

4.5.3 現地診断技術の事例紹介

4.5.3.1 鋳鉄管等における調査事例

(1) はじめに

基礎研究の「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」においては、福岡市水道局提供の水道管路のマッピング情報をデータとして、安全性評価モデルの作成を実施したところである。

安全性評価モデルによる管路診断はスクリーニング的な間接診断手法であり、最終的な判定や、より詳細な診断を行う場合には、管体調査等の直接診断が必要になると考えられる。そのため、直接調査の調査内容・方法の確認および今後の研究の基礎データの一助とすべく、今回基礎研究と連動して、福岡市水道局のご協力の基に掘上管の管体調査および土壌調査を実施したので、以下にこれらの調査結果を報告する。

なお、調査に供した掘上管は、基礎研究の安全性評価モデルにおいて事故リスクが高い区域（メッシュ）より、埋設年数が40年前後の管を採取した。

また、さいたま市水道局からは、経年化したダクタイル鋳鉄管の継手部分のボルト・ナット腐食状況に関する調査データを提出いただいた。

これらのデータから鋳鉄管等の診断・評価手法に関して有効な調査方法及び調査項目について検討した。

(2) 福岡市水道局の管体腐食状況と埋設環境についての考察

本調査管の埋設環境は、ANSIの評価では「腐食性あり」となる土壌サンプルは27検体中、わずか4検体であった。しかし、粘土と砂が混ざり合った土壌を主とする環境が比較的多いことから、このような地点は通気差腐食を生じさせやすいなど管路に対してはあまり良い環境とは言えない。また、いずれの土壌サンプルとも硫化物を含んでおり、地下水の存在が認められた3検体では、土壌中の硫化物と地下水中の溶存酸素が反応して硫酸を生成し、管路へ悪影響を及ぼすことが考えられる。また、地下水が認められなかったその他の地点においても硫酸塩還元細菌に起因する問題が伴うため注意が必要である。

このような環境下でいずれの調査管とも1m以内の管長にも関わらず、比較的多くの腐食が生じており、貫通腐食していた管も認められた。また、ボルト・ナットも土壌と接触する部分を主として形状が変形しているものが多くあった。

本調査管は供用開始から40年近く経過した管路から採取されたものも多くあり、調査結果から判断して、引き続き管路の調査を継続して現状把握をすると同時に更新検討について準備が必要な段階に来ている地点もあると考えられる。

(3) さいたま市水道局のボルト・ナットの腐食状況データについて

さいたま市では、配水幹線の延命化により安定した水供給を図り、併せて、有効率の向上に寄与することを目的として、昭和50年以前に布設したφ400mm以上の配水管のボルト・ナットを、平成元年から年次計画を定めて計画的に交換する事業を実施している。その交換作業の二次的成果として、土被りや地下水位に加え、ボルト・ナットの腐食状況を3段階で評価したデータが多数あり、本プロジェクトにおいて分析を行った。

ボルト・ナットの腐食状況データは、施工箇所の腐食に関する固有のデータとして蓄積されており、データベースとしての活用は十分可能である。このデータに、公表されている地盤および地層データを加えて解析することにより、铸铁系管路の診断・評価への対応も可能なものとする。ただし、より正確なボルト・ナットの腐食予測を実施するにあたっては、埋設環境の情報である土壌の腐食性評価（ANSI等）の詳細データが不可欠である。

つまり、土壌の腐食性とボルト・ナットの腐食との因果関係に限らず、ダクタイル铸铁管の老朽度について判定し、診断・評価手法を確立するためには、管体部を含めた腐食原因の詳細な調査と、当該管路埋設部の土壌データの採取・分析を併せて実施することが肝要であることが示唆された。

(4) まとめ

今回の福岡市水道局の掘上管による調査を行った結果、埋設環境である土壌の腐食性評価と腐食深さ及び腐食速度の関係を考えると土壌の腐食性が漏水事故の主原因ではなく土木工学的な要因や年間を通しての埋設環境の変化も原因とされる場合が考えられる。

調査管11検体のうち2検体は、腐食貫通孔が認められ漏水事故リスクが非常に高い管路であったことが確認され、今まで行っている管路診断手法に今回の研究成果である「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」が有効であることを確認した。

また、ボルト・ナット腐食状況データは、データベースとして非常に貴重なデータであるが、土壌の腐食性評価データが存在しないことから、土壌を含む埋設環境と腐食の因果関係の解析は不可能であった。

管路部の腐食状況を予測するにあたっては、診断・評価手法の確立に不可欠な、管体の腐食状況と土壌の腐食性評価についての詳細な調査を併せて行うことの重要性が改めて浮き彫りにされたところである。

4.5.4 管路の効率的な現地診断技術のまとめ

管路の現地診断技術は現在、管路の老朽度等を詳細に診断するため、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。しかし、周辺環境への影響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把握・診断できる技術が効率的な管路の現地診断技術としてとらえ、基礎的な研究開発や既存技術の応用を検討した。

(1) 既存技術の整理・分類

既存技術について文献等の調査を実施し、適用可能な技術や現在すでに活用されている技術についてレベルマップを作成し体系化を行った。

水道管路や他の管路の関する調査技術に関して調査対象、調査形態（直接診断、間接診断）について分類し、それぞれの技術についての実用化レベルを3段階で評価した。

極力掘削しない又は非開削で診断できる技術は、非常に少なく漏水調査に関する水圧測定、流量調査が主体であった。また近年、耐水圧の管内カメラの開発から管内面の状況調査が可能となっているが、鉄系管路（ダクトイル管、鋼管）の外面腐食の診断技術は、非常に少なかった。

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把握・診断できる技術として、3つの技術を有望技術として詳細調査を実施した。

(2) 既存技術調査

● 下水管きょ劣化診断ロボット

現在、下水道用途のヒューム管や陶管を対象に活用されている「下水管きょ劣化診断ロボット」ドクターインパクトを使用し、ダクトイル管のサンプル管で実験したところ、明らかな波形の差が観察されて適用できる可能性を示すものであった。

ダクトイル鋳鉄管への適用性をさらに検証する目的で、「衝撃弾性波に基づくダクトイル鋳鉄管の老朽度評価」として、大阪大学 鎌田委員にて、研究テーマとして取り組んでいただいた。研究内容については「5.5 衝撃弾性波法に基づくダクトイル鋳鉄管の老朽度診断手法に関する基礎研究」に示す。

● 管内テレビカメラロボット

この管内テレビカメラロボットは主にガス管路診断を目的に開発され、管内面を観察するだけでなく腐食などの大きさ・深さの測定、管厚測定などが可能である。

数多くの調査実績を持っているが、水道管路の分岐部分での走行性能と防水性能が無いことから、錆コブが多数存在するような水道管路への適用は困難と判断した。

● 磁気飽和渦流探傷法を用いた配管検査システム

磁気飽和渦流探傷法(SLOFEC)は、磁性のある金属管路の腐食状況について効率的な調査技術として適用可能か、ダクタイル管の新管による模擬実験と経年管による実験により性能確認を行った。

実験結果から模擬的に設けた腐食孔に関して短い調査時間で面的な分析が可能であった。埋設管路では管内部の完全な水の除去と調査用治具の開発により、管内面からの外面腐食調査が実施可能であることが確認できた。

(3) 基礎研究

基礎研究として、下記の4テーマについて各研究員の方々に研究いただいた。

● 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

● 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

● 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

上記の研究テーマは、管路を非開削で調査診断できる技術として、今後の研究継続により実用化の可能性のある技術として有望視される。

(4) まとめ

管路の効率的な現地診断技術は、現在、管路の診断方法は直接管路を掘削しその損傷状況を調査する方法が一般的である。アンケート調査からニーズのある技術を確認し、そのニーズに対応できる技術の開発と現在活用されている、もしくは開発中の技術であるシーズから水道管路の診断方法にどう適用できるかも調査および開発を行った。

今回の研究成果から、現地状況調査の調整と診断方法の改良により活用可能な診断技術も確認できた。今後さらに、次期プロジェクト等での研究を継続することにより水道管路への適用が期待される。

4.6 管路の老朽度面における評価手法（間接診断）の開発

「管路診断技術の到達レベルマップ」からもわかるように、老朽化した管路を非開削や極力開削しないで管路診断を行う技術が非常に少ない現状は、診断そのものの難しさもさることながら、それらの評価における判断指標の確立が障害になっている場合も多い。

このような現状を踏まえ、管路更新計画策定時等に必要となる老朽度面からの管路評価手法の開発を目指し、以下の研究を実施した。

4.6.1 統計的手法を用いた管路の老朽度診断手法の開発

我が国における水道施設資産の約7割を占める管路施設が大量更新時代に突入した今日、管路の有すべき機能を可能な限り効率的にかつ簡易に診断・評価することができ、新技術の早急な開発が望まれている。その一方で、水道管路は広範囲に埋設されており、老朽管路診断技術が開発されたとしても、すべての管路に対して診断・評価を行うことは容易でないことは周知の事実である。そこで、まず簡易な方法でスクリーニングを行い、老朽管路診断を行うべき候補を抽出することが適当であると考えられる。

本研究では、数量化理論第Ⅰ類、数量化理論第Ⅱ類及び多変量解析などの統計的手法を用いて、地区（メッシュ）別管路の安全性評価及び統計分析による管路・管種別リスクの定量化を試み、さらに、その結果より事故リスクの高い地区・管路を選定するという診断・評価手法の開発を行った。また、構築した評価モデルを他事業体データに適用することにより汎用性を確認した。

本研究の一部として、以下に研究概要を示す。なお、同テーマに関する研究の詳細は、「5章 基礎研究・基礎実験」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）

本研究では、水道管路システムを構成する「配水管路」を取り上げ、その安全性評価に供する統計的な分析を試みた。具体的には、水道管路のマッピング情報を活用し、配水管路の修理件数の有無が、管路の材質や埋設年度、土質・地形分類といった要因にどのような影響を受けているのかを明らかにした。そして、将来において優先的に対策を講じるべき地区（メッシュ）の特定を目的に、数量化理論¹⁾を用いた配水管路の安全性評価モデルを作成した。

なお、今回使用したデータは、福岡市水道局の提供による水道管路のマッピング情報（メッシュデータ）である。

4.6.2 既存施設データを用いた管路の老朽度診断手法の開発

4.6.2.1 水道用硬質塩化ビニル管路の評価・診断技術の研究

(1) 研究目的

水道用硬質塩化ビニル管（以下、塩ビ管）とその継手は、1956年（昭和31年）のJIS制定以来、中小規模水道事業体を中心に水道用管材として広く使用され、現在では全管路延長の約3割を占める管材となっている。今後、高度経済成長期に配管された塩ビ管が40年以上経過し、更新対象となる管路が大幅に増加することが予測されるが、塩ビ管を主に使用している中小規模水道事業体は、財政規模が小さいため、更新費用等の負担が大きく、特に適切な更新計画の策定が求められている。

これまでに、塩ビ管経年管路に関する全国規模での調査が、(財)水道管路技術センター（現(財)水道技術研究センター）及び塩化ビニル管・継手協会が中心となり実施されている。^{1) 2)} この調査の結果、通常の使用条件では塩ビ管の材質そのものの経年劣化はほとんど進行していないことがわかっている。しかし、実際には塩ビ管の漏水事故は発生しており、最近では新規の配水管にはほとんど採用されていない「ノーマル塩ビ管（以下、VP管）と接着接合継手（以下、TS継手）との組み合わせ」の管路の、特にTS継手付近に集中して発生していることが知られている。

一方、塩ビ管の管路診断については、(財)水道技術研究センター発行「水道用硬質塩化ビニル管路の診断マニュアル」³⁾に現時点での知見がまとめられているものの、診断に必要な残存寿命の予測方法は世界的に見ても未だ確立されていないのが現状である。しかし、塩ビ管路が漏水に至るプロセスとして、何らかの「前兆現象」があることが予測されるため、漏水の発生している管路を詳細に調査することで「指標化」が可能になるのではないかと考えられる。

本研究は、水道用硬質塩化ビニル管路の老朽度診断を行うための指標となる現象を調査し、これまでの統計的手法による「間接診断」に、さらに「直接診断」による適切な情報を提供することで、更新すべき管路とまだ寿命が残っている管路の選別を、より高精度で判断できる診断技術を研究することを目的とする。

(2) 研究方針

本研究は、過去の調査結果及び診断マニュアルに基づき、漏水事故発生原因の中から「他工事による損傷」や「不適切な施工（接着剤の塗りむら、不適切な埋め戻し（点石等）」等を除いた、主に「経年による漏水事故」が発生している管路にスポットを当てて実施するものとする。具体的には、「①VP管+②TS継手+③漏水事故の多い路線（JIS規格改訂前（1979年（昭和54年）以前）のTS継手を使用していて、かつ使用条件の影響等により漏水の多い路線）」に対して詳細な調査を実施することで、塩ビ管の老朽度診断を行うための指標となる現象を特定し、さらに「直接診断」で診断できる手法を研究していくことを方針とする。

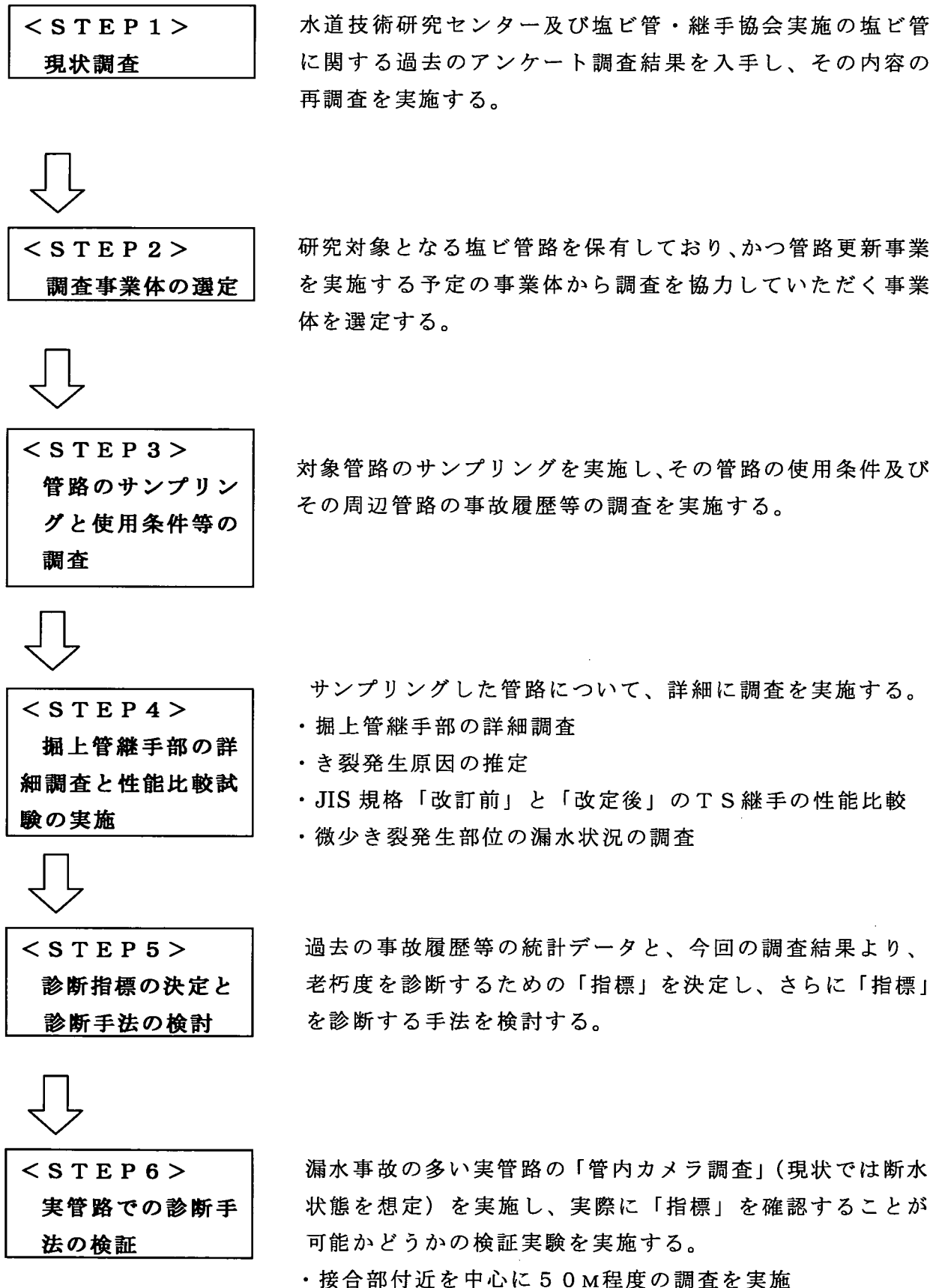
<参 考>

1964年（昭和39年）に呼び径50mmまでのTS継手がJIS規格化され、さらに、1971年（昭和46年）に呼び径75mm～150mmの継手について追加されたが、強度面の不足、工法上の因子などからき裂などの問題が発生したため、1979年（昭和54年）に呼び径75mm以上のTS継手に関して、継手内面テーパや肉厚の規格寸法の変更が行われている。JIS規格改訂の2年前頃より、既に各社から新規格に相当するTS継手が順次販売されており、規格改定後には旧規格品は販売されていないと考えられる。

現在約19万kmの塩ビ管が配水管として使用されているが、塩化ビニル管・継手協会の試算によると、そのうちの約2万kmに旧規格のTS継手を使用されていると推定される。現在主に新設管として採用されている耐衝撃性塩ビ管（HIVP管）でゴム輪（RR）接合の管路では、ほとんど漏水事故が発生していない³⁾ことから、今後、旧規格のTS継手が順次管路更新されていくことで、塩ビ管路の事故率は大幅に改善されていくものと考えられる。

(3) 研究の進め方

以下の「STEP」に従い、本研究を順次進めることとする。



(4) 研究結果

1) 現状調査

(財) 水道技術研究センターでは、「平成 13 年度管路施設診断の評価基準設定のための基礎的研究 (その 4)」において、塩ビ管の使用状況や障害、水道管路の診断や更新計画などについての、事業者へのアンケート調査 (196 事業者から回答あり) を実施している。³⁾ このアンケートの調査データについて再度分析を実施し、塩ビ管の使用状況等のデータの整理を行った結果について表 4.6.1 及び表 4.6.2 に示す。

アンケート結果によると、回答のあった 196 事業者のうち 90%(177)の事業者で、依然としてVP管を配水管として使用しており、86% (168) の事業者がTS継手使用の管路が残存しているという結果が出ている。さらに年間 50 件以上の漏水が発生している事業者は 29 事業者あり、漏水の原因の一つとして「継手」と記入している 128 事業者のうちの 39% (50) の事業者が「TS継手」が原因と明記している。

表 4.6.1 アンケート回収事業者の概要 (事業者数)

事業者規模		回答数	VP管 使用	HIVP管 使用	接合方式				
分類	給水人口				熱間	H	TS	RR	その他
超大	50 万人以上	10	8	8	1	0	8	6	0
大	10 万人以上	49	44	40	12	2	47	42	3
中	1 万人以上	108	96	89	20	3	92	108	0
小	1 万人未満	29	29	14	1	2	21	29	0
計		196	177	151	34	7	168	185	3

注)「平成 13 年度管路施設診断の評価基準設定のための基礎的研究 (その 4)」より

表 4.6.2 配水用途塩ビ管での漏水事故原因

	年間 50 件以上の漏水事故が、3 年間に 1 回以上発生している事業者	継手のき裂・割れが漏水原因の一つとしている事業者	TS継手が漏水原因と明記している事業者
事業者数	29	128	50

3 年間 (平成 10 年~12 年) の統計データによる回答

注)「平成 13 年度管路施設診断の評価基準設定のための基礎的研究 (その 4)」より

2) 調査事業体の選定

このアンケート調査の結果に基づき、VP管を使用しかつTS継手を使用している事業体の中で、さらに漏水事故件数が多い事業体の中から「福山市水道局」と「岡崎市水道局」を調査対象として選定し、調査協力をお願いした。(但し、岡崎市水道局からご提供いただいたサンプルに関しては、メーカーのマーキング等が消えており履歴等が不明確であったため、今回の調査対象からは割愛させていただいた。) さらに、2006年度の更新事業で塩ビ管(TS継手)の更新を予算化している事業体として、「仙台市水道局」に対して調査へのご協力をお願いした。また、本プロジェクトの事業体委員の中から「名古屋市上下水道局」に調査へのご協力をお願いした。

最終的に、施工現場確認も含め現地調査を実施した3事業体(福山市、仙台市、名古屋市)について以下に調査結果を示す。

・ サンプリング状況



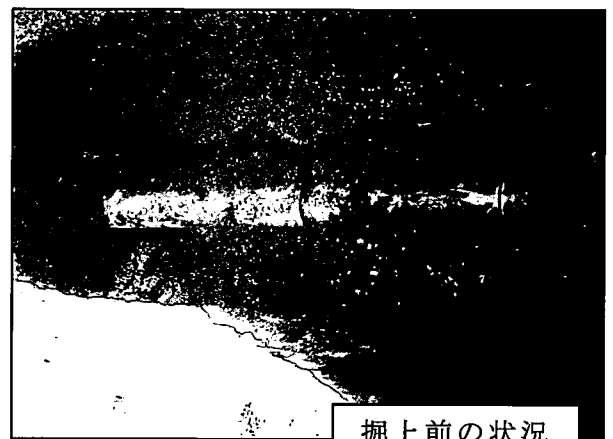
A部状況



B部状況



塩ビ管のカット



掘上前の状況

・ 掘上管の状況

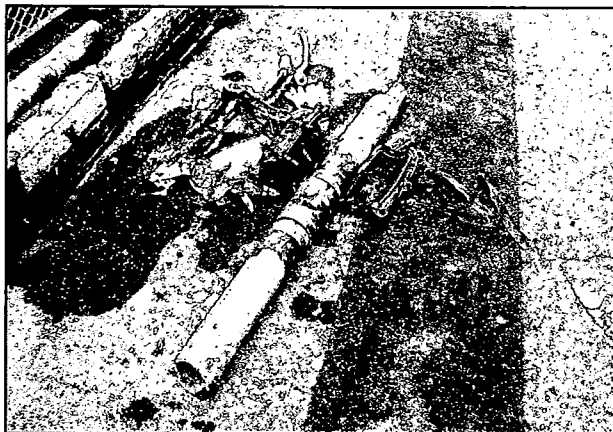
< サンプル1 >



< サンプル1 > A部
外観上は、特に割れ等はない

パイプ : A社
継手 : B社

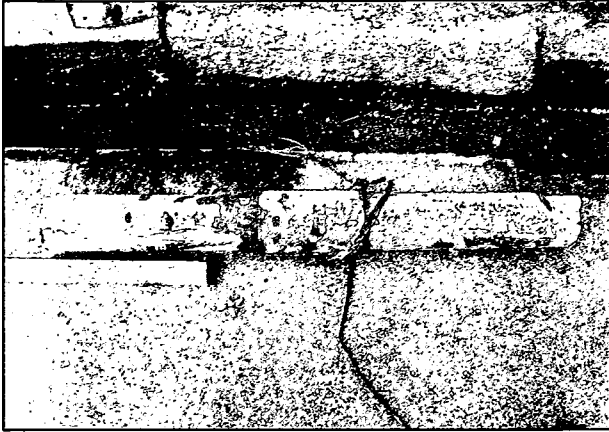
< サンプル2 >



< サンプル2 > A部
「フクロジョイント」で補修済み
継手表面1箇所、き裂あり

パイプ : A社
継手 : B社

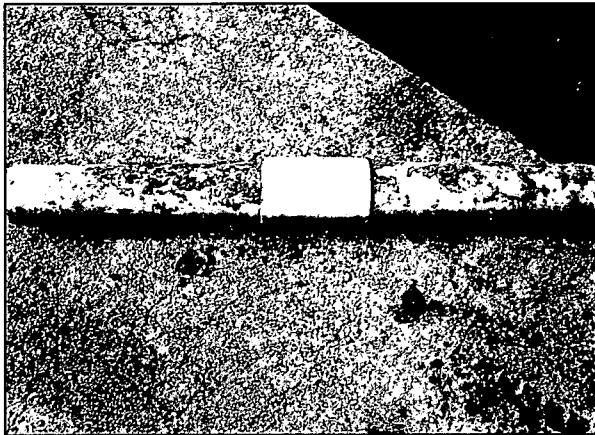
<サンプル3>



<サンプル3> A部
外観上は、特に割れ等はない

パイプ : A社
継手 : B社

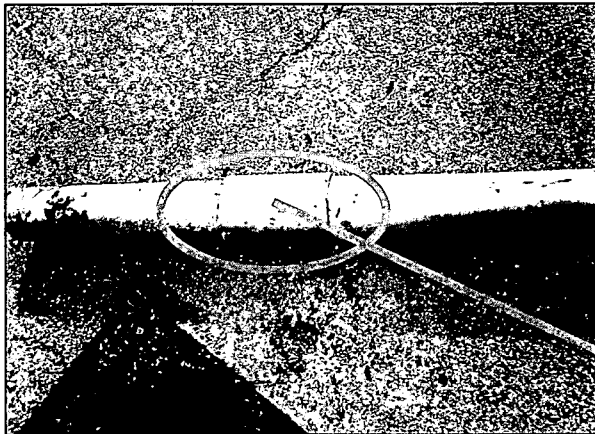
<サンプル4>



<サンプル4> B部
外観上は、特に割れ等はない

パイプ : C社
継手 : B社

<サンプル5>



<サンプル5> B部
継手表面2箇所なき裂有り
(補修履歴はなし)

漏水していた可能性大
パイプ : C社
継手 : B社



き裂部分の拡大

②仙台市水道局現地調査結果

・サンプルに関する情報

調査日 : 2006年11月15日(水)

掘上本数 : 44本

現場名 : 仙台市宮城野区岩切字東河原現場

(塩ビ管の布設替え工事に併せて、接合部付近をサンプリング)

管種 : VP管 + TS継手(1979年JIS規格改定前及び改定後の仕様が混在)

口径 : 呼び径 $\phi 75\text{mm}$

布設年度 : 1975年(昭和50年)頃に布設

使用年数 : 約31年

推定事故率 : 1.4件/km/年

(1400m程度の管路で、13年間(平成5年~17年)に25回の補修履歴あり。)

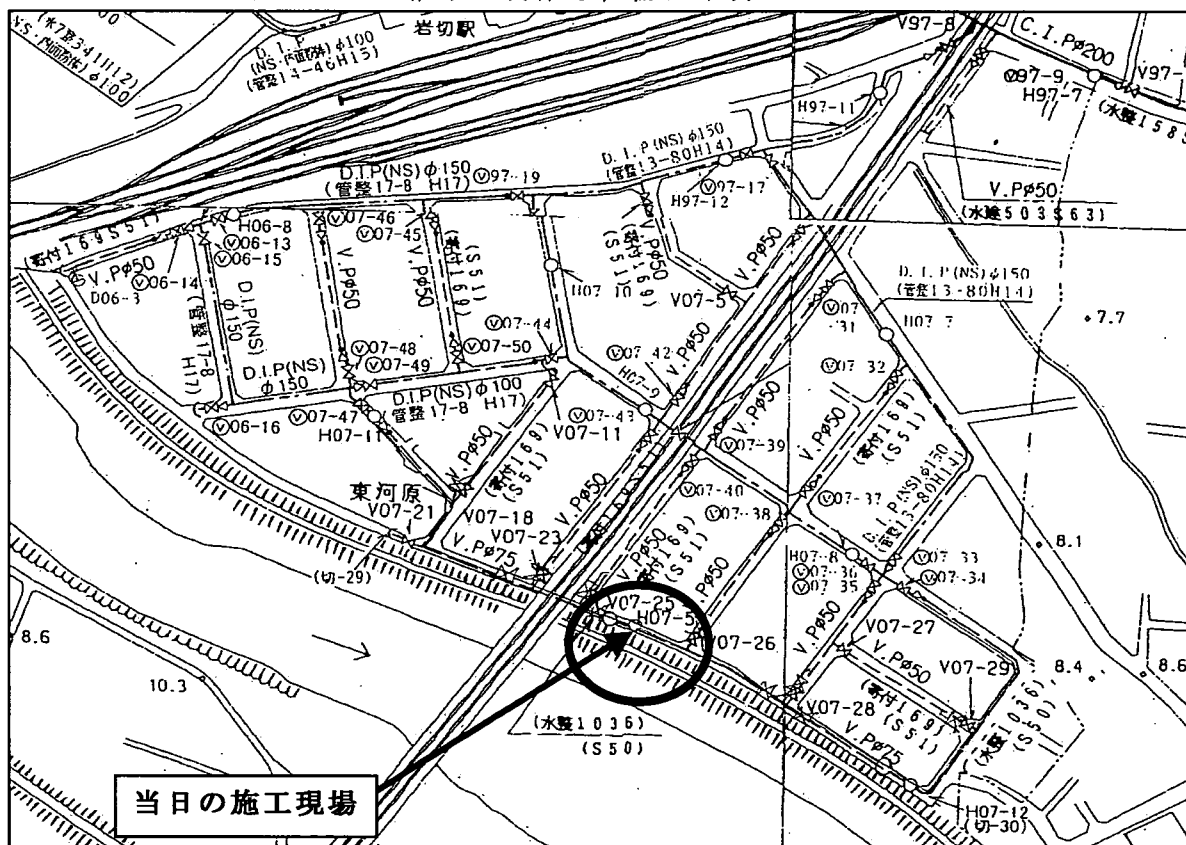
実際には、補修履歴のない多数の割れた継手(地中で長期間漏水?)を確認。

更新後管種 : NS形ダクタイル鋳鉄管

・サンプリング場所

*赤線部分が更新予定の配管ライン

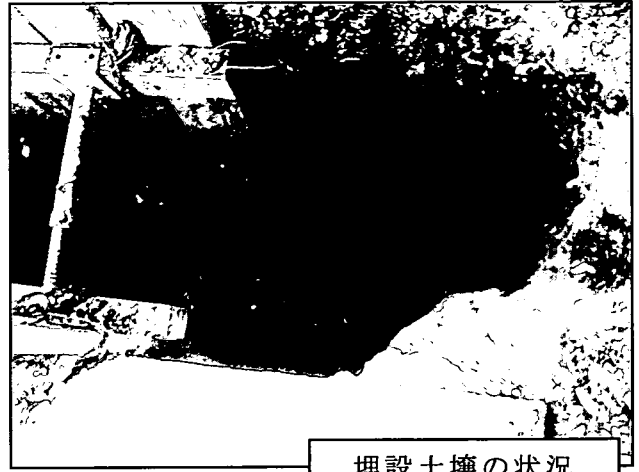
*サンプリングした継手の明確な位置は不明



・ サンプリング状況



更新工事の現場



埋設土壌の状況

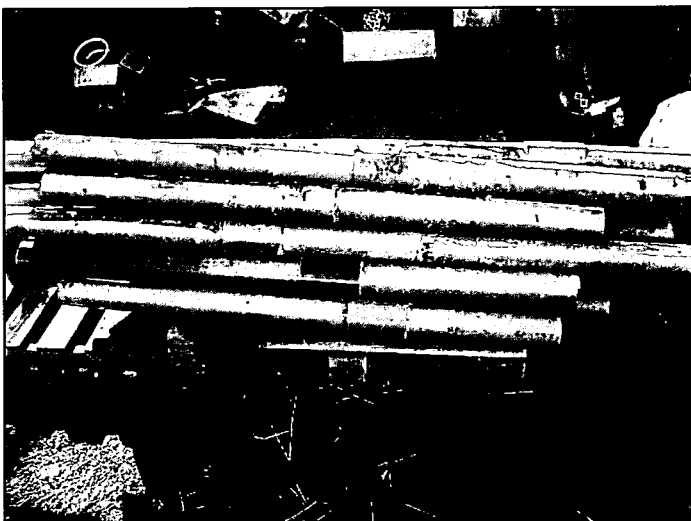
・ 掘上管の状況



掘上管の保管場所にて、状況を確認

パイプ : D社
 C社

継手 : E社<旧仕様TS継手>
 C社<新仕様TS継手>



ソケット部及び補修箇所を選別

旧仕様継手に多数のき裂を確認。
新仕様継手には、き裂は見られない。

③名古屋市上下水道局現地調査結果

・サンプルに関する情報

調査日 : 2007年2月15日(木)

掘上本数 : 7本

現場名 : 清洲市清洲一丁目 清須庁舎(旧清洲町役場)前現場

(塩ビ管の布設替え工事に併せて、接合部付近をサンプリング)

管種 : 片受けRR継手 + VP直管(1981年JWWA規格制定前の団体規格品)

(当初TS接合との情報だったが、調査の結果RR接合であることが判明。同年代のTS継手との比較のためにサンプリングした。)

口径 : 呼び径 100

布設年度 : 1975年(昭和50年)頃に布設

使用年数 : 約31年

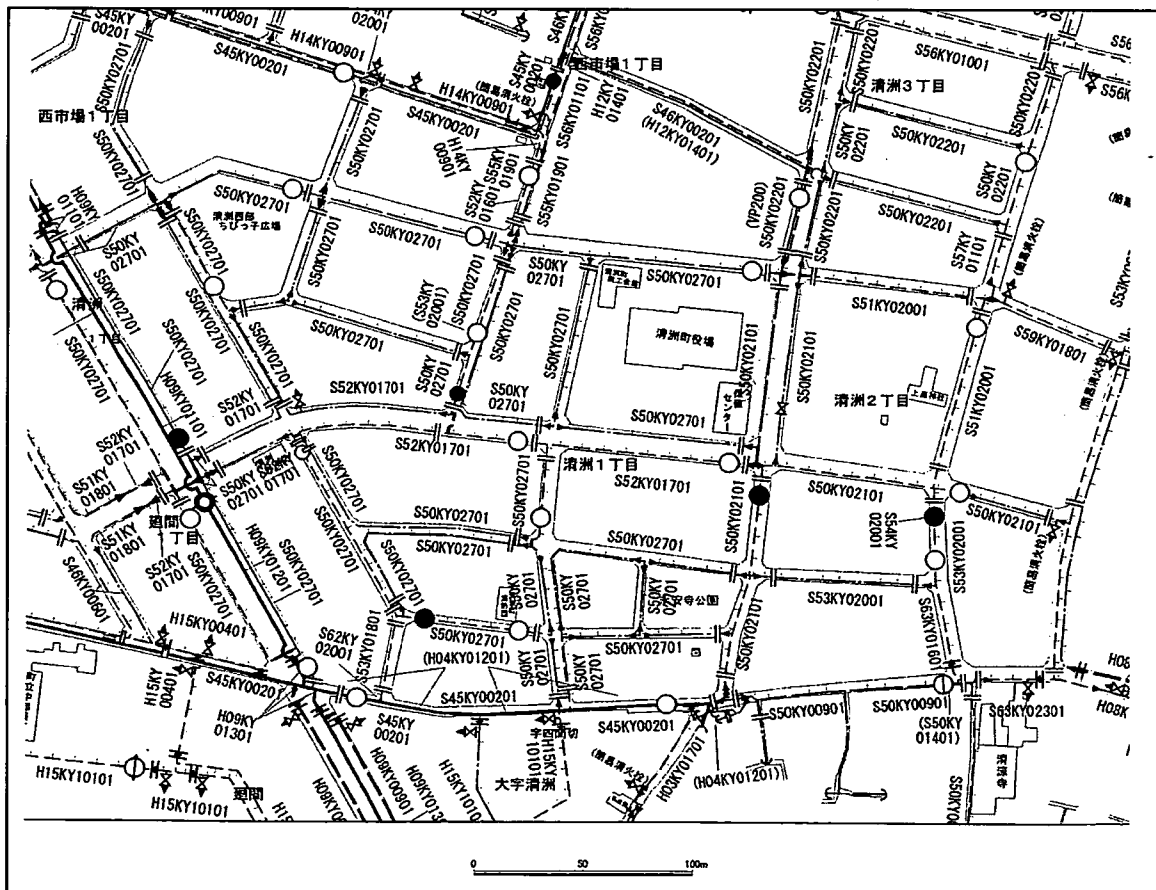
推定事故率 : ?件/km/年

(事故履歴等のデータなし)

更新後管種 : NS形ダクタイル鋳鉄管 150A(増径)

・サンプリング場所

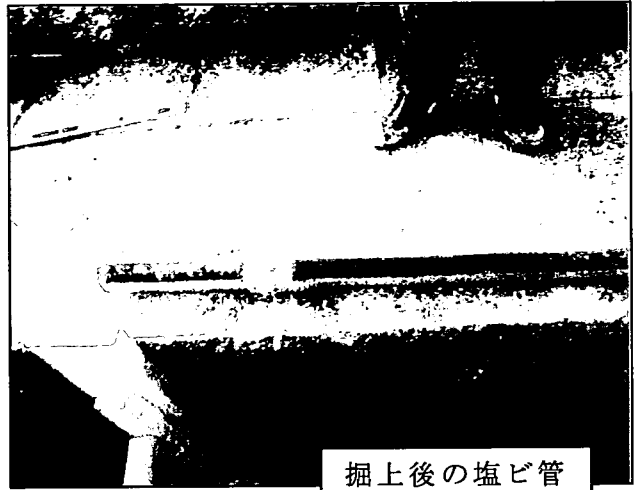
*黄色の部分、今回サンプリングした管路。



・ サンプルング状況



掘上前の状況



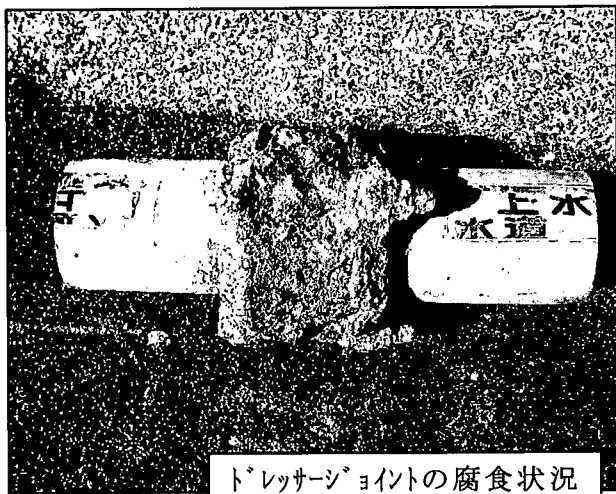
掘上後の塩ビ管



ゴム輪接合部のサンプルング状況



布設替後の埋戻し

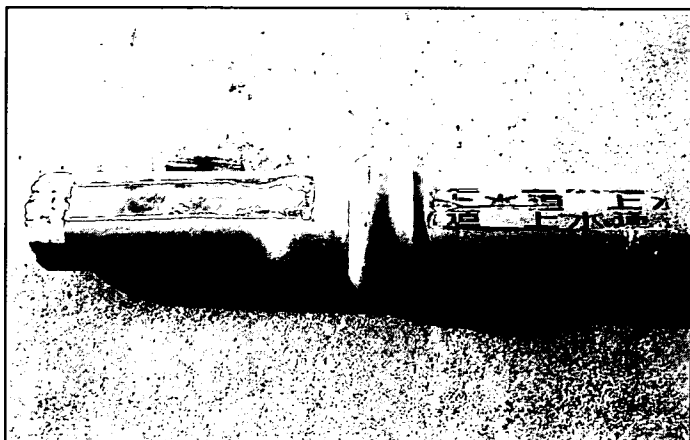


ドレッサージョイントの腐食状況



パイプ接合部の半割り作業

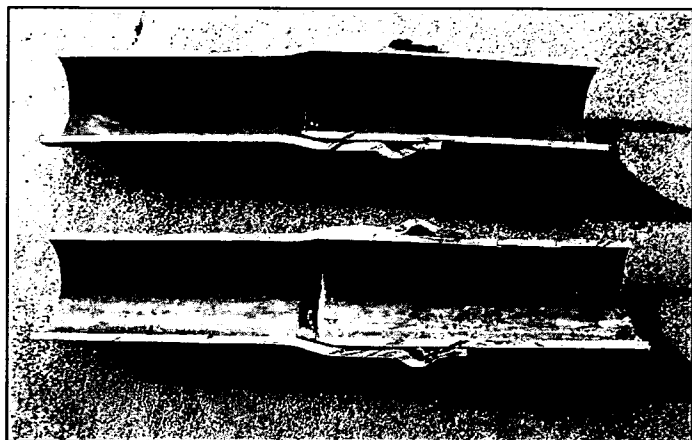
・掘上管の状況



掘上管外観の目視確認

ゴム輪接合部に割れ等の概観上の問題点は見られない。さらに、ゴム輪受口の奥部に差し込まれた状態となっていて、管の抜け等の動きが発生した形跡はない。

片受け直管：F社



半割したサンプルの目視確認

外観からの確認結果と同様で、内面にもき裂等の発生はない。

4) 掘上管継手部の詳細調査

① 仙台市水道局サンプルの詳細調査

仙台市水道局のサンプル（全部で44本（内2本はチーズを含む））について詳細に調査を実施した。ソケット部を含むサンプル42本を、TS継手の仕様と継手のき裂の状況で分類し、以下の表4.6.3に示した。

この表からわかるように、「旧 JIS 規格TS継手」は、今回入手したサンプル36本のうちの30本（83%）に、表面に達するいくつかのき裂が発生していた。中にはフクロジョイントで補修していない継手でも、継手のき裂からの周辺の砂を巻き込んだ渦巻き状の漏水によりTS継手外面から穴の開く、「サンドブラスト現象」により継手に穴が開いているものも見られた。

一方、「新 JIS 規格TS継手」には、き裂は全く見られなかった。

また、補修に使用している鋳鉄製のフクロジョイントが使用中に腐食し、サンドブラスト現象により大きく穴のあいたTS継手から錆が逆流している形跡が見られた。

表 4.6.3 入手サンプルのき裂の発生状況

単位：個

	フクロジョイントで補修	き裂有り (補修なし)	き裂なし
旧 JIS 規格TS継手 (旧仕様)	15 <サンプルA>	15 <サンプルB>	6 <サンプルC>
新 JIS 規格TS継手 (新仕様)	0	0	6 <サンプルD>

注) き裂有りは、微少き裂から大きなき裂までを含む。

< TS継手側面写真 >



< TS継手断面写真 >



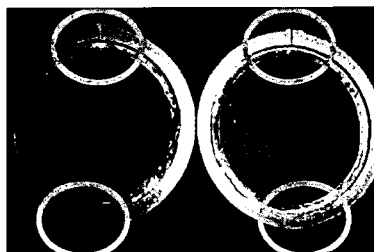
< サンプルA >

旧 JIS 規格TS継手

上下にき裂あり

サンドブラストで減肉

フクロジョイントで補修

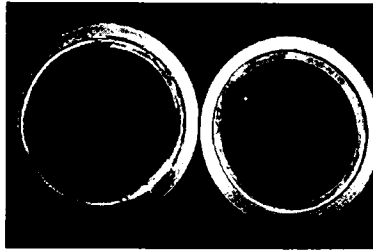
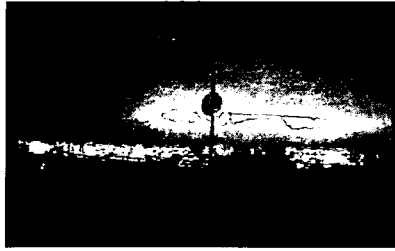


< サンプルB >

旧 JIS 規格TS継手

上下にき裂あり

補修なし

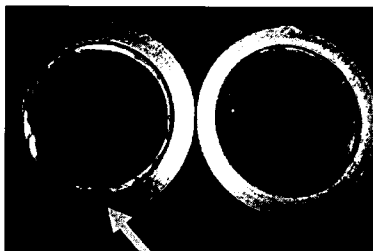
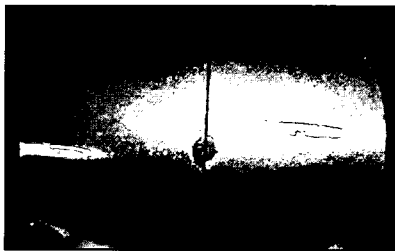


<サンプルC>

旧 JIS 規格 T S 継手

き裂なし

補修なし



<サンプルD>

新 JIS 規格 T S 継手

き裂なし

補修なし

旧 JIS 品に比べ
かなり厚肉

②き裂発生原因の推定

・き裂破断面の観察

福山市水道局でサンプリングした「サンプル5」のき裂発生部分を強制的に破壊して、その破断面を実体顕微鏡にて観察した。

破断面を観察すると、パイプ側のペンチを使用して無理矢理機械的に破壊した破断面は白化して表面がざらざらしているのに対し、継手側の破断面は白化がみられず、光沢のある平滑な面をしており、一部に波紋状の模様（青の点線で示した部分）が観察される。これは、典型的な「疲労破壊」の特徴を表している。

