

インフラ物性学のすすめ

老朽化が進むインフラを適切に管理する方法論として、アセットマネジメントが重要な役割を果たしている。目視点検等を通じて、膨大な点検データが蓄積されてきた。ビッグデータを用いた統計的劣化予測技術、ベンチマーク分析、プロファイリング手法の開発やISO55001によるマネジメント基準の策定により、アセットマネジメントの方法論ができあがった。さらに、センサー等を用いた常時モニタリング技術や時系列解析の手法も開発されている。ドローンやレーザーを用いた計測技術、3次元CAD技術により、サイバー空間でインフラをモデル化したデジタルツインの実現が現実味を帯びてきた。高度なデータサイエンス技術を用いて、アセットマネジメントの高度化を目的としたデジタルマネジメントの新しい潮流が生まれつつある。

その一方で、気候変動に対応するためのインフラ・カーボンニュートラル技術、インフラ・リサイクル技術、多発する災害に対応する高度化した都市の強靱化のためのインフラ・レジリエンス技術の発展が求められる。このような技術的課題に応えるためには、インフラの劣化状態に対応した維持・補修方法のみならず、マイクロな物性レベルでの課題に対応した新素材の開発、新工法の開発等を推進していくことが必要である。インフラの劣化過程に関する点検・モニタリング、力学的劣化機構の解明、劣化現象の力学的・統計的モデル化などを含むアセットマネジメント技術は、過去10年間に長足の進歩を遂げたものの、物性レベルにおける劣化現象の発現やその進展のメカ

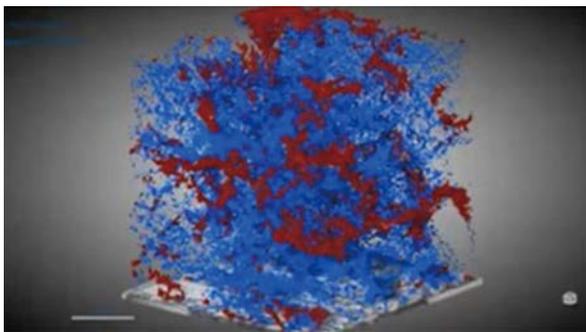
ニズムに関しては、ほとんど研究事例や実務的知見が蓄積されていないのが実情である。

SPring-8 (Super Photon ring-8 GeV) やスーパーコンピュータを活用した物性科学の進展により、微視的3D画像から数値解析用モデルへの展開、局所変位場計測による破壊経路解析、4Dデータのメタモデリングなどを通じて、インフラ分野における新素材や新材料に関わるイノベーションを実施していくことが可能になってきた。SPring-8とは大型放射光施設であり（現在、SPring-8-IIへのバージョンアップが計画されている）、電子を加速・貯蔵するための加速器群と発生した放射光を利用するための実験施設及び各種付属施設で構成される。放射光とは光速に近い速度で直進する電子が、その進行方向を磁石などによって変えられた際に発生する電磁波のことである。SPring-8を活用し、太陽光の100億倍の明るさを持つ放射光を使ってインフラのマイクロな物性レベルの構造や機能に関する超ビッグデータを取得することが可能となる。SPring-8を用いて劣化したコンクリート試供体の粒子レベルの断層画像を構成した結果を図に示している。現在、舗装、コンクリート、土構造物の供試体の断層画像のデータベースの作成が試みられている。

SPring-8により計測されたデータ量は膨大であるため、供試体の3次元断層画像をイメージプロセッシングする技術が必要となる。それにより破壊された骨材、複数の空隙を繋げたひび割れを可視化できるようになる。現時点では海外のソフトウェアに頼らざるを得ないが、オート・エンコーダー



京都大学名誉教授 小林 潔 司



コンクリート空隙の断層画像

等のAIを駆使した画像構成技術の発展が望まれる。

インフラ物性学の発展のためには、インフラ特性の可視化を越えて、インフラ物性の3次元特性を計量化する画像解析技術が不可欠である。物性画像解析の世界は、3次元空間における物性特性を克明に表現するところから始まる。このような画像解析のために、位相的データ解析という手法が開発されている。位相的データ解析を用いたインフラ物性研究のポテンシャルは、すでに整っていると考えた方がよい。位相の定義には多様性があるけれど、(たとえば距離という)位相の包含関係によりインフラ物性の空間形状的な特性を記述することができる。これにより物性特性と力学的特性の関係を分析することができる。インフラの新素材や新工法の性能規定のために重要な基礎研究になるだろう。

インフラの新素材、新工法の性能評価を行うために、スーパーコンピュータを用いた劣化シミュレーションが必要である。インフラに外力が作用

すれば、材料物性レベルでの粒子間相互作用が発生する。このような応力ひずみ関係は、たとえば伝統的な有限要素法などの計算手法が活用できる。問題はその先である。このような相互作用は物性構造そのものを変化させる。化学反応によるインフラ物性の変化も発生するだろう。インフラ物性の構成方程式の動学変化をシミュレートする方法が必要になる。物性変化は決められた力学的・化学的ルールに従って生起するのでプログラム化が可能である。問題は計算量である。スーパーコンピュータを用いたこのようなインフラ劣化の動学的シミュレーションに関する研究は緒についたばかりであるが、金属物性や新薬開発等の世界では、すでに基礎的・応用的研究が蓄積され実装化も進展している。

インフラ物性学の研究は緒についたばかりである。何よりも、イノベーションを推進する人材がほとんどいない。インフラ物性という新しい分野が、これから研究やイノベーションの世界に参入しようとする若い世代を惹きつけばと願うばかりである。令和5年に「インフラ物性研究機構」が設立された。本研究機構がインフラ物性学の研究・実験テーマの発掘、成果の技術基準化・標準化に必要な知見、インフラ物性学の発展と体系化を目指したプラットフォームとして発展することを願っている。

【著者紹介】小林 潔 司 (こばやし きよし)

1997年京都大学教授、2019年より京都大学名誉教授、同経営管理大学院特任教授。現在、内閣官房ナショナル・レジリエンス懇談会座長、国土交通省社会資本整備審議会、交通政策審議会委員等を務める。学会会議員、土木学会会長等を歴任。