

ダクタイル鉄管管路の
維持管理

Chapter

7

7-1

維持管理の概要

7-1-1 基本的な考え方

1 定義

日本水道協会が策定した「水道維持管理指針」では、管路の維持管理業務は「給水区域内の需要に対応した水量を、需要者の満足度の高い水質と水圧をもって供給できるように、水道施設を効率よく、かつ安全に運転管理するとともに必要な点検・整備等を行うもの」と定義されている。

今後は、効率的な水運用・漏水防止などによる水資源の有効利用、老朽化施設の更新の着実な推進、維持管理段階における情報を科学的に解析することによる管理の質的向上、省エネルギーなど環境負荷低減を指向した運転管理などの維持管理業務が求められる。

2 現状と課題

現在、日本の水道は97.9%（「平成27年度水道統計」）の普及率に達し、水道は国民生活基盤として必要不可欠なものとなっている。水道事業の現状と課題については、厚生科学審議会生活環境水道部会水道事業の維持・向上に関する専門委員会報告書「国民生活を支える水道事業の基盤強化等に向けて講ずべき施策について（平成28年11月）」にまとめられている。その内容のうち維持管理に関するものを抜粋・要約して紹介する。

- ・ 老朽管更新の遅れ

これまでの施設投資額の約6割を占める水道管路の経年化率は、年々上昇し全ての管路の更新に約130年かかる計算となっている（管路更新率0.76%、「平成26年度水道統計」から計算）。

- ・ 耐震化の遅れ

基幹管路の耐震適合率は37.2%と、依然として低い水準となっているので、東日本大震災(2011(平成23)年)や熊本地震(2016(平成28)年)などのような大規模災害時には断水が長期化し、市民生活に甚大な影響を及ぼす恐れがある。

- ・ 職員不足と技術継承問題

水道事業者の組織人員削減や団塊世代退職により、水道事業に携わる職員数は1986(昭和61)年ごろに比べ、3割程度減少している(「平成26年度水道統計」)。さらに、職員の高齢化も進み、技術の維持、継承が課題となっている。

3 点検実施状況

水道施設の点検状況については、厚生労働省調査(平成28年10月現在、速報)によると、機械・電気・計装設備では日常点検を事業者の約9割、定期点検を約8割が実施しているものの、点検を行うことが比較的困難な埋設された管路では日常点検は事業者の約4割、定期点検は約3割と、その実施率が低くなっている。コンクリート構造物については、約7割の事業者で日常点検が行われているものの、定期点検の実施率は約1割にとどまっている。

老朽化などに起因する事故の防止や水道水の安定供給のために、また、施設の長寿命化を図り設備費用を抑制するとともに、長期的な更新需要の把握に必要な施設の健全性を確認する観点から、水道施設の点検を含む維持・修繕は極めて重要になってきている。

4 効率化のポイント

「水道維持管理指針」には、効率化のポイントとして以下のことが挙げられている。

- ・ 個々の点検にとどまらないシステムとしての施設機能の正確な把握と向上。
- ・ 点検・整備における管理目標に応じた頻度の設定、維持管理計画の策定と計画的実施。
- ・ 小規模水道において技術者の確保が難しい場合、事業の広域化、第三者委託による対応などにより、経営・技術の両面で運営基盤を強化。
- ・ 老朽化した施設の計画的更新や耐震性の向上。
- ・ 業務指標(PI)などにより、需要者に分かりやすい内容で積極的に情報提供。
- ・ 技術の継承や中堅若手職員の技術水準を維持向上するために、研修・トレーニング

グや研究開発を積極的に推進。

- ・ OA やIT 技術を活用した維持管理の最適化。
- ・ PI などを活用した目標管理の徹底による維持管理の向上と効率化。

特に、埋設された管路は目視ができないため、管路の状態や機能などの情報収集、一元管理することによる適切な診断、事故情報の記録、管内の水質管理、耐震性診断などが重要である。

●図表7-1-1-1 効率化のポイント

分類	課題
管路情報の管理	システムの連携および統合 維持管理に活用しやすいシステム構築 事業体規模や維持管理手法を考慮した整備データの検討 事業体規模や維持管理手法を考慮したシステム構成の検討 バックアップ方法（遠隔地での保管、頻度など）
管路の劣化診断	非開削、不断水調査技術 簡易調査手法 効率的なデータ収集方法 維持管理情報を活用した劣化診断手法 簡易で低コストな補修・補強技術 ライフサイクルコストの最適化 更新事業の平準化
バルブの維持管理	バルブ情報の管理システム（GPSによる位置管理など） 計画的な洗管、更新 技術の伝承（マニュアル整備など） 民間委託方法の整備 既存バルブの優先順位付け 維持管理を考慮した設計方法の確立・普及 バルブ仕様の統一 汎用操作キーの開発
管路の水質保全	管路特性に応じた配水管理 管路維持管理のマニュアル化 赤水、停滞水の解消（洗管など）
人員体制（技術継承）	広域化推進手法 業務支援に資するITの活用方法 維持管理の評価手法 研修カリキュラム、研修機関等の検討
工事・断水	省スペース、非開削工法の開発 断水時間を減少する工法の開発 水道利用者への断水の理解促進 バルブ管理（動作確認）の実施方法 不断水による仕切弁の再配置の検討 委託方法の整備 立会いの簡略化

5 予防保全の必要性

水道施設の管路機能を維持するための管理としては、予防保全(状態監視保全、時間計画保全)が望ましい。

① 状態監視保全

日常点検、定期点検によって得られたデータに基づいて施設の状態を評価・診断し、その結果で具体策を立案、実施する手法である。この場合、評価・診断の手法を選定し、必要なデータを取得するための点検・調査を計画的に進める必要がある。

点検の頻度・項目などについては、個々の施設構造などを勘案して、適切な時期に目視やその他の適切な方法により点検を行うことが必要である。特に損傷した場合には給水への支障が甚大となる可能性があり、かつ点検による健全性の評価が更新需要の平準化に有効である鉄筋コンクリート構造物については、例えば5年に1回など一定の頻度で近接目視などにより劣化状況の確認を行うこととする基準を設けることが考えられる。

② 時間計画保全

管路などの埋設構造物など点検による状態把握が困難なものについては、埋設環境を考慮しつつ時間計画保全を基本とすることが考えられる。例えば法定耐用年数や供用年数に基づき、一定周期ごとに更新などの対策を行うことである。この手法は、経年による施設の機能劣化、老朽化に起因する事故などが発生して使えなくなるまでの期間を設定することが大前提となるので、各事業体での過去の事故・災害事例、経験および他事業体を含めた種々の調査研究報告などを基に、判定基準を決定する必要がある、実施には施設の状態情報を分析可能なデータで蓄積する必要がある。

これまでの法定耐用年数に基づいた更新ではなく、過去の維持管理情報などに基づいた使用実績から設定した水道管路更新基準年数(実質的な使用可能期間)を図表7-1-1-2に示す。

●図表7-1-1-2 水道管路の更新基準年数(例)

団体名／出典	管種	更新基準年数 ^{注1}	
札幌市水道局 『平成25年水道研究会講演集』 (日本水道協会、2013年)	高級铸铁管	0年(即更新)	
	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブあり) ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブなし) 腐食性土壌・軟弱地盤多い 腐食性土壌・軟弱地盤少ない	80年 40年 60年	
川崎市上下水道局 『川崎市上下水道事業中期計画 (平成29年3月)』	ダクタイル鉄管(非耐震継手φ350以下)	60年	
横浜市水道局 『第3回新水道ビジョン策定検討 会』(2012年)の 『資料-6 住民等との連携 (横浜市の取組事例)』	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブあり)	80年	
	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブなし)	70年	
	鋼管	60年	
	ビニルライニング鋼管	40年	
	耐衝撃性硬質塩化ビニル管	40年	
	鋳鉄管(モルタルライニングあり) 鋳鉄管(モルタルライニングなし) その他(ビニル管、ポリエチレン管、亜鉛鍍鋼管)	50年 40年 40年	
名古屋市上下水道局 『第5回技術講習会資料』 (水問題研究所、2015年)	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブあり)	60～80年	
	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブなし)	40～60年	
大阪市水道局 『平成26年水道研究会講演集』 (日本水道協会、2014年)	ダクタイル鉄管(腐食性土壌、ポリエチレンスリーブなし)	65年 ^{注2}	
	ダクタイル鉄管(一般土壌、ポリエチレンスリーブなし)	100年 ^{注2}	
神戸市水道局 『水道公論』Vol.47 No.4 (日本水道新聞社、2011年)	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブあり)	80年	
	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブなし)	60年	
広島市水道局 『平成25年水道研究会講演集』 (日本水道協会、2013年)	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブあり) 腐食性が高い地盤、φ500未満／φ500以上 一般地盤、φ500未満／φ500以上 腐食性が低い地盤、φ500未満／φ500以上	60年／80年 70年／90年 80年／100年	
	ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブなし) 腐食性が高い地盤、φ500未満／φ500以上 一般地盤、φ500未満／φ500以上 腐食性が低い地盤、φ500未満／φ500以上	40年／60年 50年／70年 60年／80年	
	鋼管 腐食性が高い地盤、φ500未満／φ500以上 一般地盤、φ500未満／φ500以上 腐食性が低い地盤、φ500未満／φ500以上	50年／90年 60年／100年 60年／100年	
	SUS	100年	
	HIVP	40年	
	HPPE	50年 ^{注3}	
	福岡市水道局 『水道公論』Vol.45 No.9 (日本水道新聞社、2009年)	ダクタイル鉄管(良質地盤)	80～100年
		ダクタイル鉄管(一般的地盤)	60～80年
		ダクタイル鉄管(腐食性土壌、ポリエチレンスリーブなし)	40～50年
	日本水道協会 『水道施設更新指針』 (日本水道協会、2005年)	ダクタイル鉄管耐震継手 (ポリエチレンスリーブ等の外面防食対策が施されたもの)	60年以上

団体名／出典	管種	更新基準年数 ^{注1}
厚生労働省 「アセットマネジメント 「簡易支援ツール」の「実使用年数 に基づく更新基準の設定例」 (厚生労働省、2014年) ^{注4}	鑄鉄管(ダクタイル鉄管は含まない)	50年
	ダクタイル鉄管耐震継手	80年
	ダクタイル鉄管(K形、良い地盤)	70年
	ダクタイル鉄管(上記以外、不明含む)	60年
	鋼管(溶接)	70年
	鋼管(上記以外、不明含む)	40年
	石綿セメント管	40年
	硬質塩化ビニル管(RRロング継手)	60年
	硬質塩化ビニル管(RR継手等)	50年
	硬質塩化ビニル管(上記以外、不明含む)	40年
	コンクリート管	40年
	鉛管	40年
	ポリエチレン管(高密度、熱癒着継手)	60年
	ポリエチレン管(上記以外、不明含む)	40年
	ステンレス管(耐震継手)	60年
ステンレス管(上記以外、不明含む)	40年	
その他(管種不明含む)	40年	

注1 各事業体の耐用年数、想定耐用年数、目標耐用年数、使用可能年数、管種別使用年数、耐久性などの呼称を更新基準年数に置き換えて記載した。

また、厚生労働省については、実使用年数の設定値例の「事故率、耐震性能を考慮した更新基準としての一案」を更新基準年数に置き換えて記載した。

注2 大阪市水道局は、ポリエチレンスリーブ装着により、さらに20年程度の延伸を想定している。

注3 HPPEについては、使用期間が短く、使用年数基準を検証するには時間を要する。

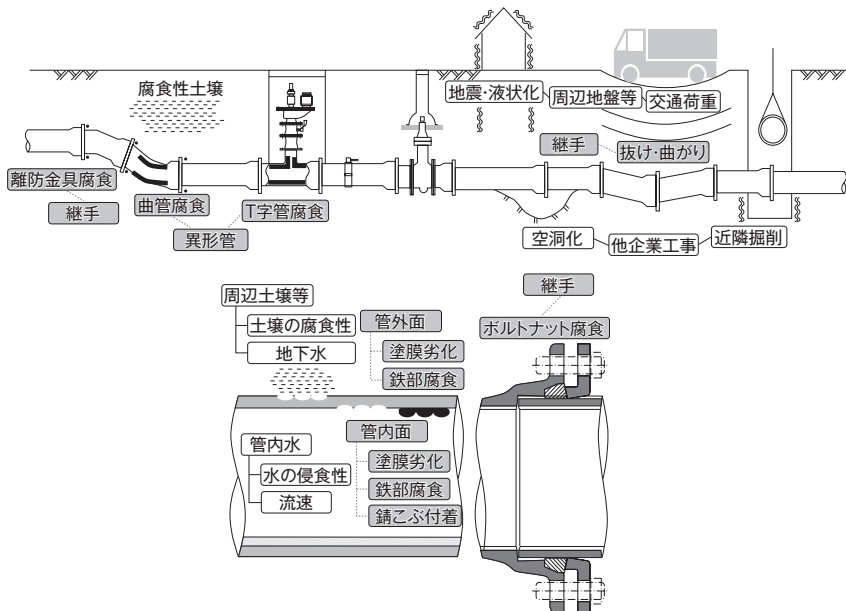
注4 出典には、管路の布設環境(地質、土壌の腐食性、ポリエチレンスリーブの有無など)、管種別の布設時期、漏水事故実績等、事業体の実情を踏まえた設定を心掛けるよう注釈がある。

7-1-2 管種別の維持管理

1 機能障害と原因

管路はさまざまな要因で機能障害に至ることがこれまでの調査・研究で明らかになっている。铸铁管や初期のダクタイル鉄管を中心に、管路の機能障害と原因を図表7-1-2-1に示す。

●図表7-1-2-1 水道管路の機能障害と原因

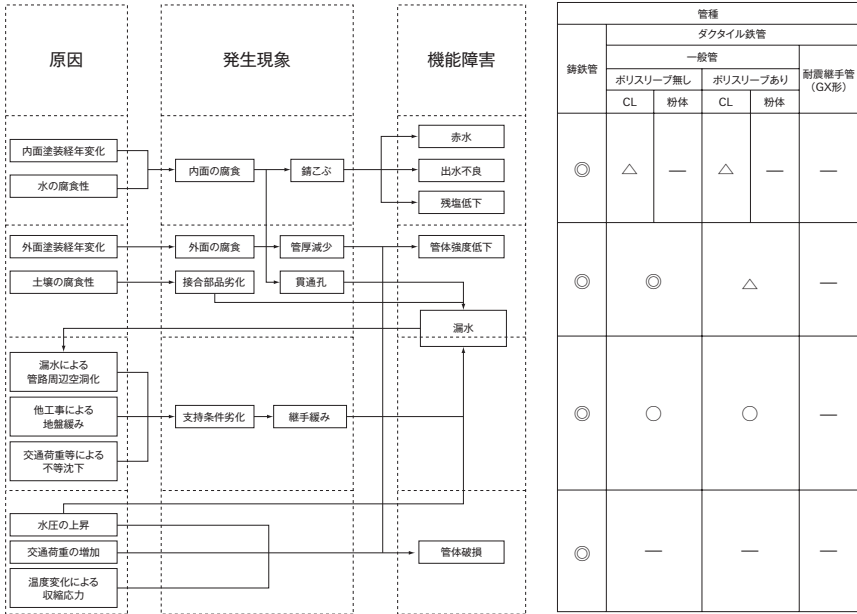


備考1 管内面の腐食は無ライニング铸铁管などで生じる現象である。耐震継手管はステンレス製ボルト・ナットを使用しており腐食はしない。耐震継手管は離脱防止機能があり継手が離脱することはない。

2 管種別機能障害

管種別機能障害を図表7-1-2-2に示す。なお、近年、主に使用されている耐震継手管であるGX形は、ほとんどの老朽化原因への対策が施されている。

●図表7-1-2-2 管種別機能障害



◎：可能性大 ○：可能性あり △：通常の使用条件では可能性が少ない —：該当しない

「铸铁管路の診断及び更新・更生計画策定マニュアル」(水道技術研究センター、2001年)より(改変)

7-1-3 維持管理情報の活用

更新工事または他企業による近隣の掘削工事、給水管の取出し、漏水調査、健全度診断、災害時復旧時などの際に、管路の維持管理情報が重要となる。

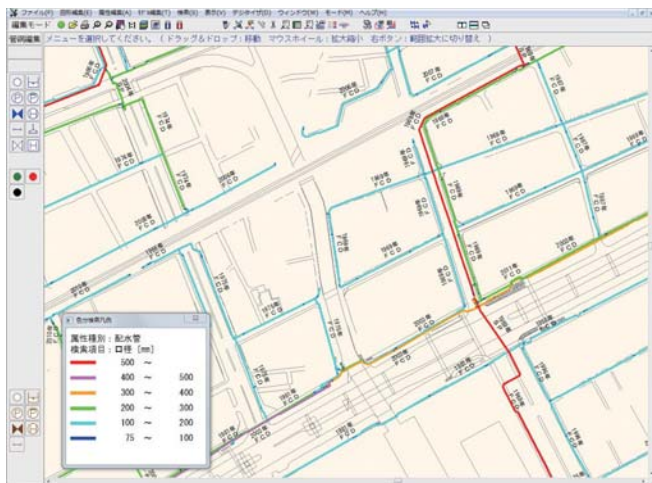
これらの情報を活用するためにはマッピングシステムが有効である。

1 マッピングシステムの活用

管路の維持管理には配管図を基本に、関連する台帳や工事完成図面を調査して、

管路の埋設位置や管路情報を取得することが必要である。最近では、マッピングシステムに情報を集約することが一般的となっているが、その管路データを維持管理に活用できるようになってきている。

●図表7-1-3-1 マッピングシステムによる埋設管調査例



神戸市水道局資料提供

2 維持管理情報

管路の維持管理は、種々の業務が実施されている。また、それらから得られた貴重な情報は、各種台帳類、ファイリングシステム、マッピングシステムなどの媒体に記録することが望ましい(図表7-1-3-2、3)。

●図表7-1-3-2 管路の維持管理業務

業務内容	業務内容
管路パトロール	増圧ポンプ点検
漏水調査	流量計点検
水管橋点検	漏水事故対応など
貯水槽点検	災害時応急給水など
弁類点検	他工事立会
弁室・弁筐の点検・清掃	修繕工事(施工・市民対応)
仕切弁操作	調査・診断(埋設環境・老朽度・耐震性等)
減圧弁点検	

● 図表7-1-3-3 管路の維持管理情報

情報の種類	情報の種類
管路台帳(管種・年度・継手等)	水圧記録(自動計測・非定期測定等)
弁栓台帳(種類・開度・開閉方向)	流量調査記録(自動計測・非定期測定等)
修繕記録(漏水事故履歴等)	水質調査記録(自動計測・非定期測定、末端給水栓、貯水槽水道等)
漏水調査記録	増・減圧設備点検記録
排水記録(常時・非定期)	応急給水設備点検記録
配水日報(配水量・配水圧・水質等)	備蓄資材保管記録
埋設環境調査記録(土質・PL値・地下水位・管体調査結果・ボリスリーブの有無、地盤種別・耐震適合性等)	苦情記録

3 維持管理情報の活用例

管路の大部分は埋設されていることから、直接目視による確認が困難であり、日常の維持管理から得られた情報を整理、蓄積することは、管路の現状を把握する上で特に重要である。管路の現状把握に必要な維持管理情報を整理・分析し、予防保全型維持管理を実施することで、より合理的・効果的な管路の再構築が可能となる。

● 図表7-1-3-4 日常の管路維持管理によって得られる情報と活用例(1)

点検名	維持管理業務名	点検・調査対象施設	点検・調査項目	活用例
日常および定期点検	管路バトロール	基幹管路 (機能上重要な施設、社会的影響が大きい施設、事故時に対応が難しい施設)	漏水の状況確認	更新優先順位の設定
			路面の状況確認	
			管路近傍工事等の有無	実施計画時の施工方法等の検討
			水道工事跡の状況確認	管路の現況把握
弁栓類点検	仕切弁、空気弁、減圧弁、消火栓 (管路の重要度、事故時の影響度も考慮に入れて、基幹管路等を優先に実施)	仕切弁の日常点検	更新優先順位の設定 付帯施設の現況把握	
		空気弁の日常点検		
		減圧弁の日常点検		
		消火栓の日常点検		

『管路維持管理マニュアル作成の手引き(Pipe Starsプロジェクト)』(水道技術研究センター、2014年)より

●図表7-1-3-5 日常の管路維持管理によって得られる情報と活用例(2)

障害項目	原因	管理情報	活用例
漏水	管体破損 管体腐食 ボルト腐食 ボルト緩み 継手離脱 接合不良	布設年度 埋設環境 管種 継手形式 外面塗装 内面塗装 ポリエチレンスリーブの有無	属性情報による更新対象管路の抽出
赤水等夾雑物 <small>きょうざつぶつ</small>	錆こぶ 内面塗装劣化 流向の急変 流速の急変 流量の急変 バルブ操作 管内滞留	布設年度 管種 内面塗装 管の流向(管網計算) 管の流速(管網計算) 管の流量(管網計算)	滞留管路の抽出 更新・再構築時の滞留対策 排水頻度の設定 管内洗浄の頻度
水量・水圧不足	口径不足 給水管の状況 受水方式の変更 (受水層・直結給水) 配水システムの不良	配水管口径 給水量・給水実績 給水の時間変動 受水方式 配水システム	更新・再構築時の区域設定 更新・再構築時の口径設定 大口需要者の受水方式 配水システムの設定
高水圧	配水システムの不良 (地理的特性) 減圧弁不良	管路水圧 配水システム	配水システムの設定 減圧施設の設定
残留塩素濃度の低下	行止り管路 過大口径 ループ管路の不足 排水頻度の不適 配水ブロックの不適	配水システム 配水ブロック 排水頻度	配水システムの見直し 更新・再構築時の口径設定 配水ブロックの再設定 排水頻度の設定

『水道管路の再構築読本：次世代に向けた水道管路の更新：Pipe Starsプロジェクト』(水道技術研究センター、2014年)より

7-1-4 アセットマネジメント

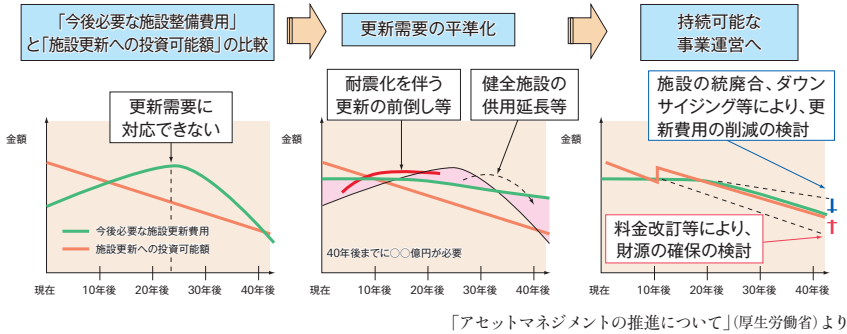
1 概要

厚生労働省は、水道事業におけるアセットマネジメントを「水道ビジョンに掲げた持続可能な水道事業を実現するために、中長期的な視点に立ち、水道施設のライフサイクル全体にわたって効率的かつ効果的に水道施設を管理運営する体系化された実践活動」と定義している（「水道事業におけるアセットマネジメント（資産管理）」に関する手引き「厚生労働省より」）。

アセットマネジメントは、水道施設の特性を踏まえつつ、現有資産の状態・健全

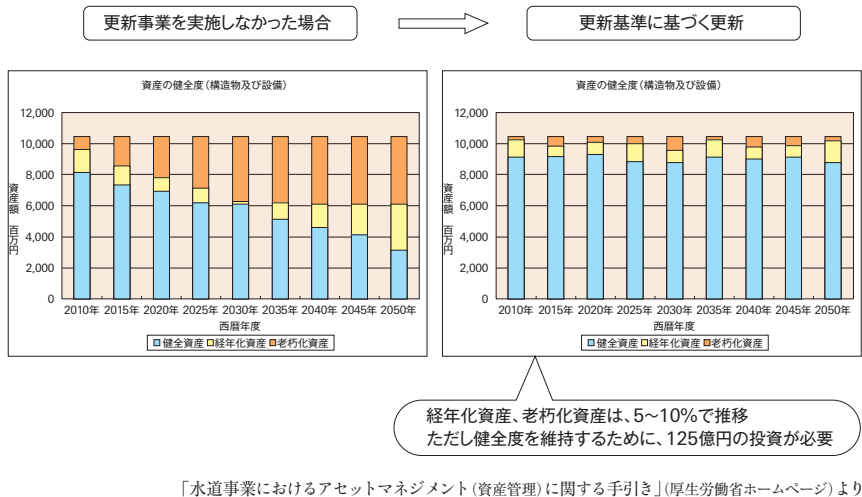
度を評価し、日常の点検・修繕などにより施設を適正に維持管理するとともに、中長期的な更新需要見通しや財政収支見通しを作成し、その結果を事業実施のための各種計画に活かし、施設全体を総合的に管理する手法である。

●図表7-1-4-1 アセットマネジメントの実践イメージ



2 効果

●図表7-1-4-2 更新事業実施の有無による施設健全度の比較例



アセットマネジメントを行うことにより、中長期的(40~50年間)な視点に立ち、適正な維持管理による機能保持や安全性を考慮した上で、法定耐用年数ではなく、新たに設定した更新基準年数を用いた効果的な更新が可能となる。また、将来の水需

Chapter 1
Chapter 2
Chapter 3
Chapter 4
Chapter 5
Chapter 6
Chapter 7
Appendix

要の推移も考慮した施設計画などにより、将来の更新需要を抑制・平準化することも可能である。

上下水道などの施設は、市民生活や企業活動にとって欠くことのできない重要なインフラであるとともに、需要者共有の財産でもある。各事業の経営環境がますます厳しくなる状況が見込まれる中、施設の適正な維持管理や計画的・効率的な更新投資を行い、将来にわたる施設機能の保持・向上に取り組む必要がある。そのためにも更新投資を確保していく必要があり、アセットマネジメントを活用して財政収支見通し、新規事業計画の策定や既存計画の見直しなどを実施することができる。

7-2

維持管理業務

7-2-1 漏水調査

水道管の漏水は、相関式漏水調査や音聴調査などにより漏水箇所を特定することができる。

音聴調査は、漏水箇所が発生する漏水音を地上から探知する手法が主に用いられている。ダクタイル鉄管などの鉄製の管種は、漏水音を伝播しやすい特性があり、漏水箇所から離れた位置でも漏水音を聞き分けることができるため、漏水調査が容易で維持管理しやすい管種であるといえる（図表7-2-1-2参照）。

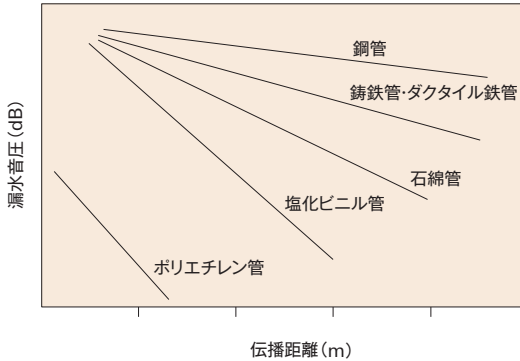
相関式漏水調査は、管路上の2つの測定点にピックアップを設置し、漏水音がそれぞれのピックアップに到達する時間差を測定して、漏水位置を特定する方法である。

●図表7-2-1-1 路面での音聴による漏水調査



フジテコム写真提供

●図表7-2-1-2 管種ごとの漏水音の伝播特性

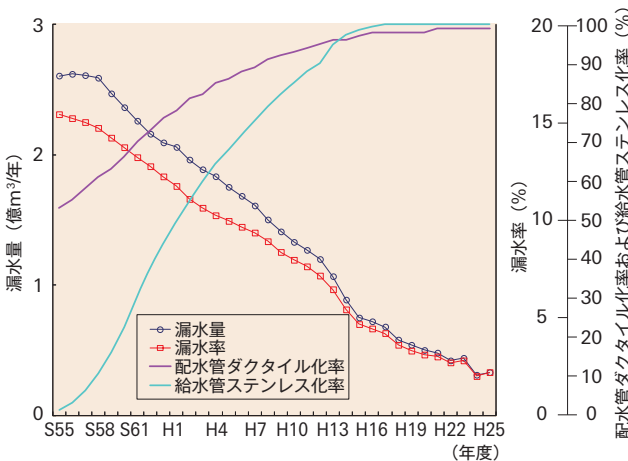


「漏水防止マニュアル：計画的な漏水管理に向けて 2012」(水道技術研究センター)より(改変)

配水管のダクタイル化および給水管のステンレス化によって漏水率が改善された事例を図表7-2-1-3に示す。なお、ダクタイル鉄管は漏水や事故が少ない管種であることが各種のデータで示されている。

こうした漏水や事故の情報を、管路図やマッピングシステムに登録しておき、定期的に統計をとることは、管路のアセットマネジメントや更新計画立案時に有効な情報となる。

●図表7-2-1-3 東京都水道局の漏水量・漏水率と配水管ダクタイル化率および給水管ステンレス化率の推移



「環境報告書 2014」(東京都水道局)より

7-2-2 漏水補修

鑄鉄管およびダクタイル鉄管の漏水補修は漏水箇所の規模に応じて以下の方法により修理を行う。

1 不断水による修理

① 補修金具による補修

補修金具は不断水で管外面より取り付けることができる。継手部の漏水には補修金具(継手部用)、管体部の漏水には補修金具(直管部用)を適用し、呼び径50～700まで対応できる。

●図表7-2-2-1 補修金具の例
継手部用



コスモ工機写真提供

直管部用



大成機工写真提供

2 断水による修理

① 管内面補修バンドによる補修

管内の水を排水して継手部の漏水を内面から補修することができる。継手部の間隔、段差および屈曲に対応し、呼び径800～2600まで対応できる。

●図表7-2-2-2 内面バンドによる補修の例



大成機工写真提供

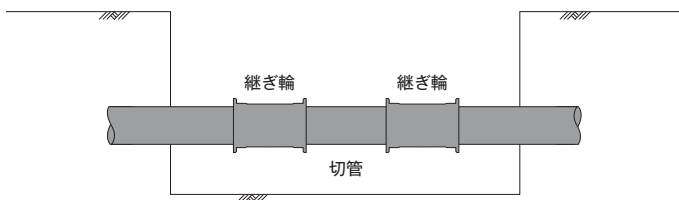


コスモ機工写真提供

② 継ぎ輪による補修

管路の漏水部を掘削し、漏水部の前後で切断して切管と継ぎ輪を用いて復旧することができる。切管と継ぎ輪で補修ができるため特殊な材料を必要としない。呼び径50～2600まで対応できる。

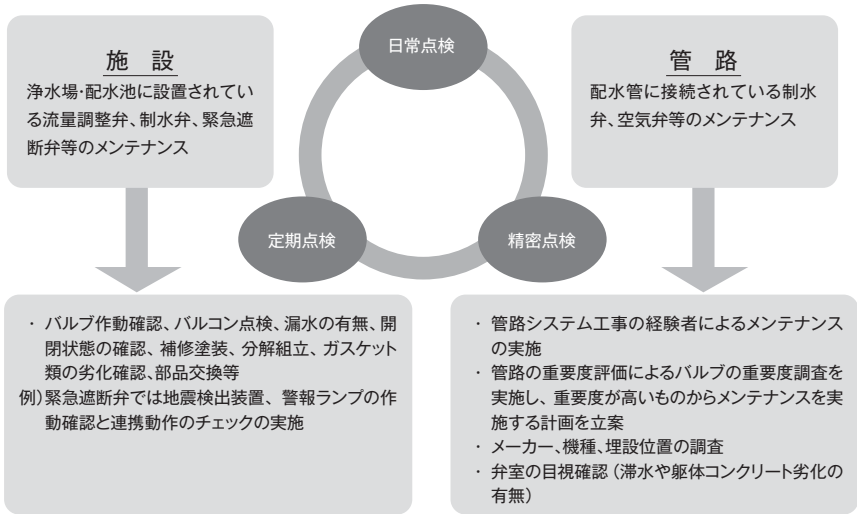
●図表7-2-2-3 継ぎ輪による補修の例



7-2-3 バルブの点検

上水施設や管路の維持管理では、制水弁や空気弁などの点検が重要である。バルブの点検確認を行い、作動可能な状態に保つことは日常のライフラインの安定を確保するとともに、災害時の配水切替え、ブロック化作業、洗管作業時の操作をより効率的に行うことにつながる。

● 図表7-2-3-1 バルブの点検の全体像



● 図表7-2-3-2 点検の種類と点検期間

点検種類	期 間	点検内容
日常点検	日々の巡回	目視点検、異音、振動の有無
定期点検	1回/年	動作確認、目視点検
精密点検	1回/5年	分解整備、消耗品交換

● 図表7-2-3-3 バルブの分類と作業項目

分 類	作業項目
施設バルブ	外観点検、電機部品の点検、ボルト等の増し締め、絶縁測定、バルブコントローラーA・B級点検等
管路バルブ	外観点検、作動確認、清掃、空気弁整備、弁室点検、排水換気等

『水道用バルブ類維持管理マニュアル 2004』（日本水道協会）より

●図表7-2-3-4 バルブ点検の実施例
遮断扉減速機の点検



遮断扉スピンドルの点検



遮断扉の点検



緊急遮断弁の点検



仕切弁の操作確認



仕切弁減速機の点検



「バルブメンテナンスリーフレット」(クボタパイプテック)より

7-3

水道管路の機能評価

管路の維持管理の目的は、配水機能を確保することにある。そのためには現状の管路を把握・評価し、個々の状況に応じた対策を講じることが求められる。

経年変化により管路の事故率が増加することは種々の調査・研究で確認されており、最終的には管路更新により、必要な機能を回復し、耐震性などを向上させる必要がある。ここでは管路更新の優先順位と管路の評価方法を紹介する。

7-3-1 総合的機能評価

管路の評価や更新優先順位は、本来、水理・水質機能評価、健全度評価、耐震性評価などの結果から総合的に決定する。ここではその評価方法の事例を紹介する。この場合、事業体の規模、管路に関連する情報整理の状況によって、評価の精度、実務の作業量が大きく変わってくることに留意が必要である。

布設年度の古い管路から更新することを基本とし、現状で大きな問題のある管路に重み付けを設定し、その他の判定基準は付加項目として評価する方法も用いられている。そうした簡易な方法による管路の更新優先度評価を併せて紹介する。

1 改善必要度評価

管路の更新優先度を漏水、水質、水量・水圧、地震、維持管理などの管路別評価点と重み付けをした重要度合を加算した評価方法である。

●図表7-3-1-1 総合的機能評価方法(管路の改善必要度評価)

特徴	日々の管理を通じて得られる経験・知識・感覚に基づいて管路の現状機能を総合的かつ定量的に判断する方法
評価方法	改善必要度(100点満点) =管路別評価による基本点+影響度合を考慮した加算点 ・管路別評価による基本点:カルテシートにより漏水、水質、水量・水圧、地震、維持管理の面から評価 ・影響度を考慮した加算点:給水影響、老朽化影響、社会的影響、漏水影響、特殊事情を判定基準により評価
必要な情報	系統別・路線別の管路情報(送水、配水等)、管種、継手、呼び径、経過年数(布設年度)、管路形態(埋設、水管橋)

〔水道施設機能診断マニュアル〕(水道技術研究センター、2011年)より(改変)

2 物理的評価

事故危険度(S_F)、水理機能(S_H)、有効率(S_E)、耐震性強度(S_S)、水質保持機能(S_Q)をそれぞれ100点満点で評価し、全項目の相乗平均値に経年化点数(C_Y)を乗じて総合物理的評価点数(S :100点満点)を算出する。さらに給水人口、給水量、重要施設への給水から各路線の重要度評価(100点満点)を算出し、総合物理的評価点数に管路の重要度(図表7-3-1-4)などを考慮して管路の更新優先度を評価する方法である。

この方法は、総合的機能評価の中で、管路の物理機能を総合的に診断する方法である。

●図表7-3-1-2 総合的機能評価方法(管路の物理的評価)

特徴	管路の諸元データにより総合的かつ定量的に管路の物理的評価を行う方法
評価方法	総合物理評価点数 $S = (S'_F \times S'_E \times S'_H \times S'_S \times S'_Q)^{1/5}$ $S'_F = S_F \times C_Y$, $S'_E = S_E \times C_Y$, $S'_H = S_H \times C_Y$, $S'_S = S_S \times C_Y$, $S'_Q = S_Q \times C_Y$, C_Y : 経年化係数, S_F : 事故危険度点数, S_E : 有効率点数 S_H : 水理機能点数, S_S : 耐震性強度点数, S_Q : 水質保持機能点数 総合物理評価点数 S は、得点が高いほど健全な管路
必要な情報	経過年数(布設年度)、経過年数別管路延長、管種別管路延長 直近の有効率、内面ライニング別管路延長、管径別管路延長など

〔水道施設更新指針 2005〕(日本水道協会)より(改変)

3 重要度を用いた総合評価

小規模事業者で総管路延長が比較的短い場合に、全ての路線を対象として基幹管路、重要路線などに重み付けを設定し、更新優先度を評価する方法である。

●図表7-3-1-3 管路の重要度を用いた総合評価方法

管路番号	系統名	管種	呼び径 (mm)	延長 (m)	基準点数				重要度 ^{注5}	総合評価点 ^{注6}
					布設 年度 ^{注1}	水理・ 水質機能 ^{注2}	耐震 性能 ^{注3}	基準 点数 ^{注4}		
100	配水	ダクタイル鉄管	200	250						
101	配水	鋳鉄管	150	200						
.						

注1 布設年度による評価点

注2 高負荷（増径管路）、低負荷（滞留管路）による評価

注3 耐震性の有無による評価

注4 基準点数＝布設年度＋水量・水質機能＋耐震性能

注5 管路の重要度による重み付け

注6 総合評価点＝基準点数×重要度

〔水道管路の再構築読本：次世代に向けた水道管路の更新：Pipe Starsプロジェクト〕（水道技術研究センター）より

●図表7-3-1-4 管路の重要度

区分	対象となる水道施設
ランクA1の水道施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ 取水施設、貯水施設、導水施設、浄水施設及び送水施設 ・ 配水施設のうち、破損した場合に重大な二次被害を生じるおそれの高いもの ・ 配水本管（配水管のうち、給水分岐がないもの）
ランクA2の水道施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ ランクA1に示す重要な水道施設のうち、次の1)、2)のいずれにも該当する水道施設 1) 代替施設がある水道施設 2) 破損した場合に重大な二次被害を生じるおそれの低い水道施設
ランクBの水道施設	上記ランクA1、A2以外の水道施設

〔水道施設耐震工法指針・解説 2009〕（日本水道協会）より（改変）

7-3-2 水理・水質機能評価

1 基本条件の把握

① 計画水量

対象となる配水管網の計画水量を、マスタープラン、地域水道ビジョン、中長期計画などの上位計画と整合性を図った上で、明確に設定する。

② 配水量分析

現状の配水管網が^が必要な機能を有しているかを判断するため、図表7-3-2-1のよ

うに配水量の実績を整理・分析する。管網解析を用いた分析を実施する場合、各配水区域における使用水量を設定するためには、実勢による時間係数の把握が必要である。一般的な時間係数を参考にする場合は、『水道維持管理指針 2016』（日本水道協会）を準用することも可能である。

●図表7-3-2-1 配水量分析

配水量	有効水量	有収水量	料金水量	(1) 料金徴収の基礎となった水量
				(2) 定額栓およびその認定水量
			分水量	他の水道事業に分水した水量
		その他	(1) 公園用水量	
			(2) 公衆便所用水量	
			(3) 消防用水量	
	無収水量	メーター不感水量	(4) その他(他会計などから維持管理費として収入のある水量)	
			有効に使用された水量のうち、メーター不感のため料金徴収の対象とならない水量	
		事業用水量	管洗浄用水、漏水防止作業用水等配水施設に係る事業に使用する水量	
		その他	(1) 公園用水量	
			(2) 公衆便所用水量	
			(3) 消防用水量	
			(4) その他(料金その他の収入が全くない水量)	
無効水量	調定減額水量	赤水などのため、調定により減額の対象となった水量		
	漏水量	(1) 配水本管漏水量		
		(2) 配水支管漏水量		
		(3) メーター上流給水管からの漏水量		
その他	他に起因する水道施設の損傷などにより無効となった水量および不明水量			

『水道維持管理指針 2016』（日本水道協会）より

3 目標水圧

配水管の水圧は「水道施設の技術的基準を定める省令」（厚生労働省）で定められている。また、直結給水を導入する場合は、給水区域内の建築物分布や地域特性を考慮して独自に設定する。

- ・ 配水管から給水管に分岐する箇所での配水管の最小動水圧は、150kPa(0.15MPa)以上を確保する。

- ・ 配水管から給水管に分岐する箇所での配水管内の最大静水圧は、740kPa (0.74MPa)を超えないこと。3階、4階および5階建てに対する標準的な最小動水圧は、それぞれ0.20～0.25MPa、0.25～0.30MPa、0.30～0.35MPaである。

2 管網解析モデルの検証

適正な水圧で適正な水量の確保が可能かを判断するためには、現況管網の管網解析モデルを用いる方法が一般的である。管網解析モデルの妥当性は、実績配水圧や配水量と計算結果を比較し、その適合状況により判断する。詳しくは「5-1 水理設計」を参照のこと。

3 水理機能評価

管網解析モデルを用いて、流量、流速、水圧など現況の水理機能評価を行う。将来の計画配水量を現況の管網で配水した場合の管網解析によって過負荷管路を抽出するなど、水理機能評価を行う。過負荷管路の解消は、管径の増径で対応するのが一般的であるが、上位計画において水需要の減少が想定されている区域については、更新実施年度の水量で管径を決定する。

4 水質機能評価

管網解析によって、残留塩素濃度を算出することで、滞留している管路を抽出するなど水質機能評価を行う。管路内の残留塩素は、水道法で遊離残留塩素濃度0.1mg/l以上保持されなければならない。一方、おいしい水供給の観点から塩素臭を感じない遊離残留塩素濃度として0.4mg/l以下への低減を目安としている。対策として、以下のような方法がある。

① 残留塩素濃度の適正化

- ・ 配水管内の残留塩素濃度は、水温が高く、滞留時間が長いほど塩素消費量が大きいので、滞留時間の短縮、また均てん化が必要である。
- ・ 管路末端までの滞留時間が異常に長くなる場合、管路の上流部で高い残留塩素濃度が必要となり、おいしい水の要因を阻害することになるので、追加塩素注入設

備の設置や管路末端での定期的な排水作業による滞留時間の短縮が必要である。

- ・ 管路の塩素消費特性を把握して、塩素注入管理や塩素消費が少なくなるように管網の改良を行う。
- ・ 受水槽水道の流入時濃度は、受水側での塩素注入設備の有無や受水槽以下の滞留時間などにより設定する。

② 残留塩素濃度の制御

- ・ 残留塩素濃度の制御は、管路末端の残留塩素濃度情報と残留塩素消費予測式により、浄水場や配水場で必要な塩素注入量を算定し制御する。
- ・ 管路末端は滞留とならないよう、管網を形成、改良する。

③ ブロック化

水需要の実態など社会的条件、地勢などの自然条件、水源・浄水場の位置、合理的・経済的な水運用などの諸条件に配慮しても、地形の高低差や配水区域の形状のために管路の維持管理が複雑になり、適正な水量・水圧・水質での配水が困難なこともある。そうした場合、配水区域をブロック化することが有効である。ブロック化のメリットを以下に示す。

1) 現況把握の容易性

- ・ 監視機器の設置が適正にでき、水運用情報(流量、水圧、流向、水質など)の把握が容易になる。また、情報の収集、管理および分析などが容易になる。
- ・ 水需要変動の地域別把握ができ、需要予測が容易になる。
- ・ 新設、改良、更新の配水管整備を計画的、合理的に行うことができる。

2) 平常時の配水管理と維持管理の向上

- ・ 水圧管理、水量管理、水質管理が容易になる。
- ・ 減圧、増圧区域が合理的に設定でき、これらに要する設備の効率化が図れるとともに、省エネルギー化を推進できる。
- ・ 漏水箇所、漏水量の把握が容易となり、漏水調査が効率的になる。特に、漏水修理に伴う断水区域を最小限に限定することができる。

3) 非常時対応の向上

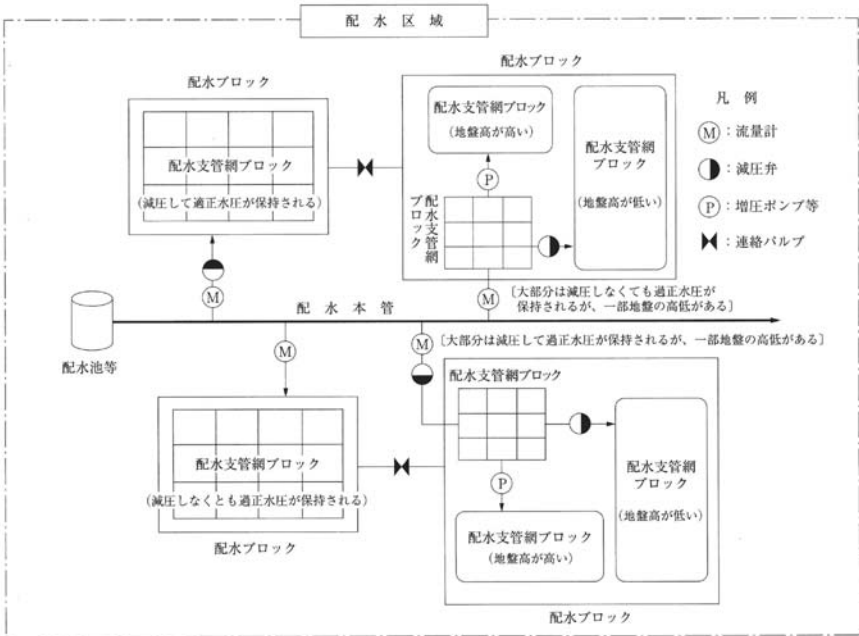
- ・ ブロック間の相互融通を図ることにより、災害事故などへの対応が容易になる。
- ・ 災害、事故などの影響範囲の極小化とその把握ができる。また、あらかじめ災害、事故時などの影響予測が可能となる。

- ・ 災害、事故などの早期復旧ができる。

4) その他

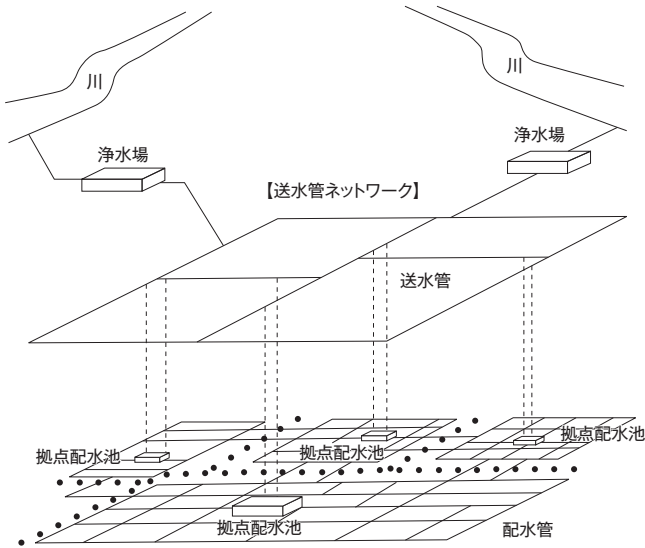
- ・ 水圧・水量管理が十分できるため、直結式給水の導入、拡大を図ることが容易となる。
- ・ ブロックごとの使用水量を把握することにより、配水量分析などに効果を発揮する。

●図表7-3-2-2 ブロック化の概念図



『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

●図表7-3-2-3 送・配水管ネットワーク



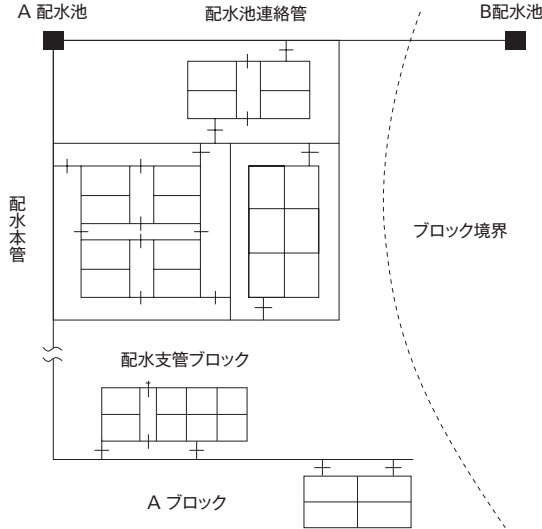
『水道維持管理指針 2016』(日本水道協会)より

●図表7-3-2-4 配水本管の計画図



『水道維持管理指針 2016』(日本水道協会)より(改変)

●図表7-3-2-5 配水本管と配水支管ブロックとの関係



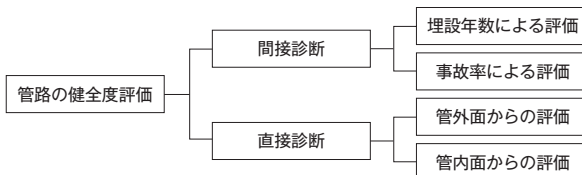
『水道維持管理指針 2016』(日本水道協会)より

7-3-3 健全度評価

管路の健全度は、更新判断に直接結び付く重要な要因である。ここでは、間接診断と直接診断の評価方法を紹介する。

管路の健全度を評価する場合、直接調査して機能を測定・評価する方法が最も信頼性が高いが、ほとんどの管路は埋設されており、その全てを直接目視などにより確認することは困難で、膨大な費用と時間がかかる。そこで、まず間接的な診断方法により管路の健全度を評価し、得られた結果が悪かった管路、基幹管路などの重要な管路、埋設環境が悪いと判断される管路などを対象として、直接診断する手順が合理的である。

●図表7-3-3-1 管路の健全度評価分類









1 埋設年数による評価

管種（鑄鉄管またはダクタイル鉄管）やその埋設年数から診断する方法である。管種の判別については「7-3-3 5 鑄鉄管の判別方法」を参照のこと。

配管図やマッピングシステムで埋設年数が不明な場合には、管の継手部を掘削し、鑄出しマーク（記号）などで鑄鉄管かダクタイル鉄管かの判別や製造年、管厚の種類などを調査することが可能である。また、明示テープにより布設年を確認することができる。

●図表7-3-2 企業別明示テープの色

企業区分	明示テープの色
電話線	赤色 
電力線	橙色 
水管（水道法）	水色 
水管（工業用水道事業法）	白色 
下水道管	茶色 
ガス管	緑色 



明示テープが貼り付けられた水道管路

2 事故率による評価

事故率評価手法は、管種、呼び径、布設年度などの管路情報を基に、管路の健全度を事故率（漏水事故の可能性）として算出する方法である。定量的な総合得点が算出できることから、管路の更新優先度評価が可能となる。また、この評価結果は「事故率」という指標により需要者や議会への説明資料として有効である。

●図表7-3-3 事故率評価方法（超長期を勘案した機能劣化予測式）

特徴	管理設から50年以上の超長期間で提供可能な漏水事故率推計式
評価方法	推定事故率 $y = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot F_m(t)$ y ：推定事故率（件/km/年）、 C_1 ：仕様に関する補正係数、 C_2 ：呼び径に関する補正係数、 C_3 ：地盤条件に関する補正係数 $F_m(t)$ ：経過年数と事故率の関係を表す管種ごとの関数 $F_{DIP}(t) = 0.0007e^{0.0758t}$ 、 $F_{SP}(t) = 0.0074e^{0.0618t}$ $F_{VP}(t) = 1.27 \times 10^{-5} \cdot t^{2.907}$ 、 $F_{CIP}(t) = 1.91 \times 10^{-12} \cdot t^{6.502}$
必要な情報	経過年数、管路種別、管路の種別ごとの呼び径、管路仕様、地盤種別

「持続可能な水道サービスのための管路技術に関する研究報告書」（水道技術研究センター、2011年）より（改変）

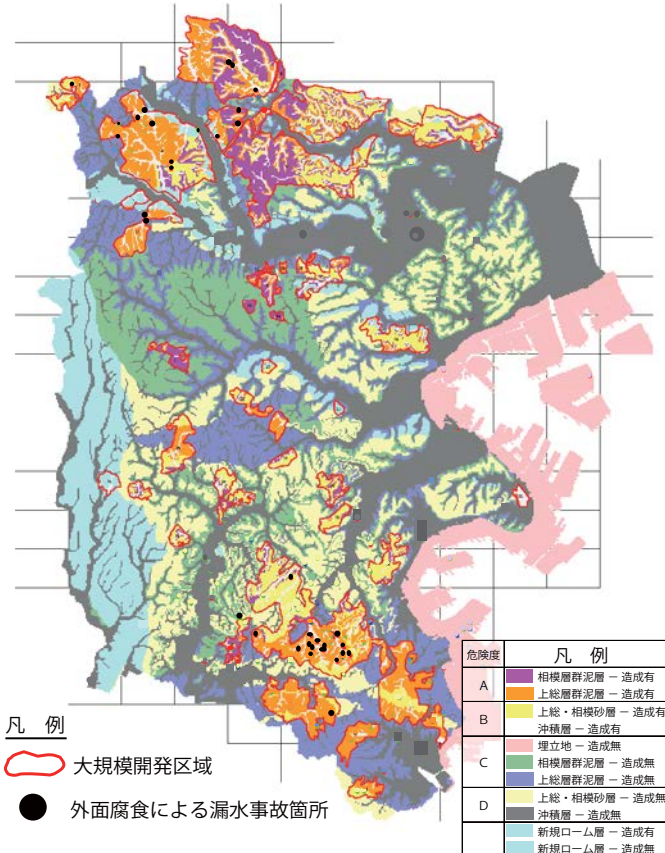
3 管外面からの評価

① 腐食土壌の危険度マップ

管外面の健全度を直接確認するために既設管の周囲を掘削して、管の腐食深さを測定し、同時に土壌や地下水の成分分析や周辺環境を調査することで、腐食原因の特定が可能となる。また、腐食深さと埋設年数から腐食の進行速度式を設定し、土壌別の管路の腐食傾向を把握することができる。

蓄積された埋設環境情報を基に作成した腐食性についての土壌マップは管路の更新優先度の設定に活用することが可能である。

●図表7-3-3-4 腐食土壌の危険度マップ例

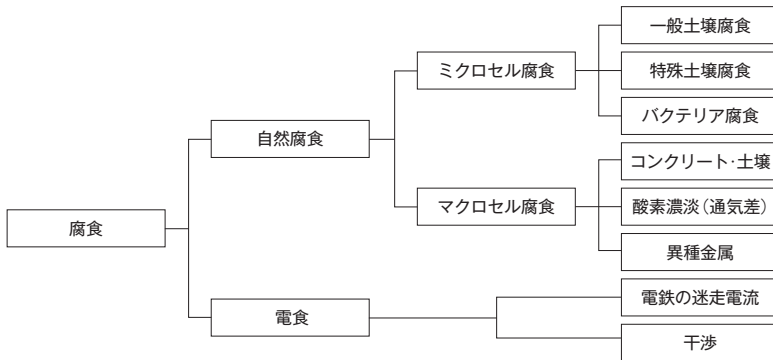


「老朽管改良(耐震化)計画報告書」(横浜市水道局、2008年)より(改変)

② 土壌の腐食性判定

土壌中に埋設された金属の腐食には、電鉄レール、電気設備などから地中に漏れ出た迷走電流によって起こされるいわゆる「電食」と、金属体表面に形成される局部電池作用によって電気化学的な反応として進行する一般的な「自然腐食」とがある。

●図表7-3-3-5 金属管の腐食の分類



ここでは、自然腐食を対象として、ダクタイル鉄管が埋設される土壌環境が、腐食性を持っているか否かを測定する方法について解説する。土壌の評価方法としては簡易な見分け方と土壌分析による方法があり、腐食性土壌と評価された場合には、ポリエチレンスリーブ法による防食処理を施す。

1) 簡易な見分け方

一般に次のような所は、腐食性土壌といわれている。

- ・ 酸性の工場廃液や汚濁河川水などが地下に浸透した所
- ・ 海浜地帯や埋立地域など地下水に多量の塩分を含む所
- ・ 硫黄分を含む石炭ガラなどで、盛土や埋立てされた所
- ・ 泥炭地帯
- ・ 腐植土、粘土質の土壌
- ・ 廃棄物による埋立地域や湖沼の埋立地
- ・ 海成粘土など酸性土壌

2) 土壌分析による評価方法

既設管路で腐食の事例があった場合など、さらに詳細を調査する必要があるときは、機器を用いた測定によって腐食性を評価する。

腐食性因子を個々に測定した後、これらの結果を総合的に評価する方法としては、米国の国家規格である図表7-3-3-6の基準を適用して判定するのが一般的である。表中の5項目を現地調査で観察・測定し、それぞれの数値によって点数を付し、合計点が10点以上になる場合を腐食性土壌と判定できる。

●図表7-3-3-6 ダクタイル鉄管に対する土壌の腐食性評価^{注1}

測定項目	測定値	評価点数
比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	< 1500	10
	1500~1800	8
	1800~2100	5
	2100~2500	2
	2500~3000	1
	> 3000	0
pH ^{注2}	0~2	5
	2~4	3
	4~6.5	0
	6.5~7.5	0*
	7.5~8.5	0
	> 8.5	3
Redox電位 (mV)	> 100	0
	50~100	3.5
	0~50	4
	< 0	5
水分 ^{注3}	排水が悪く、常に湿潤	2
	排水が良く、一般に湿っている	1
	排水が良く、一般に乾燥している	0
硫化物	検出	3.5
	痕跡	2
	なし	0

注1 米国国家規格 ANSI/AWWA C105/A21.5「Polyethylene Encasement for Ductile Iron Pipe Systems (ダクタイル鋳鉄管類のポリエチレン装着)」であり、ポリエチレンスリーブの米国国家規格である。その付録の項には比抵抗 (腐食電流の流れやすさ)、pH、Redox 電位 (土壌の通気性の良否を判断するもので酸化還元電位とも呼ばれる)、水分および硫化物 (腐食反応に寄与するもの) の有無を点数化し、その合計点数が10点以上になれば腐食性の土壌と判断して、ポリエチレンスリーブ法により防食対策を考慮することとされている。

注2 pH6.5~7.5の中性域の場合 (表中の*印)、評価点数は0点であるが、硫化物が存在 (検出または痕跡) して、Redox 電位が100mV以下である場合は、3点を加算する。

注3 水分の評価は、含水比の測定結果から以下のように判断する。

- ・含水比10%未満: 評価点0点
- ・含水比10%以上20%未満: 評価点1点
- ・含水比20%以上: 評価点2点

③ ダクタイル鉄管の腐食深さによる健全度

1) 管体腐食調査

内面にはモルタルライニングやエポキシ樹脂粉体塗装が施されているため、内面腐食の可能性は少ない。従って、管路の腐食度を見て診断を行う場合、指標となるのは外面からの腐食であり、その深さである。

診断は、まず可能な限り多くの地点で管体腐食調査を実施し、管体の腐食深さに基づいて健全度を評価する。さらに腐食深さと埋設環境との関係を定式化すれば、他工事などを利用して土壌を採取することによって、試掘調査ができない他の管路についても間接的に健全度を予測することが可能となる。

図表7-3-3-7に示すような埋設環境因子とその環境における腐食量に関する情報を管体腐食調査により収集する。

●図表7-3-3-7 管体腐食調査により収集するデータ

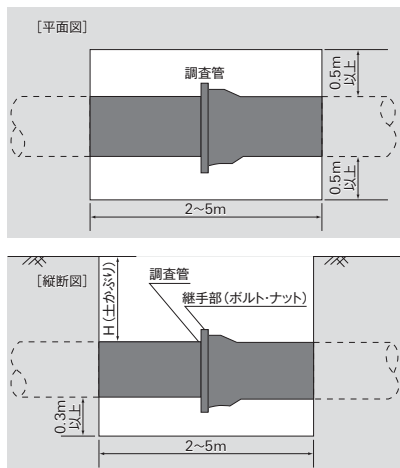
調査の種類		因子
管体調査	管属性	呼び径、管厚の種類、布設年度、材質、水圧など
	環境属性	土かぶり、地下水の有無など
	管体腐食度	外面腐食深さ
土壌調査		土質、土色、比抵抗、pH、硫化物の有無、Redox電位、含水比、強制酸化試験、硫黄含有率、硫酸イオン含有量、塩素イオン含有量、蒸発残留物、ANSI評価点

管体腐食調査は、埋設環境調査、土壌および地下水の採取、管体腐食調査の順で実施する。

A 埋設環境調査

掘削は図表7-3-3-8に示すように既設管の全周が露出するように行う。また、ボルト・ナットの腐食調査が必要な場合は継手部を露出させる。その後、既設管の土かぶりや既設管周りの土質や色などの埋設環境について調査を行う。

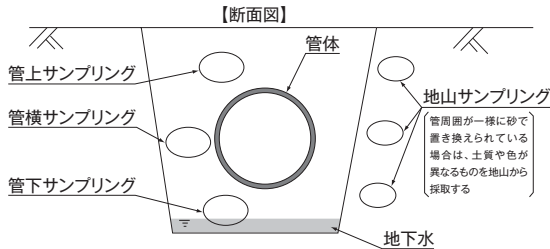
●図表7-3-3-8 埋設環境調査時の掘削断面例



B 土壌および地下水の採取

土壌は、管の周囲から原則として3検体(管上、管横および管下)採取する。これ以外に掘削範囲で土質や色の異なる土壌が存在している場合は、これについても採取し、管周りが良質な砂などによって置き換えられている場合は、その土壌1検体と掘削範囲の地山部分から土質や色の異なる土壌を採取する。また、管周囲に地下水が認められる場合は、それも同時に採取する。

●図表7-3-3-9 土壌および地下水の採取

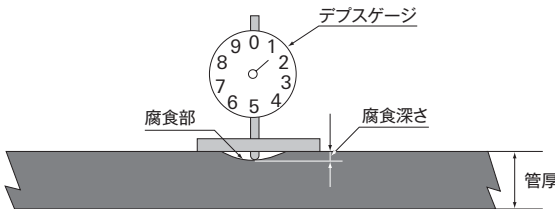


C 管体腐食調査

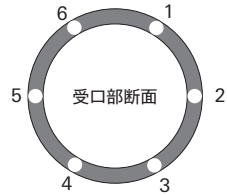
管体の腐食調査は、以下の手順で実施する。

- ・ 管表面を水洗い後、付着物などをワイヤブラシを用いて除去する。
- ・ 目視で管体の外観を調査し、腐食が認められた場合は、その深さをデプスゲージ(孔食計)で測定する。
- ・ 継手部のボルト・ナットを採取する場合は、取り換えた古いボルト・ナットの採取位置が分かるように採取位置に番号を振り、管頂部のものから順に時計回りに番号札を付ける。

●図表7-3-3-10 デプスゲージによる測定



●図表7-3-3-11 ボルト番号



D 管体の健全度ランク付け

予測値や管体腐食調査で得られた実測値を、健全度ランクの定義と照合して、管体のランク付けを行う。

●図表7-3-12 ダクタイル鉄管の健全度ランクの判断基準と対策例

ランク	判断基準	対策例
I	貫通腐食した状態 (規定管厚-管厚許容差 ^{注1})	更新対象
II	腐食が進行し、内外圧に耐えられない状態 (設計安全率1.0 ^{注2} 未満)	更新対象
III	腐食が進行し、内外圧に対する安全率が不足する状態 (設計安全率1.0 ^{注2} 以上2.0~2.5 ^{注3} 未満)	更新計画の立案等
IV	腐食深さが管の腐食しろ2.0mmを超える状態 (設計安全率は2.0~2.5 ^{注3} 以上)	10年以内に再診断
V	腐食深さが管の腐食しろ2.0mm以下の状態	20年以内に再診断

注1 規定管厚が10mm以下の場合にはマイナス1.0mm、10mmを超える場合はそのマイナス10%とする。

注2 静水圧、水撃圧、土かぶりによる土圧および路面荷重による土圧に対し、それぞれ1.0を見込んだときの安全率である。

注3 静水圧に対し2.5、水撃圧、土かぶりによる土圧および路面荷重による土圧に対し2.0を見込んだときの安全率である。

『水道維持管理指針 2016』(日本水道協会)より

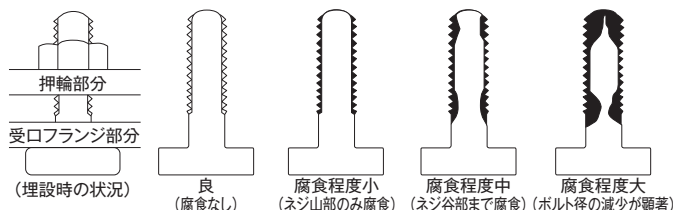
④ ボルト・ナットの健全度評価

●図表7-3-13 ボルト・ナットの健全度ランクの判断基準と対策例

ランク		判断基準	対策例
I	腐食程度大	ボルト径の減少が顕著、またはナットが著しく腐食	管路更新を最優先に検討 ^{注1}
II	腐食程度中	ボルトのネジ谷部まで腐食、またはナットの角が全体的に腐食	管路更新を優先的に検討 ^{注2}
III	腐食程度小	ボルトのネジ山部のみ腐食、またはナットの角の一部が腐食	継続的な調査の実施
IV	良好	異常なし	同上

注1 ボルト・ナットの腐食が著しい場合は、継手の止水性能が低下していると想定されるため、管路更新の検討が必要である。

注2 ボルト・ナットが腐食している場合は、管体も同様に腐食していることが想定されるので、継手部全体を含めた管路全体の調査・診断を行い、管路更新の検討が必要である。



『水道維持管理指針 2016』(日本水道協会)より

5 直接診断の効果的な実施方法

日常の維持管理や工事の際に、直接診断を実施することも可能である。例えば、漏水箇所の修理や給水管の取出し工事では、管路を直接目視および腐食深さを測定し、診断することができる。このような工事時の診断は、計画的な調査として実施される直接診断よりも頻度が多いことから、診断結果を蓄積・整理することで、将来の管路更新計画に活用できる有効な手段である。

●図表7-3-14 配水管簡易調査シート例

配水管老朽化簡易調査シート

台帳番号：PS-2017-09-12-3

調査日時	2017（平成29）年10月11日（水）10時			施工会社	〇〇建設株式会社		
住所	東京都千代田区九段南 0-0-0			担当	〇〇太郎		
調査地点	〇〇ビル前			漏水	有・無		
埋設場所	国道・県道・市道・私道			歩車道	歩道		
埋戻し土	発生土・砂・改良土・その他			地下水	有・無		
呼び径	150	土かぶり	1.2m	地下水位	-1.0m		
管種	DIP	A・T・K・U・US・SⅡ・S・GX		ポリスリーブ	有・無		
	0.	溶接・ネジ込み					
	3.	TS・RR・RRロング					
	HIVP	TS・RR・RRロング					
	..	カップリング・融着					
布設年度	1995（平成7）年			経過年数	22年		
管腐食状況	多数あり・有り・多少あり・腐食無し			腐食深さ	5mm		
ボルト腐食状況	大・中・小・腐食なし			腐食程度	5		
管腐食状況写真				ボルト腐食状況写真			

6 腐食深さの予測

1) データの解析

調査で得られた情報を基に管体の腐食と埋設環境の腐食性との間の因果関係(腐食原因)について解析手法を用いて明らかにしていく。

2) 解析結果の評価

解析結果が妥当と判断され腐食原因が明らかになれば、埋設環境から腐食深さを予測する式を作成する。

$$P = kT^a$$

ここに、P：腐食深さ予測値(mm)

k：腐食性評価係数

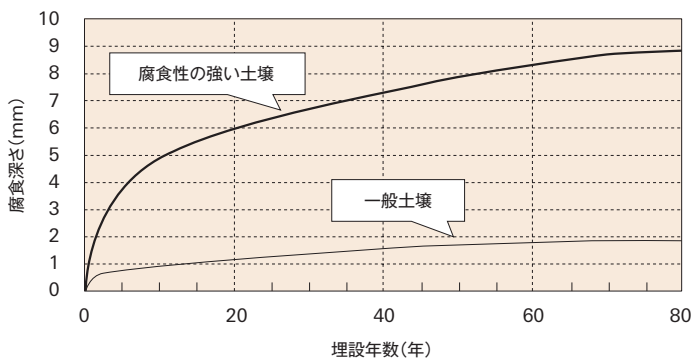
T：埋設年数(年)

a：0.4程度

3) 腐食度予測

一般の腐食深さの予測式は、埋設環境因子と時間の指数関数で示される。予測式を得た後は、診断したい地域の埋設環境因子の情報をこの式に当てはめて、その地域に埋設された管の腐食深さを推定することができる。

●図表7-3-15 ダクタイル鉄管(ポリエチレンスリーブ未装着)の腐食深さの予測例



『水道施設更新指針 2005』(日本水道協会)より

4 管内面からの評価

管内面からの評価は、管内カメラによる目視調査が中心であり、呼び径によっては非開削・不断水で管内面の状況を調査できるため経済的である。しかし、目視調

査が主となるため定性的な評価となる。管内面の直接調査機器には以下のようなものがある。

- ・ 不断水調査—不断水管内カメラ、不断水管内調査ロボット
- ・ 断水調査—管内調査ロボット（レーザーによる段差診断、広角レンズ・画像展開）、管内径精密測定装置、水中航行型ロボット、音響式パイプ診断装置

5 鋳鉄管の判別方法

水道管路の更新において、既設管の材質の把握が必要な場合がある。この項では、ダクタイル鉄管(FCD)と鋳鉄管(FC)とを判別する方法例を示す。

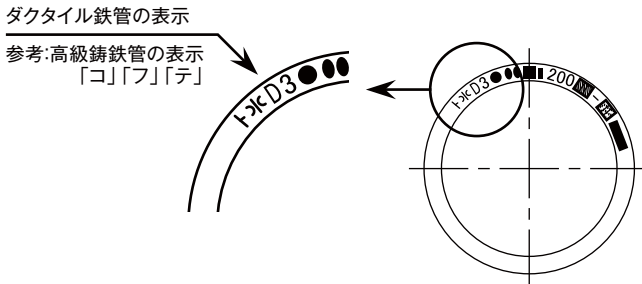
掘削した範囲で継手が確認できる場合は、受口部の表示によって、管の製造年、呼び径、接合形式、メーカー名などを判別することができる。メーカー名は、各社ごとに定められたメーカーマーク（製造業者の略号）で表示されている。各社のメーカーマークについては「鋳鉄管路の診断及び更新・更生計画策定マニュアル」（水道技術研究センター）の巻末および付録を参照のこと。

なお、主に1960（昭和35）年代に埋設された管路において、机上調査や表示だけでは、材質がダクタイル鉄管か鋳鉄管か判別できない場合がある。そのような場合には、主に以下のような判別法を用いて材質を特定する。

① 表示による判別

受口部の表示を見て鋳鉄管を判断することができる。受口部に「D」の鋳出しマークがあればダクタイル鉄管であり、「コ」（高压管）、「フ」（普通圧管）、「テ」（低压管）の鋳出しマークがあれば鋳鉄管と判断できる。

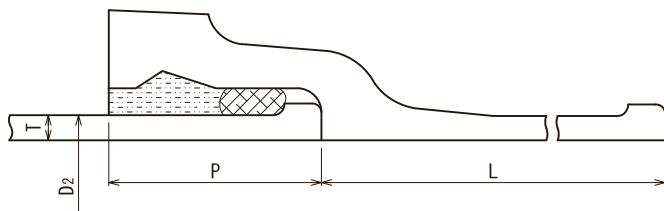
●図表7-3-3-16 表示例



② 接合形式と管厚による判別

ダクタイル鉄管以外(普通鑄鉄管や高級鑄鉄管)の接合形式は印籠継手かA形(メカニカルジョイント形含む)がほとんどである。管厚を測定し、その値と当時の規格とを比べて見分けることが可能な場合もある。詳細は、日本ダクタイル鉄管協会ホームページ「旧規格の寸法表」を参照のこと。

●図表7-3-3-17 接合形式と管厚による判別例



(単位: mm)

呼び径	管厚T		実外径 D ₂	P寸法	有効長 L
	普通圧	低圧			
75	9.0	9.0	93.0	90	3000
500	14.0	12.0	528.0	115	4000
1500	27.0	—	1554.0	165	4000

水道協会規格「高級鑄鉄管」(1933(昭和8)年)より(抜粋)

③ 黒鉛形状による判別

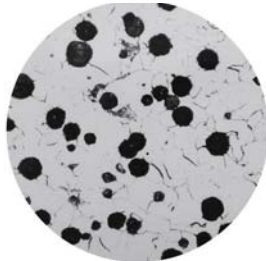
管の表面を鏡面研磨し、携帯顕微鏡で黒鉛形状を観察して判断する方法。黒鉛が片状であれば高級鑄鉄管であり、球状であればダクタイル鉄管である。

●図表7-3-3-18 黒鉛形状

高級鑄鉄管



ダクタイル鉄管



写真は基地組織を腐食液で腐食させたものである。

④ 化学組成による判別

硫黄(S)量の違いを確認することで判別できる。硫黄の含有量は、高級鑄鉄管で

は0.1%以下、ダクタイル鉄管では0.015%以下と大きく異なっている。なお、硫黄の測定方法には以下の2通りがある。

- ・ ガス検知管法：塩酸により管の表面を溶かし、発生する硫化水素ガスを検知する方法。
- ・ 酢酸鉛試験紙法：硫黄を塩酸酸性で還元し、硫化水素ガスを酢酸鉛試験紙で分析する方法。

詳細は『ダクタイル鉄管協会』61号(日本ダクタイル鉄管協会)の「FC管とFCD管の簡易判別法」を参照のこと。

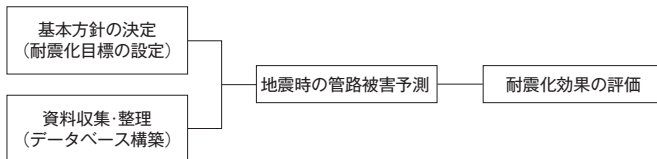
5 鋼管との判別(火花試験)

鋼管など炭素鋼系の材質では、火花試験などによる判別があり、「JIS G 0566 鋼の火花試験方法」で規定されている。炭素鋼の場合は、含有する炭素量の違いで発生する火花の出方が異なる。一般には鋼管よりも铸铁管、ダクタイル鉄管は炭素量が多いので、火花の量も多い。

7-3-4 耐震性評価

管路の耐震性評価では、まず耐震化に対する基本方針を決定し、耐震化の目標を設定する。評価に必要な資料を収集・整理して、地震時の管路被害を予測し、設定した耐震化の目標に基づいて評価する。

● 図表7-3-4-1 水道管路の耐震性評価の実施手順



1 管路被害予測式

過去の大規模な地震における管路の被害調査データに基づいて、地震時の管路の被害予測手法が、調査・研究されている。以下に日本水道協会によるJWWA式(図表7-3-4-2)と水道技術研究センターによるJWRC式(図表7-3-4-3)を紹介する。

●図表7-3-4-2 JWVA式における地震時の管路被害予測式

被害件数 (件) = 被害率 (件/km) × 管路延長 (km)

①最大加速度を用いる場合

被害率 (件/km) = $C_p \times C_d \times C_g \times C_\ell \times R(a)$

$R(a)$: 標準被害率 (件/km) = $2.88 \times 10^{-6} \times (a - 100)^{1.97}$

a : 地震動の最大加速度 (galあるいはcm/sec²)

②最大速度を用いる場合

被害率 (件/km) = $C_p \times C_d \times C_g \times C_\ell \times R(v)$

$R(v)$: 標準被害率 (件/km) = $3.11 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.3}$

v : 地震動の最大速度 (kineあるいはcm/sec)

C_p 管種による補正係数

管種	補正係数
DIP ^{注1}	0.3
CIP	1.0
VP	1.0
SP ^{注2}	(0.3)
ACP ^{注3}	(1.2)

C_d 管径による補正係数

管径	補正係数
ϕ 75	1.6
ϕ 100~ ϕ 150	1.0
ϕ 200~ ϕ 450	0.8
ϕ 500~ ϕ 800	0.5

注1 耐震継手は除く。過去の耐震継手の被害事例はない。

注2 中~小口径を想定。補正係数の設定については引用資料参照のこと。

注3 被害想定では3.0程度を使用している例が多い。補正係数の設定については引用資料参照のこと。

C_g 地形・地盤による補正係数

地形・地盤	補正係数
改変山地	1.1
改変丘陵地	1.5
谷・旧水部	3.2
沖積平地	1.0

C_ℓ 液状化の程度による補正係数

液状化の程度	補正係数
液状化なし	1.0
液状化程度中	2.0

〔地震による水道管路の被害予測〕(日本水道協会、1998年)より(改変)

地震時の震度、最大速度、最大加速度の関係を以下に示す。

震度	計測震度	境界加速度 ^{注1} (gal)	震度	計測震度	境界加速度 ^{注1} (gal)
0	0~0.4	—	5弱	4.5~4.9	50
1	0.5~1.4	0.5	5強	5.0~5.4	90
2	1.5~2.4	1.5	6弱	5.5~5.9	150
3	2.5~3.4	5.0	6強	6.0~6.4	300
4	3.5~4.4	15.0	7	6.5~	500

注1 境界加速度は対象震度になるための最低加速度を気象庁「震度と加速度」(図3:周期および加速度と震度(理論値)の関係)のグラフより読み取った概略値である。

●図表7-3-4-3 JWRC式における地震時の管路被害予測式

地震による管路被害予測式 [※]					
液状化の情報を有していない場合、 又は液状化の可能性がない場合の管路被害予測式			液状化の情報を有しており、 かつ液状化の可能性ありの場合の管路被害予測式		
$R_m = C_p \times C_d \times C_g \times R(v)$ R_m : 推定被害率 [件/km] C_p : 管種・継手補正係数 C_d : 口径補正係数 C_g : 微地形補正係数 $R(v)$: 標準被害率 [件/km] $R(v) = 9.92 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.14}$ v : 地震動の地表面最大速度(cm/s) (ただし、 $15 \leq v < 120$)			$R_m = C_p \times C_d \times R_L$ R_m : 推定被害率 [件/km] C_p : 管種・継手補正係数 C_d : 口径補正係数 C_g : 微地形補正係数 R_L : 標準液状化被害率 [件/km] $R_L = 5.5$		
補正係数					
管種・継手	C_p	口径	C_d	管が布設されている微地形	C_g ^{注1}
DIP(A)	1.0	φ50-80	2.0	山地 山麓地 丘陵 火山地	0.4
DIP(K)	0.5	φ100-150	1.0	火山山麓地 火山性丘陵	
DIP(T)	0.8 ^{注2}	φ200-250	0.4	砂礫質台地 ローム台地	0.8
DIP(離脱防止)	0	φ300-450	0.2	谷底低地 扇状地 後背湿地	1.0
CIP	2.5	φ500-900	0.1	三角州・海岸低地	
VP(TS)	2.5			自然堤防 旧河道 砂州・砂礫州	2.5
VP(RR)	0.8 ^{注3}			砂丘	
SP(溶接)	0.5/0 ^{注4}			埋立地 干拓地 湖沼	5.0
SP(溶接以外)	2.5 ^{注5}				
ACP	7.5 ^{注6}				
PE(融着)	— ^{注7}				

- 注1 管が布設されている微地形の補正係数「 C_g 」の値についても、微地形ごとの液状化の発生頻度のある程度反映している。
- 注2 平成11年度以前に出荷されたものに限る。平成11年度以降に出荷されたものはダクタイル鋳鉄管K形継手と同等と評価されているので補正係数を0.5とする。
- 注3 RR継手を有する塩化ビニル管は布設延長が十分ではなく*、ダクタイル鋳鉄管のT形継手と継手構造が近いことから、クロス集計の結果も考慮して同等の係数とした。また、RRロング継手を有する塩化ビニル管は、管路被害データがRR継手のものと区別されていなかったため、個別の補正係数は算定できなかった。
- 注4 裏波溶接が採用される以前の片面溶接管(φ700以下で1975年以前に布設のもの)に限り補正係数を0.5とし、それ以外のは0とする。なお、補正係数が0となるSP(溶接)において、溶接継手部内面が無塗装による腐食等の劣化が原因と推察される被害が確認されている。
- 注5 溶接以外の鋼管の布設延長も十分ではなく*、継手強度試験結果などからクロス集計の結果も考慮して鋳鉄管、塩化ビニル管TS継手と同等の係数とした。
- 注6 石綿セメント管の布設延長も十分ではなく*、クロス集計の結果などから算定した。
- 注7 融着継手を有する配水用ポリエチレン管は地震による被害がないが、布設延長が十分でない*ことから、補正係数は算定できなかったため、「平成25年度 管路の耐震化に関する検討会報告書(厚生労働省)」を参照し、各水道事業者の判断により設定できることとする。
- 注8 本予測式は、メッシュごとの被害を評価することを目的としていることから、推定被害率が安全側に算出される傾向となっている。なお、給水区域全体の被害件数の推計では過大評価となる場合もあることに注意が必要である。

※ 地震による管路被害データを多変量解析で分析するに当たり、データサンプルとして布設延長が十分ではないことを意味している。

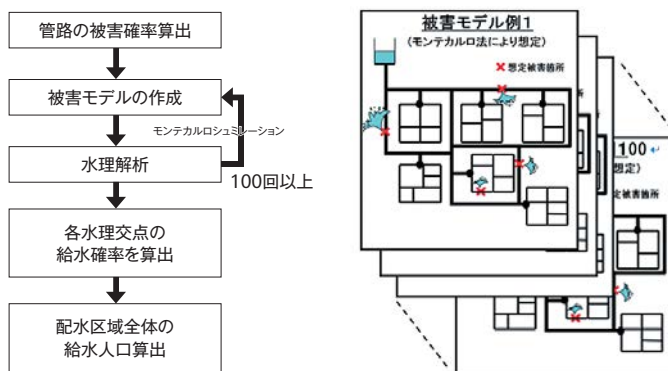
「平成28年熊本地震を踏まえた『地震による管路被害予測式』の見直しに関する検討 報告書(平成28年度) (水道技術研究センター)より

2 地震時の給水確率

① モンテカルロシミュレーションを用いた給水確率

地震による管路被害が発生した場合に給水が確保できる確率を推定する手法の一例として、管網解析とモンテカルロシミュレーションを用いた方法がある。これは、各管路の被害確率を算出し、管網内での被害モデルを100パターン以上作成し、その全パターンに対して管網解析により給水人口を算出し、その平均値を想定給水人口とし、給水人口で除して給水確率を求める方法である。

●図表7-3-4-4 給水確率の算出方法

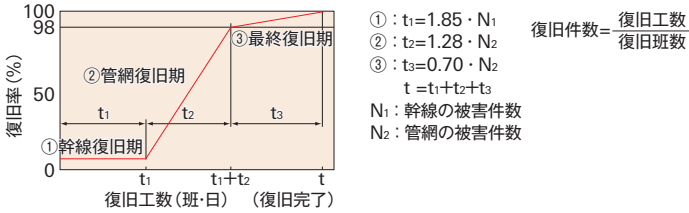


●図表7-3-4-5 給水確率の試算例



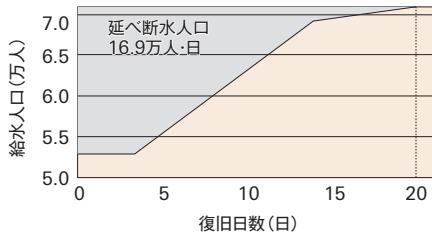
これらの結果を基に、復旧までの工数と復旧班数を用い、1日ごとの復旧率を算出する(図表7-3-4-6)。さらに、その復旧率から1日ごとの給水人口を算出することができる(図表7-3-4-7)。1日ごとの給水人口から断水人口を推定し、その総和として延べ断水人口が推定できる。

●図表7-3-4-6 復旧工数と復旧率の関係



「ダクタイル鉄管」第67号(日本ダクタイル協会)より

●図表7-3-4-7 延べ断水人口の算出例



② 被害率を用いた断水率の算出例

配水管の被害率から断水率を求める川上英二の式(『道路交通システムの形状と連結確率との関係』(1996年))がある。

$$\text{断水率} = \frac{1}{1 + 0.0473x^{-1.61}}$$

ここに、 x : 配水管の被害率(箇所/km)

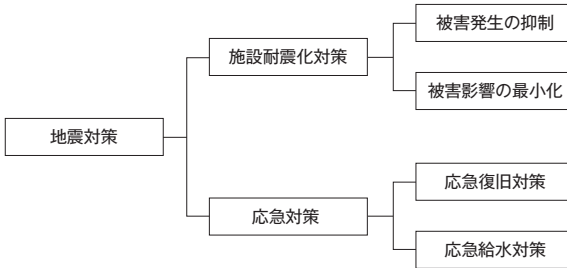
3 地震対策

大規模地震の発生頻度は低い³⁾が、いったん発生した場合の被害は甚大なものとなり、その影響も広域にわたる。このため、地震対策は水道事業における最重点施策の一つである。

水道施設は水源から取水装置に至る多くの施設で構成されその機能を満たして

いることから、水道施設の地震対策では、水道システム全体の機能を勘案し、予防と早期復旧の両面から見た地震対策が重要である。

●図表7-3-4-8 地震対策の分類



〔水道維持管理指針 2006〕〔日本水道協会〕より

●図表7-3-4-9 管路の現状と耐震化案の比較

①現状



②耐震化案



神戸市水道局資料提供

① 被害発生 の抑制

地震被害の抑制には、施設（構造物、機械・電気設備）、管路（管路、付属設備、特殊形態管路）、給水装置など水道施設全般にわたる耐震化が必要であるが、実際には基幹施設を中心とした合理的な施設の耐震化が進められている。

耐震管路に採用する管種の基本的な考え方を呼び径や布設環境などにより設定し、選定する必要がある。管種・継手ごとの耐震適合性は図表5-3-1-5を参照のこと。

ここでは、耐震化を進めるべき管路を紹介する。

1) 重要性の観点から耐震性を高めるべき管路

- ・ 導・送水管や配水本管などの重要性の高い基幹管路
- ・ 給水区域内に位置する避難所、救急病院、応急給水拠点などの震災後の応急対策上重要な施設（ライフ・スポット）への供給ルートとなる管路
- ・ 福祉施設などの災害弱者の施設、さらに清掃工場、発電所、変電所など、災害復旧上重要な施設への供給ルートとなる管路

2) 地質、地形上の観点から耐震性を高めるべき管路

- ・ 盛土地盤や沖積層などの軟弱地盤で、地盤が不安定な場所
- ・ 海岸や旧河川、旧ため池などの埋立地で地震時に大きな地盤変状が生じる恐れが大きい場所
- ・ 液状化の恐れのある場所
- ・ 山稜（尾根）の法肩や法先など地盤の崩壊並びに移動の恐れが大きい場所
- ・ 地質・地形の急変部など地震時に地盤の相対変位が生じる恐れがある場所
- ・ 護岸（海、河川）近傍地盤や傾斜地盤など地震時に大きな地盤変状が生じる恐れがある場所
- ・ 活断層の存在が明確に把握されている場所

3) 構造上検討を必要とする場所

- ・ 構造物に固定された管路の取出し部など、地震時に構造物と管路がそれぞれ異なった挙動を生じることが予想される場所

② 被害影響の最小化

大規模な地震では、管路・給水装置などの一定の被害は避けられないので、個別管路の耐震性向上と同時に、被害影響の最小化対策を推進する。

1) 管路システムの耐震化

- ・ 広域水道、隣接水道との連絡管の整備による広域的バックアップ機能の強化
- ・ 送水管、配水管などにおけるループシステムの採用
- ・ 施設複数化、バイパス設備、貯留施設大容量化、複数系統化など、システムとしてのバックアップの確保
- ・ 配水区域が広い、高低差が大きいなどの場合は配水管網のブロックシステムの整備

2) バルブの設置

施設・管路が被災した場合の影響を局所化して断水区域を限定し、復旧作業用水を確保し早期復旧を可能にするため、必要なバルブの新設、設置間隔の短縮などを行う。

- ・ 管路の始点・終点、分岐部などへの設置
- ・ 導・送水管などの設置間隔の見直し（現状、おおむね1～3km間隔）
- ・ 自然流下の配水池には、緊急遮断弁の設置が有効（急激な流量変動防止に、弁開閉時間調整、地震計と流量計の併用考慮）
- ・ 緊急対応の迅速化のために、電動弁の設置、遠方監視制御などを検討（水の流出による2次災害の恐れや重要管路からの分岐部など）

3 応急復旧対策

1) 情報収集

地震発生後の緊急措置や応急復旧活動に必要な情報の迅速な収集のため、電話、無線などの通信手段の確保や、テレメーターなどの必要な監視施設の設置および既存施設の耐震化を図る。

2) 応急復旧作業

- ・ 早期の復旧を可能にするために、被災後の漏水調査に必要な水量を考慮して、想定される復旧作業用水の確保を行っておく。
- ・ 復旧作業が進んでくると、通常給水量も増加し、復旧作業と応急給水が競合して人員不足となることがある。
- ・ 災害時には復旧資機材の入手も困難になることから、ある程度の備蓄を行っておく。

7-4

下水道圧送管路の内面腐食診断

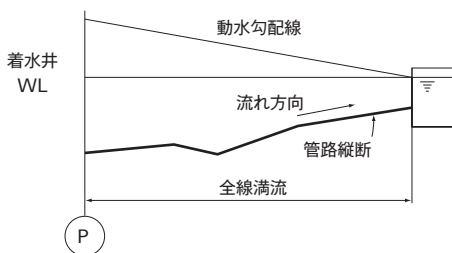
7-4-1 硫化水素に起因する硫酸腐食

下水を圧送すると嫌気化が進行し、管壁に付着したスライム層や管底の堆積層に生息する硫酸塩還元細菌により、堆積汚泥中の硫酸塩 (SO_4^{2-}) から硫化水素が生成される。管路内に気相があれば、生成された硫化水素は液相から気相に放散され、気相の内壁の結露水中で好気性の硫黄酸化細菌群などにより酸化されて硫酸となり、セメントや鉄を腐食させる。これが下水道圧送管路における硫化水素に起因する硫酸腐食である（硫酸腐食のメカニズムは図表4-2-1-5を参照）。

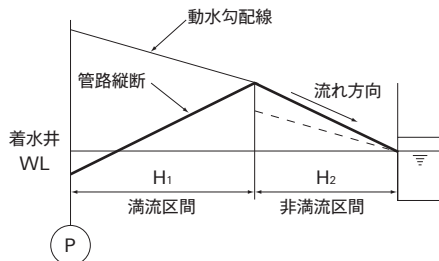
ここでは、ポンプ圧送している管路でも、非満流となる条件について図表7-4-1-1、2で説明する。ポンプ圧送する場合、その管路は全線満流と思われがちであるが、図表7-4-1-2のような管路形状の場合、満流となるのは H_1 部分のみであり、管路途中の凸部下流の下り勾配となる H_2 部分は非満流となる。

こうした箇所では、管内の気相中に硫化水素が放散されて硫酸となり、管内面の耐食性が不十分な場合は腐食が発生する。

●図表7-4-1-1 圧送管路で全線満流の場合



●図表7-4-1-2 圧送管路で一部非満流の場合



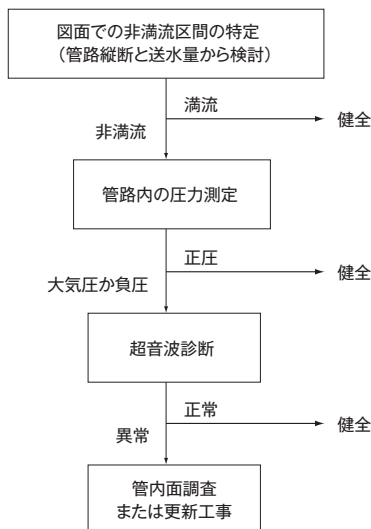
7-4-2 内面腐食診断

前述の通り、圧送管路は通常満流状態になり、管路の大部分では硫化水素に起因する腐食は起こらない。しかし、図表7-4-1-2のような管路形状の場合、前述のように H_2 部分は非満流状態となり、硫酸腐食が圧送管路でも起こる可能性がある。

圧送管路の維持管理を効率的に行うためには、こうした硫酸腐食の可能性が高い箇所を絞り込み、腐食の有無を確認する必要がある。

硫酸腐食の発生箇所を特定するための内面腐食診断の手順を図表7-4-2-1に示す。

●図表7-4-2-1 下水道圧送管路の内面腐食診断手順



① 図面での非満流区間の特定

管路縦断面図と送水量のデータを基に管路内が非満流となる区間（腐食危険箇所）を推定する。判断基準としては、以下の3つの条件を満たす区間となる。

- ・ 管路レベルが着水井側からの動水勾配線のレベルより上にある下り勾配区間
- ・ 管路勾配（下り勾配の傾き）が動水勾配より大きい区間
- ・ 上記に該当し、さらに下流側により高いレベルの管路が存在していない区間

② 管路内の圧力測定

非満流と推定された区間の管路内圧を測定することにより、非満流かどうかの確認や自由水面の位置の推定が可能となる。管路内圧力が、常時ほぼ大気圧または負圧となる区間は、常に非満流となっていると判断され、図面で非満流区間と推定された区間をさらに絞り込むことが可能となる。なお、管路内圧力の測定は、通常は空気弁などを利用して行うことができる。

③ 超音波による腐食診断

前段までの検討結果により管路内が非満流となる区間（腐食危険箇所）が特定されたことになるが、そこで必ず硫酸腐食が発生するわけではない。例えば、多量の硫化水素が発生する管路で、内面防食が十分でない管に腐食が発生した場合でも、内面エポキシ樹脂粉体塗装されたダクタイル鉄管には全く異常が発生していない。そのため、管内面を観察することが望ましいが、管内カメラや直接目視のいずれにしても、送水停止や排水など大掛かりな作業が必要である。そこで管外面から超音波を用いて内面の腐食の有無を判断すれば、送水を中断する必要がなく、簡便で経済的である。

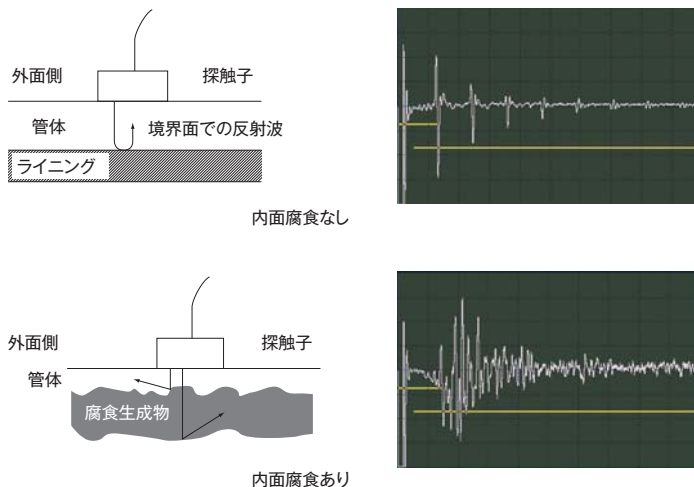
超音波による診断は、被測定物素材中を伝播する超音波の境界面での反射を利用したものである。超音波の伝播・反射を利用して、通常は厚さの測定や内部の探傷が行われるが、超音波の伝播方向と境界面との角度によって反射波の強弱が生じる。伝播方向に対し、境界面が垂直な場合には大きな反射波が得られるが、境界面が傾いている場合には反射波が小さくなる。同様に腐食が生じた凹凸の境界面では反射波が散乱する。実際に超音波の反射波を観察すると、図表7-4-3-2に示すように内面状況によって波形に差異が生じ、その特徴から内面腐食の有無が判断可能となる。

この超音波による診断方法には以下の特徴がある。

- ・ 均質な材料であれば、管の材質を問わない。
- ・ 管路内流体の有無、種類を問わない。

本診断手法は、調査立坑の築造が必要となるため、今後、立坑不要な簡易な直接診断手法の開発が望まれる。

●図表7-4-2-2 内面腐食の有無による超音波の反射波形



4 管路の更新

前述の診断結果より、硫化水素に起因する内面腐食事故が懸念される場合は、内面エポキシ樹脂塗装系のダクタイル鉄管で布設替えることが望まれる。供用を停止できない場合などは、リスク管理の観点からバックアップ管路を構築することも有効な手段である。

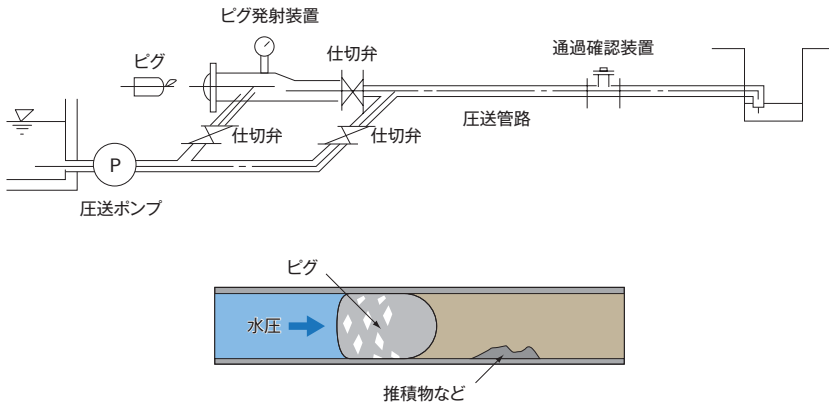
7-4-3 ピグ洗管

圧送管路の硫酸腐食を予防する手段としてピグ洗管がある。ピグ洗管は管路内に内径より若干大きいポリウレタン製のピグを挿入し、ピグに水圧を加え、管路内を移動させることにより管路内の堆積物などを排出するポリピグ法である。

この方法は、ピグ発射装置(ピグランチャー)とピグ回収装置(ピグキャッチャー)を常

設し、下水圧送ポンプの圧力を利用すれば、内径が変わらない限り長距離の管路を一度に洗管できる。

●図表7-4-3-1 ピグ洗管の概要

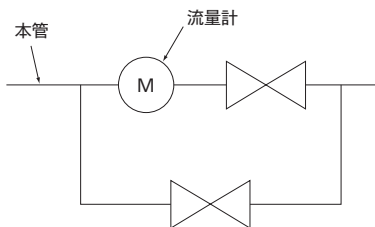


この方法を下水道圧送管路の維持管理に採用するにあたっての留意事項は、以下の通りである。

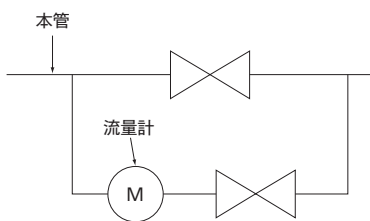
- ・ 一定の期間(1～6カ月)を定めて必ずピグ洗管をし、管内を常に良好な状態に維持することが望ましい。土砂、汚泥などの固着を未然に防止することが本来の目的であって、成長し固着したものを除去することが目的ではない。
- ・ 簡単にピグ洗管ができるように、ピグ発射装置、ピグ回収装置などを管路両端に設置する。圧送源としては、本管に入るまで清水で圧送し、その後、下水で圧送するような工夫をしておく方がよい。ピグ挿入を素早く安全に行うために、安全装置付きワンタッチ開閉装置およびピグ通過確認装置付きピグ発射装置の採用が望ましい。
- ・ 管路内途中には、ピグが通らないような計器(流量計、濃度計など)やバルブ(バタフライ弁など)を設置しないようにする。ピグの通過可否に留意して管路を設計しておかないと、完成後ピグを通せないことがある。供用前にピグが全管路内を通過することを確認しておけば、メンテナンス上でのトラブルの発生を防ぐことができる。

●図表7-4-3-2 バルブ・流量計の設置例

好ましくない例



好ましい例



- ・使用するピグは、通過性が良く、管内面に損傷を与えることなくクリーニングできる半硬質ウレタン発泡体にウレタン樹脂コーティングを施したものが適している。
- ・ピグは通常、呼び径100～600までに対応するものが標準である。
- ・排出距離は、最大20km程度の例がある。

7-4-4 圧送管路の複数化

圧送管路では供用開始直後の流量の確保、災害時の復旧や維持管理を容易にするために圧送管路の複数化、連結管の設置を行うことが望ましい。

●図表7-4-4-1 圧送管路の複数化

