

(54) AIによる維持管理業務の再構成と スマートインフラ

杉崎 光一¹・阿部 雅人¹・全 邦釘²・河村 圭³・山根 達郎⁴

¹正会員 株式会社 BMC 研究開発部 (〒261-7105 千葉県美浜区中瀬 2-6-1 WBG マリブウエスト 5 階)
E-mail: sugisaki@hashimori.jp

²正会員 東京大学大学院特任准教授 工学系研究科総合研究機構 (〒113-8656 文京区本郷7-3-1)
E-mail: chun@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

³正会員 山口大学大学院准教授 創成科学研究科知能情報工学分野 (〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)
E-mail: kay@yamaguchi-u.ac.jp

⁴学生会員 愛媛大学大学院理工学研究科博士前期課程修士課程 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)
E-mail: yamane.tatsuro.17@cee.chime-u.ac.jp

インフラ維持管理のニーズが高まり、負担軽減や高度化が求められる中、IoT、AIなどの新技術を活用したメンテナンスのイノベーションが期待されている。特に、寸法や状態などのデータを取得するセンシング技術とデータを解析する技術の進展が著しく、データを中心としたいわゆるスマート化による生産性向上が期待されている。メンテナンスの特徴として、「既設構造物への対応であり実施可能な対応策は限られているため、バックキャスト的に修正しながらの対応が有効であること」「現場においては、想定していたことに対し、様々な非定型な対応が必要になること」「標準的な設計の構造物であっても、年代や状態に応じて点検で着目する箇所や、補修の際に適切な工法や材料は相違し、また、資源制約の中、高密度なサービスを維持しながら工程の調整を行う必要があること」などが挙げられる。本研究では、スマート化やマスカスタマイゼーションなどの概念を参考に、メンテナンスプロセス個々の改善に対して、プロセス全体をAIにより最適化するための再構成を検討するための知見を整理する。

Key Words : innovation, artificial intelligence, Mass Customization, Business Process Re-engineering

1. はじめに

インフラ維持管理のニーズが高まり、負担軽減や高度化が求められる中、IoT、AIなどの新技術を活用したメンテナンスのイノベーションが期待されている¹⁾。特に、寸法や状態などのデータを取得するセンシング技術とデータを解析する技術の進展が著しく、データを中心としたスマート化による生産性の向上が期待されている。メンテナンスは、既設構造物に対する状態把握を行い、必要であれば措置を行うサイクルの繰り返しである。既設構造物の対応では、実施可能な対応策は限られており、過去の事例や専門家の判断に応じた対応策に対して、バックキャスト的に修正しながら対策を実施していくようなやり方も行われている。ただし、現場においては、想定していたことに対し、様々な非定型な対応が必要になる。また、維持管理における現場では、標準的な設計の構造物であっても、年代や状態に応じて着目する箇所や、補修の際の適切な工法や材料は相違し、また、資源

制約の中、高密度なサービスを維持しながら工程の調整を行うなど、個別のニーズに対してAIによるマスカスタマイゼーションを前提とするようなサプライチェーンマネジメントのアプローチが適していると考えられる。

2. スマート化による維持管理業務の再構成

メンテナンスサイクルにおける現場作業は、評価と措置の繰り返しであり、計画や設計などの内業は、評価と措置のサイクルを循環させるために重要である。図-1にはAIによる維持管理プロセスの再構成イメージを示す。

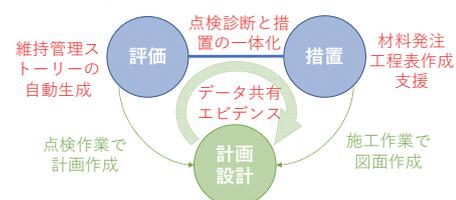


図-1 AIによる維持管理業務の再構成

(1) 維持管理におけるデータプラットフォーム活用

インフラの施工や維持管理のためのデータプラットフォームが検討されている³⁾。図-2はデータプラットフォームをどのように維持管理へ利用してデータの付加価値を高めるかを検討したものである。i-constructionなどのデジタルプラットフォーム構想などを参考にすれば、新設構造物の設計図面はCADなどによりデジタル化され、施工時の点群や画像データなどと統合されて3Dモデルなどが作成され、地形や地盤などの情報、また、設計条件などがデジタルデータとして管理者に納められる。施工後の竣工検査ではデジタルデータを基に施工不良などの対応がエビデンスベースで行われる。

竣工検査後は管理者の維持管理がスタートするが、設備システムなどのライフサイクルにおいて、バスタブ曲線などで知られているように、システムの故障は初期に多く、その後、故障率一定で推移し、経年とともに故障率が増加すると考えられている。インフラ構造物でも、橋を例にとれば、鋼材の塗膜の傷など施工時に発生が多いものや、コンクリートの収縮ひび割れなどの材料的な要因、基礎を支える地盤の沈下による橋の支承部の三点支持など、一部の構造物には初期不良的損傷が発生すると考えられる。初期不良は一律に施工不良として処理するのではなく、データプラットフォームを利用すればエビデンスベースで初期不良の原因を明確化して、適切な補修を行うことができる。また、設計時や施工時のデータを維持管理用に加工することで、点検のアクセス方法（障害となる設備等）や付帯物などの位置を把握したり、変状を記録するなど、点検のための基盤データとできる。図-3は構造物の3Dモデルを作成し、コンクリートのひび割れ変状をプロットした例である。このような基盤データへ、供用環境などの周辺の概観状況を追加すれば、リスク要因や劣化要因などの把握にも活用できる。また、このような基盤データがあれば、将来の維持管理計画や重点着目箇所のリストなどを含むカルテを作成する場合や、点検の方法や周期などを、状態に応じてカスタマイズするなどの個別対応を行う際のエビデンスとなる。

(2) センシングによるリアルタイム設計

センシングにより取得したデータを利用して、人やモノなどを最適に利用することで、現場の回数を減らすことや協議を円滑に進める情報共有が鍵となる。メンテナンスは既設物への対応であるため、点検を行うためには構造物がある場所での現場作業が必要となる。また、得られた点検結果を整理し、さらに詳細な診断が必要な場合に再調査のための現場作業を行う。また、措置として補修作業を行う場合には、製作時図面の確認や、図面が無い場合、もしくはあったとしても、後付けの付帯物な

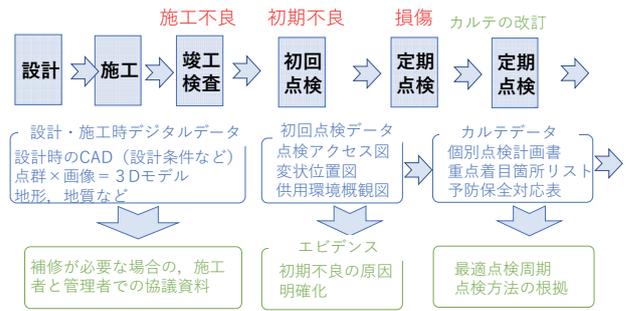


図2 維持管理におけるデータプラットフォーム活用

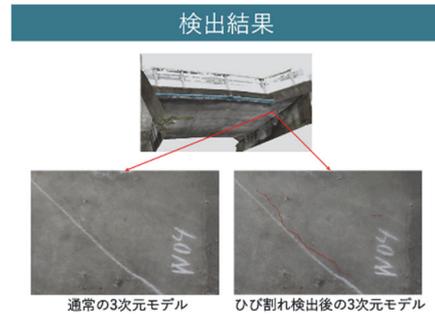


図3 3Dモデルを利用した維持管理データの管理

表-1 センシングによるリアルタイム施工を実現する事例

| ユースケース | 効果 |
|--------------------------|-------------------------------|
| 接合部の画像撮影による欠損ボルト本数のカウント | 施工箇所の把握と図面化 発注資料の作成 |
| 損傷画像と所見を利用した維持管理ストーリーの作成 | 維持管理主体間のコミュニケーション支援 |
| 打音のリアルタイム診断と補修施工の一体化 | 施工対象、材料準備の一体化による現場回数の削減 |
| 施工位置の可視化と予算規模のリアルタイム評価 | (材料が増えるが工数が減る) 記録や協議資料自動作成 |

どがある場合など、現場合わせで採寸を再度行い、必要であれば全体図面を再描画したり、補修のためのディテール設計が行われる。また、補修設計に対して、施工現場が行われ、さらに、設計通りに施工が行われているかの品質を確認する際の竣工検査のような目的が相違する現場も前提とされている。このように複数回の現場作業が行われているが、現場作業の調整の手間を考えれば、スマート化により現場作業を減らすことが重要である。表-1にはセンシングにより、リアルタイムに現場を支援するようなAIのユースケースを整理している。特に「損傷画像と所見を利用した維持管理ストーリーの作成」のイメージを図-4に示している⁴⁾。

現場作業を行うためには管理者と請負業者、また管理者と作業員におけるコミュニケーションが必要である。図面は情報を共有する上で最も有効なツールであると考えられるが、このため写真や点群データなどから自動で図面を起こす技術が期待されている。図面は、必要なコミュニケーションに応じて要求される精度や粗度、情報量などが決まる。資材管理や工期調整、複数の人間で現



図4 AIによるコミュニケーション支援イメージ⁹⁾

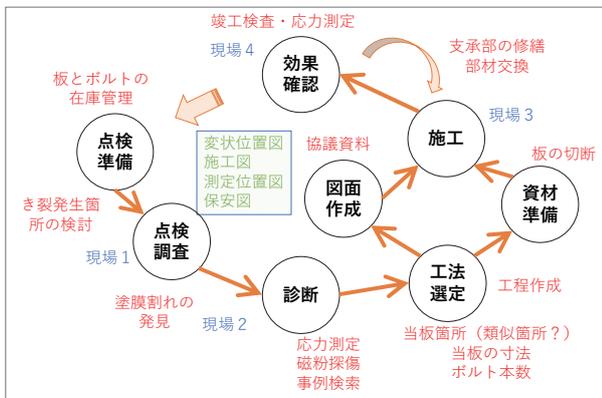


図5 鋼部材のき裂対策としての当板補修工程と AI

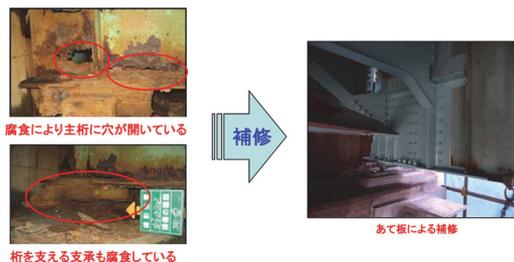


図6 当板補修事例⁹⁾

場作業を行う場合の手順書として要求される。

図-5は業務再構成のイメージを深めるための具体例として、鋼材の疲労き裂が懸念され、実際に発生が確認さ

れた場合に、図-6に示す当板補修工事を行うフローを示した。AIを活用し、紫の字で示す現場4までである現場回数を減らすことが期待される。なお、AIを導入する際には、図面に関わる情報として、「点検で作成される変状位置図」「施工のために作成される施工図」「診断計測のために作成される測定位置図」「現場作業時の安全を確保するための保安」等を、3Dモデルなどで一元管理して、情報共有を円滑にすることが重要である。

維持管理における補修では、前述したように必要となる材料など現場に応じて相違し、個別の構造物のニーズに答えるような非定型な対応が主である。資源が豊富にある成長フェーズでは、東海道新幹線の標準構造物などに対する画一的な補修補強や、被災後の補修のために利用可能な橋桁を事前に準備しておくなどの対応が可能であった⁹⁾。しかし昨今の資源制約の中、高密度なサービスを維持しながら作業を行う必要があり、材料の在庫や現場での加工などのカスタマイゼーションをAIにより確立することが肝要である。

(3) スマート化と全体最適

スマートな人工物として、自己診断性、自己修復性、自己学習性、環境適合性などの概念が出されてきたが、近年ではIoTデバイスなどの進展で、様々なモノがセンシングされ、かつネットワーク化されている。これらの計測データを利用して、人工物をスマート化する上で、自己診断性などはエッジ側のスマート化であると言える。それに対して、クラウド側にエッジからのデータを収集して、エッジを制御して全体最適でスマート化することが検討されている。また、5Gなどの通信技術の進展によりエッジ間の大容量の通信も可能となっている。

インフラ構造物のスマート化による AI 利用においても、クラウドやエッジを意識した実装を検討する必要がある。インフラの維持管理業務においては、現場が主体であり、空間的に広範囲に移動する必要があるが、現場で利用する点検機器や監視センサなど、データを収集するのはエッジデバイスである。深層学習などにおけるデータの学習場所としてはクラウド側で行われることが現状は多く、学習結果をエッジ側で駆動させることになる。通信費用やデータ保存場所の分散を考える場合、エッジ側で解析を行い、必要なデータだけをクラウドに転送する考え方もある。また、インフラ監視カメラなどのエッジデバイスを考えた場合、監視箇所空間的な分散度が高いため、一つのデバイスで複数の機能を有するような多機能化や、汎用的に利用できるような検討も重要である。

(4) 非定型対応支援

現在の点検ではマニュアル的な対応を行っている理由

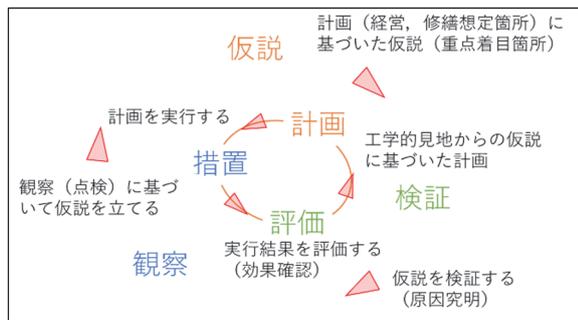


図7 プロセス再構成を実現する二重ループ



図8 画像による構造物変化量の定量化事例

としては、診断や措置が分離しており、点検に多くの資源を割けないことが挙げられる。特に診断は非定型的な対応が必要であると考えられており、マニュアル的な対応が難しいと考えられる。図7はバックキャストを前提とした維持管理プロセスを図化したものである。現物の観察だけでなく、設計や施工条件、過去の事例などの工学的な見地に基づく仮説から措置の内容が決められ、その内容からバックキャスト的に診断内容が決められる。そして、診断や点検はその根拠や説明データの取得方法と考えるような二重のループになっている。このような措置を前提とした点検を行う際には、VRなどの仮想空間を利用した支援や、スマートグラスなどのMixedリアリティと言われるような、仮想とリアルをミックスしたような支援方法が考えられる。そのためには、過去の診断や補修事例、その予算例などから最適な補修工法を選定するAI技術が必要となる。さらに、デジタル化した内容を基に、AIが材料などを自動設計して、現場での材料作成の支援をしたり、施工支援をする技術などがある。これらを実現する技術としてデジタルツインなどの技術が期待されている。支援情報は個々の現場に必ずしも最適なものとは限らないが、予防的な対策にシフトすることを前提に、アジャイル的に施工を行い、措置が最適であったかを施工後の状態を継続的に監視すること、また、履歴を管理することで評価改善を行うことが考えられる。

維持管理業務において求められる非定型な機能として、サービスを妨げるような異常の検知がある。異常の発生原因として、地震、降雨、強風（竜巻）などの自然災害は多く、災害後の点検は維持管理の一部であり、防災と

密接に関わっていることがわかる。また、構造物の劣化による異常では、例えば道路や線路上の電柱や高架橋の脚の傾斜により、サービスを妨げるような支障が発生するようなことが考えられる。異常を発見した際に傾斜や変形などの程度を迅速に把握することが求められる。図8は橋梁の鋼脚の変化量をSfMによる3次元計測結果から定量化した事例である。微小な変化を定量化することで、進行性を監視するセンシングとしても活用できる。このような異常時対応は、現場にとってはいわゆる修羅場対応であり、迅速に状態を把握し、また、オペレーションと情報を共有するようなツールが期待され、また、日頃から使い慣れている必要がある。このような修羅場対応では、平常時における日々の準備が重要と考えられており、平常時の維持管理業務は、異常時対応を迅速に行うことを可能とするリダンダンシー性を高めるリスクマネジメントを実現するプロセスと捉える必要があろう。

3. 結論

- ・インフラメンテナンスではバックキャスト的な思考による対応も行われており、非定型な現場対応が多い。このため再調査などによる現場の回数を減らす、他機関との調整を円滑にするAI技術が求められる。
- ・現場の回数を減らすためにはセンシング技術による寸法計測など、診断や施工支援を行い、現場でなるべく下流の作業を一括で行うことが必要となる。また、全体工程に対して最適な支援を行う必要がある。
- ・マスカスタマイゼーションの概念を整理して、維持管理業務の再構成を検討した。再構成を行うことで、プロセスごとの効率化ではなく、メンテナンス業務全体の最適化を支援するためのAIツールが期待される。

参考文献

- 1) 杉崎光一, 阿部雅人, 全邦釘, 河村圭: AIによるインフラメンテナンスの生産性向上, 第43回土木情報学シンポジウム, pp.137-140, 2018.9.
- 2) 国土交通データプラットフォーム整備計画, <<http://www.mlit.go.jp/common/001283031.pdf>> (入手 2019.4.27) .
- 3) 国土交通省道路局 国道・技術課: 橋梁定期点検要領平成 31 年 3 月, <http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo3_1_6.pdf>, (入手 2019.4.27) .
- 4) 国総研資料第 748 号: 道路橋の定期点検に関する参考資料 (2013 年版), <<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0748.htm>>, (入手 2019.4.27) .
- 5) 国交省: 鋼橋の補修事例, <http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo3_1_1.pdf>, (入手 2019.4.25) .
- 6) 構設史編集研究会: 鉄道構造物を支えた技術集団, 日本鉄道施設協会, 2009.9.
- 7) 中原翔, 西村知晃, 伊藤智明, 福本俊樹, 貴島耕平, 高瀬進, 金井壽宏: 組織行動論へのレジリエンス概念の導入, 神戸大学経営学研究科 Discussion paper, 2014.