

PC 鋼 材

(4)

宮 川 一 郎*

4. PC 鋼 棒

(1) 製 造 法

PC鋼棒は、すでに総説でのべたごとく製造上から圧延、引抜、熱処理の三種類にわけることができる。また定着方式からは、ねじ定着、くさび定着およびPC鋼線のBBRV工法で見られるような製頭定着（ボタンアンカー）が行なわれており、ねじ定着および製頭定着では、製造中に鋼棒にこれらの加工を行なっておかなければならない。

PC鋼棒の組成と上記の圧延、引抜、熱処理の製造法との関連についていえば、まず圧延鋼棒は熱間圧延の密冷効果で所定強度が得られると考えられるから、断面積の大きい鋼棒では高強度と靱性をあわせもたせるために、自然PC鋼線に使用される高炭素鋼以上の材料、つまり低合金鋼組成の材料を使用する。一般にはシリコン、マンガン鋼、クロム マンガン鋼、クロム バナジウム鋼といった普通バネ鋼と称される系統の鋼種が採用される。諸国ともこの中のシリコン マンガン鋼をよく用いているので表-1 に一例を示しておく。

つぎの引抜鋼棒は、熱間圧延後冷間引抜きを行なって所定強度を得る製法であるから、組成として高炭素鋼を選んでもよいわけであるが、さらに高強度をうるために低合金鋼組成を用いがちである。熱処理鋼棒は、棒の仕上げ径状態において焼入、焼もどし処理を行なうので、高炭素鋼では強度もばらつき、じん性も劣るので、このような熱処理に適する上記の低合金鋼が用いられる。ただ日本ではこの熱処理の別形式として鋼材の表面を硬化させる高周波熱処理による鋼棒の製造も行なわれており、その場合の鋼棒のじん性は棒の中心層が受持つので、鋼材の組成としてはむしろ中炭素鋼が適している（表-2）。

したがって、上記のような組成をもつPC鋼棒は、その素材の溶製についてはその難易に応じて転炉、平炉、電気炉を用いての製鋼が行なわれる。

* 南海製線鋼索KK

表-1 シリコン マンガン鋼系 PC 鋼棒の組成例

成分	C	Si	Mn	P	S	Cu
%	0.65 ~0.75	0.60 ~1.00	1.00 ~1.40	0.030 以下	0.030 以下	0.20 以下

表-2 中炭素鋼系 PC 鋼棒の組成例

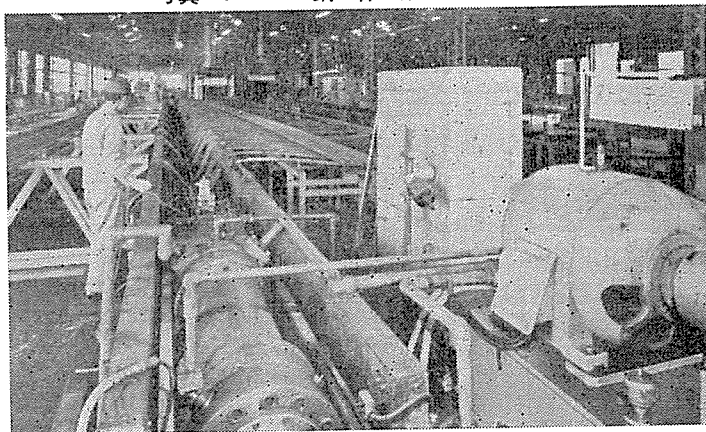
成分	C	Si	Mn	P	S
%	0.30~0.40	0.15~0.40	0.40~0.85	0.035以下	0.040以下

溶解精錬が終り、出鋼される熔鋼は铸塊（インゴット）とされるが、その後分塊ロールおよび圧延ロールにかけて棒状の形とする。もちろんこの間に材料きずは各種のきず取方法で除去される。各種PC鋼棒の製造工程はこの後から異なってくる。

a) 圧延鋼棒 圧延鋼棒をPC鋼材として用いたのはドイツから始まるが、当初は熱間圧延のままで使用されたので、材料の強度上のばらつき特に降伏強度のばらつきが往々にしてみられ、PC鋼材として緊張する場合、一定しないうらみがあったようである。しかしながら、その後圧延鋼棒を高い応力度で冷間緊張し、そこまでの材料の応力ひずみ線図をそろえてしまうことが考え出された。実際にはこの処理のあとPC鋼線の製造の際のストレスリーフ処理に似た低温処理を加えることによってさらに応力-ひずみ曲線を立たせるとともに、熱間圧延時の多少のむらによって生じている材料のじん性むら、すなわち伸び、しぼりの不均一を取りのぞいてしまう。写真-1 に鋼棒冷間緊張装置（ストレッチャー）を示すが、装置は油圧機構で、鋼棒を元の長さよりある長さだけ余分に引張ってから再び緩めるだけのものである。

ドイツでは、PC鋼棒の定着をねじ方式で行なっていたので、圧延鋼棒にいかになじを形成させるかという問題で多くの進歩が行なわれた。第一にはねじの形式であるが、旋盤にかけてバイトやダイスで切削ねじを切ったのでは鋼棒の応力はねじの谷底に相当する断面積にまで縮小されてしまうので、転造ねじ形成の方向に進んだ。

写真-1 PC 鋼 棒 緊 張 装 置



転造ねじとは、丸棒にねじ型を強くおしつけて材料に谷部をめり込ませ、山部を逆に盛りあがらせるもので、同じねじ型であっても切削ねじに比し、鋼棒の中心からねじの谷底までの距離がねじ高さの半分だけ長くなり、それだけ断面積が大きい。さらに転造という材料の長手繊維組織をきってしまわずに、加工硬化を加えるという有利な条件から、P C鋼棒程度の強度の鋼材では、ねじをつくった部分の引張力がもとの材料より低くならないという特徴が生ずる。

かつ実際の圧延鋼棒のねじ転造に際しては、圧延鋼棒には熱間圧延による黒皮が残っていて転造用のロール工具を痛めるといった問題のあるほか、圧延鋼棒の真円度および寸法精度は、ねじ転造をそのまま行なえるほど良好ではないから、まずねじ下地仕上げを行なう必要がある。ドイツのワグナー社のねじ転造盤はこのねじ下地仕上げと転造ねじ成型が一台の機械で行なえるようになっている(写真-2)。

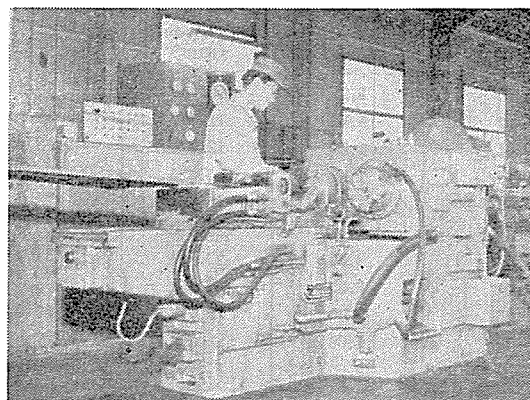
ねじ転造方式には、同じドイツのペーバー社の2個一組の大型転造ロールを回転しながら鋼棒におしつけ、端部のねじ形成を行なう方法もあるが、最近では直径30mm程度の小さなロール3個一組で歩みねじ転造を行なう上記のワグナー方式が盛んになってきている。

第二の進歩は、ねじの形状である。一般には普通の三角ねじで日本ではメートル細目系を採用し、谷底があまり深くならぬように配慮してある。ただ細目ねじになるとピッチが短くなり、緊張に手数がかかることとなるので、西ドイツのディッカーホフ社では数年前から丸底のあらいピッチの浅いねじを開発し、これを使用しており、国内にも導入されている。このねじは、この特徴以外に転造ロールの耐用寿命が長いという長所がある。

しかし一般の転造ねじではロールの消耗代をふくめてねじ形成費が高つく上に、さらにねじにはナットを付属させなければならない。このため一端だけでもこれをはぶく方法が当然考えられ、BBRV式の製頭定着がこれに利用される。もちろん、P C鋼線用の製頭機よりいっそう装置は大形化する。また鋼棒をヘアピン状に変曲し、一端の定着は屈曲部を利用して省略する方式も考え出され、この両者はP Cまくらぎで実用化されている。

b) 引拔鋼棒 引拔鋼棒は、熱間圧延された鋼棒を酸洗してスケールをのぞき、潤滑剤をつけて冷間引拔を行なうもので、一般の引拔棒鋼の製造方法と大差はない。最近では相当太い径までのバーインコイルが得られるので、連続引拔加工機械の活躍が広がっている。シュマーグ社のコンバインドマシンなどがその例である。引拔が終わると所定長に切断され、さらに低温熱処理が行なわれる。この処理の効果は、圧延鋼棒の場合と同じである

写真-2 ワグナーねじ転造盤



が、冷間引拔が行なわれているだけにストレスリーフの意味が強い。この処理で生じた鋼棒の曲りはきょう正され、つぎに前述のねじ転造が行なわれる。引拔鋼棒は寸法精度がでているだけに転造は楽になる。引拔鋼棒ではストレッチングは行なわれないが、ねじ加工後、緊張検査を行なうことによって品質が保証される。

c) 熱処理鋼棒 熱処理鋼棒は、P C鋼棒の3種、4種あるいはそれ以上の強度をうるために熱処理を行なった鋼棒で、一般には連続焼入と連続焼もどしの工程で処理する。連続焼入は油焼入である。ねじの転造方式は他の鋼棒同様であるが、鋼棒の強度があがるにつれて転造しにくくなる。

高周波P C鋼棒は、鋼棒を連続的に高周波加熱を行ないさらに急速冷却を行なうもので、熱処理条件以外に素材の炭素鋼のC%で強度の調整が行なわれる。

d) 異形鋼棒 P C鋼棒は、短い長さで使用する場合、往々異形のもが提供されることがある。材料に何条かの縦すじをいれたもの、ねじったもの、凸起のあるものなどで、定着とあわせてそれぞれ工夫がこらされている。

(2) P C 鋼棒の性能

P C鋼棒の品質および寸法については土木、建築の両学会によって規定されている(表-3, 4)。

一般にはこの規定のもが使用されているが、特定の用途に対しては他の仕様のもも現用される。DW工法の特長形状ねじ、あるいは4種を越える高強度鋼棒などである。

このうち高強度鋼棒については、割合に細い径ではP C鋼線と強度上対抗する必要もあり、また細いほど熱処

表-3 P C 鋼棒の機械的特性

P C鋼棒種別	引張強度 (kg/mm ²)	降伏強度 (kg/mm ²)	伸び (%)
1 種	80 以上	65 以上	5.0 以上
2 種	95 "	80 "	"
3 種	110 "	95 "	"
4 種	125 "	110 "	"

表-4 PC 鋼 棒 寸 法

PC鋼棒呼び径 (mm)	ねじのピッチ (mm)	ねじ有効径 (mm)	応力計算用 断面積 (mm ²)
10	1.25	9.188	66.3
12	1.50	11.026	95.5
14	1.50	13.026	133.0
16	1.50	15.026	177.0
18	1.50	17.026	228.0
20	1.50	19.026	284.0
22	2.00	20.701	337.0
24	2.00	22.701	405.0
27	2.00	25.701	519.0
30	2.00	28.701	647.0
33	2.00	31.701	789.0

上記は標準寸法であるが、実際のねじは1~2%断面積が少なくなりがちである。

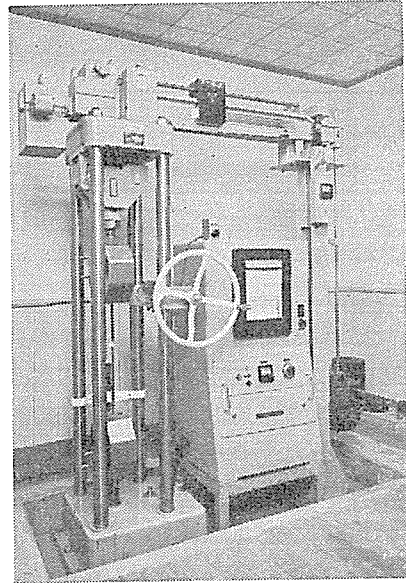
理効果がよくできるので、十分な管理を行なって製造することもできるが、太径であり強度をのみ要求するのは好ましくない。特にねじ部は、傾斜して定着されるとねじ部強度が傾斜角度の増加と反比例して低下してゆくので、太径で3種、4種鋼棒を使用する場合は端部の施工に十分に注意を払う必要がある。

つぎにPC鋼棒の応力-ひずみ線図上における特徴はひずみ度0.7%程度(棒径によっても異なるが)で降伏応力に達することであり、一面伸びしろが少ないのでジャッキ操作が楽であるが、その反面、正確に定着しなければ導入プレストレスが狂うことにもなる。PC鋼棒でくさび定着がのび悩み、ねじ定着が多い理由の一つはここにある。

なお、圧延、引抜、熱処理のおのおのについての応力-ひずみ曲線はそれぞれ特徴を有しているので、緊張時には線図を参考とされるのがよい。

PC鋼棒のヤング係数は、設計計算では $2.0 \times 10^6 \text{kg/cm}^2$ を用いる点でPC鋼線と変わりはないが、太い鋼棒は、一般鋼材に適用される $2.1 \times 10^6 \text{kg/cm}^2$ にいくぶ

写真-3 自動レラクセーション試験機



んともよっている。

最後にPC鋼棒のレラクセーションは、PC鋼線に比較し非常に少ないので、一般に設計では考慮しなくてよい。

PC鋼線のJIS規格(規格降伏荷重の80%、荷重で10時間試験後のロス3.5%以下)と同じ条件でPC鋼棒のレラクセーション試験を行なった場合1.0%以下であり、普通0.5%程度の値がよくでる。

付 記 PC鋼材の性質で従来問題とされたストレスコロージョンおよびレラクセーション長期特性については、最近ではほとんどその解明が終っており、本誌にも報告あるいは文献抄録の形で紹介されているので、本講座では割愛することとし、国内で諸外国にさきがけて開発された自動レラクセーション試験機の写真を掲げておく。 【完 了】

材料および構造物へのくり返し荷重の影響に関する会議

RILEM では、1966年9月15~17日にわたってメキシコシチーにおいて「材料および構造物に対するくり返し荷重の影響について」のシンポジウムを開催することに決定した。これはPCの設計施工に関係のある者には非常に興味あるものと思われる。

FIPとしては、このシンポジウムに正式代表を送る予定であるが、この会議出席希望者は当協会に連絡されたい。