

### 1. 緒 言

機械・構造部材の破壊事故の検査では、破断面の検査など、可能な範囲の検査<sup>1)</sup>から部材の破断原因をより明確に特定することが必要となる。

このため、鑄物部材に関しても基地組織あるいは荷重形態の変化に伴う破断面の定性的な差異については従来から各種の検討<sup>2) 3)</sup>がなされている。しかし、破断面の検査から部材の破断原因をより明確に特定するには、破断条件の変化に伴う破断面の様相の差異を可能な範囲で定量的に評価しておくことが必要となる。

本報では、このような観点から、2種の球状黒鉛鑄鉄について、破断ひずみの変化に伴う破断面の微視的様相の変化とともに、破断面の凹凸の程度をレーザー顕微鏡を用いて測定し、三次元的な評価を含めた破断面の定量的評価について検討を行った。

### 2. 供試材料および実験方法

実験に用いた材料はJIS-FCD400およびFCD500の2種の球状黒鉛鑄鉄である。化学成分は同一であり、FCD500は鑄造のまま、FCD400は焼きなましにより基地組織を変化させた部材である。

実験に用いた試験片は、直径10mmの丸棒試験片、および切欠き先端の曲率半径を6mm, 3mm, 1mm, 0.5mmと4種に変化させた内径10mm, 外径20mmの切欠き丸棒試験片である。4種の切欠き試験片の応力集中係数<sup>4)</sup>は1.3, 1.7, 2.4, 3.2である。

本報では応力集中係数の異なるこれらの5種類の試験片を静的に引張破断させ、破断面上におけるディンプル破面率とともに、凹凸の程度をレーザー顕微鏡を用いて定量的に測定した。

破断ひずみは、丸棒試験片の平行部、あるいは切欠き試験片の切欠き最小断面の直径の減少を測定することにより(1)式を用いて求めた。

$$\epsilon_r = 2 \ln(d_0/d) \quad (1)$$

$\epsilon_r$ : 破断ひずみ

$d_0$ : 引張試験前の破断部の直径

$d$ : 引張破断後の破断部の直径

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 破断ひずみと応力集中係数との関係

2種の鑄物部材の5種の試験片の破断ひずみを、応力集中係数に対して図1に示す。

破断ひずみは2種の鑄物部材の基地組織の違いによって明瞭な差異を示しており、フェライト基地のFCD400の5種の試験片は、フェライト・パー

ライト基地のFCD500の試験片に比べてより高い破断ひずみを示している。また、いずれの鑄物部材の場合にも破断ひずみは応力集中係数の増加に伴って低下する傾向を示している。

FCD400の場合、丸棒試験片の破断ひずみは約24%であり、応力集中係数が3.2のR0.5mm切欠き試験片では約4%に低下している。一方、FCD500の丸棒試験片の破断ひずみはFCD400の約1/2の12%であり、R0.5mm切欠き試験片では2%程度に低下している。

なお、これらの鑄物部材の場合、切欠き試験片の破断面上における平均破断応力は丸棒試験片と比べても顕著な差異はなく、いずれの切欠き試験片も丸棒試験片の1.1~1.2倍程度の値である。

#### 3.2 破断ひずみとディンプル破面率との関係

破断ひずみの変化に伴う2種の球状黒鉛鑄鉄のディンプル破面率の変化を図2に示す。

いずれの鑄物部材の場合も、破断ひずみの低い試験片ではディンプル破面率はわずかに減少する傾向を示している。しかし、これらの鑄物部材の場合、破断面の様相は基地組織の違いによってより顕著な変化を示している。FCD400の場合、破断ひずみが10%以上の試験片は破断面の全面がディンプル破面を示している。また、破断ひずみが4%程度に低下したR0.5mm切欠き試験片についてもへき開破面の比率は約11%であり、FCD400の5種の試験片はいずれもディンプル破面を主体とした破断面を示している。一方、FCD500の場合、破断ひずみ12%の丸棒試験片についてもディンプル破面率は約30%であり、5種のいずれの試験片もへき開破面を主体とした脆性的な破断面を示している。

したがって、これらの2種の鑄物部材の場合、破断ひずみの変化とともに、基地組織の変化に伴って破断面の様相はより顕著な変化を示しており、同程度の破断ひずみでも、個々の鑄物部材によってディンプル破面率は著しい差異を生じている。

#### 3.3 破断ひずみと破断面粗さとの関係

本報では、ディンプル破面率の測定に加えて、レーザー顕微鏡による破断面の凹凸の測定を行い、個々の試験片の破断面上における凹凸の最大高さおよび中心線平均粗さを求めた。レーザー顕微鏡による測定は、試験片端部を含めた破断面上の凹凸の顕著な10~21視野について行い、それらの視野における凹凸の最高値と最低値の差から最大高

さを求めた。中心線平均粗さは試験片端部を除いた5視野における測定値の平均として求めた。観察に用いた1視野は1mm×1mmである。なお、凹凸の最大高さを示す破断面上の部位は、試験片端部におけるシャーリップの発生状況などに応じて、個々の試験片で差異を示している。

このうち、中心線平均粗さに関しては、2種の鋳物部材のいずれの試験片に関してもほとんど差異はなく、10種のすべての試験片の平均では103 $\mu$ m程度の値を示している。

それに対し、破断面上における凹凸の最大高さは、個々の試験片によって多少のばらつきが見られるものの、全体的には破断ひずみの増加とともに上昇する傾向を示している。このため、2種の鋳物部材の合計10種の試験片について、それぞれの試験片の平均の破断ひずみと凹凸の最大高さとの関係を求めた。その結果を図3に示す。10種の試験片のうち、破断ひずみ24%程度のFCD400の丸棒試験片に関しては、破断面は極めて粗い様相を呈しており、最大高さは3.7程度の著しく高い値を示している。しかし、他の試験片に関しては、2種の鋳物部材の基地組織の違い、あるいは破断面の様相の顕著な変化にはよらず、最大高さは破断ひずみの増加とともに徐々に上昇する傾向を示している。したがって、ディンプル破面率とは異なり、破断面上の凹凸の最大高さは、基地組織の変化などによらず、破断ひずみの大きさと比較的明確に対応した値を示している。このため、これらの鋳物部材では、破断面上の凹凸の最大高さを測定することにより、部材の破断状況をより定量的に評価しうる可能性が考えられる。

#### 4. 結 論

(1)FCD400, FCD500の2種の鋳物部材の破断面上の凹凸の最大高さは、基地組織あるいは破断面の様相の変化にはよらず、破断ひずみの大きさと比較的明確に対応した値を示している。

(2)FCD400, FCD500の破断面の様相は、基地組織の違いに伴って顕著な差異を示しており、FCD400ではディンプル破面を主体としているのに対し、FCD500ではへき開破面を主体とした破断面を示している。

#### 参考文献

1. 日本機械学会編, “機械・構造物の破損事例と解析技術”, (1984)日本機械学会.
2. 杉山好弘, 浅見克敏, 松岡忍, 材料, 40, 675 (1991).
3. 京極秀樹, 益川庄司, 森きよみ, 杉林俊雄, 鈴木寛, 篠原和充, 日本機械学会論文集, A-58, 465(1992).
4. R. E. Peterson, “Stress concentration design factors”, p.34(1953)John Wiley & Sons.

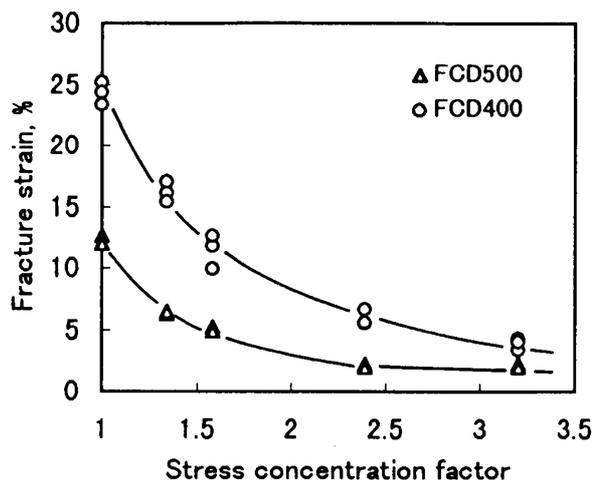


Fig.1 Relation between fracture strain and stress concentration factor.

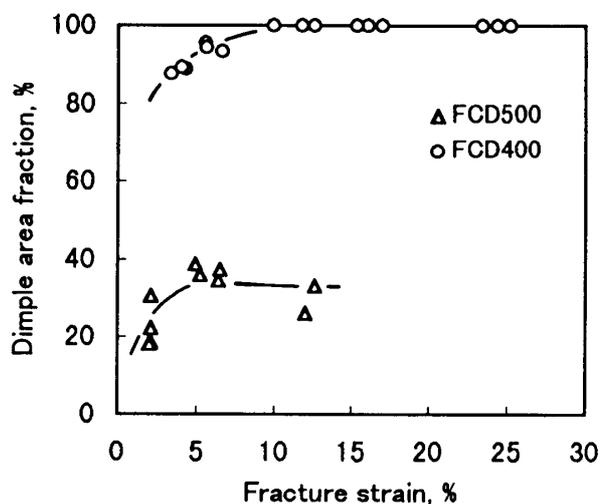


Fig.2 Relation between dimple area fraction and fracture strain.

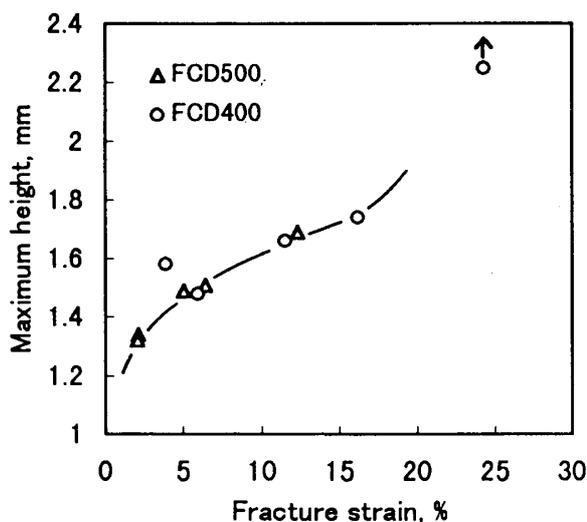


Fig.3 Relation between maximum height and fracture strain.