

## 技術資料

UDC 669.1-426 : 621.771.252.01/09

## 線材および線の利用の現状と将来\*

浅 田 幸 吉\*\*

## Present Situation and Future of Wire and Wire Rods Utilization

Kōkichi ASADA

## 1. ま え が き

日本の鉄鋼業は、衆知のごとく、立地条件の卓越性および生産技術などの向上の裏付けのもとにめざましい発展をとげ、今日では粗鋼生産年間1億tの時代を迎えたが、さらに一段の飛躍を期待するならば、鉄の新しい分野への用途開発を積極的にすすめていかなければならないと考える。

さて、線材の製品は、過去において、釘、針金、ワイヤロープによつて代表されてきたが、今日では、長大橋によつて代表される大形構造物、各種ファスナー類、スプリング、金網、PC鋼線など非常に多岐にわたつて使用されている。

このような用途拡大を反映し、線材の生産量は昭和36年に196万tであつたものが10年後の今日では、552万tとめざましい伸びを示している。

このように線材の用途が拡大され需要が伸びてきたのはまず第1に製造技術が長足に進歩したことが基本となつている。すなわち過去において炭素鋼が主体であつた線材も現在では高炭素鋼、合金鋼はもとよりステンレス、ハイスなどほとんどすべての鋼種にわたつて線材圧延が可能となり、またサイズのには5mm~38mm、コイルの重量も約2tまで生産されるようになった。

第2に、線材の加工技術の進歩もいちじるしく線材品質の向上と相まつて従来とは比較にならないほどの高速伸線が可能となり、また品質的にもぼらつきが少なく、きわめて細い線まで加工できるようになった。

第3に線材製品の加工技術の進歩に付随し用途開発がさかんに行なわれたことがあげられる。たとえば、冷間圧造加工技術の進歩発展は大量のコールドヘッダー用線材の需要につながり、自動旋盤の発展は快削鋼線材の需要をうながし、ドリルの転造技術の開発は高速度鋼線材の需要となつている。

そのほかこれに類するものは枚挙にいとまがないほどである。

以下代表的線材製品の現状と将来について、線材製造

技術の進歩と合わせてのべる。

## 2. 線材の種類と生産量の推移

## 2.1 線材の種類

一般に線材とは、線の材料の意味で、圧延鋼材を形状別に分類した名称の一つであり、これを分類すると、普通鋼と特殊鋼に区分される。

普通鋼では、一般に普通線材と特殊線材とに大別され(バーインコイルも普通鋼に含まれる)、特殊線材は、さらに、低炭素線材と高炭素線材とに分けられる。

特殊鋼では、用途特性により鋼種区分され、工具鋼(炭素工具鋼、合金工具鋼、高速度鋼)、構造用鋼(機械構造用炭素鋼、構造用合金鋼)などに分けられる。

また、線材の断面形状は通常、真円形であるが、特殊な断面を持つ線材も製造されており、特殊ロープに使用される鼓形の形状をしたロックドコイル、ナット用としてよく用いられる六角断面の線材などはこの一例である。

## 2.2 生産・需要の推移

## 2.2.1 線材

線材の生産は、日本経済および鉄鋼生産の動きと同じように戦後順調に伸長を続けてきたが、昭和45年秋以降の日本経済の不況の影響から、昭和46年には、普通鋼、特殊鋼あわせて552万tと前年実績を下回る結果となつた。図1に昭和36年~46年の線材生産高推移を示す。

この生産の年平均伸び率は、線材全体で約11.0%であり、このうち特殊鋼線材は22.4%と著しい伸びを示している。これは用途特性の高級化に伴う趨勢といふことができる。

線材の需要は、国内需要と輸出需要に大別される。

まず、輸出については、線材の輸出と線材製品の輸出に分けると、昭和39年までは製品の輸出高が線材の輸出を上回つていたが、その後、新鋭線材ミルがあいつい

\* 昭和48年1月5日受付(依頼技術資料)

\*\* (株)神戸製鋼所 常務取締役

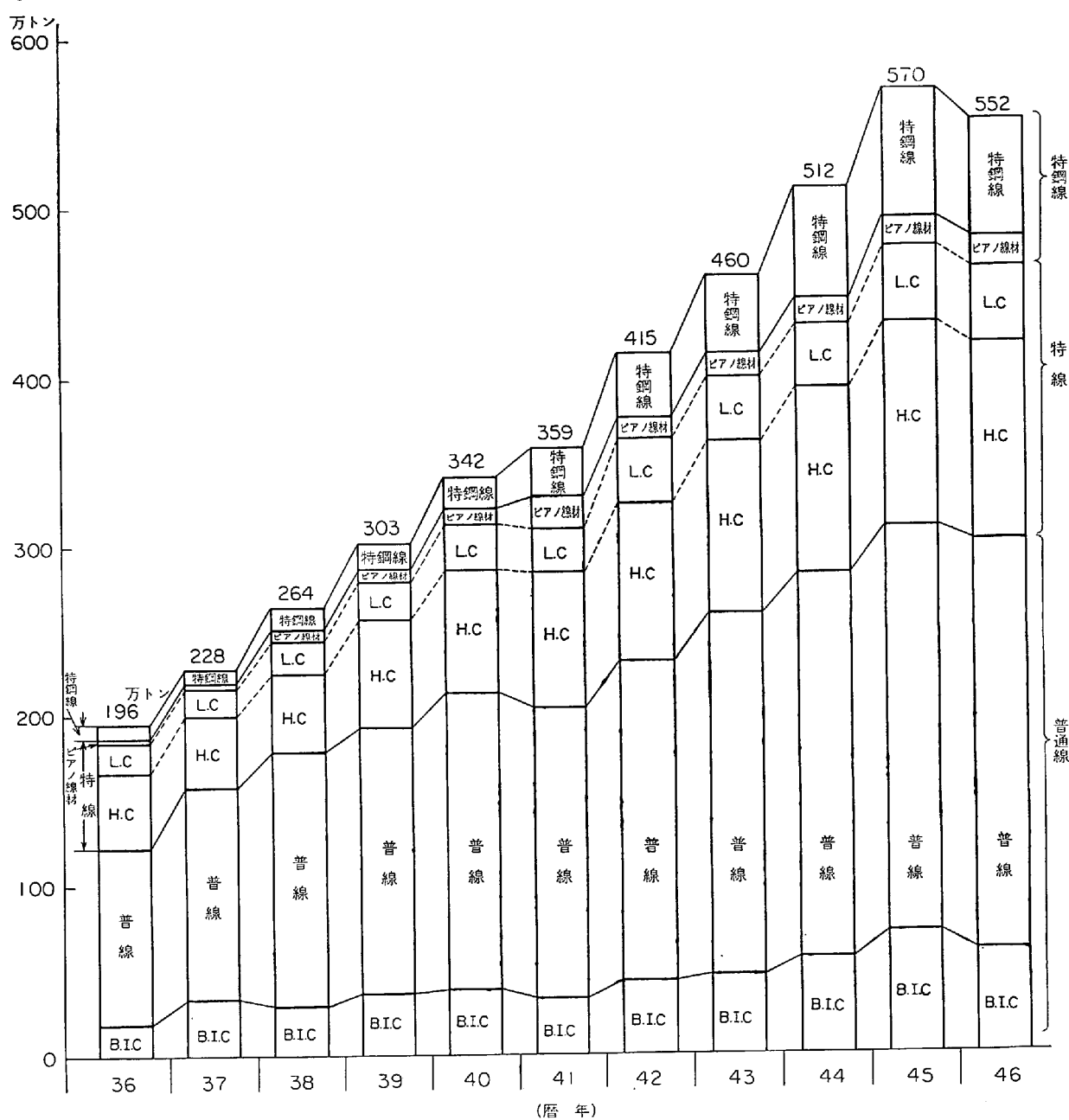


図1 全国の線材生産高推移

で建設され、東南アジア、韓国、中国、アメリカ、カナダなどに大量に輸出されるようになったので、線材の輸出の方が多くなった。また、世界の線材生産高に占める割合も年々上昇しており、昭和36年に8.9%であったものが、昭和44年には15.5%という伸びを示している。この間の輸出線材の伸び率は、年平均16.9%である。

一方、国内需要をみると、生産伸び率は年平均9.9%であり、線材合計の年平均伸び率11.0%に対してその伸びは小さい。したがってその差が輸出に向けられてきたとみることができるが、直・間接両輸出の合計では、これまで線材生産高の35~40%が輸出に依存しており

対米、対欧輸出自主規制問題を招くほどで、その消長は今後線材の生産に大きな影響をおよぼすこととなるであろう。

### 2.2.2 線材製品

図2に、普通線材製品および特殊線材製品の生産高推移を示す。普通線材製品および特殊線材製品の過去10年間の伸びをみると、普通線材製品では鉄線と溶接金網が群をぬぎ、鉄線が全体に占めるウェイトも増大して、普通線材生産の伸びをささえてきた。高炭素線材製品ではPC鋼線の伸びが驚異的であり、全体に占めるウェイトも、昭和36年の4.6%から昭和46年は22.0%と大幅に拡大した。今後もPC鋼線の伸びは、普通線材製品

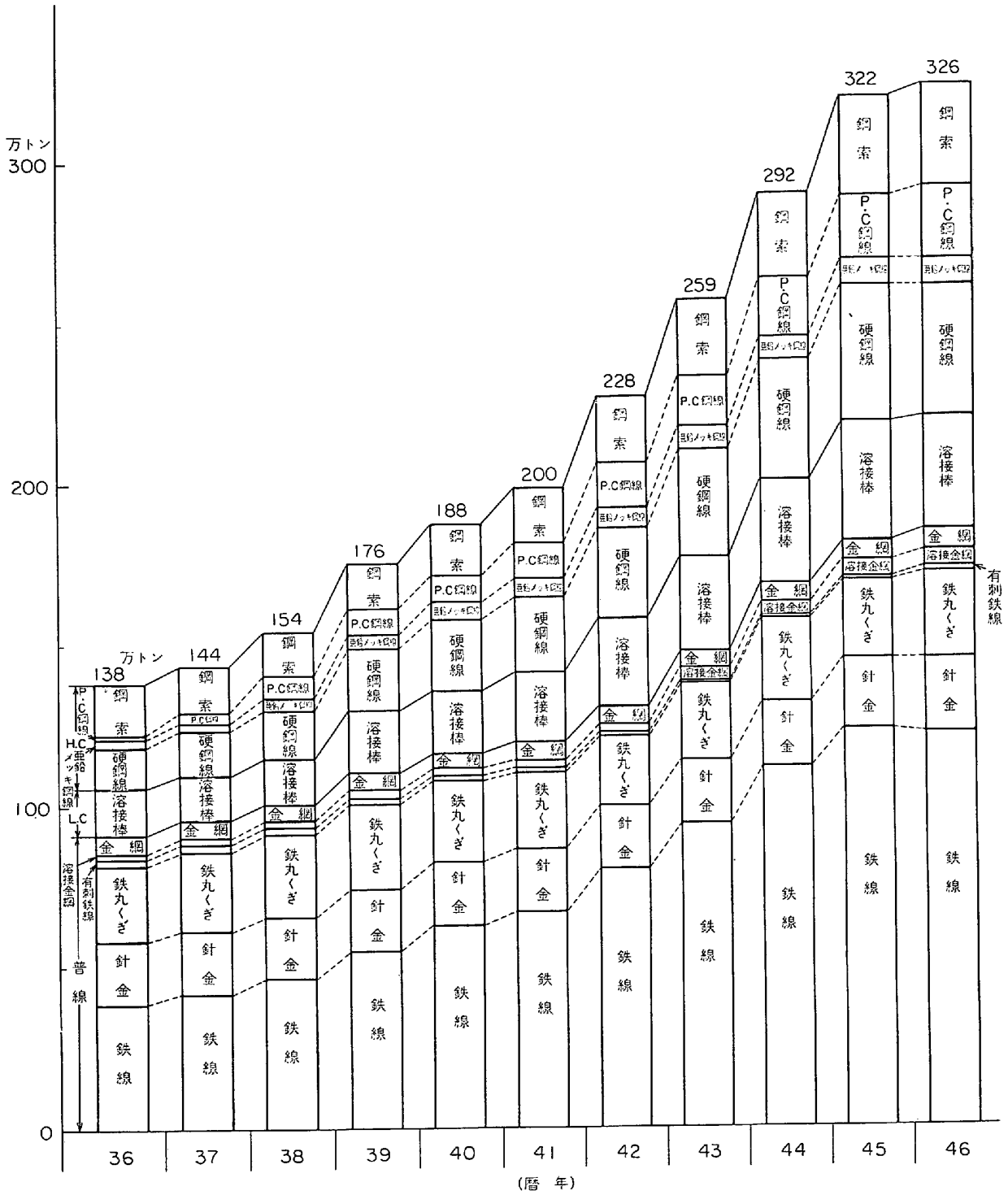


図2 普通線材および特殊線材製品生産高推移

の鉄線（釘螺材およびコンクリート用などの普通鉄線）、溶接金網とともに大いに期待されている。

### 3. 線材および線の製造技術の進歩とこれに伴う利用の拡大状況

#### 3.1 線材の製造技術の進歩について

線材品質は、製鋼段階での転炉製鋼法の発展、インゴ

ット・メーキングの改善により表面品質および内部品質が非常に改善され、さらに後述のごとき線材製造技術の進歩によりなお一層の改善がなされた。

このような品質面での向上により、線材の用途拡大も可能となり、従来の釘、針金のような普通線材に加えて要求品質のきびしいコールド・ヘッダー材、オイルテンパードワイヤ、PCワイヤ、ピアノワイヤ、スチールコ

ード、ACSR用心線、バルブスプリング用線といった特殊な線材製品も製造されるようになってきた。

また圧延の高速化およびコイルの大型化により、能率の向上と歩留りの向上が達成され、二次加工メーカーの能率向上および省力化にも寄与している。以下に線材製品の品質向上に関する線材の製造技術の進歩について記述する。

### 3.1.1 圧延用素材

昔は圧延用素材として鋼塊のままのもの、またはこれをコールド・スカーフしたものが用いられていたが、表面品質その他の向上のため分塊工程が取り入れられ、ホットスカーフも昭和 30 年代に活躍をはじめた。分塊を終えた鋼片は、黒皮のまま、ショット・ブラスト、または酸洗などにより表面きずを検査し、チップング、ビレットグラインダーによりきず取りを実施しているが、近年きず見方法として磁気探傷が採用されるようになり一段と手入精度が向上した。とくに表面品質の要求の強いピアノ線材、コールドヘッダー用線材、スチールコード用線材などの場合には入念な手入が行なわれている。

### 3.1.2 加熱炉

昭和 20 年代の後期になつて石炭焚の加熱炉から、液体、気体燃料に移行し、燃焼制御の発達、熱管理思想の普及、さらに昭和 30 年代に入りミルの高速化、コイル単重の増大、圧延品種の拡大に伴い多帯式加熱炉、揺動炉床式加熱炉などの新しい型式炉に移行した。写真 1、

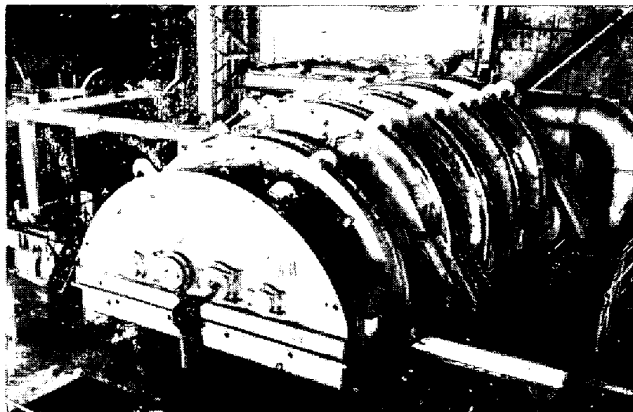
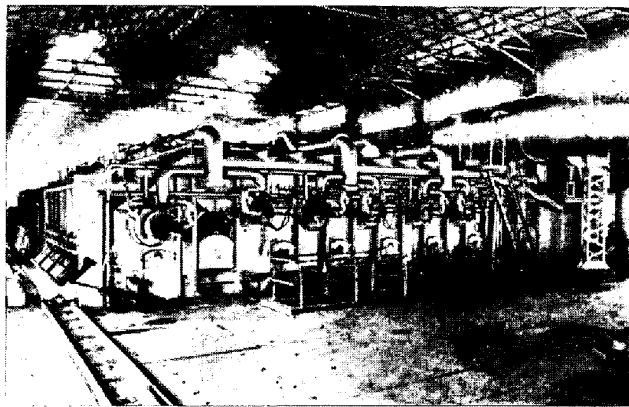
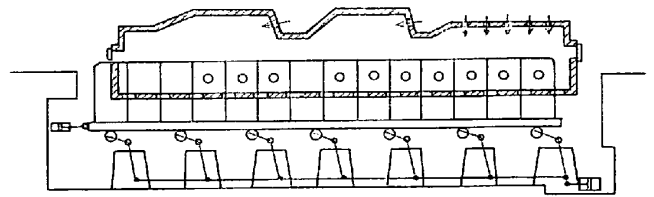


写真1 多帯式加熱炉



最新式ウォーキングビーム炉

図3 ウォーキングビーム炉

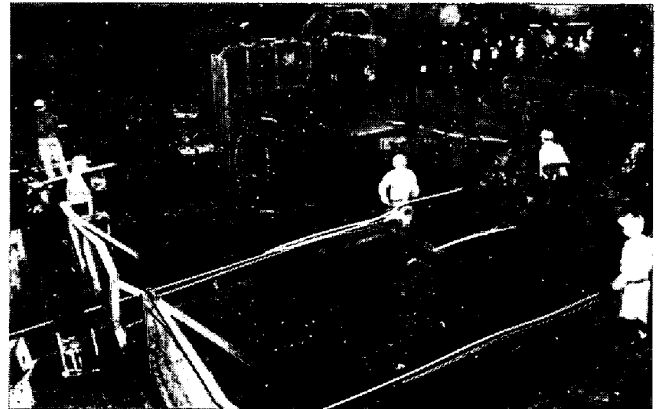


写真2 半連続圧延設備

図3にこれらの炉の一例を示す。これらは自動燃焼制御装置を有し、品種に適した加熱法を行なうことが可能で操業上のメリットのみならず、脱炭防止、過熱防止、均一加熱による圧延材の寸法精度向上に大きく貢献している。とくに、脱炭に対する要求の厳しいピアノ線材やバルブスプリング用線材の加熱の場合は特別な管理を実施している。

### 3.1.3 圧延設備

圧延設備は従来、圧延機間の圧延材の誘導を人力によつて行なうガレット式圧延機が用いられていたが、その作業に時間を要し、材料の温度降下も大きく、かつ重労働のため粗列スタンドと中間列スタンドに連続ロールを用いた半連続圧延機が出現した。半連続圧延機の例を写真2に示す。これらは、仕上列で従来通り材料を作業者が誘導するので仕上げ圧延速度は 10m/sec 程度に制限されていた。このため材料の温度降下を防げず単重の大きなものの圧延は不可能で 10~180 kg 程度のコイルを圧延していた。昭和 30 年代に入つて全連続式圧延設備の導入が始まり線速は一挙に 20m/sec に達し、生産能力の増大、コイル単重の増加、歩留りの向上、圧延温度の均一化、平均減面率の減少などによる品質の向上など線材圧延技術が飛躍的に発展した。その後続々と新鋭全連続式圧延工場が建設され、現状では仕上線速 50m/sec、コイル単重 2000 kg の工場も稼働を始めている。図4に昭和 30 年代前半に建設された全連続圧延設備の例を示す。

このような圧延設備の発展を可能ならしめたものとしては、高精度の速度制御のできる直流電動機や電子機器

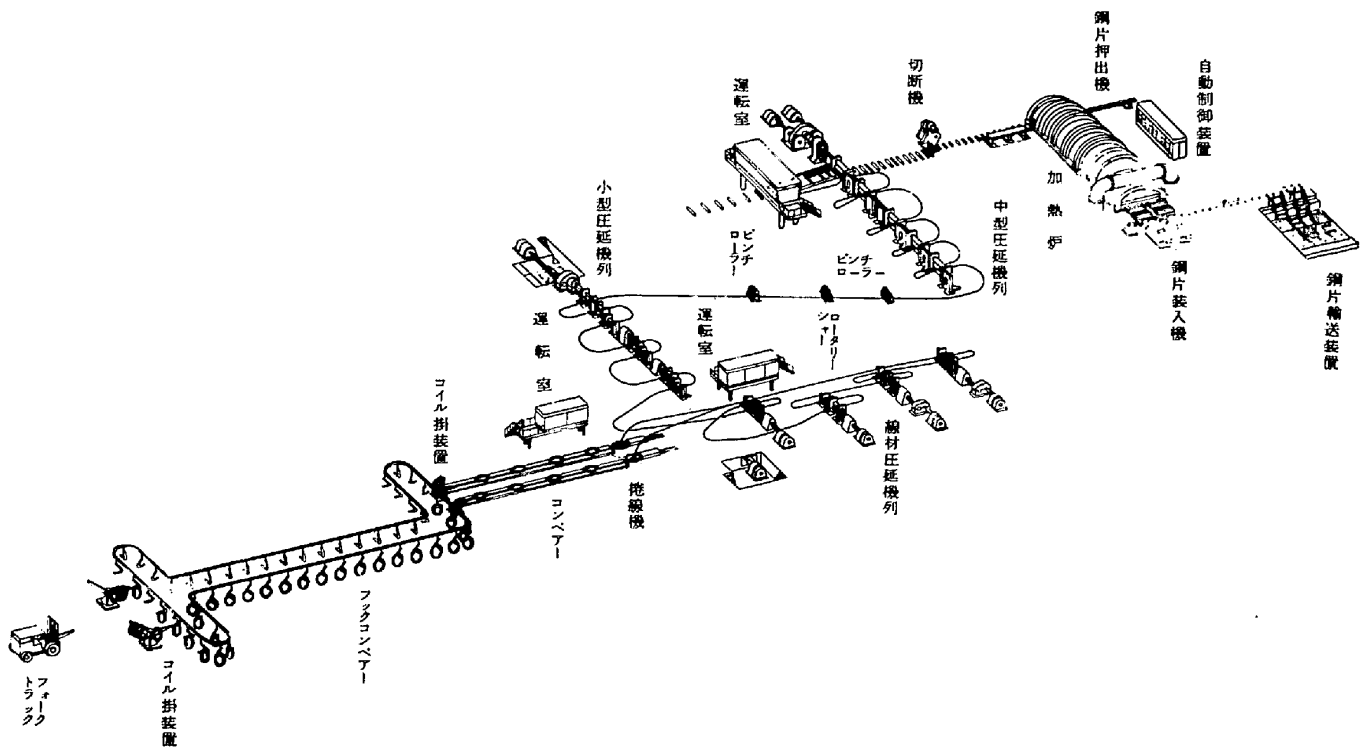


図4 レピーター式連続圧延設備

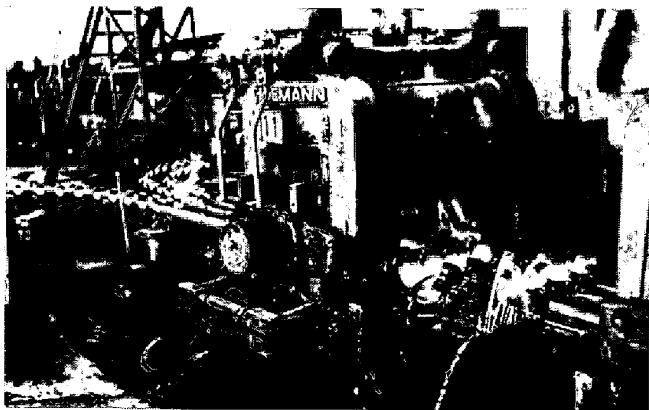


写真3 多本通しの圧延設備

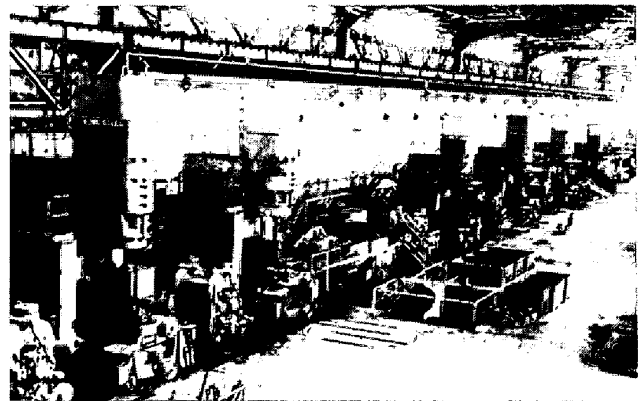


写真4 V-H交互配列式連続圧延設備

の導入による迅速、微細な回転調整、ローラ軸受および最近導入されつつある油膜軸受などの技術的發展が挙げられる。また、ロール材質の向上、ローラガイドの採用などの付属品の技術開発によるところも大である。一方ミル形式の進歩を見ると、全連続式圧延機は、品質に重点を置いた高級線材用の図4に示すような1本通しのものと、生産性に重点を置いた串型配列、多本通しで仕上線速  $30 \sim 35 \text{m/sec}$  の写真3に示すような2つの形式に分類される。昭和40年代に入り品質と生産性を兼ね備えた圧延設備が導入された。すなわち、1本通しで串型配列をなし圧延機の配列が水平、垂直と交互に組み合わせられて、ねじれない圧延ができ、しかも圧延機間に少量のループを出すことにより圧延材の引張りを防止した型式の高速、高能率の圧延設備が建設された。この例を

写真4に示す。また近年モルガン社やシュレーマン社が開発したノーツスト仕上圧延ブロックを持つ線材圧延機も出現した。写真5にノーツストミルの例をあげるが、この圧延機では引張り圧延方式を採用することによって仕上線速が  $50 \sim 60 \text{m/sec}$  と非常に高能率のものとなつている。

3.1.4 捲線機

捲線機は、仕上線速が  $20 \text{m/sec}$  ぐらいまではポーリング式が採用されているが、 $30 \sim 35 \text{m/sec}$  ではポーリング式では捲取することができず、レイング式が用いられている。二種の捲線機の例を写真6に示す。いずれの形式でも線材の仕上線速と同調させる必要があり直流電動機を導入し精密な回転制御がなされ、さらににコイル単重の増大にともない捲取時のもつれを生じさせないように捲

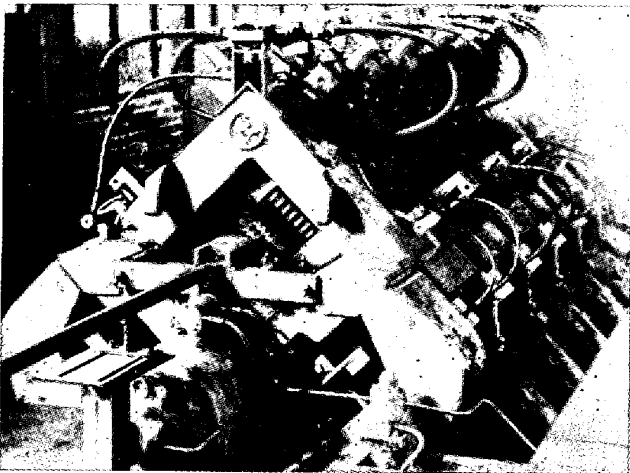


写真5 ノーツイストミル

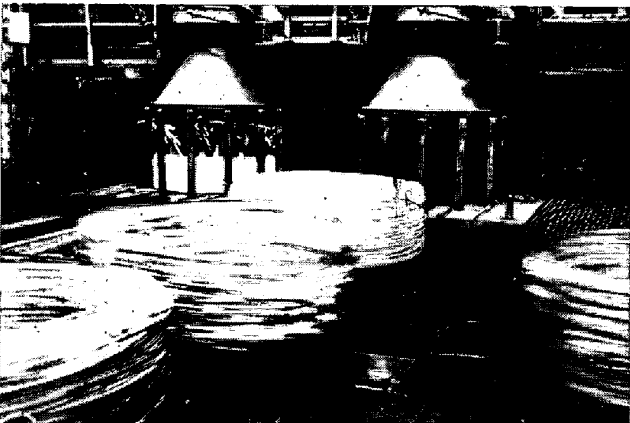


写真6 レイングリールおよびポーリングリール

取速度を設定速度に対し一定周期で連続的にわずかな変化させることによつて線材に波動を与えコイルの充填率を高めている。また近年開発されたノーツイストミルによる高速圧延では従来の捲線機では捲取ができず、ステルモア装置などの高速捲取装置が開発され設置されている。捲取後のコイル搬送装置も、スリキズ防止などのため種々の苦心がはらわれているとともに省力化のため自動結束機も採用されるようになってきた。

### 3.1.5 検査方法

線材は全長検査が困難で、圧延中の種々の管理による

工程保証および外観目視、端末サンプルによる判定などにより検査され出荷されている。しかしながら近年熱間渦流探傷装置のように熱間走行中に連続的にきずを検出する方法が開発され、またレーザー光線や赤外線を用いて熱間で光学的に寸法を測定する方法も開発された。これらは、現在完全な実用化にはいたっていないが、近い将来には、これらの組み合わせの実用化がすすみ、線材の出荷品質が一段と向上するものと期待される。

### 3.1.6 直接パテンチング装置

最近伸線性のよい組織を得る方法として線材直接パテンチング法が開発された。直接パテンチング材の引張強さの水準は通常のパテンチング処理材に近く、通常捲取材にくらべて組織は均一でばらつきも小さい。しかし、通常のパテンチング材よりは若干ばらつきが大きいので、現状では細物用のワイヤロープ、パネ、スチールコードなどの生地引き用に使用されている。将来は、直接パテンチング技術も向上し、太物用のワイヤロープなどの製品引きとして十分使用できるような品質になり、一段と二次加工工程の省力化、能率向上に寄与するものと考えられる。

線材直接パテンチング法の開発の目的として、さらにスケールの剝離性向上がある。線材の成品冷却は、仕上スタンドと捲線機間の水冷管理、捲取中の捲線機内での空冷および捲取後のコイル移送中での空冷などで実施してきた。しかし、最近の線材圧延の動向として大束化、圧延速度の上昇が進められた結果、仕上圧延温度が高くなりスケールの発生量が多くなつてきて、従来の冷却方法では冷却速度がおそく薄い剝離性の良好なスケールを得ることが困難になつてきた。このような問題解消の一方策として線材直接パテンチング法も有効な方法である。直接パテンチング法によるスケールの発生量は通常捲取材にくらべて少なく(0.3~0.6%)、また酸洗能率を大きく阻害するマグネタイト( $Fe_3O_4$ )の発生が少ないので酸洗時間が短く、二次加工工程での能率を大幅に向上させることができる。また最近の公害対策として脚光をあびてきたメカニカル・デスクレー法に対しても直接

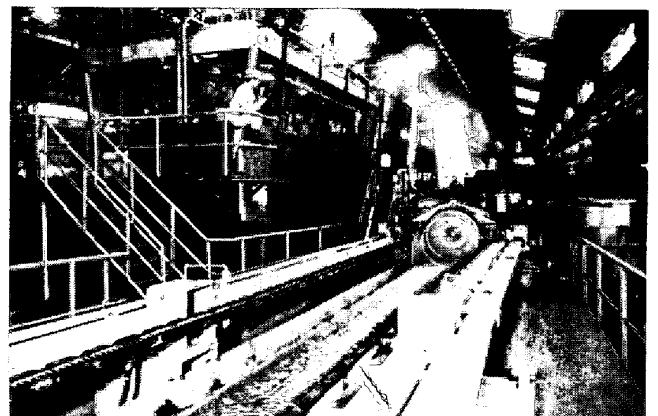


写真7 シェレーマン式クーリング装置

表1 線材二次加工工程の代表例

加工工程	用途例
線材 → 酸洗 → 被覆処理 → 伸線	普通鉄線, 針用鉄線
→ 伸線 → メッキ	亜鉛メッキ鉄線, じゃかご
→ 焼鈍 → 酸洗 → 被覆処理 → 伸線	なまし鉄線, 針用鉄線
線材 → 酸洗 → 被覆処理 → 冷間圧造	ねじ類, ボルト類, ファスナー類
→ 伸線 → 冷間圧造	" "
→ 伸線 → 焼鈍 → 酸洗 → 被覆処理 → 冷間圧造	" "
線材 → 焼鈍 → 酸洗 → 被覆処理 → 伸線 → 冷間圧造	" "
→ オイルテンパー	ばね用, 弁ばね用オイルテンパー線
線材 → <sup>パテン</sup> チング → 被覆処理 → 伸線 → メッキ → より線加工	ACSR用メッキ鋼線
線材 → <sup>パテン</sup> チング → 酸洗 → 被覆処理 → 伸線 → メッキ → より線加工 → クロー	ワイヤロープ
→ メッキ → 仕上伸線 → より線加工	スチールコード

パテンチング材はスケールの剝離性がよく非常に有利である。

直接パテンチング設備は、昭和30年代の後半に開発されたもので、現在わが国ではステルコ社とモルガン社によるステルモア装置、シュレーマン社のシュレーマン・クーリングおよび国内各社独自で開発した各種の装置が稼働している。これらの装置の例として写真7にシュレーマン装置を示す。

3.2 製線技術の進歩

線材の2次加工は線材を製品化するために必要な品質特性を与えるための途中加工工程で、きわめて重要な意味をもっている。したがってその製造工程は種々異なっている。表1に代表的な2次加工工程を示す。

3.2.1 パテンチング

これは主として硬鋼線に対して、次の伸線を容易にするとともに、線に適当な強度をもたせるための操作であり、空気パテンチングと鉛パテンチングがある。

戦前は石灰を燃料としてチューブ煉瓦を使用したマッフルタイプの炉が一般に使用されていたが、昭和24年に神戸製鋼所で米国ロフタス社の重油直火式のパテンチング炉の図面を購入し試作した。これが、わが国の重油焚きの直火式炉の始まりで、加熱炉および鉛浴炉のバーナーの自動制御ができ、5.5mmφで速度6m/min、月産能力500tと当時の石炭焚き炉が速度0.5~1.5m/min、月産50~150tの能力であつたのに比べて画期的なものであつた。しかし、現在では直火式の炉も種々改良改善されて速度も15m/min、月産能力5000tの大容量の炉も操業されている。

最近では、品質向上、安定化のために鉛浴槽の鉛の攪拌を行なつたり、加熱炉内に無酸化ガスを入れてブライ

トパテンチングを行なうなどの研究が行なわれている。

一方、公害防止の面では、燃料が重油からガスに変わりつつあり、省力化によるコストダウンの面では単重の大きな線材が喜ばれるようになった。

3.2.2 焼鈍炉

冷間圧造用の線材は加工性をよくするために焼鈍することが多い。戦前は石灰焚きの箱型の炉が使用されていたが、戦後はポット型の電気炉、軽油炉になり、炉内温度分布も均一化し、製品品質も向上安定してきた。最近では、とくに冷間圧造技術の進歩による線材の太径化および需要の増大に伴い、温度分布の均一なベル型炉、真空炉、無酸化や脱炭防止、雰囲気ガスを利用した炉などが使用されるようになり、自動制御も完全になしうることあつて品質安定が可能になつた。また昭和43年頃からは連続球状化焼鈍炉も利用され高品質のものが大量に処理できるようになつた。写真8に連続焼鈍炉の外観を示す。

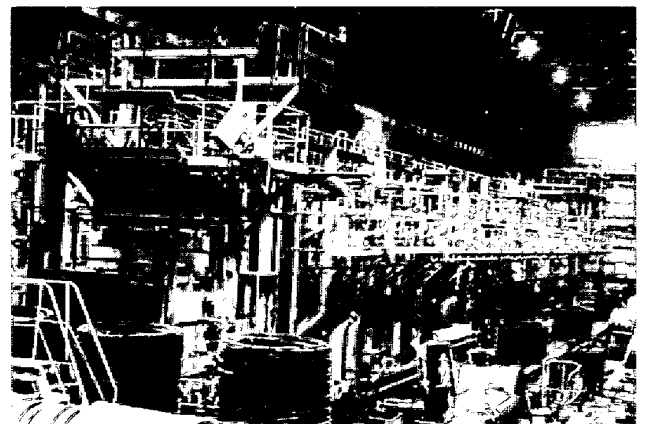


写真8 連続焼鈍炉

### 3.2.3 酸洗

バッチタイプの酸洗いでは、戦後各種の inhibitor の研究が行なわれ、その利用は常識的になり、水素脆性の防止と酸の使用量の節減に役立つている。

また、水鍍付や石灰付の代わりにリン酸塩被覆処理を行なうことにより防錆および潤滑効果がよくなり、高速伸線や強加工が可能になった。

最近では連続自動酸洗設備も開発され、品質の均質化や省力に役立つており、ブライトパテニングと酸洗を inline 化し工程の省略を行なう設備も利用されている。

また公害問題から酸洗なしのメカニカルデスケーラーも開発され、最近では高炭素鋼線の伸線も可能になった。

一方、1.5 t 以上のコイルになると従来のバッチタイプの酸洗いではコイルの内部が洗いにくくなる。その対策としては振動式酸洗やストランド式酸洗いが考えられとくに振動式酸洗は図 5 に示すように、酸洗時間が短縮するばかりでなく、均一な酸洗効果が得られる。

### 3.2.4 連続伸線機の発達および普及

銅線ではすでに戦前から連続伸線機が利用されていたが、鋼線は単釜で低速での伸線であつた。神戸製鋼所では戦後、鋼線の連続伸線加工法の開発に取り組み、昭和 24 年に湿式法による技術を確立した。(軟鋼線、5.5 mm  $\phi$   $\rightarrow$  2.5 mm  $\phi$ , 150~200 m/min)

乾式連続伸線については、昭和 26 年ストレイト型を完成し 300 m/min が可能になった。昭和 28 年には米国エトナー社と提携して硬鋼線用貯線型連続伸線機を製作した。その後国産機も急速に発達し、現在では、5.5 mm  $\phi$   $\rightarrow$  1.8 mm  $\phi$ , 100 m/min の高速伸線も可能になっている。

高速連続伸線が可能になったのは、機械や技術の進歩のほかに線材の品質向上がある。線材の品質向上としては、線材の真円度の向上、1 束の頭から尾までの径の均一化、溶接による連続伸線、内部品質の向上、表面きずの減少などがあげられる。

また、ダイスの冷却およびドラムの冷却、線の冷却が製品の品質に与える影響は非常に大きく、伸線中の線の温度上昇はとくに線の靱性を悪化させるので、今後の高

速伸線は線の冷却法の開発いかによるものと思われる。

ダイスについては、叩きダイスから数十倍の寿命を持つ超合金ダイスに代わり、作業性は著しく簡素化されるとともに、冷却も可能となつたため連続伸線機への利用ができるようになり、連続伸線機の発展に大いに寄与した。

潤滑剤は、単釜伸線時代の低速度の場合はふすまや固形石鹼が利用されていたが、連続伸線の高速度化に伴い高級なものが要求され、粉末状の金属石鹼として、ナトリウム石鹼、カルシウム石鹼、バリウム石鹼、リチウム石鹼、アルミニウム石鹼などの混合粉末が使用され耐熱、耐圧のものが用途により選択使用されている。

### 3.2.5 製造工程の省力化

線材の 2 次加工は過去においては家内工業にて行なわれていたが、硬鋼線(スプリング、ロープその他)あるいは冷圧線のように大量の需要がもたらされるようになった今日では、中小企業形態から大企業形態へと発展する様相を帯びてきており、線材から線までインライン化し一貫工程で製造しているところ、線材から最終製品のボルトなどまで一貫して行なうところなどマスプロ的生産方式に発展しつつある。

### 3.2.6 その他

線材の径は 5.5 mm  $\phi$  から 9.5 mm  $\phi$  までであつたが伸線技術の進歩とくに冷間圧造技術の進歩により、現在は 38 mm  $\phi$  の太さまで利用されている。したがってこれに使われる伸線機も強力なものが開発され、150 馬力の強力な伸線機が完成されている。

また従来棒鋼から製造されていたみがき棒鋼も、引抜一矯正一切断のコンバインド型の機械が開発され太径線材から連続的に生産できるようになった。

今後さらに線材の用途開発を進めていくためには、加工性の優れた線材、高抗張力鋼線、高耐疲労性鋼線、高耐食性鋼線などが考えられ、これらの開発にあつては 2 次加工面についてもより高い技術の開発が望まれ、また、2 次加工部門における製造コスト低減、省力化を目的として高速伸線技術、加工機械の無人化運転などは現在もたゆまず続けており、今後ますます普及しより高度化していくであろう。

## 4. 線材および線の代表的製品の現状と将来

### 4.1 冷間圧造用線材

鋼の冷間圧造は、ねじ業界をはじめとして、自動車工業界、その他製造工業の各分野にわたつて著しい発展をとげた生産技術の一つである。

従来、鋼は変形抵抗が大きく、加工方法としては主として切削加工、熱間加工などによつていたが、素材、加工方法、使用ダイスなど各面からの総合的な研究が進められ、最近では 80% 以上の加工度を加えるようなもの

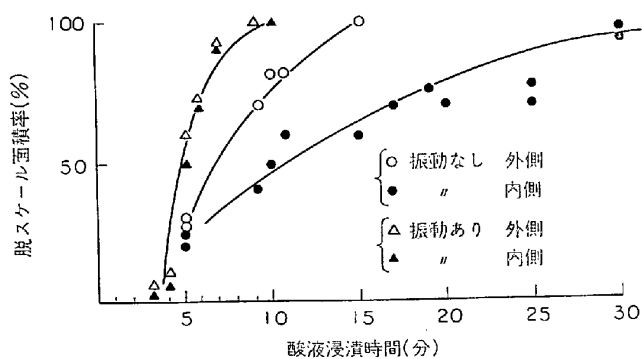


図 5 酸洗における振動あり、なしの比較



についても冷間圧造加工が可能になってきた。写真9に線材を素材とする冷間圧造部品の一例を示す。

線材の冷圧部品としてはファスナー類が最も価値ある冷圧製品の一つであり、加工機械も最近では2段打ちヘッダー機からトランスファー機構を備えた多段ヘッダーが普及しきわめて能率よく生産されている。写真10に多段式ヘッダーを示す。

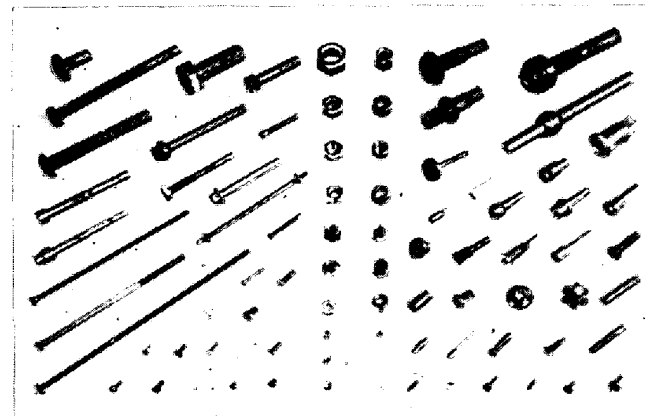
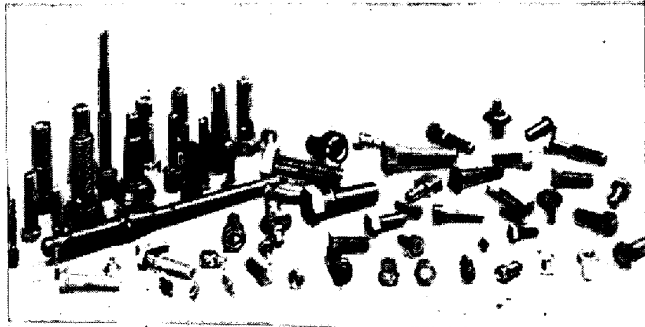


写真9 冷間圧造部品の一例

さて冷間圧造用線材としては一般の炭素鋼から、低合金鋼、さらにステンレス鋼まで広範囲にわたって使用されている。最近冷間で加工困難なものについては若干温度を上げて加工する温間加工方法も開発されており、ますます熱間加工および切削加工分野に進出してきている。

4.1.1 普通鋼線材の冷圧技術について

(1) 冷圧用素材について

冷間圧造用に使用する一般鋼材としては、主として炭素含有量 0.50% 以下のもので、さらに合金元素として Mn, Cr, Mo など若干含有した低合金強靱鋼までのものである。表2にねじ用材料の種類を示す。

これらの素材は一般には

線材→球状化处理→脱スケール→潤滑処理→伸線→冷間圧造

なる工程をとる場合が多い。しかし最近では圧造容易なものについては球状化处理をせず直ちにコーティングして圧造するものや、あるいは冷圧加工の非常に困難なものは線材を一度伸線加工し、球状化处理をしやすくし

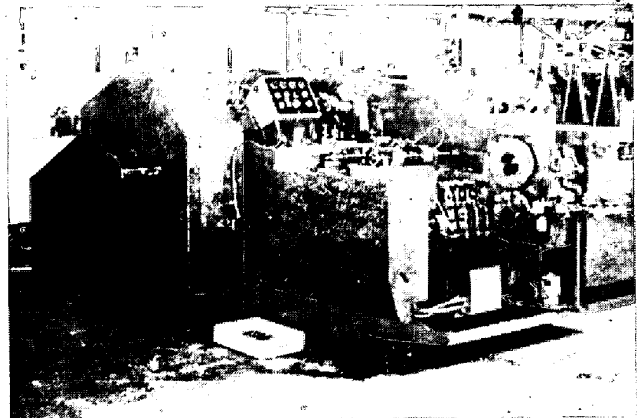


写真10 多段式ヘッダー

表 2 ね じ 用 材 料 の 種 類

種 別	日 本 (JIS)	アメリカ (SAE, AISI)
炭 素 鋼	SWRM 10, 12, 15, 17, 20, 22	1008 1010 1012 1015
	SWRH 27, 32, 37, 42 (A, B)	1018 1020 1021 1022
	SS41 SS50	1025 1027 1030 1035
	S 10C S 15C S 20C	1040 1045 1050
	S 25C S 30C S 35C	
	S 40C S 45C S 50C	
	S 9 CK S 15CK	S 55C
合 金 鋼	SCr21 SCM21	5015 5115
	SCr2 SCr3 SCr4	5130 5135 5140
	SCM2 SCM3 SCM4	4130 4135 4140
	SNCM5 SNCM 7 SNCM8	8630 4640 4340
		4007
快 削 鋼	SUM11 SUM12	1108 1110
	SUM22 SUM23 L	1213 12 L 14
ボ ロ ン 鋼	1021 B 1029 B 1033 B	14 B 35 40 B 37
	1035 B 1036 B	80 B 37 50 B 37

てから行なうものもある。すなわち、製品の形状、鋼種あるいは加工方法などにより千差万別で、要するに最も適した工程を採用しコスト低減をはかっている。

(2) 冷圧用素材の品質特性について

i) 素材の表面きず

冷間圧造においては局部的にいちじるしい変形をうけるので、線材の表面きずは非常にシビヤな制約を受ける。しかし、前述のごとく全長数百メートルにも及ぶ表面品質の保証はきわめて至難なことで、最近熱間あるいは冷間での渦流探傷がこころみられているが完全な保証をするまでにはいたっていない。

ii) 脱炭

線材の脱炭層は伸線などにより若干軽減はされるが、冷間圧造を行なうものについてはそのまま製品にまでもちこされるので、きびしい脱炭の制約がもうけられている。図6および表3に米国自動車メーカーのねじ部脱炭規格、DINの冷間加工用鋼の脱炭許容深さを示す。

iii) 球状化处理

素材の冷間圧造性の向上並びに工具寿命の向上を目的として鋼は焼なまし処理がほどこされる。過去においては、鋼を冷間加工する場合はほとんど球状化焼なましがほどこされていたが、最近線材の品質向上および加工技術の進歩により、鋼種、形状などにより一般なましあるいはなましを行なうことなく、直ちに冷間圧造を行なうケースがしばしばみられるようになった。なお球状化処

理のグレードについてはFIJにて限度見本が作られ統一されている。

iv) 潤滑処理

冷間圧造においては一般に材料と工具の直接接触による焼付を防止し、さらに塑性加工を良好にするために、線材の脱スケール後表面に石灰などを付着させて潤滑層を得る方法が行なわれている。この潤滑方法には前述のごとく石灰液、リン酸皮膜、金属石鹼などが使用されている。またさらに最近線の表面ばかりでなく、切断面にも塩素系化合物、硫化油脂など潤滑油を噴霧によりふきつけることにより著しい効果をあげている。

v) 変形抵抗

冷圧性に対する材料の重要特性として変形抵抗がある。鋼は一般に変形抵抗がきわめて大きく、そのため過去においては冷間圧造が困難視されていた。鋼の冷圧が一般化した今日においても変形抵抗は機械の容量、構造工具の種類などを設計する重要なファクターとなつている。図7に鋼の変形抵抗の一例を示す。この図からもわかるように変形抵抗は炭素量が高いほど、また合金元素を添加するほど高くなる。

vi) 割れ発生限界

冷間圧造にさいして、材料の延性が不足してくると、45°割れなる割れを生ずる。もちろんこの割れについては素材の延性ばかりでなく、ダイス設計などによつても変わるものである。図8は材料および熱処理、加工率などによる影響をみる実験を行なつた結果であるがC量0.20のものについて焼なましを行ない伸線し、プレスにて種

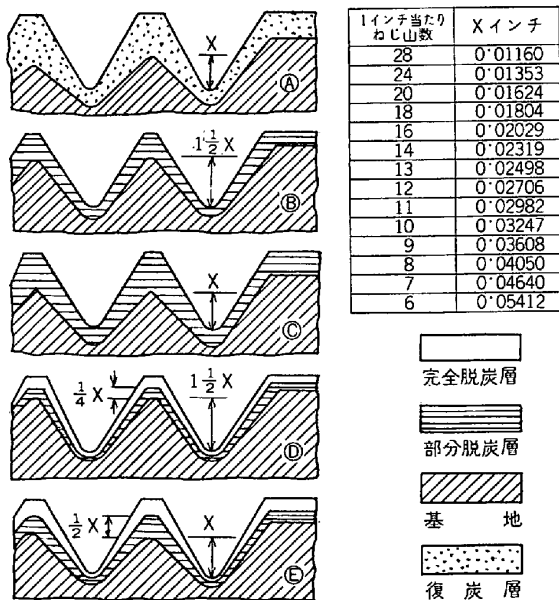


図6 米国自動車メーカーのねじ部脱炭規格 (GM社)

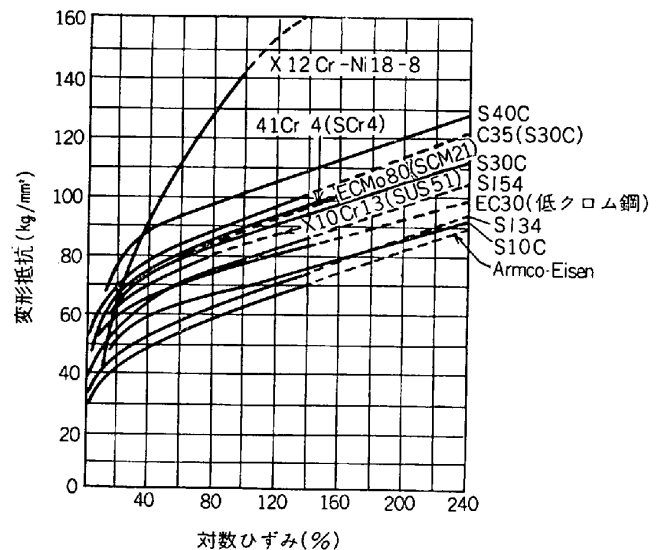


図7 各種材料の変形抵抗-ひずみ曲線の一例

表3 DIN 1965, 冷間加工用鋼脱炭許容深さ

サイズ (m/m)	< 6 φ	6~7	7~8	8~9	9~10	10~12	12~14	14~20
脱炭深さ (m/m)	0.08	0.09	0.10	0.11	0.125	0.15	0.18	0.20

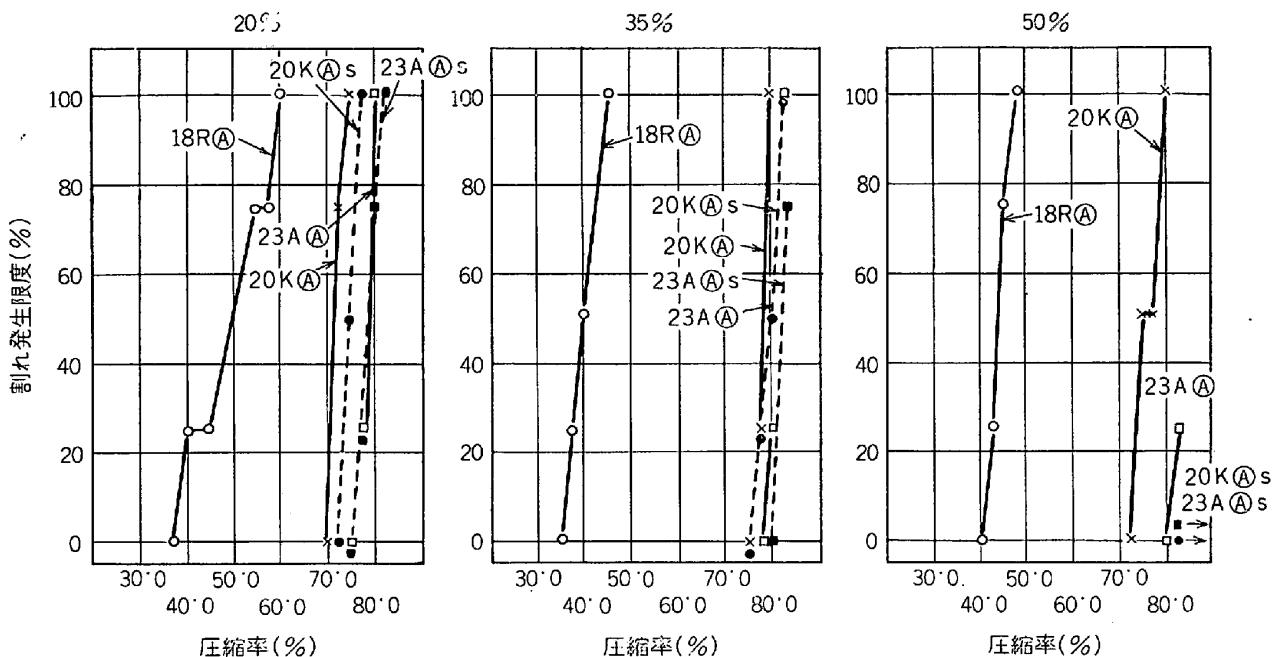


図 8 0.20 C の伸線率 20%, 35%, 50% における圧縮率と割れ発生限度の関係

々の率に圧縮してわれ発生限界をもとめたものである。

#### vii) 化学成分および組織の影響

冷圧性に影響をおよぼす化学成分としてはCが最も大きい。しかしC量は強度に大きく影響があるのでこの面からの制約があり、低減することはむずかしい。

Siは脱酸剤として使用する程度の量であつてもC量が少ない場合は相当影響があるので表面品質を劣化せしめない程度で減少し、Alで脱酸することが望ましい。

Mn, P, Cu, S, N などはいずれも変形能を低下させとくにS, Nなどは微量でも相当変形能を低下させるので、極力低下せしめるかあるいはNなどは適量のAlを添加し無害せしめることが望ましい。

組織については、パーライトは十分球状化せしめることが望ましい。しかしコストアップの大きな要因ともなるので、加工程度により適宜調整することが実用的である。

#### (3) 冷間圧造技術と材料の今後の動向

最近の動向として圧造部品の大型化と他の加工法との組合わせによる適用分野の拡大が進められている。すなわちヘッダー、プレスは次第に大型化しその容量も1000~2000 t 程度のもも多くなり、トランスファ機構を備えたものでは5~7ステーションの加工が同時にでき、しかも生産量も5000~10000個/hrが普通とされている。また冷間圧造と熱間加工との組合わせ、ロータリスエージングとの組合わせ、高周波焼入との組合わせによる切削仕上げ、調質処理の省略などの技術開発が進められている。このように冷間圧造が単に単純な形状、精度のよい粗形材を提供する有利な加工法として評価される時代は去り、今や十分幅広い領域において歴史の古い他

の加工法を競合するにいたつた。そのため適用線材も線径38 mm, コイル単重も1~2 t のものが製造されるようになった。また冷間圧造用材料の規格化がISO/TC, 17/SC4 において検討されており、わが国にも導入されるものと予想される。

一方、日本ねじ研究協会においても冷間圧造によつて製造されるねじ部品に適用する目的で、ねじ用線の規格案の審議が進められている。以上のように冷間圧造用材の標準化が積極的に進められているので、遠からず、目的、用途に適応した冷間圧造用材が規格化されるものと予想される。

#### 4.1.2 冷圧用ステンレス鋼線材について

冷圧用のステンレス鋼線材としては鋳螺用が主体であり、近年建築用アルミサッシュなどAlの使用量の伸長に付随して大きくのび、さらに家電関係にも大量に使用されステンレス鋳螺は急速に伸びた。表4に示すように昭和41年から46年の5年間に鋳螺のステンレスは約3倍にのび、またステンレス鋼線材の全用途の約30%を占めるほどになった。

さて鋳螺用ステンレスとしてはCr系(13Cr, 18Cr)およびNi-Cr系あるいはNi-Cr-Mo系など各種のステンレス鋼が使用されているが、鋳螺用の特色としては耐食性のほかに冷間圧造性を兼ねそなえてはならない。

13Cr系については圧造性をますために、焼鈍が重要な要素となり、つぎに18Cr系についてはこれに含まれる微量成分(Ni, Cu, P, S, Nなど)の影響と、これにともなう焼鈍が重要な要素となつている。つぎに300系のステンレスの場合は加工硬化が大きいため、この加工硬

表4 用途別出荷実績 (月平均)

(単位: t)

用途	41年	42年	43年	44年	45年	46年
金網	308	397	360	431	507	440
スプリン	146	194	193	266	222	212
直棒	96	113	149	267	244	195
直線	244	353	458	697	661	706
溶解	111	121	98	186	191	128
セン	28	38	—	—	—	—
異形	—	—	—	91	80	54
建築	19	23	22	8	2	1
ワイヤ	15	31	31	44	46	44
再伸	42	49	60	84	90	100
日用	45	66	63	33	35	54
厨房	53	39	38	26	36	35
その他	196	239	314	531	618	588
小計	1303	1663	1786	2665	2732	2557
輸出	593	562	506	831	972	1024
合計	1896	2225	2292	3496	3704	3581

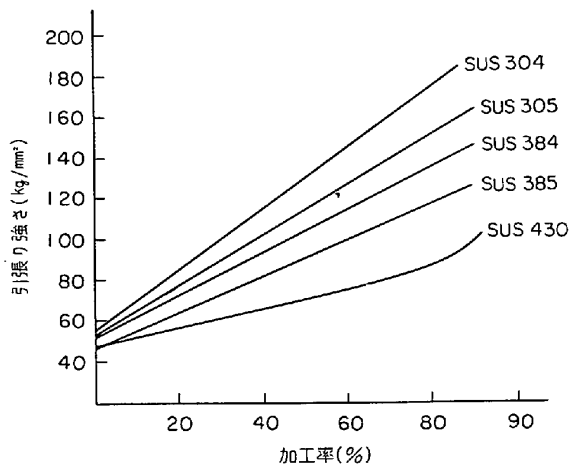


図9 冷間圧造ねじ用ステンレス鋼線の加工硬化度

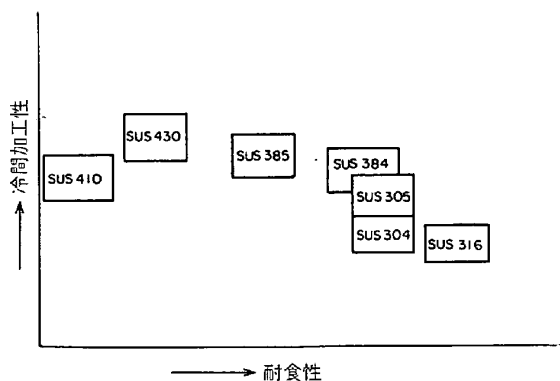


図10 ステンレス鋼線の冷間加工性と耐食性との関係

化が冷間圧造性におよぼす最も大きな要因となつている。図9は現用冷間ねじ用オーステナイト系ステンレス鋼の加工硬化度を示す。この図に示すように 18Cr-8Ni

系の SUS 304 ステンレス鋼は加工硬化が大きいため多くは Ni 量を若干増した SUS 305 が多く用いられている。さらに冷間加工度の大きいものに対しては SUS 384 および SUS 385 が用いられることがある。しかし図 10 に示すように SUS 385 などは非常に加工性に優れているが耐食性に劣る欠陥がある。よつて、実際の使用にあつてはこのような性質を十分に把握したうえで、適材を適所に使う必要がある。

4.1.3 ステンレスなどの温間加工について

すでに述べたようにステンレスは加工硬化が大きいがつてきわめて冷間加工しにくい鋼である。とくに Ni 量の低い SUS 304 などはスクリュ-ねじなどに加工することはかなり困難であり、また工具寿命も低い。

そこで最近ステンレスが高温で変形能がよくなることに着目し、温間加工の研究が進められ、一部実用化されている。温間加工のための加熱装置としては直電加熱、高周波加熱、火焔加熱の 3 方式があるが、直電加熱方式が多いようである。

温間加工の温度としては潤滑剤などの関係から 400°C 以下が普通である。図 11 に SUS 304 について予熱温度と加工荷重との関係の一例を示す。

図に示すように 200°C まではほぼ直線的に荷重が下がる。

つぎに実際にヘッダー加工した場合に割れ発生に関する温間加工効果は相当大きいようであるが、潤滑剤あるいはダイスの形状温度調整などまだ研究の余地が多々ある。

さらに、これらの温間加工については、高温における潤滑剤が最近進歩したため、焼鈍費用の節減、ダイス寿命の増加などを目的として一般の鋼材にも適用されつつある。

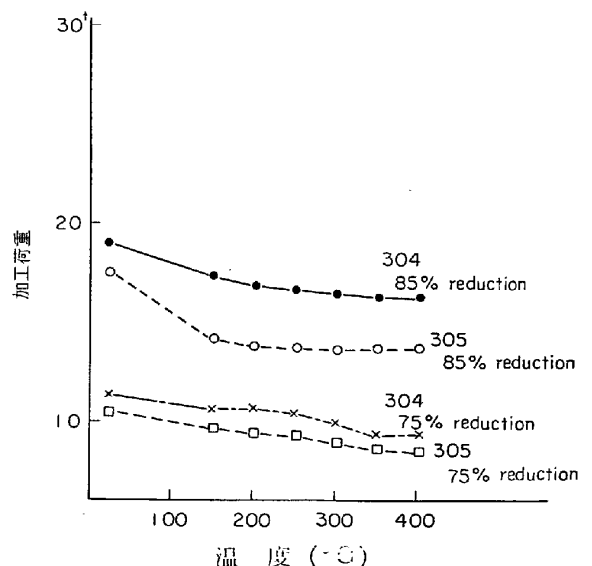


図11 予熱温度と加工荷重との関係

表 5 ばね用鋼線としておもに使用される硬鋼線材およびピアノ線材の化学成分

分 類	記 号	C	Si	Mn	P	S	Cu
硬鋼線材 JIS G3501	SWRH 52A	0.49~0.56	0.15~0.35	0.30~0.60	0.040 以下	0.040 以下	—
	〃 52B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	—
	〃 57A	0.54~0.61	〃	0.30~0.60	〃	〃	—
	〃 57B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	—
	〃 62A	0.59~0.66	〃	0.30~0.60	〃	〃	—
	〃 62B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	—
	〃 67A	0.64~0.71	〃	0.30~0.60	0.030 以下	0.030 以下	—
	〃 67B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	—
	〃 72A	0.69~0.76	〃	0.30~0.60	〃	〃	—
	〃 72B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	—
	〃 77A	0.74~0.81	〃	0.30~0.60	〃	〃	—
	〃 77B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	—
	〃 82A	0.79~0.86	〃	0.30~0.60	〃	〃	—
	〃 82B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	—
ピアノ線材 JIS G3502	SWRS 62A	0.60~0.65	0.12~0.32	0.30~0.60	0.020 以下	0.020 以下	0.20以下
	〃 62B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	〃
	〃 67A	0.65~0.70	〃	0.30~0.60	〃	〃	〃
	〃 67B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	〃
	〃 72A	0.70~0.75	〃	0.30~0.60	〃	〃	〃
	〃 72B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	〃
	〃 75A	0.73~0.78	〃	0.30~0.60	〃	〃	〃
	〃 75B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	〃
	〃 77A	0.75~0.80	〃	0.30~0.60	〃	〃	〃
	〃 77B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	〃
	〃 80A	0.78~0.83	〃	0.30~0.60	〃	〃	〃
	〃 80B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	〃
	〃 82A	0.80~0.85	〃	0.30~0.60	〃	〃	〃
	〃 82B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	〃
	〃 87A	0.85~0.90	〃	0.30~0.60	〃	〃	〃
	〃 87B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	〃
〃 92A	0.90~0.95	〃	0.30~0.60	〃	〃	〃	
〃 92B	〃	〃	0.60~0.90	〃	〃	〃	

#### 4.2 スプリング材

ばねは自動車をはじめとして種々の機械部品や機器に使用され、とくに近年自動車産業をはじめ各種工業の発展に伴い、生産量も著しく増大するとともにその特性や信頼度なども次第に厳格さが要求されるようになってきた。

##### 4.2.1 硬鋼線およびピアノ線

ばね用鋼線は主として、表 5 に示すように炭素量が 0.50%~0.90%の硬鋼線材、ピアノ線材を素材として伸線により強度調整される。これらの素材は製鋼法などの製造面の進歩と使用上あるいは取引上の点から昭和46年 JIS が大幅に改訂されるにいたった。これによれば、とくに炭素量が従来よりその範囲が小さくなり、硬鋼線材は 0.10% 幅から 0.07% 幅に、ピアノ線材は 0.10% 幅から 0.05% 幅になつて細分化され、不純物としての P および S も若干厳しくなつた。

次にばね用としての高炭素鋼線の分野での最近の動向として、ばね成形性、高性能化から品質の均一なものをいかに安価に作るかということに地道な努力がなされている。すなわち、炭素鋼線は伸線により強度を高め、実用材の中では最高の部類に入る強度が得られるので、諸条件を改良することによつて高い疲労性、良好なばね特

性が得られると考えられることから、材料に各種合金元素を添加することによる改良や製造工程の改善がなされている。

合金元素の添加においては、Al<sup>1)</sup>、Ti<sup>2)</sup>、Mn<sup>3)</sup>、Si<sup>4)</sup>、Cr<sup>5)</sup>、などを添加したものの研究がある。ごく近年までは炭素鋼線は結晶粒が大きいものがよいという概念があつたが、Al または Ti を 0.05% 程度添加することによつて、結晶粒が微細化され、また鋼中の N が固定されて靱性、とくに曲げ加工性が著しく改善され、疲労強度も向上されることから細粒鋼が見直されてきている。図 12 にその特性の一例を示す。また Cr と Mn の添加によつてさらに高強度化されるので、ばね用としての性能向上が期待される。

製造工程の改善においては、まず熱間圧延後の直接パテンチングがあり、圧延後の熱い線材をループ状にしたのを衝風で冷却する方法、流動層法<sup>6)</sup>、沸騰水中での冷却法<sup>7)</sup> など種々なものがあるが、開発されてまだ日も浅く性能のばらつきなどでまだ十分でなく、これらの解決に努力が払われている。

その他一般のパテンチングにおいては鉛槽の鉛の攪拌や鉛に流速を与えること<sup>10)</sup>、温度の均一化と効果的冷却ができるよう改善されつつあり、また 2 段パテンチン

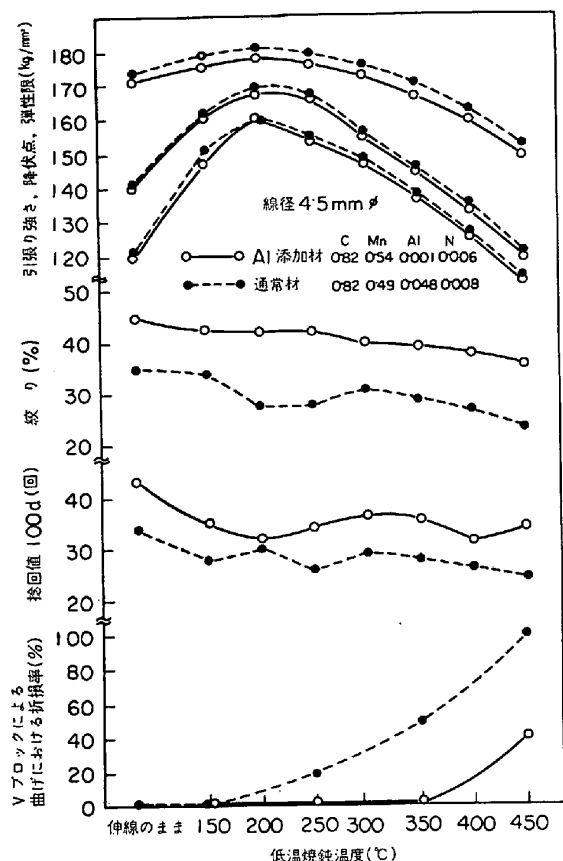


図12 Al添加硬鋼線の機械的特性

グ<sup>11)</sup>などが考案され太径材の冷却速度を早めようという試みもある。

また鋼線の表面欠陥に対する処理技術として表面研削技術も開発されて実用化されている。

このように硬鋼線、ピアノ線の素材面および製造技術の地道な研究努力によつて次第に改良発展が期待される。

#### 4.2.2 オイルテンパー線

オイルテンパー線はピアノ線、硬鋼線などの冷間加工線に対して、焼入れ焼もどしを行なつた鋼線であるため引張強さに対する弾性限、降伏点の割合が大きいこと、耐熱性、耐へたり性がすぐれていること、比較的太径のものでも相当高い強度が得られることおよび線ぐせがないなどの利点があるので、これらの特性が要求されるばねへの適用が急速に進んでいる。現在わが国で使用されているオイルテンパー線の種類には表6に示したものがあるが、この中でJIS化されているのは硬鋼線材を素材とした一般ばね用炭素鋼オイルテンパー線とピアノ線4種を素材とした弁ばね用炭素鋼オイルテンパー線、SUP10を素材とした弁ばね用Cr-V鋼オイルテンパー線および1年半ほど前に制定された弁ばね用Si-Cr鋼オイルテンパー線がある。Cr-V鋼系やSi-Cr鋼系は耐熱性に優れ耐疲労性もよいので今後も広く用いられるであろう

表6 現在わが国で使用されているオイルテンパー線の種類

分類	記号	C	Si	Mn	P	S	Cr	その他
ばね用炭素鋼オイルテンパー線 JIS G3560	SWO-A	0.54~0.76	0.15~0.35	0.30~0.90	0.040以下 および 0.030以下	0.040以下 および 0.030以下	—	—
	SWO-B	0.64~0.86	〃	〃	0.030以下	0.030以下	—	—
弁ばね用炭素鋼オイルテンパー線 JIS G3561	SWO-V	0.60~0.70	0.12~0.32	0.60~0.90	0.020以下	0.020以下	—	Cu 0.20以下
弁ばね用鋼オイルテンパー線 JIS G3565	SWOCV-V	0.45~0.55	0.15~0.35	0.65~0.95	0.030以下	0.030以下	0.80~1.10	Cu 0.20以下 V 0.15~0.25
弁ばね用鋼Si-Crオイルテンパー線 JIS G3566	SWOSC-V	0.50~0.60	1.20~1.60	0.50~0.80	0.030以下	0.030以下	0.50~0.80	Cu 0.20以下
Si-Mn鋼オイルテンパー線 JSMA No 5	SWOSM-A	0.55~0.65	1.50~1.80	0.70~1.00	0.035以下	0.035以下	—	—
	SWOSM-B	〃	1.80~2.20	〃	〃	〃	—	—
Mn-Cr鋼 オイルテンパー線	—	0.50~0.60	0.15~0.35	0.65~0.95	0.035以下	0.035以下	0.65~0.95	—
Si-Cr-V鋼 オイルテンパー線	—	0.50~0.60	1.30~1.60	0.50~0.80	0.030以下	0.030以下	0.80~1.10	V 0.15~0.30
Si-Cr-Mo鋼 オイルテンパー線	—	〃	〃	〃	〃	〃	〃	Mo 0.40~0.80

表 7 ばねに使用されているステンレス鋼線材の種類

分 類	記 号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	その他		
ばね用 ステンレス鋼線 JIS G4314	A種	SUS316-SWSA	0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	10.00 ~14.00	16.00 ~18.00	Mo 2.00~3.00	
		SUS304-SWSA	0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	8.00 ~10.50	18.00 ~20.00	—	
		SUS302-SWSA	0.15以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	8.00 ~10.00	17.00 ~19.00	—	
	B種	SUS304-SWSB	SUS304-SWSA の成分に同じ								
		SUS302-SWSB	SUS302-SWSA の成分に同じ								
C種	SUS631-SWSC	0.09以下	1.00以下	1.00以下	0.040 以下	0.030 以下	6.50 ~7.75	16.00 ~18.00	Al 0.75~1.50		
マルエージン 鋼	— (一例)	0.30以下	0.10以下	0.10以下	0.013 以下	0.010 以下	17.00 ~19.00	Co 7.0~8.5 Mo 4.6~5.2 Ti 0.30~0.55 Al 0.05~0.20			

う。また規格化はされていないが Si-Mn 鋼, Mn-Cr 鋼 オイルテンパー線もおもに太物ばねを対象に使用されている。

#### 4.2.3 ステンレス鋼線

ステンレス鋼線には軟質線と硬質線とがあるが、ばねに用いられるのはおもに硬質線であつて、これはステンレス線材を焼なまし、酸洗後冷間伸線によつて製造され耐食性のすぐれていることが最大の長特であり、また耐熱性、非磁性を必要とする場合にも有効である。ばね用ステンレス鋼線は、昭和47年5月1日付で JIS が新設され、表7に示すような成分で3種類に分けられている。A, B種は SUS 316, SUS 304, SUS 302 のオーステナイト系ステンレス鋼線材が使われ、C種では SUS 631 の析出硬化型ステンレス鋼が使用されている。また最近ではマルエージン鋼<sup>12)</sup>という析出硬化型の超強力鋼でしかも耐疲労性、耐熱性、耐食性にすぐれた材料が開発され、たとえば自動車のレーサー用、スポーツカー用など苛酷な条件でのばねに利用されるものと期待される。

### 4.3 PC鋼材および建材製品について

#### 4.3.1 建設資材としての線材製品

建設資材、とくにそのうちの構造部材としての線材製品は、釘、針金に見られるごとく古くから使用され、かつ種々の建設資材、また建設工法が開発された現在でも、その基礎的な資材として欠くことのできないものである。

鋼構造物の継手に長い間使われてきたリベット接合はすでにボルト接合または溶接接合にその主役の座を渡しているが、ボルト接合に使われる高力ボルトは、特別に太いものを除けば、ほとんどのものが線材から冷間圧造方式などによつて製造されている。溶接棒はむろん線材製品である。

コンクリート構造物では補強材として鉄筋が使用されるが、最近では細物の鉄筋を線材から使う試みがなされ、

とくに省力化の目的で、あらかじめ格子状に組んだ鉄筋としての溶接金網が注目され、建設資材として大きくクローズアップされてきている。プレストレストコンクリート（以下PCと略称する）工法はコンクリートの引張に弱い点をカバーするためあらかじめ高強度鋼材でコンクリートに圧縮力を加え、引張り力にも耐えうるコンクリート部材を作る方法である。このPC工法が日本に紹介されたのは戦後であるが、ここ20数年の間に著しい進歩を見せ、これに使われるPC鋼材も種々のものが開発され、線材の大きな需要分野を占めるに至つた。

線材からの建設資材として、溶接金網およびPC鋼材の最近の動向を以下にのべる。

#### 4.3.2 溶接金網

日本で溶接金網の生産体制の整つたのが昭和30年代の初め、道路の亀裂防止用および主として米国への輸出期待からであるが、その後高速道路はアスファルト舗装が中心になつたこと、また米国で溶接金網の生産体制ができたことなどから需要は意外に伸びず、昭和45年で53000 t/year程度が生産されていると報告されている（鉄鋼二次製品年鑑昭和46年版）。これは欧米における溶接金網の生産量、たとえば西ドイツで1000000 t/yearといわれる生産量に比べると著しく少ないものである。この理由として、日本ではまだ低コストの鉄筋加工労務者のえられること、今までは強度部材として認められなかつたこと、さらに溶接金網に適した施工法、加工機械の開発がされていないこと、などを挙げることができる。

1990年 JIS G 3551「溶接金網」が制定された。製品規格の一部を表8に、製品の外観を写真11に示す。欧米では異形状のものが規格化されており、日本でも写真12に示すような異形溶接金網なども研究されている。

溶接金網は軟鋼線材を伸線加工した後、写真14に示すようなマルチヘッドのスポット溶接機で格子状に溶接

表 8

引張試験		曲げ試験	
引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	絞り %	径の区分	曲げ半径
50以上	引張強さ71 kg/mm <sup>2</sup> 未満30以上	線径 7.0 mm 以上	自己直径
	引張強さ71 kg/mm <sup>2</sup> 以上25以上	線径 7.0 mm 未満	自己直径の 1/2

考備 曲げの部分は溶接箇所から少なくとも25mm離れた所におく、  
曲げ角度 180°

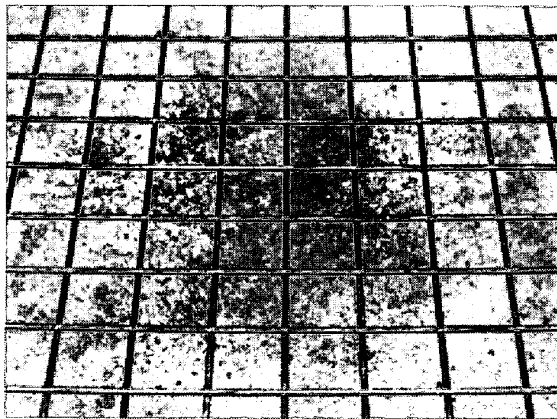


写真11 丸メッシュ



写真12 異形メッシュ

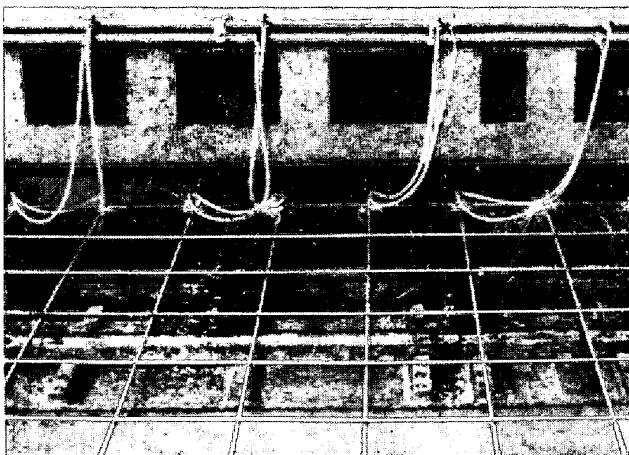


写真13 溶接金網の溶接機



写真14 メッシュ配筋状況

されシート状またはコイル状にまきとられて製品となっている。

線材製品協会の努力と、日本建築学会の溶接金網研究小委員会の研究結果などから、昭和47年の建築基準法改訂の際に溶接金網強度部材として許容応力が認められた。これにより従来亀裂防止用としてしか考えられていなかった分野に鉄筋に代わる強度部材として使用できることになった。

写真13に建築物の床版に使われる溶接金網の配筋状況を示す。

溶接金網の加工機械の開発、溶接金網に適した施工法などの開発も進められており、今後の鉄筋加工労務費の上昇が目に見えているだけに、施工コスト低下、省力化、工期短縮などから溶接金網がコンクリート補強材として広く使用されるようになること、したがって溶接金網が線材の大きな需要分野として伸びることが期待される。

#### 4.3.3 PC鋼材

昭和44年のPC鋼線、PC鋼より線の生産量は約150,000 t/yearと報告されている。(線材とその製品1970年1月号)これにPC鋼棒、PC硬鋼線を加えるとこの当方で200,000 t/year程度もしくはこれ以上のPC鋼材が生産されたと見ることができ、PC鋼材はすでに線材の大きな需要分野となつている。このうちPC鋼より線を中心に約100,000 t/yearが米国および東南アジアに向け輸出されている。

1960年「PC鋼線およびPC鋼より線」がJIS-G 3536として規格化されたが、その後のPC工法およびPC鋼材の進歩にあわせ、1971年上記「PC鋼線およびPC鋼より線規格の改訂と同時に、新しくJIS-G 3538「PC硬鋼線」およびJIS G 3109「PC鋼棒」が制定された。

PC鋼線、PC鋼より線はPC構造物および製品に広く使用されている。その機械的性質規格を表9に示す。(ただし荷重表示の部分は概算応力表示した。)今度のJIS改訂では、太径PC鋼線と高強度PC鋼より線(引張強さ190 kg/mm<sup>2</sup> 級)が加えられている。PC鋼線、



表 9 PC鋼線およびPC鋼より線の機械的性質

記 話	呼 び 名	引 張 験 試			レラクセーション試験
		0.2%耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	レラクセーション値(%)
SWPR 1 および SWPD 1	(2.9 mm)	175 以上	195 以上	3.5 以上	3.0 以下
	(3.5 mm)	150 以上	170 以上	3.5 以上	3.0 以下
	(4 mm)	150 以上	170 以上	3.5 以上	3.0 以下
	(4.5 mm)	145 以上	165 以上	4.0 以上	3.0 以下
	5 mm	145 以上	165 以上	4.0 以上	3.0 以下
	(5 mm)	140 以上	160 以上	4.0 以上	3.0 以下
	6 mm	135 以上	155 以上	4.5 以上	3.0 以下
	8 mm	130 以上	150 以上	4.5 以上	3.0 以下
	9 mm	175 以上	145 以上	4.5 以上	3.0 以下
SWPR 2	2.9 mm 2本より	175 以上	195 以上	3.5 以上	3.0 以下
SWPR 7 A	(7本より6.2 mm)	150 以上	175 以上	3.5 以上	3.0 以下
	(7本より7.9 mm)	150 以上	175 以上	3.5 以上	3.0 以下
	7本より9.3 mm	150 以上	175 以上	3.5 以上	3.0 以下
	7本より10.8 mm	150 以上	175 以上	3.5 以上	3.0 以下
	7本より12.4 mm	150 以上	175 以上	3.5 以上	3.0 以下
	7本より15.2 mm	140 以上	165 以上	3.5 以上	3.0 以下
SWPR 7 B	7本より9.5 mm	160 以上	190 以上	3.5 以上	3.0 以下
	7本より11.1 mm	160 以上	190 以上	3.5 以上	3.0 以下
	7本より12.7 mm	160 以上	190 以上	3.5 以上	3.0 以下



写真15 センタープル型リールレス巻のPCストランド

PC鋼より線はピアノ線材をパテンチング処理後伸線加工(より燃加工)し、ブルーイング処理して製造される。写真15にセンタープル式のリールレス巻の製品を示す。

PC鋼線では表10に示すような高強度PC鋼線および9mmφ以上の太径PC鋼線の開発、PC鋼より線では太径より線、および図13に示すようなPC鋼より線をさらにより合わせたケーブル、多層より線、新形状より線の研究開発などが進められている<sup>13)</sup>。またPC鋼材では導入したプレストレスが有効に残るために、レラクセーションの小さいものが要望されており、ブルーイング処理に代わつて、ホットストレッチ処理したレラクセ

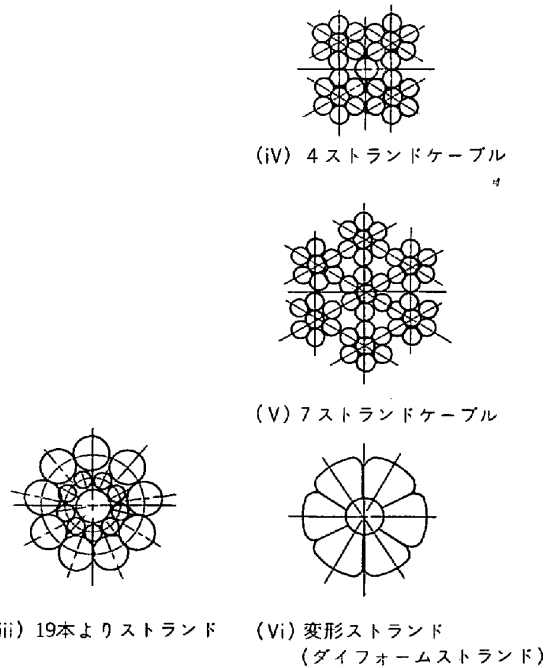


図13 PC鋼より線の断面図

ーションのPC鋼線、PC鋼より線が開発されている<sup>14)</sup><sup>15)</sup>。これはとくに原子炉の圧力容器など50°C近辺の微高温にさらされる場合などに有効であり、欧米でもガス炉の圧力容器、軽水炉のコンティメントなどに使われている。写真16に原子炉圧力容器での使用状況を示す。

PC硬鋼線は主としてパイプ、ポールなどのPC製品に使われている。その機械的性質規格を表11に示す。

(ただし荷重表示の部分は概算応力表示した。)PC硬鋼

表 10

呼 び 名	引張荷重 (kg)	0.2% 永久伸びに 対する荷重 (kg)	伸 び (%)	レラクセーション値 (%)
5 mm	3450以上 (175以上)	3050以上 (155以上)	4.0 以上	3.0 以下
7 mm	6350以上 (165以上)	5600以上 (145以上)	4.5 以上	3.0 以下
8 mm	8050以上 (160以上)	7050以上 (140以上)	4.5 以上	3.0 以下

備考 ( ) 内の数字は応力 (kg/mm) を示す。

表11 PC硬鋼線の機械的性質

記 号	呼 び 名	引 張 試 験			レラクセーション試験
		0.2% 耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	レラクセーション値 (%)
SWCR A および SWCD A	3 mm	80 以上	100 以上	2.5 以上	5.5 以下
	3.5 mm	80 以上	100 以上	2.5 以上	5.5 以下
	4 mm	80 以上	100 以上	2.5 以上	5.5 以下
	4.5 mm	80 以上	100 以上	3.0 以上	5.5 以下
	5 mm	80 以上	100 以上	3.0 以上	5.5 以下
	6 mm	80 以上	100 以上	3.0 以上	5.5 以下
	7 mm	80 以上	100 以上	3.5 以上	5.5 以下
	8 mm	80 以上	100 以上	3.5 以上	5.5 以下
	9 mm	80 以上	100 以上	3.5 以上	5.5 以下
SWCR B および SWCD B	3 mm	100 以上	130 以上	2.5 以上	5.0 以下
	3.5 mm	100 以上	130 以上	2.5 以上	5.0 以下
	4 mm	100 以上	130 以上	2.5 以上	5.0 以下
	4.5 mm	100 以上	130 以上	3.0 以上	5.0 以下
	5 mm	100 以上	130 以上	3.0 以上	5.0 以下
	6 mm	100 以上	130 以上	3.0 以上	5.0 以下
	7 mm	100 以上	130 以上	3.5 以上	5.0 以下
	8 mm	100 以上	130 以上	3.5 以上	5.0 以下
	9 mm	100 以上	130 以上	3.5 以上	5.0 以下
SWCR C および SWCD C	3 mm	140 以上	175 以上	2.5 以上	4.5 以下
	3.5 mm	135 以上	170 以上	2.5 以上	4.5 以下
	4 mm	135 以上	170 以上	2.5 以上	4.5 以下
	4.5 mm	130 以上	160 以上	3.0 以上	4.5 以下
	5 mm	125 以上	155 以上	3.0 以上	4.5 以下
	6 mm	120 以上	150 以上	3.0 以上	4.5 以下
	7 mm	115 以上	145 以上	3.5 以上	4.5 以下
	8 mm	110 以上	140 以上	3.5 以上	4.5 以下
	9 mm	110 以上	140 以上	3.5 以上	4.5 以下

線は主として硬鋼線材にパテニングなどの熱処理を施したあと伸線加工して作られる。写真 17 は膨張性コンクリートを使ったケミカルプレスト工法で作られる高外圧ヒューム管の PC 硬鋼線の籠であり、縦の配力筋に PC 硬鋼線が連続的にまきつけられ、スポット溶接で止められている。

PC 鋼棒は PC 構造物および PC 製品全般に使われるが、とくに最近急速に需要を伸ばしているのが、PC くい分野である。

写真 18 に異形 PC 鋼棒を使った PC くいを示す。PC 鋼棒の機械的性質規格を表 12 に示す。PC 鋼棒は表

13 に示す種々の製造方法にあわせ、炭素鋼や低合金鋼から製造される。

PC 鋼棒の高強度のものは一般に焼入れ焼もどし処理によつて製造されているが、さらに高強度を得るための開発は、遅れ破壊（高強度材料に静的張力をかけた状態で発生する脆性的な破壊）によつてその道をはばまれている。すでに日本鉄鋼協会、日本学術振興会などでもその破壊機構の解明と試験法の検討が進められており、PC 鋼材メーカーでもこれの打開に努力が注がれている。

#### 4.4 長大橋用線材

わが国においても、本格的な長大橋建設の時代を迎え



写真16 PCPV の定着部

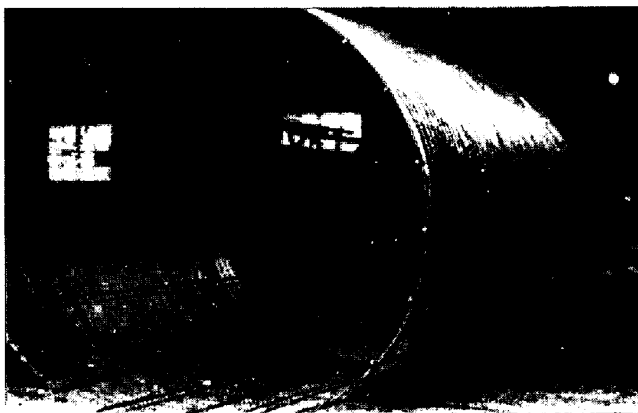


写真17 ヒューム管用鉄筋籠

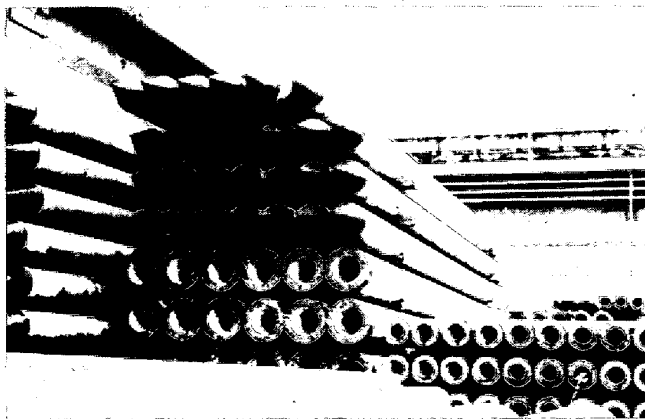


写真18 P C ぐい 製品

表12 PC鋼棒の機械的性質

記号	引張試験			レラクセーション試験
	降伏点または耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	レラクセーション値 (%)
S B P R 80/95	80以上	95以上	5以上	1.5以下
S B P R 80/105	80以上	105以上	5以上	1.5以下
S B P R 95/110	95以上	110以上	5以上	1.5以下
S B P R 95/120	95以上	120以上	5以上	1.5以下
S B P R 110/125	110以上	125以上	5以上	1.5以下
S B P R 110/135	110以上	135以上	5以上	1.5以下
S B P D 95/110	95以上	110以上	5以上	1.5以下
S B P D 110/125	110以上	125以上	5以上	1.5以下
S B P D 130/145	130以上	145以上	5以上	1.5以下

備考 耐力とは、0.2% 永久伸びに対する応力をいう。

表 13

製造法による製品名	製造工程
圧延鋼体	(熱間圧延丸鋼) — ストレッチングブルーイング
熱処理鋼棒	① (熱間圧延丸鋼) — 焼入・焼もどし
	② (熱間圧延丸鋼) — 引抜 — 焼入・焼もどし
	③ (熱間圧延丸鋼) — 引抜異形加工 — 焼入・焼もどし
	④ (熱間圧延異形鋼) — 焼入・焼もどし
	⑤ (熱間圧延異形鋼) — 引抜 — 焼入・焼もどし
引抜鋼棒	① (熱間圧延丸鋼) — 引抜 — ブルーイング
	② (熱間圧延丸鋼) — 引抜異形加工 — ブルーイング

下関と門司を結ぶ関門橋 (中央径間 712m の吊橋) が昭和 48 年度完成を目標に建設中であり、数多くの長大吊橋を中心とする本州四国連絡橋の建設も、昭和 48 年度着工ということで着々と準備が進められている。

長大吊橋のケーブルは、これまでわが国最大であった若戸大橋 (昭和 37 年竣工、中央径間 367m) 程度までは、ワイヤ・ロープが使用されてきたが、より大規模な吊橋では、米国で古くから使われてきた平行線ケーブルが使用される。これは直径約 5 mm の高張力鋼線を、ワイヤ・ロープのようにより合わせたものでなく、平行に束ねたもので、ワイヤ・ロープのように撚りによる強度の低下がなく、また、伸びが少なく安定しているため、大規模な吊橋ケーブルとしては必要欠くべからざるものである。

平行線ケーブルの架設工法として、現在、エア・スピニング工法 (A S 工法) とプレハブ パラレル ワイヤ・ストランド工法 (P W S 工法) とがある。前者は、米国で開発され発展したものでニューヨークのブルックリン橋 (1883年竣工) からベラザノナロウズ橋 (1964年竣工) などまで広く採用され、また英国のフォース道路橋 (1964年竣工)、セバーン橋 (1966年竣工) も米国の指導

を得て同工法でケーブルが架設されている。このAS工法は、鋼線をコイルの状態で見場へ搬入し、リールに巻きとつた後、スピニング・ホイールで片岸から対岸へ一本ずつ張り渡す工法である。

PWS工法は、近年、米国およびわが国において相前後して開発されたもので、これは、あらかじめ数十本の鋼線を工場て平行に並べてストランドとし、リールに巻きとつて現場へ搬送して、ワイヤロープの場合と同様にストランド単位で架設する工法である。AS工法に比して架設工期の短縮をねらつたものである。このPWS工法は、米国においては1969年竣工したニューポート橋で始めて採用され、わが国においても、AS工法と種々比較検討の結果、関門橋においてPWS工法が採用され

昭和47年3月、成功裡にケーブル工事が完了している。

以上のとおり、平行線ケーブル架設工法には2つの工法があるが、わが国では本格的な長大吊橋の架設経験としては関門橋のみであり、米国においてもPWS工法の実績は1橋にすぎないため、その優劣については、ケーブルの品質、コスト、架橋現場の環境などの面から、今後さらに比較検討が必要であろう。参考として関門橋の架設中のストランドの状態を写真19、20に、また完成した関門ケーブルの状態を写真21、22に示す。

平行線ケーブル用鋼線は、AS工法、PWS工法とにかかわらず、ほぼ同じ品質のものが要求される。一例として関門橋ケーブルの線材、鋼線の仕様を示すと表14のとおりである。

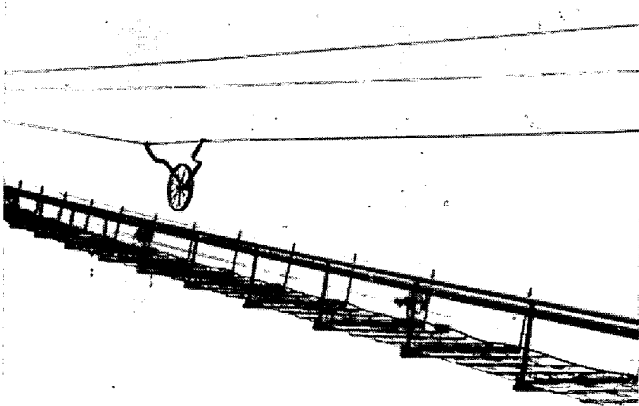


写真19 架設中のストランド

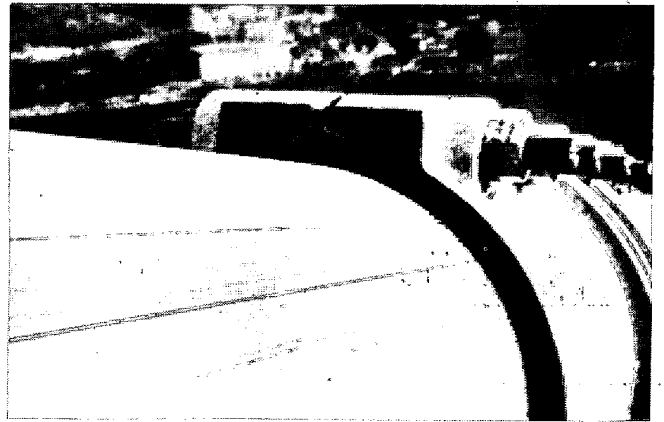


写真21 完成した関門ケーブル

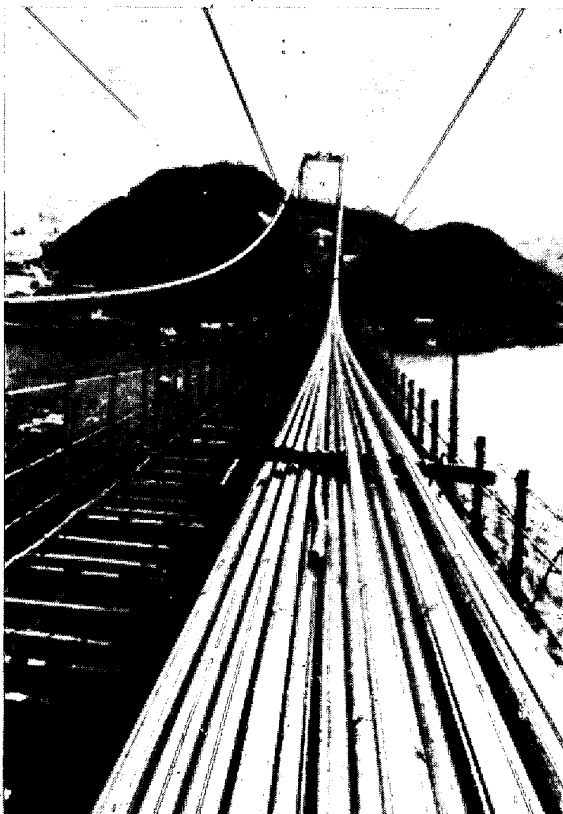


写真20 架設中のストランド



写真22 完成した関門ケーブル

表14 関門橋ケーブル用 亜鉛メッキ鋼線の仕様の概要

線 材	JIS G 3502 (ピアノ線材) 2種B ただし、化学成分、非金属介在物は次による。								
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
	リード分析	0.75~0.80	0.15~0.30	0.60~0.80	max 0.020	max 0.015	max 0.08	max 0.06	max 0.06
	チェック分析	0.71~0.84	0.13~0.32	0.57~0.83	max 0.025	max 0.020	max 0.10	max 0.08	max 0.08
	非金属介在物	清浄度 0.10%以下							
亜鉛メッキ鋼線	線 径 (mm)		5.04±0.06						
	機 械 的 性 質	引張荷重 (t)	3.19以上						
		引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	160~180						
		0.7%耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	118 以上						
伸び (%)		4.0 以上 (G.L=250 mm)							
メ ッ キ	弾性係数 (kg/mm <sup>2</sup> )	2.0×10 <sup>4</sup> 以上							
	巻付け (回)	線径の3倍の径の心金に8回巻付けて折損してはならない。							
	付着量 (g/m <sup>2</sup> )	300 以上							
	付着性 (回)	線径の10倍の径の心金に8回巻付けて肉眼で見えるワレ目が生じてはならない							
直線性	均一性 (硫酸銅試験)		4 以上 (1分間浸漬)						
	線径	増メッキによる線径増加は平均で 0.10 mm をこえてはならない。							
	フリーコイル径(m)	4.0 以上							
	スリーリングリフト(cm)	15 以下							

表15 平行線ケーブルおよびその鋼線の推移

橋 名	国 名	架橋年	中央径間 (m)	ケ ー ブ ル			鋼 線	
				本数	直径 (mm)	鋼線本数	直径 (mm)	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )
ブルックリン	米	1883	486	4	394	5 282	4.57	>113
ウイリアムスブルグ	ク	1903	488	4	476	7 696	4.88	>141
マンハッタン	ク	1910	448	4	527	9 472	4.95	>148
ペアマウンテン	ク	1924	497	2	457	7 252	4.95	>151
ペンジャミンフランクリン	ク	1924	533	2	763	18 666	4.95	>151
マウンテンホープ	ク	1926	421	2	279	—	4.98	>151
アンバサダー	ク	1929	564	2	489	7 622	4.95	>151
ジョージワシントン	ク	1931	1 066	4	914	26 474	4.98	>154.7
オークランドベイ	ク	1936	704	2	727	17 464	4.98	>154.7
ゴードンゲイト	ク	1937	1 280	2	924	27 572	4.98	>154.7
タコマナローズ (新)	ク	1949	853	2	511	8 702	4.98	>154.7
マキナック	ク	1957	1 158	2	622	12 580	4.98	>154.7
ピンセントトーマス	ク	1963	491	2	343	4 028	4.98	>154.7
フォーロード	英	1964	1 006	2	610	11 618	4.98	>154.7
ベラザノナローズ	米	1964	1 298	4	912	26 108	4.98	>154.7
セバ	英	1966	985	2	485	8 360	4.98	>154.7
サラザール	ポルトガル	1966	1 013	2	587	11 284	5.13	>154.7
ニユーポート	米	1969	488	2	387	4 634	5.04	>160
関門	日	1973予定	712	2	667	14 014	5.04	>160

ケーブルは吊橋の最重要部材であるため、その線材は JIS G 3502 (ピアノ線材) に適合するばかりでなく、化学成分範囲をより狭く管理して、品質の向上、均一化が期されている。

鋼線は、直径 5.04 mm で防食のために溶融亜鉛メッキが施されている。直径約 10 mm の線材から、鉛パテニング、伸線、メッキ、という工程で製造されるが、メッキ後の引張強さが 160 kg/mm<sup>2</sup> 以上で、また、バ

ラツキをおさえるために 180 kg/mm<sup>2</sup> 以下としている。ここで 0.7% 耐力というのは降伏点に相当するもので、伸び率が 0.7% のときの応力度を規定したものである。

とくに、亜鉛メッキ鋼線には直線性が規定されているが、この直線性は平行線ケーブル用鋼線の品質として重要な項目である。すなわち、ケーブルをかけ終った状態では、鋼線は自重による張力のみで懸垂されるが、この

張力は最終張力に比して小さいため、曲がりくせのために波をうつようであれば困るわけである。また PWS 工法では、素線の曲がりくせが、ストランド全体に対して大きく影響し、ストランドの取扱い、架設途上にも問題が生ずるため、PWS 工法においては、直線性の要求がさらにシビアなものとなる。

ケーブル用鋼線について最も関心が持たれるのは引張り強さである。米国では表 15 に示すように 1931 年のジョージワシントン橋以来 220 000 psi (154.7 kg/mm<sup>2</sup>) というので今日まで全く変化していない。わが国では昭和 39 年度の建設省土木研究所の試作研究で 160 kg/mm<sup>2</sup>, 165 kg/mm<sup>2</sup> および 170 kg/mm<sup>2</sup> を規格とする鋼線が試作され、いずれも満足すべき結果が得られたが、大量生産時のバラツキを考慮して外国の規格に近い 160 kg/mm<sup>2</sup> 級が採用されている。今後さらに引張り強さの高いものをとの声もあるが、製造技術上の問題と同時にサドル、アンカーシュー、アンカーソケット、ケーブルバンド、継手など、各部の静的、動的な検討など、慎重な配慮が必要であろう。

#### 4.5 ワイヤロープ<sup>16)17)</sup>

ワイヤロープは多数の鋼線をより合わせたものである。この多数の細い素線から構成されているということが、他の機械要素と異なる特長をワイヤロープに与えている。すなわち、大きな強度特性を有することと曲げやすいことである。この 2 大特長により、ワイヤロープは鉱山から自動車・航空機までほとんどすべての産業に使用されている。ここではおもにワイヤロープの種類とその用途について述べる。

##### 4.5.1 材料と製造法

ワイヤロープの素材は JIS G 3525 (ワイヤロープ) に JIS G 3506 (硬鋼線材) を使用するように明記されている。このほか、PC 鋼より線、航空機用ワイヤロープ、長径間つり橋のケーブルなど特殊用途のロープには、いつそう品質の高度なピアノ線材が使用される。

ワイヤロープの製造は、一般に上記の線材を熱処理 (パテンチング) 後、冷間伸線加工して所要のワイヤに仕上げ、線径、引張り強さ、ネジリ、巻き解きなど各種試験を行なった後、これをストランドにより合わせさらにクロージングしてワイヤロープに仕上げる。また完成されたワイヤロープにプレテンション加工を施すこともある。

##### 4.5.2 種類と構造

ワイヤロープの種類・構造は非常に多く、使用するにあたっては 100 種類以上にもおよぶワイヤロープの中から、使用目的および使用する場所にもつとも適合したワイヤロープを選択しなければ、ワイヤロープのもつ利点を十分に生かすことはできない。そのためにはワイヤロープを構造的に分類し、それぞれの特徴を十分に理解する必要がある。

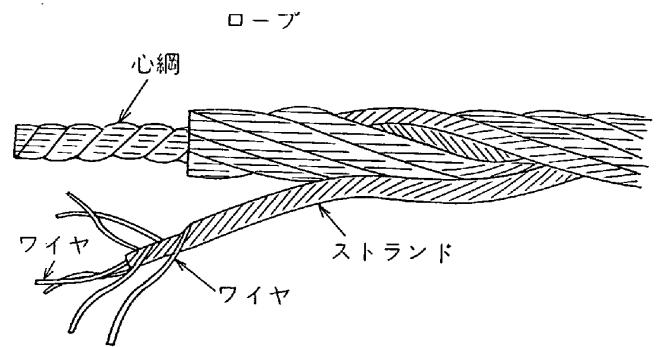
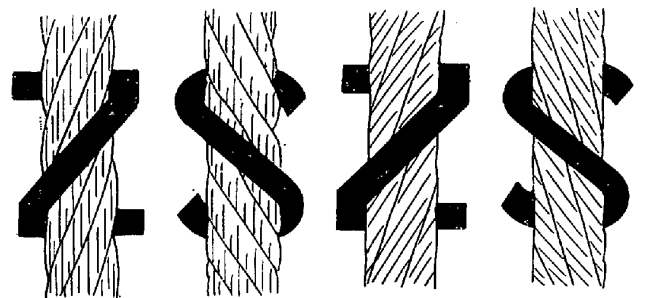


図14 ワイヤロープ



普通Zより 普通Sより ラングZより ラングSより

図15 撚り方および撚り方向

##### 1) ワイヤロープの呼び方

ワイヤロープ各部の名称を図 14 に示す。全体をワイヤロープといい、中心にはいつている麻心を心綱、心綱の周囲に 6 本 (標準の場合) 巻かれているのをストランド、ストランドを構成している鋼線を素線という。

##### 2) ワイヤロープの構成および断面

ワイヤロープの構成および断面は表 16 に示すとおり 19 種類があり、1 号～7 号、10 号～17 号はストランドが円形であるが、8 号の (イ), (ロ), 9 号の (イ) (ロ) は三角形をしている。また 10 号～17 号は平行よりとなつている。

##### 3) ワイヤロープの種類

ワイヤロープの種類は、上記の構成および断面のほか

- (1) 太さと長さ
- (2) 素線の引張り強さ
- (3) 素線のメッキの有無
- (4) より方およびより方向

によつて区別される。

このうち、より方には図 15 に示すようにロープのよりとストランドのよりが反対になつている。“普通より”と、同じ方向によられている“ラングより”の 2 つがある。またロープのより方向によつて“Z より”“S より”と呼ばれ、一般には Z よりが標準で、特別な場合だけ S よりが使用される。

表16 ワイヤロープの構成および断面

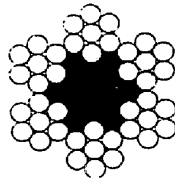
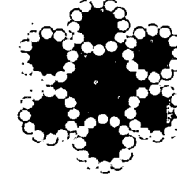
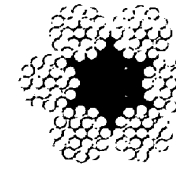
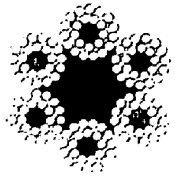
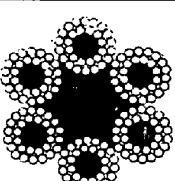
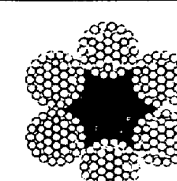
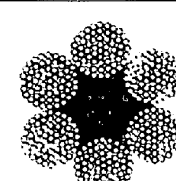
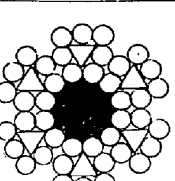
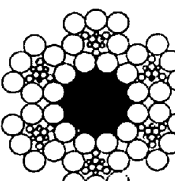
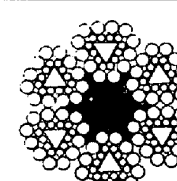
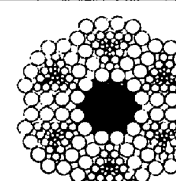
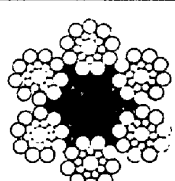
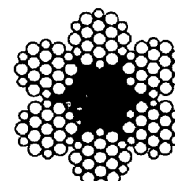
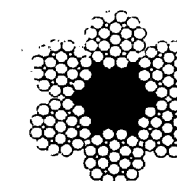
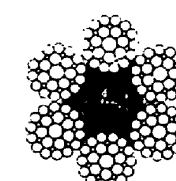
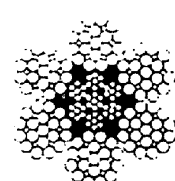
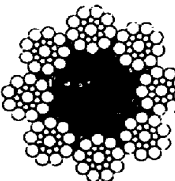
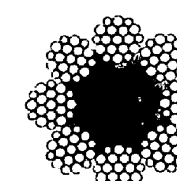
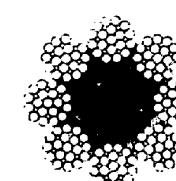
号 別	1号	2号	3号	4号
断 面				
構 成	7本線6より中心繊維	12本線6より中心および各ストランド中心繊維	19本線6より中心繊維	24本線6より中心および各ストランド中心繊維
構成記号	6 × 7	6 × 1 2	6 × 1 9	6 × 2 4
号 別	5号	6号	7号	8号(1)
断 面				
構 成	30本線6より中心および各ストランド中心繊維	37本線6より中心繊維	61本線6より中心繊維	フラット形三角心7本線6より中心繊維
構成記号	6 × 3 0	6 × 3 7	6 × 6 1	6 × F (△+7)
号 別	8号(□)	9号(1)	9号(□)	10号
断 面				
構 成	フラット形丸線三角心7本線6より中心繊維	フラット形三角心24本線6より中心繊維	フラット形丸線三角心24本線6より中心繊維	シール形19本線6より中心繊維
構成記号	6 × F { (3 × 2 + 3) + 7 }	6 × F (△+12+12)	6 × F { (3 × 2 + 3) + 12 + 12 }	6 × S (19)
号 別	11号	12号	13号	14号
断 面				
構 成	ウォーリントン形19本線6より中心繊維	フィラー形25本線6より中心繊維	フィラー形29本線6より中心繊維	フィラー形25本線6より中心7本線6より共心
構成記号	6 × W (19)	6 × Fi (19 + 6)	6 × Fi (22 + 7)	7 × 7 + 6 × Fi (19 + 6)
号 別	15号	16号	17号	
断 面				
構 成	シール形19本線8より中心繊維	ウォーリントン形19本線8より中心繊維	フィラー形25本線8より中心繊維	
構成記号	8 × S (19)	8 × W (19)	8 × Fi (19 + 6)	

表17 ワイヤロープの分類とおもな用途

分類	備考	断面図	おもな用途		
スパイラルロープ	撚り線 ロックド コイル 2本, 3本, 7本, 19本...127本 撚りなど 外層に異形線が用いられる	(1)~(6) (7)~(11)	プレストレストコンクリート, 吊り橋 (若戸大橋は127本撚り) ロープウェイ, ケーブルクレーン, 橋 ガイドロープ (立て坑)		
ワイヤロープ (Z撚りとS撚りおよびメッキと裸との区別がある) ストランドロープ (ラング撚り・普通よりの区別あり) ストランドロープ (1層) 丸ストランドロープ (麻ストランド心入り) 交互撚りロープ	6×7 6×12 6×19 6×24 6×30 6×37 6×61 その他のロープ	JIS G 3525 1964 1号 〃 2号 〃 3号 〃 4号 〃 5号 〃 6号 〃 7号	(12) 鉸山巻き上げ, 単線索道, スキーリフト (13) 一般に使用されない (14) 最も一般的に使用される. 林業, 巻き上げ等 (15) 最も一般的に使用される. 漁業土建船舶等 (16) 船舶用として一部使用されている (17) クレーン, ホイスト等の巻き上げ (18) とくに柔軟性を要求された場合に使用される (19)~(22) 7×7~7×37 は一般的な吊り橋に用いる		
	シール型ロープ ウォリント ン型ロープ フィラー型 ロープ 〃 〃 〃 その他のフ ィラー型 以上3者 の複合 型ロー プ 交互撚 り 平 行 撚 り 複 合 型 ロー プ	JIS G 3525 1964 10号, 15号 〃 6(8)×S (19) 〃 11号, 16号 〃 6(8)×W (19) 〃 12号, 17号 〃 6×Fi(19+6) 〃 13号 〃 6(8)×Fi(22+7) 〃 14号 〃 7×7+6×Fi(19+6) 6×SW(36) 6×FiS(41)	(23)~(25) (26)~(27) (28)~(34) (29) (30) (31)~(33) (35)~(36) (37)~(40)	荷役, 土建機械, 石油さく井. 8スト ランドはエレベータ エレベータ 荷役, 土建機械, クレーン等各種巻き上 げ, 林業等最近は一般に広く用いられ ている 同 上 同 上 同 上 (概して太いロープに多い) 同 上	
	フラット スト ランド ロー プ (通常 撚 り の み)	3角線入り 丸線撚り線 3角心入り コンセン トリック ロー プ 多層オー パ ル ス ト ラ ン ド ロー プ	JIS G 3525 1964 8号, 9号 同 上 スパイラルロープとオーパルスト ランドの組み合わせ オーパルストランドのみで構成す る	(42)~(41) (44)~(49) (50)~(51) (52)~(54)	ケーブルカー, 鉸山巻き上げ 用途は上記と同じであるが最近はこの 型の方が賞用されている 鉸山ケーベ式巻き上げ, 自転性が少な い 立て坑掘さく, 鉸山巻き上げ, 自転性 が少ない
	多層スト ラン ド ロー プ	ヘルクレ ス ロー プ ナフ レ ク ス ロー プ CFRC (Coter fit rope core)	丸ストランドのみで構成する. 〃 多数のストランドを同一ピッチで 撚る	(55)~(57) (58) (59)	ケーブルクレーン支索, 自転性が少な い 小直径のものに多い (吊り上げ用ロー プとして) 自転性が少ない ケーブルクレーンその他支索用
	ケーブル レイ ド ロー プ	チラー ロー プ スプリ ング レイ ロー プ ブイ ロー プ	6×7等のロープ6本をさらに麻 心を中心として撚り上げる はがね線と麻との組み合わせロー プ ストランドを麻 (マニラ) で鏡 (がい) 装したロープ	(60) (61) (62)	直径の割合に最も柔軟性に富む ホーサ 海底電線工事用



フラットロープ	フラットロープ	4本ストランドのロープを6~8条並べて带状に編みあげたロープ	(63)	編み方にシングル, ダブルの区別があり鉸山立て坑のテールロープに使用される
---------	---------	--------------------------------	------	---------------------------------------

注: JIS G 1965 に規定する航空機用ワイヤロープも構造的には上記のように分類されるが, 性能, 用途が特別なものである。  
 JIS G 1960 に規定するプレストレストコンクリートに用いるロープに2本撚り7本撚りがあるが, 性能, 用途が特別なものである。

4.5.3 用途

ワイヤロープは前述したようにその有する特長により炭抗・鉸山から鉄鋼, 機械, 林業, 船舶, 漁業, 土木建築さらに航空機などほとんどすべての産業で使用されるのでその用途は広い。

現在製造されているワイヤロープのおもな用途を表17に示す。

また最近の産業界における技術の高度化や合理化の促進とともにワイヤロープ界でも新製品, 新用途がつつぎに開発されている。たとえばノンローテイティングロープ(回転性のないロープ), タイロープ, スチールコード, ガードケーブルなどがその例である。

このほか, 最近注目されはじめた海洋開発に伴い, 深海作業用のワイヤロープとして, 小口径高強度のロープが要求され, 普通炭素鋼に [Mn], [Cr] などの強化元素を添加することにより, 200~250 kg/mm<sup>2</sup> 級のワイヤロープの開発がすすめられている。

4.6 ACSR 用メッキ鋼線について

発電所で起電した電力は高電圧に昇圧され送電線によつて都市郊外の変電所に送られるが, この送電線はほとんど ACSR と呼ばれる電線である。ACSR とは Aluminium Conductor Steel Reinforced の略称であり, 硬アルミ線をより合わせ, 中心に補強のために Zn や Al をメッキした鋼線を組み合わせた電線である。図 16 に ACSR の断面を示す。ACSR は米国 Alcoa 社が考案したもので, 1908年ナイアガラ横断に始めて使用され, また日本では 1921 年大阪一岐阜間の4カ所の河川横断に採用されたのが最初である。それまでの送電線はすべて銅が使われていた。導電率 97% の硬銅線が導電率60% のアルミ線に代わつた理由は, 第1にアルミが銅の約1/3の軽さであるということである。アルミは強度が弱いので中心に鋼線を入れて補強をし, しかも導電率の低さをカバーするために銅線の1.6倍の断面積になるように太くしてもまだ銅線よりも軽いので, 鉄塔の間隔を銅線

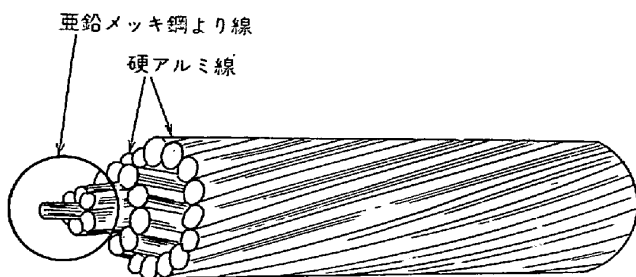


図16 鋼心アルミより線の断面

表18 最近5カ年間のACSR用鋼線の国内生産量

年 度	生 産 量
昭和 42 年	13 715 t/year
43	17 201 //
44	17 437 //
45	14 835 //
46	15 936 //
平 均	15 825 //

の場合よりも広くできる。第2の理由としては, コロナ特性のよいことである。コロナ現象とは, 高電圧になると電線の表面から電気が空気中に逃げだそうとする性質であり, 高圧送電中の電力の損失とラジオ雑音の原因となるが, これらのコロナ特性は電線の外径が大きくなるほどよくなる。前述のごとく ACSR は銅線にくらべて太いのでコロナ特性もよくなるという効果がある。さらに第3の理由としては, アルミは銅よりも安価であるということがあげられる。このような利点のために送電線建設費は銅の場合に比べて格安になり, 今や 60 kV 以上の送電線はほとんど ACSR に代わつてしまった。

ちなみに, ACSR 用鋼線の最近5カ年間の国内生産量をみると表18に示すとおりであり, 約16000t/yearとなつている。

4.6.1 種類

ACSR はアルミ導線と亜鉛メッキ鋼線との同心より線であるが, 亜鉛メッキ鋼線の特性についてはわが国でも諸外国でも規格化されている。その分類方法を大別すると次の4種類になる。

1) より線の構成による分類

図17はACSRの芯になる鋼線のより線構成を示したもので3本より, 7本より, 19本よりとあるが需要の大部分は7本よりである。

2) 素線の引張り強さによる分類

素線の引張り強さによつて, 125 kg/mm<sup>2</sup> を1種, 90

号 別	1号	2号(a)	2号(b)	3号(a)	3号(b)
断 面					
構 成	3本撚り	7本撚り	7本撚り	19本撚り	19本撚り
構成記号	1×3	1×7(a)	1×7(b)	1×19(a)	1×19(b)

図17 亜鉛メッキ鋼より線の断面, 構成および構成記号

kg/mm<sup>2</sup> を 2 種, 70 kg/mm<sup>2</sup> を 3 種に分けている。

3) 素線の亜鉛メッキ付着量による分類

より線は湿気, 塩分, 排気ガス, そのほかいろいろの腐食環境に耐えて何十年もの寿命を保たねばならないので, 素線には亜鉛メッキが施される。亜鉛は鉄に対して電気化学的に卑の金属であるので, たとえ鋼線の素地が一部露出しても, 自ら犠牲陽極となつて素地の発錆を防ぐ優れた性質をもっている。したがつてその防食効果はメッキ付着量にほぼ比例する。JIS では特A (特厚メッキ), A (厚メッキ), B (薄メッキ) の 3 種類に級別している。

4) 素線の亜鉛メッキの方法による分類

素線の亜鉛メッキ法には溶融メッキ法と電気メッキ法とがある。電気メッキ法の場合には, 亜鉛皮膜の純度が 99.8% ぐらいで高いこと, メッキの厚さをいくらにでも調整できること, 加工性がよいこと, 冷間メッキなので伸線後の特性が変化しないことなどの特長がある。

4.6.2 素材および製造法

素線用の線材は一般に寸法が 5~10 mm, 材質は SWRH 62~77A (B) が使用されている。また JIS の ACSR 用亜鉛メッキ鋼線は線材での溶接が禁じられているので製品の条長は線材重量に制約され, 大重量のコイルが要望されている。

ACSR 用亜鉛メッキ鋼線の製造工程は概略図 18 に示すとおりである<sup>18)</sup>。以下, 各工程について簡単に述べる。

線材は熱間圧延によつて製造されるが, 圧延のままでは組織が不均一であり, 冷間伸線加工には不適當であるので, 一般にパテンチング処理をする。その後, 塩酸あるいは硫酸の水溶液中に浸漬して表面のスケールを除去し, 水洗後石灰乳液などに浸漬して中和作業をすると同時に次工程の伸線の際に必要な皮膜付けを行ない乾燥す

る。酸洗いにより線材素地中に吸収された水素ガスはこの乾燥工程で放出される。最近では, パテンチングから酸洗い, および皮膜付けを一連で操作する方式を採用している工場もある。

次に伸線加工を行なうが, 伸線加工工程によつて組織は繊維化し, 引張り強さ, 硬度が増して靱性を帯びた鋼線が得られる。

伸線加工された鋼線は, 連続的に酸洗, 水洗作業を経てフラックス浴槽を通り, 亜鉛メッキ槽中に入る。フラックスは, 鋼線の表面不純物を除去し, さらに亜鉛浴に達するまでの酸化膜の生成を抑制し, 同時に亜鉛の酸化膜を排除する媒溶剤となる。

亜鉛メッキ法には溶融亜鉛メッキと電気メッキの 2 つの方法がある。溶融メッキの場合には, 均一なメッキを得るために溶融亜鉛の温度のばらつきを小さくすることが必要で, Zn 鍋の容量は (最大メッキ作業量)/(時間) の 25 倍以上が望ましい。

電気メッキの場合には, 酸性の硫酸塩とアルカリ性の青化塩の 2 つがおもなものであつて, 厚メッキにはもつぱら酸性塩が用いられる。電気メッキの予備処理は溶融メッキとほぼ同じであるが, 酸洗いとメッキの間に電解洗浄工程が入る。電解洗浄とは, 稀硫酸溶液中で高電流密度の電流を流して陽極酸洗いを行なう方法であり, 少量の酸化物でもイオン反応で溶け込むとともに表面はエッチングされてメッキの密着性が増す。

亜鉛メッキ法のほかに最近では溶融アルミメッキ鋼線も使用されるようになってきている。アルミメッキでは, 亜鉛メッキ鋼線のように ACSR の外側のアルミ導線と接触して異金属接触による流電腐食をおこすことがないため, 耐腐食性は良好である<sup>19)</sup>。しかし, 作業性が亜鉛メッキの場合よりも困難であるため, あまり使われていない。こうしてできた亜鉛メッキ鋼線をより線機でより線にすれば, ACSR の補強用中心鋼線は完成である。

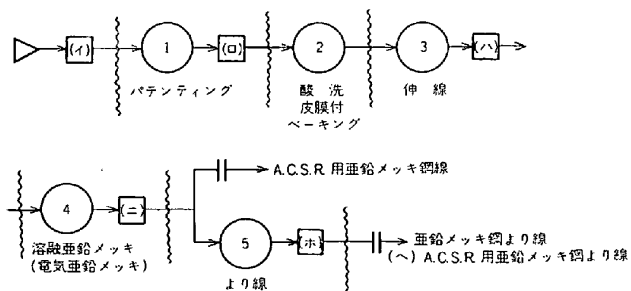
4.6.3 今後の需要

わが国の電線生産量はアメリカについて第 2 位であり年間増加率も高い。一方, 銅の資源開発は容易でないので, いきおい電線の生産に関してはアルミに道を求めなければならない。またアルミと銅の電線における使用比率は, アメリカでは 25.6%, イギリスでは 14.6% であるのに対して, 日本では 8~12% (1965 年) と低く, わが国のアルミ化も他国と同様将来進むものと思われる<sup>20)</sup>。さらに最近では, 低い送電電圧用に細物 ACSR が開発され, また海上横断などの腐食の酷い場所用には防食グリスを塗布した防食 ACSR あるいはアルミメッキ層を厚くした ACSR 用鋼線などが開発されている。

これらのことから, ACSR の需要は今後ますます増加するものと思われる。

4.7 スチール・コード

ゴム製品補強用材料としての鋼線はビードワイヤ, ホ



工程番号	検査	工程名	管理項目	品質特性	工程番号	検査	工程名	管理項目	品質特性
1	(イ)	パテンチング	炉温 温度 速度	寸法 焼入 性 引張り強さ 伸び	4	(ニ)	亜鉛メッキ	溶融 亜鉛温度 速度 電流・電圧 浴温 濃度	寸法 引張り強さ 伸び 引張り回数 均一性 巻き付け
2	(ロ)	酸洗 皮膜付 ベーク	塩酸 濃度 温度 ポイント 温度		5	(ホ)	伸線	ビッチ	引張り強さ 伸び 均一性
3	(ハ)	伸線	速度 面率 歪み	寸法 引張り強さ 伸び 回数	(ヘ)		包装	重量	

図 18 亜鉛メッキ鋼より線, ACSR 用亜鉛メッキ鋼線の製造工程図

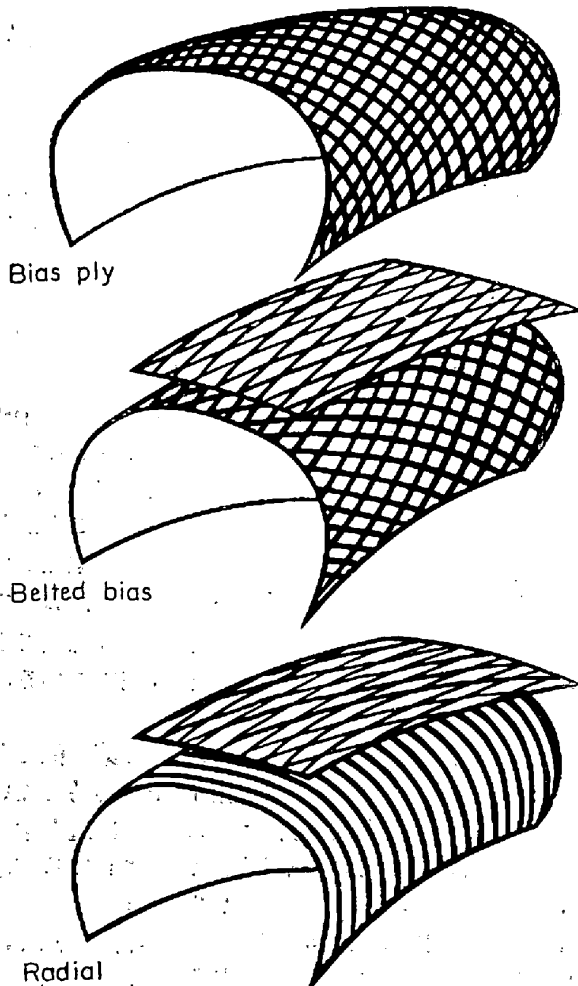
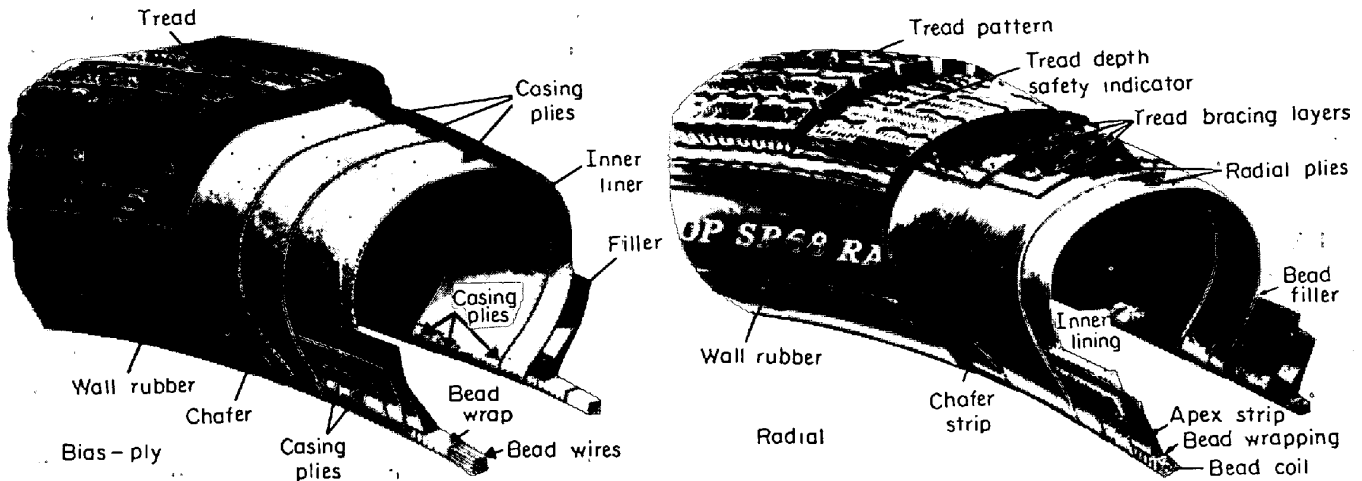


図19 タイヤの構造

ースワイヤとして従来より広く使用されていたが、近年コード用として繊維品との間に激しい競争が行なわれている。

スチールをコードとしての使用例は種々あるが、コンベアベルト用として、その優れた载荷能力と伸びが少なく長尺での使用ができるためたとえば製鉄所のコンベア

ベルトはその大半がスチールコード使用品に置き換えられている。またVベルト、タイミングベルトなどにも、その優れた強度により次第に使用範囲が拡がっている。

タイヤコードにスチールを使用することは、ヨーロッパではすでに 1940 年頃より始まつており永い実績を有しているが、1960年後半になり急激なタイヤコードのスチール化の風潮がおこり、世界的なブームといえるほどの現状である。

タイヤ用コードとしてスチールの採用は、タイヤの構造の進歩と関係しており、スチールコードを使用しているタイヤは図 19 に示すように、ベルトッド・バイアス・プライまたはラディアル・タイヤと呼ばれているものであり、従来からのバイアス・プライ・タイヤにはスチールコードは使用されない。

スチールコードを使用しているタイヤ（スチールタイヤ）にも上記のとおり大きく分類して3種類あり、ベルトとカーカス両方にスチールを使用している。いわゆるオール・スチール・タイヤ以外ではカーカス部分にはコードとして繊維を使用しており、繊維とスチールの共存が見られる。

タイヤにスチールコードを使用することにより得られる利点は次のようにいわれている。

- (1) 耐衝撃性が向上し破損しがたくなる。
- (2) 車輛の積載能力が向上する。
- (3) 燃料消費料が少なくてすむ。
- (4) タイヤの寿命が長くなる。
- (5) 牽引力が増加する。
- (6) 高速走行時の操縦性が向上する。
- (7) 高速走行時の発熱によるタイヤ強度の低下がない。

(6) ブレーキのききがよい。

などのタイヤの性能として経済性、安全性の面で大きな向上が認められており、スチールコードが現在のところ最も優れたコード材料とされている。

この認識によりスチールコードの需要は、1970 年に入

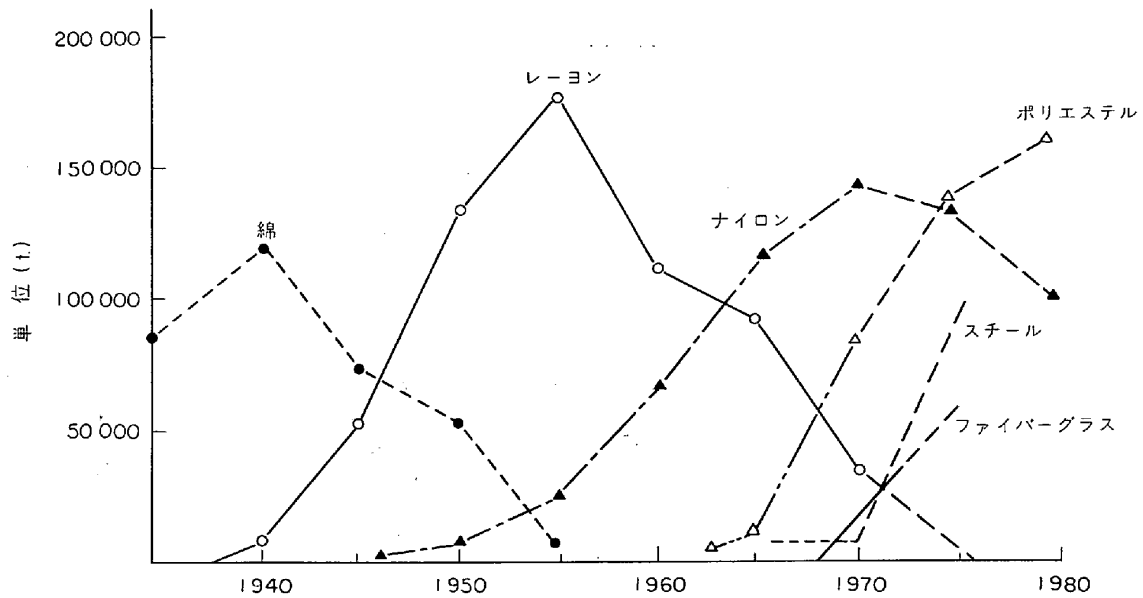


図20 アメリカにおけるタイヤコード需要予測

り飛躍的な増加を示しており、米国での需要予想として図 20 に示すとおり、1969年での年間使用量はわずか900 t であつたものが 1975 年には9万 t 以上に達すると見込まれている。

一方生産面については 1970 年で全世界生産能力は約 12 万 t/year と推定されているが、うち約9万 t はミシユラン社 (仏) の自家使用であり、その他はわずか3万 t にしかすぎず、将来の需要増に対処して各社設備能力の拡張に努めているといわれている。

生産国別で見るとベルギーが約 50% の比率を有しており、世界のタイヤ生産量一位の米国はわずか5%の比率しか有しておらず日本と大差なかつたが、設備増強が急ピッチで進められており、ベルギーの生産量にせまるものと思われる。

日本国内でも 1970 年でわずか 1500 t の生産能力であつたものが、新規に生産を開始した工場および既存メーカーの設備増強により 1973 年には1万 t を超える生産能力を有するようになると言われており、国内需要を充足し輸出も活発に行なわれている現状である。

タイヤ用スチールコードの構造例は図 21 に示すようなものである。この構造についても研究が進むと共に使用用途別にはつきりとした区分がつけられるようになりつつあり、トラック、バスなどの大型車用には7×4、7×7などの多層より構造が、乗用車用には1×3、1×5、2+7などの単層より構造が用いられている。

(註) スチールコードの構造の呼び方は次による。

(S×F)×D+(S×F)×D+(S×F)×D+F×D  
 中芯部            中間部            外部            ラッピング

S : ストランドの数

F : 素線の数

D : 素線径

タイヤ用スチールコードの製造工程の一般例は図22に示すが基本的には細物ロープの製造と大きなちがいはない。しかしタイヤ用としての使用面より次にあげる高度の品質が要求されている。

- 1) ゴムとの接着性が優れていること
- 2) 耐屈曲疲労性に優れていること
- 3) よじれやよりもどりがなく真直性の高いこと
- 4) 可撓性に富み、非反発性であること

これらの品質を満たすため、製造技術上次の点に注意が払われている。

1) 線材としてピアノ線材級の不純元素を低く押え、非金属介在物の少ない 0.7% C の高炭素線材が使用されている。

また一次伸線のコスト低減のためコントロールクーリングされた線材が用いられている。

2) 熱処理で線の酸化、脱炭などを防ぐため炉内雰囲気適切であるよう、間接加熱とかフレームレスバーナなどを有する炉により処理される。

とくに仕上伸線前の熱処理では、炉の選定と操業管理は重要である。

3) ゴムとの接着をよくするため通常仕上伸線前にブラスメッキが行なわれる。ブラスメッキの組成はゴムとの接着力、耐食性および伸線性より研究される必要があるが、一般に Cu : Zn = 7 : 3 が採用されている。ブラスメッキの方法はCN系浴による直接メッキ法とピロ燐酸系浴で Cu と Zn をメッキ後、熱拡散によりブラスを生成させる方法の2つが採用されている。

メッキ後の仕上伸線での潤滑剤の選定、撚線機工程での表面汚染の防止、保管、輸送中のサビの発生防止など接着性維持向上のための細かな配慮は不可欠であり、完全に空調が行なわれている清潔な工場が品質保証の一つ

構造	1 x 5 x 0.25	7 x 4 x 0.175 + 1	1 x 3 x 0.20 + 6 x 0.38 + 1	7 x 7 x 0.21
図解				
よりピッチmm	9.5	10/10/20/3.5	17.7/9.5/5.0	19.1/12.7/12.7
コード直径mm	0.66	1.50	1.46	18.9
コード強力kg	61.3	163.5	175.0	391.0
コード単重g/m	1.95	5.55	6.32	14.0 kg/m
索線直径mm 引張り強さkg/mm <sup>2</sup>	芯	{ 0.175 φ 255~290	{ 0.20 φ 255~285	{ 0.21 φ 250~280
	側	0.25 φ 245~275	{ 0.38 φ 220~250	
	外	{ 0.15 φ 260~295	{ 0.15 φ 260~295	

図21 スチールコード構造代表例

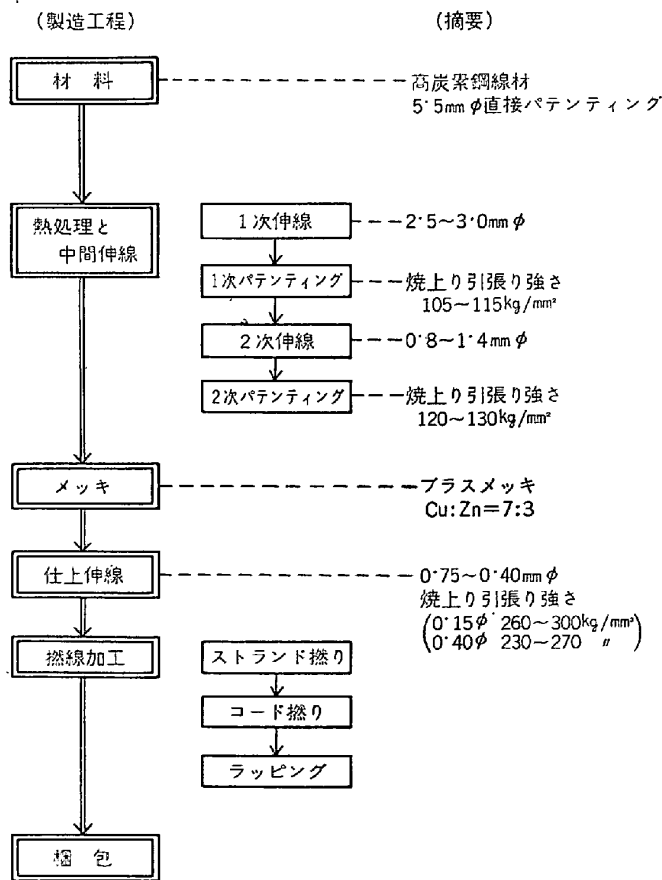


図22 スチールコード製造工程図 (代表例)

に長期間安定して生産できるかがスチールコード生産を支配する最重要点といつても過言ではないだろう。またスチールコードそのものの単位長さ当たりの重量が小さいため、撚線機一台当たりの生産性が低く、高能率の撚線機の開発は生産者および加工機械メーカーで強力に進められていると聞いている。

以上簡単にスチールコードの市場動向および製造技術上の問題点について述べたが、現状各社の技術は一般に公開されておらず、また構造そのものも流動的であり不確定な要素が多い。

4.8 溶接材料用線材

溶接材料の需要は年々その量を増し、現在わが国の生産量は年間 40 万 t を超え、自由圏では米国、ヨーロッパと共に世界を 3 分するほどになっている。

しかし、一方では溶接の対象となる材料は軟鋼をはじめとする各種の合金鋼から非鉄合金にいたるまで、多種多様にわかれ、また、溶接方法も従来の被覆アーク溶接から MIG, TIG, サブマージ, CO<sub>2</sub> などあるいはバンドアーク溶接, エレスラ, エレガス溶接などきわめて多岐にわたっており、品種が著しく増大している。

最近では CO<sub>2</sub> 溶接, ノーガス溶接あるいは硬化肉盛溶接ワイヤなどにおけるフラックスや合金成分を軟鋼フープに巻き込んだ形の線材の使用, あるいは高合金肉盛溶接における 0.4 mm t x 25~75 幅のフープを溶接ワイヤの代わりに使用する方法もある。

しかし、溶接材料に使用される原材料の主流は圧延線材であり、ここでは主として鋼線材を使用する溶接材料について述べる。

の要素でもある。

4) 撚線工程はスチールコードの最終品質を決定するもので、均一な撚り構造, 真直性, 非反発性などをいか

表19 JIS G 3503 被覆アーク溶接棒用心線用線材規格 (抜すい)

種類	記号	化学成分 (%)						
		C	Si	Mn	P	S	Cu	
1種	1号	SWRY 11	0.09以下	0.03以下	0.35~0.65	0.020以下	0.023以下	0.20以下
	2号	SWRY 12	0.09以下	0.03以下	0.35~0.65	0.030以下	0.030以下	0.30以下
2種	1号	SWRY 21	0.10~0.15	0.03以下	0.35~0.56	0.020以下	0.023以下	0.20以下
	2号	SWRY 22	0.10~0.15	0.03以下	0.35~0.65	0.030以下	0.030以下	0.30以下

一般に溶接部の機械的、物理的、あるいは化学的性質が、目的とする構造物や溶接対象鋼材に適したものでなければならぬことはもちろんであるが、溶接材料にはさらに次のような性能も要求される。

- (1) 溶接作業のしやすいこと
- (2) 溶接性のよいこと
- (3) 必要な溶接部が高効率で得られること

これらの要求が互に交絡しあつて、溶接金属の組成と母材のそれとは多かれ少なかれ異なつたものとしている。

このことは溶接金属となる心線あるいはワイヤの組成にも大きく影響をあたえている。

表19にJIS G 3503「被覆アーク溶接棒用心線用線材」規格に定められている軟鋼用心線の化学組成を示す。JISにはほかにG 3523「被覆アーク溶接棒用心線規格」があるが、これは前記G 3503の線材を線引きした心線の規格であつて組成は変わらない。

表21によれば、明らかにP、SおよびCuを軟鋼母材に比し厳しく規制している。これは溶接材料の溶接性を高めようとするもので、溶接材料の特徴を表わしたものと見える。なお現在実際に使用されている線材はこのうち1種1号または2号のみであつて、2種線材はかつて溶接作業性、能率性向上の目的で使用されたことがあるが、現在ではCが溶接性を劣化させるためほとんど使用されない。また、現実に流れている心線はこの規格の成分のみでなく、Ni、Cr、Snなどの不純物元素をきびしく規制している。

特殊鋼になるとさらに種々のこみ入つた手段が用いられる。一般に低合金鋼々材は圧延後熱処理によつて所定の性能を得たものが多い。しかし、これを溶接して構造物としたものを、母材と同じような熱処理をほどこして溶接部の性能を向上させようとする場合はほとんどない。せいぜいできる熱処理といえば応力除去焼鈍程度である。これはいわば溶接金属は鑄込みのままの鑄物と同等あるいは、これを応力除去した程度の状態と同等であると考えてよい。にもかかわらず、母材と同等の性能が要求される上良好な溶接性も要求されている。

このようなことから使用する溶接線材には軟鋼の場合

と同様、C、P、S、Cu、Sn、など溶接性をそこなう元素の添加は極力おさえるよう努力がはられるが、さらにこれとは別に、Mo、Ni、Crなどの合金元素を適宜含有せしめて、溶接金属の性能の向上をはかつている。最近では低合金鋼溶接金属の靱性の向上を目ざして、B、Tiなどの元素も用いられ、その結果、これを含有せしめた線材の圧延性が著しく劣化し、線材の製造上のトラブルの大きな原因となつている場合もある。

また、溶接部に要求される性能が近年ますます高度化し、これを満たすために必要な化学成分の種類が増すと同時にその成分範囲が著しくせばめられてきている。たとえば高張力鋼や低温鋼の強度と靱性、延性、溶接性に及ぼす各種元素の効果はいわばシーソー関係にあり、これらすべての要求を満たすためには、点にも似た狭い成分範囲としなければならなくなつてきている。

このような傾向は高合金材料にも認められる。オーステナイト系ステンレス溶接材料の溶接性は、オーステナイト中に若干のフェライトを含有せしめることによつて、その溶接材料の耐割れ性を著しく向上させることができる。しかし多量のフェライトはそれを溶接した構造物のその後の熱処理あるいは使用温度によつて炭化物の析出あるいはシグマ相脆化によつて著しく脆化する傾向を示す。このことからフェライトの含有量はきわめて狭い範囲(たとえば5~10%とか3~8%)に規制される。

オーステナイト中のフェライト量の測定には種々のむずかしさがあるが、たとえば溶着金属の溶接のままの組織と化学組成の関係を示したSchaefflerの組織図によれば、図23のD308の成分範囲の例で示したごとくである。溶着金属中のフェライトを5~10%と定めたとき、その範囲はきわめて狭く、かつ個々の成分範囲では規制できず、各成分間の関係式で規制されるという溶製上きわめて困難なものが要求されるようになってきている。

なお、オーステナイト中にフェライトを含有せしめた溶接用線材は熱間圧延性がきわめて悪く、溶製上のみならず圧延加工上も種々の問題を発生している。

以上は溶接性および機械的性能上から見た溶接材料の特徴の例を示したが、溶接作業のしやすさあるいは溶接作業の高効率化などからどのような要求がワイヤになさ

表20 軟鋼・高張力鋼および低合金鋼用サブマージアーク溶接用ワイヤの化学成分の一例

鋼種	銘柄	化学成分の一例 (%)						用途
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	
軟鋼・高張力鋼および低合金鋼	U S -29	0.11	1.09	0.28	—	—	—	軟鋼, 高張力鋼の薄板溶接
	U S -36	0.12	1.95	0.03	—	—	—	軟鋼, 高張力鋼の溶接
	U S -43	0.06	0.37	0.01	—	—	—	軟鋼の溶接
	U S -47	0.07	0.68	0.01	—	—	—	軟鋼の溶接
	U S -51	0.10	1.50	0.03	—	—	—	軟鋼, 高張力鋼の溶接
	U S -40 A	0.07	0.88	0.02	—	—	0.51	高張力鋼, 低合金鋼の溶接
	U S -49	0.09	1.58	0.03	—	—	0.52	高張力鋼, 低合金鋼の溶接
	U S -40	0.13	1.80	0.04	—	—	0.52	高張力鋼, 低合金鋼の溶接
	U S W -52	0.10	1.55	0.03	0.41	—	Cu: 0.15 Ti: 0.30	耐候性鋼板の溶接
	U S -55 S	0.08	0.86	0.18	—	—	0.31	高張力鋼の溶接
	U S -70	0.08	1.95	0.18	0.54	—	0.52	高張力鋼の溶接
	U S -80 B	0.10	2.29	0.18	0.81	—	0.89	高張力鋼の溶接
	U S -255	0.08	1.70	0.03	—	2.40	0.50	低温用アルミキルド鋼, 2.5%Ni 鋼, 3.5%Ni 鋼の溶接
	U S -3510	0.08	0.60	0.03	—	3.45	1.02	低温用アルミキルド鋼の溶接
	U S -56 B	0.10	1.66	0.16	—	0.90	0.50	ASTM A302B鋼, A-533B Class 1, 2 鋼の多層溶接
	U S -63 B	0.10	1.65	0.15	—	0.92	0.62	ASTM A533B Class 2 鋼の多層溶接
	U S -501	0.08	0.70	0.19	0.60	—	0.47	0.5% Cr-0.5% Mo 鋼用
	U S -511	0.07	0.61	0.17	1.48	—	0.52	1~1.25% Cr-0.5% Mo 鋼用
	U S -521	0.07	0.61	0.16	2.52	—	1.05	2.25% Cr-1% Mo 鋼用
	U S -521 A	0.08	0.56	0.16	2.57	—	1.08	2.25% Cr-1% Mo 鋼用
U S -531	0.07	0.52	0.20	3.29	—	1.12	3% Cr-1% Mo 鋼用	
U S 531 A	0.07	0.60	0.18	3.40	—	1.08	3% Cr-1% Mo 鋼用	
U S -502	0.07	0.45	0.20	5.50	—	0.55	5% Cr 鋼用	

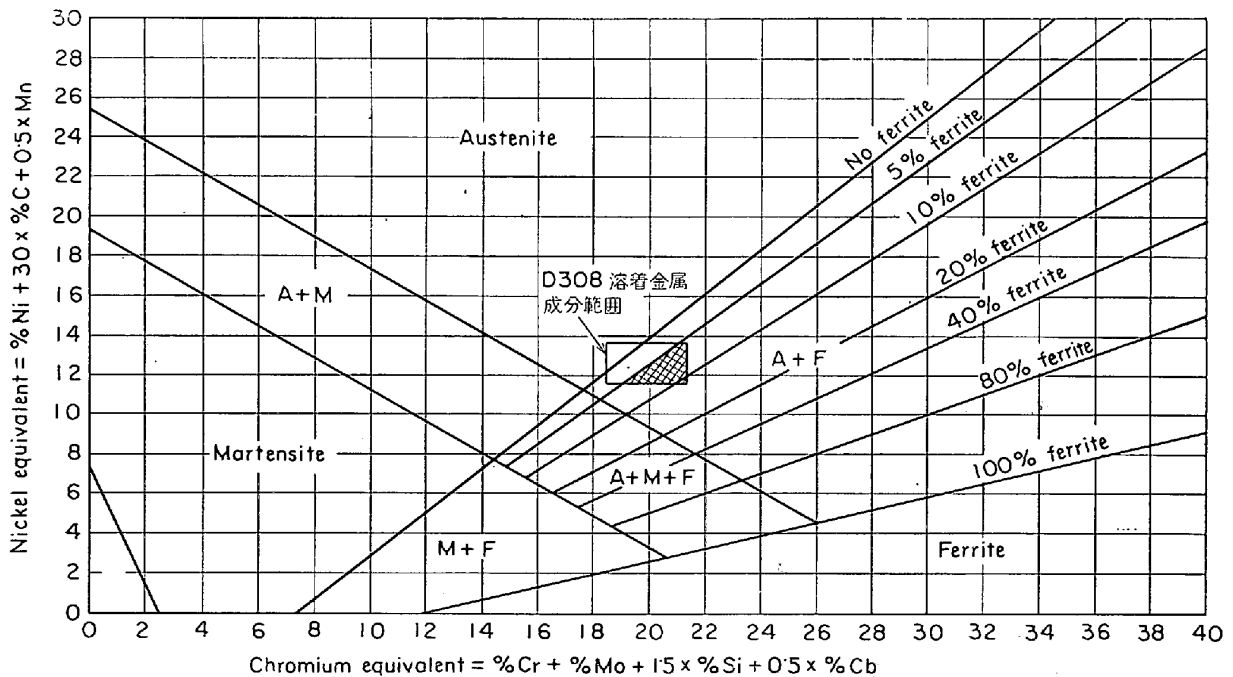


図23 Schaeffler の組織図と D308 溶着金属の成分範囲 (ただし D308 成分範囲記入に際し, C=0.06%, Mn=1.50%, Si=0.30% とした.)

れるかの例を示す。

表 20 に軟鋼・高張力鋼および低合金鋼用サブマージアーク溶接用のワイヤの化学成分の一例を示す。

この表で同じ軟鋼用のワイヤ, あるいは高張力鋼用の

ワイヤでもかなりの種類があることがわかる。

サブマージアーク溶接材料は高能率を目的とした溶接方法であるが, 溶接の対象となる母材の板厚, 溶接の層数, 開先形状, 両面から溶接するか片面から溶接するか

あるいは焼鈍の有無によつて溶接作業の方法がおのずから変わつてくる。これをいかに容易に、いかに高能率に行なうかによつてフラックスが決まり、同時にこれに適するワイヤが必要となる。その結果、表2に示すように同じ軟鋼あるいは高張力鋼を溶接するのにも種々のワイヤが必要となる。

もちろんサブマージアーク溶接ばかりでなく MIG, CO<sub>2</sub>, エレスラ, エレガス溶接など各種の高能率溶接方法があり、それぞれに適した溶接ワイヤが要求されることになる。

以上に示したように、現在でも溶接用線材には

- (1) 成分の多様化, 多品種化
- (2) 精線を困難にする合金元素の適用
- (3) より狭い成分範囲の適用
- (4) 不純物元素含有量の極低化

など種々の問題がある。

これらの傾向は今後溶接方法や新しい鋼種, 用途が開発されるにつれてますます強くなることが予想され、これに対しに能率よく、高性能の線材を、より低コストで供給できるかが今後の課題とならう。

#### 4.9 快削鋼

従来から機械部品の多くは切削加工により生産されているが、近年、機械工業を始めとする各種工業の発達はめざましく、切削加工により生産される部品およびそれに要する費用が著しく増大している。このため、とくに自動盤による大量生産方式が広く採用され、作業能率の

向上, 省力化, コストの低減などが強く要求されるに従い、切削加工をいかに合理的に行なうかが工業界にとつて重要な課題となつており、今後、快削鋼の使用はますます増加するものと考えられる。ここでは、特殊線材の主要用途の一つである快削鋼について述べる。

##### 4.9.1 種類と用途

現在使用されている快削鋼を体系的に分類すると表21のようになる。機械的特性を重要視する快削鋼には、Sを限定して添加するセミ快削鋼, Pb 快削鋼, Ca脱酸によつて得られた酸化物系介在物が工具表面に付着し、その作用によつて被削性を向上させる Ca系快削鋼の3種類がある。一方、機械的特性より被削性を主目的とした快削鋼には、Sを多量に添加するS快削鋼, S快削鋼にPb, P, Nを添加したS複合快削鋼, S複合快削鋼にTe, Se, Biをさらに添加した超快削鋼がある。また特殊用途鋼のステンレスにS, Se, Pbを添加したステンレス快削鋼も広く採用されている。

以上のように、一口に快削鋼と言つても広範囲な用途で使用されるため形状は棒材も線材もあり、快削鋼の種類によつて形状を区分することは困難である。ただ、Ca系快削鋼は使用され始めて日も浅く現在おもに棒材として使用されているが、将来線材としても使用されることが期待されている。

##### 4.9.2 規格

一般に快削鋼は需要家とメーカーの間で直接とりきめがなされ、当事者間で規格化されることが多いが、S快削

表21 各種快削鋼の分類と用途

分類	種類	快削成分	脱酸形式	基本とする鋼	おもな用途例
機械的性質に重点をおいて使用される快削鋼	セミ快削鋼	S	Si, Al キルド	各種炭素鋼 (0.15~0.55% C)	ナット, パルプ, 電機・通信機用部品, 自動車用部品
	Pb 快削鋼	Pb	同上	各種炭素鋼 (0.15~0.55% C) 低合金鋼 (SCM系, SCr系など)	時計, ミシン部品などの精密部品, 浸炭用部品, 電機・通信機用部品, 自動車用部品
	Ca系快削鋼	Ca Ca-S Ca-Pb	Caを含む特殊脱酸剤で脱酸	各種炭素鋼 (0.10~0.55% C) 低合金鋼 (SCM系, SCr系など)	自動車用部品 電機・通信機用部品
被削性に重点をおいて使用される快削鋼	S快削鋼	S	リムド Siキルド	各種炭素鋼 (0.06~0.50% C)	自動盤による小物部品圧造 ナット, ピス
	S複合快削鋼	S-P(N)	S, Mnで鎮静	低炭素鋼 (0.15% C以下)	自動盤による小物部品 ミシン部品, ジョイント類
		S-P-Pb	同上	低炭素鋼 (0.15% C以下)	自動盤切削用各種精密部品 油圧用, 通信機用部品
超快削鋼	S-P-Pb-Bi, Se, Te	同上	低炭素鋼 (0.15% C以下)	自動盤切削用各種精密部品	
特殊用途鋼に使用される快削鋼	ステンレス快削鋼	S, Se, Pb	Siキルド	オーステナイト系 303, 316, 347 マルテンサイト系 416, 420, 440 フェライト系 430	各種精密部品 家庭電気器具 家具調度品



表22 化 学 成 分

記 号	化 学 成 分 (%)					AISI 類似鋼種
	C	Mn	P	S	Sb	
SUM11	0.08~0.13	0.30~0.60	0.040 以下	0.08~0.13	—	1110
SUM12	0.08~0.13	0.60~0.90	0.040 以下	0.08~0.13	—	1109
SUM21	0.13 以下	0.70~1.00	0.07~0.12	0.16~0.23	—	1212
SUM22	0.13 以下	0.70~1.00	0.07~0.12	0.24~0.33	—	1213
SUM22L	0.13 以下	0.70~1.00	0.07~0.12	0.24~0.33	0.10~0.35	12L 13
SUM23	0.09 以下	0.75~1.05	0.04~0.09	0.26~0.35	—	1215
SUM23L	0.09 以下	0.75~1.05	0.04~0.09	0.26~0.35	0.10~0.35	—
SUM24L	0.15 以下	0.85~1.15	0.04~0.09	0.26~0.35	0.10~0.35	12L 14
SUM31	0.14~0.20	1.00~1.30	0.040 以下	0.08~0.13	—	1117
SUM31L	0.14~0.20	1.00~1.30	0.040 以下	0.08~0.13	0.10~0.35	—
SUM32	0.12~0.20	0.60~1.10	0.040 以下	0.10~0.20	—	—
SUM41	0.32~0.39	1.35~1.65	0.040 以下	0.08~0.13	—	1137
SUM42	0.37~0.45	1.35~1.65	0.040 以下	0.08~0.13	—	1141
SUM43	0.40~0.48	1.35~1.65	0.040 以下	0.24~0.33	—	1144

鋼, S 複合快削鋼は 1952 年に JIS 化され, その後の需要の増加にあいまって 1971 年に大幅に改正された. 表 22 に化学成分を示すが, AISI をベースとして内訳は S 快削鋼が 7 種類, S 複合快削鋼が 7 種類で計 14 種類である. S 複合快削鋼は P+S が 3 種類, S+Pb が 1 種類, S+P+Pb が 3 種類となっている. なお鋼種選択にあたっては表 23 に選択要領を示すが, AISI の 11××系でリムドタイプをベースにした SUM11, 12 は冷間

表23 鋼種選択要領

記 号	選 択 要 領	AISI
SUM11 // 12	冷間成形加工後穴ぐり, タッピングなどの切削を要する部品用	AISI11 ××系のリムドタイプ
SUM21 // 22 // 22L // 23 // 23L // 24	被削性向上が最重点で自動盤用, ただし高荷重, 強い衝撃のかからない部品用	AISI12 ××系
SUM31 // 31L	被削性ととも強度, 靱性を要する部品用	AISI11 ××系のキルドタイプ
SUM32	同上 (旧 JIS SUM 2 相当)	
SUM41 // 42 // 43	高強度の部品用	

成形後切削されるものに使用される. 一方 AISI の 12××系をベースにした SUM21~24L は被削性向上を最重点としており, S+P, S+P+Pb の S 複合快削鋼である. また SUM31~43 は AISI の 11××系をベースとして一般に Si で脱酸し, 比較的強度・靱性を要する部品などに使用される.

ステンレス快削鋼は表 24 に示す 2 種類が JIS 化されている. すなわち SUS 416 と SUS 303 であり, 前者が AISI 416 (マルテンサイト系), 後者が AISI の 303 (オーステナイト系)に相当する. しかしながら, 内外各社とも JIS 以外に Se や Pb を添加しさらに被削性を向上させたものを製造すると共に新しい快削鋼の開発も活発に行なわれている.

## 4.9.3 成分の影響

前述の S および S 複合快削鋼では鋼中の硫化物形状が被削性に重要な影響を与えるといわれている. たとえば Van VLACK は図 24<sup>21)</sup> に示すように硫化物の長さ/幅の比が小さいほうが, すなわち硫化物が丸いほうが被削性指数がよくなると述べている. このためには鋼中の Si を極力抑え, O をある程度高くする必要がある. とくに Si と硫化物形状の間には図 25<sup>22)</sup> に示すような関係があり, Si 量が多くなると硫化物が長く伸びやすくなる. また図 26 に S および S 複合快削鋼の切屑形態を示すが, 快削成分の添加が多くなるにしたがって切屑処理性が改善されることがわかる. 次に快削成分の影響をまとめると表 25

表24 ステンレス鋼の JIS 規格 (1972 年度版)

JIS	類似 AISI No	化 学 成 分 (%)								
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
SUS 416	416	0.15以下	1.00以下	1.25以下	0.060以下	0.15以下	—	12.00~14.00	<0.60	—
SUS 303	303	0.15以下	1.00以下	2.00以下	0.20 以下	0.15以下	8.00~10.00	17.00~19.00	<0.60	—

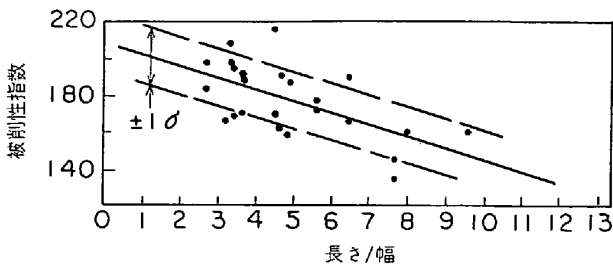


図24 硫化物形状と被削性の変化

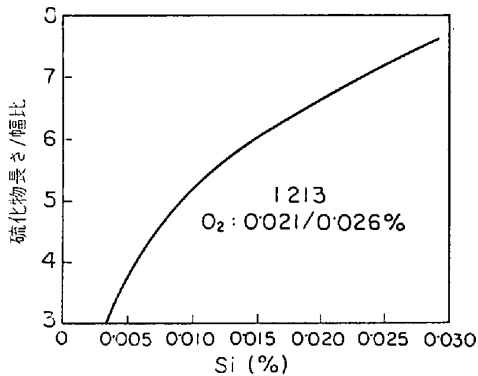


図25 硫化物形状に及ぼす Si の影響

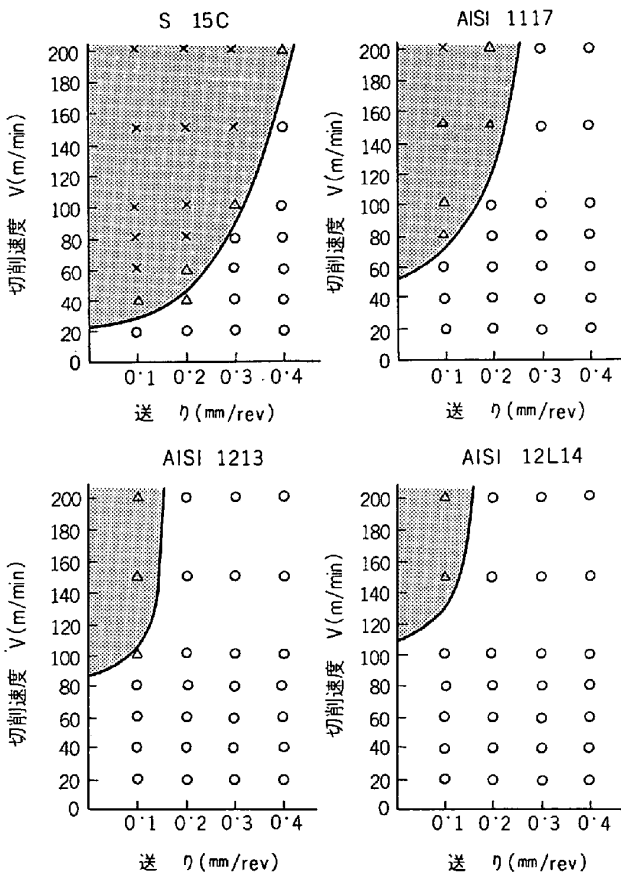


図26 SおよびS複合快削鋼の切屑形態

のようになる。Te, Se, Biなどを添加した場合、被削性は向上するが製造コストは著しく高くなるため、現在

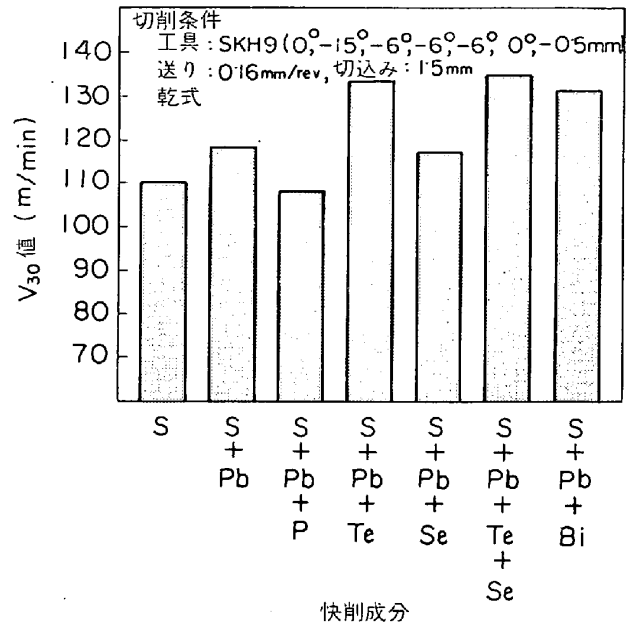


図27 低炭素各種複合快削鋼の工具寿命特性

生産量は少ない。しかしながら、図27に示すようにTe, Biなどはかなりの効果が認められるので、使用目的により十分効果を発揮するものと考えられる。

近年、ヘッディング、すえ込みなどの冷間加工による大量生産方式が発達し、快削鋼もこの用途に使用されるようになりつつあるが、被削性と冷鍛性は相反する特性であるので、これをいかに調和させるかが必要である。また冷鍛性と被削性を兼ねそなえる新しい材料の出現が強く望まれており冷鍛用快削鋼の開発を強力に進めていく必要がある。

### 5. 線材および線の用途のまとめ

表26に線材および線の用途のまとめを示す。

この中で、鉄線は、それ自体としても建築用、鉱山用やヒューム管などに使われるが、大部分はさらに加工されて釘、針金、有刺鉄線、金網、ワイヤラス、蛇籠、ねじ、リベット、ボルト、ナット、リードワイヤ、ガードロープなどの普通線材二次製品となる。針金は、亜鉛メッキ鉄線の通俗的な呼び名で、そのままでも使用されるがおもに有刺鉄線、金網などの素材および梱包・細工物などに使われ、電信線、がい装線の材料にもなる。

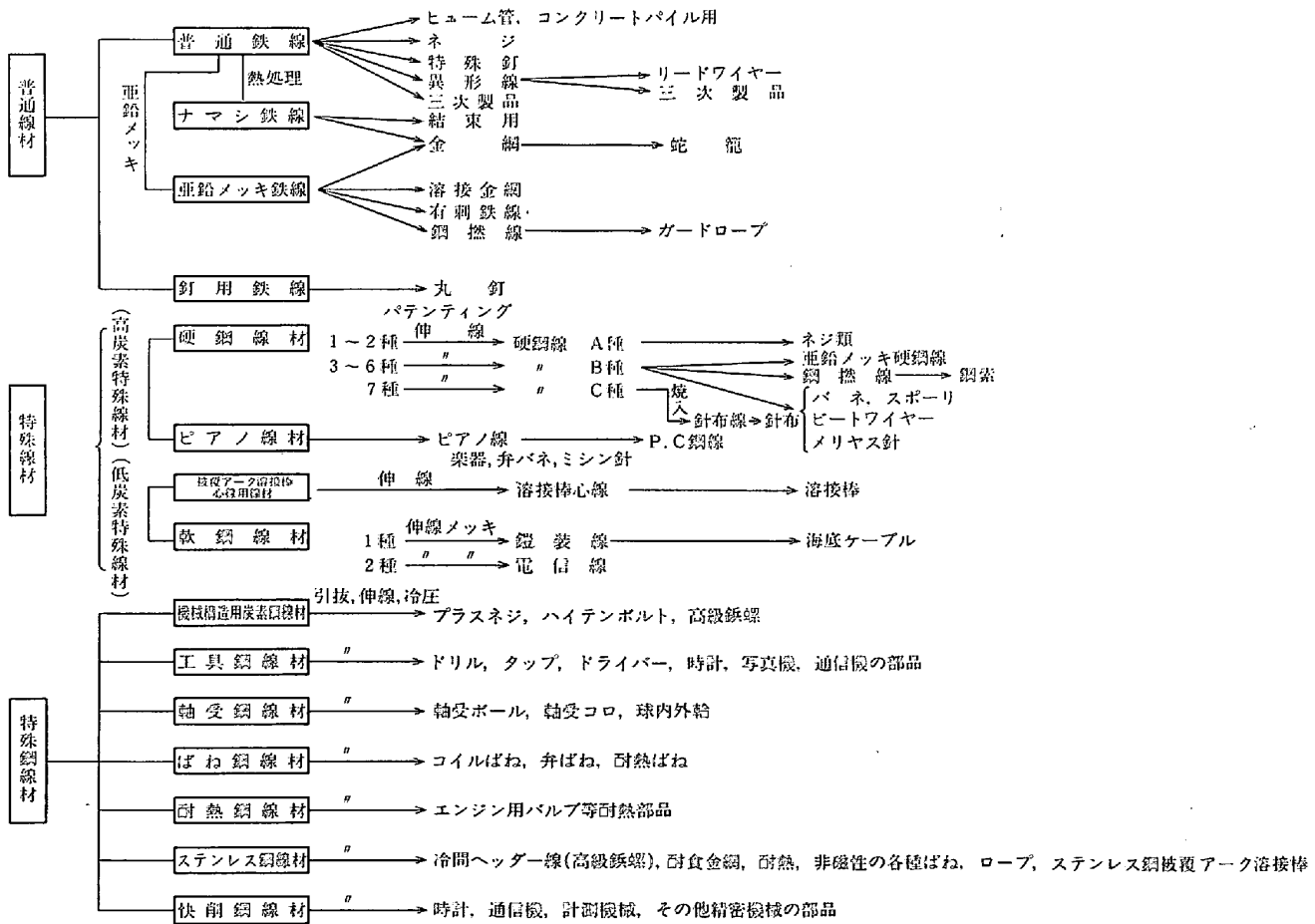
高炭素線材製品の硬鋼線は、鋼索、PC鋼線、ばね、ピアノ線、その他厳密な機械的性質が要求される製品となる。その後さらに加工されて、ガードケーブル、洋傘骨、ビードワイヤ、ケーブルハンガー、フレキシブル・シャフト、スプリングワッシャ、針類(ミシン針、紡織針)などになる。亜鉛メッキ鋼線は、鋼索や鋼より線をつくるのに使われる。

ピアノ線は、本来はピアノなど楽器弦に使用したことにより由来するが、今日ではエンジンの弁ばね用など各種の

表25 快削鋼の被削性に及ぼす快削成分の効果

快削成分	添加量	鋼中での存在状態	工具寿命への影響	切削抵抗への影響	仕上面あらさへの影響	追加コスト
S	~0.40	MnS などの硫化物として存在. 数十μの長円形	改善する	減少させる	必ずしも改善しない	低い
Te	~0.10	(Mn·Fe)-Teのテルライドとして存在. 硫化物に隣接	〃	〃	改善する	高い
Se	~0.10	(Mn·Fe)-(S·Se)の金属間化合物として存在	〃	〃	〃	高い
Pb	~0.35	単独粒子として存在. 硫化物の端部にしばしば付着	〃	〃	必ずしも改善しない	普通
Bi	~0.10	〃	〃	〃	改善する	やや高い
P	~0.15	フェライト固溶	低下させることがある	大きい影響は与えないが増大させることあり	〃	低い
N	~0.015	〃	〃	〃	改善することがある	低い

表26 線材および線の用途



高級ばねや各種機械（紡織，工作，鉱山，電気機器，通信機器）の部品のほか PC 鋼線，PC 鋼より線にもなる。

6. あとがき

線材および線は，次工程にてシビアな加工があるだけ

に、単に圧延-伸線だけでなく一貫した生産技術の結晶の産物であり、総合的な技術開発に期待するところ大である。たとえば、現在注目を浴びている転炉脱ガス→連続材による高級品種の量産化、圧延生産技術の進歩に伴う精密圧延材の直接冷間圧造材への適用、あるいは直接パテンチング材の製品化、伸線加工技術の進歩による極細線の多様化、ヘビーコイル普及に伴う省力化などはこの一例である。

さて今後の線材需要の展望として、総合的な鉄鋼需要の一翼を荷う原子力産業、住宅産業ならびに海洋開発などに対する線材の進出は当然期待されており、したがって品質的にも、耐疲労性、耐食性などますますきびしい要求がなされると思われ、今後線材および線に対して、従来以上に高度な製造技術の進歩が望まれることになると考えられる。

#### 文 献

- 1) 小笠原, ほか: ばね論文集, (1969) 14, p. 22
- 2) 山腰, ほか: 鉄と鋼, 57 (1971) 11, p. 136
- 3) 山腰, ほか: ばね技術研究会, 昭和46年秋期講演会, 1971, p. 19
- 4) 土井, ほか: 鉄と鋼, 55 (1969) 3, p. 298
- 5) 土井, ほか: 鉄と鋼, 57 (1971) 11, p. 139
- 6) 山腰, ほか: ばね技術研究会, 昭和47年春期講演会, 1972, p. 23
- 7) 山腰, ほか: R&D (神戸製鋼技報) 21 (1971) 2, p. 83
- 8) 山腰, ほか: 鉄と鋼, 57 (1971) 4, p. 115
- 9) 武尾, ほか: 鉄と鋼, 57 (1971) 4, p. 119
- 10) A. STRONG, et al.: JISI, 202 (1964), p. 102
- 11) CAMPBELL, et al.: Wire Journal, (1971) April p. 37
- 12) 裏川: R&D (神戸製鋼技報) 18 (1968) 4, p. 29
- 13) 富岡, 谷: R&D (神戸製鋼技報) 20 (1970) 3, p. 77
- 14) 土井, 富岡, 田中: プレストレスコンクリート, 12 (1970) 4, p. 34
- 15) 土井, 富岡, 山田: R&D (神戸製鋼技報) Vol. 22, (1972) 1, p. 75
- 16) 線材製品協会編: 線材製品読本 (昭和44年) p. 280
- 17) ワイヤロープ便覧編委員会編: ワイヤロープ便覧
- 18) 線材製品協会編: 線材製品読本 (昭和44年) p. 256
- 19) 平野慎吾: 電力, Vol. 51 No 6
- 20) 平野慎吾: 電気評論, 53 (1968) 6, p. 572
- 21) V. VLACK: Trans. ASM, Vol. 45, p. 741
- 22) G. B. TROUP: Bliss and Laughlin Technical Report (1964)