

【管路技術部門】

A. 研究目的

機能の劣化した管路施設の更新・改良は、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するとともに、効率的・計画的に行わなければならない。

本研究では、多くの管路施設の更新期を迎え、①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、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、管路更新のための管路診断プロセス（図-25 参照）を提示することにより、適切な診断・評価に基づいた計画的な更新の推進を図り、安全・安心な水を持続的に供給するという、水道に託された使命を確実に果たすことを目的としている。

B. 研究方法

主任研究者、分担研究者のもと、学識者、水道事業体、民間企業の技術者43名で構成される委員会を設置し、そのもとに研究課題に応じ2つの研究グループ委員会を設け研究を実施した。

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

本研究では、（1）管路における水質劣化のメカニズムの解明、（2）管路における水質劣化防止対策技術の開発、（3）管路の水質面における評価診断手法の開発に取り組んだ。

（1）管路における水質劣化メカニズムの解明

①水質と残留塩素減少に係る調査（ラボ実験）
水質に由来する残留塩素濃度や各種水質の経時変化を把握するため、原水の種類や処理方法の異なる15事業体56浄水場から採水し、残留塩素濃度や各種水質の経時変化（連続24時間）を調査した。

②管材質と残留塩素減少に係る調査（ラボ実験）

管内面付着物が水質に与える影響を把握するため、管内面に茶色い物質の付着したポリエチレン管を既存管路から採取し、5管内に充水した浸出溶液（JWWA Z 108:2004）の残留塩素濃度の経時変化（連続24時間）を計測した。

供試管：ポリエチレン管
（φ100mm 布設年：H9）

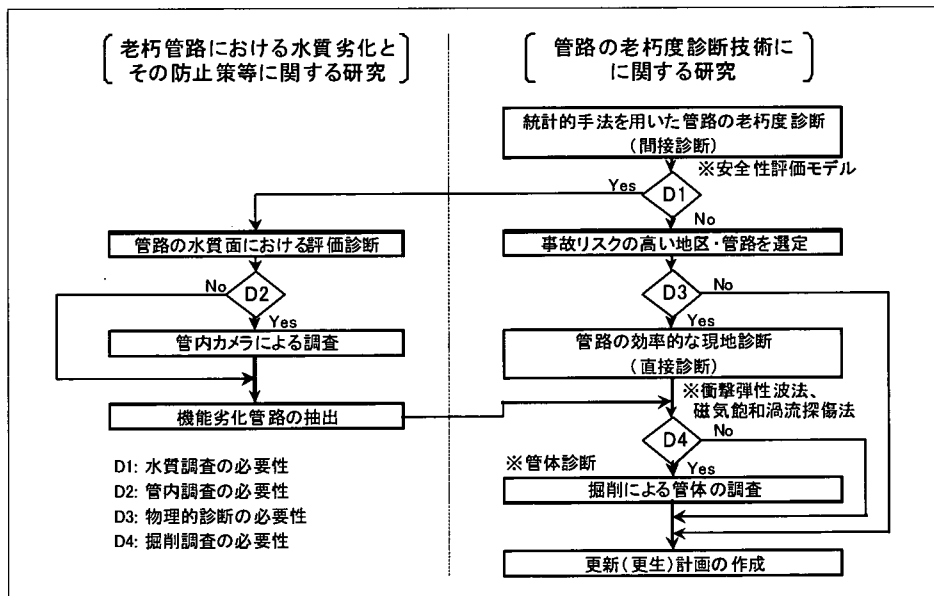


図-25 管路診断プロセス

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）

内面にライニングの施された管における流速の水質に与える影響を把握するため、Y事業体において、平常時の流速の異なる管路（2路線）を調査対象とし、それらの上下流において、平常時、滞留時、流速設定時（流速 5cm/sec、10cm/sec）に分けて、通常時残留塩素濃度、懸濁物質、電気伝導度、水圧等を、約 1 週間にわたって連続計測した。

また、管内面のセメントモルタルライニングの中性化の程度が、水質劣化に与える影響についても確認した。

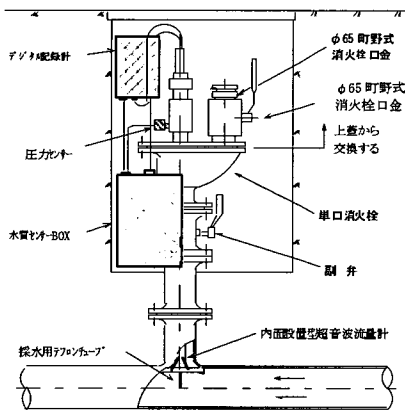


図-26 水理・水質計測機器
(消火栓設置状況)

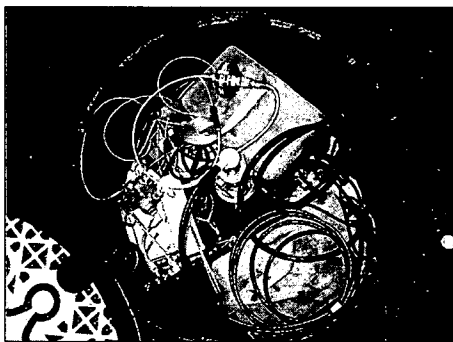


写真-1 水理・水質機器設置状況

表-6 対象管路

	事業体名	管路名称	管種	内面仕様	布設年度	口径 (mm)	延長 (m)
a	Y	N	CIP	CL	S31	250	200
b	Y	F	CIP	CL	S31	250	203

注 1) 管種の CIP は、高級铸铁管を示す。

注 2) 内面仕様の CL は、セメントモルタルライニングを示す。

※常時の流速は、管路 N で 10cm/sec 程度、管路 F で 2cm/sec 程度。

(2) 管路における水質劣化防止対策技術の開発（消石灰注入による水質劣化防止効果に係る調査（フィールド調査））

消石灰（及び炭酸ガス）注入による水質劣化防止効果、すなわち水質改善による腐食性の抑制効果を、水道事業体の実施設等において検証した。

ダクタイル铸铁製の新管から切り取った铸铁及びモルタルの試験片を、φ40mm の試験管路内に設置し、流速 0.6m/sec で通水した。調査期間は 6 か月で、試験片の質量の経時変化（腐食度）を計測した。

調査箇所は、消石灰を注入している事業体と注入していない事業体における浄水場出口と配水地点とした。なお、両浄水場とも水源は河川水である。

調査箇所：

a) 消石灰注入あり

C 浄水場 (M 事業体) + M 配水池 (N 事業体)

(注) M 配水池は、C 浄水場から受水して配水している

b) 消石灰注入なし (I 事業体)

T 浄水場 + N 公園

(3) 管路の水質面における評価診断手法の開発

老朽管路における水質劣化のメカニズムを解明するための調査研究の成果を基に、老朽管路が水質に及ぼす影響について、水道事業体の既存の評価診断事例等を参考に検討を行った。

2. 管路の老朽度診断技術に関する研究

管路の更新や維持管理を行う場合、管路の現状を正確に把握することが重要である。管路の現状把握には、管周辺を掘削して行う管体調査が主に実施されているが、多額な掘削コスト等が支障となっている。本研究では、(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) 管路の効率的な現地診断技術（直接診断）の研究、(3) 管路の老朽度面における評価手法の開発に取り組み、これらの 3 つの研究成果を総合的かつ体系的に組み合わせることにより、管路施設の老朽度や更新の必要性を水道事業体が総合的に診断・評価

することのできる技術の開発研究を行った。

(1) 統計的手法を用いた管路の老朽度診断手法の(間接診断)の開発

平成17年度及び18年度においては、F水道事業体の水道管路マッピング情報のメッシュデータ(3033メッシュ:1メッシュ250m×250m)を用いて安全性評価モデル及び漏水リスク評価モデルを構築したが、H19年度では、構築したこれらのモデルを実際の更新計画に活用させるために、モデルの汎用性を検証した。検証方法としては、S水道事業体データ(878メッシュ:1メッシュ350m×500m)に評価モデルを適用し、同様の統計的解析を試みた。

(2) 管路の効率的な現地診断技術(直接診断)の研究

① 衝撃弾性波法によるダクタイル鋳鉄管の老朽度評価手法に関する基礎研究

平成17年度及び18年度は新管(健全管)を研究対象としたが、平成19年度は、外面腐食を生じて減肉(管厚減少)が部分的に進行した鋳鉄管及びダクタイル鋳鉄管の掘上経年管を対象として衝撃弾性波法の老朽度評価への適用性を検討した。なお、これらの管は複数の水道事業体から提供を受けたものである。

表-7 供試管一覧

	口径(mm)	管種	布設年度	内面仕様	事業体名
a	150	ダクタイル鋳鉄管	S49	CL	T
b		ダクタイル鋳鉄管	S50	CL	T
c		高級鋳鉄管	S35	CL	O
d		ダクタイル鋳鉄管	S47	CL	O
e		鋳鉄管	T15	NL	Y
f		鋳鉄管	S27	NL	K
g		ダクタイル鋳鉄管	S52	CL	K

注) CLはセメントモルタルライニングを、NLは無ライニングを示す。



写真-2 供試管C)の外観(ショットブラスト後)

② 磁気飽和渦流探傷法による配管検査システムの性能確認

磁気飽和渦流探傷法は、磁性のある金属

管を対象とし、渦電流を用いて供試管に非接触で欠陥の検出が可能な技術である。

平成19年度は、N水道事業体から提供を受けた掘上経年管を用いて、土壌腐食を模した擬似欠陥に関する検出能力や、現地調査時に管内面の砂などの堆積物によって検出コイルと試験体表面の距離が大きくなる場合について、検出性能の変化を調査した。

表-8 供試管一覧

	口径(mm)	管種	管厚(mm)	CL厚(mm)	形態
a	500	ダクタイル鋳鉄管	9	6	掘上経年管
b	1350	ダクタイル鋳鉄管	24	12	

注) CL厚は、セメントモルタルライニング厚を示す。



写真-3 磁気飽和渦流探傷機器の概要

③ 管路診断技術の到達レベルマップの作成

管路の機能診断に関する既存技術の情報を、文献や関連メーカーへのヒアリング等により収集し、調査対象や調査項目で分類した上で、それらの実用化レベルを3段階評価で整理した。

(3) 管路の老朽度面における評価手法の開発

① 水道用硬質塩化ビニル管路の評価・診断技術の研究

平成17年度及び18年度の研究において、水道用硬質塩化ビニル管(VP管)における漏水事故は、旧JIS規格TS継手の管で多発することが確認されるとともに、亀裂発生が主な原因が水圧変動による疲労破壊であることが判明した。これらの結果を踏まえて、平成19年度は、S水道事業体の既設管路において、側視可能な管内カメラにより、管内面からTS継手の既知・未知の破

損や補修部分の確認及び TS 継手の新仕様と旧仕様の識別が可能か否かの検証を実施した。

表-9 検証管路概要

	口径 (mm)	管路	布設 年度	延長 (m)	事業 体名
a	100	VP管/TS継手	S48年頃	約10	S

②水道用バルブ類点検データの分析及び老朽度等の評価

P 水道事業者から水道用バルブ類（制水弁）に関する日常点検データ（調査台数1,024台）の提供を受け、平成18年度に引き続き、不具合の内訳や使用年数と不具合率の関係などの分析及び評価を行った。

C. 研究結果

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

(1) 管路における水質劣化メカニズムの解明

①水質と残留塩素減少に係る調査(ラボ実験)

水道管路内の残留塩素濃度減少は、経過（滞留）時間に支配され、一般的に次の一次反応式で示される。

$$C_t / C_0 = \exp(-k \cdot t)$$

ここに、

C_0 : 初期残留塩素濃度

C_t : t 時間経過後の残留塩素濃度

k : 残留塩素濃度消費速度係数 (hr⁻¹)

T : 経過（滞留）時間 (hr)

また、残留塩素濃度消費速度係数 (k) は水中又は管壁等の被酸化物の多少に左右されることも知られている。

こうしたことから、原水の種類や処理方法の異なる15事業者56浄水場から採取した浄水を10℃の水温に調整して試料とし、残留塩素濃度や各種水質の経時変化（連続24時間）を測定した。

表-10に、測定結果から得られたk値を、浄水方法及び水源種別ごとに整理した結果を示す。地下水を水源とする急速ろ過（除マンガン処理）のk値が最も低く、ダム湖を水源とする活性炭処理+急速ろ過のk値が0.0116と最も高い。

また、水源と浄水方法の組み合わせたと

きのおおよそのk値は、河川を水源とする高度処理（オゾン+粒状活性炭）の場合には0.006程度、ダム湖を水源とする高度処理では0.012程度、その他では0.010程度であった。

表-10 浄水方法及び水源種別ごとのk値

浄水方法	水源種別	データ数	平均値	標準偏差
塩素のみ	地下水	30	0.0104	0.0080
	河川水	10	0.0054	0.0027
オゾン+活性炭	湖沼水	3	0.0051	0.0018
	ダム湖	2	0.0113	0.0025
	ダム湖+河川水	9	0.0072	0.0029
活性炭+急速ろ過	河川水	13	0.0084	0.0036
	ダム湖	3	0.0116	0.0016
	ダム湖+河川水	15	0.0073	0.0043
急速ろ過	河川水	20	0.0095	0.0051
	ダム湖	30	0.0088	0.0043
	ダム湖+河川水	12	0.0077	0.0021
	ダム湖+地下水	3	0.0042	0.0011
緩速ろ過	地下水	12	0.0034	0.0019
	ダム湖	3	0.0097	0.0013

②管材質と残留塩素減少の関係に係る調査（ラボ実験）

管内面の付着物の定性分析を行ったところ、そのほとんどは鉄であり、その他はケイ素やアルミニウムであることが確認された。（図-27参照）

また、管内面付着物の水質に与える影響を把握するために、管内面に茶色い物質の付着したポリエチレン管を既存管路から採取し、5管内に充水した浸出溶液（JWWA Z108:2004）の残留塩素濃度の経時変化を連続24時間にわたって計測したが、残留塩素濃度の減少は認められなかった。

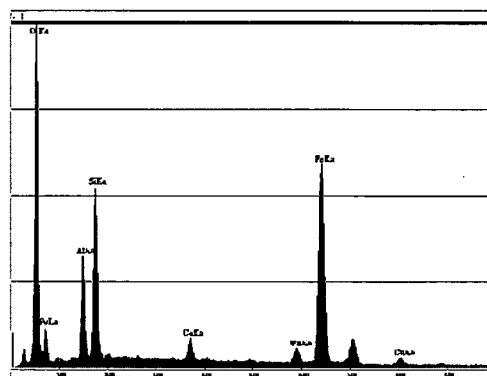


図-27 管内付着物の定性分析結果
(X線エネルギー分光法)

管内面の状況（ライニングの有無、錆ごぶの有無等）の水質への影響を、既存管路

から撤去した管を用いて調査した。

残留塩素濃度の経時変化について、無ライニング铸铁管とライニング鋼管とを比較すると、無ライニング铸铁管は明らかに残留塩素濃度の減少速度が大きい傾向が見られた。

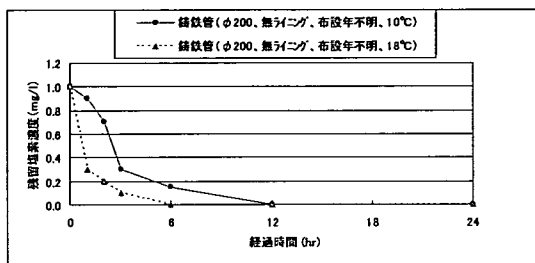


図-28 管材質由来の残留塩素濃度の経時変化 (無ライニング铸铁管)

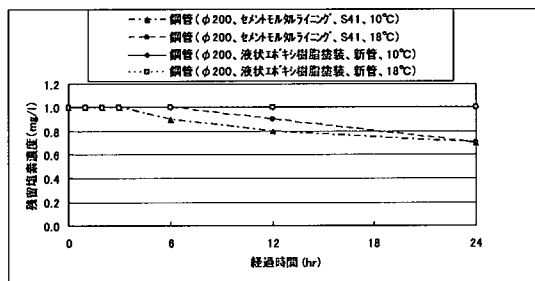


図-29 管材質由来の残留塩素濃度の経時変化 (ライニング鋼管)

無ライニング铸铁管における k 値は 0.1495~0.4467 を示し、上述の「水質と残留塩素減少に係る調査」によって得られた水質由来の k 値に対して 15~40 倍となった。モルタルライニングのある経年管の k 値は 0.0128~0.0154 であり、水質由来の k 値とほぼ同程度となった。

以上の結果から、 k 値を指標にして内面に錆こぶが生じている無ライニング管路を同定できる可能性があることが示唆された。

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)

Y 事業体における常時流速のある管路 N (常時流速: 10cm/s 程度)、常時流速のない管路 F (常時流速: 2cm/s 程度) とともに、残留塩素濃度の減少はほとんど認められなかった。

内面にライニングの施された管路では、流速の有無にかかわらず、残留塩素濃度はほと

んど減少しなかった。

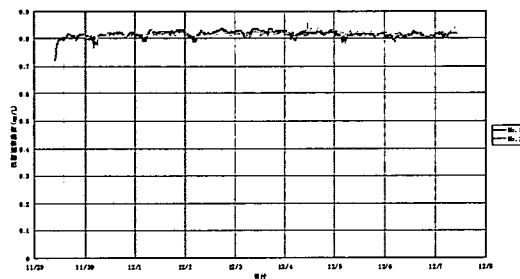


図-30 残留塩素濃度計測結果 (無ライニング铸铁管 Y 事業体/管路 U)

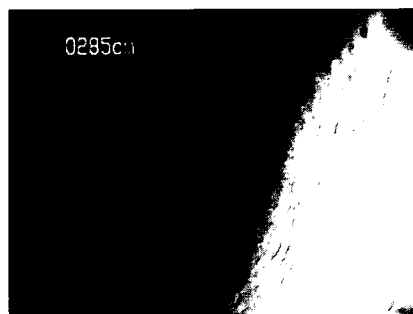


写真-4 管内カメラ調査 (ライニング铸铁管 Y 事業体/管路 F)

また、管路 N の内面セメントモルタルライニングの中性化を調査したところ、完全に中性化していた (中性化率 100%) が、残留塩素濃度の減少には影響していないことが確認された。

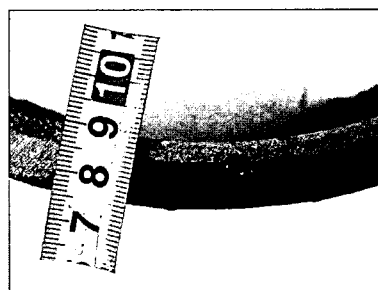


写真-5 中性化結果

(2) 管路における水質劣化防止対策技術の開発 (消石灰注入による水質劣化防止効果に係る調査 (フィールド調査))

管の腐食防止対策として消石灰注入を行っている管路においてダクタイル铸铁管等のテストピースを用いた腐食量調査を行ったところ、消石灰注入による腐食速度の抑制効果が確認された。また、消石灰注入による残留塩素の低減抑制が確認され、水質

劣化防止効果のあることが示唆された。

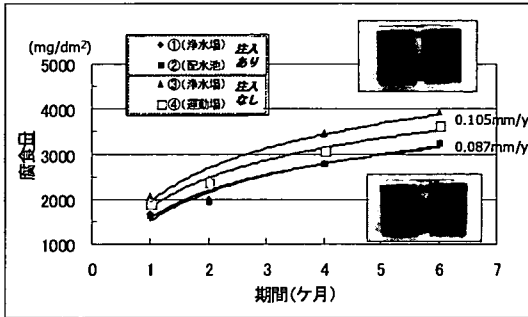


図-31 铸铁試験片腐食速度

においても有効であり、汎用性の高いことを確認した。

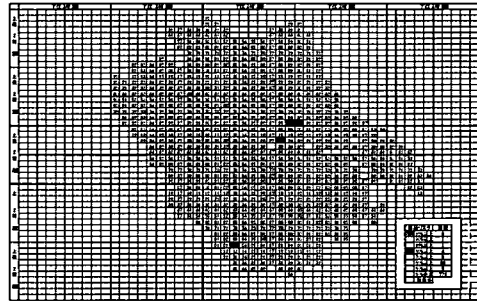


図-32 S事業体における事故リスク評価モデルによる診断結果

(3) 管路の水質面における評価診断手法の開発

管種、流速、残留塩素低下対策の有無等の項目を用いた簡易診断(スクリーニング)と、管内カメラ、水理・水質調査等による直接診断とを組み合わせ、水質劣化の問題を抱えた管路を抽出するための評価診断手法の素案を提案した。

2. 管路の老朽度診断技術に関する研究

(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

F水道事業体のデータを用いて平成17及び18年度に構築した、配水管路の安全性評価モデル及び漏水リスク評価モデルをS事業体のデータに適用してその汎用性を検証した結果、これらの評価モデルはS事業体

(2) 管路の効率的な現地診断技術(直接診断)の研究

① 衝撃弾性波法に基づくダクタイル铸铁管の老朽度評価手法に関する基礎研究

掘上経年管を用いた実験により、外面腐食を生じた管においても、管厚が減少するとピーク周波数が下がり、健全管を用いた場合と同様の傾向を示した。また、管外面に付着した腐食生成物が本手法に与える影響は小さいことが確認された。さらに、部分的な減肉の位置がピーク周波数に与える影響は小さく、本手法は減肉の位置に関わりなく管の減肉の程度を評価できる可能性のあることが明らかとなった。

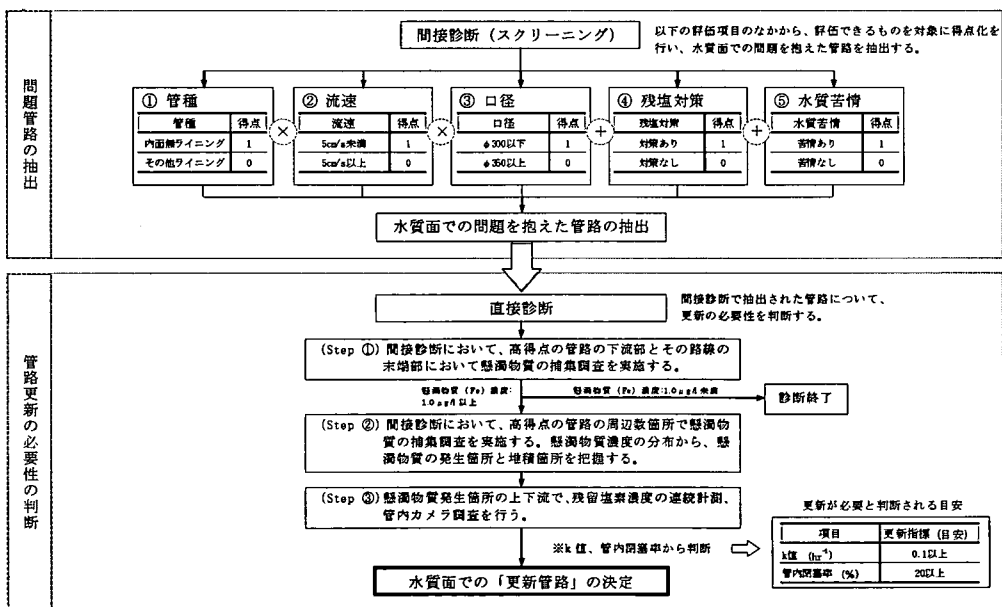


図-33 管路の水質面における評価・診断手法(素案)

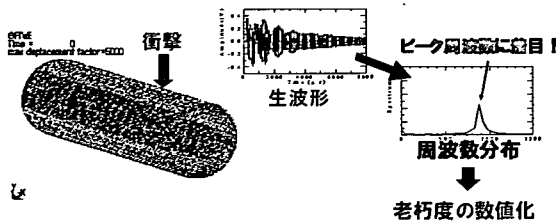


図-34 衝撃弾性波法

②磁気飽和渦流探傷法による配管検査システムの性能確認

掘上経年管を用いた実験結果により、掘上経年管を用いた場合と健全管の場合とは検出性能に大きな違いは認められなかった。検出可能な最小欠陥形状は、一例を挙げると、口径φ500mmの供試ダクタイル鉄管においてはφ5mm×深さ4.5mm(管厚の50%)、若しくはφ10mm×深さ3mm(管厚の30%)であった。また、管理設場所における調査を模して、埋設管内に砂等が堆積して調査装置と管体の密着が十分に図れない場合を想定した実験では、不陸の影響を受けないように合板で養生するなど、調査装置の走査性を考慮した対策が必要であることが明らかとなった。

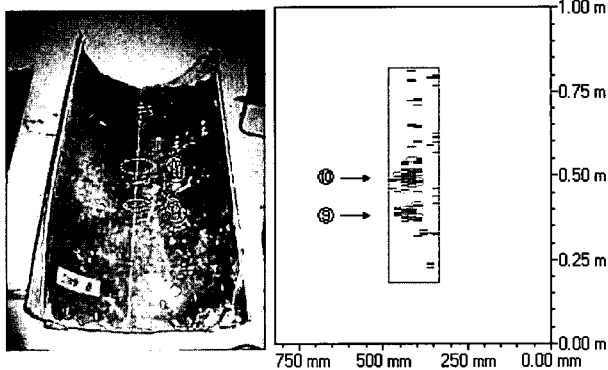


図-35 探傷結果の一例(φ500)

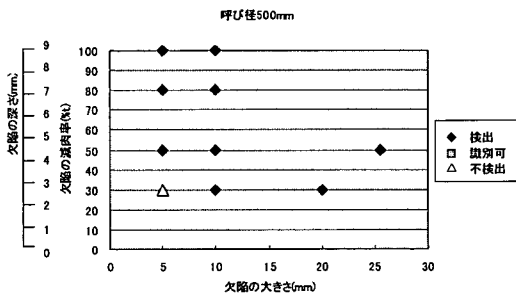


図-36 掘上経年管(φ500)における欠陥検出性能

③管路診断技術の到達レベルマップの作成
管路診断に関する既存技術を取りまとめた。これにより、現在どのような調査・診断方法が実用化又は研究されているか、また、どの部分の診断技術が充実しているかを容易に把握することが可能となった。

(3) 管路の老朽度面における評価手法の開発

①水道用硬質塩化ビニル管路の診断技術の研究

S 水道事業体の既設管路における管内カメラ調査により、TS継手の新仕様、旧仕様の違いを、内面のストッパー部分の幅により確認することができた。また、TS継手の内面亀裂は、今回の調査箇所では観察されなかったが、継手内面の異物付着や接着剤の塗布状況(接着剤のはみ出し)等の鮮明な観察が可能だったことから、管内カメラによる調査は、これらの有無を十分に確認することが可能であると判断された。



写真-6 TS継手内面接着剤の塗布状況(接着剤のはみ出し)

②水道用バルブ類点検データの分析及び評価

バルブ類の点検データを分析した結果、図-37に示すように、使用年数30年で不具合率が5%を超え、40年を超えると急増して25%に達し、さらに45年で不具合バルブは設置数の1/3を超えることが判明した。

また、仕切弁は、口径φ500mm以下では不具合率が小さく、比較的大きな口径(φ700mm~φ1200mm)で不具合の出る確率が大きくなることが明らかとなった。なお、バタフライ弁は、口径との関連を見出せなかった。

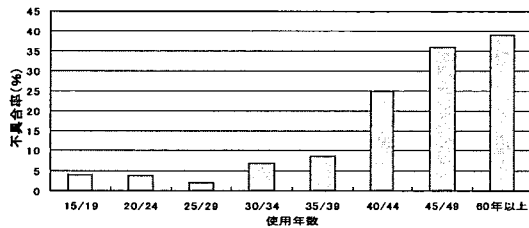


図-37 使用年数と不具合率の関係

D. 考察

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

水質由来の残留塩素濃度の減少傾向を残留塩素濃度減少速度係数 (k 値) で示すとおよそ 0.01 程度であった。

無ライニング管路における調査 (フィールド調査) では、水が滞留した場合の k 値は 0.11、流速が 10cm/sec 場合は 0.02 であった。

布設後年数の経過したライニングの無い管路では、水が滞留した場合、残留塩素濃度の減少量が極端に大きくなることが確認された。

また、ライニングの施された比較的新しい管路の k 値は 0.01 程度で、水質由来の k 値とほぼ同じ値であった。

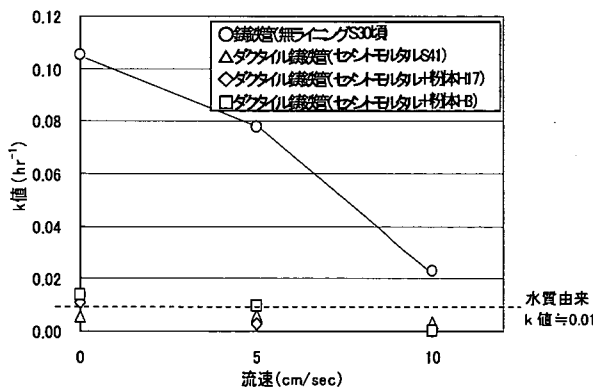


図-38 流速と k 値の関係

残留塩素及び懸濁物質の捕捉量に着目して、管路における水質劣化メカニズムを明らかにする研究を行った。

管路内における水質劣化は、管内面のライニングの有無と流速の有無の影響を強く受ける。特に、ライニングがなく、流速の遅い管路では、内面に錆こぶが形成され、

堆積物も多く、その結果として、残留塩素濃度の減少や懸濁物質が多くなるなどの水質劣化が懸念されることが明らかになった。

2 管路の老朽度診断技術に関する研究

管路の老朽度診断技術に関する研究では、老朽管路の機能面での実態把握のための技術開発を行った。

- ・ F 水道事業体データを用いて数量化理論により構築した配水管の安全性評価モデル及び漏水リスク評価モデルは、汎用性があることを確認した。
- ・ 管路の効率的な現地診断技術 (直接診断) として、部分的に腐食した掘上経年管を用いて衝撃弾性波法の基礎的な研究に取り組み、実管路への適用可能性を確認した。また、磁気飽和渦流探傷法の掘上経年管を用いた性能確認を行い、今後有効な手段となりうることを確認した。
- ・ 管路の老朽度面における評価 (間接診断) として、適切な管路更新に向け、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として、水道用硬質塩化ビニル管路の診断技術を開発した。また、管路システムとして管と同等に重要な設備であるバルブ類に関して、その使用年数と不具合率の傾向を見出し、また、予防保全のための分析に必要な日常点検項目を確認した。

E. 結論

本研究を実施することにより、以下の項目について明らかとなった。

- 主成分分析及びクラスター解析により、日本全国の原水を水質面からグループ分けし、かつ、水質を統合化した数値で表現し、水質マップとして示すことができた。これにより、全国の事業体が自己の水道原水水質を客観的に評価することが可能となった。
- 実証実験により膜ろ過システムの原水変動に対する水質安定性、「鉄系凝集剤+膜ろ過システム」の優れた処理水

量の安定性、膜ろ過システム及び鉄系凝集剤の有効性などを確認し、今後さらに適用の幅が広がる可能性を示すことができた。

- ▶ 浄水施設の LCA 評価を手順化した「浄水施設を対象とした LCA 実施マニュアル」の作成、及び VOC 計による水道原水の異臭味物質の迅速検知とその対応手法を提案した。
- ▶ 上記成果を統合することにより、原水水質を把握し目標浄水水質を設定することで、適切な浄水システムを選定することのできる手法を策定した。
- ▶ 管の内面仕様や水理状況等から、水質劣化の大きな管路を抽出するための手法を明らかにすることができた。
- ▶ 適切な管路施設の更新に向け、管路が老朽化した状況を把握し、管路更新の際の優先度の判断指標となる、統計的手法を用いた管路の老朽度診断手法（安全性評価モデル等）や効率的な管路の現地診断技術（衝撃弾性波法、磁気渦流探傷法等）について、適用の可能性を確認することができた。

多くの浄水施設が本格的な更新時期を迎える今後において、水道事業者が新しい浄水システムを構築し、施設更新を円滑に進めるためのガイドラインを示すことができた。また、管路施設については、機能の劣化した施設の更新を支援するため、更新の優先度を明らかにするための実用的な手法を示すことができた。

F. 研究発表

- ・ M. Fujiwara, S. Itoh, H. Nagaoka, H. Kondo and K. Hara, Detecting and Removing Odor-causing Compounds in Water Source, 2nd IWA-ASPIRE Conference and Exhibition, 2007
- ・ M. Fujiwara, A. Koizumi, G. Funahashi, N. Iwase and T. Hatanaka, Pipeline Diagnosis through Examination of Water Quality Degradation, 2nd IWA-ASPIRE Conference and Exhibition, 2007
- ・ M. Fujiwara, New Research Project on Drinking Water Quality Management, 第4回日米水道水質管理及び下水道技術

に関する政府間会議, 2007

- ・ 藤原正弘、「e-Water II プロジェクトについて」、環境衛生工学研究、2007、Vol.21、No.3、pp.107-110
- ・ 五十嵐倫子、伊藤雅喜、藤原正弘、「水質に応じた最適浄水システムの構築に関する研究」、環境衛生工学研究、2007、Vol.21、No.3、pp.111-114
- ・ 横田治雄、古米弘明、松井佳彦、藤原正弘、「浄水処理システムにおける水質変換および浄化機能の解析・評価に関する研究」、環境衛生工学研究、2007、Vol.21、No.3、pp.115-118
- ・ 新飯田豊、滝沢智、藤原正弘、「浄水施設を対象としたライフサイクルアセスメントに関する研究」、環境衛生工学研究、2007、Vol.21、No.3、pp.119-122
- ・ 長岡裕、伊藤禎彦、藤原正弘、「水道水源における臭気原因物質の検出及び除去に関する研究」、環境衛生工学研究、2007、Vol.21、No.3、pp.123-126
- ・ 八木澤修、藤原正弘、小泉明ほか、「老朽管路における水質劣化に関する研究」、第58回全国水道研究発表会、2007、pp.412-413
- ・ 岩瀬伸朗、藤原正弘ほか、「管路の老朽度診断技術に関する研究」、第58回全国水道研究発表会、2007、pp.338-339

H. 知的財産権の取得状況

なし

健全な水循環の形成に資する浄水・管路技術に関する研究

平成19年度 総括研究報告書（1／2）

参考資料

「安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究」
（浄水技術部門）

詳細報告資料

安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究

目 次 (1/2)

I 総論	1
1. 背景と目的	1
2. 基本方針	2
2. 1 研究課題	2
2. 2 研究期間	2
3. 研究実施体制	2
II-1 浄水システム委員会	1-1
1. はじめに	1-1
2. 浄水システム委員会の研究概要	1-1
2. 1 研究課題および研究目的	1-1
2. 2 研究実施体制	1-1
2. 3 活動内容	1-2
2. 3. 1 水質に応じた処理方式の構築	1-2
2. 3. 2 合同実験	1-3
2. 4 活動報告	1-3
3. 水質に応じた浄水システム選定手法の構築	1-6
3. 1 浄水処理システム選定の考え方	1-7
3. 1. 1 浄水システム選定手法	1-7
3. 1. 2 処理システムの類型分け	1-8
3. 1. 3 データ収集と事前検討	1-9
3. 2 望ましい浄水水質のレベル別設定	1-15
3. 2. 1 目標浄水水質レベルの考え方	1-15
3. 2. 2 目標水質の設定	1-16
3. 2. 3 目標水質レベルの設定値	1-18
3. 3 プロセス群の選定	1-19
3. 3. 1 フローデータ解析	1-19
3. 3. 2 プロセスデータ解析	1-84
3. 3. 3 水質毎のプロセス群選定	1-168
3. 4 追加設備の検討	1-177
3. 4. 1 追加設備の判定	1-177
3. 4. 2 塩素注入による塩素酸・臭素酸濃度	1-184
3. 5 最適浄水システムの選定手法	1-188
3. 6 コスト・スペース・維持管理性・LCA の評価	1-199
3. 6. 1 コスト・スペース・維持管理性・LCA	1-199
3. 6. 2 粉末炭と粒状炭のコスト比較	1-213
3. 7 新技術の紹介	1-216

3. 8 ケーススタディ (適用例)	1-232
3. 9 浄水システム選定手法と各委員会成果のかかわり	1-249
3. 9. 1 はじめに	1-249
3. 9. 2 各委員会の研究内容	1-249
3. 9. 3 浄水システムの選定方法	1-251
4. 合同実験	1-272
4. 1 実験目的	1-272
4. 2 実験方法	1-272
4. 2. 1 連続運転	1-272
4. 2. 2 排水処理実験方法	1-284
4. 3 結果	1-288
4. 3. 1 連続実験 RUN1	1-288
4. 3. 2 連続実験 RUN2	1-298
4. 3. 3 連続実験 RUN3	1-306
4. 3. 4 金属、有機物、及び 50 項目分析結果	1-314
4. 3. 5 薬品洗浄	1-316
4. 3. 6 連続実験に関する考察	1-317
4. 3. 7 排水処理実験に関する結果及び考察	1-321
4. 4 まとめ	1-335
添付資料	1-336
II-2 水質評価委員会	2-1
1. はじめに	2-1
1. 1 全体背景	2-1
1. 2 活動概要	2-1
1. 3 水道事業者から見た本書の活用意義	2-1
2. 研究概要	2-3
2. 1 研究課題	2-3
2. 2 研究目的	2-3
2. 3 研究実施体制	2-3
2. 4 研究概要	2-3
3. 水質データ及び関連情報の収集	2-5
3. 1 水道統計水質編	2-5
3. 2 他機関による水質関連情報	2-5
3. 3 事業者直接提供データ	2-5
4. 原水水質の分類、解析 (得点化とグループ化)	2-8
4. 1 解析方法	2-8
4. 1. 1 クラスタ解析	2-8
4. 1. 2 主成分分析	2-8

4. 1. 3	採用データ	2-8
4. 2	水道統計データを用いたクラスター解析による原水水質の分類(グループ化)	2-9
4. 2. 1	対象データ	2-9
4. 2. 2	クラスター解析条件	2-9
4. 2. 3	解析結果	2-10
4. 2. 4	結果総括	2-12
4. 3	事業者提供データを用いた主成分分析及びクラスター解析による原水水質の得点化とグループ化	2-13
4. 3. 1	分析条件	2-13
4. 3. 2	主成分分析比較結果	2-14
4. 3. 3	代表条件の主成分分析結果	2-14
4. 3. 4	クラスター解析結果	2-17
4. 3. 5	主成分分析とクラスター解析結果の照合	2-18
4. 3. 6	考察	2-19
4. 4	まとめ	2-23
4. 5	本成果に基づく水道原水水質特性確認方法	2-25
4. 5. 1	主成分得点算出と所属グループ(クラスター)の確認方法	2-25
4. 5. 2	原水水質と採用浄水システムの関係把握	2-30
5.	浄水システムと原水水質の関係整理、解析	2-31
5. 1	目的	2-31
5. 2	原水水質と浄水水質の解析方法	2-31
5. 3	原水水質と浄水水質の解析結果	2-33
5. 3. 1	高除去率型	2-34
5. 3. 2	除去効果有型	2-37
5. 3. 3	低除去率型	2-39
5. 3. 4	副生成物生成型	2-40
5. 3. 5	広範囲分布型	2-41
5. 4	原水水質データを利用した浄水システムの推定方法	2-42
5. 4. 1	累積分布の差が大きい水質項目の選定方法	2-42
5. 4. 2	浄水システムの推定方法	2-43
5. 5	浄水システムの推定結果	2-44
5. 5. 1	累積分布の差が大きい水質項目の選定結果	2-44
5. 5. 2	累積分布のパターン認識による浄水システムの推定結果	2-46
5. 6	まとめ	2-51
第5章	付録 浄水システム推定マクロ	2-52
6.	事業者ヒアリング(原水水質障害対応事例調査)	2-55
6. 1	目的	2-55
6. 2	ヒアリング概要	2-55
6. 2. 1	アンケート調査およびヒアリング調査の方法	2-55

6. 2. 2	アンケート調査先浄水場	2-55
6. 2. 3	調査のまとめ	2-56
6. 3	恒常的、季節的な原水水質の問題点について	2-57
6. 3. 1	内容概要	2-57
6. 3. 2	各内容とその対処方法について	2-58
6. 4	突発的な原水水質の異常について	2-63
6. 4. 1	内容概要	2-63
6. 4. 2	各内容とその対処方法について	2-64
6. 5	ヒアリング事例紹介	2-66
6. 5. 1	水源、導水路	2-66
6. 5. 2	浄水場（取水口～）	2-66
6. 5. 3	浄水場（薬品混和池～ろ過池）	2-66
	添付資料	2-67

II-3	機能評価委員会	3-1
1.	はじめに	3-1
2.	機能評価委員会の研究概要	3-1
2. 1	研究課題および研究目的	3-1
2. 2	研究実施体制	3-1
2. 3	活動内容	3-2
2. 3. 1	研究内容	3-2
2. 3. 2	研究フロー	3-3
2. 4	活動報告	3-5
3.	研究報告	3-6
3. 1	水質項目別性能評価	3-6
3. 1. 1	検討方法	3-6
3. 1. 2	処理性影響因子の評価	3-8
3. 1. 3	個別水質項目に関する処理モデルの構築	3-15
3. 1. 4	まとめ	3-25
3. 2	濁質除去性能評価	3-27
3. 2. 1	検討方法	3-27
3. 2. 2	調査対象施設の概要	3-28
3. 2. 3	濁度処理影響因子の評価	3-30
3. 2. 4	重回帰分析による濁質処理のモデル化	3-35
3. 2. 5	まとめ	3-48
3. 3	臭気除去性能評価	3-51
3. 3. 1	検討方法	3-51
3. 3. 2	粉末活性炭方式における臭気除去影響因子の評価	3-53
3. 3. 3	粉末活性炭方式における臭気除去のモデル化	3-54

3. 3. 4	粉末活性炭以外の方式における臭気除去性能の評価	3-58
3. 3. 5	まとめ	3-59
3. 4	水道統計による水質と浄水方法の関連性検証	3-60
3. 4. 1	ジェオスミン、2-MIB	3-60
3. 4. 2	濁度、色度	3-68
3. 4. 3	過マンガン酸カリウム消費量	3-75
3. 4. 4	まとめ	3-78
3. 5	その他の研究成果	3-79
3. 5. 1	ヒアリング調査	3-79
3. 5. 2	設計指針と実績値の比較	3-86
3. 5. 3	全国水道研究発表会講演集からの情報	3-91
4.	まとめ	3-92

※参考

目 次 (2 / 2)

II-4	環境評価委員会	4-1
1.	はじめに	4-1
2.	環境評価委員会の研究概要	4-1
2. 1	研究課題及び研究目的	4-1
2. 2	研究実施体制	4-1
2. 3	研究目標	4-2
2. 4	活動報告	4-2
3.	研究報告	4-4
3. 1	LCAにおける目的と調査範囲の設定	4-4
3. 1. 1	目的の設定	4-4
3. 1. 2	調査範囲の設定	4-4
3. 2	データ収集	4-18
3. 2. 1	構成素材データ	4-18
3. 2. 2	原単位	4-19
3. 2. 3	データの収集書式の設定	4-24
3. 2. 4	段階別データの収集方法	4-26
3. 3	事業期間、耐用年数の設定	4-28
3. 4	計算・集計	4-28
3. 5	結果と考察	4-29

3. 6 「浄水施設を対象とした LCA 実施マニュアル」の作成	4-37
4. まとめ	4-38
II-5 臭気評価委員会	5-1
1. はじめに	5-1
2. 臭気評価委員会の研究概要	5-1
2. 1 研究課題および研究目的	5-1
2. 1. 1 研究課題	5-1
2. 1. 2 研究目的	5-1
2. 2 研究実施体制	5-1
2. 3 活動内容	5-2
2. 3. 1 研究内容	5-2
2. 4 活動報告	5-3
2. 4. 1 委員会開催報告	5-3
3. 研究報告	5-6
3. 1 臭気原因物質等に関する検出・評価方法の検討について	5-6
3. 1. 1 合同実験	5-6
3. 1. 1. 1 実験概要	5-6
3. 1. 1. 2 実験結果および経過	5-6
3. 1. 1. 3 ガスクロマトグラフ VOC 測定装置の臭気成分検出基本性能	5-7
3. 1. 1. 4 原水連続測定結果	5-33
3. 1. 1. 5 迅速検知の課題と展望	5-50
3. 1. 1. 6 まとめ	5-54
3. 1. 2 水質予測モデルによるシミュレーションについて	5-55
3. 2 臭気原因物質等に関する対策技術の整理について	5-59
4. まとめ	5-60

I 総論

1. 背景と目的

今日、わが国の水道は97%を越える高普及率を達成しており、社会の基幹施設として機能している。平成16年6月に発表された「水道ビジョン」が指摘しているように、今後とも水道は環境保全を考慮しつつ、安全・安心な水を持続的に安定して供給していくことが必要不可欠となっており、一旦事故等が発生すると大きな影響を与えるため、適切な施設の更新と維持管理が必要不可欠である。

しかし、水道ビジョンが示しているように日本の高度成長期を支えてきた浄水施設の内相当数が、今後10年以内に更新の時期を迎える。さらに、人口の減少等から水需要の伸びは期待できず、水道事業体の経営に大きな影響を及ぼしている。

一方、今後15年程度で水道事業体職員の半数以上が退職する見込みであり、技術の継承が急務であると共に、省力化・効率化が図れる施設に更新することが必要である。また、水源について考えてみると水源水質は浄水施設建設時と比較すると、河川表流水からダム貯留水やダム放流水の比率が多くなると共に、周辺の開発などにより悪化している。さらに、クリプトスポリジウムのように、塩素による消毒が効果のない病原性微生物の問題などがあり、近年のボトル・ウォーターの消費量の伸びなどを考えると、需用者のニーズは安全でおいしい水であり、これらを満足する新しい技術に対する要求は高まっている。

上記のような理由から、施設更新を行うに当たり、水道事業体ではその地域に最も適した浄水処理技術を選択するためのガイドラインが求められている。また、平成12年に施設基準が性能基準化されたことに伴い、各水道事業体は、原水水質などその地域に最も適した水道施設を設けることが可能となり、その具体的な指針が求められている。

また、退職職員の急増を考えると、浄水場の維持管理に関する技術の継承や省力化・効率化のために機械化、コンピュータ化の適切な指針が求められている。

一方、2-MIB やジェオスミンの臭気物質の濃度は水質基準が決められ、その除去が必要になっていると共に、安全でおいしい水を求める需用者のニーズに応えるため、その他の臭気原因物質等による水源汚染が水道事業にとって大きな問題となっている。

以上のような背景を受け、原水条件に応じた最適な浄水プロセスを示すことにより、水質基準への適合、消費エネルギー等の低減、排水処理施設からの汚濁物質低減、維持管理における省力化を図るとともに、未知の臭気原因物質等を特定すること及び除去方法を研究することは、安全・安心な水を安定して供給するために不可欠であり、これらにより現在更新時期を迎えている水道施設の効率的な更新を図り、安全・安心でおいしい水を安定して供給することが出来る。

本研究は、平成17年度～19年度において厚生労働科学研究費補助金（地域健康危機管理研究事業）を受け実施した。上記に示した各種の原水条件に応じた最適浄水処理プロセスの選定指針の作成、おいしい水を目指した臭気原因物質等の検知と除去方法等の各種研究を実施することにより、需用者が求めている安全でおいしい水を供給する効率的な浄水技術の選定手法を確立し水道事業体を支援することを目指すものである。

2. 基本方針

2. 1 研究課題

本研究では、次の課題につき研究を行った。

(1) 原水条件に応じた最適浄水システムに関する研究

日本全国の原水水質を水質項目によりグループ分類を行った。その後、単位浄水プロセスの組み合わせによる浄水システムについて、浄水水質の安全性、維持管理性、省エネルギー、環境負荷低減を考慮した LCA 的観点、排水、汚泥処理プロセス、監視・計装システム等の項目により評価し、最適な浄水プロセスの指針の検討を行った。

(2) おいしい水を目指した臭気原因物質等に関する研究

臭気原因物質としては、従来、2-MIB、ジェオスミンが代表的物質として挙げられているが、これらが検出されていない原水に対しても、浄水処理後、又は、給水末端にて、臭気が発生するケースがある。これは、原水中に含まれる臭気原因物質等が、塩素処理により変性し、何らかの臭気物質を生成している可能性がある。

より安全でおいしい水を供給するために、未知の臭気原因物質をできるだけ早く検出し、取水方法の変更、浄水処理の強化等により、安全性・快適性の向上を図る研究を行った。

2. 2 研究期間

本研究は平成 17 年度～平成 19 年度の 3 年間にわたって実施した。

3. 研究実施体制

本研究を実施するため、下記の各委員会を設置した。

(1) 調整委員会

本研究の円滑な推進のための委員会で、本研究に参画する国立保健医療科学院、大学、水道事業体、企業、関連団体の代表者により構成する。

(2) 研究評価委員会

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、研究内容の事前審査や評価及び成果を総合的に検討するため、学識者の代表を中心とする委員会である。

(3) プロジェクト委員会

具体的な研究計画の調整を図ると共に、必要な情報交換やその他本研究に関連する諸業務を行うため、参加企業の代表を中心とする委員会である。

(4) 総合研究委員会

研究課題に関する研究を円滑に推進するため、「調整委員会」の下に設置する委員会で、本研究に参画する国立保健医療科学院、大学、水道事業体、企業等の代表者により構成する。

また、本委員会の元に 5 つの研究委員会を設け研究を推進した。

① 浄水システム委員会

原水水質、目標とする浄水水質、維持管理性、及びコスト等を考慮した適切なシステムの選

定手法、システムの評価に関する研究を行う。

②水質評価委員会

原水・浄水水質及び原水水質に影響を与える因子に関するデータを幅広く収集し、原水水質の分類・評価・解析に関する研究を行う。

③機能評価委員会

浄水処理プロセスごとに水質等の面から評価を行い、浄水処理技術の確立を図ることを目的とした研究を行う。

④環境評価委員会

環境に優しい水道の実現に資することを目的として、上水道分野におけるライフ・サイクル・アセスメント（LCA）手法を確立するための研究を行う。

⑤臭気評価委員会

おいしい水を目指して、臭気原因物質等に関する検出・評価方法についての検討、対策技術の選定手法の確立に関する研究を行う。

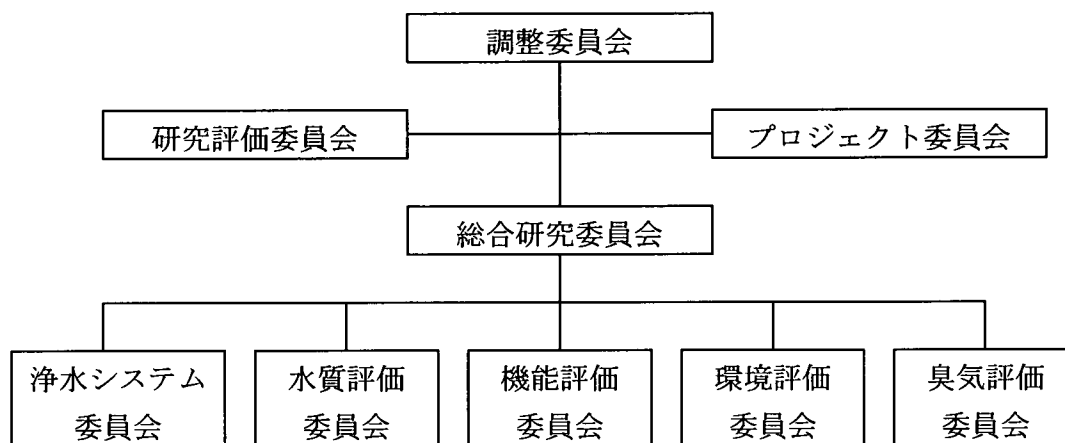


図 3-1 研究実施体制図