

多目的HGAモデルによる 配水管網システムの最適化

小泉明¹・稲員とよの²・○荒井康裕³・吉井恭一朗⁴

¹フェロー 工博 首都大学東京／東京都立大学大学院工学研究科 教授 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail: akoiz@ecomp.metro-u.ac.jp

²正会員 工博 首都大学東京／東京都立大学大学院工学研究科 准教授 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail: inakazu@ecomp.metro-u.ac.jp

³正会員 工修 首都大学東京／東京都立大学大学院工学研究科 助手 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail: y-arai@ecomp.metro-u.ac.jp

⁴正会員 工修 東京都立大学大学院工学研究科土木工学専攻 大学院博士前期課程修了 (現在, (株) J R 東日本)

本論文では、配水管網の更新計画に関して、適正な管径を選択するための最適化手法を提案した。管網更新計画に関する問題の定式化を行い、管路及び節点の水利的な制約条件を満たしながら、管路建設コストの最小化を目的とする数理計画問題について述べた。経済的な観点に加え、管内流速の安定性についても言及し、異なる目的関数を用いた多目的最適化への拡張方法を示した。以上の計画問題に対して、管網解析プログラムを内在化させた遺伝的アルゴリズムを提案し、これをHGAモデルと定義した。最後に、このモデルによるケーススタディを行った結果、多目的HGAモデルの適用により、管路建設コストの削減と、管内流速の安定化を同時に実現する計画代替案の策定が可能となった。

Key Words : *water distribution network, replacement planning, optimization, multipurpose, genetic algorithm*

1. はじめに

普及率が96%を超える我が国の水道は、社会生活を営む上での欠くことのできないライフラインとして、重要な基盤施設となっている。水道システムを支える「管路施設」に目を向けると、地下に埋設された存在でもあるため、その重要性が大きく取り上げられることは少なかった。しかし、1970年代以降、経済産業の発展時期に急ピッチで整備された多くの水道施設が、その「大更新期」に差し掛かっている状況を考えて、水道資産の約7割を占める管路施設の更新計画は、今後の水道財政を考える上で最も重要な位置を占める。折りしも、国や自治体の厳しい財政状況が続く中、水道を取り巻く社会情勢は、給水人口の減少や、給水量原単位の頭打ちの状況にあり、料金収入の減収を前提にしながら大規模な投資が強いられる。今後は、施設のダウンサイジングや統廃合を適切に取り入れつつ、施設更新に対する財政的な効率性をいかに向上させるかが大きな焦点となる。

一方、水道サービスに対するニーズも多様化・高度化し、普及率や給水量といった「量」の指標から、安全性、安定性、耐震性といった「質」の指標へと、需要者の評価軸が移行している¹⁾。水質の公平性や、水圧の安定性に影響を及ぼす要因として「管内流速」が挙げられる。この管内流速は、需要量の時間変動に伴って変化するだけでなく、地域的な偏りも有しており、特に管内流速の小さい箇所では「濁水」の発生にも及ぶ。管路施設の更新・再整備を行う際、管路の管径を変更し、「適正な管径」を選択することは、ダウンサイジングによるコスト削減が期待できる他、管内流速の地域的な格差を極力縮小することにより、残留塩素濃度の低減化・平準化を図り、「新鮮な水」の供給を可能とする管路システム形成にも寄与する。

そこで、本論文では管路システムの最適化を目的に、管網更新計画の立案に要求される経済性向上と管内流速の安定化に着目し、管網解析プログラムを内在化したハイブリッドGAモデル (以下「HGAモデル」と略す)

を提案する。このモデルの特長は、管径の変更・選択に関する「組合せ最適化問題」を遺伝的アルゴリズム (GA : genetic algorithm) ^{2)~5)} によって扱いながら、管内流速や有効水頭の水理的な制約を満たすか否かについて、ハイブリッド化 (併用化・複合化) した管網解析方法に基づいて検証・評価する点である。以下、2. では最適配水管網計画モデルの定式化について説明し、3. ではHGAモデルの概要と、多目的最適化に拡張したモデル (多目的HGAモデル) について述べる。さらに、4. ではケーススタディによる適用結果を示し、提案する最適化モデルの有用性を明らかにする。

2. 最適配水管網計画モデルの定式化

(1) 管路建設コストの最小化問題

一般に、管路の建設費用は、管径 D に応じた管路布設単価 C と管路長 L の積から算定できる。表-1 に示す管路布設単価 C [千円/m] の実績データを見ると、布設単価 C は断面積 A [m²] に対して線形関係を有することが推察される。この実績データを用い、布設単価 C を断面積 A ($A = \pi D^2 / 4$) の関数とする回帰分析を行った結果、(1) 式のような回帰モデルが得られた (相関係数 $r = 0.996$)。

$$C = \alpha \cdot A + \beta = \alpha \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \right) + \beta \quad \begin{matrix} \alpha = 653.68 \\ \beta = 79.45 \end{matrix} \quad (1)$$

さらに、配水管網を構成する管路 i ($i=1, \dots, n$) に関して、各々の管径及び管路長が x_i [m] 及び L_i [m] として与えられた時、管網全体の更新に要する費用総額 TC [千円] は、以下の(2)式により算定できる。

$$\begin{aligned} TC &= \sum_{i \in \text{pipes}} \left\{ \alpha \left(\frac{\pi}{4} \cdot x_i^2 \right) + \beta \right\} \cdot L_i \\ &= \alpha \frac{\pi}{4} \sum_{i \in \text{pipes}} L_i x_i^2 + \beta \sum_{i \in \text{pipes}} L_i \end{aligned} \quad (2)$$

表-1 管路布設単価の実績

管径 D ×10 ⁻³ [m]	断面積 A ×10 ⁻³ [m ²]	布設単価 C [千円/m]
75	4.42	77
100	7.85	85
150	17.66	91
200	31.40	103
250	49.06	113
300	70.65	127
350	96.16	137
400	125.60	169
450	158.96	185
500	196.25	203

ただし、 α 及び β は、先の回帰分析で得られた値とする。

ここで、管路 i ($i=1, \dots, n$) 及び節点 j ($j=1, \dots, m$) の水理的な制約条件を満足しながら、 TC の最小化を図るためには、各管路 i に対してどの管径 x_i を選択するのが最も望ましいのかという数理計画問題を考える。これを整数計画問題 (IP問題 : integer programming problem) ^{6), 7)} として定式化すると次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & TC = \alpha \frac{\pi}{4} \sum_{i \in \text{pipes}} L_i x_i^2 + \beta \sum_{i \in \text{pipes}} L_i \\ \text{Subject to} \quad & V_i \leq V_i^* \quad (i=1, \dots, n) \\ & H_j \geq H_j^* \quad (j=1, \dots, m) \\ & x_i \in D_i \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、 TC : 管路更新に要する費用総額 [千円]、 x_i 及び L_i : 管路 i の管径 [m] 及び管路長 [m]、 V_i : 管路 i における管内流速 [m/sec.] 及び H_j : 節点 j の有効水頭 [m] とする。また、 V_i^* : 管路 i で許容し得る最大の管内流速 [m/sec.]、 H_j^* : 節点 j で確保すべき最小の有効水頭 [m]、 D_i : 管路 i に関する管径候補の集合を表わす。

まず、定式化された問題の目的関数 TC に着目すると、右辺第一項に x_i の二乗を含む非線形な関数となっていることがわかる。他方、制約条件には、管路・節点に関する水理的な制約と、管径を表わす変数 x_i に対する整数条件とが含まれている。前者は、キャピテーション抑制等の観点から管内流速 V_i を V_i^* 以下にし、節点 j での有効水頭 H_j を H_j^* 以上に保つといった制約条件であり、適正な配水管理の達成にはこれらの水理的な条件を満足しなければならない。一般に、管内流速 V_i 及び有効水頭 H_j は、各管路の管径 x_i や各節点での需要水量等を条件として定め、管網解析プログラムを用いて算出する。第二の x_i に対する制約条件は、水道管路の管径が規格により定められている関係上、 x_i を連続量として取り扱うことはできず、 x_i に対して「整数条件」を付加することが必要となる。本問題では、変数 x_i の取り得る値が、管路 i に関する管径候補の集合 D_i によって定義され、この集合 D_i から適切な管径を選択する枠組みになっている。

(2) 「管内流速の安定性」に関する評価指標

前掲の(3)式は、管網更新計画の最適化を財政的効率の視点で捉え、管路建設費の最小化を目的とした場合の定式化を示すものである。しかし、管路の管径変更に関わる問題は、冒頭でも述べたとおり、水道サービスにおける「質」に対しても密接な関係を有する。管網更新に際しては、経済性の向上とともに、サービス水準の公平化・安定化といった目標を同時に達成するような計画立案が望ましい。

そこで、管網更新計画問題に加味すべき第二の目的関数として、配水地域内におけるサービス水準の公平性に

焦点を当て、本論文では「管内流速」の空間的な格差を定量化する指標⁸⁾を検討する。

$$IV = \frac{\sum_{pipes} L_i x_i^2 (V_i - V_{avg})^2}{\sum_{pipes} L_i x_i^2} \quad (4)$$

ここに、 IV :管内流速の安定性に関する指標 $[(m/sec.)^2]$, V_{avg} :管網全体の平均流速 $[m/sec.]$ とする。(4)式に含まれる $L_i x_i^2$ は、管路容量による重み付けを意味し、各管路が受け持つ給水人口の大きさが反映される指標となっている。管内流速の安定性を示す IV は、管内流速の地域的なばらつきが大きいほど大きな数値をとることから、配水地域内のサービス水準の公平性を保つ意味では、この IV が小さいほど望ましい。なお、この指標 IV を最適化問題の目的関数として取り入れ、管路建設の経済性向上との多目的化を図ることが必要となるが、その具体的な方法については次章で詳しく取り上げる。

3. HGAモデルの提案と多目的最適化

(1) HGAモデルの特徴

前章2.で定式化した最適化問題に対し、ここでは管網解析プログラム^{9),10)}を内在化させた「HGAモデル」を提案する。このHGAモデルは、管網更新計画における管径選択の最適化を目的とした解法であり、次の2つの特徴を有する。第一に、最適化アルゴリズムの基本フレームとして、遺伝的アルゴリズム(GA)を採用するため、離散的な決定変数と非線形な目的関数を含む「組合せ最適化問題」への対応を可能とした点である。第二の特徴は、管網解析をGAに内在化させた点であり、管内流速や有効水頭等の水理条件を並行して計算することで、工学的実用性の観点から策定された計画代替案が評価される。

HGAモデルにおける個体表現は、図-1に示すコード化方法を用いるものとする。すなわち、管径 x_i の変数ベクトル X^k は、個体が持つ遺伝子 A^k として模擬的に記号

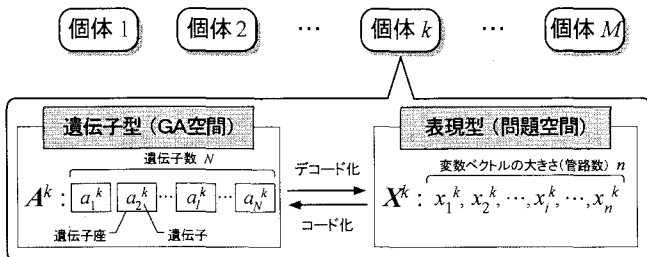


図-1 個体の表現方法

化し、2値{0,1}の文字列(ビット列)によって「表現型」から「遺伝子型」に変換される。この写像をGAでは「コード化」と呼び、逆に遺伝子型から表現型へ逆写像することを「デコード化」と呼ぶ。ある世代を形成する複数個の個体(個体群)は、世代更新を繰り返しながら、次世代の個体群(子孫)を生成していく¹¹⁾。

図-2に本論文で提案するHGAモデルの計算フローを示す。生成される各個体の優劣を評価する適応度 f は、「適応度関数」及び「ペナルティ法」に基づいて算出し、 f の高い個体を次世代により多く誕生させることが本モデルでの目的となる。(3)式の最適化問題、つまり管路建設コストの最小化を目的とする問題では、適応度 f の最大化に対応させるべく、目的関数 TC を逆数にした適応度関数($f_v(TC)=1/TC$)を導入する。また、各管径 x_i の組合せの下で管網解析を実行し、 V_i 及び H_i の制約条件を満たさない個体が生成される場合には、この個体にペナルティを課する。具体的には、制約条件に違反した管路・節点に対し、その箇所数だけ f に0.1を乗じるものとし、次世代への継承を起りにくくする。

HGAモデルに組み込まれる遺伝的オペレータとして、選択には「ルーレット選択」、交叉に「一点交叉」を採用し、これに通常の突然変異を加える。ただし、良好な個体をより効率的に誕生させる目的から、個体群の中で最

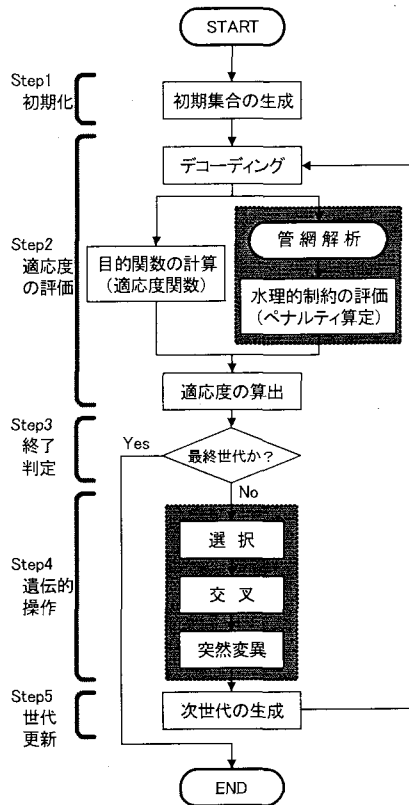


図-2 HGAモデルの計算手順

も適応度の高い個体をそのまま次世代に残す「エリート保存選択」を併用することにする。なお、このモデルの解探索性能の検討を行った結果、1配水池、1節点、13管路の田型管網に適用して得られる解が、全探索法による最適解（厳密解）と一致することを確認している¹²⁾。

(2) 多目的HGAモデルへの拡張

提案したHGAモデルを拡張し、経済性の向上と管内流速の安定化の両者をバランス良く満足する管網更新計画の立案について検討する。以降では、こうした多目的の最適化を図るためのモデルを「多目的HGAモデル」と定義し、単一の目的を最適化するためのHGAモデルとは区別して扱う。

多目的HGAモデルでは、管路建設の経済性と、管内流速の安定性に関する2つの目的関数を同時に扱うため、各々の関数値に対して、最も良い場合に「1」、最も悪い場合には「0」となるような基準化を行う。すなわち、(2)式の TC （管路更新に要する費用総額[千円]）、(4)式の IV （管内流速の安定性指標[(m/sec.)²]）は、次の(5a)式及び(5b)式によって各々を基準化することができる¹³⁾。

$$Z_1 = \frac{TC - TC^{\max}}{TC^{\min} - TC^{\max}} \quad (5a)$$

$$Z_2 = \frac{IV^{\max} - IV}{IV^{\max}} \quad (5b)$$

ただし、 Z_1 ：管路建設の経済性[-]、 Z_2 ：管内流速の安定性[-]、 $TC^{\max}$ 及び $TC^{\min}$ ：意思決定者が許容する目的関数 TC の最大値及び最小値[千円]、 $IV^{\max}$ ：意思決定者が許容する目的関数 IV の最大値[(m/sec.)²]を表わす。

Z_1 及び Z_2 の基準化された2つの目的関数を用い、多目的HGAモデルの適応度関数を以下の(6)式によって定義する。

$$f_v(Z_1, Z_2) = Z_1 \times Z_2 = \left(\frac{TC - TC^{\max}}{TC^{\min} - TC^{\max}} \right) \times \left(\frac{IV^{\max} - IV}{IV^{\max}} \right) \quad (6)$$

4. ケーススタディ

(1) 対象地域の概要

ケーススタディの対象地域は、南北方向に約2.3[km]、東西方向に約2[km]で、面積が約4.6[km²]である。地盤高は、50[m]から57[m]であり、ほぼ平坦な地域である。また、地域人口は24,000[人]であり、人口密度は5,200[人/km²]である。一方、需要量は、水使用量原単位を320[L/人・日]とすると、時間最大給水量が478.4[m³/hr.] (=132.9[L/sec.])である。図-3に対象地域の配水管網の管網図を示すとともに、表-2に各節点に関する諸元を

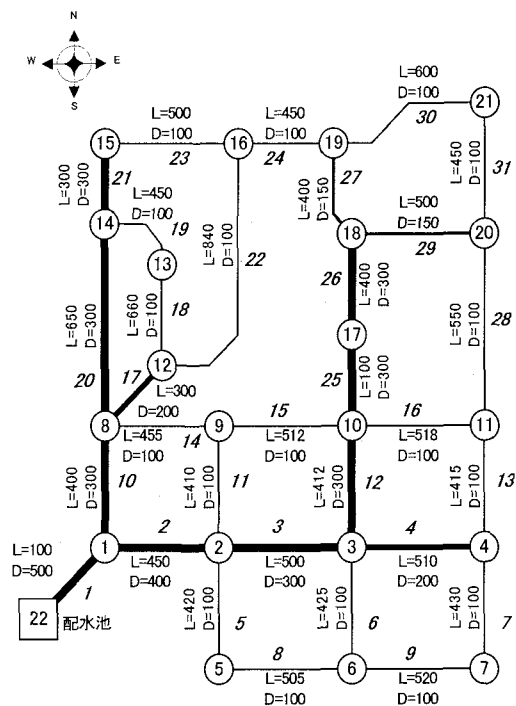


図-3 ケーススタディの対象管網

表-2 対象管網の節点に関する諸元

節点番号	地盤高[m]	需要水量[L/sec.]
1	57	4.0
2	55	5.7
3	54	7.7
4	53	6.4
5	55	3.7
6	57	4.3
7	54	4.2
8	56	2.2
9	54	2.0
10	53	6.9
11	53	6.0
12	54	4.9
13	54	6.0
14	55	10.8
15	54	3.4
16	53	7.7
17	53	7.5
18	53	14.5
19	52	3.3
20	52	12.0
21	50	9.7
22	100	(配水池)
合 計		132.9

表-3 管径候補及びコード化記号

現状管径	00	01	10	11
400mm	400mm	300mm	250mm	200mm
300mm	300mm	250mm	200mm	150mm
200mm	200mm	150mm	100mm	75mm
150mm	200mm	150mm	100mm	75mm

現状管径	0	1
100mm	100mm	75mm

示す。対象とする配水管網は、管径 100[mm]以上の管路により構成され、1 配水池、21 節点、31 管路、10 管網を有している。なお、管路 1 については、配水池と配水管網を結ぶ連絡管であるため、今回の比較対象から除外する。したがって、最適化計算の対象となるのは、管路数 $n=30$ 、節点数 $m=21$ の管路システムである。また、対象地域の特性として、地域の南部に配水池を有しており、北部に人口の集中した地域がある。現在は、配水池から節点 15 へ至るルートと節点 18 へ至るルートに主要な幹線となる管路が配置されている。

(2) 最適化モデルの適用条件

各管路 i で変更・選択すべき管径候補 D_i は、現状の管径を基準に、将来の水需要量の減少を考慮して現状よりも小さい管径を含めることとした。表-3 に、現状の管径に対応して設けた管径候補を示すと同時に、HGA モデルを適用する際のコード化記号も同表最上段に表示する。なお、対象地域の水需要が増加することが予測される場合には、現状の管径を中心に増径した管径候補を設定することになる。

表-3 より、対象とする 30 本の管路の内、1 ビットで表現する管径 100[mm]の管路が 18 本含まれる。管径 150[mm]以上の管路には 2 ビット、管径 100[mm]の管路には 1 ビットを割り当てる場合、1 個体の遺伝子は 42 ビット ($=2 \times 12 + 1 \times 18$) で表現され、解空間の大きさ (解の組合せ数) が約 4 兆 4,000 億 ($=2^{42}$) 通りにも及ぶ。

提案モデルの適用に際し、管路・節点に関する水理的な制約を $V_i^* = 3.0 [\text{m/sec.}]$ 及び $H_f^* = 15 [\text{m}]$ とする一方、管路長 L_i には現状と等しい管路長を与え、更新前の管網形状を維持する場合の更新計画を前提とする。また、多目的 HGA モデルでは、意思決定者が許容する目的関数の最大値及び最小値について、 $TC^{\max} [\text{千円}]$: 現状の管径を選択して更新を行った場合の費用総額、 $TC^{\min} [\text{千円}]$ 及び $IV^{\max} [(\text{m/sec.})^2]$: コスト最小化の HGA モデルを適用した際に得られる費用総額及び管内流速の安定性指標を与

表-4 最適化モデルの適用結果

単位: [mm]

管路番号	現状の管径	HGAモデル	多目的HGAモデル
1	500	(500)	(500)
2	400	250	300
3	300	250	300
4	200	100	150
5	100	75	100
6	100	75	75
7	100	75	75
8	100	75	75
9	100	75	75
10	300	200	250
11	100	75	75
12	300	200	200
13	100	75	100
14	100	75	100
15	100	75	100
16	100	75	100
17	200	75	150
18	100	75	75
19	100	75	75
20	300	150	150
21	300	150	150
22	100	75	100
23	100	100	100
24	100	75	100
25	300	200	150
26	300	200	150
27	150	100	75
28	100	75	100
29	150	150	75
30	100	100	100
31	100	100	75

注1) 淡色のセルは、現状の管径に対しダウンサイジング化が可能な管路を示す。

注2) 濃色のセルは、多目的HGAモデルにおいてさらにダウンサイジング化された管路を示す。

注3) 下線付き太字は、ダウンサイジング化の内、HGAモデルより大きい管径を選択した管路を示す。

えることにする。なお、次節に示す適用結果は、GA パラメータについては過去の研究⁵⁾を考慮して決定し、個体数 500、世代数 1000、交叉率 0.8、突然変異率 0.07 を用いた。実行は FORTRAN プログラムで行い、Windows2000 のデスクトップで各ケース 10 分程度の計算時間を要した。

(3) 適用結果と考察

対象地域における管網更新計画に関して、「管路建設の経済性」のみを目的とする HGA モデルと、これに第二の指標となる「管内流速の安定性」も加味する多目的 HGA モデルを適用し、現行の管径を維持して更新した場合との比較・考察を試みる。なお、今回のケーススタディでは、乱数条件の異なる複数回の試行結果の内、最

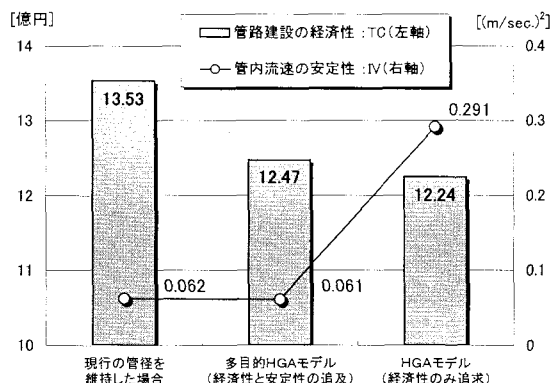


図-4 管路建設の経済性及び管内流速の安定性に関する比較

も適応度の高い個体(解)を各モデルの最終的な計画代替案としている。

まず、両者のモデルを適用して得られた計画代替案の内容を表-4に示す。コスト最小化を目的としたHGAモデルでは、配水池から遠く離れた4本の管路(管路番号23, 29, 30, 31)を除く、他の26本の管路において、現状より小さい管径を選択する計画案が得られた。一方、多目的HGAモデルについては、コスト最小化モデルの計画案と比較し、大きな管径を選択する管路が13本、等しい管径を選択する管路が12本あり、残りの5本(表中の濃色セル)ではさらに小さい管径を選択する結果となった。多目的HGAモデルでは、管内流速の安定性に関する目標が付加されるため、この目標を向上すべく、管路番号1~5及び10の配水池近傍の管路を中心にダウンサイジング化を緩める内容となっている。しかし、配水池から遠く離れた管路(管路番号25~27, 29及び31)から理解できるように、管路・節点の水利的な制約を満足する範囲内で管径をより小さくすることが可能な場合には、コスト最小化を目標とした計画案に比べ、より厳しいダウンサイジングを実行していることがわかる。

つぎに、各モデルの計画代替案を総合的に評価するため、管路更新に要する費用総額TC[億円]及び管内流速の安定性指標IV[(m/sec.)²]の関係を図示すると図-4のようになる。「管路建設の経済性」に着目すると、現行の管径を維持して更新を実施した場合(図中左側、13.53[億円])と比べ、多目的HGAモデル、HGAモデルともに、1億円以上の削減効果が期待できる。ただし、「管内流速の安定性」に関しては、HGAモデルに悪化が見られ、現行の0.062から0.291[(m/sec.)²]へと安定性を損なっている反面、多目的HGAモデルでは、現行の管径を選択する場合よりもわずかながら改善する結果となった。

以上より、本論文で提案した多目的HGAモデルは、水質面での水道サービス水準に影響を及ぼす「管内流速

の安定性」を犠牲にすることなく、「管路建設の経済性」をも向上させる管網更新計画代替案を策定可能であることが明らかとなった。

5. おわりに

本論文では、管網更新計画の最適化を中心テーマに掲げ、その計画立案に要求される経済性やサービス水準の向上を可能にする最適化モデルの提案を行った。以下に、本論文の主要な成果を列記する。

- 1) 管網更新計画に関する問題の定式化を行い、管路及び節点の水利的な制約条件を満たしながら、管路建設コストの最小化を目的とした数理計画問題について述べた。また、配水区域内におけるサービス水準の公平性にも着目し、対象の最適化問題に加味すべき第二の目的関数として、管内流速の安定性に関する指標を定めた。
- 2) 定式化された問題に対する最適化手法として、管網解析プログラムを内在化させた「ハイブリッドGAModel (HGAモデル)」を提案した。さらに、経済性の向上と管内流速の安定化という2つの目的を最適化するための「多目的HGAモデル」を検討し、異なる目的関数の基準化・統合化について説明した。
- 3) 提案したモデルの有用性を明らかにするため、1配水池21節点31管路で構成される配水管網を対象にケーススタディを行った。多目的HGAモデルの適用では、管路建設コストの削減はもとより、管内流速の安定化も同時に期待できる計画代替案が示された。

今後の水道事業経営に関する課題として、多くの水道事業体が懸念しているのは「施設の更新」であろう。管路施設の老朽化がピークを迎えようとする重要な局面に、将来の配水管網のあるべき姿を描き、その理想に沿った施設更新・再構築の長期プラン^{14), 15)}を打ち出すことが、更新計画に取り組む上での第一歩と考える。本論文で展開したシステム計画論の考えや最適化手法の適用が、実際のフィールドで積極的に活用されることを期待している。

謝辞：本論文の一部は(財)水道技術研究センターによるEpochプロジェクトの研究成果であることを付記し、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 厚生労働省健康局：水道ビジョン，2004
- 2) Goldberg, D. E. : Genetic Algorithms in Search, Optimization, and

- Machine Learning, Addison- Wesley, pp. 27-88, 1989
- 3) 北野宏明編：遺伝的アルゴリズム, pp. 43-60, 産業図書, 1995
 - 4) 三宮信夫, 喜多一, 玉置久, 岩本貴司：遺伝的アルゴリズムと最適化, pp. 8-32, 朝倉書店, 2000
 - 5) 小泉明, 稲員とよの, 荒井康裕, 工藤大：遺伝的アルゴリズムによる配水管網の漏水防止制御計画, 水道協会雑誌, 第839号, pp. 20-30, 2004
 - 6) 茨木俊秀：組合せ最適化 分枝限定法を中心として, pp. 1-12, 産業図書, 1983
 - 7) Greenberg, H. (真鍋龍太郎訳) : Integer Programming, pp. 38-66, 培風館, 1976
 - 8) 小泉明, 稲員とよの, 吉井恭一朗：配水管理を目的とした管網形状の評価指標の提案, 土木学会第59回年次学術講演会講演集, pp. 1-2, 2004
 - 9) 高桑哲男：配水管網の解析と設計, pp. 89-127, 森北出版, 1978
 - 10) A. Koizumi, T. Inakazu, and S. Kawaguchi : Graphic Representation of Pipe Networks Analysis, The 6th Asia Pacific Regional Water Supply Conference, pp. 405-417, 1987
 - 11) 大内東, 山本雅人, 川村秀憲：マルチエージェントシステムの基礎と応用, pp. 91-135, コロナ社, 2002
 - 12) 小泉明：最適配水管網システムに関する基礎的研究—最適配水管網構築モデルの提案—, 水資源の有効利用に資するシステムの構築に関する研究 (Epoch プロジェクト) 報告書, 財団法人水道技術研究センター, 2005
 - 13) 小泉明, 稲員とよの, 具滋茸, 榊原康之：多目的ファジィ線形計画法による月別水運用計画モデル, 水道協会雑誌, Vol. 66, No. 5, pp. 2-9, 1997
 - 14) 小棚木修, 小泉明, 渡辺晴彦：水道管路の更新順序と投資水準の適正化に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol. 31, pp. 169-177, 2003
 - 15) A. Asakura, A. Koizumi, O. Odanagi, H. Watanabe and T. Inakazu: A Study on Appropriate Investment of Pipeline Rehabilitation for Water Distribution Networks, Proceedings of 4th IWA Water Congress and Exhibition, ID117223 (8 pages, CD), 2004

MULTIPURPOSE HGA MODEL FOR OPTIMIZATION OF WATER DISTRIBUTION NETWORK SYSTEM

Akira KOIZUMI, Toyono INAKAZU, Yasuhiro ARAI and Kyoichiro YOSHII

The purpose of this study is to propose an optimization method using genetic algorithm(GA) for selecting appropriate pipe diameter in the replacement planning of water distribution network. Firstly, we formulated the mathematical programming problem to minimize the pipeline replacement cost under the hydraulic constraints such as flow velocity in each pipe and water pressure at each node. In addition to the economical perspective, we considered the stability of flow velocity in pipes as another objective function of the multipurpose programming problem. Secondly, we made GA model combined with hydraulic pipe network analysis, which is referred to as HGA model. Finally, we conducted a case study to show the validity of our proposed model. As a result, it was revealed that our multipurpose HGA model was useful for the optimization of pipeline replacement planning.