

A Study on Fatigue Properties of SUS304 Stainless Wire Rope

Tatsuo SAKAI, Masashi KASAHARA, Akiyoshi SAKAIDA, Masamitsu SAITO and Yoshinori TANAKA

1 緒言

ステンレス製ワイヤロープは、耐食、耐熱、耐低温性に優れるという特性をもっているため、各分野で幅広く使用されるようになった。極めて細い金属線を束ね合わせたミニチュアワイヤロープが、安全にその機能を十分発揮するためには長期使用に耐える疲労強度を備えていなければならない。そのためには疲労特性の解明と疲労強度に影響を及ぼす諸因子を系統的に調べる必要がある。しかし、これまでのミニチュアワイヤロープの疲労特性の報告は繰返し曲げによるものが多いのが現状である。

以上の観点から、本研究では SUS304 ステンレスワイヤロープの素線を用い、片振り軸荷重下での疲労試験を実施し、その $S-N$ 特性を明らかにした。また、疲労破面の SEM 観察を行い、フラクトグラフィの立場からステンレスワイヤロープの疲労破壊機構について考察を加えた。

2 供試材

本研究で使用した供試材は、オーステナイト系ステンレス鋼線 (SUS304) である。ステンレス鋼線 SUS304-W1 (JIS G 4309) を連続伸線加工機により伸線加工した後、メタノールで表面に脱脂処理を施したものである。素線の断面直径は $d=0.10\text{mm}$ である。実験に用いられる試験片は、品質の均一化のため同一のドラムから切り出す。Table.1 にステンレス鋼線 (SUS304) の化学成分表を示す。本研究で引張り試験を 30 本について行った結果、引張り強度の平均値は 2416MPa であった。

Table.1 Chemical composition of SUS304.(wt%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	$8.00 \sim 10.50$	$18.00 \sim 20.00$

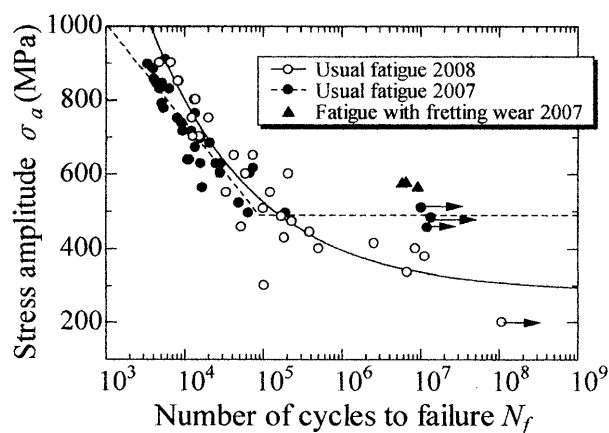
3 実験方法

試験機には、本研究室で開発した電磁式小型軸荷重疲労試験機を用いた。試験片長さにあたるチャック間距離は 100mm とした。金属細線に圧縮荷重を負荷すると、座屈が発生してしまうため、平均荷重を負荷した状態で $R=0.10$ の片振り疲労試験を行った。実験環境は室温・大気中で試験を実施し、破断した試験片について SEM を用いて破面の特徴を調べた。

4 実験結果

4.1 性能検証試験 実験に用いた試験機は新たに開発したものであるため、疲労試験機として十分な機能を備えて

いるかどうかの性能検証試験を行った。性能検証試験中にいくつかの問題点が発覚したため、試験機を改良した。そのため試験速度が、2007 年の性能検証試験では 40Hz、2008 年の本試験では 50Hz と異なっている。性能検証試験と本試験の疲労試験の結果から、日本材料学会標準の $S-N$ 曲線回帰法に従い得られた $S-N$ 特性を Fig.1 に示す。

Fig.1 $S-N$ diagram for Uni-fiber.

性能検証試験の結果では、繰返し数 10^7 回の手前付近で破断した試験片が数本見られ、破断した箇所にはいずれも褐色の錆が確認された。この錆はフレットングによる磨耗の特徴の一つである。フレットング磨耗を伴った破壊データを含めずに解析した結果、疲労限度は $\sigma_w=489.5\text{MPa}$ とわかった。本試験の結果では、 $S-N$ 線図は明確な疲労限度は現れず、連続低下型になった。また、性能検証試験時には見られたフレットング磨耗を伴った破壊は一つも現れなかった。

二つの $S-N$ 曲線を比較したところ、高応力域はほぼ同様の特徴を示したが、低応力域では顕著な違いが見られた。より理想的な荷重を負荷できた本試験の試験結果の方が疲労寿命が低下している。

4.2 比較試験 性能検証試験と本試験の $S-N$ 線図に前節のような顕著な違い現れた理由として、以下のような原因が考えられる。

(1)試験機の仕様変更による負荷荷重波形および周波数の変化。(2)試験を行った環境(室温・湿度・その他時節による環境)が異なったこと。(3)試験片の品質の違い。

今回はこの中で可能性として一番大きいと考えた(3)の検証実験を行った。試験片の品質にばらつきがあるとは

言え、隣接した試験片同士での品質に大きな差はないと考えられる。試験条件は同一としながら、便宜的に試験片を連続した10本ごとにグループ分けをし、各グループにそれぞれS-N線図を作成する。各グループは実験を行った順に、グループA、グループB、グループCと呼称する。

グループAは本試験と同じく明確な疲労限度が現れず、連続低下型の形状を示した。グループB・Cは、明確な疲労限度が現れ、疲労限度は $\sigma_w=628\text{MPa}$, 629MPa となった。グループB・Cでは応力繰返し数 10^7 回付近でフレット磨耗をともなった疲労破壊が見られた。

本試験とグループA、グループB・Cで類似した特徴となった。またグループB・Cは、フレット磨耗が発生した点、疲労限度が現れた点で特徴が共通している。これは、性能検証試験でも見られた特徴である。

以上の理由から原因としては(2)試験を行った環境が異なったこと、(3)試験片の品質の違いと考えられ、現時点でどちらが原因とは言いきれない。しかしながら、試験片の多くが表面の介在物を起点としたものであるため、その介在物の残存量の違いが疲労強度に影響を与えているのではないかと考えられる。

4.3 考察 本試験およびグループA・B・Cのデータを統合したS-N線図をFig. 2に示す。

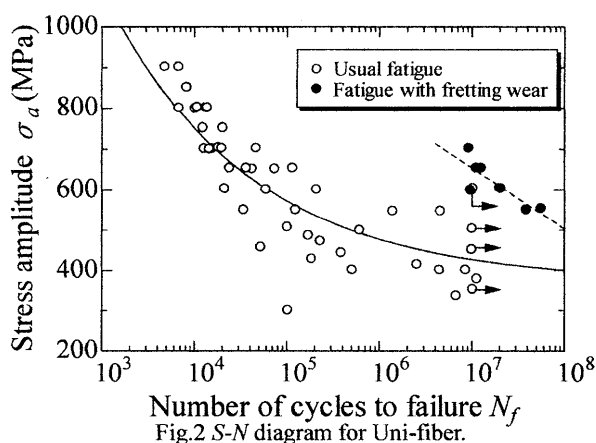


Fig.2 S-N diagram for Uni-fiber.

S-N線図に明確な疲労限度は現れず、連続低下型の形状を呈した。高応力域はデータのばらつきが少ないが、低応力域では非常にばらつきの多い結果となった。また、700MPaから550MPaの応力域では、通常の表面起点型破壊とフレット磨耗を伴った破壊に大きく分かれている。フレット磨耗を伴った破壊データにも、応力振幅と疲労寿命の間に相関関係が見られ、二種類のS-N特性が混合するようなS-N線図である。

5 走査型電子顕微鏡 (SEM) による破面観察

ワイヤ素線の疲労試験で破断した試験片の破面についてSEMを用いて破面観察を行った。短寿命域における疲労破面の一例をFig.3に示す。き裂発生起点である表面近傍に介在物の脱落跡が確認され、疲労き裂の安定成長領域

と不安定破壊領域の境界は明瞭に現れた。

長寿命域における疲労破面の特徴は上記の短寿命域のものと同等であるが、き裂の安定成長領域が非常に大きくなっている。短寿命長寿命の破面において、き裂発生起点である表面近傍に介在物または介在物の脱落跡が確認された。

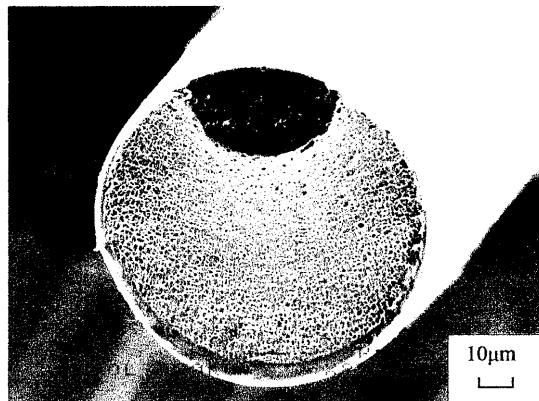


Fig.3 A fracture surface in low cycle fatigue for Uni-fiber.
($\sigma_a=844\text{MPa}$, $N_f=4,415$)

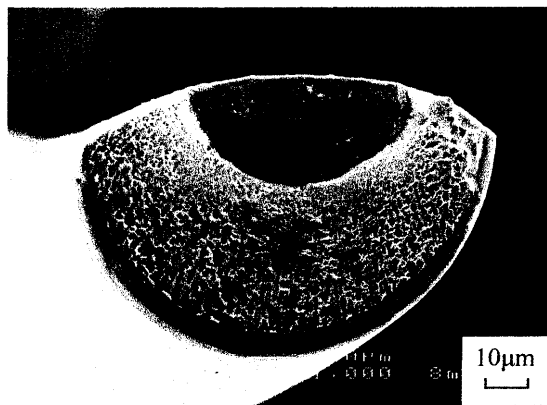


Fig.4 A fracture surface with fretting wear. for Uni-fiber.
($\sigma_a=654\text{MPa}$, $N_f=11,168,052$)

続いてフレット磨耗が発生した疲労破面の一例をFig.4に示す。素線の3分の1程度がフレット磨耗により磨り減っていることが確認できる。また疲労き裂が安定的に成長した領域も確認され、き裂発生起点と考えられる付近に介在物の脱落跡が確認された。このことから内部の介在物を起点とした疲労き裂の安定的な進展と、フレット磨耗による磨耗が並行して生じたことが破壊の原因となったと考えられる。

また、フレット磨耗が起こった場所と疲労き裂の起点となった場所の位置関係は一定でないことがわかった。主な原因は、フレット磨耗による断面積の減少の結果、真応力が上昇したため破断に至ったと考えられる。

< 結言・参考文献省略 >