

## PC構造物の施工と施工管理

## 1

## PC施工研究会

## まえがき

プレストレスト コンクリート（以下PCという）が、実際の構造物に適用されるようになってからほぼ半世紀が流れ、今日では世界各国で幅広く実用化されている。

わが国においてもPCの第1号橋が完成してより20年の歳月が過ぎ、世界の流れとともにこの間、各分野においてPC構造物が設計施工され、また各種のPC工法も実用化した。現在ではわが国に世界最大の桁橋が存在し（浦戸大橋支間 230 m）、またブロック工法、移動支保工による施工、PCトラス構造等各種の工夫が加えられてあらゆる方面に活用できるようになった。

このようにPC構造が一般化し利用が拡大すると、当然各種の設計施工に関する基準類が必要となる。現在までに設計に関する示方書類、参考書は多数出版されているが、施工に関するものは比較的少ない。このたび、日本道路協会において「プレストレスト コンクリート道路橋施工便覧」が橋梁委員会、便覧等小委員会より出版されるに至り、一応道路橋に関する施工基準と手引きの役目をすることになった。

ここに表題の講座を記述することは、やや前記便覧と重複する感があるが、PC施工の初心者向けの講座を設け広く各方面に理解していただくべく執筆する次第である。なお、本講座は前記「プレストレスト コンクリート道路橋施工便覧」を参照して記述したもので、主として橋梁を対象にしている。

執筆者は、次のメンバーで構成された「PC施工研究会」で、それぞれの章を個別に分担し、各章間の連携と取りまとめは清野が行った。

## PC施工研究会メンバー（執筆順）

- 清野茂次（株）オリエンタルコンサルタンツ構造部長）  
 峯 好武（オリエンタルコンクリート（株）東京支店 設計課長）  
 佐藤浩一（住友建設（株）土木部PC設計課長）  
 小池欣司（オリエンタルコンクリート（株）東京支店 工務部副部長）  
 宮地 清（北海道ピースコンクリート（株）技術課長）  
 荒川敏雄（ピースコンクリート（株）主任研究員）

河井裕次（構造工事（株）取締役社長）

## 総 括 目 次

- |               |         |
|---------------|---------|
| 1. 総 説        | （担当 清野） |
| 2. 施工計画       | （ " 峯）  |
| 3. 型わくおよび支保工  | （ " 佐藤） |
| 4. コンクリート工    | （ " 小池） |
| 5. プレストレッシング工 | （ " 宮地） |
| 6. グラウト工      | （ " 荒川） |
| 7. 架 設 工      | （ " 河井） |

## 総 説

（執筆担当 清野茂次\*）

## 1. PC 構造物の特性

PCは高強度のコンクリートと高強度の鋼材で構成された鉄筋コンクリートの一種であるが、一般の鉄筋コンクリートに比較して種々な特性をもっている。PC構造物を施工する場合、この特性を十分に理解して施工するかどうか、よいPC構造物を施工できるかどうか直接影响到するものである。

近年、高強度のコンクリートを比較的容易に造ることができるようになり、あわせて高強度の鋼材が生産できることからこれらを利用した合理的なコンクリート構造物を、ということがコンクリート技術者の大きな課題であった。鉄筋コンクリート構造の場合には、いかに高強度の鋼材を使用しても、またいかに高強度のコンクリートを用いてもこれらを全部有効に利用することはできない。それは、コンクリートの引張側に生ずるひびわれ幅が問題となるからで、異形鉄筋の利用である程度までは改良することができるがそれでも根本的な解決にはならない。またあまり高い強度まで利用すると静的な荷重に対しては問題とならないが、疲労強度が大きく低下する欠点をもっている。

このような特性をもっている鉄筋コンクリートに対して、PCは高強度の鋼材を用いプレストレスを与えておくことによって、コンクリートの全断面を有効に利用でき、設計荷重作用時にはひびわれが発生しないかまたは非常に限られた幅のひびわれ発生にとどめることが可能である。このことは荷重による鋼材の応力変動を小さくし、鋼材の疲労に対して安全であることにも関係する。PCの場合は、高い強度のコンクリートと鋼材が開発されれば、常にそれを有効に利用できる特質をもっているのである。

\* 株式会社オリエンタルコンサルタンツ構造部長

このような特性とより合理的な構造形態になりうる可能性をもったPCの設計、施工には鉄筋コンクリートとは別の意味での慎重さが必要となってくる。しかし逆にPCはいたづらにむづかしいものであるとの考え方が強くなりがちであるが、PCの基本的特性とコンクリート施工の原則を守れば、特別にむづかしいものではないということも十分理解しておかなければならない。

PC構造物の特性で主なものは高強度のコンクリートの利用とプレストレスを与えるということである。

コンクリートの強度は、一般に  $\sigma_{ck}=300 \text{ kg/cm}^2 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$  で、最近では  $\sigma_{ck}=800 \text{ kg/cm}^2$  程度まで利用されようとしている。したがって、その品質管理が非常に大切な作業となってくる。しかも、この強度に対してプレストレスを与えた直後には比較的若い材令のものに実強度の1/2をこえる値の圧縮応力度を与えることである。逆の面からいえば、プレストレスを与えることによって部材の荷重試験を行っているともいえるが、不良のコンクリートが混入していれば直接破壊につながるものである。実際にはこのような極端なことを考える必要はないが、初期に非常に大きな力を与えることの意味を十分に理解しておかなければならない。鉄筋コンクリートの場合、許容圧縮応力度に近い応力度が生ずる時期は十分な強度が出た後で、しかも一般にはかなり余裕をもって一時的に発生するものである。次にプレストレスを与えることは作用力に対して能動的に耐荷能力をつけようとするもので、これに対して鉄筋による場合は作用力を受動的に受けもつ性格をもっているものといえる。

いずれにしてもコンクリート構造物は、鋼構造物に比較して、現場における作業が多く、種々な素材を混合、組合せて目的物を造るものもあるから“育てる”という基本理念をなくしてはよい構造物を施工することはできないし、育てることに愛情と厳しさが加わらなければ本当の完成品とはならないものである。ここにコンクリート技術者の喜びがあるともいえる。鋼構造の場合には完成された成人をそれぞれ組合せて一つの目的物とすることで、その組合せ能力が高いか低いかが構造物の優劣を決めるもので、“育てる”という意味は含まれない。

## 2. 設計から施工へ

いかなる構造物でも設計の目的と設計図に忠実な施工をしなければならないことはいうまでもないことである。とくにPC構造物の場合には他の種の構造物の場合以上に設計と施工の関連性を密接に考えなければならないものである。逆のいい方をするならば、設計は施工方法と密接な関係をもたせながら行わなければよい設計とはいえないことにもなる。このように特に設計と施工の

関係を十分考慮しなければならない第一の要因は、プレストレスを与えるという作業が加わるからである。

プレストレスは、直接目視によって正確に確認することができないものである。したがって、設計の意図するプレストレス量を所定の順序にしたがって正確に与える作業をしなければならない。しかもコンクリートに最も大きい圧縮力を与えることにもなる。

次に組合せ構造（合成構造）、不静定構造の場合で、施工中と完成後の構造系が異なる構造物系の場合には設計時に想定した施工順序で行わなければ、外形的に合目的物に見えても、内容的には所要の耐荷力をもつ構造とはならない。また、構造物の種類によっては、コンクリートのプレストレスングおよびクリープによる変形、コンクリートの材令差による問題、その他についても配慮しながら施工しなければならないことがある。

## 3. 施工に着手する前に検討しておくべき事項

工事担当者は、施工に着手する前に種々な調査検討が必要である。一般の工事の場合と同様に、設計図、工事仕様書、工費内訳書、施工計画書等充分理解しておくことが必要である。ここでは特にPC特有の事項を取り出して説明することにする。

### (1) 設計計算書の理解

前にも述べたとおり工事担当者はまず計算書の内容をよく理解し、施工しようとする構造物がいかなる設計上の考え方で成り立っているかを十分理解しておくことが大切である。特に単純桁の場合でも数回にわけてプレストレスを与える設計をしている場合、組合せ部材によって造られる場合、また不静定構造物の場合等、設計の本質をよく理解しておかなければ、正しい構造物を施工することができないことがある。

設計計算の内容をよく理解しておくことは、現場の都合で部分的変更をしたい場合等適格な判断ができ、工事能率の向上にもつながる。

### (2) 施工計画書または特記仕様書

設計の時点でその構造物に対する標準的な施工計画書または特記仕様書が作成され、設計と施工との関連性、施工上の基本的な考え方、工期、その他の必要事項が記されているものである。工事担当者は、この内容をよく理解した上で、具体的な施工計画書を作成し工事の進行を円滑にする必要がある。

### (3) 使用材料とその性質

PC工事の場合、主として使用される材料は、コンクリート、グラウト、PC鋼材であるが、これらを中心にして関連材料の必要とする諸性質、規格等を充分把握しておかなければならない。

(4) プレストレッシングに関する事項

a) 工法の把握 プレストレッシングには種々な工法があり、その設計に使用している工法の名称、特徴を充分理解しておく必要がある。

b) プレストレッシング 適切なプレストレッシングを行うためには、プレストレッシングの作業方法、PC鋼材に与える力と伸びの関係、プレストレッシング中に生ずる種々な現象について充分理解しておく必要がある。

プレストレッシング時にPC鋼材端部を緊張すると、部材の任意点では、① PC鋼材とシースとの間の摩擦、② 定着具のセット、③ コンクリートの弾性変形等でPC鋼材の引張力が変化する。

次にPC鋼材緊張後には、④ PC鋼材のリラクゼーション、⑤ コンクリートのクリープ、乾燥収縮、⑥ 荷重の作用、等によって再び変化する。④～⑥は設計計算上の仮定によって算出するものであり、施工時に直接関係がないが、①～③は工事中に生ずるもので直接的に関係し、正しい計算と理解があって初めてよい施工ができるものである。

c) コンクリート部材の変形 プレストレスを与えるとコンクリート部材は変形する。一般にそりと縮みの現象である。施工前にこの現象と値を十分把握しておかなければ、型わくの設置、でき上り部材寸法の正しい判断等が適切に行えず、またプレストレスが正しく与えられないことすらある。

(5) 現場条件に対する検討

構造物を施工しようとする現場は、地理、地形、地質、環境および気象など種々な条件下にある。一般に工事を行うという立場で調査することは比較的充分行われているようであるが、工事を行うとその環境にどのような影響を与えるかについてはややおろそかにされている傾向にある。近年のように公害意識が高まっている現状ではこれを無視して施工を行うことができる場所はないといえる。

すべての土木工事に共通していることであるが、われわれは目的物を造る意識が強すぎて、環境意識に欠けていたきらいがある。このために土木技術者の意識変革を行わなければ、建設事業が公害産業の一つに加えられるであろう。

4. 施工上必要な各種検討計算

(1) 一般

前節 3. で述べたように工事着手前には種々な事項に対する検討が必要である。ここで述べる検討計算は、現場工事を担当する技術者がぜひとも理解し、自分で計算

しなければならない事項である。特殊な工事ではここに述べるほかにも多くの検討を必要とするが、ここでは一般のPC桁について、しかもPC桁特有な点に対して記述することにする。

(2) コンクリート部材の変形

PC部材は種々な要因によって変形する。大別すると部材軸方向の伸縮とそりである。この現象は、① プレストレッシング力、② コンクリートのクリープおよび乾燥収縮、③ 死荷重および活荷重、④ 温度変化および温度差、等の要因によって生ずる。

a) 部材の伸縮に関する計算式

1) プレストレス導入時の弾性変形 ( $\Delta l_p$ )

$$\Delta l_p = - \int_0^l \frac{\sigma_{cx}}{E_c} dx \approx -c_1 l \frac{\sigma_c}{E_0} \dots\dots\dots(1.1)$$

ここに

$l$ : 部材の長さ

$E_c$ : コンクリートのヤング係数

$\sigma_c$ : コンクリートに生ずる圧縮応力度 (最大値)

図心軸にそった縮み  $\sigma_c = \frac{P_t}{A_c}$

桁下面にそった縮み  $\sigma_c = \sigma_{ct} + \sigma_{d0}$

$c_1$ : 係数 プレストレス一定の場合  $c=1$

放物線分布の場合  $c=2/3$

一般の道路橋単純桁では部材長さ 1 m につき 0.2~0.4 mm 程度の短縮量となる。

2) クリープによる変形

$$\Delta l_p = \frac{1+\eta}{2} \cdot \varphi \cdot \Delta l_p \dots\dots\dots(1.2)$$

ここに

$\eta$ :  $P_e/P_t$  プレストレスの有効率

$\varphi$ : コンクリートのクリープ係数

3) 乾燥収縮による変形

$$\Delta l_c = -\epsilon_s \cdot l \dots\dots\dots(1.3)$$

ここに

$\epsilon_s$ : 乾燥収縮度 =  $30 \times 10^{-5}$  とする。

4) 温度変化 ( $t$ ) による変形

$$\Delta l_t = \pm t \cdot 10^{-5} \cdot l \dots\dots\dots(1.4)$$

5) その他の変形: 以上の他にも桁下面においては荷重が作用すると部材は伸縮する。必要な場合には計算しておかなければならない。

b) 部材のたわみの計算 (単純桁の場合)

1) プレストレス導入時

$$\delta_p = - \int \int \frac{M_{px}}{E_c I_x} dx \quad dx \approx - \frac{M_p l^2}{C_2 E_c I_c} \dots\dots(1.2)$$

ここに

$\delta_p$ : プレストレス導入時のプレストレスによる桁のたわみ

$M_p$  : 支間中央のプレストレスによる曲げモーメント

$$M_p = P_t \cdot e_p$$

$I_c$  : 支間中央の断面 2 次モーメント

$C_2$  : 係数,  $M_{px}$  が一定の場合  $C_2 = 8.0$

$M_{px}$  が曲線的に変化する場合

$$C_2 = 8.5 \sim 9.5$$

一般に  $C_2 = 9.0$  とする。

2) 死荷重によるたわみ

$$\delta_d = \frac{M_d l^2}{9.6 E_c I_c} \dots\dots\dots(1.3)$$

ここに

$M_d$  : 死荷重による支間中央の曲げモーメント

3) コンクリートのクリープによるたわみ

$$\delta_{\varphi t} = -\varphi_t \cdot \left( \frac{1+\eta}{2} \delta_p - \delta_d \right) \dots\dots\dots(1.4)$$

ここに

$\varphi_t$  : ある時間内におけるクリープ係数

一般に  $\varphi_t = 1.5 \sim 2.0$  とする。

4) 活荷重によるたわみ

$$\delta_l = \frac{M_l l^2}{C_3 E_c I_c} \dots\dots\dots(1.5)$$

ここに

$M_l$  : 支間中央における活荷重による曲げモーメント

$C_3$  : 係数, 道路橋の場合  $C_3 = 9.8$  (L 荷重)

鉄道橋の場合  $C_3 = 9.9$  (KS 荷重)

(3) PC 鋼材の引張力と伸びに関する計算

PC 鋼材に引張力を与えるにはジャッキを用いその圧力計の読みと PC 鋼材の伸び (ぬけ出し量) によって確認する。

施工時に与える初期引張力 ( $P_i$ ) は 3. (4) で述べたように次の要因によって変化する。

- ① ジャッキの内部摩擦損失
- ② 定着具の摩擦損失
- ③ シースと PC 鋼材との間の摩擦損失
- ④ 定着部の滑動変形 (セット) による損失
- ⑤ コンクリートの弾性変形による損失
- ⑥ コンクリートのクリープ, 乾燥収縮および PC 鋼材のリラクセーションによる損失

上記の内 ①~④ は PC 工法によって異なり, ⑤~⑥ は設計の条件によって異なるものであるが, 一般の道路橋単純桁の場合について  $P_i$  に対する損失率の概略値を示すと次のようになる。

- ① の項 0~2%, ② の項 0~2%, ③ の項 5~20%
- ④ の項 0~5%, ⑤ の項 1~5%, ⑥ の項 10~20%

一般に設計計算時には現場の条件を仮定して各損失量を計算するが, その仮定と実際に行う現場の条件とが異

なる場合には当然再計算を行う必要がある。

a) PC 鋼材緊張力の計算 所定の断面において設計上必要とするプレストレス力を  $P_t$  とすると, ジャッキ位置における緊張力  $P_i$  は次の式によって求まる。

$$P_i = P_t \cdot e^{(\mu\alpha + \lambda l)} \cdot (1 + \beta) = P_t \cdot e^{\mu(\alpha + \gamma l)} \cdot (1 + \beta) \dots\dots\dots(1.6)$$

緊張材の長さが 40 m 以下, 角度変化が 30° 程度までの場合には次の近似式によってよい。

$$P_i = P_t \cdot \{1 + \mu(\alpha + \gamma l)\} \cdot (1 + \beta) \dots\dots\dots(1.7)$$

ここに

$\mu$  : 角変化 1 ラジアンあたりの摩擦係数

$\alpha$  : 角変化 (ラジアン)

$\lambda$  : 緊張材の長 1 m あたりの摩擦係数

$l$  : 緊張材の引張端から所定断面までの長さ (m)

$\gamma$  : 緊張材の長さ 1 m あたりの角変化 (ラジアン)

一般に  $\mu, \gamma$  は表-1.1 の値を用いてよい。

表-1.1  $\mu, \gamma$  の値

緊張材の種類	$\mu$	$\gamma$
PC 鋼 線	0.30	0.013
PC 鋼より線束	0.30	0.016
PC 鋼 棒	0.25	0.016

b) PC 鋼材の伸びの計算 PC 鋼材の伸び量を知ることがプレストレスの管理に欠かせないことである。この伸び量は PC 鋼材に与える力, 緊張材の配置形状, 各摩擦状態, コンクリート断面の形状等によって異なるが, 真の伸び量を測定することは困難である。そこで実際には, 桁端から抜出す量, すなわち, 見かけの伸び量を計算しておき, 現場で測定して管理するのである。

緊張材引張端における抜出し量  $\Delta l_p$  は一般に次の式で与えられる。

$$\Delta l_p = \int_0^l \frac{\sigma_p}{E_p} ds + \int_0^l \left( \frac{p \cdot e_p^2}{E_c I_c} + \frac{p}{A_c E_c} \right) ds \dots\dots(1.8)$$

上式中, 第一項は PC 鋼材自身の伸び, 第二項はコンクリートの弾性変形によるものである。

多数の緊張材が配置されており順次, プレストレスされる場合には第二項を無視してもよい。その場合第一項の値を求める近似式は次のようになる。

$$\Delta l_p = \frac{\sigma_p l}{2 E_p} \left( \frac{2 + \mu(\alpha + \gamma l)}{1 + \mu(\alpha + \gamma l)} \right) \dots\dots\dots(1.9)$$

正確な伸び量を知るためには PC 鋼材引張応力度分布に応じて分割し, 数値積分を行えばよいが, 実用上は式によって求めても十分である。

(4) 桁架設時の安全に関する計算

プレキャスト PC 桁を架設する場合, その方法によっては種々な検討をしておかなければならない。その主要

な状態を示すと次のようになる。

- ① 桁の支持間隔を短縮した状態
- ② 桁を横方向に傾斜させた状態
- ③ 桁の横座屈
- ④ 桁を縦方向に傾斜させた状態
- ⑤ 既架設桁上を別の桁が移動する状態
- ⑥ その他

上記の状態は単独または組合せによって現れるもので架設条件と対比して、必要事項を十分に検討しておく必要がある。

施工中特に問題となるのは①、②と③で、また②と③との組合せでプレキャスト桁が破壊してしまうことすらある。③の項は一般に設計の条件として安全である形状を選定しているはずであるが、②の項が加わると非常に危険な状態となる。ここでは①と②についての計算法を示しておく、詳細については文献 1) を参照のこと。

a) 仮支持スパンの許容長さ ( $l_a$ )

$$l_{a1} = \sqrt{\frac{|\sigma_{cat}' - \sigma_{ct}' \cdot \eta^t|}{\sigma_{d0}}} \cdot l \quad \dots\dots\dots (1.10)$$

$$l_{a2} = \sqrt{\frac{|\sigma_{cat} - \sigma_{ct} \cdot \eta^t|}{\sigma_{d0}'}} \cdot l \quad \dots\dots\dots (1.11)$$

$l_{a1}$ ,  $l_{a2}$  のうちいずれか大きい方をとる。

ここに

$l$ : 設計スパン

$\eta^t$ : 仮支持するときのプレストレスの有効率、一般に 0.95 程度と考える。

$\sigma_{cat}'$ : 部材圧縮側の許容引張応力度

$\sigma_{cat}$ : 部材引張側の許容圧縮応力度

$\sigma_{ct}'$ : プレストレスを与えた直後の部材圧縮側の引張応力度

$\sigma_{ct}$ : プレストレスを与えた直後の部材引張側の圧縮応力度

$\sigma_{d0}'$ ,  $\sigma_{d0}$ : 桁自重によるそれぞれ上縁、下縁の圧縮および引張応力度

b) 桁の横方向傾斜 許容される傾斜角  $\theta_a$  は次の

式によって求まる。

$$\theta_0 = \sin^{-1} \left( \frac{|\sigma_{cat}' - \sigma_{ct}' \cdot \eta^t - \sigma_{d0}'|}{\sigma_{d0}'} \cdot \frac{Z_h}{Z_c'} \right) \quad \dots\dots\dots (1.12)$$

ここに

$Z_c'$ : 桁上縁に関する断面係数

$Z_h$ : 上突縁端に関する鉛直軸に対する断面係数 (図-1.1)

上突縁端付近に鉄筋を配置することによって、計算上の  $\sigma_{cat}'$  の値を  $-25 \text{ kg/cm}^2$  程度まで大きくすることが

できる。

5. 各種 PC 工法とその特徴

(1) 一般

わが国で実用化しているポストテンション方式の PC 工法は非常に多くの種類がある。PC 工事初期にはほとんどが外国の輸入工法であったが、最近ではわが国自身で開発したものがかなり実用化している。

各工法はそれぞれ PC 鋼材の定着方式によって工法の名称がつけられており、それらを機構別に分類すると次のようになる。

- ① くさび式定着 (PC 鋼線, PC 鋼より線)
- ② ねじ式定着 (PC 鋼棒, 多層 PC 鋼より線)

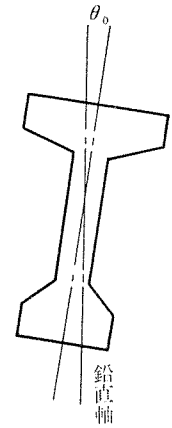


図-1.1

表-1.2 プレストレッシング工法の一覧表

工法名	開発国名	主な緊張材 (ケーブル) の種類 鋼棒 (B), 鋼線 (W), より線 (S)	定着方式
普通鋼棒	—	φ 17(B), φ 23(B), φ 26(B) (強度各 2 種類)	ね じ
フレンネー (Freyssinet)	フランス	12-φ 5(W), 12-φ 7(W) 12-φ 8(W), 12-12.4(S)	く さ び
BBRV	スイス	12-φ 5(W), 12-φ 7(W) 24-φ 7(W), 34-φ 7(W)	ほ た ん (ね じ)
ディビダーク (Dywidag)	ドイツ	φ 26(B), φ 32(B) (強度各 2 種類)	ね じ
バウル・レオンハルト (Baur・Leonhardt)	ドイツ	(任意多本数)-φ 9.3(S), 12.4(S)	大径ルー プ付着
レオバ (Leoba)	ドイツ	12-φ 5(W), 8-φ 8(W) 16-φ 8(W)	小径ルー プ(ね じ)
SEEE	フランス	φ 25.6(S), φ 33.3(S) φ 38.1(S), φ 47.5(S)	圧 着 (ね じ)
VSL	スイス	7-φ 12.4(S), 12-φ 12.4(S) 19-φ 12.4(S), 31-φ 12.4(S)	く さ び
CCL	イギリス	1-φ 17.8(S)	く さ び
フープコーン	日 本	12-φ 5(W), 12-φ 7(W) 12-φ 8(W)	く さ び
OSPA	日 本	12-φ 7(W), 24-φ 7(W) 30-φ 7(W), 36-φ 7(W)	ほ た ん (ね じ)
OBC	日 本	9-φ 9.3(S), 8-φ 12.4(S)	く さ び
SWA	日 本	6-φ 9.3(S), 6-φ 10.8(S) 6-φ 12.4(S)	く さ び (ね じ)
安部式ストランド	日 本	φ 20.6(S), φ 26.8(S) φ 45.2(S)	合金溶着 (ね じ)
3ストランド	日 本	3-φ 15.2(S)	く さ び
MDC	日 本	12-φ 5(W), 12-φ 7(W)	く さ び (ね じ)

- ③ ぼたん式定着 (PC鋼線)
- ④ ループ式定着 (PC鋼線, PC鋼より線)
- ⑤ 上記各種の組合せによる定着

くさび式とはめすコーンとおすコーンで構成された定着具で、PC鋼材をくさび作用によって生ずる摩擦を利用して定着する方式である。ねじ式とはPC鋼棒あるいはPC鋼より線に圧着したスリーブにねじを切ってナットと支圧板を用いて定着する方式である。またぼたん式とは、PC鋼線端にぼたんを造りそれを定着体にアンカーしてその定着体をねじ式と同様ナットと支圧板で定着する方式である。ループ式とはPC鋼材をループ状にまきつけて定着する方式で、小型のものはねじ式を併用している。

以上の各定着方式にはそれぞれの特徴をもっており、その特性を生じた適用を考える必要がある。

(2) 各種工法

現在わが国で採用されているPC工法を示すと表-1.2のとおりである。

(3) 各工法の特性と適用

各工法の特性については文献<sup>1)~3)4)</sup>に詳細に述べてあるのでこれを参照することにし、ここでは諸工法の適用上の基本事項を述べておく。

a) くさび式定着方式 くさび式定着方式の代表はフレッシュナー工法である。その他にVSL工法、CCL工法、フープコーン工法、OBC工法、SWA工法、3ストランド工法、などがあり、基本的には同一な性格をもっている。

定着具はモルタルまたは金属で、数本を同一くさびで定着するものと、1本の鋼材を1チャックで定着するものがある。

くさび式定着法の共通事項は定着時にある程度の滑動があることである。したがって、この滑動量がプレストレスにある程度の影響を及ぼすので、これが問題となる比較的短い部材とか、設計断面が定着端近くにあるような場合には十分な注意が必要である。

次にジャッキング中または定着直後にスリップする可能性をもっており、これによって事故を起すことがあるのでこの点でも十分な注意が必要である。

b) ねじ式定着方式 ねじ式定着方式は普通鋼棒工法、ディビダーク工法、およびSEEE工法等がある。この他にも間接的にはBBRV工法、OSPA工法、レオバ工法などがねじ式定着方式である。ここでは前者をねじ式定着方式と定義する。

ねじ式定着方式は定着時のセット量が0に近く、再緊張が容易である。逆にPC鋼棒を用いる場合には支圧板とPC鋼棒が直交するように配置することが重要で、施

工上十分注意しなければならない。またねじ部の損傷にも注意が必要である。ねじ式定着方式の場合にはセット量が0であることから比較的短い部材に対して適用できることと、緊張材の接続が容易である。

c) ぼたん式定着方式 先にも述べたとおりBBRV工法、OSPA工法などであるが最終的にはねじ式定着を併用している。この工法はぼたん位置の精度が必要なこと以外はねじ式定着方式と同様な性格をもっている。

d) ループ式定着方式 レオンハルト工法、レオバ工法がこの方式に類し、PC鋼材端をループ形に折曲げまたはまきつけて定着する方式である。レオバ工法の場合はねじ式定着方式の性格をもっている。

6. 材 料

(1) 一 般

PC構造物に用いる材料は、一般の鉄筋コンクリート構造物に用いる材料の他に、PC鋼材とその定着具、ダクト用材料(シース他)、グラウト材、および接着剤等がある。

優良なPC構造物を施工するためには、よい材料を選定し使用することは当然のことであるが、同時に材料の取り扱いと保管、および適用の仕方にも十分な配慮が必要である。一般に用いる各種の材料には、そのほとんどがJISあるいは公的な機関で定められた品質規格があり、それらに適合しているかどうかの確認も忘れてはならないことである。

ここでは主要材料の種類と特性を述べることにし、その管理と適用については後の章にゆずることにする。

(2) PC鋼材

a) PC鋼材の品質と種類 PC鋼材はJIS G-3536-1971, JIS G-3109-1971に適合するものであることはもちろんであるが、強度以外の性質についても、①破断時の伸びが大きいこと、②小半径で曲げることによって折れないじん性をもっていること、③直線性がよいこと、④レラクセーションが小さいこと、⑤材質が安定していること、⑥疲労に対して強いこと、⑦PC鋼材が清浄であって有害なさび、きず等がないこ

表-1.3 PC鋼材の種類と直径

PC鋼材の種類		一般に使用されている直径
PC鋼線		φ5, φ7, φ8
PC鋼より線	2本より	φ2.9×2
	7本より	φ9.3, φ10.8, φ12.4, φ15.2
	多層より	φ19.8, φ25.6, φ33.3, φ38.1, φ47.5
PC鋼棒	丸棒	φ17, φ23, φ26, φ32

と、などが要求される。

PC鋼材はその形式によって次の3種類に分類され、一般に使用されている直径のものは表-1.3のとおりである。

**b) PC鋼材のヤング係数** PC部材の設計計算に用いるPC鋼材のヤング係数は、 $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ としてよいことになっているが、実際に用いられるPC鋼材は、その種類によって多少異なり、また応力-ひずみ曲線の形状も異にする。

PC鋼線類では $2.0 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ よりやや大きく、PC鋼より線はやや小さめになっている。またPC鋼棒のうち2号では比較的明確な降伏点を示し、その後の応力の伸びが少ない。このような傾向から、緊張材を引張るときの伸び量の計算には、実際に使用するPC鋼材のヤング係数を確認して求める必要がある。

**c) PC鋼材のレラクセーション** PC鋼材を緊張し長時間そのままにしておくとその引張力は減少するもので、PC鋼材のレラクセーションによる応力減少とプレストレスを与えた直後のPC鋼材に作用している引張応力との百分率をレラクセーション率という。通常の場合、設計計算に用いるレラクセーション率はPC鋼線およびPC鋼より線で5%、PC鋼棒で3%としてよいことになっているが、この値はPC鋼材の初期引張応力度の関数であって、初期引張応力度が大きくなるとレラクセーション率は急激に増加するものである。

一方、PC部材に用いたPC鋼材では、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による短縮によって鋼材の引張応力が減少し、レラクセーション率を減少させるものである。これらのことを考慮して、設計計算では見掛け

のレラクセーション率を用いるのである。真のレラクセーション率は応力度の関係で与えられる。わが国のPC鋼線に対する長期レラクセーションテストの結果より最終値を推定すると $0.5 \sigma_{pu}$ で2.2~3.4%、 $0.7 \sigma_{pu}$ で8~11%、 $0.8 \sigma_{pu}$ で18~20%程度となっている。しかし見掛けのレラクセーション率は先に述べた程度に減少する。レラクセーション率は高温度にさらされるとその値が増加するものである。

### (3) コンクリート

PC用コンクリートは、所要の強度、耐久性、水密性その他の性質をもち品質のばらつきが少ないものでなければならぬ。コンクリートの品質は材令28日の圧縮強度が、プレテンション方式の場合で $350 \text{ kg/cm}^2$ 以上、ポストテンション方式の場合で $300 \text{ kg/cm}^2$ 以上のものとする。ただしプレストレス量が非常に少ない場合には、この値より多少小さい強度のものを用いることができる。

詳細についてはコンクリート工の項を参照していただきたい。

### (4) その他の材料

以上の他にもグラウト材、ダクト材等があるが、グラウトについては、グラウト工の項を参照されたい。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：「プレストレス コンクリート 道路橋施工便覧」
- 2) 土木学会：「プレストレス コンクリート 設計施工指針」
- 3) 土木学会：「コンクリート ライブラリー、各種工法別の設計施工指針(案)」
- 4) 西山啓伸：プレストレス用機器の進歩、プレストレス コンクリート、Vol. 15, No. 2