

3. 第2研究グループ	
3.1 研究目的	108
3.2 研究方針	109
3.3 アンケート調査	110
3.3.1 事業体独自マニュアルの内容調査	110
3.4 合同研究	115
3.4.1 水道用硬質塩化ビニル管路の診断技術の研究	115
3.4.2 水道用バルブ点検データの分析	131
3.4.3 鋳鉄管における管体および土壌腐食調査	136
3.5 既存技術調査	165
3.5.1 「管内テレビカメラロボット」OMNIVS	165
3.5.2 「磁気飽和渦流探傷法」SLOFEC	167
3.6 基礎実験	174
3.6.1 音響エコーを用いた水道管路の劣化検出（音響法）	174
3.6.2 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 （電磁波信号発生ピグ流下法）	197
3.6.3 衝撃弾性波法に基づくダクタイル鋳鉄管の劣化度評価手法 に関する基礎研究	207
3.7 基礎研究	242
3.7.1 数量化理論による配水管の安全性評価モデルに関する研究	242
3.8 まとめ	264
3.8.1 本年度の成果概要	264
3.8.2 来年度以降の予定	266

1. 要約

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が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。

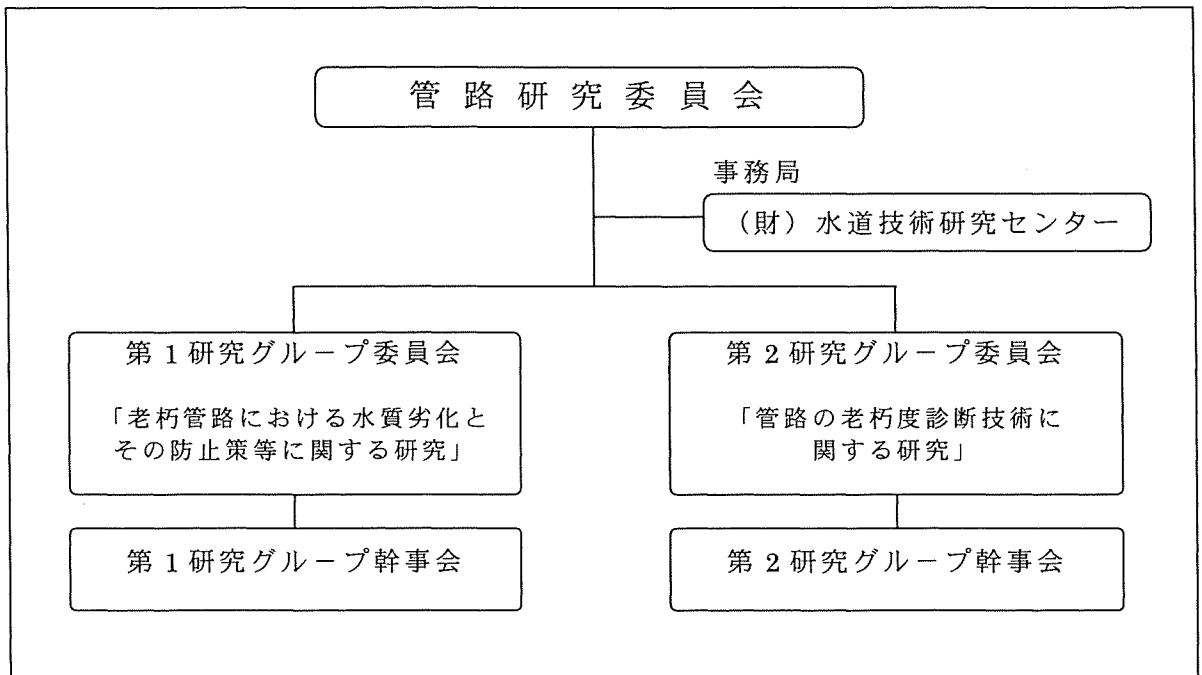


図 1.2.1 プロジェクト組織図

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18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	宮内 潔 (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
	柴田 久生 (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
	山田 宏幸 (相原 正一)	横須賀市上下水道局 施設部計画課 (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	新日鉄エンジニアリング株式会社 水道施設部
	磯部 悦四郎	新日鉄エンジニアリング株式会社 水道施設部
	井須 豊	日本水機調査株式会社 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18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
	田口 恒夫 (栗原 敬廣)	東京都水道局 給水部配水課
	三浦 正秀 (平本 裕一)	長崎市上下水道局 水道部水道建設課 (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
	白倉 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18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

岩瀬 伸朗 管路技術部長 (藤代 辰美)
八木澤 修 主任研究員 (南葉 洋)
沼田 尚文 主任研究員
佐藤 康彦 主任研究員
小田 健二 主任研究員 (阪田 正大)

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」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」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。

2. 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)

2. 第1研究グループ

2.1 研究目的

老朽化した管路施設の更新・改良については、健全な水循環の形成という観点から、衛生面や環境負荷面に配慮し、効率的・計画的に行わなければならない。しかし、管路の大部分は地中に埋設されており、その状況が容易に把握できないため、管路更新を効率的・計画的に行うには、残留塩素の減少・消失等の水質劣化調査等を実施し、管路機能の低下や管内外面の劣化状況を総合的に診断・評価することが必要であり、更新等の優先順位付けに役立つ、管路の老朽度診断手法ならびに要素技術の開発が望まれる。

本研究では、残留塩素の減少・消失等の水質変化を主な判断指標として管内面の劣化状況を診断・評価する手法の検討を行い、この点を従来の評価手法に取り入れることにより、管路の総合的な機能診断技術を開発する。

これらの研究により、各水道事業者が将来を踏まえて、今の段階から管路施設の老朽度や更新の必要性を総合的に評価し、効率的・計画的に管路更新が進められる支援することのできる技術の開発研究を目標とする。

2.2 研究方針

水道管路の重要な機能の一つとして「水質保持機能」が挙げられる。しかし、これまで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は充分とはいえない状況にある。

そこで、従来の管路機能診断手法に管内水質面からの評価を取り入れ、さらに検討を加えることにより、更新の必要性と更新の優先順位付けに役立つ、管路の総合的な診断・評価アルゴリズムの構築を図る。本研究の手順は、概ね以下のとおりである。

- ① 水道事業体の老朽管路を対象として、管内水質、水理条件、管材質、管の埋設年数および管内面劣化状況（管内カメラによる）等と、水質劣化（残留塩素の減少量等）および濁水障害発生（鉄錆の量等）等との関連性を調査し、把握する。
- ② ①の結果に基づき、残留塩素の減少量等の程度から、老朽管の水質劣化に及ぼす影響度合いや、管内面の老朽度を診断・評価する手法を検討する。
- ③ 従来の管路の老朽度や耐震性の評価等に、上記の水質劣化に関する評価も加え、管路機能を総合的に診断・評価する手法を開発する。

また、管内水質の劣化状況から早急に更新が必要とされる場合でも、埋設環境や財政面等から、必ずしも早急に管路更新できるとは限らない。このような状況においても需要者には良質な水道水を供給する義務があるため、更新可能な時期までの対応策として、（水資源の有効利用を考慮した）水質劣化防止対策技術を総合的に研究する。

例）取り扱いが容易な塩素注入装置、石灰注入等

2.3 老朽管路と水質劣化の実態調査

以上のアンケート調査及び文献調査の結果より、管路における水質劣化には、①水源水質（処理方法）、②管材質、③管老朽度、④水理特性などの要因が複雑に関与していることが明らかとなった。

そこで、本研究では、管路における水質劣化のメカニズムを解明するために図 2.3.1 に示す調査を実施することとした。

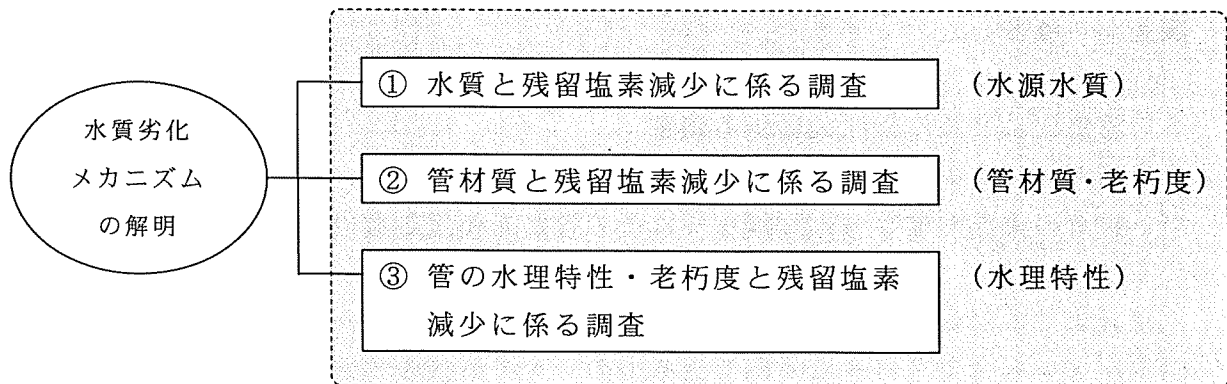


図 2.3.1 水質劣化メカニズム解明のための調査内容

2.3.1 調査概要

本研究では、管路における水質劣化のメカニズムを解明するために、水道事業体の実管路等を活用し、管内面や水理・水質条件の異なる条件下での残留塩素濃度等の経時変化や水道水中の懸濁物質に関する調査を行い、管路における水質劣化の原因を特定する。

本年度は以下に示す 6 項目について調査を行い、老朽管路と水質劣化の実態の把握に努めた。

1) 水質と残留塩素減少に係る調査（ラボ実験）

水源水質及び管路状況の違いによる残留塩素濃度や各種水質の経時変化を把握するために、事業体の浄水場や管路から採取した水について調査を行った。

2) 管材質と残留塩素減少に係る調査（ラボ実験）

管材質の違いによる残留塩素濃度や各種水質の経時変化を把握することを目的とし、事業体より提供された経年管や新管について調査を行った。

3) 管の水理特性・老朽度と残留塩素減少に係る調査（フィールド調査）

管路の錆と残留塩素の低下に着目して、実管路にて鉄系管路の老朽度を評価する手法の研究のために、実管路の管路状況、水質及び水理状況、残留塩素の減少量について基礎的なデータを収集した。

4) 石灰注入による水質劣化防止効果に係る調査

水質劣化防止対策としての消石灰（及び炭酸ガス）注入による非腐食性化水質改善効果をフィールドにて腐食、溶出速度（以下「腐食度」と称す）試験や管路状態調査から検証した。

5) 管路における塩素注入に係る調査

老朽管路による水質劣化（残留塩素濃度の減少）に対し、更新を行う必要があるが、投資の優先順位から、しばらくはその管路を使用しなければならない状況も生じる。

更新までの対応策の一つとして、管路（特に、配水池や圧力調整池等の追加注入適地がない場合でも容易に対応できるもの）への直接注入方法に的を絞って、その実態を把握するためにヒアリング調査を実施した。

6) 文献調査

老朽管路における水質劣化とその防止対策に関する研究を進めるにあたり、管路内の水質劣化や診断に関する研究について現状を把握するため、文献調査を行った。

2.3.2 水質と残留塩素減少に係る調査（ラボ実験）

（1）目的

水源水質及び管路状況の違いによる残留塩素濃度や各種水質の経時変化を把握する。

（2）供試水

平成 18 年度の調査箇所（採水箇所）を表 2.3.1 に示す。

表 2.3.1 調査箇所（採水箇所）

事業体名	調査箇所	区分	備考
横浜市水道局	①小雀浄水場	浄水場（河川水＋急速ろ過）	横須賀市供給水
横須賀市上下水道局	②浦賀	フィールド調査箇所	常時流速の遅い 無ライニング鑄鉄管路
	③富士見町	フィールド調査箇所	常時流速の速い 無ライニング鑄鉄管路
神戸市水道局	④千苺浄水場	浄水場（ダム湖＋急速ろ過）	－
	⑤道場町	フィールド調査箇所	異形管無ライニング管路
	⑥鹿の子台南町	フィールド調査箇所	異形管粉体塗装管路

（3）調査項目

1）残留塩素濃度経時変化

2）各種水質分析

- ・濁度 ・pH 値 ・総アルカリ度 ・TOC ・総硬度 ・蒸発残留物
- ・電気電導率 ・鉄 ・マンガン ・紫外線吸光度（E260） ・色度

（4）調査方法

1）供試水

供試水は、フィールド調査を実施する管路及びその管路に配水している浄水場（※浄水処理後の水で、時間や管路の影響を受けていない水）から採水した。

2）水質分析

① 残留塩素濃度の経時変化

- ・供試水をフィールド調査管路から採水した際の水温 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 及び $10^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ の状態
で静置し、静置開始時、1 時間、2 時間、3 時間、6 時間、12 時間、24 時間経過時
に、残留塩素濃度を測定した。残留塩素濃度測定時には DPD 試薬を用いた。
- ・測定にはデジタル測定器を用いた。
- ・供試水は、共栓ガラス瓶（200ml 程度）に分割（分析回数分）して分析を行った。
- ・分析間隔、分析に必要な液量は表 2.3.2 の通り。

② 各種水質分析

- ・ 供試水をフィールド調査管路から採水した際の水温 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 及び $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ の状態ですべて静置し、静置開始時、6時間、12時間および24時間経過時に、各種水質の分析（上水試験方法に準じる）を行った。
- ・ 供試水は、ポリ瓶（2L程度）に分割（分析回数分）して分析を行った。
- ・ 分析間隔、分析に必要な液量は表 2.3.2 の通り。

表 2.3.2 分析間隔および必要液量

調査項目	必要液量 (ml)	分析間隔 (時間)							液量小計 (ml)
		0	1	2	3	6	12	24	
1) 残留塩素濃度	100	○	○	○	○	○	○	○	700
2) 各種水質分析									
① 濁度	100	○	—	—	—	○	○	○	400
② pH 値	100	○	—	—	—	○	○	○	400
③ 総アルカリ度	200	○	—	—	—	○	○	○	800
④ 有機物（全有機炭素 (TOC) の量）	100	○	—	—	—	○	○	○	400
⑤ カルシウム・マグネシウム等（硬度）	200	○	—	—	—	○	○	○	800
⑥ 蒸発残留物	200	○	—	—	—	○	○	○	800
⑦ 電気伝導率	100	○	—	—	—	○	○	○	400
⑧ 鉄及びその化合物	50	○	—	—	—	○	○	○	200
⑨ マンガン及びその化合物									
⑩ 紫外線吸光度 (E260)	100	○	—	—	—	○	○	○	400
⑪ 色度	100	○	—	—	—	○	○	○	400
合計液量 (ml)									5,700

(5) 採水日

フィールド調査の期間に併せて採水を実施した。各調査箇所における採水日を表 2.3.3 に示す。

表 2.3.3 採水日

事業体名	調査箇所	採水日	フィールド調査期間
横浜市水道局	① 小雀浄水場	H18.11/28	H18.11/17~11/29
	② 浦賀（更新前）	H18.12/21	H18.11/17~11/29
横須賀市上下水道局	② 浦賀（更新後）	H19.3/1	H19.2/20~3/2
	③ 富士見町	H19.4/中（予定）	H19.4/中（予定）
神戸市水道局	④ 千苅浄水場	H19.1/11	H19.1/11~1/19
	⑤ 道場町	H19.1/11	H19.1/11~1/19
	⑥ 鹿の子台南町	H19.1/11	H19.1/11~1/19

(6) 調査結果

1) 残留塩素濃度の経時変化

- ・概ね残留塩素濃度については、経時的な減少傾向が認められた。
- ・図 2.3.4 の浦賀 1 (18℃) と浦賀 1 (10℃) のように、同箇所では採水し試験水温を変えて調査を行った場合のデータを比較すると、試験水温の低い方が残留塩素濃度の減少しにくい傾向が見られた。

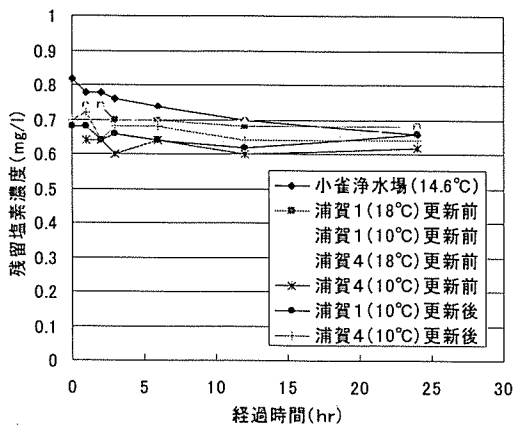


図 2.3.2 小雀浄水場、浦賀 1、浦賀 4

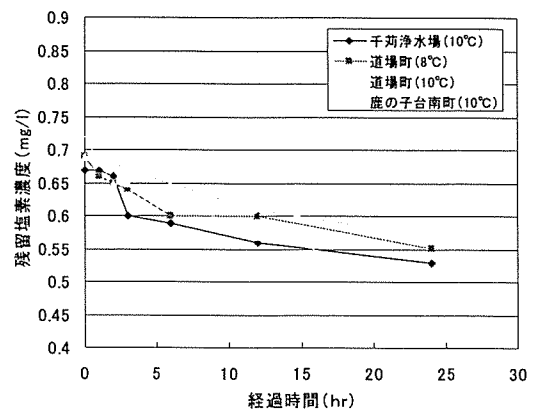


図 2.3.3 干莉浄水場、道場町、鹿の子台南町

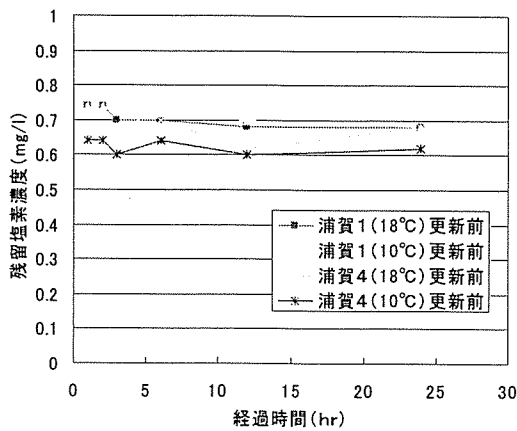


図 2.3.4 試験水温による違い

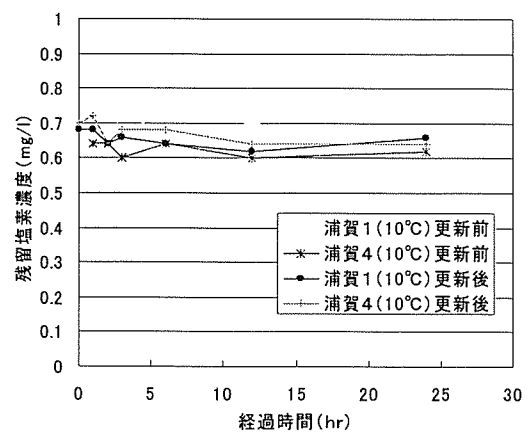


図 2.3.5 更新前と更新後の違い

2) 水質分析結果

① 濁度

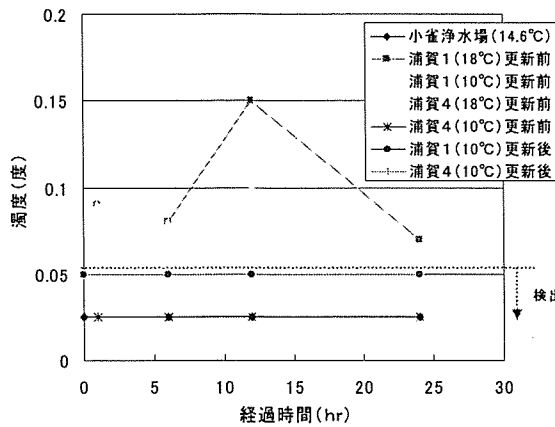


図 2.3.6 小雀浄水場、浦賀 1、浦賀 4

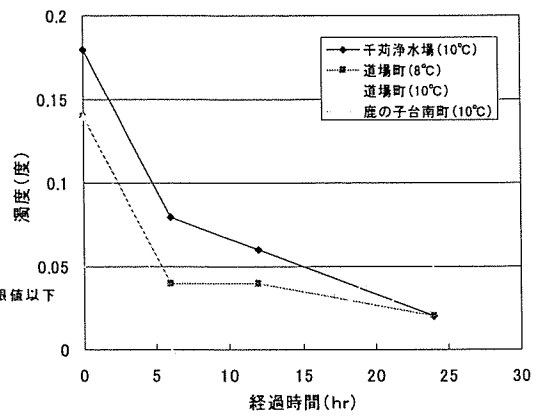


図 2.3.7 千苺浄水場、道場町、鹿の子台南町

② pH 値

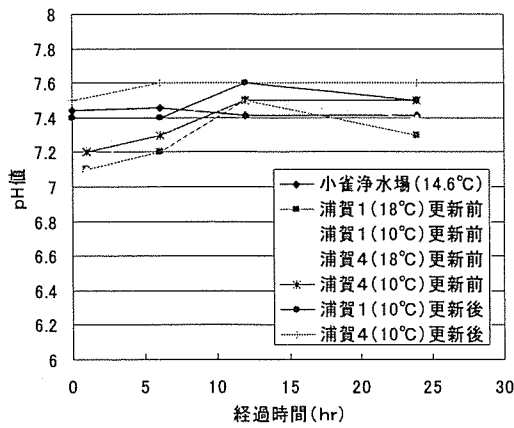


図 2.3.8 小雀浄水場、浦賀 1、浦賀 4

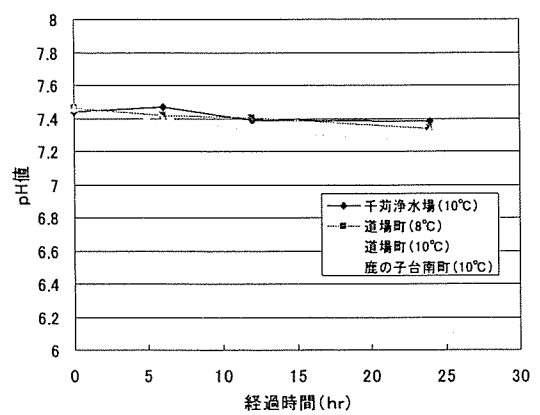


図 2.3.9 千苺浄水場、道場町、鹿の子台南町

③ 総アルカリ度

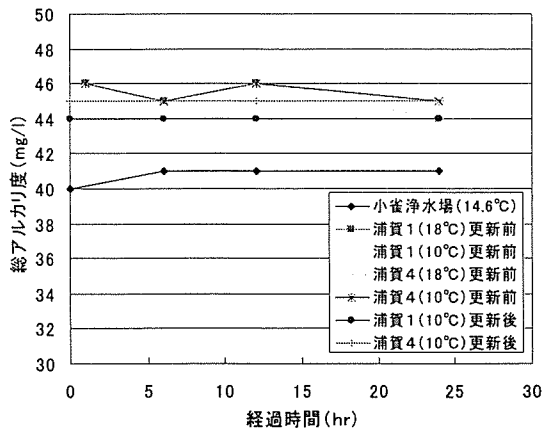


図 2.3.10 小雀浄水場、浦賀 1、浦賀 4

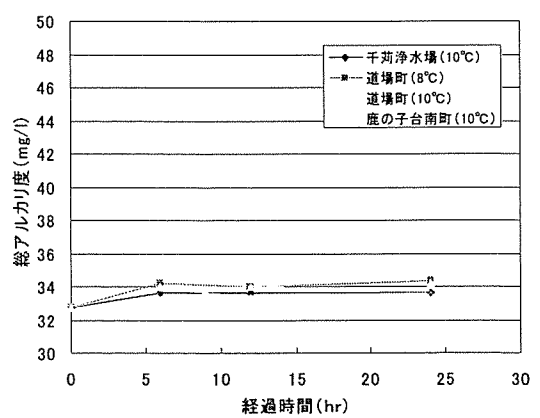


図 2.3.11 千苺浄水場、道場町、鹿の子台南町

④ 有機物 (TOC)

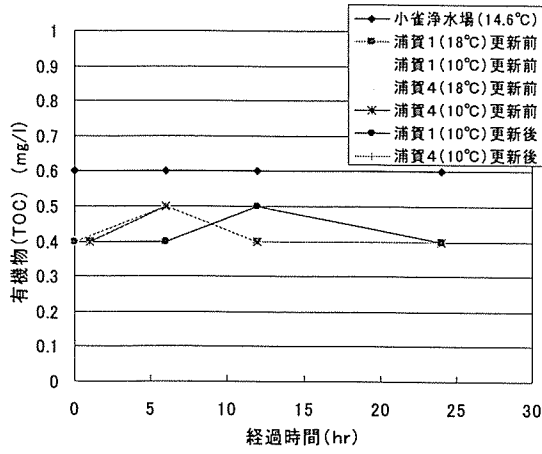


図 2.3.12 小雀浄水場、浦賀 1、浦賀 4

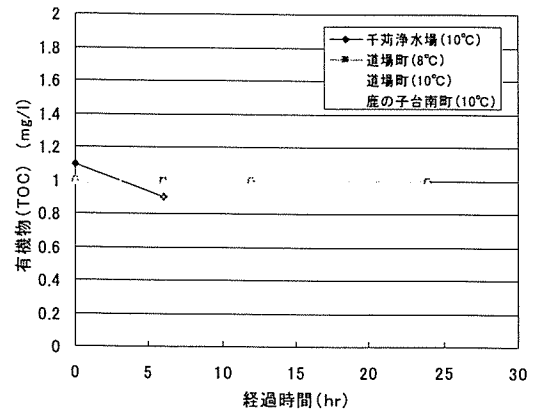


図 2.3.13 千苺浄水場、道場町、鹿の子台南町

⑤ カルシウム・マグネシウム等 (硬度)

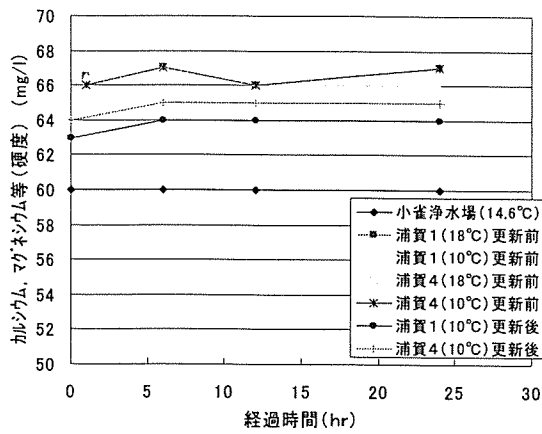


図 2.3.14 小雀浄水場、浦賀 1、浦賀 4

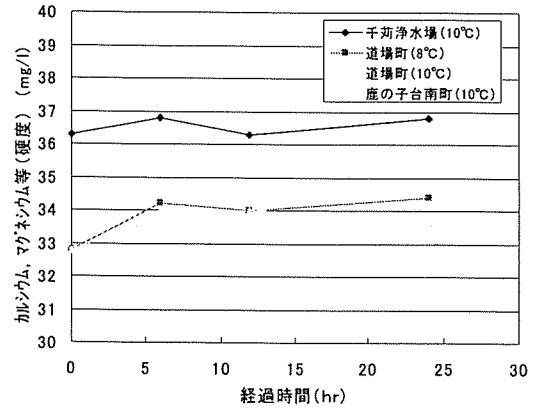


図 2.3.15 千苺浄水場、道場町、鹿の子台南町

⑥ 蒸発残留物

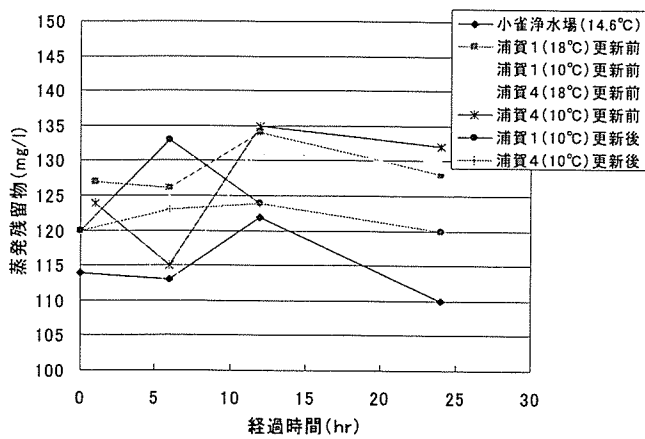


図 2.3.16 小雀浄水場、浦賀 1、浦賀 4

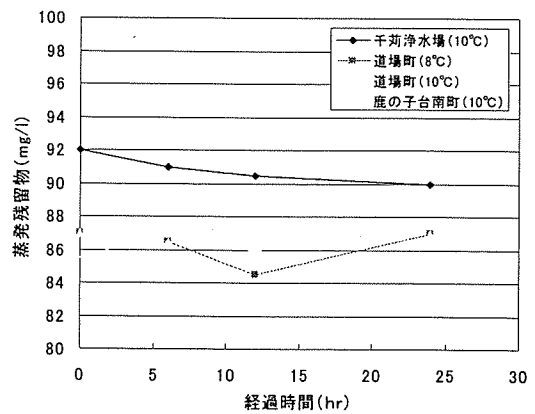


図 2.3.17 千苺浄水場、道場町、鹿の子台南町

⑦ 電気伝導率

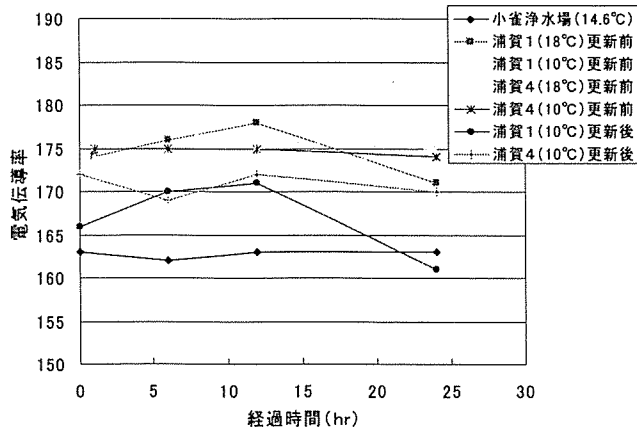


図 2.3.18 小雀浄水場、浦賀 1、浦賀 4

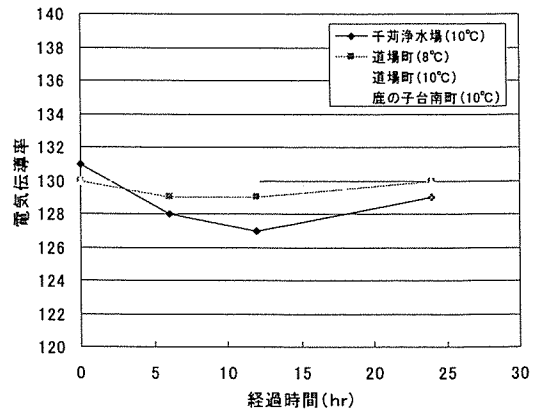


図 2.3.19 千苺浄水場、道場町、鹿の子台南町

⑧ 鉄及びその化合物

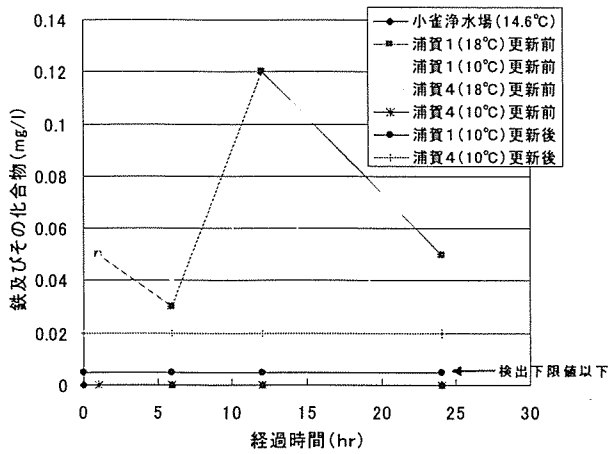


図 2.3.20 小雀浄水場、浦賀 1、浦賀 4

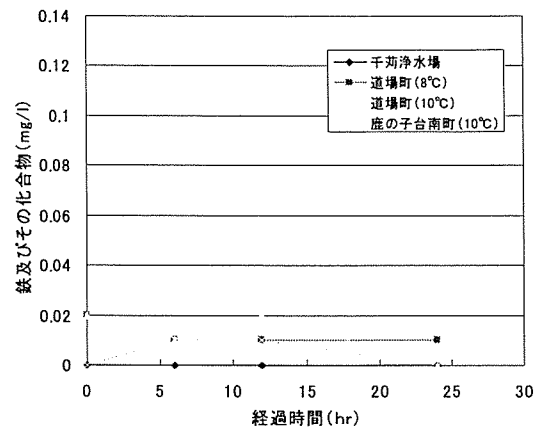


図 2.3.21 千苺浄水場、道場町、鹿の子台南町

⑨ マンガン及びその化合物

全ての値が、検出下限値あるいは、それに近い値を示した。