
鋼線のらせん加工時のらせん幅安定条件

Spiraling Conditions of Steel Wires to Get Steady Width

新井 和夫(Kazuo Arai) 篠原 凡平(Bonpei Shinohara)

要旨：

より安定したスチールコードの製造を目的として、鋼線のらせん成形について検討した。ピン形式のらせん成形（通称H式プレフォーム）実験から、コードの性質を決定するものはらせんの幅であり、このらせん幅が鋼線の張力と曲げ角度およびピン径に大きく依存することを明らかにした。さらに、ある特定の曲げ角度においては、らせん幅が最も制御困難な鋼線の張力に依存せず一定値になることを発見した。また、一定らせん幅の出現理由について若干の考察を考えた。一定らせん幅を得る成形条件の適用により安定した高品質のタイヤコードを容易に製造できる。

Synopsis：

For the purpose of producing the steel cords of stable quality, the factors influencing spiraling of steel wires were investigated. From the experiments of pin-type spiraling, it has been made clear that properties of cords are determined by the spiral width of wires and that the spiral width is dependent on tension, a bending angle of wire and a diameter of working pin. The spiral width was found to become constant at a certain specific bending angle, independent of wire tension which was difficult to be held constant during production of cords. A theoretical consideration is also performed on the constancy of spiral width. On the basis of these findings, the steel tire cords of high quality have been produced at Kawatetsu Wire Products Co., Ltd.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

鋼線のらせん加工時のらせん幅安定条件

Spiraling Conditions of Steel Wires to Get Steady Width

新井 和 夫*

Kazuo Arai

篠原 凡 平**

Bonpei Shinohara

Synopsis:

For the purpose of producing the steel cords of stable quality, the factors influencing spiraling of steel wires were investigated.

From the experiments of pin-type spiraling, it has been made clear that properties of cords are determined by the spiral width of wires and that the spiral width is dependent on tension, a bending angle of wire and a diameter of working pin. The spiral width was found to become constant at a certain specific bending angle, independent of wire tension which was difficult to be held constant during production of cords. A theoretical consideration is also performed on the constancy of spiral width.

On the basis of these findings, the steel tire cords of high quality have been produced at Kawatetsu Wire Products Co., Ltd.

1. ま え が き

一般のワイヤロープやタイヤおよびベルト芯用のスチールコードの製造に際しては、燃合わせる前にいわゆるプレフォーム加工として、素線またはストランドにらせん成型を施している。このプレフォームの方法には種々の形式¹⁾があるが、通常よく用いられているものに仮燃方式とH式とがある。

ところで、最近需要の急増しているタイヤ用スチールコードの燃特性に関しては、ベルト用コードやワイヤロープよりも高い品質が要求されてきている。したがって、タイヤコードの燃加工にお

けるプレフォーム方法としては、加工精度のすぐれたH式が主流となりつつあるが、長尺にわたって高品質のコードを安定して製造することが困難な現状であった。その主原因のひとつとして、素線（またはストランド）の張力の変動が挙げられ、この張力を一定に保つことが実際には非常に難しい。そこで、素線張力のある程度の変動に影響されないらせん成型の可能なH式プレフォーム条件の究明を目的として実験を進めた結果、特定の素線曲げ角度において、張力の変動に依存せず、一定ならせん幅が得られることを発見した。そして、実際のタイヤコードの製造に適用して、非常にすぐれた燃特性を得ることができた。本報では、一定ならせん幅の発見とその応用についての

* 技術研究所鋼材研究室主任研究員

** 技術本部鋼材技術部東京鋼材技術室課長

べる。

2. H式らせん加工時のらせん幅安定現象の発見

H式とは、個々の素線（またはストランド）を3～5本縦列したピン間にジグザグに通過させ、同時にピン部全体に回転を与えてらせん成型させたあと燃合わせ方法で、より一般的な仮燃方式（すなわち、素線を直ちに燃合わせたのち、いったん燃戻してバラバラにし、再度燃合わせ）よりも高い加工精度が得られる。

2.1 単ピン方式によるらせん加工

らせんの投影図は正弦曲線で表わされ、波長（ピッチ）と振幅のみによってその特性が決まる。ここで、素線の進む速さ v_l (mm/min) とプレフォーム装置の回転数 v_n (rpm) との比を C_n (mm/c) とし、らせんのピッチと幅（全幅）をそれぞれ P (mm/c), w (mm) で表わすと、これらの間でつぎの関係式が導かれる。

$$P = \sqrt{C_n^2 - \pi w^2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

他方、コードの巻取速度を v_c (mm/min) とするとらせんピッチは $P = v_c / v_n$ で表わされる。実際には v_c と v_n とは一定値として与えられるので、

P も一定となる。したがって、 v_c, v_n が一定の場合、(1)式は w と v_l の2元関数となり、 v_l は w に依存する。ところで、らせん幅 w は v_c, v_n を与える（すなわち P を与える）と、素線の塑性曲げ履歴のみで決まり、経験的に素線の張力、ピン径およびピン部での素線曲げ角度に依存する。そこで、予備実験として Fig. 1 に示したような単ピンによるらせん加工装置をつくり、らせん幅 w に影響を与える要因とその挙動を調べた。

2.1.1 実験装置と供試材

実験装置の概略はつぎのとおりである。

- (1) 単ピン方式である。
- (2) 素線（試片） s は M_1 モータにより定速降下する。
- (3) 素線 s は M_2 モータからの回転を受けた荷重支持棒 B の回転により、種々の速度で振られる。
- (4) ピン D' あるいはプーリ P' の移動により、ピン部での素線曲げ角度 γ を変える。
- (5) 荷重 W は支持棒 B の回転に対してフリーである。

単ピンであることおよび素線が十分に長い（すなわち、プーリ P' とピン D' 間の距離が大きい）ことから、素線曲げ角度 γ は、ピン D' とプーリ P' との位置でほぼ決定され、荷重 W の影響をほとんど受けない。

供試材は外径 1.20ϕ のタイヤコード TC[3(0.20 ϕ) + 6(0.38 ϕ)] 用の 0.38 ϕ 素線である。Fig. 2 にコードの断面形状を示す。コード状態での 0.38 ϕ 素線のらせん特性値は、ピッチ $P_0 \approx 18.04$ mm/c、幅 $w_0 \approx 0.82$ mm であり、 $16.0 \leq P \leq 20.0$ mm/c、

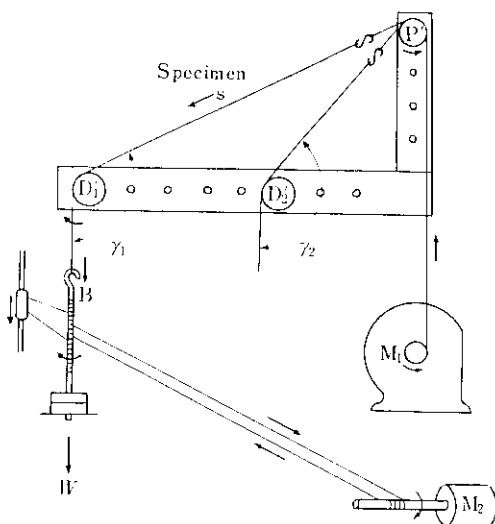


Fig. 1 Experimental spiraling apparatus

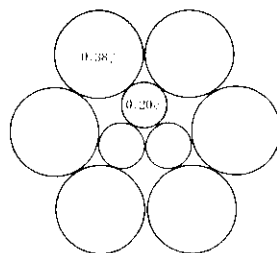


Fig. 2 Section of tire cord TC[3 + 6]

$0.5 \leq w \leq 1.5 \text{ mm}$ を目標に実験を行った。

2.1.2 実験結果

同一ピン径について、異なる荷重 W と素線曲げ角度 γ におけるらせんピッチ P とパラメータ C_r の関係を Fig. 3 に示す。本実験の場合 $C_r \gg w$ のため (1) 式から明らかなように $P \approx C_r$ となり、 P は W と γ の影響をほとんど受けない。一方、らせん幅 w とパラメータ C_r との関係の一例を Fig. 4

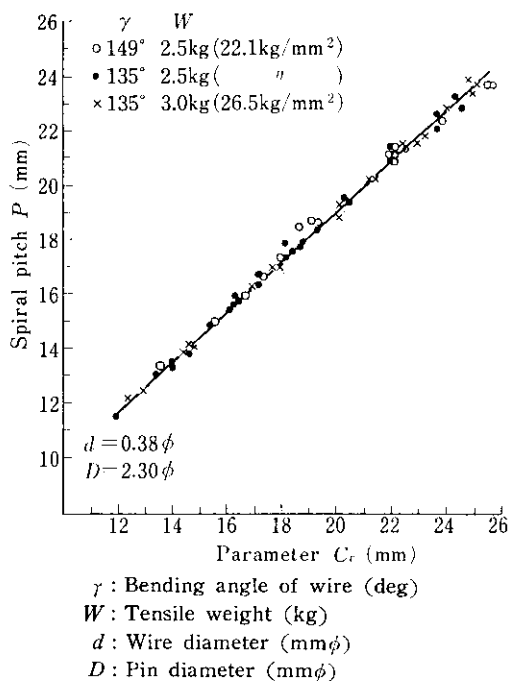


Fig. 3 Spiral pitch as a function of parameter C_r

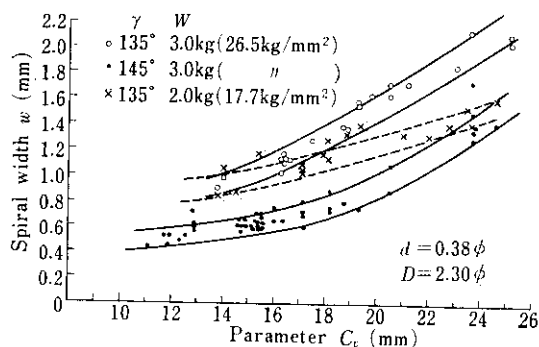


Fig. 4 Spiral width as a function of parameter C_r

に示す。らせん幅 w が C_r のほかに塑性加工条件の W と γ とに大きく依存している。そこで、以後はらせん幅 w のみについて考えることにする。

通常採用されているピン径 $D = 2.30\phi$ での種々の W における γ と w の関係を Fig. 5 (a) に示す。 $\gamma = 90^\circ$ のときは W が大なるほど w が小さい傾向にあり、 $\gamma \geq 135^\circ$ では逆に W が大なるほど w が大きい傾向にある。そして、これらの異なる傾向の変曲点にあたる $\gamma \approx 130^\circ$ において、4~8 kg の広範囲にわたる W の変化に対し w が 1.4 mm のほぼ一定な値を示している。Fig. 5 (b), (c) は、それぞれピン径 D が 8.30ϕ および 12.0ϕ のときの同様な図である。いずれも、 $D = 2.30\phi$ の場合と同様に、 W の広い範囲にわたってらせん幅 w がほぼ一定となる γ の値が存在する。Fig. 5 より、

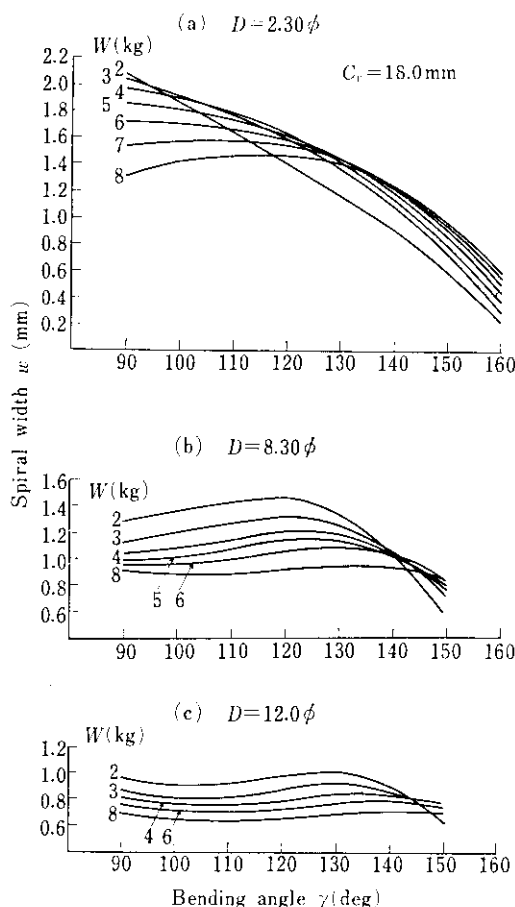


Fig. 5 Spiral width as a function of bending angle of wire

D が大なるほど γ と W が w におよぼす影響の小さいことが認められる。

以上の結果から、塑性変形上らせん幅 w に大きな影響を及ぼす引張負荷 W 、ピン部での素線曲げ角度 γ およびピン径 D のうち、制御容易な γ と D とを適正に選択することによって、制御困難な W （すなわち素線張力）の変動をほとんど無視して、必要ならせん幅 w を得ることができるという初期の見通しがたった。

2.2 3ピン方式によるらせん加工

2.1 にのべた単ピン方式による実験から、らせん幅はある素線曲げ角度 γ_0 において、張力の大きさに依存せずにはば一定な値となる傾向があり、その一定らせん幅 $\bar{w}$ はピン径 D が大なるほど小さくなることがわかった。そこで実際の3ピンのプレフォーム加工装置において、ピン径 D と素線曲げ角度 γ とを種々変え、素線張力に対するらせん幅 w の変化を調べた。

2.2.1 実験方法

種々のピン径 D と曲げ角度 γ とを与えるため、実際のプレフォーム装置を模して、同一平面内において素線に曲げ角度を与えるピン装置をつくり、熱線機にセットした。その概略をFig. 6に示す。中心ピン P' を素線の進行方向と垂直な方向に移動して所定の γ を与える。単ピン方式での実験と同様に、0.38 ϕ 素線を供試材とし、設定捻り長さ P_0 を18.04mm/cとした。

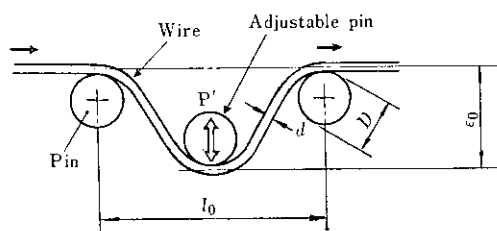


Fig. 6 Experimental "H" pre-forming using 3 pins

2.2.2 実験結果と考察

径2.30, 8.30, 12.0 ϕ の3種類のピンについ

て、 ε_0/l_0 をパラメータとし、素線張力 T に対するらせん幅 w の変化をFig. 7に示す。 ε_0 と l_0 は、それぞれピンを通過するときの素線の蛇行幅およびピン中心間距離（Fig. 6 参照）を意味する。 ε_0/l_0 は曲げ角度 γ に対応し、 ε_0/l_0 が大なるほど γ は小さい。Fig. 7から、いずれのピン径においても、ある ε_0/l_0 （すなわち γ_0 ）で w が T の変化に依存せず、ほぼ一定になる領域の存在することが認められる。このような一定らせん幅 $\bar{w}$ とピン径 D との関係をFig. 8に示す。 $\bar{w}$ は D の増加に伴いほぼ直線的に減少している。

ところで、Fig. 7 (b) において T - w 曲線の典型的なパターンが認められ、大別してつぎのよう

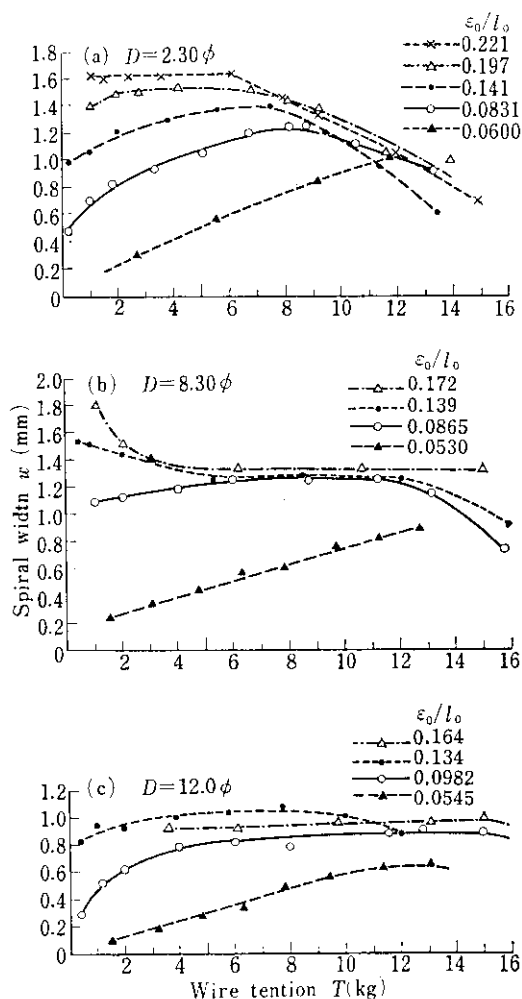


Fig. 7 Spiral width as a function of wire tension

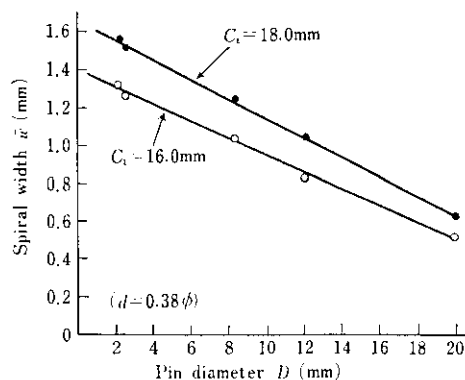


Fig. 8 Relation between spiral width and pin diameter

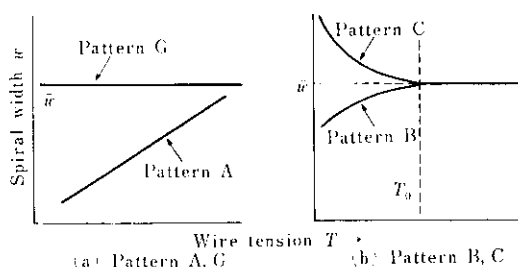


Fig. 9 Schematic relations between wire tension and spiral width

にまとめられる (Fig. 9 参照)。

- (1) パターンA: γ が大きい場合, T の増加に対して w が直線的に増加する。
- (2) パターンB: T の増加に対して w が増加する部分と一定な部分とからなる。
- (3) パターンC: γ が小さい場合, T の増加に対して w が減少する部分と一定な部分とからなる。

そして, パターンBとパターンCの境界で, T の小さい領域から終始 w が一定になるパターンGがあると推定される (Fig. 9 (a) 参照)。

一定らせん幅の存在理由をつぎのように考えてみた。すなわち, H式プレフォームにおけるらせん成型は, 原則的には素線の振りを伴わない曲げのみの単一加工である。したがって, 理論上塑性曲げ変形量は素線に加えられる曲げモーメントが大きくなるに伴い単調に増加する。ゆえに, 曲げ変形のみについて考えると, 曲げモーメントは素

線にかかる張力 T に比例し, 素線の曲率はらせん幅に比例する²⁾ から, 素線にかかる張力 T が大なるほどらせん幅 w が大きくなるはずである。ところで, パターンCにおけるように, 曲げ角度 γ が小さくかつ T の小さい領域で T の増加とともにらせん幅 w が減少する傾向が認められた。このように, T の増加に対して w が減少することはある種の曲げ戻しと考えられ, これを素線にかかる張力によるらせんの引張伸びとみなすことができる。したがって, 素線張力 T の増加に対する「曲げ変形によるらせん幅の増加」と、「引張伸びによるらせん幅の減少」とが, ちょうどバランスしているときに, 素線張力 T の変化の影響を受けない一定らせん幅が現われると解釈される。なお, Fig. 7において $T \geq 10\text{kg}$ の領域で w が一様に減少する現象は, 張力 T によってらせんが伸び切ってしまったものである。当然, T が極端に大きくなると素線は切断される。

3. 一定らせん幅の応用

前述の実験で発見された素線張力の変動に依存しない一定らせん幅をピン径 D の関数として求めておけば, 任意のストランド(またはコード)におけるらせん幅 w_0 を, 一定らせん幅 $\bar{w}$ として得ることのできるピン条件(すなわちピン径)を推定できると考えた。本章では, 実験室的(単ピン方式)に素線径 d を変えて, らせん幅 w におよぼす素線張力 T , 曲げ角度 γ およびピン径 D の影響を調べ, d に依存しない K_D - $K_{\bar{w}}$ 関係曲線を得た経過, および現場的に行ったH式プレフォーム(3ピン方式, タイヤコード関係)によるデータとの比較結果をのべる。ここにピン径係数 $K_D = D/d$, 一定らせん幅係数 $K_{\bar{w}} = \bar{w}/d$ である。

3.1 K_D - $K_{\bar{w}}$ 関係曲線の導出

3.1.1 実験条件

前出 Fig. 1 の装置を用い, 実験条件としてらせん特性(ピッチ P と幅 w)に影響を及ぼす要因とその範囲を Table 1 のとおり選んだ。このうち, 素線径 d を $0.21, 0.38, 0.70\phi$ の3種類とし

Table 1 Experimental conditions

d (mm ϕ)	0.21			0.38		0.70	
$K_D (=D/d)$	4.5,	32.9		6.6,	31.6	3.6,	28.6
	11.9,	42.9		13.2		7.1	
	23.8,	52.4		21.8		14.3	
γ (deg)	90,	135		90,	135	90,	135
	111.8,	141.3		111.8,	141.3	111.8,	141.3
	116.6,	149		116.6,	149	116.6,	149
	121,	158.2		121,	158.2	121,	158.2
	126.9			126.9		126.9	
n (c $^{-1}$)	11,	15,	25	11,	15,	13	11
	13,	19					
T_a (kg/mm 2)	10~60			10~60		10~60	

たが、実験装置の容量（すなわちサイズ）制限から試片長さに制約があるため、撓長さ係数 n ($\approx C_w/3d$) の種類は d が大なるほど少なくなった。したがって、主として $d=0.21\phi$ のデータにより議論を進めていくことにする。なお Table 1 において、 T_a は素線単位断面積あたりの張力を示す。

3.1.2 γ と K_w との関係

Fig. 10 は、 $d=0.21\phi$ における γ と K_w との関係を K_D をパラメータとしてプロットした一例で、つぎのことがわかる。

- (1) K_D が小なるほど K_w が大きい。
- (2) K_D が小なるほど K_w に対する γ の影響が大きい。
- (3) $K_D \geq 30$ では K_w はほとんど γ に依存せず、ほぼ一定値を示す。
- (4) γ が大なるほど K_w に対する K_D の影響の度合いが小さい。

3.1.3 γ - K_w 曲線からの K_w 値の導出

Fig. 10 と同様の関係を n , T_a の異なる場合も含め、 T_a をパラメータとしてプロットし直したものが Fig. 11 である。 T_a は実用的な値として 20~40kg/mm 2 に限定した。この図からつぎのことがわかる。

- (1) ある曲げ角度 γ_0 を境にして、 $\gamma < \gamma_0$ の領域

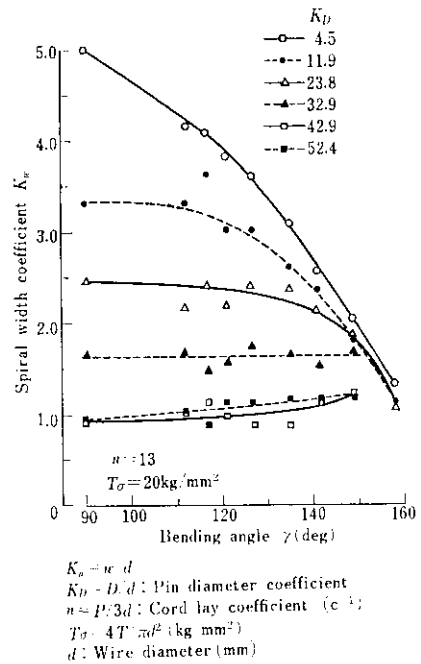


Fig. 10 Spiral width coefficient as a function of bending angle of wire

では T_a が小なるほど K_w が大きく、逆に $\gamma > \gamma_0$ の領域では T_a が大なるほど K_w が大きい。

- (2) $\gamma = \gamma_0$ のとき K_w は T_a の大きさに依存せず、ほぼ一定値 K_w を示す。
- (3) γ_0 は K_D が大なるほど大きい (Fig. 12 参

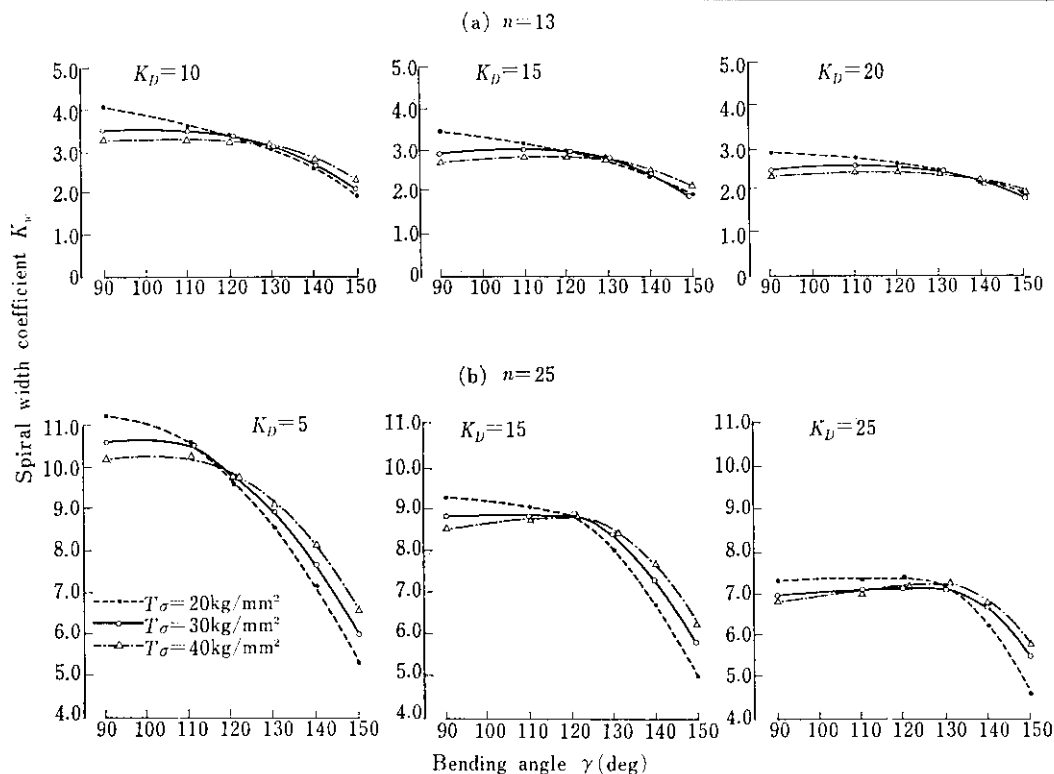


Fig. 11 Spiral width coefficient as a function of bending angle of wire at three tension levels

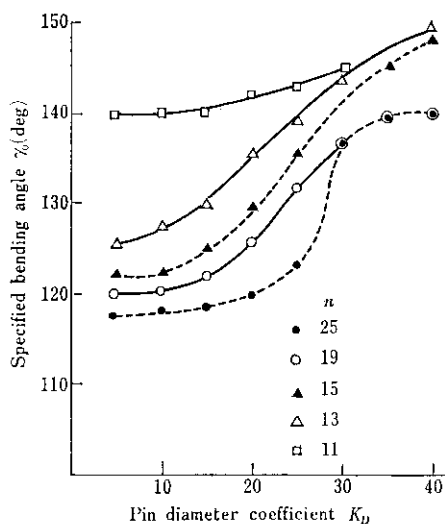


Fig. 12 Relation between specified bending angle and pin diameter coefficient

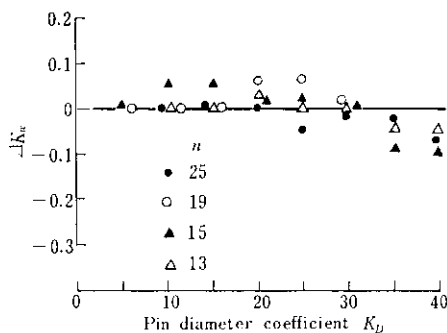


Fig. 13 Relation between pin diameter coefficient and ΔK_w , where ΔK_w is the difference between K_w at $\gamma = \gamma_0$ and K_w at $\gamma = 120^\circ$ in case $T_\sigma = 40 \text{ kg/mm}^2$

照)。

(4) K_w 値は $T_\sigma = 40 \text{ kg/mm}^2$ かつ $\gamma = 120^\circ$ のときの K_w 値にほぼ等しい (Fig. 13 参照)。

(5) 上記(1), (3)の傾向は n が大なるほど著しい。

K_w に及ぼす T_σ の影響が逆転する曲げ角度 γ_0 において, K_w が T_σ に依存せず一定値 K_w になることおよび K_D が小なるほど K_w が大なることは, 2.2 でのべた結論とよく一致する。

3.1.4 K_D - K_w 曲線図

K_D - K_w 間の関係が d に依存しないものであるかどうかを確かめるため、 $n=11, 13, 15$ における K_D - K_w 曲線を d をパラメータとして Fig. 14 に示す。 $n=11$ の場合、 $d=0.21\phi, 0.38\phi, 0.70\phi$ の各線径における K_D - K_w 関係がほぼ同一の曲線で示される。 $n=13, 15$ の場合は $d=0.21, 0.38\phi$ に対する結果のみしかないので、いずれも n

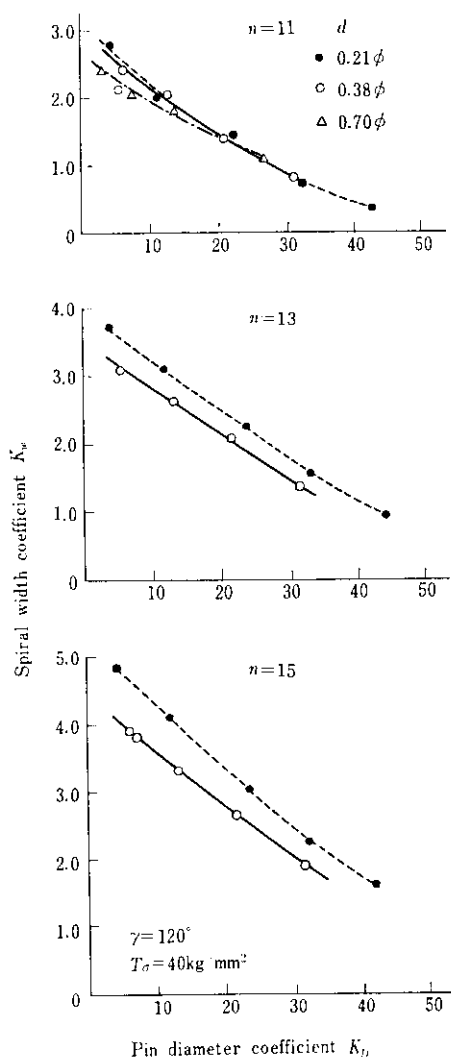


Fig. 14 Relation between spiral width coefficient and pin diameter coefficient

$=11$ の場合のような同一の曲線では示されず、 d によるずれが認められる。 $d=0.38\phi$ のほうが同一の K_D 値に対して $d=0.21\phi$ よりも小さい K_w 値を与えている。 d のちがいによるこのような K_D - K_w 曲線のずれの原因のひとつとして、 n が大きくなると、 d が大なるほどらせんピッチのパラツキが大きいということが考えられる。

以上のように K_D - K_w 関係の d 依存性が認められたが、その程度が実用上無視できるものと判断して、 $d=0.21\phi$ の曲線を代表的 K_D - K_w 曲線として採用した。Fig. 11 から、 $20 \sim 40 \text{ kg/mm}^2$ の範囲の T_a には依存しない K_w の一定値すなわち K_w を読み取って、 n との関係プロットしたのが Fig. 15 である。 K_D をパラメータとして、 n と K_w は直線関係にある。そこで、各 K_D における直線を $K_w = an + b$ と表わすと、 K_D に対する a, b の変化は Fig. 16 に示したようになる。これらの関係を 3 次関数近似で表示すると、

$$\begin{aligned} a &= 4.09 \times 10^{-6} K_D^3 - 4.50 \times 10^{-4} K_D^2 \\ &\quad + 5.23 \times 10^{-3} K_D + 0.519 \\ b &= 7.16 \times 10^{-5} K_D^3 - 7.98 \times 10^{-3} K_D^2 \\ &\quad + 0.200 K_D + 2.46 \end{aligned} \quad \dots (2)$$

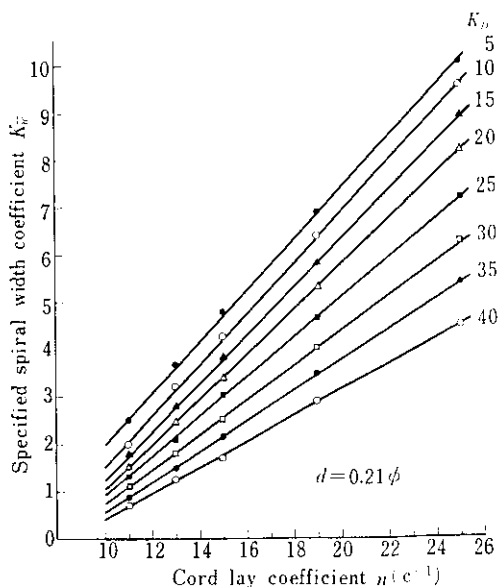


Fig. 15 Specified spiral width coefficient as a function of cord lay coefficient

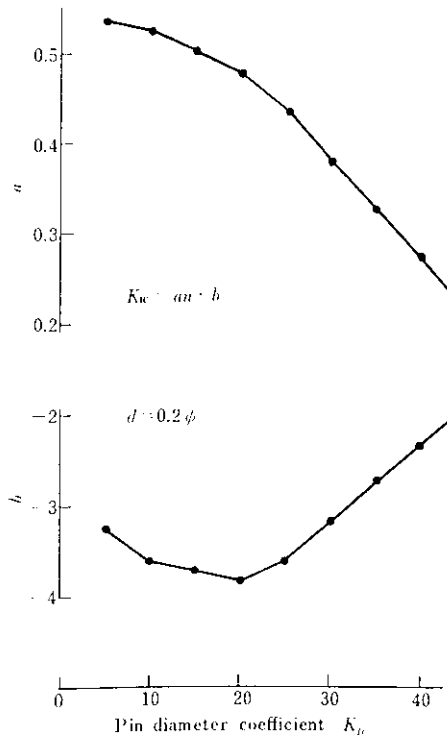


Fig. 16 Relation between pin diameter coefficient and parameters a and b

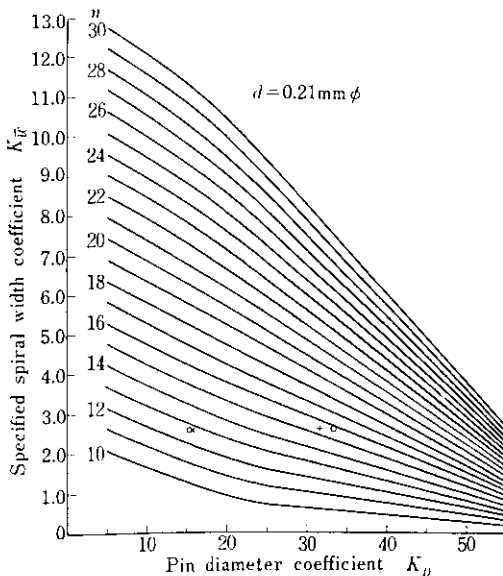


Fig. 17 Calculated spiral width coefficient K_{sw} from pin diameter coefficient

となる。(2)式を用いて、 $K_{sw}=an+b$ より計算した K_D-K_{sw} 関係曲線をFig. 17に示す。この図を用いて、任意のストランド(またはコード)における素線のらせん幅係数 $K_{w0}=w_0/d$ から、プレフォーム時に一定らせん幅係数 K_{sw} を得ることのできるピン径 D を容易に推定できる。

3.2 実際装置(3ピン方式)との比較

はじめに、実験装置(単ピン方式)と実際装置(3ピン方式)の本質的な変形機構上の差異をのべる。

(1) 素線曲げ角度 γ

実験装置では、張力 T_a の変化に対して γ は一定である。他方、実際装置では T_a が人なるほど γ は大きくなるが、 T_a の小さい領域での増加が著しく(その度合は K_D が小なるほど大きい²⁾)、 $T_a > 20\text{kg/mm}^2$ での変化(増加)は K_D によらず非常に小さい。したがって、実際装置では実用上の T_a の変動に対して γ の変化がわずかながら存在する。

(2) 変形機構について

実験装置では振りと曲げの同時変形であり、実際装置では曲げ位置がらせん状に変化し、曲げの断面が楕円となる純粋な曲げ変形である。

(3) 他ピンの影響

実験装置は単ピン方式のため他ピンの影響を受けないが、実際装置は3ピン方式であり、曲げ角度 γ が中心ピンにて最小となるので、主たる曲げ変形は中心ピンでなされると考えられる。しかし、両端ピンの影響が皆無とはいえない。

つぎに、実際装置で各 n 、 K_D について得られた K_{sw} 値と、Fig. 17の K_D-K_{sw} 曲線から読み取った K_{sw} 値および両者間の相対誤差 ε をTable 2に示す。 ε はたかだか8%程度にすぎず、実験装置によるデータのほうが大きい K_{sw} 値を示している。なお、Table 2のNo.4, 5は、それぞれTC[3+6]($P_0=18.04\text{mm/c}$)およびTC[3+6]($P_0=14.43\text{mm/c}$)を製造したときのデータで、単線のみのらせん加工と比べて撚長さのバラツキが非常に小さい状態であり、実験データとの差がとくに小さい。

Table 2 Comparison of K_w values in experimental and practical pre-forming

No.	n (c^{-1})	K_D	K_w		ε (%)
			3 pins	1 pin	
1	15.8	6.6	4.63	5.00	7.40
2	"	21.8	3.26	3.52	7.39
3	"	31.6	2.53	2.70	6.30
4	"	31.6	2.59	2.70	4.07
5	12.9	15.8	2.57	2.62	1.91

 $\varepsilon = 100 (B - A) / A$

3 pins : Practical

1 pin : Experimental

4. コードの燃特性を左右する要因とその挙動

4.1 燃特性について

コード使用上要求されるおもな燃特性には下記のものがある。

(1) 非自転性

巻取ボビンから引出したときにコード末端が自転しないこと。

(2) 非キンク性

巻取ボビンより引出して自転を解放せずにコードを輪にして垂らしたとき、よじれの無いこと。

(3) 不反発性

切放したコード末端の各素線がばらばらに開かないこと。

(4) 真直性

長試片でのコード末端の振れ幅および短試片での円弧の高さが小さく、かつS字状のくせがないこと。

(5) 真円性

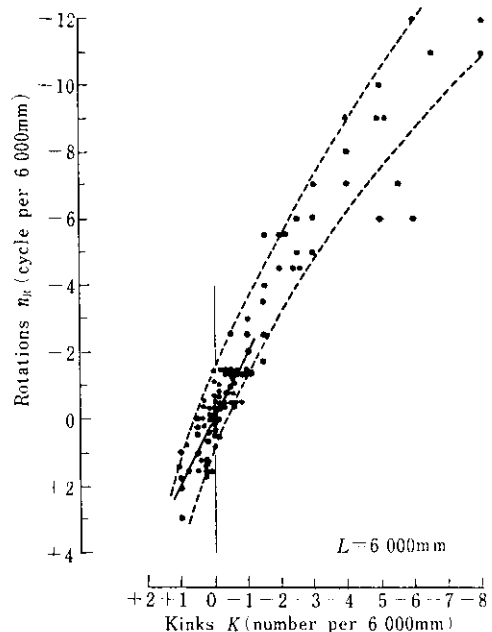
コードの偏径が小さいこと。

以下に、前述したH式プレフォーム方法を適用して燃った TC[3 + 6]、ストランド st[1 + 6] および TC[3 + 5 × 7] の試作実験データを用いて、上記諸特性を検討する。

(1) 自転とキンク

(a) 自転とキンクの関係

Fig. 18は種々の条件で燃った TC[3 + 6] ($P_0 = 18.04\text{mm}/c$) をボビンより長さ $L = 6000\text{mm}$ 引出したときに生じたキンク数 K と末端の自転数 n_R との関係をプロットしたものである。目盛のマイナスは撚りが戻る方向を意味する。原点 (0, 0) 近傍では、ほぼ $n_R = 2K$ で表わされる直線関係にある。

**Fig. 18** Relation between number of rotations and number of kinks in tire cord [3 + 6]

TC[3 + 6] ($P_0 = 14.43\text{mm}$), TC[3 + 5 × 7] ($P_0 = 12.53\text{mm}$) についても同様に直線関係にあり、比例定数はそれぞれ 3, 5(c) であった。また、Fig. 19 にロールによるポストフォームでの押込み比と K , n_R との関係を示すが、明らかにキンクと自転とは本質的に同一といえる。

(b) 自転とコード燃長さの関係

燃ったのち、ボビンから $L\text{mm}$ 引出されて観測される自転数 n_R は負の値を有することが多い。このような場合は $L\text{mm}$ あたり $|n_R|$ 回転だけ少ない回転数で燃ったことに相当し、自転解放後のコード燃長さ (以後単にコ

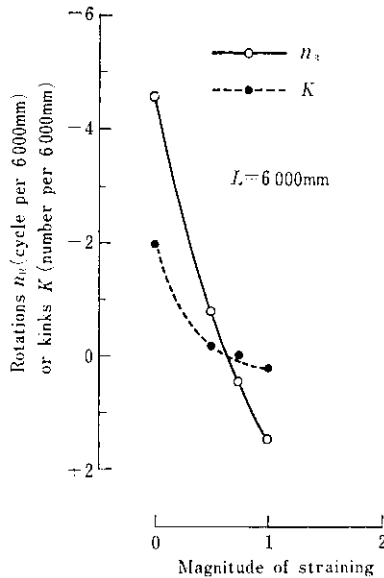


Fig. 19 Number of kinks and rotations as a function of magnitude of straining at post-forming

ード燃長さおよび P_e は、設定燃長さ P_0 よりも大きくなると考えられる。このような考えから、 n_R と P_e との関係を表わす式をつぎのように導いた。

$$P_e = \frac{1}{(P_0^{-1} + n_R/L)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

実験から得られた P_e と n_R との関係の一例を Fig. 20 に示す。帯の中心はほぼ原点 (18.04, 0) を通り、実線で示した (3) 式の曲線とよい近似を示している。

(2) 不反発性

(a) P_e - w 関係図における不反発性領域の表示

Fig. 21 はピン径、ピン間隔、ポストフォームなどに関する種々の条件で製造した TC [3+6] の燃長さ P_e と、コードからほぐした状態の個々の素線の平均らせん幅 w との関係図において、不反発性の程度を表示したものである。図中○印は 100mm 長さに切放して不反発性でかつ S 字ぐせの全くないもの (最良)、●は 100mm 長さに切放して不反発性であるが S 字ぐせのあるもの、△は 300mm 長

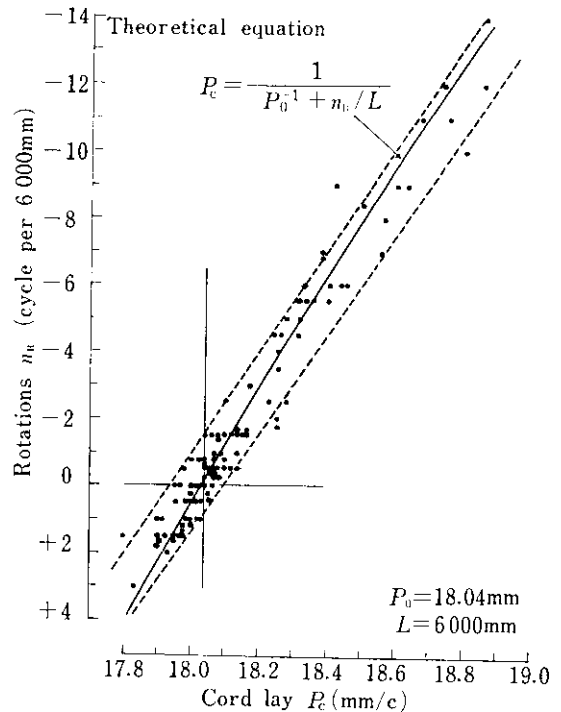


Fig. 20 Relation between cord lay and number of rotations in tire cord [3+6]

さを手で保管しつつ切れば不反発性を示すもの (準不反発性)、および●印は 300mm 長さを手で保持して切っても各素線が大きく開くもの (反発性) をそれぞれ意味する。Fig. 21 から、 P_e が設定燃長さ $P_0=18.04\text{mm/c}$ と 18.20mm/c の間で、かつらせん幅 w が $0.65 \sim 0.90\text{mm}$ の領域内に S 字ぐせの全くない不反発性コードが現われていることがわかる。 $18.04 \leq P_e \leq 18.10\text{mm/c}$ でかつ $0.60 \leq w \leq 0.65\text{mm}$ の領域では、不反発性と反発性とが混在しているが、前者はポストフォームが弱いとき、後者はポストフォームが強いときにそれぞれ認められる。また、 $P_e < 18.04\text{mm/c}$ ($=P_0$) でかつ $0.65 \leq w \leq 0.70\text{mm}$ の領域内に反発性のものが認められるが、これは自転のプラスになる領域に該当し、明らかにポストフォームが強すぎる (Fig. 19 参照) ことに起因する現象である。

(b) S 字ぐせの発生について

Fig. 21 において、 $P_e > 18.20\text{mm/c}$ の領域では、 $w \geq 0.65\text{mm}$ のときに S 字ぐせのあ

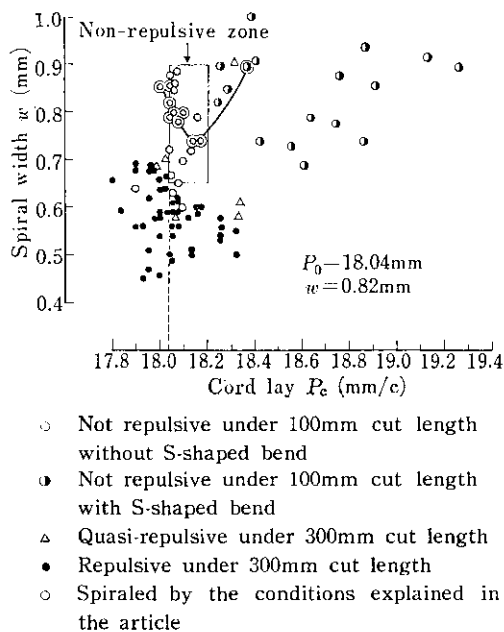


Fig. 21 Non-repulsive zone correlated with cord lay and spiral width of wire for tire cord [3 + 6]

る不反発性のみを、また $w < 0.65\text{mm}$ では反発性のみを示し、S字ぐせのない不反発性コードは存在しない。この点に関連して、Fig. 22 に不反発性コードのみについて、S字ぐせの発生状態をキンク数 K と自転数 n_R の関係図において示す。 K が -1 回以下でかつ n_R が -3 回以下の領域では、S字ぐせが全く発生していない。そして、 $K = -1\frac{1}{2}$ 回のとき n_R が多い順に、S字ぐせのもの（●）、コードがS字ぐせで素線は半数のみS字ぐせのもの（○）、およびS字ぐせの全くないもの（○）と混在し、S字ぐせ発生の境界をはっきり示している。このように、コードのS字ぐせの発生は不反発性のもののみに認められる現象であり、自転（あるいはキンク）と著しく関係が深いといえる。

(c) 不反発性コードを捻るための条件

Fig. 21 において、枠内の○印で表示した不反発性（以後S字ぐせのないもののみを意味する）コードでは、ほぐしたのちの素線のらせん幅 w がコード状態でのらせん幅 w_0

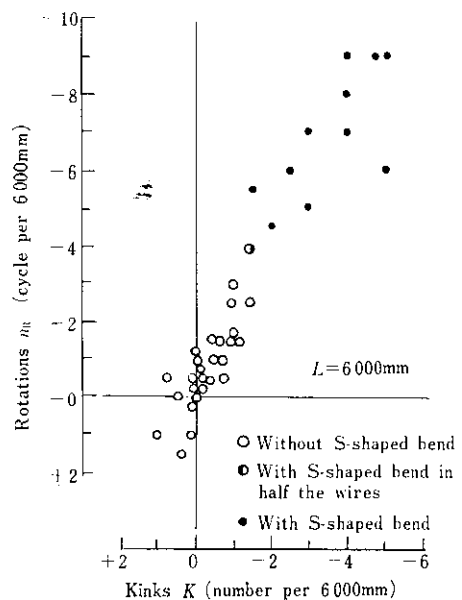


Fig. 22 S-shaped bend correlated with number of kinks and rotations in tire cord

$= 0.82\text{mm}$ に近いものが最も多く認められる。とくにピン径 $D = 12\phi$ およびピン間隔各 25mm にて製造したデータ（大きい○印で表示）についてみると、コード捻長さ P_c が (3) 式で計算上 $n_R = 0$ （すなわち K もゼロ）となる設定捻長さ $P_0 = 18.04\text{mm/c}$ に等しい場合、素線のらせん幅 w も設定らせん幅 $w_0 = 0.82\text{mm}$ にほぼ一致する。これは、コード状態とほぐした状態とで素線のらせん特性値にほとんど差がないということであり、完全なる不反発性を示すものである。

ところで、非自転性であるためには $P_c \approx P_0$ でなければならないから、同時に不反発性をも満足するための可変要因は素線のらせん幅 w のみとなる。さらに、本報の主題である一定らせん幅 w を適用すれば、ピン径 D のみとなる。換言すれば、ピン径 D の選択により、完全なる不反発性を得ることができる。なお、試作実験から、不反発性を得るためにプレフォーム工程でのらせん幅を、設定らせん幅よりも20～30%大きく採る必要があることがわかった。

(3) 真直性

(2)にのべたように、S字ぐせはコード端末の自転数（またはキンク数）がある値を超えると発生することが明らかになったが、コード端末の振れ幅と円弧の高さで表示される曲がり、いずれも個々の素線のらせん特性値のバラツキが原因していると考えられる。このうち、らせんピッチはコードの巻取速さと回転数との比で決まるので、主因はらせん幅のバラツキといえよう。らせん幅の主たる変動要因は、同一素線内および各素線間に存在する素線張力の変動である。この意味でも、一定らせん幅の適用は、容易にかつ安定して曲がりを小さく保つのに有効である。試作実験からも十分なる成果を得た。

(4) 真円性

真円性は他の燃特性、すなわち非自転性、不反発性および真直性などと真接の関係はない。主として、非自転性を得るために行われるポストフォームによって真円性が損なわれる。Fig. 23 に種々のピン条件におけるポストフォームの程度とコードの最大、最小径の関係を数例示す。ポストフォームを強くするほど真円度が低下していき、プラス自転になる（図中◎、●で表示）と急激に低下する傾向にある。したがって、プレフォーム工程での自転数をできるだけ少なくすることがポストフォームを弱くし、結果として高い真円度を保つことに結びつくといえる。st[1+6]とTC[3+5×7]の試作で適正なピン条

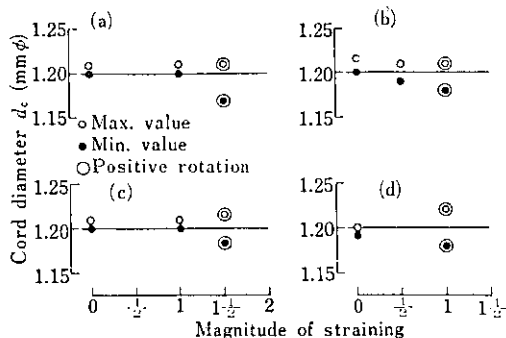


Fig. 23 Influence of magnitude of straining at post-forming on cord diameter

件の選択により、ポストフォームを全く必要とせずほぼ完璧な真円度を得た。

4.2 燃特性の決定要因とその挙動

前述のように、すべての燃特性を決定する要因は素線のらせん幅であることがわかった。さらに一定らせん幅を適用すれば、らせん幅はピン径と1対1の対応関係になるので、すべての燃特性はピン径によって決まるといっても過言ではない。

Fig. 24 にピン径 D と自転数 n_R 、キンク数 K との関係を示す。明らかに D と n_R 、 K とはほぼ直線に近い1対1の対応関係にある。なお、 n_R が-4回より大きいと不反発性である。また、Fig. 25 (a) に TC[3+5×7] を構成する st[1+6] の平均らせん幅 w と n_R の関係を示す。設定らせん幅 $w_0=0.75\text{mm}$ 近傍の $w=0.72\text{mm}$ で $n_R=0$ となっている。また Fig. 25 (b) に st[1+6] のらせんピッチ P と n_R の関係を示す。設定ピッチ $P_0=12.53\text{mm/c}$ にて $n_R=0$ が満足されている。Fig. 26 は P と w の関係を示したものである。ほぼ $w=-0.76P+10.22$ で表示される直線関係にある。

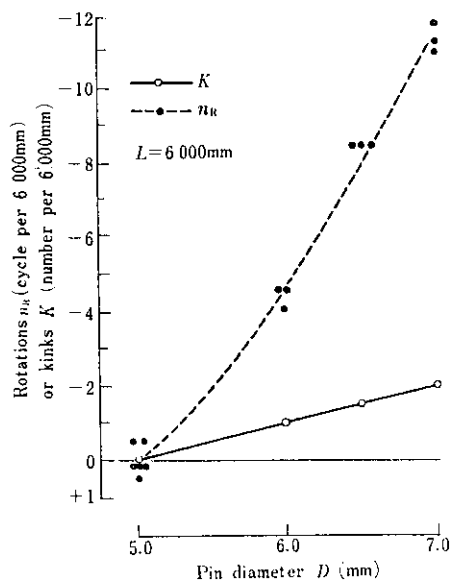


Fig. 24 Relation between pin diameter and number of rotations or kinks in tire cord [3+5×7]

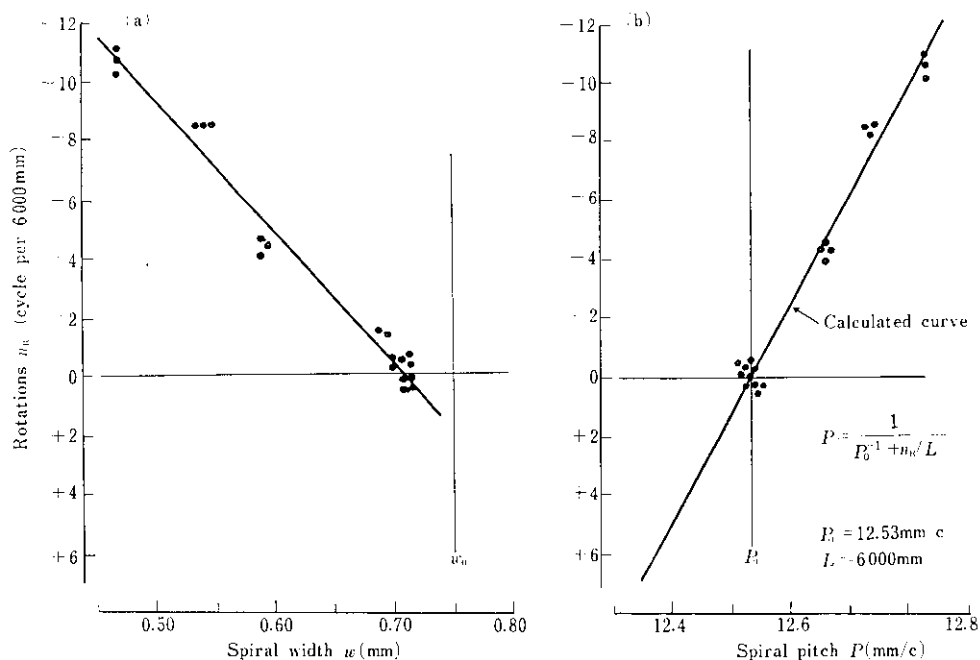


Fig. 25 Relation between number of rotations and spiral width (a) or spiral pitch (b) in strand [1 + 6] for tire cord [3 + 5 × 7]

なお、ストランド自身のらせん成型については、ストランドを構成する素線に直接コードの特性値 P_0 と w_0 とを適用することによって、Fig. 17 に示した K_D - $K_{\bar{w}}$ 曲線図を利用できることが現場的に確認された。

5. む す び

スチールタイヤコード等の製造時におけるH式プレフォームに関して、素線にかかる張力の変動に影響されない一定らせん幅が存在することを発見した経過と、その応用についてのべた。またタイヤコードの試作実験から、主たる撓特性が素線（またはストランド）のらせん幅によって決定されることをのべた。以下にその要約を示す。

- (1) 個々のピン径係数 K_D ($=D/d$) に関し、特定の素線曲げ角度 γ_0 ($120 \sim 140^\circ$) において、素線張力の変動に依存しない一定らせん幅係数 $K_{\bar{w}}$ ($=\bar{w}/d$) が存在する。すなわち、 K_D と $K_{\bar{w}}$ とは撓長さ係数 n をパラメータとして1対1の対応関係にあり、 $K_{\bar{w}}$ は K_D が小なるほど大きい。

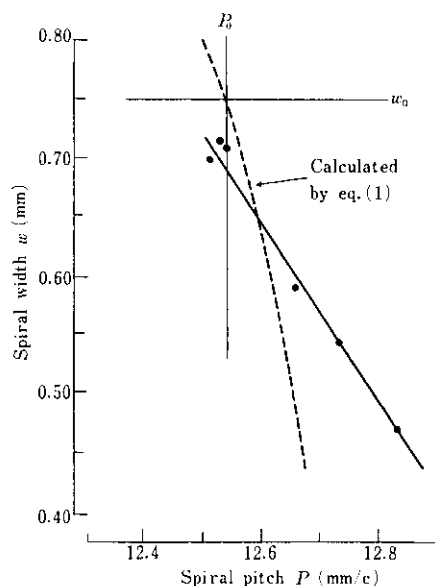


Fig. 26 Relation between spiral width and spiral pitch of strand [1 + 6]

- (2) 一定らせん幅 $\bar{w}$ の出現理由については、張力増加に対する「曲げモーメントの増加に伴う曲率の増加」と「引張伸びによる曲率の減

少」とのバランスの結果と解釈した。

- (3) K_D - K_w 曲線図より、実際操業における K_D を推定し、十分に満足できる成果を得た。
- (4) タイヤコードの試作実験から、撚特性に関してつぎのことがわかった。
 - (a) 自転とキンクは本来同質のものである。
 - (b) コードの S 字ぐせは自転の存在により生じる。
 - (c) 設定撚長さ P_0 (mm) のコードを撚ったのち、ポビンから長さ L (mm) だけ引出したときに観測された自転数 n_R と実際のコード撚長さ P_e (mm) との間に、以下の関係を導き確認した。

$$P_e = \frac{1}{P_0^{-1} + n_R/L}$$

- (d) 素線のらせんピッチ P_e とらせん幅 w との関係図中において、不反発性領域を確認できた。 $n_R=0$ 、すなわち $P_e=P_0$ のときに不反発性を w のみによりコントロールできる。

なお、タイヤコード試作結果²⁾の詳細と円曲げ加工の理論に基づくらせん加工の塑性力学的考察結果²⁾については割愛した。

おわりに、試作全般にわたって御指導御協力いただいた川鉄鋼線工業㈱の諸氏に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 大和田：東京大学生産技研報告，4 (1955) 6, 240~281
- 2) 新井，篠原：未発表