

(13) 最適化手法を用いた雨水管路網の設計に関する一考察

ON THE OPTIMAL DESIGN METHOD OF STORM SEWER NETWORK BY USING THE OPTIMIZATION TECHNIQUE

三原徹治* 荒尾慎司** 楠田哲也***

Tetsuji MIHARA, Shinji ARAO and Tetsuya KUSUDA

* 工博 九州共立大学助教授 工学部土木工学科 (〒807-8585 北九州市八幡西区自由ヶ丘1-8)

** 博(工) 九州共立大学助教授 工学部土木工学科

*** 工博 九州大学教授 工学研究科都市環境システム工学専攻

The authors had proposed the optimal design method of the storm sewer network considering with the manhole energy loss. The manhole and pipe diameters are determined by the optimality criteria method based on the minimization of the friction loss and manhole energy loss while the pipe slope and other conditions are known. Overmore, the pipe slope is determined by the genetic algorithm based on the minimization of a cost performance function.

In this paper, the effect of the inflowing pattern for the optimality criteria method and the effect of the discrete data for the pipe slope determining problem are made to clear by the some numerical examples.

Key Words : storm sewer network, optimality criteria method, genetic algorithm

1. はじめに

雨水管路網の設計に際しては、多種多様な考慮条件が存在するため現在でも合理的な設計が得られにくい状況にある。同時にマンホールにおける損失が設計基準に考慮されていないという問題点も指摘される。これら難点の克服を目的として著者らは、円管および円形マンホールで構成される管路網を対象に管勾配 S を既知として管径 d およびマンホール径 D を決定する全損失(管摩擦損失+マンホール損失)最小化問題を提示し、遺伝的アルゴリズムによる解法、さらには最適解の特性を活用して簡便に最適解を求めることができる「解特性法」を示した。同時に、その解特性法を活用しながら掘削土量に基づく費用関数を最小化するように管勾配 S を求める方法について基礎的に検討してきた¹⁾。ただし、いずれにおいても解法としての適用性の検討に重点をおいたため、前者では、雨水管路網の水理計算において最上流に位置するマンホール(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)からのみ流入する場合に限定しており、後者では個々の管勾配 S_i (i は後述する要素番号)の離散値データを1, 2, ..., 8‰と粗く設定した場合しか検討していない。

そこで本研究では、まず、流入パターンの変化が全損失を最小にする最適管路網に及ぼす影響を検討するために、3種類の流入パターンによる最適設計結果を示す。次に、管勾配 S_i の離散値データを0.5, 1.0, ..., 8.0‰と従来より細かく設定した場合の数値実験により、離散値データの精粗が得られる解に与える影響を調べるとともに、解法に用いる交配個体選択GA(scsGA)の最適化

ツールとしての有用性をも検討する。

2. 解特性法における流入パターンの影響

本節では、解特性法において流入パターンが、管路網設計に及ぼす影響を検討する。そのため、まず、原設計問題および解特性法の概要を述べてから、数値実験による検討結果を示す。

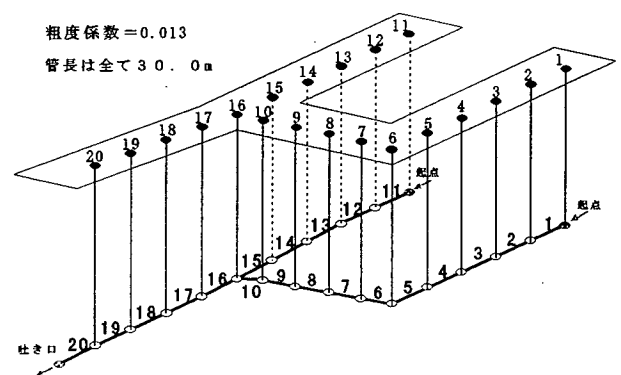


図-1 対象管路網の概況

2.1. 原設計問題

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、起点マンホールを含む要素を起点要素と呼ぶ。このとき、管径 d には全15種、マンホール径 D には全4種の規格値が準備されているが、ある管路のとりうる管径は、その上・下流マンホール号数と下流マンホール接合形態との関連とから限定される。

したがって、管径 d 、マンホール径 D を設計変数とし、全損失 E' の最小化を図る最適設計問題は式(1)のような組合せ最適化問題として定式化できる。

$$\text{目的関数: } E' = E'_P + E'_M \rightarrow \min, \quad \text{----- (1a)}$$

$$\text{制約条件: } V^L \leq V_i \leq V^U, \quad \text{----- (1b)}$$

$$V_{mi} \leq V_i, \quad \text{----- (1c)}$$

$$V^u_i \leq V_i, \quad \text{----- (1d)}$$

$$\text{管路網} \in \text{適合管路網}, \quad \text{----- (1e)}$$

$$d_i \in \text{管径の規格値}, \quad \text{----- (1f)}$$

$$D_i \in \text{マンホール径の規格値}, \quad \text{---- (1g)}$$

ここに、 E'_P 、 E'_M =それぞれ管路網全体の管摩擦損失水頭、マンホール損失水頭、 d_i 、 D_i 、 V_i 、 V_{mi} =それぞれ要素 i の管径、マンホール径、管流速、満管流れを保証する流速であり、 V^u_i =要素 i の直上流要素の管流速、 V^U 、 V^L =管流速の上・下限値である。

2. 2. 解特性法による解法

式(1)の解法に交配個体選択GA (scsGA)を用いて種々の条件下で最適解を求め、その後最適解の解特性を検討することにより、 d_i 、 D_i を次のように決定できることが判明した。

i) 起点要素の場合：

$$d_i = \max[d_k \in \max(V^L, V_{mi}) \leq V_i \leq V^U], \quad \text{-- (2a)}$$

$$D_i = 90\text{cm}, \quad \text{----- (2b)}$$

ii) その他の場合：

$$d_i = \max[d_k \in \max(V^L, V_{mi}, V^u_i) \leq V_i \leq V^U], \quad \text{----- (2c)}$$

$$D_i = \min[D_j \in \text{配置可能}], \quad \text{----- (2d)}$$

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 番目データである。

2. 3. 数値計算による流入パターンが及ぼす影響の検討

(1) 流入パターンの設定

ここでは表-1に示すような3種類の流入パターンを設定した。パターンⅠは起点マンホールからのみの流入量を変化させて最適管路網を探るもので、文献1)で採用した流入方法である。パターンⅡは起点マンホール以外に結節的なマンホールとして選定したマンホール⑥、⑩に常に0.05m³/sの流入を設定したものである。パターンⅢは起点マンホールに0.05～0.84m³/sの変化流入を、その他すべてのマンホールに常に0.01m³/sの固定流入を設定

したものである。

なお、解特性法においては管路勾配は固定される必要があるので、ここでは要素16～20では5.00‰、その他の要素では5.88‰に固定した。

(2) 検討結果

いずれの流入パターンにおいても起点マンホールからの流入量を変化させて最適管路網を探索した。吐き口における流量、すなわち総流出量 Q_{out} をパラメータとして整理した結果を表-2および図-2に示す。 Q_{out} 値の変化に伴い、パターンⅠ、Ⅱではそれぞれ9種類の、そしてパターンⅢでは7種類の管路網タイプが出現している。

ここに管路網タイプの種別を示すアルファベット記号には、複数の流入パターンで出現したものには大文字を、ある特定の流入パターンのみに出現したものには小文字(斜体)を用いている。

いずれの流入パターンでも Q_{out} 値が大きくなると当然のことながら大きな管径およびマンホール径の組合せに段階的に移行しており、 Q_{out} 値が比較的小さいときに管路網タイプ変化の頻度が高いことがわかる。パターンⅠとⅡでは、解が得られる Q_{out} 値の範囲が若干異なるが、 Q_{out} 値に対して連続的に解が得られ、その管路網タイプも全般に似通っていることがわかる。 Q_{out} 値が小さいときに管路網タイプが異なるのは、マンホール⑥、⑩からの固定流入量0.05m³/sの影響が大きいためと考えられる。

一方、パターンⅢは、実設計において多用されている流入パターンであるが、適合管路網が形成されないことによって解が得られない場合もあることが他のパターンにない特徴である。これは、実設計において適合管路網が得られないとして、直ちに管路勾配の変更を余儀なくされていることと符合する結果である。

以上から、流入パターンの設定が得られる管路網タイプに及ぼす影響が決して小さくないことが認められると同時に、若干、安全側の設計になるくらいはあるが、パターンⅠの流入パターンが、得られる解の連続性および妥当性から、最も適した流入パターンと評価することができる。

3. 管路勾配決定問題における離散値データの精粗の影響

本節では、scsGAによる管路勾配決定問題において、離散値データの精粗が解に及ぼす影響について検討する。そのため、管路勾配の決定問題を略述した後、管路勾配の離散値データ設定に精粗の差を持たせた場合の影響に関する数値実験結果について述べる。

3. 1. 管路勾配 S の決定問題

いま、 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

表-1 流入パターンと

マンホールからの流入量(m³/s)

流入 パターン	マンホール番号		
	①, ⑪	⑥, ⑩	その他
Ⅰ	0.05～0.84	0.00	
Ⅱ	0.13～0.84	0.05	0.00
Ⅲ	0.05～0.84	0.01	

表-2 解特性法による計算結果(管径 (cm), マンホール径 (cm)と管路網タイプ)

流入 パターン	Q _{Out} (m ³ /s)	管路番号				マンホール番号								管路網
		1-5	6-10	11-15	16-20	①、⑪	②-⑤	⑥	⑦-⑩	⑫-⑮	⑯	⑰-⑳	タイプ	
Ⅰ	0.10-0.16	25			30	90	90	90	90	90	90	90	a	
	0.18-0.22	30			40	90	90	90	90	90	90	90	B	
	0.24-0.30	35			45	90	90	90	90	90	90	90	C	
	0.32-0.42	40			50	90	90	90	90	90	90	90	D	
	0.44-0.56	45			60	90	90	90	90	90	90	90	E	
	0.58-0.64	50			60	90	90	120	90	90	120	90	F	
	0.66-0.94	50			70	90	90	120	90	90	120	120	G	
	0.96-1.40	60			80	90	90	120	90	90	120	120	H	
1.42-1.68	70			90	90	120	150	120	120	150	120	I		
Ⅱ	0.20-0.24	25	30	25	40	90	90	90	90	90	90	90	j	
	0.26-0.32	30	35	30	45	90	90	90	90	90	90	90	k	
	0.34-0.40	35	40	35	50	90	90	90	90	90	90	90	l	
	0.42-0.46	40	45	40	60	90	90	90	90	90	90	90	m	
	0.48-0.52	40	40	40	50	90	90	90	90	90	90	90	D	
	0.54-0.66	45	45	45	60	90	90	90	90	90	90	90	E	
	0.68-1.04	50	50	50	70	90	90	120	90	90	120	120	G	
	1.06-1.50	60	60	60	80	90	90	120	90	90	120	120	H	
1.52-1.78	70	70	70	90	90	120	150	120	120	150	120	I		
Ⅲ	0.36	30			40	90	90	90	90	90	90	90	B	
	0.42-0.46	35			45	90	90	90	90	90	90	90	C	
	0.50-0.58	40			50	90	90	90	90	90	90	90	D	
	0.62-0.74	45			60	90	90	90	90	90	90	90	E	
	0.76-0.82	50			60	90	90	120	90	90	120	90	F	
	1.14-1.48	60			80	90	90	120	90	90	120	120	H	
	1.60-1.86	70			90	90	120	120	120	120	120	120	n	

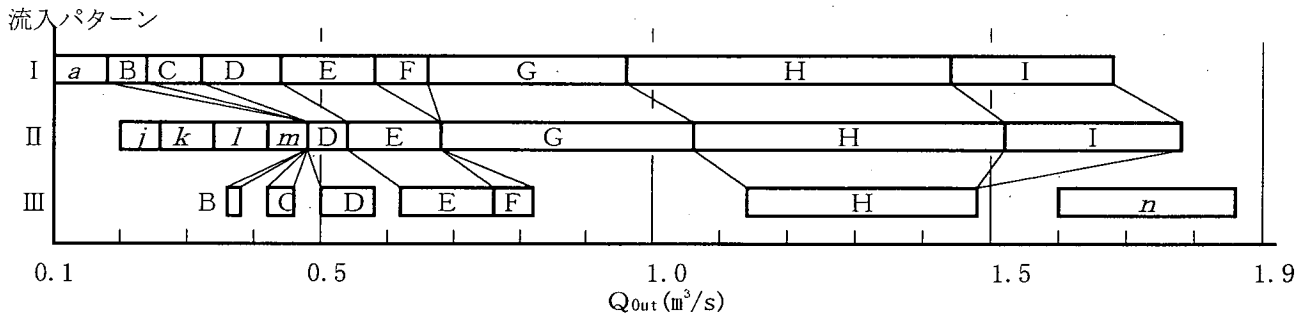


図-2 流入パターン別の Q_{out} ~ 最適管路網タイプ関係

厚(本研究では1.2mに固定), Q_i =要素 i の流量とすると, 前節で述べた解特性を活用することを前提として, 費用関数 C を最小化する管勾配 S を決定する問題は次のように定式化される.

$$\text{目的関数: } C = \sum D_i^2 \Delta_i \rightarrow \min, \quad (3a)$$

$$\text{制約条件: 管路網} \in \text{適管路網}, \quad (3b)$$

$$\Delta_i \geq H_a + d_{\max}, \quad (3c)$$

$$\{d, D\} = \text{式(2)による値}, \quad (3d)$$

ただし, $\Delta_i = H_i - Z_i$,

$$d_{\max} = \min[d_k \geq \{(4/\pi)(Q_{\max}/V^u)\}^{0.5}],$$

$$Q_{\max} = \max[Q_i].$$

ここで, 管勾配 S の解候補を離散的に与えると式(3)は組合せ最適化問題となるので, その解法に交配個体選択 GA (scsGA) を適用する.

3.2. 離散値データ設定の精粗が解に及ぼす影響

(1) 数値実験の概要

前節の流入パターンの検討結果から, 起点マンホールのみからの流入を想定し, 各起点マンホールからの流入量を $Q_{in} (m^3/sec)$ とする. 管流速の制限値 (V^L, V^U) = (0.8, 3.0) m/sec とし, 流入量 $Q_{in} (m^3/sec)$ および地表標高 $H (m)$ によって表-2に示す3ケースを設定し, それぞれのCase I ~ IIIに対して管勾配 S_i の離散値データを1 ~ 8‰を設定した場合(以下, Case I-1などと表記)および0.5 ~ 8.0‰を設定した場合(同様にCase III-2などと表記)の数値計算を行った. このとき, 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, 解探索に用いたGA的パラメータには人口数=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(計11試行)を用いた.

なお, 一般にGAでは最適解が得られる保証がないので, ここでは文献1)と同様にSpread Sheet上に最適解探索システム(試行錯誤的に管勾配 S を入力→式(3c)の制約条件値と式(3a)の C 値の出力→解の改良の判断・さら

に良好な解の探索)を別途準備し、計11試行のうち最も良好な解をベースに種々の管勾配Sについての検討・最適解探索を行った。

(2) 数値実験結果および観察

表-3に各実験ケースごとの最適管勾配とC値を示す。これらのイメージを明確にするためCase I-2の最適解の模式図を図-3に示す。

Case II-2およびIII-2ではscsGAで得られた最良解が最適解探索システムによって若干改良されたが、それ以外ではscsGAで得られた解より良好な解は見出せなかった。この種問題に対してもscsGAが最適化ツールとして有効に機能することが確認できた。

Case I～IIIのいずれにおいても離散値データを細かく設定した方が小さなC値が得られており、設定された問題に対してより良い解であることがわかる。しかし、その差はかなり小さく、本研究で設定した範囲で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る。しかし得られた最適管勾配に注目すると、1%以上異なる値の要素がCase I～IIIの順に3, 2, 5要素もあり、細かい離散値データの方の上流部掘削深が比較的浅くなっている。これは下流部の掘削深を犠牲にしても上流部掘削深をできるだけ小さくするように管勾配が決定されることへの離散値データの精粗の影響であり、特に要素10, 15, 16の幾何的適合のために要素10の勾配がかなり大きな値として得られていることに顕著である。

また、同じ流量であれば、地表勾配が緩やかな方がC値も小さく得られるはずである。すなわち、Case IとIIIでは、Case IIIの方が小さなC値となるはずである。しかし、粗い離散値データのときにはわずかにであるが、Case IIIの方が大きなC値となっている。これに対して、細かな離散値データを設定した場合には、Case Iの方が大きいという妥当な結果が得られている。この点において、本来の連続量を離散データ化する場合に、十分に細かく離散化する必要性が認められる。

表-3 計算ケース

	Q_{in}	H	ただし、 $H_1=\{3.95, 3.80, 3.65, 3.50, 3.35, 3.20, 3.20, 3.20, 3.20, 3.20, 3.95, 3.80, 3.65, 3.50, 3.35, 3.20, 3.10, 3.00, 2.90, 2.80\}$
Case I	0.35	H_1	
Case II	0.45	H_1	$H_2=\{3.70, 3.60, 3.50, 3.40, 3.30, 3.20, 3.20, 3.20, 3.20, 3.20, 3.70, 3.60, 3.50, 3.40, 3.30, 3.20, 3.10, 3.00, 2.90, 2.80\}$
Case III	0.35	H_2	

表-4 最適管勾配S_i(%)とC値(m³)

要素番号	上流部(1)					水平部					上流部(2)					下流部					C値
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Case I-1	5	5	5	5	5	1	1	1	1	3	5	5	6	8	8	7	8	8	8	8	34.1613
Case I-2	5.5	4.5	5.5	4.5	5.0	1.0	1.0	0.5	0.5	5.0	5.0	5.0	7.5	7.5	8.0	8.0	7.5	7.5	7.5	8.0	34.1127
Case II-1	5	5	5	5	5	1	1	1	1	2	5	5	5	8	8	5	8	8	8	8	41.2713
Case II-2	5.5	5.0	5.5	5.0	5.5	0.5	0.5	0.5	0.5	5.5	5.5	5.0	7.5	8.0	8.0	5.5	8.0	8.0	8.0	8.0	40.2399
Case III-1	4	3	3	4	3	1	1	1	1	2	4	4	6	2	7	8	8	8	8	8	34.1667
Case III-2	5.5	3.0	3.5	3.0	3.5	0.5	0.5	0.5	0.5	6.0	3.5	3.0	5.5	5.0	7.5	6.5	8.0	8.0	8.0	8.0	33.9183

4. おわりに

本研究では、雨水管路網の合理的設計法に関して先に提案した手法¹⁾について種々の数値実験的検討を行った。その結果、以下のような知見を得ることができた。

(1) 解特性法によるマンホール径・管径の決定において、流入パターンの違いは少なからず影響を及ぼし、得られる解の連続性・妥当性から起点マンホールのみからの流入が、設計に最も適していると判断される。

(2) 管路勾配決定問題において、設定する離散値データの精粗は目的関数値には大きな影響を与えないが、個々の管路勾配の分布などへの影響には小さいとはいえない。このため、本来の連続量の離散値データ化にあたっては可能な限り細かく設定する必要があると判断される。

参 考 文 献

1) 荒尾慎司, 三原徹治, 楠田哲也:マンホール損失を考慮

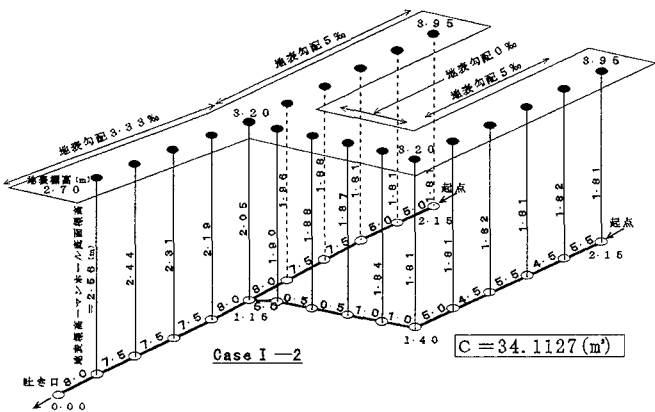


図-3 Case I-2の最適解の模式図

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, No.614/II-46, pp.109-120, 1999.2.
2) Mihara, T., Chijiwa, H. and Ohta, T.: On the Efficiency of GA with Selecting the Strings for the Discrete Optimal Problems, Proceedings of International Symposium on Optimization and Inovative Design, #105, 1997.7.