

航空材料の疲れによる力学的劣化と その検出 (第2報)

—S/N ゲージの低サイクル疲労での特異な
挙動についての予備実験—

河 田 幸 三・本 堂 明・橋 本 彰 三

On the Semi-Microscopic Damage Appearing in the Fatigue of S/N Gage.

Kozo KAWATA, Akira HONDO and Shozo HASHIMOTO

Abstract It is found that semi-microscopic damage appears in the low cycle fatigue of S/N gage under a constant strain condition. This semi-microscopic damage should be considered as the source of electric resistance variation of metallic materials under plastic deformation, with point-defect and dislocation already mentioned.

摘 要

S/N ゲージの低サイクル疲労において、定ひずみ繰返し負荷回数の増加に伴い、半微視的損傷が金属顕微鏡視野のもとで現われることが明らかにされた。これは金属材料の塑性変形による抵抗変化の原因として従来考えられていた点欠陥、転位と共に、あわせ考慮されるべきであろう。

1. ま え が き

疲れた材料の疲れの程度を検出するのは、現在重要な課題の一つである。その一つに抵抗変化を用いる方法がある。金属材料の塑性変形による抵抗変化の原因としては、点欠陥、転位、などが考えられているが、S/N ゲージの低サイクル疲労において半微視的損傷も抵抗変化に寄与すると見られる実験結果が得られたので、予備実験の段階であるが報告する。

2. 実 験 計 画

2.1 概 要

材料の疲れを検出する一方法に抵抗変化を用いるものがある。主として低サイクル領域用として S/N ゲージがあるが、その低サイクル疲労時の抵抗変化 ΔR を各段階で測定するのと平行してゲージの挙動を金属顕微鏡下で観察したところ、きわめて興味ある現象が観察されたので報告する。日時の関係で実験数がまだ少ないので予備実験結果として報告する。

2.2 S/N ゲージ

S/N ゲージは構造物の破壊の予測される点に箔ひずみゲージに似たゲージを接着しておく

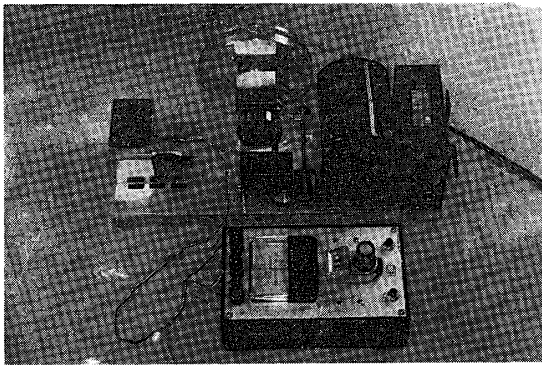
第 1 表 挙動観察に使用した S/N ゲージ

型 式	ゲージ長さ (mm)	グリッド幅 (mm)	ベース長さ (mm)	ベース幅 (mm)	厚 さ (mm)	初期抵抗 (Ω)
WA-02	3.18	3.18	10.0	6.35	0.05	100 \pm 0.2

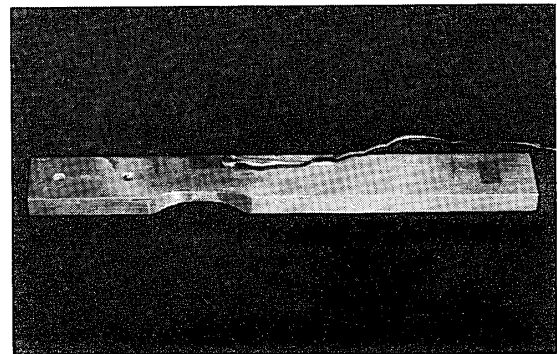
と、ひずみレベルと繰返し回数の関数である非可逆的抵抗変化を生ずるもので、現在のところ低サイクル疲労が主対象とされている。ここでは、まづ第 1 表のゲージを用いることとした。

2.3 疲労負荷の方法

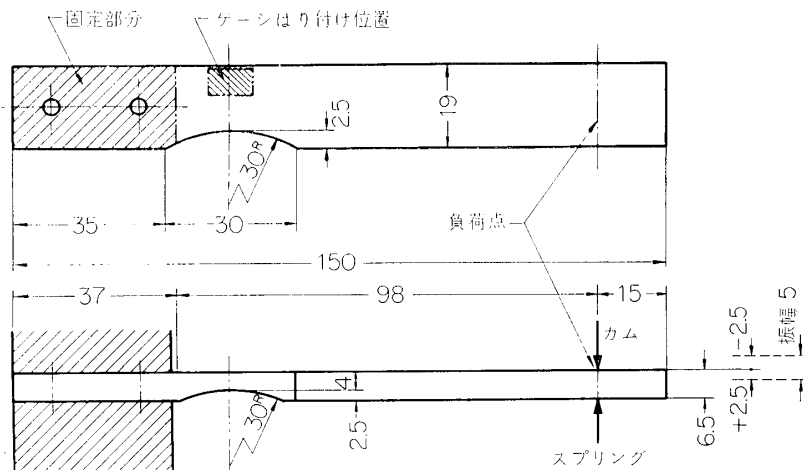
ゲージを接着した Al 合金片持梁の先端にカムを介して定ひずみ負荷を与え、ゲージに繰返し定ひずみを与える方法をとった。片持梁先端は上面よりカム、下面よりスプリングで圧着されており、ゲージには $+3250\mu\sim-2500\mu$ の両振り繰返し定ひずみが与えられるようにした (第 1~3 図)。



第 1 図 定ひずみ繰返し負荷装置



第 2 図 S/N ゲージに繰返し定ひずみを与えるための片持梁,



第 3 図 S/N ゲージに繰返し定ひずみを与えるための片持梁拡大図

2.4 試片の準備

ゲージの接着は通常のひずみ測定用の場合と同要領であるから特記しない。金属顕微鏡下での観察に便利のようにゲージ表面は軽く研磨した。ゲージはきわめて微細な構造をもつので研磨に際しては細心の注意を払った。

2.5 抵抗変化 ΔR とゲージの半微視的損傷度の測定

2.3 に前述した方法で試料に繰返し定ひずみ負荷を与え、ある段階ごとにゲージの抵抗変化 ΔR を小数点以下2けたまで測定し、平行して金属顕微鏡（オリンパスPME型）下でゲージ表面の観察及び写真撮影を行なった。この結果、かなり早期からゲージに半微視的損傷の発生することが観察された。この損傷度の定量化はきわめてむずかしい問題だが、とりあえず個々の損傷を1個ずつ数え、一定面積（ここでは、第4図(b))内の総数 D で表示することを試みた。

3. 実験結果とその検討

得られた観測結果を第4-1~4-7, 5~7図及び第2表に示す。第2表の結果で明かなように、半微視的損傷度 D に n の原点付近を除けば、ほぼ n^2 に比例して増加するように見える。一方、 ΔR はやはり n の原点付近を除けば、ほぼ n に対し線形で、これを現象論的に数式化すると、

$$\Delta R = R_0 + an \quad (1)$$

第2表 繰返し負荷回数 n , 抵抗変化 ΔR 及び半微視的損傷度 D の関係

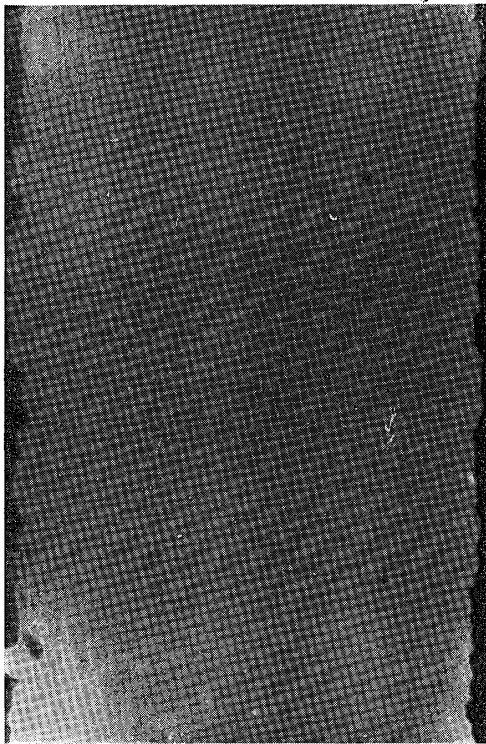
S/N ゲージ WA-02, 繰返し定ひずみ $+3250\mu \sim -2500\mu$,
両振り, 12~15Hz, 実験温度 24.5°C

繰返し負荷回数 n	抵抗 $R (\Omega)$	抵抗変化 $\Delta R (\Omega)$	半微視的損傷度 D	写真 No.
0	101.81*	0	0	1
1020	103.32	1.51	6	2
1500	103.80	1.99	—	—
1990	104.30	2.49	22	3
2420	104.56	2.75	—	—
2920	104.94	3.13	36	4
3410	105.27	3.46	—	—
3900	105.72	3.91	53	5
4400	106.12	4.31	—	—
4840	106.60	4.79	97	6
5500	107.27	5.46	—	—
6050**	107.78	5.97	150	7
6600***	107.40	5.59	—	—

* 初期抵抗 = 100.30 Ω , ゲージ研磨後抵抗 $R' = 101.81 \Omega$, $\Delta R = R - R'$

** 下地 Al 試片にクラック発生

*** 同 進行, (第5, 6図参照)

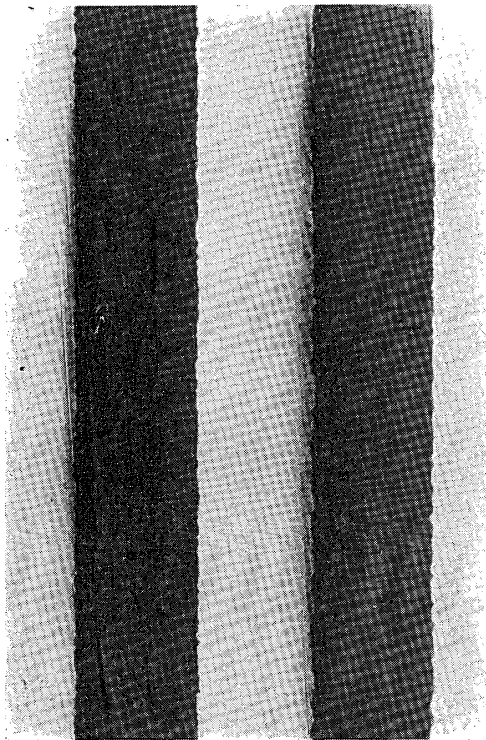


(a)

第 4 図 疲労に伴う半微視的損傷の発生 (a), (b) は倍率それぞれ 235 倍及び 940 倍 (以下同じ)

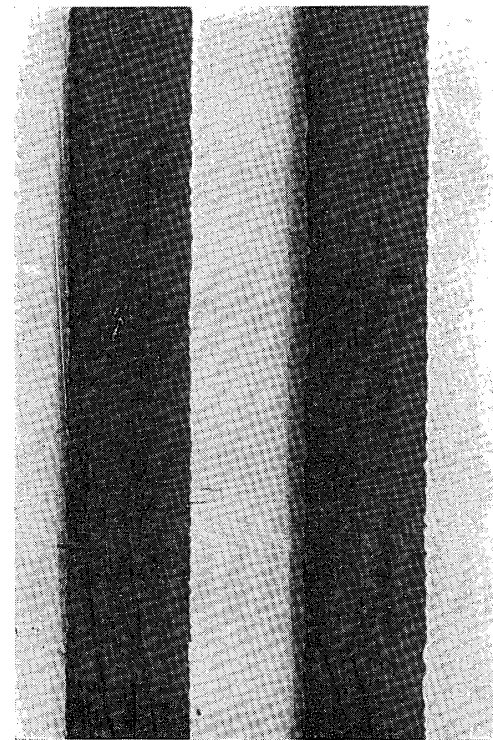


(b)



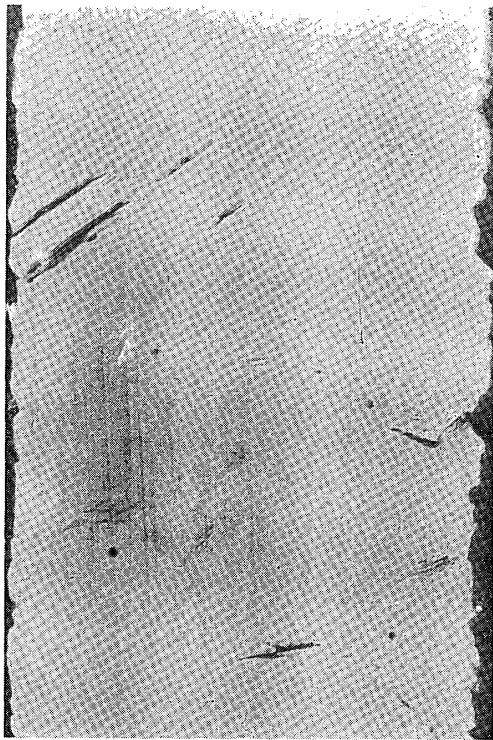
(a)

第 4-1 図 繰返し負荷回数 $n=0$



(a)

第 4-2 図 繰返し負荷回数 $n=1020$



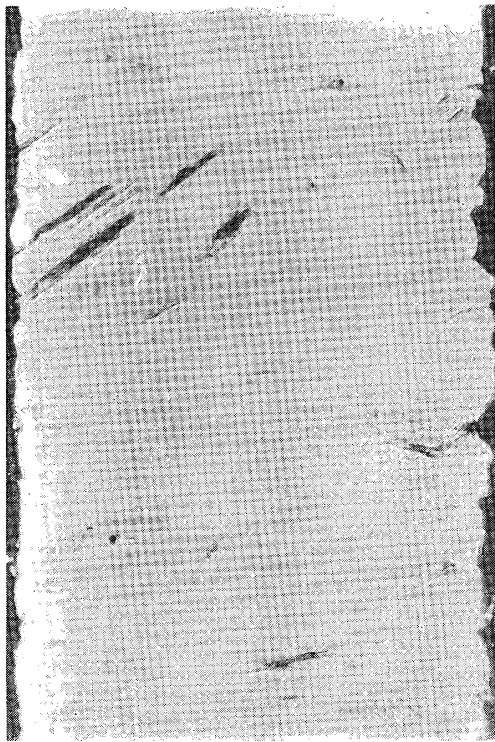
(a)

第 4-3 図 繰返し負荷回数 $n = 1990$



(b)

第 4-4 図 繰返し負荷回数 $n = 2920$



(a)

第 4-5 図 繰返し負荷回数 $n = 3900$

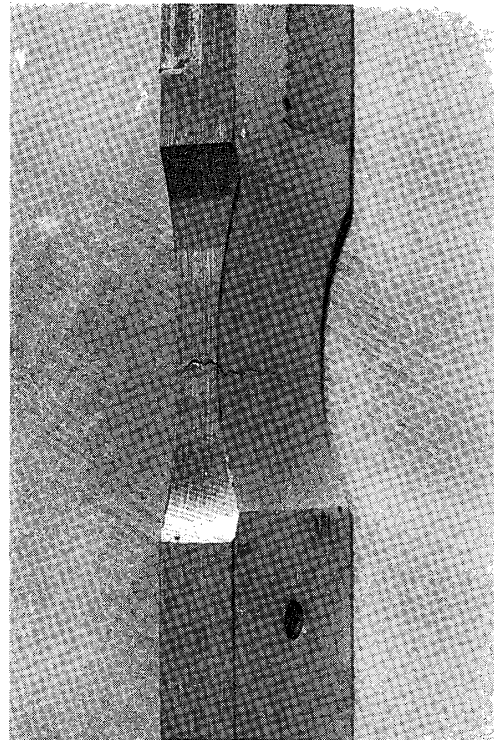


(b)

第 4-6 図 繰返し負荷回数 $n = 4840$

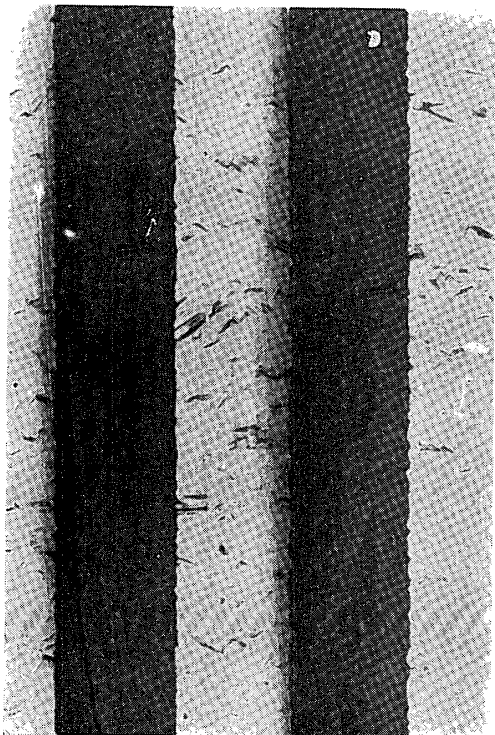


(b)

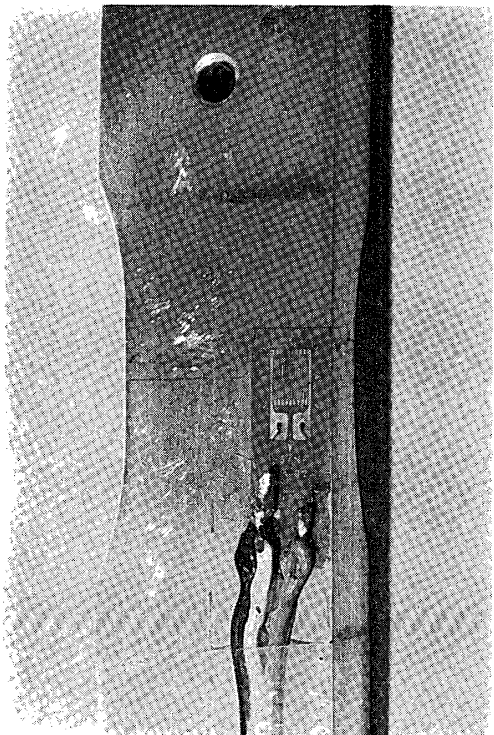


第6図 片持梁, 破断後

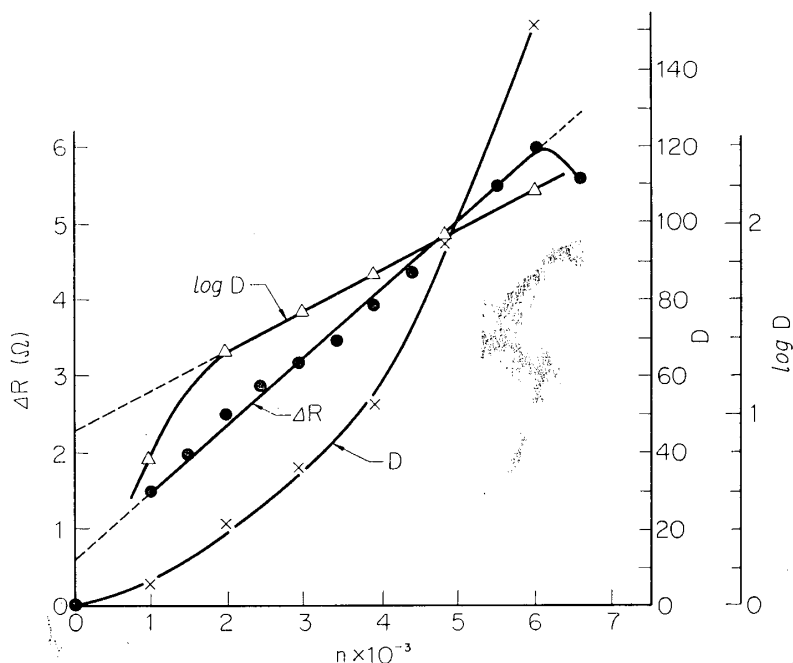
第4-7図 $n=6050$



(a)



第5図 ゲージ接普部近傍, 下地のクラックに注目されたい.

第 7 図 繰返し負荷回数 n , 抵抗変化 ΔR , 半微視的損傷度 D の関係

$$D = D_0 + kn^p \quad (\text{ここでは, } p \cong 2) \quad (2)$$

$$n = \left(\frac{D - D_0}{k} \right)^{1/p} \quad (3)$$

$$\Delta R = R_0 + a \left(\frac{D - D_0}{k} \right)^{1/p} \quad (4)$$

近似的に,

$$\Delta R = R_0 + a \left(\frac{D - D_0}{k} \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$R_0 = 0.59 \Omega, \quad a = 0.896 \Omega / 10^3 \quad (6)$$

塑性変形を受けた金属の電気抵抗変化は従来主として点欠陥による寄与と転位による寄与とに帰せられているが、本報告のような場合には、半微視的損傷も寄与していると思われる。これら三者の機構の関連については今後更にくわしい研究を要しよう。

4. 結 言

S/N 箔ゲージの低サイクル繰返し定ひずみ両振り負荷において、繰返し負荷回数 n の増加に伴い増加する半微視的損傷が観察された。金属材料の塑性変形による抵抗変化の原因として考えられていた点欠陥、転位などの微視的原因の他に、疲労による半微視的損傷も考慮すべきであると考えられる。この点については、今後更に詳しく研究が進められる必要がある。

1970年7月27日 材料部

参 考 文 献

- [1] D. R. Harting : Preprint, Second SESA International Congress on Exp. Mech., (Sept., 1965).
- [2] D. R. Harting : Exp. Mech., 6 (Feb. 1966).
- [3] 共和技報 No. 117 (Nov., 1967).
- [4] J. Molenaar, W. H. Aarts : Nature, 166 (1950), 690.
- [5] J. Takamura : Physical Metallurgy, North Holland, Amsterdam (1965), 681.
- [6] P. H. Pry, R. W. Henning : Acta Met., 2 (1954), 318.
- [7] T. H. Blewitt, R. R. Coltman, J. K. Redman : Defects in Crystalline Solid, Phys. Soc. London (1955), 369.
- [8] H. Weyerer : Z. Metallkunde, 44 (1953), 51.
- [9] T. G. Koppelaar : Acta Met., 9 (1961), 1078.