

社会インフラの検査・モニタリング技術の動向と東芝の取り組み

Trends in Inspection and Monitoring Technologies for Social Infrastructure and Toshiba's Activities

池田 賢弘 岡田 隆三 渡部 一雄
 ■ IKEDA Takahiro ■ OKADA Ryuzo ■ WATABE Kazuo

近年、道路や、橋梁（きょうりょう）、トンネル、上下水道などの社会インフラの老朽化が特に先進国を中心に進んでおり、これらの維持管理が喫緊の課題となっている。わが国でも、笹子トンネルの天井板落下事故などを機に、老朽化した社会インフラの増大に対応するため、より効率的なアセットマネジメントに対する意識が高まっている。

このような背景のなか、東芝グループは、発電プラントや産業用途で培った技術を応用した社会インフラの検査・モニタリングシステムの開発を行っている。“画像解析技術”や“音響技術”などの先進的な技術力を生かし、効率化や省力化に寄与する検査・モニタリング技術で社会課題の解決に貢献していく。

In recent years, with the progressive aging of social infrastructure systems including roads, bridges, tunnels, and water supply and sewerage facilities, particularly in developed countries, the maintenance and management of such systems has become a pressing issue. Recent accidents in Japan such as the collapse of a tunnel ceiling on a major expressway have led to growing awareness that a drastic shift is required from conventional management to more efficient asset management.

With this as a background, the Toshiba Group has been engaged in the development of inspection and monitoring systems for aging infrastructure applying technologies cultivated through its experience in the maintenance of power plants and industrial facilities. These inspection and monitoring systems based on our proprietary technologies in the image analysis and acoustic fields are contributing to the solution of social issues through improvement of efficiency and labor saving.

社会インフラの老朽化

1930年代のニューディール政策により、わが国より先に社会インフラ整備が進んだ米国では、50年後の1980年代に入って道路橋の老朽化による崩落や、損傷、通行止めなどがあいついで発生した。

その後、これらのメンテナンスに対する予算措置が取られるようになったものの、2007年にはミネアポリス橋梁の崩壊事故が起り、死亡者13人、負傷者145人に及ぶ大事故となった（図1⁽¹⁾）。これは、比較的充実したメンテナンスを行ってきた米国における事象であり、大きな衝撃であった。

わが国においても、高度経済成長期に建設された道路や、橋梁、トンネル、上下水道などの社会インフラが一斉に高齢化を迎え、老朽化が問題となっている。例えば、橋長2m以上の橋梁は全国で約70万橋にのぼるが、このうち建設年度が明らかな約40万橋の中で建設から50年を超える橋梁は2023年には



出典：米国ミネアポリス橋梁崩壊事故に関する技術調査団「米国ミネアポリス橋梁崩壊事故に関する技術調査報告」⁽¹⁾

図1. ミネアポリス橋梁の崩壊事故 — 2007年に発生した米国ミネアポリス橋梁の崩壊事故は、死亡者13人、負傷者145人に及ぶ大事故となった。
 Collapsed Minneapolis I-35W Bridge, 2007

43%に増加し、トンネルも2023年には34%に増加する⁽²⁾（**囲み記事参照**）。

これらの社会インフラの中には、建設時期や設計情報など、維持管理に必要な情報が不明なものも多く、標識などの道路附属物に関しては、管理台帳などを持っていない自治体も存在している。

このような状況のなかで、2012年12月に発生した笹子トンネルの天井板落下事故は記憶に新しいところであり、道路橋においても2007年に、鋼トラス橋の腐食による破断を補修するため、一時的に通行規制を行うなどの事象が発生している。

社会インフラの老朽化に対する国や自治体の対応

このような現状を受け、政府は2013年11月に開催された“インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議”において、「インフラ長寿命化基本計画」を決定した。これにより、国や、地方公共団体、その他民間企業などが管理するあらゆる社会インフラを対象に、国民の安全・安心を確保しつつ、中長期的な維持管理や更新などに掛かるトータルコストの縮減や予算の平準化を図るとともに、維持管理や更新に関わる産業（メンテナンス産業）の競争力を

社会インフラの老朽化の現状^{(2), (3)}

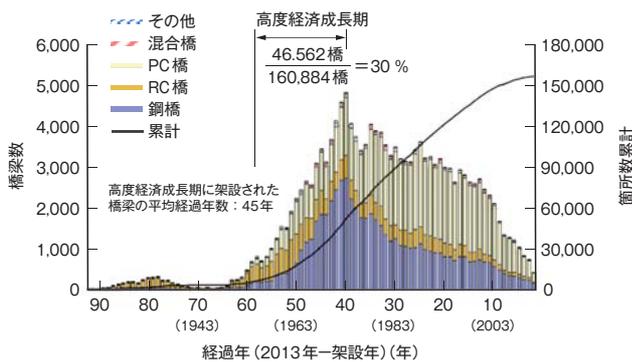
道路や、橋梁、トンネル、上下水道などの社会インフラは年々増加している。道路の実延長は120万kmを超えており、1955年から1973年の高度経済成長期から舗装整備も進み、簡易舗装も含めた舗装済み区間は全体の約81%に達している。

また、これに伴って橋梁やトンネルも整備が進んでいる。橋長15m以上の橋梁及

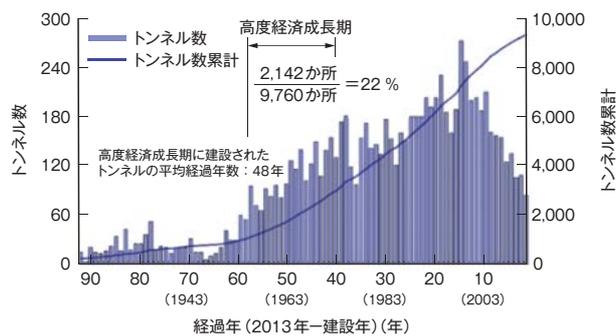
びトンネルの経年分布を図Aに示す。高度経済成長期からその整備が急速に進み、橋梁では全体の30%が、トンネルでは全体の20%が高度経済成長期に整備された。この期間に整備された社会インフラの平均経過年数は、橋梁で45年、トンネルで48年であり、老朽化が進んでいるのがわかる。現在、橋長2m以上の橋梁は約70万橋

(このうち、建設年度が明らかなのは約40万橋)で、また、トンネルは約1万か所にのぼるが、2023年に建設から50年を超える橋梁は43%に、トンネルは34%に増加する。

このように、一斉に老朽化を迎える社会インフラに対する効率的な維持管理が喫緊の課題となっている。



(a) 橋長15m以上の橋梁(供用中)の経年分布(全種別)



(b) トンネルの経年分布(全種別)

出典：国土交通省 国土技術政策総合研究所資料第822号「平成25年度道路構造物に関する基本データ集」⁽⁹⁾

PC：プレストレストコンクリート(Prestressed Concrete) RC：鉄筋コンクリート(Reinforced Concrete)

*()内の数字は西暦年

図A. 国内における橋長15m以上の橋梁(供用中)及びトンネルの経年分布

確保するための方向性を示した。

2014年に閣議決定された「国土強靱化基本計画」などで考えられている近年の社会インフラメンテナンスでは、単に危険な箇所を発見して補修などの必要な措置を行うだけでなく、点検、診断、措置、及び記録の業務サイクルによって予防保全型の維持管理を行い、長寿命化や維持管理費の削減といった効率的なアセットマネジメントを実現することを目的としている。

この業務サイクルでは、最初に点検を行い、社会インフラの状態に関するデータを収集する。そして、収集したデータを管理し、分析することで、短期的な修繕優先度の決定や、予算計画の作成、中長期的予算シミュレーションによる維持管理費の平準化といった効率的なアセットマネジメントを実現する。

業務サイクルにおいて、起点となる点

検・検査・モニタリングによるデータ収集は重要であるが、国や、自治体、道路管理者などが管理している社会インフラは膨大で、これらの維持管理は限られた予算で実施されているため、対症的な対応となったり、定期的な点検が行われていなかったりする場合もある。限りある予算で有効なアセットマネジメントを行うためには、点検・検査・モニタリングに掛かる費用の削減が重要な課題となっており、効率化や省力化に寄与する検査・モニタリング技術の開発が求められている。

国土交通省では、「社会資本の老朽化対策会議」において、「国土交通省インフラ長寿命化計画(行動計画)」を策定している。この中で、道路橋やトンネルについては、崩落などによる社会的な影響が大きいことから、5年に1回の近接目視などの点検を義務化した。全道

路管理者に通知され、2014年7月から施行されている⁽⁴⁾。

基本計画や指針などの策定だけでなく、国における支援も進められている。省庁の枠や旧来の分野の枠を超えたマネジメントに主導的な役割を果たすことを通じ、科学技術イノベーションを実現するための「戦略的イノベーション創造プログラム SIP (Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)」が発足し、社会インフラの維持管理や、更新、マネジメント技術などについても支援が行われている。

また、国土交通省では、点検や維持管理に資する技術を広く情報提供することで、点検や維持管理の現場での活用を支援する「新技術情報提供システム NETIS (New Technology Information System)」が運用されており、様々な検査・モニタリング技術が登録され始めている。

点検、検査、及びモニタリングの現状

道路管理は、高速道路を保有する道路公団系や国道を保有する国土交通省から地方自治体に分担され、橋梁については約9割が地方自治体に保有されている。前述のような指針は示されているものの、社会インフラの多くを保有する地方公共団体の橋梁点検要領では、約8割が遠望目視などの点検方法が採られ、近接目視は行われていない。また、町の約5割及び村の7割で橋梁保全業務に携わっている土木技術者が存在しない⁽⁵⁾。

社会インフラの点検及び検査は、近接目視によりひび割れなど問題のある箇所を特定することが基本である。しかし目視点検では、表面の劣化や損傷は確認できるが、内部で発生している損傷は確認できず、その場合はハンマなどによる打音検査が行われる。これらの手法は人の技量により結果が異なることが多く定量性がないため、客観性が求められている。

また、橋梁などにおいて常時モニタリングの試験適用が行われているが、まだ確立した技術となっておらず、費用の問題もあり、全面的に適用されるには課題が多い。

道路舗装や標識などの道路附属物については、点検や更新の必要性が指摘されているものの、その物量が膨大であるため、実際には高速道路や一般国道

などの一部の主要道路で定期点検が行われるにとどまっている。生活道路については、住民からの通報があったら対処する対症療法的な対応となっている。

検査・モニタリング技術と東芝の取組み

供用中の社会インフラに対する維持管理の重要性が増すなか、検査・モニタリング技術の果たす役割は大きい。“膨大な点検対象”、“定量性”、及び“技術者不足”という社会インフラ点検・検査の課題から、効率化や省力化に寄与する検査・モニタリング技術が求められている。

このような背景の下、社会インフラの検査技術として、近年、目視点検や打音検査の省力化・定量化技術や常時モニタリング技術などが盛んに研究開発されている。

以下では、東芝が取り組んでいる検査・モニタリング技術の概要を述べる。目視点検として、画像解析技術の活用が期待が高まっており、まず、当社が取り組んでいる画像解析技術を活用した検査技術について述べる。次に、目視に加えて打音検査や常時モニタリングに向けての、音響技術を応用した検査・モニタリング技術について述べる。

画像解析技術を活用した検査技術

目視点検は膨大な社会インフラの全

てにアクセスする必要がある、作業量が非常に多い。当社では、既に点検が行われ始めている橋梁やトンネルなどの目視点検を効率化する技術だけでなく、現状では点検が一部しか行われていない舗装道路や道路附属物の点検を低コストで行える技術を提供することで、わが国が抱える社会インフラの老朽化対策に貢献できると考えている。

当社は、長年にわたり画像解析技術を研究開発しており、古くは郵便番号読取り機、近年では、テレビやパソコンなどの映像機器や、自動車の予防安全装置向けの画像認識LSIなど、様々な製品に活用している。

社会インフラの状況をカメラで撮影し、これらの画像解析技術を活用して得られた画像を分析することで、目視点検の作業量を大幅に削減できている。以下では、当社が取り組んでいる目視点検の省力化技術について紹介する。

■道路舗装面状態解析技術⁽⁶⁾

自動車にカメラを搭載し、走行しながら道路舗装面を撮影して舗装点検の評価指標の一つである“ひび割れ率”を算出する技術である(図2(a))。

現在の点検作業では、道路舗装点検の専用車両である路面性状測定車を用いて撮影された画像を、人手で解析している。この技術により自動的にひび割れ率を算出することで、人手による解析



コストを削減できる。

更に、この技術は、解像度が十分高ければ一般のビデオカメラによる撮影にも対応できる。したがって、路面性状測定車のような特殊な機材を用いなくても、業務用車両やレンタカーなどに市販ビデオカメラを搭載して撮影することで、機材コストを低減できる。これにより、現状では定期点検が行っていない、地方自治体管轄の生活道路についても点検が行えるようになって考えている(この特集のp.7-11参照)。

■トンネル内壁の可視化・変化検出技術⁷⁾

コンクリートトンネル内壁を撮影した多数の画像からトンネルの3次元モデルを作成し可視化する。これによりトンネル内壁を撮影した膨大な画像を効率的に管理することができる。

更に、異なる時期に新たに撮影した画像と、3次元モデルを比較することで変化が起こった箇所を検出し、ひび割れや水漏れなどの不具合箇所を効率的に割り出すことができる(図2(b))(同p.12-15参照)。

■道路附属物検出技術

道路舗装面状態の解析と同様に、走行しながら道路の映像を撮影し、画像に写っているカーブミラーや案内標識などを検出する技術である(図2(c))。地方自治体が管理するこれらの道路附属物は、数が多いこともあり、十分な管理が行き届いていない場合も多い。この技術により、道路附属物の位置と外観状態の管理が効率化されると考えている。

■橋梁鋼床版検査技術

橋梁の鋼床版は、自動車や人などの交通荷重を直接支える部分であり、重要で必須の点検箇所だが、橋梁の下側は近接目視点検のためにアクセスすることが困難なため、足場を組んだり、特殊な車両で作業を持ち上げたりする必要があり、コストが掛かる。

そこで、橋梁の下側に張ったワイヤを

伝って移動できるロボットにカメラを搭載し、自動的に桁下の状態を撮影できる技術を開発している。また、道路舗装面のひび割れ検出技術を応用することで、橋梁のひび割れを自動検出することも考えられるが、これは今後の課題である。

音響技術を活用した 検査・モニタリング技術

目視点検の効率化や健全性のモニタリングには、対象物を壊さずに調べる方法が必要になる。このような手法を一般に非破壊試験と呼ぶ。

非破壊試験には、放射線や電流を用いる試験のほか、音響波を用いる試験として、アコースティックエミッション(AE)試験や超音波探傷試験(UT: Ultrasonic Testing)がある。まず、これらの試験の基本的な特徴について説明する。

AEとは、固体材料内部の微小な破壊、あるいはそれと同様なエネルギー解放過程によって発生する弾性波動現象と定義される⁸⁾。AE試験では、一般に材料表面に設置した高感度なセンサ(AEセンサ)により、この弾性波動を検知する。例えば、材料内部の微小な亀裂の進展や材料そのものの塑性変形に伴い発生する弾性波がAEセンサの設置された材料表面に到達して振動する成分を、AEセンサが検知する(図3(a))。よく利用されている圧電素子を用いたAEセンサの場合、対象物表面変位の

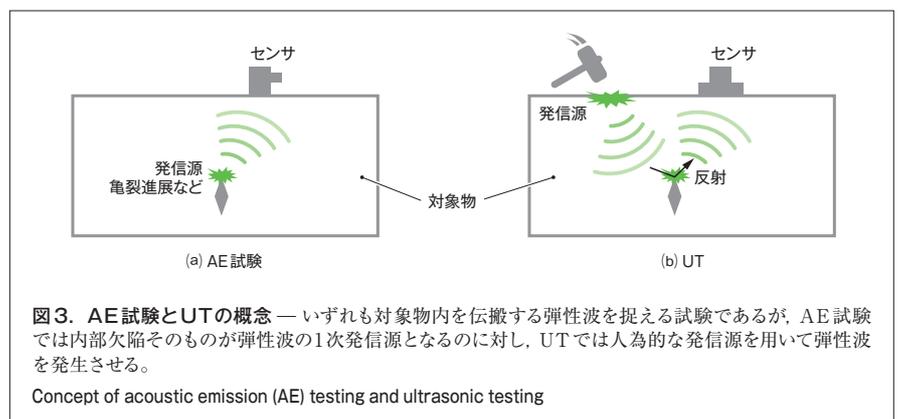
検知限界は、ピコメートルオーダーとも言われている⁹⁾。

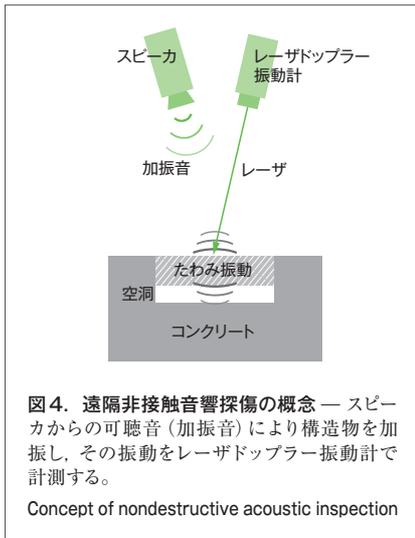
一方、UTは、超音波帯(100 kHzから10 MHz程度)の波動を高感度なセンサで検知するものであり、センサの仕組みはAEセンサと類似している。生活習慣病の予防検診などでなじみのある、いわゆる超音波診断装置の原理もUTと同様である。

AE試験との違いは、UTでは、発信源を用いて人為的に超音波信号を送信し、対象物内の構造欠陥による送信波の反射あるいは減衰を検知する点である(図3(b))。すなわち、AE試験が材料内で発生する弾性波を信号として検知する受動的な試験であるのに対し、UTは能動的に信号を送信するアクティブな手法と言える。

この手法の違いから、通常、AE試験では、たとえ大きな欠陥でもまったく変動や進展のない不活性な欠陥は検知しないが、進展性のある活性な欠陥はたとえ微小な欠陥でも検知可能である。一方、UTでは、欠陥が活性か不活性かは基本的に関知しない。また、活性か不活性かに関わらず、送信する超音波の波長により検知可能な欠陥のサイズが決まるので、非常に微小な欠陥の検知には向かない手法である。

また、可聴域の音波を利用した非破壊試験を点検に応用する試みも行っている。その計測原理を図4に示す。指向性を持つスピーカから可聴音(加振音)を発生させて対象物を振動させ、そ





の振動のようすをレーザドップラー振動計によって非接触で計測するものである。以下では、当社が開発に取り組んでいる、音響技術を活用した検査・モニタリングシステムを紹介する。

■コンクリート音響探傷システム

能動的に検査対象を加振してその応答を観測する技術を応用し、コンクリート構造物を効率的に検査する音響探傷システムを開発した。指向性スピーカから検査対象物に向けて可聴音を発生させ、検査対象物表面に生じる振動を、レーザドップラー振動計を用いて遠方から非接触で計測し、独自の解析技術を用いてコンクリートの浮きや剝離などの欠陥を可視化するものである。高所作業車が不要で、再現性のある結果が得られることから、コンクリートトンネル内壁などの打音検査の効率化が図れる（この特集のp.16-19参照）。

■AEセンサを用いた橋梁モニタリングシステム

当社は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の社会インフラ維持管理関連のプロジェクトに参画し、橋梁のモニタリングシステム開発を実施している。新規な広帯域センサデバイスであるスーパーアコースティック（SA）センサを搭載した

SAセンサユニットを開発し、約10年間動作可能なモニタリングシステムの実現を目指している。従来、複数のセンサによって使い分けてきた1 Hzから1 MHzまでの周波数を一つのSAセンサで検出可能なシステムの構築を目指している（同p.20-23参照）。

■自走式橋梁鋼床版検査用 UTシステム

対象物内部の欠陥を高感度かつ高解像度で3次元表示可能な超音波探傷装置 Matrixeye™ と鋼床版点検用に開発した遠隔操作ロボットを組み合わせ、自走しながら微小な欠陥検出を可能とする新たな UT システムを開発した。熟練技能を必要とせず、Uリブ鋼床版のデッキ部及び溶接ビード部に発生する亀裂を検査できる（同p.24-28参照）。

今後の展望

これまで、東芝グループの持つ幅広い技術を結集し、社会インフラ向けの検査・モニタリング技術を開発してきた。これらは、現段階ではシーズによるところが大きいですが、今後はそれぞれの技術の検証を重ねるとともに、よりいっそうニーズを反映し、顧客のための付加価値を高めていく。また、各々の技術が独立して存在するのではなく、相互に補完し合い、顧客にとって有益な統合されたサービスになるように完成させていく。

文 献

- (1) 米国ミネアポリス橋梁崩壊事故に関する技術調査団。米国ミネアポリス橋梁崩壊事故に関する技術調査報告。国土交通省。2007。<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/06/061023_2/01.pdf>, (参照 2015-08-10)。
- (2) 国土交通省。平成26年度 国土交通白書。2014。p.122-123。<<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h26/hakusho/h27/pdfindex.html>>, (参照 2015-08-10)。
- (3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所。国土技術政策総合研究所資料 第822号 平成25年度道路構造物に関する基本データ集。国土交通省。2013。<<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0822pdf/ks0822.pdf>>, (参照 2015-08-10)。

- (4) 国土交通省。国土交通省 インフラ長寿命化計画（行動計画）平成26年度～平成32年度。国土交通省。2014。p.1-23。<<http://www.mlit.go.jp/common/001051276.pdf>>, (参照 2015-08-10)。
- (5) 国土交通省 社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会技術部会。市町村における持続的な社会資本メンテナンス体制の確立を目指して 参考資料。国土交通省。2015。p.5。<<http://www.mlit.go.jp/common/001080953.pdf>>, (参照 2015-08-10)。
- (6) 熊倉信行。地方自治体向け道路維持管理システム。平成26年度 建設電気技術研究発表会。東京。2014-11。建設電気技術協会。2014。発表1-4。
- (7) Stent, S. et al. "An Image-Based System for Change Detection on Tunnel Linings". Proc. of MVA 2013 IAPR International Conference on Machine Vision Applications. Kyoto, 2013-05 MVA Organization. 2013, p.359-362。
- (8) 大津政康。アコースティック・エミッションの特性と理論：構造物の診断と破壊現象解析。第2版。森北出版。2005。160p。
- (9) 今仲拓一 他。塑性変形の不均質性とAcoustic Emission。川崎製鉄技報。8, 3, 1976, p.301-315。



池田 賢弘
IKEDA Takahiro

研究開発統括部 マーケティング戦略室参事。
非破壊検査の新規事業開発を経て、2014年5月からインフラヘルスマニタリングプロジェクトに従事。
Marketing Strategic Office



岡田 隆三
OKADA Ryuzo, Ph.D.

研究開発統括部 研究開発センター インタラクティブメディアラボラトリー研究主幹、博士（工学）。画像認識技術の研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Interactive Media Lab.



渡部 一雄
WATABE Kazuo

研究開発統括部 研究開発センター 機械・システムラボラトリー研究主幹。インフラヘルスマニタリングシステムの開発に従事。日本光学会、土木学会、米国光学会（OSA）会員。
Mechanical Systems Lab.