

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

# 在来線車両の地震時走行安全性を向上する

新幹線では地震時走行安全性を向上する対策の技術開発が行われ、営業線への施工が進められています。近年、在来線における地震時走行安全性への関心が高まっているため、鉄道総研では在来線車両の地震時走行安全性向上に関する研究も行っています。ここでは、現在在来線で用いられている技術を活用した対策として、在来線用脱線防止ガードとヨーダンパー配置変更に関する研究を紹介します。どちらも地震時の脱線発生確率をおおむね半減することができ、両者を併用するとさらに低減できることを実物大の加振実験およびシミュレーションにより明らかにしました。



飯田 浩平  
Kohei Iida  
鉄道力学研究部  
車両力学研究室  
主任研究員



葛田 理仁  
Masahito Kuzuta  
鉄道力学研究部  
車両力学研究室  
副主任研究員

## はじめに

2004年に発生した新潟県中越地震において、営業走行中の新幹線列車が高速走行時に脱線(図1)して以降、新幹線を対象に地震時走行安全性向上に関する技術開発が行われ営業線に展開されてきました。在来線についても、とくに大都市圏においてはその輸送量の大きさから著大地震が発生した際の被害も大きくなる可能性があり、地震時走行安全性への関心が近年高まっています。

在来線では新幹線ほど開発コストをかけることができません。そこで、在来線の軌道や車両で用いられている既存技術を活用して、地震時走行安全性を向上する研究について紹介します。

## 地震時走行安全性向上の研究手法

地震のような異常時における走行安全性に関して、実車ベースで走行試験を実施することはできません。そこで、おもにシミュレーションを用いて走行安全性の検討を行い、大型振動試験装置を用いた実物大の加振実験により、空気ばねなどの車両部品の地震時の特性を把握したり、シミュレーションの妥当性を検証したりしています。

## 在来線用脱線防止ガードを用いた地震対策

在来線における脱線対策として図2に示すような脱線防止ガード(図2参照)



図1 2004年新潟県中越地震で脱線した新幹線列車  
(出典:「鉄道事故調査報告書」(運輸安全委員会)(<http://www.mlit.go.jp/jtsb/railway/rep-acc/RA2007-8-1.pdf>) (2021年1月21日に利用))

### 脱線防止ガード

車輪がレール上から外れることを抑制する機構です。2004年新潟県中越地震以降に、新幹線向けに地震対策用脱線防止ガードが開発され、東海道新幹線および九州新幹線で用いられていますが、ここでは旧来から在来線に設置されている脱線防止ガードを指しています。



図2 在来線用脱線防止ガード



図4 脱線防止ガード接触時の様子

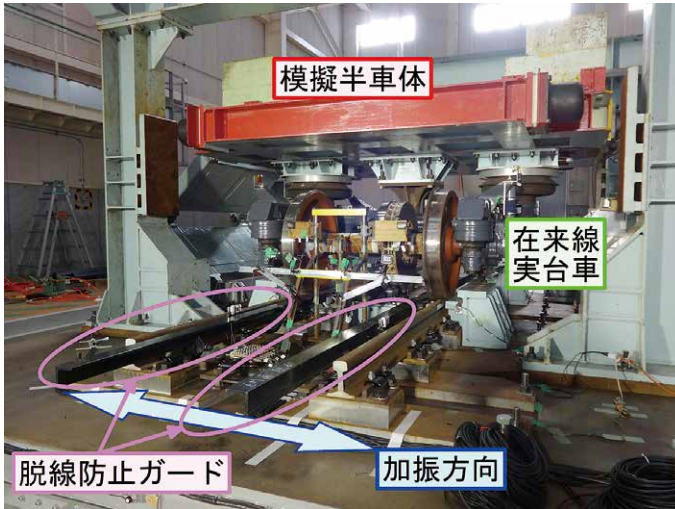


図3 在来線用脱線防止ガード付軌道上の実台車加振試験

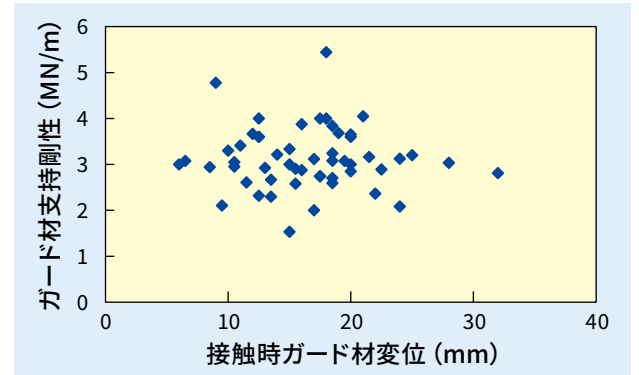


図5 実験で得られた脱線防止ガード支持剛性

があり、急曲線部や橋りょう部に設置されています。一部の鉄道事業者においては、この脱線防止ガードを地震対策として、万が一脱線が生じた際に被害が大きくなると想定される箇所に設置しています<sup>1)</sup>。

地震時においては車両が進行左右のどちらにも脱線する可能性があるため、地震対策として脱線防止ガードを設置する際には図2に示すように左右両方のレールに脱線防止ガードを設置します。

車両運動シミュレーションを実施するにあたり、地震時のように車輪が激しく接触したときの脱線防止ガードの変形特性を把握するため、大型振動試験装置上に脱線防止ガード付きの軌道を設置し、実台車加振試験を実施しました<sup>2)</sup>。試験体の外観を図3に、実験において脱線防止ガードに接触したときの様子を図4にそれぞれ示します。

車輪との接触による脱線防止ガードの変位とその時の脱線防止ガード支持剛性(接触力を変位で除した値)を図5に示します。結果にばらつきがみられますが、脱線防止ガード支持剛性として、おおむね1車輪あたり2.5MN/mの支持剛性を見込めることがわかりました。また、脱線防止ガードの変位が著大にならず、車輪の脱線を防いでいる条件下においては、少なくとも数回の接触では脱線防止ガードが破壊しない

ことを確認しました。なお、この実験は、バラスト軌道においてレールに取り付けるタイプの脱線防止ガードの試験結果であり、スラブ板やコンクリートまくら木などに直接取り付けるタイプの脱線防止ガードでは、異なった支持剛性値になると推定されます。

### ヨーダンパーの配置変更による地震対策

ヨーダンパーは近年主流となっているボルスタレス台車(☞参照)を装備した車両において、台車だ行動(☞参照)を抑制し、高速走行するために欠かせ

#### ☞ ボルスタレス台車

台車枠と車体をまくらばねで直結することで構造を簡素化した台車で、軽量化、信頼性と保守性の向上を図れることが特徴です。

#### ☞ 台車だ行動

車両走行中に台車で発生する自励振動のひとつで、台車の左右動とヨーイング動が連成し、蛇が身をくねらせながら進むような挙動となります。走行速度がある限界速度以上になると振動振幅が急激に大きくなり、車輪のフランジがレールに衝突し脱線に至る場合があります。

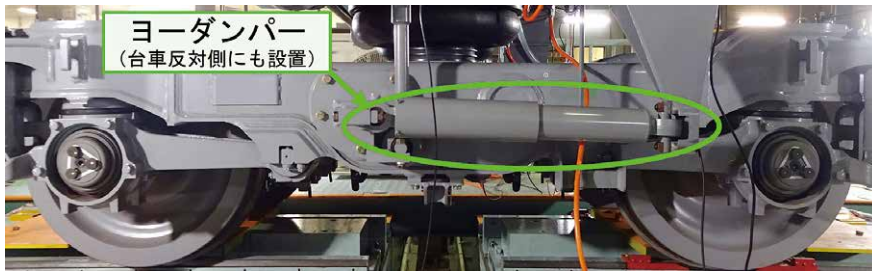


図6 ヨーダンパーを装備した台車(通常のヨーダンパー配置)

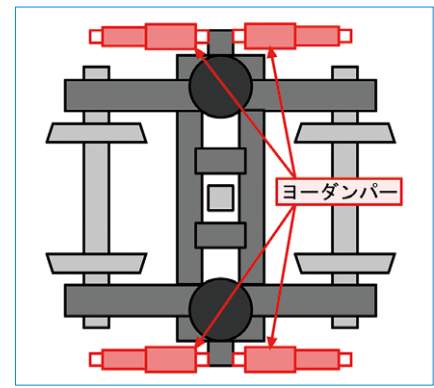


図7 台車内で前後にも対称なヨーダンパー配置

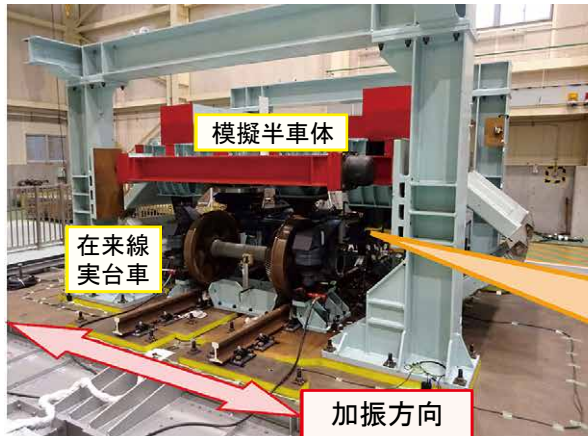


図8 ヨーダンパー配置変更の効果を確認する実台車加振試験

ないもので、通常は図6に示すように台車片側に1本、1台車あたり計2本ついています。地震時に車体が大きく揺れると、ヨーダンパーにより台車を旋回させる力であるヨーモーメントが台車・車体間に作用し、台車の軌道追従性を阻害する可能性があることがわかってきました。そこで、ヨーダンパーを図7に示すように、台車内前後対称に4本配置することで車体が大きく揺れた際のヨーモーメントの発生を抑制し、地震時の走行安全性を向上することを提案しました。通常走行時の走行安全性や乗り心地に影響を与えないよう、1本あたりの減衰力を通常の半分としています。

この対策の効果を車両運動シミュレーションで調べた後、実物を製作し、大型振動試験装置による実台車加振試験でその効果を確認しました(図8)<sup>3)</sup>。正弦波加振に対する結果を図9に示します。図より、車体が大きく揺れる比較的低い加振周波数の加振において、

ヨーダンパーを提案した配置とすることで発生ヨーモーメントを低減できることがわかります。また、鉄道構造物設計の際に用いられる設計地震動(☞参照)に対しても同様な効果があることを確認しました。

### 地震対策による地震時走行安全性向上効果

ここでは、これまで述べてきまし

た地震対策としての在来線用脱線防止ガードの設置、ヨーダンパー配置変更の地震時走行安全性向上効果について、車両運動シミュレーションによる結果を示します。脱線防止ガードは軌道側の対策で、ヨーダンパー配置変更は車両側の対策なので、両者を併用することができます。在来線の中でも比較的高速で走行するヨーダンパーを装備した車両について、在来線用脱線防

#### ☞ 設計地震動

建設地点における構造物の設計に用いる地震動です。L1 地震動(設計耐用期間内に数回程度発生する確率を有する地震動)とL2 地震動(最大級の地震動)の2つのレベルを設定します。

#### ☞ 正弦波加振に対する安全限界線図

横軸に周波数をとり、縦軸に正弦波5波を入力した際に脱線が生じない限界の加振振幅をとったプロットです。線図が上に行くほど地震時の脱線に対する安全性が高いと判断することができます。車両が有する地震時脱線に対する耐性の基礎的な特性を把握することができます。

#### ☞ L2 設計地震動スペクトルII (G5 地盤)

内陸活断層による地震が直下で発生した場合(スペクトルII)の軟弱な地盤(G5地盤)上での揺れを想定した設計地震動です。

止ガードを設置した場合、ヨーダンパー配置を変更した場合および両者を併用した場合の正弦波加振に対する安全限界線図(☞参照)を図10に示します。図より、脱線防止ガードの設置では0.4Hz~0.9Hzの領域で、ヨーダンパー配置変更では0.4Hz~0.8Hzの領域で地震時走行安全性が向上していることがわかります。両者を併用することでさらに安全限界振幅が大きくなります。また、地震波(ランダム波)に対する効果の一例として、いくつかの前提条件のもと、軌道面振動波形から脱線発生確率を推定する手法<sup>4)</sup>を用いてL2設計地震動スペクトルII(G5地盤)(☞参照)に対する脱線発生確率推定値を図11に示します。図11より、規模の大きい地震動に対して、在来線用脱線防止ガードを設置したりヨーダンパー配置を変更することで脱線発生確率を半減でき、両者を併用するとさらに脱線発生確率を低減できることがわかります。

### おわりに

在来線の地震時走行安全性向上策を2つ紹介しました。それらの効果を「確率」という統一された指標で評価し、前述の例では2つの対策の効果が おおむね等しくなっています。本手法を用いることで、鉄道事業者において、路線の事情に適した対策を選択できるようになると考えられます。

今後も引き続き地震時走行安全性向上策に関する研究を進めていく計画です。**RRR**

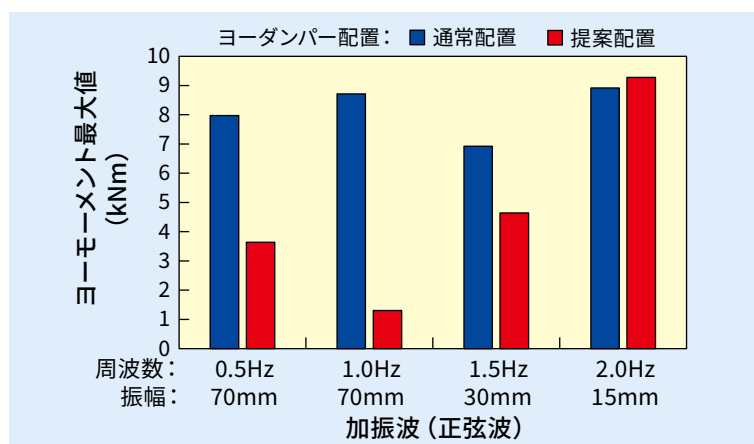


図9 ヨーダンパー配置変更によるヨーモーメント低減効果

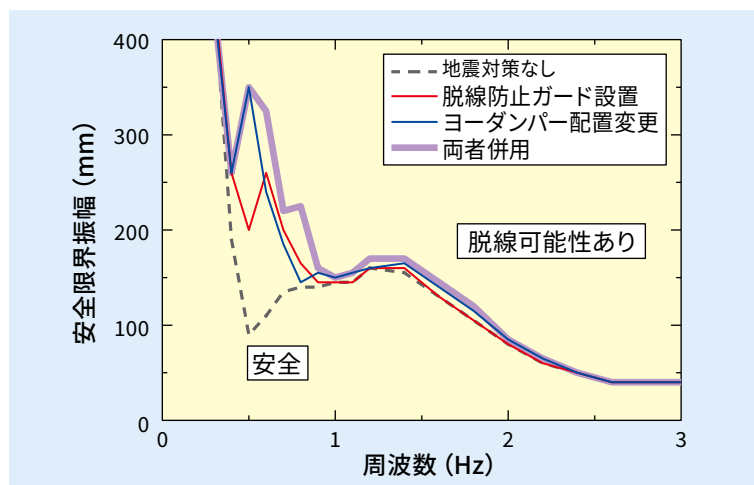


図10 正弦波加振に対する安全限界線図

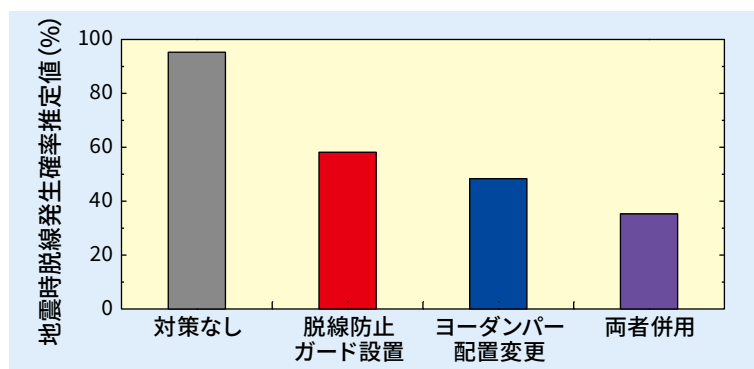


図11 地震対策の効果 (L2設計地震動スペクトルII (G5地盤) に対する脱線発生確率推定値)

### 文献

- 1) 東日本旅客鉄道：大規模地震に対する取り組みについて、2013年3月5日付プレスリリース、<https://www.jreast.co.jp/press/2012/20130307.pdf> (入手日：2021/1/8)
- 2) Kohei Iida, Masahito Kuzuta, Yukio Nishiyama, Takayuki Tanaka, Takatoshi Honda : An Experimental Study on the Performance of Guard Angle of Meter-Gauge Track During an Earthquake, Proceedings of 26th IAVSD Symposium on Dynamics of Vehicle on Roads and Tracks, Paper No.024, 2019
- 3) 飯田浩平, 葛田理仁, 西山幸夫, 金元啓幸, 中嶋大智：ヨーダンパを装備した在来線車両の地震時走行安全性向上に関する研究, 日本機械学会第29回交通・物流部門大会 (TRANSLOG 2020) 講演論文集, 講演No. 3802, 2020
- 4) 飯田浩平, 宮本岳史, 川西智浩：地震時における鉄道車両の脱線可能性を地震波から推定する方法, 日本機械学会論文集, Vol.85, No.874, DOI:10.1299/transjsme.18-00339, 2019