

第 11 回 特殊構造・材料のプレストレッシング

講座部会*

1. はじめに

前回の講座では建築におけるプレストレッシングの事例を紹介しました。これまで本講座では、主にポストテンション方式によるプレストレストコンクリート道路橋を想定してプレストレッシングの基本を説明してきました。今回は、本講座のまとめとして、これまでに紹介していない特殊な構造におけるプレストレッシングの設計・施工の事例および留意点などについて紹介します。

ここで紹介する特殊構造としては、構造的、材料的なものについて紹介します。

2. 特殊構造の事例

2.1 プレテンション桁

一般的な構造に分類されますが、ここでは工場で製作されるプレテンション桁のプレストレス導入工法（プレテンション方式）について説明します（写真 - 1）。

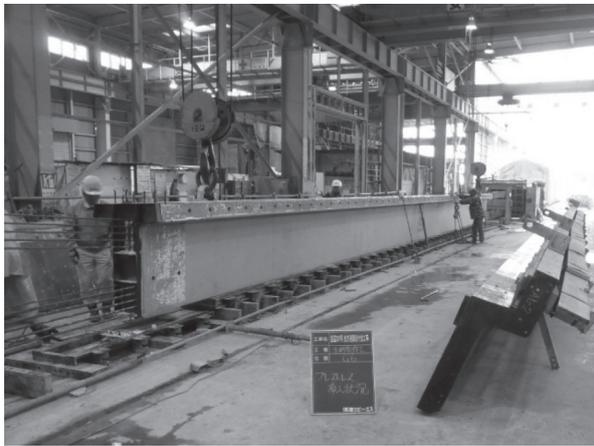


写真 - 1 プレストレス導入状況

プレストレス導入の手順は、以下のとおりです（図 - 1）。

① コンクリート打設前に、PC 鋼材を両アバット（PC

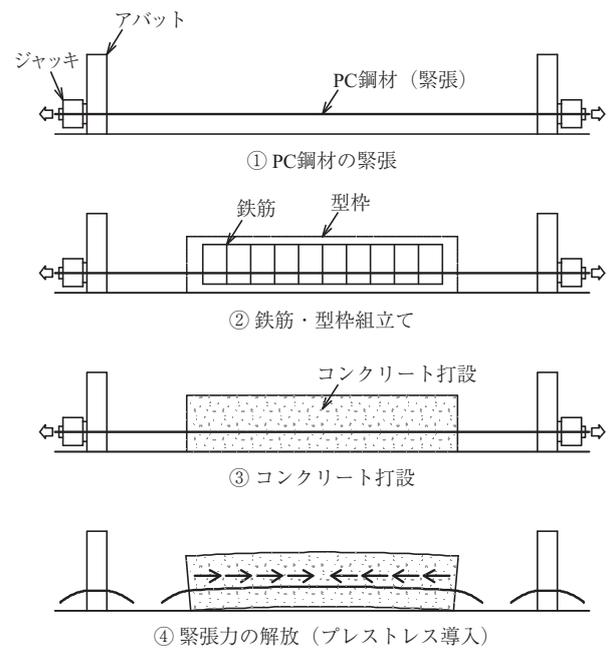


図 - 1 概念図

鋼材を緊張して止める台) 間に配置し、ジャッキで所定の緊張力まで緊張した状態で定着します。

- ② 鉄筋および型枠の組立てを行います。
- ③ コンクリートを打設します。
- ④ コンクリートが所定の強度に達してから、ジャッキの緊張力を徐々に緩めてコンクリートにプレストレスを与えます。

このように、プレテンション方式では、コンクリート打設後に緊張力を解放するため、コンクリートと PC 鋼材が互いに滑らないこと（付着）によってコンクリートにプレストレスが導入されます。ポストテンション方式では、定着部の支圧によりプレストレスが導入されますから、この導入方法の違いが主な特徴といえます。

緊張力の管理は、圧力計の示度ならびに PC 鋼材の伸び量を計測することで管理します。管理範囲は、設計値と実

*執筆：篠崎 英二、伊藤 朋紀、小野 秀平、妹尾 正和、西永 卓司、長谷川 剛、山崎 啓治

Eiji SHINOZAKI：川田建設 (株)
Masakazu SENOO：(株) 建研
Keiji YAMAZAKI：鹿島建設 (株)

Tomoki ITOU：(株) 安部日鋼工業
Takuji NISHINAGA：(株) 富士ピー・エス

Shuhei ONO：清水建設 (株)
Tsuyoshi HASEGAWA：ドーピー建設工業 (株)

測値の差が、圧力計の示度については0～5%以内、PC鋼材の伸びについては±5%以内になるように管理します。ただし、緊張力はPC鋼材の許容引張応力度を超えてはいけません。

なお、PC鋼材に与える緊張力は、蒸気養生の温度補正^{a)}によるPC鋼材応力の減少量、緊張装置の摩擦による損失量などを考慮して決定する必要があります。

2.2 プレベーム合成桁

プレベーム合成桁は、I形断面を有する鋼桁の曲げ変形を利用してコンクリートにプレストレスを導入する鋼桁とコンクリートの合成桁です。桁高を低く抑えることができる特長があり、主に橋梁や建築梁などに用いられています。標準的なプレベーム合成桁の断面形状を図-2に示します。

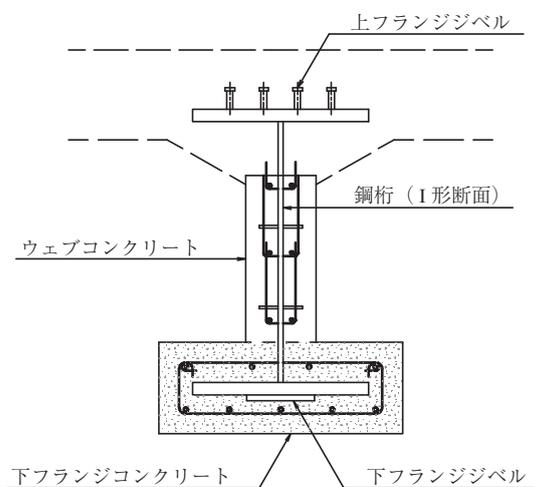


図-2 プレベーム合成桁の断面

プレストレス方法は、所定のそりを与えた鋼桁に荷重を載荷して、引張側の鋼桁下フランジのまわりにコンクリートを打設、硬化後、鋼桁に与えていた荷重を取り去ることによって、下フランジコンクリートにプレストレスを導入します（図-3）。

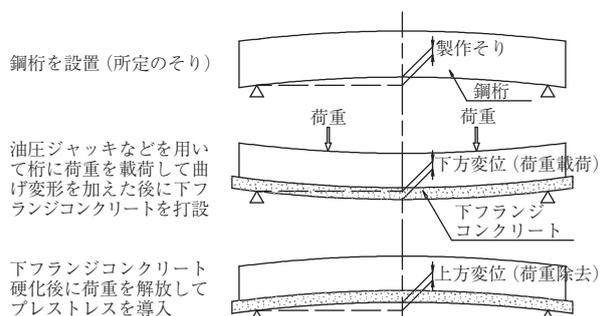


図-3 プレベーム合成桁の鉛直変位

プレベーム合成桁のプレストレスは、荷重を与えるための油圧ジャッキの圧力計示度と、桁の鉛直変位によって管理します。なお、荷重載荷時には鋼桁に非常に大きな曲げ変形を与えますので、鋼桁の横倒れ座屈^{b)}に注意する必

要があります。

2.3 斜張橋

斜張橋¹⁾の緊張管理は、外ケーブルと同様に角度変化が小さく、その摩擦による損失も少ないことから、緊張力と伸びを管理する方法を原則として用います。

また、緊張は、斜材定着方式や斜材の製作方法などの特性を理解したうえで管理を行う必要があります（写真-2）。

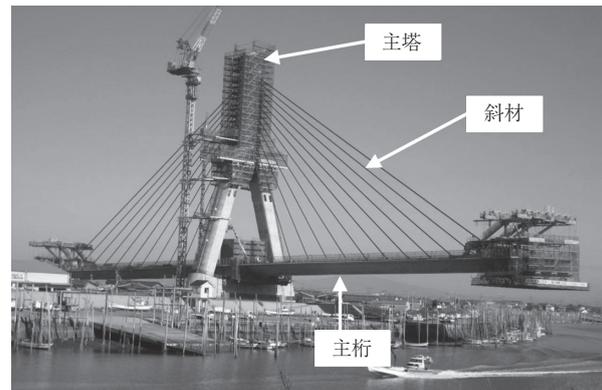


写真-2 建設中の斜張橋

斜張橋の緊張管理は、緊張力を主、伸び量を従として管理を行います。1次緊張（初期緊張力の導入）の方法には、全本数のストランド（PC鋼より線）を挿入し、センターホールジャッキで一括緊張する方法と、ストランドを一本ずつ挿入するたびにシングルストランドジャッキで緊張する方法があります（写真-3）。



写真-3 シングルストランドジャッキによる緊張

ストランドを1本ずつ緊張する方法では、すべてのストランドの導入緊張力が等しくなるように管理することが重要です。どこまで緊張すればよいかストランドに工場であらかじめ印をつけるマーキング法や、最初に緊張したストランド（マスターストランド）の応力変動をロードセルやシングルストランドジャッキを利用して把握し、同じ緊張力が導入されるように残りのストランドを緊張していく方法などが用いられます（写真-4）。

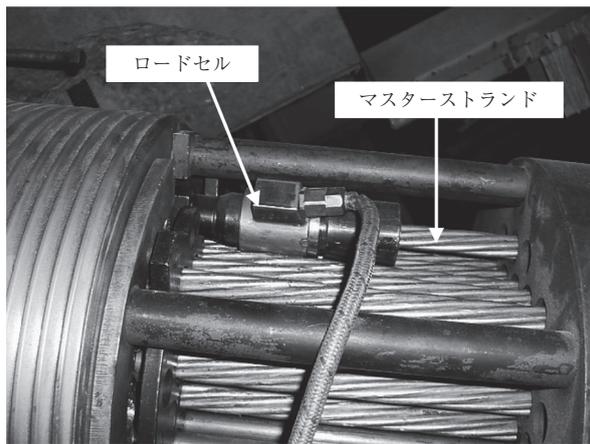


写真 - 4 ロードセルによる導入張力の把握

張出し施工を行う斜張橋では、架設中や構造完成時に一度導入した張力を増減させる張力調整を行うことがあります。主桁の応力およびたわみの調整や完成系の斜材張力をバランスよくするのが目的です。斜材の定着具は、調整方法や調整量に応じて適切なものを採用する必要があります。

2.4 PC タンク

PC タンクはその優れた液密性、耐久性および耐震性により、上水道、農業用水、下水道、液化天然ガス (LNG) 貯蔵施設など幅広い用途に使用され、全国で約 8 000 基の実績があります。このうち、数のうえでは圧倒的に多い、水道用 PC タンクのプレストレッシングについて紹介します。

一般的な PC タンクは、底版と円筒形側壁とドーム形状の屋根からなり、側壁が PC 構造となっています。側壁には、満水時の静水圧によるフープテンションを打ち消すようにプレストレスを与えるため、円周方向 PC 鋼材を配置しています。空水時には円周方向 PC 鋼材による圧縮力のみが作用し、これにより発生する曲げモーメントにより引張応力が生じるため、鉛直方向にも PC 鋼材を配置しています (図 - 4)。

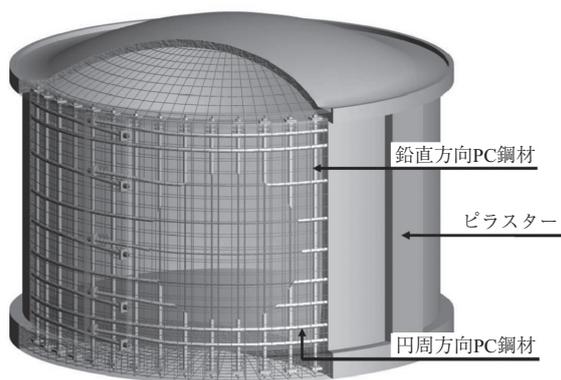


図 - 4 一般的な PC タンクの鋼材配置

円周方向プレストレス力は、PC 鋼材をピラスター (定着柱) を用いて緊張定着することにより与えられますが、プレストレス力ができるだけ一様となるように、図 - 5 に示すように交互に配置します。

プレストレッシングの施工上の留意点として、円周方向 PC 鋼材を先に緊張するとひび割れが発生するおそれがあるため、鉛直方向 PC 鋼材を緊張してから、円周方向 PC 鋼材を緊張しなければならないこと、また、図 - 5 の鋼材配置の場合、6 台のジャッキを用いて 1 段に配置されている 3 本の PC 鋼材を同時に緊張することがあげられます。

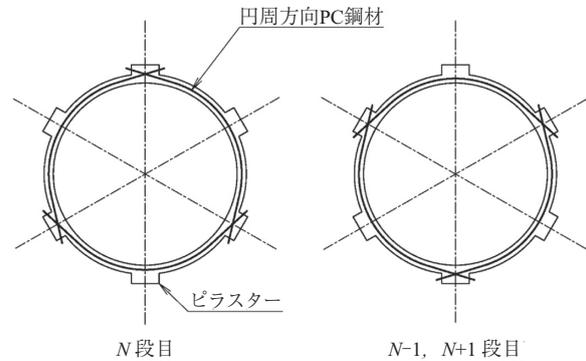


図 - 5 ピラスターと円周方向 PC 鋼材の配置

2.5 曲線橋

曲線橋とは、主桁の軸線および主版の平面形状が曲線または折れ線となる橋をいいます²⁾ (写真 - 5)。



写真 - 5 曲線箱桁橋の事例

緊張計算は、直線橋と同様に、① PC 鋼材とシースの摩擦 (長さ) による損失と ② 角変化による摩擦損失の影響を考慮します (詳しくは、第 3 回 緊張計算を参照してください)。しかしながら、曲線橋の主桁断面内に配置される PC 鋼材は側面的に曲げ配置され、かつ平面的には主桁軸線が平面曲率を有し、それらを考慮した角変化および長さを正確に反映し計算することは非常に煩雑です。道路橋設計便覧では、これらを簡便に扱う方法を紹介しています³⁾。

- PC 鋼材の長さ 1 m あたりの摩擦係数 (λ) を構造の平面曲率を考慮して割増す方法

$$\lambda^* = \lambda + \mu/R$$

ここに、 μ : PC 鋼材の角変化 1 ラジアンあたりの摩擦係数

R : 構造の平面曲線半径

曲線橋のウェブに配置される PC 鋼材は、水平方向に腹圧力が作用するため、これに対する補強筋配置が注意喚起されています⁴⁾。ここでは、曲線箱桁橋のウェブ鋼材に対して配置された水平方向腹圧力補強筋の一例を示します(図 - 6)。

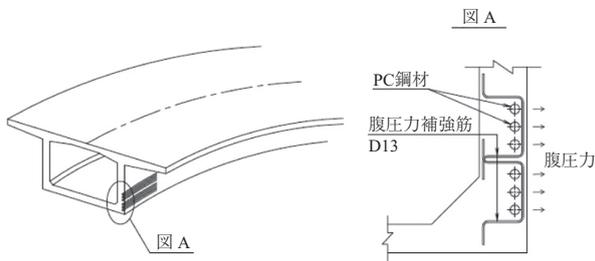


図 - 6 曲線橋のウェブに配置される腹圧力補強筋

3. 特殊材料の事例

3.1 仮設用 PC 鋼材

PC 鋼材は仮設材としても用いられ、取扱いの容易性などから PC 鋼棒(丸棒)や総ねじ PC 鋼棒(写真 - 6)が、張出し架設工法やプレキャスト部材の架設、さらに施工機材や支保工などの固定に多く用いられています。

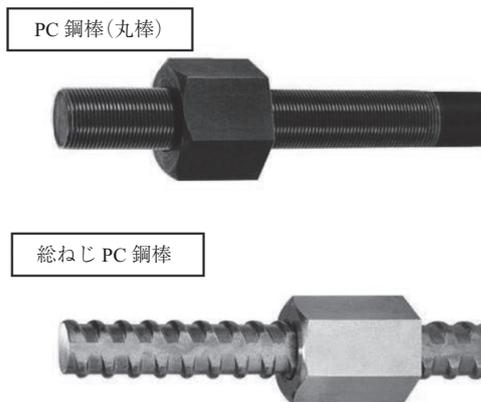


写真 - 6 PC 鋼棒(丸棒)・総ねじ PC 鋼棒の例

表 - 1 に示すように、PC 鋼棒は全 4 種類が JIS G 3109 として規格化されており、総ねじ PC 鋼棒では B 種 1 号に相当するものが規格化されています。PC 鋼棒を仮設に用いる場合には、引張強さが高くなるほど遅れ破壊⁵⁾に対する感度が高まるため、A 種 2 号および B 種 1 号のものを使用することが原則とされており、C 種などの強度の高いものは使用しないこととされています⁵⁾。

表 - 1 PC 鋼棒・総ねじ鋼棒の規格

種類	記号	降伏点または耐力(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	仮設用途の使用可否
P C 鋼 棒 (丸 棒)	A 種 2 号	SBPR 785/1030	785 以上 1 030 以上	○
	B 種 1 号	SBPR 930/1080	930 以上 1 080 以上	○
	B 種 2 号	SBPR 930/1180	930 以上 1 180 以上	△
	C 種 1 号	SBPR 1080/1230	1 080 以上 1 230 以上	×
総ねじ 鋼棒	B 種 1 号 相当	—	930 以上 1 080 以上	○

仮設 PC 鋼材の設置方法としては、緊張せずに用いる場合と緊張して用いる場合があります。緊張して用いる場合の初期緊張力の上限は、種々の割増しを考慮したうえで、引張荷重の 70 % を許容引張力としています。安全度の照査については、式 3.1.1 および式 3.1.2 から求めます。この時の安全率は、緊張しないで用いる場合では、そのほとんどが労働安全衛生規則に準じておりおおむね 2.5 以上を必要としています。緊張して用いる場合には過去の実績によるものが多く、明確な基準はありませんが、おおむね 1.0 ~ 2.0 以上を必要としています。

i) 緊張しない場合

$$\text{安全率} = (\text{引張荷重}) / (\text{作用荷重}) \cdots \text{式 3.1.1}$$

ii) 緊張する場合

$$\text{安全率} = (\text{初期緊張力}) / (\text{作用荷重}) \cdots \text{式 3.1.2}$$

なお、仮設 PC 鋼材の使用回数については、「原則として一現場内での使用に限定する」とされており⁵⁾、同一現場内であっても使用履歴の管理や外観目視検査などを行って用いなくてはなりません。

3.2 補修・補強用 PC 鋼材

補修・補強用の PC 鋼材では、一般的に外ケーブル補強に用いられるものがあげられます(写真 - 7)。外ケーブル補強で用いられるケーブルの多くはポリエチレンなどで被覆保護されており、定着部はネジ式定着を採用しているものが多く利用されています。これらのケーブルの緊張管理は、引張力と伸びを独立して管理する方法が採用されています。

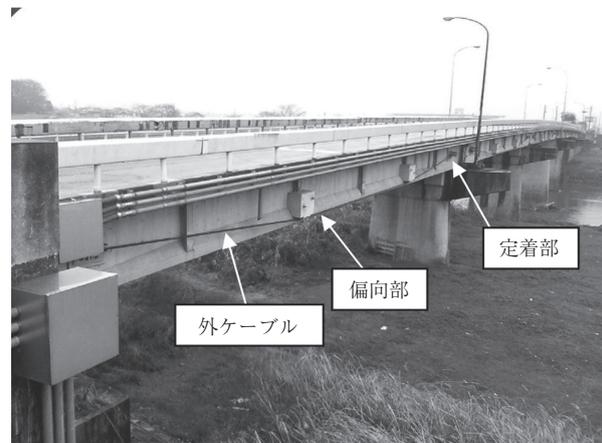


写真 - 7 外ケーブル補強事例

また、補修・補強などで用いられるもののなかには、あらかじめプレストレスが導入された状態の中空 PC 鋼棒を用いたプレストレス導入システム(図 - 7)などもあります。外ケーブル補強などではコンクリート製の定着突起を緊結するために用いられています。プレストレスの与え方は、中空 PC 鋼棒にあらかじめプレストレスが導入されているため、鋼棒端部の留め金(ストッパー)を緩めて反力 PC 鋼棒の圧縮力を解放することによってプレストレス導入が可能で、緊張力を工場で導入しているため現場での緊張管理は必要としません。取扱いの留意点としては、緊張

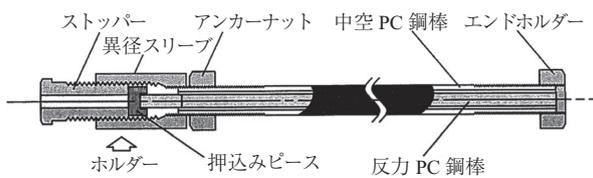


図 - 7 中空 PC 鋼棒プレストレス導入システム

された PC 鋼材のため、衝撃などを与えないように丁寧に扱うことが大切です。

3.3 特殊ケーブル

(1) 被覆鋼材

被覆鋼材には、主にエポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線とポリエチレン樹脂被覆 PC 鋼より線、およびプレグラウト PC 鋼材などがあります (写真 - 8)。

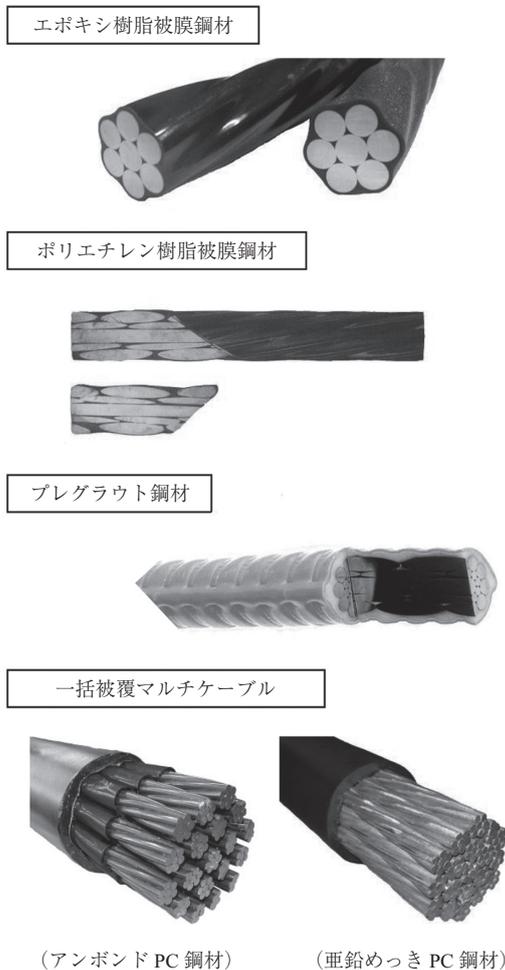


写真 - 8 被覆鋼材の例⁶⁾

エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線は、7本より 12.7 mm と 15.2 mm を中心に、国内では外ケーブルや斜張橋の斜材などへの適用が増えています。また、塩害対策用として内ケーブルにも用いられています。

ポリエチレン樹脂被覆 PC 鋼より線は、PC 鋼より線の内部に加熱液化したポリエチレン系樹脂を注入充填した

もので、紫外線に対する耐候性が優れており、ピンホールが生じにくい特長を持っています。ポリエチレン系樹脂被覆 PC 鋼より線は、外ケーブル、斜張橋の斜材のほか、グラウンドアンカーなどにも用いられています。

いずれの鋼材も緊張管理は被覆のない通常の PC 鋼材と同様の緊張管理を行います。ただし、専用のクサビを使用すること、セット量が通常の鋼材より大きくなること、ガス切断を行うと被覆が溶けるなどして有害なガスが発生するため、グラインダーにて切断することなどが注意点です。また、被覆にキズを付けないようにすることも重要です。

プレグラウト PC 鋼材は、PC 鋼材にエポキシ樹脂を被覆し、表面を凹凸状のポリエチレンシースで保護したものです。緊張と定着時はアンボンド状態、その後は時間経過とともに樹脂が硬化してコンクリートと一体化する機構となっています。したがって、エポキシ樹脂の配合を調整して、硬化・緊張可能時間を適切に設定する必要があります。また、ジャッキ内に残された樹脂が原因でジャッキ内のくさびが固着し、緊張できない、または断線する可能性があるため、緊張機器をこまめに清掃する必要があります。

内部の樹脂が硬化するまでは、アンボンド PC 鋼材のように潤滑剤の役割を果たすため、緊張管理では、安定した荷重と伸びの関係を示します。ただし、冬場には樹脂の粘性抵抗が大きくなりますので、伸びが安定するまで緊張力を保持する必要があります。なお、摩擦係数などが一般の鋼材と異なる場合がありますので定着具メーカーに確認する必要があります。

また、複数の PC 鋼より線をまとめて被覆した一括被覆マルチケーブルがあります。大容量のケーブルとなるため、主に箱桁内に配置される外ケーブルとして使用されます。工場でケーブルを一体製作するため、被覆部の加工長さが足りなくなることを避けるために緊張時の伸び量を考慮しておく必要があります。

(2) 連続繊維緊張材

連続繊維緊張材は、炭素繊維およびアラミド繊維などからなる連続繊維に繊維結合材を含浸し、硬化させて成形したものです。主に補修・補強工事などで利用されています。連続繊維緊張材は、一般に弾性係数が小さく引張強度が PC 鋼材と同等以上あり、軽量、高耐食性などの特長があります。

弾性係数が小さい分伸び量が大きいため、普通の PC 鋼材よりも作業空間などに注意が必要です。

4. まとめ

今回の講座では、特殊構造・材料のプレストレスングと題して、さまざまなプレストレスングの事例や特徴について紹介しました。特殊といえる事例としては、今回紹介した例がすべてではありません。また、構造物の諸元や施工条件は、現場ごとに千差万別であるため、プレストレスングの方法はすべての PC 構造物で同一でないといっても過言ではありません。しかし、プレストレスングの基本的な考えとしては、これまでの講座で紹介した内容に

○ 講座 ○

より補うことができます。本講座の内容を十分に理解していただき、技術者の判断によって、確実に適切なプレストレスングを実施していただけたら幸いです。

注

- a) 蒸気養生の温度補正：プレテンション桁のコンクリートは高温の蒸気で養生します。PC 鋼材はコンクリート打設前から緊張されており、養生時における温度の影響を受けて PC 鋼材が緩みます。プレテンション桁の緊張管理では、これによるロスを温度補正として考慮します。
- b) 横倒れ座屈：鋼桁に大きな曲げ変形を与えたときに、圧縮側のフランジが座屈して、桁全体が横方向に倒れる現象のことであります。
- c) 遅れ破壊：PC 鋼材などの高強度な材料を腐食する環境（仮設材として長期に使用する場合や沿岸部に近い地域などで使用する場合など）において、緊張力を与えた状態にしておくと、破断強度以下の負荷で破断してしまう破壊形態のことであります。

参考文献

- 1) (社)プレストレストコンクリート技術協会：PC 斜張橋・エクストラードロード橋設計施工規準，2009.4
- 2) (社)日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧，p.370, 1994.2
- 3) (社)日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧，pp.375～376, 1994.2
- 4) 例えば，California Department of Transportation：Bridge Memos to Designers, 11-31 Curved Post-Tensioned Bridges, 2010.2
- 5) (財)高速道路調査会：仮設 PC 鋼材設計・施工マニュアル，1997.7
- 6) 資料提供：神鋼鋼線工業 (株)

本講座のおわりにあたって

全 11 回にわたって連載してきました「講座：プレストレスングの基本」は、今回をもって最終回となります。

主に若手 PC 技術者の手引き書を目指した連載でしたが、実際に施工に従事している技術者の皆さんにもプレストレスングの基本的な考えを再点検する機会を提供できたのではないかと思います。

また、将来的には現在のプレストレスング方法や管理手法が変わる、新しい技術の提案や手法の確立も期待されます。そのような場合においても、本講座で紹介した基本的な考えを踏襲して展開していくものと思われる。

表 - 2 本講座連載一覧

講座『プレストレスングの基本』全 11 回

題 名	講 師	掲載号
第 1 回 設計におけるプレストレス	中井 聖棋氏	52 巻 6 号
第 2 回 プレストレスと緊張管理	中井 聖棋氏	53 巻 1 号
第 3 回 緊張計算について	天谷 公彦氏	53 巻 2 号
第 4 回 緊張管理方法	永井 篤氏	53 巻 3 号
第 5 回 試験緊張と管理限界の設定	須田 悦弘氏	53 巻 4 号
第 6 回 プレストレスの施工について	須田 泰弘氏	53 巻 5 号
第 7 回 管理図によるリスク管理	星野 展洋氏	53 巻 6 号
第 8 回 緊張作業時の安全管理	川上 毅氏	54 巻 1 号
第 9 回 緊張計算の実計算例	永井 篤氏	54 巻 2 号
第 10 回 建築における緊張管理	大迫 一徳氏	54 巻 3 号
第 11 回 特殊構造・材料における緊張管理	講座 部 会	本 号

さて、次号からは「わかりやすい PC 技術（仮）」と題して全般的な PC 技術を解説する新しい講座を開設いたします。PC 技術者として必要とされる専門的な知識を紹介するとともに、練習問題を設けてその知識の確認もできるような内容としたいと思いますので、ご期待ください。最後に本講座の連載に、ご協力いただいた執筆者の皆さま、および関係各位の皆さまにお礼を申し上げます。 (文責：講座部会)

【2012 年 4 月 27 日受付】