

レール締結装置の載荷試験方法が応答値に及ぼす影響に関する一考察

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 野口 雅人
 鉄道総合技術研究所 正会員 足立 博哉

1. はじめに

鉄道軌道の分野では現在、国際標準化の動きが活発化している。軌道の構成部材のうちレール締結装置については現在、既発行の欧州規格（European Norm, 以下「EN」）を草案として試験方法に関する国際規格を開発中である。このうち、繰り返し載荷試験（EN では「Repeated loading」）は、軌道構造標準¹⁾における疲労破壊に関する安全性の照査を目的とする二軸載荷の静的載荷試験（斜角載荷試験）および動的載荷試験（二軸疲労試験）に対応するが、両者の間には試験方法を巡って大きな隔りがある。

日本と EN それぞれの試験方法の差がレール締結装置の疲労耐久性に及ぼす影響を比較し明らかにすることは、今後、繰り返し載荷試験の試験方法に関する規格審議において、日本の設計思想を反映した国際規格開発の面で有意義である。そこで、本検討では載荷試験時のレール締結装置の応答値のうち締結ばね応力に着目し、疲労耐久性の観点から両者の比較・分析を行いその関係を明らかにした。

2. 課 題

日本で実施しているレール締結装置の疲労破壊に関する安全性の照査では、設計作用として極まれに発生する極大荷重（A 荷重、平均+3×標準偏差）としばしば発生する最大荷重（B 荷重、平均+標準偏差）を設定し、その交互載荷による静的載荷試験を実施して算定した設計応答値と設計限界値と比較することで性能照査を実施する。また、同載荷条件で 100 万サイクルの動的載荷試験を実施し、部材の損傷状況といった外観の判定を行う。一方、EN では日本の静的・動的載荷試験に相当する試験として EN 13146-4 に繰り返し載荷試験の方法を定めている。両者を比較すると表 1 に示すように載荷方法や繰り返し載荷回数で日本の方法と異なる点がある。また、EN の試験方法では疲労破壊について繰り返し載荷中の部材の損傷や試験後の締結ばね押え力の低下割合を対象とした判定を実施しており、日本で実施している設計応答値に着目した性能照査を実施していない。

いずれの試験もレール締結装置の疲労耐久性を把握する目的で実施しているが、両者の隔りから試験結果を比較することができず、載荷方法の差が試験結果に及ぼす影響については過去に定量化されていなかった。

3. 検証方法

前章に示した課題に対し、EN の試験方法に準じた繰り返し載荷試験を実施した場合の締結ばね応力に着目し、日本の性能照査で締結ばね応力の設計限界値として用いられているばね鋼の耐久限度線図上で比較することにより、日欧の試験方法を疲労耐久性の観点から比較することが可能であると考えた。そこで、同一のレール締結装置を対象として日本と EN で実施されているそれぞれの試験方法を適用した載荷試験を実施し、その際に得られたレール締結装置の締結ばねの発生応力について比較を行った。

表 2 に検証対象としたレール締結装置の諸元を示す。新幹線のスラブ軌道で実績のある板ばね式締結装置（JIS 60kg レール用直結 8 改（低）形、以下「直結 8 形」）、および在来線のバラスト軌道に適用される線ばね式締結装置（JIS 50kgN レール用 e2009 形座面式、以下「e2009 形」）の 2 種類を選定した。

表 1 繰り返し載荷試験の比較

	日 本	EN(欧州規格)
規格・基準	軌道構造標準 ¹⁾	EN 13146-4
荷重条件	レール締結装置ごとに決定	レール締結装置のカテゴリ別に決定
載荷方法	二軸載荷	単軸載荷
載荷回数	100 万サイクル	300 万サイクル
性能照査の対象	・レール変位 ・締結ばね応力	特になし

※日本では静的載荷試験後に動的載荷試験を実施する

キーワード レール締結装置, 疲労破壊, 国際規格, 欧州規格, 設計標準, 耐久限度線図

連絡先 〒185-8541 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 TEL042-573-7275

これらの締結装置を二軸載荷が実施可能な試験機の定盤上に固定し、日本と EN それぞれの試験方法で載荷して締結ばね応力を測定した。

表 3 に載荷条件を示す。日本の試験方法では軌道構造標準に順じ、直結 8 形については新幹線条件、e2009 形については在来線の曲線半径 600m 以下の条件の設計作用を算定し、直結 8 形については過去に提案された FEM レール小返り解析モデルを用いて、e2009 形は従来法を用いて荷重条件を算定した²⁾。一方、EN の試験方法については、直結 8 形では高速鉄道のスラブ軌道用のカテゴリ D 締結装置、e2009 形では在来線の PC まくらぎ用のカテゴリ C 締結装置とし、さらに表 2 のレール下ばねを考慮したうえで荷重条件を選定した。

図 1 に試験概況の例を示す。EN の試験方法については、図に示すように実際のレールの載荷点付近に加工を施した試験レールを用いて EN の荷重条件での載荷を可能にした。一方、日本の試験方法については荷重条件と併せて算定される最適な載荷点高さを実現する試験用レールを用いて載荷を実施した。

4. 試験結果と考察

図 2 に日本と EN の試験方法それぞれで載荷した際に、最も応答値が大きい軌間内側の締結ばねの応力について耐久限度線図上で比較した例を示す。なお、図中には日本と EN それぞれの試験方法で実施する繰り返し載荷の載荷回数に相当する時間強度線を併せて示した。直結 8 形・e2009 形ともに、平均応力については大きな差は認められなかった。一方、EN の試験方法における載荷回数 300 万回の時間強度線に対する変動応力の割合は、日本の試験方法における載荷回数 100 万回の時間強度線に対する変動応力の割合と比較して小さいことが分かった。したがって、日本の試験方法を適用した場合の変動応力の方が時間強度線に対して余裕が少ないといえる。

5. まとめ

日欧それぞれの繰り返し載荷試験を実施した場合に、締結ばねの応力に着目して疲労耐久線の観点から両者の比較を行った結果、検討したいずれのレール締結装置についても、ばね鋼の耐久限度線図上の時間強度線と変動応力の関係より、日本の試験方法の方がより厳しい評価となることが分かった。

参考文献

- 1) 国土交通省，鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（軌道構造），2012
- 2) 玉川，弟子丸，片岡：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，Vol. 73 No. 2，2017

表2 対象レール締結装置の諸元

形式	直結 8 改(低)形	e2009 形
締結ばね	板ばね	線ばね
レール種別	JIS 60kg レール	JIS 50kgN レール
レール支承体	軌道スラブ	PC まくらぎ
レール下ばね[MN/m]	27.9	123.7
先端ばね[MN/m]	0.58(柔) / 5.95(硬)	1.0
横方向ばね[MN/m]	243.9	72.5
支承体ばね[MN/m]	300.0	33.3
レール締結間隔[mm]	625	625

表3 各試験方法の載荷条件

(a)直結 8 形

項 目	日本の試験方法※1,2	EN の試験
荷 重	軌間内側: 64.9kN 軌間外側: 35.5kN	軌間内側: 60kN
角 度	軌間内側: 36.3 度 軌間外側: 46.5 度	軌間内側: 64 度

※1 軸重を 170kN として設計作用を算定

※2 試験レールの載荷点高さは 80mm

(b) e2009 形

項 目	日本の試験方法※3,4	EN の試験
荷 重	軌間内側: 57.7kN 軌間外側: 41.4kN	軌間内側: 75kN
角 度	軌間内側: 31.6 度 軌間外側: 41.4 度	軌間内側: 57 度

※3 軸重を 150kN として設計作用を算定

※4 試験レールの載荷点高さは 70mm

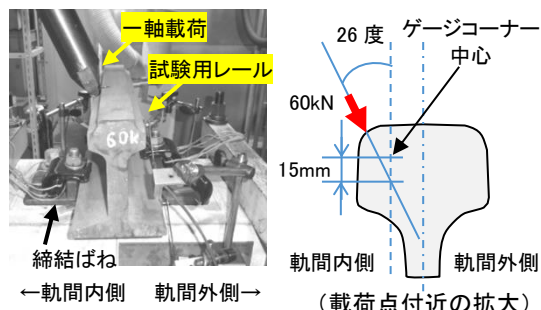


図1 試験概況(直結 8 形・EN の試験方法)

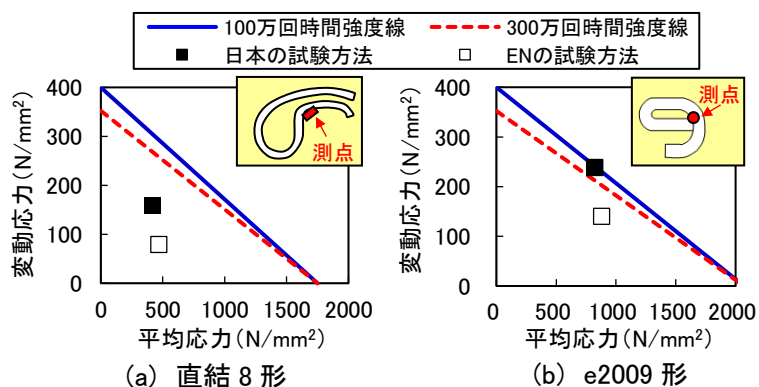


図2 締結ばね応力と時間強度線の関係