

# 改良形接着絶縁レールの実用性能評価

片岡 宏夫\* 若月 修\* 本野 貴志\*  
 中澤 毅基\*\* 山根 寛史\*\*\*

## A Evaluation of Practical Performance of Improved Glued-Insulated Railjoint

Hiroo KATAOKA Osamu WAKATUKI Takashi MOTONO  
 Takeki NAKAZAWA Hiroshi YAMANE

Recently, a number of defects of glued-insulated railjoint, i.e. fishplate damages, loss of glue, and malfunction of insulation have been detected; therefore improved glued-insulated railjoint has been developed. In this study, we carried out an evaluation of practical performance of improved glued-insulated railjoint installed in meter-gauged track and Shinkansen standard-gauged track, and verified the effect of anti-corrosion and durability of the fishplates of the improved glued-insulated railjoint. To prevent fishplate bolt failure, we have proposed reducing fastening torque of nuts for fishplate bolts and discormity of paralleling fishplates on the both sides of rail.

キーワード：応急処置器，補強継目板，レール折損，徐行速度，開口量

### 1. はじめに

接着絶縁レールは開発後約25年が経過し、現在では新幹線・在来線を問わず使用されている。一方、既設の接着絶縁レールで、継目板の折損および接着材の剥離による継目部開口などの事象が多数発生している。継目板の折損については、継目板の底部で接着層が部分的に剥離し、その間に雨水が浸入して継目板が腐食し、疲労き裂が発生することが既往の研究により明らかにされている<sup>1)</sup>。

この対策として、鉄道総研では継目板中央底部の接着層内にテフロンシートによる人工界面を設け、さらに、接着絶縁部分の加熱硬化時に流動性（以下、「レジフロー」という）が良い接着材を採用することにより、剥離の進行やボルト穴内部への雨水の浸入を防止する対策を提案した<sup>1)</sup>。

本研究では、開発したテフロンシートを挿入した接着絶縁レールを営業線に約2年間敷設したのち撤去して、接着層の強度および状態を評価した。また、新幹線の曲線部でしばしば発生する継目板ボルトの折損防止を目的として、緊縮トルクや継目板平行度の違いが継目板ボルトに発生する応力へ与える影響を調査し、対策を検討した。

なお、テフロンシートを挿入した接着絶縁レールについて、レジフローのよい接着材を用いたものを改良形接着絶縁レール（以下、「改良IJ」という）、従来の乾式

接着材を用いたものを改良形乾式接着絶縁レール（以下、「改良乾式IJ」という）と呼び、本報告において区別することとする。

### 2. 改良IJ

#### 2.1 概要

改良IJは継目板折損の疲労破壊起点である継目板中央底部の接着層内にテフロンシートによる人工界面を設けることにより、継目板金属面素地を接着材で保護し、疲労破壊の原因である腐食孔を発生させない接着方法としたものである<sup>1)</sup>。また、改良IJは、既報告<sup>1)</sup>時点よりさらに接着強度を高めるため、製造の際に加熱硬化時のレジフローを最適にした高流動性接着材を用いることとした。

図1および図2に改良IJの断面図とボルト穴内部の接

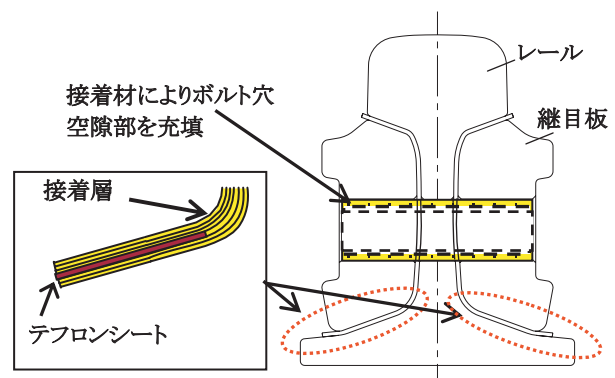
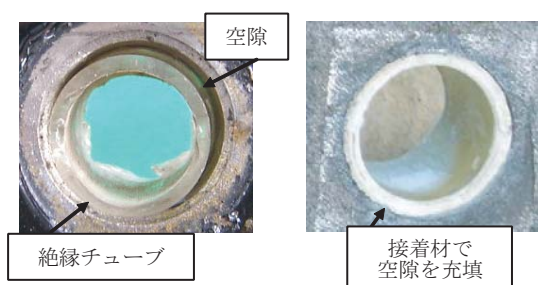


図1 改良IJの断面図

\* 軌道技術研究部（軌道構造）  
 \*\* 前 軌道技術研究部（現 東海旅客鉄道株式会社）  
 \*\*\* 前 軌道技術研究部（現 西日本旅客鉄道株式会社）

特集：軌道技術



(a)従来品接着材 (b)改良品接着材

図2 ボルト穴内部の充填状況

接着材の充填状況を示す。絶縁チューブと継目板のボルト穴の間に接着材を充填して雨水の侵入を防止しており、接着材を充填しても継目板ボルトの交換は可能である。

2.2 試験敷設

改良IJの実使用上の耐久性能を確認するため、西日本旅客鉄道株式会社の協力を得て改良IJおよび比較対象として乾式接着材を用いた従来の接着絶縁レール（以下、「乾式IJ」もしくは「IJ」という）を同時期に在来線に敷設した。定期的な接着状態のモニタリング調査を行った後、現地から敷設した改良IJと乾式IJを撤去し、性能評価試験を行った。試験敷設を実施した供試体の概要を表1に示す。

表1 供試体の概要

供試体 No.	内外軌別	IJ 種別	レール 種別	敷設 年数	レール通トン (百万トン/年)
1	外軌側	改良	50kgN	約2年	15.1
2	外軌側	改良	60kg	約2年	28.3
3	外軌側	乾式	60kg	約2年	28.3

2.3 性能評価試験

撤去後の改良IJと乾式IJについて各種の性能評価試験を行った。それらの結果は以下のとおりである。

- (1) 超音波透過試験の結果、供試体の別に関わらず、減衰基準値 (45dB) を満たしており、良好な接着状態を維持していたと推定される。
- (2) 電気絶縁抵抗試験の結果、改良IJならびに乾式IJとも、JIS E 1125 で規定される浸水状態での絶縁抵抗値の下限値 0.5MΩ を満足していた。
- (3) 引張破壊試験を行い、試験後に継目板とレールを強制的に解体し、接着状態を目視にて確認した。その結果、表2に示すように、改良IJならびに乾式IJは、JIS E 1125 で規定される引張強さ 2.25MN を上回った。

供試体No.1 および3 について解体した各供試体の接着層の状態と接着層の剥離状態を図3に示す。図3では接着層を白黒に2色化し、剥離による腐食が進行した部位を黒色で表示している。

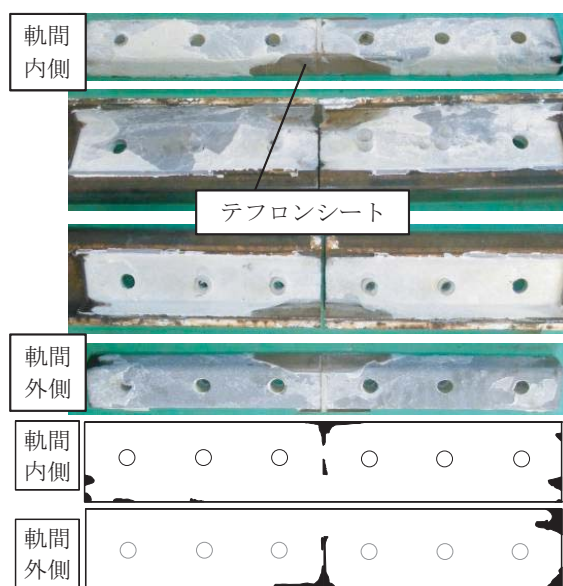
改良IJの供試体No.1の継目板は、軌間内・外側とも一部に茶褐色に変色している部位が認められるものの、そ

れ以外の箇所については、接着材の母材破壊であり良好な結果であった。一方、乾式IJの供試体No.3では、軌間内側ならびに軌間外側の継目板側界面において、レール底部付近を中心に剥離による腐食の発生が確認された。

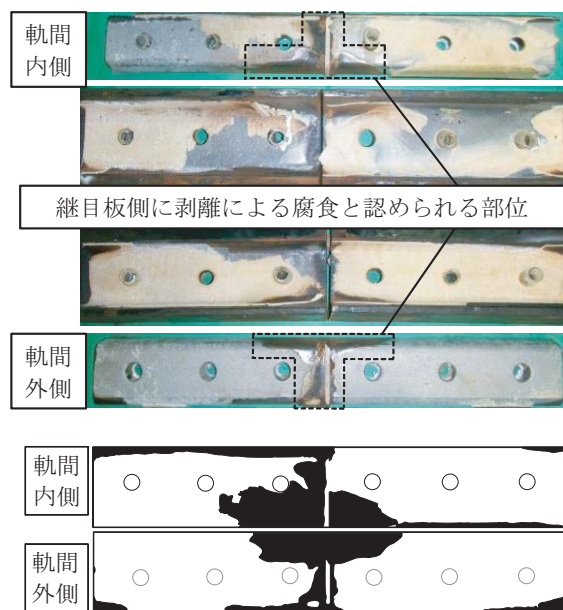
以上により、絶縁性能および接着状態について改良IJは乾式IJと同等以上の性能を保持しており、テフロンシートを挿入した効果が発揮されていることを確認した。

表2 引張破壊試験結果

供試体 No.	引張破壊荷重 (MN)
1	2.47
2	2.65
3	3.35



(a) 供試体No.1



(b) 供試体No.3

図3 接着層の状態および剥離の状態

### 3. 改良乾式IJ

#### 3.1 概要

2章ではテフロンシートを挿入し、さらに接着材を改良した改良IJについて評価したが、従来の乾式接着材にテフロンシートを適用した改良乾式IJについても現地敷設による評価を行った。以下にその概要を示す。

#### 3.2 試験敷設

改良乾式IJの実使用上の耐久性能を確認するため、東海旅客鉄道株式会社の協力を得て改良乾式IJと比較対象として乾式IJを同時期に新幹線に敷設した。定期的な接着状態のモニタリング調査を行った後、現地から敷設した改良乾式IJと乾式IJを撤去し、性能評価試験を行った。J試験敷設を実施した供試体の概要を表3に示す。

表3 供試体の概要

供試体 No.	内外軌別	IJ 種別	レール種別	敷設年数	レール通トン (百万トン/年)
1	内軌側	改良乾式	60kg	約1年8か月	40.4
2	内軌側	乾式	60kg	約2年3か月	40.4
3	外軌側	改良乾式	60kg	約2年4か月	40.4
4	外軌側	乾式	60kg	約3年1か月	40.4

#### 3.3 性能評価試験

2.3節に示した改良IJと同様に、各供試体について超音波透過試験の結果は良好であった。また、供試体No.3について電気絶縁抵抗試験の結果から絶縁抵抗値の低下が認められたが、これはボルト穴内部に雨水が浸入し、黒錆が発生したためであると考えられる。

撤去後の改良乾式IJならびに乾式IJをレール形の位置で切断し、圧縮破壊試験を行った。試験後、継目板とレールを強制的に解体し、接着層を露出させて接着状態を目視にて確認した。なお、ここでは試験の都合上圧縮試験としたが、引張試験と同等の結果が得られる。

圧縮破壊試験の結果を表4に示す。試験の結果、改良乾式IJならびに乾式IJは、JIS E 1125で規定される試験体の半分の大きさにもかかわらず圧縮強さ2.25MNを上回った。

供試体No.1および2について解体した各供試体の接着層の状態と接着層の剥離状態を図4に示す。改良乾式IJの供試体No.1では、接着材端部にわずかな剥離による腐食

表4 圧縮破壊試験結果

供試体 No.	圧縮破壊荷重 (MN)
1	3.27
2	3.43
3	2.81
4	3.06

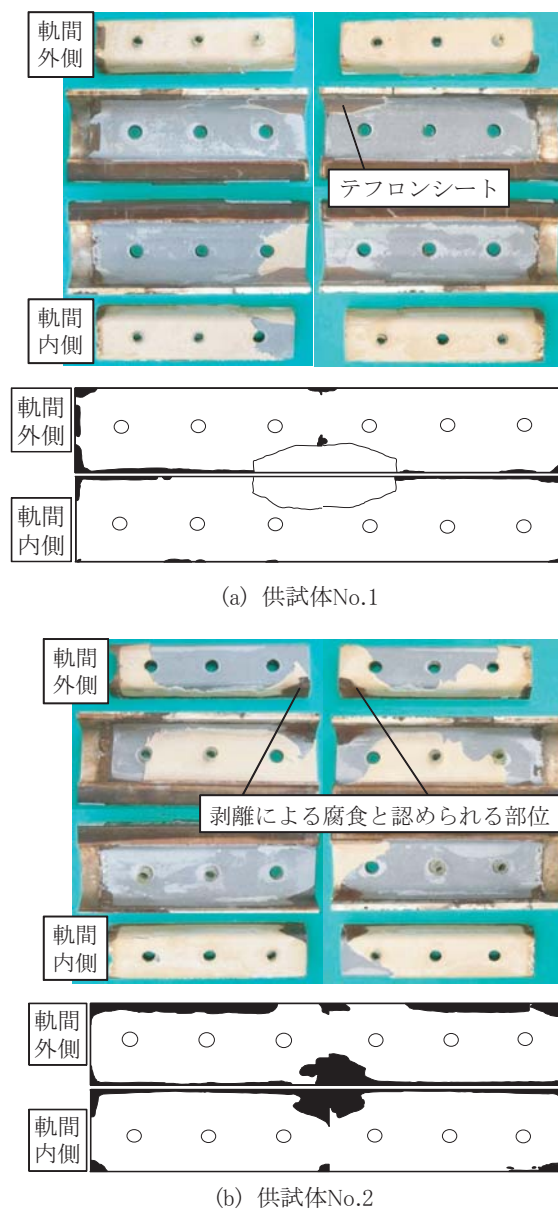


図4 接着層の状態および剥離の状態

の発生が確認できるが、ほとんどの部位で剥離の発生は認められず、腐食の発生もなく良好な結果であった。一方、乾式IJの供試体No.2では、継目部のレール底部付近を中心に接着材の剥離による腐食の発生が確認された。

#### 3.4 プライマーの改良

前節において接着層を観察した結果、改良乾式IJにおいてテフロンシート以外の領域で、一部継目板側の接着材界面での剥離が認められた。これは接着材のせん断強度が高いため、従来のプライマーの接着強度では継目板とレールの相対変位に追従できなかったためと考えられる。そこで、改良乾式IJの接着材の剥離防止を向上させるために、表5に示すようなプライマーの改良を行った。

改良プライマーを用いた改良乾式IJについて性能確認試験を行い、以下の結果が得られた。

特集：軌道技術

表5 改良プライマーの特性

名称	HDプライマー (改良)	ヒタノール 4020 (従来品)
成分	エポキシ樹脂混合物	フェノール樹脂混合物
性状	無色透明液体 特徴的な臭気 低粘度液体 非劇物	淡黄色液体 刺激臭 粘稠性液体 劇物

- (1) 曲げ疲労試験を実施した結果、供試体の継目板および継目板ボルトの折損や継目部の開口などの異常は発生しなかった。曲げ疲労試験の条件については、軸方向に一定の引張荷重400kNを加えた状態で、片振りの鉛直荷重（最大荷重150kN，最小荷重38kN，支持スパン1300mm）を載荷し、載荷目標回数を $2 \times 10^6$ 回とした<sup>1)</sup>。
- (2) 引張破壊試験の結果、引張破壊荷重の最小値は3.25MNであり、従来品のプライマーで製作した乾式IJの引張強度2.93MNより1割程度良い結果であった。
- (3) 接着層を観察した結果、曲げ疲労試験を実施した供試体も接着層の剥離の進行は無く、良好な接着状態を維持していることを確認した。

以上により、改良プライマーを用いた改良乾式IJが実用上十分な性能を有していることを確認した。

これらの結果から、従来の乾式接着材とテフロンシートを組み合わせて使用する場合、接着強度を向上させた改良プライマーを適用した改良乾式IJを営業線に試験敷設し、経年後の剥離状態を確認することが望ましい。

#### 4. 継目板ボルト折損対策

##### 4.1 継目板ボルト折損の概要

新幹線に敷設されたIJで継目板ボルトの折損が発生している。折損の大半は曲線の外軌で発生していることから、列車通過時に発生する横圧の影響を受けていることが想定される。

図5に示すように、折損した継目板ボルトに生じたき裂破面を観察した結果、疲労き裂の進展の様相を呈しており、ボルト折損は疲労破壊が進展した後の急進的な脆性破壊である。

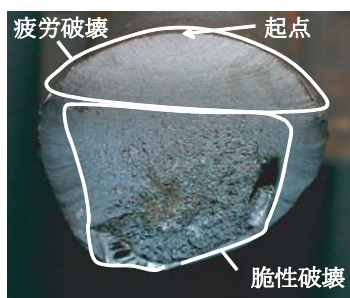


図5 折損ボルトの破面

##### 4.2 継目板ボルトの緊締トルク低減効果の検証

##### 4.2.1 継目板ボルトの疲労限度の推定

###### (1) 継目板ボルトの疲労試験

継目板ボルトの折損が疲労破壊であることから、継目板ボルトの疲労限度を確認するために疲労試験を行った。継目板ボルトの疲労試験は、継目板ボルトをトルク500N・mで緊締した場合に発生する引張応力(531N/mm<sup>2</sup>)を平均応力として設定し、部分片振りの1軸引張により実施した。試験で用いた供試体は、未使用および営業線敷設期間7年～15年の経年品の継目板ボルト各10本である。図6に疲労試験の結果を示す。試験の結果、未使用品と経年品で明確な差異は見られなかった。そこで、未使用品の試験結果に基づく破壊確率95%のS-N曲線から、疲労限度は35N/mm<sup>2</sup>と推定した。

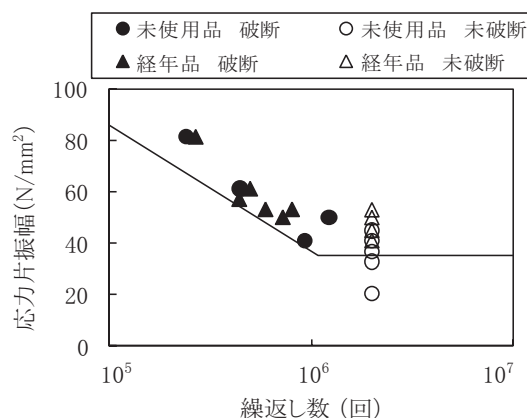


図6 疲労試験結果とS-N曲線

###### (2) 継目板ボルトの疲労限度線の推定

平滑材と同様に、熱処理後にねじ転造したボルトの疲労限度線は、平均応力の増加に伴い疲労限度が減少する傾向にあることが知られている<sup>2)</sup>。したがって、前項で推定した平均応力531N/mm<sup>2</sup>における疲労限度35N/mm<sup>2</sup>と継目板ボルトの材料であるSCr440の機械的特性（焼戻し温度550℃，引張強度1054N/mm<sup>2</sup>，疲労強度554N/mm<sup>2</sup>）<sup>3)</sup>から図7に示すような疲労限度線を推定した。

図7より、継目板ボルトの緊締トルクを350N・m（平

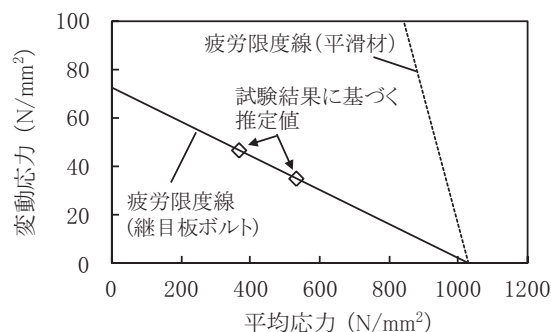


図7 推定した継目板ボルトの疲労限度線図

均応力 367 N/mm<sup>2</sup>) に低減した場合、疲労限度は 45N/mm<sup>2</sup> 程度となり、3割程度の疲労限度の向上が期待できる。そこで、緊縮トルクの低減に着目した検討を行った。

#### 4.2.2 緊縮トルクを低減したIJの性能評価試験

継目板ボルトの緊縮トルク低減によるIJの性能に対する影響を確認するため、3.4節と同様の条件でIJの曲げ疲労試験を行った。その際に、接着材の剥離状態が目視によりわかるように、試験終了直前の供試体の接着界面に濃度0.1%の食塩水を滴下した。その後、引張破壊試験を行い、引張強度および接着材の剥離状態を確認した。試験には乾式 60kgIJの継目板ボルトを緊縮トルク 250N・m、350N・mおよび500N・mの3種類で緊縮した供試体を用いた。曲げ疲労試験では、継目板ボルトの緩みに対する確認として、ボルト軸力の推移を測定した。

曲げ疲労試験の結果、継目板ボルトはいずれの緊縮トルクでも軸力に大きな変化は認められず、初期の緊縮状態を維持していた。図8に曲げ疲労試験後の接着材の剥離状態の例を、表6に引張強度と剥離面積率（剥離した面積の接着材の面積に対する比）の関係を示す。

図8と表6の剥離面積率から、緊縮トルク 500N・mおよび350N・mの場合は同程度の剥離状態であるのに対して、緊縮トルク 250N・mの場合は、継目板中央上部で若干の剥離が認められた。このことから、IJの継目板ボルト折損対策として緊縮トルクを低減させる場合には、緊縮トルクを350N・m程度に設定することが望ましいと考えられる。

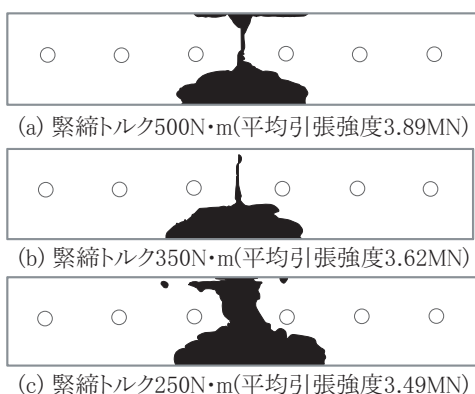


図8 接着材の剥離状態の例

表6 引張強度および接着材の剥離面積率

供試体 No.	緊縮トルク (N・M)	引張強度 (MN)	剥離面積率 (%)
1	500	3.93	9.1
2		3.85	10.4
3		3.77	9.0
4	350	3.71	9.6
5		3.38	10.8
6	250	3.54	12.0
7		3.31	16.3
8		3.61	8.5

#### 4.3 接着絶縁レールの継目板平行度

継目板ボルト頭部の公差と内外一組の継目板のボルト座面のなす角度の状態によっては、緊縮時に継目板ボルトに曲げ応力を生じる可能性がある。そこで、継目板ボルトの折損の複合要因の一つとして継目板平行度に着目し、実態調査および継目板ボルトの折損に及ぼす影響を検証した。

メーカー各社の協力を得て、仕上げ塗装前のIJの継目板平行度の実態調査を行った。図9に測定位置を、図10に調査結果を示す。継目板平行度は最大で0.9mm、平行な状態からの開きを角度に換算した値（以下「偏角」と称す）で1.4度であり、偏角は±1.5度程度の範囲内であることが確認できた。

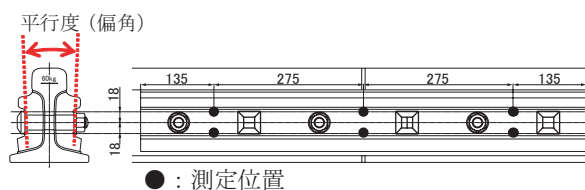


図9 継目板平行度測定位置

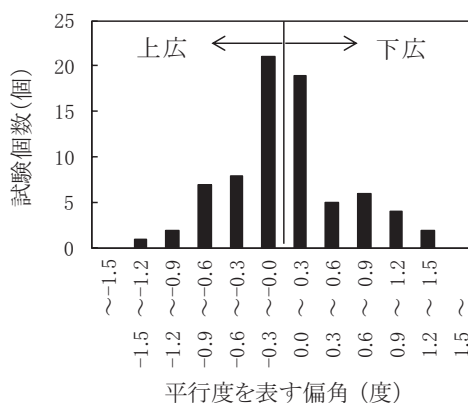


図10 継目板平行度調査結果

継目板平行度の調査結果を踏まえ、図11に示すような偏角を0度および+2度、-2度に設定した供試IJを製作し継目板ボルトに発生する曲げ応力を測定した。継目板ボルトの緊縮トルクは500N・m、350N・m、供試ボルトは東海道、山陽新幹線で使用実績のあるJIS規格品、改良形ボルト、TSTボルトとした。

測定結果を図12に示す。図12より、平行の場合の小さな引張応力と比較して、上広および下広の場合では曲げの影響から2倍以上の引張応力が発生しており、SCr440の機械的特性である降伏応力 785N/mm<sup>2</sup>を上回っていた。このことから、偏角が大きくなることによる引張応力の発生がボルト折損に及ぼす影響は大きいと考えられる。

4.2節で得られた継目板ボルトの疲労限度線図に、図12の結果から上広および下広の継目板に締結したJISボ

特集：軌道技術

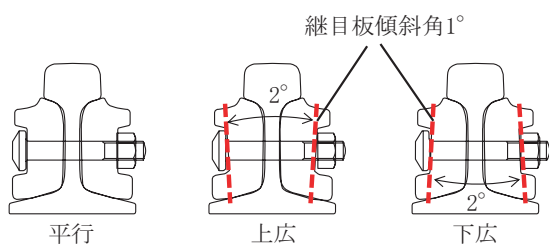


図11 平行度を設定した供試IJ

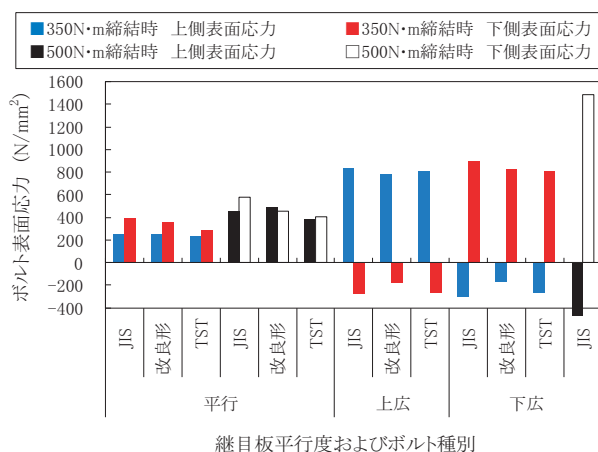


図12 緊締時の継目板ボルトの応力

ルトの発生引張応力の平均値850N/mm<sup>2</sup>を反映したものを図13に示す。図13より、偏角が2度で緊締トルク350N・mの場合では、変動応力13N/mm<sup>2</sup>が疲労限度と推定される。偏角が0度で緊締トルク350N・mの場合では、変動応力46N/mm<sup>2</sup>が疲労限度と推定されるため、製作するIJの継目板の偏角が1度で緊締トルク350N・mの場合は引張応力の平均値が600N/mm<sup>2</sup>となり、変動応力が30N/mm<sup>2</sup>程度まで許容することが可能であると推定される。

過去に営業線で実測したIJの継目板ボルトの変動応力の大きさ、営業線において継目板ボルトの折損が多く発生していることおよび継目板ボルト頭部の2度の公差を

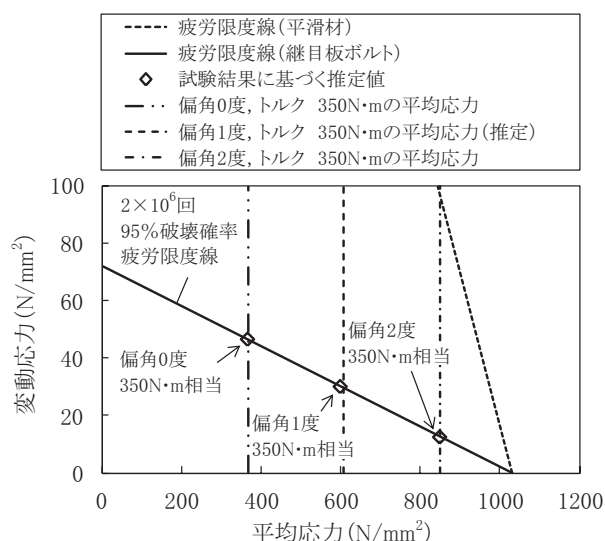


図13 疲労限度線図による応力照査

考えると、継目板の平行度が大きくなることによる引張応力の発生がボルト折損に及ぼす影響は大きいといえる。

そのため、継目板ボルトの緊締時の不均等な応力を低減させるために、ボルト折損の割合が高い曲線用IJについては、継目板平行度をある程度以下に抑えることが望ましいと考える。

5. まとめ

改良形接着絶縁レールおよび改良形乾式接着絶縁レールの営業線敷設により実用性能を評価し、また、継目板ボルトの折損対策を検討した結果を以下にまとめる。

- (1) 高流動性接着材を採用し、テフロンシートを挿入した改良形接着絶縁レールの耐久性は良好であり、テフロンシート挿入による接着材剥離の抑制効果が確認された。
- (2) 従来の乾式接着材を用い、テフロンシートを挿入した改良形乾式接着絶縁レールの耐久性は概ね良好であり、テフロンシート挿入の効果が認められた。剥離の抑制のためにさらにプライマーの改良を行い、接着強度を向上させた。
- (3) 継目板ボルト折損対策として、継目板ボルトの緊締トルクを低減することを提案した。適用にあたり、営業線における試験敷設により経過観察を行う必要がある。さらに、継目板ボルトの緊締時の不均等な応力を低減させるために、ボルト折損が発生しやすい曲線用の接着絶縁レールについては、継目板平行度をある程度以下に抑えることが望ましい。

6. おわりに

本研究において、営業線敷設により改良形接着絶縁レールならびに改良形乾式接着絶縁レールの耐久性を確認し、また、継目板ボルト折損対策を提案した。

それらの実用性能を確認するための営業線への敷設試験に際し、ご協力をいただいた西日本旅客鉄道株式会社、東海旅客鉄道株式会社、およびご協力を頂いたメーカー各社の関係者に感謝の意を表する。

文献

- 1) 若月修他：改良形接着絶縁レールの開発，鉄道総研報告，Vol.21 No.6，2007
- 2) 山本晃：ねじ締結の理論と計算，養賢堂，1979.3
- 3) 金材研疲労データシート資料5 (JIS機械構造用鋼の基準的疲労特性)，科学技術庁金属材料研究所，1989.3
- 4) 阿部則次他：乾式法接着絶縁レールの開発，鉄道技術研究報告，No.1264，1984.3