

# 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と応用

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

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鉄道盛土のり面や線路下の掘削を行う機会が多くなっている(図1、図2)。こういった線路近接工事を安全に行うためには軌道や路盤の状態監視が不可欠であるが、監視作業の省力化のために、常時監視システムを使用するケースが増えてきている。

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(図3)の概要と、本システムの応用例について紹介する。

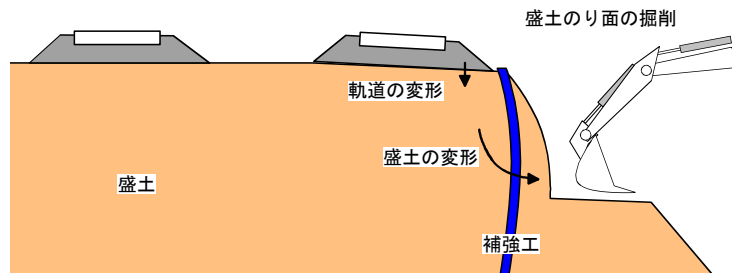


図1 盛土のり面掘削に伴う軌道の変形

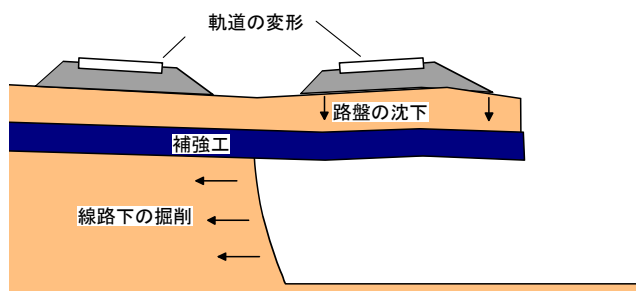


図2 線路下掘削に伴う軌道の変形

## 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

軌道変位常時監視システムは、複数の無線センサユニット(図4)、基地局ユニット(図5)および制御・測定用のパソコンから構成される。無線センサユニットには、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)の2軸傾斜角センサ、温度センサ、マイコン及び無線送受信装置が内蔵されており、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、2.4GHz帯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

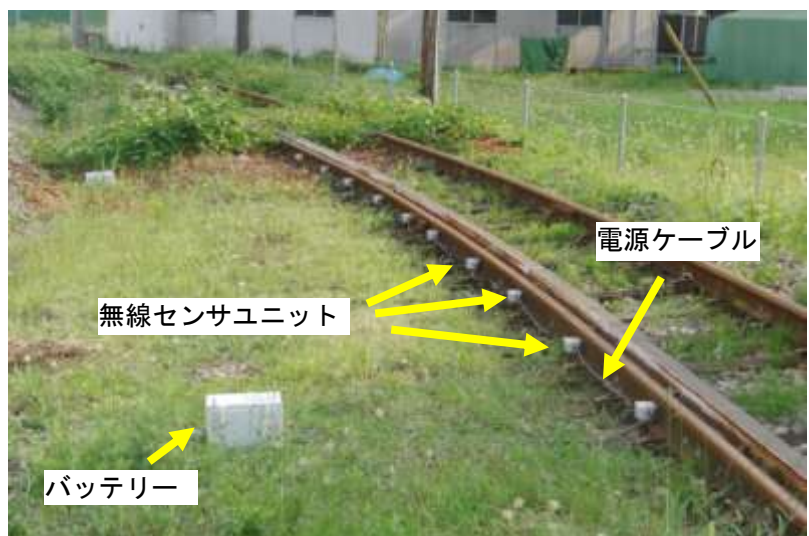


図3 無線センサネットワークを用いた軌道変位監視システム(試作機)

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）。無線センサユニットは12VのDC電源によって駆動する。試作監視システムでは、図3のように無線センサユニット群を電源ケーブルで直列に接続し、端部のセンサに鉛蓄電池を接続して電源を一括管理しているが、小型のバッテリーケース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。

線路近接工事は、近接工事の対象となる軌道の状態を複数の監視者が共有できる

ことが望ましいが、それぞれの監視者が必要な情報の種別は必ずしも同じではない。そこで、複数の監視所の監視者が、監視拠点にあるサーバから任意にデータを取得することが可能な、サーバ・クライアント型のインターフェースソフト（図7）を開発した。



図4 無線センサユニット（試作機）



図5 基地局ユニット（試作機）

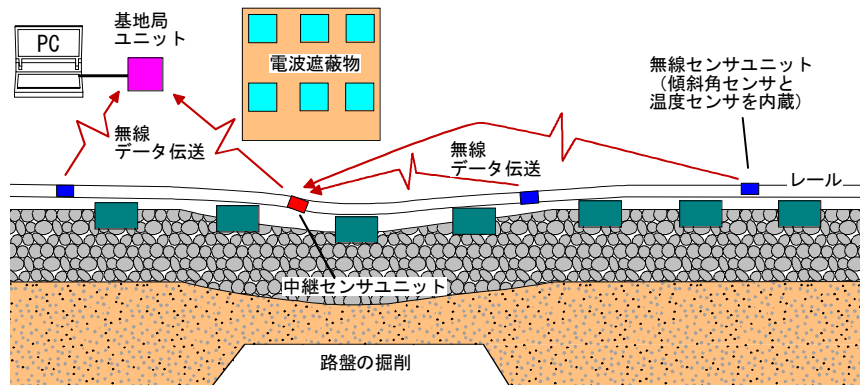


図6 軌道変位常時監視システムのデータ伝送の概要

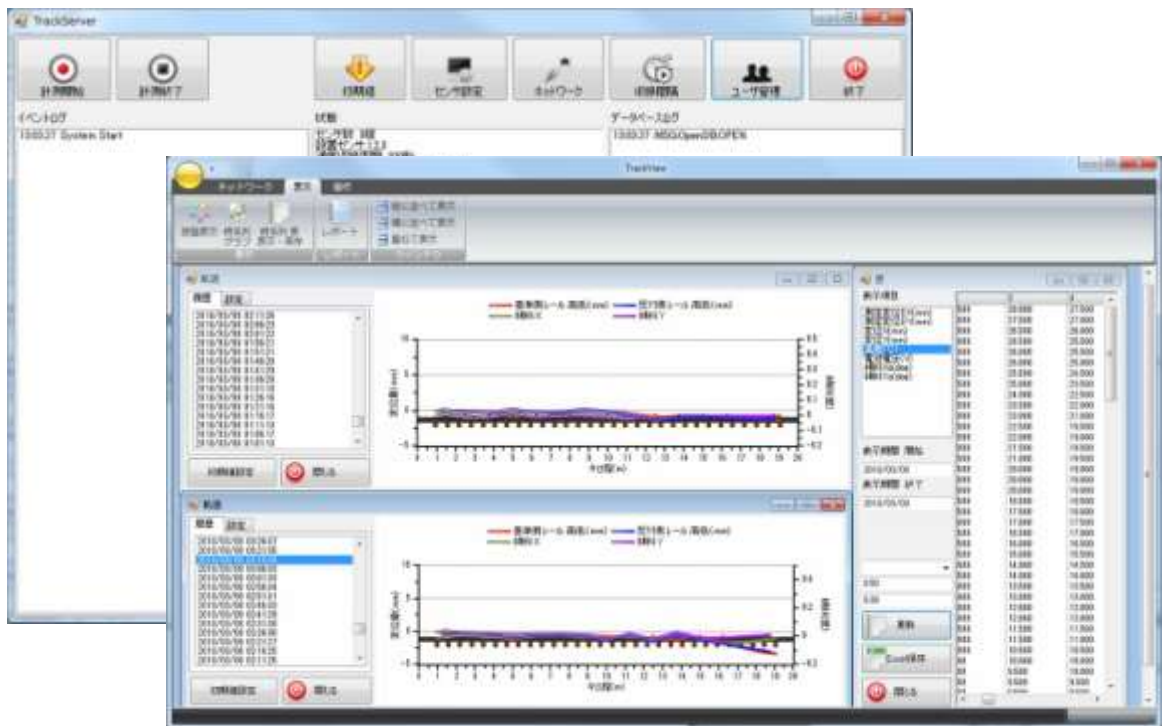


図7 インターフェース画面（開発中）（左上：サーバ、右下：クライアント）

### 3. 軌道の変位の推定方法

軌道変位常時監視システムは、左右どちらかのレールに取付けた無線センサユニットによって、軌道延長方向および軌道直角方向のレールの傾斜角の変化を測定する(図8)。この傾斜角から、軌道の変位を推定する手順は以下の通りである。なお、センサユニットを取付けたレールを基準レール、もう一方のレールを対向レールと呼称する。

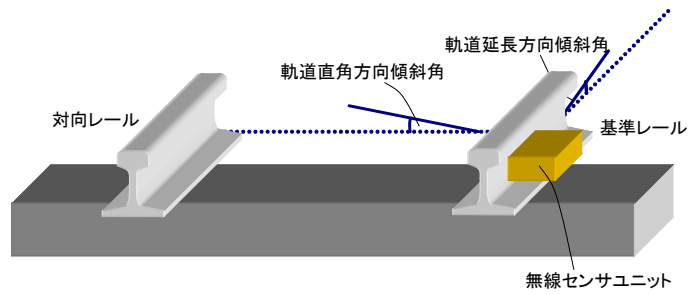


図8 無線センサユニットの測定傾斜角

1) センサで測定された基準レールの軌道延長方向の離散的な傾斜角分布をスプライン関数で補間して連続値とする(図9)。

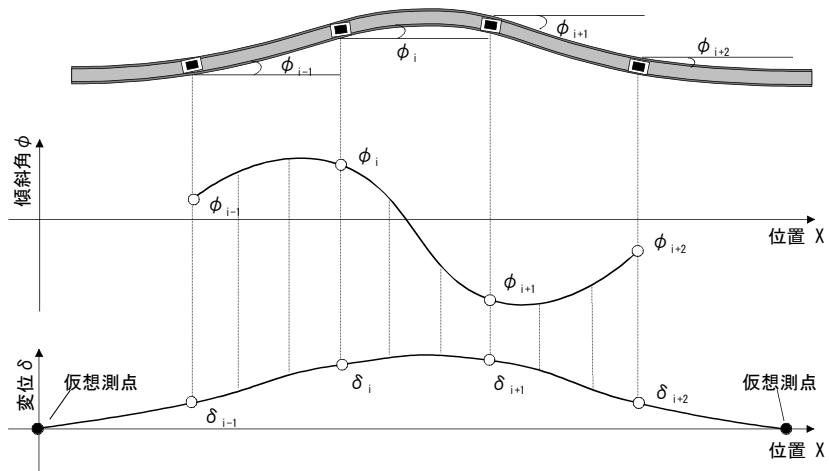


図9 基準レール変位量の算出

2) 連続化した傾斜角分布を積分して基準レールの変位分布を算出する(図9)。

3) 基準レールの軌道直角方向の離散的な傾斜角分布について、軌道延長方向と同様にスプライン関数で補間し、連続値とする。

4) 基準レールとの相対変位量を図10のように算出し、対向レールの変位分布を算出する。

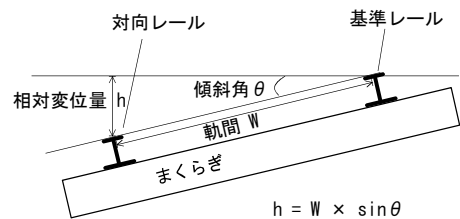


図10 対向レール変位量の算出

### 4. 実物大軌道模型を用いた载荷試験

軌道変位常時監視システムの基本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返し载荷試験を行った(図11)。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は85万回の繰返し载荷終了後に、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。

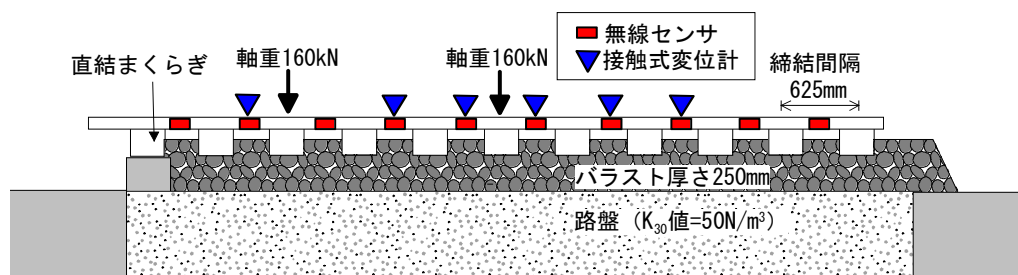


図11 実物大軌道模型を用いた载荷試験の概要

## 5. 構造物の常時監視への応用

本システムは、無線データ伝送が可能な汎用的な傾斜センサとして、軌道以外の構造物への常時監視にも応用できると考えられる。そこで、線路近接工事において使用されることの多い、鋼矢板の仮土留め工の常時監視への適用について検討を行った。

図13は、仮土留め工監視システムとして試作した無線センサユニットである。個々のセンサは、乾電池を内蔵したバッテリーケースを接続して独立駆動する。センサは鋼矢板に強力なマグネットで簡易に設置できるので、図14に示すように、掘削の進捗に応じてセンサ数を簡単に増減することができる。

仮土留工監視への適用については、模型試験によって十分な基本性能を有していることが確認されており、今後は実際の工事現場での適用性について検討を進める。

## 6. 開発状況

軌道変位常時監視システムおよび仮土留工監視システムについては、現地試験等によって性能確認を継続中である。今後は、両システムの基幹部分を統合し、汎用的な常時監視システムとして使用できるように基本設計の見直しを図り、今年度末には実用化できる見込みである。

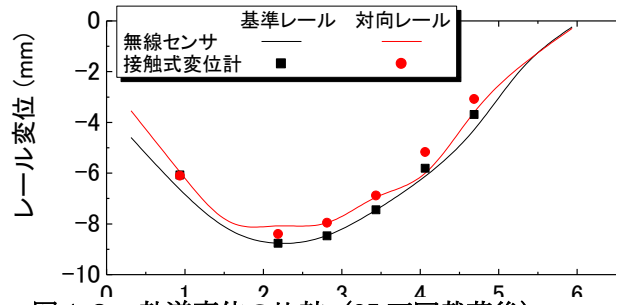
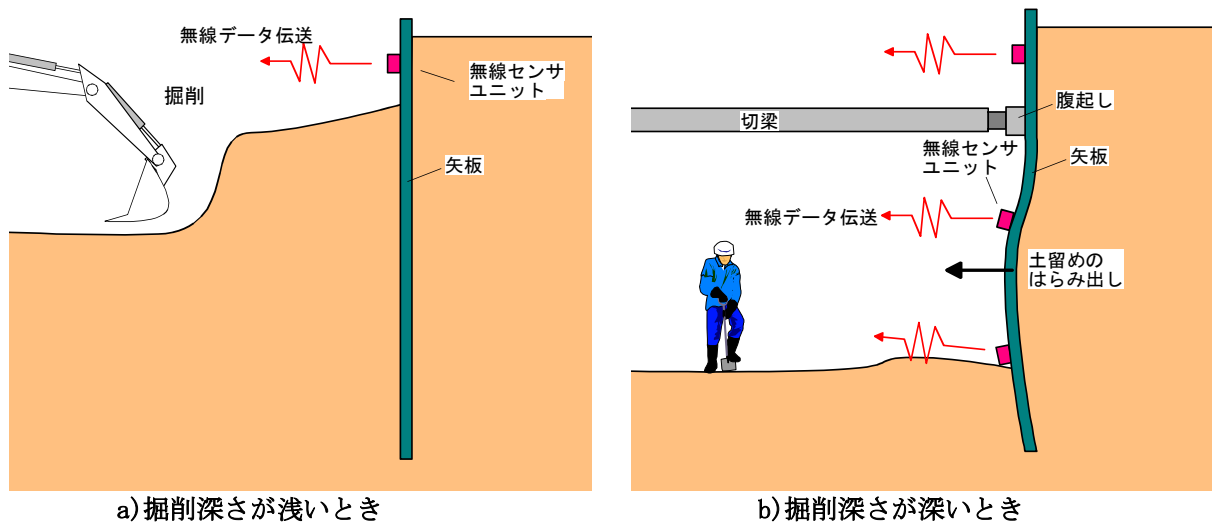


図12 軌道変位の比較 (85万回载荷後)



図13 仮土留工常時監視システム (試作)



a) 掘削深さが浅いとき

b) 掘削深さが深いとき

図14 仮土留工常時監視システムの概要