

G Aを用いた雨水管路網設計の基礎的研究

九州共立大学工学部 正会員 ○荒尾 慎司 九州共立大学工学部 正会員 三原 徹治
 同 上 安食 友和 同 上 吉松 主税
 九州大学工学部 フェロー 楠田 哲也

1. はじめに

下水道施設の中で、雨水管路は主に都市部の雨水を速やかに排除し、浸水被害を防除することを目的として整備されている。雨水管路の設計を行う際には、建設対象地域の地理的諸条件、雨水管路への流入水量を算出する際の水文学的諸条件、管内流速や損失水頭に関する水理学的諸条件、マンホールや接合管路に関わる構造的諸条件などの種々の要素を考慮しなければならないため、現在でも合理的な設計が得られにくい状況にある。このような雨水管路網（管路とマンホールの総称）の設計をより合理的に行うためのひとつの方策としてG Aの適用可能性を検討するため、本研究では管径とマンホール径（号数）のみを設計変数とする離散的最適設計問題を設定し、交配個体選択G Aを用いた簡単な数値計算例により提案法の妥当性を検証する。

2. 損失水頭最小化規準による雨水管路網最適化問題の定式化

現行の雨水管路の設計基準では、確率年で5～10年の最大計画雨水流出量が円形管路では満管流れで自然流下できればよいことになっている。計画降雨規模以上の降水でしかも降雨強度が非常に大きい場合には、管路は圧力管水路流れとなり、マンホール等からの溢水により浸水被害をもたらすことがある。このような計画降雨規模以上の降雨に対してより安全な設計条件を考えると、雨水管路網のエネルギー損失が極力小さくなるように管路網の各種構造寸法や平面的配置計画を立案することが必要であると思われる。家屋や道路等への降水が雨水管路へ流入し、管内を流下する際には、式（1）に示すようにマンホールでの損失を含めた雨水管路網のエネルギー損失水頭 E' を考慮する必要がある。

$$E' = \sum (f_i \cdot L_i / D_i + K_i) \cdot (V_{di}^2 / 2g) \cdots \cdots (1)$$

ここに、 f_i は管路の摩擦損失係数、 L_i は流出管の管長、 D_i は流出管の内径、 K_i は管路 D_i の上流側に接合するマンホールのエネルギー損失係数、 V_{di} は流出管の断面平均流速、 g は重力加速度である。

2.1 設計基本式

本研究では研究目的から、雨水管路網に求められる最も基本的特性である“雨水が上流から下流へスムーズに流れる”ことに着目し、式（1）で算定される管路網全体の損失水頭の最小化を最適性規準とする。雨水管路網の最適設計基本式は次式のように定式化される。

設計変数：マンホール径（号数）、管径

目的関数： $E' \rightarrow \min. \cdots \cdots (2)$

$$\text{制約条件：} V^L \leq V_i \leq V^U \cdots \cdots (3) \quad V_j^U \leq V_j^D \cdots \cdots (4) \quad \text{管路網} \in \text{適合格路網} \cdots \cdots (5)$$

ここに、 i ＝管路番号、 V_i ＝第 i 番目管の流速、 V^U, V^L ＝管流速の上・下限値で $[V^L, V^U] = [0.8, 3.0] \text{m/sec}$ 、 j ＝起点マンホールを除くマンホール番号、 V_j^U, V_j^D ＝第 j 番目マンホールの上流管および下流管の流速である。また、マンホール号数それぞれについて接合管路の適合格径が制限されるため、任意のマンホール号数に接合する管路において不適合格径が1つもないことが必要である。このような組合せを適合格路網と呼び、式（5）は構造的な制約条件を表している。

2.2 評価関数

ここでは、式（5）が満足されているか否かにより次のような2種の評価関数 F を使い分けることにする。

適合格路網の場合： $F = F_0 - E' - \gamma \sum G_k \rightarrow \text{Max} \cdots \cdots (6)$

不適合格路網の場合： $F = F_0 - \gamma' N_v \cdots \cdots (7)$

ここに、 F_0 = 適合管路網に対する評価関数値の理想値 (= 固定値)、 ΣG_k = 式 (4) の制約条件を $G_k \leq 0$ に変換した場合の G_k 値 (ただし、 $G_k \leq 0$ のとき $G_k = 0$) の総和、 γ = 適合管路網に対する罰金係数、 F'_0 = 不適合管路網に対する評価関数値の理想値 (= 固定値 $\leq F_0$)、 γ' = 不適合管路網に対する罰金係数、 N_v = 不適合管の総数である。

3. 数値計算例

交配個体選択 GA を用いた提案法の妥当性を検証するため図-3 に示す雨水管路網モデルを対象とした数値計算例を示す。ここに、決定すべきマンホール号数の数 (起点マンホール 2 箇所を除く) = 18、管径の数 = 20 であり、組合せ総数は 5.6×10^{14} と概算される。現実的には各マンホールへ雨水流入量を与える必要があるが、今回は GA の適用可能性に焦点を絞っているため、2 つの起点マンホールから各々 $0.0919 \text{ m}^3/\text{sec}$ の流入雨水を管路網の吐き口まで流下させることにした。評価関数値 F の算出には $F_0 = 100.0$ 、 $\gamma = 5.0$ 、 $F'_0 = 50.0$ 、 $\gamma' = 2.0$ を使い、交配個体選択 GA の計算パラメータ値は人口数 $N_p = 1,000$ 、突然変異発生確率 $P_m = 0.3$ 、最大計算世代数 = 500、交配個体設定数 $N_s = 100, 105, \dots, 200$ の 21 ケースとした。いずれの N_s でも評価関数値 F が 92.04 以上の十分に実用的な解を得ることができた。それらのうち最も良好な解が得られた $N_s = 100$ のときの特徴的な解を図-4 に示す。

図-4 (a) ~ (c) は順に第 1、13、345 世代における最良解を示し、○の中の数字はマンホール号数、管路を示す 2 重線の数値は管径 (m) である。図-4 (a) は人口数 1,000 個分の線列をランダムに発生させたときの最良解であるが、管径 = 0.00 の管路が会合点付近および下流域に配置された不適合管路網であり、第 12 世代までこの状況が続いた。第 13 世代で図-4 (b) に示す適合管路網が出現するが、式 (4) の制約条件は満足できていない状態である。すべての制約条件を満足し、第 345 世代で出現した最も良好な解を図-4 (c) に示す。以上のように、雨水管路網設計の最適化手法のひとつとして GA の適用可能性を示すことができた。

4. おわりに

今後は、設計変数の種類および増加に対処するため、GA の改良などのさらなる検討が必要である。

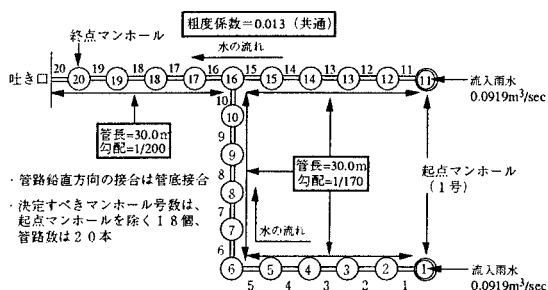
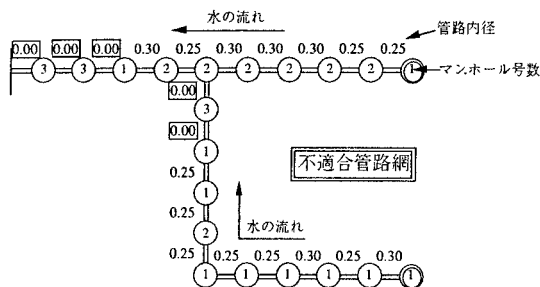
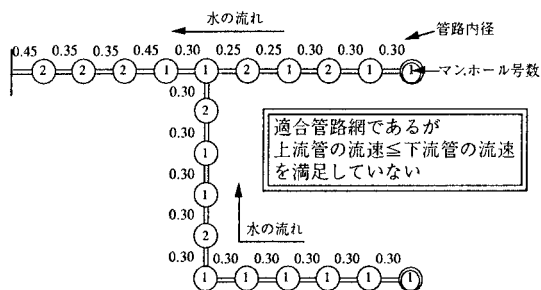


図-3 雨水管路網モデル



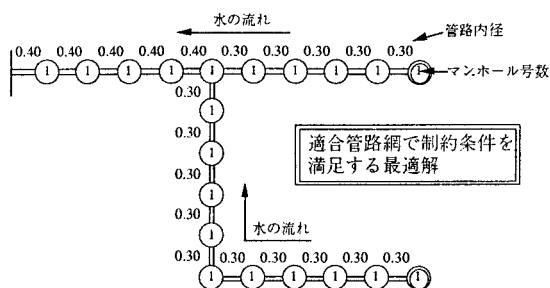
(a) 第1世代: $F = 40.0000$

図-4 (a) 第1世代の計算結果



(b) 第13世代: $F = 81.2939$

図-4 (b) 第13世代の計算結果



(c) 第345世代: $F = 94.1721$

図-4 (c) 第345世代の計算結果