

# 高強度ホイールの疲労特性評価

## Evaluation of Fatigue Properties of High Strength Road Wheel

栗田真人/Masato Kurita・総合技術研究所 基盤技術研究部 副主任研究員

山本三幸/Miyuki Yamamoto・総合技術研究所 基盤技術研究部 主任研究員 工博

小松原望/Nozomi Komatsubara・鋼板事業部 薄板技術室 参事 D.Phil.

菊池健司/Kenji Kikuchi・住友金属テクノロジー(株) 鹿島事業部 技術部 技術営業室 担当課長

### 要 約

高強度ホイールの疲労特性評価手法すなわちき裂発生位置や疲労寿命を推定する手法の確立を目的に、690MPa 級鋼および2種類の780MPa 級鋼を用いて試作したホイールの疲労試験および応力測定を行い、それらの結果をもとに疲労強度評価を試みた。その結果、

- (1) 疲労試験時の繰返し応力振幅および残留応力等の平均応力を考慮した時間強度線図を用いることにより、高強度ホイールの疲労危険部を推定することができること、
- (2) 一方、疲労寿命を定量的に推定することは難しいが、鋼種間の疲労寿命の大小関係を推定することは可能であること、が明らかになった。

### Synopsis

In order to establish the method for estimating fatigue properties of high strength road wheels, fatigue test and stress measurement of road wheels, which were manufactured with 690 MPa grade and 780 MPa grade steels, were carried out. And fatigue crack initiation site and fatigue life of road wheel were predicted. The results are as follows;

- (1) Fatigue crack initiation site of road wheel can be estimated by using a constant life diagram, which includes cyclic stress amplitude and mean stress mainly composed of residual stress.
- (2) It is difficult to estimate fatigue life of the crack initiation sites quantitatively, but the difference of fatigue life of the wheel among these steels can be estimated.

## 1. 緒 言

自動車部品の軽量化は永遠の課題であり、重要保安部品であるロードホイールでも同様に軽量化が進められている。このため、素材鋼板の高強度化、高疲労強度化の研究が進められており<sup>1)2)3)</sup>、その成果が実用化されつつある<sup>4)</sup>。

ホイールの疲労特性には、素材鋼板の疲労強度はもちろんのこと、風孔等の疲労危険部に発生する繰返し応力や平均応力として作用する残留応力が大きな影響を及ぼしている。著者らはこれまでに軟鋼から780MPa 級鋼までの広範囲の強度レベルの熱延鋼板を用いて、試作したホイールの回転曲げモーメント疲労試験および応力測定を行い、鋼板の引張強度とともに疲労寿命は増加するものの、540MPa 級鋼で飽和すること、またこの原因は引張強度とともに疲労危険部であるハット部に発生する引張残留応力が増加するためであることを明らかにした<sup>5)</sup>。これらの結果

は、高強度ホイールの開発のためには、残留応力を考慮した疲労特性評価手法を確立し、評価結果を材料およびホイールの製造にフィードバックする必要があることを示している。

そこで本報告では、高強度ホイールの疲労特性評価手法すなわちき裂発生位置や疲労寿命を推定する手法の確立を目的に、690MPa 級および780MPa 級鋼板を用いて試作したホイールの疲労試験および応力測定を行い、それらの結果をもとに疲労特性評価を試みた。

## 2. 疲労試験

### 2-1 試験方法

#### 2-1-1 供試ホイール

素材鋼板として690MPa 級1鋼種と780MPa 級2鋼種を供試した。化学成分を第1表に、機械的性質を第2表

第1表 素材鋼板の化学成分(Mass%)

Table 1 Chemical compositions of steels (Mass%)

	Grade/Type	C	Si	Mn	P	S	Others
Disc	690MPa High Si	0.06	0.55	0.98	0.008	0.001	Cr, Ti
	780MPa Low Si	0.10	0.08	1.52	0.022	0.003	Cr, Ti
	780MPa High Si	0.05	1.27	1.34	0.017	0.001	Cr, Ti
Rim	690MPa	0.08	0.09	1.61	0.011	0.001	Nb, Ti
	780MPa	0.11	0.44	1.63	0.013	0.001	Cr, Nb, Ti

第2表 素材鋼板の機械的性質

Table 2 Mechanical properties of steels

	Grade/Type	t	YS	TS	El	TFS
Disc	690MPa High Si	2.9	579	704	22.5	1058
	780MPa Low Si	2.9	674	790	13.5	1185
	780MPa High Si	2.9	601	795	21.5	1195
Rim	690MPa	2.4	607	714	22.0	1050
	780MPa	2.4	680	802	20.0	1206

JIS-5 test piece (Longitudinal direction)

t: Thickness (mm) TS: Tensile strength (MPa)

YS: Yield strength (MPa) El: Total elongation (%)

TFS: True fracture strength (MPa)

に示す。これらは、①Siの固溶強化を主とした固溶強化690MPa級鋼(以後、高Si690鋼と呼ぶ)、②表面性状の向上のためSi添加量を低減しTiCによる強化を主とした析出強化780MPa級鋼(以後、低Si780鋼と呼ぶ)および③Siの固溶強化を主とした固溶強化780MPa級鋼(以後、高Si780鋼と呼ぶ)である。組織はいずれもフェライト-ベイナイト組織である。

高Si690鋼および高Si780鋼を13インチホイールに、低Si780鋼および高Si780鋼を14インチホイールに適用した。また各ホイールのリムは、ディスクと同一の強度レベルの鋼板を適用した。いずれのホイールでも、風孔にはコイニング処理が施されている。なお14インチホイールは、13インチホイールの試験結果をもとに風孔部の繰返し応力が軽減されるよう形状を改善し、風孔部の疲労寿命の向上を図ったものである。

ホイールにはいくつかの疲労危険部があり、ホイールの形状や荷重様式に依って最弱部に疲労き裂が発生する<sup>9)</sup>。そこで通常の工程で製造した13インチホイール(以後、通常ホイールと呼ぶ)のほかに、風孔の疲労寿命向上を目的に、通常ホイールの風孔打抜面を手作業で研磨したホイール(以後、風孔研磨ホイール)も別途試作した。

## 2-1-2 疲労試験方法

疲労試験は回転曲げモーメント負荷にて行った。繰返し速度は700rpm、ボルト締付トルクは98N・m、試験モーメントは13インチホイールでは1.47kN・m、14インチホイールでは2.16kN・mである。

## 2-2 試験結果

### 2-2-1 13インチホイールの試験結果

供試ホイールの疲労寿命およびき裂発生位置を第3表および第1図に示す。通常ホイールでは高Si690鋼と高Si780鋼の疲労寿命は等しい。すなわち、690MPa級から780MPa級への強度上昇の効果が得られていない。これは後述するように疲労き裂が発生する風孔部の打抜面が切欠きとして作用し、高強度化により切欠き感受性が上昇するためと考えられる。これに対し風孔研磨ホイールでは、通常ホイールに比べ疲労寿命は長く、また高Si780鋼の疲労寿命は高Si690鋼の約2倍と、素材鋼板の強度の上昇とともに疲労寿命は大きく向上している。

第3表 13インチホイールの回転曲げモーメント耐久試験結果(負荷モーメント:1.47kN・m)

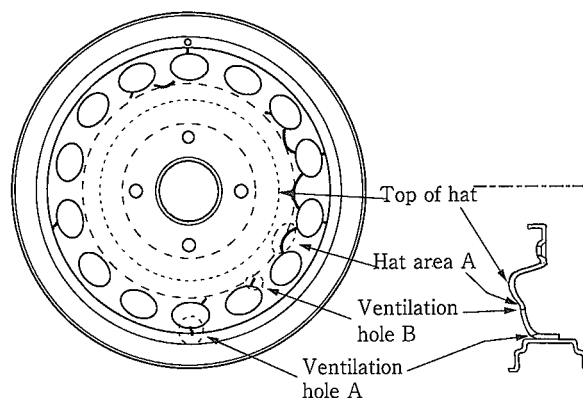
Table 3 Results of rotating bending fatigue test of 13 inch wheels (Moment: 1.47kN・m)

		With as-manufactured ventilation hole	With polished ventilation hole
High Si 690 wheel	F.L.	$2.02 \times 10^5$	$2.43 \times 10^5$
	C.I.S.	V-A	H-A, V-B
High Si 780 wheel	F.L.	$2.04 \times 10^5$	$4.08 \times 10^5$
	C.I.S.	V-A	H-A, V-B

F.L.: Fatigue Life (Cycles)

C.I.S.: Crack Initiation Site

H-A: Hat area, V-A, V-B: Ventilation hole (See Fig. 1)



第1図 13インチホイールの疲労き裂発生位置の模式図

Fig.1 Illustration of fatigue crack initiation sites in 13 inch wheels

疲労き裂発生位置は通常ホイールと風孔研磨ホイールとで異なっている。すなわち、通常ホイールでは風孔周上のリム寄りの位置(以後、風孔部 A と呼ぶ)で、風孔研磨ホイールではハット部の頂上より約15mm リム寄りの風孔間の位置(以後、ハット部 A と呼ぶ)のホイール表側で、主たるき裂がそれぞれ発生している。また風孔研磨ホイールでは、風孔周上のハット部寄りから斜め方向にずれた位置(以後、風孔部 B と呼ぶ)に微小な疲労き裂が発生しており、ハット部 A のき裂と合体することが多い。更にハット部、風孔部のき裂とも、周上均等に生じているのではなく、特定の風孔あるいは特定の風孔間のハット部で生じている。

## 2-2-2 14インチホイールの疲労試験結果

供試ホイールの疲労寿命およびき裂発生位置を第4表および第2図に示す。疲労寿命は平均で見れば高 Si780 鋼ホイールが低 Si780 鋼ホイールより長い。いずれのホイールでも疲労き裂はハット部ハブ孔寄り(以後、13インチホイールとの区別のためにハット部 C と呼ぶ)裏側に発生し、風孔には発生していない。また疲労き裂は特定の位置、すなわちボルト孔に近い風孔間の位置で生じている。

第4表 14インチホイールの回転曲げモーメント耐久試験結果  
(負荷モーメント: 2.16kN・m)

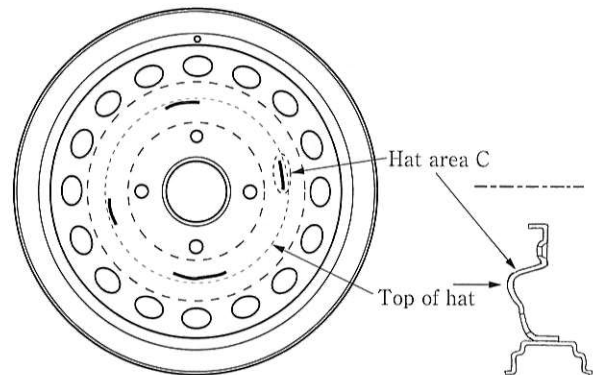
Table 4 Results of rotating bending fatigue test of 14 inch wheels (Moment : 2.16kN・m)

		No. 1	No. 2	Average
Low Si 780 wheel	F.L.	$1.03 \times 10^5$	$1.70 \times 10^5$	$1.32 \times 10^5$
	C.I.S.	Hat area C	Hat area C	—
High Si 780 wheel	F.L.	$1.36 \times 10^5$	$1.48 \times 10^5$	$1.42 \times 10^5$
	C.I.S.	Hat area C	Hat area C	—

F.L.: Fatigue Life (Cycles)  
C.I.S.: Crack Initiation Site  
Hat area C (See Fig. 2)

## 2-2-3 疲労破面観察結果

13インチ通常ホイールの風孔で、疲労き裂の起点の位置を正確に把握するため、風孔の疲労破面を詳細に観察した。結果を写真1に示す。疲労き裂は破断面とコイニン



第2図 14インチホイールの疲労き裂発生位置の模式図

Fig. 2 Illustration of fatigue crack initiation sites in 14 inch wheels

グ面との境界部(写真1 (a) A 点)およびせん断面と破断面の境界部(写真1 (a) B 点)で発生しているのがわかる。

## 3. 応力測定

各疲労き裂発生位置の疲労寿命の大小関係を定量的に評価し、また特定の風孔および特定の方向のハット部で疲労き裂が発生する原因を明らかにすることを目的に、疲労試験時の繰返し応力および製造時に発生する残留応力を測定した。

### 3-1 応力測定方法

#### 3-1-1 ひずみゲージ貼付位置

##### (1) 13インチホイール

応力測定は、通常ホイールを対象に実施した。第1図に示した各種ホイールの疲労き裂発生位置と進展方向、更にホイールディスク形状の対称性を考慮し、第3図に示す位置と方向で測定した。本章で調査した13インチホイールでは第1図に示したようにハット部 A で疲労き裂が生じたが、次章で調査した14インチホイールあるいは他の形状のホイール<sup>15)</sup>ではハット部頂上よりハブ孔寄りの位置(以後、ハット部 B と呼ぶ)で疲労き裂が生じ周方向に進展する場合もある。そこで参考のためこの位置も測

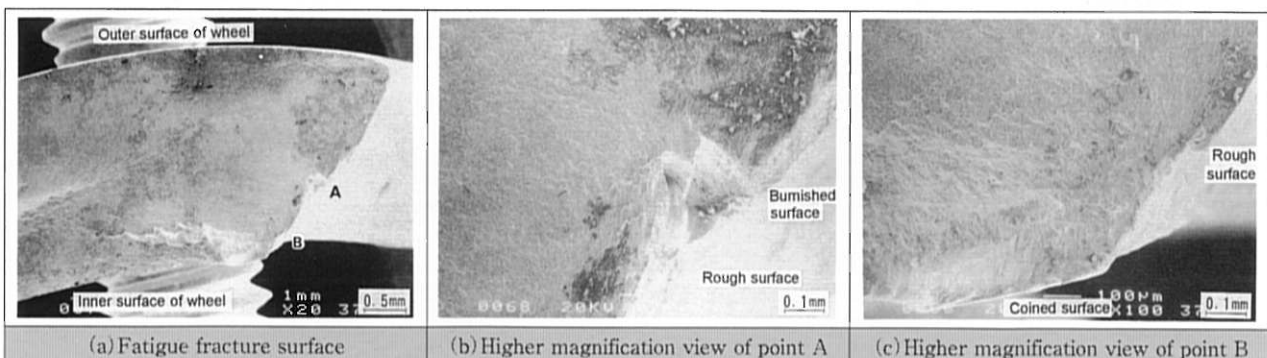


写真1 13インチ高 Si 690 鋼ホイールの風孔縁端部の疲労破面

Photo 1 Fatigue fracture surface of ventilation hole edge in 13 inch High Si 690 wheel

定の対象とした。なお、ハット部 B では、ボルト孔および風孔との位置関係を考慮し 2 ヶ所(ハット部 B1, B2)で応力を測定した。

ハット部 A, B では、半径方向応力が半径方向の位置に依存して急変するため、ゲージ長 1 mm の 5 連ひずみゲージを用いて応力分布を測定した。

風孔部では風孔部 A を測定対象とし、周上 4 ヶ所にリムとの溶接部を有するディスクの形状に対しそれぞれ等価でない 3 つの風孔について KA, KB, KC の 3 点で応力を測定した。写真 1 に示したように風孔部の疲労き裂は打抜面上で生じているが、打抜面上にひずみゲージを直接貼付できないため、風孔縁端部(ホイール表・裏面)にゲージ長 5 mm のひずみゲージを貼付した。

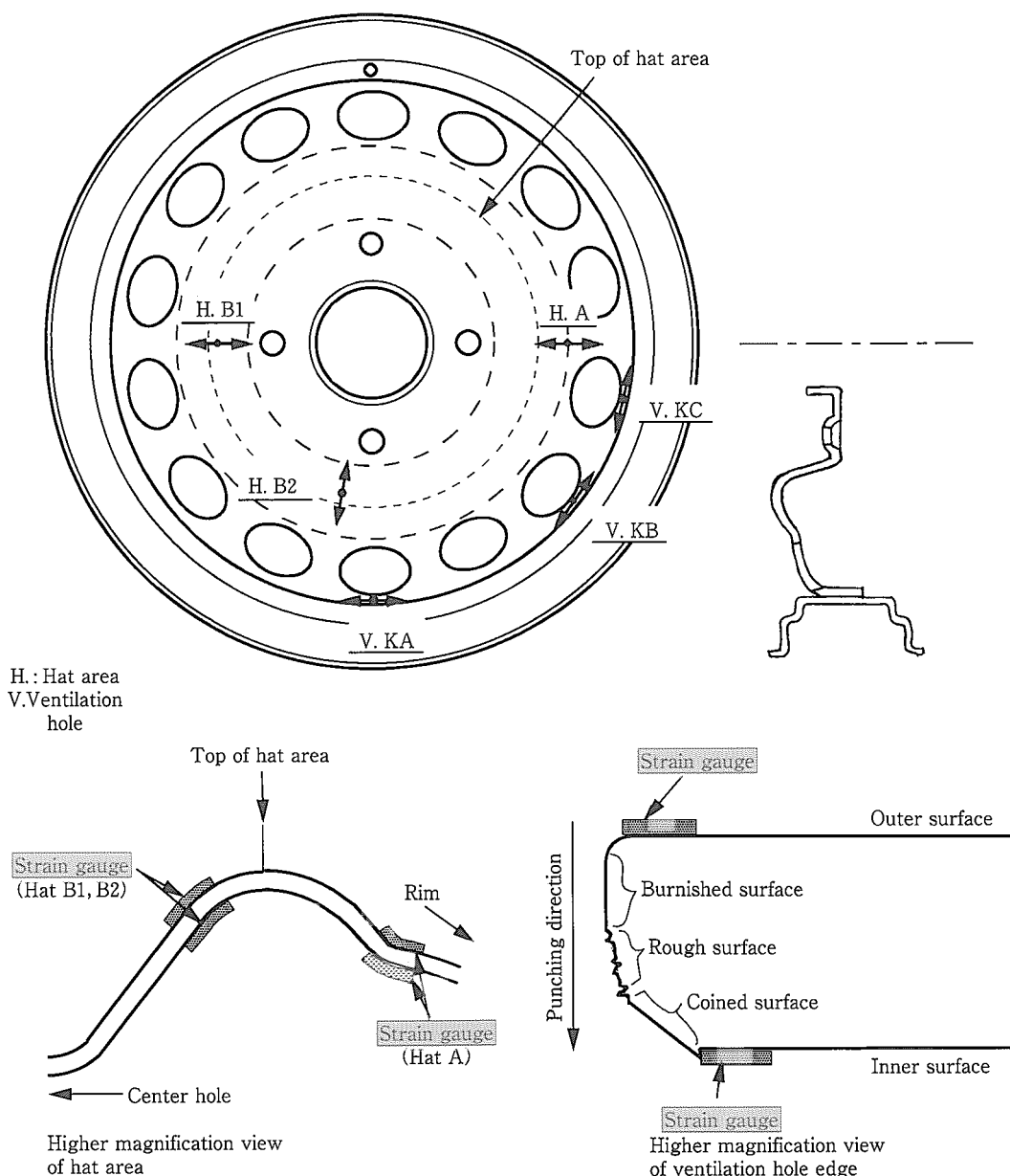
## (2) 14インチホイール

第 2 図に示した疲労き裂発生位置と進展方向、更にホイールディスク形状の対称性を考慮し、第 4 図に示す位置と方向で応力を測定した。

ハット部 C に対応して、C1, C2, C3 の 3 点で半径方向の応力を測定した。C1 および C3 は疲労き裂が発生した位置に相当し、C2 は発生しなかった位置に相当する。なお C1 と C3 は、ボルト孔および風孔との位置関係に関して完全に等価である。

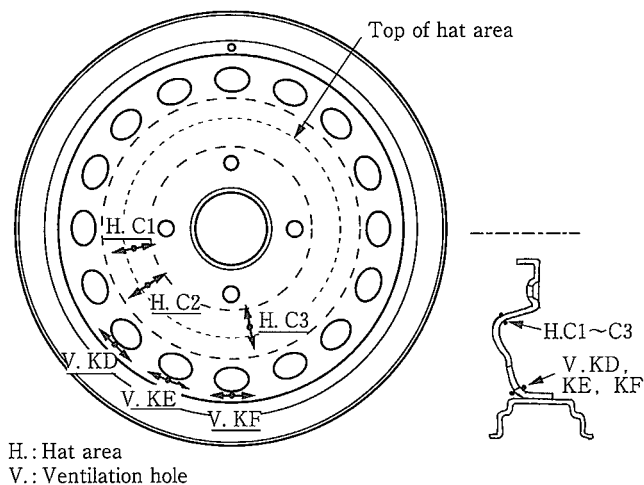
13インチホイールと同様、ハット部の応力は半径方向の位置に依存して急変するので、半径方向の応力分布を得るためゲージ長 1 mm の 5 連ひずみゲージを貼付した。

風孔部については、今回疲労試験を行ったホイールでは



第 3 図 13インチホイールの応力測定的位置と方向

Fig.3 Illustration of positions and directions of stress measurement of 13 inch wheels



H.: Hat area  
V.: Ventilation hole

第4図 14インチホイールにおける応力測定的位置と方向  
Fig.4 Illustration of positions and directions of stress measurement of 14 inch wheels

風孔で疲労き裂が発生しなかったが、参考のため応力を測定した。ボルト孔および風孔との位置関係に関して等価でないKD, KE, KFの3点の風孔縁端部の表裏面にゲージ長5mmのひずみゲージを貼付した。

### 3-1-2 繰返し応力の測定方法

疲労試験時の繰返し応力を求めるため、ホイールを回転曲げモーメント耐久試験機に取り付け、疲労試験時のモーメントを負荷し、回転にともなう応力の変化を測定した。更にホイールを試験治具アームに取り付けるためのボルト締結により発生する応力も測定した。

### 3-1-3 残留応力の測定方法

切出し法により、リムかん合により生じる残留応力およびディスクのプレス成形により生じる残留応力を求めた。前者はリムを切断したときに解放される応力、後者はディスクを小片(20mm×20mm)に切出したときに解放される応力を、それぞれの符号を反転して求めた。

## 3-2 応力測定結果

### 3-2-1 繰返し応力測定結果

#### (1) 13インチホイール

回転にともなう応力の変化の例を第5図に示す。ハット部の繰返し応力は表裏の符号が逆(逆位相)になる。これは試験片による平面曲げ疲労試験に対応している。また風孔の繰返し応力は表裏の符号が同じ(同位相)になる。これは試験片による軸力引張あるいは引張圧縮疲労試験に対応している。14インチホイールについても同様であった。

ハット部の応力測定では、5連ひずみゲージで得られた5点の繰返し応力振幅のうち、その最大値をその測定位置の繰返し応力振幅とした。また繰返し平均応力、ボルト締結応力および残留応力は、繰返し応力振幅の最大値を得たひずみゲージでの値を用いることとした。

繰返し応力振幅を第6図に示す。ここで繰返し平均応

力の絶対値は小さいので省略した。高Si690鋼ホイールと高Si780鋼ホイールで各部位の値はほぼ等しい。

ハット部の繰返し応力振幅は、ハット部Aでは表側が裏側よりも高く、逆にハット部B1, B2では裏側の方が高い。これは曲げモーメント負荷の場合、凸側よりも凹側の方が応力が高くなることを示している。またハット部A表側とハット部B1, B2裏側を比較すると、後者の方が繰返し応力振幅は高くなっている。このため、繰返し応力振幅の大小関係のみでは風孔研磨ホイールの疲労試験結果を説明できない。

風孔部の繰返し応力振幅は、ホイール裏側では風孔KBが他の風孔より若干高いが、表側は風孔(KA, KB, KC)によらずほぼ等しい。また第5図に示したように、ホイールの回転にともなう風孔表側および裏側の応力の変化は同位相となることから、板厚中心部近傍の打抜面上でも繰返し応力振幅は0とはならず、表裏面で発生した応力の平均的な応力が負荷され写真1に示したように板厚中心部近傍の打抜面上で疲労き裂が発生したと考えられる。

#### (2) 14インチホイール

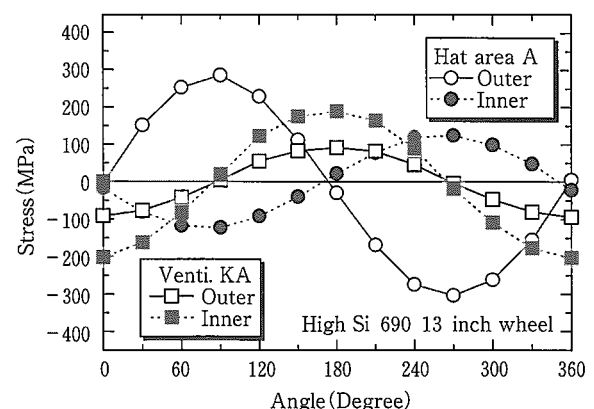
繰返し応力振幅の測定結果を第7図に示す。13インチホイールの場合と同様、いずれの測定部位でも鋼種による繰返し応力振幅の相違は小さい。また、き裂が生じたハット部C3と生じなかったハット部C2との差も小さい。

### 3-2-2 残留応力測定結果

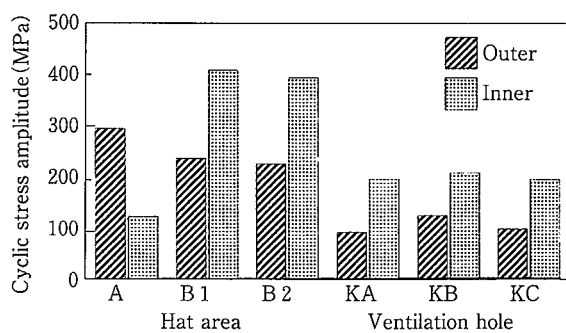
#### (1) 13インチホイール

残留応力測定結果を第8図に示す。いずれの測定部位でも高Si690鋼ホイールと高Si780鋼ホイールとの相違は小さい。

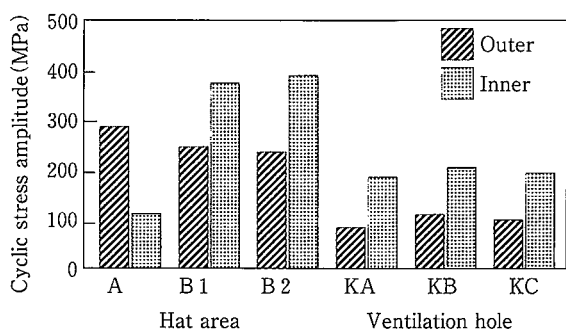
ハット部の残留応力を比較すると、ハット部B1, B2の表側および裏側に比べ、ハット部A表側では非常に高い引張残留応力が生じている。このため、第6図に示したように風孔研磨ホイールにてハット部Aの表側の繰返し応力振幅がハット部Bの裏側より低くても疲労き裂が発生したと考えられる。



第5図 回転にともなう応力の変化  
Fig.5 Variation in stress with rotation



(a) High Si 690 wheel



(b) High Si 780 wheel

第6図 13インチホイールの繰返し応力振幅

Fig.6 Cyclic stress amplitudes of 13 inch wheel

風孔部の残留応力は、風孔により顕著に異なっており、風孔 KA, KC ではリムかん合による高い引張残留応力が発生しているものの、風孔 KB では引っ張りでも低いあるいは圧縮である。このため、風孔 KB およびボルトとの位置関係で風孔 KB と等価な風孔ではき裂が生じなかったと考えられる。

#### (2) 14インチホイール

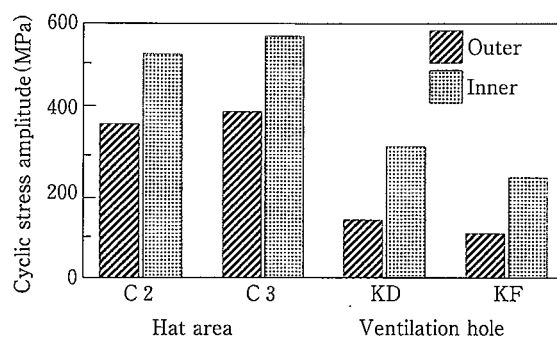
残留応力測定結果を第9図に示す。いずれの測定部位でも鋼種による残留応力の相違は小さい。ハット部 C3 表側では C2 表側と比べディスク成形による残留応力の絶対値が大きい。

## 4. 疲労特性評価

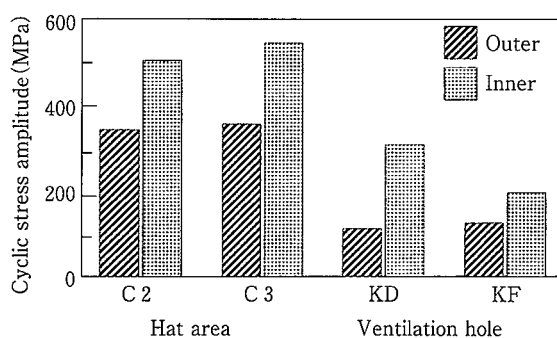
### 4-1 時間強度線図による疲労特性評価

ここでは疲労き裂発生位置およびその位置の疲労寿命を推定するため、Goodman 線図の考え方を有限寿命領域に拡張した時間強度線図を用いて、残留応力を考慮した疲労特性評価を試みる。

疲労特性評価のベースとなる時間強度線図を求めるため、素材鋼板から採取した試験片による疲労試験を行った。3章で述べたように、ハット部では表裏面で繰返し応力の符号が逆となり、風孔部では逆に繰返し応力の符号が同じになる。したがってハット部に対応して平滑材の両振り平面曲げ疲労試験を、風孔部に対応してポンチ打抜切欠き材の引張疲労試験を行った。試験結果をそれぞれ第10図、第11



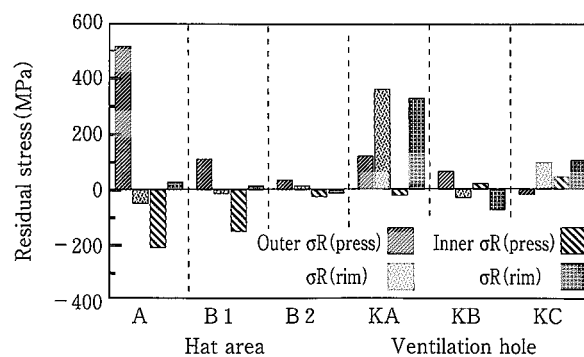
(a) Low Si 780 wheel



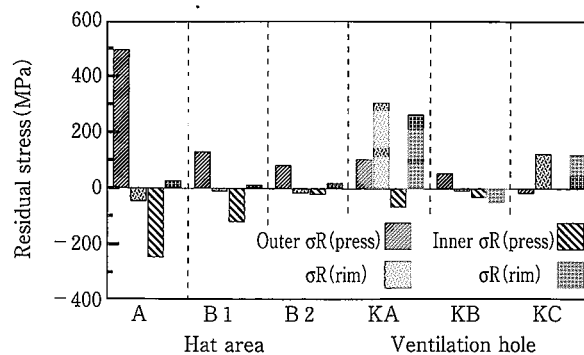
(b) High Si 780 wheel

第7図 14インチホイールの繰返し応力振幅

Fig.7 Cyclic stress amplitudes of 14 inch wheel



(a) High Si 690 wheel



(b) High Si 780 wheel

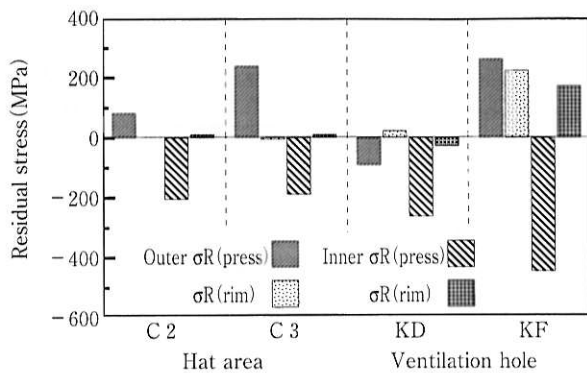
第8図 13インチホイールの残留応力

Fig.8 Residual stresses of 13 inch wheel

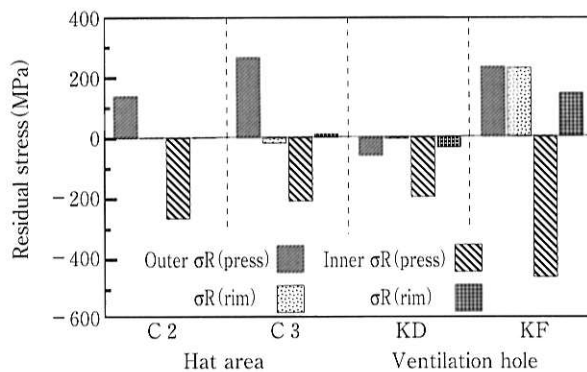
図に示す。これらの結果を適用し時間強度線図を求める。

次にハット部、風孔部それぞれの疲労試験時の応力状態





(a) Low Si 780 wheel



(b) High Si 780 wheel

第9図 14インチホイールの残留応力

Fig.9 Residual stresses of 14 inch wheel

を下記の式にて定義し、これを以下に示す時間強度線図上にプロットする。

応力振幅 = (繰返し応力振幅)

平均応力 = (繰返し平均応力) + (残留応力) + (ボルト締付応力)

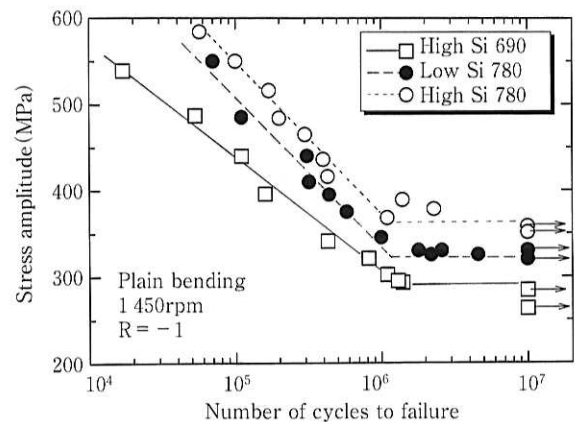
プロットする点が時間強度線よりも上にあれば疲労破壊が生じることを示している。

## 4-2 き裂発生位置の推定

各ホイールの各部位で時間強度線を求め、き裂発生位置の推定を行う。

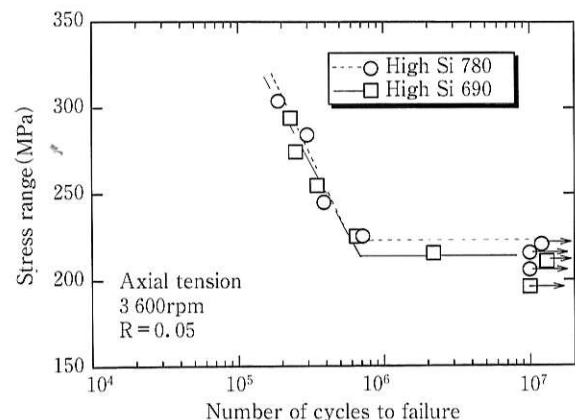
### (1) 13インチホイールのハット部

ハット部 A、およびハット部 B1、B2 の疲労特性評価のため、ハット部 A でき裂が発生した風孔研磨ホイールの疲労寿命を基準に考える。このため、風孔研磨ホイールの疲労寿命となる時間強度線を第10図の結果から求め、これを第12図(a)中に示す。この時間強度線と各応力測定位置の応力状態を比較すると、高 Si690鋼、高 Si780鋼いずれのホイールでもハット部 A 表側がほぼこの直線上にあり、かつ他の応力測定位置と比較し最も危険側にあること、またハット部 B(B1, B2)裏側がこれに次いで危険であること、がわかる。この推定結果は第3表に示した風孔研磨ホイールの試験結果と対応している。



第10図 平滑材試験片による平面曲げ疲労試験結果

Fig.10 Results of plain bending fatigue test using unnotched test specimens



第11図 ポンチ打抜切欠き材試験片による引張疲労試験結果

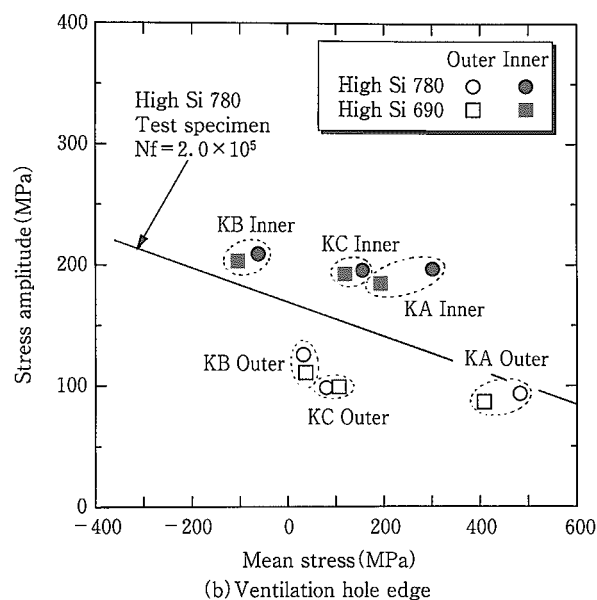
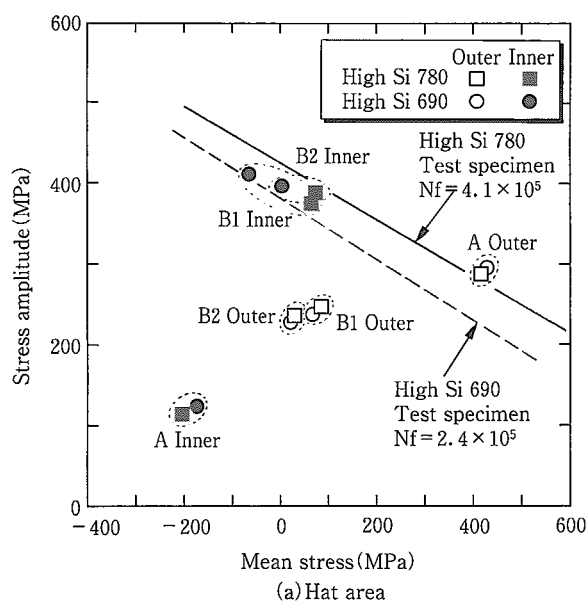
Fig.11 Results of tension fatigue test using notched specimen with a punched hole

### (2) 13インチホイールの風孔部

第5図に示したように風孔部 A での応力負荷形態が引張圧縮であることを考慮し、通常ホイールの疲労寿命となる時間強度線を第11図の結果から求め、これを第12図(b)中に示す。この時間強度線と各応力測定位置の応力状態を比較すると、風孔 KA では、風孔 KB, KC に比べ表側、裏側とも危険側にあることがわかる。風孔部では打抜面上にある疲労き裂の起点の応力を直接測定できないため厳密な議論はできないが、実際のき裂起点部の応力状態が表側と裏側の平均となると仮定すると、風孔 KA が最も危険側に位置することになる。この推定結果は定性的には第3表に示した疲労試験結果と対応している。

### (3) 14インチホイールのハット部

高 Si780鋼ホイールの疲労寿命( $1.3 \times 10^6$ 回)となる時間強度線を第10図の結果から求め、これを第13図(a)中に示す。この直線は疲労き裂が発生したハット部 C(C1, C3)裏側のみならず同部表側にも接しており、これは表側も同様に危険であることを示している。また、その中で C1 あるいは C1 と等価な C3 と C2 を比較すると、鋼種に



第12図 13インチホイールの時間強度線図  
Fig.12 Constant life diagram of 13 inch wheel

よってその差は異なるものの、C2がC1あるいはC3よりも安全側にある。この結果は第3表に示した疲労試験結果と対応している。

#### (4) 14インチホイールの風孔部

高Si780鋼ホイールの疲労寿命( $1.3 \times 10^5$ 回)となる時間強度線を第11図の結果から求め、これを第13図(b)中に示す。今回の試験では風孔に疲労き裂は発生しなかったが、何らかの方法でハット部の疲労寿命を改善した場合、風孔KD裏側寄りで最初に疲労き裂が発生することが時間強度線図から推定される。

以上の(1)~(4)の結果をまとめると、以下のとおりである。

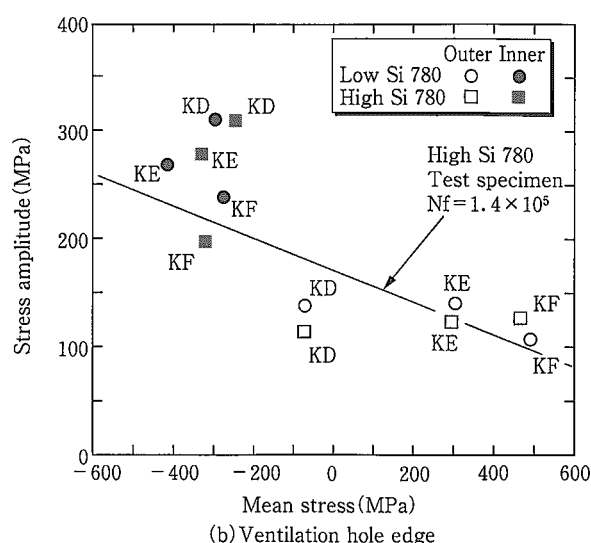
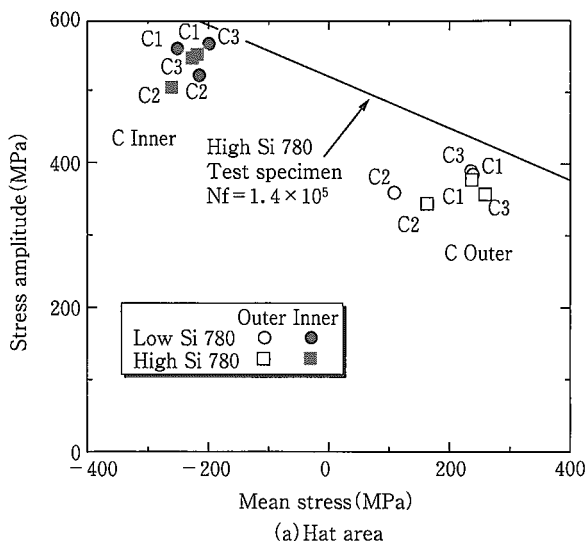
- ・一見等価に見える測定部位、例えば13インチホールハット部のB1とB2でも応力状態は異なっており、

このため各部位の疲労寿命が異なる。応力状態が異なるのはボルトやリムとの溶接部からの距離が異なることによると思われる。

- ・ハット部、風孔部ともそれぞれ疲労危険部と考えられる部位がいくつかある場合、応力状態を考慮した時間強度線図を用いて、最も危険な部位すなわち疲労寿命が最も短い部位の特定は可能である。

### 4-3 ホイールの疲労寿命の推定

前節で示した時間強度線図を用いて13インチおよび14インチホイールのハット部の疲労寿命の推定を行う。各時間強度線図上の応力状態のプロットのなかで最も危険側すなわち最も高応力側の点を通る時間強度線をひき、平均応



第13図 14インチホイールの時間強度線図  
Fig.13 Constant life diagram of 14 inch wheel



第5表 ホイールハット部の疲労寿命の推定値と実験値の比較  
Table 5 Comparison of estimated fatigue life of road wheel hat area to experimental one

		Fatigue life of hat area	
		Estimated	Experimental
13 inch wheel with polished ventilation hole	High Si 690	$3.0 \times 10^4$	$2.4 \times 10^5$
	High Si 780	$4.0 \times 10^5$	$4.1 \times 10^5$
14 inch wheel	Low Si 780	$1.2 \times 10^5$	$1.3 \times 10^5$
	High Si 780	$2.4 \times 10^5$	$1.4 \times 10^5$

力0の応力振幅を求める。その応力振幅での試験片の破断繰返し数を第10図より求め、これをハット部の疲労寿命の推定値とする。

推定値および比較としての実験値を第5表に示す。いずれの形状のホイールでも推定値と実験値との対応は良好でなく、ハット部の疲労寿命を定量的に推定することは難しいことがわかる。しかしながら各形状のホイールで鋼種間の疲労寿命の大小関係は一致している。

また風孔については、疲労き裂起点部の応力を直接評価できないため、本報では疲労寿命評価は行わなかったが、第11図に示したように13インチホイールに供試した2鋼種の試験片での破断繰返し数はほぼ等しいこと、第12図(b)に示したように応力状態が2鋼種でほぼ等しいこと、を考慮すると、風孔部の疲労寿命は両鋼種でほぼ等しいと推定できる。第3表に示したように高Si690通常ホイールと高Si780通常ホイールの疲労寿命はほぼ等しく、実験値と推定値は対応していることがわかる。したがって、本報で示した残留応力を考慮した疲労特性評価方法により、ホイールの疲労寿命を定量的に推定することは難しいが、鋼種間の疲労寿命の大小関係をほぼ推定することは可能と言える。

#### 4-4 ホイール用高強度材選択の考え方

第12, 13図に示した時間強度線図より、各部位の応力状態は鋼種によってあまり変わらないことがわかる。これは、3-2-2項で述べたように、本報の供試材の範囲では鋼

種間の残留応力の相違が小さかったことによる。第2表に示したように鋼種間の0.2%耐力の相違が大きいにも関わらず残留応力の相違が小さいのは、プレス成形によりハット部では降伏点を越えて強加工されたためと考えられる。風孔部の残留応力についても同様と考えられる。

前節で述べたようにホイール各部位の疲労寿命の大小関係が残留応力と試験片の疲労寿命からほぼ推定できることを考慮すると、ホイール各部位の疲労寿命の大小関係は試験片の疲労寿命の大小関係にほぼ対応していることになる。したがって引張強度がほぼ等しい材料のなかから材料を選択する場合には、残留応力は鋼種に強く依存しないことを考慮し、試験片の疲労寿命が長い材料を選択すればよいことがわかる。

## 5. 結 言

試作した690MPa級および780MPa級ホイールの疲労試験および応力測定を行い、その結果をもとにホイール各部位の疲労特性評価を試みた。その結果、

- (1) 疲労試験時の繰返し応力振幅および残留応力等の平均応力を考慮した時間強度線図を用いることにより、高強度ホイールの疲労危険部を推定することができること、
  - (2) 一方、疲労寿命を定量的に推定することは難しいが、鋼種間の疲労寿命の大小関係を推定することは可能であること、
- が明らかになった。



栗田真人/Masato Kurita

総合技術研究所  
基盤技術研究部 副主任研究員

(問合せ先：06(489)5733)

## 参考文献

- 1) 水井正也, 池永則夫: 自動車技術会論文集, 24-1(1993), p. 56
- 2) P.C.Makin, B.G.Wilson, J.G.Williams, J.Szalla and R.M.Hobbs: 12th Bienn. Congra. Int. Deep Drawing Res. Group, 1(1982), p. 319
- 3) 栗田真人, 外山和男: 住友金属, 45-5(1993), p. 20
- 4) 町田功, 成田正幸, 呉浦良太: 自動車技術, 49-5(1995), p. 19
- 5) 栗田真人, 小松原望, 浅野清純, 佐野勝, 中澤嘉明, 山本三幸: 自動車技術会学術講演前刷集, 961(1996), p. 327
- 6) 田中健一, 石原広一郎, 小松英雄: 住友金属, 39(1987), p. 325
- 7) 例えば, J.A.Graham et al.: Fatigue Design Handbook (1968), p. 28, SAE Inc.