

これからの PC 材料

山田 真人*1・南 敏和*2

1. はじめに

PC 構造を構成する主要材料がコンクリートと緊張材であることは論を待たないであろう。このほかにも、ダクトを形成するシースや保護管、グラウト材や定着具を構成する材料、鉄筋も重要な位置づけにあるが、ここでは、編集委員会から与えられた「これからの PC 材料」について緊張材に絞って稿を進めたい。

歴史的には、緊張材は次のような進歩を遂げてきたと考えられる。

- 1) より高強度である
- 2) より低リラクゼーションである
- 3) よりじん性に優れる
- 4) より遅れ破壊特性に優れる
- 5) より付着性能に優れる
- 6) より定着性能に優れる
- 7) グラウト作業に依存しない防食機能を有する
- 8) 防食そのものが不要である
- 9) より太径、より大容量である

これら以外にも、たとえば任意の位置で切断して緊張・定着が可能である総ネジ鋼棒や、非磁性鋼材、現場での緊張作業を不要にする緊張材システムが過去に登場したように、従来の延長線上にない新機能を有する緊張材が新たな適用用途とともに登場することも大いに期待される。

長期にわたって緊張力や健全性（あるいは劣化の程度）のモニターが可能な緊張材や、性能劣化を自己修復する機能を有するような緊張材は、ハードルは高いものの非常に有望といえよう。また、いずれの緊張材もポストテンション形式で使用されるためには、適切な定着具と緊張機器がともに供給され、総合的な信頼性、経済性に優れたシステムであることが望まれる。



*1 Masato YAMADA

住友電エスチールワイヤー(株)
PC 技術部長



*2 Toshikazu MINAMI

神鋼鋼線(株)
取締役開発本部長

技術の進歩を正確に見通すことは、難しいが、ここでは、すでに一部で実用化や開発が進み、今後有望だと考えられるものについて、その特徴を紹介することとする。

2. 高強度 PC ストランド鋼材

ここでいう高強度とは、現行 JIS に規定される B 種ストランドに対して約 20% の高強度化が図られたものである。化学成分の調整と精緻な熱処理工程によって微細な金属組織を形成することで高強度化を達成する一方、JIS 規定のストランドと同等の伸び性能が確保されている。現行の PC ストランドは、JIS に規定されるピアノ線材を使用しなければならないが、高強度 PC ストランド用の成分系は、その規定に合致しないものであることに留意する必要がある。すでに、3. に記述する内部充てん型エポキシ樹脂塗装との組合せで、実大引張試験、実大疲労試験等、各種検証試験が実施され、AKIBA_Bridge や矢部川大橋の比較的大容量の外ケーブルとして実用化が始まっている。

高強度ストランドを使用するメリットとしては、製造・運搬時等の

- ・省資源・省エネルギー・CO₂等の削減効果

PC 鋼材本数の減少に伴う

- ・現場作業の省力化
- ・設計自由度の向上
- ・維持・点検費用の縮減

高強度コンクリートとの組み合わせることで

- ・部材のより一層の軽量化

斜ケーブルの場合には

- ・より小口径化による風荷重の影響低減

総合的な経済性の向上

等々があげられる。

一方で、高強度化ともなって遅れ破壊やキズに対する感受性が高くなると考えられることや、緊張材はもちろんのこと、定着構造に対してもより一層高い信頼性が求められることなどに十分注意を払う必要がある。

参考として、実用化されたφ15.7 mm の高強度 PC ストランドのメーカー自主規格と荷重-伸び曲線の一例を、φ15.2 B 種ストランドとの比較によって表-1 と図-1 に示す。

表-1 高強度 PC ストランドの機械的性質

	呼び名	公称断面積	破断荷重	0.2% 永久伸び時の荷重	伸び
		mm ²	kN	kN	%
高強度 PC ストランド	7-wire 15.7	150	≥ 335	≥ 285	≥ 3.5
φ15.2 B 種ストランド	JIS G3536 SWPR7BN 15.2	138.7	≥ 261	≥ 222	≥ 3.5

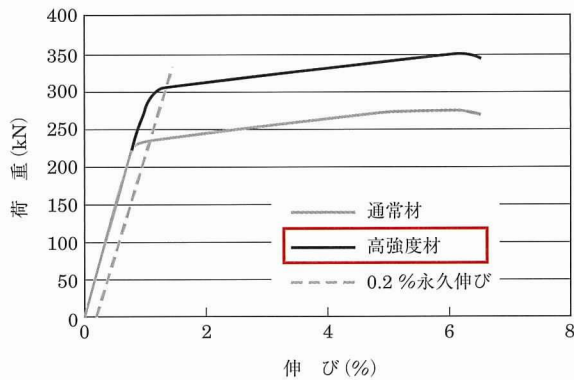


図 - 1 荷重 - 伸び曲線の一例

高強度 PC ストランドの適用が「より少数のケーブルをより確実に施工すること」につながるのであれば、PC 構造物の信頼性をより一層高めるうえでも非常に有効であると考えられる。

3. 樹脂被覆ストランド鋼材

グラウトに依存しない工場加工型防食 PC 鋼材として、国内ではもっとも適用実績の多いものである。樹脂としては耐食性や強度、鋼材との密着性の観点からエポキシ樹脂の実績がもっとも多いがポリエチレン樹脂を用いたものも製品化されている。外ケーブルとして樹脂塗装単独仕様 (写真 - 1) やポリエチレン被覆とともに用いられ (写真 - 2)、現場架設型の斜ケーブルとしてグラウトやポリエチレン保護管とともに用いられ (写真 - 3)、セミプレハブ型の押し出し加工されたポリエチレン被覆とともに使用

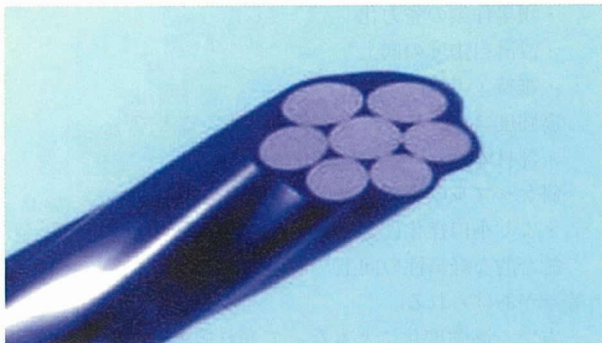


写真 - 1 エポキシ樹脂被覆 PC ストランド

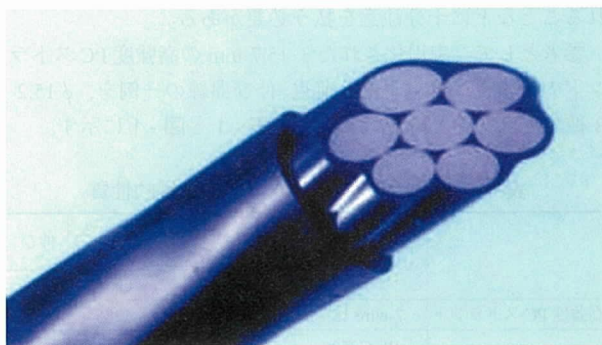


写真 - 2 PE 被覆エポキシ樹脂被覆 PC ストランド



写真 - 3 斜ケーブルにエポキシ樹脂被覆 PC ストランドを用いた三内丸山 BL (写真提供 (株) 銭高組)

されている (写真 - 4)。また、塩害地域の内ケーブルとしてグラウトとポリエチレン保護管とともに使用される例もある。

樹脂被覆は、グラウトに依存しない PC 鋼材の防食が主目的であるが、ストランドを構成する素線同士、ケーブルを構成するストランド同士、あるいはストランドと定着金具間に発生するフレッチング疲労 (微動摩擦腐食) 防止にも効果がある。とくに、大容量のケーブルが小さな曲げ半径で配置され、高い腹圧力が生じる外ケーブルの偏向部等ではこの性状が重要であり、緊張力付与後や長期の圧縮クリープ変形後も樹脂塗膜が残存していることが重要な特性となる。

また、近年、斜ケーブルにおいては、グラウトが恒久的な防食層と見なされないケースもあり、樹脂被覆ストランドが適用されることが増加している。

エポキシやポリエチレン樹脂はセメントグラウトとの反応性がなく、多重の防食機構を形成しやすいことも特長といえる。緊張材としての特質から、全長にわたってピンホールフリーを達成する品質管理、樹脂膜厚を考慮した適切な定着装置の使用も重要である。

たとえばエポキシ樹脂に紫外線劣化が認められるように、適用樹脂と適用環境、使用方法、使用期間に応じた事前の性能確認によって適用限界を見極めることが重要であることはいうまでもない。



写真 - 4 マルチエポキシケーブル

樹脂被覆ストランドの規格としては、現在、エポキシを使用したものについて国際標準化機構 ISO と米国規格 ASTM に制定されているのみであり、国内でも規準化が待たれる状況にある。

4. プレグラウト PC 鋼材

プレグラウト PC 鋼材は、PC 鋼材の表面に充てん材として未硬化の常温硬化性樹脂を塗布し、その上からポリエチレンシースを連続成型して被覆したものである。この充てん材は PC 鋼材の緊張作業までの必要な期間はアンボンド状態を保ち、その後、時間の経過とともに自然硬化して、最終的には PC 鋼材とコンクリートとが一体化するものである。したがって通常はプレストレストコンクリートのポストテンション工法に必要なグラウト注入作業が不要になり、工期の短縮や省力化等の施工性の改善を図ることができる。さらに、ケーブルの製作が品質管理の容易な工場で行われるため、品質的にも優れている。

このプレグラウト PC 鋼材は、1985 年より開発が開始され、建築分野では 1988 年から実用化され、土木分野では 1992 年から主に床版横締め用 PC 鋼材として本格的に使用されてきた。これにしたがい各種設計・施工基準などが整備され、現在では、高速道路の道路橋以外での実績も増加し、また内ケーブル方式の主ケーブルとしても採用されてきている。

この製品についても種々改良改善が進んでおり、当初の熱硬化型エポキシ樹脂を使用したものから温度感受性を改良した湿気硬化型エポキシ樹脂を用いたものも開発されて

いる。さらに、最近超遅延硬化性を有するセメント系の充てん材も開発されており、これを使用したセメント系プレグラウト PC 鋼材も実用化されている。この特長としては、セメントを主成分としているため環境面などで優れており、さらに PC 鋼材の表面に不動態皮膜が形成されるため、耐食性にも優れている。ただし、現在エポキシ系に比べて緊張可能時間が短いことで使用上の制限があるが、さらなる長期化の実現に向けて改良を進めている状況である。樹脂系およびセメント系充てん材を用いたプレグラウト鋼材を写真 - 5 に示す。

プレストレストコンクリートに関する技術は欧米から導入されたものが多いが、プレグラウト PC 鋼材は数少ない日本発祥の技術であり、今後一層の技術改良が行われることにより、プレストレストコンクリート技術に貢献するものと思われる。

5. ダンパー型異強度混成ストランド鋼材

緊張材の機能にダンパーとしての機能を付与することを狙いとして、降伏点の低い軟鋼材と 2. に示した高強度鋼材を 1 本のストランドにより合わせたものである。荷重の除去とともに変形が原点を指向する PC 構造本来の特長に加え、エネルギー消散能にも優れた構造を通常の PC 構造と同等の簡便さで実現することを目指したものである。繰返し荷重による軟鋼材の座屈を防止するために外層部に高強度材を、中心部に軟鋼材を配置したもの（図 - 2）を用いて実用化に向けた開発が進められている。大地震時にも高強度材が降伏しないよう 2. に記述した 2 250 MPa 級のものが使用されている。新設の構造物ばかりでなく、既設構造物の耐震補強用途としても有望である。現在、 ϕ 22.6 mm、 ϕ 28.6 mm の 2 種類が用意されている。



写真 - 5 プレグラウト PC 鋼材の構成

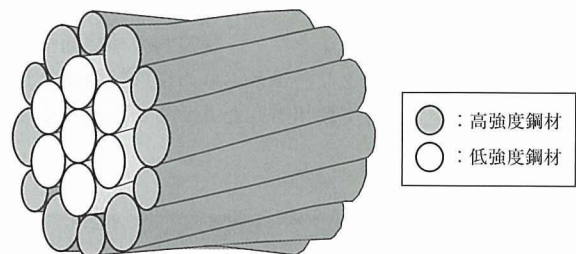


図 - 2 ダンパー型異強度混成ストランド

6. コルゲート型中空パイプを断面内に有するストランド鋼材

坑道の支保工として用いられるケーブルボルト用として、グラウトに用いるホースを断面内に組み込み、ケーブル加工の省力化を図るとともに、削口径の縮小を狙いとしたものである（写真 - 6）。グラウトホースの機能を果たす金属製コルゲートパイプが、外側に配置された PC 鋼より線によって保護された構造で、任意の位置で切断して固定端端部から確実にグラウト材を噴射させる使用方法が可能である。コルゲートパイプを使用することで通常の PC ストラ



写真-6 コルゲート型中空パイプを有するストランド

ンドと同等の可とう性を有し、リールレスやドラム巻きによる長尺品の出荷が可能である。緊張・定着についても通常のPCストランドとまったく同様に行うことができる。トンネルやグラウンドアンカー、地盤構造物等への適用が考えられる。現在、呼び径28mm、破断荷重が600kN級のものが実用化されている。

7. 連続繊維緊張材

耐久性の面で腐食しない材料として高強度の連続繊維材料（FRP）の利用も20年以上前から検討されてきた。

主には炭素繊維やアラミド繊維が使用され、棒状、より線状、組紐（くみひも）状、矩形断面等で長尺に成形されたもの（ここでは総じてFRPロッドと称する）（写真-7）が実用化されている。

これまで、国内外で本格的な利用に対し種々検討され、設計施工指針なども制定されている。ただ、従来鋼材よりも高価になるFRPロッドは初期コストアップにつながる等の理由から、PC緊張材として150件近くの使用実績はできたが、本格的な普及に至っていない。しかしながら今後、耐震補強や塩害地域のコンクリート構造物の補修補強に使用されたり、薄いコンクリートかぶりの中での補強材として錆びないことを生かして使用されたりすることが多くなる



写真-7 緊張材の一例

と考えられる。また、腐食環境下でのPC橋梁の維持管理費の効率化を図る目的で、いくつかの団体でFRPロッドを緊張材等に用いた耐久性設計のワーキングが行われ、使い方によっては、LCC縮減が期待できる試算結果も出ている。

社会資本施設であるコンクリート構造物のライフサイクルコスト（LCC）縮減がますます重要視される今後、LCC縮減を考慮した将来的なPC材料としてFRPロッドが大いに利用されることが期待される。

8. おわりに

以上現在の新しいPC鋼材の紹介を通して今後の展開を見てきたが、プレストレストコンクリート用緊張材については、今後も高強度、高耐久性、高機能がキーワードになっていくものとする。また同時に使用される材料、とくにコンクリートの技術革新とも歩調を合わせ、お互いの特性を生かし合うようなものを開発していく必要があると考え、実現していくものと期待している。

【2009年2月27日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

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

定 価 4,725 円／送料 500 円

会員特価 4,000 円／送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版