

4. 管路の老朽度診断技術に関する研究

4. 管路の老朽度診断技術に関する研究

4.1 研究目的

管路施設の更新・更生や維持管理を検討する場合、管路の現状を正確に把握することが重要となる。現在、管路の老朽度等を詳細に診断・評価するためには、管周辺を掘削した状態での管体調査が主に行われているが、埋設環境や膨大な掘削コスト等が支障となり、管路診断が容易に行えない事例が増えてきている。そのため、極力掘削しないで診断する技術や非開削で管路の状態を診断・評価できる技術の開発が望まれているが、未だ有効な技術が開発されていないのが現状である。

このようなことから、本研究では、極力掘削しないで診断する方法や非開削などで診断できる技術について基礎的な研究開発などを実施し、各水道事業者が計画的・効率的に管路更新を進めることを支援することのできる老朽度診断技術の開発を目標とする。

4.2 研究方針

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、「アンケート調査」、「管路診断既存技術調査」および「水道管路の事故リスクに関する統計的分析の調査研究」などを実施し、計画的・効率的な管路更新を可能とする管路診断プロセス（図6.1.1を参照。）の確立を目指した。

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 効率的な管路の現地診断技術（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

などを目標に研究に取り組み、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老朽度診断技術の開発研究を行った。

上述の目標達成のために計画し、実行した平成17年度～平成19年度の各研究方針を時系列的に以下に示す。

（1）平成17年度

初年度である平成17年度は、アンケート調査および文献調査など、今後の研究の方向性を定めるための老朽度診断技術に関する情報収集ならびにそれらの分析や確認試験を中心に実施することとした。また、分析・確認試験結果により明らかになった技術的課題点は、学識者等による基礎研究・基礎実験としてその解決に向け研究計画を策定し、実施することとした。なお、具体的な研究項目を以下に列記する。

1) 水道事業体向けアンケート調査

約330の水道事業体へのアンケート調査を実施し、老朽度診断技術に関するニーズ等を取りまとめた。

2) 既存技術の整理・分類

既存技術（文献調査、展示会、センターの報告書等）を調査し製品化されているものの適用範囲調査を行ない診断レベル（直接・間接診断）に応じた診断技術として整理した。また、その整理・分類表として、「管路診断技術の到達レベルマップ」および「手法詳細シート」を作成した。

3) 既存技術調査

既存技術調査の結果、他分野で実績があり、水道分野に技術転用が可能と思われる診断技術を有望既存技術として追跡調査を実施し、水道分野への適用性を検討した。なお、平成17年度は、抽出された3技術うち、以下に示す1つの技術について検討を行った。

- ① 下水管きよ劣化診断ロボット（ドクターインパクト）

4) 基礎研究・基礎実験

研究計画立案時に挙げた技術的課題の解決のために平成17年度に実施した基

礎研究・基礎実験を以下に示す。

- 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—メッシュデータを用いた評価モデルの作成—

担当研究委員／首都大学東京大学院 小泉 明

- ② 音響エコーを用いた水道管路の劣化検出（音響法）

担当研究委員／横浜国立大学 朝倉 祝治

- ③ 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）

担当研究委員／横浜国立大学 朝倉 祝治

- ④ 衝撃弾性波法に基づくダクタイル鋳鉄管の老朽度評価手法に関する基礎研究

担当研究委員／大阪大学大学院 鎌田 敏郎

（２）平成 18 年度

平成 18 年度は、平成 17 年度に実施したアンケート調査と既存技術調査および基礎研究・基礎実験を基に、追加のアンケート調査や合同研究として個別の研究テーマを策定し、研究目的に対する適用性および有効性について検証することとした。なお、具体的な研究項目を以下に列記する。

1) 事業体独自マニュアルの内容調査

水道事業体が独自に保有する管路診断または管路更新に関する基準やマニュアルについて収集およびヒアリングを実施し、老朽度診断項目の実態を把握した。

2) 既存技術調査

既存技術調査の結果、他分野で実績があり、水道分野に技術転用が可能と思われる診断技術を有望既存技術として追跡調査を実施し、水道分野への適用性を検討した。なお、平成 18 年度は、平成 17 年度抽出された 3 技術うち、調査が未実施である 2 つの技術について検討を行った。

- ① 管内テレビカメラロボット（OMNIVS）

- ② 磁気飽和渦流探傷法による配管検査システム（SLOFEC）

3) 既存施設データを用いた管路の老朽度診断手法の開発（合同研究）

- ① 水道用硬質塩化ビニル管路の評価・診断技術の研究

水道事業体から供給を受けた掘上経年管を使用した試験を中心に、水道用硬質塩化ビニル管路の更新の要否を判断する診断技術について研究した。

- ② 水道用バルブ類点検データの分析および評価

水道事業体が保有する点検補修記録を収集および分析することにより、水道用バルブ類の老朽度の実態を調査し、それらの使用年数と不具合の関係を把握した。

- ③ 鋳鉄管等における調査事例

統計的手法を用いた管路の老朽度診断手法（間接診断）の開発の基礎データを蓄積すること、また、直接診断の調査内容・方法を確認することを目的として掘

上経年管およびボルト・ナットの調査を実施した。

4) 基礎研究・基礎実験

研究計画立案時および平成 17 年度の研究成果等より挙げた技術的課題の解決のために学識者等が本平成 18 年度に実施した基礎研究・基礎実験を以下に示す。

- 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—メッシュデータを用いた評価モデルの作成—

研究担当委員／首都大学東京大学院 小泉 明

- ② 音響エコーを用いた水道管路の劣化検出（音響法）

研究担当委員／横浜国立大学 朝倉 祝治

- ③ 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）

研究担当委員／横浜国立大学 朝倉 祝治

- ④ 衝撃弾性波法に基づくダクタイル鋳鉄管の老朽度評価手法に関する基礎研究

研究担当委員／大阪大学大学院 鎌田 敏郎

(3) 平成 19 年度

最終年度となる平成 19 年度は、これまでに実施してきた各研究テーマを精査し、必要に応じてその内容等の見直しを図るとともに、ラボ実験を中心に行ってきた研究を、水道事業体のフィールド試験に拡張して適用性や実用性などを検証することとした。また、これらの研究成果に基づき、管路診断プロセス（図 6.1.1）の確立を目指すこととした。なお、具体的な研究項目を以下に列記する。

1) 既存技術の整理・分類

- ① レベルマップの見直し

平成 17 年度の作成時以降に開発されたり、発表されたりした管路診断技術を追加するとともに、より見やすくかつ判りやすくすべく、レベルマップの見直しを行った。また、**New Epoch** プロジェクトにおける学識者等の研究成果も反映させた。

2) 既存技術調査

- ① 磁気飽和渦流探傷法による配管検査システム（SLOFEC）

平成 18 年度の追加実験として、水道事業体から提供を受けた掘上経年管を使用した同手法の性能確認試験を実施し、水道管路への適用性を検討した。

2) 既存施設データを用いた管路の老朽度診断手法の開発（合同研究）

- ① 水道用硬質塩化ビニル管路の評価・診断技術の研究

水道事業体のフィールドにおいて、経年管内にカメラを挿入して旧規格 TS 継手部の亀裂を調査し、その結果により管路更新の要否を判断する診断技術について研究した。

- ② 水道用バルブ類点検データの分析および評価

平成 18 年度に引き続き、さらに別の水道事業体が保有する点検補修記録データを収集および分析し、水道用バルブ類の使用年数と不具合率の関係を把握した。

3) 基礎研究・基礎実験

平成 17, 18 年度に引き続き、研究計画立案時および昨年度の研究成果等より挙げた技術的課題の解決のために学識者等が平成 19 年度に実施した基礎研究・基礎実験を以下に示す。

- ① 数理化理論による配水管の安全性評価モデルに関する研究—メッシュ評価モデルの汎用性の検証—
研究担当委員／首都大学東京大学院 小泉 明
- ② 音響エコーを用いた水道管路の劣化検出（音響法）
研究担当委員／横浜国立大学 朝倉 祝治
- ③ 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）
研究担当委員／横浜国立大学 朝倉 祝治
- ④ 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
研究担当委員／大阪大学大学院 鎌田 敏郎

4.3 アンケート調査結果の分析

本研究を進めるにあたり、「2章 アンケート調査」をもとに、管路更新における水道事業体の現況と今後の課題をまとめた。

また、アンケート調査の中で、数は少ないが更新計画立案時に独自の基準・マニュアルを活用している事業体があることが分かり、追加調査として事業体独自マニュアルの内容調査を実施した。

(1) 管路更新における水道事業体の現況

- ・平成16年度末時点において、給水人口25万人以上の大規模事業体では、布設後40年以上経過している管路の保有割合は少なく、管路更新、整備は比較的順調に進んでいると推定できる。一方、給水人口5万～25万人の中規模事業体では、布設後40年以上経過している管路が10%強存在し、管路更新の検討の必要性が迫られている。また、給水人口5万人未満の小規模事業体では、布設後40年以上経過している管路の割合はほぼ0であり、昭和40年代前後の高度成長期に創設された事がうかがえる。しかし布設後25年～40年未満の割合が30%を占めていることから更新時期は近いと言える。(参照 図4.3.1)
- ・過去3年間(平成14～16年度)において、管路施設が要因となった苦情の過半数を占める「錆による赤水、濁水、異物混入」に対しては、排水・洗浄など事後対策が一般的となっており、予防保全の視点に立った対策が求められている。(参照 図4.3.2)
- ・過去3年間(平成14～16年度)において、管路施設の漏水事故の原因の約6割を占める「管体継手の折損、継手の抜出し、腐食」に対しては、対症療法的な部分補修がほとんどで、根本的な改善となる管路更新は先送りにされている傾向がうかがえる。(参照 図4.3.3)
また、漏水事故のデータは195の事業体のうち約75%で管理され、その中で事故の詳細状況や原因の究明は3割弱で実施されている。
- ・管路更新計画時に基準やマニュアルを活用している事業体は約4割で、残りの大部分は、「基準やマニュアルを活用していない」または「管路更新計画を立案していない」という状況である。管路を更新する理由としては、明らかに更新が必要な漏水事故の多発管および石綿管のような特定管種を除くと、「管種毎に決めた更新基準年数を超えた管路」の割合が高い。ただ、埋設環境の影響があるため、埋設年数は老朽度判断の1つの要因に過ぎないと言える。したがって、管路の老朽度を判断するための妥当性のある基準を構築することが大きな課題である。(参照 図4.3.4、図4.3.5、図4.3.6)
- ・管路更新の根拠としては、「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ことも伺える。(参照 図4.3.7)

（２）今後の課題

多くの事業者は、無条件に更新が必要な特定管種（石綿管や鋳鉄管など）および漏水事故が多発している管路の更新を優先する一方、管路の老朽度診断からの計画的な管路更新の必要性を感じている。しかし、埋設環境の影響度や老朽化に地域差があり、一概に判断できない難しさがある。

また、管路診断としては開削による調査および漏水発生管の直接診断が45%で、対症的な診断が主流となっている。しかし、埋設環境や膨大な開削コストなどが支障となり、管路診断が容易に行えない事例が増えている。そのため、老朽管路の更新の遅れに伴う漏水や破損事故、赤水などの水質障害発生の増加が危惧されているが、未だそれらを予測、判断する有効な技術の開発がされていないのが現状である。

特に、中小の事業者は、近い将来には一斉に老朽管の割合が増えることが予想され、費用面の負担も合わせ、効率的、計画的に更新していく必要がある。また、給水人口5万人未満の事業者では中小口径管路が主体であり、これら管路の診断技術のニーズが高まると考えられる。

今後の課題としては、管路の老朽度診断技術の開発と、現有管路に対する更新優先順位の見極めに有効な診断手法・評価に基づいた管路更新への取組みが急務である。

（３）事業者独自マニュアルの内容調査（追加調査）

管路更新計画立案時において、簡易に更新の優先順位を決定できるマニュアルは、特に、中小規模事業者においてニーズが高いと考えられる。そこで、事業者が独自に保有している管路診断または管路更新に関する基準・マニュアルを収集し、老朽度診断項目の実態を分析した。収集した基準・マニュアルの総数は18であり、比較的規模の大きな事業者のものが多かった。

評価項目としては、「管路情報」「事故時の影響度」「地震時の影響度」「埋設環境」「水理・水質状況」「給水管」の6項目に大きく分類し、診断項目を調べた。

また、各評価項目に対する採点（重み付け採点）を基に管路更新の優先順位を決定しているマニュアルが18事業者中9事業者でみられた。

さらに、実施計画時のマニュアルの反映の程度などを把握するために、7事業者に対してヒアリング調査を実施した。

設問 1-3) 平成 16 年度末時点における管路施設の保有状況について教えてください。
 なお、回答欄の (1) には布設後 25 年未満の管路延長 (km)、(2) には布設後 25
 年以上 40 年未満の管路延長 (km)、(3) には布設後 40 年以上の管路延長 (km)
 を記入して下さい。

→ 給水人口及び布設年代別の管路延長を図 4.3.1 に示す。

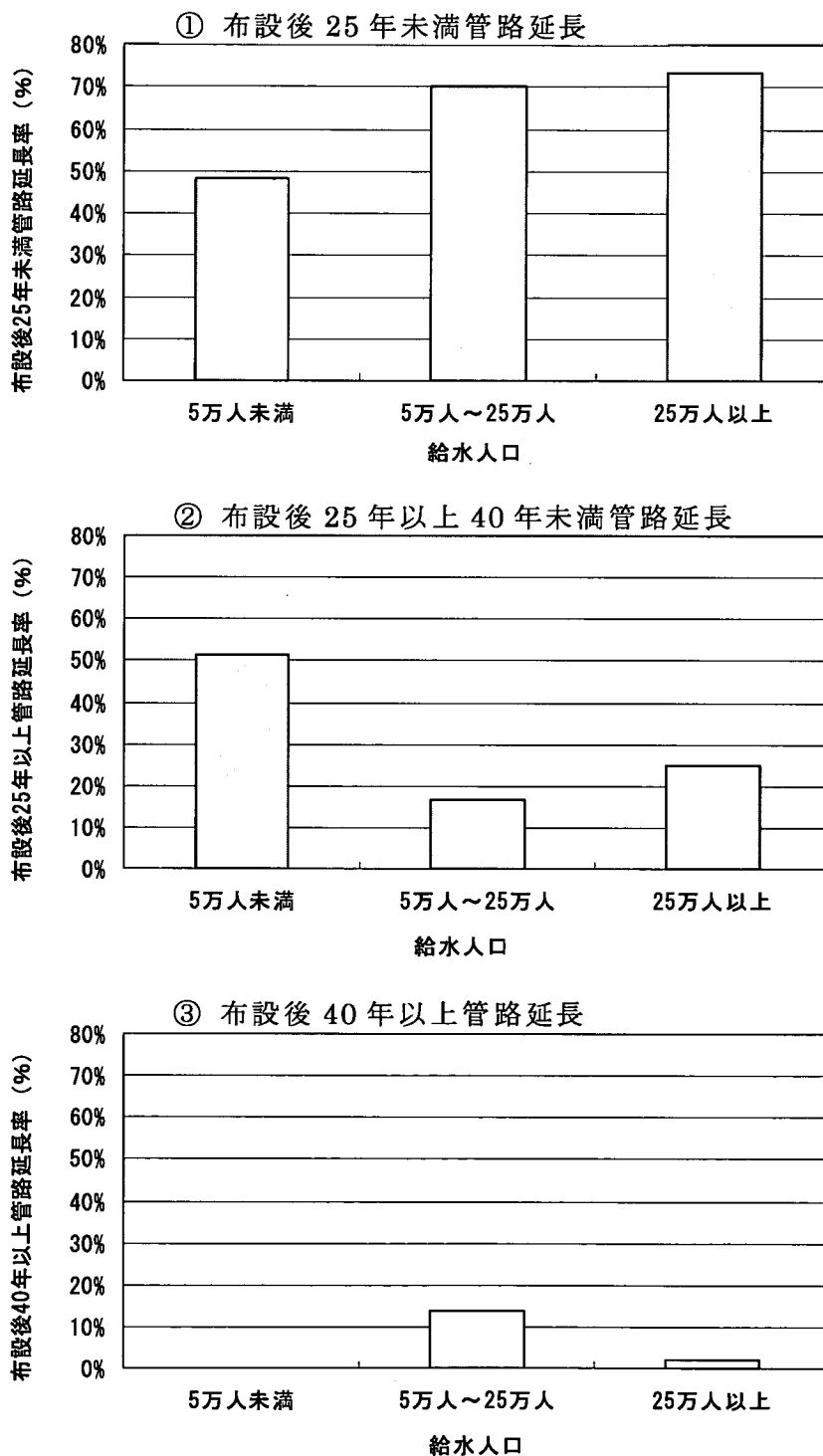


図 4.3.1 給水人口・布設年代別管路延長

設問 2-1) 過去 3 年間 (H14~H16 年度) の管路施設が要因となった苦情の状況について教えて下さい。また、苦情に対してどのような対策を講じましたか。主な対策として、下記の (1) ~ (5) から一つ選択して下さい。

→ 苦情内容とその対策を図 4.3.2 に示す。

<対策>

□ (1) 排水・洗浄	□ (2) 管路更新	□ (3) 管網形態の変更
■ (4) その他	▨ (5) 特に何もしていない	□ データ管理なし

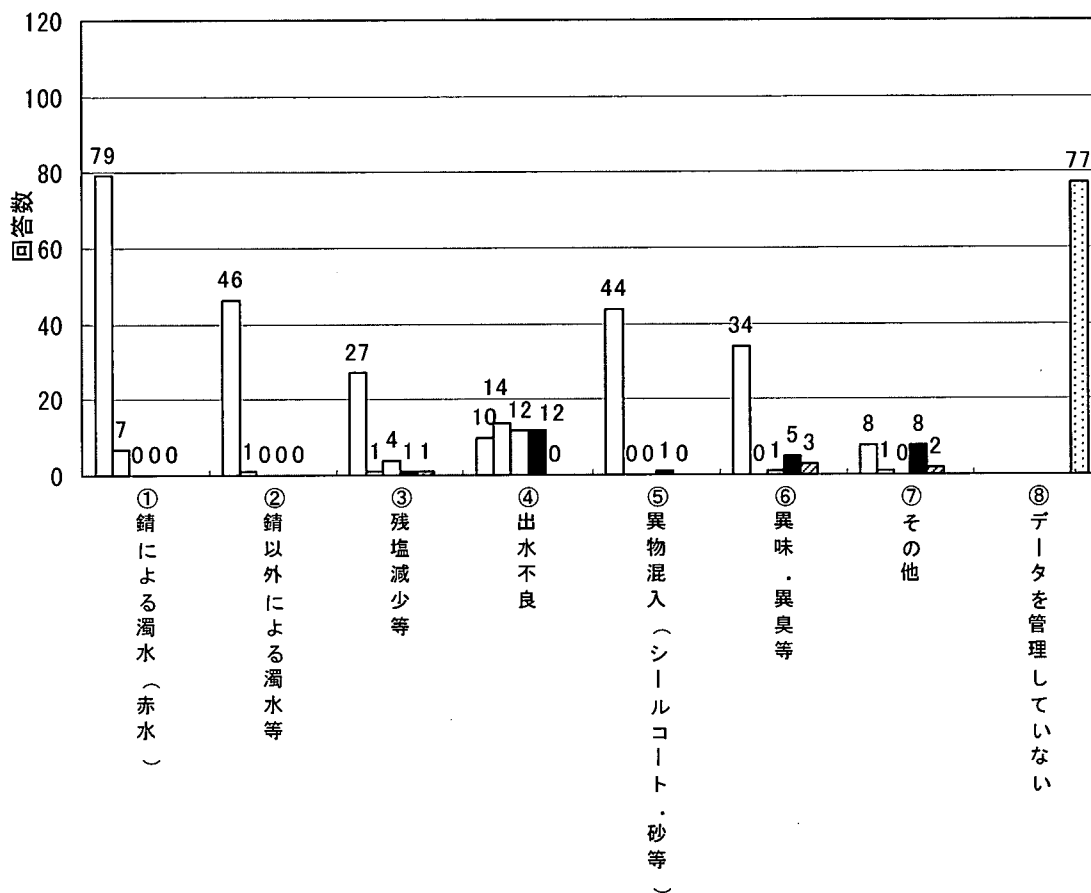


図 4.3.2 苦情の状況 (複数回答あり)

設問 2-2) 過去 3 年間 (H14~H16 年度) の管路施設の漏水事故の状況について教えて下さい。また、漏水事故に対してどのような対策を講じましたか。主な対策として、下記の (1) ~ (3) から一つ選択して下さい。

→ 漏水事故原因とその対策を図 4.3.3 に示す。

<対策>

□ (1) 補修 (事故箇所部のみの更新) □ (2) 管路更新 □ (3) その他 □ データ管理なし

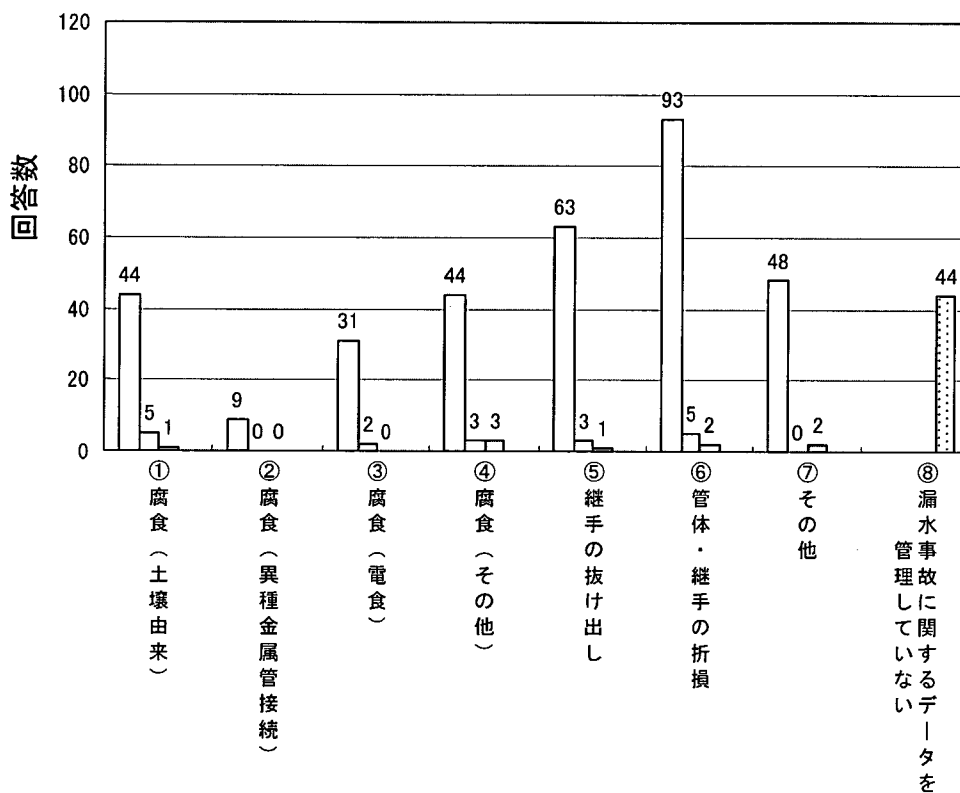


図 4.3.3 漏水事故の原因 (複数回答あり)

設問 4-3) 管路更新計画を立案している場合、参考にしている基準やマニュアルはありますか。

→ 管路更新計画時、参考としている基準・マニュアルを図 4.3.4 に示す。

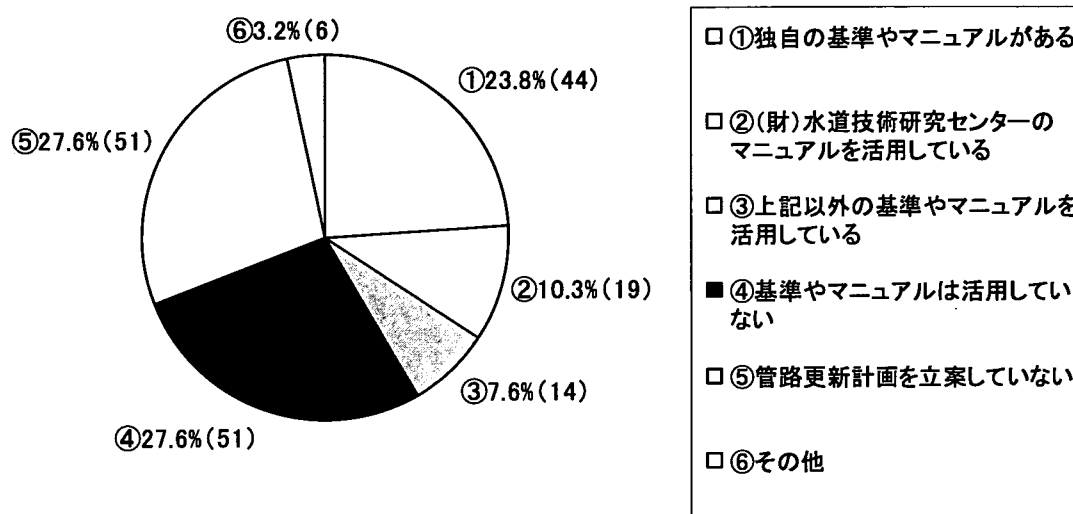


図 4.3.4 管路更新計画基準マニュアル

設問 5-1) 管種別に更新の対象とする基準年数を教えてください。

→ 給水人口別の管種別更新対象基準年数を図 4.3.5 に示す。

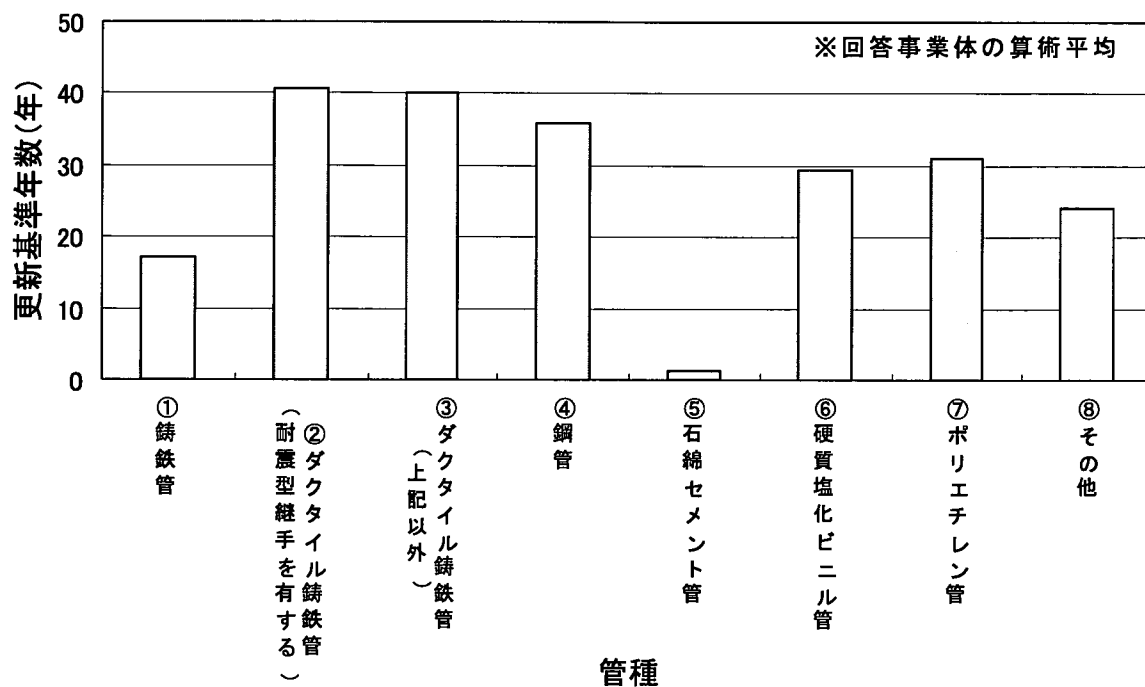


図 4.3.5 管種別更新基準年数

なお、更新基準年数の値は、回答事業体における算術平均である。また、基データの抜粋を表 4.3.1 に示す。

表 4.3.1 設問) 5-1 の基礎データ (抜粋)

	回答数	年数合計	平均年数	最小値	最大値
① 鑄鉄管	135	2294	17	0	60
② ダクタイル鑄鉄管(耐震継手)	119	4825	41	25	100
③ ダクタイル鑄鉄管(上記以外)	139	5569	40	25	80
④ 鋼管	133	4782	36	25	50
⑤ 石綿セメント管	123	153	1	0	40
⑥ 硬質塩化ビニル管	126	3701	29	25	50
⑦ ポリエチレン管	91	2828	31	25	40
⑧ その他	7	168	24	—	—

設問 5-2) 管路更新は主にどのような管路を対象に実施していますか。該当するものに○を付けて下さい。また、○を付けたものについて、その優先順位を付けて下さい。

→ 優先順位高いものから順に、1位に8点、2位に7点、3位に6点～8位に1点を加し集計したものを図4.3.6に示す。

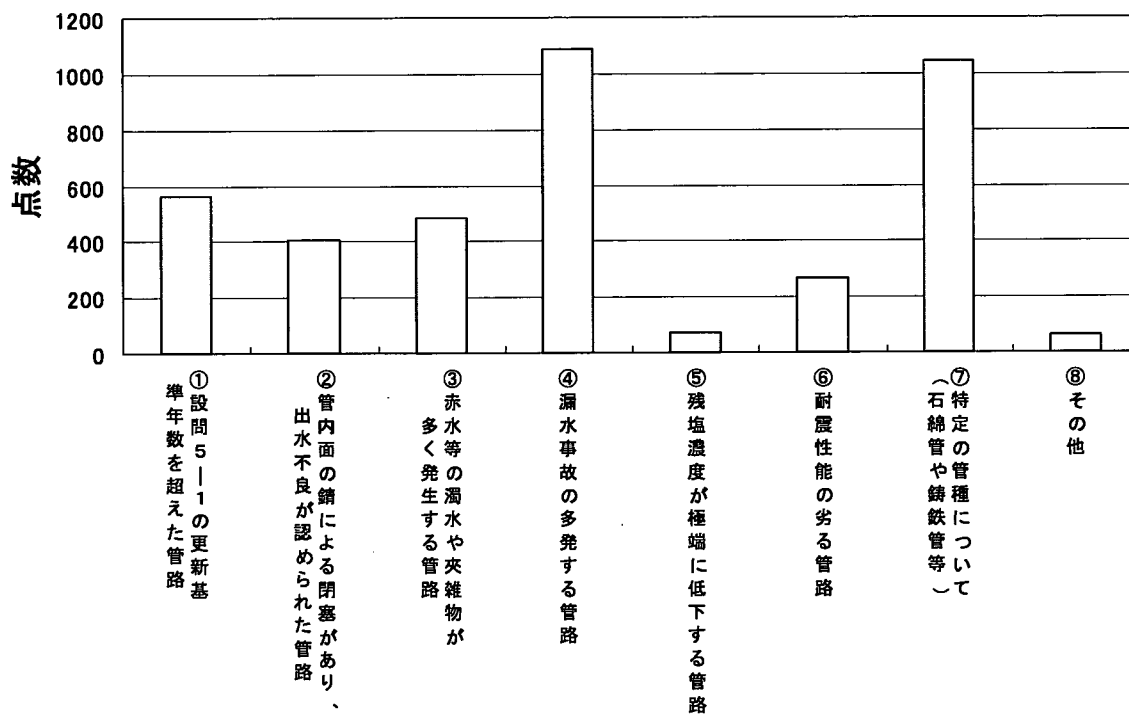


図 4.3.6 管路更新理由 (得点化)

問 5-3) どのようなことが発端となって管路を更新しますか。発端となる項目に○(選択欄)を付けて下さい。また、○を付けたものについて、その優先順位を付けて下さい。

→ 優先順位高いものから順に、1位に6点、2位に5点、3位に4点～6位に1点を加点し集計したものを図4.3.7に示す。

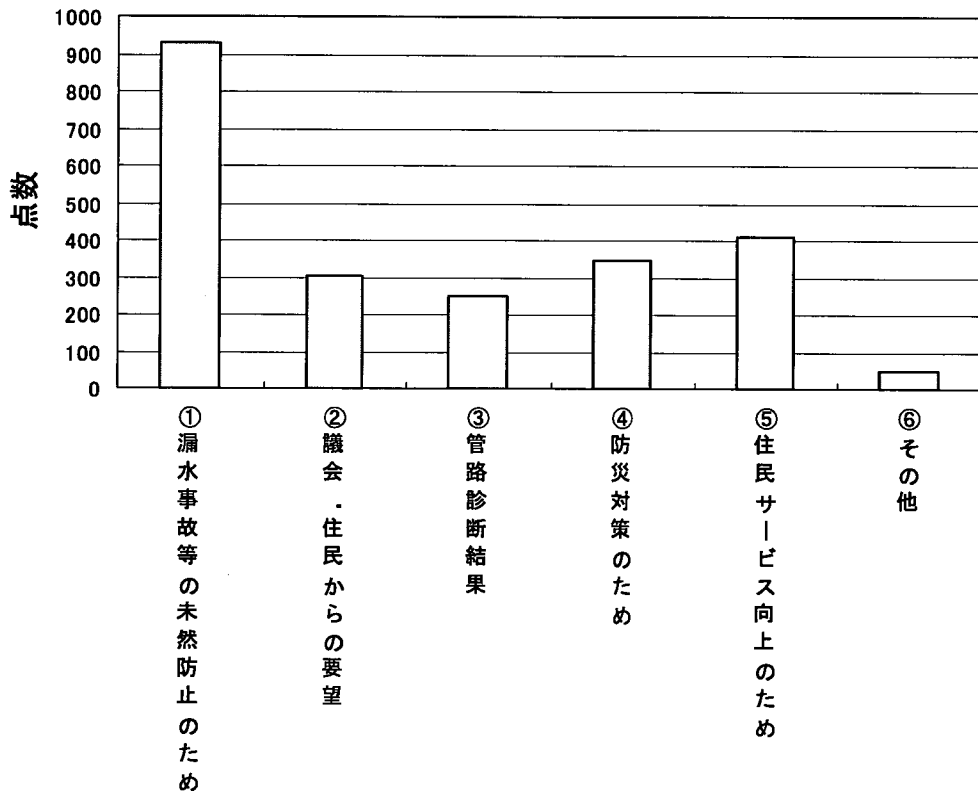


図 4.3.7 管路更新のための根拠 (得点化)

設問 5・4) 管路更新を計画する際、既設管路の機能面で重視する項目に○（選択欄）を付けて下さい。また、○を付けたものについては、その優先順位を付けて下さい。
 → 優先順位高いものから順に、1位に6点、2位に5点、3位に4点～6位に1点を加点し集計したものを図 4.3.8 に示す。

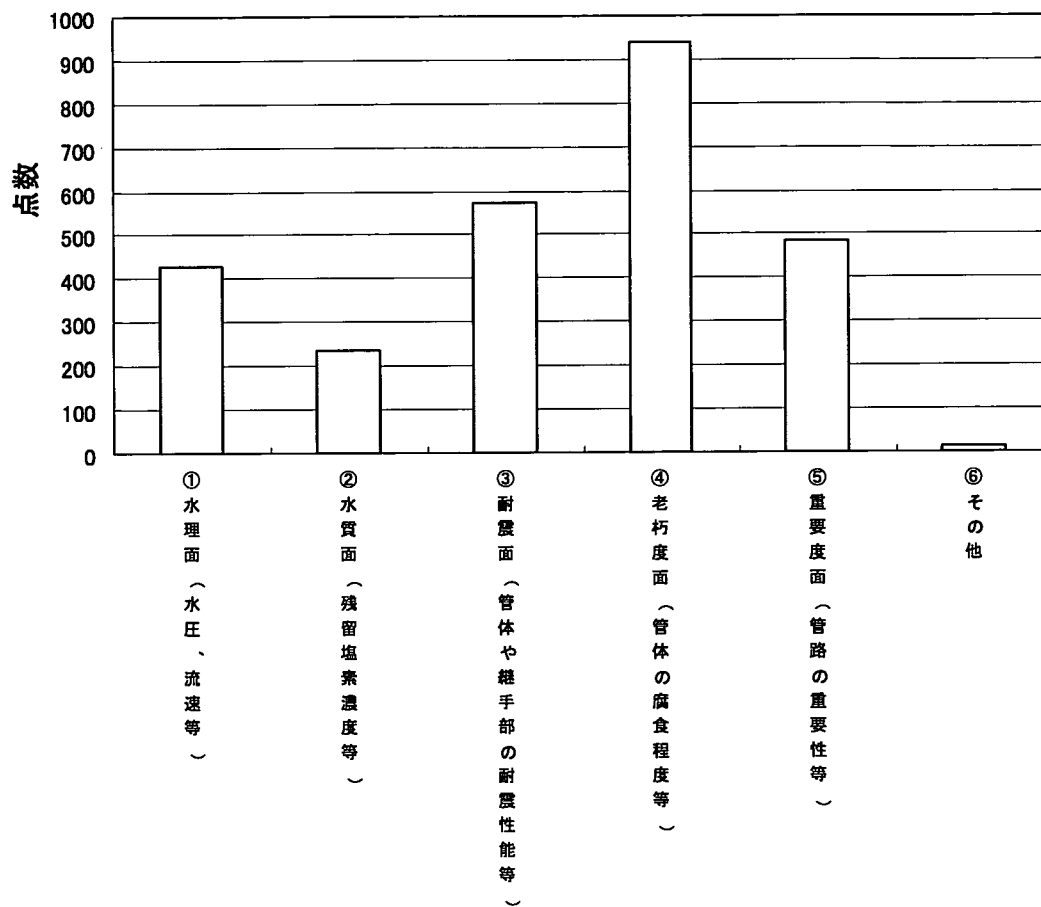


図 4.3.8 重視したい項目（得点化）

4.4 文献調査

「管路の老朽度診断技術に関する研究」を進めるにあたり、管路診断技術の現状を把握するとともに、本研究の対象となる技術分野の検討などの基礎資料を得るため、文献調査を実施した。文献の調査結果は文献調査リストとして一覧表形式で整理するとともに、それぞれの論文について抄録を行った。

また、収集した文献情報のうち管路の老朽度診断技術として実用性が高いと判断された技術については、有望既存技術として追跡調査を行った。

1) 調査の概要

文献調査は、「診断」「老朽」「管」などをキーワードとして、インターネット上に公開された技術情報を、一般に用いられている自然言語による検索エンジンや、水道協会雑誌など学術論文情報を検索の対象とした検索サービスなどを併用して調査を実施し、広く技術情報を収集するとともに、水道技術研究センター発行の技術資料、委員の所属団体が所有する技術情報など水道を対象とした知見についても収集を行い再整理した。

2) 調査結果

インターネット上の検索及び関連文献の調査結果として 160 件の文献が抽出され、その中でも特に *New Epoch* での研究に寄与すると考えられる 38 件を選定した。

選定した 38 件について文献調査リストとしてとりまとめた。また、個々の論文については抄録を行い、目的、手法、結論について文献調査票にとりまとめた。

調査結果として、調査文献一覧表を資料 2 に示す。

3) 調査結果の考察

選定した 38 件の文献について、おおよその分類と件数を下記に示す。

① 管厚などの物理量を直接調査または観察する技術	.....	13 件
② 埋設環境と腐食の進行に関するモデル化技術	.....	4 件
③ 水撃波などを用いた水道管の劣化状況調査に関する技術	.....	2 件
④ 水道管路の破損率に関する報告	.....	1 件
⑤ 硬質塩化ビニル管の劣化診断に関する技術	.....	1 件
⑥ 赤水、濁水の予測及び洗管に関する技術	.....	2 件
⑦ 地震被害及び復旧にかかわる技術	.....	3 件
⑧ 管路更新優先順位付けに関する技術 (管種別の診断マニュアルを含む)	.....	7 件
⑨ 水道管路の管理全般及びマッピングなどの施設管理技術	.....	5 件

文献から読み取れる分類ごとの概要を次に示す。

① 管厚などの物理量を直接調査または観察する技術

管路の欠陥を腐食を中心として捉えており、超音波法や渦流探傷法、磁気飽和探傷法などの手法を用いて、非破壊で管の厚さや欠陥を検出する技術が実用化されている。ほとんどの技術は、露出配管や開削による管の露出などセンサ部分での物理量を測定するものである。

しかし、2G-4 に示すガス管用の調査機器では、渦流探傷センサを管内に挿入して、管内外面の腐食状況を 50m 程度の範囲で調査するものが実用化されている。また、2G-15 では、超音波を配管全面に伝播させることにより、接触箇所から数 10m の範囲の腐食状況を検出する技術が実用化されている。

一方で、埋設位置や埋設環境及び漏水の有無など管の状況を把握する手法としては、放射線探触法、電気探知法、電磁波探知法、地下レーダ法、塗覆装探傷探知、電位測定、地盤変異測定、流量探知、圧力波探知、相関式探知、音聴式探知などがあげられている。

また、管内観察技術は、水のない状態で調査する技術に加えて水道管路を不断水で調査可能な技術が確立されている。

水のない状態での調査技術（2G-17）では、テレビカメラを搭載したロボットを配管内に走行させ、管内面を観察するだけでなく腐食などの大きさ・深さの寸法測定、板厚測定や異物回収機能も搭載した多用途なシステムが開発されている。また、不断水での調査技術（2G-2）では、大口径配水本管（ ϕ 800mm 以上）等を対象に、配水管に設置された空気弁等の分岐部からカメラ・照明等を搭載した装置を挿入する形態の管内挿入型調査機器が開発されている。

これらの結果から、空気弁や消火栓などの分岐部から管内への機器挿入を行うことにより、管内の観察が可能であるが、土被り 1m 程度の埋設管に対して地上から非破壊及び非開削により、管厚の減少など直接診断と同等の精度による調査が可能な技術は実用化されていないことがわかる。

② 埋設環境と腐食の進行に関するモデル化技術

水道管の主要な管種であるダクタイル鉄管は、腐食性土壌による外面からの腐食を静止するためポリエチレンスリーブを装着している。しかし、未装着の管では埋設環境の腐食性によっては今後老朽化が進行し、予期せぬ漏水事故等へと発展する場合も懸念されている。

特殊な腐食としては、配管がコンクリートに接したことにより、10～20 年かけて腐食が進行するような駆動力の小さな(弱い)C/S マクロセルが腐食事故の原因であるとの報告がされている。

一方で、一般的な土壌による腐食に関しては、現地調査による腐食深さの測定、並びに環境条件として管周囲の土壌の分析結果をもとにして、埋設土壌の腐食性と埋設期間を用いた腐食予測式により面的な腐食の進行状況を把握し、管路更新優先順位付けが行われている。

腐食予測式は事業体独自のもの（2G-3）と全国の調査結果をもとにしたもの（2G-5,6）など、複数の式が提案されており、直接診断の軽減手法としては有効であると考えられる。

③ 水撃波などを用いた水道管の劣化状況調査に関する技術

2G-11 に示す劣化診断システムは消火栓などを用いて水撃波を導入・計測を行い、水撃波の伝播速度や波形の変化から水道管の劣化状況を診断するものである。このシステムでは、既設の消火栓などの附帯設備を用いて計測を行うため、道路掘削が不要で管路に追加工することなく調査が可能である。また、市街地の日中の騒音下においても診断作業が可能であるとしている。また、2G-38 は、埋設管の劣化状況を衝撃弾性波により非破壊で定量的に検査する装置で、ヒューム管などの下水道管路用として実用化されている。

④ 水道管路の破損率に関する報告

2G-26 では、米国主要都市及び東京都などのデータ収集から破損率(件/100k/年)を求めている。配水管の破損は使用年数、季節変動又漏水の形態等が大きな要因であり、管路の劣化は管の腐食と水質と埋め戻し土壌等の環境条件の影響を多く受けるとしている。

⑤ 硬質塩化ビニル管の劣化診断に関する技術

2G-10 では、配水管の中で漏水や破損などといった比較的事故率の高い硬質塩化ビニル管について、それぞれ経年毎にサンプリングを行い「伸び」、「引張強さ」、「衝撃強さ」について実験を行い劣化との関連について報告している。

⑥ 赤水、濁水の予測及び洗管に関する技術

管内濁質の予測技術として 2G-9 では、断水や通水時等に発生する「にごり」について、その原因となっている管路内濁質をいかに効率的かつ効果的に除去するかについて検討している。報告では、口径 400mm 未満の小口径配水管を対象に、管路の属性や配水量等のデータに基づいて、にごり水の発生する可能性の高い地域を予測する手法を確立したとしている。

一方で工事後の洗浄排水処理技術として 2G-8 では、大口徑の管路の工事終了後の洗浄水について、高 pH 値及び残留塩素を含有している浄水が排出され、放流先が河川の場合には河川生態系に様々な影響を及ぼす恐れがあるため、洗浄方法の改善策として、洗浄排水の高 pH 化の抑制及び残留塩素の除去を実施している。報告では事前洗浄を行うことで、洗浄期間の短縮及び洗浄排水量の大幅な減量によるコスト削減が可能となったとしている。