

第6回 PC 鋼材

講師：松原 喜之*

1. はじめに

PC 鋼材は、コンクリートが引張力には弱いという弱点を補い、圧縮力には強いという特徴を最大限に生かすため、コンクリート部材にプレストレスト力を導入する緊張材の総称です。PC 構造物には鉄鋼を原料とする PC 鋼線、PC 鋼より線、PC 鋼棒が主に適用されますが、繊維などの非金属材料も用いられています。本稿では現在、PC 構造物に主に用いられている PC 鋼より線および PC 鋼棒を中心に紹介します。

PC 鋼材は、コンクリートと一体となり、適用部材が PC 構造物としての性能を発揮するよう、以下の性能が重要です。

- 1) 弾性限、降伏強度および引張強度が高いこと
- 2) 適度な伸びとじん性を有すること
- 3) リラクセーション値が小さいこと
- 4) 高い疲労強度を有すること
- 5) コンクリートやグラウトとの付着特性に優れること
- 6) 定着金具を用いて固定でき、定着性能に優れること
- 7) 強度特性のばらつきが小さいこと
- 8) 応力腐食に対する高い抵抗性があること、など

さらに近年では、過去に建設された PC 構造物としての課題克服や、建設業界および工事現場を取り巻く環境から、以下のような性能・特徴が追加で求められています。

- 1) 耐食性や耐久性に優れていること
- 2) 省力化・省人化および急速施工を可能にすること
- 3) 省資源・省エネなどを実現し、環境にやさしいこと
- 4) 設計の自由度を上げ、合理的な配置ができること
- 5) 重量軽減などスレンダーな構造物を構築可能なこと

このような要求性能の高度化を受け、PC 鋼材の規格や種類が変更・規定されてきています^{1,2)}。また、橋梁上部構造への補修・補強用の外ケーブル、拡幅用の接続ケーブル、あるいは斜張橋やエクストラドーズド橋の斜ケーブルなど PC 鋼材の適用範囲も広がってきています。

用途や要求の多様化に応じて各種の PC 鋼材が適用されている現況を鑑み、本稿では、PC 鋼材の種類、国内外の規格の変遷および最近の PC 鋼材にスポットを当てて紹介します。

2. PC 鋼材の種類

2.1 PC 鋼線および PC 鋼より線

PC 鋼線および PC 鋼より線は JIS G 3536-2014 (PC 鋼線及び PC 鋼より線) に規定されたものが広く用いられ、原材料には JIS G 3502-2013 に規定されるピアノ線材が適用されます。PC 鋼より線は、通常リラクセーション品と低リラクセーション品に区別されています。被覆のない PC 鋼より線では低リラクセーション品が一般的ですが、被覆 PC 鋼より線などでは通常リラクセーション品もあり、設計時には確認が必要です。表 - 1 に JIS G 3536 に定められた PC 鋼線および PC 鋼より線の種類と記号を示します。

表 - 1 PC 鋼線および PC 鋼より線の種類

種類		記号	
線	丸線	A 種	SWPR1AN, SWPR1AL
		B 種	SWPR1BN, SWPR1BL
	異形線	SWPD1N, SWPD1L	
より線	2 本より線	SWPR2N, SWPR2L	
	異形 3 本より線	SWPD3N, SWPD3L	
	7 本より線	A 種	SWPR7AN, SWPR7AL
		B 種	SWPR7BN, SWPR7BL
19 本より線	SWPR19N, SWPR19L		

PC 鋼より線は、炭素含有率約 0.8% のハイカーボンの線材を用いて、冷間伸線加工を経てより合され、ブルーイング処理 (低温焼なまし処理) が行われます。これら一連の工程により、高強度、小さい残留ひずみ、高い降伏強度、低リラクセーションなどの性能が得られます。PC 鋼より線の荷重 - 伸び曲線の例を図 - 1 に示します。

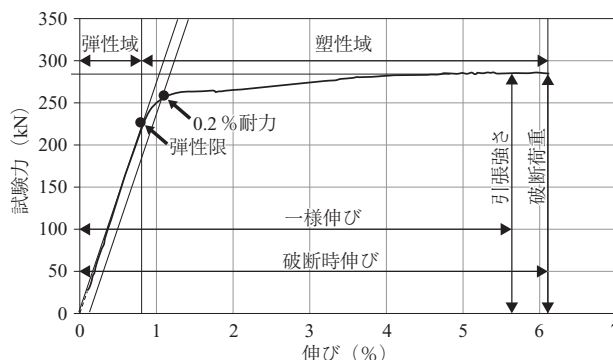


図 - 1 PC 鋼より線 15.2 mm の荷重 - 伸び曲線の例

* Yoshiyuki MATSUBARA : PC 工学会 PC 鋼材委員会 幹事

PC 鋼より線は、温度変化による線膨張がコンクリートと同程度である、という特徴も緊張材に適している理由ですが、もっとも重要な性能はこの荷重-伸び曲線に示された特性です。

PC 鋼材は、供用時の伸びが 0.6% 前後とそれ程大きくありません。設計に応じて、PC 鋼材は、部材にひび割れを発生させないようにコンクリートに有効にプレストレスを与えたり、微小ひび割れに対して復元力を与える役割を果たします。一方、PC 部材に設計荷重を超えるような外力が働き、PC 鋼材が降伏点を越えたあとも、塑性変形を生じて十分伸びることで適用部材の変形性能を引き出すことができます。そのため設計により、桁のような曲げ部材では、引張材である PC 鋼材が降伏して急激な曲げ破壊に至るのではなく、コンクリートが圧壊して終局に至る、という PC 部材の重要な特性を可能にしています。したがって PC 鋼線および PC 鋼より線は、プレテンション部材やポストテンション部材に幅広く適用されています。橋梁はもとより、卵型消化槽やサイロなどの容器構造物、鉄道の軌道スラブやまくら木、マンションや倉庫、アリーナなどの建築構造物、PC ポールやグラウンドアンカーなどさまざまな用途に適用されています。また、LNG タンクや風力発電タワー、原子炉格納容器などエネルギー分野でもなくてはならない存在となっています。今後、整備が進められる新幹線、高速鉄道、港湾構造物、さらには高速道路の床版取替えなどにも多くの適用が見込まれています。

2.2 PC 鋼棒

PC 鋼棒は JIS G 3109-2008 (PC 鋼棒) に規定されています。表 - 2 に JIS G 3109 に規定された PC 鋼棒の種類と記号を示します。PC 鋼棒は引張強さや耐力により A 種、B 種、C 種、1 号、2 号などの種類があり、定尺で持ち運びが便利、接続が容易などのメリットがあります。

太径 PC 鋼棒は、PC 長大橋の張出し架設工法などが主な用途でしたが、引張強度が高い PC 鋼より線の登場により、1990 年代頃から PC 鋼より線に置き換えられるようになりました。現在は、PC 鋼より線ではセットロスが大きく不経済となる短い緊張材や、自立するメリットを生かした鉛直方向の緊張材、仮設鋼材として、あるいは緊張材の接続を繰り返し行う架設工法で用いられることが多くなっています。

表 - 2 PC 鋼棒の種類

		種類	記号
丸鋼棒	A 種	2 号	SBPR 785/1030
		1 号	SBPR 930/1080
	B 種	2 号	SBPR 930/1180
	C 種	1 号	SBPR1080/1230
異形鋼棒	A 種	2 号	SBPD 785/1030
		1 号	SBPD 930/1080
	B 種	2 号	SBPD 930/1180
	C 種	1 号	SBPD1080/1230

3. PC 鋼材に関する規格の変遷

3.1 国内規格

(1) JIS G 3536 (PC 鋼線及び PC 鋼より線)

JIS G 3536 (PC 鋼線及び PC 鋼より線) は 1960 年にプレテンション用 PC 鋼材を中心として制定されました。そのうち、PC 鋼より線は 2 本より、3 本よりを経て 7 本よりが主流となり、1981 年に 19 本より線が JIS に規格化されました。19 本より線は主に横締め PC 鋼材として当時用いられていた PC 鋼棒を置き換える形で開発されてきた経緯があり、1999 年の改訂で PC 鋼棒 32 mm B 種 2 号相当の PC 鋼より線 28.6 mm が JIS G 3536 に規定されています。PC 鋼より線の強度は A 種 (引張強度 1 720 N/mm² 級) に始まり、1971 年に 12.7 mm B 種 (引張強度 1 860 N/mm² 級) が規格化され、1984 年に 15.2 mm B 種の規格が加わりました。1990 年代に旧日本道路公団が全面的に B 種に移行したことで、現在適用されている種類はプレテンション用途も含めて B 種が主流となっています。また、ISO 規格の制定 (1991 年) を受けて、1994 年の JIS 改正では、現在の主流となっている低リラクセーション品が規定されました。図 - 2 に PC 鋼より線のサイズと強度の変遷を示します。

JIS G 3536 の最近の改正では、2014 年の改正がもっとも新しく、原材料の規格である JIS G 3502 (ピアノ線材) にインラインパテンチング処理 (熱間圧延後の冷却工程で行うパテンチング処理) が新たに規定されたことを受け、オフラインパテンチング処理 (冷却完了後のパテンチング処理) と区別されました。また、リラクセーション試験については、JIS Z 2276-2012 (金属材料のリラクセーション試験方法) の改正で、1 000 時間 (又は以上) の値と同等であるとの十分な証拠があれば、120 時間以上で完了した結果から外挿してもよい、と規定されました。そのため、JIS G 3536 でも、保持時間を 120 時間で行う場合は、JIS Z 2276 の 7.3.5 (室温試験の場合の試験期間) の外挿法によってリラクセーション値を求める、と規定されました。

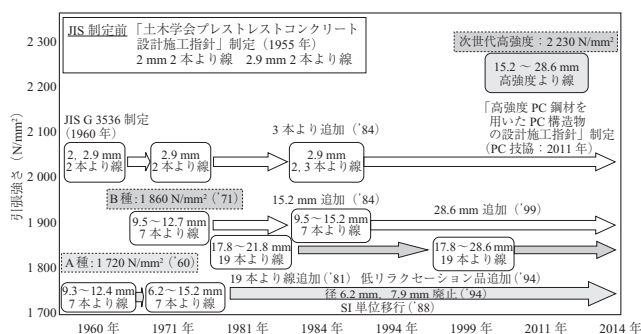


図 - 2 PC 鋼より線のサイズおよび強度の変遷²⁾

(2) JIS G 3109 (PC 鋼棒)

PC 鋼棒は 1955 年頃に開発され、日本材料学会の鋼棒使用 PC 設計施工指針 (1958 年) や、土木学会および日本建築学会の設計施工指針において規格化されていました。

JIS 規格においては、JIS A 5373（プレキャストプレストレストコンクリート製品 附属書 5（くい類））および JIS A 5337（プレテンション方式遠心力高強度プレストレストコンクリートくい）のなかで規定されていましたが、PC 鋼棒の JIS 化の要望が高まり、1971 年に JIS G 3109（PC 鋼棒）が制定されました。JIS G 3109 に規定される鋼棒は、製造方法がまったく異なる 2 種類（圧延～ストレッチ鋼棒と、引抜き～熱処理鋼棒）があることから化学成分系は Cu, S, P の不純物 3 種のみの規定となっています。直近では 2008 年に改正されており、1970 年代から製造されていた異形鋼棒（総ねじ鋼棒）が規定されています。また、引張試験時の引張速度についても、PC 鋼材の実態に合わせて見直しながされています。図 - 3 に PC 鋼棒のサイズおよび強度の変遷を示します。なお、JIS G 3109 において、PC 鋼棒の強度レベルは C 種 1 号までが規格化されていますが、高速道路調査会の仮設 PC 鋼材設計・施工マニュアル³⁾では、遅れ破壊の感受性を考慮して C 種の使用を禁止、B 種 2 号は十分な防錆処理を施して使用するなど、その適用が制限されています。また繰返し使用に関しても、原則として一現場以内に限定されており、その場合でも使用履歴の記録管理や外観検査などが義務付けられています。

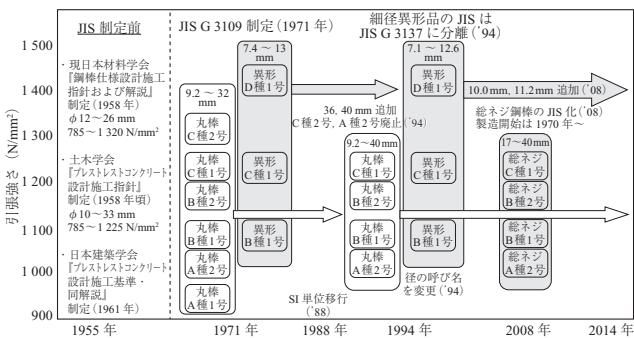


図 - 3 PC 鋼棒のサイズおよび強度の変遷²⁾

3.2 海外規格

PC 鋼材の海外規格には、国際標準化機構（ISO）、米国試験材料協会（ASTM）のほかに、EURO CODE、EU 各国の規格などが定められています。今回は日本に馴染みが深く、ODA 案件でも引用が多い、ISO 規格と ASTM 規格を紹介します。

(1) ISO 規格

PC 鋼材の ISO 規格は 1977 年に審議が開始され、PC 鋼より線は ISO 6934-4（Strand）、PC 鋼棒は ISO 6934-5（Hot-rolled steel bars with or without subsequent processing）として、1991 年に制定されました。ISO 規格はヨーロッパ勢より提案された Euronorm-138（EU-138）をベースとして検討され、各国の実情を反映させて制定されたため、JIS 規格とはいくつかの相違点があります。たとえば PC 鋼より線では、JIS 規格に規定の「ピアノ線材の使用」は ISO 規格には規定がなく、不純物元素のみの規定となっています。そのため、ピアノ線材に要求されるきず深さや脱炭深さは ISO 規格には規定されていません。また、ISO 規格には

JIS 規格に規定されていない品質特性である疲労特性が規定されています。そのほか、JIS 規格では耐力の測定点を 0.2% の永久伸びが生じる試験力としていますが、ISO 規格では 0.1% の永久伸びが生じる試験力として規定され、0.2% の永久伸びが生じる試験力については参考値として記載されています。

(2) ASTM 規格

PC 鋼より線の ASTM 規格（ASTM A 416/A 416M）は 1957 年に制定され、JIS 規格と同様に低リラクセーション品や B 種が規定されています。ASTM 規格では、JIS 規定の 19 本よりの PC 鋼より線（17.8 mm～28.6 mm）は規定されていませんが、太径の PC 鋼より線として 17.8 mm の 7 本より PC 鋼より線が 2006 年に規定されました。また耐力の測定点が 1% の伸びが生じる試験力としている点も異なっています。

PC 鋼棒の ASTM 規格（ASTM A 722/A 722M）は 1975 年に制定され、JIS 規格と同様に丸鋼棒と異形鋼棒の 2 種類が規定されています。JIS 規格が、丸鋼棒は 40 mm、異形鋼棒は D36 mm までの規定に対し、ASTM 規格では丸鋼棒は 35 mm まで、異形鋼棒は D65 mm までの太径鋼棒が規定されています。また、強度レベルは 1 035 N/mm² 以上の 1 種類のみで、JIS に規定される A 種や B 種といった規定はありません。

4. 高機能 PC 鋼材

高機能 PC 鋼材⁴⁾とは、工場であらかじめ防食加工を施し、耐食性・耐久性向上を図ったもの、グラウト作業など工程を省略、あるいは挿入・緊張といった作業の回数を減らすなどして、省力化・省人化により、現場の生産性向上を図ったものなどを指します。高強度 PC 鋼材、プレグラウト PC 鋼材、樹脂被覆 PC 鋼材などの製品が実用化されています。

4.1 高強度 PC 鋼より線

近年、桁断面において有効にプレストレスを導入する目的や、ケーブル数を削減して上部構造の重量を低減するなどの目的で、PC 鋼材の高強度化に対する要望が強くなっています。そのため、2011 年に PC 工学会より高強度 PC 鋼より線適用に関する設計施工指針⁵⁾が発刊され、JIS G 3536 に示された強度（～1 860 N/mm² 級）を超える高強度 PC 鋼より線（2 000～2 230 N/mm² 級）が実用化されています。高強度 PC 鋼より線を用いることで、ケーブル本数を減らし、省力化・省人化、急速施工により生産性向上に大きく寄与します。また原材料の低減が図れ、省資源に有効で、製品の製造から運搬、架設までの全工程で工数を減らすなど省エネも実現できます。さらに部材を縮小化し、構造物の重量低減が図れ、下部構造のスリム化が図れるなどメリットがあります。

その一方で、高強度 PC 鋼材は高応力状態で使用する場合が多く、鋼材の耐遅れ破壊性やじん性、耐疲労性の低下が懸念されます。そのため設計施工指針⁵⁾では、これらの性能について照査したものを使用することが定められています。同指針内では 7 本より 15.2 mm から 19 本より

28.6 mm までが規格化されています。7本よりおよび19本よりの高強度PC鋼より線は主方向の内ケーブル、外ケーブルおよび横締めケーブルに適用されています。また、近年はさらに28.6 mmを超える極太径の新サイズも開発され、さらに設計の自由度が広がっています。表-3に高強度PC鋼より線の一覧を示します。

表-3 高強度PC鋼より線の一覧

鋼材	PC鋼より線 (7本より, 19本より)		
記号	SWPR7HT	SWPR19HT	新サイズ
呼び名 (mm)	15.2, 15.7	21.8, 28.6	17.8, 19.3, 29.0, 30.4

4.2 プレグラウトPC鋼材

プレグラウトPC鋼材は、施工現場におけるPC鋼材の挿入作業やグラウト注入作業を不要にした防食PC鋼材です。工場でPC鋼材表面にグラウト材として未硬化のエポキシ樹脂を塗布し、外周にシームレスのシースを被覆した鋼材です。全長にわたり防食性に優れたエポキシ樹脂が塗布され、シースにより被覆されているため、耐食性に優れています。適用される樹脂は硬化するまでに時間を要するため、プレストレス導入前までアンボンド状態を保つことができ、時間の経過に伴い硬化してPC鋼材とコンクリートを一体化します。樹脂は熱硬化型樹脂と湿気硬化型樹脂の2種類に分けられ、適用される部材の施工工程や施工環境などに応じて選定します。熱硬化型樹脂はコンクリートの最高温度によって緊張可能期間に制約を受けるため、コンクリートの温度や気温に対応した多種類の樹脂から選定します。一方、湿気硬化型はポリエチレン製シースを通じて拡散・透過する極微量の水分を利用して樹脂の硬化が進行します。そのため、温度の影響が比較的小さく、1種類の樹脂を用いて、広範囲の部位に対応可能です。現在ではプレグラウトPC鋼材の大部分が湿気硬化型樹脂タイプとなっています。

プレグラウトPC鋼材は土木学会の指針(案)⁶⁾において、その製品規格、品質規格、設計および施工に関する規準が定められています。その品質は土木学会規準に定められた試験(JSCE-E 145-2013)により確認されています。またPC鋼棒に未硬化のエポキシ樹脂を塗布し、その外周にシースを配置したプレグラウトPC鋼棒、エポキシ樹脂の代わりにセメント系樹脂を用いた製品などがあり、用途に応じて使い分けられます。表-4にプレグラウトPC鋼材の一覧を示します。写真-1にプレグラウトPC鋼材の例を示します。

表-4 プレグラウトPC鋼材の一覧

鋼材	PC鋼より線	高強度PC鋼より線	PC鋼棒
呼び名 (mm)	12.7 ~ 28.6	29.0, 30.4	32
シース材料	PE製シース		鋼製シース PE製シース
樹脂	湿気硬化型, 熱硬化型		



写真-1 プレグラウトPC鋼材の例

4.3 エポキシ樹脂被覆PC鋼より線

エポキシ樹脂被覆PC鋼より線は、耐食性に優れ強度の高いエポキシ樹脂をPC鋼より線の表面に被覆したPC鋼材です。

PC工学会のPC構造物高耐久化ガイドライン⁷⁾および更新用プレキャストPC床版技術指針⁸⁾には、内部充填型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線と全素線塗装型PC鋼より線があり、後者を使用する場合は、土木研究センターの全素線塗装型PC鋼より線を使用したPC構造物の設計・施工ガイドラインを参照するよう紹介されています。

内部充填型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線は、土木学会でECFストランド(Epoxy Coated and Filled strandの略)として規定され、PC鋼材外周の表面だけでなく、素線間の隙間にもエポキシ樹脂を充填したPC鋼より線です。グラウトによらない工場加工による防食被覆のため、防錆能力の確実性が高く、構造物を高耐久化することが可能です。また、外ケーブルや斜ケーブルにおいて自由長部のグラウト注入作業を省略できることから、省力化・省人化に大きく貢献します。各クラウン部(頂点部)の膜厚が400 ~ 1200 μm、クラウン部の平均膜厚が400 ~ 900 μmと厚膜であることが大きな特徴で、現場での擦れなどの損傷による影響を低減するとともに、ピンホールフリーを実現しています。ECFストランドは土木学会の設計施工指針(案)⁶⁾において、その製品規格、品質規格、設計および施工に関する規準が定められています。その品質は土木学会規準に定められた試験(JSCE-E 141-2013)により確認されています。またPC工学会のPC箱桁外ケーブルに用いる防錆被覆PC鋼材の性能照査指針⁹⁾、高速道路調査会の防錆被覆PC鋼材の品質・施工管理に関する手引き¹⁰⁾に性能照査方法が規定され、適用時にはこれらの指針に適合することが確認されています。

ECFストランドは、国内規準だけでなく、ISO 14655:1999, ASTM A 882 / A 882M-04aにおいても規格化がなされており、海外工事で適用する際などには、これら規格を参考にできます。なお、ASTMについて2002年以前は、素線間が内部充填でない「Non-fillタイプ」も記載されていましたが、鋼材端面からの腐食水などの浸入を防ぐ目的で、素線間に樹脂を充填した「fillタイプ」のみの規定に変更されました。

ECFストランドの種類には被覆表面が平滑な標準型、コンクリートとの付着性を向上させた付着型、紫外線直射や厳しい塩害地域向けにエポキシ樹脂被覆の外側に高密度ポリエチレン被覆(以下、PE被覆)を押し出し成形したPE被覆型の3種類が土木学会の指針(案)に規定されており、

用途に応じて使い分けることができます。そのほかに、ECF ストランドを PE 被覆し、さらに、ECF ストランドとの隙間に防食層としての WAX を封入した高耐食な PE 被覆 WAX 充填型が開発されています。直接紫外線の影響を受ける直射日光下で長期にわたり適用される場合は、PE 被覆タイプが用いられます。ECF ストランドは構造物の塩害対策や長寿命化対策などさまざまな用途で用いられています。表 - 5 に ECF ストランドの種類一覧を、写真 - 2 に ECF ストランドの例を示します。

表 - 5 ECF ストランドの一覧

鋼材	PC 鋼より線 (7本より)	高強度 PC 鋼より線 (7本より)	PC 鋼より線 (19本より)
呼び名 (mm)	9.3, 12.7, 15.2	15.7, 17.8, 21.8	17.8, 19.3, 21.8
種類	標準型, 付着型, PE 被覆型, PE 被覆 WAX 充填型		



写真 - 2 ECF ストランドの例

4.4 ポリエチレン樹脂被覆 PC 鋼より線

ポリエチレン樹脂被覆 PC 鋼より線は、耐候性や耐食性に優れたポリエチレン樹脂を表面および各素線の間に加圧押し被覆した PC 鋼より線です。7本より 12.7 mm ~ 19本より 28.6 mm までラインナップがあります。ポリエチレン樹脂はエポキシ樹脂と比べて強度が低いため、被覆後の可とう性に優れますが、外ケーブルの偏向部（曲げ配置部）など高い腹圧力を受ける部位への適用時には損傷を和らげるなど配慮が必要です。この弱点を克服した硬質型（ポリエステルタイプ）も開発され、外ケーブルなどに適用されています。そのほか、コンクリートとの付着を向上させるため、鋼材の表面にひだ加工した付着型も用意されています。表 - 6 にポリエチレン樹脂被覆 PC 鋼より線の一覧を示します。

表 - 6 ポリエチレン樹脂被覆 PC 鋼より線の一覧

鋼材	PC 鋼より線 (7本より)	PC 鋼より線 (19本より)
呼び名 (mm)	12.7, 15.2	17.8 ~ 28.6
種類	標準型, 標準付着型, 硬質丸味型, 硬質付着型	

4.5 アンボンド PC 鋼材

アンボンド PC 鋼材は工場で PC 鋼材表面に防錆材を塗布し、その外周をポリエチレンシースで被覆した防食 PC 鋼材です。防錆材にはアスファルト系などの特殊ポリマーやグリースが使用されます。アンボンド PC 鋼材はシース配置工やグラウト工が不要なため、現場施工を省力化でき、ボックスカルバートや建築のスラブ、タンクなどに広く用いられています。プレグラウト PC 鋼材と異なりコンクリート部材との付着がなく、設計では付着を考慮しないことに留意する必要があります。表 - 7 にアンボンド PC 鋼材の一覧を示します。

表 - 7 アンボンド PC 鋼材の一覧

鋼材	PC 鋼より線 (7本より)	PC 鋼より線 (19本より)	PC 鋼棒
呼び名 (mm)	12.7, 15.2	17.8 ~ 28.6	9.2 ~ 40

4.6 エポキシ樹脂被覆 PC 鋼棒

エポキシ樹脂被覆 PC 鋼棒は表面にエポキシ樹脂を塗布した PC 鋼棒です。異形鋼棒では鋼棒全長に防錆処理が施されています。PC 鋼棒は高温による材質の劣化や、ねじ嵌合不良の原因となる亜鉛めっき処理を施すことが困難で、エポキシ樹脂被覆が有用な防錆方法とされています。写真 - 3 にエポキシ樹脂被覆 PC 鋼棒の例を示します。

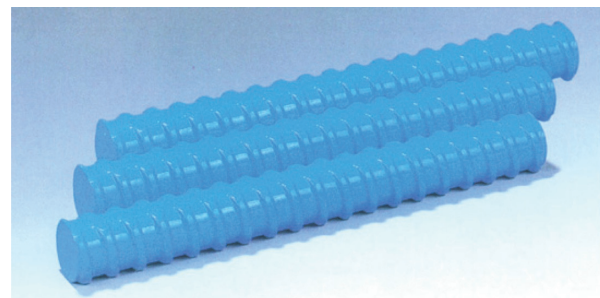


写真 - 3 エポキシ樹脂被覆 PC 鋼棒の例

4.7 圧縮 PC 鋼棒および中空 PC 鋼棒

圧縮 PC 鋼棒は、桁下端に配置した引張 PC 鋼材の緊張力と、桁上端付近に配置した圧縮 PC 鋼棒の圧縮力を調整することで、桁高が低く重量を減少させた主桁の設計が可能となり、桁高制限のある橋梁などに用いられています。絞りシースを用いた通常グラウトタイプ、薄肉鋼管を用いた工場充填のプレグラウトタイプが実用化されています。

また中空 PC 鋼棒（パイプ状の PC 鋼棒）と反力 PC 鋼棒（圧縮 PC 鋼棒）および特殊定着具を組み合わせ、緊張力を付与した状態で工場から出荷されるユニットも実用化されています。中空 PC 鋼棒と反力 PC 鋼棒の間には、ユニット組立時に防錆用樹脂が注入されています。施工現場では配置、コンクリート硬化後に圧縮力を解放する簡単な作業のみで部材へのプレストレス力を導入可能な点が大きな特徴です。ユニットは中空 PC 鋼棒の両端に加工されたねじ部の付着によるプレテンション方式です。既設部を削孔して配置することでポストテンション用途としての使

用にも適しています。外ケーブル補強の定着部・偏向ブロックの横締め締結や、縁端拡幅などのアンカー材としても用いられています。

5. ケーブル加工品

工事現場での省力化・省人化を図るため、PC鋼材はあらかじめ工場で定尺に切断され、ケーブルとして一体化されたものを束ねて引き込み挿入が行われるケースが増えています。

急速施工など生産性向上につながるために、専用のサプライ装置や引込み器具を用いることで、鋼材や被覆の損傷を防ぐことができ、品質確保にも役立っています。外ケーブルなどに適用の多いリールなどにPC鋼材が複数本巻き取られた状態の製品、および斜ケーブルなどで実績の多い、ストランドを束ねたのちに、外周にポリエチレンで覆うセミプレファブマルチケーブルが一般的に使用されています。

5.1 マルチ加工ケーブル

マルチ加工ケーブルはストランドを定尺長さで複数本束ねて、鉄ドラムに巻き取り、あるいはドーナツ状に纏めて、一括で引き出せるようにした製品で、写真-4に示します。

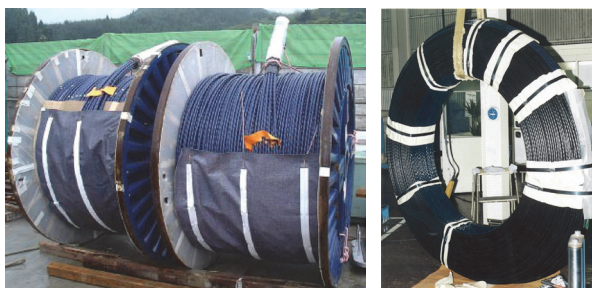


写真-4 マルチ加工ケーブルの例

5.2 セミプレファブマルチケーブル

セミプレファブマルチケーブルは、工場で複数本のPC鋼より線を束ねてより合せた状態で一括被覆を行った高耐食大容量ケーブルです。主に斜ケーブルや外ケーブルとして用いられます。束ねるPC鋼より線の種類によりさまざまなケーブルがあり、現在は、ECFストランド、亜鉛めっき、アンボンドなどをマルチケーブルにした製品があります。セミプレファブマルチケーブルの例を写真-5に示します。

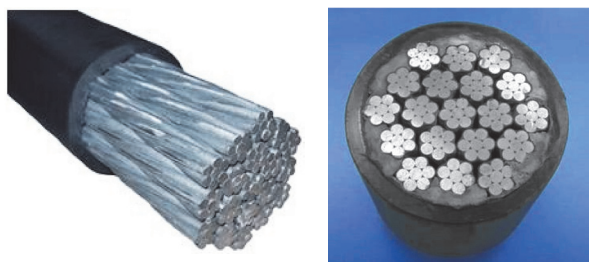


写真-5 セミプレファブマルチケーブルの例

6. そのほかのPC緊張材料

これまで適用試験などが実施された非金属材料の緊張材には、カーボン繊維、アラミド繊維などがあります。金属のように錆びる心配がなく、軽量であることが大きなメリットです。カーボン繊維の緊張材は、米国を中心に寒冷地のPC桁や沿岸地域のPCパイルに適用が広がっています¹¹⁾。またアラミド繊維の緊張材を用いて鋼部材など錆びる材料を使用しない橋梁も試験的に製作されています¹²⁾。適用時には連続繊維材料特有の留意事項を踏まえた上で、設計施工時には適用箇所や適用方法などの検討がなされています。

またステンレスPC鋼材も開発されており、錆に強い材料として沿岸地域のPC版などに適用された事例があります。写真-6に非金属材料の緊張材の例を示します。

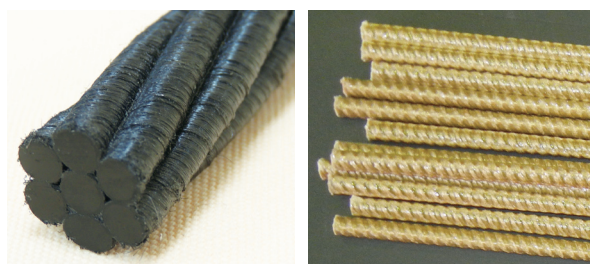


写真-6 カーボン連続繊維とアラミド連続繊維の例

7. PC鋼材の張力計測

新設橋の建設のみならず、PC構造物のストックが増えるにつれ、維持管理が非常に重要視されてきています。PC鋼材の腐食や破断を検知する技術も適用され始めています。とくにPC構造物のプレストレス力が適正に導入されていることを長期にわたり確認することは重要で、PC鋼材の張力を計測する技術も普及し始めています。ロードセルでの計測以外にも振動法や磁歪法の張力センサーなどを用いた計測も実例が増えてきています。またPC鋼材に光ファイバーなどを組み込んで張力を計測する方法も適用が開始され、実橋のケーブルでも測定可能であることが紹介されています¹³⁾。センサーを埋め込むことにより、PC鋼材の張力が長期的に把握できるようになり、将来の変状や損傷を早期に発見できることが期待されています。写真-7に光ファイバー埋込み型PC鋼材の例を示します。

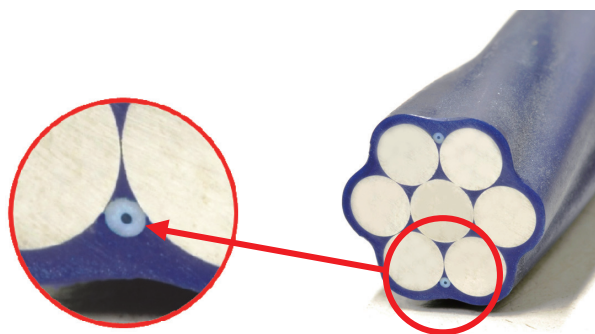


写真-7 光ファイバー埋込み型PC鋼材の例

8. おわりに

現在主流となっている PC 鋼材および最近の高機能 PC 鋼材を中心に紹介いたしました。本稿では触れませんでした。PC 鋼材の現場での取り扱いについては土木学会、PC 工学会や高速道路調査会などから発行されている図書 3, 5~10, 14, 15) に記載の注意事項や遵守事項に従って取り扱うことが重要です。とくに、PC 鋼材単体だけではなく、定着システムや緊張機器も含めて総合的に理解を深め、計画段階から、より信頼性が高く、ヒューマンエラーの起きにくい材料やシステムを選定することが重要だと考えられます。また、PC 鋼材と同時に使用される PE シースや PC グラウトとの適合性についても、適用される PC 鋼材が損傷や劣化を生じないことなど、事前に確認しておくことも重要なポイントです。

過去、PC 鋼材はコンクリートにプレストレスを導入するだけの目的に使用されてきましたが、防食機能および工程短縮機能を付加し、高強度化を図り、センサーなどを組み込むことによって、ますます高機能化されてきています。

高機能化が図られることにより、PC 工事あるいは PC 構造物の安全性、信頼性および生産性が高まることから、新しい PC 鋼材の真の重要な役割ではないでしょうか。

最後に、この小文が皆様の PC 鋼材に対する理解を少しでも深める端緒となれば幸いです。

参考文献

- 1) 山田真人：PC 鋼材技術の現状，コンクリート工学，2009-11
- 2) 山田真人：PC 橋の PC 鋼材の変遷，橋梁と基礎，2014-8
- 3) 高速道路調査会：仮設 PC 鋼材設計・施工マニュアル，1997
- 4) 及川雅司：特集 締める 温故知新プレストレスを付与する為の緊張材料の変遷，土木技術，2015-10
- 5) PC 技術協会（現 PC 工学会）：高強度 PC 鋼材を用いた PC 構造物の設計施工指針，2011
- 6) 土木学会：エポキシ樹脂を用いた高機能 PC 鋼材を使用するプレレストコンクリート設計施工指針（案），2010
- 7) PC 工学会：PC 構造物高耐久化ガイドライン，2015
- 8) PC 工学会：更新用プレキャスト PC 床版 技術指針，2016
- 9) PC 技術協会（現 PC 工学会）：PC 箱桁外ケーブルに用いる防錆被覆 PC 鋼材の性能照査指針，2012
- 10) 高速道路調査会：防錆被覆 PC 鋼材の品質・施工管理に関する手引き，2010
- 11) 牛島健一，榎本剛，古瀬徳明，山本義明，Field development of carbon-fiber-reinforced polymer in bridge applications, PCI Journal 2016-9/10
- 12) 緒方辰男，大城社司，永元直樹，片健一：超高耐久橋梁の開発と実証橋の施工，プレレストコンクリート，PC 工学会，2016-3
- 13) 大窪一正，今井道男，千桐一芳，中上晋志：光ファイバーを用いた PC 緊張力計測技術，PC 工学会，第 25 回シンポジウム論文集，2016
- 14) PC 技術協会（現 PC 工学会）：外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準，2005
- 15) PC 建設業協会：PC グラウト & プレグラウト PC 鋼材 施工マニュアル改定版，2013

【2017 年 6 月 9 日受付】



刊行物案内

プレレストコンクリート技術 2017 年 7 月 (PC 技士試験講習会テキスト)

別冊として、過去 5 年間の PC 技士試験問題，正解および解説を掲載しています。
現金書留または郵便普通為替にてお申込みください。

定 価 6,000 円 / 送料 300 円

会員特価 5,000 円 / 送料 300 円

公益社団法人 プレレストコンクリート工学会