

ITを活用した設備検査システム

佐藤 紀生
輸送情報技術研究部
(設備システム 主任研究員)

渡辺 義大
同
(同 研究員)

羽矢 洋
構造物技術研究部
(基礎・土構造 主任研究員)



さとう のりお



わたなべ よしひろ



はや ひろし

大村 寛和
構造物技術研究部
(基礎・土構造 研究員)

磯野 純治
東海旅客鉄道株式会社
(前 構造物技術研究部 基礎・土構造 研究員)



おおむら ひろかず



いその じゅんじ

はじめに

鉄道の設備保守作業は、列車走行の安全を確保するために多くの保守要員と時間をかけて行われています。その作業においては、屋外、夜間、列車間合い等の制約があり、かなりの部分が3K作業と言えます。しかし、そうした制約の中でも保守作業員は、これらの作業を確実に実施しなければなりません。鉄道総研では、このような設備保守作業の中でも大きな部分を占めている設備検査業務を効率的に実施するために、情報技術 (IT) を活用したシステムの開発を行っています。ここでは鉄道総研で研究開発を行っている、ITを活用した設備検査システムの例をいくつか紹介し、特に最近開発した土木構造物のための損傷検知センサシステムについて詳しく説明します。

ITを活用した設備検査システム

(1) 携帯端末による検査データの無線入力

本機能のシステム構成は図1に示す通りで、事務所であ

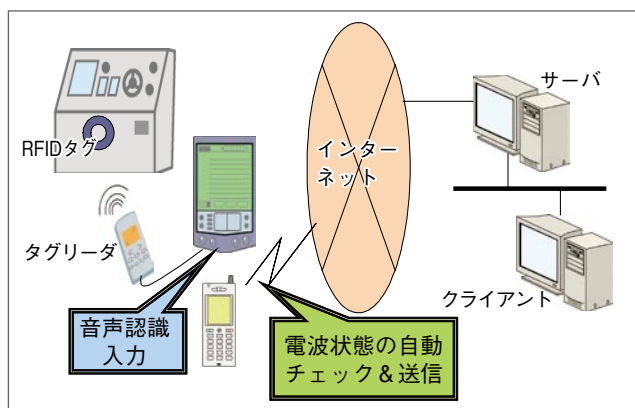


図1 システム構成図

らかじめ準備された検査計画、検査履歴、検査マスタ等の検査に必要なデータを、インターネットを經由して事務所のサーバからダウンロードします。そして、現場でこれらのデータを参照しながら検査結果データを入力することになります(図2)。入力したデータは、ダウンロード時と逆の経路でインターネットを經由して事務所のサーバへアップロードし、データベースへ直接登録することができます。またトンネル等の電波が届かない場所からデータ送信する場合には、自動的に電波状態をチェックし、送信可能な場所へ移動してからデータ送信することができます。

(2) 音声認識による検査データ入力

PDA (Personal Digital Assistants) の小さい画面から検査データを入力するのは煩雑と感じる場合も多く、また検査とデータ入力の2つの作業は並行して行う必要があります。そのため、ハンズフリーで検査データの入力可能な音声認識による入力機能も開発しています。音声認識を実現するための方式として、一般的には単語認識と連続音声認識の2つの方法がありますが、検査データの入力の場合



図2 携帯端末(PDA, 携帯電話)画面

表1 音声入力方式

入力パターン	入力例
「設備名称」	「51ロ」
「検査項目名称」	「ロックの良否」
「不良子設備名称」の「不良部位名称」が	「フロントロット」の「ジョーピン」が
「不良状況」	「摩耗」
「処置」	「取替」

には、入力対象となる語彙及び入力項目がほぼ固定されているため、両者の中間段階に相当する表1のような入力パターンを限定した音声認識方式を用いています。図3にPDAにおける入力画面を示します。入力項目が足りない場合には、システムから入力を促すことも可能です。

(3) RFIDタグを用いた検査対象設備の自動特定

RFID (Radio Frequency Identification) タグは無線技術を応用したID認識方式です。このタグに予め設備を特定する設備IDを書き込み、図1のように、検査対象設備に貼付けておきます。このタグをPDAに接続したタグリーダで読み取ることにより、検査対象設備の特定を自動的に行うことができます。尚、設備名称、前回検査日等は、読み取った設備IDからマスタ情報、検査情報を検索して表示しています(図4)。ここで、検査結果が良好であれば「良」を押すことにより、この検査対象設備の検査項目には、全て「○」が設定されます。検査結果が不良の場合には、「不良」を選択することにより、不良状況を選択入力する画面へ遷移し、順次入力することになります。

(4) センサデータの無線収集

鉄道沿線に設置された設備の状態をセンサにより常時モニタリングする時に、センサデータを無線収集することができます。図5に無線収集システムの構成例を示します。無線機は電池駆動により定期的にセンサから測定データを取込み、近くにあるデータをまとめるための収集基地局へ伝送します。収集基地局では各無線機から伝送されたセンサデータが一定の量まで蓄積された時か、または一定の周期で一括して携帯電話網により管理所内のデータベースサーバへ無線伝送します。

損傷検知センサシステムの概要

鉄道構造物の基礎は通常地中に構築されており、流水部に位置する橋脚では橋脚躯体の下部が水中に没しています。また、ラーメン高架橋に関しても橋脚同様、基礎や地中梁、さらに柱下部が地中にあることから、直接目視することが困難となっています。そのため、直接目視することが困難な橋脚等の橋梁下部構造物の検査・診断をサポートすることを目的として、ひずみゲージを橋脚躯体、基礎、ラーメン高架橋柱部材の主鉄筋に設置し、RFIDタグを介して構

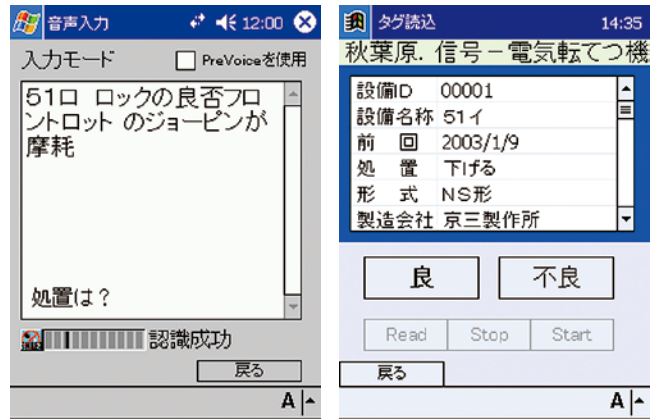


図3 音声入力画面

図4 タグ読み込み画面

造物の外部からデータ収集可能な損傷検知システムを開発しました。

(1) RFIDタグの動作原理

RFIDタグには以下のような特徴があります。

- ①非接触読み取り及び書き込みが可能である。
- ②複数のタグを一度に読み取りすることができる。
- ③パッシブタグを使用した場合は、電源が不要のためタグ取替の必要が無い。
- ④プラスチック等で覆われているため、防水、防塵、耐久性に優れている。

RFIDタグは伝送方式、使用周波数帯、電源供給方式等により分類されています。伝送方式による分類では、静電結合方式、電磁結合方式、電磁誘導方式、マイクロ波方式の4種類に分類され、また使用周波数帯による分類では、中波(～135kHz)、短波(13.56MHz)、UHF帯波(952～954MHz)、マイクロ波(2.45GHz)の大きく4種類に分類されます。無線タグとタグリーダ間の通信のしくみについては、図6のように、タグリーダの方からRFIDタグへ電

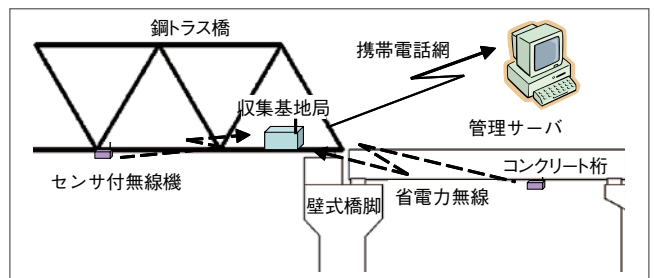


図5 無線収集システム

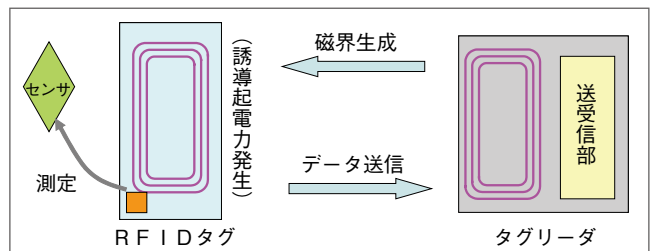


図6 RFIDタグ通信のしくみ

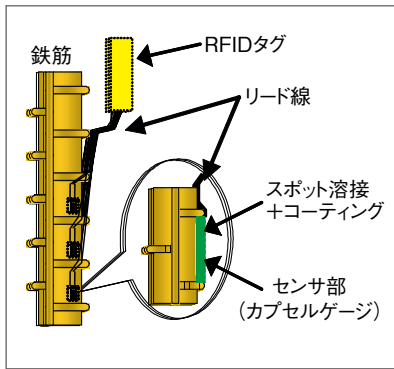


図7 損傷検知センサ概要

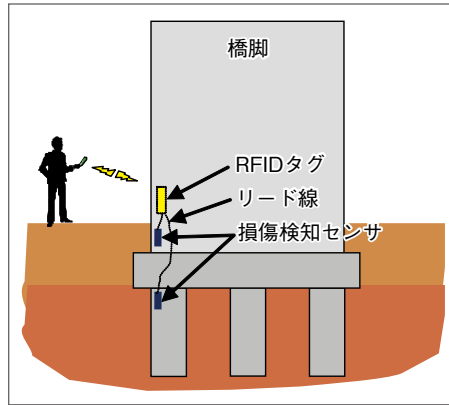


図8 損傷検知センサ配置のイメージ

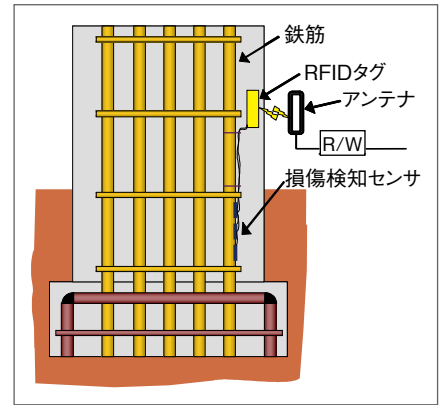


図9 データ収集のイメージ

力を供給するために、リーダ側で磁界を生成します。

この磁界をタグ側のアンテナで受けて誘導起電力を発生させ、この起電力によりICチップを起動してセンサ部の測定やID等のデータを送信します。

(2) 損傷検知センサシステムの概要

センサ部はステンレス製のひずみゲージで構成されています。これを橋脚躯体、基礎、ラーメン高架橋柱部材の主鉄筋に設置し、これにより建設途中の段階的な荷重履歴や供用開始後の偶発的な荷重履歴を主鉄筋に生じるひずみの値として検出しています。なお、主鉄筋へのゲージ設置は部材に生じた損傷を見落としなく検知するため、ゲージ3枚を直列に貼り付ける構成としています(図7)。図8及び図9に損傷検知センサの配置イメージとひずみデータの収集イメージを示します。図10にセンサ及びRFIDタグを示します。使用するRFIDタグは電源の不要なパッシブタグとし、測定時に必要な電力は、タグリーダからの電磁誘導方式により供給します。また、使用する周波数帯は、水や金属が近く存在しても比較的影響を受け難い125KHz帯の周波数を採用しています。図11に使用するRFIDタグリーダ及びPDAの外観を示します。タグリーダとPDAはRS-232Cケーブルで接続され、タグリーダから供給す

る電力により、3箇所の損傷検知センサの測定値を抵抗値として検出し、PDAに取り込むことができます。これにより、検査担当者は地上部の目の高さ付近に埋め込んだRFIDタグから構造物の情報を非接触で受け取ることが可能となります。図12にPDAの測定画面を示します。

実構造物による評価

(1) 西武鉄道の新設高架橋

西武鉄道の新設高架橋の柱基部に損傷検知システムを6箇所設置し、施工性およびモニタリング検査精度の確認を行いました(図13)。施工手順としては、鉄筋の表面出し(鉄筋節の研削)、ひずみゲージの溶接、リード線の調整、RFIDタグの設置の順となります。RFIDタグについては、かぶり不足の懸念等から事業者の要望によりここでは外付けとしています。設置に要する作業時間は、1箇所の設置に概ね1時間程度であり、鉄筋組立から型枠組立の間において本体工事に支障することなく作業が可能でした。

図14に設置から約半年間のモニタリング結果を示して



図10 センサ及びRFIDタグ



図11 RFIDタグリーダ及びPDA

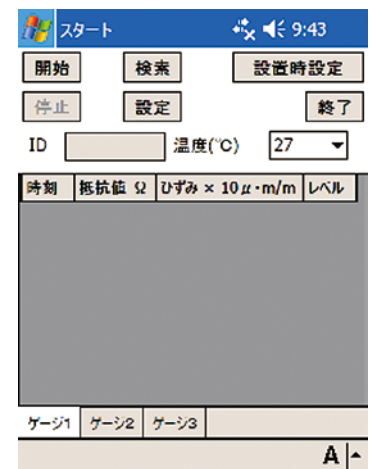


図12 PDA測定画面



図13 検知センサ設置状況



図15 センサ配置状況

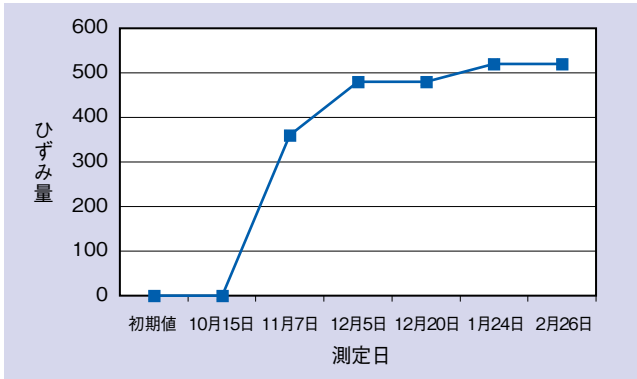


図14 モニタリング計測結果



図16 モルタルタイプセンサ(スペーサー兼用型)

います。図の結果は全損傷検知センサ6箇所の中の1箇所におけるゲージの値です。損傷検知システム設置から施工が進むにつれ上方向からの荷重が順次増加されていきますが、こうした段階的な荷重の増加傾向は下図のひずみの増加傾向（鉄筋の伸び傾向）を見ることで若干ですが検出できています。なお、初期段階ではコンクリートの収縮が原因とみられる引張り側へ推移しているものの、安定した数値を検出することができています。また、他のセンサも同様な傾向で安定した結果が得られており、損傷検知システムの有効性を確認できました。

(2) JR東日本の新設高架橋

JR東日本の新設高架橋に損傷検知システムを4箇所設置しました(図15)。ここでは、かぶり不足の懸念やコンクリート打設時におけるRFIDタグ部の損傷を防護することを目的に、あらかじめRFIDタグをモルタルで被覆したシステムを新たに開発し、これを設置しました(図16)。施工に要する時間は西武鉄道での設置時と同様で1箇所あた

り1時間程度であり、設置完了時のひずみゲージの抵抗値も安定した数値が得られています。

おわりに

鉄道の設備保守業務も今後は、省力化及び外注化がますます進められて行くと考えられます。鉄道総研では、今回紹介した損傷検知センサシステム以外にも様々なセンサ及びデータ収集技術を用いた設備検査システムの研究開発を行っています。これらのシステムの完成により、これまで人海戦術的な方法によって行われてきた鉄道設備の検査体系が大きく改善されるとともに、保守作業員の経験、問題意識、感覚に大きく左右されてきた検査・診断精度の向上と確実性が得られるものと考えています。

最後に、試験にご協力いただいた西武鉄道(株)、東日本旅客鉄道(株)の関係各位に感謝の意を表します。

尚、無線収集システム及び損傷検知センサシステムは国土交通省による補助金を受けて実施したものです。 **RRR**