動荷重下におけるワイヤロープの強度について*

藤 井 健 也** 根 来 広 平**

Strength of Wire Rope under Dynamic Load

by

Kenya FUJII and Hirohei NEGORO

(Toyo Wire Rope Mfg. Co. Ltd.)

In order to investigate the behavior of wire rope under the dynamic load, we experimented with a drop hammer type impact tester, which was of our own design, and discussion was made on the impact breaking strength and the absorption of energy of wire ropes, comparing with those obtained by static tests.

In this paper we report how the breaking strength and absorption of energy are influenced by the impact speed and the length of wire rope. The results can be summarized as follows:

Under the test conditions:

Length of wire rope varying from 500 mm to 2 000 mm,

Impact speed varying from 3.8 m/s to 6.9 m/s,

1) As the impact speed is increased or as the specimen becomes shorter, the breaking strength increases.

2) As the impact speed is increased or as the specimen becomes shorter, the inclination of stress-strain diagram augments, and absorption of energy decreases.

3) Absorption of energy is not so markedly influenced by the impact speed within the range of this experiments, but when the rope is extremely short, then it decreases very rapidly.

(Received July 9, 1963)

1. 緒 言

静荷重下におけるワイヤロープの強度については従来種々研究され論じられてきたが、実際ロープは衝撃荷重を受ける場合が多く、これに対する究明はロープの製作および使用にあたって、重要な研究課題の一つである。しかし、われわれの知る限りでは、これに関する研究はほとんど行なわれていない現状にあるので、新たに衝撃試験機を設計し、動荷重下におけるワイヤロープの強度ならびに切断エネルギーを求め、それらの値が試料長さあるいは衝撃速度によってどのように変化するかを明らかにし、静荷重の場合と比較検討を行なった。

2. 衝撃試験機の構造

本衝撃試験機は4本の部材を垂直に立てた門形ラーメンの中央部に試料ロープをつり下げ、下端に受盤を取り付けて重錘をある高さから落下させ、受盤を打撃してロープに衝撃荷重を与えるような構造である。地上5 000 mmの高さにある天床はIビームで補強されており、これからストレンゲージを内蔵せるロードセ

ルを介して試料をつり下げる。

試料ロープの両端は鋳込みソケットを行ない、ロープの下端にはソケットを介して受盤がつり下げられる。ロープにはホワイトメタルとソケットの重量25 kgと受盤の重量107 kgの計132 kgがつり下げられ、初張力となる。また重錘の全重量は1 000 kgとし、2本の径10 mmのワイヤロープでつり、塔の上部にある2個シーブを通してこれを1本の径14 mmのロープに連結し、ウインチに巻き取る。ロープに対する衝撃荷重はこのウインチを用いて重錘を所定の高さにまで上げた後、クラッチを外して重錘を落下させ、受盤

Fig. 1 Drop hammer type impact machine

* 原稿受付 昭和38年7月9日

** 正員 東洋製鋼株式会社

を打撃して与える。試験機の主要構造は Fig. 1 に示す通りである。

3. 測定方法

ロープを衝撃切断する場合の荷重の測定は、試験機の天床における固定点と試料ロープ端のソケット間にロードセルを挿入し、動ひずみ測定器を電磁オシロと組み合わせて測定した。また、伸びの測定は Fig. 2 に示すように 14・0 mm 間隔に 11 個のスリットを有する格子を重錘の下端に取り付け、重錘が受盤に接した時、ラーメン下部に取り付けた収光レンズよりの光束がこのスリットを通過し、焦点をフォートトランジスタに結ぶように光源、収光レンズ、フォートトランジスタを一直線上に配置し、重錘落下に伴う光束のスリット通過状況をオシログラフに自記せしめ、動ひずみ計と連動して測定した。

測定器具仕様の概要は次のとおりである。

(1) ロードセル

新興通信工業 K.K. 製：LT-20 型

使用ゲージ：ベークライトゲージ 8 枚

ブリッジの抵抗：120Ω

(2) 動ひずみ測定器

新興通信工業 K.K. 製：DS 6-R 型

発振周波数：4 950 c/s

(3) 電磁オシログラフ

三栄測定器 K.K. 製：100-A 型

固有周波数：300 c/s

(4) フォートトランジスタ

松下電器産業 K.K. 製：MCP-71 型

4. 試料ならびに実験方法

試料は JIS 規格による 6×7, 6×19, 6×Fi (19+6) の 3 種類を用いて長さおよび衝撃速度をおおのの Table 1 に示す範囲で変化させて実験した。

各試料はおおのの所定の長さの位置にシージングを行ない、その両端を鉤込ソケットした後、上端をロードセルに直結した。

衝撃速度は重錘落下高さを変化させることにより、打撃瞬間における落下速度をもって表わすこととした。

試験はすべて電磁オシロを用いて、時間-荷重曲線、

Fig. 2 Detail of measuring apparatus

Table 1 Test condition

Construction and dia. of rope (mm)	Rope length (mm)	Impact speed (m/s)
6×7 0/L 16 6×19 % 16 6×Fi (19+6) % 16	1 000	3・8~4・0
		5・4~5・7
		6・6~6・9
	2 000	5・4~5・7
	1 000	
	500	

Table 2 Effect of rope length on Its impact breaking strength

Construction and dia. of rope (mm)	Rope length (mm)	Impact speed (m/s)	Breaking strength (kg)	Elongation		Loading time (1/100 sec)
	(mm)	(m/s)	(kg)	(mm)	(%)	
6×7 0/L 16	2 000	5・45	17 030	59・0	2・95	1・47
	1 000	5・45	17 760	37・3	3・73	0・89
	500	5・50	19 910	22・7	4・54	0・48
6×19 % 16	2 000	5・60	15 570	64・1	3・21	1・45
	1 000	5・45	15 770	34・4	3・44	0・74
	500	5・40	18 250	20・9	4・18	0・45
6×Fi (19+6) % 16	2 000	5・60	16 600	53・7	2・69	1・19
	1 000	5・35	16 880	37・9	3・49	0・87
	500	5・45	19 380	22・2	4・44	0・46

時間-伸び曲線を記録し、これらの線図から伸び-荷重曲線を作図して静切断の場合を含めて、切断荷重、伸びおよび切断エネルギーを比較することにした。なお実験に先立ち、各試料共構造上の伸びを除去するため、各規格切断荷重の40%の荷重にて15分間繰り返し2回のプリテンションを施した。

Fig. 3 Aspects of oscillo-diagram of 6×7 rope with above lengths

5. 実験結果

(I) 引張強度および伸びの変化

長さおよび衝撃速度を変化させた場合の衝撃荷重による各試料の切断荷重および伸びの変化はそれぞれ Table 2, 3 に示すとおりであって、測定値は各5本宛の試料についての平均値で現わした。

なお6×7ロープについてのオシロ自記記録を Fig.

Fig. 4 Aspects of oscillo-diagram of 6×7 rope with above impact speeds

Table 3 Variation of breaking strength with impact speed

Construction and dia. of rope (mm)	Height of weight (m)	Impact speed	Breaking strength	Elongation		Loading time (1/100 sec)
		(m/s)	(kg)	(mm)	(%)	
6×7 0/L 16	3.0	6.83	18 390	34.2	3.42	0.63
	2.0	5.45	17 760	37.3	3.73	0.89
	1.0	3.92	17 690	38.8	3.88	1.21
6×19 % 16	3.0	6.66	16 280	32.5	3.25	0.51
	2.0	5.46	15 770	34.4	3.44	0.74
	1.0	3.83	15 560	36.6	3.66	1.18
6×Fi (19+6) % 16	3.0	6.68	17 560	31.9	3.19	0.57
	2.0	5.35	16 880	34.9	3.49	0.87
	1.0	3.88	16 700	39.0	3.90	1.19

Table 4 Variation of static breaking strength with rope length

Construction and dia. of rope (mm)	Rope length	Breaking strength	Breaking strength (JIS)	Elongation	
	(mm)	(kg)	(kg)	(mm)	(%)
6×7 0/L 16	2 000	16 850	15 000	80.8	4.04
	1 000	16 850	"	44.9	4.49
	500	16 950	"	26.8	5.36
6×19 % 16	2 000	15 100	14 900	80.9	4.05
	1 000	15 100	"	47.4	4.74
	500	15 200	"	31.6	6.32
6×Fi (19+6) % 16	2 000	15 400	15 100	55.8	2.79
	1 000	15 200	"	30.0	3.00
	500	15 200	"	20.8	4.16

3 および Fig. 4 に示した。

次に50 t アムスラ形引張試験機を用いて静引張試験を行ない、長さを変化させた場合の切断荷重および伸びの変化を測定した。結果は Table 4 に示すとおりであって、測定値は各3本宛の試料についての平均値であらわした。

実験の結果から動荷重を受けてロープが切断する場合、いずれも衝撃速度が大になるほど、かつ長さが短くなるほど切断荷重は上昇するが、特に長さ 500 mm および衝撃速度 7 m/s 程度で急激に上昇を示した。また伸びは長さ一定の場合、いずれも衝撃速度の増加に従って明らかに減少を示したが、6×Fi(19+6) ロープでは静引張の場合に比べて衝撃引張においては逆に増加を示した。切断荷重、伸びの変化の度合はいずれも構造によって異なるが、切断荷重に関しては、衝撃速度によるよりも長さの変化により明らかに変化が認められた。しかし、静引張では長さを変化させた場合も予期したとおり、切断荷重に変化はなかった。

Fig. 5 Stress-strain diagram under impact test comparing with static test

(II) 切断エネルギーの変化

オシロ自記記録による時間-伸び-荷重関係曲線より、衝撃引張における伸び-荷重曲線を求め、静引張の場合と比較して Fig. 5 に示すとともに長さ、衝撃速度の変化による衝撃引張下の切断エネルギーの変化を Table 5 および Table 6 に示した。

静引張の場合に比べて衝撃引張の場合は一般に曲線の傾きが大になり、切断に至るまでのエネルギーは減少を示したが、6×Fi(19+6) ロープでは逆に増加を示した。また、本実験の範囲内では衝撃速度は切断エネルギーに対して明りょうな影響を示さなかったが、長さの短縮に対してはエネルギーが等比的に減少する傾向を示した。

6. 実験結果の考察

動荷重下におけるワイヤロープの切断が衝撃速度または長さによってどのように影響されるかを検討したが、試験機の構造上衝撃速度は 4~7 m/s 程度以上変化し得なかったため結果は長さを変化させた場合の方が明りょうに現われた。

(I) 衝撃速度を変化した場合

一般に衝撃速度の上昇とともに伸び-荷重曲線の傾きが増大し、切断荷重は上昇して伸びが減少することは明らかであるが、本実験範囲の衝撃速度では切断荷重は静引張の場合に比べて 4~5.5 m/s 程度で 3~5 % 増加し、7 m/s 程度から 8~10 % と急激に増加したが、伸びは概略速度の増加と比例して減少を示した。また、6×Fi(19+6) 構造では逆に静の場合に比べて伸びの増加を示したが、これは本ロープの撚り長さがほ

Table 6 Variation of absorbed energy with impact speed

Construction and dia. of rope (mm)	Absorption of energy in static test (kg·m)	Absorption of energy in impact test (kg·m)		
	0.001 m/s	6.7 m/s	5.4 m/s	3.9 m/s
6×7 0/L 16	525	500	533	485
6×19 % 16	463	325	400	380
6×Fi(19+6) % 16	270	375	480	433

Rope length: 1000 mm

Table 5 Variation of absorbed energy with rope length

Construction and dia. of rope (mm)	Absorption of energy in static test (kg·m)			Absorption of energy in impact test (kg·m)		
	2000 (mm)	1000 (mm)	500 (mm)	2000 (mm)	1000 (mm)	500 (mm)
6×7 0/L 16	970	525	310	947	533	300
6×19 % 16	825	463	300	715	400	235
6×Fi(19+) % 16	510	270	168	625	480	283

Impact speed: 5.4~5.6 m/s

かの構造に比べて短かく、静引張の場合、ストランド間の接触圧による早期素線切断が影響したものと考えられる。次に切断エネルギーについては一般に静の場合に比べて減少したが、本実験においていずれの場合も5.4 m/sの速度で一たん増加を示したことは、この範囲の衝撃速度では切断エネルギーにほとんど影響がないことを示すものかと推定されるが、詳細は試料長さとの関連において今後なお検討を要するものと考えられる。また、6×Fi(19+6)ロープが静の場合に比べて逆にエネルギーの増加を示したことについては上述の原因も当然考えられることではあるが、われわれが以前に行なった実験結果と総合して今後進めて行きたいと考えている耐衝撃性ロープの検討に興味ある結果と考える。

(II) 長さを変化した場合

長さを変化させた場合も速度を変えた場合と同様に長さが短くなるほど切断荷重の上昇と伸びの減少を示したが、本実験の範囲では切断荷重においてその影響が明りょうに認められた。すなわち、長さ2000 mmから1000 mmの変化では静の場合に比べて2～4%程度の増加であったが、500 mmになると16～18%と急激に上昇した。伸びは各試験片の長さが変化するので本結果から云々できないが、一般に静引張の場合に比べて減少するということはできる。また、切断エネルギーは長さが短くなるほど明りょうに減少を示し、本実験の範囲が限られており、かつ実験数の少ないことから数値そのものについての疑問は残されるが、本実験結果について構造別に実験式を示すと次のようである。

$$6 \times 7 \text{ ロープ: } y = 1.18 x^{0.850}$$

$$6 \times 19 \text{ ロープ: } y = 1.73 x^{0.790}$$

$$6 \times \text{Fi}(19+6) \text{ ロープ: } y = 6.79 x^{0.595}$$

ただし y : 切断エネルギー (kg・m)
 x : 試料長さ (mm)

すなわち、この結果から切断に至るまでのエネルギーは線数少なく、かつ線径の太い6×7ロープでは長さによるエネルギーの変化は最も大きく、線数多く、かつ柔軟性に富む6×Fi(19+6)ロープでは比較的長さによるエネルギーの変化が少ないということが考えられる。なお切断位置については、本実験範囲内の速度および長さの変化では別段特定の傾向は認められず、衝撃端

または固定端近傍で切断した場合もオシロ記録上での差異はほとんどないようであった。

7. 総 括

動荷重下におけるワイヤロープの強度ならびにその特性を究明するため、新たに衝撃試験機を設計し、衝撃速度および長さを変化させた場合の強度およびエネルギーの変化を測定し、静試験の場合と比較検討を行なった結果を総括して次のことが言えよう。

(1) 試験機の構造上、衝撃速度は4～7 m/s、長さは500～2000 mmの範囲でのみ実験を行なったが、強度およびエネルギーの変化では後者の方が明りょうに影響することが認められた。

(2) 衝撃速度の上昇、長さの短縮とともに伸び・荷重曲線の傾きが大きくなり、切断荷重は速度7 m/s位から、また長さ500 mmから急激に増加を示すが、伸びはほぼ比例的に減少することが認められた。

(3) 衝撃速度の上昇とともにエネルギーは減少する傾向にあるが、本実験の範囲では明りょうな変化が認められなかった。

(4) 長さの短縮とともに切断に至るまでのエネルギーは減少するが、本実験の範囲では相互間に対数相関関係が考えられ、線数少なく、かつ線径の太い6×7ロープは長さによるエネルギーの変化が最も大で、線数多く、かつ柔軟性に富む6×Fi(19+6)ロープでは長さによるエネルギーの変化が最も少ないということが認められた。

(5) 6×Fi(19+6)ロープでは静引張の場合に比べて衝撃引張の場合、逆にエネルギーが増大する傾向を示し、原因についてなお検討の余地はあるが、耐衝撃性ロープとして興味あることと考える。

(6) 本実験範囲の速度および長さの変化では、切断位置ならびに切断状況に特定の傾向は認められず、衝撃端または固定端近傍で切断した場合もオシロ記録上での差異もほとんどなかった。

参 考 文 献

- 1) 岡山千代田, 立田潤, 牧野豊, 資源技術試験所報 (June 1960)
- 2) 秋山英司, 近藤太二, 袴塚禎三, 頼所進, 労働省産業安全研究所報 (1961)
- 3) 作井誠太, 中村正久, 布村成具, 鉄と鋼, 第47年第6号 (1961)
- 4) 藤井健也, 根来広平, 第6回材料試験連合講演会 (Oct. 1962) にて発表