

第9回 PC工場での管理

講師：三井 雄二*

1. はじめに

今回の講座では、道路橋¹⁾などに用いられているプレストレストコンクリート桁（以下PC桁と略す）を工場で作製するうえで必要な管理について、その種類、特徴および作り方を踏まえて説明します。

2. PC桁の種類

PC桁の一般的な種類を以下に示します。これらのなかでプレテンション方式の橋桁プレキャストセグメント方式のコンボ桁は、日本工業規格（JIS A 5373）^{2, 3)}に規格化されています。

- ・プレテンション方式
スラブ桁（写真 - 1）、T桁（写真 - 2）など
- ・ポストテンション方式
T桁、スラブ桁、合成桁など
- ・プレキャストセグメント方式
バルブT桁、スラブ桁、コンボ桁など



写真 - 1 スラブ桁



写真 - 2 T桁

3. PC桁の特徴

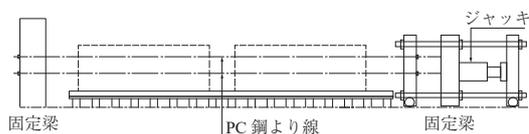
PC桁は、荷重によるひび割れの抑制をはじめとし、部材断面の縮小による軽量化・支間の長大化、現場の省力化・工期短縮といった多くの利点を有しています。一方、PC桁には長さや重さなどの運搬上の制約があるため、事前に運搬経路や関連法令に配慮することが必要です。

4. PC桁の作り方

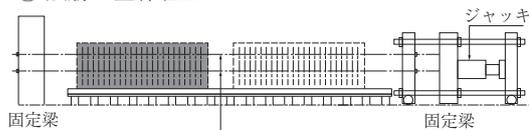
鉄筋の5～6倍の強度をもったPC鋼材と呼ばれる高強度の材料に引張力を与えて（この作業を、「緊張」といいます）固定板に固定します。緊張により伸ばされたPC鋼材が元に戻ろうとする性質を利用して、コンクリートに圧

縮力（ストレス）を与えます。プレストレスの導入方法には「プレテンション方式」と「ポストテンション方式」に大別することができます。これは、PC鋼材をコンクリートの打込み前（プレ）に緊張するか、打込み後（ポスト）に緊張するかの違いによります。プレテンション方式PC桁の製作フローを図 - 1 に示します。

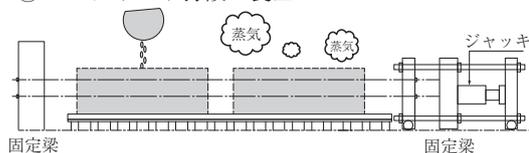
① PC鋼線配線・緊張



② 鉄筋・型枠組立て



③ コンクリート打設・養生



④ プレストレス導入・搬出

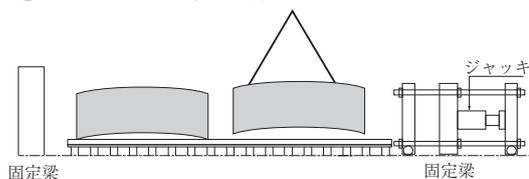


図 - 1 プレテンション方式PC桁の製作フロー

① PC鋼線配線・緊張

PC鋼線を製作ライン上（図 - 2）で所定の位置に配線し、緊張力を与えた状態で両端を固定します。

② 鉄筋・型枠組立

仮置きしておいた鉄筋（図 - 3）を正規の位置に固定し、型枠を組立てます。

③ コンクリート打設・養生

組立てた型枠内にコンクリートを打込み（図 - 4）ます。

* Yuji MITSUI：（一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会 施工安全委員会 団体規格作成部会

コンクリートを十分に締め固めたのち、蒸気養生を行います。

④ プレストレス導入・搬出

コンクリートとPC鋼線の付着が十分に得られる圧縮強度を確認したのち、PC桁にプレストレスを与えます(図-5)。PC桁間のPC鋼線を切断して製作ラインから搬出します。



図 - 2 製作ライン

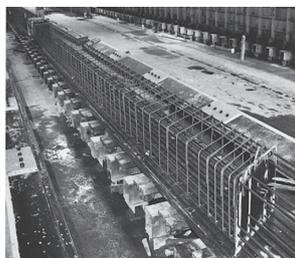


図 - 3 仮置き鉄筋



図 - 4 コンクリート打設

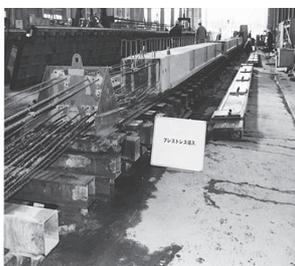


図 - 5 プレストレス導入

5. PC工場での管理

PC工場においては、材料の受入れから製造、試験、検査、出荷に至る各過程において管理すべき項目があります。ここでは、プレテンション桁のなかで代表的な項目について注意すべき点をあげて解説します。

5.1 緊張力の管理

PC鋼材に与える緊張力は、摩擦や温度の影響などを考慮して、その減少量をあらかじめ計算または実測により求めたうえで所定の緊張力がコンクリートに作用するようにします。また、緊張力は荷重計の示度ならびにPC鋼材の伸びから推定するものとし、計算値と実測値の差を5%以内で管理します。

PC桁の製作にあたって、緊張力の管理はとくに重要です。たとえば、PC鋼材が端板や絞り板を通るとき(図-6)に摩擦が作用する状態にあると、部材内部のPC鋼材には設計で想定している緊張力より小さい緊張力しか作用しないことになります。また、コンクリートの打込み後、蒸気養生を行う場合は、その養生温度によりPC鋼材の緊張応力が減少することになります。加えてPC鋼材の定着をくさびによって行う場合、定着時にくさびがめり込み、緊張力の損失が生じます。このため、あらかじめ摩擦の状態、養生温度による応力変化(図-7)、定着具のセット量などを調べて緊張力を補正することが必要です。

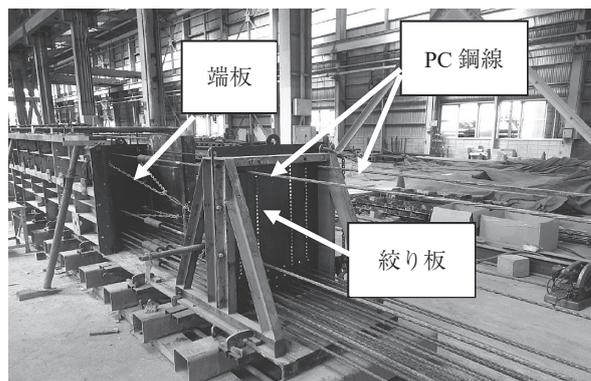


図 - 6 PC鋼線の配線状況

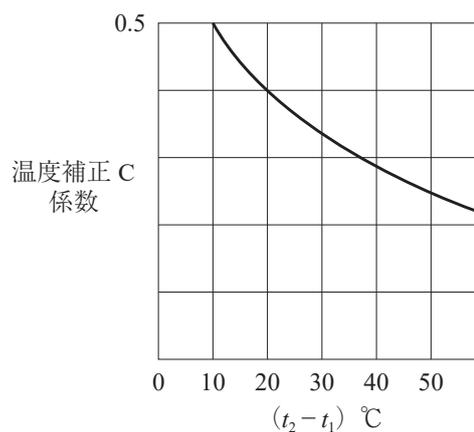


図 - 7 温度補正係数

計算上と製作上の緊張力の間には、緊張装置や定着具における摩擦のばらつき、PC鋼材の見かけのヤング係数のばらつきおよび荷重計などのばらつきによって誤差が生じます。これらの誤差を考慮して、PC鋼材の緊張力が設計で決められた値であることを確認するためには、PC鋼材の緊張力とその伸び量から推定することが必要です。緊張力を荷重計の示度により推定した場合でも、あるいは伸び量により推定した場合でも、その推定値に5%程度の差を生じます。そのため、緊張力の管理においては両方の測定を併用します(図-8)。

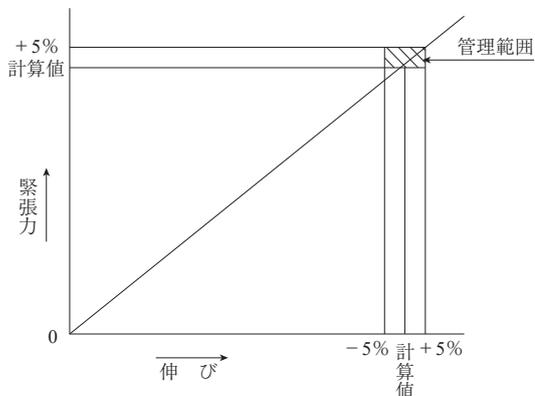


図 - 8 緊張力と伸びの管理

5.2 プレストレスの与え方

プレストレスを与えるときには、側面の型枠を取り外し、緊張装置を徐々に緩め、各 PC 鋼材が一様に緩められるようにします。

PC 鋼材の固定装置を急激に緩めたり、PC 鋼材を途中で切断したりすると、衝撃によって PC 鋼材とコンクリートの付着が部分的に切れて、想定したプレストレスが導入できなくなる可能性があります。このような方法でプレストレスを与える作業は避けなければなりません。

5.3 型枠の管理

型枠は、コンクリートの振動締固めに十分耐えられるものであるとともに、プレストレスを与えるときの PC 桁の変形と移動を妨げない構造とします。

PC 桁はプレストレスが与えられると弾性的に短縮するとともに反りが生じ、PC 桁が両端で支持された状態になります。これらの変形を拘束するものがあると、コンクリートに思わぬひび割れを生じる危険性があります。そのためプレストレスを与える前には側枠を取りはずします。PC 桁は短縮しますので底面も底枠に対して自由に滑動できるものでなくてはなりません。それは、PC 桁自身の弾性的短縮と同時に、PC 桁間の PC 鋼材も弾性的に短縮するからです。製造ライン長さが 60～80 m の場合、プレストレスを導入したときの PC 桁の移動量は 4～8 cm 程度です。したがって、PC 桁がライン上で自由に移動できない状態にあると、PC 桁には所定のプレストレスが与えられないことになり、PC 鋼材には引張応力が作用したままの状態となってしまいます。また、プレストレスを与えることによって、PC 桁は下縁において Δl (図 - 9) だけ長く製作し、プレストレスを与えた後に所定の寸法になるようにします。

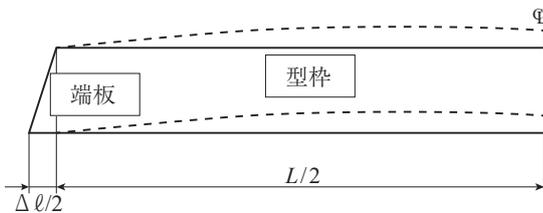


図 - 9 短縮補正量

5.4 コンクリートの管理

コンクリートの配合は、所要の強度および耐久性を考慮し、作業に適する範囲内でできるだけ単位水量を少なくします。また、打込みにおいては、振動機を用いて確実に締め固めます。

プレテンション方式の場合には、PC 鋼材とコンクリートを確実に付着させることが必要です。なぜなら、PC 鋼材を定着具によってコンクリート部材に定着するポストテンション方式と違い、プレテンション方式はコンクリートとの付着によって PC 鋼材をコンクリートに定着します。コンクリートのクリープや乾燥収縮により、最初部材に与えられていたプレストレスは時間の経過とともに減少していきます。クリープや乾燥収縮は、セメントペースト量の

増加とともに大きくなるため、できる限り単位水量を少なくした配合とすることが求められます。また、打込み時のコンクリート性状 (写真 - 3) や塩化物イオン含有量 (写真 - 4) などを試験によって確認することが必要です。

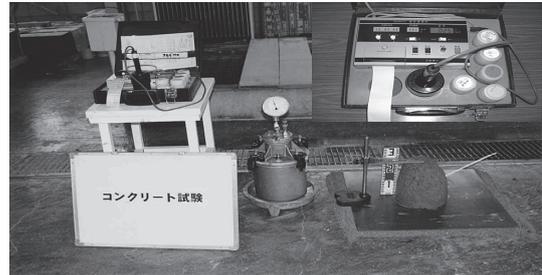


写真 - 3 フレッシュコンクリートの試験

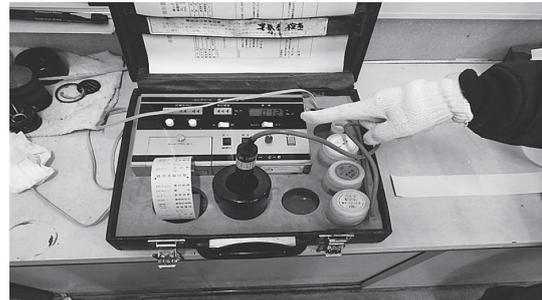


写真 - 4 塩化物イオン含有量測定状況

PC 桁に用いられるコンクリートは、高強度であると同時に高い粘性を有しています。鉄筋や PC 鋼材の配置間隔は狭く、一般の構造物に比較してかぶり厚さも小さく設計されています。このようなコンクリートを確実に締め固めるためには内部振動機の挿入深さ (写真 - 5)、打込み高さ (写真 - 6) などに注意する必要があります。



写真 - 5 内部振動機の挿入深さ確認状況



写真 - 6 打込み高さ確認状況

5.5 養生の管理

コンクリートの打込み完了後は十分な湿気を与えて養生するとともに（写真 - 7, 8），急激な温度変化，荷重，衝撃などの影響を受けないようにします。

PC工場においては，プレストレスを与えるときの圧縮強度を早期に発現させるために，常圧の蒸気養生が広く用いられています。



写真 - 7 蒸気噴出状況



写真 - 8 養生状況

このときの注意点として，打込み完了後から蒸気養生を開始するまでの養生（前養生）も含めて，養生温度の上昇速度，最高温度とその継続時間，そのあとの下降時間などを定めることが必要です。これは，打込み完了後，十分な前養生を行わないと，内部空气の膨張による表面の膨れ，表面の急激な乾燥および硬化によるひび割れなどが発生しやすくなります。また，コンクリートの表面と内部で大きな温度差が生じ，温度ひび割れが発生するおそれがあり，コンクリートの耐久性に悪影響をおよぼします。養生温度を急激に上昇させるとコンクリート強度の低下や耐久性などの品質に影響を与えます。端部のPC鋼材はコンクリートの外側に出ているため直接高温に接します。これによりPC鋼材の温度は容易に上昇し，PC鋼材周辺のコンクリートが急激に加熱されることで付着強度が低下します。とくに，鋼製型枠を用いる場合は熱の影響を受けやすく，容易に膨張するためその長さが増加します。それに反してコンクリート部材はその容積も大きく容易に温度は上昇しないため，その長さの増加は型枠に比べると小さくなります。このようなときにはコンクリートと型枠との間には摩擦が作用し，コンクリート部材は型枠に引かれて端部に向かい

引張力を受けるため部材端付近でコンクリートにひび割れを生じることがあります。このような理由からも温度上昇速度を大きくしないことが重要です。参考までに養生温度制御装置（写真 - 9）と，養生温度管理の一例（図 - 10）を示します。養生温度の最高温度を高くすると早期強度は大きくなります。しかし，材齢2日以降の強度の増加は小さくなり，材齢28日では標準養生したコンクリートと比べると強度の差が大きくなります。また，PC鋼材のリラクセーションによる引張応力の減少量は最初に与える引張応力によっても異なりますが20時間程度の場合，高温になるほど大きくなるのが試験によって明らかにされています。したがって，リラクセーションが過大となることを防止することからも高温で養生することは避けなければなりません。加えて，養生温度を急激に下降させた場合も前記と同様に，コンクリートの表面と内部で温度差が生じ，ひび割れの発生が懸念されるため，検討が必要です⁴⁾。

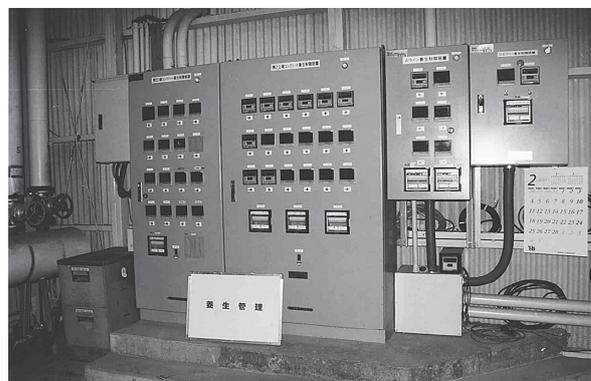


写真 - 9 養生温度制御装置

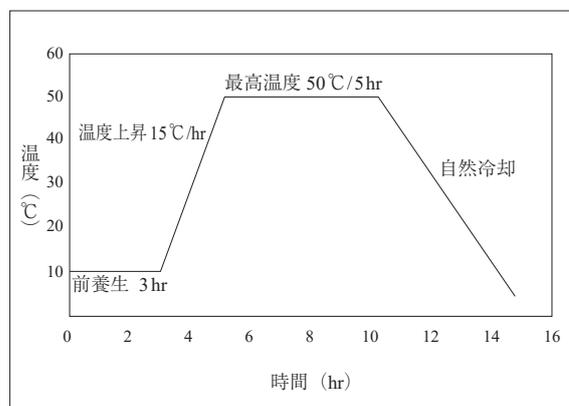


図 - 10 養生温度管理グラフ

近年，常圧の蒸気養生において，高温養生後に常温で湿潤な環境へ暴露した工場製品が，硬化後の二次的なエトリンガイトの遅延生成（DEF）による劣化事例が各国で報告されています。この現象には，高温履歴，アルカリ量，硫酸塩，暴露時の水分供給などが関連するとされています。わが国ではDEFによる劣化が顕在化した工場製品の報告は限られていますが，蒸気の噴出口付近では局所的に高温になるため，直接高温蒸気の影響を受けないように噴出口を斜めにするなど対策を行うことも必要です。

5.6 PC桁のストック・運搬

PC桁のストック・運搬にあたっては、過大な応力が生じないように支持するとともに、衝撃およびねじりを与えないようにします。

PC桁は、一般に運搬時の状態ではプレストレスと自重による曲げモーメントが合成された状態にあり、上縁における応力度は若干の圧縮または若干の引張が発生しているのが普通です。したがって、PC桁に計画どおりの自重モーメントが加わらないと上縁に大きな引張力が生じ、ひび割れが発生するおそれがあります。また、場合によってはPC桁の破壊をもたらすこともありますので、ストック・運搬にあたっては、所定の位置で支持することが重要です。やむを得ず所定の位置で支持できないときは、その応力状態を確かめておくことが必要です。

T桁は、重心が高く転倒の危険性があるため十分な転倒防止対策を行います(図-11)。また、ストックや運搬中に横方向に曲げモーメントが生じないようにします。



図 - 11 転倒防止対策

5.7 最終検査

PC桁の最終検査は、工場において品質保証のために実施する製品検査として、外観、性能、形状・寸法について行います。

材料の品質、とくにプレストレスを与えるときのコンクリートの圧縮強度試験や所定材齢における圧縮強度試験などの記録、PC鋼材に緊張力を与えたときの記録(とくに伸びの測定結果)などは、所定のプレストレスが与えられているかを判定する重要な資料となります。したがって、それらの記録は適切に管理することが必要です。工場では、外観、形状・寸法の検査は全数について行います。PC桁は、外観がよく、使用上有害な、きず、ひび割れ、ねじれなどの欠点があってはなりません。また、曲げ耐力試験(図-12, 13)は与えられたプレストレスの程度を調べるための重要な試験です。製品工場においてはロット(抜き取り試験)管理を行い、その品質保証を行っています。

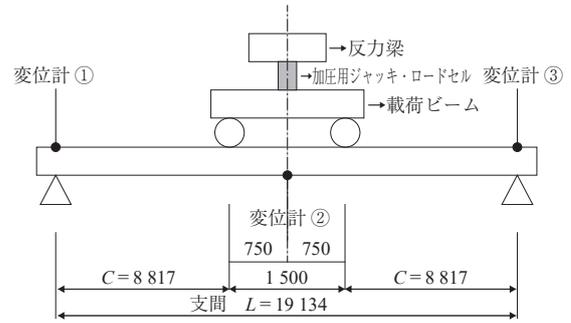


図 - 12 曲げ耐力試験の例



図 - 13 曲げ耐力試験の状況

6. おわりに

PC工場における管理について、初学者や学生の皆様を対象に説明してきました。プレストレスコンクリート(PC)技術は、橋梁をはじめとし、港湾構造物、土中構造物、防災構造物、建築構造物⁵⁾など数多くの構造物に採用されています。また、良質なストックとして、LCCの削減、環境負荷低減などを可能にする優れた技術です。皆様の今後の技術向上の基礎知識として、PC技術の将来の発展のための一助になれば幸いです。

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・コンクリート部材編，平成29年11月
- 2) JIS A 5373：プレキャストプレストレスコンクリート製品，2016
- 3) 社団法人プレストレス・コンクリート建設業協会：道路橋用橋げた設計・製造便覧，2004
- 4) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書【設計編】，2017
- 5) 一般社団法人プレハブ建築協会：プレキャスト鉄筋コンクリート部材製造技術指針，2016

【2019年5月21日受付】