

レール継目部ボルト穴周辺の発生応力

鉄道総合技術研究所 正会員 片岡宏夫
 鉄道総合技術研究所 正会員 阿部則次
 鉄道総合技術研究所 若月 修
 鉄道総合技術研究所 正会員 立川正勝

1. はじめに

定尺レールの疲労寿命を評価するためには、レール継目部のレール腹部のボルト穴内側に発生する応力状態を明らかにする必要がある。レール継目部では継目板とレールの接触およびボルト穴周辺への応力集中が発生するために、列車通過時の発生応力を的確に把握することは難しい。そこで、レール継目部について静的載荷試験、FEM 解析および現地測定を実施し、レール継目部の発生応力の定量化について検討した。

2. 室内静的載荷試験

試験軌きょう(表1)はまくらぎ9本分の片側レールで構成した。試験条件を表2に示す。各まくらぎをバラストマットを介して固定台に設置し、30MN/mのマットを上へ挿入し、アンカーボルトで上下方向を拘束した。所定の緊締力が生じるように継目ボルトを緊締した後、油圧装置を用いて100kNの垂直荷重をレール端部からレール長手方向に-70mm、30mm~630mm(測点があるレール方向を正とする、50mm刻み)の位置まで載荷し、ボルト穴周辺の応力を測定した。応力測定位置はボルト穴周辺の水平方向および45°方向に5mm離れた位置(以下、5mm離れ位置とする)とし、3軸のひずみゲージを貼り測定した(図1)。

表1 試験軌きょうの諸元(標準条件)

項目	値	
レール種別	50 kgN レール	
締結装置	一般部	9形(50 N 用)
	継目部	継目用締結装置(50 N 用)
軌道パッドばね定数	110 MN/m	
まくらぎ種別	一般部	PCまくらぎ3号
	継目部	大判木まくらぎ
締結間隔	600 mm	
まくらぎの支持ばね定数	30MN/m	
継目ボルト緊締トルク	500 N・m	

表2 試験条件

ケース	条件
1	標準条件
2	摩耗継目板
3	浮きまくらぎ3mm
4	トルク 250N・m
5	トルク 50N・m



図1 ボルト穴周辺の測点

継目ボルト緊締時の最大主応力は、緊締トルク 500N・m と 250N・m の場合には第1ボルトの水平位置で一番大きく、218N/mm² と 124N/mm² であった。摩耗継目板の場合は第1ボルトの水平位置で最大主応力が小さくなったが、他の位置ではほとんど変わらなかった。トルク 50N・m のときは最大主応力は小さく、各測点とも 30N/mm² 以下であった。載荷時の最大主応力変動(水平位置、45°の対角位置で平均化した値)の最大の変動幅は 45°方向の位置で生じ、トルク 500N・m の場合に 34 N/mm² であった(図2)。このことは、破端に対して、45°方向の方が水平方向より厳しい条件にあることを示唆している。また、摩耗継目板の場合には 52 N/mm²、トルク 50N・m の場合には 60 N/mm² であり標準条件より大きかった。

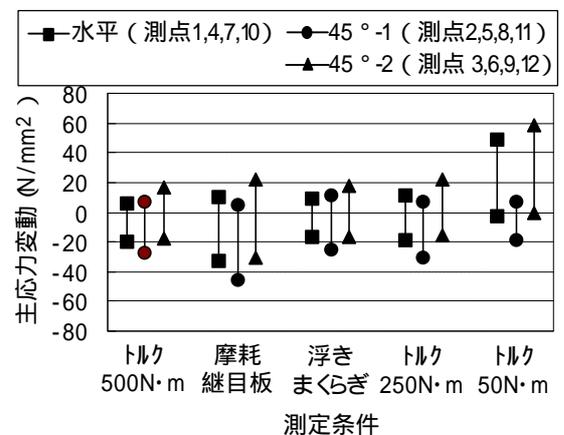


図2 載荷時のボルト穴周辺の最大主応力変動(緊締時を0とする)

キーワード：レール継目部、載荷試験、ボルト穴周辺応力

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7275 FAX 042-573-7432

3. 現地測定

実軌道におけるレール継目部の発生応力と列車の速度や動的輪重との関係を明らかにするため、在来線軌道の直線部と曲線半径400mの曲線部各1箇所ずつのレール継目部を対象に現地測定を実施した。測定箇所の軌道構造は、盛土区間の有道床軌道で、50kgNレール、まくらぎ本数は44本/25mである。標準状態を含む5ケースを擬似的に当該継目部に設定し(表3)、ボルト穴周辺の円周方向応力を、図1の45°方向の測点で測定した。

表3 継目部の設定条件

ケース	設定条件	設定方法
1	標準状態	既存の状態、継目板ボルト緊締力 250N・m
2	浮きまくらぎ	3mmの浮きを設定
3	摩耗継目板	継目板両端の下部および中間部の上部を1mm削正
4	レール段違い	1mmの上り段継目
5	緊締力低下	継目板ボルト緊締力 50N・m

* 曲線部は「緊締力低下」条件は測定なし

設定条件毎に、速度と、中間地点で測定した輪重および横圧で重回帰分析を行った。それらの平均値を入れた場合の継目ボルト穴周辺の応力振幅を測点、設定条件毎に比較すると、第1ボルト穴周辺(測点5、6)で大きく、最大値は摩耗継目板の場合に軌間外側で生じ、89N/mm²であった(図3)。

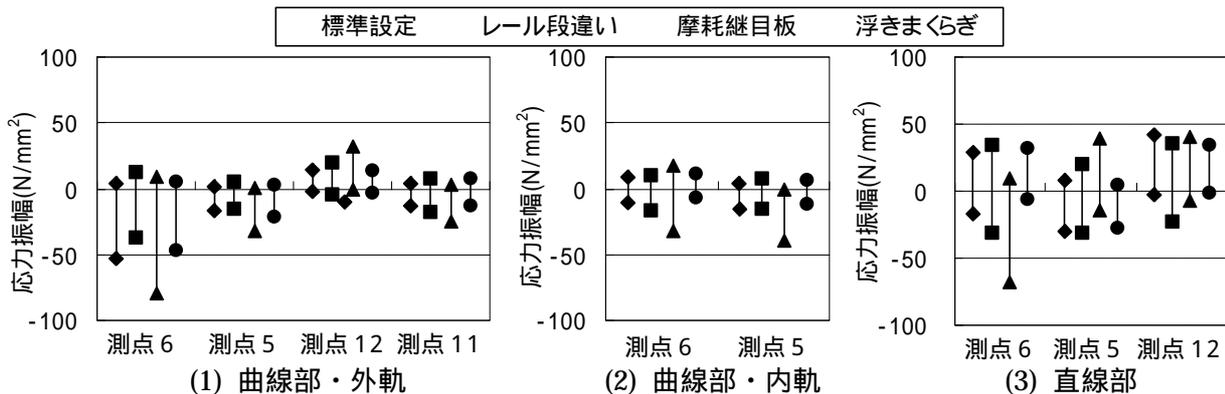


図3 継目ボルト穴周辺応力変動

4. 静的応力解析

静的载荷試験の標準条件の場合についてFEMによる静的解析を行い、結果を試験値と比較した。水平方向および45°方向の5mm離れ位置における、対角位置毎にまとめた最大主応力の変動(緊締時を0とする)を図4に示す。変動幅の解析値と試験値との差は最大で17%であり、45°-2の位置の変動の解析値は+側に偏っていたが、試験値がばらつきを持つことを考慮すると、変動幅については比較的良い一致を示していると考えられる。

解析結果において、緊締時の5mm離れ位置に対するボルト穴内側の円周方向応力の比率は、水平位置では1.73倍であり、45°方向の位置では1.37倍であった。载荷時の円周方向応力変動の比率は測点と载荷位置により変わる。しかし、45°方向の5mm離れ位置の円周方向応力変動が10N/mm²以上の場合には、この比率は3倍以下に収まっていた。これらの比率を用いて、静的载荷試験および現地測定の5mm離れの円周方向応力から、寿命推定に必要なボルト穴内側の円周方向応力を推定することができる。

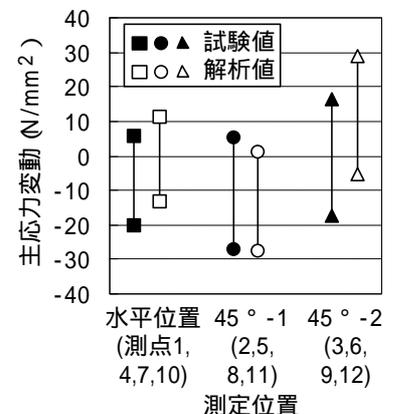


図4 静的载荷試験と静的応力解析の比較

5. まとめ

本研究では、レール継目部の室内静的载荷試験、FEM解析および現地測定を行い、ボルト穴周辺に発生する応力の傾向を把握した。その結果、ボルト緊締時には水平方向の応力が大きく、载荷時には45°方向の応力変動が大きいことがわかった。また、解析結果から、ボルト穴内側の円周方向応力を推定することが可能であることがわかった。これらの知見を踏まえ、現在定尺レールの寿命の推定を行っている。

最後に、現地測定にご協力いただきました東日本旅客鉄道株式会社に感謝いたします。