

2212 実台車を用いた脱線防止ガードの効果確認試験

正 [土] ○三輪 昌弘 (東海旅客鉄道) 正 [機] 坂上 啓 (東海旅客鉄道)

正 [機] 足立 昌仁 (東海旅客鉄道) 正 [土] 村松 浩成 (東海旅客鉄道)

Efficacy tests of anti-derailing Guard Rail by using full-scale bogie

Masahiro MIWA, Central Japan Railway Company, 1545-33, Ohyama, Komaki-shi, Aichi

Kei SAKANOUE, Central Japan Railway Company

Masahito ADACHI, Central Japan Railway Company

Shigenari MURAMATSU, Central Japan Railway Company

In the Mid Niigata Prefecture Earthquake in October 2004, a Shinkansen train was derailed while being operated at the speed of 200km/h. After this accident, Central Japan Railway Company has studied countermeasures possible on both ground installations and vehicles. And we have made the decision of taking the following double countermeasures. One is to place the anti-derailing guard rails which prevent wheels from derailing. The other is to prevent vehicles deviating from track, if vehicles derail inescapably despite the placing of anti-derailing guard rails. In this paper, we describe mechanisms of derailment by earthquake and efficacy of anti-derailing guard rails by conducting large-scale shaking table tests.

Keywords: earthquake, anti-derailing guard rail, full-scale test

1. はじめに

平成 16 年 10 月に発生した新潟県中越地震により、上越新幹線の浦佐～長岡間を走行中の列車が、ロッキング脱線により脱線するという事象が発生した¹⁾。これを受け、国土交通省鉄道局が設置した「新幹線脱線対策協議会」に JR 東海も参画し、施設面、車両面で当面取りうる対策の可能性等について検討を進めてきた。

東海道新幹線の地震対策は、従来から実施してきた構造物の長期不通防止対策、早期地震警報システム(テラス)や非常ブレーキ性能を向上した N700 系の導入に加え、地震時の車両脱線を可能な限り防止し、これを防ぎきれなかった場合の逸脱による被害の拡大防止の二重対策を図ることを基本的な考え方とした。具体的には、構造物の大きな変位を抑制する種々の対策、脱線防止ガードや逸脱防止ストッパによる対策を確立した²⁾。

本報告では、この中で、実物台車を用いた振動台試験によって確認した地震時の脱線メカニズムと脱線防止ガードの有効性について述べる。なお、実物による加振試験では、車両は停止条件に限られ、また、振動台の能力から加振条件の大きさに一定の制約を受ける。これらを補うため、2 種類の模型加振試験^{3)・4)}とシミュレーション解析⁵⁾も実施しており、それぞれを別テーマとして報告する。

2. 試験の概要

2.1 車両及び軌道の条件

試験設備の全景を図 1 に示す。大型振動台は、大林組

技術研究所の三次元振動台を使用する。最大積載質量 50t、テーブル寸法 5m×5m、最大変位 600mm、最大加速度 29.4m/s^2 の仕様である。

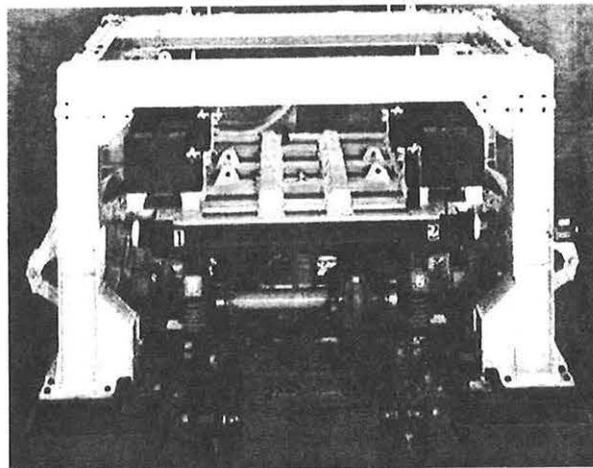


図 1 試験設備の全景

車両は、700 系新幹線電車のボルスタレス台車 1 台を用い、その上に半車体の質量特性を模した荷重枘を載せて、新幹線半車両相当の試験体を構成する。荷重枘の左右位置には、そのピッチング、ヨーイング及び前後方向の変位を拘束し、これら以外のローリング、上下、左右方向の運動を自由とする支持装置を、振動台との間に設ける(図 2)。車両モデルの外側に設置したラーメン構造の枘(図 1)は、荷重枘や台車の転倒等に対する安全装

置であり、これが干渉しない範囲で試験を実施する。

軌道は、振動台上にレー方向長さ 4m、まくらぎ方向幅 3m、深さ 0.4m の鋼製コンテナ（土槽）を設置し、その中に東海道新幹線の標準的なバラスト軌道に脱線防止ガード⁽⁶⁾を加えたものを敷設する（図 3）。振動台の最大積載質量の制約から、軌道の実質長さは約 5m とする。これによって実際の軌道と比べて不足する横抵抗力は、左右レールの両端計 4 箇所ロードセルを介し、単純支持条件で拘束して補う。

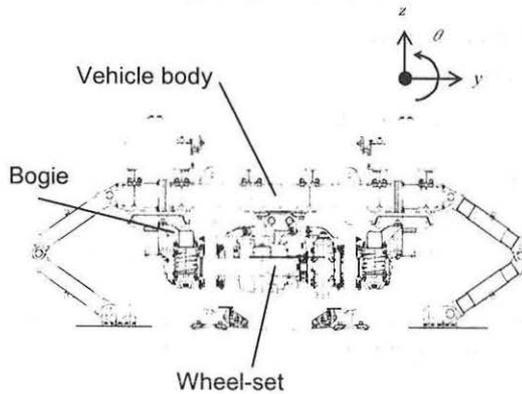


図 2 実台車を用いた車両試験体

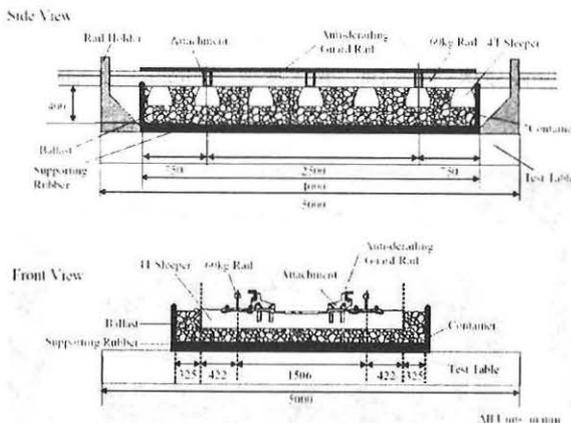


図 3 軌道の構成

2.2 加振条件

振動台の加振は、脱線メカニズムの解明を主に正弦波で、脱線防止ガードの効果の確認を主に地震波の入力によって行う。地震波は、過去に鉄道被害が生じた例や想定東海地震波を参考に、高架橋等の変位応答を加味した場合も含めて種々のケースを設定する。

2.3 測定項目

車両と軌道の挙動や、これらに作用する力を測定する。また、加振入力として、振動台の加速度や変位なども測定する。

具体的には、車体、台車、輪軸それぞれの、上下・左右加速度、上下・左右変位及びロール角、レールとまくらぎそれぞれの左右変位などを測定する。さらに、試験

の全体映像をビデオカメラにより、また、車輪とレールの接触状況を高速度ビデオカメラで撮影する。

3. 地震時の脱線メカニズムと脱線防止ガードの機能

3.1 地震時の脱線メカニズム

正弦波を用いた加振試験の結果、脱線は左右動が主要因であった。見た目の形態として、比較的低い周波数で一方の車輪が大きく上昇して脱線するケース（図 4 左）と、比較的高い周波数で車輪があまり上昇しないで脱線するケース（図 4 右）の 2 種類が観測された。

前者の脱線形態は、大きな左右加振によって車両の下心ローリング運動が生じ、左右片側の車輪を回転中心として反対側の車輪がフランジ高さ 30mm 以上に上昇し、さらにこの後、車輪フランジがレール頭部に着地して脱線に至る。後者の脱線形態は、大きな左右加振による車両の上心ローリング運動に起因するロッキング挙動で、左右片側の車輪の輪重が減少した状態、あるいは、フランジ高さ 30mm 未満の車輪上昇の状態でも車輪フランジがレール頭部側面に接触し、滑り上がるように、あるいは、とび上るように脱線する。いずれの脱線形態も、車両のロッキング運動に起因する。

過去に鉄道被害があった地震波や想定東海地震波、これらの振幅倍率を変化させて行った加振試験では、複数のケースで脱線現象が観測されたが、これらは全て図 4 左に示す形態であった。

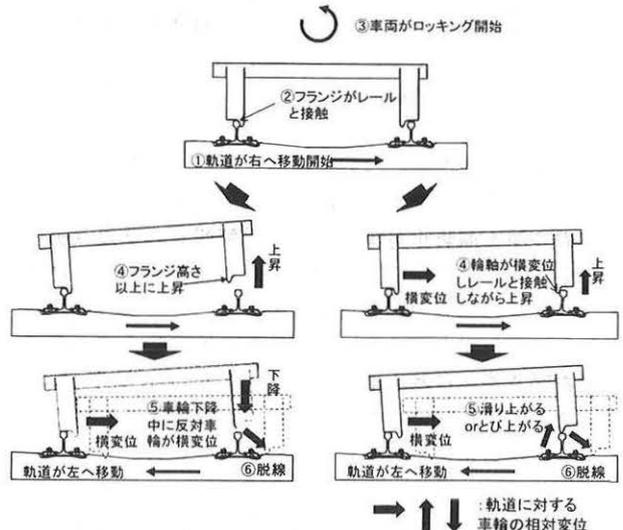


図 4 ロッキング脱線のイメージ

3.2 脱線防止ガードの機能

地震時の左右動に伴うロッキングにより片側の車輪が上昇し、上昇量がフランジ高さ 30mm を超えると、車輪フランジのガイド機能は失われる。この状態では、図 4 に示すように、反対側の車輪はレールから浮き上がることなく接触しているが、左右方向に相対的変位が生ずると脱線に至る。脱線防止ガードは、このレールに接した側の車輪の横変位を拘束して脱線を防止するという、新

たな機能を付加するものである(図5)。

この機能は、図4に示すいずれの脱線形態に対しても有効である。

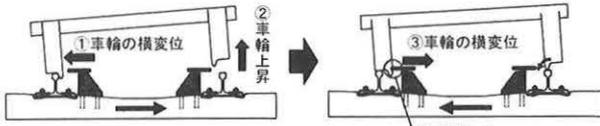


図5 脱線防止ガードの機能

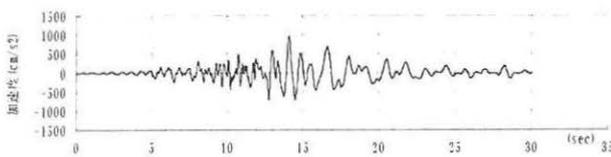
4. 脱線防止ガードの効果

4.2 地震波に対する脱線防止ガードの効果

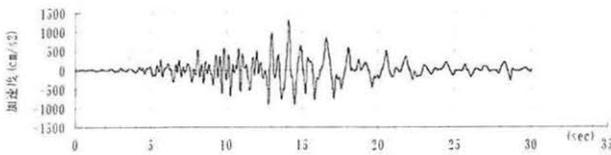
前述のように、過去に鉄道被害があった地震波や想定東海地震波、これらの振幅倍率(実際に発生したものより大きい条件を含む)を変化させて行った加振試験では、複数のケースで脱線現象が観測されたが、これらに対して何れも脱線防止ガードが有効に機能した。

試験結果の代表例として、想定東海地震による車両挙動を示す。加振条件は、地表面での地震規模は震度7に相当し、高架橋上での最大加速度は 1300cm/s^2 、最大変位は 333mm である(図6)。この加振振幅は、試験装置の性能の上限のものである。実際の試験では、加振振幅の倍率を向上しながら行い、0.7倍から脱線現象が確認された。

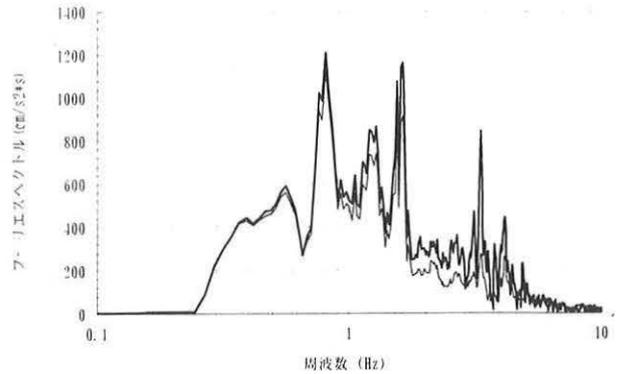
地表面波は、東海道新幹線沿線の激震地区のG3地盤で想定されるものである。ただし、変位の低い周波数成分による振幅値が振動台の性能の上限を超えるため、車両運動への影響が無視できることを確認した上で、 0.25Hz 以下をフィルターでカットしている。高架橋は東海道新幹線の標準的な構造で、これに柱の鋼板巻き補強やダンパーブレース工を施工した条件⁷⁾としている。



(a) 地表面での加速度波



(b) 高架橋上面での加速度波



(c) 地表面波(細線)と高架橋応答波(太線)の加速度のフーリエスペクトル

図6 入力地震波

振幅倍率1.0倍での試験結果を図7に示す。横軸の時刻は、計測の都合で図6とは異なる。図示した3位車輪は図1の奥側の輪軸の左車輪、4位車輪は同右車輪である。

この条件の場合、17.8秒付近と18.2秒付近の振動台最大加速度が発生する時点で、計2回のロッキング脱線が発生するが、いずれも脱線防止ガードが有効に作用した。このときの車両挙動を時刻歴で以下に述べる。

- ① 加振開始から17.3秒頃までは、フランジ高さ 30mm 以上の車輪上昇は発生しない。
- ② その後、4位車輪のフランジが右レールの側面に接触して17.5秒付近で 156kN の横圧が作用し(図7(e))、これをきっかけに3位車輪が上昇を開始する(図7(c))。
- ③ 3位車輪の上昇量は17.8秒付近で最大(90mm)となり、降下を始める。この間、振動台の左右変位の方向が逆向きに変化し、4位車輪のフランジがレール側面から離れる方向に左右移動をする(図4左のイメージ)。
- ④ この直後、4位車輪の左右移動が脱線防止ガードで拘束され、3位車輪のフランジはレール頭部上に一旦着地するが、18.1秒付近で3位車輪は正常位置に復位する(図5右のイメージ)。
- ⑤ 前④の4位車輪が脱線防止ガードから受ける水平力と、3位車輪が正常位置に復位した直後に作用する横圧により、②とは逆の4位車輪が上昇を開始する。
- ⑥ この後、③と④で述べたものに対して3位と4位車輪を左右逆にした関係で同様の挙動が生じ、2度目のロッキング脱線を生ずるが、脱線防止ガードが作用して輪軸は正常位置に復位する。
- ⑦ 20秒以降は、最大で 200mm を超える車輪上昇量のロッキング運動を生ずるが、輪軸の左右移動量が小さいために脱線防止ガードが作用することなく車輪は正常位置に復位する。

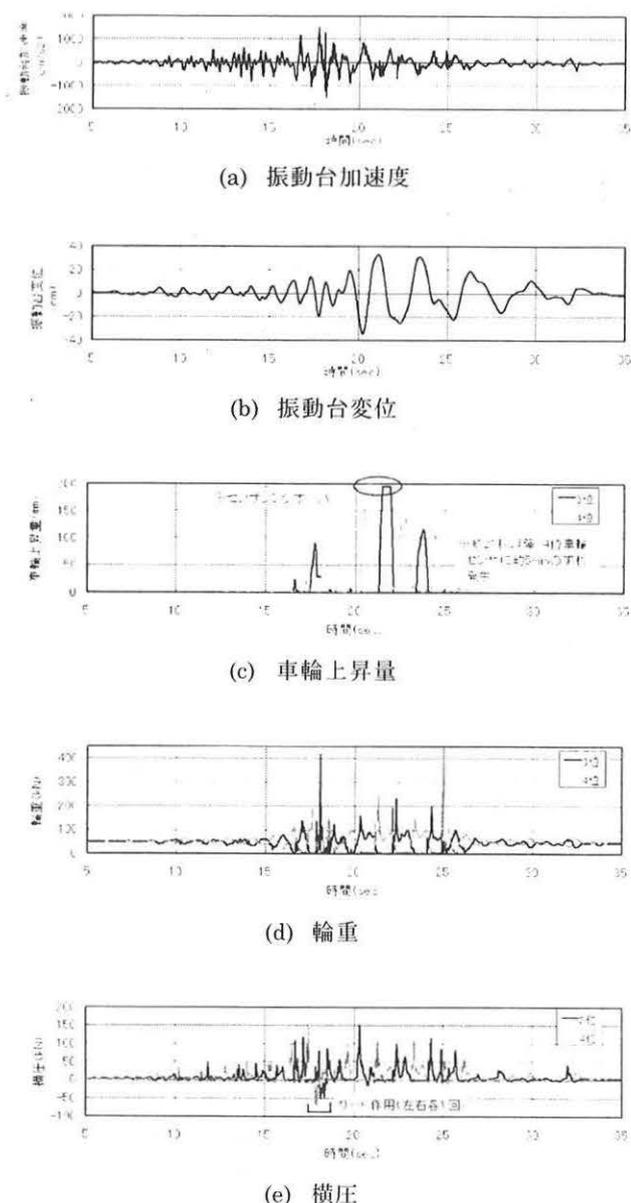


図7 地震動での加振による車両挙動
(入力：想定東海地震の高架橋応答波)

5. 上下動の影響

地震の上下動成分が車両の脱線挙動等に及ぼす影響を振動台試験で評価した。前述の想定東海地震波のうち、最大の上下動に対する高架橋応答波(最大加速度 216gal, 最大変位 76mm)を、図6の左右動波に付加して試験を行った。

この結果、車輪上昇量がフランジ高さ 30mm となる加振振幅は、左右動のみの場合に比べて 5%程度低下する程度であり、車両の脱線挙動や脱線防止ガードの有効性に対する影響は小さかった。

このように、車両の脱線挙動等に及ぼす地震の上下動成分の影響は小さく、左右動成分によるロッキング運動が主要因であることを確認した。

6. まとめ

東海道新幹線の標準的なバラスト軌道に脱線防止ガードを付加し、その上に実物台車を用いた新幹線半車両相当の試験体を設置し、停止条件での振動台加振試験を行った。この結果、以下の事項を確認した。

- (1) 脱線形態は車両のロッキング運動に起因するものであり、1つの輪軸の左右両方の車輪が同時にレールから浮き上がることはなかった。したがって、レールから浮き上がらずに接している一方の車輪の左右変位を拘束する脱線防止ガードは、地震時の脱線対策として有効と考えられる。
- (2) 脱線防止ガードは、想定東海地震の高架橋応答波をはじめ、過去に鉄道被害が生じた地震波等の加振入力(振幅を割り増した条件を含む)に対して、脱線しかけた場合のいずれにも有効に機能した。

参考文献

- 1) 航空・鉄道事故調査委員会：上越新幹線浦佐～長岡駅間 列車脱線事故，鉄道事故調査報告書，2001.11.30
- 2) 森村，関：新潟県中越地震後の東海道新幹線の地震対策について，J-RAIL 2009.
- 3) 足立，森村，石川，深田，曄道：地震の脱線メカニズムと脱線防止ガード機能に関する研究(1/5 模型加振試験)，J-RAIL 2009.
- 4) 西村，曄道，森村，深田：回転軌条輪上での大変位加振時の脱線メカニズム(軌条輪上での 1/10 模型加振実験)，J-RAIL 2009.
- 5) 森村，西村，曄道，胃我：地震時の脱線メカニズムおよび脱線防止ガード機能に関する解析，J-RAIL 2009.
- 6) 村松，可知，三輪，渡邊，船田，生田：実物台車を用いた加振試験による脱線防止ガードの設計仕様の検討，J-RAIL 2009.
- 7) 吉田，松田，阿知波，関：高架橋のダンパーブレース補強による東海道新幹線の脱線・逸脱防止対策，J-RAIL 2009.