

本州四国連絡橋公団 正員 奥川淳志
同 正員 田島二郎
建設機械化研究所 本郷健一

1. まえがき

これまでの吊橋は道路橋であるが一般的で、吊橋を構成する要素の一つであるハンガーロープに關しても疲労強度が設計の対象となることは少なかった。一方、当公団が建設を計画している吊橋のうち半数は道路鉄道併用吊橋であり、橋の併用期間中に約5~800万本の列車の通行が見込まれるなど、これまで吊橋と趣きを異にしている点がある。このためハンガーロープの設計に際して、その疲労特性を考慮した安全性の確認を行なう必要が生じた。本報告はハンガーロープの設計に必要な基礎資料を得るために直径60mmのワイヤロープを用いて行なった静引張り試験および疲労試験について述べるものである。

2. 使用試験機および供試体

静引張り試験は最大容量300tのアムスラー式横形引張り試験機を用い神鋼鋼線工業において行ない、疲労試験は建設機械化研究所において、電気油圧式試験機(容量:静的600t, 動的400t)を用いて行なった。

試験に供したワイヤロープはCFRC型、7×7+6×WS(31)のもので、引張強さ約 170 kg/mm^2 の亜鉛メッキ鋼線235本を約480mmの長さでつなげたものである。供試体は図-1に示すように両端にソケット付けしており、疲労試験用として焼込み温度 460°C のもの2本、 480°C のもの2本、静引張り試験用として 460°C のもの2本を用意した。また供試体のソケット間ロープ長は疲労供試体では約2m、静引張り供試体は約3.3mで、それぞれよりヒッチの4倍および7倍程度としている。

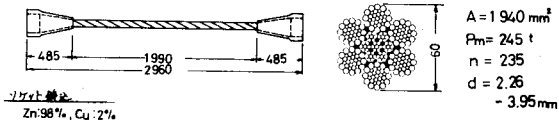


図-1 供試体 CFRC型 7×7+6×WS(31)

3. 試験

静引張り試験は122tのポリテン後 $30^\circ\sim 60^\circ$ で数回繰返し、その間GL=2mで伸び測定を行ない、伸びが安定した後切断まで至らしめ、切断荷重と破断時伸びを測定した。

疲労試験は120tのポリテン後、荷重制御の正弦波荷重 $180\sim 300 \text{ cpm}$ で荷重した。試験中一定回数の繰返し毎に静試験を行ない、ワイヤソケットからの抜け出しやロープの伸びの変化を測定した。ロープ素線の疲労破断は断線検出装置により求め、累積断線数と繰返し数の関係を把握した。また一部の供試体については、疲労試験後の残留引張り強度をもとめるために静引張り試験を実施した。

4. 試験結果と考察

4-1 静引張り試験結果

試験結果にはほとんど差はなく、切断荷重は275t、より減り11.5%であった。ロープの弾性係数はポリテン時 13600 kg/mm^2 程度であったが、4~5回の繰返し後 14300 kg/mm^2 程度で安定した。またロープの切断時伸びは平均8.4%であった。

4-2 疲労試験結果 疲労試験の結果は表-1に示すとおりである。

表-1 疲労試験結果

番号	焼込み温度	荷 重 (t)		応 力 (kg/mm^2)			繰 返 数 ($\times 10^4$)		断線数
		上 限	下 限	上 限	下 限	振 中	初断線	最 終	
I-1	460°C	61.5	2.5	31.7	1.8	29.9	66	223.7	62
I-2	460°C	61.5	3.5	31.7	1.8	29.9	28	915.6	120
I-3	460°C	60.5	4.5	31.2	2.2	28.9	52	813.0	88
I-4	460°C	31.0	4.0	16.0	2.1	13.9	120	4000	7
I-5	460°C	46.0	4.0	23.7	2.1	21.6	646	2565	126
I-6	460°C	46.0	4.0	23.7	2.1	21.6	726	3470	4
II-1	480°C	46.1	3.9	23.8	2.0	21.8	—	2230	0
II-2	480°C	46.3	3.7	23.9	1.9	22.0	473	3890	18

1) 素線破断進行状況 図-2に断線検出装置によって検出した累積断線数と繰返数との関係を示す。これより素線破断は5本程度までゆっくりと進行するが、その後は連続的に断線が生じ、さらに10~20%を越えるとその速度はさらに速くなることが判る。

2) 素線破断の分布 断線が供試体にどのように分布しているか試験後ロープを解体し調査した。その結果は表-2のようにまとめられる。

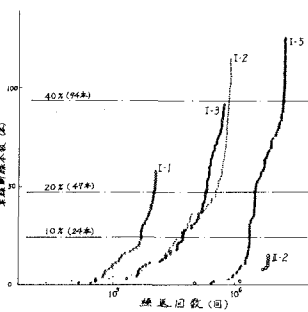


図-2 累積断線

表-2 素線断線分布

番号	位置 ストランド別	ソケット内部		ロープ部		
		上	下	上端	下端	中央
I-1	芯	1	36	0	1	3
	外層	3	17	0	0	0
I-2	芯	41	1	16	1	6
	外層	53	0	8	0	4
I-3	芯	0	29	0	4	0
	外層	1	43	0	8	0
II-2	芯	0	0	0	0	1
	外層	0	0	0	0	14

とめられる。供試体Iではソケット内部で大多数が断線し、その位置はソケットロより50~100mm内側であり鋸込み合金の境であった。一方供試体IIではソケット内で断線は生じていなかった。また表-2によると、芯ストランドと外層ストランドでの断線数はほぼ等しいが、構成素線数が49:186という割合を考えると芯ストランドの方が疲労に対して厳しい条件下にあると思われる。

3) 弾性係数とロープの抜け出し量の変化 図-3に疲労試験の間に行ったのび測定の結果より、弾性係数の変化の様子とソケットからロープの抜け出し量の変化を示した。弾性係数には一部繰返数とともに増加する傾向にあるものもあるが全体としては14000 kg/mm²を平均として±1000 kg/mm²程度の範囲で変動し、顕著に弾性係数に変化することはないと考えてよい。またロープの抜け出しについては、ポリテン荷重時に6~8mm抜け出した後荷重の繰返しに伴う変化はほとんど安定していた。

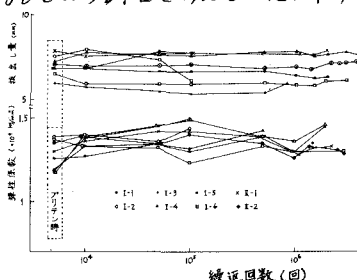


図-3 弾性係数と抜け出し量の変化

4) 残留引張強度 疲労試験後行なった静引張試験の結果を表-3に示す。I-3を除いて素線の疲労断線数は少なく、6%程度までのものであったが引張強度は疲労試験を行わない供試体とほぼ等しく、この程度の断線はロープの引張特性に大きな影響を及ぼすことはない。ただ伸びについては約3%減少しているもの(I-6)があり、また弾性係数は全体に高くなっているようである。一方I-3の試験結果より切断荷重は断線率に等しい程度減少しており伸びも大変小さくなっている。

表-3 残留引張強度試験結果

番号	素線破断数		切断荷重		伸び %	弾性係数 (kg/mm ²)
	数	率(%)	ton	減少率(%)		
静引張	—	—	275	—	8.4	14400
I-3	85	36.2	188	-31.6	1.4	14100
I-4	7	3.0	280	1.8	8.1	16000
I-6	4	1.7	271	-1.5	5.6	15500
II-1	0	0	282	2.5	8.2	16000
II-2	15	6.4	270	-1.8	6.1	13700

5) CFRC型ハンガーロープの疲労強度 ワイヤーロープの疲労強度は一般に初断線時の時間強度を考える傾向にあるが、上述するとおり多数の素線から構成されたロープの場合、5%程度の素線破断はロープの強度にほとんど影響せず、またロープの製作のバラツキを考えた場合適当とは言えない。それ故ここでは5%程度の素線破断時をロープの疲労破断と考えS-N線図を作成すると図-4のようになる。これより、CFRC型60中ハンガーロープの200万回疲労強度は19 kg/mm²となり、DIN1073に規定された強度20 kg/mm²に近い結果が得られた。

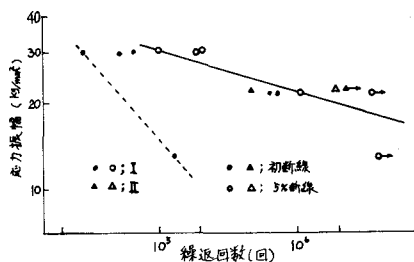


図-4 ロープの疲労強度線図

なお、本試験を行うにあたり、神戸製鋼(株)の広中代および神鋼鋼線工業(株)の樋口氏の協力を得た。記して謝意を表す。

文献) 1) 広中、樋口、奥川「ロープの疲労試験時における断線検出について」 第30回全国大会概要集I-119 土木学会、8.50