

# 下水道管路調査診断システム

## 衝撃弾性波検査法

後藤 正信

下水道管路内の調査診断システムとして「下水道ヘルスケア」を合言葉として「管路品質評価システム協会（ピケスト協会）」がある。ピケスト協会は、大学研究、コンサルタント、調査会社、管路施設管理会社、調査機材の開発製造会社から構成され、新しい診断技術の開発と提案、協会の協業による複合的なサービスの提供を通して、「下水道ヘルスケア」の普及にまい進している。その会員として、下水道管路内調査のほか種々水道、農水等の調査を実施しているが、本稿では下水道管路内の調査診断として衝撃弾性波検査法の技術の概要と最近5年間における実績による活用について紹介する。

キーワード：衝撃弾性波検査法

### 1. はじめに

下水道管路の調査は、内径 800 mm 以上の管路については、管路内を歩行可能な場合、調査員が管路内へ潜行し、管きよの破損、クラック、腐食、継ぎ手ズレなどの劣化や上下方向のたるみ、取付管の突出し、油脂の付着、樹木根侵入等、管きよの状態を定性的に把握する。

定量化調査の場合は劣化度調査を行い、中性化深さ試験、コンクリート強度試験、鉄筋腐食調査により、既設管の強度等の把握をする。

小口径管きよの内径 200 ~ 700 mm の劣化度調査においては、管路内に人が入れないためコンクリート強度を把握することが困難であり、TV カメラ調査等による定性的な判断をしてきたのが大部分である。近年では、老朽管に対して管路更生による機能改善が実施される中、調査結果を基本情報とすることから、管の耐荷性能を定量的に評価する手法が求められるようになった。そこで非破壊試験方法のひとつである衝撃弾性波法に着目した定量的劣化診断手法及びシステムとして「衝撃弾性波検査法」が開発された。

非破壊かつ非開削で調査を実施できる衝撃弾性波検査法とは、コンクリートの非破壊劣化検査ではポピュラーな、打音検査を定量診断として進化させた技術である。管体を軽く叩いて震わせ生じた弾性波に含まれる高周波成分比から、既設管の仮想管厚と仮想破壊荷重を定量的に算出し、そこからコンクリートの圧縮強度を算出することが可能となった。

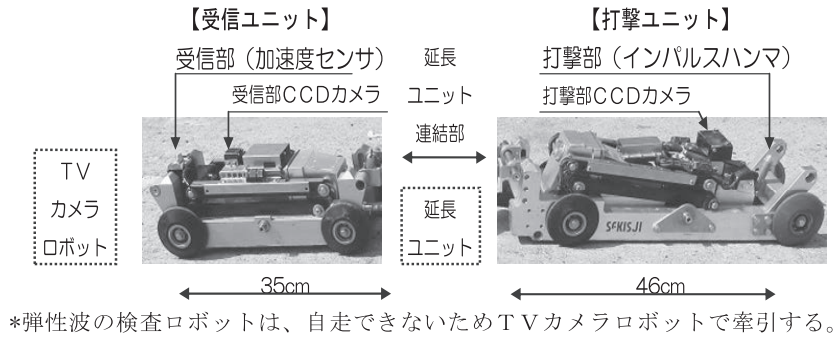
この技術は、(財)下水道新技術推進機構（現（公財）日本下水道新技術機構（以下「下水道機構」という）と衝撃弾性波検査法の解析原理や適用性を明確にし、調査・解析・診断方法、ならびに結果の利用方法を示すことを目的に、共同研究を行い、その結果、下水道機構から新技術の研究結果評価を受け、「衝撃弾性波検査法 技術資料」（2012年3月）として下水道機構から発刊されている。

衝撃弾性波検査法は、構造上重要な管の変状に関する定量的な数値指標を取得できることや、TV カメラ調査では発見できない管の外表面の変状を捉えることができる等の多くの特徴を有している。

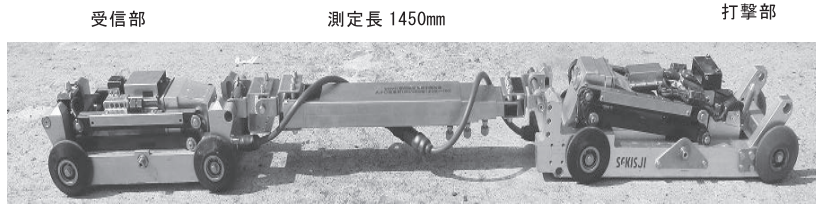
### 2. 技術概要

- ①調査対象：呼び径 200 ~ 700（鉄筋コンクリート管）
- ②調査機器：衝撃弾性波検査ロボット（図—1~3）
- ③検査及びデータ処理方法（図—4）

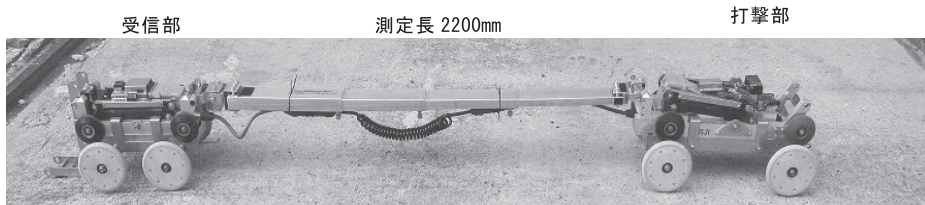
管体を軽く叩いて得られた周波数成分のうち、経験上定めた、3.5 kHz 以上の高周波成分領域が、全体（0.5 ~ 7.0 kHz）の周波数成分に占める割合（高周波成分比）から、実験式により管の仮想破壊荷重・仮想管厚を算出し、管 1 本毎とスパン全体の評価を行う。具体的には 4. 衝撃弾性波検査法の解析手法に示す。



図一 衝撃弾性波検査ロボット

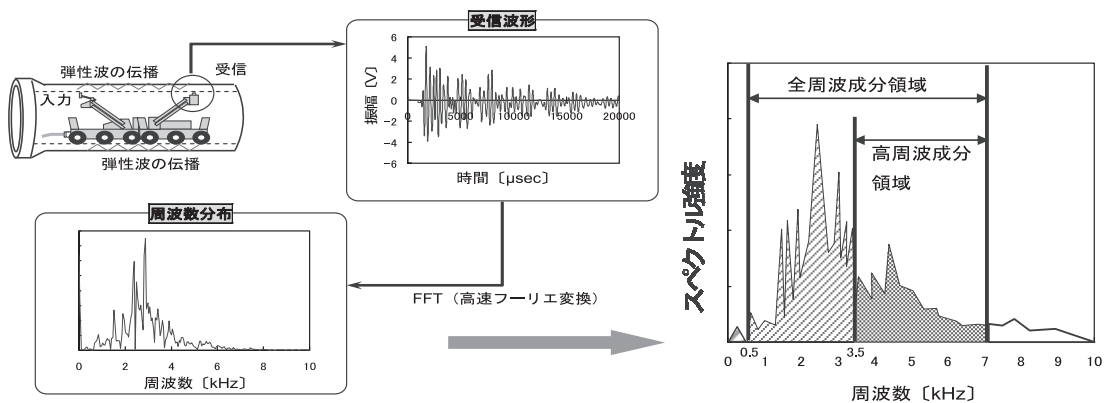


図二 φ 200 ～ φ 350 mm 測定用ロボット (HP 管長さ 2.00 m)



図三 φ 400 ～ φ 700 mm 測定用ロボット (HP 管長さ 2.43 m)

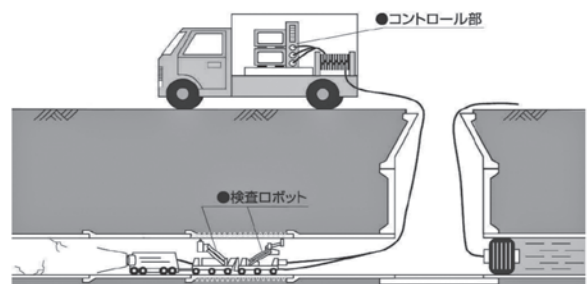
$$\text{高周波成分比 (\%)} = \frac{\text{高周波成分領域}}{\text{全周波成分領域}}$$



図四 データの処理方法

### 3. 作業方法 (図一5)

- ① TVカメラ調査と同様原則として、上流から下流に向けて牽引のためのTVカメラを移動させて行う。
- ② 検査は診断用ロボットを管内に挿入して行う。
- ③ 診断結果は調査診断表 (管理表) に記入し、調査集計表に取りまとめる。



図五 作業標準図 (衝撃弾性波検査工)

④そのほか、マンホール内部および蓋・受枠は異常が確認された場合にその旨を本管記録表に記入する。また、写真帳に合わせて記載する。

### 4. 衝撃弾性波検査法の解析手法

現場作業で得られた「高周波成分比」を解析に使用する基礎数値として仮想管厚と仮想破壊荷重を算出する。これらの基礎数値を基にして、管の残存耐力に着目した指標として「管の健全度」、管の埋設管としての安全性に関する指標として「管の安全度」を定義し、管の診断に供する指標値とする。図一6に各指標値を求める解析の流れを示す。

これらの指標値をもとに診断を実施するが、管の診断は管1本ごとの評価とスパン全体の評価に大別される。

### 5. TVカメラ調査と衝撃弾性波検査の総合判定方法

衝撃弾性波検査法とTVカメラの手法の異なる二つの調査法の結果比較とその差異に対する取扱い、すなわち両調査法を融合させた緊急度総合判定について整理する。

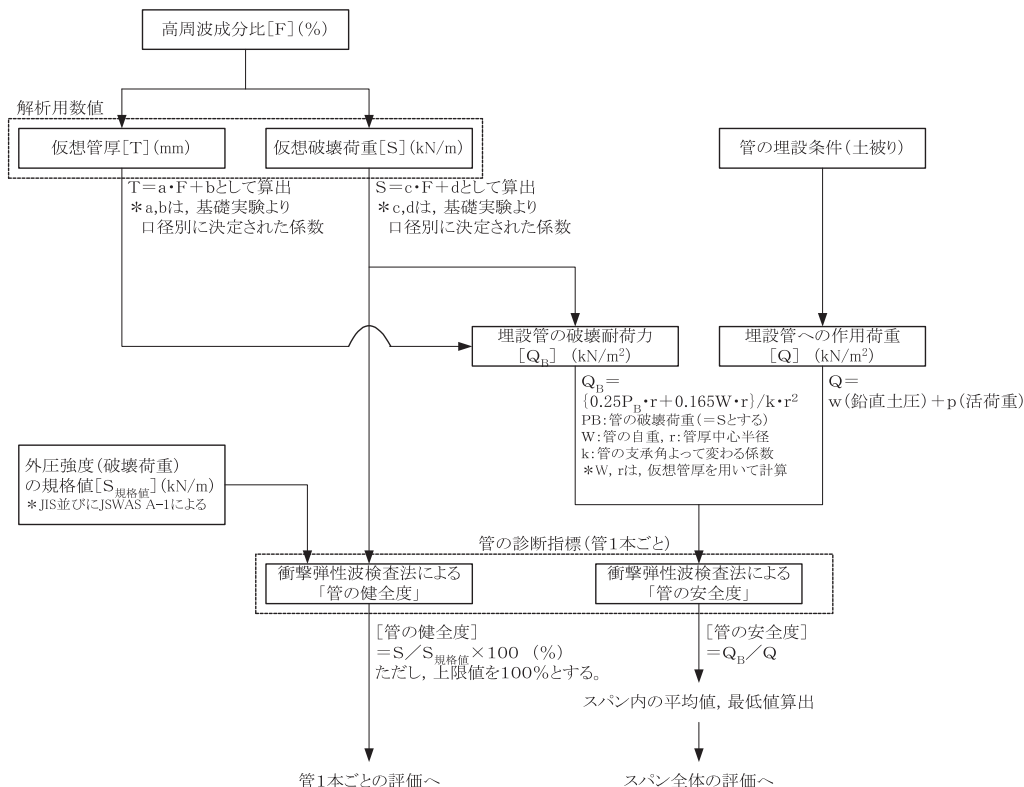
衝撃弾性波検査法は、既設管の耐荷能力に影響する

表一1 TVカメラ調査と衝撃弾性波検査法の結果による総合判定における緊急度区分(例)

緊急度区分	説明
I	TVカメラ調査、衝撃弾性波検査法のいずれかが緊急度I相当の以上を認め、速やかに措置の必要な場合
II	簡易な対応により必要な措置を5年未満まで延長できる場合
III	簡易な対応により必要な措置を5年以上に延長できる場合
健全	TVカメラ調査、衝撃弾性波検査法ともに異常が認められず、これを健全管として5年以上そのまま使用できる場合

劣化事象(管の減肉、軸方向クラック)を管の安全度等の指標を用いて定量的に評価するものである。また、衝撃弾性波検査法は、管の内面・外面共に管体の平均的な異常を検査できるが、局所的な劣化事象に対する応答性は低いこと、浸入水や管の流下能力(上下方向のたるみ、取付け管の突出し、油脂の付着、樹木根侵入、モルタル付着)に関する異常は評価できないことから、これらの項目についてはTVカメラ調査結果の活用が不可欠である。

以上により、スパン全体の総合的な緊急度は衝撃弾性波検査法とTVカメラ調査結果を考慮した総合判定により決定する(表一1)。



図一6 衝撃弾性波検査法の解析の流れ

## 6. 衝撃弾性波検査法の活用方法について

①持続可能な下水道事業の実施を図るためには、適正な維持管理を行い、改築等による管きよの延命化によって、その機能を適切に維持しなければならない。

従来のTVカメラ調査による診断に加え、衝撃弾性波検査法を加えた定量的評価により、対策範囲の検討（改築か修繕か）や更新・長寿命化対策の検討（布設替えか更生工法か）において、総合的な判断が可能となる。

以上により、衝撃弾性波検査法では、対策の優先順位付けの明確化による効率的な事業計画の立案、対策手法や対策工法の検討や設計が可能であると考えられ、効率的な下水道長寿命化計画の策定が期待できる。従来の管路調査は、TVカメラや目視等の視覚に基づく定性的な手法が主体となっており、特に小口径管きよ（呼び径800未満）については、既設管の耐荷能力等の定量的な評価が困難な状況にある。管路施設の長寿命化計画の策定にあたっては、既設管の流下能力や耐荷能力等の構造性能を適切に評価した上で、対策の要否や対策範囲、更新・長寿命化対策の検討を行う必要がある（図一7）。

② TVカメラ調査結果と衝撃弾性波検査法の総合判

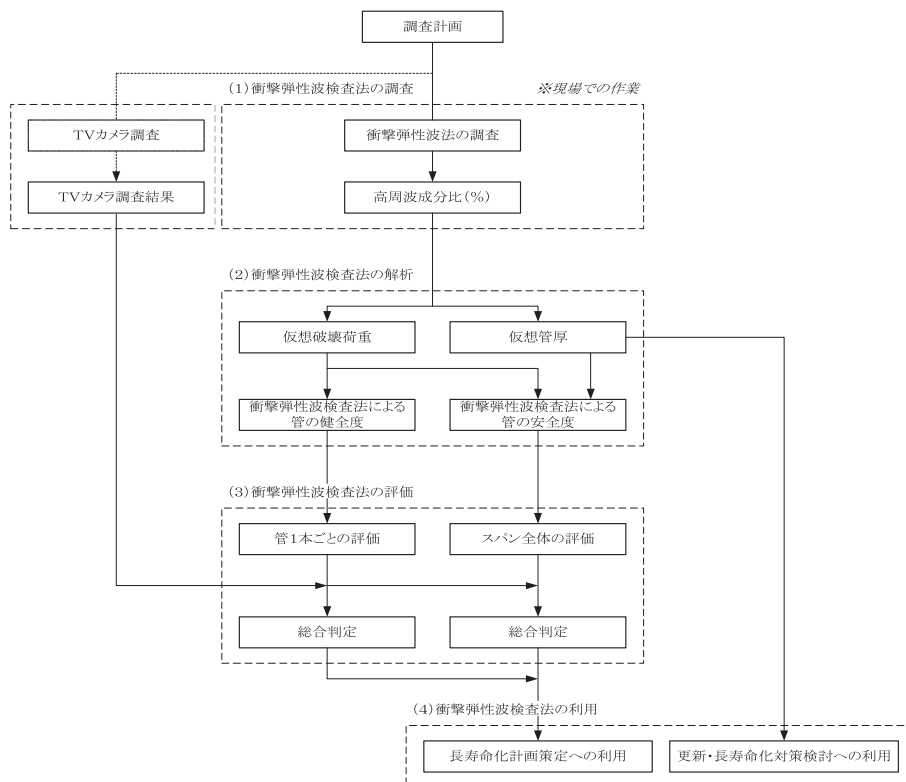
定を用いて具体的な対策範囲の検討を行う際に、改築において長寿命化対策が必要となった場合に、その工法選定への活用ができる。

③総合判定による緊急度Ⅰ、Ⅱを対象とする。範囲の検討については改築か修繕か、すなわちスパン全体への更新・長寿命化とするか、管1本毎の部分的な補修で対処するかを決める。

次に、管健全度を用いた改築修繕の判定を行う。また、改築検討（更新・長寿命化対策）に進んだ場合、TVカメラ調査のみでは小口径分野（φ250～φ700）において、改築すべき対象管路の強度が把握できないことから、基本的に自立管更生タイプによる長寿命化が図られるケースが多いが、既設管の強度によっては複合管更生タイプでも十分に長寿命化が図られるケースもあるはずである。一般的に小口径の管路更生においては複合管の方が施工単価は有利であることから、現状では既設管の強度が不明なため、過大な投資となっている場合もある。

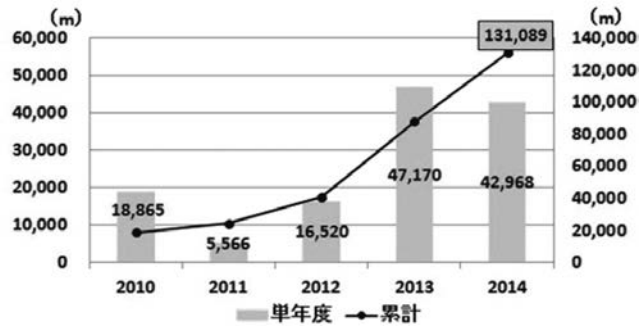
④本技術は、管路品質評価システム協会（PQEST協会）において普及促進を図っている。

衝撃弾性波検査法による診断は、弾性波データの解析と操作方法について衝撃弾性波検査法について熟知した「衝撃弾性波検査法診断技士（PQEST協会主催）」の資格を有するものが扱うこととし



図一7 衝撃弾性波検査法の診断手順

単位:m		
	単年度	累計
2010	18,865	18,865
2011	5,566	24,431
2012	16,520	40,951
2013	47,170	88,121
2014	42,968	131,089

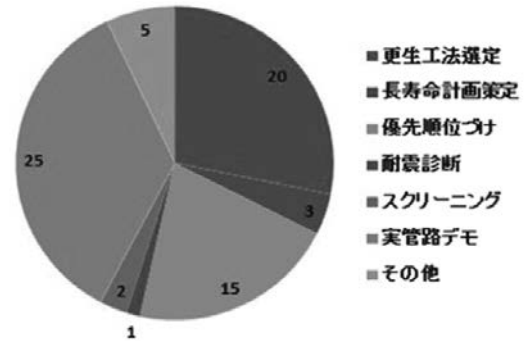


図一8 衝撃弾性波検査法 目的別延長距離 (管路品質評価システム協会調べ)

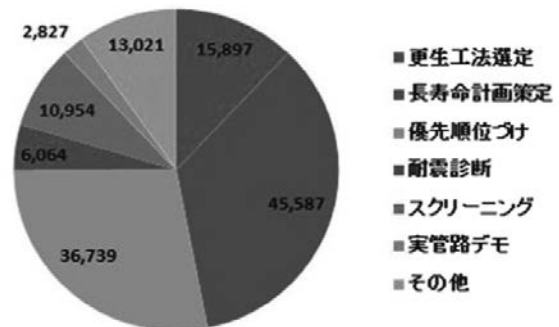
ている。

## 7. おわりに

- ①近年、地方公共団体においては、事後対応型から予防保全型維持管理への転換を図るとともに、このたびの下水道法改正により、ストックマネジメント手法を踏まえた下水道事業計画（長寿命化計画）を策定する動きが加速しており、それら施策を実践する上で、衝撃弾性波検査法が有用なツールとして考えられる。
  - ②現在、管路品質評価システム協会（ピケスト協会）において衝撃弾性波検査法による管の寿命予測の検討、アセットマネジメントの構築への検討を重ねているところである。また、衝撃弾性波検査の一層の精度向上などソフト面、技術面について研究を重ねている状況である。
  - ③衝撃弾性波検査法を活用することにより、たとえ耐用年数を超過していてもまだまだ維持できることが確認された場合、事業の平準化に対して活用できると考えられる。また、劣化しているものは修繕、改築等の諸元数値として扱うことができる。このことは、下水道事業計画（長寿命化計画）の策定に多いに寄与するものであると考えられる。
- なお、衝撃弾性波検査法による定量診断により、いくつかの使い道があり、関連部署への説明料、住民に対する説明など様々な場面での説明資料としても活用が考えられる。
- ④衝撃弾性波検査法の積算については、平成 27 年 4 月に（公社）日本下水道管路管理業協会の「下水道管路施設積算資料」に掲載され、管路調査業



図一9 衝撃弾性波検査法 目的別採用件数 (管路品質評価システム協会調べ)



図一10 衝撃弾性波検査法 目的別延長距離 (m) (管路品質評価システム協会調べ)

務においてより活用し易くなっている。  
昨年度末で総調査延長 131 km, 71 都市で採用されており、実績化が進んでいる。

JICMA

[筆者紹介]

後藤 正信 (ごとう まさのぶ)  
 (株)ハビリ・リサーチ・ラボラトリー  
 管理部企画担当部長

