

# 無線センサネットワークを用いた軌道変位常時監視システムの開発

軌道技術研究部 軌道・路盤  
主任研究員 村本勝己

## 1 はじめに

立体交差化事業等に伴って線路近接工事が増加しているが、近年は施工技術の発達により、列車の運行を中止することなく盛土のり面や線路下の掘削を行なう機会が多くなっている(図1、図2)。こういった立体交差工事に伴って生じる軌道の変位の実測例<sup>1)</sup>を図3に示す。これは、特に問題なく工事が終了した例であるが、それでも施工期間中にある程度の軌道の変位が生じていたことがわかる。すなわち、線路近接工事の施工技術が高度化するに伴って、軌道や路盤の変位を高精度かつリアルタイムにモニタリングする技術が必要となってきた。

現在、このようなモニタリングは、有線式センサ(ワイヤー式変位計、傾斜計等)を用いるか、光学式測量によって行なわれていることが多い。これらの方法は軌道の常時監視システムとして十分な性能を持っているが、取扱いに専門的技術が必要であったり、コストが高い等の問題があり、小規模な工事で手軽に使用するのは難しい。したがって、小規模な近接工事や列車本数が少ない線区の場合の多くは、未だに目視による状態監視が行なわれているのが現状である。

そこで、鉄道総研では、小規模な近接工事現場でも手軽に軌道の変位をモニタリングするために、現場技術者が簡易に使用できる低コストで簡便な軌道変位常時監視システムの開発を進めている。ここでは、現在開発を進めている、無線センサネットワークを用いた軌道変位常時監視システムの概要と、開発状況について紹介する。

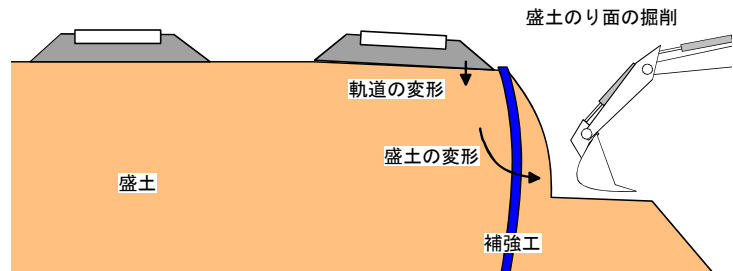


図1 盛土のり面掘削に伴う軌道の変形

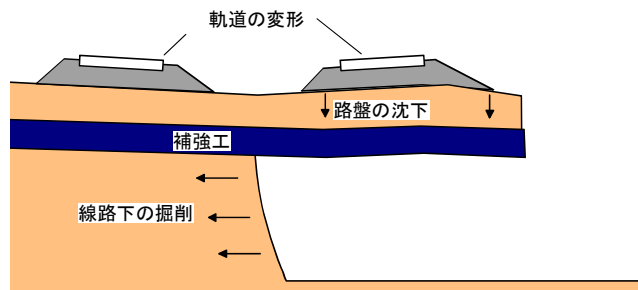


図2 線路下掘削に伴う軌道の変形

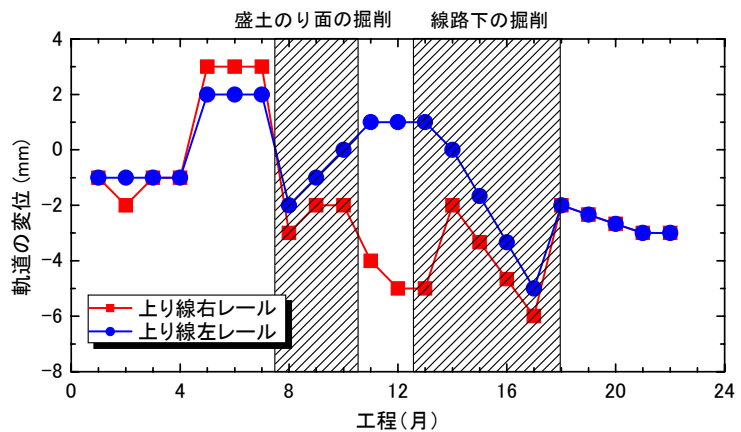


図3 立体交差工事における軌道の変位の実測例<sup>1)</sup>

## 2 無線センサネットワークを用いた軌道変位常時監視システムの概要

開発中の軌道変位常時監視システムの設置状況を図4に、その基本構成を図5に示す。本システムは、複数の無線センサユニット、バッテリー、基地局ユニットおよび制御・測定用のパソコンから構成されている。

無線センサユニットには、2方向傾斜角センサ、温度センサ、A/D変換装置、無線送受信装置を内蔵し、測定データをセンサユニット内でデジタルデータに変換してから、無線で基地局ユニットに送信する。また、各無線センサユニットはデータ中継機能を持っており、基地局ユニットと直接通信できないセンサユニットも、中継センサユニットを介して基地局ユニットと通信することができる(図6)。基地局ユニットで受信した測定データは、パソコン内で演算処理してインターフェース画面(図7)に表示し、必要に応じて警報を出すことができる。

無線センサユニットは12VのDC電源によって駆動する。通常は、図5に示すように各センサを電源ケーブルに接続し、両端に12Vの鉛蓄電池を接続して使用するため、電源ケーブルがどこか一ヶ所断線してもセンサへの給電が停止することはない。また、小型のバッテリーパックを各センサに直接接続して、各センサを独立して駆動することも可能である。無線センサユニットは、現場技術者が必要に応じて容易に



図4 無線センサネットワークを用いた軌道変位監視システム(試作機)

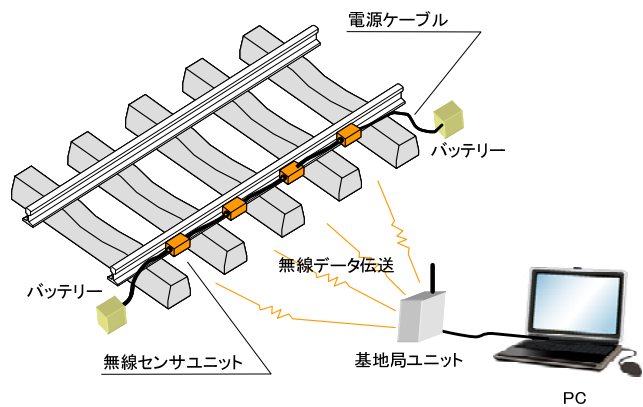


図5 軌道変位常時監視システムの基本構成

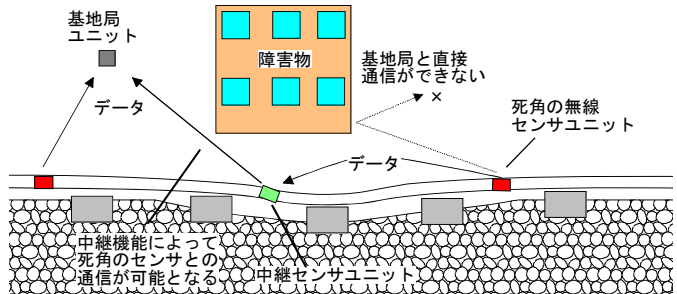


図6 データ中継機能のイメージ



図7 軌道変位常時監視システムのインターフェース画面(開発中)

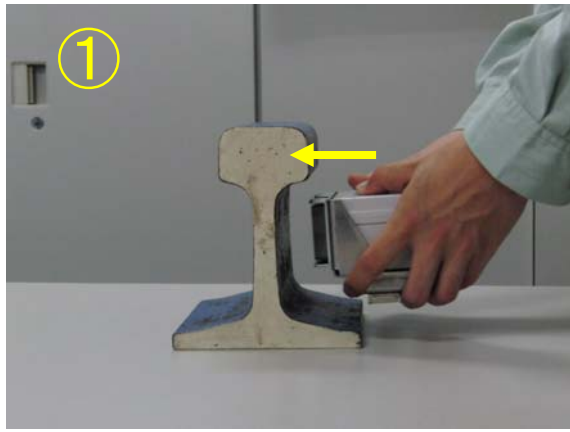


図8 無線センサユニットのレールへの取付手順

脱着することができるように、特別な治具を必要とせず、強力な磁石のみによってレールに固定する（図8）。吸着力は水平、鉛直方向にそれぞれ 300N（理論値）であるため、慣性力、衝撃力に対して十分な吸着力を有する。

本システムは基本的に左右どちらかの片側レールに無線センサユニットを連続して設置する。

ここで、センサユニットが取り付けられているレールを基準レール、もう一方を対向レールと定義する。測定される傾斜角は、基準レールにおける軌道延長方向傾斜角と軌道直角方向傾斜角の2方向である（図9）。以下に、測定された傾斜角分布を軌道の変位置量に換算する方法を簡略化して説明する。簡単のために、各センサユニットは、各まくらぎ間に取り

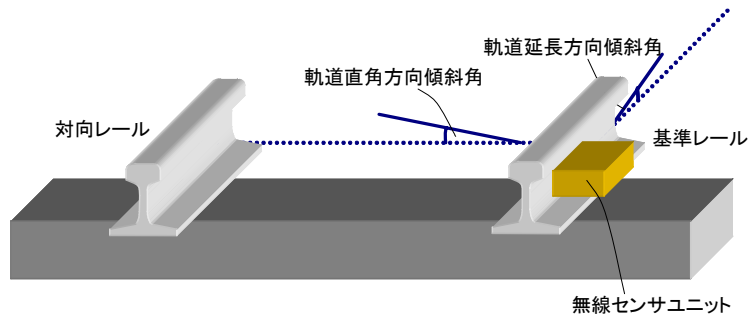


図9 軌道延長方向変位置量の計算

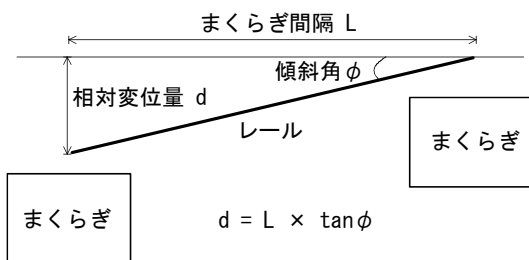


図10 軌道延長方向変位置量の計算

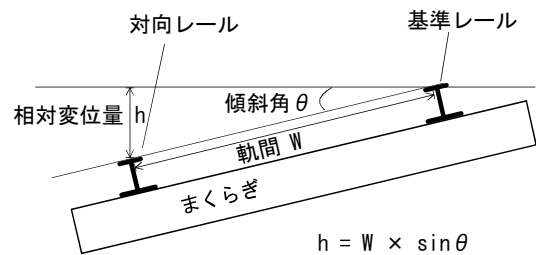


図11 軌道直角方向変位置量の計算

り付けられているものとする、基準レールにおけるまくらぎ間の軌道延長方向変位量は図10のようになる。また、基準レールと対向レールとの相対変位量、すなわち軌道直角方向変位量は図11のようになる。これらの軌道の相対変位分布を基準点から順次加算することで、軌道の2次元的な変位分布形状が換算される。なお、本システムによるレール変位量の換算においては、レールの曲げ剛性を考慮した関数によってセンサ間のレール変位を補完し、連続的なレール変位量の分布を出力する。

### 3 実物大軌道模型を用いた载荷試験

本システムの基本的な性能および耐久性を確認するため、まくらぎ11本からなる実物大軌道模型を用いた繰り返し载荷試験を行った(図12)。本試験では無線センサユニットを10機使用し、接触式変位計をレール踏面に設置して、精度の比較を行った。荷重は軸重160kNを想定し、0~160kNの正弦波2軸を3Hzで85万回载荷した。この荷重条件は、高密度線区におけるおおよそ半年間の列車荷重に相当する。

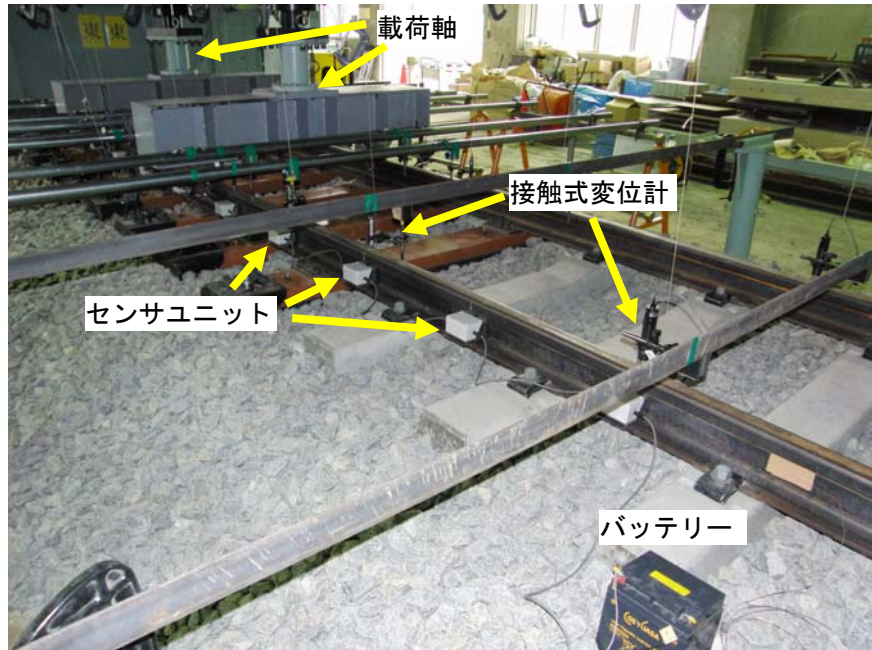


図12 実物大軌道模型を用いた载荷試験

図13は85万回の繰り返し载荷終了後に、本システムにより測定したレール変位の分布と接触式変位計の測定値を比較したものである。同図より、両者の軌道沈下量は、左右レールともよく一致しており、本システムは十分な測定精度と耐久性を確保していることを確認した。

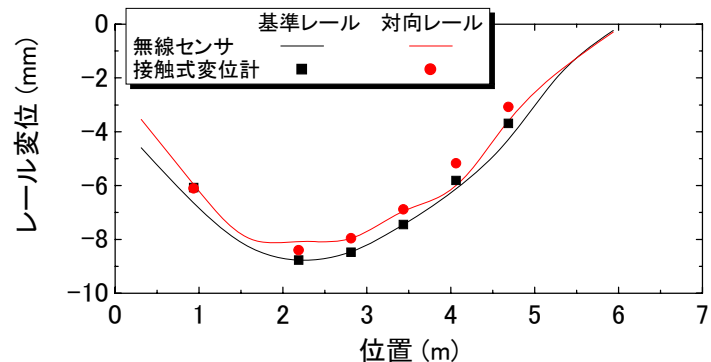


図13 軌道変位の比較 (85万回载荷後)

### 4 開発状況

現在、本システムは、鉄道総研内の試験線において、最終的な長期耐久性試験を行っており、屋外における耐候性、データ伝送の安定性、バッテリー消費電力、温度校正機能等の最終的な確認を行っている。

また、インターフェースソフトについては、モバイルネットワークに対応したサーバ・クライアントシステムを開発中であり、複数の監視所からの同時モニタリングに対応する。

今年度中には、現地試験を行い、実用化できる見込みである。

### 参考文献

- 1) 平尾博樹, 村本勝己他: 無線センサネットワークを用いた軌道変位常時監視システム, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 46-6, pp. 56-59, 2008