

鉄道一般

車両

施設

電気

運転・輸送

防災

環境

人間科学

浮上式鉄道

車両走行時の軌道の変形を診る

鉄道車両が走行すると軌道にさまざまな力が作用し、軌道の形状は車両が走行していない時の形状と比べて異なります。とくに、軌道を構成する部材が劣化している区間では、この変形量が大きくなることによって、脱線事故が発生することがあります。そのため、脱線事故を防止するには、車両走行時の軌道の変形を把握することが望ましいといえます。そこで、車両走行時の軌道の変形が要因となる脱線事故を防止することを目的に、開発を進めている動的軌間・平面性測定装置の概要と今後の展開について紹介します。



坪川 洋友
Yosuke Tsubokawa
軌道技術研究部
軌道管理研究室
主任研究員
【専門分野】 軌道検測、
軌道管理



石川 智行
Tomoyuki Ishikawa
軌道技術研究部
軌道管理研究室
研究員
【専門分野】 軌道検測、
軌道管理

はじめに

鉄道車両は軌道に沿って走行するため、軌道の形状がゆがんでいくと、乗り心地が悪くなったり、車両が安全に走行できなくなったりします。そのため、鉄道事業者では、図1に示す軌道変位（※参照）を定期的に測定して形状のゆがみを把握し、その結果に基づいて軌道の補修を行うことで適切な状態を維持しています。

一方、軌道には車両が走行する際に車両の重量や運転速度などに応じた力が作用するため、軌道の形状は車両が走行していない時の形状と比べて異なります。バラスト軌道においては、とくに、レール締結装置、まくらぎ、道床などの軌道を構成する材料が劣化すると、車両走行時の軌道の変形量が大きくなり、脱線事故の要因となることがあります。したがって、これらの脱

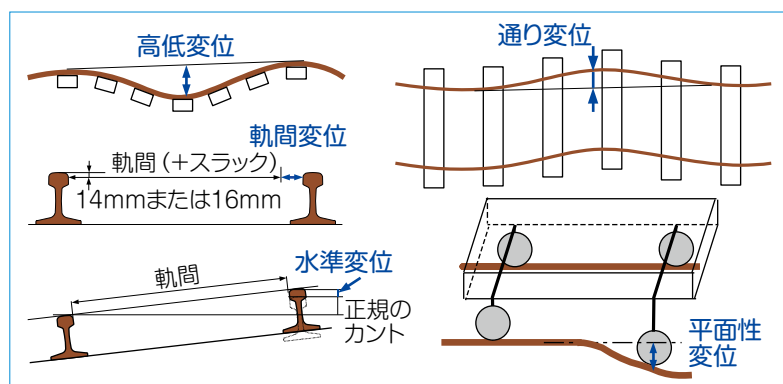


図1 軌道変位の種類

※ 軌道変位（軌道狂い）

軌道の正規の位置からの「ずれ」のことを「軌道変位（または軌道狂い）」といいます。また、軌道変位を測定し検査することを「軌道検測」といいます。軌道変位が大きくなると車両の円滑な走行が障害され、乗り心地の悪化や走行安全性の低下につながるため、定期的に軌道検測を実施して状態を把握し、必要に応じて軌道の補修が行われます。

※ カントとスラック

車両が曲線を円滑に走行できるように設定した軌間の拡大量を「スラック」、左右のレールの高さの差を「カント」といいます。

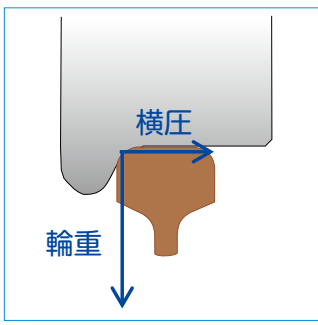


図2 レールと車輪との間に作用する力



図3 軌道検測車の例



図4 トロリー式軌道検測装置の例

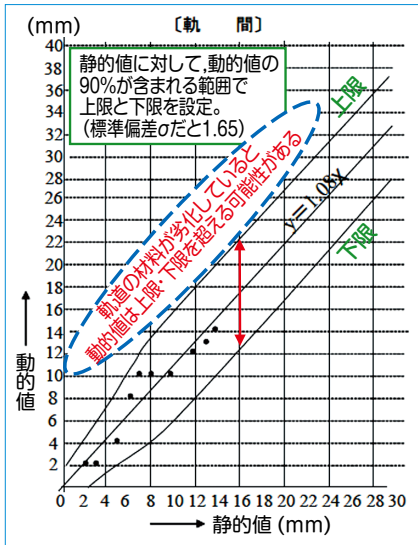


図5 静的値と動的値の関係(軌間)

線事故を防止するには、車両走行時の軌道の形状を診断して、適切に軌道を補修することが重要です。

そこで、軌道状態を原因とする脱線事故を防止するために開発を進めている装置の概要と走行試験の結果、および今後の展開について紹介します。

軌道変位の動的値と静的値の関係

車両が走行するとき、軌道を構成する部材の一つであるレールには図2に示す力が作用します。鉛直方向の力を輪重、水平方向の力を横圧とよびます。輪重は車両の重量などが、横圧は曲線を通る際の遠心力などが主な成分となっています。

ここで、軌道に輪重や横圧が作用した状態で検出した軌道変位を動的値、作用していない状態で検出した軌道変位を静的値といいます。車両を安全に走行させるためには、軌道変位は動的

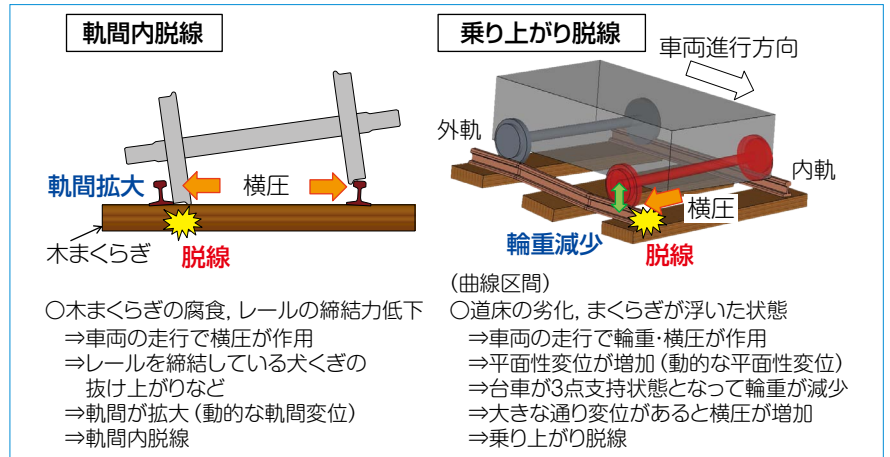


図6 軌道状態を原因とする脱線事故の概略図

値で管理することが望ましいといえますが、動的値を得るには軌道検測車(図3)が必要です。しかし、軌道検測車は非常に高価なため、地域鉄道事業者では、手検測やトロリー式の軌道検測装置(図4)で測定した静的値により軌道変位の管理が行われています。また、軌道検測車を所有する鉄道事業者でも、軌道検測車の運用上の理由により、構内線や側線では静的値による軌道変位の管理が行われています。

軌道変位の静的値の整備基準値については、昭和42年代前半の軌道検測車で測定された動的値のうち、軌間と水準は7mm以上、高低と通りは10mm以上の箇所を摘出して、人力により静的値を測定して得た関係(図5)に基づいて鉄道事業者で定めています¹⁾。動的値と静的値の関係は、一つの静的値に対する動的値の分布が正規分布であると仮定し、静的値に対する動的値の上限および下限を信頼度90%として求めたものです。そのため、軌道を構成

する材料が劣化した状態では図5の関係に比べて車両走行時の動的値が大きくなるため、静的値による検査結果が整備基準値を超えていなくても、車両を安全に走行させることができない可能性があります。

軌道状態を原因とする脱線事故

近年発生している軌道状態を原因とする脱線事故の多くは軌間内脱線と乗り上がり脱線です。各脱線の概略図を図6に示します。

軌間内脱線の主な要因として、木まくらぎの腐食などによってレールを締結している犬くぎの締結力が低下している状態であることがあげられます。このとき、軌道に車両からの横圧が作用すると犬くぎの抜け上がりなどが生じて軌間が拡大し、車輪が軌間内に脱線します。

また、乗り上がり脱線は車両側が要因となる場合もありますが、軌道側に着目すると主な要因として、出口側緩

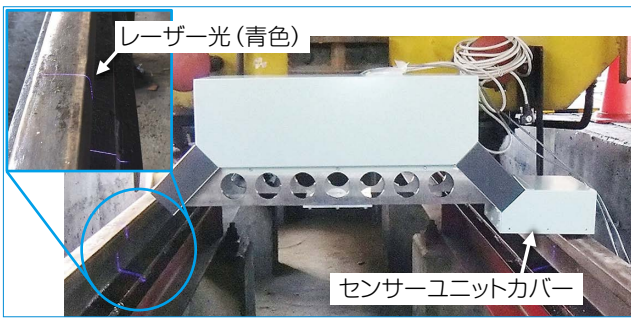


図7 動的軌間・平面性測定装置のセンサーユニット外観

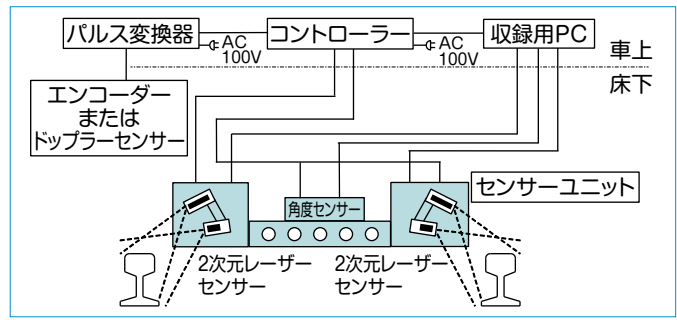


図8 動的軌間・平面性測定装置の構成

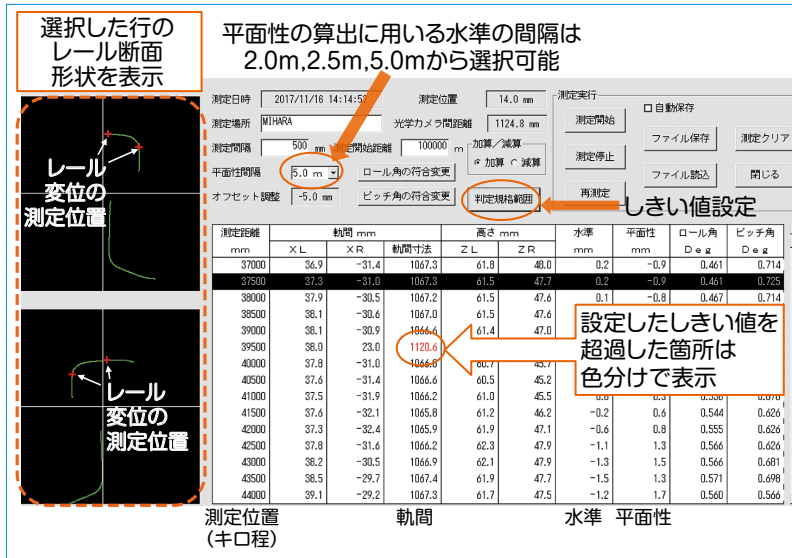


図9 本装置の出力画面の例



図10 モーターカーの走行試験の様子

エンコーダーまたは非接触距離センサー(ドップラーセンサー)の信号を受信して走行速度と測定距離を求めています。

また、本装置の出力画面を図9に示します。出力画面では、キロ程(軌道延長上の測定位置)と軌間、水準および平面性変位の測定値が表形式で示され、各測定値があらかじめ設定した整備基準値などのしきい値を超過した場合には赤文字で表示される機能としています。また、キロ程を選択すると、その位置のレール断面形状と軌道変位の算出に使用する‘レール変位の測定位置’を表示する機能を有しています。

本装置の検測精度は、在来線の軌道検測車に求められる軌道検測の再現性(2回の測定値の差の標準偏差)である軌間0.5mm、水準1.0mm、平面性変位1.0mmを目標としています。

動的軌間・平面性測定装置の検測精度の確認試験

①軌間の測定精度の検証

本装置をモーターカーに搭載して走行試験を行い、軌間の検測精度を確認

和曲線における道床の劣化などによりまくらぎが浮いた状態であることがあげられます。緩和曲線は、直線と円曲線をつなぐ緩衝区間で、円曲線から直線にうつる区間を出口側緩和曲線といます。出口側緩和曲線では、円曲線から直線に進むときに水準(カント)が徐々に減少するため、軌道面のねじれである平面性変位が存在します。ここで上述した状態が存在する区間を車両が走行すると、輪重によって軌道が沈下して平面性変位が大きくなり、進行方向先頭軸の外軌側の車輪の位置で軸ばね(台車と車輪をつなぐばね)が伸びて、台車が3点支持状態となって輪重が減少します。そこに曲線を走行する際に発生する横圧が作用するため、車輪がレールに乗り上がって脱線します。

このことから、これらの脱線事故を防止するには、軌間と平面性変位の動的値を把握することが重要といえます。

動的軌間・平面性測定装置の概要

このような背景から、軌道検測車と比較して低コストに軌間と平面性変位の動的値を測定するために、営業車または保守用車などへの搭載が可能な動的軌間・平面性測定装置の開発を進めています²⁾。

本装置センサーユニットの外観を図7に、本装置の構成を図8に示します。本装置はセンサーユニット、パルス変換器、コントローラー、測定用PCで構成されています。センサーユニットには、レーザーとカメラから構成される2次元レーザーセンサーが2台と3軸のジャイロと3軸の加速度計から構成される角度センサーが内蔵されています。

軌間の基本寸法1067mmの路線に対応したセンサーユニットの寸法は、幅860mm・高さ160mm・奥行き230mmで、重量は約7kgと一般的な軌道検測車のセンサーユニットと比較して小型で軽量としています。また、パルス変換器では、

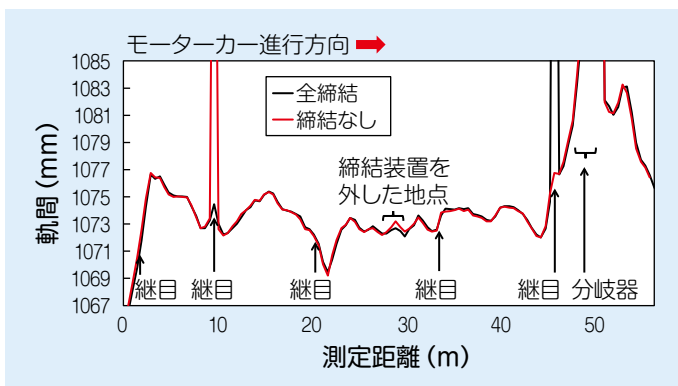


図11 モーターカー走行試験の軌間の測定結果

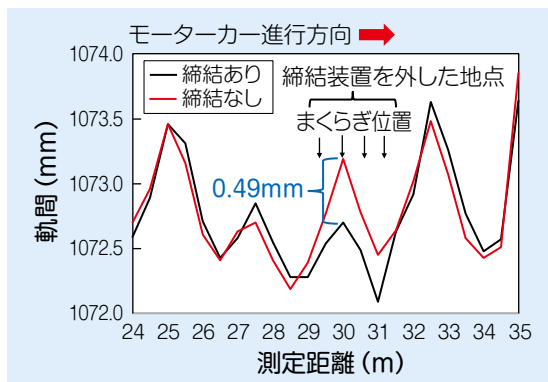


図12 軌間の動的値の測定結果



図13 旅客用車両の走行試験の様子

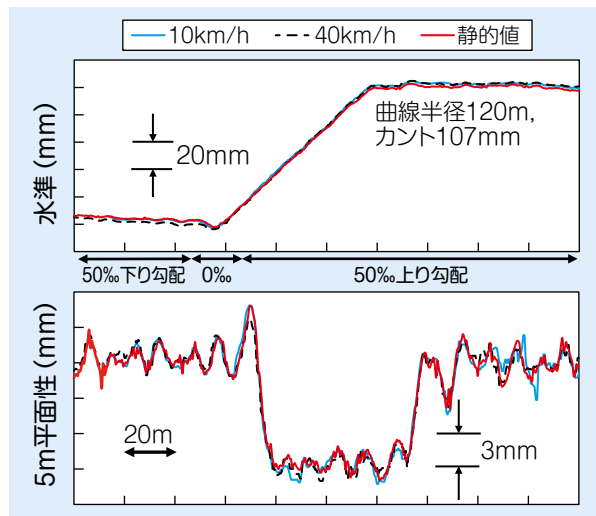


図14 旅客用車両の走行試験の測定結果

しました(図10)。本試験では、走行区間にレール締結装置を外した区間を設定してモーターカー通過時のレールの左右変位(軌間の拡大量)を測定し、本装置による軌間の測定値と比較することにより、軌間の動的値の測定が可能であるかを確認しました。

図11に示す軌間の測定結果から、締結装置を外した区間を除くと再現性は0.20mmで測定値はおおむね重なり、在来線の軌道検測車と同等の精度で検出できることを確認しました。また、締結装置を外した区間の測定結果を拡大した図12においては、締結装置の有無により軌間の測定値に0.49mmの差が生じていました。一方、モーターカー通過時のレール左右変位から求めた軌間の拡大量は0.62mmであり、本装置で測定した軌間の差に近い値でした。以上のことから、本装置をモーターカーに搭載することにより軌間の動的値を測定できることがわかりました。ただし、走行試験での本装置のモーターカーへの搭載位置は車輪から1m程度離れ

ているため、搭載する車両の構造を考慮しながら、車軸により近い位置への搭載方法を継続して検討しています。

②水準および平面性の測定精度の検証

本装置を旅客用車両に設置して、軌道材料の劣化がなく車両走行にともなう軌道の変形が小さな試験線において40km/hまでの速度で走行試験を行いました(図13)。曲線と勾配や縦曲線が競合する区間を、異なる速度条件で測定した水準と5m平面性変位(5m間の水準の変化量)の結果を図14に示します。図14より、2回の測定値はおおむね重なり、平面性変位の再現性は目標精度である1.0mm以下であることを確認しました。

これまでに行った走行試験の結果から、本装置は40km/hまでの速度であれば、軌間および平面性変位を在来線の軌道検測車と同等の精度で検出できることがわかりました。

おわりに

軌道状態を原因とする脱線事故を防

止するためには、車両走行時の軌道の変形(動的値)を診ることが有効です。ここでは、現在よりも低コストに軌間と平面性変位の動的値を把握するために開発を進めている動的軌間・平面性測定装置について、概要とこれまでに得られた試験結果を紹介しました。

本装置では、測定できる軌道変位の測定項目が限られているため、軌道変位検査の置き換えにはなりません。そのため、保守用車などを用いた普段の作業に合わせて、オペレーターを必要とせずに測定することを目指しています。今後は、さらなる検測性能の向上を図るとともに、遠隔操作の機能追加など、現場での使用性を向上する取り組みを行っていきます。[RRR]

文献

- 1) 鉄道総合技術研究所鉄道技術推進センター：鉄道構造物等維持管理標準(軌道編)の手引き、鉄道総合技術研究所、2007
- 2) 坪川洋友、石川智行、塩野幸策：保守用車に搭載可能な動的軌間・平面性測定装置の開発、鉄道総研報告、Vol.31, No.12, pp.47-52, 2017