

# 106 ブレーキドラムに発生する熱応力と熱変形に関する解析

An analysis of thermal stresses and thermal deformation occurred in a car brake drum

○ 平藤 雅也 (室蘭工大院), 臺丸谷 政志 (室蘭工大), 藤木 裕行, 塩崎 修  
 Masaya HEITOU, Masashi DAIMARUYA, Hiroyuki FUJIKI, Osamu SHIOZAKI, Muroran Inst. of Tech.

## 1. 緒言

自動車のブレーキは運動エネルギーを熱エネルギーに変換する機構であり、必然的に厳しい熱環境にさらされる。この熱環境はドラム材の強度低下や熱疲労を引き起こし、ブレーキ装置のヒートクラック等の発生原因となっている。またこのヒートクラックは主に大型トラック等に装備されるドラムブレーキにおいては、摩擦摺動面上のドラム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を数値解析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をモデル化し、FEMコードMARCを用いて解析を行った。

## 2. 解析モデルと解析条件

Fig.1にブレーキドラムとライニングとの接触状態の概要を示す。ブレーキドラムとライニング間に生ずる摩擦熱を熱流束として与え、ライニングがブレーキドラムと接触している間、熱流束が流入し、非接触時には大気によって冷却されるというサイクルを繰り返す。

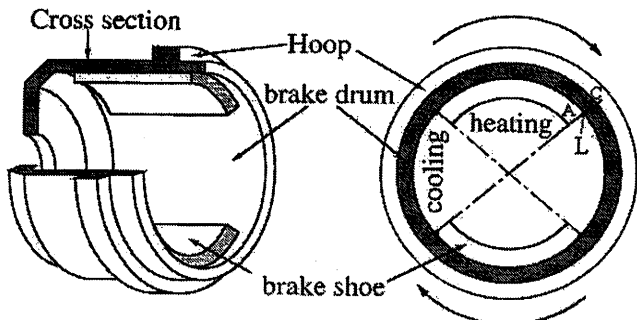


Fig.1 Contact condition between brake drum and brake lining.

解析モデルは、Fig.2に示すように、ドラムの外・内径が各442mmと410mm、厚さ16mm、軸方向長さ250mmであり、また、対称性から円周方向に1/2のモデルを使用した。総要素数4380、総節点数24412の20節点アイソパラメトリック要素により構成されている。

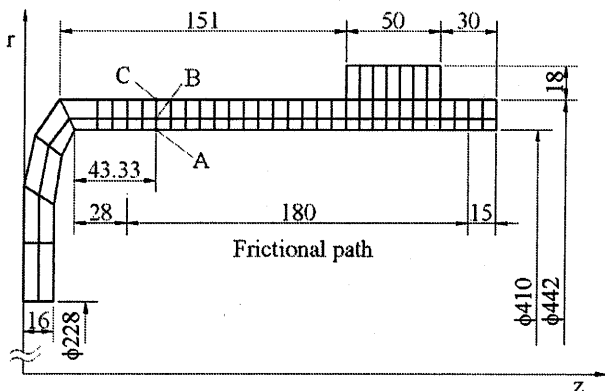


Fig.2 Mesh for FEM analysis.

また、Fig.2のNode A,B,CはFig.1の制動開始点Lでの断面上の点である。

今回の解析は、前輪一軸、後輪二軸、総車輪数6の大型のトラックを想定した。具体的には、車輛総重量235.2kN(24ton)、ホイールロードM=39.2(4ton)の場合と、車輛総重量352.8kN(36ton)、M=58.8kN(6ton)の場合の二通りについて解析を行った。

解析に用いるドラム材は普通鋳鉄(FC250)であり、常温での機械的性質をTable 1に示す。また、このドラム材の温度依存性を調べるため、室温から773Kの温度範囲でドラム材の圧縮および引張り試験を行い、以下の近似式を求めた<sup>1)</sup>。縦弾性係数Eは、圧縮と引張りについて、ともに115GPaとした。なお今回の解析では、降伏応力のみ温度依存性を考慮している。

$$\sigma_{yc} = 350 - 6.63 \times 10^{-4} (T - 25)^2 \text{ [MPa]} \text{ (圧縮)}$$

$$\sigma_{yt} = 160 - 2.43 \times 10^{-4} (T - 25)^2 \text{ [MPa]} \text{ (引張)}$$

また、降伏後の応力-ひずみ関係は、次式のひずみ硬化率H'を用いた2直線近似とした。

$$H'_c = 0.157 \times \sigma_{yc} \text{ [GPa]} \text{ (圧縮)}$$

$$H'_t = 0.119 \times \sigma_{yt} \text{ [GPa]} \text{ (引張)}$$

本解析では、トラックが一定の減速度0.6gで時速100kmから、時速40kmまで急激に減速する場合を想定した。この時の制動時間は2.83秒となる。

Table 1. Mechanical properties of drum material.

$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	$c$ [J/kg·K]	$\kappa$ [J/m <sup>2</sup> ·s·K]	E [GPa]	$\nu$ [-]
7400	11.0×10 <sup>-6</sup>	544.3	58.6	115	0.26

## 3. 解析結果

### 3.1 温度変動

Fig.3にFig.1中に示したNode A,B,Cでの温度履歴を示す。最も温度変化が激しいのは、摺動面上に位置するNode Aである。この点において、ライニングの通過によって加熱・冷却のサイクルを繰り返しながら急激に温度上昇していく。この急激な温度上昇は約2秒から上昇が止まり、制動終了までほぼ一定となっている。これは、Node Cの履歴から見て取れる通り、ドラム外面まで熱が伝わり、大気へ放熱が始まるからである。

制動が終了するとドラム摺動面は温度下降するのに対し、外面は温度上昇を続け、10秒付近でこれらの温度が一致し、緩やかに下降していく。

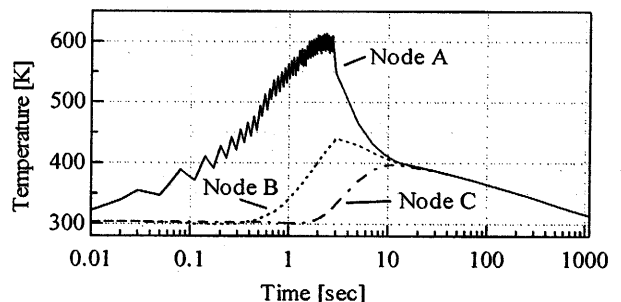


Fig.3 Temperature histories of node A,B and C.

Fig.4 にドラム内面上軸方向における温度分布を示す。温度分布は摺動面に一様に分布し、制動とともに上昇していく。なお、2.76 秒での温度は制動中における最高温度である。

Fig.5 にドラム内面上円周方向における温度分布を示す。0.01 秒での温度分布は、制動開始点より約 130mm までライニングの通過により熱流束が流入し、それにともない温度が上昇している。1.00 秒、2.76 秒では波状に温度分布が現れている。2.76 秒で見ると最大温度と最小温度の差が約 40°C となった。

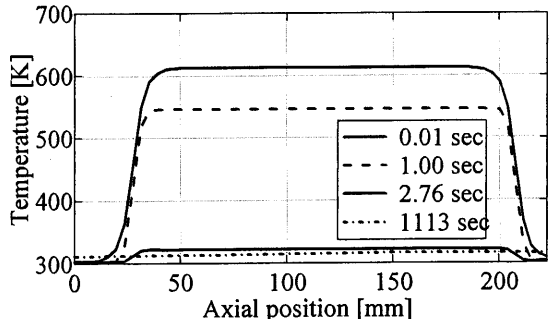


Fig.4 Temperature distributions on the inner surface.

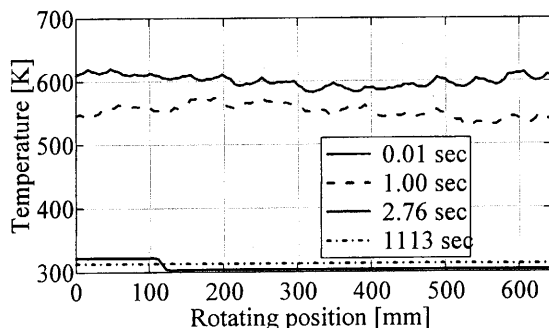


Fig.5 Temperature distributions on the inner surface of point A.

### 3.2 熱応力

実際のクラック発生方向が回転軸方向であることから、ヒートクラックは摺動面付近のドラム材に円周方向引張り応力が生じることにより発生していると推測できるため、本解析では円周方向応力について考察を行った。

Fig.6 にドラム内面上軸方向における応力分布を示す。Fig.5 と同様にライニングの通過している範囲において、制動終了後の 1113 秒で残留引張応力が発生している。また制動中、ブレーキドラムの変形によって、変形制御の強いドラム拘束端側と、同じく変形抑制効果のある Hoop のある付近の二箇所において、圧縮応力が平均よりも高く発生している事がわかる。

Fig.7 に Node A,B,C での円周方向応力履歴を示す。制動中、ドラム摺動面に大きな圧縮応力が発生し、Node A において圧縮降伏応力  $\sigma_{yc}$  を超えており、降伏しているのがわかる。これに対してドラム外面の Node C では引張応力が発生するが、引張降伏応力  $\sigma_{yt}$  以下であるのがわかる。

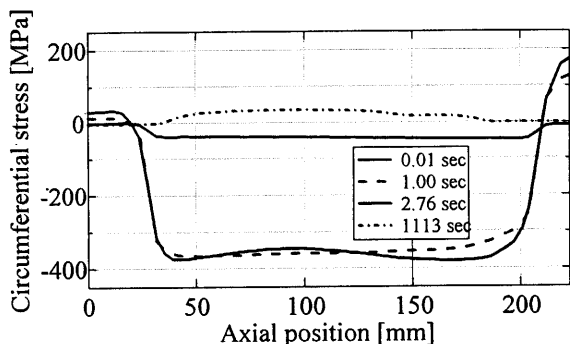


Fig.6 Distributions of circumferential stress on the inner surface.

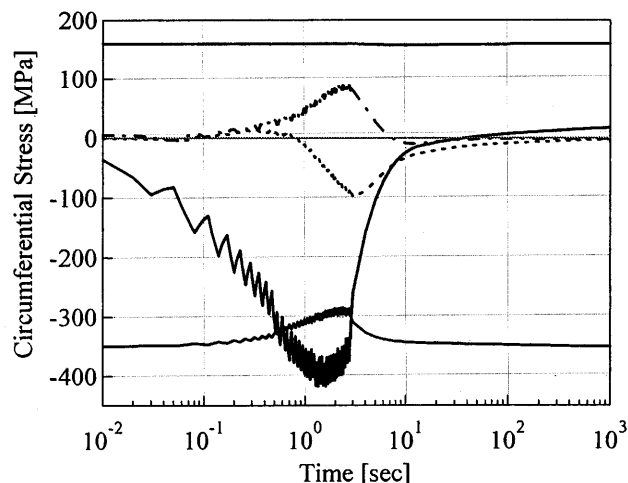


Fig.7 Circumferential stress histories of node A,B and C.

### 3.3 残留引張応力分布

Fig.8 に制動終了後 1113 秒における、ドラム内面円周方向残留引張応力分布を示す。ライニングの通過していた範囲において、約 15~45 MPa の残留引張応力が発生している。

また、ドラム摺動面上の数箇所において、他の部位よりも応力の高い部分があるのがわかる。これは Fig.5 で示した通り、ライニングの通過により、部位ごとの温度が異なっている。

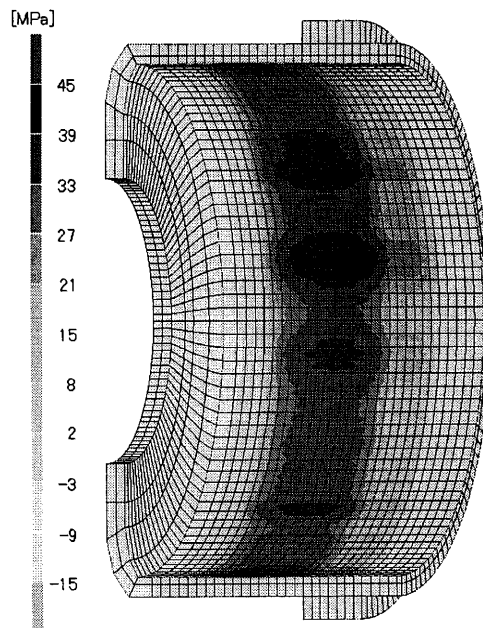


Fig.8 Distribution of residual tensile stress.

### 4. 結言

- ・ブレーキドラムは制動中に、ライニングとの摩擦熱によって生じる圧縮応力により降伏し、制動終了後に残留引張応力が発生する。
- ・本 3 次元解析の結果より、ドラムの円周方向における残留引張応力は部分ごとに異なり、一様ではない。
- ・今後の研究として、ドラムの変形による熱量変化を考慮する必要がある。

### 参考文献

- 1) Dimaruya, M., Kobayashi, H., Ohta, T. and Khairul Fuad., Thermal Stress and Distortions in a Car Brake Drum with Temperature Dependence of Material Properties, 3<sup>rd</sup> Int. Congress on Thermal Stress, THERMAL STRESS '99, Cracow, Poland, p333-336, 1999.