

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

衛星測位システムを活用して 軌道の検査位置を把握する

軌道の検査結果を保守作業に活用するには、検査位置を正確に特定することが重要です。軌道検測車などの車両を用いて線路に沿って連続的に測定される検査データについては、車輪の回転パルス信号から測定距離を求め、軌道内に設置されたデータデポなどの地上子を用いて位置照合が行われます。一方、貨物ヤード内など地上子の設置が困難な箇所では、この方法を用いることができません。そこで、衛星測位システムによる測位情報を活用して、簡易に軌道の検査データの位置特定と地図上に検査位置を表示するシステムを開発しているので紹介します。



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
前 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

軌道は、車両の通過時に受ける荷重や敷設後の経年により状態が変化します。そのため、鉄道事業者は、軌道状態の変化により車両の走行安全性や乗り心地を損ねないように、軌道を定期的に検査して状態を把握し、検査結果に基づいて軌道整備や軌道部材の交換などの保守作業を行う必要があります。

軌道の検査結果を保守作業に活用するには、検査位置を正確に把握することが重要です。分岐器などの軌道部材の検査については、結果の記録表に各部材の検査項目とともに検査位置〔キ

ロ程（☞参照）〕・「構内の情報」などを記載することにより、検査位置を特定できます。一方、軌道変位（☞参照）や車両動揺のように、軌道検測車などの車両を用いて線路に沿って連続的に測定される検査データについては、路線、番線、キロ程などの位置情報を付与する必要があります。ここでは、衛星測位システム（Navigation Satellite System）による測位情報を活用した軌道の検査位置を特定する方法の概要と、走行試験による測位精度の検証結果、および今後の展開について紹介します。

☞ キロ程

各路線の起点からの線路延長のことを「キロ程」といいます。高架化などによって線路を付け替えると線路延長が変更となりますが、長くなる場合はキロ程を重複（重キロ）、短くなる場合はキロ程を中断（断キロ）させ、キロ程の変更が線路全体に及ばないようにしています。

☞ 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。

従来の軌道検測車などによる 検査位置の特定方法

まず、軌道検測車で行われている軌道の検査位置の特定方法を説明します。車両を用いた検査を実施している鉄道事業者の多くは、軌道内に図1に示すデータデポなどのセンサー（以下、「地上子」という。）を設置してキロ程を管理し、地上子からの距離を求めることで検査位置を特定します。

図2に、地上子を用いて検査データに位置情報を付与する方法の概念を示します。軌道検測車では、車輪の回転

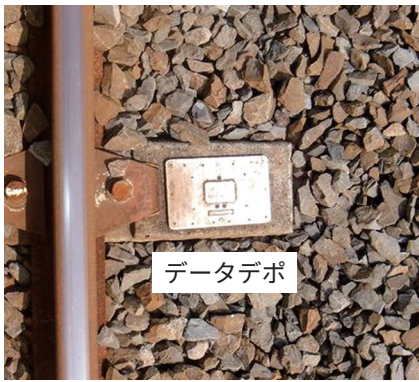


図1 データデポ

パルス信号を処理して走行距離を求め、一定間隔の軌道変位の検査データを作成しています。一見、この検査データは位置が特定できているように見えますが、車輪の空転や滑走により回転パルス信号が乱れると、わずかな位置のずれが生じます。そこで、軌道検測車の床下にデータデポなどの車上子を搭載して、軌道検測車が地上子の設置位置を通過したことを示す検知信号と検査データとの同期をとることで、わずかな位置ずれを補正して、検査データにキロ程を付与しています¹⁾。また、複数の番線がある駅構内などでは、軌道検測車の走行経路の確認や、地上子に番線情報を付与することによって、検査した番線を特定しています。

衛星測位システムによる測位方法²⁾

通常、軌道検測車を所有していない鉄道事業者や、貨物ヤード、車両基地などには地上子が設置されていません。また、近年では軌道状態の測定に営業車両や保守用車を活用するケースが増えていますが、これらの車両には車上子が設置されていないことが多いため、軌道検測車と同じ方法による検査位置の特定はできません。そこで、地上子や車上子の整備を行わずに、より簡単に軌道の検査位置を特定する方法として、衛星測位システムの活用を検討しています。

衛星測位システムとは、複数の人

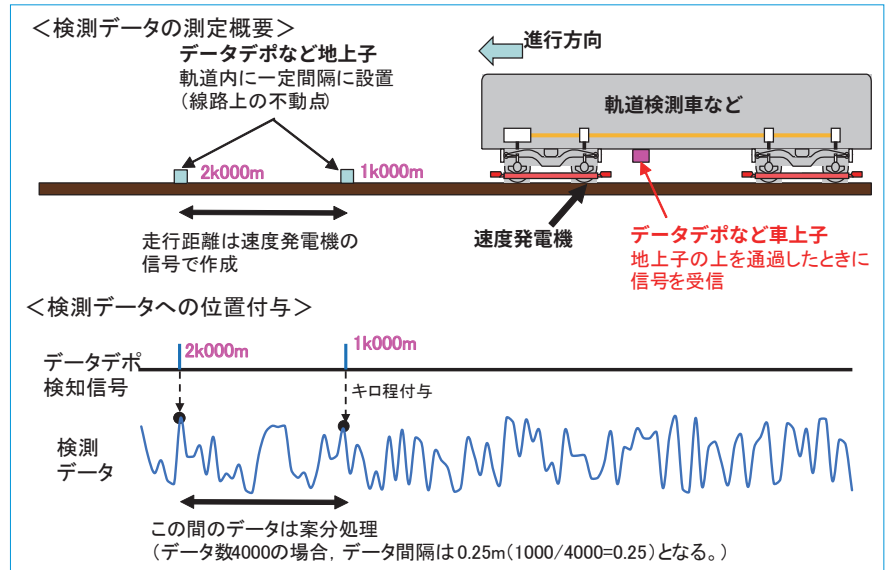


図2 地上子を用いた検査データへの位置情報の付与の概念図

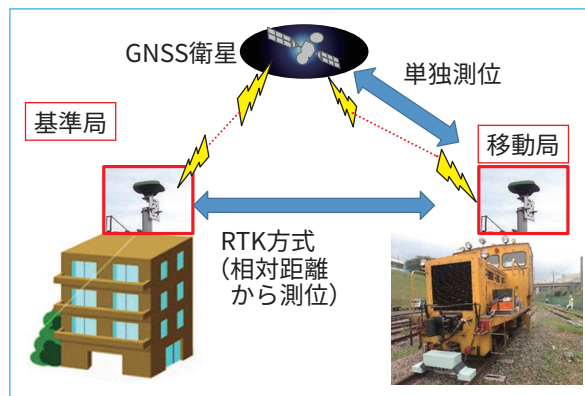


図3 衛星測位システムによる測位

工衛星から発信された信号を地上で受信し、信号の遅延の差を利用して緯度経度を計測（以下、「測位」という。）するシステムのことです。衛星測位システムは、全地球を利用可能範囲とする全球測位衛星システム（GNSS：Global Navigation Satellite System）と、特定地域向けの地域測位衛星システム（RNSS：Regional Navigation Satellite System）に分類されます。GNSSには、GPS（米国）、GLONASS（ロシア）、Galileo（欧州）、BeiDou（中国）があり、RNSSには準天頂衛星システムQZSS「みちびき」（日本）、IRNSS（インド）があります。

衛星測位システムによる測位方法には、単独測位と相対測位があります。単独測位は、1台のアンテナによって測位を行う方法であり、相対測位は、複数のアンテナで4個以上のGNSS衛星



図4 GNSSアンテナ

を同時に観測してアンテナ間の相対的な位置関係により測位を行う方法です。また、相対測位については、RTK方式（干渉測位ともいい、複数のアンテナと衛星との距離の差を搬送波の位相により求め、アンテナ間の相対位置を決定する方法）とD-GPS方式（ディファレンシャル測位ともいい、複数のアンテナで単独測位を行ってそれぞれの位置情報から相対位置を求める方法）に分けられます。ここでは、図3に示す単独測位とRTK方式による相対測位の測位精度の比較検証を行いました。

測位精度の検証試験の概要

測位精度の検証試験に使用した単独測位用とRTK方式用のGNSSアンテナを図4に示します。この2種類のアンテナをモーター車の屋根上に取り付

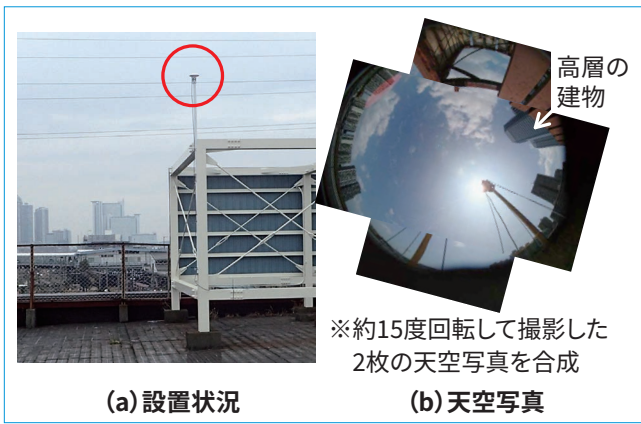


図5 RTK方式の基準局のアンテナ設置状況

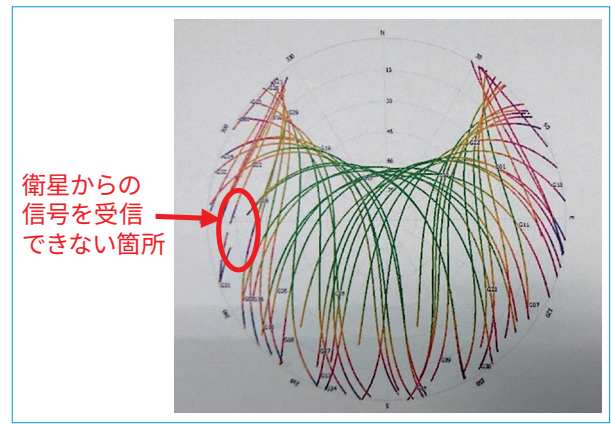


図6 基準局における1日の衛星軌跡図



図7 試験区間の空中写真とモーターカーの走行経路 (写真はGoogle mapより抜粋)

けて、モーターカーの走行経路を測位しました。RTK方式については、試験実施箇所から約29km離れた事務所の屋上に図5のように基準局のアンテナを設置しました。なお、本試験ではGNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) の衛星測位システムの信号を受信できるアンテナを選定しています。RTK方式では、人工衛星から発信された信号を、基準局のアンテナで安定して受信できることが重要です。本試験で使用した基準局のアンテナの1日の衛星軌跡図を図6に示します。図5 (b) に示す天空写真でも確認できるように、基準局の周辺にある高層の建物の影響で衛星からの信号を受信できない箇所が一部存在していますが、同地点における衛星の受信状況はおおむね良好であることがわかります。

測位精度の検証試験を実施した区間の空中写真を図7に示します。本試験では、図の点線の区間を4回往復走行し、測位誤差を検証しました。

測位精度の検証試験結果

図8に検証区間における測位結果を

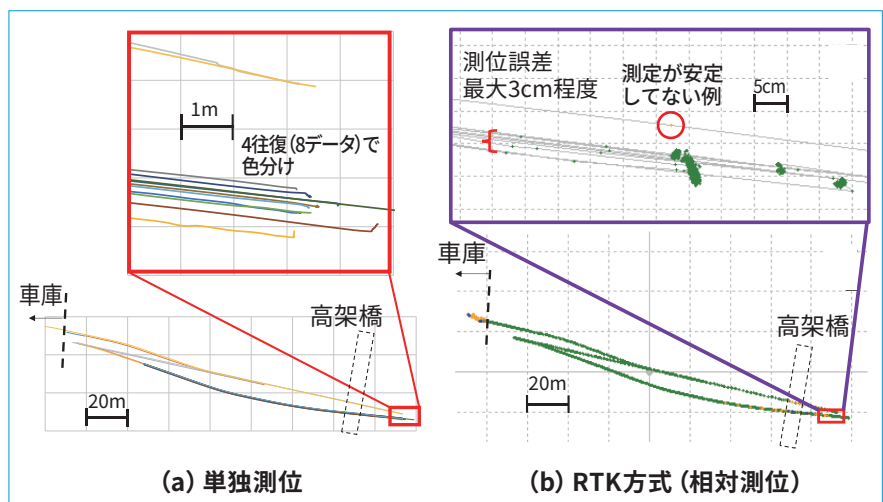


図8 GNSSによる測位結果

示します。図8 (a) の単独測位については、緯度、経度から平面直角座標系に変換してプロットした結果は、線路の線形をおおむねとらえることができます。しかし、往復走行の折り返し区間を拡大すると、測位データには最大で1m程度の差があります。

図8 (b) のRTK方式による測位については、GNSS測位プログラムパッケージで分析しました。本ソフトにおいて、緑色の点はRTK方式による相対測位が正しく行えた地点、赤色

や黄色の点はRTK方式による測位が不安定な地点であることを意味します。図8 (b) において、衛星からの信号が遮断される車庫内を除くと、高架橋 (幅員9m) 付近以外では正しく測位できていることがわかります。往復走行の折り返し区間を拡大すると、赤丸で囲った区間に1点のみデータが生じていましたが、これを除くと測位データは3cm程度の差に収まっています。また、モーターカーは折り返し地点において5分程度停止していましたが、停



図9 高架橋付近におけるRTK方式による測位結果(写真はGoogle Earthより抜粋)

止時間内の測位データは、約5cmの範囲にあるという結果が得られました。

軌道検測車による軌道変位の検査データが25cm間隔であることを考慮すると、RTK方式による測位は軌道の検査位置の把握に有効であると考えられます。

軌道の検査位置の視覚化

貨物ヤードや車両基地には多くの分岐器が敷設されて複数の番線があるため、検査した番線や区間を区別する必要があります。不安定な測位データが見られた高架橋付近のRTK方式による測位データを、Google Earth上に表示した結果を図9に示します。測位データを地図上に表示することにより、車両の走行経路や軌道の検査位置や検査範囲を視覚的に把握することができます。ここで、幅員9mの高架橋の真下付近では黄色の不安定な測位データが見られますが、走行した経路は線路上にプロットされており、測位への影響は小さいことがわかります。鉄道は線路という専用の交通路を持っており、貨物ヤードや車両基地などの線路上空には衛星からの信号を遮断する建物は少ないため、都市部に比べて衛星測位システムによる測位を安定して行える

と考えられます。

測位の信頼性向上方法

検証試験の結果、RTK方式による測位は5cm以内の精度を実現でき、軌道の検査位置の特定に活用できる可能性が示されました。しかし、衛星測位システムによる測位は、衛星からアンテナまでの間に高層ビルなどの障害物などが存在し、衛星とアンテナ間の信号の経路が2つ以上となるマルチパスなどの影響を受けた際には、測位精度が低下することが知られています。そこで、測位精度の信頼性を向上するために、車両や検査装置から得られるほかのデータを組み合わせて補正することが考えられます。

たとえば、測位データと車両の車輪の回転パルス信号からは、車両の走行距離と速度をそれぞれ求めることができます。上述したとおり、測位データにはマルチパスなどによる誤差が、回転パルス信号には車輪の空転・滑走による誤差が生じますが、誤差の要因が異なるため、両者のデータの関係进行分析することで不安定なデータを除去することができると考えられます。このように、従来の軌道の検査で測定しているデータを有効に活用し、信頼性が

高く、利用範囲の広い軌道の検査位置の特定システムの開発を進めていきます。

おわりに

ここでは、衛星測位システムを活用した軌道の検査位置の特定方法について紹介しました。衛星測位システムによる測位データは、適切に測定・分析することにより、簡易かつ高精度に軌道の検査位置を把握することができる可能性があります。

日本では2018年11月からQZSSの高精度測位サービスの提供が始まり、鉄道分野でのさらなる活用が期待されます。

今後は、鉄道の環境におけるQZSSの精度検証や測位データ以外のデータを用いた測位の精度や信頼性を向上する方法を検討し、実用化を図ります。

RRR

文献

- 1) 古川敦：パソコンで軌道を管理するーLABOCSの開発ー, RRR, Vol.73, No.6, 2016
- 2) 坪川洋友, 石川智行, 岡本学：GNSSを活用した軌道検査の測定位置の把握法, 2020年度土木学会全国大会 第75回年次学術講演会, 2020