金属材料の疲労と内部摩擦に関する研究 (第3報)⁽¹⁾

繰返振り負荷による非兩振疲機構に就て

(昭和 19 年 11 月 3 日 應用力学講演會に於て講演)

正 員 榎 本 信 助⁽²⁾

1. 緒言 繰返負荷による振幅と平均應力に関する疲限度線圖は、主として振幅の支配を受けるが、平均應力の増大と共に幾分下降の傾向を示し、その應力上限が降伏點を超しても尙直線的傾向を維持する。疲限度線圖における 0.2% 降伏線は、靜的安全範圍を指示する一つの目安に過ぎず、特に疲機構と直接的關係を有するものではないが、この値は相當大であり、降伏は遙かに早期に發生する。疲限度線がこの線を超えるためには、非兩振繰返負荷疲機構が、降伏點のみに支配されぬ何等かの特異性を持つものと豫期される。平均應力の増加に伴ふ疲限度線の低下の原因を、内部摩擦の見地から實驗的に追及し、その機構につき考察した。

2. 實驗 焼鈍せる 0.10% 炭素鋼に就き、繰返振り負荷により、種々の平均應力及び振幅状態における疲過程の減衰能、溫度上昇の模様を觀察し、尙平均應力を有する振動減衰能及び非彈性歪の發生の模様を測定した。繰返負荷はシェンク型繰返振り疲勞試験機により、溫度上昇は銅—コンスタン熱電對により測定し、減衰能測定は兩振、非兩振々々第 1, 2 報⁽³⁾⁽⁴⁾に記せる装置を使用し、非彈性歪の測定も同装置に依つた。

3. 平均應力の弛緩及び繰返歪 此の様な低炭素鋼に於ては、著しい平均應力の弛緩又は繰返歪の現象を生ずる。前者に就ては試験機の構造上、應力棒を含む繰返負荷系に所定の繰返歪を與へたまゝで、途中歪の修正をなすことなく繰返負荷實驗を行つた。従て嚴密なる應力弛緩の測定は出来ないが、平均應力の大きな場合は、繰返の初期に平均應力の弛緩著しく、その後は略ロガリズム的な減少が見られ、應力上限は次第に降伏點に收斂する傾向が見られた。後者に就ては、刻々に平均應力を修正して、略所定應力状態に保つた繰返荷重を與へ、破斷後又は繰返數 10^7 回における振れ角度を測定した。その結果によれば、繰返歪

量は平均應力及び振幅の函數として現はれるが、應力上限の一義的函數として略一つの曲線上に載ることを知つた。

4. 疲の進行状態 前報に於て、軟鋼は迂り線の増加と共に、減衰能特性が Kimball 型から振幅關係型へ移行し、疲の進行程度を表示することを知つたので、これを利用し、種々の平均應力及び振幅状態での繰返過程における疲の進行状態を、減衰能特性の變化の模様によつて觀察した。本材料の疲限度は 15.3 kg/mm^2 であるが、繰返負荷の振幅を 12 kg/mm^2 とし、平均應力を 0.8 及び 13 kg/mm^2 とした場合における減衰能曲線は、繰返回数と共に何れも略同程度の増加を示すが、振幅 16 kg/mm^2 とせる場合には、平均應力が大となると共に疲の進行が稍々早期に且著しく行はれる模様が見られた。

5. 仕事消費に就て 先づ繰返負荷過程における溫度上昇の模様によつて内部に消費される仕事の性質を見た。試験片中央表面を熱電對高溫部とし、室溫との溫度差を測定した。特に摺部よりの熱の傳導、空氣の流動等を極力防ぎ、各實驗が略同一環境となる様留意した。繰返負荷は振幅 6 kg/mm^2 、平均應力 0, 6 kg/mm^2 及び振幅 12 kg/mm^2 、平均應力 0, 7.7 及び 8.8 kg/mm^2 、更に振幅 16 kg/mm^2 、平均應力 0, 10 kg/mm^2 の 8 種の應力状態とし、溫度上昇の模様を觀察した。その結果は何れも 10^6 回程度の繰返回数後、發生熱量と放散熱量とが平衡した安定状態が得られるが、この平衡時期は平均應力が大となる程早めとなる。振幅 12 kg/mm^2 の場合は、その平衡溫度は平均應力の如何に拘らず、略同じであるが、振幅 16 kg/mm^2 の場合には、平均應力が大となると平衡溫度は稍大となり、發生熱量が幾分大となることを示した。これに反して振幅 6 kg/mm^2 の場合には、逆に平均應力を有する場合に溫度上昇が少いと云ふ興味ある結果が得られ、かかる結果は數回の實驗により同様に得られた。この事實は平均應力を有する繰返負荷の場合に、その内部摩擦が特異の性格を有することを暗示してゐる。

次に平均應力を有する振動の減衰能が、兩振々動の

[昭和 21 年 2 月]

(1) Study on Fatigue and Internal Friction of Metals.

(2) Nobusuke ENOMOTO, Member.

(3) 機械學會論文集、10 卷 41 號、第 1 部 (昭 20-2).

(4) 同誌、1-50 頁。

第1図 平均応力による減衰能曲線の變化

場合と異なつた性質を示すことは前報に於て觸れたが、減衰能が内部摩擦の一表現と考へられるので、その性質を確かめてみた。第1圖は種々の平均応力における減衰能曲線である。平均応力 $\tau_m = 0$ の場合は、明瞭に Kimball-Lovell 型の減衰形が現はれてゐるが、平均応力が次第に大となるに従ひ、これが消滅し、振幅関係型へ移行してゐる。そして振幅の小なる範圍に於ては、平均応力を有する場合の方が對數減衰率が小である點は注目すべきであり、上述の溫度測定の場合と符號した傾向が見られるのである。

更に平均応力を與へた状態に於て、反復負荷を與へた場合の迂り歪曲線にも同じ傾向が見られる。即ち第2圖は反復應力の上、下限間における迂り歪の量を反復應力に對して點取つたもので、この曲線は前述の減衰能曲線と對應するものである。

6. 内部摩擦機構に就て 第2圖は平均応力を有する繰返負荷状態におけるヒステリシス環線の性質を示すものであり、内部摩擦機構を説明する基礎をなすものである。即ち消費されるエネルギーは、この曲線と縦軸に挟まれる面積により示されるのである。詳細は本論文に譲り結論を述べるならば、これにより第1圖に示す減衰能曲線及び溫度上昇に関する實驗結果を説明

第2図 種々の平均応力における反復應力と迂り歪の關係

し得る。又この曲線より1サイクル間における歪歪曲線を誘導することが出来、これは繰返歪歪に関する實驗曲線と定性的に一致する。

疲破壊は歪歪の大小とは關係なく、1サイクル間の仕事量の大小に支配される。即ち歪歪は割れ發生の原因とはならず、摩擦量⁽⁵⁾の大小が迂り面の剝離を生ぜしめる原因と考へられる。そして摩擦量の大小は第2圖により決定される。圖に於て兩振疲限度に相當する仕事量と等量の仕事を他の曲線に求めるときは、平均応力が大となるに従ひ、その振幅が小となる消息を知るのである。これが平均応力の増加と共に、疲限度が低下する理由と考へられる。

[昭和20年4月13日受付・本論文は論文集11巻42號第1部(昭20-8, 11)に掲載の豫定]

動荷重に依る直線梁の振動

(昭和20年7, 8月 材料力學部門研究會における報告)

正員 小野 鑑 正⁽⁶⁾

兩端を自由に支へた直線梁の上を一方向に進む動荷重 P がある。その速さ v を一様として $t=0$ の時 P は梁の一端 O にある。然る時は或時間 t を經過した時 P の位置は $X=vt$ である。又梁の斷面の位置を定め

るためその O よりの距離を x として x に對する撓み w を次のやうに表はす。

$$w(x, t) = \sum_v X_v(x) (A_v \cos p_v t + B_v \sin p_v t) \dots (1)$$

この式に於て p_v は rad/s にて表はされた振動の速さ

⁽⁵⁾ こゝに摩擦とは磨耗を意味するものではなく、迂り線帯内の一格子迂り面における迂りを意味する。

⁽⁶⁾ Akimasa Ono, Member. Formerly Tōkyō Univ. 元東大。