

B 1 2 2 リボン鋼と銅の接触面の磨耗損傷と温度上昇挙動に関する実験的研究

平松宗也 (指導教員: 北浦, 岡田)

1. 緒言

構造物や構造要素では2つの材料が接触しているとき、そこに必ず摩擦が生じる。この外部エネルギーの一部が材料を損傷し、他の一部は熱に変換される。そこで、本研究では熱に変換されたエネルギー(温度)を測定することにより、材料の摩擦による損傷(焼きつき)を実験的に調べる。

2. 実験装置及び実験方法

今回磨耗部試験片としては銅(直径5mm円)を使用した。また回転部にはリボン鋼(ピッカ-ス硬さ497-496)を使用した。これらは共に試験を行うごとに取り替えることができる。図1は実験装置概略である。上部天板におもりを載せることで試験部に荷重がかかるようになっている。また摩擦面上部180mmに歪測定部を作り歪ゲージを2枚つけ、16mmに温度ゲージをはりつけた。回転部はモーターにつなぐれ回転数を自由に設定できる。また引っ張り試験より歪測定部のヤング率は $165 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ である。

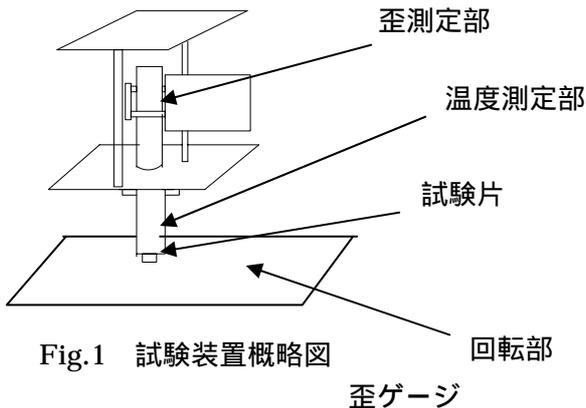


Fig.1 試験装置概略図

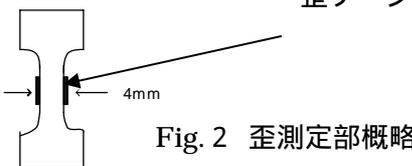


Fig.2 歪測定部概略図

歪は2点計測した。それぞれの値を a 、 b とし、 $\epsilon = (a - b) / 2$ とし、歪を計測することにより摩擦応力を算出できるようにした。温度は分解能力100分の1の温度ゲージで1点計測した。熱伝導をよくするため温度ゲージと温度測定部の接触面にシリコンを塗布しセロハンで巻きビニールテープで固定した。また回転部のモーターのトルクを計測した。実験は以下の3種類を行った。

連続摩擦試験

一定荷重、一定回転数で焼きつきが起こるまで回転させる。焼きつきはトルクメーターの変動で判断した。回転数、荷重を変えて6種類の実験

を行った。(試験片番号は1~6)

断続摩擦試験

荷重一定、回転数一定で、400秒回転させる。温度が室温になるまで停止させ(10分間)、再び400秒回転させる。これを繰り返し焼きつきがおこるまで行う。焼きつきはトルクの変動で判断した。回転数、荷重を変えて6種類の実験を行った。(連続と同じ条件・試験片番号は順に7~12)

Table 1 連続摩擦・断続摩擦試験状態

試験片番号		回転数(回転/分)	荷重(kgf)
連続摩擦	断続摩擦		
1	7	82	69.58
2	8	82	118.58
3	9	82	167.58
4	10	123	69.58
5	11	123	118.58
6	12	123	167.58

変動荷重摩擦試験

荷重一定、回転数一定で400秒回転させる。温度が室温になるまで停止させ(10分間)、再び400秒回転させる。これを数回行った後、荷重を変化させ、同様のことを焼きつきが起こるまで行う。4種類の実験を行った。

Table 2 変動荷重摩擦試験状態

試験片番号	回転数(回転/分)	荷重(N)
13	82	69.58(400秒×4回) 167.58
14	82	167.58(400秒×4回) 69.58
15	123	69.58(400秒×6回) 167.58
16	123	167.58(400秒×4回) 69.58

3. 実験結果

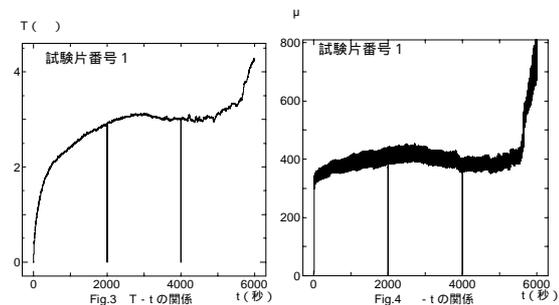


Fig.3・Fig.4 は試験片番号1における温度・時間・歪・時間の関係を示している。摩擦開始直後に温度は急激に上昇する。摩擦力は、ほぼ一定状態を保つ。ある状態に至ると温度もほぼ一定の状態を保ち、焼きつきにいたる。焼きつきに至る時に摩擦力・温度とも急激に上昇する。

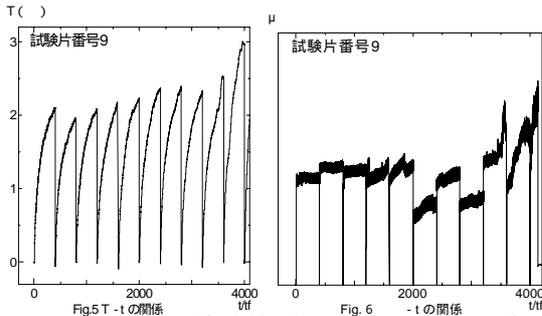


Fig5・Fig6 は試験片番号 9 における温度 時間・歪 - 時間の関係を示している。摩擦開始直後に温度は急激に上昇する。摩擦力は変化しつつ、温度は徐々に上昇しつつ、焼きつきにいたる。摩擦力が変化するのは回転を止めている間に、試験片が冷めることによる、金属の凝縮などによるものと推測される。焼きつきに至る時に摩擦力・温度ともに急激に上昇する。

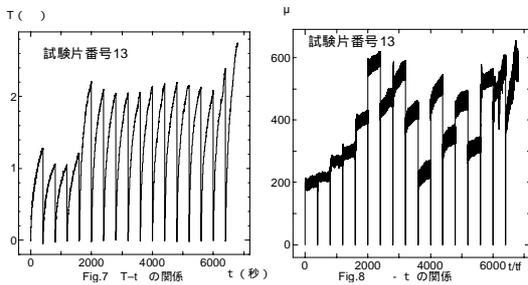
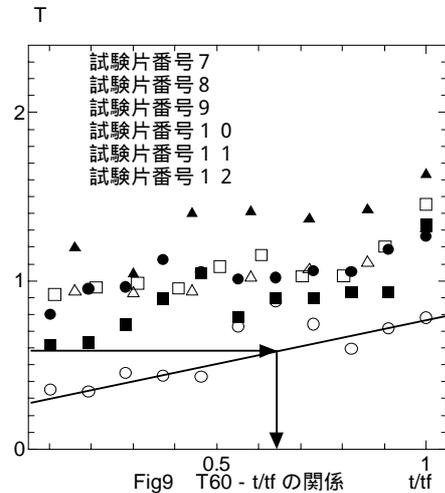


Fig 7・Fig 8 は試験片番号 13 における温度 時間・歪 - 時間の関係を示している。

4. 試験片の焼きつき時間推定



断続実験において試験機始動後 60 秒での温度上昇率を T_{60} とする。これを縦軸に、繰り返し時間比 t/tr を横軸にとり Fig9 に表す。ここで $t/tr=4800$ 秒 (試験片番号)、4702.32 (試験片番号)、4204.88 (試験片番号)、4656.16 (試験片番号)、3200 (試験片番号)、2920.56 (試験片番号) である。 T_{60} と t/tr の関係は以下の形に整理できる。ただし、 a, b とともに定数とする。

$$T_{60} = a(t/tr)x + b \quad (1)$$

断続・状態変化の実験ではじめに与えた摩擦を前歴被害とする。その後の試験での温度上昇を (1) 式に代入すると前歴被害がどの程度の繰り返し時間比に相当しているかがわかる。また (1) 式の温度上昇率から求めた繰り返し時間比を以下の式に代入すると、試験片の焼きつき時間の推

定値が求められる。

$$N_t = (1 - t/t_f) t_f \quad (2)$$

この結果は Fig10 に示す。

5. 温度ゲージの測定温度と理論値

断続実験の結果を使って温度ゲージの測定温度と理論値の差を調べた。ここでは試験片番号、丸棒が平板状を v m/s の速度で滑るとき発生熱量 Q は

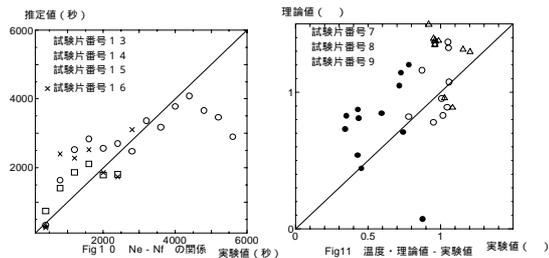
$$Q = \frac{\mu W g v}{J} \text{ cal/s} \quad (3)$$

となる。ここで μ は動摩擦係数、 W は丸棒にかかる荷重、 g は重力加速度、 J は熱の仕事当量である。また丸棒の表面から x の距離にある微小高さに入流する熱量は熱伝導率を k として σ は冷却係数、 T は放熱面の温度 T_0 は周囲の温度である。発生熱量のうち α の割合だけ上の丸棒に伝わるとすると、

$$T - T_0 = \frac{\alpha Q}{\pi r \sqrt{2\sigma k r}} \exp(-\sqrt{2\sigma/kr} x) \quad (6)$$

となる。ここでそれぞれの値をいれ、実験値と理論値の差を比べる。

摩擦係数 μ の値を正確に知ることはできない。そこで本研究では $\mu W g$ を実験で求めたヤング率と歪より摩擦応力を計算し Q を求めた。またそれぞれの係数は、参考文献より引用した。この結果を Fig 11 に示す。試験片番号において理論値と実験値とにより一致が見られるが試験片番号においては差が見られた。またに共通して言えることは理論値が実験値よりも大きくなっているということである。これは理論式は摩擦時の発生エネルギーすべてが熱に変換されたという仮定で計算したからである。



6. 結論

本研究において、リボン鋼と銅の摩擦時における、焼きつきに至るまでの、連続時・断続時の摩擦力と温度挙動を確認した。また、ある摩擦が与えられた銅が、その後焼きつきに至るまでの時間を推定した。この推定はある多少のばらつきがあるものの () 式により推定できることがわかった。しかし今後も様々な条件下で、多数のデータを得る必要があると考えられる。また摩擦力と温度上昇の理論値と実験値を比較し実験の確かさを確認した。

参考文献

パウデン・デイバー 固体の摩擦と潤滑 丸善株式会社
摩擦のお話 田中久一朗 日本規格協会

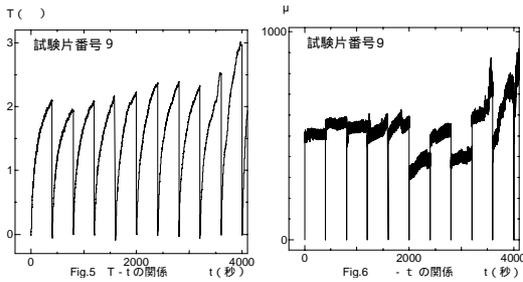


Fig5・Fig6 は試験片番号9における温度 時間・歪 - 時間の関係を示している。摩擦開始直後に温度は急激に上昇する。摩擦力は変化しつつ、温度は徐々に上昇しつつ、焼きつきにいたる。摩擦力が変化するのは回転を止めている間に、試験片が冷めることによる金属の凝縮などによるものかと推測される。焼きつきに至る時に摩擦力・温度ともに急激に上昇する。

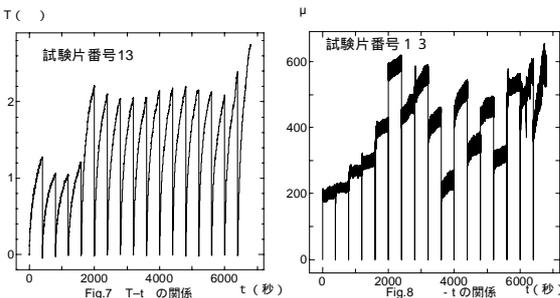
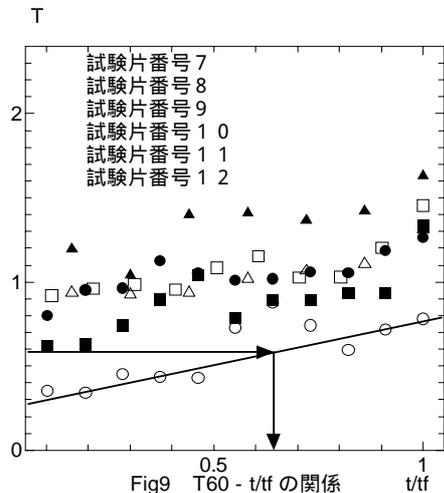


Fig 7・Fig 8は試験片番号13における温度 時間・歪 - 時間の関係を示している。

4. 試験片の焼きつき時間推定



断続実験において試験機始動後60秒での温度上昇率を T_{60} とする。これを縦軸に、繰り返し時間比 t/t_f を横軸にとりFig9に表す。ここで $t_f=4800$ 秒(試験片番号)、4702.32(試験片番号)、4204.88(試験片番号)、4656.16(試験片番号)、3200(試験片番号)、2920.56(試験片番号)である。 T_{60} と t/t_f の関係は以下の形に整理できる。ただしa,bともに定数とする。

$$T_{60} = a(t/t_f)x + b \quad (1)$$

断続・状態変化の実験ではじめに与えた摩擦を前歴被害とする。その後の試験での温度上昇を(1)式に代入すると前歴被害がどの程度の繰り返し時間比に相当しているかがわかる。また(1)式の温度上昇率から求めた繰り返し時間比を

(2)式に代入すると、試験片の焼きつき時間の推定値が求められる。

$$N_t = (1 - t/t_f) t_f \quad (2)$$

この結果を縦軸に推定値 N_t 、横軸に実験値 N_f をとり Fig10 に示す。

5. 温度ゲージの測定温度と理論値

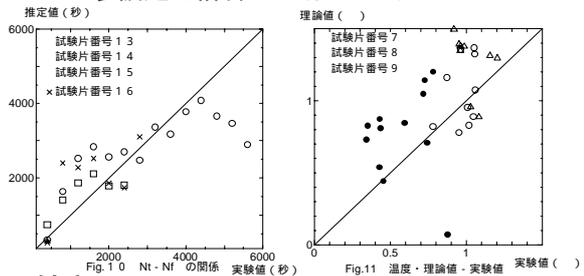
断続実験の結果を使って温度ゲージの測定温度と理論値の差を調べた。ここでは試験片番号、のもの求めた。丸棒が平板状を v m/s の速度で滑るとき発生熱量 Q は

$$Q = \frac{\mu W g v}{J} \text{ cal/s} \quad (3)$$

となる。ここで μ は動摩擦係数、 W は丸棒にかかる荷重、 g は重力加速度、 J は熱の仕事当量である。また丸棒の表面から x の距離にある微小高さに入流する熱量は熱伝導率を k として σ は冷却係数、 T は放熱面の温度 T_0 は周囲の温度である。発生熱量のうち α の割合だけ上の丸棒に伝わるとすると、

$$T - T_0 = \frac{\alpha Q}{\pi r} \frac{1}{\sqrt{2\sigma k r}} \exp(-\sqrt{2\sigma/kr} x) \quad (4)$$

となる。ここでそれぞれの値をいれ、実験値と理論値の差を比べる。摩擦係数 μ の値を正確に知ることはできない。そこで本研究では $\mu W g$ は実験で求めたヤング率と歪より摩擦応力を計算し Q を求めた。またそれぞれの係数は、参考文献より引用した。この結果を縦軸に理論値、横軸に実験値をと、Fig 11 に示す。試験片番号、においては理論値と実験値とにより一致が見られるが試験片番号においては差が見られた。また、に共通して言えることは理論値が実験値よりも大きくなっているということである。これは理論式は摩擦時の発生エネルギーすべてが熱に変換されたという仮定で計算したからである。



6. 結言

本研究において、リボン鋼と銅の摩擦時における焼きつきに至るまでの、連続時・断続時の摩擦力と温度挙動を確認した。また、ある摩擦が与えられた銅が、その後焼きつきに至るまでの時間を推定した。この推定はある多少のばらつきがあるものの()式により推定できることがわかった。しかし今後も様々な条件下で、多数のデータを得る必要があると考えられる。また摩擦力と温度上昇の理論値と実験値を比較し実験の確かさを確認した。

参考文献

パウデン・テイパー 固体の摩擦と潤滑 丸善株式会社

