# ワイヤロープ技術発展の系統化調査

Historical Development of Wire Rope Technologies

谷口 運 Hakobu Taniguchi

#### ■ 要旨

近代的なワイヤロープは、1834年にドイツの鉱山技師が工具を使って鉄線をより合わせたロープを製作し、金属鉱山で使用したことに始まる。従来の麻ロープに比べ強度面等の優位性が確認され、以後、製造方法、製造設備等々の基本技術が確立され発展していった。

我が国においては、1866 年横須賀製鉄所で幕府の艦船用綱索として繊維ロープを製造したのが、製綱業の始まりで、メーカーが創立して繊維ロープの生産を開始したのは 1887 年である。そして、ワイヤロープ事業へ進出したのが 1897 年である。当初は造船所や炭鉱用で、構成の簡単な交差よりの普通よりワイヤロープ 6 × 7, 6 × 19であったが、ラングよりワイヤロープ、フラット形ロープ、平行よりワイヤロープ等々の製造技術が次々と確立していった。また、1911 年に関東で 1 社、1918 年に関西で 2 社がワイヤロープの製造を開始し、以後主に関西地区に次々とワイヤロープメーカーが設立された。

本調査研究は、我が国におけるワイヤロープが基礎技術の発展と共に、社会や諸産業とどのようにかかわってきたかを時系列的に纏め、ワイヤロープ技術の系統化を試みたものであり、調査した範囲は、1897年のワイヤロープ製造開始から 1980 年代にかけての技術である(線材については一部 1990年頃まで)。

殆どの技術が海外先行であったが、当時その文献等の資料はなく、輸入した製品を調査したり、実験・試作等を 繰返し行っての技術開発であった。特に開発の効果が大きかったと思われるものは、焼結(超硬)合金ダイスの開発、 ロープ解析と設計基礎の確立及び高張力鋼線である。

従来叩きダイスで素線の線引き加工を行っていたのが、焼結合金ダイスの開発によって格段に品質及び生産性が向上し、ロープ解析もロープ設計の理論的基礎が確立し、品質及び能率向上に大きく貢献した。高張力鋼線は、線材及び線引き加工の技術開発により可能となり、吊橋用ケーブル及びスチールコードへの波及効果は大きい。

#### Abstract

It is said that application of modern wire ropes dates from 1834 when a German mining engineer produced ropes by twisting iron wires together using tools and used the resulting ropes in the mining of metal ores. Competitive edges such as strength aspects and other features of these wire ropes over conventional hemp ropes was confirmed. Since then, elementary technologies such as manufacturing methods and manufacturing facilities have been established and developed.

In Japan, rope production was started in 1866 at Yokosuka Iron Works, where textile ropes were manufactured for ropes of warships owned by Japan's feudal government. In 1887, a manufacturer was established and started production of textile ropes. In 1897, they expanded their business operations to wire rope projects. At that time, normal  $6 \times 7$  and  $6 \times 19$  ordinary lay ropes (cross lay) having simple composition were used at shipyards and coal mines. Subsequently, manufacturing technologies for Lang's lay wire ropes, flat type ropes, parallel lay wire ropes, and others were established one after another. In 1911, one manufacturer in the Kanto region and in 1918, two manufacturers in the Kansai region started wire rope production. Thereafter, wire rope manufacturers were established successively, mostly in the Kansai region.

This paper summarizes chronologically how wire ropes came to be involved in society and various industries along with development of elementary technologies in Japan and the sequential systematization of wire rope technologies. The scope of the research covers technologies from the start of wire rope production in 1897 up through the 1980s, to around 1990 for wire rods.

Almost all technologies were imported from abroad, and no data or literature describing the status at the time are available. Technical development was made through investigation of imported goods, repeated experiments, and trial production. Items presumed to have contributed very much to development are the creation and advancement of cemented carbide dies, rope analyses, establishment of foundations of design, and high-tensile-strength steel wires.

According to the conventional technology, cast iron wire drawing dies were used for wire drawing of element wires. Meanwhile, development of cemented carbide dies improved quality and productivity markedly. Theoretical foundations for rope analyses and rope design were established, thereby contributing greatly to the improvement of quality and efficiency. High-tensile strength steel wires were realized by the technical development of wire rods and wire drawing processing, and their influences on suspension bridge cables and steel cords are remarkable.

## Profile

#### 谷口運 Hakobu Taniauchi 国立科学博物館 産業技術史資料情報センター 主任調査員 昭和39年 3月 九州工業大学 鉱山工学科卒業 昭和39年 4月 東京製綱株式会社 入社 平成 5年 7月 本社 技術部 専任副部長 平成 8年 6月 本社 品質保証部長 平成10年 6月 本社 品質保証部長兼安全統括部長 平成12年 11月 很職 国立科学博物館 産業技術史資料情報センター 平成23年 4月

### ■ Contents

1.はじめに	03
2. ワイヤロープの創生	07
3. 日本のワイヤロープ製造の始まり	09
4. 第二次世界大戦までの発展	13
5. 戦後から近代的産業への時代 (1960年以前)…	23
6. 高度成長下の時代 (1960年以降)	41
7. 線材と設備の発展	60
8. まとめ	67
9. 参考資料	73

# 1 はじめに

ワイヤロープは、鋼線をより合せてつくられ、'鋼索'とか'ケーブル'又は単に'ワイヤ'と呼ばれることもあり、更に細いものは'コード'とも呼ばれる。ワイヤロープの素線は、適切な熱処理とその後の冷間引抜き加工によって製造され高い引張り強さと靭性を有する。その素線をより合わせたワイヤロープは、細くて高い破断強度と優れた柔軟性をもち、耐疲労性にも優れ、長尺物の製作も可能であるので、重量物の牽引、吊り上げ、支持、繋留等々において極めて有効な機械要素として、またコンクリート、ゴムなどの補強材として、あらゆる産業になくてはならないものになっている。

ワイヤロープは表 1.1 及び図 1.2 に示すように、素線を一度だけより合わせたスパイラルロープや素線を平行に束ねた平行線ストランドもあるが、素線をより合わせてストランドとし、そのストランドをさらにより合わせたストランドロープが一般的である。ワイヤロープの構成や呼び方、種類等々に関しては、9章の参考資料「ワイヤロープの概要」を参照されたい。

ワイヤロープはそれ単独で使用されることは少な く、大半は設備(用途)に付帯する部材で設備に合っ たワイヤロープ特性が求められ、ワイヤロープの種類 は多岐に亘っている。

したがって、我が国におけるワイヤロープの技術は、我が国の産業の発展に伴って開発されてきたものであり、産業の発展に大きく貢献してきた。また、しばしば人命にかかわる大切な役目をも担うことも多いので、「産業の命綱」として社会のために大いに貢献してきた。

古代より、物を縛ったり、物を移動するのに 'なわ' とか 'つな' と言われるものを使用し始めたのは紀元前 1400 年頃とされており、繊維ロープの歴史は非常に古い。繊維ロープより更に強度のあるものという必要性からワイヤロープが考え出されたが、近代的なワイヤロープが誕生するまでに、金製のワイヤ状髪飾り、手編みによる青銅製ロープ、鉄線や銅線のワイヤロープは存在していた。近代的なワイヤロープは、1834年にドイツの鉱山技師が、鉄線を4本より合せてストランドとし、そのストランドを3本より合わせたワイヤロープを製作し、炭鉱の立坑に使用し好成績を収めたことに始まった。

我が国における製綱業の源流は、江戸幕府の勘定奉 行小栗上野介忠順の献策により、1864年(元治元年) 横須賀製鉄所を創設し、幕府の艦船用綱索を製作したことにあり、その後、東京製綱が1887年(明治20年)に創立され繊維ロープの製造を開始した。

東京製綱は、当時係留索や鉱山用ワイヤロープは全て海外からの輸入に頼っていたので、1897年(明治30年)ワイヤロープ事業へ進出した。設備はイギリスから購入し、線材もスウェーデンから輸入してワイヤロープを製作した。当初は、交差よりの6×7、6×19のような簡単な構成のものであったが、ラングより、平行より、フラット形、ロックドコイルなどを太平洋戦争までには製作するようになっていた。また、多くのワイヤロープメーカーが主に関西地区に創立された。

種々のワイヤロープの基礎技術は戦前に出来ており、その後大きく変化したものは少ないが、実際にその効果が確認され、使用され始めたのは産業構造が大きく変化し、ワイヤロープの需要が高まる戦後のこととなる。例えば平行よりと称するフィラー形やシール形は既に19世紀後半に考案されているが、実際に普及したのは、1950年代に入ってからであった。戦後、焼結合金ダイス、ワイヤロープ解析、異形線ロープ、道路防護施設、吊橋用ワイヤ・ワイヤロープ、非自転性ワイヤロープ、そしてスチールタイヤコード及び高張力鋼線等々の開発が行われた。

本調査研究は、これらの技術開発の経緯を6つの章 に分けて記述し、最後にまとめを行う。

第2章では、古代より存在した繊維ロープから強度 上ワイヤロープが必要になり、近代的なワイヤロープ が誕生した歴史の概要を記載する。

第3章では、我が国において製綱業(繊維ロープ)が始まった1864年からワイヤロープメーカーが誕生し操業する直後までの歴史を、その背景を明らかにしながら記載する。

第4章では、第二次大戦終結までの技術発展及びその後のワイヤロープメーカーの誕生と炭鉱関係で需要の多い九州への進出、そして、ワイロープではなく鋼線の範疇であるが歴史として興味があるので、軍需用製品であるガンワイヤ(大砲の砲身補強のために巻きつける鋼線)の製造等について記載する。

第5章では、戦後から近代的産業への時代まで(1960年)の技術開発について記載する。この時代に開発された焼結合金ダイス及びワイヤロープ解析は、特に品質及び生産性の向上に大きく貢献した技術であった。

第6章では、1960年以降の高度成長下の時代について記載する。東洋一の夢の吊橋と言われた若戸大橋に使用されたメインケーブルの製作、高揚程クレーンの出現に対応した非自転性ワイヤロープの開発、そして、スチールタイヤコード、高張力鋼線の開発などにつき述べる。

第7章では、線材と伸線機、より線機の発展について記載する。線材の非金属介在物制御等により、スチールタイヤコード用では線径 0.20mm で 4000Mpa 級、

吊橋用では線径 5.0mm で 1800MPa 級も製作出来るようになった。

第8章で、技術発展の歴史をまとめ、今日の技術水 準を実現したことについて考察し、今後の課題につい て述べる。

第9章は、ワイヤロープ関連年表、ワイヤロープの 概要及びワイヤロープの JIS 制定・改正の履歴を参考 資料として記載した。

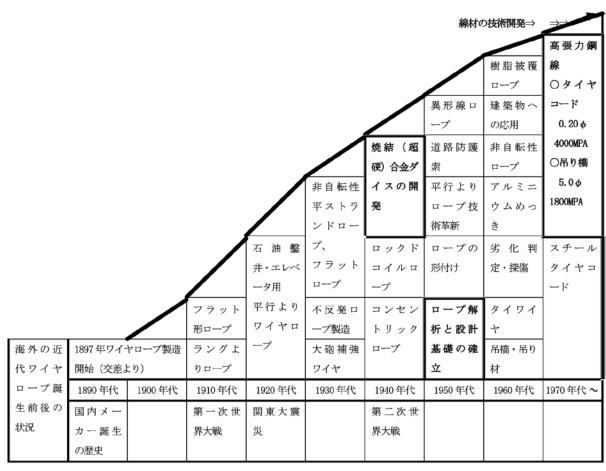
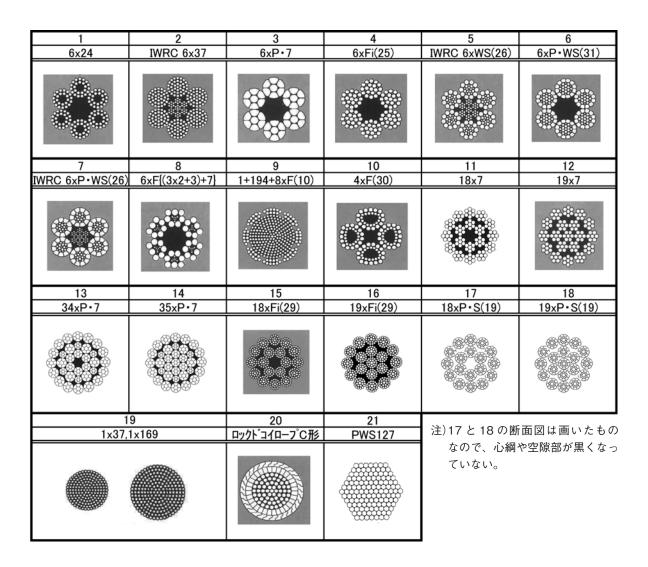


図 1.1 ワイヤロープ技術開発の経緯

表1.1 ワイヤロープの構成による分類

				茶 1.1	ソイヤローノ	'ノイヤローノの構成による分類	温				
4 4	中公婚	ストランドの	ドイランド	を無の	心	ロープ構成(一例)	素線の	種別	744	ĺμ	サな単
R	十万級	形状	のより方	形状	(心の材質)	断面図は図1.2	防食	(JIS)	47.7	ĭ	۳, A
				牛沙蓴羊	繊維心入り	6×24		G, A			
			交差より	がなる。プロ	ロープ心入り	${\tt IWRC6}\!\times\!37$		_	普通スより		機械、エレベータ、建設、
	1層ストランド	丸ストランド		素線が異形	繊維心入り	6×P·7	莱	A, B	普通Sより	举	船舶,漁業,林業,鉱業,
	レーロ	r ⊓ r		中次の年	繊維心入り	6×Fi (25)	めつき	E, , A, B	ラングスより	卌	索道等々一般的に使用
	(心の周りのストラ		ボイトカ	7K 10K 10 - 7L	ロープ心入り	IWRC6 $\times$ WS (26)		A, B	ラングSより		される。
ストランドロープ	ンドが1層のもの)		417	<b>畑苗沙豚</b> 業	繊維心入り	$6 \times P \cdot WS(31)$		E, A, B			
(素線を所定本数				<b>※</b>	ロープ心入り	IWRC6 $\times$ P • WS (26)		В			
より合わせたスト		フラット形	三角ス	三角ストランドロープ	7	6×F { (3×2+3)+7}	歟		ラング2より,ラングSより	半	ケーブルカーの巻上索
ランドを所定本数		ストランド	ミィと士	平ストランドロープ		1+194+8×F(10)	めっぱ		_	凿	大型立坑の巻上索
心の 周りにより		ロープ	と狙騎	蛤形ストランドロープ	7	4×F(30)			普通2より, 普通Sより		クレーンの巻上索
合わせてロープに				中沙邸车	繊維心入り	18×7					クレーンの巻上索
したもの)	多層ストランド		大学と	オペル・プロ	ロープ心入り	19×7		A			船舶のボートフォール
	<b>₽</b> −¤		አ ሥ	<b>独苗沙跡拳</b>	繊維心入り	$34 \times P \cdot 7$			普通スより		カレーンの巻ト赤
	(心の周りのストラ 多層丸ス	多層丸ストラ		7K PK 14" 345 IZ	ロープ心入り	35×P·7	軼		普通Sより	半	ノアンで上州
	ンドが2層以上の	ンドロープ		表線式中	繊維心入り	18×Fi (29)	めっぱ	ı	ラングスより	卌	索道の緊張索
	もの)		亚谷上的	NAMA A	ロープ心入り	19×Fi (29)			ラングSより		
			6	加田沙邸年	繊維心入り	18×P · S(19)					クレーンの巻上索
				78 MR 14 75 17	ロープ心入り	19×P · S(19)					
	より線 (丸い	(丸い素線を所定の本数より合わせたもの)	:数より合われ	せたもの)		$1 \times 37, 1 \times 169$	めつき	_	Z + 0, S + 9	なし	鉄塔のステー, 吊橋の主索
スペイラルロープ	ロックドコイルロープ	1				ロックドコイル	軼	ı	710 510	#	索道の支索
	(下層は丸い素線、上層はT字形及びZ字形の異形線をより合わせたもの)	上層はT字形及	ぴ字形の異疣	杉線をより合	わせたもの)	ロープC形	めつき		647, 547		ケーブルクレーンの軌索
<b>平行線ストランド</b> 所定本数の素線を平行に束ねたもの	所定本数の素線を	平行に束ねたもの	n			PWS 127	めつき	_	_		吊橋のメインケーブル

注1)二重線で囲んだものが、一般的に使用されているロープ。(より方は普通2より) 注2)上記の分類表以外に非常に特殊なものとして次のようなものもある。 ケーブルレイドロープ:ストランドロープを更に6本よりあわせたものや、ストランドと繊維を組合わせたロープを更に6本よりあわせたもの フラットロープ : ストランドロープを更に数本並列し、より線等で編んだもの



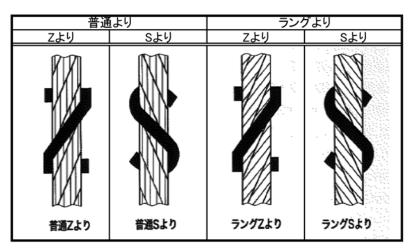


図 1.2 ワイヤロープの断面図及びより方

# 2 ワイヤロープの創生

# 2.1 繊維ロープ

古代より、物を縛ったり物の移動に使用する植物のつるなどで作ったロープが必然的に発生したことは容易に想像される。植物の繊維や動物の毛を手で編んだりより合せて長い紐状にした"なわ"、"つな"と称するものである。

これらが登場したのは紀元前 1,400 年ごろとされている。古代エジプトで行われたロープの作り方が第18王朝の墳墓の一場面に描かれている。(図 2.1)





図 2.1 古代エジブトで行われたロープの作り方 1)

この絵画はやや破損しているが、右手の人物は、回転具に取り付けてある2条の紡糸を、それぞれ別々に綯いながら、ゆっくり前進している。一方左手の人物は、2本の紡糸を取り付けた回転具を、右手の人とは反対方向によじって、紡糸を結合させながら、ロープができあがるにつれてあとずさりしている。中央に座っている人物は、紡糸の間にロープの通し棒を挟み込んで持っている。紡糸がしっかり結合しているのを確かめながら、ロープを作っていくのが彼の役目である。

1750年頃からサイザル麻ロープが使用されるようになり、1783年にスペイン海軍に採用されたという記録があるが機械で製作したものではなく、1792年にイギリスのカートライト(Cartwright)が麻ロープ製造機の特許を取得したコードレイヤーというものが最初の製網機とされている。

# 2.2 ワイヤロープ

## 2.2.1 近代ワイヤロープ誕生以前の海外の歴史

ワイヤロープは、紀元前 3000 年代にシュブァド王 妃が金製でワイヤ状のものをリングにして髪飾りとしたということから始まったと言われ、現在、ロンドンのケンシントン博物館に保存されているロープ(よったものでなく束ねたもの)の一片は紀元前 800 年頃の

ものとされている。

ボンベイの遺跡より発掘されたナポリの国立博物館に、紀元前600年頃の青銅製ロープが保存されている。このロープは手編みによるもので、直径が0.7mmの素線19本でストランドとし、さらにそのストランド3本をより合せた3×19構成で、長さは4.5mである。13世紀頃には、針金鍛冶wire smithと呼ぶ職人が針金を金、銀、青銅などの金属片を鎚打ちして製作していた。14世紀にはドイツのレンネ地区で、伸線ダイス(draw plate)を使用し、水力を応用して針金を製作したとされている。それまでの針金製造では、伸線工はブランコに腰かけ、両手で針金の掴みを握り両足を突張ることによって針金を型孔から引き出していた。水車利用では、水車軸に設けたクランクで針金を引っ張るようにした。2)

15世紀にはイタリヤのレオナルドダビンチ (Leonardo da Vinci) がなまし鉄線, 銅線でロープを 製作した記述があり、1644年にドイツのダンチッヒ (Danzig) の要塞築造の搬土用として鉄線ロープが用いられたという。







図 2.2 14 ~ 15 世紀頃のワイヤの伸線 3)

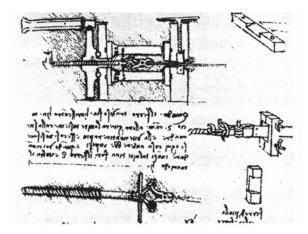


図 2.3 ダビンチのワイヤ製造機械 4)

さらに、つぎのような記録がある。1750年にドイツで製綱を目的にフェルテン・ギレアウメ社が設立され、1760年にロイド船級協会が創立された(1781年法的に承認される)。1821年にはドイツゼノア

(Geneva) の吊橋工事に数本の鉄線を平行に東ねた東環索 (selvagee) を使用、1830年にイギリス ウールウィッチ造船所のジョージ・ライト・ビンクス (George Wright Brinks) が麻綱の代わりに、捩じられた鉄線より索を考案し実験した。1832年にイギリス ダービイのウイルソン (J.B.Wilson) とランカシャーのヘイドック (Haydock) が、炭鉱用に子縄 (ストランド) ロープを製造した。

# 2.2.2 近代ワイヤロープの誕生から 1887 年まで の歴史

近代ワイヤロープの歴史は、1834年にドイツ Clausthal の鉱山技師アルバート(Albert)が、工具を使って3.5mm の鉄線からなる3×4構成のラングよりワイヤロープ605m2本を製造し、Carolin 坑の立抗に使用され好成績を収めたことに始まる。彼は翌年ドイツにおいて、ワイヤロープの実験報告と製造方法を発表しており、この成功の意義はきわめて大きく、その後主要な立坑が同様の鉄製のワイヤロープを使用するに至った。

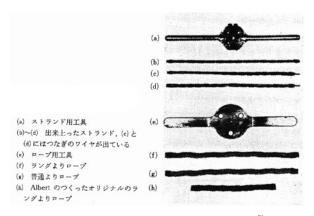


図 2.4 より線工具とストランド、ロープ 5)

ここに、これまで使用されていた鎖や麻ロープに 対するワイヤロープの優位性がはっきり示され、こ れを端緒に近代ワイヤロープ発展の歴史が始まるこ とになる。

そして、1835年にビンクス(G.W.Binks)が麻や植物繊維用の機械を使用して、鉄線で $4 \times 43$ のストランドロープを製作し、1838年にイギリスのブレンナー(Brenner)がワイヤロープに関する論文をニューカッスル(New Castle )で発表し、イギリスのニューワ

ル (Newall) が、 $4 \times 4$  構成のワイヤロープ用製網機 を設計し、約2年にわたり改良を繰り返した後特許を 取得した。1840年にイギリスのアーギバルとスミス がワイヤロープ専用の撚り線機械を発明し、ワイヤ ロープの製造を開始した。1844年にウイリアム・ブ リバンド (William Bullivant ) が船舶用曳索として、  $6 \times 7$ ,  $6 \times 19$ , ケーブルレイドロープ等を発明した。 当時の製造業者はステファンソン (Stephensom).ウ イルキンス (Wilkins), ウェザーレイ (Weatherley), エリオット (Elliot), ピーター・ハッギー (Peter Haggie) 等であった。1854 年にホースフォル (horsfoll がパテンティングの技術を発明し、ピアノ線を製造し て販売した。1862年にライランド会社のジョージ・ ペドソン (George Pedson) が連続圧延の原理につい て特許を取得し、1885年にブライン(S.H.Bryne)が 連続伸線機を発明した。1876年にニューワル (Newall) がヤハズよりロープ (ストランドのより方向が Z よ りのものとSよりのものを混ぜて撚ったロープ)を 考案し、Reddish Atlas Rope Works のスコット (F.W.Scott) がロックドコイルロープを考案して 1884 年に Latch & Batcheler 社が製造を開始した。1879 年にイギリスのジョン・ラング (John Lang) がラン グよりワイヤロープの特許を取得し、翌年 G.Cradock が農耕機用にラングよりロープを製作した。

これらにより、圧延、伸線、より線の技術と設備の 基礎がほぼ出来たのである。

#### 【引用、参考文献】

- 1) チャールズ・シンガー他: 「技術の歴史第2巻 原 始時代から古代東方 下」筑摩書房 1978 年 p382
- 原善四郎:「鉄と人間」新日本出版社 1988 年 6
   月 p117
- 3) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」1989 年 p60
- 4) ワイヤロープハンドブック編集委員会:「ワイヤロープハンドブック」日刊工業新聞社 1995 年p4
- 5) ワイヤロープハンドブック編集委員会:「ワイヤロープハンドブック」日刊工業新聞社 1995 年p5

# 3 日本のワイヤロープ製造の始まり

# 3.1 製綱業の源流

わが国においても、植物繊維などを手によって縄を ない、綱を作って生活の要具としていたと思われるが、 江戸幕府は、長崎製鉄所の創設、軍艦教授所及び蕃所 調書(東大の前身)の設置に続き、勘定奉行として海 軍事務を兼掌していた小栗上野介忠順の「四面環海の わが国としては、どうしても海上に進出しなければな らない」という献策により、1864年(元治元年)横 須賀製鉄所創設を計画し、仏国海軍技師フランソア・ ウェルニーを招聘して工事に着手した。しかし、艦船 に必要な綱索を供給することは、当時のわが国の製綱 業にあっては、質・量共に到底不可能であったので、 製鉄所の一部門として所内に製綱工場を建設すること を決め、仏国シェルプール造船所から製綱頭目を招い た。そして、フォアターン・アンド・トラベラーとい う繊維ロープの製網機械が据付けられ、1866年(慶 応2年) に製綱工場が完成し、幕府の艦船用綱索は自 給されるようになった。その後、財政難から一度は仏 国への担保となったが、明治政府の時代に取戻し、横 須賀造船所と改称され、製綱工場は1889年(明治22年) まで存続した。

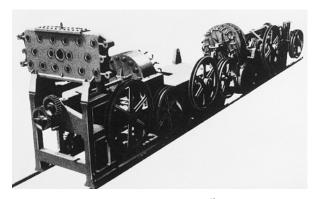


図 3.1 当時の製綱機 1)

この横須賀造船所製綱工場の建設を機に、わが国の 製綱業界も次第に機械化の機運が高まった。

その一つとして、東京に民営の「製綱社」が1885 年(明治18年)頃組織されている。

# 3.2 国内メーカー設立の背景

明治維新以来、政財界は猛烈なインフレに悩まされ ていたが、大蔵卿・松方正義の政策が効果を表し、民 間の資本が次々に近代産業に投下され始めていた。すでに設立されていた日本鐵道(明治14年設立)、大阪紡績(明治15年設立)の業績が上向きになると、全国各地で鉄道・紡績・電灯の会社が続出した。農商務省の統計によると、明治19年から23年の4年間に新設された企業は大小合わせて実に2,643社にのぼったとされている。一方、国内では想像を絶する程の海事思想が沸騰しており、国防重視の海軍増強論、商船を駆使した通商拡大論、国民の栄養という視点からの大型漁船建造論が燃え上っていた。それに対し、近代的造船所の代表である横須賀造船所は、清輝、磐城、天竜といった軍艦建造に余念がなく、石川島平野、川崎兵庫、三菱長崎などの民間の造船所も旧幕府施設の払下げを受けて稼動していたが業績はそれほど好ましくなかった。

# 3.3 国内メーカーの設立運動

山田昌邦(江戸幕府の海軍に籍をおいた後、沼津兵学校の教授、海軍兵学校・札幌農学校などでも教鞭を執る)が近代的な製綱事業を興そうと決意し、沼津兵学校時代の教官としての先輩である渡部一郎(後に温と改める)、赤松大三郎に相談し、両氏の全面的な賛成を得ていろいろ研究討議を重ね、いよいよ製綱会社創立に乗出すことになった(明治18・9年代でこの時山田は40才)。そして、日本財界に頭角を顕わしていた渋沢栄一、益田孝、浅野総一郎の三巨頭に対し、その製綱事業が緊要で有望であり、計画が真摯で妥当であることを説き、彼らの共鳴を得て会社設立のために三巨頭の全面的な協力と後援を受けることになった。

# 3.4 東京製綱会社の創立総会

1887年(明治20年)2月1日 東京府日本橋区の第一国立銀行で創立総会が行われた。出席した株主は渋沢栄一、渡部温、益田孝、浅野総一郎他10名とこの事業の主唱者である山田昌邦で、当時における実業界の第一線ないしは確たる資産家として評価を得ていた人達ばかりであった。

議長の渋沢栄一が、「近年、わが国の海運は日に日に開けております。当然ながら船舶用具の需要は急速に増加しているわけでありますが、その供給は決して満足できる状況ではありません。この現実を直視した

とき、私どもはここに近代的設備をそなえ、かつこの 分野の嚆矢ともなるべき製綱会社を設立すべく決意致 しました。もしこの事業が成功すれば、外国からの輸 入の一端を防ぎ、国家の公益になること間違いなしと 確信するものであります。」と宣言し、株主達の心を 十分にうち東京製綱会社が誕生した。

「公称資本金;7万円、営業目的;各種綱具(繊維ロープ)の製造」

本社・工場は、東京府麻布区に約1万3千坪の土地 を家屋つきのまま購入し建設することになった。初代 社長には渡部温が就任し、山田昌邦は支配人となった。

# 3.5 操業への対応とその結果

設備は赤松や海軍関係者からの情報もあり、会社設 立時から横須賀造船所 製綱工場に設置されているイ ギリス製製綱機(当時軍艦用の綱類だけで能力いっぱ いの操業をしていなかった)の払下げによる稼動を予 定していた。従って、会社設立と同時にこの製網機の 払下げを願い出て、優秀な技術者をスカウトした。し かし、海軍省から 1887 年 (明治 20年) 2月 15日に「払 下げ認許成り難し」という思いがけない通達が届いた。 直ぐに海外からの新機械導入を決定し、海軍省艦政局 の許可を得て、イギリスに製綱機械一式の注文をだし た他、洋行する益田にもアメリカの最優秀機械の買入 れを依頼したが、新機械到着までには相当の期間がか かるので、つなぎに山田が顧問のような地位にいてか なり尽力していた「製綱社」(前述)の機械一式の提 供を申し出て承認された。昼夜兼行の工事で4月21 日には操業開始の運びとなった。

製糸方法は手取ヤーンというもので、野州麻を「人針台」という長い針のある台の上にのせ反復通過させてスライバーを作り、そのあとスライバーを腰に巻きつけスピンナーのフックにかけ、後ろに下がりながら右手でしごくようにしてヤーンを作った後、ある長さになると木枠に巻いた。

10人1組の合同作業で、ロープの製作もほぼ同様であった。





図 3.2 麻梳き及び子綱撚り合せ作業 2)

イギリス及びアメリカに注文した機械は、1888年(明治21年)2月23日から5月4日に到着し、第一工場に据付けられ、10月6日に運転を挙行した。また、6月及び10月の2回にわたり、細物用の製造機械と製網機三台をイギリスに追加注文した。追加注文した機械類が1889年(明治22年)2月から4月に到着した。更に、3月になると横須賀海軍造船所から、製網工場を廃止して軍用品は全て東京製網の製品を採用するという特約命令書の草案が提示されたので、同意書を提出すると共に製網工場の設備機械類の払下げも受けることになった。これは第二工場を建設して据付けることになり、その年の11月25日に運転を開始した。

# 3.6 の状況

農商務省、海軍各鎮守府、日本郵船会社などで品質・技術が良好であることが確認され、1890年(明治23年)にはシンガポールや上海などにも輸出するようになった。また、1892年(明治25年)には、日本郵船会社横浜倉庫にて香港製繊維ロープとの耐力比較試験が行われ、東京製綱会社の製品が優秀であることが証明された。

1894年(明治 27年)企業組織は株式会社となり、 商号も〔東京製綱株式会社〕となった。そして、日・ 清戦争による軍用・船舶用の網類及び石油採掘事業の 勃興による石油さく(鑿)井用綱(繊維ロープ)の需要 増大に対応するために設備を増設した。

1895年 (明治 28 年) 関西地方の需要伸張が顕著のため、兵庫工場の新設を決め、翌年 3 月に竣工した。

# 3.7 ワイヤロープ事業への進出と製造技術の確立

## 3.7.1 ワイヤロープ事業への進出の経緯

海外では麻や植物繊維の撚り機を用いて作られていたワイヤロープも 1840 年頃に鋼索専門の機械が登場し、相次いで改良が加えられ製造技術が急速に発展していた。

我が国では繊維ロープの製造は既に行われていたが、係留索や鉱山用ワイヤロープなどに使用されていたワイヤロープにおいては全てが海外からの輸入(明治16年頃からと言われている)に頼っていた。

そんな状況下で我が国唯一の繊維ロープの製造メーカーであった東京製綱は鋼索事業への進出を模索していた。社内ではワイヤロープ事業への進出推進を唱える者(山田昌邦)、時期尚早を唱える者(益田孝)の論争の末、1897年(明治30年)渡部温社長は臨時株

主総会を開催し、ワイヤロープ事業への進出を正式に 宣言し、資本金 16 万円の増資を決定した。

## 3.7.2 東京製綱のワイヤロープ製造への進出

当時の国内では、原料である線材・製造設備・製造 技術等が何一つない"ゼロ"からの出発で全くの開拓 の時代であった。明治30年の臨時株主総会の決議を 受け、東洋で初めてのワイヤロープ工場を東京市深川 区東大工町の工場敷地 13,000m<sup>2</sup> (3,906 坪) において 建設に着手した。設備は全てジャーデン・マジソン 商会を通じてイギリスに注文し、同時にこれら設備の 据付および技術指導のためイギリス人技師2名を招い た。深川工場の陣容は、逓信省を退官した藤倉身達が 初代深川工場長となり、工員300名であった。工員の 一部は麻布の本社工場から麻綱工が移されたが、工員 の大部分は素人工であった。イギリスに発注した設備 は翌年(明治31年)には順次工場に到着し、イギリ ス人技師も6月には着任し、同年10月には早くも操 業を開始した。当時の時事新報にだした鋼索(ワイヤ ロープ)の広告(図3.3)および深川分工場とその内 部の写真(図3.4)である。



明治31年8月10日付「時事新報」への広告

図 3.3 時事新報 3)

## 3.7.3 製造技術の確立

わが国の製鉄業は、大島高任が釜石大橋地区で洋式 高炉を創設し、1857年(安政4年)12月1日に火入 れ初出銑を行った。これを記念して12月1日が「鉄 の記念日」と定められている。

ワイヤロープの主要原料は線材であるが、1897年 (明治30年) 頃は陸海軍の工廠で小規模の坩堝鋼を製造している程度であり、鉄鋼一貫製鉄法をめざした官営八幡製鐵所の第1高炉火入れが1901年(明治34年)で鋼材ができ始めたのが明治37年であることからも、線材はもちろん全部を輸入に頼っていた。

設備も全てを輸入に頼り、しかも国内に誰一人として経験者がいない状況にもかかわらず、工場建設は予想外に早く進み操業開始にこぎつけた。しかし、ワイヤロープの生産および販売が軌道に乗るまでにはそうとうな苦難と時間を要した。頼みの綱のイギリス人技師は機械屋でワイヤロープ製造に関する知識と経験をもたなかったので、輸入されたワイヤロープを見本に苦心惨憺したようである。当初、線材はイギリスから輸入していたが、スウェーデン材でないと無理であることが判りスウェーデン材に切替えたり、焼入れ炉を20フィートから50フィートに改造するなどの努力をした。

1902 年(明治 35 年)には横須賀海軍造船所で、東京製網製造のワイヤロープを試験し、その結果イギリスの最上級品に比べても遜色ない旨の証明書を得ることができた。操業開始から5年の開発期間を経て海外メーカーに並ぶ技術を確立できた。

また、ワイヤロープの使用に必須のワイヤロープ用 グリースが1905年(明治38年)に小林久吉商店(後 の八弘鉱油)により開発された。

## 3.7.4 国内に於けるワイヤロープの評価

1907年(明治 40年)東京上野で東京勧業博覧会が開催され、東京製綱が出品した製品が最高名誉の金牌を獲得した。そのとき授与された賞状には、「創業以来二十年間、鋭意設備ノ整頓ニ力メ、各種ノ綱及鋼索ヲ製造シ、内外ノ需要ヲ充タセリ。其品質均一ニシテ、試験ノ結果佳良ナルヲ確認ス。其功允ニ賞スベン」と記してある。





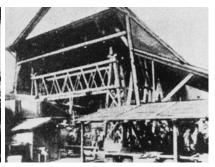


図 3.4 深川分工場とその内部写真 4)

# 【引用,参考文献】

- 1) 「東京製綱 100 年史」東京製綱株式会社 1989 年
- 2) 「東京製綱 100 年史」東京製綱株式会社 1989 年 p40
- 3) 「東京製綱 100 年史」東京製綱株式会社 1989 年 p73
- 4) 「東京製網 100 年史」東京製網株式会社 1989 年 まえがき & p74

# 4 第二次世界大戦までの発展

# 4.1 小倉(分)工場の新設

東京製綱は北九州の小倉にワイヤロープ製造工場を 建設し、1908年(明治41年)に操業を開始した。工 場建設の狙いは、小倉の背後に位置する筑豊炭鉱地帯 で消費される大量のワイヤロープを供給することに あった。また、小倉は玄界灘に面し大陸とも近く将来 の大陸進出への橋頭堡にならんというものであった。 工場用地は企救郡足立村大字砂津(現在;小倉北区高 浜1-3-1)で、万葉集に「とよくにの、岐久の浜辺の、 まなごつちまなほにしあらば、如何で嘆かむ」と詠ま れ、風光明媚をもって知られ由緒深い土地であった。 工場建坪は1.725坪で、焼入れ工場、線洗場、乾燥室、 鍍金工場、製線工場、製綱工場、試験室、心綱貯蔵室、 修繕工場、原料倉庫、製品倉庫及び事務所などがあっ た。製綱機械一式や汽鑵などイギリス製で、伸線機の 動力は蒸気汽鑵であった。工場長が池永雅之助、従業 員 111 名、月産 40t (炭鉱向け 70%、海軍向け 30%) 体制でスタートした。

線材は、八幡製鐵所が前年から生産を始めて製作した八幡線材を当初使用しようとしたが、材質が十分でなくスウェーデン材に切り替えることで順調に滑り出した。



建設当時の小倉工場全景



小倉工場の二〇〇トン試験機(明治四十二年当時)

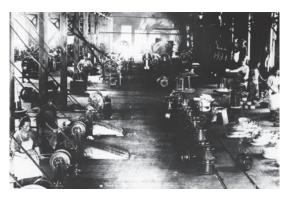


図 4.1 明治 42 年当時の小倉工場 1)

# 4.2 三井万田坑巻綱に国産ワイヤロープ採用

炭鉱には全て輸入ワイヤロープが使われていたが、パテンティング炉その他の設備を改善しつつ品質の向上に努めた結果、日露戦争後からは少しではあるが国産のワイヤロープにも目を向けるようになってきた。そんな中、1910年(明治43年)小倉工場で製造した周4インチ半(直径36mm)のラング撚りワイヤロープが三井万田坑巻綱に採用された。このできごとは、輸入品に国産品が取って替わる始まりといえた。

# 4.3 英国ロイド協会の認定工場に指定

1914年(大正3年)東京製網の深川工場がイギリスの権威あるロイド協会から認定工場に指定された。これはワイヤロープ製造の技術および品質の優秀性が認められたということで、名実共に世界の技術レベルに到達したことを示すできごとであった。

この年、東京製綱はロシアから 0.31mm (30 番線) の極細鋼線 100t を受注するというできごともあった。 ワイヤロープの主要技術である伸線技術が海外から評価された証といえよう。

# 4.4 我が国初めてのケーブルカーが誕生

1917年(大正6年)に生駒山に我が国最初のケーブルカーが架設された。東京製綱は大正元年にイギリスからフラット形ロープの製造可能な設備を輸入し試作を始めていたが、このとき受注には至らず、ラッチ社製のフラット形ワイヤロープが採用された。

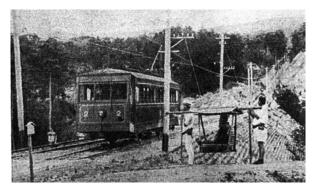


図 4.2 開設当時の生駒山ケーブルカー 2)

# 4.5 ワイヤロープ製造メーカの誕生

1898年(明治31年)東京製綱がワイヤロープの生産を開始し、1911年(明治44年)には横浜製綱(後に東京製綱と合併)の操業で2社体制となり、1918年(大正7年)には東洋製綱(後に、東京製綱と合併)、関西製綱(現テザックワイヤロープ)の4社体制であった。

第一次大戦が終戦を迎えると産業界は長い不況に突入し、ワイヤロープ業界も製造、販売に競争の時代を迎えた。しかし、この戦後不況を脱すると基幹産業や軍需産業が活況に向かい、ワイヤロープの需要も拡大に向かった。この頃になると、特殊ワイヤロープを除いた一般ワイヤロープ(6×7、6×19、6×24)の製造技術も普及し、1932年(昭和7年)には西田製綱所、1933年には朝日製綱所(後に神鋼鋼線工業と合併)、泉州製綱所、嘉田製綱所などが次々に設立され、ワイヤロープ産業が我が国に根付いていった。大正末期から第二次大戦終結までの20年間は、国内ワイヤロープ業界にとって大きな変革の時代で、製品や製造方法に数々の改良・発明がなされ、品質の向上が大いになされた時期でもある。

# 4.6 製造技術の進展

ワイヤロープを製造する主要な工程は、①硬鋼線を加熱冷却し金属組織を整える工程(パテンティング工程)、②鋼線表面の酸化物を除去する工程(洗線工程)、 ③鋼線を冷間伸線し鋼線の引っ張り強度を高める工程(伸線工程)、④鋼線の防食を必要とする場合は、鋼線表面を鍍金する工程(鍍金工程)、⑤鋼線を束ねる乃至撚り合せる工程(撚り線工程)の5工程である。

これら工程を自力で試行錯誤を繰り返しながら改 良・発明がなされ、海外に劣らない技術レベルに到達 していく時代であった。その頃の困難さを西岡<sup>31</sup>は、 「私が1925年(大正14年)東北大学において鋼索の研究を始め、1929年(昭和4年)その製造実務に当っていちばん困ったことは、鋼索の製造に関する文献の少ないことであった。・・・・海外においても綴った著書は見当たらない現状である。・・・・鋼索製造に関してはその製造技術が今日でもなお各国において秘められているのが主因であると思う。戦後わが国においても鋼索に関する研究は盛んになり・・・」と記している。

この困難な時代になされたワイヤロープを製造する に必要な改良・発明技術を紹介する

## 4.6.1 線材の熱処理技術 (パテンティング)

パテンティングという技術は、1854年(安政元年) にイギリスのホースフォル(James Horsfall)が発明 し特許を取得した高炭素鋼の熱処理法であり、この技 術は画期的な技術であったために、以来この熱処理は パテンティングといわれるようになった。

### 1) パテンティング (パテンチング) の定義

JIS においては、パテンチング(Patenting)は、オーステナイト  $\{1$  種以上の元素を含む  $\gamma$  鉄(911  $\mathbb C$  ~ 1392  $\mathbb C$  までの温度範囲での純鉄の安定な状態)固溶体  $\{1\}$  化後、引き続き行われる線引き又は圧延に適した組織を得るために、適切な条件下で冷却する熱処理と定義されている。なお、焼入れ(Quenching)は金属製品を所定の高温状態から急冷する処理、焼なまし(Annealing)は金属の機械的性質を変化させ、残留応力の除去、硬さの低減、延性の向上、被削性の向上、冷間加工性の改善、結晶組織の調整、ガスその他不純物の放出、化学組織の均一化などを行うための処理とそれぞれ定義されている。

#### 2) パテンティング技術の発明と語源

1952 年「THE WIRE ASSOCIATION」 発 行 の「STEEL WIRE IN AMERICA」<sup>4)</sup>によれば、次のように書かれている。

[Annealing is as old as metal working but the patenting of wire is something of our own times, that is, there may be some old wireman dozing in his wheel chair somewhere who was living when patenting was first conceived. It was in 1854 that James Horsfall of Hay Mills, Birmiingham, England, was granted a patent for a process to manufacture wire for pianos and musical instruments. The wire

was marketed as "Newly Invented Patent Steel Music wire" and the word patent has clung to the process ever since. A couple of years later Horsfall took another patent for rope and general wire and called the product "Patent Crucible Steel Wire." That word crucible means now a certain grade of rope wire .......

又、2010年の日本塑性加工学会第 68 回の伸線技術 分科会資料「進化を続けるピアノ線」<sup>5)</sup>にも次のよう に書かれている。

『バーミンガムのホースフォル(James Horsfall)は高炭素鋼の熱処理法に関する特許をヴィクトリア女王に申請した(1854年)。これが高炭素鋼特有の熱処理法であるパテンティングの起源である。……「ホースフォルの特許」はパテンティングという言葉が現代に至るまで技術用語として残るほど衝撃的であった。』

#### 3) パテンティング処理

ワイヤロープに使用する素線(鋼線)は、炭素含有量が 0.6%の線材をパテンティングして使用していた。当時の加熱炉はマッフル式と呼ばれ、線材は煉瓦製のチューブの中を通り、線材と燃焼炎(ガス)とは直接触れない構造になっていた。線材を加熱炉に通しオーステナイト<sup>®</sup>領域の 900℃~ 1000℃に加熱後、冷却媒体(一般的には鉛)中で恒温変態され、微細パーライト(ソルバイト<sup>®</sup>)組織を得る。この組織は、パーライト<sup>®</sup>組織の中でセメンタイトの微細化した組織で、本質的にはパーライト組織と同様であるが、パーライト組織に比べセメンタイト層状間隔は狭く、組織全体が細かく均一で伸線加工性がよく、さらに伸線加工により強度、じん性ともに優れた繊維状組織となる。図 4.3 は鉄・炭素平衡状態図、図 4.4 は鉛パテンティングの際生じる恒温変態線図を示す。

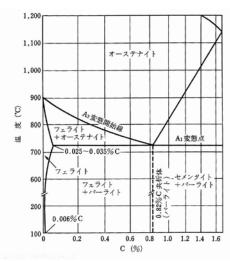


図 4.3 鉄 - 炭素平衡状態図

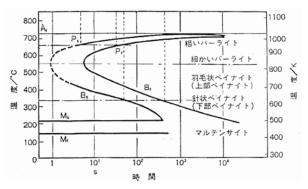


図 4.4 恒温変態線図

図 4.4 は TTT 曲線 (time temperature transformation diagram) とも言われるもので、パーライト組織の変 態開始線は Ps、変態終了線は Pt、ベイナイト<sup>©</sup>組織の 変態開始線は Bs、変態終了線は Bt、マルテンサイト の変態開始温度は M。、変態終了温度は M<sub>t</sub> を表わし ている。パーライト組織の変態を開始するまでの時間 は、A<sub>1</sub>点直下では非常に長いが、温度が下がるとと もに短くなり、550℃付近で最も短くなる。A<sub>1</sub>点以下 550℃までの温度で変態させると、セメンタイトとフェ ライトが交互にラメラー状 (層状) に析出したパーラ イト組織となる。その中でも比較的高い温度領域での 変態は粗いパーライトであるが、変態時の温度が下が るにつれて細かいパーライト組織になる。以下 350℃ 位までの領域で変態させると羽毛状ベイナイト(上部 ベイナイト) に、350℃~220℃位の領域では針状ベ イナイト (下部ベイナイト) に、220℃以下ではマル テンサイトと呼ぶ非常に硬い組織に変態する。

注) イ, ロ, ハ, ニの用語については、参考資料の 9.2.2 を参照

## 4.6.2 伸線技術(ダイス)

ワイヤロープの強度レベルは線引き工程での素線の 冷間引き抜き加工により決まってくるが、この工程で 最も重要な工具がダイスである。

当時は叩きダイス(叩きバンともいう)といわれるものが使われていた。石垣進の「泉南地域における伸線技術の展開:叩きバンの技術について」<sup>6)</sup>によると、①ダイス(鋼)の台(6 面体)を鍛冶屋で製作する。赤くなるまで熱してポンチ(孔の形を作る工具で当時としては高価な高速度鋼を用いていた)で下孔まで打ち抜く。②焼鈍しは、赤く熱して(1,000℃)藁灰の中に入れて除冷する。③バックリリーフを面取りする。④裏面の下孔をハンマで孔周辺から渦巻状に叩きながら締めていく。⑤ライス(きり)で孔径を修正し、真円に近づけ、孔の仕上がり寸法を確定する。⑥表面からアプローチ部とベアリング部の境目にポンチ

を入れ、丸みをもたせる。⑦ゲージで孔の大きさを確認する。以上が叩きダイスを仕上げる大まかな工程である。

これらの作業はワイヤロープ製造工程で最も熟練を要するものであり、その出来不出来で品質および生産性を大きく左右した。特に 0.3mm 位の鋼線を伸線するダイス孔型作りはまさに神業で、ごく一部の熟練者しか出来なかった。親方にでもなれば、そのノウハウをかわれ相当高額の賃金を得ていた。図 4.5 は現在東京製綱に保管されている叩きダイス、図 4.6 は当時の叩きダイスと工具である。

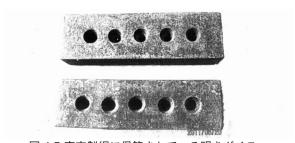


図 4.5 東京製綱に保管されている叩きダイス 大きさ(概略) W 55mm×L 180mm×H 40mm



図 4.6 叩きダイスと工具 7)

## 4.6.3 製綱技術

(1) フラット形ロープ (Flattened Strand Rope) フラット形ロープ (ストランドの断面が三角状のロープ, flattened strand rope) の考案は比較的早く、1888年 (明治 21年) にドイツのラッチ・バチェラ会社が考案し製造している。

明治 40 年代に東京製綱はイギリス等ですでに実用 化されていたフラット形ロープの研究に着手したが、 当時のワイヤロープは新興工業で製造技術は殆んど公 開されることはなかったので、輸入していたフラット 形ロープを見本に独力で研究をしていた。1912 年(大 正元年) イギリスからフラット形ロープも製作可能な 製綱機およびストランダーを購入し、機械の改造や新 たに工具を開発して試作を重ね、1915 年(大正4年)

頃やっと製品ができるようになった。ストランドの心 の素線は断面が△形状であるが、当初正三角形で角を 立て原料も 0.80%C 硬鋼線材を使用していたが巧くい かず、試行錯誤の末△形状の角に丸みを付け、原料 も 0.40%C 硬鋼線材を使うことで成功した。また、ス トランドは心の△形状に沿うように外層に丸素線が撚 られ、ストランドの断面も△形状になっている。その ため、6本のストランドのフラットの面をロープ心の 外側に正しく並ぶように撚り込むにはイギリスから 輸入した製綱機の改造を必要とした。 国産のフラッ ト形ロープ1号は何処へ納品されたか記録はないが、 我が国で初めて架設されたケーブルカー第1号の生 駒山ケーブル1号線(大正7年8月開通)に、△心 フラット形ロープ $6 \times F$  ( $\triangle + 7$ ) (図4.7)、ロープ 径 30mm、ロープ長さ 1,106m が採用された。その後、 丸い素線を三角形状により合わせた丸線三角心入り、 例えば、6×F {(3×2+3) +7} {参考資料 9.2.1 (3) 参照 のようなフラット形ロープが製作出来るように なり、耐疲労性が良いことからこの方が多く使用され るようになった。

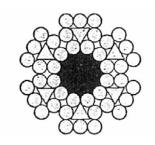


図 4.7 6 × F (△+7) の断面図

## (2) 平行よりワイヤロープ

平行よりワイヤロープは 1890 年(明治 23 年)ごろに相前後して フィラー形、シール形、ウォーリントン形が発明された。1927 年(昭和 2 年)に東京製網は石油さく井用ワイヤロープおよびエレベータ用ワイヤロープとして 6 × S (19) を製作している。それまでは、国産エレベータでは国産の一般用ワイヤロープが利用されていたと考えられる。6 × S (19) は、1本の心素線に1層目に9本の細い素線を、2層目に9本の素線を配し同一ピッチで撚り込み、ストランドを作る。ストランドは隣り合う素線同士が長手方向に線接触している。次に繊維心の周囲に6本のストランドを配するようにより込み図 4.8 に示す(断面)ワイヤロープを完成させる。

平行よりワイヤロープがわが国で正式の規格に取り 入れられたのは、1933 年(昭和8年)の日本標準規格 JES281 号にさく井用として6×S(19)、1973 年にエ レベータ用として6×W(19)が取り上げられている。

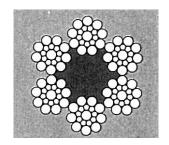


図 4.8 6 × S (19) の断面図

# (3) 不反発ワイヤロープ製造機(シノサイ式不反発 ワイヤロープ製造法)

不反発撚りワイヤロープの特長は反復屈曲に対する 疲労が少なく寿命が長いことである。他にも切断して もバラケない、柔軟で扱いやすい、キンク(形くずれ の1種で、ロープがねじりと弛みを同時に受け、ロー プがもつれた状態をいう)を生じにくいなどの利点が ある。この製造方法は1898年(明治31年)に海外で 発明されたといわれているが、わが国ではまったくの 未知の技術であった。

東京製綱は 1927 年(昭和 2 年)頃から 「トルー・レイ」 と呼ばれる一種の不反発ロープの開発に着手し、1930 年(昭和5年)に「不反発ワイヤロープの製造方法」、 1931年(昭和6年)に「不反発ワイヤロープ製造機」 の特許を得た。この製造方法は発明者の篠崎亦一郎、 佐藤徳三、飯村志郎 3 氏の功労をたたえてその頭文字 をとり「シノサイ式」と名づけられた。

この技術は、従来の撚り線機の鏡板(素線又はスト ランドをより合わせるとき、それらが所定の配列にな るようにガイドするための治具)とボイス(ストラン ド又はロープを一定の形に締め付けるため、より口に 取り付ける道具で、ラッパ形状を半割にしたみぞをも つ治具)との間にさらに鏡板を設け、一旦撚り込んだ ものを解撚し再度撚り込むものであった。一旦ロープ に撚り込んだストランドを解撚するとストランドにラ セン状の形がつき、5章ワイヤロープの形付けの項に 記載するような効果がある。設備は工場に設置されて いた撚り線機を改造したものである。1932年(昭和7 年)第4回発明博覧会で大賞(最高賞)を獲得、1935 年(昭和10年)に帝国発明協会においてシノサイ式 撚合機械装置その他に対し優秀卓抜のものとして表彰 状が授与されている。図 4.9 は特許公報、図 4.10 は公 報添付の図面を示す。図 4.10 において、16 が一旦撚 り込んだ部分で、11.12の箇所が解撚している部分で ある。

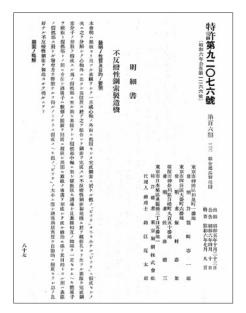


図 4.9 特許公報

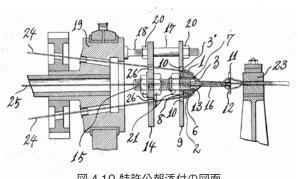


図 4.10 特許公報添付の図面

### (4) 非自転性・平ストランドロープ

関東大震災が発生した1923年(大正12年)頃までは、 炭鉱の立抗用ワイヤロープやドレッジャー (浚渫船) 用・クレーン巻上げ用等のワイヤロープは、機械本体 と共に設備の一部として全て輸入品でまかなわれてい た。関東大震災を境にして重工業のきざしがみえ、ク レーン類の使用が増加していた。大震災の翌年、内務 省横浜土木出張所の震災復旧護岸工事用ドレッジャー に使用する取替えワイヤロープに、一般的に使用され ていた東京製綱のヘルクレスロープを用いたところ問 題が生じた。ヘルクレスロープの内層が飛び出しやす く使用する上では取扱いが面倒であった。しかも、非 自転(負荷時に回転しない)の程度も十分とは言いが たかった。そこで、輸入されたドレッジャーに取り付 けられていたワイヤロープを調査したところ、F {A+6  $\times$  19+7 × (2 × 7+12)} という構成の G/O であった。 すなわち、それは、 繊維心の周りにストランド6本 (素線19本をより合わせたもの)をより合わせ、最上 層に図 4.12 に示すフラット形のストランド(7 本の素 線をより合わせたストランドを2本並べ、その周囲に

12本の素線をフラット状により合わせたもの)を 7本よりあわせたロープで、ロープ径 44mm であった。このワイヤロープの作り方を関係者で研究し、いろいろ工夫をしたが、全く同じものは製網機の関係で作ることが出来ず、図 4.13 に示すような最上層のストランド (7本の素線をより合わせたストランドを 2本並べ、その周囲に 15本の素線をフラット状により合わせたもの)は 6本で製作し、ロープをドレッジャーに取り付け使用したところ、輸入ロープと全く同様な成績をあげることができた。これが、我が国における非自転性平ストランドロープの実用品第1号であった。

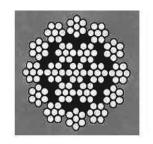


図 4.11 ヘルクレスロープ

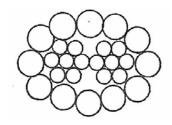
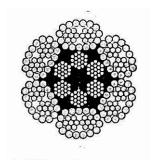


図 4.12 最上層ストランドの図 8)



七本燃二本心15本線6 撚 中心19本線6 撚入 フラットンド ストランドロープ

図 4.13 東京製綱カタログ(昭和7年版)

炭鉱の立坑掘削用ワイヤロープも全て輸入品に頼っていたが、1932 年(昭和7年)に古河鉱業好間鉱業所が始めて国産の平ストランドロープを使用した。同坑ではヘルクレスロープを使用していたが、ワイヤロープの回転に起因する事故があったため、回転しな

いワイヤロープの製作要請が東京製綱にあった。東京 製綱では過去の平ストランド製作の経験を生かし、当 時外国で立坑掘削用に使用されていた、構成が A+4 × F (10) +6 × F (10) の平ストランドロープ (10 本の素線をフラットにより合わせたストランドを、繊 継心のまわりに下層に 4本、上層に 6本より合わせた ロープでシンキングロープという, 図 4.14) を納品し 使用したところ良好な成績を収めた。その後、1933 年(昭和8年)には大阪駅建設の基礎工事用にも同構 成のものが採用され、明治の初めから輸入ワイヤロー プに頼っていた立坑用等のワイヤロープは逐次国産品 が使われるようになった。

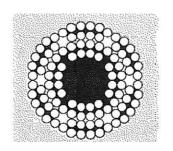


図 4.14 シンキングロープ

戦争の進行とともにワイヤロープの輸入も難しくなり、輸入に頼っていた立坑巻上用ワイヤロープも国内で生産する必要が生じ、平ストランドロープの経験が多い東京製綱がこれを担当した。当時我が国最大の立坑であった三井三池の四ツ山立坑に、1942年(昭和17年)、コンセントリックロープ(図4.15に示すように丸い素線195本をよりあわせ、その上に10本の素線をフラットにより合わせたストランドを8本より合わせたもの)ロープ径60mm長さ490m2丸(巻)を納入した。このワイヤロープは破断強度が大きく、非自転性の程度も良好で耐摩耗性にも優れている。このことで、非自転性の平ストランドロープの各種構造の一応の開発が終了した。

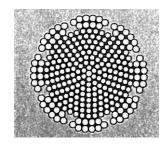


図 4.15 コンセントリックロープ

### (5) フラットロープ (Flat rope)

明治時代後半期に九州筑豊炭田からスタートした我 が国炭鉱界は北海道石狩炭田、東北常磐炭田へと発展 し、昭和初期には出炭量が年間3,000万 tを超えるま でになっていた。この時期、鉱山業界は機械化と合理 化の時代を迎え、立坑掘削、立坑及び斜坑の巻上げ等々 にワイヤロープの需要が急増していた。その中で立坑 巻上げ方式の一つにケーペ式があった。これは、1877 年にハンノファー坑の技師長ケーペ (Carl Friedrich Koepe ) が考案したもので、モーターにより動かさ れる滑車(ドライビングシーブ)にワイヤロープを釣 瓶式にかけ、滑車の溝とワイヤロープとの摩擦によっ て荷を巻上げる方法で、この場合、図4.16のように 両ケージの下部にバランスロープを吊下げて荷重が平 衡になるようにしていた。このバランスロープには、 巻上げ用ロープ(図では巻き綱)と同じものが使用さ れていたが、回転の問題から、図 4.17 のようなフラッ トロープの製造技術を研究し、使用されるようになっ た。このロープの最大の特長は回転しないことにある。

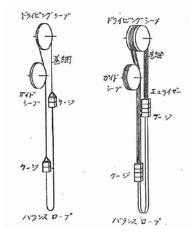


図 4.16 ケープ式巻上 9)



図 4.17 フラットロープ

このワイヤロープの作り方は、シェンケルという 4本のストランドをSより(よりの方向がS字形に みえる)又はZより(よりの方向がZ字形にみえる) により合わせたロープを交互に平行に並べて1組と し、その数組をさらに並べて横から編みワイヤまたは 編みストランドでシングル、または、ダブルに縫って 帯状に編み上げたものである。この場合、シェンケル の構成は、(1+6)の7本より、(繊維心+5+11)の16 本より等が用いられ、編みやすくするため、よりの長 さはロープ径の 16 ~ 20 倍にされる。

炭鉱が衰退するとその使用量も減少し、近年は殆ん ど生産されていない。

#### (6) ロックドコイルロープ

ロックドコイルロープとは、丸い素線を何層かより合わせた上に、T字形の素線やZ字形の素線をより合わせたロープである。

## ①ロックドコイルロープの特長

- イ.ロープ表面に凹凸がなく、シーブ、ドラムの外 部面との接触面積が非常に多く、ロープ、シー ブともに摩耗が少ない。
- ロ.各層が互いに反対方向に撚られているので自転 に対する抵抗が大きい。
- ハ.有効断面積(素線密度)が大きくなるので、同 径のワイヤロープに対して強度が高い。
- ニ.伸びが少ない。
- ホ.外層の緊密な結合のため水分が内部に入り難 く、内部腐食が発生し難い。

### ②海外の開発

1884年 (明治 17年) にドイツのラッチ・バチュラー (Latch & Batchelor) が、ロックドコイルロープの特許を取得して製造したとの記録があるが、それがどのような構造であったかは不明である。現在の形に近いロックドコイルロープ (Locked coil rope) の製造は、1891年 (明治 24年) にドイツ T. & W.Smith 会社のバルマー (Bulmer) がロックドコイルロープ用製網機を考案してから以降のことである。

## ③日本でのロックドコイルロープの製作

藤倉見達(後の東京製綱深川工場長)が逓信省時代の1892年(明治25年)に渡欧の際、ドイツから図4.18のようなロックドコイルロープの見本を持ち帰ったようである。



図 4.18 ドイツから持ち帰ったロックドコイルロープ 10)

東京製綱は大正 10 年代にはロックドコイルロープ の研究に着手し、深川工場の川野貴一が 12 本やすり という各種やすりを使用してダイスを作り、大正 12 年7月初めてロックドコイルロープ用(Z)素線(素線の断面図:図4.19)の試作に成功した。

しかし、その後の関東大震災(1923年,大正12年9月)で素線およびダイスその他工具類は焼失した。



図 4.19 試作したロックドコイルロープの素線 11)

1935年(昭和10年)、日立鉱山の鈴木所長から「複 線式索道にはロックドコイルロープが最適であるが、 国産品がなくて困っている。ぜひ東京製綱で研究して もらいたい」という話が直接の動機となり本格的な 研究開発に着手した。以前、ロックドコイル用 (Z) 素線の製作経験があるとはいえ、長さ500mの素線 を叩きダイスで伸線するとなると容易ではなかった。 500m に近づくにつれダイスが摩耗して線径が徐々に 太くなり、そのままロープを撚っていくと、ロープの 終わり近くになると素線が浮き上がるなどの現象が発 生した。また、機械にかかっている間はいかにもロー プのように見えたけれども、ロープの一端を切断した とたん、撚りが戻ってバラバラになってしまったりし た。当時の技術者が後年語ったところによると、「撚 り作業中はハンマーで叩き、その時の音で密着度を確 かめながら作業をした」というように苦心惨憺たるも のだったと東京製綱百年史に記してある。

1942年(昭和17年)東京製綱川崎工場で国産第1号となるロックドコイルロープが誕生し、日立鉱山の複線式索道主索に使用された。(それまではドイツから輸入したロックドコイルロープが用いられていた。)ロープの仕様は、B形、ロープ直径38mm、ロープの長さ516m、数量1丸(巻)、破断強度103t、重量3,932kgであった。なお、複線式索道(bicable rope way)とは、2本以上のワイヤロープを用い、支索とえい索として使用されているものである。

日立鉱山での使用結果は、従来使用していたドイツ 製を上回る評価であった。

異形線 (Z線、T線)の伸線や撚り線の際に特別な技術および装置を要し、ロープの取扱いが適当でないと線の浮きが生じるなどの欠点があり、限られたメーカー (東京製綱)が製造するに留まっていた。戦後に発行された、東京製綱の昭和24年(1949年)版カタログに普及品としてのA形、B形、C形のロックド

コイルロープ (図 4.20) が登場している。A 型は最上層の素線が丸線と異形線、B 型は最上層の素線が異形線 (Z 線) で、C 型は最上層の素線が異形線 (Z 線) で、その下層も素線が異形線 (T 線) になっている。

戦後その研究も進み、本格的に製造されるように なったのは昭和30年代前半からであった。



図 4.20 東京製綱の昭和 24 年版カタログの一部

#### (7) 軍需用製品

日露戦争、第一次世界大戦という国情を反映し、東京製綱は軍、とりわけ海軍からの受注は大きな比重を占めていた。中には特定兵器用として、防潜網(敵の魚雷や潜水艦が要塞地帯へ侵入するのを防ぐ兵器)、掃海具{パラペン(機雷防御機)を曳航するロープで、敵が仕掛けた機雷索をひっかけて切断する兵器}、阻塞気球用係留索(500~1000mの長さのロープを陸上や艦船につなぎ、敵機の侵入を防ぐ)等々があった。

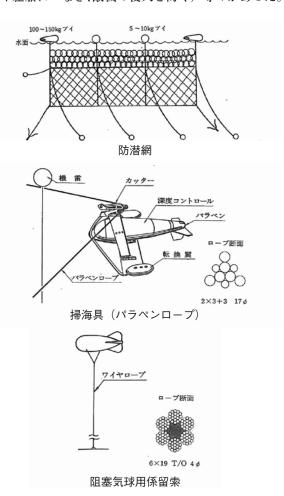


図 4.21 特定兵器の例 <sup>12)</sup>

一方、東京製綱の小倉工場ではガンワイヤの製造を 行った。

軍艦の主砲は、重量を軽くするため砲身の肉厚を出来るだけ薄くするが、口径が大きくなり使用する火薬の量が増大するにつれ砲身が裂けてしまうようになったので、強度補強のために砲身に平らな鋼線を巻きつけるようになり、それがガンワイヤでアメリカ、イギリス、ドイツ等の先進国では行われていた。日本でガンワイヤを最初に製作したのは、東京製網70年史によれば1918年(大正7年)である。

又、『戦艦「大和」の建造 <sup>13)</sup> 』によれば、「海軍は、大正 9 年(1920)、ひと回り大きい 48cm 砲を一門造って試射したことがある。呉海軍工廠の砲熕部で試作したもので、亀ヶ首実験場で実際に射って成功している。 48cm 砲が造れたのだから、46cm 砲が造れぬわけはない。能力も設備も呉海軍工廠にはある——艦政本部第一部では自信を持っていた。」と記載されており、この 48cm 砲に小倉工場で製作したガンワイヤが使用されたものと推測される。

ガンワイヤは、幅 6.35mm (1/4 吋)、厚さ 1.5mm (1/16 吋) で、1860N/mm<sup>2</sup> (190kgf//mm<sup>2</sup>) 以上の強度が必要であった。製造工程は東京製綱百年史によると次のようになっている。

① 0.8% C 径 13mm の線材を 1 東 100kg になるように電気溶接→熱処理→洗線(硫酸槽)→水洗い→中和(石灰液槽)→乾燥、②圧延(楕円形)、③ ①の熱処理以降の工程、④伸線(叩きダイスにより扁平楕円形状に)、⑤ ①の熱処理以降の工程、⑥伸線(7回の加工で扁平楕円形→長方形)、⑦直線機をとおして矯正し 1 巻 80kgの重量に巻き取る。(長さは 1140m)

当時各国をつうじ大砲の口径すなわち弾丸の直径は 40cm (16 吋) が最大であったが、戦艦大和は 46cm (18 时) に決定された。上記の『 戦艦「大和」の建造 <sup>14)</sup> 』 によれば、『大正12年(1923) スウェーデンから輸入 し神戸製鋼が開発した KPR (コゥベ・ピアノ・ロッド) を使用して、昭和10年(1935)から海軍の指導で本 格製造に入り、46cm 砲に使われた。当時、東京製網 小倉工場は製造設備を拡張し量産体制に入っていた。 砲熕部からは定期的に係員を出張させて監督させてい た。昭和十年代としては最高の品質を作っていた。一 日の製造量は 1.6 トン (80 キロ× 20 巻)。全長 20.70m の内筒に砲尾部部分が加わるから、22mの巨大な砲 長であり、これにガンワイヤを24重に巻き付けるの だから、380km (26.7t) にもなった。このガンワイヤ を巻きつけた砲身を予め加熱した外側の砲身(筒)に 挿入し焼きばめする。加熱で膨張している外側の砲身

に周囲から冷水を放出し収縮させると、二つの砲身は ぴったりと重なり合い寸分の誤差もなく密着し1本の 砲身になった。その後、内筒を内側に自緊法(オート・ フレタージ法)ではめ、すばらしい強度を保たせるよ うに完成させられる。』と記載されている。

図 4.22 に、東京製綱小倉工場が昭和 16 年に海軍艦 政本部に提出した、ガンワイヤの製造設備増設申請書 を示す。(月産 20t → 50t)

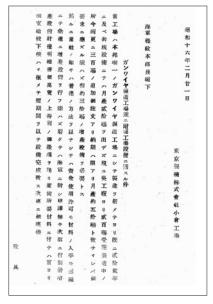


図 4.22 ガンワイヤの増産申請書

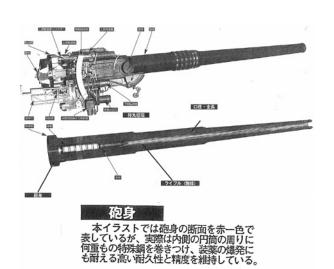


図 4.23 46 糎砲の構造 15)

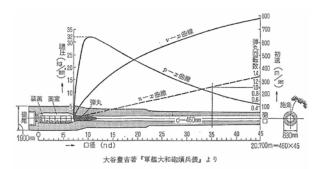
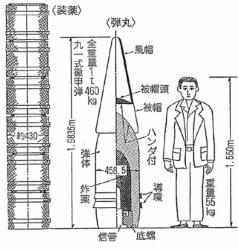


図 4.24 45 口径 46 糎砲 膅内曲線図 16)



大谷豊吉著『軍艦大和砲熕兵装』より

図 4.25 46cm 砲の弾丸 17)

## 【引用,参考文献】

- 1) 東京製綱:「東京製綱 70 年史」 1957 年 p412 & p414 & p416
- 東京製綱:「産業とロープ」創立80周年特集号 1967年 p10
- 3) 西岡多三郎:「鋼索の製造」誠文堂新光社 昭和 29年 まえがき
- 4) 「STEEL WIRE IN AMERICA」THE WIRE ASSOCIATION 1952年 p193
- 5) 落合征雄:「進化を続けるピアノ線」日本塑性加工学会 68 回伸線技術分科会資料 2010.6.25 p1
- 6) 石垣進:「泉南地域における伸線技術の展開: 叩きバンの技術について」大阪府立大學經濟研究.1997,42(4),p147
- 7) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」1989 年 p101
- 8) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」1989 年 p194
- 9) 西岡多三郎:「鋼索とその使用 2 ワイヤロープの 主なる使用設備」 昭和 38 年 p4
- 10) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」1989 年 p241
- 11) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」1989 年 p241
- 12) 東京製網:「東京製網 100 年史」1989 年 p209 & p210
- 13) 御田重宝:『戦艦「大和」の建造』講談社 1988 年 p34
- 14) 御田重宝:『戦艦「大和」の建造』講談社 1988 年 p129
- 15) CG 製作:成瀬京司「豪華本 戦艦大和」双葉社 2007年 p144
- 16) 御田重宝:『戦艦「大和」の建造』講談社 1988 年 p120
- 17) 御田重宝:『戦艦「大和」の建造』講談社 1988 年 p121

# 5 戦後から近代的産業への時代(1960年以前)

# 5.1 焼結(超硬)合金ダイスの開発

ワイヤロープ用素線の製造工程で鋼線を伸線するダイスには、古くから叩きダイス(叩きバン、盤金とも言われた)が使用されていた。しかし、台には Cr または W を含む高炭素鋼が用いられていたが、耐摩耗性が著しく劣るためダイス穴が太るとハンマで平均に叩いて修理しなければならず、ダイスの製作と修理は著しく作業能率を低下させていた。

## (1) 海外における焼結合金ダイスの開発の経緯

米国の状況について「Steel Wire Handbook<sup>1)</sup>」には、『20世紀の初め頃までは、孔が一つ又は図 5.1 のように同じサイズの孔を複数穿った鋳鉄のダイスが使用されていた。一つの孔でスチールの径が 12 ゲージ (2.68 mm) で 100 ポンド (45kg) 以上伸線出来ることはなかった。伸線の速度は、1 分間に 400 フィート (約120m) 以下であった。

伸線作業には熟練を要するので、イギリスやカナダ から高い旅費を支払ってアメリカに作業者を雇い入れ ていた。』と記されている。

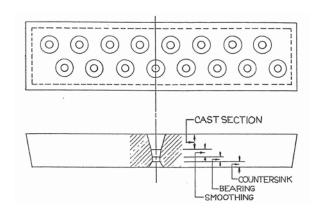


図 5.1 複数の孔を穿った鋳鉄のダイス 1)

欧州ではダイヤモンドダイスが伸線用ダイスとして、1800年代前半頃から使用され始めたようであるが、第一次大戦中、ドイツは伸線ダイス用のダイヤモンドが非常に欠乏し、代替品の開発が種々進められ、1914年~1923年にかけ、ローマン(Lohmann)、ヴェイトランデル(Voightlander)、リーブマン(Liebmann)、レイス(Laise)、バウムハウアー(Baumhauer)およびシュレーテル(Schroter)らに

より、タングステンカーバイトの粉末に結合剤を混ぜ合わせ焼結するという方法が考え出され、焼結合金工具産業の基礎が築かれた。後藤裕明のイゲタロイの歴史<sup>2)</sup>によれば、『超硬合金は、ドイツの電球メーカー、Osramlamp社の Schroterが、特殊鋼製ダイスで電球用のフィラメントの伸線を行うと、ダイス表面に WCが析出して非常に硬くなることを発見したことに起源する』と記されている。

クルップ (Krupp) 社はこれら焼結合金を工業化し 1926 年「ウイデイア」「Widia (Wie Diamant)」とい う商品名で発売した。

## (2) 日本における焼結合金ダイスの開発

我が国での焼結合金は、1929年(昭和4年)前後、住友電線製造所、芝浦製作所、東京電気が研究所を開設し、住友電線製造所は線引きダイスのための超硬合金ダイスに力を注いだ。芝浦製作所と東京電気は切削工具を追及し(後に合併して東芝)「タンガロイ」の商標で製品化した。

上記後藤のイゲタロイの歴史によれば、「住友電線製造所は1927年、クルップ社の超硬合金の情報を入手し、超硬合金に関する研究を開始し、1929年には自家用の伸線ダイスの製造に成功し、1932年には井ゲタハードロイの商品名で発売を始めた」と記されている。

しかし、主に銅線や鉄線を伸線するダイスで、高価である上に硬鋼線の伸線に使用すると割れが発生し使用不可能になることがあった。

東京製綱の経営陣は、叩きダイスを作る腕ききの熟練工が極度に減少し、製品の品質にも影響を及ぼす時代が到来することを察知し、非常に非能率的な叩きダイスにいつまでも依存していてはいけないと考え、すでに戦争のさなかに硬鋼線用の安価な超硬合金ダイスの開発を理想に描いていた。

そうした願望から、終戦前から東京大学教授で粉末 冶金学の権威、志村繁隆博士と嘱託契約を結んでいた。 1945年(昭和20年)、川崎工場は戦災による焼跡の 整理や損傷機械の修理など復旧作業に追われたが、翌 年の1946年(昭和21年)3月、東大に対し正式に超 硬合金ダイス自家製造の研究を委託した。

東大はその7月に志村教授指導の下に大学院研究生 ら3名を配し、東京製綱からは4名の技術者を派遣し て直ちに超硬合金ダイスの研究に入り、翌年10月に

は第1回試作品が完成した。その後も試作、テスト、 研究を重ね、苦闘の末、1949年(昭和24年)8月に 目的とした性能をもち、経済的に自給しうる超硬合金 ダイスを開発した。

そして、同年9月、建坪32坪という実験室のよう なものであったが、ダイス研究工場を建設(改造)し て超硬合金ダイスの自社製造を開始し、又、ダイスの 再生研磨も行うようにした。1951年(昭和26年)に は軌道にのったので、研磨設備を整備拡充のため研究 工場を64坪に拡張し、叩きダイスを全面的に超硬合 金ダイスに切り替えた。

又、前記後藤のイゲタロイの歴史によれば、「住友 電線製造所も 1953 年 (昭和 28 年) オーストリアの有 力な超硬合金メーカーであった MP 社(Metalwerk Plansee) と技術提携を行い、……1959年から商品名 は現在使用されているイゲタロイ® になった」と記 されている。おそらく、この技術提携により合金ダイ スの性能も大きく向上したものと推察される。

石垣進の「泉南地域における金属加工業の生成と 展開3)」によると、「第二次世界大戦中開発された超 硬合金ダイスが広がりを見せるのは、昭和 30(1955) 年代後半であった。」と記されている。

焼結合金ダイスの他に、天然ダイヤモンドダイス及 び焼結ダイヤモンドダイス(人工ダイヤモンドの細粒 をコバルトで焼結したもの)があり、何れも硬く、耐 摩耗性も大きいので高価ではあるが、細い鋼線で寸法 の精度や均一性を要求される場合や、高速化が要求さ れる極細線の製造に使用される。

## (3) 超硬合金ダイスの製造方法と性能

製造方法は粉末状タングステンカーバイトと粉末の コバルトを特別な比率で混合する。混合した粉末を所 要とする形状にプレスし、加熱して白墨程度の密度の ニブをつくる。これを、真空または水素雰囲気中にて 通常 1.350 ~ 1.500℃ の温度で焼結すると、ニブは 15 ~ 20%収縮し、所期の密度、硬度、靭性、均一性が 得られる。焼結後、研磨して平滑な表面と正確な寸法 に仕上げる。

硬さは HRA 90 前後でダイヤモンドに次ぎ、800℃ でも硬さの低下が少ない。すなわち耐摩耗性が非常に 高いため製品の寸法精度が良く、仕上げ面も美しい。

「引き抜き用超硬合金ダイスについて<sup>4)</sup>」で鈴木は、 次のように記されている。『超硬合金のじん性は、図5.2 に示すように結合材量の増加とともに、実用合金の組 成範囲内では確実に増加することが知られている。し かし、結合材量を一定とすれば、硬質相のかたさ、強 さ、粒度、粒度分布、形状、結合材の分布と層の厚さ、 結合材中の不純物と組成、硬質相と結合材間の接着強 度、その他合金中の残留応力、表面および内部の欠陥 などにより、広く影響される。

換言すれば、合金の強じん性は、原料粉末の性質、 合金の製造工程、焼結条件などにより、またそれら のわずかな相違により、左右されることを示すもの である。さらにいえば、所望の性質を示す超硬合金 の製造が、いかにむずかしいものであるかを示すに 外ならない。』

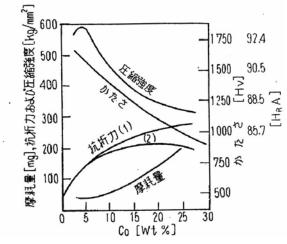


図 5.2 Co量と機械的性質の関係 5)

超硬合金ダイスの日本工業規格として、JIS B 4111 (超硬線引ダイス) があり、形状、使用線径、標準穴 径などが規定されていたが、平成11年1月20に廃止 になった。また、JIS H 5501 (超硬合金) に規定され ていた超硬線引ダイスの化学成分及び硬度等は表 5.1 のとおりである。

表も	5.1	超使和	級51ク	71ス	<b>の1</b> じ	子队分及(	グラス	(JIS F	15501 超硬合金)	
		/1.	27.4	4	/\	(0/)	735	nte	+- +0	

種 別	記号	化 学	成分	(%)	硬 度	抗拙力	用途別
1里 万円		W	Co	C	(H <sub>RA</sub> )	(kg/mm <sup>2</sup> )	用 逐 加
	$\mathbf{D}_1$	88~92	3~6	5~7	89 以上	120以上	引抜き工具用
ダイス用	$D_2$	86~89	6~8	5~7	88 "	130 "	II .
	$D_3$	83~87	8~11	4~6	88 "	140 "	耐摩耗機械部分用

#### (4) 超硬合金ダイス開発の効果とその影響

伸線加工する場合、加工点であるダイスは高い圧力と摩耗を受けることになり、これによりダイスの出来不出来が伸線の品質と生産性を左右する。叩きダイスで、指定の径に仕上げ、製品となるダイスを作ることは職人芸であり、各会社は職人を何人雇えるかで、生産量が決定されたほどであった。又細径は0.3mmが限度で品質のバラツキもあり、一回の伸線量は合金ダイスの場合約6000kgに対し、叩きダイスの場合は精々200kg(1mm程度)で、このダイス寿命がネックとなっていたため、伸線機の高速化、連続伸線等の技術や潤滑剤の研究が進まなかったと考えられる。

1949 年(昭和 24 年)の焼結(超硬)合金ダイスの開発は画期的な技術であり、ワイヤロープの生産性及び品質の向上に大きな貢献をした。合金ダイスは焼結したダイスを研磨することにより、0.3mm以下の細径まで精度を出すことが可能となり、その後のスチールコード等の極細素線まで生産可能となり、ワイヤロープの生産範囲が大きく広がる契機ともなった。現在では、0.1mm 程度まで合金ダイスで生産可能であり、それより細径となると焼結ダイヤモンドダイスが使用されている。

その他に、熟練作業者の確保が不要なため新規創業 が容易となったこともあげられる。

ただ、会社内においては、工場長よりも高額の賃金を得ていた叩きダイスの熟練工達にとっては、革新的な技術の前には抗しようもなかったが、ショックはおおきかったようである。

なお、前述の「引き抜き用超硬合金ダイスについて<sup>5</sup>」で次のように記されている。『超硬合金ダイスが、ふつうのダイスに比べて貴重視されるのは、その性能がすぐれているためである。事実、超硬合金ダイスを用いると、線材・引き抜き材の外観・寸法精度・性質がすぐれ、高速伸線にも適して、寿命が長く、産量の増加に役立つ。そればかりか、一方では、超硬の加工技術の進歩により、異形ダイスの製造が容易となったので、品質のすぐれた異形線・材の量産にも、やはり超硬合金ダイスが威力を発揮するなど、高価な初期コストをつぐなってもなおあまりあるものがある。』

# 5.2 建設機械の大型化による平行より ワイヤロープの技術革新

### 5.2.1 技術革新の経緯

平行よりワイヤロープは、世界的には1890年(明治23年)前後には製品化され、特にシール形は、最も早くからアメリカで使用されていた。わが国におい

ても、1933 年(昭和8年)にはさく井用として6×S(19)が JES281 号に、1937年(昭和12年)にはさく井用の6×S(19)とエレベータ用の6×W(19)が JES409 号にとりあげられていた。しかし、全体としては石油さく井、エレベータ用としても交差よりの6×19が圧倒的で、限定用途以外は平行よりワイヤロープは使用されていなかった。

それが 1950 年(昭和 25 年)代から、次のような経 緯により、平行よりワイヤロープの製造技術が開発さ れ、非常に多く使用されるようになった。

(1) 政府は戦後復興のためインフラ整備の公共事業を 計画し、その膨大な建設事業のため思いきった 機械化を断行することにし、1948年(昭和23年) に「建設機械整備費」という費目を新設して国 産機械メーカーの育成に乗り出した。

また、進駐アメリカ軍が我が国に持ち込んだ多量の大型建設機械が、1947年(昭和22年)の春から逐次国内に払い下げられ、戦後復興のために使用されるようになった。

払い下げられた、この大型建設機械の付属品で 消耗品でもあったワイヤロープは、頻繁に取り 替える必要があり、これら取替え用ワイヤロー プを何時までも輸入品には頼れなかった。

当時わが国で一般の建設機械に使用されていたワイヤロープは、6×19または6×24等の交差よりワイヤロープであり、これら従来から用いられていたワイヤロープを取替え用に用いたところ数時間~数日で破断した。大型建設機械のワイヤロープの使用条件は過酷で、従来の交差よりワイヤロープに替わる構成のワイヤロープが求められた。

これは、我が国では第一次世界大戦後の不況に よる雇用対策として、公共事業での大型建設機 械の使用を禁止したなどの事情があり、そのた めに大型建設機械の開発が停滞し、欧米に大き く遅れたことに起因する。

払い下げられた大型建設機械に付いている各種ワイヤロープを調べると、平行よりのワイヤロープが使用されていた。しかし、当時のわが国では、6×S(19)、6×W(19)の平行よりワイヤロープがエレベータなどの用途に使用されるに過ぎず、平行よりロープの技術知見は非常に少なかった。

(2) 建設省は1949年(昭和24年)度以降、新たに購入した建設機械が稼動するに伴って使用するワ

イヤロープを選定しようとしたが、決定するための技術資料が無かった。そこで、建設省の土木研究所沼津支所において、1950年(昭和25年)から1951年(昭和26年)にかけ大々的に実験を行うことになった。ワイヤロープ径16mm、構成が6×Fi(21)、6×Fi(25)、6×W(19)の各繊維心入りとワイヤロープ心入りの計6種類でいろいろと製造条件を変え、合計で600本の試料を製作し、全国20ヶ所の工事現場に配付し、使用実績を調査した。その知見により、ワイヤロープの線材、製線条件、製網条件等の貴重な技術資料が得られた。この実験の結果は、社団法人建設機械化協会発行の「建設機械用ワイヤロープに関する研究」や一連の資料に発表されている。

表 5.2 は、ワイヤロープ 1 本でどれだけの量掘削出来たかを示している。例えば、土質が砂と砂利の紀の川では、 $6 \times Fi$  (25) IWRC のロープを使用し、 $9050 \text{m}^3$  の掘削が出来たことを示している。作業現場の土質、機械操縦者の熟練度等の複雑な因果関係があるが、おおよそ  $6 \times Fi$  (21)、 $6 \times Fi$  (25) のワイヤロープ心入り (IWRC) 平

行よりワイヤロープが適していることが判明した。この実験は、ワイヤロープの主流であった 交差よりワイヤロープから平行よりワイヤロー プに替わっていく一大転換期となる重要な実験 であった。

(3) 1951年(昭和26年)5月、政府は日本発送電を 解体し、全国を9電力会社に再編して、開発~ 発電~送配電を一貫して行う新方式にし、翌年 9月に特殊法人「電源開発株式会社」を設立し た。これを機に各電力会社と電源開発株式会社 はいっせいに水力発電用の大ダム建設に踏み出 し(大ダム建設計画は一部戦前から進められて いたが、太平洋戦争で中止していた。)、1953年 (昭和28年) ダム建設候補地として表5.3に示す 15 地点が採択された。巨大ダム建設時代の幕開 けであり電力の「水主火従」の時代であった。7) なお、ダム建設のケーブルクレーンに使用され たロックドコイルロープを、東京製綱が1951年 (昭和26年)から1954年(昭和29年)に生産 した実績は、138丸(巻)、594t966kgで、残業 に次ぐ残業が続いたという記録がある。

表 5.2 実験結果 6)

## ロープ1本の掘削量

単位 m³

1	砂+砂利	
---	------	--

## ② 砂利+玉石

6×F	i(25)	v. ı	r.R.C.	6×Fi(21) I .	w.r.c.	6×V	<b>W</b> (19)	ı.w.1	R.C.	6×Fi(21) I .	w.R.C.	6×W	(19) I .	w.R.C.
紀揖	の保		9, 050 2, 424	alsolo Sec	1,742	揖	保力	JII 2 2	, 140 , 420		2, 228	高岡用	統一水	2, 160
		-	2,800	i						"	2,112	小点	九川市	1,659
最上 立	川 谷	流川	5,060							吉野川	2, 259	ă .	<i>∕</i> ∕ / / / / /	979
	"		2,780							"	3,068		"	1,931
	"		5, 100 1, 770	l .						常願寺川 日 侯	2,067	揖亻	呆 川	2, 140

#### ③ 粘 土 質

6×Fi(25) I .W.I	R.C.	6×Fi(	21) <b>I</b>	.w.R.C.	6×	w	19) I	.w.R.C.	6 ×Fi(21)	麻心	6 × 1	W (19)	解 心
" 3 " 1 " 2	,860 ,000 ,085 ,600 ,600			550 1,715		KK	ЛІ	775	狩 野 川 江間放水	4,900 2,750		列川 * *	2, 290 1, 594 2, 158 2, 058

表 5.3 水力ダム建設計画 8)

				.0 /,1/,				,			
ダム名年月	昭和25年	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
小 河 内(G)					٠,			(	11月)		
五 十 里(G)	(10月)-							(3月)			
丸 山(G)		(2)	)——		一(4月)						
藤 原(G)		(5	月)——						(3月)		
鳴 子(A)		(5	月)	-				(10	月)		
上 椎 葉(A)			(9月)—			(10	月)				
佐久間(G)			(4	月)——	_	(10	月)				
田 子 倉(G)				(10月)-							(11月
井 JII(G)					(12月)-		(9	月)			
黑 部(A)						(	8月)—				
有 峰(G)							(9月)—		-		(12月
奥 只 見(G)	(6	· 重力式					(	月)——			, , ,
JII		) アーチ	- 1					(4	月)——		
菌 原(G)		, , ,							(4	月)——	
矢 木 沢(A)									(4	月)——	

注:小河内ダムの工事は戦争中中止、昭和23年9月再開

1953年(昭和28年)度は電源開発5ヶ年計画の初年度に当たり、建設機械の需要は急激に増大した(建設の機械化第57号)。これらの大型工事には大型高性能建設機械が要求され、国内メーカーで対応する態勢は未だ十分とは言い難く、当時としては貴重な外貨を大型建設機械に振り当て電力確保に向けダム建設を急いだ。

大型建設機械の威力が示されたのは佐久間ダムである。愛知県と静岡県の県境を流れる天竜川水系は暴れ天竜と異名をもつ激流で、峻険な山岳地帯の大型ダムは従来の建設工法を大幅にくつがえすほどの大事業であった。

「湖水を拓く<sup>9)</sup>」によれば、『昭和28年3月に着工し、早くも2年4ヶ月後には全堤体が完成した。想像を絶するスピード工事であった。堤体の高さは150mで、日本では初めて100mを越す超大型高ダムであった。それまでは木曽川の丸山ダムの88mが日本最高であった。一挙に2倍近い高さのダムを超スピード工事で完成させた。アメリカから輸入した大型土木機械による最新式機械化施工の成功例である。アメリカ技術陣の強力な支援もあった。建設現場は「大型土木機械の展示場」と呼ばれた。』と書かれている。

ショベルローダーを例にとれば、当時我が国のショベルローダーの能力は 0.5m³ であったが、米国マリオン社製は 3m³ で、ショベルのひとすくいが 6 倍もの力を発揮した。このような大型機械を導入しての工事であるから、従来の工法で使用されるワイヤロープでは使用に耐え得な

かった。

輸入された大型建設機械には平行よりワイヤロープが取り付けられており、我が国でもこれらに対応すべく、交差よりワイヤロープから平行よりワイヤロープへと大きく舵がとられ、平行よりロープの性能向上に向け拍車がかかった。



図 5.3 佐久間ダム建設現場 10)



図 5.4 佐久間ダム 11)

(4) 戦時中は河川改良工事が放置され、各河川の荒廃 はひどい状態であったので戦後工事が再開された。 しかし、1937年(昭和12年)に製作されたバケッ ト容量1m³の古いタワーエキスカベータ1台が 戦後、手取川から庄川へと転用されたが、その 他は人海戦術での作業であった。

建設省は建設機械整備費の予算によって、1949 年 (昭和24年) ~ 1952年 (昭和27年) にかけ 11 台のタワーエキスカベータが全国の主要河川 に河床掘削用として投入された。図5.5は横軸に 河川の流程、縦軸に河川の標高をとり、河川の 勾配の状況を示すもので、神通川や庄川は流程 が 120km で標高が 1000 ~ 1500m であるので勾 配は緩やかであるが、常願寺川は約 55km の流 程で標高が 2500m もあり河川の勾配が非常に急 であることを表わしている。特に河川の勾配が 急な常願時川には、1949年(昭和24年)に旧内 務省新潟土木出張所で作ったバケット容量 1.5yd3 (1.15m<sup>3</sup>) のタワーエキスカベータをモデルにし て、日立製作所が製作した2台が配備され、続 いて同じ日立製作所製のタワーエキスカベータ が配備された(いずれもバケット容量 2m³)。

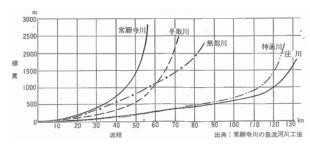


図 5.5 河川の流程と標高の状態 12)

1号機2号機の主索には、当時最適と信じられていた3角心のフラットンド形ワイヤロープが採用され、使用しても主索に異常は認められなかった。続く3号機の主索にも、当然のように3角心のフラットンド形ワイヤロープが採用された。しかし、過酷な使用条件には耐えきれず、ワイヤロープの損傷が激しく早期に破断してしまった。破断が発生するや直ちに建設省土木研究所、日立製作所、東京製綱等のエキスパートが共同で実地調査を行い、原因の究明と今後の対策が審議されたが、ワイヤロープの構成の複雑さと負荷状態の多様性により、理論解析は困難であった。「タワーエキスカベータに問題はないか?」、「ワイヤロープ材料の線材をスウェーデン材に変えては?」、「ワイヤロープの構成や製造方法に問題がないか?」等々の意見があった。

結局、ヘルクレスロープ 19×7を投じてみたがこれも芳しくなかった。東京製綱では技術者を集めて更に研究し、今度は索道やケーブルクレーンで好成績を収めたロープと同一仕様のロープを作り試用してみたが、満足な結果は得られなかった。途方にくれて悩んでいた時に、当時の課長が終戦直後に GHQ 使用の平行よりロープ (フィラー形)を見たことをふと思い出し、上司に相談した。二人は直ちに現地事務所にとんで行って説明した。そして 6× Fi (25) C/L のロープを製作し、ようやく好結果が得られた。

タワーエキスカベータは瞬間的に非常に大きな荷重がかかる機械で、安全率は3以下で設計されており、過酷な条件で使用されるため、適したワイヤロープとしては、平行よりのフィラー形繊維心入りのラングよりで、フラット形のような複雑な構成のものは不適当であるとの結論を得た。これを契機として大小各種のタワーエキスカベータが多数設置され、平行よりワイヤロープの評価が確立するに至った。

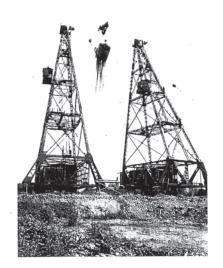


図 5.6 タワーエキスカベータ <sup>13)</sup>

表 5.4 タワーエキスカベータ仕様概要 14)

バケット容量	2 m <sup>3</sup>
主塔高さ	40 m
径間	350 m
バケット往復最長距	離 主塔より約200m
掘削速度	25 m/min~40 m/min
曳行速度	100 m/min~160 m/min
逆行速度	約300m/min
電動機	150kW
走行速度	4 m/min
空気圧縮機	30P監型水冷式 7 kg/cm²
ロープ	レールロープ 53φ ドラグロープ 32φ
電源	220 V

表 5.5 実績の表 15)

機械番号	ローブ	使用始	ロープ権決	ロープ	作	業 量	m <sup>3</sup>
容量	番号	年.月.	ロープ構造	mm	正常	天地振替	合 計
	No. 1	24.8.	6×F(4Δ+12+15) °/L	53	74, 152	-	74, 152
1号機	2	25.11.	6×Fi(25) °/L	"	105, 127	61,096	166, 223
	3	27.9.	" .	"	122,890	149,966	272,856
$2 \text{ m}^3$	4	30.4.	"	"	201, 192	282,810	484, 002
	5	35. 1.	37+25T+26Z+36Z	52	使用中	, –	-
	No. 1	24. 9.	6×F (4Δ+12+15) °/L	53	48,608	_	48,608
2号機	2	25.7.	6×F{(3×2+3)+12+15} °/L	"	16,827	43,926	60,753
	3	26.8.	6×Fi(25) °/L	"	112, 198	278, 446	390, 644
2 m <sup>3</sup>	4	30.4.	6×LC(19+16Z) %	"	28,685	22,034	50, 719
	5	30. 11.	6×Fi(25) °/L	"	使用中	-	
	No. 1	25. 2.	6×F(4Δ+12+15) °/L	53	14, 352	-	14, 352
	2	25.5.	ヘルクレス 19×7 º/L	"	13,356	-	13,356
3号機	3	25.6.	6×F{(3×2+3)+12+15} C/L	"	19,481	75, 833	95, 314
	4	26.4.	"	"	12,922	-	12,922
2 m3	5	26.7.	/	"	23,148	-	23, 148
	6	26.9.	6×Fi(25) °/L	"	142, 184	222, 803	364, 987
6	7	29.6.	"	"	223,002	175,642	398, 644
4号機	No. 1	27. 9.	6×Fi(25) °/L	56	224, 552	255, 811	480, 363
1.6m3	2	32. 11.	"	"	187,672	使用中	_

### 5.2.2 交差よりロープと平行よりロープの比較など

図 5.7 に示すように、交差よりロープのストランドは、各層の素線のより角度を一定にして、1 層ずつより合わせたもので、素線は各層相互に交差し、素線は点接触しているので「点接触より」とも言われ、これに対して平行よりロープのストランドは、太さの異なる素線を組み合わせ、各層の素線のよりの長さを同一にして1 工程でより合わせたもので、素線は各層線で接触するので「線接触より」とも言われる。

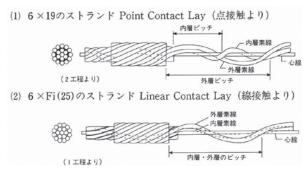


図 5.7 交差よりロープと平行より ロープのストランドの比較

ワイヤロープに荷重を負荷した場合、交差よりロープは同一より角でよられているので、心素線を除く各層素線に対し均一の張力がかかるが、素線相互が点接触しているため、二次曲げを受けたり接触点で圧こんを生じたりするので、疲労や内部摩耗により寿命が短い。平行よりロープの場合は、各層相互に線接触しているので二次曲げによる疲労や内部摩耗が少なく、形くずれも起こし難いので、寿命が交差よりロープに比べ長い。図 5.8 に交差よりロープと平行よりロープの曲げ疲労寿命の比較を示す。

D/d の D はシーブ(ロープをガイドする溝車)の直径、d はロープ径である。

なお、同じ平行よりでも、Fi (25)  $\rightarrow Fi$  (29)  $\rightarrow$  WS (31)  $\rightarrow$  WS (36) の順に、素線数の多い方が寿命は長くなっている。これは、素線径が細いためにシーブでの曲げ応力が小さくなるためである。 $\{Fi$  とWS での相違もあるが $\}$ 

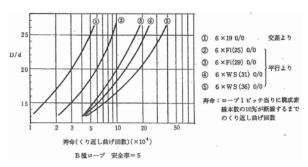


図 5.8 交差よりロープと平行よりロープの 曲げ疲労寿命の比較 <sup>16)</sup>

又、平行よりロープは交差よりロープに比べロープ 断面での素線の充填率が大きいので、ロープ径と素線 の強度が同一であれば、ロープの破断強度も大きくな る。表 5.6 にロープ径 20mm の比較を示す。

表 5.6 交差よりロープと平行よりロープの破断荷重の比較
-------------------------------

ロープ径	種別	交差	よりワイヤロ	ープ	平行よ	りワイヤロー	-プ
ローク住	「生 かり	構 成	断面積	破断強度	構成	断面積	破断強度
20mm	A種 (1620N/mm²)	6×24	$139~\mathrm{mm}^2$	197 kN	6×Fi(25)	168 mm <sup>2</sup>	218 kN
20mm	B種 (1770N/mm²)	6×37	$157~\mathrm{mm}^2$	227 kN	6×WS(36)	$173~\mathrm{mm}^2$	237 kN

注)ワイヤロープの破断強度は、素線の引張強さ、ロープの断面積(素線の断面積の合計)、及びストランドとロープの各より角度(よりの長さ)による係数によって概ね決まる。従って、ロープ構成が異なればストランドとロープの各よりの長さが異なるので、構成の異なるロープを比較した場合、ロープ破断荷重の比と断面積の比は一致しない。

製造技術面では、交差よりロープのストランドは、 素線を1層ずつより合わせればよいので、比較的熟練 を要しないが、平行よりロープのストランドは、数種 類の素線径を決める設計面と多くの素線を1度により 合わせる技術、すなわち、製作始めに各素線が所定の 場所になるように素線を配列し、それが製作終了まで 落込んだり、飛び出したり、入れ替わったりしないよ うに素線のバックテンションを管理したりする技術が 必要であるので、熟練を要する。

# 5.3 日本工業規格「ワイヤロープ」の制定

これまでの規格として 1921 年 (大正 10年) 制定の

日本標準規格 JES があり、ワイヤロープとしては当時さく井用の  $6 \times S(19)$  やエレベータ用の  $6 \times W(19)$  等があったが、1950 年(昭和 25 年)5 月 9 日にワイヤロープ(鋼索)の日本工業規格 JIS G 3525 が制定された。

その適用範囲は、鉱山、索道、船舶、漁業、機械、サク井などに使用するもので、ワイヤロープは表 5.7 に示す 11 種類の構成で、1 号~ 7 号が交差より、8 号 と 9 号がフラット形で、平行よりは 10 号の S (19) と 11 号の W (19) のみで、Fi (25) などは含まれていなかった。

その後、平行よりワイヤロープの技術向上と需要の増加により、1953年(昭和28年)に6×Fi (25)、1959年(昭和34年)にIWRC6×Fi (25)、6×Fi (29)及8×S (19)が夫々制定され、そして1973年(昭和48年)には、6×WS (26)、6×WS (31)、6×WS (36)、6×WS (41)、IWRC6×Fi (29)、8×W (19)及び8×Fi (25)が制定された。(詳細は9章の参考資料参照)

表 5.7 1950 年(昭和 25 年)制定の JIS G 3525

		鋼	素のを	<b>黄</b> 成	及び	級	別	1	
	メッキの有無	錠	鍍 金 裸						
種別	機成及別用 設 別用途	z · ·		z		ラングフ		Z 叉は S	
		級別	主な用途	<b>和及另</b> U-	主な用途	級別	主な用途	級別	主な用き
1号	7 本級 6 ヨリ 中心機能 (7×6)	單級	静索	-	-	1級 2級 3級	卷上機 索 道	·-	
2号	12本線 6 ヨリ 中心織維 (12×6)	特級 2級	動索	單級	助索	_	_	_	_
3 号	19本線 6 m リ 中心繊維	2級3級	動索又は 静 索	2級 3級	動索又は静索	1級 2級 3級	卷上機 索 道	1級 2級 3級	起電機
	(19×6)	_		_		_		1級2級	サク井
4号	24本線6ョリ 中心織維 (24×6)	特級2級	動索	單級	動紫	_	_	_	
5号	30本線6ョリ 中心繊維 (30×6)	特級2級	助索	單級	助紫	_		_	
6号	37本線 6 ヨリ 中心機維 (37×6)	1級2級	助索	_				1級2級	起重機
7号	61本線 6 ヨリ 中心織維 (61×6)	1級2級	10万 紫	-		_		1級2級	起重機
8号	フラット型三 角心7本線6 ヨリ中心機維 F(ムー7)×6	_		_		1級2級	卷上機 索 道	_	
9号	フラット型三 角心24本線6 ョリ中心線維 F(ム+12 +12)×6			_		1級 2級 3級	卷上機 索 道	_	
10号	シール型19本 線6ョリ中心 繊維 S(19×6)	-		-		_		單級	サクキエレベータ
11号	ワーリントン 型19本線6ョ リ中心機維 W(19×6)	_		_			. —	單級	エレベータ

#### 切断荷重区分

裸;単級 (12×6は145Kg/mm²,24×6及び30×6は155 Kg/mm²)

1 級(165 Kg/mm²) 2 級(155 Kg/mm²) 3 級(145 Kg/mm²) 特級(175 Kg/mm²)

めっき;単級 (140Kg/mm²)

1級 (150 Kg/mm<sup>2</sup>) 2級 (140 Kg/mm<sup>2</sup>) 3級 (130 Kg/mm<sup>2</sup>) 特級 (規定なし)

# 5.4 ワイヤロープ解析と設計基礎の確立

1949年(昭和24年)東京製網の小野進は、「ワイヤロープの設計は、技術者のカンに頼っているが、より正確なものにするために、素線の形状・寸法を立体的に解析することはできないか?」という上司の要請を受け、いろいろと考え検討した後、「ワイヤロープにおける素線、ストランドおよびロープ自体の基本形状は大変複雑であるが、実用上、それらの表面はその中心線より等距離にあると考えられる。したがって、その中心線に垂直な無数の円盤からなると考えられるので、これを大円(Great circle)とする管状曲面(Canal surface)であるとして、そのベクトル関数(Vector function)を用いて解析する方法が最も適している。」と考え、研究に取組んだ。

この頃は電源開発が始まった時代であり、ロックドコイルロープの需要が急増していたこともあり、一般のワイヤロープだけでなく、ロックドコイルロープのT線やZ線の設計上からも解析が必要であった。そうして、彼は1951年(昭和26年)に、ガリ版刷りで'Wire Rope の解析'(図5.9)という資料を作成して社内で発表し、ワイヤロープの設計基礎を確立させた。

彼は後になって、「当時は今日のように計算に便利なコンピュータがなく、手まわしのタイガー計算機などを使って、まさに人海戦術で数値計算をしたものです。今昔の感を禁じえない。」と言っていたようである。

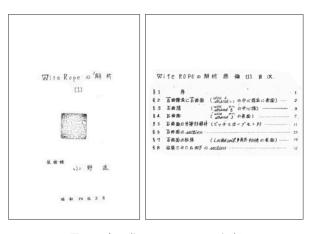


図 5.9 小野進の Wire Rope の解析

より合わせ時のよりの長さによる外側素線の曲面状況を表したものが、図 5.10 である。

ピッチ係数は、よりの長さ÷ストランドの外側素線がなす中心の円周であるが、このピッチ係数 A が 0.5, 1.0 および 3.0 でより合わせる場合の素線の曲面の投影図で、素線がねじられる状況を示している。ピッチ係

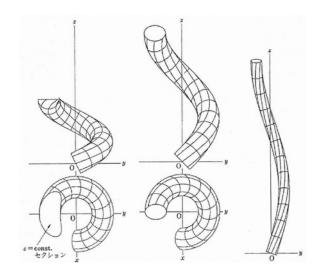


図 5.10 より合わせ角度による曲面の投影

数が大きい、つまりよりの長さが長いほど、素線は緩 やかに捻られることが分かる。

このことはなんとなく分かっていても、このように 理論的なベクトル解析によりきちんとした投影図が示 され、関係者は納得し理解を深めたと思われる。

このように、彼はロープの中心を表わす曲線や外層 素線の表面を表わす曲面等多くの式を導きだして、実 際にワイヤロープの設計に適用できるようにした。

構成が  $7 \times 7$ 、より方がラング Zより、ストランドをよるピッチ係数  $A_1$ =3.0、ロープをよるピッチ係数  $A_2$ =3.5 として、ロープ径 100mm のロープを製作する場合のワイヤロープの設計例は、図 5.11 及び表 5.8 のようになっている。

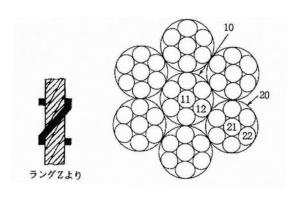


図 5.11 7×7 ロープ断面と記号

表 5.8 7 × 7 ロープの計算例

$d_{n\nu}$	n	$A_m$	$a_n/a_m$	а	b	c	d
00	1			50.000			100.0000
10	1	100		17.5607			35.1214
11	1			6.1676			12.3352
12	2	3.0 (A <sub>1</sub> )	0.4802	11.8642	5.6966		11.3931
20	2	3.0 (A <sub>1</sub> )	0.4802	33.7804	16.2197		32.4393
21	2	3.0 (A <sub>1</sub> )	0.1665*	33.7804	5.6233		11.2466
22	3	3.5 (A <sub>2</sub> )	0.4851**	33.7804	10.9214	5.2982	10.5963

中心ストランド (図及び表の10) は、表のa欄がその半径で17.5607、d欄がその直径で35.1214であるので、ストランドの直径は35.1214mmとなる。中心ストランドの中心素線 (図及び表の11) は、同様にa欄6.1676、d欄12.3352であるので、中心ストランドの中心素線径は12.3352mmとなる。中心ストランドの側素線 (図及び表の12) も同様にして、素線径は11.3931mmとなる。なお、このa欄の11.8642は、中心素線と側素線の中心距離を示して{(12.3352 + 11.3931) ÷2}おり、b欄の5.6966は側素線の半径を示している。

同様に、側ストランド (図及び表の 20) の直径は 32.4393mm、側ストランドの中心素線 (図及び表の 21) の径は、11.2466mm 側素線 (図及び表の 22) の径 10.5963mm となる。なお、20~22のa欄 33.7804 はロープ中心から側ストランドの中心までの距離、20のb欄 16.2197 は側ストランドの半径、21 欄の b5.6233 は側ストランドの中心素線の半径、22のb欄 10.9214 は側ストランドの中心からその側素線までの距離、c欄 5.2982 は側ストランドの側素線の半径をそれぞれ示す。

実際に、例えばロープ径 40mm のワイヤロープを 製作する場合は、 $40 \div 100 = 0.4$  を上記の各値に乗じ て求めればよい。その結果はつぎのようになる。

中心ストランド;中心素線の径 4.93mm

側素線の径 4.56mm

ストランド径 14.0mm

側ストランド ; 中心素線の径 4.50mm

側素線の径 4.24mm

ストランド径 13.0mm

この解析手法を用いれば、従来の試行錯誤的なワイヤロープ設計方法に対し、ワイヤロープを構成する最小単位の正確な素線の大きさを決定する設計方法を可能とするものであった。

これによりワイヤロープ製造時のトラブルが少なくなったことはもちろん、品質も大幅に向上し、ユーザーからもより信頼されるようになった。また、新たな構成のワイヤロープの開発期間を大きく短縮できるようにもなった。

また、今日ではコンピュータの発達に伴い、この解析手法はワイヤロープの設計条件やワイヤロープ使用条件をコンピュータに投入することで、ワイヤロープのストランドおよびストランドを構成する素線それぞれの挙動をシミュレートするソフトウエアー開発の基礎ともなった。

小野はその後、このワイヤロープの解析に関し、ワイヤロープ研究会での発表(1959 年常磐炭鉱にて。1984年名古屋にて)や、ロックドコイルや光ファイバーケーブル等の異形線ロープに関する特許の取得(1986年出願、1997年登録)、また講演(1987年大阪大学にて)をしたりし、1989年には京都大学工学博士号を取得している。更に退社後、2005年に「工学の数学―ワイヤロープの微分幾何学―」を発刊している。

一方、海外においては、ソ連で理解ある国家指導のもと、大規模な財政的援助を得て多くの研究所並びに製造工場で多年の研究がなされ、1957年に教授工博デーゲーシトコフ(D.G.Zhitkov)&技師イーテーポスペホフ(I.T.Pospekhov)が 'ワイヤロープ(DRAHTSEILE)' <sup>17)</sup>を出版しており、その中の「丸ストランドロープ構成の理論的基礎」には、小野と同じベクトル解析によるロープ設計が記載されている。

その設計の一例をあげれば、6×(1+6+6+12)+1繊維心 フィラー形構成のロープ {我が国の表示では6×Fi(25)} では、ロープに於けるストランドのヨリ程(よりの長さ)はロープ径の7.5倍、ストランドに於けるワイヤのヨリ程はストランド径の8倍として、ロープの直径20mmの場合、ストランドの直径は6.54mm、ワイヤ直径は、中心素線1.39mm、側の素線は下から1.37mm、0.55mm、1.3mmで、ロープに於けるストランドのヨリ程は150mm、ストランドに於けるワイヤのヨリ程は52.5mmとなっている。

これは、目標とするロープ径が示されていないので 直接の比較はでき難いが、我が国で行われている設計 を応用した値と大差ないようである。

シトコフと ポスペホフがこの 'ワイヤロープ (DRAHTSEILE)'を出版したのは1957年であるので、小野が1949年からワイヤロープ解析に取り組み、社内発表した1951年からは6年後になる。しかし、小野が社外で発表したのは1959年(常磐炭鉱にて)であるので、両者とも独自にワイヤロープ解析を研究し発表したものと思われる。

参考) Zhitkov & Pospekhov 提唱(1957 年)のワイヤロープの寿命推定式も、Niemann 提唱(1946年)の式とともに業界では広く知られている。 N= (920 × 10³) ÷ 《[8.5C<sub>1</sub>C<sub>2</sub> σ<sub>τ</sub>] ÷ { (D ÷ d) -8}-1》(普通品質素線で製造したロープ) N: 繰返し曲げ回数 σ<sub>τ</sub>: 引張応力(kgf/mm²) D: シーブ径(mm) d: ワイヤロープ径(mm) C<sub>1</sub>: ワイヤロープ構成および素線の引張強さによる係数

#### C<sub>2</sub>: ワイヤロープの径による係数

例えば、 $6 \times 37$  普通より ロープ径 20mm 素線の引張強さ  $180 \text{ kgf/mm}^2$  ロープ破断荷重 23.1tf ロープ断面積 156mm<sup>2</sup> シーブ径 400mm では、 $C_1$ =0.86、 $C_2$ =1.04 となり、安全率 5 とすると、 $\sigma_t$ = $23100 \div (156 \times 5)$  = $29.6 \text{ kgf/mm}^2$ となるので、

N=  $(920 \times 10^3)$  ÷ 《 $[8.5 \times 0.86 \times 1.04 \times 29.6]$  ÷  $\{(400 \div 20) \cdot 8\}$ -1》=51,830 回 つまり、51,800 回ほど繰返し曲げ回数を行うと、ワイヤロープは寿命(破断する)ということである。

## 5.5 ワイヤロープの形付け

ワイヤロープ素線は伸線により生ずる内部応力と、 撚るときに生ずる応力とをもっている。ワイヤロープ 形付けの目的は、素線の撚りに基づく内部応力を除去 し、切断した場合の反発や素線の飛び出しを防ぎ、内 部応力に基づく損傷やロープの性質の劣化をなくすた めの処理であり、通常、撚り合せ前の形付け(プレ フォーム)と撚り合せ後の形付け(ポストフォーム) がある。今日では略全てのワイヤロープ撚り線工程で 両方又は一方の何れかが実施されている。

## (1) 撚り合せ前の形付け(プレフォーム)

素線またはストランドがボイスで撚られる前に、弾性限以上の応力を与えて、撚られたストランド又はロープのスパイラル(spiral)と同形に形付けするもので、前者をワイヤプレフォーム、後者をストランドプレフォームと呼ぶが、多層のストランドをワイヤプレフォームする場合、下層とその上の各層の形付けが均一なことが重要で、不均一になると形崩れを起こしやすい。

西岡の「鋼索の製造」の年表によれば、「1898年(明治 31年)に型付け(プレフォーム)された鋼索の製造」  $^{18}$  となっているが、アメリカン・ケーブルコムパニーが、1925年(大正 14年)に図 5.12 のような "Quill"方式  $^{19}$ 、およびロール式のプレフォームヘッド(図 5.13 に類似している)を発明したとの記録もあるようである。

プレフォームの装置には種々の形のものが使用されている。普通、図 5.13 に示すように、ワイヤプレフォームの場合は3個の円筒形ピン、ストランドプレフォームの場合は3個のローラの間を通し、中央のピン又はローラを上下に調整して適当な形にプレ

フォームされる。

なお、4.6.3(3)項で記述したシノサイ式ワイヤロープ製造法もプレフォームである。

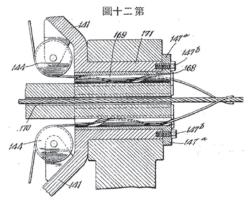


図 5.12 "Quill"方式 19)



図 5.13 プレフォーム装置 20)

形付け形状の程度を表わすには、図 5.14 に示すようにワイヤロープを解したストランドのうねり径 dw をロープ径 dr で除した形付率 (%) が実際上よく使用される。形付率が 100%以上になるとストランドは浮き気味でロープ径は太くなり、ロープの伸びも大きくなり、ちょうちん状形崩れを呈する場合がある。形付率が低い (ロープの種類等によって異なるが凡そ 80% 以下) 場合は切断するとロープ素線は反発し、撚りが戻りやすくなる。形付けをしないロープでも形付率は 70%位あるが、通常 85 ~ 95%位を目標に形付けが行われる。

プレフォームの効果は、ワイヤロープの切り口がバラケない、キンクを生じにくい、ロープのスプライスがしやすい、可撓性が大きい、耐疲労性が大で寿命が長い、使用中断線しても切断素線による損傷が少ない、などがあげられる。

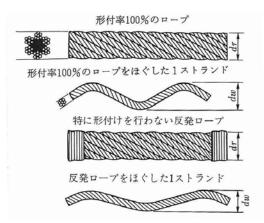


図 5.14 形付率の測定法 21)

## (2) 撚り合せ後の形付け(ポストフォーム)

従来、図 5.15 に示すフォーマーローラ(Former roller)を用いてワイヤロープの形状を整形していた。これは、より合わせの際ロープがボイス {(4.6.3 (3) 項参照) により押えられて楕円形になったものをこれと直角方向の楕円溝をもったフォーマーローラで円形に整形する方法である。

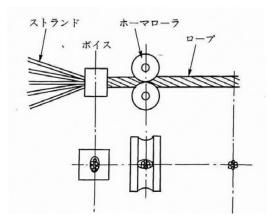


図 5.15 フォーマーローラ 22)

帝国産業(現テザックワイヤロープ)の西岡多三郎は「鋼索の製造<sup>22)</sup>」で、「6×7反発性鋼索にその最大切断荷重の95%~99%に相当する荷重を5分間掛けてその荷重を除いた後の鋼索は子綱の反撥力を失う。……かかる処理をすれば反撥性鋼索は、たちどころに完全な不反撥性に一変する事実はすでに判っている。しかし、鋼索の製造においての実用化された設備があるとは聞かない。」と記述している。

そこで西岡は屈曲式ポストホーム装置「鋼索又はストランドを撚合した後その各ストランド又は索線を互になじませ且成形する仕上装置」を1953年(昭和28年)に発明して特許出願し、1957年(昭和32年)特許権を取得している。この装置(図5.16)は3~4個のローラを1組とし、相互に90°の傾きをもった2組

を撚合機のボイス口直後に配置し、ストランドまたは ワイヤロープをキャプスタンで引き出すことで各素線 または各ストランドを互いになじませ且つ整形するも のである。

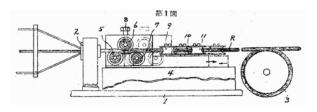


図 5.16 屈曲式ポストホーム装置 23)

発明の説明文には、「従来の鋼索は直ちに急激な過大 の荷重をかけると、鋼索が変形したり素線の破断を生 ずる様な事があり、鋼索の寿命を著しく短縮する欠点 があった。この危険を防止する為、一般に鋼索の使用 当初は軽い荷重から徐々に重い荷重をかける様にして 使用し、十分鋼索の歪が取れて滑車になじんだ後、正 規の荷重をかけて使用するを常とするが、作業にかな りの注意と長い時間を要し、能率の低下を来たす事を 免れ得なかった。本発明は、これらの欠点を除去する為、 ボイスを経た後の鋼索又はストランドに適当な荷重を 与えて鋼索を緊張すると共に、その各部分に順次各方 向に対して屈曲を与えて各素線及び各ストランド間に 相互に微量の移動を行わしめ、残留せる不均一な張力 を緩和し均一ならしめ即ち素線間の歪を除去し且素線 又はストランド相互の微量な滑動性を助成させる仕上 装置に係り、……如何なる滑車にも即時に適応させ最 初より重い荷重にて使用を可能ならしめたもの……」 と書かれている。この発明はワイヤロープの製造法お よび品質改善に大きく寄与し、昭和32年にポストホー ム・ワイヤロープの研究で日本金属学会から「功労賞」 を受賞し、昭和33年には発明協会から「特賞」(図5.17) を、同年に大阪府発明功労者として表彰された。



ET QUODCUMQUE COSIGNO SOLVERIS SUPER TERRAM ERIT 10 00 SILVERIS SOLUTUM ET IN COELIS.

図 5.17 発明特賞

その後1968年(昭和43年)に発刊された「ワイヤロープ便覧」には、ポストフォームの方法は大別すると引張式、圧縮式、屈曲式の3種類になると書かれている。

引張式ポストフォームは、ボイスを出てからワイヤロープに2個の溝付き引き出しドラム又はキャタピラの速度差により引張り力を与えて形付けする方

法である。

圧縮式ポストフォームは、ボイスを出た直後に各2個の圧縮ローラからなる2組を互いに直角に取付け、ワイヤロープがこの2個のローラを通る間に円形度を整え、ロープの中のゆるんだストランドや素線を締めて接触関係を安定させ、ワイヤロープのなじみをよくする方法である。

屈曲式ポストフォームは、縦、横に配列した多くのローラを通してワイヤロープを屈曲させ形付けする方法で、図 5.18 は 3 個ずつ 4 組のローラからできており、各組の両端のローラは固定で、中央ローラは調整できるようになっている。各組は 90° づつ傾けて置かれているためロープは 4 方向から曲げられる。主としてストランドや細いワイヤロープに用いられる。

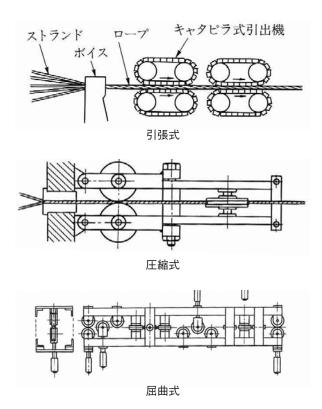


図 5.18 ポストフォームの方法

# 5.6 異形線 (ストランド) ロープ

ワイヤロープを動索として使用する場合、例えば炭鉱鉱山の石炭を坑道から搬送するための巻上げ用ワイヤロープは、シーブ(ロープをガイドする溝車)を通過してドラムに巻き上げられる。その際、ワイヤロープはシーブの溝との強擦により摩耗を生じる。そこでワイヤロープの耐摩耗性を向上させるため、ロープの外周を平滑な面にし、シーブの溝とロープの接触面積を増大させるという考え方がある。

それに最も適したロープはロックドコイルであるが、柔軟性の点で巻上げ用ワイヤロープへの適用には不向きで、使い易さの観点からロックドコイルを1本のストランドとして、それを数本撚り合せてロープにする技術(図 5.19)が、1954 年(昭和 29 年)に東京製綱の新保赳夫、多田源司の両名により提案されている。

(特公昭 32-72 号)

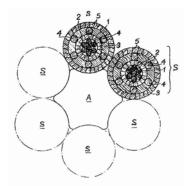


図 5.19 ストランドの構成をロックドコイルにしたロープ

しかし、上記の方法は、実際には素線および撚り合せの製造技術上の難関がある上に、使用時にストランドの形崩れ等が発生する恐れがあり、実用化するには問題があった。

そこで、昭和製網(後に東京製網と合併)の高橋瞳は、製線および撚り合せの簡単な丸線で構成した撚り線を、要求される平滑な外形になるように圧縮成形する方法を考えだした。そうして、図 5.21 に示すワイヤロープを製作して諸特性を調査し、1959 年(昭和34年)の第7回ワイヤロープ研究会において、「SRAFロープの特性と疲労試験の結果について」という演題で、「このような撚り線の圧縮成形法を採用して製作したところ、ロープの諸種の特性値、特にその疲労性について、予想以上に一むしろ予想に反して一面白い結果がでたので、これらの製法概要と特性について述べたい」と講演をしている。

成形は図 5.20 に示すように、丸線を撚り合せたストランドを矢印方向に均一に圧縮すると、撚り線内に矢印で示すような力が働いて、各素線の変形抵抗が同じであれば各素線間の接線は直線状となって、各素線断面は異形状の断面となる。

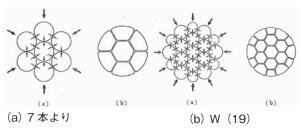


図 5.20 SRAF の成形前後

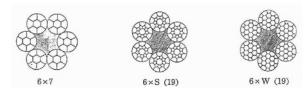
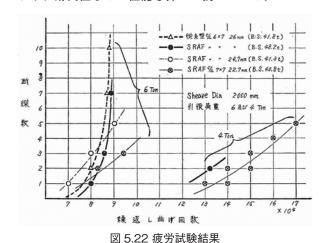


図 5.21 SRAF ロープの断面図

繰り返し引張荷重を 6t と 4t とした場合について、従来型(丸線ストランドロープ)の 6 × 7 26mm、 異形ストランドロープの SRAF 6 × 7 26mm、SRAF 6 × 7 24.7mm、及び SRAF 7 × 7 22.7mm の 4 種類の試料で疲労試験を行った結果が図 5.22 である。耐疲労性が従来型のワイヤロープに比べ改善していることが示されている。{同じロープ径で比較すると、SRAFロープは、丸線ストランドロープより断面積が大きいにもかかわらず、優るとも劣らない結果が出たことは意外であった。} 耐摩耗性は室内実験は行わなかったが、従来型ワイヤロープと一連にエンドレスにつないで現場で使用して比較し、顕著な差を生じており、耐食性などの性能も併せて優っている。



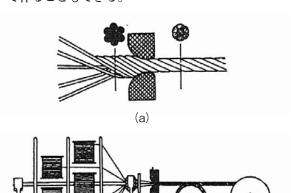
異形ストランドの製造は次の何れかの方法で製造される。(図 5.23)

## ①異形線を撚り合わす方法

図(a)に示すように、所定本数扇形側線と1本の 六角心線を撚り合わせて異形線ストランドをつくる 方法である。しかし、素線の製造に技術を要し、ま た形状が適切でないとロープにした場合に肩上がり や隙間を生じ、曲げ疲労性も良くない。

- ②ストランド撚り線中に加工(ダイスを通す)する方法 図(b)に示すようにストランド撚り線中に、丸線 の撚り合わせ箇所にダイスをおき同時に加工する方 法である。
- ③ストランド撚り線後に加工(ダイスを通す)する方法図(c)に示すように、丸線ストランドに撚り合せた後に、1~3回ダイスを通して異形ストランドに加工する方法である

なお、ダイスのかわりにローラを用いて圧延によっ て作ることもできる。



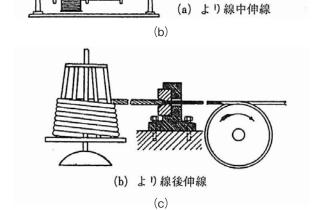


図 5.23 異形線ストランドの製造方法

異形線ストランドロープは、上記の「スラフロープ」の他、その後「タフロープ」、「サンロープ」、「リバーダイフォームドロープ」等の製品がだされ、1993年(平成5年)に日本工業規格として制定された。(JISG 3546 異形線ロープ) 参考に、一般用ワイヤロープとの比較表を、表5.9に示す。

表 5.9 一般用ワイヤロープと異形線ロープの比較(例)

	JIS G 352	5 ワイヤロープ	JIS G 3546 異形線ロープ			
ロープ径	6×W	S(26) B種	6× P・WS(26) B種			
	断面積(mm²)	破断荷重(kN)	断面積(mm²)	破断荷重(kN)		
1 6 mm	1 0 5	1 4 9	1 1 6	163		
18mm	1 3 3	188	1 4 6	207		

## 5.7 道路防護施設

高速道路の最も早く発達していたアメリカでは、戦前から車輌が道路から逸脱する等の事故を防止する道路防護施設が開発されていて、「防護柵」という総称のもとに「ビーム形」と「ケーブル形」の2種類が用いられていた。

我が国の道路の発達は先進諸外国に比べ著しく立ち 遅れ、道路交通網の整備は大きな課題であった。

政府は1956年(昭和31年)4月16日に日本道路公団を設立し、同年に名神高速道路の調査費を計上した。1957年(昭和32年)4月に高速自動車国道法が制定され、10月には名神高速道路建設が決定し逐次道路近代化が始まり、近代的な道路建設と自動車の高速化・大型化に伴う車輌の路外逸脱を防止し、事故の発生を予防するための施設が必要になった。当時、道路防護柵としてはガードレールが主流で、日本道路公団は日本鋼管(現JFE)など鉄鋼メーカーと共にガードレールの模型実験などの調査試験が行われていた。

一方、ガードケーブルは、日本道路公団計画部技術 課(後の名神高速道路部)の技術課長から「アメリカ の文献によってロープによる道路防護柵を研究してい るが、その性能効果についてはいまだ知らない。東京 製綱と共同研究を行いたい」という申し入れがあり、 1957年(昭和32年)日本道路公団の二人の技官と東 京製綱の研究グループおよび東京大学の久保慶三郎助 教授の協力を得て研究開発がスタートした。日本道路 公団計画の名古屋 - 神戸間の高速道路においても道路 防護柵を設けるように計画されているが、諸外国の文 献、特に米国のそれに見られる試験データとしては、 設計の対象は乗用車であり、しかも比較的低速(約 50km/hr)である。我が国で市販されている道路防護 柵のガードレールも大体以上の文献を参考としたもの のようで、高速道路用としては決して安全なものとは いい難かった。そこで、レールに対するケーブル(ワ イヤロープ)の優位性に着目した研究開発を推進する ことになった。すなわち、ワイヤロープの伸びを利用 することにより自動車の衝突時の運動エネルギーを吸 収しつつ車の進行方向を誘導し、さらに、ワイヤロー プの弾性伸びの復元力で再び最初の進行方向に車を復 元させるというところにあった。(その他の防護施設 の復元、切断、汚れ、美観等々の面では、ケーブルは レールを凌ぐ利点がある。)

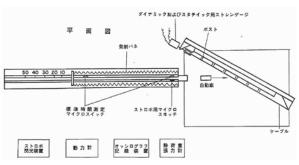
高速自動車道路時代の防護柵として活用されるには、その要求に沿った実験データに基づくガードケー

ブルの仕様を示す必要があり、世界初の野外実車衝突 実験が計画されることになった。まず室内での模型実 験から始まって、野外での低速実車衝突実験を経て野 外での高速実車衝突実験へと進んだ。

### (1)模型実験

模型実験ではポスト(支柱)に係るものは建設省土木研究所において、ケーブルに係るものについては東京製綱において実験することになり、室内模型実験装置が東京製綱川崎工場の研究所内に設置された。模型実験の対象として考える車輌の種類は、いすゞBC-20型のバス(重量12.1t、全長10,300mm、幅2,420mm)、シボレー57年型の乗用車(重量1.9t、全長5,020mm、幅1,930mm)、日野 T-10型のトラック(重量13.7t、全長7,095mm、幅2,455mm)とした。

装置(図 5.24)は自動車(模型)の走行路と自動車の衝突を受けるケーブルとからなり、計測装置として「ストロボ閃光装置」「動力計」「オシログラフ記録装置」「静荷重張力計」等が取り付けてある。実物に対する模型の相似率は、長さで 1/25 とし、時間と速度及び力と重量は運動方程式より算出して決められた。



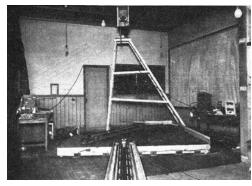


図 5.24 模型実験の平面図と様子

衝突車の入射角度・車種・速度、ケーブルのポスト間隔・初張力の変化によるケーブルの撓みや張力の変化、車の反射角等々のデータが得られ、実車実験に向けての仕様や条件設定の基礎資料となった。

### (2) 野外低速衝突実験

昭和33年10月に入ると、川崎工場内敷地では室内 模型実験のデータを基に、高速衝突実験の予備実験と して野外低速衝突実験に取り掛かっていた。トヨタ 48年型4 t 積トラックを利用し、時速15~26kmの 速さで、2~8本で組まれたケーブルに衝突させ、ケー ブルの張力や性能の実証を繰り返した。衝突実験は、 工場内の舗装道路を 20°の角度で横断したガードケー ブルを設置し、試験用トラックを引っ張って約 100m 疾走してトリッパーなる装置によるロープの掴みを はなしてケーブルにトラックを突き当てる(図5.25)。 ケーブルは $7 \times 7 + 6 \times \text{Fi}$  (21) 直径 16mm、ポス ト(支柱)は市販の5インチφのガス管を使用した。 トラックがケーブルに当ってからの走行軌跡は路面に 石灰をまいておき、前輪の軌跡より測定した。トラッ クの速さは主として牽引用トラックの速度計によっ た。また、試験車の運動性は主としてコダック社製 16ミリ撮影機により撮影し検討した。

車の全重量、速度、ケーブル本数、索高、初張力の 組合わせにより 18 種類の実験を実施した。

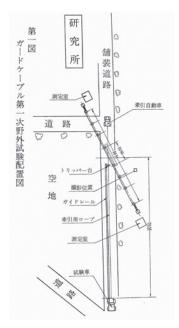




図 5.25 野外低速衝突実験配置図と実験風景

実験結果から車の運動性をまとめると、

- ①車がガードケーブルに衝突した場合、容易に方向転 換しケーブルに沿って運動し、ケーブルを乗越えて 道路外へ飛び出す恐れはなかった。
- ②ケーブル高さを前車輪に全然触れないほど高くした場合は、前車輪の方向変換性が極めて悪く、車のはみ出しが大きかった。
- ③前車輪取付け用ナット等の突出部がケーブルにから み、衝突ポスト間隔内でケーブルに接触したまま停 止する場合が多く、ガードケーブルが非常に安全な ブレーキの役目をしている。

等々であった。

### (3) 高速野外実験

実験の目的を大別すると①模型実験のデータと実車 実験データとの理論的関連性、②実物道路における ケーブルおよび自動車の破損程度、③ケーブルに自動 車が衝突した後の自動車の運動性について、というも のである。

実験は 24.5m の高さの傾斜を利用して木製軌道 100m を敷設し、車輌を自然落下させて防護柵に衝突させるものであった。この高さから得られる車両の最大速度は 73km/h であった。実験は車輌を 15°の角度で衝突するように防護柵を敷設し、支柱を車輌進行方向に No.1、No.2、No.3、・・・No.10、の番号をつけ、車輌が常に支柱 No.5、No.6 の中間に衝突するようにセッティングした。

ケーブルは  $7 \times 7$  直径 18 mm のもので、ポスト (支柱) は 5 インチ  $\phi$  のガス管を使用した。

車輌速度の測定は、サイクルカウンター型、抵抗回 路型、ダイナモ型の3通りの方法を採用した。

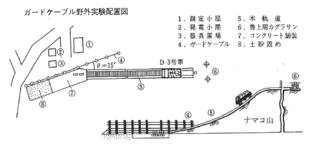


図 5.26 高速野外実験配置図

昭和34年6月8日に第1回目の実験が富士山麓で行われ、7月18日の第14回目の実験は、建設省、道路公団、その他官民立会いで一般公開実験とし、NHKテレビによってその状況が報道された。

そして7月31日までの間に18回にわたる実験を 行った。

図 5.27 に試験設備全景と公開試験衝突の瞬間写真 を、図 5.28 と図 5.29 に実験結果の一例を示す。

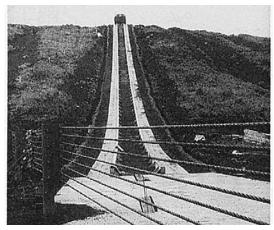




図 5.27 試験設備全景と公開試験衝突の瞬間写真

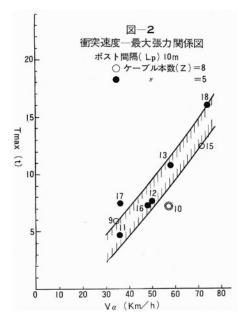


図 5.28 衝突速度と最大張力の関係

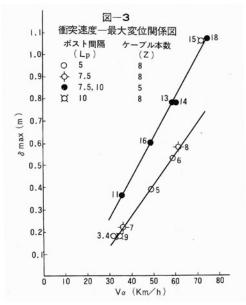


図 5.29 衝突速度と最大変位の関係

これら実験の結論として、①ケーブルの最大張力については低速実験で得た結果と同じ傾向を示したが、模型実験との関連性では値は相当低い値であった。②最高速度(実測)75.2km/hまで実験したが1回もケーブルを超えてコース外へ飛びだしたり、転倒したことはなく、車輌の破損程度が少なかったこと。また、防護柵の損傷も軽微で、柵の復旧が極めて簡単であることが実証された。③自動車の運動性については、模型実験の結果とまったく同様の性向を示した。

今までのことを総合して高速道路用として考えると、ケーブルに関しては大体次のことがいえる結論になった。①初張力は大きい方が良いが、6~10ton あれば充分と思われる。②ケーブル本数は多い方がエネルギー吸収が大きく好ましい。③ケーブルの全張力は25ton 以下であり、ケーブル本数の5~8本は過度のように見えるが、その撓みからすると本数を減らすのは考慮の余地がある。④ポスト間隔は5m~10mの間で直線コースでは長くした方が反って安全である。初張力が小さい場合のみ短くした方が良い。⑤索高は低いと転倒するから1m以上が望ましい。⑥ケーブルの役目は、下段は車輪の方向転換用、上段は倒れるのを防止するのが目的と考えるべきである。⑦ガードケーブルにおける車の破損は後輪であるから、倒れを防ぐ索高があれば車は比較的安全である。

以上の実験を経て、新しい時代に対応した製品が市場に送り出されることになった。

### (4) ガードフェンス設置要綱

我が国の道路技術界のこの分野の権威者を集め、谷 藤正三委員長以下、副委員長1名、委員19名、幹事8名、 協力者 6 名からなる交通安全施設小委員会の 3 年間にわたる研究と審議を経て「ガードフェンス設置要綱」がまとめられ、1965 年(昭和 40 年)4 月 20 日に社団法人 日本道路協会から発行された。本書は、この分野における最初の指導書であり、このガードフェンス設置要綱は、ガードフェンスの設置の適正を期するために定められたもので、ガードフェンスを設置する場合は、当該道路の道路および交通の状況を十分考慮して設置しなければならないとされている。

### (5) ワイヤロープ

野外低速衝突実験で使用されたワイヤロープは一般に使用されている  $7 \times 7 + 6 \times Fi$  (21) であったが、高速野外衝突実験では素線径の太い  $7 \times 7$  の構成のワイヤロープが使用され、ガードフェンス設置要綱では更に素線径の太い  $3 \times 7$  の構成のワイヤロープになっている。これは耐食性・耐摩耗性やコスト面から検討され決定されたと思われる。これを機に  $3 \times 7$  の構成のワイヤロープが道路防護索として多く使用されるようになった。

(6) その後、1961 年(昭和36年)には、北海道開発局ならびに札幌鉄道管理局の協賛により東京製網は落石防止柵の強度実験を行い、更に1963年(昭和38年)には日本国有鉄道施設局が土讃線において、落石を防止するための試作品の実験を11月28日と12月18日の両日に実施した。この実験には4社(A社、B社、C社、D社)が参加した。

また、雪崩防止にもワイヤロープの有効性が認められ、南八甲田山系黒石市大川原大字蛭貝沢の雪崩危険指定地区に正式採用となり、1964年(昭和39年)11月には雪崩防止工事が完成し、青森テレビでも報道された。

### 【引用、参考文献】

- 1) 「STEEL WIRE HADBOOK VOLUME 1」THE WIRE ASSOCIATION INC, 1956 年版 p252
- 後藤裕明:「イゲタロイ®の歴史」 2009年1月
   SEI テクニカルビュー 第174号
- 3) 石垣進 :「泉南地域における金属加工業の生成と展開」大阪府立大學經濟研究.1996,41 (4),p119

- 4) 「引き抜き用超硬合金ダイスについて」塑性と加工 日本塑性加工学会 コロナ社 vol.5 No.45 1964-10 p748
- 5) 「引き抜き用超硬合金ダイスについて」塑性と加工 日本塑性加工学会 コロナ社 vol.5 No.45 1964-10 p745
- 6) 東京製綱:「産業とロープ No,9」1963年 p4
- 7) 高崎哲郎:「湖水を拓く」鹿島出版会 2006 年 p124
- 8) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」 1989 年 p340
- 9) 高崎哲郎:「湖水を拓く」鹿島出版会 2006 年 p110
- 10) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」 1989 年 p346
- 11) 高崎哲郎::「湖水を拓く」鹿島出版会 2006 年 P110
- 12) 東京製網:「東京製網 100 年史」 1989 年 p348
- 13) 「MACHINERY JAPAN CONSTRUCTION EQUIPMENT 1953」 ASSOCIATION FOR CONSTRUCTION MECHANIZATION IN JAPAN P14
- 14) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」 1989 年 p350
- 15) 東京製綱:「産業とロープ No.9」1963 年 p6
- 16) 貝塚商工会議所製綱活性化研究会「ワイヤロー プのすべて(下)・安全への道・」 貝塚商工 会議所 平成7年 P140
- 17) D.G.Zhitkov:「DRAHTSEILE」VEB工学出版 ベルリン 1957 年 P216
- 18) 西岡多三郎:「鋼索の製造」 誠文堂新光社 昭和 29 年 p14
- 19) アメリカン・ケーブルコムパニー・インコーポレーテッド「特許第75486号」出願 大正14年
- 20) 「STEEL WIRE HADBOOK VOLUME 3」THE WIRE ASSOCIATION INC, 1972 年 版 p196 fig.7.14
- 21) 「ワイヤロープハンドブック」 日刊工業新聞社 1995 年 p165
- 22) 「ワイヤロープハンドブック」 日刊工業新聞社 1995 年 p166
- 23) 西田多三郎「特許公報」出願公告 昭 30-8886 号

# 6 高度成長下の時代 (1960 年以降)

### 6.1 吊り橋と吊り材の変遷

吊り橋の歴史は古く吊り材としては、つたやかずらのような植物繊維が用いられていた。我が国では713年(和銅6年)斐太後風土記の藤橋が文献に示されているが、「祖谷のかずら橋」(図6.1)という原始的な吊り橋が現在も徳島県に保存されている。



図 6.1 祖谷のかずら橋 1)

欧米で17世紀ごろから吊り橋の吊り材にチェーンが用いられるようになった。19世紀にはスイスのジェネバ(Geneva)の吊り橋に平行なワイヤを東ねた東環索(selvagee)が用いられ、19世紀半ば頃からは、架設が容易なワイヤロープを用いた吊り橋が作られるようになった。

ワイヤロープの特性を生かした近代的吊り橋は、1823年に完成したフランスのセーヌ河のサン・アントワーヌ橋、1825年完成のフランスのローヌ橋が発祥といわれている。架橋技術および吊り材の発展に伴って、だんだん長い吊り橋が可能となり、それから112年後の1937年(昭和12年)にはサンフランシスコ港に大型吊り橋として想起される中央径間1,280mのゴールデンゲート橋が架設され、従来は不可能とされていた海峡等にも吊り橋が架設されるようになった。

しかし、全ての吊り橋が順調に架設されてきたわけではない。1940年7月に開通したアメリカのタコマ・ナローズ橋(中央径間853m)は、建設中から風による揺れがあり、開通からわずか4ヵ月後の11月には風速19m/sの影響で落橋するという事故が発生している。この事故は激しい揺れを始めてから、崩壊を終えるまでの全過程が映像に残され、以後の風による振動についての研究が急速に進展した。

我が国で初めてワイヤロープを用いた近代的な吊り 橋が作られたのは、1908年(明治 41年)群馬県下の 桐淵橋である。山岳渓谷の多い我が国ではその後多く の吊り橋が作られ、この桐淵橋を皮切りに、昭和 12 年までの 30 年間に記録の不備等あるが、大よそ 177 橋が架設されている。

芥川龍之介の「河童」に登場する上高地の河童橋は、1891年(明治24年)に設置された丸太の跳ね橋を1910年(明治43年)に吊り橋に架け替えている。

吊り材としてのワイヤロープは架設が容易で、工期も短く、工費も安い等の利点があり、ストランドロープ (ストランドを1層ないし数層より合わせたロープ で最も一般的なロープ)が用いられた。しかし、ロープの断面充填率が少ないので破断強度が低く、しかも永久伸びや弾性伸びが大きいため、吊り橋が長くなるにしたがって適さなくなった。その点、スパイラルロープ(素線を1層ないし数層より合わせたロープ)やロックドコイルロープを使用した方が有利であったが、素線強度や価格の高い点ではストランドロープが有利であった。

また、長大な吊り橋になると、主索は鋼線を平行に 並べたパラレルワイヤ形式にする必要がある。パラレ ルワイヤは力学的には最も吊り橋の主索として合理的 ではあるが、架設設備が大規模になるため、よほど長 大な橋でないと工期・費用の点で経済的でないとされ ていた。しかし、架設方法が逐次開発されたことによ り、近年はパラレルワイヤ形式の長大な吊り橋が架設 されるようになった。

我が国では昭和30年代に入ると工期も短く、工費も安く、しかも美観にも優れていることから吊り橋の建設計画がもちあがった。この頃になると我が国の吊り橋の架橋技術も発達し、吊り橋の主索に用いるストランドロープ、ロックドコイル、スパイラルロープの性能も一段と向上していた。以下は、これらのワイヤロープを主索に用いた代表的な吊り橋である。

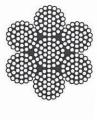
### (1)小鳴門橋

1961年(昭和36年)7月に完成した徳島県の小鳴門橋(図6.2)は、全長441.4m、最大支間長160m、高さ23.5mの吊り橋で、主索に7×37 G/O ロープ径54mmのロープ19本を用い、中央支柱に支えられた左右二つの主索で吊られている。吊り索にも7×19 G/O ロープ径40mmのロープが用いられている。

ストランドロープを用いた吊り橋では、我が国最長 であった。

主索には長さ 253m のもの 38 丸 (巻)、長さ 234m のもの 38 丸 (巻) の計 76 丸 (巻) が使用された。





 $7 \times 37$ 

図 6.2 小鳴門橋 2)と主索の断面図

### (2) 神納橋

北海道開発局が、西独デュッセルドルフ市のノルトブリュッケ橋を参考に、我が国における斜張橋の先駆になろうと研究に取組んで決定・設計し、石狩川の神居古潭に架設した神納橋 251m(図 6.3)は、我が国初期の斜張橋である。時代の美意識を反映した直線だけで構成され、極めてスッキリとした近代美といえる。

1963 年(昭和 38 年)に完成したこの橋の主索には、 ロックドコイルロープが使用された。

D形 ロープ径 54mm 116m 8丸(巻),

C形 ロープ径 48mm 68m 8丸 (巻)

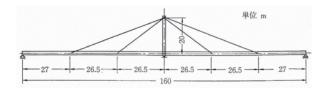




図 6.3 神納橋の大きさ 3)と主索 54mm の断面図

### (3) 若戸大橋 4)5)6)

北九州の若松市と戸畑市の間の洞海湾口に架けられた我が国最初の大吊り橋の若戸大橋(図 6.4)は、昭和 30年10月に調査に着手し、33年5月に若戸大橋工事事務所を設立、総工費51億円と4ヵ年の歳月とを費やし、1962年(昭和 37年)9月26日に開通した。



図 6.4 若戸大橋

### 1) 背景と経緯

洞海湾をはさむ石炭と海運の町若松と、鉄の町戸畑との間の交通は従来渡船によっていたが、北九州の近代産業が繁栄するにつれて障害となっていた。そして、1930年(昭和5年)4月の第1若戸丸転覆事故(死者72名)を機に連絡道路建設の要望が高まり、1938年(昭和13年)にはトンネルを作る予定になっていたが、太平洋戦争勃発により中止された。しかし、1952年(昭和27年)には再びその必要性が叫ばれ、その地形や社会情勢の変化もあって、連絡構想はトンネルから橋梁に大変更され、1955年(昭和30年)に当時の建設省によって現地調査が開始された。

翌年日本道路公団が設立されると、それは公団へと 引継がれた。

調査において、洞海湾に架ける橋の形式としては、 大別して吊り橋、トラスト、アーチの3種類が検討さ れたが、結論としては経済性と美観の点から吊り橋が 断然有利であることが判明した。

吊り橋の主索としては、パラレルワイヤ、ロックドコイルロープ、スパイラルロープ、ストランドロープの4種類が考えられた。パラレルワイヤは力学的には最も合理的ではあるが、日本では施工経験がなく現場仮設備や工期の点で不利。ロックドコイルロープは伸びの面では利点はあるが、素線の強度と製作費(2割程度割高)面で不利。ストランドロープは他のワイヤロープに比較して伸びが大きく主索としては不適当である。結局、若戸吊り橋としての要求に十分満足できうるのは、スパイラルロープということになった。

その後、地質調査、試錐、岩石試験、止水調査を展

開し、ワイヤロープの試験へと進展した。

### 2) 若戸大橋の概要

若戸大橋は、吊橋部 627m、中央径間 367m、若松 側の側径間 89m、戸畑側の側径間 89m で、桁下高は 大型貨物船の出入りに備えて満潮面上 40m を確保し、 建設当時は東洋一の夢の吊橋と言われた。

主塔の高さは海面から約84mで、塔頂には1ブロック約20トンの鋳鋼製サドルが主索を支え、塔の本体は鋼板をリベットで組み合わせた矩形断面で、力学的にはフレキシブル形式にされている。吊橋部橋台は、基礎の上に約11,000トンの主索の引張りに耐えるため、約30,000トンのコンクリートのアンカーブロックが施工されている。主索の端部は、一本一本のロープが特殊合金で取付けられた鋳鋼製ソケットによって橋台に固定されている。主索のサグは35mで中央径間の約1/10であり、主索には補剛桁を吊るために、間隔約8.4m毎にロープ径40mmのハンガーロープ124本が取付けられている。

### 3) 主索 (メインケーブル)

主索(図 6.5)は、東京製綱で製作した  $1 \times 127$ (素線径 5 mm)でロープ径 61 mm のスパイラルロープ(図 6.6)55 本(LS27 本、LZ28 本)と、同じく東京製綱製  $1 \times 61$ (素線径 5 mm)でロープ径 36.6 mm のスパイラルロープ(図 6.7)6 本(SZ6 本)の合計 61 本のワイヤロープを、現地で平行に束ね、その上の外周を径が 4.0 mm のワイヤでラッピングしてあり、その直径は 508 mm である。

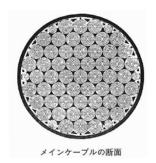


図 6.5 主索の断面

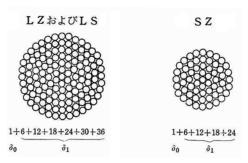


図 6.6 LZ,LS のロープ断面

図 6.7 SZ のロープ断面

注) LZ; ロープ径 61mm で最外層のより方向が Z よりのもの。保証破断力 310t 以上

LS; ロープ径 61mm で最外層のより方向が S よ りのもの。保証破断力 310t 以上

SZ; ロープ径 36.6mm で最外層のより方向が Z よりのもの。保証破断力 100t 以上

主索のねじれ(トルク)を防ぐために図6.8のように、下方から LS が3本、その上に LZ を6 本、さらにその上に LS を7本というように、LS・LZ を交互に積み上げ、外周の凹部に SZ6本を配置して一本の円形の束にされている。

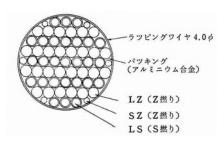


図 6.8 主索の断面

### 4) プレテンション加工及び測長等

東京製綱川崎工場から戸畑までは、すべて鉄道貨車で輸送された。川崎工場の専用線横には20tのジブクレーンを設置し、61mmのロープ(一条の長さ700mで重量約15t)はトキ35t車に2丸ずつ積まれ、現地では戸畑市営専用線の勾配も修正し仮ホームを設けて荷降ろしされた。

弾性係数の向上などの目的で行われるプレストレス (プレテンション加工) 作業は、戸畑側取付け橋梁とその延長部に設備したプレストレスヤード (延長 800m、幅 9.5m) 上に引き伸ばして、160t 引張試験機により、ロープ保証破断力の 1/2 の荷重で 2 時間保持して行われた。その後、61mm のロープは 70t、36.6mm のロープは 22t の張力をかけた状態で正確に測長してマーキングした上、片端のソケット加工が行われた。この測長作業では、正確に測長するため、温度影響、アンカー端と引きつけ端間の摩擦による張力変化に対する影響、また1本づつ巻尺で計る間違い等をなくすように、予め作成しておいた定規ロープを同一張力で同時に平行に張って測長が行われた。

### 5) ワイヤロープ製作上の技術的問題

素線径 5mm のめっき線で引張強さ 150kgf/mm²以上の素線を製作した実績がなかったので、いろいろな実験を繰返し、最終的には神戸製鋼所において特に若戸大橋用に吟味して製作したピアノ線材(KPR)の

	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	$\operatorname{Cr}$
若戸用 80KPR	0.79~0.84	0.40~0.60	0.15~0.30	<b>≦</b> 0.025	≦0.025	≦0.05	≦0.05	≦0.08
ビアノ線 材2種甲	0.75~0.85	0.30~0.60	0.12~0.30	≦0.025	≦0.03	≦0.20	_	-

0.80%C、10mm  $\phi$  にて製作した。JIS 線材との化学成分の比較を表 6.1 に示す。

JIS 線材に比べ若戸用線材は、C,Mn,Si 等の化学成分の範囲が厳しくなっている。

従来のめっき方法では要求の仕様を満足する均一で 平滑なめっきが出来なかった。この若戸用素線を製作 する数年前から、線が溶融亜鉛浴から出る時に斜めに 引出す方式から垂直に引出す方式に変えるために、溶 融亜鉛鍋の形状や加熱方法等々の度重なる実験研究を 行い、また、0.80%C線材を使用した素線のめっきは 実績がなかったことからも試作を繰り返し行った。伸 線作業では、発生熱によって品質をそこなわないよう に伸線速度および冷却に細心の注意をし、より線作業 では、今までとはめっきの合金層と純亜鉛層の割合が 違い傷がつき易い素線であるため、より合わせ時のボ イス(締めつけ工具)の締め加減にも大変注意して製 作をした。

また、長さの公差が厳しく通常の機械での計尺では クリヤ出来ないので、予め心になる素線を展開して計 尺・マーキングをして、その上に側の素線をより合わ せる方法で製作した。

端末のソケット付け方法も、クリープ等の問題のため使用メタルや方法など各種の実験を行い検討して決定した。{メタルは含銅亜鉛合金(Cu2%,Zn98%)を使用}

### 6.2 タイワイヤー (矢板式係船岸控索)

四面を海に囲まれた日本は、古くから海運による文化・産業の交流が図られ、大都市の大半が海岸に生成発展し、近代港湾がその中核として活発な活動を営んでいる。我が国の戦後、産業経済の高度成長に伴って商港の整備や臨海工業地帯の整備拡張で工業港の建設と、国造りの重点が港湾整備にも向けられていた。しかも、世界の海運界の顕著な動きの一つとして、輸送費の節減を図るために船舶を大型化する等の傾向にあり、繋船岸壁の拡大改善工事が不可欠で、さらに、これら施設を早急に建設する必要があり、施工の迅速性、費用の節減、施工の確実性等が求められた。

これらの要求から、繋船岸壁は旧来のコンクリートを主体とした重力式構造に代って、鋼材を主材料とした構造になりつつあった。その主役となったのが鋼矢板で、Z型、ボックス型、あるいは鋼管矢板といった新製品が開発され、それを錨定するものに丸鋼のタイロッドが使用されていた。

鋼矢板岸壁に加わる力は、図 6.9 に示すように、背後の裏込めによる主働土圧、干満の影響による残留水圧、鋼矢板根入れ部前面に作用する受働土圧、および錨定張力である。岸壁の大型化に伴って錨定張力も高くなり、タイロッドにも太いもの、長いもの、かつまた高張力のものが要求されるようになった。しかし、太径のタイロッドは製造限界により、リングジョイントの増加、ターンバックルの大形化、およびタイロッド自身のネジ切りによる有効断面積の減少等、不経済性と現場作業の困難性が顕在化し港湾工事関係者の頭痛のタネだった。

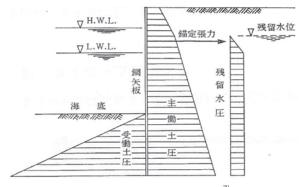


図 6.9 鋼矢板岸壁に加わる力 7)

そこで、このタイロッドに替わるワイヤロープを使用したタイワイヤーを研究し、試作・実験等を行い製品化した(商品名;タイロープ)。強度、弾性係数、耐食性等からワイヤロープはロックドコイルとし、更に、一般のケーブルクレーン等に使用されるロックドコイルとは異なる設計にした。

タイロープは従来のタイロッドに比較して、次のように数多くの利点がある。

(1) タイロープは破断荷重が高いので、タイロッドに比べ径を減少できる。したがって、重量も大幅に軽減でき、現場での作業性が向上し経済的でもある。

- (2) 弾性係数が高く (16.000kgf/mm²) 伸びが少ない。
- (3) 柔軟性が大きいので運搬が実に容易である。
- (4) 全長を通じて品質が均一である。
- (5) 任意の長さのものが容易に得られる。
- (6) 曲げ応力が生じない。
- (7) 防錆費用が割安である。
- (8) 取り付けが容易である。

タイロープの主たる仕様を表 6.2 に示す。

上層の Z 線を 1 層にしたロックドコイルロープ B 形と Z 線を 2 層にしたロックドコイルロープ特殊 C 形で、素線はすべて亜鉛めっきし、撚り方は上層 Z より、以下内層に向かって交互に反対より、ロープはプレストレス(プレテンション)加工をして伸びを少なくする。ワイヤロープの両端はソケット加工をし、締結金具を取付ける。

表 6.2 タイロープの仕様

ワイヤロープ の 断 面	ロープの径 (mm φ)	標準断面積 (mm²)	平均引張り 強 (kg/mm²)	切断荷重 (t)	標準荷重 (kg/m)
	20	274	152.2	36.8	2.26
SEE SE	22	326	155.6	44.7	2.68
A33333A	26	457	153.9	62.5	3.76
148888871	28	524	152.7	70.9	4.32
(5333)	32	686	145.0	87.8	5.65
	36	867	146.1	110	7.14
	40	1,130	139.9	139	9.31
	46	1,480	141.5	183	12.20
H188884	50	1,730	142.5	214	14.20
Will stay of the s	56	2,170	140.6	261	17.80
4.10	64	2,780	136.7	329	22.90

タイロープとして重要な要素である曲げによる強度 低下の試験結果を図 6.10 に示す。

タイロープのロープ径 48mm の端末を、曲げ角度 0 度、10 度、15 度、20 度にして試験機で引張試験を行なっ ているが、何れも切断荷重は同じで、20 度以下では 強度の低下はない結果になっている。

タイロープは海岸においてしかも地中に埋め込まれて使用されるので耐食性が重要である。

そのためにタイロープは、①密閉形といわれるロックドコイルを使用し、内部には十分ロープグリースを充填する。②ロープを構成する素線は亜鉛めっきとする。③ロープ表面には、ジンクリッチ系塗料による塗装(当初)又は特殊ナイロンゴムテープをハーフラップ、あるいは高密度ポリエチレン被覆等をし、3段の防食対策をしている。

タイロープは、まず 1962 年(昭和 37 年)横浜港山下埠頭第四バース試験区間 25m の間に使用され、次に、新潟地震により致命的な被害をこうむった新潟臨港埠頭の B.C バース延長 445m の区間に採用(間隔 3.21m)となり、1965 年(昭和 40 年)に工事完了した。新潟臨港埠頭の状況を図 6.11 に示す。

なお、海外においては、1939~1941年に、Wilhelmshavenの第IV港口西口岸壁にロープ径73mm, 長さ30mのもの、Hamburg Altona 漁港の岸壁にロープ径36mm. 長さ6.4mのものが使用された実例がある。

試 料 タイロープ 48 mm φ 指定切断荷重 197 t 実際切断荷重 225 t

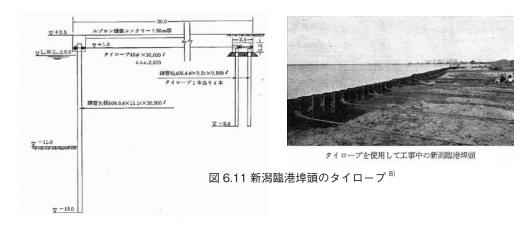
使用引張り試験機 1,000 引張り試験機

No.	曲	げ	角	度	実際切断荷重	強度低下率
1			0	•	2 2 5 <sup>t</sup>	_ 9
2		1	0		2 2 5	0
3		1	5		2 2 5	0
4		2	0		2 2 5	0



- ① 試料タイロープ 48 mm φ
- ② タイロープ用ソケット
- ③ テーバー座金 (10% 15% 20%)
- ④ 1,000 t 引張り試験機支持部
- ⑤ 同上用ソケット

図 6.10 曲げによる強度低下試験



## 6.3 ワイヤロープの劣化判定と検査

### (1) ワイヤロープの劣化

ワイヤロープは各方面多岐に使用され、それらの寿命に関してはロープの構造、用途および使用期間の経過とともに、疲労、摩耗、腐食などによって次第に劣化していくが、概してその劣化の進行は一般の鋼材に比べ速い。これは、ワイヤロープが多数の細い鋼線で作られているので曲げやすいという利点がある反面、腐食の影響が大きいなどの欠点があるためである。ワイヤロープが使用上求められる機能の多くは、動力の伝達や荷重の支持といった要素で、その破断は構造全体の崩壊や大きな人的および物的損害をもたらす危険性がある。

ワイヤロープを動索として使用する鉱山やエレベー タでは早くからこのことが認識され、ワイヤロープの 劣化状態を常に監視し、ロープ交換時期を決定すべく 努力がなされてきた。一方、吊り橋などの静索として ワイヤロープを使用する分野では、暗に他の構造物と 同程度の耐久性であろうと思われていたが、近年、初 期に建設された吊り構造物の老化が指摘されるように なって、ワイヤロープの経年劣化に注意が払われるよ うになってきた。ワイヤロープの使用劣化は強度の低 下と定義づけられるが、劣化状態の観察や測定から直 接的に強度低下率あるいは余寿命を知ることは、ワイ ヤロープの有史以来いろいろ研究されているが決定 的な方法は無いと言っても過言ではないと思われる。 従って、一般的には経験的な一定の基準に照らして判 定し、ワイヤロープの管理およびその廃棄がなされて いる。

ワイヤロープ劣化の主要な原因は摩耗、腐食、疲労によるが、それらは損傷形態として顕在化するが、それらのメカニズムが単独で発現することはまれで、一般にはそれらが複合的あるいは相乗的に作用してワイヤロープを次第に劣化させていく。

ワイヤロープの交換時期を決める判断材料を得る手 段としての劣化評価の方法は次のようなものがある。

- ①摩耗や腐食の程度、断線数、形くずれの有無などの 損傷状態を目視観察する、いわゆる外観検査による 方法。
- ②直径減少やワイヤロープ全体の伸びの増大など、劣 化に付随する現象について測定する方法。
- ③使用しているワイヤロープの一部について強度試験 を行う方法。
- ④非破壊検査による方法。

⑤同一使用環境における過去の使用実績に基づく 方法。

通常①や②がごく一般的に用いられ、ワイヤロープの交換基準もこれらに基づいて規定されているのが普通である。索端の切り捨て(切り詰め)が実施される場合には③の強度試験を行い、実際の劣化を直接把握することが出来る唯一の方法であるが、あくまでも使用しているロープのごく一部分の評価でしかない。④は磁気や超音波などを利用するもので過去から様々な検査方法および装置の研究がされてきている。⑤は一部の用途においてはロープ交換時期の判断に利用しているところもある。

アメリカの R.A.Egen は、これらワイヤロープの劣化やその検査、管理について考えるさいには、劣化のメカニズムとその結果として現れる損傷形態および付随的現象・劣化兆候を区別して考える必要があると提案 $^{9}$ している(表 6.3)。また、外観検査においては、種々の損傷形態ごとにその程度を数量的に表現し、それらをもとにロープの強度低下率を推定する方法(後述)を西岡多三郎(前述)は提案している。

表 6.3 ワイヤロープの使用劣化のメカニズムと損傷形態 9)

劣化のメカニズム	損傷形態	付随的現象・劣化兆候
短期劣化メカニズム 事故,取扱いの不手際 稼働上の問題	キンク, 曲がり, かご状変 形, つぶれ, ストランドの浮 き, ストランド切れ	
長期劣化メカニズム 摩耗、腐食、疲労	素線に生じた摩耗痕 素線の減肉および表面凹凸 素線断線	ロープ直径の減少 ロープよりビッチの変化(伸張と不同) ロープ全体の伸び ロープ剛性の変化

### (2) ワイヤロープの交換基準

鋼索鉄道などの運輸施設、鉱山の巻上げ設備、クレーンなどの作業機械およびエレベータなど、動索として使用されるワイヤロープについては殆どのものに、ワイヤロープの管理および交換基準が用途分野ごとに法規で定められている。通常のワイヤロープ検査では、一般的に①ロープ表面状態の目視観察、②表面断線数および位置の確認、③ロープ直径減少量の測定のような項目が実施されている。表面断線数は疲労進行の度合いを表す指標とされており、交換基準も、一般的には外観(形くずれ、腐食など)、素線断線数、直径減少率によって規定されている。規定は ISO でもあるがそれぞれの国が、ワイヤロープの用途別に規定を設けており、表 6.4 は我が国のワイヤロープ交換基準例、表 6.5 は海外のワイヤロープ交換基準例である。

表 6.4 国内のワイヤロープ交換基準例

	クレーン等構造 規格(昭37労働 省告示 56 号)	エレベータ (JIS A 4302)	鋼索鉄道 (昭 62.5.20 地施第 99号)	鉱山保安技術基準作成検討会ローブ部 会規定
断面積			有効断面積 20%減	
断 線	1 ローブピッチ において 総素線数(フ マラー線を除 く)の 10%	平均に分布している場合: 1ストランドに 4本/ビッカー ただし、基準の断面が70% 以下となっているか。さびが はなはだしい場合ながピッケー 1カ所が特定のように集中して 6ストランドローブ 8ストランドローブ 18本/ビッチ 16本/ビッチ	6 ロープビッチ面 の破絶和に 対助時日に 適とき	日初 電磁
直径減少	の10%減 11%減 20%減 外層素		断面積に換算 (ロープ径の 11%減を断面積 20%減とする) 外層素線:50% 以上のものが原	斯線,変形がなく腐食が少ない場合 等価荷度直径*の 6×7 で 10% 6× 19で5% *実際低径×(破断荷重公称値/実際 値)/2 著しい帰心摩託
			直径の1/3減	
腐食	著しい腐食	著しい腐食	使用困難と認め られたとき	著しい腐食
伸び				テストピース破断試験の結果 伸び率が2%以下になった場合
変 形	キンク, 著しい 形くずれ		使用困難と認め られたとき	著しい変形
その他			使用困難と認め られたとき	強度が規定被断荷重の 80% 以下の部 分があると判断されたとき

表 6.5 海外のワイヤロープ交換基準例

	オーストリア規則 (DSB 1956) ロープウェイ,鋼索鉄道	アメリカ鉱山規則			
断面積	有効断面積 10% 減	斯而積 15% 減			
断線	主 楽:外層楽線 8%/1m 40%/20m えい索:外層楽線 8%(11%*)/1m 25%(35%*)/10m * 制動安全装置のある場合断線に 近い状態の素線も含める	ロープ 1ストランド 1ビッチ の近接断線 6×7: 6 3 6×19: 16 5 6×F125: 16 5 6×24: 20 6 6×37: 30 8			
直径減少	断面積に換算するものと思われる	ローブ径減少:断面積に換算 外層素線:断面積損失15%			
使用期間	支索12年 えい索4年 緊張索5年				

### (3) ワイヤロープの交換時期の判定方法

どのような施設においても、あらかじめワイヤロープのおおよその使用期間を決めているのが普通である。架空素道などにおいては使用期間や運転回数の制限を設け、その制限値に達したら新たなロープに取り換える場合もある。このような規定は目視を主とする人的な検査法に多くを依存しているため、検査人による検査値のバラツキは否定できない。

ワイヤロープの強度低下又は余寿命を推定する方法の一つとして、1961 年(昭和 36 年)に発表 100 された西岡式 ABCDE 法がある。これは、使用されている損傷ワイヤロープの破断荷重を、破断試験を行わず推定するために考えだされた方法である。炭鉱、鉱山、林業、索道、リフトなどで広く使用されている、6 × 7、サンロープ (6 × 7 異形線)、6 × 19 についての推定法である。この推定法はロープを実験室的に損傷させて試験した結果を基礎に、実際に使用された損傷ロープの検査結果と照合して破断荷重の減少率を推定するものである。

この方法ではワイヤロープの損傷を、

- ・A 項 摩耗 (Abrasion): 摩耗による破断荷重減 小率
- ・B 項 断線 (Broken wire): 断線による破断荷重 減少率
- ・C 項 腐食 (Corrosion): 腐食による破断荷重減 少率
- ・D 項 形崩れ (Deformation):型崩れによる破断 荷重減少率
- ・E 項 偏心その他 (Eccentricity etc): (破断荷重 減少率は A 項及び B 項に含む)

の5項目に分類し、これらを項目ごとに定量化した 推定破断荷重減少率を合計し、100からこの推定破断荷 重減少率を減じたものが、損傷ロープの残存破断荷重 率となり、新品時のロープ破断荷重と残存破断荷重率 の積が残存破断荷重と推定されるというものである。

推定値の信頼がどのようなものであるかを昭和35年~36年の期間に、鉱山保安局の竹内健二技官が調査し発表<sup>111</sup>している。この調査は西岡式 ABCDE 法の推定値信頼度を高め、実用化を図り、ワイヤロープ管理の向上に資する目的で行われたもので、ABCDE 法を使用し且つ適宜切断試験を実施している鉱山・炭鉱の中から7鉱山11炭鉱を選び、同一試料を3名が調査したものである。この発表によると『信頼度をいかにとるべきか、すなわち許容誤差として何パーセントを与えるべきかは、使用されているロープの重要度によって決められるべき問題ではあるが、実際上14%以上の誤差を生じることはないと考えられる』としている。

### (4) ワイヤロープの非破壊検査 12)

ワイヤロープの管理・交換基準は目視などの人的な 検査手段によるところが大きいが、人的手段に代わり うるワイヤロープ検査方法を求め、様々な非破壊検査 方法が研究されてきた。これまでに研究された検査方 法は、電磁的な手法、振動を利用するもの、音響を利 用するもの、超音波を利用するもの、放射線を利用す るものなどが挙げられる。この中で電磁的な手法が最 も古くから研究されてきた方法で、電磁誘導探傷法、 漏洩磁束探傷法および全磁束法があり、ワイヤロープ 全長にわたって比較的簡便に素線断線を検知できる方 法として、我が国でも実用化されている。他の方法に 関しては研究はされているが、ワイヤロープの実用的 非破壊検査法としては道半ばと言える。

### 1) 電磁誘導探傷法

原形は1906年にイギリスの C.McCan が提案したロープ断面積測定装置に求めることができるが、本格的なロープ劣化検査装置としては、1929年にイギリスの T.F.Wall が発表したものが最初と思われる。1946年には南アフリカの A.Semmelink がロープと同軸に励磁コイルと検出コイルを配置する新しい探傷装置を発表し、その後、1956年にカナダのオンタリオ鉱山局と McPhar 社との共同研究により、OMA(Ontario Mining Association)ロープテスタとして結実した。我が国では内藤(電気試験所)、鈴木、秋吉ら、高岡ら(資源試験所)によって、この方式のワイヤロープ探傷法の開発が行われた。

基本的な原理を図 6.12 に示す。ロープを取巻くように配置したコイルに交流電流 I を通電したとき、コイル両端の電圧 (誘導起電力) E は、交番磁界 H によってロープ軸方向に誘起される磁束 φ の時間変化に比例する。誘起される磁束の量は断面積によって異なるから、この状態でロープの長さにそってコイルを移動させながら誘導起電力の変化を観測すれば、各部分の損傷(断面積の減少)の有無が判定出来る。

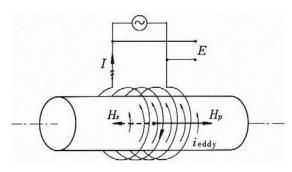


図 6.12 電磁誘導探傷の原理

### 2) 漏洩磁束探傷法

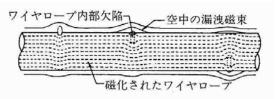
1931 年にドイツの Bochum ロープ試験所の A.Otto によって開発された探傷器が、この方式の最初のものでソレノイド形励磁コイルと 1 対の差動形検出コイルからなるものであった。1950 年代からは他の機関でも研究開発が行われはじめ、2 分割形差動コイルを用いることが実用化への大きなブレイクスルーとなった。この 2 分割形差動コイルについては、すでに1937 年に R.Wornle と H.Muller がドイツで特許を取得していた。

1966年イタリアに本部を置くOITAF(国際鋼索輸送機構)が、各国の探傷器の実情を調査した上で、一つの模範的な探傷器(OITAF-Instrument)を開発・発表するに至って、漏洩磁束探傷法は一つの実用的ワイヤロープ検査法としての地位を獲得した。ポーラン

ドでも M.Jezewski らを中心として 1946 年から独自 に研究開発が行われ、Magnetic Defectgraph として 探傷器が実用化された。

我が国においては、1963 年(昭和 38 年)から見沢、 松木、小門、藤中らを中心にこの方式の探傷法の研究 が行われ、三井ロープテスタなどとして実用化された。

探傷の原理は図 6.13 に示すとおりで、電磁石やコイルによって静磁界を発生させ、ロープの一部を磁化すると、断線などの断面欠損部では磁束の流れが妨げられロープ表面に磁束が漏洩する。コイルなどによってこの漏洩磁束を検出し損傷を評価するのである。この方式の探傷法は、断線などの局部的損傷の検知には適しているが、ロープ断面積が徐々に変化しているような摩耗や腐食による損傷を評価することは困難である。



(a) ワイヤロープ損傷による漏洩磁束

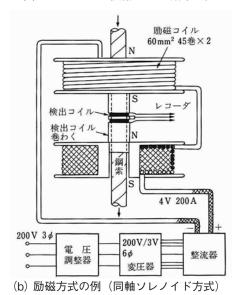


図 6.13 漏洩磁束探傷

### (3) 全磁束法

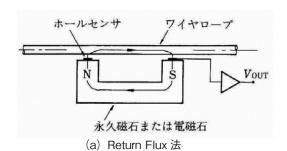
1980 年前後にアメリカやカナダにおいて開発され もので、ワイヤロープ各部の断面積を直接測定しよう とするもので、摩耗や腐食の程度を定量的に評価でき、 Return Flux 法と Main Flux 法がある。

Return Flux 法 は F.Kitzinger,J.R.Naud や B.G.Marchent によって開発されたもので、図 6.14 (a) のように外部磁石とロープとで磁気閉回路を構成したとき、そこに流れる磁束の量はロープの磁気抵抗つまり断面積を反映する。NS 両磁極とロープとのエア

ギャップ部に設けたホール素子によって磁東密度を計 測し、ロープ断面積変化を評価するものである。

Main Flux 法は H.R.Weischesel によって開発されたもので、図 6.14 (b) のようにコイルを検出要素とするものであるが、誘起起電力を積分するところが漏洩磁東法と異なる点である。ロープを移動させているとき、摩耗などによって断面積が小さくなっている部分を通過すると、ロープ中の磁束量の時間変化が誘導起電力としてコイルに発生するので、この誘導起電力の時間積分値を計測すれば、その部分の磁束減少量つまり断面積の減少量を知ることが出来る。前者が両磁極間の平均的な磁束量しか測定できないのに対し、後者はより局所的な断面積にも追随できる特徴をもっている。

我が国では京都大学の花崎、塚田を中心にその実用 化が研究され、最近では超大橋のハンガーロープなど の保守管理のツールとして評価されている。



サーチコイル 横分器 N S

(b) Main Flux 法 図 6.14 全磁束法の原理

### (4) 磁気検査の実施例

炭鉱の C.B.C (Cable Belt Conveyor) 設備 (機長 2,150m, 平均傾斜 12°, 石炭及びズリを毎時 400~ 450t 運搬するもの) に使用されているワイヤロープ 6 × S (19) 36mm 使用期間約 22ヶ月、総運搬量約 300 万 t について漏洩磁束探傷 (探傷装置は図 6.13 に示したタイプのもの) を実施した例がワイヤロープハンドブックに記載されている。

図 6.15 は、ある区間 (893 ~ 903 間の長さ 10m の ロープ) について探傷記録図と探傷後にロープを分解 検査した結果を対比したものである。同図の上部 6 行 には、各ストランドの分解検査によって確認された内部断線の位置がその素線断面積に比例した大きさの縦線で示されている。第7行は、これらを加算したもので、第9行の探傷記録線図とよく対応している。なお、同図にあるように、 $\delta_0$ はストランド中心の素線を、 $\delta_1$ は、 $\delta_0$ と  $\delta_2$ の間の素線を夫々表わしており、この10m間では、 $\delta_2$ の断線は1本もなく、断線は $\delta_1$ と $\delta_0$ のみである。探傷されたこのワイヤロープは、使用後取り替えにより廃棄されたもので、使用環境から内部腐食と摩耗が多く発生していたものと思われる。

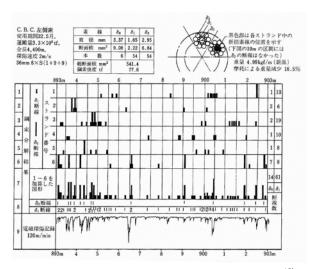


図 6.15 漏洩磁束探傷記録例とその部分の分解結果 12)

## 6.4 アルミニウムめっきワイヤロープ $^{13)}$

鋼材にアルミニウムをめっきする製造技術が 1959 年前後に米国アメリカンチェーン・アンド・ケーブル・ カンパニー(American Chain & Cable Co. Inc.)に より開発され、日本でも 1964年(昭和 39年)に特許 登録されている。

興国鋼線索(現ジェイ-ワイテックス)は、1962年(昭和37年)に同社とアルミニウムめっきに関する技術提携をし、同社のもつ特許の実施権を取得した後、アルミニウムを鋼線にめっきする技術およびそのめっきした鋼線でワイヤロープ等を製造する技術開発に着手し、1964年(昭和39年)に特許出願し、1975年(昭和50年)には特許権を取得した。「従来方法では到底得られる事が出来なかった極めて大きな抗張力と靭性を備え、且つ任意の線径に伸線加工せしめる事の出来るアルミニウムめっき鋼線の製造方法で、これにより得られた鋼線はワイヤロープ等に使用されるものである。」と特許の内容はなっている。

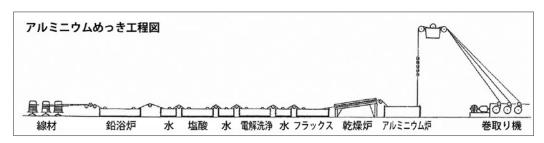


図 6.16 アルミニウムめっき工程図

アルミニウムめっき鋼線(鋼線材)の製造工程図を図 6.16 に示す。亜鉛めっき鋼線の製造工程とほぼ同じであるが、亜鉛めっき炉は 450℃程度にされるのに対し、アルミニウム炉は 660℃程度にされるので、浴中に入るまでの鉄面の酸化防止が重要で、鉄面の清浄、フラックス、浴面の酸化防止等に注意が必要である。

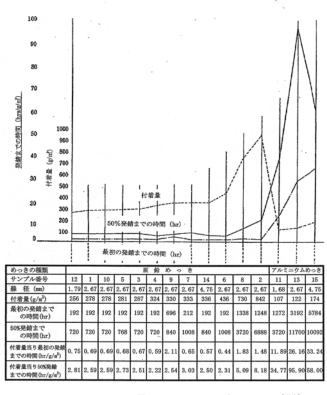
アルミニウムめっきを施された鋼線材は常温のまま 硬質ダイス中に挿通し引き抜き加工を施こすが、めっき過程における抗張力、並びに屈曲性の低下はほとんどみられないので、めっき前の原料鋼線材と同様の良好な引き抜き加工を行うことが出来る。従って、数回に及ぶ伸線加工が可能となって線材に減面率 60~95%の加工を与える事ができ、各種広範囲の線径並びに靭性の優れた任意の高抗張力を有する鋼線が得られる。これらアルミニウムめっき鋼線を数本撚成して、繊維心入りワイヤロープ又はロープ心入りワイヤロープを製作する。表 6.6 に線材から伸線まで加工した実

施例、図 6.17 に鋼線の塩水噴霧試験結果{カタログ「ALUMINIZED」に記載されたものを筆者が和文にしたもの}を示す。

表には線径が 0.83mm から 4.24mm 迄の 8 種類のデータが示されている。メッキ後の抗張力は、焼入(パテンティング) 後の抗張力より  $2 \sim 7$  kg/mm² しか低下していない。一方総減面率  $87.2 \sim 94.5\%$  の伸線加工をすると、抗張力は  $171 \sim 240$ kg/mm² にも上昇する結果になっている。

塩水噴霧試験結果の図は、めっきの付着量及び最初に発錆するまでの時間と 50% 発錆迄の時間を、亜鉛めっきとアルミニウムめっきで比較したグラフが示されている。アルミニウムめっきの付着量は非常に少ないのに、発錆の時間が亜鉛めっきに比べ長くなっている。

アルミニウムめっきは、緻密均質で密着性の良い酸 化被膜による安定した被覆保護作用と鉄より低い電極



東京都工業奨励館 No. C-328 (昭和37年8月14日) 試 料 アルミナイズド鋼線および亜鉛めっき鋼線 試験方法 ※準備度 ENA.CO に関係できない機能であった。

溶液濃度 5%NaCl, 温度35℃,噴射圧1kg/cl 溶融亜鉛めっき鋼線(付着量352g/m<sup>2</sup>) A 24時間後(8時間スプレイ) 発銹なし B 24時間後(8時間スプレイ) 発銹なし

アルミナイズド鋼線(付着量136g/m<sup>2)</sup> A 96時間後(32時間スプレイ) 発銹なし B 96時間後(32時間スプレイ) 発銹なし

**染および亜鉛めっき銅線** (興国鋼線素株式会社製品) 温度35℃,噴射圧1kg/cm², 8時間噴霧 16時間放置,くりかえす

> 48時間後(16時間スプレイ) 発銹 48時間後(16時間スプレイ) 発銹

120時間後(40時間スプレイ) 発銹 120時間後(40時間スプレイ) 発銹

図 6.17 アルミニウムめっき鋼線と亜鉛めっき鋼線の塩水噴霧試験結果

試験結果

表 6.6 線材から伸線まで加工した実施例

	原線	焼 炉温 1 鉛温 5	000°C		メッキ 度 665°C)		伸線				試験	結果		
	線径	焼入	線径	浸漬	線径	線径	総減	伸線		抗張力		伸線後	メッキ	巻解
	粉化土	時間	物水1土	時間	粉化土	柳和土	面率	回数	焼入後	メッキ後	伸線後	ネジリ回数	附着量	~m
1	mm	分	mm	秒	mm	mm	%		kg/mm²	kg/mm²	kg/mm²		g/m²	1×d8回
2							(各回平均)					(スパン 100d)		
3	0.83	0.25	0.82	1.60	0.85	0.2	94.5	11	121	114	240	72	20.0	良
4							(23)							
5	1.39	0.42	1.38	2.68	1.42	0.45	89.9	10	116	110	211	59	24.2	良
6							(20.5)							
7	2.08	0.60	2.06	3.86	2.10	0.72	88.2	9	113	107	192	58	30.6	良
8							(21)							
9	2.76	0.84	2.74	4.48	2.82	0.94	88.9	9	111	106.5	187	58	34.4	良
10							(22)							
11	2.76	0.84	2.74	4.48	2.81	1.00	87.4	9	112	108.5	178	59	38.6	良
12							(20.5)							
13	3.55	1.4	3.53	5.40	3.59	1.23	88.3	10	102	99.8	181	54	45.0	良
14							(19.5)							
15	3.55	1.4	3.53	5.40	3.60	1.29	87.2	9	113	110	171	51	45.2	良
16							(20.5)							
17	4.24	1.7	4.22	5.75	4.30	1.45	88.6	9	115	113	181	47	53.8	良

電位による電気化学的保護作用の二重の効果があり、特に酸化被膜は時間の経過によりますます緻密、安定化して、外部の化学変化を受け難くなる所謂 "金属の受働態化現象"を起こす。この被膜の侵されない環境ではめっき層の消耗は無く、その厚みに関係なく長期の保護寿命を保つことができる。(亜鉛めっきの場合は、酸化皮膜が脆くて密着力が弱く、剥がれて消耗するので保護寿命はめっき層の厚みに比例する。)

図 6.18 は、アルミめっき鉄線と亜鉛めっき鉄線を 大気中亜硫酸ガスの多い工業地帯に 5 年間暴露した結 果を示しているが、アルミメッキは殆んどサビが発生 していない。

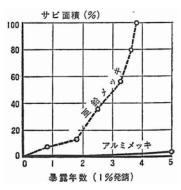


図 6.18 暴露試験結果

従って、アルミニウムめっきワイヤロープはこの特長を生かし、亜硫酸ガスの多い工業地帯、火山温泉地帯の硫黄性雰囲気や船舶・海岸等の海洋性雰囲気などの所に多く使用されるようになった。

## 6.5 非自転性ロープ

自転とはワイヤロープに張力が作用したとき、その軸の回りに自転することをいい、造船所、製鉄所などで使用される大型高揚程クレーンの巻上索は、ワイヤロープの自転力によるシーブブロックの回転、さらに巻上索のからみつきを防止するために、より方向の

異なった Z よりと S よりの併用が行われる。しかし、建設用タワークレーン、移動式クレーン、海上クレーンなどの高揚程化が進み、しかもクレーンの構造上、巻上索は1本のワイヤロープ(Z より)のみが使用される場合が多くなり、自転性の少ないワイヤロープが必要になった。昭和の初期に護岸工事用機械や炭鉱の立坑用等に、非自転性平ストランドロープやコンセントリックロープ等が使用されるようになったが、これらは使用条件の厳しいクレーンには適応できなかった(価格面からも)。そこで開発されたのが新たな非自転性ロープ(非自転性ロープといえども自転力が皆無ではない)である。

1964年(昭和39年)に東京製綱の細谷清は、ノンローテイションロープを考案して出願し、1976年(昭和51年)に実用新案登録された。このワイヤロープの特性は、クレーン等の巻上げ索に使用した際、荷重が加わっても回転し難い点、及びロープ外周面が平滑でシーブとの接触面積が大きく耐摩耗性を具備している点にある。図 6.19 に断面図、図 6.20 にこのワイヤロープの層心半径を示す。

ストランドは、(繊維心+15+15)の構成で線接触状態(平行より)により合わせ、断面はほぼハマグリ形にしている。ロープは、繊維心の周りに3~4本(図は4本の場合を示す)のストランドをストランドのより方向とは反対方向にし、かつ、ロープのよりの長さをストランドのよりの長さとの相互関係により、ロープ全体が非回転となるようにより合わせたものである。

ストランド形状をハマグリ形にしているのは、ストランドとシーブ溝の接触面積を多くして単位面積当りの面圧を小さくし、耐摩耗性を向上させるためである。

ストランド数を3本~4本としたのは、2本ではロープに撚ったときストランドをハマグリ形に維持することが困難であり、5本以上になると通常の丸ストランドタイプのロープ層心半径と差が近接し非自転性の効果が減少するためである。

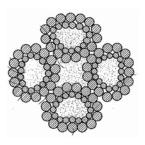


図 6.19 断面図

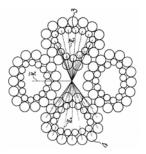


図 6.20 層心半径

ロープ全体の回転モーメントを M、ロープを構成するストランドの回転モーメントを Ms、ストランドを

構成する素線の回転モーメントを Mw とすれば、普通よりのため、ストランドとロープのより方向が異なるので、M = Ms - Mw であり、Ms と Mw が互いに打消しあってロープ全体の回転モーメントが小さくなる。また、同一断面積を有する通常の 6 ストランドの中心までの距離)も小さいため、ロープ全体の回転モーメント M をさらに小さくすることが出来る。この非自転性ロープ (ノンローテイションロープ) は、ロープの設計や製造方法等多少ことなるが、その後、多くのワイヤロープメーカーが製作するようになり、"モノロープ"、"バランスローブ"、"トルクレスワイヤロープ"、"ユニロープ"、"リバーランスローブ"等の商品名で販売されるようになった。図 6.21 に各種ロープの自転性能を、表 6.7 にその試料のローブ明細を示す。

この図は荷重時の自転角を比較したもので、No.1 ~ No6 の普通の 6 ストランドロープは自転角が大きいのに対し、No.7 と No.8 の 4 ストランドロープ、及び、No.9 と No.10 の多層ストランドロープは自転角が非常に少ない。No.7 は、荷重時によりのかかる方向に自転している。これは Ms より Mw の方が大きくなったためである。

表 6.7 各種ロープの構造

No.	ローブ構造	ロープ径	破断荷重	ロー ブ より長さ	スト	ランド! (mm)	ピッチ	ロープの
110.	7 777 742	(mm)	(t)	(mm)	1層	2層	3層	より方向
1	6×19O/O	16.0	14.1	107	29.3	58.6	-	Z
2	6×24G/O	23.4	24.1	138	47.8	80.0	-	Z
3	6×24G/O	20.0	18.5	134	44.0	73.7	~	Z
4	6×24G/O	20.0	18.5	134	36.0	60.3	-	Z
5	6×370/0	18.0	17.5	121	22.0	44.0	66.0	Z
6	6×Fi(25)O/O	14.0	10.9	93.8	42.0	42.0	-	Z
7	4×S(30)O/O	18.0	17.1	159	53.1	53.1	-	Z
8	4×SeS(39)O/O	20.0	27.0	176	36.0	60.0	-	Z
9	18×70/0{内層ストランド 外層ストランド	11.9 19.0	18.0	62.8 120.5	28.0 28.8	ï	-	s Z
10	18×70/0{内層ストランド 外層ストランド	8.0 12.6	7.9	41.5 78.8	19.5 18.5	-	-	s Z

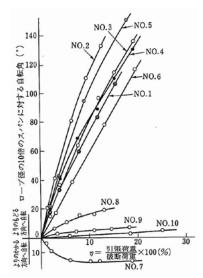


図 6.21 各種ロープの自転性能

又、トルク係数を下記のように定義した場合、ロープの構造(構成)によるトルク係数の値を表 6.8 に示す。

 $K = MT / (T \times d)$ 

K; トルク係数 MT; ロープ張力 Tkgf のとき のロープトルク (kgf-m)

T;ロープ張力 (kgf) d;ロープ径 (m)

表 6.8 ロープの構造(構成)によるトルク係数

$K (\times 10^{-3})$
5~15
10~20
20~25
50~70
80~100

### 6.6 建築物へのワイヤロープの適用

建築の分野におけるワイヤロープの使用は、エレベータ等の付随的なもの、あるいはテントなどにおける仮設的性格のものとしては古くから行われていた。これが建築構造の主体部分に本格的に用いられるようになったのは最近の吊り屋根構造が出現してからである。吊り屋根構造の古いところでは、帝政ロシア時代の1896年、全ロシア博の展示場として作られた4個の吊り屋根の記録があり、また、1933年のシカゴ博覧会では、Locomotive round house pavilion に大胆な手法でサスペンション工法を試みているが、これらは散発的なものであった。

吊り屋根構造が現代建築の中で連続した流れを作り出したのは、1953年に、故 M.Nowicki 設計のノースカロライナ展示場と一般に言われている。

吊り屋根構造が、その発想の起点とする技術的確信 の背景はいうまでもなく吊り橋構造であるが、1940 年に起こったタコマ・ナローズ橋の落橋は建築家たち の夢を萎縮させてしまったに違いない。

かくして、建築におけるサスペンション構造は、 吊り橋に比較してはるかに遅いスタートを切ったの である。

我が国での吊り屋根構造の建築物は、1964年(昭和39年)に東京オリンピック競技施設として、東京大学・丹下健三研究室で設計し、坪井善勝研究室で構

造計算され、清水建設が施工した、超近代的な吊り屋根方式の「屋内総合競技場(代々木体育館)」であった。 (図 6.22)



図 6.22 国立屋内総合競技場(代々木体育館)14)

工法は世界でも初めてとなるもので、競技場および 観覧席の上に吊り屋根を架け、主体となるメインケー ブルが建物の軸方向に2本走り、アンカーブロックか らメインポールを経て、他端のポールを経由して他端 のアンカーブロックに架け渡されたサスペンション構 造になっている。さらに、このメインケーブルから観 客席の外周を回る側壁へ向かって吊り鉄骨梁を架け、 これによって定まる曲面を押えワイヤロープで緊張し て安定させている。

また、2本のメインケーブル(図 6.23)は平行に架け渡すのではなく、ポール間中央に向けて紡錘形に拡張させ、従来の円形や楕円形からくる圧迫感を取り除き、開放的な感覚を観客に与えている。

図 6.24 はメインケーブル架設工事の様子を示す。

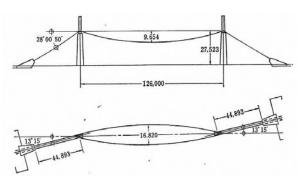


図 6.23 メインケーブルの架け渡し状況 14)



国立屋内総合競技場の吊屋根工事 図 6.24 メインケーブル架設工事の様子 <sup>15)</sup>

メインケーブルは、 $1 \times 127$  ロープ径 52mm 破断荷重 1,960kN(200tf)31 本と  $1 \times 127$  ロープ径 34.5mm 破断荷重 930kN(95tf)6 本を図 6.25 のように結束したもので、1 本のケーブルにかかる張力は約 14,710kN(1,500tf)であり、競技場に使用されたメインケーブルや押えワイヤロープの重量は約 305t、屋根の総重量は 2,500t であった。屋根用ワイヤロープの概要を表 6.9 に示す。

表 6.9 代々木体育館の吊屋根用ワイヤ 15)

	構造	燃り方	ロープ*径(xm)	長 き(m)
	1 × 127	裸/Z	52	約 8,832
	1 × 127	裸/S	52	<i>"</i> 8,280
主 索	1 × 61	裸/Z	34.5	<i>"</i> 2,208
	1 × 61	裸/S	34.5	" 1,104
400 1 400	1 × 91	鍍金/2	44	約 3,045
押え綱	1 × 91	鍍金/S	44	n 3,045

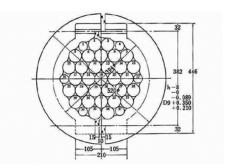


図 6.25 メインケーブルの断面 14)

## 6.7 樹脂複合ロープ

1960年代になると、ワイヤロープの弱点である腐食による劣化や炭鉱・鉱山等で使用されるワイヤロープの素線同士の圧擦による摩耗断線の防止策として、合成樹脂等を使用した樹脂複合ワイヤロープが開発された。

(1) フィラー型ワイヤロープの場合、フィラー線は 小さいから、心や他の側素線に比べ腐食が早く、 線の細りや腐食折線によりストランドの形崩れ が早く起こり、ワイヤロープの寿命が短くなる 欠点があるということで、1960年(昭和35年)に、 東洋製網(後に東京製網と合併)の幅野により 「被覆フィラー線を有するストランド」が出願さ れている。(実願35-12597)これは、図6.26のよ うに、ストランドをより合わせる時にナイロン、 塩化ビニール、ポリエチレン等の合成樹脂の可 塑性被覆を施したフィラー線をいれるというも のであり、フィラー線の腐食防止の他、水等の 内部侵入防止や耐疲労性も増すとしている。

また、同年に東京製綱の飯村、古谷らは合成樹

脂の摩擦係数が小さいことに着目し、ストランド内の素線の直接摩擦を避けるため、ストランドの内層を合成樹脂で被覆し、その上に上層をより合わせて製作する図 6.27 のようなワイヤロープで、従来のワイヤロープは摩擦による摩耗が烈しいのに対し、内部の耐摩耗性が向上するという技術を提案している。(実願 35-37254)

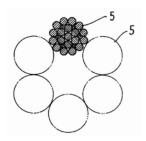


図 6.26 幅野提案のロープ



図 6.27 飯村、古谷ら提案のロープ

(2) さらに、1973年(昭和48年)に、アメリカの Amsted industries Incorporated 社が溶融した 樹脂をワイヤロープ全体に充填する技術を提案 (USP 3,824,777) している。これは図6.28に示す ようにエクストルーダー(extruder)によりワ イヤロープに溶融した樹脂を圧入充填して製作 するものである。

しかし、樹脂と素線が接着しているため可撓性 (曲げ易さ) に難があり、シーブでの曲げで樹脂 の割れや剥離が発生する欠点があった。

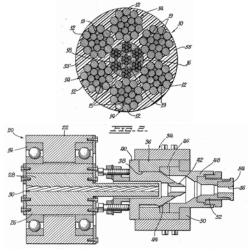


図 6.28 Amsted industries Incorporated 社提案の ワイヤロープと製作機械

(3) 1980年(昭和55年)になると神鋼鋼線工業の吉田、福田、冨口らにより、ワイヤロープの心ロープと各ストランド間に形成される空隙部、さらには各ストランド間に形成される空隙部に独立した樹脂を固形化した緩衝材を充填するという技術が提案(特願昭55-188641)された。

従来から提案されている溶融した樹脂を被覆し たワイヤロープは、優れた耐腐食性をもち海洋 での係留索等の用途に用いられたが、反面ワイ ヤロープの主用途であるクレーン等の動索とし ては可撓性に劣り、被覆した樹脂の割れや剥離 が起こりやすい等の欠点があった。このような 課題を解決するために、動索に基本的に要求さ れる可撓性を従来通りに維持しながら、耐摩耗 性、耐疲労性を向上させようとするもので、提 案されたワイヤロープは、樹脂で成形された断 面が三角形状の線条体(充填材)を、芯(心) ストランドと各側ストランドとの隙間に充填さ れるように撚り込んだもの(図6.29)である。 充填材には中心部にワイヤ又は麻等からなる補 強心を埋入している。製造はかご型製網機でボ ビンに巻かれた充填材を側ストランドと一緒に 撚り込む。充填材の断面形状は三角形状だけで なく、図に示すように扇状のものもあり心スト ランドと側ストランドの分離と同時に隣接する 各側ストランドをも分離するものである。



図 6.29 充填材入りワイヤロープ及びその充填材

このワイヤロープは撚り減り {ロープのよりに基づいて生じる効率の低下、すなわち素線の集合破断荷重に対するロープの破断荷重の差(%)をいう}も少なくなり、特に動素としての使用中、動荷重による心ストランドと各側ストランドとの間に生ずる接触圧を、これらの間に充填した充填材によって著しく緩和できるため、心ストランドおよび各側ストランドの摩耗、疲労が軽減できる。

ワイヤロープ IWRC 6×Fi (25) 16mm で、 (イ) 従来品 (充填材なし)、(ロ) 断面三角固 形 状の樹脂充填材 (提案品)、(ハ) 溶融樹脂の充 填 (先行技術)、の3種類をS字繰り返し曲げ (両 曲げとも言われ、一つの平面内においてロープが交互に反対方向に曲げられる負荷方法)試験 した結果が表 6.10 に示されている。

このデータによれば、(ロ)の断面三角固形状の 樹脂充填材ロープは、(イ)の従来のロープより 初断線及び10%断線までの曲げ回数は遅い(断 線が少ないことになる)が(ハ)の溶融樹脂の 充填ロープよりは劣ることがわかる。

次に、動素のワイヤロープに求められる基本的な性能である可撓性能をワイヤロープ IWRC 6× Fi(29) 44mm について比較している。表 6.11に試験結果を示しているが、(ロ)の断面三角固形状の樹脂充填材ロープ(提案品)は動素として許容できる可撓性を維持し、撚り減りも少ない。(ハ)の溶融樹脂の充填ロープは明らかに可撓性に劣り、動素としての使用に不適であることが示されている。

切断線	
90. IST 10%	10%断線(試験終了点)
8 5 0 0	17000
2500	26500

表 6.10 繰り返し曲げ試験の結果

表 6.11 可撓性等の試験結果

27500

13000

	可撓牲	p —	Het la set la		
	"打扰社	径:	増径率	撚り減り	
供試材	26	en.	96	26	
1	100	4 4.8 0	0	1 8.1	
D	95~100	4 5. 4 6	+1.47 { +1.74	1 4.1	
	70~75	4 6.2 6	+ 3. 2 6	1 4.5	

以上の点から、提案技術が動素の疲労性改善に 有効な技術であることが明らかになった。

明石海峡大橋の橋脚の主塔基礎となる鋼ケーソン(直径 80m×高さ 65m)を、ケーソン最上面に設置した8基のリニアウインチでロープを巻取りながら海底の所定位置に沈設させる作業が1989年(平成元年)3月に行われたが、このロープに樹脂複合ロープ120mmが使用された。(図6.30)

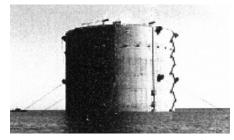


図 6.30 鋼ケーソンの沈設作業 16)

(4) 1994年になると、スイスのファツアー・アーゲー社により提案(図 6.31)され日本には 1995年に特許出願された(特願平 07-160159)技術がある。それは、ワイヤロープの伸びの抑制と滑車を通過する場合のロープ振動を抑制することを主たる目的に各側ストランド間にリボン状の固形充填材を配置することが有効であると提案している。固形充填材の中央の内向きに湾曲した凹状部分の両側面を布などで補強している。

これら固形充填材は、プラスチックを絞り成形 又は引き抜き成形もしくは押し出し成形により 製作される。他には、ガラス繊維強化エポキシ -ビニル・エステル樹脂またはポリエチレンが挙 げられる。

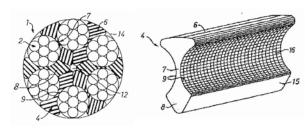


図 6.31 ファツアー・アーゲー社提案のワイヤロープ

この鋼ケーブルは特に支持ケーブルとして、又は引張ケーブルとして例えば空中ケーブル、ケーブルカーなどで使用するのに適しているとされている。

(5) 1998 年にアメリカでブライドン社から図 6.32 のようなロープの特許が出されている。

(US6,360,522 B1)

弾性体や塑性体の充填物が各ストランド間に挟まれ、ストランドを固定し、且つロープの外周円まできている。 充填材は、引抜き加工をしたもので、引張強度が100Mpa、望ましくは200Mpa、さらには400Mpa以上が望ましいとしている。

このロープは、Conveying Systems 用となっていて、前述のファツアー・アーゲー社提案のロー

プと同じくケーブルカーやロープウェイ用と考えられる。しかし、側ストランドが5本であるのはめずらしい。

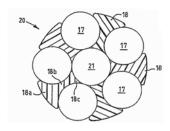


図 6.32 ブライドン提案のロープ

### (6) 樹脂複合ロープの発展

ワイヤロープの弱点である素線の腐食や圧擦に よる疲労断線を防止する手段として、樹脂が広 く活用されるようになった。素線の不必要な動 きを防止し素線摩耗を低減するために素線間の 隙間に樹脂を食い込ませる技術や、シーブとワ イヤロープの接触圧の一部を樹脂が受け持つ構 造のワイヤロープなどの開発が進められ、振動 の少ない静寂なエレベータやクレーンを可能に している。

また、吊り橋に使用するケーブルなどはケーブ ル表面を樹脂で被覆することで大きな防食効果 を発揮している。

## 5.8 (スチールタイヤコード) 17) (スチールコード) 17)

### (1) 経緯

タイヤは、丸太又はそれを輪切りにして使った車輪から始まり、さらに荷車や馬車の車輪として使われていった。19世紀の中頃空気入りタイヤが開発され、自動車の普及とともに質・量両面にわたり著しい進歩を遂げてきた。タイヤは柔らかいゴムを補強材で補強した複合材で、補強材は綿→レーヨン→ナイロン→ポリエステルと変転し1940年代後半になると、ワイヤロープの例から見て、素線を細くすればかなり屈曲性の良いコードが出来ることからスチールコードが注目を集めるようになった。スチールコードを使用したラジアルタイヤの特色は、①燃費の減少 ②良好な耐摩耗性 ③高い操縦安定性 ④パンクの減少 ⑤良好な高速高荷重の耐久性 などで、他の繊維補強材に比べ高強度、高弾性係数、高剛性、高硬度、高熱伝導度、高耐熱性に起因するものである。

スチールコードのラジアルタイヤというアイディア が最初に考え出されたのは、1929年フランスのタイヤ メーカであるミシェラン社が鉄道会社と協定し、空気 入りタイヤで走る有軌道車輌の設計に関する研究を企画したのが発端で、荷重の関係から綿やレーヨンなどの繊維コードでは強度の点で問題にならず、高い強度をもつ「メタリック鉄道用タイヤ」という考えが生まれた。しかし、細い素線(直径 0.2mm)やゴムとの接着技術など開発途上には多くの難関が多く、ミシェラン社が製造を開始したのは 1936 年で翌年の 1937 年に初めて長距離輸送用に使用された。1940 年には 1,000本のタイヤがアメリカの車輌に装備された。また、1946 年にフランスにおいて特許も取得している。

トラック、バス用ラジアルタイヤは、その生い立ちからも当然いえるように、ヨーロッパの普及率は群をぬいており、フランスはその筆頭で、1968年には早くも90%という普及率を示し、1969年には92%に達したようである。これに次いでフランスと並ぶラジアルタイヤ開発国のイタリアとイギリスでは、1969年に20~30%の普及率、一説によるとイギリスは補修用の35%がラジアルタイヤといわれている。自動車の本場アメリカでは、数%の普及率に留まっていたがフランス、ミシェラン社のアメリカ大陸上陸に伴い、急速にスチールコード・タイヤが伸びることになる。

我が国では、1962年(昭和37年)にスチールコード・タイヤが製造されたが、その普及状況は、ヨーロッパの先進国よりはるかに低い状況で、1964年頃から各タイヤメーカが開発に乗り出し販売は1967年からで、歴史が浅い関係もあって1969年にはその普及率は0.6~0.7%程度であった。1970年にスチールコード・ラジアルタイヤが製造されているが、1970年末にやっと1.1~1.5%に達した程度であった。その後の自動車産業の発展に伴い、現在ではその殆どがスチールコード・タイヤとなっている。

### (2) スチールコードの製造

スチールコードの材料はカーボン量 0.6~0.8%程度の高炭素鋼であり、普通 5.5mm 径の線材から 0.38mm~0.15mm 径に伸線したものを数本撚り合せてコードにするが、スチールコード・メーカの製造工程は大まかに図 6.33 のようになる。①製鉄会社から良質の鋼線材を入手する。②線材の汚れを除去する。③線材をダイス穴に通して線を引き(複数回)細くする。(1次伸線という)④伸線で硬くなった線を熱処理して、再び線を引きやすくする。⑤1次伸線よりさらに細いダイス穴に通して線引き(複数回)し、細くする。(2次伸線という)⑥線の表面をブラスめっきする。⑦2次伸線よりさらに細いダイス穴に通して線引き(複数回)し、所望の線径まで細くする。⑧ワイ

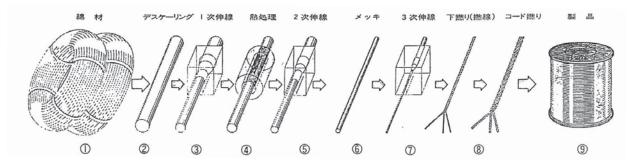


図 6.33 スチールコードの製造工程

ヤロープをつくるのと同じ原理で、複数の線を撚り合せてスチールコードをつくる。⑨錆びないように梱包してタイヤメーカに出荷する。

スチールコードの構成(構造)は技術の進化に伴って変わり、またタイヤの種類によっても異なる。素線を細くし、多数の素線を撚り合せた方が耐屈曲疲労性に良いわけで、昭和50年前後には芯として0.15mmを3本撚り合せ、その周囲にやはり0.15mmを7本撚り合せたものを5本撚り合せた構成{(1×3)+(5×7)}のコードが、トラック用カーカスコードとして用いられていた。

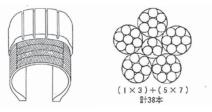


図 6.34 スチールラジアルタイヤとスチールコードの断面

その後、昭和60年代になると太い素線と細い素線 を組み合わせ、素線数も少ないものが使用されるよう になった。これは、撚り合せする素線本数が多ければ 多いだけ加工費用が嵩む道理で、耐疲労性や接着性が 許す限り素線を太くするなどの努力がなされたこと による。コード径が 1.60mm で径が 0.22mm の素線が 27 本使用され、さらに 0.15mm の素線がその外周を 巻回している(3+9+15+Wr)。このコードはトラッ クタイヤのカーカスに使用されている。ベルト用コー ドではさらに簡単な構成で、全部で9本(3+6)の 素線で、コード径は 1.13mm であり、多くはトラック タイヤ、バスタイヤのベルト部に使われている。乗用 車用ラジアルタイヤのベルトではトラック用ほどの強 度がいらないので、もっと細い素線を4本~5本撚り 合せたコード径が 0.22mm や 0.28mm のコードを使う ケースが多い。



トラックタイヤのカーカス用





トラック用ベルトコード

乗用車用ベルトコード

図 6.35 スチールコードの構成 (例)

## 6.9 高張力鋼線の開発

### (1) スチールコードの強度推移 18)

図 6.36 にスチールコード用ワイヤの強度の推移を示す。スチールコードで補強されたタイヤは 1960 年代に入って普及し始めた。そして、その優れた性能が理解されると共に、走行性、耐久性の向上と軽量化のためにワイヤ高強度化の要請が強くなった。止むことのない高強度化要請とそれに応える開発の結果、図に示すように 1970 年代の 2800MPa から 10 年きざみで400MPa ずつ強度を上げ、2000 年には 4000MPa と実に 40%以上もの強度増加を実現した。現在ではスチールラジアル・タイヤは全世界で乗用車、トラック・バスの 95%以上にまで装着されるようになってきた。

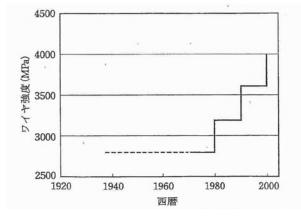


図 6.36 スチールコードワイヤの強度推移 18)

### (2) 吊橋用ケーブルの強度推移 18)

図 6.37 に吊橋用ケーブルワイヤの強度推移を示す。 本格的な鉄ワイヤを用いた吊り橋は1855年に架けら れたナイアガラ鉄道橋に始まり、中央径間は244m の錬鉄ワイヤが使用された。そのときのワイヤ強度 は 700MPa であった。ナイアガラ橋が完成したその 年に酸性転炉製鋼法が発明されスチールが誕生した。 12年後の1867年に工事が始まったブルックリン橋に この「炭素を0.7%程度含むスチールパーライト組織 のワイヤ」がケーブルに採用された。このワイヤは 1100MPa で錬鉄ワイヤの 1.6 倍の強度をもっていた。 1903年に架けられたウィリアムズバーク橋に、1854 年に発明されたパテンティング処理を適用したワイ ヤが使用されワイヤ強度は1400MPaまで上がった。 1931年に完成したジョージワシントン橋では中央径 間は 1000m を超え、ワイヤ強度は 1550MPa に達した。 その後中央径間の長さは徐々に伸び、1981年完成の イギリスのハンバー橋で1410mに達したが中央径間 が長くなってもこの範囲ではワイヤ強度を上げること なく吊り橋の架設が可能であったため新たなワイヤの 開発が要請されることは無かった。

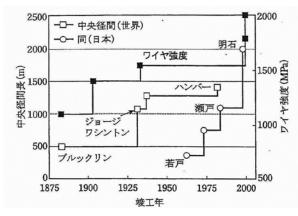


図 6.37 吊橋用ケーブルワイヤの強度推移 18)

我が国では、大型の吊り橋が架けられるようになるのは1960年代に入ってからで、短期間に大型の吊り橋が次々に架けられた。ワイヤは海外と同じ

1550MPaのものが使用された。ケーブルワイヤの高強度化の検討が始まったのは、明石海峡大橋の構想が具体化した1970年代で、明石海峡大橋の中央径間は2000mとなる超長大橋となるため、1550MPa級ワイヤで大丈夫か危ぶまれた。そのため、10年以上に及ぶ研究の結果1800MPa級の強度をもつワイヤが開発された。このワイヤは我が国が吊り橋の技術において初めて世界に発信した技術となった。

### (2) 高強度を実現した技術 (素線の冷却)

高強度の鋼線が製作可能となったのは、主に7.1項 に記す線材の技術開発と伸線時の素線冷却技術向上の 寄与が大きい。伸線時は、加工熱や摩擦熱で熱を発生 する。素線は線材の成分にもよるが一般に 180℃以上 になると、硬く脆くなる性質が有り、時間とともに顕 著になってくる。これを歪時効と呼び、撚り線中に断 線が多発したり、延性がなくなりロープとしての性能 を確保出来なくなる。延性を評価する試験として、片 方からねじりを加えていき、破断する試験(捻回試験) がある。延性がなくなると当然ねじり回数が減ったり、 異常破断を呈する。このように、伸線時の素線温度上 昇をいかに抑えるかが、素線の品質に大きく影響する ことがわかり、温度上昇対策として種々のことが実施 されている。1950年(昭和25年)代にはダイスの水 冷、1974年には神戸製鋼所より特許出願された素線 を直接水冷する方法(直冷伸線法19) 図 6.38 参照)、 及び伸線時の巻き付けブロックの冷却を強化したスト レートライン伸線機(ナローギャップブロック、設備 技術の項参照) 等設備面からの改善も盛んに行なわれ た。又、設備面の対応だけでなく、温度上昇を抑える 運用面での対応も進んでいる。1970年代に神戸製鋼 所により最終加工に近いダイスの加工量を少なくし、 各ダイスの温度上昇を均一化するような「等温パスス ケジュール | 設計 <sup>20)</sup>が考案され(表 6.12 及び図 6.39)、 更に近年は PC の表計算ソフトにより温度上昇をシ ミュレート出来るようになっている。

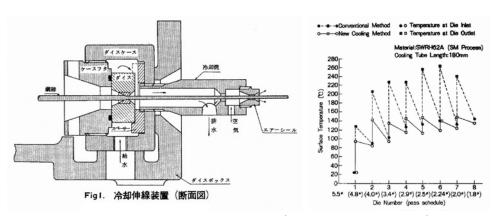


図 6.38 直冷伸線装置概略図 19) 及び伸線時の線温の比較 19)

表 6.12 等温パススケジュール実験のパススケジュール 20)

A (等温スケジュール)	線径阿減面率份	$5.58 \longrightarrow 4.35 \longrightarrow 3.74 \longrightarrow 3.22 \longrightarrow 2.86 \longrightarrow 2.49$ $39.2  26.1  25.9  22.1  24.2$
B (テーパードスケジュール )	線 径向 減面率%	$\begin{array}{c} 5.58 \longrightarrow 4.37 \longrightarrow 3.59 \longrightarrow 3.05 \longrightarrow 2.64 \longrightarrow 2.49 \\ 88.7  32.5  27.8  25.1  11.0 \end{array}$
C (均等スケジュール)	線 径间 減面率份	5.58 -> 4.73 -> 4.04 -> 3.44 -> 2.93 -> 2.49 28.1 27.1 27.5 27.5 27.8
D (逆テーパースケジュラレ)	線径向減面率份	$5.58 \longrightarrow 5.20 \longrightarrow 4.50 \longrightarrow 3.73 \longrightarrow 3.08 \longrightarrow 2.49$ $13.2  25.1  31.8  31.8  34.7$

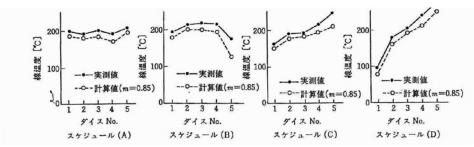


図 6.39 ダイス出口の線材温度の実測値及び計算値 20)

図 6.38 は、通常の方法と直冷伸線で、原料の線径 5.5mm から 8 回の伸線で 1.8mm の線径に加工した場合の各ダイスの入口と出口の温度を示している。通常 の方法だと最高 260℃位まで上昇するのに対し、直冷 伸線の場合は最高 150℃位になっており、その効果が 顕著に表れている。

また、表 6.12 と図 6.39 で、A は各ダイス出口の温度が等しくなるように設計されたもので、実測値  $195 \sim 210$   $\mathbb{C}$  の範囲でほぼ等しくなっている。B は前半に大きい減面率を与えたもので、No.2,3,4 ダイスで 220  $\mathbb{C} \sim 225$   $\mathbb{C}$  に上昇している。C は各ダイスの減面率をほぼ等しくし、D は後半を大きい減面率にしたもので、いずれも No.1 ダイスから No.5 ダイスに進むにしたがって順次高温になり、最終ダイスでは 250  $\mathbb{C}$  ,270  $\mathbb{C}$  になっている。No.1 ダイスから後のダイスは、順次減面率を小さくする A のような伸線加工をすることが好ましいことを示している。

### 【引用,参考文献】

- 1) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」1989 年 p424
- 2) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」1989 年 p427
- 東京製綱:「産業とロープ」創立80周年特集号 1967年 p31
- 4) パンフレット:「若戸大橋」北九州市道路公社 2011 年 4 月発行
- 5) 東京製綱:「産業とロープ No.8」 1962 年
- 6) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」 1989 年 p431
- 7) 東京製綱:「産業とロープ No.15」1965 年 p25

- 8) 東京製綱:「産業とロープ」創立 80 周年特集号 1967 年 p33
- 9) 「ワイヤロープハンドブック」日刊工業新聞社 1995 年 p835
- 10) 「ワイヤロープハンドブック」 日刊工業新聞社 1995 年 p843
- 11) 「ロープ便覧」ワイヤロープ便覧編集委員会 白 亜書房 昭和 42 年 p771
- 12) 「ワイヤロープハンドブック」 日刊工業新聞社 1995 年 p848 ~ 864
- 13) カタログ 「ALUMINIZED」 鋼国鋼線索 1983 年
- 14) 東京製綱:「産業とロープ No.12」1964 年 p6
- 15) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」 1989 年 p450
- 16)「神鋼鋼線の歴史をふりかえる 50 年史」神鋼鋼 線工業
- 17) 服部六郎:「タイヤの話」 大成社 昭和61年 P111
- 18) 高橋稔彦:「高張力鋼線開発の歴史に学ぶ」金属 アグネ技術センター Vol.75 (2005) No.11 P68
- 19) 神戸製鋼所 条鋼開発部「A New Cooling System for High Speed Wire Drawing」神戸製 鋼所 1975.10 Wire Convention 発表論文
- 20) 中村・川上・松下・野口: 「高炭素鋼線の等温パススケジュールによる伸線」 塑性と加工 日本 塑性加工学会 コロナ社 vol.19 no.211 1978-8 P703

## 線材と設備の発展

ワイヤロープの基本技術は、材料である線材の発展、 線を熱処理し細く長く作る(製線)技術、この線を撚 り合わせる (撚り線) 技術とに大きく分類され、各々 の製造技術と機械技術の進歩とともに発展している。 ここでは線材と設備の発展について記述する。

### 線材の技術発展(開発)について

ワイヤロープは殆どが鋼で構成されており、ワイヤ ロープの品質は、この鋼の材料である線材の品質に掛 かっているといっても過言ではない。ワイヤロープ の素線は、一般的には硬鋼線材 0.4%C ~ 0.8%C の線 材径 5.5mm ~ 12mm 程度から伸線加工し、最終的に 0.2mm ~ 3mm 程度に引き揃えて作られる。

ワイヤロープが国内にて初めて製造された 1897 年 (明治30年) 当時は、使用される線材はすべて輸入材 であり、主な輸入先は米国、スウェーデン、英国であっ た。国内では1907年(明治40年)に八幡製鉄所(現 新日鐵)で線材工場を立ち上げ、1916年(大正5年) に東京製綱が自給のため線材製造を始めた(大正7年 に浅野に譲渡、現住金小倉)が、0.2% C 以下の軟鋼 線材が主流であった。大正時代に入って線材の年間 需要は 10 万 ton であったが、2 社の生産量が 5 万 ton であり、依然として輸入線材が大量に使用された。こ の頃から輸入線材は、ロープ用には米国製 0.6%C、細 線用に英国製 0.6% C、高級ロープ用にスウェーデン 製 0.65 ~ 0.8% C というように用途に応じて使い分け るようになった。

昭和に入ると入手が容易であった米国材の使用量が 増えるとともに英国製は少なくなっていった。またス

ウェーデン材は特に海軍用のロープにもっぱら使用さ れた。当時の輸入線材量を表 7.1 に示す。

国内では、高まる需要に対応して、1931年(昭和 6年) に神戸製鋼所が85kg/東の0.6% C 材 (5.5mm) で捻回値13回という外国水準に並ぶ線材を製造した。 初期品は東京製綱で試用したが満足できるものではな かったが、1ヶ月にわたる試行で問題点を解決し、東 京製綱、東洋製綱などの需要家に供給されるように なった。1937 年(昭和 12 年)に始まった日中戦争が 拡大すると、スウェーデンからの輸入が止まり、神戸 製鋼所は海軍から線材・ピアノ線の開発を指示され、 昭和16年頃国産化に成功し、0.8~0.9% Cの高炭素 線材も同社のものが使用されるようになった。また住 友電工でも小束ではあるがバネ用線材を作っていた。 戦後は、ケーブルカー用など一部が米国線材で、その 他は神戸製鋼所線材が使用されるようになったが、満 州産の低リン、低銅銑が入らなくなり、昭和23年頃 には一時品質が著しく低下した。しかし、昭和25年 にはスウェーデンからの輸入が復活したので、0.65~ 0.80% Cの製造が可能となった。その後、製鉄各社は 世界の新鋭線材圧延設備を取り入れ、線材生産を質・ 量ともに向上させ、円滑な国内供給、高級線材の品質 向上に貢献した。

線材の技術発展は、高強度鋼線(ワイヤ)は製造工 程での断線や品質試験での不良・断線等が多く、これ らを解決するために真空溶解炉(真空中で溶解と鋳造 を行い、ガスによる溶鋼の汚染を防ぐと同時に脱ガス によって鋼質の改善を図る炉) の採用や、不可避的に 残存する非金属介在物を微細化する技術、連続鍛造鋼 塊の中心偏析を軽減する技術及びワイヤの強度と延性

表 7.1 昭和初期の輸入特殊線材量 1)

	アメリ	カ	スウェー	テン	+ x	コ	k 1	7	-
	会 社 名	数量	会社名	数量	会 社 名	数量	会社名	数量	81
1927	ベスレヘム U.S.スチール	18,000 3,750	ウッデホルム フーフォース サンドピック	750 1,145 600	トリネック	250			24,495
1928	n n	10,000 3,750	11 11	750 755 600	"	250			16,105
1929	"	16,500 3,750	11 11	750 1,072 600	"	250			22,922
1930	"	11,500 3,750	n n	750 818 600		250 200			17,868
1931	"	9,000 3,750	# #	750 297 600		250 300	クルップ	250	15,197
1932	n n	11,600 3,750	. " " ベセマー	750 350 600 50	<u>"</u> .	250 400			17,750
1933	n n	10,000 3,850	и и и	750 350 600 100	<u>"</u>	250 300			16,200
1934	"	15,700 4,050	ウッデホルム フーフォース サンドビック	750 900 600	"	250			22,250
1935	п	10,850 4,150	H H	750 650 600	"	250			17,250
1936 (#11)	n n	19,500 3,750	H H	750 1,050 600	n	250			25,900
1937	n n	26,900 3,750	" .	750 1,000 600	"	250			33,250

を両立させる金属学的な手法の開発が大きいと言える が、スチールワイヤの基礎となるパーライト鋼に関す る金属学的知見が1940年代までに解明されていたこ とが大いに貢献している。代表的な知見として、パー ライト鋼の強度はセメンタイトラメラ間隔に支配され ること、ラメラ間隔はパーライト変態温度によって決 まること、それが合金元素の添加によって変化するこ となどである。

### ①金属介在物を微細化する技術 2)

スチールコードが今日の発展を遂げることができた 最大の要因は、0.1mm ~ 0.2mm という極細のスチー ルワイヤを安定して製造する技術が1970年(昭和45 年)代に完成したことにある。その技術とは、極細線 の伸線あるいは撚り線加工中の断線やタイヤコードの 疲労破壊の原因となる酸化物系の介在物を微細化する 技術である。図 7.1 にスチールワイヤをコードに撚る 工程での断線頻度に及ぼす介在物のサイズの影響を示 すが、断線を防ぐためには介在物を 10 μ m 以下に小 さくする必要があることが示されている。そこで介在 物を 10 μ m 以下にする技術として開発されたのが、 介在物を軟質化して熱間線材圧延の工程で延伸させ、 さらに伸線工程で粉砕・分断して結果として 10 μ m 以下にする技術である。そのために介在物の組成を制 御して融点を下げる技術が新日本製鐡、神戸製鋼など により1976年頃に開発された。この技術は酸化物系 の介在物を低融点組成にするために意識的に酸素を 数 10ppm 含有するように精錬される。したがって介 在物の総量は多くなるが、介在物の融点を下げること によって介在物は熱間圧延により長手方向に延伸され 微細化される。この技術はスチールコード用ワイヤ製 造技術の最も重要な技術である。この技術の完成には 電子計算機の発達とともに開発が進められた計算科学 (コンピュータ・シュミレーション) が導入され、酸 化物系介在物の状態図の決定、精錬、凝固プロセス条 件等の確立に大きな力を発揮した。

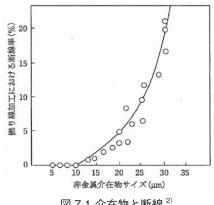


図 7.1 介在物と断線 2)

### ②中心偏析を軽減する技術 2)

パーライト鋼の強度を増加させる最も有効な手法と して C 量の増加がある。しかし、図 7.2 は連続鋳造片 の Mn の偏析状況を示すが、最終凝固位置の連続鋳造 片中心部に Mn や P が偏析し、この領域の加工性が 低下して伸線時や撚り線時の断線の原因となり、C量 が増えるほどこの影響は顕著に現れる。このために開 発されたのが連続鋳造鋼塊の中心偏析を軽減する技術 である。この偏析を軽減する技術として注湯時に溶鋼 を電磁撹拌する技術や凝固中の鋳片に圧下を加える技 術(ロールの入口と出口における圧延材の厚みの差、 つまり圧下を生じるような圧延加工を行うことを、現 場用語として「圧下をかける」という)が、新日本製鐡、 神戸製鋼などにより 1975 年頃から 1980 年代にかけ開 発され、0.8% C 鋼の使用が可能になり 3200MPa ワイ ヤが実現した。

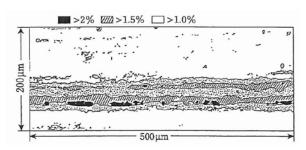


図 7.2 ワイヤの中心部に現れる Mn 偏析 <sup>2)</sup>

### ③強度と延性を両立させる金属学的な手法

1990年頃には、スチールコード用ワイヤの強度は 3600MPa、吊り橋用ワイヤの強度は 1800MPa の技術 が完成した。これは、鋼線の強度と延性を両立させる 金属組織学的な手法で、新日本製鐡、神戸製鋼により 開発された。鋼線の強度向上は、パテンティング後の 線材の強度増加、冷間伸線加工による強度増加、吊り 橋用鋼線では亜鉛めっきによる強度低下抑制の要因が ある。強度と延性を両立させるためには、伸線加工量 の増加による強度増加を避けるべきとの鋼線強度設計 指針が確立された。これは、伸線加工量の増加によっ て鋼線の繊維集合組織が発達し異方性が増すことが延 性の劣化をもたらすためである。また、亜鉛めっきに よる強度低下を抑制するためにパテンティング材の強 度を固溶体硬化作用によって増加させ、亜鉛めっき工 程での強度低下の抑制にも有効な Si の添加量を増加し ている。その他、最終パテンティング処理後に行われ るブラスめっきの最適化や伸線加工技術ではダイス形 状、各段伸線減面率の最適設計等の技術が開発された。

	強度 (MPa)	年	C	Si	Mn	Cr
ブルックリン	1100	1883	0.7	0.25	0.8	
ウィリアムズ・バーグ	1400	1903	0.8	0.25	0.8	
瀬戸	1550	1988	. 0.8	0.25	0.8	
明石海峡	1800	1998	0.8	0.9	0.8	
	2000		0.88	1.2	0.5	0.2
"メタリック"スチールコード	2800	1937	0.7	0.25	0.5	
スチールコード	3200	1980	0.8	0.25	0.5	
スチールコード	3600	1990	0.9	0.25	0.3	0.2
スチールコード	4000	1999	0.9	0.25	0.3	0.2

図 7.3 にパテンティング処理後の強度に及ぼす C、Cr 量の影響を示す。C 量の増加によってパテンティング材強度が増加し、更に Cr 添加鋼では同一の C 量であっても強度が一層増加する。

図 7.4 は伸線加工硬化率に及ぼす C、Cr 量の影響を示したものであるが、C、Cr 量の増加とともに加工硬化率が増加している。図 7.5 は溶融めっき時(450℃)の強度低下に及ぼすめっき前の鋼線強度と Si、Cr の影響を示す。同一の鋼種では、伸線減面率を増加させて高強度化するほど強度低下が増加し、又、合金元素の影響が顕著で、高 Si 鋼線では強度低下量が減少し、Si-Cr 鋼では更に強度低下を防ぐことが可能である。<sup>3)</sup>

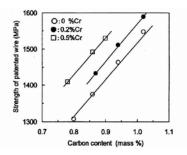


図7.3 パテンティング材強度に及ぼす C、Cr 量の影響3)

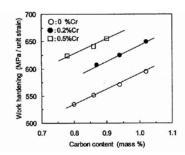


図 7.4 加工硬化率に及ぼす C、Cr 量の影響 3)

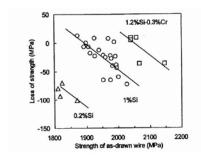


図 7.5 溶融亜鉛めっき時の強度低下に及ぼす 伸線材強度と合金元素の影響<sup>3)</sup>

1998年の明石海峡大橋のケーブルは、亜鉛めっき工程での強度低下の抑制に有効な Si を従来のピアノ線の 0.25% から 0.9% まで増加させて 1800Mpaを、更に 0.88%C、Si 1.2% として Cr を 0.2% 添加し、2000Mpaを達成した (表 7.2)。表 7.3 にスチールコードワイヤと吊橋ケーブルワイヤの高強度化の推移とそのキーとなった技術を示す。スチールワイヤの進歩を支えたのは、介在物制御技術に代表される独創性に富んだ日本発の技術であった。

また製造面では、線材を製造する段階でパテンティング処理を施し、次工程での省力化に結びつけ、線材の付加価値を高めることも行われた。線材は熱間圧延でビレットから圧延し製造されるが、その冷却の過程で、温度調整された衝風(空気)を吹きつけて冷却速度をコントロールし、パテンティンク処理と同等のソルバイト組織を得るステルモア法が開発されている。冷却媒体として空気以外に溶融塩やミストを使用する場合もある。

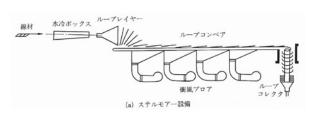


図 7.6 線材への直接熱処理例(Stelmor 法)4)

さらに、線材の一束質量は、ワイヤロープ素線製造における生産性向上に大きく影響するため、年々大東化になっている。1929 年頃には 40kg/東 だったものが、1933 年には 80kg/東、1956 年には 180kg/東、1959 年(昭和 34 年)には 370kg/東と増加を続け、現在はほぼ 2000kg/東となっている。

我が国の線材は、線材の取り扱いにおいても、製造時、輸送時の傷や錆の管理が充分なされており、客先満足度が高い。スチールコード用線材の製造はわが国が後発なので、非金属介在物を微細化する技術の開発当時は海外のほうが技術は進んでいた(当時、世界の製鉄メーカーをリードしていたのは、USスチール、ベスレヘムなどの米国材であったが、ドイツのテイッ

西曆年	吊橋、タイヤ	ワイヤ強度 MPa	キ ー 技 術
1883	ブルックリン橋	1100	吊橋にスチールワイヤを初めて使用
1903	ウィリアムズバーグ橋	1400	吊橋ワイヤの製造にパテンティング処理を初めて利用
1931	ジョージワシントン橋	1550	瀬戸大橋まで使い続けられる強度の吊橋ワイヤの出現
1937	トラック用タイヤ "メタリック"	2800	自動車タイヤにスチールコードを初めて利用
1962	若戸大橋	1550	わが国初の大型吊橋
1970	スチールコードタイヤ普及開始	2800	酸化物系介在物の軟質化技術
1980	タイヤの性能向上・I	3200	連続鋳造鋼塊の中心偏析軽減技術
1988	瀬戸大橋全通	1550	

3600

1800/2000

4000

表 7.3 スチールワイヤの高強度化とキー技術など 2)

セン材の評価は高かったようである。)と考えられるが、中心偏析を軽減する技術が開発される 1985 年頃からは、線材全般の視点からして、ステルモアなどのインライン調整冷却、2t 大単重コイルなどが標準装備化し、欧米への高級高炭素鋼線材の輸出が本格化し、海外メーカーへの技術指導も行われるようになり、我が国の線材の技術は世界のトップクラスになった。

1990

1998

タイヤの性能向上・Ⅱ

タイヤの性能向上・Ⅲ

明石海峡大橋

## **7.2** 設備の発展

### 7.2.1 伸線機

### (1) 圧延法の初期 5)

鍛造品の棒を溝ロールで圧延する方法は1830年ま でにほぼ確立し、直径 5/16 ~ 9/32 インチ (約7.9~ 7.1mm)のロッドを1巻き10~20ポンド(4.5~9.1kg) のコイルに仕上げていた。その頃まで大量の長い線材 を必要とはしなかったが電信の出現によって事態は急 変し、この急迫した要望に「ベルギー縦列」と呼ばれ る一連の溝ロールを用いる方法が採用された。これは、 溝ロールの入口のすきまはロールごとに次々に狭くな り、断面の形は正方形⇒菱形⇒長方形⇒円形と変化し たものであった。1862年ジョージ・ベトソンは連続 圧延法を発明して特許を得、マンチェスターのジョン ソン兄弟会社の工場にその設備をした。16基のロー ルを縦列に配置したが、1基おきにロールの軸を水平 と垂直にし、ベルギー式のようにロッドが圧延機を通 過していく間に定期的にそれを裏返す手間を省くこと が出来た。また各ロールの回転速度は、固定歯車が順 次その前のものより速くなるよう調整され、圧延によ りロッドが延びても撓みを起こさないようになってい た。その後、はるかに生産量が大きく、融通性のある 圧延工場が、ウィリアム・ギャレットの設計によって 実現した。彼はチャールズ・モーガンの協力を得てア メリカ合衆国に1882年以降数多くの工場を建設した

人である。図 7.7 は初期のギャレット工場の平面図である。4 インチ (約 10.2cm) 角の分塊材を加熱炉 (H) で加熱した後、一連の分塊ロール (h) に送り込み (h は機関 g で駆動)、h から出た約 1.5 インチ (約 3.8cm) 角のビレットは加熱炉 (A) で再加熱後、n から  $n^5$  までの圧延機群を通過させる。 $n^5$  を出た棒は管 (b) をへて圧延機 (m) に入り  $S^2$  から  $s^7$  にいたる一連の圧延機群を通る。

高強度スチールワイヤの強度・延性両立指針確立

吊橋用新組成ワイヤ/2000Mpa 工事ロープ用

強度・延性両立伸線・めっき技術

新組成ワイヤの開発

これら各ロールの間には溝か管があり、圧延材 (線) はロールから次のロールに送り込まれ、以前のように 工員がいちいち線の端をつかまえて次のロールの溝に かませる必要がなくなった。

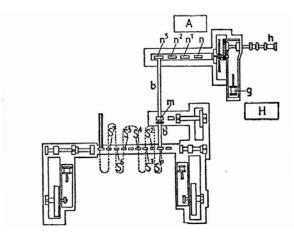


図 7.7 初期のギャレット線材圧延工場配置

新興の電信事業(長い線要望)には、直径1/6インチ(約4.2mm)の鉄線が用いられ、1850年にはじめてドーヴァーとカレーの間に施設された海底電線と、1858年の最初の大西洋横断海底電線はともに鉄線であり、銅線が用いられるのはその少し後である。(ギャレット工場で製作)

### (2) 引抜きによる方法 5)

滑車を用い、ロッドを引抜いて線にする方法は昔か ら行われており、この滑車すなわち巻き胴は垂直の軸 上を回転し、その上に線を巻き取ってコイルにするも ので、同時にダイスを通って引抜くのに必要な張力を 線に与える働きもする。19世紀のはじめには動力で 回転させる巻き胴がすでに広く普及していた。径の太 い線の引抜きには鋼のダイスを用いたが、細線にはダ イヤモンド、その他の宝石が早くから採用されていた。 多数の巻き胴をもつ引抜き機が出現したのは 1875 年 頃であるが、広く一般に使用されるようになったのは、 1885 年ブライン (S.H.Bryne) が特許 (図 7.8) を提 出した以後である。線は巻き胴(b)にかかって各ダ イスを通り、最後に巻き胴(d)に巻き取られる。は じめ不均一な摩耗を防ぐため、ダイスは全部歯車で回 転するようになっていたが、後にこの装置が不要なこ とが判った。巻き胴の回転速度は線の延びに対応して 綿密に調節されるが、1890年には早くも最後のダイ スの引抜き速度は毎分 1000 フィート (約 305m) に 達していた。

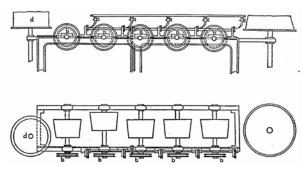


図 7.8 初期の連続線引き機(伸線機)

我が国は戦後復興のなかで、復興資材である線材の高品質化と加工技術に対する要望が強くなった。それまでは、1 台の伸線機に1 ダイス1 ブロックの単釜伸線機であったが、1951 年(昭和 26 年)神戸製鋼所は国産初の軟鋼線材用乾式連続伸線機を試作し、1952年(昭和 27 年)、米国エトナ社と提携して試作した伸線機が我が国初の高炭素鋼線用乾式連続伸線機とされている。<sup>6)</sup>

以後連続伸線機が急速に普及していき、それに関連 した技術開発も盛んに行われた。

伸線機の種類は非常に多く、種々の見地からの分類 方法があるが、普通使用される分類は、単独伸線機と 連続伸線機とに分けられ、前者は縦型と横型とがあ り、主として太物の伸線に使用される。連続伸線機 は、スリップ形(slip type)とノンスリップ形(nonslip type)とに分けられ、前者はワイヤの貯線は最終ブロックだけで、途中のブロックはワイヤに引抜き力を伝えるのに必要な回数だけ巻き付け、ブロックの周速度はその表面に巻き付けてある線の速度よりも若干速くしてすべりながら引抜き力を伝える構造になっている。ノンスリップ形には貯線形とストレートライン形(straight-line type)とがあり、各ブロック毎に速度を調節する必要がある。なお、線材はダイス孔を貫通して引抜かれるので、鋼の場合ダイス孔の壁面で100kgf/mm²を超える高圧になる。そこで、適当な潤滑材を線の表面に付着させるが、その潤滑材に液体(石けん水など)を使用するものを湿式、固体(石灰・燐酸塩等の被膜処理、石けん粉など)を使用するものを乾式という。

ノンスリップ形の貯線形伸線機が主流であったが、制御システムの進歩により貯線量の監視が不要で、貯線量が一定であるストレートライン伸線機が1960年代に開発され、更に、ナローギャップのブロックを使用し冷却能力が優れたストレートライン伸線機が1970年代に開発され、現在主流となっている。ブロックの素材も鋳鉄に溶射していたが、熱伝導率の良い合金鋼を使用し表面は焼入れ処理したものに近年はなっている。

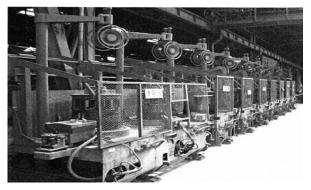


図 7.9 貯線形伸線機

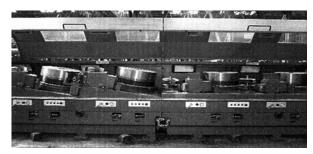


図 7.10 ストレートライン伸線機

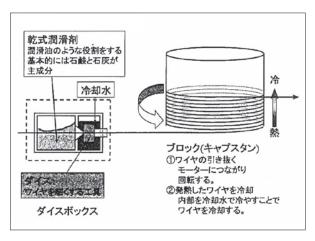


図 7.11 乾式伸線機の基本構造

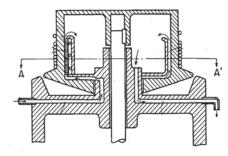


図 7.12 ナローギャップブロック (実開 S55-177911)

### 7.2.2 製綱機

近代撚り線機(製綱機)はイギリスでニューワル (Newall)が1838年に各4本の素線よりなる4本の子縄用撚り線機を設計し、1840年に改良した撚り線機の特許をイギリスで獲得した。

我が国においては、東京製綱が 1898 年 (明治 31 年) にイギリスから設備を購入しワイヤロープの製造を開 始しているが、石垣進の1997年発行「泉南地域にお けるワイヤロープ工業の生成と展開<sup>8)</sup>」によると次の ように記されている。『関西製綱(現テザックワイヤ ロープ)は、1918年(大正7年)にワイヤロープの 製造に着手しているが、ワイヤロープの製造技術の開 発に苦労している。「途方に迷って苦心と苦闘を重ね た結果、宮本工場長が張り打ち(漁業用の繊維ロープ の製作で編み出された方法) に成功し、それ以後は製 品がぐっとよくなったのでした。… (中略) …張り打 ち法については、「簡単工場」といわれる手張り工場 の例がある。この設備については、「これは恐らく工 場という名に値しないかも知れぬ砂浜や畑の中の野天 の空地で電動機などの設備はむろんなく、甚だしい場 合は電灯もない。そのような場所に棒くいを 二百米 余の間隔に立て、購入した鋼線を張っておいて、歯車 のついた2枚の鉄板の穴に鋼線の端を束にし、手で廻 して撚ってゆくのである。夏であれば鋼線を張るため

にパンツ1枚の姿で往復し雨天休日、雨降らねば一日 八里を走ったと同じだという。』

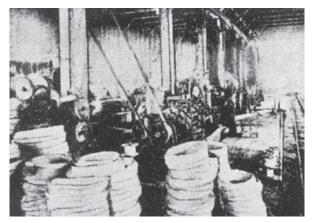


図 7.13 東京製綱深川分工場の製索場 7)

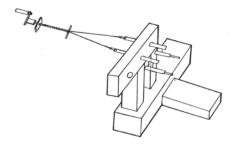


図 7.14 張り打ち法 8)

より線機の呼び方として、ストランドを撚る場合の 撚り線機をストランダー、そのストランドを撚り合せ る場合をクローサーと一般的に呼んでいる。ストラ ンダー、クローサーとも図 7.15 に示すかご形 (P形) と図 7.16 に示す筒形 (T 形) に分けられる。P 形よ り線機はかご形をしていてボビンが遊星運動をする機 構であり、重量物であるボビン自体を廻すため回転速 度がT形より遅いので生産性が悪く、当初は殆どが P形であったが現在では太物や特殊ワイヤロープの製 造に使用されるようになり多くが T 形に変わってい る。T形はボビンが直線状に配列されており、その回 転はP形の5~10倍で、小型のストランダーでは3,000 回/min、大型でも 250 回/min のものが多く、非常 に高能率である。ただ、高速のため保持枠の強度や振 動を防ぐための基礎強化を必要とする。T 形は、1953 年にドイツ クルップラインハウゼン社より受けロー ルタイプが、又同時期にドイツ クラフト社よりバー タイプが導入されたが、前者は受けロールの寿命が短 く、後者は受けロールタイプに比較し回転数が若干劣 る等の問題があった。その後ベアリングタイプに移行 し、現状のT型は殆どがベアリングタイプであるが、 更に T 形のベアリング式はベアリングの口径で回転 数が制限されるため、ベアリングの部分のみ小口径に

改良したスキップタイプ (図 7.17) が 1990 年代に開発された。これは素線又はストランドのガイドがカテナリ曲線状になっており、張力の均一性が高く回転体の慣性モーメントが小さいから、高速回転が通常のT形よりも容易である。また、ベアリングの潤滑剤もグリース潤滑から、高回転になるに従って、オイルミスト潤滑に変化してきている。

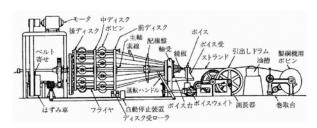
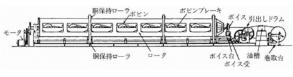
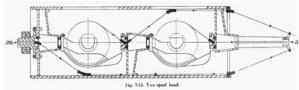


図 7.15 かご形 (P形) より線機





(Steel wire handbook fig.7.13) <sup>9)</sup> 図 7.16 筒形(T 形)より線機



図 7.17 スキップ形より線機 (濱名鐵工の機械)

その後、1980 年代に主にワイヤロープのストランド用に改良開発し、現在ではその効率の良さでワイヤロープ以外にタイヤコード等でも大いに利用されている DT 形 (バンチャーとも呼ばれる) がある。

これは図 7.18 に示すように、サプライを機械本体より外側に出すことで、理論上は無制限でサプライを大きく出来、先枠(よったストランドを巻くもの)の取替えだけで停止時間を極端に短縮でき、又通常は1回転で1ピッチ撚れるが、本機械は1回転で2ピッチよることが出来、2倍の回転数と同じ効率を得ること

が可能である。ボビンは公転せず巻取りドラムが回転する形式で、素線は機械後方に設置されたサプライボビンから供給される。この形式は回転を速くすることができ、素線本数の多い構成のストランドのより線が容易である。但しねじりを与えて撚ることから、素線の品質に生産性が左右されることやストランドのより戻りコントロールが難しい等の難点もある。タイヤコード用のDT形より線機は、最終製品のコードを製造する撚り線機として開発されたため、回転数は2,000回/min 程度の高速回転で1分間に4,000回の捩じりを付与し、クレードル内にはならしロール等の複雑な機構を備えている。

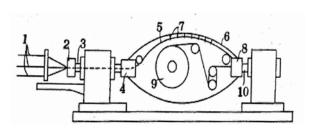


図 7.18 DT 形より線機

### 【引用,参考文献】

- 1) 東京製綱:「東京製綱 100 年史」1989 年 p213
- 高橋稔彦:「高張力鋼開発の歴史に学ぶ」 金属 アグネ技術センター Vol.75 (2005) No.11 P69
- 3) 樽井敏三他:「高炭素鋼線の組織制御と高強度化」 新日鉄技報 第381号 2004年
- 4) 「ワイヤロープハンドブック」 日刊工業新聞者 1995 年 p65
- 5) チャールズ・シンガー他: 「技術の歴史 第 10 巻 鋼鉄の時代 下」 筑摩書房 1979 年 P510 ~ 512
- 6) 山根茂洋:「二次加工技術開発の歴史」 神戸製 鋼技報/Vol.61 No.1 (Apr.2011) P94
- 7) 東京製網「東京製網 100 年史」1989 年 p74
- 8) 石垣進:「泉南地域におけるワイヤロープ工業の 生成と展開」 大阪府立大學經濟研究.1997,42(2), p42~43
- 9) 「STEEL WIRE HAND BOOK VOLUME 3」 THE WIRE ASSOCIATION INC. 発行 1972年 P195 fig.7.13

### 8.1 技術発展の概要

紀元前1400年ごろから、物を縛ったり移動する ために、植物繊維などで作った縄とか綱と称するも のが存在していた。1750年頃からサイザル麻ロープ が使用されるようになり、1792年にはイギリスの Cartwright が麻ロープ製造機「コードレイヤー」の 特許を取得し、最初の製網機となった。1821年にはド イツのゼノアの吊橋用に鉄線を東ねた東環索が使用さ れた。そして、1834年にドイツの鉱山技師が工具を 使って 3.5mm の鉄線で 3×4 構成のワイヤロープを 製作し、炭鉱の立坑に使用して好成績を収め近代ワイ ヤロープが誕生した。1840年にイギリスでワイヤロー プ用の製綱機が発明され、1854年には同じイギリスの ホースフォルが高炭素鋼の熱処理法に関する特許を取 得し、'Newly Invented Patent Steel Music Wire' と いう名で市場にだした。この技術は非常に画期的な発 明で、高炭素鋼特有の熱処理法で現代も残っているパ テンティングの起源となった。その後、1862年には連 続圧延法、1876年にはスコットによって早くもロック ドコイルロープ、1879年にはラングよりワイヤロープ、 1885 年には連続伸線機が発明され、ワイヤロープの製 造技術と設備の基礎がほぼ整った。

我が国において、江戸幕府は長崎製鉄所の創設、軍艦教授所及び蕃所調書(東大の前身)の設置に続き、勘定奉行小栗上野介忠順の「四面環海の我が国としては、どうしても海上に進出しなければならない。」という献策により、1864年(元治元年)横須賀製鉄所創設を決め、製綱工場にはフランスから繊維ロープの製網機械を購入し、製綱頭目を招いて艦船に必要な綱索を1866年から製造した。これを機に、我が国の製綱業界も次第に機械化の機運が高まっていった。

民間の資本が次々に近代産業に投下され大小の企業が新設されていた明治 19 年前後に、山田昌邦は近代的な製網事業を興そうと決意し、先輩の渡部、赤松と相談し、財界に頭角を顕していた渋沢、益田、浅野の三巨頭の共鳴を受け、1887 年(明治 20 年)東京製網会社が創立された。議長は「我が国の海運は日に日に開け、船舶用具の需要は急速に増加している。外国からの輸入の一端を防ぎ、国家の公益になること間違いなし。」と宣言した。イギリスやアメリカから機械は購入し、翌年から運転を挙行して繊維ロープの製造を

開始した。その後、農商務省、海軍各鎮守府、日本郵船会社などで品質が良好であることが確認され、輸出もするようになり、明治27年には日・清戦争による軍用・船舶用の網類及び石油さく井用網の需要対応のための設備を増設した。

その後、東京製綱は船の係留索や炭鉱用ワイヤロー プは全て輸入されていたので、1897年 (明治30年) ワイヤロープ事業への進出を決めた。線材は当初イ ギリスから輸入していたがうまく出来ないので、ス ウェーデン材に切替え、設備はイギリスから購入した。 招聘したイギリス人技師を頼みにしたが、機械屋でワ イヤロープの製造に関する経験を有していなかったの で、輸入したワイヤロープの見本を頼りに生産が軌道 にのるまで苦心惨憺したようであるが、1907年には 東京勧業博覧会で最高名誉の金牌を獲得した。そして、 1908年に、筑豊炭鉱地帯で消費される大量のワイヤ ロープを供給するために小倉工場を新設し、2年後に は小倉工場で製作した36mmのラングよりワイヤロー プが三井万田坑に使用され、炭鉱用ワイヤロープが国 産にとって替わるキッカケとなった。1914 年には深 川工場が英国ロイド協会の認定工場となり、技術レベ ルが世界に認められた。1911年には横浜製綱(後に 東京製綱と合併)が設立、1918 年には関西製綱(現 テザックワイヤロープ) がワイヤロープの製造を開始 し、東洋製綱(後に東京製綱と合併)も設立された。

以後の技術開発については、表 8.1 に示すが主なものついて記述する。

1930年(昭和5年)に開発され特許を取得した「不 反発ワイヤロープの製造方法」は、その3年前から「ト ルー・レイ」と呼ばれる反発しないワイヤロープの製 作につき研究し、発明者の3人の名前をとり「シノサ イ式」と名づけられ、発明博覧会や帝国発明協会から 表彰された。

1935年(昭和10年)頃製作された軍需用のガンワイヤは、戦艦大和の大砲の砲身補強に使用され、ワイヤロープには含まれず鋼線の分野になるが、歴史的に見て興味があり九州で製作されたものであるので調査した。特別に開発された 0.80%C の線材を使用し、1,860N/mm² (190kgf/mm²) の製品を製作している。

ロックドコイルロープは、1892年(明治25年)にドイツから持ち帰った見本を頼りに、1920年頃から研究を始め、2年後に異形線の試作に成功したが、関東震災でダイスや工具も焼失してしまい、日立鉱山か

らの要望により 1935 年再び研究に着手し、1942 年 (昭和 17年) に国産第1号が日立鉱山の複線式索道主索に輸入品に替わって使用された。

 $6 \times S$  (19) や  $6 \times W$  (19) の平行よりワイヤロープは、さく井用やエレベータ用には昭和 10 年前後から使用されていたが、戦後の建設事業、電源開発事業及び河川改良工事などの建設機械の大型化によって、 $6 \times Fi$  (25) などの製造技術が 1940  $\sim$  1950 年に開発され、交差よりワイヤロープに比べ耐疲労性等の優れた平行よりワイヤロープが非常に多く使用されるようになった。

銅線や鉄線用には既に存在していたが、硬鋼線用を 目的に東大に委託し1949年(昭和24年)に開発され た焼結合金ダイスは、それまでの長い間叩きダイスと いう非能率的な手段によって線引き作業を行っていた 生産現場に大きな変化をもたらし、生産性及び品質の 向上に大きく貢献し、ワイヤロープ業界の一大技術革 新であったと言える。

「ワイヤロープの設計は技術者のカンに頼っているので、ワイヤロープを立体的に解析出来ないか?」という要請を受け、小野はベクトル関数を用い、1951年(昭和26年)に'Wire Ropeの解析'を社内で発表した。これは一般のワイヤロープの設計ばかりでなく、当時電源開発が始まりロックドコイルロープの需要が急増していた頃なので、その異形線(Z線, T線)の設計にも大いに役立った。この研究により、ワイヤロープの品質、生産性が大きく向上した。その後ワイヤロープ研究会でもこの解析を発表している。(1959年常磐炭鉱、1984年名古屋)

1957年(昭和32年)高速自動車国道法が制定された後、日本道路公団とメーカーで道路防護柵(ガードケーブル)の共同研究が決まり、模型実験、野外低速衝突実験そして高速野外衝突実験が富士山麓で実施された。この結果を基に委員会で検討され1965年「ガードフェンス設置要綱」が発行され、ワイヤロープの仕様が決まった。

我が国で初めてワイヤロープを用いた吊橋は、1908年(明治41年)群馬県の桐淵橋であるが、1962年(昭和37年)に若戸大橋が完成し、当時東洋一の夢の吊橋と呼ばれた。メインケーブルは、直径5.0mmの素線を127本より合わせた直径61mmのスパイラルロープ55本と、直径5.0mmの素線を61本より合わせた直径36.6mmのスパイラルロープ6本の合計61本のスパイラルロープを現地で平行に束ね、その上の外周を直径4.0mmのワイヤでラッビングしてあり、その直径は508mmである。

この若戸大橋の後、パラレルワイヤ形式の技術の進 歩により、近年はパラレルワイヤ形式の長大な吊橋が 架設されるようになった。

線材においては新日本製鐵、神戸製鋼により、非金属介在物を微細化する技術、中心偏析を軽減する技術および強度と延性を両立させる金属学的な手法が1970年代から1990年頃にかけて開発され、伸線加工時の設備や加工技術の改善もなされ、スチールコード用では線径0.20mmで4,000Mpa級、吊橋用めっき鋼線では線径5.0mmで1,800Mpa級の高強度鋼線の製作が可能となっている。

以上のようなワイヤロープの技術開発につき、その 系統図を図 8.1 に示す。

## 8.2 考察

今回の調査をした結果、先ず多くの技術がその開発時には既に海外では開発されていたものであったことが分かった。我が国のどの産業においても同じであるが戦前は西岡が1953年に「鋼索の製造」に記しているように、当時鋼索の製造に関する文献は少なかったので、海外の技術を真似ると言っても簡単ではなく、輸入品を見て試行錯誤しての技術開発で、経営者及び従業員が強い開発意欲をもち、長い時間と膨大なエネルギーを投入したと思われる。

ケーブルカーの架設によるフラット形ストランド ロープ、炭鉱の立抗巻上用の非自転性平ストランド ロープ、索道用のロックドコイルロープ、道路防護柵 用のガードケーブル、高揚程クレーン用の非自転性 ロープ、そして吊橋用のケーブルや自動車用のスチー ルタイヤコード等々ワイヤロープは我が国の産業の発 展とともに、インフラ整備に必要不可欠なものとして その需要の高まりと相まって、技術的にも要求仕様の 高まりとともに発展してきた。大まかには戦前までは 輸入品の国産化であり、戦後はワイヤロープの性能を 生かした用途の拡大と、使用される設備の大型化・高 揚程化に結びついた技術が開発された。つまりワイヤ ロープの技術開発には、それを促す社会・産業の発展 があり、需要があったことである。ハードルの高いも のはその時代に権威のある大学教授に依頼したり、建 設省や道路公団などと共同研究をしたりした。他の業 種と同じであるが、国産化の過程や、その後の海外や 国内の他メーカーとのお互いの競争によって技術開発 が行われた。

そして、吊橋用(パラレルワイヤ) に線径 5.0mm で 1,800Mpa 級のめっき線、スチールコード用に線径 0.20mmで4,000Mpa級のワイヤロープが製作出来るようになった。鉄鋼材料は強度と耐疲労性の両立は非常に難しいが、何れも単に強度だけでなく、ワイヤロープとして必要な靭性や耐疲労性・耐久性などが充分確認され保証されているので、この分野に限れば世界のトップ水準に達したと言える。(2000年頃)これは、素線を作るメーカーとロープを撚るメーカーとが異なる大半の欧米のワイヤロープメーカーとは違って、我が国では素線からロープ撚り線まで一貫して生産するメーカーが主体であり、尚且つ原料である線材を製造する製鉄メーカーと一体となって材質から検討する体制が整っており、原料である線材から素線作り、撚り線等を一括して改善する土台が日本には存在するからである。

製鉄メーカーは巨大な高炉をかかえる大量生産方式で品質・コストを維持している一方で、需要家は、機械、土木、索道、運輸など様々な分野で多様なロープを使用することから、ロープメーカーはそのつなぎという立場にあるため、需要家におけるロープの使用性能に関する情報をいち早く入手して開発・改善に生かすのみならず、製鉄メーカーとの交流によって品質の最適化が行われた。

ワイヤロープの寿命(廃棄までの使用期間)は、 そのロープの品質のみならず、使用される設備・環境・ 条件、設備を動かす人の技能、保守管理の仕方等々 数多くの要因によるので、単に JIS やメーカーのカ タログに合わせるだけでなく、需要家の用途、設備、 使用条件・環境等々により1つ1つ細かく管理して 製作することが肝要である。こうした需要家ごとの 作り分けは我が国のお家芸で、長い実績に立脚して いるため品質に対する高い信頼性を保証している。 さらに、需要家に対しては、ロープの性能保証にと どまらず、使用方法、使用時のトラブル解消、余寿 命判断の相談など幾多のアフターケアでサポートし ている。需要家の設備や使用条件が千差万別である とともに人命に直結する部品なので、こうしたフォ ローが極めて重要である。これはワイヤロープ業界 の大きな特徴であると思われる。

そして、ワイヤロープの発展に寄与したと思われるものとして、ワイヤロープ関係 JIS (日本工業規格)の制定・改正 (参考資料 9.3 参照)、及び 1967 年に発刊された「ワイヤロープ便覧」があげられる。前者は夫々の時代におけるワイヤロープメーカーの製造技術と使用者側のニーズにより規格を決めたものであり、後者はワイヤロープ研究会が総力を結集して執筆・編集・発刊したもので、いずれもワイヤロープのメーカー

及びその需要家だけでなく、設備の設計者など多くの 人にとって貴重な資料となった。

また、我が国のワイヤロープ産業の特色としては、 大阪の泉南地域に多くの企業が集中していることが あげられる。明治30年代から大正時代には、関東地 区1社、関西地区2社であったが、昭和に入ると関西 地区に次々とワイヤロープメーカーが設立され、それ に伴い、ワイヤロープ及びその素線を製造する小規 模の企業も数多く誕生していった。1997年石垣進発 行の「泉南地域におけるワイヤロープ工業の生成と展 開」に記されている、昭和 40 ~ 50 年代のワイヤロー プ関係の工場分布状況を表 8.2 に示す。東京通産局管 内が 11 ~ 12% であるのに対し、大阪通産局内の大阪 だけで 80 ~ 81% を占めている。大阪の殆どは泉南地 域であり、泉南地域に集中した理由は、まず在来の繊 維ロープの製造技術があったこと、線材メーカーが近 くにあったこと、そして線材と製品の海上輸送が可能 であったことなどがあげられるし、また、関東大震災 により関東地区の各工場が焼失したことから、関西の メーカーにワイヤロープの注文が殺到したために関東 の有力な技術屋(職人)が西下し、関西地区の企業に 就職しその企業の技術力を高めたとも言われている。

	玄	8		') -	1 7	′ L	ı —	).	及(	か 形	ҡ⊥	- /芴	ررن	יניטי	乳力!	J M	111)	1天7	兀	
	産名	fi	ll 4	<b>5</b>			東			京			*	c	阪	広	島	描	岡	
	都	岩	福		東	神	千	茨	栃	新	静		大	兵		Ш		福		合
	都道府県名			計		奈						計			計		計		跗	81
		手	鳥		京	ЛJ	葉	木	木	淘	岡		阪	庫		П		岡		
Г	昭和 41		1	1	6	1	2		1	1	1	12	80	4	84			2	2	99
工場	45				4		4	1	1	1	1	12	86	6	92			2	2	106
数	49	1		1	3		4	1	3	1	1	13	96	6	102	1	1	2	2	119
	53	1		1	2		4	1	3	1	1	12	89	6	95	1	1	2	2	111

表 8.2 ワイヤロープ及び線工場の地域別分布状況 1)

現在のワイヤロープ業界の状況は、我が国の経済成長の停滞とともに、その進歩も足踏み状態となっているのが現状である。ただ、世界的に見れば、ワイヤロープは、産業の発展(特に鉱山・石油掘削)に必要不可欠なものであり、全世界の需要は計り知れないものがある。これらの安全な使用、且つ資源の有効的活用の観点から、ワイヤロープの製造技術だけでなく、点検技術やメンテナンス等日本のワイヤロープメーカーが蓄積した技術ノウハウを世界で生かすことが今後の課題である。

## 8.3 今後の技術動向

ワイヤロープは今後も、更なる高強度化、長寿命化 (耐曲げ疲労性、耐摩耗性) や耐食性が要求される。 使用条件が過酷になるにつれ、ワイヤロープに対する 要求品質も高度化し、その要求を満足させるため、軽くて高強度な炭素繊維が補強材として使用されることが期待される。又耐摩耗、耐疲労性向上のため、ワイヤロープを樹脂で充填し、保護した複合材料ロープが使われ始めており、好結果がでている。

更に設備自体の大型化(深海石油掘削装置等)に伴う太径・長尺化が進むと考えられ、軽量化のため、更なる高張力化が要求される。このためそれに使用される線材も更なるハイカーボン(過共析鋼)の実用化が進むと考えられる。

また、従来人手に頼っているワイヤロープの点検・メンテナンスは、更に簡易に手軽に点検できるようにロープテスターの改良や普及が進み、ワイヤロープを安全に且つ経済的に使用できることになると思われる。

### 8.4 謝辞、登録候補

### 謝辞

このたびの「ワイヤロープの技術の系統化調査」に 関しては、多数の方にご協力いただいた。

特に、東京製網株式会社の和田鎮夫氏には最初から 最後まで多大のご協力を、村田秀樹氏にも多忙な中い ろいろとご協力・ご指導をいただいた。又、同社の伊 藤建司氏他研究所の方及び関係会社の方、そして日本 鋼索工業会会員各社の技術関係者及び財団法人日本ク レーン協会の井上誠氏には、資料の提供にご協力いた だいた。

これに対し、この紙面を借りて深く感謝の意を表します。

### 登録候補

名称 : 張打式製網機

資料形態:展示

所在地 :東京製綱繊維ロープ株式会社

製作者 : FRODINGHAM IRON & STEEL.

COLTD

製作年 : 1889 年~ 1892 年

選定理由:繊維ロープの製造機械で現存最古の製綱機

東京製網株式会社が国内初の民間会社として設立された明治20年頃に英国から輸入

した繊維ロープ製造機械

名称は「張打式製網機」と呼ばれ、フォア ターン、トップカート、トラベラーから構

成されている。

### 【引用、参考文献】

 石垣進:「泉南地域におけるワイヤロープ工業の 生成と展開」 大阪府立大學經濟研究.1997,42(2), p47

表8.1 技術発展の歴史一覧

Raid Hard			1910年代	1920年代	1930年代	1940年代	1950年代	1960年代	1970年代	1980年代
20mm	機 材								○酸化物系介在物の軟質化技術	○連続鋳造鋼塊の中心 偏析軽減技術 1990年代 → ○強度・延性両立伸 総・かっき丼格
2000mPalk346   10 1400mPalk346   10 1500mPalk346   10 1500mPalk346   10 1400mPalk346   10 1400mPal		設備		ſſ	Ĥ	ſÎ	〇乾式連続伸線機		〇冷却(直冷)伸線装置 〇ナローギャップブロック	
2000MPakk3kg	製線	製造技術	~ 叩きダイス	ıı	<u>.ft</u>	〇合金ダイス		ſſ	ıtı	ıî.
Right   Complete   Compose   Com			O1400MPa級強度	ı	O1550MPa級強度	ı	ı		î	ı
					O2800MPa級強度		ı		ı	3200MPa級強度 ⇒
20mm		設計					〇ロープ解析・設計			
OTA 1		蒙礁	~ かご形(P形)より線機				〇屈曲式ポストホーム	1777	○筒形ペアリング	ODT形より線機
製造技術			〇フラット形ロープ	〇平行より	〇不反発ロープの製法	٦	〇形付け	〇若戸大橋	Oスチールコード	
製造技術  製造技術						<b>:</b>				○梅脂複合□−プ
製造技術					〇平ストランドロープ		○異形線ロープ	09/7/		
製造技術	より線					6XFi(29)		Oアルミニューム めつきロープ		
		製造技術			○フラットロープ		Oガードケーブル			
〇メーカー創立(1887)       ○英国ロイド協会認定(東 京製鋼)       ○JES 鋼素規格制定 ○素道規則制定(運輸省) ○JIS制定 JIS-C33555       ○国連选車探 (株) 前日製鋼所、大阪ローブ工業(株)、 場案(株)、昭和製鋼所、大阪ローブ工業(株)、 機業(株)、昭和製鋼所、大阪ローブ工業(株)、 機業(株)、昭和製鋼所、大阪ローブ工業(株)、 機業(株)、昭和製鋼所、大阪ローブ工業(株)、 (株) 日本調整網(株)、中華網絡網						6XWS(36)	4	○非自転ローブ		
〇大一九一創立(1887)       ○英国ロイド協会認定(東       ○0JES 鋼素規格制定 ○素道規則制定(運輸省) ○JIS制定 JIS-G3555       ○万本カー創立(1887)       ○万本カー引立(1887)       ○万本カーカーカル					Oガンワイヤ					
								〇代々木体育館		
〇メーカー創立(1887)     〇英国ロイド協会認定(東 京製鋼)     〇JES 鋼索規格制定     ○京道規則制定(運輸省) ○JIS制定 JIS-G3555       ロンメーカー創立(1887)     ○日本鋼索は会設立 (1954年) ワイヤローブの JIS認可17社 地(1897年)     (株) 前日製鋼所、大阪ローブ工業(株)、 機索(株)、昭和製鋼所、大阪ローブ工業(株)、 (株) 前日製鋼所、大阪ローブ工業(株)、 (株) 前日製鋼所、大阪ローブ工業(株)、 (株) 「株) 昭和製鋼所、大阪田一ブ工業(株)、 (株) 「株) 市田製鋼所 「大阪田一河工業(株)、 (株) 「株) 「西西美術」「大阪田製鋼所、大阪田一河工業(株)、 (株) 「株) 「西西美術」「大阪田製鋼所、大阪日一河工業(株)、 (株) 「株) 「西西美術」「大阪田製鋼所 「大阪田町製鋼所」「大阪田町製鋼所」「大阪田町製鋼所」「大阪田町製鋼所」「大阪田町製工工業(株)、「西西美術」「大田町製工工業」(株)、「大) 「西西美術」「大田町製工工業」(株)、「大) 「西西美術」「大田町製工工業」(株)、「本) 「西西美術」「大田町製工工業」(株)、「本) 「本) 「本) 「本) 「本) 「本) 「本) 「本) 「本) 「本)								〇西岡式ABCDE法		〇全磁東法
〇メーカー創立(1887 〇英国ロイド協会認定(東 京製綱)     〇ンメーカー創立(1887 〇英国ロイド協会認定(東 京製綱)     〇ロ本鋼素協会設立 (1954年) フィヤローブの い1828可17社 地(1897年)     〇日本鋼素協会設立 (1954年) フィヤローブの い1828可17社 (株) 朝日製綱所、大阪ローブ工業(株)、 業業(株)、昭和製綱所、大阪ローブ工業(株)、 報案(株)、昭和製綱所、大阪ローブ工業(株)、 報案(株)、昭和製綱所、大阪ローブ工業(株)、 (株) (株) 昭和製綱所、大阪ローブ工業(株)、 (株) (株) (株) 西産業(株)、東海翻線網索 (株) (株) (株) (株) 西産業(株)、東海製綱の (株) (株) (株) (株) (株) (株) (株) (株) (株) (株)	検査・点 体							[m];		
〇メーカー創立(1887)     〇英国ロイド協会認定(東     〇日本鋼素は会設立       年)     小IS設都)       ロワイヤローブの     小IS設可17社       か(1897年)     (株) 朝日製網所、大阪ローブ工業(株)、 報製網(株)、帝国産業(株)、東頸鍵網(株)、帝国産業(株)、東頸翅綱(紫)、東京製網(人)、帝国産業(株)、東頸綱(株)、帝国産業(株)、東京製網(人)、中国産業(株)、東西産業(株)、東京製棚(株)、南田町郷町 日本超級額需素(株)、東西産業(株)、東京製棚(株)、南田町郷町 日本超級額需素(株)、東京製棚(株)、南田町郷町 日本超級額需素(株)、東京製棚(株)、南田町郷町 日本超級額需素(株)、東京製棚(株)、東京製棚(株)、東京製棚(株)、東京製棚(株)、東京製棚(株)、東京製工場工場新設(1908)	規格				OJES 鋼素規格制定	〇素道規則制定(運輸省)	JIS-G3525	<u> </u>		
〇ワイヤローブ生産開始(1897年)     (株) 朝日製網所、大阪ローブ工業(株)、 線索(株)、昭和製網(株)、神鋼鋼線鋼索 線索(株)、昭和製網(株)、神鋼鋼線鋼索 製製網(株)、帝国産業(株)、東京製網(人)、 (体) (株) (本) 日本圏産業(株)		〇メーカー創立(1887年)		lar'		〇日本鋼索協会設立	〇日本銅素工業会設立 (1954年)ワイヤロープの JIS認可17社			
	その街	○ワイヤローブ生産開始(1897年)					(株)朝日製綱所、大阪ロー線索(株)、昭和製綱(株)、	-プエ業(株)、春日製綱(株 神鋼鋼線鋼索(株)、泉州塾	春日製綱(株)、川崎製鉄(株)、興国鋼 (株)、泉州製綱(株)、大日製綱(株)、	
		〇小倉工場新設(1908 年)					異製綱(株)、帝国産業(株 (株)、(株)西田製綱所、日	()、東京製綱(株)、東洋製線  本鋼線鋼索(株)、光鋼索(	爾(株)、南海製線鋼素 株)、明治製網所	

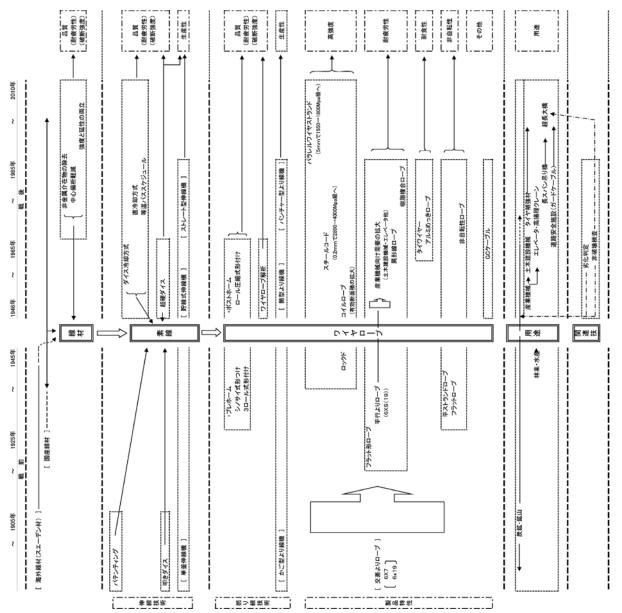


図 8.1 ワイヤロープ 技術開発系統図

# 9 参考資料

# 9.1 ワイヤロープ関連年表

		ワイヤロープ	関連 年表
西暦	和暦	ワイヤロープ技術関連事項	ワイヤロープ用途および海外関連事項
1760			ロイド船級協会を創立(1761年に法的承認)
1821			ゼノア(Geneva)の吊り橋用索を製造
1834			アルバートが鉄線の3×4構成ラングより鋼索を製造、炭鉱で好成績
1854			ホースフォルがパテンティングを発明し、ピアノ線を製造
1866		幕府の横須賀製鐵所で艦船用綱索の製造を開始	
1876			ヤハズ撚り鋼索をニューワルが発表
			ロックドコイルをスコットが考案
1879			ラング撚り鋼索をジョン・ラングが英国で紹介
1883			ワイヤ東による吊橋Brooklyn完成
1884			ロックドコイルローブをラッチ・バチェラ会社が製造 ブラインが連続伸線機を発明し特許を提出
1885 1888			フラインが連続仲林侯を先明し行針を使口 フラットンド・ストランド・ローブをラッチ・バチェラ会社が製造
1887	Mau	東京製綱会社 設立 麻索を製造	フラットント・ストラント・ローフをラッテ・ハチェラ芸社が製造
1890	M23	未示教育五任 区工 桥东之教是	フィラー形鋼索の特許をストーン(J.B.Stone)が獲得
1891	M24		米国でシール形鋼索を使用
1898		  東京製綱 ワイヤローブの製造を開始	不直でアル対策を使用
1905		小林久吉商店 ワイヤロープ用グリースを開発	
1907	M40		
		東京勧業博覧会で東京製綱が最高名誉の金牌を獲得	
1908	M41	東京製綱 小倉工場の開業、ワイヤロープの製造を開始	
1909	M42		ニューワルとスケルトン、非自転鋼索を開発
1910	M43	国産ワイヤローブ(ラングより36mm)が始めて三井万田抗の竪坑巻に採用	
1911	M44	横浜製綱の設立 鋼素の製造	
1912	T01	関西製編株式会社 創立、麻索の製造開始	日本橋三井銀行本店にエレベータ完成
1914	T03	東京製綱がロイド協会の認定工場に登録	
1918	T07	東洋製綱設立、鋼索の製造開始	生駒山に日本最初のケーブルカー開設
		関西製綱、鋼索の製造開始	
1920	T09		金田製綱所設立、銅索の製造を開始
1924	T13		東京製綱 横浜製綱を合併
1926	T15	<b>一大</b> 新世/共長長八田 ○ ○/(○)○新沙田(○/(本京和田))	クルップ社焼結合金ダイス「ウイデイア」を発売
1927	502	石油鑿井(サクセイ)用 6xS(19)の製造開始(東京製綱) 関西製綱がロイド協会の認定工場に登録	
		エレベータ用 6xS(19)の製造開始(東京製網)	
		航空機用ローブの製造開始(東京製綱)	
1929	S04	DUE WATER POPULATION (NO. ) CONTROL OF THE POPULATION OF THE POPUL	松田製綱所股立、編集の製造を開始
			船舶用鍍金鋼索規格 制定
			三井本館にエレベータ 完成
1930	S05	  東京製編 シノサイ式 形付(不反発鋼索製造法)開発	
		生駒山ケーブルカーに国産初のフラット形鋼索採用	
		東京製綱 不反発鋼索製造機の特許取得	
1932	S07	東京製綱 不反発性鋼索, フラットンド・ロープ 発明大賞	西田製綱所設立、鋼索の製造を開始
		古河鉱業好間鉱業所 国産の平ストランドローブを使用	住友電線製造所 超硬合金ダイス「井ゲタハードロイ」発売
1933	S08	平行撚り 6xS(19) 日本標準規格JES281号	朝日製綱所設立、鋼素の製造を開始
		東洋製綱 ビードワイヤ製造に成功	
1934	S09	日本鉱業会、鋼素規格を制定	春日製線所設立
			嘉田製綱所設立、鋼索の製造を開始
			泉州製綱所設立、鋼索の製造を開始
			南海製線所股立
			<b>笹村製綱所設立</b>
1935	\$10	東京製綱 小倉工場「ガンワイヤ」製造 	浪速工業所設立
1000		四周標準表70007年だってロステルカフに大変がある。 標本 を付ける 1855	内外製綱設立
1936		興国鋼線索(2007年ジェイ・ワイテックスに変更)設立、鋼索の製造を開始 日本工業規格でZ、S撚りの呼称を採用	
1937	512	日本工業規格で2.5窓りの呼称を採用 東京製綱 明治41年から177橋に吊橋用ロープ納入	ゴールデンゲート橋 完成
1938	S13	本小女性  労/1411年ルワロバ衛に市備用ローノ附入	コールテンケート橋 元成 日本鋼索製造工業組合設立
1938		  東京製綱 ロックドコイルの試作品を完成	日本顕素表定工来和合設立 橋本鎭線工場 鋼索の製造を開始
1939	314	水水水雪   ロフノローコアンのATFRRで元次	情や調採上場 調系の表項を開始 吉田製鋼設立
			日本特殊鋼線設立
1942	S17	  国産第1号ロックドコイル 日立鉱山に採用(B形38mm)	19 T 17 / / / / / / / / / / / / / / / / / /
.542	017	三井三池の四ツ山立坑で国産のコンセントリックロープ使用	
		一ハール・コノ田工がトロ圧が一と ピバノノラー ノ 氏川	

西暦	和暦	ワイヤローブ技術関連事項	ワイヤローブ用途および海外関連事項
1943		帝国産業を創立 (関西製綱と紡績会社など3社と合併)	大日製綱(赤穂) 鋼索の製造を開始
1945		日本鋼索協会設立(後 解散)	
1946	S21	東京製綱 東大へ超硬合金ダイスの研究委託	民間向けエレベータロープの生産再開
1947	S22	浪速工業(1952年浪速製綱に変更) 鋼索の製造を開始	索道規則制定(運輸省)
1948	S23	日本鋼素クラブ設立 (25年解散)	ミシュラン社 スチールラジアルタイヤ開発
1949	S24	常願寺川のタワーエキスカベータ用にフラットンド形ワイヤロープ使用	南海製線鋼索 鋼索の製造を開始
		東京製綱 超硬合金ダイスの自社生産の開始	
		帝国産業 シンキングロープの生産を開始	
1950	S25	鋼索の規格 日本工業規格(JIS G 3525)制定	
		建設省土木研究所 建設機械用ワイヤローブの実験	光鋼素設立 鋼素の製造を開始
			関西金属製綱設立 鋼索の製造を開始
			春日鋼素(旧製線)鋼索の製造を開始
1951	S26	東京製綱 ワイヤローブの線径計算方式を確立	線材製品協会設立
		東京製綱 叩きダイスを超硬合金ダイスに全面切替え	川崎製鉄 鋼索の製造を開始
1952		東京製綱 川崎工場 電気鍍金設備の稼動	大和製綱所(1964年 東洋製綱と改名)創立
1953	S28	東京製網 ソ連からワイヤロープ500t受注	時製綱所設立 鋼索の製造を開始
		東京製綱 ロックドコイル専用撚り線機 稼動 東京製綱 異形ダイスの製造技術 確立	内外製綱 鋼素の製造を開始
		東京製鋼 美形ダイスの製造技術 雑立 帝国産業 500t引っ張り試験機導入	
		帝国産業 西岡「屈曲式ポストフォーム装置」発明・特許出願	
		帝国産業 スターロープ(ストランドの中心が星形素線)を開発	
1954	S29	神鋼鋼線鋼素発足	
		日本鋼索工業会 設立 (ワイヤロープのJIS認可17社)	
		東京製綱 川崎工場 プリテンション装置(80t)設置	
		東京製綱 大型垂直引き上げ鍍金炉 開発	
		帝国産業 ロックドコイルの生産を開始	
		東京製綱 電纜入りローブ 開発	
1955	S30		若戸大橋の調査着手
1956	S31	東京製綱 鋼索の1000t試験機、公式検定終了 稼動	日本道路公団設立
		帝国産業 ワイヤローブの切断荷重推定法(ABCDE法)を開発	
		有峰ダム 25tクレーン用ロックドコイル径100mm	電源開発 佐久間ダム竣工
1957	S32	東洋製綱 トヨロック(ロープ端末の圧縮止め加工)の生産を開始	
		電源開発 奥只見ダム ロックドコイル径100mm	
		日本道路公団と道路防護柵研究開始	関西ローブ設立 鋼索の製造を開始
1958	S33	東京製綱 川崎工場でガードケーブルの野外実験	若戸大橋工事事務所設立
		東京製網 若戸大橋用鋼索 1510t受注	鋼索工業会設立27社
		東京製綱 めっき線径5mm 180Kgf/mm² 級ワイヤの開発着手 帝国産業 西岡 ポストフォーム装置で発明協会から特賞表彰	
1959	624	帝国産業 四両 ホヘトノオーム表直で完明協会から行員表彰 富士山麓でガードケーブルの高速野外実験開始	住友電線製造所 超硬合金ダイス「イゲタロイR」になる
1939	334	東京製網 ガードケーブル 国道1号線(静岡県)に初納入	住及电談表追加 起硬音並タイス・イククロイド になる
		昭和製綱 異形線ロープ「SRAF」考案・ロープ研究会で発表	
1960	S35	THE PERSON NAMED OF STREET OF STREET OF STREET	有峰ダム竣工
1961		   落石防止柵の規格・仕様決定 販売(ストーンガード)	電源開発 奥只見ダム 竣工
		東京製綱 若戸大橋用ワイヤローブ 完納	大和工業 鋼索の製造を開始
		高抗張力ACSR 電源開発 中国四国間で始めて使用	
		神鋼鋼線鋼索 工業技術院賞を受賞	
1962	S37	モノロープA型(非自転性ローブ) 開発	若戸大橋 吊橋 竣工
		カードケーブル、ストーンガード全国に伸展	クレーン等安全規則にエレベータ構造規格を制定
1963	S38	ガードケーブル 名神高速道路に採用決定	新大日製綱(1966年 赤穂ロープと改称)設立
		長大橋用 めっき線径5mm高抗張カワイヤの開発に着手	
		漏洩磁束探傷法の研究が行われ、「三井ロープテスター」として実用化	
1964	S39	東京製綱 タイロープの開発(ロックドコイル)	東京製綱 東洋製綱を合併
		東京製綱 ベルトコード用ブラス鍍金開発	
		興国鋼線索 アルミニュームめっきの特許出願	
		東京製網 ノンローテイションロープを考案・特許申請	
		南八甲田山系 ワイヤローブの雪崩防止柵完成	
100=	640	吊り屋根構造「東京オリンピック競技施設」完成	ロナ党のわる「お」ピラー、ラの東軍4回、84年
1965	540	タイロープ納入 新潟港の復旧	日本道路協会「ガードフェンス設置要綱」発行
		インナーワイヤの生産開始 東京製網磐田	
		ホースワイヤの生産開始 東京製網磐田 スチールタイヤコードの試作開始 東京製網磐田	
		ヘデールダイマコートの試作用始 東京製練着中 帝国産業 シンキングロープ(非自転製ロープ)を開発	
		中国圧ポープファローブ (非自私表ローブ)を開発	

西暦	和暦	ワイヤローブ技術関連事項	ワイヤロープ用途および海外関連事項
		神鋼鋼線鋼索 電気めっきを炉導入	
1966	S41		麻耶大橋(兵庫県)斜張橋竣工 本格的斜張橋 第1号
1967	S42	アフタードローワイヤの伸線開始 東新工業	ブリヂストン ラジアルタイヤ発売
		神鋼鋼線鋼索 デミング賞実施賞を受賞	吉田組「第23吉田号」1,200t起重機船竣工
		神鋼鋼線鋼索 PWS(パラレルワイヤストランド)の生産	水資源開発公団 八木沢ダム 竣工(S34.4着工)
1968	S43	東京磐田 ブラス鍍金ライン ブラスタンク攪拌式・超音波方式	ブリヂストン トッラク・パス用ラジアルタイヤ発売
1969	S44		PWS・37 ニールセン橋竣工
			東京電力 奈川渡ダム(長野)竣工(39.12着工)
			東京電力 水渡ダム(長野)竣工(40.10着工)
			寄神建設「寄隆」2000tクレーン船竣工
			万国博 PC(Prestressed Concrete) 斜張橋完成
			ロープウエー(普通索道)設置 100を超える
1970	S45	東京製綱スチールコード設立	ブリヂストン・ベカルト・スチールコード設立
		神鋼鋼線鋼素 ユニロープ(非自転ロープ)開発	新日本製鐵 誕生
			深田サルベージ 戦艦「陸奥」引上げ開始 100mm
			新穂高ロープウェイ開業
			立山黒部ロープウェイ開業
1971	S46	関門橋メインケーブル 製作開始	神鋼鋼線鋼索と朝日製綱所 合併 神鋼鋼線工業
		海上保安庁 対馬電波塔支持索 ロックドコイルロープ発注	東京製綱 大阪ロープを合併
			大同製綱 廃業
			川鉄鋼線工業設立
			明治製綱所 廃棄
1972	S47	東京製綱スチールコード 合金ダイスに全面切り替え	日鐵海洋工事「くろしお」 2500t起重機船 竣工
1973	S48	神鋼鋼線工業 通商産業大臣賞を受賞	関門大橋完成
1974	S49	東京製綱 ワイヤインダストリーズ社から高速鍍金技術 導入	深田サルベージ「武蔵」3000t起重機船 竣工
		東京製綱 大型疲労試験機、超大型撚り線機 導入	水資源開発公団 早明浦ダム(高知県) 竣工(40着工)
			神戸製鋼 直冷伸線法開発・特許出願
1975	S50	東京製綱 土浦 500t プリテンション装置	吊り屋根ケーブル 沖縄国際博覧会 竣工
		東京製綱 スチールコード用 オートスプーラー 開発	大三島橋 着工
1976	S51		新日本製鐵 スチールコード用高級線材 開発
			大鳴門橋 着工
			水資源開発公団 草木ダム 竣工(44着工)
1977	S52	東京製綱 スチールコード用高速ラッピング機 開発	因島大橋 着工
		東京製綱 スチールコード用拡散鍍金技術 確立	斜張橋 ロツクドコイルロープ ロープ径100mm 新大橋(東京都)
		東京製綱 ダイス放電加工技術 確立	
1978	S53	東京製綱 デコロープ(索道曳索のキャリヤ逆走防止用) 開発	吉田組「第28吉田号」 3000t起重機船 竣工
		東京製綱 モノロープT(異形線非自転性ロープ)開発	北陸電力 手取川2,3ダム 竣工 (49着工)
1979	S54	小倉工場 タイヤ用スチールコード生産開始	電源開発 手取川ダム 竣工 (49着工)
1980	S55	東京製綱 太径トヨロック(65~180mm)加工技術 確立	線材の中心偏析軽減技術開発(1975年~1980年代)
		神鋼鋼線工業 樹脂複合ロープの開発・特許出願	寄神建設「翔隆」3000t起重機船 竣工
1981		帝国産業 北備讃瀬戸大橋メインケーブル用亜鉛めっき鋼線の納入開始	斜張橋 ロックドコイルロープ ローブ径217mm 大和川橋(大阪府)
1982	S57	東京製網 タイヤコード用バンチドコード(1x12)製造 開始	春日製網 廃業
		東京製綱 ローブ径100mmのトヨロック加工	因島大橋 PWS1270 1270m 1448t使用
		東京製綱 光ファイバー用テンションメンバー製造技術 確立	
1983		東京製綱 3000 t プレス機 設置	建設省川治ダム 竣工 (45年着工)
1984	S59	東京製綱 タイヤコード用オールハラセ(1x27)製造技術 完成	異形線エレベータロープ 建設大臣 認定
		東京製綱 NPWS(防食処理したPWS) 開発	吉田組「第50吉田号」 3500t起重機船 竣工
			大鳴門橋 竣工
1985	S60	東京製網 スチールコード用ウルトラハイテンコード製造技術 確立	高級炭素鋼線材の輸出本格化等により線材の技術世界トップクラスに
		帝国産業 下津井瀬戸大橋メインケーブル用亜鉛めっき鋼線の納入開始	東京製綱 日鐡ロープ工業を合併
1986		東京製網 タイローブ TP 開発	
1988	S63		瀬戸大橋全通
			帝国産業(桝デザックに社名変更
1989		神鋼鋼線工業 デルタフィラーロープ明石海峡大橋鋼ケーソン設置工事に採用	
1991		テザック 明石海峡大橋メインケーブル用亜鉛めっき鋼線の納入開始	
1998	H10		明石海峡大橋 開通

西岡多三郎「銅索の製造」 誠文堂新光社 昭和29年1月 「ワイヤローブハンドブック」日刊工業新聞社1995年3月 石垣進「泉南地域におけるワイヤローブ工業の生成と展開」 大阪府立大學経濟研究. 1997, 42(2) P66~75

# 9.2 ワイヤロープの概要

ワイヤロープは製品の種類が多種多様であるばかりでなく、用途も広範囲で文字どおり「空から海まで」いたる処で重要な役目を担い、「産業の命綱」である。ワイヤロープハンドブックでは、"ワイヤロープ"という用語の意味は、「多数のより合わされた鋼線で構成され、高い引張強さをもつ鋼線の集合によって大きい破断力を有するとともに、素線間のすべりを利用することによって十分なる可撓性を有する機械要素をいう。鋼索ともいう。」とされている。しかし、近年吊橋などに使用されるようになった鋼線を東ねた平行線ケーブルもワイヤロープと言える。

ワイヤロープの特徴は、一般の鉄鋼二次製品に比べて、①引張り強度が非常に強い、②柔軟性に富む、小さなシーブに曲げることが出来る、③長尺物が得られる、④衝撃性に優れている、⑤繰り返し疲労に強い、⑥端末の加工が自在であり、エンドレス加工も可能、⑦耐食性を高めるため、亜鉛めっきや被覆加工が可能、等々の特徴があるが、逆に素線が細いため、腐食等に弱い、形崩れしやすい、撚られているため自転トルクが発生する等の欠点もある。

#### 9.2.1 ワイヤロープの種類

#### (1) 一般用ワイヤロープ

この項での一般用ワイヤロープの範囲は、「JIS G 3525 ワイヤロープ」及び「JIS G 3546 異形線ロープ」に規定されているとおり、機械、エレベータ、建設、船舶、漁業、林業、鉱業、索道などに用いられるワイヤロープとする。一般的なワイヤロープの構成を図9.1 及び図9.2 に示す。

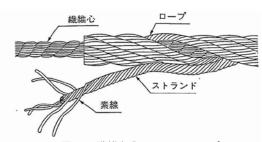


図 9.1 繊維心入りワイヤロープ

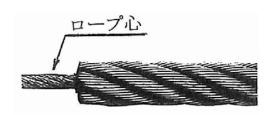


図 9.1 ロープ心入りワイヤロープ

#### 1) ワイヤロープの呼び方

ワイヤロープは、心綱の種類、構成、より方、より 方向、表面状況(裸、めっき)及びロープグリースの 種類、種別(素線の引張強さ)、直径、長さ及び数量(丸 数)で表される。しかし、これらを文字で表すのは長 くなり過ぎるので、通常記号で表す。{7) 項表示の 個所参照}

#### 2) 心綱

心綱は側のストランドを支えてワイヤロープの形状 を保つ役目があり、繊維心とロープ心とがある。

繊維心は材質により、天然繊維心と合成繊維心があり、何れもロープグリースを保持し、使用中にワイヤロープの内部から潤滑と防錆に必要なロープグリースを補給する。従前はマニラ麻やサイザル麻等の天然繊維心が一般に使用されたが、近年は強度的に優れ、入手もし易く、含油性も良い合成繊維心が使用されている。

ロープ心はワイヤロープの強度を上げたり、形崩れを防止したりする目的で、素線を撚り合せたワイヤロープを入れるもので、IWRC(Independent Wire Rope Core)と呼ばれ、その構成は $7 \times 7$ ( $7 \times 7 \times 7 \times 19$  のもの、及び IWRC でも構成が $6 \times 7 \times 7 \times 19$  のもの、及び IWSC(Independent Wire Strand Core)と呼ばれるストランドを心にしたものもある。繊維心入りの場合は、ワイヤロープの構成の前は何も表示しないが「例; $6 \times WS$ (36)0 / 0 B種  $30 \times 7 \times 19$  の場合 ワイヤロープの構成の前に IWRC と表示する「例;IWRC  $6 \times WS$ (36)0 / 0 B種  $30 \times 19$  Mixed  $30 \times 19$  Mixed

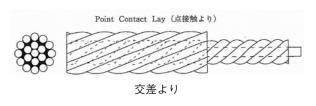
#### 3) 構成

ストランドの本数は通常は6本であるが、エレベータ用のように柔軟性を要求されるものは8本、クレーン用など荷重下で回転し難いワイヤロープの場合19本のものもある。ストランドは数本~数十本の素線を1層又は多層に撚り合わせてストランドにするが、2層以上重ねて撚る場合、そのストランドの撚り方及び素線の配列の仕方により、種々のパターンがあり特徴が異なる。

交差よりは、ストランドを1工程で1層ずつ、2工程以上で撚り合わせるもので、各層間のよりの長さ(素線のらせんのピッチ)が異なり、各層間の素線は交差しており点で接触している。素線径はストランドの中心素線のみ若干太いが、他はほぼ同一線径である。(図

 $9.6 \circ 6 \times 19.6 \times 24.6 \times 37$  等)

平行よりは、ストランドを1工程で撚り合わせるもので、素線径は3種類以上となり、各素線のよりの長さは同じで、各素線は互いに線状に接触している。従って、交差よりに比べ耐疲労性が良い。



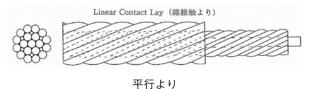


図 9.3 交差よりと平行より

平行よりには、素線の配列の仕方により次のような 撚り方がある。(断面図は図 9.6 参照)

- ①シール形(Seal type rope)は、素線の配列が、中心1本+内層n本+外層n本となっており、内層と外層の本数は同じであるが、内層の素線径は外層の素線径より細い。シール形は他の平行よりに比べて、外層の素線径が太いので耐摩耗性に優れている。
- ②ウォーリントン形(Warrington type rope)は、素線の配列が、中心1本+内層n本+外層(n本+n本)となっており、外層が内層の2倍の本数であるが太い素線と細い素線を交互に配列した構成である。
- ③フィラー形(Filler type rope)は、素線の配列が、中心1本+内層n本+(内層n本)+外層2n本となっており、(内層n本)の素線は、フィラー線又はパッキングワイヤ等といわれ、内層と外層の素線の間隙を埋めている。ストランドの充填率が高く、シール形やウォーリントン形に比べ耐疲労性が良く、クレーン用等広く使用されている。
- ④ウォーリントンシール形は、素線の配列が、ウォーリントン形とシール形を組み合わせたもので、他の構成に比べ内層が多いので柔軟性に富み、耐疲労性はフィラー形より更に良いが、素線の種類が多いのでコスト面が短所である。

<u>中心 1 本 + 内層 n 本 + 内層 (n 本 + n 本)</u> + 外層 2n 本 (ウォーリントン形) (シール形) 異形線ロープ (Wire ropes with profile wires) は、ストランドに異形加工を施し、素線同士の接触状態を線接触から面接触に変え、ストランドの表面が平滑になったもので、同径の丸線のワイヤロープに比べ、断面積が大きく破断荷重も高い。また、シーブやローラーなどでの摩耗に強い。表示は構成の部分に "P"をつける。(図 9.5 参照)

#### 4) より方向及びより方

ワイヤロープ及びストランドのより方向には、ZよりとSよりの二つがある。右肩が上がって左が下がり、Z字の形に見えるものをZより、左肩が上がり右が下がっていてS字の形に見えるものをSよりという。素線を撚り合わせてストランドを作る時のより方向をストランドのより方向といい、ストランドを撚り合わせてワイヤロープを作る時のより方向をロープのより方向とし、この組合わせにより四つのケースがあり、夫々表 9.1 のように呼ばれる。

表 9.1 より方向とより方

ストランドのより方向	ロープのより方向	ワイヤロープのより方
S	Z	普通Zより
Z	s	普通Sより
Z	Z	ラングZより
S	S	ラングSより

普通より(Ordinary lay)は、ロープのより方向とストランドのより方向が異なるもので、ワイヤロープの外観では、素線がワイヤロープの軸と大体平行になっている。形崩れを起こし難く、取り扱いも容易である。通常普通 Z よりで、指定がなければ普通 Z よりで製作される。普通 S よりは、つり荷などが回転しないように普通 Z よりとペアで使用する場合で、普通 S よりを単独で使用することは殆どない。

ラングより(Lang's lay)は、ロープのより方向とストランドのより方向が同じもので、ワイヤロープの外観では、素線はワイヤロープの軸に対しある角度をなしており、普通よりに比べ、表面に現れている素線の長さが長いので耐摩耗性が良い。ただし、ワイヤロープの自転性が大きい、型崩れし易い、取り扱い難い欠点がある。

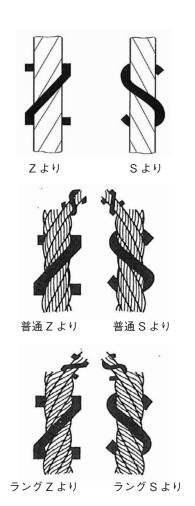


図 9.4 ワイヤロープのより方とより方向

#### 5) ロープグリース

ワイヤロープ又はその心綱に塗布又は含浸させる

ロープグリースは、赤ロープグリース(主成分はペトロラタム)と黒ロープグリース(主成分はアスファルト)の2種類があり、表示する場合の記号は、前者がO(Oil)、後者がC(Composition)である。一般には赤ロープグリースであり、黒ロープグリースは鉱山用や土建関係の一部に用いられている。

#### 6) 表面状況 (めっきの有無)

ワイヤロープの素線は、めっきをしない裸の場合と 亜鉛めっきした場合の2種類がある。裸の素線をより 合わせたワイヤロープの場合記号は何も用いず、めっ きの場合はG(Galvanized)と表示する。

#### 7) 表示

ワイヤロープのより方、より方向、ロープグリース、表面状況を表示する場合、それらの組み合わせにより表 9.2 のように JIS で定められている。斜線の左側は、表面状況(めっきの有無)の区分とロープグリースの種類で、斜線の右側は、より方とより方向を表す。

#### 8) 種別

ワイヤロープの種別とは破断強度のクラスを表し、 E種、G種、A種及びB種の4種類がある。いずれも、 ワイヤロープを構成する素線の公称引張強さによるも ので、JISに決められている破断荷重の区分を表 9.3 に示す。

表 9.2 表示の略号

より方				普让	通より		ラングより			
	ロープの	より方向	Z	<b>たり</b>	S	より	Z	<b>より</b>	SJ	り
	グリースの種類		赤	黒	赤	黒	赤	黒	赤	黒
	めっき	裸	0/0	C/0	0/S	C/S	0/L	C/L	0/LS	C/LS
	の有無	めっき	G/0	GC/O	G/S	GC/S	G/L	GC/L	G/LS	GC/LS

注1) めっきロープの場合は一般に赤グリースなので、グリースの O は省略し、黒グリースの場合のみグリースの C を付ける。

注2) 一般に Z よりなので、より方向が Z の場合、Z の略号は省略する。

注3) 普通よりでロープのより方向がSよりの場合は、普通よりの略号は省略する。

表示例 1. 6 × 24 G/O G 種 12mm {24 本線 6 より めっき 普通 Z より 赤グリース塗り G 種 12mm } 表示例 2. 6 × P・WS (36) C/LS B 種 30mm

{異形線ウォーリントンシール形 36 本線 6 より 裸 ラング S より 黒グリース塗り B 種 30mm }

表 9.3 破断荷重による区分

規格	極 別	摘 哭
	E種 (1320N/mm級)	裸及びめっき(めっき後冷問加工を行ったものを含む)
JIS	G 0 (1470N/mm/級)	めっき(めっき後冷間加工を行ったものを含む)
3525	A 種(1620N/m㎡級)	裸及びめっき(めっき後冷間加工を行ったものを含む)
	B極 (1770N/mm級)	裸及びめっき(めっき後冷間加工を行ったものを含む)

9) JIS に規定されているワイヤロープ G 3525 ワ 図 9.5 に「JIS G 3546 異形線ロープ」、図 9.6 に「JIS プを示す。

G 3525 ワイヤロープ」に規定されているワイヤロープを示す。

-			
呼び	異形線 7本線6より	異形線ウォーリントン シール形26本線 6 より	異形線ウォーリントン シール形31本線6より
構成記号	6 × P·7	6 ×P·WS(26)	6 ×P·WS(31)
断 面			
呼び	異形線ウォーリントン シール形36本線6より	異形線ウォーリントン シール形26本線6より ロープ心入り	異形線ウォーリントン シール形31本線 6 より ロープ心入り
構成記号	6 ×P·WS(36)	IWRC 6 ×P·WS(26)	IWRC 6 ×P·WS(31)
断面			
,			
呼 び	異形線ウォーリントン シール形36本線6より ロープ心入り	異形線シール形 19本線 8 より	異形線フィラー形 25本線8より
構成記号	IWRC 6 ×P·WS(36)	8 ×P·S(19)	8 × P·Fi (25)
断 面			

参考 構成記号の "P・" は,異形線 (Profile wires) の略号である。

図 9.5 JIS G 3546 異形線ロープ

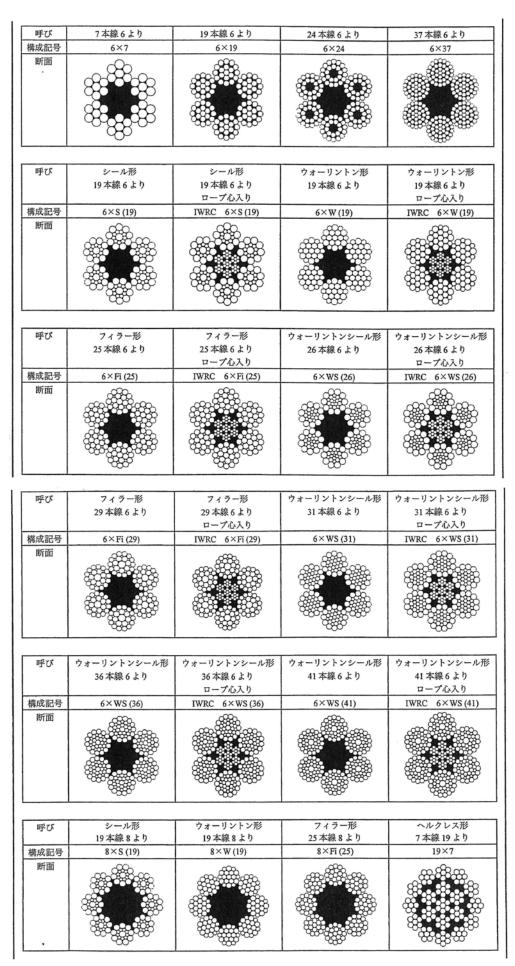


図 9.6 JIS G 3525 ワイヤロープ

#### (2) クレーン等に使用される非自転性ワイヤロープ

近年荷役機械は高能率化とともに高揚程化され、1本の巻上索では吊荷が回転して作業に支障をきたすことから、回転し難いワイヤロープが使用されるようになった。

多層ストランドワイヤロープは、断面形状が円形又は異形加工したストランドを2層以上互いに反対方向に撚り合わせて、各層間のトルクを相殺するようにしたもので、2層より合わせたものをヘルクレスロープ (Hercules rope)、3層以上より合わせたものをナフレックスロープ (Nuflex rope) と呼んでいる。(ヘルクレスロープは図9.6の最下段右を参照)

3本又は4本ストランドのワイヤロープは、ストランド数を3本又は4本として、一般の6本ストランドワイヤロープよりも層心径を小さくし、更にストランドとロープのよりの長さを加減することによってワイヤロープの回転トルクを少なくしたもので、ストランドの断面形状が円形や蛤形をしたもの、及び異形加工したストランドをより合わせたものがある。







図 9.7 4 本ストランドロープの断面図の例

#### (3) 索道、鋼索鉄道用ワイヤロープ

索道には、ロープウェイやスキーリフトの他、林業における運材索道やその他の架空索道などがあり、鋼索鉄道はケーブルカーに代表されるものである。これらのワイヤロープに関しては、(財) 日本鋼索交通協会制定のワイヤロープ規格がある。

#### 1) ロープウェイ用ワイヤローブ

人を乗せたゴンドラは空中に張られたワイヤロープをレールとして動いている。このワイヤロープは支索と呼ばれ殆どがロックドコイルロープ(Locked coil rope)である。中心に何本かの丸い素線を撚り合わせ、その上に異形の素線を撚り合わせて表面を全く平滑にしているので、ゴンドラの乗客に振動を感じさせないし、ロープの破断強度も高く雨水等の内部浸入も少ない。図 9.8 にロックドコイルロープの断面を示す。

支索に常に一定の張力を与えるために、シーブを通 して重り(数十トン)を下方に吊っているロープを緊 張索といい、破断荷重が大きくて素線数が多く、耐疲 労性の良いワイヤロープが適しており、18 × Fi(29)、

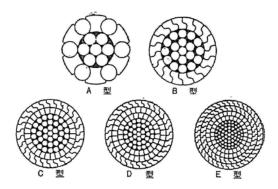


図 9.8 ロックドコイルロープの断面図

6 × 61 などが使用されている。ゴンドラを曳くワイヤロープを曳索、バランスを保つためのワイヤロープを平衡索といい、これらには一般の平行よりワイヤロープが使用される。

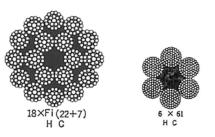


図 9.9 18 × Fi (29) 及び 6 × 61 の断面図

#### 2) ケーブルカー用ワイヤロープ

一般的に山上と山下とを2両の車両を交互に運転するつるべ式又は交走式と呼ばれる方式であり、ケーブルカーを牽引しているのがワイヤロープで、繊維心入りで柔軟性に富み、表面がやや平滑なフラット形ワイヤロープが使用される。(図9.10に代表的なものを示す)







 $6\times F\{(3\times 2+3)+7\}$   $6\times F\{(3\times 2+3)+9\}$   $6\times F\{(3\times 2+3)+12+12\}$  図 9.10 ケーブルカー用ワイヤロープの断面図

#### (4) 橋梁用ワイヤロープ

つり橋のメインロープとしては、 $7 \times 7$ ,  $7 \times 19$ ,  $7 \times 37$ ,  $1 \times 91$ ,  $1 \times 127$  等が小規模つり橋には使用されるが、関門橋や本州四国連絡橋のようにスパンが400m 以上になると、撚らないで鋼線十数本から200本以上を6角形に束ねたものを単位とし、更にそれを束ねたものが使用されている。これを平行線ケーブルと呼ぶが、平行線ケーブルはより合わせていないので、鋼線 $1 \times 1$  本の強度の合計がほぼワイヤロープの破断

荷重に等しくなる。図 9.11 に構造用ワイヤロープ(JIS G 3549) の代表的な断面図を示す。

なお、CFRC(Center Fit Wire Rope Core)とは、外層ストランドをロープにより合わせる時に、ロープ心のストランドも同時により合わせるもので、ロープの側ストランド内側の谷間にロープ心の外層ストランドをはめ込んだ形状となる。

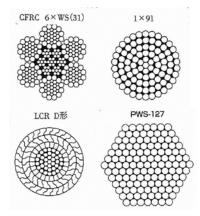


図 9.11 構造用ワイヤロープの断面図

#### (5) 安全施設用ワイヤロープ

道路や駐車場の自動車を防護したり、山間部での落石を押えたり、落石を受止めたりする施設に、強度が大きい、柔軟性があり作業し易い、弾力性がある等々により、素線7本をより合わせたストランドを3本より合わせてワイヤロープにした(3×7)ガードケーブルが使用されている。

#### (6) 操作用ワイヤロープ

医療機械、計測機械、運動器具などの操作用、及び窓・ 扉などの開閉用として使用される細径のワイヤロープ で、JIS G 3540 に規定されているワイヤロープの構 成は、図 9.12 に示す 4 種類である。 炭素鋼とステン レス鋼がある。

. 呼び	7本より	19本より
構成記号	1×7	1×19
断面	8	
	7本線6より, 共心	19本線6より, 共心
	7×7	7×19
-		

7×7 7×19

図 9.12 操作用ワイヤロープの断面図

#### (7) ステンレスロープ

JIS G 3557 一般用ステンレス鋼ワイヤロープには、6 × 7,6 × 19,6 × 37,7 × 7,7 × 19,7 × 37,6 × WS (26),6 × WS (31),6 × WS (36), IWRC 6 × WS (26), IWRC6 × WS (31), IWRC6 × WS (36),19 × 7の13種類の構成があり、各構成とも SA 種と SB 種がある。JIS G 3550 構造用ステンレス鋼ワイヤロープには、1 × 19,1 × 37,7 × 7,7 × 19,7 × 37の5種類の構成があり、各構成とも A 種と B 種がある。

#### (8) ケーブルレイドロープ

1本のワイヤロープをストランドとみなし(シェンケルという。)それを心の周りにより合わせたもの(普通6本)で、原形は $6\times7.7\times7$ を6本より合わせたチラーロープ( $6\times6\times7$ 又は $7\times7\times7$ )であり、船の操舵索として用いられている。又、ロープ径の太い玉掛索として柔軟性に優れているケーブルレイドロープ(図 9.13)が使用されている。

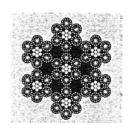


図 9.13 ケーブルレイドロープ

#### (9) タイヤコード、ベルトコード

タイヤやベルトは、柔らかいゴムを補強材で補強した複合材であり、補強材として使用されるワイヤロープはタイヤコードとかベルトコードと呼ばれる。比較的単純な構成が多く、一般のワイヤロープに比べ素線径が $0.15\sim0.38$ mmと細く、引張強さは $3,000\sim3.500$ N/mm²として鋼材料としては最強である。又、ゴムとの化学反応による接着を図るため、ブラスめっきを行う。代表的な構成を図9.14に示す。

		代表	を的なスチー	ルタイヤコー	- k		
構成記号	1×2	1×4	2×2	1×5	2+3	2+7	
断面図	8	8	88	%	8	080	
素線径 (mm)	0.28 ~0.32	0.22 ~0.28	0.22 ~0.25	0.22 ~0.25	0.22 ~0.25	0.22	
主な用途	乗用専用ベルト						
構成記号	3+6	3+9	1×12	3+9+15+(1)	7×4+(1)	4×4	
断面図	8	8888	****			************	
素線径 (mm)	0.28 ~0.38	0.175 ~0.25	0.175 ~0.25	0.175 ~0.22	0.175 ~0.22	0.22	
主な用途	トラック・ バス用 ベルト		ック・パス用 トまたはカー	トラック・ バス用 カーカス	トラック・ パス用 ペルト		

図 9.14 代表的なスチールタイヤコード

#### (10) その他のワイヤロープ

JIS G 3537「亜鉛めっき鋼より線」に規定されている電力用・通信用の架空地線、埋設地線などに使用するワイヤロープの構成を、図 9.15 に示す。素線の標準引張強さは、1230N/mm²、880 N/mm²、690 N/mm²である。

プレストレストコンクリート (Prestressed

号別	1号	2号(a)	2号(b)	3号(a)	3号(b)	
断面	8	8	33	****		
構成	3本より	7本より		19本	より	
構成記号	1×3	1×7(a)	1×7(b)	1×19(a)	1×19(b)	

図 9.15 亜鉛めっき鋼より線

Concrete)は、その特性を生かし、PC タンク、橋梁、 枕木、梁、桁、パイル、ヒューム管等々、土木、建築 の分野に多く使用されている。このプレストレストコ ンクリートに用いる鋼線及び鋼より線を、それぞれ PC 鋼線、PC 鋼より線といい、JIS G 3536 に規定さ れている PC 鋼より線を表 9.4 に示す。

表 9.4 PC 鋼より線

記号	呼び名	標準径	公 称 断面積	単位質量		引張荷重	伸び	リラクセー%		強度
116 7	-10-4	mm	mm <sup>2</sup>	kg/km	する荷重 kN	kN	%	N	L	N/mm²
SWPR2N SWPR2L	2.9mm 2本より	2.90	13.21	104	22.6	以上 25.5	以上 3.5	以下 8.0	以下 2.5	1,910
SWPD3N SWPD3L	2.9mm 3本より	2.90	19.82	156	33.8	38.2	3.5	8.0	2.5	1,910
	7本より 9.3mm	9.3	51.61	405	75.5	88.8	3.5	8.0	2.5	
SWPR7AN	7本より10.8mm	10.8	69.68	546	102	120	3.5	8.0	2.5	1,720
SWPR7AL	7本より12.4mm	12.4	92.90	729	136	160	3.5	8.0	2.5	
	7本より15.2mm	15.2	138.7	1,101	204	240	3.5	8.0	2.5	
	7本より 9.5mm	9.5	54.84	432	86.8	102	3.5	8.0	2.5	1,860
SWPR7BN	7本より11.1mm	11.1	74.19	580	118	138	3.5	8.0	2.5	
SWPR7BL	7本より12.7mm	12.7	98.71	774	156	183	3.5	8.0	2.5	
	7本より15.2mm	15.2	138.7	1,101	222	261	3.5	8.0	2.5	
SWPR19N	19本より17.8mm	17.8	208.4	1,652	330	387	3.5	8.0	2.5	1,860
	19本より19.3mm	19.3	243.7	1,931	387	451	3.5	8.0	2.5	
SWPR19L	19本より20.3mm	20.3	270.9	2,149	422	495	3.5	8.0	2.5	1,810
	19本より21.8mm	21.8	312.9	2,482	495	573	3.5	8.0	2.5	

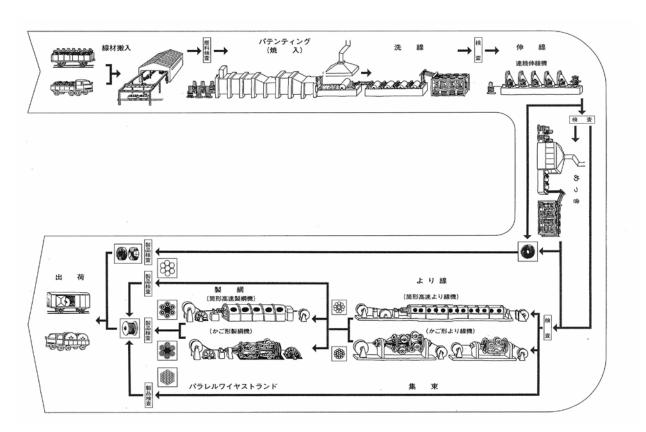


図 9.16 ワイヤロープの製造工程の一例

#### 9.2.2 ワイヤロープの製造方法

#### (1) ワイヤロープの製造工程

ワイヤロープの製造工程の一例を図 9.16 に示す

#### (2) 線材

ワイヤロープの原料となる線材は、鋼片(ビレット)を 1000~1200℃に加熱後圧延機で熱間圧延し製造された硬鋼線材(JIS G 3506)又はピアノ線材(JIS G 3502)で、ワイヤロープ用素線の線径と規格に応じて、鋼種や線材径を選択する。主に SWRH 42~82で線材径 5.5mm~13mmの高炭素鋼線材が使用される。品質特性としては、特に化学成分が規格どおりで、且つ安定していること、非金属介在物が少ないこと、線材表面・内部とも欠陥が無いこと、更には線材表面に発生するスケールが落ちやすく、少ないことが要求される。又近年、従来ロープメーカーで実施していた熱処理を、線材メーカーで実施する場合もあり、規定の引張強さや組織が安定していることも要求される。

#### (3) 熱処理 (パテンティング)

線材を加熱炉で $\underline{x}$  ーステナイト 領域 (900 ~  $1000^{\circ}$ ) に加熱し、更に所定の温度に加熱された溶融 鉛槽中を通過させて冷却し、ワイヤロープ用素線に最

も必要な強度と靭性のある<u>微細パーライト(ソルバイト)組織</u>とする熱処理をパテンティングと言い、ワイヤローブ製造上重要な工程である。

加熱の熱源としては、ガス、石油、石炭等が用いられるが、高温で加熱するため、線材表面の炭素量が減少する脱炭を起こさないよう、炉内の雰囲気に注意を払う必要がある。脱炭を起こした場合、後工程で、引張強さの不足、断線等のトラブルが発生する可能性がある。

所定の温度に加熱された線材は、冷却媒体中で等温変態されソルバイト組織となる。ソルバイト組織は、基本的にはパーライト組織であるが、ラメラー間隔が狭く、組織が緻密であり、後工程での伸線加工性がきわめて良好となる。冷却媒体は、鉛が一般的であるが環境問題があり、空気、ソルト、流動床(加熱した砂を流動させ冷却層としたもの)、水、ミスト等が開発されている。鉛浴温度は、一般的に低温ほどソルバイト組織が密となり、引張強度は高くなるが、低過ぎると加工し難いベイナイト組織が出てくる恐れがあり、ある一定の温度幅での管理が必要である。

線材はパテンティング終了後巻き取られるが、巻取りの形式には、ボビン取り、キャリア取り、東取り等がある。なお、近年生産性の向上を図るため、線材表

面にすべりを良くする石鹸の塗布や巻き容量を大きく したもの等種々実施されている。

線材製造時に熱間圧延の温度を利用し、パテンティング処理を行なう場合が近年多くなってきている。この時冷却媒体は、空気、ミスト、溶融塩・鉛等が使用され、DP (Direct Lead Patenting) と称されている。

#### 『用語解説』

- ○オーステナイト;1種以上の元素を含むγ鉄(911~1392℃までの温度範囲での純鉄の安定な 状態)固溶体
- ○微細パーライト(ソルバイト)組織; $\alpha$  鉄と微粒セメンタイトとの機械的混合物で、マルテンサイトを  $500 \sim 600$   $^{\circ}$  に焼きもどした場合、並びに焼入れのさい、A1 変態を  $600 \sim 550$   $^{\circ}$  において生ぜしめたときに得られる組織である。
- ○パーライト;オーステナイトの共析分解によって形成されるフェライトとセメンタイト (Fe₃C) の層状集合体
- ○ラメラー (lamella) 間隔;パーライト組織はセメンタイト (Fe<sub>3</sub>C) とフェライト (Fe) が層状組織になっており、その間隔をいう。同一の炭素量でもセメンタイト層の間隔が小さいと鋼材の力は大きくなる。
- ○ベイナイト;パーライトが形成される温度と、 マルテンサイトが形成され始める温度との間の 温度間隔で起こるオーステナイトの分解によっ て形成される準安定構成物で、炭素がセメンタ イトの形を取って微細に析出しているフェライ とからなる。

#### (4) 伸線前処理

熱処理が終了した線材は、次工程の伸線加工のため 次の処理を行う。

#### 1) スケール除去

熱処理した線材には酸化してできたスケールが発生しており、スケールは非常に硬く次工程の障害となるので除去しなければならない。除去には、機械的方法と化学的方法及びそれらの組み合わせがある。機械的方法には、線材を曲げる、サンドペーパーやワイヤブラシで擦る、ショットブラス等の方法があり、環境負荷も少ないことから盛んに利用されているが、表面の錆びは除去できないこと、ミクロなスケールが残存する可能性もあるので化学的方法と併用されるケースが

多い。化学的方法には、酸洗い法、電解酸洗い法、溶解塩法等があるが、酸洗い法が最も広く一般的で、短時間の処理が必要な場合は塩酸、時間的制約が無い場合はコスト面から硫酸が多く使用される。酸洗いの際、特に高炭素鋼では水素脆性(一般に鋼は発生期の水素原子(H)の侵入によって脆性化するもので、この脆性を水素脆性という)が問題となる場合があったが、インヒビター(抑制剤)を添加することにより、殆ど問題がなくなった。

#### 2) コーティング (被膜処理)

次工程の伸線加工で金属間接触を防止するためには 潤滑剤を必要とし、このキャリアとしての役目を果た すものが、コーティングである。コーティングが無け れば、潤滑剤が一様に引き込まれず、摩擦力が増大 し、伸線材表面の傷や異常変形が生じるばかりでな く、ダイスの異常摩耗や摩擦抵抗が過大となり、伸線 加工が不可能となる。コーティングには、線材表面に 物理的に付着させる方法と化学的に反応させ付着させ る方法があり、組み合わせで使用される場合もある。 現在最も多く使われているのは、物理的方法では、ほ う砂を温水に溶かし、線材を通過後乾燥させるほう砂 コーティングで、化学反応方法では、塗装の下地とし て開発された燐酸塩コーティングを使用する方法であ る。燐酸塩コーティングでは、予熱した線材を85℃ ~95℃に加熱した燐酸塩浴にとおし、その後亜硝酸 ソーダ液に浸漬後乾燥させる。強固な皮膜が形成され 耐熱性にも優れ、又さび止めとしても有効なため、現 在ワイヤロープ用素線のコーティング剤として最も広 く使用されているが、設備費や薬剤が高価であること 等のデメリットもある。

#### (5) 伸線

コーティングされた線材は、所定の線径・強度・靭性を満たすようにするため、ダイスに通して引き抜く冷間加工(伸線)を行なう。

#### 1) 伸線方法

伸線の加工度は減面率で表し、一般に70~90%で 加工されるが、減面率が少なければ、伸線材の強度は 低く、減面率が大きくなると強度は上昇するが、逆に 脆くなる。細い素線は、パテンティングから伸線の工 程を繰り返し行って製造する。

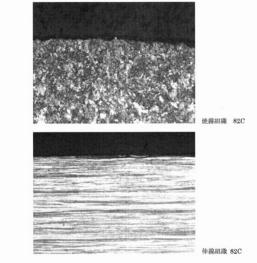


図 9.17 伸線前後の組織

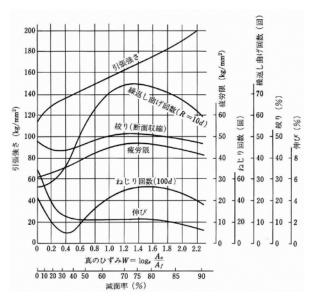


図 9.18 加工度と機械的性質の関係

#### 2) ダイス

近年のダイスは、焼結したタングステンカーバイトを所定の穴形状に仕上げ(ニブ)、これを鉄ケースに入れて焼き嵌めしたものである。ダイスの品質により、伸線材の加工精度や摩擦抵抗、生産性が大きく影響される。アプローチ角度は一般に8~12°をとるが、ダイスに接触するベアリング部分の長さはダイス孔径に対し一定の比率(ダイスファクターと称す)以上を確保すべきであり、この比率が小さいと内部まで一律の塑性加工が得られず、断線や内部欠陥を生ずる恐れがある。

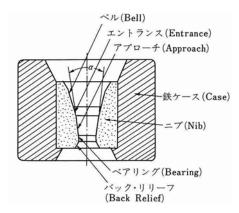


図 9.19 ダイスの形状と名称

#### 3) 冷却

伸線加工時には、変形加工時の加工熱やダイスとの摩擦熱等で発熱するが、伸線温度が高くなると伸線した後の素線の品質、特に靭性に影響し脆くなるため、極力伸線時の熱を低くすることがワイヤロープの品質に欠かせないため、種々の冷却方法が実用化されている。例えば、伸線機のブロックに大量の水を内側から噴射したり、ダイス直後のワイヤを直接水で冷却する方法等があり、いずれも少なくともワイヤは180℃以下(線の種類によってはもっと低温にすべきとの文献もある)にすべきである。

#### 4) 潤滑剤

潤滑剤は、金属石鹸を主体として種々の添加物が含まれるが、乾式伸線機用には大きく分けて、水溶性のナトリウム系と難水溶性のカリシウム系とに分けられる。一般に難水溶性のものが融点が高く過酷な伸線条件に耐えられるが、伸線材の表面残渣が問題になる場合は、水溶性のナトリウム系が使用される。添加剤としては、イオウ、二硫化モリブデン、二硫化タングステン等が頻繁に使用されている。

#### (6) めっき

ワイヤロープは、一般の鋼材と比べ素線に冷間加工 を施すため引張強度は大きいが、細径のため腐食には 極めて弱く、このためロープグリースを塗布している が、それでも海洋や長期に空気中に暴露される場合は めっきが必要である。また、防食とは別の目的、特に タイヤコードにおいてはゴムとの接着を目的にめっき (ブラスめっき) する場合もある。

#### 1) めっきの種類と特徴

一般の鋼材と同様、ワイヤロープは、亜鉛やアルミ、 亜鉛アルミ合金等のめっきが殆どであり、めっき方法 としては、溶融めっきと電気めっきの2種類がある。 溶融めっき法の工程は、脱脂→酸洗い→水洗→フラックス処理→乾燥→溶融亜鉛浴浸漬→絞り→冷却→巻取りとなる。この場合、加熱することにより、亜鉛と鉄の合金層が生成され、強固な付着性が形成される。電気めっき法は通電することによって、線材表面にめっきが形成されるが、めっき付着量は電流密度と時間の関数で決定できることから、容易に付着量をコントロールすることが可能である。

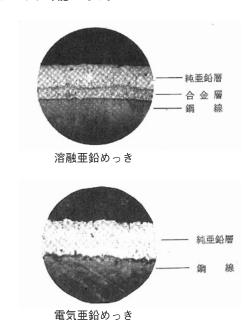


図 9.20 亜鉛めっきの付着状況

#### 2) 絞り

溶融亜鉛鍋から線を引き出す場合、亜鉛付着量の管理、表面の酸化防止、表面の平滑性確保の目的で、亜鉛浴を出たところで、ガラス繊維や炭粉、おがくずで不完全燃焼状態としたり、窒素で外気と遮断したりすることを絞りと称する。

線を引き上げる速度を早くするとめっき付着量は多くなり、逆に遅くすると少なくなるが、ある線速以下では合金層の発達で付着量がかえって多くなる。又線速が早くなると、表面状況はでこぼこが多く、不均一となりやすい。

#### 3) 垂直めっきと斜めめっき

亜鉛浴に対し垂直に引き上げる方式を垂直めっき、ある角度で引き上げるのを斜めめっきと称する。垂直めっきは、亜鉛のつきまわり (付着性) は均一になりやすいが、直後の水冷時に水落ちが発生しやすく、設備上の対応が必要である。斜めめっきは、めっきのつきまわりは若干劣るものの設備上の管理はしやすい。

#### 4) めっき後冷間加工を行ったもの

めっき後冷間加工(伸線加工)を行ったものはめっき付着量は減少するものの、引張り強さや靭性は裸ワイヤとほぼ同等の水準が得られワイヤロープ用として広く使用される。ただし、耐防食性を要求されるものには適さない。

#### (7) ストランディング

所定本数の素線をより合わせてストランドを作る工程である。より線機の種類や特徴は第7章参照

ワイヤロープの塗油は、一般的にはストランド製作時点で塗油を行い、たまに重防食用として、クローサー時にも更に塗油を行なう場合がある。噴射法は、溶融したグリースをポンプで素線のより合わせ口に噴射し内部まで浸透させる。より合わせた後でロープ表面に噴射塗布する場合もある。最近はグリースを加熱せずにゼリー状の状態で特殊ポンプにて直接よりあわせ口へ充填する省エネ型装置が利用されている。浸漬法は、ストランド又はロープをよりあわせた後に、溶融したグリース中に浸漬したり、グリース槽中に取り付けたローラー上を通過させて塗油する。滴下法は、ストランド又はロープのより合わせ時に、流動性のあるグリースを滴下又は流下する方法で、少量塗油の場合にこの方法で行う。

塗油量は全く塗布しないものから、棒状にべっとり 塗布するものまであり、グリースの種類、用途で多数 の種類になる。

#### (8) クロージング

クロージングは、基本的にストランドと同様であるが、ストランドをそのまま撚り合わせてもワイヤロープの内部応力により、バラケが生じて取り扱いが難しくなる。このため、ストランドをよりあわせ時に内部応力除去のため、プレフォームを実施する点が大きく異なる。より線機のより口に形付け用のロールを配置し、ストランドにあらかじめ所定の形をつけてよりあわせ、内部応力の除去を行なう。なお撚ったあと、ロール等で締め上げ同様な効果をあげるものをポストフォームと呼ぶ。

#### (9) プレテンション

ロープに仕上げた後、荷重を加えて残留応力を除去する方法で、形付けされることなく、よりの不均一を均一化する。プレテンションは弾性係数の向上等の目的で行われる。

#### 9.2.3 ワイヤロープの試験

ワイヤロープ (JIS G 3525) 及び異形線ロープ (JIS G 3546) に規定されている試験項目と試験方法がある。

#### (1) 素線試験

ワイヤロープの一端から適当な長さを切取って、1本のストランド (ロープ構成が19×7の場合は各層ごとに1本)を採り、これを素線に解き、心線及びフィラー線を除いたものを試験片とする。

外観試験は目視によって行い、破断試験は、試験片の両端を、径 1.00mm 未満のものは、つかみ間隔 100mm、径 1.00mm 以上のものは、つかみ間隔約 200mm でつかみ破断するまで徐々に引っ張る。

ねじり試験は、試験片の両端を、その径の100倍のつかみ間隔で固くつかみ、その一方を、素線径0.20mm以上1.00mm未満は180回/分以下で、素線径1.00mm以上4.50mm以下は60回/分以下で回転し、試験片が破断したときのねじり回数を調べる。巻解試験は、試験片をこれと同一径(3.15mmを超えるもの等例外もある)の心金の周囲に8回密接して巻き付け、更にこれを解き戻した後、試験片の折損の有無を調べる。亜鉛付着量試験は、JISH0401(溶融亜鉛めっき試験方法)の塩化アンチモン液を用いる方法による。径の測定は、試験片を同一断面において2方向以上をマイクロメーターで測定する。

#### (2) ロープ試験

外観試験は目視によって行い、破断試験は、ロープの一端から適正な長さを切り取り、図 9.21 のように両端をホワイトメタル又は亜鉛などで円すい形に固める方法か、これに代わる適切な方法でロープを引張試験機に取り付け、これを破断するまで徐々に引っ張り、そのときの破断荷重を測定する。

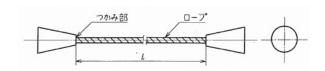


図 9.21 ワイヤロープ破断試験の試料

実際径の測定は、ロープの一端から 1.5m 以上離れた任意の点 2ヶ所以上又は同一断面において 2 方向以上をノギスで図 9.22 のようにして測定して、その平均値を実際径とする。(破断荷重の 5% に相当する引張荷重下でもよい)

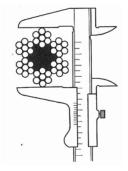


図 9.22 実際径の測り方

#### 9.2.4 わが国のワイヤロープ生産量の推移

日本におけるワイヤロープの JIS 認定メーカーの団体である「日本鋼索工業会」が昭和 29 年に発足し、JISメーカーの生産量統計数値がある(図9.23,表9.5)。ただ、この統計には、タイヤコード、亜鉛めっき鋼より線、PC 鋼より線は含まれていない。

昭和 48 年までは高度成長に伴い順調に生産量は増加したが、その後は変動はあるものの生産量は減少の一途を呈している。その理由として、林業、漁業の衰退による需要減、円高による輸出量の激減が主原因であるが、直近では、製造業が海外に移転することによる需要減、又近年韓国、中国での安価品の輸入拡大により、国内メーカーの減産が続いている。

また、表 9.6 は、ワイヤロープの主要部門別受注量割合 {石垣進「泉南地域におけるワイヤロープ工業の生成と展開」大阪府立大學經濟研究 .1997,42 (2), p54}を示す。炭鉱・鉱山が大幅に減少し、それに代わって土建及び鉄鋼・機械が増えていることが分かる。

図 9.24 は、タイヤコード使用量の変遷 {石川泰弘 「技術の系統化調査報告書 16」国立科学博物館 p43 を示す。1976 年 (昭和 51 年) 頃からスチールタイヤコードが急激に伸びていることを示している。

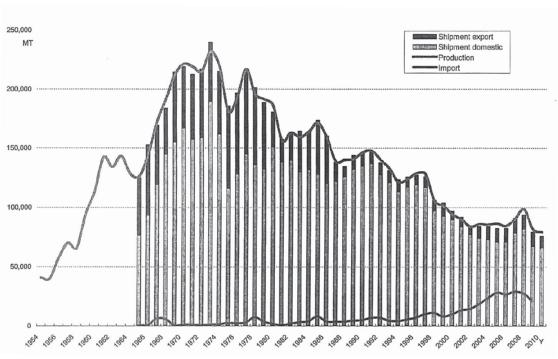


図 9.23 ワイヤロープ生産量の推移 (表 9.5 をグラフにしたもの)

		0 - 1	
表95	ワイヤロ	一プ生産	量の推移

224		
ш1	11/	1

					-					
西曆	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963
生産量	40,982	40,104	57,983	70,162	65,994	94,453	113,500	142,067	134,257	143,216
国内										
輸出										
輸入										
西曆	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
生産量	128,454	126,210	144,680	172,175	191,647	212,246	221,174	219,021	214,846	232,075
国内		76 632	93.456	119 202	144 949	155 142	166 938	157 440	158 686	189 629

国内		76,632	93,456	119,292	144,949	155,142	166,938	157,440	158,686	189,629
輸出		48,119	59,276	50,000	38,898	59,368	52,000	55,000	58,000	50,128
輸入		522	629	6,147	5,923	466	1,045	1,218	543	1,377
西曆	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983

西曆	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
生産量	219,707	181,265	193,287	216,867	195,684	191,404	186,214	156,300	163,041	159,279
国内	161,960	116,048	128,157	144,987	135,968	132,370	150,802	138,157	139,866	129,872
輸出	53,118	69,619	68,546	71,220	65,171	56,369	29,785	19,370	23,539	34,439
輸入	1,463	2,509	2,254	3,031	7,550	3,635	1,790	733	1,937	3,291

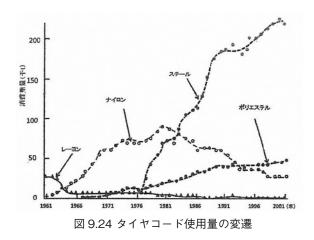
西曆	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
生產量	163,788	171,319	159,049	138,848	140,013	140,737	146,443	147,610	140,247	132,582
国内	131,792	127,861	120,265	121,895	125,654	132,022	134,926	136,793	127,493	120,868
輸出	32,153	45,760	39,912	16,251	9,024	11,821	11,345	9,860	10,211	10,090
輸入	3,961	8,194	3,854	3,565	3,606	4,627	5,007	6,937	7,021	4,471

西暦	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
生産量	121,192	123,712	128,724	127,948	105,462	101,377	94,162	90,101	83,960	86,032
国内	113,366	117,113	118,936	116,874	97,080	92,715	89,599	83,908	77,346	74,243
輸出	9,900	8,559	8,228	9,021	8,948	11,135	7,369	7,943	7,374	10,088
輸入	4,290	5,567	7,192	10,080	11,153	8,045	9,996	13,361	14,522	18,532

西曆	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
生産量	85,720	86,459	84,557	90,418	98,580	81,714	79,309
国内	73,260	71,119	71,089	78,713	82,001	67,338	66,480
輸出	10,977	11,379	11,564	12,216	11,788	12,075	9,427
輸入	23,699	28,263	26,933	29,049	27,568	21,050	

表 9.6 ワイヤロープの部門別受注割合(%)

		20.0	, , , , , ,	P - P     175		,0,		
			業			種		
	炭鉱・鉱山	林業	土建	漁 業	造船·船舶	鉄鋼・機械	運輸·通信	その他
1955年	21.1	8.4	8.6	10.5	11.0	9.2	8.1	23.1
1965年	6.3	13.7	19.1	9.1	12.2	13.4	7.0	19.2
1975年	1.1	8.1	19.4	10.7	15.1	18.9	8.6	18.1
1985年	2.0	9.7	25.5	14.0	14.0	22.0	1.8	11.0
1993年	0.8	5.5	34.7	8.5	8.1	27.1	1.8	13.5



ワイヤロープの JIS 制定・改正の履歴

## 9.3.1 G 3525 ワイヤロープ (構成や種別の変遷 は表 9.9 及び表 9.10 参照)

1950年制定以前に日本標準規格 (JES) があり、さ く井用の6×S(19) やエレベータ用の6×W(19) 等が入っていた。制定された JIS のワイヤロープ構成 は、交差より $(1 \sim 7 \, \text{号})$ 、フラット形 $(8 \sim 9 \, \text{号})$ 、 平行より (10~11号) の11種類であった。

1953年の改正では、1950年の制定は戦後の低品位

の原料事情を考慮したもので、この規格によって製造 された鋼索は戦前の鋼索や諸外国の鋼索とくらべて品 質が悪く、海外への輸出や将来の重要な用途に対して は不適当であったため、改正の原案はそれらの点を考 慮して主要生産者によって作成された。旧 JES、BS, DIN, FS (アメリカ) 等を参考にし、また、Fi 形が 追加された。

1956年の改正では、前回の改正についての見直し の審議と、今までの規格を検討して解釈上不分明な点 を明確に表現すると共に、時代の要請に合うように改 正された。改正の要点は、規格名称は従来"鋼索"と して世人になじまれていたが、学術用語では"ワイヤ ロープ"となっており、規格に採用する用語は学術 用語によるのが第一義的な原則であるので"ワイヤ ロープ"に改称したことなどであった。Fi [29] .7× 7+Fi [25] .8 × S [19] .LCR 等々の要望あったがデー タ不足などで見送られた。

1959年の改正では、8ストランドロープならびに6 × Fi (22 + 7) , 7 × 7 + 7 × Fi (19 + 6) が追加さ れた。8 ストランドロープの追加は、昭和 33 年 10 月 4日付けで建築基準法施行令の一部が "エレベータの 主索は JIS G 3525 に定めるエレベータ用鋼索の規 格に適合すること"と改正され、昭和34年1月1日

1960 年代 1970 年代 1980 年代 1990 年代 2000 年代

表 9.7 ワイヤロープ関係の JIS 制定・改正履歴一覧

	1950 年制定	1964 年改正	1973 年改正	1988 年改正	1995 年改正	2006 年改正
G 3525 ワイヤロープ	1953 年改正		1977 年改正		1998 年改正	
0 5020 7 1 1 1 7	1956 年改正					
	1959 年改正					
G 3546 異形線ロープ					1993 年制定	2000 年改正
G 7301 一般用ワイヤロ					1998 年制定	
ープ―ISO 仕様及び特性						
G 3535 航空機用ワイヤ	1954 年制定	1961 年改正	1977 年改正	1983 年改正	1995 年改正	
ロープ		1965 年改正		1988 年改正	1998 年改正	
G 3540 操作用ワイヤロ			1977 年制定	1985 年改正	1995 年改正	
ープ						
G 3557 一般用ステンレ						2004 年制定
ス鋼ワイヤロープ						
G 3549 構造用ワイヤロ						2000 年制定
ープ						
G 3550 構造用ステンレ						2003 年制定
ス鋼ワイヤロープ						
G 3536 PC 鋼線 PC 鋼より		1960 年制定	1971 年改正	1981 年改正	1994 年改正	2008 年改正
線				1985 年改正	1999 年改正	
G 3537 亜鉛めっき鋼よ		1962 年制定	1972 年改正	1988 年改正	1994 年改正	
り線						

から実施されたために早急に追加されたものである。

1964年の改正では、ワイヤロープ製造技術の向上にかんがみて、実情にそうよう外国規格の長所なども取り入れ改正がなされた。すなわち、従来からの懸案であったワイヤロープ径に、標準数の採用という重要な改正を行った他、素線の標準引張強さの種別の変更などであった。

1973年の改正では、技術の進歩に伴い、ワイヤロープの需要が変化し、また、輸出増加により国際性をおびてきたことことに対処して改正が行われた。すなわち、エレベータなどで使用される構成のものの種別の追加および削除、様式および用語の改正などである。エレベータ用については、日本エレベータ協会より種々改正意見がだされたが、エレベータ用にのみ関するものなので、その一部のみを取り上げた。フラットンドストランドロープの△心は削除され、合成繊維心が追加された。異形線ストランドロープ及び4ストランドロープの追加要望があったが、時期尚早のため見送った。

1977年の改正は、SI単位の導入により単位を併記 したもので内容の改正はなかった。

1988年の改正は、ワイヤロープの技術の進歩に伴う需要の変化への対応と、"貿易の技術的障害に関する協定(ガット・スタンダード・コード)"の趣旨にのっとって、国際規格(ISO)との整合性を考慮し、さらに国際単位系への全面移行に対処したものであった。なお、号別の呼び方は廃止された。

1995年の改正は、JIS Z 8301 (規格表の様式) が改正 (1990年) されたための形式改正と国際規格 (ISO) との整合性を考慮してのものであった。

1998年の改正は、"規制緩和推進計画"が閣議決定

され工業技術院標準部より JIS と ISO 規格を整合させるように指導を受けたための対応で、整合化が可能なものは改正を行ったが、破断荷重の相違(表 9.8 参照)など強制法規の関係により安全操業の観点から整合化出来ない部分が殆どてあるために、ISO の翻訳版を別規格「G 7301 一般用ワイヤロープ – ISO 仕様及び特性」として制定した。その他に構成や種別の整理を行い種類を少なくした。

2006年の改正は、従来のより合わせ後の素線の規定とともに、更に ISO 規格に従い、より合わせ前の素線の特性、試験及び検査を附属書で規定した。

#### 9.3.2 G3546 異形線ロープ

1973年のG 3525 改正時から制定の要望があったが 見送られ、1978年にクレーン用に、1984年にエレベー 夕用として認可された事などから、1988年にG 3525 とは別規格とすることが決まり、1993年にようやく7 種類のロープ構成が制定された。

2000年の改正は、ワイヤロープの需要の変化によるロープ構成の追加(2種類)とG 3525との整合化のためであった。

## 9.3.3 G 3550 構造用ステンレス鋼ワイヤロープ 2003 年制定の理由

2000年6月に施行された建築基準法及びその施工令・告示で、ステンレス鋼が構造用鋼材として新たに位置付けられ、構造用ケーブルとして炭素鋼とステンレス鋼が規定されたために制定された。(炭素鋼については、2000年に JIS G 3549 構造用ワイヤロープとして規定されている)

なお、ステンレス鋼ワイヤロープに関しては、JIS

表 9.8 JIS	215	O 規格の破断何重係数の比較	(191 <i>)</i>
	****	G	

区分	JIS G 3	525	ISO	2408
ロープ構成	種 別 (引張強さ N/mm²)	破断荷重係数	引張強さ (N/mm²)	破断荷重係数
$6 \times 7$	A 種(1620)	0.367	1770	0.332
$6 \times 24$	G 種(1470)	0.311	1570	0.280
6×Fi(25)	B種(1770)	0.328	1770	0.330
IWRC 6×Fi(25)	B種(1770)	0.374	1770	0.356
6×WS(31)	B種(1770)	0.335	1770	0.330
IWRC 6×WS(31)	B種(1770)	0.383	1770	0.356
8×S(19)	B種(1770)	0.290	1770	0.293

G 3535 航空機用ワイヤロープ、JIS G 3540 操作用ワイヤロープがあるが、いずれも動索で細いロープが対象であり、構造用は静索を対象としたものである。

### 9.3.4 G 3557 一般用ステンレス鋼ワイヤロープ 2004 年制定の理由

ステンレス鋼ワイヤロープは、古くから比較的細いロープで機械器具の操作用、自動車などのコントロールケーブルの他、飛行機の制御用ロープとしても使用されて、JISにも規定されていた。一方、ステンレス鋼ワイヤロープは、炭素鋼ワイヤロープとは異なり耐食性に優れているため、海上や化学物質を含んだ腐食性雰囲気においてその性能を発揮するとともに、ロー

プグリースを塗布できない特殊環境下においても重要 視されており、近年では原子力発電所の機械設備や、 ダム・せき(堰)・水門などにおけるゲート用、その 他船舶、漁業用等々幅広い分野に使用されるように なった。

しかし、統一した規格が制定されていないために各製造業者の製品規格が適用されているが、その規格は製造業者により異なり、需要家においては製品の互換性がなく混乱する可能性が指摘されてきた。

従って、それに対処し、合わせてステンレス鋼ワイヤロープの幅広い普及と技術の発展に役立つよう規格 化された。

表 9.9 JIS G 3525 の変遷 (交差より関係)

			茶	: 9.9 JIS G 3525 の変遷		(交差より関係)	() 内の単位は	位は kg/mm²	$ m n^2 ~~X$ $ m th ~~N/mm^2$	$m^2$
構成	1950年	1953年	1956年	由6261	1964年	1973年	1977年	1988年	1995年	1998年
2~3	単級 (140) 3級 (145) 3% (155)	単種(150)	単種(150)	単種(150)	G種(150)	G種(150)	G種(150)	G種(1470)	G種(1470)	G種(1470)
- - - -	2級(155) 1級(165) 特級(175)	1種(155) 2種(165) 3種(175)	1性(155) 2種(165) 3種(175)	1億 (155) 2種 (165) 3種 (175)	A種(165) B種(175)	A種(165) B種(175)	A種(165) B種(175)	A種(1620) B種(1770)	A種(1620) B種(1770)	A種(1620)
6×12	2級 (140) 単級 (145) 特級 (-)	単種(150)	単種(150)	単種(150)	G種(150)	G種(150)	G種(150)	G種(1470)		
6×19	3級 (130/145) 2級 (140/155) 1級 (165) 特級 (175)	単種 (150) 1種 (155) 2種 (165) 3種 (175)	単種(150) 1種(155) 2種(165) 3種(175)	単種(150) 1種(155) 2種(165) 3種(175)	G種(150) A種(165) B種(175)	G種(150) A種(165) B種(175)	G種(150) A種(165) B種(175)	G種(1470) A種(1620) B種(1770)	G種(1470) A種(1620) B種(1770)	G種(1470) A種(1620)
6×24	2級 (140) 単級 (155) 特級 (-)	単種(150) 2種(165)	単種(150)	単種(150)	G種(150) A種(165)	G種(150) A種(165)	G種(150) A種(165)	G種(1470) A種(1620)	G種(1470) A種(1620)	G種(1470) A種(1620)
0×30	2級 (140) 単級 (155) 特級 (-)	単種(150) 2種(165)	単種(150)	単種(150)	G種(150)	G種(150)	G種(150)	G種(1470)	G種(1470)	
6×37	2級 (140/155) 1級 (150/165) 特級 (175)	単種 (150) 1種 (155) 2種 (165) 3種 (175)	単種(150) 1種(155) 2種(165) 3箱(175)	単種(150) 1種(155) 2種(165) 3箱(175)	G種(150) A種(165) R籍(175)	G種(150) A種(165) B籍(175)	G種(150) A種(165) B箱(175)	G種(1470) A種(1620) B箱(1770)	G種(1470) A種(1620) B緒(1770)	G種(1470) A種(1620)
6×61	2級 (140/155) 1級 (150/165)	単種 (150) 1種 (155) 2種 (165) 3種 (175)		単種(150) 1種(155) 2種(165) 3種(175)	G種(150) A種(165) B種(175)	G種(150) A種(165) B種(175)	G種(150) A種(165) B種(175)	G種(1470) A種(1620) B種(1770)	G種(1470) A種(1620) B種(1770)	
$18 \times 7$								G種(1470) A種(1620)	G種(1470) A種(1620)	
19×7								G種(1470) A種(1620)	G種(1470) A種(1620)	A種(1620)
$34 \times 7$								G種(1470) A種(1620)	G種(1470) A種(1620)	
$2\times 2$								G種(1470) A種(1620)	G種(1470) A種(1620)	
$6 \times F(\triangle + 7)$ $6 \times F\{(3 \times 2 + 3) + 7\}$	2級 (155) 1級 (165)	1種 (155) 2種 (165) 3種 (175)	1種 (155) 2種 (165) 3種 (175)	1種 2種 3種	A種(165 B種(175	A種(165) B種(175)	A種(165) B種(175)	A種(1620) B種(1770)	A種(1620) B種(1770)	
$6 \times F (\triangle + 12 + 12)$ $6 \times F (3 \times 2 + 3) + 12 + 12$	3殺 (145) 2殺 (155) 1殺 (165)	1種(155) 2種(165) 3種(175)	1種(155) 2種(165) 3種(175)	1種(155) 2種(165) 3種(175)	A種(165 B種(175	A種(165) B種(175)	A種(165) B種(175)	A種(1620) B種(1770)	A種(1620) B種(1770)	
注)/は、上段	ير					ı	ı			

/ は、上段がめっき、下段が裸を示す。 Щ Э

表  $9.10~\mathrm{JIS}~\mathrm{G}~3525~\mathrm{O変遷}$ (平行より関係) ( )内の単位は  $\mathrm{kg/mm^2}$  又は  $\mathrm{N/mm^2}$ 

D 俚(1770) D 俚(1770) F箱(1320) F箱(1320)	<u> </u>	D A BID A BIA BIA B	35 大豆5大豆大豆大日 5大豆5大日は大日は大日は大日は大日は大田は一種種種種種種種種種種種種種	B	日本 (1770) 日本 (
		A種(1470) A種(1620) B種(1770) A種(1620) B種(1770) A種(1620) B種(1770) A種(1620) B種(1770) A種(1620) B種(1770) B種(1770) B種(1770)	A權(1620) A權(1620) A權(1620) A權(1620) B權(1770) B種(1770) B種(1770) B種(1770) B種(1770) B種(1770) B種(1770) B種(1620) B種(1770) B種(1770) B種(1620) B種(1770) B種(1620) B種(1770) B種(1620) B種(1770)	A	A
190) DYEL(190) 135) E種(135) 150) C籍(150)				理 種種種種	理 種種 種種 種 種 種 種 種 種 種 種 種 種 種 種 種 種 種 種
b增(100) b增(100) E種(135) E種(135) G種(150) G種(150)					
<u>3年(173)</u> D個 E種(135) E種単種(150) G種	1種(155) 2種(165) A種 3種(175) B種				
	2種(165) 3種(175) (175)				
E種(155) 単種(150) 1種(155) 2種(165)	3種 (175)	3種(175)	3種(175)	3種(175)	3種(175)
	1	$\top$ 1 1	6)	(25) (26) (26) (26) (26) (27)	6 × WS (26)  RC 6 × Fi (25)  RC 6 × S (19)  RC 6 × W (19)  RC 6 × WS (26)  6 × Fi (29)  6 × WS (31)  6 × WS (31)  6 × WS (31)  6 × WS (31)  7 × WS (31)  8 × SeS (37)  8 × SeS (37)  8 × SeS (37)  RC 6 × WS (31)

# 国立科学博物館 北九州産業技術保存継承センター 技術の系統化調査報告 共同研究編 第5集

平成 24 (2012) 年 3 月 31 日

■編集 独立行政法人 国立科学博物館

産業技術史資料情報センター

(担当:コーディネイト・エディット 永田宇征)

■発行 独立行政法人 国立科学博物館

〒 110-8718 東京都台東区上野公園 7-20

TEL: 03-3822-0111

北九州産業技術保存継承センター

〒 805-0071 福岡県北九州市八幡東区東田 2-2-11

TEL: 093-663-5411

■デザイン・印刷 株式会社ジェイ・スパーク