

539.4.019 :: 539.382 : 621.85.055

衝撃引張りによるローラチェーンの荷重について*

茶 谷 明 義**, 柴 原 正 雄**
 Akiyoshi CHATANI, Masao SHIBAHARA
 放 生 明 廣**, 坂 井 治***
 Akihiro HÖJÖ, Osamu SAKAI

1. 緒 言

ローラチェーンは動力伝達要素としてその用途は広く⁽¹⁾、回転運動のみならず直進運動の伝達や荷重支えとしても用いられ、衝撃的な高速引張りを受けることも多い。そのために強度設計上ローラチェーンの衝撃引張特性を明らかにする必要がある。

従来より、張力、速度、ピッチ、自重などに関係して衝撃的な高周波振動を伴う走行ローラチェーンの横振動に関する研究は多く行われている⁽²⁾。またスプロケット歯との不連続的な噛み合いによって発生する振動張力波形も直接測定され^{(3)~(5)}、繰返し衝撃強さも二、三のローラチェーンについて求められている⁽⁶⁾。しかし衝撃引張りに対するローラチェーンの力学的挙動は必ずしも明らかではなく、衝撃引張速度に対応してチェーン端に発生する荷重、すなわち張力負荷とその伝ば状況が明らかにされたことはない。

ローラチェーンの一端にごく短時間だけ一定の引張速度を与えることは必ずしも容易ではないが、長い丸棒と円筒による簡単な縦衝撃を利用すれば、比較的容易にこのような速度を得ることができる。そこで本研究では、このような縦衝撃を利用し、まず速度に対応して発生する荷重とその伝ば状況を実験的に明らかにした後、この結果を弾性波の一次元理論に基づいて説明した。そして一般のローラチェーンに対する考え方を示し、同時に伝動用 40 番、50 番および自転車チェーンの衝撃引張速度と発生荷重の関係を明らかにした。

2. 供試チェーン

実験には伝動用ローラチェーン JIS 標準形 40 番 (OCM 40)、同 50 番 (OCM 50) および自転車用チェーン JIS 1/2×1/8 (Pulton) を用いた。これらの主

要諸元量と機械的性質を表 1 に示してある。同表中等価弾性係数 E_R はチェーンを内外両リンクプレートの平均最小断面積を有する棒に置き換えて得たものであり、弾性波の伝ば速度 C_R 、 C_{R0} は後述の実験と理論によるものである。図 1 はチェーンが弾性体と考えられる範囲の静引張負荷時の荷重とひずみの関係を示し、必ずしも完全な直線関係にはないが、これらの平均こう配より E_R を求めた。

3. 実験方法

チェーンの一端に一定の衝撃引張速度を作用させ、

表 1 主要諸元量と機械的性質

	40	50	1/2×1/8
ピッチ p mm	12.7	15.9	12.7
両リンクプレート の平均最小断面積 A_R mm ²	22.2	37.2	10.3
1 リンク当たりの平均重量 w gf	8.15	16.46	3.39
等価弾性係数 E_R kgf/mm ²	4930	4350	6820
弾性波の伝ば 速度 m/s	実験 C_R	1240	1160
	理論 C_{R0}	1300	1240
静引張強さ kgf	1810	2890	820

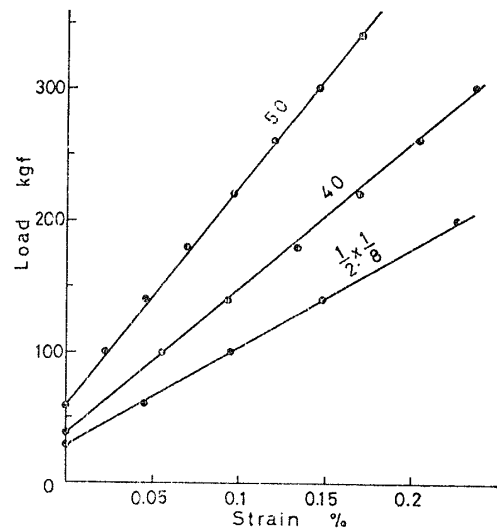


図 1 荷重-ひずみ関係

* 昭和 54 年 10 月 14 日 第 57 期全国大会講演会において論文講演として講演，原稿受付 昭和 54 年 4 月 10 日。

** 正員，金沢大学工学部 (〒920 金沢市小立野 2-40-20)。

*** オリエンタルチェーン工業会社。

これと荷重を測定するために、長い丸棒と自然落下する円筒を利用した図2のような方法を用いた。すなわち長さ 1.5 m、直径 20 mm の炭素鋼丸棒 1、2 の間にチェーンをピンで接続し、丸棒 2 の上端のナットとゴム板を介して全体を垂直につるしてある。自然落下する長さ 1 m、外径 34 mm、内径 28 mm の炭素鋼円筒が丸棒 1 の下端部にねじ止めされたフランジを打撃し、チェーン下端に衝撃引張りを与えるようになっている。このような方法によれば、丸棒 1 が十分長いとき、円筒と丸棒 1 の材質および寸法、円筒の落下高さ H によって決定されるほぼ長方形の引張荷重波⁽⁷⁾がチェーン下端に入射することとなるから、作用する速度と荷重の関係を測定するうえで好都合と考えられる。丸棒 1、2 については異なるチェーンの接続の都合上表 2 のように端部の寸法のみが異なるものを 3 組準備した。

表 2 装置各部の寸法 (単位 mm)

	40	50	1/2×1/8
a	13.5	14.0	13.5
b	5.5	8.0	5.0
c	11.3	13.7	5.7
l	1511.3	1574.1	1511.3
l_A	44.5	55.7	57.2
l_B	508	477	508

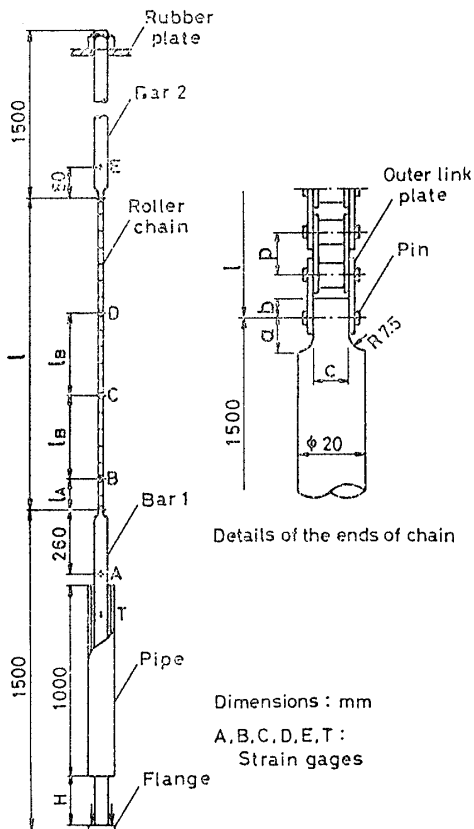


図 2 実験装置の概略

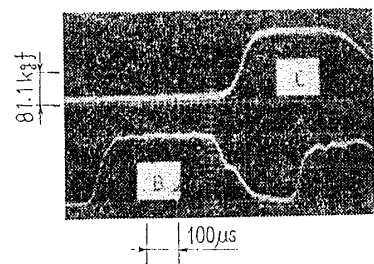
丸棒とチェーンには図 2 に示すような位置にひずみゲージ A, ..., T をはり付け、これらと 2 現象シンクロスコープによって各部のひずみ波形を測定する。T はトリガー用である。B の位置 l_A は 50 番と 40 番チェーンでは下端から 4 リンクめ、自転車チェーンでは 5 リンクめの中央に相当し、供試チェーン長さ l および l_B とともにこれらの値を表 2 に示してある。後述の一次元理論によってひずみゲージ A によるひずみ波形からチェーン下端に作用する速度が、また B, C, D, E からは荷重が測定される。

なおチェーンのひずみゲージ B, C, D のはり付け部分については、あらかじめ静引張試験による荷重とひずみゲージの出力とが直線関係になるように十分な検討を行った。その結果、40 番と 50 番チェーンでは内リンクプレート最小断面側面(板厚部分)に 1 mm と 2 mm の、また自転車用チェーンでは外リンクプレート最小断面側面中央に 2 mm のゲージ長さのひずみゲージをはり付けることとし、荷重に対するひずみゲージの出力の直線性を確認した。

4. 実験結果および考察

4.1 荷重の伝ば状況 図 3 は 50 番チェーンについてひずみゲージ B, C による測定荷重波形の一例を示したものである。チェーン下端の引張端にはほぼ長方形の荷重が入射し、これが特定の速度で伝ばすることがわかる。同図によれば、30 リンクに相当する長さ $l_B=477$ mm だけ荷重が伝ばする間に波形初期の立上りこう配はわずかに小さくなり、荷重の持続時間もわずかに減少しているが、一定荷重の大きさは等しい。

このような荷重波形をひずみゲージの各位置ごとに時間軸を一致させて描いたものが図 4 である。引張端から B, C, D, E と離れるに従って長方形波形はくずれてくる。このように波形がくずれる傾向は円筒の落下高さ $H(60\sim 500$ mm) を変えても他のチェーンでもほぼ同様である。



50 番チェーン, $H=95$ mm

図 3 荷重波形例

しかし引張端から 40 リンク程度までの範囲ではひずみゲージ B, C による波形に大差はない. そこで両波形の立上り部の時間差 ΔT とひずみゲージはり付け位置の間隔 l_B とから, チェーン内の荷重の伝ば速度 C_R を

$$C_R = l_B / \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

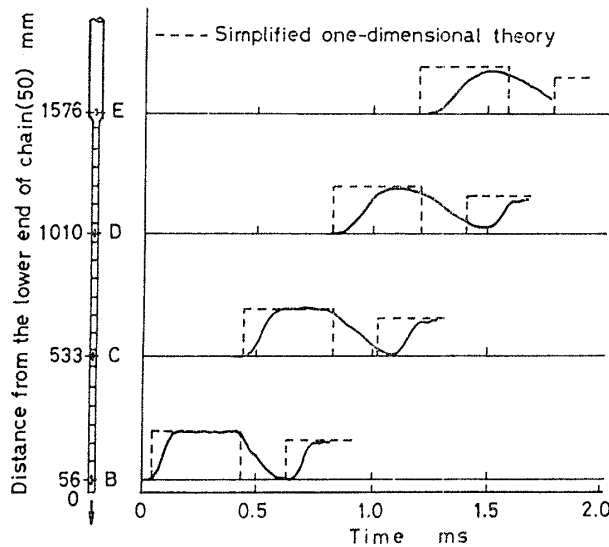
として求めれば表 1 のようになる. ここで, ΔT は便宜的に一定荷重の 10% に対応する時間差を採用した.

一方, チェーンをこれと等価な弾性棒に置き換える とすれば, 一次元理論⁽⁸⁾による伝ば速度 C_{R0} は表 1 に示した諸量を用いて次式で与えられる.

$$C_{R0} = \sqrt{gpERAR/w} \dots\dots\dots (2)$$

ここで, g は重力の加速度である. 上式による C_{R0} も表 1 に示してあるが, 実験による C_R とはほぼ等しい値となっている.

4.2 引張速度と荷重の関係 図 5 は各チェーンについて円筒の落下高さ H を同一 (200 mm) としたとき, ひずみゲージ A, B で測定される荷重波形を示したもので, 同一の H に対してチェーンに生ずる荷重の大きさが異なることがわかる. しかしいずれの場合もチェーンにはほぼ同様の長方形荷重波が入射することが確認される. 丸棒 1 のひずみゲージ A による波形の初期で, 荷重が一定値に達した後急激に減少するのはチェーン下端と丸棒 1 の上端の境界からの反射波のためである. また両波形の場合ともに, 荷重が生じ始めてから約 380 μs 後に急激に除荷されるのは, 円筒上端からの反射波 (引張り) がフランジ部を透過して丸棒 1 中を上端に向かうためである.



50 番チェーン, $H=95$ mm

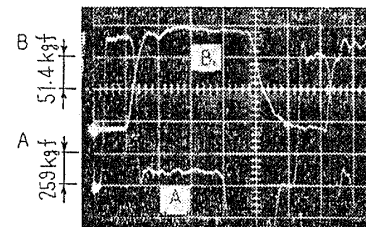
図 4 荷重の伝ば状況

チェーン下端に作用する引張速度と荷重を知るために, 図 5 のような波形を説明用に描き直したのが図 6 である. 同図 a, b はそれぞれひずみゲージ A, B によるものである. 同図 a の丸棒 1 の波形には, 円筒の衝突によって発生し上端に向かう入射ひずみ ϵ_I と, 上端の境界で反射されて反対方向に向かう反射ひずみ ϵ_R が含まれる.

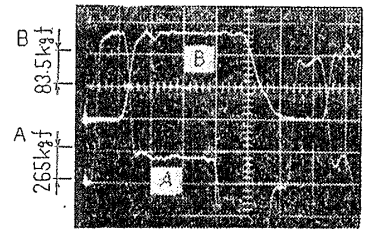
いま丸棒 1 の上端の形状変化の影響は小さいものとし, 一次元理論に従えば, 丸棒 1 の上端すなわちチェーン下端における引張速度 V は測定波形から次式で与えられる.

$$V = C_0(\epsilon_I - \epsilon_R) \dots\dots\dots (3)$$

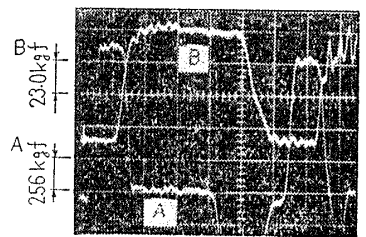
ここで, C_0 は丸棒 1 の弾性波の伝ば速度 (5 120 m/s) であり, ϵ_I には測定断面にひずみが生じ始めて一定



(a) 40 番チェーンの場合



(b) 50 番チェーンの場合



(c) 自転車用チェーンの場合

$H=200$ mm, 掃引時間=100 $\mu s/div$

図 5 荷重波形

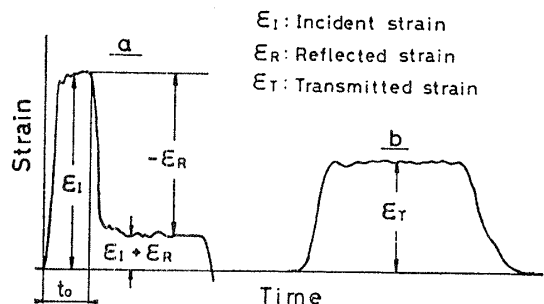


図 6 測定波形の説明図

値に達した後 ϵ_R が同断面に到達するまでの時間 t_0 ($\approx 100 \mu s$) だけ以前のものを用い, ϵ_R と ϵ_I の起点を一致させる。

上式 (3) による実験的な引張速度 V を図 5 の場合について求めたのが図 7 である。図中各点は図 5 の波形を $10 \mu s$ ごとに読み取って得たもので, 負荷初期を除けばいずれの場合もチェーンごとにはほぼ一定の引張速度となっている。また H を同一とした衝撃引張条件のもとでは, その差は小さいが 50 番, 40 番および自転車用チェーンの順にやや大きな速度が作用することがわかる。なお負荷初期のごく短時間内では, 丸棒 1 の上端部形状の影響のために多少の誤差が考えられる。

また, このような引張速度に対応してチェーンに発生する荷重 P は, 図 6 (b) に示した透過ひずみ ϵ_T に較正実験で求めた定数 K を乗ずれば得られ

$$P = K\epsilon_T \dots\dots\dots (4)$$

である。前項で示したようにチェーンの荷重波形は下端の引張端から離れるに従って長形状からはずれる

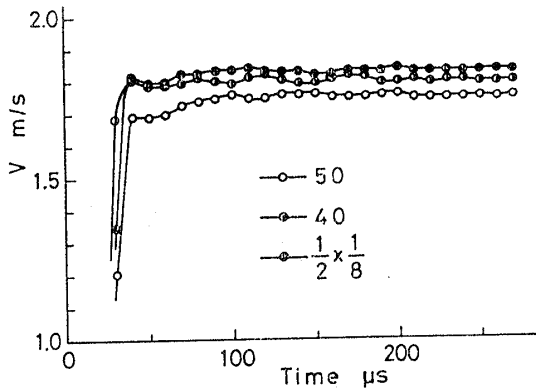


図 7 引張速度 (図 5 の場合)

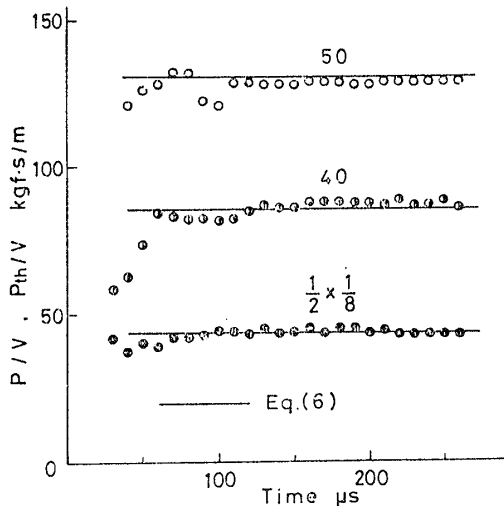


図 8 $P/V, P_{th}/V$ 値 (図 5 の場合)

傾向にあるが, ひずみゲージ B の位置は引張端にきわめて近い (4~5 リンク) ため, ここでの測定荷重はそのまま引張端に作用するものと見なして差し支えない。よって, 式 (3) と (4) を用い, 測定波形より実験的な引張速度 V と荷重 P の関係が次のように求まる。すなわち

$$\frac{P}{V} = \frac{K\epsilon_T}{c_0(\epsilon_I - \epsilon_R)} \dots\dots\dots (5)$$

上式によって図 5 の場合の P/V を求めたのが図 8 であり, 負荷初期を除けば P/V は各チェーンごとにほぼ一定値となっている。

一方, 前述のようにチェーンをこれに等価な弾性棒に置き換えれば, 一次元理論による荷重 P_{th} は V に比例し

$$\frac{P_{th}}{V} = \frac{A_R E_R}{C_{R0}} = \sqrt{\frac{w A_R E_R}{g p}} \dots\dots\dots (6)$$

となる。上式 (6) によれば, P_{th}/V はチェーンピッチ p , 平均最小断面積 A_R , 等価弾性係数 E_R および 1 リンク当たりの平均重量 w で決定され, 各チェーンに固有な一定値を取ることになる。この結果を示したのが図 8 中の実線であり, 理論と実線はよく一致している。

図 9 は, 円筒の落下高さを変え, チェーンの引張速度が図 7 のようにほぼ一定となるとき速度 V と, 同様に一定となるとき荷重 P を対象に $P-V$ 関係を示したものである。式 (6) を実線で示してあるが, 同式は十分妥当であることがわかる。すなわち, 引張速度に対応して発生する荷重は式 (6) で与えられ, その引張荷重はほぼ式 (2) の速度で伝ばする。

4.3 簡素化モデルの一次元理論による検討 前項

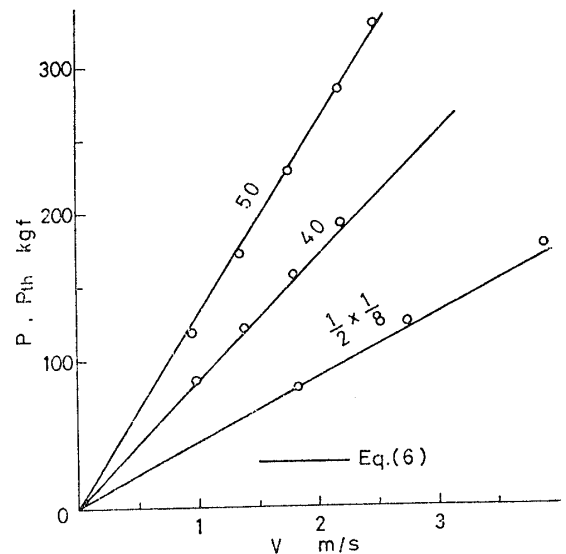


図 9 $P, P_{th}-V$ 関係

に述べた一次元理論の妥当性を更に確認するために、丸棒 1 の下端にあるフランジを質量が 0 の剛体とし、チェーンに接続する丸棒 1, 2 の端部の影響を無視した簡素化モデルを考え、チェーンと丸棒を伝ばする荷重波について同理論に基づく検討を行った。

まず、図 2 中チェーンのみを短くした場合 (50 番チェーン, 7 リンク) を例とし、荷重波頭の伝ば軌跡を位置-時間線図上に示したものが図 10 である。図中の破線は円筒内を伝ばするものを示し、円筒内の荷重はその下端を経て丸棒 1 に透過する。チェーンの両端で反射された荷重がチェーン内を繰返し伝ばするため、その中央断面 n-n に生ずる荷重はここを通過するすべての荷重を加算したものになる。

図 11 は図 10 の場合の断面 n-n と m-m における荷重波の測定結果と簡素化モデルによる一次元理論結果 (破線) を示したものである。測定結果によれば、丸棒 1 の下端に発生する荷重は仮定したように立上りが完全なステップ状ではなく、測定断面に生ずる荷重が一定値に達する以前に境界で反射された次の荷重が入射するために、測定結果は理論結果と厳密には一致しない。しかし両者は概して一致し、荷重の大きさとその時間的変動を大ざかみに知るためには一次元理論がきわめて有効であることがわかる。

つぎにチェーン両端での反射波を考慮しない範囲の図 4 の場合を対象に、図 10 で $l_3=3074.1$ mm とし、 l_n をひずみゲージのはり付け位置に相当させて得られ

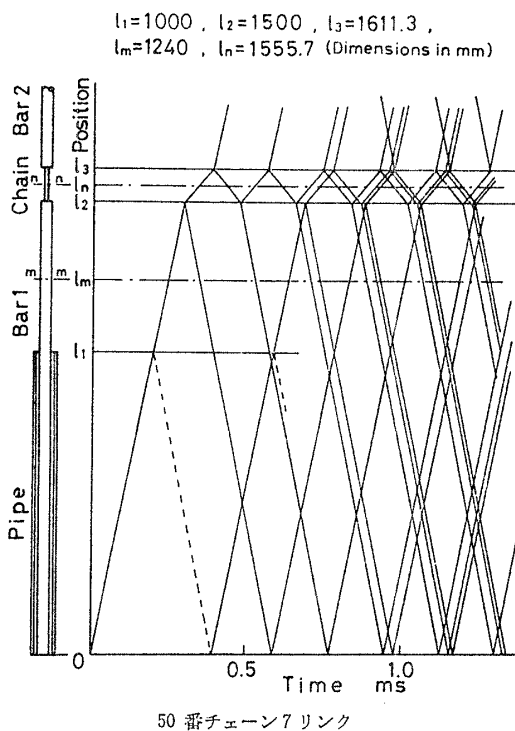


図 10 簡素化一次元理論による特性曲線

た結果が図 4 中の破線である。チェーン引張端の遠方を除けば簡素化モデルによる一次元理論結果は測定結果とよく一致している。同図にみられるように、荷重がチェーンを伝ばするにつれて入射波形がくずれるのは、ピン、ブッシュ、ローラおよびリンクプレートの組立てによるローラチェーンの構成によるものと考えられるが、その詳細については今後検討を要するところである。

5. 結 言

丸棒と自然落下円筒による簡単な縦衝撃引張りを利用し、伝動用 40 番と 50 番チェーンおよび自転車用チェーンに一定引張速度を与え、この速度に対応してチェーンに発生する引張荷重とその伝ば状況を明らかにした。その結果、チェーンをこれに等価な弾性棒に置き換えれば、衝撃引張りを受けるチェーンの力学的挙動の解析には弾性波の一次元伝ば理論を適用し得ることが明らかとなった。すなわち、チェーンに発生する荷重と速度の比はチェーンピッチ、静引張試験から得られる等価弾性係数、1 リンク当たりの平均重量およびリンクプレートの平均最小断面積によって定まるチェーンに固有な一定値となり、式 (6) で算出、決定される。そしてこのような荷重は、同様な諸量に基づく式 (2) の速度でチェーンを伝ばする。

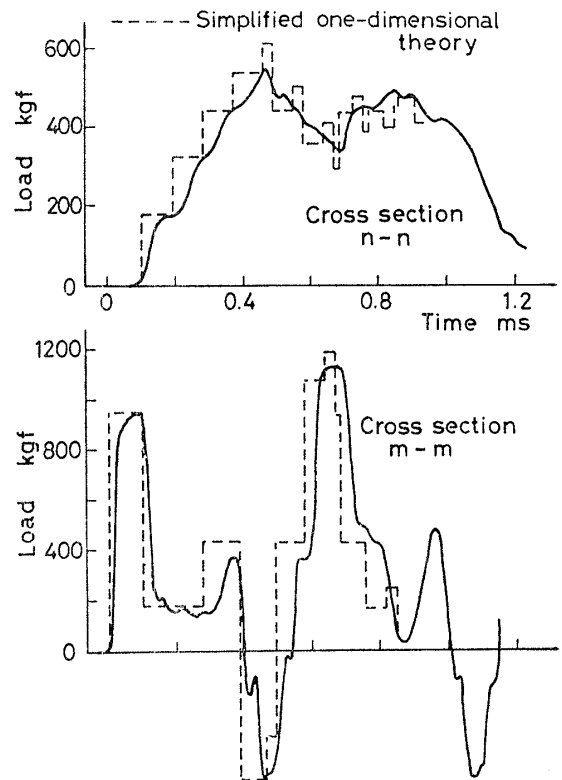


図 10 の場合

図 11 荷重変動の測定結果と理論結果

なお、長いチェーンの場合には、引張端から離れるにつれて一次元理論による結果と測定結果の差異は徐々に大きくなるが、その詳細については今後の課題と思われる。

文 献

- (1) 日本機械学会, ローラチェーン強度分科会成果報告書,

(昭 49-2), 54.

- (2) たとえば大越, ローラチェーン, (昭 47-2), 18, コロナ社.
 (3) 松永, 機講論, No.134 (昭 40-4), 9; No.144 (昭 40-10), 65.
 (4) 柴原, 機論, 24-139 (昭 33-3), 172.
 (5) Stamets, W.K., *Trans. ASME*, 73 (1951-7), 655.
 (6) 河本・ほか 2 名, 機誌, 54-386 (昭 26-3), 79.
 (7) 茶谷・ほか 2 名, 機誌, 73-622 (昭 45-11), 1508.
 (8) 松本・ほか 2 名, 機論, 30-215 (昭 39-7), 756.

討 論

〔質問〕 藤谷景三 (立命館大学理工学部)

複雑な実物要素を対象にして、衝撃応力の伝ばが一次元弾性論を用いて近似的に評価されることを示したことに敬意を表する。

次の点についてお教え願いたい。

(1) ローラチェーンはその構造上内外リンクプレートとピンの間のすきまのため通常の作動時においても衝撃性の荷重を受けると考えられ、図 4 にみられるように衝撃端から遠ざかるにつれて荷重波形がだれてくるのはこうした不連続性の累積によるものと考えられる。

上述したことの関連で、特に除荷過程で応力波がピンを介し 1 軸方向にのみ伝ばするとは厳密な意味で考えにくいですが、実験に使用したローラチェーンの製作精度上の特徴と併せてこの点に関する意見をお伺いしたい。

(2) 図 6 に示している測定箇所 A および B におけるひずみの変化の仕方に関連して、チェーン下端と丸棒 1 の上端の不連続面において算出される透過率および反射率との対応はどの程度かお教えいただきたい。

〔回答〕 (1) 使用チェーンは製作精度上すべて JIS 規格内の一般市販品である。ローラチェーンはご承知のように、通常降伏荷重とされる引張強さの約 50% 以下の荷重の場合でも、初回の荷重時における荷重-ひずみ線図は 2 回目以降の荷重時あるいは使用後のものと相違するのが普通であり、この相違の程度は製作精度にも関係すると言われている。しかし本実験に用いたチェーンについては、荷重-ひずみ線図を含めていずれも実験を何回か繰返し、再現性を十分に確認している。

衝撃端から遠ざかるにつれて荷重波形がだれるのは、ご指摘のようにリンクプレートとピンの間のすきまなど複雑な部品からなるチェーンの製作精度に関係すると考えられるが、検討を要するところと思う。

なお、本論文では負荷の場合を主対象としているので、ご質問の除荷過程については十分検討してないが、本実験の範囲では特に除荷時の挙動が負荷時の場

合と異なるとは考えにくいように思う。

(2) 丸棒 1 中を上端に向かって応力波が伝ばするとき、チェーンに接する上端で、一次元理論による透過率 β と反射率 α は丸棒 1 の縦弾性係数を E 、断面積を A として、

$$\beta = \frac{2C_0AE_R}{C_{R0}AE + C_0A_R E_R} \dots\dots\dots(i)$$

$$\alpha = \frac{C_0A_R E_R - C_{R0}AE}{C_{R0}AE + C_0A_R E_R} \dots\dots\dots(ii)$$

と表される。上式など一次元理論によって各部の荷重波形を求めたのが図 4, 11 の点線であり、理論値と実測値は波形の立上り初期を除けばチェーンの下端近傍でよく一致している。

なお、図 6 の測定ひずみ $\epsilon_I, \epsilon_R, \epsilon_T$ がそれぞれ一定になるときを対象にすると、実測による β と α は

$$\beta = \frac{K\epsilon_T/A_R}{E\epsilon_I} = \frac{K}{A_R E} \frac{\epsilon_T}{\epsilon_I} \dots\dots\dots(iii)$$

$$\alpha = \frac{E\epsilon_R}{E\epsilon_I} = \frac{\epsilon_R}{\epsilon_I} \dots\dots\dots(iv)$$

となり、これらの理論値と実測値の相対誤差はたかだか 5% 程度である。

〔質問〕 佐々木 務 (機械技術研究所)

(1) 図 1 においてチェーンが弾性体と考えられる範囲の静引張荷重の大きさはどの程度か。

(2) 図 1 における横軸のひずみは (a) 抵抗線ひずみゲージで測定された値か、あるいは (b) ある一定間隔の伸び測定値より算出された値か。もし、(a) の測定値であるとすれば、巨視的な値 [例えば (b) の値] と比較検討された結果はどうであったか。

〔回答〕 (1) 弾性体と考えられる限界 (範囲) の荷重については十分吟味してないが、おおよその目安として通常の耐力の定義と同様に図 1 の直線からはずれる 0.2% オフセットに相当する荷重とすると、本実験の 50 番チェーンでは約 1600 kgf, 40 番では約 1200 kgf, 自転車では約 600 kgf である。

(2) ひずみは後者 (b) の場合で、一定間隔 (各チェーンとも 10 リンク) の伸びの測定値より算出したものである。