IoT センサ装置を用いた道路沿線斜面等の防災管理手法の提案

05001539　兵庫県立大学　*前川浩基　MAEGAWA Hiroki
株式会社ザイマックス　吉田泰基　YOSHIDA Hiroki
株式会社ザイマックス不動産総合研究所　石原健司　ISHIHARA Kenji
相模原市　橋本渉　HASHIMOTO Wataru
01104684　兵庫県立大学　加藤直樹　KATOH Naoki

1.　研究の背景

わが国に張り巡らされた道路の総延長は, 約 128 万キロメートルに達する（2020 年 3 月末時点. 林道・農道等を除く）. 橋梁やトンネルを含めた道路ネットワークは, 交通や物流を支える根本的な社会インフラであり, その維持・管理は, 国や地方自治体といった道路管理者に求められる重要な役割といえる.

一方で, 近年は局地的な大雨の発生頻度が高まっている. 大雨は水害や土砂災害を引き起こし, 道路網の寸断といった社会的損害の原因のひとつとなっている.

そのため道路管理者には, 道路の安全を維持するための防災対策が求められているが, 道路ネットワークが長大であること, また公共事業費削減などの制約もあることから, 考え得るすべての防災対策を講じることは現実的でない. 対策の優先度を評価するため「道路防災カルテ」を作成し, 災害発生の可能性がある箇所の点検を定期的に実施してはいるものの [1], 通常は一年に一度程度であり, また目視での観察が主であるなど, その頻度や定量性には課題が残る.

2.　研究の目的および成果

本研究では,IoT センサ装置を用いて道路斜面沿線等を監視する仕組みの構築と, それに基づく道路管理体制の強化について, 神奈川県相模原市での取り組みを通じて提案する. 道路沿線斜面や道路構造物など, 災害発生の可能性がある箇所に小型で安価なセンサ装置を設置し, 無線通信によって収集されるデータを継続的に分析することで, 対象箇所の状況を定量的に, かつ高頻度で遠隔監視できる仕組みを構築した. これにより, 道路災害発生の危険性を高頻度かつ定量的に評価することが可能となり, 今後の道路防災体制の高度化・強化に貢献できるものと考える. 災害発生の予知・予測を目的とはしていないことには留意されたい.

なお本研究は, 相模原市, 株式会社ザイマックス, 株式会社ザイマックス不動産総合研究所および兵庫県立大学の共同研究体制によって実施されている.

3.　相模原市の道路防災業務について

相模原市は神奈川県の北部に位置する市で,70 万人以上の人口を擁する. 主に市街地からなる中央区・南区と, 主に山間部からなる緑区から構成され, その総面積は約 330km^2, うち約 8 割を緑区が占める. 市が管理する道路の総延長は, 国道や県道も含め 2,426km にもおよぶ（2021 年 3 月末時点）.

市は「道路災害防除ガイドライン」を策定し, 机上調査・現地調査等を組み合わせた点検を一年に一度実施している. 道路防災カルテによる点検対象箇所は,2021 年度で約 270 箇所にのぼる.

またこの制度に則った点検とは別に, 市では日々道路のパトロールを実施している. このパトロールは道路への落下物や路面の凹凸の確認など, 道路の通行に支障がないかどうかの確認が主であり, 沿線斜面の変状の確認までおこなうのは難しい.

4.　IoT センサ装置について

本研究で使用する IoT センサ装置は加速度センサを内蔵しており, 装置自身の傾斜角度, および装置が受けた揺れを, 一定の時間間隔で自動的に測定することができる. また装置にはバッテリーと,LPWA（Low Power Wide Area-network）による無線通信機能も内蔵されているため, 何ら配線等を必要とせず, 単独での設置が可能である. この装置を道路沿線斜面や, 擁壁などの道路構造物に設置することで, 斜面表層の変状や, 落石による衝撃等の観測が可能となる.

本装置が自動的に測定・送信するデータ項目は, 以下の 3 種類 6 項目である.

傾斜角度（X 軸/Y 軸） 装置に内蔵された加速度センサによって測定される, 装置自体の傾き.

揺れ指数（X 軸/Y 軸/Z 軸） 装置自体が受けた揺れの大きさ. たとえばデータの測定・送信間隔が 1 時間であれば, 過去 1 時間に受けた最大の揺れについて送信される.

気温 装置に内蔵された気温センサによる測定値.

5.　本装置による道路斜面監視の有効性

本研究で分析の対象とする IoT センサ装置は, 道路防災カルテによって継続的に監視・点検している道路斜面や, 道路の安全に強く関係する橋梁・張り出し歩道など, 相模原市内の約 20 箇所に計 40 余台が設置されてい

る. 擁壁天端に固定する, フェンスや落石防護ネットにくくりつける, 地山に単管杭を打ち込む等, さまざまな設置方法を試みている.

以下では, 住宅地区域内の切り通し道路沿線にある観測地点に設置されたセンサ装置について, その目的や分析結果について概説する.

本地点では, 道路側面の急斜面にコンクリート擁壁が設けられており, 擁壁が道路側に倒れる方向への力がかかり続けている. 万が一にも擁壁が倒れると, 道路の通行に支障が出るばかりでなく, 道路通行中の人車に危害が及ぶ可能性がある.

本地点には擁壁に沿って 3 台の IoT センサ装置が設置されている. いずれの装置も擁壁天端に設置されており, 擁壁が道路側に倒れる傾斜を感知できるようになっている.3 台の装置で観測された傾斜角度のグラフを図 1 に示す. 装置 No.2 において短期間での急激な傾斜角度の変化が見られるが, それを差し引いても, すべての装置で＋ 0.15～＋ 0.2 度程度の傾斜角度の変位が観測できている.

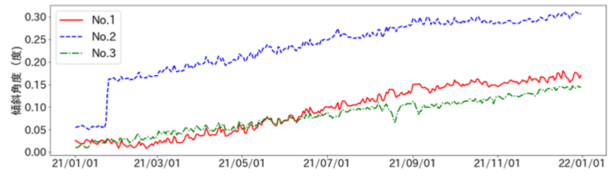

図 1: 傾斜角度 X 軸

市は同地点について, 道路防災カルテに基づいた目視での点検に加え, 測量による点検も定期的に実施している. その測量による点検においても, 擁壁が徐々に道路側に傾いていることが指摘されている. このことは, センサ装置による観測結果とも整合している.

本装置による傾斜角度の測定により, 目視では観測が難しい擁壁の傾きを定量的・継続的に観測できており, これは相模原市の防災管理体制の強化に貢献できるものと考える.

このほかにも, 落石防護ネットに設置したセンサ装置により斜面の変状（落石等）を検知したり, 地震発生の際の「揺れ指数」の値から個々の監視対象箇所の揺れの大小が判明したりといったことも, この IoT センサ装置から送信されるデータによって実現できている.

6.　異常度計算アルゴリズムの開発

多数の IoT センサ装置から定期的に送信される測定値を監視し, 従来とは異なる何らかの動きが見られた場合には, それを迅速に検知する仕組みが必要である. そのため, 目下の異常の度合いを定量的に表す「異常度」の算出を行う.

センサ装置が観測する傾斜角度には 24 時間の周期性が見られ, そこには気温との相関があると考えられる. そこで傾斜角度と気温との関係を単回帰式によってモデル化し, そのモデルでは説明できない残差を異常度と見なすこととした.

図 2 は上から, ある道路沿線斜面の単管杭に設置したセンサ装置から観測された傾斜角度 X 軸と気温, そして算出された異常度を示したものである. 傾斜角度が周期性の範囲を超えて大きくプラス方向に変動したとき, 異常度もプラス方向に大きな値となっており, 何らかの変状があったことが推測できる.

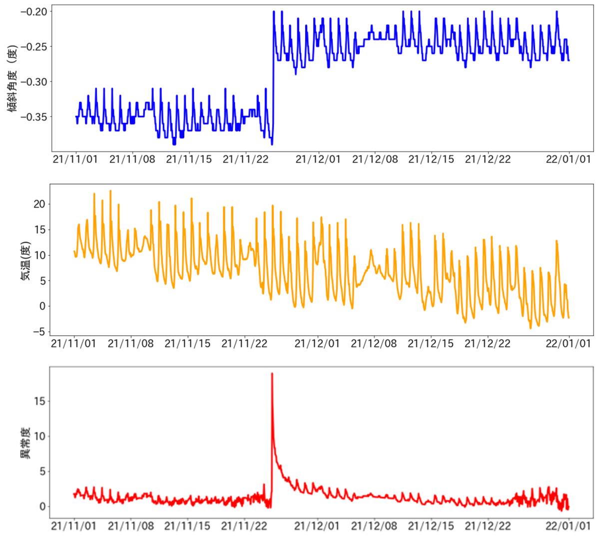

図 2: 傾斜角度 X 軸, 気温, 異常度

7.　おわりに

本研究では実験的な取り組みとして, 多様な箇所に装置を設置し, 観測データを収集・分析している. 道路斜面の監視という観点からみると, ここで得られた手法や知見は汎用性が高い. 道路防災管理体制の強化はすべての道路管理者にとって共通の課題であり, 本研究で提案する分析・監視の仕組みは, 広く他の地方自治体にとっても適用可能であると考える. 今後は住宅地周辺の盛土や背面地山など, 道路以外での防災管理にも活用可能であることを, 具体的な事例を通じて示していきたい.

参考文献

[1] 原田 紹臣, 藤本 将光, 酒匂 一成, 水山 高久, 松井 保: AI を活用した道路防災点検における危険度評価システムの提案. AI・データサイエンス論文集, 1 巻, J1 号, pp.414-420, 土木学会, 2020.