ワイヤーロープの静的試験および繰返し引張疲労試験*

小 西 一 郎** 西 村 昭*** 島 田 喜 十 郎**

Static and Pulsating Load Fatigue Tests of Wire Ropes

by

Ichirō KONISHI Akira NISHIMURA Kijūrō SHIMADA

(Kyoto University) (Kobe University) (Kyoto University)

The object of this experimental research was to decide the quality of several kinds of wire ropes of different sectional patterns under the static and the pulsating loads. Especially, the authors placed great emphasis on the latter case, and clarified the relations between the cycles of load repetitions and the elongation of wire ropes.

Fatigue tests were made under the pulsating tensile load of +500 kg~+5 000 kg, using the Losenhausen fatigue testing machine Type UHS.

The wire ropes tested were of the following six kinds: Filler type of Hemp core (abbreviated to H.C.) and Rope Core (abbreviated to R.C.); Special Seale type of H.C. and R.C.; and Warrington type of H.C. and R.C.. The Diameter of all wire ropes was 16 mm in nominal size.

Measurements on the elongation of wire rope during the progress of load repetitions were taken, using the Tanabe Deflectometer, with the cyclic interval, as a rule, with 25000 cycles interval of load repetitions.

Main results obtained are as follows.

(1) The fatigue failure of wire rope occurred in the neighbourhood of the socket of alloy metal where the most remarkable twist was observed during the testing.

(2) The relation between the elongation of wire rope and the number of cycles of loading formed a line almost straight in most cases, on the semi-log graph, until the element wire failed, in which the abscissa was taken as the logarithm of the number of cycles. After the element wire failed, the elongation of the wire ropes gradually a remarkable increase, which got higher and higher showed the elongation which increased more and more until the strand failed, and they endured more than 20 000 load cycles.

(3) The order of durability of the wire ropes for the repeating load of +500 kg~+5 000 kg was as follows: Special Seale type of R.C. (the best); The same of H.C.; Filler type of R.C.; The same of H.C.; Warrington type of R.C.; The same of H.C..

(4) The rate of increment of wire rope elongation accompanying the progress of cycles of load repetitions increased as for each wire rope in the following order: Warrington type of R.C.; Special Seale type of R.C.; Filler type of R.C.; Special Seale type of H.C.; Filler type of H.C.; Warrington type of H.C..

(5) Comparing the group R.C. with that of H.C., the durability for fatigue of R.C. group was superior to that of H.C. group. On the contrary, the rate of increment of the elongation of R.C. group was inferior to that of H.C. group.

(Received Dec. 2, 1957)

1. 緒 言

ワイヤーロープは、土木、建築関係の構造および工事のほかに、船舶、運搬、建設ならびに一般諸機械など各方面に、その用途は非常に広範囲にわたっており、

ワイヤーロープの断面構造型式の種類は数十種以上にもおよんでいる。

ワイヤーロープの破断は直接重大事故の原因となることが多く、使用目的により破断状態が曲げ疲労によるもの、静的引張により発生するもの、回転部に用いられ摩耗が起因となって破断するもの、繰返し引張荷重が作用し疲労破断するものなどが考えられる。たと

* 原稿受付 昭和32年12月2日

** 正員 京都大学工学部

*** 正員 神戸大学工学部

えば、ワイヤーロープがつり橋などに使用される場合は、静的引張に対する考慮のほかに交通物の通過により生ずる繰返し荷重に対する考慮が必要であり、荷重の反覆作用の結果、もし伸びが生じた場合、主鋼索の垂距 (sag) が大となるほか、つり鋼索も伸びるため補剛げたのたわみはますます大となる。

この結果、補剛げたはついに破損するに至る。そこで、ワイヤーロープが繰返し荷重をうけた場合、繰返し回数と伸びの関係を明らかにしておくことは、その関係構造物の安全性を確保する意味で、きわめて重要な意義がある。本研究では各種断面型式を有するワイヤーロープの優劣を判定するとともに、繰返し回数と伸びの関係を究明するため、同一繰返し引張荷重の疲労試験を行い、荷重繰返し回数の進展途上の伸びの増加の模様をはあくした。なお、静的引張強度についても同時に試験を行った。

2. 使用試験機および供試体

静的試験および疲労試験は、京都大学工学研究所において、ローゼンハウゼン疲労試験機 UHS 型 (容量：静的 35 ton, 動的 20 ton) を用いて行った。

試験に供したワイヤーロープは、フィラー型の Hemp core (以下 Hemp core を H.C. と記す) のものおよび Rope core (以下 Rope core を R.C. と記す)、スペシャルシル型の H.C. および R.C.、ウォーリントン型の H.C. および R.C. の 6 種類である。ロープの径は、いずれも 16mm のものを用いた。供試体は Fig. 1 に示すように、両端は円錐形のつかみ部を合金により作製した。両端のソケット合金は通常の静的引張試験に使用されるものと同様である。この場合、ワイヤーロープのソケット部は特殊な形であるため、試験機への取付けのために特に専用のつかみ部部品を作製した。

両端ソケット合金端面間のワイヤーロープ長は、疲労試験用供試体は 500mm, 静的引張試験用のものは

Fig. 1 From and dimensions of test specimen

Photo. 1 Static test specimen of steel wire rope

1000mm とした。なお、供試体としては長いものほど望ましいが、試験機取付上、上記の寸法に決定した。特に前者が短いのは、ロープの変形が大となると、試験機油圧の pulsating をある限度以上に増幅しえなくなる点を考慮したものである。

3. 疲労試験および伸び測定

疲労試験における試験荷重は、全試験片について +500kg ~ +5000kg の部分片振引張荷重を採用した。この場合、荷重繰返し速度はすべて 600 cycle/min であった。

疲労試験は、上述の繰返し荷重状態における破断までの繰返し回数を求めるほかに、繰返し回数の進展途上における伸びの増加を測定した。

ワイヤーロープの疲労破断は、一部のストランドが破断したときをもって判定し、そのときの荷重繰返し数を耐久繰返し数とした。この場合、全部のストランドが破断しなくても一部が破断すると、ワイヤーロープの伸びが急激に増大するため試験機の油圧が減少し、安全自動制御装置により疲労試験機は自動的に停止する。繰返し数が 1×10^5 回に至っても破断を生じない場合は荷重の繰返しを中止し、ただちに静的引張試験を行って、そのときの荷重前歴下で保有する静的引張強度を求めた。

荷重繰返し下のワイヤーロープの伸びの測定では、田辺式撓度振動記録器を使用して、Fig. 2 に示した l の長さの変化を測定した。この場合、ワイヤーロープつかみ部分 (図中、斜線部分) は軟合金よりなるため、载荷によってチャックがこの部分に喰い込み、それに相当する伸びがワイヤーロープ自身の伸びに加算され

Fig. 2 Schematic diagram of the fitting of specimen to testing machine and of the measuring of elongation

て表われるから、この影響をできるだけ少なくするために疲労試験に先立って静的に 5 000 kg の引張力を加えて、あらかじめチャックの喰い込みを強制して、その後、疲労試験を行った。伸びの変化の測定は、原則として繰返し数 2 500 回ごとに行い、素線の断線開始後はこれを 2 000 回、ときには 1 000 回間隔に短縮した。

Fig. 3 Sketch of strain amplitude and elongation of wire rope under pulsating load

記録の大略は Fig. 3 のとおりで、荷重が所定の値 +500 kg ~ +5 000 kg に調整されたときの繰返し数 n_0 回、基線より振幅中心線に至る長さを l_0 、また n_r 回に対して l_r である場合、 n_r 回における伸びの増加 Δl は $\Delta l = l_r - l_0$ より求めた。この場合の“振幅”とは、Fig. 3 に示す a_0 、 a_r などのことを意味する。つぎに素線の断線は外部に表われなかったため断線音をもって判定し、そのときの繰返し回数を読んで素線断線開始数とした。

4. 実験結果

疲労試験および静的引張試験結果は Table 1 に示すとおりである。また、繰返し回数と伸び Δl の増加と

Fig. 4 Relations between elongation and cycles of load for filler type (H.C.) wire rope

Fig. 5 Relations between elongation and cycles of load for filler type (R.C.) wire rope

の関係は、Figs. 4~9 に示した。Table 1 に示した静

Table 1 Static and fatigue tests results of wire ropes

Kinds of wire ropes	Specimen No.	Weight of specimen (kg)	Static strength (kg)	Cycles when wire breaking begin	Cycles for failure	Remaind static strength after fatigue test ($n=10^5$) (kg)
A+6/1+6+6+12 0/0 Filler (H.C.)* φ 16 mm	A-1	4.43	16 000	—	106 780	—
	A-2	4.40		35 680	56 000	—
	A-3	4.46		70 380	87 420	—
7×7+6/1+6+6+12 0/0 Filler (R.C.)** φ 16 mm	B-1	4.40	18 550	81 900	No failure at $n=10^5$	13 000
	B-2	4.45		29 100	57 920	—
A+6/1+5+5+10 0/0 Special Seale (H.C.) φ 16 mm	C-1	4.35	13 750	55 600	84 000	—
	C-2	4.45		84 300	No failure at $n=10^5$	11 760
(A+6/7)+6/1+5+5+10 0/0 Special Seale (R.C.) φ 16 mm	D-1	4.36	18 850	90 000	No failure at $n=10^5$	14 620
	D-2	4.34		78 900	No failure at $n=10^5$	14 200
A+6/1+6+6+6 0/0 Warrington (H.C.) φ 16 mm	E-1	4.32	15 250	48 000	73 300	—
	E-2	4.52		27 840	55 700	—
7×7+6/1+6+6+6 0/0 Warrington (R.C.) φ 16 mm	F-1	4.44	18 875	41 000	67 400	—
	F-2	4.34		52 310	99 800	—

* (H.C.): Hemp core. ** (R.C.): Rope core.

Fig. 6 Relation between elongation and cycles of load for special seal type (H.C.) wire rope

Fig. 8 Relation between elongation and cycles of load for warrington type (H.C.) wire rope

Fig. 7 Relation between elongation and cycles of load for special seal type (R.C.) wire rope

Fig. 9 Relation between elongation and cycle of load for warrington type (R.C.) wire rope

的引張強度とは、各グループ2本ずつの1000mm長供試体について得られた値の平均値を表す。ストランドの断線はすべて疲労破断においては、ソケット合金とロープとの結合部に生じ、素線の断線はすべて内部に生じ表面からは認められなかった。

5. 実験結果の考察

ワイヤーロープの疲労試験において、供試体は荷重繰返し回数の増加とともに、素線間の摩擦によって相当の発熱が生じ、それに応ずるようにして内部から表面に油の浸出がみられた。

素線の破断は、すべてソケット合金との結合部に生じた。これに対して静的引張の場合は、この結合部より100mmあるいはそれ以上離れた部分から破断した。このような疲労破断は、ワイヤーロープのよりと密接な関係があり、ほとんど例外なくよりの集中を生じた部分において破断した。ここにいうよりの集中とは、荷重の繰返しによってソケット合金との結合部付近に集中して生ずるよりのことで、外見上あたかもワイヤーロープの一部にゆるみを生じているかのように感じられる。要するに、疲労強度におよぼす、よりの集中の影響は顕著なものがあ、よりの集中がある場合には疲労強度は相当低下するものと考えられ、この

点供試体長500mmの検討が必要である。疲労試験供試体の作製にあたっては、かかるよりの集中をできるだけ消滅せしめるよう留意し、かつ、ソケット合金との結合部に生ずる応力状態の急変をできるだけ避けようような構造を見出すべきであると思う。

Table 1 からわかるように、ワイヤーロープの素線に断線を生じてストランドの破断までには約20000回以上の繰返し荷重に耐える。

素線に断線を生ずるまでは、伸び ΔL は片対数グラフ上において繰返し数の進行とともにほぼ直線的に増加するが、素線が断線すると ΔL は増加する傾向を示し始め、ストランドの破断が接近すると急激に ΔL が増大する。また、伸び ΔL と繰返し回数の関係を普通グラフ上にプロットすると、素線破断点はその曲線のわん曲点となっていることが明らかに見られた。これらより素線破断は繰返し荷重下の伸び増加に対して、重大な影響を及ぼすことが知られる。

Table 1 から、繰返し荷重 +500kg ~ +5000kg に対する耐久力は、スペシャルシール R.C., 同 H.C., フィラー R.C., 同 H.C., ウォーリントン R.C., 同 H.C. の順に減少することがわかる。

静的引張強度がだいたい同等の値を示すスペシャ

ルシール R.C., ウォーリントン R.C., フィラー R.C. の耐久繰返し数を比較することにより, 疲労に対する耐久性はスペシャルシールが最もすぐれ, ほかはだいたい同等か, あるいは, わずかにフィラーがまさると考えられる.

次に R.C. グループと H.C. グループとの耐久繰返し数の比較により, R.C. グループのほうが疲労に対する耐久性がすぐれていると考えられる. また, 繰返し回数の増加に伴う伸び Δl の増大の割合は, Figs. 4~9 から明らかなように, ウォーリントン R.C., スペシャルシール R.C., フィラー R.C., スペシャルシール H.C., フィラー H.C., ウォーリントン H.C. の順に増加する. このことから R.C. グループのほうが, H.C. グループよりも伸びの増加の少ないことが明らかである. 各断面型式の R.C. グループと H.C. グループの伸びの変化の状態は図からもわかるように, 同一グループに対してはだいたい同じような傾向を示している. このうち Fig. 7 のスペシャルシール R.C. の変化の状態がほかの R.C. のものとやや異なった傾向を示しているのは, Rope core の中に Hemp が入っているためであると考えられ, これは H.C. グループと R.C. グループの中間的な値を示している. したがって, この結果よりワイヤーロープ中の Hemp は繰返し荷重と伸びの関係に重要な影響を与えることが確認できた. 以上の点より, 概して伸びの増大が割合少ないものほど, 疲労に対する耐久性がすぐれていることがわかる.

6. む す び

以上, 各種断面型式を有するワイヤーロープの静的試験および疲労試験を行い得られた結果を要約すれば,

(1) ワイヤーロープの疲労破断の状態は, ソケット合金との結合部付近によりが集中し, あたかも一部にゆるみが生じたような状態を示し, よりの集中部で破断した.

(2) ワイヤーロープの伸び Δl は, 片対数グラフ上において繰返し数が増すにつれてほぼ直線的に増加する. しかし, 素線が断線すると伸び Δl は増加する傾向を示し始め, ストランドの破断が接近すると急激に増大する. 素線が断線してからストランドが破断するまでは約 20 000 回以上の繰返し荷重に耐える.

(3) +500 kg~+5 000 kg の繰返し荷重に対する耐久力は, スペシャルシール R.C., 同 H.C., フィラー R.C., 同 H.C., ウォーリントン R.C., 同 H.C. の順である.

(4) R.C. グループと H.C. グループについては, R.C. グループのほうが疲労に対する耐久性が H.C. グループよりすぐれている. また, 伸びについては R.C. グループのほうが H.C. グループよりも伸びの増加が少ない. この伸びの増加の状態は同一グループについては, だいたい同じような傾向を示しており, Hemp の影響が大であることがわかった.

(5) 繰返し回数の増加にともなう伸びの増加の割合は, ウォーリントン R.C., スペシャルシール R.C., フィラー R.C., スペシャルシール H.C., フィラー H.C., ウォーリントン H.C. の順に増加する.

本研究の実験は建設省建設技術研究補助金を得て, 建設省土木研究所道路研究室長谷藤博士および竹内技官の御協力のもとに行ったものである. ここに付記して感謝の意を表する.