

線ばね形レール締結装置の繰り返し着脱時の塑性ひずみの推移

鉄道総合技術研究所 正会員 ○西宮 裕騎

1. はじめに

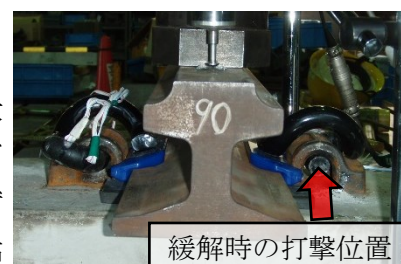
線ばね形レール締結装置が普及しているが、そのクリップは締結時に塑性変形することが分かっている。著者は過去に、組立過程を考慮した数値解析及び確認試験により、その塑性変形量を明らかにしたり。一方、長期間供用した場合には、レール交換等でクリップを繰り返し着脱する場合があるが、それに伴う塑性変形進みは明らかではない。現時点では実用上の問題は生じていないと考えられるが、塑性変形の進行により、レール押え力の低下などが懸念される。そこで、本研究では線ばね形レール締結装置の繰り返し着脱試験、及び数値解析を実施し、塑性ひずみとレール押え力の推移を明らかにした。なお、研究対象とする線ばね形レール締結装置として、50kgN レール用の Pandrol 社製 e2009 形を採用した。

2. 繰り返し着脱試験

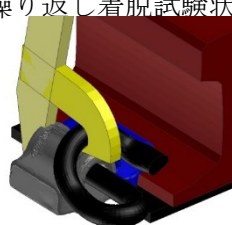
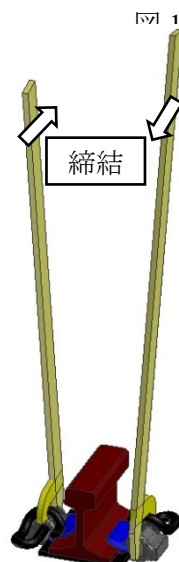
塑性ひずみの推移を確認するため、繰り返し着脱試験を実施した。試験状況とひずみ評価箇所を図1に示す。図1(a)に示す通り、固定したPCまくらぎにクリップを着脱し、その過程のひずみ量とレール押え力を測定した。ひずみ量は図1(b)に示すクリップのリヤアーチ中央部に、3軸ひずみゲージを貼り付けて測定した。レール押え力は、レールを鉛直方向に上昇させて軌道パッドを抜き取った後、レールを元の位置に戻した際の荷重を測定した。締結は所定の締結工具を用いて行うが、緩解はひずみゲージの損傷を防止するため、図1(a)に示す通り、クリップの軸部をハンマーで打撃することで行った。

3. 繰り返し着脱の数値解析

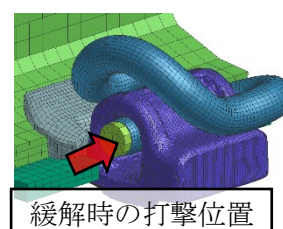
繰り返し着脱試験では、手作業による着脱でひずみ量の誤差が累積する。また、軌間外側と内側のクリップを順番に締結するため、最初に締結するクリップの方が塑性変形量は多くなる。このため、過去に構築した着脱過程を考慮する非線形弾塑性解析手法¹⁾を行い、バラつきを抑え、理想的な着脱状態でのひずみ量を確認することとした。解析モデルを図2に示す。構成部材は三次元ソリッド要素でモデル化した。クリップは弾塑性材料とし、応力・ひずみ特性はクリップの直線部から材料試験片を切り出して引張試験を行って設定した¹⁾。なお、着脱過程で塑性ひずみの正負が反転する可能性は低いと考えられるため、弾塑性材料は等方硬化則を用いた。レール及びインシュレータは線形弾性体、軌道パッドは非線形弾性体とし、公称ばね定数が得られるよう弾性係数を設定した。ショルダー及び締結工具は剛体でモデル化した。締結は図2(a)(b)に示す締結工具に強制変位を与えて行い、緩解は図2(c)に示す様にハンマー相当の質量10kgの剛体を初速5.4m/sで衝突させて行った。この緩解条件は、手作業で行える範囲内の質量及び初速を数ケース想定して試験解析を行い、緩解可能な最小値を設定した。軌間外側と内側のクリップは同時に着脱した。組立解析は強い非線形性を有するため、動的陽解法による非線形弾塑性解析手法を用いた。



(a) 締結後の状態

(b) ひずみ評価箇所
繰り返し着脱試験状況

(b) 締結工具詳細

(a) 締結時のモデル (c) 緩解時のモデル
図2 繰り返し着脱の数値解析モデル

キーワード 線ばね形レール締結装置, 塑性変形, 動的陽解法, 有限要素法

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 TEL 042-573-7275

4. 検討結果及び考察

試験及び数値解析で得られた結果を合わせて図3に示す。図3(a)より、試験から得られたレール押え力は締結2,3回目でそれぞれ2.0%, 5.1%の大きな低下がみられ、その後も漸減する傾向がみられ、締結8回目で5.9%の低下がみられた。一方、解析から得られたレール押え力は、締結2回目で1.7%の低下がみられ、それ以降は2%の低下量で収まる傾向がみられた。図3(a)の結果から、レール押え力の低下は着脱3回目でほぼ収束し、それ以降の減少量は極めて少ないものと推定される。

図3(b)より、試験では外側のクリップのひずみ量が内側と比較して、初回締結時と緩解時にそれぞれ26%, 43%大きい結果となった。これは、1締結で試験を行い、かつ外側のクリップから先に締結していることから、レール小返り角が大きくなった状態で内側のクリップを締結しているためと考えられる。なお、実軌道では前後の締結装置にレールが押えられることから、本試験より軌間内側と外側の差が広がることは考えにくい。

図3(b)より、初回締結時の最大主ひずみの試験結果は 14123×10^6 (内外平均)で塑性域に達しており、その後は概ね漸増する傾向がみられ、5回目締結時には初回から7.0%の増加がみられた。ただし、解析では初回から5回目締結時までの最大主ひずみの変化が1.0%以下となったため、以降の着脱解析を打ち切った。

図3(b)より、緩解時の最大主ひずみは、試験では漸増する傾向がみられ、増加割合が最も大きかった軌間外側では着脱4回目以降に 124×10^6 /回の割合で増加している。一方、解析では明確な変化傾向が認められず、初回締結時から5回目締結時までの差は1.5%であった。

最大主ひずみは、解析より試験の方が漸増する傾向が明確にみられた。解析では2個のクリップを同時かつ同一条件で着脱しているのに対し、試験ではクリップを1個ずつ手作業で着脱している。この違いにより、ひずみ分布に差が出たためと推定される。

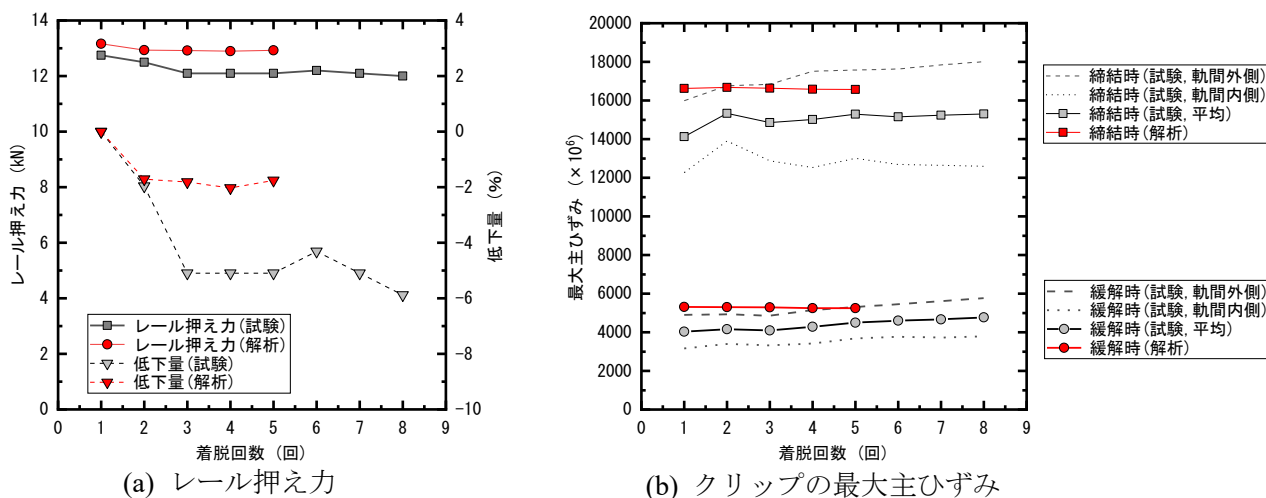


図3 繰り返し着脱試験及び数値シミュレーション結果

これらの結果から、検討した範囲内であればレール押え力の低下は限定的であり、問題とならない可能性が高い。ただし、設計上のレール押え力が小さい締結装置の場合、レールふく進抵抗力の低下が懸念される。また、緩解時のひずみは着脱回数に比例して漸増するため、著しく多い場合は疲労耐久性などが懸念される。

5. まとめ

本研究では、繰り返し着脱試験、及び数値シミュレーションにより、線ばね形レール締結装置の繰り返し着脱時の塑性ひずみとレール押え力の推移を明らかにした。今後、塑性変形後の疲労耐久性について検討を進める予定である。

参考文献

- 1) Yuki NISHINOMIYA : A method for simulating stress of round bar rail clips using nonlinear elastic-plastic dynamic explicit FEA, Proc. of the 12th Int. Conf. on Railway Engineering 2013, London, 2013