

転動疲労における仕上面あらしの影響

森 重 修 一*

Effect of Surface Roughness on the Rolling Contact Fatigue Life

Shuichi MORISHIGE

Abstract

As for pitting, it is a phenomenon which is caused when the contact stress of a certain strength over the limit is repeated about 10^6 times. The phenomenon has much to do with such machine elements as antifriction bearing, gear, and rolling mill. And pitting confined the conditions of usage and the endurance of materials. Therefore; in order to prolong the endurance of these mechanical elements, it is important to analyze the rolling condition of these mechanical elements, the characteristics of pitting of materials, and influence of surface finishing and heat treatment upon pitting.

In this paper, pitting strength of normalized carbon steel was studied by using a Nishihara type testing machine under spindle oil lubrication condition with sliding.

Effect of surface finishing on the fatigue life under contact stress were investigated through wearing loss and roughness measurement, visual observation wearing surface.

1. ま え が き

転動疲労はころがり軸受, 歯車および圧延ロールなどの機械要素においてとくに問題となり, 古くから多くの研究者によって転動疲れの挙動や特性が究明されているが未解明の事項が多い. この疲労現象は材料にある限度以上の繰返負荷が 10^6 回転程度以上繰返されたとき材料の表面が疲労して, 表面に微小なき裂が発生し, ピッチングまたはフレーキングといわれる破壊がおけるとされている. したがって, これらの機械要素の寿命をのべし, また適当な使用条件を見出すためには, これらの機械要素におけるころがり接触状態を解析するとともに, いろいろな応力状態における疲労摩耗の発生機構, 使用材料の疲労摩耗特性, またその熱処理, 表面加工法などの疲労摩耗特性におよぼす影響について検討することは有意義であろう.

つぎに, これまで転動中の接触面の表面状態について記されているものが少なく, わずかながら Petussewich¹⁾ が0.45%の炭素鋼について表面あらしがある値以上になると寿命が低下し, 表面下の応力集中が疲れを支配す

ると説明しており, その後内海・岡本²⁾は高荷重においてはあらしの影響がなくなり, あらしがある程度以下になると寿命には影響しなくなることを指摘している. また西原・遠藤³⁾は純ころがり接触状態で仕上面の異なる組合せの耐久疲労試験を行ない仕上面のあらしのほど早く疲労破壊を生ずると述べている. いずれにせよ, 表面あらしが疲労破壊に影響していることは確かである. したがって本報告では, これらの諸説を考慮して普通炭素鋼に焼なましを施し, 仕上面あらしの転動疲労に対する影響について実験を行なったので, その結果について報告する.

2. 試験片および試験方法

2.1 試験片

本実験に使用した材料は市販の普通炭素鋼で, その化学成分および機械的性質は表1に示すとおりである. また試験片形状, 寸法は図1に示すとおりである. 熱処理は炉で 830°C 1時間保持した後空冷した. その後加工し, 接触面をそれぞれ旋削, 研削, ヤスリ, エメリーペーパー (これらを記号 L, G, F, P であらわす) で仕

* 宇部工業高等専門学校機械工学教室

上げた。

表 1 化学成分および機械的性質

wt %	C	Si	Mn	P	S
	0.39	0.16	0.47	0.008	0.04
降伏点 kg/mm ²	引張り強さ kg/mm ²	伸 び %	硬 度 Hv		
34.9	58.7	30.6	220		

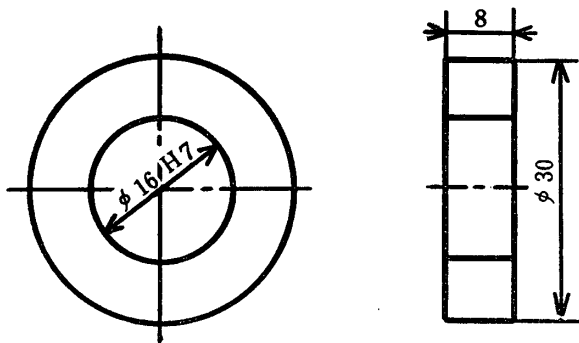


図 1 試験片形状

2.2 試験機および試験方法

使用した試験機は西原式金属摩耗試験機で、回転数 800r.p.m, すべり率 9.09%, 摩擦速度 1.26m/sec である。潤滑油は、60#スピンドル油（比重 0.8902, 動粘度 6.56cSt (50°C), 9.75cSt (37.8°C)）を使用し、ポンプ給油式で従動側試験片上部より給油した。なお油量は 42 cc/min である。つぎに試験は従動側および駆動側の試験片の組合せを、たとえば L-L, G-G というように同一仕上, 同あらしの場合と, L-G, G-L というように仕上, あらしとも変えて取付けた試験も合わせて行った。摩耗量は $10^5 \sim 10^6$ 回転ごとに、感度 0.1mg の化学天秤で測定し、重量減少が著しくなった繰返数をもってピッチング発生時期とした。また重量の減少がなくても試験片表面の観察を行ない、表面に直径 0.1mm 以上のピット, または疲労によるき裂をみとめた場合には試験を中止し、それまでの繰返数をもってピッチング発生時期とした。またあらしの測定は $10^3 \sim 10^6$ 回転ごとに小坂表面あらし測定機で測定した。なお試験終了後、試験片表面に発生したピット形状を光学顕微鏡で観察した。試験片の接触面における負荷荷重は、これまでの実験より、比較的安定した結果が得られている 235kg とした。なお試験片に加わる最大接触応力は Hertz の弾性接触論より、つぎの式から求めた。

$$\text{最大接触応力 } (P_0) = \sqrt{\frac{m^2 EP}{\pi (m^2 - 1) BR}} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

ここで

P : 接触面に加えられる負荷荷重 (kg)

E : 試験片のヤング率 (kg/mm²)

$\frac{1}{m}$: ポアソン比

B : 試験片の幅 (mm)

R : 試験片の半径 (mm)

である。

3. 実験結果

3.1 寿命

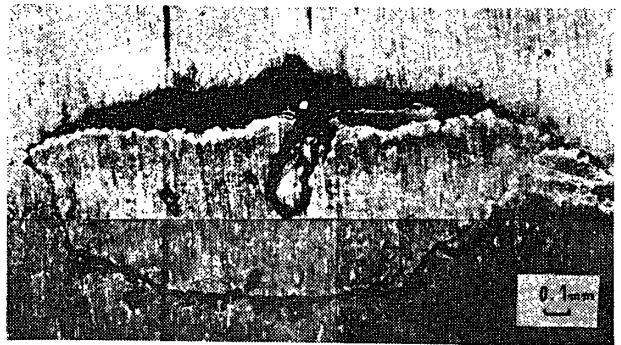


図 2 ピッチングの形状

接触面に転動疲れが発生すると、図 2 に示すような疲労破壊を生ずる。このような疲労破壊は従動側接触面に

表 2 寿命試験結果

実験	組合せ		試験前あらし Rmax	ピッチング発生時あらし Rmax	繰返数 N × 10 ⁵
	従動	駆動			
1	L	L	20	6	3.11
2	L	L	16	4	3.75
3	F	F	18	3	3.13
4	G	G	2	0.5	14.48
5	G	G	2	1	12.71
6	P	P	9	1	8.43
7	P	P	5	1	11.23
8	P	P	0.5	0.4	28.10
9	L	G	14-2	10	5.06
10	G	L	2-12	3	9.31

観察された。またあらしの違いによるピッチング形状の差異は認められなかった。つぎに寿命試験結果を表2に示す。実験1～8は従動側，駆動側とも同一仕上，同あらしの試験片を取り，実験9～10は従動側，駆動側にそれぞれ仕上，あらしの異なる試験片を取付けてピッチング発生までの繰返数を求めた。これらの寿命に対するあらしと繰返数の関係を図3に示す。あらしが小さくなるにつれてピッチング発生までの繰返数は多く，またあらしが小さいものほど寿命にバラツキがある。

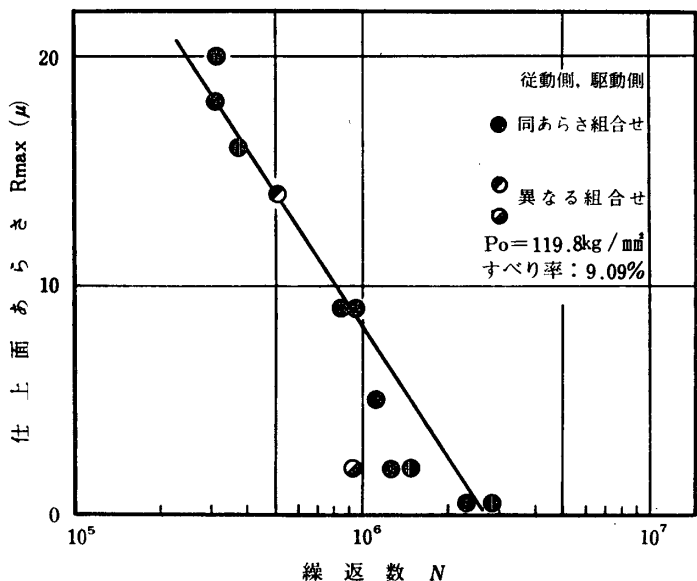


図3 仕上面あらしと繰返数の関係

3.2 あらしの変化

同あらしの組合せにおける転動中の試験片表面のあらしの変化を図4に示す。いずれの場合も転動初期において著しいあらしの改善がみられ，その後の変化は少ない。この傾向は，駆動側試験片も同じであった。つぎに，実験1，実験5の試験前，試験後の軸方向のあらしの測定結果を図5に示す。転動初期 ($N=1.0 \times 10^3$) に摩擦力の影響が強く作用するため，あらしの改善も著し

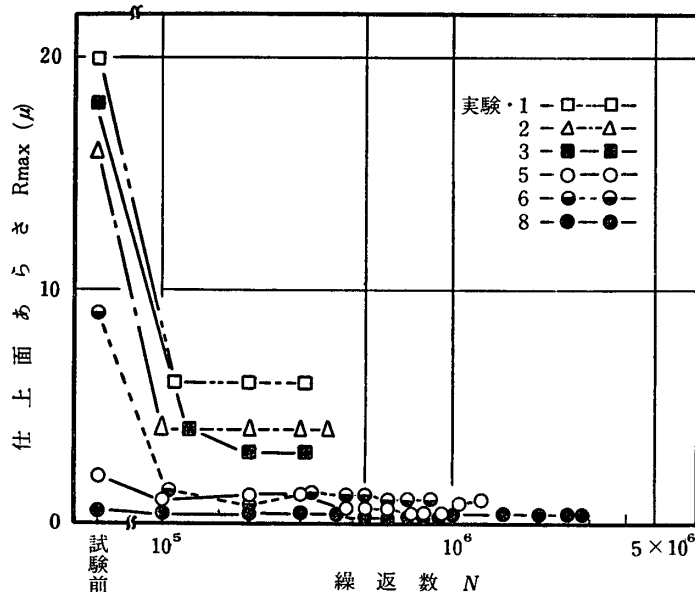


図4 繰返数の増加に伴うあらしの変化 (同一あらしの組合せ)

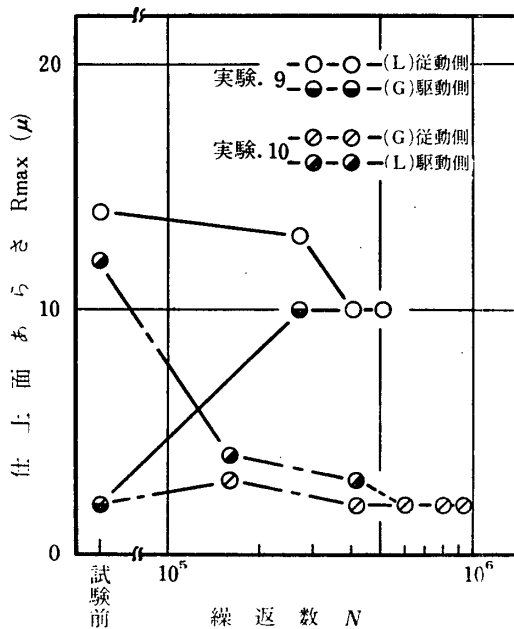


図6 繰返数の増加に伴うあらしの変化 (異なる組合せ)

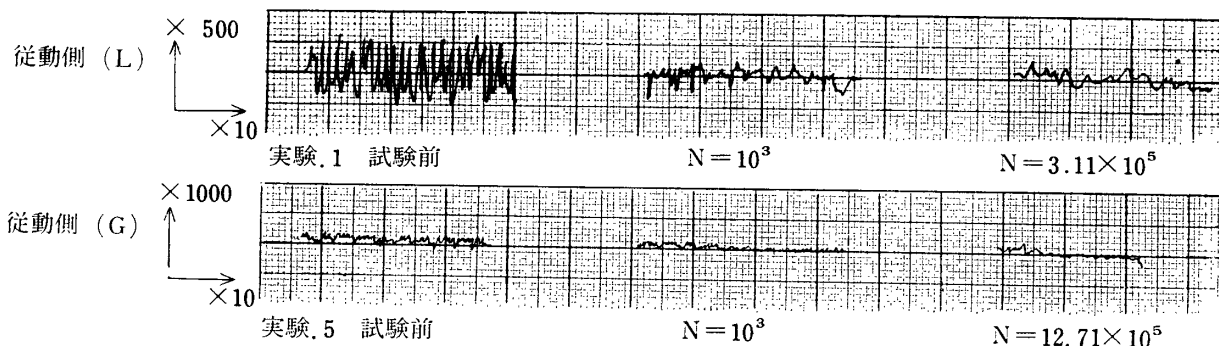


図5 試験前・試験後の試験片軸方向のあらし曲線 (同一あらし組合せ)

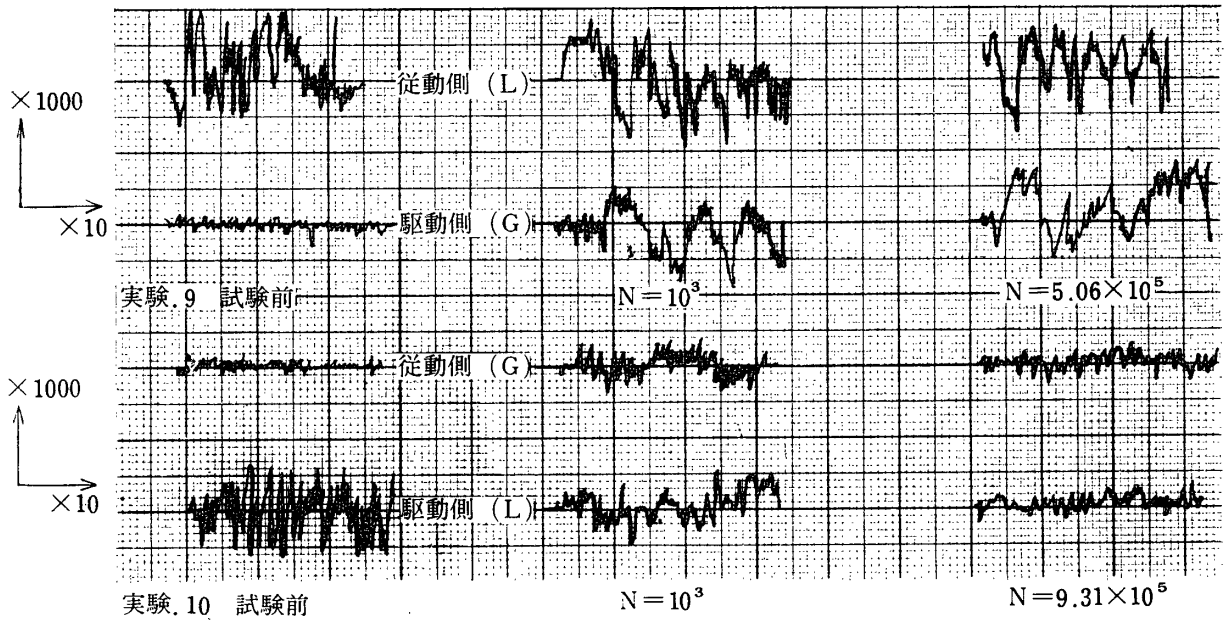


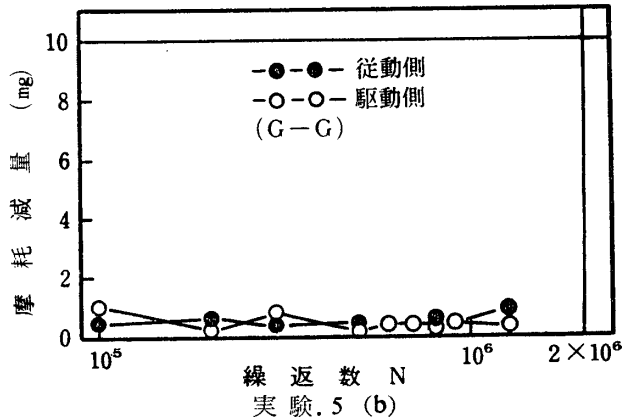
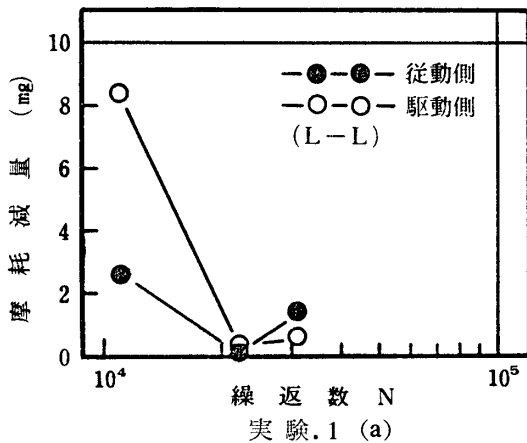
図 7 試験前，試験後の軸方向のあらさ曲線（異なるあらさの組合せ）

い。しかしながら，なお相当なあらさをピッチング発生時まで持続している。つぎにあらさの異なる組合せの結果を図 6 に示す。転動初期に駆動側試験片あらさは急激に従動側試験片あらさに近づく。図 7 にこれらの試験前，試験後の試験片軸方向のあらさ曲線を示す。実験 9，10 どちらの場合も従動側試験片のあらさの変化は比較的少ないが，繰返数 10^3 回転程度で駆動側のあらさは従動側の試験片あらさとほぼ同じになり，従動側の試験片あらさを小さくすればピッチング発生までの繰返数が多いということがわかった。

3.3 摩耗減量

図 8 に摩耗減量と繰返数の関係を示す。実験 1 (a) は旋削仕上による仕上面あらさの大きい組合せ結果であ

る。転動初期に著しい摩耗減量があり，あらさの変化にもみられたように，小さい突起部のせん断，脱落があるものと思われる。ピッチング発生時期において，従動側試験片に摩耗減量の増大があるが，これはピッチングがはく離したことによるものである。実験 5 (b) は (G-G) の組合せ結果である。仕上面あらさの小さい場合は，転動初期の摩耗減量は少なく，ピッチング発生時期まで摩耗減量と繰返数には直線関係がある。実験 9 (c)，実験 10 (d) はあらさの異なる組合せ結果であるが，転動初期に駆動側の摩耗減量が著しく，あらさの変化とよく対応している。



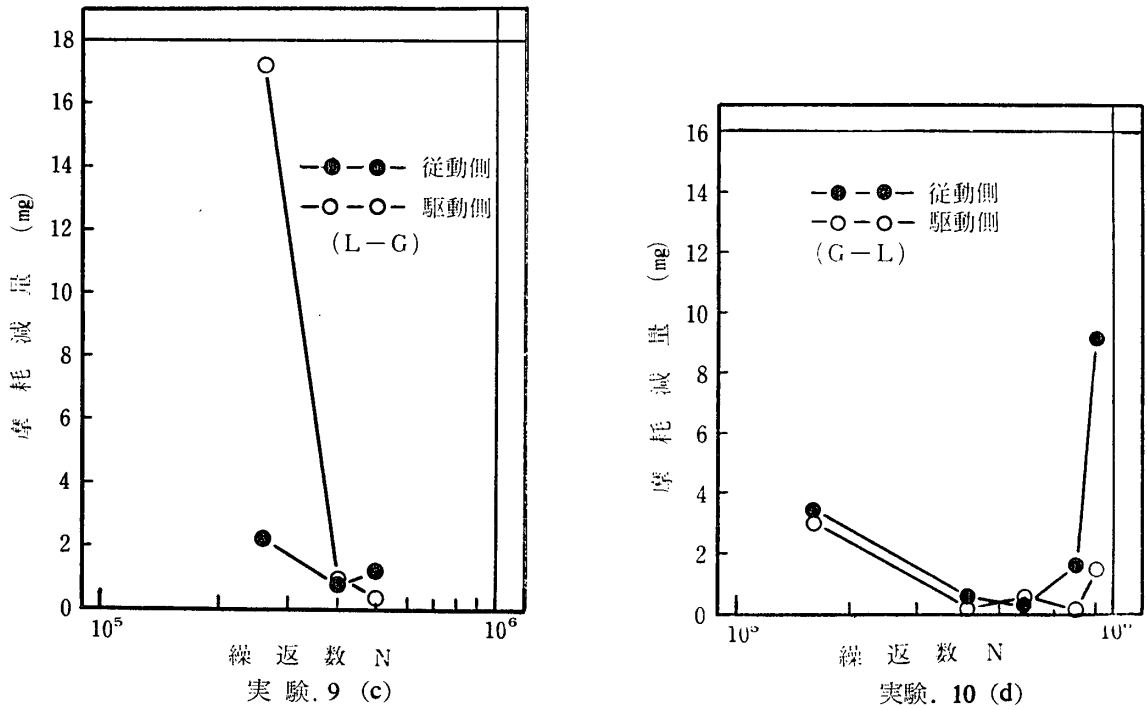


図 8 摩耗減量と繰返数の関係

4. 考 察

試験片の凹凸のかみ合いによって、転動初期に著しくあらしは小さくなる。転動中の接触表面は酸化被膜で被われ、巨視的には平滑な面になっており、この状態では中村⁴⁾のいっているように突部部のせん断破壊による急激な発熱現象により、せん断された摩耗粉は溶着、あるいは脱落しているものと思われる。このようにして改善された面もなお、かなりのあらしを持続しながら転動を繰返す。この状態で接触面のうける応力は突起部にかかり、真実接触面積を少なくし、過大な接触応力が作用することになる。そこであらしの大小に応力が違いが生じ、寿命に影響してくるものと考ええる。またあらしの小さいものほど寿命にバラツキがみられるが、これは材料固有の材質的な因子の影響により、疲労の蓄積にバラツキを生ずるものと考ええる。なお、表面あらしと寿命の関係を求めるために、接触面の仕上げ方法を考えているが、仕上面の表面層の加工残留応力等が異なって寿命に影響するものと考えられるので、今後検討する必要がある。

5. む す び

以上、得られた結果をまとめてみると、つぎのとおりである。

(1) 同一加工法、同あらしの組合せにおいて、接触面のあらし $0.5 \sim 20 \mu R_{max}$ の範囲では、仕上面のあらし

が小さいほど、ピッチング発生までの繰返数は増大する。

(2) あらしの異なる組合せにおいて、すべり率負なる。すなわち従動側の仕上面のあらしが小さいほど、ピッチング発生までの繰返数は増大する。

(3) 接触面の仕上面あらしは、転動初期 ($N=1.0 \times 10^3$) において著しく改善され、その後のあらし変化はピッチング発生時まで少ない。

おわりに、本実験に対して熱心に研究を進めた47年度卒業生、木下洋次・末岡 正君および有益なご教示を戴いた山口大学工業短期大学部教授福井 昂氏に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) A. I. Petrussewitsch ; I. V. T. A. M., Collogium on Fatigue. May, (1955), 197
- 2) 内海竜夫, 岡本純三; "軸受鋼の転動つかれにおける表面あらしの影響", 潤滑, 5, (1960), 291
- 3) 西原利夫, 遠藤吉郎; "まだら摩耗に関するその後の研究", 日本機械学会論文集, 18, (1952), 85
- 4) 中村文俊; "摩耗の過度現象に関する二・三の研究", 日本機械学会論文集, 28, (1963), 683

(昭和49年4月30日受理)