

# 社会インフラ維持管理を実現する要素技術

小林伸太郎\*  
中田雅文\*

Element Technologies to Achieve Social Infrastructure Maintenance

Shintaro Kobayashi, Masafumi Nakata

## 要旨

日本では建設後50年以上経過した老朽化インフラが急増しており、限られた予算の中で、計画的かつ効率的に社会インフラの老朽化対策と維持更新を実施することが喫緊の課題となっている。

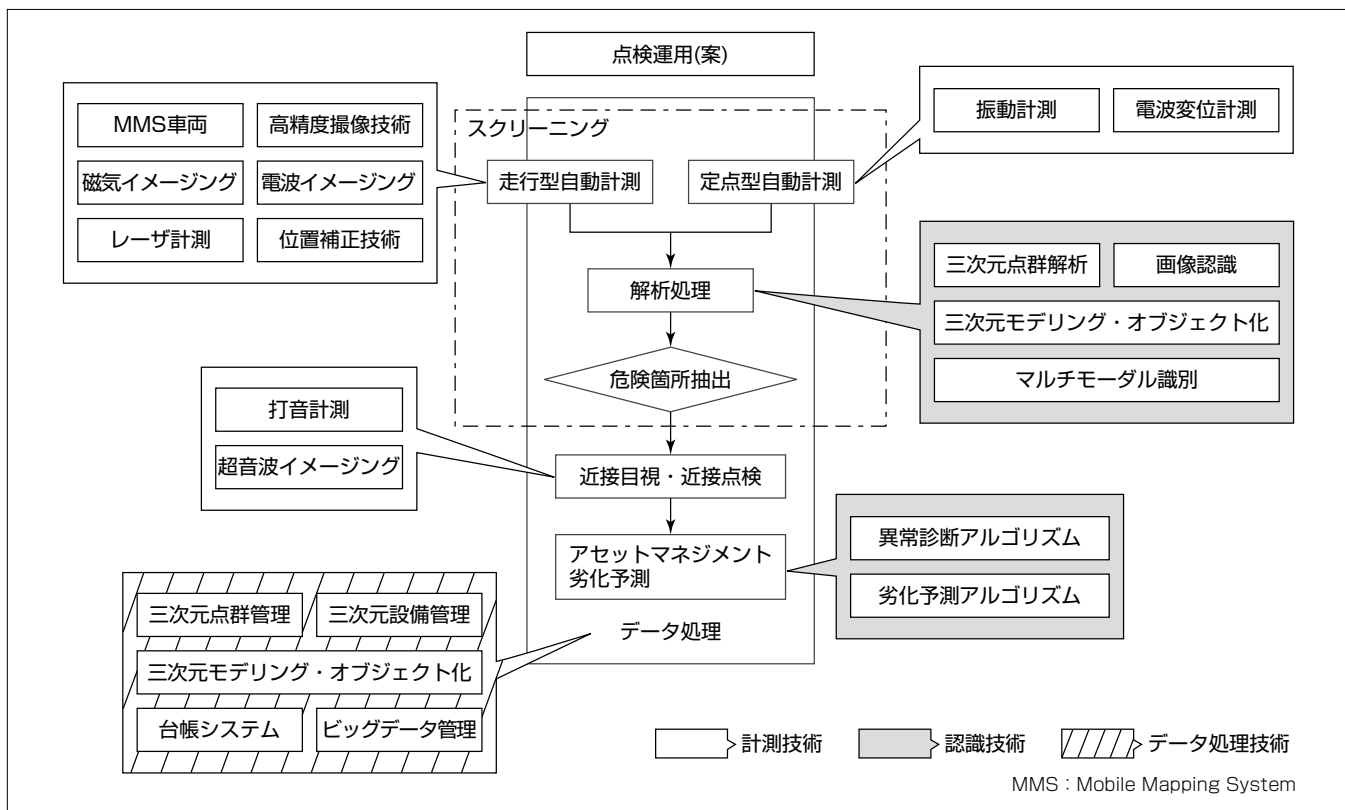
具体的には、笹子トンネル天井板落下事故を受けて国土交通省が2013年3月に策定した“社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置”では、道路(トンネル、橋梁(きょうりょう)、舗装、道路法面(のりめん)工・土工構造物、道路附属物)、河川、ダム、下水道、鉄道、公園、住宅にいたる様々なインフラに対し、2015年からの本格的運用に向けた実施方針が出されている。インフラの老朽化への対策として、①インフラの現状把握と総点検、②インフラ維持管理に向けた基準類の整備、③インフラの現状把握に対する新技術開発、④継続的な維持管理や長寿命化に向

けてのデータ整備と共有化が課題として挙げられている。

国土交通省 道路局が定める総点検実施要領では、橋梁、トンネル等の道路構造物の点検は、近接目視や打音検査による5年に1回の点検が前提となっている。全国の橋梁数は約70万橋、トンネル数は1万本あり、これらの構造物の点検を5年に1回実施するには多大な時間と人を要する。

この課題を解決するために、新しい自動計測・認識技術を用いた解析によるスクリーニング(優先順位が高い箇所を選定)を実施し、危険箇所を抽出した上で、近接目視・点検で最終確認を行う点検運用が進められると考える。

三菱電機は、社会インフラ維持管理に対し多方面にわたる新技術開発を行っている。本稿では社会インフラのスクリーニング(危険箇所抽出)、近接目視・点検、アセットマネジメントを支援する計測技術とデータ処理技術について述べる。



## 社会インフラ維持管理における点検運用(案)と要素技術

点検運用(案)は、①走行型自動計測及び定点型自動計測によってデータを収集、解析することで危険箇所を抽出する。②抽出した危険箇所に対しては近接目視・点検で危険度を判断し、③積み重ねたデータを経年分析することでアセットマネジメントに展開する処理で構成される。この点検運用を実現する要素技術を計測、認識、データ処理に分類し、各業務にマッピングした全体像を示す。

\*神戸製作所

## 1. ま え が き

本稿では、目指す点検運用の流れに沿い、危険部位を短時間でスクリーニングするための技術として、構造物の変状をレーザ計測する走行型計測技術、電波イメージングによるひび割れ抽出技術、スクリーニングによって抽出した道路陥没箇所に対して近接点検で構造物劣化を検出する超音波イメージング技術、さらにこれらの計測で得られた膨大なデータを短時間で解析処理するための三次元点群管理技術、設備管理・アセットマネジメントに向けた三次元モデリング・オブジェクト化技術について述べる(図1)。

## 2. 社会インフラ点検支援技術

### 2.1 計測技術

#### 2.1.1 走行型計測車両・MMSによる三次元位置情報計測

当社は、GPS(Global Positioning System)、IMU(Inertial Measurement Unit)、オドメータ、レーザスキャナ、カメラ等の機器を車両に搭載し、走行しながら道路・トンネルの形状、法面形状、鉄道の線路、付帯設備等の社会インフラの三次元位置情報を高精度で効率的に取得できる“三菱モバイルマッピングシステム(MMS)”を開発し、製品提供している。

三菱のMMSは以下の特長を持つ。

- (1) GPSアンテナ、IMU、カメラ、標準レーザを一体化したユニット構造とすることで、一般市販車両の屋根に容易に機装(ぎそう)可能である。図2に三菱MMSを機装した車両を示す。
- (2) 絶対位置精度10cm(rms)以内(衛星可視時)、相対位置精度1cm(rms)以内での測定が可能である。
- (3) 高架下やトンネル等衛星不可視区間でも連続してデータを取得することができる。そのデータを従来の測量手法で計測された地物の位置(ランドマーク)を利用することによって、MMSで計測した座標値の誤差を補正することが可能である。

社会インフラを管理する現場では、MMSを用いた走行型計測が盛んに行われており、今後、社会インフラの現状を把握するための基礎データ整備として三次元位置情報の計測・管理が加速していくと考える。

#### 2.1.2 電波イメージング<sup>(1)</sup>

当社は、合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar: SAR)技術を用いたコンクリートひび割れ計測技術の開発に取り組んでいる。電波を用いたひび割れ計測については、近接場を用いた接触型センサが実用化されているが、近接型であるため、広範囲の計測に課題があった。

SARは電波を用いた遠隔型の高解像度イメージングセンサであり、複素誘電率や物体形状に由来する散乱係数の観測が可能である。SARは衛星や航空機に搭載して数km

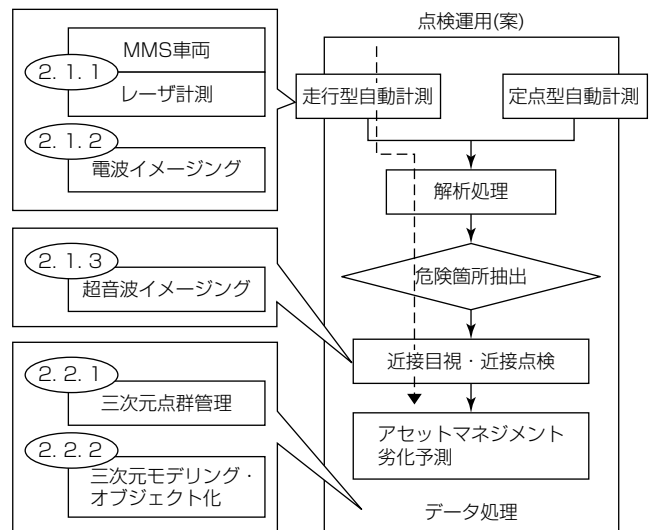


図1. 点検運用(案)と本稿で取り上げる技術



図2. 三菱MMSを機装した車両

～数百kmの彼方から地表面の観測が可能であり、その出力である電波画像は、一般にSAR画像と呼ばれている。

SARの特徴として、表面形状が滑らかな観測目標に対しては散乱係数が小さく観測される一方で、表面に波長の10分の1程度のキズがある場合には後方散乱が観測される。

当社は、レーダ波長9mmに対して、1mm程度のコンクリートひび割れからの散乱を全偏波Ka帯ミリ波SAR(26~40GHz)で計測した結果、偏波観測によるひび割れ計測の有効性を確認した。

図3に試験コンクリート片(30×30(cm)、縦横2×3)を示す。右上コンクリート片には縦のひび割れを、右下コンクリート片には横のひび割れを用意した。図4に計測したSAR画像を示す。

当社は実計測で、垂直偏波(VV偏波)によって水平方向のひび割れを観測し、垂直偏波(V偏波)と水平偏波(H偏波)を組合せたクロス偏波(VH偏波)によって、垂直方向のひび割れを観測した。

コンクリート構造物(トンネル壁面等)のひび割れ検知はカメラ画像を処理することで検知する技術開発が盛んであるが、走行型計測装置にSARを搭載することで、画像処理を必要としないひび割れ検知が実現できる可能性がある。

#### 2.1.3 超音波イメージング<sup>(2)</sup>

走行型計測でスクリーニングして抽出した危険部位に対

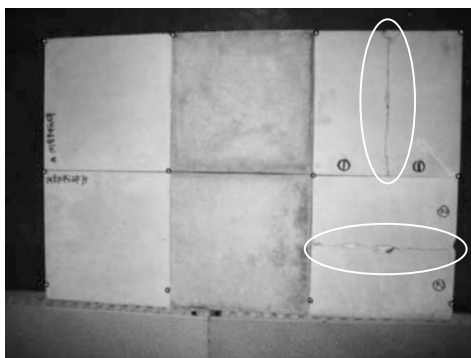
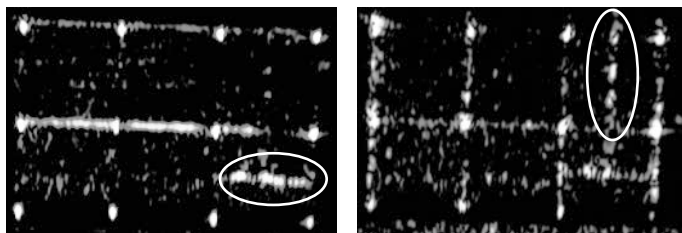


図 3. 試験コンクリート片



出典：土木研究所ホームページ

図 5. 道路表面上の窪み



(a) VV偏波による観測結果

(b) VH偏波による観測結果

図 4. ひび割れのSAR画像

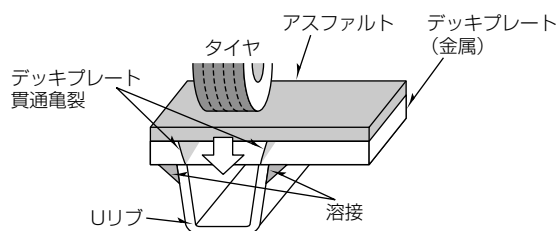


図 6. 鋼床版の断面図

する近接点検にも課題がある。

例えば、道路橋に用いられている鋼床版では、交通量の多い場所でデッキプレートを貫通する亀裂が報告されている。構造物の検査は、目視検査や打音検査で行われるが、この亀裂は目視検査ができない部位に発生し、また打音検査も有効でないため、デッキプレート下側からの超音波探傷が有効と考えられる。

図 5 に、路面に発生した窪(くぼ)みを示す。窪みの深さはそれ程ではないが、この窪みに車のタイヤが嵌(はま)ることによって交通事故が誘因される可能性がある。窪みが発生する原因は、道路の構造にある。図 6 に鋼床版の断面図を示す。鋼床版は溶接されたデッキプレートとUリブ(デッキプレートを支えるU型の補強金属材)から構成されている。Uリブ上を車が通行すると溶接部に大きな荷重がかかり、Uリブとデッキプレートとの接点に応力が集中し、デッキプレート内に亀裂が発生する。

年月を重ねるとこの亀裂が進展し、最終的にはデッキプレートを貫通する。この場合、路面のアスファルトを支えられずに、窪みが生じる。デッキプレート中で進展中(貫通する前)の亀裂を検出できれば、補修を行って路面の変形を防ぐことが可能である。

超音波センサの探触子を設置する場所は図 7 に示すようにデッキプレートの裏面に限られる。またアスファルトが載っている面は平滑とは限らないので、この面で超音波ビームを反射させて探傷することは難しい。そこで、デッキプレートの面にほぼ平行な超音波ビームを伝搬させて亀裂に直接照射する臨界屈折角探傷法を開発した。この方式によって、目視検査や打音検査で確認できない鋼床版等の亀

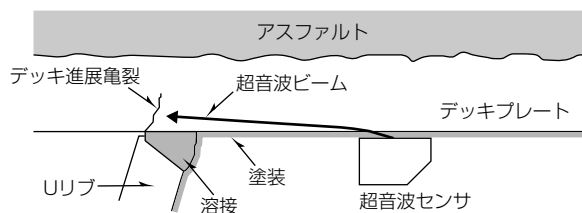


図 7. 鋼床断面と臨界屈折角探傷法

裂の進展状況の確認が可能となる。

## 2.2 データ処理技術

### 2.2.1 三次元点群管理技術<sup>(3)</sup>

最新のレーザスキャナは100万点/秒を計測できるため、20kmの距離を50km/hの速度で走行した場合には14.4億点のデータ量となる。社会インフラ維持管理システムでは、このような大規模な点群データに加え画像データ等の複数のデータを一度に取り扱い、過去からの変化を捉え経年劣化を診断する。

例えば、設備の経年劣化を分析しようとする場合には、過去の大量なデータの中から対象設備に該当するデータを抽出して分析処理を実行することになる。高速な処理を実現するためには、大規模データの中から必要なデータを検索・抽出する時間を短縮させることが重要となる。

一般的に大規模なデータを管理するデータベースのパフォーマンスはディスクI/O(Input/Output)によって制限される。ディスクI/O時間を短縮するためには、取り扱うデータのサイズを小さくすることが有効な方法の一つである。つまり、大規模なデータの圧縮率を高めることが処理性能高速化の一つの鍵となる。また圧縮率の向上はストレージ容量の削減にも寄与する。

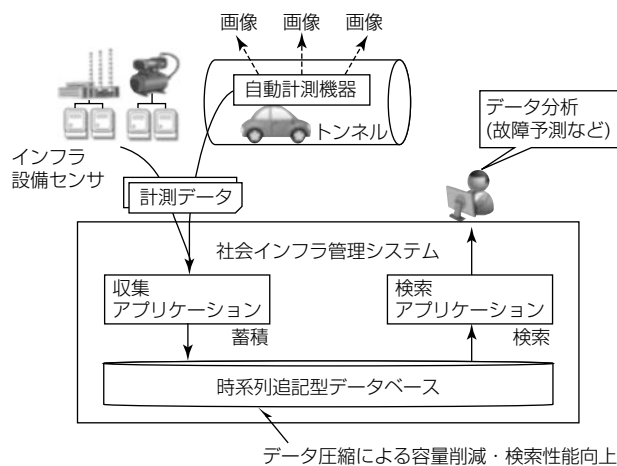


図8. 時系列追記型データベースの適用イメージ

汎用データベース(リレーショナルデータベース)では、データを行単位で扱うことを基本としており、行単位で格納されたデータは重複値による圧縮効果はあまり期待できない。一方、当社の時系列追記型データベースは、列指向型データベースのアーキテクチャを採用し、重複率が高いデータが多く存在する場合の圧縮効果は高い。社会インフラの維持管理で取り扱うデータは、2.1.1項に述べた走行型計測車両で取得した三次元点群情報を基本とする。そのため、近似した位置情報が前後に存在することになり、高い圧縮率とそれによる検索時間の短縮化、処理性能高速化を図ることができる。

さらに、時系列追記型データベースでは、圧縮・伸長処理や検索処理の並列処理を可能としており、マルチプロセッサコアの有効活用による性能向上も期待できる。

このように、社会インフラの大規模データ高速処理には、時系列追記型データベースが適する。図8に、時系列追記型データベースの適用イメージを示す。

### 2.2.2 三次元モデリングオブジェクト化技術

道路等の管理現場では、構造物・設備は、二次元図面で管理されている場合が多く、補修・改修等の結果が反映されず、現況が把握できていないといった課題がある。

近年、現況を把握するために、構造物・設備を三次元計測し、改修計画・設計に活用する取組みが行われている。三次元計測では、一般的に、広範囲を高密度に計測するレーザスキャナを使用し、計測結果は三次元点群として取り扱う。最新のレーザスキャナは100万点/秒を計測できるため、計測結果は大規模な点群データとなる。この大規模点群の中の構造物・設備を、三次元オブジェクトとして抽出する技術が必要となっている。抽出した構造物・設備は、“建設年”“外形寸法”“補修履歴”等の属性データとともにデータベース化し、設備管理、アセットマネジメントに活用する検討が進められている。

大規模点群から構造物をオブジェクトとして抽出するには、対象とする構造物の点群をベクトル化し、形状を再構

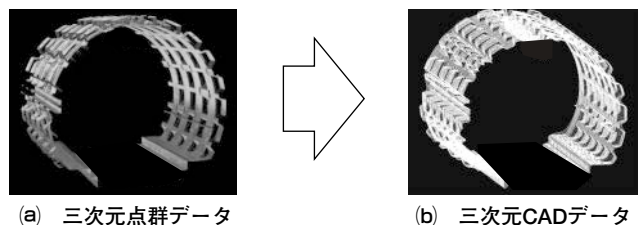


図9. 三次元点群から抽出したトンネルデータ

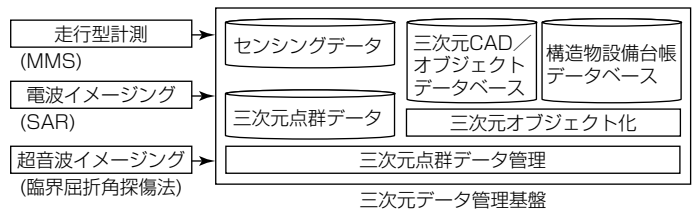


図10. 三次元データ管理基盤のイメージ

成する。図9に、三次元点群のトンネル形状をベクトルデータのオブジェクトとして再構成し、三次元CADデータとして抽出した例を示す。

今後、三次元点群データ、電波イメージングデータ、超音波イメージングデータ、三次元オブジェクト化データ、構造物属性データは、三次元データ管理基盤で統合管理する方向へと進む。ユーザーは、この三次元データ管理基盤にアクセスすることで三次元の構造物データやCADデータの取得が可能となる。図10に、三次元データ管理基盤のイメージを示す。

### 3. む す び

本稿で述べた技術は当社が取り組んでいる技術開発の一部であり、社会インフラ維持管理を実現するには“計測技術”“認識技術”“データ処理技術”に示した広範囲な要素技術の開発と、それら要素技術を有機的に結合した社会インフラ維持管理システムの実現が必須となる。当社は、これらの技術開発を早期に実現し、社会インフラの現状把握(Check)、老朽化評価と設備更新計画(Action, Plan)、工事施工(Do)を低コストで回す社会インフラアセットマネジメントを実現し、社会貢献を目指す。

### 参考文献

- (1) 星野越寛, ほか: 合成開口レーダを用いた遠隔観測型コンクリートひび割れ計測の原理検証実験, 第15回システムインテグレーション部門講演会予稿集 (2014)
- (2) 木村友則, ほか: 鋼床版デッキプレート亀裂の超音波探傷技術, 第15回システムインテグレーション部門講演会予稿集 (2014)
- (3) 嶋 貴洋, ほか: 社会インフラ管理システム向けデータベースの検討, 第15回システムインテグレーション部門講演会予稿集 (2014)