620.194.8 : 620.178.311.868

腐食疲れの被害の進行について*

岩 元 兼 敏**

On the Progress of Damage in Corrosion Fatigue

by Kanetoshi IWAMOTO

Annealed 0.25 % and 0.15 % carbon steel specimens were tested in the city water under various stress amplitude in rotary bending for various times at each stress amplitude, and then subjected to fatigue test in air under a stress which exceeds the endurance limit by about 22%. The shortening of the life was calculated as a measure of the damage caused by the corrosion fatigue. The results obtained were as follows:

1. The progress of damage is expressed by an empirical formula shown below

$$D = a - \frac{b}{t+c}$$

where D : damage

t : time of corrosion fatigue

a, b, c : constants.

2. Lives of specimens under corrosion fatigue are expressed as

$$t = \frac{b_0 \sigma^m}{a_0 + a_1 \sigma}$$

where t : time to fracture

σ : stress amplitude

a_0, a_1, b_0, m : constants.

3. further, the effect of load cycle in corrosion fatigue was discussed.

1. 緒 言

よく知られているように、腐食疲れでは繰返し速度によってその強度が大きく影響されるために、腐食疲れ強さを求める際には、なるべく使用状態に近い繰返し速度で試験することが望ましいが、普通用いられている疲れ試験機は繰返し速度を任意に変えることが困難であって、常に使用状態の繰返し速度で試験できるとは限らない。また繰返し速度を任意に変え得る試験機があったとしても、おそい速度の試験は一般に長時間を要し実施が困難である。したがってこのように繰返し速度によって疲れ強さが左右される場合には、その影響のされ方を知ることがぜひとも必要であって、腐食疲れの場合の繰返し速度の影響についてもすでに 2, 3 の研究が発表されている⁽¹⁾が、疲れの根本的な機構が明らかにされていない現在の段階では、できるだけ適用の範囲の広い整理法を実験により求めることもやむを得ないことではないかと思う。そのためには

なお多数の研究の積み重ねが必要と思われる。

腐食疲れの場合には一般に疲れ限度があらわれないことが多いために、繰返し速度の影響をみるためには繰返し速度による $S-N$ 曲線の変化に注目すべきである。材料が破断して $S-N$ 曲線、または繰返し数 N を時間 t でおきかえた $S-t$ 曲線が描かれるまでに、材料は応力の繰返しによりなんらかの被害を受けているはずであって、この被害の進行のようすがわかれば、 $S-N$ 曲線または $S-t$ 曲線の形およびこれにおよぼす繰返し速度の影響が導かれるものと考え実験を行なってみた。

2. 実験の方法

材料が繰返し応力によって破断するまでに受ける被害の測定法には、種々の方法が提案されているが⁽²⁾、ここでは試験片の数が比較的少なくすむこと、得られた結果を $S-N$ 曲線または $S-t$ 曲線にみちびきやすいということから、先に行なったのと同じ方法を採用した⁽³⁾。すなわち腐食疲れを行なった試験片を適当な一定応力で空气中疲れ試験を行なって破断し、その寿命の低下率で被害率をあらわすことにした。

* 昭和 37 年 10 月 16 日 第 40 期東京秋期講演大会において講演，原稿受付 昭和 38 年 6 月 10 日。

** 正員，金属材料技術研究所（東京都目黒区中目黒 2 の 300）。

3. 実験結果

実験に用いた材料は S 25 C および S 15 C でその化学組成を第 1 表に、熱処理、機械性質を第 2 表に、顕微鏡組織を第 1 図に示す。フェライト結晶粒度は S 25 C 約 9, S 15 C 約 8 である。試験片は仕上り 1 mm を残して荒削りし、第 2 表の熱処理を施した後、第 2 図の形に仕上げ表面は 04 番紙やすりで研磨した。試験機は容量 10 kg m の小野式回転曲げ疲れ試験機 3 台を使用し、その 1 台は毎分回転数を 750, 1500, 3000 の 3 段に、残りの 2 台は 50, 150, 500, 1500 の 4 段に変えられるようにした。なお各試験機

第 1 表 材料の化学成分

鋼 種	化 学 成 分 %				
	C	Si	Mn	P	S
S 25 C	0.26	0.40	0.57	0.013	0.015
S 15 C	0.15	0.30	0.55	0.023	0.020

第 2 表 材料の熱処理、機械性質

鋼 種	熱 処 理	下降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	真破断力 kg/mm ²	伸び %	絞り %	ビッカース スカタさ
S 25 C	85°C, 30分, 炉冷	32.6	51.5	96.9	27	59	150
S 15 C	880°C, 30分, 炉冷	30.2	44.4	91.5	31	68	128

S 25 C

S 15 C

第 1 図 試験片縦断面 ×240

に東芝 S・4 H 形時間計を取付け、破断までの繰返し数のほかに破断までの所要時間を読みとれるようにした。腐食疲れの際は 18°C に保った東京都水道水を毎分約 0.2 l の割合で試験片に注ぎ、その表面が水の薄膜でおおわれるようにした。

空気中の疲れ試験結果を第 3, 4 図に示したが、この程度の繰返し速度の範囲では速度による差はないものといつてよい。被害の測定はおもに 1500 rpm で腐食疲れを行なったものについて行なったが、その他の繰返し速度で腐食疲れを行なったものも、被害を測定するために空気中で破断する時の繰返し速度はすべて 1500 rpm とし、そのときの応力は S 25 C では 32 kg/mm², S 15 C では 30 kg/mm² とした。この応力は両材料とも疲れ限度に対し約 22% 過大な応力である。

繰返し速度を 1500 rpm とし種々の応力で腐食疲れを行なったときの被害と、腐食疲れを行なった時間との関係の S 25 C の結果を第 5, 6 図に示す。第 5

L: 空気中用 75
腐食疲れ用 95

第 2 図 試験片形状寸法

第 3 図 S 25 C 空气中 S-N 曲線

第 4 図 S 15 C 空气中 S-N 曲線

図の結果は次のような双曲線であらわすことができる。

$$D = a - \frac{b}{t+c} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし D : 被害率 %

t : 腐食疲れを行なった時間 h

a, b, c : 腐食液, 材料, 応力, 繰返し速度により決まる定数

c は曲線が原点を通るように付け加えた定数で,

(1) 式に $t=0$ で $D=0$ なる条件を代入すると

$$c = \frac{b}{a}$$

第 6 図の応力 20 kg/mm^2 の場合は, 実験点が 2 個だけで曲線が (1) 式であらわし得るか明らかでないが, かりに (1) 式であらわされるとすると図に示すようになる。これ以上の応力では破断したときの時間だけを求めているので, 実験点は 1 個だけであるが, ここで採用した被害の測定法では破断は被害率 100% と考えることができるので, 第 6 図上では図に示すように

第 5 図 S 25 C 被害-時間曲線

第 6 図 S 25 C 被害-時間曲線

第 7 図 S 25 C 淡水中 $S-t$ 曲線

あらわされる。この破断点だけを $S-t$ 曲線に描くと第 7 図のようになり, 応力 18 kg/mm^2 付近で曲線は水平になり疲れ限度らしいものがあらわれる。

以上は S 25 C の場合であるが, S 15 C の場合も第 8 図に一例を示すように全く同様な結果が得られる。

4. 実験結果の考察

(1) 式の定数 a, b が応力によってどのように変化するかを知るために, a, b と応力との関係をあらわす線図を描くと, S 25 C の場合には第 9 図が得られる。この図の b は応力 0 と応力 20 kg/mm^2 の場合を除けば次の式であらわされる曲線上にのっている。

$$b = b_0 \sigma^m \quad \dots\dots\dots (2)$$

20 kg/mm^2 の点があらずれたのはこの応力では a, b を決めるのに用いた実験値が 2 個だけで, 他の応力の場合よりその数が少なかったためであるとも考えられる。応力 0 の場合については, 著者は従来応力 0 の場合も腐食疲れの特別な場合であると考えて実験していたが, この結果をみるとこれは腐食疲れとは別のものと考えたほうがよいように思われる。

次に定数 a であるが, 第 9 図からは a の変化の傾向がはっきりつかめないのので, 次のような方法をとってみた。すなわち (2) 式の関係が第 9 図に示すよりも大きい応力の範囲でも成り立つと仮定し, これから計算される b の値と破断までの時間から a の値を逆算してみる。そのために (1) 式において t を破断ま

第 8 図 S 15 C 被害-時間曲線

第 9 図 (1)式の定数 a, b
(S 25 C)

での時間とすると、先に述べたように $D=100$ とおくことができる。そして実測された破断までの時間 t に比べて c は小さな値になるので、これを省略すると

$$a \cong 100 + \frac{b}{t} \quad \dots\dots\dots (3)$$

このようにして計算した a と応力との関係を求めると第10図に示すように

$$a = a_2 + a_1 \sigma \quad \dots\dots\dots (4)$$

の形であらわすことができる。したがって(1),(2),(4)式から ($S-t$ 曲線が描けるような) 応力の大きい所では、被害率 D は次のような実験式であらわすことができる。

$$D = a_2 + a_1 \sigma - \frac{b_0 \sigma^m}{t + c} \quad \dots\dots\dots (5)$$

上式において $D=100$ とおけば破断までの時間が得られるが、 c を省略すると

$$t = \frac{b_0 \sigma^m}{a_0 + a_1 \sigma} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし t : 破断までの時間

σ : 応力

$a_0 = (a_2 - 100)$, a_1 , b_0 , m : 材料, 腐食液, 繰返し速度により決まる定数

以上は $S25C$ の場合であるが, $S15C$ の場合も全く同様になる。

第10図 (1)式の定数 a ($S25C$)

第11図 $S15C$ 応力 10 kg/mm^2 のときの被害-時間曲線

次に繰返し速度の影響について次のような整理も一方法ではないかと思う。(1)式からわかるように, a は長時間後に到達する被害率をあらわし, b は被害の進行速度に関係のある定数になるが, これから容易に想像されることは, a は繰返し速度に関係せず b だけが繰返し速度の影響を受けるのではないかということであって, 実験の結果も第11図に示すように繰返し速度に影響されるのは初めの立上がりの部分で, 時間が長くなるに従って繰返し速度の影響が少なくなり, 上述のように仮定してもよいように思われる。このように仮定すれば(6)式の a_0 , a_1 は材料と腐食液との組合せが決まれば, 繰返し速度に関係なく一定であり, b_0 , m は繰返し速度の関数である。今同じ応力で n_1 , n_2 なる2種類の繰返し速度で試験し, それぞれ t_1 , t_2 なる時間で破断したとし, n_1 , n_2 に対する b_0 , m をそれぞれ b_{01} , m_1 , b_{02} , m_2 とおけば

$$\left. \begin{aligned} \frac{t_1}{t_2} &= \frac{b_{01}}{b_{02}} \sigma^{m_1 - m_2} \\ \text{または } \log t_1 - \log t_2 &= b_{12} + m_{12} \log \sigma \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

ただし $\log \frac{b_{01}}{b_{02}} = b_{12}$, $m_1 - m_2 = m_{12}$ とおいた。

第12図は $S15C$ について毎分50回転と毎分1500回転での腐食疲れの破断までの時間を比較したもの

第12図 $S15C$ 破断時間の比と応力

第13図 (7)式の図示

第 14 図 腐食疲れ試験片縦断面の一例

で、応力 18 kg/mm^2 の場合を除き (7) 式の関係を満足しているように見える。 18 kg/mm^2 の点が大きくはずれるのは、この応力付近で $S-t$ 曲線がほとんど水平になり疲れ限度らしいものがあらわれるが、この値が二つの繰返し速度でやや異なり、両 $S-t$ 曲線が交差するためであって、この点については次の機会に報告する予定である。(7) 式の関係は第 13 図のようにあらわすことができ、 b_{12} 、 m_{12} がわかれば図式解法によっても一方の $S-t$ 曲線から他方の $S-t$ 曲線を描くことができる。

第 14 図は腐食疲れ後の試験片縦断面の一例であって、図に示したものは S 25 C 材を応力 10 kg/mm^2 で 120 時間腐食疲れ試験を行ない、まだ破断するに至っていないものの断面であるが、この図ではフェライト層にき裂がはいり、パーライト層を底面として腐食孔が横にひろがり、さらにその底から新しいき裂が出發したもののようである。このき裂の進行についてはさらにくわしく検討して報告する予定である。

5. 結 論

S 25 C, S 15 C 焼なまし材について淡水中回転曲げ疲れ試験を行ない、その間の被害の進行状況を測定し、その結果から破断までの時間を次の実験式であらわした。

$$t = \frac{b_0 \sigma^m}{a_0 + a_1 \sigma}$$

ただし t : 破断までの時間

σ : 応力

a_0 , a_1 , b_0 , m : 腐食液と材料の組合せ、繰返し速度による定数

次に二つの異なる繰返し速度の場合の破断までの時間をそれぞれ t_1 , t_2 とすると、応力 σ との間に次の関係式が得られた。

$$\frac{t_1}{t_2} = b_{12} \sigma^{m_{12}}$$

ただし b_{12} , m_{12} : 腐食液と材料との組合せ、繰返し速度の組合せによる定数

この研究にあたり実験式の作製に金属材料技術研究所 西島 敏技官の援助を受け、また遠藤勝治郎金属化学研究部長、九州大学の石橋 正教授に種々指導を受けた。厚く謝意を表します。

文 献

- (1) たとえば、遠藤、機械学会論文集、24-139 (昭 33-3), 167; 宇野・山口、第 9 回材料試験講演会前刷 (昭 35-5), 17.
- (2) たとえば、D. J. Mc Adam, *Proc. ASTM*, 28 II (1928), 117; 岡本・北川、機械学会誌、62-481 (昭 34-2), 204; 石橋、機械学会第 39 期通常総会講演会前刷集、No. 62 (昭 37-4), 25.
- (3) 岩元、機械学会論文集、23-127 (昭 32-3), 238.

科学技術庁・大気汚染防止の研究推進 (その 1)

科学技術庁は通産、運輸、厚生など各省の協力を得て大気汚染防止に関する大掛かりな研究を始めた。

この研究では、(1) スモッグ現象の解析、(2) 工場排気対策に関する研究、(3) 自動車排気ガスに関する研究の三つを主要テーマに取上げているが、とくに (2) の研究では中間規模の試験装置を作って脱硫の研究を実施、また (3) の研究では自動車排気中の炭化水素量を知る炭化水素自動測定記録計を試作することが新しい試みとして注目されている。

研究計画の概要つぎのとおり。

▽工場排気対策に関する研究＝排気ガスの脱硫研究については現在、工場施設などへの適用の可能性のみとおしが得られつつあるので、さらに実用化に必要な

諸元を得るため毎時 25 キロの中間規模試験装置を 39 年 2 月ごろまでに完成し、研究を進めるものである。同装置は石灰石吸収法による装置と活性炭吸着法による装置の 2 種を作る。一方ばい煙除去装置についてはその適正使用法および装置改善の指針を得るため、ばい煙除去装置の効率、実働状況の調査研究を京浜地区と四日市地区の約 50 施設について行なう。

研究分担は、(1) ばい煙除去装置の効率調査を通産省企業局が調査委託の形式で行ない。

(2) 燃焼排気ガスの脱硫研究については通産省資源技術試験所が行なう。

(服部 敏夫)

(121 ページへつづく)