

道路や橋を長く安全に保つ

インフラ資産活用のアセットマネジメント技術を応用

道路や橋、トンネルなど社会基盤となる構造物（インフラ）の老朽化が大きな問題になってきた。補修時期が迫っているものも少なくない。コストとのバランスをとりながら、いかに事故を未然に防ぎ、適切な時期に保全を進めていくのか。その鍵を握るのは、東京大学の前川宏一教授らが取り組む「アセットマネジメント技術」だ。インフラを「アセット（資産）」と見なして維持管理しようという新たな技術を紹介する。

「新しくつくる」から「長く使う」へ

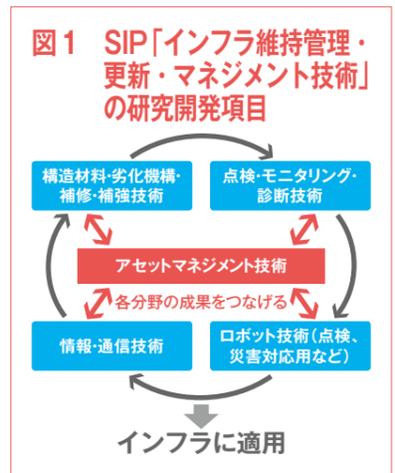
高度経済成長期、1964年開催の東京オリンピックに向けて、全国の道路は急速に整備され、多くの高速道路や橋、トンネルが建設された。半世紀が過ぎ、2020年のオリンピック開催を控え、それらの構造物の老朽化が進んでいる。橋が落ちる危険性は年々高まり、早急な更新（道路、トンネルの大規模補修や橋の架け替え）や撤去が必要な構造物もある。2012年の笹子トンネル天井板落下事故は記憶に新しい。同じ過ちを二度と起こしてはならない。

損傷が激しくなってから対策する事後的な維持管理ではなく、損傷を早期に発見して補修する予防的な維持管理の徹底が重要だ。高速道路だけでも、維持管理・更新費は今後15年間で3兆円に達すると試算

されている。道路以外の鉄道や港湾、河川堤防の老朽化対策も合わせれば、今後50年間で190兆円規模に膨らむと予想される。問題はコストだけではない。少子高齢化のため維持管理・更新を担う人材不足も深刻で、自治体に重い負担を掛けかねない。この難題に取り組むのが、内閣府総合科学技術・イノベーション会議 (CSTI) の「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)」の課題の1つである「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」*だ。藤野陽三プログラムディレクター（横浜国立大学先端科学高等研究院上席特別教授）の下、「新しくつくる」から「長く使う」ことをめざし、以下の研究開発を進めている（図1）。

- 老朽化の現状を正しく把握するための「点検・モニタリング・診断技術」。効率的で精度の高い非破壊検査技術などの開発をめざす。
- 危険な現場などで人手に頼らず作業を進めるための「ロボット技術」。点検診断を行い、維持管理するロボット、災害対応ロボットを開発する。

- インフラに関する膨大なデータを蓄積し、解析するための「情報・通信技術」。インフラに設置したセンサーからデータを回収する技術や移動体によるセンシング技術も含まれる。
- インフラ構造物や建設技術に関わる「構造材料・劣化機構・補修・補強技術」。構造材料の劣化予測システムを構築するとともに、新材料や補修技術を開発する。

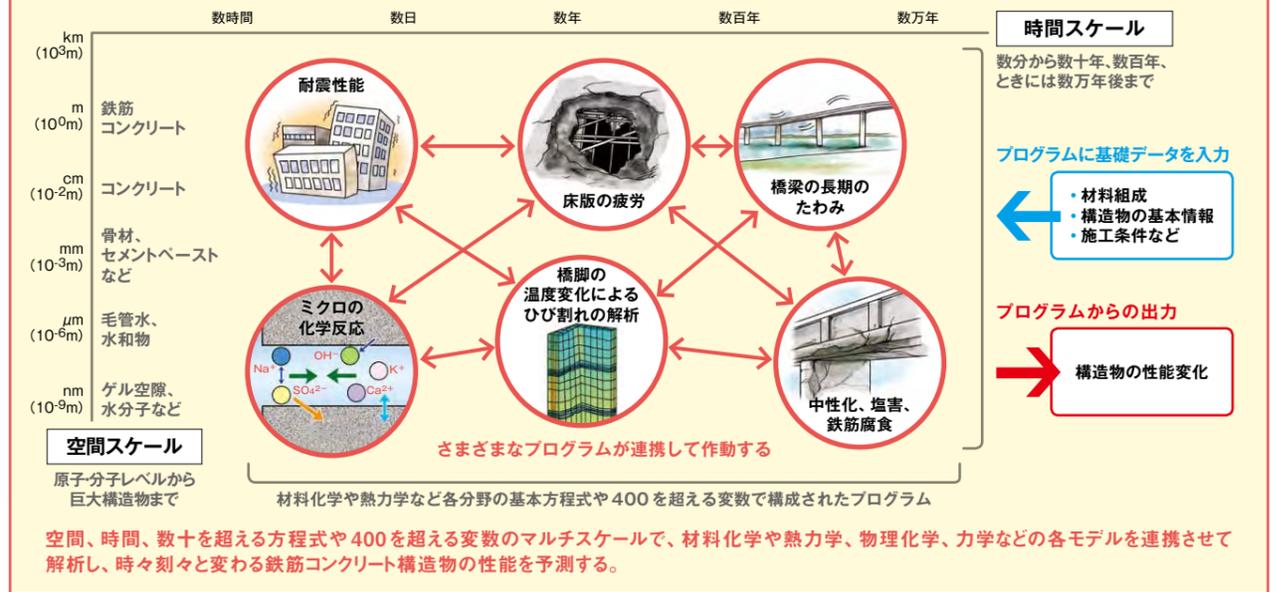


前川 宏一 まえかわ こういち 東京大学大学院工学系研究科 教授

1982年、東京大学大学院工学系研究科土木工学専攻修士課程修了、工学博士。82年長岡技術科学大学工学部建設系助手、86年東京大学工学部助教授、90年アジア工科大学大学院助教授（派遣）、93年東京大学工学部総合試験助教授を経て96年より現職。2014年よりSIP課題「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」研究開発テーマ「道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究」研究責任者。

*JSTは国土交通省およびNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）とともに、本課題の管理法人として事業推進支援業務を実施しています。

図2 鉄筋コンクリート構造物のマルチスケール統合解析



4つの研究開発項目で開発された技術を効果的に組み合わせ、有効かつ迅速に現場に導入する鍵となるのが「アセットマネジメント技術」だ。SIPで開発された技術を実用化につなげることで、主要幹線道などの重要インフラを確実に守り、また地方が抱える膨大なインフラを限られた予算と人材で維持管理するために、継続性の高い仕組みを提案する。老朽化を解決するには、個別のインフラの劣化状況を診断し、将来の進行を予測したデータに基づいて、優先順位を立てて効率的に維持管理や更新を行うことが課題となる。技術開発だけでなく、行財政や人材育成など科学とは異なる多様な要素も関係する。

アセットマネジメント技術を開発しているのが、東京大学大学院工学系研究科の前川宏一教授だ。

「これまでも各分野で個別の研究は行われてきましたが、成果を効率よくつなげ、より早く現場へ導入する取り組みは不十分でした。アセットマネジメント技術を、科学技術や行政、人材育成など個別の歯車とつなぎ合

わせ、1つの大きなシステムとして機能させるのが、このプロジェクトの最終目標です」。

前川さんは、鉄筋コンクリート構造物の寿命を予測する「マルチスケール統合解析」という手法を開発した。空間スケール（分子・原子レベルから構造物の実サイズまで）と時間スケール（完成直後から少なくとも数十年後まで）で構造物の性能や耐久性を高い精度で評価できる（図2）。水分子など分子レベルの動きが毛細管レベルの化学変化を起し、さらにミクロレベルのひび割れを発生させ、ついにはメートルレベルの大型構造物の劣化に至るような空間スケールの過程を1つにまとめ、それぞれの段階で数分、数カ月、数年、数十年と時間スケールも考慮した解析ができる。マルチスケール統合解析で得られたデータは、構造物の設計や維持管理などアセットマネジメントに活用される。

橋や道路など実際の構造物にアセットマネジメント技術を適用するために、「床版（しょうばん）」「道路アセット」「自治体アセット」「国際アセット」の4つのサブプロジェクトも同時

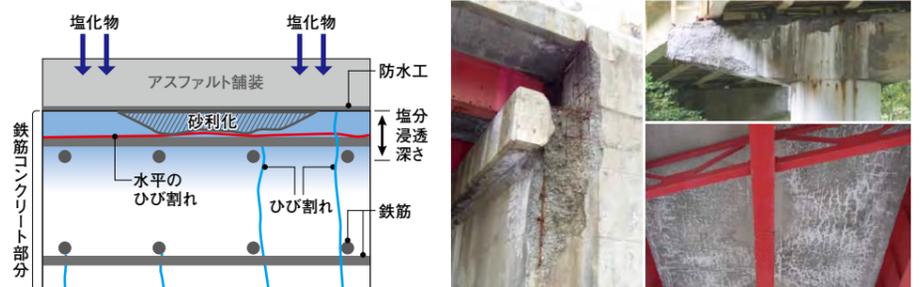
に進行している。前川さんは、全体のまとめ役とともに、「床版サブプロジェクト」も担当する。

床版とは、舗装を介して車両を支える床部分をいう（図3）。道路の維持管理コストの60パーセント以上を橋が占める。床版の耐久性を高めて破損を少なくできれば、全体のコスト削減に大きく貢献できる。

床版の状態を分析し、寿命を予測するには2つの側面があると前川さんは言う。「1つは『過去から学ぶ』こと。過去の膨大な記録を解析することで未来が見えてきます。もう1つは過去だけでは予測困難な『未来を予測する』こと。スパイクタイヤが禁止され、凍結防止剤として塩化ナトリウムなどを路面にまき始めたのは1991年。スリップ事故を防ぐ効果は大きかったですが、凍結防止剤がコンクリートの塩害、凍害、アルカリ骨材反応といったさまざまな劣化を促進させました。後者のように過去の記録がない技術の予測は非常に難しい。しかし、マルチスケール統合解析を活用すれば、過去からは予測しえないものを予測できます」。

図3 鉄筋コンクリート製の床版や橋脚、橋桁の劣化

（左）凍結防止剤に含まれる塩化物の影響で劣化した鉄筋コンクリート製の床版の概念図。（右）凍結防止剤の塩化物の影響で劣化した橋脚や橋桁。雨水などの浸水でも劣化は起こるが、塩化物による劣化の度合いは大きい。塩化物はアスファルト舗装や防水加工面をすり抜け、床版や橋脚、橋桁にまで及ぶ。



寿命予測と実際とのずれをどう縮めるか

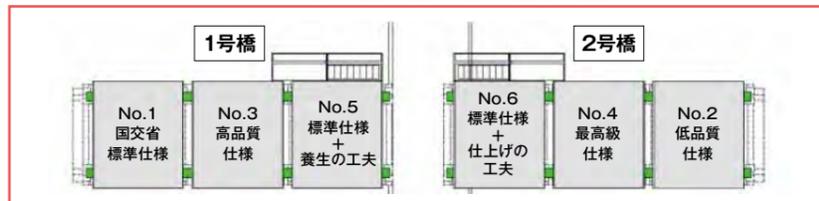
マルチスケール統合解析の基礎データを得るため、「床版サブプロジェクト」では実際の橋と同じ構造・大きさの床版も使って実証実験をしている。実物大の実験施設「ロハスの橋（丈夫で長持ちする橋）」をつくったのが、日本大学工学部の岩城一郎教授だ。

「大型の構造物を小型化することで実験の効率化を図り、温度や湿度などを調節して、30～50年かかる経時変化を数カ月間に縮めることは可能ですが、得られたデータには実際とのずれが生じます。ずれを縮めるため、2014年に実物大の実験施設『ロハスの橋』を野外につくりました（図4）。材料や配合、施工法を変えた6種類の実物大モデルを使って、現実に近い劣化状況を再現して1年間計測しました」。

現在は塩害や凍害、走行疲労など東北地方で問題となる劣化に対する耐久性試験をしている。得られたデータを前川さんの研究チームへ送り、マルチスケール統合解析で精査する。そのデータをフィードバックしてもらい、さらなる実証実験に生かす。このサイクルが余寿命予測の精度を上げる。

開発された耐久性が高い鉄筋コンクリ

図4 ロハスの橋



(上) 2014年7月に完成したロハスの橋（日本大学工学部キャンパス）。（下）タイプの異なる6種類の鉄筋コンクリート製の床版を野外に作製し、1年間にわたり実測データを収集している。

ト製の床版は、東日本大震災の復興道路にも活用されている（図5）。復興の現場で調査・検証に当たっているのが東京大学生産技術研究所の田中泰司准教授だ。

「東北の寒冷な自然環境は、インフラにとって厳しく、東京を基準としたデータは通用しません。これから作るインフラは100

年経っても使えるものにしたいというのが地元の強い要望です。東北で予測技術に基づく最新の材料や工法を実際に試せる意義は大きいと思います。現場での計測からも良好な結果が出ており、今後、復興現場で使われている施工法が、日本全国の基準となるかもしれません」。

岩城 一郎 いわき・いちろう

日本大学工学部土木工学科
コンクリート工学研究室 教授

1988年、東北大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程修了、博士（工学）。88年首都高速道路公団、96年東北大学工学部土木工学科助手、2005年日本大学工学部助教授を経て09年より現職。

小澤 一雅 おざわ・かずまさ

東京大学大学院工学系研究科教授／
公益社団法人土木学会技術推進機構上席研究員

1986年、東京大学大学院工学系研究科土木工学専攻修士課程修了、工学博士。92年東京大学工学部土木工学科助教授、97年建設省土木研究所建設マネジメント技術研究センター主任研究員、99年東京大学大学院新領域創成科学研究科助教授を経て2004年より現職。

田中 泰司 たなか・やすし

東京大学生産技術研究所
人間・社会系部門 特任准教授

2004年、東京大学大学院工学系研究科博士課程社会基盤学専攻中退、博士（工学）。2004年長岡技術科学大学環境・建設系助手、07年同助教を経て15年より現職。



アセットマネジメント技術の自治体への導入

最新技術の導入には、そのコストを負担する自治体との協働が欠かせない。市町村では予算不足や少子高齢化による人材不足がより深刻で、維持管理にまで手が回らないのが実情だ。

しかし、すでにいくつかの自治体で、導入のための実証実験を始めている。「自治体アセットサブプロジェクト」を担当する東京大学大学院工学系研究科／土木学会技術推進機構の小澤一雅教授に、現状と課題を聞いた。

「インフラは国の基準をもとに点検され、品質を維持してきました。しかし、厳しい財政や人材不足など、各自治体の事情に合わせたマネジメントが必要です。新技術を

使った維持管理・更新費をどう捻出し、いかに議会で合意を形成するか。点検・設計・施工の業務ごとに企業を選んで発注するルールも障壁の1つで、自治体には新技術を導入しにくい課題がたくさんあります。

そこで新しいモデルを提示するのも1つのやり方です。どのくらいの損傷があった場合に補修を判断すべきか、コストを最も低くするにはどうしたらよいか、科学的根拠に基づいて補修計画を立てることができません。各自治体で財務状況や気象条件は異なるので、一口にインフラ対策といっても同じものは2つとありません。まずは小さな自治体に合った財源確保や調達、入札、契約のモデルを提案して、いくつかの成功事例を

つくり、全国へ広げたいと思っています」。

維持管理や更新のコストをどこまで減らせるかは、各自治体の共通の悩みだ。インフラの老朽化は長期的に把握する必要があるため問題が見えにくい。前川さんは強調する。

「床版は実証実験で2倍長持ちするものが開発されています。新しくつくるコストは10～20パーセント高くなりますが、20～30年先を考えれば補修コストは従来の半分になる。この技術が全国に普及すれば、削減効果は非常に大きいわけですが、ただ、自治体では目先のコストアップが目が行って、なかなか納得してもらえない心配もあります。いかに科学的なデータやマネジメント技術を提示して説得できるかが重要です」。

すぐに直さなければならない数多くの橋の更新が課題となる一方で、新しくつくるインフラは今後を見据えて更新頻度を減らすことが求められる。このため自治体は、一時的なコストが多少かかっても長期的には維持管理コストが安くなるものを導入したい。

インフラの老朽化は今この瞬間にも進行しており、技術開発を待ってはられない。まず何をすべきかを明確にする必要がある。それをうまくマネジメントできれば必要な技術も伸びていく、と前川さん。「実際にインフラの維持管理や更新を進めながら研究開発のレベルをアップさせるのが理想です」。

図5 実験結果を生かした復興現場での橋の建設



実証実験の分析結果は早くも復興現場で活用されている。その1つが、釜石道路の向定内橋（むかいさだないはし）の床版（岩手県釜石市）。期待値では更新までの期間が2倍に延びる。



多重防護を施した高耐久鉄筋コンクリート製の床版の施工。防錆鉄筋（青色）やフライアッシュ（石炭燃料のときに出る微粉末の灰）を用いたコンクリートにより高耐久化を図る。

アセットマネジメント技術の国際展開

アセットマネジメント技術は、インフラだけではなく、あらゆる構造物に適用できて汎用性が高い。これがうまくいけば、日本の新たなテクノロジーとして海外にも輸出できる。

「『国際アセットサブプロジェクト』ではアセットマネジメントの国際展開をめざします。すでにタイやベトナム、インドネシアといった東南アジアの国で、この技術を展開する試みが始まっています。新興国ではインフラの建設が盛んで、日本の最新の施工法を導入したいという声もよく聞かれます。最新技術を効率的に現場へ導入するア

セットマネジメント技術が求められるはずですが、まだ開発拠点の構築やネットワークの形成といった段階ですが、将来はさらに大

きな事業に発展していくはず」。

前川さんは自信に満ちた笑顔で語ってくれた。

