AE による疲労限度迅速検出手法について*

吉 村 達 彦^{*1}, 加 納 重 人^{*1}Method of Rapidly Estimating the Fatigue Limits
by Acoustic Emission

Tatsuhiko YOSHIMURA and Shigeto KANO

Acoustic Emission techniques were applied to rapidly estimate the fatigue limits. At first monotonic and cyclic behaviors of AE were researched for S 25 C, SCM 4 and FCD 40 specimens. The first AE generating points correspond to the yield points for S 25 C specimens in both tests. On the other hand, the first AE generating points were lower stresses rather than yield points for SCM 4 and FCD 40 specimens, which show certain turning points on $\log \sigma$ - $\log$ AE lines at cyclic tests. Each specimen was then fatigue tested to estimate fatigue limits. It is shown that the stresses at turning points (which mean the first AE generating points on S 25 C) in the cyclic tests correspond well to the fatigue limits for three kinds of materials containing smoothed and notched specimens.

Key Words: Fatigue, Metallic Materials, Measurement, AE

1. 緒 言

部材の疲労限度を求めることは設計のための重要なステップである。疲労限度を求めるための最も一般的な方法は疲労試験, すなわち破壊試験を行う方法であるが多大なコストと時間を要するという欠点がある。

このため疲労限度の迅速検出手法については多くの研究者により検討されてきた。例えば Gough (1924), 鯉淵 (1971) は構造用炭素鋼材の繰返し降伏点と疲労限度に関する対応を求めた。この手法は非破壊的, かつ少数の試験片により疲労限度を求め得る手法であるが, 他材料への適用および実部品に存在するような鋭い切欠部への適用の可能性については明らかでなかった。

ここでは材料の降伏現象を検出する手法としてアコースティックエミッション (以下 AE と略す) を利用することにより, Gough らの手法を他材料および切欠材に拡大適用する検討を行った。検討にあたっては静的引張試験時に AE 計測を行ったのち, 繰返し負荷の検討を行った。以下にその詳細を報告する。

2. 試験片および試験方法

2-1 試験片 試験に供した素材は構造用炭素鋼材 S 25 C 焼ならし材, SCM 4 焼入焼戻し材および球状黒鉛鉄 FCD 40 焼なまし材である。素材の機械的性質を表 1 に, 平滑および U 状切欠試験片の試験片形状を図 1 に示す。

2-2 引張試験 引張試験は万能試験機を用いクロスヘッドの移動速度一定の条件で行った。図 2 に試験に用いた AE 計測装置のブロック図を示す。

AE 信号は試験片の両端に設けた平面部に真空グリスを介して取付けた 2 個のセンサ (200 kHz 共振形) で検知し, プリアンプで 46 dB 増幅後, さらにメイン

表 1 素材の機械的性質

Material	Hardness Hv	σ_y MPa (kgf/mm ²)	σ_b MPa (kgf/mm ²)	Heat treatment
S25C HNR	137	251 (25.6)	462 (47.1)	850°C HNR
SCM4 Q.T	390	1109 (113.2)	1207 (123.2)	1000°C Oil Quenched 450°C Temper
FCD40 HA	208	263 (26.8)	452 (46.1)	920°C 2Hour 850°C 650°C HA

* 昭和 61 年 7 月 2 日 第 23 回シンポジウムにおいて講演, 原稿受付 昭和 61 年 9 月 22 日。

*¹ 正員, トヨタ自動車㈱ (〒471 豊田市トヨタ町 1 番地)。

アンプで44 dB増幅した。そして2個のメインアンプから所定の時間差内に時間差計測回路に到着した信号のみをAEデータ処理装置に入力し、位置標定を行うとともにAEイベントカウントを出力した。

2・3 繰返し試験 繰返し試験は電気油圧式加振機を用い荷重制御で行った。図3に試験に用いた繰返し漸増荷重法の負荷方法を示す。負荷は完全両振りとし、加振周波数4.6 Hz、1ステップの繰返し数は2000サイクル、ステップ間隔は10 MPaまたは20

MPaとした。また引張試験と同様の方法でAE計測を行い、各ステップごとのAEイベントカウントを出力するとともに試験片のひずみ計測を行い繰返し応力-ひずみ線図を求めた。

2・4 疲労試験 各試験片の疲労限度のおおよその値を求めるための疲労試験を電気油圧式加振機を用いて行った。加振周波数は40 Hz、試験打ち切り繰返し数は 10^7 回とした。

3. 試験結果

3・1 平滑試験片のAE測定結果 図4, 5にそれぞれS25C焼ならし材平滑試験片およびFCD40焼ならし材平滑試験片の引張試験結果を示す。降伏点の明確なS25C焼ならし材ではAEが降伏点で発生開始する。一方FCD40焼ならし材では、AEがマクロな塑性ひずみの発生する応力よりはるかに低い応力で発生開始した。

図6, 7, 8にそれぞれS25C焼ならし材平滑試験片、SCM4焼入焼戻し材平滑試験片およびFCD40焼ならし材平滑試験片の繰返し試験結果を示す。

S25C焼ならし材では、引張試験結果と同様に繰返し塑性ひずみの発生と同時にAEが発生開始する。一方SCM4焼入焼戻し材では、マクロな塑性ひずみが発生する応力より低い応力でAEが発生開始し500

図1 試験片形状

図2 AE計測装置のブロック図

図3 繰返し漸増荷重法

図5 FCD40焼ならし材平滑試験片の引張試験結果

図4 S25C焼ならし材平滑試験片の引張試験結果

図6 S25C焼ならし材平滑試験片の繰返し試験結果

MPaでAE発生が急増した。以上より2種類の構造用炭素鋼材で、鋼種もしくは熱処理により、繰返し試験時のAE発生の傾向が異なることが判明した。またFCD40焼なまし材では極めて低い応力(60 MPa)でAEが発生開始し、200 MPaでAE発生が急増した。

図9にAE急増応力(σ_{AEa})を明確にするため、AEトータルイベントカウントと応力の関係を対数軸にプロットした結果を示す。SCM4焼入焼戻し材、FCD40焼なまし材は明確な折れ曲がり点を示し、この点を

図7 SCM4焼入焼戻し材平滑試験片の繰返し試験結果

図8 FCD40焼なまし材平滑試験片の繰返し試験結果

図9 平滑試験片におけるAE急増応力の決定

σ_{AEa} とすると、それぞれ490 MPaおよび180 MPaとなる。一方S25C焼なまし材は明確な折れ曲がり点を示さず σ_{AEa} を決定することができない。

3.2 切欠試験片のAE測定結果 図10, 11にそれぞれS25C焼なまし材、SCM4焼入焼戻し材平滑およびU状切欠試験片のAE測定結果を対数軸にプロットして示す。S25C焼なまし材U状切欠試験片は減少傾向(上に凸)の折れ曲がり点を示すが平滑試験片と同様に増加傾向(下に凸)の折れ曲がり点を示さない。このためAE発生開始応力(σ_{AEa})を急増応力とすればU状切欠試験片、平滑試験片の σ_{AEa} はそれぞれ120 MPaおよび200 MPaとなる。

SCM4焼入焼戻し材U状切欠試験片は折れ曲がり点を示し σ_{AEa} の値は310 MPaとなった。

3.3 疲労試験結果 図12, 13, 14にそれぞれ試験に供した試験片の疲労試験結果を示す。得られた疲労限度 σ_w の値はそれぞれ図中に示す値となった。

図10 S25C焼なまし材のAE急増応力の決定

図11 SCM4焼入焼戻し材のAE急増応力の決定

Gough らの研究結果によると、材料の繰返し降伏点は疲労限度と密接な関係があることが示されており、一方 AE は材料の降伏現象を検出する手法として有効と考えられている。このため繰返し試験における AE 発生開始応力と疲労限度との関係を調べた。図 15 にこの関係を示す。この結果 S 25 C 焼ならし材については平滑材、切欠材にかかわらず AE 発生開始応力と疲労限度はよく一致するが、SCM 4 焼入焼戻し材、FCD 40 焼なまし材については AE 発生開始応力が疲労限度と比較してかなり低いことが判明した。そこで、疲労限度との相関を求める値として AE 急増応力を用いた場合の結果を図 16 に示す。AE 急増応力と疲労限

度は試験に供したすべての材料についてよく一致した。

4. 結 論

各種素材の平滑試験片および切欠試験片について、繰返し漸増荷重負荷時の AE 測定を行い、測定結果と疲労限度の関係を求めた結果、以下の結論を得た。

(1) S 25 C 焼ならし材平滑試験片において繰返し漸増荷重法により求められる材料の繰返し降伏点と AE 発生開始応力が一致する。また AE 急増応力は決定できない。

(2) SCM 4 焼入焼戻し材平滑試験片、FCD 40 焼なまし材平滑試験片において、AE 測定結果を対数表示することにより AE 急増応力を決定できる。

(3) S 25 C 焼ならし材について、AE 発生開始応力を AE 急増応力とすれば、試験に供した切欠試験片を含むすべての試験片において AE 急増応力と疲労試

図 12 疲労試験結果

図 13 SCM 4 焼入焼戻し材平滑試験片の疲労試験結果

図 14 SCM 4 焼入焼戻し材 U 状切欠試験片の疲労試験結果

図 15 AE 発生開始応力と疲労限度の関係

図 16 AE 急増応力と疲労限度の関係

験で求めた疲労限度がよく一致する。

文 献

- (1) Gough, H., *J. Fatigue of metals*. Scott, Greenwood, and Son, London, (1924).
- (2) Koibuchi, K., *Proceedings of the international conference on Mechanical behavior of Materials*, 2 (1971), 401.
- (3) 加納・吉村, 第14回信頼性・安全性シンポジウム発表報文集, (昭59), 355.
- (4) Sandor, B., *J. Cyclic Stress and Strain*, (1972), 39. The university of wisconsin press.