

改良形接着絶縁レールの実用性能評価

軌道技術研究部 軌道構造
主任研究員 若月 修

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。その対策として鉄道総研が開発したテフロンシートを挿入した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を営業線に約 2 年間の試験敷設を行った。その後、これらの接着絶縁レールを撤去して、実用性能の評価を行った。また接着絶縁レールの継目板平行度の実態調査を行い、継目板平行度の違いが、横圧載荷時の継目板ボルトに発生する平均および変動応力へ与える影響を確認した。

2. 接着絶縁レールの改良概要

改良形接着絶縁レール（以下、「改良 IJ」という。）は、製造の際に加熱硬化時のレジンフローを最適にした高流動性接着材を用い、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たものである。図 1 および 2 に示すように、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すると同時に、継目板ボルトの交換も可能である。

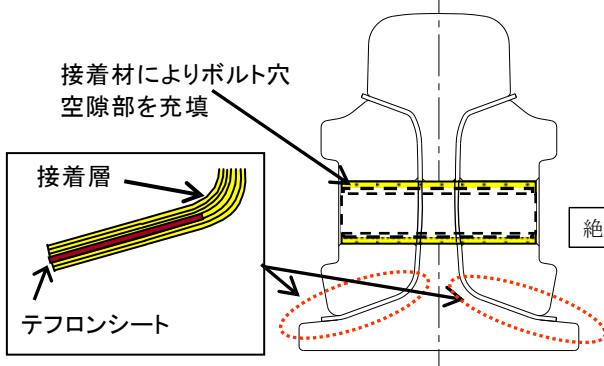


図 1 改良 IJ の断面図

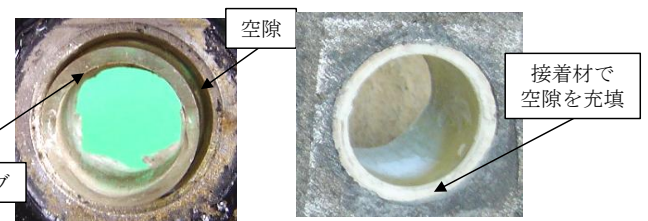


図 2 ボルト穴内部の充填状況

また、従来の乾式接着材の接着層内にテフロンシートを挿入した改良形乾式接着絶縁レール（以下、「改良乾式 IJ」という。）についても同様な評価を行うこととした。

3. 営業線における試験敷設

改良 IJ および改良乾式 IJ の実用上の耐久性を確認するため、改良 IJ および改良乾式 IJ と比較として従来品の乾式接着絶縁レール（以下、「乾式 IJ」という。）を在来線ならびに新幹線にほぼ同時期に試験敷設を行った。

表 1 在来線の試験敷設概要

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

試験敷設期間中は定期的なモニタリング調査を行った後、現地から改良 IJ、改良乾式 IJ および乾式 IJ を撤去し、性能評価試験を行った。試験敷設の概要を表 1、2 に示す。

4. 性能評価試験

4.1 改良 IJ の評価結果

敷設現場から回収した改良 IJ ならびに乾式 IJ の性能評価試験として引張破壊試験を行った後、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。引張破壊試験の結果を表 3 に示す。試験の結果、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認められた。

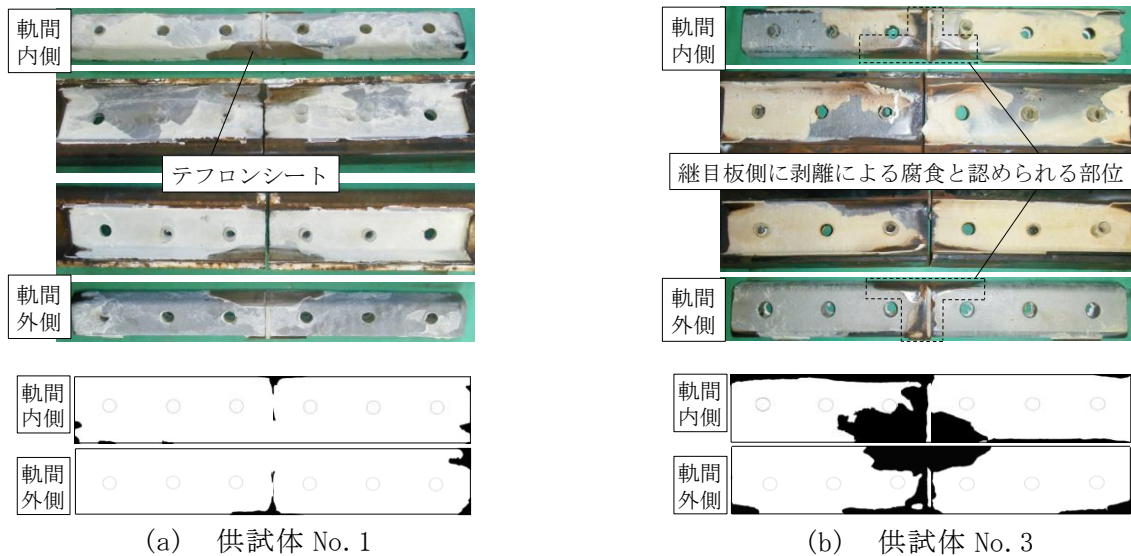


図 3 接着層の状態および剥離の状態

4.2 改良乾式 IJ の評価結果

新幹線の敷設現場から回収した改良乾式 IJ ならびに乾式 IJ をレール形の位置で切断し、圧縮荷重試験を行った。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。

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。

表 2 新幹線の試験敷設概要

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

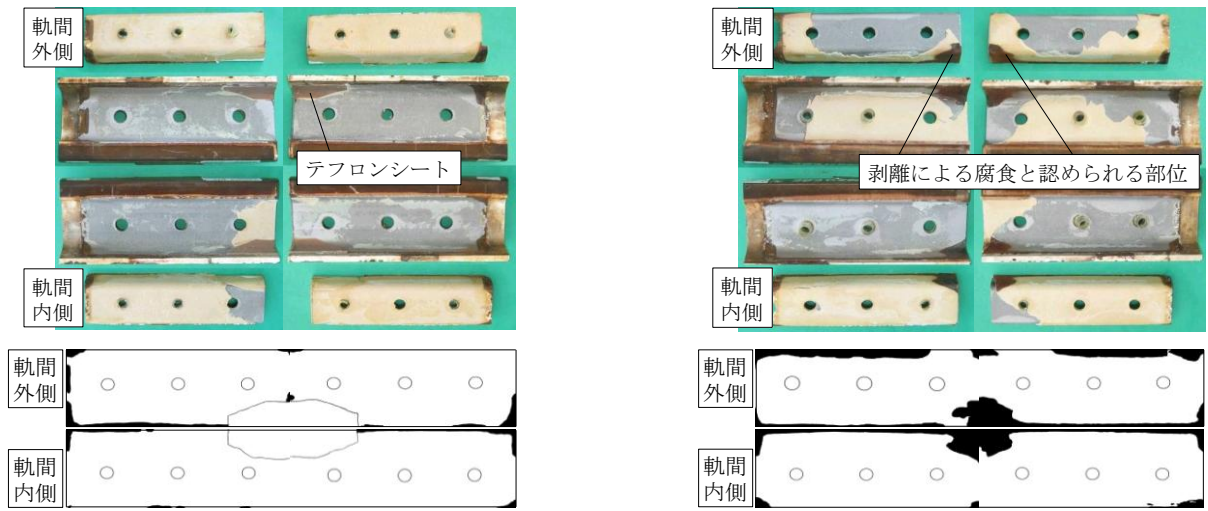
表 3 引張破壊試験結果

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

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

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。図 4 では白黒に 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認められた。



(a) 供試体 No. 1

(b) 供試体 No. 2

図 4 接着層の状態および剥離の状態

5. 継目板ボルト折損対策

5.1 継目板ボルト折損の概要

新幹線に敷設されている乾式 IJ で継目板ボルトの折損事例が報告されている。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。

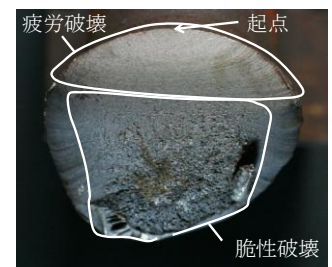


図 5 折損ボルトの破面

5.2 継目板ボルトの緊締トルク低減効果の検証

継目板ボルトの緊締トルク低減による乾式 IJ の性能に対する影響を確認するため、乾式 IJ の曲げ疲労試験を行った。また、接着材の剥離状態を把握するため、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、引張荷重に対する強度および接着材の剥離状態を確認した。試験は乾式 60kgIJ の継目板ボルトを、緊締トルク 250N・m、350N・m および 500N・m の 3 種類で緊締した供試体を用いた。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

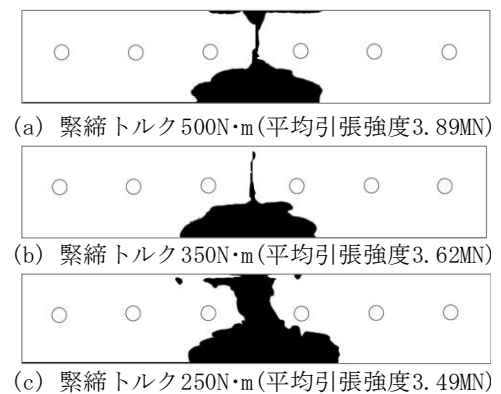


図 6 接着材の剥離状態の例

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)を載荷し、載荷目標回数を 2×10^6 回とした。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締トルクでも軸力に大きな変化は認められず、初期の緊締状態を維持していた。図 6 に曲げ疲労試験後の接着材の剥離状態の例を示す。図 6 の剥離面積から緊締トルク $500\text{N}\cdot\text{m}$ および $350\text{N}\cdot\text{m}$ の場合は同程度の剥離状態であるのに対して、緊締トルク $250\text{N}\cdot\text{m}$ 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、継目板ボルト折損対策として緊締トルクを低減させる場合には、緊締トルクを $350\text{N}\cdot\text{m}$ 程度に設定することが望ましいと考えられる。

5.3 接着絶縁レール継目板平行度

乾式 IJ 製造時における仕上げ塗装前の継目板平行度の実態調査を行った。その結果、継目板平行度は最大で 0.9mm 、角度換算で 1.4 度であり、継目板平行度は ± 1.5 度程度の範囲内であることが確認できた。

継目板平行度の調査結果を踏まえ、継目板平行度を 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。継目板ボルトの緊締トルクは $500\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $350\text{N}\cdot\text{m}$ 、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 7 に示す。図 7 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 $785\text{N}/\text{mm}^2$ を上回っていた。このことから、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考えられる。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。

6. おわりに

営業線に敷設した改良 IJ ならびに改良乾式 IJ の評価試験を実施したところ、何れも良好な結果であり、実用性能の検証ができたものとする。また、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の低減および継目板平行度の管理を提案した。

改良形接着絶縁レールの実用性能を確認するため、営業線への試験敷設および評価試験に際し、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メーカ各社の関係者にお礼を申し上げます。

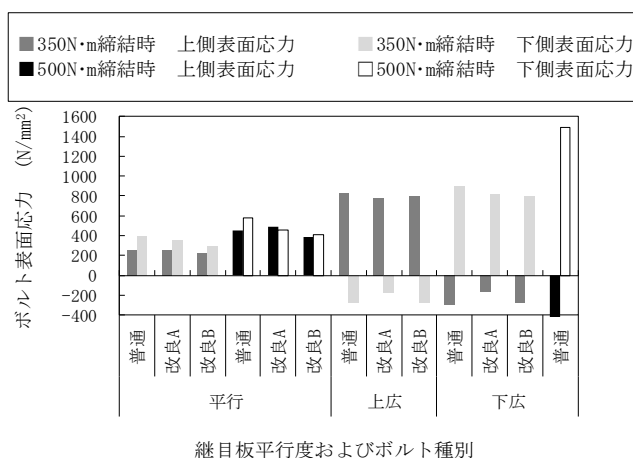


図 7 緊締時の継目板ボルトの応力