

PC 鋼 材

(2)

宮 川 一 郎*

2. PC 鋼 線

(1) 再び分類上の問題

a) PC鋼線とPC鋼棒 およそ分類に際してはその境界を定め難い場合が生ずるが、線と棒の区分においてもまた同様である。一般に線は細くて長くしたがって取扱上巻いてあり、棒は太くて曲げ難く自然伸直切断してあるものをいうが、直径何 mm でこれをわけるとなると流動しているといわざるを得ない。PC鋼線においてもフレシネー ケーブルが 5.0 mm 12 本が最大であったときは、BBRV の PC 鋼線も 5.0 mm であって PC 線は 5.0 mm までといえたが、その後大型の連伸機の開発、さらには遡ってその材料である熱間圧延線材の太径の長尺物がコイル取されるようになってくると、フレシネー工法では 7.0 mm 12 本ものが一般化し 8.0 mm 12 本ケーブルも使用され始めた。もちろん BBRV でも 6.0 mm, 7.0 mm が使用されるという状態で、現在実用例が 9.0 mm までであるから PC 鋼線は 9.0 mm 以下、PC 鋼棒は学会指針にあるように 10 mm 以上位に考えてよからう。

b) PC鋼線とPC鋼より線 PC鋼線をその製造過程でよったものがPC鋼より線と単純に考えて本章では2本よりは除外しておくが、日本では、国鉄のプレテンションPCまくらぎが 2.9 mm PC 鋼線を2本ずつ配置する設計が 2.9 mm 2本よりを1本入れる設計に変わっていった経緯ならびに7本よりの国内での実用化が遅れていたことなどから、分類上2本よりをPC鋼線に入れる例が残っているのは既述のとおりである。なおPC鋼より線をさらにダイスをとおしてダイフォームする例が欧州で出てきているが、これもより線の部類でさしつかえなからう。

(2) 製造法

PC鋼線の材料は、欧州である程度使用されている熱処理PC鋼線(オイルテンパーまたマルテンパーと称する特殊熱処理で引張強度を高く出すために Si, Mn 等の成分を増加した低合金特殊鋼のもの)をのぞいては、単

* 南海鋼線鋼索KK

純な高炭素鋼の組成を用いるのが世界の大部分である。

その成分範囲はC量では 70~90 の範囲であるが、ごく一部には 60 C を推す者もあり、あるいはまた軽い用途には 60 C の高炭素鋼線で代用している例もあるようである。なお成分の中で C とともに Mn が強度の決定に役立つので、C が多少低くても Mn で補うことができる。例えば JIS ピアノ線材一種乙は二種甲に置きかえることもできるので、国内メーカー製品で同一寸法の PC 鋼線で線材種類を異にすることがある。また輸出用の製品を多くつくっているメーカーでは、自然高 Mn の鋼種を扱うようにもなるわけである。

a) 製 鋼 現在までのところ世界各国の製鋼の趨勢は普通鋼の熔製は平炉で、高級鋼は特定の平炉または電気炉というのが通念であり、さらに原料の良否、製品の品質に応じて酸性、塩基性の各炉を選択してきた。PC鋼線の製鋼に関してはBSでは酸性、塩基性の双方の使用を認め、ASTM では平炉または電気炉と規定しJISのピアノ線材では特に規定を設けていないが、これはどんな炉でもできる安易な鋼ということではなく、かつては炉の制限をしていた高級高炭素熔製の技術が炉を選ばなくなるほど進歩したと考えて頂きたい。ただ最近急速な勢いで登場し近々平炉にかわって製鋼の大勢を占めると考えられる新転炉製鋼法でPC鋼材の製造ができるかどうかはまだ疑問である。すでに 60 C 線材が本法で製造され一部市場に出はじめてはいる。

つぎに一般的なPC鋼材の製鋼法について述べれば、炉は最近はほとんど塩基性耐火物で内張りした容量数十tの平炉または三相の20~30t容量のエル式電気炉が用いられる。これらの炉に精選した原料を投入し溶落後酸素を吹込んで酸化製錬を行ない、不純分を燃焼しながらC量を適当に保ち、ついで還元製錬に入って熔滓を用いて熔湯を鎮め、最後に C, Mn の成分調整の総仕上げを行ない熔滓をかき出し分離して最終脱酸剤を加えながら取鍋に熔鋼を移し、さらに配列した多くの鋼塊ケースに鑄込んで線材用キルド鋼塊をつくる。

b) 熱間圧延 冷却した鋼塊は、ケースから抜き出され熱間圧延工場へ移し加熱炉で均一に加熱したのち分塊ロールで100mm角まで熱間圧延され、必要があれば適当な長さに切断される。このようにして製造された中間品を鋼片(ビレット)と呼ぶが、一般にはこの状態で十分なきず取りが行なわれる。この方法には酸素アセチレンガスによるホットスカーフィングおよび研削砥石によるサーフェイスグライディングがある。

ビレットは、その後鋼片加熱炉に移し再び熱間圧延機にかけて13.0mm~5.5mm間の各寸法の線材とし線材巻取機でコイル状にとる。現在PC線材としては、重量

180 kg~400 kg のものが製作されているが、さらに大重量に移行する傾向にある。線材圧延機は1150°前後に加熱し変形しやすい状態にあるビレットを適当な溝型を切った2本のロール(粗ロールでは3段ロールを用いることもある)の多くの組(ほぼ二十数回のパスを行なう)をつぎつぎと通過させて次第に細い状態としてゆく。途中の断面形状は、始めは角から角であるが、やがてダイヤモンド、オーバルの急速落し系列となり最終円型に仕上げられる。圧延機自体の精度とこの溝型の設計が巻込みず、その他欠陥の少ない線材をうる第一の要因となる。なお、現在の熱間圧延機は次第に高速化し中間の加工による発熱と相まって線材の両端間の温度差をなくし、したがって重量コイルでも両端の線径の偏差は僅少であり以後の工程における強度むらの第一原因をつくらない。

現在PC鋼線用線材の熱間圧延機は、スウェーデンのモルゴルトハンメル社の全自動連続圧延機が最良といわれており、国内では神戸製鋼所および住友電工の線材圧延機がこの形式のものである。本機は元来ガレット式と称するロールスタンド間で線材にループをつくらせる方式を改良しレピーターと称する線材誘導装置を完全に活用するとともにレピーター部におけるループの発生をループレギュレーター装置で僅少におさえる構造になっている。また仕上ロールでは線材は1本とおしを特徴とし、2本、3本と同時に同一ロールで圧延することによる品質の低下を防ぐようになっており、圧延速度の上昇で1本とおしによる生産量低下をカバーしている(最終速度5.5mmで20m/sec)。もちろん仕上ロールを二系列にしてもよい。

なお、ドイツおよびアメリカでは、全圧延機を一直線上に配置し何本かの線材を併列に流し、ループを作らず一挙に圧延してゆく方法がとられ非常に大量生産が行なわれている。本方式はスウェーデン方式に比し品質が多少とも劣るとされ普通線材用といわれるが、十分の管理と注意を払えば高級線材の生産も可能である。日本では八幡製鉄の光工場がドイツ製の本方式の熱間圧延機でPC鋼線用線材を製造している。

c) 伸線 線材を受け入れた工場では、いよいよPC鋼線の製造に入るがその工程は一般的には熱処理、酸洗、伸線、ストレスレリーフの4段階に区分することができる。

1) 熱処理：線材と受け入れると普通その状態で巻ほぐしながら連続的に熱処理する。このため線材は仕上げのPC鋼線の径に応じ適当な材料径のものを選ばなければならない(例えばPC鋼線2.9mm用には7.0mm線材)。

線材自体の強度は圧延条件でいくぶん変化している

が、最終のPC鋼線の強度とは直接関係はない。PC鋼線の強度は第一にこの線材径でのパテンチングと称する連続熱処理で一定の範囲の強度に高められ(線材径でマセフェクトの差が出るが120~130kg/mm²程度の引張強度)、ついで引続く数回の冷間伸線ですらに数十%の強度上昇をおこさせ、最後のストレスレリーフで必然的にわずかの強度をあげて最終の強さをうるのである。このための第一熱処理であるから熱処理強度を左右するC、Mnの含有量はできるだけ狭く限定して選ぶ。つぎにパテンチング処理の特徴を詳述する。一般に鋼の熱処理といえば鋼を変態点を越える温度に加熱した後水か油に急に入れて冷やして強度を出させ、そののちさらに中温で焼もどしてじん性を適当に得るのであるが、この方法だと中間の強度は得難いまたむらも多い。それで、高炭素鋼を高温に加熱し数百度に加熱した物質(PC鋼線の場合は~550°の熔融鉛)に連続的に焼入れして揃った中間強度をうる方法がかなり以前に発明され、高強度鋼線の中間段階の最適の熱処理として採用されてきた。現在のパテンチング炉は通常一炉の月産能力1000t程度が多く、さらに最近では1500t炉、2000t炉が出現してきている。炉は一般には十数mの長さを持つ加熱炉と、数m長の鉛炉からなり、24~36本の線材が併列に流される。供給は線材コイルを回転架台に乗せ、これから引き出して炉をとおす方式で行なわれる。線材の長さは有限であるので、1コイルが出きらぬうちにつぎのコイルと溶接する。ただし溶接部はいくぶんかの強度低下は避け得られないので、PC鋼線ではパテンチング処理後その箇所を切断して製品への混入を防ぐ。加熱炉は入口で1000°C、出口で900°Cに保持するのが普通であるが、直火で急速に線材を加熱する炉の形式がほとんどの会社で採用されている。燃料はアメリカでは天然ガスが多いが国内では灯油を使用する所が大部分で、天然ガスとブタン併用の例も見受けられる。ただいづれにしても完全な自動燃焼制御装置の確実作動を期している。

加熱炉をとおり十分均熱された線材はただちに550°Cの鉛炉に入り強じんなソルバイト組織に変化し、やがて鉛炉出口で砂で鉛をおとしてから大型巻取機で再度コイル状にされる。巻取機は以前は横型で自然片持ちとなるので大重量は一時に巻取れなかったが、最近1tに近い量がとれる立型巻取機が採用され始めたので、ますます供給線材の大型化が要望されるに至っている。

ここでPC鋼材の金属組織について系統立ててみよう。C0.85%の高炭素鋼はいわゆる共析組織であって、顕微鏡で観察すると硬脆なセメンタイトと称する鉄と炭素の化合物Fe₃Cと軟かいフェライト鉄が交互にならんだパーライトと称する組織となっており、全体としてあ

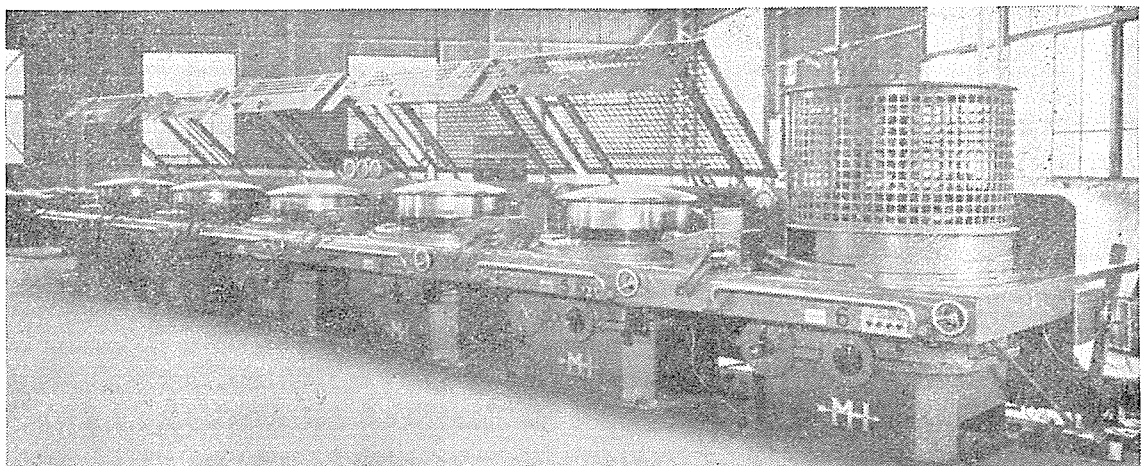
る程度強度のある材料である。組成中C量が下がるとその分だけ結晶粒界にフリーフェライトとして鉄が析出して来るが、いずれにしてもPC鋼材のインゴットまたは鋼片の組織はこのようなくぶんフリーフェライトを混えたパーライト組織である。熱間圧延後の線材の組織は冷却が早いだけにこのパーライト組織は微細化し後述のソルバイト組織に近くなる。いずれにせよこのパーライト組織でさらに冷間加工を続けて行くと、セメントイトとフェライトの間で組織のはく離が生じ、冷間加工による十分な強度上昇を見ぬ間に材料の破断を生ずる。しかしパテンチング処理を行なうとこの組織はいっそう微細化し顕微鏡下では花卉模様の一見全く異なった組織のようになる。これが中間焼入によるソルバイト組織で強度はパーライト組織より高い上に何回もの冷間加工が容易にできる。もっとも電子顕微鏡下ではこのソルバイト組織も本質的にはパーライト組織であることには変りがないから微細化が強度の上昇と冷間加工性を増したものといえよう。なお、PC鋼線を長手方向に切って検鏡すると、ソルバイト組織は冷間加工により長く伸び繊維組織を呈していることを付記する。この繊維組織は後述のストレスコロージョンをおこしがたい理由にもなる。

2) 酸洗および造膜処理：PC鋼線はパテンチング後表面の酸化スケールを酸洗で除去する。もっとも鋼線を短く切断したカットワイヤーをショットとしてショットブラスト装置による酸洗代替を行なう例もあるが一般的ではない。酸洗用の酸は温硫酸または冷塩酸のそれぞれ数%溶液のいずれかが用いられ十数分または小一時間でスケールが除去される。1回の処理量は1t程度でコイルを串にさして浸漬される。スケールがのぞかれると十分水洗しボンデライト処理と称する伸線補助の造膜が行なわれる。ボンデライジングは磷酸亜鉛を主液とした温液槽に酸洗、水洗の終わった材料を数分浸漬することによって行なわれる。この槽中でPC材料は化学反応をお

こし表層に10~15g/m²の厚みをもつ針状の磷酸鉄被膜が形成される。この造膜層は数%のポロジティがあり伸線工程中での補助潤滑剤である金属石けんがのりやすい理由になるが、いっそうの効果は層自体の強度が純鉄程度であり、冷間強加工に適することにある(塑性加工の行ない難いものは表面に柔くかつ地と別の性質のものを被覆すると容易に加工できるようになる)。

3) 伸線：線を細くするには入口の広く出口の狭いダイスと称する工具を用い、出口側から最初先だけを細くした線をのぞかせこれをチャックでくわえて引き出してゆけばよい。もちろん7.0mmを一枚のダイスで2.9mmに加工することはできない。一度に大きな断面縮小を行なうと線がきれて製造できないからであって、PC鋼線の場合は一回の断面減少率はほぼ20%で、これを数回くり返して所定の線径とする。ただダイスだけをつぎつぎとならべただけでは同様に断線してしまうので、一回ごとに伸線釜と称する円筒型の回転体に巻つけ、この釜と線との摩擦力で引抜力を与えて線引する。ダイスとモーターを取付けた伸線釜、このようなユニットをつぎつぎとならべ、あるいは一体構造としたものが連続伸線機である(写真-1)。PC鋼線の伸線機についていえばほぼ4.5mm以下用の伸線機と5.0mm以上のPC鋼線製造用の連伸機では構造を異にする。前者は蓄積型と称するもので、各釜に相当長を巻つけた後巻もどしアームおよび釜の上部につるした鼓型のローラーを介してつぎのダイスに導く形式である。線は小さな曲げ半径で曲げられる上に性質上影響は僅少であるがねじれも入ってくる。蓄積型では線をあちこち曲げるのでついでのこと最終も連続巻取機(ノンストップコイラー)をつけて線をとりに出すことが多い。現在ではコイラーは横釜に一度とった後トランクガイドを介して立わくに1t単位でとってゆく方式がさかんであるが、外国では直接立型の下取りコイラーを用いる方法ものびてきている。蓄積型連伸

写真-1 太物PC鋼線引伸用ストレートライン型連続伸線機



機の原型としてはドイツのクラトス社の連伸機が有名であるが、トランクガイドをとりつけたコイラー取連伸機はアメリカのモルガンコーナー社などが開発した。国産の昭和機械製の連伸機は後者の型まで製作しているが、外国の連伸機に比し全く遜色なく、引伸速度は 3.5 mm で 200 m を越す高速度で P C 鋼線を引伸する。

P C 鋼線の 5.0 mm 以上は普通ストレートライン型連伸機で伸線する。本形式は、中間釜に数回巻つけたただちにつぎのダイスに導かれる形式で 11.0 mm, 13.0 mm といった線材も小さく曲げる必要がなく操作が容易である。ただダイスによる断面減少と前後の伸線釜の速度のバランスがとれないと釜に線がたまりすぎたり減りすぎたりして伸線できなくなる。したがって各釜は直流電動機を具備して緊密な速度調整が自動的に行なわれる。ストレートライン型連伸機は、スウェーデンのモルゴルトハンメル社のものがその構造の簡潔さで、またイギリスのマーシャル リチャード社の連伸機が高性能で知られている。国産でも類似型態のものが製造されているが、なおいま一つの感がある。ストレートライン機ではいままでのところコイラーは使用されておらず、最終釜でできるだけ大束どりをするようになっている。

P C 鋼線の伸線中における第一の問題はダイスの摩耗と必然的におこる線の太りである。たとえ連続束どりコイラーを用いて無限に線をとれても線が太って線径公差を逸脱してはそれまでである。ダイス自体は耐摩工具材料として定評のある超硬質合金（タングステンカーバイド+数%コバルト焼結合金）を使用しているが、いくぶんとも摩耗が生ずることは防ぎきれない。線引加工は境界摩擦といわれるので、ここに前述の磷酸塩造膜処理と優れた脱水粉末金属石鹸の併用がダイス摩耗の軽減に大きく役立ってくる。粉末金属石鹸は高融点なステアリン酸カルシウムが主体であり、ときにステアリン酸バリウムまたは、ステアリン酸鉄が添加されるが、いずれにしても P C 鋼線へののりが非常によいし、摩擦係数も小さい。ただしダイスおよび線の温度が上昇すると（高速伸線では自然そうなる）潤滑被膜がぎれてダイス摩耗が激しくなるのでこれら連伸機では伸線釜は内部より水冷しまた外部では釜にそって空冷を行なう機構がとられている。ダイスの方は水冷ケースを用いる。このようにして高速伸線を行ないながら P C 鋼線を 10 t 連続伸線してもダイスを交換せずすむという作業が成立するのである。

4) ストレスリリーフ：上記の連続伸線した P C 鋼線は若干の曲りぐせを持っていて直線状態を希望する P C 鋼線の用途にはそぐわない。これを改善するには回転またはローラー伸直機をとおせばよいが、一般には本工程はストレスリリーフ処理の中間にはめこんでしまう。ス

トレスリリーフ（ひずみ解除）のストレスとは線引加工によって線に生じている内部ひずみであって、中心部は圧縮応力、外周部は引張応力という線引加工特有のひずみ分布を示し、またこの内部ひずみの存在によって応力ひずみ度曲線の比例部分が弯曲し降伏強度も相当下がってきている。ストレスリリーフの実際の方法は線引した線を連続して 350°C 程度に加熱した熔融塩浴を通過させて行なう。この処理で内部ひずみはほぼ解除され応力ひずみ度曲線部は立上りが長くなるとともに、その傾斜が安定し（ E が揃う）、降伏強度も高まりあわせて破断までの伸率が大幅に改善される。熔融塩は水溶性であるので、浴を出た線は水洗されその後保有熱で水分を乾燥させて線径の 300 倍程度の巻取釜で束取りされる。

なおソルト浴の代りに熔融鉛あるいは加熱空気を用いてストレスリリーフを行なう場合もある。

(3) 特殊な P C 鋼線とその製造法

a) 冷間引抜 P C 鋼線 ストレスリリーフを行なわない伸線加工のままの P C 鋼線であって、かつては P C 鋼線は皆この製造法によったが、ストレスリリーフの効果が認められるにおよんで姿を消していった。現在ロクラーおよびプレロード工法がこの型の P C 鋼線を用いている。なお BS 規格では永らく冷間引抜鋼線の規格 1 本できたが、1963 年からストレスリリーフ P C 鋼線との二本建としている。

b) 冷間圧延 P C 鋼線 イギリスのマーシャルリチャード社の製線用コールドフォーミングロールを用いて冷間圧延 P C 鋼線を仕上げる方法があるが、丸線の製造には採算上不適当でありデフォームド P C 鋼線の製造に用いられる。

c) インデント P C 鋼線 P C 鋼線に楕円形の凹痕を連続的につけたもので、欧州各国および台湾、インドなどでしばしば使用される。凹痕をつけるには、一般に連続伸線機の最終ダイスと上り釜の間に印痕用のダイスローラーを入れ、同一工程で簡単にインデントする方式などがとられる。ストレスリリーフはその後行なう。

d) デフォームド P C 鋼線 丸線または楕円線の P C 鋼線に凸起部を形成させたもので特殊なロール加工等を行なって製造する。

e) 半丸 P C 鋼線 P C ヒューム管用として日本で特に開発されたもので、異形ダイスあるいはダイスローラーで最終的に整形し、さらにストレスリリーフを行なう。

f) オイルテンパード P C 鋼線 欧州では相当広く用いられる P C 鋼線で、所定の寸法に仕上げたのち連続的に油焼入し、さらに中温で焼きもどす。冷間加工で強度を出すのに苦勞する太物 P C 鋼線（あるいは P C 鋼棒）はこの方法で製造する例が多い。なおレオンハルト扇状定

着に使用される楕円リブ付PC鋼線のような特殊な形状なものも熱間圧延でその形状を得たのちオイルテンパー処理で所定の強度を出す。

g) 亜鉛メッキPC鋼線 冷間引抜PC鋼線を用いて熔融亜鉛メッキを施したもので、引張強度および降伏強度の低下がともなう。代りに耐食性が優れている。亜鉛の付着量の調整はしぼり操作で行なうが、厚メッキには木炭しぼりが用いられる。

(4) PC鋼線の性能

PC鋼線を使用する各工法は、PC鋼棒、PC鋼より線をつかう工法をふくめてお互に経済性を競り合い、さらにプレストレスト コンクリート以外の鉄骨との競争に

も勝っていかなければならないのであるから自然大容量ケーブルに移行する傾向がある。大容量ケーブルは太いPC鋼線を使用することおよび強度の高いPC鋼線の使用の二点からなるが、フレシネー工法では当初太いPC鋼線に移行することから口火がきられた。フレシネーケーブルが5.0mm×12, 7.0mm×12, 8.0mm×12, 12.8mm(PC鋼より線)×12と次第に大型化していったのはその好例である。強度上昇はアメリカのローブリング社が若干断面積をあげ同時に強度をあげたハイテンションPCストランドがその動きを作ったといえよう。

日本におけるフレシネー工法実施権者である極東鋼弦コンクリート振興株式会社(FKK)は、ついに本年2月

表-3 引張特性と各種規格

線径 (mm)	規格名	線径公差 (mm)	引張荷重 (kg)	引張強度 (kg/mm ²)	降伏荷重 (kg)	降伏強度 (kg/mm ²)	伸び (%)
2.0	JIS G 3536	±0.03	650 以上	207 以上	575 以上	183 以上	3.5 以上 破断時
	土木学会 PC 指針 BS 2691 コールド ドローウン	" ±0.025	" "	" 205~220	" "	" 154 以上	" "
2.9	JIS	±0.03	1 300 以上	197 以上	1 150 以上	174 以上	3.5 以上 破断時
	土木学会 建築学会 PC 基準	" "	" "	" "	" "	" "	" "
3.25	BS ストレス レリーフ	±0.05		{175~190 {190~205		{149 以上 {161 "	
	BS コールド ドローウン	"		{175~190 {190~205		{131 " {143 "	
4.88	ASTM A-421	±0.05		WA 176 以上		WA 141 以上	4.0 以上 破断時
4.98	"	±0.05		{WA 176 " {BA 169 "		{WA 141 " {BA 135 "	{ " { "
5.0	土木学会	±0.05		165 以上		145 以上	4.5 以上
	建築学会	"	3 250 以上	166 以上	2 850 以上	145 以上	4.5 "
	FKK A	"	"	"	"	"	4.5 "
	FKK B	"	3 400 以上	173 以上	3 000 以上	153 以上	4.0 "
	BBR J	{+0.05 {-0.03	3 250 以上	166 以上	2 850 以上	145 以上	4.5 "
	BBR B	{+0.05 {-0.03	3 450 以上	176 以上	3 050 以上	155 以上	4.5 "
	SENTAB	{+0.04 {-0.02	3 140 以上	160 以上		145 以上	
BS ストレス レリーフ	+0.05		{160~175 {175~190		{136 以上 {149 "		
BS コールド ドローウン	"		{160~175 {175~190		{120 " {131 "		
6.0	BBR J	{±0.05 {±0.03	4 550 以上	161 以上	3 950 以上	140 以上	4.5 以上
	BBR B	{±0.05 {±0.03	4 800 "	170 "	4 250 "	150 "	4.5 "
6.35	ASTM	±0.05		WA, BA 169 以上		WA, BA 135 以上	4.0 以上 破断時
7.0	土木学会	±0.05		155 以上		135 以上	5.0 以上
	建築学会	"	6 000 以上	156 以上	5 200 以上	135 以上	5.0 以上
	FKK A	"	"	"	"	"	"
	FKK B	"	6 300 以上	164 以上	5 500 以上	143 以上	4.5 以上
	BBR J	{±0.05 {±0.03	6 000 以上	156 以上	5 200 以上	135 以上	5.0 "
	BBR B	{±0.05 {±0.03	6 350 以上	165 以上	5 600 以上	145 以上	5.0 "
BS ストレス レリーフ	±0.05		{150~165 {160~175		{128 以上 {136 以上		
7.01	ASTM	±0.05		WA 165 以上		WA 132 以上	4.0 以上 破断時
8.0	FKK B	±0.05	8 000 以上	159 以上	7 000 以上	139 以上	5.0 以上
	LEOBA 日本	"	"	158 以上	"	138 以上	5.5 以上

表—4 ピアノ線の線径と引強強度
(引強強度: kg/mm²)

線 径 (mm)	A 級	B 級
2.9	175~195	195~215
5.0	155~170	170~185
6.0	145~160	160~175
7.0	—	—

従来の JIS なみの規格 (A 規格と呼称) と別にほぼ 5% 強度アップの B 規格を制定し、後者をフレシネー工法用の規格と決定した。同様に日本 BBR 委員会は、従来慣用的に使用されている同工法用の鋼線品質規格 (J 規格と呼称) より 6% 強度アップの B 規格の決定を求めている。このようにして従来世界各国に輸出して各国の規格を満足してきた日本の PC 鋼材メーカーは、国内においても世界最高水準の規格での製造を行なう状態になったわけである。表—3 に荷重規格を総合しておく。

a) 引張特性 われわれは同じピアノ線材を用い最高級鋼線といわれるピアノ線をつくるが、この場合といえども線径の最大は 6.0 mm までであり、また引強強度も通常生産している A 級ピアノ線はかなり低く特殊用の B 級に相当するといえる。特に FKK および BBR の B 規格になるとピアノ線 B 級を実際に上まわる値であるので高炭素鋼を用いた PC 鋼線の強度規格としてはほぼ限度まできたように思われる。もちろん現在非常に高い製造歩留りを示し検査歩留りはほぼ 100% という PC 鋼線であるから、それなりに規格に余裕があるともいえるが、品質の安定を考えれば現在の各歩留りが重要な工業製品として当然であろう。

ただ 5.0 mm の PC 鋼線より 7.0 mm, 8.0 mm と次第に太物化し、また高強度になるにつれて一時的に歩留り低下をきたしこれをより大規模の製造設備と技術の習熟で克服していった経過も忘れてはならない。

PC 鋼線の引張試験上の注意は適当なつかみチャックを使用することと、中央部でしぼりぎれがおこるように軽く摩擦することで常用引張速度では破断強度のばらつきは僅少である。しかしながら降伏荷重の測定値は同一人が行なっても案外違うもので高精度を要求された場合は測定装置の優秀なることはもちろんのこと、測定はかなり慎重に行なわなければならない。まして 0.10% 残留伸荷重, 0.05% 残留伸荷重といった特殊数値を要求された場合は、よほど熟練した技術を必要とする。この測定上のばらつきは別とし降伏荷重そのものが各社の製造方法の相違からでてきており、引張荷重とこの降伏荷重の比 (降伏比) は各社ごとにあるいは線径ごとに差異が

ある。ただ下限をきめている各規格に落ちることはないものの I・S (インド規格) のように 80~90% と下限のみならず上限をきめるとなると問題が生ずる。

引張特性のつぎの問題は伸び率である。ストレスリリース PC 鋼線の一つの特徴は、破断までの全伸びがでてくることで PC 鋼線としては好ましい性質である。ただこの伸びの測定法に線を引張りながら破断するまでの伸びを測る ASTM 式の破断時伸び測定法と線の破断後つき合せて伸び率をはかる方法とがあり、両者の数値は異なってくる。前者で注意しなければならないことはチャックのかみ込みおよびしぼり代が入って見掛け上大きくする現象があり、これはチャック間の動きで伸びをとっていくぶん軽減することができる。破断後の突合せ伸びは局部しぼりにともなう伸びの影響が標点距離の長さに大きく響いてくる欠点がある。なお引張試験で破断部の局部しぼりが測定できるが、この値が極端に低い材料は PC 鋼線として好ましくない。もっともこの値は伸線の全断面減少率とも関係するので何%以上となかなか規定し難い。BBR 本規格では 1957 年に 35% 以上だったが、1963 年には 30% 以上と規格を緩めてきた (表—4)。

b) 屈曲および捻回特性 規定の半径に沿って PC 鋼線を 90° 曲げ、元の位置にもどし、つぎに反対の方向に 90° 曲げまた元の位置にもどす。これを破断まで続けて屈曲特性とする方法が一般に行なわれる。これは PC 鋼線の 5.0 mm 以上の材料はアンカー部で小さく曲げたり、ループエンドをつくったり、さらには波打加工を行なったりするので必要となってくる。また BBR 工法ではしぼり率とともにこの屈曲試験の値がある一定以上あれば製頭性が十分であるとして一種のじん性テストとする。しかしこの試験は装置の構造その他により数値に開きができる欠点がある。もちろん同一の試験機で行なえばじん性の多い少ないの判断にはなる。

つぎにしばしば PC 鋼線をねじり破断の回数で良否を規定することがある。PC 鋼線にはねじり応力が作用しないので試験としてはじん性試験の一種となるわけであるが、高強度鋼線に苛酷な数値でおさえる場合もあり好ましい試験とはいえない。

c) レラクセーション特性 一般に 10 時間, 100 時間, 14 日, 1000 時間等の長時間試験で常温の応力弛緩を調べる。コンクリートパイプ材料などでは加熱 (例えば 80°C) 状態でのこの数値をみることもある。現在の PC 鋼線は規定以上の応力弛緩を示すものは全くないといってよい。なお応力弛緩の詳細については紙数の都合で次回で述べることにする。