

(株) 豊田中央研究所

正 ○ 猿木勝司  
正 小川一義  
堀田昇次

1. 緒 言

鑄鉄品は、複雑な形状の部品をたやすく、しかも安価に生産することが出来るので構造部材・部品として多く用いられている。これらの部品には、平均応力が加わった状態で繰返し応力が作用している場合が少なくない。しかし、鑄鉄の疲労強度と平均応力との関係を調べた研究は非常に少ない<sup>(2)(3)</sup>。

ここでは、鑄込み寸法および溶湯を変えた3種類の片状黒鉛鑄鉄と地の組織を変えた2種類の球状黒鉛鑄鉄について、疲労強度に及ぼす平均応力の効果を調べるとともに、静的強度および両振耐久限度から耐久限度線図を推定する手法を検討した。

2. 方 法

2.1 供試材

本実験に用いた片状黒鉛鑄鉄および球状黒鉛鑄鉄の主な化学成分を表1に示す。

実部品評価への適用を考慮し、片状黒鉛鑄鉄は鑄込み寸法および溶湯を変えたもの3種類、球状黒鉛鑄鉄は地の組織を変えたもの2種類を準備した。

これらの供試材の機械的性質および顕微鏡組織を表2, 3に示す。なお、片状黒鉛鑄鉄の□250mm立方体供試材は、部位によって組織および静的強度がかなり異なる<sup>(4)</sup>ため、やや外側の同一性状を示す位置から試験片を採取した。

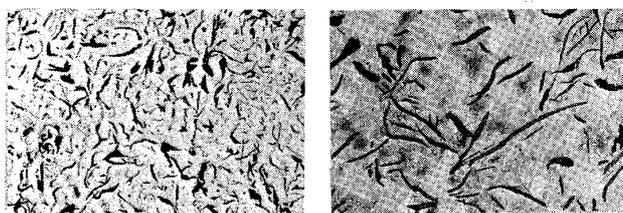
片状黒鉛鑄鉄は、いずれもA型黒鉛で地はパーライト組織であるが、鑄込み寸法によって冷却速度が異なるため黒鉛状態が異なり、φ20mm丸棒では比較的細かい片状を、□250mm立方体ではかなり細長い片状を呈している。静的強度は、鑄込み寸法の違いによって大きく異なり、□250mm立方体の強度はφ20mm丸棒の強度に比べ約3割程度低い値を示した。

表1. 化学成分 (%)

Graphite	Material	C	Si	Mn	P	S	Mg
Flake	A	3.15	2.00	0.69	0.031	0.029	—
	B	3.38	2.14	0.70	0.034	0.020	—
Noduler	—	3.65	2.40	0.34	0.022	0.014	0.033

表2. 片状黒鉛鑄鉄の機械的性質

Material	Size of casting	Brinell hardness HB	Tension test			Compression test	
			σ <sub>0.2</sub>	σ <sub>B</sub>	σ <sub>T</sub>	σ <sub>0.2c</sub>	σ <sub>Bc</sub>
A	φ20 x 230	204	25.5	32.5	32.6	39.3	112.0
	□250 x 250	168	17.4	21.3	21.4	28.6	76.1
B	φ20 x 320	207	23.4	28.6	28.7	41.4	101.6



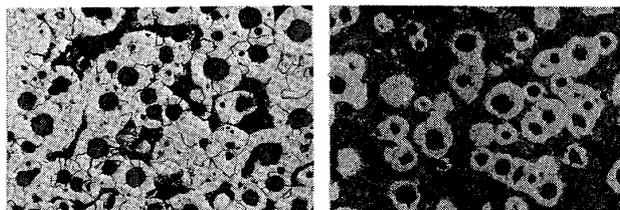
φ20x230

□250x250

Material A 200μm

表3. 球状黒鉛鑄鉄の機械的性質

Heat treatment	Micro-structure of matrix	Vickers hardness	Tension test			Compression test	
			σ <sub>0.2</sub>	σ <sub>B</sub>	σ <sub>T</sub>	σ <sub>0.2c</sub>	σ <sub>Bc</sub>
As cast	Ferrite pearlite	170	32.9	54.2	61.6	31.9	—
Normalized	Pearlite (Bull's eye)	220	40.5	65.8	70.6	40.4	—



As cast

100μm

Normalized

溶湯は異なるが、鑄込み寸法がほぼ同じものを比べると黒鉛状態、静的強度ともその差は小さかった。

球状黒鉛鑄鉄は、鑄放しのままのものと同様に焼ならしを施したものの2種類で、これらは、地の組織を変えることによって静的強度を変化させたものである。

2.2 実験方法

疲労試験片は、図1に示す砂時計形とした。

試験は、電磁共振型疲労試験機を用い、引張圧縮を行った。各平均応力下の耐久限度σ<sub>w</sub>は、平均応力σ<sub>m</sub>

を一定として応力振幅 $\sigma_a$ を変化させて求めた。

平均応力は、零（完全両振）、引張側および圧縮側に段階的に変化させた。圧縮の平均応力をかけて疲労試験をする場合には、試験部にかなり熱が発生するため、低温槽を用い試験片をシリコンオイル中に浸漬して冷却（試験片周辺の温度を $20^{\circ}\text{C}$ に制御）した。

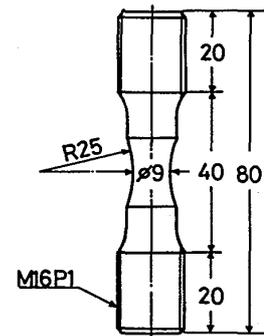


図1. 試験片の形状

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 片状黒鉛鋳鉄の場合

静的強度レベルの異なる3種類の片状黒鉛鋳鉄について、平均応力を種々変化させて引張圧縮疲労試験を行った。その一例を図2に示す。試験は、耐久限度を求めることが主目的であるから両振疲労以外はS-N線図を画くだけの実験点はない。したがって、ここで画いたS-N線図は大概のものである。

これらの実験結果より、耐久限度の値を求め耐久限度線図上に表すと図3のようになる。いずれの供試材においても引張平均応力が大きくなる程耐久限度は低下する。一方、圧縮側へ平均応力が大きくなる場合、完全片振付迄までは耐久限度がかなり大きく増加し、その後はほぼ一定値を示した。試験片の破壊形態は、図中に示すように繰返し応力に引張側成分が存在する場合は垂直応力型を、引張側成分が存在しない場合はせん断応力型を呈していた。

図3で明らかのように、鋳込み寸法および浴湯が異なると耐久限度の値はそれぞれ異なるが、平均応力に対する変化の傾向は比較的似通っている。

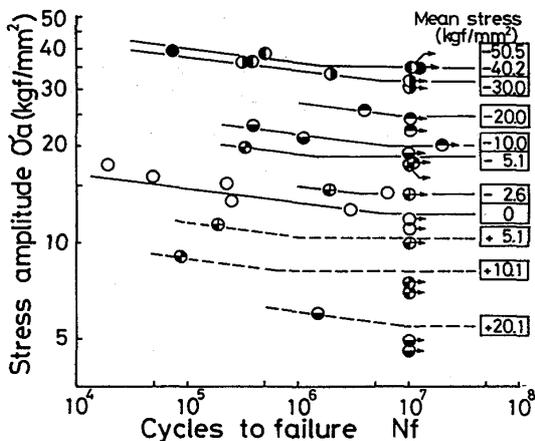


図2. S-N線図(浴湯A・φ20x230)

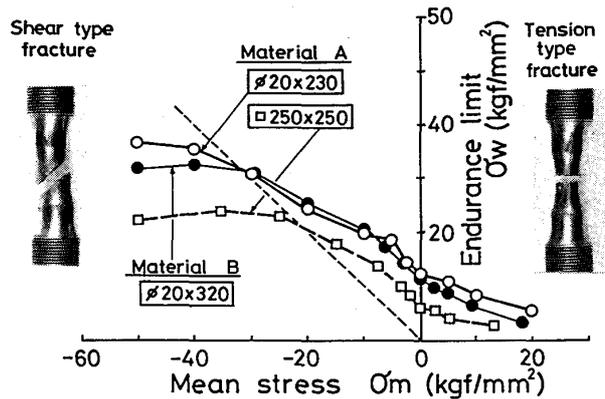


図3. 片状黒鉛鋳鉄の耐久限度線図(実験結果)

そこで、この結果を耐久限度/引張強さ( $\sigma_w/\sigma_B$ )と平均応力/真破断力( $\sigma_m/\sigma_T$ )の関係で表すと図4のようになる。すなわち、強度レベルが異なってもかなり収束する傾向がみられる。

この図をもとに、片状黒鉛鋳鉄について統一的な耐久限度線図の画き方を考えると次のようになる。

すなわち、

- (1) 平均応力が引張側では、横軸上の平均応力/真破断力=1の点Aと縦軸上の両振耐久限度/引張強さの点Bを結ぶ直線を引き、これを耐久限度線とする。
- (2) 平均応力が圧縮側では、まず点Bより45°の左上りの直線(最大応力一定形)を引く。次に、横軸上の点Aと縦軸上の $\sigma_w/\sigma_B=0.5$ の点を通る直線を引く。さらに、横軸に平行に $\sigma_w/\sigma_B=1.1$ を通る直線DEを引く。これらの交点はそれぞれC・Dとする。上記の3本の直線のうち、 $\sigma_w/\sigma_B$ の値が最も小さくなる線を結んだもの、すなわちBCDEを耐久限度線とする。

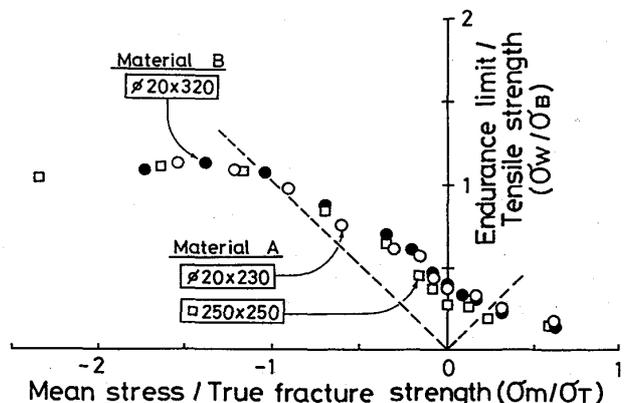


図4. 平均応力/真破断力と耐久限度/引張強さの関係

以上のようにして画いた推定耐久限度線と実験結果とを比較して図5に示す。図からわかるように、今回得られた実験点は、鑄込み寸法および溶湯が異なっても推定した耐久限度線に良く乗っている。

このことから、強度レベルが異なっても真破断力 $\sigma_T$ と両振耐久限度 $\sigma_{wo}$ の値を知ることによって、後へ約な方法を耐久限度線図を画くことができようである。

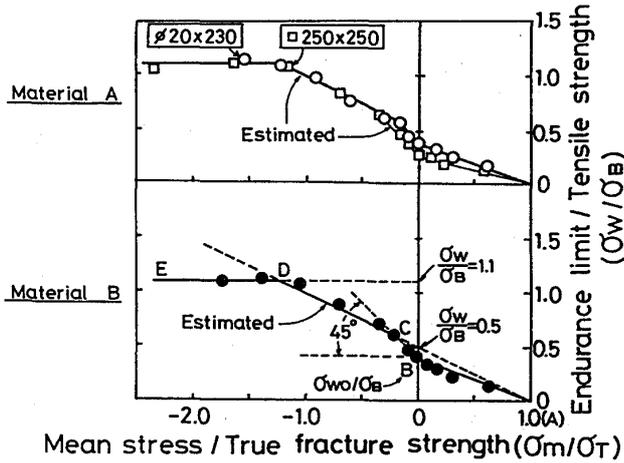


図5. 片状黒鉛鑄鉄の実験結果と推定耐久限度線との比較

### 3.2 球状黒鉛鑄鉄の場合

地の組織が異なる2種類の球状黒鉛鑄鉄について、平均応力を変化させて引張圧縮疲労試験を行い、平均応力と耐久限度値の関係を表わすと図6のようになった。

いずれの供試材においても引張平均応力が大きくなる程耐久限度は低下しており、この傾向は片状黒鉛鑄鉄の場合と同様である。一方、圧縮平均応力が大きくなるとゆるやかに増加する傾向を示しており、片状黒鉛鑄鉄のように両振耐久限度から急激に増加する傾向ではなかった。これは一般の鋼材に近い傾向である。

そこで、今回得られた耐久限度の実験点を一般の鋼材に適用出来る方法を推定した耐久限度線(横軸上にとった $\sigma_T$ の点と縦軸上にとった $\sigma_{wo}$ の点を結ぶ直線)と比較して示すと図7のようになる。

各供試材の実験点は、いずれの場合にも各推定耐久限度線に対し±10%の範囲に収まっている。

このことから、球状黒鉛鑄鉄の耐久限度線図は、片状黒鉛鑄鉄の場合(平均応力が零に対して圧縮側では疲労強度が著しく高くなる)とはかなり異なり、むしろ鋼材に近い傾向を示すことがわかる。したがって、一般の鋼材と同様の方法によって耐久限度線を描くことができる。

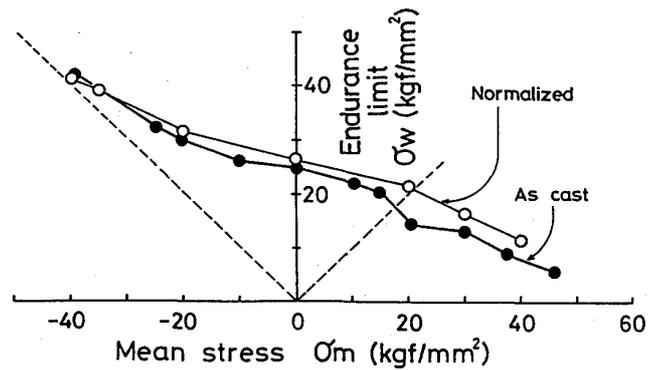


図6. 球状黒鉛鑄鉄の耐久限度線図(実験結果)

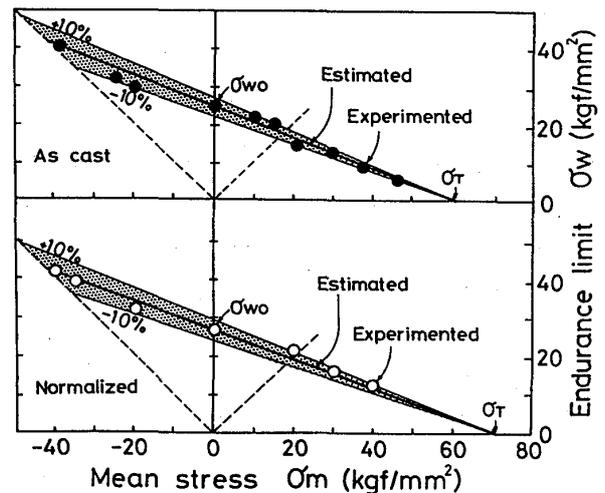


図7. 球状黒鉛鑄鉄の実験結果と推定耐久限度線との比較

## 4. 結 言

- (1) 片状黒鉛鑄鉄の耐久限度線図は、鑄込み寸法(いかりれば冷却速度)および溶湯が異なっても平均応力に対する変化の傾向は似通っており、いずれの場合にも一般の鋼材に比べ圧縮での平均応力の効果が大きく、真破断力 $\sigma_T$ と両振耐久限度 $\sigma_{wo}$ の値を用いてそれぞれ一定の方法により推定しうるということがわかった。
- (2) 球状黒鉛鑄鉄の耐久限度線図は、地の組織が異なっても平均応力に対する変化の傾向は似通っており、いずれの場合にも片状黒鉛鑄鉄の場合とはかなり異なり、一般の鋼材と同様の方法により真破断力 $\sigma_T$ と両振耐久限度 $\sigma_{wo}$ を結ぶ一本の直線によって推定しうるということがわかった。

## 参 考 文 献

- 1) 西原, 機論, 4, 15, 105
- 2) 西原, 遠藤, 機論, 20, 91, (I), 142
- 3) M. HEMPEL, Zeits, VDI, 85, P290
- 4) 青山, 伊藤, 浅野, 材料, 27, 300, 895