

TR-1081

インフラモニタリング  
情報モデルのユースケース

Use Cases of Infrastructure Monitoring Information  
Model

第1.0版

2020年2月4日制定

一般社団法人

情報通信技術委員会

THE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY COMMITTEE

本書は、一般社団法人情報通信技術委員会が著作権を保有しています。  
内容の一部又は全部を一般社団法人情報通信技術委員会の許諾を得ることなく複製、転載、改変、転用及びネットワーク上での送信、配布を行うことを禁止します。

## 目次

<参考> .....	4
1. はじめに .....	5
2. 参考文献 .....	5
3. インフラモニタリングと情報モデルの概要 .....	6
3.1 インフラモニタリングとは .....	6
3.2 インフラモニタリング情報モデルの概念 .....	6
3.2.1 情報モデルとは .....	6
3.2.2 情報モデルの構成と位置づけ .....	7
3.3 インフラモニタリングシステムのアーキテクチャ .....	8
3.3.1 インフラモニタリングシステムの機能 .....	8
3.3.2 モニタリングシステムの参照点 .....	8
4. インフラモニタリング情報モデルのユースケース .....	10
4.1 画像によるひび割れモニタリング .....	10
4.1.1 背景 .....	10
4.1.2 モニタリング手法の概要 .....	10
4.1.3 IoT システム構成とデータモデルの使用法 .....	11
4.2 変位計によるモニタリング .....	13
4.2.1 背景 .....	13
4.2.2 モニタリング手法の概要 .....	13
4.2.3 IoT システム構成とデータモデルの使用法 .....	14
4.3 光ファイバーによるモニタリング .....	16
4.3.1 背景 .....	16
4.3.2 モニタリング手法の概要 .....	16
4.3.3 IoT システム構成とデータモデルの使用法 .....	17
4.4 加速度センサーによるモニタリング .....	19
4.4.1 背景 .....	19
4.4.2 モニタリング手法の概要 .....	19
4.4.3 IoT システム構成とデータモデルの使用法 .....	20
5. まとめ .....	21
付録1：略語 .....	21

## <参考>

### 1. 概要

本書は、インフラモニタリングにおける情報モデルを標準化するにあたり、インフラモニタリングと情報モデルに関する定義や標準化すべき項目などの要件を記述したガイドラインである。

### 2. 国際標準等との関連

本仕様書に関する国際勧告は無い。

### 3. 上記国際標準等との相違

本仕様書に関する国際勧告は無い。

### 4. 国際標準等に対する変更事項

なし。

### 5. 工業所有権

なし。

### 6. 改版履歴

版数	制定日	改版内容
第1.0版	2020年2月4日	制定

### 7. 標準作成部門

第1版 : IoT エリアネットワーク専門委員会

### 8. 本書「インフラモニタリング情報モデルのユースケース」の制作体制

本書は、スマートIoT推進フォーラム 技術戦略検討部会 技術・標準化分科会 インフラモニタリングタスクフォース [TFリーダ: 川西素春(OKI)] において原案を作成し、一般社団法人情報通信技術委員会(TTC) IoTエリアネットワーク専門委員会 [委員長: 布引純史(日本電信電話株式会社)]への提案・審議を経てTTC技術レポートとして発行するものである。

インフラモニタリングタスクフォースでは、ICT 企業だけでなく、インフラモニタリングに関わるセンサーメーカー、土木建設業者、道路管理者、建設コンサルタント、関連業界団体、学術研究機関等の有識者にも参加いただき、幅広い観点からご意見をいただいて原案の作成にあたった。

本 TR の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業「インフラモニタリングにおけるインフラ 3D モデルと IoT センサー情報モデルの異分野間連携に関する研究開発と標準化」の委託を受けて実施された研究開発に基づく提案によるものである。

## 1.はじめに

高度経済成長期に集中的に整備された社会インフラは老朽化が進み、対策が検討されている。「インフラ長寿命化計画」 [1]では、今後20年以内に建設から50年以上を経過するインフラの割合が50%を越えることが示され、点検による予防保全の強化などによる社会インフラの長寿命化が求められている。インフラの維持管理は目視点検が基本とされているが、点検コストやスキルをもった人材の減少などの課題もある。このため、ICT技術の活用による維持管理コストの低減や点検作業者のスキルに依存しない点検品質の均一化が期待されている。従来の点検は5年に一度などの周期で集中的に行うのに対し、モニタリングは、センサー等を利用して、時間/日単位などの比較的短い周期で継続的にデータを収集する手法であるため、点検・診断・補修効果確認・災害後の状態確認などに関する補助的な手段として活用する事が考えられる。モニタリングの導入により、インフラ維持管理業務の高度化、効率化を長期的に見て低コストで実現できる可能性がある。さらに、継続的に蓄積したセンサー情報を他のデータと合わせてAI技術などを用いて分析する事により、損傷の早期発見や劣化の予兆検知などが可能となることも期待されている。

IoTを活用したインフラモニタリングシステムには、センサーデバイスの管理・制御や、収集したデータの伝送・処理・蓄積などの機能が含まれるが、これに必要な情報やデータの種別・形式はベンダーおよびシステム毎に異なるのが現状である。インフラモニタリングに関しては2014年ごろから多くの実証実験が実施され、5年を経て一定の成果が出始めたところであるが、システムはそれぞれ独立しており、システム間でのデータ共有や連携についてはほとんど検討が進んでいない。今後モニタリングシステムの導入が進みセンサーデータが継続的に蓄積されてゆく事を考えると、検証されたセンサーに関する共通的な情報については予め規格を定めておくことでデータの継続性を確保することができると考えられる。

産学官共同でIoT技術の開発・実証などを目的に設立された「IoT推進コンソーシアム」では、技術開発・実証を推進する「スマートIoT推進フォーラム」の技術・標準化分科会に「インフラモニタリングタスクフォース」を2017年に設置し、IoTを活用したインフラモニタリングに関する標準化を行っている。また、モニタリングシステム技術研究組合(RAIMS)では、3年間にわたるインフラモニタリングの実証実験の成果を「土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン」として2019年3月に出版した。本TRはこのガイドラインに記載された実証実験の成果をふまえつつ、汎用的なIoTアーキテクチャの基本モデルを整理し、インフラモニタリングシステムを構築する際のさまざまなユースケースについてまとめたものである。

## 2.参考文献

- [1] 国土交通省, 「インフラ長寿命化基本計画」, 平成25年11月29日.
- [2] 総務省 情報通信審議会「新たな情報通信技術戦略の在り方」第3次中間答申, 2017/7/20
- [3] 一般社団法人情報通信技術委員会、技術レポート TR-1066「橋梁モニタリングのための低消費電力無線通信方式のガイドライン」2017.
- [4] 一般社団法人情報通信技術委員会、TTC標準JJ-300.30「橋梁モニタリング用加速度センサーの情報モデル及び低消費電力無線通信における動作」2017.
- [5] 一般社団法人情報通信技術委員会、技術レポート TR-1074「インフラモニタリング情報モデル標準化のためのガイドライン」2018.
- [6] スマートIoT推進フォーラム 技術・標準化分科会 インフラモニタリングタスクフォース, <http://smartiot-forum.jp/tech-strategy/tech-std/infra-mon-tf>
- [7] モニタリングシステム技術研究組合, 「土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン(案)」令和元年12月
- [8] Y Suppl. 56: ITU-T Y.4000-series – Use cases of smart cities and communities, 6 December 2019

### 3.インフラモニタリングと情報モデルの概要

#### 3.1 インフラモニタリングとは

インフラ構造物の維持管理では、定期的な点検とそれによる状態の把握が基本であり、適切な判断・措置をするためには重要な行為である。定期的な点検により変状や損傷が確認された場合には、的確な診断のもと、適切な措置を講じることで、構造物を健全に保つとともに、維持管理に係る費用も最小化される。インフラモニタリングとは、これらインフラ構造物の状態を計測してデータを取得し、それを比較することにより、時間経過に伴う変状の発生や進行を把握する行為である。インフラモニタリングはインフラ構造物の点検や診断に必要な情報を得るための有効な手段であり、点検や調査業務を補完する方法として、インフラ維持管理業務の合理化が期待される。

#### 3.2 インフラモニタリング情報モデルの概念

##### 3.2.1 情報モデルとは

モニタリングシステムを効率的に設計するためには、それを構成するセンサーデバイスの設定条件やセンサーデバイスから発生するイベントの意味、センサーデバイスが収集するデータの属性などを統一的に扱えることができ、センサーデバイスとコンピューター間で情報の意味や形式などの共通事項を取り決めておくことが望ましい。これを仕様記述言語等で規定したものを情報モデルと呼ぶ。

図に情報モデルの概念を示す。上段では、対象とするIoTシステムがIoTプラットフォームとIoTセンサーデバイスで構成する事を示す。両者間では何らかの方法でセンサーデバイスへの計測条件や動作などの設定と、センサーデバイスで計測したデータや発生したイベントの収集ができるものとする。これには、人が操作する場合と、IoTプラットフォームとIoTセンサーデバイスがコンピューターシステムとして通信する場合がある。異なるコンピューターシステム間の通信には、ケーブルや電波などの通信媒体とこれを介した通信手順（プロトコル）等で構成されるネットワークと、ネットワークで通信するアプリケーション間の情報処理手順がある。ネットワークについては、昨今ではIoT向けに種々の新たな通信方式が実用化されており、適材適所で最新技術を選択が出来る事が望ましい。アプリケーション間の情報処理手順については業界団体毎にプラットフォーム化が図られており、複数の選択肢があるべきと考えられる。

一方、インフラモニタリングで利用するセンサーデバイスや計測データはある程度の種類に限られており、選択したネットワークやプラットフォームに依らず共通的に取り扱える様にする事で、センサーデバイスの高度化へ追随しながら蓄積されて行く計測データの継続性を保つ事ができると考えられる。

ここで共通的に扱う情報には、センサーデバイスの設定・制御・管理に関わる情報と、センサーデバイスで収集する計測データとその属性に関わる情報がある。前者にはセンサーデバイスのON/OFF、計測の開始/停止、データ計測の条件、計測時刻設定などがある。後者は一般に温度、湿度、変位量などの単位のついた数値情報で、さらに計測した時刻や計測条件などの属性情報が重要である。

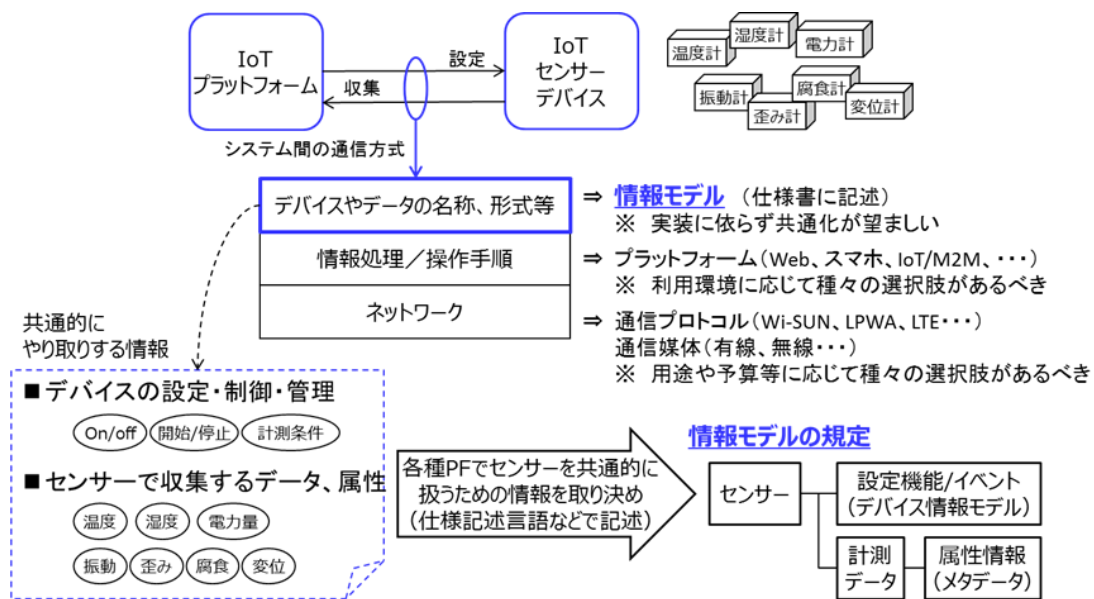


図1 情報モデルの概念

### 3.2.2 情報モデルの構成と位置づけ

インフラモニタリングシステムをIoTの視点から見た場合の構成要素を図1のように3階層に分類する。上段は現実世界に存在する物(Thing)で、モニタリング対象とするインフラ構造物、センサー、および収集したデータを取り扱うアプリケーションで構成される。下段は通信方式を含むIoTプラットフォーム技術である。情報モデルは、図1の中段で破線に囲われた3項目であり、モニタリング対象とする構造物とセンサーデバイスの関係を示す設置情報モデル、センサーデバイスを管理・制御するためのデバイス情報モデル、およびセンサーデバイスで計測したデータ形式とその属性情報(メタデータと呼ぶ)である。計測データには、センサーデバイスの計測値そのものを示す生データと、生データの特徴点などを抽出した加工データがあり、それぞれに関するメタデータが存在する。

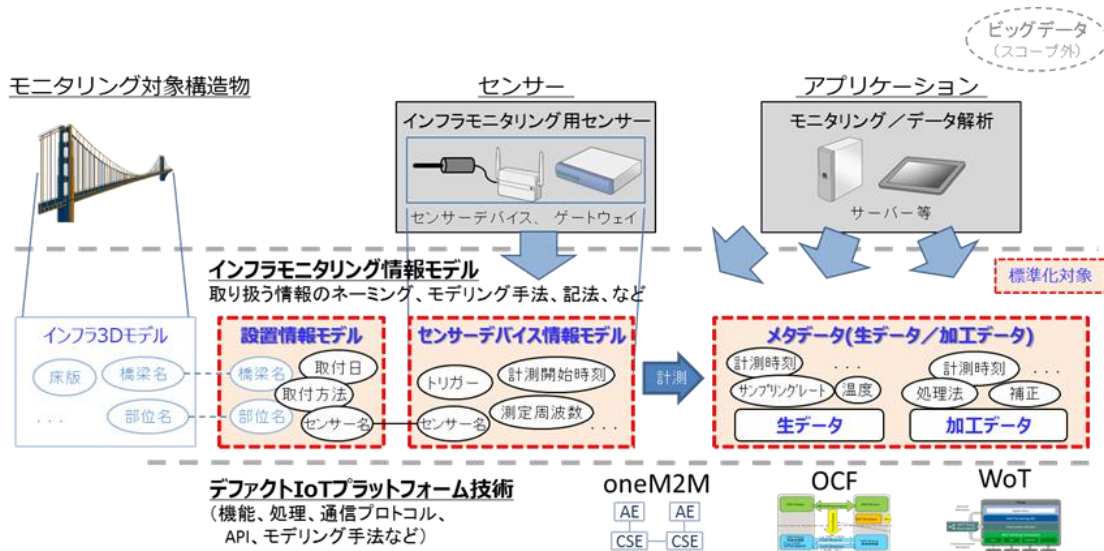


図1 情報モデルの構成と位置づけ

### 3.3 インフラモニタリングシステムのアーキテクチャ

#### 3.3.1 インフラモニタリングシステムの機能

本節では、モニタリングシステムの主な機能を、保存活用プラットフォーム、モニタリングプラットフォーム、広域ネットワーク(WAN)、ゲートウェイデバイス、IoTエリアネットワーク(IAN)、センサーデバイスの6つに分類する。IoTエリアネットワークはセンサーデバイス等のIoTデバイスやゲートウェイを相互接続するための局所的なネットワークを指す用語で、国際連合の専門機関である国際電気通信連合(ITU)の電気通信標準化部門(ITU-T)が制定するITU-T勧告Y.4113 (IoTのためのネットワーク要件) で定義されているため、本技術レポートではこれを用いる。また、これらの機能を持った設備を運用管理する主な拠点を、保存活用拠点、モニタリング拠点、現場の3か所に大別する。ここで、センサーデバイスで計測したデータをモニタリングプラットフォームへ移動する方法を「伝送」とする。これら機能と拠点の関係を図2に示す。なお一部の拠点や機能のみでモニタリングシステムを構成する事もできる。

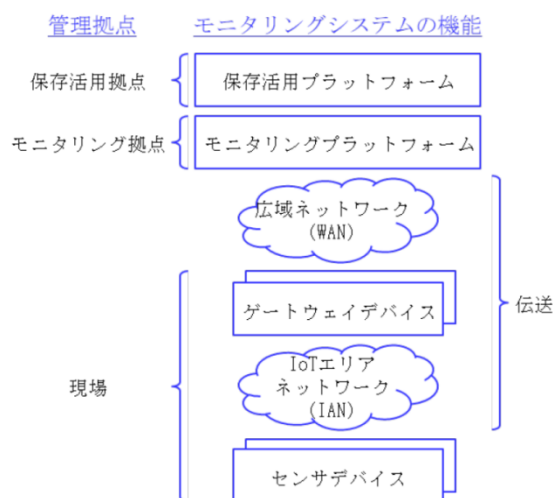


図2 モニタリングシステムの主な機能と設置拠点

#### 3.3.2 モニタリングシステムの参照点

インフラモニタリングの対象となる現場にはセンサーデバイスを設置する。データ伝送のためにネットワークを構築する場合には、現場で複数のセンサーデバイスを接続するIoTエリアネットワーク(IAN)と、これをモニタリング拠点と接続するWANの2種類のネットワークを考慮し、2つのネットワークを接続するためにゲートウェイデバイスを設置することが一般的である。

モニタリングシステムは、図3に示す様にセンサーデバイスの種類やモニタリングの目的に応じて異なる方式が存在する。使用するネットワークや装置によっては、ゲートウェイデバイスが存在せずセンサーデバイスが直接広域ネットワークへ接続する場合、エッジ領域(現場)のセンサーデバイスやゲートウェイデバイス内部でデータの一次処理を行う場合、広域ネットワークを利用せずに測定者が記憶媒体をハンドキャリーする場合など、様々な実現方法が存在する。



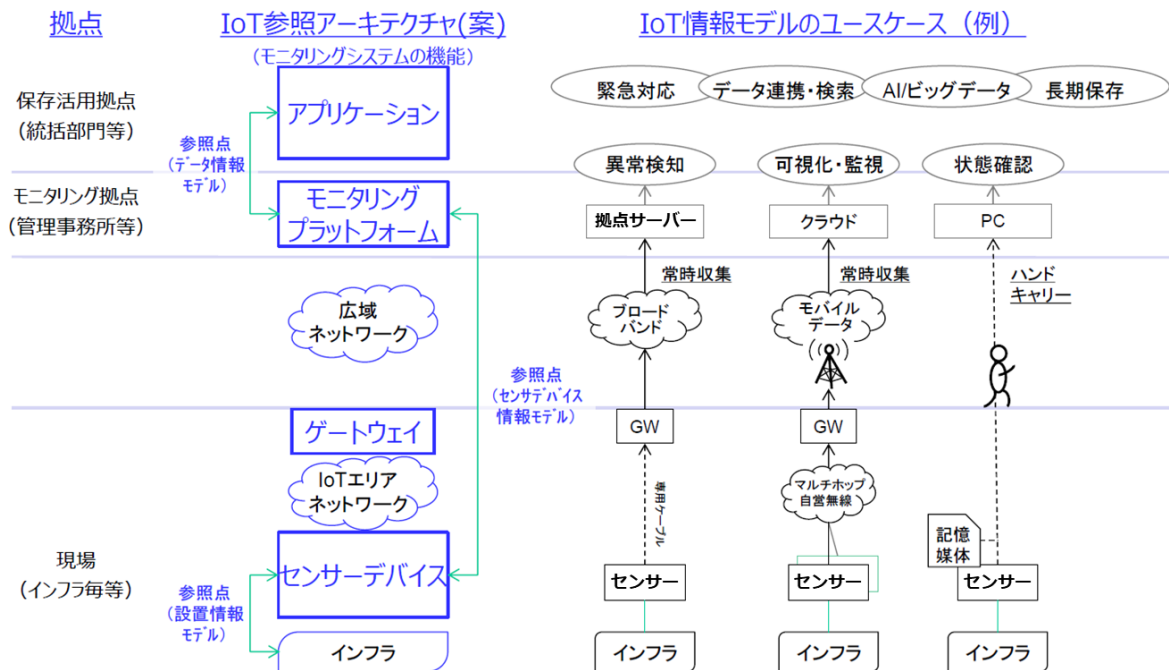


図3 インフラモニタリングシステムの参照点

インフラモニタリング情報モデルを定義する際の参照点は、図3で示されるように、以下の3つが考えられる。

(1) インフラ構造物とセンサーデバイス間の参照点(設置情報モデル)

インフラモニタリングシステムでの分析には、インフラ構造物のどの部位にどの方向にどのような方法で、いつ、誰が、何の目的で設置されたセンサーデバイスかと言った情報が必要となる。これらは計測データの保存・活用においても重要な情報である。インフラ構造物の部位等はインフラモニタリング情報モデルでは規定しない。

(2) センサーデバイスとモニタリングプラットフォーム間の参照点 (センサーデバイス情報モデル)

センサーデバイスの情報モデルは、モニタリングプラットフォームからセンサーデバイスへのパラメータ設定やセンサーデバイスからのイベント発生などの際にやり取りする設定・制御情報である。対象とするセンサーデバイスは、遠隔設定・管理が可能なものを想定するが、IoTによる遠隔設定に対応しない従来のセンサーデバイスであっても、固定された仕様や、センサー種別・製造者名・シリアル番号などの共通属性の記録に用いる事ができる。

(3) モニタリングプラットフォームとアプリケーションの参照点(データ情報モデル)

センサーデバイスが収集するデータには、計測したデータそのものと、これを一次処理したデータの二種類を生成するものがある。本技術レポートでは、前者を生データ、後者を加工データと呼ぶ。加工データには、一定時間の平均値、最小値/最大値などの特徴点を生成したものや、加速度センサーの様に計測した重力加速度(G)から計算式により固有振動周波数、傾斜角度、変位などを算出したものなどがある。データのメタデータには、計算処理法や補正値などの記録も必要となる場合がある。

## 4. インフラモニタリング情報モデルのユースケース

### 4.1 画像によるひび割れモニタリング

#### 4.1.1 背景

画像によるひび割れモニタリングは、インフラ構造物のひび割れの現状把握、その劣化の進行度などに関するモニタリングを行うことにより損傷状況を評価する目的で行う。

現状、インフラ構造物の点検・診断は、基本的には5年に一度の近接目視による定期点検により行われている。しかし、点検する担当者が変わった場合、点検者によって診断結果にバラツキがあることや、明らかに健全な箇所にも同じような点検を行う必要があり近接目視に多大な費用がかかること等が課題となっており、モニタリングシステムによって点検品質の普遍性や診断の適切性、費用、効率性等が解消あるいは低減されることが期待されている。

画像によるひび割れモニタリングでは、画像の正規化処理を行うことにより、計測者の技量に左右されない客観的なデータが取得できるため、モニタリング結果の正確性や品質向上を図ることができる。また、現場の作業環境を改善し、室内作業のウェイトを高めることで作業の効率化とコストダウンが可能になる。

#### 4.1.2 モニタリング手法の概要

本モニタリング手法の概要は、モニタリングシステム技術研究組合(RAIMS)「土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン(案)」[7]の第2編 2章の内容を参照した。

##### (1) 概要

画像によるひび割れモニタリングでは、床版下の地上にカメラ等を設置し、撮影した画像によって床板下面のひび割れ等の損傷や経年変化を把握する。カメラの画像は中心投影画像であり画郭の端部に向かって歪みが大きくなるため、画像の接合や正確な計測ができない。そのため、画像に写る標定点(写真上の位置と床版上の位置を関係づける基準となる点)をもとに、中心投影画像から正射投影画像に変換する正規化処理を行い、正規化された複数の画像を接合し、ひび割れを判読する。

標定点の置き方には、物理的なマーカーを床版に取り付ける方法や、床版上の特徴点をレーザースキャナで読み取る方法、床版下面の地表に標定図形をレーザ照射する方法など複数の方法がある。

##### (2) 目的

画像によるひび割れのモニタリングでは、インフラ構造物のひび割れの現状把握、その劣化の進行度などに関するモニタリングを行う。モニタリングの結果は、健全性が確認できた範囲を把握するための点検の補助、あるいは予防保全対策をとるべき状態に達したことを把握するための診断の補助として使用される。

##### (3) データ収集の条件

予め管理者が定めた点検の補助(定期的(数年に1回)な点検、および地震などの災害発生時)として使用する場合は、管理者が必要とみなした時に行う。機器を常設することが可能な場合は、劣化状況に応じて周期的(日単位、週単位等)にデータ収集を行う。

##### (4) 要求条件

画像によるひび割れモニタリングに求められる要求条件は以下の通りである。

###### 1) データの客観性の確保

- ・誰が撮影し計測しても見落としや判読結果にバラツキ等が無く、データの客観性が確保されること
- ・撮影手法や計測技術が簡便で分かりやすいこと

###### 2) 精密なモニタリングにも耐える精度の確保

- ・画像は位置座標を持ち、異なる2時期のひび割れの変化を正確に把握できること
- ・閾値設定などの数値解析に適用できるデータであること

### 3) 点検補助としての機能装備

- ・上向き姿勢によるチョーキング等の苛酷な作業環境を改善すること
- ・高所作業等の安全性を向上すること
- ・近接目視の現地作業を室内作業で代替することで点検費用を軽減できること

### 4) 計測した画像や解析したデータがシステムで容易に運用

- ・大容量の画像データであっても、容易に検索や閲覧等が行えること
- ・画像の格納方式や取り出し方などをシステム上で工夫できること

### (5) プロセスフロー

以下に画像によるひび割れモニタリングの基本的なプロセスを図4に示す。



図4 画像によるひび割れモニタリングのプロセス (出典[7])

#### 4.1.3 IoTシステム構成とデータモデルの使用方法

##### (1) 機能分担

画像によるひび割れモニタリングの機能ブロックと参照点の比較を以下に示す。

インフラ構造物に設置されるセンサーデバイスとしては、画像を撮影するカメラや標定点を示すマーカーやレーザー投影機が挙げられる。これらのセンサーデバイスをどのように取り付けたか(いつ、インフラ構造物のどこに、どの方向で、取付方法等)の情報は設置情報モデルに従って、設置時(あるいは設置後)にモニタリングプラットフォームへ登録される。同様に、これらのセンサーデバイスの機器情報(メーカー、型番、識別番号等)もセンサーデバイス情報モデルに従って、設置時(あるいは設置後)にモニタリングプラットフォームへ登録される。

また、センサーデバイスの設定（レンズのキャリブレーション情報や撮影周期等）やイベントの通知はセンサーデバイス情報モデルに従って、撮影都度や設定反映時、イベント発生時等のタイミングでモニタリングプラットフォームへ格納される。

画像によるひび割れモニタリングで扱われるデータには、撮影した画像データや標定点の座標情報等の一次データの他、正規化処理によって加工された画像データや複数の画像を接合したマッピング情報、画像から判読されたひび割れ形状・幅のデータ等がある。これらのデータはデータ情報モデルに従ってモニタリングプラットフォームへ格納される。

これらのモニタリングプラットフォームへ格納された情報（設置情報、センサーデバイス情報、データ情報）を分析し、床版の損傷検出や損傷度合いの算出、複数時点の比較による将来的な劣化の予測などのアプリケーションに活用される。また、異なるシステムとのデータ共有も、同じ情報モデルを使用することによって連携が容易となる。

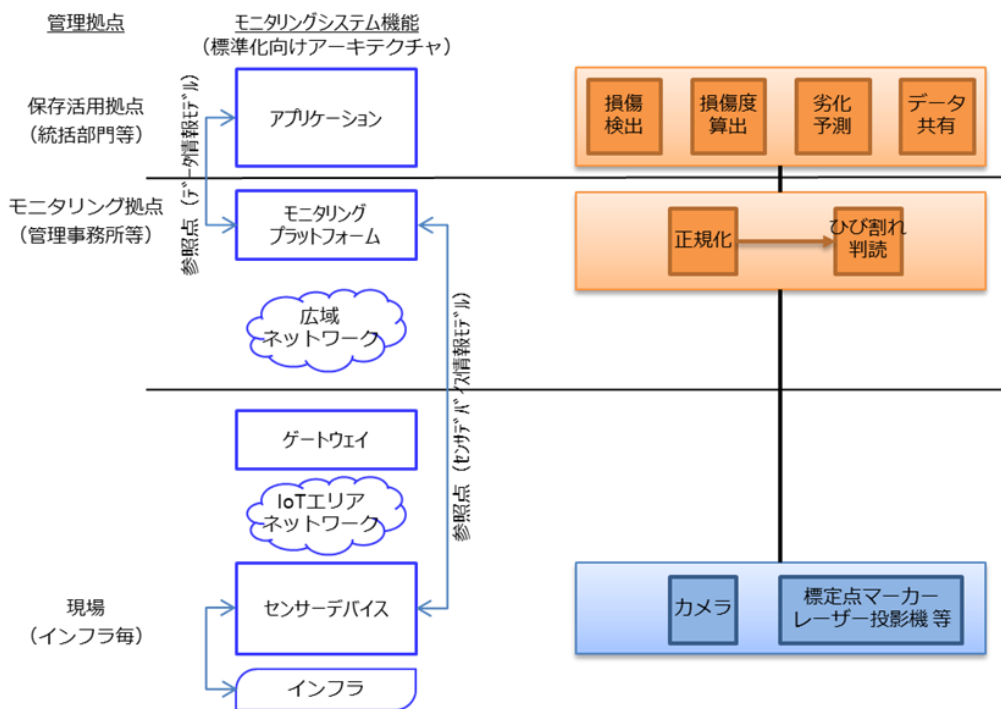


図5 画像によるひび割れモニタリング

(2) データ管理

取得したデータは数十年にわたって保管することが求められる。また、画像圧縮技術の進歩にともない、将来的にはより高画質の画像データの取得が可能になると考えられるが、過去の画像データとの互換性は保証されなければならない。

## 4.2 変位計によるモニタリング

### 4.2.1 背景

変位計によるモニタリングは、抜落ちが心配される床版の下面に変位計を設置し、床版のたわみの挙動を常時監視する目的で行われる。

住民の日常活動に不可欠な道路などは現状定期点検等によってインフラの現状を確認しているが、点検時に過度の損傷が発見された場合であっても、工事費用を確保できないことや交通阻害の影響等からすぐに補修・補強・更新等の維持補修工事に取り掛かれない場合があり、事故の危険性が高まる恐れがある。

モニタリングシステムの活用によって、道路、橋梁、トンネル等のインフラ構造物に損傷が発見され、修復が行われるまでの期間に、損傷状態を常時監視して事故の発生を未然に防ぐとともに、修復が必要な時期を予測して工事の計画を立てるためのデータを収集することが期待されている。

### 4.2.2 モニタリング手法の概要

本モニタリング手法の概要は、モニタリングシステム技術研究組合(RAIMS)「土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン（案）」[7]の第2編 4章の内容を参照した。

#### (1) 概要

変位計によるモニタリングでは、抜落ちが心配される床版の下面に変位計を設置し、たわみの挙動を常時監視する。床版のたわみは、左右の主桁に載っている床版単体の変位のことであり、床版変位と左右主桁変位との相対差として測定できるため、左右の主桁間に不動梁を敷設し、その梁に変位計を設置し床版のたわみを検出する。このたわみの傾向変化を確認することや閾値を設定することで抜落ち挙動の発生を迅速に管理者へ通知して交通規制などの適切な措置へフィードバックすることにより、通行の安全性を確保するものである。

#### (2) 目的

変位計によるモニタリングでは、床版のたわみの傾向変化の確認、あるいは事前に設定した閾値の超過を検知する。モニタリングの結果は、通行制限あるいは通行止めにするべき状態に達したことを確認するための診断の補助として活用される。

#### (3) データ収集の条件

道路のRC床板、トンネル、橋桁などのインフラ構造物にある程度の劣化が認められるが、すぐに補修・補強・更新等の維持補修工事に取り掛かれず使用を継続せざるを得ない場合等、安全の確保のために常時監視の必要性が生じていることが条件となる。

#### (4) 要求条件

変位計によるモニタリングに求められる要求条件は以下の通りである。

- 1) モニタリング中に剥離・抜落ちが発生した場合、直ちに道路利用者へ警報を発し、道路交通の安全が確保できること
- 2) モニタリング中に通行規制値、限界値に達した場合、影響がこれ以上拡大しないよう、通行規制（通行止めを含む）することができること。

#### (5) プロセスフロー

以下に変位計によるモニタリングの基本的な計測プロセスを図 6に示す。

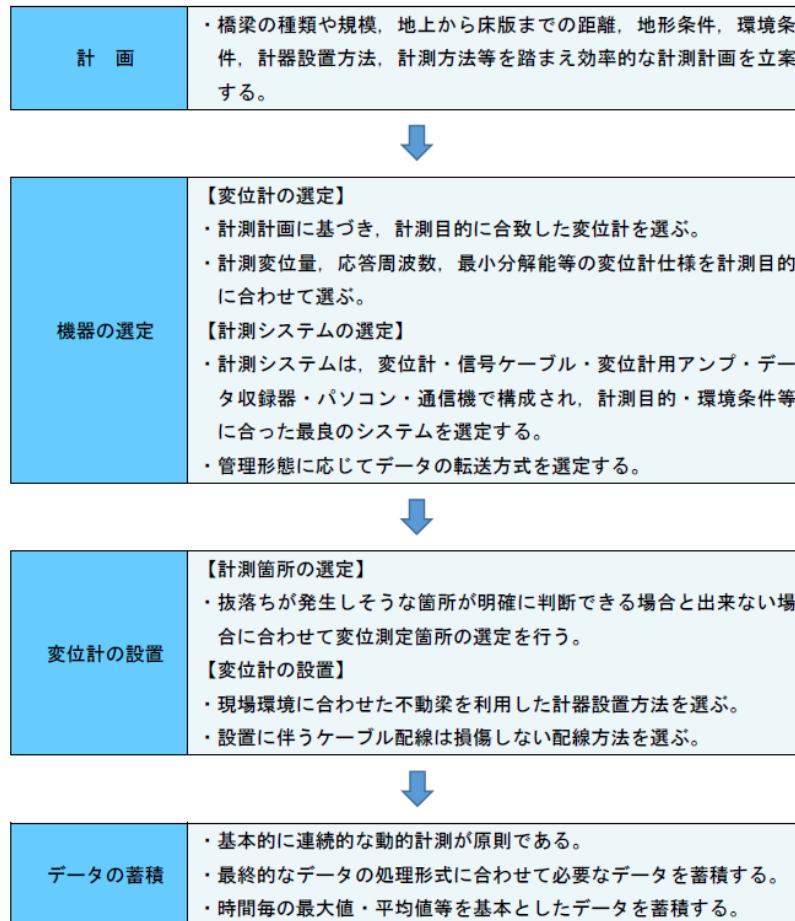


図 6 変位計によるモニタリングのプロセス (出典[7])

#### 4.2.3 IoTシステム構成とデータモデルの使用方法

##### (1) 機能分担

変位計によるモニタリングの機能ブロックと参照点の比較を以下に示す。

インフラ構造物に設置されるセンサーデバイスとしては、不動梁に設置された変位計が挙げられる。センサーデバイス(変位計)をどのように取り付けたか(いつ、インフラ構造物のどこに、どの方向で、取付方法等)の情報は設置情報モデルに従って、設置時(あるいは設置後)にモニタリングプラットフォームへ登録される。同様に、これらのセンサーデバイスの機器情報(メーカー、型番、識別番号等)もセンサーデバイス情報モデルに従って、設置時(あるいは設置後)にモニタリングプラットフォームへ登録される。

また、センサーデバイスの設定(サンプリング周波数や測定周期等)やイベントの通知はセンサーデバイス情報モデルに従って、設定反映時やイベント発生時等のタイミングでモニタリングプラットフォームへ格納される。

変位計によるモニタリングで扱われるデータには、変位計によって測定されたたわみデータ等の一次データの他、たわみデータから算出される床版の固有振動数等の加工データ等がある。これらのデータはデータ情報モデルに従ってモニタリングプラットフォームへ格納される。

これらのモニタリングプラットフォームへ格納された情報(設置情報、センサーデバイス情報、データ情報)を分析し、複数時点の比較による将来的な劣化の予測などのアプリケーションに活用される。また、異なるシステムとのデータ共有も、同じ情報モデルを使用することによって連携が容易となる。

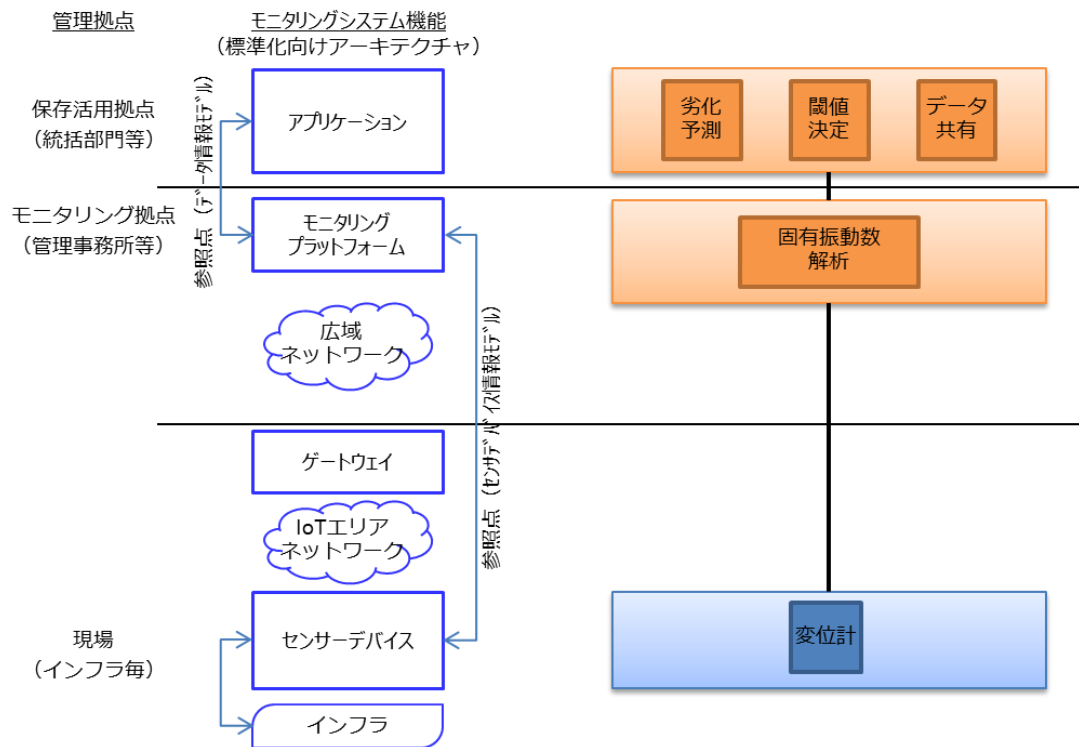


図 7 変位計によるモニタリング

(2) データ管理

変位計の計測期間は、損傷が発見され計測器を設置し計測開始になってから床版変位が閾値を超え、車両通行を規制するまでの期間であり、補修・補強等の維持管理工事が完了すれば終了となる。一般的に定期点検等によりRC床版が機能劣化期前後であることが判明し、床版下面コンクリートが剥離及び抜落ち等に至るまでの期間は、交通量や大型車混入率にもよるが短期間が想定され、モニタリングの期間は具体的な対策を実践できる期間が半年から1年程度と想定される。

### 4.3 光ファイバーによるモニタリング

#### 4.3.1 背景

光ファイバーによるモニタリングでは、床版下面に網羅的に光ファイバーを敷設して抜落ち挙動の初期の兆候であるひび割れの目違いを常時監視する、あるいは床版の下面に光ファイバーを敷設して橋軸方向全長に渡るプレキャスト床版接合部のひずみの変化を定期的に測定する目的で行う。

RC 床版の劣化の初期にはひび割れが橋軸直角方向に発生し、その後格子状の二方向に伸展し、ひび割れの貫通、ひび割れのすり磨きを経て床版のせん断抵抗力が低下し、最終的に押し抜きせん断破壊を生じて抜け落ちる。モニタリングシステムによって、これらの変状の進行を監視し、床版の抜け落ちを未然あるいは迅速に検知することが期待されている。

#### 4.3.2 モニタリング手法の概要

本モニタリング手法の概要は、モニタリングシステム技術研究組合(RAIMS)「土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン(案)」[7]の第2編 3章および5章の内容を参照した。

##### (3) 概要

光ファイバーによるモニタリングでは、床版下面に敷設した光ファイバーによって、ひび割れの目違いやプレキャスト床版接合部のひずみの変化を把握し、床版の抜け落ちをモニタリングする。

ひび割れに目違いや、プレキャスト床版接合部の変状が発生すると、光ファイバーが屈曲し光ファイバーの“光の透過量”が変化する。この光の透過量をリアルタイムに計測することで抜落ち挙動の発生やその位置を迅速に管理者へ通知して交通規制などの適切な措置へフィードバックすることにより、通行の安全性を確保するものである。

本モニタリング手法では、光の透過量を測定するためにOTDR計測器を使用するが、同じ光ファイバーを使用して計測器をつなぎ変えることでモニタリング項目を変更することが出来る。例えば、ブリルアン散乱を利用するBOTDR、SDH-BOTDR、BOCDA等の計測方式を利用すると、光ファイバーのひずみ分布を得ることが出来るため、光ファイバーに生じたひずみから破断までは至らないが、劣化が進行していることを確認できる。

##### (1) 目的

光ファイバーによるモニタリングでは、光ファイバーの光の透過量の変化をモニタリングし、ひび割れの目違いやプレキャスト床版接合部のひずみの変化を把握する。事象は特定できないまでも何らかの異常が発生したことを検知するための点検の補助、あるいは予防保全対策をとるべき状態に達した、ないしは通行制限あるいは通行止めに必要な状態に達したことを把握するための診断の補助として活用される。

##### (2) データ収集の条件

高速道路の床板、トンネル、橋桁などのインフラ構造物にある程度の劣化が認められ、安全の確保のために常時監視の必要性が生じていることが条件となる。定期的(数年に1回)な点検の際、および地震などの災害発生後に変状が発見され、管理者が必要とみなした時にデータ収集を開始する。

##### (3) 要求条件

光ファイバーによるモニタリングに求められる要求条件は以下の通りである。

- 1) モニタリング中に剥離・抜落ちが発生した場合、直ちに道路利用者へ警報を発し、道路交通の安全が確保できること。
- 2) モニタリング中に通行規制値、限界値に達した場合は、影響がこれ以上拡大しないよう、通行規制(通行止めを含む)することができること。



#### (4) プロセスフロー

光ファイバーによるモニタリングの基本的な計測プロセスを図 8に示す。

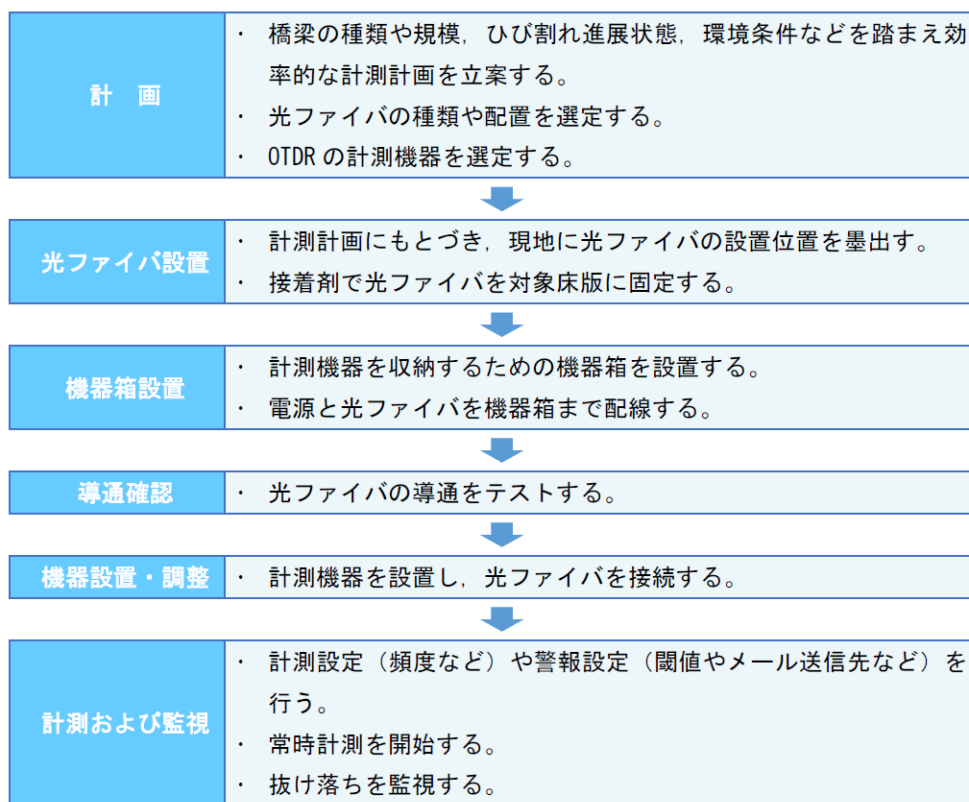


図 8 光ファイバーによるモニタリングのプロセス（出典[7]）

#### 4.3.3 IoT システム構成とデータモデルの使用方法

##### (1) 機能分担

光ファイバーによるモニタリングの機能ブロックと参照点の比較を以下に示す。

インフラ構造物に設置されるセンサーデバイスとしては、床版下面に敷設した光ファイバーおよび計測器が挙げられる。センサーデバイス（光ファイバー）をどのように取り付けたか（いつ、インフラ構造物のどこに、どの方向で、取付方法等）の情報は設置情報モデルに従って、設置時（あるいは設置後）にモニタリングプラットフォームへ登録される。同様に、これらのセンサーデバイスの機器情報（光ファイバーの心線太さや被覆等）もセンサーデバイス情報モデルに従って、設置時（あるいは設置後）にモニタリングプラットフォームへ登録される。

また、センサーデバイスの設定（パルス幅やダイナミックレンジ、計測頻度、閾値等）やイベントの通知はセンサーデバイス情報モデルに従って、設定反映時やイベント発生時等のタイミングでモニタリングプラットフォームへ格納される。

光ファイバーによるモニタリングで扱われるデータには、光の透過量（OTDR計測器の場合）および光の透過量から算出される物理量等の加工データ等がある。これらのデータはデータ情報モデルに従ってモニタリングプラットフォームへ格納される。

これらのモニタリングプラットフォームへ格納された情報（設置情報、センサーデバイス情報、データ情報）を分析し、複数時点の比較による将来的な劣化の予測や異常閾値の決定などのアプリケーションに活用される。また、異なるシステムとのデータ共有も、同じ情報モデルを使用することによって連携が容易となる。

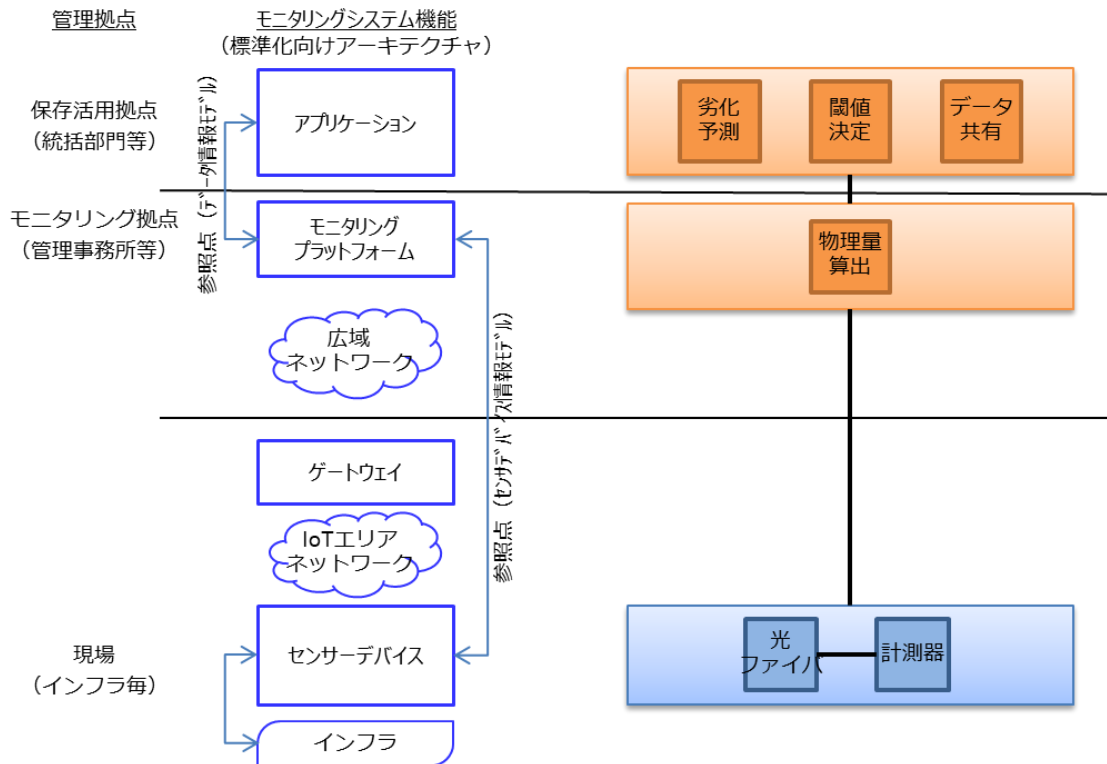


図 9 光ファイバーによるモニタリング

(2) データ管理

光ファイバーによって測定されたデータは将来のデータ変動の傾向を検討する目的でデータを蓄積することを推奨する。インフラ構造物の変位が自然環境や交通環境の影響を受けることから、他の計測機器や環境計測機器の計測データが近傍に存在する場合には同時に収録することを推奨する。同時収録が不可能な場合でも、それらのデータを解析等の処理に利用することを推奨する。

## 4.4 加速度センサーによるモニタリング

### 4.4.1 背景

加速度センサーによるモニタリングは診断を補助するモニタリング手段として、剥離や抜落ちなど変状に伴う構造性能の変化を非破壊で評価することが目的である。加速度センサーによって計測される振動データから固有スペクトルや振動モードを算出・推定することにより、剥離や抜落ちなど変状に伴う構造性能の変化を非破壊で評価でき、管理者の診断の補助として活用するものである。

### 4.4.2 モニタリング手法の概要

本モニタリング手法の概要は、モニタリングシステム技術研究組合(RAIMS)「土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン(案)」[7]の第2編 6章の内容を参照した。

#### (1) 概要

加速度センサーによるモニタリングでは、複数の加速度センサーを床版の底面に設置し、車両が走行した際の振動応答から橋梁固有の固有振動数あるいは振動モードを推定させる。固有振動数あるいは振動モードの時系列変化によって、構造性能の変化を評価することが出来る。

#### (2) 目的

加速度センサーによるモニタリングでは、橋梁固有の固有振動数あるいは振動モードをモニタリングすることによって、構造性能の変化を把握する。モニタリングの結果として、健全度評価のための定性的、定量的なデータを取得し、比較するための診断の補助として使用される。

#### (3) データ収集の条件

高速道路の床板、トンネル、橋桁などのインフラ構造物にある程度の劣化が認められ、安全の確保のために常時監視の必要性が生じていることが条件となる。

定期的(数年に1回)な点検の際、および地震などの災害発生後に劣化が発見され、管理者が必要とみなした時にデータ収集を開始する。

#### (4) 要求条件

加速度センサーによるモニタリングに求められる要求条件は以下の通りである。

- 1) モニタリング中に橋梁固有の固有振動数あるいは振動モードに変化が確認された場合、変状が発生した可能性があるため、直ちに道路利用者へ警報を発し、現地確認を行うこと。

#### (5) プロセスフロー

加速度センサーによるモニタリングの基本的なプロセスを図 10に示す。

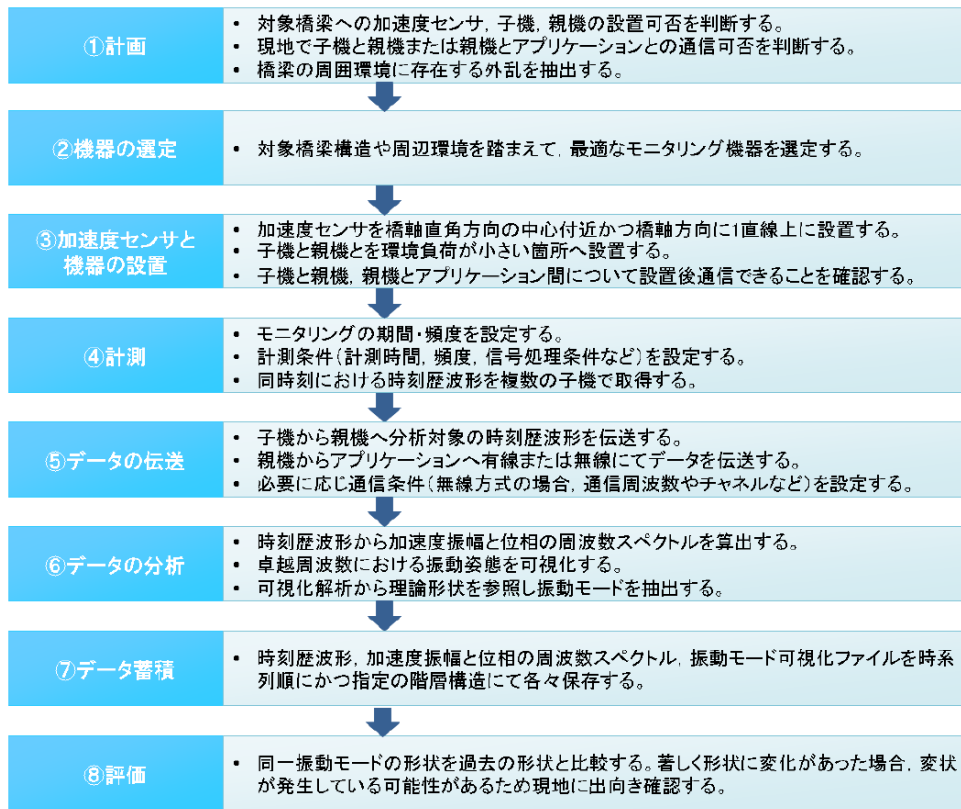


図 10 加速度センサーによるモニタリングのプロセス (出典[7])

#### 4.4.3 IoT システム構成とデータモデルの使用法

##### (1) 機能分担

加速度センサーによるモニタリングの機能ブロックと参照点の比較を以下に示す。

インフラ構造物に設置されるセンサーデバイスとしては、床版下面に敷設した加速度センサーが挙げられる。センサーデバイス(加速度センサー)をどのように取り付けたか(いつ、インフラ構造物のどこに、どの方向で、取付方法等)の情報は設置情報モデルに従って、設置時(あるいは設置後)にモニタリングプラットフォームへ登録される。同様に、これらのセンサーデバイスの機器情報(メーカー、型番、識別番号等)もセンサーデバイス情報モデルに従って、設置時(あるいは設置後)にモニタリングプラットフォームへ登録される。

また、センサーデバイスの設定(サンプリング周波数、計測頻度、閾値等)やイベントの通知はセンサーデバイス情報モデルに従って、設定反映時やイベント発生時等のタイミングでモニタリングプラットフォームへ格納される。

加速度センサーによるモニタリングで扱われるデータには、加速度データおよび加速度データから算出された橋梁固有のスペクトルおよび複数の加速度データから算出された橋梁全体の振動モード等の加工データがある。これらのデータはデータ情報モデルに従ってモニタリングプラットフォームへ格納される。

これらのモニタリングプラットフォームへ格納された情報(設置情報、センサーデバイス情報、データ情報)を分析し、複数時点の比較による将来的な劣化の予測などのアプリケーションに活用される。また、異なるシステムとのデータ共有も、同じ情報モデルを使用することによって連携が容易となる。

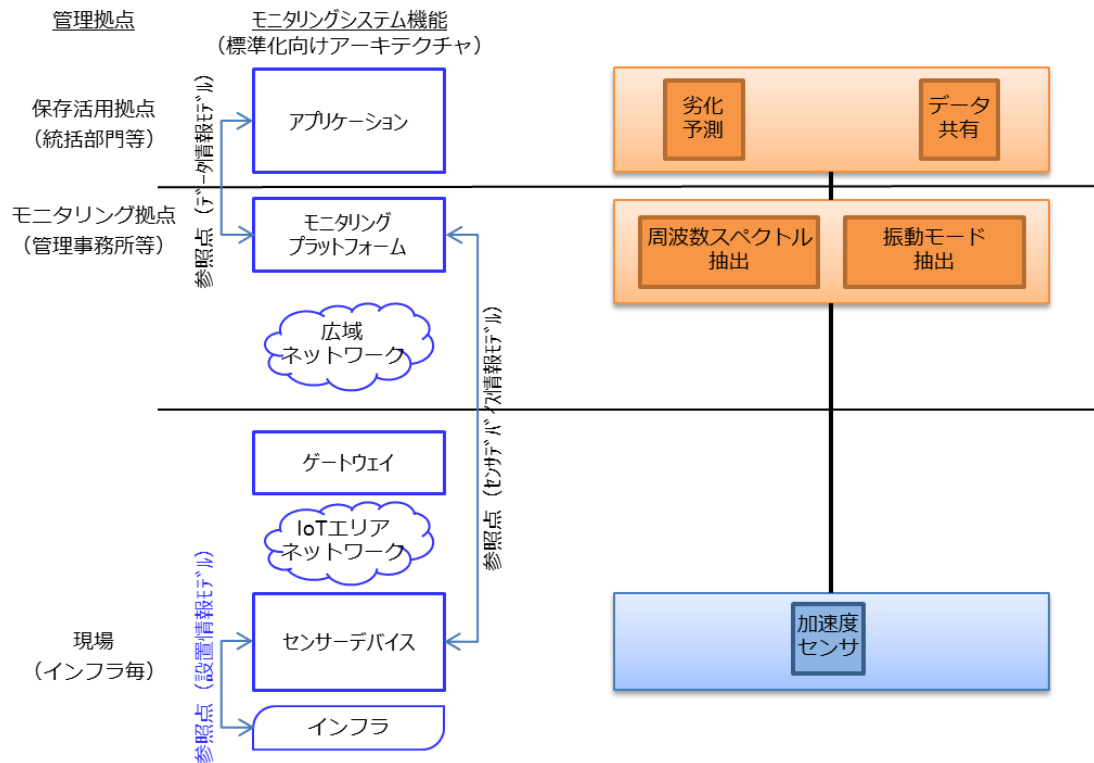


図 11 加速度センサーによるモニタリング

## (2) データ管理

加速度センサーから得られたデータは将来のデータ変動の傾向を検討する目的でデータを蓄積することを推奨する。インフラ構造物の変位が自然環境や交通環境の影響を受けることから、他の計測機器や環境計測機器の計測データが近傍に存在する場合には同時に収録することを推奨する。同時収録が不可能な場合でも、それらのデータを解析等の処理に利用することを推奨する。

加速度センサーによるモニタリングでは、必要に応じて計測データの蓄積をする。波形データのみ蓄積する場合もあるため、最終的に保管するデータの情報モデルを事前に決めておく。

## 5.まとめ

本技術レポートではインフラ構造物をICTによってモニタリングする際の、情報モデルの考え方と4つのユースケースについて記述した。ユースケースは、①画像によるひび割れモニタリング、②変位計によるモニタリング、③光ファイバーによるモニタリング、④加速度センサーによるモニタリングの4つである。それぞれについて機能アーキテクチャとプロセス、機能条件等について実証実験の結果に基づき記載した。実際のインフラモニタリング情報モデルの標準化においても本技術レポートの内容が参考になるとと思われる。

### 付録1:略語

RAIMS	Research Association for Infrase Monitoring System
IAN	IoT Aria Network
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer
RC床板	(Reinforced Concrete)床板