

索具類の安全使用力算定の近似式について

高山 久明・真野 季弘・柴田 恵司

Some Suggestions on Approximating Safety Working Load of Marine Rope

Hisaaki TAKAYAMA, Suehiro MANO and Keishi SHIBATA

Generally, the safety working load for various ropes has been given by a formula, $W = (D/8)^2 C$, where, D is the diameter in mm and C is the constant which varies with the sort of the rope materials.

Recently, the Japanese Industrial Standard (JIS) for various ropes has been corrected frequently with the development of the manufacturing techniques of ropes and also of materials themselves. Then it was considered that C up to date in the above formula should be reexamined and new approximating formulae should be given.

Hence, the new values of C into the above formula based on the standards of JIS were reset for various ropes of different materials and some approximating formulae applied with the least square method were examined.

Among several forms of the formulae, an exponent equation, $W = aD^c$ and a cubic equation were taken into consideration, since linear and quadratic equations were not satisfactory in accuracy, and higher degree equations were quite accurate but they were difficult to solve in practical use.

Various series of C were given respectively to the new formulae of various materials. The respective ratio of strength of various materials against that of the wire-rope in the same size was 1/8 for manila rope, 1/3 for nylon, 1/6 for vinilon, 1/5 for polyethylene and 1/5 for polypropylene.

船舶に使用されているロープ類の適正な使用は災害防止上最も基本的な問題である。これらの強度に関する規格は日本工業規格 (JIS), 日本海事協会 (NK) およびその他の船級協会において厳重に定められている。しかし、これらの資料は極めて詳細であり、日常の作業過程で直接使用するには、やや繁雑である。

近年、材料・製造技術の進歩に応じて JIS 規格は逐次追加・廃止・改正が繰り返されている現状である。

一方、主たる船用品の安全使用力についてふるくから略算式 $W = (D/8)^2 / C$ (ton) が常用されて来た (1~8)。ここでも D は直径 (mm) である。ただし、定数 C はロープの種類ごとに与えてある。また、現在船舶で常用されている索具類、すなわち、ビニロン (クレモナ)、ナイロン、ポリプロピレン等には該当

する係数 C がいまだ与えられていない。

そこで本報告において、これらの合成繊維索について新しく係数 C を与え、更に JIS 規格 (9~16) に対する十分な精度の近似式を検討することにした。

近似式計算の方法

近似式 $W = (D/8)^2 / C$ (1) における係数 C の計算は次に示すプログラムに従って行なわれた。

$S = S / SF$
 $W = (D / 8 .) ** 2 / C$
 IF (S-W) 10, 8, 10
 8 ER = 0.
 GO TO 9
 10 ER = (S-W) / S * 100.

```

9 WRITE (1, 23) D, S, W, ER
SD=SD+ER**2
AVER=AVER+ER
IF (NS-M) 3, 5, 5
5 FN=NS
AVER=AVER/FN
SD=SQRT (SD/FN-AVER**2)
WRITE (1, 24) AVER, SD
CC=C
C=CC*(1.-AVER/100.)
CD=C/CC
D=0.
S=0.
IF (CD-0.995) 6, 1, 7
7 IF (CD-1.005) 1, 1, 6

```

以上について順追って説明すると、JIS規格に定められた破断荷重Sを安全係数SF(=6)で除し、JISの安全使用荷重(S)とした。次に任意のCの値とこの破断力に対応するロープの直径D(mm)を前述の近似式に代入し、一定のデータ範囲内について、それぞれの計算安全使用荷重Wと誤差率、 $ER = (S - W) / S * 100$ を求め、この範囲において誤差率の平均および標準偏差を計算し、この誤差率の平均値(AVER)が零になるように $C = CC * (1. - AVER / 100.)$ によって、更に正確なCを求めて、再び同じデータにつき同様の計算を繰り返して行ないこの平均値が零に収れんするようにした。(大体、繰り返し計算は一回のみで充分であった。)計算結果はそれぞれの直径D、JIS規格による安全使用力、計算使用力および誤差率と共に出力され、その末尾に誤差率の平均値および標準偏差が同様に出力されるか

ら、これらによって適正なCの値を確認した。

一方、WとDの関係についての最小自乗近似式は、次の2種の形式について求められた。

$$W = a \cdot D^C \quad (2)$$

$$W = a \cdot D^3 + b \cdot D^2 + c \cdot D + d \quad (3)$$

なお、この他 $W = C_1 \cdot D^2 + C_2 \cdot D + C_3$ などその他の形式についても検討したが満足すべき結果を得られなかった。(3)式については定数項が多く計算が複雑になって実用計算には不相当と考え、本報告では除外した。

しかしながら $y = a \cdot x^c$ の形のものについて計算する場合、筆算では困難であっても、現在市販されている卓上電子計算機を用いて容易に計算できると考えられる。

考察および結果

Fig. 1 にJIS規格による各ロープ毎の直径と安全使用荷重との関係を示す。すなわち両軸共対数値を用い、縦軸は直径D(mm)、横軸は安全使用荷重(ton)を示す。この図において、ナイロンロープはワイヤーロープとマニラロープとの中間にあり、その他の化学繊維ロープはマニラロープとナイロンロープとの間に分布している。また、繊維索の場合、直径12mm未満のものはJIS規格において強度をやや低くしてあるようである。従って計算の際にも全体、12mm未満、12mm以上の3つの場合に分け、それぞれについて近似式の常数項の決定を行なった。更に便宜上の使用区分に従って直径16mm未満(Cordage)、16~48mm

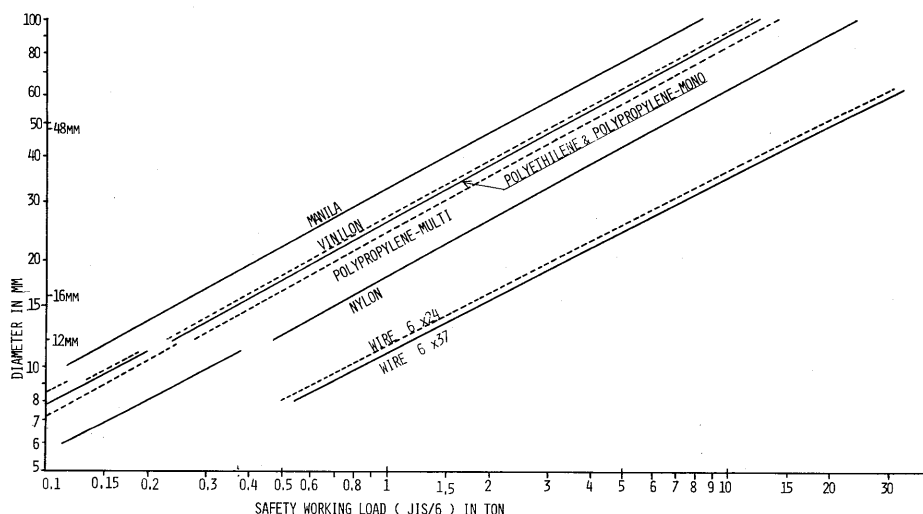


Fig. 1 Safety working load for various ropes stipulated by JIS. Safety factor:6.

(Rope), 48mm以上 (Hawser)に分けて近似式のCについて合わせて検討した。

これらの結果についてTable 1に $W = (D/8)^2 / C$ によるもの、またTable 2に $W = a \cdot DC$ によるものをまとめた。

Table 1には各種のロープについて決定された(1式)に対する係数Cおよび誤差率の標準偏差SDをJIS表示の直径範囲に分け示した。Nは本計算に使用したJIS規格のデータ数、MINおよびMAXは最小、最大径のとり得る安全使用力 (ton) である。本表において、繊維索の誤差率の標準偏差は3~11.4%の範囲にあり、ワイヤロープの標準偏差0.18~0.22はこれに較べて著しく高い精度を示している。ま

た直径Dの範囲を小さくした場合、すなわち16mm以下、16~48mm、48mm以上の区分においてSD < 5 (%)となり、この $W = (D/8)^2 / C$ の近似を適用する場合、適用範囲を細分する必要があることを示している。しかしながら、反面、この様な細分化は暗算に備えての係数Cの暗記を困難にする。

マニラロープの径と $W = (D/8)^2 / C$ による計算値の誤差率の関係を Fig.2に示す。この図において縦軸は対数値を用い直径(mm)、横軸は誤差率を与えてある。この図に点線で示す直径範囲が広い場合、その両端での誤差率は12mm以上の場合最大径において10%を越えており、この様な適用範囲は実用上不適格と判断される。なお、図中で実線で示した直径範囲の3分割

Table 1. Coefficients on safe working load formulae for various ropes. $W = (D/8)^2 / C$ S.F. = 6

NAME	DATA (JIS)		OVER ALL	LESS 12mm		OVER 12mm		
	N	MIN MAX	C	C	SD(%)	C	SD(%)	
STEEL WIRE ROPE-6x 24	26	0.494 30.666	2.020523		0.223			
-do- -6x 37	40	0.531 33.000	1.878640		0.178			
MANILA ROPE	34	0.021 8.411	15.81000	11.364	12.75943	5.380	16.33951	
NYLO ROPE	37	0.054 24.000	5.530000	9.886	4.882697	3.916	5.711495	
VINYLO ROPE	37	0.024 11.799	11.35000	8.993	10.32128	3.386	11.64070	
POLYETHYLENE ROPE	37	0.030 12.250	10.76000	11.355	9.073954	4.455	11.22755	
POLYPROPYLENE ROPE-MONO	37	0.030 12.416	10.63000	10.976	9.073954	4.455	11.07094	
-do- -MULTI	37	0.035 14.250	9.270000	10.889	7.894826	4.970	9.639673	
				LESS16mm (CORDAGE) 16mm-48mm (ROPE)		OVER48mm (HAWSER)		
			C	SD %	C	SD %	C	SD %
MANILA ROPE			13.10104	6.095	15.63803	4.213	17.79337	3.045
NYLO ROPE			4.880928	3.537	5.466586	4.208	6.220026	3.066
VINYLO ROPE			10.24652	3.406	11.14091	4.198	12.67553	3.034
POLYETHYLENE ROPE			9.176972	4.552	10.74734	4.263	12.22395	3.016
POLYPROPYLENE ROPE-MONO			9.153694	4.343	10.59440	4.226	12.05468	3.002
-do- -MULTI			8.003763	4.925	9.227953	4.212	10.49602	3.558

Table 2. Coefficients on safe working load formulae for various ropes. $W = aD^c$ S.F. = 6

NAME	OVER ALL			LESS 12mm			OVER 12mm		
	c	a	SD (%)	c	a	SD (%)	c	a	SD (%)
STEEL WIRE ROPE-6x 24	2.000508	0.007720263	0.221						
-do- -6x 37	2.000020	0.008316633	0.178						
MANILA ROPE	1.857570	0.001617652	0.401	1.833814	0.001696220	0.588	1.859806	0.001604028	0.075
NYLO ROPE	1.891170	0.004063256	2.098	1.879839	0.004054893	0.299	1.859654	0.004591410	0.155
VINYLO ROPE	1.907860	0.001871902	3.574	1.985533	0.001558376	3.343	1.860167	0.002248486	0.123
POLYETHYLENE ROPE	1.870150	0.002242524	0.722	1.863006	0.002255794	0.342	1.859935	0.002333231	0.146
POLYPROPYLENE ROPE-MONO	1.875400	0.002228402	1.053	1.863006	0.002255794	0.342	1.860296	0.002363073	0.149
-do- -MULTI	1.876860	0.002543990	1.622	1.847321	0.002674487	0.644	1.859777	0.002719169	0.132

においては、整数値に丸めたCの値を使用しても径16mm以上において、誤差は10%以下になり、実用計算に耐えると考えられる。また、本報告では省略したが、その他の合繊索についても Table. 1 に示す様に同様な傾向が認められた。

Table 2 は前表と同様にして $W = a D^c$ における常数a, c とSDとを示したものである。本表におけるSDは特殊な場合を除いてほとんど零に近く、この式がロープの径と強度の関係を示すのに最も適当であることを示している。

一方、べき数Cの値においてワイヤロープはほとんど2に近い値を示している。これはワイヤの強度がその断面積のみに従って変動することを示している。これに反し、繊維索ではCが1.86~1.9の範囲にある。このことはロープのねじれ、伸び等によって、その応力係数が荷重と反比例して減少する繊維索の特性によるためであろう。これは繊維索について、 $W = (D/8)^2 / C$ による近似が困難であることを示している。

この点について原*によれば、業界ではロープの製

作工程において、多数の試作経緯値から $B = C \cdot D^{1.86}$ 式が使用されており、JIS規格も同式から算出された値であるという。これによれば、Table 2 に示された本結果は原の資料とよく一致している。なお、径12mm以下のものについては上式より約4%小さくしてあるという、また、片上、鞆谷(17)も同様の近似式を各繊維ロープについて与えており、べき数を1.85としているが、我々の計算結果とほぼ一致している。

一方、繊維ロープおよびワイヤロープに関して、次の基本式(18)がある。すなわち、

$$1) \text{ 繊維ロープ破断力 } B = 0.66 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot f / 4$$

$$2) \text{ ワイヤロープ破断力 } B = K \cdot i \cdot \pi \cdot D^2 \cdot f / 4$$

ワイヤの場合JIS規格とよく一致するが、マニラの場合では40mm以上で10%以上の誤差を生ずる。

$W = (D/8)^2 / C$ (ロープ類) または、 $W = (D/25)^2 \cdot C$ (鉄製品) について、これまで与えられているCの値を Table 3 にまとめた。本表の末尾のNUFはJIS規格による本考察の結果から与えたものであり、これまでのものとよく一致している。しかし、若干の

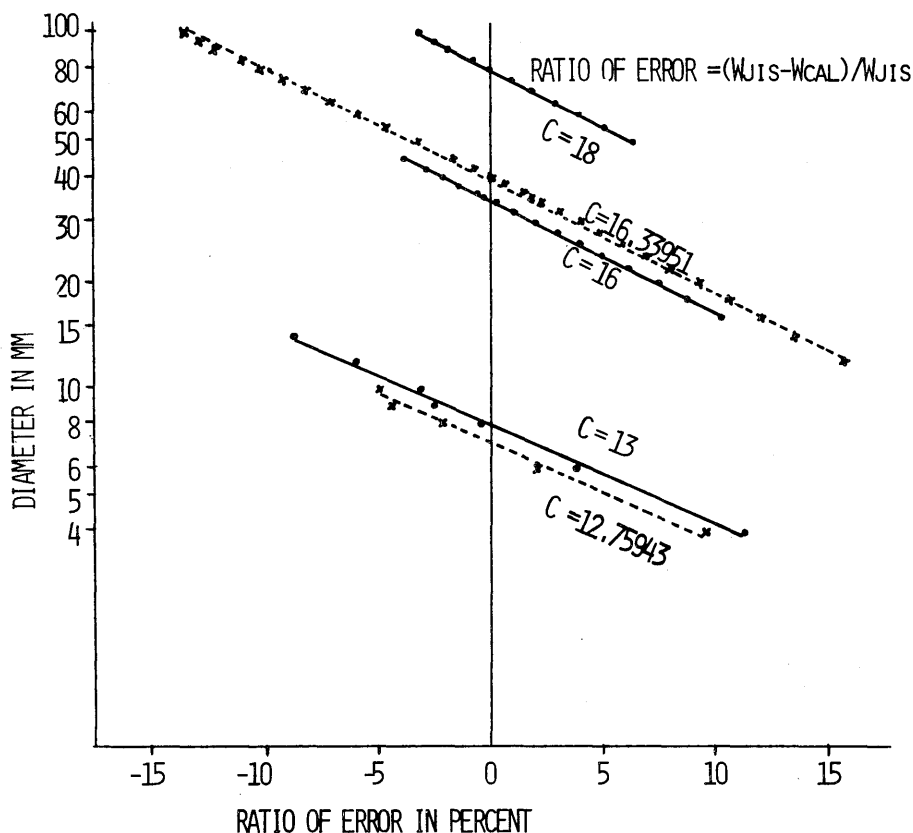


Fig. 2 Safety working load for various size classes of manila rope and for respective exponent numbers in $W = aD^c$. The dotted lines are for the size classes by JIS, and the solid lines are for size classes by maritime uses.

品目において差が見られるが、これらはおそらく、安全係数の取り方の違いによるものと思われる。なお、本表中に*印を付した列は川島教授（北大）の講義用プリントによるものである。

また、本表のワイヤーロープのCの値は Table 1 に示す様に J I S 6号のものであり、また、その他の索も含めて12mm以上のものについてのCの値を整数値に丸めたものである。

Table 3. Various coefficients for safe workin load approximation

NAME	JNV ₁	YOKOTA ₂	TAKAKI ₃	FISHB ₄	JMSA ₅	KUTUNA ₆	NAVHB ₇	HUGHES* ₈	TURPIN ₉	IWAI ₁₀	NUF ₁₁
COMMON CHAIN	6	6	6		6	5	8.13	6	6.25	6	6
WROUGHT IRON CHAIN	9	9			9		8.7	9	6	7	9
CAST STEEL CHAIN	9						9.38		9	10	12
ELECTRIC WELDING CHAIN											9
SHACKLE-STRAIGHT	3	3	2	3	3	2.5	3.75	31		6	4
SHACKLE-BOW	2.5	2.5	2	2.5	2.5	2.5	2.81	2.5	2.	4.5	4
RING PLATE	2	2		2	2		1.88	2			2.5
EYE PLATE	3	5		3	5		3.13	5		2.5	3
SUNKEN LINK PLATE											2
CHAIN STOPPER										6	5
HOOK-B	0.7	0.5	0.7	0.5	0.5	0.7	0.6			0.5	0.4
STEEL WIRE ROP	2	2.4	2	2	2	2	2.4	2	2.4	2	2
MANILA ROPE	18	18	18	18	18	18	18	18	15	18	16
VINILON ROPE											12
NYLON ROPE											6
POLYPROPYLENE ROPE-MULTI											10
-DO- MONO-FIRAMENT											11
POLYETHILENE											11

Remarks: safe working load. $W = (D/25)^2 \times C$ in upper part and $W = (D/8)^2 / C$ for ropes. where, d is the diameter generally. but in hook-B max diameter of it.
*mark is from a text print of C. Prof. R. Kawashima.

ま と め

J I S規格によるロープの強度Wと直径Dとの関係は $W = (D/8)^2 / C$ に近似させることができる。また、高い精度が要求される場合には $W = a DC$, または $W = a D^3 + b D^2 + c D + d$ が適用されるが、前式の方が実用上より適切であろう。

各索の強度は鋼索を1とした場合、マニラロープは $1/8$, ナイロンロープは $1/3$, ビニロンロープは $1/6$, ポリエチレンおよびポリプロピレンロープは $1/2$ であると考えることができる。同様にしてマニラロープを基準にするとナイロンロープは約3倍、ビニロンロープは約1.3倍、その他の合成繊維ロープは約1.6倍であるといえる。

終わりに、本研究において御指導を頂いた麻生幸則

前教授、ならびに終始御協力頂いた本学部学生、加藤和雄君、および貴重な御助言を賜わった本学工学部教授真武友一博士に深く感謝する。

文 献

- 1) 海上幕僚部 (1958) 運用術教範, 3. 79— 113.
- 2) 横田利雄 (1960) 新訂船舶運用法, 整備編。成山堂, 東京, 153— 401.
- 3) 高城勇造 (1962) 航海力学とその応用。成山堂, 東京, 397— 401.
- 4) 水産ポケットブック編集委員会 (1967). 水産ポケットブック. いなき書房, 東京, 368— 372.
- 5) 海上保安庁 (1950). 航海参考資料, 1— 811. 38, 53—57.
- 6) 沓名景義 (1957) 船舶運用法. 成山堂, 東京,

*原博正, 東京製綱繊維ロープKK

- 46-47, 52-53.
- 7) 東京商船大学航海ハンドブック編集委員会 (1971) 航海ハンドブック. 成山堂, 東京, 307, 320.
- 8) Turpin, E.A., and McEwen, W.A. (1965). Merchant Maritime Officers Hand Book. Cornell Maritime Press, Cambridge, 10, 13-31.
- 9) J I S 規格編集委員会 (1968). J I S, F 規格集, 船体編
- 10) 日本工業標準調査会 (1972). シャックル J I S B 2801-1972, 1-14.
- 11) 日本工業標準調査会繊維部会 (1969). ポリプロピレンロープ J I S, L 2706-1969, 1-4.
- 12) 日本工業標準調査会繊維部会 (1965) 麻ロープ J I S, L 2701-1965, 1-6
- 13) 日本工業標準調査会繊維部会 (1969) ビニロンロープ J I S, L 2703-1969, 1-5.
- 14) 日本工業標準調査会繊維部会 (1969) ナイロンロープ J I S, L 2704-1969, 1-5.
- 15) 日本工業標準調査会繊維部会 (1969) ポリエチレンロープ J I S, L 2705-1969, 1-5
- 16) 日本工業標準調査会 (1973) ワイヤロープ J I S, G 3525-1973, 1-31.
- 17) 片上圭四郎, 鞠谷宏士 (1970). 超大型船操船の手引き, 日本海難防止協会, 117.
- 18) 岩井聡 (1961) 航海力学演習, 海文堂, 東京, 200-201