

(72) 33年間供用したPC構造物より取り出した鋼材の特性について

高周波熱錬(株)	製品事業部	非会員	○田中典男
同上		非会員	溝口 茂
オリエンタル建設(株)	技術研究所	正会員	近藤 順
神鋼鋼線工業(株)	開発本部	非会員	平田誠一郎

1. はじめに

一般に、PC鋼材の経年後の評価は、促進試験と実構造物を解体して試験する方法がある。促進試験には、リラクセーション試験・疲労試験・種々の腐食促進試験などがあるが、いずれも経年後の特性を正確に予測するには、現状では十分とはいえず、その点では実際の構造物を解体してPC鋼材を取り出し、試験する方法の方が優れている。しかし、PC構造物は道路・橋梁・ダム・住宅・公共建築物などの公共性の高い分野に適用されており、PC鋼材の経年後の特性を評価するためにそれらの実構造物を解体することは、社会的・経済的に多くの不都合を生じ、実構造物中に使用されたPC鋼材を調査できる機会は少ない。

今回、施工後33年経過して取り壊したプレキャストPC造事務所ビルより、冷間引抜PC鋼棒・PC鋼より線を取り出す機会に恵まれたので、経年後のPC鋼材の健全度について調査した。

また、あわせて27年間大気暴露したPCパイプより熱処理PC鋼棒を取り出し調査した。

PC鋼材を取り出したビルはオリエンタル建設(株)の旧本社ビルで、我が国初のプレキャストPC造建築物<sup>1)</sup>であった。ビルの外観を写真-1に示す。このビルの柱・梁・壁・床の各部分は工場生産され、これらの部材および接合にはすべてプレストレスが導入されていた<sup>2)</sup>。構造は地下1階地上4階(一部5階)の多層構造で、地下1階がRC構造で、地上部分が組み立て式PC造であった<sup>3)</sup>。一方、PCパイプは直径400mmのA種PCパイプで、高周波熱錬(株)平塚工場敷地内に大気暴露されていた。



写真-1 解体前のオリエンタル建設本社ビル全景

2. 供試材および調査項目

表-1に供試材の一覧を示す。調査項目は外観・化学成分・機械的性質・リラクセーション

表-1 供試材一覧

鋼棒の種類	呼び径 (mm)	使用されていたPC構造物
冷間引抜PC鋼棒	12, 16, 18, 22, 24丸棒	33年間供用したプレキャストPC造事務所ビル
PC鋼より線	7本より10.8	
熱処理PC鋼棒	9.2 異形棒	27年間大気暴露A種PCパイプ

特性とした。また、コンクリート中にあるPC鋼材では水素の侵入による遅れ破壊の事例もあり、水素侵入の有無を確認するために鋼中の拡散性水素量も測定した。供試材には熱処理PC鋼棒を用いた。冷間引抜PC鋼棒は供試材の長さの関係上、リラクゼーション試験ができなかった。冷間引抜PC鋼棒の呼び径は、施工当時の規格『鋼棒使用PC設計施工指針JSTM規格S-1』((社)日本材料試験協会発行)に従い、ねじの呼び径を用いている。なお、表-2に事務所ビル解体時のコンクリートの圧縮強度・中性化深さの調査結果を示す。

表-2 コンクリート調査結果

	事務所ビル
圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	477 (梁) 504 (柱)
中性化深さ (mm)	2 (床) 7 (外壁) 微少(柱・梁)

### 3. 試験結果

#### 3-1. 冷間引抜PC鋼棒について

供試材は、表-1に示す呼び径12~24mmまでの5鋼種で、プレキャストされたポステン方式の構造物の緊張材として、呼び径12mm・16mmがPC壁、18mm・22mmがPC梁、24mmがPC柱に使われていた。

##### 3-1-1. 外観観察結果

供試材には軽微な錆が観察されたが、孔食によるピットは観察されなかった。一般に、鋼材の腐食はコンクリートのような強アルカリ雰囲気中では問題とならない。これは鋼材表面に不動態被膜が形成され、腐食から保護されるためである。コンクリートの中性化の簡易的調査方法として、フェノールフタレイン反応が広く利用されており、本調査材においても供試材表面のフェノールフタレイン反応を調べたところ、供試材表面は赤紫色に変色してアルカリ性を示し、供試材はアルカリ環境中にあったといえる。従って、観察された錆はグラウト施工前に発生していたものと考えられる。

##### 3-1-2. 化学成分分析結果

表-3にC, Sを燃焼赤外線吸収法、その他元素をICP法により定量した結果を示す。供試材は0.71~0.76% C-0.74~0.86%Mn鋼であった。PC鋼棒用材料は製造業者(製造方法)により異なり、化学成分はJIS規格制定当時から不純物としてP, S, Cuだけが規定されている。供試材のP, S, Cuは現在の材料に比べてやや多いが、現行のJIS G 3109は満足していた。

表-3 冷間引抜PC鋼棒の化学成分 (wt%)

呼び径	C	Si	Mn	P	S	Cu
12 mm	0.71	0.25	0.78	0.027	0.021	0.08
16 mm	0.73	0.22	0.74	0.014	0.008	0.08
18 mm	0.76	0.24	0.84	0.022	0.023	0.08
22 mm	0.76	0.26	0.86	0.022	0.023	0.08
24 mm	0.76	0.25	0.86	0.017	0.023	0.08
JIS *1	—	—	—	0.030	0.035	0.30

\*1 JIS G 3109 数値は上限値

##### 3-1-3. 引張試験結果

表-4に試験結果、図-1に荷重-伸び線図を示す。施工当時はPC鋼棒のJIS規格が整備されておらず、その機械的性質はJSTM規格により規定されていたので、試験結果をこの規格と比較検討した。なお、供試材は施工当時の資料<sup>2)</sup>では、引抜鋼棒の2種とされているので、JSTM規格S-1解説第6条に規定されている国産PC鋼棒品質保証値の中の『引抜鋼棒』により検討した。また、参考のため現行のJIS G 3109とも比較した。いずれの供試材の降伏点・引張強さ・伸びともにJSTM規格およびJIS規格を満足していた。呼び径22mmと24mmの降伏点が規格下限にあるが、これは各3本ずつ試験した中で規格を下回ったものが各1本ずつあったためである。この規格外れは、コンクリートから供試材を取り出す時の何らかの塑性変形によるバウシinger効果のために降伏点が低下したことによると考えられる。表-5にPC梁に使われていた18mm材ねじ部のねじ寸法およびねじ部強度の測定結果を示す。

す。ねじ寸法は有効径・ピッチともに施工当時および現行のJIS規格を満足していた。ねじ部の強度

表-4 冷間引抜PC鋼棒の機械的性質 (n=3)

呼び径 mm	実測径 mm	降伏点 kgf/mm <sup>2</sup>	引張強さ kgf/mm <sup>2</sup>	伸び %
12	10.93	88.1	110.4	9.1
16	15.02	81.5	106.8	7.5
18	16.97	86.4	109.9	7.5
22	20.71	80.7*	102.6	6.4
24	22.63	79.9*	110.1	6.1
JSTM*2	—	80以上	90以上	5以上
JIS *1	—	80以上	95以上	5以上

\* 規格外れを含む平均値  
\*2 JSTM規格S-1解説第6条  
\*1 JIS G 3109 SBPR80/95

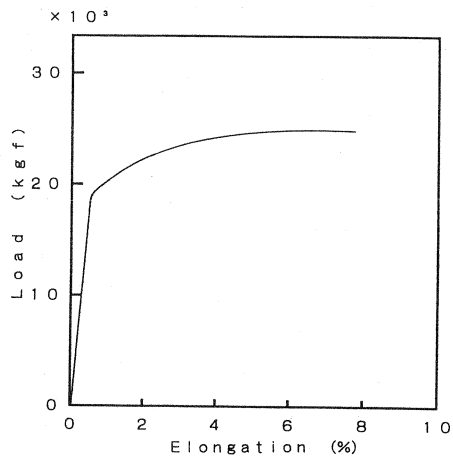


図-1 供試材の荷重-伸び線図の例(18mm)

比はJSTM規格の引張強さ(荷重換算)の120%であった。現在のPC鋼棒のねじ部強度は、日本建築学会のプレストレストコンクリート設計施工・同解説では規格引張強さの90%以上となっているが、この点でも供試材は十分な数値を示しており、良好なねじ部強度であった。この結果より、供試材の機械的性質に問題はなく、33年供用後もPC鋼棒として十分な性能を維持していることがわかった。

表-5 冷間引抜PC鋼棒のねじ寸法とねじ部強度

呼び径 mm	有効径 mm	ピッチ mm	最大引張荷重 kgf	強度比*3 %
18	16.93	1.5	24680	120
JIS *4	16.776~16.976	1.5	—	—
JIS *5	16.800~16.950	1.5	—	—

\*3 強度比=ねじ部最大引張荷重 / 母材部規格引張荷重 × 100  
\*4 JIS G 0211 M18×1.5 (現行)  
\*5 JIS G 0211 M18×1.5 (施工当時)

### 3-2. PC鋼より線について

供試材は7本より10.8mmであり、33年間供用した事務所ビルのプレテン方式によるPC床の緊張材として使われていた<sup>3)</sup>

#### 3-2-1. 外観観察結果

供試材表面には部分的に錆が観察されたが、ピットは観察されなかった。また、床の中性化深さは約2mmで、供試材周辺は中性化しておらず、供試材表面はフェノールフタレインによる反応でアルカリ性を示した。よって、観察された錆は冷間引抜PC鋼棒同様に施工前に発生していたものと考えられる。

表-6 PC鋼より線の化学成分 (wt%)

呼び径	C	Si	Mn	P	S	Cu
10.8mm	0.71	0.24	0.76	0.023	0.026	0.08
JIS *6	0.70~0.75	0.12~0.32	0.60~0.90	0.025	0.025	0.20
JIS *7	0.65~0.75	0.12~0.32	0.60~0.90	0.025	0.030	0.20

\*6 JIS G 3502 SWRS72B(現行) 数値は上限値  
\*7 JIS G 3502 SWRS1B (施工当時) 数値は上限値

3-2-2. 化学成分分析結果

表-6にC, Sを燃焼赤外線吸収法、Si, Pを吸光光度法、その他元素をICP法により定量した結果を示す。供試材は0.71%C-0.76%Mn鋼であり、施工当時のJIS規格を満足していた。現行のJIS規格はSが0.025%以下であり、これは満足しなかった。

3-2-3. 引張試験およびリラクゼーション試験結果

表-7に試験結果、図-2

に荷重-伸び線図を示す。

施工当時の規格値は現行より降伏点荷重・引張荷重ともに200kgf高く規定されていたが、供試材の機械的性質は十分に施工当時の規格を満足していた。また、リラクゼーション特性は、施工当時の規格が10時間後で3.5%以下と現行規格値(10時間後で3.0%以下)

より緩やかであったが、供試材は10時間後で1.23%、1000時間後で1.98%と低い値であった。これらの結果より、供試材の機械的性質・リラクゼーション特性は33年経年後も問題はなく、PC鋼材として十分な機能を維持していることがわかった。

3-3. 熱処理PC鋼棒について

供試材は27年間大気暴露したA種PCパイルの主筋として使われていた9.2mm異形棒である。PCパイルの図面を図-3、仕様を表-8に示す。供試材はこのパイルの端部から約1mのところより1.3m切断した部分から取り出した。

表-7 PC鋼より線の機械的性質とリラクゼーション特性

呼び径 mm	実測径 mm	降伏点荷重 kgf	引張荷重 kgf	伸び %	リラクゼーション %
10.8	10.84	12240	13290	8.6	1.23
JIS *8	-	10400以上	12200以上	3.5以上	3.0以下
JIS *9	-	10600以上	12400以上	3.5以上	3.5以下

試験本数 引張試験 n=6 リラクゼーション試験 n=1

\*8 JIS G 3536 SWPR7A(現行) 荷重は従来単位表示

\*9 JIS G 3536 SWPC7(施工当時)

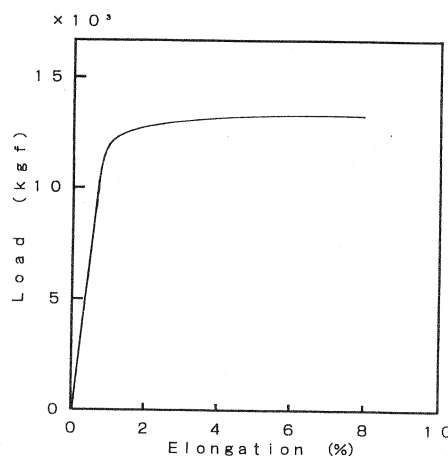


図-2 供試材の荷重-伸び線図

表-8 PCパイルの仕様

外径 mm	厚さ mm	全長 mm	使用PC鋼棒			緊張力 導入法	暴露場所	経年数 year
			寸法	配筋数	導入応力			
400	75	7000	9.2mm 異形棒	6本	90 kgf/mm <sup>2</sup>	プレテンション	高周波熱錬 平塚工場	27

3-3-1. 外観観察結果

供試材表面に錆・ピットは観察されなかった。また、コンクリートの中性化はほとんど進行しておらず、かぶり厚さは約30mmで、供試材表面もフェノールフタレイン反応でアルカリ性を示した。

3-3-2. 化学成分分析結果

表-9にC, Sを燃焼赤外線吸収法、その他元素をICP法により定量した結果を示す。供試材は0.34%C-0.74%Mn鋼で、P, S, Cuは少なく、施工当時および現行のJIS規格を満足していた。

3-3-3. 引張試験およびリラクゼーション試験結果

表-10に引張試験とリラクゼーション試験結果、図-4に荷重-伸び線図を示す。なお、供試材を採取したPCパイルは11年暴露後した時点でも主筋の引張試験を行っており<sup>4)</sup>、その結果もあわせて示す。供試材の降伏点・引張強さ・伸びは、施工当時および現行のJIS規格を満足していた。

また、絞り値は約60%で、いずれの特性値も11年暴露後の結果と同等であった。リラクゼーション値は10時間後で0.55%であり、これも施工当時および現行のJIS規格を満足していた。これらの結果より、27年間大気暴露後も機械的性質・リラクゼーション特性に問題はなく、PC鋼材として十分な性能を維持していることがわかった。

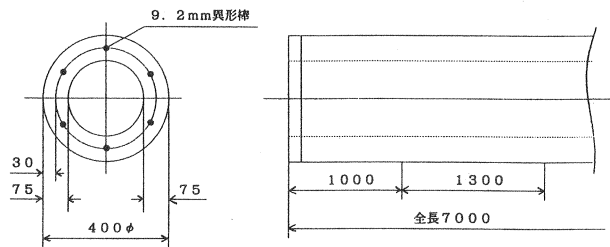


図-3 供試材を採取したPCパイルの寸法

表-9 熱処理PC鋼棒の化学成分 (wt%)

呼び径	C	Si	Mn	P	S	Cu
9.2 mm	0.35	0.23	0.74	0.012	0.021	0.03
JIS *1	-	-	-	0.030	0.035	0.30
JIS*10	-	-	-	0.030	0.035	0.30

\*1 JIS G 3109 (現行) 数値は上限値

\*10 JIS G 3109 (施工当時) 数値は上限値

表-10 熱処理PC鋼棒の機械的性質とリラクゼーション特性

呼び径 mm	経年数 year	実測径 mm	降伏点 kgf/mm <sup>2</sup>	引張強さ kgf/mm <sup>2</sup>	伸び %	絞り %	リラクゼーション %
9.2	27	9.12	140	148	9	59	0.55
	11	9.12	140	147	9	60	-
JIS *1	-	-	130以上	145以上	5以上	-	1.5以下
JIS*10	-	-	130以上	145以上	5以上	-	1.5以下

\*1 JIS G 3109 SBPD1275/1420 応力は従来単位表示

試験本数 引張試験 n=5 リラクゼーション試験 n=1

3-3-4. 拡散性水素量測定結果

拡散性水素は常温でも鋼中を容易に移動でき、遅れ破壊の原因とされている<sup>5)</sup>。本調査では、供試材をAr気流中で100℃/hrの昇温速度で室温から600℃まで加熱し、供試材から放出された拡散性水素をガスクロマトグラフィー法により測定した。表-11に測定結果、図-5にこの時の水素放出曲線を示す。供試材中の拡散性水素量は、製造直後の材料(比較材)と同様、極めて微量であった。これより、かぶりが十分に健全なコンクリート中にあれば、長期大気暴露後もPC鋼材に水素の侵入はないといえる。

表-11 拡散性水素量測定結果

	拡散性水素量 wt ppm (n=1)
供試材	0.01
比較材	0.01

比較材：製造直後に測定

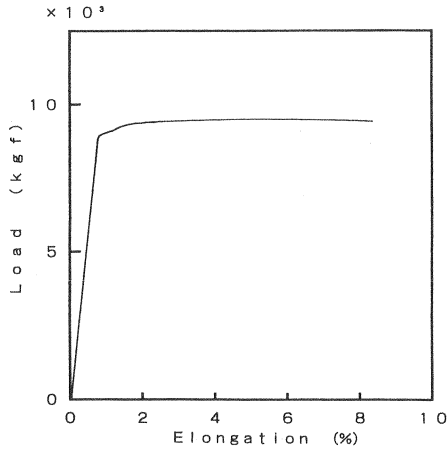


図-4 供試材の荷重-伸び線図

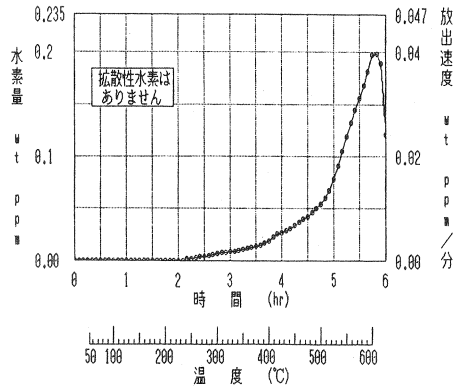


図-5 供試材の水素放出曲線

#### 4. まとめ

33年間供用したプレキャストPC造事務所ビルおよび27年間大気暴露したA種PCパイルから取り出したPC鋼材を調査し、次の結果を得た。

- 1) 事務所ビルは解体時のコンクリートの調査で、一部に2~7mmの中性化が見られたが、強度の低下はなかった。PCパイルでは中性化は見られなかった。
- 2) 事務所ビルから取り出したPC鋼材には若干の錆が観察されたが、供試材表面がアルカリ性を示したことより、錆は施工前にすでに発生していたものと考えられる。  
PCパイルから取り出したPC鋼材には錆は観察されなかった。
- 3) 引張試験の結果、いずれのPC鋼材も施工当時の規格を満足しており、経年後も強度および靱性に問題はなかった。
- 4) リラクセーション試験の結果も施工当時の規格を満足しており、経年後もリラクセーション特性に問題はなかった。
- 5) 熱処理PC鋼棒については遅れ破壊の原因となる拡散性水素量も極めて微量であった。

以上の調査結果より、冷間引抜PC鋼棒・PC鋼より線・熱処理PC鋼棒のいずれも経年後の諸特性に問題はなく、通常の使用環境にあればPC鋼材としての性能を十分に維持していることがわかった。

#### 参考文献

- 1) 朝日新聞, 1960. 8. 5. 日刊建築新聞, 1960. 11. 1. セメント新聞, 1960. 11. 5.
- 2) 木村政男: 丸エンタルコンクリートKK社屋のプレストレストコンクリート構造の施工について, プレストレストコンクリート, Vol. 2, No. 6, pp44, 1960. 12.
- 3) 木村俊彦: 丸エンタルコンクリート社屋のプレストレストコンクリート構造, プレストレストコンクリート, Vol. 2, No. 4, pp24~27, 1960. 8.
- 4) 水馬克久・新田 一: 経年PC構造物の鋼材の腐食及び機械的性質の調査について, プレストレストコンクリート技術協会研究発表会講演概要, pp7~8, 1978. 11. 2.
- 5) 山川宏二・南野康幸・松本桂一・半沢俊一・吉沢四郎: SCM鋼の水素吸蔵能と割れ挙動への影響, 材料, Vol. 29, No. 326, pp1101~1107, 1980. 11.