

### 引張残留応力場における耐疲労鋼切欠き材の疲労強度

|         |     |     |   |
|---------|-----|-----|---|
| 法政大学大学院 | 正会員 | ○徳力 | 健 |
| 法政大学    | 正会員 | 森   | 猛 |
| 住友金属工業㈱ | 非会員 | 誉田  | 登 |
| 住友金属工業㈱ | 非会員 | 中村  | 宏 |

#### 1. はじめに

鋼素材の疲労強度は鋼材の静的強度に強く依存するものの、溶接継手の疲労強度は鋼材の種類に依存しないことが知られている。このような従来の特性を打ち破り、疲労強度の高い鋼材の開発が行われている。その一つに耐疲労鋼（FCA 鋼）がある。これは、疲労き裂進展を遅延させる鋼材として開発されたものであり、その効果は素材レベルと船殻構造を模擬したモデルでは確認されている。従来鋼はフェライト・パーライト組織、マルテンサイト組織などの単一組織あるいは同じような性質を持つ組織で形成されているのに対し、FCA 鋼は比較的やわらかいフェライト組織と硬いベイナイト組織からなっている。そのため、フェライト中を進展しているき裂がベイナイト組織に達すると、き裂進展の一時的な停留や迂回が生じ、結果としてき裂進展速度が低くなるとされている。基本的な疲労強度の支配因子である疲労き裂の発生や進展速度は、溶接構造物を想定した場合、高い引張残留応力場で検証する必要がある。

本研究では、Tig-dressing により引張残留応力を導入した切欠き材の疲労試験から FCA 鋼の疲労強度を調べ、それらを従来鋼で得られている結果と比較することにより、FCA 鋼の疲労強度改善効果について検討する。

#### 2. 試験体および試験方法

試験体は板厚 12mm の FCA 鋼板 ( $\sigma_B: 591\text{N/mm}^2$ ) から長さ 700mm、幅 150mm の板をガス切断により切り出したものである。この試験体の表裏面中央には、引張残留応力を導入する目的で Tig-dressing を行っている。Tig-dressing を行った後、 $\phi = 18\text{mm}$  の円孔を二つ設け、その間を鋸引きしている。図 1 に試験体の形状と寸法、写真 1 に断面のマクロ写真を示す。図 2 は、試験体中央断面における試験体長手方向の残留応力の分布を示したものである。円孔部には、高い引張残留応力が生じている。

疲労試験には動的能力 500kN の電気油圧サーボ式材料試験機を用い、下限荷重を 10kN、応力範囲を 80, 100, 120N/mm<sup>2</sup> とした 3 つの条件で行っている。荷重波形は正弦波、繰返し速度は 8~12Hz である。疲労試験の状況を写真 2 に示す。

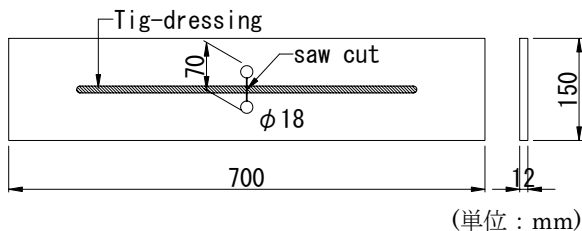


図 1 試験体の形状と寸法

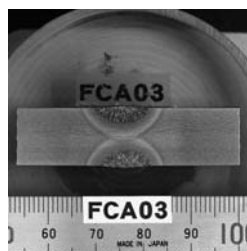


写真 1 マクロ写真

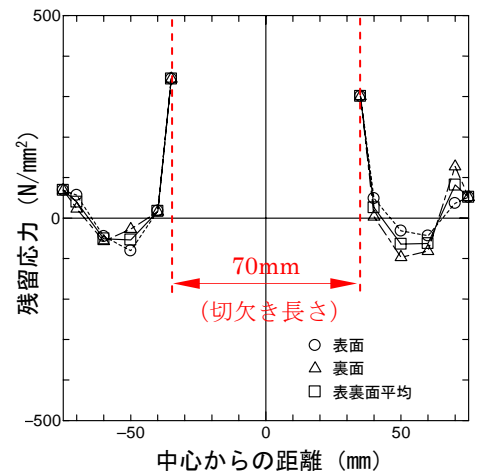


図 2 残留応力分布



写真 2 疲労試験状況

キーワード 耐疲労鋼, FCA, 疲労試験, 切欠き材, 疲労強度

連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学 工学部 TEL 042-387-6287

### 3. 疲労試験結果

図3は、FCA鋼と同じ試験機、同じ形状・寸法の試験体を用いた従来鋼の疲労試験結果を示している。この試験には、静的強度の異なる5種類の鋼材（SM400、SM490、SM490Y、SM570、WEL-TEN780）が用いられている。鋼材による応力範囲と疲労寿命の関係に顕著な違いは認められない。図中の実線と破線は、疲労寿命に対する応力範囲の平均回帰直線とそこから2標準偏差離れた回帰直線を示している。

図4は、FCA鋼の疲労試験結果と従来鋼の回帰直線を比較したものである。FCA鋼の疲労試験結果にはバラツキが大きいものの、特に長寿命域で従来鋼よりも高い疲労強度を有している。FCA鋼の応力範囲-疲労寿命関係の傾きが従来鋼と同じと仮定すれば、FCA鋼の平均疲労強度は従来鋼の約1.3倍となる。

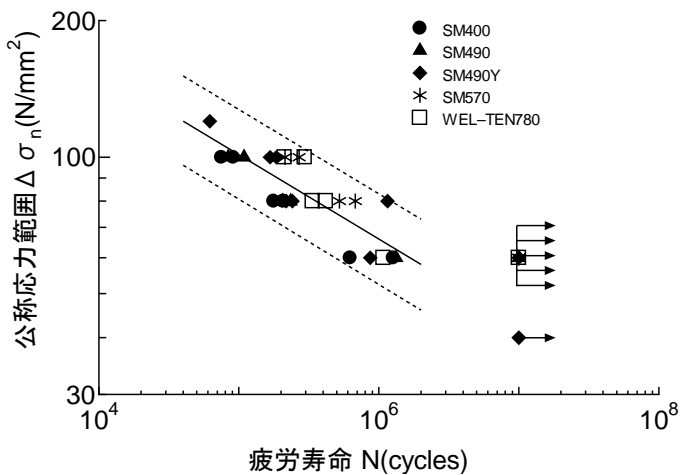


図3 従来鋼のσ-N関係

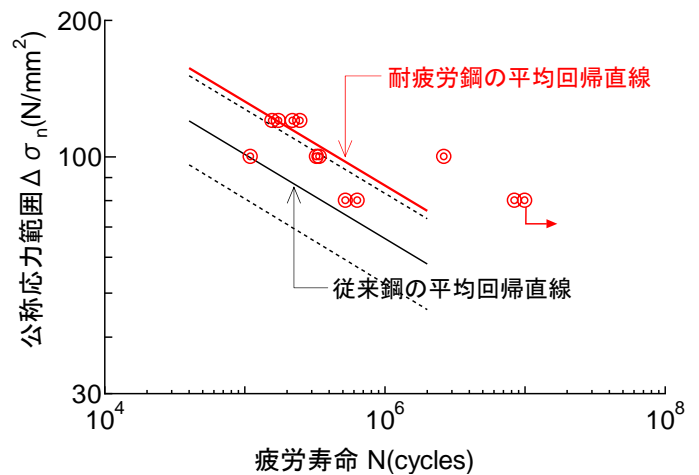


図4 FCA鋼のσ-N関係

### 4. 破面観察

応力範囲100N/mm<sup>2</sup>の疲労寿命には大きなバラツキがある。その原因を調べる目的で破面観察を行った。4体の試験体のうち、疲労寿命の異なる3体の試験体【A試験体(N=265万回)、B試験体(N=34万回)、C試験体(N=11万回)】を対象とした。写真3はA試験体とB試験体の破面写真である。2つの試験体には、円孔壁の破面形状に違いが見られる。B試験体には段差があり、この段差は複数個所から疲労き裂が発生し、進展して合体したことを示している。一方、A試験体には、このような段差は見られない。SEM(走査型顕微鏡)による破面観察結果からも、き裂発生点はA試験体で1カ所(表面から2~3mmの位置)、B試験体で2カ所(写真3の上側段差部と板厚中央付近)であることを確認した。SEMによる破面観察結果を写真4に示す。B試験体のSEM写真は、写真3の上側段差部近傍のものである。C試験体には円孔部に板厚方向の傷があり、傷に沿って疲労き裂が早期に発生したことが短い疲労寿命となった原因と考えられる(写真5)。

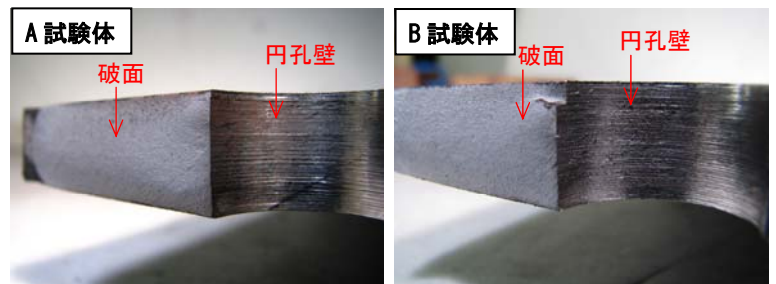


写真3 円孔壁側破面

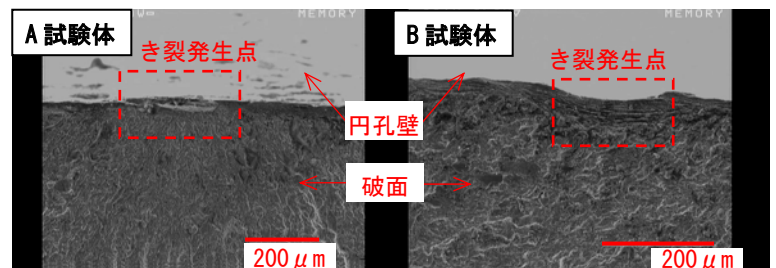


写真4 き裂発生点のSEM観察結果

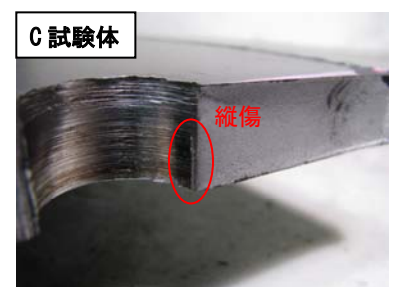


写真5 C試験体の破面

### 5. まとめ

FCA鋼の疲労強度は、平均で従来鋼に比べて1.3倍程度であった。