

GAによる雨水管路網の管勾配決定法に関する一考察

九州共立大学工学部 学生会員 小松正伸, 柴田公城
九州共立大学工学部 正 会 員 三原徹治, 荒尾慎司
九州大学工学部 正 会 員 楠田哲也

1. 緒 言 円管および円形マンホールで構成される雨水管路網を対象に著者らは先に管勾配 S を決定する一方法として、交配個体選択GA(scsGA)による解法を示した¹⁾。つまり、雨水管路網の全損失(管摩擦損失+マンホール損失)を最小化するような管径 d およびマンホール径 D を解特性法と名付けた一種の最適性規準法によって決定しながら、費用関数を最小化する管勾配 S を求めるものである。ただし、解法としての適用性の検討に重点をおいたため、個々の管勾配 S_i (i は後述する要素番号)の解候補を1, 2, ..., 8%と粗く設定した場合しか検討していない。

そのような意味で、管勾配 S_i の解候補を細かくした場合の提案手法による解特性を検討することは、単に管勾配 S_i の解候補の与え方の影響を調べるのみならず、提案手法の妥当性の確認にもつながる。よって本研究では管勾配 S_i を0.5, 1.0, ..., 8.0‰と従来より細かく設定した数値計算を行い、従来の解との比較・検討を行う。

2. 設計基本式と解法の概要¹⁾

(1) 解特性法による管径 d 、マンホール径 D の決定:

本研究で対象とする管路網の概況を図-1に示す。ここに、あるマンホールとその直下流管を要素と呼び、各要素には要素番号 i を与える。また、最上流に位置するマンホールを起点マンホール(無条件に内径90cmの1号マンホールが配置)、起点マンホールを含む要素を起点要素と呼ぶ。なお、雨水管路網の水理計算ではすべてのマンホールから雨水が流入すると仮定して計算することが多いが、ここでは簡単化のため起点マンホールからのみ流入する場合(その流入量を Q_{in} とする)を想定する。このとき、ある管勾配 S が与えられると全損失を最小にする d_i 、 D_i を次式により決定できる。

$$i) \text{ 起点要素の場合: } d_i = \max_k [d_k \in \max(V^L, V_{mi}) \leq V_i \leq V^U], D_i = 90\text{cm}, \text{-----} (1a, b)$$

$$ii) \text{ その他の場合: } d_i = \max_k [d_k \in \max(V^L, V_{mi}, V^U_i) \leq V_i \leq V^U], D_i = \min_j [D_j \in \text{配置可能}] \text{ (1c, d)}$$

ここに、 d_k =全15種の管径規格の k 番目データ、 D_j =全4種のマンホール規格の j 番目データ、 V_i =要素 i の管流速、 V^U_i =要素 i の直上流要素の管流速、 V^U, V^L =設計規準による管流速の上下限值、 V_{mi} =要素 i の管の満管流れを保証する流速である。

(2) 管勾配 S の決定問題: よって、費用関数 C を最小化する管勾配 S を決定する問題を次のように定式化する。

$$\text{目的関数: } C = \sum D_i^2 \Delta_i \rightarrow \min, \text{-----} (2a)$$

$$\text{制約条件: 管路網} \in \text{適合管路網}, \Delta_i \geq H_a + d_{\max}, \{d, D\} = \text{式(1)による値.} \text{-----} (2b, c, d)$$

$$\text{ただし, } \Delta_i = H_i - Z_i, d_{\max} = \min_k [d_k \geq \{(4/\pi)(Q_{\max}/V^U)\}^{0.5}], Q_{\max} = \max_j [Q_j].$$

ここに、 H_i =要素 i のマンホール直上の地表面標高、 Z_i =要素 i のマンホール底面の標高、 H_a =許容土被り厚(本研究では1.2mに固定)、 Q_i =要素 i の流量である。管勾配 S の解候補を離散的に与えると式(2)は組合せ最適化問題となるので、その解法にscsGAを適用する。このとき無制約最大化形式で定義される評価関数 F には、制約条件がすべて満足されているか否かによって次式のように使い分ける方法を採用する。

$$i) \text{ 制約条件がすべて満足されるとき: } F = F_0 - C, \text{-----} (3a)$$

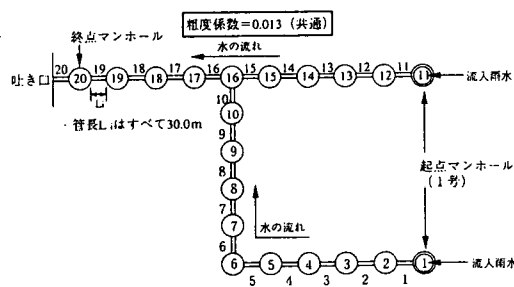


図-1 対象管路網の概況

$$ii) \text{制約条件のいずれかが満足されないとき: } F = F'_0 - \gamma_1 N_1 - \gamma_2 N_2. \quad (3b)$$

ここに、 F_0 ＝制約条件がすべて満足されるとき基準値、 F'_0 ＝制約条件のいずれかが満足されないときの基準値($\leq F_0$)、 N_1 、 γ_1 ＝式(2b)が満足されない場合の不適合管または不適合マンホールの個数とペナルティー係数、 N_2 、 γ_2 ＝式(2c)を犯す要素数とペナルティー係数である。またGAオペレーションの直接対象となる線列には、単純に各 S_i を要素番号順に並べたbinary線列全体をgray線列に変換して用いる。

3. 数値計算および考察 流入量 $Q_{in}=0.35\text{ m}^3/\text{sec}$ 、管流速の制限値(V^L, V^U)= $(0.8, 3.0)\text{ m/sec}$ 、地表標高 H を図-2に示すように与えた場合の数値計算を行った。なお、式(3)の定数は $F_0=100$ 、 $F'_0=50$ 、 $\gamma_1=5$ 、 $\gamma_2=2$ とし、解探索に用いたGA的パラメータは人口数=1,000、突然変異発生確率=0.3、計算世代数=300、交配個体数=100, 110, ..., 200とした。図-2に最適解の情報を模式的に示す。ここに最適解の判定は、Spread Sheet上に構築した試行錯誤的設計システム(管勾配 S の入力→式(2c)の制約条件値と式(2a)の C 値の出力)を用いて、交配個体数を変化させて行った最適化計算の最も良好な解をベースに種々の管勾配 S について検討した結果に基づく。また、図中のCase IおよびIIは管勾配 S_i の離散値データをそれぞれ1～8‰および0.5～8.0‰とした場合を意味する。

Case I では、上流部では地表勾配と同じ5‰が多く選択され、 $i=6\sim10$ の水平部では離散値データの最小値1‰が多く、 $i=16\sim20$ の下流部では逆に最大値8‰が多く選択されており、下流部の埋設深さをある程度犠牲にしても上流部の埋設深さをできるだけ小さくするような管勾配となっている。この傾向はCase IIではさらに強まっている。すなわち、離散値データを細かく設定したためCase Iでは1.82mだったクリティカルな埋設深さが1.81mと小さくなり、その全部が上流部に集中し、逆に、下流部の埋設深さはCase Iに比較して全般に若干大きくなっている。

ただし、目的関数値 C に関しては、Case IIの $C=34.1127$ はCase Iの $C=34.1613$ に比較してわずかに小さいだけであり、本計算例においては離散値データの精粗が目的関数値に及ぼす影響はさほど大きくないことが認められた。

参考文献 1) 荒尾, 三原, 楠田: マンホール損失を考慮した雨水管路網設計の最適化に関する一研究, 土木学会論文集, 1999. 2.

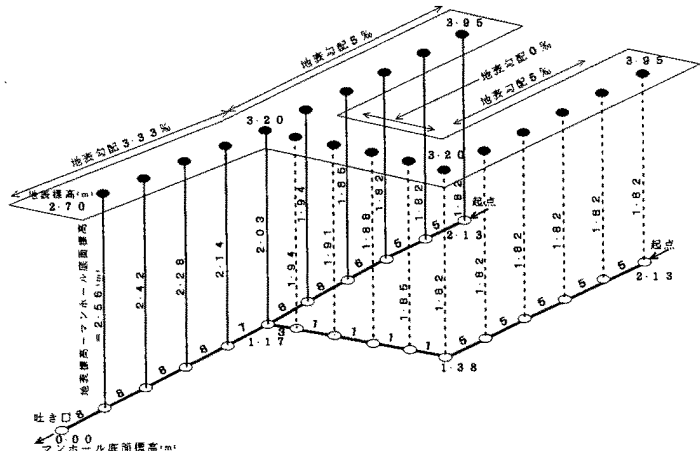


図-2(a) Case I の最適解 (模式図)

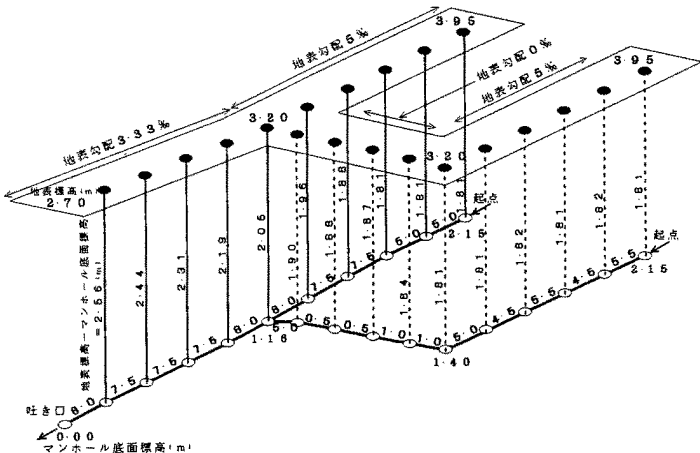


図-2(b) Case II の最適解 (模式図)