

効率的な漏水防止対策計画の立案手法に関する一考察

日本上下水道設計(株) 水道事業本部 町田 宜則

1. はじめに

A市は、平成17年に旧B町、旧C町が合併して誕生した新市である。本業務では、合併に伴いB地区、C地区をA市水道事業に統合する水道事業基本計画の策定を行い、平成19年に認可を取得できるよう作業中である。

基本計画を策定するに当たり、課題点の抽出を行ったところ、有効率がB地区で88.3%、C地区で89.0%と90%を割り込んでおり、類似都市と比較してやや低い結果となっていた。

厚生労働省の通知では、現状の配水量に対する有効水量の比率（有効率）が90%未満の事業体にあつては、早急に90%に達するよう漏水防止対策を進めること、現状の有効率が90%以上の事業体にあつては95%程度の目標値を設定することが望ましいとされている。また、平成16年に発表された水道ビジョンにおいては、有効率を大規模事業体で98%以上、中小規模事業体で95%以上を目標に掲げている。

従来の基本計画等における水需要量予測では、上述した厚生労働省が示している有効率の目標値を当該計画の目標年度の有効率にそのまま設定し、目標に掲げた有効率を達成させるための具体的施策についての記述はほとんどないものが多い状況にある。

本報告では、A市の水道事業基本計画において、従来の需要量予測における有効率目標設定を見直し、妥当かつ達成可能な目標値を設定する手法についてとりまとめたものであり、以下にてその手法を詳述する。業務フローを図1.1に示す。

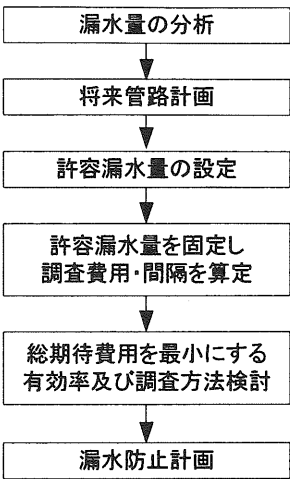


図 1.1 検討フロー

2. A市水道事業の概要

2.1 水道事業の概要

A市は平成17年に合併し、現在合併前のB地区水道事業、C地区水道事業の2水道事業が運営されている。

B地区水道事業の概要は、給水人口33,138人、有効水量11,938m³/日、一日平均給水量13,525m³/日であり、有効率は88.3%である。

C地区水道事業の概要は、給水人口16,521人、有効水量6,250m³/日、一日平均給水量7,026m³/日であり、有効率は89.0%である。

A市内の2つの水道事業についての概要を表2.1に示す。なお、本計画では平成28年度を

表 2.1 A市の概要

地 区	旧B町 (B地区 水道事業)	旧C町 (C地区 水道事業)	統合後 (推定)
項 目			
行政区画内人口 (人)	33,138	16,521	49,659
給水人口 (人)	32,936	16,547	49,483
給水戸数 (戸)	11,292	5,449	16,741
有効水量 (m ³ /日)	11,938	6,250	18,188
日平均給水量 (m ³ /日)	13,525	7,026	20,551
日最大給水量 (m ³ /日)	15,354	8,412	23,766
有収率 (%)	87.9	88.6	88.2
有効率 (%)	88.3	89.0	88.5
負荷率 (%)	88.1	83.5	86.5
配水管延長 (m)	193,613	145,889	339,502
配水池数 (箇所)	6	4	10
配水管容量 (m ³)	4,131	2,112	6,243

目標年度とした。

2.2 B地区水道事業、C地区水道事業の特徴

水道協会雑誌第74巻（H17.8）P96によると、B地区水道事業の同一規模である3～5万人のカテゴリに分類される上水道事業の平均有効率は89.7%、C地区水道事業と同一規模である1～2万人のカテゴリに分類される平均有効率は89.3%である。

B地区、C地区の有効率は、この平均値及び一般的な有効率の目安である90.0%より小さく、可能な限り漏水を防止して有効率を向上させることが望ましい。

B地区、C地区は市の東西の台地上に配水施設があり、一部を除き自然流下での配水である。B地区、C地区の静水頭は、概ね0.45MPa～0.75MPaであり平均静水頭は0.55MPaと高い状況にある。

一般に漏水量は水圧の約1.15乗に比例して増加する傾向にあるが、B地区、C地区ともに静水頭が上述のとおり高いことから、漏水量が増加し有効率低下の一つの要因になっているものと考えられる。これらの特徴を踏まえたうえで、以下に示すように有効率向上のための具体的施策を検討した。

3. 配水量の実態整理

有効率向上の施策の一つとして、配水量の正確な実態整理が必要となる。本計画では配水量のうち、有効有収水量、有効無収水量、無効水量の内訳を再精査した。

通常、無効水量は統計上、実漏水量と調定減額水量で構成されている。ここでは、A市にお

ける実漏水量把握のために、無効水量を実漏水量と調定減額水量に分離し、過去の漏水防止水量の把握を行った。

なお、ここでいう漏水防止水量とは、地上漏水の修繕により発見された水量と漏水調査によって発見された水量である。

表3.1に示すとおり、B地区における平成17年の無効水量は1,587m³/日であり、このうち調定減額水量35m³/日、残存漏水量1,552m³/日であり、漏水率は11.5%となっている。C地区における平成17年の無効水量は776m³/日であり、このうち調定減額水量は18m³/日、残存漏水量は758m³/日であり、漏水率は10.8%となっている。

4. 漏水現象の分析

本項では、地上漏水の発見により防止された漏水件数及び漏水量、漏水調査によって防止された漏水件数及び漏水量を整理し、B地区、C地区の各事業における破損率及び、漏水原単位について整理した。

表 3.1 配水量の実態整理

地区	年度	平成15年	平成16年	平成17年	平均
分類					
B地区	配水量 (m ³ /日)	13,243	13,302	13,525	13,357
	有効水量	11,211	11,549	11,891	11,550
	有収水量	45	45	47	46
	無収水量	11,256	11,594	11,938	11,596
	計	1,915	1,668	1,552	1,712
	無効水量	72	40	35	49
	計	1,987	1,708	1,587	1,761
C地区	漏水率 (%)	14.5	12.5	11.5	13.0
	配水量 (m ³ /日)	6,309	6,898	7,026	6,744
	有効水量	5,580	6,134	6,225	5,980
	有収水量	4	3	25	11
	無収水量	5,584	6,137	6,250	5,990
	計	709	744	758	737
	無効水量	16	17	18	17
C地区	計	725	761	776	754
	漏水率 (%)	11.2	10.8	10.8	11.0

4.1 地上漏水の発見による漏水実態

平成 15 年から平成 17 年までの 3 箇年における給水管及び配水管の地上漏水による破損状況の傾向は表 4.1 に示すとおりである。表 4.1 では、パトロールや通報によって発見された漏水事故件数、漏水量を配水管、給水管に分けて整理し、それぞれの破損率と漏水量原単位を算定した。

なお、破損管種は記録が残っているものと残っていないものがあるが、記録が残っているそのほとんどが硬質塩化ビニル管であった。漏水部位については正確な記録がなされていなかった。

表 4.1 によると、平成 17 年における配水管の破損率は B 地区で 0.091 件/km、C 地区で 0.052 件/km、配水管の漏水原単位は B 地区で 1.364m³/日/件、C 地区で 3.750m³/日/件である。給水管の破損率は、B 地区で 0.009 件/戸、C 地区で 0.008 件/戸、給水管の漏水原単位は B 地区で 0.882m³/日/件、C 地区で 1.087m³/日/件である。

表 4.1 地上漏水発見による漏水実態（配水管及び給水管）

地区	項目	配水管				項目	給水管			
		H15	H16	H17	平均		H15	H16	H17	平均
B 地区	配水管布設延長 (km)	121,141	118,576	121,380	120,366	給水管戸数 (戸)	10,842	10,995	11,292	11,043
	漏水発生件数 (件)	13	10	11	11.3	漏水発生件数 (件)	108	99	102	103.0
	漏水量 (m ³ /日)	20	15	15	16.7	漏水量 (m ³ /日)	105	110	90	101.7
	破損率 (件/km)	0.107	0.084	0.091	0.094	破損率 (件/戸)	0.010	0.009	0.009	0.009
	漏水原単位 (m ³ /日/件)	1.538	1.500	1.364	1.467	漏水原単位 (m ³ /日/件)	0.972	1.111	0.882	0.988
C 地区	配水管布設延長 (km)	75,207	75,895	76,636	75,913	給水管戸数 (戸)	5,066	5,166	5,449	5,227
	漏水発生件数 (件)	7	4	4	5.0	漏水発生件数 (件)	44	51	46	47.0
	漏水量 (m ³ /日)	12	9	15	12	漏水量 (m ³ /日)	40	45	50	45
	破損率 (件/km)	0.093	0.053	0.052	0.066	破損率 (件/戸)	0.009	0.010	0.008	0.009
	漏水原単位 (m ³ /日/件)	1.714	2.250	3.750	2.571	漏水原単位 (m ³ /日/件)	0.909	0.882	1.087	0.959

4.2 漏水調査による漏水実態

B 地区、C 地区水道事業では路面音聴調査、戸別音聴調査の 2 種類の漏水調査を実施している。調査数量は B 地区で路面音聴調査 40km、戸別音聴調査 1,000 戸を実施しており、C 地区では路面音聴調査 10km、戸別音聴調査 300 戸を実施している。

B、C 地区水道事業における漏水調査による漏水実態は表 4.2 に示すとおりである。表 4.2 では、B、C 地区で実施した路面音聴調査結果、戸別音聴調査における漏水発見状況について整理を行い、各調査によって発見されたそれぞれの破損率、漏水原単位を整理した。

表 4.2 によると、平成 17 年における配水管の漏水発見率は B 地区で 0 件/km、C 地区で 0.100 件/km、配水管の漏水原単位は B 地区で 0m³/日/件、C 地区で 1.920m³/日/件である。給水管の破損率は、B 地区で 0.011 件/戸、C 地区で 0.103 件/戸、給水管の漏水原単位は B 地区で 0.020m³/日/件、C 地区で 0.007m³/日/件である。

表 4.2 漏水調査による漏水実態（配水管及び給水管）

地区	項目	配水管				項目	給水管			
		H15	H16	H17	平均		H15	H16	H17	平均
B 地区	調査延長 (km)	40	40	40	40	調査戸数 (戸)	4,000	4,000	4,000	4,000
	漏水発見件数 (件)	0	1	0	0.33	漏水発見件数 (件)	49	44	45	46.0
	漏水発見率 (件/km)	0.000	0.025	0.000	0.008	漏水発見率 (件/戸)	0.012	0.011	0.011	0.011
	漏水量 (m ³ /日)	0	24	0	8.00	漏水量 (m ³ /日)	53	143	78	91.36
	漏水原単位 (m ³ /日/km)	0.000	0.600	0.000	0.200	漏水原単位 (m ³ /日/戸)	0.013	0.036	0.020	0.023
C 地区	調査延長 (km)	10	10	10	10	調査戸数 (戸)	300	300	300	300
	漏水発見件数 (件)	1	0	1	0.67	漏水発見件数 (件)	30	35	31	32.0
	漏水発見率 (件/km)	0.100	0.000	0.100	0.067	漏水発見率 (件/戸)	0.100	0.117	0.103	0.107
	漏水量 (m ³ /日)	14	0	19	11.20	漏水量 (m ³ /時)	27	37	2	22.15
	漏水原単位 (m ³ /日/km)	1.440	0.000	1.920	1.120	漏水原単位 (m ³ /日/戸)	0.090	0.125	0.007	0.074

4.3 漏水量の集計

表 3.1, 表 4.1, 表 4.2に示した漏水量を集計し, 表 4.3に示した。

ここでは, 残存漏水量(無効水量のうち調定減額水量を差し引いた水量)に, 地上漏水の発見水量, 漏水調査により発見した水量を加算して潜在漏水量と定義して, 各年の潜在漏水量を算定した。この復元水量を含む潜在漏水量は3箇年平均でB地区 1,929m³/日, C地区 843m³/日であり, この漏水量をいかに効率的に発見し, 費用対効果を考慮して残存漏水量(有効率)を設定するかが問題となる。

表 4.3 漏水量の実態

項目	年度	B地区				C地区			
		H15	H16	H17	平均	H15	H16	H17	平均
A 残存漏水量 (m ³ /日)		1,915	1,668	1,552	1,712	709	744	758	737
B 地上漏水(配水管)発見水量 (m ³ /日)		20	15	15	17	12	9	15	12
C 地上漏水(給水管)発見水量 (m ³ /日)		105	110	90	102	40	45	50	45
D 路面音聴による発見水量 (m ³ /日)		0	24	0	8	14	0	19	11
E 戸別音聴による発見水量 (m ³ /日)		53	143	78	91	27	37	50	38
F 潜在漏水量 (m ³ /日)		2,093	1,960	1,735	1,929	802	835	892	843

5. 漏水調査最適化シュミレーション

5.1 漏水調査方法の立案

一般的に漏水を減少させ有効率を向上させるためには, 配水圧の調整, 老朽管の計画的更新などの他に, 漏水調査の継続的な実施が有効である。

漏水調査費用と漏水損失はトレードオフの関係にあり, 調査間隔を短くして調査頻度を上げると漏水による損失は防げるが, 調査に要する費用は増大していく。したがって, 経済的に最適な漏水調査の間隔は, 目標となる有効率(漏水率)を確保し, かつ, 調査費用, 修繕費用, 漏水損失の合計(総期待費用)が最小となるように設定することが望ましい。本計画では, 有効率向上を目的とした最適な漏水調査方法, 漏水調査間隔を算定した。

総期待費用を最小にした漏水調査間隔 m を求める方法は, 細井ら¹⁾が提案した漏水調査モデルがある。これは, 給水区域が幾つかの漏水調査地区 i から構成される場合, 給水区域全体の総期待費用 Y は次式で示されことから, Y を最小にする最適化問題を解く方法である。

$$Y = \sum_i \left[P \left\{ \frac{1}{2} (m_i + 1) \Delta t_{i1} q_{i1} + \frac{1}{2} (1 - n_i) (m_i + 1) \Delta t_{i2} q_{i2} + \frac{1}{2} n_i (a_i m_i + 1) \Delta t_{i2} q_{i2} \right\} + \frac{C_{i1}}{m_i} + \frac{C_{i2}}{a_i m_i} + \lambda_{i1} r_{i1} + \lambda_{i2} r_{i2} \right]$$

ここで,

m_i : 戸別調査期

Δt : 1期の期間(Δt_{mi} : 戸別調査周期)

λ_{i2} : 1期当たり路上漏水発生数

q_{i2} : 漏水一ヶ所当たり平均漏水量(路上)

p : 単位漏水量の費用(≒供給単価)

C_{i2} : 路面調査コスト

r_{i2} : 路上漏水1ヶ所当たり修繕費

a_i : 路面調査期係数($a_i m_i$: 路面調査期)

λ_{i1} : 1期当たり宅内漏水発生数

q_{i1} : 漏水一ヶ所当たり平均漏水量(宅内)

n_i : 路上における路面調査での漏水発見率

C_{i1} : 戸別調査コスト

r_{i1} : 宅内漏水1ヶ所当たり修繕費

解析条件として, 有効率を90%から0.5%きざみで95%まで変化させ, それぞれのケースの漏水損失, 調査費用, 修繕費用を算定し, この3つを加算して総期待費用を算定した。パラメーターは, 前述の漏水量原単位と給水原価で漏水損失費用を, 調査費用(戸別調査, 音聴調査)発見率で調査費用を, 漏水箇所原単位で修繕費用をそれぞれ算定した。

ここでのシュミレーション方法は、B地区、C地区のおおのの許容漏水量を固定し、総期待費用を最小にする有効率を算定するものとした。また、シュミレーション算定に当たって、実施する調査を戸別音聴調査、路面音聴調査とし、調査対象はB地区を4ブロック、C地区を3ブロックに分けた漏水調査ブロックに設定し、B地区、C地区の総期待費用を最小かつ実行可能な調査方法を評価した。

5.2 漏水調査シュミレーション結果

設定有効率を90%から95%に変化させた際のB地区の総期待費用、漏水損失額、調査費用、修繕費用のグラフを図5.1に、C地区の費用のグラフを図5.2に示す。また、表5.1に総期待費用と調査間隔の結果を示す。

図5.1、図5.2より総期待費用を最小にする有効率はB地区で92.0%、C地区で93.0%と算定された。

この結果より、B地区の有効率を92.0%にした時の総期待費用は119,493千円であり、C地区の有効率を93.0%としたときの総期待費用は52,738千円と算定され、うち漏水調査費用はB地区で9,667千円、C地区で4,587千円となった。B、Cの2地区で14,254千円/回の漏水調査を実施することで有効率がそれぞれ92.0%、93.0%まで上昇することが可能な結果となった。

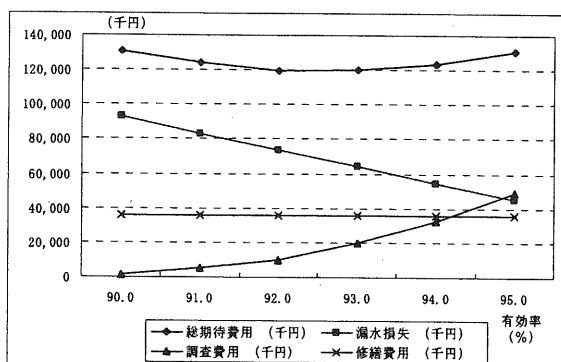


図 5.1 B地区総期待費用算定結果

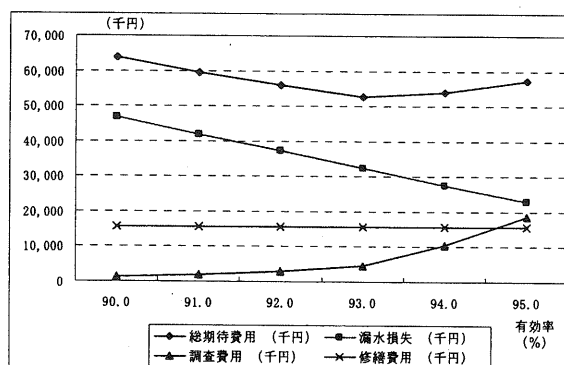


図 5.2 C地区総期待費用算定結果

表 5.1 総期待費用と調査間隔

地区	有効率 (%)	総期待費用 (千円)	漏水損失 (千円)	調査費用 (千円)	修繕費用 (千円)	戸別調査間隔 (年)	路面調査間隔 (年)
B地区	90.0	130,434	92,833	1,501	36,100	1.26	2.38
	91.0	124,305	83,183	5,022	36,100	1.15	2.13
	92.0	119,493	73,726	9,667	36,100	1.04	1.88
	93.0	120,286	64,269	19,917	36,100	0.93	1.64
	94.0	123,196	54,619	32,477	36,100	0.82	1.39
	95.0	130,593	45,162	49,331	36,100	0.71	1.14
C地区	90.0	63,701	46,750	1,151	15,800	1.01	2.29
	91.0	59,550	41,888	1,862	15,800	0.91	2.05
	92.0	56,090	37,213	3,077	15,800	0.81	1.82
	93.0	52,738	32,351	4,587	15,800	0.71	1.57
	94.0	53,888	27,489	10,599	15,800	0.61	1.33
	95.0	57,271	22,814	18,657	15,800	0.51	1.10

6. 漏水防止計画目標

本項では、5項で算定された、総期待費用が最小化となる有効率をもとに、平成28年度までの11年間で具体的に防止する漏水防止水量及び調査数量を設定する。

漏水量は、年によって大きな変動が出る性格の値ではなく、また一般的に水圧に比例するものである。今後、配水ブロック化などの大きな配水圧力の変動が生じる要素は発生しないため、今後も水圧は一定であると想定し、表4.3で算定した平成17年の、地上漏水（配水管）発見水量、地上漏水（給水管）発見水量が平成28年までそのまま横ばいになるものとして、漏水調査による発見水量の算定をした。調定減額水量は、その内訳を精査したうえで有効水量に比例するものとした。

この結果を表6.1に示す。これにより「F 残存漏水量」のうち、漏水防止調査水量をどの程度増加させるかにより、有効率向上のための具体的な漏水防止水量を設定することが可能となる。

この結果、B地区の有効率を92.0%とする残存漏水量は974m³/日であり、C地区の有効率を93.0%とする残存漏水量は467m³/日と算定された。また、2地区を合算した数値を見てみると、目標年度における有効率は92.4%と算定された。

以上より、残存漏水量を減少させ漏水防止水量を増加させることにより、有効率は確実に上昇する結果となり、今後も継続的な漏水調査が必要だと判断された。

表 6.1 潜在漏水量及び有効率等の予測

		年度										
		H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28
地区	項目	(単位: m ³ /日)										
B地区	A 一日平均給水量	13,388	13,314	13,238	13,165	13,091	13,018	12,946	12,859	12,773	12,689	12,605
	B 有効水量	11,862	11,836	11,809	11,782	11,755	11,729	11,703	11,676	11,649	11,623	11,597
	C 無効水量	1,526	1,478	1,429	1,383	1,336	1,289	1,243	1,183	1,124	1,066	1,008
	D 無効水量計	35	35	35	35	34	34	34	34	34	34	34
	E 調定減額水量	1,491	1,443	1,394	1,348	1,302	1,255	1,209	1,149	1,090	1,032	974
	F 残存漏水量	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	G 残存漏水量	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
	H 配水管地上漏水防止水量	139	187	236	282	328	375	421	481	540	598	656
	I 給水管地上漏水防止水量	11.1	10.8	10.5	10.2	9.9	9.6	9.3	8.9	8.5	8.1	7.7
	J 漏水調査防止水量	88.6	88.9	89.2	89.5	89.8	90.1	90.4	90.8	91.2	91.6	92.0
	L 漏水率(%)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
	M 戸別音聴調査	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	N 路面音聴調査	7,016	7,013	7,003	7,001	6,991	6,981	6,979	6,970	6,968	6,958	6,950
C地区	A 一日平均給水量	6,273	6,291	6,310	6,329	6,348	6,367	6,386	6,406	6,425	6,444	6,464
	B 有効水量	743	722	693	672	643	614	593	564	543	514	486
	C 無効水量	18	18	18	18	18	18	18	18	19	19	19
	D 無効水量計	725	704	675	654	625	596	575	546	524	495	467
	E 調定減額水量	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	F 残存漏水量	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	G 残存漏水量	102	123	152	173	202	231	252	281	303	332	360
	H 配水管地上漏水防止水量	10.3	10.0	9.6	9.3	8.9	8.5	8.2	7.8	7.5	7.1	6.7
	I 給水管地上漏水防止水量	89.4	89.7	90.1	90.4	90.8	91.2	91.5	91.9	92.2	92.6	93.0
	J 漏水調査防止水量	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800
	L 漏水率(%)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	M 戸別音聴調査	20,404	20,327	20,241	20,166	20,082	19,999	19,925	19,829	19,741	19,647	19,555
統合後	一日平均給水量 計	2,216	2,147	2,069	2,002	1,927	1,851	1,784	1,695	1,614	1,527	1,441
	残存漏水量 計	18,135	18,127	18,119	18,111	18,103	18,096	18,089	18,082	18,074	18,067	18,061
	有効水量 計	10.9	10.6	10.2	9.9	9.6	9.3	9.0	8.5	8.2	7.8	7.4
	漏水率(%)	88.9	89.2	89.5	89.8	90.1	90.5	90.8	91.2	91.6	92.0	92.4

7. 計画の有効性の評価

一般に有効率の向上を図るためには、配水量のうちの有効無収水量、無効水量の各内訳を明確にし、将来の目標として、地上漏水発見水量、漏水調査発見水量を年次別に明らかにする必要がある。すなわち、将来の給水量等の予測において、有効率、有効率を設定する根拠付けが必要となる。

一般に、漏水防止対策は大別すると基礎的対策、対症療法的対策、予防的対策に区分されるが、前述した手法は対症療法的対策のうちの漏水調査に最適化により、計画的に有効率を向上させようとするものである。

本検討により、B地区では9,667千円、C地区では4,587千円を調査間隔ごとに投資することにより、有効率は各々92.0%、93.0%にすることが可能と評価された。

これまで実施してきた漏水調査は、対象地区の選定や調査方法の決め方の根拠が乏しく、毎年の漏水調査費用も十分ではないため、漏水調査が有効率の向上に寄与する効果は小さいものであった。

本計画で立案した漏水調査は、妥当な投資と実行可能な方法により、計画的に漏水を防止させる方策を提案することができた。また、この計画は水需要予測の有効率設定の根拠となり、合理的な需要推計が評価出来たと評価している。

8. 終わりに

本報告では、有効率向上のための最適な漏水調査方法、間隔を設定したが、このメニューの他に、老朽管の更新計画の策定等も提案を行った。これにより、さらなる有効率の向上が図られる結果となり、計画の有効性が図られたものと考えられる。また、漏水防止計画の策定においては、今後の精度向上のため、記録文書の整理、記録する項目の整理などが不可欠となっている。現在、A市における記録台帳を新たな帳票形式の台帳へ改めるよう提案を行い、漏水事故の修繕にその記録を使用するよう提案を行った。本計画は、この漏水の基礎的資料の整理をベースに、漏水調査計画へのフィードバックを実施することで、更なる漏水防止対策の精度向上に役に立つことが出来ると考えられると同時に、今後予防的対策による漏水防止効果の反映や適切な計画見直しに有効活用できるものと考えられる。

参考文献：

- 1) 細井由彦，城戸由能，市平雅美「漏水調査と修理モデル」環境工学研究論文集，Vol.36，pp.371-378，1999.12