ローラチェーンの疲労強度とリンク数の関係*

中 込 昌 孝**   水 野 正 夫**

Relation between Fatigue Strength and Number of Links of Roller Chains

Masataka NAKAGOME and Masao MIZUNO

The purpose of this paper is to investigate the influence of the number of links on the fatigue strength of single and double strand roller chains. In this paper, at first the theoretical expression for the relation between the fatigue life distribution and the number of links is developed on single and double strand roller chains. Then the behavior of the fatigue life distribution is investigated experimentally. Also the influence of the number of links on the fatigue limit has been examined, and discussed the fatigue limit reduction factor. The results are as follows. (1) The relation between the fatigue life distribution and the number of links of single and double strand roller chains can be explained by assumption of the Weibull distribution. (2) The fatigue limit of double strand roller chain doesn't become twice as much as the fatigue limit of single strand roller chain, and fatigue limit reduction factor become the values from 1.25 to 1.45. (3) The tensile strength, the fatigue strength at α certain cycles and the fatigue limit of single and double strand roller chains decrease, as the number of links increases.

Key words: machine element, roller chain, fatigue life distribution, fatigue limit, fatigue strength

1. 結 言

ローラチェーンは、個々の部品が多数連結し構成されている機械要素であることから、疲労強度に及ぼす個数効果を調べることは、重要な事項の一つであると考えられる。

このことからすでに著者らは、JCAS¹⁾ 428 の単列ローラチェーンを用いて、ブシュはめあい力の影響を調べるとともにリンク数の影響についても調べて報告した²⁾。

本論文では単列ローラチェーンに加えて2列ローラチェーンを取りあげるが、2列ローラチェーンに限らず、多列ローラチェーンの疲労強度に関する研究は少なく³⁾、殊に2列ローラチェーンにおけるリンク数の影響を調べた研究はほとんど見られない。そこで本研究では、JIS⁴⁾ 35 ローラチェーンの単列及び2列を用い、リンク数を変化させた場合の疲労強度を求め、統計的に解析し検討しようとするものである。

2. 供試チェーン並びに実験装置

2.1 供試チェーン

前項で述べたごとく JIS 35 ローラチェーンの単列及び2列ローラチェーンを用いた。

リンク数については、単列ローラチェーンの場合プレート単体（ローラリンクプレート）と1リンク、5リンク、9リンク、19リンクとした。2列ローラチェーンについては、5×2リンク、9×2リンク、19×2リンクの3種類とした。図1に2列ローラチェーン、5×2リンクの主要寸法を示す。また両者のチェーンを構成している各部品の材質及び熱処理条件を表1に示す。

2.2 実験装置

実験装置のうち静的引張試験装置として、アムストラ型万能材料試験機（容量10t）とチェーン取付具を用いた。またチェーンの荷重・伸び線図を作成するためにダイヤルゲージを使用した。

疲労試験装置としては、繰返し引張圧縮疲労試験機（容量±1t、毎分1250回転）と付属している自動停止装置を用いた。また疲労試験におけるチェーンの取付方法は、単列及び2列とも両端にピンを通して取り付けた。

その状況を2列の場合について図2に示す。

* 原稿受付 昭和59年10月17日。昭和59年度精機学会秋季大会学術講演会（昭和59年10月1日）にて発表

** 正会員 慶応義塾大学理工学部（横浜市港北区日吉3-14-1）

Fig. 1 Main dimension of double strand roller chain

Table 1 Materials and their heat treatments for roller chains

Roller chain	Material	Heat treatment	Hardness (HRA)
Pin link-plate	S 50 C	Quenching at 850°C (10 min) Austemper at 280°C (30 min)	74-78
Bush link-plate	S 50 C	Quenching at 850°C (10 min) Austemper at 280°C (30 min)	74-78
Pin	SAE 1010 M	Carburizing at 910°C and water quenching at 880°C Tempering at 170°C (60 min)	69-79
Bush	SAE 1010 M	Carburizing at 830°C and oil quenching	73-78

Fig. 2 Fitting of double strand roller chain for fatigue test

3. 実験方法

静的引張試験ではアムスラ型万能材料試験機に取付具を用いて取り付けしたチェーンに負荷を与え、チェー

Table 2 Results of tensile test of single and double strand roller chains

a) Single strand roller chain

Number of links	Proportional limit MPa	Yield point MPa	Tensile strength MPa
Link-plate	1 266.1	1 296.4	1 366.1
1 links	1 126.0	1 173.6	1 337.1
5 links	894.2	1 002.1	1 239.7
9 links	844.8	988.7	1 233.8
19 links	814.4	911.8	1 183.8

b) Double strand roller chain

Number of links	Proportional limit MPa	Yield point MPa	Tensile strength MPa
5 links	1 005.1	1 070.3	1 095.6
9 links	990.1	1 028.7	1 067.9
19 links	969.9	1 006.2	1 042.8

ンが破断するまで引っ張り、その過程で求められる見掛けの比例限度、降伏点及び引張強さを調べた。

また疲労試験方法については、JCAS規格に基づき、平均応力 σ_m と応力振幅 σ_a の比 $\sigma_m/\sigma_a=1.2$ とし、部分片振り引張疲労試験を行った。

4. 結果及び考察

4.1 静的引張試験結果

単列及び2列ローラチェーンの荷重・伸び線より、比例限度、降伏点及び引張強さを求めて表2に示す。この表で降伏点については耐力(0.2%)として表示した数値である。またこの表に示すローラチェーンの応力は、ローラチェーンに負荷された見掛けの荷重を図1のA-A断面における断面積で除した数値によって表示した。

まず単列ローラチェーンについて調べると、比例限度、降伏点、引張強さともリンク数が増加するとわずかではあるが小さな数値を示していることがわかる。このことはリンク数の増加に伴って静的強度は低下することを意味し、またこの結果と前報²⁾のJCAS 428の静的強度を比較すると、もちろん個々の数値は異なるが傾向として良く一致していることがわかる。

次に2列の場合について調べると、リンク数が増加すると比例限度、降伏点及び引張強さとも単列の場合と同様な程度で低下している。従って2列ローラチェーンの場合も単列の場合にみられるように、リンク数の増加は静的強度を低下させることになる。しかし低下する割合はわずかであることがわかる。また単

列と2列の強度を比較すると、比例限度と降伏点については後者の方が高いが、引張強さについては単列の方が2列の場合よりもやや大きな数値を示している。

4.2 疲労寿命とリンク数の関係

一般に材料における疲労寿命はばらつきを伴うものであるが、低応力の場合を除いてはワイブル分布、対数正規分布をするものと考えられている⁵⁾。本研究でとりあげているローラチェーンは、同一の部品が多数連結して構成されている機械要素であるが、前述のこと及び前報の理論を踏まえて2列ローラチェーンの場合にもワイブル分布が適用できるものと仮定して両者の関係を考える。

いまワイブル確率紙において部分の数（ローラリンクプレートの枚数）を n で表す。各部分の疲労寿命は生き残りの確率を $l(x)$ 、繰返し数を x とすると

$$l(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-e}{v-e}\right)^{m_0}\right] \quad (1)$$

となる。ここで v は特性値、 e は最小寿命、 m_0 はワイブルの勾配である。

ローラリンクプレートの構成枚数 n は、単列5リンクの場合は6枚、長さ5リンクの2列ローラチェーンでは図1より明らかなように12枚で構成されている。

そこで、式(1)をもとに n 枚で構成されているチェーンの場合を考えると

$$l_{(n)}(x) = [l(x)]^n = \exp\left[-n\left(\frac{x-e}{v-e}\right)^{m_0}\right] \quad (2)$$

またワイブル確率紙における分布関数 $F(x)$ は

$$F(x) = 1 - \exp\left[-n\left(\frac{x-e}{v-e}\right)^{m_0}\right] \quad (3)$$

で表される。ここで実験結果をワイブル紙にプロットして示したのが図3(i), (ii)である。これらの図における右側の縦軸は $Y = \ln\ln[1/l(x)]$ で、横軸は $X =$

Fig. 3 Relation between fatigue life distribution and number of links of roller chains

Table 3 Parameter of fatigue life distribution

Parameter	Single strand roller chain		Double strand roller chain	
Laod amplitude P_a kN	1.76	1.47	1.76	1.47
Weibull gradient $1/m_0$	0.413	0.546	0.483	0.649
Characteristic number $\log v$	5.296	5.732	5.311	5.592

$\log X$ で表されている。また各々の場合の計算に必要な特性値 $\log v$ とワイブルの勾配 $1/m_0$ の数値を表3に示す。

まず図3(i)の(a)及び(b)について調べると、単列ローラチェーンについては理論線と実験値がほぼ一致していることから、ワイブル分布を導入することによって疲労寿命を予測できることがわかった。次に図3(ii)の(a)及び(b)については、図(b)の19×2リンクの場合に多少のばらつきが認められるが、そのほかのチェーンにおける理論線に対する実験値はおおよ

そ合致しているものと思われる。またこれら両者の結果から、平均応力の影響はそれを変えることによって各リンク数の寿命分布は著しく変化はしないが、平均応力を大きくした場合ばらつきの程度は小さくなることがわかった。

また各チェーンにおける平均寿命 μ を求めて比較検討する。すなわち

$$\mu = \int_0^{\infty} x \cdot f(x) dx \quad (4)$$

で表される⁶⁾。ここで最小寿命を e とし、 $x=e$ 以前では破壊を生じないとする。またワイブル確率紙においてその結果が直線になるものとして $e=0$ とすれば、プレート単体の平均寿命 μ_1 は次のように表される。

$$\mu_1 = \int_0^{\infty} x \cdot \frac{m_0}{v^{m_0}} \cdot x^{m_0-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x}{v}\right)^{m_0}\right] dx \quad (5)$$

さらに $Z=(x/v)^{m_0}$ とおくと

$$x = Z^{1/m_0} v, \quad dx = \frac{v}{m_0} \cdot Z^{1/m_0 - 1} dZ$$

となり、これを式 (5) に代入する。

$$\mu_1 = \int_0^{\infty} v \cdot Z^{1/m_0} e^{-Z} dZ \quad (6)$$

次に $\Gamma(a) = \int_0^{\infty} x^{a-1} \cdot e^{-x} dx$ なるガンマ関数を導入すると

$$\mu_1 = x_0 \Gamma\left(\frac{1}{m_0} + 1\right) \quad (7)$$

となる。

同様にしてプレート枚数 n 枚の場合について平均寿命 μ_n を求める。まず X 軸に関しては $-\ln n/m_0'$ の変化があることから、式 (7) の両辺の対数をとると

$$\log \mu_1 = \log x_0 + \log \Gamma\left(\frac{1}{m_0} + 1\right) \quad (8)$$

ここで $\log x_0 = X_0$ であるから、 X_0 に $X_0 - \ln n/m_0'$ を代入すると

$$\log \mu_n = (X_0 - \ln n/m_0') + \log \Gamma\left(\frac{1}{m_0} + 1\right)$$

となる。

さらに $m_0' = m_0 / \log_{10} e$ を代入して

$$\mu_n = \frac{x_0}{n^{1/m_0}} \Gamma\left(\frac{1}{m_0} + 1\right) \quad (9)$$

となり、この式より任意のリンク数における平均寿命を求めることができる。また式 (7) より

$$\mu_n = \frac{\mu_1}{n^{1/m_0}} \quad (10)$$

の関係があることがわかる。

これらの関係をもとに、ローラリンクプレート及び単列ローラチェーンと2列ローラチェーンの平均寿命

Table 4 Relation between mean life and number of links of roller chains

Roller chains	Number of links	Mean life ($\times 10^4$)	
		$P_a=1.76 \text{ kN}$ $P_m=2.11 \text{ kN}$	$P_a=1.47 \text{ kN}$ $P_m=1.76 \text{ kN}$
Single strand roller chain	Roller link-plate ($n=1$)	17.50	47.88
	5 links ($n=6$)	8.35	18.21
	9 links ($n=10$)	6.76	13.62
	19 links ($n=20$)	5.08	9.33
Double strand roller chain	5 $\times$ 2 links ($n=12$)	18.12	35.21
	9 $\times$ 2 links ($n=20$)	14.06	25.13
	19 $\times$ 2 links ($n=40$)	10.00	16.03

を求めて表4に示す。この結果、荷重振幅 $P_a=1.76$ kN の場合2列ローラチェーンは単列の平均寿命の約2倍となっていることがわかる。また $P_a=1.47$ kN においては、最大でも2倍とはならず1.7~1.9程度となった。またすでに述べたように、平均応力を変化させることによって寿命分布は著しく変化はしないが、平均寿命はそれを小さくすると表4より、リンクプレート単体の場合は2.7倍に、単列ローラチェーンについては各リンク数によって多少異なるが約2倍になり、また2列ローラチェーンでは1.8倍程度になることがわかった。さらにリンク数を増加すると平均寿命は低下する結果が得られた。

4.3 単列と2列ローラチェーンの疲労限度比較

単列ローラチェーンと多列ローラチェーンを比較した場合、同一の荷重を伝達するときは多列の方がピッチを小さくすることができ、運転は円滑となり、より高速での使用が可能となる。疲労強度も見掛けの荷重としては増大するが、その強度は列数に比例して増加するとは限らない。もし各構成部品のすべてに単列における場合と同じ荷重状態が2列において示されるならば、その強度は列数倍したものとなる。

すでに時間強さにおける寿命分布については、前項4.2節で述べた通りであるが、ここでは各チェーンにおける疲労限度を求めて検討する。すなわち図4及び図5に単列ローラチェーンと2列ローラチェーンのS-N線図を示す。この図より繰返し数 $3 \times 10^6 \sim 7 \times 10^6$ で破壊しないときの応力振幅を疲労限度とみなした。なおこの方法はJCAS規格を参考にして行ったものであり、信頼できるものと思われる。これらの結果をもとに疲労限度とリンクプレート枚数の関係を求めて図6に示す。この図からわかるように2列ローラチェーンは単列ローラチェーンに比較して、いずれのリンク数においても疲労限度は低下していく傾向を示している。またこの結果よりリンクプレートの枚数が

Fig. 4 S-N diagram of roller link-plate and single strand roller chain

Fig. 5 S-N diagram of double strand roller chain

増加する程、単列と2列の疲労限度が接近していくことが認められた。

ここで単列と2列の疲労限度の関係をこれまでの研究結果⁷⁾をもとに疲労限度低下係数 β' で表すと

$$\beta' = \frac{2P_{a1}}{P_{a2}} \quad (11)$$

となる。但し P_{a1} は単列ローラチェーンの疲労限度(kN)、 P_{a2} は2列ローラチェーンの疲労限度(kN)である。

図4及び図5の荷重振幅表示による疲労限度をもとに単列と2列ローラチェーンの疲労限度比並びに疲労限度低下係数を求めて表5に示す。この結果より、2列ローラチェーンの疲労限度は単列ローラチェーンの疲労限度の2倍とはならず、各々のリンク数によって異なるが1.4~1.6になることが確かめられた。また疲労限度低下係数はリンク数が増加すると低下し、そ

Fig. 6 Relation between fatigue limit and number of roller link-plates

Table 5 Fatigue limit and fatigue limit reduction factor

Roller chains	Fatigue limit kN	Fatigue limit ratio	Fatigue limit reduction factor β'
5 links	1.05	1.0	—
5×2 links	1.45	1.4	1.45
9 links	0.85	1.0	—
9×2 links	1.19	1.4	1.43
19 links	0.70	1.0	—
19×2 links	1.12	1.6	1.25

の大きさは1.25~1.45となることがわかった。

4.4 静的引張強度と疲労強度の関係

前項4.1節、表2に示す引張強さと 1×10^5 回における時間強さ、それに各リンク数における疲労限度を整理して図7に示す。この図で縦軸に示す σ_1 は、ローラリンクプレート単体の引張強さ、前述の繰返し数における時間強さ及び疲労限度の各々の公称応力を総称して表したものである。また σ_n は n 枚のリンクプレートにおける前記3者の各々の公称応力を総称して表したものである。

まず(a)は単列の場合であり、(b)は2列の場合である。単列ローラチェーンでは引張強さと時間強さの差はそれ程大きく表れていないが、2列の場合は大きな相違を生じている。また単列ローラチェーンについては、今回の結果と前報のJCAS 428ローラチェーンの結果をあわせて示した。この結果によると引張強さ、時間強さ及び疲労限度とも個々の相違は生じているが、リンク数の増加に伴って3者の応力比は低下していることから、両者の結果は傾向としてよく一致している。また図7(b)に示すように2列ローラチェーンにおける引張強さと時間強さ、疲労限度を比較する

(a) Single strand roller chain

(b) Double strand roller chain

Fig. 7 Influence of number of roller link-plates on strength of roller chains

と、単列の場合に比較して時間強さ及び疲労限度の低下する割合が大きいことが認められる。

破壊箇所については、単列の場合ローラリンクプレートの危険断面部より破壊する場合は非常に多いが、2列の場合も破壊の大部分はローラリンクプレートであり、破壊の分布を表6に示す。

5. 結 言

- (1) 疲労寿命とリンク数の関係は、単列及び2列ローラチェーンともワイブル分布を導入することによって両者の関係を明らかにすることができた。
- (2) 2列ローラチェーンの疲労限度は、荷重振幅として表示した場合、単列ローラチェーンの疲労限度の2倍とはならず1.4~1.6倍となり、また疲労限度低下係数は1.25~1.45となることわ

Table 6 Failure section of double strand roller chain

Double strand roller chain	Failure section	Number
5×2 links	1	7
	2	9
	3	4
9×2 links	1	3
	2	3
	3	3
	4	6
	5	5
19×2 links	1	1
	2	3
	3	1
	4	2
	5	1
	6	1
	7	2
	8	2
	9	4
	10	3

Failure section (ex. 5×2 links)

かった。

- (3) 2列ローラチェーンの場合もリンク数を増加すると引張強さ、時間強さ及び疲労限度とも低下する結果が得られた。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、試験片の提供をはじめ種々御助力下された高砂チェーン株式会社片桐英世氏、および熱心に御協力いただいた慶応義塾大学大学院学生安田公輔君並びに当時慶応義塾大学理工学部学生月出英樹君に対し感謝の意を表します。

文 献

- 1) 日本チェーン工業会：日本チェーン工業規格，二輪自動車用チェーン，1 (1981) 24.
- 2) 中込昌孝，水野正夫：ローラチェーンの疲れ強さに及ぼすブッシュはめあい力とリンク数の影響，精密機械，50，4 (1984) 665.
- 3) 河本 実ほか：複合ローラチェーンの疲労強度について，材料試験，8，71 (1959) 638.
- 4) 工業技術院標準部：伝動用ローラチェーン，JIS B 1801 (1980) 1.
- 5) 岩本兼敏：変動応力疲労寿命分布について，日本機械学会論文集 (A 編)，50，456 (1984) 1489.
- 6) 眞壁 肇：ワイブル確率紙の使い方，日本規格協会 (1965) 10.
- 7) 大越 諄：ローラチェーン，コロナ社 (1960) 162.