

首都高速道路のスマートインフラ マネジメントシステム i-DREAMs

首都高速道路株式会社 保全・交通部 点検・補修推進室 点検推進課

1 はじめに

首都高速道路は、長大橋梁、高架橋やトンネル等の構造物の比率が95%と高いことに加え、総延長約320kmのうち40年以上を経過した路線が全体の約40%、30年以上を経過した路線が60%以上と構造物の高齢化が進んでいる。そのため、点検で発見される損傷は増加傾向にあることに加え、通常の維持管理業務は、社会的な影響を考慮して、夜間作業や年間数日の通行止め時に行うため、効率が悪く、時間を要している。

このように高度経済成長期以降に集中的に整備されたインフラの高齢化が急速に進み、維持管理業務に手間を要しているなか、少子高齢化にともなう年齢人口の減少により、インフラの維持管理などを担う技術者が、将来不足することが懸念されている。

そこで、近年目覚ましい進歩をとげているICT（情報通信技術）、AI（人工知能）、IoT、ロボット技術などを積極的に活用し、維持管理の生産性の向上を図ることにより、持続可能なインフラを実現するスマートインフラマネジメントシステム（i-DREAMs: intelligence-Dynamic Revolution for Asset Management system）を開発し、首都高速では2017年度からその運用を開始している。

2 インフラマネジメントシステム

i-DREAMsは、図-1に示すように調査・設計(DIM)、施工(CIM)、維持管理(MIM)のプロセスにおける、各種データ(属性)をつなげ、統合することにより、効率的な維持管理を実現するシステムである。

具体的には、GIS(地理情報システム)をベースとするプラットフォームに、各プロセスで得られる情報を統合するとともに、維持管理の

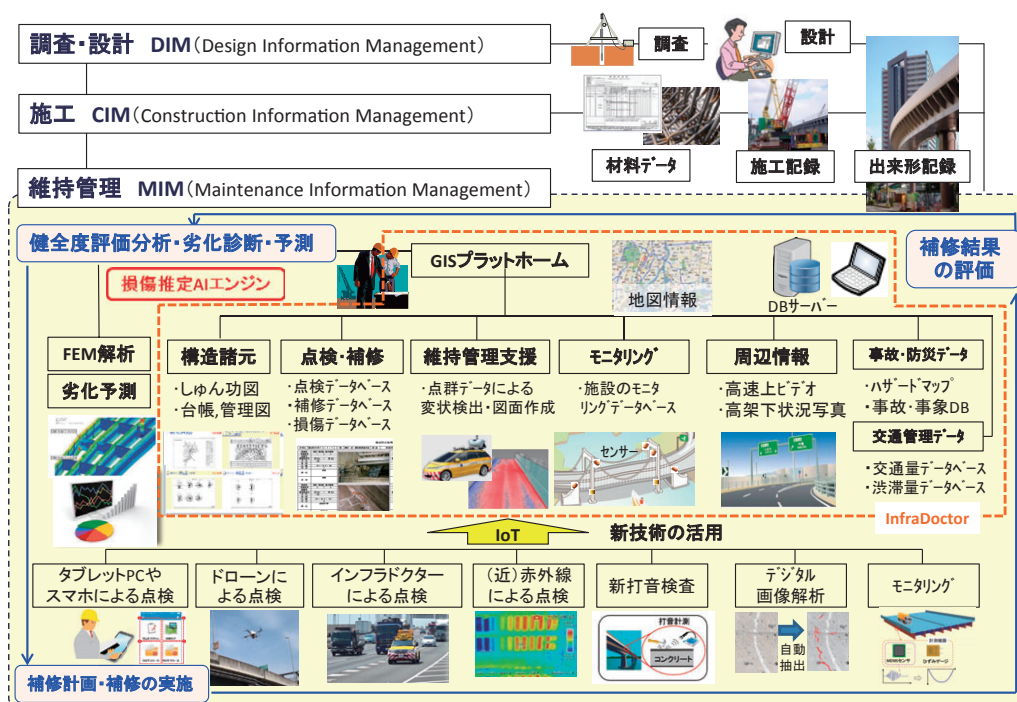


図-1 i-DREAMs® 全体概要図

様々なシーンで3次元点群データを活用することで、効率的な維持管理を支援する（図-1の赤破線範囲のInfraDoctor）。加えて、画像解析やAI（人工知能）等の活用により、構造物の劣化・損傷に対する総合的な分析・判断が可能となり、「見える化」が図られる。このようなメンテナンスサイクルをスパイラルアップすることにより、高度なインフラのマネジメントが実現される。

以下にi-DREAMsの主な技術について記述する。

3 i-DREAMsの主な技術とその効果

3.1 GISプラットフォームからの迅速な検索

従来の維持管理システムは、紙ベースのデータを電子化し、検索機能を追加したものに留まっていた。今回、図-2に示すように、GIS上にデータを統合することで、地図上から指定した構造物の図面や点検・補修履歴のデータを同時または瞬時に検索することが可能となった。これにより、資料収集にかかる時間を大幅に短縮できるとともに、総合的な視点で迅速かつ適切に構造物の診断・評価が可能となった。

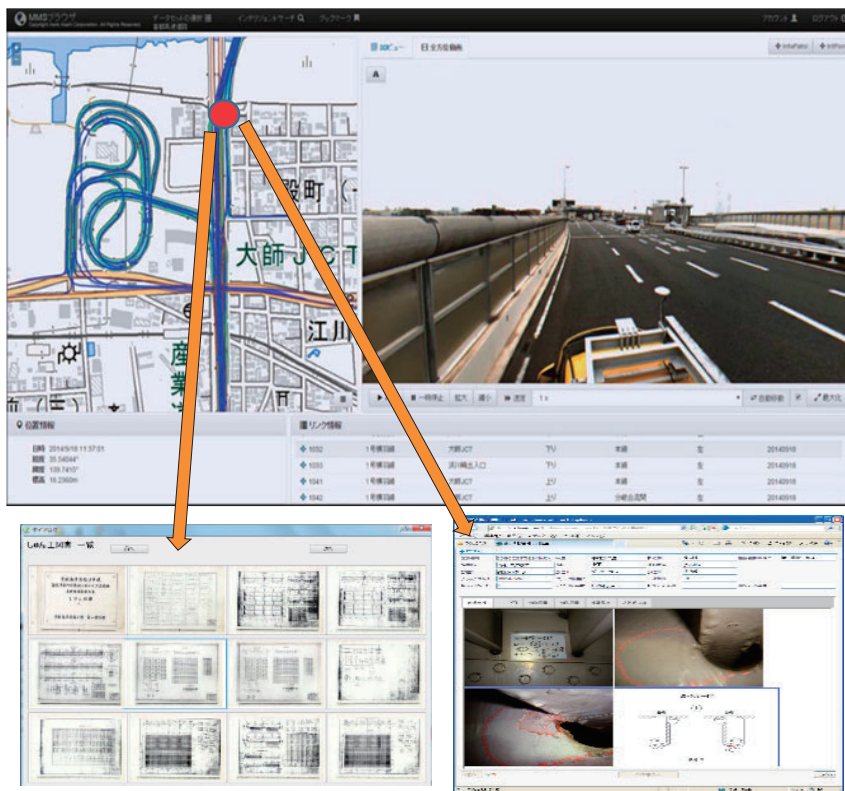


図-2 GISプラットフォーム動作画面

3.2 システム上から現地調査・測量

図-3に示すMMS（Mobile Mapping System）を用いて交通を規制することなく、道路を走行しながら効率的に3次元点群データや周辺の映像を取得し、GIS上で現場を確認することができる。点群データを構成する各点の座標は、測量と同じ精度を有している。図-4に示すように道路幅員等、指定した任意の箇所の寸法を正確に計測することができる。また、図-5に示すように道路の建築限界もシステム上で確認が可能である。これにより、従来、交通を規制して測量を実施し、現場の状況を確認していた業務等が、システム上で全て行うことが可能となり、従来手法と比べて1/10程度まで削減することが見込める。

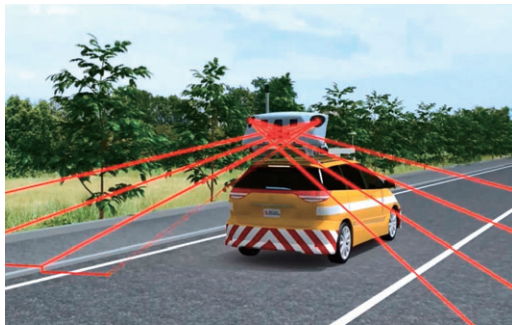


図-3 MMS (Mobile Mapping System)

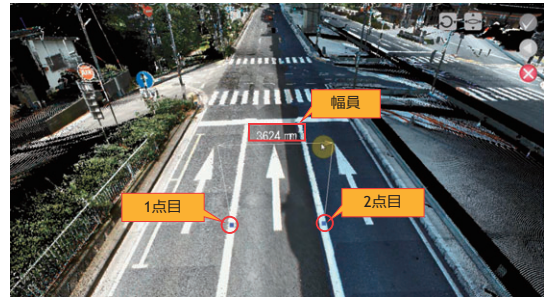


図-4 3D 寸法計測 (道路幅員)

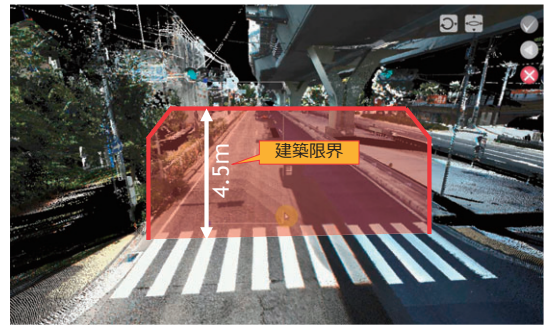


図-5 道路建築限界の確認

3.3 2D および 3D 図面の作成

3次元点群データから構造物の輪郭線、平面、曲面を自動抽出する機能を装備した。これにより、図面が無い構造物や、個別に構造物の図面はあるものの、全体が統合された図面が無い構造物に対して、図-6や図-7に示すように容易に2Dあるいは3Dの図面を作成できるようになった。

また、FEM (Finite Element Method) 等のモデルも 3D 図面から簡単に作成でき、高度な解析技術と組み合わせることで、的確かつ効率的な構造物の劣化診断や予測に繋げることが可能となる。

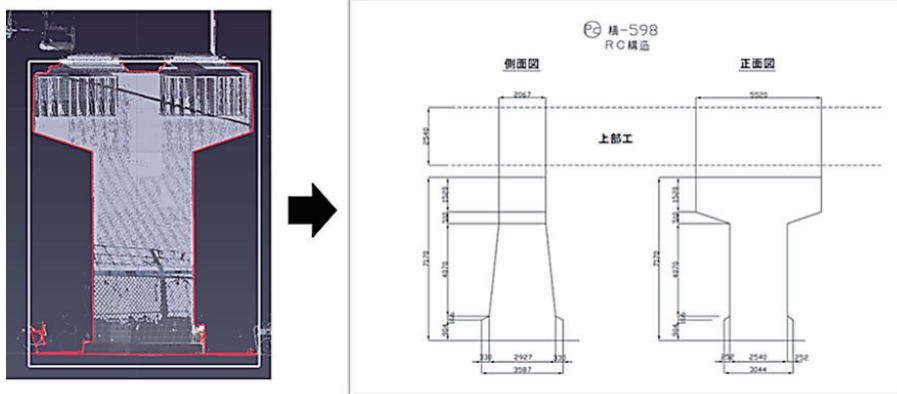
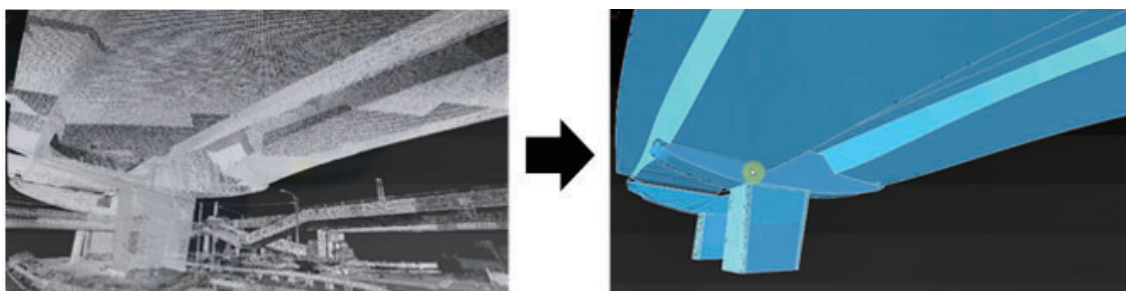


図-6 2D 図面作成



3次元点群

3DCAD 図

図-7 3D 図面作成

3.4 3次元空間上での各種シミュレーション

3.4.1 設計シミュレーション

補強設計において、部材を3Dでモデル化し、図-8に示すように3次元点群データの空間に重ね合わせることで、既設構造物と補強部材の干渉や配置検討、現場での部材設置時の取り回し検討などが可能となる。これにより、現場の状況を踏まえた設計が実現され、設計の品質向上に加え手戻りの削減など大幅な設計の効率化が図れる。



図-8 設計シミュレーション（補強時の部材配置検討）

3.4.2 施工機械シミュレーション

図-9に示すように予め準備した施工機械の3Dモデルのツールを用いて、3次元点群データの空間で容易に施工機械の動的シミュレーションが行える機能を開発した。これにより、現場状況に適した重機の選定、配置位置、周辺構造物との干渉について事前に確認でき、現場作業における安全性の確保や手戻りを最小化することができる。

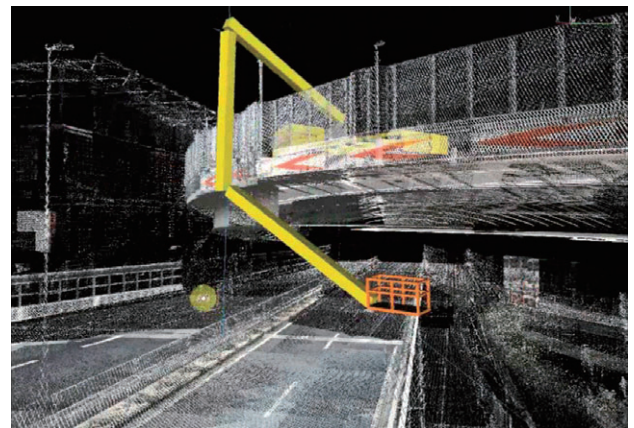


図-9 施工機械シミュレーション（橋梁点検車の例）

3.4.3 交通規制シミュレーション

3次元点群データ上で、パイロン等の規制資材を規定されたルールに基づき半自動で配置することにより、図-10に示すような交通規制シミュレーションを容易にできる機能を開発した。これにより、運転者の視点から、事前に適切な規制計画か否か確認することが可能となる。

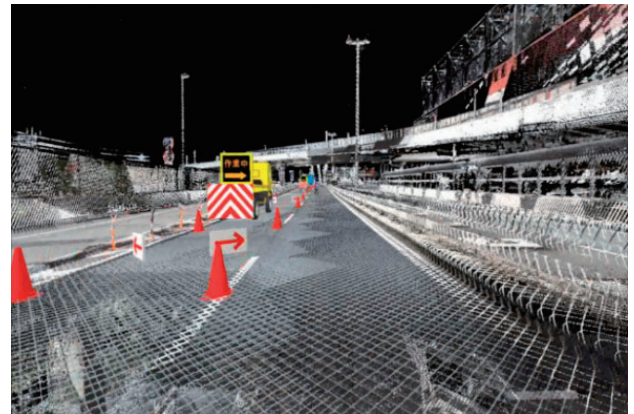


図-10 交通規制シミュレーション

3.5 構造物の変状検出

点群データから構造物の基準面を作成し、その基準面から個々の点との差分を求めことで変状を検出する機能を開発した。これにより、コンクリートの浮き・剥離損傷等の早期発見につなげることができ、点検業務の高度化、効率化が図られる。図-11に、近接目視点検により発見されたコンクリート剥離箇所に対して、MMSにより取得した点群データで、変状検出の可能性について検証を行った結果を示す。壁面から3～7mm程度コンクリートが剥離している状況であったが、点群データからも同様の変状を検出することができ、その有効性を確認できた。

本機能により、接近が難しい箇所における構造物の異常を遠隔から定量的に把握することができ、詳細な点検が必要な箇所をスクリーニングする技術としての活用も見込まれる。

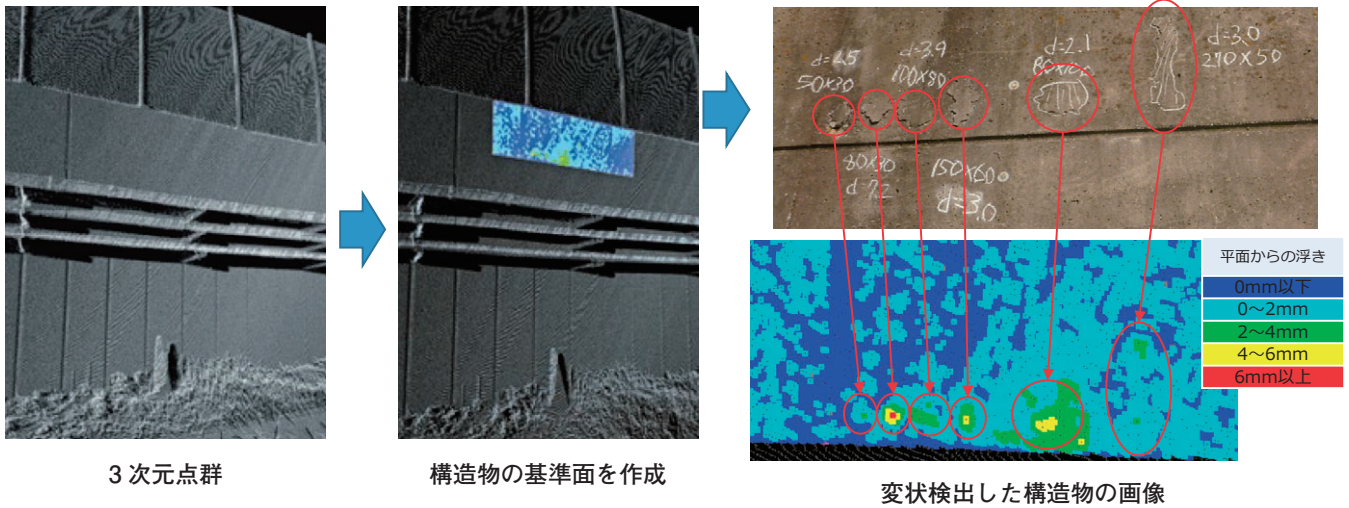


図-11 コンクリートの剥離の変状検出

3.6 舗装の損傷評価から補修計画作成の自動化

図-12に舗装補修計画フローを示すが、舗装点検、損傷ランク判定から補修費用の算出までを自動化するシステムの開発・検証を現在進めている。

点群データから舗装のわだち掘れ量や平坦性を自動計算するとともに、局所的なポットホールについても自動検出する。図-13に示すように、道路の走行方向の点群データから得られる断面形状を波形とみなし、空間周波数分析を行うことで、一定以上の成分となるポットホールを検出する。

また、舗装のひび割れについては、MMSにラインセンサカメラを搭載し、取得される画像からAIを用いて図-14に示すように自動検出する。これらの結果からMCI（舗装の維持管理指数）を自動で算出して、損傷ランクの判定から補修が必要な範囲を抽出し、補修計画策定までのプロセスを自動化することができる。

以上のとおり、点群データと画像を処理することにより、舗装の損傷状況を従来手法より精度よく効率的に把握し、補修計画までを自動作成できることから生産性の大幅な向上を図ることが可能となる。加えて、これらの詳細なデータを蓄積・分析していくことで、損傷のメカニズムの解明にも繋げることも期待される。

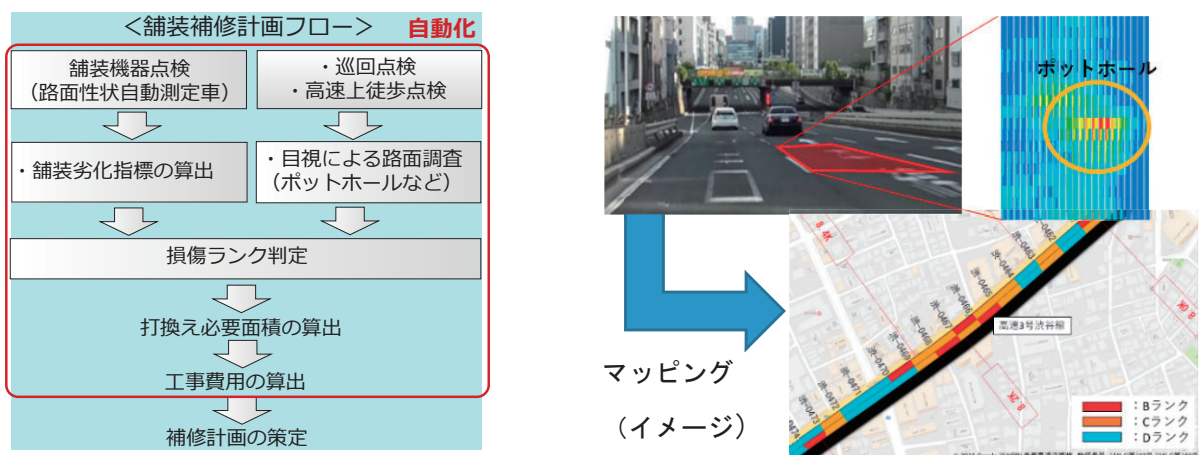


図-12 舗装の損傷ランク判定から補修計画作成までの自動化システム

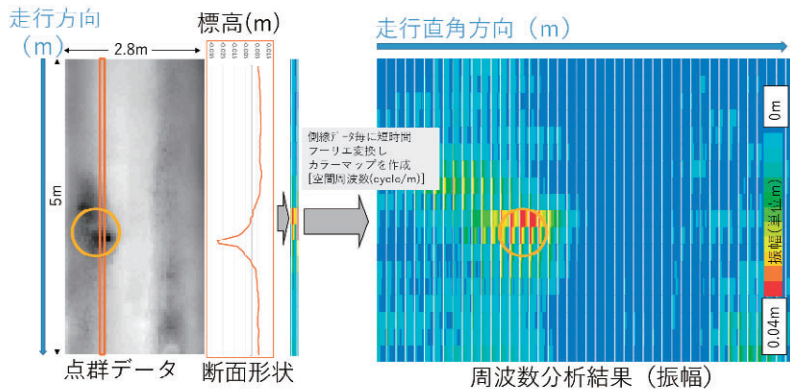


図-13 ポットホールの自動検出
(開発者：首都高技術(株)、東京大学)

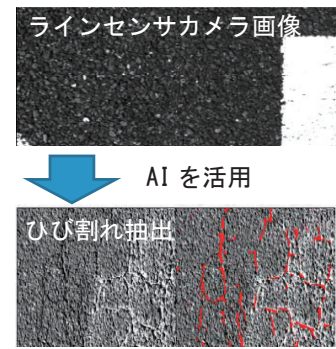


図-14 ひび割れの自動検出
(開発者：首都高技術(株)、朝日航洋(株))

3.6 AIを活用した構造物劣化推定

各種構造物の維持管理データやセンシングデータに加え、交通量等の環境条件を含めて蓄積されたビッグデータを図-15に示すように、AIを用いて処理し、構造物の劣化状況や損傷の進展を精度よく推定することにより、適切な補修時期や補修工法の決定等が実現でき、予測保全へと進化が可能である。

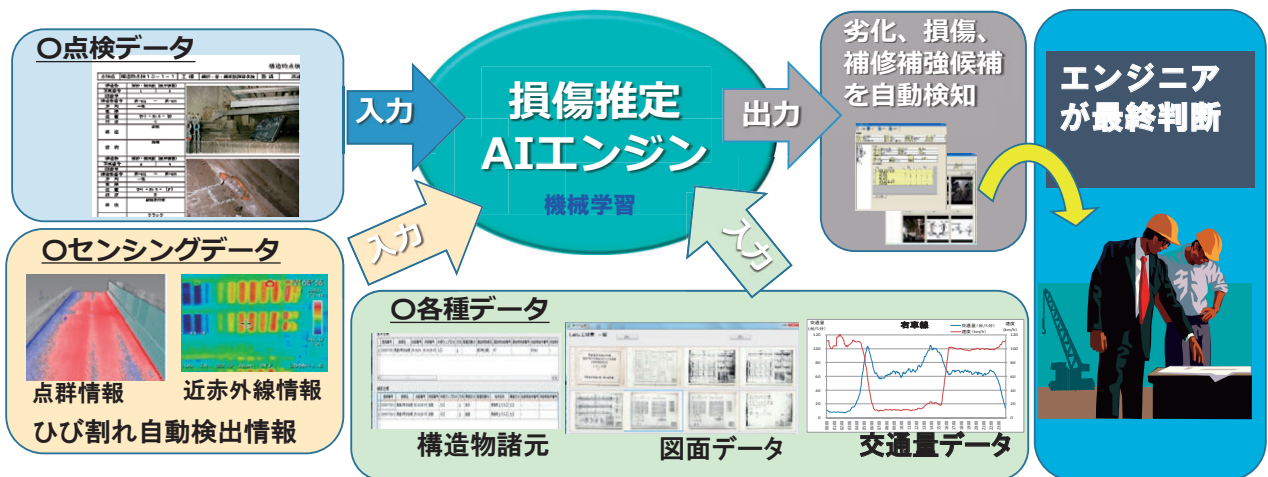


図-15 AIエンジンを用いた先進的な維持管理

4 おわりに

膨大なインフラの高齢化、技術者不足といった問題に対して、首都高速道路では維持管理業務の生産性の向上を図るために、スマートインフラマネジメントシステム(i-DREAMs)の運用を開始し、現場確認作業のリードタイムが縮減される等の効果が現れ始めている。これにより、計画・設計段階から施工、維持管理段階までの全体のプロセスがシームレスにシステム上で繋がり、維持管理段階で得られた知見を設計にフィードバックする等の仕組みが出来上がった。また、MMSにより高精細な点群データを取得・活用等、現場作業の効率化を図ることで安全性の向上ならびに交通規制回数の減少に伴う社会的損失の削減にも繋げることができる。

本システムは、国内外を問わずインフラ構造物の維持管理に適用できる可能性を有しており、特にGISと3次元点群データを活用するInfraDoctorの技術は、共通のコミュニケーションツールのひとつになるものと考えている。