

第4章 イノベーション技術がもたらす新しい視点(未来)について

本小委員会では、将来のイノベーションにつなげるべく、先端的な技術の情報収集および共有を行い、技術活用の流れにあって、それぞれの技術に見出されるイノベーションについて議論してきた。具体には、2章では、「点検における情報取得の高度化(カテゴリー①)」、「計測・データ分析技術の開発(カテゴリー②)」、「電源・発電に関する技術(カテゴリー③)」、「状態情報に関するプレゼンテーション技術(カテゴリー④)」、「状態情報を用いた状態診断(カテゴリー⑤)」の5つのカテゴリーに対応するイノベーション技術を紹介した。また、3章では、上記の各カテゴリーに対応するイノベーション技術の開発事例ならびに適用事例の調査結果を示した。

本報告書を締める4章では、これまでの議論を踏まえて、イノベーション技術がもたらす新しい視点、新しい未来について、【維持管理面】、【防災面】、【将来面】を切り口に各委員が期待する事柄を取りまとめる。

イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



佐々木栄一 東京工業大学教授

研究領域, 専門分野

- ◇ 鋼構造物の破壊制御に関する研究
- ◇ 構造モニタリングに関する研究
- ◇ 点検・計測手法に関する研究

【維持管理面】

鋼構造物に限らず、インフラストラクチャー（インフラ）のメンテナンスの高度化や効率化を目指した検討が進められており、AIやDXといった新しい流れを取り込みながら、インフラメンテナンスをスマート化する流れとなってきた。近接目視点検に基づく維持管理は今後も引き続き必要となってくるものと考えられるが、診断に向けた情報の収集のために、イノベティブな技術（イノベーション技術）を駆使して、デジタルモデルなどとも連携して、構造物の状態を把握しようとする取り組みは今後も検討されていくものであると考えられる。加速度計を用いた計測を行うことで、第一義的に、構造物の振動特性の把握をすることに加えて、デジタルモデルの構造パラメータの推定など、構造物の状態情報につながるデータ分析が展開されている。この中で温度の影響なども取り込みながら、サイバー空間の中で状態を随時把握し、チェックするという流れになりつつある。近接目視点検では得ることが難しい、構造的な挙動や材料劣化の情報などは、今比較的簡易な計測を行い、データ分析、モデル解析と連携して取得が可能となりつつあり、より高度な構造物状態把握、異常検知につながることを期待される。本報告書でも、このような技術を幾つか紹介しているところではあるが、簡易な計測、モニタリングといった技術によりもたらされる新しい価値、視点が維持管理面でも有益なものとなることを期待したいと考えている。

イノベーション技術というのは、定義が難しいところであるが、これまで取得が困難であった情報が得られるようになる、0から1を生み出すような技術と、1から10,000などにしていくような技術もある。維持管理面においても、新しいアイデアが生まれ、取り込まれる環境が整備されることが期待される。

【防災面】

災害発生時は、緊急点検によって損傷の有無を把握し、橋梁等では早期の通行解除に向けた対応が求められる。しかしながら、目視点検では、明らかな損傷の把握はできるものの、材料非線形領域のダメージの蓄積や、最大変位量などの力学的な情報を得ることは難しいが、計測を行うことで、ダメージがあったかどうか、非線形な挙動が発現したかどうかなどの情報を取得できる可能性がある。地震時に部材がダメージを受けていてもこれまで評価が困難であったダメージを今後検討できる可能性があると考えられる。インフラの現状の性能、これまで受けたダメージなどを評価して、今後の災害時の被害を低減することを予め行うことにつなげられたらと考える。

【将来面】

次世代に安全なインフラを引き継ぐため、新しい世代がこの分野に魅力を感じ、活動できるようなテーマを創造することが必要であると考えられる。新しい技術、イノベーティブな技術を創造すること自体、様々なハードルを越え、難しかったことを可能とするようなプロセスがあり、次世代にも魅力的なものとしての印象を与えられるものがあると考えられる。

現状、新しい技術を生み出しても、実務への適用が難しく、実装という大きな課題を抱えているが、新しい情報を取得することに、価値が見出され、分野として最先端の技術が議論できるような場となればと願いつつ、日々検討を進められたらと考える。

本小委員会の報告書が興味深いテーマや新しい技術を生み出すうえで、次世代の方々に何かヒントになればと考えている。

イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



伊藤裕一 東京工業大学特任教授・東海旅客鉄道(株)

研究領域, 専門領域

- ◇ 鉄道土木構造物の維持管理に関する研究・実務
- ◇ 鋼鉄道橋の特に疲労に対する維持管理に関する研究
- ◇ 構造物モニタリングの実用化に関する研究

【維持管理面】

基本的な維持管理手段としての定期的な目視点検は、その効率性（端的に言えばコスト）の面から、事前補強やモニタリングなど、他の維持管理手段に対する優位性は将来にわたり揺るがないと考えられる。その上で、アクセスが困難だったり不可能な部位への対処や、微細な振動や応力分布の可視化など、人間の能力・感覚を増大し目視点検を補助する技術の開発が望まれる。一方、社会的な安全意識の高まりによる求められる維持管理レベルの上昇や、人手不足による目視点検コスト上昇につれ、安価で効率的な事前補強技術や、電源・通信周りを含めたモニタリングの低コスト化に資する技術開発が進められており、高度の安全性が要求されるケースや、損傷を検出し対策されるまでの短期間の監視など、コスト要求があまり強くないケースから、事前補強やモニタリングの導入が徐々に広がっていくものと考えられる。

【防災面】

幹線道路・鉄道など、災害発生後の早期開通が強く望まれる構造物群に対しては、作用外力や損傷の有無を把握するための装置を予め取り付けしておくことで、従来の目視による一斉点検後の供用に比べ早期の供用が可能になる可能性があると考えられる。

【将来面】

構造物は適切な維持管理を行えば、供用を開始してから、数十年、場合によっては100年以上も安全に使い続けることができる。一方、電気を使ったモニタリングシステムの寿命は10年前後の場合が多く、両者の寿命のミスマッチが、モニタリング系の構造物の維持管理のイノベーションを難しくしている一つの要因ではないかと考えている。また、重大な損傷の可能性のある箇所に対する事前補強は、費用面から全面的な導入が困難な場合が多いのが実情である。残念ながら、革新的な技術が現れ、従来の人手に頼った構造物の目視点検に一斉に取って代わるといった夢のような話をするのは困難となるが、問題意識を持った研究者・技術者が、少しずつ開発し導入に向けて努力していくことが必要だと考えている。

イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



小林裕介 鉄道総合研究所・東京工業大学特定教授
研究領域, 専門領域

- ◇ 鉄道構造物の設計, 維持管理
- ◇ 鋼鉄道橋の疲労に関する研究
- ◇ 構造ヘルスマモニタリングの実用化に関する研究

【維持管理面】

鋼鉄道橋は他のインフラ設備と比べて長く供用することができてきている。鉄道の創成期から設計、製作に関する技術基準の改訂を繰り返し、維持管理についても予防保全の考え方を早期に取り入れ、かつ維持管理での知見を設計基準等にフィードバックする仕組みを取り入れてきた事が、鋼鉄道橋の長寿命化をなし得た要因の一つである。また、長い歴史の中で経験によって生み出された暗黙知や、技術者の感性に基づいたエンジニアリングジャッジも、実は長寿命化の大きな因子でもある。一方で、少子高齢化による労働人口の減少から、少ない現在の技術者が前述のような先人達の蓄積してきた膨大な知見、仕組み、感性の全てを継承し発展させていく事が難しくなりつつある。近年、AIや画像処理に代表されるデジタル化技術で、情報の集約、再構築、検索が容易にでき、かつ技術者の感覚を取り込んだり、感覚の技術的な根拠の導出などができれば極めて有用と考える。

【防災面】

地球温暖化による豪雨災害が増加し、鉄道橋も被災することが年々増加している。自然災害については当然地震の被害もあるが、人的な要因で火災や自動車の衝突でも鉄道橋の被害が生じる。鉄道橋が被災した場合、特に“中途半端”に被災した場合に最初に直面する難しい判断が、列車運行再開の可否である。被災すると当該橋りょうへの列車の進入を抑止し、そのうえで緊急に調査する。「少し部材が曲がっている」「少し橋脚が傾斜している」といった状況に対し、腐食に代表される既変状の状態も加味して判断すること、特に「列車侵入抑止を解除しても大丈夫」と回答を出すことは、高い専門的・技術的な知識と経験を必要とする。

これについてもデジタル化技術、例えばデジタルツインなどの技術の活用が期待できる。本報告書でもまとめているが、SfM (Structure from Motion) などの技術を用いれば対象構造物の3次元点群データを取得でき、簡易に現場の橋りょうをコンピューター上に再現することができる。これにより、例えば遠隔地にいる経験豊富な技術者が、オンラインであるにもかかわらずあたかも現地にいるかのように橋りょうを診断することが可能となる。また、ここ数年、3次元点群データから構造解析を行うことも試みられている。まだ実運用のレベルには達していないが、被災した橋りょうの状況をシミュレーションできれば、橋りょうの健全

性を定量的に評価することも可能となる。これにより、迅速かつ確度の高い根拠をもって、列車の運行再開にふみきることができるようになると思う。

【将来面】

前記2項目で既にデジタル化技術について将来展望を期待もこめて記述した。イノベーションという括りで考えれば、本報告書で記載の技術も含め相当の事が期待できると考えている。一方で、技術の進歩による便利さの追求は技術力低下を招く恐れもあり、例えば自動運転技術が普及すれば一般に人間の運転技術は低下してしまう。前記2項目についても同様で、実現できた暁には技術者が考えなくなるような技術であるとも思われる。教育面に対しても併せてイノベーションを起こせる技術が、同様に開発されてくることを期待している。

イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



菅沼久忠 株式会社TTES 代表取締役

研究領域, 専門分野

- ◇ 維持管理・防災のDX
- ◇ IoT/クラウドサービスの実装・展開
- ◇ センサの活用・データ処理

【維持管理面】

人口減少・老朽化インフラが増加することで維持管理に手が回らなくなる近い将来では、誰でもできる数値管理による性能評価が必要になる。研究者・技術者らがイノベーションに挑んでいるが、どのような物理量もしくは組み合わせが性能評価に値するかは不透明である。その指標が有意であるかの判断には、対象構造物のあらゆるステージの膨大な実績データが必要になるであろう。そのためには、いまから数多くのデータを取得し、保存し利用できるようにしておくことが大切である。建設時のデータでなければ初期値として意味がないわけではなく、現在の値をはじめとして、速やかに取得・保管することが望ましい。

【防災面】

災害時の対応は、維持管理に加えて、情報が消失しないこと、情報を迅速に提供できることの2つが重要になると考えている。1つは、情報の消失を避けるためのクラウド技術である。特に物理的に異なる複数の地域でのデータ保存と同期技術によって、価値ある情報を保管し、容易に引き出す手助けになる。2つ目は、情報の迅速な提供と収集のための衛星通信技術である。通信網が破壊されたウクライナ戦線で活躍したStarlinkのように、災害時であってもスムーズな情報提供と収集を実現する。

【将来面】

土木の特徴を時間と地域という軸で考えてみる。“時間”軸では、土木構造物は非常に息が長く施工後は変化が極めて少ないため、データの収集に時間を要する。“地域”軸では、道路は世界共通であり水平展開が期待される特徴を有する。世界共通の道路は、経済的な発展の差異に応じて建設隆盛な時期は様々であり、過積載車両や大気温度などの外的な影響が異なるなどの特徴を有する。時間軸が長く予想するしかできなかった特徴が、地域という横の目線でみると、古い構造物や、過酷な状況下の構造物など欲しい情報の宝庫にみえてくる。これらの情報の集約が、まずは国内の数値管理の実現、そしてインフラ技術の輸出につながるのではないだろうか。しかし、お宝の情報はあれども、技術者の有無、環境の差異などから、レベルの揃ったデータを収集するのは困難である。これらの情報を効率良く整理して収集することにIoTやクラウドといったイノベーション技術が活躍すると予想する。数値管理の実現にはまずは相対評価で進めるのが好手だと

考えている。そのためには、事例の多さが評価の肝になることから、世界中の今のデータを収集して分析をはじめることが近い将来とても重要になると想像している。

イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



杉崎光一 (株)ベイスコンサルティング

研究領域, 専門領域

- ◇ 橋梁構造物の調査, 計測
- ◇ インフラメンテナンスへのAI技術の活用検討
- ◇ 構造物モニタリングの実用化に向けた検討

【維持管理面】

イノベーション技術が期待されている理由として, 土木構造物の維持管理が以下のような特徴を持っていることが挙げられる。

- データの作成と利用主体が相違する
- 情報が散在し, データの時間的, 空間的なつながりが欠けていることが挙げられる
- 関わる主体が多くデータの受け渡しなどが複雑

これらの特徴を考慮したイノベーション技術が期待されていると考えている。

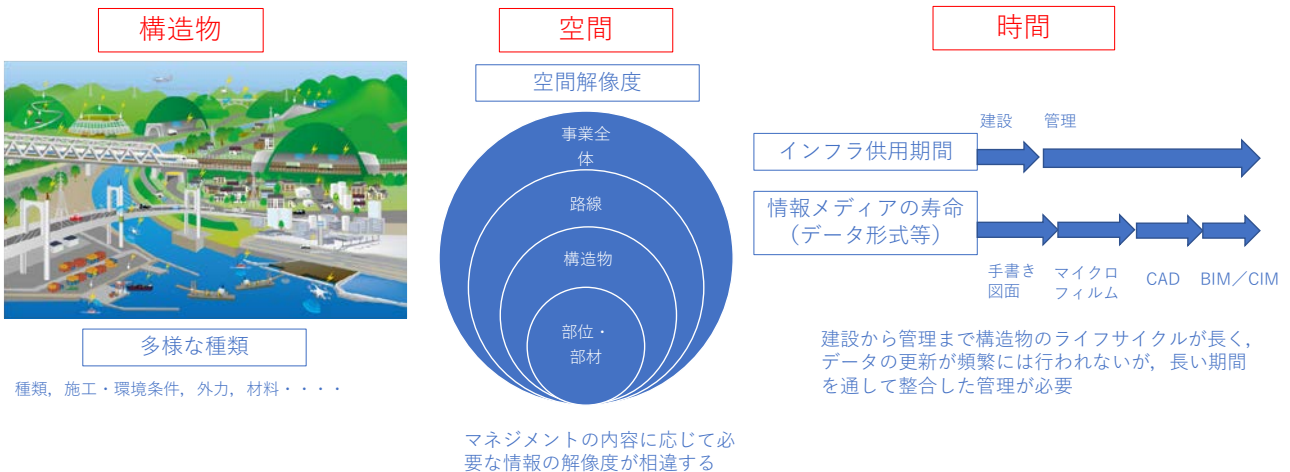


図-1 土木構造物に対する維持管理の特徴

【防災面】

定常的に行う維持管理の記録は、災害発生時には異常検知や被害評価など防災面において基礎的な情報となると考えられる。例えば、下図に示すように、モニタリング技術を考えれば、維持管理と防災のデュアルユースを考えるとイノベーション技術の実用化において重要であると考えている。

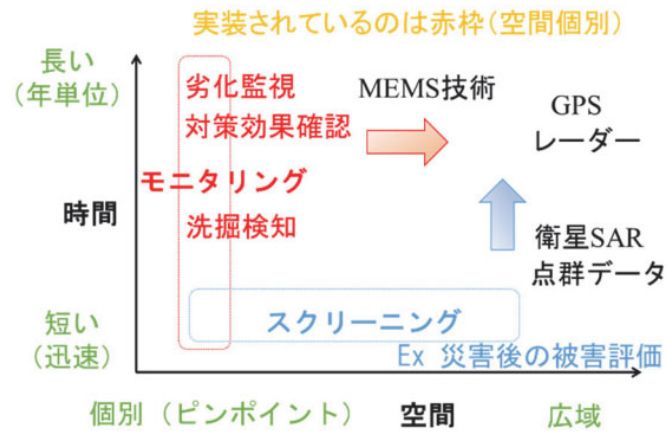


図-2 モニタリング技術の評価軸¹⁾

【将来面】

意思決定にデータを用いるためには、データ抽出、変換、活用の好循環をもたらす必要がある。そのためのデータを連携するインフラOSのようなものが重要と考えており、特徴を図のように整理している。インフラOSは、デジタルツインを実現するためのデータ基盤としても重要である。現実空間からの情報取得、仮想空間での情報の加工、知識化された情報の現実空間での利用では、それぞれのドメインに応じた専門知が利用されている。専門知をAI・ロボットなどを利用して、できるだけ人間によらず、実空間にフィードバックする方法がイノベーションの要となると考えている。近年発展が著しいLLM（大規模言語モデル）の活用などが、このようなデータ基盤の実現に特に重要であると考えている。

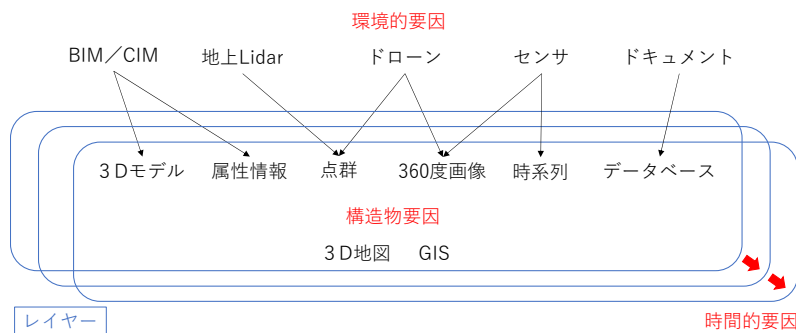


図-3 インフラ OS の機能イメージ²⁾

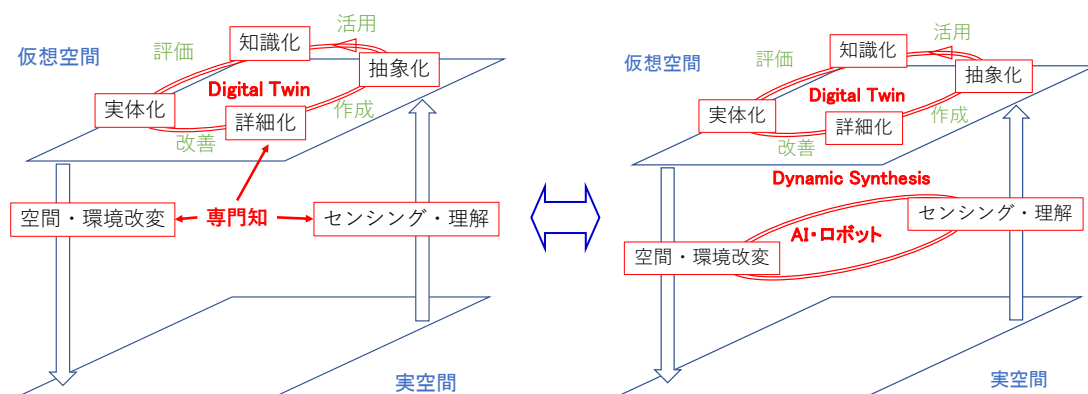


図-4 デジタルツインと専門知, AI・ロボット³⁾

- 1) 杉崎光一, 家入正隆, 北原武嗣, 長山智則, 河村圭, 松田浩: 維持管理のイノベーションのためのモニタリング実装方法に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), vol. 73, No. 2, pp. II_17-II_32, 2017.
- 2) 阿部雅人, 杉崎光一, 全邦釘: インフラマネジメントのためのインフラ OS に求められる基本機能に関する考察, AI・データサイエンス論文集, vol. 3, No. J2, pp. 608-620, 2022.
- 3) 杉崎光一, 全邦釘, 阿部雅人: デジタルツインの概念と土木工学への応用, AI・データサイエンス論文集, vol. 4, No. 2, pp. 13-20, 2023.

イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



鈴木啓悟 福井大学准教授

研究領域, 専門分野

- ◇ 損傷検知モニタリングの研究
- ◇ AIの援用した構造物維持管理技術の研究
- ◇ 直接目視困難な部位の非破壊評価

【維持管理面】

5年に1度の近接目視点検が3巡目に入り、診断、補修・補強の技術の高度化が進み、同時に点検技術者の養成も複数の組織が体系化した学習コースを整備するなど、ソフト面、ハード面ともに進展しつつある。平成31年に改訂された定期点検要領には「目視と同等の健全性診断ができると判断した方法により把握」が加えられ、今後も省力的かつ時間短縮に寄与する診断技術の構築が期待されている。ここで、技術の進展に際し、コストについては現状と同等レベルとして最初の議論を進めると良い。低コスト化は汎用性能が高まった段階で市場原理によって自然と進むものであり、低コスト化を開発段階で前面に掲げると、産学官を問わず技術開発を遅らせる可能性があるからである。良い技術で得られる利益は技術者への対価であり、その対価がさらなる技術発展を生む、正のスパイラルとなる。センシング技術、非破壊評価技術によっては目視以上の情報を取得できる場合もあり、客観的診断を支援する技術の革新は今後も続く。良好な技術提案のスパイラルを産む土壌があれば、最終的には国民への利益につながると考える。

【防災面】

広範囲に渡る災害発生時、緊急車両や人員が対応できる状態であっても、災害地域にアクセスするためのインフラの使用ができなければ救援作業の初動が遅れる。まずはインフラ使用の可否を迅速に判定するための技術が求められる。近年 UAV の性能が飛躍的に向上し、地上からアクセス困難な場所や、地上視点では確認しづらい部位に対して、良好な画像情報を得られるようになってきている。UAV 搭載のカメラは元々広角的な視野を捉えることから、撮影像端部での歪みが生じるものの、連続的な近接画像を取得できる。ハフ変換等の線上抽出画像処理によって構造物傾斜や構造物間段差の定量的評価も可能と考えられ、UAV 使用に基づいた画像診断技術の構築が災害時支援の一助になると考える。

【将来面】

土木技術においてもAIの適用が増えてきており、維持管理上の支援ツールとなると期待される。AIによる分類や数値予測については、大量かつバランスの良い学習データの蓄積が第一に必要である。世界中で日々大量に生み出されるテキストデータや画像情報に比べると、土木情報の蓄積速度は極めて小さく、サンプル

量の点で制約が大きい。この点をカバーするにはデータベースの増強，前処理の高度化が求められる。データベースの増強については，我が国のみならず，海外諸国・地域との連携によって大幅な飛躍が期待できる。インフラ情報は国にとって重要情報であり，他国との情報シェアには高いハードルがあるが，可能な範囲は見出せると考える。また前処理の高度化については，ノイズ低減と特徴抽出を行うための信号処理技術の改善，革新が必要となる。最後にAIの出す答えを確認するのは人間であり，その答えの正しさを判断しなければならない。良好な技術者の育成は未来永劫必要不可欠である。

イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



竹谷晃一 東京工業大学特任講師

研究領域、専門領域

- ◇ 橋梁の維持管理に関する研究・実務
- ◇ 構造物センシング（特に振動）に関する研究
- ◇ 環境発電に関する研究

【維持管理面】

構造物の維持管理方法は事後保全と予防保全の2つに分けられる。損傷の度合いに応じて補修を行い、将来的な損傷が予想される個所は必要に応じて改修や補強を行うが、いずれも適切な保全には構造物の状態を知ることが必要である。点検は構造物のリアルな状態を捉えるために行われるものであり、特に目視点検は劣化・損傷を人が直接診断するため現場の安心感が高く、限られた時間・予算の範囲で柔軟に実施しやすい。その利便性の反面、点検が形式的になる可能性や、診断が人依存となっているため、点検結果の信頼性が判断しづらい。そのため、構造物のリアルな状態を正確に捉えるためには、従来の目視点検で得られる情報を活用しつつ、構造的な状態を得る新たな技術が必要である。具体的には、構造状態に関する情報を得るためのセンシング・モニタリング技術、人工知能を含むデータ分析技術、点検・補修の自動化や遠隔化などである。そのためには、データ共有と情報のオープン化による技術革新の促進も重要と考えている。

【防災面】

自然災害や事故直後の緊急点検では、構造物の損傷の有無やその状態を即座に診断し、供用の可否や補修の必要性などの意思決定を迅速に行うことが重要である。しかし、従来の点検では現場までのアクセスや点検作業員の確保に課題があった。また、点検では構造部材の塑性化の有無やその履歴を確認することは難しく、蓄積ダメージによる潜在的な危険性を含んでいる可能性がある。そのため、防災面におけるイノベーション技術には即時性と継続性が求められると考えている。即時性の例としては、ロボティクス技術による点検・補修の自動化や遠隔化、リアルタイムでのデータ共有や過去データの参照と分析である。継続性の例としては、モニタリングによる被災中を含む構造物の挙動履歴の取得である。これらの技術から得られるデータに基づいて構造物の状態を即座に診断し、人間が行うべき意思決定をいかにサポートできるかが災害時において重要と考えている。

【将来面】

インフラ構造物の永続的な安全・安心のためには、構造物の状態情報が重要だと考えている。しかし、力や応力、構造パラメータを含む状態情報の多くは目に見えないものである。目視点検は損傷や劣化など状

態を診断するために行われるが、状態情報を直接見るものではない。目に見える・見えないは重要性の指標ではなく、認識のし易さや便利さの指標である。見えないものを認知して可視化し、状態情報を目視点検と同じ土俵に並べたうえで、インフラ構造物の永続的な安全・安心のための議論を深めることが大切であり、そのための手段提供を技術イノベーションに期待するところである。

イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



田辺篤史（株）日建設計

研究領域，専門領域

- ◇ 鋼（RC）構造物全般に対する設計，維持管理
- ◇ 構造物健全性に関する計測，監視，評価，改善
- ◇ コンピュータシミュレーションによる性能評価

【維持管理面】

社会基盤はかなり整備されてきたとはいえ，いまだ社会基盤の整備は終わっておらず，また，初期に整備された社会基盤の高齢化により，維持管理の必要性和作業量が増加の一途をたどっている．一方で，労働人口は今後も減少傾向が続くため，効率化・省力化した上で，確実かつ適切な検査・点検・診断・補修が必要となる．イノベーション技術がこれらの課題の一つ一つに対する解決策となり，少しずつであっても，より良い社会資本の維持に貢献していくと期待している．

ICTの進歩により，設計はBIM/CIMとしてデジタル化，三次元化が進行している現状にある．過去に建造された社会基盤ストックについても，少しずつデジタル化が進んでいる．しかしながら，これらの情報を一元的に管理するのは，コストや情報管理の面からハードルが高い状況にある．イノベーション技術により，これらのハードルを解消・軽減し，統一的な扱いにより，効率的な維持管理ができる環境が整備されることを期待している．

ベテランの知見（暗黙知）を若手に引き継ぐことは重要であり，それを適切かつ効率的に行える様にするには，これまでも多数の試みが成されているものの，体系的な方法はいまだ編み出されていないと思われる．「愚者は経験に学び，賢者は歴史に学ぶ」というビスマルクの格言があり，これまでのアプローチは，どちらかというとも歴史を編纂していた様に思われる．すなわち，ケーススタディを収集したり，維持管理のステップを整理して体系化したり，といった方向性である．これらは歴史にあたり，賢者であれば有効に学べると考えられるが，私の様な愚者にとっては理解も定着も困難であり，やはり“経験”が望ましいと考えている．スポーツの世界でも，失敗しても良い状況下で多数の試行を行い，結果というフィードバックを受けて，少しずつ改善し，その成果をもって大会という本番に臨んでいる．維持管理の教育においても同様のアプローチが望ましいと考えられる．現在，VRやAR，XRなどの技術が発展し，かつ，社会にも浸透しつつある．これらを含んだイノベーション技術により，失敗できる環境で検査・点検，診断等の経験を積める様になり，将来の維持管理がより良いものになることを期待している．

【防災面】

地震などのイベントによる影響の有無や程度を適切かつ早急に把握できると、交通網の早期復旧の助けとなり、社会全体としての復旧性に有用になると考えられる。地震中の応答やイベントを計測したり、イベント前後で健全性指標を比較したりすることが有効と想定され、ここにイノベーション技術が大きな役割を果たすことが期待される。期待されるイノベーション技術としては、微細な構造の変化の検出手法、早期に大量の対象構造物の計測を行う技術、比較用の過去の計測データへの素早いアクセスができるデータの保存・管理方法など、多岐にわたると想定される。イノベーション技術の実用化により、防災面でのパフォーマンスが次第に改善していくことを期待している。

【将来面】

イノベーション技術は、人口減少に対応するための省力化・無人化や高精度化などの面での有効性に注目されることが多いと、個人的には感じている。これは、どちらかというとな人の作業をイノベーション技術に肩代わりさせる方向であると思う。この面での有効性は十分に期待できるが、イノベーション技術はそれだけにとどまらないと考えている。すなわち、人の負担を軽減することで、本来人間が持っている能力を十全に発揮しやすくなり、それが、さらなるイノベーションを生み出すきっかけや、原動力になるのではないだろうか。このイノベーションの連鎖によって、今後も素晴らしい技術が誕生し、社会に浸透し、結果として、より安全で確実なインフラの維持管理がなされていくことを期待している。

イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



中澤治郎 パシフィックコンサルタンツ(株)

研究領域, 専門分野

- ◇ 道路構造物の点検, 調査, 診断, モニタリング, 補修・補強, 撤去・更新に係る調査及び設計
- ◇ 鉄筋コンクリート床版の疲労損傷の研究
- ◇ インフラスマートマネジメントの研究

【維持管理面】

橋梁など構造物は, その誕生以降, 一般的に想定されるメンテナンスサイクルの流れによれば, 点検, 診断, 措置, 記録(維持管理)の各ステップで実施した行為が, 脈々と引き継がれていく。これら, 積み重ねられる行為がもたらす結果として, ある時点で遭遇するかもしれない「運命」の分岐において, 誤った方に進まないようにするためには, 維持管理の場面において, 着実かつ手堅い対応を積み重ねることが肝要である。

例えば, 目視を主体とした定期点検においては, 橋の「状態」を漏れなく考慮するように努め, 診断・補修に際して, 考慮すべき「設計状況(作用)」など, 次ステップに可能な限り正確に繋いでいく必要がある。それらの気づきや対応における判断の正確さを与える手段として, イノベーション技術, 例えば, 最新のツール(先端センシング技術, AIによる変状検知など)や最新の知見(高精度な劣化進行予測及び耐荷力推定など)を活用することができれば, 対象の構造物は, 健やかにその機能を果たし続け, 手戻りの少ない維持管理の実現につながっていく。

このためには, イノベーション技術のより効果的な導入のロジックの構築が重要であり, 構造や力学の観点から, 構造物の劣化や損傷と, 供用期間中の種々な作用に対する橋梁全体の応答や挙動と関連について, 更なる実態の解明が求められる。

【防災面】

近年の自然環境や経済・社会活動を巡る変化に伴い, 気候変動等に伴い風水害等が頻発化, 激甚化しつつある上, 近い将来, 大規模な地震・津波災害の発生が高い確率で想定される。例えば, 昨今, 地震の発生をいち早く捉え, 地震の規模等から強い揺れや津波が適時適切に予報することで, 防災・減災へ貢献しているが, 高い津波, 火山の噴火等の自然災害を, 発生前に的確に予測してそれを防御することは, 現在および近い将来の技術では不可能であると言われている。

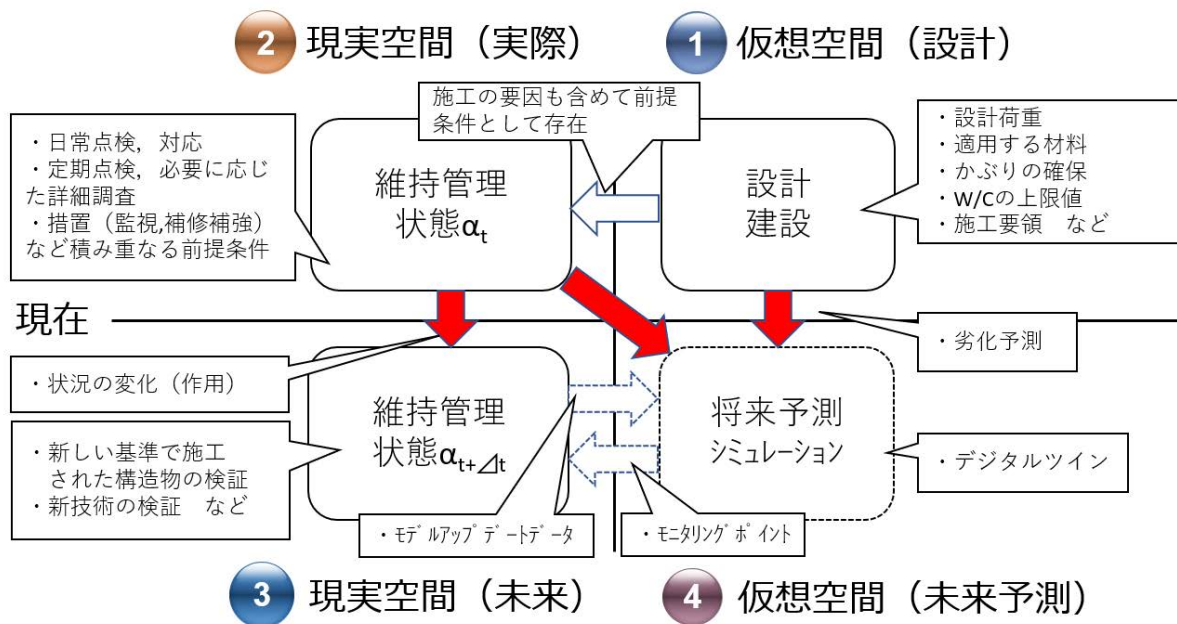
一方で, 災害に強いインフラ整備を進めること, 例えば, 救急車や消防車が活動しやすいように道路などを整備するのは, 膨大な整備コストが必要であり, 集中と選択を要する。そこで対応としては, 災害発生時

の情報収集力の強化や、関係機関による迅速かつ的確な災害対応を実現など、被害軽減や早期復興を実現することが求められる。情報収集力と言えば、既に、広域災害に対する人工衛星 SAR や広域被地上でも無人機ドローンの活用など、多種多様なセンシングデータを統合的に活用が取り組まれている。

また、迅速かつ的確な災害対応を実現するために、通信途絶等の厳しい状況下においても、遠隔で稼働するセンシング技術（LPWA の活用による IoT ネットワークの構築）など、現場情報のリアルタイムなデータ共有がもたらす、サイバー空間とフィジカル空間の融合、現実空間の再現、被害・社会影響の予測、予測結果に基づく対応の最適化を可能とする防災デジタルツインへの展開が期待される。

【将来面】

現在、本報告書でとりまとめられているイノベーション技術をはじめ、多岐にわたる取り組みが現在進行形で進んでおり、その成果がとりまとめられている状況である。これらを、体系的に取り込んで、実務の場面で駆使していくことは、本当に容易ではない。携わる技術者の研鑽、チャレンジするメンタリティーが大切である。ここに、稚拙ではあるが、今後の展望について、図解したものを示す。若手の技術者には、イノベーション技術に積極的に関わりを持っていただき、慣れ親しみながら活用を図っていくことで、新たな風が吹いていくものと確信している。



イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



長山智則 東京大学教授

研究領域, 専門領域

- ◇ 車両応答等を利用した路面や軌道の状態把握の研究
- ◇ 産業インフラの効率的な診断のための研究
- ◇ 地震後の迅速な構造状態把握のための研究

【維持管理面】

維持管理の基本は近接目視点検やその結果に応じて行われる詳細調査であり、それらの重要性は今後も変わらない。しかし、近接目視や限定的に行われる詳細調査によっては取得困難な情報について、イノベーション技術の活用により補完し、より高度な判断や効率化が可能となると考える。近接目視では変状の定量化や経時的な変化の把握が難しい一方で、詳細調査の多くは高価な技術を前提としており調査対象や期間が極めて限定されてしまう。画像や振動、衛星データ等に関連した簡易な計測技術を利用することにより、変状の進行性を定量的かつ経時的に評価し、維持管理を高度化することが可能であると考えられる。

【防災面】

災害後に構造物の損傷リスクを迅速に把握することが、二次被害の防止や円滑な初動や復旧のカギであり、その実現に向けてイノベーション技術の活用が期待される。例えば、地震時には簡易な加速度応答計測に基づいて構造物群の詳細な最大経験変位を把握できれば構造被害を推定できると考えられるし、加速度応答を密に推定できれば電化柱や照明柱、標識柱など付帯物の損傷リスクを迅速に評価できる。洪水時や洪水後には橋脚の洗掘がしばしば生じるが、振動や傾斜の観測に基づいてリスクを評価することが期待される。強風下における構造被害や熱波や火災による構造物の変形・被害も簡易な計測により把握できれば、防災上有益と考えられる。

【将来面】

有限要素解析、数値流体解析、マルチボディ解析などの数値シミュレーション技術は高度化しており、表現可能な現象も増加している。しかし、実現象を正確に模倣するには、多数のパラメータを適切に設定する必要があり、これが課題である。一方、観測技術も進化しており、多様な物理量を多量に取得できるようになっている。それにもかかわらず、両者を効果的に統合する技術は未だ研究開発が不十分であり、限定的なモデル更新やデータ同化に留まっている。数値解析と観測データを効果的に連携させる革新的な技術が今後一層求められると考えられる。大規模言語モデルにおいては、モデルの規模を拡大しても過学習が少なく、過剰パラメータ表現によって頑健なモデルが生成されるとされている。このようなメカニズムが、構造物を

対象としたモデリングにおいても実現され、大規模なモデルと多量のデータを効果的に組み合わせる仕組みが生み出されることが期待される。

イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



西尾真由子 筑波大学准教授

研究領域, 専門分野

- ◇ 既存構造物のモニタリングとデータ同化性能解析に関する研究
- ◇ インフラ構造物の性能解析・リスク解析とその計算効率化に関する研究
- ◇ 構造物運用・維持管理における機械学習・AIの活用研究

【維持管理面】

センサ設置やロボティクスによって構造物応答や環境に関する多様な物理量のデータを大量に自動取得し、それをを用いることで現行の目視点検や補修補強の意思決定を完全にとって代わることができれば、イノベーションといえるのかと思う。センシング技術も構造物状態を把握するデータ解析技術もロボットや AI の技術も、既にこの数十年である程度積み上げられてきているので、あとはどのように管理者や社会が受容してコストをかけて実行するかという段階かと思われる。ただしデータ量が膨大になるので、従来のデータ処理・解析技術に基づく機械学習を構築することは有効であり、データや得られる情報をどのように管理して運用するかという点は検討が必須で、研究と運用の連携が求められる。

【防災面】

耐震設計など単一の災害イベントに対する構造物設計は高度化してきているので、センシング技術やデータ科学の技術などで、2つ以上のイベントが重なる複合災害時の構造物健全性評価や、あるイベント発災後の避難や物資輸送の誘導、余震や津波、豪雨など悪天候の情報と合わせた二次災害での被害軽減への活用ができれば、イノベーションになるかと思う。これにはデータ取得から解析、結果の可視化と公表までがワンストップで迅速にできる方法を構築するところに研究や技術開発の余地があると考えている。

【将来面】

一般には土木構造物は社会インフラとして安全に機能していて当たり前と認識される面があり、特に維持管理や防災対策といった既存構造物の運用に関しては、研究や技術開発が社会の縁の下の力持ちになる。その点はとても大事でやりがいを感じる点でもあるが、合わせて、構造物運用の技術を社会に格好よく魅せることも今後は重要かと思われる。新技術はすぐ古くなるので、実直な検証や検討と並行して、「とりあえず面白そうだから使ってみる・どのように便利に使えるか現場が自分で考える・社会にアピールする」という取組みへの自由度が増さないとイノベーションは起きないように思う。そのほうが技術者や研究者自身が楽しめるし、それはめぐり巡って楽しくて格好いい業界として社会の認知と受容が得られたり、プレーヤーが増えたりすると思う。

イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



宮下剛 長岡技術科学大学准教授

研究領域, 専門領域

- ◇ 道路橋の限界状態設計法に関する研究
- ◇ 鋼構造物の CFRP を用いた補修/補強に関する研究
- ◇ 橋梁ヘルスマニタリングに関する研究

【維持管理面】

新設と既設で、橋梁が置かれている状況に大きな変化は無いと考えられることから、今後、既設橋梁に対しても新設と同様の限界状態が適用され、橋梁維持管理が実施されるものと想定される。しかし、人口減少によるコンパクトシティの推進や逼迫する予算状況を鑑みると、全国一律の基準で、橋梁維持管理を実施することは難しくなると思われる。そこで、海外で実施されているLoad Rating等を参考に、橋梁の点検間隔を今よりも短期間にした上で、BWIMで実態荷重を把握し、橋梁維持管理で使用する活荷重係数を低減させることが考えられる。これに向けては、簡易に実態荷重を精度良く把握することが可能なモニタリング技術の開発や損傷した橋梁の残存耐荷力を部材レベルのみならず、橋梁全体系で簡易に評価することが可能な解析技術の開発が求められる。

【防災面】

これまで、道路橋の耐震設計では、レベル2地震動に対して、耐震性能2や耐震性能3として、部分的な損傷を許容してきたものの、2017年の道路橋示方書の改定により、橋の耐震性能という概念自体が発展的に解消された。これからの道路橋の設計では、橋の耐荷性能の中で、耐震性能も考慮する必要がある。橋の耐荷性能では、限界状態1~3として、新たな限界状態が定義されてはいるものの、現状では、概念が提示されるに留まり、具体的な状態や設計式は整備されていない。今後の検討から、限界状態ならびに照査方法の具体が提案されることになるが、限界状態2では、部材や構造全体系の一部塑性化を許すことになる。これは、大規模地震が多発する我が国の状況をふまえ、被災後に部材が塑性化したり、座屈したりしたとしても、構造全体系として使用性に問題がなければ、早急に緊急車両を走行させたいなどのニーズがあつてとのことと思われる。実際の運用となると、部材が塑性化した場合に、その塑性化の状況や残存耐荷力の把握が重要となる。これらを可能とするようなモニタリングや評価技術の開発が求められる。

【将来面】

これまでの鋼橋設計は、各部材が弾性域にあることを保証する許容応力度設計に基づき、これらの部材から構成されることで構造全体の安全性を担保してきた。結果として、過度とも言える安全余裕を有すること

で、不確実性が高い大規模地震に対して、大きな損傷を免れてきた。しかし、許容応力度設計では、部材の塑性化を許さないことから、例えば、大規模地震によって、部材の一部に座屈による変形が生じたりすると、構造全体としては供用に問題がないと思われる場面でも、長期間にわたりその使用が制限されてしまう。計算機の演算処理能力の向上は目覚ましく、複雑な三次元立体構造を有する橋梁全体のシミュレーションも可能となり、許容応力度設計にもとづく橋梁設計は十分に成熟した。しかし、わが国の社会状況をふまえると、降伏以降も大きな伸び変形性能を有する鋼材から構成される鋼橋の利点を活用した新たな鋼橋設計法を構築する段階なのではないだろうか。道路橋示方書は、このような観点から新たな設計体系の構築を目指しているものと理解しているが、これをサポートし得る技術開発が求められる。

イノベーション技術がもたらす新しい視点（未来）について



宮森保紀 北海道大学教授

研究領域, 専門領域

- ◇ 点群データを活用した構造物の保有性能把握に関する研究
- ◇ センシングデータに基づく構造安全性評価に関する研究
- ◇ 地震・洪水被害を受けた橋梁の調査と被災メカニズム検討

【維持管理面】

技術者が現地に行き点検する維持管理のサイクルは、今後も変わらないし変えるべきでないとは私は考える。構造物があるその場所に行き、そこでどのような劣化や変状が発生し、逆にどのような現象は起こらないのか、点検にどのような課題があるかを技術者自身が知ることが、技術の伝承のみならず新技術の発展のために不可欠だからである。そしてこの枠組みを持続可能にするために、現場で点検を支援する技術はもっと発展する余地がある。近づけないところに近づき、見えないところを見るモニタリングやセンシング技術のほかにも、現場での判断を支援する技術や、事前・事後の作業や移動を支援する技術が集積して、イノベーションを起こしたい。

【防災面】

特に農村部や山間部では、道路や橋が通れるか、電気や水道などのライフラインが断たれていないかを即時に把握することが、人命と産業、特に農林水産業を守ることに直結する。発災後、数時間から十数時間のうちに行われるそのような緊急対応では、まずは外観の変状確認で十分であろう。このような時には UAV や InSAR による上空からの観察が有効だろう。その後に行われる緊急点検では、見えないところの状態を確認できる技術によって、構造物の保有性能を精度よく把握し、恒久的な復旧やその後の維持管理に役立てたい。

【将来面】

モニタリングデータと定期点検の精度向上により、定量的な性能評価に基づくメンテナンスサイクルが確立すれば、安全で安心だけでなく持続可能なインフラネットワークが実現する。橋や道路の健全性に加えて機能性（乗り心地や渋滞、う回路）も可視化して行政と住民が、いつ直すのか、架け替えるのか一緒に考えられる。さらに、部材レベルでその保有性能を評価できれば、構造物を解体撤去する際の環境負荷も可視化でき、健全な部材を再利用することも考えられるようになる。