

1614 新幹線地震脱線対策技術の開発

正 [土] 手代木 卓也、小西 俊之 (東日本旅客鉄道株式会社)

正 [土] 野本 耕一、若月 修 (財団法人 鉄道総合技術研究所)

Measures against Shinkansen derailment caused by earthquake

Takuya TESHIROGI, Toshiyuki KONISHI East Japan Railway Company

Kouichi NOMOTO, Osamu WAKATSUKI Railway Technical Research Institute

In October 2004 Niigata Chuetsu earthquake, the Shinkansen was derailed. One of the causes of damage after the derailment is breakage of rail fastenings. To prevent the damage expansion after the derailment, we developed "Rail rollover prevention device". Even if all of rail fastening are broken, the devices can prevent rail rollover or large lateral movement. The rail with that device leads the derailed rolling stock forward, preventing large sideways deviation.

In addition, we report on a recent situation concerning the development of the Shinkansen derailment.

Keywords:: Shinkansen, Earthquake, Derailment, Rail fastenings

1. はじめに

2004年10月23日、新潟県中越地方を震源とするマグニチュード6.8、最大震度7の地震が発生し、浦佐～長岡間を走行中の上越新幹線「とき325号」が脱線する事故が発生した。この列車には、お客さま151名をはじめ計154名が乗車していたが、幸いにも大きな被害となることはなく、死傷者を出すこともなかった(図1)。

営業中の新幹線が脱線するという過去に例のない事故を受け、脱線メカニズムの解明や脱線被害を抑制するための対策について、JR各社と鉄道総合技術研究所がさまざまな角度から研究開発を進めている。本稿では、この一環で開発した「レール転倒防止装置」について述べるとともに、当社における新幹線地震脱線対策の概況について報告する。

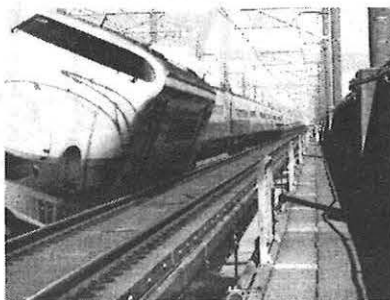


図1 新潟県中越地震での脱線

2. 新幹線地震脱線対策の検討

前述の脱線事故に関する調査では、脱線後に被害が拡大しなかった理由のひとつとして、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ている。しかし一方では、脱輪した車輪によってレール締結装置が破壊され、最後尾の車両がガイドを失って隣接線側へ

逸走してしまう事象もみられた。

これらのことから、レールが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たため、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。そこで当社では、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、この二つ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ことを対策の基本とした。

図2に「L型車両ガイド」を示す。これは、台車の軸箱に取り付ける逆L字型の金具で、図3に示すように脱線した車両がレールに誘導されるよう設計した対策である。一方の「レール転倒防止装置」はレールの転倒と横移動を防止し、レール締結装置がすべて破壊された場合にもレールを脱線車両のガイドとして機能させること目的とした対策である。

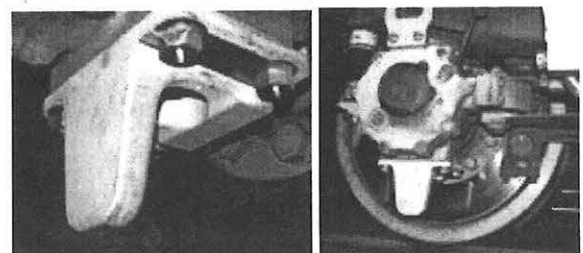


図2 L型車両ガイド

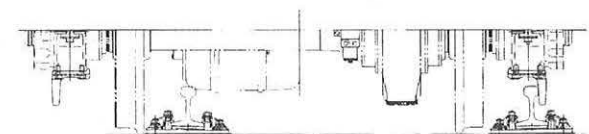


図3 L型車両ガイドによる誘導

3. レール転倒防止装置の概要

3.1 概要

図4にレール転倒防止装置を示す。レールの底部を押さえることで、レールの転倒と横移動を防止する構造である。既設の軌道に後から設置できることを前提としており、レール締結装置の中間に新たに取り付けられる寸法形状としている。設置の間隔は、レールの曲げ剛性などに関する検討から、レール5mにつき1カ所とした。

なお、レール転倒防止装置には軌道の構造によってさまざまなタイプがあるが、本稿で述べているものは直結8形レール締結装置を使用している区間に適用するものである。

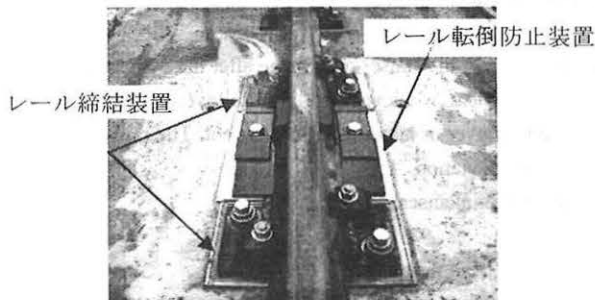


図4 レール転倒防止装置（直8用）

3.2 要求される性能

レール転倒防止装置に要求される性能と、設計の前提条件を以下に示す。

(1) 転倒防止性能

図5に、脱線した車両とレールの位置関係を示す。図のようにレールはL型車両ガイドを介して脱線車両から荷重を受けるため、レール締結装置が破壊された状況では、5m間隔で設置したレール転倒防止装置の間では、たわみによってレールの横移動量が大きくなる。転倒防止性能とは、このような場合にも、レールの横移動を一定量（195mm）以下に抑え、脱線した車両が軌道から逸走しない（車輪が軌道スラブから落下しない）ようにする性能のことである。

別途の検討で、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200kNと算定されているため、このエネルギーに相当する衝撃载荷で性能を満たすことを設計の条件とした。

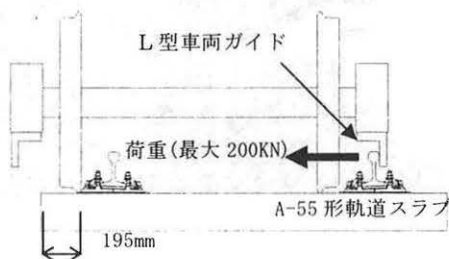


図5 輪軸とレールの位置関係

(2) 衝突耐久性能

脱輪した車輪は、レール転倒防止装置の上を踏み越えて通過していく場合がある。衝突耐久性能とは、このように車輪に踏み越えられた場合にも装置自体が破壊せず、転倒防止性能を維持できる耐久性のことである。開発に

あたっては、将来の新幹線の高速化を踏まえ、時速360kmで走行する車輪の通過にも耐えられることを設計の条件とした。

(3) 電気絶縁性能

レール転倒防止装置は、既設の軌道に後から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った。そのため、電気絶縁性能はレール締結装置と同等以上であることを目標とし、敷設後にも軌道回路に悪影響を与えないことを設計の条件とした。

4. 性能確認

前章で述べた性能が満たされていることを試験や解析を行って確認した。それらについて以下に概説する。

4.1 転倒防止性能の確認「衝撃载荷試験」

転倒防止性能を実際に確認するために「衝撃载荷試験」を行った。この試験は、荷重計を取付けた重錘をレールに落下させ、衝撃荷重を载荷する試験である。図6に試験装置の模式図を、図7に使用した試験軌道を示す。

この試験の結果、レール転倒防止装置を5m間隔で取り付けた軌道であれば、仮にレール締結装置がすべて破壊されたとしても、レールの転倒や横移動が抑制できることが確認された。図8に試験結果の一例を示す。これはレール転倒防止装置の設置間隔の中間に载荷した場合を示しているが、レールの横移動量は195mmよりも小さく、車両の逸走を防止する転倒防止性能を有することが確認できた。

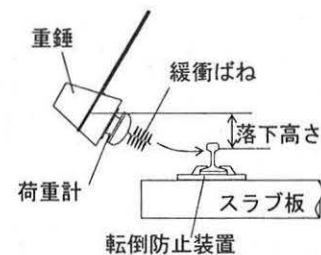


図6 試験装置の模式図

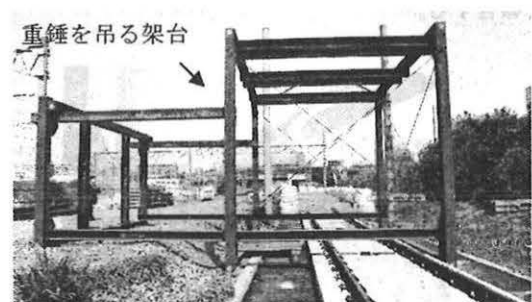


図7 試験軌道

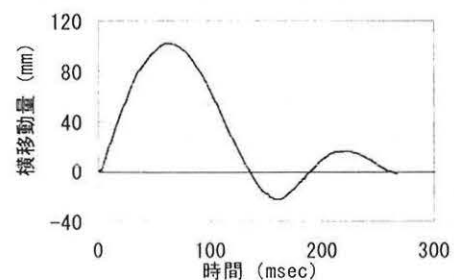


図8 試験結果の一例（レールの横移動量）

4.2 衝突耐久性能の確認①「衝突試験」

衝突耐久性能を確認するために「衝突試験」を行った。この試験は、車体重量に相当する荷重を載せた実台車を軌道モーターカーで推進により加速し、時速 60km に達した後に突放して、地上に据え付けたレール転倒防止装置上を通過させる試験である。図 9 に衝突試験の状況を示す。

この試験による時速 60 km までの検証の結果、脱輪した車輪がレール転倒防止装置の上を踏み越えて通過しても破壊されることがなかった。そのため、時速 60 km までの速度に対しては十分な衝突耐久性能を有することが確認できた。

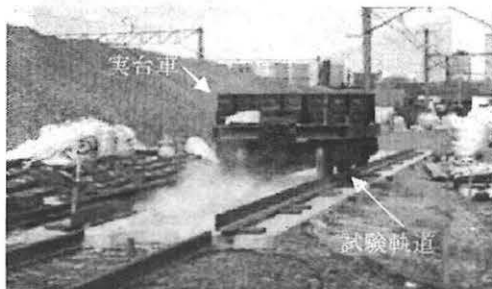


図 9 衝突試験の状況

4.3 衝突耐久性能の確認②「衝突解析」

前項の衝突試験では、時速 60 km までの衝突耐久性能の評価であったので、さらに高速域での性能を評価するため汎用非線形構造解析ソフト (LS-DYNA) を用いて、時速 360 km 相当での衝突耐久性能の評価を行った。

(1) 衝突解析の精度の検証

前項の衝突試験を想定した条件で衝突解析を行って解析結果と衝突試験の結果を照合し、解析が十分な精度を有していることを確認した。

(2) 衝突解析

図 10 に解析モデルの概略図を示す。車両は車輪、台車および車体を、ダンパーを考慮したまくらばねと軸ばねで結合した単輪のモデルである。軌道スラブは、別途実施したコンクリートの圧縮試験の結果を元に応力-ひずみ曲線を決定し、ひずみ速度と降伏応力の上昇率を考慮した。

図 11 に解析結果の一例を示す。解析の結果、脱輪した車輪が時速 360 km でレール転倒防止装置上を踏み越えて通過しても装置は破壊することはない、十分な衝突耐久性能を有することが確認できた。

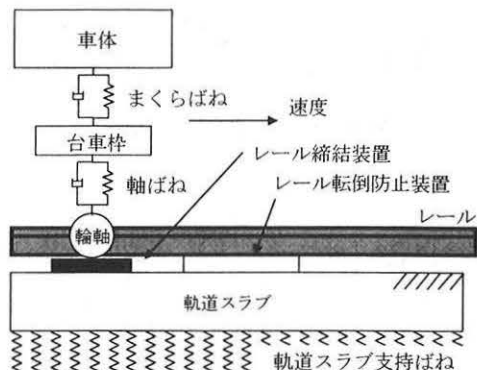


図 10 解析モデルの概略図

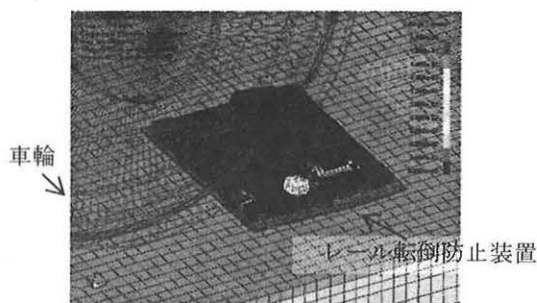


図 11 解析結果の一例

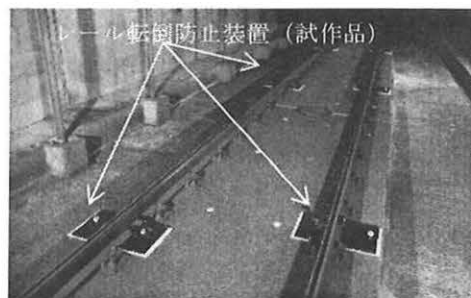


図 12 試験敷設の状況



図 13 軌道回路の受信レベルの変動

5. 営業線試験敷設

前章までの性能確認により、レール転倒防止装置が車両の逸脱防止対策として必要な強度や耐久性を有することが確認できた。そこで、本格導入を視野に入れ、レール転倒防止装置を営業線に試験的に敷設して軌道回路への影響の検証を実施した。図 12 に試験敷設の状況を示す。対象区間は東北新幹線の DS-ATC 区間の 1 軌道回路 (約 1.1km) であり、軌道回路の受信レベルの変動について継続的な調査を行った。

図 13 に、敷設前後の受信レベルの変動を示す。敷設から半年以上が経過しているが、受信レベルの変動傾向に影響は認められなかったことから、一般的な軌道回路の区間においては、レール転倒防止装置の敷設が可能であると判断することができた。

6. 他の軌道構造箇所への適用

これまでの検討で、レール転倒防止装置が新幹線地震脱線対策として有効であることが確認できた。

ここまで報告したものは主に新幹線の明かり区間 (直結 8 形レール締結装置使用区間) で使用されている A-55 形軌道スラブ等に適用するものであるが、その他の構造の箇所についても同様の研究開発を進めている。表 1 に当社の新幹線の軌道延長の割合と対策工の種類を示す。

表1 軌道延長と対策工の種類

区間	軌道構造	軌道延長 数量	基本とする対策
明かり	A-55形軌道スラブ等 (直結8形)	約1200km	レール転倒防止装置 (直8用)
	弾性マクラギ直結軌道	約50km	開発中
	バラスト軌道	約150km	開発中
トンネル	A-51C形軌道スラブ (直結4形)	約250km	レール転倒防止装置 (平板直4用)
	AF-57形軌道スラブ (直結4形)	約190km	レール転倒防止装置 (枠型直4用)
分岐器		約200台	地震脱線対策用分岐器の 開発中
伸縮継目(EJ)		275組	撤去の検討を実施中

(1) 明かり区間用レール転倒防止装置

明かり区間用のレール転倒防止装置は、本稿で述べた直8用の開発が完了している。当社の営業線には、その他に弾性マクラギ直結軌道およびバラスト軌道が計約200km存在するため、今後はこれらの軌道に対応できるレール転倒防止装置の開発を進めていく。

(2) トンネル区間用レール転倒防止装置

図14にトンネル区間(直結4形レール締結装置使用区間)で使用されているA-51C形軌道スラブに適用するレール転倒防止装置を示す。設計の条件や性能は同様であり、軌道スラブの形状に合致するよう寸法形状を修正したものである。このレール転倒防止装置は2009年8月に1軌道回路の試験敷設が完了しており、軌道回路の受信レベルの変動に関して継続的な調査を行っている。

また、整備新幹線区間のトンネルで用いられているAF-57形軌道スラブ(図15)に対応するレール転倒防止装置も並行して開発を行っている。今後、軌道回路へ与える影響の確認を行う計画である。

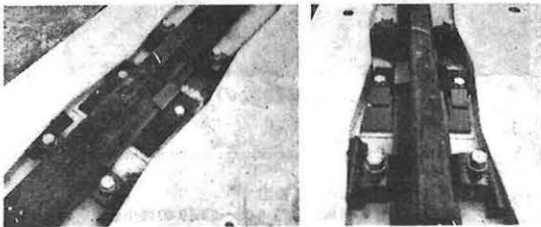


図14 レール転倒防止装置(平板直4用)

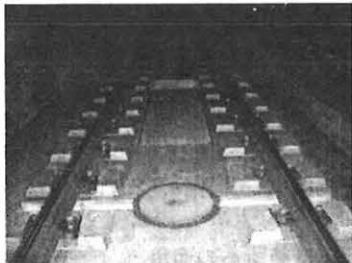


図15 AF-57形軌道スラブ

7. その他の地震脱線対策

7.1 新幹線地震脱線対策用接着絶縁レール

中越地震による脱線の被害では、接着絶縁レールの継目板が脱線した車輪によって剥ぎ取られ、レールが破断して開口してしまう事象がみられた。前述のとおり、当

社の新幹線地震脱線対策はレールを車両のガイドとすることを基本としているため、接着絶縁レールの破断防止対策が必要となった。

そこで、従来の接着絶縁レールに代わる「新幹線地震脱線対策用接着絶縁レール」を開発した。この接着絶縁レールは、脱線車輪の進入部側にテーパを設けて脱線車輪の衝突を緩和したことと、継目板の上部に「つば」を設けボルトナットを保護する形状としたことが特徴である。当社では、2006年度より交換を進め2011年までに新幹線の全ての接着絶縁レールを交換する計画である。図16に敷設状況を示す。

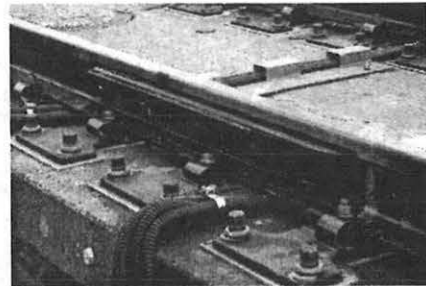


図16 新幹線地震脱線対策用接着絶縁レール

7.2 新幹線地震脱線対策用分岐器

脱線車両が分岐器に進入した場合、軌道を横断するレールなどにより被害が甚大になるリスクが高いため、分岐器部脱線対策構造の研究開発を行っている。具体的には、分岐器前後にスロープがついた路面板を設置して分岐器上を通過させ、脱線車両の軌道からの逸走を防止する対策である。現在、基本的な構造検討として、以下について研究を行っている。

- ・対策工構造の検討、開発
- ・分岐器対策工上を走行する車両の挙動把握
- ・対策工の設置を考慮した分岐器部材の開発
- 引き続き以下の内容について検討を進め、地震脱線対策用分岐器の具体化を進めていく。
- ・分岐器が連続して敷設されている箇所への対策
- ・対策工に対応した転轍機構の開発
- ・路面板や前後のスロープ部分の固定方法の検討

7.3 伸縮継目の撤去の検討

伸縮継目は構造的にレールがつながっておらず、分岐器同様に高いリスクを有している。そのため、ロングレール管理手法の見直しを含めて、伸縮継目を撤去する検討を行っている。これまでの検討で、設定温度幅の基準の見直しにより約6割の分岐器が撤去できることが判明した。今後は、ロングレール理論の再構築、軌道構造の最適化などにより残された伸縮継目の検討を進めていく。

8. 謝辞

レール転倒防止装置の開発にあたっては、新幹線脱線対策技術検討会「レール転倒防止装置ワーキンググループ」メンバーであるJR各社、鉄道総研および関係メーカーの方々から多大なご協力を頂いた。この場を借りて、関係のみなさまに厚く御礼を申し上げる。

【参考文献】

新幹線地震脱線対策技術検討会、合同分科会中間報告書、平成20年3月