

# 社会基盤施設の メンテナンスの現状と展望



依田 照彦  
Teruhiko Yoda

早稲田大学  
名誉教授

【専門分野】 橋梁工学, 構造力学

老朽化する社会基盤施設が増大する中、維持管理費・更新費の縮減や技術者不足への対応が迫られています。その対応策の一つとして、センサーやICTを活用したモニタリングシステムを点検・診断現場へ導入することが考えられています。しかしながら、モニタリングシステムを構成する計測技術、通信技術、分析技術には、多種多様なものが存在しており、これらを現場で使用するためのガイドラインが標準化されていないことが課題です。ここでは、モニタリング技術を駆使した社会基盤施設の性能照査型維持管理法(☞参照)とICTの応用について述べます。

## はじめに

高度成長期以降に整備されたわが国の社会基盤施設が、急速に老朽化しています。適切なメンテナンス手法を導入することによって、健全化・長寿命化や維持管理・更新のコストの縮減・平準化を図ることが喫緊の課題とされています。その一方で、社会基盤施設の損傷・劣化のセンサーによる計測技術や、計測データを収集・伝送する通信技術、データを分析評価する技術などのICT(情報通信技術)については、目覚ましい進歩がみられます。しかしながら、最新のICTを社会基盤施設のメンテナンスにどのように応用すべきかについては、社会基盤施設の管理者・点検技術者が迷うことが多く、本格的な導入に至っていないのが現状で

### ☞ 性能照査型維持管理法

目視点検やモニタリング、構造解析などから構造性能に関する定量的な情報を得て、それらを社会基盤施設の維持管理に利活用する方法。

す<sup>1)</sup>。ここでは、メンテナンス手法がより高度になり、ICTを上手に使う時代の到来について考えます。

## 鉄道構造物の維持管理の経緯

日本における鉄道構造物のメンテナンスの歴史は明治時代の鉄道開通から始まり、車両や軌道を中心に諸外国の技術を取り入れ、近代化が図られてきました。しかしながら、社会基盤施設のメンテナンスについては、第二次大戦後以降によりその必要性が認識

され始め、本格的にメンテナンス体系の見直しが行われるようになったのは1950年頃からで、「建造物審査規定」が最初であるといわれています。表1はその「建造物審査規定」が制定されてから、現在の「鉄道構造物等維持管理標準・同解説」が制定されるまでの主な維持管理規定についてまとめたものです。この年表から、1951年にはじめて規定類が整備され、その後約10年ごとに改定されていることがわかります。注目すべきは、1963年の「建

表1 鉄道分野における主な土木構造物維持管理規定とその変遷

年次							
1951	1953	1956	1963	1966	1974	1987	2010
・建造物審査規定	・建造物保守心得	・建造物保守心得(案) ・建造物の検査および措置要領(別冊)	・建造物の保守ならびに健全度診断法	・建造物検査標準および解説	・土木建造物の取替えの考え方	・建造物保守管理標準・同解説	・鉄道構造物等維持管理標準・同解説

造物の保守ならびに健全度診断法」から設けられた“健全度”という新たな判断指標です。

現在の維持管理規定では、点検によって得られた調査結果から、「構造物に定められた要求性能に対し、当該構造物が保有する健全さの程度」を表した“健全度”を判定し、それに対応した措置を行うこととしています。しかしながら、これらの技術的なノウハウを理解し、実際の点検業務に活かすことはそれほど簡単ではなく、使用条件や環境条件の異なる施設群に対し確定的な判断を下すことは難しいとされています<sup>2)</sup>。大きな課題としては、健全度の中に多くの要求性能が含まれている点です。健全度という概念で、損傷や劣化の状態を経年的に見ることは大きな意義がありますが、社会基盤施設によっては、耐震性が最優先事項であったり、環境適合性が最優先であったり、複数の要求性能を同時に満たす必要性が生じたりします。このように考えるとメンテナンスにおける健全度の中身をより具体的に点検・診断・評価できるようにする必要があります。点検・診断・評価を高度化できれば、新たに社会基盤施設の点検間隔の変更や補修・補強の方法などに直ちに反映させることができ、最終的にはメンテナンスコストの削減につながると思われます。

### 性能照査型維持管理法の時代へ

現在の鉄道構造物の維持管理規定では、運用とフィードバックによるデータの蓄積に加え、昨今の「技術基準による性能規定化」の流れを踏まえて、「鉄道構造物に要求される性能を意識した性能照査型維持管理体系」へのさらなる転換が図られています。鉄道構造物等維持管理標準・同解説（鋼・合成構造物）によれば、構造物のメン

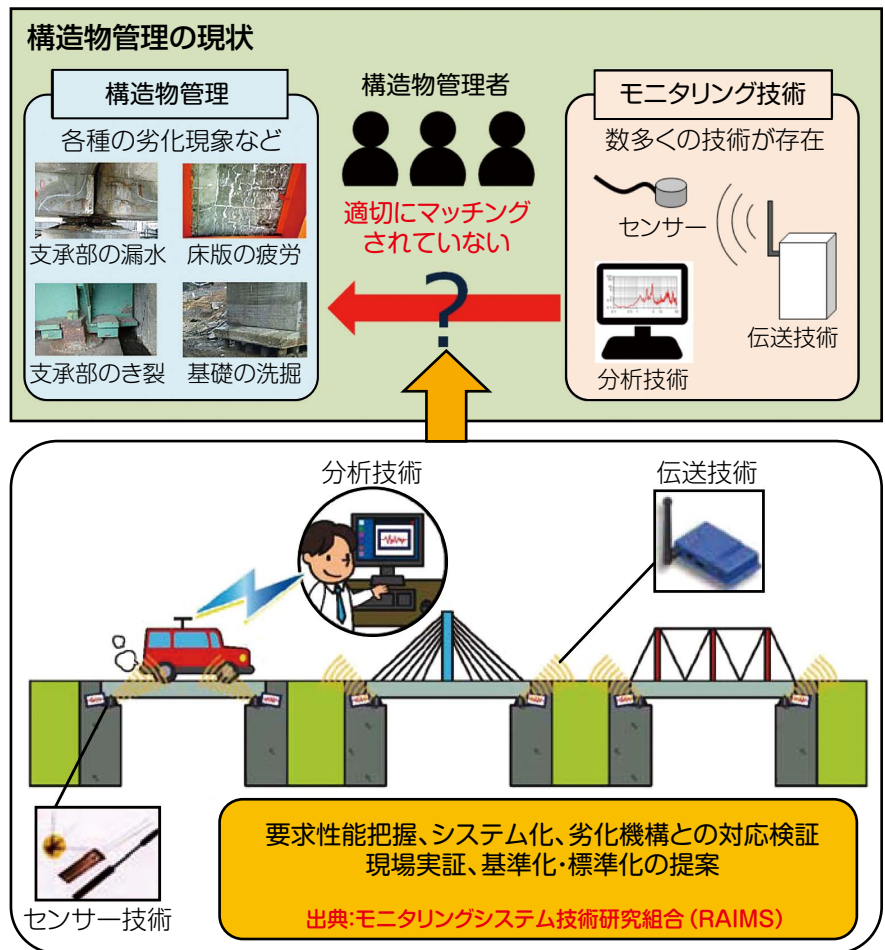


図1 構造物管理とモニタリング技術

テナンスは「構造物の目的を達成するために、要求される性能が確保される」ように行うものとした上で、「構造物の状態を把握し、健全度の判定を行う」ために定期点検を実施するものと定められています。

ここで“要求される性能”とは、①安全性（構造物が使用者や周辺の人々の生命を脅かさないための性能）、②使用性（構造物が使用者や周辺の人に不快感を与えないための性能）、③復旧性（構造物の機能を使用可能な状態に保つ、あるいは短期間で回復可能な状態に留めるための性能）の3つがあげられ、それぞれを満足するために維持管理を行うことと定めています。要求性能を定量的に検討するためには、信頼できるデータの収集が前提になります。

データが収集されたのちの社会基盤施設のデータ管理の3つの目標は①データの蓄積、②データの見える化、

③データ情報の共有化です。計画・設計時から供用中に至るまでインフラの履歴をたどれるようにデータを蓄積し、それらを効果的に活用できる仕組み作りが必要です。この段階で、定量的に安全性や使用性などの性能を評価できるようにすることが目標になります。次節で述べるモニタリング技術を活用した性能照査が将来わが国でも期待される所以です<sup>3)</sup>。

性能照査を前提として戦略的にメンテナンスをするような技術の開発はまだ本格的になっていないので、社会基盤施設のメンテナンスを産業として成り立つようにするには大きな意味があります。その意味で、管理者側と技術開発者側がニーズのマッチングをすることが必要と思われます。その際には、技術開発戦略の立て方が鍵になるでしょう（図1）。

## ICT (情報通信技術) の応用への道筋

メンテナンスを時間軸と空間軸の両面からマネジメントできれば、社会基盤施設の損傷や劣化などを把握して補修・補強の最適な時期・方法を判断し、もっとも効率的なメンテナンス計画に基づくライフサイクルコストの最小化・平準化が図れます。この目的のためには構造物の状態を詳しく知る必要があります。そのために必要なことは構造物とのコミュニケーションを適切にとることです。その第一歩は目視点検から始まります。目視点検だけでは、コミュニケーションが取れない場合には、センサーなどを使って構造物の状況をモニタリングすることになります。モニタリングした後、データをまたフィードバックして再度モニタリングする。こういう情報のキャッチボールが重要です。メンテナンスサイクルにおけるモニタリングは点検時においては点検を補助するモニタリング、診断時には診断を補助するモニタリング、補修・補強の措置においては補修・補強の効果を確認するモニタリング、そして常時ではなく緊急時、災害時の対応を補助するモニタリングが必要になるとされています(図2)。文字どおり社会基盤施設の時空間における情報をどう活用するかという問題は、ICTの問題そのものです。モニタリング技術においては、今後はICTが急激に進歩すると思われるので、ICTの知識を十分駆使して構造物のメンテナンスを行うのがこれからの方向です。そしてモニタリングする際にもっとも重要なことは点検・診断においても現場へ行って現物をみて現状を判断する。いわゆる点検の「三現則」が大切です。このときにはありとあらゆるデータを取りますので、データそのものはビッグデータになります。このようにして

## 維持管理サイクルにおけるモニタリングの役割

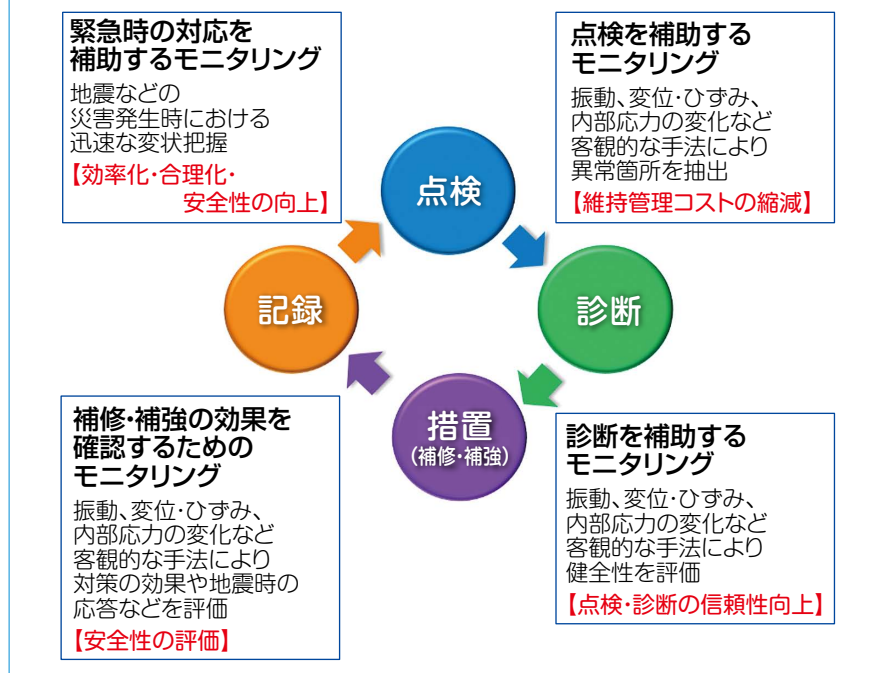


図2 維持管理サイクル

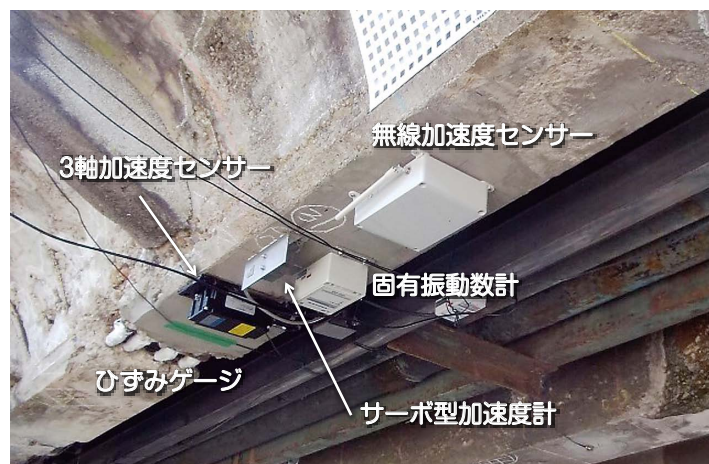


図3 コンクリート桁への各種センサーの設置状況<sup>1)</sup>

データを取り、正確なデータをもとに判断することが社会基盤施設のメンテナンスにおいては大変重要です。さらに技術者が直接現場に行ってみることは、いろいろな形でそこから過去の経験と照らし合わせて社会基盤施設とコミュニケーションできますので、技術者としては当然すべきことと思います。その一方で、近接目視だけでは、損傷や劣化の状態が把握しにくい場合には、モニタリング技術を利用して判断材料の補強をする必要があります(図3)。

モニタリング技術の利用にあたっては、最小のセンサー数で最大の効果をあげるための方策、性能の指標となる物理量とその管理限界、コストを下げるための工夫、社会基盤施設の余寿命の推定方法など、検討すべきことは多いのも事実ですので、対象施設に応じて応用への道筋をつけることは非常に大切です<sup>4)</sup>。

このとき使用するセンサーなどのハードについては、常時だけではなく災害時においても生き残れるようなレジリエンスのある強靱なセンサーが必

## 鋼トラス橋の状態監視箇所例

1. **力学的理由から**：応力やひずみの大きい部材 (B,F,I,K,L)
2. **部位の違いによる**：疲労や劣化の起きやすい部位 (A,C,D,E,G,H,J,M)
3. **点検後の状態から**：点検により腐食や損傷の進行が確認された部分 (N)  
(たとえば、図中のトラスの格点部であるN点など)

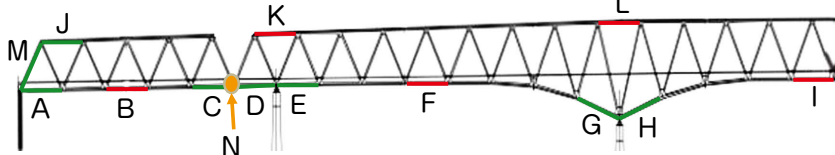


図4 状態監視箇所

要になると思います。さらに世界各国で利用してもらうことを考えると、センサーはハイテクのセンサー（たとえばレーザー欠陥検出法などの機械主体のセンサー）も必要でしょうがローテクのセンサー（たとえば打音検査などの人間主体のセンサー）も必要になると思います。そういう意味では技術開発としてはハイテクとローテクの両方の面から進める必要があります。

### メンテナンス技術の継承にAIを

将来AI（人工知能）技術をつツールとしてメンテナンスに使うようになることは間違いないと思います。その中で注目すべきことはAI技術で全てのメンテナンス業務ができることはないので、AI技術で得られたビッグデータをいかにスモールデータにして計画・設計・施工・維持管理に反映させるかが課題になります。そして大切なことはAIの技術では例外に対応することは現在ではできません。したがって災害時、あるいは非常時のメンテナンス、補修については技術者の手が必要になると思われま<sup>5)</sup>。さらに、補修をするにあたっての意思決定もAIだけではできません。ここに経験豊富な技術者の存在が必要です。

とくに、AIがその技術を遺憾なく発揮する分野として、点検・診断をす

る技術者の教育にAI技術が利用できると考えています。メンテナンス技術者は劣化した構造物の診断・補修・補強などを行います。設計・施工時の構造物性能を理解していないと、効果的な補修・補強などが行えないことも事実です。たとえば、**図4**の鋼のトラス橋にセンサーを取り付けて状態監視することを考えます。鋼トラス橋を設計した技術者であれば、点検時に力学的観点から注目する箇所、過去の経験に基づく注意箇所などは容易にわかります。したがって、最初にセンサーを設置する場所も特定できます。しかしながら、新設構造物の設計・施工の経験が少なく、設計の知識や経験に乏しい技術者が、メンテナンスに当たる場合には、そう簡単ではありません。このような状況を考えると、構造設計・施工技術およびメンテナンス技術の高度な知識の継承が必要不可欠とされます。メンテナンスの技術は、社会基盤施設の計画・設計・施工を経験したベテランの技術者が保持していますので、AI技術と高度な知識を持つ経験豊富な技術者とのコラボレーションが人材育成において威力を発揮するのではないかと考えています。その経験豊富な技術者のノウハウを若い技術者に伝える一番良い方法の一つとしてAI技術の応用があります。AI技術を使

うことによって、短期間に数多くの疑似体験ができること、学習の段階で経験者の判断の過程が追体験できること、さらにこのようなシステムを利用することによって人材育成のためのコストが軽減されることなど、メリットがたくさんあります。

### おわりに

ヨーロッパのことわざに「真実は細部に宿る」という言葉があります。構造物の損傷や劣化は細部から始まることが多いので、構造細部から損傷や劣化の危険性を追いかつ工夫ができれば、施設の健全性は格段に向上します。というのはメンテナンスの段階でいろいろと不具合が出てきている施設については、多くの場合、設計・施工時にその先の状態が予想されているということがあると思います。この細部の不具合の検討にICTが有効に使えるのではないかと考えています。ICTを応用すれば、計画・設計・施工・維持管理までの情報を時間的にも空間的にも一括管理することができるからです。AIなどのICTは、技術者の能力を補完するのに最適であり、とくに人材育成の面からの応用という点が大きく期待されます。その結果、コストパフォーマンスのよいメンテナンスが実現できると考えています。**RRR**

### 文献

- 1) モニタリングシステム技術研究組合 (RAIMS)：活動報告会資料，2017
- 2) 依田照彦，高木千太郎：橋があぶない，ぎょうせい，2010
- 3) 土木学会鋼構造委員会：第18回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，2008
- 4) 土木学会構造工学委員会 橋梁振動モニタリングとその標準化小委員会：モニタリングによる橋梁の性能評価指針（案），土木学会，2006
- 5) 依田照彦：社会インフラのモニタリングシステムに期待すること，高速道路と自動車，Vol.60，No.1，pp.18-21，2017