

パイプラインの非破壊検査

眞田 和彦* 佐藤 敏明**

はじめに

我が国の農業用水網は総延長約 40 万 km におよび、全国の農地へきめ細かく配水するだけでなく、健全な水循環の形成や生態系の保全など、多面的な役割を果たしてきている。こうした機能が今後も十分に発揮されていくためには、長期寿命予測を踏まえた農業用水施設の維持・保全が重要であり、中でも目視による診断が難しい埋設管渠については、低コストかつ短時間に現状を把握出来る非破壊検査技術の開発が必要となっている。検査対象項目には、腐食、破損、変形、気密(水密)性能等が挙げられるが、一般的に行われている TV カメラによる調査は定性的であり、より定量分析化した手法が求められていた。ここでは、その開発例として、管内に計測装置を入れ、これを移動させて管周方向に縦横及び斜め計 8 点の計測を連続的に行う内径測定システムによる劣化診断手法並びに小口径推進管経路調査用に開発された小型軽量の装置を管内移動させて 3 次元の管路図を作成するジャイロシステムを紹介する。

一方パイプラインの非開削更生工法には大別してガラス繊維等に硬化性樹脂を含浸した半製品を中小口径既設管内に挿入し内面を被覆する FRP 管タイプ(欧米では一般的に CIPP [Cured In Place Pipes(現場硬化管)] と呼ばれる)、既設管径より若干サイズダウンしたプラスチック系材料を管内で製管した後に、空隙にモルタルを充填するタイプ等があるが、前者では出来形検査時に人間が入れず、更生管の両端部以外の位置における更生管厚さや硬化度合を計測する手法がなかつ

た。本稿ではこうした状況に対処することを目的に開発が進められた CIPP タイプ^{*-1}超音波法検査システムについても合わせて紹介する。

^{*-1}: 「CIPP タイプ」としたのは、対象となる更生材が CIPP 以外に熱可塑性樹脂パイプも含むことによる

I. 管渠内径測定システム

(1) 装置概要

埋設された既設管の内径を計測することは非常に困難である。通常、口径が 600mm 以下である場合、殆どは管口で計測するに止まっている。管内調査用 TV カメラに付属しているスケールは、大まかな値を予想するに過ぎない。

紹介する内径測定システムは、管軸芯から 8 方向に伸びたアームに取り付けた変位検出用ワイヤの伸縮をポテンションメータを介して電気量に変換し、変位量を測定する変換器を備えた内径測定装置を管内移動させて内径を計測するものである。装置の計測誤差を最小限にするため、既設管への挿入前に同径の正確な管内で装置を稼働させて誤差を補正し、計測対象管内で装置を移動してデータ収集を行う。より正確な計測には、装置を対象管の中心軸に位置することが必要であるが、3 代目となる本装置の前後に可動式懸架装置(空圧により常に中心軸を保持する装置)を接続することで対応している。本計測装置と可動式懸架装置間の最大曲げ角度は 90 度あり、狭い空間からの出し入れに対応している。接続装置は、スウェルジョイントを内装しており、計測部分のローリングやピッチングにも対応し、計測部は常に対

* 東亜グラウト工業(株) 開発室 技術部長

** 東亜グラウト工業(株) 開発企画室長(技術士: 上下水道)



写真-1 モニター画面とデータパネル

象管の中心にある。(工業所有権：特許申請済み)

ワイヤ式であるため気中・水中を問わず、また計測間隔は任意に設定可能である。

本装置には、前方と後方にTVカメラを備えており、データの記録とモニター画像がリンクして保存される。データは、パソコンで解析が可能な形式とした。

計測値は、モニター画面に0.1mm単位で表示するが、装置の計測先端部が既設管内面の凹凸等による誤差を考慮して最少計測精度を1mmとしている。

管内計測装置は、計測部、データ変換部、TVカメラからなり、接続した可動式懸架装置とともに管内を移動する。管内装置はケーブルによって地上の操作盤と接続され計測データの通信を行い、ケーブルを挟むエンコーダにより移動距離データの収集も平行して行う。計測装置には移動の前方方向に1台のモニターカメラと計測アーム監視用に後方向きに2台のモニターカメラを設置した。計測データは、データ表示板に、管内映像はTVモニターに表示される。写真-1および写真-2にモニター画面とデータパネルを示す。

計測した数値データは、データログ内のメモリーカードに保存され、映像はデータ表示画面とともに分割画面化してビデオテープに保存される。数値データは、拡張子をcsvとしており表計算ソフトで解析が可能である。その他の周辺装置として発電機(2.4kW)と空気圧縮機(0.7kW)を備えている。オプション機器にアナログ式チャート出力装置がある。これらの装置一式は、ワンボッ

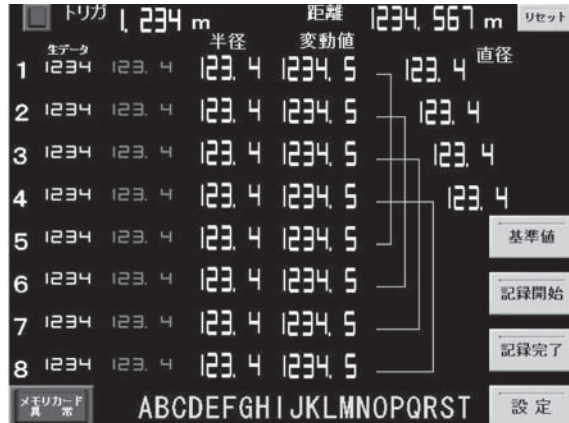


写真-2 データパネル表示例

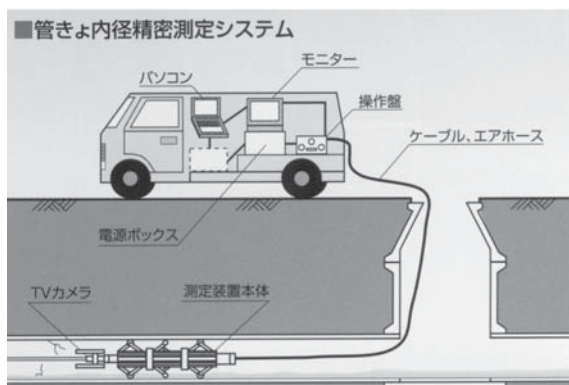


図-1

クス型車両に搭載が可能である。1号機での調査概略を図-1に示す。

管内計測装置の全体図を図-2、1号人孔からφ200既設管内への挿入状況を図-3に示す。

(2) システムの特徴

本システムは、既設管内移動を考慮し、既設管継手部の段差や広い隙間、浸入水や滞留水の存在、管路の弛み等を考慮して設計した。最近の非破壊検査機器の多くが光学式あるいは音波式を採用する中で、本装置は機械と電気式計測機器を組み合わせている。これは、既設管内の計測では気中と水中での計測を同時に行うことが求められる為で、滞留水中の計測も可能である。

本装置の牽引速度は、5m～10m/分を標準としている。計測間隔(トリガ)は操作パネルで任意に(1mm単位)設定可能である。装置の標準仕様を以下の表-1に示す。

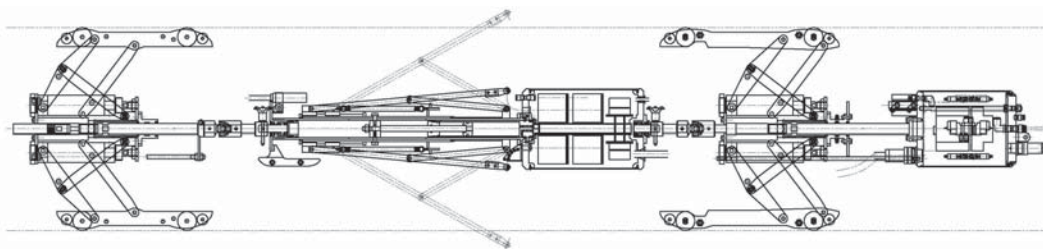


図-2 3号計測装置全体図

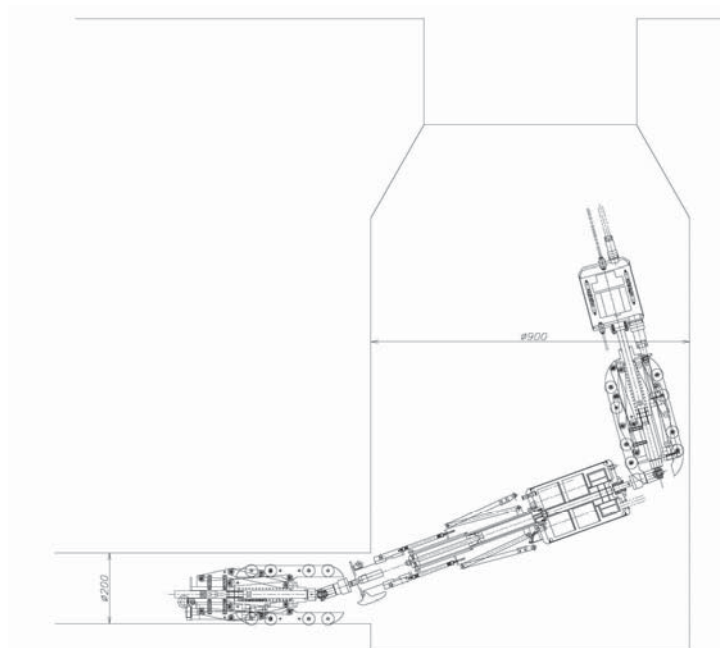


図-3 1号人孔からの挿入図

表-1 計測システム標準仕様

計測方式	機械式電気計測
本体寸法	直径：約180mm 長さ：約800mm（懸架部分除く）
本体重量	約10kg
懸架装置	三方開閉式（空気圧）：本体装置前後に接続
懸架装置重量	約7kg（前後とも）
データ表示	液晶タッチパネル盤
映像表示	4分割（前方1・後方2・内径、距離等データ1）
操作	エアバルブとタッチパネルによる操作
計測方向単位	管中心から45度ずつ8方向
軸方向単位	1mm以上任意（通常10mm～100mm）
計測口径	呼び径200mm～700mm
計測延長	最長150mまで
使用温度	0℃～40℃
外水圧	水中5mまで
電源	100V（発電機）
圧縮空気	0.5Mpa（搭載空気圧縮機）
データ保存	メモリーカード（SDカード）にCSV形式で保存
オプション	アナログチャート式グラフ表示
懸架装置	φ300mm以上の口径には拡張部品を使用

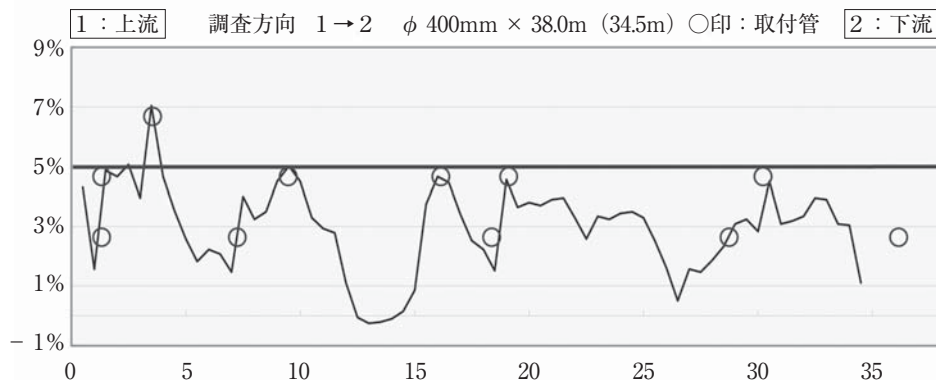


図-4 撓み率図例

表-2 適用実績

年	場 所	種 別	延長	口径	備 考
2004	愛知県豊明市	下水道	21.5	250	管更生後
2004	愛知県名古屋市	下水道	57.0	300	管更生前後
2005	愛知県知多市	農業用水	133.0	600	管更生前後
2005	愛知県名古屋市	下水道	142.0	400	既設管
			343.0	500	既設管
2005	静岡県浜松市	下水道	17.0	700	管更生後
2005	兵庫県川西市	下水道	377.0	200	管更生前
2005	愛知県名古屋市	下水道	22.7	600	既設管
			8.7	250	既設管
2006	兵庫県加西市	農業用水	80.0	700	既設管

(3) 調査方法

① 準備工

管内調査用 TV カメラにより管内の状況を調査し、必要に応じて障害物を除去する。

② 計測調査

本装置で管渠の内径を計測し、変形撓み等の発見に努める。データを基に管渠の撓み率図等を作成する。塩化ビニル管の撓み率図例を以下に示す。

③ 変形調査

撓み異常は、変形による亀裂発生等の恐れもあるため、本装置に付属カメラを併用した詳細調査（計測間隔を狭めて行う調査）を行い異常箇所の発見に努める。

更生管での調査は、バックリング（水圧等の外力に対して更生材の強度不足から内面側に変形等）の発見や「内径の異常縮小」を中心に行う。

④ 減厚調査

本装置のモニター映像の監視を行い内面の剥離箇所等の内径を計測し、異常箇所を記録する。

(4) 適用事例（実績）

本装置を用いた適用事例を以下に示す。

(5) おわりに

本装置システムによる内径計測は、管更生の施工前後あるいは既設管渠の劣化状況を把握するものである。計測により変形等の異常箇所が把握できるため、破損等を未然に予測し対処することが可能である。本稿に挙げた他の計測装置（厚み計測装置、ジャイロ等）と組み合わせることでより正確な診断が可能となる。今後とも診断技術を高めていきたいと考える。

（佐藤 敏明）

参考文献

日本非開削技術協会：No-Dig Today No.48 2004 Jul pp.18～19

II. ジャイロシステムによる埋設管路の調査について

(1) 概要

既設管路の敷設状況が正確に把握できれば、変位を原因とする継手部の水密性の悪化や外力による変形・損傷・劣化等の想定が可能となる。本計測調査は、管内計測装置を牽引にて管路内を走行させ、ジャイロデータ、走行データ、傾斜データ等を装置内に蓄積し、蓄積データと対象管路の入口・出口の座標を同調して、パイプの経路を3次元座標として取得するシステムである。地上でのトレースは不要である。装置本体の重量は、2kg弱、直径約42mm、長さ800mm弱で、前後の走行車輪を含めても1.5m前後である。

装置の計測誤差は、延長に対し0.25%（メーカー保証値）としているが、筆者らが行った地上での試験では0.03%以下であった。

管路の敷設位置調査あるいは不陸蛇行調査に使用することで、敷設現況が把握され、さらに地盤変位等の影響による管路の経時劣化の予測が可能となる。

(1.1) 機器構成

No	名称	備考	数量
1	管内走行装置本体	通称[ダクトランナー]	1
2	コントローラー		1
3	充電器	高速・低速	1
4	LAN ケーブル (2m)		1
5	データ解析用パソコン	専用パソコン	1
6	走行ホイール		1
7	USB メモリー	オプション	1
8	報告書印刷ソフト	オプション	1
9	報告書用パソコン (XP)	オプション	1

(1.2) 適用範囲

- 適用管径 $\phi 150 \sim \phi 600$ (曲管用) or $\phi 250 \sim \phi 1200$ (直管用)^{*1}
- 計測ポイント幅 1cm ~ 5m
- 計測速度 32 スキャン / 秒 約 30 分間の調査が可能。
- 使用時間 2時間から3時間 (フル充電時 本体の電源がON状態)
- 牽引速度 任意 (10m/分 ~ 100m/分)
- 曲がり管 管内装置が通過する程度。
(ショートバンド不可)

*1 直管用は敷設管が直管で「エビ曲げ」等のある管路を含む。

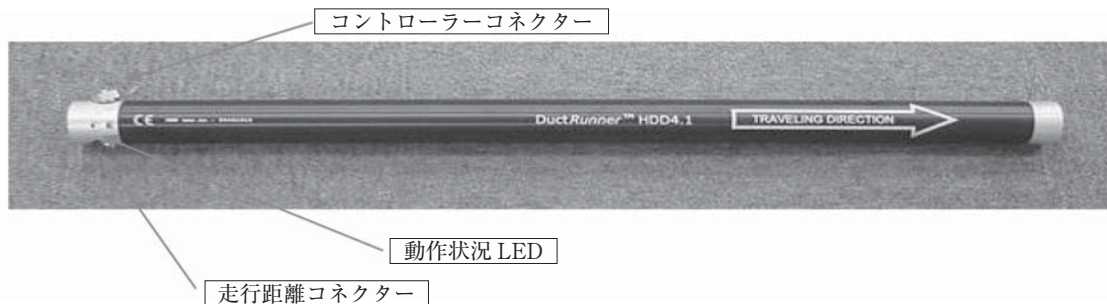


写真-1 管内走行装置本体 (長さ 765mm, 直径 $\phi 42$ mm (突起物部分 60mm))



写真-2 コントローラー
管内走行装置のON/OFF、データ制御に使用する。

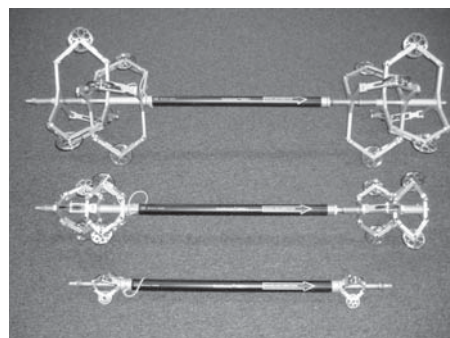


写真-3 走行装置 (走行ホイール) 取付状態
調査時に、本体に接続し管内を走行させる装置。(走行距離を取得)

【写真は曲管用走行装置を取り付けたもの】

(1.3) 取得データ

管内牽引により取得したデータは、XYZ 座標データとして以下の出力が可能。

a. 3次元解析用パソコンで出力可能なデータ

XYZ 座標データ (AUTO CAD タイプ)

XYZ 座標データ (CSV ファイル形式)

データは、報告書作成ソフト使用により X-Y グラフ (上下方向の弛みや勾配を表示) と X-Z グラフ (水平方向の蛇行等を表示) として表に表す。表-1 参照。

② 調査に必要な事前処理は、管内通線と障害物が無いこと。

③ 1日の調査可能延長は、例として100mを1スパンの場合300m/日。

(管内装置を30分/回で移動可能な延長を1スパンと設定する)

④ 必要作業員数は、3名(操作員、牽引役、搬送役)

⑤ 任意の延長で不陸蛇行の変位量を定量化・数値化して示すことが可能。

(2) 実施事例

本システムを使用した不陸蛇行調査事例を以下に示す。

口径φ600 延長42.7m 管種：下水道用コンクリート管 適用管：下水道

上記管路の調査では、上の表が上下方向の不陸やたるみを、下表が蛇行を示している。

管路のTV調査や目視調査では見落とされる変位20mm前後までも表す。

管路の位置確認システムは、台帳等の記録の正確性向上とともに、管路の不陸蛇行等の劣化状態の把握等、管路の維持管理に欠かせないものとして、多方面への適用が有用と考える。今後、様々な条件下での現場調査と検証作業を通して、技術の信頼性向上とより適用範囲の拡大を図ってきたい。

(佐藤 敏明)

(3) おわりに

本システムの特徴は、以下にまとめられる。

① 装置は、小型軽量でライトバン等の車両で搬送が可能である。

不陸蛇行調査報告

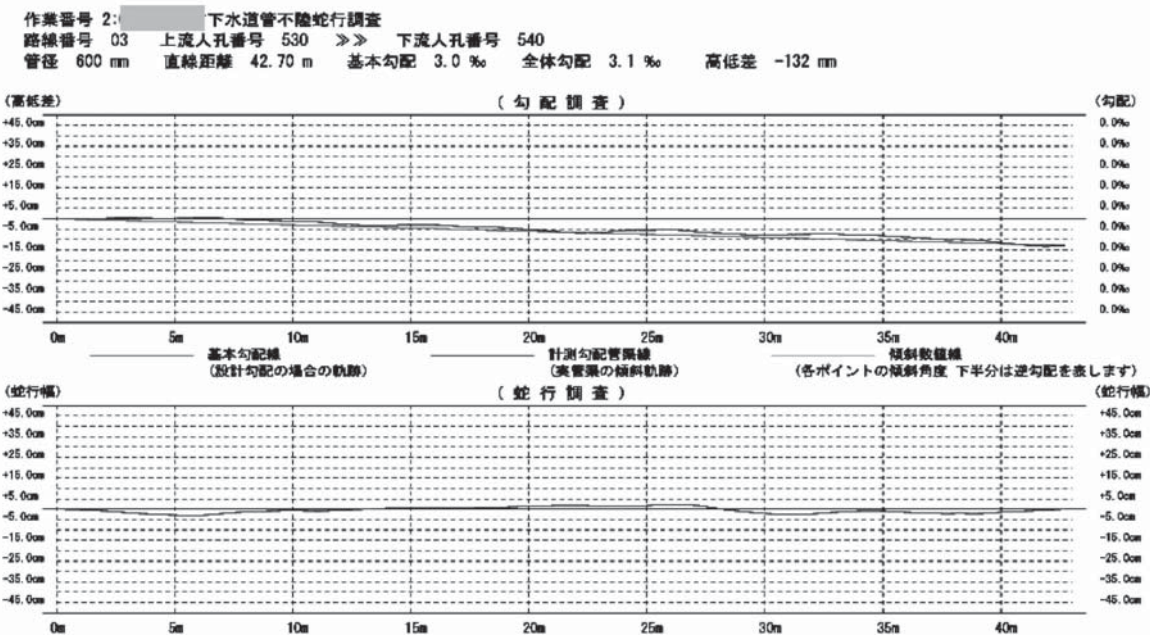


表-1 調査報告書例

Ⅲ. 超音波法による更生管の非破壊検査

(1) システムの概要

超音波が物体を伝播する速度 V は、ある程度均質な物体であれば固有の値を示す。その性質を用いて更生管内面から超音波を投入し、更生管外面（既設管内面との境界）より反射してくるまでの時間 T を音速として捉え、更生管厚さ t として算出することが出来る。

$$t = V \times T \times 1/2$$

本システムでは、更生管表面に接触させる振動端子に、高圧パルス電圧を与えることにより超音波を発生させ、この超音波を伝達材（探触子）を通して更生管内に投入する。

この時、探触子と更生管の境界面の反射波 S_E から更生管外面の反射波 B_E までの経過時間を部

材を往復する時間として捉え、厚さ t を算出する。この際、事前にメーカー規格値の強度を有する更生管サンプルにより、固有の音速値を計測しておく。この音速がベースとなり、既設管内にライニングされた更生管が良好な硬化コンディションであれば、正確な更生管厚さが計測できる。

図に示すように、超音波測定装置は一般的な本管用 TV カメラと併用して使用する牽引型ロボットである。牽引型検査ロボットの仕様概略を図-2に示す。

超音波検査ロボットは、測定部（送受信一体型探触子）とレシーバー、測定装置駆動部から構成されており、制御ユニットにより遠隔操作をすることが出来る。

尚、本システム（プロトタイプ）の適用範囲は、既設管呼び径 ϕ 200 ~ 350mm に更生された更生

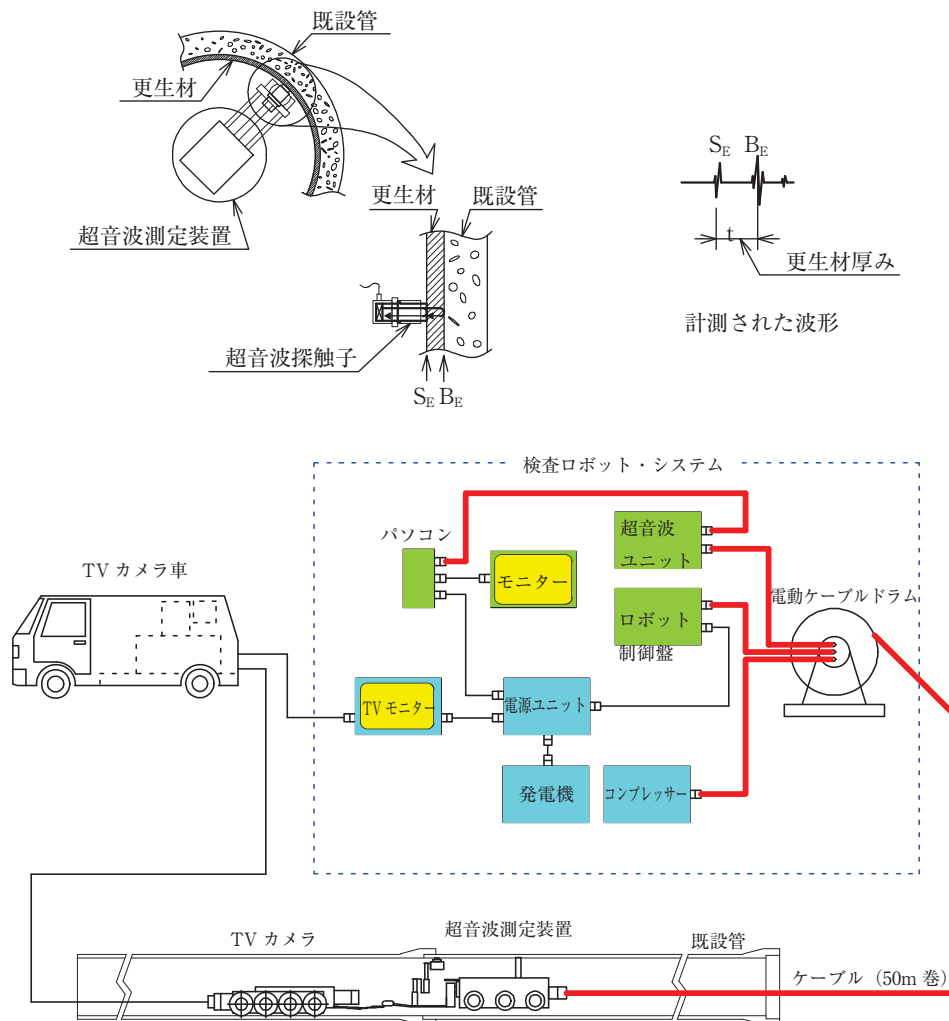


図-1 超音波検査システム構成

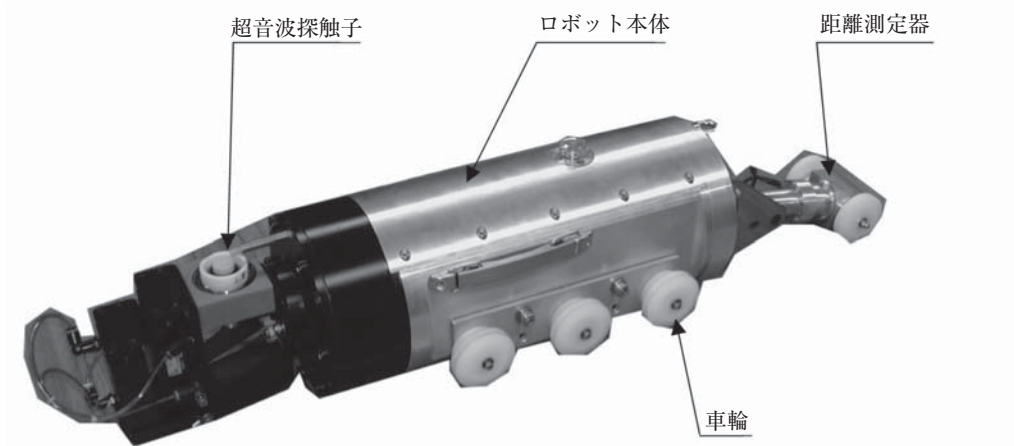


図-2 牽引型超音波検査ロボット

管とする。

(2) データ解析方法

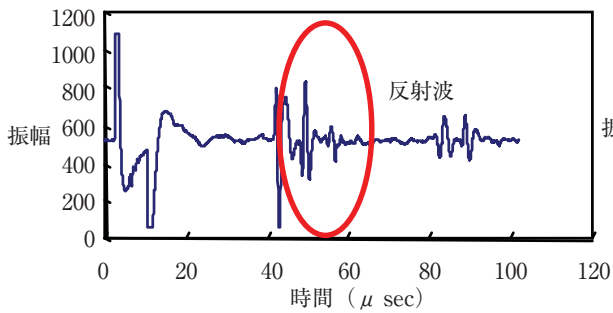
管厚測定では更生管背面境界の反射波を特定することで超音波の伝播時間をパラメータとして厚さに換算していたが、管厚測定で硬化度を判定する際には、反射波を特定できないことが不良判定の根拠となるため、現段階ではパラメ

ータを数値的に算出することが困難を極めている。

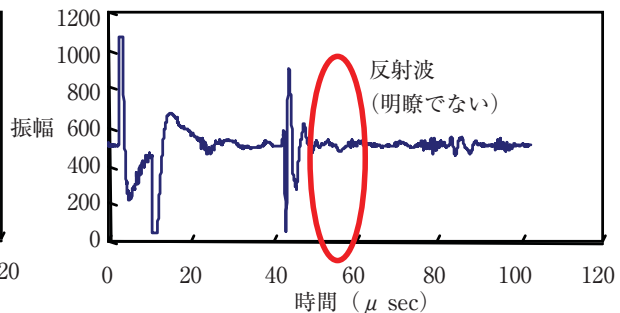
そこで、意図的に硬化度合に良、不良のある供試体を作製し、反射波(受信波)のFFT解析(高速フーリエ変換)を行うことにより周波数分布を算出し、硬化度合判定のパラメータとなり得るか試行検証してみた。

結果：硬化不良の場合、完全硬化と比較して相対的に低い周波数領域に成分が集中する。

[CIPP サンプルより得られた超音波波形]

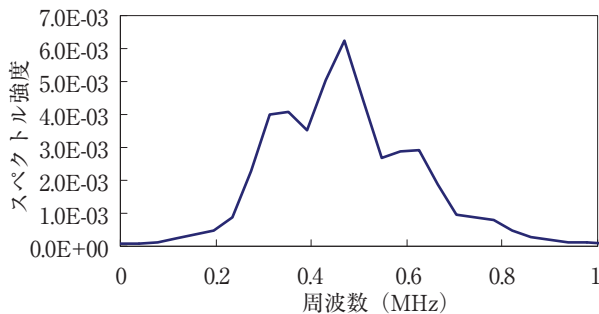


完全硬化サンプルの全波形

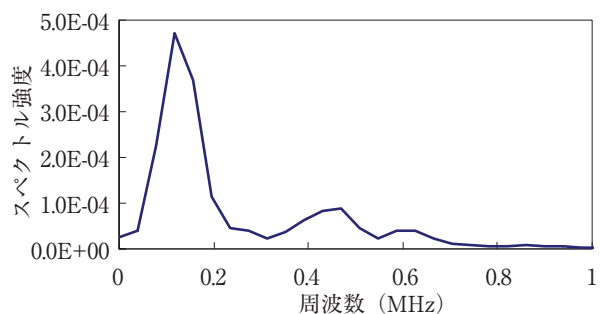


硬化不良サンプルの全波形

[○部分の FFT 解析の結果]



完全硬化周波数



硬化不良周波数

また、ピーク周波数の強度（値）が硬化不足の場合、完全硬化に比べ低い値となる。従って、高周波成分比の相対比率やスペクトル強度の高低差を硬化状況判定のパラメータとすることは十分に可能である。

(3) 今後の課題

管更生工法によるパイプラインの更新は、今後益々増加していく傾向にある。その中でも、特に人の手で直接検査できない中小口径管渠に対する

更生後の品質確認は、今や急務の課題となっている。現在、検査対象となる更生材も20種類程度あり、それぞれに特性値が異なるため、検査精度を確実なものにするためには各メーカーの協力も不可欠となる。

今後は解析手法を早急に確立し、超音波法による品質確認の手法を確実なものとするこことで、更生工法の信頼性確保に寄与していきたい。

(眞田 和彦)

