

厚生労働科学研究費補助金

健康科学総合研究事業

家屋内での水有効利用と環境負荷低減に資する  
給水システム構築に関する研究

平成16年度 総括・分担研究報告書

主任研究者	中村	文雄
分担研究者	杉山	俊幸
分担研究者	松井	佳彦
分担研究者	長岡	裕
分担研究者	伊藤	雅喜
分担研究者	藤原	正弘

平成17(2005)年3月

厚生労働科学研究費補助金  
健康科学総合研究事業  
家屋内での水有効利用と環境負荷低減に資する給水システム構築に関する研究  
平成16年度 総括・分担研究報告書

目次

I. 総括研究報告書

家屋内での水有効利用と環境負荷低減に資する 給水システム構築に関する研究	1
中村 文雄	

II. 分担研究報告書

II-1. 水有効利用のための給水システム構築に関する研究	7
II-1-1. 給水システムの維持管理に関する研究(1) ; 大都市における給水システム関連事故・工事に対する検討【3】	11
中村 文雄	
II-1-2. 給水システムの維持管理に関する研究(2) ; 給水用具等の性能・特性・維持管理等調査集計結果 (財) 給水工事技術振興財団	27
II-1-3. 給水システムの維持管理に関する研究(3) ; 給水システムの維持管理の現状および問題点と 維持管理の方向性に関する考え方 維持管理に関するワーキンググループ	71
II-1-4. 給水システムのリスク管理に関する研究(1) ; 水撃作用(水圧〔音・振動〕変動異常)の検出方法に関する研究	103
杉山 俊幸	
II-1-5. 給水システムのリスク管理に関する研究(2) ; 濁度・懸濁粒子数・吸光度等を指標とした給水システム内における 水質異常の検出 ; トレンド出力型濁りモニタの試作と評価	145
松井 佳彦	
II-1-6. 給水システムのリスク管理に関する研究(3) ; リスク管理目的に合致した異常現象の検出方法に関する 基礎的研究「水量、水質(EC, ORP)、異常等の検出	157
長岡 裕	
II-1-7. 給水システムのリスク管理に関する研究(4) ; 水質変換装置などの給水システムへの導入方法	171
伊藤 雅喜	
II-2. 家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究	187
藤原 正弘	

# I. 総括研究報告書

厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)  
総括研究報告書

家屋内での水有効利用と環境負荷低減に資する給水システム構築に関する研究  
主任研究者 中村 文雄 財団法人給水工事技術振興財団技術アドバイザー

研究要旨

本研究は、「水有効利用のための給水システム構築に関する研究」「家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究」のサブテーマに分けて行なわれたが、その概要は下記の通りである。

(1) 水有効利用のための給水システム構築に関する研究

健全な水循環を形成するためには、水道水利用の原点である各家庭等での水利用の合理化・節水・有効利用を促進する必要があるが、ここでは、水量への対応に加えて、衛生的な問題発生を回避するために水質の安全性確保が担保されなければならない。このような視点に立って、本研究では、給水システムの維持管理方法およびリスク管理方法の確立を目的として、①給水装置・用具の機能不全に由来する漏水および水質汚染等の事故事例の解析や、②異常水流・異常水質等の早期検出方法の開発、③水質変換装置の給水システムへの影響などに関する研究を計画・実施してきたが、これらの研究・開発により、水利用の合理化・節水・有効利用の目的に合致した望ましい給水システムが構築されるものと期待される。本年度は、都市-Bにおける事故事例解析や、給水装置・用具に関する調査と維持管理方法の検討を行うと共に、水圧・水量・水質の異常現象検出装置の検出感度・解析方法の検討、および、逆流防止装置の機能に関する検討を行った。

(2) 家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究

水道水としての利用は、下水道への負荷や消費エネルギー等の環境負荷が大きく、極力低減することが重要な課題となっている。これらの課題に対応するためには、水道水利用の原点である各家庭等で、生活用水の利用を量、質の両面から合理化し、節水を促進することで、健全な水循環を確保することが必要である。本研究は、水の有効利用を通じて河川や下水道への負荷のみならずエネルギー消費を軽減した健全な水循環を構築することを目的とし、居住環境に応じた水の有効利用手法についての研究開発を行っている。これらの開発により、家屋スケールにおいて、水使用の合理化が図られ、水道原水の取水量抑制による河川環境への影響低減や水道が持つ未利用エネルギーの活用により電気エネルギー等の環境負荷低減効果が期待される。3カ年の研究期間において、最終年度である本年度は、プロト機を用いた実験により、アクアハウスの実現性について検証するとともに、本研究を総括した。

分担研究者

杉山 俊幸 山梨大学工学部土木環境工学科教授  
松井 佳彦 岐阜大学工学部社会基盤工学科教授  
長岡 裕 武蔵工業大学工学部都市基盤工学科助教授  
伊藤 雅喜 国立保健医療科学院水道工学部水道計画室長  
藤原 正弘 (財)水道技術研究センター理事長

A. 研究目的

水道として生活に関わる「水」は、流域圏の大きな水循環系を構成する重要な要素となっており、個別の水利用形態から地域循環まで、健全な水循環を形成するうえで、欠くことのできないものである。また、水道水としての利用は、下水道への負荷や消費エネルギー等の環境負荷が大きく、極力低減することが重要な課題となっている。これらの課題に対応するため、水道水利用の原点である各家屋等で、生活用水の利用を量、質の

両面から合理化し、節水を促進することで、健全な水循環を確保することが必要である。本研究では、水の有効利用（節水とエネルギー活用）を通じて河川や下水道への負荷のみならずエネルギー消費を軽減した健全な水循環を構築することを目的とし、居住環境に応じた水の有効利用手法（家屋スケール）についての研究開発を行う。また、家屋内での水の循環使用に伴って生ずる衛生的問題を回避するため、給水装置・用具の機能不全に由来する漏水および水質汚染等の事故事例の解析や、異常水流・異常水質等の早期検出に基づく維持・リスク管理方法の検討等により、望ましい給水システムの構築方法を研究する。

## B. 研究方法

本研究は、2つのサブテーマに分けて実施しているが、これを実行するための研究体制として、別表1に示すように、合同研究委員会の下に2つの研究委員会を設置し、両研究委員会で各サブテーマの実質的な研究計画、研究方法その他を審議・検討してきた。

2つのサブテーマでの研究方法は下記の通りである。

### (1) 水有効利用のための給水システム構築に関する研究

学識者、水道事業体および民間企業からなる「水有効利用のための給水システム構築に関する研究委員会」を設置し、研究計画その他に関して審議・検討を重ねた上で研究を実施している。3カ年計画の3年目にあたる本年度は、都市-Bにおける事故事例解析や、給水装置・用具に関する調査と維持管理方法の検討を行うと共に、水圧・水量・水質の異常現象検出装置の検出感度・解析方法の検討、および、逆流防止装置の機能に関する検討を行った。

### (2) 家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究

本研究は産学官の共同プロジェクトとして実施しているが、その実施に当たっては、学識者、水道事業体、および民間企業からなる「家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究委員会」を設置し、種々の審議、検討を重ねながら研究開発を推進した。3カ年の研究期間において、最終年度である本年度は、プロト機を用いた実験により、アクアハウスの実現性について検証する

とともに、本研究を総括した。

### (倫理面への配慮)

給水システムにおける事故事例等調査においては、全国の水道事業体及び管工事業者組合等公共的団体が把握している総体的事故件数及び事故内容に関しての調査を実施し、給水用具の製造メーカーに対しては、既に公表している範囲のデータを収集するものであり、倫理的な問題は生じない。また、家屋スケールでの水循環の研究では、家庭内での水需要量や水質などの実態把握が必要となるが、これらについては、平成14、15年度において、公表された文献・データ等を引用して調査を実施したため、個人の家庭に対し直接的な調査は実施しなかった。また、今後も実施する予定はないため、倫理面への配慮については、特に必要性はないと考えている。

## C. 研究結果

2つのサブテーマの研究結果の概要は下記の通りである。

### (1) 水有効利用のための給水システム構築に関する研究

#### 1. 給水システムの維持管理方法に関する研究結果；

下記3種の解析と検討を行った。

都市Bを研究対象として、配水圧力と事故工事件数との関連性の検討を行った。その結果、配水圧力は事故工事件数と相関性を持っている事が認められた。

一方、給水用具製造者(7団体)に対して行った給水用具に関するアンケート調査では、故障頻発箇所、重点的点検部位及び点検時期・頻度等、平均的耐用期間・交換時期や望ましい保守点検時期等を明らかにする事が出来た。

また、平成14~16年度にかけて実施したアンケート調査結果に基づいて、給水システムの維持管理の現状と問題点を整理すると共に、維持管理のあり方や方向性について検討し、給水システムの維持管理に関する今後の努力目標としての3項目を指摘できた。

#### 2. 給水システムのリスク管理方法に関する研究結果；

##### 2.1 水撃作用「水圧(音・振動)変動異常」の検出方

法； スティール製給水管で発生させた振動データの解析と水撃作用判定システムの構築を行ったが、「継続時間」と「位相差割合」とをファジィ演算に組み込んだ「水撃作用の判定システム」により100%の精度で判定することができた。

2.2 水量、水質（EC、ORP 等）異常の検出方法；  
流量計、圧力計、EC や ORP を受水槽水道（5 階建て）の蛇口付近に設置して測定・解析した結果、圧力センサーにより建物全体の水使用パターンを把握できること、ORP は水質変化に敏感に応答すること、管内の損失水頭係数による漏水検出の可能性等を明らかにした。

2.3 濁度・懸濁粒子数・吸光度等を指標とした水質異常の検出方法； 透過光と散乱光濁度の計測器を製作して検討の結果、散乱光は濁度 1 度を十分に検知する感度を持つ事、および、水質異常を「時間当たりの濁度変化率」で表す時、濁度 1 度以上の突発的上昇を検出可能な事が明らかとなった。上記の事は、濁度 1 度の錆粉末添加模擬実験（濁度変化率  $\pm 1.37$  度/2 分以上）でも確認された。

2.4 水質変換装置などの給水システムへの導入方法； 減圧式逆流防止器や複式逆止弁などに対して噛込み（ワイヤー）の有無による負圧破壊性能試験等を実施した。噛込み；無、一次側噛込み；有の状態では一部の製品で逆流が認められた。一次・二次両側に噛ませた場合、減圧式逆流防止器を除く複式逆止弁、二重式逆止弁では逆流防止機能は全く期待できないことを確認した。

(2) 家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究

#### 1. カーテン開閉システムの検証

未利用エネルギーである水道水圧の利用に着目し、水道水圧で駆動するシリンダシステムについて、ガス圧駆動シリンダを用いた実験結果より、水道水圧駆動シリンダの仕様を設定した。その仕様に基づき試作した水圧駆動専用シリンダ（アクアシリンダ）は、一般的な家屋の給水栓圧力（0.2MPa 程度）で滑らかに駆動することを確認した。本シリンダを適用したカーテン開閉システムは、プロト機を用いた実験結果より、その実用性を検証することができた。

#### 2. ウィンドウ貯水システムの検討

温水製造、ならびにシリンダで使用した水の貯

水槽としての利用を考えているアクアウィンドウに関して、プロト機を製作して検討を行った結果、晴天時であれば、秋季でもウィンドウ貯水は 40℃程度まで昇温できることを確認した。また、ウィンドウ貯水の塩素濃度は急激に減少するが、約 3 ヶ月の試験期間では、ウィンドウ内面の汚染は確認されなかった。さらに、貯水によるウィンドウガラス面のゆがみ、たわみは生じなかったことから、アクアウィンドウの実現性について確認することができた。

#### 3. 水質目標値の設定について

アクアハウスにおける水の多段階利用においては、各使用段階における水質目標値は特に設ける必要は無く、水道水質基準を満たす残留塩素を含有する水道水を 1 段階目で使用することで、比較的安全な水の使いまわしが可能であることを確認した。

#### 4. LCA 的概念に基づく環境負荷低減効果の試算

LCA 的手法を用いて試算した結果、アクアウィンドウにおける温水製造により、風呂水の湯沸しに伴う CO<sub>2</sub> 排出量を削減できる可能性が示唆された。

#### D. 考察

サブテーマ (1) からは、①配水圧力の操作による給水システム内事故発生防止の可能性、給水装置・用具の故障頻発箇所、重点的 point 点検部位、点検時期・頻度等、平均的耐用期間・交換時期や望ましい保守点検時期等の明確化、および給水システムの維持管理方法確立の可能性、②不適切な装置工事や、給水システム内における給水装置・用具の機能不全とこれらに由来する水質異常の早期検出と迅速対応の可能性の具体化、③水質異常による衛生的問題発生の未然防止の可能性、④逆流防止装置等における機能不全監視の必要性などが示唆された。

一方、サブテーマ (2) の研究からは、家屋スケールでの水循環（多段階利用）を達成し、水使用を合理化することで、水の有効利用や環境負荷低減が推進され、①水道原水の取水量抑制による河川環境への影響低減と、需要水量の日変動抑制による浄水場の安定運転、②家庭排水の削減による下水道への負荷低減や、水道水圧などの未利用エネ

ルギー活用による電力エネルギー等の消費量減少にともなう環境負荷低減、③家屋内における再利用水の安全性の向上、および衛生面の確保、といった効果が期待され、安全で衛生的、且つ快適な家屋内水循環が形成できる可能性が示唆された。

## E. 結論

2つのサブテーマの研究から、以下の結論が導かれた。

### (1) 水有効利用のための給水システム構築に関する研究

本研究では、①給水システムにおける漏水等の事故事例の解析や給水装置・用具の維持管理方法、②異常水流・異常水質等の早期検出方法の開発、③逆流防止装置・器具類の機能などに関する研究を実施した。その結果、給水システム内における事故・工事の実態の明確化と望ましい給水システムの維持管理法確立の可能性、不適切な装置工事や給水システム内における給水装置・用具の機能不全に由来する水質異常等の早期検出と迅速対応の可能性がより具体化し、水質異常による衛生的問題発生 of 未然防止の可能性などが示唆された。したがって、これらの研究を基礎として、水利用の合理化・有効利用の目的に合致した安全性の高い給水システムの構築と維持管理・リスク管理が可能となるものと考えられた。

### (2) 家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究

未利用エネルギーである水道水圧の利用に着目し、水道水圧で駆動するシリンダシステムについて検討を行った結果、一般的な家屋の給水栓圧力(0.2MPa程度)で滑らかに駆動する水道水圧駆動シリンダ(アクアシリンダ)を試作することが出来た。また、温水製造、ならびにアクアシリンダで使用した水の貯水槽に利用する窓貯水システム(アクアウインドウ)に関しては、プロト機を用いた試験の結果、40℃程度の温水製造が可能であることを確認した。これら機器を備えたアクアハウスにおける水有効利用モデルの一例を構築し、LCA的手法を用いて、アクアハウスのCO<sub>2</sub>排出削減量を試算した。その結果、アクアウイン

ドゥにおける温水製造により、風呂水の湯沸しに伴うCO<sub>2</sub>排出量を削減できる可能性が示唆された。なお、アクアハウスにおける水の多段階利用においては、各使用段階における水質目標値は特に設ける必要は無く、水道水質基準を満たす残留塩素を含有する水道水を1段目で使用することで、比較的安全な水の使いまわしが可能であることを確認した。以上の検討結果から、家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する様々な知見を得ることができた。

## F. 健康危険情報

特に記載する事項なし。

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

特に記載する事項なし。

### 2. 学会発表

各分担研究報告書にも個別に記載しているが、それらをまとめて、以下に示す。

#### (1) 既発表

- 1) 森 一晃、国包章一、青木 光：給水装置の高度化に伴う給配水システムへの影響の検討、きゅうすい工事、4(1)、pp.27-30(2003)
- 2) 中村文雄：一都市における給水工事・事故の発生状況と事故発生数の推定、きゅうすい工事、5(1)、pp8-11(2004,1)
- 3) 蘇武政文、長岡 裕：給水システムにおける異常現象の検出に関する基礎的研究、第31回土木学会関東支部技術研究発表会講演集、VII-58、(2004,3)
- 4) 蘇武政文、長岡 裕：給水システムにおける異常現象の検出に関する基礎的研究、第55回全国水道研究発表会講演集、494-495(2004,6,18)
- 5) 蘇武政文、長岡 裕：給水装置における異常現象検出システムの開発、土木学会第59回年次学術講演会講演概要集、7-003、2004
- 6) 山岸貴行、松井祐介、村瀬良太、松井佳彦、井上隆信、松下拓、;給水栓末端における濁度水質モニター、平成15年土木学会中部支部研究発表会講演概要集 pp.603-604(長野、2004,3)
- 7) 中村 文雄、林 武治：一都市における給水工事・事故の発生状況と発生数の推定、第55回全

国水道研究発表会講演集、pp. 484-485 (2004, 6, 18)

- 8) 中村文雄、林 武治、花田裕己：給水装置における事故事例等の実態調査、第 55 回全国水道研究発表会講演集、pp. 486-487 (2004, 6, 18)
- 9) 杉山俊幸、中村文雄、松本正文：給水管の止水時の振動特性の把握、平成 16 年度土木学会全国大会第 59 回年次学術講演会講演概要集、VII-004 CD-ROM Proceeding, (2004, 9)
- 10) 中沢裕貴、森 一晃、国包章一：直結給水の拡大と逆流防止器の設置によるリスク軽減方策の評価・検討、第 55 回全国水道研究発表会講演集、pp. 86-87 (2004, 6, 18)
- 11) 坂下大地、西村達也、藤原正弘、岸俊幸、紀谷文樹；水道水圧を利用した駆動シリンダの検討—家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究、第 55 回全国水道研究発表会講演集、pp. 86-87 (2004, 6, 18)

## (2) 発表予定

- 1) 杉山俊幸、林 栄次、中村文雄、松本正文：ファジィ理論を用いた水撃作用検出システムの構築、土木学会第 60 回年次学術講演会、(2005, 9, 投稿中)
- 2) 蘇武政文、石原健太、長岡 裕：受水槽給水システムにおける漏水及び水質異常検出のための基礎的検討：第 56 回全国水道研究発表会、(2005, 6, 投稿中)
- 3) 山本健司、藤原正弘、坂下大地、紀谷文樹：家屋内での水有効利用と環境負荷低減に関する研究、第 56 回全国水道研究発表会、(2005, 6, 投稿中)

## H. 知的財産権の出願・登録情報

分担研究報告書にも個別に記載しているが、それらをまとめて、以下に示す。

### 1. 特許取得

以下の発明について出願を行った。

- 1) 発明の名称 : 「建築物用採光窓及び建築物用採光窓を用いた水道水利用システム」  
出願人 : (株) 荏原総合研究所  
出願番号 : 2003-272554

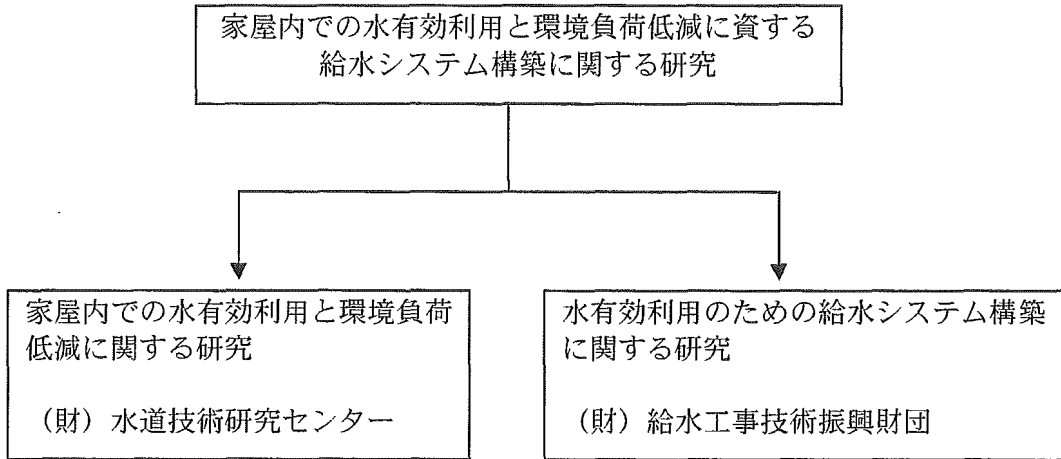
- 2) 発明の名称 : 「水圧による被開閉物駆動装置及び水利用設備」  
出願人 : (株) 荏原総合研究所  
出願番号 : 2003-114910



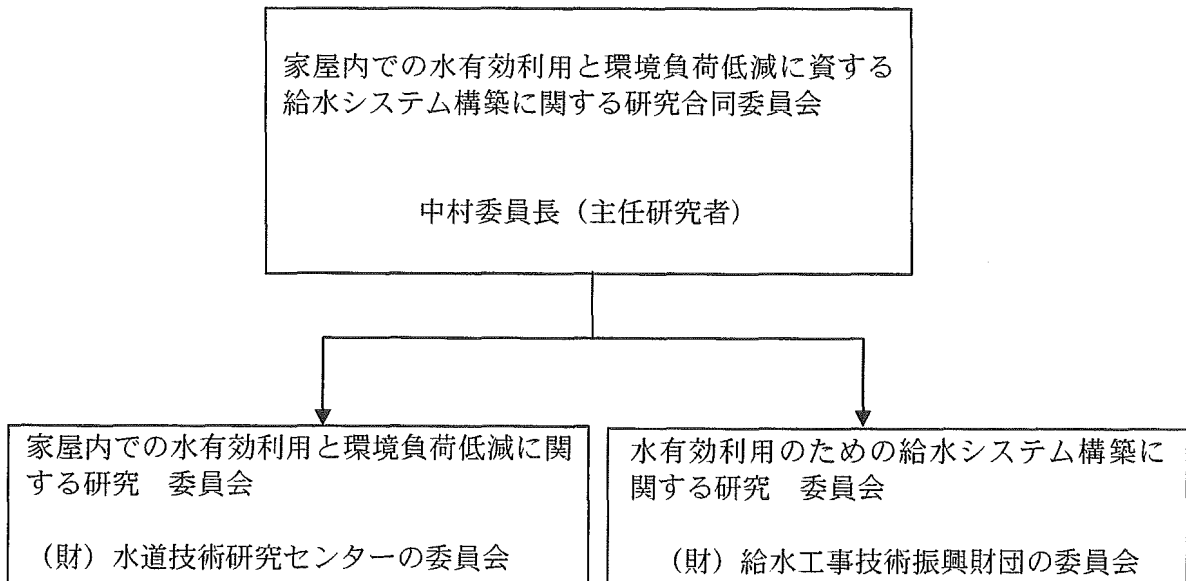
(別表1)

研究体制

○研究体制



○委員会構成



## Ⅱ. 分担研究報告書

## Ⅱ-1 水有効利用のための給水システム構築に関する研究

主任・分担研究者	中村	文雄
分担研究者	杉山	俊幸
分担研究者	松井	佳彦
分担研究者	長岡	裕
分担研究者	伊藤	雅喜

厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）

分担研究報告書

水有効利用のための給水システム構築に関する研究

主任・分担研究者 中村文雄 財団法人 給水工事技術振興財団 技術アドバイザー  
分担研究者 杉山俊幸 山梨大学工学部教授  
分担研究者 松井佳彦 岐阜大学工学部教授  
分担研究者 長岡 裕 武蔵工業大学工学部助教授  
分担研究者 伊藤雅喜 国立保健医療科学院室長

研究要旨

本研究では、①給水装置・用具の機能不全に由来する漏水等の事故事例の調査・解析や、②異常水流・異常水質等の早期検出方法の開発、③逆流防止装置・器具の機能・特性などに関する研究を実施した。その結果、給水システム内における事故・工事の実態と望ましい給水システムの維持管理の方向性を明らかにし、また、不適切な装置工事や給水システム内における給水装置・用具の機能不全に由来する水質等の早期異常検出と迅速対応の可能性がより具体化し、水質異常による衛生的問題発生 of 未然防止の可能性を高める事が出来た。したがって、これらの研究成果を基礎として、水利用の合理化・有効利用の目的に合致した安全性の高い給水システムの構築が可能となるものと考えられた。

A. 研究目的

家屋内での水の循環使用に伴って生ずる衛生的問題を回避するため、給水装置・用具の機能不全等に由来する漏水および水質汚染等の事故事例の解析研究や異常水流・異常水質等の早期検出方法の開発研究をベースとする維持・リスク管理方法の検討等により、安全性の高い、望ましい給水システムの構築方法を研究する。

B. 研究方法

学識者、水道事業体および民間企業からなる「水有効利用のための給水システム構築に関する研究委員会」を設置し、研究計画その他に関して審議・検討を重ねた上で研究を実施している。3ヶ年計画の3年目にあたる本年度は、都市-Bにおける配水圧力と漏水等事故事例解析や、給水装置および給水システムの維持管理方法の検討を行うと共に、水圧・

水量・水質の異常現象検出ための実験装置作成・改良とその検出感度や解析方法の検討および逆流防止装置の機能に関する検討を行った。

(委員会構成)

別表 2

(倫理面への配慮)

給水システムにおける事故事例等調査においては、全国の水道事業体及び管工事組合等公共的団体が把握している総体的事故件数及び事故内容に関する調査を実施し、給水用具の製造メーカーに対しては、既に公表している範囲のデータを収集するものであり、倫理的な問題は生じない。

C. 研究結果

本研究では、表記サブテーマの中の主要テーマについて、各分担研究者がそれぞれ分担して研究を実行しているが、本年度においては、給水システムの維持管理面の研究として、「大都市における給水システム関連事故・工事に対する検討〔3〕」、「給水装置における事故事例等の実態調査と解析」、「給水システムの維持管理の現状と問題点と、維持管理の方向性に関する考え方」の3テーマの研究を、リスク管理面の研究として、「水撃作用(水圧〔音・振動〕変動異常)の検出方法に関する研究」、「濁度・懸濁粒子数・吸光度等を指標とした給水システム内における水質異常の検出;トレンド出力型濁りモニターの試作と評価」、「リスク管理目的に合致した異常現象の検出方法に関する基礎的研究;(水量、水質(EC, ORP)異常等の検出)」、「水質変換装置などの給水システムへの導入方法」の4テーマの研究、合計7テーマの研究を行った。

以下に、それらの研究成果をまとめて示す。

## II-1-1 給水システムの維持管理に関する研究(1)；

### 大都市における給水システム関連事故・工事に対する検討〔3〕

・・・配水圧力と給水系事故・工事件数との関連性・・・

主任・分担研究者 中村文雄 (財)給水工事技術振興財団 技術アドバイザー

#### 1、はじめに

平成14年度の研究においては、都市-Aにおける2001年1月～2002年3月にかけての給水系および排水系事故件数について検討した。その結果、①給水系工事数は、各地区の世帯数、人口、水道メーター数、給水量、面積と高い相関性を持ち、これらを説明変数とする重回帰式により各地区の事故数（総事故数、給水系事故数、排水系事故数）が推定できること、②給水系事故総数は高温期に増大する傾向があること、③給水量は、給水系事故数と正の相関性を示すこと、④各地区の給水系事故数は、総じて、比較的高い配水圧力で給水されている地域の「人口・件数・面積」と相関性を持つ傾向が認められた。しかし、統計的には有意の相関性が認められるにしても、配水圧力と給水系事故件数との関係を明らかにするためには、より多くの事例の検討を行なう必要があると考えられた。

なお、②に関しては、北から南にかけての6都市の給水システムにおける事故・工事件数の季節および気温依存性の検討と、周期変動性の検討を行った平成15年度の研究<sup>2)</sup>において、6都市の「事故発生総数/月」の経月変動は、12ヶ月単位の周期的な変動を反復しており、周期関数式によりシミュレート出来る事が確認されている。

そこで、本年度は、直営率が高くデータ集積度が高い都市-Bを研究対象都市とし、平成14年度の諸データを用いて上記④を確認する事に主たる研究目的を設定し、併せて、①、②および③の再確認を行う事とした。

#### 2、調査対象都市の概要と解析データ

都市-Bは、18の行政地区に区分されている。水道にかかわる事務および技術的対応は、各行政区内に設置された18営業所で為されており、給水システムの修繕・工事に係わる業務やデータ処理も営業所単位で行われている。したがって、ここでは、営業所単位に集積された宅地内の修繕・工事数（以下、「事故工事数」と略記する）の14年度データを用いている。

一方、配水系統は行政区とは独立して敷設されており、配水系単位で水質や圧力などの水道計測設備（以下、計測点と略記）が設置されている。この計測点数は、平成14年度時点において265計測点があり、配水圧力が1分周期で連続的に計測・記録されている。

そこで、まず、最大圧力、最小圧力、平均圧力について日平均圧力に変換していただいた各計測点の配水圧力データを、「市内配水管図」と「都市-Bの拡大地図」とを参考にしながら、その所在位置を確認して18営業地区に分類し、平成14年4月1日から平成15年3月31日にかけての連続データに整理した上で解析した。

なお、「市内配水管図」上にその位置を特定できない計測点や、工事、点検及び機器故障時のデータ欠測が2週間以上連続する計測点のデータは解析に用いなかったため、最終的に解析に利用したのは254計測点のデータである。また、これら254計測点の内、データ欠測期間が2週間以下である若干数の計測点の場合には、後述のように、データ変動が比

較的安定している事と、その期間が連続データの中の 14/365 以下の期間であって、年間変動の中では許容できる変動期間であると考えられた事から、欠測開始前日のデータをその期間のデータとして貼り付けて、年間連続データとした後に解析に使用した。

### 3、解析結果

#### 3-1、都市-Bにおける宅地内修繕工事発生状況

ここで用いたデータは、前述のように、所定の様式で営業所単位にまとめられたものである。ただ、この様式に基づいたデータが更に整理されている平成 15 年度研究使用データとは、その構成と内容に若干の差があることには予め留意する必要がある。

図-1 は、平成 14 年度における 18 地区の宅地内修繕工事発生状況を示している。各地区の給水人口や世帯数、面積などが異なるため各地区の工事発生件数は異なるが、各地区平均で 3,500 件/年である。

一方、各地区の 1000 世帯当りの件数/年を図-2 に示す。1000 世帯当りの工事数には、

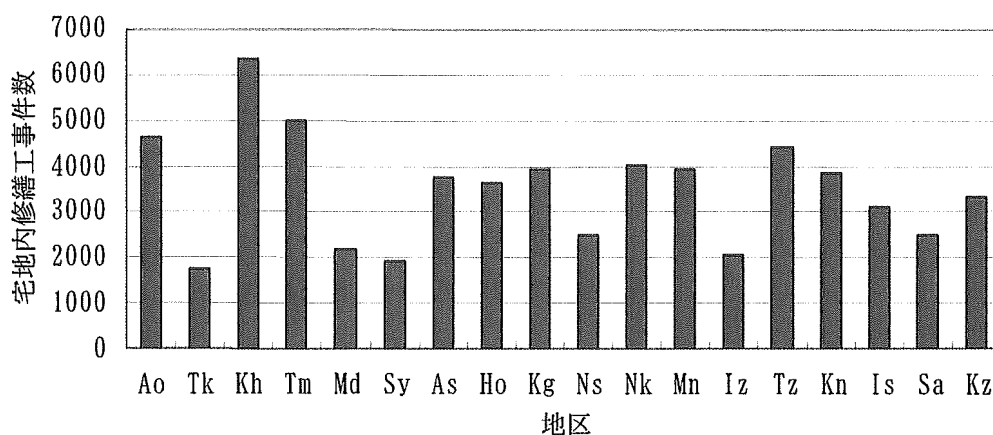


図-1 平成 14 年度における各地区の宅地内工修繕・工事件数

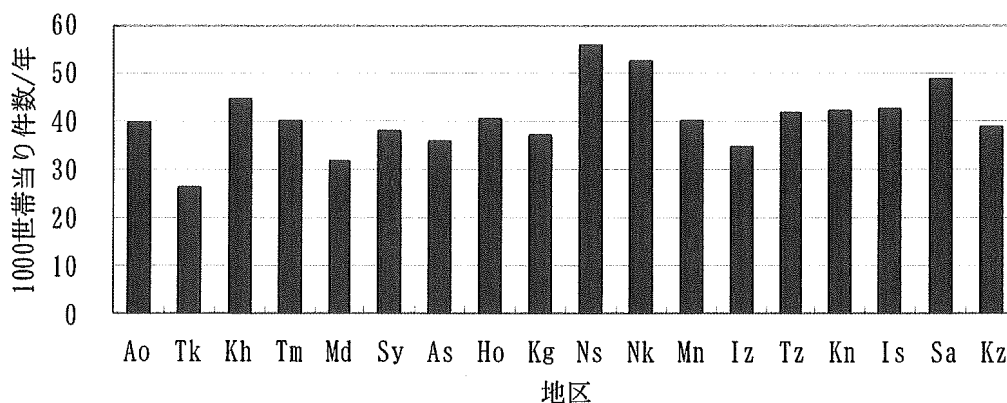


図-2 1000 世帯当りの宅地内工修繕・工事件数

依然として地区間の差が存在するが、図-1 に示す地区間の変動幅がかなり平滑化されている傾向が認められる。この事は、各地区内の世帯数のみでは各地区間の工事数の変動を説明できないにしても、当該地区の給水系事故工事数を決定する因子として作用していることを示唆していると言えよう。

なお、給水人口 1000 当り、水道メーター数 1000 当り、給水量  $10^6\text{m}^3$  当り、および、面積  $1\text{km}^2$  当りの各地区間の変動は、図-2 の示す傾向とほぼ類似していることが認められ、世帯数と類似の作用効果を持っているものと考えられた。

そこで、平成 14 年度のデータを用いて、各地区の給水系事故工事総数を目的変数とし、各地区の単位（世帯数、給水人口、水道メーター数、給水量、面積）当りの事故工事数を説明変数として重回帰分析を行なった。求められた重回帰式は下記の通りである。

$$\text{事故工事総数} = 71.6427X_1 - 5478X_2 - 30.798X_3 + 95.208X_4 - 39.864X_5 - 96.565 \dots (1)$$

ここで、 $X_1$ =世帯数 (x 1000)、 $X_2$ =人口 (x 1000)、 $X_3$ =水道メーター数 (x 1000)

$X_4$ =給水量 ( $10^6\text{m}^3$ )、 $X_5$ =面積 ( $\text{km}^2$ )

また、この重回帰式に基づく各地区の事故工事発生件数の推定値と実際値との対応関係を図-3 に示す。

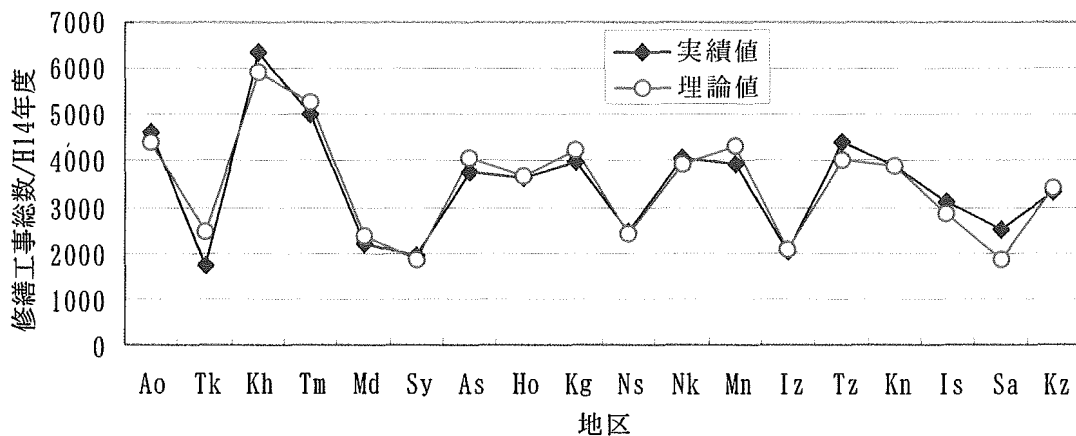


図-3 重回帰式による事故工事件数の実際値と推定値

図-3 に見るように、各地区の給水系事故工事数の実際値と推定値は殆ど一致している事が認められる。すなわち、両者は、決定係数=0.9280、重相関係数=0.9633 の相関関係にあり、1%危険率で有意レベルにある（自由度=17、1%危険率で相関係数=0.575 で有意）。換言すれば、重回帰式(1)により各地区の給水系事故工事件数がほぼ確実に推定されていると言える。

以上のように、都市-Bにおいては、①給水系事故工事件数には地区間の大きな差があること、②給水系事故工事数は、各地区単位（世帯数、人口、水道メーター数、給水量、面積）当りの工事件数を説明変数とする重回帰式により各地区の事故工事数が推定できることが認められた。この現象は、都市-A（都市-T<sup>2</sup>）でも認められたことであり、両都市に共通した現象であ



ることが確認される。

### 3-2、事故工事発生季節性

本年度に用いているデータにおける「その他」の内容が不明であるので、ここでは、事故工事内容が明確な「破裂・漏水」「漏水調査」「開放し」「補助取替」「ポールタツプ」「水出不良」「水質関係」の7項目の合計値を用いて、その合計値の月変動を検討した。

市全体における事故工事数は、4月から徐々に増大し、高温期の8～10月にピークをとり、その後徐々に低下し、1～2月頃にやや増大して再び低下する傾向をもつ事が認められた。

一方、各地区の事故の月変動の1例として6地区の月変動を図-4に示す。これを微視的に見れば地区間の独特な変動差が存在するが、巨視的に見れば、ほぼ例外無く、高温期の8～10月にピークをとる上述の市全体の傾向と同様な変動を示している。このような変動傾向は、他の12地区においてもほぼ共通に認められている。

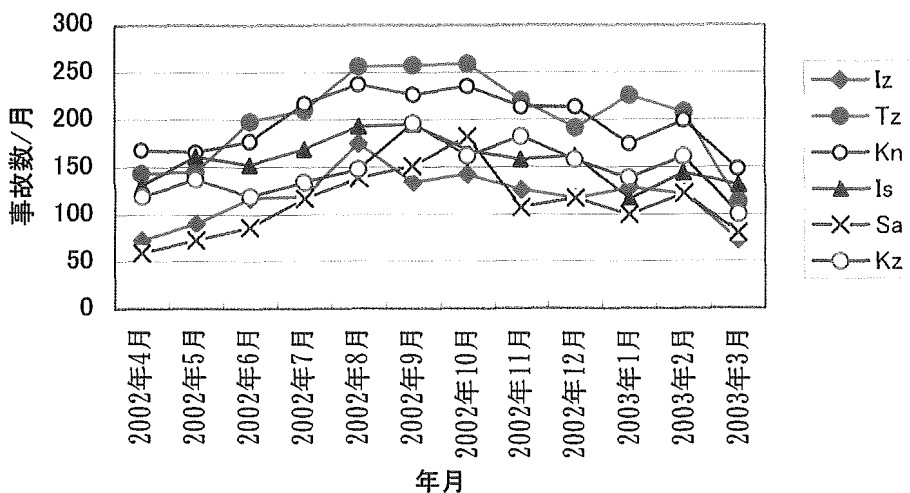


図-4 6地区における事故工事件数の月変動

6都市の事故工事件数の検討結果から、事故工事件数は周期的な変動を持つ事が認められており<sup>2)</sup>、平成11～13年度のデータからは、都市-Bにおける事故工事件数は、下記の周期関数式でシミュレートできた。また、この式による理論値の月変動は図-5に示す通りである。

$$\begin{aligned}
 \text{工事総数} &= 6.89 - 283.91 \cos(K_i \times \pi / 6) + 9.39 \cos(2 K_i \times \pi / 6) + 47.61 \cos(3 K_i \times \pi / 6) \\
 &+ 586.99 \sin(K_i \times \pi / 6) + 281.26 \sin(2 K_i \times \pi / 6) - 147.94 \sin(3 K_i \times \pi / 6) \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$

ここで、 $K_i$ ；各月の固有値(-5～+6)

上述の8～10月にピークをとる各地区の月変動傾向は、当然の事であるが、図-5に示す理論値の月変動と同じ変動を示している。

このように、夏季の高温期に事故工事数がピークとなる上述の傾向は、高緯度地域に位置している都市-Sを除く他の5都市で共通に認められた現象である<sup>2)</sup>。

なお、1～2月の低温期に出現する特異的な増大傾向は、同じく中緯度地域に位置する都

市-Aでも同様に認められた傾向であり、これらの事は、給水系の事故工事が気温および気温と関連する諸因子の影響を強く受けている事を示唆していると考えられる。

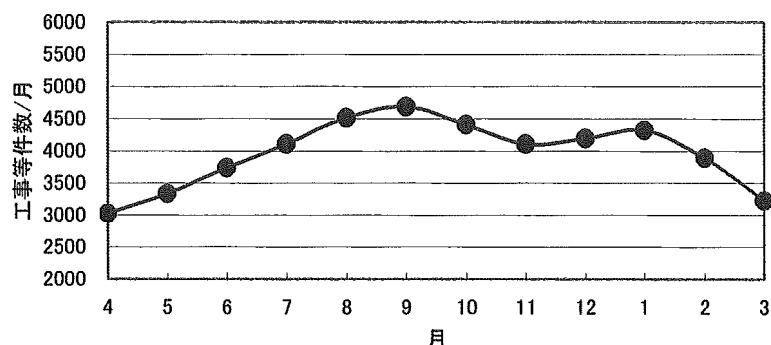


図-5 周期関数式(2)によるシミュレーション結果

### 3-3、配水圧力と事故工事件数との関係

平成14年度の研究において<sup>1)</sup>、都市-Aにおける各地区の給水系事故工事数は、総じて、比較的高い配水圧力で給水されている地域の「人口・件数・面積」と相関性を持つ傾向が認められた。しかし、配水圧力をパラメーターとする散布図の分散度は高いので、統計的には有意の相関性が認められるにしても、配水圧力と給水系事故との関係を明らかにするためには、より多くの事例の検討を行なう必要があると考えられた。そこで、都市-Bにおけるより多数地点のデータを用いて、両者の関係を検討する事にした。

#### 3-3-1、配水圧力変動の状況

先述のように、ここでは、都市-B全域に設置されている254の計測点(10~27計測点/地区)において1分周期で計測された「最大圧力」「最小圧力」「平均圧力」を日平均圧力に変換した平成14年度のデータに対して、18行政区域毎に分類し、365日の時系列データに書き換えて解析に使用した。なお、各地区における計測点間の各圧力の年平均値にはかなりの変動があるが、事故工事件数が地区単位となっているので、ここでは各地区における全計測点の年&日平均値を地区の代表値として使用する事にした。

各圧力の日間変動の一例として、図-6に、Ao地区における「最大圧力」「最小圧力」「平均圧力」および「差圧(最大圧力と最小圧力との差)」に関する19計測点の平均値の日変動を示す。また、表-1に、各圧力の19計測点全体の年平均値と変動の振幅(3σ)を示す。

表-1、Ao地区19計測点の各圧力の年平均と変動振幅(3σ)、単位;MPa

	最大圧力	最小圧力	平均圧力	差圧
年平均値	0.480	0.331	0.420	0.149
3σ	0.019	0.037	0.005	0.043

図-6に見るように、Ao地区における最小圧力と差圧(最大圧力-最小圧力)の日変動には3次式近似可能な傾向の変動が認められるが、最大圧力と平均圧力は1次式近似可能な比較的安定した変動を示している。また、これらの変動幅(3σ)は0.020~0.045Mpaの範囲

内にあり、総じて、変動幅は小さいと言える(表-1 参照)。

しかしながら、変動幅が総じて小さい事はほぼ共通しているとは言え、図-6 に示される日変動傾向が 18 地区に共通しているわけではない。例えば、18 地区における最大圧力の全計測点平均値の変動に関しては、3 次曲線近似可能；6 地区、夏季に凸または凹の 2 次曲線近似可能；5 地区、+ ~ - の勾配を持つ 1 次直線近似可能；7 地区 と言った多様な変動性を持っている。この傾向は、最小圧力、平均圧力、差圧に関する全計測点平均値でも共通に認められた。

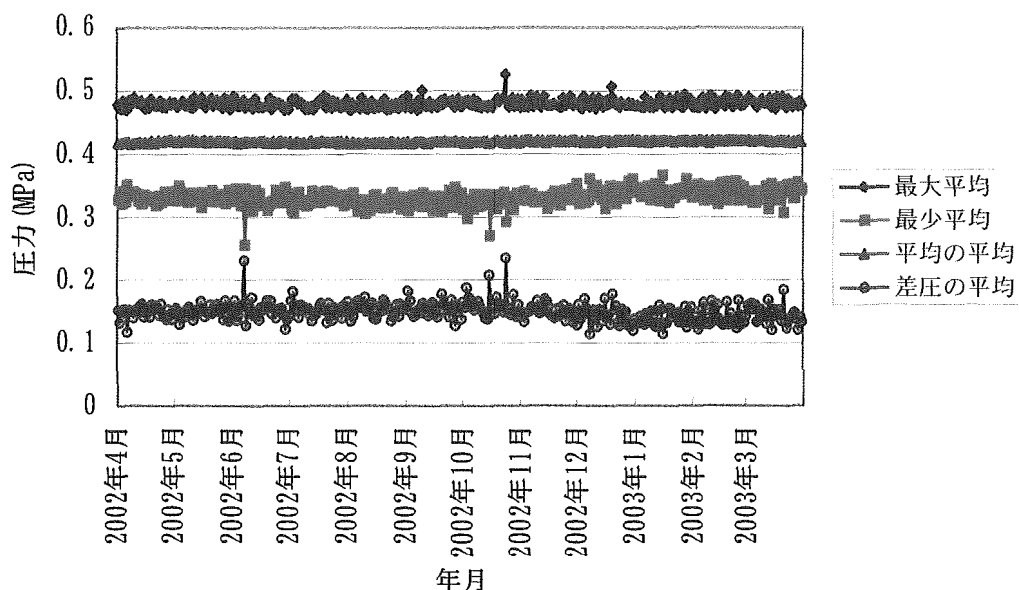


図-6 Ao 地区における各圧力に関する 19 計測点の平均値の日変動

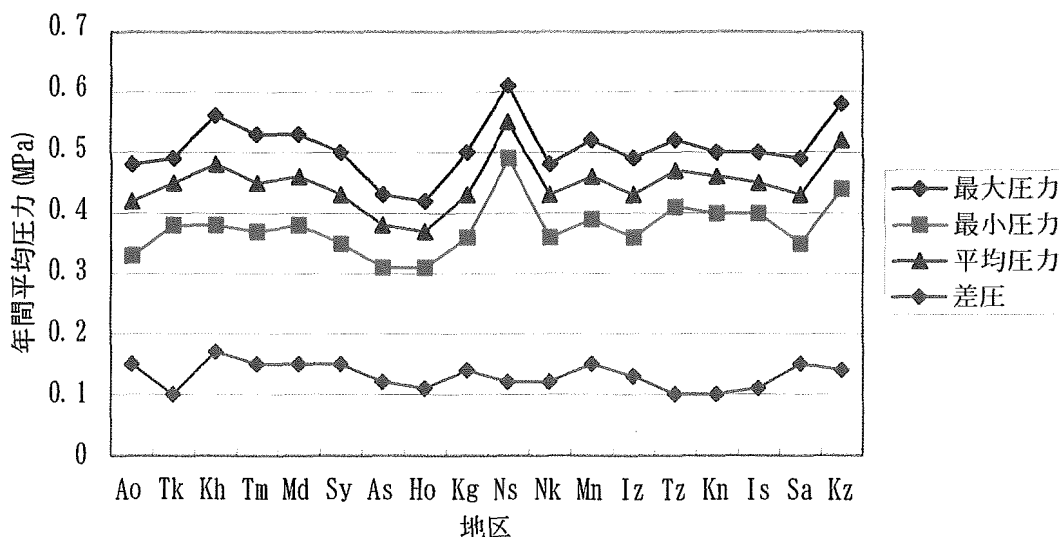


図-7 各地区の年平均圧力

このようにして求めた各地区における各圧力の年平均値を図-7 に示す。また、各圧力年

平均値における各地区の変動状況を表-2に示す。

図-7に見るように、年平均の最大圧力・最小圧力・平均圧力は、地区により差があり、それらの最大値をとる地区はNs地区、また、最小値をとる地区はAsやHo地区であり、その差は0.3MPaに達している。しかし、差圧（最大圧-最小圧）における地区間の差は大きいものではない。また、表-2から、差圧を除く「各圧力の最大値と最小値との差」はほぼ同じで、0.18MPa近傍にあることが示されている。

表-2 各圧力 (MPa) の年平均値における各地区の変動状況

	平均最大圧力	平均最小圧力	平均圧力の平均	差圧
最大値	0.61	0.49	0.55	0.17
最小値	0.42	0.31	0.37	0.10
最大値-最小値	0.19	0.18	0.18	0.07
平均値	0.51	0.38	0.45	0.13

上記の各地区の圧力変動の状況をまとめると以下のようになる。

- 1) 図示していないが、各地区に存在するそれぞれの計測点（10～27計測点/地区）の日変動は、1年間、ほぼ安定した状態で推移している。しかし、各計測点の年間平均圧力には、それぞれ大きな差が存在する。
- 2) 地区内全ての計測点のデータより求めた地区全体の平均圧力の日変動の変動幅は、総じて小さい事はほぼ共通している。しかし、最大圧力、最小圧力、平均圧力、差圧ともに、その日変動は、3次曲線や2次曲線および1次直線に近似する事が可能な変動性を持っている事が認められた。

### 3-3-2、配水圧力と事故工事件数との関係

配水圧力と修繕工事件数との関係を見るために、単位当りの「事故工事総件数」および単位当りの「破裂・漏水件数」と、各圧力との相関性を検討した。

表-3 各地区の年平均圧力と単位当りの事故工事件数との間の相関係数

左欄	vs	右欄	最大圧力	最小圧力	平均圧力	差圧(最大-最小)
1000世帯当り		破裂・漏水	0.3195	0.4121	0.3310	-0.0306
		合計件数	0.3191	0.3567	0.3334	0.0319
1000人当り		破裂・漏水	0.4495	0.5311	0.4500	0.0105
		合計件数	0.3359	0.3626	0.3382	0.0447
1000メーター当り		破裂・漏水	0.2379	0.3276	0.2511	-0.0222
		合計件数	0.2132	0.2571	0.2331	0.0258
給水量 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> 当り		破裂・漏水	0.0542	0.0654	0.0105	0.1638
		合計件数	0.0126	-0.0679	-0.0594	0.3445
面積 Km <sup>2</sup> 当り		破裂・漏水	0.4463	0.5486	0.4659	0.0082
		合計件数	0.4124	0.4726	0.4254	0.0594