

片状黒鉛鑄鉄基地部の各種破壊形態における微視的破面様相[†]

山中光一* 大岸秀之** 奥保政***

The Microscopic Appearance of Fracture Surface of Each Failure Modes in the Matrix on Gray Cast Iron

by

Koichi YAMANAKA^{*}, Hideyuki OGIISHI^{**} and Yasumasa OKU^{***}

Fracture surface observations were enforced after cyclic bending fatigue test, three point bending test and impact test. It was confirmed that striation pattern, dimple pattern and cleavage was formed on each fracture surfaces. These patterns corresponded with each failure modes. Pearlite phase was only observed on fatigue fracture surface. These obtained data will be applicable to compare to the fracture surface, when the machine part made in gray cast iron was damaged. Because the crack occurred on gray cast iron is apt to propagate along it due to stress concentration and stress intensity factor increase in the graphite, that is why if some pattern was formed on the fracture surface of machine part, but it is difficult to judge whether actual failure mode is suggested due to its pattern or not.

Key words : Gray cast iron, Fracture surface, Microscopic appearance, Matrix, Failure mode, Cleavage, Striation pattern, Dimple pattern, Pearlite phase

1 緒 言

片状黒鉛鑄鉄は、片状黒鉛自身の潤滑性およびその脱油後の油溜め効果等の特性¹⁾に伴う耐摩耗性と大きな固有減衰能(制振性能)²⁾を主に有しているため、これらの特性を活用できるさまざまな機械部品に利用されている。片状黒鉛鑄鉄で製造された機械部品が破壊した場合、破面観察等による損傷解析を実施することになるが、片状黒鉛鑄鉄では片状黒鉛先端の応力集中等に伴い、これに沿ってき裂が伝播することが非常に多い。特に、き裂先端での応力拡大係数が高い場合に顕著とされている。³⁾仮に、実機の破面上に何らかの模様が形成されていたとしても、上記の応力集中による見掛け上の応力増大やそれに伴う応力拡大係数の増大等で実際の破壊形態とは異なった模様が形成されている可能性がある。そのため、一般的な鉄鋼材料のように破面様相から破壊形態を推定することが難しい。そこで、実機での機械部品損傷に対する破壊形態の比較用資料として適用すべく、低、中、高繰返し曲げ応力下での各疲労試験(繰返し負荷)、3点曲げ試験(静的過負荷)および衝撃試験(動的過負荷)を実施し、各試験後の破面(各破壊形態)における基地部の微視的様相を観察することで、これらの負荷が片状黒鉛鑄鉄に作用した場合、どのような様相を呈するのかあるいはどのような模様が形成されるのかを確認した。

2 供試材および金属組織

本試験では、熱処理や金属組織等がほぼ把握できている鉄道車両用ブレーキディスク実体を用い、これから各試験に必要な試験片を採取した。ブレーキディスク材は、JIS-FC300に近い強度(0.2%耐力:200MPa程度)を有するものである。熱処理として、600°C前後の温度で3~4時間(保持)程度の応力除去焼なましを実施している。Fig. 1は、ブレーキディスク材の金属組織を示したものである。基地部では、層間隔が粗いパーライト相や細かいパーライト相が混在した様相を呈しているが、遊離したフェライト相は認められず、A型⁴⁾の標準的な形状を有した片状黒鉛が晶出していることが分かる。

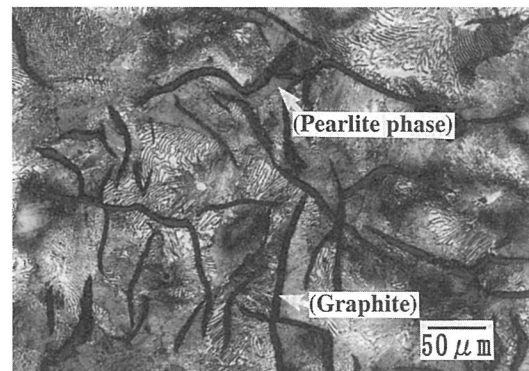


Fig. 1. The microstructure of the gray cast iron used for each tests.

[†] 原稿受理 平成 15 年 5 月 14 日 Received May 14, 2003

* 正 会 員 川重テクノサービス(株)基礎技術事業部 〒673-0014 明石市川崎町, Analysis, Testing and Eng. Division, Kawajuu Techno Service Corporation, Kawasaki-cho, Akashi, 673-0014

** 川崎重工工業株技術研究所 〒673-0014 明石市川崎町, Technical Inst., Kawasaki Heavy Industries Ltd., Kawasaki-cho, Akashi, 673-0014

*** 川崎重工工業株車両カンパニー 〒652-0884 神戸市兵庫区和田山通, Rolling Stock Company, Kawasaki Heavy Industries Ltd., Hyogo-ku, Kobe, 652-0884

3 試験片形状, 試験条件および結果

3・1 疲労試験

Fig. 2 は, 平面曲げ疲労試験片の形状および寸法を示したものである. 試験は, 東京衡機製シェンク式曲げねじり疲労試験機を用い, 応力比 = 0 (完全片振り), 周波数 = 60Hz, 室温にて実施した. 供試された片状黒鉛鋳鉄材の応力比 = -1 の条件下での疲労強度は 94MPa⁵⁾ であるため, 完全片振りの条件で 65MPa 程度と予想される. また, 本試験の前に予備試験を実施し, 簡単な S-N 線図を得て確認した上で本試験での繰返し負荷 (曲げ応力振幅) を決定することにした. なお, 応力が 0.2% 耐力を大きく超えると, 条件面で過負荷と変わらなくなるため, これを上限とした. その結果, 負荷は 0.2% 耐力に相当する 98MPa, 疲労限度付近の 69MPa およびそれらの中間値である 83MPa とした. Table I は, 本試験の結果を示したものである.

3・2 3点曲げ試験

Fig. 3 は, 3点曲げ試験片の形状および寸法を示したものである. プレーキディスク実体から, JIS ハンドブックに記載されている抗折試験片⁶⁾を採取することができなかったため, 板厚および板幅は疲労試験片に併せ, 支点間の距離を板厚の 16 倍, 試験片長さを板厚の 20 倍とした.

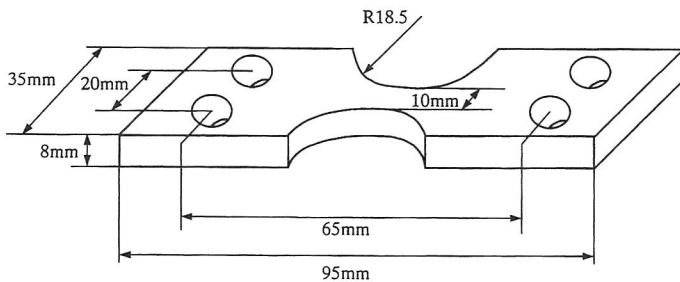


Fig. 2. The shape and dimension of bending fatigue test specimen.

Table I. The results of bending fatigue test.

Test temperature [K]	Bending stress amplitude [MPa]	Number of cycles to failure [cycle]
285	69	2.77×10^6
285	83	4.65×10^5
285	98	5.41×10^4

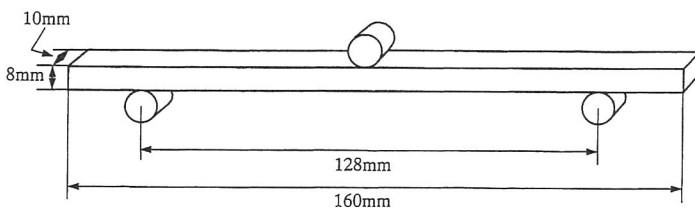


Fig. 3. The shape and dimension of three point bending test specimen.

試験は, インストロン製万能試験機を用い室温にて実施した. 切欠き等を設けていないため, 試験片端部から 80mm (中央) の位置を確認し, その部分に静的過負荷を加えた. Table II は, その結果を示したものである.

3・3 衝撃試験

Fig. 4 は, 衝撃試験片の形状および寸法を示したものである. 試験片は, 片状黒鉛鋳鉄材のじん性を考慮し, 平滑 (ノッチレス) とした. その他の寸法は, JIS ハンドブックに記載されている標準的な試験片寸法⁷⁾とした.

試験は, 島津製作所製シャルピー式衝撃試験機を用い, 室温にて実施した. 切欠き等を設けていないため, 試験片端部から 27.5mm (中央) の位置を確認し, その部分にハンマーによる動的過負荷を加えた. Table III は, その結果を示したものである.

4 破面様相

4・1 疲労試験片における破面様相

繰返し負荷 (曲げ応力振幅) 作用下で破壊させた疲労試験片の破面において, 巨視的および基地部の微視的様相を観察した. いずれの破面とも, 巨視的には粗い様相を呈しており, ビーチマーク等の模様は認められなかった. 微視的には, いずれの繰返し応力作用下でも全体的にパーライト相が現出していたが, 69MPa (疲労限度近傍) と 83MPa (中間) では, 局部的にストライエーション模様が形成されていた. しかし, 98MPa (0.2% 耐力相当) では, ストライエーションや微視的塑性変形に伴うディンプル等の模様の形成は認められず, 負荷された繰返し応力の大きさとともに若干の変化が見られた. それらの一例を, Fig. 5 に示す.

Table II. The result of three point bending test.

Test temperature [K]	Bending stress [Mpa]
296	464

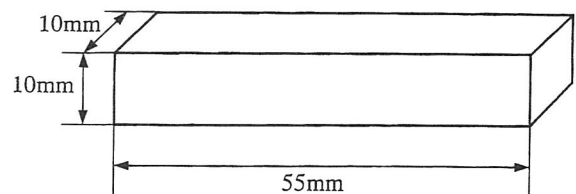


Fig. 4. The shape and dimension of impact test specimen.

Table III. The result of impact test.

Test temperature [K]	Absorbed energy [J]
295	5

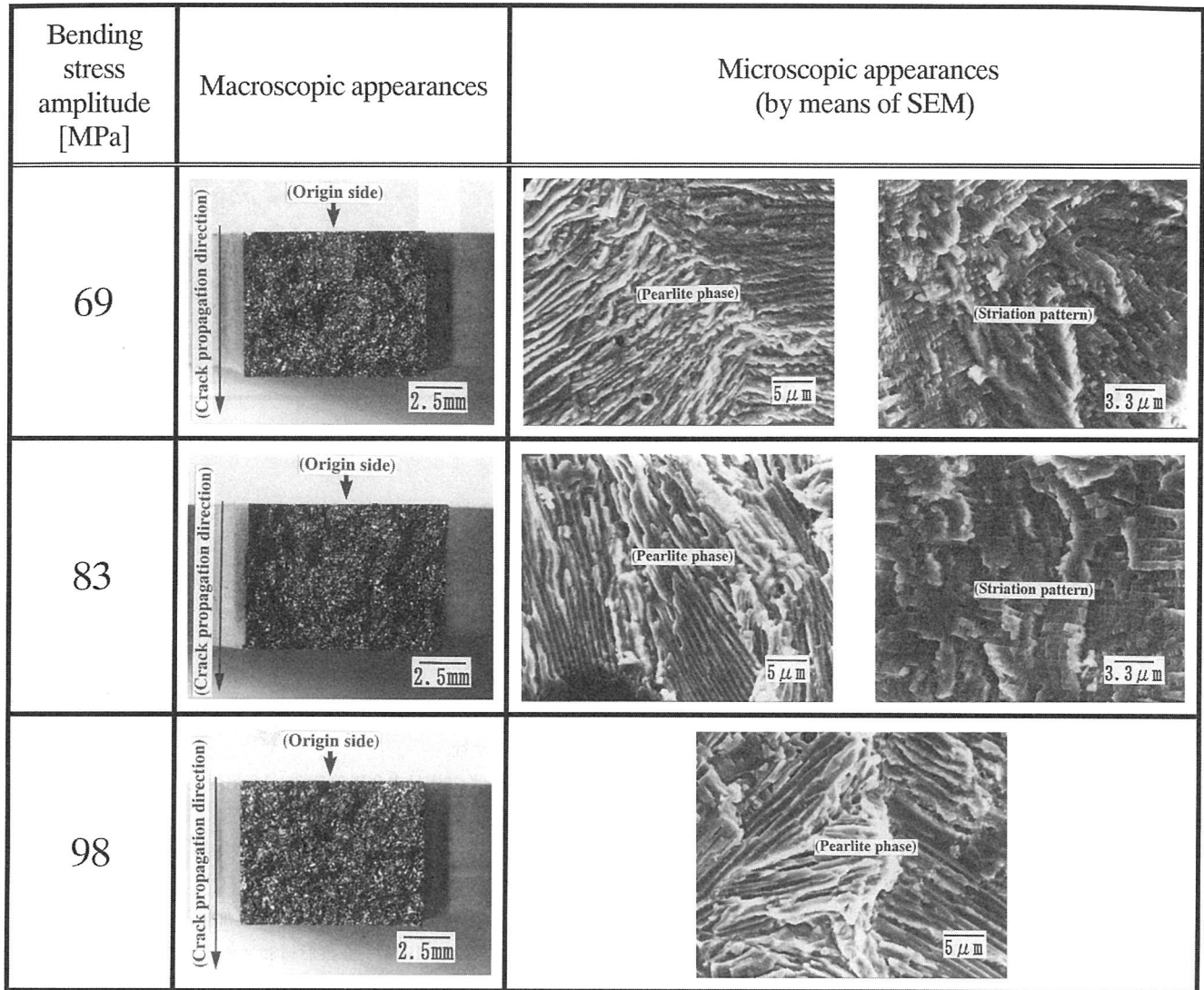


Fig. 5. The fracture surface appearance that formed on bending fatigue test specimens.

4・2 3点曲げ試験片における破面様相

静的過負荷作用下で破壊させた3点曲げ試験片の破面において、巨視的および基地部の微視的様相を観察した。巨視的には、粗い様相を呈していた。微視的には、全体的にディンプル模様が生じていた。その一例を、Fig. 6に示す。

4・3 衝撃試験片における破面様相

動的過負荷作用下で破壊させた衝撃試験片の破面において、巨視的および基地部の微視的様相を観察した。巨視的には、粗い様相を呈していた。微視的には、全体的にへき開破面となっており、局部的にディンプル模様が形成されていた。それらの一例を、Fig. 7に示す。

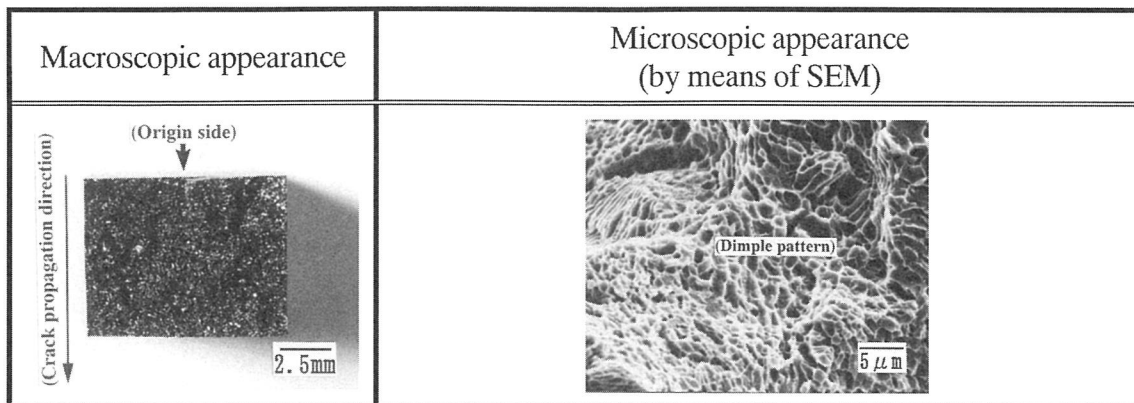


Fig. 6. The fracture surface appearance that formed on three point bending test specimen.

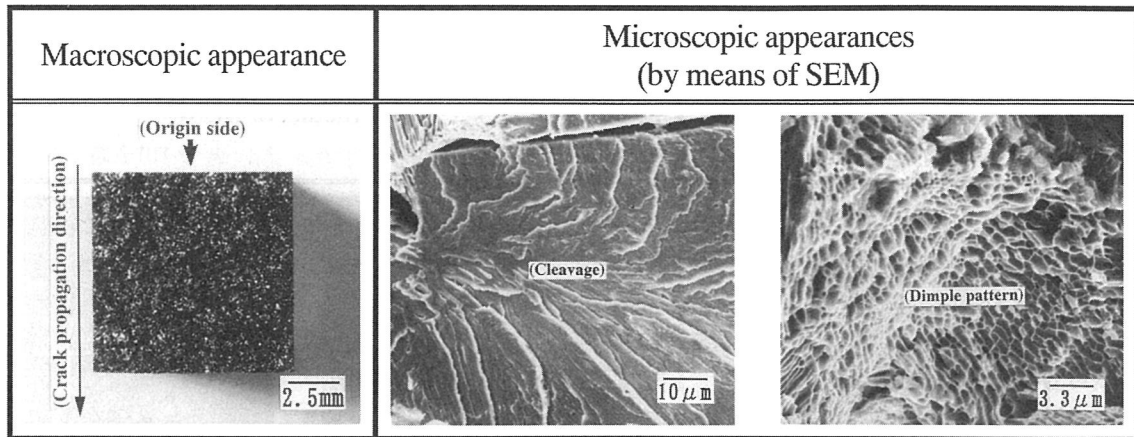


Fig. 7. The fracture surface appearance that formed on impact test specimen.

5 結 言

各種破壊形態（各種試験後）において、巨視的破面様相に大差は認められなかったが、微視的破面様相に以下のような特徴が見られた。

- 繰返し負荷の作用下では、その負荷応力の大きさとともに若干変化し、小さい場合には局部的にストライエーション模様が生じていたが、大きい場合にはストライエーション等の模様は確認できなかった。
- 静的過負荷の作用下では、全体的にディンプル模様が形成されていた。
- 動的過負荷の作用下では、全体的にへき開破面となっていたが、局部的にディンプル模様が形成されていた。

これらの模様は、それぞれの破壊形態にほぼ対応しており、懸念された片状黒鉛先端での応力集中による見掛け上の応力増大や応力拡大係数の増大に伴う不対応な模様や様相の急激な変化等は見られず、実機に形成された破面に対する破壊形態の比較用資料として適用できると考えられる。また、パーライト相は疲労破壊時のみ現出しており、この相の存在の有無によっても繰返し負荷あるいは過負荷の判別ができる。しかし、実機での機械部

品損傷では応力変動等が起こりやすく、破面は腐食等の二次的損傷を生じやすい。したがって、実機での機械部品損傷に対するその原因の大まかな推定は可能であろうが、特定することは難しいと思われる。

参 考 文 献

- 1) 例えば、(社)日本鋳物工業会編、“鋳鉄の材質”，p.110 (1982) コロナ社。
- 2) 例えば、(社)日本金属学会編，“金属便覧 改訂5版” p.824 (1990) 丸善。
- 3) 武田昌弘，松本弘司，日本材料学会 第58回フラクトグラフィ部門委員会資料，6 (1993)。
- 4) 例えば、鋳鉄の生産技術教本編集委員会編，“鋳鉄の生産技術”，p.21 (1993) (財)素形材センター。
- 5) 日野春樹，岡田友信，富澤幸夫，明石秀二，末松 浩，小松紀仁，成川昭治，大野良蔵，川崎重工技報，No.117，26 (1993)。
- 6) JISハンドブック“鉄鋼Ⅰ”，p.205 (2003) (財)日本規格協会。
- 7) JISハンドブック“鉄鋼Ⅰ”，p.203 (2003) (財)日本規格協会。