

## PC 鋼材の歴史を ふり返って

倉 内 実



Makoto KURAUCHI  
神鋼鋼線工業（株）研究開発部第 2 研究室長

### 1. はじめに

日本において、プレストレストコンクリート構造が実用化されて約 30 年を経過し、現在土木、建築の各分野で広く利用され、今後さらにその利用範囲が広がることが期待される場所である。この間、プレストレストコンクリート部材においてもっとも重要な機能を受けもつ PC 鋼材についても、プレストレストコンクリート構造の利用の拡大とともに、その要求される品質、量などに応じて進歩を重ねてきた。日本で製造される PC 鋼材は国内の需要を満たすと同時に、長年の間、大量のものが海外に輸出され、世界各国で広く使用されてきた。すなわち量的にも質的にも PC 鋼材については日本が世界をリードしてきたとも言え、現在ほぼすべての種類の PC 鋼材が日本で製造できる状態になっている。これはこの 30 年間、国内においてプレストレストコンクリートに係わる研究者、設計者および施工者のたゆまぬ努力によりその利用範囲が拡大するとともに、PC 鋼材に対する多くの要求、助言が PC 鋼材製造者に出され、製造者もそれらの期待に応えるべく努力を積み重ねてきた結果であると考えられる。

ここでは、この 30 年間の国内における PC 鋼材の移り変わりについて使用量の推移や種類、品質の進歩について PC 鋼材規格の変遷や品質水準の現状を含めて、過去の諸先輩の文献資料を参考にさせていただきとりまとめた。

### 2. PC 鋼材使用量の推移<sup>1)~4)</sup>

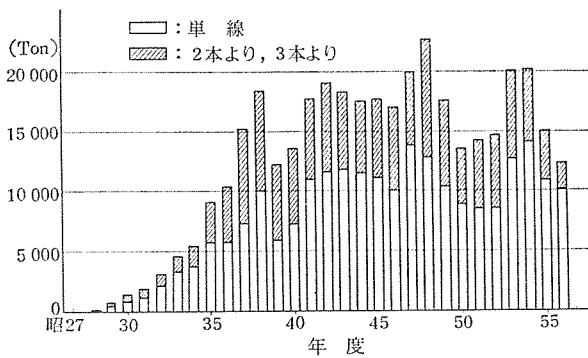
日本においてプレストレストコンクリートについての研究は、すでに第 2 次大戦以前にヨーロッパからの情報をもとに開始されており、その当時は PC 鋼材として利用されたのはいわゆるピアノ線と呼ばれる高抗張力線であったが、大戦の影響でその材料の入手が困難なこともあって、本格的には至らなかったようである。戦後軍需がなくなったピアノ線の活用方法の一つとして、PC 鋼材としての利用が検討され、実用化に向けて大きく前進することになる。昭和 26 年に石川県七尾市の長生橋が国内最初のプレストレストコンクリート橋としてつくられ、さらに昭和 29 年に国鉄の信楽線大戸川橋梁が本格的ポストテンション桁で架設されて PC 橋への利用が本格化するとともに、PC 鋼材の使用量も年毎に増加することになったようである。昭和 34 年発足したプレストレストコンクリート工業協会（現在（社）プレストレストコンクリート建設業協会）の年報によれば、PC 鋼材使用量の統計値が昭和 28 年度分から集計されている。この資料に基づいて、PC 鋼線、PC 鋼より線およ

び PC 鋼棒に大別して PC 鋼材使用量の推移をまとめたものが図—1、図—2、および図—3である。図—1では通常の PC 鋼線（インデント鋼線を含む単線）と、2本より線および3本より線の2つのグループに分け、図—2では7本より線の12.4mm以下のものとそれ以外のより線に、図—3のPC鋼棒については、直径13mm以下の細径鋼棒とそれ以上の太径鋼棒を区別して示している。これらを見ると量的な推移と同時に、使用されるPC鋼材の種類毎の比率も変化してきていることがわかる。初期の昭和30年代後半まではPC鋼線の使用が主流であり、昭和40年代に入ってPC鋼より線の量が急増し、PC鋼棒も徐々に増加してきている。PC鋼材の使用量はプレレストコンクリート構造物の工事量に左右されることは言うまでもないが、種類毎の推移にお

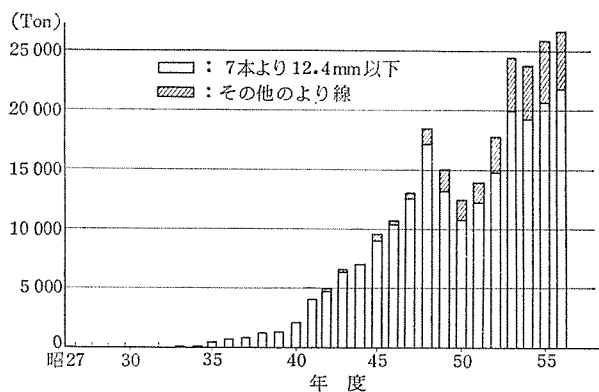
いては各種PC工法との関連、あるいは特定の用途に特定の鋼材が使用されるということも大きく関係している。PC鋼線の中で2本より線および3本より線の比率が長期にわたって高いのは、国鉄のプレテンション方式のPCまくらぎに大量に使用されてきたためである。昭和40年代に入ってPC鋼より線の使用量が増加しているのは、PC鋼より線を使用する各種ポストテンション工法が外国から導入され普及していったことと、構造物の大型化に伴ってPC鋼材も太径化、高強度化が要求されるようになったことによるものと考えられる。図—2でその他のより線として区別したのものには7本より12.7mmや15.2mm、さらに19本よりの17.8mm～21.8mmなどが主体であり、最近数年はこの種の太径、高強度のPC鋼より線の使用が増加する傾向にある。以上PC鋼材の使用量の推移について見たが、図—1～図—3の集計に含まれないものとしてPCパイプやPCポールに用いられる異型細径PC鋼棒およびインデントPC鋼線、さらにはヒューム管等に使用されるPC硬鋼線など特定の用途に使用されるPC鋼材もあり、それらを含めると現在国内で使用されるPC鋼材の量は年間15万トン以上になっている。

### 3. PC鋼材の種類と製造方法の推移<sup>3)～8)</sup>

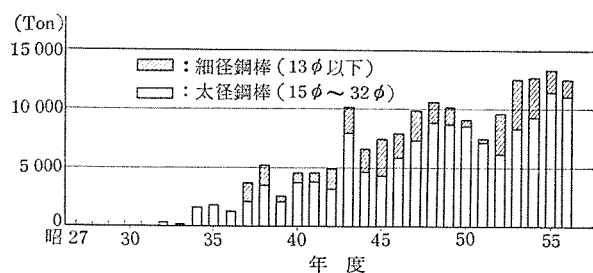
PC鋼材の種類は、前述のように大別してPC鋼線、PC鋼より線、PC鋼棒の3種類になるが、それぞれの種類の中でも、プレレストコンクリート構造の利用範囲の拡大に伴って多種多様なものが開発されてきている。それらPC鋼材の製品分類をそれぞれの製造方法と関連づけて整理したものが、図—4および図—5である。PC鋼線とPC鋼より線は、その材料、製造方法としては同じ分類に入るものである。初めにも述べたように、国内でプレレストコンクリートが実用化された初期にPC鋼材として使用されたのは、当時すでにバネ用材料として製品化されていたピアノ線であり、現在のPC鋼線、PC鋼より線の製造方法も基本的には当時のピアノ線の製造方法と同じである。ただ一つ大きく異なる点は図—4の工程の中のブルーイング処理がピアノ線では行われなかったことである。この処理は冷間の伸線加工で所定の寸法、強度に仕上げられた鋼線を最終工程で300℃～400℃の温度に短時間加熱して加工歪を除去する処理である。図—6はブルーイング処理の有無による応力-歪曲線の違いを模式的に示したもので、ブルーイング処理なしの伸線加工のままの材料に比べ、処理された材料は弾性限や0.2%耐力（降伏荷重）が高くなり、また破断時の伸びも大きくなる。さらにリラクセーション特性もブルーイング処理によって向上することが



図—1 PC鋼線の使用量推移



図—2 PC鋼より線の使用量推移



図—3 PC鋼棒の使用量推移

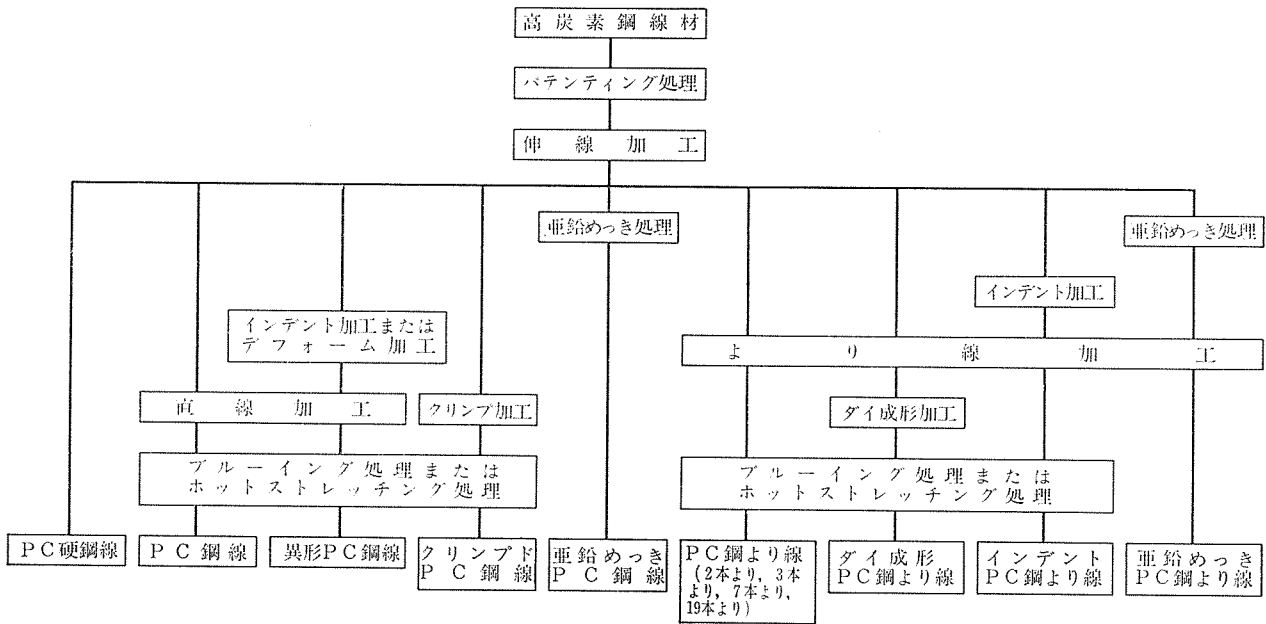


図-4 PC鋼線およびPC鋼より線の分類

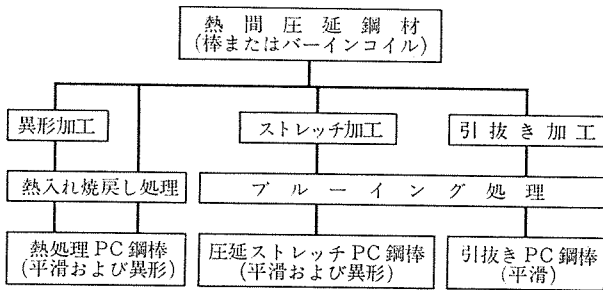


図-5 PC鋼棒の分類

わかり、現在では特殊なものを除いてはすべてのPC鋼線、PC鋼より線に適用されているが、当時は国内ばかりでなく英国あたりでもブルーイング処理なしの材料が使用されていたようである。PC鋼より線は細いPC鋼線を複数本より合せることによって、1本あたりの破断荷重が大きくかつ柔軟性があるため使い易いPC鋼材としてヨーロッパで最初に使用が考えられ、1950年代中頃にアメリカにおいて大量生産方式のプレテンション部材に使用されるようになって飛躍的に発展したものである。製造方法として、従来からあったワイヤロープなどのより線技術が適用できることから国内のPC鋼材製造会社でもいち早く製造されるようになり、アメリカを主体にした輸出が多く行われたが、先の統計資料でもわかるように国内では昭和30年代後半までは、その使用量はわずかなものであった。その後もPC鋼より線についての高強度化、太径化は、アメリカ向けの輸出のために製造メーカーが開発していったものが、国内でも徐々に利用される形をとってきたと考えられる。ただ19本より線については英国やオーストラリアの規格にもあった

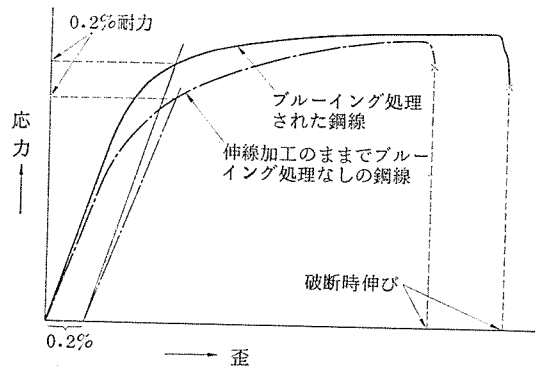


図-6 ブルーイング処理の有無による応力-歪曲線の比較

が、日本では昭和47年頃より高架橋などのプレテンション桁の横締め、その扱い易さなどの点から従来の太径PC鋼棒に代わって使用されるようになったもので、その後他の用途にも利用され、使用量も増加しつつあり、日本独特のPC鋼材とも考えられる。

写真-1に現在使用されている主なPC鋼線、PC鋼より線の例を示しておく。また写真-2は図-4の中のダイ成形PC鋼より線の例で、通常の7本よりPC鋼より線より1本あたりの強度が約15%高くなるものである。

PC鋼棒については、当初からヨーロッパのものを参考に製造メーカーそれぞれが独自の製造方法を検討し、昭和30年代初期にほぼ図-5に示されるような現在の製造方法が確立され、規格としても当時の材料試験協会のPC構造研究会が制定した鋼棒使用PC設計施工指針でその最小保証値がいち早く規定された。鋼棒の中でも細径で焼入れ焼戻しの熱処理方式の製造方法は、当初

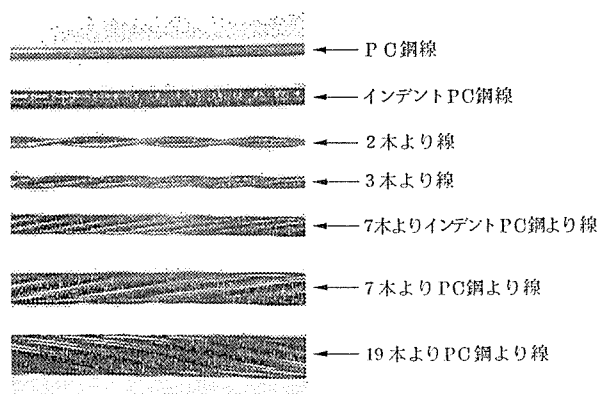


写真-1 PC 鋼線, PC 鋼より線の例

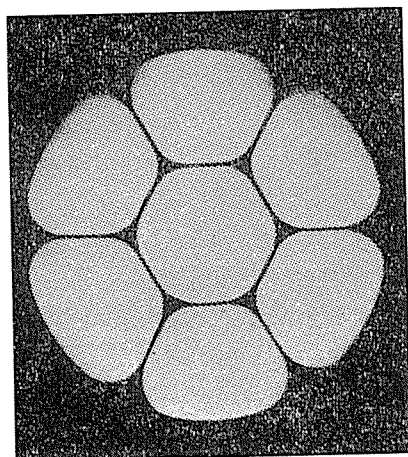


写真-2 ダイ成形 PC 鋼より線の例 (コンパクトストランド)

PC 鋼線の製造にも用いられたが、遅れ破壊に対する感受性が強いことから中止されたものが、ポストテンション方式のコンクリートまくらぎやその後プレテンション方式のコンクリートパイプ用として高強度が要求される特別の用途に対して製造方法等に工夫がこらされて製造されるようになったものである。また、この間 PC 鋼材メーカーにおける材料や製造技術の改善も種々行われ、用途や要求品質の拡大に対応するとともに、品質の向上も顕著なものがあったと考えられる。PC 鋼線, PC 鋼より線では素材となるワイヤロッドの品質向上や大束化,あるいは伸線工程やより線工程の高速化,さらには工程の連続化などが順次進められ,PC 鋼棒についても材料成分の検討による品質改善や製造方式の改良などが行われてきた。

#### 4. PC 鋼材の特性に関する変遷<sup>4)~19)</sup>

##### 4.1 強度特性

PC 鋼材として要求される最も重要で基本となる特性は、強度が高くしかも弾性限あるいは降伏点が高いことである。プレストレストコンクリートの研究初期に使用された鋼材が軟鋼材料であったため成功しなかったのも

この点にあり,その後,引張強さが  $160 \text{ kg/mm}^2$  以上の高強度のピアノ線が利用されるようになってプレストレストコンクリートの実用化が急速に進んだと考えられる。国内で PC 鋼材の使用が始まってから今日までの推移を見ると,PC 鋼線,PC 鋼より線で現在使用されている鋼材で最も強度が高いものでも引張強度  $195 \text{ kg/mm}^2$  級であり,PC 鋼棒でも昭和 33 年当時すでに現在の JIS 規格と同程度の強度のものが製造されていたことから考えると,鋼材の単位強度としての進歩はそれほど顕著なものではない。表-1 は昭和 30 年に土木学会のプレストレストコンクリート設計施工指針が制定され,その中で PC 鋼線の機械的性質として規定されたもので,これが国内で PC 鋼材が規格された最初のものである。つぎに表-2 は昭和 35 年にプレテンション工法に用いる PC 鋼線,PC 鋼より線の JIS が初めて制定された時の品質を示すものである。この JIS はその後昭和 46 年に全面的見直し改訂が行われ,学会基準や示方書あるいは各種ポストテンション工法ごとの規定に基づいて使用されていた鋼材の主なものが含まれ,さらに昭和 56 年追加改訂が行われ,現在表-3 に示すような強度特性のものが規定されている。これらの推移を見ても PC 鋼線の強度としては,初期には引張強さが  $200 \text{ kg/mm}^2$  以上の現在のものよりむしろ高強度の材料もすでに使用されていたようである。しかし前項で述べたように当時はブルーイング処理が行われていなかったため降伏点強度や伸び特性の面では十分なものであったとは言

表-1 PC 鋼線の品質

(昭和 30 年土木学会制定  
プレストレストコンクリート設計施工指針)

直 径 (mm)	引 張 強 度 ( $\text{kg/mm}^2$ )	降伏点応力度 <sup>1)</sup> ( $\text{kg/mm}^2$ )	伸 び <sup>2)</sup> (%)
1.0	240 以上	190 以上	1.5 以上
1.6	225 以上	180 以上	2.0 以上
2.0	215 以上	170 以上	2.5 以上
2.9	195 以上	165 以上	3.0 以上
5.0	165 以上	140 以上	4.5 以上
7.0	155 以上	130 以上	5.0 以上

- 1) 降伏点応力度は残留歪が 0.2% の応力度とする。  
2) 伸びの測定長は 100 mm とする。

表-2 PC 鋼線, PC 鋼より線の品質  
[JIS G 3536-1960]

呼 び 名	引 張 強 さ ( $\text{kg/mm}^2$ )	0.2% 永久伸び に対する応力 ( $\text{kg/mm}^2$ )	破断時伸び (%)
2.0 mm	207.0	183.1	3.5
2.9 mm	197.0	174.2	3.5
2.0 mm 2本より	207.0	183.1	3.5
2.9 mm 2本より	197.0	174.2	3.5
7本より 9.3 mm	176.4	150.2	3.5
7本より 10.8 mm	176.4	150.8	3.5
7本より 12.4 mm	176.5	150.7	3.5

表-3 現在の PC 鋼線, PC 鋼より線の強度特性  
[JIS G 3536-1981 解説表]

記 号	呼 び 名	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	耐 力 (kgf/mm <sup>2</sup> )
SWPR 1 SWPD 1	2.9 mm	195 以上	175 以上
	3.5 mm	170 以上	150 以上
	4 mm	170 以上	150 以上
	4.5 mm	165 以上	145 以上
	5 mm	165 以上	145 以上
	6 mm	160 以上	140 以上
	7 mm	155 以上	135 以上
	8 mm	150 以上	130 以上
9 mm	145 以上	125 以上	
SWPR 2	2.9 mm 2本より	195 以上	175 以上
SWPR 7A	15.2 mm を除く 7本より線	175 以上	150 以上
	7本より 15.2 mm	165 以上	140 以上
SWPR 7B	全 呼 び 名	190 以上	160 以上
SWPR 19	19本より 17.8 mm	190 以上	160 以上
	19本より 19.3 mm		
	19本より 20.3 mm	185 以上	160 以上
	19本より 21.8 mm		

(備考) 耐力とは、0.2% 永久伸びに対する応力をいう。

えず、その後の JIS 規格ではその点の検討が行われ、強度特性にも修正が加えられていったものである。

#### 4.2 リラクゼーション特性

プレストレストコンクリート部材にとって、当初与えられたプレストレスが長期にわたってできるだけ低下せず維持されることが重要である。プレストレスの減少の原因の一つは、コンクリートのクリープや乾燥収縮による部材の縮みに伴って PC 鋼材の引張ひずみが減少し弾性的に鋼材の応力が減少することであるが、クリープ現象による塑性ひずみの増加により PC 鋼材の引張応力が低下することも大きな要因となる。この現象をストレスリラクゼーションと称し、PC 鋼材にとって重要な特性であることは現在では当然のこととされているが、プレストレストコンクリートの実用化初期にはこの点が一つの障害になっていたと言える。このリラクゼーション特性についても製造工程におけるブルーイング処理が有効であることがわかり、日本でも初期の一時期にはリラクゼーション特性が現在に比べると十分でないものも使用されたが、その後はブルーイング処理が一般化して大幅に改善されたものになった。さらに PC 鋼線や PC 鋼より線のリラクゼーション特性を改善する方法として研究され、実用化されたのがスタビライジング処理（ホットストレッチング処理とも言う）である。これはブルーイング処理が単に 350~400°C の温度に短時間加熱するだけであるのに対して、同様の温度に加熱すると同時に引張力を与えて処理する方法で、1960 年代にイギリスで開発され、日本でも昭和 30 年代終りから 40 年代に

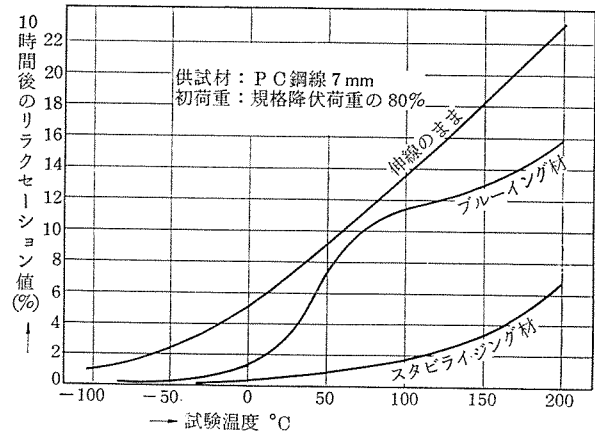


図-7 PC 鋼線のリラクゼーション値と温度の関係

かけて PC 鋼材メーカーで研究開発が行われ実用化されたものである。図-7 は PC 鋼線のリラクゼーション試験結果の一例で、ブルーイング処理されないもの、ブルーイング処理した材料およびスタビライジング処理されたものについてリラクゼーション値と温度の関係を示すものである。3 種類の鋼材の間で常温におけるリラクゼーション値に大きな差があると同時に、スタビライジング処理された鋼材は高温においてもリラクゼーションが小さく、ブルーイング処理されたものに比べて 1/3~1/5 のリラクゼーション値になることがわかる。このスタビライジング処理された PC 鋼線あるいは PC 鋼より線は、現在低リラクゼーション PC 鋼材として世界的には規格化も進み、特にヨーロッパではプレストレストコンクリート部材の設計段階からその特性を考慮した設計が行われるようになってその使用量が増加している。日本では昭和 50 年に改訂された日本建築学会のプレストレストコンクリート設計施工規準や土木学会で昭和 53 年に制定されたプレストレストコンクリート標準示方書でその取扱いが示されているが、現在のところ従来のブルーイング処理材である普通リラクゼーション材と低リラクゼーション材を設計上区別して使用することは一般化していない。しかし、原子炉格納容器 (PCCV) や高温養生される穴あきコンクリート床版、PC パイルなどの部材への適用は昭和 50 年代に入って進んでおり、最近ではフレッシュ工法の PC 鋼材規格にも規定され、今後その使用量は増加していくものと予想される。

#### 4.3 耐腐食性および耐力腐食特性

PC 鋼材は、実用状態においてはコンクリートあるいはグラウト、モルタルによってその表面が覆われる形であるので、基本的には使用中に鋼材が腐食する心配は少ないと考えられている。しかし、コンクリートにひびわれが生じたり、グラウトが不完全な場合など PC 鋼材が腐食雰囲気さらされる場合もあり、PC 鋼材の腐食に

対する注意も耐久性、安全性の面から重要な問題の一つである。PC 鋼材はその切断荷重の 70% 近い高い緊張力が常に作用しており、PC 鋼材の切断はプレストレストコンクリート部材の性能の低下に直接つながるものであるので十分な注意が必要である。大きな応力が常時作用している鋼材がある期間経過後、突然脆性破断を生じることがある。この現象は遅れ破壊あるいは応力腐食といわれるもので、PC 鋼材についても、その使用条件から見て、このような現象に対する感受性が低いことが必要である。各種 PC 鋼材の中でも、焼入れ焼戻し処理によって製造される PC 鋼材は、冷間加工材に比べて遅れ破壊や応力腐食に対する感受性が大きいことは古くから認識されており、アメリカのように初期に熱処理 PC 鋼材で問題が生じたため、その後現在に至るまでその使用を禁じている国もある。図-8 は焼入れ焼戻し材であるオイルテンパー線と冷間加工材である PC 鋼線について応力腐食加速試験を行った結果を示すものである。焼入れ焼戻し材の場合、その強度が  $120 \text{ kg/mm}^2$  以上になると遅れ破壊感受性が特に高くなるのに対して、冷間加工材の PC 鋼線あるいは PC 鋼より線は強度が  $150 \sim 200 \text{ kg/mm}^2$  の高強度であるにもかかわらずはるかに感受性が小さいものである。したがって、日本において初期に製造された熱処理 PC 鋼線はその後使用されなくなり、現在は前述のとおり PC 鋼棒の一部に使用されているのみである。世界的にみても一部の国を除けば熱処理 PC 鋼材の使用量は限られたものになっている。

PC 鋼材の耐食性の向上の方法としては、図-4 にも示した亜鉛めっきした PC 鋼材の使用も一つの方法であるが、国内では今のところごく一部の特殊な用途に使用される以外一般的には使用されていない。しかし、近年コンクリート用の細骨材に海砂の使用が増えたり、海岸地帯の構造物に塩害の被害が見られるようになってきている状況を考えると、PC 鋼材自体の耐食性の向上は今後の

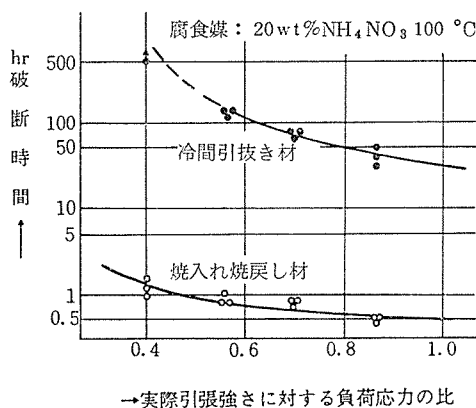


図-8 冷間引抜き材と焼入れ焼戻し材の応力腐食試験結果の比較

大きな課題になると思われ、亜鉛めっきを含めためっき PC 鋼材やプラスチック材料を被覆する方法などが検討されていくと思われる。

一方、ポストテンション工法、主として建築の分野では、あらかじめグリースやアスファルトなどの防錆材料を塗布した PC 鋼材を用いて、コンクリートとの付着を与えずに使用するアンボンド工法がある。この方法は約 25 年ほど前に米国で使用が始まり、床スラブなどで PC 鋼材を多数分散配置して使用する場合にグラウト作業を省いて省力化できると同時に、PC 鋼材の防食の面でも効果が大きいことから急速に普及していったものである。日本では昭和 30 年代後半に一部のコンクリートまくらぎや PC 矢板などにアスファルトを塗布した PC 鋼棒が使用されたことはあるが、米国のような本格的なアンボンド工法の使用については昭和 40 年代に入って検討が始まり、昭和 50 年頃から建築学会の PS 分科会でアンボンド工法用の PC 鋼材について、その材料や取扱い方法の指針作成作業が行われ、PC 鋼材メーカーでのアンボンド用 PC 鋼材の製法の開発と相俟って次第に実用に供されるようになってきた。本年に入って建設省のプレストレストコンクリート造に係わる告示も改正され、アンボンド工法の使用も限られた範囲では認められるようになったこともあり、今後その利用はさらに広がるものと考えられる。

#### 4.4 その他の特性

以上述べた諸特性以外では、コンクリートとの付着特性、使用条件に応じた温度特性や疲労特性についても種々の検討が行われてきている。特に付着特性については、初期のプレストレストコンクリート部材がプレテンション工法で製作されたことから各種の検討が行われ、PC 鋼材の面からは 2 本より線の利用や PC 鋼材の表面に凹凸を付ける異形 PC 鋼線の開発が行われ、また使用方法の面では PC 鋼材に錆付けをして付着性能を上げる方法も国鉄のプレテンションまくらぎを中心に昭和 40 年前後に行われ、それに対応して 2 本より線の梱包方式としてコイル全体をできるだけ均一に錆付けできるような方法も考案された。温度特性についてはプレストレストコンクリート構造物や部材の種類に応じて  $-100^\circ\text{C}$  から  $200^\circ\text{C}$  程度の範囲での特性が対象になるが、現在一般に使用されている PC 鋼材については、現在までに相当の検討がなされれば問題なく使用されることが確認されている。しかし、近年 LNG など低温ガスの貯蔵タンクにプレストレストコンクリート構造の利用が増えるにつれて、PC 鋼材についてもさらに低温時の特性が注目されるようになってきている。

一般のプレストレストコンクリート構造物では、使用

表-4 PC鋼材の品質統計値 (1982年4月まとめ)

種別 呼び名		PC鋼線・PC鋼より線										PC鋼棒										
		SWPR 1			国鉄規格	SWPR 7A			SWPR 7B	SWPR 19		SBPD D種	SBPR									
		5.0	7.0	8.0		9.3	12.4	15.2	12.7	19.3	21.8		9.2	A種1号	B種1号				B種2号	C種1号		
					23							26			32							
特 性												(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)	32	32			
引 張 強 度	$S_L$	kg 3 250	kg 5 950	kg 7 550	kg 3 900	kg 9 050	kg 16 300	kg 23 100	kg 18 700	kg 46 000	kg 58 400	kg/mm <sup>2</sup> 145	kg/mm <sup>2</sup> 95	kg/mm <sup>2</sup> 110		kg/mm <sup>2</sup> 110		kg/mm <sup>2</sup> 110		kg/mm <sup>2</sup> 120	kg/mm <sup>2</sup> 125	
	$\bar{X}$	3 638	6 672	8 504	4 120	9 878	17 276	25 520	19 535	48 595	60 376	149.2	101.9	116.9		115.9	120.1	115.1	119.4	123.9	130.1	
	$\sigma$	65	102	130	76	191	221	431	271	665	744	1.25	3.48	1.33		1.33	1.72	1.22	1.46	1.11	1.08	
	$n$	789	1 674	761	645	576	1 069	529	576	310	382	277	190	165		101	100	131	100	223	30	
	$\delta$	1.79	1.53	1.53	1.84	1.93	1.30	1.69	1.39	1.37	1.23	0.84	3.41	1.13		1.15	1.43	1.22	1.22	0.90	0.83	
	$f_{uk}$	3 531	6 505	8 291	3 995	9 565	16 914	24 813	19 090	47 504	59 155	147.2	96.2	114.7		113.7	117.3	113.1	117.0	122.1	128.3	
	$f_{uk}/S_L$	1.087	1.093	1.098	1.024	1.057	1.038	1.074	1.021	1.033	1.013	1.015	1.013	1.043		1.034	1.066	1.028	1.064	1.017	1.027	
$(\bar{X}-S_L)/\sigma$	6.0	7.1	7.3	2.89	4.3	4.4	5.6	3.1	3.9	2.7	3.4	2.0		5.2		4.4	5.9	4.2	6.4	3.5	4.7	
降 伏 点 強 度	$S_L$	kg 2 850	kg 5 200	kg 6 550	kg 3 450	kg 7 700	kg 13 900	kg 19 700	kg 15 900	kg 39 500	kg 50 500	kg/mm <sup>2</sup> 130	kg/mm <sup>2</sup> 80	kg/mm <sup>2</sup> 95		kg/mm <sup>2</sup> 95		kg/mm <sup>2</sup> 95		kg/mm <sup>2</sup> 95	kg/mm <sup>2</sup> 110	
	$\bar{X}$	3 305	6 059	7 652	3 845	9 203	15 925	23 533	18 141	44 513	55 171	137.8	89.2	102.1	110	106.8	102.7	104	105.2	105.9	115.5	
	$\sigma$	72	122	159	101	184	264	806	244	731	818	3.14	1.70	1.61	1.21	1.80	1.76	1.69	1.42	1.42	1.09	
	$n$	220	619	213	162	195	457	140	218	131	177	277	190	115		50	101	100	127	100	223	30
	$\delta$	2.17	2.01	2.10	2.64	2.0	1.66	3.43	1.35	1.64	1.48	2.28	1.91	1.58	1.10	1.68	1.71	1.63	1.35	1.35	0.95	
	$f_{yk}$	3 187	5 859	7 391	3 679	8 901	15 492	22 211	17 741	43 314	53 829	132.7	86.4	99.5	108.0	103.8	99.8	101.2	102.9	103.6	113.7	
	$f_{yk}/S_L$	1.118	1.127	1.128	1.066	1.156	1.115	1.127	1.116	1.097	1.066	1.02	1.080	1.047	1.137	1.093	1.051	1.066	1.083	1.090	1.034	
$(\bar{X}-S_L)/\sigma$	6.3	7.0	6.9	3.9	8.2	7.7	4.8	9.2	6.9	5.7	2.5	5.4	4.4	12.4	6.6	4.4	5.3	7.2	7.7	5.1		
伸 び	$S_L$	4.0%	4.5%	4.5%	3.5%	3.5%	3.5%	3.5%	3.5%	3.5%	3.5%	5.0%	5.0%	5.0%		5.0%		5.0%		5.0%	5.0%	
	$\bar{X}$	6.16	6.77	7.05	8.04	6.87	6.61	6.75	6.66	6.38	6.49	8.68	9.01	9.55	11.5	11.7	9.17	11.3	8.94	8.89	10.9	
	$\sigma$	0.62	0.56	0.70	0.53	0.75	0.75	0.74	0.76	0.84	0.78	0.56	0.81	0.88	0.32	0.91	0.64	0.96	0.72	0.54	0.32	
	$n$	789	1 674	595	645	576	1 069	529	576	310	382	277	210	115	50	101	100	131	100	223	30	
	$\delta$	10.0	8.23	9.92	6.6	10.9	11.3	10.9	11.4	13.2	12.1	6.45	9.0	9.23	2.78	7.79	6.98	8.53	8.02	6.06	2.94	

(注) (1) 規格 SWPR : JIS G 3536—1981, SBPD, SBPR : JIS G 3109—1977  
 (2) 記号  $S_L$  : 規格下限値,  $\bar{X}$  : 平均値,  $\sigma$  : 標準偏差,  $n$  : データ数,  $\delta$  : 変動係数 (%),  $f_{uk}$ ,  $f_{yk}$  : 保証値 ( $=\bar{X}-1.64\sigma$ )  
 (3) PC鋼棒の同一呼び名で (I), (II) に分かれているのは, ヒストグラムが2山分布になっているものを区別して示したものである。

状態で生じる変動応力は小さく PC 鋼材の疲労特性が大きな問題になることは少ないが、従来国内では鉄道橋では定着具を含めた定着部での疲労特性についての検討が行われている。PC 鋼材自体の疲労特性は通常の PC 構造物の使用条件に対しては十分余裕のあるものであるが、近年 PC 鋼材がプレストレストコンクリート以外で吊材などのテンション材として利用されることが増えるにつれ、疲労特性も重要な特性の一つになっている。

## 5. 最近の PC 鋼材品質特性値

PC 鋼材の種類、製法、特性について過去 30 年間の状況を簡単にふり返ってきたが、最後に現在広く国内で使用されている PC 鋼材の品質特性を統計的に調査し JIS 規格値と対比した結果を表-4 に示しておく。これは土木学会の限界状態設計小委員会鋼材関係ワーキンググループの検討事項の一つとして、国内の主な PC 鋼材メーカーの約 1 年間のデータを集めて集計したもので、PC 鋼材の品質水準の現状がほぼつかめるものと考えられる。なおこの表で PC 鋼棒の統計値が (I)(II) と分けて集計されているものがあるのはヒストグラムが明らかに 2 山分布になっているもので、これは前述のとおり PC 鋼棒の製造方法がメーカーによって異なることに起因していると考えられる。しかしこれらを含めて現在国内で主として使用されている PC 鋼材は、JIS 規格に対して充分余裕のあるものになっていると言える。なお PC 鋼材の規格については数年前から国際標準化機構 (ISO) で世界的に統一した国際規格の作成が鉄筋と合わせて検討されており、将来それらが完成すれば JIS 規格も全面的に見直されることになるであろう。

## 6. あとがき

以上、過去約 30 年間の PC 鋼材の量的、質的移り変りについて大まかにまとめてみた。執筆にあたっては先輩諸氏がその時々にとりまとめられた文献資料の数々を参考にさせていただいたが、筆者の浅学非才さゆえに、

ここに記した以外の歴史的事実について見逃がしている点も多々あるかと思うが御容赦をお願いする次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 橋本徹夫：実用プレストレストコンクリート要覧，山海堂，昭和 38 年
- 2) 上村義夫：プレストレストコンクリートの性質・設計及び施工法，理工図書，昭和 32 年
- 3) プレストレストコンクリート年報 1959 年度版～1982 年度版，プレストレストコンクリート工業協会ないし（社）プレストレストコンクリート建設業協会編
- 4) 土井 明：講座 コンクリートと施工法——その移り変り——（その 7），コンクリート工学，Vol. 18, No. 12, Dec. 1980
- 5) 武尾敬之助：PC 鋼材について，プレストレストコンクリート，Vol. 2, No. 4, August 1960
- 6) 宮川一郎：講座 PC 鋼材 (1)～(4)，プレストレストコンクリート，Vol. 7, No. 3, June 1965～Vol. 7, No. 6, Dec. 1965
- 7) 岡田 清：PC 鋼材の現状，工業と製品，No. 53
- 8) 日本材料試験協会，鋼棒使用 PC 設計施工指針および解説，昭和 33 年
- 9) 土木学会，プレストレストコンクリート設計施工指針，昭和 33 年制定
- 10) JIS G 3536-1960 PC 鋼線および PC 鋼より線
- 11) JIS G 3536-1981 PC 鋼線および PC 鋼より線
- 12) 土井，富岡，田中：スタビライズド PC 鋼線の諸特性について，プレストレストコンクリート，Vol. 12, No. 4, July 1970
- 13) 日本建築学会，プレストレストコンクリート設計施工規程・同解説，1975 改訂
- 14) 土木学会，プレストレストコンクリート標準示方書，昭和 53 年制定
- 15) PC 鋼線および PC 鋼より線仕様書 HTS-18，極東鋼弦コンクリート振興（株）
- 16) 吉野政次：PC 鋼材の研究について，プレストレストコンクリート，Vol. 4, No. 5, October 1962
- 17) 川端義則：アンボンド工法用 PC 鋼材について，プレストレストコンクリート，Vol. 7, No. 6, Dec. 1965
- 18) プレストレストコンクリート構造分科会，同第 3 小委員会：アンボンド工法用 PC 鋼材と施工時の取扱いについて，建築雑誌，Vol. 94, No. 1153, 昭和 54 年 7 月号
- 19) 藤田，吉野，武尾：高温時における PC 鋼より線の弾性的性質について，プレストレストコンクリート，Vol. 7, No. 6, Dec. 1965