

論文 保守省力型分岐器用ガードの開発

正木 亮¹・高尾 賢一¹・佐藤 克彦²・山室 謙一郎³

¹ 正会員 西日本旅客鉄道株式会社 施設部 施設技術室（〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田 2-4-24）
E-mail: ryou-masaki@westjr.co.jp, kenichi-takao@westjr.co.jp

² 非会員 鉄道機器株式会社 技術部（〒103-0021 東京都中央区日本橋本石町 4-6-7）
E-mail: sato@tetsudokiki.co.jp

³ 非会員 鉄道機器株式会社 富山工場 設計課（〒939-0116 富山県高岡市福岡町下蓑 1151）
E-mail: yamamuro@tetsudokiki.co.jp

保線部門における将来に亘る労働力不足への対応の一つとして、省力化分岐器の開発に取り組んでいる。分岐器は構造上多数のボルトを使用しており、日常管理においてはボルト類の緩みや脱落の保守に多大な労力を要していることや検査の自動化・車上化を見据え、ボルトレス構造を取り入れることとした。

そこで、ボルトレス構造の一例として、分岐器用ガードのボルトレス化に向けた構造設計およびその性能確認を実施し、性能上問題がないことを確認した。

Key Words: Turnout, Boltless, Guard Rail, Maintenance labor-saving, Clip

1. はじめに

近年、保線部門では少子高齢化により労働力確保が年々困難になっており、保守工事や検査に要する労力低減が急務となっている。JR西日本（以下、「当社」という）では、労働力不足への対応として、主に軌道構造の強化、部材の長寿命化および検査の自動化・車上化等の課題解決に向けた取り組みが行われている¹⁾²⁾³⁾。中でも分岐器については、多くの部材で構成され、構造が複雑であり、検査や保守に多大な労力を要していることから、抜本的な省力化分岐器の開発に着手することとした。

これまで取り組まれてきた、検査や保守の省力化に資する分岐器構造の開発事例を以下に示す。

- 1) 駅係員のポイント清掃・注油作業を省略し、生産性の向上および触車事故等の労働災害防止に効果をあげているローラーベアリング床板の開発・導入⁴⁾
- 2) 分岐器の構造強化により、敷設後の年間の高低狂い進み量が約1/3となり⁵⁾、つき固め周期の延伸が図られるPCまくらぎ分岐器の開発⁶⁾
- 3) 転てつ機や転てつ付属装置と共にポイント部の保守上の課題解決を図った次世代分岐器の開発⁷⁾

しかし、前述したように改良された分岐器を含め、現状の分岐器の保守管理の特徴として、構造上多数のボルトを使用しているため、ボルト類の緩みや脱落の保守に

多大な労力を要している。そのため、日常的な点検・整備ゼロを目標に車上からの画像点検等で日常管理可能な構造とし、その方策としてボルトレス構造で対応することとした。ボルトレス構造については、ポイント部等で部分的に線ばね締結装置を用いた分岐器⁸⁾が既に開発されているが、ボルト類の点検等をゼロにするには全部材を対象にする必要がある。

そこで、本稿ではボルトレス構造の一例として、分岐器用ガードのボルトレス化（以下、「ボルトレスガード」という）に向けた開発概要およびその性能確認について報告する。なお、本稿での「ボルトレス」については、ボルトナットによる締結を省略した構造を示す。

2. ボルトレスガードの概要

(1) 構造

ボルトレスガードの構造を図-1に示す。

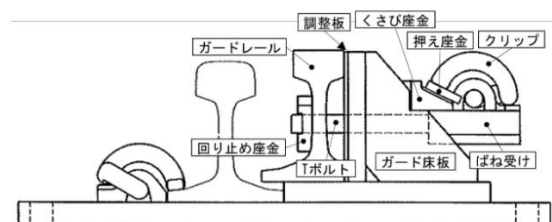


図-1 ボルトレスガードの構造

ボルトレスガードは、一般的に使用されている分岐器用ガード（H形ガード）の構造を基本とし、ガードレールの締結にボルトナットを用いない構造として、線ばねクリップ（バンドロールe2009）（以下、「クリップ」という）を用いた。クリップによる締結を可能にするため、ばね受けに設けたねじ穴に挿入したTボルトおよび回り止め座金でガードレールをガード床板側に引き寄せ、ばね受けとガード床板間に生じた隙間にくさび座金を挿入し、その上面に設置した押え座金をクリップで締結する構造とした。

ボルトレスガードの各構成部材に設けた機能や特徴を以下に示す（図-2）。

a) ガードレール

ガード床板側からTボルト頭部の挿入を可能にするため、穴加工は楕円形状とした。

b) 調整板

H形ガードで用いられている調整板を基本とし、Tボルト頭部の挿入を可能にするため、穴加工を楕円形状とした。

c) ガード床板

Tボルト頭部の挿入を可能にするため、ボルト挿入穴は楕円形状とした。また、ばね受けが設置可能な嵌合形状を設けた（図-2(a)）。

d) ばね受け

ガード床板ごとのフランジウェー幅（調整板の挿入厚さ）に対応させるため、ばね受けとTボルトをねじ構造とし、ボルトの挿入量を変化させることで長さの調整が可能な構造とした。また、ばね受けはクリップ締結時に建築限界の下部限界を支障しない形状とした。

e) 回り止め座金

Tボルト頭部を挿入するためガードレールに設けた楕円穴により、列車通過時に車輪が接触する等によって、ガードレールがレール長手方向に移動することが懸念される。そのため、移動防止対策として回り止め座金に楕円穴に挿入する突起を設けた（図-2(b)）。

f) くさび座金

くさび座金の緩みを防止するため、押え座金との接触面に山形の嵌合形状を設けた（図-2(c)）。

g) 押え座金

くさび座金の緩みを防止するため、くさび座金との接触面に山形の嵌合形状を設けた。また、押え座金に抜け止め部を設けることで、くさび座金が抜け出す方向に移動した場合でも、抜け止め部がばね受けに接触し、くさび座金の脱落を防ぐ構造とした（図-2(d)）。

(2) 組立手順

ボルトレスガードの組立手順を以下に示す。

a) ガード床板およびガードレールを所定の位置に配置

し、ガード床板と主レールを締結する。

b) ばね受けに設けたねじ穴にTボルトのねじ部を挿入し、フランジウェー幅（調整板の挿入厚さ）に応じてボルトの出越し量を調整する（図-3）。

c) ガードレールを主レール側に開き、調整板を設置する。

d) ガード床板側からばね受けを取付けたTボルトを挿入し、ガード床板、調整板、ガードレールおよび回り止め座金の順に通す（図-4）。

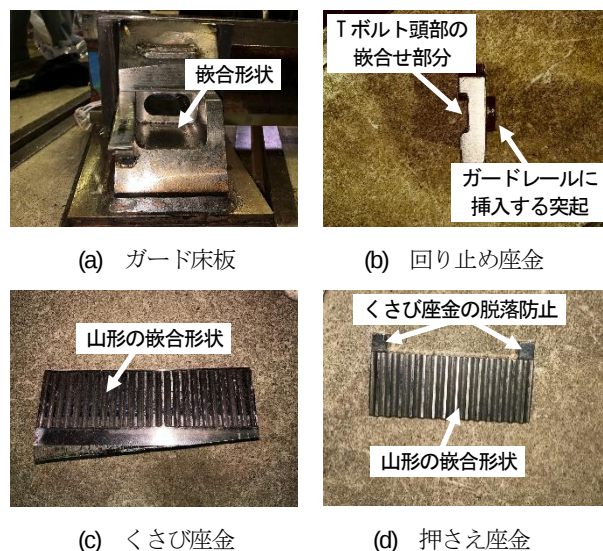


図-2 ボルトレスガードの構成部材

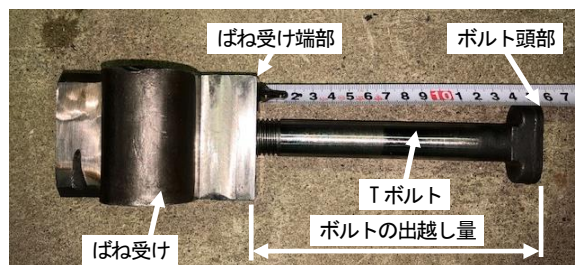


図-3 組立手順 b)

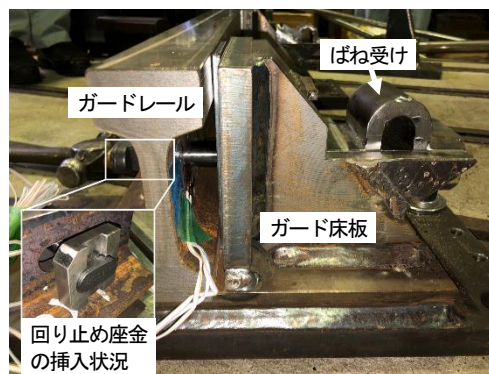


図-4 組立手順 d)

- e) 座金を90° 回転させ、回り止め座金に設けた突起をガードレール穴に挿入する（図-5）。
- f) Tボルトを取付けたばね受けおよびガードレールをガード床板側に引き寄せ、Tボルト頭部を回り止め座金に嵌め合わせる（図-6）。
- g) ばね受けとガード床板間にくさび座金を挿入する。なお、挿入時にハンマー等で強く叩きこむとボルトが変形する可能性があるため、手ハンマーで軽く叩き、くさび座金が止まる位置まで挿入する（図-7）。



図-5 組立手順 e)



図-6 組立手順 f)

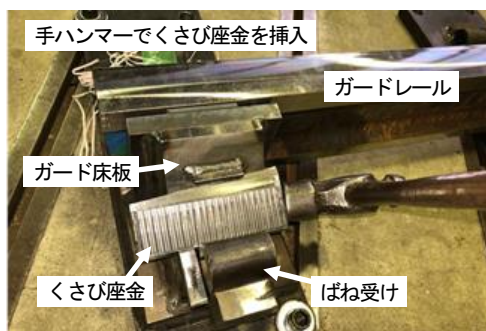


図-7 組立手順 g)



図-8 組立手順 i)

- h) バックゲージおよびフランジウェー幅を確認する。
- i) ばね受けと押さえ座金の突起部の隙間が小さくなるようにして、押さえ座金とくさび座金に設けた山形を嵌め合わせ、クリップを挿入する（図-8）。

3. ボルトレスガードの室内試験

開発したボルトレスガードの性能を確認するため、表-1に示す試験概要により、室内試験を実施した。試験における測定項目は、以下の理由より設定した。

1) ボルトの応力

くさび座金の挿入時およびガードレールに荷重が作用した際に応力が作用すると想定されるため。

2) クリップの応力

クリップの挿入時およびガードレールに荷重が作用した際に応力が作用すると想定されるため。

3) ガードレールの変位

ガードレールの組立方法を変更したことによる影響を確認するため。

試験にはボルトレスガードのガード床板2組とガードレール（長さ850mm）で構成した供試体を用いた。また、比較用として、JIS 50kgNレール分岐器用のH形ガード（以下、「現行品」という）の供試体も用いた。なお、現行品の供試体はクリップを使用していないため、クリップの応力測定は対象外である。

各測定項目における測定箇所および測定方法について、ボルトの応力は図-9に示すように、ボルトの上下左右の

表-1 試験概要

試験内容	試験回数	測定項目
組立試験	3	- ボルトの応力測定 - クリップの応力測定（現行品は対象外）
載荷試験	3	- ボルトの応力測定 - クリップの応力測定（現行品は対象外） - ガードレールの変位測定

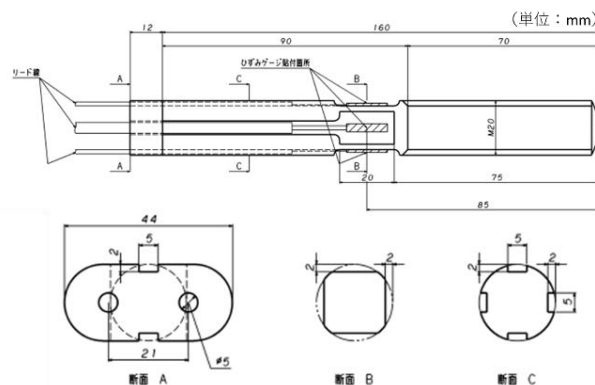


図-9 ボルトの応力測定位置

計4面に単軸のひずみゲージ（株東京測器研究所製，FLA-6-11-3LJCT）を使用して測定した。

クリップの応力は図-10に示すように，クリップのフロントアーチ部およびリアアーチ部に3軸のひずみゲージ（株東京測器研究所製，FRA-1-11-3LJBT）を使用して測定し，最大主応力を整理した．以下，クリップの応力は最大主応力を指す．

ガードレールの変位は供試体中心位置のガードレール頭側面（図-11）において，接触式の変位計（株東京測器研究所製，CDP-25M）を使用して測定した．

(1) 組立試験

組立試験は，定盤上に強固に固定した供試体に対して実施した（図-12）．試験はくさび座金の挿入からクリップの挿入までの手順を1回とし，試験の都度クリップを交換して，計3回実施した．

(2) 载荷試験

a) 試験概要

载荷試験は，大型構造物試験機（株島津製作所製，EHF-JB20/2-40L型）（以下，「試験機」という）（図-13）を用いて行った．なお，供試体に水平方向の荷重を作用させるため架台を製作し，試験機の定盤上に強固に固定して実施した（図-14）．

b) 試験条件

载荷荷重は，ガードレールに作用する車輪背面横圧の最大値の目安とされている118kN⁹⁾相当の荷重（以下，「設計背面横圧」という）を考慮し，载荷荷重を10kNずつ増加させ，最大120kNまで载荷した．試験は0kNから120kNまでの载荷から除荷までの手順を1回として，計3回実施した．また，载荷位置はガード床板の直上とした場合，载荷荷重をガード床板のみで受け持ち，ボルトおよびクリップに応力変動が生じず，またガードレールが殆ど変位しないと考えられることから，供試体の中心位置で载荷した．

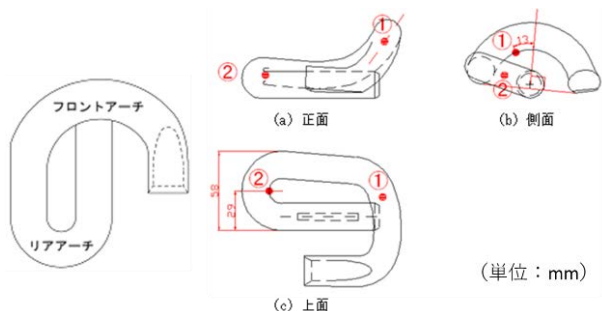


図-10 クリップの応力測定位置

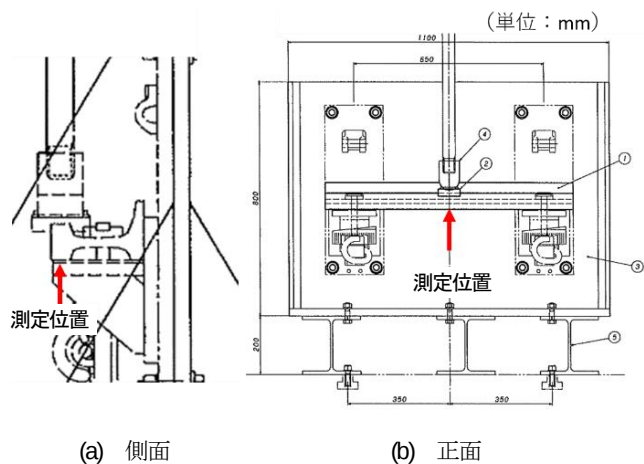


図-11 ガードレールの変位測定位置



図-12 組立試験

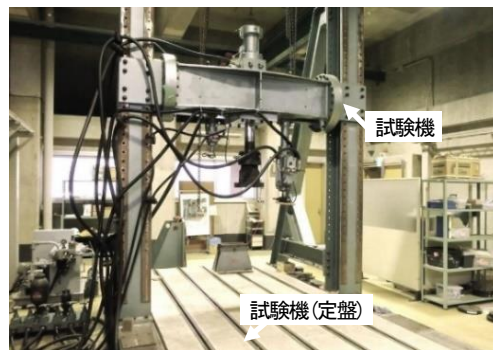


図-13 試験機

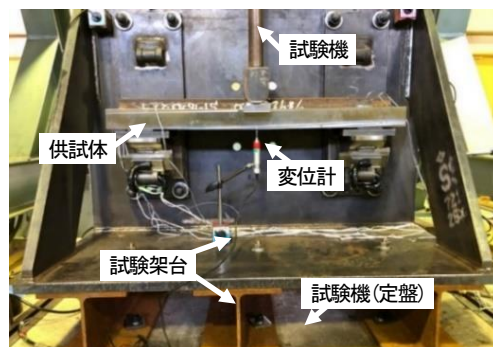


図-14 载荷試験状況

(3) 試験結果

ボルトレスガードの組立試験および载荷試験における時刻歴と応答値の関係の一例を図-15に示す。図中の応力について正は引張応力、負は圧縮応力を指す。ボルトの応力はくさび座金の挿入により、ボルト上面側では引張応力、ボルト下面側では圧縮応力を示す傾向となった。ボルト上面側で引張応力が発生した要因としては、ボルトより上側の位置でくさび座金を挿入する構造となっており、くさび座金の挿入により、ボルトが上反りする挙動を示すためだと考えられる。また、クリップの挿入によって応力変動があることを確認した。クリップの応力はフロントアーチ部（図-10中測点①）において、クリップの挿入時に大きな引張応力が発生することを確認した。なお、以降のクリップの応力については、フロントアーチ部の値を示す。

ボルトレスガードの载荷試験における荷重と応答値の関係の一例を図-16に示す。ここでは、組立時の発生応力を0として载荷による変動分のみ示している。ボルトの応力は荷重の増加に伴い、増加することを確認した。一方、クリップの応力は殆ど変動がないことを確認した。

試験結果を表-2、図-17および図-18に示す。なお、表-2、図-17および図-18の値は測定データの最大値である。

ボルトの応力は、ボルト上面側で組立時で534.8N/mm²、120kN载荷時で552.9N/mm²の引張応力となり、引張応力の最大値で現行品より約100N/mm²程度増加したが、载荷による変動は現行品で約100N/mm²に対して、ボルトレスガードでは18.1 N/mm²となり、载荷による変動が小さくなることを確認した。

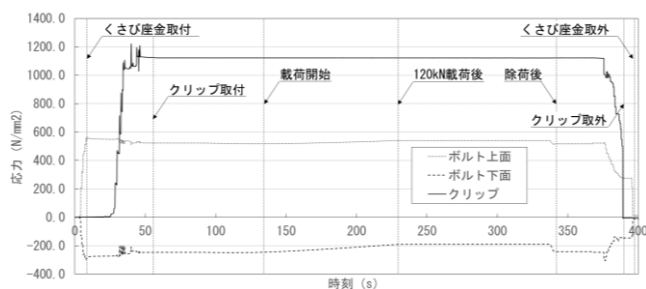


図-15 時刻歴と応答値の関係

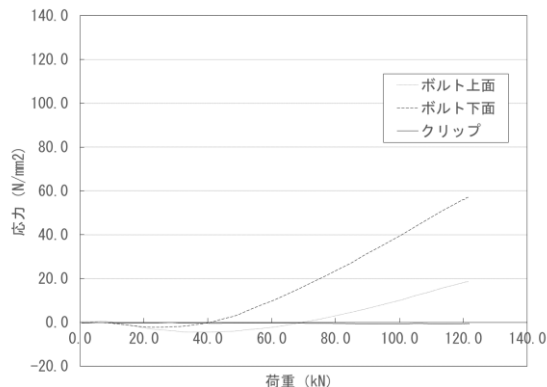


図-16 载荷試験における荷重と応答値の関係

ボルトの疲労強度に関しては、使用するボルト（強度区分10.9）¹⁰⁾の母材である材質SCM435の小形平滑試験片の疲労限度¹¹⁾を用いた耐久限度線図により確認し、疲労限度範囲内であり、所要の疲労強度を有していることを確認した。

表-2 室内試験の結果

測定項目		測定値	
		ボルトレス	現行品
ボルト応力 (N/mm ²)	組立	534.8	356.7
	载荷	552.9	455.9
クリップ応力 (N/mm ²)	組立	1111.4	—
	载荷	1111.0	—
ガードレール 変位(mm)	载荷	3.3	3.2

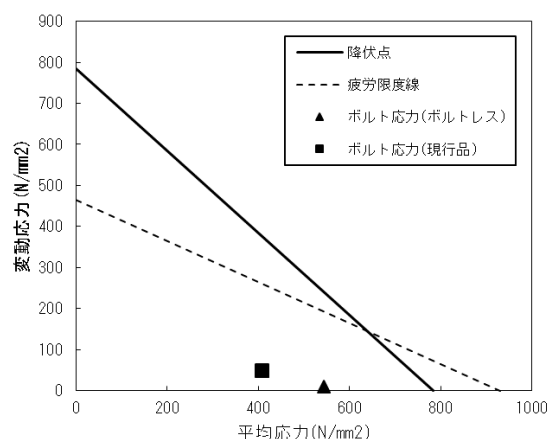


図-17 耐久限度線図によるボルトの応力照査

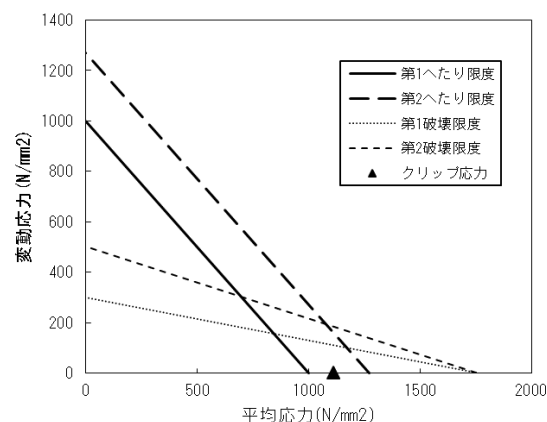


図-18 耐久限度線図によるクリップの応力照査

クリップの応力は、ボルトレスガードの結果のみを示している。ボルトレスガードの組立時の発生応力は約1100N/mm²であり、一般的なレール締結装置で用いられる場合とほぼ同等の値であった¹²⁾。また、照査はレール締結装置の照査方法として実績のあるばね鋼（SUP9）の耐久限度線図¹³⁾による応力照査を採用し、第二破壊限度および第二へたり限度以内に収まっており、照査を満足する結果となった。

ガードレールの変位は、現行品と同等の3.0mm程度であった。

以上の結果より、新たに開発したボルトレスガードは室内試験の測定項目を満足する結果となった。

一方で、組立作業において、くさび座金を挿入する際の浮き上がりや回り止め座金を設置する際に手間を有することが確認された。また、ボルト上面側の引張応力が現行品よりも大きく、ボルトが上反りする挙動が確認されたため、構造改良を実施することとした。

4. ボルトレスガードの構造改良

試作および室内試験において確認されたボルトレスガードの課題を踏まえ、一部構造改良を実施した。構造改良後のボルトレスガードの構造を図-19に示す。

主な改良点は以下のとおりである。なお、組立手順については改良前と概ね同様のため、ここでは省略する。

1) 改良点①

くさび座金を挿入する際の浮き上がりを防止するため、ガード床板に浮き上がり防止のガイド溝を設けた。

2) 改良点②

回り止め座金の取付けにおける作業性を向上させるため、回り止め座金に設けた穴加工を楕円形状からU字形状に変更し、ボルト下方から挿入可能にした。

3) 改良点③

ガード床板とばね受けの接触面を増加させ、ボルトの上反りの発生を抑制するため、ガード床板に設けたばね受けの嵌合部を延長した。

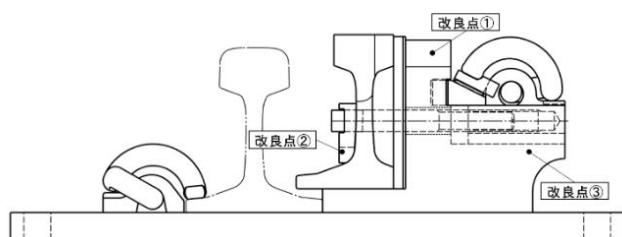


図-19 ボルトレスガードの構造（改良後）

5. ボルトレスガードの試験敷設

(1) 試験概要

ボルトレスガードの構成部材に実荷重で発生する応力等の測定および敷設工事における施工性の確認のため、試験敷設を実施した。敷設箇所の諸元を表-3に示す。当該箇所は、分岐器の基準線側および分岐線側ともに年間通過トン数が比較的多く、現地測定の環境を確保できることから敷設箇所に選定した。

現地試験の測定項目は、表-4のとおりとし、敷設箇所の摩耗状態等を考慮し、図-20に示す位置で測定した。

各測定項目における測定箇所および測定方法について、ボルト応力およびクリップ応力は室内試験の方法に準拠した。ガードレールの変位については、非接触式のレーザー変位計（株式会社キーエンス製、IL-S100）を使用し、設置箇所のまくらぎ間のまくらぎ側面にねじくぎで強固に

表-3 敷設箇所の諸元

分岐器形式	T50N 片 12-301(改) A 用
年間通過トン数	基準線側：13.0 百万トン/年 分岐線側：9.6 百万トン/年
列車進入方向	対背向(分岐線側のみ背向あり)
列車速度（最高）	基準線側：120km/h 分岐線側：45km/h

表-4 現地測定項目

項目	測点数		記号
	基準線	分岐線	
ボルト応力	2	2	●
クリップ応力	2	2	■
ガードレール変位	1	1	▲
計	5	5	

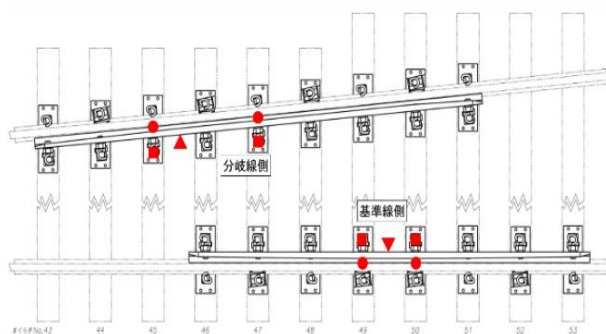


図-20 現地測定の測定位置

設置した固定治具に取付けて測定した（図-21）。なお、レーザー変位計が建築限界の下部限界を支障しないようにするため、ガードレールの頭頂面を超えないように設置した。また、測定対象の列車本数は、基準線側および分岐線側で各10本とした。

(2) 敷設工事

敷設状況を図-22 に示す。敷設は基準線側および分岐線側の分岐器用ガードを対象とし、分岐まくらぎ交換も実施した。

敷設工事においては、基準線および分岐線の分岐器用ガードをそれぞれ1日/組でボルトレスガードに交換した後に、分岐まくらぎ11本を3日間で交換し、後日のつき固め1日間の計6日間で実施した。なお、既設の分岐器用



図-21 レーザー変位計の設置方法



(a) ボルトレスガード敷設後



(b) 施工後の全景

図-22 敷設状況

ガードからボルトレスガードへの交換作業は2時間/組程度で施工可能であることを確認した。

(3) 現地試験

現地試験の試験結果を表-5、図-23および図-24に示す。なお、表-5、図-23および図-24の値は測定データの最大値である。

表-5 現地試験の結果

測定項目		測定値	
		室内	現地
ボルト応力 (N/mm ²)	組立	534.8	252.8
	載荷 (列車)	552.9	267.3
クリップ応力 (N/mm ²)	組立	1111.4	1032.1
	載荷 (列車)	1111.0	1034.9
ガードレール 変位(mm)	載荷 (列車)	3.3	1.1

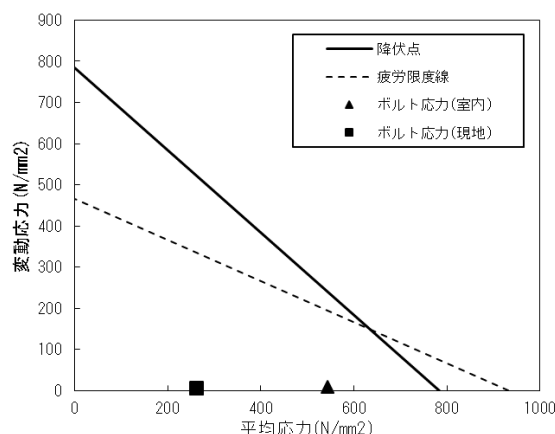


図-23 耐久限度線図によるボルトの応力照査

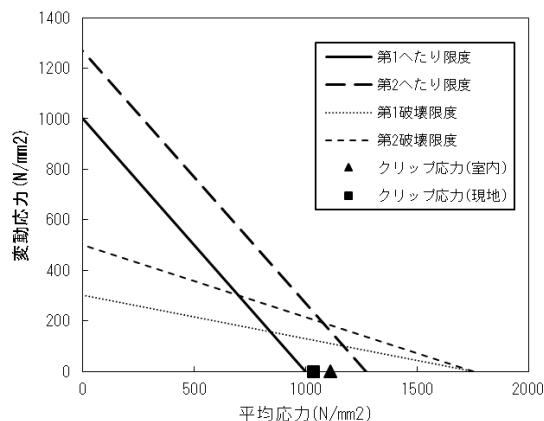


図-24 耐久限度線図によるクリップの応力照査

現地試験の結果、ボルト組立時の応力は、くさび座金の挿入によるボルトの上反りの発生抑制を目的とした構造改良により、発生応力が室内試験と比較して大幅に軽減されていることを確認した。

クリップの応力は、室内試験と概ね同程度の値であった。また、実荷重の作用によるボルトおよびクリップの応力変動も室内試験と同様の傾向であった。

一方、ガードレールの変位は室内試験の約1/3となった。これは、室内試験と現地試験での載荷位置および締結数の違いによる影響と考えられるが、室内試験で設計背面横圧を作用させ、現行品と同程度であることを確認している。

以上の結果、設計背面横圧および実荷重が作用した場合でも測定項目を満足することを確認した。

6. まとめ

本開発において得られた結果を以下に示す。

- 1) ガードレールの締結にクリップを使用することで、分岐器用ガードのボルトレス化が実現した。
- 2) 室内および現地における性能確認により、ボルトおよびクリップの応力は限度値以内であり、ガードレールの変位は現行品と同等以下であった。
- 3) 既設の分岐器用ガードからボルトレスガードへの交換作業は2時間/組程度で可能であることを確認した。

7. おわりに

今回、日常管理の簡素化に向けたボルトレス構造の一

例として、ボルトレスガードの開発および性能確認を実施し、構造および性能に問題がないことを確認した。

今後は実用化に向け、使用性向上やコスト低減に向け取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 吉川秀平, 高尾賢一, 藪中嘉彦: 下級線用低廉型ロングレールの開発, 日本鉄道施設協会誌, Vol.58, No.4, 2020.4
- 2) 桶谷栄一: システムチェンジにおける保線部門の地上検査の車上化, 新線路, Vol.70, No.2, 2016.2
- 3) 原田祐樹, 庄野真也, 近藤英記, 新名恭仁: 地上検査の車上化実現に向けた AI 技術の基礎的検討, 日本鉄道施設協会誌, Vol.55, No.7, 2017.7
- 4) 三津田祐基, 本野貴志, 唐須崇: ローラーベアリング床板の開発, 新線路, Vol.67, No.9, 2013.9
- 5) 東原孝展, 本野貴志: 分岐器ポイント部 PC まくらぎ化の更なる保守省力化に向けた検討, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017.9
- 6) 辻崇, 楠田将之, 吉田裕: ポイント部 PC まくらぎ分岐器標準化の取り組み, 土木学会第 58 回年次学術講演会, 2003.9
- 7) 小尾実, 堀雄一郎: 分岐器構造のイノベーション - 次世代分岐器の開発 -, 新線路, Vol.56, No.9, 2002.9
- 8) 西田哲郎, 青野正, 福井義弘: パンドロール分岐器の試験敷設, 日本鉄道施設協会誌, Vol.30, No.2, 1992.2
- 9) 鉄道総合技術研究所 編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造, 丸善, 2012
- 10) 一般財団法人日本規格協会: JIS E1107, 継目板用及びレール締結用のボルト及びナット, 2008
- 11) 社団法人日本機械学会: 金属材料 疲労強度の設計資料 I (改訂第2版), 1987.2
- 12) 弟子丸将, 本野貴志, 片岡宏夫, 若月修: 急曲線部における線ばね形レール締結装置の適用区分の提案, 鉄道総研報告, Vol.26, 2012.2

(Received April 2, 2021)

(Accepted June 4, 2021)

DEVELOPMENT OF MAINTENANCE SAVING GUARD RAIL

Ryo Masaki, Kenichi TAKAO, Katsuhiko Sato, Kenichiro Yamamuro

As one of the measures to deal with the future labor shortage in the track maintenance sector, labor-saving turnouts are being developed. The turnout structurally uses a large number of bolts, and it takes a lot of effort to maintain the loosening and falling off of the bolts in daily management, and in anticipation of automation of inspection and on board inspection, boltless structure was adopted. Therefore, as an example of the boltless structure, we conducted out structural design and performance confirmation tests for making the guard rail boltless, and confirmed that there was no problem in performance.