

軌道の異常沈下をモニタリングする

村本 勝己
軌道技術研究部
(軌道・路盤 主任研究員)

白江 雄介
同
(同 研究員)



むらもと かつみ しらい ゆうすけ

はじめに

鉄道沿線の再開発事業や立体交差化事業に伴って、線路近接個所の工事が増加しています。線路近接工事は、軌道に深刻な変状を与えてしまう危険性のある難しい工事ですが(図1, 図2)、近年は施工技術の発達によって、列車の運行を中止することなく行なうことができるようになりました。こういった立体交差工事に伴って生じる軌道の変形の実測例¹⁾を図3に示します。これは、特に問題なく終了した工事ですが、それでも施工期間中は軌道にある程度の

変形が生じていたことがわかります。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、軌道や路盤の変形を高精度かつリアルタイムにモニタリングする技術が不可欠となっています。

現在、このようなモニタリングは、主に有線式センサ(ワイヤ式変位計、傾斜計等)や、光学式自動測量等によって行なわれています。これらの方法は軌道の常時監視システムとして実績を上げていますが、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るため、小規模な工事で手軽に使用するのには難しい面があります。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目視による常態監視が行なわれているのが現状です。

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形をモニタリングするために、現場作業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ます。

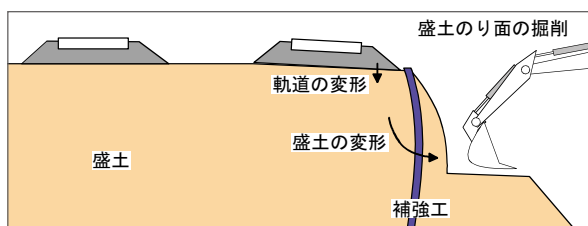


図1 盛土のり面掘削に伴う軌道の変形

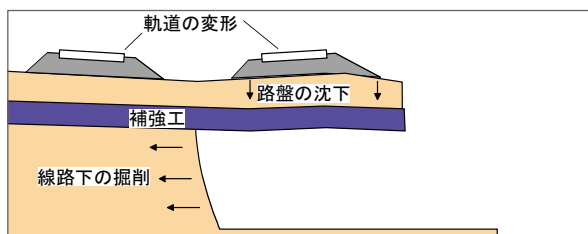


図2 線路下掘削に伴う軌道の変形

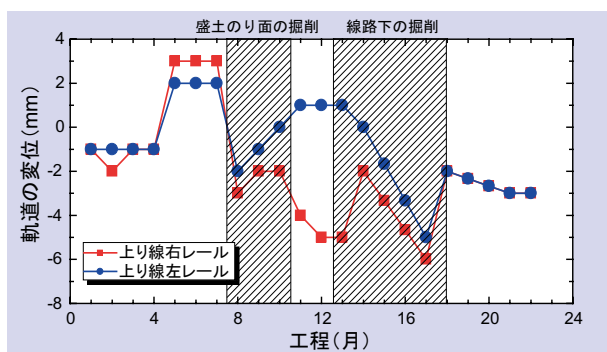


図3 立体交差工事における軌道の変形の実測例¹⁾

軌道の変形の測定法の原理

軌道の変形を測定する方法は、基準点の取り方によって原理的に大きく2つに分けられます。

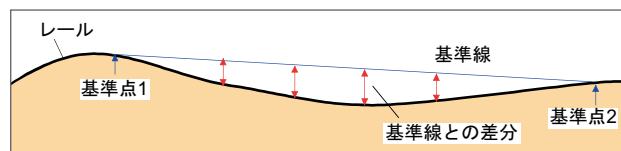


図4 基準点を軌道内取る測定法の例

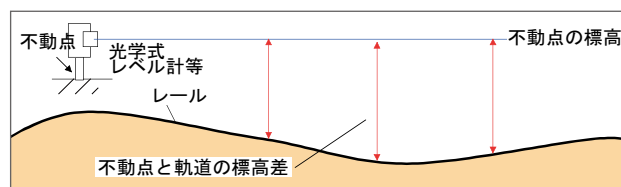


図5 基準点を軌道外の不動点にする測定法の例

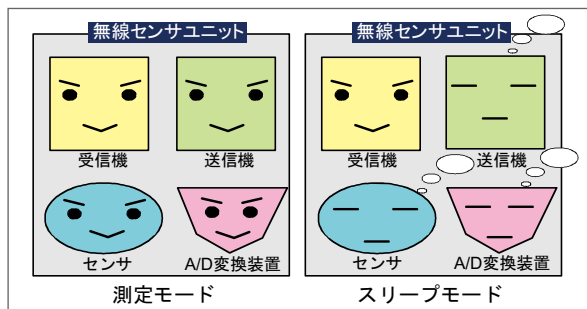


図6 無線センサユニットの省電力機能の例

1つは、軌道内に基準点を設けて軌道の変形を測定する方法です(図4)。この方法は、計測器を軌道に直接取り付ける測定法に適しており、軌道の形状を比較的簡単に測定することが可能です。しかし、基準点の変位してしまうと、軌道の絶対的な変形量を把握するのが困難となります。また、軌道に設置する計測器は、大きさや設置位置に制約があり、通常の保線作業への影響が懸念されます。

もう1つは、軌道外の不動点を基準とする方法です(図5)。この方法では、測定値は常に軌道の絶対的な変形量となりますから、原理的には軌道のモニタリングシステムに適しているといえます。最近では、自動的に多点計測を行なう光学式計測器が普及してきていますので、高範囲のモニタリングも比較的容易になってきました。

しかし、計測器の設置個所から測定範囲が視認できなければなりませんから、見通しの悪い個所では使用するのが困難となります。また、雨、雪、霧などで視界が悪くなると精度が悪化したり、列車密度の高い都市部の複々線等では、列車自体が障害物となってしまう場合もあります。

無線センサネットワークの適用

近年は、無線を用いたセンサネットワークを、様々な常態監視に使用することが試みられていますが、最大の問題は、バッテリーだけでセンサユニットを長期間連続的に駆動させるのが困難であることです。太陽電池等の発電モジュールを補助的に用いることも試みられていますが、信頼性、設置個所、サイズ、コスト増等の問題が加わるため、適用条件が極めて限定されてしまいます。

しかし、センサユニットに測定モードとスリープモードとを必要に応じて使い分ける省電力機能(図6)を持たせれば、バッテリーだけでも動作時間を飛躍的に伸ばすことができます。とはいえ、屋外の環境で使用する場合はバッテリー自体の寿命も厳しくなりますので、現状では2~3年が実用上の使用限界となるでしょう。

また、低消費電力型のマイコンは、データの処理速度があまり速くありませんから、高速な処理が必要な動的なデータの測定には不向きです。したがって、長期間の常時



図7 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)

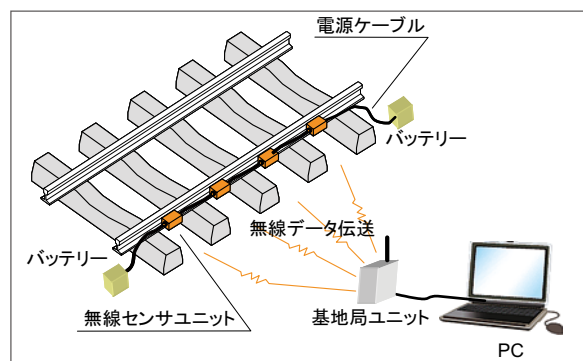


図8 軌道変位常時監視システムの基本構成

監視が可能なシステムは現在のところ静的なデータ測定に限られます。

以上のような制約条件が無線センサネットワークにはありますが、その一方で、

- ①線路近接工事の常時監視システムに適用を限定するならば、連続で数ヶ月程度の稼働時間を確保できれば十分に実用性がある。
 - ②軌道の変形を測定するだけならば静的なデータの測定でよいので、バッテリーのみでも数ヶ月の運用は可能である。
 - ③多数のセンサを使用することを考慮すると、データケーブルを省略できるメリットが大きい。
 - ④使用法を限定すれば、無線ユニットの方が有線よりもコスト面で有利である。
 - ⑤実用化すれば、将来的に様々な常態監視に応用できる可能性が高い。
- といった利点があります。

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

鉄道総研で開発中の軌道変位常時監視システムの設置状況を図7に、その基本構成を図8に示します。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ます。

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します。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ます(図9)。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10)に表示し、必要に応じて警報を出すことができます。

無線センサユニットはDC電源によって駆動し、基本的には、図8に示すように各センサを電源ケーブルでカスケード接続し、両端に12Vの鉛蓄電池を接続して使用します。1つのセンサ群に2つのバッテリーを使用することで、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ありません。もちろん、各センサに直接バッテリーを接続すれば、センサ間の電源ケーブルは不要とな

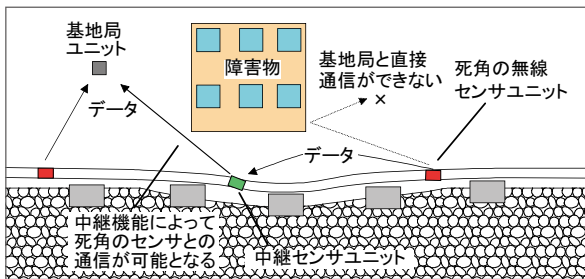


図9 データ中継機能のイメージ

ります。

無線センサユニット(図11)は、強力な磁石によってレールに固定するようになっており、現場作業者が必要に応じて容易に脱着することができます。

本システムは基本的に片側レールに無線センサユニットを連続して設置し、測定される傾斜角は、レール延長方向を基準とした軌道延長方向傾斜角と、レール直角方向を基準とした軌道直角方向傾斜角の2方向です(図12)。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、もう一方を相対レールと定義します。本システムは、図3に前記した基準点を軌道内に取り測定方法なので、測定範囲内のどこか一点を基準点とした相対変位分布を測定することになります。

以下に、測定された傾斜角分布を軌道変位量に換算する方法を簡略化して説明します。簡単のために、各センサユニットは、各まくらぎ間に取り付けられているものと仮定しますと、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13のようになります。また、基準レールと相対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14のようになります。これらの軌道の変位分布を基準点から順次加算することで、軌道の2次元的な形状が換算されます。

軌道変位常時監視システムの活用

軌道変位常時監視システムは、基本的には軌道の変形を

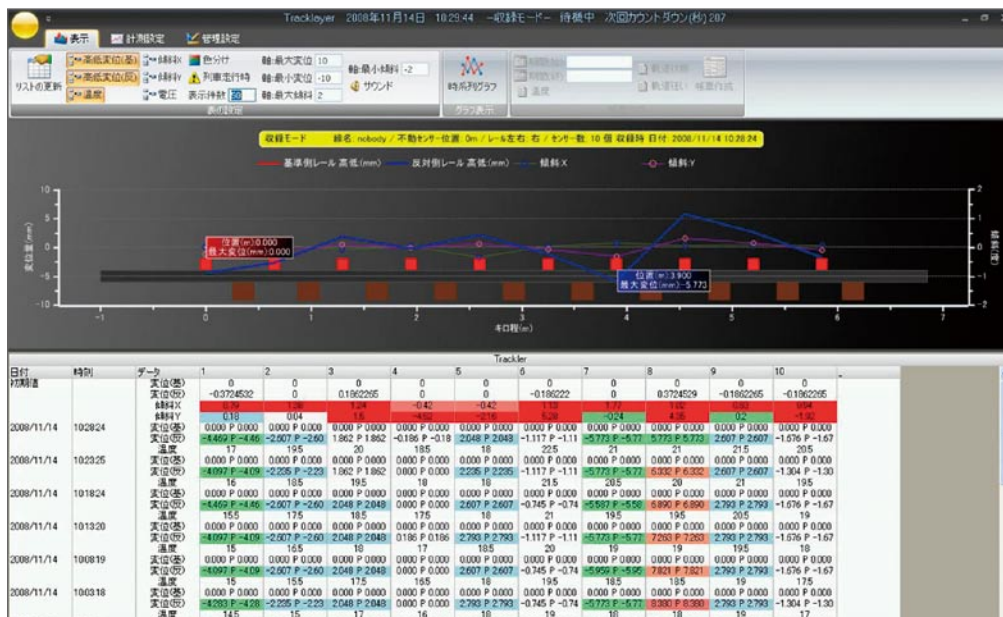


図10 軌道変位常時監視システムのインターフェース画面(試作機)



図 11 無線センサユニット(試作機)

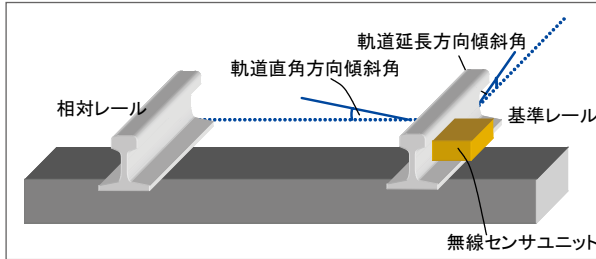


図 12 測定される軌道の傾斜角

常時監視しているだけです。しかし、そこから得られるデータをうまく活用すれば、軌道の変形だけでなく、路盤状態の変化を推測することができると考えられます。これは、軌道変位常時監視システムが、軌道の変形量だけでなく変形速度を監視できるからです。

例えば、ある点の軌道が異常に沈下した場合を想定します。大きな軌道沈下が短時間に発生した場合は、図 15 のように路盤に陥没等の致命的な変状が生じている可能性が高いと考えられます。この場合は、バラストが路盤の陥没に追従して沈下します。

では、現状では大きな軌道沈下量ではないが、沈下の進行が以前より明らかに速くなった場合はどうでしょうか。この場合は、前記と同様に路盤の沈下が進行している可能性もありますが、路盤内に局所的な軟弱箇所や空洞等が発生して、路盤のバネ値が低下し、列車走行に伴う路盤の動的変形量が増大している可能性があります。この場合は、路盤の沈下はそれほど大きくはありませんが、路盤の動的変形によってバラストが流動し、結果として軌道の沈下が進行していきます(図 16)。もちろん、こういった空洞が成長すれば最終的には路盤陥没に達する可能性がありますので、軌道の沈下速度が明らかに速くなったりした場合は、路盤に何らかの変状が発生していることを疑った方がよいでしょう。

このように、軌道変位常時監視システムは、線路近接工事のモニタリングだけでなく、通常の軌道保守への活用も期待できます。

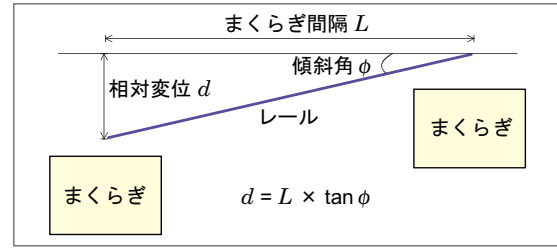


図 13 軌道延長方向変位量の計算

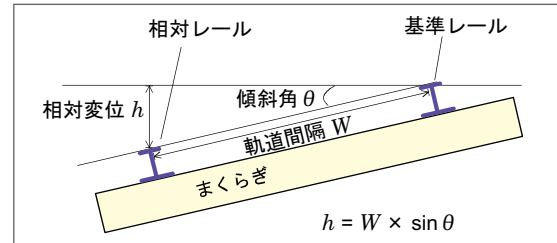


図 14 軌道直角方向変位量の計算

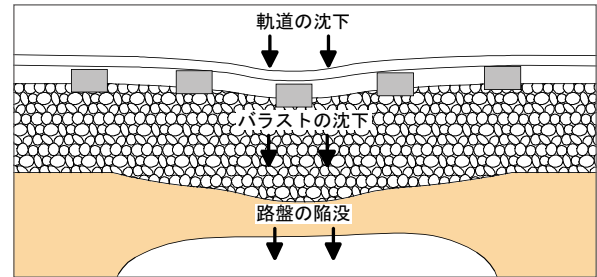


図 15 路盤の陥没に伴う軌道の沈下

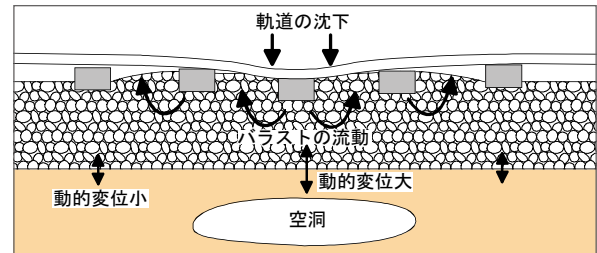


図 16 路盤のバネ値の変化に伴う軌道の沈下

おわりに

軌道の変形を常時監視するシステムは、ネットワーク技術を組み合わせることで、軌道保守管理の新たなツールとなる可能性があります。鉄道総研では、将来的には様々なセンサを統合した総合監視システムを視野に入れ、無線センサネットワークを用いたシステムの早期の実用化を目指します。RRR

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