鉱山用ロープの型付けとうねりとの関係*

正 会 員 西 岡 多 三 郎**

正 会 員 西 岡 猛***

Relation between Forming and Wave on the Wire Rope for Colliery and Mining

Tasaburō NISHIOKA and Takeshi NISHIOKA

The forming by manufacturing the wire rope for colliery and mining improves the properties of wire rope and shows many advantages in using. The forming is generally classified into preforming—forming before the closing and postforming—forming after the closing. There are various kinds of methods in each forming.

Hitherto the degree of forming in rope has been measured after breaking up rope. The authors invented the new method to measure the degree of forming undestructively with the special instrument that we named spiker.

Generally preforming has a tendency to remove the wave of rope, but practically the wave property varies with forming conditions even at a definite degree of forming. By preforming with roller type the wave property is greatly influenced by the distance between two rollers. Namely when it is long, the wave of rope has the opposite direction to the lay of rope and with becoming shorter the wave is removed and further shows the same direction as the lay of rope.

When postforming by reverse bending, the direction and the degree of wave are influenced by the contact angle with roller and at a certain contact angle the wave is removed and the rope is straightened.

This study explains the relation between forming and wave of rope experimentally and theoretically.

1. 結 言

鉱山用ロープ製造の際の応力がロープ内に残留したり、ロープ中の素線やストランドのなじみが悪いとロープの性質が劣化し、使用上多くの欠陥を示す。これらの欠陥を防止し、取扱いの容易なロープを製造するために型付けが施される。型付けは一般に撚線機上で撚合前に行なうプレホームと撚合後に行なうポストホームに大別される。

ロープ使用上問題となるうねり性質に対しても型付けは大きな影響を与えると予想されるので、本研究ではロープのプレホーム、ポストホームの際、型付け条件を種々変えてロープを撚り合わせたときのうねり性質について実験し、それらの結果に対し理論的考察を与える。また従来鉱山用ロープの使用上しばしば問題となつたキンクに対する型付けの影響についても解明する。

2. 型付けの測定法

ロープの型付けの度合を表すには型付け率が用いられる¹⁾。型付け率を測定するには各種の方法があるが、次式による計算法が著者の1人により発表され一般に広く用

いられている(第1図)。

$$\text{型付け率 } \phi = \frac{d_w}{d_r} \times 100 (\%)$$

ただし d_w : ロープからほぐしたストランドのうねり外径 (mm)

d_r : ロープ径 (mm)

型付け率は100%が理想的であるが、100%以上になるとストランドが浮き気味でロープ径が太く、伸びが大となり、提灯状型崩れを起しやすいので實際上100%よりやや低い値を目標として製作されている。なお理想的な型付けを施すには上記型付け率 ϕ を100%にすると同時にストランドのうねりピッチをロープピッチと同じにする必要がある。

型付け度合を非破壊的に測定するには従来適切な方法がなくロープの製造、使用上不便なので、著者はスパイカーを使用してロープの型付け度合を測定する新方法を

第1図 型付け率の測定法

* 昭和41年8月17日受理

** 工博 帝国産業株式会社専務取締役

*** 帝国産業株式会社研究開発部

第2図 スパイカー

考案し本研究にも採用した。この方法は第2図のスパイカーの先端を測定するロープのストランド間の溝に押し当て、先端がその隙間に突入するときの圧力を測定し、その時の圧力が小さいほど型付率が大きいと判定する方法である。スパイカーは柄の先端が平刃型になっており、柄の他端にコイルばねが取り付けられ、柄が本体中に押し込まれた時の圧力を柄の目盛により読み取れるようになっている。

この関係は型付けの度合いが大きいほどロープ中のストランド同志の押し合う力が小さくなり、隙間へ刃先が突入し易くなるために起る。この方法の数値はロープの構造、種別、ロープ径、ロープピッチ、心綱の太さなどによつても異なるのでこの点の考慮が必要である。

スパイカーによる測定圧力と従来の型付率 ϕ との関係を 6×7 , $6 \times \text{Fi}(19+6)$ ロープについて測定した結果は第3図で、スパイカー圧力と型付率はほぼ逆比例し、同一型付率の場合には 6×7 は $6 \times \text{Fi}(19+6)$ より大きな圧力を示す。

3. 型付けの種類

ロープの型付けにはプレホームとポストホームがある。またロープ製作後、使用前に単独で張力を与える方法はプリテンションといわれ、主として吊橋用、土建用などの静索に対し行なわれるがこの研究は別に発表する予定である。

プレホームは素線またはストランドをあらかじめ燃合後のスパイラル形状に塑性変形させロープ内部の応力を除去する方法で、数十年前英国で初めて行なわれたが、今日鉱山用ロープにはほとんどすべて施されている。

ポストホームは燃合後巻取るまでに加工してロープ中の素線、ストランドのなじみをよくする方法で安定した取扱いの容易なロープを得るために行なう型付けで、プレホームとは目的が異なる。

プレホームの方法は種々あるが主なものは次のとおりである。

a. ローラ式³⁾

第3図 スパイカー圧力と型付率との関係

- b. パー式
- c. 再燃合式⁴⁾
- d. 押し付け式⁵⁾
- e. 巻きつけ式⁶⁾

第4図はこれらプレホーム法の装置の例でaは自由に回転する各3個のローラに各ストランドを通し型付けする装置、bはローラの代りに固定バーを用いたもの、cは一旦撚り合わせたのち撚り戻し、再び燃合する装置、dは茸形の押付け金具でストランドを所要の形状に押し付ける装置、eは丸棒にストランドを巻きつけて引出す装置である。

これらの方法の内ローラ式は作業が容易で、調整が簡単であり、太いロープに対しても損傷を与えることなく均一にプレホームできるため広く使用されている。

ポストホームの方法は大別すると第5図の例のとおりa. 屈曲式⁷⁾, b. 圧縮式, c. 引張式の3種類があり、ロープの種類、用途、撚線機の型などにより使い分けられる。

4. 型付けしたロープの特長

プレホームまたは、ポストホームしたロープの主な特長と試験結果は次のとおりである。

プレホームしたロープの特長

1. ロープの切断面がばらけない。
2. 型崩れを生じ難い。
3. 可撓性が大きい。
4. 耐曲げ疲れ性が大きい。
5. 断線端が飛び出し難く、他に損傷を与えない。

耐曲げ疲れ性に対しては Shitkov⁸⁾ はプレホームを施すと曲げ疲れ回数は約40%上昇することを述べている。著者は回転曲げ疲れ試験においてプレホームの効果を研

第4図 プレホームの種類

究し次の結果を得た。

第1表は6×7ラングZ撚22.4mmのほぼうねりのないロープの初断線および5本断線までの曲げ回数によぼす型付率の影響を示す。断線数は見掛上の数であるが、分解調査による断線数と大差なかった。

耐疲れ性は型付率の増加とともに良好となり、型付率95%のロープはプレホームなしの型付率70%のロープに

第5図 ポストホームの種類

第1表 曲げ回数によぼす型付率の影響 ($D=1,000\text{mm}$, $D/\delta=403$)

型付率 ϕ (%)	曲 げ 回 数	
	初 断 線	5 本 断 線
95	145,000	175,600
90	141,000	169,200
85	110,160	119,400
70	84,600	89,300

(注) D : シープ径, δ : 素線径

対し初断線までの曲げ回数では1.71倍, 5本断線までの回数では1.97倍となっている。

第2表は他の実験例として6×19ラングZ撚22.4mmのプレホーム加工の異なるロープについて初断線, 5本断線までの曲げ回数を示す表でプレホームの効果が明らかに現われている。

ポストホームしたロープはプレホームしたロープの特長をもつとともに, さらに次の特長をもつ。

1. 構造上の伸びが少なく, 弾性係数が高いので使用中の伸びが少なく安定している。
2. 圧縮による径の変化が少なく, つぶれ難い。
3. 使用中特定の素線やストランドの凹凸が生じない。
4. 三次曲げ⁸⁾に強いため耐曲げ疲れ性が良好。
5. オーバープレホームの欠陥を是正する。

実例として6×7ラングZ撚22.4mmのいずれもうねりのほばないポストホームしたロープと, しないロープの各種性質を比較すると第3表である。

ポストホームの際にはポストホーム条件を調整してうねりのない, 使用上最適の性質のロープを得ることを目指す。

第2表 曲げ回数によぼすプレホーム加工の影響 ($D=600\text{mm}$, $D/\delta=408$)

プレホーム	曲 げ 回 数	
	初 断 線	5 本 断 線
なし	61,000	77,800
ストランドのみ	71,300	103,600
ワイヤとストランド	88,700	114,200

第3表 ポストホームしたロープとしないロープの性質

試 験 項 目	ポストホームしたロープ	ポストホームしないロープ
切 断 荷 重 (t)	31.7	31.0
伸 び 率 (%)	3.6	3.5
構造上の伸び (%)	0.10	0.56
弾性係数 (kg/mm^2)	11,600	10,100
回転曲げ回数*	175,000	126,000

* $D=1,000\text{mm}$ ($D/\delta=403$) にて回転曲げ疲れ試験したときの5本断線までの曲げ回数

標に製造しなければならない。

プレホームとポストホームの両加工を施したロープは完全型付けロープとし鉱山用に広く使用され好成績を挙げている。

5. うねりにおよぼすプレホーム条件の影響

本研究においては第6図のように撚線機のボイス前に取付けられたローラ式プレホーム装置を使用し、型付率が一定の場合のうねり性質におよぼすローラ間隔の影響について実験した。すなわち 6×7 10mm の普通Z撚およびラングZ撚ロープを撚合する際、第7図の配置と形状のローラを用いてプレホームし、撚合されたロープのうねり方向とうねりの度合、すなわち KE 値^{*}を調べた。ストランドはポストホームしたストランドの撚りと同方向のうねりのものと、ポストホームしない撚りと反対方向のうねりのものと2種類を使用した。ロープピッチはロープ径の7倍すなわち 70mm にて製作した。使用したロープ素線は次表のとおりである。

C 量	線 径 ϕ	引張強さ σ_B	伸 び (100mm)	ネジリ回数	巻解試験
0.63%	1.10mm	173kg/mm ²	2.0%	50	良

第4表は実験結果でプレホームの際型付率は100%を目標に製作したが、実測の結果 92~103%の範囲に分散した。いずれの実験組もプレホームなしのロープは型付率は70~78%でSうねりを示し、プレホームしたロープに比しKE値は低くSうねりの度合いは大きい。

プレホームした場合はローラ間隔の大きい時はいずれもロープの撚りと反対方向のSうねりを呈し、ローラ間隔が小さくなるとともにSうねりのKE値は大きくなる。特に実験組IとIVはローラ間隔が $0.5P_r$ になれば撚りと反対のZうねりを呈し、 $0.5P_r$ と $1.0P_r$ の間にうねり方向の変移する点が存在する。この傾向はストランドのうねり方向がロープの撚りと同じ場合に顕著である。

6. うねりにおよぼすポストホーム条件の影響

本研究ではポストホーム条件中、平均ローラ接触角がうねり性質におよぼす影響を調べるため、第8図の屈曲式ポストホーム装置を用い撚合直後の位置でロープを横と縦方向に連続的にくり返し屈曲させる場合、ローラ数、ローラ径、ローラ間隔などの条件を一定にし接触角を変えて実験した。実験試料と

第6図 ローラ式プレホーム装置

第4表 うねりにおよぼすプレホームローラ間隔の影響

実験 No.	撚り 方	ストランド ポストホーム (うねり方向)	ローラ 間隔 l_r (mm)	ロープ 径 d_r (mm)	型付率 ϕ (%)	スパイ カー圧力 (kg)	うねり 方 向	KE 値
I	普 通	な し (Z)	$0.5P_r$	10.33	102.2	16.8	Z	0.292
			$1.0P_r$	10.22	100.8	10.3	S	0.352
			$1.5P_r$	10.12	96.1	11.8	S	0.380
			—	10.03	75.3	40.0	S	0.110
II	撚	あ り (S)	$0.5P_r$	10.50	100.4	9.8	S	0.958
			$1.0P_r$	10.37	99.6	8.0	S	0.247
			$1.5P_r$	10.17	98.7	8.5	S	0.220
			—	10.03	78.0	37.5	S	0.241
III	ラン グ	な し (S)	$0.5P_r$	10.33	102.7	12.9	S	0.745
			$1.0P_r$	10.17	101.4	7.7	S	0.146
			$1.5P_r$	10.03	91.7	14.3	S	0.148
			—	10.12	72.0	32.3	S	0.136
IV	撚	あ り (Z)	$0.5P_r$	10.33	92.7	23.3	Z	0.632
			$1.0P_r$	10.03	92.5	20.4	S	0.873
			$1.5P_r$	10.08	94.1	16.3	S	0.648
			—	10.00	70.0	42.0	S	0.132

*) ローラ間隔はロープピッチ P_r の倍数で表わしてある。

しては構造の単純な7本撚、S撚、3.3mm ストランドを使用した。

第9図は実験結果でポストホーム前のロープ ($\phi = 0$ の場合) は撚りと反対方向のZうねりを呈し、KE値は0.037であるが、ポストホームを施し、接触角を大きくするとともにうねりピッチは増加、うねり径は減少し、KE値は次第に1に近づく。接触角 26° においてうねり径は0となりKE値は1でうねりのない真直なロープが得られる。 26° 以上になるとうねり方向はSとなり、次第にうねりピッチは減少、うねり径は増加し、KE値は

第7図 プレホームローラの配置と寸法 (mm)

* うねりの度合を表わす数値で1のときはうねりがなく、0に近づくほどうねりの度合は大となる。

第8図

屈曲式ポストホーム装置

0に近づく。

これはストランドについての実験結果であるが、ロープの場合も同様の傾向を示し、接触角を調整すればうねりが消失する。

7. 理論的考察

構造の簡単なストランドについて素線にうねり半径 R_W 、うねりピッチ P_W の永久ひずみを与え、スパイラルに型付するときの条件は次式である。

$$K_W = \frac{4\pi^2 R_W}{4\pi^2 R_W^2 + P_W^2}$$

$$\theta_W = \frac{2\pi P_W}{4\pi^2 R_W^2 + P_W^2}$$

曲率 K_W とねじれ率 θ_W の永久ひずみを与えるために必要な曲率 K_f とねじれ率 θ_f は各素線の曲げ特性曲線、およびねじり特性曲線から求めることができる。この曲率とねじれ率をうるためプレホーム条件と撓合条件を調整すれば所要の型付けを施すことができる。この理論はストランドのみならずロープのプレホームの場合にも同様に適用できる。

実験の結果ロープのうねり方向はプレホームのローラ間隔により異なることが判明したが、これはローラ間隔が示す次の2つの主要作用により説明される。

1. ローラ間隔の小さい場合はローラから受ける摩擦力が大きいため、ストランドに大きな引き出し張力が加わり、撓合後反発により型付けによるスパイラルの半径は増加し、スパイラルのピッチは減少しようとし撓られたロープは正方向の自転を起こす。逆にローラ間隔の大きい場合は負方向の自転を起こす。
2. ストランドは最初のローラで曲がり癖がつけれ、第2、第3のローラではこの曲がりにしたがつて曲げられるためローラ間隔が小さいときはストランドに撓りと同方向のねじりが働き、その反発力によりロープは負方向の自転を起こす。逆にローラ間隔の大きい場合は、ロープは正方向の自転を起こす。

この作用はロープの撓り方によつて異なるが、一般に第1の作用は第2の作用より大きいためローラ間隔の小さいときは正方向の自転により撓りの方向のうねりを生じ、ローラ間隔の大きいときは負方向の自転により撓りと反対方向のうねりを生ずることになり、実験結果と合

第9図 ストランドのうねり性質におよぼす屈曲式ポストホームのローラ接触角の影響

致する。

うねりをもつたロープに屈曲式ポストホーム加工を施すと最初の2回曲げにより、弾性限以上の反対曲げを与えて曲りをほとんどなくし、つぎに続く何回かの曲げにより残留する曲がりを漸次減少させるもので、横縦に配列されたローラの組により横縦方向の矯正を行ない直線性の良好なロープを製造できる。しかし接触角を適当な角度より大きくするとローラのしごき作用が増大し、撓りが戻りピッチが長くなる結果、反発力により撓りと同方向のうねりを生ずるに至る。

ロープは構造により柔軟性が異なり、曲げに対する弾性限も異なる。ポストホームによりうねりのないロープを製造するには一般に構成素線の細い柔軟なロープほど、ローラ曲率を大にし、接触角を大きくする必要がある。

従来プレホームしたロープはキंकを生じないといわれているが、必ずしもそのとおりでなく、同じ型付率でもプレホーム条件によりうねりの度合いが異なるため、プレホームしたうねりのないロープの場合にのみキंकは生じないのである。したがつてうねりのない使用に適したロープを製作するには型付け条件を適切に調整しなければならない。

8. 結 言

鉱山用ロープに型付けを施せばロープの性質を改善し、使用上幾多の利点が生ずることはすでに知られているが、著者はロープの型付けの程度を非破壊的に測定する方法を考案し、従来の測定法による型付率との関係を

明らかにした。

ロープのうねり性質は同一型付率でも型付条件により異なり、ローラ式プレホームの際、ローラ間隔が大ならば撚りと反対方向のうねりを呈するが、ローラ間隔が小さくなればうねりのなくなる点があり、さらに小さくなれば撚りと同方向のうねりを呈する傾向がある。

屈曲式ポストホームの際、ローラ接触角はうねりの方向と度合に影響を与え、うねりが消失し直線状となる接触角が存在する。

さらに本研究ではこれらの現象を理論的に解明し、また従来未解決の点を明らかにし、鉱山用ロープの製造、使用上に大きな示唆を与えるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 西岡多三郎：ワイヤロープにおける最近の進歩(Ⅱ)，鉄と鋼，第43巻，2号，昭和32年2月，154～161頁
- 2) 西岡多三郎：鋼索の製造，誠文堂新光社，昭和29年，124～5頁
- 3) 実案昭8—1862
- 4) 特許昭26—1154，1157，1158，特許昭28—3430他
- 5) D. G. Shitkov. I. T. Pospechov: Drahtseile, VEB Verlag Technik, (1957)
- 6) 実案昭41—910
- 7) 特許昭30—8886
- 8) 西岡多三郎：鋼索の三次屈曲について，第5回ワイヤロープ研究会講演集，昭和31年10月，81～86頁
- 9) 西岡多三郎，西岡猛：ワイヤロープの特性試験，日本鉱業会誌，82巻，935号，昭和41年3月，197～9頁

自 動 ブ ーム ロ ー ダ

鉱石や石炭がコンベヤから鉱車へ積込む際の落下衝撃が傷ついたり，こわれたりするのを防止するためには，積込時の落差をできるだけ小さくする必要がある。ここに紹介する英国 Fielden Electronics 社の自動ブームローダは，積込用のコンベヤ・ブームの位置が鉱車内の鉱石積上げ面のレベルが高くなるに従って自動的に上昇するように設計されたキャパシタンス動作方式を取り入れたものであり，ブームの動作は通昇式であり，ブームの先端に4心外装ケーブルでつり下げられているセン

サーに鉱車内の積上げ面に接近してくるにしたがつてブームが1段ずつ上昇する機構になっている。

まず空車が積込位置まではいつてくると，「スタート」のボタンを押してブームを下げる。センサーが鉱車の底板にふれると，センサーの中にあるトランジスタ・スイッチ回路が働いて制御装置を起動し，巻上機の電動機が逆転しはじめる。この電動機はタイマーによつて設定された一定時間だけ回転し，その間にブームの方は所定の高さだけ上昇する。つぎに積込作業が始まると鉱車内の

積上げ面がセンサーに近づいてくると，スイッチが働いて制御回路が動作する。このような動作を繰返ししながら積込作業を円滑に行なうわけであるが，ブームがあらかじめ設定した最終高さまで達したとき，すなわち鉱車が満載状態になったときには，ブームを自動的にオーバースピル・ホッパーのところまで上昇させるか，あるいはまた次の空車が積込位置にはいつてくるまでコンベヤの運転を中止しておくことができる。

鉱車内の積上げ面とブームの先端との間隔をつねに一定に保つために，巻上機の電動機を回し放しにしておくと，電動機に負担がかかるので，本機ではキャパシタンス式センサーと，ブーム移動用のタイマー付き制御装置を用いてブームを1段ずつ上昇させる方式にしている。制御装置についているタイマーはブームの上昇動作の時間間隔が設定値以上に長引いたとき（たとえば鉱車内の積上げ面がぐずれたような場合）動作し，センサー内のスイッチ回路が働いてブームを正しい動作位置まで下げる働きをする。

このほか制御系統には自動操作1手動操作切換スイッチを取付け，手動用の上昇，降下のボタンを設けることもできる。

(藤井 茂)

(Colliery Engineering, May 1967, p. 196)