

実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

正 [土] 〇村松 浩成 (JR 東海)

正 [土] 可知 隆 (JR 東海)

正 [土] 三輪 一弘 (JR 東海)

正 [土] 渡邊 康人 (JR 東海)

正 [土] 船田 智巳 (JR 東海)

正 [土] 生田 周史 (JR 東海)

Design and specification tests of anti-derailing Guard Rail by electromagnetic vibration tests with real bogie

Hironari MURAMATSU, JR central, 1545-33, Ohyama, Komaki-shi, Aichi

Takashi KACHI, JR central Kazuhiro MIWA, JR central Yasuhito WATANABE, JR central

Tomomi FUNADA, JR central Shuji IKUTA, JR central

It reports on the result of the design and specification tests of anti-derailing Guard Rail that considers the effect and the practicality (strength, rigidity, and installation position) based on the electromagnetic vibration tests with real bogie.

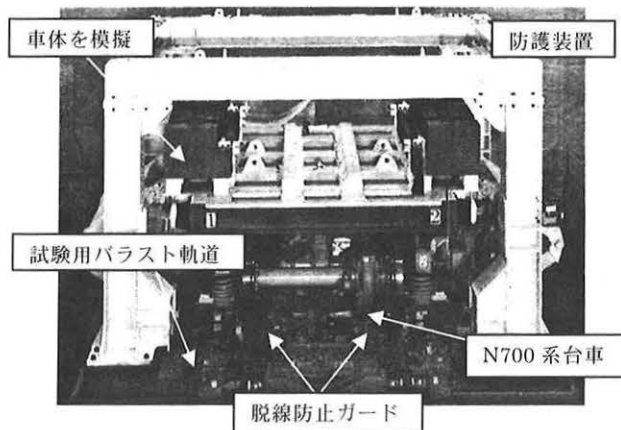
Keywords: anti-derailing Guard Rail, electromagnetic vibration, design and specification, Tokaido Shinkansen

1. はじめに

平成 16 年 10 月 23 日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「とき 325 号」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。この事故を受け、平成 16 年 10 月 25 日に国土交通省鉄道局が設置した「新幹線脱線対策協議会」に当社も参画し、施設、車両の両面から対策の検討を進めてきた。具体的には、実験、解析及び試験敷設を実施し、その結果に基づき、地震時の脱線・逸脱防止に有効であり、保守上においても支障のない対策を確立した¹⁾。

対策の一つとして開発したのが新幹線バラスト軌道用の脱線防止ガードである。開発においては、基本構造や地震時の脱線防止効果を検討した上で、試作品の強度確認試験を実施し、さらに、平成 18 年 10 月から平成 21 年度末までに約 3km の本線敷設試験を行ってきた^{2)～3)}。

本報告では、実台車を用いた加振試験の結果に基づく脱線防止ガードの設計仕様（設計荷重、横剛性、設置位置）、及び強度試験による必要性能の確認方法について検討した結果を述べる。



2. 実台車を用いた加振試験の概要

図 1 に示すとおり、5m 四方の振動台上に、試験用バラスト軌道（60 レール、PC まくらぎ、バラスト）、脱線防止ガード、N700 系台車から成る試験装置を構成し、様々な地震波で約 500 ケースの加振試験を実施した。なお、脱線防止ガードの設置位置には、以下の 4 通りを設定した。

(レール離れ、高さ) = (60mm, 35mm)、(65mm, 35mm)
(85mm, 20mm)、(85mm, 15mm)

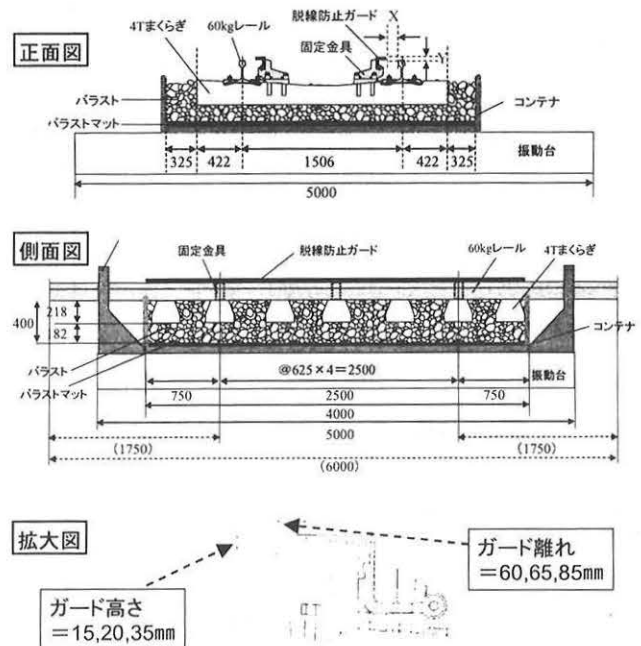


図 1 実台車を用いた加振試験装置の概要

3. 脱線防止ガードの強度と剛性に関する検討

3.1 脱線防止ガードへの作用力

加振時の車輪、レール、ガード材の間には、3つの作用力(Q1、Q2、Q3)が相互に生じており、この内、脱線防止ガードの設計荷重として考慮する必要があるのはQ2とQ3に相当する(図2)。そこで、実台車を用いた加振試験の結果からQ2を設定し、Q3は過去の知見に基づき試算することとした。なお、ガード材への作用力は車輪に設置した歪ゲージを用いて測定しているため(PQ軸の背面横圧)、その測定値にはQ1も含まれる。また、明確なノイズ波形を除き、新たにフィルタ等による波形処理は実施していない。

- Q1: レール/車輪間の摩擦力>走行時のクリープ力
- Q2: 地震動に伴う車輪とガードの衝撃による作用力
- Q3: ガードの変形等に伴う背面横圧

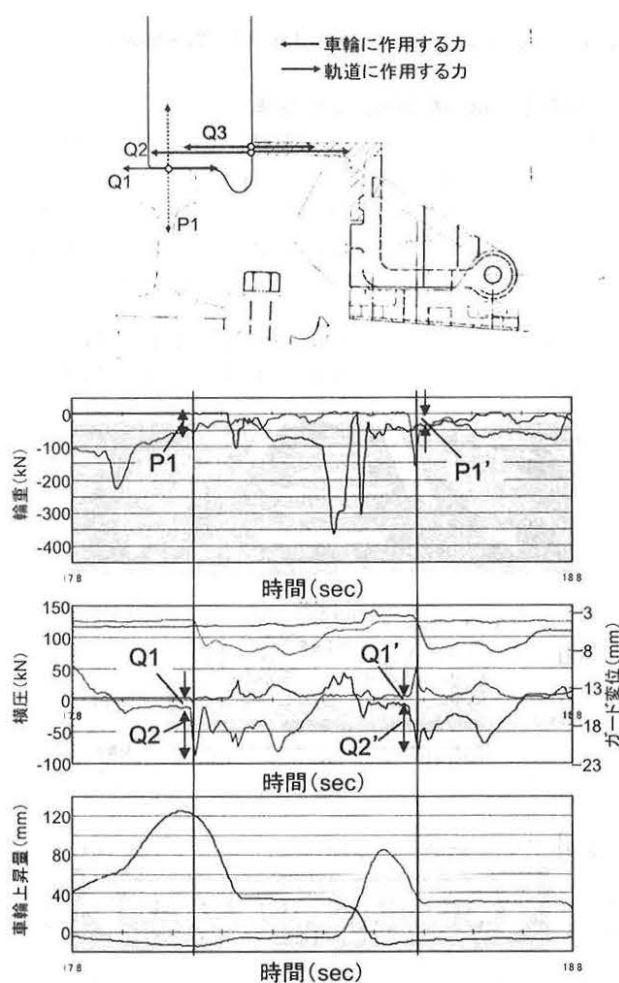


図2 加振時の車輪、レール、ガード材間の作用力

3.2 地震動に伴う車輪とガードの衝撃による作用力

約500ケース実施した実台車を用いた加振試験において測定された、車輪背面とガード材の間に作用する水平力(以下、「ガード作用力」という。)の例を図3に示す。なお、測定された最も大きな作用力は、108kNで、加振条件は、想定東海地震波(G3地盤・高架橋応答、最大左右加速度1300gal、最大左右変位333mm)の変位振幅波形の1.0倍で

あった。

以上より、Q2(地震動に伴う車輪とガードの衝撃による作用力)として、100kN程度を見込めば良いと考えられる。

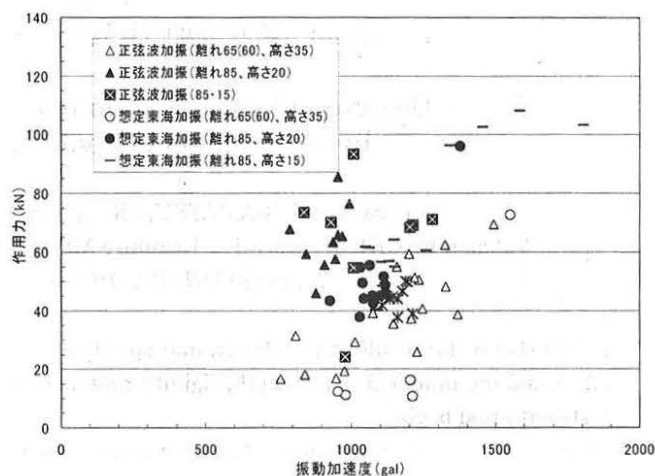


図3 脱線防止ガードへの水平作用力

3.3 ガードの横剛性

ガード作用力とガード材のまくらぎに対する水平変位の関係を図4に、その際の载荷条件を図5に示す。なお、図4には、別に実施した軌きょうでの静的载荷試験の結果も合わせて示す。なお、軌きょうでの静的载荷試験は、長さ5m、まくらぎ端部をバラスト相当のパネ支持で模擬した軌道で実施した。³⁾

図4より、加振試験での横剛性は11.3kN/mmで、バラツキが大きいものの静的载荷試験と概ね同程度であることが分かる。また、作用力が約40kNまではまくらぎに対するガード変位が0になっているが、これは、この作用力まではまくらぎが変位するためと考えられる。なお、静的载荷試験結果でも同様の現象が確認されたが、図4のデータはこれを補正したものである。

以上より、脱線防止ガードの横剛性は10kN/mm程度を確保し、静的载荷試験で傾向を確認すれば、機能上の問題は無いと考えられる

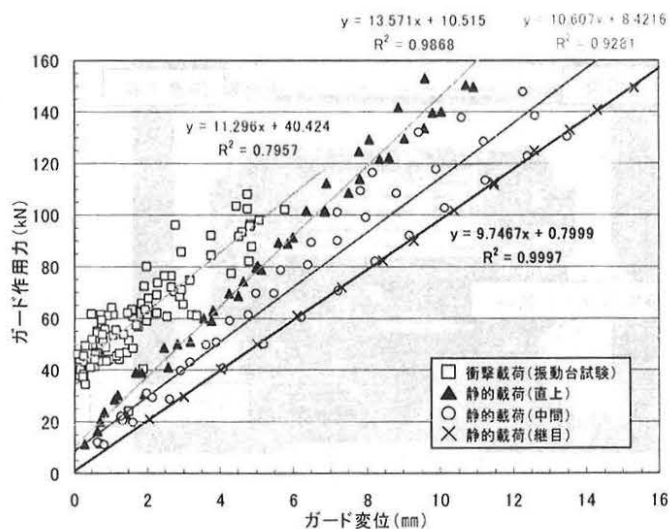
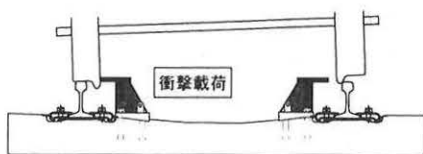
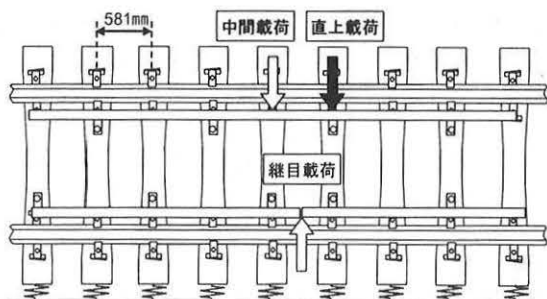


図4 ガードの水平作用力と水平変位の関係



【加振試験の载荷条件 (ガード離れ 85 mm、高さ 15・20 mm)】



【静的载荷試験の载荷条件 (ガード離れ 65 mm、高さ 30 mm)】

図 5 载荷条件

3.4 ガードの変形等に伴う背面横圧

隣り合うガードの継目部を車輪が乗り移る際の衝撃緩和を目的にテーバーを設けることを想定し、Q3 (ガードの変形等に伴う背面横圧) は、参考文献 4) における分岐器ガードの設計方法を参考に試算した。試算に用いた条件を表 1、図 6 示す。

ここで、試算に用いた車輪誘導量 δ は、進行方向手前側のガードの水平変位量に相当すると考え、実台車を用いた加振試験での測定値を用いた。具体的には、図 4 より、ガード作用力が 100kN の際の水平変位に相当する 6mm を設定した。また、ガード横剛性は、図 4 より、ガードの直上、中間、継目への静的载荷時の横剛性の平均値である 11.308kN/mm を用いた。

ガードの変形等に伴う背面横圧の試算結果を図 7 に示す。これより、Q3 (ガードの変形等に伴う背面横圧) として、70kN を見込めば良いと考えられる。

4. 設置位置に関する検討

4.1 脱線防止ガードの有効性を確認した設置位置

第 2 章で述べたとおり、実台車を用いた加振試験では、脱線防止ガードの設置位置を 4 通りに設定した。

ここで、約 500 ケース実施した試験の内、最も大きな加振条件は、想定東海地震波 (G3 地盤・高架橋応答、最大左右加速度 1300gal、最大左右変位 333 mm) の変位振幅波形の 1.0 倍である。この加振条件を、脱線防止ガードの離れ 85 mm、高さ 15 mm で実施した際のガード作用力は 108kN で、これが測定された最大のガード作用力であった。(図 4)

従って、実台車を用いた加振試験による脱線防止ガードの有効性の確認は、脱線防止ガードの設置位置として、「離隔は 85mm まで、高さは 15mm まで」実施した。

4.2 脱線防止ガードの設置公差

脱線防止ガードの有効性が確認されたのを受け、平成 18 年 10 月から、平成 21 年度末までに約 3000m の脱線防止ガードの本線敷設試験を実施した。²⁾

本線敷設試験における設置誤差の実績を踏まえ、設計仕様に見込む脱線防止ガードの設置公差として $\pm 5\text{mm}$ を設定した。なお、この値には、レール摩耗や軌道狂いに伴うガードの設置誤差は含まれていない。

表 1 試算の条件

項目	条件
バネ下質量 : M	2t
速度 : V	$\sim 270\text{km/h}$
テーバー寸法 : X/Y	1/80、1/100
レール/車輪間の摩擦係数 : $Q1$	1.25t
車輪誘導量 δ ≡手前側ガードの変位量 : d	加振試験等の 実測値から算定
ガード横剛性 : k	

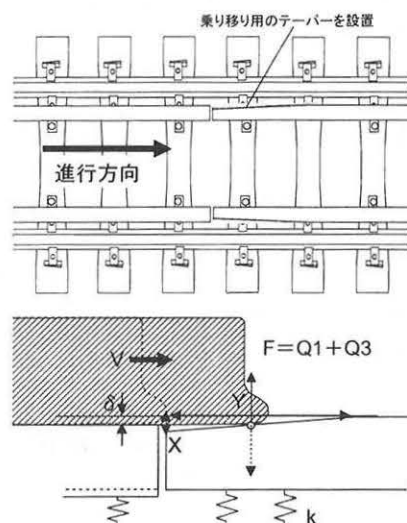


図 6 ガードの変形に伴う背面横圧の算定方法

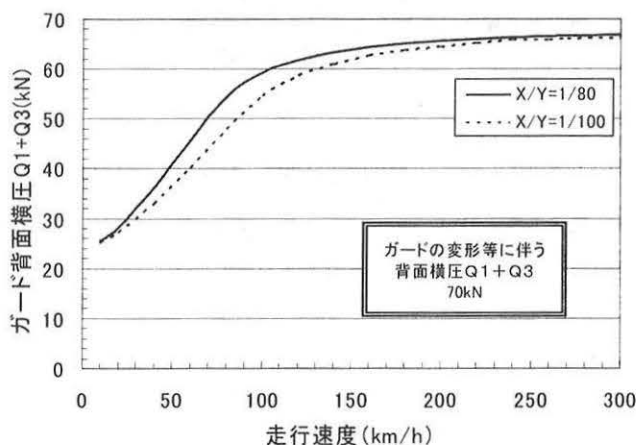


図 7 ガードの変形等に伴う背面横圧の算定結果

5. 脱線防止ガードの設計仕様

5.1 検討結果に基づく設計仕様

第 3 章、4 章での検討結果に基づき、脱線防止ガードの設計仕様 (設計荷重、横剛性、設置位置) を、以下のように設定した。

(1) 設計荷重

脱線防止ガードの水平方向の設計荷重には、地震動に伴う衝撃力として100kN（図3）、ガード継目部で生じる背面横圧として70kN（図7）の、計170kNを設定した。

ここで、実台車を用いた加振試験やシミュレーション解析では、1つの地震波を車両が受ける間に発生する脱線現象は1～3回で、これらは連続して左右に発生した。車両は加振中も走行し続けることから、1つの地震波を車両が受ける間に、脱線しようとする車輪から脱線防止ガードの同一箇所（片側あたり）が繰り返し荷重を受ける回数は、1～2回程度と推定される。従って、疲労に関しては考慮しないものとした。

(2) 横剛性

実台車を用いた加振試験で脱線防止ガードの有効性を確認した仕様にに基づき、脱線防止ガードの水平方向の横剛性には、10kN/mmを設定した。（図4）

(3) 設置位置

実台車を用いた加振試験で脱線防止ガードの有効性を確認したレールからの離れ85mm、高さ15mmに、敷設時の設置誤差として±5mmを見込み、脱線防止ガードの設置位置として、レールからの離れ80mm、高さ20mmを設定した。

(4) 端部構造

隣り合うガードの継目部を車輪が乗り移る際の衝撃緩和を目的に、ガード材の端部に1/100のテーバーを設けることとした。（図7）

5.2 設計強度の確認方法に関する考え方

設計荷重に対する強度確認試験は、表2に示す考え方と試験方法により実施することとした。

6. まとめ

実台車を用いた加振試験や静的載荷試験で得られたデータに基づき、脱線防止ガードの設計仕様（設計荷重、横剛性、設置位置）を策定するとともに、強度確認試験による必要性能の確認方法について取り纏めを行った。これにより、効果と実用性を考慮した脱線防止ガードの設計、製作が可能となった。

最後に、加振試験や静的載荷試験の実務にあたった関連会社の御支援に対し、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 森村、関、新潟県中越地震を踏まえた東海道新幹線の地震対策について、J-Rail2009（投稿中）
- 2) 渡邊他、新幹線バラスト軌道用脱線防止ガードの試験施工、J-Rail2009（投稿中）
- 3) 曾田他、脱線防止ガードの強度確認試験、J-Rail2009（投稿中）
- 4) 黒河内浩：分岐器レール伸縮継目の設計に関する基礎的研究、鉄研報告、S47
- 5) 航空・鉄道事故調査委員会：鉄道事故調査報告書 上越新幹線 浦佐駅～長岡駅間 列車脱線事故、H19.11.30

表2 脱線防止ガードの強度確認試験の考え方と実施方法

No.	載荷試験	載荷試験の方法	荷重	考え方
1	単体での静的水平載荷	・静的水平荷重を、脱線防止ガード締結装置1組で支持 ・軌きょうによる荷重分散やバラストのばね作用等は見込まない	100kN 実台車を用いた加振試験で確認されたガード作用力の最大値程度	・強度、剛性上の主要部材であるボルト類は、弾性域を確保する ・その際の載荷点での横剛性は、10kN/mmを目安とする
			170kN 設計荷重	・部材の破断、破損等が生じない（塑性変形は許容する）
2	軌きょうでの静的水平載荷	・静的水平荷重を、軌きょう上に設置したガード全体で支持 ・軌きょうによる荷重分散やバラストのばね作用等を見込む ・単体載荷より実態に近い状況を模擬	170kN 設計荷重	・強度、剛性上の主要部材であるボルト類は、170kN程度まで弾性域を確保する ・その際の載荷点での横剛性は、10kN/mmを目安とする
			200kN	・部材の破断、破損等が生じない（塑性変形は許容する）
4	静的鉛直載荷	・万一に脱線防止ガードを乗り越えて脱線する際、車輪がガード上に乗る事を想定し、ガード上面から載荷	60kN	・東海道新幹線の輪重に相当する60kNを載荷しても、ガード材の応力は弾性域を確保する
5	衝撃水平載荷	・加振試験等により、車輪背面とガードの衝撃的な支障を模擬	No1、2に順ずる	・同程度のガード作用力に対し、衝撃載荷時と静的載荷時の部材応力を比較しても、強度上問題となるような差が生じない
6	繰り返し載荷	・起振機等により、東海道新幹線の通過軸数約1年分に相当する370万回の繰り返し載荷をレールに加える	東海道新幹線の軸重程度をレールに載荷	・ガード構成部材の変状や設置位置の変動が生じない

※応力等の評価はJIS規格に基づく。