レール締結装置の動的繰返し載荷試験における構成部材の摩耗に関する一考察

鉄道総合技術研究所　正会員　○本村　裕基
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　片岡　宏夫

1．はじめに

軌道構造標準 [1]におけるレール締結装置の疲労破壊に関する安全性の照査のうち，レール締結装置全体の耐久性の照査として，二軸載荷による 100 万回の動的載荷試験（以下「二軸疲労試験」という）を実施し，締結ばねや構成部材に異状が認められないかを確認している．近年，図 1 に示すように，線ばね形レール締結装置の試験において，樹脂製の部材（以下「インシュレータ」という）に損傷や著しい摩耗がみられる場合がある．しかし，締結ばねには全く異状がなく，損耗状態が実軌道では報告例の無いようなものである．そこで，本研究では部材の摺動摩擦に伴い発生する温度に着目し，二軸疲労試験における締結ばね応力と構成部材の表面温度を比較することにより，インシュレータ摩耗の発生要因の検討を実施した．

図 1　インシュレータ損耗状況

2．試験方法

インシュレータ摩耗発生要因の検討にあたり，e2009 形レール締結装置を試験対象とした．締結装置の組立状態を図 2 に示す．試験条件は表 1 に示すとおり，在来線の曲線区間を想定し，設計軸重を小さくした条件およびまくらぎ間隔を広くした条件を比較対象とした．レール締結装置 1 組に作用させる試験荷重の算定については，過去に提案された手法 [2]を用い，算定された試験荷重により二軸疲労試験を実施した．

図 2　e2009 形レール締結装置

試験中は図 3 に示すとおり，ひずみゲージにより締結ばねの応力を，サーモカメラにより部材の表面温度を測定した．なお，載荷回数は 100 万回としたが，試番 1-2 については載荷 30 万回で，試番 3 については載荷 45 万回で試験を終了した．

表1　試験条件の一覧

試番	1-1,1-2	2	3
レール種別	50kgN レール		
設計軸重	150kN	100kN	150kN
線形	曲線（半径 600m 以下）		
レール締結間隔（まくらぎ間隔）	641mm（39 本/25m）	641mm（39 本/25m）	735mm（34 本/25m）

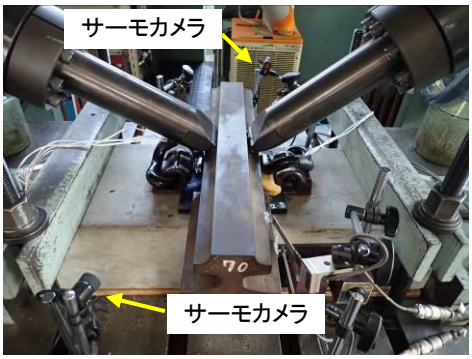


図 3　二軸疲労試験実施状況

3．試験結果と考察

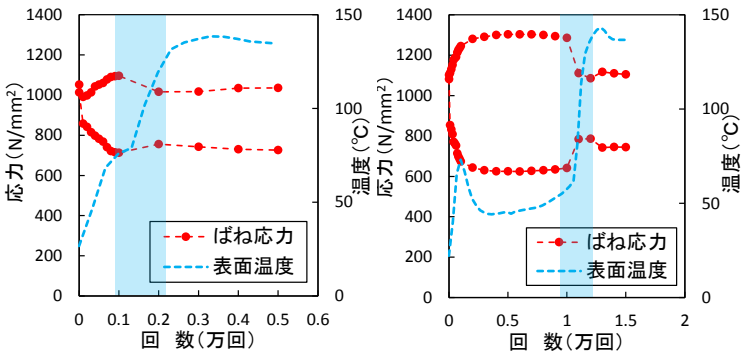
応力および温度の変動が大きかった載荷開始直後の応力と温度の推移を図 4 に示す．試番 1-1 は載荷 0.5 万回までの，試番 1-2 は載荷 1.5 万回までのデータとした．載荷開始直後からばね応力の振幅が増加するとと

キーワード　線ばね形レール締結装置，インシュレータ，摩耗，二軸疲労試験
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

もに，表面温度が上昇し，載荷 1 千回程度で約 60℃となった．その後，ばね応力の振幅の減少に合わせ，表面温度が 140℃程度まで急上昇した．応力振幅が増加する領域については，締結装置の組立時から構成部材がなじむまでの領域と考えられ，締結ばねとインシュレータが一体となって動くことにより，部材の温度が大きくは上昇しなかったものと考えられる．一方，応力振幅の減少する領域については，構成部材がなじみ，インシュレータが固定されて締結ばねとの間に摩擦が生じることで急激に温度が上昇したものと考えられる．なお，この傾向は試番 3 においても確認できたが，荷重の小さい試番 2 では確認できなかった．

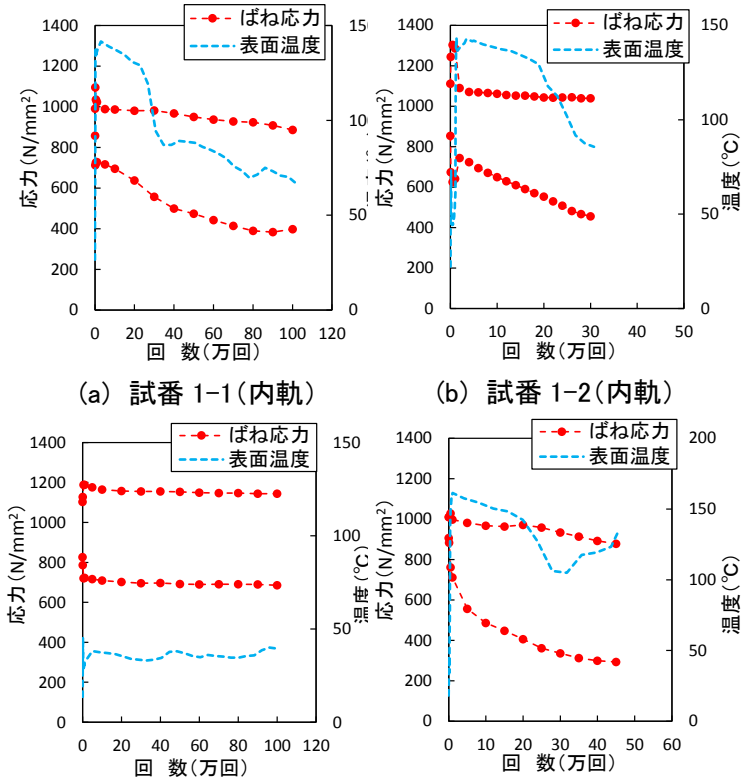
次に，試験終了までの応力と温度の推移を図 5 に示す．試番 1 と 3 においては，載荷回数の増加に伴って応力が低下していく傾向が確認できた．これは，インシュレータ摩耗量の増加により，締結ばねがレールを押える点が下がり，発生応力が減少したためと考えられる．一方，試番 2 においては，インシュレータがほとんど摩耗しなかったため，ばね応力，表面温度ともにほとんど変化が無かったものと考えられる．

また，試験条件による比較では，試番 1 に比べ，試験荷重の大きい試番 3 においてインシュレータ摩耗量もより大きかったことから、より表面温度が高くなり，応力の減少幅も大きくなったと考えられる．一方，試番 2 では応力，温度ともに試験開始直後の構成部材がなじむまでの領域以外での変化がほとんど見られなかったことから，試番 1 と 2 の条件の間にインシュレータ摩耗の急進する境界が存在する可能性が考えられる．



(a) 試番 1-1(内軌)　(b) 試番 1-2(内軌)

図4 載荷開始直後の締結ばね応力と部材表面温度の関係



(a) 試番 1-1(内軌)　(b) 試番 1-2(内軌)

(c) 試番 2(内軌)　(d) 試番 3(内軌)

図5 試験全体の締結ばね応力と部材表面温度の関係

4．まとめ

線ばね形レール締結装置の二軸疲労試験時におけるインシュレータの損耗に対し，締結ばねの応力と部材の温度に着目して比較した結果，それぞれの変動に関係性が認められ，変動の原因は構成部材のなじみに伴う摺動摩擦による温度上昇と，摩耗進みに伴うレール押え点の変化による応力低下であることが分かった．今後は試験による摩耗量と実軌道に敷設されている部材の摩耗量を比較し，試験と実軌道の差を確認するほか，より実軌道の環境に近づけるための試験方法について検討していく予定である．

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