

2) GA パラメータの設定

CASE2 での GA パラメータについては、以下のように設定した。

- ・個体数 M : 100
- ・世代数 T : 500
- ・交叉率 pc : 0.8
- ・突然変異率 pm : 0.07

また、1 個体の遺伝子数が 18 であるため、CASE2 の解空間の大きさ（解の組合せの数）は、 $262,144 (= 2^{18})$ 通りとなり、CASE1 の約 60 倍の解空間を持っていることになる。

3) 解析結果

CASE2 のコーディングルールで管網構築モデルの計算を行った結果、CASE1 よりさらに適応度の高い個体を得ることができた。CASE2 の最終的な最適解の適応度 F^k は 0.020115 となり、このときの建設費用 TC は 484,568[千円]となった。これは現状管径のまま更新する場合と比べて、61,344[千円]の削減効果が見込める。得られた解については、最適解の個体および、その管網の管網解析結果を図 4-9 に示す。CASE1 と CASE2 では、目的関数と制約条件は同じであり、解空間（管径の選択範囲）のみが異なるため、CASE2 において CASE1 より高い適応度が得られたということは、解空間の広がった部分に、よりよい解が存在したことを示している。また、図 4-9 から管内流速および有効水頭について全て制約条件を満たしていることが確認できる。

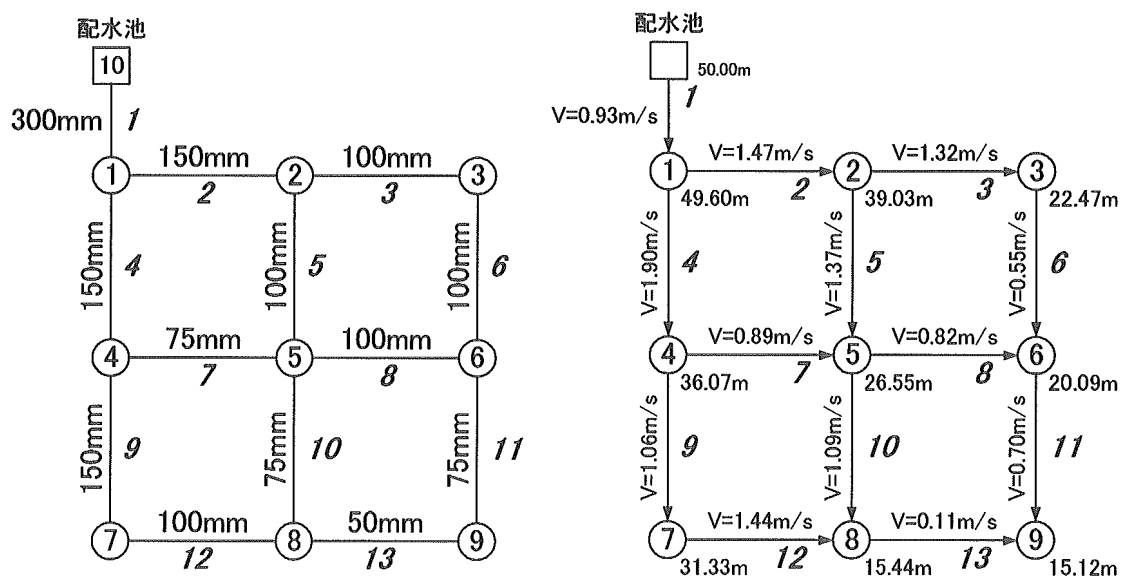


図 4-9 CASE2：最適解の各管路の管径（左）および管網解析結果（右）

4) 最適性の検討

CASE2 では、CASE1 と違い解候補数が 20 万を超え、非常に大きな解空間を有しているため、CASE1 で行った全解候補の適応度のチェックを行なうことはできない。そこで、CASE2 に対しては、乱数元による感度分析のみを行い、最適解の安定性を評価する。

CASE2 においても、乱数元を 10,20,30,40,50 とした 5 つのケースについて計算を行った。この場合も、CASE1 と同様に計算した 5 ケースの全てで最適解が一致した。その結果について、図 4-10 に 500 世代目までの最大適応度の推移を示す。CASE1 と比べ、各個体の遺伝子数が増えたため、最適解に到達するまでの世代数は大きくなっているが、いずれのケースでも最適解に到達している。

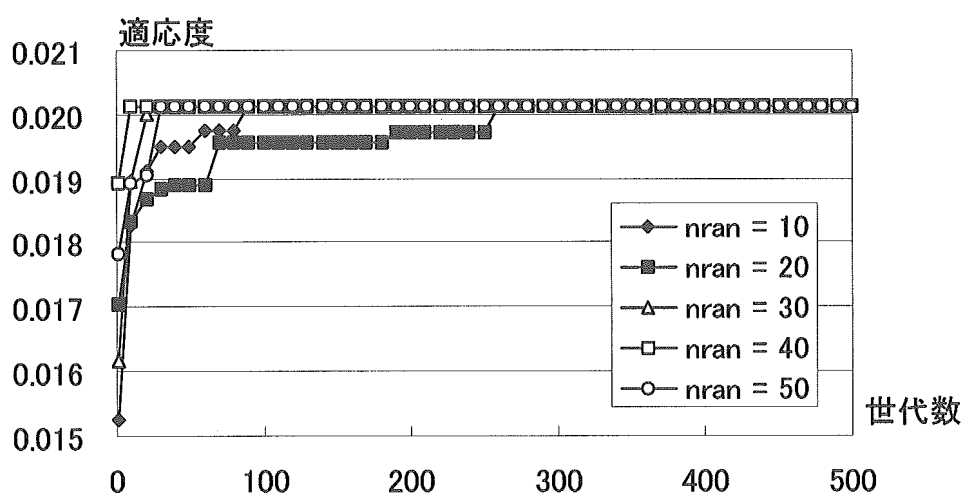


図 4-10 CASE2 : 乱数元による最大適応度の推移の違い

(5) CASE3 : 各管路に対して 8 つの管径候補を与える場合

CASE3 では、各管路ともに現状の管径にかかわらず、50mm~400mm の間で、以下に示す 8 通りの中から選択することとした。これにより、大幅なダウンサイジングや、管径拡張の含めた、より広範囲な検討が可能となる。一方、多くの遺伝子を必要とするため、問題の規模が大きくなってしまう。

1) コーディングルール

各管路に対して、管径候補が 8 個あるので、1 管路 (変数) に対して、3 つの遺伝子を必要とする。遺伝子と変数の関係を表 4-5 に示す。ここでは、検討対象となる管路が 12 本あるため、遺伝子数は 36 (= 12×3) である。

表 4-5 CASE3 : コーディングルール

遺伝子	000	001	010	011
管径[mm]	400	300	250	200
遺伝子	100	101	110	111
管径[mm]	150	100	75	50

2) GA パラメータの設定

CASE2 での GA パラメータについては、以下のように設定した。

- ・ 個体数 M : 500
- ・ 世代数 T : 5000
- ・ 交叉率 pc : 0.8
- ・ 突然変異率 pm : 0.07

また、1 個体の遺伝子数が 36 であるため、CASE3 の解空間の大きさ（解の組合せの数）は約 69 億（ $= 2^{36}$ ）通りとなり、CASE1 の約 1,700 万倍の解空間を持っていることになる。

3) 解析結果

計算の結果、これまでの 2 ケースよりさらに適応度の高い個体を得ることができた。

CASE3 の最適解の適応度 F^k は 0.020967 となり、このときの建設費用 TC は 483,247[千円]となった。これは現状管径のまま更新する場合と比べて、62,665[千円]の削減効果が見込める。

得られた解については、最も適応度の高かった個体および、その管網の管網解析結果を図 4-11 に示す。CASE3 により得られた管網は、管路 6 の流向が逆転しているが、管内流速、有効水頭に関する制約条件は全て満たしている。各管路で選択された管径に着目すると、全ての管路で現状よりも大きい管径を候補として与えているものの、選択された管径が現状よりも大きくなる管路はなかった。一方、現状が 200mm に対して、選択された管径が 50mm というように、大幅なダウンサイジングが行われた管路も出現している。

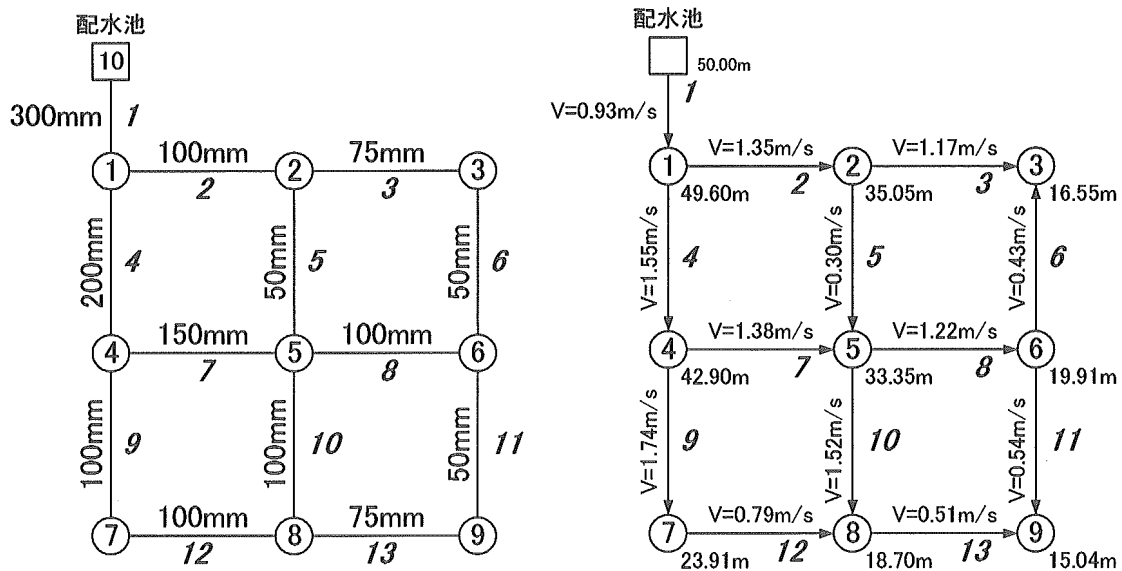


図 4-11 CASE3 : 最適解の各管路の管径 (左) および管網解析結果 (右)

(6) 計算条件を変更したケース

CASE1～CASE3 までの 3 ケースは、いずれも対象管網の条件および問題の定式化については同じであり、コーディングルールの違いによる解空間の広さが最適解に与える影響を検討した。ここでは、計算条件を変えて計算を行い、提案したモデルの汎用性について検討する。1) では、有効水頭の制約条件を変更した場合について計算し、2) では、各節点の需要水量が 1.5 倍であった場合について計算する。いずれのケースも、コーディングルールおよび GA パラメータについては、CASE3 と同様の設定を用いるものとする。ただし、世代数 T については、CASE3 において 2000 回で解が収束していたため、ここでは、2000 回までとした。

1) CASE4：有効水頭の制約条件を 30m 以上とした場合

これまでの 3 ケースでは、各節点の制約条件として 15m 以上としたが、CASE4 では、この条件を 30m 以上と厳しくした。低層ビルへの直結給水等を考えた場合には管網内の各節点で必要な有効水頭が高くなることも考えられ、必要な条件が変わる可能性もある。

CASE4 の計算結果については、最適解の適応度 F^k は 0.016740 となり、このときの建設費用 TC は 491,120[千円]となった。CASE3 と比べて制約条件が厳しくなったため、最適解の適応度は下がり、費用が高くなっている。最適解として得られた個体の管径および、その管網の管網解析結果を図 4-12 に示す。

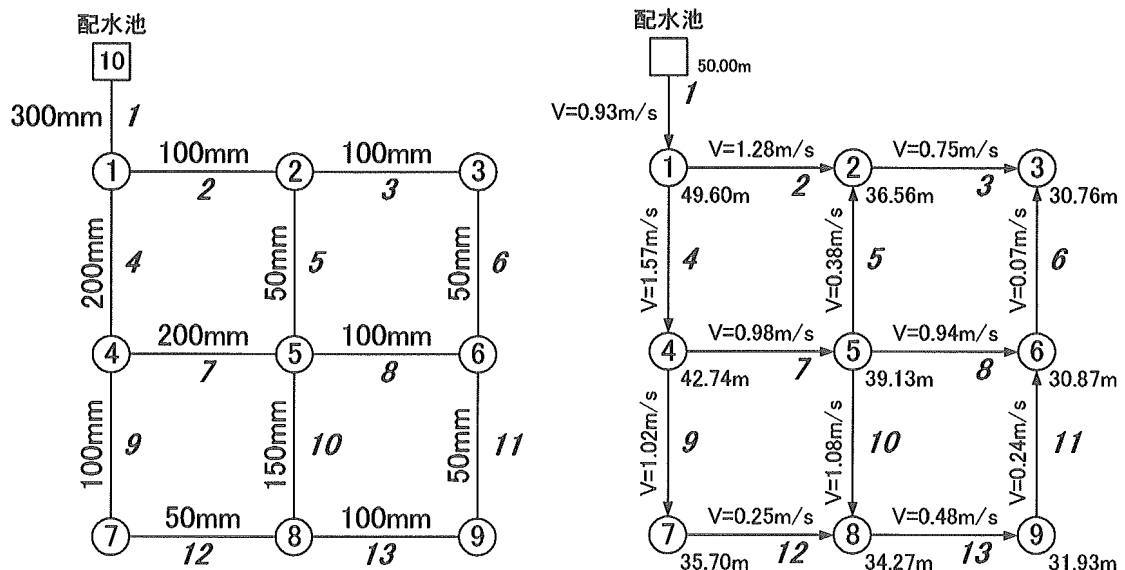


図 4-12 CASE4：最適解の各管路の管径（左）および管網解析結果（右）

2) CASE5：各節点での需要水量を 1.5 倍とした場合

CASE5 では、各節点の需要水量をそれぞれ CASE3 の 1.5 倍として、提案したモデルを適用した。コーディングルールおよび GA パラメータについては、CASE4 と同様の設定を採用した。計算結果については、最適解の適応度 F^k は 0.015292 となり、このときの建設費用 TC は 494,817[千円]となった。最適解として得られた個体の管径および、その管網の管網解

析結果を図 4-13 に示す。

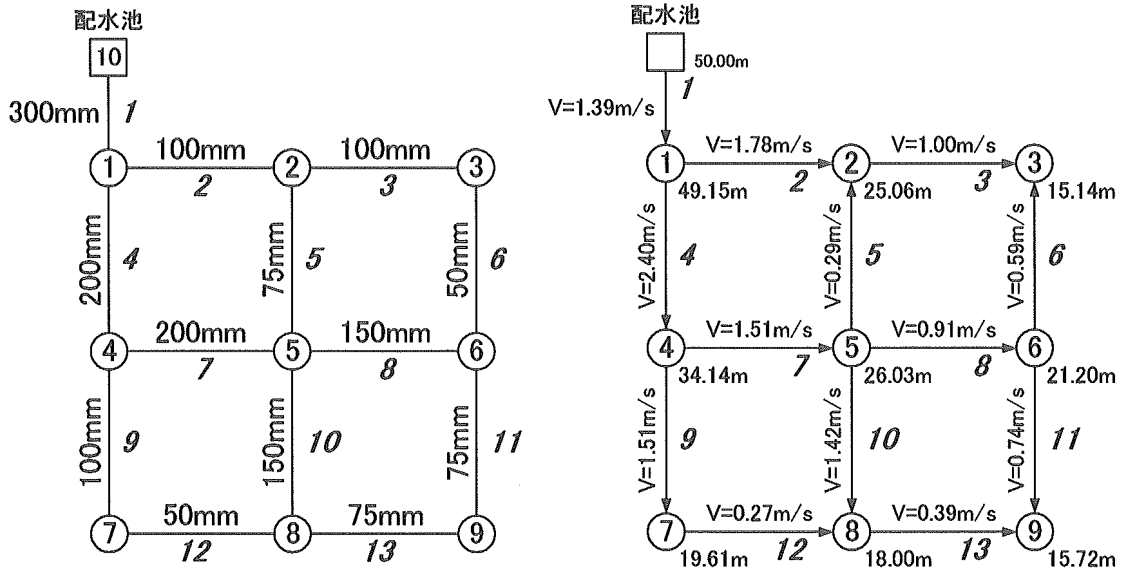


図 4-13 CASE5 : 最適解の各管路の管径 (左) および管網解析結果 (右)

(7) 考察

CASE1 から CASE3 までの 3 ケースについて、建設費用および滞留時間を表 4-6 および図 4-14 に示す。建設費用、滞留時間ともに、CASE3 が最も小さく、良好な状態と言える。CASE3 では、現状のまま更新した場合に比べて、建設費用が約 6,000 万円削減され、滞留時間については、最大、平均ともに半減している。すなわち、本モデルを適用することで、経済的に最適な配水管網を構築することができた。また、得られた配水管網は滞留時間が短く、効率的な管網であると言える。

CASE4 および CASE5 では、対象とする管網の条件を変えてモデルの適用を行った。その結果、それぞれの制約

表 4-6 各ケースの比較

Epoch ケース	建設費用 [千円]	滞 留 時 間	
		平均[hr]	最大[hr]
現状更新	545,912	0.73	1.42
CASE1	500,286	0.41	0.73
CASE2	484,568	0.32	0.73
CASE3	483,247	0.31	0.66

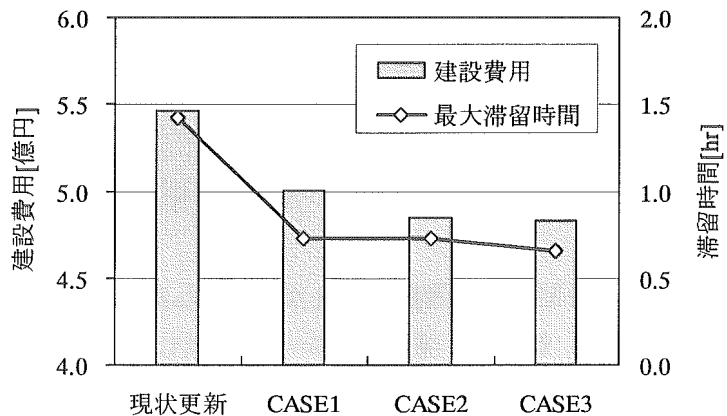


図 4-14 各ケースの比較

条件を満たした上で、経済的に優れた配水管網を得ることができた。

また、CASE1 については、全解候補の適応度を計算し、本モデルにより得られた解の最適性を検討した。その結果、得られた解は、CASE1 における最適解であることが確認された。また、乱数元による感度分析を行った結果、使用する乱数によらず、最適解を導くことが可能であることを示せた。

5. ケーススタディ

(1) 対象とする配水管網について

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、面積が約 4.6 km² である。地盤高は 50m から 57m であり、ほぼ平坦な地域である。また、対象地域の人口は約 24,000 人であり、人口密度は 5,200[人/ km²]となっている。一方、需要水量については、水使用量原単位が 320[L/人・日]、時間最大給水量が 478.4[m³/hr] (= 132.9[L/s]) である。

図 5-1 に対象地域の配水管網の管網図を示すとともに、表 5-1 に各節点に関する諸元を示す。対象とする配水管網は、21 節点 1 配水池 31 管路で構成され、10 管網を有している。各構成要素の中で、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、ここでの検討対象からは除外する。そのため、最適配水管網構築モデルの対象となる構成要素としては、管路数が 30、節点数が 21 となる。また、対象地域の概要としては、図 5-1 に示すように、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。モデルの適用に先立って、対象管網の現状について EPANET を用いた管網解析を行った。その結果を図 5-2 に示す。図 5-2 から分かるように、各管路の管内流速は、対

表 5-1 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/s]
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

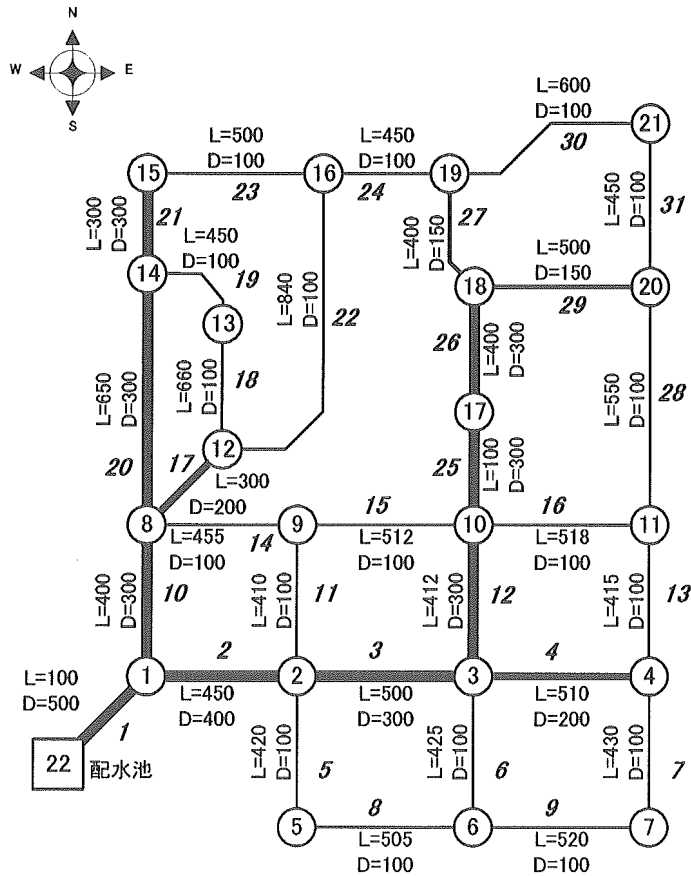


図 5-1 ケーススタディの対象管網

は、75mm 未満の管径を対象にできないため、200mm を探索範囲に加えた。構築モデルでは、目的関数が管径を小さくする方向に作用するため 200mm は選択されない可能性が高い。

ここでは、検討対象となる管路数が 30 本で、そのうち 1 ビットで表現できる管径 100mm の管路が 18 本であるため、1 個体の遺伝子数は 42 (= 12×2 + 18×1) である。

表 5-2 CASE-A : コーディングルール

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

2) GA パラメータの設定

CASE-A での GA パラメータについては、以下のように設定した。

- ・ 個体数 M : 500
- ・ 世代数 T : 2000
- ・ 交叉率 pc : 0.8
- ・ 突然変異率 pm : 0.07

また、1 個体の遺伝子数が 42 であるため、CASE-A の解空間の大きさ（解の組合せの数）は約 4 兆 4000 億 (= 2^{42}) 通りである。

3) 解析結果

CASE-A の解析結果について、図 5-3 に得られた最適解の各管路の管径を示し、図 5-4 に管網解析結果を示す。このときの適応度 F^* は 0.005972 であり、建設費用は 1,224,291[千円]となる。現状の管径で更新した場合の建設費用が 1,353,108[千円]であるため、約 1 割に当たる 128,817[千円]の削減効果がある結果となった。

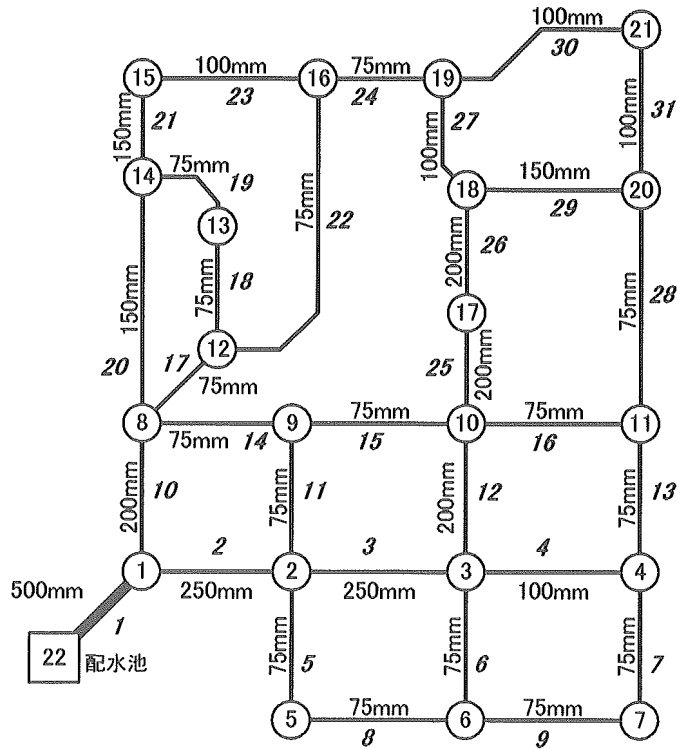


図 5-3 CASE-A : 最適解の各管路の管径

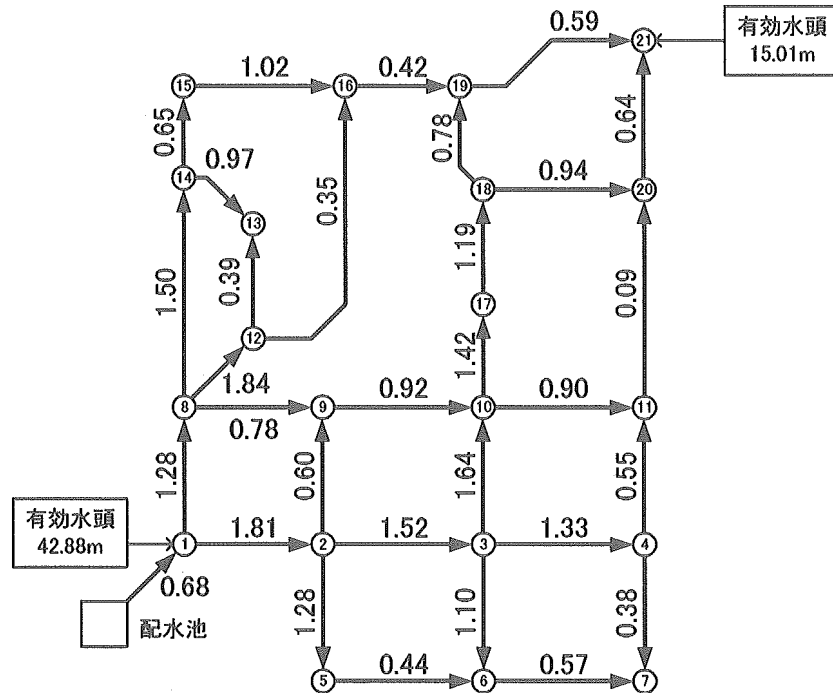


図 5-4 CASE-A : 管網解析結果

(2-2) CASE-B : 多段階に構築モデルを適用したケース

CASE-B は、2-5 における CASE1 と同じように、「管径を現状のまま更新するか、更新の際に 1 ランク小さい管径に下げるか」という選択肢を与える方法を多段階的に適用して行くものである。ここでは、CASE-B1 から CASE-B3 までの 3 段階の解析を行なうものとする。CASE-B1 では、現状の配水管網の各管路に対して、現状または 1 ランク下げるという 2 つの選択肢を与え、構築モデルを適用する。CASE-B2 では、CASE-B1 の解析結果を現状管網として同様に構築モデルの適用を行なう。さらに、CASE-B3 では、CASE-B2 を現状管網として同様に構築モデルの適用を行なう。このように 3 段階の計算を行なうと、各管路に対して最大で 3 段階のダウンサイジングが行なわれることになる。つまり、3 段階の計算により、CASE-A とほぼ同等の解空間を検索できることが期待される。

1) コーディングルール

全ての管路について管径を、現状のままか、もしくは 1 ランク下げるという 2 択とするため、1 管路当たり 1 つの遺伝子を割り当てた。つまり、検討対象の管路の数が 30 本であるため、遺伝子長が 30 となる。現状の管径に対するコーディングルールを表 5-3 に示す。このルールは、各適用段階において共通である。ただし、ここでは最小口径を 75mm とし

表 5-3 CASE-B : コーディングルール

現状管径	0	1
400mm	400mm	300mm
300mm	300mm	250mm
250mm	250mm	200mm
200mm	200mm	150mm
150mm	150mm	100mm
100mm	100mm	75mm

ているため、CASE-B2 および CASE-B3 において、その前段階の計算の結果、管径が 75mm となった管路については、選択肢を 100mm または 75mm と設定する。

2) GA パラメータの設定

CASE-A での GA パラメータについては、以下のように設定した。この設定についても CASE-B1 から CASE-B3 まで共通とする。

- ・ 個体数 M : 500
- ・ 世代数 T : 2000
- ・ 交叉率 pc : 0.8
- ・ 突然変異率 pm : 0.07

また、1 個体の遺伝子数が 30 であるため、各ケースの解空間の大きさ（解の組合せの数）は約 10 億 ($= 2^{30}$) 通りである。

3) 解析結果

① CASE-B1

CASE-B1 では、管路 30 を除く全ての管路の管径を 1 ランク下げることができた。この結果について、図 5-5 に各管路の管径および管網解析結果を示す。この解の適応度 F^k は 0.004330 であり、建設費用は 1,265,817[千円]となる。現状の管径で更新した場合比較したときの削減効果は 87,291[千円]であり、CASE-A の削減効果 128,817[千円]と比べて、その効果は小さいものと言える。

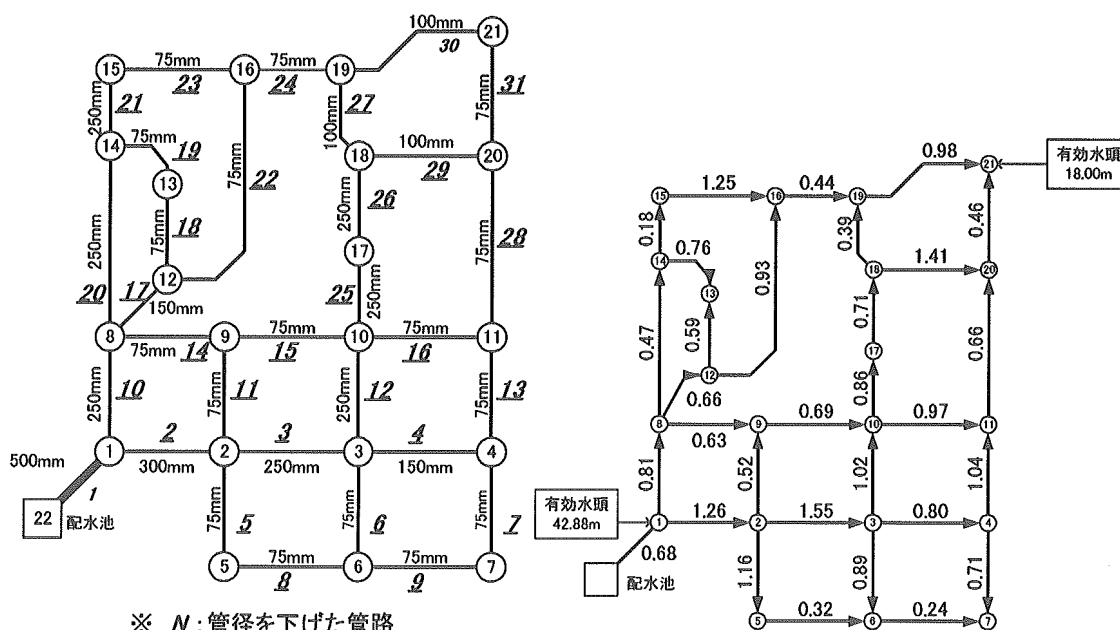


図 5-5 CASE-B1 : 最適解の各管路の管径 (左) および管網解析結果 (右)

②CASE-B2

CASE-B2 では、CASE-B1 に対して、8 本の管路で管径を小さくし、4 本の管路で管径を大きくするという解が得られた。各管路の管径および管網解析結果を図 5-6 に示す。ここで、管径を大きくすることが選択された管路は、いずれも CASE-B1 において、管径 75mm が選択された管路である。

この解の適応度 F^k は 0.005408 であり、建設費用は 1,235,726[千円]となる。現状の管径で更新した場合比較したときの削減効果は 117,382[千円]であり、CASE-B1 よりも、さらに 30,091[千円]の削減効果が得られた。

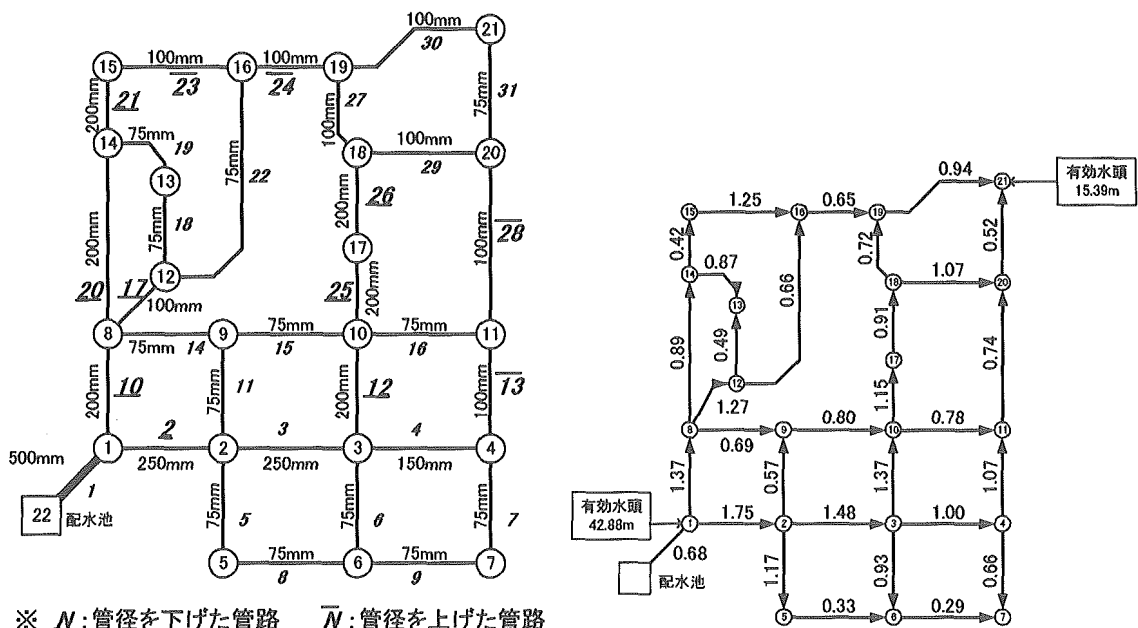
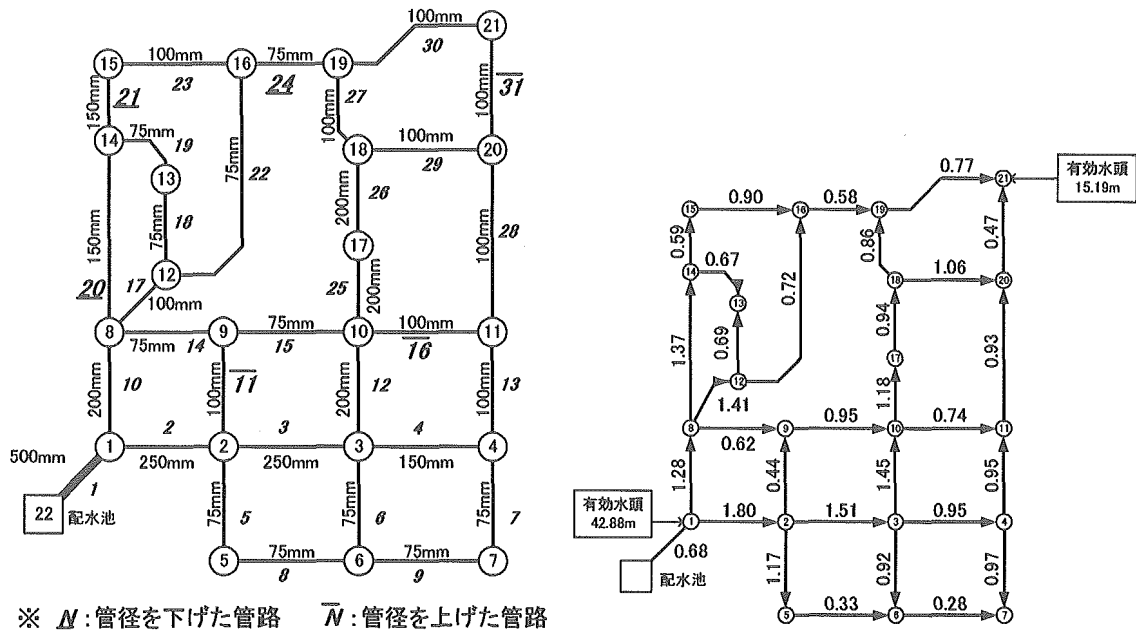


図 5-6 CASE-B2：最適解の各管路の管径（左）および管網解析結果（右）

③CASE-B3

CASE-B3 では、CASE-B2 に対して、3 本の管路で管径を小さくし、3 本の管路で管径を大きくするという解が得られた。各管路の管径および管網解析結果を図 5-7 に示す。このケースでは、管径を小さくする本数と、大きくする本数が同数となっているが、全体の管路容量は小さくなっており、適応度 F^k も 0.005712 に上がっている。このとき、建設費用は 1,229,278[千円]となり、現状の管径で更新した場合比較したときの削減効果は 123,830[千円]である。



※ N : 管径を下げた管路 \bar{N} : 管径を上げた管路

図 5-7 CASE-B3: 最適解の各管路の管径 (左) および管網解析結果 (右)

(3) 考察

<各ケースの計算結果のまとめ>

各ケースの最大適応度および、それに対応する建設費用 (目的関数) を表 5-4 に示す。また、併せて各ケースの最大および平均滞留時間を示す。ここで、現状管網更新の値は、現状の管網をそのまま全て更新したときの費用である。

CASE-A では、同等の解空間を有する CASE-B3 よりも良い解が得られた。一方、CASE-B では、段階を経るごとに適応度の改善が見られた。基本的には、管径を小さくして行く解が得られたが、一部の管路で管径を大きくする解が得られた。これは、その上位のモデルで 75mm の管路が選択された場合に、100mm を再び、選択肢として含んでいるためである。

各ケースの滞留時間についても、建設費用と同様の傾向が見られた。しかし、最大滞留時間でみると、CASE-B3 がわずかに CASE-A より良い結果となった。

表 5-4 各ケースの計算結果のまとめ

	最大適応度	建設費用 [千円]	削減額 [千円]	滞留時間[hr]	
				最大	平均
現状管網更新	—	1,353,108	—	1.51	0.81
CASE-A	0.005972	1,224,291	128,817	0.96	0.43
CASE-B1	0.004330	1,265,817	87,291	1.06	0.54
CASE-B2	0.005408	1,235,726	117,382	0.96	0.46
CASE-B3	0.005712	1,229,278	123,830	0.95	0.44

<CASE-A と CASE-B の比較>

以上でも述べたように、CASE-A と CASE-B3 はほぼ同等な探索範囲を有していると考えられるが、結果を比較すると、完全には一致していない。そこで、2 つのモデルを比較し、選択された管径の異なる管路について表 5-5 にまとめた。ここで、上の 6 管路については、CASE-B3 の方が大きな管径を選択しているが、管路 29 については、CASE-B3 の方が小さい管径を選択している。これは、管路 29 について CASE-B2 までの段階で、管路 29 の管径を 100mm とする代替案が作成されたため、CASE-B3 で、150mm が候補に残らなかったことによる。つまり、CASE-B3 は、管路 29 のみ管径を 1 ランク上げるだけで、他の 6 管路の管径を 1 ランク下げることができる代替案であると言える。そこで、CASE-B3 と同様の問題を管路 29 の管径候補のみを変更し、CASE-B4 として計算を行った。その結果、CASE-A と完全に一致した。

このように、管径選択の選択枝を減らし、段階的な最適化を試みた CASE-B では、問題を分割しているため、局所最適解に陥る恐れがあることが明らかとなった。

表 5-5 CASE-A と CASE-B3 で結果が異なる管路

管路番号	CASE-A 結果[mm]	CASE-B3 結果[mm]	CASE-B3 選択枝
4	100	150	150 or 100
11	75	100	100 or 75
13	75	100	100 or 75
16	75	100	100 or 75
17	75	100	100 or 75
28	75	100	100 or 75
29	150	100	100 or 75

6. おわりに

本稿では、更新計画の際に再構築費用を最小化する配水管網を見出すことを目的とした最適化モデルである「最適配水管網構築モデル」を提案した。本モデルは、GA を骨格とし、管網解析を内在化した最適化モデルであり、対象とする配水管網に対して、水理学的な制約条件を満たした上で、経済的に最適な管網形状を見出すものである。

以下に、主要な成果を示す。

- 1) 本研究で示したモデルにより、現状のまま更新する場合と比較し、建設費用を削減できる配水管網を導くことができた。また、同時に滞留時間の削減も図れることを示した。
- 2) 解空間が小規模な田型管網の問題に対して解の全検索を行い、本モデルで得られた解が最適解であることを示した。
- 3) 提案したモデルは、様々な制約条件下でも同様に適用することが可能であり、汎用性が高いと言えた。

本研究で提案したモデルは、遺伝的アルゴリズムという問題の定式化において非常に自由度の高い最適化手法を骨格としているため、最適化の対象とした経済性（効率性）という目的の他にも、目的関数を追加することが可能である。つまり、適用する場面に応じて、その対象が必要とする目的を組み込むことで、本モデルの適用の幅をさらに広げて行くことが可能であるという大きな発展性を有している。なお、今後の課題としては、モデルの拡張性の高さを生かし、災害時や渇水時の水供給の安定性⁷⁾等の視点を目的に加えることが考えられる。

最後に、本研究を遂行する際に協力を得た東京都立大学大学院の稲員とよの助教授、荒井康裕助手、並びに修士課程の吉井恭一郎君に感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 厚生労働省健康局：水道ビジョン（2004）
- 2) 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）
- 3) 小泉明、稲員とよの、吉井恭一郎：ハイブリッド GA を用いた最適配水管網設定方法の提案、第 56 回全国水道研究発表会講演集（2005）
- 4) D. E. Goldberg：Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, pp.27～88, Addison-Wesley（1989）
- 5) 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）
- 6) 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）
- 7) 小棚木修、小泉明、渡辺晴彦：ネットワーク構造に着目した水供給システムの安定性評価に関する研究、環境システム研究論文集、第 30 巻、pp.257～263（2002）

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)

滞留防止のための配水管網形状の
再構築に関する基礎研究

平成 17 年 3 月

金沢大学大学院 自然科学研究科
教授 宮島 昌克

1. はじめに

本報告は、(財)水道技術研究センターから金沢大学大学院自然科学研究科に委託された「濁水防止のための配水管網形状の再構築に関する基礎研究」について取りまとめたものである。本研究の目的は、(財)水道技術研究センターが実施している「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」の管路第2研究グループが取り組んでいる「管網再形成および未利用エネルギーに関する研究」のための基礎研究として、濁水発生箇所を管網解析を通して明らかにすることであり、管網形状と流速、流向の関係から滞留箇所を把握し、滞留防止による濁水対策の観点から配水形状の再構築に関する検討を行うことである。

2. 水質向上のための管網再形成に関する既往の研究^{1), 2)}

上水システムの水質は配水管路網で低下すると考えられる。すなわち、初期の水質、化学的、生物学的条件、水理学的条件、管の材質、管路網形状などのさまざまな要因が絡み合って水質が低下すると考えられるが、それぞれを個別に取り上げて検討することは難しい。配水管路網における水質低下に関する研究がオランダにおいて多く行われており、1999年に水質低下を防ぐための配水管路ネットワーク構築のためのガイドラインが導入された。このガイドラインが作成されるまでの研究や、ガイドラインのコンセプトについて以下に簡単に紹介する。

まず、濁水の発生原因について検討している。それによれば、濁水の原因となる浮遊物は水処理の工程で生ずるものが多く、それらが配水管路網に混入した場合には管内流速が低い条件のもとでそれらは沈殿し、突然の流速の変化によって再び浮遊し、濁水の原因となるということである。つぎに、濁水発生に対する対応策であるが、まず、濁りの原因が水処理工程から配水管路網ネットワークに入るのを防ぐことを挙げている。安定した水処理によって大量の浮遊物が配水管路網ネットワークに入るのを軽減することができる。つぎに、配水管網に堆積した浮遊物を効果的に除去する方法について検討している。ウォーターフラッシングや空気や水による洗浄などいろいろな方法を比較検討したところ、条件がそろえばウォーターフラッシングが最も効果的であると結論付けている。最後に、浮遊物が沈殿するのを防ぐ方法について検討している。毎日の流速がある値に達していれば、浮遊物はほとんど沈殿しないことがわかっている。研究の結果、その値は0.4m/sであることが明らかにされた。

以上の研究成果より、配水管路網の新しい設計コンセプトを表すキーワードは「大きい流速」と「単方向流れ」であるとされた。このコンセプトを新しいガイドラインにおいて具体化するために、10年間に及ぶ共同研究がオランダの上水道供給会社の間で行われた。この新しい設計ガイドラインは、上水道管路網における濁水を防止するための主たる3つの対策から成っている。先にも示したように、その第1は、配水管路網に浮遊物が混入しないようにするための水処理工程の改善である。第2に、管路網内に堆積する浮遊物をなくするためのフラッシングによる除去である。そして第3が、浮遊物が堆積しないような、自浄ネットワークの構築である。しかし、自浄ネットワークを実際に構築することは、従来からの歴史のあるやり方と対立することになるので、困難が付きまとう。たとえば、これまでのやり方は、大口径管を用いたループ形状のネットワークを形成しようとするものである。この形状は、水の消費が過剰に増加した場合や、火災のような大きな需要が生ずる非常事態の場合に対応できるものである。このように、従来型の配水管ネットワーク形

状は、比較的大きな口径の管路でループ形状を形成するものであった。このようなネットワーク形状では、流速は小さくなり、流れも双方向になる。したがって、長年にわたって浮遊物が堆積し、流れが乱れたときには重大な濁水を生じることになる。これに対して、新しいガイドラインにしたがって構築されたネットワークは枝分かれ構造となっており、管の口径も比較的小さい。このような形状では、流速は大きくなり、流れも単方向となる。したがって、浮遊物の堆積を小さくすることができる。

このような新しいガイドラインによって管路網を再構築することにより、以下に示すような新しい変化が生じた。まず、新しい管路網は小さな口径、すなわち 100 mm以下の口径の管路がいろいろと使われるようになった。また、管路延長も変化した。平均的には新しい管路網の管路延長は従来のそれに比べて 10%～15%ほど短くなった。この理由は、交差部分の減少とループ形状の廃止によるものである。また、小さな口径の管を施工することは大きな口径の管を施工することにより施工費が安くなる。施工費の減少は 20%～25%にもなる。

以上紹介したように、オランダにおける配水管路網の新しい設計コンセプトを表すキーワードは「大きい流速」と「単方向流れ」であるとされた。しかし、地震大国のわが国においては冗長性を確保するためにループ形状のネットワークが必要であり、非常時の大きな需要に対応するための大口径管が必要とされる。そこで、管網形状との関連で滞留箇所を把握することを検討することにより、滞留防止のための管網形状について考察を進めることとする。

3. 金沢市の上水道配水管網における管網解析

本章では金沢市の上水道配水管網を例として管網解析を行い、濁水発生の要因となる管内流速に着目することによって、管内流速が低下する滞留部はどのような形状の管路で発生するのかを考察する。まず、本研究で用いる管網解析法について述べるとともに、金沢市の配水管網のモデル化および解析に必要な諸量についてそれぞれ述べる。つぎに、金沢市の上水道配水管網における管網解析結果について考察を行う。

3.1 管網解析手法

本研究で行う管網解析にはアメリカ環境保護局が開発した管網解析ソフト (EPANET) を用いる。その機能および解析原理は EPANET2 Users Manual (2000) に詳細に述べられており、プログラムとその説明書はインターネットからダウンロードすることが可能である (<http://onenature.com/ict/download1.html>)。本研究ではネットワークにおける各ノードの地盤高、需要水量と各リンクの管径、管路長より各リンクの流量および流速を求める。

3.2 金沢市の上水道配水管網のモデル化および解析に必要な諸量

本研究で対象としたのは、金沢市の計画給水区域であり、幹線配水本管として位置付けられている管路で構成されている管路網である。主に管径 300 mm以上の管路で構成されている。金沢市の上水道管路概要図³⁾を基に管路網をノードとリンクによってモデル化した。図 3-1 に示すように、管路網は配水場 5 箇所、ノード 172 箇所、リンク 220 本から構成されている。

水の取り出しはノードにおいて発生するものとする。一般に、ノードはリンクが交差する地点に設定されるが、本研究ではその他に、一本の幹線配水本管であっても、その間に給水ブロックに続く配水枝管が接続されている場合には、図 3-2 に示すようにその地点でリンクを分割し、ノードを設置した。こうすることで配水状況をより詳細にシミュレートできると考えられる。

管網解析に必要な諸量を以下に示す。ノード条件として各ノードの地盤高、需要水量がある。平成 12 年金沢市調査統計課資料⁴⁾に基づいた町丁目の人口を基本単位として、各ノードの人口を割り当て、需要水量を算出した。また、リンク条件としては、各リンクの上流側および下流側のノード番号、管径、管路長がある。本解析で用いたデータの一覧を付表-1, 2 として最後に示す。

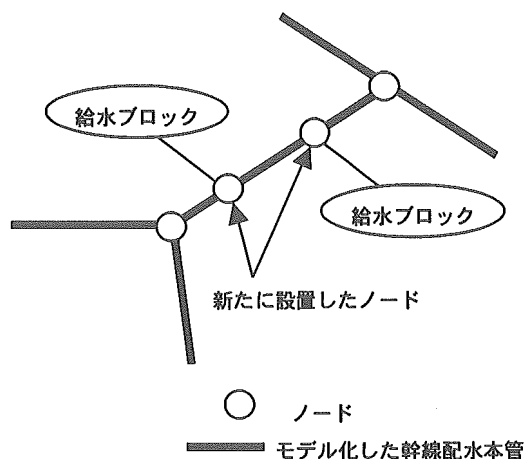
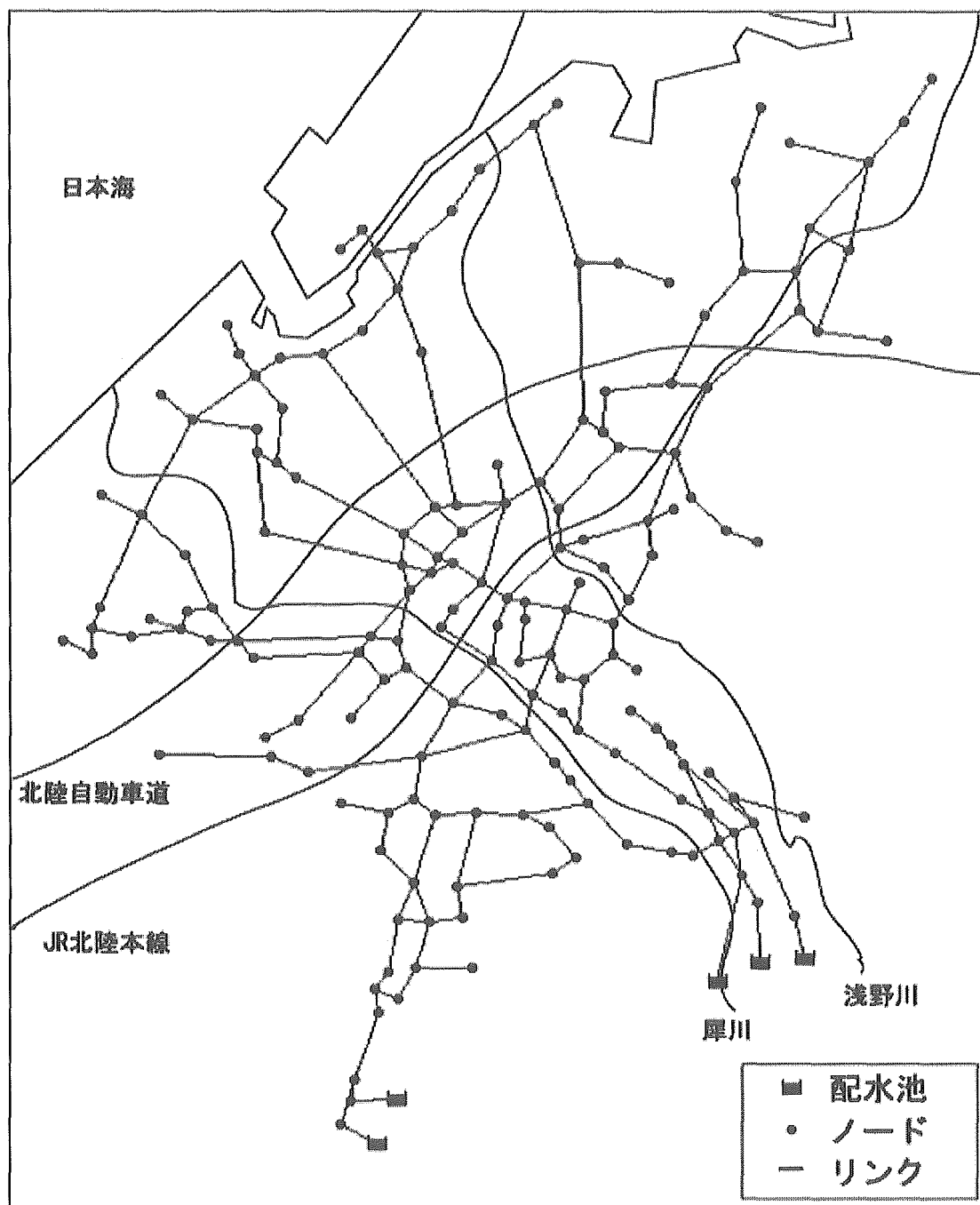


図 3-2 ノードの設置についての概念図



4

図 3-1 金沢市の上水道管路網モデル