

## リンクチェーンの衝撃引張り\*

茶谷明義<sup>\*1</sup>, 放生明廣<sup>\*1</sup>, 佐藤秀紀<sup>\*1</sup>

## On the Impact Tension of Link Chains

Akiyoshi CHATANI, Akihiro HOJO, and Hidenori SATO

When a link chain consisting of steel rings with the link pitch of 15~25 mm was subjected to a constant tensile velocity at its one end, the load produced corresponding to the velocity was measured by means of strain gages. The load measured was studied on the basis of a one-dimensional theory of stress wave propagation. As a result, it was found that the above theory is available to determine the load if the chain is replaced by an equivalent rod; that is, the load is proportional to the velocity, and the proportionality constant is determined by the link pitch, the weight per unit link and the slope of the load-strain relation of the chain under static tension. Further, the case for a chain struck by a drop weight was also studied. It was shown that the upper limit of the maximum load produced is expressed by the ratio of the weight of the striking body to that of the chain.

**Key Words:** Structural Analysis, Link Chains, Impact Load, Wave Propagation

## 1. 緒 言

荷役作業や動力伝達に用いられるリンクチェーンには衝撃的な荷重が作用することがあるために、このような荷重に対するチェーンの力学的挙動を明らかにすることは重要である。リンクチェーンには一般用、特殊用、チェーンブロック用ロードチェーンなど多種類あるが、いずれも丸棒よりなるリング状の要素を連ねたものである。しかし、このようなチェーンの一端に衝撃引張りが作用する場合についてその引張速度に対応して発生する荷重が明らかにされたことはなく、リンクチェーンの衝撃引張特性は必ずしも明らかではない。

そこで本研究では、ローラチェーンの場合<sup>(1)</sup>の考え方を適用して、リンクチェーンの一端に与えた一定速度に対応して発生する荷重を明らかにし、実際の落下重すいによる衝撃引張りの場合についても検討した。

## 2. 供試チェーン

図1および表1は使用リンクチェーンの要素形状と寸法、機械的性質などの諸元を示したものである。いずれも鋼製で、ピッチ $p$ が15~25 mmの3種類のチェーン(A, B, C)を用いた。

図2にこれらのチェーンの静引張荷重とひずみの関係を示した。ここでひずみはリンク数十程度における荷重方向伸びの割合いで平均的なものである。どの場合もこの荷重範囲では弾性域にあって荷重とひずみはほぼ直線関係にあり、この直線のこう配 $K$ は表1中に示すとおりである。

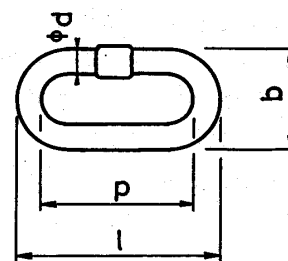


図1 リンクチェーンの要素形状

\* 昭和63年7月15日 東海支部浜松地方講演会において講演、原稿受付 昭和62年12月25日。

\*1 正員、金沢大学工学部 (〒920 金沢市小立野2-40-20)。

表 1 リンクチェーンの諸元

Chains	Sizes (Fig. 1) mm				Weight per unit link w N	Slope of load- strain relation K MN	Tensile strength kN	Load wave velocity C km/s
	p	d	b	l				
A	25	5.0	18.0	34.5	0.113	1.32	13.4	1.69
B	15	5.0	16.4	25.0	0.0765	1.02	28.9	1.40
C	19	6.2	21.0	31.0	0.162	1.71	58.8	1.40

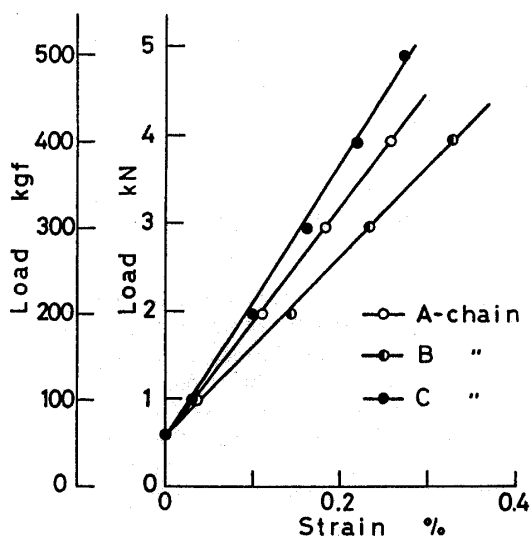


図 2 荷重とひずみの関係

3. 弾性棒を介した衝撃引張り

3.1 実験方法 図 3 は実験方法の概要を示し、丸棒と円筒による縦衝撃引張りを利用してリンクチェーンの一端に一定の引張荷重と速度を入射させ、各部の荷重を測定するものである。長さ約 1.5 m のチェーンはその上端がナイロンロープでつるされ、その下端に丸棒が連結され、円筒が高さ H より自然落下して丸棒下端に衝撃引張りを与えるようになっている。チェーン下端は丸棒上端の溝にはめ込まれ、横ピンを通して丸棒に連結されている。円筒はどの場合も外径 34 mm、内径 28 mm の炭素鋼製であり、丸棒は A、B チェーンの場合に直径 20 mm、C チェーンの場合には 25 mm のいずれも炭素鋼製である。

ひずみゲージ a は丸棒断面对称位置に 2 枚、ひずみゲージ b, c, d はともにチェーンリンクの溶接部分と反対側の断面上対称に 2 枚貼付してあり、曲げの影響を小さくするように配慮した。このようなひずみゲージによる波形測定記録には主としてデジタルメモリ (岩通 DM 7100) とパーソナルコンピュータ (NEC PC-9801) を用いた。

ローラチェーンの場合と同様<sup>(1)</sup>にひずみゲージ a に

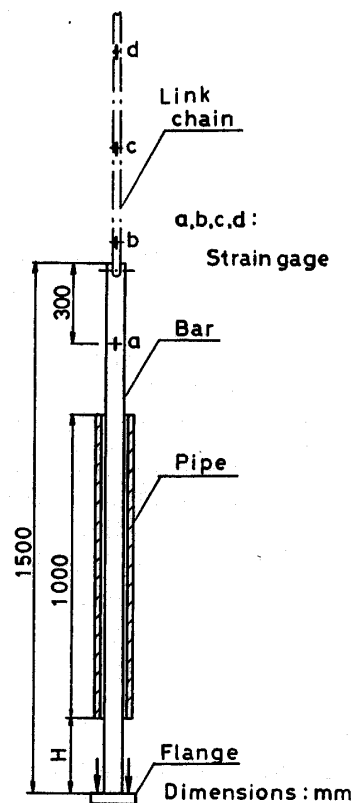


図 3 弾性棒を介した衝撃引張りの方法

よる波形を応力波の一次元理論に基づいて解析してチェーン下端の速度を、他のひずみゲージによる波形から発生伝ばする荷重を求めた。

3.2 実験結果と考察 図 4 は測定波形例を B チェーンについて示したものである。測定位置ごとに対応する時間を一致させて各波形を並べてあり、波形の立上り部における若干の相違を除けば、全体としてチェーン下端に入射した荷重がほぼ一定の速度で大きさを変えないで伝ばすることがわかる。

そこでまず、このような荷重の伝ば速度を理論的に知るために、リンクチェーンを等価な弾性棒におき換えれば、伝ば速度 C は

$$C = \sqrt{g \cdot (p/w) \cdot K} \dots\dots\dots (1)$$

で表され、ここで g は重力の加速度、w は 1 リンクあたりの重量である。上式 (1) によって図 4 中に入射波

形の波頭軌跡を細線（ただし負荷を実線、除荷を破線で表示）で示したが、負荷および除荷開始時がほぼ一致している。

次にこのような一定速度  $C$  で荷重が伝ばするとすれば、速度  $V$  に対応して発生する荷重  $P$  は次式で表される。

$$P = \frac{K}{C} V = \sqrt{\frac{w \cdot K}{g \cdot p}} \cdot V \dots\dots\dots (2)$$

チェーン端に作用する速度は前記<sup>(1)</sup>のようにひずみゲージ a による波形解析によって求められる。そこで負荷初期を除くほぼ一定の速度と荷重の範囲を対象に各チェーンについて速度を求め、対応して発生する荷重をひずみゲージ b による波形から求めて実験による荷重  $P$  と速度  $V$  の関係を示したのが図 5 である。この結果から、わずかの差異はあるが、式(2)が十分妥当であると言えよう。なお図 4 中には、比較のために、入射波形が長方形と仮定して式(1)、(2)による荷重波形を破線で示してあるが、これはいずれも測定波形とほぼ一致している。

以上より、丸棒のリング状要素を連ねたリンクチェーンの一端に引張速度を与えたとき、対応して発生する荷重は速度に比例し、その関係は式(2)に示されるようにチェーンに固有の諸量で表され、近似的ではあるが、応力波の一次元理論の適用が有効であることが

わかる。

4. 落下重すいによる衝撃引張り

4.1 実験方法 実用的な観点から重すいによる衝撃引張りを対象とし、図 6 のような方法により、上端を固定した長さ  $L$  のチェーンの下端に重すいを高さ  $H$  から自然落下させ、チェーンの固定部と中央部に発生する荷重について検討した。ひずみゲージによる荷重波形の測定記録方法は前記の場合と同様である。

実験には A, B 両チェーンを用い、A チェーンの場合  $L=575 \text{ mm}$  (リンク数 23)、B チェーンでは  $L=$

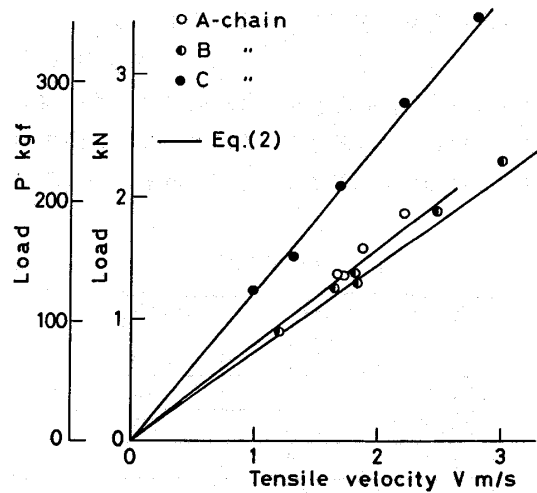


図 5 発生荷重と引張速度の関係

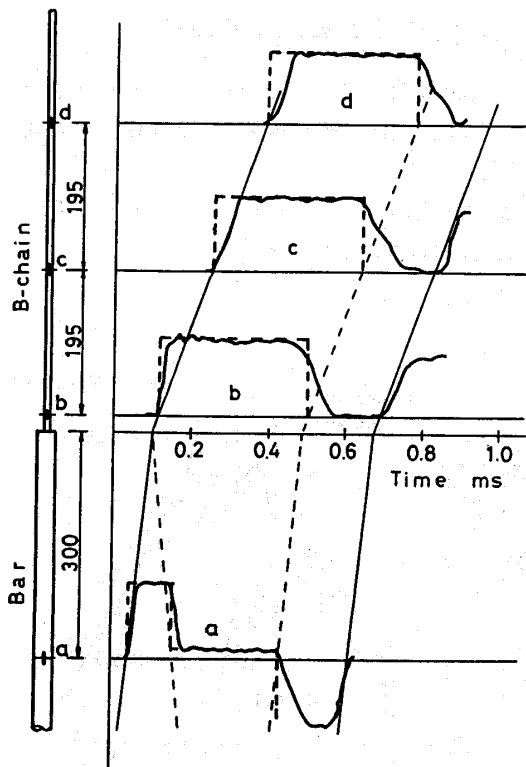


図 4 測定波形例 1 (弾性棒による場合)

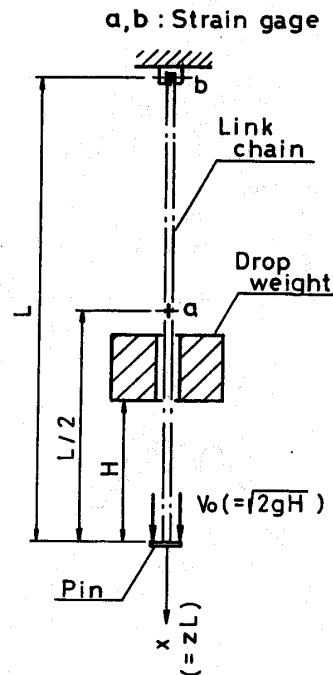


図 6 落下重すいによる衝撃引張りの方法

555 mm (リンク数 37) である。

また落下重すいには、いずれも中心にチェーンを通すために直径約 25 mm の孔をあけた鋼製の 4 種類の短円柱状ブロックを用い、その重量  $W$  は 84.8, 30.4, 16.7, 10.8 N である。これらの重すいの外径と高さを表 2 に示した。なお、重すいの衝撃を直接受けるピンは直径 6 mm、長さ 45 mm の焼入れ鋼である。

**4.2 実験結果と考察** 図 7 は B チェーンについての測定例を示したものである。荷重は中央部でも固定部でもこの歯状に変動し、波形の最大値に注目すれば固定部の荷重が中央部のものより大きいことがわかる。またこれより、この歯状の変動周期が中央部で  $L/C=396 \mu s$ 、固定部では  $2L/C=792 \mu s$  にほぼ等しく、チェーン内を荷重が波動として伝ばを繰返していることがわかる。図 8 は A チェーンについて重量  $W$  を変えたときの結果で、重量が大であればより大きな荷重を生ずる。なお、どの場合でもこのような歯状山形波形の後に発生する荷重は小さく、重すいの 2 度打

表 2 重すいの寸法

Weight N	Outer diameter mm	Height mm
84.8	100	150
30.4	100	60
16.7	60	100
10.8	60	60

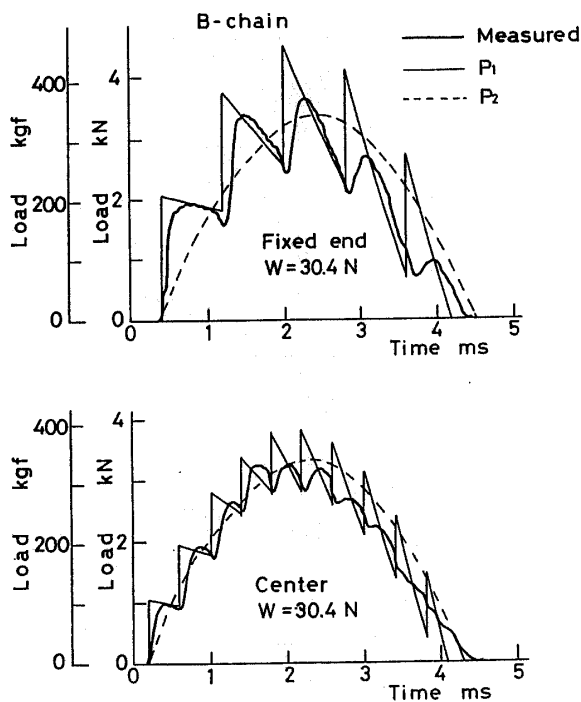


図 7 測定波形例 2 (重すいによる場合,  $H=100$  mm)

ちの影響は小さかった。

図 7, 8 のような結果を理論的に説明するために、前記と同様にチェーンを等価な弾性棒とみなしかつ重すいを剛体とみなせば、この衝撃引張りの問題は一端固定の弾性棒の他端に剛体が衝突する場合に相当し、古くはサンブナンら<sup>(2)</sup>をはじめとしていく人かによって解析されたものである<sup>(3)-(5)</sup>。その結果種々の解法による解があるが、これらとは別に次のようにしても同様な結果を得ることができる。

すなわちまず、図 6 に示したように長手方向座標を  $x$  とし、これに対応する無次元座標  $z=x/L$ 、変位  $u$ 、時間  $t$  に対応する無次元時間  $\tau=Ct/L$ 、剛体 (重すい) の重量を棒 (チェーン) の重量で除した重量比  $\alpha$  を用いれば、運動方程式と境界条件および初期条件は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} &= \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \\ \alpha \cdot \left( \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} \right)_{z=0} + \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)_{z=0} &= 0, \quad (u)_{z=-1} = 0 \\ \left( \frac{\partial u}{\partial \tau} \right)_{z=0, \tau=0} &= V_0 \cdot \frac{L}{C}, \quad (u)_{\tau=0} = \left( \frac{\partial u}{\partial \tau} \right)_{\tau=0} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\dots\dots\dots (4)$$

式(3)を式(4)のもとでラプラス変換すれば、その逆変換解が容易に求められ、結局任意時刻と位置における本問題の場合の荷重  $P_1$  は次のような級数で表される。

$$P_1 = P_0 \cdot 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\alpha^2 p_n}{1 + \alpha + \alpha^2 p_n^2} \cdot \frac{\sin(p_n \tau)}{\cos p_n} \times \cos\{p_n(1+z)\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで  $P_0$  は剛体が棒に速度  $V_0$  で衝突した瞬間に発生する荷重で

$$P_0 = K \cdot (V_0/C) \quad \dots\dots\dots (6)$$

であり、 $p_n$  は次式の根である。

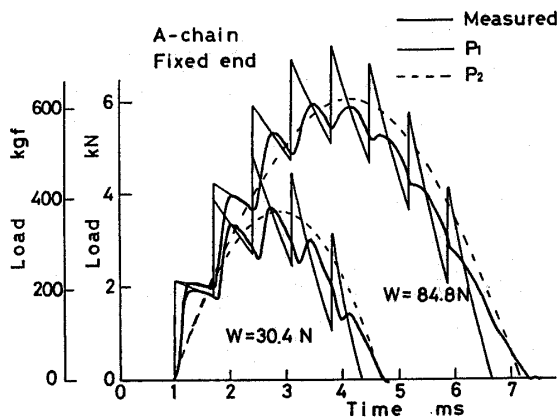


図 8 測定波形例 3 (重すいによる場合,  $H=100$  mm)

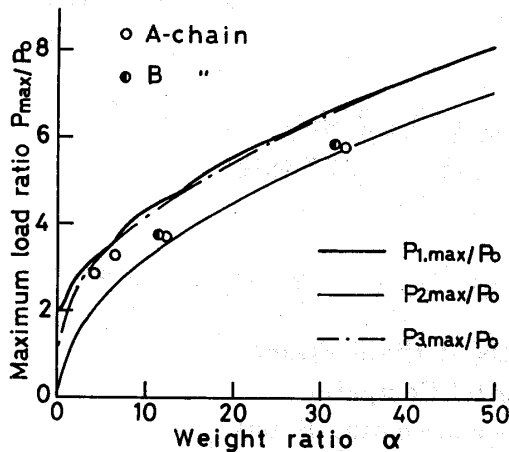


図9 最大荷重比と重量比の関係

$$\tan p_n = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{p_n}, \quad (n=1, 2, \dots) \quad \dots\dots\dots (7)$$

波頭の直前直後では  $P_0$  だけ荷重が変化することに注意し、式(5)~(7)によって計算した理論結果を図7, 8中に細線で示してある。このような理論結果と測定結果を比較すると、測定波形の波頭が理論の場合のように立上り時間が零ではないために時間によってはかなりの差があるが、全体として両結果の変動傾向はよく一致している。また比較のために、棒中の波動伝ばを無視し、棒が質量零のばねであると仮定して得られる次の結果  $P_2$  も示した。

$$P_2 = P_0 \sqrt{\alpha} \cdot \sin(\alpha/\sqrt{\alpha}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

強度設計上、発生荷重の最大値を知ることが重要であるから、固定端における測定波形の最大値  $P_{max}$  に注目してこれを式(6)の  $P_0$  で除した最大荷重比  $P_{max}/P_0$  を算出し、本実験条件下の各重量比に対して示したのが図9である。図中には比較のために、式(5)によるもの  $P_{1,max}/P_0$ 、式(8)によるもの  $P_{2,max}/P_0 (= \sqrt{\alpha})$  および  $P_{3,max}/P_0 (= \sqrt{\alpha} + 1)$  を示した。式(8)による  $P_{2,max}$  は剛体の運動エネルギーが棒のひずみエネルギーに等しいとする場合に相当し、 $P_{3,max}$  は  $\alpha$  大なところで  $P_{1,max}$  にほとんど一致する  $P_{1,max}$  の代用値である。

測定結果の  $P_{max}/P_0$  は理論結果の  $P_{1,max}/P_0$  と  $P_{2,max}/P_0$  の間にあり、重量比が大きいほど測定結果は式(8)すなわちひずみエネルギーから求められたものに近くなる傾向を示している。また重量比が小さければ、図8からも明らかなように、荷重が少数回しかチェーン内を伝ばしないので、結果としては伝ばする荷重波頭の影響が大きく、測定結果が波動伝ばを考慮した式(5)による  $P_{1,max}/P_0$  に近くなると考えられる。

発生伝ばする荷重はチェーン下端のピンと重すいの接触状態や上端固定部の条件などに影響されると考えられるから、実験によっては最大値を正確に決定しにくいであろう。しかし、チェーンに直接的に重すいが衝突するような本実験の場合、測定波形立上り部の波頭の大きさが  $P_0$  より大きくはならないので、最大値  $P_{max}$  の上限は重すいを剛体と仮定して得られる  $P_{1,max}$  を超えないと考えられる。

5. 結 言

リンクチェーンの一端に弾性棒を介して一定の衝撃引張速度を与え、チェーンに発生する荷重を実測し、考察を行った。その結果、チェーンを等価な棒におき換えれば、荷重の評価には応力波の一次元理論がきわめて有効であり、発生荷重は速度に比例し、その関係はチェーンに固有な諸量で与えられることがわかった。

また一端固定のチェーンの他端に落下重すいによる衝撃引張りを与える場合についても測定荷重を同理論に基づいて検討し、重すいとチェーンの重量比に関係して最大荷重を評価し得ることを示した。

文 献

- (1) 茶谷・ほか3名, 機論, 46-405, A (昭55), 533.
- (2) 例えば, Goldsmith, W., *Impact*, (1960), 46, E. Arnold LTD.
- (3) 小林・竹之内, 機論, 30-215 (昭39), 877.
- (4) 織田・深津, 機論, 45-397, A (昭54), 1098.
- (5) 前川, 機誌, 84-750 (昭56), 448.