

繰返し荷重による応力集中部の残留応力の変化について

名古屋工業大学 学生員 伊藤 孝広 名古屋工業大学 正 員 小畑 誠
名古屋工業大学 正 員 後藤 芳願 名古屋工業大学 正 員 松浦 聖

1. まえがき

切欠きなどの応力集中部が塑性履歴を受けるとそこに残留応力が生じ、結果として構造部材の疲労強度などに影響することが知られている。この残留応力と疲労強度との関係については、溶接による残留応力も含めて多くの実験および解析結果が既に報告されている¹⁾。応力集中部では比較的小さい荷重での繰返しであっても部分的には塑性変形が起こるために塑性履歴によって生じた初期残留応力の繰返し载荷による変化の挙動は複雑であり、それについては未だ必ずしも明確にされているわけではない。これらをあきらかにするために本報告では切欠きを持つ試験片に塑性履歴を与えた後、いくつかの種類の繰返し载荷を行い残留応力がどのように変化していくかをX線応力測定法によって測定した。また加えて有限要素法による大変形弾塑性解析も行い残留応力変化の数値的な検討も行った。

2. 実験概要

実験に用いた鋼材はSS400材であり、試験片の形状と寸法は図-1に示すとおりである。塑性履歴は5本の供試体すべてに対し図-1(b)に示すひずみゲージの位置で2.8%まで引っ張ることにより与えた。そしてまず図-1(a)に示すように切欠き底より0.5, 2.0, 3.0mmの点で生じた残留応力を測定した。次にそれぞれの供試体に対し表-1のような条件で繰返し载荷を行った後同じ点での残留応力を測定し、繰返し载荷による残留応力の変化をとった。なお表中の応力値は切欠き断面での平均応力を表す。残留応力の測定はいずれもX線応力測定法によるものとした。測定条件の詳細は表-2に示すとおりである。繰返し载荷はNo.1~4の供試体に対しては5Hzのサイン波とし、No.5に対しては図1(b)に示すひずみゲージの位置でのひずみを引張り方向に0.2%とした後、圧縮方向に0.2%まで载荷し再び0.2%まで引っ張った後、除荷したものである。

3. 解析概要

本実験のような塑性履歴を与えると、応力集中部である切欠き底部では数10%にもおよぶ塑性変形が生じるために、数値解析では有限の変形を考慮する必要がある。また応力集中のため切欠き付近の3次元的な変形も考慮する必要があると思われるために、ここでは汎用有限要素法プログラムであるMARCを用いて大変形弾塑性解析を行った²⁾。8節点立体要素を用い、

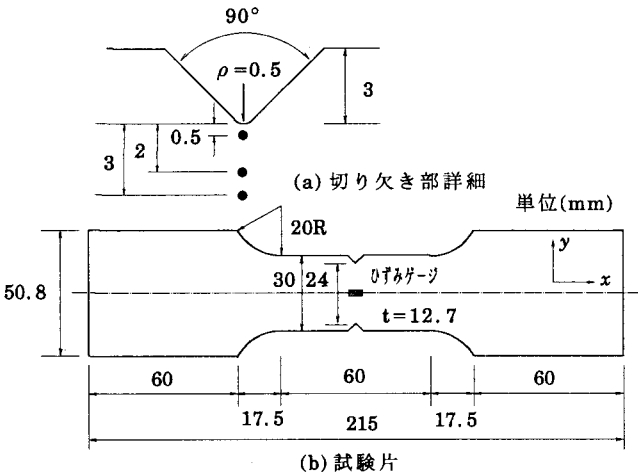


図-1 形状と測定位置

表-1 繰返し载荷条件

供試体	最大応力(MPa)	最小応力(MPa)	繰返し回数
No.1	175	30	1000
No.2	175	30	10000
No.3	150	30	1000
No.4	150	30	10000
No.5	引っ張り圧縮ともに0.2%の歪を静的に与える		

表-2 X線測定条件

測定装置	理学電機(株)製 ストレインフレックス PSPC/MSF-2M
特性X線	CrK α
回折面	$\alpha(211)$
入射角(ϕ_0)	0,10,20,30,40deg.
照射面積	1 $\times$ 1mm ²
回折角決定法	半価幅法
応力算法	$\sin^2\phi$ 法
応力定数	-318MPa deg. ⁻¹

鋼材はJ2流れ理論にしたがうものとした。加工硬化則は混合硬化則で素材試験より得られた応力ひずみ曲線を多直線近似することにより与えた。(図-2)

4. 結果および考察

図-3はNo.1, 2, 5の供試体における初期残留応力と繰返し载荷後の残留応力の測定結果を示すが、いずれの供試体でも繰返し载荷により残留応力は消失することなく逆に初期よりも圧縮側に増加している。また、No.1とNo.2の残留応力の変化量を比較すると、繰返し数10000回であるNo.2は、繰返し数1000回であるNo.1よりも小さい。なおNo.3, 4の供試体でもほぼ同様の傾向を示した。残留応力は亀裂の発生、進展にともない解消していくことを考慮すれば、塑性履歴によって生じた圧縮残留応力は、No.1~4程度の繰返し応力のもとでは繰返し初期の段階では増加し、ある繰返し数でピークを迎え、その後次第に減少していくものと思われる。No.5の供試体は大きな変形を含む領域まで引っ張りおよび圧縮の繰返し载荷を与えたものであるが、他の供試体とは異なった変化を示した。すなわち圧縮残留応力は切り欠き底から2.0, 3.0mmの測定点において大きな増加を示している。図-4は測定結果と解析結果との比較を示す。初期残留応力測定値の供試体5本の平均値は、切り欠き底に最も近い点を除けば解析結果と比較的よく一致している。したがってここで用いたような仮定での数値解析法で比較的精度良く塑性履歴による残留応力の推定が可能であることが明らかになった。

<参考文献>

- 1) 小畑誠、後藤芳顕、峯村充、松浦聖、塑性履歴による切り欠き部残留応力の発生機構とその疲労強度への影響について、構造工学論文集、Vol. 35A、pp301-307、1989.
- 2) MARC K-4 MANUAL Vol. A-E、日本マーク(株)、1992.

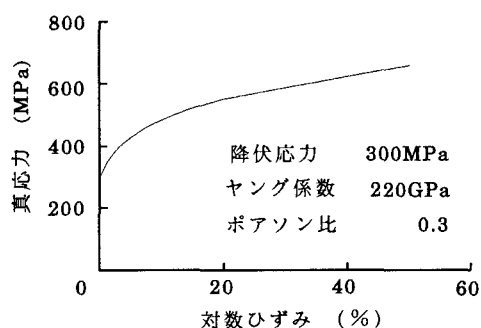


図-2 応力ひずみ曲線

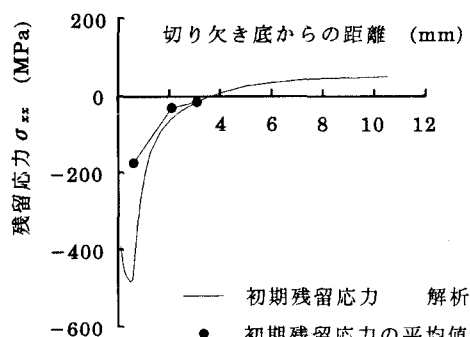


図-4 解析との比較

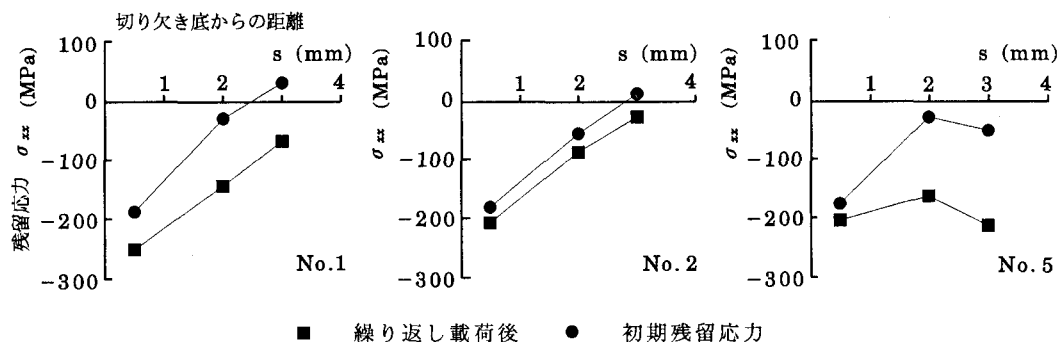


図-3 残留応力の変化