

(5-6) 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

○久野 祐輔(九州大学) 河村 明(九州大学)  
 神野 健二(九州大学)

1. はじめに

水道普及率は、2000 年度末には 96.6% 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・渇水時の流量調整等）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、1978 年の異常渇水をきっかけとする配水調整事業の一環として設置された水管理センターにて、2000 年 3 月現在、117 の水圧計・68 の流量計からの情報をもとに、監視員のマニュアル操作によって 149 の電動バルブを遠隔操作・制御するものである。このシステムでは 1 日 3 交代制で 365 日 24 時間監視のもと行われ、その操作的確かな判断には、長年の経験が必要である。以上の状況より、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。本報では、配水管網のバルブによる最適水圧制御の第一段階として、新しい大域的探索法である 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う。

2. SCE-UA 法について

ほとんどの最適パラメータの探索方法には、局所的な準最適解に陥りやすい難点があり、初期値の設定が適切でない場合、うまく探索できない<sup>1)</sup>。近年、このような問題に対処できる手法として大域的探索法である遺伝的アルゴリズム (GA) が注目されているが、解の再現性や物理的な意味を持つ解の探索能力が不足していること等が指摘されている。

アリゾナ大学の Duan らによって提案された SCE-UA 法<sup>2)</sup>は、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り、物理的な意味を持つ解の探索領域（パラメータ値の上限・下限）を設定できることや、計算過程において計算不能や発散などが発生せず、必ず解が求まる手法である。これらの優れた特性によって画期的に計算時間が早くなり、また、優れた再現性と精度を持った探索が可能となる。

3. 用いたモデル管網

図-1 は本報で用いた単純かつ代用的なモデル管網であり、節点数 4（すべての節点に需要量があり、うち外部流入出がある節点数が 2）、管路数 5（うちバルブを持つ管路が 3）の管網である。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。

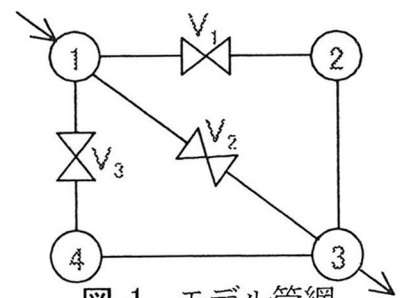


図-1 モデル管網

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 <sup>3</sup> /h]	30	10	20	70
外部流出量 [m <sup>3</sup> /h]	-180	-	50	-

管路における平均流速公式として Hazen-Williams 式を用い、その定数は 100、固定節点水頭として節点 1 の水頭を 35m と設定した。なお、管網計算は Gupta らによって提案された拡張線形グラフ理論<sup>3)</sup>を用いた。

#### 4. 最適バルブ開度の探索

まず固定節点を除く 3 つの節点における水頭  $H_j$  の目標値として  $H^*=30\text{m}$ 、式(1)の評価関数が最小となるような 3 つのバルブ開度 (探索範囲は、0~100%の 1%きざみ) を、SCE-UA 法を用いて探索した。

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

SCE-UA 法における各世代の個体数は 70 とし、これを 10 のコンプレックスに分け、コンプレックス内からサブコンプレックスに取り出される個体数を 4 として進化させる。各節点水頭、バルブ開度及び評価関数値の SCE-UA 法による典型的な世代変化を図-2 に示す。この図より、SCE-UA 法を用いた最適バルブ開度の探索では、15 世代程度で十分であると考えることができる。

ここで、3 つのバルブ開度 (0~100%の 1%きざみ) の全ての組み合わせ ( $101^3=1030301$  通り) による評価関数を算出した結果を表-3 に示す。この結果と SCE-UA 法によって得られた最適バルブ開度は同じ値であり、また、評価回数も SCE-UA 法の 15 世代終了後 2647 回であったことから、最適バルブ開度探索が非常に早く行われることがわかる。

#### 5. むすび

本報では、SCE-UA 法を用いて、モデル管網における最適バルブ開度の探索を行った結果、非常に素早く精度良く行われることが示された。今回用いたモデル管網のように全てのバルブ開度の組み合わせによる探索を行うことは、実管網においては、ほとんど不可能である。よって、SCE-UA 法による最適バルブ開度の探索は非常に有益なものであると言える。

##### 【参考文献】

- 1) 田中丸治哉: タンクモデル定数の大域的探索, 農業土木学会論文集, 178, pp.103-112, 1995.
- 2) Q. Duan, S. Sorooshian, and V.K. Gupta: Effective and Efficient Global Optimization for Conceptual Rainfall-Runoff Models, *Water Resources Research*, 28 (4), pp.1015-1031, 1992.
- 3) R. Gupta, and T.D. Prasad: Extended Use of Linear Graph Theory for Analysis of Pipe Networks, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, pp.56-62, 2000.

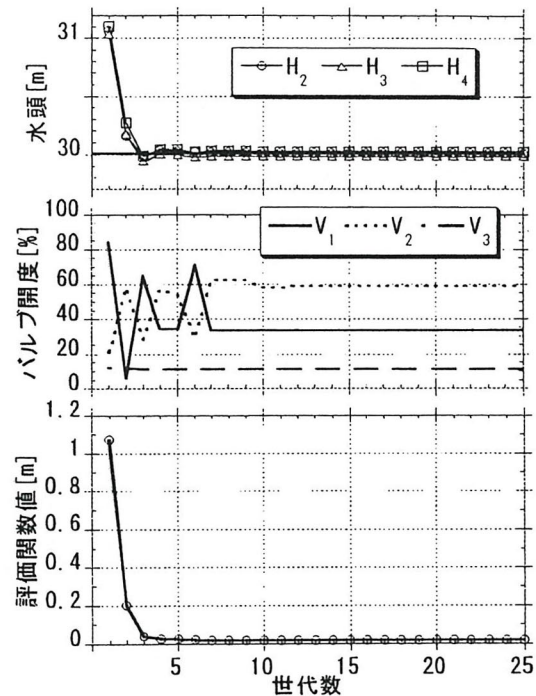


図-2 節点水頭、バルブ開度及び評価関数値の世代変化

表-3 評価関数の小さいバルブ開度

順位	評価関数値 [m]	$V_1, V_2, V_3$ [%]
1	0.018245	33, 59, 11
2	0.018271	33, 60, 11
3	0.018301	33, 58, 11
100	0.022103	84, 29, 11