

東京大学工学部 正員 奥村敬恵
 東京大学研究生 正員 奥川淳志

1. はじめに

円弧切欠を有する平板が繰り返し荷重を受ける場合の挙動に関連して、最初の1荷重サイクルについて、バウシinger効果を考慮した有限要素法により解析し、その解析結果は実験結果と良く一致することはすでに報告した。^{1) 2)} ところで一般の鋼材は荷重サイクルNの増加に従って、いわゆる繰り返し硬化性を示すものと、繰り返し軟化性を示すものがあることが知られている。³⁾ 従って繰り返し荷重を受ける部材の応力-ひずみ挙動を論ずる時にそれらの性質を考慮しておく必要があると考える。本報では以上の観点から円弧切欠付平板が多重な繰り返し荷重を受ける場合について、繰り返し硬化性あるいは繰り返し軟化性を考慮したときの切欠先端近傍の応力-ひずみ挙動を有限要素法を用いて解析し考慮する。

2. 解析方法および計算条件

解析は文献(1)における方法と同じである。すなわち Weertman のバウシinger効果モデルを考慮した有限要素法で、荷重漸増法によって平面応力状態の片振り引張りに対する計算を行った。解析モデルは図1に示すように両外側に半径10mmの円弧切欠を有する平板で、弾性応力集中率は2.98である。計算の対象とした鋼材は軟鋼および80キロ級高張力鋼で、その1.5サイクルまでの機械的性質および荷重条件は表1に示す通りである。またそれ以降の荷重サイクルに伴う材料の軟化性、硬化性については、Weertman のバウシinger効果モデルにおける内部摩擦応力 σ_i が荷重サイクルNによって変化するものとして取り扱う。文献(3)によれば、軟鋼は繰り返し硬化性を、また高張力鋼は繰り返し軟化性を示すことが、小型丸棒試験片による定ひずみ制御低サイクル疲労試験により得られているので、1.5サイクル以降の荷重サイクルによる硬化性、あるいは軟化性はそれらの程度を考慮して次式の様に仮定する。

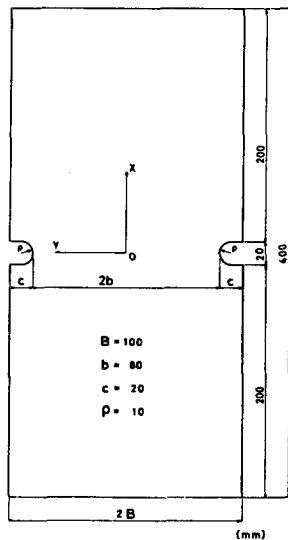


図1 解析モデル

$$SM41 : \sigma_i = \sigma_i^* (1 + 0.03 \log N)$$

$$HT80 : \sigma_i = \sigma_i^* (1 - 0.1 \log N)$$

ここで σ_i^* は $N=1$ のときの内部摩擦応力である。

表1 材料の機械的性質と荷重条件

	σ_y kg/mm ²	ϵ_{st} %	σ_u kg/mm ²	E x10 ⁴	ν	A kg/mm ²	n	B x10 ⁴	Unload		Reload		Pmax Ton	σ_n kg/mm ²	$\alpha = \frac{\sigma_n}{\sigma_y}$	$\beta = \frac{\sigma_n}{\sigma_u}$
									b	c	b	c				
SM41	32.0	2.7	47.14	2.1	0.3	74.88	0.2563	0.22	0.6	2	0.77	2	20.8	26.0	0.813	0.552
HT80	76.5	0.	81.90	2.1	0.3	99.00	0.0593	0.18	23.0	2	23.0	2	43.2	54.0	0.706	0.659

3. 結果と考察

図2はSM材およびHT材について、円弧切欠先端要素の荷重方向の応力 σ_x とひずみ ϵ_x とが描くヒステリシスループである。この図からも判る様にSM材、HT材どちらも、応力-歪曲線は1/2サイクルまで大きく変化し、その後はほぼ閉じたループを描くようになる。さらに片振り繰り返し荷重下でも切欠先端では引張-圧縮の両振変動応力が生じている。またバウシinger効果のために単純引張り時の降伏点よりもはるかに小さな応力で両降伏している。一方SM材とHT材とを比較してみると両者のヒステリシスループの変化の様子は大き

く異なっており、SM材のヒステリシスループはNの増加に伴って軟軸方向に広がりながらひずみ増加方向に移動しているが、HT材ではNの増加によって応力振幅が減少しているのが判る。また各ループで再降伏する点を結んでみると、SM材では圧縮応力状態のときも引張応力状態のときもどちらもNが増えるに従い高くなってゆき、再降伏しにくくなるが、HT材では逆に再降伏点は小さくなる。

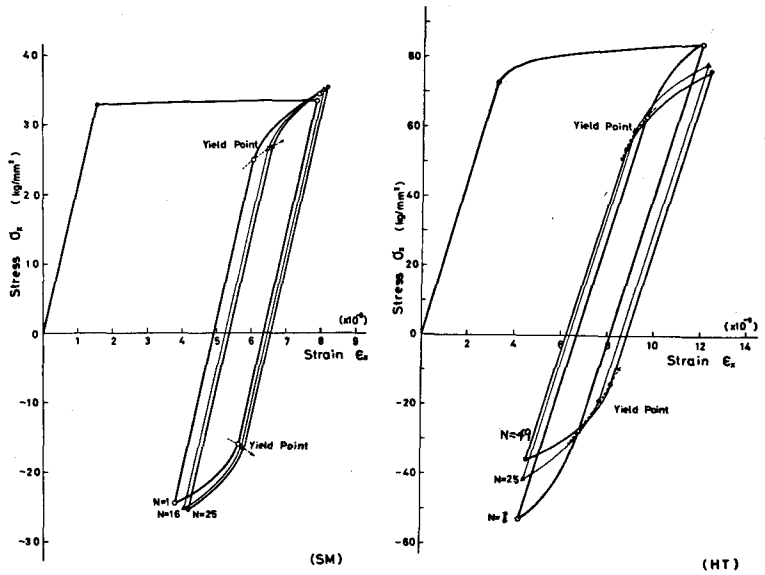


図2 円弧切欠先端要素のヒステリシスループ

さらに切欠先端要素の応力およびひずみを平均応力、平均ひずみで除いた応力集中度 K_σ 、ひずみ集中度 K_ϵ のNによる変化は図3のようになる。

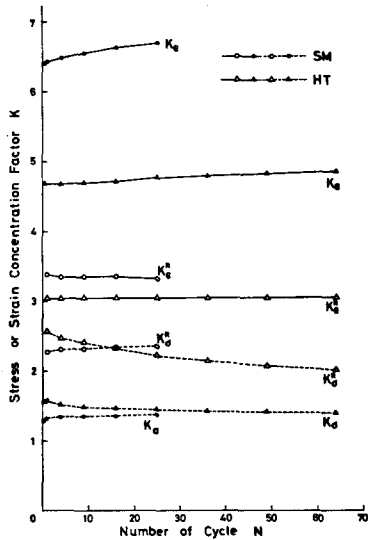


図3 応力集中度、歪集中度の変化

図3にはさらに応力範囲とひずみ範囲の集中度 K_σ^R 、 K_ϵ^R も合せて示してあるが、この図からも切欠先端のひずみはSM材、HT材ともに、Nの増加に従って大きくなる傾向にあるが、しかしひずみ範囲はほとんど変化せず一定であることが判る。一方、応力の変化はSM材とHT材とは異なり、SM材ではピーク応力も応力範囲もどちらも漸増し、逆にHT材では減少してゆく。

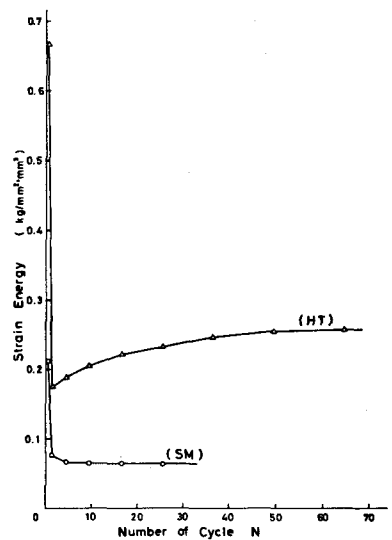


図4 塑性ひずみエネルギーの変化

図4は切欠先端要素の応力とひずみが描くヒステリシスループから生じる塑性ひずみエネルギーを各荷重サイクルに対してプロットしたものである。塑性ひずみエネルギーは最初の1サイクルで最も大きく生じ、次の荷重サイクルで急激に減少する。そしてその後の荷重サイクルに従って各1サイクルに生じるエネルギーはSM材では減少する傾向にあり、一方HT材では増大しながら一定値に漸進していく。

<参考文献>

- 1) 奥村, 奥川 「繰り返し荷重を受ける切欠部材の応力-ひずみ挙動」 土木学会年次講演会 昭和47年
- 2) 奥村, 奥川 「繰り返し荷重を受ける切欠部材の弾塑性挙動」 JSSC. マトリックス構造解析法シンポ 昭和48年
- 3) JF委員会資料 昭和43年度研究報告 溶接協会