

鉄道沿線斜面監視のための IoT センサの開発と整備

神谷 弘志

鉄道沿線斜面からの落石と列車との衝撃を回避するために、地表踏査を基本とした定期的に落石に関する検査等を実施しているが、多大な労力がかかる上に危険な作業となっている。そのため、IoT センサを開発して整備を進めている。バッテリーだけで長期間の稼働を可能とするため、計測機器の構成や計測頻度、通信規格等を整理して開発した。実際の整備を進めるとともに、活用の拡大や検討も進めている。本稿では、鉄道沿線斜面監視のための IoT センサの開発と整備について報告する。

キーワード：鉄道沿線斜面，落石斜面検査，傾斜角，加速度計，傾斜感知，LPWA

1. はじめに

JR 東日本では、さらなる人口減少等の経営環境の急激な変化を先取りしていくため、2018年7月にグループ経営ビジョン「変革2027」を策定した。設備や車両においては、それぞれの状況に応じたスマートメンテナンスを実現することや、業務改革によって生産性を向上させること、ヒトならではの創造的役割に注力すること等を目指している（図-1）。

さらに、新型コロナウイルス感染症と緊急事態宣言をきっかけとして、人々の意識や価値観が大きく変化した。このような不可逆的な構造変化を踏まえて2020年9月には変革のスピードアップを目指すこととして、これまでの取組みを加速させている。

鉄道のトンネルや橋りょう等の土木構造物は明治に整備されたものも多く、他のインフラの土木構造物と比較しても高齢化が進んでいる。そのような土木構造物を引き続き確実にメンテナンスするためには、より

一層の生産性向上や適切な措置の計画や迅速な実施のための判断業務に注力することが必要である。

これまでも設備管理システム、電子線路平面図、防災情報システムの整備・改良や専用検査車の導入、タブレットやクラウドの活用等に取り組んでおり、さらにそれらの発展も含めて現在デジタル技術を活用した業務変革（DX）に取り組んでいる。

本稿では、鉄道沿線斜面監視のための IoT センサの開発と整備について報告する。

2. 鉄道沿線斜面の落石に関する検査

(1) 落石に関する検査等のこれまでの取組み

鉄道沿線斜面からの落石に関する維持管理については、国鉄時代の1977年3月に上越線津久田・岩本間の大規模落石による列車脱線災害が発生したことを契機に防護設備の強化等が継続的に進められてきた。また、JR 東日本では1996年から3年間「落石災害の予知に



図-1 「変革2027」の一部

関する研究委員会（委員長：元中央大学鈴木隆介教授）」において、落石に関する維持管理をよりの確に行うために、調査・検査方法、評価手法および対策工法を整理した「落石検査マニュアル」を整備、定期的な検査および検査結果に応じて防護設備の強化を進めている。

また、落石が発生した場合に、列車を緊急停止させ落石との衝撃を回避するために「落石検知装置」を開発、必要な箇所を整備する取組みも進めている¹⁾。

(2) 落石に関する検査の具体的な内容

鉄道沿線斜面のうち、落石のおそれのある斜面について「落石検査区間」、その中で特に継続的に監視が必要と判断された箇所を「落石重点監視箇所」と定め、2年毎の通常全般検査ならびに10年毎の特別全般検査において地表踏査を実施して、斜面の変状もしくは既変状の進行の有無および線路周辺的环境変化を確認している（写真—1）。



写真—1 地表踏査

落石重点監視箇所の設定にあたっては、専門技術者が地表踏査を実施して、監視すべき箇所や監視の方法等を示した「カルテ」を作成して検査に活用している。

具体的な監視の方法としては、転石等の下部侵食の有無や転石自体の動きの有無、岩盤の開口割れ目の拡大の有無を目視および測定によっておこなっている。

落石重点監視箇所は急傾斜かつ線路から高い位置にあることが多く、かつ数も多いため、検査や監視のための地表踏査が多大な労力がかかる上に危険な作業となっていることが課題である。

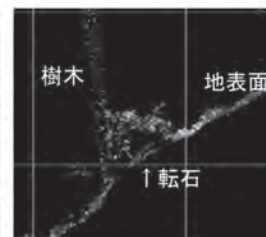
一方、特に注意を要する岩盤や斜面に対して変位計や伸縮計、傾斜計等の計測機器を設置して監視することもある²⁾が、通信や電源のための配線等の電気工事が必要であるために費用を要するためであり、これも課題であった。

(3) 最近の取組み

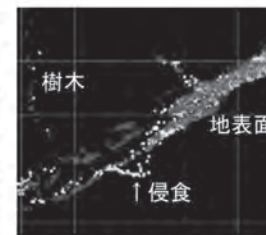
(2)の課題に対して、ドローンによる空中から写真撮影した画像を活用した検査に取り組んでいる。ただ、斜面には樹木があるために、地表面や岩盤の画像を取得することが難しいことが多く、ドローンに搭載したレーザースキャナで取得した点群を活用した検査手法の開発を進めている（図—2）。

また、合わせて計測機器を設置して監視することも拡大していくために、外部供給電源不要で無線伝送で効率的に計測データを収集することが可能なIoTセンサーを開発して整備を進めている。

転石の抽出



侵食の抽出



白色：1回目 灰色：2回目
※2回目は埋め戻し後

図—2 点群を活用した検査手法

3. IoT センサの開発

バッテリーだけで長期間（概ね10年間）稼働が可能なセンサーを開発することを目標とした。そのために以下のような仕様とした（図—3）。

- ・計測機器としては「加速度計」を採用、斜面上の転石自体の動きの有無、岩盤の開口割れ目の拡大の有無を、加速度から算出した「傾斜角」でモニタリングする。
- ・傾斜角の計測頻度および計測結果の伝送頻度は必要最小限とする（30分間隔）。
- ・計測結果を伝送する通信規格としてLPWA（Low Power Wide Area）を採用することとし、定期的にクラウドに送信する。
- ・加速度計とは別に一定の傾斜を感知する「傾斜感知センサー」も採用、感知した作動信号を緊急情報としてクラウドに送信する。一定の傾斜は20度

および30度とする。

今回、通信規格として具体的にはLPWAの一種である「Sigfox」を採用した。

Sigfoxは、フランスの通信事業者Sigfox社が提供する通信規格で、日本でも基地局が整備され2017年からサービスが開始されており、以下のような特徴を有してかつ利用料金が年間数百円であることからセンサ等IoTの分野で活用が広がっている。

- ・長距離通信・低通信速度（100 bpsと低速度である一方基地局と最大数十km程度まで通信可能）
- ・低消費電力（数十mA、LTE通信の1/10以下）
- ・少量データ伝送・通信回数制限（1回最大12 bytes、1日通信回数最大140回）

Sigfoxを含むLPWAを採用した傾斜センサはすでに各社が製品やサービスとして提供をしているが、今回開発したIoTセンサは、他社と比較して機能等を限定している一方、長期間の稼働が可能となっていると考えている。



写真—2 IoTセンサの整備例（上段：転石，下段：岩盤）

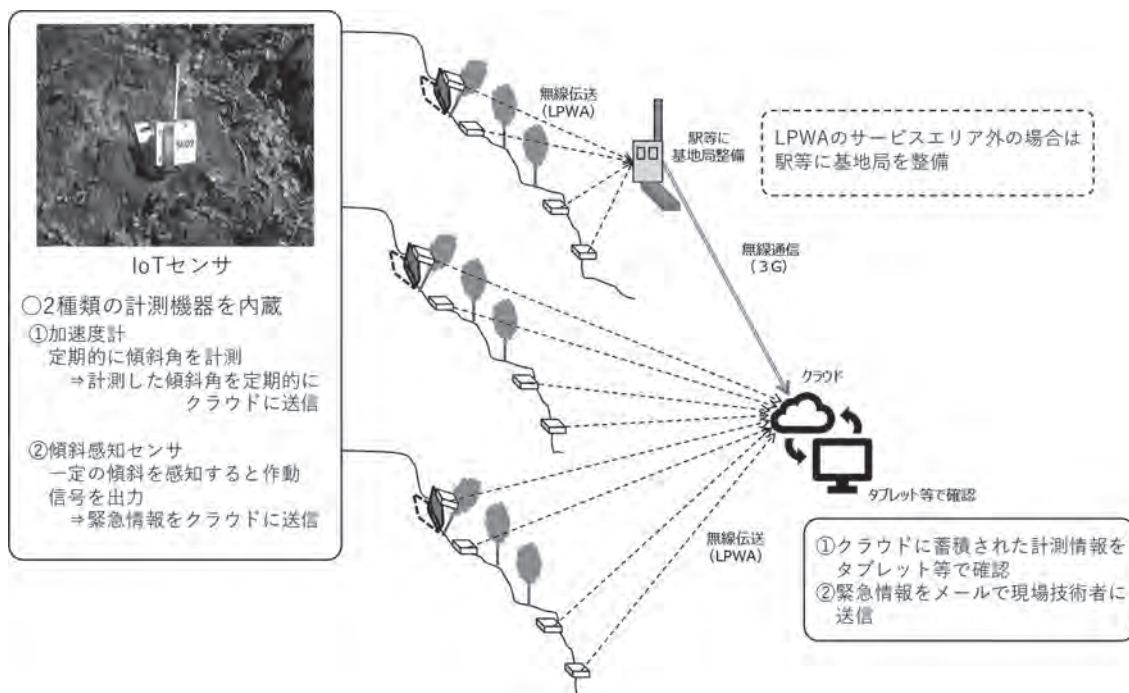
4. IoTセンサの整備

IoTセンサはこれまでに複数の線区・斜面の岩盤や転石に整備している（写真—2）。

Sigfoxのサービスエリアは順次拡大されているが、山間部にある鉄道沿線斜面ではサービスエリア外である場合がある。そのような場合は、基地局を駅等に独自に整備した。駅にある電源を使用したり、ソーラー

パネルを使用したりしている（写真—3）。IoTセンサと基地局が数km離れることもあるが特に問題なく傾斜角等を送信できている。

クラウドに送信された傾斜角等はPCだけでなくタブレットでも閲覧できるようにするとともに、緊急情報については、あらかじめ登録されたスマホ等に伝送される仕組みを構築している。



図—3 IoTセンサの概要



写真一3 基地局の整備例



写真一4 斜面への整備例

5. 整備・活用の拡大

落石の恐れがある斜面への整備・活用の他に、降雨等による土砂崩壊の恐れがある斜面に対しては、支柱にIoTセンサを設置して監視するといった活用もされている（写真一4）。

また、一定の傾斜を感知すると緊急情報を送信するという機能を活用して、落石止め柵等にIoTセンサを設置することや簡易な落石止め柵とともにIoTセンサを設置することで、落石検知装置を低コストで整備していくことも可能となる。

また、同じように切取のり面や自然斜面を対象にした土砂崩壊検知装置や溪流を対象にした土石流検知装置にも活用することができる。

6. おわりに

本稿では鉄道沿線斜面の落石に関する検査およびIoTセンサの開発および整備について報告した。

DXの推進は、生産性の向上や判断業務への注力だけでなく、仕事を通じた達成感・充実感といった働き

がいの向上のためでもある。そのためには「UX（ユーザーエクスペリエンス）」も意識して取組みを進めるとともに、業務の大きな見直し等も必要になる。

リアルなインフラのメンテナンスを継続してきた知見や蓄積されてきた検査・監視や措置に関するデータ、そしてさらにこれまで以上に得られるデータ等も生かして今後も業務変革を推進していきたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 岸他, 長大延長を一括監視可能な落石検視システムの開発, JR EAST Technical Review No.21, 2007年秋
- 2) 鴨志田他, 上越線巨大岩塊の落石対策工法検討とその対策, 日本鉄道施設協会誌 2019年11月号

〔筆者紹介〕

神谷 弘志 (かみや ひろし)
東日本旅客鉄道㈱
JR 東日本研究開発センター
フロンティアサービス研究所
土木メンテナンスグループ
主幹研究員

