

S1-1-6 非定常伝熱-応力有限要素法解析による鉄道用ブレーキディスク締結部の強度評価

○小玉 航平 (トヨタ自動車)、[機] 泉 聡志、[機] 酒井信介 (東大工)、
[機] 新井 浩、[機] 浅野 浩二 (東日本旅客株式会社)

Strength evaluation for bolted joint of brake disc by unsteady heat transfer-stress FEM analysis
Kohei KODAMA (TOYOTA Motor), Satoshi IZUMI, Shinsuke SAKAI (The University of Tokyo),
Hiroshi ARAI, Koji ASANO (JR EAST R&D Center)

Strength evaluations for bolted joint of present and new brake discs are investigated by unsteady heat transfer-stress FEM analysis. Results were discussed from the viewpoints of temperature, loosening, stress and bending deformation.

It was found that present bolted joint of brake disc shows bending deformation and small loosening of in the cooling process of brake. It can be said that there is a possibility of the bolted-joint loosening as the frequency of brake increases. On the other hand, although new brake disc involves larger thermal stress, it shows no loosening and bending deformation.

キーワード; 有限要素法, ブレーキディスク, 締結部, 熱応力

Key words; Finite Element Method, Brake Disc, Bolted joint, Thermal Stress

1 緒 言

本研究では、新幹線開業時から大きな構造的な変更を受けていない現行型ブレーキディスク (Fig. 1) と高速化に対応するために現在開発中の次期導入型ブレーキ (Fig. 2) に対し、緊急ブレーキを模擬した非定常伝熱-応力有限要素法解析を行うことで鉄道用ブレーキディスク締結部であるボルトの強度信頼性評価をおこなう^[1]。

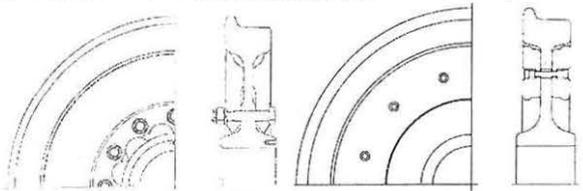


Fig.1 現行型ブレーキ図

Fig.2 次期導入型ブレーキ図

2 解析手法

2.1 モデリング: 解析対象モデルは fig.3、fig.4 に示す現行型、次期導入型ディスクの 1/12 分割モデルとして、ブレーキディスク、ボルト、車輪のモデリングを汎用有限要素法解析ソフトである ANSYS を用いて行った。伝熱解析には solid90 要素、構造解析には solid95 要素を用いた。計算コストを少なくするため、ボルトモデルはねじ山を切らずにボルト、ナット一体型のピンとしてモデリングし、各部の丸み付けは省略した。境界条件は 1/12 モデル分割面に境界対称条件を適用した。ディスク、車輪、ボルト間の摩擦係数は 0.15 とした。モデル初期温度、空気温度、線膨張係数参照温度は 290K とした。

2.2 伝熱解析手法: 実測したブレーキ押し付け力、減速度表、ブレーキディスク、ライニング間の摩擦係数を元に各速度でのディスク摩擦面に与える熱流束を計算した。また、熱伝達率はブレーキ各部を単純モデルと仮定して

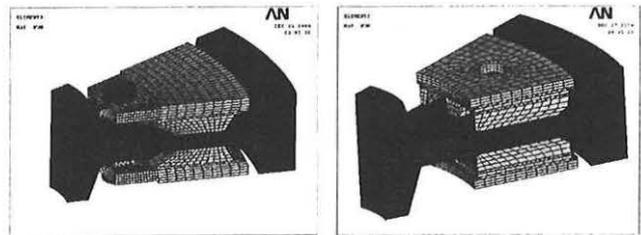


Fig.3 現行型 1/12 モデル

Fig.4 次期導入型 1/12 モデル

計算した値を設定した。接触面の熱抵抗を考慮し、熱流速、熱伝達率、接触熱抵抗を調整することで実験値とのあわせ込みを行った。伝熱解析における温度測定点は、fig.5 のようにディスク、ボルトから 2 点、車輪から 3 点を取り比較を行う。

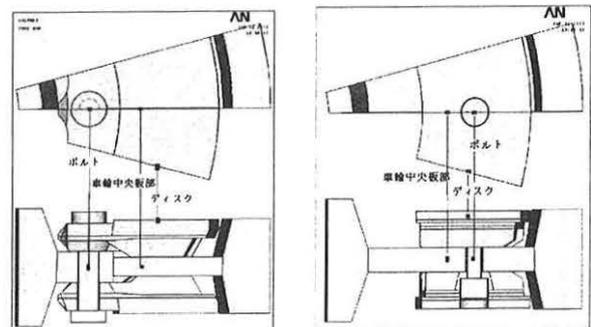


Fig.5 温度測定点

2.3 応力解析手法: 車輪の中央にある節点を車輪軸方向に固定し、伝熱解析で得た温度分布を荷重として与えた。現行型ボルトの初期軸力は約 25 kN、次期導入型ボルトは約 27 kN とした。応力解析では現行型、次期導入型のボルトの軸力の変動を見る。

3. 解析結果

3.1 伝熱解析結果

400km/hからの緊急ブレーキによる現行型、次期導入型ブレーキの温度の時間変化をfig.6、fig.7に示す。

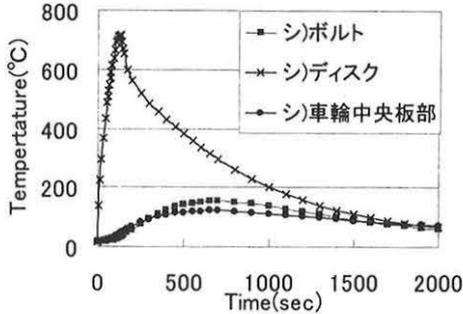


Fig.6 現行型ブレーキの温度履歴

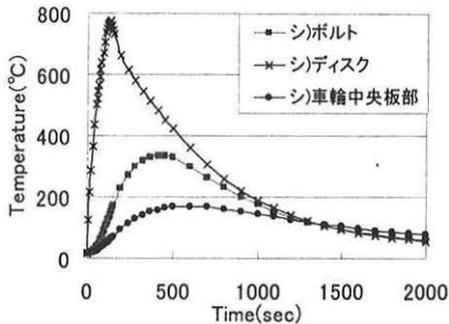


Fig.7 次期導入型ブレーキの温度履歴

3.2 応力解析結果

400km/hからの緊急ブレーキによる現行型、次期導入型ブレーキのボルト軸力、ボルト座面相対すべりの時間変化をfig.8、fig.9に示す。

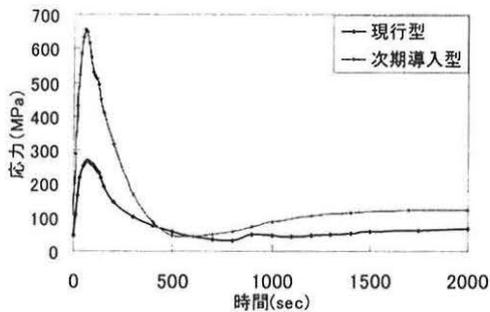


Fig.8 軸応力時刻歴変化

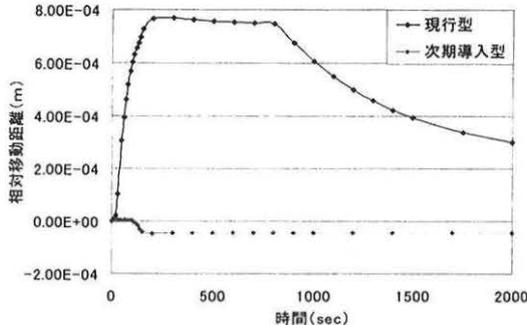


Fig.9 座面相対すべり時刻歴変化

最大曲げ時のボルトのミーゼス応力コンター図(変位20倍)をFig.10、Fig.11に示す。



Fig.10 現行型ボルト



Fig.11 次期導入型ボルト

4. 考察

ボルトの比較

■現行型ボルト■

【長所】:高負荷のブレーキに対してボルトの温度が上昇しにくく、ボルトの軸応力変動が小さい。

【短所】:ボルトーディスク間での相対すべりが起こりやすいため長期の使用でボルトが緩む可能性がある。ブレーキによる摩擦面への入熱でディスクに温度分布の偏りが生じ、ボルトに微小な曲げが加わる。ブレーキディスクが反り易い。

■次期導入型ボルト■

【長所】:ボルトに曲げが生じにくく、ディスクーボルト間での相対すべりはほとんど起こらないためボルト緩みの可能性は現行型に比べ小さい。ディスクの反りも小さいと考えられる。

【短所】:高負荷ブレーキに対してボルトの温度が上がりやすく、軸応力変動が大きい。ボルトの塑性変形による軸力の低下の可能性もある。

5. 結言

非定常伝熱-応力有限要素法解析により現行型、次期導入型のブレーキディスク締結部の強度評価を、ボルトの温度、ゆるみ、軸応力、曲げ変形の観点から行った。

現行型次期導入型ブレーキのボルトには、ブレーキ開始から冷却の過程でボルトに曲げ変形と微小な座面の相対すべりが存在する。ブレーキ回数を重ねることでボルトが緩む可能性が次期導入型ボルトに比べ大きいと言える。一方、次期導入型ブレーキのボルトには熱による大きな応力変動が生じるが、ブレーキ開始から冷却の過程でボルトに曲げ変形はなく、座面すべりもほとんどないため緩みの心配はほとんどないことがわかった。

参考文献

- [1] 新井, 浅野, 佐々木, “新幹線用高速化対応ブレーキディスクの開発”, J-RAIL2003 講演論文集.