

スマートインフラに関する研究の紹介

ITS・新道路創生本部 秀島 哲雄 濱田 達也

REPORT

1 はじめに

昨今のICT（情報通信技術）は、大量かつ多様な情報を迅速に処理、伝達、共有化することを可能にし、経済・社会・生活における生産性・効率性の飛躍的な向上に寄与している。また、距離や時間を越えて、人、モノ、カネ、知識・情報を結びつけることにより、新たなサービスや利便性も提供できるようになってきている。道路分野においても、ETC料金收受システム、VICS道路交通情報通信システムが実現されている。

一方、土木インフラ構造物本体の建設、管理については、ICTの活用が不十分である。建設段階では、国土交通省が「情報化施工推進戦略」を策定

し、GNSSやTS測量等を活用した大規模土工や舗装の情報化施工の方針を定め、一部実施工を進めているが、管理面での応用はまだ試行錯誤の状況である。

このような状況から、HIDOではスマートインフラ研究会を立ち上げ、土木インフラ構造物の建設技術の高度化、科学的な管理技術の構築を目的として、ICTを応用することにより、土木技術、センサー技術、通信技術、情報処理技術を融合し、未だ確立されていない橋梁の建設・管理への遠隔モニタリングシステムの標準化を検討する。そして、遠隔モニタリングシステムの費用を低減することにより、その普及を促進することを目指すものである（図1）。

2 スマートインフラの背景

(1) インフラ 構 造 の課題

インフラ土木構造物には、橋、トンネル、上下水管、鉄塔、ダムなどがあるが、建造されてからその一生を終えるまでの期間は、構造物に求められる要求性能や必要性にもよるが、一般的には人間の一生以上である。しかし、インフラ土木構造物の建造時の品質は、人間の生命誕生ほど完成された品質ではなく、その後の劣化に対しても人間の神経のように自ら苦痛を訴える仕組みがない。そのため、劣化の進行を発見するには、現状では点検のように常に見守っていく仕組みしかないが、巨大で膨大な数のインフラ土木構造物を全て点検して見守っていくのは、コストや労力の面から困難に直面しているのが現状である。

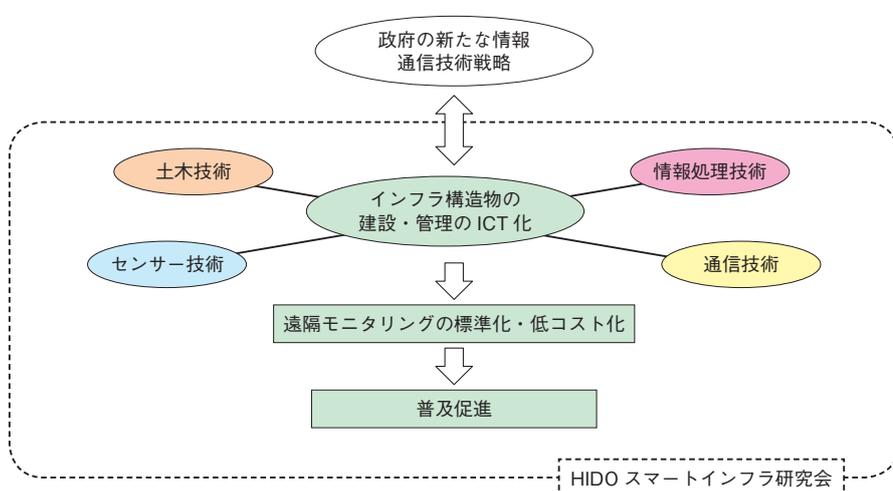
インフラ土木構造物の代表として、道路橋を例に点検の現状を見てみると、次のとおりとなっている。

(2) 国内の道路橋の現状¹⁾

高速道路では、約7千橋について「NEXCO 保全点検要領」に基づき、定期点検を5年に1回の頻度を基本として行っている。その点検結果は、「点検データベースシステム」に保存され、橋梁マネジメントシステム（BMS）により評価している。

直轄国道では、橋長2m以上の約2

図1 研究会の目的



万橋について「橋梁定期点検要領（案）」に基づき、定期点検を5年に1回の頻度で行っている。その点検評価結果は、「橋梁データベース」に保存されている。国道23号の木曾川橋では2007年6月に鋼トラス部材の破断が発見された。

地方公共団体では、橋長2m以上の約65万橋について、予算の関係で十分に点検できていなかったが、2007年4月の政府の「長寿命化修繕計画策定事業費補助制度」の制定により、各自治体の「橋梁点検要領」に基づき、点検を行ってきている。定期的な点検の頻度は、行政機関により異なるが、5年に1回を基本とし、道路種別や環境条件により点検頻度を減じている場合もある。点検結果は「損傷評価の手引き」に基づき評価され、各自治体において長寿命化修繕計画の策定が進められている。

(3) 海外の道路橋の現状¹⁾

アメリカでは、橋長6.1m以上の約60万の橋梁について、1967年のシルバー橋の落橋を受けて1971年に制定された「全国橋梁点検基準（NBIS）」に基づき、定期点検を2年に1回の頻度で行っている。その点検評価結果は、「全国橋梁台帳（NBI）」に保存され、一般に公開されている。2006年時点で、7.3万橋が構造欠陥橋梁となっている。2年に1回の頻度で定期点検が行われているにもかかわらず2007年8月にミネソタ州の州間高速道路I-35Wのミシシッピ川橋が崩壊した。

イギリスでは、道路庁管理の幹線道路の橋長3m以上の橋など約1万の橋梁について、「道路構造物の点検」に基づき橋梁点検を行っている。定期点検は6年に1回の頻度で行われ、2年に1回遠望目視で一般点検が行われている。その点検評価結果は「構造物管理システム（SMIS）」に保存され分析されている。

フランスでは、国道網の橋長2m以上の約2.5万の橋梁について、「道路構造物の点検と保全に関する技術指示書」に基づき、3年に1回の頻度で橋梁状態評価点検（IQOA）を行い、6年に1回の頻度で全体の詳細点検を行っている。その点検評価結果は「LAGORA」に保存され、一般に公開されている。

(4) 遠隔モニタリングシステムの必要性

インフラ土木構造物の品質や損傷を人間の健康状態と比較して考えてみる（図2）。

人間の健康状態の確認は、医者による定期健診で行われるが、土木構造物では、それは検査員による定期点検に相当する。人間の場合、病気が発生していないか、あるいは健康状態が以前より悪くなっていないか病院に行き検査し、その結果、病気の可能性があり詳細な検査が必要と診断された場合には、再検査により症状に応じてMRIやCT、血液採取などの検査が行われる。土木構造物の場合は、検査員が現場に行きすなわち往診により点検し、異常な品質や損傷が発見されると現場で測量やサンプリング、電磁波

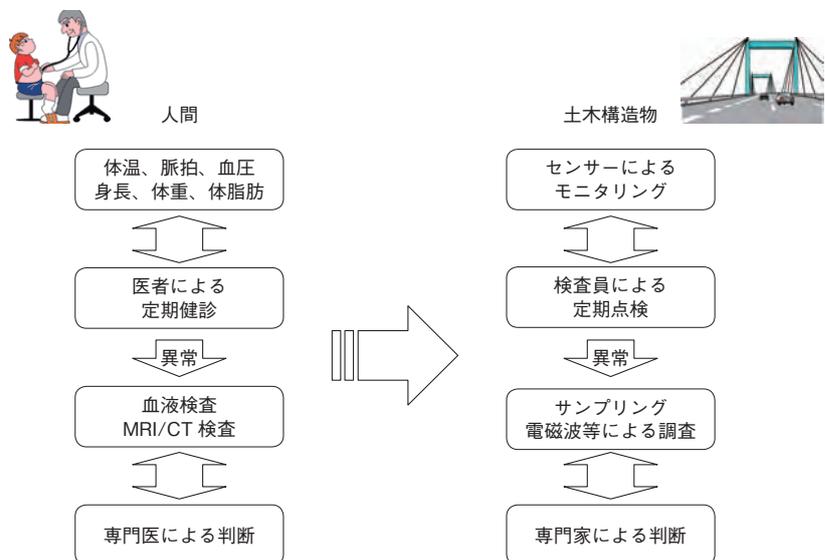
などを用いた詳細調査が行われる。

日常的には、人間は、体温や脈拍、血圧、身長、体重、体脂肪などを、家庭で簡便に調べ、異常な変化や苦痛がある場合には、休暇をとり自ら病院に行き専門家に診てもらえる。土木構造物は、自ら異常を訴えることができない上に、異常が発生しても専門家に見てもらいに行くこともできず、ときどき巡回に来る日常点検管理員を横目で見ながら、ひたすら自分の仕事を続けながら耐えている。

したがって、人間のように自ら体温などを測ったり、苦痛を感じたり、医者によるその症状を伝えたりするための頭脳、神経、五感に相当する機能として、土木構造物に簡便なセンサーを取り付けておき、伝送機能を使用して日常的に構造物の状態を遠隔モニタリングすることができれば、次の定期点検までの間に現地に向かい日常的に巡回して点検、管理する負担を軽減し、異常時には適確に現地に向かうことが可能となり、リスクの低減を図ることができると考えられる。

このように、センサーや通信などのICTを活用して遠隔モニタリングを行うことにより、土木構造物が自ら異

図2 土木構造物モニタリングの位置付け



常を管理者や専門家に伝えるのがスマートインフラである。

(5) 道路橋のモニタリング事例

国内における実橋モニタリング事例としては、一般国道357号横浜ベイブリッジの鋼床版疲労対策としてSFコンクリート舗装を採用した際、その効果測定のために建設当初からモニタリングを行った事例や、首都高速道路のコンクリート橋脚のひび割れ計測、Weigh-In-Motionによる車両重量計測事例などがある。

アメリカでは、崩壊したミシシッピ川橋を架け替えたセントアンソニーフォール橋で、建設時にコンクリートのモニタリングを行って建設工期を短縮するとともに、建設段階で設置した各種センサーにより管理段階でも常時遠隔モニタリングが行われている。また、ベトナムのバイチャイ橋でも建設時に各種センサーを設置し施工管理で活用するとともに、建設段階で設置したセンサーにより管理段階でも常時遠隔モニタリングが行われており、海外では長大橋の建設時に設置される事例が多く見られる。

3 スマートインフラに関する研究状況

(1) スマートインフラ研究の 標

(財) 道路新産業開発機構ではスマートインフラ研究会として、土木技術、センサー技術、通信技術、情報処理技術に関する関係者が集まり、遠隔モニタリングシステムの標準化に向けて、勉強会を行っている。スマートインフラ研究の目標は、インフラモニタリングの普及促進のために、費用が安価で、専門的な知識を必要とせずに誰でも手軽に設置し遠隔モニタリングシステムを検討し、その標準化を行うことである。

(2) スマートインフラの仕組み

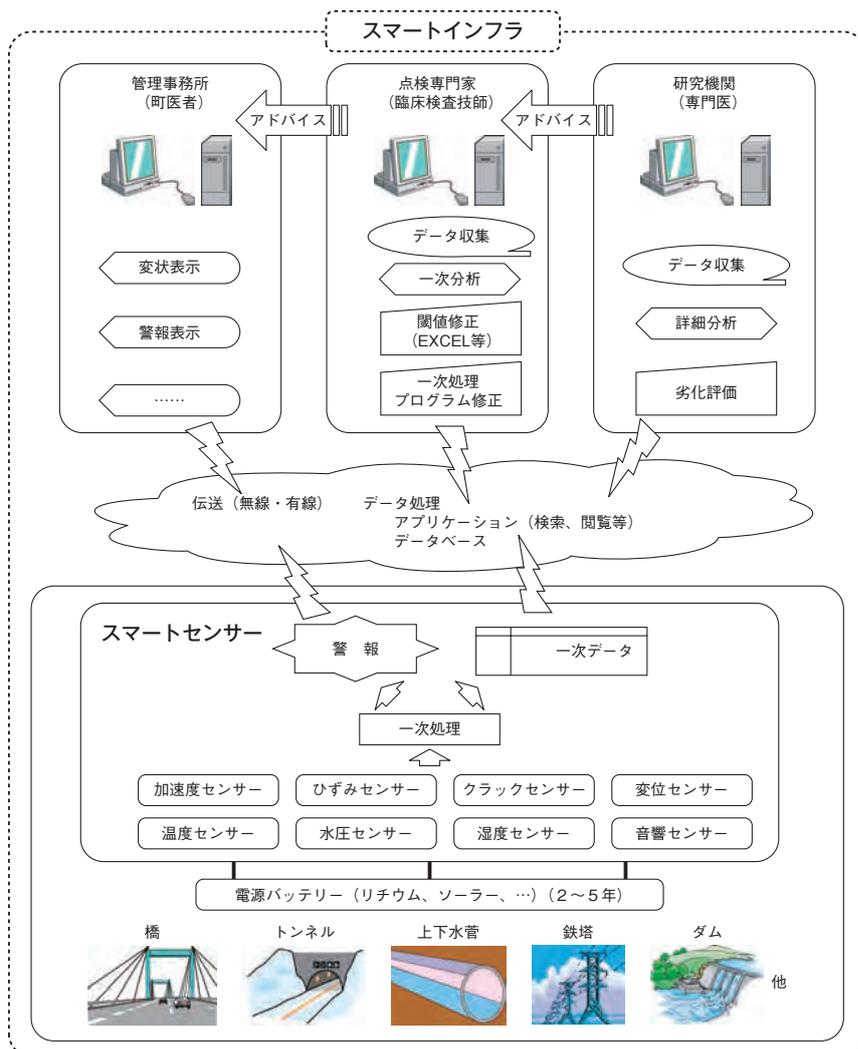
本研究会で考えているスマートインフラのイメージを図3に示す。既設橋梁の維持管理では、一般的には現場を管理する管理事務所、点検を行う専門家集団、老朽化のメカニズムや対策を検討する研究機関などがある。医療の分野で言えば、それぞれ、町医者、臨床検査技師、専門医にあたると思われる。

現場を管理する管理事務所は、構造物の安全性に対して責任を持つ機関であり、そのために点検専門家や研究機関からアドバイスをもらって、構造物の安全性を確保している。これらの組織を補佐するのが、現地に設置するスマートセンサーである。

スマートセンサーは、各種センサーで構造物の状態や挙動を示すデータを取得し、まずその生のデータを物理的に意味のあるデータに変換し、そのデータから一定時間の平均値や最大値・最小値を算出するという一次処理を行う。そして、あらかじめ定めた閾値とそれらの値を比較し、値が超えた場合、異常と判断し、管理事務所に異常値とともに警告を送る。また、スマートセンサーは常時、生のデータや一次処理データを一時保存しておく。

スマートセンサーによる警報は、医療で言えば体温計や血圧計に相当するものと考えられる。異常値を知った町医者に相当する管理事務所は、その構造物を目視や異常音などで確認した後、

図3 スマートインフラのイメージ



点検専門家に臨時点検を依頼する。さらに症状が重い場合には、研究機関へ相談する。スマートセンサーに一次保存された異常発生前後の詳細なデータが、データベースに伝送され、点検専門家や研究機関がそのデータベースにアクセスすることにより詳細データを取得し、原因の分析に使用する。この異常時のデータ確認は、医療で言えば医者が患者に「症状がいつから発生し、頭痛はあるか？」などを聞き取る問診に相当するが、構造物は話すことができないため、異常発生前後の各センサーの変化の情報が診断に必要となるのである。

さらに、常時のデータは、定期的にデータベースに伝送され、点検専門家による分析が行われ、閾値の見直しや、新たなセンサー設置の検討などに使用されたり、研究機関での構造物の詳細分析に使用されたりする。

これがスマートインフラの仕組みである。

このスマートインフラは、大きく分けて、スマートセンサー、伝送、データ処理（データ検索、表示などのアプリケーションやデータベース）に区分される。

スマートセンサーは、医療で言えば体温計や体重計、血圧計に相当し、安

価で設置が容易で汎用性が必要である。また、いつ異常が発生するかわからないこと、また屋外で使用されることから、長期耐久性も必要であり、現地へ頻繁に行かずに長期に使用するために、メンテナンスフリーであり、簡単な修復やデータ収集の指示を遠隔からできる必要がある。

スマートセンサーの現場内のデータ伝送は、センサーの設置を容易にする必要があり、無線通信でも有線でも現地条件により対応可能なものとし、現地基地からの伝送は、まとまったデータ量を送信するため通信インフラを使用する。

データ処理は、遠隔操作で必要なセンサーデータが閲覧でき、かつスマートセンサーへの遠隔指示ができる仕組みとする。

それぞれに求められる要件をまとめると表1のようになる。

(3) 本研究会の検討状況と当面予定
スマートインフラ研究の対象は、インフラ構造物全体の建設段階から管理段階の遠隔モニタリングであるが、第一段階では、インフラ土木構造物の中でも比較的過酷な使用状況にさらされている既設鋼橋の維持管理段階に着目して検討を進めている。

昨年2月から5回の勉強会を行っ

ており、本年の2月には、首都高速道路株式会社の方々のご協力のもとで、既設橋のモニタリング現場の見学会をおこない、既設鋼橋の現状と現場条件について確認し、参加メンバーの認識の共有を行った（写真1）。

今後、表1のようなスマートインフラとしての要件整理を進め、それを基本にスマートインフラのプロトタイプを検討し、それを実際に利用することにより、さらに具体的な課題を抽出し、標準的なスマートインフラの検討を進めていく予定である。

本研究会では、構造物の損傷メカニズムまでは言及しない。安価に効率的にデータを集集、閲覧できる標準システムを検討することを主眼として検討し、国内外のインフラ管理者が使い易いスマートインフラの標準化を行っていく。

本研究会にご参加いただいている関係者の方々には、様々なご意見、ご提案をいただきありがとうございます。また、スマートインフラにご興味をお持ちの方は、今後ご参加をいただきたくよろしくお願いいたします。

参考資料

- 1) 道路橋の予防保全に向けた有識者会議（第2回）資料

表1 スマートインフラの検討要件

	要件
スマートセンサー	<ul style="list-style-type: none"> ・警報機能 ・一次蓄積機能 ・長寿命電源機能 ・設置が容易な構造 ・安価 ・長期耐久性 ・遠隔操作による機能
伝送	<ul style="list-style-type: none"> ・現地通信のセッティングが容易 ・安価な通信インフラ
データ処理	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔操作によりデータ取得 ・遠隔操作による閾値、パラメータ変更 ・データ検索、表示機能

写真1 現地検討会の状況

