ローラチェーンの繰返し衝撃強度に及ぼす リンク数の影響*

中 込 昌 孝**

Effects of Number of Links on Repeating Impact Strength of Roller Chains

Masataka NAKAGOME

It is important for the strength design to clarify the impact strength of roller chains because they are applied to the repeating impact load for chain drives. Firstly in this study, the relation between the repeating impact energy and the number of repetitions to impact failure. In the next step, the distribution of the failure sections is examined. They are compared with the results of the repeating impact test of roller link and pin link. Further, the effects of the number of links on the repeating impact strength is investigated, and studied statistically. The obtained results are as follows: (1) The results of repeating impact test of roller chains indicate that the repeating impact strength reduced as the number of links are increased. (2) When roller chains are applied to higher repeating impact energy, they are a failed in pin link-plates and in the case of lower ones, they are a failed in roller link-plates. (3) The repeating impact life distribution could be estimated statistically by using the life distribution of single roller link and pin link.

Key words: machine elements, roller chain, repeating impact life distribution, repeating impact strength

1. 結 言

ローラチェーンは、動力伝達の一要素として、重要な役割を果たしている。チェーン伝動において、チェーンは繰返し衝撃荷重を受けることから、チェーンの疲労及び衝撃強度に関する基礎的データを明らかにすることは、適切なチェーン伝動の設計を行うために不可欠である。また、チェーンは同一の部品を多数連結して構成されている機械要素であることから、その内の1個が破壊してもチェーン全体の強度が左右されることになる。このような意味から、すでに疲労強度とリンク数の関係について調べた¹⁾²⁾。一方、チェーンの衝撃強度については、過去に一、二の研究³⁾⁴⁾が行われているが、リンク数の影響については、いまだに明らかにされていない。本研究では、その影響について調べると共に、破壊箇所を考慮して、統計的に検討した。

2. 供試チェーン及び実験装置

2.1 供試チェーン

供試チェーンは、JCAS⁵⁾ 428 の単列ローラチェーンを用いた。

リンク数については、1リンク（ローラリンク、ピンリンク）、5リンク、7リンク、9リンクを対象に行った。なお、ピンリンク単体（1リンク）については、便宜上2枚のピンリンクプレートの間にスペーサを挟み、実験用のチャックピンを通した試料をピンリンクとして用いた。図1に5リンクの主要寸法を示す。

また、チェーンを構成している各部品の材質及び熱処理条件は表1に示す通りである。なお、リンクプレート材の強さを求めるために、平板平滑試験片を用いた。この試験片の材質及び熱処理条件は、表1のリンクプレートと同一とした。

2.2 実験装置

チェーン及びピンリンク、ローラリンク、平板平滑試験片の静的引張試験装置としては、アムスラ型万能材料試験機（容量10t）とチェーン並びに各リンク及び平板平滑試験片の取付具を用いた。また、チェーン

* 原稿受付 昭和63年4月11日。昭和62年度精密工学会春季大会学術講演会（昭和62年3月27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 JCAS 428 roller chain (5 links)

Table 1 Materials and their heat treatment of roller chain

Chain parts	Material	Heat treatment	Hardness (HRC)
Link-plates	S 50 C	Quenching at 870°C (10 min) Austemper at 300°C (25 min)	49-52
Bush	S 10 C	Carburizing and quenching at 830°C (40 min)	30-32
Roller	S 30 C	Hot quenching at 870°C (40 min)	22-23
Pin	SCM 415	Carburizing and oil quenching at 900°C (40 min) Austemper at 170°C (60 min)	41-42

及び各リンクの荷重・伸び線図を作成するために、ダイヤルゲージを使用した。

衝撃試験装置としては、シャルピー衝撃試験機（容量 30 kgf・m）を用いた。この試験機に取付具を作製してチェーンを取り付けて実験した。取付状況をリンク数 5 リンクの場合について図 2 に示す。

また、衝撃ひずみ波形を測定するために、シグナルコンディショナ、デジタルメモリスコープ、ブリッジボックス、ひずみゲージ及びカメラを用いた。

3. 実験方法

静引張試験については、試験機に各試験片を取り付け、負荷を与えて荷重・伸び線図を作成し、比例限度、降伏点及び引張強さを求めた。リンクプレート材についても、同様な方法によってデータを求めた。

衝撃試験については、シャルピー衝撃試験機に取付具を用いて試験片を取り付け、持上げ角度を数種類選んで繰返し衝撃を与え、各リンク数について衝撃エネルギーと繰返し数の関係を求め、同時に各リンクにおける破壊箇所も記録した。但し、ピンリンク及びロー

Fig. 2 Fitting of roller chain for repeating impact test

Fig. 3 Block link and adhesion point of strain gauge

ラリンクについては、各々の衝撃エネルギーで約 10 本ずつの寿命のデータを取り、その中央値の衝撃エネルギーを求めて表した。次に、リンク数の影響を調べるために、衝撃エネルギーから衝撃荷重を算出して衝撃荷重を設定し、繰返し衝撃試験を行って各々のリンク数における破壊までの繰返し数を求めた。

衝撃ひずみ波形の測定については、チェーン自体にひずみゲージを接着することが困難であるため、図 3 に示すような中央のローラリンクをブロックリンクに換えたブロックチェーンを用い、それにひずみゲージを接着し、衝撃ひずみ波形をデジタルメモリスコープに映し出して撮影した。

4. 結果及び考察

5 リンク、7 リンク及び 9 リンクの静引張試験結果を荷重・伸び線図として図 4 に示す。この線図より求めた比例限度、降伏点、並びに引張強さの値を表 2 に

Fig. 4 Load-elongation diagram of roller chains

Table 2 Results of tensile test of chain links

Number of links	Proportional limit	Yield point	Tensile strength
	MPa kN	MPa kN	MPa kN
Pin link	1 114.2 19.89	1 909.7 22.56	1 353.5 24.16
Roller link	1 161.1 20.09	1 263.3 22.74	1 355.6 24.40
5 links	933.3 16.66	1 261.6 22.52	1 400.0 24.99
7 links	856.6 16.28	1 258.8 22.47	1 364.1 24.35
9 links	872.8 15.58	1 215.7 21.70	1 339.5 23.91
Material	1 352.4 —	1 577.8 —	1 737.5 —

示す。また、リンクプレート材の値もあわせて示した。この表の公称応力 (MPa) の値は、ローラリンク及び 5, 7, 9 の各リンクでは、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値であり、ピンリンクについては、図 1 のピンリンクの A'-A' 断面積で除した値である。

この結果から、各リンクにおける比例限度、降伏点及び引張強さは、リンク数が増加するとわずかながら小さくなり、静的強度は低下することがわかる。また、ピンリンクとローラリンクの強度は、ほぼ同程度である。

Lifting angle	15°
Axis of abscissa	$800 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s} / \text{div}$
Clock late	$2 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s} / \text{div}$
Axis of ordinate	$300 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{strain} / \text{div}$

Fig. 5 Impact strain wave (ex. 5 links)

衝撃ひずみ波形の測定結果を図 3 に示す 5 リンクのブロックチェーンの場合について、図 5 に示す。この図よりひずみの最大値を求め、ブロックチェーンの静引張試験結果を用いて、ひずみに対応する荷重 P_t と、 P_t に対応する伸び λ_t を読み取り、衝撃エネルギー U を $U = P_t \cdot \lambda_t / 2$ として算定した。

この算定結果をもとに、各リンクの衝撃エネルギーの影響について図 6 (a) に示す。この図より、リンク数が増加すると、衝撃エネルギーの値は向上する。

また、高衝撃エネルギーでは、ピンリンクが破壊し、低衝撃エネルギーになるほどローラリンクが破壊する確率が高くなることがわかる。次に、ピンリンクとローラリンクの結果を図 (b) に示す。両者を比較すると、衝撃エネルギーが低い範囲では、わずかながら衝撃エネルギーはローラリンクの方が高く現れている。

ここで、衝撃エネルギーを衝撃荷重に換算して比較してみる。厳密に換算することは困難であるが、ここでは、図 4 に示すローラチェーンの荷重・伸び線図を一点破線で示すような直線硬化の弾塑性体と仮定し、図 7 を参照して荷重と伸びの関係を表すと次式のようになる。

$$(a) \quad 0 \leq \lambda \leq \lambda_y \\ P = K_a \cdot \lambda \quad (1)$$

$$(b) \quad \lambda_y \leq \lambda \\ P = K_b(\lambda - \lambda_y) + K_a \cdot \lambda \\ = K_b \cdot \lambda + \frac{K_a - K_b}{K_a} P_y \quad (2)$$

従って、任意の伸びのときに蓄えられるエネルギーは、次のようになる。

$$(a) \quad 0 \leq \lambda \leq \lambda_y \\ U = \int_0^\lambda K_a \cdot \lambda' d\lambda' = \frac{1}{2} K_a \lambda^2 \quad (3)$$

(a) Roller chains

(b) Pin link and Roller link

Fig. 6 Influences of impact energy of roller chains

Fig. 7 P - λ diagram for calculation(b) $\lambda_y \leq \lambda$

$$U = \int_0^{\lambda_y} K_a \cdot \lambda' d\lambda' + \int_{\lambda_y}^{\lambda} \left(K_b \cdot \lambda' + \frac{K_a - K_b}{K_a} P_y \right) d\lambda' \\ = \frac{1}{2} K_b \lambda^2 + \frac{K_a - K_b}{K_a} P_y \lambda - \frac{K_a - K_b}{2 K_a^2} P_y^2 \quad (4)$$

式(1)~(4)より、 U を P の関数として表すと、次式ようになる。

(a) $0 \leq P \leq P_y$ ($0 \leq \lambda \leq \lambda_y$)

$$U = \frac{1}{2 K_a} P^2 \quad (5)$$

(b) $P_y \leq P$ ($\lambda_y \leq \lambda$)

$$U = \frac{1}{2 K_b} \left(P^2 - \frac{K_a - K_b}{K_a} P_y^2 \right) \quad (6)$$

また、今回の実験は、すべて塑性域の範囲で行ったので、図6の縦軸の衝撃エネルギーについて式(6)を変形し、 P について解くと、次式のように表される。

$$P = \left(2 K_b U + \frac{K_a - K_b}{K_a} P_y^2 \right)^{1/2} \quad (7)$$

Fig. 8 Relation between impact energy and impact load

この関係を図8に示す。これより図9が描かれ、このような計算方法によれば、衝撃荷重が小さくなると、ローラリンクの方が強度が低下していくことがわかる。

次に、繰返し衝撃寿命とリンク数の関係を、ワーブル分布を適用して検討する。いま、チェーンリンクの生き残りの確率を $l(x)$ 、繰返し数を x とすると、 n 個のリンクで構成されているチェーンの生き残りの確率 $l_n(x)$ は

$$l_n(x) = [l(x)]^n = \exp \left[-n \left(\frac{x-e}{v-e} \right)^m \right] \quad (8)$$

Fig. 9 Influences of impact load of pin link and roller link

で与えられる。ここで v は特性値、 e は最少寿命、 m はワイブルの勾配である。

ワイブル確率紙⁶⁾における分布関数 $F(x)$ は

$$F(x) = 1 - \exp\left[-n\left(\frac{x-e}{v-e}\right)^m\right] \quad (9)$$

で表される。ここで、破壊箇所を考慮してワイブル紙にプロットしたのが、図 10 (a), (b) である。これらの図における右側の縦軸は $Y = \ln\ln[1/1-F(x)]$ で、横軸は $X = \log X$ で表されている。また、計算に必要な数値は、表 3 に示した通りである。これらの図より、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、繰返し衝撃寿命を予測できることがわかる。

また、任意のリンク数における平均寿命 μ_n は、前

Table 3 Parameter of repeated impact life distribution

Impact load kN	23.73	23.96	24.37
Weibull gradient m	2.60	3.00	2.91
Characteristic number $\log v$	230.40	26.50	21.54

報²⁾を参照して次式のように求めることができる。

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

ただし、 μ_1 は 1 リンクにおける平均寿命を表し、次式によって与えられる。

$$\mu_1 = x_0 \Gamma\left(\frac{1}{m} + 1\right) \quad (11)$$

この式を用い、表 4 に $P=23.96$ kN の場合を加えて示す。

この表より、リンク数が増加すると平均寿命は低下する結果が得られた。そして、それらの低下する割合は、ローラリンクが破壊された場合について調べると、ローラリンク単体に対して、5 リンクで 69%、7 リンクで 63%、9 リンクで 54% 程度、平均寿命が低下することがわかった。また、ピンリンクが破壊された場合は、ピンリンク単体に対して、5 リンクで 80%、7 リンクで 70%、9 リンクで 63% 程度、平均寿命が低下する結果が得られた。

なお、チェーン伝動では、複雑な力が作用するのでこれらのデータの活用には、十分注意する必要があるが、静引張強さとの比較及びリンク数の相違による寿命の比較には、適用できるものと思われる。

(a) $P=23.73$ kN

(b) $P=24.37$ kN

Fig. 10 Relation between repeating impact life and number of links

Table 4 Relation between mean life and number of links

Number of links	Mean life		
	$P=23.73$ kN	$P=23.96$ kN	$P=24.37$ kN
Roller link ($n=1$)	211.4	111.0	—
Pin link ($n=1$)	—	—	19.2
5 links ($n=3$)	134.8	81.5	15.4
7 links ($n=4$)	119.8	72.7	13.4
9 links ($n=5$)	108.9	64.0	12.0

5. 結 言

- (1) ローラチェーンの繰返し衝撃試験の結果、リンク数を増加すると、繰返し衝撃強度は低下する結果が得られた。
- (2) 比較的高衝撃エネルギーでは、ピンリンクが破壊し、低衝撃エネルギーになるほど、ローラリンクが破壊する。
- (3) ローラチェーンの繰返し衝撃寿命分布は、

ローラリンク及びピンリンクの寿命分布をもとに、統計的に予測することができた。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、試験片の提供をいただいた高砂チェーン株式会社、及び熱心に御協力いただいた当時慶応義塾大学大学院学生森安正博君に対し、感謝の意を表します。

文 献

- 1) 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めあい力とリンク数の影響, 精密機械, **50**, 4 (1984) 665.
- 2) 中込昌孝, 水野正夫: ローラチェーンの疲労強度とリンク数の関係, 精密機械, **51**, 8 (1985) 1547.
- 3) 茶谷明義, 放生明広: ローラチェーンの衝撃塑性引張り, 日本機械学会論文集 (A 編), **49**, 442 (1982) 748.
- 4) 中込昌孝: チェーンリンクプレートの疲れ及び衝撃強さに及ぼすショットピーニングの効果, 精密機械, **32**, 12 (1966) 825.
- 5) 日本チェーン工業会規格, 二輪自動車用チェーン, 1 (1981) 24.
- 6) 真壁 肇: ワイブル確率紙の使い方, 日本規格協会 (1965) 10.

情 報

(p. 2330 より続く)

(5) 半導体ダイヤモンド……ダイヤモンドはSiやGeと同じ結晶をもち、半導体としての性質を示すことが予想され、高性能トランジスタへの適用の可能性が追求されてきた。高圧法でB(ほう素)が添加して合成されたダイヤモンドはp形半導体の性質を示す。n形半導体の性質を示すものは、なかなか見い出せなかったが、最近になってC, Liのイオン注入によりn形となることが示された。気相合成法により作成した膜にイオンを注入し、p-n接合が得られたという報告も現れている。

基板の作成技術、Siにおいて確立されている半導体プロセス技術の確立など解決すべき課題はまだ多い。

(6) バイオセラミックス……一般にセラミックスは生体内で安定で、拒絶反応の受け方が少なく、異物に対する抗原抗体反応を起こしにくい。

またハイドロキシアパタイトは生体活性で骨と接合しやすく、強度をあまり要求されない部分に適用できる優れた材料である。

人工骨、人工歯根、人工臓器、経皮端子などに応用できるが、機械的特性の改善、生物学的評価法の確立、生体ガラスなど今後ファインセラミックスの生体活性機能

を積極的に利用した新用途の開発などが課題である。たとえば、バイオテクノロジー関連分野としてのDNA, RNAの分離及び精製アミノ酸、たんばくの合成、分離などが考えられる。

(7) 超伝導セラミックス……昨春、臨界温度が90 Kを超すセラミックス超伝導体が発見され、現在その応用の可能性が探されている。現在、粉末燃結法、スパッタリング、MOCVD、プラズマCVD、レーザーCVDなどさまざまな製造法が研究されている。

ジョセフソン素子を実現するには薄い膜をいかに作るかがポイントである。臨界電流密度をいかに高めるかということ、他の回路素子との接続をどのようにするかを明らかにしていかなければならない。

単結晶では十分な臨界電流密度が得られており、この点に関しては問題はないと思われる。

臨界磁場も十分大きく、電磁石や電力用ケーブルへの応用には超伝導状態をいかに安定化するかが最も大きな問題である。水蒸気に非常に弱いとされているので、これに対する対策も考える必要がある。

(服部 敏夫)