



写真1 衝撃弾性波検査ロボット

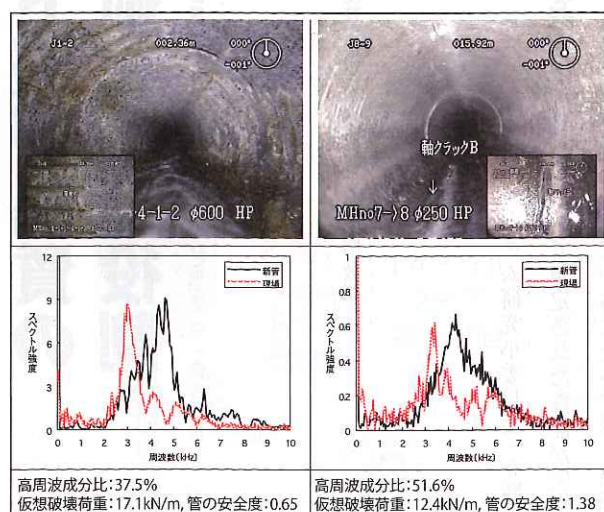


図1 調査結果の一例

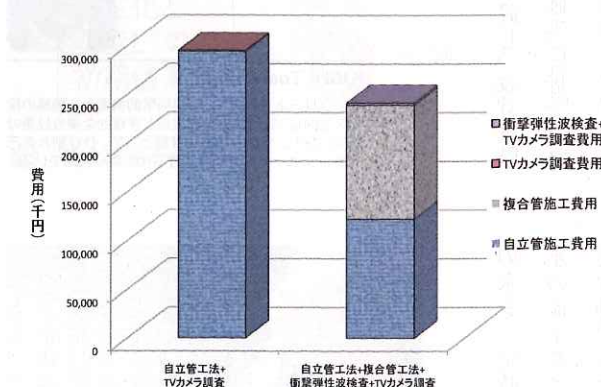


図2 施工費用の比較

参考文献
(1) 熊本宏次、浅野雅則、井藤元暢・衝撃弾性波検査法の診断結果を利用した管路の更生工法選定に関する提案、第50回下水道研究発表会講演集、平成25年度、715～717頁、2013年7月

の状態の定量的評価方法としての活用価値について、幾度か、管理者側の意見を伺う機会に恵まれた。その反応は、「確かに定量的なデータではあるが、管の現時点での保有耐力のように更生管の構造設計に役立つ情報でなければ、真に有用と言えるのか？」と厳しいものであった。そこで筆者らは、得られたデータをさらに深掘りすることで、管の耐荷性能とつながる指標が得られないものか、さらに検討を進めた。試行錯誤の末、硫酸劣化を主たる要因とする下水管の劣化の特徴に着目し、管の劣化程度を減肉レベルで表現（現在の仮想管厚を算出）することとし、これと管の耐荷性能とをリンクさせることとした。膨大な実験データを基に受振波の高周波成分比から仮想管厚を推定し、こ

れから仮想破壊荷重（耐力）を得るための算定式を求めた。さらに、現状の耐荷力からみて、埋設条件下にある管の作用荷重値に対する余裕度を表す「管の安全度」を定義することとした。

非破壊検査データの効果的な活用に向けて

図1に、管径の異なる2本の管に対する本手法での調査結果の一例を示す。上段に示されるTVカメラの画像では、両者の劣化レベルの差は判然としない。一方、受振波のスペクトル上では、対象管（赤線）と新管（黒線）との差が明確である。また、それぞれに対して仮想破壊荷重値および「管の安全度」が数値として得られている。

「管の安全度」が定量的に把握できれば、更生の対象となる既設管のすべてを自立管として対処する必要はなく、余裕に応じて複合管（注2）とすることも可能となる。既設管の残存耐力を見込んだ複合管での更生は、当然、自立管よりも経済的である。ここで、衝撃弾性波検査を行わずTVカメラ調査のみの判定結果から自立管のみで施工した場合と、衝撃弾性波検査により得られる「管の安全度」を基に、一部複合管で更生したケースとで施工費用の比較を行った事例を紹介する（図2）。これによれば、衝撃弾性波検査を実施した上で複合管を選定すれば、自立管による更生のみの場合に比べて費用が約18%低減することが示されている。

こうした非破壊検査技術が、インフラマネジメントの強力なツールとなるよう、今後のさらなる進歩に期待したい。

表1 コンクリートの非破壊検査法の種類

評価の対象		非破壊検査法の種類
品質	強度・弾性係数	反発度法、弾性波法、 引抜き法、共振振動法
	ひび割れ	弾性波法、赤外線サーモグラフィ法、X線法
内部欠陥	空隙・はく離	弾性波法、赤外線サーモグラフィ法、電磁波レーダ法、X線法
	鉄筋腐食	電気化学的方法、X線法
鉄筋探査(かぶり・鉄筋径)		電磁誘導法、電磁波レーダ法

ことも、実務で活用される上では重要な要件となっている。

本稿では、インフラ管理のための要素技術として非破壊検査技術を活用した事例として、筆者自身が研究開発に関わった、コンクリート下水管を対象とした弾性波による劣化診断手法について紹介する。

わが国における下水管路の敷設延長距離は、現在、約44万kmにも達しており、そのうち約8割を管径450mm以下のものが占めている。この膨大な量の下水管路を合理的に維持管理するためには、施設としての下水管路の特徴に応じた点検、改築・修繕等のシステムが必要である。

下水管路の特徴としては、地中に埋設されているため点検が容易でなく、管径の小さいものでは、人が管内に入って目視によりひび割れ等の劣化状況を把握するのは困難である。そのため、TVカメラを搭載した自走式の点検装置により調査が行われる場合があるが、得られる画像は、評価のために人手によるポスト処理を必要とし、技能や経験によって判定が変わることもある。そのため、定量的でなるべく簡易的な劣化診断方法の確立が望

まれている。

この命題に対して、筆者らは、衝撃により発生させた弾性波を用いた非破壊検査手法の適用を試みることにした。ここでは、まず、管のひび割れや減肉による劣化レベルを定量的に表現するための波形の分析方法や、評価に適した指標に関する研究を進めた。その結果、波形の周波数分布における高周波成分の比率に着目することで、ひび割れに代表される劣化の程度がうまく把握できることを見出した。

さらに、筆者らは、インパルスハンマーによるノンマリング機構を備えた台車と加速度センサーによる波形収録機能を付与した台車とを連結させたロボットを開発した（写真1）。

劣化の定量的評価から「管の安全度」へ

その後、さらに手法の完成度を高めたうえで、管

鎌田 敏郎 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻教授
Nondestructive inspection of concrete
— Diagnostic system for deterioration of concrete sewer pipes by elastic wave method —

コンクリートの非破壊検査技術 弾性波によるコンクリート下水管の劣化診断手法



KAMADA Toshiro
1986年東京工業大学工学部土木工学科を卒業後、大成建設(株)土木本部土木設計部、東京工業大学助手、岐阜大学助教授を経て、2006年7月より現職。ほかに、(株)RFL取締役、管路品質評価システム協会会長などを務める。