

フレッティング疲労に関する基礎的研究 (相対すべり量および接触面圧の影響)

沼津 高専 正 西田 友久

1. 緒言

繰返し応力のはかに、接触面およびその近傍に押付け力や持線力が作用する場合の疲労現象をフレッティング疲労という。フレッティング疲労は、自在継手や揺動するころがり軸受などの機械要素で多くみられ、著しい精度の劣化、振動発生等の原因となる。さらに、フレッティング部から発生した微小き裂が疲労き裂の起点となり、疲労強度を著しく低下させるため重要な問題とされている。フレッティング疲労強度に影響する主要な因子としては接触面圧、相対すべり量、材質などが考えられ、それらに関する検討も行われている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。しかし、その詳細については必ずしも十分解明されているとはいえない。

そこで本研究では、相対すべり量および接触面圧を変化させたフレッティング疲労試験を行い、フレッティング疲労寿命におよぼすこれらの影響について検討した。

2. 実験方法

供試材は炭素鋼S20Cであり、その化学成分を表1に機械的性質を表2に示す。

試験は9.8 kN油圧サーボ式疲労試験機を用い、引張圧縮($R=-1$)のもとで通常疲労試験およびフレッティング疲労試験を行なった。図1(a)に通常疲労試験片形状、図1(b)にフレッティング疲労試験片形状を示す。なお、フレッティング疲労試験においては図1(c)に示す3種類のブリッジを用い、一対のブリッジを試験片の平行部に、図2のようにプループリングを使用して押付ける。接触面圧はプループリングに貼付してあるひずみゲージより測定し、面圧が一定(50 MPaおよび40 MPa)となるよう調節した。試験中におけるブリッジ端部と試験片間の相対すべり量は図3に示す特殊な小型伸び計で図4のようにブリッジ両端に取付けて測定した。また、ブリッジと試験片表面の間の摩擦力は図5に示すようにブリッジ中央部裏面に貼

表1 化学成分

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.20	0.22	0.40	0.01	0.015	0.15	0.05	0.08

表2 機械的性質

Yield Strength σ_y (MPa)	Tensile Strength σ_b (MPa)	Elongation ϕ (%)	Reduction of Area ψ (%)
317	426	39.4	66.6

付したひずみゲージより測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 相対すべり量の影響

接触面圧を50 MPa一定としブリッジスパン長さを15, 20, 30 mmに変化させたときのフレッティング疲労試験結果からSN曲線を図6に示す。なお、図中にはフレッティングなしの通常疲労試験結果も示した。通常疲労の場合の 2×10^6 回における疲労強度は約205 MPa、フレッティング疲労の場合は約155 MPa

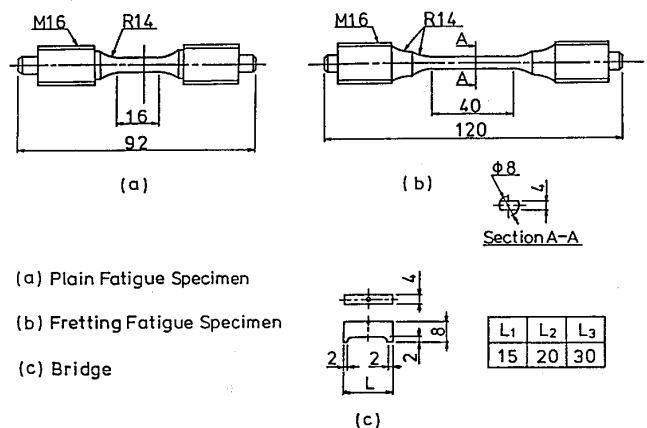


図1 試験片およびブリッジ

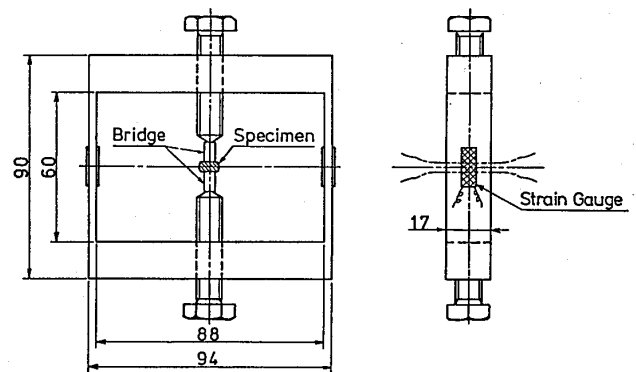


図2 プループリングの取付け

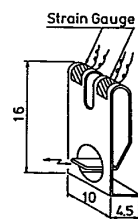


図3 相対すべり量
測定用伸び計

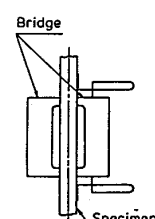


図4 相対すべり量
測定用伸び計
の取付け

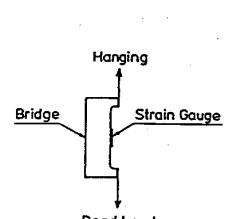


図5 摩擦力の校正

であり、フレットングの作用により疲労強度が著しく低下している。また、本実験の範囲では、ばらつきは大きい。疲労寿命および疲労限におよぼすブリッジスパン長さの影響はほとんど認められなかった。

相対すべり量と応力振幅の関係を図7に示す。図中の直線はブリッジを剛体と仮定して算定した相対すべり量と応力振幅の関係であるが、測定値とよく一致しており、本実験で用いたブリッジはほぼ剛体と考えてよいことがわかる。

測定した摩擦係数と押付け力の比として求めた摩擦係数と相対すべり量の関係を図8に示す。いずれの場合も摩擦係数は相対すべり量の増加とともに増大し、一定値(約0.55)に飽和している。ここで注目すべきことは、摩擦係数は必ずしも相対すべり量に一对一で対応しておらず、むしろ、そのときの繰返し応力レベルと対応していることである。田中・武藤⁽⁴⁾は、フレットングによる摩擦係数がフレットングき裂の応力拡大係数を増大させ、そのことが寿命低下の主要因であり、また、き裂伝は寿命がほぼ全疲労寿命に相当し

ていると考え、破壊力学的手法に基づきフレットング疲労寿命の推定を行い、実験結果とよく一致することを示した。本実験範囲内でブリッジスパン長さを変化させ相対すべり量を変化させても疲労寿命に有意な差が認められなかったのは、同一繰返し応力レベルで相対すべり量を変化させても摩擦係数、すなわち摩擦係数に变化がなかったためであろう。摩擦係数が相対すべり量によらず応力レベルに対応して変化している理由については不明であり、今後詳細な検討を要する。

3.2 接触面圧の影響

同一寸法ブリッジ(スパン長さ20mm)を用い、接触面圧を40MPaと50MPaの2種類に変化させたフレットング疲労試験結果からSN曲線を図9に示す。繰返し応力が約180MPa以上では疲労寿命に差が認められ、接触面圧の高い方が寿命が短くなる。繰返し応力が180MPa以下になると疲労寿命の差はほとんど認められない。疲労限にも差がなく、いずれも約155MPaであった。

図10に測定した相対すべり量と応力振幅の関係を

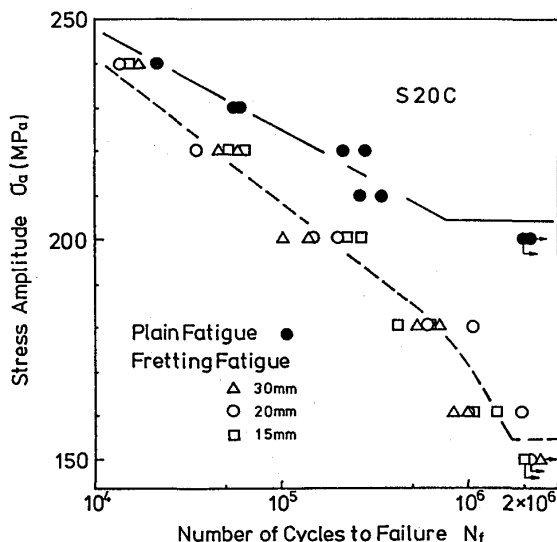


図6 S-N曲線 (ブリッジスパンを変化)

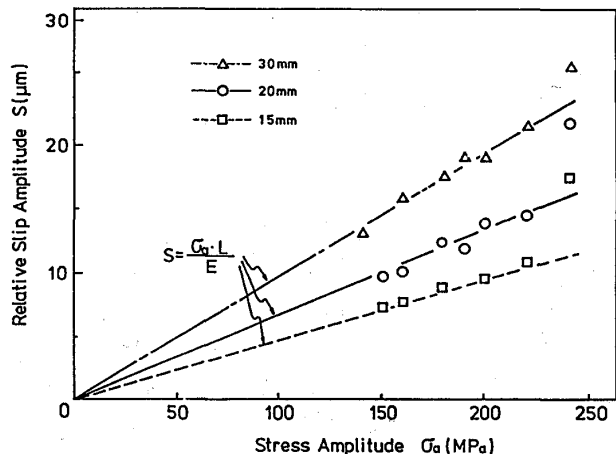


図7 相対すべり量と応力振幅の関係 (ブリッジスパンを変化)

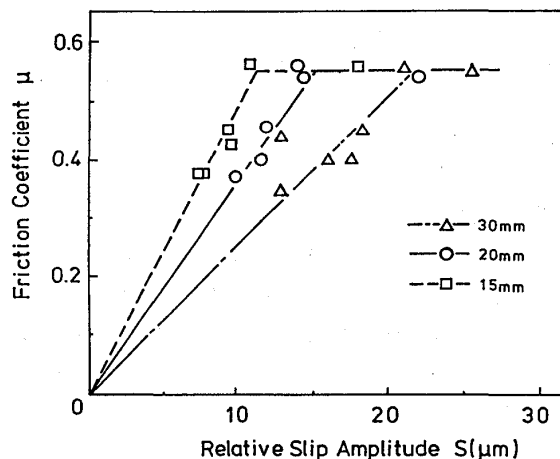


図8 摩擦係数と相対すべり量の関係 (ブリッジスパンを変化)

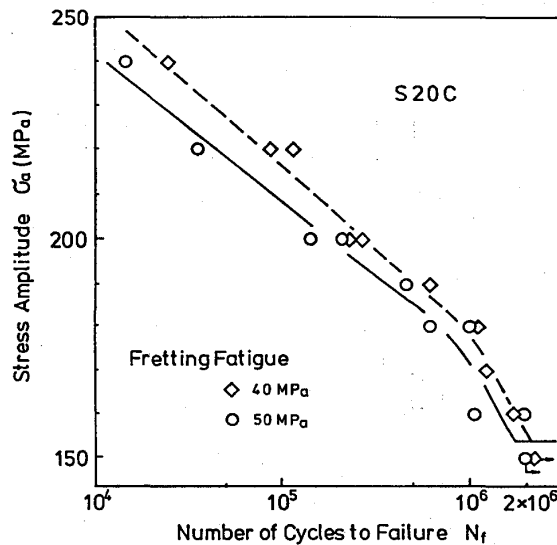


図9 S-N曲線 (接触面圧を変化)

す。図よりわかるように、両者の間の関係は接触面圧によらず、ブリッジを剛体と仮定して算定される相対すべり量と応力振幅の関係とほぼ一致している。

図11に摩擦係数と相対すべり量の関係を示す。摩擦係数が相対すべり量とともに増大する領域では接触面圧の影響がほとんど認められないが、摩擦係数が一定に飽和した値は接触面圧の影響が顕著であり、接触面圧の大きい方が高い摩擦係数を示している。したがって、図9に示したように低応力レベル側で疲労寿命に対する接触面圧の影響がほとんど認められないのは、前節の議論と同様に、その領域で摩擦係数、すなわち摩擦力が接触面圧によらずほぼ同程度であったためと考えられる。また、高応力レベル側で接触面圧の高い方が摩擦力が大きいため、フレットングき裂の伝ばがより加速されたためと推察される。

3.3 フレットングの表面粗さについて

破断した各試験片のフレットング面を走査型電子顕微鏡を用いて観察した。その結果によると（その詳細は省略するが）、本実験における相対すべり量および接触面圧の範囲では、摩耗状況・き裂発生状況等には顕著な変化は認められず、いずれも同様の形態を示

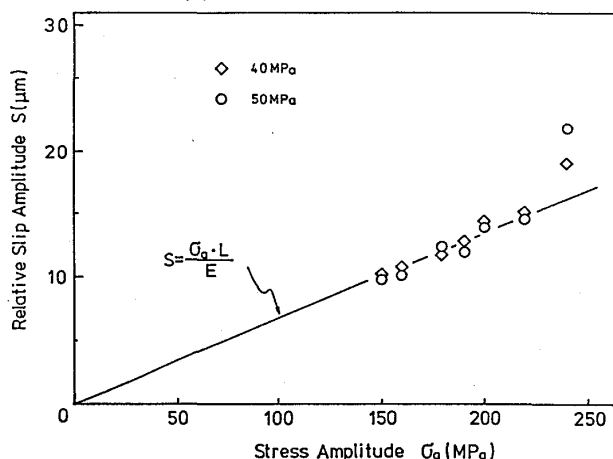


図10 相対すべり量と応力振幅の関係（接触面圧を変化）

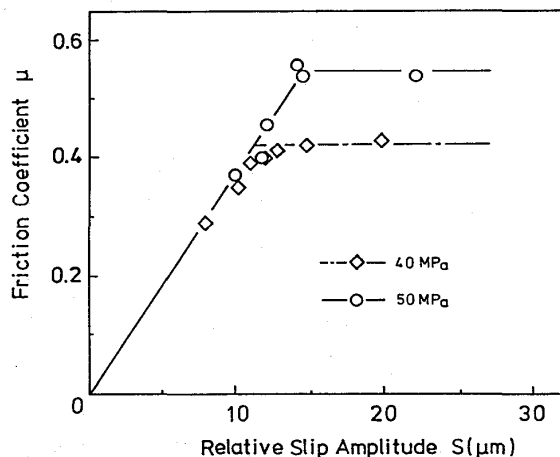


図11 摩擦係数と相対すべり量の関係（接触面圧を変化）

していた。すなわち、フレットング面の端部で特に摩耗が激しく、き裂の発生も認められるが、中央部ではそれほど摩耗の影響をうけていない。フレットング面の摩耗状況について、さらに検討するため表面粗さを測定した。測定結果から最大表面粗さと相対すべり量の関係をブリッジスパン長さを变化させた場合と接触面圧を变化させた場合について、それぞれ図12および図13に示す。最大表面粗さは相対すべり量の増加とともに大きくなり、その後一定値を示し、それぞれ図8および図11に示す摩擦係数と相対すべり量の関係とよく類似している。相対すべり量を小さい方へ外挿すると、いずれの場合も約8 μmで最大表面粗さは0となり、相対すべり量が十分小さければ摩耗の影響がほとんどなくなる事が推察される。このような結果は、平川⁽⁵⁾および田中⁽⁴⁾の結果と同傾向を示している。

4. 結言 省略

【参考文献】(1) Marsh, K.J., *Indust. Anzeiger*, 88-31(1966), 640.
(2) Fenner, A.J. & Field, J.E., *Revue Metallurgie*, 55-5(1958), 425.
(3) 平川, 機論, 34-268(昭43), 2068
(4) 田中, 武藤, 追田, 機論A, 51-464(昭60)
(5) 平川, 京都大学博士論文(昭51)

【謝辞】本研究を遂行するにあたり有益なご教示を賜った長岡技術科学大学の武藤睦治助教授に厚く感謝の意を表します。

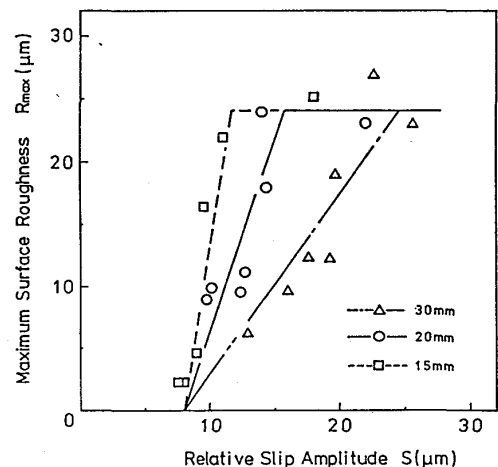


図12 表面粗さと相対すべり量の関係（ブリッジスパンを変化）

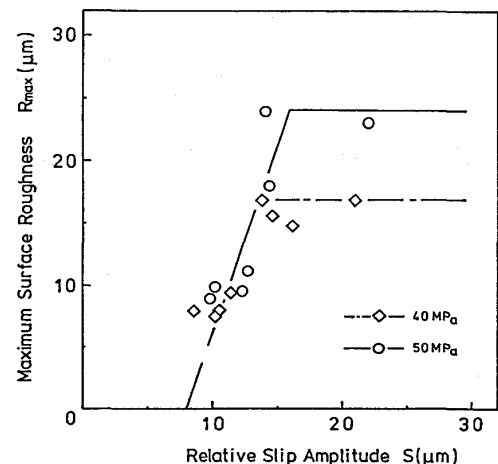


図13 表面粗さと相対すべり量の関係（接触面圧を変化）