

川鉄テクノワイヤにおける PC 鋼棒“リバーボン”^{*1}

武井 雅光^{*2}

Prestressing Steel Bar “Riverbon”

Masamitsu Takei

1 はじめに

プレストレストコンクリートに使用される PC 鋼棒の昨年の国内使用量は、主としてプレテンション方式で杭などに使用される異形棒で 14 万 t、主としてポストテンション方式で使われる丸棒で 2 万 t である。PC 鋼棒の JIS は、1971 年に制定されたが、表示品目ではなく、製造方法においては自由度が広く、化学成分においても各社が独自に開発したものが使用されているため、不純物の P, S, Cu のみが規定されている。

川鉄テクノワイヤ(株)における PC 鋼棒の開発は 1967 年頃より始まり、翌年より異形棒の工程生産を開始し、以来年平均 10% に近い伸びで増量し、合計約 30 万 t の生産、販売を行ってきた。当社の PC 鋼棒リバーボン (Riverbon) は、大半が JIS G3109 の最高強度グレードの異形棒 SBPD 1275/1420 で、主として高強度 PC 杭、PC ポールに使用されている。

以下に、この用途に要求される PC 鋼棒の特性を述べ、リバーボンの特長、さらに最近開発し、海外で評価の高い「高強度低リラグセーション PC 鋼棒」について紹介する。

2 PC 鋼棒に要求される特性

2.1 有効プレストレス

プレストレストコンクリート製品は、コンクリートと PC 鋼材の長所を活かした複合材料といえるが、PC 鋼棒側に要求される最大の課題は、いかに少ない鋼材で (いかに経済的に) コンクリートに有効プレストレスを与え得るかという点にある。

有効プレストレス σ_{oe} (N/cm²) は (1) 式で求められる¹⁾。

$$\sigma_{oe} = \frac{A_p}{A_c} \left(\frac{\sigma_{p1}}{1+n'(A_p/A_c)} - \Delta\sigma_p - \Delta\sigma_r \right) \dots\dots\dots (1)$$

- σ_{p1} : PC 鋼棒の初期導入張力 (N/cm²)
- $\Delta\sigma_p$: コンクリートのクリープおよび乾燥収縮によるロス量 (N/cm²)
- $\Delta\sigma_r$: PC 鋼棒のリラクセーションによるロス量 (N/cm²)
- A_p : PC 鋼棒の断面積 (cm²)
- A_c : コンクリートの断面積 (cm²)
- n' : プレストレス導入時の PC 鋼棒とコンクリートの弾性係数比

実用的には、(1) 式は (2) 式でおきかえることができる²⁾。

$$\sigma_{oe} = \frac{A_p}{A_c} \sigma_{p1} (1 - \Delta\sigma'_p - \Delta\sigma'_r - \Delta\sigma'_a) \dots\dots\dots (2)$$

- $\Delta\sigma'_p$: $\Delta\sigma_p$ を比率にしたもの
- $\Delta\sigma'_r$: $\Delta\sigma_r$ を比率にしたもの
- $\Delta\sigma'_a$: コンクリートの弾性変形ロスを比率にしたもの

Table 1 Items required for PC bar used for PC pile and pole

	Required item	Specification
Material properties	Strength Tensile strength Yield strength	$\geq 1\,420$ N/mm ² (JIS) $\geq 1\,275$ N/mm ² (JIS)
	Toughness Elongation Reduction of area	$\geq 5\%$ (JIS) $\geq 50\%$ (aimed)
	Relaxation At room temperature At autoclave condition (180°C x 3H)	$\leq 1.5\%$ (JIS) $\leq 8\%$ (low relaxation grade)
	Delayed fracture resistance	No fracture for 30 years or more (aimed)
	Bondability with concrete	Bonding load ≥ 400 N/cm ² (aimed)
	Properties required in working at users	Cutting ability Unwinding ability Straightness Easiness of cutting
Heading ability ^{a)} Electric conductability Workability in sub-hot zone Scale quantity in heading process		Good Good Little
Screw-threading workability Degree of real circle Hardness at surface		Real circle in using MHV ≤ 480 (aimed)
Spot weldability Scale quantity at surface Influence of sparking Weldability		≤ 20 g/m ² (aimed) Minimum Good

^{a)} Workability to make button head

*1 平成3年2月15日原稿受付

*2 川鉄テクノワイヤ(株) 管理部製品管理室 室長(課長)

したがって、有効プレストレスを高めるためには、PC 鋼棒としては、初期張力を高くすることができ、かつリラクゼーションロスが少ないことが求められる。

2.2 PC 鋼棒に要求される特性

PC 鋼棒に要求される特性を、2.1 で述べたことを含めて材料として基本的に必要とされる特性と、お客様での加工時に要求される特性に分けて、Table 1 に示す。基本特性としては、コンクリート中に引張られた状態で配置され、コンクリートを常に圧縮状態に保つ PC 鋼棒の機能のため、高強度、低リラクゼーションが主要項目であり、加工特性としては、点溶接性ととも巻きほどこきカット時の自動化のため直線性が特に必要とされる。

2.3 PC 杭の製造方法

代表的 PC 杭の製造工程を Fig. 1 に示す。PC 杭の主筋となる PC 鋼棒は巻きほどこきカット、両端加工後、鉄線と点溶接されてカゴ状にされ型枠に入れられる。コンクリート投入、緊張、遠心力固締めを経て蒸気養生後脱型されて杭となり、オートクレーブ養生により高強度 PC 杭が完成する。

3 リバーボンの特長

3.1 リバーボンの概要

リバーボンの外観形状の一例（端末を圧造および転造加工したものを Photo 1 に示す。

リバーボンには、その高温リラクゼーション値により、ノーマル、15% 級および 8% 級の 3 種類があり、直径 7.4 mm から 13 mm までのものについて、いずれも建築センターの評定を得て、川鉄テクノワイヤ(株)の主力製品として製造販売を行っている。

PC 鋼棒としてのリバーボンの主な特長は、その成分系および製造工程から、点溶接性、耐遅れ破壊性およびリラクゼーション値が優れている点にある。

3.2 製造工程

リバーボンの製造工程を Fig. 2 に示す。

このラインの特長は、線材供給装置および巻取装置を各 2 セットずつ備え、線材を次々に溶接して（溶接部は最終のカット工程で切り捨てられる）完全連続で生産できる点、および供給から巻取まで

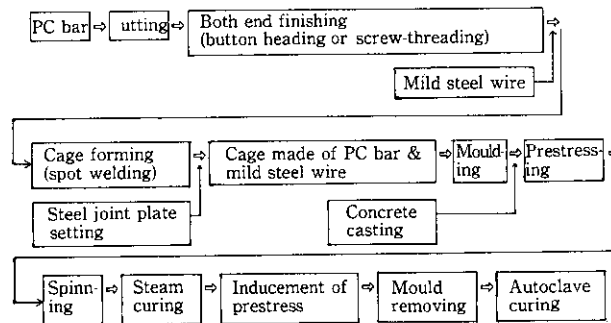


Fig. 1 Typical manufacturing process of PC pile

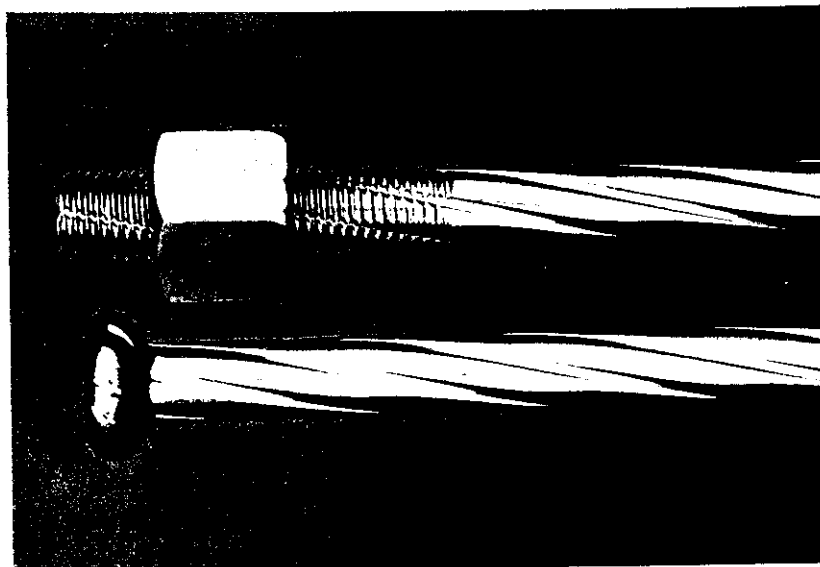


Photo 1 Appearance of Riverbon 9.2 mm ϕ (button heading and screw-threading)

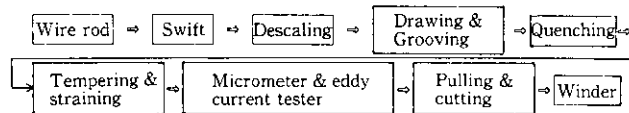


Fig. 2 Manufacturing process of Riverbon

の連続工程で PC 鋼棒を製造しうる点にある。したがって、生産性が高く、品質が均一で、歩留りロスも少ない。

3.3 成分

リバーボンの化学成分の一例 (9.2 mmφ) を市販の一例と比較して、Table 2 に示す。

成分の特長としては、点溶接性および遅れ破壊を配慮して、C を低く押さえ、その分 Mn を高くしている点にある。さらに PC 鋼棒に要求される諸特性を考慮して、Cr, B, Ti, Nb などの他の合金元素の添加も行っている。

Table 2 Chemical composition of Riverbon 9.2 mφ

Classification	Name	C	Si	Mn	P	S	Cu
8% class low relaxation	Riverbon	0.28	1.54	1.39	0.011	0.008	0.01
	Typical others	0.32	1.63	0.78	0.010	0.009	0.02
Normal grade	Riverbon	0.27	0.55	1.45	0.017	0.009	0.02
	Typical others	0.32	0.26	0.77	0.016	0.010	0.02

3.4 品質保証

製品品質のバラツキを極力押さえるため、化学成分の範囲や焼入れ焼戻しの温度範囲をきびしく管理するとともに、全長にわたり線径および表面疵の検査を実施して、全長品質保証している点もリバーボンの特長である。

4 高強度低リラクセーション PC 鋼棒 「リバーボン LR8・1420/1570」

4.1 開発経過

リバーボン LR8・1420/1570 は、香港向け PC 鋼棒として 4 年前に開発を開始した。当時より問題となった円高に対応するため、鋼材使用量を 20% 節減できる PC 鋼棒の開発を要請され、開発に取り組み実用化に成功した。その後、現在に至るまで、約 3 年間で 1 万 t を超えるこの PC 鋼棒を供給し (PC 杭の量で約 50 万 t)、納入先より高い評価を得ている。

この PC 鋼棒は、JIS SBPD より強度が 10% ほど高く、遅れ破壊の感受性が高くなるため、その厳格な評価とともに、2 次加工先での加工条件の安全領域を明確にするなど、PC 杭製造条件と組み合わせ合わせた技術開発が必要であった。

4.2 特長

4.2.1 経済性

この PC 鋼棒の特長は、特にその経済性にあり、鋼種は当社の国内向けの 8% 級のものにあわせ、主に最適熱処理条件の選定と制御

Table 3 Economical merits of Riverbon LR 8 1420/1570

PC bar Item	Normal	8% class low relaxation	LR 8 1420/1570
Tensile strength (aim)	≥1 420 N/mm ² (1 420~1 520)	≥1 420 N/mm ² (1 420~1 520)	≥1 570 N/mm ² (1 570~1 650)
Initial tension	≤0.7 × TS	≤0.7 × TS	≤0.75 × TS
Relaxation value	approx. 18%	≤8%	≤8%
Effective prestress	1 420 × 0.7 × (1 - 0.18 - 0.04* ¹ - 0.075* ²) = 700.8 N/mm ²	1 420 × 0.7 × (1 - 0.08 - 0.04* ¹ - 0.075* ²) = 800.2 N/mm ²	1 570 × 0.75 × (1 - 0.08 - 0.04* ¹ - 0.075* ²) = 947.9 N/mm ²
Economical merits (Consumption of PC bar compared with "normal")	1	700.8/800.2 = 0.876 12.4% saving	700.8/947.9 = 0.739 26.1% saving

*¹ Loss caused by elastic deformation of concrete: 4%

*² Loss caused by drying shrinkage & creep of concrete: 7.5%

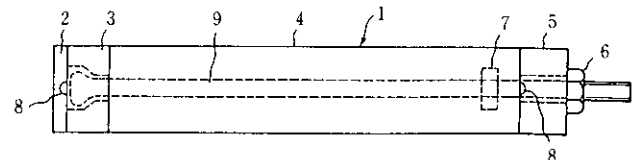
管理範囲を狭める技術を中心に開発した。その特長を経済性を中心に Table 3 に示す。

経済性の比較においては、鋼材価格に比較してコンクリートの価格は大幅に安いいため、必要鋼材量の比較すなわちコンクリートに与える有効プレストレス量の比較で考えてよい²⁾。

リバーボン LR8・1420/1570 はノーマル品に比較して 25% 以上の節減が可能である。

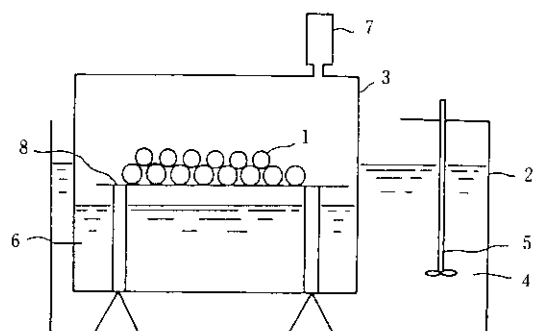
4.2.2 遅れ破壊感受性の評価

PC 鋼棒の遅れ破壊は、実用上、蒸気養生中または直後に、ヘッド飛びの形態 (ヘッド部近傍で破断) で発生することが多い。これは、この部分がコンクリートに覆われておらずむき出しであること、コンクリートが固まるまでは全体の応力を受けていること、さらにヘッド加工の際の加工歪や熱歪が残りやすいことなどによる。したがってテストも、Fig. 3 に示す試験治具に所定のヘッディング



1. Testing jig
2. Protector plate
3. Plate for supporting the head of the test piece
4. Body
5. Plate for holding the axial force
6. Nut for holding the axial force
7. Nut for retaining the test piece
8. Vent bore
9. Test piece

Fig. 3 Delayed fracture test instrument



1. Test piece
2. Thermodynamic oven
3. Saturated steam room
4. Oil heated at 60°C
5. Agitator
6. Water held thermostatically at 60°C
7. Steam cooler
8. Table for supporting the testing jigs

Fig. 4 Hot humid testing apparatus

加工を行ったサンプルを実使用の初期張力をかけてセットし、Fig. 4 に示す試験槽により 60°C の飽和水蒸気中に 60 日間保持して評価した。結果を Table 4 に示すが、8% 級のものととも良好であった。これは Si 含有量の効果が大きいためと考えられる²⁾。

4.2.3 加工性の評価

この材料を使用するにあたって、特に安全領域を明確にする必要がある項目は、ヘッド部条件と点溶接条件である。これらはいずれも緊張力を直接受ける部分であり、さらに PC 鋼棒が 2 次加工により材質的に変化する要素を伴っているためである。

最適ヘッド部条件は、実機での繰返しテストの結果、セット時間は従来のものと同一条件、実電流値は若干高目であることがわかった。最適範囲の広さおよびヘッド部の性能は従来のものと同等

Table 4 Test result of delayed fracture

Grade	Initial stress (N/mm ²)	Occurrence of delayed fracture (%)
Normal	$1420 \times 0.7 = 994$	2.5
8% class low relaxation	$1420 \times 0.7 = 994$	0
LR 8 1420/1570	$1570 \times 0.75 = 1177$	0

以上であった。なお評価は、ヘッド部の機械的性質、組織、メタルフロー、硬度分布および遅れ破壊感受性テストにより実施した。

点溶接条件についても同様の実機でテストを行い、セット時間、実電流値とも従来材とほぼ同じ最適条件範囲が得られた。この時の点溶接部の性能は従来材とほぼ同等であった。なお評価は、ラセン鉄筋の引きはがし力、点溶接部の機械的性質、熱影響部分の大きさおよび遅れ破壊感受性テストにより実施した。

5 おわりに

主に PC 杭、PC ボールに使用される PC 鋼棒は、商品として一応完成されているが、経済メリットの追求から高強度低リラグセッション化による鋼材使用量の削減、および 2 次加工での作業性の向上による省力化の 2 方向から改善がさらに進むものと考えられる。最近急速に普及した 8% 級低リラグセッション PC 鋼棒も経済性を追求した一例といえる。

今後、2 次加工先での省力化に多少でも貢献するための諸改善にさらに努力するとともに、今回紹介した輸出用高強度低リラグセッション PC 鋼棒の国内活用についても検討してゆきたい。

参考文献

- 1) JIS A 5337-1982
- 2) 川鉄テクノワイヤ(株)、ダイドール・コンクリート(ホンコン)リミテッ

ド、大同コンクリート工業(株): 特開昭 63-15170