

3.6	基礎研究	3-71
3.6.1	配水管内流れを利用した管内水質コントロール	3-71
3.6.2	給水栓からの水道水サンプルの濁質分析による配水管診断の検討	3-74
3.7	まとめ	3-78
3.7.1	本年度の成果概要	3-78
3.7.2	来年度以降の予定	3-80
4.	第2研究グループ	4-1
4.1	研究目的	4-1
4.2	研究方針	4-1
4.3	アンケート調査結果の分析	4-2
4.4	既存技術調査	4-17
4.4.1	文献調査	4-17
4.4.2	レベルマップ	4-21
4.4.3	関連技術	4-63
4.5	基礎研究	4-65
4.5.1	水道管路の事故リスクに関する統計的分析	4-65
4.6	基礎実験	4-65
4.6.1	音響エコーを用いた水道管路の劣化検出（音響法）	4-83
4.6.2	電磁波の伝播と反射を用いた金属製水道管路の欠損の検出 （パルス・エコー法）	4-107
4.6.3	衝撃弾性波法に基づくダクタイル鋳鉄管の劣化度診断手法 に関する基礎研究	4-135
4.7	まとめ	4-147
4.7.1	本年度の成果概要	4-147
4.7.2	来年度以降の予定	4-149
5.	文献調査リスト	
5.1	文献調査リスト（第1研究グループ）	5-1
5.2	文献調査リスト（第2研究グループ）	5-38
6.	研究実施に関する方針・規定	6-1
6.1	実施に関する基本方針	6-1
6.2	管路研究委員会規定	6-6
6.3	研究グループ委員会規定	6-7

(参考資料)

管路内流下に伴う水質変化 —工業用水の場合— . . . . . 参-1

## 1. はじめに

# 1. はじめに

## 1.1 研究目的

日本の水道は、普及率が97%を超えており、国民の健康を維持する上で不可欠な施設であるとともに、日本経済の基盤として重要な役割を果たしている。平成16年6月に発表された「水道ビジョン」にも指摘されているように、今後とも水道は、環境保全に考慮しつつ、安全・安心な水を持続的に安定供給していくことが強く求められており、万一事故等が発生すると社会的な影響が大きいことから、不測の事態も想定した適切な施設の更新や維持管理が必要不可欠となっている。

昭和30年代から40年代にかけての面的な拡張期を経て、21世紀初頭を迎えて現在、拡張期に整備された水道施設の多くが老朽化してきており、将来にわたって施設機能を維持・向上し、市民へのサービスレベルを保持するためには、これらを計画的に更新していくことが大きな課題となってきた。特に、管路施設については、水道施設資産の約7割を占めていることから、今後、その資産をいかに適正なレベルに維持管理していけるかが、水道経営に直結する重要課題の一つである。

また、老朽管路の更新の遅れに伴い、腐食による漏水や破損事故の多発、赤水等の水質障害発生の増加が危惧されていることから、適切な診断・評価に基づいて予防保全措置としての管路更新への取り組みが急務である。

このため、本研究においては、今後予想される水道施設の更新期を前に、①老朽管路における水質劣化とその防止策等に関する研究、②管路の老朽度診断技術に関する研究の2つの研究テーマに取り組み、新しい水道技術を提示することにより、水道に託された使命を確実に果たすことができるようにするものである。

なお、本研究では「老朽管」を漏水や水質劣化の原因となり、更新の必要な管と定義し、また、「経年管」を布設後、相当年数経過した管と定義し、経年管が必ずしも管路更新の必要な老朽管とは一致しないこととした。

## 1.2 研究体制

本研究の円滑な推進のため、委員会を設置した。その構成は下記のとおりである。

### 1.2.1 プロジェクト組織

本研究の実施にあたっては、学識者（7名）、水道事業者（16事業者）及び共同研究参画企業（14社）の専門家で構成される研究委員会を設置し、そのもとに研究課題に応じて2つの研究グループ委員会及び幹事会を設け検討を行うものとした。組織図を、図1.2.1に示す。

なお、各委員会の適正な運営を図るため、管路研究委員会規定、ならびに、研究グループ委員会規定を定めた。

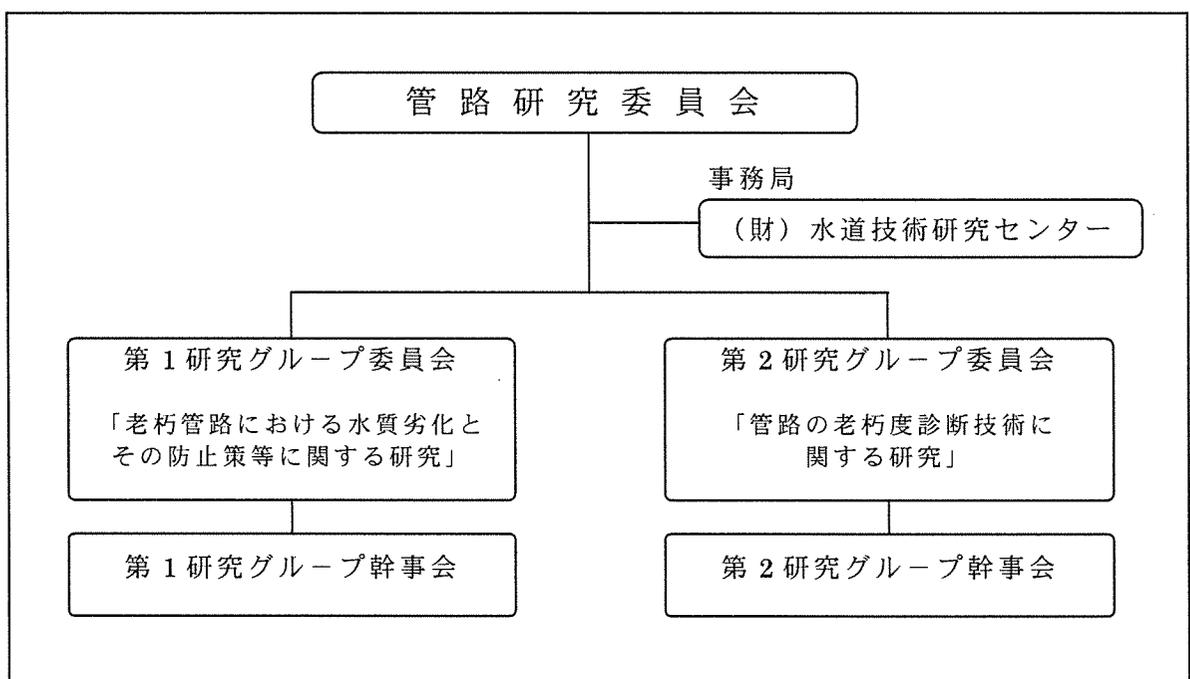


図 1.2.1 プロジェクト組織図

## 1.2.2 委員会構成

### 1) 管路研究委員会

本研究の総合的な推進を図り、各研究課題に関する研究の基本方針、研究の評価及び成果を総合的に検討した。

委員長	小泉 明	首都大学東京 大学院都市環境科学研究科
委員	細井 由彦	鳥取大学 工学部社会開発システム工学科
	松井 佳彦	北海道大学 大学院工学研究科
	長岡 裕	武蔵工業大学 工学部都市基盤工学科
	朝倉 祝治	横浜国立大学
	宮島 昌克	金沢大学 大学院自然科学研究科
	鎌田 敏郎	岐阜大学 工学部社会基盤工学科
事業体委員	第1～第2研究グループ全員（16事業体・16名）	
企業委員	第1～第2研究グループ全員（14社・21名）	

※ 平成17年度末現在の所属

2) 第1研究グループ委員会

老朽管路の水質に及ぼす影響（水質劣化や濁質発生の危険性）に関する診断・評価手法に関する研究を行った。

委員長	細井 由彦	鳥取大学 工学部社会開発システム工学科
委員	松井 佳彦	北海道大学 大学院工学研究科
	長岡 裕	武蔵工業大学 工学部都市基盤工学科
事業体委員	田中 博	大阪市水道局 工務部配水課
	西川 正博	大牟田市企業局 水質管理課
	平井 俊一	川崎市水道局 工務部設計課
	三浦 正孝	神戸市水道局 技術部配水課
	早川 裕之	名古屋市上下水道局 技術本部管路部配水課
	本間 利春	新潟市水道局 技術部浄水課阿賀野川浄水場
	相原 正一	横須賀市上下水道局 事業部水質課
	内藤 浄	横浜市水道局 配水部北部配水管理所
企業委員	船橋 五郎	株式会社クボタ 鉄管研究部
	道浦 吉貞	株式会社栗本鐵工所 鉄管研究部
	安藤 伸彦	株式会社クレハエンジニアリング 大阪出張所
	松嶋 茂之	JFE エンジニアリング株式会社 水道技術部
	川口 周作	新日本製鐵株式会社 水道施設部
	磯部 悦四郎	新日本製鐵株式会社 水道施設部
	井須 豊	日本水機調査有限会社 技術部
	大岡 俊明	日本水工設計株式会社 第3技術部
	木南 茂浩	フジ地中情報株式会社 生産技術課
	米田 隆一	クボタシーアイ株式会社 開発部

※ 平成17年度末現在の所属

### 3) 第2研究グループ委員会

管路の老朽度（腐食等）が効率的かつ簡易に調査・診断できる、非開削などの新技術に関する研究を行った。

委員長	小泉 明	首都大学東京 大学院都市環境科学研究科
委員	朝倉 祝治	横浜国立大学
	宮島 昌克	金沢大学 大学院自然科学研究科
	鎌田 敏郎	岐阜大学 工学部社会基盤工学科
事業体委員	池田 章	大阪府水道部 事業管理室管理課
	波佐間 四郎	熊本市水道局 建設課
	有吉 寛記	さいたま市水道局 給水部維持管理課
	牧野 恵造	千葉県水道局 技術部給水課配水施設室
	栗原 敬廣	東京都水道局 給水部配水課
	平本 裕一	長崎市上下水道局 水道部水道管理課
	安實 道成	福井市企業局 給水課
	中野 直樹	福岡市水道局 配水部事業調整課
企業委員	近藤 憲二	株式会社栗本鐵工所 鉄管エンジニアリング部
	林 光夫	株式会社クボタ 鉄管事業推進部
	松村 博史	株式会社クボタ バルブ技術開発部
	臼倉 進 (金井塚淳一)	株式会社進日本工業 技術顧問
	小島 賢一郎	積水化学工業株式会社 給排水システム事業部
	栗田 享	積水化学工業株式会社 給排水システム事業部
	瀬戸 賢治	日本上下水道設計株式会社 水道事業本部設計部
	佐藤 雄二	日本鑄鉄管株式会社 技術管理部
	杉山 修三 (川村 浩司)	日本鑄鉄管株式会社 商品開発センター
	鈴木 賢一	フジテコム株式会社 技術開発センター
	木村 雅夫	クボタシーアイ株式会社 技術部

( ) 内は前任委員

※ 平成 17 年度末現在の所属

### 1.2.3 幹事会構成

本研究を円滑に推進するにあたり、具体的な研究開発の推進については、技術、労力を要することから、研究グループ委員会規定で定めるところにより、各研究グループ委員会のもとに、参画企業により構成する幹事会を設置し、当センターおよび各参画企業が研究計画の実行、成果のまとめ等を分担した。幹事会の構成は下記のとおりである。

#### 1) 第1研究グループ幹事会

幹事長	船橋 五郎	株式会社クボタ 鉄管研究部
幹 事	第1研究グループ企業委員全員 (9社・10名)	

#### 2) 第2研究グループ幹事会

幹事長	近藤 憲二	株式会社栗本鐵工所 鉄管エンジニアリング部
幹 事	第2研究グループ企業委員全員 (8社・11名)	

なお、本研究の主任研究者および分担研究者は以下のとおり。

研究者区分	所 属	職 名	氏 名
主任研究者	(財) 水道技術研究センター	理事長	藤原 正弘
分担研究者	(財) 水道技術研究センター	常務理事	谷口 元
		常務理事兼技監	安藤 茂

また、事務局は下記の者で務めた。

#### (財) 水道技術研究センター

藤代 辰美 管路技術部長  
南葉 洋 主任研究員  
沼田 尚文 主任研究員  
佐藤 康彦 主任研究員  
阪田 正大 主任研究員

### 1.3 研究計画

本研究の実施予定期間は、平成 17 年度から平成 19 年度の 3 箇年である。この 3 箇年において、第 1 研究グループでは、「老朽管路における水質劣化とその防止策等に関する研究」として、「老朽管路における機能劣化と更新計画等に関する調査研究」や「当面の水質劣化対策技術に関する調査研究」をとおして、

- ① 管路における水質劣化のメカニズムの解明
- ② 管路の水質面における評価・診断手法の開発
- ③ 管路における水質劣化防止対策技術の開発

などを目標に研究に取り組み、従来の管路機能の評価手法に、管路の老朽度を管内水質の変化から定量的に評価する手法を取り入れる。

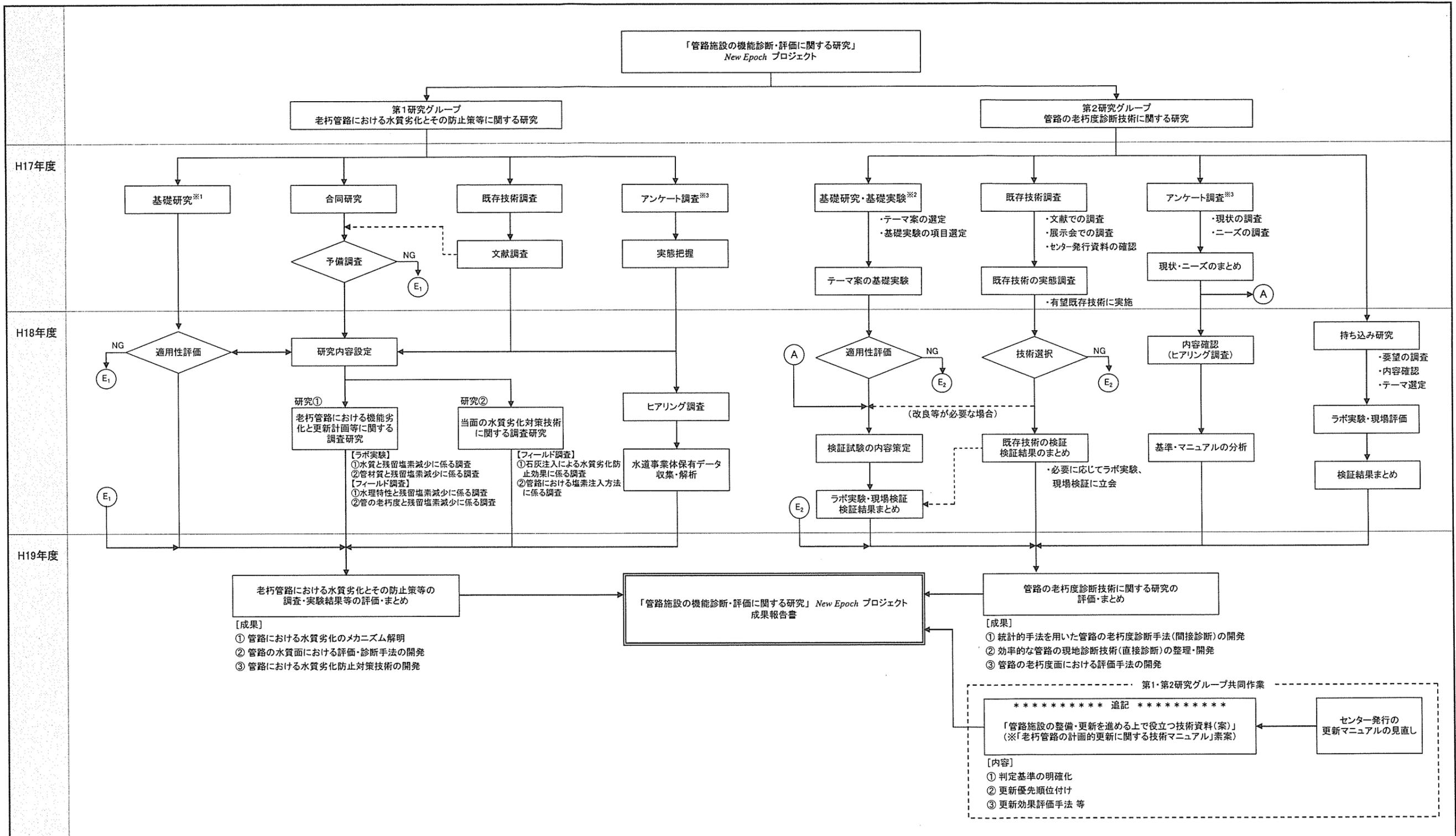
また、第 2 研究グループでは、「管路の老朽度診断技術に関する研究」として、「有望既存技術の調査」や「水道管路の事故リスクに関する統計的分析などの調査研究」をとおして、

- ① 統計的手法を用いた管路の老朽度診断手法（間接診断）の開発
- ② 効率的な管路の現地診断技術（直接診断）の整理・開発
- ③ 管路の老朽度面における評価手法の開発

などを目標に研究に取り組み、効率的・効果的な管路の老朽度診断技術を開発する。

以上の研究・開発をとおして、水道事業者が将来を踏まえて、今の段階から管路の老朽度や更新の必要性を総合的に評価し、効率的・計画的に管路更新を進めることを支援するための「技術資料」を取り纏める。

各研究委員会における 3 箇年の研究計画のフローチャートを図 1.3.1 に示す。



※1) 基礎研究とは、管路研究委員会が本研究の技術的課題の解決のために必要と判断し、学識者委員等が実施した基礎的な研究のことをいう。  
 ※2) 基礎実験とは、管路研究委員会が本研究の技術的課題の解決のために必要と判断し、厚生労働科学研究費を用いて実施した基礎研究※1)のことをいう。  
 ※3) アンケート調査は、平成17年12月に第1および第2研究グループが共同で実施したもの。

図 1.3.1 研究計画フローチャート

## 1.4 活動経過

平成 17 年においては、管路研究委員会を 3 回、管路研究グループ委員会を各グループにおいて各々 3 回実施した。各委員会の活動経過は以下のとおりである。

### 1) 管路研究委員会の活動経過

開催日	議事内容
平成 17 年 10 月 11 日 (第 1 回委員会)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本研究の背景及び必要性について</li> <li>・管路研究委員会設置要領について</li> <li>・研究体制について</li> <li>・本研究の実施に関する基本方針について</li> </ul>
平成 17 年 12 月 20 日 (第 2 回委員会)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業体向けアンケート調査(案)について</li> <li>・文献調査について</li> <li>・調査計画(案)について</li> <li>・基礎研究・基礎実験について</li> </ul>
平成 18 年 3 月 14 日 (第 3 回委員会)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水道事業体向けアンケート調査結果について</li> <li>・文献調査結果について</li> <li>・平成 17 年度研究の活動報告について</li> <li>・報告書のとりまとめについて</li> <li>・基礎研究・基礎実験について</li> </ul>

### 2) 第 1 研究グループ委員会の活動経過

開催日	議事内容
平成 17 年 10 月 21 日 (第 1 回委員会)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本研究の実施内容(案)について</li> <li>・幹事会における作業の進捗状況について</li> <li>・今後の研究内容について</li> </ul>
平成 17 年 12 月 15 日 (第 2 回委員会)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業体向けアンケート調査(案)について</li> <li>・文献調査について</li> <li>・調査計画(案)について</li> <li>・基礎研究・基礎実験について</li> </ul>
平成 18 年 3 月 2 日 (第 3 回委員会)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アンケート調査結果(案)について</li> <li>・文献調査結果(案)について</li> <li>・調査の結果および進捗について</li> <li>・報告書のとりまとめについて</li> <li>・基礎研究・基礎実験について</li> </ul>

### 3) 第 2 研究グループ委員会の活動経過

開催日	議事内容
平成 17 年 10 月 25 日 (第 1 回委員会)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・幹事会における作業の進捗状況について</li> <li>・今後の研究内容について</li> </ul>
平成 17 年 12 月 13 日 (第 2 回委員会)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎研究・基礎実験について</li> <li>・幹事会における作業の進捗状況について</li> </ul>
平成 18 年 3 月 8 日 (第 3 回委員会)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アンケート調査結果(案)について</li> <li>・合同研究について</li> <li>・報告書のとりまとめについて</li> <li>・基礎研究・基礎実験について</li> </ul>

## 1.5 研究成果概要

### 1.5.1 第1研究グループ

(老朽管路における水質劣化とその防止策等に関する研究)

研究初年度の平成17年度は、文献調査等を通じた老朽管路と水質劣化に関する既知見の整理を行うとともに、以下の研究を実施した。

- ①水質と残留塩素減少に係る調査（ラボ実験）
- ②管材質と残留塩素減少に係る調査（ラボ実験）
- ③掘上管の埋設環境調査（フィールド調査）
- ④ランゲリア指数改善による水質劣化防止効果に係る調査（ラボ実験）

具体的な研究内容は、下記のとおりである。

#### 1) 水質と残留塩素減少に係る調査（ラボ実験）

原水（河川水、地下水、ダム湖）及び浄水処理方法（高度浄水処理、急速ろ過、緩速ろ過、塩素のみ）の異なる6水道事業体の浄水場の浄水を用いて、残留塩素濃度や各種水質（濁度、pH、総アルカリ度、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素、TOC、総硬度、蒸発残留物、電気伝導率、一般細菌、鉄、マンガン、溶存酸素等）の経時変化（連続7日間）を計測し、水源水質の違いによる残留塩素濃度や各種水質の経時変化の傾向を把握した。

#### 2) 管材質と残留塩素減少に係る調査（ラボ実験）

老朽管が水質に与える影響を評価する調査を実施するにあたり、埋設されている実管路から管種（無ライニング铸铁管、ダクタイル铸铁管、鋼管、塩ビ管、ポリエチレン管）及び埋設期間の異なる供試管を4水道事業体から、また、各管種の新管を各管材メーカーから提供いただいた。

計13種類の供試管を用いて、管内に充水した浸出溶液（JWWA Z 108:2004）の残留塩素濃度や各種水質（濁度、pH、総アルカリ度、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素、TOC、総硬度、蒸発残留物、電気伝導率、一般細菌、鉄、マンガン、溶存酸素等）の経時変化（連続7日間）を計測した。

内面にライニングのない管種（無ライニング铸铁管、鋼管）では、残留塩素濃度の減少傾向が著しく、また、鉄、マンガン、TOC等の水質の経時変化も顕著であった。

### 3) 掘上管の埋設環境調査（フィールド調査）

「1.2 管材質と残留塩素減少に係る調査」に用いた供試管が、埋設時に水理・水質的にどのような状況下に置かれていたのか、また、老朽管路における水質変化の状況を把握するために、横須賀市上下水道局の老朽管の撤去箇所及び老朽管路の上流側（計4箇所）において、残留塩素濃度、懸濁物質、電気伝導度、水圧等を連続的（7日間）に計測した。

無ライニング铸铁管管路（布設年度不明）では、夜間の水使用量が減少している時間帯に、滞留塩素濃度が減少していることが明らかで、ダクタイト铸铁管管路（内面モルタルライニング、S46布設）では、残留塩素濃度の減少傾向は認められなかった。

実管路での調査には多くの制約もあるが、今後可能であれば、流速計測や管内カメラによる内面観察等を実施し、老朽管路と水質劣化のメカニズムを明らかにしていく予定である。

### 4) ランゲリア指数改善による水質劣化防止効果に係る調査（ラボ実験）

管路における水質劣化の予防保全の観点から、石灰注入によるランゲリア指数改善の効果を検証するための予備調査を行った。

調査は、「1.2 管材質と残留塩素減少に係る調査」に用いた無ライニング铸铁管の供試管に、ランゲリア指数を調整した水を充水し、残留塩素濃度及び各種水質についての経時変化を計測した。

ランゲリア指数を改善したことにより、残留塩素の減少傾向に改善が見られた。

## 1.5.2 第2研究グループ

(管路の老朽度診断技術に関する研究)

布設後の経年管路が有する機能の実態を把握し、管路更新の際の判断指標となる診断技術を開発するために、以下の研究を実施した。

なお、平成17年度は、管路更新の現状並びに診断技術に対するニーズの調査、診断技術の現状調査、および、新たな診断技術の基礎研究・基礎実験の予備調査（適用可能性の確認）を主体に行い、次年度以降に予定している実管路等での研究・調査の計画立案の一助とした。

①水道事業体向けアンケート調査

②管路診断既存技術調査

③基礎研究

・水道管路の事故リスクに関する統計的研究

④基礎実験

・音響エコーを用いた水道管路の劣化検出（音響法）

・電磁波の伝播と反射を用いた金属製水道管路の欠損の検出（パルス・エコー法）

・衝撃弾性波法に基づく鑄鉄管劣化度診断手法に関する基礎研究

具体的な研究内容は、下記のとおりである。

1) 水道事業体向けアンケート調査

約330の水道事業体を対象として、管路の評価診断や維持管理に関するアンケート調査を行い、以下の情報を得た。

①管路施設の保有情報

給水人口5万人未満の事業体では布設後25～40年の管路の保有比率が30%と高く、更新時期が近いと言えることから、これらの事業体の主体である中小口径管路の診断技術のニーズが高まると考えられる。

②漏水事故状況

漏水事故の原因は「管体継手の折損」、「継手拔出し」「腐食」で約6割を占めており、漏水多発管が管路更新の大きな要因になっている。

③管路更新理由

更新理由は「漏水事故等の未然防止のため」が大きな割合を占めており、予防保全に対するニーズが高い。

④管路診断

管路更新では規模の大きな事業体において独自に「基準・マニュアル」を作成し管路施設の管理を実施している事業体があり、今後の本研究の参考として内容の確認が必要である。

## 2) 管路診断既存技術調査

管路診断既存技術の取り纏めとして、「管路診断技術の到達レベルマップ（縦軸に対象管種や部位、横軸に開削・非開削等の調査種別や精度を示したもの。）」を作成した。

このレベルマップにより、現在どのような調査方法が実用化または研究されているのかを容易に把握することが可能となった。また、このレベルマップの分析より、平成 18 年度以降に、樹脂管の経年変化の非開削診断技術について研究を行うこととした。

## 3) 基礎研究

### ・水道管路の事故リスクに関する統計的研究

管路の実態調査より得られたデータを対象に、統計的な解析手法を適用し、管路の経年化や埋設環境を考慮に入れた管路診断手法の提案として、漏水が懸念される管路エリアの抽出について、今年度は福岡市のデータを用いて予備調査を実施した。

## 4) 基礎実験

### ・音響エコーを用いた水道管路の劣化検出（音響法）

管内に発振子を設置し、強力な断続的音波を発生させると付着物による音響的反射波（エコー）が発生することから、付着物の量や大きさ、物理的性状などを検出し、劣化の部位と程度を検出する試験を行った。

供試管内の数箇所に異物を取り付けた場合において、異物を検出することができたことから、本診断方法の適用可能性が確認された。

### ・電磁波の伝播と反射を用いた金属製水道管路の欠損の検出（パルス・エコー法）

電気伝導体にパルス電流を印加すると欠損部分で電磁波の反射が起こり、エコーパルスが発生する。今回は、実験室的な確認として、ビニル被覆電線によるパルス反射特性を求める試験を行った。

ビニル被覆電線に損傷を与えた場合、損傷のない状態とピークの現れ方に差異が認められたことから、本診断方法の適用可能性が確認された。

### ・衝撃弾性波法に基づく铸铁管劣化度診断手法に関する基礎研究

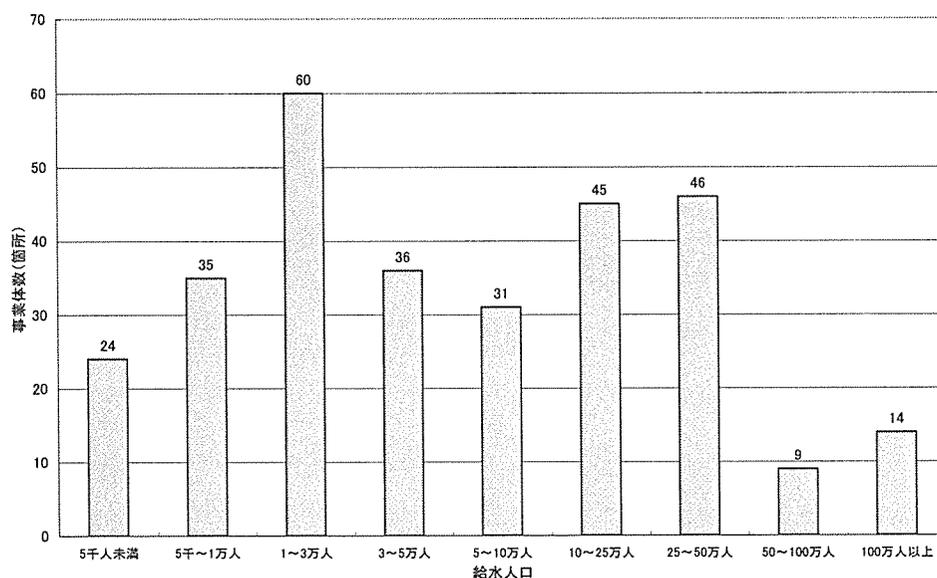
下水道管等の鉄筋コンクリート管の劣化度評価手法として実績のある「衝撃弾性波法」に着目し、この手法のダクタイル铸铁管への適用性について検討を行った。

供試管での模擬劣化の有無により、受信波の最大振幅値や周波数分布が変化することが確認できたことから、衝撃弾性波の適用可能性が確認された。

## 2. アンケート調査結果

## 2. アンケート調査結果

水道事業体の管路に関する維持管理状況の実態を把握するため、(財)水道技術研究センターの332の事業体会員(図2.1.1 給水人口別会員事業体数 参照)を対象にアンケート調査を実施(195事業体から回答あり。回収率:58.7%)した。



※用水供給事業体を除いたもの。

図 2.1.1 給水人口別会員事業体数

アンケート調査の結果、主として以下の点が明らかになった。なお、アンケートの内容とその結果については、後段に添付したとおりである。

- ・ アンケート調査先の主要な浄水場の原水の内訳は、河川水が約4割、地下水が約3割であった。また、浄水処理方法の内訳は、急速ろ過が約5割、消毒処理のみが約2割であった。
- ・ 管路施設が原因となった苦情としては、錆による濁水(赤水)と回答した事業体が3割近くを占め最も多く、次いで錆以外による濁水等やシールコート・砂等の異物混入が1割程度を占めた。また、苦情対策としては、排水・洗浄が8割近くを占めた。
- ・ 漏水事故の原因としては、腐食(土壌由来、電食、異種金属管接続、その他含む)と回答した事業体が4割近くを占め最も多く、管体・継手の折損が3割弱、継手の抜け出しが2割弱を占めた。また、漏水事故の対策としては、補修(事故箇所部のみの更新)が9割強を占めた。
- ・ 残留塩素濃度の低減現象が認められると回答した事業体が4割近くを占めた。
- ・ 残留塩素濃度が低減する原因として、管路内での滞留と回答した事業体が6割強を占めたのに対し、管路の老朽化は3割程度であった。

- ・ 残留塩素濃度の低減現象への対策として、排水・洗浄と回答した事業体が 4 割強を占めたのに対し、管路更新は 2 割程度であった。
- ・ 管種別（塗装の種類別）の水質調査・実験等を実施したことがあると回答したのは、9 事業体であった。
- ・ 残留塩素濃度の具体的な低減化計画があると回答した事業体は 2 割弱であった。

## 2.1 アンケート調査回答

### 1) 施設状況

設問 1-1) 原水の種類とその割合について教えてください。(主要な浄水場で、最大 5 つまで。)

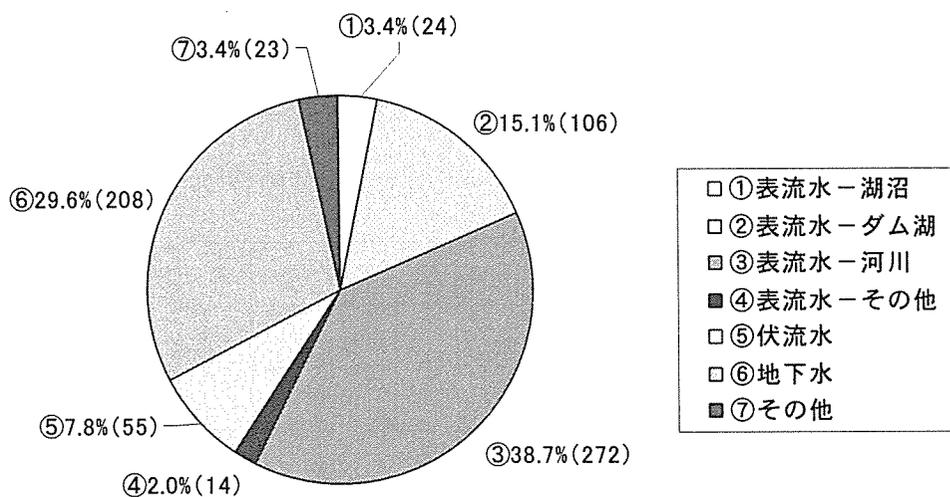


図 2.1.2 原水の種類 (複数回答あり)

設問 1-2) 設問 1-1 でお答えいただいた主要な浄水場の浄水処理の種類について教えてください。

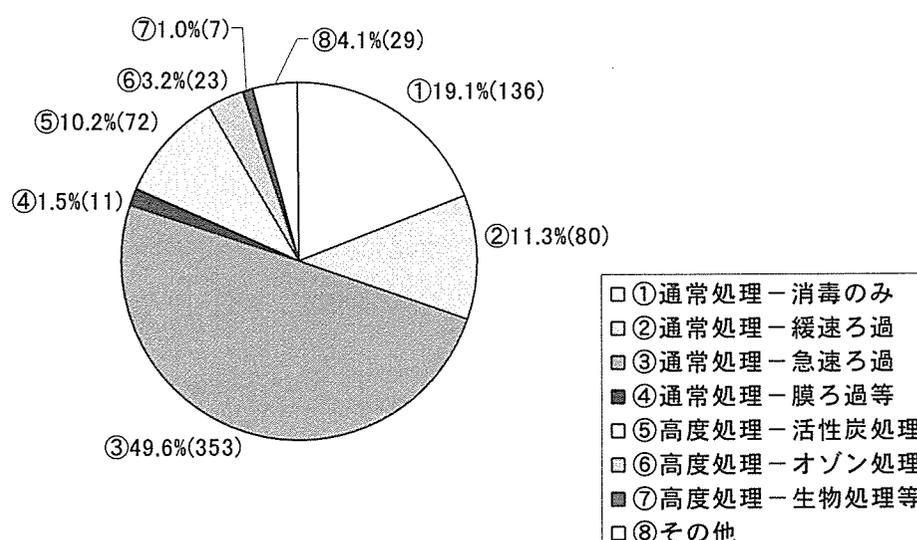


図 2.1.3 浄水処理の種類 (複数回答あり)