

I-132

切欠き材の塑性履歴による残留応力分布とその疲労強度への影響

愛知県 正員 峯村 充
 名古屋工業大学 正員 後藤 芳顯
 名古屋工業大学 正員 小畑 誠
 名古屋工業大学 正員 松浦 聖

1. まえがき: 鋼構造物には必ず、溶接部など応力集中部が存在し、地震荷重や過載移動荷重によって、そのような箇所は、塑性履歴を受けることになる。既に、著者¹⁾²⁾らの研究によって、塑性履歴を受けた切欠き材の疲労寿命は、残留圧縮応力の影響で向上するという結論が得られている。しかし、さらに大きな塑性履歴を与えた場合は、必ずしもひずみの大きさと疲労寿命の間には、比例関係が成り立たず、不明な点が多い。本研究は、その影響を残留圧縮応力によるものと考え、切欠き材について、より詳細な実験を行うとともに、さらに、有限要素法に基づく、有限ひずみ領域までを考慮した弾塑性有限変位解析により、残留圧縮応力分布を求め、疲労寿命に対する影響を検討した。

2. 塑性履歴を受けた鋼切欠き材の疲労試験

1) 試験方法: 試験に用いた鋼材は、図-1に示すように、V形両切欠きを持つSS41材(板厚9mm)で、形状及び疲労試験の方法は前回¹⁾²⁾と同じものとする。ただし、与える塑性履歴は、前回の実験で疲労寿命の低下現象がみられた切欠き部中央断面に、7.5%ひずみを与える場合を今回も用いることにし、さらに、そのように大きな塑性変形を与えた場合の疲労寿命低下特性を検討するために、7.5%よりもやや小さい、6%のひずみを与える場合について調べた。比較のため塑性変形を与えない場合も加えて、図-1のようにCase 1~Case 4とした。

S-Nf線図を求めるために与えた最大応力の設定は、全て降伏応力 σ_y を用いて、 σ_y , $\sigma_y/1.7$, $\sigma_y/2$ の3種類とした。また、最小応力の設定は、一律に 3 kgf/mm^2 の引張り応力とした。

2) 実験結果: 供試体は各ケース、各応力振幅でそれぞれ3~4体とし、S-Nf線図はそのうち平均に近い2つのデータを用い、図-1に示す結果を得た。いずれも塑性変形を与えたものの疲労寿命は向上しているが、塑性履歴を受けたCase 2~Case 4の3つの場合を比べると、最も塑性変形が小さい、Case 2の疲労寿命が最大になっている。そして、前回の実験で得られた疲労寿命の低下が、Case 3にも見られた。また、図-2に示す疲労き裂進展曲線は、

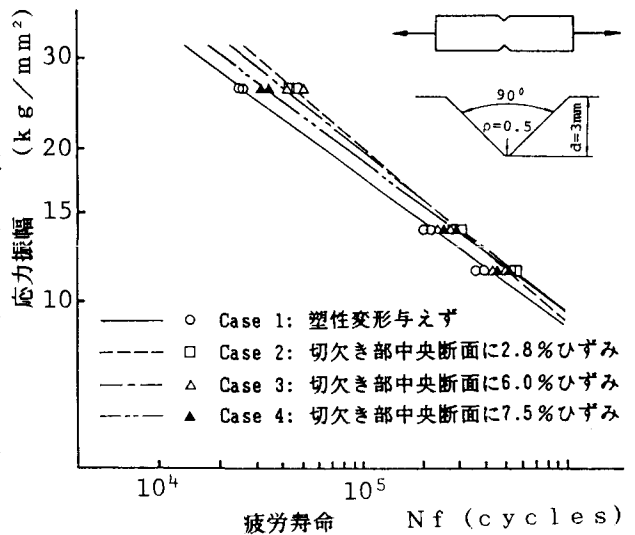


図-1 疲労試験結果(S-Nf線図)

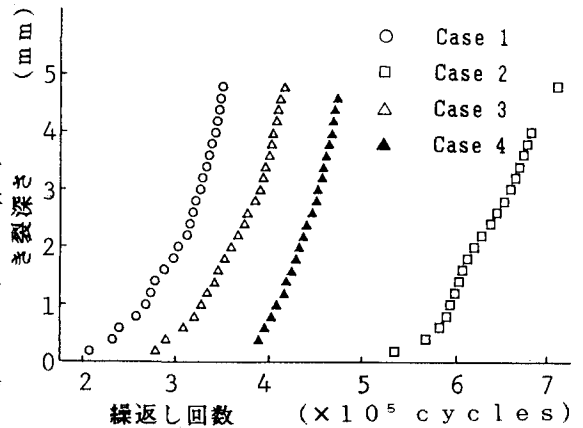


図-2 疲労き裂進展曲線($\sigma_{max} = \sigma_y/2$)

Case 2~Case 4どれもほぼ同じ進展状況を示し、初期き裂の発生する順位と疲労寿命の順位は一致している。

3. 有限要素法による弾塑性有限変形解析

1) 解析手法: 有限ひずみ領域まで考慮する必要性から応力に真応力、ひずみに対数ひずみを用いた弾塑性有限変形解析によった。降伏条件は、簡単のため鋼材を弾性・塑性ともに等方性材料であると考え、Misesの関係を用いることにした。応力-ひずみ関係を表す構成方程式は、弾性状態では Hooke則を用い、塑性状態では Misesの降伏条件式を塑性ポテンシャルとする、関連流動則を用いた。また、実験により近い相当応力-相当塑性ひずみ関係を得るために、要素の相当塑性ひずみの値に対応して、ひずみ硬化係数 H' を図-3のごとく設定した。

以上の理論に基づく、弾塑性解析を行うことにより、各実験ケースについての残留応力分布を求めた。なお、解析で用いた諸パラメーターは、次のように設定した。これらは統一性を持たせるために、実験で用いたミルシートの値を基にしている。

降伏応力 $\dots \sigma_y = 29 \text{ kgf/mm}^2$

ヤング係数 $\dots E = 2.1 \times 10^4 \text{ kgf/mm}^2$

ポアソン比 $\dots \nu = 0.3$

2) 解析結果: 図-4に示す、切欠き部の残留圧縮応力は、与えた塑性変形が大きくなるにつれて、ノッチ底では小さな値をとる。これは、全要素が塑性状態になり、しかも考えている断面全てがひずみ硬化域に入っているので、剛性のばらつきがなくなり、変形の均一化が進み、残留応力が減少する傾向を示すものと考えられる。

4. 考察: まず、実験結果から、塑性履歴を与えるとこれに比例して疲労寿命は向上するが、ある限度以上の塑性履歴では、逆に低下する傾向にあることが判明した。

さらに、き裂進展の観察から疲労寿命向上は、き裂進展過程において生じるのではなく、初期き裂発生寿命の向上によることが明らかになった。一方、理論解析より、鋼材に塑性履歴を与える場合には、ある程度までの塑性変形と切欠き底の残留圧縮応力の間には、比例関係が成り立つが、それ以上では、残留応力が減少傾向にある事が判った。上記残留応力に関する理論解析結果は、疲労試験結果と符合しており、塑性履歴を受けた鋼材の疲労寿命の変化は、塑性履歴の差による残留圧縮応力の増減を主要因子として、把握しようと考えられる。 <参考文献> 1) 柴山、後藤、長谷川、松浦: 2、3の異なる塑性履歴を与えた鋼切欠き材の疲労強度 第40回年次講演会概要集 I-103 1985 2) 後藤、柴山、長谷川、松浦: 塑性履歴を受けた鋼切欠き部および2、3の溶接継手の疲労強度 構造工学論文集 vol.32A 1986

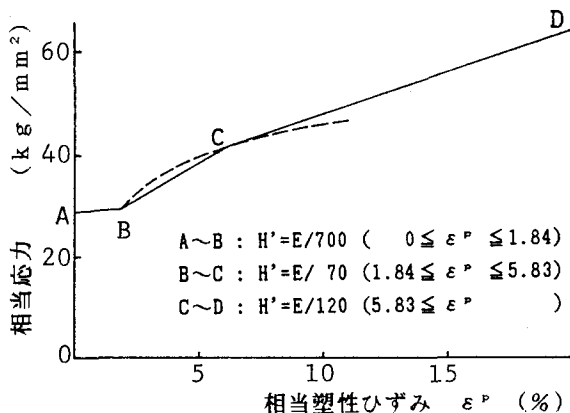


図-3 相当応力-相当塑性ひずみ関係

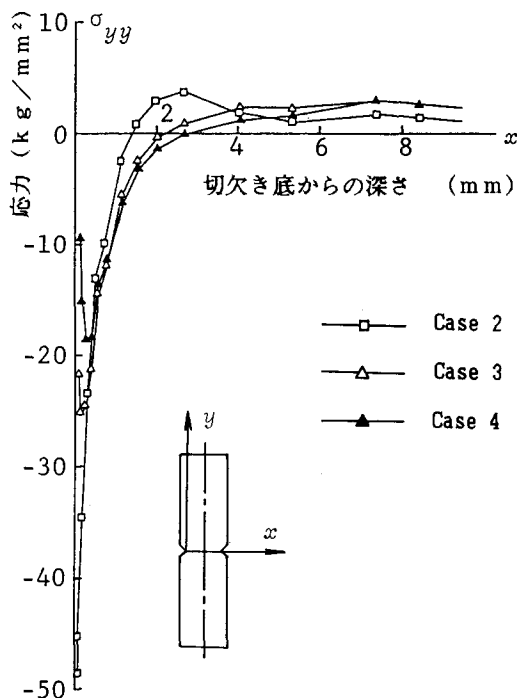


図-4 残留応力分布