中心ワイヤロープ入りストランドロープ*

土 井 明** 川 端 義 則** 篠 原 浩 一 郎**

Stranded Rope with Independent Wire Rope Core

by

Akira DOI, Yoshinori KAWABATA and Koichiro SHINOHARA

(Shinko Wire Co., Ltd., Amagasaki)

Fluctuating tensile load test was carried out on the stranded wire rope which was applied to the hanger rope for the long span suspension bridges. The $S-N$ curve and the fatigue limit diagram were plotted. The tendency of increase of broken wire and the dynamic extension of the wire rope during the test were also measured to find out the progress of fatigue of the wire rope. The results obtained are summarized as follows:

- (1) The $S-N$ curve by which the fatigue strength of the wire rope can be appreciated is obtained, and the fatigue limit is about 21 kgf/mm².
- (2) Mean stress σ_m does not practically affect the fatigue strength.
- (3) The wire breaking due to fatigue occurs more frequently on the low cycle side than the high one.
- (4) The wire breaking due to fatigue occurs concentratively in the core rope than in the outer one.
- (5) The wire breaking due to fatigue occurs shortly before the wire rope breaks.
- (6) It is difficult to find out the extent of fatigue damage and the indication of breaking by means of the change of dynamic extension.

(Received Feb. 12, 1976)

1 結 言

ワイヤロープの疲労といえば、従来から、シーブやドラムを介した繰返し曲げに対する疲労をいうのが一般的であった。ところが、昨今では、つり橋・つり屋根建造物などのテンションメンバーとしてワイヤロープが盛んに適用されるようになり、本州四国連絡橋のような鉄道併用橋としての長大つり橋の建設が具体化するにいたっては、そのハンガーに用いられるワイヤロープの軸方向の張力変動に起因する繰返し引張疲労を勘案する必要が生じてきた。しかし、ワイヤロープの引張疲労試験は、いわゆるスパイラルロープ^{1)~3)}に該当する鋼より線について実施された報告の若干の例はあるが、長大つり橋のハンガーロープに用いられるストランドロープ⁴⁾⁵⁾について報告された例はきわめて少なく、橋りょう設計に必要なデータは得られていないのが現状である。そこで、ストランドロープを供試材として

部分片振り疲労試験を行ない、 $S-N$ 線図と疲労限度線図を作成し、同時に、疲労の進行状況を知るために、ワイヤロープを構成する素線の断線増加傾向と、試験中におけるワイヤロープの動的伸びの変化を測定したので、その結果について報告する。

2 供 試 材

供試材として用いるワイヤロープは、JIS G3525に

Fig. 1. Cross section of sample.

* 本報を「ワイヤロープの部分片振り疲労試験(第1報)」(Fluctuating Tensile Load Test on Wire Rope, I)とする
原稿受理 昭和51年2月12日

** 神鋼鋼線工業(株) 尼崎市道意町

Table I. Dimensions of wire rope.

Rope diameter (mm)	Nominal tensile strength (kg/mm ²)	Minimum breaking load (t)	Wire diameter (mm)	Sectional area (mm ²)	Approx. weight (kg/m)
16	180	17.2	0.45~1.12	127	1.10

Table II. Chemical composition of material.

Notation of JIS	Chemical composition (%)				
	C	Si	Mn	P	S
SWRH 62A	0.63	0.26	0.49	0.011	0.015

Fig. 2. Dimension of test specimen.

規定する14号品で、その構成はフィラー形25本線6より中心ワイヤロープ(構成記号: $7 \times 7 + 6 \times \text{Fi}(25)0/0$)で、その断面図を Fig.1 に、ワイヤロープの諸元を Table I にそれぞれ示す。なお、ワイヤロープを構成する素線は、JIS G3506 に規定する硬鋼線材を用いて、パテンティング処理後冷間引抜加工を行なったもので、引張強さをそろえるために、素線径によって製造工程を選択している。線材の化学成分は Table II に示すものである。また、試験片の寸法は Fig.2 に示すもので、両端は熱影響を避けるために、合金鋳込みソケットとはせずに、円筒状スリーブを圧着している。

3 試験方法

3・1 試験装置

試験は Fig.3 に示すパルセータ型ワイヤロープ用引張疲労試験機を用いた。荷重の検出は、試験機の下端に取り付けたロードセルで行ない、動的伸びは、クロスヘッドの動きをダイヤルゲージで追従することによって測定した。また、試験中の断線発生状況は、電磁探傷法・可聴音法・振動法などによって測定したが⁶⁾⁷⁾、最終的には試験片を解体して、目視観察によって断線数を確かめた。荷重・伸び・断線などの検出に用いた測定機器を含めた試験概要を Fig.4 に示す。

3・2 試験条件

平均荷重(平均応力)を基準として、荷重振幅(応力振幅)を変化させたときの繰返し数をもとめること

Fig. 3. Fatigue tester.

Fig. 4. Outline of test.

Table III. Testing conditions.

Factor		Level			
		1	2	3	4
Mean load	$T_m(t)$	3	4	5	6.87
Load amplitude	$T_a(t)$	1.25~2.5			
Repeated frequency	(cpm)	500			

によって、S-N線図を描く。平均荷重および荷重振幅は、Table III に示す水準を設定する。また、時間強度は、繰返し数 $N=2 \times 10^6$ に対して求める。なお、1ストランドの疲労破断が生じたときをもってワイヤロープの破壊とみなす。

4 試験結果

試験結果の一覧を Table IV に示す。ただし、ここで平均応力 σ_m および応力振幅 σ_a は、それぞれ Table III に示す平均荷重 T_m および荷重振幅 T_a を Table I に示す標準断面積で除した計算値である。

Table IV. Tested results.

Stress (kgf/mm ²)			Stress ratio $A = \sigma_a / \sigma_m$	Number of cycles N	Number of broken wires		Remarks
σ_m	σ_a	$\sigma_R^{(*)}$			Core rope	Outer rope	
10.0	9.0	18.0	0.900	8.16×10^6	—	—	Non-broken
23.6	19.7	39.4	0.833	1.54×10^6	>200	0	Non-broken
	15.7	31.4	0.667	5.37×10^6	>200	0	
	11.8	23.6	0.500	2.69×10^6	0	0	
	10.6	21.2	0.450	7.00×10^6	0	0	
31.5	23.6	47.2	0.750	1.39×10^6	>200	4	Non-broken
	19.7	39.4	0.625	2.00×10^6	>200	0	
	19.7	39.4	0.625	2.44×10^6	>200	1	
	15.7	31.4	0.500	4.21×10^6	8	0	
	11.8	23.6	0.375	1.42×10^6	6	0	
	10.2	20.4	0.325	5.00×10^6	0	0	
39.4	23.8	47.6	0.604	1.37×10^6	—	—	Non-broken
	21.7	43.4	0.550	1.44×10^6	186	2	
	21.7	43.4	0.550	2.10×10^6	—	—	
	19.7	39.4	0.500	1.45×10^6	12	0	
	19.7	39.4	0.500	2.28×10^6	—	—	
	19.7	39.4	0.500	2.47×10^6	—	—	
	15.8	31.6	0.400	3.30×10^6	6	0	
	15.8	31.6	0.400	4.86×10^6	—	—	
	11.8	23.6	0.300	7.20×10^6	11	0	
	11.8	23.6	0.300	1.44×10^6	—	—	
	11.8	23.6	0.300	1.97×10^6	—	—	
	11.8	23.6	0.300	1.82×10^6	—	—	
	9.8	19.6	0.250	2.50×10^6	3	0	
	9.8	19.6	0.250	4.50×10^6	—	—	
	9.8	19.6	0.250	5.95×10^6	—	—	
54.0	21.0	42.0	0.390	1.41×10^6	>200	2	Non-broken
	16.2	32.4	0.300	4.80×10^6	49	1	
	10.8	21.6	0.200	8.33×10^6	23	1	
	9.5	19.0	0.175	2.00×10^6	0	0	
75.4	9.0	18.0	0.120	2.12×10^6	—	—	Non-broken
80.6	10.0	20.0	0.124	5.88×10^6	—	—	Non-broken
	5.2	10.4	0.065	2.75×10^6	—	—	

(*) Stress range $\sigma_R = 2\sigma_a$

4・1 S-N線図

Table IV に示す試験結果をもとに、平均応力 σ_m をパラメータとして描いたS-N線図を Fig. 5 に示す。従来から行なっているワイヤロープの繰返し曲げ疲労試験ではS-N線図は得がたいが、部分片振り引張疲労試験では、単線の疲労試験と同様に、疲労強度を明

Fig. 5. S-N diagram.

確にできるS-N線図が得られた。この図から、当初目的としていた $N=2 \times 10^6$ における時間強度 $\sigma(A2 \times 10^6)$ は、疲労限度の領域に存在し、その値はおよそ 21 kgf/mm^2 であり、また、平均応力 σ_m は疲労強度にはほとんど影響を与えないことがわかった。

4・2 疲労限度線図

疲労限度線図を Fig. 6 に示す。図において、 $\overline{OA}$ は部分片振り引張りの限界線 ($\sigma_m = \sigma_a$) で、 $\overline{AB}$ は降伏限度線 ($\sigma_m + \sigma_a = \sigma_y$) である。また、 $\overline{CD}$ は $N=2 \times 10^6$ に対する時間強度線 ($\sigma_m/2$) で、Table IV に示す結果のうちから、該当するものだけをプロットしている。なお、降伏点 σ_y は、ワイヤロープの静的荷重による荷重-伸び線図の0.2%永久伸びから求めたもので、本供試材では $\sigma_y = 87 \text{ kg/mm}^2$ である。

Fig. 6. Diagram of fatigue limit.

4・3 断線数と断線増加状況

Table IV に示す繰返し数と試験終了時の断線数の関係から、低サイクル側での応力条件下では、心ロープに100~200あるいはそれ以上の素線が疲労による断線を生じ、ワイヤロープ全体としての形くずれを起こしてストランドの切断にいたるものと考えられる。また、高サイクル側での応力条件では、切断部以外での断線数が少なくなっているが、これはワイヤロープ自身の疲労被害というよりもむしろ試験片端部の切欠き効果が大きくなるためと思われる。したがって、切断した端末部をつかみかえて試験を続行することによって、ワイヤロープ自身の真の疲労強度はさらに大きくなると考えられる。また、断線の分布状況からみると、心ロープの方に圧倒的に断線が集中する傾向がうかがえるが、これは、心ロープには引張応力の繰返しのほかに、側ロープからの外圧による接触応力が付与されるためと考えられる。事実、心ロープの断線は、そのほとんどが側ロープと接触する部分で生じており、断線にいたらない箇所でもかなり著しい素線の圧こんが観察された。したがって、心ロープと側ロープとの接触部分では、フレッチング以上にきびしい条件下で疲労が進行しているとみられる。

断線増加状況の調査は、 $\sigma_m = 39.4 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_a =$

Table V. Tendency of increase of broken wire.

Number of cycles n	Number of broken wires i
3×10^4	0
6	0
9	0
12	7
13.9	12

Testing condition $\sigma_m = 39.4 \text{ kgf/mm}^2$
 $\sigma_a = 21.7 \text{ kgf/mm}^2$

21.7 kgf/mm^2 の応力条件下で実施した。その結果を Table V に示す。この調査に用いた試験片は 5 体で、そのうち 4 体については $n = 3 \times 10^4$ 回ごとに 4 水準の繰返し数を設定し、他の 1 本は破壊まで繰返し数 $N = 13.9 \times 10^4$ 回を与えたものである。これらの試験片は、所定の繰返し数を与えたのち解体し、目視観察によって断線数 i を数えたものである。この結果から、疲労断線は、ワイヤロープの破壊近くになって急激に発生する傾向がうかがえる。

4.4 動的伸び特性

動的伸びの測定は、 $\sigma_m = 33.9 \text{ kgf/mm}^2$ 、 $\sigma_a = 11.8 \text{ kgf/mm}^2$ の応力条件下で行なった。その結果を Fig. 7 に示す。図からわかるように、繰返し数 $n = 5 \times 10^4$ 程度までは、最大ひずみ $\epsilon_{\max}$ 、最小ひずみ $\epsilon_{\min}$ および平均ひずみ ϵ_m はいずれも増加傾向は著しいが、それ以後は漸増して、破壊直前まではほぼ一定値に落ちつき、破壊と同時に急増する。この傾向は、初断線までは伸びが対数時間軸（対数繰返し数）に対して直線的に増加し、その後は伸びがさらに大きくなるとの報告とは様相を異にしている。

いっぽう、ひずみの範囲 $\epsilon_R (= \epsilon_{\max} - \epsilon_{\min})$ は終始

Fig. 7. Dynamic extensional property.

ほぼ一定値をとっている。したがって、動的伸びの測定からは、疲労断線の発生状況あるいはワイヤロープの疲労被害の程度および破壊の徴候などをとらえることはむずかしそうである。

5 結 言

ワイヤロープの部分片振り疲労試験を行なった結果から、結論的には次のことがいえる。

(1) 従来から行なわれている繰返し曲げ疲労試験とは異なって、疲労強度が明確にできるような S-N 線図が描け、疲労限度は約 21 kg/mm^2 となる。

(2) S-N 線図および疲労限度線図からみると、平均応力 σ_m は疲労強度にほとんど影響を与えない。

(3) 低サイクル側ではストランド切断部以外で疲労断線が多発し、高サイクル側では疲労断線数は少なく、端末部の切欠き効果が大きくなる。

(4) 疲労断線は、側ロープよりも心ロープの方に集中的に発生するが、これは外圧による接触応力の影響を受けるためと考えられる。

(5) 疲労断線は、ワイヤロープの破壊近くになって急激に発生する傾向がある。

(6) 動的伸びは、初期の段階で増加するが、以後破壊直前まではほぼ一定となり、また、ひずみの範囲も終始ほぼ一定値をとるために、伸びの変化から疲労被害の程度や破壊の徴候を知ることはむずかしい。

(昭和50年11月21日 シンポジウム「疲労における最近の諸問題」にて講演)

参 考 文 献

- 1) Korbin, M., Faculty of Mechanical Engineering Technion, Israel Institute of Technology (1974).
- 2) Cullimore, IABSE, Publication (1972).
- 3) 関 護雄, 山元 茂, 新保起夫, 豊川哲郎, 材料, **18**, 590 (1969).
- 4) Heller, S. R., F. Matanzo, and J. T. Metcalf, Catholic Univ. of America, Wash. D. C. 20017.
- 5) 小西一郎, 西村 昭, 島田喜十郎, 材料試験, **7**, 160 (1958).
- 6) 光島功雄, 川端義則, 神戸製鋼技報, **25**, 64 (1975).
- 7) 広中邦汎, 樋口文雄, 奥川淳志, 第30回土木学会年次学術講演会講演論文, p. 243 (1975).
- 8) 会田俊夫, 佐藤 進, 中井幹雄, 篠原浩一郎, 日本機械学会講演論文集, No. 192 (1968).