

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

# 軌道の対策で高速走行時の地盤振動を低減する

これまでに、軌道におけるさまざまな振動対策が開発・実用化されており、おもに高架橋区間やトンネル区間に敷設される軌道に適用されています。それらの対策のうち、新設線を対象としてとくに高度な振動対策が必要とされる場合は、フローティングスラブ軌道とよばれる防振軌道が導入される事例がありますが、既設線における振動対策として適用された事例はありませんでした。ここでは、既設線のスラブ軌道と置き換え可能なフローティングスラブ軌道を提案するとともに、それらを高速走行区間に適用した場合の地盤振動の低減効果について検討した内容を紹介します。

## はじめに

現在の新幹線の営業最高速度は320km/hですが、近年、新幹線の走行速度をさらに高速化するための検討が進められています。一方、列車の高速化にともない、周辺へ伝播する騒音や振動が増加する可能性があり、高速化にあたってはこれらの沿線環境に配慮する必要があります。

これまでに、列車の走行時に発生する振動を低減するためにさまざまな防振軌道が開発・実用化されてきました。その中でフローティングスラブ軌道とよばれる防振軌道は、とくに高度な振動対策が求められる場合に採用される軌道であり、一部の区間に導入さ

れています。ここでは、既存の新幹線区間におけるさらなる高速化を想定し、既設線のスラブ軌道(☞参照)と置き換えることが可能なフローティングスラブ軌道の構造を提案するとともに、高速走行時における地盤振動の低減効果について検討した内容を紹介します。

## 軌道における振動対策

外部から力が繰り返し作用する振動を強制振動といいます。このとき、外部に伝わる振動を低減・抑制することを「防振」といい、防振効果には振動する物体の固有振動数(☞参照)が大きく関わっています。なお、詳しい説明は省略しますが、一般に振動体の固



洲上 翔太  
Shota Fuchigami  
軌道技術研究部  
軌道・路盤研究室  
副主任研究員



渡辺 勉  
Tsutomu Watanabe  
鉄道力学研究部  
軌道力学研究室  
主任研究員



横山 秀史  
Hidefumi Yokoyama  
防災技術研究部  
地質研究室  
主任研究員(上級)



高橋 貴蔵  
Takatada Takahashi  
軌道技術研究部  
軌道・路盤研究室  
主任研究員



桃谷 尚嗣  
Yoshitsugu Momoya  
軌道技術研究部  
軌道・路盤研究室長

### ☞ スラブ軌道

軌道スラブとよばれるプレキャストコンクリート版でレールを支持する軌道です。一般にバラスト軌道と比べて軌道に関する保守を省力化することができます。

### ☞ 固有振動数

物体が外部から強制的な力を受けずに、自由に振動しているときの振動数のことです。単位はヘルツ(Hz)で表されます。

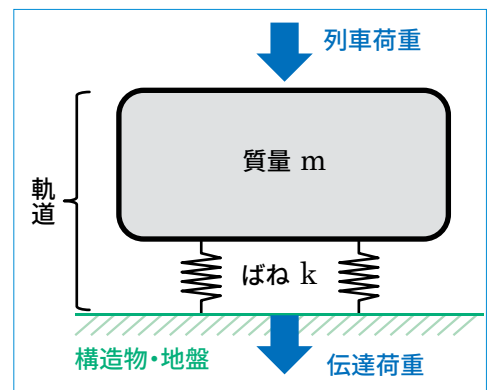


図1 軌道による防振システムのイメージ

表1 軌道による防振対策の例

対策	防振対策の例	概要
①	軌道パッドの低ばね化	軌道パッド（レールを支持する弾性体）を軟らかくして、ばね定数を低減する方法。
②	弾性まくらぎ直結軌道	まくらぎパッド（弾性材）を有するPCまくらぎをコンクリート製の道床で支持する軌道。
	防振スラブ軌道	軌道スラブをスラブマット（弾性材）とCAモルタルで支持するスラブ軌道。スラブマットではなく、低ばね化された軌道パッドを用いる場合もある。
	フローティング・ラダー軌道	プレキャストコンクリート製の縦梁が鋼管でつながれたラダーまくらぎを防振装置または防振材で離散的に支持する軌道。
③	コイルばね防振軌道 (フローティングスラブ軌道)	現場で作製する鉄筋コンクリート製のスラブをコイルばね防振装置で支持する軌道。プレキャストコンクリート版の上に敷設したバラスト軌道をコイルばね防振装置で支持する形式もある。

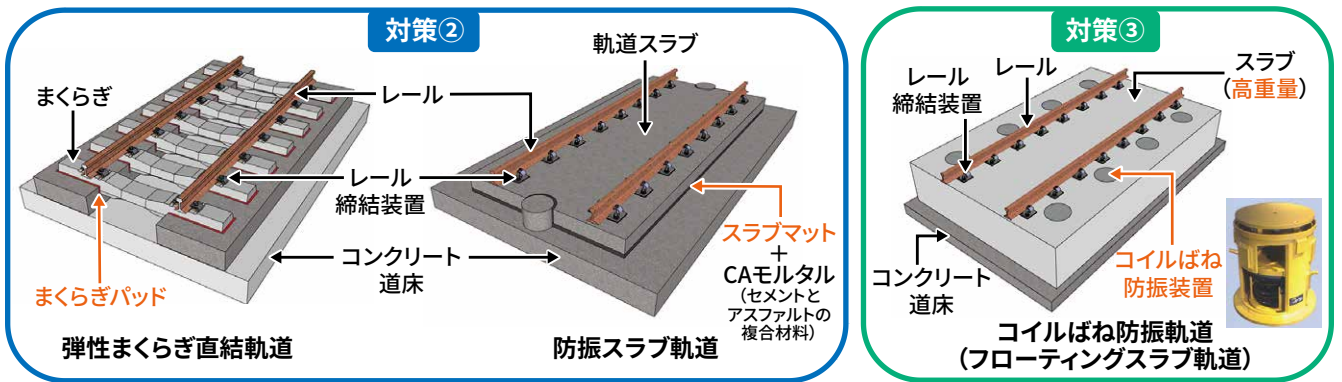


図2 防振軌道の例(対策②および③)

有振動数を小さくすると、外部への振動（地盤振動など）に対して広い周波数帯で振動低減効果が期待されます。ここで、図1に示すように軌道を軌道部材（質量 $m$ ）とそれらを支持するばねやゴムなどの弾性体（ばね定数 $k$ ）で構成される振動体と仮定すると、質量 $m$ を大きくするまたはばね定数 $k$ を小さくすることにより、固有振動数を小さくすることができます。

以上の振動低減に関する基本的な考え方から、一般に軌道における振動対策では軌道の固有振動数を下げることに着目した振動対策が取られてきました。具体的な対策としては、表1および図2に示すように、①軟らかい軌道パッド（レールを支持する弾性体）を用いる方法<sup>1)</sup>、②まくらぎや軌道スラブをまくらぎパッドなどの弾性体で支持する方法（弾性まくらぎ直結軌道<sup>2)</sup>、防振スラブ軌道、フローティング・ラダー軌道<sup>3)</sup>）などがあります。また、ばね定数 $k$ を低下させつつ質量 $m$ を大きくする方法として、③軌道スラブを

コイルばねなどの弾性体で支持+軌道スラブの重量を増加させる方法（フローティングスラブ軌道（コイルばね防振軌道<sup>4)</sup>）があります。これらの技術により、例えば高架橋上に敷設されたスラブ軌道に対して、対策①の場合はおおむね80Hz以上、対策②の場合はおおむね40Hz以上の周波数帯において振動低減効果が得られた実績があります<sup>1)2)3)</sup>。また、対策③は駅ビルでの導入において、おおむね10Hz以上の周波数帯において振動低減効果が確認されています<sup>4)</sup>。

ここで、対策③がもっとも振動低減効果が得られる振動数が広く、軌道の振動対策にはすべてこの対策を適用すれば効果的と考えられます。しかし、対策③は比較的高価な防振装置が必要となること、また目標とする固有振動数を得るために大きな断面を有するスラブが必要となり軌道の重量が一般的な軌道に比べて増加しやすいなどの特徴があります。そのため、現在は住宅や学校、ホテル、駅部の店舗などに隣接

し静穏な環境が求められる新設区間で限定的に用いられているのが実態です。

### 高速区間に対応可能かつ既設線のスラブ軌道と置き換え可能なフローティングスラブ軌道の開発

新幹線における振動対策では、おもに前述した対策①と対策②が採用されています。一方で、新幹線の高速化にともなう周辺環境への影響を考慮すると、これらの既存の対策よりもさらに大きな効果が期待できる対策工が必要となる場合も考えられます。ここで筆者らが着目したのが前述した対策③にあたるフローティングスラブ軌道です。しかしながら、これまでは高速区間への適用性に関する検討がなされていませんでした。また、図2に示すようなスラブの内部にコイルばね防振装置を設置する形式の場合、防振装置の高さよりもスラブの厚さを薄くすることができないためレールの高さが高くなってしまい、既設線のスラブ軌道との置

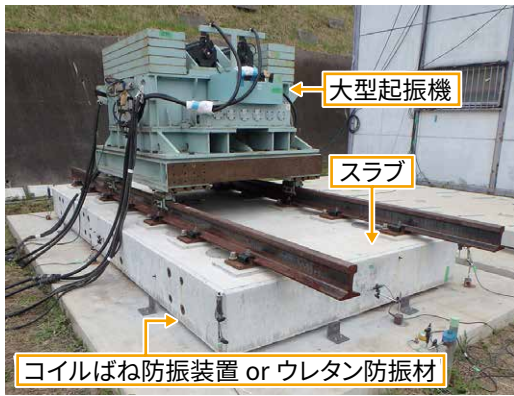


図3 実物大軌道供試体の加振試験

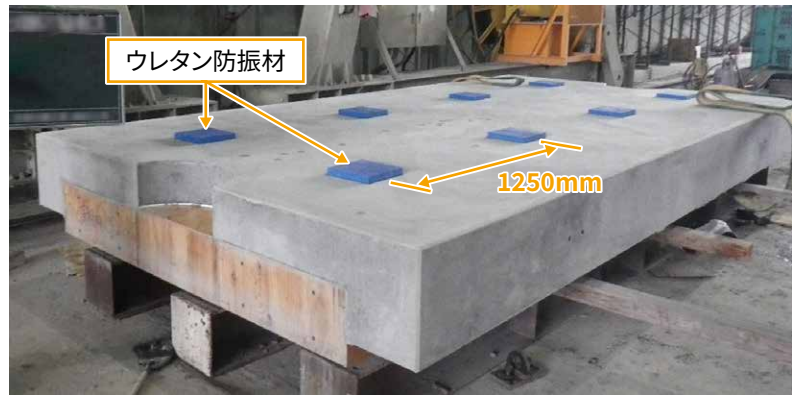


図5 ウレタン防振材の設置(軌道スラブ下面)

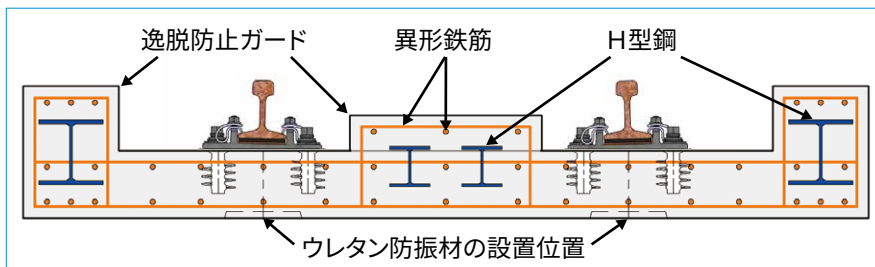


図4 軌道スラブ(SRC構造)の断面図



図6 モーターカー走行試験(日野土木実験所)

き換えが不可能に近いという問題点がありました。そこで、防振部材として任意に形状を変更できるウレタン製の防振材を用いることで、既設線のスラブ軌道と置き換えることが可能なフローティングスラブ軌道の構造を検討

しました。まず、実物大の軌道供試体の加振試験により、防振部材の違いによる地盤振動の低減効果を比較しました(図3)。なお、図3に示すフローティングスラブ軌道のスラブの厚さは40cm(固有

振動数は9.7Hz)であり、事前の試験解析においてスラブの厚さが40cm以上であれば比較的軟弱な地盤上に敷設された高架橋区間においても、速度向上時の地盤振動は現状のレベル以下となる可能性があることが確認されています<sup>5)</sup>。起振機による加振試験の結果、同じばね定数のコイルばね防振装置とウレタン防振材を用いたフローティングスラブ軌道は、おおむね同等の地盤振動低減効果を示すことを確認しました<sup>6)</sup>。

次に、フローティングスラブ軌道用の軌道スラブ(プレキャスト製)を設計・製作しました。軌道スラブは内部に異形鉄筋とH型鋼を配置したSRC(鉄骨鉄筋コンクリート)構造とすることで、図3に示した高重量化された矩形のスラブと同等の曲げ剛性(部材の曲げ変形のしにくさを表す指標)および質量を確保しました(図4)。また、軌道スラブの上面を凹凸形状としているため、レールの高さを変えずに既設線のスラブ軌道と置き換えることが可能です。さらに、凸部は逸脱防止ガード(参照)としての機能をもたせました。ウレタン防振材は左右レール下の軌道スラブ下面に1250mm間隔(レールの長手方向)で配置されます(図5)。

## モーターカー走行時の地盤振動の比較

日野土木実験所の試験線（スラブ軌道区間）にフローティングスラブ軌道を敷設し、モーターカー走行時（40km/h）の地盤振動を測定しました。図6に走行試験の様子を示します。

鉄道における振動の評価点は、一般に軌道中心から12.5mまたは25m離れた地点を対象としています。走行試験の結果、軌道中心から12.5m離れた地点における地盤の振動レベル（☞参照）は、フローティングスラブ軌道の場合の方が3.3dB小さくなり、人が感じる振動の大きさが低減されることがわかりました。

## 高速走行区間における地盤振動の低減効果に関する試算

地盤振動の低減効果は列車の走行速度や地盤条件によって異なると考えられますが、実際の営業線において高速走行時の地盤振動を評価することは容易ではありません。そこで、数値解析により、新幹線の高架橋区間を対象としてさまざまな地盤条件下における高速走行時の地盤振動を試算しました。数値解析では、車両／軌道系モデルと構造物／地盤系モデルを用いて、列車走行時の地盤振動を再現しました（図7）。なお、地盤についてはある新幹線沿線の総延長約400kmの区間における地盤の地質データ（3090地

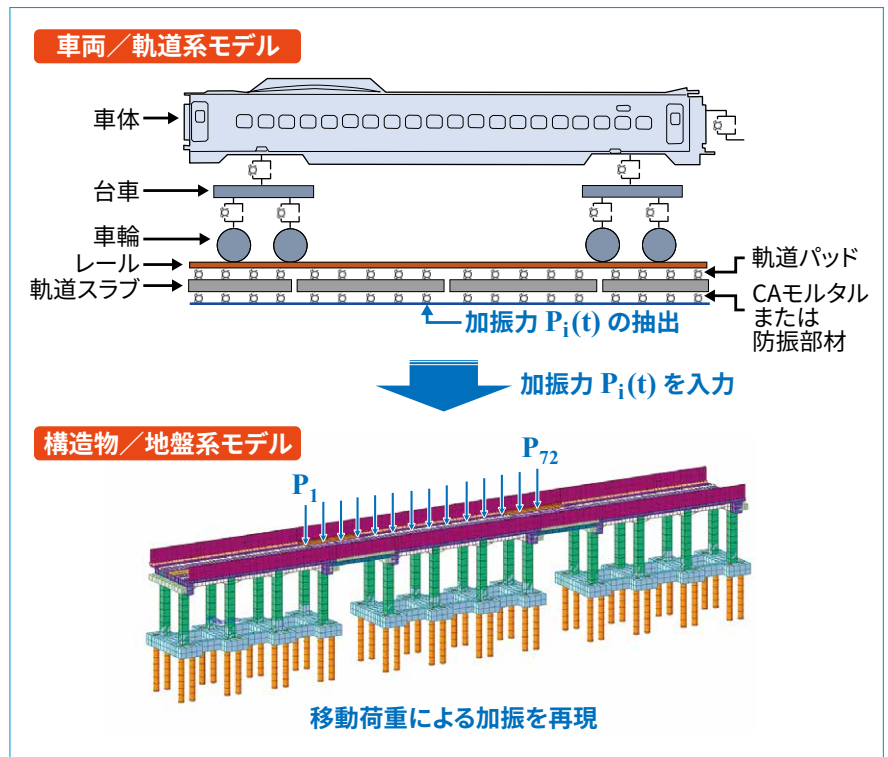


図7 数値解析モデルの概要

点)を対象としました。また、走行速度は現行の新幹線の営業最高速度である320km/hから400km/hに速度向上した場合を想定し、フローティングスラブ軌道の適用による地盤振動の低減効果を試算しました。

数値解析の結果、スラブ軌道のまま速度向上すると、上記の区間の9割以上の地点で地盤の振動レベルが増加しましたが、フローティングスラブ軌道を適用することにより、それらを1割

程度まで抑えられる可能性があることがわかりました。

## おわりに

ここでは、新幹線にフローティングスラブ軌道を適用した場合の地盤振動の低減効果について紹介しました。実用化にあたっては、走行安全性に関する詳細な検討も必要となります。今後も、沿線環境に配慮した防振軌道の開発を行ってまいります。RRR

## 文献

- 1) 横山秀史, 岩田直泰, 芦谷公稔: 低ばね定数軌道パッドによる地盤振動低減効果: 鉄道総研報告, Vol.22, No.5, pp.29-34, 2008
- 2) 安藤勝敏, 堀池高広, 須永陽一, 半坂征則: 着脱式弾性まくらぎ直結軌道(D型弾直軌道)の開発, RRR, Vol.59, No.1, pp.10-13, 2002
- 3) 渡辺勉, 杉本一郎: 鋼鉄道橋の低騒音化, RRR, Vol.66, No.8, pp.14-17, 2009
- 4) 鈴木健司, 伊積康彦, 田中郁夫, 今林泰, 平川正: 防振軌道の振動低減効果の検証, 日本建築学会技術報告集, Vol.17, No.37, pp.927-930, 2011
- 5) 洲上翔太, 渡辺勉, 横山秀史, 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣: 鉄道車両の高速走行に伴う地盤振動の低減効果に関する基礎的研究, 構造工学論文集A, Vol.65A, pp.293-304, 2019
- 6) 洲上翔太, 渡辺勉, 横山秀史, 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣: フローティングスラブ軌道の適用による高速走行時の地盤振動の低減効果に関する研究, 構造工学論文集A, Vol.67A, pp.248-260, 2021

### ☞ 逸脱防止ガード

地震などによって脱線した車両が大幅に逸脱することを防止するために軌道に設けられるガード構造です。

### ☞ 振動レベル

振動により生じた加速度に対して人体による感覚補正（鉛直・水平）を施した数値であり、振動の大きさを表す指標です。単位はデシベル（dB）で表されます。