

センサ活用インフラ維持管理の情報基盤が実現する生産性向上

スマートインフラセンサポータル構築を目指して

澤田 雅彦

橋梁やトンネルなどの土木インフラ構造物は50年余が経過し経年劣化が進み、さらに、少子高齢化に伴う労働人口の減少、熟練者の高齢化で、維持管理の負荷が増大してきている。特に、日本の全橋梁の92%を管理している地方自治体で深刻さを増している。このような状況下において、センサやIoT、ロボットを活用したインフラ構造物の点検・維持管理の生産性向上を実現する技術と仕組み作りが喫緊の社会課題となっている。

一般財団法人関西情報センター¹⁾(以下、KIIS)は、特に地方自治体のインフラ維持管理現場の生産性向上や適正化に資する、センサやIoTからのデータを取込むインフラ構造物維持管理IoTプラットフォーム(以下、スマートインフラIoTプラットフォーム)の構築に向けて2015年より活動している。今回、リレーショナルなデータモデルと、それを紐づけるセンサコード等のIDの仕様を検討し実装したプロトタイプを作成した。モニタリング実証実験を通じての維持管理現場での具体的な生産性向上の検証評価を行ったことを述べる。

キーワード：インフラ維持管理、長寿命化、センサ、IoT、センサポータル

1. スマートインフラセンサ利用研究会の活動

橋梁等のインフラ構造物は、日本においては1960年代を中心とする高度経済成長期に建設が急増してお

り、図-1のように築後50年を超える老朽化が急速に進展することになる。トンネル事故や集中豪雨等の災害多発の事態もあり、国土交通省により安全確保のため5年に1度の近接目視点検が2014年度より省令



図-1 橋梁の現状 (出展：国土交通省)

化され義務づけられた。前述したように、少子高齢化や財政悪化の状況から、特に地方自治体において予防保全による長寿命化、点検・維持管理費用の削減、熟練者不足への対策が喫緊の問題となってきた。

センサ/IoT、ロボット/ドローンを活用した点検・維持管理技術・システムは、現状では、様々な研究・技術開発の支援により実用化実験の段階まで上がってきており、近接目視点検においても、2巡目の今年度より目視と同水準の診断ができる場合は活用できるよう要件緩和されてきた。また、維持管理情報も、高速道路管理者を中心に、図面や点検情報等の維持管理関連情報を集約したプラットフォームとし、さらに、実際の構造物の点群データを計測しすべての管理施設を3Dモデル化し、点検作業に関わる計画を事務所で行い、交通規制を最小減にして生産性向上を図っているところも現れている。さらに、AI活用やBIM/CIM (Building Information Modering/Management, Construction Information Modeling/Management, 建設情報モデル/管理)⁶⁾により、土木構造物の設計・施工・保全等の各プロセスにおいて統合的に活用することが研究・開発され始めている。国土交通省もインフラデータプラットフォームの構想⁷⁾を持ち、日本全国のインフラ施設の一元的なデータベース化に取り組みはじめている。

KIISでは研究会を2015年度に立ち上げ、モニタリングデータ（ビッグデータ）を含めた維持管理情報の共

同活用のための、センサコードで紐づけしたリレーショナルなデータベースからなる維持管理プラットフォームの検討を行ってきた。その上で、センサコード管理やセンサポータル運営から始め、将来的には、特に課題の大きい地方自治体向けのソリューション化を目指している。

図-2に示すように、KIISにおいては、建設機械施工誌2018年9月号²⁾で述べたとおり、このプラットフォームを実現するタスクフォースとして地方自治体・土木業界のニーズ/シーズ企業・行政・大学のマルチステークホルダによる「スマートインフラセンサ利用研究会」³⁾（座長：矢吹信喜 大阪大学大学院教授）において、その具体的な議論・研究、実証実験等を進めるために、

- 1) WG1：センサコードとデータモデル標準案の検討、
- 2) WG2：スマートインフラセンサポータルの構築、
- 3) WG3：新センサ技術・AIを活用した維持管理システム

の3つのWGを順次設置し活動を進めている^{4),5)}。

すでに、昨年9月に本誌で紹介しているの、簡単に紹介するが、この研究会の活動により、図-3のようにスマートインフラIoTプラットフォームを中心に、センサ開発・選定・設置・維持管理・研究での利用シーンの実現を目指している。

このプラットフォームが多数の施設管理者、特に地方自治体で共通に使用されるようになると、非常に多

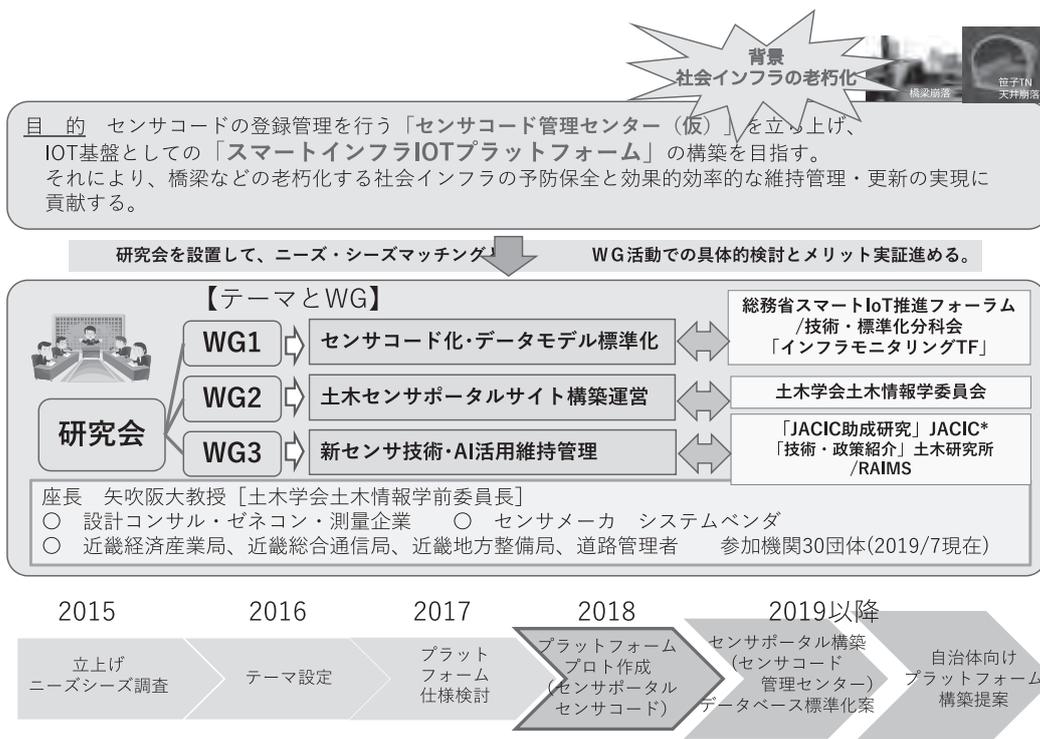
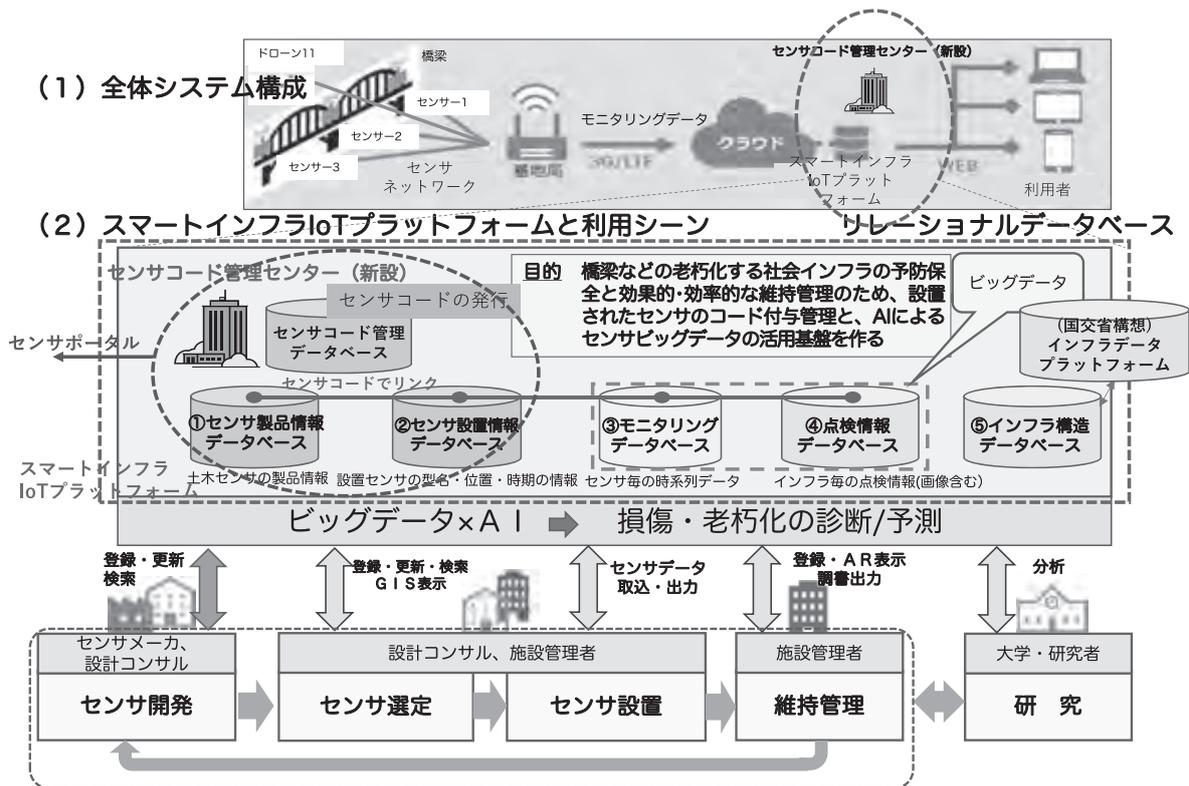


図-2 スマートインフラセンサ利用研究会の目的と推進体制



図一三 センサコード・データモデルによるプラットフォームと利用シーン

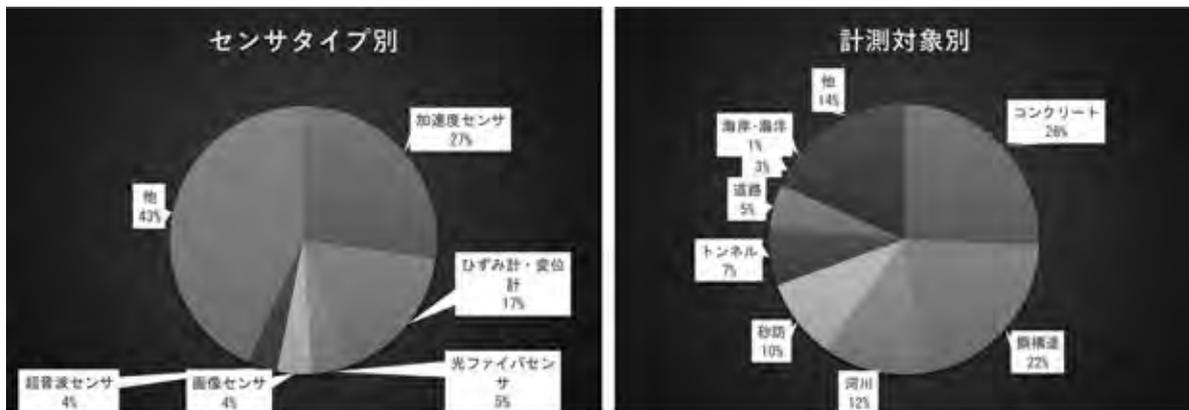
くのメリットを享受できることになるであろう。ただし、それらの情報・データへのアクセスには一定のガバナンス管理が必須となる。

2. センサポータル含む維持管理プラットフォームによる生産性向上メリットの検証評価

WG1においてその検討と構築を行い、センサID等で紐付けされたリレーショナルデータベースによる維持管理プラットフォームのプロトタイプを作成した^{4),5),8)}。WG2においてコード付与したセンサポータルを試作中である。その中の①センサ製品情報データベースに

は、図一4のとおり122社、331種のセンサを登録(2019年7月現在)した。また、WG3において、実際の橋梁にセンサを設置し、センサコード付与や設置情報・モニタリングデータを維持管理プラットフォームやセンサポータルに登録や接続をする実証実験を行っている。

今回、現状の維持管理の場面の課題がどのように改善され生産性向上のメリットを生むかを検討評価した。表一1に現状課題と生産性向上メリットについてまとめる。図一5は、「構造物診断のためのIoT最先端通信技術(LPWA*)導入に向けた調査研究」を研究テーマ⁹⁾とし、一般財団法人日本建設情報総合センター(以下、JACIC)からの研究助成金を受けて、



図一四 センサ製品情報データベースの登録状況

表一 センサポータルを含む維持管理プラットフォームによる生産性向上メリット

使用者	場面	現状とメリット	
センサメーカー	センサ開発	センサが実際にどこでどのように設置されているか不明。 →どういったインフラのどの部位に設置されているかを検索できる。	センサのモニタリングデータが取得できない。 →センサモニタリングデータが点検情報とIDで紐付けできるので、フィールド計測データを検索して設置されたインフラや部位や点検情報と共に取得できる。
設計コンサル	センサ選定	センサの選定時に、そのセンサの実際の使用方法や設置実態を把握できない。 →どのインフラでいつからどのように設置使用されているかの実態状況を参考にして選定ができる。	長期使用後のセンサの更新時に廃品となり他のセンサを探すときに、メーカー別に探して比較するため、多大な時間を必要とする。 →センサポータルで、機能・仕様の比較が一目で分かり、短時間で候補を探せる。
施設管理者	点検・維持管理	2、3週間の短期計測して撤去ならIDは不要であるが、数年から10年以上の長期間の計測が必要になってくるので、施設管理担当者も変わりどれがどれだかわからなくなる。 →IDをつけて、どういう型名・仕様のセンサをいつどの部位にどのように取り付けた等の情報を紐付けることで、正確に分かる。	点検時に現場での前回の点検結果の比較を行うには、紙の設計資料を持参する必要がある。点検調書作成に写真整理等で時間を要す。点検計画や関連する規制検討などについて現場で交通規制の制約の中で検討するので時間がかかる。 →AR(MR)技術を使って、現場の構造物に前回点検結果を重ねて表示し、差異を容易に認識できる。VR技術を使って対象のインフラや周辺環境を含めて、事務所で点検計画を検討できるので時間短縮が図れる。
大学・研究機関	劣化メカニズム等の研究	研究のためにフィールドでのモニタリングデータを取得する手段がない。 →モニタリングデータを検索取得できるので、橋梁等の構造や環境と劣化のメカニズムの研究に役立てられる。	広くモニタリングデータを取得できる基盤がない。 →オープンデータ化されると、ビッグデータとして、AIの機械学習(深層学習等)を活用でき、研究を加速できる。



図一五 センサ設置によるモニタリング実証実験

大阪府の橋梁（跨道橋）に亀裂変位計を設置して変位データをLPWA/3Gを使ってプラットフォームのサーバまで取込む実証実験を行ったものである。この実証実験を通じて取得した、①センサ製品情報・②センサ設置情報や③モニタリングデータ・④点検情報、そして⑤インフラ構造データを、センサIDコード等を付与した形でデータベースに登録し、メリットの検証評価を行った。

(1) 長期間モニタリングの管理（施設管理者の維持管理におけるニーズ）

〔現状〕施設管理者は、5年以上にわたって長期間行われるセンサによる劣化・変状のモニタリングを継続維持する必要があるが、現状は設置されたセンサが短期間設置が前提なので担当者ベースの管理になっており、長期間設置になった場合、担当者が代わったり、設置センサが多数になると、どこにどういったセンサがどのように設置されているかを正確に把握することが

困難になってくる。

[改善メリット] 図-6に示すように、②センサ設置情報データベースは設置時期・設置方法・モニタリング開始/終了・モニタリングデータの情報を持つとともに、設置された個体ごとのセンサコード (ID) により⑤インフラ構造データベースに紐づけられインフラのどの部位に設置されているかを手操れる。また、センサ型名コードにより①センサ製品情報データベースに紐づけられ、センサ製品情報 (機能・仕様・分類・用途他) を手操れる。このデータベースを使用すると、担当者が代わっても、また、数年以上の長期間のモニタリングであっても、どういうセンサをどのインフラのどの部位にいつどのように設置し、どのようにモニタリングし、そのデータのありかを正しく示してくれる。これで、設置情報管理の混乱・逸失が防げ、生産性向上を図ることができる。

今回、実証実験に使った亀裂変位計 (KG-2A) は、型名 ID の仕様に従って 0004910059000202 が付与されていて、①センサ製品情報データベースで、メーカー名・メーカー型名・用途・機能/性能等が手操れる。その設置情報は、どの橋梁 (橋梁 ID : 272272440032) のどの部材 (部材 ID : Sup4-1_Mg0101 = 第4径間の主桁 0101) かが②センサ設置情報データベースに登録されている。さらに、2018年5月22日に橋軸方向に接着され、2018年5月25日 10:30 から 10分間隔で2018年11月30日 15:00まで計測され、そのモニ

タリングデータの格納先 URL も分かる。

(2) センサの初期選定・更新時の管理 (設計コンサルのインフラ設計時のニーズ)

[現状] 設計時に設置するセンサの選定を行う必要があるが、必要な機能/仕様を満たすセンサをメーカー毎に調べる必要がある。また、実際にそのセンサがどこでどういう目的で使用されているかの使用実績情報は入手できない。さらに、長期間設置したセンサが故障した際に、同じ型名のセンサの製品が生産中止で入手できないケースが想定される。この場合、施設管理者ないし管理を委託された設計コンサル等は、同等の機能仕様のセンサを素早く探す必要があるが、設計当時の担当者が代わっていて、メーカーに聞くか、設計の専門知識を有するエンジニア頼みとなり期間と予算を必要とする事態となる。

[改善メリット] 図-6の①センサ製品情報データベースにアクセスして、必要な用途・機能・性能に合ったセンサをメーカーによらず一括検索できる。例えば、ひずみ計測には、メーカー A の型名 KG-2A、メーカー B の型名…が表示され、その機能性能を確認できるので素早く選定候補をリストアップできる。さらに、メーカー A の KG-2A は、橋梁 A の主桁に2018年5月22日に設置されているという情報も手操れ選定の参考情報にできるので、選定時間の短縮や適正な選定ができる。また、更新時の同等機能の製品は仕様を当該セン

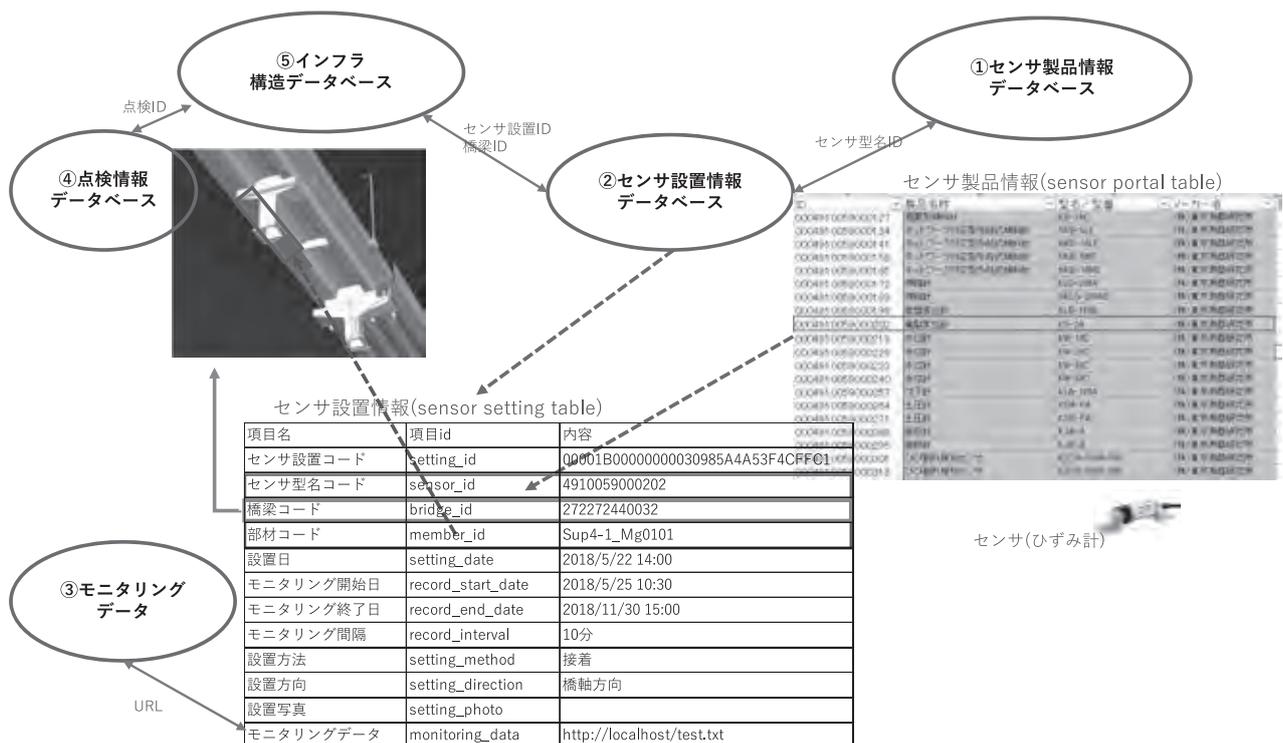


図-6 センサ設置情報とセンサ製品情報の連携

サのみで比較する表示をもたせ、比較選定の効率が上げられる。初期選定・更新時の生産性の向上を図ることにつながる。

(3) 点検現場の効率化（施設管理者・設計コンサルの点検時ニーズ）

〔現状〕点検時に現場での前回の点検結果の比較を行うには、紙の設計資料を持参する必要がある。点検調書作成に写真整理等で時間を要す。また、点検計画や関連する規制検討などについて現場で交通規制の制約の中で検討するので時間がかかる。

〔改善メリット〕点検現場にて、この④点検情報データベースの点検情報や損傷を点検対象のインフラ構造物の画像に重ねて表示することがAR（MR）技術を使って可能になるので、前回の点検結果を現在の状況と重ねて視認でき、劣化や変状の進展度合い（例えば、クラック 0.2 mm 幅が主桁の中央部に入っていたが、それが今回 0.4 mm 幅と進展している）を確認しやすくなる。現在、試行の実証実験を行った段階で、重ね合わせ精度や対象物との距離制限等の課題もあり実用化を目指して研究開発を進めているところである。

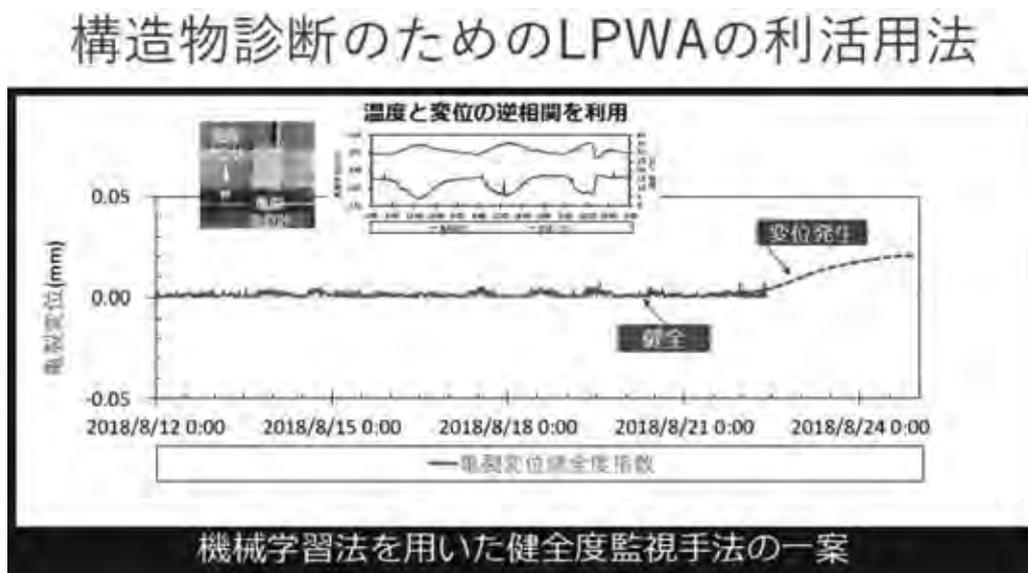
また、点検計画を立案する上で、現場に出向かなくても、インフラ構造物の3Dモデルを活用して、周辺的环境も含めて安全や交通規制を含めた点検計画が立案でき、大幅な時間短縮が図れる。本データベースの⑤インフラ構造データベースも、BIM/CIMとして設計・施工・維持管理プロセスを一貫する3Dプロダクトモデル化において、bSI（building Smart International）が標準化推進し、国土交通省も国際土木委員会を設置し対応検討している国際標準IFCに準拠する形で進

める考えである。

(4) 劣化／変状の把握と分析（大学・研究機関での研究ニーズ）

〔現状〕センサを設置しモニタリングしている場合が徐々に増えてきているが、そのモニタリングデータが、センサ設置情報やインフラ構造データベース、点検情報等と紐づいていないので、特定のセンサ・インフラ・損傷（亀裂等）からモニタリングデータを検索したり、分析したりは困難である。

〔改善メリット〕センサ等のコード（ID）によるリレーショナルデータベースに④モニタリングデータを紐づけることで、特定のセンサ・インフラ・損傷（亀裂等）から検索できる。そのモニタリングデータを他のモニタリングデータやインフラの構造上と関連づけて分析も容易となる。このときの変位データを、同時に図った温度データと関連させたり、また②センサ設置情報や⑤インフラ構造データベースと関連させることは非常に容易である。図一7に示すように、温度依存性のある変化量を、温度の相関性を機械学習させ、温度依存性を除いた変位量の時系列データにした⁹⁾。変位量はほぼゼロとなっている。これがあるとき、増加すれば温度以外の要因による変位が発生していることで異常を容易に把握できる。③モニタリングデータは④点検情報データベースとはIDで紐づけられているので、インフラや部材での点検結果や発見されたクラック・うき／剥落等の損傷との関係も迅速に把握できる。異常／変状を把握したり分析する効率が大きい向上し、点検や維持管理における生産性向上を図ることができる。



図一7 変位量のモニタリングデータの分析例

3. おわりに

今まで述べたように、スマートインフラ IoT プラットフォームのプロトタイプにより、橋梁やトンネル、斜面等のインフラ構造物の点検・維持管理の効率化・適正化を図れることを実証実験を通じて具体的に検証した。インフラ構造物の維持管理における生産性の向上を大いに図ることが期待される。

また、各地方自治体においては、低予算で、かつ少ない人員でインフラ構造物の維持管理が可能になるものと考えている。多くの地方自治体に維持管理ビッグデータを共同利用する環境が形成できれば、AI（深層学習）を活用したインフラ構造物の健全度診断や維持管理計画の強力な支援となる。さらに、劣化事故や災害の危険度予測技術を高めることに貢献できると考える。

今後、このセンサ製品情報・設置情報やセンサコード管理をする機能・体制作りを行い、センサポータル の運用に向けて準備を進めていくとともに、さらにデータの共同利用（オープンデータ化）も目指して、スマートインフラ IoT プラットフォームを自治体向け¹⁰⁾ にソリューション提案を鋭意進めていくこととしている。

謝 辞

最後になるが、本研究会を進める上で、参加いただ

いている大学・企業・団体・行政の本研究会関係者と、特に大阪大学矢吹研究室と土木学会土木情報学委員会には多大なるご協力をいただいている。ここに感謝の意を表する。

JICMA

《参考文献》

- 1) 一般財団法人関西情報センター <http://www.kiis.or.jp/>
- 2) 「建設機械施工」平成 30 年 9 月号 (第 823 号), 澤田雅彦, p.31 ~ p.36, 「社会インフラ維持管理の情報プラットフォーム化 ~スマートインフラセンサポータルの構築~」
- 3) スマートインフラセンサ利用研究会 (2015 ~ 2018)
- 4) (一財) 関西情報センター機関誌 第 157 号 (2018 年)
- 5) KIIS フォーラム 2018, 澤田雅彦 2018 年 7 月 25 日
- 6) 矢吹信喜: CIM 入門—建設生産システムの変革—, 理工図書 (2016 年 1 月)
- 7) 国土交通省 国土交通データプラットフォーム (仮称) 構想 (インフラデータプラットフォーム) <http://www.mlit.go.jp/common/001274817.pdf>
- 8) 橋梁の部材, センシングおよび点検結果の統合化を目的としたデータモデルの構築, 大西啓晃, 矢吹信喜, 福田知弘, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.43, pp.289-292, 2018 年 9 月, 会議報告/口頭発表
- 9) 一般財団法人日本建設情報総合センター JACIC 成果報告会 2018.11.15, 小泉圭吾
- 10) 地方シンクタンク協議会 論文アワード 2018 (総務大臣賞) 「スマートインフラセンサ利用研究活動の紹介 ~地方創生を支える社会インフラ維持管理~」

【筆者紹介】

澤田 雅彦 (さわだ まさひこ)
(一財) 関西情報センター
事業推進グループ
部長

