

PC 鋼 棒 の 品 質 に つ い て

正員 北海道大学大学院工学研究科 藤 田 嘉 夫

正員 同 上 高 野 博

I. 結 言

最近、鋼棒を用いた PC 構造物の発展は著しい。初めて PC 構造物に鋼棒を使用したのはドイツであるが、抗張力 90 kg/mm^2 以上の高強度鋼が造られ、ポストテンション工法に、鋼棒を緊張材として用いたのは、最近のことである。現在、ドイツでは、PC 鋼棒使用の PC によつて、長大スパンの橋梁が幾多架設されているのは、周知のことである。我国においても、神奈川県に Rheinhausen 会社の技術者を招いて、その実現をみるに至つてゐる。

これに使用される PC 鋼棒は、高強度鋼であつて、わが国においては、住友電工 K K、その他の会社でも、その製造を始めているが、いずれも、試作の過程にあり、特にそのねじについての研究も十分ではなく、今後の研究によつて究明されなければならないことが多い。ここに、北大工学部コンクリート実験室においても、PC 鋼

棒の試作およびそのねじについての研究を行つており、一応その研究結果が纏つたので、発表する次第である。

II. PC 鋼 棒

1. 当実験室にて試作した PC 鋼棒の化学成分

昭和 30, 31 年の両年にわたつて、北大工学部萩原教授指導の下に、日鋼室蘭製作所にその試作を依頼した。これは、抗張力 90 kg/mm^2 、降伏点強度 63 kg/mm^2 、伸び 10%、絞り 45% の規格とし、併せて、その製造条件および生産価格を検討した。その化学成分は、表-1 のとおりである。

比較のため代表的な鋼棒の化学成分(%)を 表-2 に示した。

2. 生産工程

酸素誘導電気炉で、鋼塊 450 kg を熔解して、上注ぎ鋳込み。3 t の蒸汽ハンマーで、 $150 \times 150 \times 300 \text{ mm}$ に荒地鍛造し、次に、1 t 空気ハンマーで、 $50 \times 50 \times 1,000$

表-1 化 学 成 分 (%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	V	Mo
指 定	0.45~	0.20~	0.60~	<0.030	<0.030	—	<0.20	0.8~1.1	0.15~	—
	0.55	0.30	0.80						0.25	
製 品	0.46	0.25	0.80	0.020	0.029	0.22	0.12	0.82	0.19	tr

表 - 2

会 社 名	鋼 種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	V	備 考
住 友 電 工 K K	H 型	0.45~ 0.55	0.12~ 0.30	0.60~ 0.90	<0.030	<0.030	<0.20	—	0.80~ 1.11	0.15~ 0.25	圧 延
	M 型	0.65~ 0.75	0.60~ 1.00	1.00~ 1.40	<0.030	<0.030	<0.20	—	—	—	圧 延
Rheinhausen	ST 55/85	0.72	0.84	1.2	0.025	0.007	0.01	—	—	—	圧 延*
Huttenwerk	ST 60/90	0.71	0.83	1.24	0.026	0.007	0.01	—	—	—	圧 延*
Dywidag	ST 90	0.73	0.47	1.29	0.032	0.019	—	—	—	—	圧 延*
Lee-McCall	—	0.53~ 0.65	1.7~ 2.0	0.8~ 1.12	<0.05	<0.05	—	—	—	—	冷間加工

備考欄の * 印は、化学分析の結果による。他は、指定のもの。

mmに鍛伸し、スケール除去後圧延し、加熱炉にて、約1,200℃に加熱して、1パス、50×41、2パス、41×41菱形、3パス、41×32、4パス、32×32菱形、5パス、22m円形とした。仕上げ温度は、約900℃で空放。仕上げ寸法は、黒皮22φ×6,000に切断、製品とした。結晶粒度調整と焼入性増大のために、Vを0.2%程度添加し、圧延時の加熱温度を1,200±50℃。圧延仕上げ温度を、850±50℃に制限した。

価格は、昭和31年度末で19万円/t、生産高は、240t/日と推定された。

3. 物理的性質

PC鋼棒に関して、重要な物理的性質は、引張強度、降伏点強度、クリープ限度、伸び、であつて、各項について簡単に述べる。

a. 引張強度 一般に90kg/mm²以上の高強度が要求される。これは、一本の鋼棒で、できるだけ大きいプレストレスを導入することによつて、コンクリートのクリープおよび硬化収縮による導入応力減少を少なくするものであつて、力学的に、また、経済的にも妥当なものとされている。

b. 降伏点強度 一般に60kg/mm²以上とされているが、実際には、80kg/mm²以上が望ましく、できる限り鋼棒の弾性範囲を大きくするためであつて、普通、残留歪の0.1、または、0.2%の応力をとつている。

c. クリープ限度 DIN 4227によると、20℃で一定荷重をかけ、初期の載荷時において生じた伸びの3%が載荷後6分から1,000時間までの間にクリープして伸びるような応力を、工学的クリープ限と定めている。

d. 伸び 5.5%以上なければならないとされている。アンカープレートと鋼棒が正しく直角でなく、鋼棒が軸応力の外に、曲げ応力を受ける場合、または、過大な荷重によつて、破断が起るような場合に、その安全性の確保の点から、8%は必要とされている。

当実験室において、前述のPC鋼棒について、試験を行い、破断強度(σ_B)、降伏点強度(σ_y)、弾性係数(E)、伸び(ε)、クリープ量を調べた。

4. 試験方法

a. 引張試験

試作のPC鋼棒21本について、σ_B、σ_y、E、ε、応力-歪曲線を求める。供試体は、21本中7本とし、歪は、φ20mm仕上げ供試体の中央側面に、ストレンゲージを貼り、ストレンメーターで測定し、標点間の伸びは、 $\frac{1}{2}$ mmスケールで、望遠鏡で拡大して測定した。この両者の関係から、応力-歪曲線を求めた。

b. クリープ試験

ドイツの規格によると、PC鋼棒について、表-3の規定がある。

表-3

鋼 種	σ_y (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	σ_K (kg/mm ²)	σ_E (kg/mm ²)
60/90	60	90	55	55
70/105	70	105	60	63

σ_K: クリープ限度 σ_E: 弾性限度

試作のPC鋼棒についても、次の二つに大別し、クリープ限度を求めると、表-4のとおりである。

表-4

鋼 種	σ_y (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	σ_K (kg/mm ²)	σ_E (kg/mm ²)	σ_K の限界 (kg/mm ²)	
					上限	下限
68/90	68	90	54	60	60	σ _B ×0.55
80/105	80	105	63	72	72	σ _B ×0.55

試験装置は、当実験室で考案したものであつて、100×50のチャンネル2本を用いて、長さ2mの箱形柱とし、その中に、PC鋼棒を通し、支圧板とナットで両端を錠着した。応力は、能力30tのoil jackで導入し、そのクリープ量は、1/1,000mmのダイヤルゲージで測定した。測定時間は、DIN 4227に従つて、1,000時間とした。

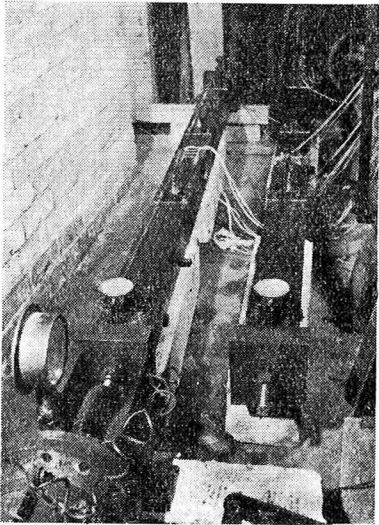


写真-1

5. 試験結果

表-5 引張試験結果

鋼 種	σ_y (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	E (kg/mm ²)	ε (%)
SS 90	84.8	111.9	2.00×10 ⁶	8.65

応力-歪曲線は、図-1に示す。

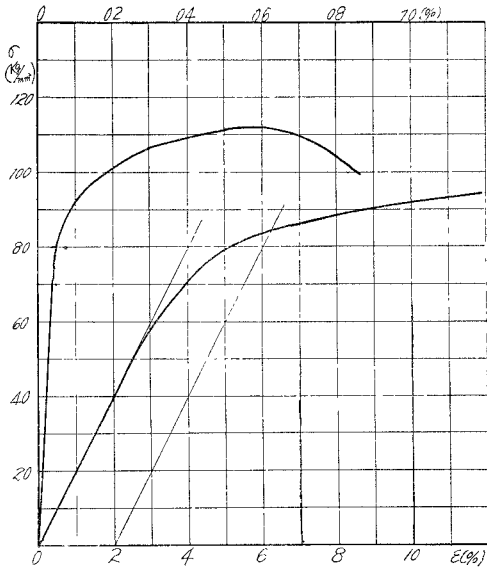


図-1 PC鋼棒の応力-歪曲線

表-6 クリープ試験結果

鋼 種	σ_y (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	導入応力 (kg/mm ²)	時 間 (hr)	クリープ (%)
68/90	69	104	58	100	2.74
				1,000	2.94
68/90	69	99	49	100	0.56
				1,000	1.25

DIN 4227に従つて、クリープ限度は、60.6 kg/mm²となる。なお、測定には、長時間を要するので、60/90の鋼棒についてのみ測定を行い、中間報告として述べた。

III. ね じ 部

PC鋼棒の礎着および接手は、ねじによつて行ふ。使用されるねじについては、ドイツのDywidag工法ではもつぱら、ロールねじが使用されている。また、Leoba法、McCall法では、テーパ付きねじが使用されている。ロールねじは、塑性加工によつて、製作されたものであつて、ねじの山頂付近では、強度の増加が著しく、谷部では、その増加は少ないと言われている。したがつ

て、断面積減少にかかわらず、母材と同一強度が期待される。しかし、ロールねじに関しては、今後研究されなければならないことが多々ある。

一方、Leoba法、McCall法で使用しているテーパねじは、文献によると、鋼棒母材の96%の強度が発揮されるといわれているが、ねじが、所定の位置までねじ込まなければならないと、上記の強度は、80%位に低下するといわれている。このテーパねじに関しても、今後研究されなければならないことが多い。

ナットについては、Dywidag工法では、ST90の鋼棒に対して、ST44の普通のナットを2個用いるか、または、幾分長いナットを使用している。Leoba法、McCall法では、特別のテーパねじのナットが使われている。

以上、代表的な鋼棒のねじ部について述べたが、いずれにしても、その経済性、安全性について、今後大いに研究されなければならないと、当実験室においても、ねじに関する実験研究を行つてきた。

1. 試験方法

母材は、SS90φ22mmの鋼棒を用い、ねじは、円形ダイスで、JISのメートル並目、細目、極細目、ウィット並目について、切削ねじを造り、一方、ナットは、市販のそれぞれのナットを使用し、一連の実験を行つた。

ねじ切削による断面損失を、できるだけ少なく、有効断面積は、母材の85%なるねじを求め、その実用性を調べた。実験は、図-2に示すように2通り行つた。

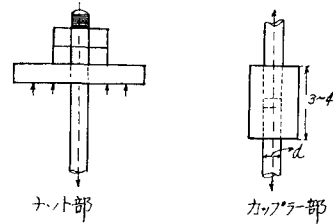


図-2

供試体は、ねじ1個につき3本とした。鋼棒のねじ部の断面積は、ねじ加工時の円形ダイスの直径より計算するものとする。試験結果は表-7のとおりである。

2. 試験結果

表-7 ね じ の 試 験 結 果

ねじの種類	使用鋼	外 径 (mm)	ピッチ (mm)	谷 径 (mm)	A_N (mm ²)	A_0 (mm ²)	A_N/A_0 (%)	P_N/P (%)	σ_N/σ_0 (%)
ウィット並目	SS90φ22	22	3.175	18.611	272.0	380.00	70.2	70.1	111.6
メートル並目	"	22	2.5	17.30	235.0	380.00	72.7	81.1	109.7
メートル細目	"	22	1.5	18.66	273.5	380.00	83.1	91.2	98.6
メートル極細目	"	22	1.0	19.16	288.4	280.00	88.5	87.2	98.0

SuffixのNはねじ部を示し、0は母材部を示す。

IV. PC 鋼棒を用いた PC 桁の実験

上記の PC 鋼棒およびねじについての一連の実験結果を基にして、この PC 鋼棒を用いた PC 桁を作製し、その曲げ試験を行つた。桁は、スパン 3 m で、PC 鋼棒を 1 本使用し、実験時のコンクリートの強度は、 430 kg/cm^2 、PC 鋼棒の中間に接手のあるもの、接手のないものの 2 本を作製した。ねじは、旋着部は、ウィット並目中間接手は、メートル細目とした。導入応力は、 23 t であつたが、ねじ部には、なんら異常はなかつた。材齢 28 日で破壊試験を行つた結果、桁は、コンクリートの圧縮部で破壊し、鋼棒応力は、降伏点を越えたが、旋着部、

中間接手には、なんら異常はなかつた。

V. 結 論

1. PC 鋼棒としての満足な性能を持つ PC 鋼棒の我国独自の製造が可能であること。

2. ねじは、ロールねじ、テーパねじ、その他の特殊のねじによらなくても、市販のナットおよび切削ねじで、十分その目的を達し得ること。

なお、この実験研究は、昭和 30, 31 年の文部省補助の一部および昭和 32 年度道科学研究費によるものである。本実験研究には、北大工学部横道教授の御指導を受けた。ここに謝意を表する次第である。