非線形 FEM 解析による軌道パッド下面応力分布の算定

荷重

(公財)	鉄道総合技術研究所	正会員	○浦川	文寛
(公財)	鉄道総合技術研究所	正会員	鈴木	実
(公財)	鉄道総合技術研究所	正会員	弟子丸	将

荷重B

恒温装置

### 1. はじめに

軌道パッドの実軌道への適用可否を評価する基準は明確 に規定されていない. そのため,対象とする軌道パッドを含 むレール締結装置に対し,設計荷重を再現した二方向の載荷 試験(図1(a))を実施し,設計標準に定める疲労破壊に関す る安全性<sup>1)</sup>を照査して評価するのが一般的である. 軌道を設 計荷重で載荷した際の軌道パッドの発生応力を,軌道パッド の形状や変形に起因する不均一性を含めて明らかにし,一軸 圧縮載荷にて同等の応力を再現できれば,図1(b)のような 繰り返し一軸圧縮試験による軌道パッド単体の照査が可 能となる. これに伴い,照査に必要な試験作業・設備を簡 素化できるとともに,恒温装置を用いる等様々な条件下 での照査の実施も期待できる. また,軌道パッドの発生 応力は,部材の要求性能を規定する上でも有益な情報 であると考える.

本稿では,軌道パッド下面の応力分布を算定する FEM 解 析モデルを作成し,設計荷重載荷時および一軸圧縮載荷時の 軌道パッド下面の応力分布を求め,両者を比較した.解析ソ ルバーには Nastran ver.11.0 を使用し,解析手法は非線形静解 析(SOL 106)を適用した.

### 2. 軌道パッドの FEM 解析モデル

対象とする軌道パッドは,公称ばね定数 60MN/m,ステン

レス鋼板付,60kg レール用,材質はSBR,寸法は140mm×180mm×11.5mm(ス テンレス鋼鈑の厚さ1.5mm)で深さ2mmの溝を有する.図2に示すように, 軌道パッドの形状をソリッド要素で詳細にモデル化し,軌道パッドの下面を剛 なばねで支持した.メッシュサイズはX(レール直交)方向を0.5mm,Y(レ ール長手)方向を2.0mmとし,Z(鉛直)方向は溝の深さまでを0.5mm,その 他を1.0mmとした.また,レールの底部のみをソリッド要素でモデル化し,両 側(図2(a)の"レール変位GC","レール変位FC")に強制変位を与えて載荷す るモデルとした.レールとステンレス鋼鈑は剛なばね,ステンレス鋼鈑と軌道 パッドゴム部材は接点共有で接続した.圧縮変形時の溝部でのソリッド要素の

貫入を防ぐため,初期の相対距離以上の変位で力が発生するバイリニアばねを溝隅角部,溝底面-ステンレス鋼鈑間, 溝底面-支持部間に設置した(図 2(b)).ソリッド要素の材料特性として,レールとステンレス鋼鈑には縦弾性率 206GPa,ポアソン比 0.3 を用いた.軌道パッドのゴム部材については,図3に示す軌道パッドの一軸圧縮載荷時の キーワード:レール締結装置,軌道パッド,非線形 FEM 解析,軌道パッド下面応力分布,性能照査



(b) 溝部のばね





連絡先:〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

(公財)鉄道総研 軌道構造 TEL042-573-7275

0

0.18

0.16

37

 $\nabla$ 

X方向応力分布 - Y=0 01m

---- Y=0.04m Y=0.09m

40

0

0

0.1

図4 解析で使用する

0.2

ひずみ

軌道パッドゴム部材の

応力-ひずみ関係

 $\nabla$ 

0.3

応力 [MPa] 0 5

10

0

0.4

<del>ہے</del> 30 <u>ک</u> 20

R <sup>년</sup> 10

 $\nabla$ 

載荷過程の荷重-変位曲線が、実測と解析とで一致するよう、モデルの応力-ひずみ 関係を図4の通り定めた.ポアソン比は非圧縮性材料を模擬するため0.49とした.

## 3. 設計荷重載荷時の軌道パッド下面応力分布解析

直結8形レール締結装置を対象とし、新幹線のスラブ軌道、レールは 60kg レー ル, 締結間隔は 625mm の条件で, 文献 2)のレール小返り FEM 解析モデルを用い, 設計 A 荷重 <sup>1)</sup>として輪重 111kN, 横圧 68kN を載荷した際の, 載荷点直下のレール 底部変位を求めた.その結果,軌間内側(GC側)では鉛直上向きに 0.24mm,軌間 外側(FC側)では下向きに 1.83mm であった. これに、レール締結装置の組み立

てに伴うレールの下向きの変位 0.2mm を加え, 図 2(a) のレール変位 GC に Z 方向+0.04mm, レール変位 FC に Z 方向-2.03mm の強制変位を与えた. 図 5 に軌道パッ ド下面応力の分布の解析結果を示す.図より、Y 方向 の応力分布について, 軌道パッド中央部おおよそ Y=0.04m~0.14mの範囲内の応力はほぼ等しく, それよ り外側になる程応力が減少した.X 方向の応力分布に ついて、載荷変位の大きい FC 側の応力が大きくなっ た. また, 軌道パッドの溝の縁部に応力が集中し, 最大 で 36MPa の応力が発生したが、縁部以外の応力は 10MPa以下となった.

## 4. 一軸圧縮載荷時の軌道パッド下面応力分布解析

ー軸圧縮載荷を再現するため,図2(a)のレール変位 GC・FC に等しい強制変位を Z 方向下向きに与えて載 荷した.図6に、軌道パッド中央(Y=0.09m)のX方 向の応力分布を示す.図より,与える強制変位の増加に 伴い下面の応力が増加し、かつ、設計荷重載荷時と同

様, 溝の縁部に応力が集中し, 変位 1.6mm では 溝の縁部で最大 37MPa と, 設計荷重載荷時と ほぼ同等の最大応力が発生した. 溝の縁部以外 の応力は 10MPa 以下となった.



X [m]

図6 一軸圧縮載荷時の軌道パッド下面応力分布の解析結果

# 5. まとめ

設計荷重および一軸圧縮載荷時の軌道パッ ド下面応力分布を FEM 解析で算出した結果,

軌道パッドの溝の縁部に応力が集中し,設計荷重載荷時では縁部で最大 36MPaの応力が発生した.また,一軸載荷 で約1.6mmの変位を与えることで、同等の最大応力が発生することが分かった.ただし、溝の縁部は軌道パッド下 面の一部であること、また、応力集中箇所では経年使用により塑性変形が生じ、応力が緩和されることが想定され る.軌道パッド単体の性能評価試験については、応力の最大値の比較だけでなく、その他の分布特性の比較や経年 使用後の軌道パッドの状態を勘案しながら,適切な仕様を引き続き検討する予定である.

#### 参考文献

1) 国土交通省監修:鉄道構造物等設計標準・同解説-軌道構造,丸善,pp.55-57,2012.

玉川新悟、片岡宏夫、弟子丸将: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 2) 応用, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 73, No. 2, pp.330-343, 2017.