

610 ブレーキドラムに生じる熱応力と熱変形

Thermal stresses and thermal distortions in brake drum of a car

○ 岩佐 祐太 (室蘭工大), 臺丸谷 政志 (室蘭工大), 藤木 裕行 (室蘭工大), 塩崎 修 (室蘭工大)
Yuta IWASA, Masashi DAIMARUYA, Hiroyuki FUJIKI and Osamu SHIOZAKI, Muroran Institute of Technology

Key words: Heat crack, Thermal stress, Residual tensile stress, Brake drum, Brake lining

1. 緒言

自動車ブレーキは、摩擦によって運動エネルギーを熱エネルギーに変換し運転速度を制御するが、大型車などではブレーキの負荷も大きくなり、その熱負荷も厳しくなる。厳しい熱負荷はブレーキドラムの強度低下および熱疲労をもたらし、ドラム材に割れが発生するヒートクラック現象を引き起こす場合がある。このヒートクラックは、ドラム材摩擦摺動面の回転軸方向に生じることが知られている。本研究では、このヒートクラックの発生機構について数値解析により熱変形および熱応力の観点から調べることを目的とし、実搭載ブレーキドラムの三次元モデル化を行い、FEMコードMARCを用いて解析を行った。

2. ドラムブレーキと解析モデル

Fig.1 にドラムブレーキの概略図を示す。ドラムブレーキは、車軸と共に回転するブレーキドラム（以下、ドラムとする）の内側から、車体側に固定されている二枚のブレーキライニング（以下、ライニングとする）を押し付けることによって制動する装置である。制動中のドラム摩擦摺動面は、ライニングとの接触時には摩擦熱により加熱され、非接触時には大気による冷却を受ける。また、ドラムは制動時に発生する開口変形を抑制するためにドラム外面開口端側の円周方向にフープを持つ。

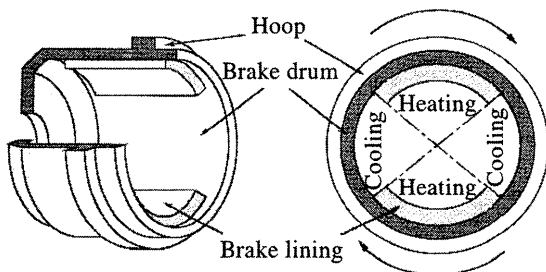


Fig.1 Schematic diagram of brake drum and lining.

本解析に使用した三次元モデルの断面図を Fig.2 に示す。モデル寸法は外径 442mm, 内径 410mm, 厚さ 16mm, 軸方向長さ 250mm, 摺動面幅 180mm である。また、20 節点アイソパラメトリック要素により構成され、総要素数 4176, 総接点数 23112 である。

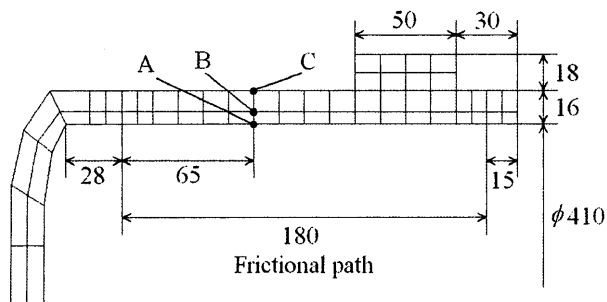


Fig.2 Cross section of mesh model for FEM analysis.

3. 解析条件

実車両ドラムには普通鋳鉄が用いられている。本研究では、普通鋳鉄の降伏応力の温度依存性を考慮するために、常温から 500℃までの温度範囲で行った圧縮試験結果より得られた次の近似式⁽¹⁾を用いる。

$$\sigma_y = 350 - 6.65 \times 10^{-4} (T - 25)^2 \quad [\text{MPa}] \quad (\text{圧縮})$$

なお、降伏応力以外の機械的性質については、その温度依存性を考慮していない。ただし、制動中にライニングから与えられる面圧や摩擦力については考慮している。また、境界条件として外気温度を 30℃, ドラム表面と大気間の熱伝達率を $53 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}$ と設定した。

本解析では、車軸数 3 本, ドラム数 6 個の大型トラックを想定し、車両総重量 24ton, ホイールロード 4ton のフル搭載の場合を Load 1 とし、車両総重量 36ton, ホイールロード 6ton の過剰搭載の場合を Load 2 とし、二通りの荷重条件を仮定した。また、制動条件はトラックが一定の減速度 0.6G で 100km/h から 40km/h まで急激に減速する場合を想定し、運動エネルギーの減少分が熱流束としてドラムに流入すると仮定した。この間の制動時間は 2.83 sec となる。

4. 解析結果

ヒートクラックは摩擦摺動面上の回転軸方向に発生することから、ドラム円周方向に引張応力が生じていると考えられるため、応力については円周方向応力のみを考察する。解析結果から制動終了後に最も大きな残留引張応力を示す位置が摩擦摺動面中心付近であることがわかった。したがって、Fig.2 中のドラム摩擦摺動面中心付近に位置する A 点, および A 点からドラム厚さ方向に位置する B 点, C 点について考察した。なお、ここでは紙面の制約上、車両総重量の大きい Load 2 の場合のみについて記載する。

4.1 温度・応力の時間変化 Fig.3 に温度の時間変化を示す。A 点では制動中 (0 sec ~ 2.83 sec) のライニングの接触、非接触に伴って上下に変動しながら温度が上昇している。また、ドラム摩擦摺動面上にある A 点に比べて、ドラム内部および外面に位置する B 点, C 点では低い温度状態となっている。特に A 点と B 点を比較すると 200℃以上の温度差があることから、摩擦摺動面近傍に急激な温度勾配が形成されていることがわかる。制動開始から約 10 秒後、各点の温度が等しくなり、外気温度へと収束していく。

Fig.4 に A 点, B 点および C 点の応力の時間変化と A 点温度における圧縮降伏応力の時間変化を示す。Fig.3 の温度上昇に対応して、Fig.4 でも A 点, B 点および C 点の各位置の円周方向応力が変動している。特に A 点応力は降伏応力を超える大きな圧縮応力に達しており、制動直後に引張応力に転じ、ドラム冷却後には残留引張応力が発生している。この残留引張応力がヒートクラックの発生する一因であると推測される。

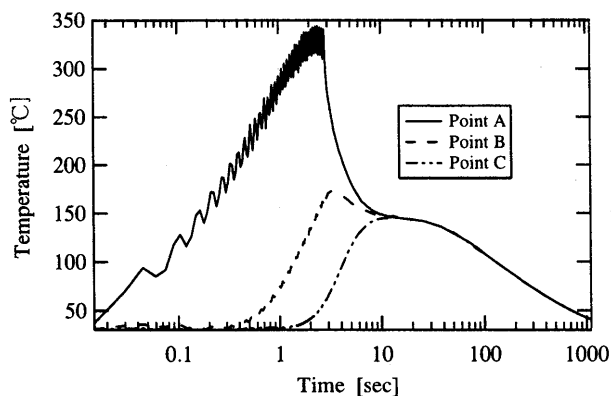


Fig.3 Temperature histories at point A, B and C.

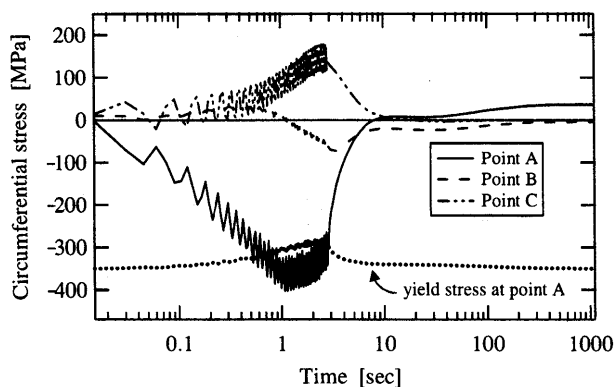


Fig.4 Circumferential stress histories at point A, B and C.

4.2 円周方向の温度・応力分布 Fig.5 の上部にドラムの展開図を示し、下部には摩擦摺動面上中心付近における温度の円周方向分布を示す。横軸上の 0.11m~0.46m および 0.75m~1.1m は全ての時間に共通するライニング接触範囲である。図より、制動開始から 0.030 sec, 1.275 sec, 2.760 sec では円周方向に沿って温度の変化が見られる。これらの温度分布を円周方向位置 0.0m から見てみると、まずは、ライニング非接触部での冷却により温度が低下した後、ライニング接触部では温度が上昇し、その後、再び温度が低下している。また、制動後半(1.275 sec~2.760 sec)ではすべての位置において 280°C以上の高い温度状態を保っている。最終的に、温度分布は制動終了後である 1113 sec の時点で円周方向に一定値となり、外気温度とほぼ同じ値を示した。

Fig.6 に各時間における応力の円周方向分布を示す。制動中は、Fig.5 の温度分布と対応して圧縮応力が上昇しており、制動後半では全域で 260 MPa 以上となっている。その後、ドラムが完全冷却された 1113sec では、一様に残留引張応力が発生している。過去に行った二次元軸対称モデルによる解析結果では 66.2 MPa の引張応力が生じたが、今回の三次元モデルではそれよりも 30 MPa 程度の低下がみられた。これは、ライニングの接触条件が異なるため、二次元軸対称モデルではライニングをドラム摩擦摺動面全域へ同時に押し付けると仮定しており、現実に合わせて二枚のライニングを想定した三次元モデルの方がより実的な結果を示していると考えられる。

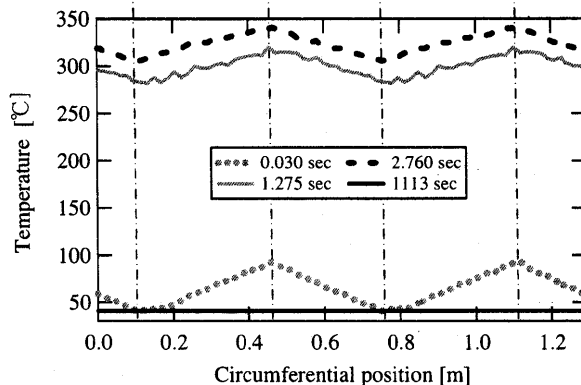
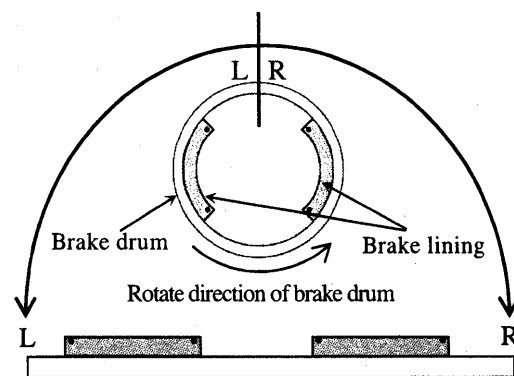


Fig.5 Temperature distributions on the inner surface with the drum brake diagram.

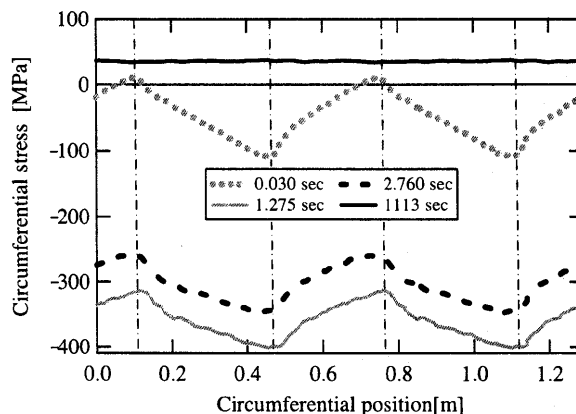


Fig.6 Circumferential stress distributions on the inner surface.

5. 結言

ブレーキドラムにおけるヒートクラックの発生について数値解析を行い、次の結果を得た。

車両総重量の大きい Load 2 では、制動中に摩擦摺動面上で降伏応力を超える大きな圧縮応力が発生し、その結果として残留引張応力が発生しており、簡易モデルである二次元軸対称モデルに比べて三次元モデルのほうが低下した。この残留引張応力がヒートクラック発生の一因となることが考えられる。

参考文献

- (1) M.Daimaruya, H.Kobayasi, T.Oota and Khairul Fuad, Thermal stress and distortions in a car brake drum with temperature dependence of material properties, Congress on Thermal Stresses, THERMAL STRESSES '99, June 13-17, 1999, Cracow, Poland.