

普通継目部における斜め構造化の基礎的検討

JR 東日本研究開発センター テクニカルセンター 正会員 ○栗原 巧
JR 東日本研究開発センター テクニカルセンター 正会員 神津 大輔

1. 目的

継目部においては、列車からの衝撃荷重により継目落ちや噴泥・アオリが発生し、軌道の弱点箇所として繰返し補修の要因となっている。JR 東日本では、下級線の殆どが定尺レールであるが、下級線 PC まくらぎ化を進めているものの、継目落ちの抜本対策は進んでいない。そこで、下級線を対象として、継目部の衝撃を抜本的に緩和させるレール形状（斜め継目構造）の実用化に向けて 50N レールの斜め構造化について基礎的検討を行った。

本研究では、検討対象とした切断角度(15°、30°、45°)において、疲労破壊の安全性について照査することで、斜め構造化の実用化への知見を得ることを目的とした有限要素解析モデルによる照査を実施した。

2. 斜め構造化における切断角度の検討

図-1 に示す通り、切断角度の検討では、継目部での衝撃荷重を緩和させる効果を期待して、冬季期間における遊間の最大開口値（16mm）における、車輪（ヘルツの接触理論）と 50kgN レールの共走区間の幅より、検討対象とする切断角度を表-1 のとおり 3 ケースとした。

表-1 検討ケース

Case	切断角度	共走区間長	遊間量
1	15°	5.0mm	16.0mm
2	30°	2.0mm	16.0mm
3	45°	0.5mm	16.0mm

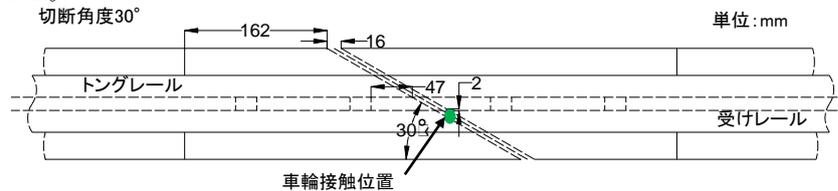


図-1 斜め構造化の検討例(Case2 切断角度 30°)

3. 斜め構造化における疲労限界状態の性能照査

鉄道構造物等設計標準 軌道構造¹⁾（以下、「軌道構造標準」という）に準拠して、表-1 に示した 3 ケースにおける疲労限界状態の性能照査を実施した。なお、表-2 に示した予備解析により、応力の発生傾向を確認した結果、レール腹部R部およびレールボルト穴回り部に発生する応力が大きいことから照査箇所とした。

(1) 設計条件

斜め構造化の対象とした設計条件は次のとおりとした。設計耐用期間は、累積通過トン数4億トン相当の期間とした。疲労検討用の列車荷重は、列車 A(軸重 170kN)、列車 B(軸重 150kN)とした。耐用期間中の繰返し数は列車Aの通過割合 10%(2631579 本)、列車Bの通過割合 90%(23684211 本)とした。なお、解析対象とした軌道構造は、レール種別は 50kgN レール、バラスト軌道、まくらぎ配置本数は 29 本/25m とする。

(2) 作用

A列車の静止輪重 85kN、B列車の静止輪重 75kN とする。荷重載荷位置を図-2 へ示す。レール腹部R部の荷重の載荷位置は、継目中心を原点としてA荷重相当を載荷させた時の予備解析によるレール腹部R部の発生応力より検討した(表-2)。表-2 の Case2 切断角度 30° の例に示す通り、全てのケースでトングレーールに対して片持ちになる位置への載荷のレール腹部R部の引張側の応力が最大となったことから荷重載荷位置とした。なお、レールボルト穴回り部の載荷位置は、レールボルト穴間の中間部とした(図-2)。

(3) 応答値の算出

応答値は、有限要素解析モデルを用いてレール腹部R部およびレールボルト穴回り部の応力を算出した。解析モデルは左右対称モデルで片側レール分とし、レールと継目板の間に接触要素を用いている。

キーワード 下級線の継目落ち対策、普通継目部、斜め構造化

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目479番地 JR 東日本研究開発センター TEL 048-651-2389

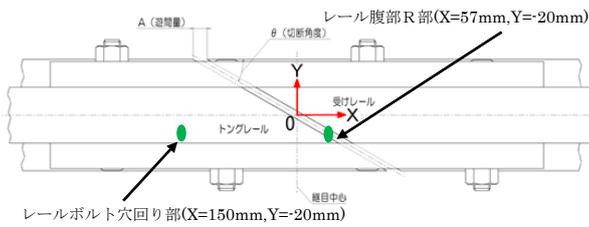


図-2 载荷位置(Case2 切断角度 30°の例)

表-2 レール腹部R部の引張応力(N/mm²) (Case2 切断角度 30°の例)

X寸法	Y寸法						
	10mm	5mm	0mm	-5mm	-10mm	-15mm	-20mm
0mm	118.1	118.4	143.9	178.0	193.7	—	—
10mm	—	118.3	117.9	148.1	194.0	219.4	—
20mm	—	—	117.6	117.0	157.6	243.4	272.5
29mm	—	—	—	—	—	—	315.8

また、まくらぎ支持はレールから下の軌道パッド等を鉛直ばね要素とした。なお、継目板ボルトの締結トルク 250N・m 相当における軸力 69.8kN を継目板ボルトに与えた。まくらぎ配置間隔は表-3 および図-3 に示すとおりである。解析に用いた材料定数を表-4 に示す。

表-3 まくらぎ配置間隔

形式	配置本数割合(本)	まくらぎ配置間隔(mm)		
		A	B	C
かけ継ぎ	29本	380	678	895
支え継ぎ	29本	503	638	909

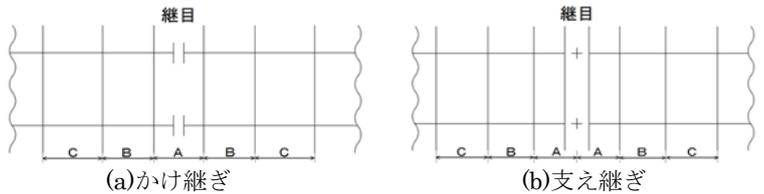
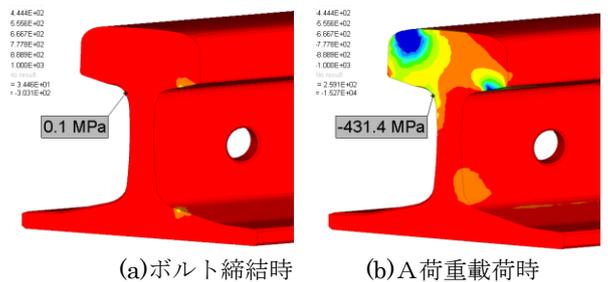


図-3 まくらぎ配置

表-4 解析に用いた材料定数

部品	物性	単位	物性値
レール、継目板、継目板ボルト	ヤング率	N/mm ²	2.1×10 ⁵
	ポアソン比	—	0.3
軌道パッド	鉛直ばね定数	MN/m	110
まくらぎ下支持ばね (片側レール当たり)	鉛直ばね定数	MN/m	30



(4) 照査方法

図-4 に示した有限要素解析モデルから算出したレール腹部R部およびレールボルト穴回り部における応答値の疲労破壊に関する安全性の性能照査は、軌道構造標準¹⁾の5.2節レールおよび5.3節レール継目部に準拠し設計疲労強度 f_{rd} を算出することで照査した。

(5) 照査結果

支え継ぎの照査結果例を表-5へ、応力変動を図-5,6へ示す。

表-5 レール腹部R部(圧縮側最大)の照査結果例(支え継ぎ)

Case	切断角度	ボルト締結時の応力 (N/mm ²)	A荷重時の応力 (N/mm ²)	変動応力 σ_{rd} (N/mm ²)	設計疲労強度 f_{rd} (N/mm ²)	照査 $\gamma_i \times \sigma_{rd} / f_{rd}$	判定
1	15°	-13.5	-746.8	-733.3	161.5	4.99	×
2	30°	-1.4	-478.4	-477.0	152.3	3.45	×
3	45°	0.1	-431.4	-431.4	151.5	3.13	×

レール腹部R部以外のレールボルト穴回り部およびかけ継ぎの支持条件でも(1)節の設計条件に対して疲労破壊に関する安全性を満たさなかった。なお、本照査では軌道構造標準¹⁾に準拠して、レールボルト穴回り部の輪重変動係数を3.0とした。一方、表-5のレール腹部R部は輪重変動係数を考慮していない。斜め構造化における衝撃緩和効果に関して十分な知見が得られていないが、図-6よりも応力変動が大きくなると考えられる。

5. まとめ

斜め継目構造化の基礎的検討として、レール腹部R部とレールボルト穴回り部の疲労破壊に対する安全性を照査したが満足できないことを確認した。今後は、まくらぎ配置間隔を縮小したケースについて検討する予定である。

参考文献 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造, pp.36-45, 鉄道総合技術研究所編, 2012.1

図-4 Case3 切断角度 45° (支え継ぎ) の例

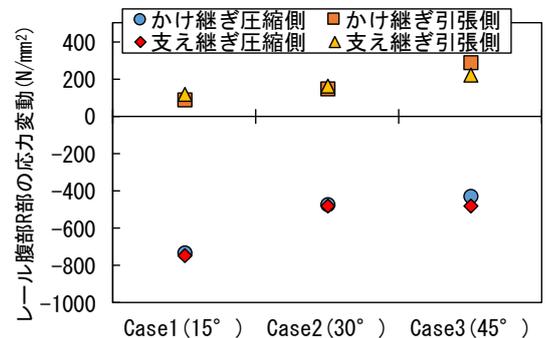


図-5 レール腹部R部の応力変動

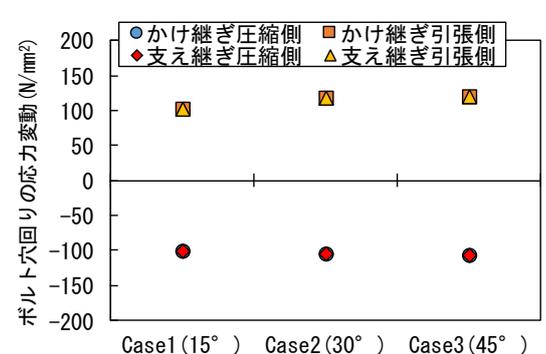


図-6 レールボルト穴回り部の応力変動