

TR-1103  
IoT を活用した  
道路/斜面等のモニタリング参考事例

Use cases for local municipal governments on  
IoT utilization for monitoring roads and slopes.

第 1.0 版

2023 年 10 月 23 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. 社会インフラの維持管理とインフラモニタリングについて.....	6
1.1. デジタル田園都市における社会インフラ.....	6
1.2. インフラモニタリングとは.....	6
1.3. IoTを活用したインフラモニタリングシステムの構築.....	8
1.4. モニタリング導入に係る費用.....	10
1.5. 事例の分類.....	11
2. 事例.....	12
2.1. 事例1) 無線伝送型の変位計による支承変位量モニタリング.....	12
2.2. 事例2) 無線加速度センサーによる橋脚傾きモニタリング.....	16
2.3. 事例3) 無線加速度センサーによる斜張橋ケーブルの張力モニタリング.....	20
2.4. 事例4) コンクリートのひび割れ計測分析.....	24
2.5. 事例5) ひび割れ(き裂)幅増分計測システム.....	31
2.6. 事例6) 塩害による鋼材の腐食モニタリング.....	36
2.7. 事例7) IoTインフラ遠隔監視サービス.....	39
2.8. 事例8) GNSSによるインフラの変位モニタリング.....	45
2.9. 事例9) 傾斜計、雨量計による地域防災モニタリング.....	50
2.10. 事例10) 予防保全のためのモニタリング(斜面・のり面).....	55
2.11. 事例11) 傾斜計・高感度カメラによる斜面モニタリング.....	62
2.12. 事例12) 災害予兆検知の際の住民への一斉緊急電話連絡ソリューション.....	65
2.13. 参考) センサー情報の標準化の取り組み.....	69

## <参考>

### 1. 概要

本資料は、地方公共団体などにおいてスマートシティ構築や DX 化等の企画を行う方々に対し、IoT (Internet of Things)を活用したインフラモニタリングに関する技術・標準化動向を紹介すると共に、これを主に道路や斜面などのインフラ維持管理や防災などに適用した参考事例を紹介する。

### 2. 国際標準等との関連

本技術レポートに関する国際勧告は本文中に記載している。

### 3. 上記国際標準等との相違

本技術レポートに関する国際勧告との相違は無い。

### 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	2023 年 10 月 23 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

本資料は、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 [分科会長：丹康雄 (JAIST)] で実施した、IoT を活用したインフラモニタリングへの取組みに関する意見交換および検討結果を踏まえて原案を作成し、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：美原義行 (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として発行するものである。技術・標準化分科会における検討は、インフラモニタリングタスクフォースが作業に当たった。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道路管理者、土木建設業者、建設コンサルタント、機器メーカー、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た。特に本資料に掲載した事例の収集においては、タスクフォースメンバーの一般財団法人関西情報センター(KIIS)および KIIS が主催するスマートインフラセンサ利用研究会[座長：矢吹信喜(大阪大学)]に協力を頂いた。

また、本資料で紹介する事例で使用した機器・サービス名、費用概算、問合せ先などを補足情報としてTTC調査レポート [SR-0079「IoTを活用した道路斜面等のモニタリング参考事例に関する調査報告書」](#) にとりまとめた。本資料と併せてご参照頂きたい。

## 1. 社会インフラの維持管理とインフラモニタリングについて

### 1.1. デジタル田園都市における社会インフラ

産業や生活に必要な不可欠な社会インフラの中で、日本の道路インフラは1960年代前後に整備された主要路線が建設後50年を経過して老朽化対策が進められている。道路インフラの長寿命化には適正な維持管理が重要とされ、国内では2014年に道路管理者に対して近接目視による5年に一度の定期点検が義務付けられた。2018年末で定期点検が一巡し、全国の道路インフラの状態が明らかになった一方、点検のノウハウを持つ専門技術者の高齢化や若年就業者の減少などによる人材不足、近接目視困難なインフラの存在などの課題も明らかとなった。このため、新技術の適用などによりインフラ維持管理をより高度化・効率化するための施策の検討が進められている。

一方、情報通信技術分野ではIoT（Internet of Things, モノのインターネット）が実用化され、都市計画、工場、農業などの広い分野で活用され、分野毎にデータモデル等が順次整備されている。これにより、センサー等を使ったデータ収集と活用はスマートシティ等の基盤となりつつある。

また、デジタル田園都市国家構想においては、社会インフラに関連して、地域における下記のような方針が示され、維持管理においては事後保全から予防保全への転換などが求められている。

- ・公共交通・物流・インフラ分野のDXによる地域活性化
- ・防災・減災、国土強靱化等による安心・安全な地域づくり

しかし、特に市区町村では技術者や予算の不足により予防保全への転換が不十分、事後保全段階の施設の補修・修繕に着手できない等の課題があり、重大事故やインフラ損傷のリスク回避や、防災・減災への迅速な対応などの要求が高まる側面もある。

これを踏まえ、本書では、比較的容易に導入が可能で信頼性の高いIoTを活用したモニタリングシステムについて、道路インフラを中心とした維持管理へのモニタリング技術の適用例を紹介する。これにより、橋梁をはじめとするインフラの維持管理の現場で活用して頂くための一助となる事を目指す。

### 1.2. インフラモニタリングとは

社会インフラの老朽化問題に関しては、適切な維持管理手法の導入により長寿命化、維持管理・更新のトータルコストの縮減・平準化を図ることが課題となっており、日本再興戦略（平成25年6月14日閣議決定）をはじめとする政府の方針でインフラ維持管理に関する基本的な考え方が示され、さらにセンサー、IT等を活用した社会インフラの状態を効率的に把握するための新技術の開発・導入が進められている。そのうちの 하나가インフラモニタリングで、センサー等を使って客観データを収集し、収集・蓄積したデータの活用によりインフラの状態を把握する手法を指す。

本節の執筆に当たっては、土木研究所資料第4408号「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）」（2020/12/01）および土木学会書籍「モニタリング技術活用のための指針（案）」ISBN 978-4-8106-1070-3を参考とした。

#### 1.2.1. インフラ維持管理サイクル

道路などのインフラ維持管理は、点検、診断、措置（補修・補強など）、記録の4段階の作業を実施し、これを定期的に繰り返すことにより、効率的、効果的に進める事が重要とされ、この一連の作業をインフラ維持管理サイクルと呼ぶ<sup>1</sup>。

---

<sup>1</sup>国土交通省「道路のメンテナンスサイクルの構築に向けて」（平成25年6月）

モニタリング技術は、維持管理サイクルの各作業を補助し、高度化・効率化するために用いるものと考えられる。4つの維持管理サイクルにおけるモニタリングの役割には、以下が考えられる。

① 点検の補助：

- ・ インフラの振動、歪み、応力の変化などのデータを継続的に確認する事で異常を検知
- ・ 近接目視が困難な箇所の変状をデータで確認

② 診断の補助：

- ・ 目視等による点検結果に加え、データの経年変化を参考として診断の信頼性を向上
- ・ 変状が確認された際に、データにより進行度合いを監視

③ 措置効果の確認

- ・ 補修・補強前後の変化を確認
- ・ 予防保全効果を検証

④ 緊急対応

- ・ 自然災害等の発生後にインフラの被災状況を速やかに把握するため、変状の有無、損傷の影響有無などを確認

維持管理サイクルとインフラモニタリングの適用を図 1.2-1 に示す。

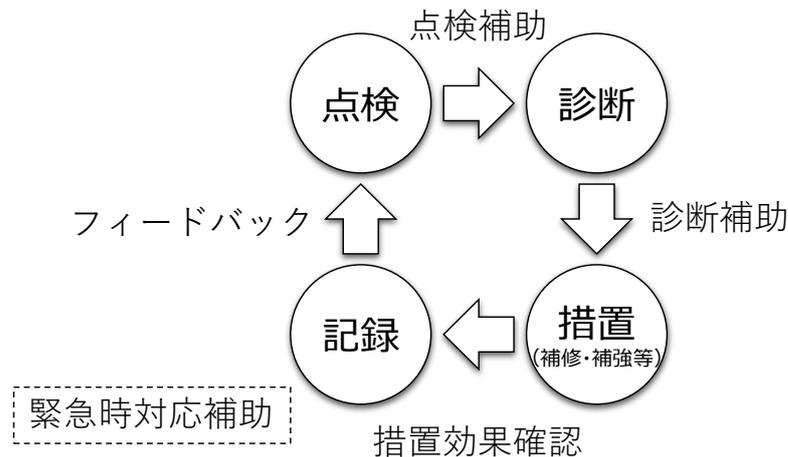


図 1.2-1.維持管理サイクルとモニタリング

1.2.2. 橋梁構造物のモニタリング対象

道路インフラの維持管理におけるモニタリング技術の適用を研究した土木研究所資料第 4408 号「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）」(2020/12/01) では、モニタリングの対象となる道路インフラ構造物が以下に分類されている。本資料で収集した事例もこれに沿って選定した。

対象構造物	モニタリング対象とする事象	主なモニタリング技術
コンクリート床版	ひび割れ、抜け落ち、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、たわみ、プレキャスト床版接合部の目開き、異常振動	画像解析、光ファイバーセンサー、変位計、振動センサー
コンクリート桁	外観変状：ひび割れ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、補修・補強材の変状、定着部の異常、変色・劣化、変形・欠損、桁端部の異常変位 見えない変状：疲労損傷等による剛性低下	赤外線サーモグラフィ、画像解析、動画画像解析、3 軸加速度センサー、マグネットセンサー

鋼桁	外観変状：塗装劣化，遊間異常 見えない変状：剛性低下	サンプリングモアレ法、動画像解析、加速度センサー、光ファイバーセンサー、変位計、画像解析
コンクリート構造物の塩害	塩分の表面付着、コンクリート内部への侵入、鋼材の腐食、補修後の効果確認	塩分検知器、腐食センサー、照合電極
橋脚・基礎	洗堀	航空レーザー、加速度センサー
切土，盛土、自然斜面	崩壊，落石，地すべり	傾斜センサー、衛星測位、振動調査及び傾斜センサー
斜張橋の斜材システム	ケーブル張力（算出）	3軸加速度センサー（無線/有線）

### 1.2.3. インフラモニタリング技術の選定

インフラ管理者がモニタリング技術を選定する際に参考となる情報として、国土交通省が以下を提供している。

#### (1) NETIS（建新技術情報提供システム）

NETISは新技術の活用に関わる情報共有と提供を目的として国交省が整備したデータベースで、民間が開発した有用な新技術を公共工事等で積極的に活用・評価し技術開発を促進することを目的としている。掲載される技術は、公共工事等で実用化された技術の申請、テーマ設定型技術公募、直轄工事等における活用実績の有識者事後評価等により選定されたものである。

#### (2) 点検支援技術性能カタログ

点検支援技術性能カタログは、国が定めた技術の性能値の提供を開発者に求め、カタログ形式でとりまとめたもので、インフラメンテナンスの受発注者が新技術活用を検討する場合に、機器等の特性を比較整理する際の参考とするものとされている。掲載される技術は毎年公募され、性能評価を実施したうえカタログに掲載される。本書執筆時点で、国土交通省ホームページより以下のカタログが公開されている

- ・ 画像計測技術（橋梁）及び画像計測技術（トンネル）カタログ
- ・ 非破壊検査技術（橋梁）及び非破壊検査技術（トンネル）カタログ
- ・ 計測・モニタリング技術（橋梁）及び計測・モニタリング技術（トンネル）カタログ
- ・ データ収集・通信技術カタログ

## 1.3. IoTを活用したインフラモニタリングシステムの構築

### 1.3.1. IoT参照モデル

参照構成（リファレンスモデル）とは、ソリューションを構成する際に、考え方の基本として参照できる推奨構造、設計図、製品やサービスの結合方法などをあらかじめ定めたものである。IoTの参照構造とインタフェース等は、ITU-Tで国際標準化が行われている。インフラモニタリングに関しては、IoTに対する基本的な要求条件と参照モデルを示す国際勧告 ITU-T Y.4214 (Requirements of Internet of things based civil engineering infrastructure health monitoring systems)が制定されている。

Y.4214におけるIoTシステムの参照モデルを図1.3-1に示す。

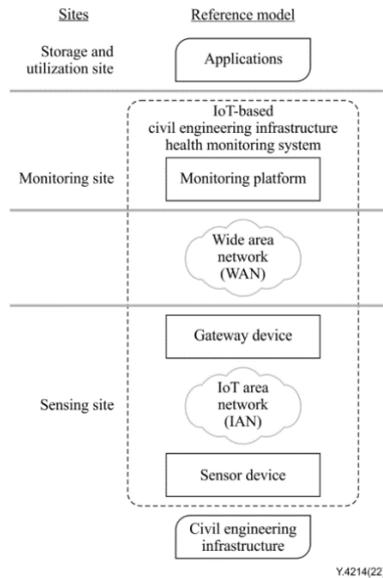


図 1.3-1. ITU-T Y.4214 の IoT 参照モデル

同参照モデルでは、インフラモニタリングに適用する IoT システムの機能を以下に分類し、これを組み合わせる事で IoT によるモニタリング機能を実現するものとしている。図 1.3-1 の各機能は以下の通り。

- センサーデバイス (Sensor device) :

インフラの状態判断の指標となるデータ（または指標に変換するための基礎データ）を測定する機能。センサーデバイスには、センサーだけでなく、通信、データの一時保存、データ処理、位置計測などの補助装置（画像データ上の相対位置から絶対位置を算出する物理マーカーやレーザー照射装置など）も含む。

- ゲートウェイデバイス (Gateway device) :

センサーデバイスが測定したデータを集約し、モニタリングプラットフォームに送信する機能。データを即時で確認する場合は、ゲートウェイ デバイスを現場に固定的に設置して通信する。即時に確認しない場合は、ゲートウェイデバイスを搭載した車両が対象構造物付近を巡回してデータ転送したり、現場のセンサーデバイスに一時保存されたデータを管理者が収集する事でも良い。

- モニタリング基盤 (Monitoring Platform) :

現場で計測したデータを蓄積し、データの検索・表示、各種アプリケーションが利用可能なデータ形式への変換、閾値超過などを検出した場合に管理者へ通知、等の機能を指す。

- アプリケーション (Application) :

収集されたデータを活用して、対象構造物の劣化予測、修復評価、通行制限など、インフラ維持管理に必要な各種付加サービスを実施するサーバー機能を指す。（注 - これ実施するためにデジタルツインなどの技術が使用される場合がある）

- IAN (IoT area network) :

ゲートウェイデバイスと複数のセンサーデバイスで構成されるネットワークを表す。

- WAN (Wide area network) :

現場で測定したデータをモニタリング基盤へ送信するための広域ネットワークを指す。

### 1.3.2. インフラモニタリング関連の標準化

前節で紹介した ITU-T Y.4214 に加え、TTC ではこれまでにインフラモニタリングに関わる以下の文書を作成した。また、TTC の提案を元に、ITU-T で下表の 2 文書が制定された。

標準化団体	文書種別	文書名	発行
TTC	標準	JJ-300.30 「橋梁モニタリング用加速度センサー情報モデルと低消費電力無線通信」	2017
	技術レポ ート	TR-1066 「橋梁モニタリング低消費電力無線通信方式ガイドライン」	2017
		TR-1074 「インフラモニタリング情報モデル標準化ガイドライン」	2019
		TR-1081 「インフラモニタリング情報モデルのユースケース」	2020
ITU-T	補足文 書	Y.Sup56 : ITU-T Y-series - Supplement on use cases of smart cities and communities (スマートシティ・スマートコミュニティ事例集：事例の一つとして Infrastructure monitoring を掲載)	2019
	国際勧 告	Y.4214 : Requirements of IoT-based civil engineering infrastructure health monitoring system (IoT を用いたインフラモニタリングシステムの要求条件)	2022

さらに、今後期待される IoT インフラモニタリングの利用増加へ向けて、センサー情報や計測データの標準化の取り組みが行われている。一例として本資料 2.13 に紹介する。

### 1.4. モニタリング導入に係る費用

モニタリングの導入に係る費用は、表 1-1 に分類できる。本資料の事例の導入を検討する際には、このうち当該事例に該当する費目の予算化を考慮する必要がある。本資料第 2 章で紹介する事例毎に関連する費目を掲載したので参照頂きたい。

表 1-1. インフラモニタリング導入に係る代表的な費目

分類	費目	主な内容
事前作業費用	現地調査費	センサー、ゲートウェイ設置場所や電波状況の確認費用
	無線電波測定（無線接続の場合）	モニタリング現場における電波の到達範囲等の確認に係る費用（無線接続の場合）
	設置運用計画費	ネットワーク設計、設備設置のための設計、図面作成、治具作成などの費用
現場に設置する機器費（初期費）	機器費	センサー、無線中継器、ゲートウェイ等の機器調達費用
	機器設置工事費	上記設備の設置工事費
	通信線路工事	センサー等機器間の通信線路工事（無線接続の場合は不要）
	電源工事	電池やソーラーパネル等で動作する機器については不要
プラットフォーム費用	サーバー費用（クラウド利用の場合）	クラウド契約費など
	サーバー費用（自営の場合）	サーバー購入またはリース費用、データ収集・分析・表示等を行うアプリケーションの購入またはライセンス費（専用にカスタマイズまたは開発する場合は開発費が必要）

	データ収集・分析・報告サービス費	データ量，計測・報告回数等により異なる
通信費	モバイルデータ通信サービス費	ゲートウェイから WAN でモニタリングプラットフォームと接続するためのモバイルデータ通信サービス費（契約端末数とデータ通信量に応じて月額または年額で契約）
	専用線またはインターネット VPN 通信サービス費	データセンター側で WAN からデータを受領するための専用線，またはインターネット接続（VPN）
データ収集・分析・報告費	サービス契約費	データ計測・分析を業者等に委託し，定期的に報告を受けるサービスが考えられる。 この場合，データベース利用，データ解析，報告などの定額費用を月・年などの単位で支払う事が一般的。金額はデータ量，分析内容，計測・報告の頻度などにより異なる。

## 1.5. 事例の分類

以上を踏まえ、本資料第 2 章で紹介する事例は、対象構造物の種類及びモニタリング対象の部位毎に分類し、更に当該技術の導入目的を記載した。第 2 章に示す事例の分類を表 1-2 に示す。

表 1-2. 本資料第 2 章で紹介する事例の分類

事例番号	対象構造物		目的	事例名
	分類	部位		
1	橋梁	支承	点検補助	支承変位量モニタリング
2	橋梁	橋脚	緊急対応補助	橋脚傾きモニタリング
3	橋梁	斜張橋ケーブル	緊急対応補助	斜張橋ケーブルの張力モニタリング
4	橋梁	コンクリート	点検補助	コンクリートのひび割れ計測分析
5	橋梁	コンクリート	点検補助	ひび割れ（き裂）幅増分計測システム
6	橋梁	コンクリート	点検補助	塩害による鋼材の腐食モニタリング
7	橋梁	遊間、法面	点検補助	IoT インフラ遠隔監視サービス
8	斜面	法面斜面、施設等	点検補助	GNSS によるインフラの変位モニタリング
9	斜面	法面斜面	地域防災 予防保全	傾斜計、雨量計による地域防災モニタリング
10	斜面	法面斜面	予防保全	予防保全のためのモニタリング（斜面・のり面）
11	斜面	法面斜面	点検補助	傾斜計・高感度カメラによる斜面モニタリング
12	共通	共通	緊急対応補助	災害予兆検知の際の住民への一斉緊急電話連絡ソリューション
参考	共通	共通	その他	センサー情報の標準化

## 2. 事例

本節では、本資料の執筆時点で導入が可能なインフラモニタリング事例を紹介する。これらの事例は道路管理者に利用された実績があるものだが、管理者の意向により導入された地名、施設名等が公開できない事例がある。その場合も、現場での設置状況等を示す写真等を出来る限り掲載した。

### 2.1. 事例 1) 無線伝送型の変位計による支承変位量モニタリング

目視点検では困難な**支承遊間の変位**をモニタリングし、損傷の早期発見や補修、供用判断を行う



図 2.1-1. 無線伝送型の変位計による支承変位量モニタリングの概要

#### 2.1.1. ソリューション概要

##### (1) 目的

本ソリューションによるモニタリングの目的は以下の通りである。

- 支承部の腐食や損傷、橋台コンクリート部の破損等の早期発見
- 修繕を要する破損が見つかった橋梁に対する、修繕前後の状態監視
- 災害発生時の橋梁ダメージの評価と共用判断

##### (2) 解決する課題

橋梁の主桁は温度変化や車両荷重によって伸縮し、支承部はその動きをスムーズにさせる役割を持つ。支承部に損傷があると、橋体に拘束力がかかり、橋座や桁にも影響を与える可能性がある。支承部の遊間は目視点検では判断しにくいいため、変位計を使用したモニタリングによって、損傷の早期発見や補修、地震時の供用判断を行うことが必要とされている。

##### (3) モニタリング技術

本技術は、国土交通省 新技術性能カタログ BR030027-V0122 にて「無線伝送装置を用いた変位計による支承移動量の測定」として登録済みであり、以下のモニタリングを実施する。

- 変位計による支承部変位量のモニタリング
- 温湿度のモニタリング

##### (4) 計測方法

本ソリューションでは、以下のモニタリングデータが計測される。いずれのデータもゲートウェイ装置内蔵の 4G 無線機能によりクラウドサーバーへ送信・保管される。

- 支承部の変位量：ゲートウェイ装置に接続された防水型変位計により変位量をモニタリングする。(1時間周期～)
- 温湿度：ゲートウェイ装置に内蔵された装置内の温湿度データをモニタリングする。(1時間周期～)

### (5) 本ソリューションの利点

本ソリューションには、以下の特長がある。

- 電池駆動およびソーラー発電駆動により、外部電源が不要。また、無線機能（920MHz帯無線および4G無線）を内蔵しており通信配線も不要。電源・配線が不要で容易に設置・導入できる。
- ゲートウェイ装置は太陽光発電+充電池による駆動で連続不日照9日間まで運用可能。
- 地震発生等の緊急時はサーバーからコマンドを送信し、任意のタイミングでの測定が可能

## 2.1.2. 導入例、実績

### (1) 事例の概要

橋梁の主桁は温度変化や車両荷重によって伸縮し、支承部はその動きをスムーズにさせる役割を持つ。支承部に損傷があると、橋体に拘束力がかかり、橋座や桁にも影響を与える可能性がある。本事例では、ゲートウェイ装置と防水型変位計を使って、目視点検では判断しにくい支承部の遊間の変位をモニタリングする。変位量と気温の相関関係から健全度のスコア値を算出し、このスコア値の変化を参照することで支承の機能障害を検知することができる。

### (2) システム構成

本事例のシステム構成を図1に示す。

防水型変位計によって測定された支承の変位量は920MHz帯無線によってゲートウェイ装置に集約され、ゲートウェイ装置内の温湿度データと併せて4G通信によってクラウドサーバーへ送信される。クラウドサーバー上で変位量と気温から健全度スコアの算出が行われ、基準値を超えて変化した場合には管理者へメールで通知される。

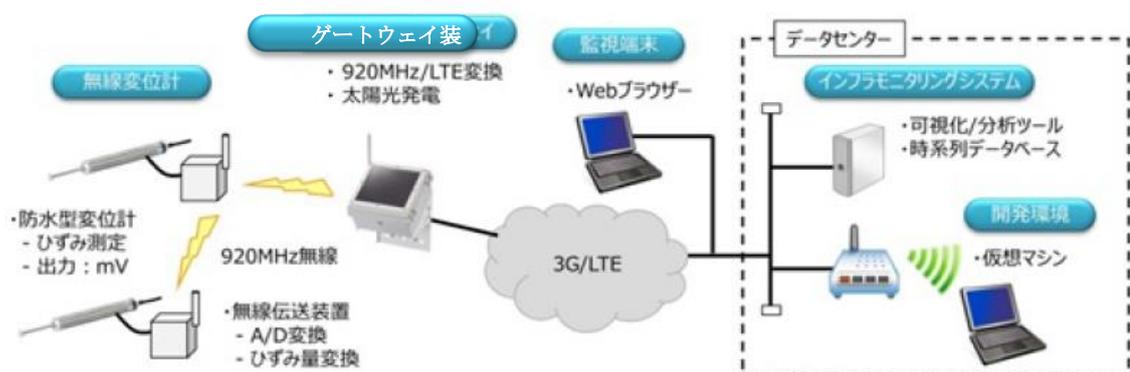


図 2.1-2. 図1 システム構成 (出典：OKI)

### (3) 使用機材

本事例では以下の機材を使用した。

- ゲートウェイ装置 1式
- 防水型変位計 1式

防水型変位計の設置状況を図 2.1-3 に示す。変位計は橋脚にアンカーで固定し、上構部の主桁の変位を測定する。

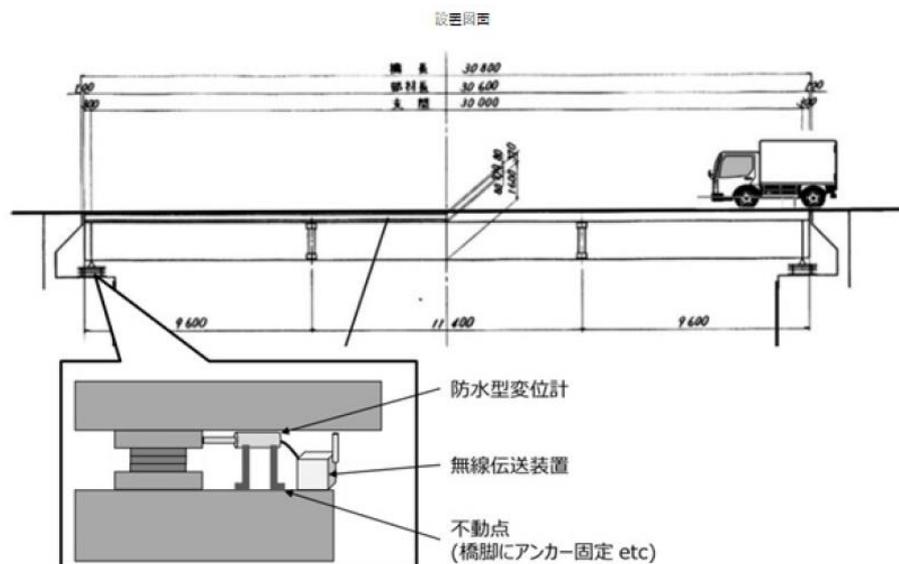


図 2.1-3. 変位計の設置方法 (図面出典：OKI)

#### (4) 計測結果

本事例で計測された変位量および気温の変化を図 2.1-4 に示す。ゲートウェイ装置および防水型変位計によって測定されたデータをクラウドサーバー上で蓄積・表示したものである。外気温の変化に合わせて、支承の水平方向の変位量に変化していることがわかる。主桁は温度変化や車両荷重によって伸縮するものだが、温度変化と変位量の相関関係が異なる場合や、変位量があらかじめ設定した閾値以上になる場合は、主桁の伸縮を妨げる要因が支承部あるいは主桁に発生していると想定し、詳細点検などの対応行うために用いる。

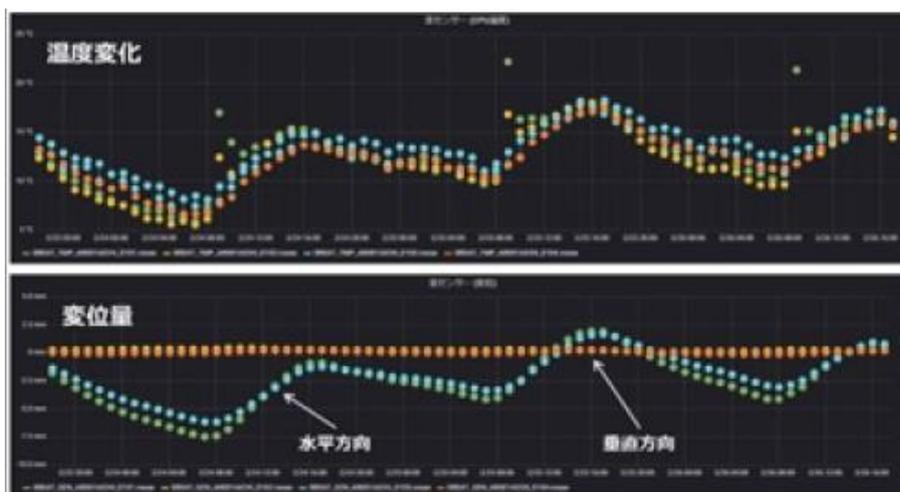


図 2.1-4. 支承変位量と外気温の変化のグラフ

### 2.1.3. 導入方法、費用項目

#### (1) 導入方法

ゲートウェイ装置および防水型変位計は機器購入、モニタリングシステム（クラウド型）のサービス利用料が必要。機器の設置および収集したデータの分析・報告に係る費用については別途業務委託契約による。

#### (2) 導入に関する費用項目

支承変位量をモニタリングする場合のシステム概要を表 2-1 に示す。費用は計測箇所点数に依存する。

表 2-1. 考慮すべき費用項目

項目		内容
システム構成 (オンライン型システム)		ゲートウェイ装置 防水型変位計 モニタリングシステム（クラウド型）
システム要件	データ回収方式	自動（ネットワーク経由）
	計測箇所点数	最小1点～
	測定頻度	支承部の変位：1時間周期（変更可）
	管理方式	リモート
費用		機器費（導入時） クラウドサービス利用料（月/年毎） 分析報告費（業務委託契約）

## 2.2. 事例 2) 無線加速度センサーによる橋脚傾きモニタリング

### 2.2.1. ソリューション概要



図 2.2-1. 無線加速度センサーによる橋脚傾きモニタリングの概要

#### (1) 目的

本ソリューションによるモニタリングの目的は以下の通りである。

- 集中豪雨等による増水時に発生した洗堀の影響による橋梁の傾き監視
- 修繕を要する破損が見つかった橋梁に対する、修繕前後の状態監視
- 定期点検で変状が発見され経過観察中の橋梁に対する状態監視

#### (2) 解決する課題

集中豪雨などで河川が増水した際に橋脚基礎周辺の河床が洗掘され、老朽化した橋脚が傾く事故事例が増加している。これまで目視による巡回点検が行われてきたが、点検強化の人員が不足しており、インフラの状況をセンサーで測定する遠隔モニタリングシステムの導入が必要とされている。

#### (3) モニタリング技術

本技術は、国土交通省 新技術性能カタログ BR030036-V0122 にて「無線加速度センサーによる橋脚の傾斜角モニタリング」として登録済みであり、以下のモニタリングを実施する。

- 無線加速度センサーによる橋梁の傾き、および固有振動数のリアルタイム監視
- ゲートウェイ装置（水位計付）による河川水位のリアルタイム監視
- ゲートウェイ装置（高感度カメラ付）による河川周辺のカメラ画像の撮影・収集

#### (4) 計測方法

本ソリューションでは、以下のモニタリングデータが計測される。いずれのデータもゲートウェイ装置内蔵の 4G 無線機能によりクラウドサーバーへ送信・保管される。

- 橋脚の傾き：無線加速度センサーによって測定された加速度データから重力加速度の方向を算出することにより、橋脚の傾斜角を算出する。(10分周期～)
- 橋梁の固有振動数：無線加速度センサーによって測定された加速度データに周波数スペクトル解析を行うことで橋梁のピーク周波数および固有振動数を算出する。(1日数回程度)
- 河川水位：ゲートウェイ装置（水位計付）付属の水位計により河川水位を測定する。(10分周期～)

- 河川周辺のカメラ画像：ゲートウェイ装置（高感度カメラ付）付属のカメラにより河川周辺を静止画として保存する。（30分周期～）

## (5) 本ソリューションの利点

本ソリューションの特長は以下の通り。

- 電池駆動およびソーラー発電駆動により、外部電源が不要。また、無線機能（920MHz帯無線および4G無線）を内蔵しており通信配線も不要。電源・配線が不要で橋梁へ容易に設置・導入できる。
- 無線加速度センサーは電池駆動で約5年間の連続稼働、ゲートウェイ装置は太陽光発電＋充電電池による駆動で連続不日照9日間まで運用可能。
- 内蔵の920MHz帯マルチホップ無線によって近隣の複数センサーデータを集約可能。4G回線数を最小化してランニングコストを低減できる。
- 高感度カメラによって夜間でも日中と変わらないクリアな画像を撮影できる。
- センサー間連携により撮影間隔やデータ送信間隔を自動制御可能。（例）通常時は30分間隔で撮影するが、傾斜あるいは水位の異常検知時には一時的に撮影周期を3分に変更するなど。

## 2.2.2. 導入例、実績

### (1) 事例の概要

近年、気候変動による自然災害の増加が問題となっており、『10年に1度』『100年に1度』の風水害が各地で多発している。激甚化する豪雨によるインフラへの影響を継続的に評価する必要があり、災害発生時に遠隔のインフラの状態を迅速に把握する方法が重要となっている。

集中豪雨などで河川が増水した際に橋脚基礎周辺の河床が洗掘されると、橋脚が傾き、さらに洗掘が進むと橋梁倒壊の原因となりうる。本事例では、無線加速度センサーとゲートウェイ装置（水位計付）を使って、橋脚の傾斜角、橋梁の固有振動数、河川水位を測定し、遠隔から橋梁の状態をモニタリングし、傾斜角や河川水位の基準値超過や固有振動数の変動を検知し、管理者へメールで通知することができる。

### (2) システム構成

本事例のシステム構成を図2.2-2に示す。

無線加速度センサーによって測定された傾斜角・固有振動数（各1台ずつ）は920MHz帯無線によってゲートウェイ装置（水位計付）に集約され、水位計で測定された河川水位と共に4G通信によってクラウドサーバーへ送信される。



図 2.2-2. システム構成 (出典: OKI)

### (3) 使用機材

本事例では以下の機材を使用した。また、橋梁へのセンサー設置位置を図 2.2-3 に示す。

- ゲートウェイ装置 (水位計付) 1 式
- 無線加速度センサー 3 式



図 2.2-3. センサー設置位置 (出典: OKI)

### (4) 計測結果

本事例で計測された橋脚の傾斜角ならびに橋梁の固有振動数をそれぞれ図 2.2-4、図 2.2-5 に示す。いずれも無線加速度センサーによって測定されたデータをクラウドサーバー上で蓄積・表示したものである。

あらかじめ橋脚傾き角度の閾値を決め、これを越えた場合に詳細点検などの対応や、通行止めなどの措置を行うために計測結果を用いる。



図 2.2-4. 橋脚の傾斜角（左：橋軸方向、右：橋軸直角方向）

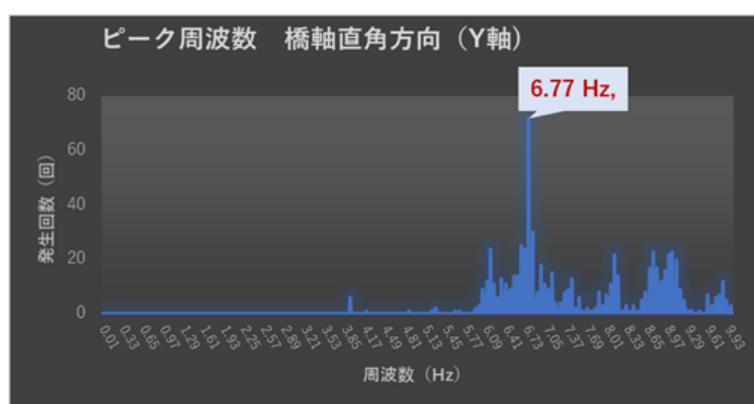


図 2.2-5. 橋梁の固有振動数

### 2.2.3. 導入方法、費用項目

#### (1) 導入方法

ゲートウェイ装置（水位計付）および無線加速度センサーは機器購入、モニタリングシステム（クラウド型）のサービス利用料が必要。機器の設置および収集したデータの分析・報告に係る費用については別途業務委託契約による。

#### (2) 導入に関する費用項目

橋脚の傾きをモニタリングする場合のシステム概要を表 2-2 に示す。費用は計測箇所の点数に依存する。

表 2-2. 考慮すべき費用項目

項目		内容
システム構成（オンライン型）		ゲートウェイ装置 無線加速度センサー モニタリングシステム（クラウド）
システム要件	データ回収方式	自動（ネットワーク経由）
	計測箇所点数	最小 1 点～
	測定頻度	傾き：10 分周期（変更可） 固有振動数：1 日数回（変更可） 水位：10 分周期（変更可） カメラ画像：30 分周期（変更可）
	管理方式	リモート
費用		機器費（導入時）、クラウドサービス利用料（月/年毎）、 分析・報告費（業務委託）

## 2.3. 事例 3) 無線加速度センサーによる斜張橋ケーブルの張力モニタリング

### 2.3.1. ソリューション概要



図 2.3-1. 無線加速度センサーによる斜張橋の張力モニタリングの概要

#### (1) 目的

本ソリューションによるモニタリングの目的は以下の通りである。

- 目視等による斜材ケーブルの外観変状を発見した場合の継続監視
- 斜材ケーブルに対する補修の効果確認および経過観察
- 突発的な事故や自然災害発生後の正常性確認

#### (2) 解決する課題

斜張橋の重要部材である斜材ケーブルは老朽化による劣化の他、突発的な事故や自然災害発生によってダメージを受ける可能性がある。これまで目視による巡回点検が行われてきたが、斜材ケーブル被覆の内側で進行するケーブルの破断、腐食、疲労亀裂等をケーブルの外観から発見することは難しく、斜材ケーブルの状況をセンサーで測定する遠隔モニタリングシステムの導入が必要とされている。

#### (3) モニタリング技術

本技術は、国土交通省 新技術性能カタログ BR030033-V0122 にて「無線加速度センサーによる斜張橋の斜材張力モニタリング」として登録済みであり、以下のモニタリングを実施する。

- 無線加速度センサーによる固有振動数の計測
- 固有振動数から推定される斜材ケーブル張力の推定

#### (4) 計測方法

本ソリューションでは、以下のモニタリングデータが計測される。いずれのデータもゲートウェイ装置内蔵の4G無線機能によりクラウドサーバーへ送信・保管される。

- 斜材ケーブルの固有振動数：無線加速度センサーによって測定された加速度データに周波数スペクトル解析を行うことで斜材ケーブルのピーク周波数および固有振動数を算出する。(1日数回程度)
- 斜材ケーブルの張力：無線加速度センサーによって計測された固有振動数から斜材ケーブルの張力を算出する。(1日数回程度)

## (5) 本ソリューションの利点

- 電池駆動およびソーラー発電駆動により、外部電源が不要。また、無線機能（920MHz帯無線および4G無線）を内蔵しており通信配線も不要。電源・配線が不要で容易に設置・導入できる。
- 無線加速度センサーは電池駆動で約5年間の連続稼働、ゲートウェイ装置は太陽光発電+充電池による駆動で連続不日照9日間まで運用可能。
- 内蔵の920MHz帯マルチホップ無線によって近隣の複数センサーデータを集約可能。4G回線数を最小化してランニングコストを低減できる。

## 2.3.2. 導入例、実績

### (1) 事例の概要

斜張橋の重要部材である斜材ケーブルの破断、腐食、疲労亀裂等はケーブル被覆の内側で進行するため、斜材ケーブルの外観から発見することは難しい。従来は強制的に斜材ケーブルへ振動を与え、張力を算出していたが、ケーブルダンパー等の制振装置の取り外しや、測定中の交通規制等が必要となる点が課題であった。

本事例では、無線加速度センサーとゲートウェイ装置を使って、交通規制を伴わない供用中の斜張橋にて、斜材ケーブルの固有振動数を測定、その固有振動数から斜材ケーブルの張力を推定し、遠隔から斜材ケーブルの状態をモニタリングする。斜材ケーブル張力の基準範囲からの逸脱を検知し、管理者へメールで通知することができる。

### (2) システム構成

本事例のシステム構成を図2.3-2に示す。無線加速度センサーによって測定された固有振動数は920MHz帯無線によってゲートウェイ装置に集約され、4G通信によってクラウドサーバーへ送信される。クラウドサーバー上で固有振動数から張力の算出が行われ、基準値を超えて変化した場合には管理者へメールで通知される。

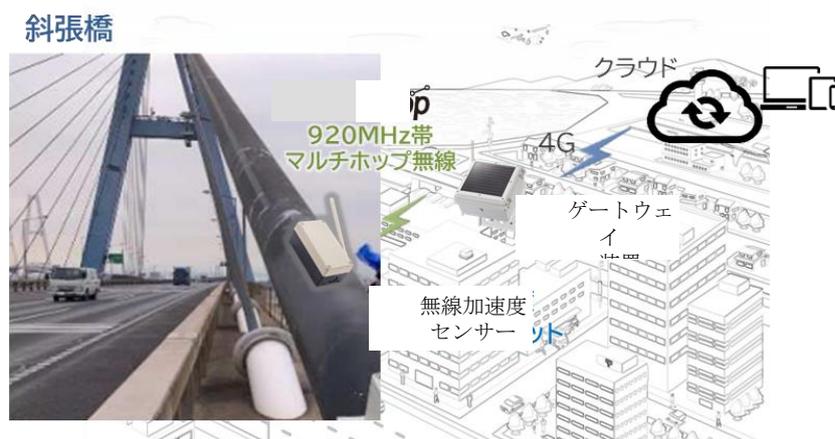


図 2.3-2. モニタリングシステム構成（出典：OKI）

### (3) 使用機材

本事例では以下の機材を使用した。また、橋梁へのセンサー設置位置を図2.3-3に示す。

- ゲートウェイ装置 1式
- 無線加速度センサー 1式

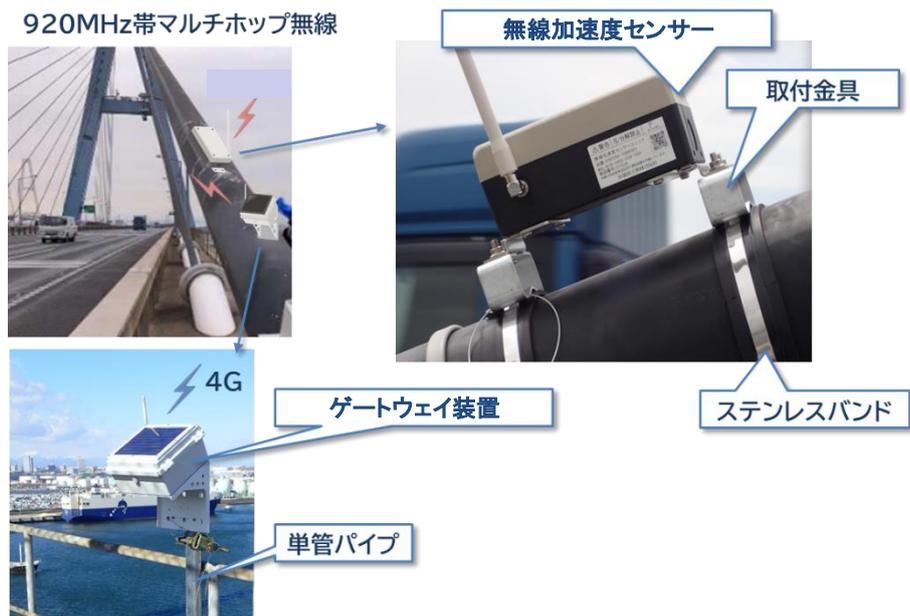


図 2.3-3. センサー設置位置 (出典 : OKI)

#### (4) 計測結果

本事例で計測された加速度から橋梁の固有振動数ならびに斜材ケーブル張力を算出する流れを図 2.3-4 に示す。無線加速度センサーで測定された加速度の波形を高速フーリエ変換 (FFT) すると固有振動数を抽出できる。固有振動数および斜材ケーブルの材質によって決定される定数を張力算出の数式に当てはめることによって斜材ケーブル張力が推算される。この張力が一定の範囲を超過した場合に、斜材ケーブルに何らかの変状が発生したものとアラートを検出する。

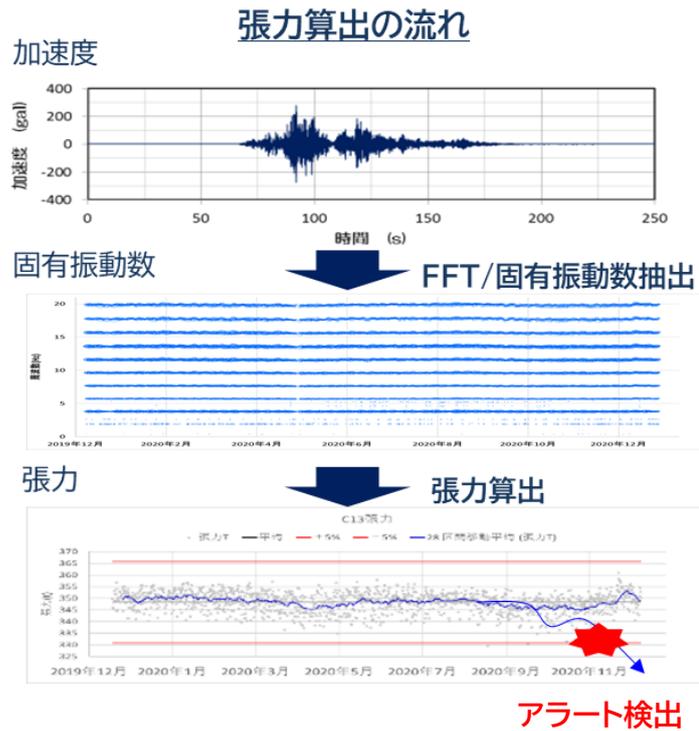


図 2.3-4. 張力算出の流れ

### 2.3.3. 導入方法、費用項目

#### (1) 導入方法

ゲートウェイ装置および無線加速度センサーは機器購入、モニタリングシステム（クラウド型）のサービス利用料が必要。機器の設置および収集したデータの分析・報告に係る費用については別途業務委託契約による。

#### (2) 導入に関する費用項目

斜材ケーブルの張力をモニタリングする場合のシステム概要を表 2-3 に示す。費用は計測箇所点数に依存する。

表 2-3. 考慮すべき費用項目

項目		内容
システム構成（オンライン型）		ゲートウェイ装置 無線加速度センサー モニタリングシステム（クラウド）
システム要件	データ回収方式	自動（ネットワーク経由）
	計測箇所点数	最小1点～
	測定頻度	固有振動数：1日数回（変更可） 張力：1日数回（変更可）
	管理方式	リモート
費用		機器費（導入時） クラウドサービス利用料（月/年毎） 分析・報告費（業務委託）

## 2.4. 事例 4) コンクリートのひび割れ計測分析

### 2.4.1. ソリューション概要

#### (1) 目的：

コンクリート構造物の健全度を把握するため、損傷の経年変化計測における精度向上と点検員の安全性の確保および点検作業の効率を改善することを目的とする。対象コンクリート構造物は、橋梁・トンネル・ダム・擁壁・上下水道施設・建物の壁面などがある。

#### (2) 解決する課題：

従来方法として定期点検の場合は、近接目視での確認及びスケッチでの記録である。当該方法において、以下の課題が考えられる。

- 近接目視での点検のため、ロープアクセス等の高所作業に伴うリスク
- 近接目視のために必要な高所作業車や橋梁点検車の設置に伴うコスト
- 点検作業に必要な道路規制申請協議や書類作成の人的コスト及び規制に伴うコスト
- 損傷数の多さによる現場作業の遅延
- スケッチからデータ化するための人的コスト及び人為的ミス

#### (3) モニタリング技術：

本技術は国土交通省 新技術性能カタログ BR010006-V0323 にて「シン・クモノス」として登録済みの技術である。

クラックスケール内蔵型光波測量器システム（以下、CTSS という）で、変状の位置座標取得及び遠方目視によりひび割れの形状・幅の数値を取得する。また、写真からオルソ画像を作成し、AI による解析を用いてひび割れの形状・幅を取得する。オルソ画像上に CTSS の損傷データと画像を AI 解析した損傷データを掛け合わせることで高精度なデジタルでの損傷データを作成する。過去に取得した高精度な損傷データと現況を比較することで経年変化を確認する。

#### (4) 計測方法：

次の 2 種類のシステムによりコンクリート構造物のひび割れを計測する。

- ① CTSS による構造物の現況及び基準とするひび割れの形状・幅の計測
- ② 高解像度カメラにより構造物を撮影し、AI 解析によるひび割れの形状・幅の検出

2 種類のシステムから得られたデータを 1 つの損傷データとして合成する。



(5) 本ソリューションの利点：

本ソリューションの特長は以下の通り。



① 精度の向上

CTSSで現況計測を行い、実測した構造物の形状に合わせて撮影した画像を補正することで画像補正の精度が向上し、現状との整合性を確保することができる。さらに主要なひび割れを実測することで、手の届かない箇所のキャリブレーションデータとなりひび割れ幅の精度も確保できる。併せてAI解析を用いて、ひび割れの判断基準と自動検出を行うことにより、人的ミスおよび個人差の軽減が可能となるため、経年変化の精度が向上する。

② コストの縮減

高解像度カメラを使用することで、120m先の0.20mmのひび割れの画像記録が可能であり、遠方の安全な場所から計測できるため、従来技術で必要な橋梁点検車での点検作業、それに伴う道路規制等が不要となり、コスト縮減を実現する。



③ 工程遅延の回避

現地では高解像度カメラでの撮影をおこない、後日損傷箇所を確認するため、損傷数の多さによる現地作業の遅延がなく、作業日数の大幅な削減が可能であり、工程遅れのリスクも回避することができる。

④ DXへの活用

本技術は、国土交通省が推進している「事後保全」から「予防保全」への転換による維持管理・更新費の縮減に寄与することのできるシステムであり、損傷のデジタル化と高精度な記録による経年変化の追跡はインフラ分野のDXを実現する技術である。

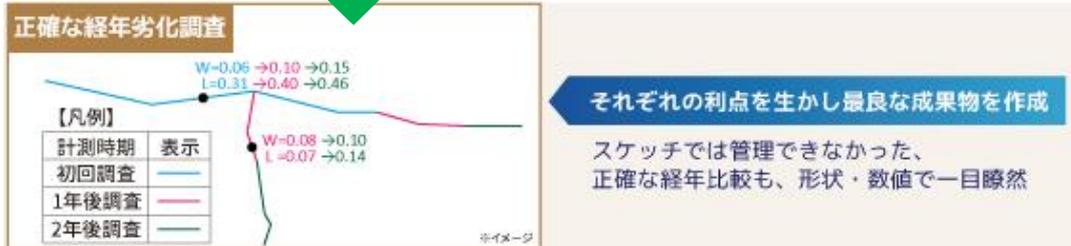
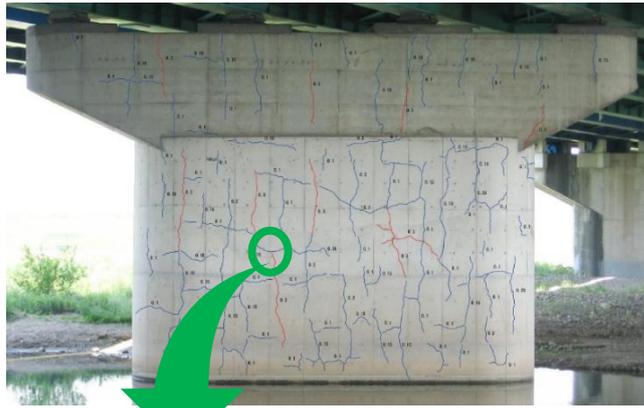


図 2.4-1. ひび割れのデジタル化と高精度な記録の例

## 2.4.2. 導入例、実績

### (1) 事例の概要：

コンクリート構造物の点検業務において、従来技術では、点検車、ロープアクセス、高所足場が必要となる。本事例では、CTSS と高解像度カメラを使用することで危険作業および道路規制を不要とし、遠方からの点検を行う。また、クラックスケール内蔵型光波測量器システムによる計測結果と画像解析の損傷データを掛け合わせることで、経年変化の精度向上が可能となる。

### (2) システム構成（センサー、ネットワーク構成、サーバー等）

本事例の作業フローを図 2.4-2. 本事例の作業フロー図 2.4-2 に記す。

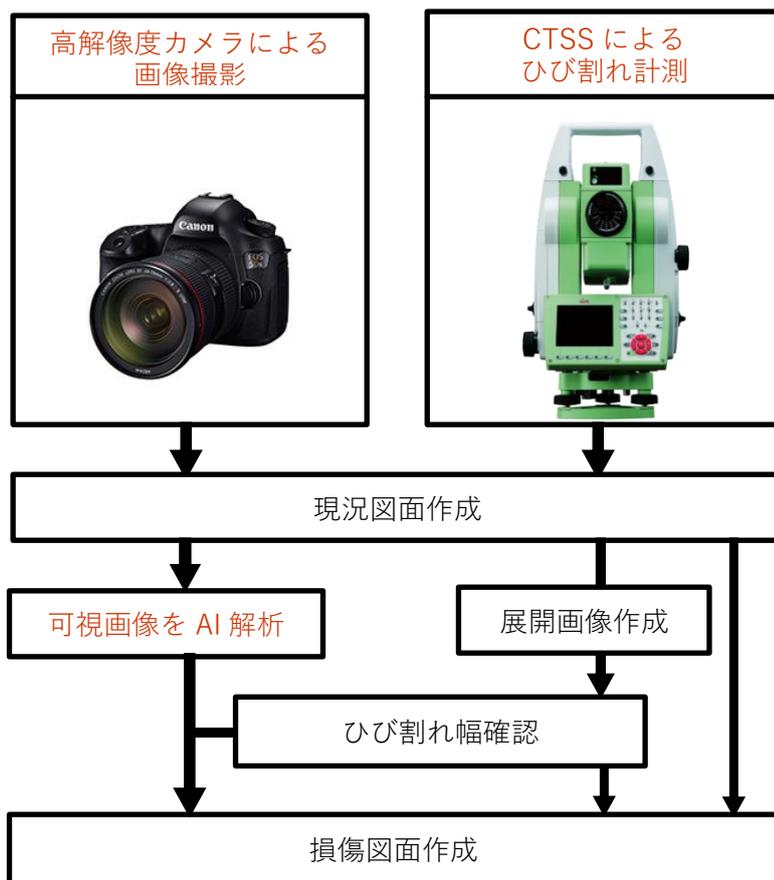


図 2.4-2. 本事例の作業フロー

(3) 2.3 使用機材：

① カメラ

本事例で使用するカメラの仕様と要求条件を表 2-4 に示す。

表 2-4. 本事例で使用するカメラの仕様

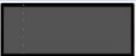
高解像度カメラ		
形 式	デジタル一眼レフレックス	
撮像画面サイズ	約 36×24mm	
カメラ部有効画素	約 5,060 万画素	
アスペクト比	フルサイズ 3:2	
※画素数が約 5,060 万画素以上のカメラを使用すること		

② 写真調査とは

高解像度カメラにより調査対象となる損傷が確実に写り込むよう最適な画角を設定し、対象全体を撮影、画像データから損傷を確認、計測する調査方法である。

画像撮影距離および色彩別による撮影結果の判断基準は下表に示す通りである。高解像度のカメラを使用することにより、0.20 mmのひび割れを撮影する場合、最大で 120m離れた位置から撮影することができる。

表 2-5. 距離別・色彩別 最小ひび割れ幅

対象距離	最小計測ひび割れ幅 (mm)			
	色彩 (1) 	色彩 (2) 	色彩 (3) 	色彩 (4) 
60m	0.05	0.10	0.10	0.20
90m	0.10	0.10	0.15	0.35
120m	0.15	0.20	0.20	0.50
150m	0.30	0.30	0.40	1.00

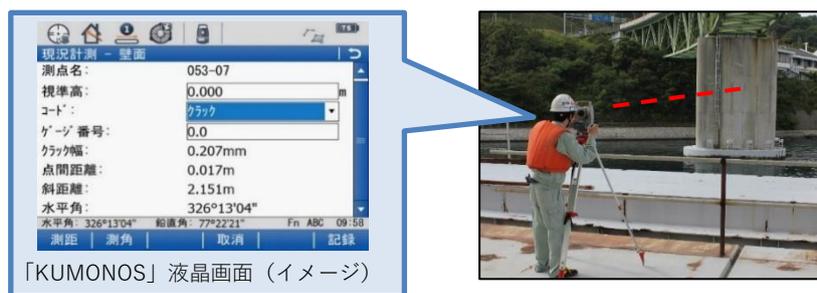
③ CTSS とは

CTSS とは、構造物から離れた安全な場所から、同心円状のクラックスケールを内蔵したノンプリズム光波測量器により、ひび割れなどの幅・長さ・位置座標を計測できる機器である。(表 2-6)

表 2-6. CTSS の仕様

クラックスケール内蔵型光波測量器システム		
サイズ	203×226×325 mm	
重量	約 4.8 kg	
望遠鏡	倍率：42 倍	
仕様	2 級 A トータルステーション	

CCTS により、損傷の位置、長さ、面積などを記録でき、損傷図作成の際には、計測したデータを自動で結線し、CAD データへ変換できるため、紙面からデータ化する時間の短縮と損傷の記載漏れを防ぐことができる。CCTS を用いた計測の様子を図 2.4-3 に示す。



ひび割れ幅計測精度					
器械からの距離 (m)	10	20	30	40	50
最小計測幅 (mm)	0.044	0.088	0.132	0.177	0.221

図 2.4-3. CCTS を用いた計測の様子

#### (4) 計測結果：

##### ① 展開図面の作成

現地の実測値に合わせた展開図を作成することにより、写真の各補正精度を確実に向上させ、経年変化を確認するための正確な損傷資料の作成が可能となった。

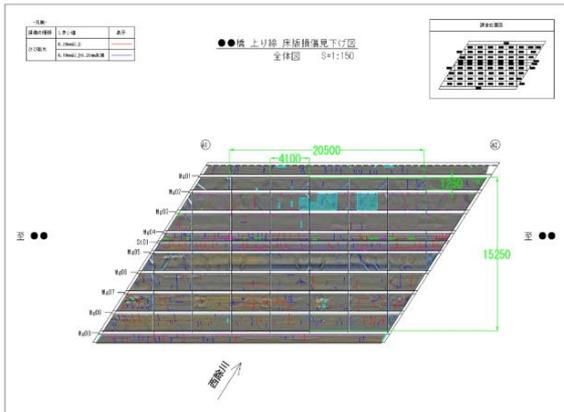


図 2.4-4. 成果図面例①

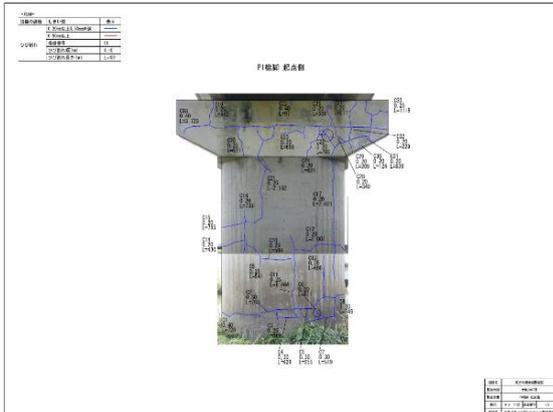
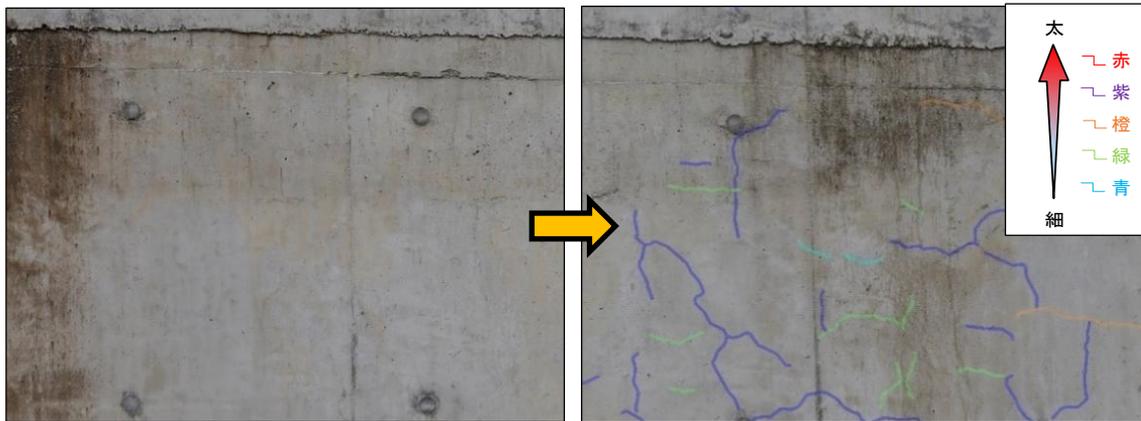


図 2.4-5. 成果図面例②

写真調査をおこなう際に、ひび割れ幅の確認は必須であるが、ハイピアのような橋梁では、近接でのひび割れ幅の確認が難しい。そこでCTSSを使用することにより、遠方からのひび割れ幅に測定が可能であるため、安全かつ正確にひび割れ幅の確認をおこなった。

##### ② AI 検出の実施

AI 検出を実施することで、ひび割れを自動検出し、ひび割れの記載漏れを限りなくゼロに近づけ、正確な判断基準を設けることにより、変状のトレース作業における人的誤差発生防止ができ、展開図作成にかかる時間短縮につながった。



AI 解析前

AI 解析後

図 2.4-6. AI によるひび割れの自動検出

### 2.4.3. 導入方法、費用項目

#### (1) 導入方法

コンクリート構造物の対象計測面積を算出し、ひび割れの検出サイズおよび報告書記載内容を取り決め、業務委託契約を行う。

#### (2) 費目一覧

必要な費用項目は下表の通りである。費用は対象計測面積に応じて設定される。

表 2-7. 考慮すべき費用項目

項目	内容
調査費用	<ul style="list-style-type: none"><li>・ CTSS によるひび割れ計測及び現況計測</li><li>・ 写真撮影</li></ul>
成果項目費用	<ul style="list-style-type: none"><li>・ CTSS データ解析</li><li>・ AI 解析</li><li>・ オルソ画像作成</li><li>・ 損傷プロット</li><li>・ データ取りまとめ</li><li>・ 基礎図作成</li><li>・ 経年変化まとめ</li></ul>

## 2.5. 事例 5) ひび割れ(き裂)幅増分計測システム

### 2.5.1. ソリューション概要

#### (1) 目的：

インフラ構造物の老朽化が進んでいる現在、その安全性を評価することは必須である。なかでもき裂（ひび割れ）が存在する場合、その幅が変化する場合は危険であり、避難や対策が急がれる。そこで、インフラ構造物の安全性評価を実現することを目的として、き裂幅の増分を簡単、高精度に計測するソリューションを提案する。対象とするインフラ構造物としては、橋梁、トンネル、ダム、建物の壁面などがある。

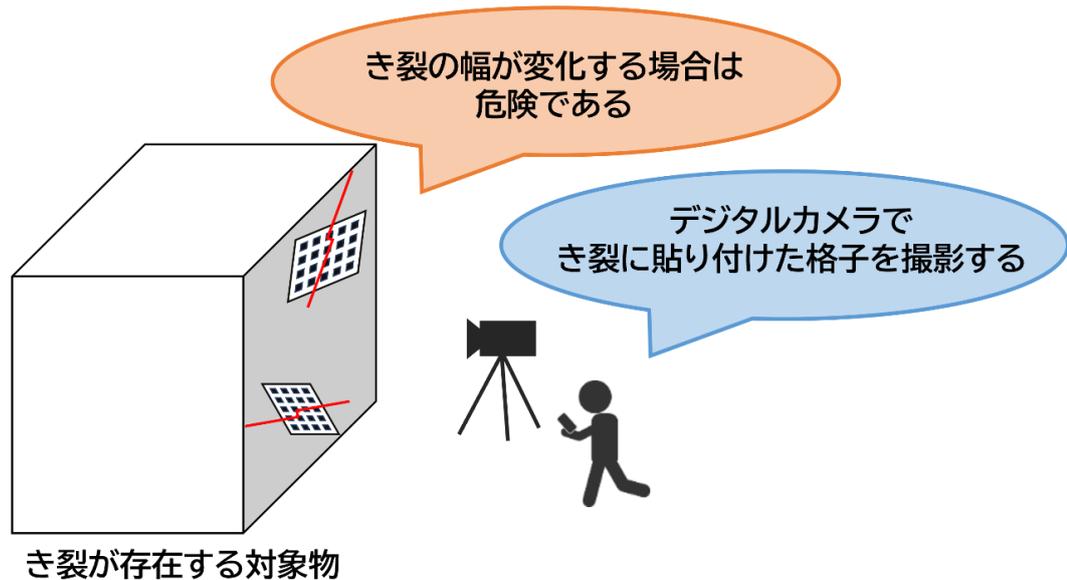


図 2.5-1. システム概要

#### (2) 解決する課題：

我々のソリューションを利用することで、以下の課題を解決することが可能である。

- ・ 従来方式（クラックスケールを用いた目視）ではできない高精度な計測
- ・ き裂幅の微小変化を解析することによる構造物の安全性評価
- ・ カメラを用いるため、一度格子を貼り付けると、その後継続的に計測が可能である

#### (3) モニタリング技術：

き裂幅増分計測システムは、き裂に格子を貼り付け、その格子画像をカメラで撮影することによりき裂幅の変化量を高精度に計測することを目的としたシステムである。格子の位相を解析する手法およびき裂用格子にあるマーカーを用いた位置合わせ手法（ホモグラフィ変換）を組み合わせ、高精度な計測を実現する。定期的にカメラから画像を取得し、その画像処理によりき裂幅の変化を明らかにする。なお、カメラの種別は基本的にデジタルカメラであれば良く、産業用カメラ、一眼レフカメラ、ドローンカメラ、スマートフォンに搭載されたカメラを利用でき、非常に安価である。

#### (4) 計測方法：

本手法はカメラで、き裂に貼り付けた格子を撮影し、それを画像処理プログラムに読み込むことで、き裂幅の変化量を明らかにする。き裂幅増分の格子を図2、図3に示す。格子は領域A、領域Bと外周部分（領域C,D,E,F）からなり、それぞれ分離している。A、Bはき裂を挟み込むように貼り付け、外周部分はき裂の片側に固定できるように貼り付ける。これを変形前、変形後で撮影し、システムに取り込むことで、き裂の幅の変化量を高精度に計測する。

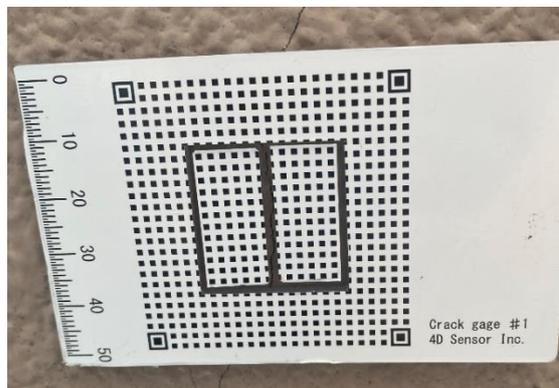


図 2.5-2. き裂用格子

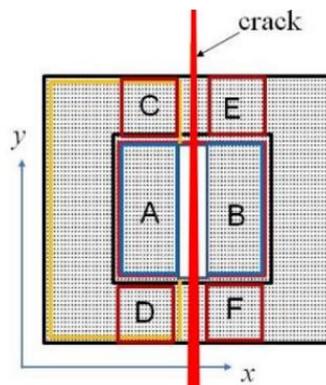


図 2.5-3. き裂用格子の各領域

#### (5) 本ソリューションの利点：

き裂幅増分計測システムを用いる利点を以下に示す。

##### ① 精度の向上

従来は、クラックスケールを用いた目視での点検が行われていた。目視点検では $50\mu\text{m}$ ~ $100\mu\text{m}$ の精度であり、大きな変化はとらえることができるものの、微小変化を確認することはできない。我々の方法では格子の位相を解析するため、精度は格子の1ピッチ（1周期の長さ）の $1/100$ ~ $1/1000$ 程度であり、高精度な計測が可能である。

##### ② 時間的・金銭的コストの削減

従来は、専門家を現地に派遣し、目視で確認していた。我々の方法を用いれば、専門家を派遣する必要がなく、格子画像をデジタルカメラで撮影するだけで、計測を可能とすることができ、非常に安価な方法である。

##### ③ リモート解析の実現

我々の方式は、インターネットを介するサービスも可能であり、き裂に貼り付けた格子画像を撮影し、その画像をシステムに取り込むことで解析が可能である。そこで、システムをサーバー上に設定し、画像をアップロードすることで、インターネットを介した解析も可能である。したがって、専用の装置を持ち運びする必要がなくなり、誰もが解析結果を得ることができる。

## 2.5.2. 導入例、実績

### (1) 事例の概要：

き裂幅の変化量を定期点検する際に、従来ではクラックスケールを用いた目視による点検が行われていた。本事例では、き裂幅増分計測システムを用いることで、誰もが格子画像を撮影し、オフライン環境の場合はソフトウェア、あるいはオンライン環境の場合はインターネットを介したデータ送信により、ほぼリアルタイムで解析結果を得ることができる。なお撮影方法としては、遠方の場合は望遠レンズを利用することで撮影が可能であり、高所ではドローンを用いることで可能となる。また、スマートフォンに搭載されているカメラも利用することが可能であり、簡単な計測を実現できる。

### (2) システム構成（センサー、ネットワーク構成、サーバー等）

本事例の作業フローを下記に示す。



図 2.5-4. 本事例の計測作業フロー

### (3) 使用機材：

#### ① カメラの仕様

- デジタルカメラ（産業用カメラ、一眼レフ、ドローンのカメラ、スマートフォンカメラ）

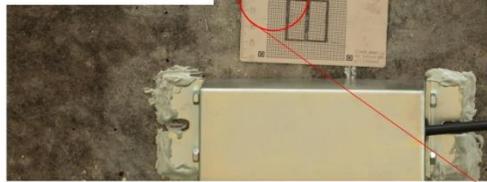
#### ② 格子シートの仕様

- 1ピッチのサイズは求められる精度により異なる。標準品は1ピッチ 2.032mmである
- き裂用格子の4隅のマーカは必須

### (4) 2.4 計測結果：

以下に道路現場（大阪府）における計測例を示す。本計測の目的は、4Dセンサーで開発した位相解析法を用いて、実際の現場でき裂計測用格子シートの撮影実験を行い、IIゲージとの差を比較することである。図 2.5-5 に格子画像の撮影例を示す。

使用レンズ：  
Canon zoom lens  
EF 70-300mm  
使用カメラ：  
Canon EOS 5D S



πゲージの計測と合わせるため、10分間隔のデータを解析

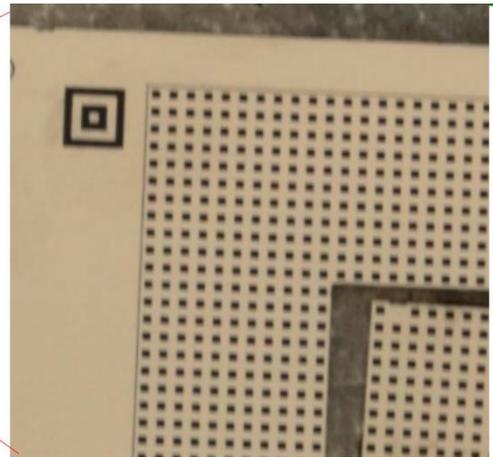


図 2.5-5. 格子画像の例

次に、計測結果を図 2.5-6 に示す。グラフはき裂幅増分の計測結果であり、横軸は時間、縦軸は計測結果である。グラフの色は、青色は我々が提案する手法を用いた場合の計測結果、オレンジ色がπゲージの計測結果である。図より、き裂幅増分の時間が変化を計測できていることがわかる。別途行った室内実験では、 $2\mu\text{m}$  以下の誤差で計測できており、簡単、高精度な計測を実現することができた。

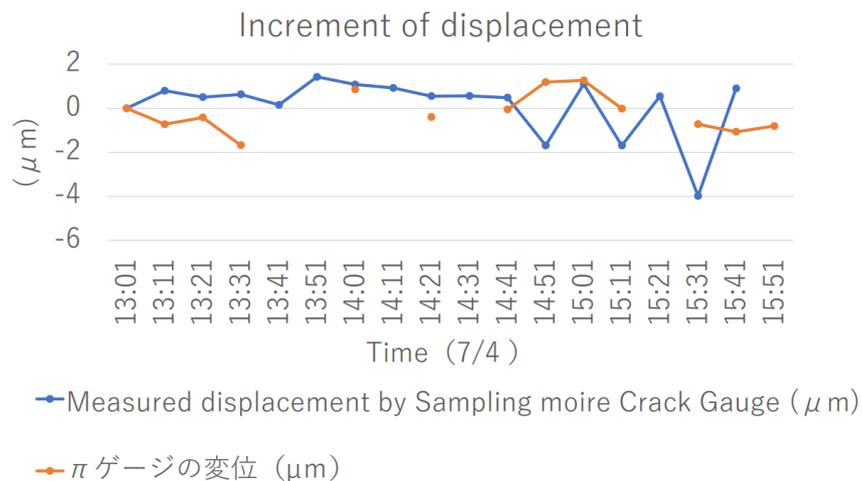


図 2.5-6. 計測結果

### 2.5.3. 導入方法、費用項目

#### (1) 導入方法

対象となるき裂の幅、また、調査したい幅、計測可能距離をユーザへ調査し、それに適合するき裂用格子のサイズを決定し、既存の格子を利用するか、専用の格子を作成するかを判断する。次に、現場に赴き、き裂用格子の貼付け、計測を実施する。

#### (2) 費目一覧

導入に必要な費用項目は下表の通りである。

表 2-8. 考慮すべき費用項目

項目	内容
調査費用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・き裂幅</li> <li>・要求精度</li> <li>・計測可能距離</li> <li>・必要に応じて最適となる光学設計を行う</li> </ul>
成果項目報告費用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・き裂幅増分の時間変化</li> </ul>

## 2.6. 事例 6) 塩害による鋼材の腐食モニタリング

### 2.6.1. ソリューション概要

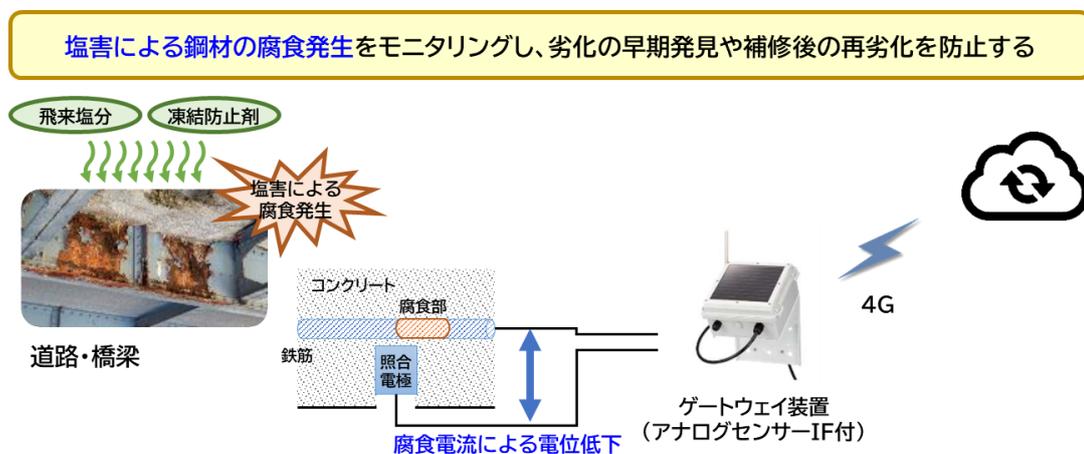


図 2.6-1. 塩害による鋼材の腐食モニタリングシステムの概要

#### (1) 目的

本ソリューションによるモニタリングの目的は以下の通りである。

- 塩害によって発生したコンクリート内部の鋼材の腐食や劣化の早期検知
- 補修後も残存塩分等の影響によって発生する可能性のある再劣化の検知

#### (2) 解決する課題

コンクリート構造物は塩分により鋼材の腐食やコンクリートのひび割れなどの劣化が進行し、機能低下する可能性がある。塩害は海岸線近くの構造物だけでなく、寒冷地で冬期に道路の凍結を防止するために散布される凍結防止剤に含まれる塩化カルシウム等の影響によるものも多い。

近接目視点検では劣化の初期段階や再劣化の段階を把握することが困難であるため、調査やモニタリングによって、劣化の早期発見や補修後の再劣化を防止することが必要とされている。

#### (3) モニタリング技術

- 照合電極による電位レベルのモニタリング

#### (4) 計測方法

本ソリューションでは、以下のモニタリングデータが計測される。いずれのデータもゲートウェイ装置内蔵の4G無線機能によりクラウドサーバーへ送信・保管される。

- 電位レベル：鉄筋の付近に配置した照合電極による鉄筋の電位変化をモニタリングする。鉄筋に腐食が発生すると腐食電流が発生し、照合電極に対する電位が下がる。

#### (5) 本ソリューションの利点

本ソリューションの特長は以下の通り。

- 電池駆動およびソーラー発電駆動により、外部電源が不要。また、無線機能（920MHz帯無線および4G無線）を内蔵しており通信配線も不要。電源・配線が不要で容易に設置・導入できる。
- ゲートウェイ装置は太陽光発電+充電電池による駆動で連続不日照9日間まで運用可能。

## 2.6.2. 導入例、実績

### (1) 事例の概要

コンクリート構造物は、海岸の飛来塩分や凍結防止剤などの塩分により、鋼材の腐食やコンクリートのひび割れなどの劣化が進行する可能性がある。腐食によって発生する照合電極に対する鉄筋の電位差を測定することによって腐食可能性を判断することができる。

従来は技術者が現場に赴きデータの取得・記録を行っていたが、本事例では、ゲートウェイ装置による無線伝送によって遠隔モニタリングを実現し、作業を効率化する。

### (2) システム構成

本事例のシステム構成を図1に示す。

照合電極によって測定された電位レベルは920MHz帯無線によってゲートウェイ装置に集約され、4G通信によってクラウドサーバーへ送信される。クラウドサーバー上で電位レベルの変化が記録され、基準値を超えて変化した場合には管理者へメールで通知される。

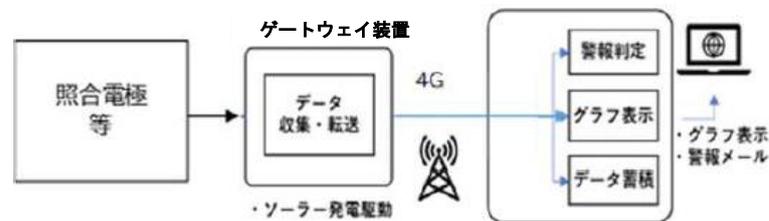


図 2.6-2. システム構成 (出典: OKI)

### (3) 使用機材

本事例では以下の機材を使用した。照合電極の設置イメージを図 2.6-3 に示す。

- ゲートウェイ装置 (アナログセンサーIF付) 1式
- 照合電極 1式

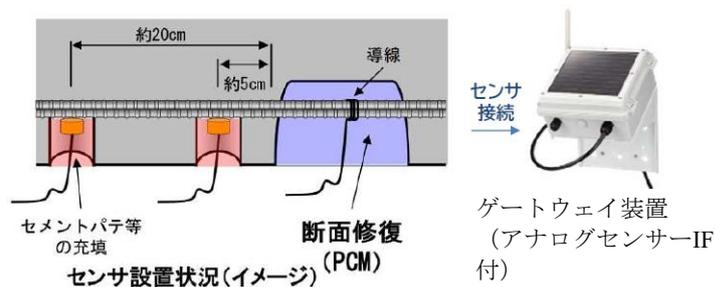


図 2.6-3. 設置イメージ (出典: OKI)

### (4) 計測結果

本事例で計測された照合電極に対する鉄筋の電位レベルの変化を図3に示す。複数のゲートウェイ装置および照合電極によって測定されたデータをクラウドサーバー上で蓄積・表示したものである。あらかじめ電位の閾値を定め、これを超えて変動した場合に詳細点検などの対応を行う。

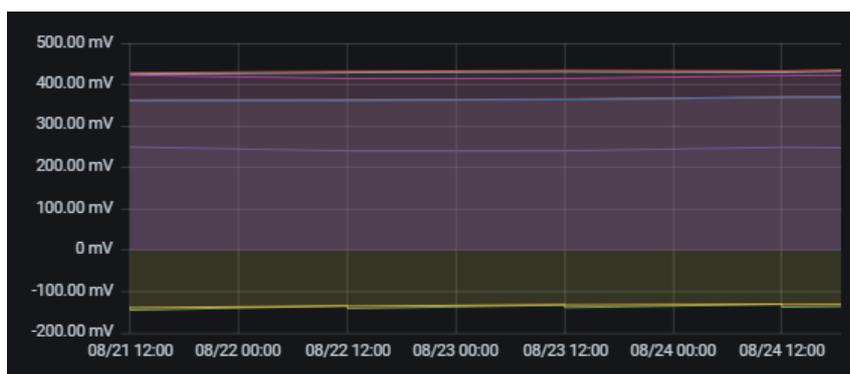


図 2.6-4. 電位レベルの変化

### 2.6.3. 導入方法、費用項目

#### (1) 導入方法

ゲートウェイ装置および照合電極は機器購入、モニタリングシステム（クラウド型）のサービス利用料が必要。機器の設置および収集したデータの分析・報告に係る費用については別途業務委託契約による。

#### (2) 導入に関する費用項目

照合電極による塩害による鋼材の腐食をモニタリングする場合のシステム概要を表 1 に示す。費用は計測箇所の数に依存する。

表 2-9. 考慮すべき費用項目

項目	内容	
システム構成（オンライン型）	ゲートウェイ装置 防水型変位計 モニタリングシステム（クラウド型）	
システム要件	データ回収方式	自動（ネットワーク経由）
	計測箇所点数	最小 1 点～
	測定頻度	電位レベル：1 時間周期（変更可）
	管理方式	リモート
費用	機器費（導入時） クラウドサービス利用料（月/年毎） 分析・報告費（業務委託）	

## 2.7. 事例 7) IoT インフラ遠隔監視サービス

### 2.7.1. ソリューション概要



図 2.7-1. ソリューション概要図

#### (1) 目的

IoT インフラ遠隔監視サービスは、センサーにより橋台と橋桁の遊間離隔など構造物の変位を常時計測し、目に見えない微細な変状を日々モニタリングする。そして、日常的ではない変位を検知すると、メールで即座にお知らせするサービスである。

橋梁の場合は、5年に一度の定期点検の結果が良くないため「経過観察」したい場合や、予算不足のため補修や更新が「先送り」になっている橋、補修工事を実施したがその効果をモニタリングしたい橋等の遠隔監視に活用することを目的とする。

#### (2) 解決する課題

加速するインフラ老朽化や地方公共団体における技術職員数の減少など、インフラの維持管理に係る課題解決として新技術の導入が促進されている。一方、現場で扱いやすく、安価、汎用的、多目的であり、全国に展開可能なハンディな新技術が不足していることが課題となっている。

#### (3) モニタリング技術

IoTセンサーを活用した橋梁等構造物の、遠隔モニタリング技術である。橋梁等に設置するセンサーと、データを管理するクラウドシステムで構成する。センサーは橋梁に設置する場合、橋台と橋桁端部等に取り付け、遊間の変位を常時計測し状態を監視する。計測データはクラウド上のサーバーへ蓄積され、変位量が設定した値を超えた時には管理者へアラームを発報し通知する。

本技術の適用場面は、主に措置としての監視（遠隔モニタリング）を行う場面である。変位をモニタリングすることで、橋梁の場合は、遊間異常、橋桁のたわみ、支承部の異常、橋台の移動、橋脚の洗堀に伴う沈下・傾斜など損傷の発見につながる可能性がある。

#### (4) 計測方法

抵抗式位置センサーの位置により、その抵抗値の変化により離隔距離を算定する。また、加速度センサーにより、機器故障に繋がる衝撃や、計測精度に影響を与える姿勢変化を検出する。

#### (5) 本ソリューションの利点

本ソリューションの特長は以下の通り。

① 利点1 遠隔監視により、橋梁等の維持管理をサポート

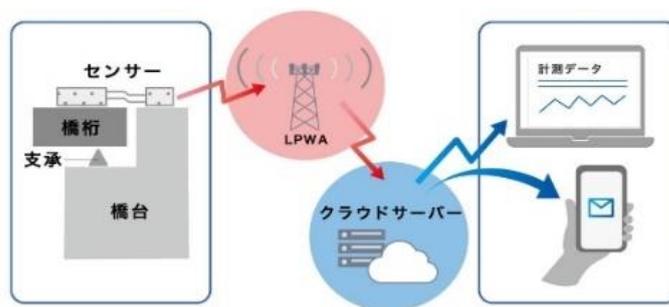


図 2.7-2. ソリューションの構成

- 橋梁の桁端部等に設置したセンサーが、温度変化等に合わせて刻々と変化する橋台と橋桁の遊間離隔を計測する。(図 2.7-2)
- 日常的な変位の記録から、それを逸脱したときに、メールで即座にお知らせする。
- 定期的に取得した計測データ(変位・温度)は、毎日閲覧できる。

② 利点2 常時監視による安心感

- 遠隔監視によるモニタリングは、道路橋定期点検要領に示された、対策を実施するまでの期間の措置としての「監視」に対応する。
- 変位を追跡的に把握する遠隔監視を実現する。
- ”措置をしていない”という不安感を低減できる。



③ 利点3 電池駆動・小型化により多様な構造物に対応

- 超低消費電力設計のため、電池だけで5年間の長期間運用を実現。
- 100V商用電源・中継装置(ゲートウェイ)が不要。設置場所の制約が少ない。
- 広範なエリアに散在する多様な橋梁等に取付可能。



## 2.7.2. 導入例、実績

### (1) 事例の概要

橋梁の変位監視のほか、補修工事の効果確認、および法面モルタル吹付工のひび割れ監視の事例がある。汎用性の高い変位センサーを用いていることから、今後は多様なインフラ構造物への応用が期待できる。

① 変状の発見につながる可能性部位(橋梁の例)

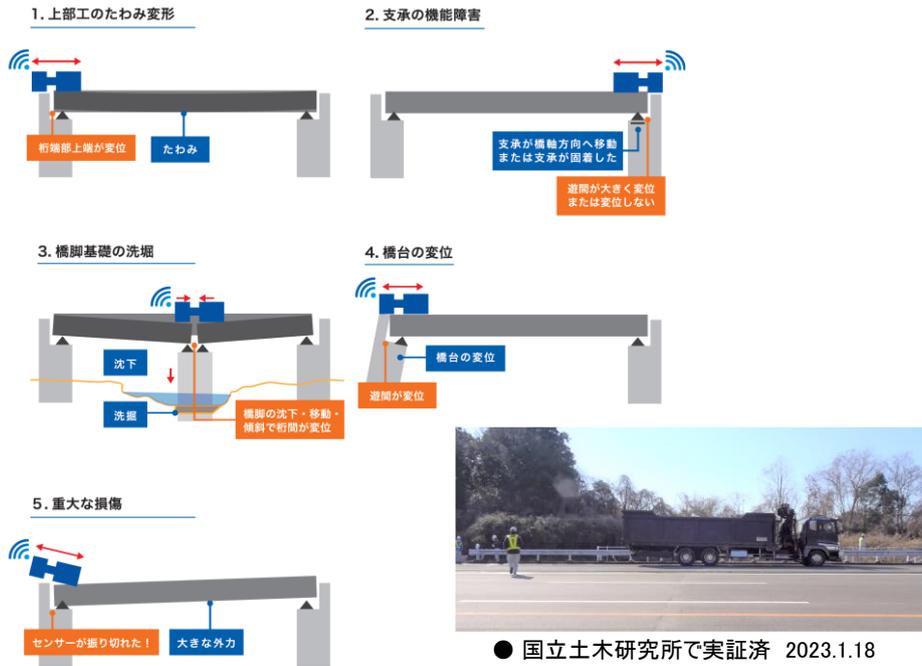


図 2.7-3. モニタリング対象となる橋梁の部位

② IoT インフラ遠隔監視サービスによる監視の候補となる橋

以下のような橋が対象となる。実施例を図 2.7-4、図 2.7-5、および図 2.7-6 に示す。

- 定期点検の結果が良くないため「経過観察」をしたい橋
- 耐震補強や補修・更新が何らかの理由で先送りになっている橋
- 災害などで損傷し、その影響が不明な橋
- 補修工事を実施したが、その効果をモニタリングしたい橋
- 防災上重要な緊急輸送道路などに架かる橋
- 建設年次が古く交通量が多い橋

① 芦屋市（兵庫）PC



② 目黒区（東京）RC



③ 港区（東京）鋼橋



④ 春日井市（愛知）鋼橋



⑤ 嘉麻市（福岡）RC



⑥ 倉敷市（岡山）鋼橋



図 2.7-4 市区町における事例

⑦国土交通省関東地方整備局 常陸河川国道事務所 国道6号線弁天橋 鋼橋



⑧国土交通省関東地方整備局 横浜国道事務所 国道1号線 鋼橋



図 2.7-5. 図 直轄国道における事例

⑨法面モルタル吹付工のひび割れ 関西情報センター (大阪府池田土木事務所)



図 2.7-6. 法面モルタル吹付工のひび割れ監視の例

## (2) システム構成

本システムは、IoTによるインフラ監視センサー、およびクラウドサーバーで構成している。(図 2.7-7)

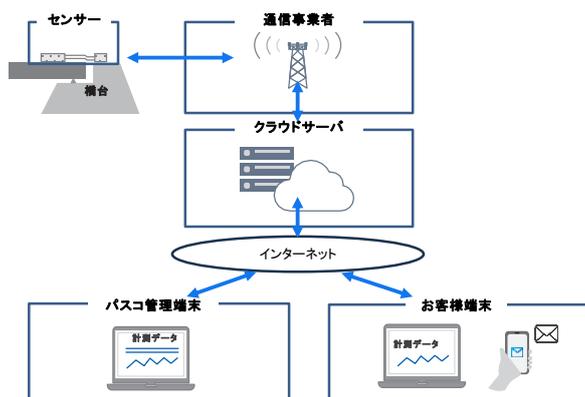


図 2.7-7. システム構成図

## (3) 使用機材

本事例において使用したセンサー機器の仕様を図 2.7-8 に示す。

対環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>・使用温度範囲: <math>-20.0^{\circ}\text{C} \sim +60.0^{\circ}\text{C}</math></li> <li>・防水: IPx6 相当 (暴噴流に対して保護)</li> </ul>
変位測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最小表示値: 0.01mm</li> <li>・測定精度: <math>\pm 0.1\text{mm}</math></li> <li>・測定範囲: <math>-20.00\text{mm} \sim +20.00\text{mm}</math> (1軸方向)</li> </ul>
温度測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最小表示値: <math>0.1^{\circ}\text{C}</math></li> <li>・測定精度: <math>\pm 2^{\circ}\text{C}</math></li> <li>・測定範囲: <math>-20.0^{\circ}\text{C} \sim +60.0^{\circ}\text{C}</math></li> </ul>
電池寿命	5年以上
通信方式	LTE Cat.M1 対応
寸法	長さ約 37cm 幅約 5cm 高さ約 5cm
質量	約 370g (電池含む)



図 2.7-8. 使用機材

## (4) 計測結果

本サービスによる計測結果の事例を図 2.7-9 および図 2.7-10 に示す。



図 2.7-9. 法面のひび割れ拡大を確認



図 2.7-10. 橋梁補修工事の効果を確認

## 2.7.3. 導入方法、費用項目

### (1) 導入方法

本事例で採用したサービスは、設置するセンサーはレンタル提供とし、初期費用（基本料金・取付料金）と、定額費用によるサービス料が発生した。サービス料の内訳は、センサーのレンタル料、通信料、データ閲覧システム利用料、保守料となっており、これらがオールインワンとして提供された。

### (2) 費目一覧

本サービスの導入に当たって必要となる費用項目は表 2-10 のとおりである。

表 2-10. 考慮すべき費用項目

項目	内容
基本料金 取付料金	計画・準備、打合せ協議 センサー取付作業
サービス料	センサーのレンタル料、通信料、データ閲覧システム利用料、 保守料

## 2.8. 事例 8) GNSS によるインフラの変位モニタリング

### 2.8.1. ソリューション概要

#### (1) 目的

地すべり、道路斜面、ダム、橋梁等の変位を高精度に自動計測し、24 時間、365 日変位の監視を行い、異常があった場合は管理者に通報し、土砂災害対策や土木構造物の維持管理に活用することを目的としている。

- 地すべりの変位傾向を三次元で連続的に計測
- 道路法面の安定性を常時把握、降雨・地震時の変位検出
- ダム堤体の変位傾向を三次元で連続的に計測、地震時の迅速な変位検出 等

#### (2) 解決する課題

今後著しく老朽化が進行する社会インフラの維持管理を適切に実行し、インフラの長寿命化を実現することが大きな課題となっている。また、近年の異常気象に伴う災害の頻発、激甚化への対応とともに。膨大な数の災害危険箇所を、限られた財源や管理体制のもとで効率的かつ適切に管理することが求められている。防災上問題のある重要点検箇所を長期間に渡ってモニタリングし、その安全性を継続的に評価することによって、効率的な防災・減災体制を構築することが課題となっている。

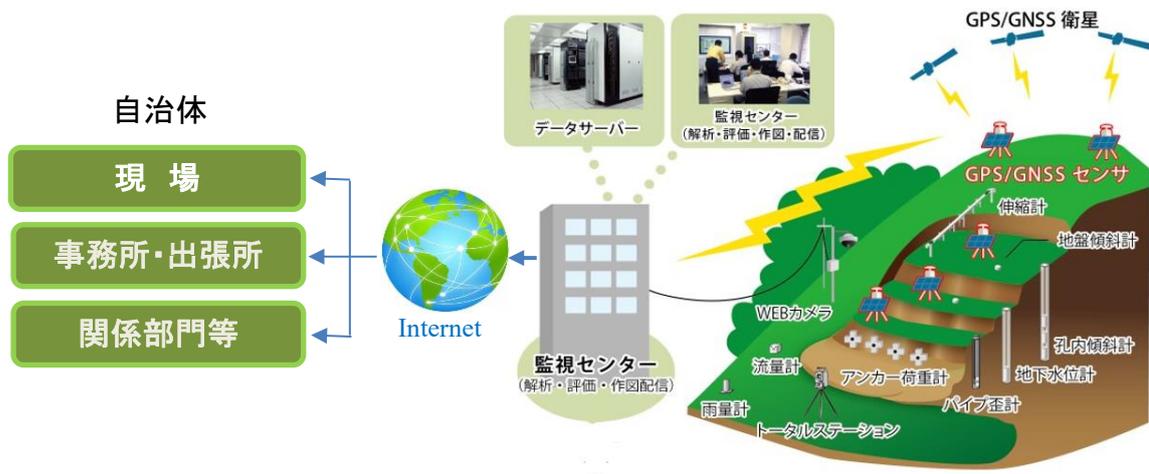


図 2.8-1. システムの全体像

#### (3) モニタリング技術

本事例で利用するモニタリング技術は以下の通り。

- GPS/GNSS による衛星測位で現場の変位を自動計測。
- 計測値を時系列統計処理（トレンドモデル）による誤差処理を実施し、最高で±1 mmの精度で変位を抽出。
- GPS/GNSS だけでなく、伸縮計、地盤傾斜計、地下水位計等の機器にも対応し、現場のデータを収集。

#### (4) 計測方法

GPS/GNSS 衛星から送信される衛星の位置や時刻などの情報を 1 台の受信機のアンテナで受信することにより、衛星から電波が発信されてから受信機に到達するまでに要した時間を測る。4 個以上の衛星から観測点までの距離を同時に知ることにより、観測点の位置（座標）を決定する。

- GPS/GNSS 衛星の信号電波の搬送波を利用した干渉測位、測位方法は Static や RTK、Static 測位は 1 時間ごと、RTK 測位は 1 分ごとにデータを転送。
- 携帯電話や一般公衆回線を使って監視センターに集約、誤差評価システムにより計測値算出。

## (5) 本ソリューションの利点

本ソリューションの特長は以下の通り。

- 独自の誤差処理技術により mm 単位の高精度な GPS/GNSS 計測を実現。
- X、Y、Z の三次元計測により計測対象の挙動を詳細把握。
- 豪雨・降雪・濃霧等の悪天候でも安定した計測が可能。
- 計測データを監視センターで 24 時間 365 日連続監視。
- 計測結果は専用 WEB サイトで配信・関係者間の情報共有が可能。

## 2.8.2. 導入例、実績

### (1) 事例の概要

本ソリューションは、Shamen-net というサービス名で展開している。地すべりや斜面災害の変位観測をはじめ、のり面やダムのような大規模構造物の挙動計測など、様々な計測対象への適用が拡大している。

### (2) システム構成

#### ① GPS/GNSS の方式

本事例のシステム構成を図 2.8-2 に示す。GPS/GNSS のデータ収集は、無線方式と有線方式がある。

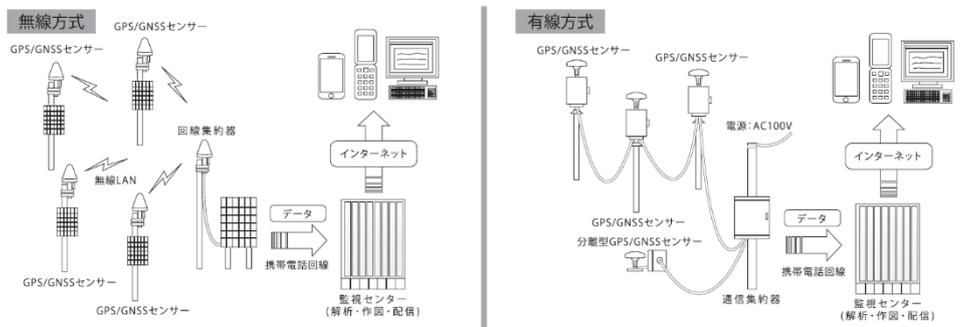
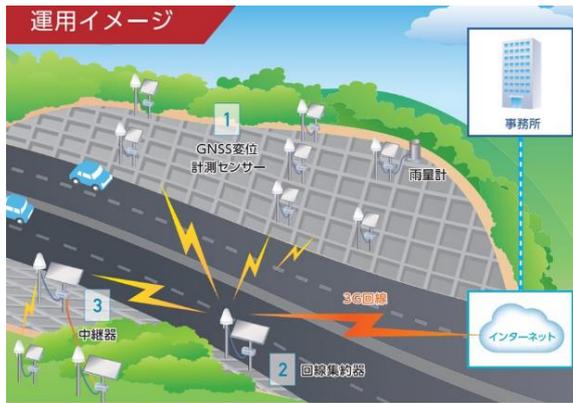


図 2.8-2. システム構成

#### ② 機器配置例

本事例で利用する機器を法面・斜面へ配置した例を図 2.8-3 に示す。



**解析方法** : 静的干渉測位法(スタティック法)  
**対応周波** : 1周波(L1), 2周波(L1+L2) 対応  
**観測間隔** : (標準) 30秒毎の1時間解析  
**電源** : AC100V, ソーラー+バッテリー  
**通信** : ISDN, ADSL, 光, 携帯電話, 無線LAN等



図 2.8-3. のり面での機器配置事例

### ③ 監視センター

監視センターでは、いかなる状況下でも計測情報を確実に配信し、注意・警戒情報を速やかに伝達する仕組みを整備している。



図 2.8-4. 監視センターの概観

監視センターの役割を以下に示す。

- 基線解析、三次元変位量計算、トレンドモデルによる誤差処理
- 専門技術者によるデータ品質管理、時系列グラフ・ベクトル図等の作成
- インターネット配信処理
- 変位量の監視及び判定、警報配信
- 現地計測機器のヘルスチェック、システム全体のオンラインメンテナンス

また、監視センターはバックアップセンターを持ち、関東地方の災害時にも運用が出来る構成を取っている。(図 2.8-5)

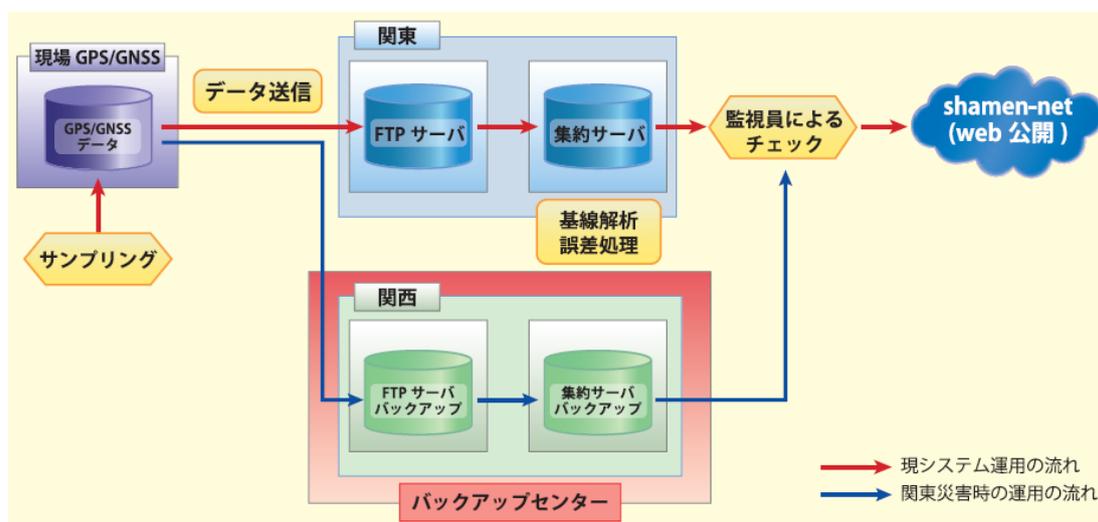


図 2.8-5. 監視センターのサーバー構成と処理

### (3) 使用機材

本事例で使用する機材の例を表 2-11 に示す。

表 2-11. GPS/GNSS 機器の一例

機器名	1 周波型 GNSS センサー	多周波型 GNSS センサー
型番	MG100/MG200 (古野電気製)	GR10 (ライカジオシステムズ製)
写真		
受信周波数帯	L1	L1、L2、L5
受信衛星数	GPS/QZSS/GLONASS	GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo
電源	DC12V (AC100V はオプション)	DC12V/AC100V
ソーラーパネル	標準装備	オプション
消費電力	GNSS センサー 0.48W 回線集約器 4.09W	GNSS アンテナ 0.3W GNSS 受信機 4.2W
ロガー 1 台あたりの センサー接続数	20 台	1 台
防水機能	IPX5 (防噴流)	IP67 (耐塵・防浸)
温度	-20~60℃	-40~65℃
センサー間通信	WI-FI or LAN	LAN

### (4) 計測結果

GPS/GNSS 計測では、基線長 (基準点と計測点間の距離)、気象条件、マルチパス (建物による反射波) 等の様々な要因により計測値がバラつく。最も高精度なスタティック測位法でも数 cm 程度の精度である。本システムでは、トレンドモデルを採用することで高精度な変位観測を実現している。(図 2.8-6)

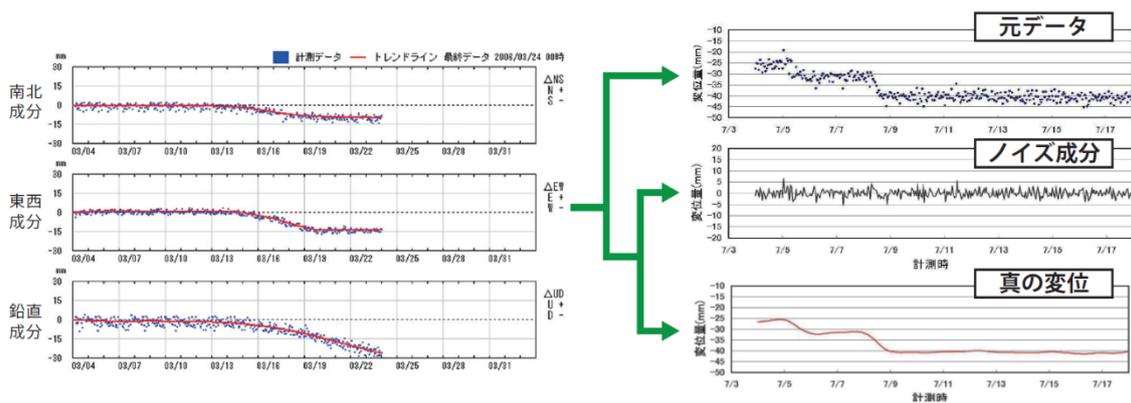


図 2.8-6. 計測データのトレンド処理

### 2.8.3. 導入方法、費用項目

#### (1) 導入方法

対象となるインフラ施設、GPS/GNSS のセンサーの設置数、計測期間等を取り決めて業務委託契約を行う。

#### (2) 費用一覧

必要な費用項目は表 2-12 の通りである。GPS/GNSS センサーの設置数、その他のセンサーの設置数、観測期間などに依存して費用が変化する。

表 2-12. 考慮すべき費用項目

項目		内容
機器 (GPS/GNSS センサー)	センサーの損料	機器損料×(GNSS 設置箇所数+基準局の設置箇所数)×設置月数
	通信集約損料	通信装置の損料×設置箇所×設置月数
	動態計測観測	動態計測の単価×箇所数×設置月数
保守点検	センサーのメンテナンスにかかる日数、交通費等	
センサー撤去	センサーの撤去にかかる費用 (撤去が必要な場合)	

## 2.9. 事例 9) 傾斜計、雨量計による地域防災モニタリング

### 2.9.1. ソリューション概要

#### (1) 目的

本ソリューションによるモニタリングの目的は以下の通りである。(図 2.9-1)

- 地域防災向けモニタリングシステム
- 大雨による斜面崩壊の可能性のある危険エリアのモニタリング
- 各センサーを設置した場所の局所的な雨量モニタリング



図 2.9-1. ソリューション概略

#### (2) 解決する課題

地方自治体向け（住民向け）には、設置が簡単でローコストなモニタリングシステムが必要とされている。設置作業が簡単なことは、それだけ導入コストを下げることに直結している。また、近年の線状降水帯など、局所的に大雨を降らす場合が多々あり、状況を正確に把握するためには、設置した場所の局所的な雨量を計測する必要がある。

#### (3) モニタリング技術

本事例で用いる主な技術は以下の通り。

- 内蔵傾斜センサーによる斜面監視
- センサーを設置した場所の局所的な雨量を監視

#### (4) 計測方法

本ソリューションでは、以下のモニタリングデータが計測される。いずれのデータも LPWA を介してクラウドサーバーへ送信・保管される。

- 傾斜センサー（X,Y 軸）：子機に内蔵された傾斜センサーにより計測。計測したデータは同じく内蔵された LPWA モジュールを介してモニタリングする。
- 雨量計：小型雨量計に LPWA モジュールを内蔵した子機を接続しモニタリングする。

## (5) 本ソリューションの利点

- 電池駆動のため、外部電源が不要。また、無線機能（LPWA）を内蔵しており通信配線も不要。
- IoT ゲートウェイが不要なため、1 台からでもローコスト。
- 監視ポイントが広域に点在していても問題ない。

## 2.9.2. 導入例、実績

### (1) 事例の概要

住民の要望に即したローコストなモニタリング。過去に崩壊した斜面の対策が有効に機能しているか確認する必要がある。また、近年の線状降水帯の発生など、局所的に大雨が降る傾向があり、計測している斜面の局所的な雨量とデータを突き合わせることで斜面の健全度をより正確に判断できる為、対策の効果も的確に判断できる。

設置を簡略にすることで、計測開始のコストや時間を節約できるメリットがあり、地域防災に適したシステムである。

### (2) システム構成

本事例のシステム構成を図 2.9-2 に示す。子機によって計測された各物理量は LPWA によって直接クラウドサーバーへ送信される。クラウドサーバー上で各物理量がデータベースに保存される。各物理量は事前に設定した閾値を越えた場合、事前に設定したメールアドレスにメールで通知される。

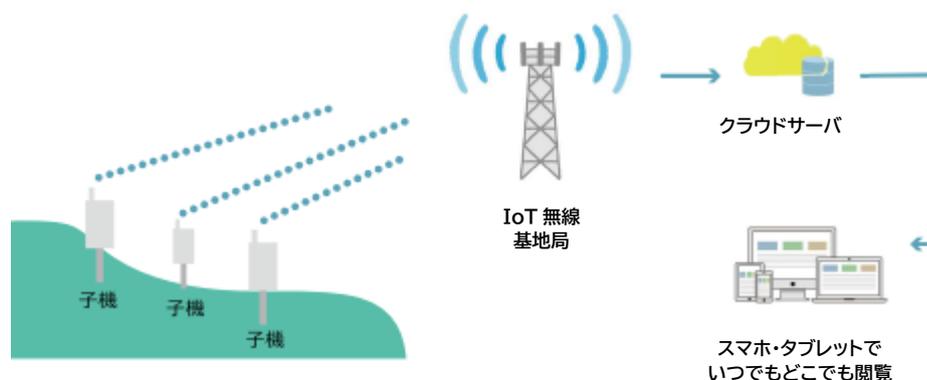


図 2.9-2. システム構成

### (3) 使用機材

本事例では以下の機材を使用した。設置イメージを図 2.9-3 に示す。

- 傾斜計内蔵子機 1 式
- 雨量計用子機（雨量計含む） 1 式



図 2.9-3. 機材の設置イメージ

#### (4) 計測結果

本事例で計測された各センサーの値を図 2.9-4 に示す。計測されたデータをクラウドサーバー上のデータベースで保存・表示したものである。カスタムマップを利用することで計測結果が分かりやすく表示される。また設定した閾値を越えると事前に設定したメールアドレスに警報メールを送信する。また、オプションのカメラ画像をシームレスで閲覧できるので広範囲の観測が可能である。

計測地点の局所的な雨量を同時に取得することで、斜面の動きを正確に把握することができるので、対策斜面の効果の有効性の判断も行える。

② マップタブ

現場位置、現場に設置されたカメラ画像、センサ位置などをマップ上で確認することができます。



③ センサタブ

現在モニタリング中の詳細情報が表示されます



④ カメラタブ

現場に設置されたUSB/IPカメラの静止画像を閲覧することができます。カメラからの映像が閲覧可能で、カメラの過去画像（10分間隔）をさかのぼって閲覧することも可能です。

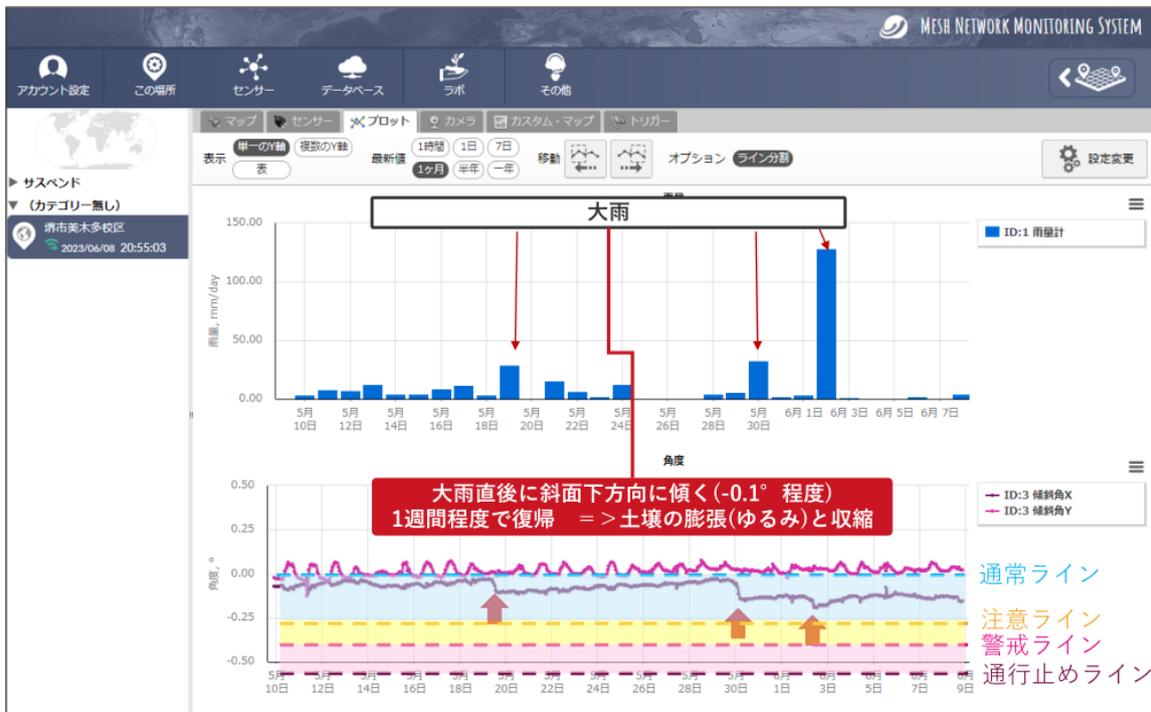
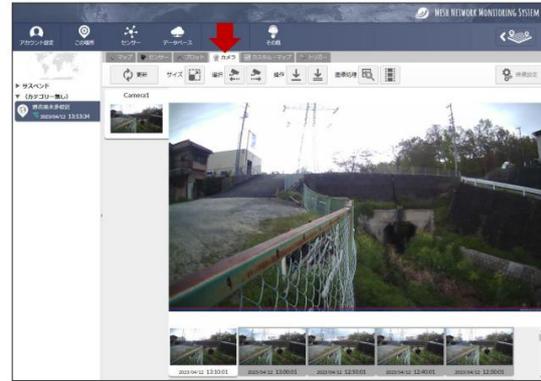
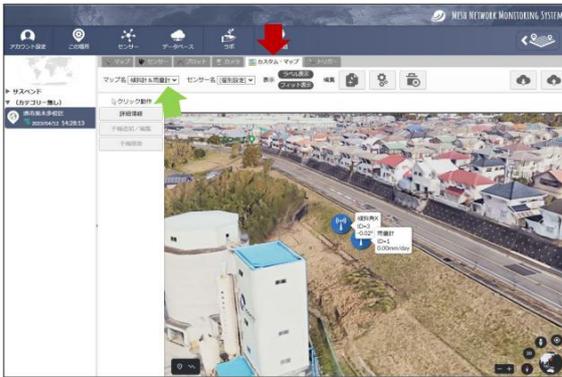


図 2.9-4. 計測結果表示画面

### 2.9.3. 導入方法、費用項目

#### (1) 導入方法

子機、通信費、クラウド利用料を全て含んだ月額料金（最低6ヵ月）で利用可能。また、必要なセンサー（今回の場合は雨量計）やオプション（カメラ）なども同様に月額での利用が可能である。設置、撤去に関しては別途費用が必要となるため、要相談。

#### (2) 導入に関する費用項目

傾斜計子機1セットと雨量計子機1セットをモニタリングした場合の計測費用の目安を表2-13に示す。

表 2-13. システム構成と費用項目

項目		内容
システム構成（オンライン型）		傾斜計内蔵子機 雨量計用子機 雨量計 モニタリングシステム（クラウド型）
システム要件	データ回収方式	自動（ネットワーク経由）
	計測箇所点数	最小1点～
	測定頻度	15分間周期（変更可）
	管理方式	リモート
費用		1セットあたり月額（契約期間は最低6ヵ月から）

<備考>

- ・ 必要に応じて、子機とセンサーを組合わせて利用可
- ・ カメラはオプション（電源 AC100V が必要）

## 2.10. 事例 10) 予防保全のためのモニタリング(斜面・のり面)

### 2.10.1. ソリューション概要

#### (1) 目的

本ソリューションによるモニタリングの目的は以下の通りである。

- 降雨により被害を受けたのり面の二次的な災害監視
- 適切なのり面の補強工を選定するための動態観測
- のり面の補強工事期間中の安全性を確認するための計測管理
- のり面補強の効果を確認するための動態観測
- 遠隔地でのリアルタイムの監視・管理

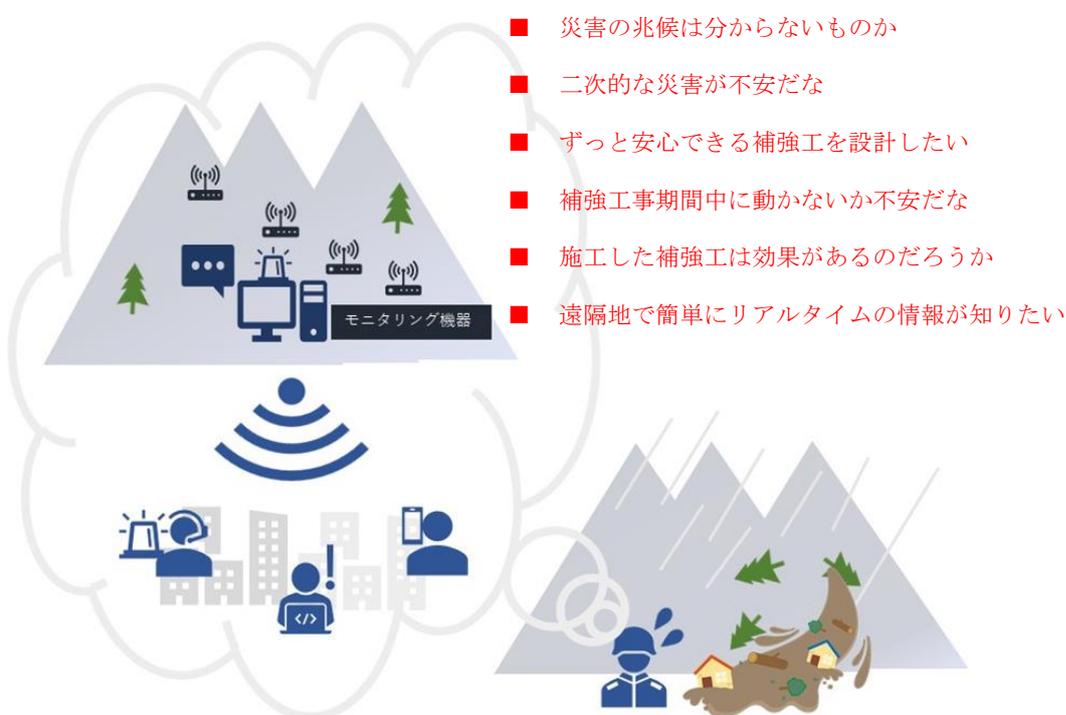


図 2.10-1. 予防保全のためのモニタリング (斜面・のり面) 概要

#### (2) 解決する課題

台風や線状降水帯により土砂災害が激甚化・頻発化する一方で、都道府県・基礎自治体の人員体制や予算を鑑みると、災害が発生する前から斜面やのり面を動態観測するなどの予防保全は非常に厳しい状況にある。経済活動をはじめとする様々な社会活動を継続させるためには比較的簡便に斜面・のり面の状況が監視できるセンサーや遠隔で管理できるシステムの導入が喫緊の課題である。本ソリューションは課題克服の一例である。

#### (3) 課題克服のためのモニタリング項目

本事例では以下の項目のモニタリングを行う。

- 降雨量
- 地下水位の変化
- 地割れ部分の地盤の変形（伸縮）

- 斜面・のり面の傾斜、変形、変位、加速度、ひずみ

#### (4) モニタリングに求められる性能

人材や予算が不足している管理者が取り入れやすいセンサーや関係者が遠隔でも監視・管理できるシステム構築が望まれている。そのため、本ソリューションでは、汎用性を重視し、特別なセンサーや手法を用いていない。ただし、安全を担保するためには管理基準値を考慮したセンサーの精度、モニタリングシステムが要求される。本ソリューションでの性能は下記のとおりである。

- 伸縮量、変位測定の精度：1mm
- 傾斜の精度：0.5度
- 管理区分（注意、警戒、通行止め）を考慮した警報システム
- 上記のデータをサーバーに保管し関係者であればデータが閲覧できるシステム
- 携帯端末で管理できるシステム

#### (5) 本ソリューションの利点

本事例の特長は以下の通り。

- 電源は太陽電池により外部電源が不要である。
- 現地の観測局に「FOMA」を適用することで遠隔地にデータが送受信できる。
- サーバーセンターは、定期的にデータを回収し、web上で情報を関係者に発信するとともに更新する。また、予め設定した管理値と比較することで異常を検知し、異常であることを関係者にメールを発信する。
- サーバーセンターのデータは、PCやスマートフォン等の携帯端末から閲覧可能で遠隔でモニタリングできる。

### 2.10.2. 導入例、実績

#### (1) 事例の概要

本事例は、土砂災害のうち地すべりにより擁壁や吹付けモルタルに損傷が生じたのり面の発災後の災害監視のためのモニタリング、補強工事期間中の計測管理のためのモニタリング、補強工の効果確認のためのモニタリングの結果を紹介するものである。本事例のモニタリング項目は、自動による「降雨量」「地下水位」「ひずみ」「地盤伸縮」「地表面傾斜」、手動による「レーザー測定」「鉋間計測」である。以下では「降雨量」と「地盤伸縮」「地表面傾斜」の計測結果を整理し、社会インフラのモニタリングの有意性について述べる。

#### (2) システム構成

本事例の地盤伸縮のシステム構成を図-1に示し、現場体制を含めたモニタリングシステムを以下に示す。

##### 【現場監視体制】

- ① 現場に伸縮計をセットし、そのデータを現場に設けるデータロガーに蓄積する。
- ② 変動値の基準値（2mm/hrの変動）を超えた場合には、異常時接点の出力を行い、携帯電話回線を使ってデータサーバへアップロードする。
- ③ 常時にも伸縮計データを10分間隔でサーバへアップロードする。

##### 【サーバコントロール】

- ① データサーバは現場からの出力を受けて監視し、異常出力を受けた場合には、予め登録したアドレスへ警報メールを出す。

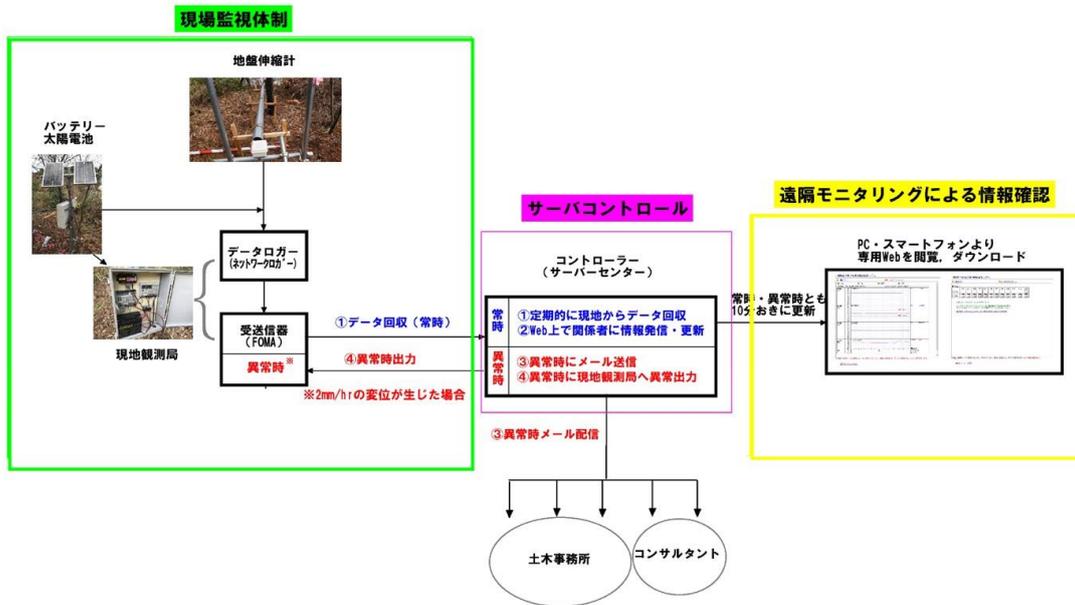


図 2.10-2. システム構成 (地盤伸縮計)

### (3) 使用機材

本事例で用いた主な機器を以下に示す。

#### ① 伸縮計 1 式

測定範囲：0～500mm (実効 20～480mm)

分解能：0.1mm/mV (分解能 0.1mm)

絶対精度 (位置計測)：±10mm 以内 (非直線性±2%/F.S.以内)

相対精度 (変位計測)：±0.2mm/10mm 以内 (±2%/変位量)

温度変化の影響：±0.1mm/10℃以内 (±20ppm/℃)

動作温度範囲：-20～+60℃ (保存温度範囲-40～+80℃)

信号出力：電圧 0～5V (出力インピーダンス 5kΩ 以内)

動作電圧：DC9～16V

消費電力：約 3mA

内蔵避雷機能：線間制限電圧 18～22V (最大 30V)、サージ最大電流 100A (10/1000 μs)

対接地間放電開始電圧 30V、インパルス電流耐量 200A (10/1000 μs)

ワイヤ径・材質：φ0.8mm・SUS304 (熱膨張量は 500mm 当たり 0.1mm/10℃以内)

ワイヤ張力：14.7N (1.5kgf) (ワイヤー巻き戻し速度 90mm/sec×張力 0.5kgf)

信号ケーブル：標準 3m 付 (0.2mm<sup>2</sup>×4 心、赤：電源+12V、黒：電源 0V、白：信号+、緑：信号-)

ボックス外形：W150mm×D150mm×D90mm

重量：約 1.2kg



#### ② 傾斜計 1 式

傾斜角測定性能：測定範囲±30°、測定分解能 0.025°、測定精度±0.5°

方位測定性能：測定範囲 0～360°、測定精度±0.5°

計測モード：リアルタイム計測 (約 0.3 秒周期)

記録間隔： 1/5/10/30分、1/6/12/24時間  
 内部メモリ容量： 10,000回以上  
 外部通信： 特定小電力無線（データターミナル用）  
 最大通信距離： （無線）100m以上（設置条件による）  
 僅体構造： 防塵防水仕様（IP66）  
 使用温度範囲： -20～50℃  
 寸法： φ70mm×H280mm（塩ビ製）  
 重量： 760g  
 電源： DC12V（外部接続）



#### (4) 計測結果

降雨量のモニタリング結果を表 2-14 と図 2.10-3 に示し、降雨量と地盤伸縮計の関係を図 2.10-4 に示す。図より、引張方向への変位がほとんど認められないこと、伸縮計の測定値が安定しており地すべりによる顕著な変位が認められないことが分かる。定量的には 2021 年 4 月時の累積変位量が 3.6mm で、2021 年 12 月時の累積変位量が -4.5mm であり、何れも管理基準値に達していなかった。

また、図 2.10-5 に示す地表面傾斜計については 1 段目の小段に設置した計器で 0.3～-0.2 度の移動があったことが認められたが累積でも 0.12 度であり、管理基準値に達していなかった。のり面の下部に設置した傾斜計も 0.25～-0.28 度の移動があったことが認められたが累積でも 0.11 度であり、管理基準値に達していなかった。

以上のモニタリング結果を受け、二次被害がないこと、補強工時が安全に施工できたこと、補強工の効果があることが確認できたため、足掛け 4 年にわたる計測を終了した。

表 2-14. 降雨量計測結果

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計	
平年(H3～R2平均)	63.7	72.0	108.6	101.2	129.0	186.4	204.5	168.7	198.7	175.1	80.5	66.7	1553.4	
平成26年	降水量	67.0	55.0	129.5	75.0	83.5	54.0	134.5	564.5	89.0	89.0	81.5	89.0	1511.5
	平年比	1.05	0.76	1.19	0.74	0.65	0.29	0.66	3.35	0.45	0.51	1.01	1.33	0.97
平成27年	降水量	127.0	53.0	145.0	120.0	72.0	188.0	385.5	169.5	160.5	33.0	157.5	78.0	1689.0
	平年比	1.99	0.74	1.34	1.19	0.56	1.01	1.89	1.00	0.81	0.19	1.96	1.17	1.09
平成28年	降水量	67.0	102.5	84.0	108.0	107.5	183.0	91.0	139.0	236.0	95.0	83.5	104.5	1401.0
	平年比	1.05	1.42	0.77	1.07	0.83	0.98	0.44	0.82	1.19	0.54	1.04	1.57	0.90
平成29年	降水量	51.5	98.5	75.0	102.5	78.0	106.0	132.0	170.5	151.5	562.0	79.5	32.5	1639.5
	平年比	0.81	1.37	0.69	1.01	0.60	0.57	0.65	1.01	0.76	3.21	0.99	0.49	1.06
平成30年	降水量	96.5	32.5	152.0	139.5	244.0	230.5	198.0	90.0	335.5	31.5	43.5	72.5	1666.0
	平年比	1.51	0.45	1.40	1.38	1.89	1.24	0.97	0.53	1.69	0.18	0.54	1.09	1.07
平成31年 (令和1年)	降水量	28.5	79.0	77.5	65.0	105.0	181.5	240.5	133.0	20.5	302.0	22.5	59.0	1314.0
	平年比	0.45	1.10	0.71	0.64	0.81	0.97	1.18	0.79	0.10	1.72	0.28	0.88	0.85
令和2年	降水量	56.5	72.5	65.0	56.5	95.0	160.5	388.5	41.0	163.0	183.0	42.0	20.0	1343.5
	平年比	0.89	1.01	0.60	0.56	0.74	0.86	1.90	0.24	0.82	1.05	0.52	0.30	0.86
令和3年	降水量	58.0	49.0	127.5	117.0	135.0	79.5	220.0	219.5	140.5	49.0	45.0	120.0	1360.0
	平年比	0.91	0.68	1.17	1.16	1.05	0.43	1.08	1.30	0.71	0.28	0.56	1.80	0.88

凡例 赤文字：平年比2倍以上 青文字：平年比0.5倍以下

雨量計観測期間 変状確認時期 本業務期間

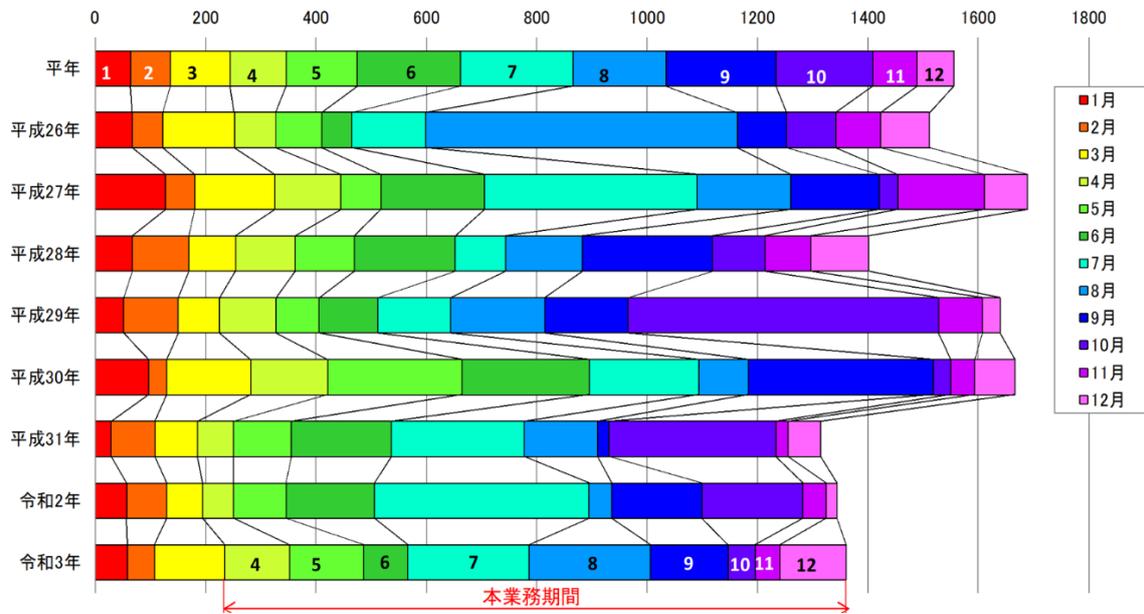


図 2.10-3. 降雨量計測結果

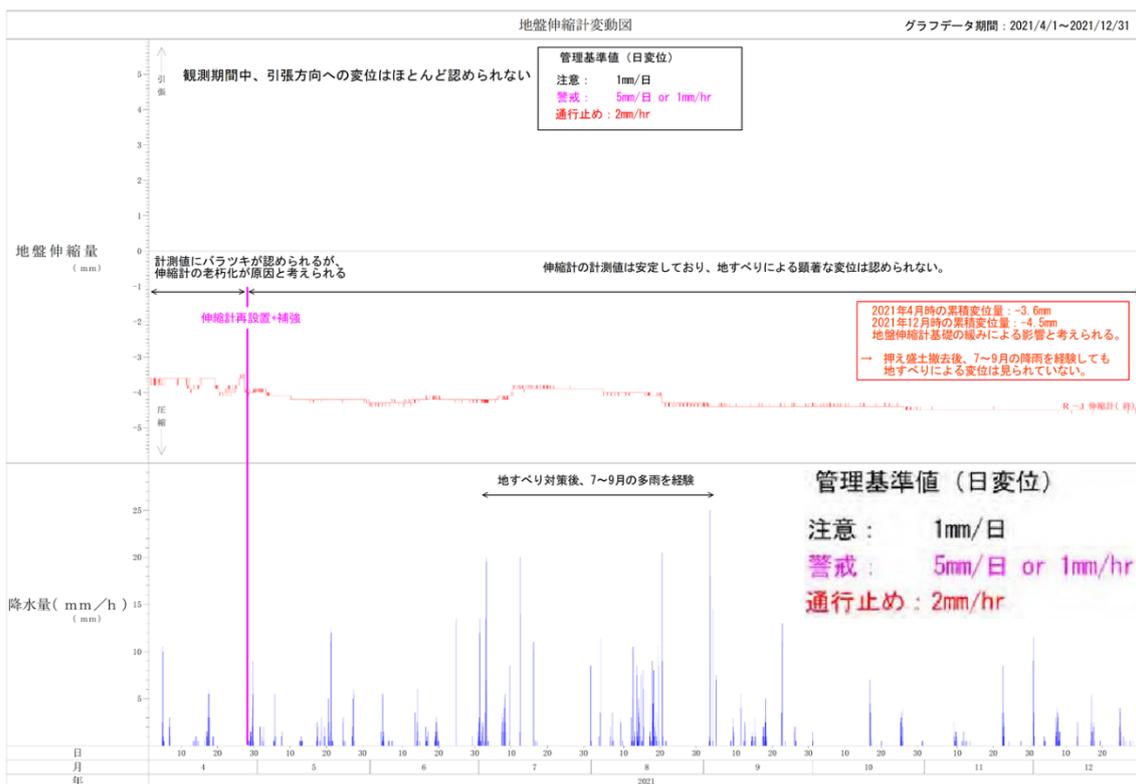
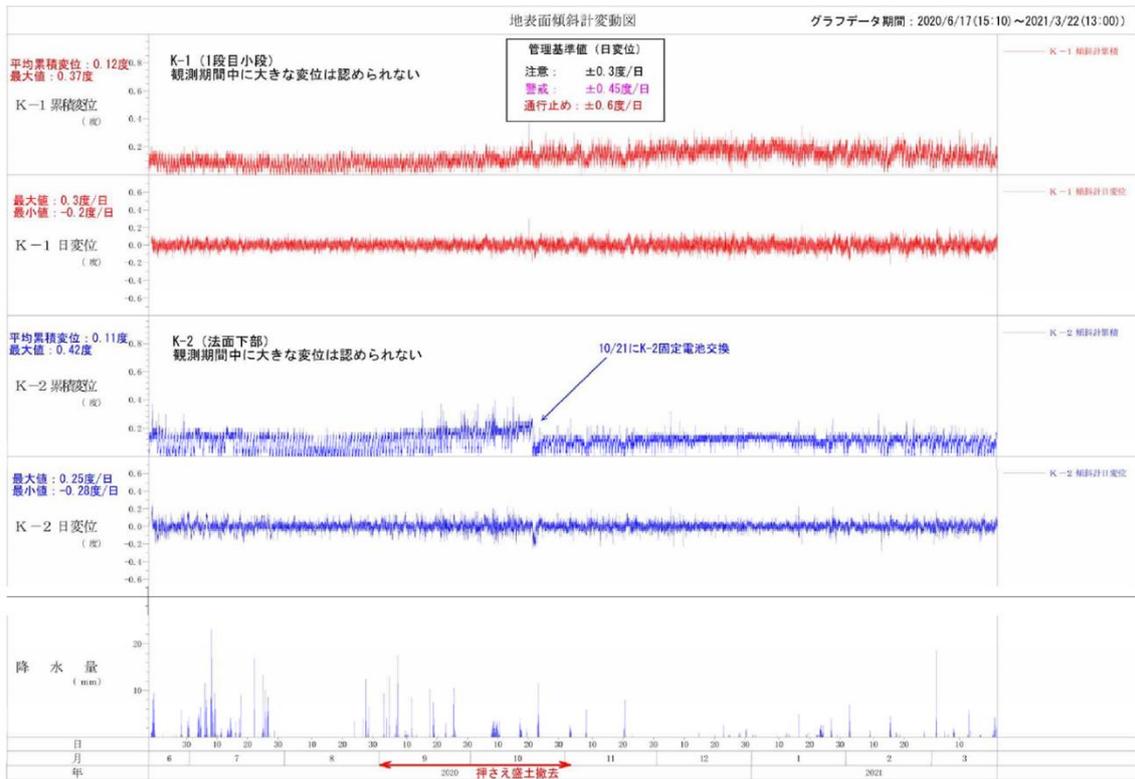


図 2.10-4. 地盤伸縮量計測結果（降雨量との関係）



### 2.10.3. 導入方法、費用項目

#### (1) 導入方法

本事例は発災後の動態観測・計測管理であったため、擁壁の変位測定や吹付けモルタル部の変位測量などの定期的な現地測量のほか、被災状況を確認するための UAV を用いた静止画・動画撮影も実施した。

後述する概算費は、「測量業務」の費用と機器の設置および収集したデータの分析・報告に係る「設計業務」の費用を含めず、地盤伸縮計、地表面傾斜計、計測システムの1年間あたりのリースした場合の費用を計上している。データの回収にあたって今回は NTT 回線を利用するシステムとしたが、別途ローカルネットワークを採用することも考えられる。

#### (2) 導入に関する費用項目

雨量計、地盤伸縮計を FOMA 及びソーラー無線警報システムを利用してモニタリングした場合の計測費用項目（機器リース、通信費を含む）の目安を表 2-15 に示す。設置費、メンテナンス費、データ分析・報告資料作成費、撤去費は含んでいない。

表 2-15. 考慮すべき費用項目

内訳	単位	備考
雨量計	月額	
地盤伸縮計	月額	
データロガー	月額	
ソーラーパネル	月額	
充電コントローラー	月額	
外部バッテリー	月額	
ポケットアダプタ	月額	
3G 通信ポケット	月額	
ソーラー無線警報システム	月額	
サーバー管理費	月額	
3G 通信費	月額	
格納庫	月額	
地表面傾斜計	月額	通信費含む

## 2.11. 事例 11) 傾斜計・高感度カメラによる斜面モニタリング

### 2.11.1. ソリューション概要



図 2.11-1. モニタリングシステム概観

#### (1) 目的

本ソリューションによるモニタリングの目的は以下の通りである。

- 地すべりが発生する可能性のある危険エリアのモニタリング
- 地すべり発生後の二次的な災害監視
- 掘削工事中の安全確保

#### (2) 解決する課題

地すべりが発生する可能性のある斜面・のり面は山間部にあることが多く、豪雨時の巡回点検は危険を伴ううえ、人的リソースも不足している。実際に現地を訪れることなくセンサーで斜面の状況を確認する遠隔モニタリングシステムの導入が必要とされている。

#### (3) モニタリング技術

- 無線加速度センサーによる斜面傾きのリアルタイム監視
- ゲートウェイ装置（高感度カメラ付）による斜面周辺のカメラ画像の撮影・収集

#### (4) 計測方法

本ソリューションでは、以下のモニタリングデータが計測される。いずれのデータもゲートウェイ装置内蔵の4G無線機能によりクラウドサーバーへ送信・保管される。

- 斜面の傾き：無線加速度センサーによって測定された加速度データから重力加速度の方向を算出することにより、斜面に打ち込んだ杭の傾斜角を算出する。(10分周期～)
- 斜面周辺のカメラ画像：ゲートウェイ装置（高感度カメラ付）付属のカメラにより斜面周辺を静止画として保存する。(30分周期～)

#### (5) 本ソリューションの利点

- 電池駆動およびソーラー発電駆動により、外部電源が不要。また、無線機能（920MHz帯無線および4G無線）を内蔵しており通信配線も不要。電源・配線が不要で容易に設置・導入できる。
- 無線加速度センサーは電池駆動で約5年間の連続稼働、ゲートウェイ装置は太陽光発電＋充電池による駆動で連続不日照9日間まで運用可能。

- 内蔵の 920MHz 帯マルチホップ無線によって近隣の複数センサーデータを集約可能。4G 回線数を最小化してランニングコストを低減できる。
- 高感度カメラによって夜間でも日中と変わらないクリアな画像を撮影できる。
- センサー間連携により撮影間隔やデータ送信間隔を自動制御可能。(例) 通常時は 30 分間隔で撮影するが、傾斜の異常検知時には一時的に撮影周期を 3 分に変更する、等。

## 2.11.2. 導入例、実績

### (1) 事例の概要

近年、気候変動による自然災害の増加が問題となっており、『10年に1度』『100年に1度』の風水害が各地で多発している。激甚化する豪雨によるインフラへの影響を継続的に評価する必要があり、災害発生時に遠隔のインフラの状態を迅速に把握する方法が重要となっている。

地すべりが発生する可能性のある斜面・のり面は山間部にあることが多く、豪雨時の巡回点検は危険を伴ううえ、人的リソースも不足している。本事例では、無線加速度センサーとゲートウェイ装置（高感度カメラ付）を使って、斜面に打ち込んだ杭斜材ケーブルに無線加速度センサーを取り付け、杭の傾斜角を測定し、遠隔から斜面の状態をモニタリングする。杭の傾斜角の基準値超過を検知し、管理者へメールで通知することができる。

### (2) システム構成

本事例のシステム構成を図 2.11-2 に示す。無線加速度センサーによって測定された固有振動数は 920MHz 帯無線によってゲートウェイ装置に集約され、4G 通信によってクラウドサーバーへ送信される。クラウドサーバー上で固有振動数から張力の算出が行われ、基準値を超えて変化した場合には管理者へメールで通知される。



図 2.11-2. システム構成 (出典: OKI)

### (3) 使用機材

本事例では以下の機材を使用した。

- ゲートウェイ装置（高感度カメラ付） 1 式
- 無線加速度センサー 10 式

#### (4) 計測結果

本事例で計測された杭の位置情報（設置時に手入力）および斜面の傾斜角の変化を図 2.11-3 に示す。無線加速度センサーによって測定されたデータをクラウドサーバー上で蓄積・表示したものである。あらかじめ設定する杭の傾斜角の基準値を超過すると管理者へメールで通知し、管理者は現場の点検などの実施判断に用いる。

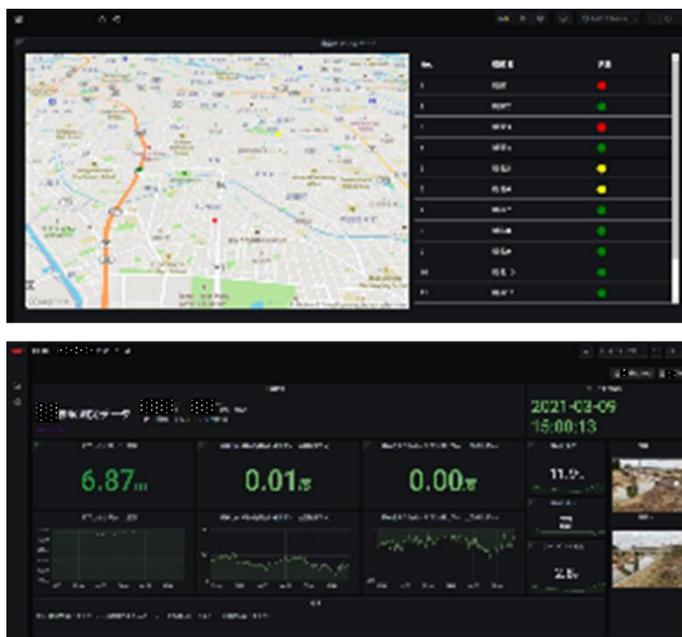


図 2.11-3. 杭の設置位置と傾斜角

#### 2.11.3. 導入方法、費用項目

##### (1) 導入方法

ゲートウェイ装置および無線加速度センサーは機器購入、モニタリングシステム（クラウド型）のサービス利用料が必要。機器の設置および収集したデータの分析・報告に係る費用については別途業務委託契約による。

##### (2) 導入に関する費用項目

斜面の傾斜をモニタリングする場合のシステム概要を表 2-16 に示す。費用は計測箇所点数に依存する。

表 2-16. 考慮すべき費用項目

項目		内容
システム構成（オンライン型）		ゲートウェイ装置 無線加速度センサー モニタリングシステム（クラウド）
システム要件	データ回収方式	自動（ネットワーク経由）
	計測箇所点数	最小 1 点～
	測定頻度	傾斜角：10 分周期（変更可）
	管理方式	リモート
費用		機器費（導入時） クラウドサービス利用料（月/年毎） 分析・報告費（業務委託）

## 2.12. 事例 12) 災害予兆検知の際の住民への一斉緊急電話連絡ソリューション

### 2.12.1. ソリューション概要

#### (1) 目的：

IoT センサーや職員による災害予兆検知を受け、災害の発生が予見される場合にスマートフォンや IT 機器を持たない災害弱者に音声による通知を行い、避難を促す事。これにより、効率的に避難を促すことが可能になり、より多くの命を救うことが可能になる。

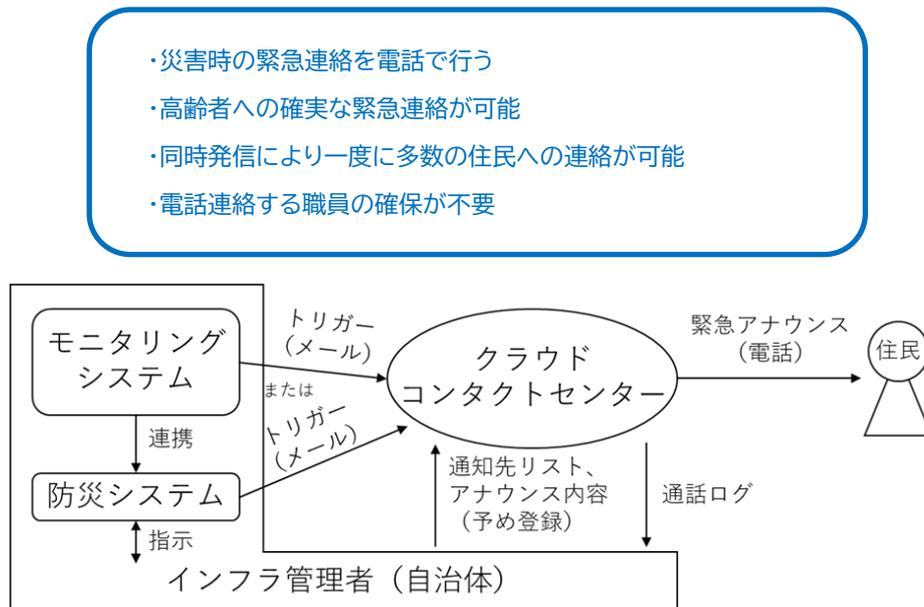


図 2.12-1. 災害時の住民への一斉緊急電話連絡の概要イメージ

#### (2) 解決する課題：

IoT センサーからの情報を用いて災害の予兆を検知が可能になる一方、災害弱者である高齢者への効率的な情報伝達手段が無かった。また、自治体職員による電話連絡は人員の確保等が困難で限界があった。

平時には、住民への情報伝達にも応用可能。

#### (3) モニタリング技術：

本ソリューションは各種モニタリングソリューションを補完するものでモニタリング装置は具備しない。

#### (4) 計測方法：

対象外

#### (5) 本ソリューションの利点：

本ソリューションの特長は以下の通り。

- IoT センサーを監視するサーバー（このソリューションとは別のモニタリングシステムや、地方自治体の防災システムなど）からの情報を契機に、あらかじめ登録された電話番号に人手を介さずに自動で電話をかけ、自動音声による情報提供や、避難場所への誘導を行う。
- 電話を掛けた結果の出力が可能で、人手によるフォローアップにつなげるなどのアクションが可能。

## 2.12.2. 導入例、実績

### (1) 事例の概要

イギリスの発電所等で導入されているシステム。万一の事故の際に自動音声で施設の近隣住民 10 万人への一斉電話発信を行い、即時の避難を促すシステム。非常時にはメディアやインターネットを通じた状況提供を行う一方、夜間や高齢者に対するの情報提供の方法が乏しく、発電所や近隣の自治体は悩んでいた。当システムを導入する事で人手を介さずに一斉同報により住民への通知が可能となった。

### (2) システム構成

本サービスのシステム構成を図 2.12-2 に示す。システムを構成する各機能の概要は以下の通り。

- サービスプロバイダのクラウド型コンタクトセンター基盤
- 携帯電話（住民・自治体が保有するもの）、固定電話網（住民・自治体が保有するもの）
- 発電所が保有する各種センサーを接続したモニタリングシステム経由で、発電所が保有する防災システムに異常事態が通知される。発電所から自治体に異常事態が通知される。自治体は住民への通知の要不要を最終的に判断する。住民への通知が必要と判断されれば、弊社システムにトリガーを掛ける為、メールによる通知を行う。
- メールによる通知を受け弊社システムが起動し、事前に登録された番号リストに一斉に発信を行う
- あらかじめ録音されたメッセージを再生し、住民への即時避難を促すメッセージを再生する
- 弊社システムにログインし、履歴を確認する。受電の状況や接続時間から再度コールが必要な住民には再度コールをする



図 2.12-2. システム構成

### (3) 使用機材

表 2-17. 使用機材

	機材	仕様	設置方法	手配	その他
1	弊社システムへの通知用機材	メール	既存設備を活用する	IoT 機材提供会社 (弊社スコープ外)	要ご相談
2	クラウドコンタクトセンター基盤	クラウド型サービス	弊社設置済みサービスに対して、必要な設定を実施	弊社	国内に設置。東阪で二重化。
3	発信用電話番号	クラウドコンタクトセンターが発信する際の番号	弊社サービスに接続するキャリアと連携	弊社	弊社クラウドコンタクトセンターからの発信元番号
4	携帯電話・固定電話契約	住民や自治体が保有する電話機	住民、自治体の既存または実験用に新たに手配する電話回線及び電話機	住民、自治体による手配（弊社スコープ外）	弊社クラウドコンタクトセンター発信の受信先
5	インターネット網	自治体が履歴を確認する際に必要。	自治体が既に保有するものを活用。	(弊社スコープ外)	弊社クラウドコンタクトセンター基盤へのアクセス

# オプションとして、以下の機能を提供可能

- ・ 自動通話装置と住民の会話を録音し再生する機能。文字起こし機能。
- ・ 電話によるトリガー
- ・ 平時の電話連絡への導入（仕様は要ご相談）

### (4) 計測結果

クラウドコンタクトセンターに管理者のアカウントでログインする事で以下の情報の入手が可能。

- ・ 名前、電話番号、通話の有無、接続時間、結果

## 2.12.3. 導入方法、費用項目

### (1) 導入方法

- 自治体、別途導入の IoT ソリューションベンダと協議の上、仕様及び役割分担を決定
- 要望する仕様に応じて要件を定義し、詳細見積もり作成
- 受注後、クラウドコンタクトセンターの設定を行い、受け入れ試験を経てサービス開始

## (2) 費目一覧

本事例で発生する費用項目を表 2-18 に示す。

費用は要望の内容により変動する。

表 2-18. 考慮すべき費用項目

分類	費目	備考
事前作業費用	プロジェクトマネジメント・ヒアリング費用	
構築費、作業費	機器及び設定費	
	トレーニング費用	
プラットフォーム費用	サーバー費用（クラウド利用）年額	
	運用サポート費用	
通信費	携帯電話及び固定電話への通話費用	実費または相当分
	通話量に応じて変動、手数料込	
データ収集・分析・報告費	報告サービス費（スコープによる）	自治体がシステムへログインして取得する場合は不要

## 2.13. 参考) センサー情報の標準化の取り組み

今後期待される IoT インフラモニタリングの利用増加へ向けて、センサー情報や計測データの標準化の取り組みが行われている。参考として紹介する。

### 2.13.1. 取組み概要

#### (1) 目的

本事例は、インフラ構造物の老朽化対策や防災減災へのセンサー・DX 活用を促進するため、以下の2つを目的とする。

- インフラモニタリング情報を高度化・効率化・迅速化し、広く関係者がオープンに活用できるためのセンサー情報の標準化検討
- センサー・DX 活用についての社会実装を図るため、および標準化検討案のフィージビリティスタディーとしてのモニタリング実証実験実施

#### (2) 解決する課題

インフラ構造物の老朽化加速のため維持管理のコスト増大を招いているが、施設管理者として自治体の割合が多く予算を増やすことが困難な状況であり、また少子高齢化による熟練者の不足が加わり、近接目視に頼る点検・維持管理の適正化・効率化・高度化が喫緊の課題とされる。さらに、近年の気象変動が原因とされる風水害等の自然災害の多発激甚化と、南海トラフ巨大地震等の発生が切迫してきているため、防災減災の観点で、斜面等の土工を含むインフラ構造物の被災状況の遠隔把握や、災害発生の危険が増大した際のアラート発信等の必要性が増してきている。センサーや DX 活用の普及が重要とされているが、いまだ自治体においてセンサー活用が進んでいない。また、活用普及において、センサー情報を関係者間で容易にアクセスし活用できる環境が必要であり、以下の解決すべき課題がある。

- 自治体におけるセンサーや DX 活用をより普及させるため、維持管理や防災減災においての具体的な事例によりメリットや推進方策を示す必要がある。
- 自治体や施設管理者でセンサー設置やモニタリング情報が個別管理や個別仕様になっていて、長期間の計測や、他の自治体や関係者で広く利用することが困難である。

#### (3) センサー情報の標準化案検討

一般財団法人関西情報センター(KIIS)が主催するスマートインフラセンサ利用研究会（座長：大阪大学大学院教授 矢吹信喜）では、2014 年度よりセンサー活用の推進のためのセンサー実装支援、センサー情報の標準化を推進してきた。また、センサー情報標準化案の検討は、同研究会の分科会活動の位置づけで、社会基盤情報標準化委員会〔事務局：一般財団法人日本建設情報総合センター（以下、JACIC）〕の活動助成での標準化検討小委員会（小委員長：株式会社パスコ 五十嵐善一）として行ってきた（脚注\*）。

- センサー製品情報/ID、センサー設置情報/ID の標準化案
- モニタリング情報のメタデータ の標準化案
- 標準化案に準拠したセンサー情報データベース の試作
- モニタリング実証実験 を自治体と連携実施

#### (4) センサー情報標準化、およびモニタリング実証実験の利点

自治体毎、計測現場毎に個別に設定されているセンサー情報管理では、長期間に渡ってまた広く利用することが困難であったが、センサーの製品情報・設置情報、モニタリング情報等を、標準仕様のもとでセンサー情報データベースに登録されることでオープンに活用することを可能にする。

センサー活用・DXによるインフラ構造物のモニタリングの普及啓発に向けては、施設管理者や現地ニーズに沿って具体的に実証してみることで、そのセンサー実装のメリットを示すことがまず重要と考える。

### 2.13.2. 標準化案の概要、実証実験の実績

#### (1) センサー情報標準化案の概要

維持管理や防災減災における予防保全を行えるセンサー情報の標準化を検討した。図 2.13-1 のとおり、

標準化1：①センサー製品情報・②センサー設置情報、

標準化2：③モニタリングデータ、

標準化3：④点検情報・損傷情報

を検討した。これをセンサーメーカー・計測企業・建設コンサル・施設管理者や大学・研究機関の関係者で利用できるよう標準案に準拠したセンサー情報データベースのプロトタイプを構築した。

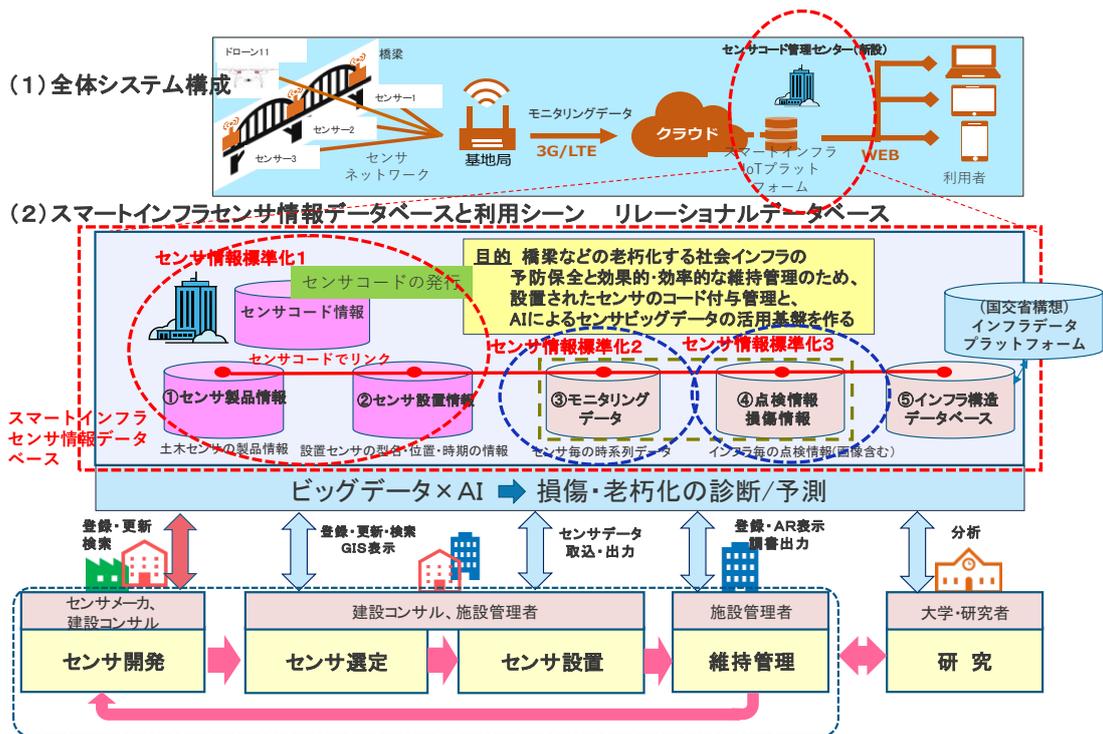


図 2.13-1. センサー情報標準化案の概要

#### (2) センサー製品 ID とセンサー設置 ID の標準化案

各センサー情報を横串で関連付けできるようにするため、図 2.13-2 に示す通り、センサーの製品単位での ID をセンサー製品 ID、センサーの設置単位での ID をセンサー設置 ID として、標準化案を検討した。

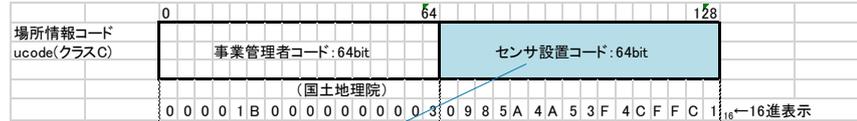
センサ製品ID：製品(型名)単位でつけるIDコード

センサコード(製品ID/SISコード)仕様 16桁 (64bit)



例えば、亀裂変位計 KG-2A  
0004910059000202<sub>16</sub>

センサ設置ID：設置単位でつけるIDコード



- 2bit 分類 (00)
- 24bit 緯度 (北緯34° 40' 41.7168")
- 24bit 経度 (東経135° 35' 51.3114")
- 9bit 高さ (標高7.718m)
- 6bit 連番 (000001)



図 2.13-2. センサ製品 ID と設置 ID

(3) モニタリング情報のメタデータの標準化案

モニタリングデータは、センサーや計測企業で個別設定されている現状であり、関係者が広く共同活用を容易にするよう、図 2.13-3 のメタデータ (付帯情報) を標準化案として検討した。

センサポータル	収集環境の構築情報 (デバイス情報)	データの基本情報		データの加工情報	データの蓄積・提供情報
	<ul style="list-style-type: none"> <li>モニタリング製品コード (センサ製品ID)</li> <li>センサの性能</li> <li>センサの構成</li> <li>センサの分類・形式他</li> </ul>	<b>モニタリングデータ (メタデータ)</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. モニタリングデータコード</li> <li>2. モニタリングセンサ製品名</li> <li>3. モニタリング製品コード (センサ製品ID)</li> <li>4. センサ設置コード (設置ID: ucode)</li> <li>5. モニタリングkey</li> <li>6. 計測値名</li> <li>7. 計測の目的</li> <li>8. 計測対象</li> <li>9. 計測ポイント数</li> <li>10. 計測方法</li> <li>11. 計測結果 (分析方法)</li> <li>12. 通信方式</li> <li>13. データの所有者</li> <li>14. モニタリングデータファイル名</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>15. モニタリングデータのファイル形式</li> <li>16. モニタリングデータの保存先</li> <li>17. モニタリングデータ (参照URL)</li> <li>18. 参照URL</li> <li>19. 参照URLの説明</li> <li>20. 検索で利用するキーワード</li> <li>21. 計測の場面</li> <li>22. 計測値の単位</li> <li>23. 計測値のデータ型</li> <li>24. データ取得開始日</li> <li>25. データ計測取得日</li> <li>26. 最新情報更新日</li> <li>27. データ取得終了日</li> <li>28. データ取得間隔</li> <li>29. データ取得間隔の単位</li> <li>30. 時刻同期の方法等に関する情報</li> <li>31. 測定条件 (例: 風速、気温、湿度等)</li> <li>32. メタデータ情報更新日</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>33. データ加工情報 (データ前処理の方法、補正係数、フィルタの属性情報等)</li> <li>34. 異常値や欠損が判別できる情報</li> </ol> <p>※ 「メタデータ情報を参照するだけで、どのセンサ製品を使ったのか?」が分かる方がよいと考えられるため、「2. モニタリングセンサ製品名」を追加。</p> <p>※ 「31. データ加工情報」に対して、「<u>フィルタの属性情報</u>」を追記することが望ましい。</p> <p>※ 「31. 測定条件」は「任意項目でもよい」との意見あり。</p> <p>※ 「データの品質・精度に関する情報」は「33. データ加工情報」に集約。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>35. データ蓄積方法</li> <li>36. データ提供方法</li> <li>37. モニタリングデータの問い合わせ先</li> <li>38. 機密レベル情報</li> </ol>

図 2.13-3. メタデータ (付帯情報) の標準化項目 (案)

また、他のシステムとのデータ連携を容易にするためのAPIとして、3種の保存形式に対応する仕様案とした。

- ① CSV形式：一般的によく使われるファイル形式
- ② XML形式：BIMで採用されているファイル形式
- ③ JSON形式：国土交通データプラットフォーム(国土交通省)で採用されたファイル形式

#### (4) センサー情報データベースの試作と標準化案のフィージビリティスタディー

以上の標準化案に準拠したセンサー情報データベースを、センサー情報 ID で紐づけしたリレーショナルデータベースとして試作した。これに(5)実証実験やスマートインフラセンサ利用研究会での事例調査により得られたセンサー情報を登録し、標準化案のフィージビリティスタディーを行った。

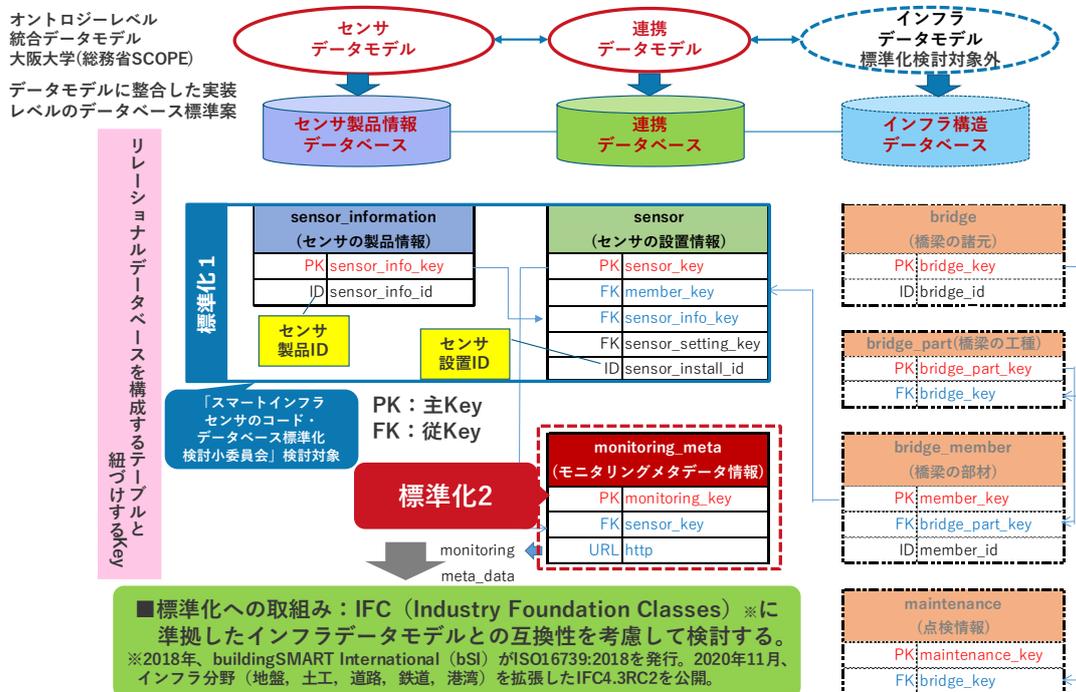


図 2.13-4. 本標準化案フィージビリティスタディーの概要

#### (5) モニタリング実証実験と事例研究

本標準化で利用するデータの収集と妥当性検証等を目的として、下記2か所で実証実験を実施した。

- 実証実験1(維持管理)のり面の亀裂変位の計測(本書事例7 導入例実績⑨)  
計測対象: モルタル吹付のり面に生じたクラック(幅: 約2cm)の変位
- 実証実験2(防災減災)のり面の亀裂変位の計測(本書事例9)  
計測対象: 斜面の傾斜角の計測、河川の増水のカメラ監視

また、事例研究としては、スマートインフラセンサ利用研究会においてそのメンバから紹介してもらった、いずれも、事例集の中に掲載されている。

\*本事例は、社会基盤情報標準化委員会(事務局: 一般財団法人建設情報総合センターJACIC)による次の標準化検討テーマとして助成を受けた活動である。

- ・ 「スマートインフラセンサのコード・データベースを含むセンサー情報の標準化検討小委員会」(第2019-01号, 2019/8~2021/6、五十嵐小委員長/パスコ)
- ・ 「スマートインフラセンサーモニタリングデータにおけるメタデータ標準化検討小委員会」(第2021-01号, 2021/8~2023/6、五十嵐小委員長/パスコ)

以上