

# 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

荒尾慎司<sup>1</sup>・三原徹治<sup>2</sup>・楠田哲也<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 九州共立大学講師 工学部土木工学科 (〒807-8585 北九州市八幡西区自由ヶ丘1-8)

<sup>2</sup>正会員 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)

<sup>3</sup>正会員 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 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

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に設計がなさ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として考慮されていないという問題点も指摘されている。本論文では、このマンホール損失が設計に及ぼす影響の明確化と最適化手法の導入による設計の合理化を目的とし、管径・マンホール径および管勾配の主要設計要素に注目した設計基本式の定式化とその最適化手法について検討する。その主な内容は、管勾配を固定して管径・マンホール径を決定する全損失(管摩擦損失+マンホール損失)最小化問題の提示と一種の最適性規準法の開発、さらに、費用関数最小化を導入した管勾配決定問題の提示と遺伝的アルゴリズムによる解法の開発である。

**Key Words :** storm sewer network, manhole loss, optimal design, genetic algorithm

## 1. はじめに

大都市では、舗装の進展や緑地の減少による地下浸透能の低下によって雨水の大半が雨水管路に流入するようになってきている。雨水管路の流下能力を超える降雨があると雨水の地表面への氾濫、すなわち内水被害が発生する。この内水被害は河川の氾濫に比べて大きな被害にはならないものの、各地で頻繁に発生するため年間の水害被害額の約5割を占めている。また、近年問題視されている地球温暖化の影響予測によると、局地的集中豪雨や台風のような異常気象が今後増加すると予測されている。このことから内水排除が今後も重要な問題になると予想される。

各都市では、この内水排除の対策として雨水管路網や排水先河川の整備、貯留・浸透施設の設置がなされている。これらの内水排除施設の中で、雨水管路は「下水道施設計画・設計指針と解説-前編-」<sup>1)</sup>に示される設計基準により今まで鋭意整備されてきている。しかし、多くの考慮すべき条件、たとえば敷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、管路形状および管路の接合部であるマンホール形状、管路およびマンホールのサイズ、管路の水平面接合角度、管勾配、マンホールの上・下流管の段差等の構造的諸条件などが存在するため、現

在でも合理的に設計し難い状況にある。同時に、設計基準にマンホールにおけるエネルギー損失(以下、マンホール損失)が全く考慮されていないという問題もかかえている。例えば、渡辺<sup>2)</sup>は、雨水管路内の流れを圧力管水路流れとしたとき圧力波伝播速度が10~100m/sec程度に達することを理論的に導くとともに、マンホールが圧力管水路流れの流出特性を決定づける重要な要素であり、マンホールでの損失や貯留効果を無視した場合の流出シミュレーション結果には致命的な誤差が含まれる可能性の高いことを指摘している。また、Lindvall<sup>3)</sup>、Howarthら<sup>4)</sup>、著者ら<sup>5)~7)</sup>も主として模型実験によりマンホールでのエネルギー損失メカニズムの解明を進めるとともに、マンホール損失が管路における摩擦損失(以下、管摩擦損失)に比べて無視できない場合もあることを明らかにしてきた。

このような雨水管路網設計の最適化に関する研究は国内外においてあまり見当たらず、類似の研究として沢野らのポンプ加圧式配水管網施設の総費用(管路費用とポンプ費用の合計)最小化による最適管網設計<sup>8)</sup>があるが、雨水管路網を直接対象とする研究としては高桑らの先駆的研究<sup>9)、10)</sup>と著者らの研究<sup>11)</sup>があるに過ぎない。高桑ら<sup>9)、10)</sup>は、マンホールにおける流水断面の拡大により流水の持つ速度水頭のほとんどが失われると仮定して、管路の摩擦損失水頭と管路からマンホールへの流出損失水頭との和が管勾配と管長の

積に等しくなるように管径を算出する方法を提案している。しかし、著者らの研究<sup>5)~7)</sup>により流水の持つ速度水頭の一部しか失われないことが判明しており、この方法では管径をやや過大評価することになると考えられる。

本論文は、雨水管路網の設計に内在する問題点を克服するための第一歩として文献11)で提案した手法の推進を意図するもので、管径・マンホール径および管勾配を主要設計要素とする雨水管路網の設計にマンホール損失を考慮する意義を明確にすることと最適化手法の導入によって設計の合理化を図ることを目的とする。そのため、まず、管勾配を固定した全損失(=管摩擦損失+マンホール損失)最小化による管径・マンホール径決定問題の定式化と遺伝的アルゴリズム(GA)<sup>12)</sup>を用いた数値計算結果を提示する。次に、得られた最適解の特性分析結果に基づき開発した“解特性法”を概説する。さらに、費用関数最小化を導入して管勾配をも設計変数とする2目的問題を定式化し、“解特性法”を活用したGAによる解法の開発および数値実験による検討結果を示す。

## 2. 対象管路網と損失解析

### (1) 対象管路網

本論文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管路要素(以下、要素)と呼ぶこととし、また、最上流に位置するマンホールを起点マンホール、起点マンホールを含む要素を起点要素と呼ぶ。各要素には、上流要素から下流要素へ一連の要素番号を与える。ただし、図-1に示すように、要素番号を付与された要素が合流点に達し、しかも要素番号のない起点要素が存在する場合には、次の要素番号をその起点要素に付与する。以後、要素番号を示す記号には*i*を用い、*I*を要素総数とする(図-1に示す対象管路網は全20要素で構成されているので*I*=20である)。

なお、マンホール損失の解明に関する研究の現況から、本論文では円形マンホールと円管で構成される要素のみを対象とし、あるマンホールにおける上・下流管の接合はすべて段差が無い管底接合とする。また、雨水管路網の水理計算では計算モデルの構成上、すべてのマンホールから雨水が流入すると仮定することが一般的である(したがって下流ほど流量は増加することになる)ので、本論文でも設計基本式はこの仮定に基づき定式化される。ただし、提案手法の特性を数値的に検討する数値実験例においては、検討パラメータの減少を図るために雨水の流入箇所を起点マンホール2箇所に限定し、それぞれの流入量を等しく*Q<sub>in</sub>*とする。

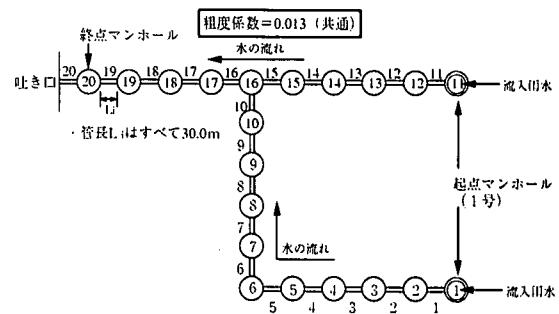


図-1 対象管路網の概況

### (2) 管摩擦損失とマンホール損失

雨水管路に円形管路を用いる場合、現行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、管路内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、氾濫想定区域では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。そこで本論文では、雨水管路網全体のエネルギー損失水頭*E'*を管摩擦損失水頭の総和*E'<sub>P</sub>*とマンホール損失水頭の総和*E'<sub>M</sub>*の和として式(1)のように定式化する。ちなみに、現行の設計基準では管摩擦損失のみが考慮されており、マンホール損失に関する記述は全くない。

$$E' = E'^P + E'^M = \sum_{i=1}^I E'^{P_i} + \sum_{i=1}^I E'^{M_i} = \sum_{i=1}^I (f_i L_i / d_i + K_i) (V_i^2 / 2g) \quad (1)$$

ここに、*E'^{P\_i}*:要素*i*の管摩擦損失水頭、*E'^{M\_i}*:要素*i*のマンホール損失水頭、*L<sub>i</sub>*:要素*i*の管長、*d<sub>i</sub>*:要素*i*の管内径、*V<sub>i</sub>*:要素*i*の管の断面平均流速、*f<sub>i</sub>*(=124.5 n<sub>i</sub><sup>2</sup> / d<sub>i</sub><sup>1/3</sup>):要素*i*の管摩擦損失係数、n<sub>i</sub>:要素*i*の管の粗度係数、K<sub>i</sub>:要素*i*のマンホールのエネルギー損失係数、g:重力加速度である。

本論文では、2方向および3方向接合マンホール部のエネルギー損失係数K<sub>i</sub>に下記①~③の値を用いる。

- ① 2方向接合マンホール(上・下流管の水平面接合角度=180°)の場合:

$$K_i = k_i (D_i / d''_i) \quad (2)$$

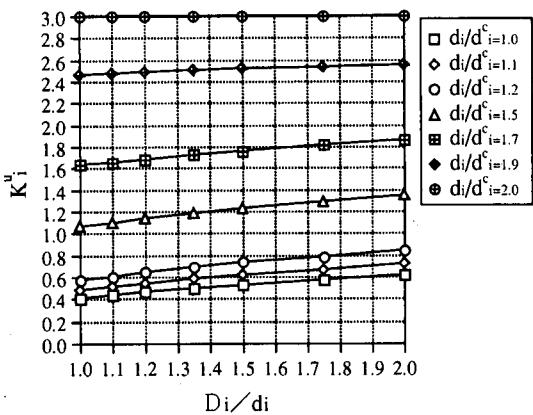
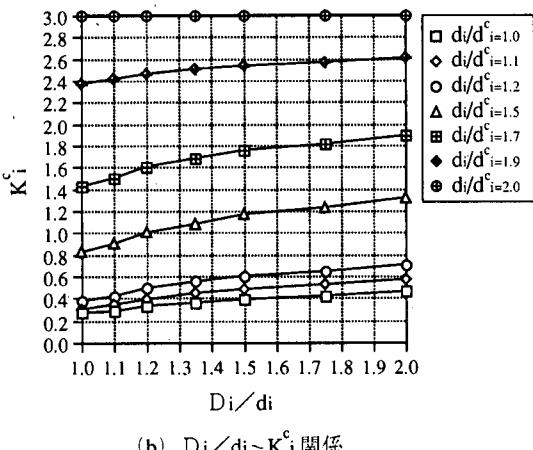
(a)  $D_i/d_i \sim K_i^u$  関係

図-2 3方向接合マンホールのエネルギー損失係数の一例

ただし、

$$K_i = \{0.105 + 0.055(d_i/d^u_i - 1.0)/0.2\}$$

ここに、 $d^u_i$ ：要素*i*の上流要素の管径、 $D_i$ ：要素*i*のマンホールの内径である。式(2)は管径比 $d_i/d^u_i=1.0, 1.2$ における著者らの実験結果をもとに作成した実験式<sup>7)</sup>であるが、実験範囲外の管径比にも適用可能と仮定する。

②2方向接合マンホール(上・下流管の水平面接合角度=90°)の場合：

$$K_i = 1.7 \quad (3)$$

厳密には、この場合の $K_i$ も式(2)と同様にマンホール径比 $D_i/d_i$ 値によって変化するが、その程度は小さく<sup>5)</sup>、設計においては一定値としても支障ない。

③3方向接合マンホールの場合：

$$K^*i = k^*i + (Q^*i/Q_i)^2(d_i/d^*i)^4 - 1 \quad (4)$$

ここに、上付き添字\*：主上流管(上・下流管の水平

面接合角度=180°)についてはu、横上流管(主上流管に対して直角に合流する管)に関してcをあてはめることによってその区分を示す記号、 $K^*i$ ,  $k^*i$ ,  $Q^*i$ ,  $d^*i$ (\*=uまたはc)：エネルギー損失係数、圧力損失係数、流量および管径である。

式(4)はSangsterら<sup>13)</sup>が実験結果から提案した圧力損失係数の算定式をもとにエネルギー損失係数に換算した式である。その実験範囲は $1.0 \leq D_i/d_i \leq 2.0$ ,  $0.6 \leq d_i/d^c_i \leq 2.0$ であるが、本論文ではこれ以外でも適用可能と仮定する。また、実験ではマンホール底面にインバートは設けられていなかったため実際のエネルギー損失係数は式(4)より若干小さいと推定されるが、十分な解明がなされていないので特に修正は行わない。式(4)により算定されるエネルギー損失係数の一例として $Q^*i/Q_i=0.5$ の場合を図-2に示す。

なお、上記①～③に示す $K_i$ 値とマンホール水深の関係については解説途上にあるので<sup>3), 5), 6)</sup>、本論文では特に考慮しないこととする。

### 3. エネルギー損失最小化による管径・マンホール径の決定

#### (1) 管勾配を固定した設計基本式の定式化<sup>11)</sup>

現行の設計手法では、例えば確率年で5年に一度発生する流量を計画設計流量として管勾配を定めた後、円形管路ではマニング式やクッター式により地表面への溢水が生じないように必要な管径・マンホール径を求めている。一方、栗城ら<sup>14)</sup>は超過降雨によって大きな浸水被害が生じる危険性を指摘し、顕著な被害に至らないような多少の溢水を許すことによりピーク流出量が削減できることを示している。本研究は、2(2)で述べたように雨水管路網全体が圧力管水路流れとなるような大きな降雨強度の発生を想定している。この点において、本節に示す設計基本式は栗城ら<sup>14)</sup>と同様に溢水を許す立場から展開される。このとき、溢水箇所・量の議論には地表面と動水勾配線の相対位置は非常に重要であるが、同時に検討すべき課題も多いと認識している。よって、最適化手法を援用した設計手法の基礎的な確立を主眼とする本論文では、この関係については後述する数値計算例の中で若干触れるのみに留める。

さて、雨水管路網に要求される最も基本的な特性、“雨水が上流から下流へスムーズに流れることができる”に着目したとき、式(1)～(4)によって算定される管路網全体のエネルギー損失は雨水管路網の設計の良否を判定するひとつの指標と考えられる。この観点か

表-1 上・下流マンホール号数と下流マンホール接続形態による適合管径

下流接続形態	上流号数	下流号数	管 径(cm)												備 考		
			25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	135	150
中間点	1	1	○	○	○	○	○	○	○								
	1	2															
	1	3															
	1	4															
	2	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2	2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2	3															
	2	4															
	3	1															
	3	2															
会合点	3	3															
	3	4															
	4	1															
	4	2															
	4	3															
	4	4															
	1	4															
	1	5															
吐き口	2	5															
	3	5															
	4	5															
	5	5															

マンホール号数1～4の内径はそれぞれ90, 120, 150, 180cmで、下流号数5は吐き口を意味する。

ら、ここでは雨水管路網のエネルギー損失最小化を設計の最適性規準とする。設計変数にはエネルギー損失に関する重要な設計因子として管径  $d_i$  およびマンホール径  $D_i$  を選ぶ。後述するようにエネルギー損失に影響を及ぼす管勾配  $S_i$  をも同時に設計変数とすると取扱いが煩雑な2目的問題となるので、ここでは管勾配  $S_i$  を固定することによって次式のように設計基本式を定式化する。

固定値 :  $S$

設計変数 :  $d, D$

目的関数 :  $E' = E'_P + E'_M \rightarrow \min.$

(5a)

制約条件 :

$$V^L \leq V_i \leq V^U \quad (i=1, 2, \dots, I) \quad (5b)$$

$$V_{mi} \leq V_i \quad (i=1, 2, \dots, I) \quad (5c)$$

$$V^u_i \leq V_i \quad (i \in \text{起点要素を除く要素番号}) \quad (5d)$$

$$\text{管路網} \equiv \text{適合管路網} \quad (5e)$$

$$d_i \in \text{管径の規格値} \quad (i=1, 2, \dots, I) \quad (5f)$$

$$D_i \in \text{マンホール径の規格値} \quad (i=1, 2, \dots, I) \quad (5g)$$

ただし、 $d = \{d_1, d_2, \dots, d_I\}$ ,

$D = \{D_1, D_2, \dots, D_I\}$ ,

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_I\}$ ,

$$V_{mi} = R_i^{2/3} S_i^{1/2} / n_i.$$

ここに、 $S_i$  : 要素  $i$  の管勾配、 $V_i$  : 要素  $i$  の管流

速、 $V^U, V^L$  : 管流速の上・下限値、 $V_{mi}$  : 要素  $i$  の満管流れを保証する流速、 $V^u_i$  : 要素  $i$  の上流要素の管流速、 $R_i$  : 要素  $i$  の管径深である。

ここで、式(5b)は管流速の上下限値制約<sup>1)</sup>を表し、式(5d)は要素  $i$  の管流速が上流要素のそれを下回らないという制約<sup>1)</sup>を表している。式(5b,d)の流速に関する制約条件のみでは、管路によっては閉水路流れとなることがあるので、式(5c)に示す満管流れを保証する制約を附加している。

次に、式(5e,f,g)の意味を表-1を用いて具体的に説明する。本論文で対象とする円形マンホールは、内径90cmの1号マンホールから30cm刻みで2号、3号および4号マンホール（内径180cm）が規格化されており、それぞれに接続可能な適合管径が接続形態との関係で定められている。管径も表-1に示すように内径25～150cmに離散的に15種類が規格化されている。このため、ある管がとり得る管径は、その上流および下流マンホール号数と下流マンホールへの接続形態によって表-1に○で示すもののいずれかでなければならない。また、起点マンホールには通常1号（内径90cm）を使用する。全管路網にわたってマンホール径と管径がこの適合条件を満足するものを適合管路網と表現する。

結局、式(5)はこれらの制約条件をすべて満足した

表-2 管勾配固定( $S_{1 \sim 15} = 5.88\%$ ,  $S_{16 \sim 20} = 5.00\%$ )のときの交配個体選択GA(scsGA)による可能解の出現状況

①	②	③	④	マンホール号数																管径(cm)									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	1~15	16	17	18	19	20
Case I	24	9.244	8.064	1.180	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	30	40	35	35	30	
	26	8.285	7.202	1.083	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	30	40	40	40	30		
	27	7.549	6.483	1.066	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	30	40	40	40	35	
	28	7.516	6.483	1.033	1	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	30	40	40	40	35	
	29	7.506	6.483	1.023	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	30	40	40	40	35	
	30	7.505	6.483	1.022	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	30	40	40	40	35	
	32	7.276	6.196	1.080	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	30	40	40	40	40	
	34	7.235	6.196	1.039	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	30	40	40	40	40
	35	7.214	6.196	1.019	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	30	40	40	40	40	
	36	7.203	6.196	1.007	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	30	40	40	40	40	
Case II	37	7.182	6.196	0.986	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	30	40	40	40	40	
	38	7.171	6.196	0.975	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	30	40	40	40	40	
	42	7.161	6.196	0.965	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	30	40	40	40	40	
	75	7.156	6.196	0.960	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	30	40	40	40	40	
	97	7.150	6.196	0.954	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	30	40	40	40	40	
	41	7.811	6.770	1.041	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	30	40	40	40	35	
	42	7.874	6.770	1.104	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	30	40	40	40	35	
	43	7.892	6.770	1.122	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	30	40	40	35	35	
	44	7.874	6.770	1.104	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1	30	40	40	40	35		
	88	7.254	6.196	1.058	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	30	40	40	40	40	
Case II	93	7.204	6.196	1.008	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	30	40	40	40	40	
	98	7.264	6.196	1.068	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	30	40	40	40	40	

①: 計算世代数, ②: 全損失(m), ③: 管摩擦損失(m), ④: マンホール損失(m).

Case I : マンホール損失を考慮した場合 ( $N_s=120$ ), Case II : マンホール損失を考慮しない場合 ( $N_s=200$ ).

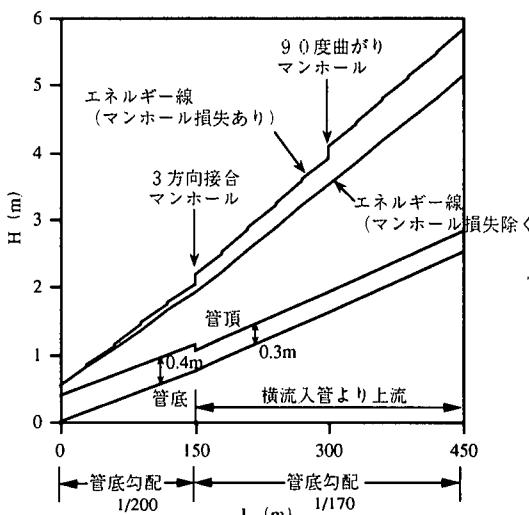


図-3 Case I の最適解のエネルギー線

うえで、式(5a)に示す全エネルギー損失を最小とするような離散的な設計変数  $d$ ,  $D$ を求める組合せ最適化問題である。

## (2) GAによる最適解探索と解特性分析

式(5)に示すエネルギー損失最小化による管径・マンホール径決定問題の解を文献11)に提示した手法によって求めた。解法として用いた交配個体選択GA(scsGA)は離散的最適構造設計問題の解法<sup>15)~18)</sup>として開発されたものであるが、原理的には組合せ最適化問題全般へ適用可能である<sup>19), 20)</sup>。その結果の一例として、管勾配  $S_i$  を  $S_{1 \sim 15}=5.88\%$ ,  $S_{16 \sim 20}=5.00\%$ 、管流速の制限値を一般値  $(V^L, V^U)=(0.8,$

$3.0)$ m/sec、起点マンホールからの雨水流入量  $Q_{in}=0.1\text{m}^3/\text{sec}$ に設定した場合の可能解の推移を表-2に示す。固定して用いたGA的パラメータ(図-5参照)は、人口数  $N_P=1,000$ 、突然変異発生確率  $P_m=0.3$ 、計算世代数  $N_G=300$ であり、交配個体数  $N_s$ を10刻みに100~200と変化させた11通りの計算結果から目的関数値が最小の解を最適解と判定した。

表-2には、目的関数として式(5a)をそのまま用いる「マンホール損失を考慮する場合(Case I)」と、式(5a)の  $E'm=0$ とおいた「マンホール損失を考慮しない場合(Case II)」の2ケースを併せて示している。表の最左欄から計算過程において可能解が出現・更新された世代数、全損失、管摩擦損失、マンホール損失を順に示し、各可能解の設計変数値をマンホール号数と管径(cm)で表している。ただし、Case IIの全損失およびマンホール損失は参考として示している。

まず、Case IIでは40世代までは最良解でも式(5b~e)の制約を犯した不能解であり、41世代目に初めて可能解が出現し、88世代目に出現した解が最適解と判定された。この間、解が更新されているように見えるが、実際にはマンホール径の値が変化しているだけで管径値はまったく変化しないため、このケースにおける目的関数値である管摩擦損失の値は全然変化せず、同値の解が得られているに過ぎないことがわかる。この現象は88世代以降にも観察された。

一方、Case Iでは24世代目で可能解が出現すると比較的頻繁な解の更新が行われ、97世代目の解が最適解と判定された。その設計変数値の変化に着目すると、管径は徐々に大きくなる方向に変化しており、マンホール径は逆に小さくなる傾向が認められる。特に32世代で管径値が  $d_{1 \sim 15}=30\text{cm}$ ,  $d_{16 \sim 20}=40\text{cm}$ に収束した

表-3 上流管の接続形態と上・下流管径(cm)による最小マンホール径(cm)

接続 形態	下流 管径	上流管径													
		25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	135
中間 点接 続	25	90	90	90	90	90	90	90	120	120	120	X	X	X	X
	30	90	90	90	90	90	90	90	120	120	120	X	X	X	X
	35	90	90	90	90	90	90	90	120	120	120	X	X	X	X
	40	90	90	90	90	90	90	90	120	120	120	X	X	X	X
	45	90	90	90	90	90	90	90	120	120	120	X	X	X	X
	50	90	90	90	90	90	90	90	120	120	120	X	X	X	X
	60	90	90	90	90	90	90	90	120	120	120	150	150	150	X
	70	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	150	150	150	X
	80	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	150	150	150	X
	90	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	150	150	150	180
	100	X	X	X	X	X	X	X	150	150	150	150	150	150	180
	110	X	X	X	X	X	X	X	150	150	150	150	150	150	180
	120	X	X	X	X	X	X	X	150	150	150	150	150	150	180
	135	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	180	180	180	180
	150	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	180	180	180	180
会合 点接 続	25	90	90	90	90	90	120	120	X	X	X	X	X	X	X
	30	90	90	90	90	90	120	120	X	X	X	X	X	X	X
	35	90	90	90	90	90	120	120	X	X	X	X	X	X	X
	40	90	90	90	90	90	120	120	X	X	X	X	X	X	X
	45	90	90	90	90	90	120	120	X	X	X	X	X	X	X
	50	90	90	90	90	90	120	120	X	X	X	X	X	X	X
	60	90	90	90	90	90	120	120	150	150	X	X	X	X	X
	70	120	120	120	120	120	120	120	150	150	X	X	X	X	X
	80	120	120	120	120	120	120	120	150	150	X	X	X	X	X
	90	120	120	120	120	120	120	120	150	150	180	X	X	X	X
	100	X	X	X	X	X	X	X	150	150	150	180	X	X	X
	110	X	X	X	X	X	X	X	150	150	150	180	X	X	X
	120	X	X	X	X	X	X	X	150	150	150	180	X	X	X
	135	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	180	X	X	X
	150	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	180	X	X	X

マンホール径=Xは適合するマンホール径がないことを示す。

以降の2号マンホール(内径120cm)の個数が8→8→6→5→4→2→2→1→0と順次少くなっていることに顕著であり、Case IIに比較してマンホール径を特定できる点においてマンホール損失を考慮する重要な意義が認められる。参考までに最適解のエネルギー線(マンホール番号1～10, 16～20)を図-3に示す。

その他の設計条件による数値計算においても同様の傾向を確認することができた。解の傾向を分析した結果、マンホール損失を考慮したエネルギー損失最小化による最適解における各設計変数の解特性を以下のようにまとめることができた。

特性1)  $d_i = \max_k [d_k \in V_i^* \leq V_i \leq V^u]$   
ただし、

i) 起点要素の場合  $V_i^* = \max(V^L, V_{mi})$ ,

ii) その他の場合  $V_i^* = \max(V^L, V_{mi}, V^u)$ .

特性2)  $D_i = 90\text{cm}$ (起点要素の場合),

$D_i$ =上流管の接続形態および上・下流管径による表-3の値(その他の場合).

ここに、 $d_k$ : 管径規格値のk番目( $k=1, 2, \dots, 15$ )のデータである。なお表-3は、あるマンホールの上流管の管径および接続形態と下流管径から配置可能なマンホール径を抽出し、それらのうちで最も小さな値のマンホールを選択したものである。マンホール径の増大につれて増大傾向を示すマンホール損失を極力小さく抑えるという意図で構成されたものである。

### (3) 解特性に基づく管径・マンホール径の決定手法

上記解特性に着目すると、マンホール損失を考慮し

たエネルギー損失最小化による最適な管径・マンホール径は以下のよう手順で決定することができる。この手順による解法を以下では解特性法と呼ぶ。

- ① 設計条件の把握(管勾配  $S$ は固定)、流量計算。
- ② 特性1)による管径  $d$ の決定。
- ③ 管径  $d_i$ のいずれかが未決定の場合には“管径不適合”で計算終了。そうでない場合には④へ。
- ④ 特性2)によるマンホール径  $D$ の決定。
- ⑤ マンホール径  $D_i$ のいずれかが表-3に示す‘X’の場合には“マンホール径不適合”で計算終了。そうでない場合には⑥へ。
- ⑥ 決定された  $d$ 、 $D$ に対する式(5b-d)の制約条件値を算出し、制約に違反していないことを確認した上で最適解の出力。

### (4) 解特性法による数値計算および考察

3(2)に述べたscsGAによる計算例と同様に管勾配  $S_i$ を  $S_{1\sim 15}=5.88\%$ ,  $S_{16\sim 20}=5.00\%$ と固定し、起点マンホールからの雨水流入量  $Q_{in}(\text{m}^3/\text{sec})$ を0.10から増分量0.01で変化させたときの解特性法による計算結果を表-4に示す。管流速の制限値には、一般値( $V^L, V^u$ )=(0.8, 3.0)m/secと推奨値( $V^L, V^u$ )=(1.0, 2.0)m/secの2ケースを考慮した。

表-4から  $Q_{in}$ が大きくなると管径・マンホール径とも当然のことながら全般に大きくなってしまい、定性的な意味で解特性法の妥当性を確認することができた。ただしこの傾向も、管流速の制限値が一般値の場合でも  $Q_{in}=0.70$ までである。それ以上の流入量に対して

表-4 解特性によるエネルギー損失最小化規準の設計値

$Q_L(m^3/sec)$	管径(cm)	マンホール径(cm)	管流速の制限値が推奨値の場合の解									
			1~15	16~20	1	2~5	6	7~10	11	12~15	16	17~20
0.10~0.11	30	40	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
0.12~0.15	35	45	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
0.16~0.19	40	50	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
0.20~0.21	40	50	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
0.22~0.28	45	60	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
0.29~0.47	50	60	90	90	120	90	90	90	120	90	90	90
0.48~0.50	60	80	90	90	120	90	90	90	120	120	120	120
0.51~0.70	60	80	90	90	120	90	90	90	120	120	120	120
0.71~												

管流速の制限値が一般値でも適合管路網が形成されず解なし

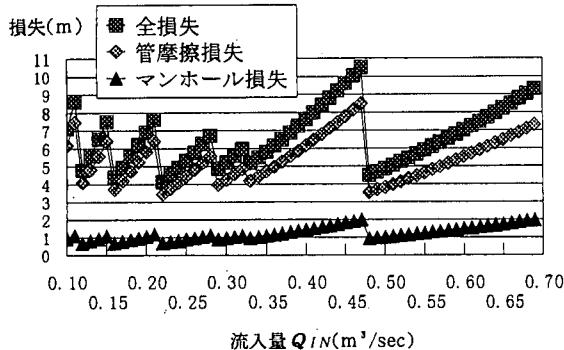


図-4 流入量～損失関係

は、無条件に1号マンホールが配置される起点マンホールに接続可能な管の最大管径60cmでは制約を満足することができず適合管路網が形成されない。管流速の制限値が推奨値の場合には、 $Q_{In}=0.50$ まで解が求められたが、 $Q_{In}=0.20\sim0.21$ および $0.29\sim0.47$ では $V_i \leq V^u$ の制約により“管径不適合”となり、解の連続性が確保されないことがわかる。

図-4には、横軸に流入量 $Q_{In}$ をとり、得られた設計値の全損失、管摩擦損失およびマンホール損失との関係を示す。全般に管摩擦の方がマンホール損失に比較して大きいことがわかる。しかし $Q_{In}$ が増大すると、全損失に対するマンホール損失の比率は徐々に大きくなり、 $Q_{In} \geq 0.48$ では20%以上になるなどマンホール損失が決して無視できないことがわかる。

また設計値 $d$ 、 $D$ が同一のとき、 $Q_{In}$ が増えると管摩擦損失およびマンホール損失はともに増加傾向にあり、結果的に全損失も増大している。しかし $Q_{In}$ がわずかに増加して設計値が変化すると全損失は激減している。管路網の設計においてエネルギー損失を考慮する場合には適切な流入量の設定が重要であることを再認識せられる。同時に、マンホールや管路の適切な平面配置による流入量コントロールの可能性も読みとれる。つまり通常の管路網では、2(1)の仮定条件の設定で述べたようにすべてのマンホールに雨水が流入し、その流入量は各マンホールの集水面積、流出係数

および降雨強度に依存する。一方、本論文で対象としているようなさほど広くない集水域では降雨強度の地域間変化はほぼ無視できるので、流出係数を一定と仮定すると各マンホールへの流入量は集水面積のみの関数と捉えることができる。したがって、マンホールの平面配置を適切にコントロールすれば各マンホールへの集水面積、ひいては流入量をコントロールできることになる。このテーマの追求は、しかし、本論文のテーマからそれることになるので今後の課題としたい。

#### 4. 費用関数最小化による管勾配の決定

##### (1) 管勾配を設計変数とする設計基本式の定式化

前節では管勾配を固定して取扱ったが、実際の管路網設計ではこの管勾配の適切な設定も重要である。また本論文で用いているSCS G Aに限らずG Aによる解法一般では設計変数の増減などの変更には線列構成の変更で容易に対処することができる。そこで、式(5)において管勾配 $S$ をも設計変数として数値実験を試みた。しかし、事前に予想した通りの結果しか得ることができなかった。すなわち、管摩擦損失の方がマンホール損失より全般に大きな値であることから、マンホール径 $D$ が若干大きくなることがあってもできるだけ各管径 $d$ を大きく設定して管摩擦損失を小さく抑える方向に解が改良され、そのため管勾配 $S_i$ の最適値は与えた離散値データの最小値に収束した。式(5)の設計基本式では管勾配 $S_i$ を大きくする要因が全く存在しないためである。

その要因のひとつとして、また実際の管路網設計ではより重要と考えられるファクターとして、ここでは費用関数 $C$ の導入を図り、その設計基本式を2目的問題として次式のように定式化する。

設計変数： $d$ 、 $D$ 、 $S$

$$\text{目的関数: } E' = E'_P + E'_M \rightarrow \min. \quad (6a)$$

$$C = \sum_{i=1}^I D_i^2 \Delta_i \rightarrow \min. \quad (6b)$$

制約条件：

$$V^L \leq V_i \leq V^U \quad (i=1,2,\dots,I) \quad (6c)$$

$$V_m i \leq V_i \quad (i=1,2,\dots,I) \quad (6d)$$

$$V^u i \leq V_i \quad (i \in \text{起点要素を除く要素番号}) \quad (6e)$$

$$\text{管路網} \in \text{適合管路網} \quad (6f)$$

$$d_i \in \text{管径の規格値} \quad (i=1,2,\dots,I) \quad (6g)$$

$$D_i \in \text{マンホール径の規格値} \quad (i=1,2,\dots,I) \quad (6h)$$

$$\Delta_i \geq H_a + d_{\max} \quad (i=1,2,\dots,I) \quad (6i)$$

ただし、

$$\Delta_i = H_i - Z_i,$$

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

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

ここに、 $H_i$ ：要素  $i$  のマンホール直上の地表標高、 $Z_i$ ：要素  $i$  のマンホールの底面標高、 $H_a$ ：許容土被り厚（本論文では1.2mに固定）である。

ここで、式(6)は先述の式(5)に式(6b)と式(6i)が付加されたものである。式(6i)は地表標高とマンホール底面標高の差  $\Delta_i$  が  $d_{\max}$  値と許容土被り厚  $H_a$  の和以上でなければならないという埋設深さに関する制約であり、式(6b)は本論文において採用した費用関数で最小化される目的関数である。そもそも雨水管路網の施工費用には種々雑多なものが含まれるため、費用関数として的一般的な定式化は困難と考えられる<sup>10)</sup>。そこで本論文では管勾配  $S_i$  を大きな値に変化させる要因となり、ある程度実際的な意味合いが明確で、しかも定式化が容易なものとしてマンホール敷設のための掘削土量に注目して式(6b)に示す費用関数を設定した。

さて、式(6)は離散的2目的最適化問題であり、しかもその2つの目的の物理的意味は全く異なる。このような問題の解法として満足化トレードオフ法などの適用<sup>18)</sup>も考えられるが、その取扱いはかなり煩雑になることが予想される。よってここでは、解特性法を導入して解法の簡便化を図る。解特性法は先に示したように、ある管勾配  $S$  に対して適合管路網が構成可能であるとき、全損失を最小にする管径  $d$ ・マンホール径  $D$  を決定することができる。したがって、式(6)の解探索にあたり適切な  $S$  を探索することが第一義的（明示的）であり、 $d$ 、 $D$  の探索は副次的（暗黙的）と区分して考えることができる。この観点から式(6)を見直すと式(6a)、式(6c~e)および式(6g,h)は解特性法の実行により考慮されていると解釈でき、残された問題は次のような単一目的問題として整理されることになる。

明示的な設計変数： $S$

暗黙的な設計変数： $d$ 、 $D$

$$\text{目的関数} : C = \sum_{i=1}^I D_i^2 \Delta_i \rightarrow \min. \quad (7a)$$

制約条件：

$$\text{管路網} \in \text{適合管路網} \quad (7b)$$

$$\Delta_i \geq H_a + d_{\max} \quad (i=1,2,\dots,I) \quad (7c)$$

$$\{d, D\} = \text{解特性法による値} \quad (7d)$$

## (2) GA 適用のための定式化

式(7)は連続変数  $S$  を設計変数とする単一目的問題であるので動的計画法などの数理計画法を基礎とする最適化手法の適用も可能である。しかし、文献11)に提示した方法の活用と今後の拡張性を勘案してscsGAの適用を試みる。本論文で対象としている設計問題のように、その解が設計者の意志決定の補助を果たすような場合には、単に問題の最適解を求めるに留まらず、最適化過程において比較的良好な解をも探索するという性質を有するGAが適しているからである。

GAでは各線列の優劣を判定するための評価関数を無制約最大化形式で定義する必要がある。その方法は種々提案されているが、式(7)に対する評価関数  $F$  を簡明さの観点から文献11)の方法と同様に、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。

制約条件がすべて満足されるとき：

$$F = F_0 - C \quad (8a)$$

制約条件のいずれかが満足されないとき：

$$F = F'_0 - \gamma_1 N_1 - \gamma_2 N_2 \quad (8b)$$

ここに、 $F_0$ ：制約条件がすべて満足されるときの基準値、 $F'_0$ ：制約条件のいずれかが満足されないときの基準値( $\leq F_0$ )、 $N_1$ 、 $\gamma_1$ ：式(7b)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係数、 $N_2$ 、 $\gamma_2$ ：式(7c)を犯す要素数とペナルティ係数である。

また、交配・突然変異といった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<sup>11)</sup>、その解法手順を図-5に示す。

## (3) 数値実験および考察

提案法の解法特性を観察するため、すべての管勾配  $S_i$  の離散値データを1~8%（2進数表示で3ビット）と与え、管流速の制限値は一般値とし、表-5に示す3ケースについて数値実験を行った。ここに、 $H = \{H_1, H_2, \dots, H_I\}$  である。解探索に用いたGA的パラメータは3(2)と同様の値、 $N_P = 1,000$ 、 $P_m = 0.3$ 、 $N_G = 300$ 、 $N_s = 10$ 刻みに100~200とした。また評価関数値の算出に用いた式(8)の定数は  $F_0 = 100.0$ 、 $F'_0 = 50.0$ 、 $\gamma_1 = 5.0$ 、 $\gamma_2 = 2.0$ とした。

a) 以後の比較のための基準設計および解法特性の検討

表-6にCase Iの解の更新状況を更新順に示す。すべての解においてマンホール径は同じ組合せ ( $D_6 = D_{16} = 120\text{cm}$ 、他はすべて90cm) であったが、管径  $d$



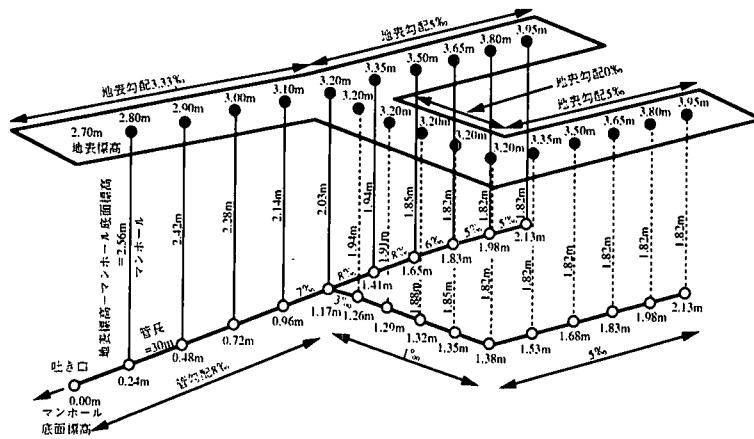


図-6 Case I の最適解の模式図

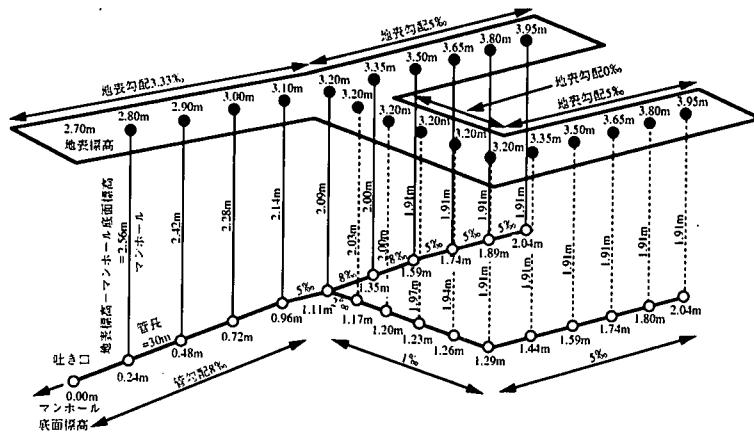


図-7 Case II の最適解の模式図

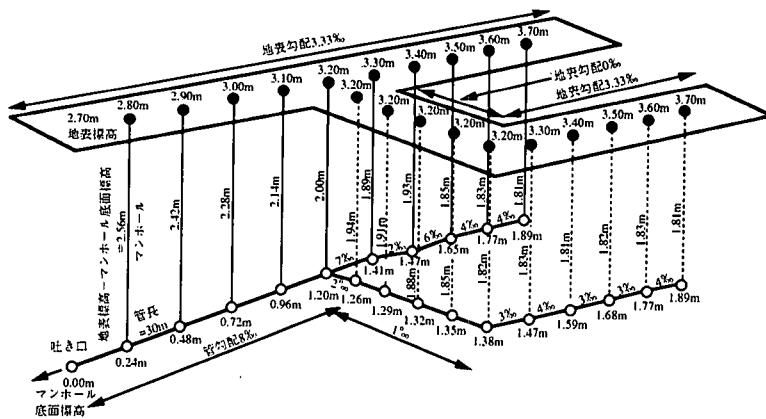


図-8 Case III の最適解の模式図

可能解が容易に得られ、設計のような技術者の判断が重要な場面においてその意志決定のための資料を提供できる点は他の方法に見られない特長である。

Case I の最適解を模式的に図-6 に示す。選択された管勾配  $S_i$  の分布に着目すると、上流部においては地表勾配と同じ 5% が多く選択され、要素番号  $i = 6 \sim 10$  の水平部では与えた離散値データの最小値 1% が多く、 $i = 16 \sim 20$  の下流部では逆に離散値データの最大値 8% が多く選択されていることがわかる。一方、埋設深さ  $\Delta_i$  に注目すると  $H_a + d_{max} = 1.2 + 0.6 = 1.8$  m に対してクリティカルな要素は  $i = 1 \sim 6$  および  $11 \sim 13$  と 9 要素（その  $\Delta_i$  値 = 1.82 m）あり、そのすべてが上流部に集中している。つまり、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に管勾配  $S_i$  が決定されていることがわかる。なお、 $i = 10, 13 \sim 16$  の  $S_i$  が他の要素と異なる傾向を示しているのは、 $i = 16$  の合流点マンホールにおいて管底接合の仮定を満足するためと考えられ、このような微妙な組合せを巧みに発見することができる scsGA の特性を立証している。

#### b) 流入量 $Q_{In}$ の影響

Case II の設計条件は、Case I と比べると流入量  $Q_{In}$  のみが若干大きく、他の条件は同一であり、流入量の違いが解に及ぼす影響を検討するためのものである。 $Q_{In}$  が大きいため  $H_a + d_{max} = 1.2 + 0.7 = 1.9$  m も Case I より 0.1 m だけ大きい。

得られた最適解の管径  $d$ ・マンホール径  $D$  を表-7 に、模式図を図-7 にそれぞれ示す。表-7 より管径は  $d_{14,15}$  を除いて Case I より 1 ランク大きいものが選択されている。その結果、 $d_{16 \sim 20} = 70$  cm となったため  $D_{16 \sim 20}$  も Case I より 1 ランク大きな値が選択されている。また、 $d_{14,15}$  のみが Case I と同じ値であるのは図-7 に示すように  $S_{14,15}$  が 8% と本計算例中では急な勾配を有するため  $V_{m,i}$  が比較的大きな値として算定されたことに原因がある。一方、 $S_i$  の分布は Case I とほぼ同様の傾向を示している。 $H_a + d_{max}$  が 0.1 m 大きいことに対してはクリティカルな要素の埋設深さ  $\Delta_i$  を 1.91 m とすること、および  $i = 16$  の合流点マンホールにおける管底標高の調節で柔軟に対応していることがわかる。

また本 Case の  $C$  値 = 41.2713 は、Case I に比較して約 20.8% 大きく、流入量増大の影響がかなり大きいことがわかる。

#### c) 地表標高 $H$ の影響

Case III の設計条件は Case I に対して地表標高  $H$  の違いを検討するものである。

最適解の管径  $d$ ・マンホール径  $D$  は Case I とまったく同じであり、得られた  $C$  値 = 34.1667 は Case I より

若干大きいがほぼ等しい。この点において地表標高  $H$  の影響はあまり大きくないと判断される。

得られた最適解に関する情報を図-8 に示す。Case I に比べて上流部の地表勾配が小さいことから  $S_i$  の分布は、当然のことながら Case I とは異なっている。その結果、埋設深さ  $\Delta_i$  が上流から下流方向へ小さくなることは Case I ではなかったが、本 Case では  $\Delta_{2 \sim 6}$  や  $\Delta_{14 \sim 15}$  で認められる。ただし、 $S_{1 \sim 5}$  の平均値 3.4% はほぼ地表勾配 3.33% に等しいことから、 $\Delta_{2 \sim 6}$  での逆転現象は、上流部の埋設深さをできるだけ小さくするように管勾配  $S_i$  を選択する際に、地表勾配と一致する管勾配の離散値データが準備されていないことに起因するものと考えられる。また、 $\Delta_{14 \sim 15}$  での逆転現象は管底接合の仮定を満足するためであり、これも本計算例における離散値データの粗い設定の影響と思われる。

上記 Case I ~ III の結果では全般に下流側の管勾配が上流側に比較して急勾配であることがわかる。これは本研究で用いた費用関数式(7a)の影響と考えられ、管路網全体の費用の最小化には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に管勾配  $S_i$  が決定されたものと解釈される。なお、本計算例では解法特性の検討を主眼としたため管勾配データはすべての  $S_i$  で等しく 1~8% と設定したが、解法に GA を使用しているのでデータ数を増加させたり、あるいは各  $S_i$  のデータ範囲を変更したりすることは容易であり、対象管路網の規模拡大とともに今後の課題としたい。

## 5. おわりに

本論文は、管径・マンホール径および管勾配を主要設計要素とする雨水管路網の設計にマンホール損失を考慮し、さらに最適化手法の導入によって設計手法の合理化を企図したものであり、得られた成果・問題点は以下のようにまとめることができる。

- (1) 管勾配を固定した全損失 (= 管摩擦損失 + マンホール損失) 最小化による管径・マンホール径決定問題を示し、交配個体選択 GA (scsGA) を用いた数値計算結果から全損失最小化における管径・マンホール径の最適解特性を明らかにした。
- (2) 全損失最小化における管径・マンホール径の最適解特性に基づく“解特性法”と名付けた解法を開発することができた。解特性法を用いた数値計算結果からマンホール損失が全損失の 20% 以上に達することもあり、設計上、マンホール損失が決して無視できないことを示した。

(3)費用関数最小化を導入することにより管勾配をも設計変数とする2目的問題を定式化し、さらに“解特性法”を活用することにより管勾配を決定するための单一目的問題への変換方法を樹立した。

(4)上記最適化問題に対してscsGAを適用し、流入量および地表標高の影響について検討することにより提案法の妥当性を確認することができた。

(5)本論文で展開した解法には管勾配の離散値データの設定や対象管路網の規模拡大など今後検討すべき問題もあるが、GAによる解法は拡張性に富むためマンホールの最適配置問題やマンホールにおける貯留を考慮した問題への適用も可能と思われ、今後の課題としたい。

## 参考文献

- 1) 下水道施設計画・設計指針と解説－前編－, 第2章管路施設第7節マンホール, 日本下水道協会, pp.164-176, 1994.
- 2) 渡辺政広:都市下水道流域の浸水はんらん解析法に関する研究, 平成5年度科学技術研究費補助金・一般研究(C).
- 3) Linvall,G. : Head Losses at Surcharged Manholes with a Main Pipe and a 90° Lateral, *Proceedings of the 3rd International Conference on Urban Storm Drainage*, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, pp.137- 146, 1984.
- 4) Howarth,D.A. and Saul,A.J. : Energy Loss Coefficients at Manholes, *Proceedings of the 3rd International Conference on Urban Storm Drainage*, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, pp.127- 136, 1984.
- 5) 荒尾慎司, 楠田哲也:2方向接合マンホール部のエネルギー損失特性－レビューと課題－, 下水道協会誌, Vol.33, No.396, pp.75-86, 1996.
- 6) Kusuda,T. and Arao,S. : Energy Losses at Circular Drop Manholes, *Proceedings of the 7th International Conference on Urban Storm Drainage*, Institut Wasserwirtschaft Universitaet, Hannover, Germany, Vol.1, pp.85- 90, 1996.
- 7) 荒尾慎司, 楠田哲也:2方向接合円形落差マンホール部のエネルギー損失特性, 下水道協会誌論文集, No.18, Vol.34/No.419, pp.14-28, 1997.
- 8) 沢野英昭, 安福千尋, 福森潤一:管網における合理的管径決定に関する考察, 水道協会雑誌, 第66巻第3号(第750号), pp.36-46, 1997.
- 9) 高桑哲男, 船水尚行:雨水管網の設計における流量と管径の算定法, 下水道協会誌論文集, No.13, Vol.32/No.383, pp.1-14, 1995.
- 10) 高桑哲男, 船水尚行:最大流量法による雨水管網の設計, 下水道協会誌論文集, No.13, Vol.32/No.383, pp.15-30, 1995.
- 11) 荒尾慎司, 三原徹治, 楠田哲也:GAによる雨水管路網設計の最適化に関する基礎的研究, 第5回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集, pp.207-212, 1997.
- 12) Mihara,T., Chijiwa,H. and Ohta,T. : On the efficiency of GA with Selecting the Crossing Strings for the Discrete Optimal Problems, *Proceedings of International Symposium on Optimization and Innovative Design*, # 105, 1997.
- 13) Sangster,W.M., Wood,H.W., Smerdon,E.T., and Bossy, H.G. : Pressure Changes at Storm Drain Junctions, *Bull. No.41*, Engineering Experiment Station, University of Missouri, Columbia, Missouri, 1958.
- 14) 栗城稔, 木内豪, 田中義人:超過降雨を考慮した都市雨水排除システム等の計画に関する調査, 建設省土木研究所平成6年度下水道関係調査研究年次報告書集, pp.279-286, 1993.
- 15) 千々岩浩巳, 三原徹治, 太田俊昭:離散的最適構造設計への交配個体選択GAの適用に関する一考察, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.381-388, 1996.
- 16) 千々岩浩巳, 三原徹治, 太田俊昭:GAによる鋼管杭基礎構造の最適配置決定法に関する研究, 土木学会論文集, No.519/I-32, pp.223-232, 1996.
- 17) 千々岩浩巳, 三原徹治, 太田俊昭:橋梁下部工の合理的な設計手法に関する一考察, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.585-592, 1997.
- 18) 三原徹治, 太田俊昭, 日野伸一:GAを用いた多柱式高橋脚の予備設計法に関する基礎的研究, 第5回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集, pp.213-218, 1997.
- 19) 太田俊昭, 池田弘幸, 三原徹治:GAを用いた新交通・輸送システムの最適建設路線に及ぼす最適性基準の影響, 土木計画学研究・講演集, No.19(2), pp.269-272, 1996.
- 20) 千々岩浩巳, 三原徹治, 兼松建男, 太田俊昭:GAによる道路トンネルの5心円型内空断面の最適化に関する基礎的研究, 第5回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集, pp.201-205, 1997.

(1998.4.1受付)

## AN OPTIMAL DESIGN METHOD OF STORM SEWER NETWORK CONSIDERED WITH MANHOLE ENERGY LOSS

Shinji ARAO, Tetsuji MIHARA and Tetsuya KUSUDA

The conventional design method of the storm sewer network has two critical problems, i.e., the manhole energy loss is not considered in the design code, and the reasonable design is not easily obtained satisfying many kinds of design conditions. This paper presents an 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 of pipe and manhole energy loss while the pipe slope and other conditions are known. Then the pipe slope is determined by the genetic algorithm based on the minimization of a cost performance function.