539.433.019.1 : 620.178.3-185.1

高 速 平 面 曲 げ 疲 れ 試 験*

(第 2 報, 耐久限度の速度依存性について)

山 根 雅 巳**

High Speed Plane Bending Fatigue Test

(2nd Report, On the Speed Dependency of the Endurance Limit)

by Masami YAMANE

In order to investigate the effect of stress reversal speed (or frequency) on the endurance limit, the specimen of carbon steel and nickel-chrome steel were tested with the High Speed Pneumatic Fatigue Testing Machine developed by the author.

The test results have shown that the endurance limit has a tendency to increase with frequency in the high frequency range, while it is independent of frequency in the low frequency range. The boundary frequency seems to become higher according as the internal friction of the material decreases.

These phenomena could be explained rheologically with the visco-elastic model.

1. ま え が き

空気を動力に用いた共振平面曲げ超高速疲れ試験機(以下超高速試験機と略記)を製作し 3~18 kc/s の範囲の応力繰返し速度で鋼材の疲れ試験を可能ならしめたことは先に報告したとおりである⁽¹⁾。そこでその試験機を用いて、応力繰返し速度が疲れ強さにおよぼす影響を求めるため以下に述べるごとく実験を計画した。

疲れの速度依存性を求めるための実験は往々にして他の要素の影響を受けやすいものである。すなわち、希望の周波数範囲が小野式回転曲げ試験機の 25 c/s (1500 rpm) 以下から超音波領域にまでおよぶため、必然的に周波数によって異なった試験数を用いることになり、寸法効果、形状効果、荷重の方法などの影響を受け、また繰返し速度が速いと内部摩擦損失による発熱が大きくなるため温度上昇の影響を受けることになる。

超高速試験機は 3~18 kc/s の周波数範囲で等しい試験断面の試験片の疲れ試験が可能であり、後述するごとく摩擦損失による温度上昇はきわめて少なく常温

における試験が可能である。また、電磁形平面曲げ試験機を製作して 500 c/s において上と条件の等しい試験片の試験を行なうことによって、500 c/s から 18 kc/s の範囲では上述のごとき他の要素の影響を受けることなく速度依存性を求めることが可能である。

そこで、基本的性質の試験の終了した素材について、第 1 表の 5 種の試験機によって疲れ試験することを計画した。これは a, b および d によって平面曲げ疲れ強さの速度依存性を求めようとするものであるが、d のみは寸法効果を含んだ結果となる。また c および e によってこの速度範囲における速度依存性を求め、c, e および d によって回転曲げと平面曲げの荷重方法の効果を求めようとするものである。

この計画に従って、機械構造用炭素鋼 S35C, S20C およびニッケルクロム鋼 SNC-2 について試験した結果、それらの鋼材の耐久限度の速度依存性は低い周波数には存在せず、ある周波数以上で周波数とともに上昇する傾向を示した。

速度依存性を求めた研究としては 1929 年の Jenkin⁽²⁾の論文が有名である。その実験結果は第 1 図のごとく耐久限度の上昇は 60% に達し、また耐久限度は周波数とともにどこまでも上昇するものではなく最大値に達し、ある実験では最高周波数において減小することを見出した。

* 昭和 36 年 11 月 12 日 第 39 期全国大会講演会において論文講演として講演、原稿受付は昭和 36 年 8 月 4 日。

** 正員、日立製作所中央研究所(東京都北多摩郡国分寺町窓ヶ窪 280)。

この報告は古いものであるが、高い周波数（本報と同程度）におよぶ速度依存性を求めた唯一のもので、試験機の高速度化が困難なことなどの理由からその追試さえも行なわれておらず、これに関して異論もある(1)。

第2図は Lomas⁽³⁾、第3図は Wade⁽³⁾ が求めた速度依存性で、試験周波数は Jenkin および本報の実験よりも低いが、周波数とともに強度が増加する傾向を示し、Lomas の実験では Jenkin とくらべて一けた低い周波数においてピークを生じ、それ以上の周波数において急激な低下がおこっている。

以上のごとく、過去の研究は少なく、この点を明らかにすることができればきわめて有意義と考え、この実験を計画するに至った。

第1表 実験の計画

	名 称	荷重方法	試験周波数	試験断面mm
a	超 高 速	共振平面曲げ	3~18 kc/s	0.8×5
b	電 磁 形	"	500 c/s	"
c	片持高速	回転曲げ	125 "	10φ
d	シェンク	平面曲げ	50 "	4×20
e	小 野 式	回転曲げ	25 "	9.5~12φ

第2表 試験片の長さとの周波数の関係

呼称周波数 kc/s	0.5	3	8	12	18
はりの長さ mm	91.8	37.5	22.9	18.7	15.3

第1図 Jenkin が求めた速度依存性

2. 試 験 方 法

第4図の電磁形試験機は試験片の節点をゴムのくさ

第2図 Lomas が求めた速度依存性

第3図 Wade が求めた速度依存性

びでさえ、電磁石によって駆動し、試験片の温度上昇を防ぐため送風機を用いて空冷している。駆動用の電力増幅器として最大出力 200 W のものを用いている。

この二つの試験機は共振形であり試験片は均一断面のはりで第一次の free-free-mode で振動させ、第 2 表のごとく長さだけを変えて 500 c/s から 18 kc/s の間で試験周波数を変化させている。試験片中央表面に生ずる応力 $\sigma_{(0)}$ はその振動振幅 $y_{(0)}$ と共振周波数 f から求めることができる。

第 3 表 素材の熱処理

材 質	熱 処 理	温 度	冷 却
S 35 C	焼 な ら し	870°C	
S 20 C	焼 な ら し	890°C	
SNC-2	{ 焼 入 れ 焼 も ど し	860°C 620°C	油 急 冷

第 4 表 分析試験の結果

成分名 材質	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
S 35 C	0.36	0.28	0.58	0.017	0.009	0.12	0.05		
S 20 C	0.21	0.28	0.48	0.013	0.018	0.03			
SNC-2	0.34	0.33	0.63	0.019	0.012	0.87	3.08	0.87	0.03

第 5 表 引張試験の結果 4 号試験片 (直径 14 ϕ mm, 断面積 154.0 mm², 標点距離 50mm)

材 質	試片 番号	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	真破断強 さ kg/mm ²	伸び %	絞り %	破断 位置	試験機
S 35 C	1	42.0	60.8	109.2	30.2	54.0	中央	5 t ねじ
S 35 C	2	42.3	61.5	109.5	30.6	55.0	"	5 t ねじ
S 20 C	1	29.9	47.7	93.0	36.8	62.2	"	10 t 油圧
SNC-2	1	71.4	83.1	160.0	28.4	67.3	"	10 t 油圧

第 4 図 電磁形平面曲げ疲れ試験機

$$\sigma_{(0)} = 0.7007 \frac{\gamma}{g} \frac{l^2}{h} \pi^2 f^2 y_{(0)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで γ : 比重量, g : 重力加速度, l : 試験片の長さ, h : 試験片の厚さの 1/2 である。この式によれば動的に縦弾性係数を求めて応力計算を行なったことになる。

本報告の実験結果は、回転慣性とせん断力の効果を考慮した振動方程式の電子計算機による計算結果⁽¹⁾を上との比例関係で補正する方法で応力計算を行なった。

また、振動振幅一定の試験を行なっているため、試験結果をひずみ振幅で整理することも有意義と考えられる。試験片中央表面のひずみ $\varepsilon_{(0)}$ は次式で与えられる。

$$\varepsilon_{(0)} = 29.228 \frac{h}{l^2} y_{(0)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

試験片の素材は 38 ϕ mm の丸棒で、適当な長さに切断後第 3 表のごとき熱処理を行ない、第 1 表の各試験機のための疲れ試験片と、基本的な性質をしらべるための資料および試験片を製作した。超高速試験機と電磁形試験機の試験片は小野式回転曲げ試験片の表面に相当する位置から削り出し、長手方向に研削盤で仕上げた。加工後は熱処理を行っていない。そのため、加工層の影響を含むことになるが、500c/s~18 kc/s の間でその条件は平等と考えることができる。

3. 疲れ試験結果

試験した 2 種の炭素鋼およびニッケルクロム鋼の分析試験、引張試験、シャルピー衝撃試験およびビッカースかたさ試験の結果を第 4~6 表に示す。

その材料を第 1 表の 5 種の試験機によって 25 c/s から 18 kc/s の間 8 点の応力繰返し速度で疲れ試験を行なった。試験結果の一例を第 5 図に示す。それらの試験結果から、耐久限度を求め試験周波数をパラメータにして第 6 図の速度依存性を求めた。図に見られるごとく、3 種の鋼材は顕著な速度依存性を示し、炭素鋼では高い周波数における耐久限度が静的に求めた降伏点よりも高い値を示した*。前述のごとくシェンク平

第 6 表 衝撃試験およびかたさ

	シャルピー衝撃 (JIS 3 号試験片) (I R U ノッチ)	ビッカースかたさ (30 kg)
S 35 C		164 ~ 172
S 20 C	14.0 m kg/cm ² 16.0 m kg/cm ²	120 ~ 139
SNC-2	18.8 m kg/cm ² 19.9 m kg/cm ²	256 ~ 268

* 引張試験の試験速度を速くすると降伏点が高くなることを考えればこの点に矛盾はない。

面曲げによる結果は寸法効果を含んでいるので、この比較を速度効果と見ることはできないが、一応近い値を示しているものとして点線でその間を結んである。回転曲げ試験機による耐久限度はシェンク平面曲げ試験機による耐久限度よりも低い値を示しているが、これは荷重の方法の影響によるものと考えられる。炭素鋼の試験で周波数の異なる二つの回転曲げ試験機による耐久限度はほぼ等しく、この速度範囲では速度依存性が存在しないことを示した。またこの範囲で速度依存性が存在しないことは多くの人によって確かめられている。これらの実験から、速度依存性は点線および実線で示したごとく低い周波数では水平で、ある周波数（以下その周波数を折れ点周波数と呼ぶ）以上で周

波数とともに上昇する傾向を示すものであるように思われる。また高域では最高周波数にいたるまではほぼ直線的に増加し、Jenkin 第1図、Lomas 第2図のごときピークは認められなかった。

第7図はひずみ振幅で整理した耐久限度の速度依存性であり、三つの曲線の比較のためシェンク平面曲げのひずみ振幅で各点のひずみ振幅を割ったものを第8図、8 kc/s のひずみ振幅で各点のひずみ振幅を割ったものを第9図に示す。

ニッケルクロム鋼の速度依存性は第6、7図に見られるごとく折れ点周波数が高くこう配も急であるが、第8、9図のごとく強度増加率のこう配は炭素鋼とよく一致した。

またニッケルクロム鋼は炭素鋼とくらべて内部摩擦

試験番号	振 幅 μ	応力 kg/mm^2	サイクル数	摘 要
14	60	43.0	233×10^6	破 断
15	56.9	40.8	5.05×10^6	"
16	54.1	38.8	1.257×10^6	"
17	61.6	44.2	1.91×10^6	"
18	52.5	37.7	1.00×10^8	破断せず
20	53.1	38.1	1.00×10^8	"
21	54.4	39.0	1.00×10^8	"
22	55.0	39.4	8.73×10^6	破 断
23	54.4	39.0	1.00×10^8	破断せず

試料: S20C, 周波数: 12 kc/s

第5図 超高速疲れ試験の一例

第6図 耐久限度の速度依存性

第7図 ひずみ振幅で整理した耐久限度の速度依存性

第8図 耐久限度の速度依存性

第9図 耐久限度の速度依存性

損失が少なく、したがって共振せん鋭度が高く、たとえば 18 kc/s における SNC-2 の耐久限度は S 20 C よりはるかに高いが、耐久限度の応力を生ぜしめるのに必要な試験機入力は後者の 2/3 以下であった。

4. 超高速試験機の試験片の温度上昇

繰返し速度が速いと内部摩擦損失による発熱のため試験片の温度上昇が問題となる。そこで試験片の中央側面に熱電対を点溶接して試験片の温度を測定した。試験片は高い周波数で振動しており、測定点は振幅の大きいところであるため銅コンスタンタン線を直接引き出すと、その線が切断したり試験片の共振せん鋭度が低下して測定不能であった。そこで第10図のごとく溶接点から側面にそってわけてその上をアラルダイトでモールドし、節点から線を引き出す方法を考案し、測定可能となった。この方法によれば溶接した点がアラルダイトで包まれているので、その点は空気によって冷却されることもなく試験片の中心部に近い温度が測定できるものと考えられる。

この方法によって測定した結果 S 20 C, 8 kc/s の実験では第11図のごとく試験片中央の温度上昇は耐久限度に相当する応力で約 7°C, 10⁶ (約 2 分) で破断する応力でも 25°C に過ぎないことがわかった。

両端自由はり試験片では第12図のごとくその中央表面において応力ひいては発熱最大であり、その点に多量の空気

第 10 図 熱電対の点溶接

第 11 図 試験片の温度上昇

説明のため厚さ方向に拡大してある。上下左右対称だから左上 1/4 だけが図示してある。

第 12 図 試験片断面の応力分布

が吹きつけられ、またその空気流は断熱膨張のため温度が下がっていることと試験片の厚さが薄いため有効に熱を運び去ることが可能であり、また試験片の応力を大きくするためには供給空気圧を高くしているので断熱膨張による温度低下が大きく、大振幅にするほど温度の低い空気流を吹きつける傾向になっているため、上記のごとくほぼ一定温度とみなし得る試験が可能であった。これは超高速試験機のきわめて大きい特長である。たとえば超音波振動子による引張圧縮試験機は高い周波数の試験が可能であるが、試験片の断面上均一応力となるため発熱量はきわめて大きく、温度上昇がはなはだしく、表面を水冷している例が多い。またそのため温度こう配ができれば熱応力の影響を受けることになる。

炭素鋼の耐久限度の温度依存性（高温側）は 350°C 付近にピークを生じ、それ以上の温度で低下することが知られている。また一方内部摩擦によるエネルギー損失は周波数に比例するため高い周波数ではきわめて大きな値となり、冷却が不十分であれば周波数とともに温度が上昇し、温度依存性が重畳して速度依存性にピークを生じ、それより高い周波数で低下することが考えられる。

この傾向は Jenkin 第 1 図および Lomas 第 2 図の実験に明らかに認められる。Lomas の装置は片持試験片の自由端を空気流（空どう共振）によって駆動する方式であり、試験片がやや大形 (3.2×9.5 mm) であることと最大応力の支持端付近は冷却されていないため温度上昇が存在するものと考えられ、試験したすべての材質で 1~2 kc/s の間にピークが現われ、それ以上の周波数で急激な低下がおこっている。Jenkin の装置は両端自由はり試験片の中央に空気流を吹きつける点は筆者の超高速試験機と似通っており、試験片自体がオルガンリードのような働きをして振動する方式であるが、温度上昇の点に関しては不明である。

本報の速度依存性にピークが認められなかったのは、温度測定の結果が示すごとく最高周波数においても十分な冷却が行なわれ、温度の影響を受けることなく速度依存性を求めることができたものと考えている。

5. 超高速試験機の試験片の内部摩擦

高い周波数における試験片の内部摩擦は微小振幅ならば静電容量形あるいは電磁形駆動機構を用いて共振曲線法によって測定可能であるが、耐久限度あるいはそれ以上の振幅をそれらの駆動装置によって得ることは不能である。したがってこの応力レベルの試験には

必然的に超高速試験機を用いることになるが、内部摩擦損失はこの付近の振幅ではなほだしい振幅依存性を有するため共振曲線法(たとえば半値幅法)は役立たず、自由減衰法も不利であるため次のように考えて実験を行なった。

サイレンの音響出力 W_0 は、空気室と外気の圧力差を P とすれば、 P がきわめて小さい範囲では P^2 に比例するが数十ミリバール以上では

$$W_0 \cong 2PSC/(1+K)^2 \dots (\text{R. C. Johns}^{(4)}) \dots (3)$$

ここで S : のどの面積, C : 音速,

$$K = \left\{ 1 + \left(\frac{R}{\omega L} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad R: \text{音響抵抗},$$

L : 音響インダクタンス, ω : 角周波数

で与えられ P に比例する。これから超高速試験機は使用圧力範囲で出力エネルギーすなわち試験片に加えられるエネルギーが圧力 P に比例するとした。

そこで、超高速試験機の空気圧力と試験片の振幅との関係を各周波数の試験片について求め、次の方法で整理した。まず1サイクル当りの損失を求めるため P を周波数 f で割り、次に試験周波数が異なると試験片の体積が変化するため、ここに相似値が成り立つものとして更にその値を体積で割って1サイクル当り単位体積当りのエネルギー損失に比例する量と考えた。試験片は均一断面で長さが $\sqrt{f}$ に逆比例するから $P/(fV)$ の代りに $P/\sqrt{f}$ を取ることができる。

縦軸に $P/\sqrt{f}$ を取り、横軸に応力をとって整理した炭素鋼 S20C の実験結果を第13図に示す。図に見られるごとく内部摩擦損失は応力とともに徐々に増加するが、ある一定応力に達するとそこから急激に増加し^{*}、その曲線は試験周波数とともに応力の高い側に移動する傾向を示した(18 kc/s のデータには少々矛盾がある)。図の○印は耐久限度で、ほぼ一定の内部摩擦損失のところが耐久限度に相当しているように思われる。

第13図 内部摩擦損失の振幅依存性

* その折れ曲り点を Lazan⁽⁵⁾ は cyclic stress sensitivity limit, Mason⁽⁶⁾ は擬弾性領域と塑性疲れ領域の境界と呼んでいる。

ここで求めたエネルギー損失は第12図のごとき応力分布の各点におけるエネルギー損失を積分して体積で割った平均値であって、直接疲れ割れの発生する応力最大の点のエネルギー損失をあらわすものでなく、また最初の仮定にも疑問があるが、傾向はよく現わしているように思われる。すなわち、変形速度が速いと一定変形量に対して弾性変形の占める割合が増加して塑性変形量が減少し、疲れすなわち塑性変形と考えて、一定塑性変形を与えるのに高速ではより大きな振幅を必要とするとすれば、先に求めた耐久限度の速度依存性の傾向を説明することができる。第13図のエネルギー損失は当然のことながら第11図の温度上昇と似通った傾向を示している。前述のごとくこれは平均値であって第12図の応力分布から応力最大の点のエネルギー損失は第13図よりも更に急激に上昇を示すものと考えられる。このことからエネルギー損失すなわち発熱の大きい場所は試験片の中央表面の局部、それも第12図の傾向が示すよりも更にせまい範囲に限られると考えられる。

6. 考 察

応力繰返し速度が疲れ強さにおよぼす影響として

- (1) 内部摩擦損失による温度上昇
- (2) 酸素分子のアタック
- (3) 速度依存性本来のもの

などが考えられている。

この(1)は前述のごとく速度依存本来のものに重畳してピークを生じそれより上の周波数で低下がおり、その大きさは試験片の幾何学的寸法、応力の大きさ、荷重方法、材質および冷却の方法の関数となって現われる。また(2)は試験片にスリップバンドが現われたりあるいは割れが発生したときに露出するバースンマテリアルを試験片を取りまく空気中の酸素が捕えることについて考え、試験周波数が高いところでは低速の場合と比較して割れの開いている時間が短いので、バースンマテリアルは1サイクル当り少ししかおかされないから、繰返し数であらわした寿命は高速度で長くなるとする考えである(Rosenberg Grootenhuis⁽³⁾)。これは S-N

第14図 酸素分子のアタックの影響

曲線の傾斜部分の寿命がのびる(第 14 図の点線のごとく右へ移動する)ことであるから、炭素鋼の試験の際見られた 10^7 以後の破断の原因となり得る。しかしながら、耐久限度の大きさには影響を与えないと考えられる。

以上のごとく、(1) は本報の試験条件では無視することができ、(2) は耐久限度について考えるかぎり影響されないことがわかった。そこで、次に (3) の速度依存性本来のものの機構について考えることにする。

引張試験の際、応力が小さい範囲ではひずみはフックの法則に従って増加(弾性変形)するが、ある応力(比例限)を越えると塑性変形が加わって上の直線関係からずれ始め変形は遅れをとまう。低速疲れ試験による耐久限度の応力レベルはこの付近であり、さらに応力をあげると降伏点に達する。降伏以前のマイクロ塑性ひずみ⁽⁷⁾は一方向に応力を加える静的な試験によって測定することは困難であるが、交番応力を加えた際のエネルギー損失の振幅依存性を求めれば、それから塑性ひずみを知ることができる。

第 13 図の実験は高速試験の際のエネルギー損失の振幅依存性を求めたものであるが、これから、塑性ひずみも応力とともに徐々に増加し、応力がある値をこえると急激に増加することがわかる。その折れ曲り点から上の応力レベルにおける変化を表現する機構として第 16 図(a)のごとき粘弾性機構を考えた。いま塑性流動の力学的モデルとして第 15 図(a)のごときダッシュポットとスライダを並列に接続したものを考える。このモデルは同図(b)に見られるごとく $\sigma_p < \sigma_0$ の間は物体は流動することなく $\sigma_p > \sigma_0$ では流動性が現われる。このときの応力-ひずみ速度の関係式として Bingham⁽⁸⁾ は次のような実験式を与えている。

第 15 図 塑性流動の力学的モデル

第 16 図 固体の粘弾性の力学的モデル

$$\frac{d\epsilon_p}{dt} = \frac{1}{\eta} (\sigma_p - \sigma_0) \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 η : ダッシュポットの粘度、 σ_0 : スライダが動き始める応力である。

次に、塑性流動のモデルと並列にばねを接続した第 16 図(a) のモデルについて考えれば、 $\sigma < \sigma_0$ の間は $\epsilon_p = 0$ であるが、 $\sigma > \sigma_0$ においては同図(b)のごとき弾性余効変形を示す。このモデルにおいて、応力を二つの成分 σ_e と σ_p から成るものとする。すなわち

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_p \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{また, } \sigma_e = E \epsilon_p \dots \dots \dots (6)$$

ここで E はばねの弾性率である。(4)、(5)および(6)式を連立に解けば、第 16 図(a) のモデルの応力-ひずみの関係式が得られる。

$$E \epsilon_p + \eta \frac{d\epsilon_p}{dt} = \sigma - \sigma_0 \dots \dots \dots (7)$$

ここで、周期的変形を考えるためラプラス変換して整理すれば、

$$\epsilon_p = \frac{1}{1 + j\omega \frac{\eta}{E}} \frac{\sigma_0}{E} \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} - 1 \right) \dots \dots \dots (8)$$

が得られる。この式の右辺の前半は塑性変形速度依存性を現わすものであり、一次遅れの周波数応答の形であって、 $\omega_0 = E/\eta$ とすれば、 $\omega < \omega_0$ では周波数と

第 17 図 全体のひずみを現わす力学的モデル

第 18 図 塑性ひずみの振幅依存性

無関係で、 $\omega > \omega_0$ では周波数と逆比例する傾向を示すものである。また(8)式の右辺の後半は振幅依存性を現わすものであり応力 σ が σ_0 をこえると ϵ_p が増加する傾向を示すものである。このように塑性変形の大きさを速度依存性と振幅依存性の積の形で表わすことができる。

さて、第16図(a)のモデルは、塑性ひずみの振幅依存性の折れ曲り点から上の領域の挙動を表現するものであるが、全体の変形は第17図のモデルで表現することができる。すなわち図において E_0 は材料の縦弾性係数に相当し瞬間弾性率を現わし、 E_1 と η_1 を並列にした部分は折れ曲り点以下の領域の塑性変形を現わし、一番左の部分が前に述べた折れ曲り点以上の領域の塑性変形を現わすものである。

応力-塑性ひずみは第18図のごとき傾向を示す。すなわち a, b, i は E_1 の部分の塑性ひずみに相当し、これに E_2 の部分の塑性ひずみが加って $\omega < \omega_0$ では a, b, c, d の曲線になるが、周波数が高くとえば $\omega = 10\omega_0$ になると第二項による変形は $1/10$ に減少し d 点が e 点に移動して a, b, e, f の曲線になる。周波数がさらに10倍となれば同様に a, b, g, h の曲線になる。

したがってある一定の値 ϵ_0 の塑性ひずみを与えるために必要とする応力は $\omega < \omega_0$ では一定であるが、 $\omega > \omega_0$ では周波数とともに増加させることが必要となる。ここで、塑性ひずみがある一定の値に達しなければ疲れが進行しないと考えると、これによって第6～9図の速度依存性の傾向を説明することができる。

また、本報で試験した炭素鋼の試験片を水素のふん囲気の中で光輝焼ならしした結果、試験片が薄いため素材の焼ならしのときよりも冷却速度が速かったものと考えられ、結晶粒は前より細くなり、疲れ試験の結果、内部摩擦の減少と折れ点周波数の上昇が認められた。

これから、耐久限度の速度依存性の折れ点周波数は、耐久限度付近の応力レベルにおける内部摩擦によって影響されるものであるように思われる。

また、耐久限度の速度依存性は常温以下での温度依

存性と似通った傾向を示し*、また降伏点の速度および温度依存性の示す傾向と似通ったものであるように思われる**。

7. あ と が き

以上に、耐久限度の速度依存性を求めるために行なった一連の実験について報告した。実験を行なったのは3種の鋼材で、引きつづき異なった材質、項目の実験を行なっているが、今回の実験で次のことが明らかとなった。

(1) 耐久限度の速度依存性は、低い周波数には存在せずある周波数から上では周波数とともに上昇する傾向を示す。

(2) 耐久限度の速度依存性が現われはじめる(折点)周波数は、耐久限度付近の応力レベルにおける内部摩擦が少なければ高くなる傾向を示すものであるように思われる。

(3) 以上の速度依存性は微細部分の塑性流動を考えた粘弾性機構によって説明される。本研究にあたって、試験を行なう材質の入手、熱処理、基本的性質の試験、低速疲れ試験など多くの面で日立亀有工場研究課のご協力を得た。ここで紙上をかりてお礼申し上げます。また終始御指導いただいた東京大学 鶴戸口教授に厚くお礼申し上げます。

文 献

- (1) 山根, 機械学会誌, 64-513 (昭 36-10), 1488; 山根・須藤, 機械学会論文集, 28-185 (昭 37-1), 71.
- (2) C. F. Jenkin & G. D. Lehman, *Proc. Roy. Soc. Lond., Aer. A*, 125 (1929), 83.
- (3) *Inter. Conf. Fatigue. of Metals*, (1956), 361, 375, 838.
- (4) R. C. Johns, *J. Acous. Soc. Amer.*, 18-2 (1946), 371.
- (5) B. J. Lazan, *Proc. Soc. Exp. Stress Analys.*, 15-1 (1956), 1.
- (6) W. P. Mason, *J. Acous. Soc. Amer.*, 26-6 (1956), 1197.
- (7) T. Vreeland Jr., *Acta Metallurgica*, 1-4 (1953), 414.
- (8) 岡, 高分子の粘弾性(現代物理学), (昭 33), 24.
- (9) 横堀, 材料強度学, (昭30-10), 技報堂.

* 第16図(a)のダシユボットの粘性の温度依存性を考えれば、(8)式は温度依存性も現わすことになる。

** 降伏遅れ現象が、耐久限度の速度依存性と同じ物理現象であるとする説もある(F. B. Stulen⁽³⁾)。

討

〔質問〕 (1) 第13図において、周波数 18 kc/s に対する内部摩擦損失は、他の周波数の場合と比べて矛盾があることを指摘されているが、これは実験誤差によるものか、あるいは再現性のある傾向で理論考察

論

と矛盾するのか。

(2) 第13図において擬弾性領域内の内部損失は転位の揺動などによるものであり、降伏点以上における損失の増加はすべり線の発生に伴う変形の結果と考

ると、折れ曲り点の付近に耐久限度が一致すべきであるが、耐久限度がこれより大きいのは高速疲れのためと考えられるか。

第 13 図の振幅依存性は、通常の低速試験では疲れ過程で変化する(問1)が、高速疲れにおいてはどうか。

(榎本信助)

〔回答〕 (1) 実験誤差によるものと思う。

(2) 第 13 図の実験の試験片は、加工のままで加工層が存在している。熱処理によって加工層を取り去ったものでは、折れ曲り点に耐久限度が一致している。本報の試験片が薄いことと、第 12 図の応力分布から加工層は変形の挙動に支配的に影響すると考えられ、第 13 図で折れ曲り点からかなり上昇した点が耐久限度に相当しているのは加工層の影響であろうと考えている。また第 13 図は処女材の測定で第 1 報(答1)に述べたごとく、時間の経過とともに(多くの場合)損失が増加する傾向を示す。

〔質問〕 (1) 高速では一般に、繰返し速度が早くなると、疲れ限度の上昇とともに、限界繰返し数も増加するののか。

(2) それならば、提案のような機構で、破断繰返し数の増加をも説明できるか。(北川英夫)

〔回答〕 (1) 繰返し速度が速くなると限界繰返し数が増加する傾向は、Jenkin⁽²⁾、菊川・栗谷(答2)、田中(答3)の実験においても明らかに認められる。

(2) 本報のレオロジ的解析は、疲れの過程のある瞬間における変形の挙動を表現するもので、これによって S-N 曲線の S 方向の増加を説明しようとするもので、N 方向の増加は主としてケミカルな現象によるものとする。

(問1) たとえば榎本, 機械学会論文集, 11-41 (昭 20-2), I-39; 同 14-46 (昭 23), 90.

(答1) 山根・須藤, 機械学会論文集, 28-185 (昭 37-1), 71.

(答2) 菊川・栗谷, 機械学会誌, 64-513 (昭 36-10), 1492.

(答3) 田中, 機械学会誌, 64-513 (昭 36-10), 1498.

第 6 回 世界 動力 会議 開催

6 年ごとに開かれている世界動力会議の第 6 回総会は今秋 10 月 20 日から 27 日までの 8 日間、オーストラリアのメルボルンで同会議加盟国 59 箇国の代表者 2000 名が集って開かれることになった。

わが国からは日本動力協会世界動力会議日本国内委員会(議長 安川第五郎氏)で内定している中部電力会長 井上五郎氏が団長格として出席するのをはじめ、東京電力会長 青木均一氏、東海大学教授 巽良知氏ら電力、電気、石炭、石油、原子力、ガスなど各界の学識経験者十数名が出席することになっている。

同総会の議題は「変化しつつあるエネルギー構造」で、わが国からはすでに「日本における経済発展とエネルギー構造の将来について」など 8 編の論文がオーストラリア国内委員会へ提出されている。

また、わが国代表は同総会で、1966 年(昭和 41 年)に東京で部会を開きたいとの提案を行なうことになっているが、これが通れば昭和 4 年に開かれた東京部会についてわが国では 2 度めとなる。

なお、世界動力会議は 1924 年(大正 13 年)、イギリスのロンドンに設立されたエネルギーに関する国際協力機構で、その目的は 1958 年に改正された定款の中でつぎのようになっている。すなわち

国内的および国際的にすべてのものにとって最大の利益となるようにエネルギー資源を開発し、しかも平和

利用的に利用することである。

そのため (1) エネルギーの潜在的資源およびエネルギーの生産方法に関するあらゆる面からの考究、(2) エネルギー資源およびその利用に関する資料の収集および公表、(3) エネルギー資源の調査、開発または利用になんらかの方法で関係する者、による会議の開催などを行なうようになっている。

日本側の提出論文つぎのとおり

1. 日本における経済発展とエネルギー構造について
(東海大学教授 巽 良知)
2. わが国石炭鉱業の最近の動向と政策
(通産省前石炭局長 今井 博)
3. 日本の石油工業の現状と将来
(丸善石油取締役 景平一雄)
4. 日本におけるガス燃料の用途ならびに製造法の推移
(資源技術試験所長 馬場有政 外 1 名)
5. 日本における電源開発の動向
(通産省公益事業局技術長 高村善博)
6. 日本における原子力発電の発展(科学技術庁原子力局原子炉規制課長 佐藤 紀 外 1 名)
7. 火力発電における低質炭利用
(中国電力副社長 永田八郎 外 2 名)
8. 国鉄の動力近代化計画
(国鉄水戸鉄道管理局長 湯川竜二)
(服部 敏夫)