

岐阜大学工学部

岐阜県警科学捜査研究所

岐阜大大学院 (現トヨタ自動車(株))

正 長谷川 典彦

正 ○福 山 邦 男

西 川 裕 司

1. 緒 言

オーステンパ処理によって基地組織をベイネチックフェライトと残留オーステナイトの複合組織としたオーステンパ球状黒鉛鑄鉄(ADI)が、従来の球状黒鉛鑄鉄と比較して高強度・高靱性の鑄鉄として自動車部品をはじめ各種構造用材料として注目され、それに伴って、ADIの疲労強度信頼性の評価に関する基礎データの集積が急務とされている。最近では、ADIに関して、疲労強度に対する基地組織や黒鉛、介在物などの微小欠陥の影響等の研究⁽¹⁾⁻⁽²⁾について報告されているが、疲労強度、疲労寿命の統計的な立場からの研究⁽³⁾や中高温域における疲労特性についての研究は比較的少ないようである。

そこで、本研究では、ADIの室温における疲労強度、疲労寿命の統計的性質および室温から400℃までの温度範囲における中高温疲労特性について調べ、さらに、村上ら⁽⁴⁾の $\sqrt{\text{area}}$ パラメータモデルを用いた疲労限度予測式のADIへの適合性についても検討した。

2. 実験材料および実験方法

供試材は、鑄造Yブロックからブロック形状で切り出されて提供された物(ADI-1)と鑄造Yブロックの底部から丸棒に加工されて提供された物(ADI-2)の2種類で、それぞれ入手時期によって若干化学組成は異なっているが、ほぼ同一規格のFCD900A相当のオーステンパ球状黒鉛鑄鉄(HMS90BA)である。ADI-1材の組織写真をFig.1に示す。

室温における疲労試験には、ADI-1を、中高温の疲労試験には、ADI-2の材料を使用した。室温の疲労試験に用いる試験片は、Fig.2に示すように鑄造Yブロックの上下の位置から切り出した後、Fig.3の形状寸法に機械加工された。また、中高温の疲労試験に用いる試験片は、ADI-2材の丸棒をFig.3の形状寸法に機械加工された。その後、試験部をエメリー紙で研摩し、最終的にアルミナ水溶液を用いてパフ研摩して鏡面に仕上げた。

供試材の化学成分と機械的性質をそれぞれ、Table 1およびTable 2に示す。

疲労試験は、小野式回転曲げ疲労試験機(繰返し速度:約60Hz,容量:98N・m)を用い、室温および200℃,30

0℃,350℃および400℃の各温度において大気中で実施された。なお、室温における疲労試験では、疲労過程中的表面き裂の進展挙動をレプリカ法によって観察し、さらに、破断後の破面をSEMで観察した。

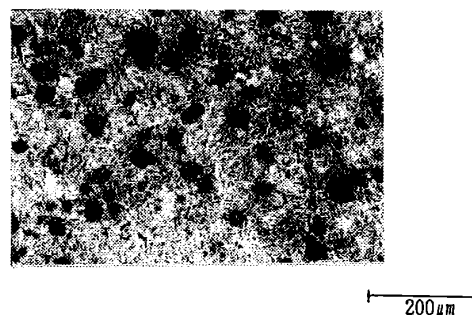


Fig.1 Microstructure of ADI-1

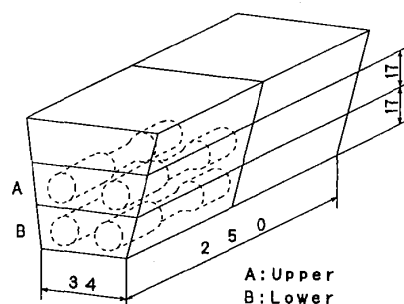


Fig.2 Slicing location of specimens

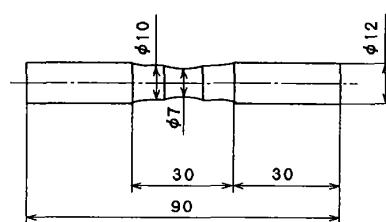


Fig.3 Specimen configuration

Table 1 Chemical compositions (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cu
ADI-1	0.61	2.09	0.35	0.016	0.007	0.037	0.66
ADI-2	0.66	2.12	0.31	0.026	0.013	0.037	0.58

Table 2 Mechanical properties

	Tensile strength σ_b (MPa)	Elongation δ (%)
ADI-1	902	8.3
ADI-2	1019	13.5

3. 実験結果および考察

3.1 室温におけるS-N特性

ADI-1材の室温における応力振幅 σ_a と破断繰返し数 N との関係をFig.4に示す。なお、図中に引いたS-N曲線の傾斜部は最小自乗法で疲労限度（破壊確率50%）は、重み付きプロビット法で求めたものである。S-N曲線は試験片採取位置によらず 10^6 回付近で折れ曲がりを示し、疲労限度も同程度の値を示している。疲労寿命のばらつきは、上部材、下部材ともに疲労限度に近づく程大きくなり、折れ曲がり点より短い寿命で破断するものも多く見られる。しかし、下部材の折れ曲がり点は、上部材より長寿命側にある。

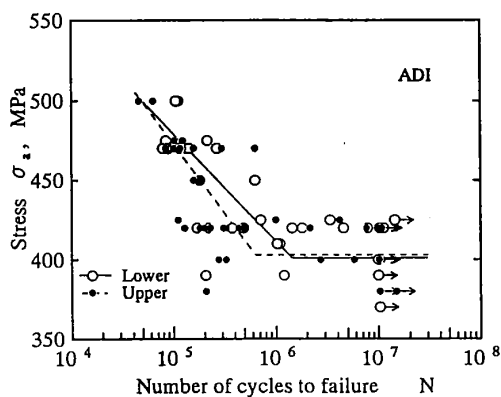


Fig. 4 S-N curves (Room temperature)

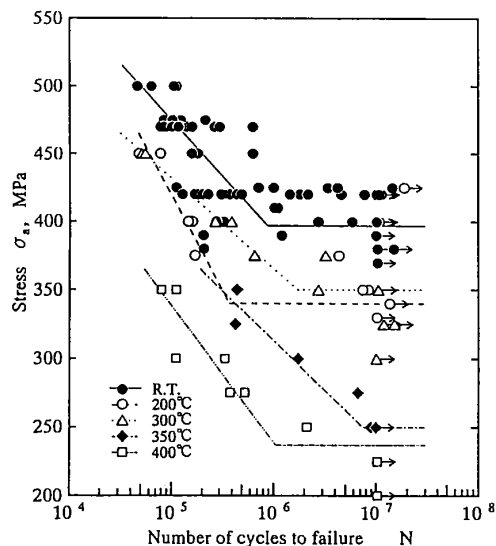


Fig. 5 S-N curves (Elevated temperatures)

Table 3 Fatigue limits (MPa)

	R. T.	200°C	300°C	350°C	400°C
σ_w	397	340	350	250	237

R. T.: Room temperature

3.2 中高温におけるS-N特性

ADI材の中高温(200°C, 300°C, 350°Cおよび400°C)におけるS-N関係をFig.5に示す。図には、Fig.4のADI-1材の試験片採取位置を区別せずに求めた室温のS-N関係も併記してある。目視で求めたADI-2材の中高温における疲労限度とADI-1材の室温の試験片採取位置を区別せずに重み付きプロビット法で求めた疲労限度の値をTable3に示す。

Fig.6に疲労限度 σ_w と試験温度 t との関係を示す。

なお、比較のため、加藤⁽⁶⁾のフェライト基地球状黒鉛铸铁FCD45の結果も併記する。加藤らは、このFCD45について、炭素鋼のような鋭い極大は認められないものの、ひずみ時効が無いと仮定した場合の σ_w - t 曲線との関係から、350°C付近における疲労限度の上昇に繰返しひずみ時効の寄与が存在するとしているが、本研究におけるADI材でも、300°C付近において疲労限度に類似の極大現象が認められる。

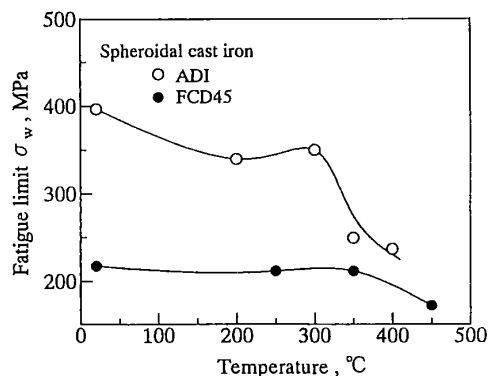


Fig. 6 σ_w - t curves

3.3 疲労限度予測式の検討

球状黒鉛铸铁は、組織中に微小欠陥として、疲労強度に影響する球状黒鉛を多数含んでいるため、通常、その疲労限度は同じ基体組織の鋼よりかなり低い。村上らは、任意の形状をした微小表面欠陥、またはき裂を含む金属の疲労限度を予測する次式を提案している。

$$\sigma_w = 1.43 (H_v + 120) (\sqrt{\text{area}})^{-1/6}$$

ここで、 σ_w (MPa) は疲労限度であり、 H_v はビッカース硬さ、 $\sqrt{\text{area}}$ (μm) は最大引張応力に垂直な面に投影した欠陥、もしくはき裂の面積の平方根として定義されている。そこで、本実験材料のADI材および前報⁽⁶⁾で疲労限度の実験値が得られているパーライト基地球状黒鉛铸铁PDI材について、村上らの式で疲労限度を予測し、実験値との比較を行った。ただし、本研究においては、基体組織の硬さや介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の値は、測

定データの平均値を使い、微小欠陥は、組織中に存在する球状黒鉛だけに限定して、村上らの提案する極地統計を利用した介在物評価法によって黒鉛の $\sqrt{\text{area}_{\max}}$ を求めた。なお、PDIおよびADIの基地組織のビッカース硬さの平均値は、それぞれ、306および342であった。

Fig. 7 は極値確率紙における ADI材の最大黒鉛の分布状態であり、 $\sqrt{\text{area}_{\max}}$ は直線上に分布し、2重指数分布に従っている。PDI材の図は省略するが、ADI材同様の傾向を示した。この手法によって算出された疲労限度の予測値、および実験値を Table 4に示す。PDI材の予測値は、ほぼ実験値と一致しているが、ADI材のそれは、実験値よりかなり低い値となり、予測値と実験値の比は、0.786 であった。PDI材では実験値にほぼ等しい予測値が得られたにもかかわらず、ADI材の予測値が実験値よりも低く見積もられたことは、ADI材の疲労き裂の発生源がPDI材の場合と異なり、介在物として想定した黒鉛より大きな $\sqrt{\text{area}_{\max}}$ を持つもの、例えば引け巣(Micro-shrinkage)等から発生していることを示唆している。詳細は、現在、調査中である。

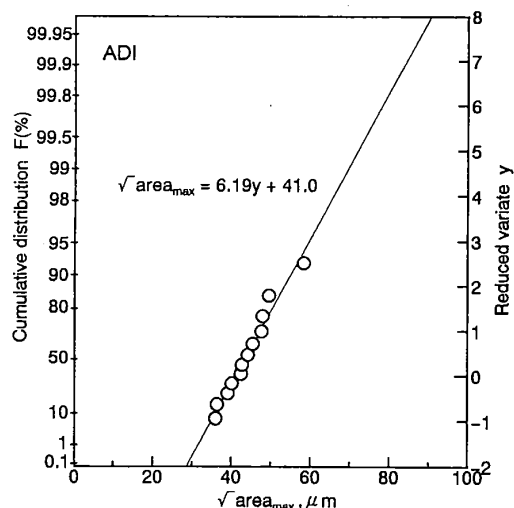


Fig. 7 $\sqrt{\text{area}_{\max}}$ distribution of ADI

Table 4 Experimental and estimated values

	Experimental value (MPa)	Estimated value (MPa)
PDI	286	303
ADI	397	312

3.4 破壊起点のSEM観察

Fig. 8 は、ADI材の破壊起点近傍のSEM観察像である。前報⁽⁶⁾のPDI材の場合の破壊起点の多くは黒鉛であったが、図に示すように ADI材の場合は引け巣 (Micro-shrinkage)を破壊起点とするものがほとんどであった。

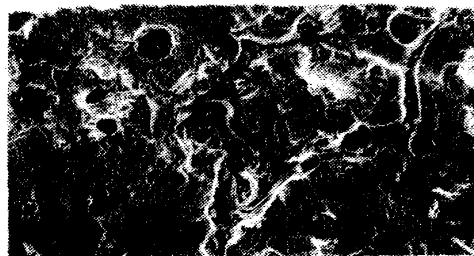


Fig. 8 Example of fracture origin (ADI)

4. 結 言

ADI材を用いて、室温および中高温における回転曲げ疲労試験を行い、ADI材の室温から400℃までの温度範囲における中高温疲労特性について調べ、さらに、村上らの $\sqrt{\text{area}}$ パラメータモデルを用いた疲労限度予測式への ADI材の適合性について検討したところ、以下の結果を得た。

(1) ADI材の casting Yブロックにおいて、試験片採取位置による疲労限度の差は認められない。

(2) ADI材の 300℃付近において疲労限度の極大現象が認められた。

(3) 破壊起点を黒鉛とした疲労限度の予測は、PDI材の場合、実験値とほぼ等しい予測値が得られたが、ADI材の場合は実験値の約79%の低い予測値となった。

(4) PDI材の破壊起点の多くは、黒鉛であったが、ADI材の場合は引け巣(Micro-shrinkage)を破壊起点とするものがほとんどであった。

最後に、供試材の提供を頂きました日立金属(株)九州工場に心より感謝申し上げます。また、卒業研究として本実験に協力された岐阜大学工学部学生、浅岡淳一君に対し、深く感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 鈴木・他3名, 機論, 50-451, A(1984), 520.
- (2) 中村・他3名, 機論, 58-555, A(1992), 2046.
- (2) 土居・ほか4名, 機論, 56-531, A(1990), 2205.
- (3) 矢野, 機論, 52-481, A(1986), 210.
- (4) 村上・遠藤, 材料, 35-395(1986), 911.
- (5) 加藤・他2名, 機論, 52-480, A(1986), 1786.
- (6) 福山・他2名, 機講論, No. 930-9, (1993), 762.