

## 第6回 プレストレスの施工について

講師：須田 泰弘\*

## はじめに

前回までは、緊張計算、試験緊張、緊張管理手法について解説しました。今回は、プレストレスの施工に先立つ準備、緊張順序の決定、緊張装置の管理、その他留意点について解説します。

## 1. プレストレスの施工に先立つ準備

プレストレスは、設計計算で示されたプレストレスを部材に正しく与え、所定の耐荷力を有するPC構造物を製作するための重要な工程の一つです。そのため、プレストレスの施工においても、適切な手順で作業を実施する必要があります。プレストレスに先立つ準備として、はじめに設計計算書の理解とコンクリート強度の確認を実施します。

## 1.1 設計計算書の理解

プレストレスに先立ち、設計計算における次の項目を理解しておきます。①設計断面におけるコンクリート応力度、②PC鋼材の伸び量、③コンクリートの弾性変形によるプレストレスの損失量、④PC鋼材定着時のセツト量、⑤PC鋼材の材料強度と入荷鋼材の試験成績表との照合。これらの項目をもとにして、プレストレスによる部材の挙動をあらかじめ知ることができるため、確実な緊張作業が実施できるとともに、異常が発生した場合においても、それを早期に発見することができます。

## 1.2 コンクリート強度の確認

プレストレスを実施する前に、コンクリートの強度が安全にプレストレス作業を実施できる程度に達していることを確認します。ポストテンション方式のPC橋の場合には、①プレストレス直後にコンクリートに生じる最大圧縮応力度の1.7倍以上、②プレストレス時に定着部まわりに生じる支圧応力に耐える強度以上、のコンクリート強度が要求されています<sup>1)</sup>。なお、①についてはドイツの設計規準DIN4227を参考に安全率が定められており<sup>3)</sup>、②については使用する定着工法に応じて必要となるコンクリート強度が定められています。

## 2. 緊張順序

構造物に複数のPC鋼材が配置されている場合には、構

造物に有害な応力が生じないように緊張順序を決める必要があります。

## 2.1 緊張順序の基本的な考え方

## (1) PC鋼材の偏心を考慮した緊張順序

複数のPC鋼材が配置された構造物にプレストレスを導入する場合、配置されたすべてのPC鋼材にプレストレスが導入されるまでは、一部のPC鋼材だけが引っ張られた状態になります。そのため、PC鋼材の配置条件によっては、この偏載荷によるねじりあるいは横方向の曲げなどにより部材に有害な引張応力が生じてしまいます。この影響を低減させるためには、断面の図心に近いPC鋼材から緊張することが基本になります。

## ① 2列配置の場合

図-1のようにPC鋼材の配置が2列になっている場合には、片側(A列)のPC鋼材を先行して緊張すると、偏心したプレストレス力により横ざり変形を起こす可能性があります。したがって、左右対象となるようにA列とB列を交互にPC鋼材を緊張することが望まれます。また、断面の図心から遠いPC鋼材を先に緊張した場合においても、プレストレスによる偏心の影響が生じるため、一時的に引張応力度が発生するおそれがあります。

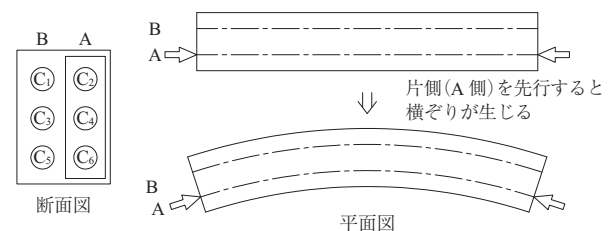


図-1 2列配置の場合

## ② T桁断面の場合

図-2に示すT桁断面の場合は、着目する支間中央(B-B)断面の図心に近いPC鋼材から緊張します。また、作業効率なども考慮して上からC1、C2、C3、C4という順序で緊張するのが一般的です。

## ③ 箱桁断面の場合

図-3に示す箱桁断面の場合でも、緊張順序は図-2の例と同様な考え方で決定します。この例の場合では、図

\* Yasuhiro SUDA : (株)安部日鋼工業 技術工務本部

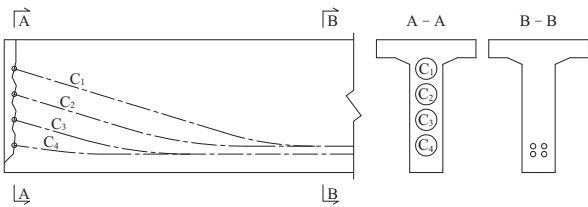


図 - 2 T桁断面の場合

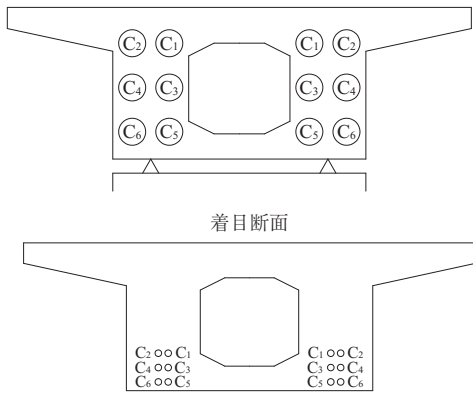


図 - 3 箱桁断面の場合

- 1 の場合のように水平方向に大きな偏心荷重が作用しないようにすることが重要です。このため、左右の PC 鋼材を同時に緊張できるように、2 基のジャッキを同時に使用することも検討して、緊張順序を決定します。したがって、C1 から C6 の順番で緊張していくのが望ましいといえます。

(2) PC 鋼材の定着位置を考慮した緊張順序

PC 鋼材が同一断面ではなく、異なった位置に定着位置がある場合も、有害な引張応力が発生しないような緊張順序を決めます。

図 - 4 のように、桁の端部ではなく部材の中間に定着部を設けた床版を例にすると、延長の短い PC 鋼材 ① を先に緊張すると、その定着部の背面に有害な引張応力が発生する可能性があります。この場合は、この定着部を通過する長い PC 鋼材 ② を先行して緊張することにより、定着部の背面に圧縮力を与えておくことが望ましいといえます。また、定着部背面は部材厚が薄いので、十分な補強鉄筋を配置することも考えておきます。

2.2 各構造形式における緊張順序

(1) 場所打ち箱桁橋の場合

場所打ち箱桁橋のように、主桁縦締めケーブルと横締めケーブルがある場合には、主桁ケーブルを緊張すると図 - 5 のように主桁が上方にそり上がり、支保工全体で受けていた橋体の荷重が支承部のみに移行するため、横桁横締めケーブルを先行して緊張しておくことが望まれます。

また、主桁ケーブルを緊張する前に、コンクリートの弾性変形の妨げとなる床版の型枠などを取り外しておくことが望ましいため、床版横締めケーブルを先に緊張して、床版の型枠を脱枠した後に主桁ケーブルを緊張するのが一般的です。また、床版横締めケーブルを緊張する前に、上床

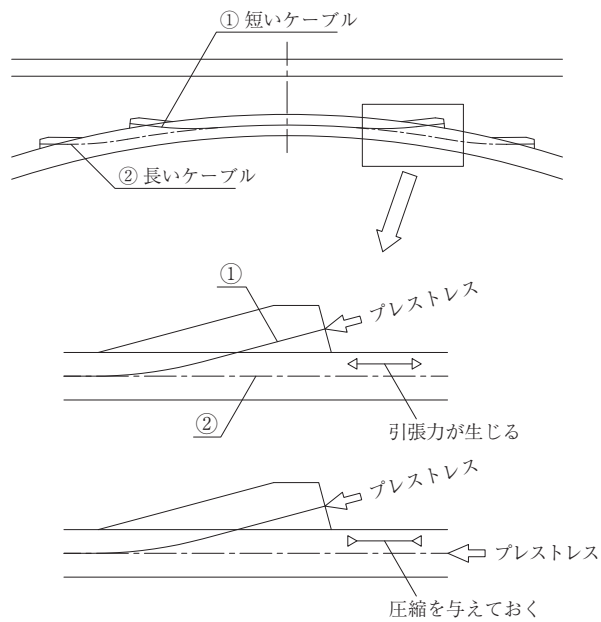


図 - 4 中間定着用突起

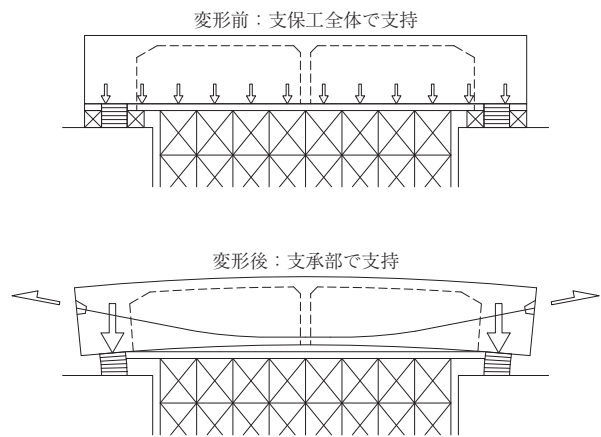


図 - 5 橋体荷重の支持状態

版や張出し床版の型枠支保工を取り外す場合には、自重に対する安全性を必ず検討しなければなりません。

(2) 外ケーブルの場合

外ケーブルは、中間支点横桁に定着する場合、一般的に横桁の両面から定着される図 - 6 のようなたすき掛け定着の方法が多く採用されます。複数の外ケーブルが定着される場合、横桁の片側 (片面) に定着される PC 鋼材のみを先行して緊張・定着すると、横桁の側面が片側にはらんで大きな引張応力が横桁に発生し、設計で想定していない応力状態となるおそれがあるため、表裏交互に緊張・定着することが望ましいといえます。

(3) 床版横締め鋼材の場合

床版横締め鋼材は鋼材の延長が短いため、両側から緊張するとセットロスの影響が過大になることから、通常は片引き緊張で設計されます。また、プレストレスが均等に分布するように、PC 鋼材 1 本ごとに交互に緊張方向を変える、片引き交互緊張としているのが一般的ですので、緊張

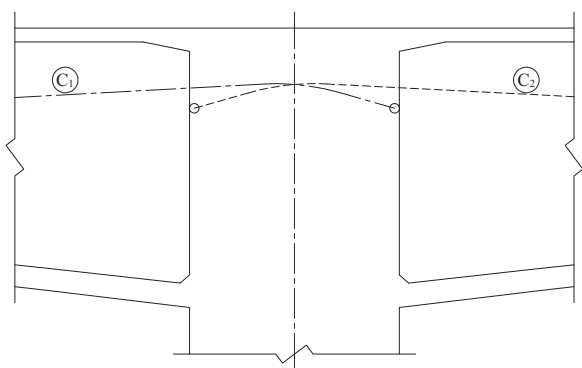


図 - 6 中間支点上でのたすき掛け定着

方法を設計計算書などから確認しておきます。

### 3. 緊張装置

#### 3.1 緊張装置の選定

緊張装置は、ジャッキ、ポンプおよびその付属品から構成されています（写真 - 1）。これらの緊張装置は、PC 鋼材定着工法の種類、緊張力および PC 鋼材の種類などによって異なるので、緊張装置の選定に際しては、「PC 定着工法 2010 年版」（プレストレストコンクリート技術協会）などを参照してください。

現場状況や作業空間を考慮して、ポンプやジャッキの重量、ジャッキのストロークなどを検討し、実際に緊張作業が可能な装置を選択する必要があります。また、選択したジャッキに応じて、PC 鋼材の余長が変化するので注意が必要です。



写真 - 1 緊張装置

#### 3.2 緊張装置のキャリブレーション

##### (1) キャリブレーションの必要性

緊張装置は、これを用いる前にキャリブレーションをしなければなりません。キャリブレーションとは校正という意味で、計測器の精度を確認することです。緊張装置は移動中や使用中に少しずつ誤差が生じます。これが積み重なって大きな誤差となる前に、キャリブレーションを行います。したがって、使用中に緊張装置に衝撃を与えたと思わ

れるときにはキャリブレーションを実施し、その結果を記録しておかなければなりません。

緊張装置のキャリブレーションは、緊張の基本となるもっとも大切な事柄ですので、頻繁にキャリブレーションを行うように習慣づけておくことが大切です。

##### (2) 緊張装置のキャリブレーション

緊張装置のキャリブレーションの方法には、ダイナモメーターやロードセルなどを用いて直接引張力を計測する方法と、標準圧力計によりジャッキに作用する圧力を測定する方法があります。直接引張力を計測する装置は一般に高価なため、通常の現場では標準圧力計により圧力計のキャリブレーションを行っています（写真 - 2）。ただし、標準圧力計によるキャリブレーションでは、緊張装置の圧力計の示度の正確さを知ることができますが、ジャッキの機械的な故障による内部摩擦損失の増大などについては知ることができないことに注意しなければなりません。

緊張装置に取り付けられている圧力計は、所定の精度を維持するために、使用中も定期的にキャリブレーションを行い、その機能と精度を確かめておく必要があります。



写真 - 2 圧力計のキャリブレーション

##### (3) 緊張装置の内部摩擦損失

緊張装置に付いている圧力計の示度は、ジャッキの内部摩擦あるいは緊張材と定着装置との間の摩擦などによる損失の影響を受けます。しかし、この内部摩擦損失量は、ばらつきが小さく、ジャッキのシリンダーを損傷させるほどの過度の衝撃を加えないかぎり、ほとんど変動しないため、一般的には現場での測定を省略し、定着工法別に定められた内部摩擦損失の値を用いています。

### 4. プレストレスニングの施工

#### 4.1 プレストレスニングの流れ

プレストレスニングは PC 構造物の施工におけるもっとも重要な作業の一つであり、各定着工法で定められた施工基準に基づいて確実に実施しなければなりません。なお、プレストレスニングの施工は、図 - 7 のように 4 つの大きな作業の流れとして考えることができます。

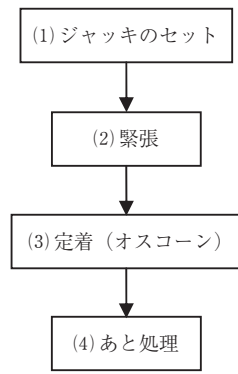


図 - 7 プレストレスの流れ

#### 4.2 留意点

図 - 7 に示したプレストレス作業の流れにおける留意点を以下に示します。

##### (1) ジャッキのセット

- ① ジャッキをセットする前に、PC 鋼材の表面や定着具に異物が付着していないことを確認します。とくにセメントペースト、泥などは有害となるため、必ず除去しなければなりません。
- ② ジャッキのセット時には、定着具の軸芯と PC 鋼材およびジャッキの軸芯が一致するように設置します (図 - 8)。軸芯が不一致の場合や、定着具の背後で PC 鋼材が交差あるいはよじれがある場合には、緊張中に PC 鋼材が破断するおそれがあるため、ジャッキのセット時に十分注意します。

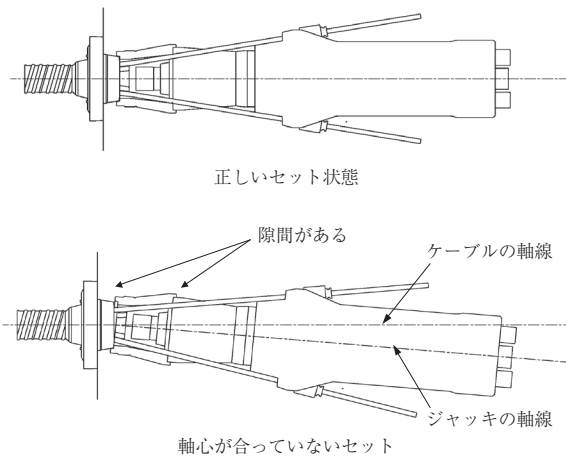


図 - 8 ジャッキセットの事例<sup>4)</sup>

- ③ PC 鋼材をくさびで固定するタイプの定着具を使用する場合は、各くさびが均一に打ち込まれるようにセットします (図 - 9)。この打込みが不十分なままで緊張すると、PC 鋼材に滑りが生じたりするなどして緩んでしまい、所定のプレストレスを与えることができません。
- ④ 定着部からの PC 鋼材の飛出し長さが少ないとジャッキが PC 鋼材をつかむことができないため、必要な余長が確保されていることを確認します。

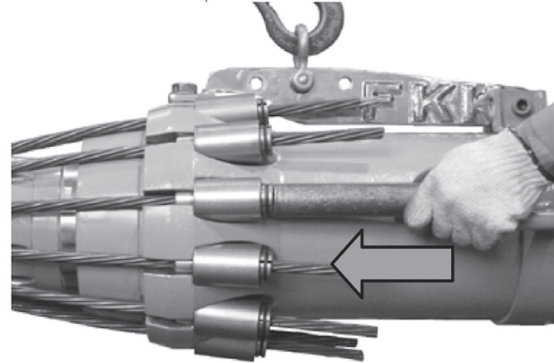
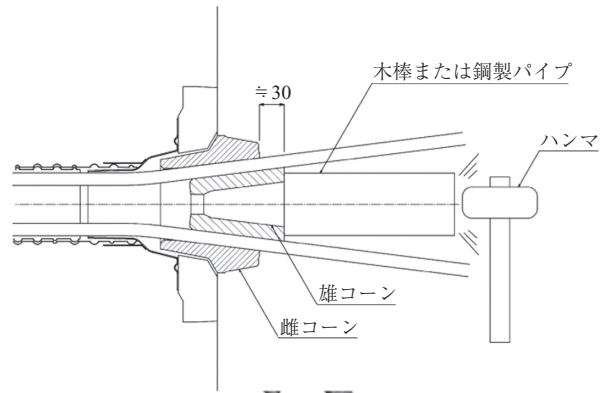
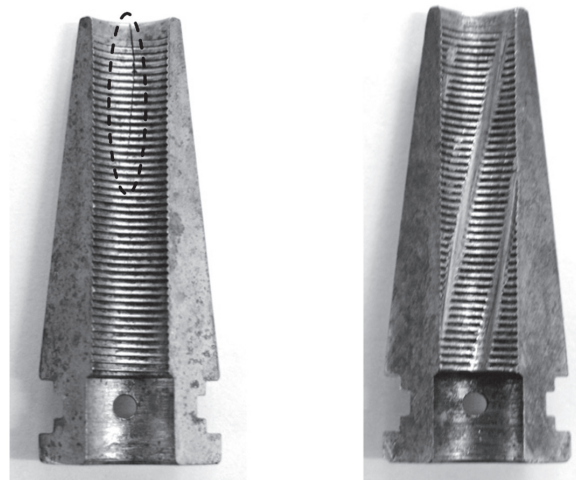


図 - 9 くさびの打込み事例<sup>4)</sup>

- ⑤ PC 鋼材をジャッキに仮固定するくさびやつかみ具に、有害な変形、割れ、歯形に摩耗、滑りの痕跡および付着物がないことを確認し、各工法の規程を満足したものであることを確認します。図 - 10 に割れ、滑りの痕跡があるくさびの状態を示します。



割れ

滑りの痕跡

図 - 10 損傷したくさびの事例<sup>4)</sup>

##### (2) 緊張

- ① 緊張作業中は、PC 鋼材が滑っていないかつねに確認しなければなりません。緊張中に滑りが認められた場合は、何かしらの異常が生じていることが考えられるため、すぐに作業を中止して異常要因を取り除

き、最初から作業をやり直します。

- ② 両引き緊張の場合は、2台の緊張ポンプが同じ速度で加圧できることが望ましいため、双方が連絡を取り合いながら行うことが基本です。PC鋼材長が長い場合は、無線機などで連絡することも有効です。

### (3) 定着 (オスコーン)

緊張ポンプ (図 - 11) を所定の圧力まで加圧して、ポンプ操作で圧力を保持する際に、圧力計の示度が下がることがあります。これは、油圧ホースが長い場合に発生し、ポンプからの油吐出がジャッキには遅れて伝わるために、ジャッキの伸びが追従しないことが原因です。このような場合は、ゆっくり圧力を上げることで圧力計 (図 - 11) の示度の下がり防止をすることができるため、最終緊張力付近では、ゆっくりと加圧します。確実な圧力が作用していることを確認した後に定着 (オスコーン) するようにします。



図 - 11 ポンプと圧力計の例<sup>4)</sup>

### (4) あと処理

緊張後、定着具から飛び出している PC 鋼材の余長部はディスクグラインダーなどで切断します。PC 鋼材や定着具は高温で熱せられると、もろい材質に変化するため、ガスバーナーなどで PC 鋼材を切断してはいけません。

### 4.3 型枠および支保工の状態の確認

プレストレッシングをすることによって、コンクリート部材には、部材軸方向や上下方向に変形が生じます。また、

横方向に偏心させて PC 鋼材が配置されている場合には、水平方向にも変形を生じます。この変形が型枠あるいは支保工の拘束により妨げられると、所定のプレストレスを部材に与えられないとともに、支保工が変形・崩壊するおそれがあります。

そのため、プレストレッシングを行う前に部材の変形の方法と量を把握しておき、型枠、支保工などにより部材の変形を妨げることがないようにすることが基本です。部材の変形が大きい場合は、型枠の一部を緊張前に取り外して、拘束の影響を小さくすることや、緊張中に支保工の一部を取り外すなどの処置が有効です。なお、プレストレス導入による部材の軸方向短縮量は、桁の長さ 1 m あたり 0.2 mm 程度が目安です。たとえば、桁の長さが 20 m であれば 4 mm 程度けたが縮むことを目安に計画をします。

### 4.4 安全対策

プレストレッシング中の PC 鋼材は、非常に大きなエネルギーを保有しているため、安全対策を十分に施さなければいけません。これについては、第 8 回の本講座にて詳しく解説する予定です。

### おわりに

今回は、プレストレッシングの施工において実施する作業項目と、施工時における留意点について解説しました。これらの内容は、あらかじめ緊張計画書を作成して、その内容を示しておきます。プレストレッシングの施工では、緊張計画書に示されたとおりに作業を実施して、確実に構造物にプレストレスを与えることが大切です。

今回は、プレストレッシング時に作成した管理図によるリスク管理について解説します。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編，2002
- 2) 日本道路協会：コンクリート道路橋施工便覧，1998
- 3) 土木学会：プレストレストコンクリート設計施工指針，1955
- 4) 資料提供：極東鋼弦コンクリート振興 (株)

【2011年7月1日受付】