

インフラメンテナンス大変革 ～老朽化の危機を救う建設 DX～

日本大学工学部 岩城一郎¹⁾

1. はじめに

本稿では、SIP3 期スマートインフラマネジメントシステムの構築（PD：久田真東北大学教授）¹⁾において、著者が社会実装責任者として関わっている「先進的なインフラメンテナンスサイクルの構築」の取り組み内容を中心に紹介する。本プロジェクトでは、様々な分野・技術レベルに応じたインフラメンテナンスに関する研究開発と社会実装を進めており、老朽化の危機を救うため、建設 DX を駆使し、インフラメンテナンスの大変革を目指そうとしている。この内容は 2025 年 4 月に本講演タイトルと同名の書籍²⁾として販売された。本稿を通して、橋梁・鋼構造物の塗装という視点からインフラを長持ちさせるための方策について考える好機としていただきたい。なお、本稿は書籍および既発表の論説^{3), 4)}の内容を再構成したものである。

2. SIP 第 3 期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」の紹介

近年、橋をはじめとするインフラの老朽化が社会問題となっている。この問題の重要性に鑑み、内閣府では戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第 3 期 14 課題の一つに「スマートインフラマネジメントシステムの構築（PD：久田真東北大学教授）」を位置づけた。本課題は、デジタル技術によりインフラの設計から、施工、点検、補修まで一体的な管理を行い、持続可能で魅力的、かつ強靱な国土・都市・地域づくりに貢献するシステムを構築し、効率的なマネジメントを実現するための技術開発、研究開発に取り組むもので、5 つのサブ課題から構成されている。このうち著者は社会実装責任者として、研究開発責任者を務める東京大学石田哲也教授とともに、90 を超える共同研究機関・協力機関と連携し「先進的なインフラメンテナンスサイクルの構築」を担っている。



図 1 SIP3C による誰一人取り残さない社会の実現を目指して

本サブ課題の目的は久田 PD の提唱する「誰一人取り残さない社会の実現」に向けたメンテナンス技術の変革である（図 1）。そのことにより、3K（きつい、汚い、危険）の代名詞と称されるインフラメンテナンスを、創造的（Creative）で、カッコよく（Cool）、挑戦的（Challenging）な仕事へと変貌（3K から 3C へ）させることを目指す。そうでなければ若者や女性はこの仕事に寄り付かず、将来担い手がなくなることは自明である。そのために 4 つの目標値を設定した。①これまでになかった技術の創造（0→1）、②情報量 1000 倍、③生産性 100 倍、④維持管理性 10 倍の実現である。

これらは非現実的に映るかもしれないが、例えば高速で走行する車両に搭載した LiDAR やレーダーにより、単位時間当たりの三次元空間におけるデータ（コンクリート床版や舗装）を各 10 倍取得できれば、1000 倍の情報量を得ることになるし、これまで 1 日（10 時間）に 10 人がかりで行っていた作

1) 日本大学工学部 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1

業を 1 時間に 1 人で実施できれば、100 倍の生産性を得ることとなる。さらに、余寿命 3 年と診断された構造物を適切に措置することで、30 年 (10 倍) の延命化を果たすことも可能である。こうした目標を達成させるため、「箱庭ハイサイクル」の概念と各レベルに応じた「パッケージ」(個別技術の組合せ)の現場実装を提案する (図 2)。

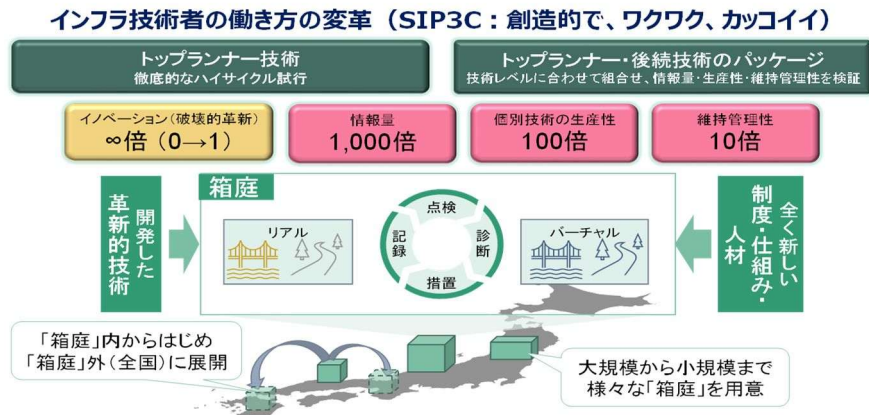


図 2 箱庭ハイサイクルの概念図

3. 箱庭における技術レベルに応じた技術パッケージの構築

「箱庭」とは、過去の技術やしがらみから断絶した時空間上において、徹底的な新技術の開発と検証を行い、得られた成果を箱庭の外に展開する概念である。一方、「ハイサイクル」は、インフラのライフサイクルを 100 年、定期点検に応じたメンテナンスサイクルを 5 年とする現実空間に対し、上述した膨大なデータを仮想空間上で高速処理し、マルチスケール・マルチフィジックスモデルによるインフラの劣化予測、性能評価、さらには人流シミュレータによる橋の通行止めや措置に伴う社会的影響度の評価により、最適解を見出し、実構造物に適用するもので、まさにデジタルツインの真骨頂と言える。

一方、インフラは道路のみならず、鉄道、港湾、河川、上下水道、電力施設、公共建築物、農業施設など極めて多岐にわたる。橋一つを例にとっても、日平均断面交通量が 10 万台に及ぶ高速道路橋もあれば、一日数台しか通らなくても住民にとって欠かせない生活道路にかかる橋もある。これらをすべて同列に扱うことは不合理で、いかにメリハリの利いたメンテナンスを行うかが肝となる。費用対効果の視点から、経済効果の低い橋を片っ端から切り捨てることも理知的とは言えない。また、インフラ管理者の技術力や財政力も大きく異なる。これらのインフラに対する技術レベルに応じてスーパー松、松、竹、梅という 4 階層に分け、個別技術を開発するとともに、これらを「パッケージ」として前述の「箱庭」で検証し、箱庭外に展開する方法論を提案している (図 3)。

様々な分野の、様々なレベルのインフラ、インフラ管理者に合わせた技術パッケージを開発。

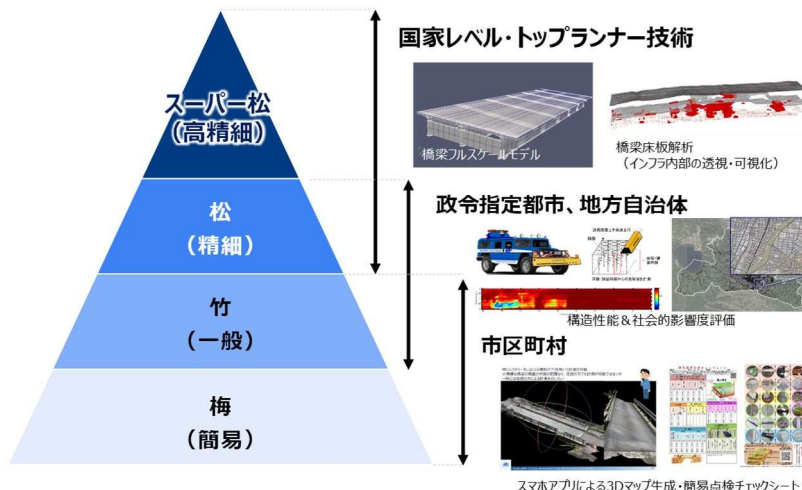


図 3 技術レベルに応じた技術パッケージ構築の概念図

例えば、NEXCO や首都高、新幹線などの重要構造物はスーパー松、国直轄国道などは松に位置づけ、先端技術の粋を結集し、高度なセンシングやシミュレーションを駆使して構造物の現状を把握、将来を予測し、社会的影響度を評価することで、予算措置や制度を含めた提言を行う。改築・補強には 3D プリンティング技術や高流動コンクリートの活用も想定している。一方、人口数十万人の市（竹）や、人口 1 万人前後の町村（梅）では、スマホによる橋の 3D マップ生成や簡易点検アプリにより取得したデータのプラットフォームへの落とし込みなど、簡易にしてデータ駆動型のメンテナンスシステムの構築を進めている⁵⁾。

4. ニーズ重視型・データ駆動型・性能評価型

インフラ分野における社会実装が他産業に比べ迅速かつ円滑に進まなかったことは事実であり、その現状を打開するためには、ニーズ重視型 (Needs-Oriented)、データ駆動型 (Data-Driven)、性能評価型 (Performance-Based) を意識することが重要である。

これまで多くの研究者は「シーズ重視型」の研究開発により成果を出してきたと言える。すなわち、自身の得意とする分野（コンクリート、鋼、橋、トンネルなど）や手法（実験・解析・調査など）を駆使し、成果を論文として公表するものである。こうしたシーズ（種）は、時に革新的な成果を生み、その成果を応用することで社会実装が急速に進むことが期待される。一方、インフラ業界ではこうしたシーズが市場のニーズと合致しないことが多く、優れた研究成果が実装されずに埋没してしまうケースが後を絶たない。本気で社会実装を目指すのであれば、これまで得意としてきたやり方に固執することなく、市場におけるニーズ（課題）を掘り起こし、課題解決に向けた道筋を明らかにした上で、研究開発を行うことも必要である。これがニーズ重視 (Needs-Oriented) の概念である。

データ駆動型については、情報量 1000 倍を掲げているように、質・量を兼ね備えた膨大なデジタルデータが集積可能な状況において、これらのデータを駆使し、有用な情報に結び付け、知識・知恵につなげ、インフラメンテナンスに適用するというものである。Society5.0 を引き合いに出すまでもなく、膨大なデータをいかに使いこなし、インフラメンテナンスの合理化・効率化を図るかは時代の要請であり、当然のことながら AI やデータサイエンスといった技術の導入も期待される。

最後は性能評価型である。これまで構造物の施工にあたっては初期の建設コストが重視されてきた感が否めず、また維持管理においては、構造物の「見た目（変状）」でその健全性を評価することが主として行われてきた。その結果、厳しい環境下において、構造物のライフサイクルにわたる性能を確保できず、早期劣化に至る事例が多発したり、構造性能は確保されているにも関わらず、見た目が悪いとの判断で、不要な補修・補強を実施する事例も後を絶たない状況にある。こうした負の連鎖を断ち切るためには、構造物のライフサイクルにわたる「性能」を確保するための設計・施工や、構造物の見た目ではなく「性能」に基づき診断する枠組みが必要である。2024 年 4 月に改定された道路橋定期点検要領においても構造物の「見た目」から「性能」を重視する方向に舵が切られており、2022 年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]（土木学会）の考え方も整合する。ようやく「コスト」や「見た目」から「性能」に基づく設計・施工・維持管理への転換が図られる中、性能評価型 (Performance-based) インフラメンテナンスの実現が求められている。

5. 水の作用に着目したコンクリート構造物のメンテナンスとコンクリート塗装への期待

近年、水の作用に着目したコンクリート構造物のメンテナンスの重要性が理解されるようになってきており、2022 年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]においても明記されている。

写真 1 は寒冷地における橋台およびトンネル坑口の劣化している状況である。前者は凍結防止剤交じりの水が桁端と橋台の隙間から流下し、橋台側面に凍害による著しいスケーリングと鋼材腐食を引き起こしている。しかしながら、水の影響を直接受けていない少し横の位置では同じ部材、同じコンクリートであっても全く劣化していない。一方、後者は雨掛かり部において、アルカリシリカ反応によりコンクリートに著しいひび割れとアルカリシリカゲルの滲出が認められる。しかし、こちらもトンネル内部の乾燥しているところでは全く劣化していないのである。水の作用によるコンクリートの劣化から構造物を守る方法は二つある。一つは水を防ぐことであり、もう一つは水を逃がすことである。つまり、コ

ンクリート構造物のメンテナンスを行う上で重要なのは、水の作用に着目し、コンクリートへの水の浸入を防ぐのか、水を逃がすのか、はたまた両者を組み合わせるのかを検討することにある。前者はコンクリート塗装などによる防水であり、後者は水切りや排水溝などによる排水が当てはまる。

コンクリート構造物を劣化させないためにはコンクリート中に水を入れないことが極めて重要であり、コンクリート塗装への期待は大である。一方、コンクリートに水を作用させないためには防水と排水の両面が重要である。例えば、桁下面や橋台前面などにおいて、塗装は外から水が入らないようにすることは得意だが、中に入ってしまった水を逃すことは不得意と考えられる。その結果、塗装の膨れや、場合によっては再劣化が生じることも否定できない。一般に「水が入らない」は「水が出ない」とトレードオフの関係にあるため、コンクリート塗装の品質・性能の向上に努めつつ、他の工法との組み合わせなどによる適材適所の対応が必要と考えられる。



写真1 水の作用に着目したコンクリート構造物のメンテナンス

6. まとめ

我が国は欧米とは異なり、限られた財源下での集中的なメンテナンス、人口減少・少子高齢化時代のメンテナンス、複雑な地形・厳しい自然環境（島国、北海道～沖縄、頻発する地震・豪雨災害）でのメンテナンスを余儀なくされる。その特殊性に鑑み、SIP 第3期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」での研究成果を基軸として我が国独自のメンテナンス技術の体系化がなされれば、諸外国への技術提供が可能となり、国際競争力のある新たな看板として発展することが期待される。その有力な技術の一つに橋梁や鋼構造物の塗装が位置付けられることを期待している。産学官民の総力戦により、我が国のインフラメンテナンス技術を世界のトップに押し上げる挑戦が始まっているのである。

謝辞

本稿は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」JPJ012187（研究推進法人：土木研究所）のうちサブ課題 B「先進的なインフラメンテナンスサイクルの構築」の研究成果を紹介したものです。ここに記して関係者に謝意を表します。

参考文献

- 1) SIP スマートインフラマネジメントシステムの構築: <https://www.pwri.go.jp/jpn/research/sip/index.html>
- 2) インフラメンテナンス大変革 老朽化の危機を救う建設 DX, 石田哲也・岩城一郎編集, 日経 BP 社, 2025. 4
- 3) 岩城一郎, インフラメンテナンス 最後の挑戦, 月間「建設」, pp. 4-5, 2024. 2
- 4) 岩城一郎, 小規模自治体のインフラメンテナンスを考える, 建設マネジメント技術, p. 5, 2024. 8
- 5) みんなで守る橋のメンテナンスネット: <http://bridge-maintenance.net/>