

保守後の軌道の支持状態を診る

バラスト軌道では、つき固め保守を行った後に、一般に静的な軌道検測を行って施工管理を行います。しかし、つき固め保守の程度を軌道の支持剛性などの力学的な観点から施工管理できれば、まくらぎの支持状態を向上でき、保守周期の延伸が期待できます。また、路盤下工事や災害復旧後の列車を走らせる前に、支持状態を測定して安全性を確認することができます。そこで、つき固め保守後の軌道の支持状態を力学的に評価する手法および軌道の支持状態を評価する試験装置として開発した「軌道支持剛性測定装置 (RFWD)」を紹介します。



中村 貴久
Takahisa Nakamura
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
主任研究員
[専門分野] バラスト軌道、地盤工学



桃谷 尚嗣
Yoshitsugu Momoya
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
室長
[専門分野] バラスト軌道、省力化軌道、地盤工学



谷川 光
Hikaru Tanigawa
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
研究員
[専門分野] 直結系軌道、バラスト軌道、コンクリート工学

はじめに

バラスト軌道は、列車による繰り返し荷重が作用することで、レールを支持しているまくらぎ下のバラストが沈下してレールに相対変位（軌道変位）が生じるため、タイタンパーを用いたつき固めによる保守作業を定期的に行う必要があります（図1）。保守作業後の施工管理は、一般的に静的な軌道検測（図2参照）により行いますが、つき固めの程度にばらつきがあると、列車の繰り返し荷重ですぐに軌道変位が大きくなります。また、動的な軌道検測（図3参照）を行っていない区間では、列車の走行安全性の観点から浮きまくらぎを検出する手法が求められていました。つき固めの程度を軌道支持剛性の力学的な観点から管理すること

ができれば、軌道変位進みを抑制でき、保守量の低減が期待できると考えられます。

ここでは、つき固め保守後の仕上がりの状態や浮きまくらぎによる支持状態の不良箇所を力学的に評価する手法および簡易かつ迅速に軌道支持剛性を測定する装置を紹介します。

軌道支持剛性の評価方法

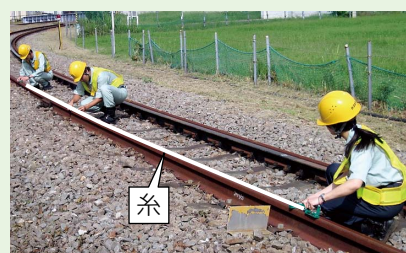
現地にて定量的かつ簡易に軌道支持剛性を測定するため、小型FWDを用いた評価方法を開発しました（図2）。小型FWDはおもに舗装の健全度診断や盛土の締め固め管理などに用いられてきたものです¹⁾。本評価方法は、レールもしくはまくらぎ上で小型FWDによる重錘落下試験を行い、小型FWD

静的な軌道検測

列車荷重を載荷しない状態で軌道変位を測定することです。一般的には糸もしくは専用機器を用いて測定します。

動的な軌道検測

列車荷重を載荷した状態の軌道変位を測定することです。一般的には軌道検測車により測定します。



静的な軌道検測の状況



図1 つき固め補修状況



図2 軌道支持剛性の測定状況の例

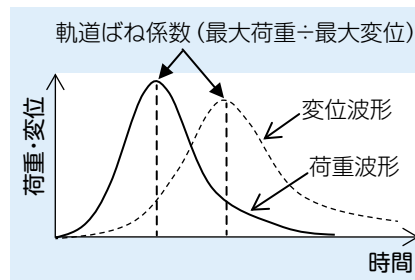


図3 軌道支持剛性の測定結果の例

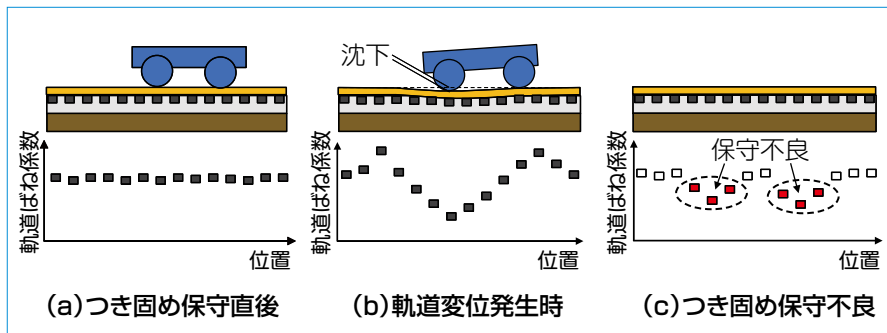


図4 軌道状態と軌道ばね係数の分布のイメージ

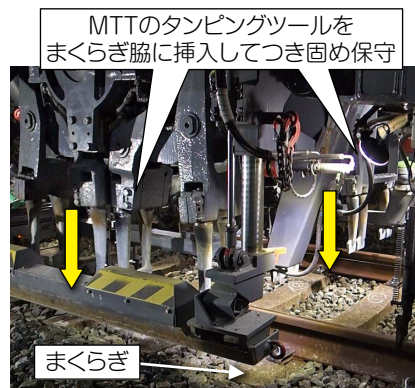


図5 MTTによるつき固め作業状況

に内蔵された荷重計および加速度計より得られる最大荷重と最大変位より軌道ばね係数を算定して、各まくらぎの支持状態を評価するものです(図3)。

軌道ばね係数と軌道の変形状況のイメージを図4に示します。タイタンパーを用いたつき固め保守直後の支持状態はおおむね均一な分布形状となります(図4(a))。その後、列車による繰り返し载荷により軌道変位が増大すると、もっとも軌道変位が大きい箇所を中心に軌道ばね係数が下に凸の分布形状となります(図4(b))。また、つき固め保守作業が不十分な箇所があった場合に、軌道ばね係数が小さくなります(図4(c))。以上のように、本評価方法を用いて、現地で軌道ばね係数を定量的に評価することにより、現状の軌道の支持状態やつき固め保守作業後の支持状態を確認することができます。

分布形状となります(図4(a))。その後、列車による繰り返し载荷により軌道変位が増大すると、もっとも軌道変位が大きい箇所を中心に軌道ばね係数が下に凸の分布形状となります(図4(b))。また、つき固め保守作業が不十分な箇所があった場合に、軌道ばね係数が小さくなります(図4(c))。以上のように、本評価方法を用いて、現地で軌道ばね係数を定量的に評価することにより、現状の軌道の支持状態やつき固め保守作業後の支持状態を確認することができます。

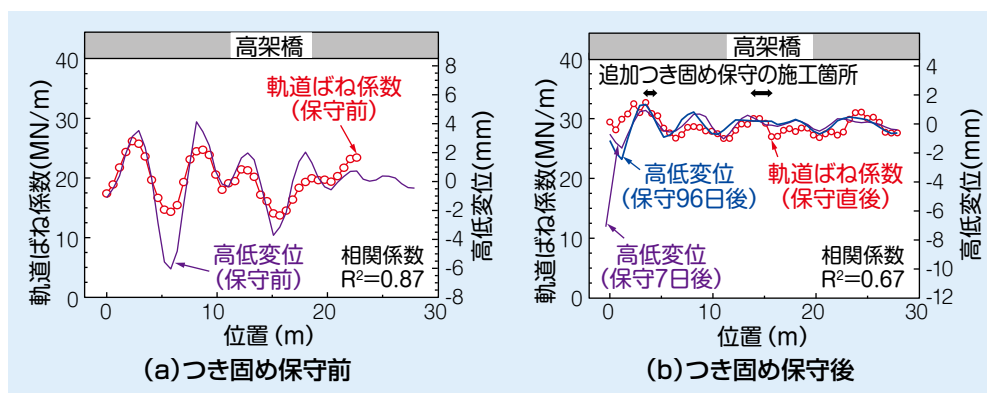


図6 軌道ばね係数の分布と高低変位の関係

軌道支持剛性の現地測定試験

つき固め保守作業後の軌道ばね係数がその後の軌道変位進みに与える影響を検討するため、現地にて測定試験を実施しました。軌道ばね係数の測定は、小型FWDを用いて各まくらぎの端部で行い、測定延長はまくらぎ本数40本分としました。測定はマルチプルトイタンパー(以下、MTT)によるつき固め保守の前後に実施しました(図5)。軌道諸元は、レール種別が60kgレールのロングレール、まくらぎ種別がPCまくらぎ、道床厚が200mmの曲

線区間であり、構造物は高架橋です。

軌道ばね係数と軌道変位の関係

図6(a)につき固め保守前の高低変位と軌道ばね係数の関係を示します。高低変位が大きい位置5m付近および位置15m付近において軌道ばね係数が小さく、高低変位と軌道ばね係数の分布形状が類似していることがわかります。また、軌道ばね係数は、平均が20MN/m程度、片振幅が最大8MN/m程度でした。

図6(b)につき固め保守後の高低変位と軌道ばね係数の関係を示しま

す。なお、本評価方法を用いて、つき固め保守の効果をより長く持続させる方法を検討するため、つき固め保守後の支持状態を評価したうえで、軌道ばね係数の小さい箇所を追加でつき固め保守して、その後の沈下進みを評価しました。MTTによる通常のつき固め保守では、MTTのタンピングツールをまくらぎ脇に挿入してまくらぎ下にバラストをつき込む作業を行います(図5)。追加のつき固め保守では、つき固めにより軌道が過度にこう上しないように、タンピングツールをまくらぎ脇から挿入する作業のみを実施しました。その結果、軌道ばね係数はおおむね30MN/mで均一となり、片振幅が2~3MN/mとなったことから、つき固め保守前後において、軌道支持剛性が均一かつ全体的に向上し、支持剛性のばらつきが小さくなることを確認しました。

図7に追加でつき固め保守を行った箇所の高低変位進みを示します。従来の方法でつき固め保守を行った場合よりも、高低変位進みを抑制できることを確認しました。

軌道支持剛性測定装置(RFWD)

小型FWDは人力で容易に持ち運びができることから、局所的な軌道支持剛性を測定するには適していますが、MTTによるつき固め保守を実施した全延長に対して測定するには、測定の速度が遅く、また、作業者が人力で重錘を持ち上げる必要があることから、作業者の負担が大きくなります。そこで、測定速度を向上させるとともに自動で重錘を落下させて測定・収録が可能な軌道支持剛性の測定装置(RFWD)を開発しました(図8)。RFWDは、載荷機構、制御装置および制御・収録用PCからなり、短時間

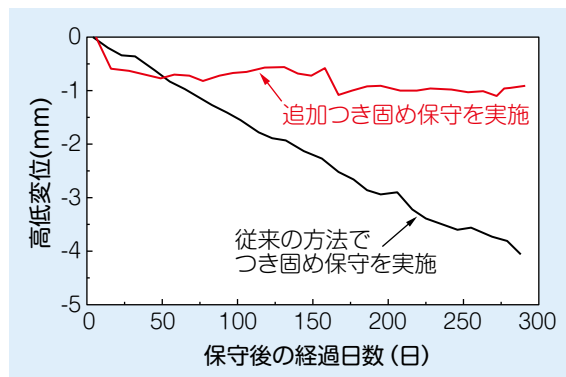


図7 追加つき固め保守による高低変位進み



図8 RFWDの外観



図9 RFWDの組み立て状況

で組み立てて軌道に載線することができます。載荷機構は二つのユニットからなり、最大40kN (20kN/ユニット)の荷重を軌道に作用させることができます。また、人力で本装置の運搬ができるように、組み立ておよび取り外しが簡易な構造とし、各パーツを50kg以下とし、30kgを超えるパーツは取っ手を設置して複数人で運搬できるようにしました(図9)。測定時間を短縮するため、載荷機構および制御収録プログラムを簡素化し、実軌道上で測定を行った結果、まくらぎ1本あたり11秒で測定できることを確認しました。測定からデータ収録までを一人に対応でき、収録データを現場で分析できるプログラムを搭載しています。走行機構は、市販の軽便トロを改造したものであり、現場の軌道上で測定するにあたって、必要な電気絶縁抵抗およびブ

レーキ性能などを満足していることを確認しています。

RFWDを用いた浮きまくらぎ箇所の軌道支持剛性評価方法

浮きまくらぎとなっていないまくらぎは、荷重-変位関係の傾きがおおむね線形となりますが、列車荷重の繰り返し載荷によって、まくらぎ下に隙間が生じた箇所(浮きまくらぎ)では、荷重レベルが列車荷重よりも小さい場合に荷重-変位関係の傾きが小さくなり、列車荷重レベルの場合と傾きが異なります(図10)。そのため、RFWDの作用荷重20kNでは、列車荷重レベルの軌道ばね係数を過小評価することとなります。そこで、浮きまくらぎ箇所の列車荷重レベルと、浮いていないまくらぎ箇所の荷重-変位関係の傾きがおおむね同等となる性質を利用して、RFWDで求めた軌道ばね係数を補正

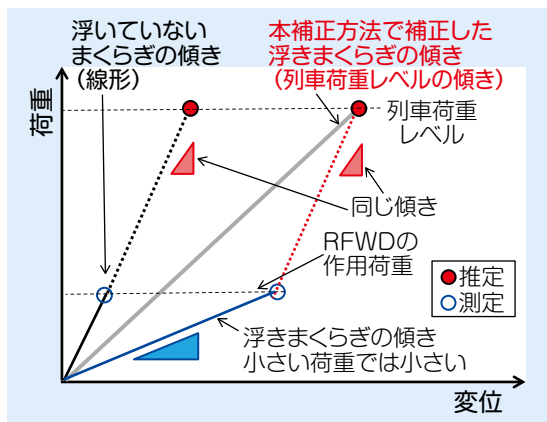


図10 軌道ばね係数の補正方法

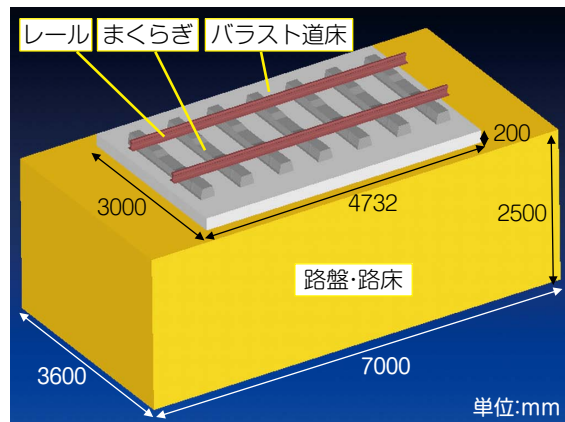


図12 路盤剛性の評価方法の解析モデル

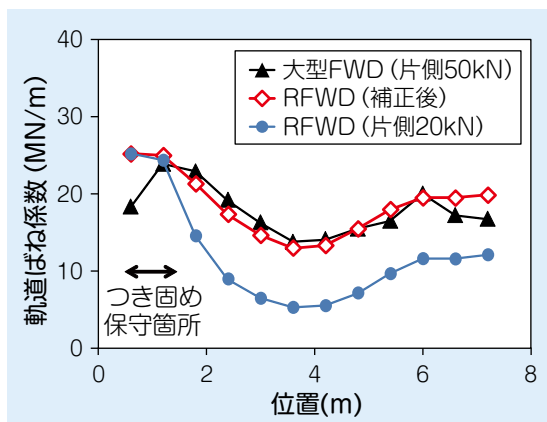


図11 補正した軌道ばね係数の分布

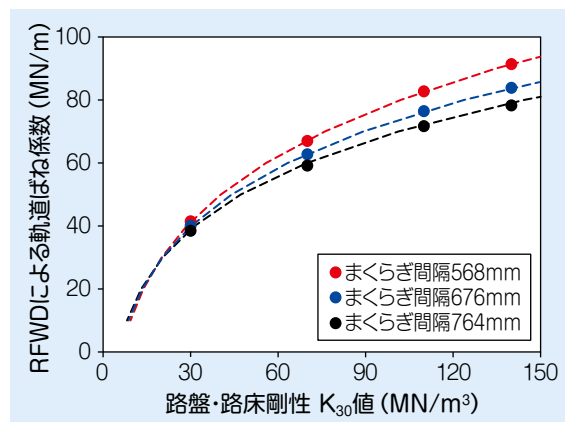


図13 路盤・路床の剛性と軌道ばね係数の関係

する方法を考案しました(図10)。

本補正方法の妥当性を検討するために、列車荷重レベルの荷重を作用させることができる載荷装置(大型FWD)を用いて、軌道ばね係数を測定し、RFWDの補正方法と比較・検討しました。その結果、図11に示すように、本補正方法でRFWDの測定値を補正することにより、大型FWDで得られた列車荷重レベルの軌道ばね係数とおおむね同等になることを確認しました。

RFWDを用いた路盤剛性の評価方法

RFWDで得られた軌道ばね係数から路盤剛性を評価するため、図12に示す解析モデルを用いてFEM解析を実施し、軌道ばね係数から路盤・路床の剛性を推定する方法を検討しました。解析条件として、浮きまくらぎが生じていないつき固め保守直後の支持状態を想定したものとしました。

図13に路盤・路床の剛性と軌道ばね係数の関係および回帰線を示します。路盤・路床の剛性が高くなると軌道ばね係数も高くなり、まくらぎ間隔が狭いと、路盤・路床の剛性が高いほど軌道ばね係数が高くなるのがわかります。本解析結果より、軌道ばね係数が路盤・路床剛性の影響を強く受けることから、各種軌道条件の解析条件で路盤・路床の剛性と軌道ばね係数の関係を求めることで、RFWDで得られる軌道ばね係数より、軌道直下の路盤・路床の剛性を推定できます。

おわりに

ここでは、まくらぎ下の支持状態を軌道上で定量的に評価する方法および軌道支持剛性を評価するための装置を紹介しました。軌道支持剛性を活用することで、つき固め保守作業によ

る軌道の支持状態を検討するだけでなく、軌道沈下進みに影響を及ぼす路盤剛性²⁾を評価することで、効率的な保守計画を策定することが可能となります。

今後も保守コストの低減を目指して、軌道支持剛性の測定の精度や信頼性をこれまで以上に高めていきたいと考えています。

なお、本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。**RRR**

文 献

- 1) 土木学会舗装工学委員会編：FWDおよび小型FWD運用の手引き，土木学会，2002
- 2) 関根悦夫，村本勝己：営業線路盤の支持力特性に関する研究，鉄道総研報告，Vol.9，No.7，pp.19-24，1995