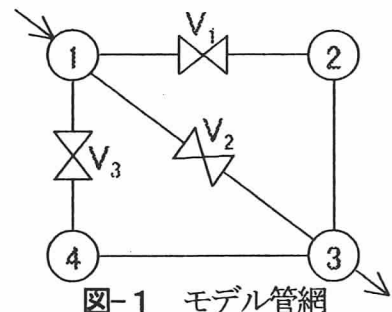


表-1 管径・管路長

管路	1-2	1-3	1-4	2-3	3-4
管径 [mm]	100	100	400	200	300
管路長 [m]	300	400	500	200	300

表-2 節点需要量と外部流出量

節点	1	2	3	4
需要量 [m ³ /h]	30	10	20	70
外部流出量 [m ³ /h]	-180	-	50	-

の探索によって算出した¹⁾。これより、RCGA と SFLA 法では初期値によって最適解が得られない場合があることがわかる。しかし初期値の設定によっては、RCGA では、他の2手法に比べてかなり少ない評価回数で最適解へ収束することもわかった。

次に、図-2 に典型的な進化状況として2つの初期個体群 (F, G) からの進化状況を示す。なお、通常最適化手法の評価では世代数による変化を用いるが、計算時間という観点から横軸に評価回数、縦軸に評価関数値をとっている。まず初期個体群 F) に着目する。表-3 より SCE-UA 法は最適解が得られているが、他の2手法では得られていない。しかし図-2 より、SFLA 法では、最適解ではないものの、1000 回程程度の評価回数で非常に最適解に近い解が得られているのに対して、RCGA では評価関数値が大きい値に収束している。これは図-2 に示さなかった他の初期個体群からの探索結果でも同様の傾向が見られた。また、初期個体群 G) に着目すると、いずれの最適化手法を用いた場合においても最適解が得られている。他の2手法に比べて SCE-UA 法による探索ではその評価回数が非常に多いことがわかるが、この場合も含めて、表-3 より SCE-UA 法では評価回数はやや多いものの、いかなる初期個体群からも最適解を得られることもわかる。

4. むすび

本報では、種々の最適化手法を用いた最適バルブ開度の探索の結果、SCE-UA 法による探索が初期個体群によらず確実に最適解を得ることができることがわかった。一方、RCGA では、最適解に収束しない確率は高いものの、初期値によっては、かなり少ない評価回数で最適解を得ることができた。また、SFLA 法は、両者の中間的特性があることがわかった。

【参考文献】

- 1) 久野祐輔, 河村明, 神野健二: SCE-UA 法を用いた配水管網のバルブによる最適水圧制御に関する考察, 第54回全国水道研究発表会, pp.334-335, 2003.
- 2) 久野祐輔, 河村明, 神野健二: 配水管網のバルブ最適操作に対する SCE-UA 法の適用性について, 第31回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 225-230, 2003.
- 3) 田村孝廣, 安藤義久: 実数値 GA・MOCOM-UA による山地流域水循環モデルのパラメータ多目的最適化, 水文・水資源学会誌, Vol.16, No.1, pp.45-55, 2003.
- 4) Duan, Q., Sorooshian, S., and Gupta, V. K.: Effective and Efficient Global Optimization for Conceptual Rainfall-Runoff Models, *Water Resources Research*, Vol.28, No.4, pp.1015-1031, 1992
- 5) Eusuff, M. M., Lansey, K. E.: Optimization of Water Distribution Network Design Using the Shuffled Frog Leaping Algorithm, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol.129, No.3, pp.210-225, 2003

表-3 最適解への収束時における評価回数

初期個体	RCGA	SCE-UA	SFLA
A	446	1247	/
B	/	1747	5820
C	432	5371	/
D	382	11491	17039
E	/	2369	/
F	/	530	/
G	762	18308	2012
H	/	2774	5958
I	298	13723	/
J	/	755	24652

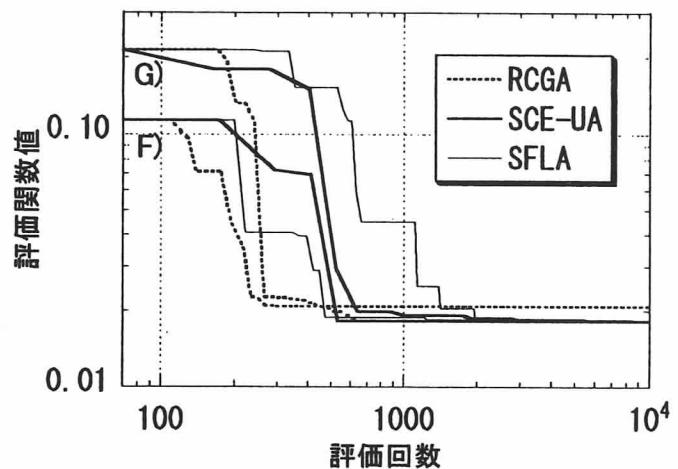


図-2 2つの初期個体群からの進化状況