

電源不要な点検機能を有したトンネル対策工 (Smart Repair) の開発 (その1)

東日本旅客鉄道株式会社	正会員	○金塚 智洋
東日本旅客鉄道株式会社	正会員	栗林 健一
株式会社ケー・エフ・シー	正会員	齊藤 透
株式会社ケー・エフ・シー	正会員	山本 健太

1. 開発の背景

トンネル覆工背面の地山状態や挙動予測には不確実な部分もあることから、トンネルの維持管理における対策計画の策定や対策効果の検証には定期的かつ定量的な点検データが必要である。一方で、維持管理費用が今後増加すると予測される中、センサ等を様々なトンネルに設置し、新たな点検業務を追加することは経済的な観点から課題が残る。そこで、電源不要な点検機能を有した対策工 (Smart Repair) の開発を行い、点検業務の省力化およびメンテナンスサイクルのシームレス化を目指す。

2. 開発の概要

内空断面の変形や覆工コンクリート片の落下は列車の安全輸送に影響を及ぼすことから、目視や内空断面測定などの点検データをもとに変状の進行性を把握したうえで、ロックボルト工や剥落対策工などの対策を実施している¹⁾。しかし、内空断面の変形はロックボルト工により抑制されるため内空断面測定だけでは定量的に対策効果や地山挙動を捉えることは難しい。また覆工表面を覆う剥落対策工の場合、対策後に生じる新たなひび割れは目視で捉えることはできない。

そこで、これらを解決するため点検機能を付与した2つの対策工法の開発を行った。ロックボルト工に生じる軸力を把握するためのセンサの開発、対策後に生じるひび割れを可視化することができる繊維材料の開発の2つである。なお、開発の課題として、電池などを含め常設の電源が不要であること、データ取得業務の省力化が期待できることを挙げた。本稿では、前者について報告を行い、後者についてはその2で報告を行う。

3. RFID 通信機能付き軸力センサの開発

1) 軸力センサの概要

ロックボルトのナットとワッシャーの間に軸力計 (歪センサ) を設置し、ロックボルトに生じる軸力の測定を行う。常設の電源を不要とするため RFID 通信機能を付与し、RFID リーダライタ (親機) の電波 (920MHz) を用いてロックボルト頭部の歪センサ (子機) のデータを非接触で読み取る構成とした。図 1 に概要図を示す。RFID で読み取る方法は、専門的なデータ取得技術を要しないことに加え、将来の保守用車などからのデータ取得も想定しており、データ取得業務の省力化が期待できる。

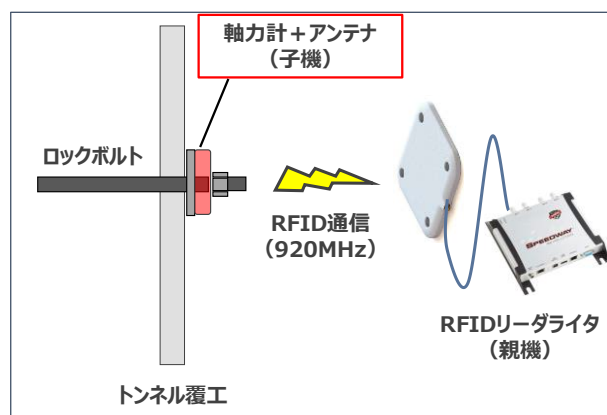


図 1 軸力センサの概念図

2) 検証試験の概要

ロックボルト工に適合するように RFID 通信機能付き軸力センサを改良し、室内の検証試験で通信性や軸力の測定を行った。なお、開発段階の耐久性としては、耐水性 IP4(相当)、耐熱 60°C/24Hrs、耐寒 -20°C/96Hrs とした。

キーワード トンネル覆工, 対策工, ロックボルト, 軸力センサ, RFID

連絡先 〒950-0086 新潟県新潟市中央区花園 1-1-5 東日本旅客鉄道株式会社 新潟支社 TEL025-248-5176

ロックボルト工の軸力センサとしての計測精度とトンネル内での通信距離の確認を目的として、福島県白河市に JR 東日本が建設した実物大模擬トンネルで検証試験を行った。実物大模擬覆工にロックボルト (M24) を設置し、覆工背面に油圧シリンダー、荷重計、ワッシャーを取り付けてナットを締結した。所定の軸力 (100kN) まで载荷しトンネル内に設置したデータロガーで確認するとともに、歪センサ (子機) の値を RFID リーダライタ (親機) で読み取り、接続された PC モニターで確認を行った。

また、図 1 に示すようにアンテナが子機内に搭載されているケースに加え、RFID リーダライタ (親機) の測定位置が側壁下側などに固定されることも想定し、子機より分離したアンテナ部をケーブルで側壁下側付近に設置するケースも加えた。設置概要を図 2 に示し、測定状況を写真 1 に示す。

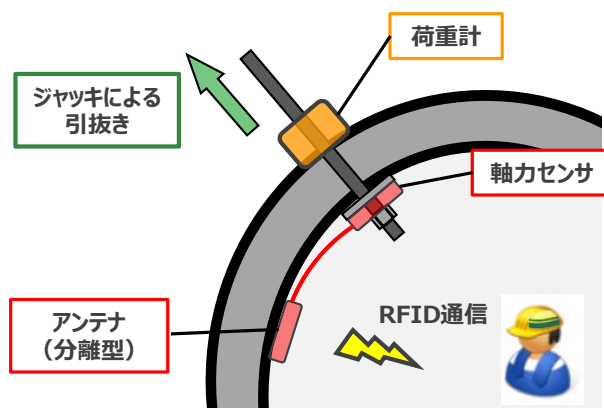


図 2 模擬設備での設置概要

3) 検証試験の結果

計測精度の確認では荷重計の値で 10kN 毎に止めて、歪センサ (子機) の値を測定した。図 3 に試験結果の一例を示す。荷重計測定値と歪センサ (子機) 測定値の誤差は最大でも 3.9%FS であり、高い精度で軸力の計測が可能であることを確認できた。また子機より分離したアンテナ部を側壁付近に設置したケースも同様の誤差であった。なお、中間荷重領域で計測値が若干低めに出る傾向があるが、キャリブレーションの方法やソフトのプログラムを工夫することでさらに精度向上させることも可能と思われる。本結果から直線性が確認できたため荷重の相対的な変化は十分に確認可能と考えられる。



写真 1 軸力センサの測定状況

通信状態の確認では、親機から電波で RFID IC が生成する電圧値においてシステムが動作可能な電圧である 1.2V 以上を通信状態可能とした。側壁部に設置したセンサの場合は、アンテナの直上に親機を設置した場合において約 1.3m まで測定可能であった。アンテナの直上から 150~500 mm ずれても通信距離 1m までは測定が可能であり、アーチ部センサの場合は約 2.8m 離れても通信が可能であることが確認できた。

4. 今後の取り組み

検証試験によりロックボルト工の軸力センサとしての計測精度とトンネル内での通信距離の確認を行うことができた。今後は、実際のトンネルで施工されるロックボルト工に軸力センサを取り付け、軸力測定データの評価や対策効果の検証を行うとともに、通信状況の評価をもとに保守用車などからのデータ取得に向けた課題抽出を行う。

参考文献

- 1) 鉄道構造物等維持管理標準・同解説 [トンネル] (財) 鉄道総合技術研究所, 2007 年 1 月など

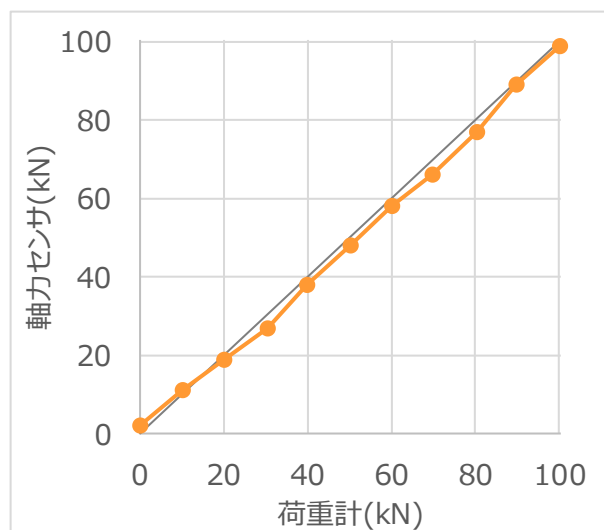


図 3 軸力センサの測定結果 (一例)