

非金属材料を用いた直結系軌道用レール締結装置の性能確認試験

鉄道総合技術研究所 正会員 ○松尾 淳史
 鉄道総合技術研究所 正会員 弟子丸 将
 鉄道総合技術研究所 正会員 山本 智之
 鉄道総合技術研究所 正会員 鈴木 実
 鉄道総合技術研究所 正会員 栞田 吉弘

1. はじめに

レール締結装置（以下、締結装置）の要求性能のうち、レールと支承体の間を絶縁する電気絶縁性に起因して生じる帰線電流の地絡等の輸送障害の発生リスクを低減するため、電気絶縁性能を向上することは鉄道事業者の課題のひとつである。鉄道総研では、この課題解決のため、電気絶縁性に優れた非金属材料を適用したレール締結構造の実用可能性を検証しており、本稿では、試作した締結装置の実軌道への敷設可能性を検討することを目的として実施した、疲労破壊の安全性および電気絶縁性に関する性能確認試験について報告する。

2. 疲労破壊の安全性に関する性能確認試験

試作した締結装置は図1に示す2種類であり、直結8形締結装置と互換性のある形状で、タイプレートをそれぞれガラス繊維強化プラスチック（以下、GFRP）およびガラス短繊維強化熱可塑性プラスチック（以下、FRTP）製とし、締結ばねを炭素繊維強化プラスチック（以下、CFRP）製とした。締結装置に用いた材料の材料特性を表1に示す。試作した締結装置一組に対して、鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造物（以下、軌道標準）に則り静的・動的二方向載荷試験を実施した。載荷試験は、JIS 60kg レール、在来線（締結間隔 625mm）、曲線半径 600m 以上の軌道への適用を想定したものとし、設計軸重 150kN のもとで設計作用 A 荷重および B 荷重を決定した。ここで、締結装置一組に対する試験荷重の条件算定にあたり、鉛直ばね定数、横方向ばね定数および先端ばね定数試験を実施した。各種ばね定数試験で取得したばね定数から、非線形有限要素法によるレール小返り解析モデル²⁾を用いて算定した、載荷試験の荷重条件を表2および図2に示す。

図3に静的二方向載荷試験時のCFRP製締結ばね、およびタイプレートのひずみの測定位置を示す。ひずみの測定位置は、載荷試験において最大応力が発生すると想定される位置を目標に決定した。また、図4および図5に測定結果を示す。なお、図4、図5に示した応力は、測定したひずみに対しGFRP製タイプレート、FRTP製タイプレートおよびCFRP製締結ばねについて表1中に示される引張および圧縮の弾性率を考慮して換算したものである。

載荷中にCFRP製締結ばねに発生する最大応力は、GFRP製タイプレートの場合に42.8MPa（図4a）、FRTP製タイプレートの場合に57.1MPa（図4b）であり、いず

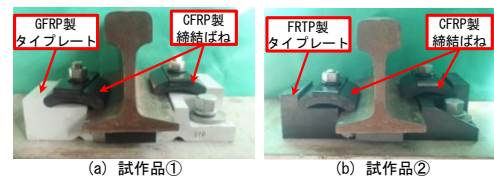


図1 試作した締結装置

表1 非金属材料の材料特性

項目	GFRP		FRTP(絶乾時)		CFRP	
	引張	圧縮	引張	圧縮	引張	曲げ
強度(23°C) (MPa)	192	318	204	252	638	462
弾性率 (GPa)	17.4	4.6	20.0	5.2	45.0	29.2

表2 二方向載荷試験の荷重条件

項目	GFRP	FRTP
試験荷重 P_{Amax} kN	48.5	49.6
試験荷重 P_{Bmax} kN	34.1	34.2
載荷角度 θ_A deg	49.1	51.1
載荷角度 θ_B deg	58.2	60.3
載荷点高さ mm	100	110
残留荷重 kN	10	10

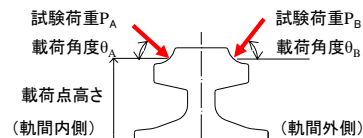


図2 二方向載荷試験の図

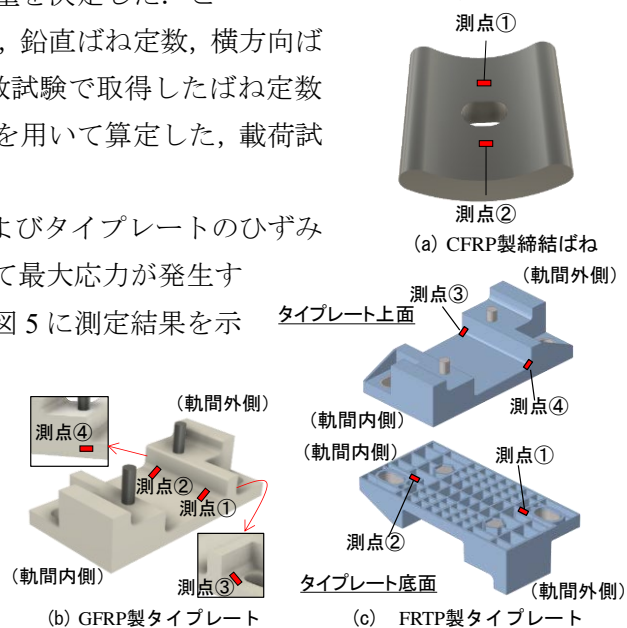


図3 ひずみゲージ貼付位置

キーワード レール締結装置, 非金属材料, 二方向載荷試験, 電気絶縁性

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道構造 TEL042-573-7275

れも CFRP の引張強さ 638MPa (表 1) に対して十分小さい結果であった。タイプレート応力については、GFRP 製タイプレート (図 5a) では、A 荷重作用時に測点①で最大引張応力 20.9MPa, 測点③で最大圧縮応力 8.0MPa であり、FRTP 製タイプレートについて (図 5b) は、A 荷重作用時に測点③で最大引張応力 38.6MPa, 測点①で最大圧縮応力 7.4MPa であり、いずれも表 1 に示される引張強さおよび圧縮強さを下回った。

ここで、FRTP 製タイプレートをを用いた試験実施時、レールとの干渉により最も応力が高くなる位置で直接応力を測定することができなかった。このため、FRTP 製タイプレートの構造解析結果から、試験で測定した位置と最も応力が高くなる位置の応力の比を求め、試験時の最大応力を推定した。構造解析の結果より、荷重時の試験で測定した箇所の発生応力が 57MPa, 解析上最も大きな応力は 127MPa であった。この結果を用いて応力を補正すると、 $38.6 \times (127/57) \approx 85.9\text{MPa}$ となり、推定した最大応力が FRTP の引張強さ (絶乾時) 204MPa を下回ることを確認した。以上より、試作した CFRP 製締結ばね、GFRP 製タイプレートおよび FRTP 製タイプレートのいずれも最大応力が引張強さを下回ることを確認した。

動的荷重試験は、静的荷重試験と同様に、表 2 および図 2 に示す条件で実施し、目標繰り返し回数は 10^6 回とした。 10^6 回荷重後、締結ボルト・ナットの緩みは生じず、外観上の異状は認められなかった。

以上より、静的荷重試験の結果と併せて、試作した 2 種類の締結装置が、疲労破壊に関する安全性を有することを確認した。

3. 電気絶縁性に関する性能確認試験

電気絶縁性に関する使用性の検討のため、試作した 2 種類の締結装置および現行の直結 8 形締結装置について、軌道標準に準拠して電気絶縁抵抗試験を実施した。試験条件を表 3 に示す。図 6 に測定結果を示す。電気絶縁抵抗値はいずれの材料のタイプレートについても、軌道標準に示される設計基準値 1.6k Ω を上回り、試験条件のうち汚損状態であっても現行品と比較して GFRP 製タイプレートで 10 倍以上、FRTP 製タイプレートで 20 倍近くとなった。以上より、試作した 2 種類の締結装置が、現行品と比較して十分に高い電気絶縁性を有することを確認した。

4. まとめ

本稿では、非金属材料を適用した締結装置の試作品 2 種類に対し、試作品の実軌道への敷設可能性を検討することを目的として実施した。疲労破壊に関する安全性および電気絶縁性の性能確認試験の結果について報告した。試験結果から、試作品はいずれも疲労破壊に関する安全性を有しており、電気絶縁性が既存の構造と比較して大きく向上していることを確認した。以上のことから、試作した締結装置の実用化の見通しを得た。

謝辞

本研究には、東レ株式会社、東レ・カーボンマジック株式会社および株式会社日本コンポジット工業との共同研究による成果が含まれています。関係者の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 国土交通省：鉄道構造物等設計標準・解説 軌道構造，丸善出版，2012.1.
- 玉川剛福，片岡宏夫，弟子丸将：レールの小返り解析モデルの提案とレール締結装置の性能評価試験への応用，土木学会論文集 A1, Vol.73, No.2, 2017 年.

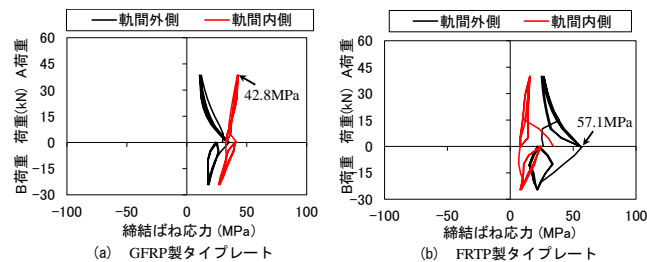


図 4 静的荷重試験時の CFRP 製締結ばね応力

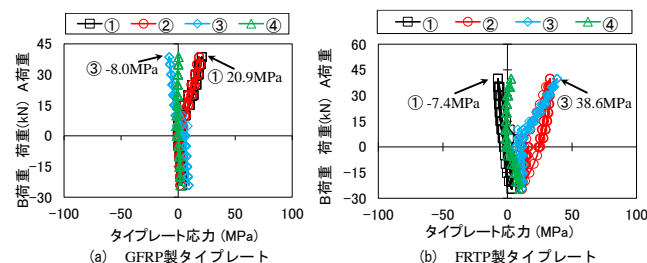


図 5 静的荷重試験時のタイプレート応力

表 3 電気絶縁抵抗試験の試験条件

試験条件	散布の有無	散布の詳細
乾燥状態	なし	—
降雨状態	あり	水道水
汚損状態	あり	食塩水 (濃度0.1%)

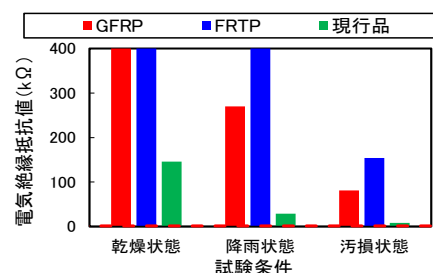


図 6 電気絶縁抵抗試験の試験結果