

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

軌道と路盤の挙動を評価できる試験装置

軌道および路盤の設計や沈下対策工の開発を行うためには、列車荷重による軌道や路盤の挙動を定量的に評価する必要があります。そのための有力な手法として、実物大の軌道および路盤模型に対する载荷試験を行っています。ここでは、主にバラスト軌道および路盤の挙動を評価するための試験装置として、「総合路盤試験装置」、「载荷方向可変式起振機」および「軌道支持剛性測定装置 (RFWD)」について紹介するとともに、それらの試験装置を用いた研究開発の事例を紹介します。



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、路盤・路床

はじめに

バラスト軌道上を列車が走行すると、軌道には弾性的な変形が生じるとともに、荷重が繰り返し作用することにより、塑性的な変形も生じます。この塑性的な変形が蓄積することにより軌道の沈下が生じますが、その沈下量は軌道の延長方向に均一ではないため、軌道変位（軌道の不整）となって現れます。軌道変位は乗り心地や走行安全性に悪影響を与えるため、つき固めなどによる定期的な保守作業が必要になります。

軌道の変形には、バラスト・路盤・路床の剛性や強度が影響しますが、これらはそれぞれ土質材料としてさまざまな力学特性を有しています。

バラスト層だけで見ても、粒度のそろった新しいバラストと、経年して細粒分の含有率が高くなったバラストで

は力学特性が大きく異なります。細粒分含有率が高いバラストは含水比によっても変形特性が異なり、細粒分が多く、含水比も高い場合は噴泥（ハネ参照）を生じることもあります。路盤、路床の力学特性も地盤材料の種別により大きく異なります。

また、軌道は複数のまくらぎが荷重の支持点となる複雑な構造であり、列車荷重によって変形が進むと、それぞれのまくらぎが受ける荷重は不規則に変化します。

このように、バラスト軌道の変形は材料的・構造的な要因が複合して影響する複雑な現象であるため、バラスト軌道の変形特性を完全には予測できないのが現状です。

バラスト軌道の変形をシミュレートするための数値解析的なアプローチも進んでいますが、材料特性、動的応答特性、幾何学的な境界条件の変化を再現した上で、数百万回の繰り返し载荷による沈下変形を評価するのは簡単ではありません。

そのため、バラスト軌道の設計や沈下対策工の開発を行うための研究開発では、実際の軌道を用いた実物大試験

噴泥

バラストの劣化した箇所が降雨などにより滞水すると、列車通過時のまくらぎの動的変位にともなって、泥土が噴出する現象が見られます。これを噴泥と呼びます。

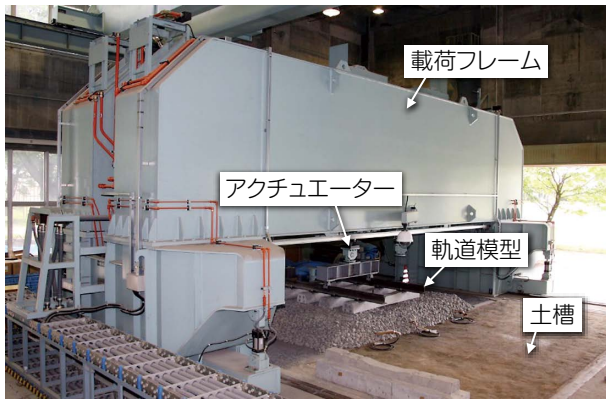


図1 総合路盤試験装置

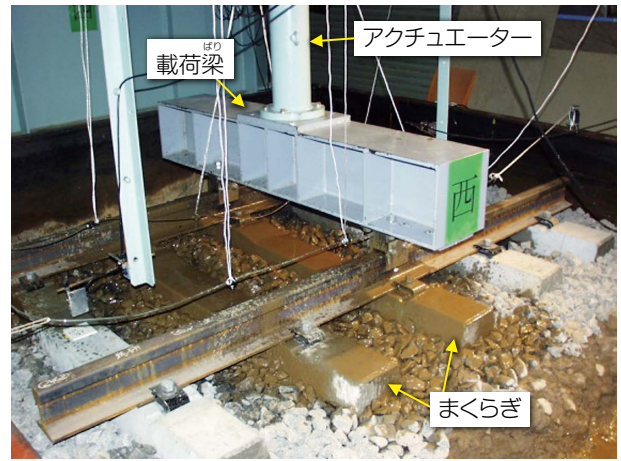


図3 噴泥現象の再現試験

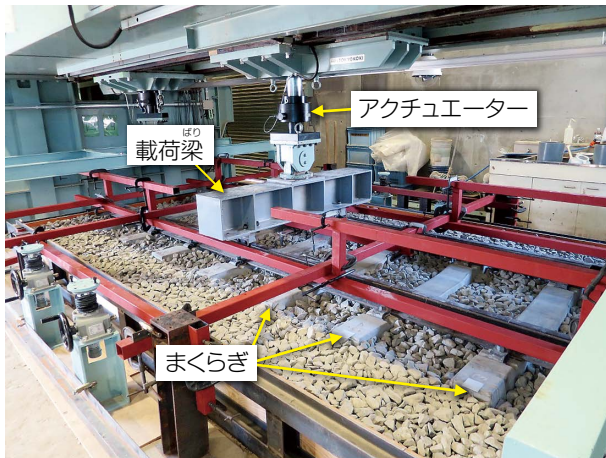


図2 バラスト軌道に対する繰り返し载荷試験

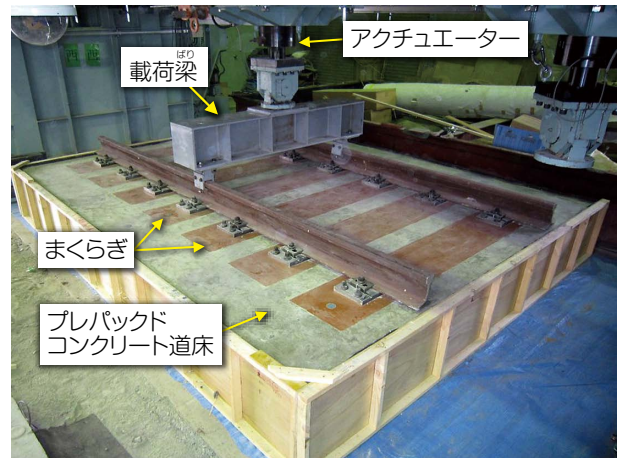


図4 省力化軌道に対する繰り返し载荷試験

を行うのが現時点では最も現実的で効果的な方法だといえます。

軌道は盛土や高架橋などの規模の大きな構造物とは異なり、実物大の軌道を試験室内で構築して载荷試験を行うことが比較的容易であることも、実物大試験が効果的であることの大きな理由の一つです。

ここでは、バラスト軌道、路盤および路床の変形特性を評価するための試験装置として、「総合路盤試験装置」、「载荷方向可変式起振機」および「軌道支持剛性測定装置 (RFWD)」を紹介いたします。また、これらの試験装置を用いた研究開発の事例を紹介いたします。

総合路盤試験装置

総合路盤試験装置 (図1) は、実物大の軌道、路盤および路床の模型に対して、列車に相当する大きさの荷重を

繰り返し与えることのできる試験装置です。油圧のアクチュエーターを2基有しており、それぞれ静的に最大300kN、動的に250kNの荷重を与えることができます。载荷周波数は最大40Hzです。

総合路盤試験装置には長さ7m、幅3.5m、深さ2.5mの土槽が4つあり、試験の目的に応じてそれぞれの土槽内に路床、路盤および軌道を構築します。たとえば、軟弱路盤上の噴泥現象に関する研究を行う場合は、粘性土の路床・路盤を構築しますし、新設線路盤上の軌道の変形特性を評価する場合は、礫質砂などによる支持力の高い路床・路盤を構築します。

図2はまくらぎ7本のバラスト軌道に対して繰り返し载荷を行い、その変形特性を評価した試験の状況を示しています¹⁾。この試験では、7本のまく

らぎを有する軌きょう (レールとまくらぎを締結装置を用いてはしご状に構成したもの) の中央のまくらぎの位置で繰り返し载荷を行い、沈下にとまなう軌道支持剛性 (軌道ばね係数) の変化を評価しました。

図3は粘性土の路床・路盤を土槽内に構築し、その上でバラスト軌道の噴泥現象を再現した試験の状況です²⁾。バラスト内に泥土が入り、繰り返し载荷とともに泥土が表面に噴出しているのが確認できます。

図4はプレパックドコンクリートを用いた省力化軌道に対する载荷試験の状況です³⁾。この試験では、新設線用のアスファルト路盤上に敷設したバラスト軌道にグラウトを充てんして、プレパックドコンクリート道床とした省力化軌道の評価を行いました。

総合路盤試験装置は列車荷重に相当

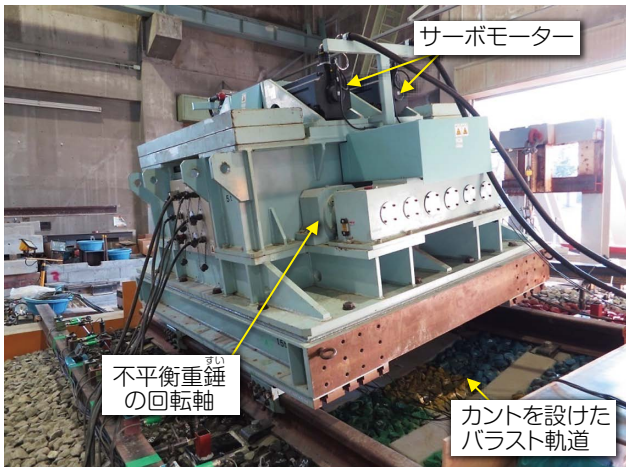


図5 载荷方向可変式起振機

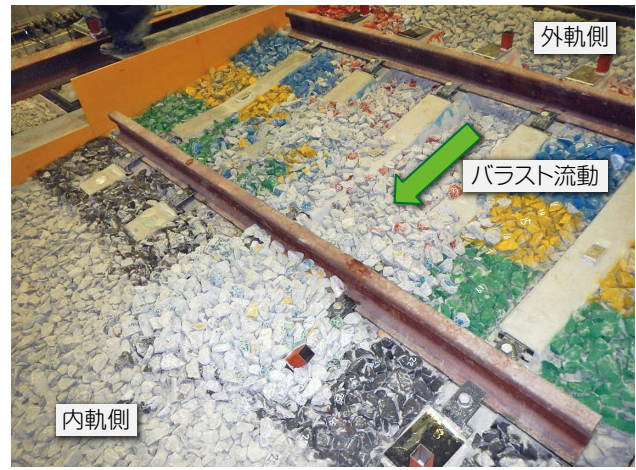


図7 曲線部におけるバラスト流動の再現試験

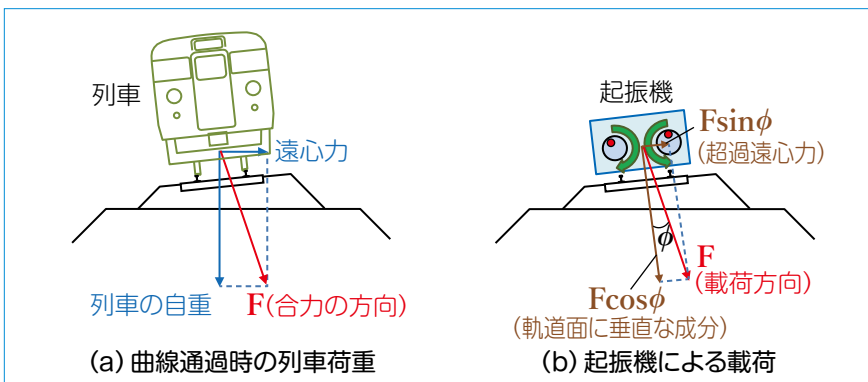


図6 载荷方向可変式起振機による载荷方法

する荷重で繰り返し载荷を行うことができますが、実際には列車は軌道上を走行しています。これまでの研究で、移動荷重で载荷する場合と定点で繰り返し载荷を行う場合では、軌道の変形挙動が異なることがわかっています⁴⁾。このため、実物大試験において、移動荷重を考慮した载荷は今後の課題といえます。

载荷方向可変式起振機

载荷方向可変式起振機(図5)は、不平衡重錘をサーボモーターで回転させ、

☞ 超過遠心力

列車が曲線を通る際に遠心力が働きますが、これを打ち消すために軌道に傾斜(カント)が設けられています。この傾斜で打ち消し切れない成分を超過遠心力と呼びます。

繰り返し荷重を発生させる装置です。サーボモーターの位相を制御することで、载荷方向を鉛直だけでなく、任意の方向にコントロールすることができます。これにより、図6に示すように、曲線通過時の超過遠心力(☞参照)を再現した繰り返し载荷試験を行うことができます。载荷方向可変式起振機は、列車の自重と曲線通過時の遠心力の合力の方向へ加振することで、超過遠心力を再現します。

载荷荷重は最大で±80kN、载荷周波数は最大30Hzです。総合路盤試験装置とは異なり、屋外の試験線や現地での試験も行うことができます。

図7は载荷方向可変式起振機により、曲線部のバラスト流動を再現した試験の状況です。バラスト軌道の曲線部では、このように、バラストが外軌側から内軌側へ向かってバラストが流れる

現象が見られることがあります。载荷方向可変式起振機を用いて、実物大試験でこの現象を再現し、対策工法の開発を行いました⁵⁾。

軌道支持剛性測定装置

軌道支持剛性測定装置RFWD(図8)は、重錘を軌道上に落下させて衝撃荷重を与え、その際の荷重と変位を測定することにより、軌道支持剛性(軌道ばね係数)を求める装置です。この装置を用いることで、浮きまくらぎが生じている箇所や支持力が小さい箇所を判別することができます。

RFWDは重錘落下機構を2基有しており、それぞれのユニットで最大20kNの衝撃荷重を与えることができます。しかしながら、浮きまくらぎが生じている箇所では小さい荷重でもまくらぎが大きく沈むので、荷重-変位の傾きが小さくなり、小さい荷重で測定すると軌道支持剛性を小さく評価してしまうという課題がありました¹⁾。

これに対しては図9に示すように、浮きまくらぎとなっている箇所における列車荷重レベルでの荷重-変位の傾きは、浮きまくらぎとなっていない箇所の荷重-変位の傾きとおおむね等しいという性質を利用して補正する方法を考案しました。この補正方法の妥当性を検証するため、図10に示す大型



図8 軌道支持剛性測定装置(RFWD)

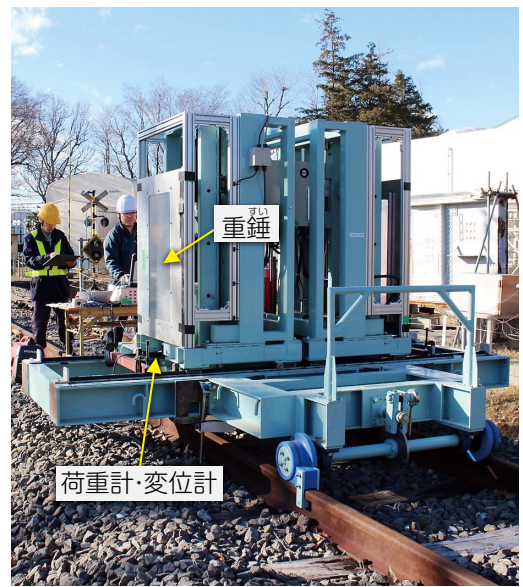


図10 大型FWD

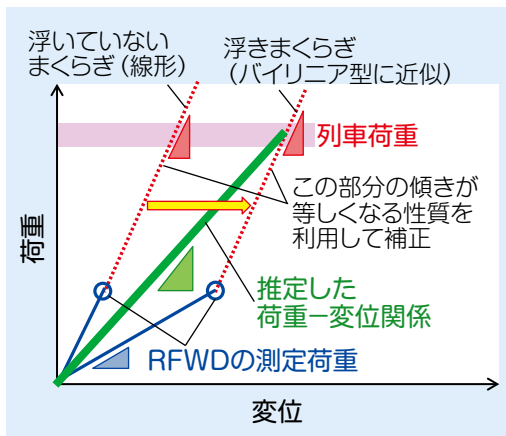


図9 測定値の補正の考え方

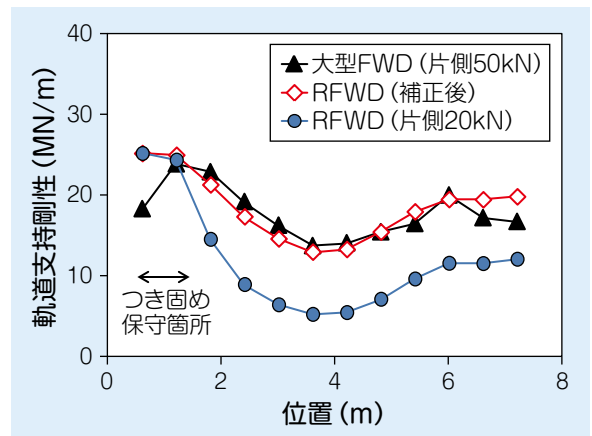


図11 補正した軌道支持剛性

FWDにより列車荷重に相当する荷重(片側50kN)を与えて軌道支持剛性を測定し、RFWDの測定値と比較しました。

その結果、図11に示すように、RFWDでの測定値を補正することで、大型FWDで得られた軌道支持剛性とおおむね等しい値が得られることがわかりました。

RFWDは載荷ユニットを分離できる構造であり、分離した各ユニットは人力で運搬できる重量に抑えられています。そのため、重機などを用いずに現地での測定を行うことができます。

RFWDを活用することで、地震や豪雨などの災害を受けた後、軌道の支持状態に問題がないか、列車の走行に先立って安全性を確認することができ

ます。また、マルチプルタイタンパーなどによるつき固め保守後の支持状態を確認することで、より効果的に軌道のメンテナンスを行うことができると考えられます。

おわりに

ここでは軌道と路盤の挙動を評価できる試験装置を紹介しました。これらの試験装置は研究開発において有効に活用されていますが、それでも現地の軌道の変形挙動を完全に再現できているとはいえません。今後はさらに、移動する列車荷重による載荷を再現できる試験も必要だと考えています。

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) 谷川光, 中村貴久, 桃谷尚嗣: 小型FWDを用いた軌道支持剛性評価法における浮きまくらぎの影響の検討, 鉄道工学シンポジウム論文集, pp.161-168, 2016
- 2) 村本勝己, 中村貴久, 関根悦夫: バラスト軌道の噴泥と列車荷重波形の関係, 第41回地盤工学研究発表会講演集, pp.1075-1076, 2006
- 3) 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣, 伊藤孝記, 洲上翔太, 谷川光: プレバッドコンクリート道床の新幹線への適用に関する検討, 土木学会論文集E1(舗装工学), Vol.71, No.3, p.I_193-I_200, 2015
- 4) 村本勝己, 桃谷尚嗣, 渡辺健治: 道床・路盤上を移動する列車荷重を再現する, RRR, Vol.70, No.8, pp.16-19, 2013
- 5) 野村清順, 桃谷尚嗣, 中村貴久: 高カント曲線部のバラスト流動対策, 日本鉄道施設協会誌, Vol.54, No.4, pp.25-29, 2016