

6.2 金型鑄造鑄鉄の疲労特性について

On the Fatigue Characteristics of Cast Iron in Metal Mold

河合 真 樋尾勝也 寺本嘉夫
Makoto Kawai Katsuya Hio Yoshio Teramoto

1. 結 言

金型鑄造鑄鉄は砂型材に比べて、冷却速度が速く組織が微細となり、優れた特性があることが知られている。構造材料として使用される場合、最も重要な疲労特性については資料が少ないものの、黒鉛が微細となることで疲労強度と静的引張強度の比が高くなることが報告されている。1) 2)

そこで、本研究では、従来から行われている鑄鉄金型を使った場合と、熱伝導率が高い銅合金金型を使った場合の金型鑄造鑄鉄の疲労強度と疲労亀裂進展速度を測定し、組織の微細な金型鑄造鑄鉄の疲労特性について調査した。

2. 実験方法

2.1 供試材

実験に使った材料は表1、表2に示す化学組成のねずみ鑄鉄（以下FC材と記す）と球状黒鉛鑄鉄（以下FC D材と記す）で、FC材は表1の化学組成の溶湯を表3に示す20φ、25φ肉厚22mmのYブロックの3種類の金型形状に鑄込んだもので、FC D材は表2に示す化学組成ですべて肉厚22mmのYブロックに鑄込んだものである。鑄造後、窒素雰囲気中で1173K、7.2ks保持後炉冷の焼純を行い、機械加工して試験に供した。

FC材の場合、表3に示すように、それぞれの金型に鑄込まれた場合の引張強さは金型形状による熱容量の差から20φ、25φ丸棒とYブロックではかなり異なる。顕微鏡組織を図1に示すが、金型形状による冷却速度の違いから、CB、CF、CHの順に微細となっている。

表1 FC材の化学組成 (%)

C	Si	Mn	P	S	Ti
3.34	2.58	0.90	0.049	0.021	0.088

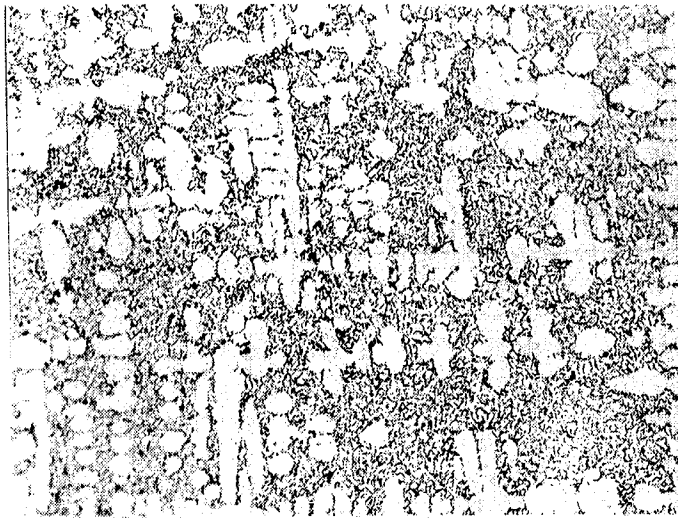
表2 FCD材の化学組成

金型材の種類		化学組成 (%)					
銅合金	鑄鉄材	C	Si	Mn	P	S	Mg
DA	DJ	3.50	3.49	0.37	0.055	0.012	0.034
DB	DK	3.46	2.84	0.38	0.042	0.012	0.033
DC	DL	3.50	2.21	0.35	0.054	0.015	0.031
DX	—	3.44	2.65	0.25	0.014	0.017	0.022

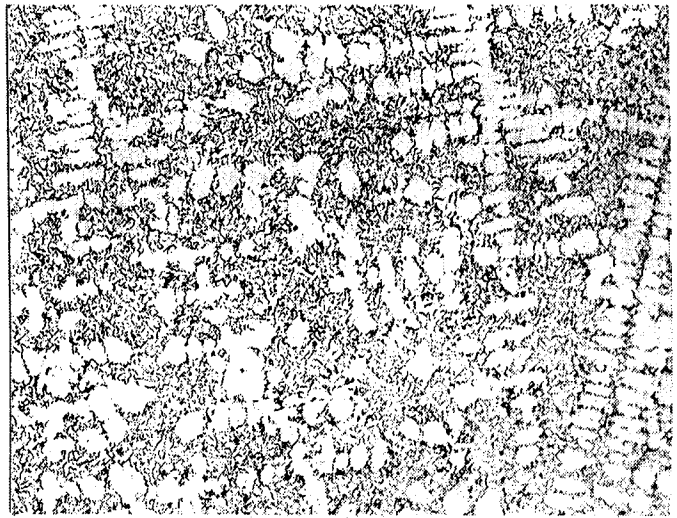
表3 FC材の試験片採取方法及びその引張強さ

記号	金 型		引張強さ (MPa)	硬 さ (HB)
	材質	形 状		
CH	銅	φ20丸棒	366	180
CJ	鑄鉄		348	177
CF	銅	φ25丸棒	362	174
CB	銅	共同研究用	283	147
CD	鑄鉄	Yブロック	237	136

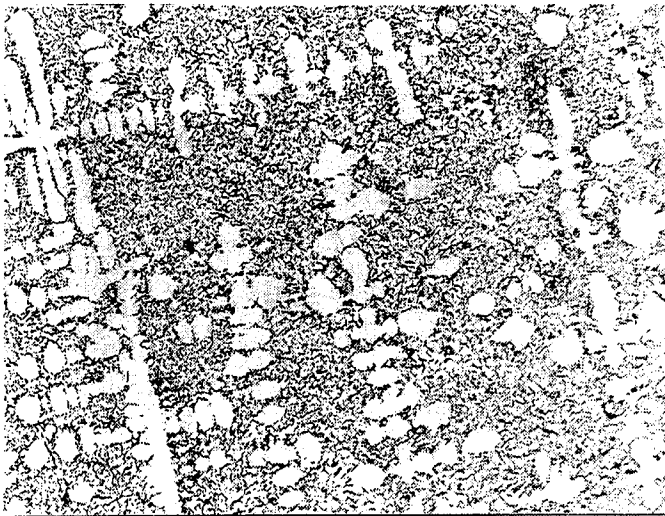
一方、FCD材は表2に示すように、Cが3.5%と一定でSi量を変化させて、銅合金金型と鑄鉄金型へ鑄込んだものと亀裂進展速度を測定するのに使用した銅合金に鑄込んだ記号DXで、基地組織はすべてフェライト地で黒鉛粒径が多少異なる。機械的性質と平均黒鉛粒径を表4に示すが、Si含有量の影響から基地のフェライトの強度が異なり、Si含有量が多いほど引張強さは高く、硬さも増し、同様に黒鉛粒径も小さい。



CH

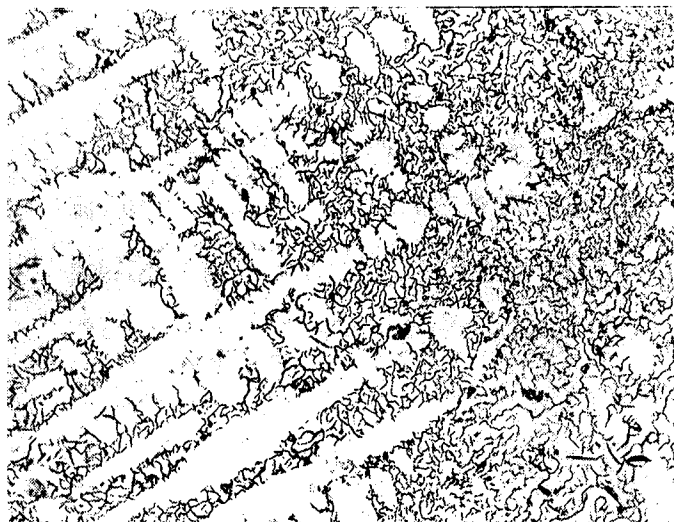


CJ

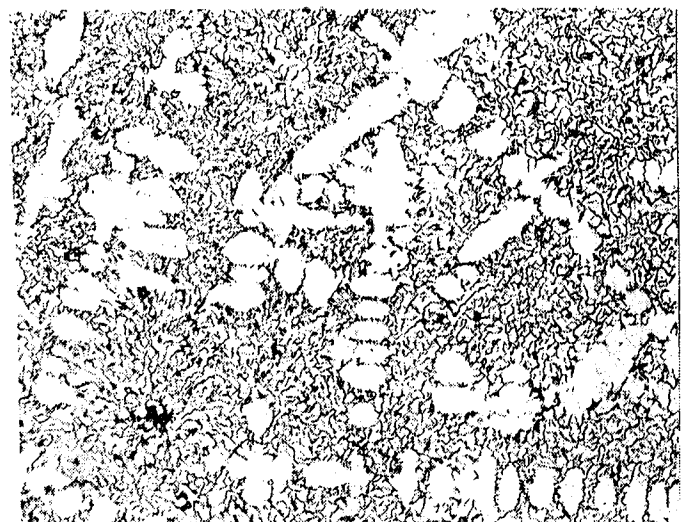


CF

100 μ m



CB



CD

図1 FC材の顕微鏡組織

表4 FCD材の機械的性質

金 型	記号	耐 力 (MP a)	引張強さ (MP a)	伸 び (%)	硬 さ (HB)
銅 合 金	DA	411	525	15.7	184
	DB	338	463	13.7	162
	DC	284	415	12.3	147
	DX	288	431	14.6	145
鑄 鉄 材	DJ	410	512	9.6	186
	DK	338	456	13.4	163
	DL	280	411	15.1	147

2.2 試験片及び試験

条件

試験は図2に示す丸棒平滑材によるS-N曲線の測定と図3に示すコンパクトテンション試験片(以下CT試験片と記す)

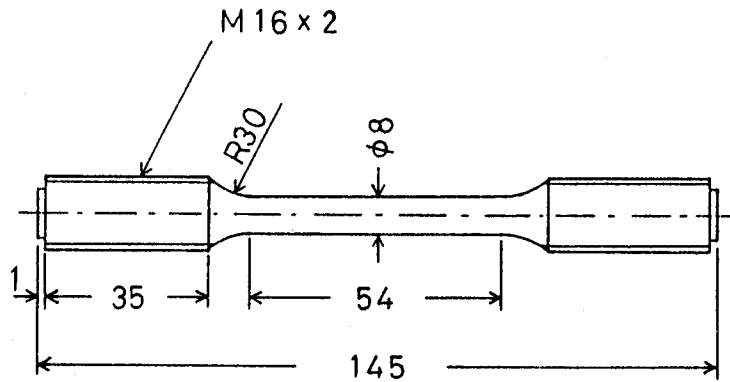


図2 平滑試験片の形状

を使ってASTME647に準拠した疲労亀裂進展速度の測定を行なった。

どちらの試験とも、容量980kNの電気油圧式疲労試験機を使って、試験波形は正弦波、応力比(R=0.1)の片振り(引張-引張)で25Hzの繰り返し速度で疲労試験を行った。丸棒平滑材での疲労寿命は試験片が破断するまでの繰り返し数とし、疲労亀裂野進展速度の測定は、図3に示すCT試験片に予め切欠き端から約3mmの予亀裂を入れ、亀裂進展方向へクラックゲージを貼って亀裂の長さを測定し、亀裂が進展するのに要した繰り返し数で除して亀裂進展速度(da/dN)とした。

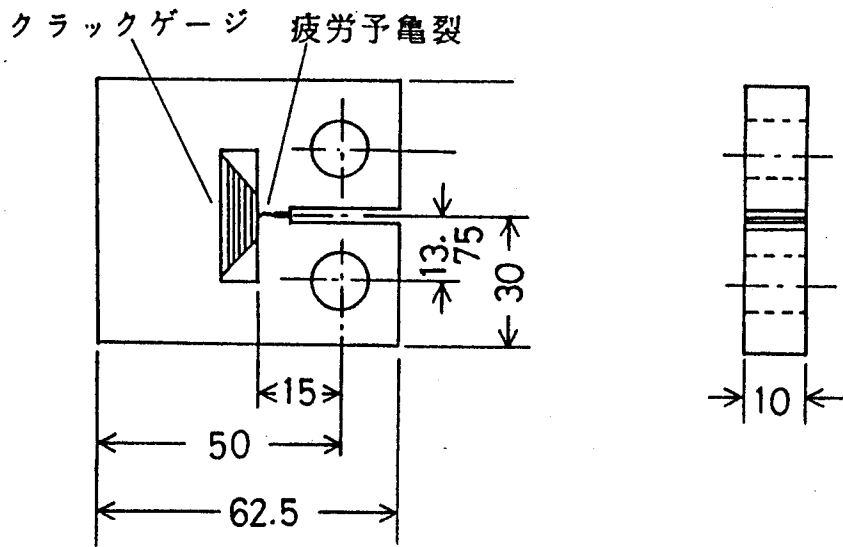


図3 CT試験片の形状

3. 実験結果

3.1 FC材のS-N曲線

FC材のS-N曲線を図4に示す。銅合金金型のCH、CF、CBはそれぞれ図に示すようなS-N曲線となり、組織的に微細な $20\phi > 25\phi > Y$ ブロックの順に疲労強度は高い。

また、疲労限は $180 \sim 200 \text{ MPa}$ となっており、静的引張強さとの比(疲労限度比)は約 $0.55 \sim 0.64$ となった。さらに、鑄鉄金型のCJ(20ϕ)の値は銅合金金型のCH(20ϕ)とほとんど変わらない。

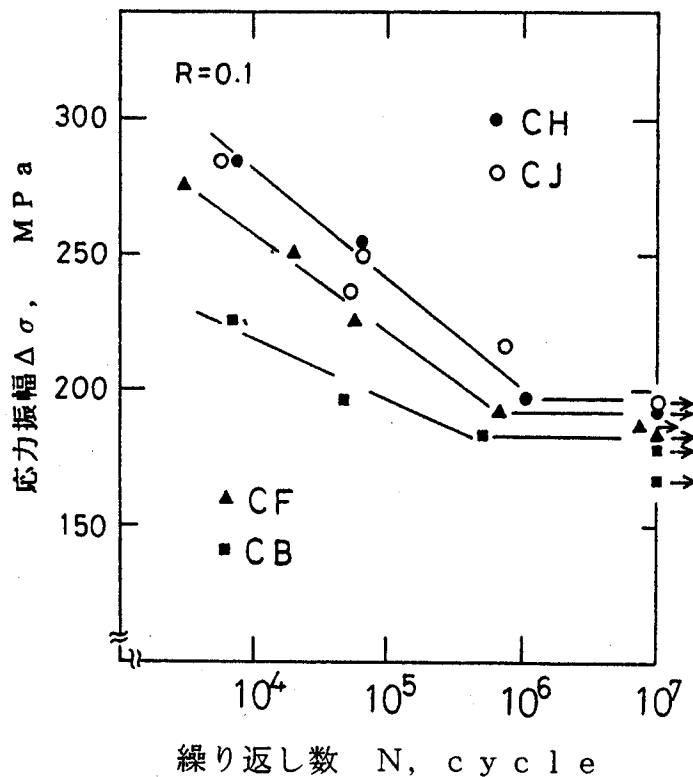


図4 FC材のS-N曲線

この結果、FC材の場合、同一組成でも冷却速度が速くて組織が微細なほど疲労強度は上昇し、静的引張強さとの比が約 0.6 という優れた特性があることがわかった。なお、銅合金金型と鑄鉄金型との差は 20ϕ 丸棒では認められず、金型材の熱伝導率による優位性は認められない。

3.2 FCD材のS-N曲線

FCD材のS-N曲線を図5に示す。

同一組織のDAとDJ、DBとDK、DCとDLはほとんど同じ疲労強度を示し、金型材料の影響は認められない。また、疲労限はそれぞれの静的引張強さに応じて246~330MPaの値となり、疲労限度比はほぼ3種類の材料とも約0.6であった。

この結果、新美らのデータ¹⁾ではフェライト地の砂型铸造品(黒鉛粒径30 μ m以上)では疲労限度比は約0.5であるのに対して、黒鉛粒径がさらに微細で化学組成の近い今回の供試材のCB(黒鉛粒径10.4 μ m)では0.61となり、黒鉛粒径が微細であるほど疲労強度に対しては有利であることが明確となった。

3.3 FC材の疲労亀裂進展速度

金型铸造したFC材の疲労亀裂進展速度 da/dN と応力拡大係数範囲 ΔK との関係を図6に示す。

他の金属材料と同じ挙動を示すが、下限界応力拡大係数範囲 ΔK_{th} はCB、CDとも約6M

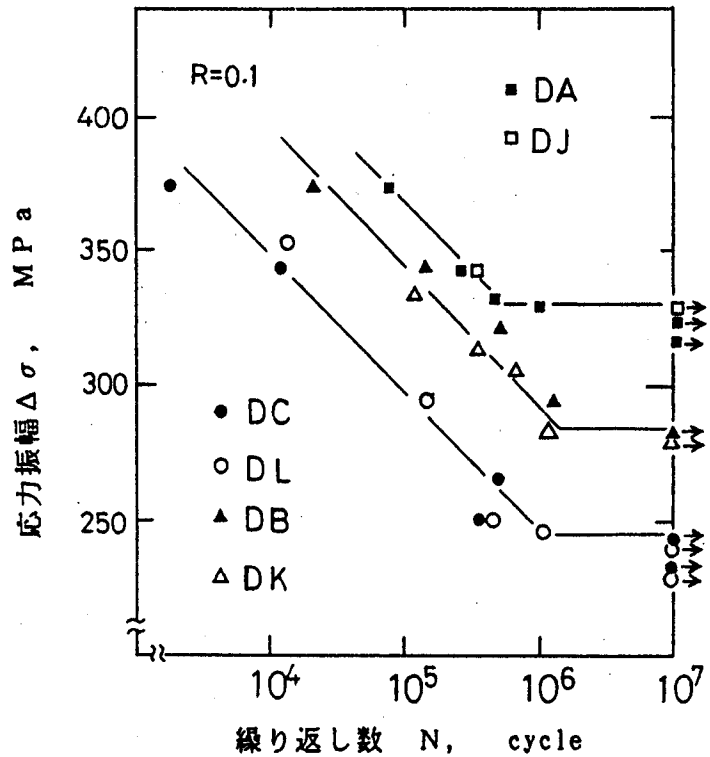


図5 FCD材のS-N曲線

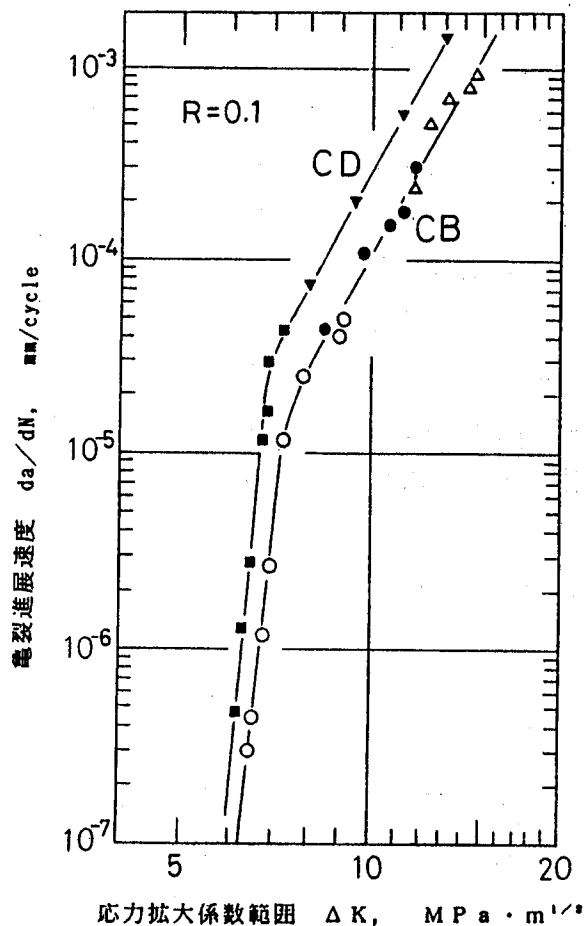


図6 FC材の da/dN と ΔK の関係

$Pa \cdot m^{1/2}$ と小さい値となっており、亀裂進展に対する抵抗力は小さい。

また、同一組成で金型材が異なるCBとCDでは、鑄鉄金型に鑄込んだCDの方が da/dN は速いことが明らかとなった。

このことから、微細なD型黒鉛ではあるが黒鉛が疲労亀裂の進展を促進し、金型材の熱伝導率の違いから派生すると思われるわずかな黒鉛および基地組織の変化が疲労亀裂進展速度には影響するものと考えられる。

3.4 FCD材の疲労亀裂進展速度

FCD材の da/dN と ΔK の関係を図7に示す。

ΔK_{th} は $9.9 MPa \cdot m^{1/2}$ となり、砂型鑄造材(フェライト地)のデータ²⁾

11.8よりやや小さく、フェライト地の球状黒鉛鑄鉄では黒鉛粒径が小さいほど、低応力側での亀裂進展に対する抵抗力は小さい。

いっぽう、図7で ΔK が $12 MPa \cdot m^{1/2}$ 以上の第2段階の領域では、 da/dN と ΔK は両対数グラフで直線となり、 $da/dN = C(\Delta K)^m$ の式が成り立ち、本研究で使用した金型鑄造鑄鉄(フェライト地)では $m = 5.4$ となった。

3.5 破面観察

亀裂進展速度を求めた試験片の破面を観察した。この結果を図8、図9に示す。

図8にはFC材の疲労破面を示すが、全体として微細なD型黒鉛相を横断して亀裂が進展していっ

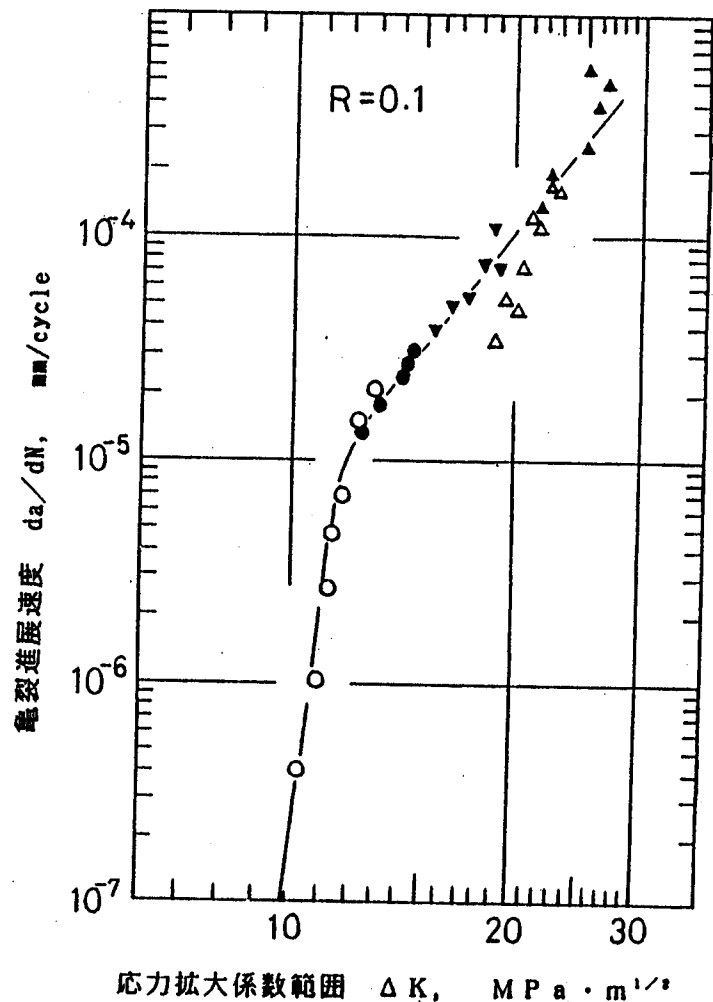
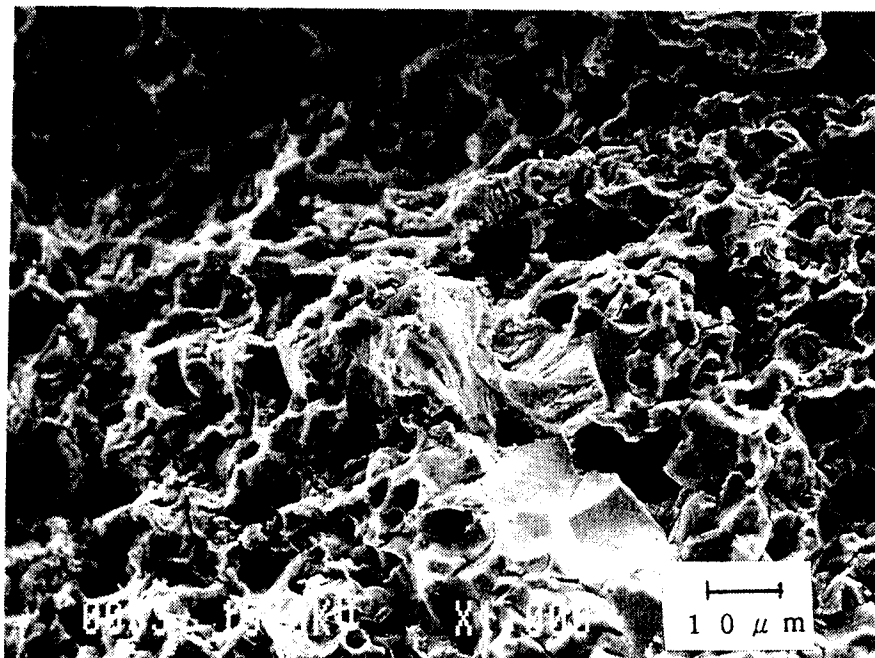
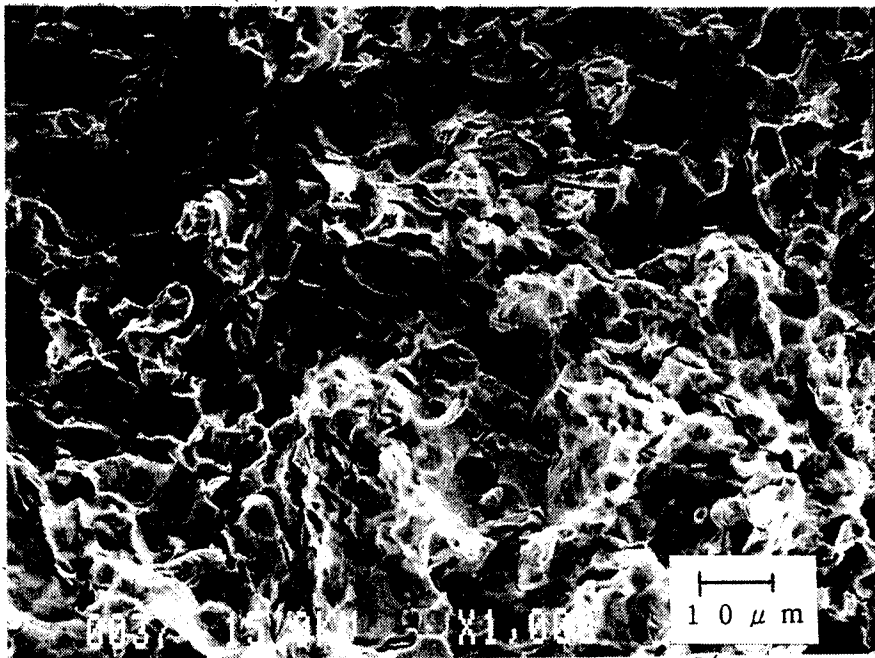


図7 FCD材の da/dN と K の関係



(A) $\Delta K = 6.9 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$



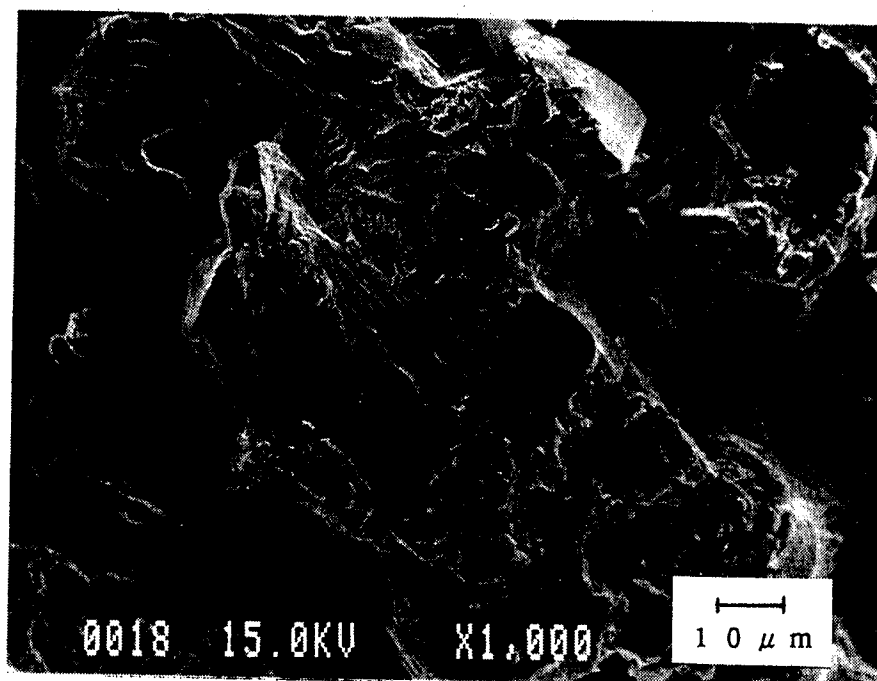
(B) $\Delta K = 11.6 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$

図8 FC材の疲労破面

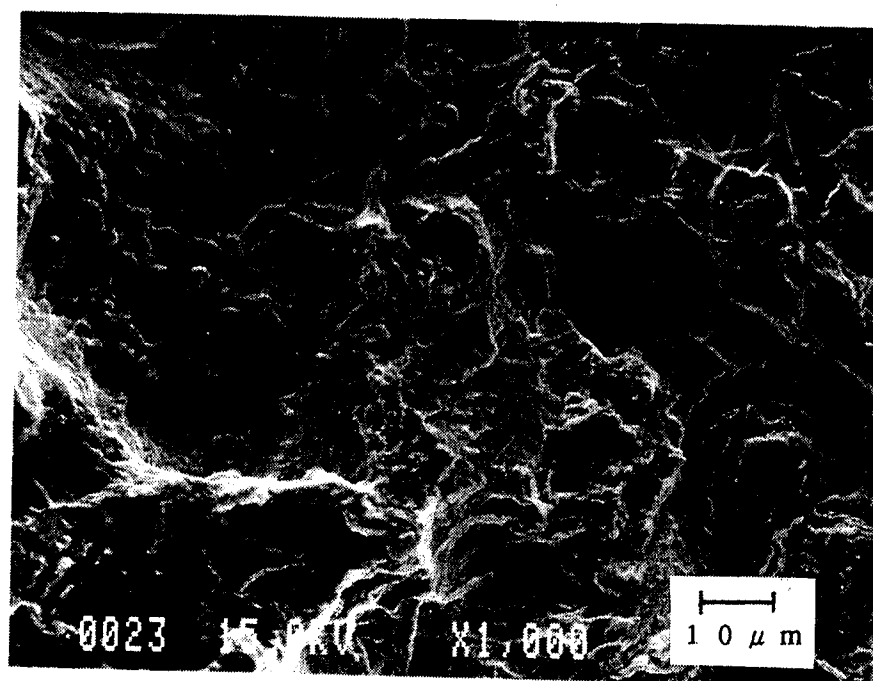
たような凹凸のある破面形態で、その所々に平坦な部分が見られる。

この平坦な部分は一次デンドライト相の黒鉛のないフェライト相を横切ったところと考えられる。破面形態は、図8(A)(B)を比較しても ΔK の値による変化は認められない。

いっぽう、図9に示すFCD材の場合には、亀裂が黒鉛を選択的に縫うように進展するため、破面でも黒鉛は破壊されずに残存しており、マトリックスは写真に示すような延性的な凹凸のある部分と平坦な部分が存在し、亀裂の発生部及び低 ΔK 領域で平坦な部分が多く ΔK が大きくなるほど延性的な部分が増加する。



(A) $\Delta K = 12.4 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$



(B) $\Delta K = 26.3 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$

図9 FCD材の疲労破面

このことから、平坦な部分は繰り返しすべり変形による粒内破面で、延性的な部分は最大引張応力に垂直な延性破面を示していると考えられる。また、延性的な部分には、図10に示すような疲労破面特有のストライエーションも認められた。

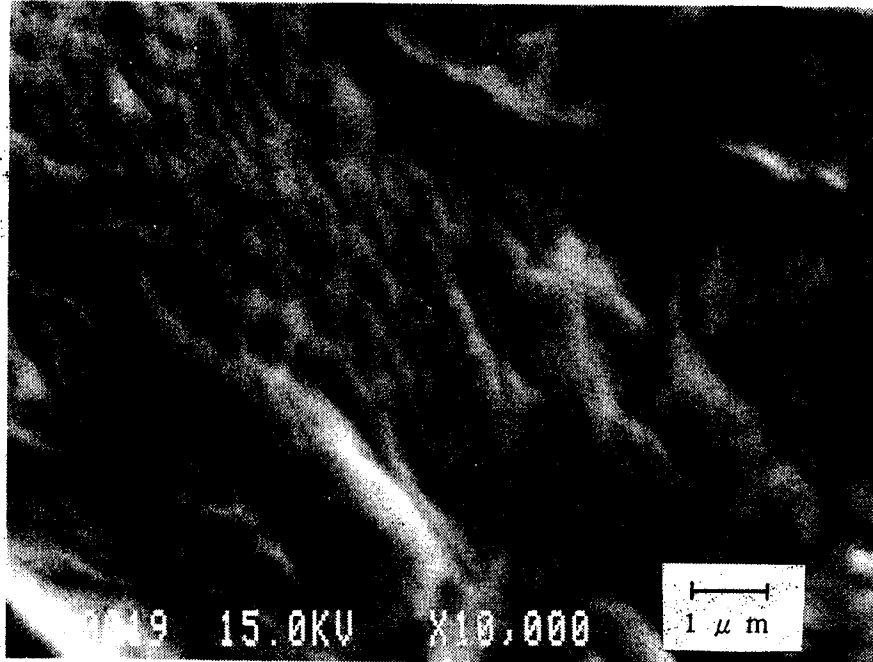


図10 FCD材の疲労破面

[図9(A)の中心部拡大]

4. 結 論

銅合金金型と鋳鉄金型に鋳込まれたFC材およびFCD材について、疲労強度と疲労亀裂進展速度を求めた結果、次の事柄が明らかとなった。

- (1) FC材の疲労強度には、同一組成でも金型形状が異なり冷却速度が異なることによる肉厚感受性が影響し、組織が微細なほど疲労強度は上昇する。
- (2) FCD材では、黒鉛粒径が微細なほど疲労強度特性は良好になることが明確となった。しかし、金型材の影響は認められなかった。
- (3) 疲労亀裂進展速度の結果でも、FC材は金型材の違いで差があることが判明した。
- (4) 破面観察の結果では、FC材では ΔK による破面形態の差は認められないが、FCD材では ΔK が大きくなるほど延性的な破面形態となることがわかった。

参考文献

- 1) 新美格、大橋正昭他：鑄物，43(1971)，2，101
- 2) 西尾敏幸他：鑄物，第111回全国講演大会概要集(1987)，22
- 3) 木村與司雄、彦坂武夫：鑄物協會東海支部金型鑄造研究部会

資料No.70-248

- 4) 竹内貞雄、吉村浩：61(1989)，4，246