

衝撃摩擦抵抗の測定法に関する研究

Measuring Method for Resistance of Impulsive Friction

正 茶谷 明義 (金沢大) ○ 原 由典 (金沢大・院)
 正 放生 明廣 (金沢大) 正 立矢 宏 (金沢大)

Akiyoshi CHATANI, Yoshinori HARA, Akihiro HOJO and Hiroshi TACHIYA
 Kanazawa University, Kodatsuno 2-40-20, Kanazawa, Japan

Key Words: Friction, Impulsive load, Shearing stress, Normal stress, Stress wave, Incident wave pulse

1. 緒言

摩擦の問題は、工学の多くの分野に関連した基本的で重要な問題である。例えば、機械や構造物には、軸などはめあい部、くさびやねじを利用した締結部などの接触部分があり、これらに衝撃荷重が作用して接触面にすべりが生じることがある。しかし、衝撃荷重下での摩擦に関する資料は少なく、その特性はまだ十分に明らかにされていない⁽¹⁾。本研究では、このような、衝撃荷重下での摩擦を衝撃摩擦と呼び、衝撃摩擦係数を測定する簡便な試験方法を考案し、衝撃摩擦特性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法および解析

2.1 試験片 試験片形状を図1に示す。材質はS50C, SS400の2種類である。すべり面は、試験片Aの10mm×20mmの面であり、サーフェイス研磨後、アセトンで洗浄したものを用いた。なお、接触条件を表1に示す。

2.2 衝撃摩擦係数測定法 実験装置の概略を図2(a)に示す。試験片Aを2枚の試験片Bで挟み、3枚重ねた状態でバイスにより締め付けた後に、端面を入力棒の先端に配置し、試験片Aに衝撃荷重を負荷する。軸応力 σ の測定のために入力棒の表面には図に示す2箇所の位置にひずみゲージA, Bが貼付してある。これらより得られる応力をそれぞれ σ_A , σ_B とすると、入力棒先端の応力つまり軸応力 σ_i は二点ゲージ法を用いて次式より求められる。

$$\sigma_i(t-t_0) = \sigma_A(t) + \sigma_A(t-2t_0) - \sigma_B(t-t_0) \quad (1)$$

ここで、 t_0 は圧縮応力波がひずみゲージA, B間を伝ばするに要する時間である。

すべり面に生じるせん断応力 τ_i 測定のために試験片Bの表裏両面には、2枚の直角3軸型ロゼットゲージが貼付してある。ロゼットゲージの各軸から得られるひずみをそれぞれ ε_1 , ε_2 , ε_3 とおくと、最大せん断ひずみ γ_{max} および最大せん断応力 τ_{max} は、それぞれ次式となる⁽²⁾。

$$\gamma_{max} = \sqrt{2\{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2\}} \quad (2)$$

$$\tau_{max} = \frac{E}{2(1+\nu)} \cdot \gamma_{max} \quad (3)$$

ここで、 E はヤング率、 ν はポアソン比である。さらに、試験

片B内を伝ばする透過応力 σ_t の影響を考慮に入れて、試験片A, Bの接触面に生じるせん断応力 τ_i は次式となる。

$$\tau_i = \frac{\tan^2 2\theta}{\sqrt{1 + \tan^2 2\theta}} \tau_{max} \quad (4)$$

ここで、 θ は主応力面の方向であり、 ε_2 の方向から時計回りを正とする。締付け力 P により接触面に生じる垂直応力 σ_n は、試験片Aに貼付したひずみゲージの出力電圧を測定することから得られる。そして、衝撃摩擦係数 μ_i は次式となる。

$$\mu_i = \frac{\tau_i}{\sigma_n} \quad (5)$$

すべり量 d_p 、すべり速度 v_i は、非接触式変位計を用いて試験片Aの端面Uの変位を測定することにより得られる。また、打撃棒の長さ $l=200, 400, 800\text{mm}$ の3通りの場合の実験結果を比較することにより、入射パルス形状が摩擦係数に及ぼす影響についても検討する。

2.3 静的摩擦係数測定法 実験装置の概略を図3(b), (c)に示す。万能試験機のカrossヘッドの移動により軸力 F を静的に負荷する。圧縮試験用の治具と試験片Aの間には、さらばねが2枚直列に挿入されており、ばねを介して試験片に徐々に負荷を加えていく。

試験片Aへの負荷 F を万能試験機付属のロードセルより測定し、次式からすべり面に生じるせん断応力 τ_s を得る。

$$\tau_s = \frac{(m_A + m_C + 2m_D)g + F}{2A} \quad (6)$$

ここで、 m_A , m_C , m_D はそれぞれ試験片A, 台, およびさらばね

Specimen	Finish of contact surface	Roughness($\mu\text{m } R_a$)	Hardness(H_V)	Lubrication
S50C	Grinding(Parallel)	3	266	Dry
SS400			170	

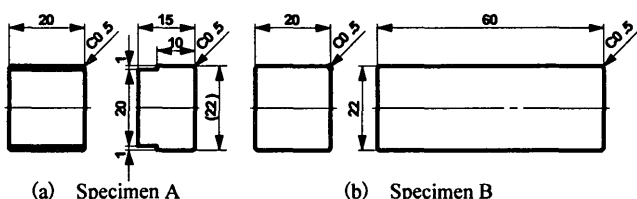


Fig.1 Specimen geometry and dimensions

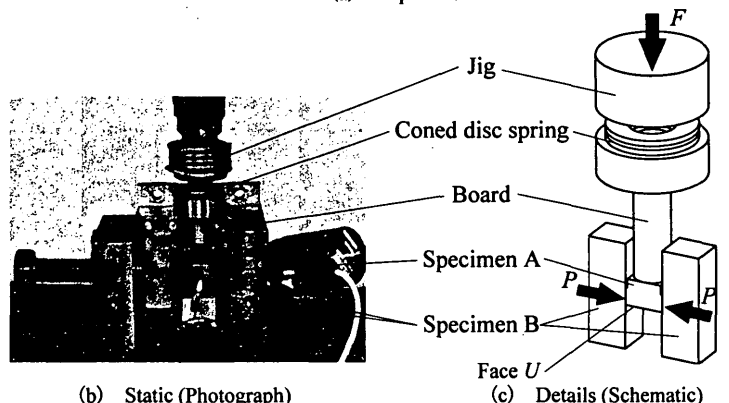
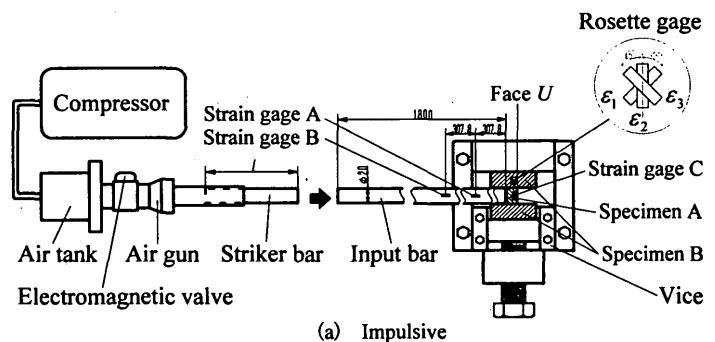


Fig.2 Experimental setup

の質量, g は重力加速度, A はすべり面の接触面積である。垂直応力 σ_n , 静的摩擦係数 μ_s , すべり量 d_s およびすべり速度 v_s は衝撃実験の場合と同様の方法で求められる。

3. 実験結果および考察

図3に衝撃摩擦実験より得られたせん断応力 τ , 軸応力 σ の時間変化の例を示す。試験片はS50C, 垂直応力 $\sigma_n=200\text{MPa}$, 打撃棒の長さ $l=800\text{mm}$ である。なお, 実験後に σ_n が数MPa減少することが確認された。

(a)の場合は, 試験片間にすべりが生じない場合である。立ち上がり時間約 $80\mu\text{s}$, 持続時間約 $310\mu\text{s}$ の入射パルス σ_b が試験片Aの左端面に到達したとき, σ_p, τ_p を生じる。 σ_p, τ_p はともに緩やかに増加し, 応力値が最大となる状態がしばらく続く。このときの σ_p, τ_p の値にそれぞれ入力棒の断面積, 接触面積を乗じると, 軸力 F , 静止摩擦力 R が得られる。その結果, おおよそ $F=R$ となり, 両者はつりあい状態にある。このことから, 先に述べたロゼットゲージを用いたせん断応力測定方法はある程度信頼性があると言える。

(b)の場合は, 試験片間にすべりが生じる場合である。 σ_b が試験片Aの左端面に到達すると, σ_p, τ_p は急激に増加して最大値 σ_{max}, τ_{max} となり, すべり始めると減少する。このとき, 静止摩擦状態から動摩擦状態への移行が行われている。本研究では τ_{max} から衝撃摩擦係数 μ_i を算出する。

図4に衝撃摩擦係数 μ_i , 軸力 F および打撃棒の長さ l の関係を示す。試験片はSS400, 垂直応力 $\sigma_n=100\text{MPa}$ である。ここで, l を変化させることは, 入射パルスの時間幅 T を変化させることを意味する。しかし, この図から l は μ_i にほとんど影響を及ぼさないことがわかる。一方, 入射パルスの振幅 H の増加に従い, μ_i の値も増加する傾向が見られる。これは, 試験片内を圧縮応力波 σ が伝ばする際, ポアソン効果により試験片が膨張したため, H の増加に従い, 摩擦抵抗が増加した結果であると考えられる。

図5に静的摩擦実験より得られたせん断応力 τ_s , すべり量 d_s の時間変化の例を示す。試験片はS50C, 垂直応力 $\sigma_n=50\text{MPa}$ である。

AB間においては, 接触面が付着状態であり, 軸応力 σ_s と τ_s がつりあっている。このとき, d_s が若干増加しているが, こ

れは曲げによる試験片Aの変形が影響したものと考えられ, すべりは生じていないとして扱う。 τ_s が限界値に達した時刻Bにおいて試験片はすべり始め, 以降スティック-スリップ現象が生じる⁽⁹⁾。本研究では, 時刻Bにおける τ_s から静的摩擦係数 μ_s を算出する。

図6に摩擦係数 μ と垂直応力 σ_n の関係を示す。この図から μ に関して次のことが言える。

いずれも多少ばらつきはあるが, 試験片の材質による影響はほとんどない。 μ_i は σ_n が $20\sim 125\text{MPa}$ のとき $0.04\sim 0.16$ である。一方, μ_s は σ_n が $10\sim 127\text{MPa}$ のとき $0.20\sim 0.28$ であり, μ_i は μ_s に比べ著しく小さな値となる。また, μ_i は μ_s の場合と比較しても σ_n の増加に伴う減少が著しい。これは, 先に述べたポアソン効果による摩擦抵抗の増加が原因であると予想され, σ_n が大きいときは, 試験片間の剛性が増し, ポアソン効果の影響が現れにくくなったためと考えられる。また, 試験片内を σ が伝ばする際, 試験片内には, σ が到達している領域Iと到達していない領域IIが存在し, 領域Iにおいてすべりが生じると考えられる。これにより, すべりが生じる面積が小さくなるため, 摩擦抵抗が減少し, μ_i は μ_s より小さくなったと予想される。しかし, 現段階では十分な根拠はなく, 衝撃引張り摩擦実験を行うなど, さらなる研究が必要である。

4. 結言

衝撃摩擦の特性を明らかにする目的で, 簡便な衝撃摩擦係数測定法を考案し, S50C, SS400炭素鋼試験片について摩擦特性を調べた。得られた主な結果は次の通りである。

- (1) μ_i は μ_s に比べ, 著しく小さな値となる。特に, 垂直応力 σ_n が大きい場合に顕著な差が現れる。
- (2) μ_i は垂直応力 σ_n の増加とともに減少する傾向がある。 σ_n が $20\sim 125\text{MPa}$ のとき μ_i は $0.04\sim 0.16$ である。
- (3) μ_i は入射パルスの時間幅 T に依存しない。一方, 振幅 H の増加に従い, μ_i も増加する傾向が見られた。

参考文献

- (1) 例えば谷村・海津・三村・井垣, 衝撃摩擦係数測定法とその応用, 機論, 61-591(1995), 2456.
- (2) 高橋・河井, ひずみ測定入門, 大成者, (1990), 135.
- (3) 曾田, 固体の潤滑と摩擦, 丸善, (1961), 85.

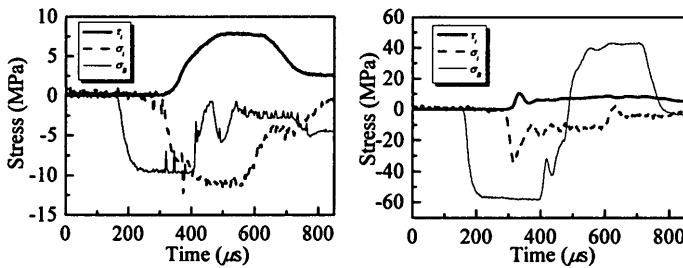


Fig.3 Variation of shearing stress and axial stress $\sigma_n=200\text{MPa}, l=800\text{mm}, \text{Specimen:S50C}$

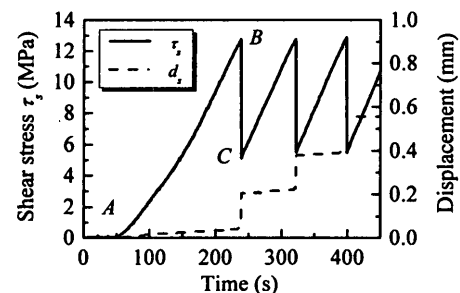


Fig.5 Variation of shearing stress and displacement $\sigma_n=50\text{MPa}, \text{Specimen:S50C}$

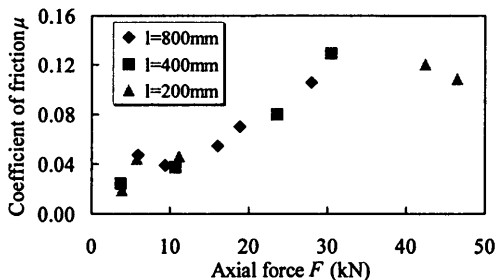


Fig.4 Relations between coefficient of impulsive friction and axial stress $\sigma_n=100\text{MPa}, \text{Specimen:SS400}$

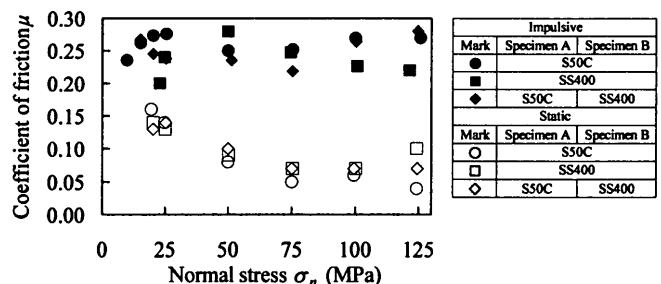


Fig.6 Relations between coefficient of friction and normal stress $l=800\text{mm}$