Special edition paper

新幹線地震脱線対策「バラスト軌道用レール転倒防止装置」の開発と導入

板倉 真理佳[*1]　熊倉　孝雄[*2]　小西　俊之[*1]

The development and installation of the rail rollover prevention device for ballast track.

Marika ITAKURA[*1], Takao KUMAKURA[*2] and Toshiyuki KONISHI[*1]

[*1] Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group [*2] Track maintenance Division, Engineering Department, Tokyo Office of JR EAST Group

Abstract

A Shinkansen train operating at 200km/h was derailed by Niigata Chuetsu earthquake in 2004. To take measures against Shinkansen train derailment, at the ground facilities, we developed "a rail rollover prevention device" which could prevent rail rollover or large lateral displacement even if rail fastenings were broken. In this report, we describe the development summary of the rail rollover prevention device for ballast track. We validated the rail rollover prevention, impact durability performance and Electrical insulation performance. It was confirmed that the required performance was satisfied.

●***Key words***: Earthquake, Derailment, Rail rollover prevention device, Ballast track

1. はじめに

2004年に発生した新潟県中越地震で営業運転中の新幹線車両が脱線した事故を受け、JR東日本では新幹線地震脱線対策に関する研究開発を進めている。このうち、線路設備の地震脱線対策としては以下の開発があげられる。(2017年4月現在の進捗状況)

(1) 地震対策用接着絶縁レール(敷設完了)
(2) スラブ軌道用レール転倒防止装置(敷設工事中)
(3) バラスト軌道用レール転倒防止装置(開発完了)
(4) 弾性直結まくらぎ軌道用レール転倒防止装置(開発完了)
(5) 伸縮継目撤去(撤去工事中、撤去対象拡大検討中)

スラブ軌道用レール転倒防止装置については開発が完了し、敷設を進めている。バラスト軌道用についても開発が完了し2017年度より導入することが決まったことから、本稿ではバラスト軌道用レール転倒防止装置の開発について報告する。

2. 新幹線地震脱線逸脱防止対策

新潟県中越地震において、脱線した車両の被害が大きく拡大しなかった理由の一つとして、脱線した車両が床下機器と車輪の間にレールを挟み込んで走行し、レールに誘導される形で車両が直進したことが挙げられる。一方で、脱輪した車輪によってレール締結装置が破壊され、最後尾の車両は走行ガイドを失って隣接線側へ逸走する事象もみられた(図1)。以上から、レールが車両の走行ガイドとして機能すれば脱線車両を安全に停止まで導けることが示唆され、レールを積極的に利用して車両の逸走を防止する対策が考えられた。そこでJR東日本では、車両に「L型車両ガイド」、軌道に「レール転倒防止装置」を導入し、二つの対策を共に機能させることで、脱線時の被害の拡大防止を図る方針とした。

図1　脱線車両の概況

図2　L型車両ガイド

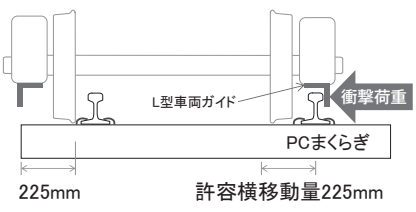

図3　L型車両ガイドによる誘導

[*1]JR東日本研究開発センター　テクニカルセンター
[*2]東京支社施設部保線課　保線担当課長(元　テクニカルセンター)

L型車両ガイドは、台車の軸箱に取り付ける逆L字型の金具（図2）で、脱線した際にレールによって車両を誘導するように設計されており、当社の新幹線区間を走行するすべての営業車両に取付けている。このL型車両ガイドが有効に機能するためには、レールが軌道上に拘束され、レールの転倒や大幅な横移動を防ぐ必要がある。そこで、軌道側にはレールの大きな横移動や転倒を防止するレール転倒防止装置を設置することとした。

3. レール転倒防止装置に必要な性能

レール転倒防止装置は、以下の性能を満足する必要がある。

（1）レール転倒防止性能

レールは、脱線した車輪またはL型車両ガイドを介して脱線した車両から荷重を受ける。この荷重に対してレールが転倒せず、かつ横移動量を一定量以下に抑え脱線した車両が軌道から逸脱しない（車輪がまくらぎ等から落下しない）ことが必要となる（図3）。バラスト軌道の場合、横移動量を225mm以内に収める必要がある。なお、地震時に新幹線車両がレールに与える水平方向の荷重はスラブ軌道を想定した比較的剛な支持剛性に基づき検討した結果、200 kNと定められている[1)]。

（2）衝突耐久性能

脱線した車両の車輪はレール転倒防止装置の上を通過する。通過時にレール転倒防止装置が破壊せず、転倒防止性能が維持されることが必要となる。低速域（60km/h以下）については実台車を用いた衝突試験で衝突した際のレール転倒防止装置の耐久性能を確認し、高速域（～360km/h）は衝突解析により衝突時の耐久性を評価する。なお、衝突解析の結果は実台車衝突試験の結果と照合し、十分な精度を有していることを確認している。

（3）電気絶縁性能

レール転倒防止装置は既設の軌道に敷設する金属製の装置であるため、軌道回路に影響を与えるおそれがあり、鉄道構造物等設計標準[2)]に定められる絶縁抵抗値を満足していることを確認する必要がある。新幹線の軌道回路における漏れコンダクタンス目標値は0.35s/km以下とされている。

1km当たりに必要な電気絶縁抵抗値　$R = {}^{1}/_{0.35} = 2.86\,\Omega/\mathrm{km}$　（新幹線）

軌道回路においてまくらぎは並列回路であるため　$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \cdots + \frac{1}{r} = \frac{n}{r}$　より

まくらぎ1本当たりに必要な絶縁抵抗値　$r = n \times R = 1720 \times 2.86 \fallingdotseq 4.9\,\mathrm{k}\Omega$

（n:まくらぎ本数/km）

4. バラスト軌道用レール転倒防止装置の開発

バラスト軌道用レール転倒防止装置を図4に示す。バラスト軌道では、既に導入を進めているスラブ軌道用（図5）のように締結装置間にレール転倒防止装置を設置することができない。そこで、全てのレール締結装置を脱線した車輪から保護することで、水平方向の衝撃荷重をレール締結装置の小返り抵抗力により負担し、有道床軌道全体（レール+レール締結装置+PCまくらぎ+道床バラスト）でレールの転倒および大幅な横移動を防止する性能を確保している。

図4　バラスト軌道用レール転倒防止装置

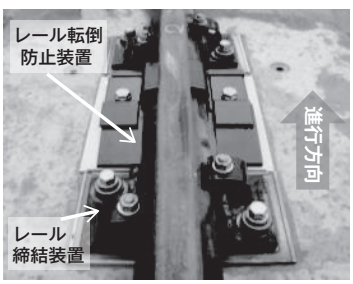

図5　スラブ軌道用レール転倒防止装置

レール転倒防止装置は取付け作業を容易にするため、レール締結装置の締結用ボルトを共用して既設PCまくらぎに設置する構造であり、人力にて設置可能な重量（内軌用・外軌用：約6kg）とした。形状は設置後の保守管理も踏まえ、以下の項目を満足することとした。

①板ばねの視認性を向上

②ばね受台の調整が可能

③締結ボルト部に雨水・ゴミ等が堆積しない

また、本装置は将来導入が検討されている新幹線軌道材料モニタリングによる締結ボルトの緩み判定も可能な形状とした。

(1) レール転倒防止性能

レール転倒防止性能は図6に示すような重錘試験により確認した。試験では重錘をレールに衝撃させるが、重錘の落下高さは衝撃力が設計荷重（スラブ軌道に対して200kN）となるように設定し、レール頭部側面に重錘を衝突させた。結果を図7に示す[3]。この結果から、バラスト軌道において全てのレール締結装置が締結されている場合、受け側の衝撃荷重の最大値は115kN、レール頭部の横変位は約26mmとなり、許容値である225mm以内であることからレール転倒防止性能を満足していることを確認した。

(2) 衝突耐久性能の確認

衝突耐久性能は非線形動解析を用いた衝突解析により確認した。解析モデルを図8に示す。解析では新幹線のバラスト軌道および新幹線車両をモデル化し、脱線した車輪がレール転倒防止装置に衝突した時のバラスト軌道の各部材状態および車輪の挙動を確認した。

衝突耐久性を確認した際に、レール転倒防止装置を全てのまくらぎに設置する「連続配置」のほか、図9に示すようなまくらぎ1本おきにレール転倒防止装置を設置する「離散配置」や一定数断続的にレール転倒防止装置を設置する「断続配置」での耐久性についても検討を行った。

解析結果の一例を図10に示す。まくらぎ全数に設置する連続配置では360km/hまでの速度で衝突する車輪に対して衝突耐久性を有していることを確認した。一方、離散配置や断続配置では、車輪がレール転倒防止装置を乗り越える位置が高くレール転倒防止装置が破壊する可能性が高い結果となった。

以上の結果、レール転倒防止装置は連続配置とすることとした。

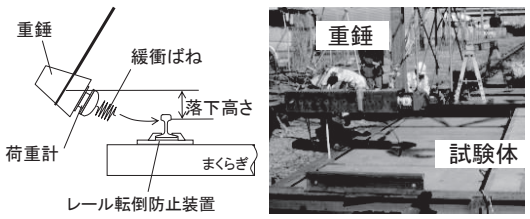

図6　重錘試験の試験概要

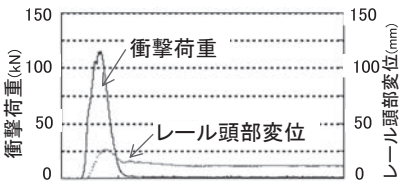

図7　衝撃載荷試験結果
（試験は鉄道総研により実施）

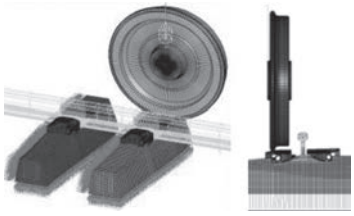

図8　衝突解析モデル

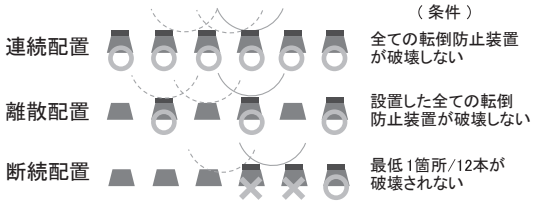

図9　転倒防止装置の配置イメージ

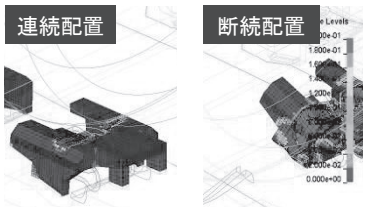

図10　衝突解析結果の一例

(3) 電気絶縁性能の確認

まくらぎ1本あたりの電気絶縁抵抗値が鉄道構造物等設計標準[2]に定められる乾燥状態、降雨状態、汚損状態のすべての状態において新幹線バラスト軌道に必要な抵抗値4.9kΩを満足していることを確認した上で、延長1.3km（軌道回路1単位延長）の営業線で試験敷設を実施し、軌道回路への影響を確認した（図11）。

敷設区間における信号受信レベルの変動について継続的な調査を行ったところ、敷設前後および隣接線と比較してもレール転倒防止装置による軌道回路への影響はないことを確認したが、敷設後6ヶ月の時点で一部の絶縁材に剥離等が確認された。そこでレール転倒防止装置の脚部および絶縁材を剥離しにくい形状とし、万が一接着部分が剥離しても絶縁材が脱落・飛散しない構造に変更した（図12）。

図11　営業線試験敷設

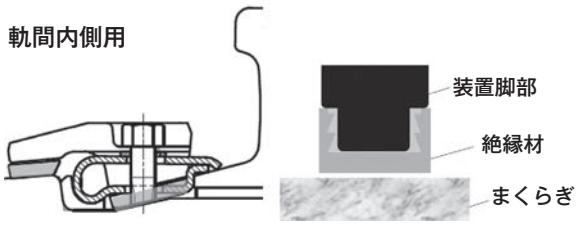

図12　脚部および絶縁材の改良

5. レール転倒防止装置の整備計画

表1にレール転倒防止装置の今後の整備計画を示す。これまでスラブ軌道を対象に進めてきた対策を2017年度よりバラスト軌道にも拡大し、2029年度までに完了する予定である。このうち、最新の活断層の知見に基づき優先施工区間（東北新幹線約50㎞、上越新幹線約150㎞）を設定し、2020年度までに整備することを計画している。

表1　レール転倒防止装置の整備計画

線名	区間	軌道延長[km]	計画延長[km]		
			スラブ（うち整備済）	バラスト	合計
東北新幹線	東京～新青森	1,352	967(473)	80	1,047
上越新幹線	大宮～新潟	539	484(103)	23	507
北陸新幹線	高崎～上越妙高	352	103(103)	—	103
合計		2,243	1,554(679)	103	1,657

6. おわりに

バラスト軌道用レール転倒防止装置に対する各性能確認試験および営業線での試験敷設により必要な性能を満足していることを確認し、2017年度より順次導入する予定である。今後も新幹線地震脱線対策の研究開発を進め、新幹線の安全性および信頼性の向上をめざしていく。

謝辞

本開発にあたり、新幹線脱線技術検討会「レール転倒防止装置ワーキンググループ」の（公財）鉄道総合技術研究所、及びJR各社、関係メーカーの方々から多大なご協力を頂きました。この場を借りて関係の皆さまに厚く御礼を申し上げます。

参考文献

1）手代木卓也、小西俊之、野本耕一、新幹線地震脱線対策用レール転倒防止装置の開発、新線路2009.6
2）鉄道総合技術研究所、鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造、付属資料12
3）松本剛明、堀雄一郎、バラスト軌道用レール転倒防止装置の開発、新線路2012.7