の谷底ではなく、やや上方になる。これはこの位置に最大の応力が生じている結果であると考えることができる。き裂の進行方向はだいたい主応力の方向と一致しているごとくである。

2. ねじ山荷重分布の疲れ強さに及ぼす影響
すでに述べたごとくねじ山荷重分布はボルトおよびナットの形状、材質によって異なったものとなるのであって、第1ねじ山に作用する荷重と全荷重との比を m_1 とすれば実験に使用した5個のナットに対する m_1 は第4表のごとくであり、 m_1 と耐久応力振幅 σ_{wa} の関係を図示すれば第7図のごとくなり、 m_1 の増加と

第4表

No.	m_1	$\sigma_{wa}(\text{kg/mm}^2)$
1	0.45	3.5
2	0.37	4.8
3	0.30	8.6
4	0.38	5.0
5	0.35	7.0

共に σ_{wa} は減少するが本実験の範囲においてはその間の関係はほぼ直線的となった。すなわち m_1 を小さくしめるほど疲れに対する強度は向上されることを意味するものであり、設計に際しナットの選択を適切に行うことが以上の結果からきわめて大きな意義を有するものであることを知るのである。

第7図

4. 結 論

ねじ継手の疲れ強さはナットの形状によって大きな影響を受けることが明らかになった。また本実験の範囲内ではナット形状の影響をねじ山荷重分布の影響に置きかえ、疲れ強さとの間に簡単な関係のあることを認めた。

注：一

- (1) 昭和23年3月20日 關西支部講演會において講演、
原稿受付 昭和25年7月21日。
- (2) 正員、京都大學。
- (3) 准員、京都大學。
- (4) 石谷譯：A. Zhum, ねじ継手の疲れ。
- (5) 川田：機械學會誌, 51巻358號, 257ページ(昭23-7)。
- (6) 西田：理研彙報, 22巻5號, 385ページ(昭18-5), 著者：機械學會誌, 52巻364號, 94ページ(昭24-4)。
- (7) 著者：昭和23年11月3日 關西地方臨時大會において講演。

重ね板ばねの剛性変化について⁽¹⁾

中村和雄⁽²⁾ 杉本忠勝⁽³⁾

Variation of the Rigidity of Laminated Springs

by Kazuo NAKAMURA and Tadakatu SUGIMOTO

As the result of long use, the load-deflection characteristics of existing laminated springs for passenger and freight cars are varied, that is, with the increase of load, spring rigidity increases over the initial value, whereas it decreases under light load.

The authors have investigated causes of the rigidity change and have found that the main causes lie in the opening of leafends and the binding of leaves at spring center.

To maintain the initial rigidity,

- 1) leaf strength should be so decided that the shorter-leaf-yielding may be prevented or the nip should be reduced,
- 2) rust-proofing processes such as oil-coating should be applied to the leaf-surfaces.

The pressure distribution between adjacent leaves was measured and pressure concentration on both ends of leaf was made clear, which, it is considered, will serve as data for calculation of spring stress.

1. 緒 言

重ね板ばねは車両用として現在広く使用されているが、これは長期間使用すると漸次その そり を失い、かつさびもはなはだしくなって修理を要するに至る。かかる老朽ばねと修理後の ばね との剛性を比較してみると、たとえば東京鉄道局大井工機部における実験結果(第1図)に表われたように小荷重では剛性が低下するが、荷重値の増すと共に剛性も増加し、遂には新しい ばね の示した一定の剛性値よりもはるかに高い値になることがある。

第 1 図

剛性の大きなることは ばね として望ましくない現象であるから使用者としてはなるべくこれを防ぐことが必要であるが、この原因や対策については一般に余り述べられたものがないように思われる。

そこで筆者等はその原因を確かめると同時に、その検討の一部として新しい ばね の各板間に働く接触圧力の分布を測定した。

2. 剛性変化を生ずる諸原因

永く使用されて剛性の変化した ばね において剛性に影響を与えると考えられる因子をあげてみると

- いわゆる へたりの 結果、ばねのそりやニップが減少するが、これは ばね長 の増加と摩擦の減少とになってわずかではあるが剛性を低下せしめる。
- 疲れに伴う材料の剛性率変化はきわめて小さいから、ばね剛性に対する影響は問題にならない。
- 隣接する板の先端との摩擦によって生じたと思われる深さ 1~2 mm のくぼみの影響を考えてみる。ばね が たわむ場合隣接板の先端は くぼみ に沿って移動し、もしも接触点が くぼみ の登り坂に到達すればその点の傾斜角だけ摩擦角が増したと同一の効果を生じ、くぼみ の形から判断して荷重と共に剛性増加もはなはだしくなる。しかるに ばね板 の相隣接する 2 枚を取り出して各種の荷重法で たわみ形 を変えた実験を行ったがいずれも否定的結果を示し、板先端はくぼみの最低点に到達しないことがわかった。
- 老朽ばねは無負荷時において板の先端が接触せ

ず開いていることが多い。また中央部の相当範囲にわたって板と板がさびついている。新しい ばね の板間接触状態に関しては普通各板の先端でささえられていると考えられており、光弾性実験によっても確かめられている⁽⁴⁾。この点の変化の影響について少し立って検討してみよう。

3. 板の接触状態変化の影響

まず実際の新しいばねで接触圧力の集中がどの程度であるかを知ることは老朽ばねとの差異を明らかにしようとする目的の外種々のばね特性の検討に当ても参考となるものと考えられる。そこでこれを附録として述べるような方法で測定した結果を第 7, 8 図に示した。長い板ではことに明瞭に圧力集中があるようである。

次に先端の開きと中央部の固着を考慮した簡単な剛性計算を行って、反力両端集中の場合と共に実験(第1図)と比較し、これが剛性変化の主原因であることを確認しよう。

第 2 図

計算を簡単にするため第2図のように模型化したばねを考える。領域(1)で曲げに対する慣性率率は連続

変化し、領域(3)

では各板が固着してせん断力は完全に伝達されると仮定する。 n , m をおのおの領域(2)および(3)での板数とすると、各領域における慣性率率は

$$(1) I(x) = k(x + \alpha), \quad k \equiv mL / (M + \alpha), \quad I_1 = bh^3 / 12$$

$$(2) I_n = nI_1$$

$$(3) I_0 = bB^3 / 12$$

であるから、この ばね の剛性 R はヤング係数を E とすれば

$$R = E \left[\frac{1}{k} \left\{ N \left(\frac{N}{2} - \alpha \right) + \alpha^2 \log \left(1 + \frac{N}{\alpha} \right) \right\} + \frac{M^3 - N^3}{3I_n} + \frac{(L - M)(L^2 + M^2 + ML)}{3I_0} \right] \quad (1)$$

また荷重 P を受けた時の $X-X$ 断面の変位 $(y_x)_n$ は

$$(y_x)_n = \frac{P}{E} \left[\frac{1}{I_n} \left(\frac{M^3}{3} + \frac{N^3}{6} - \frac{M^2 N}{2} \right) + \frac{1}{I_0} \left\{ \frac{(L - M)(L^2 + M^2 + ML)}{3} - \frac{N(L^2 - M^2)}{2} \right\} \right] \quad (2)$$

で表わされる。

古くなった ばね が両端をささえられ中央に荷重を受ける時、各板の先端が開いていると、長い板の先端

の方から順次この開きがなくなって隣接する短い方の板へも負荷の一部が伝えられるようになる。

したがって i 枚目と $(i+1)$ 枚目の間にある先端の開き量 δ_i を知ったならば

$$(yx)_{n=i} = \delta_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

なる条件から決まる P と等しい大きさの荷重の増し ΔP_i の範囲内では、ばねの剛性が一定値を保つはずである。そこで $i=1$ の場合から逐次すべての ΔP_i を求めておけば $P_n = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta P_i$ から $P_{n+1} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i$ の荷重範囲における剛性が (1) 式によって与えられる。

同様にして新しいばねの剛性は

$$R = E \left/ \left[\frac{1}{k} \left\{ M \left(\frac{M}{2} - \alpha \right) + \alpha^2 \log \left(1 + \frac{M}{\alpha} \right) \right\} + \frac{L^3 - M^3}{3I_m} \right] \right. \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。ただし $I_m = mL$ である。

数値計算を行うため運輸省ばね規格基本第5種についてその諸元を示せば

$$m=11, b=90 \text{ mm}, h=13 \text{ mm}, A=26 \text{ mm},$$

$$B=143 \text{ mm}, M=463 \text{ mm}, L=537 \text{ mm},$$

であるから

$$I_0 = 2.193 \times 10^7 \text{ mm}^4, I_L = 1.647 \times 10^4 \text{ mm}^4,$$

$$\alpha = 104 \text{ mm}, k = 3.167 \times 10^2 \text{ mm}^3$$

となる。更に無負荷時の先端開き量を親ばねおよびこれと等長の2枚では無しとし、板長の漸変する部分では逐次 2.8 mm ~ 0 mm の間で 0.4 mm ずつ減少していると仮定する。 $E=21\,000 \text{ kg/mm}^2$ とした場合は第1図(a)点線のようになった。これは実験曲線の特徴をよく表わしていると思われるが、板厚、先開き量および固着部分の広がりを実測値から決定することができれば、両曲線をほとんど完全に一致させることができるであろう。

4. 結 論

以上によって担ばね剛性変化の原因は先開きと中央部固着によるものであり、前者は短い板ほど曲げ応力が大きくてへたりがはなはだしいことと酸化層の脱落とによるものであって、後者の原因は板の相対変位の小さい中央部で板と板とがさび付いたのである。これらをさけるためにニップの過大に注意する外、塗油等の手段によって酸化固着を防げば、好ましくない剛性増加をまぬかれ得ると同時に、小変動負荷に対するばねの動的特性をも改善することができる。

附 録

各板間における接触圧力分布の測定

1. 測定方法 板の接触圧力分布の測定を簡単にしかまなるべく状態を乱さないように行うためにかた

さ計の原理を逆用することを考え、そのために小さい鋼球と焼なましした銅板とを用いた。

鋼球には直径 1/8 in の玉軸受用のものを用い、特に精度を吟味して選別した。銅板は板厚 0.6 mm で 40×120 mm の大いさとし 530°C にて 30 分間加熱による焼なましを行い表面をペーパー仕上げした。そのかたさはピッカースにて 39 ± 2 の程度であった。

第 3 図

荷重-くぼみ直径の関係は第3図のごとくで (a) はピッカースかたさ計にて (b) は 5 トンアムスラー式試験機にて荷重を与え直径の測定は 0.1 mm 目盛付拡大鏡によったものである。この場合直径測定値の変動は ± 2.5 % 以内であった。同図(b)の曲線(1)は垂直荷重のみ加えた場合であるが、その後で横荷重を加えて球をころがせると曲線(2)となり、垂直荷重と横荷重とを同時に増して行くと、両曲線の中間の点となる。これらはおのおの第4図の各場合に対応している。

第 4 図

実用上からは垂直荷重のみの曲線を考え、くぼみを観察した時第4図(a)の場合は特性曲線のままとし、同図(b)の時は荷重を半分にし、(c)の時は 2/3 にとると、大した誤差を生じていない結果が得られる。しかし精度を十分に高く望む場合には加工硬化の性質を利用して、そのくぼみを生ぜしめた力を後から知ることができる。たとえば 100 kg まで荷重を加えて生じたくぼみに再加重しダイヤルゲージにて球の沈みを測定すると第5図のごとくなり、角点の荷重値から元の値を明瞭に見出すことができる。

2. 実験方法 供試ばねは東鉄大井工機部にて修理を行った上再使用しようとする基本第2種ばねを借用し、10 万封度 Olsen 式試験機にて荷重を加えた。

胴締力を取り除いた時のたわみ形は第 6 図のようであった。

測定しようとするばね板間隔に鉄板、鋼球、銅板からなる測定層をそう入するが、その際鋼球は銅板上にグリースにて任意に配列しておく。

二重作動プレスのような装置によって胴締力と負荷とを任意に変えることができれば都合であるが、今回は単なるボルト締金具によって胴締した後負荷を試験機にて加えた。

3. 実験結果 測定は間隔一つおきにつき行った。

第 6 図

第 7 図

第 8 図

a. 無負荷時 試験機にて胴締力を 1364 kg または 1423 kg だけ加えた場合および締具によって胴締した場合の圧力分布を第 7 図に示す。ニップが比較的大きかったので、この程度の荷重で漸くすきまがなくなるようになった。

b. 負荷時 締具にて胴締後 682 kg 負荷した時の分布を第 8 図に示す。

各球位置の荷重から長さ方向の圧力分布を算出するに当っては、各銅板ごとにその左右の隣接銅板との間隔中央までを分担域と仮定して平均値を出し、図中+または○印にて示した。

くぼみから得た全垂直力と荷重値とはだいたい一致し、したがって胴締による圧力分布は負荷によってすべての位置で減少していないと思われるから、第 8 図は最後の状態の圧力分布を示すと考えてよい。

鋼球層が圧力分布に与える影響をみるため、圧力分布測定時と測定しない時との荷重-たわみ曲線を比較した結果、両者はほとんど一致しその差は実験誤差の程度であった。したがって圧力分布も鋼球層によって全く乱されていないと考えてよい。

4. 考察 鋼球の配置が密でなく、かつ一様でなかったから、ことに短い板の場合では精度が低いが、圧力分布の集中は長い板間できわめて著しいといえる。これはニップの付け方にもよって程度が変わってくるであろうが、ニップ量の外、荷重、胴締力の大きさによっても影響されるものと思われるから、機会をみて測定を行いたい。

測定せんとする圧力の大きさによって測定に適当な板のかたさ、板厚、鋼球の径の組合せがあると思われるが、第 9 図は前述の銅板について板厚、鋼球直径による特性曲線の変化を示す一例である。

第 9 図

かたさ測定と異なり圧力測定の目的に対しては相当大きなくぼみまで特性曲線は安定した一定曲線を描く終りに今回の実験に当って示された東洋ベアリング研究課および大井工機部鍛冶職場、調査課の各位の御厚意に対し深く感謝する次第である。

注：—

(1) 原稿受付 昭和 24 年 11 月 24 日。

(2) (3) 正員、鐵道技術研究所。

(4) たとえば E.G. Coker and L.N.G. Filon, "A Treatise on Photo-Elasticity" p. 419 (1931)。