

1604 脱線防止ガードの強度確認試験

正 [土] ○曾田 祥信 (東海旅客鉄道) 正 [土] 安達 修一 (東海旅客鉄道)
正 [土] 渡邊 康人 (東海旅客鉄道) 正 [土] 村松 浩成 (東海旅客鉄道)

Strength tests of anti-derailing Guard Rail

Yoshinobu SODA, Central Japan Railway Company, 1545-33, Ohyama, Komaki, Aichi
Shuiti ADATI, Central Japan Railway Company
Yasuhito WATANABE, Central Japan Railway Company
Hironari MURAMATSU, Central Japan Railway Company.

In Central Japan Railway, We pushed forward technology development of anti-derailing guard rail to check the damage of the Shinkansen at the time of large-scale earthquake outbreak at the minimum. We carried out horizontal loading tests of anti-derailing guard rail and drawing tests of insert for anti-derailing guard rail installation. The purpose is effect confirmation of design specifications of anti-derailing guard rail that was set up to prevent derailment / the deviation of the Shinkansen vehicle. We introduce the summary of the strength tests.

Keywords: Anti-derailing guard rail, strength test, 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、施設面、車両面で当面とり得る対策の可能性等について検討を進めてきた。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 20 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、強度確認試験の概要と結果について述べる。

2. 脱線防止ガード

2.1 脱線防止ガードの設計仕様

開発当初の設計仕様は、脱線防止ガード設置位置を建築限界の下部限界寸法に合わせ、レール側面からの離れ 60 mm、レール頭頂面からの高さ 35 mm とし、設計荷重は 200kN を採用していた。最終的な設計仕様は、これまでに実施した実験、解析及び敷設試験の結果に基づき²⁾、図 1 に示すように、レール側面からの離れ 80 mm、レール頭頂面からの高さ 20 mm、設計荷重は 170kN とした。この仕様では、設計荷重を 170kN としたことで、軌道材料として汎用品の高いボルト類で構成することが可能となった。

また、脱線防止ガードの 1 セット当たりの長さは、人力による小運搬並びに転換が可能な重量 (28.5kg/m)、東海道新幹線のまくらぎ間隔 0.581m、現地に設置した際の

ガードの正矢量を考慮し、図 1, 2 に示すように、直線用は 6.380m、曲線用は 4.056m とした。

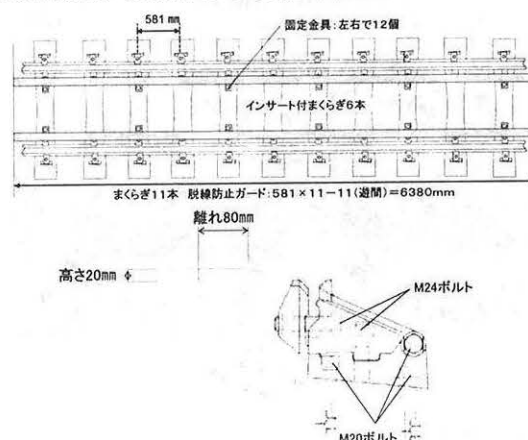


図 1 脱線防止ガードの設計仕様

○曲線用ガード

- ・長さを約 4m に短縮し、正矢量を 1mm 未満に抑制
- ・基本構造は直線用と同じ

用途	ガード延長	正 矢 量
直線用	6.380m	R2500
曲線用	4.056m	0.82mm

まくらぎ 7 本 脱線防止ガード: 581 × 7 - 11 (造間) = 4056mm

○ガード継目構造

- ・ガード端部にテーバーを設け、脱線防護時の乗り移り際の衝撃を緩和
- ・テーバー形状は、1/100を採用

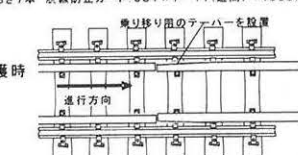


図 2 曲線用脱線防止ガードと継目部の設計仕様

なお、各種の強度試験の結果から、脱線防止ガードを固定する締結装置は、1本おきのPCまくらぎに設けた鋼製インサートに固定する構造とした。さらに、脱線防止ガード端部には、脱線防止ガード継目部を車輪が乗り移る際の衝撃緩和を目的に、図2に示すように、1/100のテーパを設けた。

開発した脱線防止ガード(図3)は、スクラップを主原料とし、ガードレールの素材はSS400、締結ブロックはFCD500を用いている。

この脱線防止ガードは、転換を可能とすることを特徴とし、レール近傍に作業スペースを確保することで、道床バラストの突き固めやレール削正などを可能とし、線路保守作業への影響が少ない構造とした。

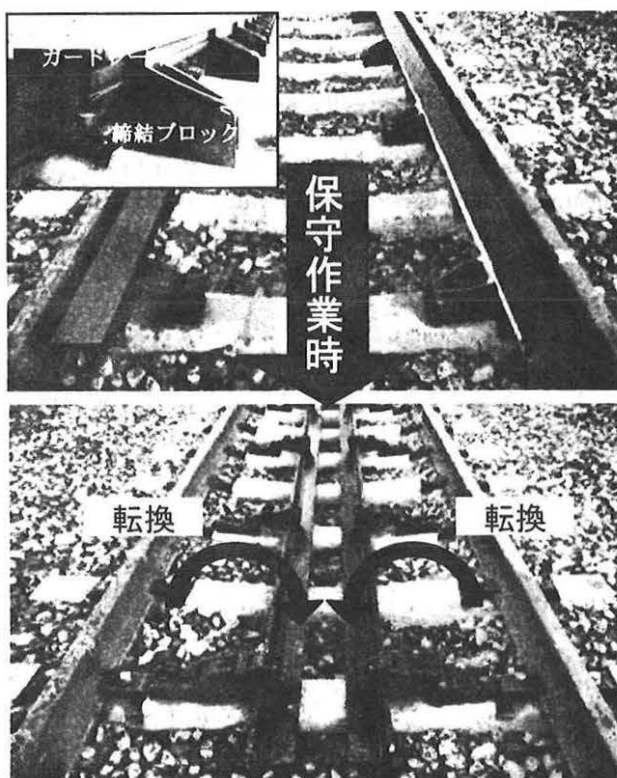


図3 脱線防止ガードの転換

3 静的載荷試験

設計荷重 170kN に対する脱線防止ガードの強度確認を目的に、実物による静的載荷試験を実施した。

3.1 単体載荷試験

設計においては、最も厳しい条件を想定し、脱線防止ガード締結装置単体で設計荷重である 170kN に耐えうる構造を想定している。そこで、図4に示すように、脱線防止ガード締結装置単体を鋼製の治具に固定した状態で静的載荷を実施した。その結果、170kN を載荷しても破壊することはないと、所定の耐力を有していることを確認した。また、100kN 前後から塑性変形が始まるが、変形量は小さく、脱線防止ガードの機能上問題ない範囲であった。さらに荷重を負荷した際の破壊箇所は、転換時に脱着する縦縫いボルトであった。なお、背面からの載荷も実施し、十分な剛性を有していることを確認した。



【目的】設計荷重170kNの確認
【結果】単体への載荷で170kNの強度を確認

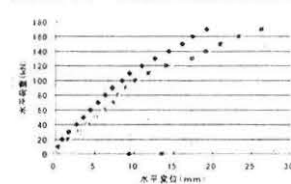


図4 静的載荷試験(単体)

3.2 軌きょう載荷試験

実際の脱線防止ガードは、片側当たり直線用で6締結、曲線用で4締結あり、載荷時は荷重が分散される。また、バラストがまくらぎをバネ支持しているため、その緩衝効果も見込むことができる。そこで、これらの条件を模擬した軌きょう状態での静的載荷試験を実施した。試験の概要を図5に、試験結果の一例を図6に示す。

【目的】設計荷重170kNの確認。
【結果】軌きょうへの載荷で170kNの強度を確認。

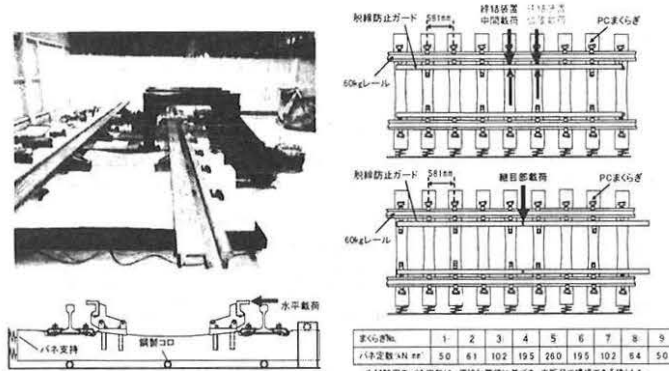


図5 軌きょうでの静的載荷試験

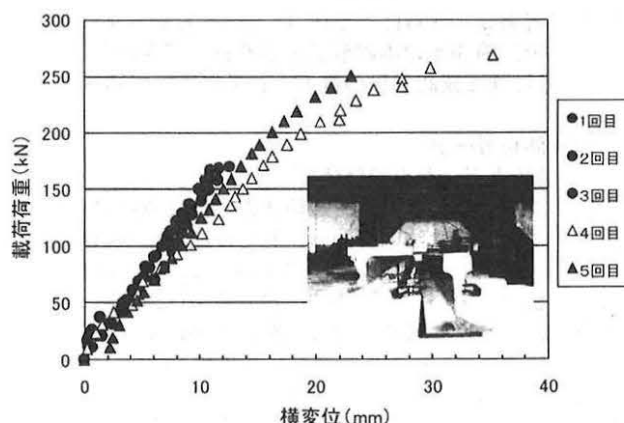


図6 試験結果(ガード締結位置での水平載荷)

本試験は、曲線用脱線防止ガードを想定して片側4締結とし、バラストに代わり、理論計算から求めたバネをまくらぎ端部に設置した。なお、これらのバネの定数は、

中心のまくらぎに 170kN の軸重が上載していると仮定し、その際の各まくらぎ位置でのレール圧力を求め、まくらぎとバラスト間の摩擦係数を 0.75 として算定した。

これらの試験より、以下のことを確認した。

- ・ 何れの荷重位置でも、設計荷重である 170kN の水平荷重まで、脱線防止ガードを構成する各ボルトに生じる応力は弾性域内で、部材に損傷は生じなかった。また横剛性は、脱線防止ガード締結装置位置の荷重で 13.8kN/mm、ガード締結装置中間の荷重で 10.2kN/mm、ガード継目部の荷重で 10.0kN/mm であった。
- ・ 水平荷重をさらに増加した結果、250kN 程度でガード締結装置をまくらぎに固定するインサートの引抜き力によりまくらぎが破壊した。

この試験では、軌きょうによる荷重分散や道床バネの効果により、脱線防止ガード締結装置単体に作用する負荷が軽減され、250kN 程度の強度を有することを確認できた。なお、背面からの荷重も実施し、十分な剛性を有していることを確認した。

3.3 鉛直荷重試験

脱線防止ガードは、車両が仮にその上を走行した場合にも耐える構造を想定している。そこで、脱線防止ガードにガード材端部から 20mm、60mm 地点の 2 箇所、鉛直方向に荷重試験を実施した。その結果、図 7 に示すとおり、輪重相当 60kN の鉛直荷重まで検証を行い、脱線防止ガードの鉛直変位では、ガード材に発生する応力は、弾性域内で、十分な耐力を有していることを確認した。

なお、荷重点の違いによる大差は見られなかった。

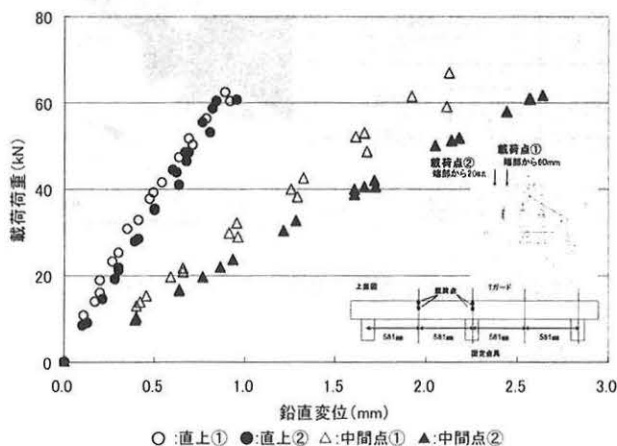


図 7 試験結果（軌きょうでの鉛直荷重）

3.4 衝撃荷重試験

試験の簡便性から、設計荷重に対する耐力の評価は、静的荷重試験で実施するのが一般的だが、実際の地震時には、車輪は脱線防止ガードにある速度をもって衝撃する。また、鋳造品の脱線防止ガード締結装置には、低温時の脆性破壊の可能性が懸念される。そこで、実物による衝撃荷重試験を実施した。なお、衝撃速度は、中越地震推定波の振動速度 (750 mm/sec) を考慮して 700 mm/sec、設定温度は、東海道新幹線沿線の最低気温の 30 年再現期間値 -8~-10℃ に基づき -10℃ とした。試験の概要と結果を図 8 に示す。

これより、設定温度に関わらず、脱線防止ガードの破

壊荷重は、衝撃荷重よりも静的荷重の方が小さいことが分かる。

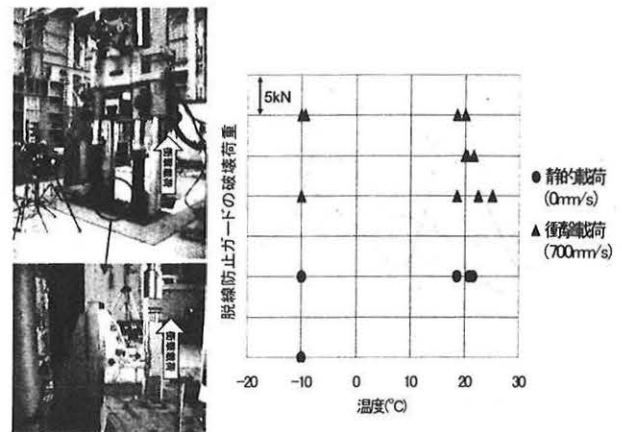


図 8 衝撃荷重試験

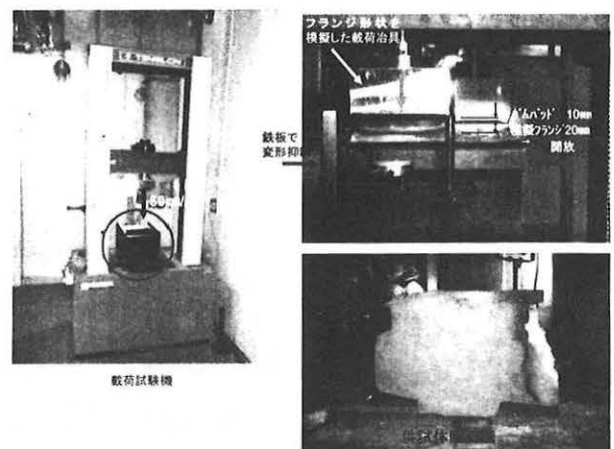
また、衝撃、静的荷重の双方とも、温度による破壊荷重の有意な差は生じていないと言える。従って、脱線防止ガードの耐力を評価する際には、静的荷重の方が厳しい条件であり、室温での静的荷重試験により、安全側の評価が可能と言える。

3.5 着氷を想定した荷重試験

東海道新幹線の降積雪地区では、雪の舞上りを防止する目的でスプリンクラーによる軌道上への散水を実施している。そこで、積雪が氷塊に変化することを想定し、脱線防止ガードとレール間に介在する氷塊等が、走行安全性に与える影響を図 9 に示す荷重方法により確認をした。

その結果、氷塊による反力を図 10 に示す試験結果より 1.5t~2.0t とし、輪重を 5t と推定したところ、車輪フランジと氷塊が支障した際の輪重減少率は 0.3~0.4 程度に相当する結果であった。

従って、車輪フランジが氷塊と支障した際、瞬間的に輪重は抜けるものの、直ちに氷塊が割れるため、その反力が走行安全性に与える影響については問題ないと考えた。



(試験箇所：北海道大学 低温化学研究所)

図 9 着氷荷重試験方法

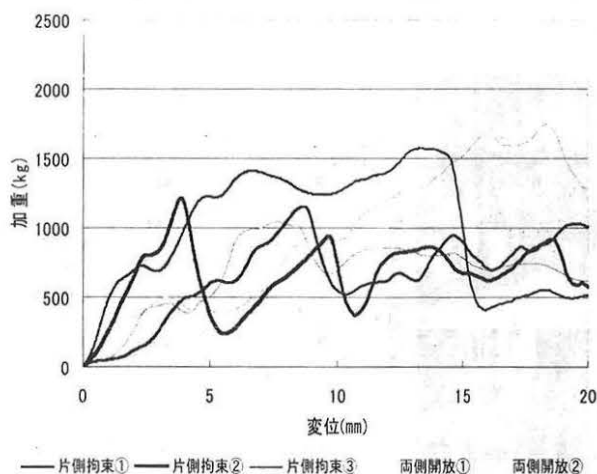


図 10 着氷載荷試験結果

これらの試験結果を踏まえて、東海道新幹線の降積雪地区での本線敷設試験を実施した。

4 脱線防止ガード用まくらぎの要素試験

東海道新幹線の東京～新大阪間には PC まくらぎが約 160 万本存在し、その多くが新幹線開業当初の仕様で設計された 1T, 2T, 3T, 4T まくらぎに相当する。また、現在、これらのまくらぎの 3H, 4H といた重量まくらぎへの更替が順次進んでいる。そこで、実際に脱線防止ガードを PC まくらぎに設置する方法として、以下の 2 つを想定し、要素試験を実施した。

- ・ 脱線防止ガード用インサートを設置して製作した PC まくらぎを、まくらぎ更替に合わせて投入。
- ・ 既設の PC まくらぎに穿孔し、脱線防止ガード用インサートを設置。

4.1 脱線防止ガード用まくらぎの概要

脱線防止ガード用まくらぎは、図 11 に示すように、3H, 4H まくらぎに、脱線防止ガード用インサートを 4 箇所設置した構造とした。なお、インサートを設置しても、PC 鋼線や PC 鋼棒の配置に変更はなく、JIS に定められたまくらぎの曲げ試験等を実施し、まくらぎの基本性能に影響を与えないことを確認した。

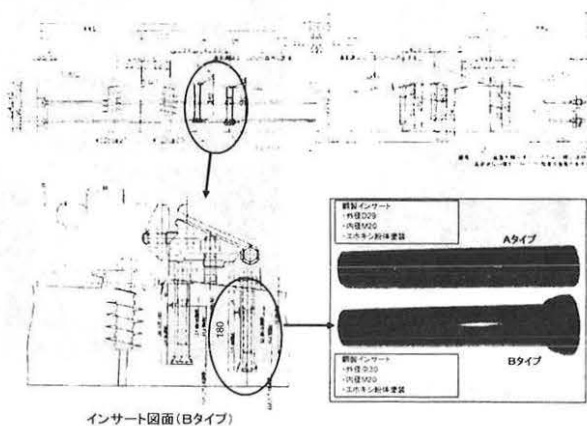


図 11 脱線防止ガード設置用まくらぎ

4.2 脱線防止ガード用インサートの引抜き試験

レール締結装置を固定するインサートは、樹脂製 (FRP) のため安価で絶縁性に富むが、JIS で定められた引抜き強度は 50kN となっている。

そこで、脱線防止ガードを固定するインサートには、スラブ軌道にも用いられている鋼製インサートを参考に、絶縁コーティングを施した物を採用した。

実際の引抜き強度を確認するため、図 12 に示すように、実物を対象にしたインサート引抜き試験を実施した。この結果、脱線防止ガード用インサートの引抜き強度上特に問題ないことを確認した。

また、既存まくらぎに穿孔して後付けしたインサートの引抜き試験も実施し、強度上特に問題ないことを確認した。

なお、穿孔したまくらぎの曲げ載荷試験及び繰返し載荷試験も実施し、曲げ強度が従来から低下しないこと、及び疲労強度が従来から低下しないことを確認した³⁾。

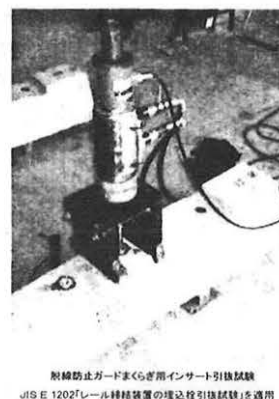
さらに、日本工業規格 JIS E 1118 に規定する方法により、脱線防止ガード用インサートの絶縁抵抗を測定し、レール締結装置の埋込栓 (高速型埋込栓) の規格値 $1.0 \times 10^4 \text{M}\Omega$ 以上の電気抵抗を有していることも確認している。

脱線防止ガードまくらぎ用インサート引抜き試験概要

	インサート長さ (mm)	全長長さ (mm)	径 (φ) (mm)	材質
Aタイプ	180	130	12.9	SD3415
Bタイプ	180	130	φ30	SS490

脱線防止ガードまくらぎ用インサート引抜き試験結果

まくらぎ形状	試験強度試験結果	
	試験強度 (kN)	平均強度
Aタイプ	295	298.3
	300	
	300	
Bタイプ	290	296.7
	300	
	300	



脱線防止ガードまくらぎ用インサート引抜き試験
JIS E 1202「レール締結装置の埋込栓引抜き試験」を適用

図 12 脱線防止ガード用インサートの引抜き試験

5. おわりに

以上のように脱線防止ガードに関する強度確認試験の結果、必要な仕様を満たすことを確認することができた。それにより、東海道新幹線で本線敷設試験を実施した³⁾。今後もさらに研究、開発に努め、安全・安定輸送の強化に取り組んでいく。

最後に、「新幹線脱線対策協議会」でご助言を頂いた関係者の皆様と強度確認試験の実務にあたった大和軌道製造株式会社並びに株式会社安部日鋼工業の御支援に対し、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 森村・関, 新潟県中越地震後の東海道新幹線の地震対策について, J-Rail2009 (投稿中)
- 2) 村松他, 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, J-Rail2009 (投稿中)
- 3) 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)
- 4) 鎧坂他, アンカーボルト設置を考慮した PC まくらぎのひび割れ発生確認試験, 第 62 回年次学術講演会講演概要集, H19